



経済発展における技術：発明・イノベーション・普及－パーソンズ蒸気タービンの場合、1884年-1914年－

吉，一男

(Degree)

博士（経済学）

(Date of Degree)

2022-03-25

(Date of Publication)

2023-03-01

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第8263号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1008263>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



博 士 論 文

令和 3 年 1 2 月

神戸大学大学院経済学研究科

経済学専攻

指導教員 萩原 泰治

吉 一男

博 士 論 文

経済発展における技術：発明・イノベーション・普及
ーパーソンズ蒸気タービンの場合、1884年-1914年ー

令和3年12月

神戸大学大学院経済学研究科

経済学専攻

指導教員 萩原 泰治

吉 一男

－目次－

序章	1
第1章 課題	3
1. 1 経済における蒸気タービンの位置	3
1. 2 先行研究	8
1. 3 課題	20
第2章 前史	26
2. 1 陸用蒸気機関の発達	26
2. 2 船用蒸気機関の発達	36
2. 3 小括	54
第3章 パーソンズ蒸気タービンの発明と進歩	58
3. 1 陸用蒸気タービン	58
3. 2 船用蒸気タービン	74
3. 3 パーソンズ蒸気タービン発明の『時』と『場』	83
3. 4 小括	106
第4章 パーソンズ蒸気タービンのイノベーション	109
4. 1 陸用蒸気タービン	109
4. 2 船用蒸気タービン	140
4. 3 小括	156
第5章 パーソンズ蒸気タービンの普及	160
5. 1 蒸気タービンと往復動蒸気機関の比較	160
5. 2 発電事業の発展と陸用蒸気タービン	175
5. 3 普及とライセンス	186
5. 4 小括	194
第6章 パーソンズの資金調達とネットワーク	197
6. 1 資金調達	197
6. 2 ネットワーク	204
6. 3 分析と考察	207
6. 4 小括	219

終章 結論	2 2 2
参考文献	2 3 3
謝辞	2 5 7
補遺 1 : 語彙集	2 5 8
補遺 2 : 「タービン」の定義	2 6 0
補遺 3 : 「ホギング(Hogging)」と「サギング(Sagging)」	2 6 4
補遺 4 : 「半径流蒸気タービン」と「軸流蒸気タービン」	2 6 6

序章

経済発展にとって、技術革新が重要であることは、経済学の始祖であるアダム・スミスの 1776 年刊行の「国富論」の第 1 章にすでに記載されている¹。最近でも、ノースウェスタン大学の長期経済成長の研究者であるゴードン(Robert J. Gordon)は、その著『アメリカ経済成長の終焉』に、「(経済)成長の源泉はどれも、イノベーションと技術変化の役割に集約することができる。...「イノベーション」という狭義の言葉が伝える印象よりも、企業家ははるかに経済成長に寄与している...」²と書いている。

本研究は、英国の発明家・企業家である英国人チャールズ・A・パーソンズ(Charles A. Parsons)が発明した、ワットの往復動蒸気機関に次いで重要な技術革新といわれる³蒸気タービンに関するものである。蒸気タービンは、現在でも、陸用発電用原動機として最も重要な機器であるが、船用では、原子力航空母艦、あるいは、一部の ULCC(Ultra-Large Crude Carrier)の高速・大出力を必要とする船舶などにその利用は限られている。

この蒸気タービンの発明の時から第一次世界大戦までの「発明」・「イノベーション」・「普及」過程を詳細に検討することにより、経済学の重要な分野である「経済発展と技術進歩」における主要なテーマである経済と技術の相互関係を実証的に分析・把握しようとするものである。

第 1 章「課題」では、エネルギーを必要とする経済における蒸気タービンの現在の位置を同定し、経済発展と蒸気タービン技術進化に関する先行研究の状況を調査する。そして、課題を設定するとともに、分析方法を決定する。

第 2 章「前史」では、蒸気タービンに先行して、陸用発電市場と船用推進市場を占有していた、往復動蒸気機関の発展を俯瞰する。

¹ 「生産力の増進は、... 一人で多くの仕事がやれるような多数の機械の発明にもとづく」(スミス(1968), p. 75)とあり、技術の変化(新たな機械)が、生産の増進、つまり、経済の発展をもたらすことを指摘している。

² ゴードン (2018), pp. 382-383.

ここでの「イノベーション」は、「技術革新」を意味し、技術革新の「発明」・「イノベーション」・「普及」の狭い意味での「イノベーション」とは異なることに注意する必要がある。

³ 1884 年のパーソンズの蒸気タービン特許は、「重要性において、1769 年のワットの分離凝縮器のそれに匹敵する。」(ディキンソン (1994), p. 222.)。

第3章「パーソンズ蒸気タービンの発明と進歩」では、パーソンズの蒸気タービンの発明の経緯とその後の進歩を精査し、発明の動機・目的を究明する。

第4章「パーソンズ蒸気タービンのイノベーション」では、蒸気タービン市場の醸成と製品の生成に関して、パーソンズが採用した手法を詳細に分析する。

第5章「パーソンズ蒸気タービンの普及」では、蒸気タービンと競争相手である往復動蒸気機関との比較・検討を行う。また、英国および米国の発電市場における蒸気タービンの普及過程を確認する。普及の要因であるライセンスに関し、パーソンズの方策を論考する。

第6章「パーソンズの資金調達とネットワーク」では、蒸気タービンの「発明」・「イノベーション」・「普及」における必要な資金について解明する。

終章「結論」では、各章で分析・検討した内容を総括し、本研究の成果について言及する。

第1章 課題

電気は、「今日の生産システムの多くを占めるさまざまな製品、プロセス、組織を可能にした汎用性のある技術(General Purpose Technology: GPT)である。... 電気がなければ、電話、電信、ラジオ、テレビ、ファックス、照明、パソコン、電子メール、インターネット、衛星通信など、現代のICT(Information and Communication Technology)革命を支えているものは存在しなかった。」¹といわれるように、電気は現代社会の極めて重要な社会的基盤である。

その電気を発生する原動機は蒸気タービンであるが、この事実は余り認識されていないことから、まず、その経済的重要性をまず確認する。次いで、経済の発展と蒸気タービン技術の進歩(発明・イノベーション・普及過程)との相互作用に関する先行研究の現状を述べ、蒸気タービン技術に関する論述は、発明目的を除いて、殆どないことを指摘する。

経済学の「経済発展と技術進歩」の学究分野である「現代技術論」・「技術革新論」は、①技術進歩が経済にどのような影響をもたらすか、②技術進歩がどのようにして起こるか、③技術進歩をいかに促進するか²、を探究する研究分野であるが、この「経済発展と技術進歩」のケース・スタディーとして、経済と技術の両視点に基づいて、蒸気タービン進歩を詳細に分析し、経済的背景および技術的背景を明らかにすること、そして、この事例分析結果から、今後、「現代技術論」・「技術革新論」に新たな視点を提供し、この理論の発展に寄与することが、本研究の課題であることを説明する。

1.1 経済における蒸気タービンの位置

経済の発展は、一般的に国民総所得(GNI) 或いは国内総生産(GDP)で測られるが、経済の発展とエネルギーとの間にも、密接な関係があることが、よく知られている。その関係は、普通、一人当たり GDP と一人当たりエネルギー消費で表されるが、英国の歴史人口学者のリグリーも、「20 世紀世界の経済分析では、一人当たり所得と一人当たりエネルギー消費の間に高い相

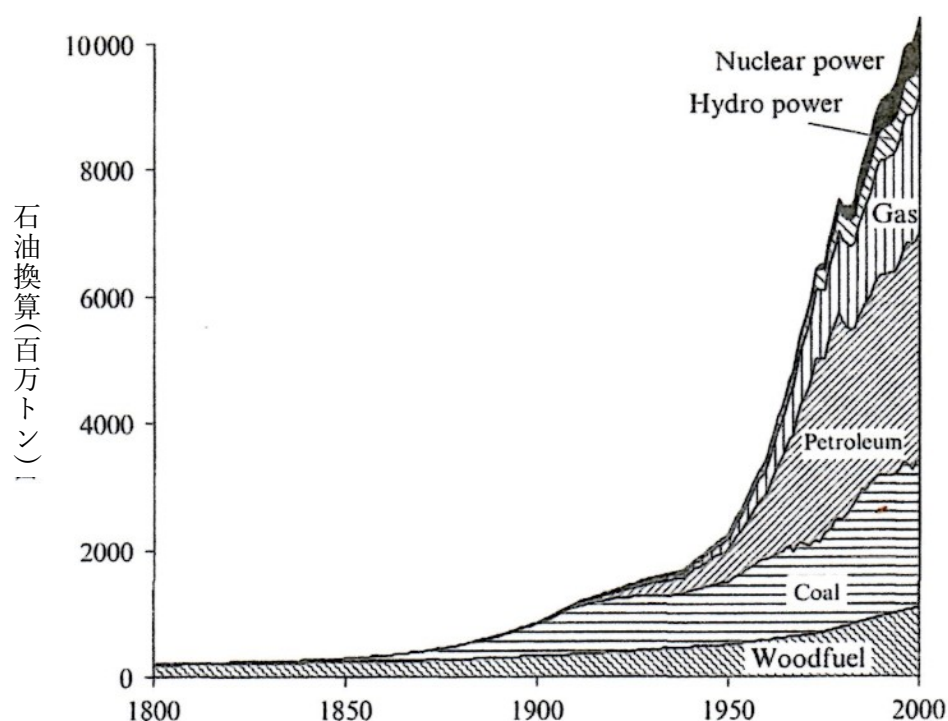
¹ Carlaw and Lipsey (2002), p. 1308.

² 萩原 (2006), p. 131.

関があるのは常識である」³と言っている。

エネルギーの消費量は、図 1.1 に示すように、18 世紀中期から 19 世紀初期に渡る産業革命によって、人類が蒸気機関の動力の利用により、それまでの畜力・人力から解放された以降、現在まで急速に拡大し続けている。

図 1.1 世界の 1 次エネルギー消費推移(1800－2000 年)



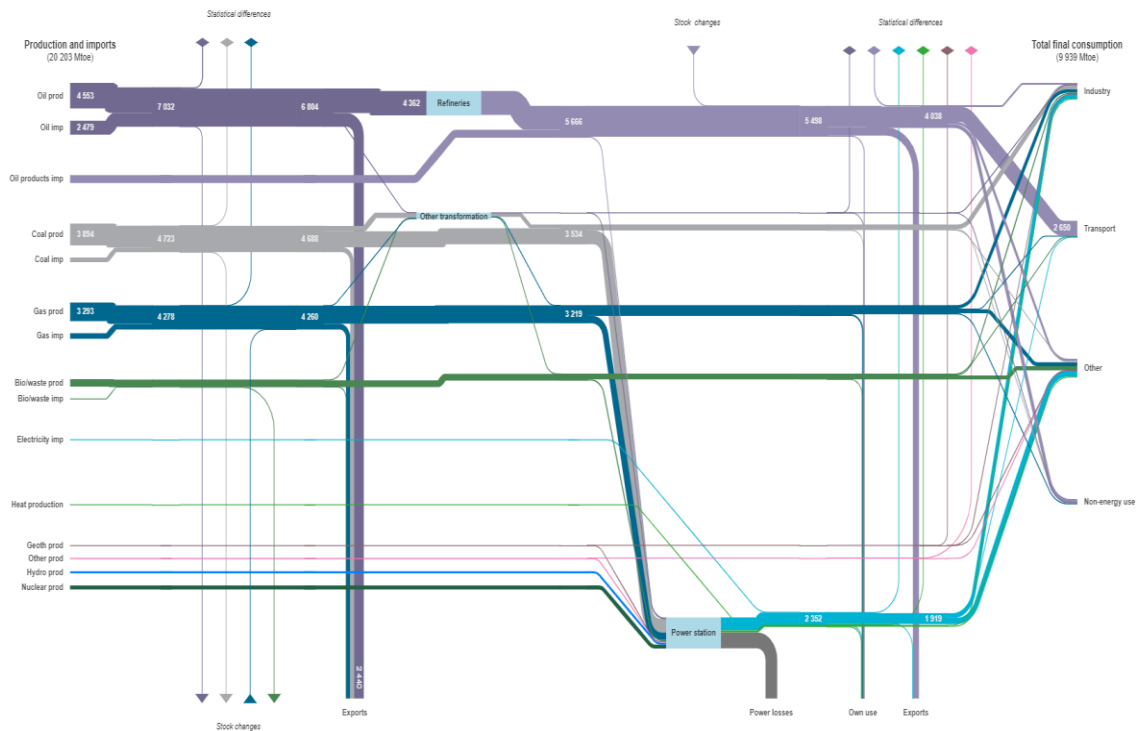
(出典：Fouquet, R. (2009), “A Brief History of Energy,” p.11)

現在のエネルギーの消費量は、最新の International Energy Agency(IEA) (2020)の全世界のエネルギー・バランスによれば、2018 年のデータでは、図 1.2 のようになっており、最終消費量(Total Final Consumption: TFC)は 9,939Mtoe(115.6TkWh)⁴であり、その内、電気の消費量(割合)は 1,919Mtoe(19.3%)である。この電気は、工業で 41.9%、運輸で 1.8%、その他で 56.3%がそれぞれ消費されている。

³ リグリオ (1991), p. 177。

⁴ Mtoe, TkWh 等の単位などの語彙については、「補遺 1：語彙集」参照のこと。

図 1.2 世界エネルギー・バランス



(出典： IEA World Balance 2018⁵⁾)

また、OECD 諸国での最終消費量および電気の消費割合は、それぞれ、3,786Mtoe(44.0TkwWh)、38.1%であることから、全エネルギー消費量の内、約 3 分の 1 から 5 分の 1 が、電気エネルギー(以降、電気と略す)の形で消費されていることになる⁶。

電気は、工業・運輸だけでなく家屋や事務所の照明や冷暖房・情報通信・製造業等に広く利用されており、2006 年のシュンペーター賞を受賞した『*Economic Transformation*』の著者である進化経済学者のリプシー(Richard G. Lipsey)らが、「今日、私たちは、経済的・社会的・政治的活動の多くを電気に依存する時代に生きている」⁷と言っている通り、電気は現代社会の不可欠な社会的基盤なのである。

⁵ World Balance 2018, <http://iea.org/sankey>.

⁶ IEA (2020), pp. 36, 41.

⁷ Lipsey, Carlaw and Bekar (2005), p. 196.

電気は一次エネルギーではなく、化石燃料(石炭・石油・天然ガス)、水力、原子力、太陽光等の一次エネルギーが転換された二次エネルギーであるが、この一次燃料には、そのエネルギーから生み出される実際の電気よりも何倍ものエネルギーが含まれており、これは、エネルギーを電気に転換する際には、巨大な熱損失の発生があることを意味する。

それにも拘らず、電気が全エネルギーの中で重要な地位を占めているのは、「電気には、多くのエネルギー源を使用することができること、熱・運動・光・機械・化学・磁気エネルギー等の他のエネルギーの形態へ変換することができ、この変換する際の損失を相殺する大きな利点がある」⁸からである、と著名な経済史家のローゼンバーグ(N. Rosenberg)は指摘している。

また、もう一人の経済史家ランデスは、経済史家の視点から、電気の重要性について、次の二つの特性：

① 伝達力(Transmissibility)・・・エネルギーを大きな損失なしに他の場所へ移動させることが可能

② 融通自在性(Flexibility)・・・他のエネルギー形態－熱・照明・運動－への転換が容易かつ効率的⁹

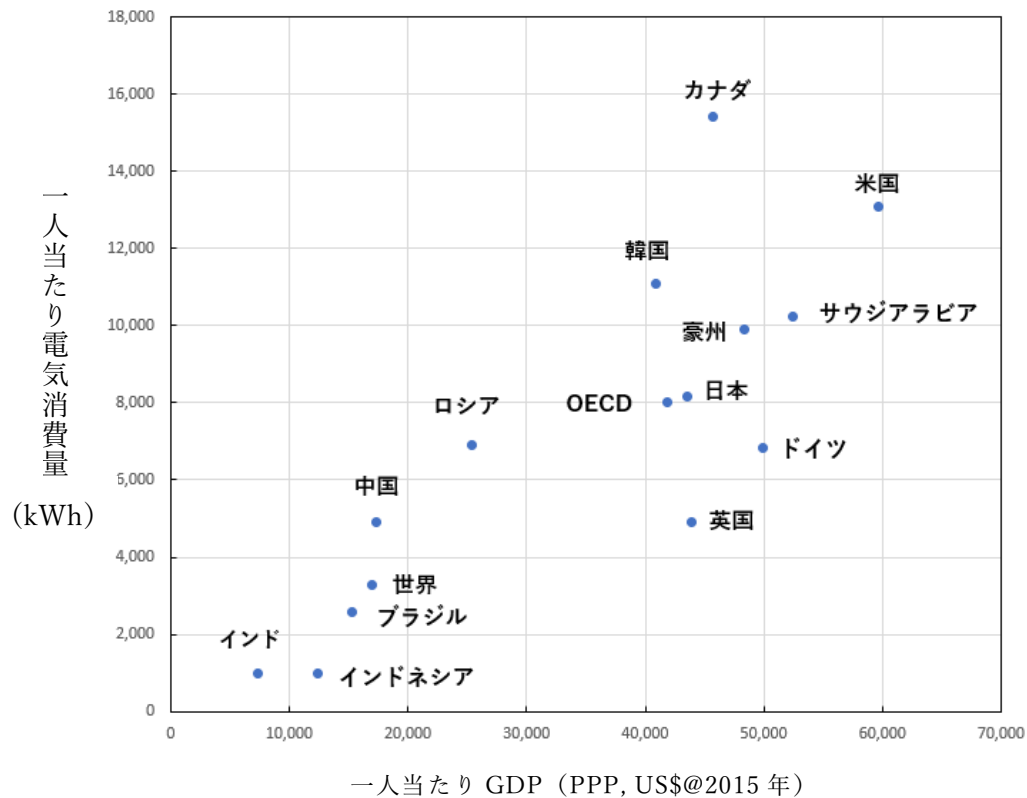
が独特な形で結合しているところにあり、この特性から、電気は機械や道具の設置場所の制約を解放し、電気を動力としてどこにでも送れるようになったと指摘している。この特性により、電気は、電気照明丈でなく、電気モータの発明とその工業全般での利用、電気鉄道、重電気化学工業・電気冶金工業へと用途が開拓されていき、産業の成長を大きく促進したのである。

電気の消費量と経済成長との密接な関係は、長期の比較により示されており、マクロ経済学における電気の重要性は、図 1.3 の一人当たり国内総生産(GDP/人)と一人当たり電力消費量(kWh/人)の比較図からも明白であるように思える。

⁸ Rosenberg (1998), p. 11.

⁹ ランデス (1980), p. 306。

図 1.3 一人当たり GDP(PPP)と一人当たり電気消費量(kWh)



(出典：IEA (2020), pp. 60-69 より著者作成)

電気を発電する設備には、蒸気タービン・ガスタービン・水力タービン・風力・地熱・太陽光等々があるが、全発電力量に対する蒸気タービンの発電割合については、公開されている関連資料では、原子力・石油・石炭・天然ガス・再生エネルギー等の燃料ごとの発電量の記載があるものの、蒸気タービン等の設備ごとの発電量については、記載がないため推定せざるを得ない。今、地熱・バイオマス等による蒸気タービンの発電量は無視し、原子力・石油・石炭による発電は蒸気タービンによるものとし、天然ガスによる発電量のうち、2/3 が蒸気タービンによる発電によるものと考えたと¹⁰、IEA デー

¹⁰ 天然ガスは、火力発電所のボイラ用燃料として、又、コンバインド・サイクル発電所のガスタービン用燃料としても使用されており、天然ガスによる発電量のデータからは、コンバインド・サイクル発電所で使用されている蒸気タービンの発電量に関連する直接のデータはない。

この為、天然ガスによる発電量の 1/2 が火力発電所の蒸気タービンにより、残りの 1/2 が、コンバインド・サイクル発電所によるものとする、この場合の蒸気タービンの発電量は、ほぼ $1/3$ であるので、 $1/2 + 1/2 \times 1/3 = 4/6 = 2/3$ となる。

タからは、2018 年の全発電量 26,619TWh のうち、蒸気タービンの発電割合は約 70%となる。

しかしながら、田沼 (T. Tanuma)¹¹ は、U.S. Energy Information Administration (EIA) データの発電量と設備容量比から、2012 年の全世界の発電量の 60%は蒸気タービンによると推定しており、レイゼロヴィッチ (A.S. Leyzerovich)¹²は、World Energy Council (WEC)のデータに基づき約 80%であると主張している。出典の明示はないが、トラウプル (W. Traupel)¹³は 80%強、シュミル (V. Smil)¹⁴は 5 分の 4、テルミュレン (H. Termuehlen)¹⁵は 2000 年では 80%とそれぞれ記載している。

このように、現在では、全世界の発電量に対する蒸気タービンによる発電割合は、総発電量の約 60-80%は蒸気タービンによって発電されていると言ってよく、経済発展を支えるエネルギー生産において重要な位置を占めている。

これにも拘らず、蒸気タービンの技術進化(発明・イノベーション・普及)と経済発展との関係については、経済史家および技術史家のいずれもこれまで殆ど関心を示してこなかった。本論文は、1884 年のパーソンズによる蒸気タービンの発明から第一次世界大戦前の普及までのパーソンズ蒸気タービンの技術発展と経済発展の関係を、経済的条件(市場のニーズ)および技術的条件(技術のシーズ)の両視点から分析しようとするものである。

1.2 先行研究

経済史家および科学史・技術史家の視点からのパーソンズ蒸気タービンの技術発展と経済発展に関する研究では、パーソンズ蒸気タービンの発明目的が主題となっており、これに関する見解は、発電機の駆動用のために発明さ

¹¹ Tanuma (2017), p. 4.

¹² Leyzerovich (2008), p. 5.

¹³ Traupel (1979), p. 391.

¹⁴ Smil (1999), p. 146.

¹⁵ Termuelen (2001), p. 1.

れたとするものと、船舶の推進用に発明されたとするものの二つに分かれる。発明後のイノベーションおよび普及については、経済史家は動力や電気鉄道の発展、技術史家は蒸気条件と性能(出力と燃料消費率)に関心があり、経済史と技術史を統合した視点からの議論はない。

1) 経済史家の視点：

戦前期の日本の製造業における動力について、水力から蒸気力、次いで、電力への推移を詳細に考察した経済史家の南亮進は、「蒸気タービンの実用化...は、発電機を駆動する高速機関の必要性であった。...その後多くの改良を重ね、発電用および船用機関に広く取り入れられ、次第に蒸気機関を駆逐していった」¹⁶と、蒸気タービンがまず発電機用に開発され、その後、船舶に適用されていったと、述べている。

ランダース(D.S. Landes)は、1965年の論文で、「実用的な蒸気タービンは、1884年まで完成することが出来なかった。この時、パーソンズは、一連のタービンを組合わせ、段落を多く設ける事により圧力を下げると、蒸気噴流の運動エネルギーをコントロールすることが出来ると考えた。...パーソンズの機械は、それ迄に製造されたどの動力装置よりもずっと強力であった。既存の発電機の最大速度は、1,200rpmであったので、パーソンズは、18,000rpmで回転するかれ自身の発電機を開発し、蒸気タービンと一緒にこの発電機の特許も取った。この二つは、ワットの回転運動を発生する機関の製造以来の蒸気動力を使用する点で最大のイノベーションを代表している。」¹⁷とパーソンズの蒸気タービンの発明を大きく評価している。同じ著者による『西ヨーロッパ工業史I：産業革命とその後 1750-1968』の中では、「何故近代的工業体制への最初の突破が西ヨーロッパで遂行されたのか」、「西ヨーロッパの中でもなぜ特定の時と場所で変化が生じたのか」と問い、多くの観点から検討を加えている。その中でも、往復動機関の発展について詳細に記述し、19世紀末には、往復動蒸気機関のピストン速度が、1,000ft/分と限界に接近しており、もっと巨大で強力な機関を造ろうとすれば、使用

¹⁶ 南亮進 (1976), p. 23。

¹⁷ Landes (1965), p. 506.

する材料が多量となり、必要な設置スペースが大きくなることから経済性を喪失しつつあったと述べ、パーソンズ蒸気タービンの成功は多段膨張方式の採用にあり、出力の点でも経済性の点でも、新しい技術を切り拓く事に成功したと説明し、大規模発電が可能になったこと、および、船舶への応用についても言及¹⁸している。しかしながら、蒸気タービンの発明の背景についての具体的な記述はなく、往復動機関の大型化の技術的限界が、蒸気タービンの発明の誘因となったことを示唆している丈で、経済的な背景についての論及はない。

ソウル(S.B. Saul)¹⁹は、「有望な電気は、発電機の最適速度がどの往復動機関の速度よりずっと大きいと言う技術的な問題を持っていた。そして、ウィランス等は直接駆動の高速機関の生産に成功した」と高速往復動蒸気機関がパーソンズ蒸気タービンの開発の前に、すでに、発電用に使用されていたことを述べ、「パーソンズは、発電機を直接駆動する実用的な蒸気タービンを開発し、同時に、高速のタービンに適合する革命的な発電機を製作した。続いて、パーソンズは、ずっと大きな発電のためのタービンを開発し、最後には、船用推進用を開発した」と述べ、蒸気タービンが陸用の発電にまず応用され、その後に、船舶の推進に適用されたと、記載している。

バグウェルとミンゲイも、『比較経済史』の1850-1914年の産業の発達に関する記述の中で、「最大の進歩は、パーソンズ蒸気タービン（高速タービンに合わせて設計されたパーソンズ発電機と共に）であった。そして発達は、大規模な発電の利用に導き、ついには船舶推進に利用されるようになった」²⁰と記載し、発電から船舶推進へと応用が拡大したと言う。

英国の経済史家ハバクク(H.J. Habakkuk)の指導の下、第一次世界大戦までの英国の電力産業の発展について、博士論文を書いたバイアット(I.C.R. Byatt)は、同名の書籍『*The British Electrical Industry 1875-1914*』の中で、「パーソンズの蒸気タービンは、1914年以前の電気供給設備におけるもっ

¹⁸ ランデス (1980), pp. 302-305。

¹⁹ Saul (1968), p. 206.

²⁰ バグウェル, ミンゲイ (1975), p. 155。

とも重要な英国の発明であり、しばしば、成功したアイデアは海外からのものであったが、これは完全に英国で作られたものである」²¹とパーソンズの発明を称賛している。パーソンズ以前の試みが失敗したのは、「超高速でしか効率的に作動しなかったためであること、パーソンズは一連のタービン翼車を軸に沿って置き、この連続的な翼車を通過する際に、圧力を徐々に低下させ、蒸気のエネルギーを回転運動へ転換させることにより、蒸気タービンの速度を大きく低減させたのが成功原因であった」²²と指摘している。こうして、「1889-1894 年の間に、パーソンズは、タービンが往復動蒸気機関と同じく経済的とする事が出来る事を示した。しかし、当時は、圧倒的な有利さはなかった。タービンのサイズを発展させることによりそのような優位性を達成する為に総力を挙げるよりも、1893 年、彼は船舶の推進用の蒸気タービンを開発することを決意した。これは、プロペラの設計に関連した一連の問題に取り込まれることになる。彼の関心と彼の貧弱な財源は、世紀末迄、陸用タービンから離すことになった」²³と述べ、発電市場での往復動蒸気機関との競争で必ずしも優位でなかったことが、船用タービン開発への転換となった理由であったことを示唆し、その間、発電用蒸気タービンの開発が遅れたと、主張している。

英国における電力産業の国有化以前の英国電力産業の発展について詳しく研究した経済史家のハナ(Leslie Hannah)は、パーソンズの蒸気タービンの発明について、「往復動蒸気機関の速度は、往復動作により多分 500rpm に制限されており、... 発電機と直結する... 問題を解決した栄誉は、チャールズ・パーソンズに与えられる。往復動蒸気機関の静圧からではなく、蒸気の速度が動力を取り出す原理に基づいて、1884 年に最初の蒸気タービンの特許をとった。」²⁴と述べ、それまでの往復動蒸気機関はベルトやプーリで

²¹ Byatt (1979), pp. 109-110.

²² 同上, p. 110.

²³ 同上, p. 192.

プロペラの設計問題とは、高速回転するプロペラにより、キャビテーション(空洞現象)が発生し、推進力が減少した問題をいう。

²⁴ Hannah (1979), pp. 12-13.

増速して発電機を駆動していたため、損失が非常に大きいことから、発電機と直結して駆動する問題を解決するために、蒸気タービンが開発されたものである、と理解している。

モキア(Joel Mokyr)は、経済発展と技術進歩の関係を研究した書『*Lever of Riches*』の中で、電気と船舶輸送について取り上げ、蒸気タービンについて、英国の科学・技術の発展が、蒸気タービンの成功の一因であったことを示唆し、パーソンズの蒸気タービンの発明を大きく評価している：

発電および船舶推進のためには、もっとより高い速度が必要であり、蒸気タービンは、これらを提供した。1884年にパーソンズが製作したプロトタイプは、18,000rpmであり、ギア減速する必要があった。1900年迄には、タービンは、一般的な往復動蒸気機関の重大なライバルとなった。パーソンズのエンジニアリング的天才は大きく、彼の科学的バックグラウンドに負っている。そして、彼の例は、この時期の英国技術の衰退を発生させた科学的バックグラウンドに関する安易な一般化に対する警告とすべきである。19世紀前半では、科学は多くを蒸気機関に負っているが、その負債を19世紀後半には利息と一緒に支払ったのだ²⁵。

また、モキアは、別のイノベーションと技術進歩に関する論文で、第一次産業革命の往復動蒸気機関の発展について述べ、次いで、1860-1914年の第二次産業革命における、鋼・電気・内燃機関・船舶技術の発展について詳細に記述している。その船舶技術の中で、パーソンズの蒸気タービンが、高速機関であり、古い往復動船用機関よりも、ずっと効率的、清潔、静粛であり、ほとんどの欠陥が解消された1900年以降には、海軍に採用され、早く移動する船舶や発電機の動力を供給したこと、および、多段膨張方式の採用が蒸気タービンの実用化の鍵であった、と指摘している²⁶が、この本は、イノベ

²⁵ Mokyr (1990), p. 134.

初号機にはギア減速はなく、モキアは誤解している。1896年にギア減速式蒸気タービンを製作した。

²⁶ Mokyr (2010), p. 34.

ーションと技術との関係を研究したものであり、経済的背景についての言及はない。

もう一人の経済史家のキャンダー(Astrid Kander)は、共著書の『*Power to the People: Energy in Europe over the Last Five Centuries*』の中で、エネルギー革命が近代世界の経済成長の原因と見ており、何故および如何にこれが達成されたかを説明したいと言い、経済成長を下記のような三つの「産業革命」に区分している²⁷。

① Pre-Industrial Period…伝統的エネルギー資源(水力・風力・陸の生産物)に依存

② 第一次産業革命…19 世紀の石炭エネルギー・一人当たりエネルギー消費の上昇をもたらす

③ 第二次産業革命…19 世紀末からの電気と石油に基づく時代

④ 第三次産業革命²⁸…情報・通信技術(ICT)が、1970 年頃からの一人当たりのエネルギー消費の安定化の主要因

そして、第二次産業革命を、二つのブロック…石油・内燃機関ブロックと電気ブロック…に分け、電気が大きくエネルギー生産性およびエネルギー節約を増加させたと主張し、電気ブロックは、たった一つの核となるイノベーションがあるのではなく、電気モータ・発電機・変圧器などの相互に関連したイノベーションの集合である、と重要な指摘をおこなっているが、発電機を駆動する蒸気タービンについては、全く記述がない。

エネルギー政策学者のシュミルは、『*Creating the Twentieth Century*』の中で、20 世紀を創造したのは、電気・内燃機関・新材料・情報/通信であると指摘する。その中で、熱力学の理論の発達と理解の進化が、パーソンズの蒸気タービンの発明と商業化をもたらせ、20 世紀の最も強力な通常使用されている原動機であるという。また、パーソンズは、既知のデータから熱力

²⁷ Kander, Malanima and Warde (2013), pp. 6, 13-16, 304.

²⁸ 「第 3 次産業革命」については、「コンピュータ時代の発明が、電気や内燃機関など 19 世紀末の「大発明」に匹敵する長期的な経済成長にとって重要であるとの見方は疑問」(ゴードン (2018), p. 13) と主張する経済学者も多く、経済史での共通認識とはなっていないことに注意する必要がある。

学な計算により、成功する蒸気タービンを構成することができる筈と確信して、蒸気タービンの実用的な開発を始めた、とパーソンズ自身の言葉を引用して発明の動機を語っている。また、電灯が炭素フィラメントから金属フィラメントへと進歩し、パーソンズの発明した蒸気タービンが、世界で最も強力となり、躯体が大きく且つ非効率的な往復動蒸気機関を時代遅れとし、大規模な電気の安価な発生に結び付いたと、そして、電気によりもたらされた社会の生産能力の向上は、非常に大きかった²⁹、と蒸気タービンの経済的・社会的重要性を強調している。

アッシュワース(W. Ashworth)は、1850年代の熱力学の知識の蓄積が新しいより良い原動機の開発への道を切り開き、オットーやダイムラーの内燃機関がそれぞれ1876年と1883年に発明されたと述べた後、「1884年に別の新しいタイプの原動機が現れた。... それは、パーソンズにより発明された蒸気タービンであり、すぐに船舶を駆動する蒸気機関より優れていることを示し、やがて発電機を駆動するという重要な用途の一つとなった」³⁰と蒸気タービンの発明の経緯を説明している。アッシュワースは、蒸気タービンの発電機への応用よりも船舶への応用が先行した³¹との意見であり、パーソンズの蒸気タービンの発明は、船舶の推進が目的であったことを示唆している。

2) 科学史・技術史家の視点：

機械工学者・技術史家である石谷は、技術は内的要因および経済などの外的要因が相互に作用しつつ発達するものであるが、技術には独自の「技術の内的発達法則」があると主張した。パーソンズの蒸気タービンについては、原型機の7.5kWのような「小出力タービンに実用価値を与え、これを育成したのはEdisonの電灯であった。すなわち船の電灯をともしため発電機として続々製品が送出され、事業として成立するにいたった。このような小出力タービンの効率は、勿論、当時の進歩した蒸気機関よりも

²⁹ Smil (2005), pp. 15-16, 35.

³⁰ Ashworth (1960), pp. 28-29.

³¹ アッシュワースの誤解と思われる。パーソンズ蒸気タービンは、最初、船舶の船内照明用発電機を駆動するのに用いられた。

悪いのであるが、高速度回転に適すると言う固有の性質(この性質は結局は大馬力に適するということと大体同意義である)のために限られた特殊の用途を見出したわけである」³²と記し、蒸気タービンは、当初、船舶の船内照明という特殊な用途の下で育成され、やがて、往復動蒸気機関を王座から蹴落とした、とその発達の間緯について述べている。そして、「従来技術史家の中には、... 火力発電が高速度原動機を必要としたために蒸気タービンが出現したと説く人もあった。しかしこの見解では、船用にも時を同じくして蒸気タービンが進出してくることを説明できない」³³と言う。そして、船の推進軸回転速度は、毎分数百回転程度であるので、毎分数千回転で廻る蒸気タービンよりも、毎分百回転程度で廻る往復動蒸気機関の方が回転数の観点では適しており、発電用としては、高速回転原動機が必要されていたという事実を否定するのではないけれども、往復動蒸気機関から蒸気タービンへの移行に際して決定的な役割を果たしたのは単位出力であった、と主張し³⁴、大出力を必要とする船舶が、蒸気タービンの大型化を促進したとの意見である。

技術史家の星野は、「パーソンズはガス機関を操作しているうちに、船の推進に空気の噴射を応用したらという着想をいだき、その実験にたずさわっているうちに、小さい圧力差のもとでの蒸気の流れと水力タービンにおける水のような不可圧縮流体の流れとの類似を見てとり、三転して蒸気タービンの着想に到達した...。」³⁵と、パーソンズがクラーク・チャップマン社(Clarke, Chapman and Co.)に参加する以前に既に蒸気タービンのアイデアを持っていた、と推定している。

³² 石谷 (1954), p. 21。

³³ 同上 (1957), p. 37.

³⁴ 石谷清幹 (1957), p. 37.

石谷のいう単位出力とは、船用の場合、推進軸当たりの出力(石谷 (1957), p. 32 表 2・2、p. 33 表 2・3 参照)であることに注意が要する。

石谷は、動力の歴史は単位出力増大の歴史(石谷 (1964), p. 17)であり、ボイラは単位蒸気量増大の歴史(石谷 (1959), p. 20)であるという「技術の内的発達法則」の主張で有名であるが、批判もある(小林 (2013), pp. 231-232)。

³⁵ 星野芳郎 (1978), p. 287。

科学史家の橋本³⁶は、「動力技術の推移」に関する章で、英国の技術者パーソンズが、発電機に直結する原動機として往復動をする蒸気機関では速度に限界があることを認識し、蒸気タービンを 1884 年に発明した。当初、発電用をめざして開発したものであるが、その後蒸気タービンを船舶に応用することも考え、1894 年に「タービニア号」と称する蒸気タービン駆動船を製作し、蒸気タービンの使用が、船舶に適用されるようになり、それとともに大型で高速の船舶が建造されるようになった、と記載し発電が初期の開発目的であると述べている。

パーソンズの死後すぐ後に彼の伝記『*Charles Parsons*』を書いた英国電気学会(IEE)の会長を務めたアップルヤード(R. Appleyard)は、1884 年にパーソンズは、クラーク・チャップマン社に共同経営者として加わり、当初、キットソン(Kitson)社で行っていた魚雷の開発・実験を続ける希望をもっていたこと、船舶関係の機器を製作していたクラーク・チャップマン社は、電気照明の方が、もっと好ましい開発分野であるとして、新たに電気部門を作ったこと、そして、パーソンズをその長にしたこと、また、パーソンズは電気照明に使用するため、適切なダイナモ発電機を使用すれば、蒸気タービンを船舶の照明に使用できると悟った、と記述している。

そして、パーソンズの言葉として、「1884 年頃状況は好ましく、私は、蒸気タービン、そして、それにより直接駆動される非常に高速なダイナモ発電機と交流発電機の問題に取り組むことに決めた」³⁷という言葉を用い、蒸気タービンの開発は発電が目的であるとし、クラーク・チャップマン社に参加後に始まった、という。

蒸気タービン発明者であるパーソンズと共に中央発電所および産業用蒸気タービンの歴史を纏めている間に、発明者のパーソンズが亡くなってしまい、その死後に発刊された R.H.パーソンズ(R.H. Parsons)の著書『*The Development of the Parsons Steam Turbine*』では、当時の往復動蒸気機関の発展が、数千馬力を出すにも、非常に大きなサイズと重量であり、これ

³⁶ 橋本 (2001), pp. 51-52。

³⁷ Appleyard (1933), p. 29.

により制限され、進化が終わりに近づきつつあること、蒸気の膨張による速度エネルギーを利用するタービン原理を用いれば、蒸気の圧力を使用するピストン機関の限界を越えられる、と判断したことから、パーソンズの蒸気タービンの開発が始まり、現代の蒸気タービンの発展を見た述べ、蒸気タービンの設計に水力タービンの法則を準用したとも記載している³⁸。

デリーとウィリアムズの『技術文化史 上』では、「パーソンズの直接の動機は、発電機を直接駆動できる機関の必要に迫られた事にあった」³⁹と述べられている。

科学史家のコンスタント (E.D. Constant II) も「1884 年パーソンズは、クラーク・チャップマン社に参画した。彼は、電気部門の責任者となり、小さな、高速発電機セットの業務を始めた。これは、船舶の照明プラントの急に発展する市場用であった。発電機を駆動する目的の為に、パーソンズは、彼の最初の蒸気タービンを設計、製作したのであった。」⁴⁰と船舶の船内照明が蒸気タービンの開発目的であると主張している。

古代から 20 世紀末迄の技術史である有名な『技術の歴史』中で、蒸気タービンの発明に関し、ストワーズは、「1884 年にチャールズ・A・パーソンズは、当時のもっとも緊急の技術的要求の一つが発電に直結して直接駆動する機関にあったこと、および、在来の蒸気機関の速度限界がその往復運動に基づいている事を見てとって、ついに蒸気タービンの発明に成功した」⁴¹と述べ、1879 年の英国スワンおよび米国エジソンの白熱灯の発明、1882 年の英国ロンドンのホルバーン・ヴァイアダクと米国ニューヨークのパール・ストリートの発電所開設による白熱灯照明の開始が、発電用蒸気タービンの発明の誘因となったことを示唆すると共に、蒸気タービンの設計に水力タービンの原理を援用した、と述べている。

³⁸ Parsons (1936), pp. 1, 3.

³⁹ デリー, ウィリアムズ, (1971), p. 375.

⁴⁰ Constant (1978), p. 192.

⁴¹ ストワーズ (1981b), p.108.

技術史家のカードウェルは、蒸気タービンの発明の背景には、電気産業の興隆があるとし、下記のように述べている：

往復機関は、如何に効率がよくとも、発電には向かなかった。このことは当初からあきらかであった。というのは、振動問題が交流発電機の必要とする高速運転と不可分の関係にあったからである。... 1884年に、蒸気タービンに開発に成功したのは、こうした挑戦に応えるものであった。... 1769年に初めてワットによって目論まれたように、直接回転式蒸気機関の問題への長い間求められて来た回答であった。

蒸気タービンは、まさに、非常な高速運転に対する需要が適切に存在、工学的技法が十分に発達して、そういう機関が製造できるようになった時機に、またそれを達成する為に必要な視野、気力及び手段を手にした人物が居合わせた時に、発明されたのである⁴²。

そして、パーソンズがアイルランドの裕福な貴族の子息であること、および、19世紀末は、技能から科学・技術の時代へと移り変わるという時代であったと指摘し、続けて、「パーソンズは、... 科学的バックグラウンドと、自分で楽しめるほどの経済的独立性に恵まれていた...」と、当初の開発が、まったく個人の支出で賄われた⁴³、とも述べている。

N.C. パーソンズ(N.C. Parsons)は、1881年には、パーソンズが、電力市場が将来巨大となることを見通して、当初は回転式内燃機関の開発に傾注したが、やがて発電用蒸気タービンに成功し、次いで、船用蒸気タービンの利用を確立した、と書いており⁴⁴、当初の目的は発電用であったという。

パーソンズの伝記に関する第一人者である、アイルランドのトリニティ大学の機械工学教授であったスカイフ(W.G. Scaife)教授は、その著『*From Galaxies to Steam Turbines*』の中で、パーソンズが蒸気タービンを発明した

⁴² カードウェル (1982), pp. 238-239.

⁴³ カードウェル (1982), p. 261.

⁴⁴ Parsons (1987), p. 359.

のは、当時、発電用原動機であった往復動蒸気機関には、低速度と振動大という欠点があり、パーソンズは、これに代わる原動機の開発時期が熟している、と認識しており、一方、パーソンズが共同経営者となったクラーク・チャップマン社は、船舶内の照明用の白熱灯照明装置を開発しようとしていたため、パーソンズは、1884年に副共同経営者として参加し、蒸気タービンを開発し完成させた、との見解を述べている。そして、蒸気タービンの開発は、初期段階であり、その競争相手の複合蒸気機関よりも効率はずっと劣っていたが、その軽量・一定速度・低メンテナンスコストの利点を活用できた、とも書いている。ケンブリッジ大学卒業後、英国北東部の都市ニューキャッスルにあるアームストロング社エルスウィック工場で“特別研修生 (Premium Apprenticeship)”として働いた後に入社したキトソン社で、取締役の兄のクレア (Clere) が遠心ポンプやスクリュウなどの設計に関連した水力学の諸問題に没頭していたこと、および、パーソンズ自身が魚雷の推進機構の開発に従事していたことから、水力タービンとの類比を着想し、多段式蒸気タービンの発明への道に繋がった⁴⁵、と推測している。

往復動蒸気機関の発展の歴史を詳細に記述した『*Steam from Power*』の著者である、同じく英国の技術史家のヒルズ (R.L. Hills) は、パーソンズが蒸気タービンを発明したのは、パーソンズが、当時利用可能な往復動蒸気機関よりも発電機の駆動に適した、高速原動機の開発を目指したからだ⁴⁶、と簡単に述べている。

英国・米国・ドイツの電力システムの発達を詳細に検討したヒューズ (T.P. Hughes) も、パーソンズ蒸気タービンの発明に関しては、「イングランドでは、チャールズ・パーソンズが 1884 年に、発電機を動かすための蒸気タービンを導入した」⁴⁷と事実のみを記述し、パーソンズ蒸気タービンの開発動機については述べていない。

⁴⁵ Scaife (2000), pp. 147-177. 兄のクレアは、回転するスクリュウ・プロペラの損失を軽減するため、案内羽根付きスクリュウ・プロペラを考案している。これは、蒸気タービンにおける回転翼と案内翼と同じ構造であり、この影響もあったと考えられる (R.C. Parsons (1879))。

⁴⁶ Hills (2000), p. 283.

⁴⁷ Hughes (1993), p. 211.

ドイツおよび米国で発電プラントに 40 年以上たずさわり、発電プラントの歴史を書いた元エンジニアのテルミュレンは、「パーソンズ卿が、1884 年に初めての蒸気タービン発電機を製作した。... この蒸気タービンの熱効率はたった 1.6%であり、“蒸気食い(Steam Eater)”と呼ばれた」⁴⁸と書き、パーソンズ蒸気タービン初号機の熱効率が非常に悪かった、と指摘する。続く、大型化と効率の改善により、中央発電所に使用されるようになったこと、および、その後の発電プラントの発展について詳しく述べているものの、蒸気タービン開発の背景そのものへの言及はない。

1.3 課題

経済発展をもたらす技術と経済との関係について、経済史家のモキアは「技術変化が持続的成長をもたらすのだ。技術変化は経済成長によって引き起こされるのではなく、(技術変化が)経済成長を引き起こすのだ。」⁴⁹といい、「技術の変化が現代の経済成長へと導いた... が、技術はどのようにして進歩するのか」⁵⁰と問い、経済に与える技術の影響に関心を持っている。一方、工学者の中西は、著名な英国史家のブリッグス (Asa Briggs) の言葉、「経済史と切り離された技術史は誤りを生む可能性がある」⁵¹を引用し、経済の技術への影響の重要性を強調している。

このように経済の発展と技術の進化は、相互に密接な関係があると主張されているにも拘らず、これまでの蒸気タービンに関する研究では、経済史家および技術史家はそれぞれの視点のみから記述するのが一般的であったように思われる。

蒸気タービンに関する研究では、経済史家は主として電気の経済分野での利用拡大とこれに伴う生産性の向上に関心があり、電気を発生する発電機の原因機である蒸気タービン技術の発明やその後の発展には、余り関心がない

⁴⁸ Termuehlen, Heinz (2001), *100 Years of Power Plant Development*, p. 11.

⁴⁹ Mokyr (1990a), p. 100.

⁵⁰ Mokyr (2010), p. 13.

⁵¹ 中西重康 (2011), p. 64.

ように思われる。一方、科学史・技術史家は、蒸気タービンが発明された時の社会経済的条件よりも、その後の蒸気タービン設計技術や蒸気圧力・温度の上昇による出力の増大や燃料消費率(熱効率)の改善などによる蒸気タービンの技術進歩に主として関心を持っており、蒸気タービンの歴史を、蒸気タービンの性能(出力・熱効率)の年代記として記述するのが一般的である。このように、経済史家においても、科学史・技術史家においても、蒸気タービン技術が、どのように発明・発展したかを社会経済的および技術的視点の双方から総合的に検討されることはなかったように思われる。

これは、18世紀中から19世紀初めの「第一次産業革命」の間に、重要な役割を果たした蒸気機関について、その技術の発明・発展と共に社会経済への影響が、経済史家⁵²および技術史家⁵³の双方から、多方面にわたって総合的に探究され、詳述されているのと好対照をなしている。1884年のパーソンズによる蒸気タービンの発明は、「その重要性において、1769年のワットの分離復水器のそれに匹敵する」⁵⁴といわれているにも拘らず、である。

本論文は、経済発展における技術の役割を、蒸気タービンを事例にとり、シュンペータの技術変化のプロセスの三分法(Tripartite Model)「発明」・「イノベーション」・「普及」⁵⁵のそれぞれの過程に従って実証的に分析しようとするものである。

「発明」については、アーサ(W.B. Arthur)の著書『テクノロジーとイノベーション』で述べられている、「根本的に新しいテクノロジー(発明)とは、対象となる目標にとって、新しいかあるいはそれ迄とは違う原理を元にしたもの」という定義を採用する。さらに、アーサは「発明は、... それに必要

⁵² 代表的な経済史家には、ランデス(1980)やアレン(2017)がいる。

⁵³ 代表的な技術史家には、ディキンソン(1994)がいる。

⁵⁴ ディキンソン(1994), p. 222.

⁵⁵ ゴダン(B. Godin)は、「発明」・「イノベーション」・「普及」の三分法は、最初、文化人類学者が最初に使用した言葉であり、経済理論に関係するものではない、と主張している。この言葉をシュンペータに帰するのは間違いで、企業が発明を採用したりする経済的な決定をイノベーションと言い、この古い表現を単に活字にした丈、と酷評している(Godin(2014), p. 24)。
しかしながら、本論文では一般的に使用されているシュンペータの三分法という表現を採用した。

なピース、それへのニーズがあるべきところにそろったときに発明が現れがちになる」⁵⁶と発明の「ところ(場)」と「とき(時)」の重要性を強調している。更に、「発明は、必要な技術と経済的条件が満足される時、適切な発明が不可避免的に現れる。... 発明は、個人と言うよりも社会により条件付けられている」⁵⁷ともいわれている。本論文も、パーソンズの蒸気タービンが何故 1884 年に英国で発明されたか、その『時』と『場』の経済的および技術的条件を詳細に検討する。また、従来の 1882 年の「ブラッシュ・バブル」に代表される電気照明の勃興により、発電機を直接駆動するための原動機としてパーソンズは蒸気タービンを発明した、という説に異論を唱え、新しい仮説を開示し、「目的」と「動機」を論証しようとする。

発明の『時』と『場』に注目するのは、ジョーンズが『経済成長理論入門』で述べているように「経済成長のエンジンとは発明」⁵⁸であり、この発明の起源の『時』と『場』を探究することは、その後の経済発展と技術進歩の相互作用を研究する上での基礎をなすと考えからである。事実、工学者・技術史家の石谷は「全ての起源の問題は、その後のあらゆる発展の本質を研究する上で重要である」⁵⁹と述べているし、技術史家のヒューズも「発明は、場(Place)と時(Time)などの状況の中で定義された特定の重要な問題に対する特定の解決策であった。」⁶⁰という。シュムクラー(Jacob Schmookler)も、「経済学者は発明—および他の形態の技術の生産—を研究すべきである。というのは、それらが経済発展に大きな影響を与えるからだけでなく、全く経済活動の一形態であるからである」⁶¹と言っているからである。

⁵⁶ アーサー (2014), pp. 139, 161.

⁵⁷ Furfey (1944), p. 144.

⁵⁸ ジョーンズ (1999), p. 168.

⁵⁹ 石谷 (1984), p. 255.

⁶⁰ Hughes (1993), p. 95.

⁶¹ Schmookler (1966), p. 209.

「イノベーション」は、シュムペータの定義では、新製品・新生産方式・新市場・新供給源・新組織の五つ⁶²を意味するが、本論文では、パーソンズの蒸気タービン発明品の市場への投入、すなわち、製品化に焦点を当てる。製品化に際しての分析方法は、シュムクラールの「技術革新の進行は、市場のニーズと技術のシーズが銕のように作用して進行する」という「銕理論」⁶³を援用し、パーソンズ蒸気タービンが、発電市場および船舶推進市場で採用されていた初期の過程を社会経済的条件(市場のニーズ)および技術的条件(技術のシーズ)の観点から分析する⁶⁴。

「普及」については、「市場に広く行きわたること」⁶⁵というアッターバックの簡潔な定義を採用する。まず、既に発電および船用推進市場を占有していた往復動蒸気機関とパーソンズ蒸気タービンの経済的および技術的特性を比較し、その後、パーソンズ蒸気タービンの英国国内発電事業市場および米国発電事業市場への浸透・拡大過程を経済的および技術的観点から考察する。同時に、国内および国外への普及の重要なメカニズムであるライセンスについても検討する。

最後に、技術変化の「発明」「イノベーション」「普及」の各過程で必要とされる資金について、パーソンズが設立した企業の場合、どのように調達されたのか、その成否について検討する。

「経済発展と技術進歩」に関する実証研究は、シュムクラールの鉄道、農業、石油精製、製紙の研究⁶⁶、グリリッチ(Zvi Griliches)のハイブリッド・コーン、マンスフィールド(Edwin Mansfield)の瀝青炭・鉄鋼・醸造・鉄道の研究⁶⁷が有名である。

⁶² シュムペータ(2015), p. 183 およびネルソン, ウィンター (2007), pp. 329-230.

⁶³ 弘岡正昭 (2003), p. 122.

⁶⁴ 「銕理論」は、「発明」過程の分析にも適用した。

⁶⁵ アッターバック (1998), p. 232.

⁶⁶ Johnson (1975), p. 36.

⁶⁷ Sahal (1981), p. 3.

他に、米国の製造業における電化についてのシュール(Schurr)らの研究⁶⁸、帆船から蒸気船への移行に関するギールズ(Frank W. Geels)の研究⁶⁹等々がある。また、技術と経済の関係を広範に論じたローゼンバーグの著『*Inside Black Box*』⁷⁰には、多くの実証研究が紹介されている。また、クームズらの著書『技術革新の経済学』には、イノベーションに関する実証研究の要約が記述されている⁷¹。サートル(Colin G. Thirtle)とラタン(Vernon W. Ruttan)の共著『*The Role of Demand and Supply in the Generation and Diffusion of Technical Change*』には、産業における誘起イノベーションに関する多数の実証研究が要約されている。

これらの「経済発展と技術進歩」の研究から、多くの研究者が、「現代技術論」・「技術革新論」に関する多くの理論を提案しており、代表的な理論には下記がある⁷²：

- ①ネルソン・ウィンターの「技術のレジーム(Technological Regime)」
と「自然な発展過程(Natural Trajectory)」
- ②サハールの「技術のガイド・ポスト」
- ③ドシの「技術パラダイム」
- ④アッタバック・アバナシーの「支配的デザイン(Dominant Design)」

更に、ギールズの「多層(Multi-Layer)モデル」⁷³やヒューズの「逆突出(Reverse Salient)モデル」⁷⁴等がある。

しかしながら、蒸気タービンに関する実証研究、および、それに基づく「現代技術論」・「技術革新論」は、寡聞にして知らない。

⁶⁸ Schurr, Burwell, and Devine (1990).

⁶⁹ Geels (2005).

⁷⁰ Rosenberg (1982)

⁷¹ クームズ, サビオッティ, ウォルシュ (1989), pp. 114-115.

⁷² 同上, p. 19 および p. 135.

⁷³ Geels (2002).

⁷⁴ Hughes (1993).

キンドゥルバーガーは、技術論が活発に議論される前の 1968 年の著書『経済発展論』の中で、「事実に基づかない理論... は不毛である。将来予測に役立つような、一つの統合的な、検証済の成長理論を経済学が構成するには、理論の側でも、また事実の収集と分析の側でも、まだなすべきことが残されている」⁷⁵と述べているが、これは、現在でも当てはまるものと考えている。

本論文は、蒸気タービン技術の進歩に関する事実の蒐集を行い、経済と技術の相互作用を「発明」・「イノベーション」・「普及」の観点から詳細に分析するものである。そして、社会経済的背景および技術的背景の両視点から、経済発展が技術進化に与える影響、および、技術進化が経済発展に与える影響を明らかにしようとする実証的研究であり、これまでにないものと考えている。また、この経済と技術の両視点に基づく蒸気タービン進歩の詳細な事例研究は、今後、「経済発展と技術進歩」の経済学である「現代技術論」・「技術革新論」に新たな視点を提供し、この理論の発展に寄与する事が出来ると考えている。

⁷⁵ キンドゥルバーガー (1968), p. 72.

第2章 前史

「どのような技術の発展にも、先行する歴史的な前例を調査し、技術を創造した原因の基礎を調査することは非常に重要である。」¹といわれている。

パーソンズが蒸気タービンを発明した時、将来の競争相手となる往復動蒸気機関は、陸用では発電機や産業機械を駆動し、船用では船舶の推進に使用されていた。その後、往復動蒸気機関は蒸気タービンに代替されることになるが、それぞれの歴史を振り返り、蒸気タービンの発明の契機となった社会経済的および技術的条件を考察する。

2.1 陸用蒸気機関の発達

英国は16世紀までは後進国と言ってより状態であったが、17世紀から始まった北米やインド、カリブ海の植民地の開発などで、貿易が促進され、国内の諸産業の商業活動が活発化した²。植民地との貿易および産業・商業の活発化は、石炭産業の発達を促し、鉱山はより深く掘られた。それまで使用されていた畜力(馬)・人力では、排水が困難という問題に遭遇し、畜力・人力に代わる装置の出現が待望された。こうして、蒸気機関が発明された。

一方、蒸気は古くから使用されており、17世紀中にはトリチェリによる真空の発見、パスカルによる大気圧の発見があった。17世紀末には、パパンにより後の往復動蒸気機関の原理となる、ボイラ・ピストン/シリンダー・復水器で構成される大気圧蒸気機関モデルが考案された。

1) 社会経済的条件(市場のニーズ)

英国は中世以来毛織物工業が盛んであり、当初の原料及び半製品の輸出から、農村工業へと発展していったが、毛織物工業の発展は、牧羊のために森林が伐採されることになり、森林面積が減少していった。また、製鉄業・ガラス業・製塩業・金属工業・醸造業等のための燃料および造船業等に、木材が使用されるため、次第に木材が不足するという状況に16世紀中

¹ Meher-Homji (2000), p. 281.

² 中西重康 (2011), p. 10.
アレン (2017), p. ii.

には陥っていた³。この木材不足に対する代替燃料が石炭であり、特に、製鉄業の発展とともに、石炭はより深く掘り進められ排水の問題が発生した。当初、畜力や人力により排水されていたが、次第に困難になり、畜力・人力に代わる装置が囑望されていた。

こうして、17 世紀には炭鉱からの排水用として、種々の蒸気機関が考案され、1698 年セイヴァリーにより「火力機関」の特許が取られた。これは、蒸気の凝縮によって生じる真空によって水を吸い上げ、蒸気圧により水を押し上げる最初の実用的な揚水蒸気機関であったが、当時の技術ではボイラの製造技術は未熟であり、蒸気圧を高くすることができなかった。また、同一容器内で蒸気による仕事と凝縮が行われ、容器が交互に加熱・冷却されるため、燃料消費量は非常に大きかった。このため、浅い堅坑の排水、給水、噴水に多少使用されたのみであった⁴。当時の炭鉱は 200ft(約 60m)、時には、400ft の深さであり、セイヴァリーの蒸気機関では 100ft までしか排水できなかった⁵ため、蒸気機関の改良が望まれていた。こうして、1712 年ニューコメンの実用的な「大気圧(往復動蒸気)機関」が発明された。ニューコメン機関は非常に大型であるが、頑丈で信頼性のある機関であり、「拡大する工業化社会の喫緊のニーズの一つ... 深い鉱山を稼働可能とする良好なポンプ... を提供した」⁶のであった。しかしながら、石炭を多量に消費するため、石炭が豊富で商品とならない廃棄される小さな石炭が供給可能な、ミッドランド(Midland)、スコットランド低地地方(Scottish Lowlands)や、特に、ロンドンの石炭市場を支配していた北東部のタイン(Tyne)とウェア(Wear)では、18 世紀半ばには、約 100 基が使用されるほど多数使用されたが、南西部の錫や銅を産出するコンウォール(Cornwall)やデヴォン(Devon)では石炭は高価なため、ニューコメン機関は多用され

³ 角山栄 (1984), pp. 55-56.

⁴ ダニレフスキー (1968), p.73.

⁵ 角山 (1974), p. 3.

⁶ Buchanan (1994), p. 49.

なかった⁷。

ワットはニューコメン機関の模型の修理を依頼された時、この機関の石炭の消費量の大きい理由が、シリンダーの冷却・加熱にあることに気付き、真空を得るための冷水による蒸気の凝縮を別の容器で行うことで、蒸気のエネルギーの無駄を減少させることができることに気付いた。こうして、1769年「分離復水器」の特許を取得し、実用化には7年を要したものの、ワットのこの往復動蒸気機関は、「燃料経済性を大きく改善したため、炭鉱以外にも使用されるようになった」⁸。1775年にワットと共同経営会社を設立したボルトンは、バーミンガムの実業家であり、自身の工場の水車動力と馬の費用という問題の解決にワットの蒸気機関を利用できると考え資金を提供したといわれている⁹。夏の水力不足の際には、水車は運転不可能となり、馬で回転させる必要があり、飼料代が嵩んだからである。また、ボルトンは1771年のワットへの手紙の中で、「ロンドン、マンチェスター、および、バーミンガムの人々は、(水車ではなく)蒸気機関による製粉機を非常に望んでいる」と書き、回転運動機関の開発を督促した。こうして、1782年に遊星歯車(Sun & Planet Gear)機構の特許を取得し、往復運動を回転運動に変換できるようにした¹⁰。その後、工作や材料技術の発展により、徐々に、性能(出力、熱効率)が改善され、コンウォールのような石炭が高価なところでも利用が可能となった。1712年のニューコメンの大気圧蒸気機関の発明から、ワットの基本特許が消滅した1800年までに製作された蒸気機関の累積生産台数は、図2.1に示すように、約2100台であり、ボルトン・ワット商会社製の蒸気機関は約500台生産され¹¹、その内、38%が排水用に、残り62%は、織物工場、製鉄炉(Iron Furnace)、製鋼所の圧延機(Rolling Mill)、製粉所、および、他の産業での回転動力を

⁷ Buchanan (1994), pp. 49-50.

⁸ Fouquet (2008), p.119.

⁹ Scherer (1984), p. 13.

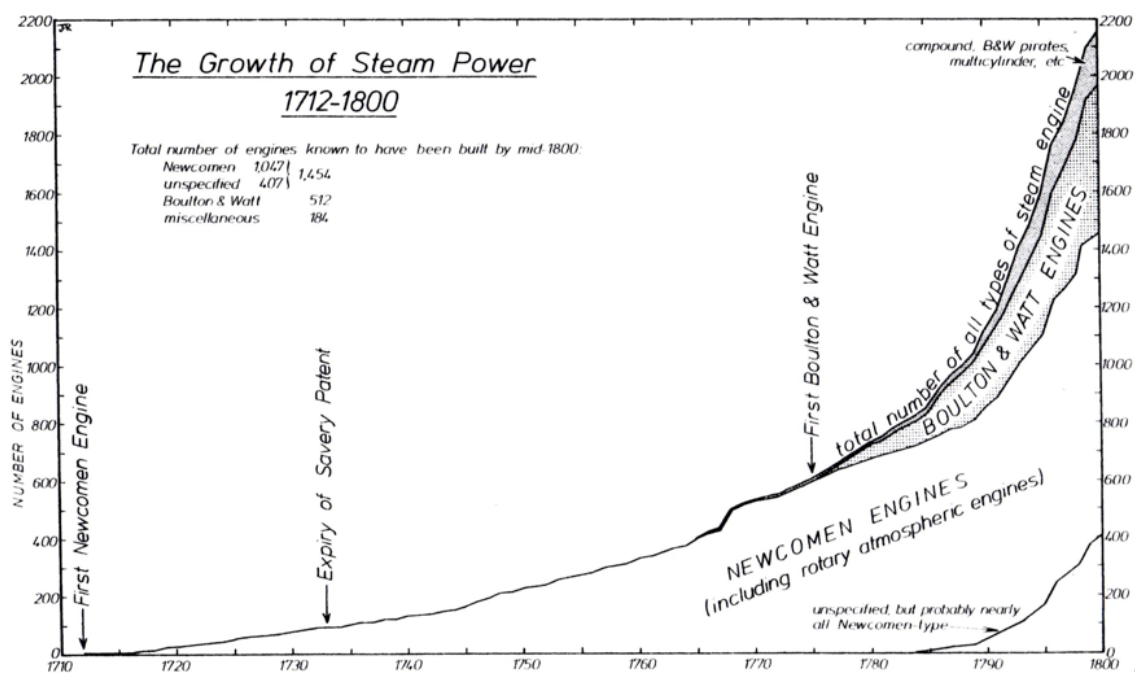
¹⁰ Kirby et al. (1990), p. 169.

¹¹ Rolt and Allen (1977), p. 145.

供給するために使用された¹²。

ワットの蒸気機関は、大気圧を少し上回る蒸気圧を使用した低圧蒸気機関であった。当時の工作・材料技術では、高圧に耐えるボイラやシリンダーを製作することは困難であり、ワットは、爆発の危険性があるため高圧蒸気の使用を拒否したのであった。

図 2.1 蒸気機関製作累積台数(1712-1800 年)



(出典：Rolt and Allen (1977), p. 145)

1800 年ワットの特許権利が消滅すると、高圧蒸気機関は、同じ出力に対して小型とすることで資本費を低減でき、石炭消費量の削減が可能なることから高圧蒸気機関の開発が試みられた。1802 年には、トレヴィシックが大気圧の 10 倍の蒸気圧力を使用した蒸気機関をコンウォール鉱山に設置し、ビーム機関のポンプと一緒に鉱山の排水に適用した¹³。このコンウォール機関は、信頼性および効率が優れており、19 世紀前半世界中で使用された

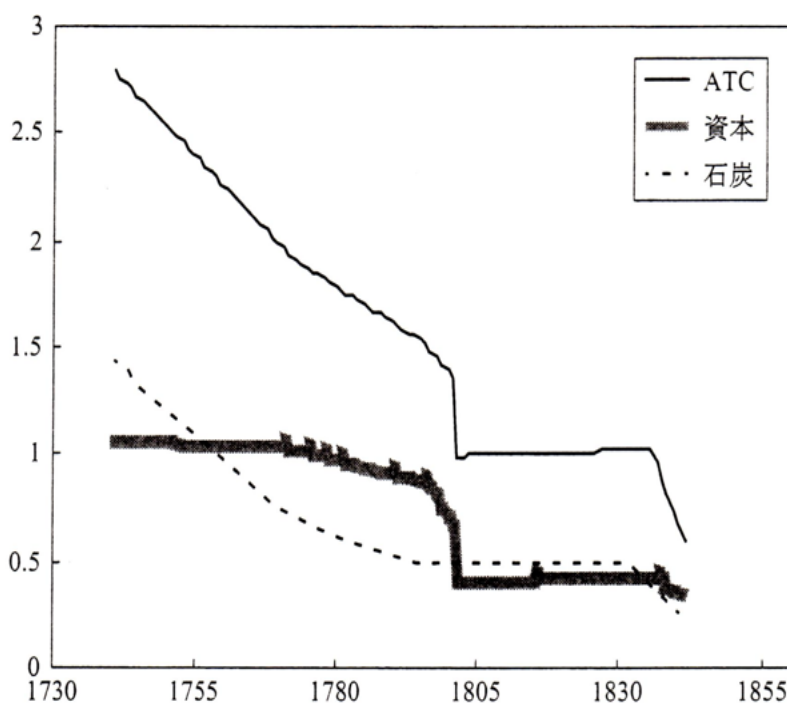
¹² Rolt and Allen (1977), p. 172.

¹³ Mokyr (1990b), p. 88.

¹⁴。その後の工作・材料技術の進歩により、高圧蒸気ボイラの製作が可能となり、19 世紀中には、高圧蒸気機関とワットの低圧蒸気機関と組み合わせた複合(2 段膨張)蒸気機関が出現した。こうして、蒸気機関は、鉱山のポンプおよびウィンチの動力用、溶鉱炉の輻、紡績工場のベルト駆動用などに使用され、19 世紀における産業の発展に大きく貢献した¹⁵。

図 2.2 に蒸気機関高圧化による資本コスト、石炭コスト、および、平均的総費用(Average Total Cost, ATC)の低下を示しているが、最初の平均総費用(ATC)の低下は、低圧から高圧採用による資本費の低下によるものであり、2 番目の低下は、高圧蒸気を採用し複合化することによる燃料費の低下によるものである。

図 2.2 高圧化による 1 馬力 1 時間あたりコスト
(1795 年のコストで規格化)



(出典：アレン(2017), p. 198, 図 7-6)

¹⁴ Buchanan (1994), p. 56.

¹⁵ Smil (1999), p. 145.

このように発達してきた往復動蒸気機関は、19 世紀末にアーク灯や白熱灯が発明されると、その発電機の駆動用として採用された。

しかしながら、往復動蒸気機関は、ほぼ 100rpm 以下の低速機関であり、1,000rpm 以上の回転数を必要とする高速機械である発電機を駆動するのに、蒸気機関のフライホイールと発電機の小さなプーリとを、多数のベルトあるいはロープで結んで回転数を上げる必要があった。この増速システムは、プーリなどによる伝達損失が大きく、発生発電量に対し大きな出力の往復動蒸気機関を必要とした。シュミル(Vaclav Smil)によれば、ベルトあるいはロープによるプーリ伝達システムは、伝達効率が約 40%程度¹⁶であった。1880 年当時の往復動機関の熱効率が、シリンダーとピストンとの摩擦が大きいために、約 20%弱¹⁷であったことを考えると、使用した石炭燃料の約 8%しか有効に利用されなかったことになる。このため、19 世紀最後の 25 年間に発電機を直接駆動するための高速機関の必要性が認識され、英国では、ブラザーフッド(P. Brotherhood)、ウィランズ(P. Willans)およびパーソンズ(C.A. Parsons)が高速往復動蒸気機関の開発を試み、ブラザーフッドは 1871 年に、ウィランズは 1884 年と 1885 年¹⁸に、パーソンズは 1877 年にそれぞれ高速往復動蒸気機関の特許を取得している¹⁹。

炭鉱の排水というニーズから発展した往復動蒸気機関は、ピストンの往復動に由来する振動問題と回転が一様でないことから発電機の駆動用に使用した場合、照明にチラツキが発生するという欠点があった。このような状況の下、往復動ではない純粹の高速回転機関、すなわち、蒸気タービンが待望されていたのである。

2) 技術的条件 (技術のシーズ)

蒸気機関には長い歴史があり、原初の形は、古代ローマ時代の紀元前 2 世紀のエジプトのアレキサンドリアのヘロン(Hero of Alexandria)により

¹⁶ Smil (2005), p. 289.

¹⁷ フォーブス (1979), p. 159.

¹⁸ ストワーズ (1981b), p. 106.

¹⁹ Scaife (2000), p. 133.

記述されているアイオロスの球(Aeolipile)(補遺 2:「タービン」の定義 付図 1 参照)であり、ボイラから回転球に蒸気を送り、球の円周に取り付けられ対となっているノズルから蒸気を噴出させ回転力を得るものである。17 世紀初めには、イタリア人のデッラ・ポルタの『気体装置について』が書かれており、これは、最初期の蒸気の性質に関する実験の本であり、蒸気圧による水の押上げや蒸気の凝縮による水の吸い上げについて書かれてあった。そして、1629 年には同じくイタリア人のブランカは、ノズルからの蒸気の噴流の衝動効果により羽根車を回転させ、製粉機の動力に使用することを考案した(補遺 2:「タービン」の定義 付図 2 参照)。

また、17 世紀中期には、同じくイタリア人のトリチェリにより真空が発見され、大気圧がフランス人のパスカルにより発見された。また、ドイツのマグデブルグ市長であったフォン・ゲーリケにより排気ポンプが開発され、「マグデブルグの半球実験」によって大気圧の威力が明確となり、大気圧により仕事を行わせる可能性が認識されるようになった。こうした蒸気の性質と大気圧の発見により、1690 年にフランス・ユグノー教徒で英国に移住したパパン(Denis Papin)が、往復動蒸気機関の原理となる、ボイラ・ピストン/シリンダー・復水器からなる蒸気機関モデルを考案した。この後、英国人のセイヴァリが、1698 年にピストンのない「火力機関」に関する包括特許を取った。これは、ボイラと卵型容器で構成され、ボイラは分離されたものの、ピストン/シリンダー・復水器の機能は同一容器で行われ、この容器がポンプ室兼蒸気室として動作した。蒸気の凝縮は、容器の外部に冷水をかけて行われた。ポンプ室と蒸気室の分離²⁰は、ニューコメンの 1712 年の「大気圧(往復動蒸気)機関」の発明によって行われた。シリンダーのピストン下部に冷水を注入し、蒸気を凝縮させて真空を作り、大気圧を利用してピストンを押し下げ、揺動ビームを介してポンプ軸を釣り上げて揚水するものであったので、「大気圧機関」と呼ばれる。初期のニューコメンのシリンダーは、真鍮(Brass)、あるいは、青銅(Bronze)であったが、石炭を使用した鉄鉱石からの商業スケールの铸铁の生産が可能とな

²⁰ 田辺 (1977), p. 103.

る²¹と、1722 年にはシリンダーに鋳鉄が使用されるようになった²²。しかしながら、当時の技術では、シリンダーとピストンは正確に合うように製作できなかったため、多量の燃料を消費した。こうして、ニューコメンの大気圧機関は、主として、石炭価格の安価な鉱山での揚水用に使用され、英国石炭産業の興隆の基となった²³、と言われている。

ワットがニューコメン機関の模型の修理を依頼され、その時の考察から、分離復水器を発明した話は有名であるが、1769 年「分離復水器」の特許によりピストン・シリンダーと復水器が漸く分離され、パパンの蒸気機関モデルがここに実現した。しかしながら、実用的な蒸気機関の実現には時間を要し、1774 年に大砲の砲身等と製作する会社を経営するウィルキンソンの特許により精度のよいシリンダーの製作が可能となり、1776 年ウィルキンソンのコークス精錬プロセスに送風する鞆の動力用に設置された²⁴。それ迄は、ピストンとシリンダーの隙間に濡れたぼろ布を詰め込んで、蒸気の漏れを防止していた²⁵、という。このウィルキンソンの中ぐり盤の加工誤差は、直径 57 インチ(1447.8mm)で 1/16 インチ(1.6mm)以内、直径 72 インチ(1828.8mm)で 1/20 インチ(1.27mm)というものであり、シリンダー内面工作精度の向上は、ワットの蒸気機関の実用化と性能向上に決定的な貢献をした²⁶。以降、ワットにより往復動から回転運動へ、単動機関から複動機関へと改善がなされていった。1800 年にワットの分離復水器の特許が切れると、それまでのワットの低圧往復動蒸気機関から、高圧往復動蒸気機関化が試みられるようになった。19 世紀中のベッセマー転炉法やジーマンスによる平炉の発明により鉄鋼が利用可能となったこと、および、ボイラの箱型から円筒・煙管ボイラ(Tubular Boiler)への発展により、蒸

²¹ Kirby, Withington, Darling and Kilgour (1990), p.193.

²² Ferguson (1967), p. 265.

²³ Periman (2009), p. 50.

²⁴ Strassmann (1981), p. 221.

²⁵ Rosenberg (1972), p. 19.

²⁶ 坂上 (2016), pp. 34-35.

気の高圧化がさらに進み、単段膨張蒸気機関から 2 段膨張蒸気機関への発達が可能となった。他方、コンウォール蒸気機関など多くの改良・改善がなされ、出力も熱効率も向上していき、往復動蒸気機関は、鉱山の排水用から、繊維機械等の機械の駆動用動力へと適用範囲を拡大していったのである。

このような状況の下、往復動蒸気機関は、19 世紀末のアーク灯の出現に伴い、アーク灯用ダイナモ発電機、次いで、白熱灯用発電機の駆動用として使用されるようになった。1877 年には、ブラザーフッドの高速往復動蒸気機関が、P.L.M.鉄道(P.L.M. Railway)のパリの終着駅で、ベルトやロープの介在なしに直接ダイナモ発電機を駆動するのに用いられ²⁷、1883 年には、ガス灯照明により焼失後再建されたウィーンのオペラ座では、白熱灯照明が使用されることになり、ウィランスの発電機直結高速往復動機関が、合計 700-1000kW 使用された²⁸、とダンシース(P. Dunsheath)は記載している。

アーク灯や白熱灯の照明プラントは、最終使用者が、個々に設置するという「自家用発電プラント(Isolated Plant)」であったため²⁹、必要とされるダイナモ発電機を駆動する蒸気機関の出力は小さいものであった。パーソンズが蒸気タービンを発明する前年の 1883 年 4 月に完成したブラックフライア橋(Blackfriars Bridge)発電所では、1,000 燭光(Candle Power)のアーク灯が 33 個設置されたが、これらの発電機を駆動する蒸気機関は、32HP(25kW)という小さなブラザーフッドの 3 筒機関であった³⁰。1884 年までアーク灯 40 灯より大きな発電機は製作されなかった³¹し、1882 年に 1000 灯の白熱灯を点灯したホルボーン・ヴァイアダクト発電所でも

²⁷ Parsons (1940), p. 7.

²⁸ Dunsheath (1962), pp. 147-148.

²⁹ Byatt (1979), pp. 11-21.

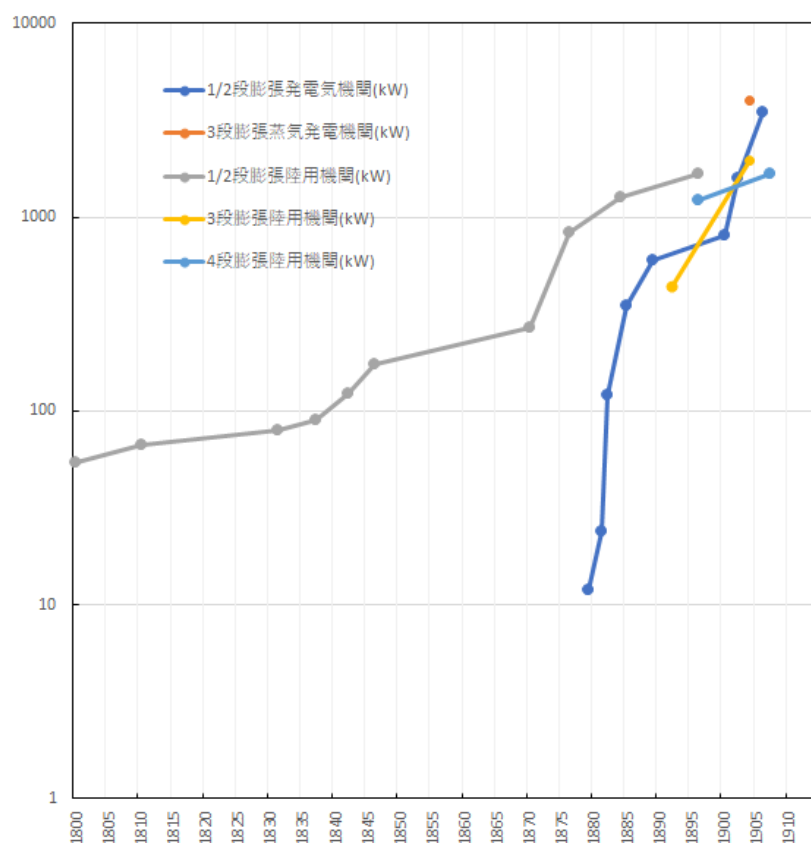
³⁰ The Electric Council (1987), pp. 15-16.

³¹ Passer (1953), p. 50.

125HP(93kW)の蒸気機関が使用³²されており、これらの発電機の出力は、当時、工場で使用されていた往復動蒸気機関の出力に比べて非常に小さいものであり、既存の陸用往復動蒸気機関を使用することができた。

図 2.3 に一般用と発電用の陸用蒸気機関の発展の状況を示している。

図 2.3 陸用蒸気機関出力推移



(出典：Gebhardt (1917), 石谷 (1957), von Tunzelmann (1978), フォーブス (1979), the Electric Council (1987), Hills (2000)より著者作成)

このように、1880 年代初期の技術は、出力 1,000kW もの往復動蒸気機関を製作することのできるまでに発展していたのである。

³² Hughes (1962), p. 34.

2.2 船用蒸気機関の発達

1) 経済的条件 (市場のニーズ)

(1) 商船

船(船舶)は、河川・湖沼・沿岸・海洋などの水上を横断して異った地点の間で人員や物資を輸送(移動・運搬)する手段である。移動するための推進力を得る手段は、先史時代では人力のみであり、一人の人力による手漕ぎ丸木船から、やがて、紀元前 3,000 年頃には、後に多数の人力によりオールを漕ぐガレー船へと発展する原型となるガレー船が出現した。ガレー船は、海上での戦闘に欠かせない速度を必要とする軍船として主として地中海で使用されが、15 世紀以降衰退していった。しかしながら、16 世紀はじめでも、ヴェネツィアの大形ガレー商船は、アレキサンドリア-パレスチナ間やサザンプトン-ブリュージュ間で貿易をしていた³³、とのことである。

紀元前 4,000 年のエジプトのナイル川ですでに使用されていた帆船は、速度を必要としない商船に主として利用され、エジプト人だけでなくフェニキア人やクレタ人も、地中海から紅海やアラビア海へと、航海範囲を広げ交易を拡大していった。古代ローマ時代には、海のシルクロードを介して、東西の交易が行われるようになり、東方からは食肉の腐食を防止するための胡椒や絹織物、西方からは金・銀や宝石、織物等が交易された。古代ローマ時代の植民地であったイギリスは、当時小麦の生産地として知られ、ロンドンが穀物輸送の中心地であり、多数の商船が行き来していた³⁴。

その後、11 世紀後半からの 200 年に渡る十字軍の遠征、15 世紀に始まった大航海時代により、帆船は大型化し、3 本マストと 5-6 枚の帆を持った全装帆船(Full-Rigged Ship)へと発展し、大洋航路による交易植民が発展した。15-18 世紀は、この木造全装帆船による貿易が著しく拡大した時期であった。

³³ ネイシュ (1978), p.411.

³⁴ 平本 (1983), p. 156.

帆船は、古代エジプトでは、すでに、方向の転換に必要なオールとともに単一の四角の帆が使用され、ナイル川を走航していたことが判明しているが、帆は、やがて、単一の四角の帆から多数の色々な型の精巧な帆へと発展し、帆船は速度を必要としない商船に主として利用され、交易の拡大とともに大型化していった。

帆船の大型化に連れて、より大きな推進力が必要となり、1712年のニューコメンの大気圧機関の発明、ワットの分離復水器の発明等により、蒸気機関の出力が増大すると船舶の推進に外輪(外車)(Paddle Wheel)を推進器として使用する試みがなされ、1787年に米国でフィッチが、1788年にはミラーが、スコットランドのダルズウィントン湖でそれぞれサイミントンの大気圧蒸気機関を使用して、蒸気(機関)船の試験を行っている。

こうして、19世紀に入ると、仏・米・英で18世紀後半から試みられていた陸用に使用されていた往復動蒸気機関を船舶の推進に適用する試みが漸く実を結び、船舶工学の父と呼ばれるサイミントン³⁵による世界最初の実用的蒸気船シャーロット・ダンドラス号が、1802年にフォース・クライド運河(Forth and Clyde Canal)を走行した。この外輪船の蒸気機関の出力は、10HP(約7.5kW)³⁶であった。こうして、蒸気機関の出力増大にともない、19世紀初めに船舶への蒸気機関の適用が可能となると、徐々に帆から蒸気機関による推進へと取って代わっていった。

推進装置(推進力変換技術)の変遷を図2.4に示すが、回転推進器ここでは外輪およびスクリュウ推進装置を意味している。

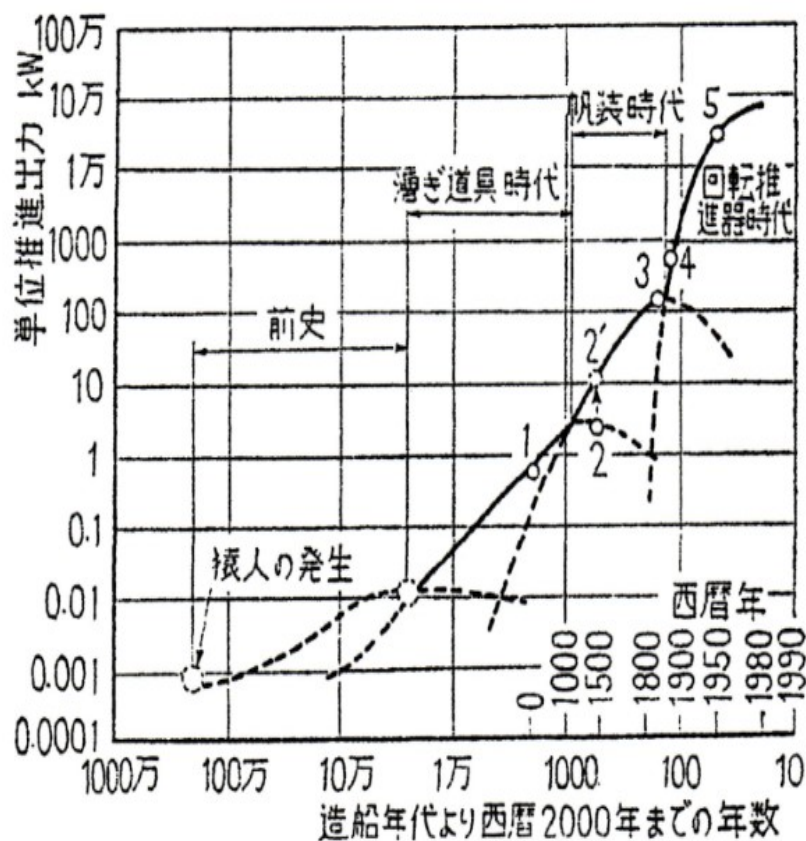
蒸気機関は、当初、出力も小さく、信頼性も劣っていたため、河川の曳舟や運搬船、港湾での帆船の曳舟、或いは、1819年大西洋を初めて横断した蒸気船である米国サバンナ号のように、帆船の補助動力として使用された。蒸気機関の改善により出力・信頼性が高まってくると、蒸気船は、帆船と異なり、風の影響を受けないため、遠洋航路の海運に固定出発と固定到着時間での航路サービスという新しい機能を導入し、サービスの規則性

³⁵ Smith (2013), p. 13.

³⁶ Britannica (2020).

および信頼性を大幅に改善したため、次第に多用されるようになっていった³⁷。

図 2.4 推進装置と単位推進出力の変遷



1：ギリシャの三段ガレー船、2：Santa Maria 号、2'：同時代スペイン船の相似推力、3：Flying Cloud 号、4：Persia 号、5：United States 号
(出典：石谷・赤木・加治 (1980), p. 50, 図 2)

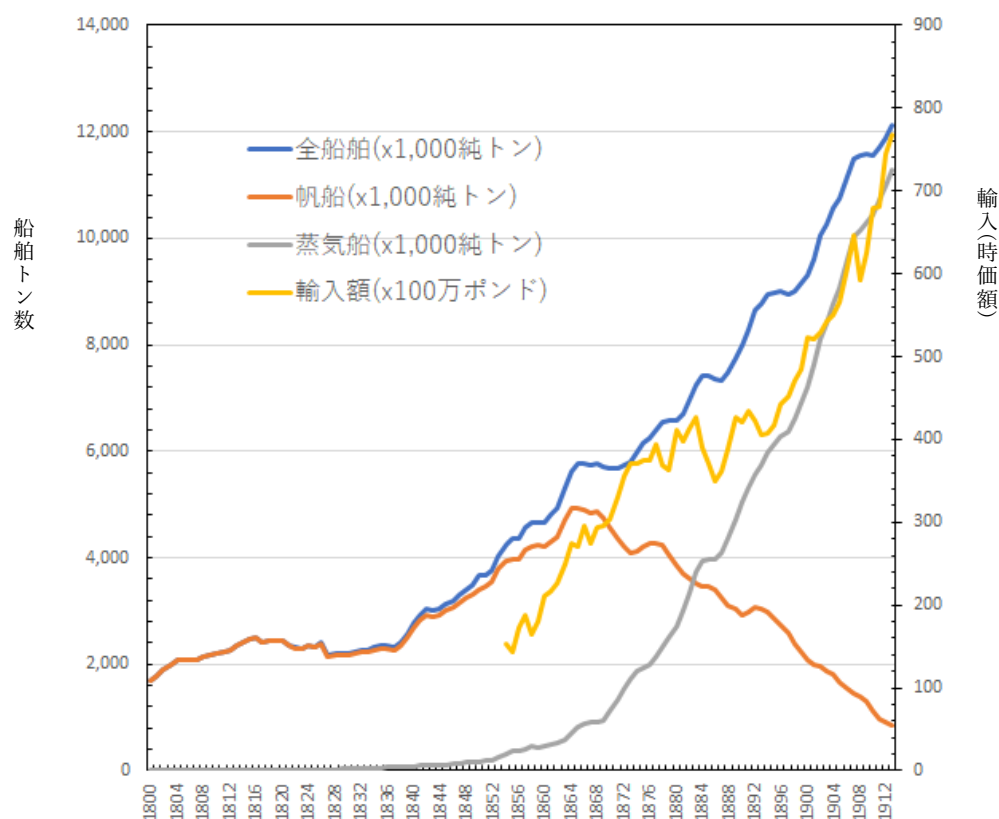
19 世紀の国際貿易の拡大は、英国海運の急成長をもたらし、英国は世界の海運を全面的に支配した³⁸。これは、海運形態に変化を与え、1850 年代および 1860 年代は、ヨーロッパ大陸への短距離貿易で、帆船から往復動蒸気機関で推進される蒸気船への移行が始まった。1860 年代後半

³⁷ Geels (2002), p.1266.

³⁸ ヴィル (2012), p. 68.

および 1870 年代は、北大西洋航路で帆船から蒸気船へ移行すると共に、1870 年代と 1880 年代は、スエズ運河の開設によりインドおよび極東への貿易で、帆船から蒸気船への移行が見られるようになった³⁹。事実、図 2.5 に示すように、1814 年以降、帆船から蒸気機関船(蒸気船)への交替が徐々に始まったのである。

図 2.5 英国貿易(輸入時価)額と船舶トン数



(出典：ミッチェル (1995), pp. 452-453, 535-537 より著者作成)

ギールズ(Geels)によれば、19 世紀中の航海条例(Navigation Law)の廃止は、国際および植民地貿易の拡大を促進し、英国の政治・経済の自由化は、英国を“世界の工場(Workshop of the World)”とした。輸出品は、製品・石炭・織物・船舶・金融サービスであり、輸入品は、原綿・鉄や銅などの金属鉱石・肉・羊毛・ゴムや農業の肥料として用いられる鳥糞石

³⁹ Harley (1971), p. 225.

(Guano)から茶・コーヒー・砂糖などの贅沢品へと市場が拡大していき、貿易量が増加していった⁴⁰、のである。

また、蒸気船の発達には、三つの要因－郵便補助金、スエズ運河の開設と北米への移民－が大きく影響した、という。

郵便補助金⁴¹：

1838 年の英国政府の特定ルートへの郵便の補助金は、石炭の補給処の設置を介して、遠洋航路蒸気船の使用および発展の保護環境を形成し、1832 年から 1862 年にかけて英国の国際蒸気船会社は、北米・西インド諸島・エジプト・インド・シンガポール・中国・南米・西アフリカ・オーストラリア等との世界的ネットワークを次々と確立していった。蒸気船の導入は、遠洋航路海運に固定出発と固定到着時間での航路サービスという新しい機能を導入し、蒸気船は、風の影響を受けないため、サービスの規則性および信頼性を大幅に改善した。

スエズ運河の開設：

1869 年のスエズ運河の開設は、ボンベイ航路では 42%、上海航路では、24%と東洋への距離を大幅に短縮するとともに、スエズ運河は風の影響が好ましくないため、帆船は 100 マイルも牽引が必要であり、帆船には不適切であった⁴²。このため、スエズ運河は、インドおよび中国への貨物ルートとして、蒸気船にとって大きな比較優位をもたらし、新しい中国・インド貨物貿易は、1869 年-1874 年に蒸気船への異常なブームを引き起こした⁴³。

北米への移民：

19 世紀初期の移民は、小さな帆船の 1 等船客であったが、1845-1849 年のアイルランドポテト飢饉、1848 年のヨーロッパの政治的革命およびカリフォルニアゴールドラッシュによる貧しい移民の輸送のために、まず、運

⁴⁰ Geels (2002), pp. 1265, 1270.

⁴¹ 同上, p. 1266.

⁴² ヴィル (2012), p. 76.

⁴³ Geels (2002), p. 1269.

賃の安い帆船の利用が進み、「1850 年以降になると大きな蒸気船が移民市場を素早く捕らえた」⁴⁴。北米への航行日数は帆船の 5-6 週間から、蒸気船の 2 週間弱へと大きく短縮したこと、これによる死亡率が低下したこと、蒸気船はより快適なこと 1850 年代後半には蒸気船運賃が帆船運賃を下廻るようになったこと⁴⁵、により、当初は英国・ドイツ等の西ヨーロッパ諸国から、19 世紀後半には、イタリア・ポーランド等の南および東ヨーロッパ諸国からの移民が増加していった⁴⁶。ディオスおよびオールドクロフト (H.J. Dyos and D.H. Aldcroft)によれば、米国への移民の数は、1825-34 年間では、32,000 人/年、第一次世界大戦前の 10 年では年平均 100 万人強であり、

1815-1860 年	500 万人
1860-1890 年	1,000 万人
1914 年前数年間	1,500 万人

であった⁴⁷。

図 2.6 に示すように、1850 年代後半および 1860 年代前半は、移民排斥や不況により減少したものの、1860 年代後半から再び増加し始め、1873 年の不況の開始まで続いた⁴⁸。

しかしながら、1880 年代から再び増加し始め、前半丈でも 300 万人が移住した⁴⁹。ポテト飢饉による 1850 年代初期の移民の数は膨大であったが、蒸気船による到着は約 1%であった。1858 年には 20%、1861 年には 31%、1873 年には 97%の移民が蒸気船で到着するようになり、1876 年には帆船から蒸気船への移行が完了したのであった⁵⁰。

⁴⁴ Geels (2002), p. 1268.

⁴⁵ Cohn (2005), p. 469.

⁴⁶ Rosenberg (1982), p. 249.

⁴⁷ Dyos and Aldcroft (1969), p. 234.

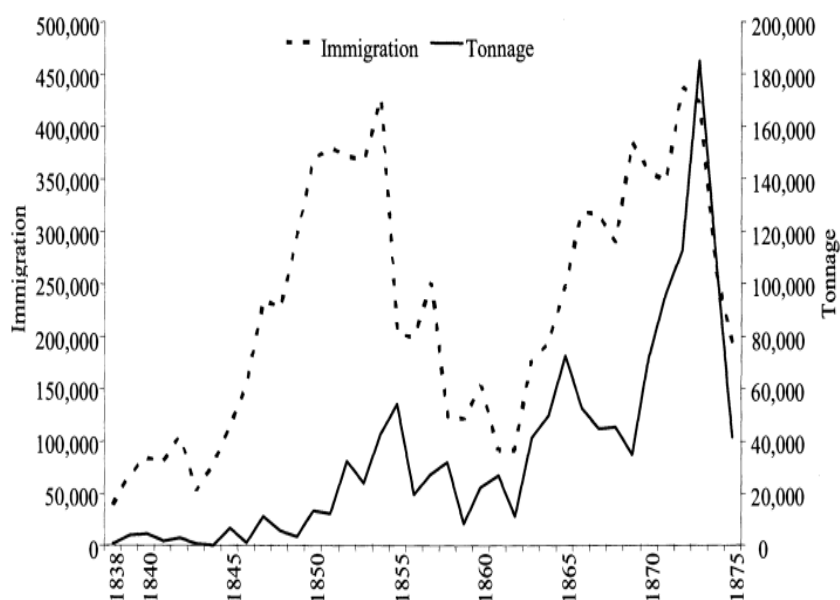
⁴⁸ Cohn (2005), p. 472.

⁴⁹ Barde, Robert, Susan B. Carter, and Richard Sutch (2006), p. I-541.

⁵⁰ Cohn (2005), p. 472.

こうして、移民の増加と共に蒸気船の建造も増加していった。大西洋航路では移民の増加と共に建造量が増加すると共に、特に、速度の増加と大型化が必要とされるようになった。客船の場合、速度が速いことは、サービスの比較優位をもたらし、大型化による客数の増加は、収益の増加とな

図 2.6 米国移民数と蒸気船建造トン数



(出典：Cohn (2005), p. 486, Fig. 3)

る丈でなく、船の利用可能エリア/コストが低下するからである⁵¹。

この海運の「より規則的な」・「より速い」・「より安く」という根本なニーズが海運の経済に与えるインパクトについて、ヴィルはその著『ヨーロッパ交通史：1750-1918年』において、次のように述べている⁵²：

交通(海運)システムの改善によってもたらされた生産性の増大は、交通費用の低下、定期運行の拡大、スピードの向上という、主に三つの面で現れた。... 総産業費用のうち交通料金が占める割合は低下した。この低下

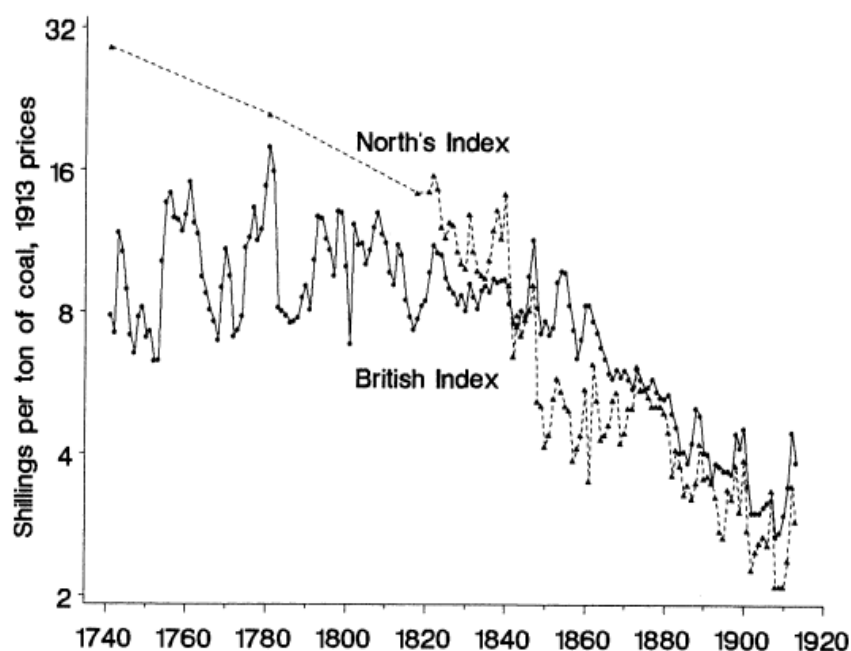
⁵¹ Pollard and Robertson (1979), p. 16.

⁵² ヴィル (2012), pp. 12-13.

は、交通費用が概して大きい工業化の初期の段階において不可欠であった石炭、鉄などの嵩高品にとって特に重要であった。... 交通のスピードと規則性の増加によって、産業は、原材料と未完成品の在庫を減らし、流動資本を固定資本に転換することができた。商品は、交通費用の低下によって、より広範囲で、より大きな市場を持つ事が可能になった、これによって、企業は、産出高の拡大と、規模の経済による利益の獲得(の) ... 機会を得た。

帆船から蒸気船への移行により、19 世紀末期では、蒸気船の運搬能力は同じ容量の帆船のほぼ 4 倍⁵³、航海回数の相違から蒸気船の 1 トンは帆船の 3 トンに相当した⁵⁴。これにより、図 2.7 のように運賃は低下し、ギルズによれば、貨物運賃は 1910 年には 1830 年の 24% となった⁵⁵。

図 2.7 貨物運賃の推移



(出典：Harley (1988), p. 853, Figure 1)

⁵³ Dyos et al. (1969), p. 243.

⁵⁴ Palmer (1985), p. 91.

⁵⁵ Geels (2005), p. 129.

また、蒸気船の生産性は、表 2.1 のように 19 世紀中から 20 世紀初めの間に、貨物運賃の低下および船価格の低下により、1.26% 向上したのである。

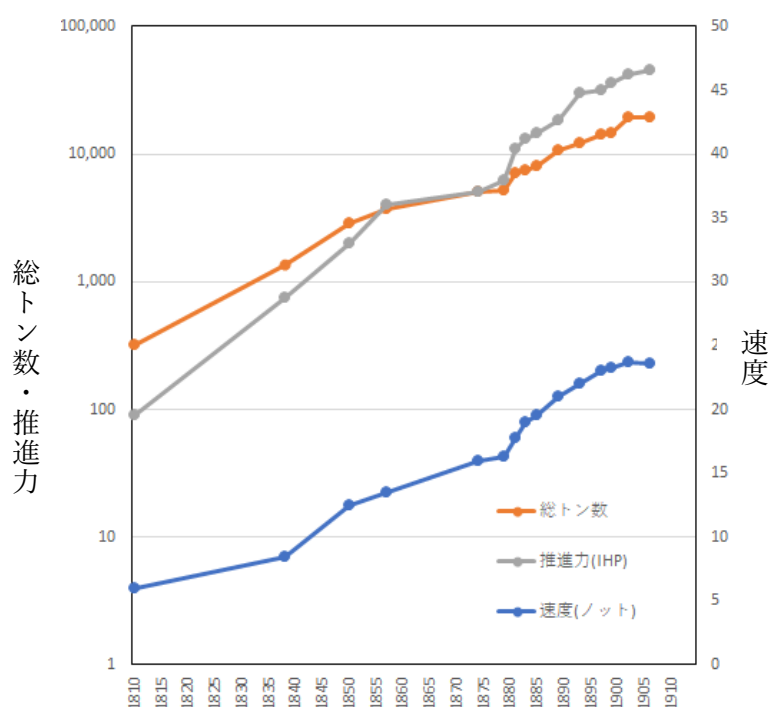
表 2.1 貨物運賃とコスト変化および生産性変化(%/年)

	1811/30–1852/58 (Sail)	1852/58–1908/23 (Steam)
Freight	−0.88%	−1.51%
Ship prices	−0.89	−1.14
Wages	+1.16	+0.55
Coal prices		+0.54
Miscellaneous prices	−0.61	+0.13
Productivity change	+0.63	+1.26

(出典：Harley (1988), p.861, Table 5)

こうして、図 2.8 に示すように、1880 年代初期には、蒸気船の大型化と、より速く航行する為の推進力の大きな機関が、英国では必要とされていたのである。

図 2.8 大西洋航路商船トン数・速度・推進力



(出典：The Encyclopaedia Britannica (1926), Vol. 23, p. 886)

(2) 軍艦

英国の 19 世紀の軍艦の歴史を書いたリオン(D. Lyon)の本の序文で、編集長のグリーンヒル(B. Greenhill)は、「商船は利益を得る為に貨物を運ぶ機械であったし、現在もそうである。それらは物品を運ぶが、貿易を介して富を創出する事は、政治的および軍事的力の根底である。その力の海上での実現手段である軍艦は、男たちがそれによって戦闘する機械である。」⁵⁶と書いているが、英国は、18 世紀以降、世界各地に広大な植民地を持つ海洋国家であり、植民地支配の確保と工業製品等の輸出および食料品等の輸入の海上通商の安全確保のために、他国に比べて優位な海軍力を保持することは、重要且つ必須な事項であった。

18 世紀の海上のライバルであった仏とスペインを、1805 年に、英国は、仏とスペインの連合艦隊をトラファルガー海戦で打ち破ったが、スミダ(J. T. Sumida)はその著『*In Defence of Naval Supremacy: Finance, Technology, and British Naval Policy, 1889-1914*』で「1815 年には、英国の経済的繁栄が依存している自国の領土と海洋商業上の利益の両方の安全を保証するための英国海軍の能力については、疑問の余地はほとんどなかった」⁵⁷と、19 世紀初頭には、すでに、英国は、海上の支配権を掌握していた述べている。

19 世紀初頭以降の英国の軍艦の発展は、商船とほぼ同じ軌道を辿り、木造帆船から蒸気機関駆動の外輪木造軍艦へと推移していった。ロシアの南下政策と対峙した 1854 年のクリミア戦争では、蒸気軍艦の威力が発揮されたものの、外輪が砲弾により大きな損傷を受けた⁵⁸ことにより、戦後、外輪蒸気船の脆弱性が問題となった。海軍船舶に於けるスクリュウの利点が、

- ① 機械を水線以下に置く事ができ射程外とすることができること
- ② 甲板を武器のために開けて置くことができること

⁵⁶ Lyon (1980), p. 3.

⁵⁷ Sumida (2014), pp. 5-6.

⁵⁸ 杉田 (1987), p. 18。

- ③ 敵船に乗り組むのが容易
 - ④ スクリュー自体が砲撃に晒されない
 - ⑤ 蒸気機関のみ、あるいは、蒸気機関と帆を組み合わせた時、外輪船のように、船の傾きはスクリューの作動に影響を与えない
- ことにあった⁵⁹ことから、スクリュー推進の軍艦の建造が加速されることになった。同時に、「1854 - 1856 年のロシア戦争(クリミア戦争)後に、初めて、鉄製船殻の武装蒸気軍艦が... 真剣に考えられるようになった。」⁶⁰ので、木造から鉄製船殻へと次第に移行していった。こうして、英国海軍では、木製船に対する鉄船の比は、1850 年には、1/5 以下であったが、1860 年には 1/10 以下となり、1870 年は 1/3 にまで上昇した⁶¹。

1870 年に始まった普仏戦争にプロイセンが勝利し、1871 年にドイツ帝国が成立すると、「帝国主義」の時代に入り、フランス・ロシア・ドイツとの軍備拡大競争が激化し、諸外国は確実に海軍の増強を図っていった。フランスの新規の軍艦建造数は、英国の新規軍艦建造よりも多くなり、こうして、1870 年代末には、英国領の防衛と海外通商保護能力が懸念されるようになり、このための 1879 年に王立調査委員会(Carnarvon Committee)が設置されるなど、19 世紀末には、英海軍の優勢の保持は、以前よりも、英国生存にとってずっと重要となっていたのである⁶²。

英国海軍の脆弱性の懸念は、速度の増加と大型化の必要性を認識させたが、速度の早い軍艦は、

- ① 敵艦を捕捉し破壊可能
- ② 退却する敵艦を捕捉し、戦闘に入ることが可能
- ③ 露-土戦争時に導入された魚雷の危険を回避するための距離を保つことが可能

⁵⁹ Smith (2013), pp. 74-75.

⁶⁰ 同上, p. 111.

⁶¹ 同上, p. 111.

⁶² Sumida (2014), pp. 10-11.

- ④ 戦闘距離の選択、つまり、武器の選択が可能⁶³であり、戦術的優位性をもたらす。更に、大型化は、武装の量・質を高め、排水量トン当たりの砲搭載能力を上げ、したがって、コスト/砲数は減少することになる

からである⁶⁴。

このように、1880年代初期には、軍艦においても、大型化と速度増加のために推進力の大きな機関が、英国では必要とされていたのである。

2) 技術的条件 (技術のシーズ)

(1) 商船

古代エジプトに現れた最初のガレー船は、速力と操縦性(加速・減速・回頭)を確保するために漕ぎ手の力漕に頼っており、長時間の力漕には限界があるため、帆も多少装備していた。ガレー船は、速力を上げるために推進力を増加するには、漕ぎ手を増加させる必要がある。こうして、一段から二段、古代ギリシャ時代には三段のガレー船へと発展し、各段の1本のオールを漕ぐ漕ぎ手の数も増えていき、大型化していった。地中海では、風が大西洋と比べて比較的弱く、不安定であるためガレー船が発達したが、十字軍の遠征や15世紀依頼の大洋航路の発見により航海術が進歩し、外洋航路が開拓されると、大洋では波が高いのにオールでは漕ぎでは乾舷ではあまり高くとれず、漕ぎ道具船では航海が十分発達できなくなり、耐候性のより大型帆船の発達が促進され、大型・高速に適する帆装船(帆船)に代わっていった⁶⁵。

貿易の拡大によって速度と貨物量の両面で、改善が必要となってくると、速度を上げるためには、総帆面積の増加による推進力の拡大が必要となる。帆面積の増加はマストの本数の増加をともない船体の大型化へと進み、貨物量を増やすためには、長さ・幅とも大きくする必要があり、これによっても船体の大型化が進んだ。帆面積の増加と船体の大型化は、推進力を増

⁶³ Sumida (2014), pp. 41.

⁶⁴ Pollard and Robertson (1979), p. 16.

⁶⁵ 石谷・赤木・加治 (1980), 49 頁.

加する半面、抵抗をも増加させるため、速度をこれ以上上げることが出来ない帆装の限界に到達する⁶⁶。こうして、陸用の往復動蒸気機関が船舶推進機関として適用されることになる。

往復動蒸気機関の発明とその後の出力改善により、蒸気機関が船舶の推進動力に利用されるようになると、帆から蒸気機関推進への移行時には、当時の蒸気機関は信頼性が乏しかったため、まず、内陸水路に適用され、遠洋海域へとシフトしていった。遠洋海域では、蒸気機関は、当初、風の利用が出来ない場合の帆船の補助的な推進装置(蒸気機関外輪推進)として使用された。事実、1819 年米国サバンナ号が、初めて、大西洋横断した時、全 29 日の航海の内、蒸気機関による航海は、80 時間だけで、帆走時は外輪を甲板に引き上げていたのである。

やがて、蒸気機関の信頼性が向上してくると、帆推進・蒸気機関補助外輪推進船から、蒸気機関が主、帆が補助の蒸気機関外輪推進・帆補助の船舶へ、そして、最終的に蒸気機関丈で推進される外輪蒸気船へと変化していった。推進力を大きくするために、蒸気機関が更に大型化し重量が増大すると、外輪蒸気船は、幾つかの問題に遭遇した⁶⁷。一つは、「蒸気機関の性能の問題」であり、蒸気機関の石炭消費量が大きいため、多くの石炭を積み込む必要があり、蒸気船の正味貨物積載容量が減少すること、第二に、外輪船の外輪の荒天や大波の条件下での浮き上がり、外輪の機能を低下させること、および、船の安定性と運航性を低下させるという「船舶の推進装置の問題」であった。第三は、ボイラ・復水器・蒸気機関の荷重が大のため、木製船殻が曲がったり、伸びたりする「船殻(浮体装置)強度の問題」であった。これらの問題は、より効率的な蒸気機関の開発、スクリュウ推進への転換、鉄鋼製船殻という重要な技術開発により、徐々に解決されていった。

蒸気機関の性能の問題：

⁶⁶ 斎藤 (2005), 58 頁.

⁶⁷ Geels (2002), p.1266.

蒸気機関の性能改善は、ボイラ圧力の上昇と複合機関の採用により行われた。

ボイラ圧力は、ボイラ材の銅から鉄、更に、鋼への変更、および、円筒ボイラから煙管ボイラへのボイラ型式の進歩により、下記のとおり上昇した。

1830-1840 年代 5-10psi(0.35-0.7kg/cm²)

1850 年代 20psi(1.4 kg/cm²)

1860 年代 50psi(3.5kg/cm²)

1870 年代 100psi(7.0kg/cm²)

1880 年代末 200psi(14.0kg/cm²)⁶⁸

1850 年以降の圧力上昇は、煙管ボイラの開発によるもので、これにより軽量且つコンパクトなボイラとなった。これにより、高圧蒸気機関の排気蒸気を低圧蒸気機関で使用するという高圧と低圧蒸気機関を組み合わせた複合機関(2 段膨張機関)が採用できるようになった。これによる石炭消費率は、初期の蒸気機関が 10lb(4.5kg)/hp/hr であったのに対し、複合機関では 3.5lb(1.6kg)/hp/hr と大きく減少した⁶⁹。これにより、燃料の補給なしに遠隔地まで行くことが可能となり、長距離ルートへ蒸気船が適用され、石炭の燃料積込み量の減少による貨物スペースの拡大し、運賃が低下したのである⁷⁰。

船舶推進装置の問題：

外輪船の外輪(外車)は水中にあるのは一部丈で、抵抗が大きく効率が低い丈でなく、船の水中部分の深さにより効率が変化した。これは、大量の石炭を燃料庫に積載する長距離航海では特に重要な問題点であった。これに対して、スクリューは安定して水中で作動し、うねりのある海域でも効率的であった。こうして、1840 年代外輪からスクリュー推進へと徐々に変

⁶⁸ ヴィル (2012), pp. 72-73.

⁶⁹ 小林 (2013), pp. 110-111.

⁷⁰ Geels (2002), p. 1269.

化していった。一方、スクリューは、外輪よりも回転数が高いため振動が大きく、木造船殻の強度の問題を更に悪化させた。

船殻(浮体装置)強度の問題：

木造船の場合、木造の強度により最大長は約 300ft(約 90m)が限度であった⁷¹。蒸気機関が大型化し重量が増大すると、木造船の強度不足が明白となり、当初は、帯状の鉄板で木造船殻を補強した。1837 年進水のグレート・ウェスタン号はこの例であるが、更に、鉄骨・木材板張り船殻を採用し強度を上げる方向へと発展した。製鉄・製鋼法の進歩により安価な鉄鉱石の使用が可能となり、鉄の価格が低下すると、船殻は鉄製製となった。1843 年に最初の大西洋横断スクリュー推進蒸気船であるグレート・ブリテン号は、鉄船殻であった。

鉄船殻船の出現によりスクリュー推進の定常的な振動により良く耐え得るという理由から、スクリュー船への保険プレミアムが 4%から 1.25%へ低下し、1850 年代および 1860 年代には、支配的な推進モードとして確立していった⁷²。こうして、鉄船殻を採用することにより、木造船殻の変形強度や振動強度問題を解決でき、その後、鋼が利用可能となると、鋼は鉄よりも強度が高いことから、鋼が船殻に使用されるようになり大型化が可能となった。

こうして、図 2.9 に示すように、鉄鋼船殻の蒸気船の大型化が進んでいった。

また、船舶の大型化に伴い、船殻材料は、木材より鉄、更に鋼へと変化していった。鉄鋼船の木造船に対する利点は、下記の通りである：

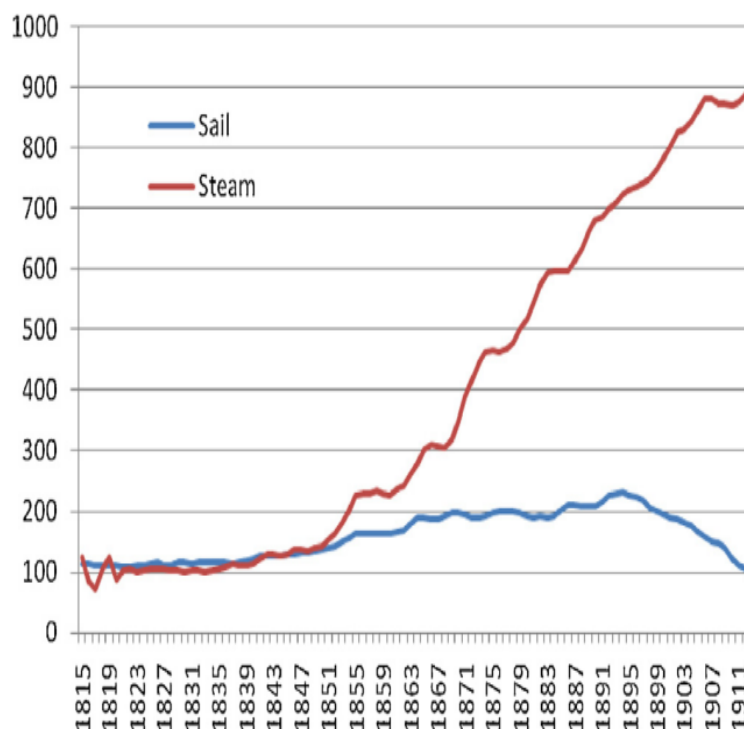
- ・運搬容量大：木造および複合機関…正味登録トン数当たり 1.8 倍
- 鉄および複合機関…2.2 倍
- 鋼および複合機関…2.7 倍⁷³
- の載貨重量を運搬

⁷¹ ロップ (1979), p. 275.

⁷² Geels (2002), p. 1269.

⁷³ Maywald (1956), p. 47.

図 2.9 英国船の帆船・蒸気船平均トン数推移



(出展：Mendonca (2013), p. 1728, Fig.4)

- ・耐火性
- ・耐振動性：蒸気機関の振動に耐える
- ・強度大：木造船は、スクリュープロペラの局部歪や“ホギング (Hogging)”や“サギング (Sagging)”の耐力小⁷⁴
蒸気機関の重量に耐える
船殻の板厚小により軽量となる
気象条件への抵抗性大
- ・水密性良：重ね合わせ・リベット打ちによる⁷⁵
- ・経済性高：檜木の不足危機により価格上昇および木材加工のため

⁷⁴ Pollard & Robertson (1979), p. 14.

ホギングおよびサギングについては、補遺 3「ホギング」と「サギング」参照のこと。

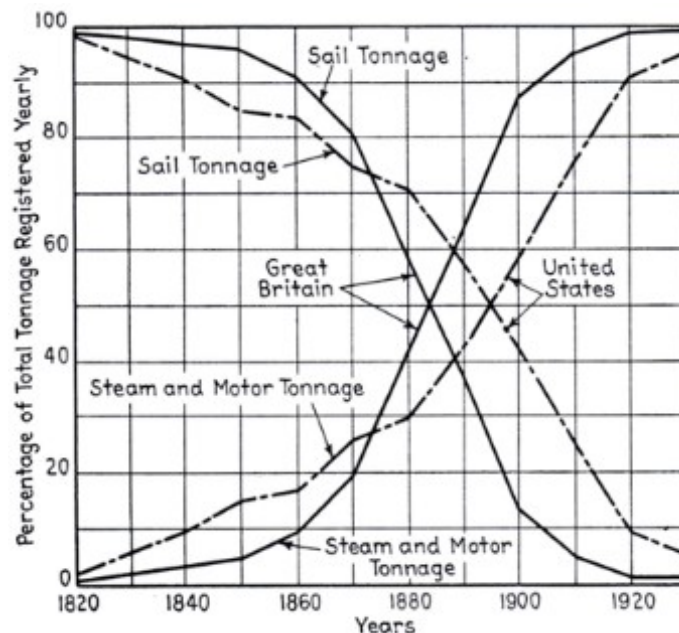
⁷⁵ 同上, p.14.

1/2 が無駄⁷⁶となることから、豊富・安価となった鉄鋼へシフト

鉄および鋼を使用すると、竜骨の破損の危険がないため、長さと幅を大きくすることが可能となり、船舶の長さ対幅の比と 7:1 から 11:1 へと大きく増加させることができる。これにより、水による抵抗が小さくなることから、必要な動力と燃料を減少させることができる。これらの変化は、速度、燃料消費、および、航海日数に有利な影響を与えた⁷⁷。こうして、1870 年代後半には、鉄製船殻から鋼製船殻に急速に進歩していった。

このように、船舶の推進は帆から蒸気機関へ、船殻の材料は木材から鉄鋼へと推移していった。図 2.10 に帆船から蒸気船への推移を、図 2.11 に船殻材料の推移を示している。

図 2.10 英国及び米国の帆船および蒸気船の登録トン数比率⁷⁸



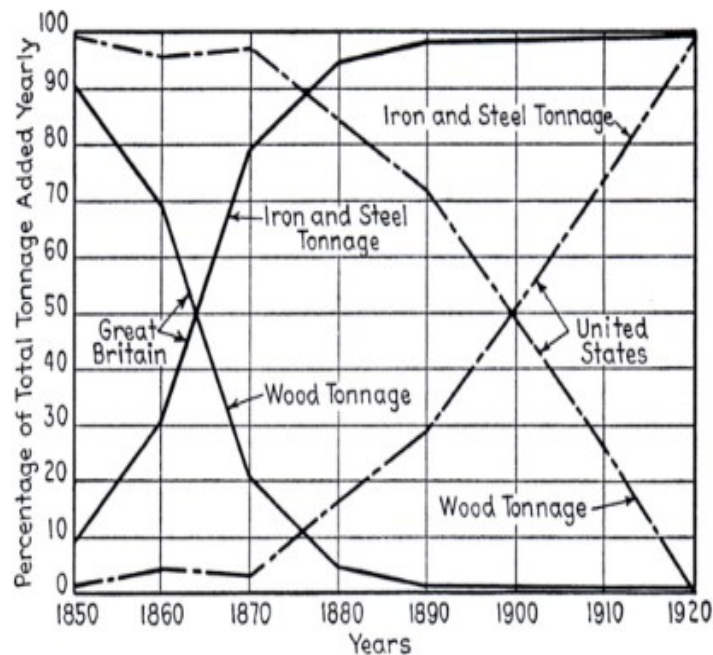
(出典：Smith, H. Gerrish and L.C. Brown (1948), p. 67, Fig. 1)

⁷⁶ Pollard & Robertson (1979), p.13.

⁷⁷ Hunter (1985), p. 648 および ヴィル (2012), p. 74.

⁷⁸ 1880 年代初期、米国では、河川および湖で多数蒸気船が使用されたため、蒸気船のトン数の比率が英国よりも大きくなっているが、蒸気機関の出力は小さく、大洋を横断できるような大型の蒸気機関の発達は英国よりも遅れた。また、Motor 船というのは、内燃機関船のことであり、20 世紀以降に使用され始められた。

図 2.1 1 英国および米国の木材船及び鉄鋼船の登録比率⁷⁹



(出典： Smith et al. (1948), p. 74, Fig. 2)

こうして、1850 年代及び 1860 年代初期には、スクリュー、鉄製船殻、複合機関というそれぞれの技術軌道は、次第にリンクされ、1870 年代後半には、鋼船殻・蒸気機関スクリュー推進船という新しい技術形態の蒸気船へ転換していった。

このように、1880 年代初期には、鉄鋼船殻スクリュー船の建造が可能であり、大型化を可能とする技術が存在していた。

(2) 軍艦

古代からローマ時代の軍船は、多人数でオールを漕いで推進力を得るガレー船であった。ガレー船は、古代ギリシャ時代には三段のガレー船へと発展し、大型化していった。航海術の進歩と帆走技術の進歩により、推進手段は人から帆へと移り、耐航性のより大型帆船の発達が促進され、大型・高速に適する帆装船(帆船)軍艦に代わっていった⁸⁰。19 世紀初頭は、

⁷⁹ 米国は木材が豊富であり、木材より鉄鋼船への移行は、英国よりも遅れた。

⁸⁰ 石谷・赤木・西川 (1985), 41-42 頁。

多数の大砲を搭載した帆船軍艦である戦列艦(Line-of-Battle)の最盛期であった。

帆船の大型化に連れて、より大きな推進力が必要となり、1712年のニューコメンの大気圧機関の発明、ワットの分離復水器の発明等により出力が増大すると、蒸気機関はまず商船に適用され、改善され、出力が更に増大すると軍艦にも適用されるようになり、1837年には、英国海軍では27隻の蒸気機関駆動の軍艦が登録される迄になった⁸¹。

最初、蒸気機関駆動の商船でも軍艦でも外輪が推進機であったが、1845年スクリュウ推進軍艦のラトラー(Rattler)号と外輪推進軍艦アレクト(Alecto)号の「綱引き競争」によりスクリュウの優位性が確認されると、英国海軍は、全ての艦艇にスクリュウを採用する事に決め、軍艦には、スクリュウ推進が最も適すると認識されるようになった⁸²。

こうして、英国海軍においても、鉄鋼船殻スクリュウ船の建造が可能であり、大型化および高速化を可能とする技術があった。

1870年代中期には、英国海運の3分の2は、2段膨張機関の蒸気船となっていた⁸³が、軍艦においても、同じように、2段膨張機関が採用されていき、1883年には、英国軍艦の2分の1は蒸気機関となった⁸⁴。

図2.12に商船および軍艦の蒸気機関の発展の状況を示しているが、商船と軍艦は軌を同一にして大型化していったのである。

2.3 小括

英国では木材の代替燃料として石炭が多量に使用され、炭鉱が深く掘り進められるに連れ、排水の問題が発生した。当初、排水は、人力や蓄力により行われていたが、コストが掛かることから、代替装置が必要とされた。

⁸¹ Smith (2013), p. 52.

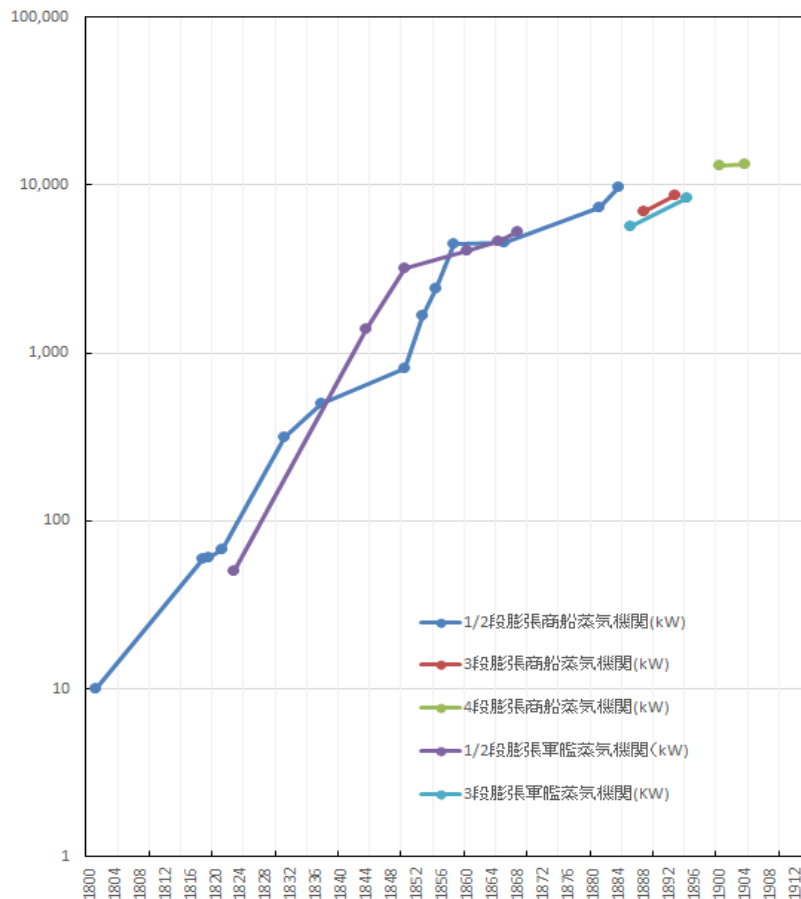
⁸² 同上, pp. 74-75.

⁸³ ヴィル(2012), p. 72.

⁸⁴ Vill, (1991), p. 77.

このため、17 世紀には、炭鉱からの排水用として、種々の蒸気機関が考案された。

図 2.1 2 船用蒸気機関出力推移



(出典：Smith (2013), 石谷 (1957), Kirkaldy (1970), Griffith (1997), Encyclopaedia Britannica (1929), Britannica より著者作成)

蒸気の利用は古代ローマ時代から行われていたが、蒸気を原動機として活用するには、蒸気を発生させる手段、大気圧と蒸気の性質…凝縮による真空の生成…の理解、および、ピストンとシリンダーの発見が必要であり⁸⁵、17 世紀末に漸くパパンによりボイラ・ピストン/シリンダー・復水器で構成される大気圧蒸気機関のモデルが考案された。

⁸⁵ Somerscales (1990), p. 273.

セイヴァリーやニューコメンの蒸気機関では、これら三つの要素は分離されなかったが、18 世紀後半のワットの分離復水器の発明によりパパンの蒸気機関モデルが実現された。その後の回転運動機構の発明により、往復動蒸気機関は広範囲に使用されるようになった。しかしながら、ワットの蒸気機関は低圧であったので熱効率が悪く、1800 年ワットの特許が失効すると高圧化が試みられ、出力も熱効率も増大していき、炭鉱の排水丈でなく色々な産業で使用されるようになった。

19 世紀後半には、アーク灯や白熱灯の発明により、電気を発生する機械、すなわち発電機の駆動用にこの蒸気機関が使用された。発電機の出力は小さかったため、既に十分に発達していた陸用の往復動蒸気機関が発電機駆動用に適用された。

一方、蒸気機関の出力が増大すると、船舶の推進に応用する試みが 19 世紀初期から本格的に行われるようになった。当初、蒸気機関はまず河川の船舶および帆船の引き船として使用された。信頼性が向上し、出力も大きくなると、大洋航海船にも使用されていった。当時、大洋航海船は、大型の帆船であり、海運通商の発展とともに、蒸気船は徐々に帆船と交代していった。また、大洋航海船の船殻は、木材から鉄、鉄から鋼製へと変化し、益々、大型化していった。

船舶の大型化に伴い推進装置も、外輪からスクリューとなり、これを駆動する蒸気機関も材料・工作技術の改善により性能（出力および熱効率）が向上した。これらは、更なる船舶の大型化へと導いたのであった。

こうして、1880 年頃の陸用の往復動蒸気機関の出力と船用の往復動蒸気機関の出力は、それぞれ、1,000kW と 10,000kW 程度であった。船用蒸気機関の方が非常に大きく発展しており、その出力は陸用に比べて非常に大きかったのである。また、この船用の 2 段膨張蒸気機関は、その技術的限界に到達しており、1881 年には、3 段膨張蒸気機関が新たに開発され、船舶の推進に使用されるようになった⁸⁶。

⁸⁶ 3 段膨張機関は 1874 年にカーク(A.C. Kirk)により導入されたが、一般的に使用されるようになったのは、1881 年以降である(Hunter (1985), p. 644)。

パーソンズが蒸気タービンを発明した 1884 年前後の大西洋航路の繁栄と海上覇権を巡る状況は、更なる船舶の大型化・高速化を必要とし、このための出力の大きな原動機が囑望されていたのである。

第3章 パーソンズ蒸気タービンの発明と進歩

「発明は、必要な技術と経済的条件が満足される時、適切な発明が不可避免的に現れる。... 発明は、個人と言うよりも社会により条件付けられている」¹と主張され、また、「発明は、... それに必要なピース、それへのニーズがあるべきところにそろったときに発明が現れがちになる」²とも言われているように、社会経済的条件と共に技術的条件という二つの条件が重要であることから、1880年前後の社会経済的条件を「市場のニーズ」の観点から、技術的条件を「技術のシーズ」の観点から概観し、パーソンズの蒸気タービン発明経緯と発明後の陸用蒸気タービンと船用蒸気タービンの進歩・発展について記述する。そして、蒸気タービンがなぜ1884年に発明されたかという『時』の問題となぜ英国でという『場』の問題を解明する。と同時に、パーソンズの蒸気タービン発明の動機・目的を考察する。

3.1 陸用蒸気タービン

1879年に米国および英国において同時に白熱灯が発明され、船舶の船内照明や大きな個人宅、劇場に最初に適用された。1880年代初頭は照明のブームであり、当初、照明用の発電機を駆動したのは往復動蒸気機関であった。

対向ピストン・シリンダー回転蒸気機関(Epicycloidal Steam Engine)で発電機を駆動した経験のあるパーソンズは、船舶の揚重機器等の機器を製作していたクラーク・チャップマン(Clarke, Chapman and Co.)社に1884年2月1日副共同経営者(Junior Partner)として入社し、同年4月に多段式蒸気タービンの特許を取り、出力7.5kWという小さな船内照明用の蒸気タービン発電機を開発した。

その後、ニューキャッスルに自身の蒸気タービン製作会社であるC・A・パーソンズ(C.A. Parsons & Co.)社と発電事業会社であるニューキャッスル地域電灯会社(Newcastle and District Electric Lighting Co.) (以降、DISCo社と略す)を1889年に設立し、中央発電所に蒸気タービンを初めて製作・適用し、種々の改善を行い、パーソンズが亡くなった1931年には、50,000kWの容量へと発展させたのであった³。

¹ Furfey (1944), p. 144.

² ジョーンズ (1999), p. 168.

³ Parsons (1987), p. 368.

1) 社会経済的条件(市場のニーズ)

パーソンズが多段式蒸気タービンの特許を取った 1884 年の 5 年前の 1879 年に、米国のエジソンおよび英国のスワンにより白熱灯が発明され、米国では、1880 年にオレゴン鉄道・航海会社(Oregon Railway and Navigation Company)のコロンビア(Columbia)号にエジソンの白熱灯⁴が、英国では、1881 年に戦艦インフレキシブル(Inflexible)号とインマン(Inman)社の客船リッチモンド市(City of Richmond)号およびキュナード蒸気船会社(Cunard Steam Co.)社のセルヴィア(Servia)号にスワンの白熱灯が設置され、1884 年には 150 隻以上の船に設置されていた⁵。

船主たちにとって、炎が出ない船内の明かりと言う重要な改善⁶であったため、蒸気船は、船舶の船内照明ブームとなった。この理由は、それ迄の船内照明は、蝋燭や石油ランプによるものであり薄暗く、電気照明により、「船舶技師(Marine Engineer)が初めて、往復動蒸気機関が動作しているのを見ることが可能となった」⁷からである。

パーソンズは、英造船業の補機の主要なサプライヤーである英国北東部の都市ニューキャッスルのティン川対岸のゲーツヘッド(Gateshead-on-Tyne)にある 1864 年創業のクラーク・チャップマン社の株の 8 分の 1 を£14,000 で購入し、副共同経営者として参画した。この会社は、船舶用の特殊クレーン・ホイスト・揚重機器の世界有数の製造業者であった。創業者のクラーク(William Clarke)は製品志向の企業家であり、製品開発に熱心であった。購入株が 8 分の 1 となったのは、会社の支配権を維持したいというクラークとチャップマンの願望によって引き起こされたものであった⁸。

クラーク・チャップマン社は、勃興しつつあった船舶の船内照明市場に参入すべく、電気機械で働いた経験を持っており、アーク灯に電気を供給する発電機を駆動する対

⁴ Passer (1953), p. 86 および MacLaren (1943), p. 77.

⁵ Smith (2013), pp. 229-230.

⁶ アッターバック (1998), p. 88.

⁷ Smith (2013), p. 230.

⁸ McGovern and McLean (2013), pp. 449-454.

この出資比率に関しては、パーソンズが参画する時から紛争の種であったようで、チャップマンから入社前のパーソンズへの手紙が残っており、「提案された条件を名誉ある形で実行することについては、私としては、今のような精神で交渉を続けるよりも、中止すること望んでいます。しかし、これは、最初から最後まで、私たちの考えからは程遠いものでした。」と書いている。そして、追伸として、クラーク・チャップマン社がパートナーを募集したのではなく、パーソンズの方から共通の友人を介して、接触して来たことを喚起している(Fynes (2021))。

向ピストン・シリンダー回転蒸気機関を開発していたパーソンズを採用し、電気部門の設立し、その部門長としたのであった。

一方、パーソンズの自伝を書いたアイルランドのトリニティー・カレッジ(Trinity College)機械工学教授のスカイフ(W.G. Scaife)が述べているように、「パーソンズの方は、蒸気タービンの真の可能性を実現するためには、多大な開発が必要であることを知っていた。彼自身がかかなりの私財を持っていたとしても、必要な実験に必要な資金を彼自身の資源から調達することはかなり不可能であろう。そのため、彼は設計の段階的な変更資金を供給できるだけの十分な収入を確保するために、機械を販売しなければならなかった」⁹程だったので、パーソンズにとっても、好機であったと思われる。

こうして、パーソンズは、クラーク・チャップマン社入社後、僅か約2か月後の4月23日には、暫定特許No.6735を申請し、1884年10月22日には、詳細図面を添付して完全なスペックを提出し、同年に7.5kWの世界初の実用蒸気タービン発電機を製作した。この蒸気タービンは、「蒸気食い(Steam Eater)」と呼ばれる程蒸気消費量が大きく、当時、発電用に用いられていたウィランス高速直結蒸気機関の5倍であったが、翌年のロンドンの水晶宮で開催された発明博(Invention Exhibition)では、改善された毎分12,000回転の6.5kWの5号機を出展し、バーとグリルルームの照明に使用され、非常に静粛であったことから銀賞を受けている¹⁰。

1889年12月に、意見の相違により、共同出資者から脱退するが、この間、図3.1に示すように、7.5kWから75kWの蒸気タービン発電機が約250基製作・販売され、その殆どは、船内の電気照明用であり、2-3が電気メッキや個人宅の照明(Private Land-Based Plant)向けであった¹¹。

初期のパーソンズ蒸気タービンが、蒸気消費量が多いにも拘わらず船内照明に使用されたのは、往復動蒸気機関で駆動される船舶では蒸気は豊富であり、蒸気タービン

⁹ Scaife (2000), p. 175.

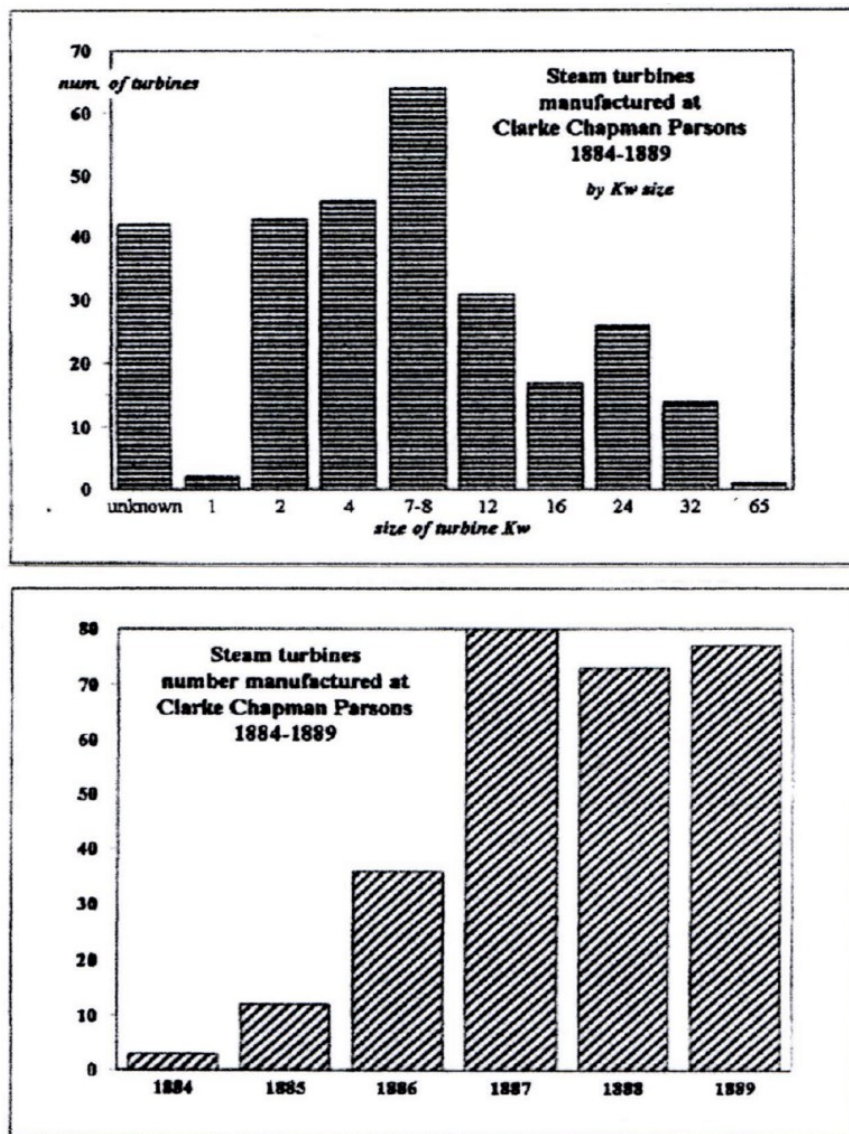
¹⁰ 同上, pp. 3, 175 & 177.

現在、Trinity College に展示されているこの No. 5 号機の銘板は 65V、100A、12,000rpm となっている。

¹¹ Parsons (1987), p. 360.

の様な回転は、往復動機関と異なり安定した出力電圧が得られる、チラツキのない良質な照明が得られたためと考えられる。

図3.1 クラーク・チャップマン社パーソンズ軸流タービン製作実績



(出典： Clarke (1984a), p. 4)

一方、一般の照明用には、1880年にスワン自身の自宅や造船業で富をなしたアームストロング卿邸などの個人宅が、スワンの白熱灯で照明されるとともに、1881年には

ロンドンのサヴォイ(Savoy)劇場にスワンの白熱灯 1,200 灯が点灯された¹²。

白熱灯の前は、ガス灯やアーク灯が照明に使用されており、家庭ではガス灯あるいは石油ランプが、公共ではガス灯やアーク灯が使用されるのが、普通であった。ガス灯には、揺らぎや大気汚染、室内の温度の上昇や装飾品を黒化させるという欠点、アーク灯には、室内で使用するには非常に明る過ぎ、揺らぎや非効率という欠点があり、家庭や事務所での使用に適する照明灯が期待されていたのである。

白熱灯は、アーク灯やガス灯に比べて高価であったにも拘らず、その快適性という質の高さから、これらによる電気照明への需要があったことから、一般照明においても、1882 年に英国では電気照明ブームが発生した。このことから、N・C・パーソンズ(N.C. Parsons)は、1985 年の Parsons Memorial Lecture の「1884: The Rebirth of Steam Power」という題目で発表の中で、「パーソンズは 1881 年には、発電・配電の市場が、現在は未発達であるが、将来大きく発達し、必ず、大きな出力の原動機を必要とする巨大なサイズの市場へと発展すると見通して、蒸気タービンの実験を始めた」¹³、と紹介しており、パーソンズが将来の電気の発展を予想し、蒸気タービンの開発を行った、との意見であるが、現在まで、多くの経済史家および技術史家も同じ見解である。

アーク灯や白熱灯の電気を供給する発電機は、往復動蒸気機関により駆動されたが、発電機は高速回転機であり、回転を一様とするための往復動蒸気機関のフライホイールと、発電機の小さなプーリとをベルトやロープで結び増速していた。この増速システムは非常に効率が悪いので、発電機と直結するブラザーフッドやウィランスの高速往復動蒸気機関や、パーソンズの対向ピストン・シリンダー回転蒸気機関が発明された。しかしながら、往復動蒸気機関には回転が一様でないという根本的な欠点があり、純粋な回転機関である蒸気タービンは、白熱灯のチラツキをなくし良好な品質の光を提供するとともに、当時、非常に高価であった白熱灯の寿命を延ばした。

事実、1887 年に開催されたニューキャッスル博について、Scientific American 誌は、この博覧会の照明が、パーソンズの蒸気タービン 17 台を使用して行われたこと、そ

¹² Dunsheath (1962), p. 132.

¹³ Parsons (1987), p. 359.

の蒸気消費量は、ベルトを介した通常の往復動蒸気機関と同等であることを述べたあと、「蒸気タービンの蒸気消費量は、間もなく、より良い結果に到達すると期待されるが、この原動機は、推奨すべき多くの利点を持っている。これらの中には、発電機の一様な回転によりランプの寿命が増加することである」と述べて、次のように報告している¹⁴：

（パーソンズの蒸気タービンを使用した）ニューカッスルのフェニックス工場（Phoenix Mills）では、159 個のエジソン・スワン・ランプを設置し、2 年前から 1 日平均 11 時間稼動させているが、その間に故障したのは 94 個だけで、残りの 65 個は 6500 時間稼動しても問題なかった。もし、一般的に言われているように、ランプの寿命が平均 1,000 時間しかなかったとしたら、このランプの更新の費用は現在消費されている 1 年分の燃料費の 2 倍にも相当する。

このように、パーソンズの蒸気タービンは、良質の照明を提供する白熱灯の寿命を延ばすために必要な、安定な電気を供給するという市場のニーズに合致していたのである。

2) 技術的条件(技術のシーズ)

パーソンズは、1906 年の英国王立協会(Royal Institution)での「Steam Turbine on Land and Sea」という講演の中で、蒸気タービンの歴史に触れ、「蒸気タービンの歴史から我々が集めることができる、今日の蒸気タービンの基本的アイデアの殆どは、1880 年代に先立つ 100 年あるいはそれ以前の特許の中に、実験家たちにより粗く提案あるいは記述されている」と述べて、蒸気タービンアイデアそのものは、決して新しいものではないと言い、蒸気タービンの歴史を簡単に振り返っている¹⁵。

パーソンズは、古代ローマ時代のヘロンについて述べた後、多分、彼自身の蒸気タービンのアイデアに影響を与えたと思われる、過去の数件の特許について述べている。1837 年ギルモア(William Gimore)が、最初の多段式タービンの提案したこと、1838 年にヒース(Mattew Heath)が初めて拡大円錐ジェット噴流の原理を明確に述べている

¹⁴ Scientific American (1888).

¹⁵ Parsons (2015), p. 65.

こと、1842年にはピルブロー(James Pilbrow)が、カップ状のバケットを使用し、蒸気の流れを曲げて処理することを提案したこと、並びに、1848年にパーソンズ蒸気タービンの先駆けとも言われている多段式タービンの原理を、ウィルソン(Robert Wilson)が、詳細に検討したことを述べている。しかし、夫々の特許からこういったアイデアを得たかについては明確に述べていない。

カルノーは、「発明は、その誕生と発達、および、完成をそれが最も強く要求される所でおこなわれるのは当然である」¹⁶といているが、発明活動を知る唯一利用可能指標は特許である。

蒸気タービンに関する特許は、パーソンズが特許を取った 1884 年以前にも、数多くの特許が取られており、蒸気タービン・エンジニアのハリス(F.R. Harris)は、「英国特許の記録の始まりから 1884 年まで 195 件のタービンに関する特許が与えられた」と述べている¹⁷。デイヴィス(A.W. Davis)は 100 件以上¹⁸と言い、他の論者は、モキア(Joel Mokyr)を含めて、1884 年以前には、200 件程度の特許が取られていた、と述べている¹⁹。1903 年に蒸気タービンに関する教科書を書いたネイルソン(R.M. Neilson)は、その著『*The Steam Turbine*』の中で、1784 年のワットの回転機関の特許から 1884 年まで、図 3.2 に示すように、合計 150 件の特許をリストアップしている。

他方、19 世紀の静置用および船用蒸気機関、回転機関および蒸気タービン、機関車機関等の蒸気動力の特許について研究したアンドリュー(J. Andrew)等は、回転蒸気機関および蒸気タービンに関する特許が、1800 年から 1880 年の間に、142 件あったことを示している²⁰。両者のデータから、1800 年と 1884 年までの間では、合計約 140-150 件の蒸気タービンの特許が取られており、1850 年以降特許数が急速に増加したことが判る。更に、1880 年前後には、特許件数が特に急増しており、当時の英国では、

¹⁶ Parsons (2015), p. 152.

¹⁷ Harris (1984), p. 183.

ワットは 1769 年と 1782 年に回転蒸気機関の特許を取っている(Biles (1906), pp. 13-14)が、当時の技術では実現不可能であることを理解し、往復動蒸気機関の完成に注力している。

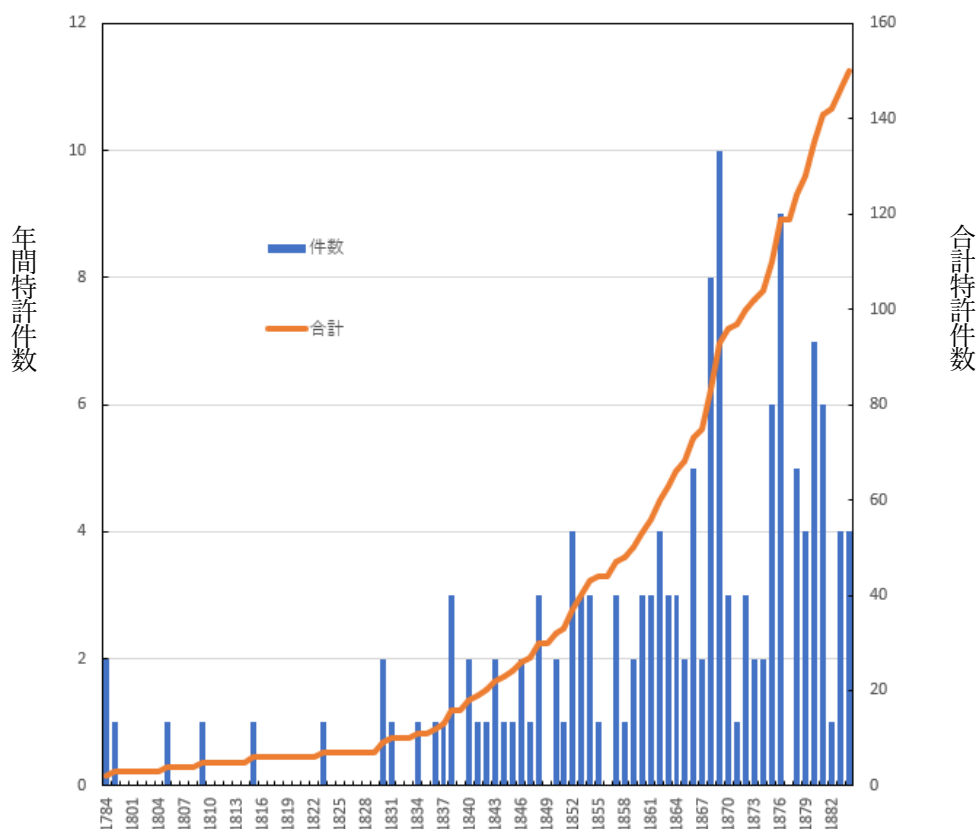
¹⁸ Davis (1975), p. 69.

¹⁹ Briggs (1982), p. 167, Scaife (1984), p. 5 および Mokyr (1990b), p. 133.

²⁰ Andrew, Tann, MacLeod and Stein (2000-2001), p. 35.

回転蒸気機関、あるいは、蒸気タービンの発明に対する関心が急速に高まっていたのである。

図3.2 英国年間特許件数と合計特許件数



(出典： Neilson (1903)より著者作成)

引き続いて、パーソンズは、1880 年以前の 100 年間の特許は、「殆どは、全てではないが、材料および蒸気に関する特性の知識が不足している事を示しており、満足の行く性能を与えることが出来なかったであろう...。」²¹と述べ、「1880 年以前の条件では、タービンの商業的導入は不可能であったと、我々は安全に言える。」²²と言い、熱力学や材料および加工技術が、1880 年以降になって、漸く、蒸気タービンを実現可能な状態になったことを示唆している。

²¹ Parsons (2015), p. 65.

²² 同上, p. 76.

熱力学：

パーソンズの蒸気タービンの発明後 50 周年を記念して開催された第 1 回の The First Parsons Memorial Lecture で、スミス(Smith)卿は、パーソンズが蒸気タービンの発明を着想させた三つの主要な影響について述べており、パーソンズの他の人が失敗したことをやり遂げようとする(アイルランド育ち)気質、ダイナモ発電機の出現、そして、蒸気の熱力学と蒸気の特性に関する知識を挙げ、熱力学の知識が発達していたことを指摘している²³。

事実、蒸気機関の発達は、熱力学の発展に大きく寄与し、1824 年にフランスのカルノーが『火の動力』を出版し、その中でニューコメンやワットの蒸気機関について言及し、理想的な熱機関サイクルの理論について述べているが、この本は、長らく埋もれており、1870 年代になり雑誌に掲載され、1878 年に弟のイッポリートの手で第 2 版が出版され、広く知られることになった。英国の往復動蒸気機関の発達の長い歴史は、英国の熱力学の理解を深化させ、ワットの蒸気機関の発達の支援者であった潜熱・比熱の概念を確立したブラック、1847 年熱の仕事当量を発見したジュール、1851 年熱力学第 2 法則を発見したケルビン卿などにより熱力学が進歩した。そして、1859 年には、ランキンが、『蒸気機関およびその他の原動機』を発表し、2 段膨張往復動蒸気機関の高圧化やボイラ・蒸気タービンで構成される蒸気原動所サイクルの理念を提案している²⁴。これらの人々は、すべてスコットランド人、或いは、スコットランドで活躍した人達であり、アレン(R. Allen)²⁵は、ワット以来のスコットランドでの科学・技術と産業の発展をスコットランドの科学的-産業複合体(Scottish Scientific-Industrial Complex)と呼び、社会的ネットワークの重要性を指摘しているが、英国は、往復動蒸気機関を媒体として進歩した熱力学の分野での最先端の国であった。

また、パーソンズ自身も、ケンブリッジの高等数学卒業試験(Mathematical Tripos)を 11 位(11th Wrangler)で卒業しており、当時は公式のコースではなかった機械工学や

²³ Smith (1936), p. 1.

²⁴ 坂上 (2016), p. 99.

²⁵ Allen (2014), p. 316.

熱力学の講義にも参加しており²⁶、優秀な成績で1877年ケンブリッジ大学を卒業していたのである。

材料：

ハリス(Harris)は、パーソンズが1884年に蒸気タービンを発明・製作できたのは、英国では、鑄鉄・鑄鋼および鍛鋼が利用可能であったからである、と述べて、鑄鋼製の高温車室とか鑄鉄製のロータとか、初期のパーソンズ蒸気タービンで使用された材料をタービン部位毎に記載している。そして、ニューコメンが最初に商業的に成功した1712年のダドリー(Dudley)に設置された蒸気機関のシリンダーは、当時唯一利用可能であった真鍮であったと言い、ダービー(父子)が木炭の代わりにコークスを使用して鉄の精錬に成功し、1784年コートがパドル法を発明し、コークス精錬した銑鉄から錬鉄を生産する方法を発明し、初期は馬の蹄鉄や鎖に使用されたが、最後には、船やボイラの鉄板に利用されたこと、そして、1856年のベッセマー転炉法や1862年のジーマンスによる平炉の発明により安価な製鋼法が開発され鍛造および鑄造が可能となった、と蒸気タービン発明の必要条件の一つとして挙げている²⁷。

事実、鉄鋼の生産量で英国は、19世紀末に米国に追い抜かれる迄、世界一の生産量を誇っていたのである。しかし、一人当たりの生産量では、米国を尚もずっと大きく上廻り続けていたのである。

加工技術：

また、これらの材料を加工する技術も英国が最も進んでおり、1769年のスミートンのシリンダー内面を加工する中ぐり盤の開発を始めとして、ウィルキンソンの大砲製造用新型中ぐり盤(1775年)は、「ワットの蒸気機関の実用化と性能向上に決定的な貢献をし、産業技術の段階へ推転させる一大技術要因」²⁸と言われており、この機械の加工精度は、直径約1.8mのシリンダーを1.27mm以内に加工できた。そして1794年には、モーズレイの旋盤、1820年クレメントによる平削り盤の発明と続き²⁹、1850年に

²⁶ Constant (1980), p. 69.

²⁷ Harris (1984), p. 212.

²⁸ 坂上茂樹 (2016), p. 35.

²⁹ 同上 (2016), p. 35-37.

は、既に旋盤、孔くり盤、ボール盤、平削盤、形削盤、堅削盤等が実用に供されていた³⁰。

ソウル(S.B. Saul)は 19 世紀末のウィランスの高速往復動機関やパーソンズの蒸気タービンについて述べた後、英国は、蒸気トラクター、蒸気掘削機、刈り取り機などの農業機械などが、これらを駆動する蒸気機関と共に大量に海外に輸出されていたことに言及し、「比較的重厚な機械工業に従事するこれらの産業は、最高水準の工作機械産業に支えられていた」³¹と指摘している。

事実、パーソンズも、1888 年の英国機械学会において、下記のように、述べている。

複合(多段)蒸気タービンのすべてのスピンドルは、スミス・アンド・コベントリー社(Smith and Coventry)製の優れた自動研磨機で研磨され、ほぼ完全な真円(absolute truth)が得られた。旋盤から出てきたタービン・ロータ軸(Spindle)は、研削盤にかけられる必要があり、3つの角があり、さまざまな形をしているように見えたが、最終的には研削盤のおかげで、驚くほど真円な仕上がとなった。また、車室の内径を完全に真円にするのは難しいことが判っていた。タービン・ロータ軸を回転させて可能な限り真円に近い状態で研削した後、木目細かい研磨剤(Emery)で車室を研削すると、この方法によって、彼らは全周 1 インチの約 1/64(約 0.4 mm)、時にはそれ以下のクリアランス(間隙)で回転することができた³²。

このように、英国は蒸気タービンを実現するための必要な条件である、熱力学、材料、加工技術の三つの条件が、1880 年には揃っていたのである。

3) 陸用蒸気タービンの発明

純粹の回転蒸気原動機である蒸気タービンを実現しようとする願望、科学および技術が十分に発達した社会的条件という環境が整っていたのに拘わらず、一般的に、エ

³⁰ 奥村正二 (1941), p. 40.

³¹ Saul (1968), pp. 206-208.

³² Parsons (1888), pp. 514-515.

この車室と回転軸のクリアランスを小さく加工可能とする技術は、蒸気タービンの実用化には必須の技術である。パーソンズに先立って、1875 年にレイノルズが圧力複式蒸気タービンの運転に成功しているが、クリアランスからの漏洩が大きいため蒸気消費量が大きく、既存の往復動蒸気機関を性能上対抗できない、と開発を中止している。補遺 1:「タービン」の定義を参照のこと。

ンジニアの間では、そういった試みは、失敗する運命にあると信じられていた³³。つまり、低圧の 1psi(0.07kg/cm²)蒸気でも大気圧へと膨張した場合、噴出する速度は、4,000ft/s(1,200m/s)を越え、これにより効率の良い回転機関とするには、毎分 38,300 回転と非常に高速となることが知られていたからである³⁴。事実、1784 年時点でも、ワットが、「酸素」の発見で有名なプリーストリーから、ハンガリーのケンペレン (Wolfgang von Kempelen) 男爵が回転機関の英国特許を取った、と聞いた時、少し不安になったものの、「それは、必然的に大きな速度で回転させなければならず、神が 1,000ft/s で動かすことができるようにしない限り、(ワット自身の特許に)害を及ぼすことはできない」と語り、その数値の根拠に関しては殆ど言わず、「(根拠となる)理論に関して話すと、彼に改善させてしまう」と言ったと伝えられている³⁵ように、蒸気の噴出特性については良く理解されていたものの、当時の技術では全く不可能であった。

したがって、1880 年頃の純粹の高速回転蒸気原動機を実現するための問題点は、高速になると回転軸が大きく振動し、時には破損してしまう恐れがある危険速度という問題と、高速の蒸気噴流によって生じる軸の回転数を如何に制限するかという点にあった。

回転軸の危険速度という問題は、織物工場のベルト・シャフト・システムや紡錘機で良く知られていた現象であったが、理論的には解明されておらず、スカイフ³⁶によれば、数学的解析は 1895 年のダンカレーの論文を待たなければならなかった。また、軸受潤滑についても 1883 年の英国機械学会の依頼によるタワーの研究を待たなければならず、実験による試行錯誤丈が問題解決の唯一の方法であった。このため、高速回転時の軸・軸受システムの危険速度と潤滑の問題を解決する必要があると、正しく把握したパーソンズは、モデル回転軸を作成し色々な軸受を使用して実験を始めたのであった。この実験については、パーソンズ自身が 1900 年に英国王立協会で発表した、「Motive Power - High Speed Navigation - Steam Turbines」という論文の中で、

³³ Eglin (1904), p. 235.

³⁴ Hodgkinson (1904), p. 288.

³⁵ Kirby, Withington, Darling and Kilgour (1990), p. 367.

³⁶ Scaife (2000), p. 160.

「40,000rpm まで回転できる試験軸で、色々な異なった形状の軸受で試験した。この軸受に小さな曲がり易さを与えれば、この途轍もない速度に到達するのは困難でなかった」³⁷と述べているが、この試験軸は、直径 1.5inch(約 38mm)、長さ 2ft(約 610mm)、軸受直径は約 3/8inch(約 9.5mm)という小さなものであった。

軸・軸受システムの問題を解決した後は、軸の回転数をいかに制限するかであった。この経緯について、パーソンズは、1900 年に次のように述べている³⁸：

蒸気タービンで想定されている以上の速度で軸受をテストした後の問題は、タービン自体であった。蒸気の流れを制御する法則は、良く知られていた…。色々な形の蒸気タービンを考えた。そこで、水車で成功した方式を原理的に採用するとともに、蒸気が一連の複数のタービンを次々と通り抜けることのできる構造の多段(Multiple)つまり複合型(Compound)に容易に対応できる方式を採用することが望ましいと考えた。

当時、水車の 3 つの良く知られていた型は、外向き半径流、内向き半径流、平行流(軸流)であった。この内、最後の平行流(軸流)が、多段或いは複合蒸気タービンに最も良く適合すると、考えられた³⁹。

目的は、適度な回転数と直径のタービン翼車で、蒸気から良好な係数の効率を得ることであるから、蒸気を多数の連続したタービンを通過させ、圧力差を小さくして一連の個々のタービンを通過させ、蒸気の流速がタービン翼の周速と適切な関係になるようにして、蒸気の最高の効率を確保することが不可欠である。これは水車の高効率に必要な条件に類似している。

パーソンズは、1887 年のノース・イースト・コースト技術者・造船業者協会(North East Coast Institution of Engineers and Shipbuilders)の講演でも、「フランシス水力タ

³⁷ Parsons (2015), p. 29.

パーソンズは、この予備実験はゲーツヘッドのクラーク・チャップマン社に入った 1884 年から始めたと言っている(Parsons (2015), pp. 28-29)が、スカイフも「多くの準備作業があった筈」(Parsons (1984), p. 21)と述べて、このパーソンズの発言に疑問を抱いている。ワットも 3 日間で完全に作動する分離復水器型蒸気機関モデルを製作したと主張しているが、この発言に疑問と持っている科学史家がいる。(Scherer (1984), p. 10)

³⁸ Parsons (2015), p. 30.

³⁹ 半径流、軸流タービンという蒸気タービンの型式については、補遺 3：「半径流蒸気タービン」と「軸流蒸気タービン」参照のこと。

ービンの類比から、蒸気の膨張を数多くの段階に分割すれば、蒸気の膨張速度は小さくなり、従って、原動機の回転数も小さくすることができると考えた」⁴⁰という趣旨を述べているが、この蒸気の膨張を多数の段階に分割するという多段膨張方式の採用により、回転数が過度でない高速回転蒸気機関である蒸気タービンが初めて実現可能となったのである。このアイデアの基になった水力タービンは、当時、理論的にも解明されており、事実、往復動蒸気機関よりもずっと大きな出力の水力タービンが実現される程発達していたのであった。

こうして、危険速度という軸・軸受システムの問題と、多段膨張方式の採用による高回転数の問題を解決したパーソンズは、1884 年 4 月に「ポンプとしても使用可能な弾性圧力により作動する回転原動機の改良(Improvements in Rotary Motors Actuated by Elastic Pressure and Applicable also as Pumps)」という題目の暫定特許を提出した。同年 10 月には完全な仕様(Specification)の特許を取得し、ここに、パーソンズによって、実用的な蒸気タービンが、初めて、発明されたのである。

4) パーソンズ陸用蒸気タービンの発展

パーソンズの最初の蒸気タービンは、出力 7.5kW、熱効率 1.6%⁴¹(蒸気消費量 129lb/kWh⁴²)で、回転数は毎分 18,000 回転であった。これは、当時、発電用に多く使用されていたウィランスの高速往復動蒸気機関の同じ条件下での蒸気消費量 40lb/kWh⁴³と較べて 3 倍強であったため、「蒸気食い」と呼ばれたのであった。

この後、パーソンズは、クラーク・チャップマン社で、自ら設計した蒸気タービンを製作・改善し、1884 年の 7.5kW から 1889 年の 75kW へと出力を増大させていっ

⁴⁰ Parsons (2015), pp. 3-4.

パーソンズは、多段膨張方式のアイデアをフランシス水車から学んだと言っており、スカイフは、このアイデアについて、「フランシスの本は 1855 年に発行されており、パーソンズは、これを注意深く読んだかもしれない。しかし、前年(1883 年)の米国訪問の間にフランシスを訪問したか、あるいは、彼の業績について気付いた可能性がある」と述べている(Scaife (2000), p. 153)。

多段膨張方式は軸・軸受システムの実験の後に決定されているので、軸・軸受システムの実験は、1884 年のクラーク・チャップマン社入社以前、つまり、1883 年には行われていた、と考えられる。

⁴¹ Bolter (1994), p. 159.

⁴² Byatt (1979), p. 110. ディキンソンも Byatt と同じく約 130lb/kWh と記載している(ディキンソン (1994), p. 225)ので、129lb/kWh を採用した。Scaife は、原型機の蒸気消費量は、200lb/kWh と記載しており、原型機と初号機を明確に区別している(Scaife (2000), p. 175)。

⁴³ Scaife (2000), p. 175.

た。更に、出力の増大を図りたい意思をパーソンズは持っていた⁴⁴が、クラーク・チャップマン社の経営陣は、この必要性を認めなかった。この意見の対立により、自身の会社を設立するため離職することを決意し、1889 年蒸気タービンを製作する C・A・パーソンズ(C.A. Parsons & Co.)社を設立し、ニューキャッスル(Newcastle-upon-Tyne)のヒートン(Heaton)に工場を建設した。更に、パーソンズの蒸気タービンの販路を確保するため、発電事業会社の設立の注力し、1889 年に、ニューキャッスルにニューキャッスル地域電灯会社(Newcastle and District Electric Lighting Co.) (以降、DISCo 社と略す)を設立した。引き続いて、1891 年にはスカボロー電気会社(Scarborough Electric Co.)を、1892 年にはケンブリッジ電気供給会社(Cambridge Electric Supply Co.)を設立した。これらの会社にパーソンズは、自ら出資すると共に、パーソンズの発明家としての技量を信じる、友人や知人の実業家、貴族、エンジニア達等からの出資も得て、これらの会社は設立されたのであった⁴⁵。

こうして、1890 年には DISCo 社フォース・バンクス(Forth Banks)発電所で 2 基 75kW が営業運転を開始した。この発電所は、世界で初めて蒸気タービンにより発電された公共発電所であるが、蒸気タービンは、パーソンズがクラーク・チャップマン社を離れる前に発注していた蒸気タービンであり、クラーク・チャップマン・パーソンズ社製の軸流タービンであった。

1891 年には、ケンブリッジ発電所の 1 基 100kW(熱効率 8.3%)パーソンズ半径流タービンが営業運転を開始し、1893 年にはスカボロー発電所の 2 基 120kW パーソンズ半径流タービンが営業運転を開始したが、この両発電所の半径流蒸気タービンは、パーソンズがクラーク・チャップマン社を離れる際、1884 年の軸流蒸気タービン特許がこの会社に残ったため⁴⁶に、パーソンズが新たに設計・開発したものであった。

1893 年には、パーソンズの軸流蒸気タービン特許をクラーク・チャップマン社から取り戻し、1894 年にロンドンのメトロポリタン電気供給会社(Metropolitan Electric

⁴⁴ 1889 年 1 月には、後に C・A・パーソンズ社の技術部長となったストウニー(Gerald Stoney)と協力し、500kW の蒸気タービン図面を作成済であった(Scaife (2000), p. 190)。

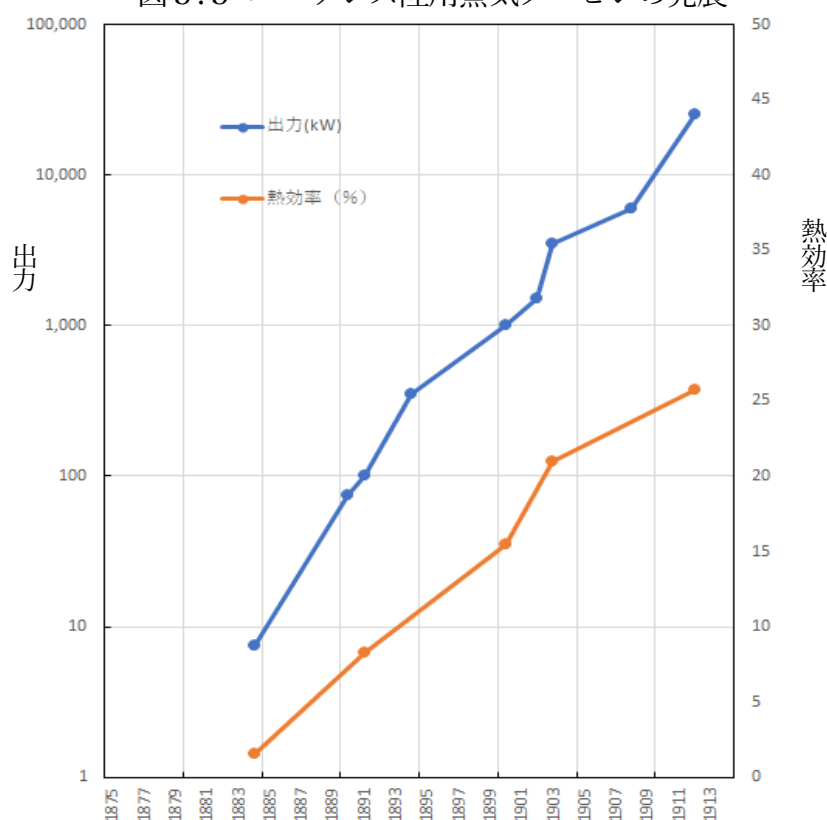
⁴⁵ Leggett (2011), p. 292.

⁴⁶ 1884 年のパーソンズの軸流蒸気タービン特許は、クラーク・チャップマン社名で取得されており、パーソンズ離職時、クラーク・チャップマン社はこの特許を保持した。パーソンズは直ぐに訴訟を起こした。クラーク・チャップマン社は、パーソンズの知識・技量なしでは、蒸気タービン技術を発展させることができなかったため、長い法定闘争の後、1893 年末 1,500 ポンドで特許をパーソンズに譲渡することで和解した(Scaife (2000), p. 215)。

Supply Co. of London)のマンチェスター・スクエア(Manchester Square)発電所に 2 基 350 kW を納入した。

パーソンズ蒸気タービンは、1900 年には、ドイツのエルバフェルト(Elberfeld)発電所に 1,000kW(熱効率 15.5%)、1902 年にはニューキャッスル電気供給会社(Newcastle-upon-Tyne Electric Supply Co.)(以降、NESCo 社と略す)のネプチューン・バンク(Neptune Bank)発電所に 1.5MW、1903 年には同社のカーヴィル(Carville) A 発電所に 3.5MW(熱効率 21.0%)、1906 年には、ロンドン電気鉄道会社(London Electric Railway Co.)のロッツ・ロード(Lots Road)発電所に 6MW、1912 年には、米国シカゴのコモンウェルス・エジソン(Commonwealth Edison Co.)のフィスク(Fisk)発電所に 25MW(熱効率 25.7%)を納入し、図 3.3 に示すように、パーソンズ陸用蒸気タービンの性能は、出力も熱効率も大きく改善されていき、次第に、往復動蒸気機関との激しい競争を経験しながら、蒸気タービンは発電用原動機としての地位を確立していったのであった。

図 3.3 パーソンズ陸用蒸気タービンの発展



(出典：Bolter (1994)および the Electric Council (1985)より著者作成)

3.2 船用蒸気タービン

1884 年パーソンズが蒸気タービンの特許を取得した際、特許に記載されている仕様には、陸用の発電用丈でなく、船舶への応用も記載されていた。

また、パーソンズ自身は、1909 年のグリーンock 哲学協会(Greenock Philosophical Society)での「The Expansive Working of Steam in Steam Turbine」と題する講演で、蒸気タービンのアイデアの歴史について述べた際、「船舶に蒸気タービンを適用するには、非常に大きな困難に遭遇する事が判っていたので、陸用のより簡単な目的に適用して成功した後に着手するのが、当然と思われた。」⁴⁷と語っている。

このように、蒸気タービンの船用への適用には、船舶の推進抵抗に打ち勝つ馬力(出力)が必要であり、また、スクリュウの最適速度と蒸気タービンの最適速度には差異があることを十分に理解し、まず、差異のより少ない発電用の陸用タービンから着手した、と思われる。陸用蒸気タービンが徐々に改善され、出力が増大して、1891 年にケンブリッジ発電所向け 100kW 復水タービンの蒸気消費量が、当時、船舶に広く使用されていた最良の複合(2 段膨張)往復動蒸気機関のそれを下廻り、発電用の原動機として確立されると、蒸気タービン駆動の実験船を実際に建造するため 1894 年に船用蒸気タービン会社(Marine Steam Turbine Co.)を設立した。

1) 経済的条件(市場のニーズ)

商船：

19 世紀第 2 半期、英国は、世界の最大の貿易業国であり、運搬国となっていた。商船のトン数は、世界の船隊の 40%を占め、造船業は事実上英国造船業の独占であった⁴⁸。この間、郵便補助金、スエズ運河の開設および北米への移民の増加により、大型化による出力増大および速力増加の必要性から、1 段膨張機関から 1870 年代中期には、英国海運業の 3 分の 2 は、2 段膨張機関の蒸気船へと移行していた⁴⁹。

しかしながら、1880 年代初期には、船用往復動蒸気機関の出力・効率とも技術的な限界に到達していると認識されており、高出力・高効率、特に、船舶用では占有空間の小さな高出力の出力密度(出力/容積あるいは重量)の高い機関が期待されていた。出

⁴⁷ Parsons (2015), p. 75.

⁴⁸ Slaven, p. 5.

⁴⁹ ヴィル, p. 72.

力密度が高いことは、速度の上昇と大型化を可能とするからである。

客船の場合、速度が速いことは、サービスの比較優位をもたらし、大型化による客数の増加は、収益の増加となる。したがって、大型化により、船の利用可能エリア/コスト(労賃)は、低下することから、速度を上げるための推進力の大きな機関が必要とされていた⁵⁰。

特に、大西洋航路の定期客船の発展は、高速化と大型化のために船用蒸気タービンを必要としていたのである。

軍艦：

英国の海軍造船将校であったフィンチャム(John Fincham)は、その著『A History of Naval Architecture』の冒頭で、「英国の海軍の覇権と商業の繁栄は、満足と希望の正当な目的である。... 英国の商業、植民地および艦隊は相互に依存しており、権力の保護・支援・能力を相互に必要としていることは、立証するための議論を必要としない命題である。... 我が国の船団の能力が、国家にとっても、商業にとっても、我が国の反映と権力の発展と進歩のための最も確固たる国家的保証である」⁵¹と述べている。アダム・スミスもその国富論の中で「グレート・ブリテンのような国では、防衛と安全が水夫と船舶の数にかかっている」⁵²と記載しているように、この思想は、19世紀後半でも引き続き保持されており、英国は海洋における覇権の保持・拡大を常に意図しており、海軍力の保持・拡大は必須であった。

ランデスも「イギリスは海事の伝統が強く、... 通商上の特権と植民地帝国とを確保することに主として努力を傾注した。」⁵³と書いている。

スミダ(Jon Tetsuro Sumida)によれば、英国は1750年には、国内生産の穀物のほぼ1/4を輸出していたが、18世紀末には、穀物の輸入が始まり、1815年には、未だ国内需要をほぼ満たす生産量であったものの、「19世紀の間の食糧需要は、都市に住む人口がほぼ4倍も拡大することによって大幅に増加し、工業製品の輸出で購入することができ、安価な外国産により供給ができることから、英国の穀物生産の急激な低下を

⁵⁰ Pollard and Robertson (1979), p. 16.

⁵¹ Fincham (1979), pp. v-1.

⁵² スミス (1968), p. 343.

⁵³ ランデス (1980), p. 65.

もたらした。そして、1895 年には、英国の小麦のほぼ 4/5 は輸入に頼っており、英国の海上航路の安全確保は生命線であった。」⁵⁴と述べているように、19 世紀末では、英国海軍の優勢の保持は、以前よりも、英国生存にとってずっと重要であったのである。

事実、表 3.1 に見られるように、穀物輸入等により、英国の商品貿易収支は輸入超過で赤字、となっているが、運輸サービスおよび海外投資からの利益がこの赤字を埋め、経常勘定収支が黒字となっていることから判るように、貿易と海外植民地の安全確保は、英国にとって最重要課題であったのである。

表 3.1 英国国際収支

第 9 表 連合王国の国際収支と資本輸出 1796—1913年
(単位：100 万ポンド)

年 (5 年間の 年平均)	純輸入額 (a)	国産品 輸出額 (b)	商品貿易 収支 (c) = (b) - (a)	サーヴィ ス所得 (d)	利子 および 配当所得 (e)	経常勘定 収支 (f) = (c) + (d) + (e)	対外資 本勘定 累積額 (g)
1796—1800	36.7	32.9	-3.8				
1801—1805	47.9	39.9	-8.0				
1806—1810	54.0	42.2	-11.8				
1811—1815	50.4	42.9	-7.5				
1816—1820	49.3	40.3	-9.0	14.5	1.7	7.2	46
1821—1825	45.4	37.3	-8.1	14.2	4.2	10.3	98
1826—1830	48.7	35.9	-12.8	10.8	4.6	2.6	111
1831—1835	53.6	40.5	-13.1	14.1	5.4	6.4	143
1836—1840	73.8	49.8	-24.0	18.6	8.0	2.6	156
1841—1845	71.0	54.0	-17.0	15.4	7.5	5.9	185
1846—1850	87.7	60.9	-26.8	22.0	9.5	4.7	209
1851—1855	116.4	88.9	-27.5	23.8	11.7	8.0	249
1856—1860	158.0	124.2	-33.8	43.5	16.5	26.3	380
1861—1865	201.2	144.4	-56.8	57.1	21.8	22.0	490
1866—1870	246.0	187.8	-58.2	67.8	30.8	40.4	692
1871—1875	302.0	239.5	-62.5	87.1	50.0	74.6	1,065
1876—1880	325.9	201.4	-124.5	93.0	56.3	24.9	1,189
1881—1885	336.6	232.3	-104.3	100.9	64.8	61.3	1,497
1886—1890	327.4	236.3	-91.1	96.5	84.2	87.6	1,935
1891—1895	357.1	226.8	-130.3	88.4	94.0	52.0	2,195
1896—1900	413.3	252.7	-160.6	100.7	100.2	40.3	2,397
1901—1905	471.5	296.9	-174.6	110.4	112.9	48.8	2,642
1906—1910	539.6	397.5	-142.1	136.5	151.4	145.8	3,371
1911—1913	623.2	488.9	-134.3	152.5	187.9	206.1	3,990

(出典：マサイアス (1988), p. 331, 第 9 表)

一方、英国は 19 世紀全般に渡り、海上で最強の強力な海軍力を保有していたものの、英国の直近のライバルであるフランスは、1850 年代、および、1870 年代に英国の海軍力に接近すると共に、19 世紀末の 3 分の 1 の間、ロシアはフランスの同盟国で

⁵⁴ Sumida (2014), pp. 9-10.

あったため、二国間標準主義(the Two-Power Policy)を取る英国にとって深刻な懸念となった。更に、ドイツ帝国の誕生に伴う、ドイツの海軍の急速な増強も懸念であった。

事実、1882 年では、英国とフランスおよびドイツとの第 1 級軍艦の隻数は、下記の通りであり、英国の主力艦はフランスおよびドイツの主力艦の合計よりもすくなくったのである⁵⁷。

英国：20 隻

フランス：16 隻＋ドイツ：9 隻

そして、1884-1885 年には、フランスと英国の第 1 級軍艦は同等となった⁵⁸。

更に、フランスやロシアの魚雷艇の導入は、英国海軍の支配力を無効にする脅威であった。このような状況の下、英国海軍は、1876 年に最初の往復動蒸気機関駆動の魚雷艇ライトニング(Lightning)号を建造したが、これは、18 ノットであった⁵⁹。魚雷の速度は約 20 ノットであったので、これでは、余りにも遅かった⁶⁰。

こうして、魚雷艇の防御対策が必要となり、速射砲や魚雷に対抗するための高速艇が必要とされていた。更に、軍艦の場合、速度が速いことは、戦術的優位性をもたらし、大型化することは、武装の量・質を高め、排水量トン当たりの砲搭載能力を上げる。したがって、コスト/砲数は減少することから、速度を上げるための推進力を得るため、強力な機関が必要とされていたのである⁶¹。

こうした帝国主義の高まりが、世界初の蒸気タービン駆動船タービニア(Turbinia)号の開発へと向けたのである。

2) 技術的条件(技術のシーズ)

パーソンズは、1909 年のグリーノック哲学協会での、まず、陸用タービンに着手し、その後、船用タービンの開発に向かうとの言明通り、1891 年ケンブリッジ発電所向け

⁵⁷ Marder (1940), p. 120.

⁵⁸ 同上, p. 120.

⁵⁹ Lyon (1980), pp. 7,11, 50, 52.

⁶⁰ Horseman (2020), p. 3.

⁶¹ Pollard and Robertson (1979), p. 16.

100kW 復水タービンの性能試験が、ケンブリッジ大学のユーイング(Alfred Ewing)教授の手により行われ、当時の最良の 2 段膨張蒸気機関の性能と同等⁶²であり、「並外れ軽量さ、振動なし、安定した制御、シンプルさ、取り扱い易さ、そしてメンテナンス・油・監視に必要とされるであろう出費は適度である」との試験レポート⁶³が出され、当時、船舶に広く採用されていた 2 段膨張蒸気機関に対する蒸気タービンの優位性が確立すると、船用タービンの開発に本格的に乗り出した。

長さ 2ft (0.6m)、次いで、6ft(1.8m)の小さなモデル船を使って多くの試験を行い⁶⁴、このデータから長さ 100ft の船舶を 34 ノットで駆動するに必要な馬力を決定した⁶⁵。こうして、蒸気タービン駆動の実験船を実際に建造するため 1894 年に船用蒸気タービン会社をニューキャッスルのウォールセンド(Wallsend)に設立したが、この会社の設立趣意書には、下記のように書かれていた⁶⁶。

この会社の目的は、パーソンズ氏の良く知られている(陸用)蒸気タービンを船舶の推進に適用するため、... 必要な資本を提供する事にある。

蒸気タービンは、軽量・小型・初期コスト低であり、ある種の分野では、通常の往復動機関よりも大きな利点がある。にも拘らず、5 年前迄は、蒸気タービンで経済的な結果を得ることは現実的でなかった。

最近、特に、この 2 年間で蒸気タービンは、発展し改善され、更に、復水式が採用された。その結果、蒸気タービンの性能は、有名なユーイング教授らにより報告されているように最高のレベルの経済性に到達している。

こうして、長さ 100ft(30m)、幅 9ft(2.7m)、排水量 44.5 トンのタービニア号の建造が始まり、蒸気タービンの出力不足、高速回転スクリューのキャビテーション問題

⁶² Garnett (1908), p. 127.

⁶³ Parsons (1940), p. 175.

⁶⁴ Bowden (1964), p. 436.

⁶⁵ Smith (1936), p. 17.

⁶⁶ Richardson (2014), p. 9.

等種々の困難に遭遇したが、これらを克服し、パーソンズは、1897 年のスピットヘッド(Spithead)の海軍観閲式でタービニア号の機関を自ら操作し、34.5 ノットという驚異的な速度を観衆の前に示した。

ここに、船用蒸気タービンの技術的条件(技術のシーズ)が確立したのである。

3) パーソンズ船用蒸気タービンの発展

商船：

パーソンズにより開発された船用蒸気タービンは、商船には、1901 年に、客船キング・エドワード(King Edward)号に初めて装備され、クライド川河口(Clyde Estuary)で運行された。この船は 650 排水トン、タービン出力は高圧タービン 1 基と低圧タービン 2 基から構成され合計 3,500 軸馬力(SHP)(2,610kW)⁶⁷であった。この出力は、既に建造した魚雷駆逐艦ヴァイパー号(合計 12,300 軸馬力)/コブラ号(合計 13,000 軸馬力)の出力以下であり、陸用蒸気タービンでは、1900 年にドイツのエルバフェルト発電所に 10,000kW を 2 基設置済であるので、技術的に対応可能であった。

この蒸気タービン推進船は、同じ航路を走行する外輪船と直接比較する事ができ、高速で振動のないタービン船は外輪船に勝ることが証明され、2 番目の蒸気タービン客船のクイーン・アレキサンドリア(Queen Alexandria)号(タービン出力 4,400 軸馬力)が発注された。その後、パーソンズ船用蒸気タービンは、英国-アイルランド間の海峡連絡船に適用されたり、1903 年最初の英国海峡ドーバー-カレー横断船の客船クイーン号(The Queen)(タービン出力 9,700 軸馬力)に装備されて発展していき、1905 年には、最初の蒸気タービン駆動の大西洋横断定期船となるヴィクトリアン号(Victorian)⁶⁸とカルマニア号(Carmania)(タービン出力 21,000 軸馬力)が建造された。これらは、いずれも、キング・エドワード号と同じ蒸気タービン構成であった。

続いて、パーソンズ蒸気タービンは、1907 年には、大西洋航路の客船ルシタニア(Lusitania)号およびモーレタニア(Mauretania)号に適用された。

1904 年に起工した排水量 40,000 トンのルシタニア号およびモーレタニア号の主機

⁶⁷ キング・エドワード号の推進軸は 3 軸であるが、推進機関としては 1 つの動力プラントであり、3,500 軸馬力 $\times 0.7457\text{kW/軸馬力} = 2610\text{kW}$ となる。

⁶⁸ Williams (1910), p. 125.

なお、最初のタービン船による大西洋横断は、1903 年にファーンネス卿(Sir Christopher Furness)のエメラルド(Emerald)号によって達成された。この航海は、船舶推進機関としての蒸気タービンが、中速および荒天時に適していることを示す重要な役割を果たした(Neilson (1905), p. 265)。

を選定する際、所有主のキュナード蒸気船会社は、英国の多くの主導的な海事エンジニアリング会社と造船会社から構成された委員会を設置し、この巨大な高速大西洋横断船に装備する主機の型に関して助言を求めた。委員会は、NESCO 社のネプチューン・バンク(Neptune Bank)発電所を訪問し、1903 年に設置された 1,500kW のパーソンズ蒸気タービンと既設の往復動蒸気機関の性能を比較し、性能の優れていた…蒸気消費量は往復動蒸気機関の僅か 4 分 3 であった…パーソンズ蒸気タービンの採用を決定した⁶⁹。

この両船には、高圧(HP)タービン 1 基および低圧(LP)タービン 1 基から構成される 37,500 軸馬力の蒸気タービンが、それぞれ、両舷に装備された。合計 75,000 軸馬力⁷⁰のパーソンズ船用蒸気タービンを装備したルシタニア号が、まず、大西洋航路の最速横断船に与えられるブルーリボン(Blue Riband)賞を、1907 年にドイツの往復動蒸気機関船ドイッチェランド(Deutschland)号から奪取⁷¹し、1909 年には、モーレタニア号が記録を書き換え、第一次世界大戦後の 1929 年迄記録を保持し続けた。

そして、1914 年には、高圧タービン 1 基、中圧タービン 1 基、および、低圧タービン 1 基から構成される動力プラント 2 基を装備した大西洋横断船アクイタニア(Aquitania)号(60,000 軸馬力)が就航したが、これは、直結型のパーソンズ船用タービンの最後の客船⁷²となった。

この後は、往復動蒸気機関と低圧蒸気タービンを組合わせた複合機関やギア式蒸気タービンが主流となっていったのである。

軍艦：

タービニア号の成功によりパーソンズは、同年、船用蒸気タービン会社をパーソンズ船用蒸気タービン会社(Parsons Marine Steam Turbine Co.)に改組し、英国海軍から 370 排水トンのヴァイパー(Viper)号と他一隻コブラ(Cobra)号、合計の二隻の魚

⁶⁹ Parsons (1936), p. 65.

⁷⁰ 推進軸は 4 軸であるが、タービンの構成は 2x(HPx1+LPx1)であることから、推進機関としては、2 基の動力プラントから構成されており、動力プラント 1 基の出力は、75,000 軸馬力/2=37,500 軸馬力 x 0.7457kW/軸馬力=2,7964kW となる。

⁷¹ ブルーリボン賞は各国の威信を賭けた競争であり、英国は 1898 年からドイツにブルーリボン賞の座を奪われていた。

⁷² 中澤 (1999), p. 520.

雷駆逐艦を受注した。

コブラ号は1899年、ヴァイパー号は1900年に完工し、それぞれ、保証速度31ノット以上の34.6ノットと36.5ノットという性能を発揮したが、1901年それぞれ沈没、霧により座礁する事故に遭遇⁷³し、蒸気タービンに起因する事故ではなかったものの、新しいタービン駆動の軍艦の発注は、しばらく、中断した。

魚雷駆逐艦コブラの船体が二つに折れる沈没事故では、乗組員67名が死亡し、14名のみが救出された⁷⁴。このため、軍事法廷が開かれ、委員会が設置されて原因の究明が実機を使って行われ、「板とリベットの欠陥」がなければ、強度は充分であったと判断された⁷⁵。

蒸気タービンに起因する事故ではないと判明したものの、1902年の4隻の3,000トンクラスの巡洋艦の発注では、3隻が通常の往復動蒸気機関で1隻がパーソンズの船用蒸気タービンを装備したアメシスト(Amethyst)号(合計14,200軸馬力)であった。1904年には、海軍省は、アメシスト号と往復動蒸気機関の姉妹艦との比較試験を行い、これによって、船用蒸気タービン船の優位が確実なものとなり、1905年新規の軍艦には、往復動蒸気機関を採用しないことが決定された。こうして、1906年には、高圧蒸気タービン1基および低圧タービン1基から構成される動力プラント2基、合計23,000軸馬力のパーソンズ船用蒸気タービンを装備した最初の戦艦ドレッドノート(Dreadnought)号が就役した。

この単一口径巨砲(All-Big-Gun)⁷⁶による重火器装備とパーソンズ船用蒸気タービンによる高速の戦艦は、従来の戦艦の設計に革新的な影響を与えたため「ドレッドノート革命」と呼ばれる。これにより、外国の海軍も英国海軍を見習い、パーソンズ船用蒸気タービンを次々と採用するようになったのである。

その後、英国海軍では、1909年駆逐戦艦ライオン(Lion)号(合計70,000軸馬力)、1912年戦艦マラヤ(Malaya)号(合計75,000軸馬力)、1914年リパルス(Repulse)号(合

⁷³ Griffiths (1997), p. 141.

⁷⁴ Jarrett (1984-85), p. 42.

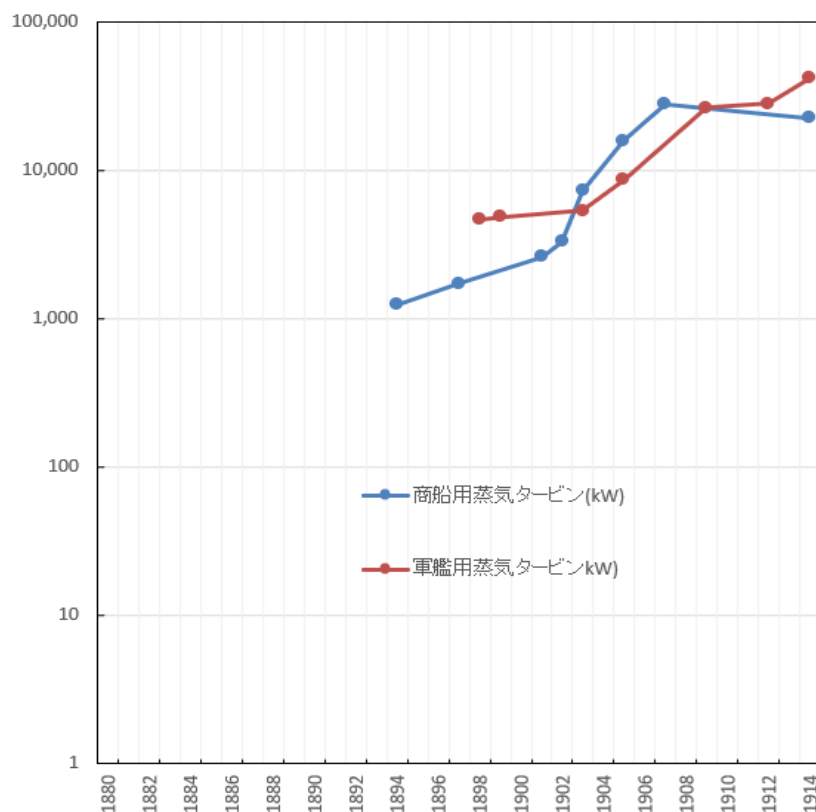
⁷⁵ Appleyard (1933), pp. 140-158.

⁷⁶ Pollard (1952), p. 108.

計 112,000 軸馬力)等々、パーソンズ船用蒸気タービンが適用された⁷⁷。

蒸気タービンの船舶への適用は、当初、陸用発電用蒸気タービンよりも遅れて適用されたため、陸用発電用に適用された蒸気タービン技術を船用蒸気タービンに適用可能であった。陸用発電用蒸気タービンの出力の増大は、蒸気圧力/温度の上昇による熱力学的改善、タービン翼(羽根)形状の改善、材料・加工技術の改善、組立技術の改善による大型化されていった。陸用蒸気タービンより大きな出力を必要となった場合、船用蒸気タービンは「蒸気タービン相似則」⁷⁸の適用により、回転数を下げることにより出力を増大させることができるため、陸用蒸気タービンの技術を適用することができた。パーソンズの船用蒸気発展の状況を図 3.4 に示している。

図 3.4 パーソンズ船用蒸気タービンの発展



(出典：Horseman (2019), Richardson (2014), Griffith (1997), Smith (2013), Stevens and Hobarrt (1906)より著者作成)

⁷⁷ Klein (1989), p. 116.

⁷⁸ 蒸気タービンの出力比は、回転数比の二乗に逆比例するという法則。蒸気タービンの出力の増加の一手法として、回転数を低下させるとその比の分丈、出力を大きくすることができる。

3.3 パーソンズ蒸気タービンの発明の『時』と『場』

パーソンズ蒸気タービンの発明の『時』と『場』に注目する理由は、シュムクラーが「経済学者は発明—および他の形態の技術の生産—を研究すべきである。というのは、それらが経済発展に大きな影響を与えるからだけでなく、全く経済活動の一形態であるからである」⁷⁹と述べ、また、『経済成長理論入門』の著者であるジョーンズも「「経済成長のエンジンとは発明」⁸⁰であると言っていることにある。工学者・技術史家の石谷も「全ての起源の問題は、その後のあらゆる発展の本質を研究する上で重要である」⁸¹と言っている。

そして、その「発明は、必要な技術と経済的条件が満足される時、適切な発明が不可避免的に現れる。... 発明は、個人と言うよりも社会により条件付けられている」⁸²と主張され、また、「発明は、... それに必要なピース、それへのニーズがあるべきところにそろったときに発明が現れがちになる」⁸³とも言われているように、この発明の『時』と『場』を考究することは、経済発展と技術進歩の相互作用を分析する上で、重要な基礎をなすと判断しているからである。

蒸気タービンは、英国のパーソンズによって 1884 年に発明され、実用化されたが、蒸気タービンは、現在でも重要な社会経済的基盤にも拘らず、蒸気タービンが「なぜ 1884 年に英国で」誕生したかについて、問われたことは殆どなかったように思われる⁸⁴。

著者とほぼ同じ問いを持ったのは、トリニティー・カレッジ機械工学科のスカイフ教授であり、その著『*From Galaxies to Steam Turbines*』の中で、「なぜ、発電機用蒸気タービンが 1884 年に発明され、1834 年や 1934 年ではなかったのか？なぜ、これを達成したのは、チャールズ パーソンズであったのか？その発明が、ベルファスト

⁷⁹ Schmookler (1966), p. 209.

⁸⁰ ジョーンズ (1999), p. 168.

⁸¹ 石谷 (1984), p. 255.

⁸² Furfey (1944), p. 144.

⁸³ ジョーンズ (1999), p. 168.

⁸⁴ 18 世紀中から 19 世紀初めの「産業革命」で重要な役割を果たした往復動蒸気機関について、その発明からその後の発展に関して、機械技術と共にその社会経済的背景が多くの研究者により多方面から研究され、詳述されているのと好対照をなしている。

(Belfast)やダブリン(Dublin)ではなく、ニューキャッスルでなされたのはなぜか？」と疑問が浮かんだと書いている⁸⁵。しかしながら、著書の中では、「なぜパーソンズが？」についての問いに対しては、ポンプと蒸気タービンが類似していることを指摘し、後にパーソンズが入社することになるキトソン社で、兄のクレア(Clere)が遠心ポンプやスクリューなどの設計に関連した水力学の諸問題に没頭していたこと、および、パーソンズ自身が魚雷の推進機構の開発に従事してことから、水力タービンとの類比を着想し、多段蒸気タービンの発明への道に繋がった、と記述しているのみで、特に、「なぜ1884年に？」との問いにも、明確な答えがないように思われる。また、「なぜニューキャッスルで？」という問いに対しても、ニューキャッスルが当時の先端工業地域で造船業が盛んであり、船舶の船内照明の需要があった、と記載されているのみで、当初の問いについての直接的な答えの記載はない。

著者は、「なぜ英国で1884年に蒸気タービンが発明されたか？」という問いについて、パーソンズ自身が述べている開発動機およびその他の関連資料に基づき、発明に至る経緯を詳細に検討した。このことから、1880年前後、当時の船舶、特に、軍艦の高速および大型化に必要な原動機が緊喫の問題であったとの仮説を提案し、論証したい。これは、従来のパーソンズの蒸気タービンが、当時の電気産業の勃興に伴って発明されたという説とは全く異なるものである。

1) パーソンズ自身の言葉による開発経緯・時期

パーソンズ自身は、色々な技術協会の会長を歴任しており、その会長就任時や、勲章受章時に講演を行ったり、また、それらの協会で蒸気タービンの発展について論文を発表している。それらは、パーソンズの甥である G.L.パーソンズ(G.L. Parsons)により『*The Scientific Papers and Addresses of the Hon. Sir Charles A. Parsons*』として取り纏められており、パーソンズ自身が、自己の発明経緯について、どのように語っているかが詳細に判る。

1900年の王立協会での講演では、「1884年ダイナモ発電機の出現と機械及び電気工学の発展により、高速機関の需要が増加した。．．．理想的な回転機関である蒸気タービンを構築する際の問題は、適度な回転速度で効率が良好で、ギアなしで、発電

⁸⁵ Scaife (2000), p. ix.

機を駆動することができることであった。... 1884 年に予備実験を(クラーク・チャップマン社のある)ゲーツヘッド(Gateshead-on-Tyne)で始めた。... その年に 10 馬力の毎分 18,000 回転の多段式蒸気タービンと改良した発電機を設計し、製作した」⁸⁶ と言い、発電が蒸気タービンの開発目的であったと、述べている。そして、「蒸気タービンの最も重要な分野は、疑いなく、船舶の推進であり... 1892 年に製作された多段式蒸気タービンは理想的な船用機関となる、と思われたので、1894 年に蒸気タービン推進の船舶を開発する共同出資会社を設立した」⁸⁷と述べている。

1905 年の土木学会での講演では、1885 年に、蒸気タービンの製作を計画的に開始し、設計と構造の詳細を次第に改善していき、1892 年には復水器を使用したことにより、蒸気消費量は大幅に減少することができ、当時の複合往復動蒸気機関と競争できるようになった⁸⁸、と述べている。

1909 年のグリーンock哲学協会(Greenock Philosophical Society)での講演では、「船舶に蒸気タービンを適用するには、非常に大きな困難に遭遇する事が判っていたので、陸用のより簡単な目的に適用して成功した後に着手するのが、当然と思われた」⁸⁹と、船用タービンの開発が当初より開発目標であったことを示唆している。また、蒸気の静圧力の変化から動力を得る容積型原動機の往復動蒸気機関と異なり、蒸気タービンは蒸気の動圧力の変化を利用する高速の速度型原動機であるので、「1880 年以前の状況下では、そのような高速機関の用途はなく、蒸気タービンの商業的導入は事実上不可能であった」⁹⁰とも述べている。

そして、1894 年には、陸用の 200 馬力(HP)の復水タービンで得られた結果から、タービンの原理を船舶の推進に適用することが正当化されると思われた⁹¹、と語っている。

⁸⁶ Parsons (2015), pp. 28-30.

⁸⁷ 同上, pp. 31-32.

⁸⁸ 同上, p. 75.

⁸⁹ 同上, p. 75.

⁹⁰ 同上, p. 76.

⁹¹ 同上, p. 79.

1911 年までの蒸気タービンの発展に関して講演した Rede Lecture では、パーソンズは、1884 年に蒸気タービンに取組んだ際には、タービンが原動機として一般的に受け入れられるためには、適度の表面速度と回転速度が必須と思われたため、蒸気圧力が少しずつ何段ものタービンで順次降下するように多段式を採用すると、圧力降下が小さくなるので、水力タービンとの類似で蒸気が同じように非圧縮流体として挙動し、高い効率が得られると考えたこと、また、これにより、よく知られていた高速の蒸気による金属の切断効果も回避できると考えた⁹²、と述べている。

1922 年のマンチェスター文芸哲学協会(Manchester Literary and Philosophical Society)での発表では、1846 年頃にウィルソン(Wilson)らにより、多段式蒸気タービンのアイデアはすでに提案されていたが、「1884 年私がこの興味深い作業に取り掛かるまでは、この原理にもとづくタービンは出現しなかった」⁹³と述べ、ここでも、1884 年に蒸気タービンの開発に着手したように言及している。また、1880 年までに、往復動蒸気機関は圧力および膨張比の上昇により出力・効率を高めてきたものの、摩擦損失・製造コスト・保守コストが過大となり、その経済性はほぼ最大に到達していたのである、と断言している。

1924 年の英国物理学会(The Institute of Physics)の会長挨拶では、蒸気タービンの開発を研究事例として取り上げ、開発には新しいデータの収集が必要であり、このために、予備的な実験を高速の軸および軸受で行ったこと、および、データを完全なものとするために、小さなタービンを初期設計の発電機と結合し、蒸気流れの定数、軸の摩擦損失、発電機電機子や導体のヒステリシス損失や渦損失を大まかに調査した⁹⁴、と述べている。

1924 年の第 1 回世界動力会議では、「現代の多段式蒸気タービンは、陸用に 1884 年に開発を開始した。最初は、「蒸気食い」と呼ばれたが、直ぐに改善され、次第に且つ確実にサイズは増大し、1892 年には最良の発電用往復動蒸気機関と蒸気および石炭の消費の点でライバルとなることができた。1894 年-1897 年の期間に、船舶の推進の分

⁹² Parsons (2015), p. 107.

⁹³ 同上, p. 157.

⁹⁴ 同上, p. 166.

野にも進出した」⁹⁵と発表している。

パーソンズとともに「タービニア号」の開発を行い、後に、C・A・パーソンズ社(C.A. Parsons & Co.)の技術部長となったストウニー(Gerald Stoney)は、パーソンズとの共著論文で、「1884 年ダイナモ発電機用の経済的な高速機関へ開かれている分野を認識して、パーソンズ氏は、蒸気タービンが理論的に、この目的の為に採用すべきものであると結論に到達した。得られる効率は、フランスの水力タービンから評価した。最初の 10 馬力の軸流タービン発電機が 1884 年に製作される前に、適切な軸受の設計により、タービン翼が小さな間隙で作動出来る手段は勿論、実際の作動条件で、非常に高速で回転する長い軸の挙動が、実験的に調査された。このタービンと発電機 ... の作動は、満足の行くものであった」⁹⁶と述べ、蒸気タービンの開発時期を 1884 年とし、その前には種々の実験を行った、と書いている。

このように、パーソンズ自身による発言からは、蒸気タービンの発明の経緯および時期について、確定することができない。

パーソンズ自身の言葉ではないが、パーソンズの友人で、1929 年モザンビークのベイラ(Beira)からケニアのモンバサ(Mombasa)まで航海を共にした⁹⁷スミス卿(Sir Frank E. Smith)は、1936 年のノース・イースト・コースト技術者・造船業者協会の第 1 回パーソンズ記念講演で、下記のように述べ、パーソンズは当初から船舶に蒸気タービンを適用することを念頭に置いていたと述べている⁹⁸：

最初期の段階では、復水器のない蒸気タービンはコンパクトで便利であったが、効率が良いとは言えなかった。蒸気を大量の消費することから「蒸気食い」と呼ぶ人もいたほどであった。しかし、彼は当初から、蒸気タービンを戦艦や大西洋横断客船に使用することを念頭に置いていた。そして、燃料消費の点で往復動蒸気機関よりも蒸気タービンの方が優れていることを確認すると、蒸気タービンの良さを海軍や商船に

⁹⁵ Parsons (2015), p. 171.

⁹⁶ Parsons and Stoney (1906), p. 10.

⁹⁷ Smith (1936), p. 5.

⁹⁸ 同上 (1936), p. 16.

納得してもらうために奔走した。

スカイフは「パーソンズは、蒸気タービンの詳細設計に実際にどのように到達したかについては、もっとも信頼したメンバーであっても誰にも話さなかった」⁹⁹ とストウニーの言葉を引用している。そして、クラーク・チャップマン社での短い雇用の期間に蒸気タービンを考案したとは信じ難い、とも述べ、クラーク・チャップマン社に参加する前に何等かの開発作業を実施していたものと推測している¹⁰⁰。蒸気タービンの発明時期については、「完成された機械が最初に何時運転されたが判らないが、1884年であることは間違いない」¹⁰¹と記すのみで、1884年の何時の時期かについては不明としている。

N.C.パーソンズも「パーソンズ蒸気タービンは、初めての実用的な高速のタービン発電機であるが、アイデアをどのように組み合わせたかについては、情報は乏しい。彼は常に熱心且つ実践的な実験を行っているので、多くの準備の業務があったはずであるが、それに言及した文献は殆どない」¹⁰²と書いており、1884年の特許申請の前に予備的な実験を時間を掛けて行ったと考えている。

2) 発明に至る経緯

これまでの先行研究およびパーソンズ自身の発言とパーソンズの身近な人々の証言から、発明に至る経緯は下記のようなものであった、と考えられる。

経緯1：ケンブリッジ卒業(1877年)からキットソン(Kitson)社離職(1883年)まで

パーソンズは、アイルランドの貴族である第3代ロッセ(Rosse)伯爵の6番目の最も下の息子であり、1877年ケンブリッジ大学を優秀な成績で卒業した。ケンブリッジ卒業後直ぐ、当時、世界のトップの兵器製造会社である、英国北東部の都市ニューキャッスルにあるアームストロング社(W.G. Armstrong & Co.)に入社する前に、回転軸の半分の速度で高速で回転するシリンダーを持つ対向ピストン・シリンダー回転蒸気

⁹⁹ Scaife (1984), p. 5.

¹⁰⁰ 同上, p. 6.

¹⁰¹ Scaife (2000), p.173.

¹⁰² Parsons (1984), p. 21.

機関に関する最初の特許 2344 を取得したが、1878 年には追加の特許 4266 も取得している¹⁰³。

G・L・パーソンズの著書『*The Scientific Papers and Addresses of the Hon. Sir Charles A. Parsons*』の文頭には、レーリー卿(Lord Rayleigh)が、パーソンズとの思い出(Some Personal Reminiscences of Sir Charles Parsons)と題の文章を寄稿している。その中で、ケンブリッジ時代にパーソンズのボート仲間が、彼の部屋を訪問した際、パーソンズが、息を吹きかけると回転する紙のモデルを見せ、「私はここに、今日のどのエンジンよりも 20 倍速く動くエンジンを持っている」と話していた、とその仲間の一人から聞いたと書いている¹⁰⁴。そして、スカイフは、これは羽根車であり、「ケンブリッジ在学中に高速機関、多分、タービンを構想していた。」と述べている¹⁰⁵。

パーソンズは、ケンブリッジ大学卒業と同じ年に、W.G. アームストロング社のエルズウィック工場(Elswick Works)で、“特別研修生(Premium Apprentice)”として働き始めた。「彼のような社会階級のものが、研修生となるのは珍しいことであったが、後々、管理職が得られることを期待して、このために、£600(今日の約 US\$60,000)を支払った」¹⁰⁶とのことである。この研修生の期間に、ケンブリッジ在学中に考案し、特許を取得していたエンジンを改良し、7,000rpm で回転しシーメンス社のダイナモ発電機と直接結合する 10 馬力(HP)の対向ピストン・シリンダー回転蒸気機関を製作した。彼は特別研修生であり、工場での工作に対し費用を払えば、自由に時間を使うことが出来たのである。これは、この工場の棧橋のアーケ灯の照明源として用いられた¹⁰⁷。

アームストロング卿はこの蒸気機関に興味を示さなかったため、1881 年兄のクレアが重役をしていたキトソン社に入社し、そこで、船舶や自家用発電所向けの発電機及びポンプ駆動用の 10-20 馬力(HP)機関を製作し、1881-1883 年の間に約 40 台が販売

¹⁰³ Scaife (2000), pp. 134-135.

¹⁰⁴ Parsons (2015), pp. xviii.

¹⁰⁵ Scaife (1984), p. 8 および Scaife (1985), p. 139.

¹⁰⁶ Marsh (2019), p. 2.

¹⁰⁷ Appleyard (1933), p. 26

Klein (1988), p. 55.

された¹⁰⁸。この機関は、ブラザーフッドの高速回転蒸気機関よりも蒸気消費量は少なく優れたものであったが、後に現れるウィランスの高速回転蒸気機関より劣ったため敗退することになった¹⁰⁹。

この時期のことを、パーソンズは 1927 年に回顧し、下記のように記している：

私は、特許を取った小さな機関(Epicycloidal)を持っていたーこれは、ケンブリジ在学中に紙、シールワックス、及び、鋼線でモデルを作ったものである。

このアイデアは、シーメンスから取ったもので、銀製のボールが直線状に動き、歯車に外転サイクロイドの動きを与え、これが、二重直径の内部歯車とのギアで回転し、小さな車輪の周囲上の点が直線で往復運動する。この機関は、アームストロング社で製作したが、特別研修生として、私は、この機関の製造に関して、アームストロング社で行ったいかなる作業に対して、現金で支払うと言う条件で、作業する事が許されていた。これは、複合機関で、外転サイクロイドの構造原理に従って、クランクシャフトの高速回転で、シリンダーがトラニオン上で回転した。

この機関をアームストロング社に申し出たが、アームストロング社は取り上げるのを辞退した。しかしながら、当時、兵器工場の副支配人(Under-Manager)であったクロス(William Cross)氏…クロス卿の甥…が、兵器工場の機械工場(Millwright Shop)を運転するのに使った。

私の兄のクレア(R. Cere Parsons)は、エリス(Erith)のイーストン・アンダーソン(Easton & Anderson)社のスタッフであったが、彼らはポンプを駆動するのに高速機関を所望しており、私の所有物の一つをそこに送った。

一つ或いは二つがイーストン&アンダーソン社で製作され、良い結果を得た。クレアがキットソン社に参加した後には、すぐに、(キットソン社が)製作を引け受けた。

私は、契約条項を忘れたが、現金の支払いはなく、少額のロイヤリティが支払われた。

後で判ったことだが、当時、イーストン・アンダーソン社のアンダーソン(William Anderson)卿は、アームストロング社の役員で、橋梁及び水力部門の責任者であったウ

¹⁰⁸ Parsons (1940), pp. 170-171.

¹⁰⁹ Appleyard (1933), p. 45.

エストマッコット(Percy Westmacott)氏と仲が悪く、ウエストマッコットは、非常に怒り、自分の承認なしに送るべきでなかったと言った。これが摩擦を生み、私は、アームストロング社を去り、キトソン社に行くことになった¹¹⁰。

この時、アームストロング社で始めた火薬から発生するガスにより駆動される回転機 (Spinner) を装備した魚雷の開発をキトソン社に移ってから続けたが、この回転機は、ガスタービンであり、これが、純粹に回転する機関である蒸気タービンの発明へと向かわせた¹¹¹、と言われているが、魚雷そのものの開発は、火薬の不安定性により、開発を放棄している¹¹²。

蒸気タービンの特許を取得した 1884 年の 3 年前の 1881 年に、パーソンズは著名な科学者・エンジニアの協会である英国学術協会(British Association)に入会しており、その年の 8-9 月にヨーク(York)で開催された年次総会にパーソンズは参加している¹¹³。そこで、往復動蒸気機関は、「たとえ蒸気機関が実用上期待できる最大限の改良がなされたとしても、貴重な召使ではあるが、無駄なものであると判断せざるを得ない。また、代わりとなる有用な他の形態の熱力学的機関の見込みもないと思われるので、熱よりも他の種類のエネルギーの方が動力として役立つのではないかという疑問が生じる」¹¹⁴と、機械科学部門の部門長であったアームストロング卿が部門長演説の中で言うのを、パーソンズは聞いている。また、同じ集会でストックトン・アンド・ダーリントン鉄道向けに機関車を製造した、当時、絶対的な権威をもって発言し工学界の法王といわれていたブラムウェル(Fredrick Bramwell)卿も「過去半世紀の機械工学の発

¹¹⁰ Parsons (1927).

¹¹¹ Scaife (2000), p. 145.

1895 年米国ウェスティングハウス社(W社)のパーソンズ特許購入に伴い、1896 年米国 W 社に派遣され、後に米国の蒸気タービンの父と称されるホジキンソン(Hodgkinson)は、「そもそもチャールズ卿が蒸気タービンの可能性に注目したのは、アームストロング卿の下での修業時代に行ったロケット(推進魚雷)の実験がきっかけで、ノズルを通過するガスの膨張力に気付いた時だったと思うが、これについては、誰もこれまで指摘していない」と言っている(Hodgkinson (1935), pp. 524-525.)。

¹¹² Scaife (2000), pp. 145, 160.

¹¹³ Smith (1936), p. 5.

¹¹⁴ Armstrong (1882), pp. 769-770.

展」と言う題目で講演しており、下記のように述べるのも聞いている¹¹⁵：

ガスによる動力の伝達 ... ガス機関には大いなる将来があると考えている。 ... これからは、燃料を利用する方法は、恐らく蒸気機関ではないと思う。 ... このような燃料からの発電方法の変化は、間近に迫っているように思われる。すぐにではないにしても、それほど遠くない時期に。 ... 今日、英国学術協会の機械部門が、蒸気機関が過去のものになるという単なる遠い見通しを残念に思ったとしても、50年後にここで会った人たちが、博物館で見られる珍品という特徴以外に、この原動機のことを語るかどうか、私は大いに疑問に思っている。

また、1936年の第一回パーソンズ記念講演(Parsons Memorial Lecture)で、国立物理研究所(National Physical Laboratory)のスミス卿は、パーソンズの蒸気タービンについて語っており、その中で、1881年には、アームストロング卿やブラムウェル卿のような当時の一流のエンジニア達が、蒸気機関は時代遅れを考えていた、と紹介している¹¹⁶。また、東京帝国大学でも教鞭を取ったケンブリッジ大学のユーイング教授は、パーソンズがクラーク・チャップマン社に加わった同年の1884年に、ガス機関は将来の改善のずっと大きな余地があるが、蒸気機関は、「その効率を増加させることが全く期待できない程改善されて来ており、僅かに増加することさえ不可能である」と意見を述べたとのことである¹¹⁷。また、同じ年に、後にノーベル物理学賞を受賞することになるレイリー(Rayleigh)卿も、蒸気機関の効率は、改善の余地のないほど高いと評価していた、とスカイフは書いている¹¹⁸。

このように、1880年には、往復動蒸気機関の性能(出力および熱効率)は限界に達していると認識されており、これに代わる原動機が囑望されていたが、当時のエンジニア達が蒸気機関に代わる原動機として将来を期待していたのは、1876年にドイツ人オ

¹¹⁵ Bramwell (1882), p. 505.

¹¹⁶ Smith (1936), p. 5.

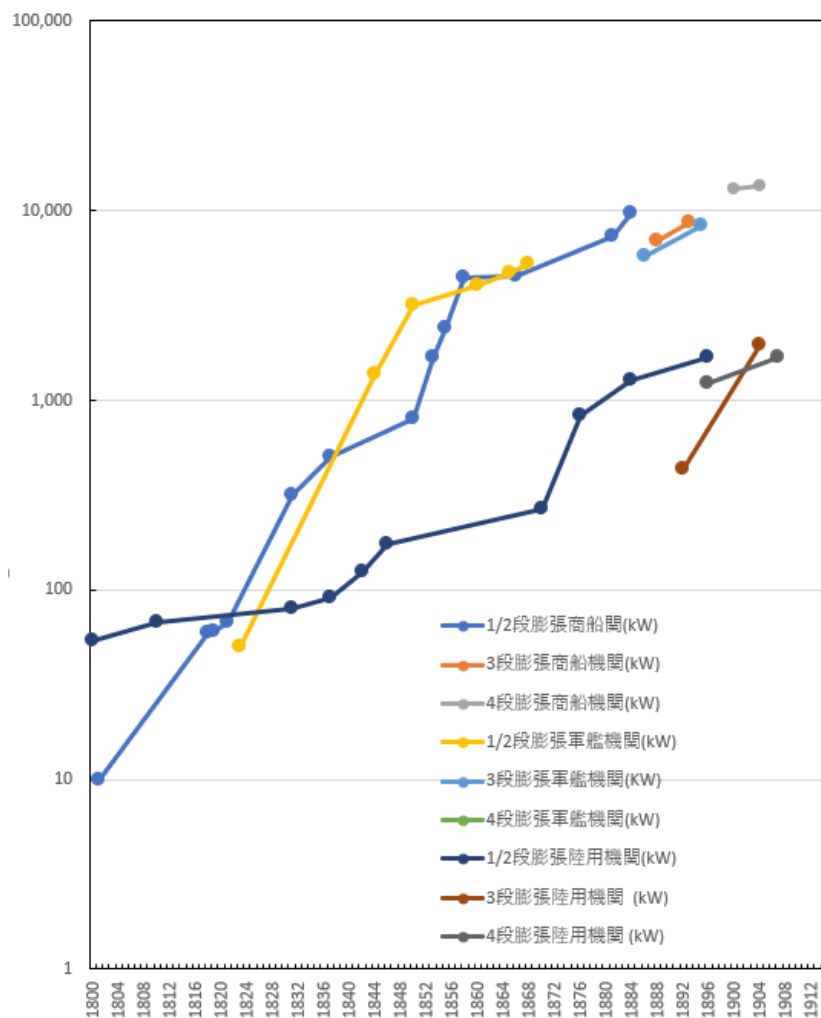
¹¹⁷ Parsons (1987), p. 368.

¹¹⁸ Scaife (2000), p. 151.

ットーが発明した都市ガスを燃料として使用するガス機関であった¹¹⁹。

また、これらの一流のエンジニアおよび科学者が改善の余地のないほど精緻化され、限界に達しているという往復動蒸気機関は、図3.5に示すように、陸用の往復動蒸気機関ではなく、船用の蒸気機関であったのである¹²⁰。

図3.5 陸用往復動蒸気機関と船用往復動蒸気機関の出力



(出典：Encyclopaedia Britannica (1926), 石谷(1957), Kirkaldy (1970), the Electric Council (1985), Griffiths (1997), Smith (2013)より著者作成)

¹¹⁹ Ireland (1954), p. 4.

¹²⁰ 1880年頃、限界に達していた往復動蒸気機関が船用機関であることについては、これまで、誰も指摘していない、と思われる。

このことは、当時のエンジニアにとっては常識であったと思われるが、現在まで、改善の余地のないほど精緻化され、限界に達していたという往復動蒸気機関が、船用の往復動蒸気機関であったことを指摘した者は、寡聞にして知らない。

1881 年 8-9 月に開催された英国学術協会に出席した直後の 1881 年 10 月 20 日から始まる「ガスタービン」というタイトルのノートが残っており、「このノートの最初の所には、現在ある市場にある全てのガス機関の欠点について、

(1)大きな重量及びコスト高

(2)注意深い監視が必要で故障しやすい

と書かれており、蒸気機関に代わる原動機は、ガス機関ではなく、彼は成功する機械は高速で運転される必要があり、重量は軽く、連続的な熟練した監視が必要でないことであると気付いていた。この目標は、この目標をやがて達成するが、それは、内燃機関ではなく、蒸気タービンであった」と、スカイフは述べている¹²¹。

このノートには、「多分、タービン翼車とタービン翼のスケッチを含んでいる」とも言われ¹²²、ストウニーは、1881 年から 1883 年の間のキトソン社での魚雷の研究が、「蒸気タービンへの概念に繋がって行った明白である。パーソンズは、小圧力差の下での蒸気の流れと水のような非圧縮性流体と流れとの間のアナロジーに気付くことにより着想した。このことは、彼自身述べているが、彼は、与えられた条件で実際の機械の詳細な設計にどのように到達したかを、最も信頼するスタッフにさえも、誰にも話さなかった。」と言っている¹²³。パーソンズにインタビューしたバイウォーター(H.C. Bywater)は、「この期間(注：キトソン社入社)の前に、彼の考えは、効率的かつ経済的な運転という点で往復動機関を上廻らない場合であっても、特定のクラスの作業では、競争相手になるであろう蒸気タービンを設計する可能性にすでに向いていた。」¹²⁴と書いている。

パーソンズは 1883 年 1 月 10 日に結婚したが、妻のキャサリン(Katherine)は、パー

¹²¹ Scaife (2000), pp. 147-148.

¹²² Parsons (1984), p. 23.

¹²³ Stoney (1938), p. 248.

¹²⁴ Bywater (1922), p. 237.

ソンズについて、「チャールズは魚雷に非常に熱心で、数日間のハネムーンの後、機械工と私をラウンドヘイ湖(Roundhay Lake)に朝 7 時にいつも連れて行くのでした。魚雷(の実験)に何時間も使い ... 私は、岸で震えていた。チャールズは既に、蒸気タービンのアイデアを考えていました。彼は、厚紙の羽根をシーリングワックスで止めた木綿糸車でモデルを作っていましたから。」との手紙を、パーソンズの蒸気タービンの性能試験を数多く実施したケンブリッジ大学のユーイング教授に、パーソンズが亡くなったすぐ後に、書き送っている¹²⁵。また、スカイフも、「魚雷の実験を 1883 年迄継続したが、この期間にタービンのアイデアが現実化した。... ロケット魚雷の実験が蒸気タービンの成功への道を開いた。」¹²⁶と書いている。

経緯 2：クラーク・チャップマン参加(1884 年)以降スピットヘッド観閲式まで(1897 年)

1884 年 2 月 1 日¹²⁷にニューキャッスルのクラーク・チャップマン社に副共同経営者として参加したが、その約 2 か月後の 4 月 23 日には、暫定特許 No.6735 を申請し、1884 年 10 月 22 日には、詳細図面を添付して完全な仕様を提出している。このスペックについて、蒸気タービンの教科書の著者として有名なネイルソン(R.M. Neilson)は、「(この特許に書かれてある)仕様を読んだエンジニアは、多くの同じような先行特許と比較して、直ぐに、ここに記述された原動機は明らかに実用性があると、強く感じた筈だ」¹²⁸と述べているほど完成されていた。

この最終特許に添付されている詳細図面¹²⁹を図 3.6 に、パーソンズ蒸気タービン初号機の写真¹³⁰を図 3.7 に示しているが、これらを比較すると、軸受配管(図 3.6 の r_3 は給油配管、 r_4 は排油配管)に至るまで詳細が一致していることが判る。

¹²⁵ Ewing (1931), p. 130.

¹²⁶ Scaife (1984), p. 8.

¹²⁷ Horseman (2019), p. 3.

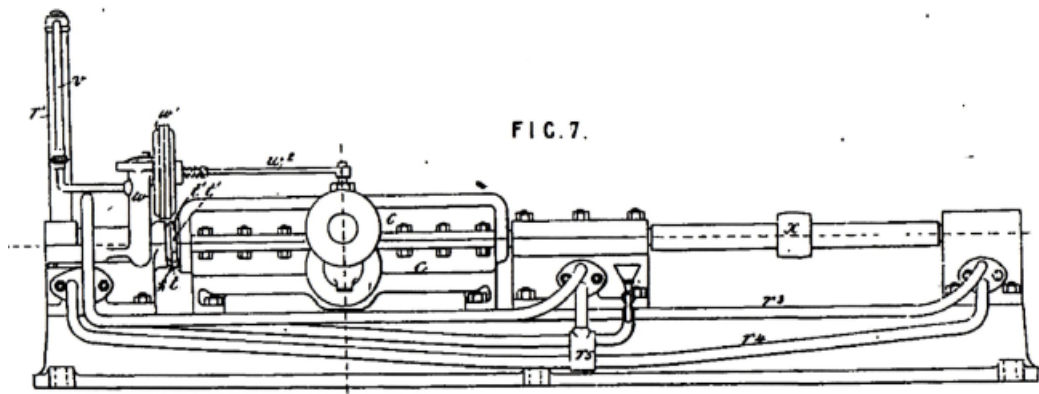
この日付けについては、N.C. Parsons は 1 月 1 日といっている(Parsons (1987), p. 360)。

¹²⁸ Neilson (1903), p. 38.

¹²⁹ Parsons (1884), Patent No. 6735.

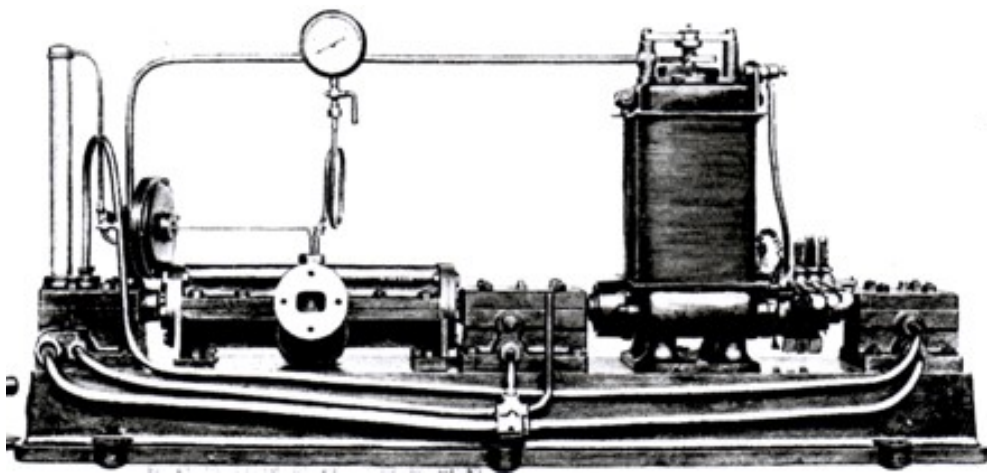
¹³⁰ Parsons (1948), p.11.

図3.6 パーソンズ特許蒸気タービン図面



(出典： No.6735 (1884) 添付図 Fig.7)

図3.7 パーソンズ蒸気タービン初号機写真



(出典： Parsons (1948), p.11)

このことから、完全なスペックが提出された10月22日以前に、パーソンズ蒸気タービンは、既に製作完了していた、と断定できる。

事実、ニューキャッスルに1884年11月28日創立されたノース・イースト・コースト技術者・造船業者協会の設立総会で、マーシャル(F.C. Marshall)が、「2週間前に、シリンダーがなく、毎分16,000回転で動く、通常の高圧蒸気機関と同じくらいの効率で、仕事を行う機関を見たものがある」と報告しており、「この創立総会での発言は、

わずか7ヶ月前に特許を取得したパーソンズ・タービンが稼働する形で存在していたことを、初めて公に発表したものであるのは間違いない。」と、クラーク(J.F. Clarke)は述べている¹³¹。

また、当時アームストロング社のエルズウィック工場の研修生(Pupil)であった、後にパーソンズの協力者となるスウィントン(A.A. Campbell Swinton)も、クラーク・チャップマン社の工場で、驚く程小さな機械を見ており、この機械と同型機が、タイン蒸気船会社(Tyne Steam Shipping Co.)のパーシ卿(Earl Percy)号に設置された¹³²、と証言しているが、パーシ卿号に設置されたのは、16,000 rpm で回転する第2号機¹³³で、1885年2月に設置されたものであり、蒸気タービン発電機による最初の船内照明であった¹³⁴。

このことから、18,000rpm 機である初号機は、最終特許が提出された10月22日以前に完成されていたことは間違いない。1885年5月から開催されたロンドンでの発明博に5号機が出品されており¹³⁵、この間、クラーク・チャップマン社では、短期間の間に数台製作されたことが判る。

パーソンズの特許 No. 6735 の暫定仕様と最終仕様の比較を表3.2に示す。

暫定仕様には、翼長はディスク巾の約3分の1と記載されており、軸受はワッシャー方式およびブッシュ方式が記載されているが、初号機にはワッシャー方式が採用された。また、スラスト・バランスのための中央流入方式や制御方法まで詳細に記載されている。最終仕様では、暫定仕様には記載されていなかった翼の形状とか取付角度・ピッチが追加記載されており、ワッシャーの動き代も100分の1インチと記載されていることから、暫定仕様書の提出前の1884年4月23日までには、パーソンズ蒸気タービンの原型機は、完了していたのは確実と思われる¹³⁶。また、最終仕様では、半径

¹³¹ Clarke (1984b), p. 89.

¹³² Swinton (1907), p. 267.

¹³³ Thurston (1900), p. 181.

¹³⁴ Scaife (2000), p. 177.

¹³⁵ Scaife (1988), p. 17 および Scaife (2000), p. 179.

¹³⁶ Scaife は、原型機の蒸気消費量は、200lb/kWh と記載しており、初号機の 129lb/kWh と明確に区別している。パーソンズはクラーク・チャップマン社に参画後、初号機の製作に着手したものである(Scaife (2000), p.175)。

流タービンは削除されているが、これによって、後になってパーソンズが、クラーク・チャップマン社と袂を分かち、軸流タービン特許を使用できなくなった後、半径流タービンの採用が可能となったのであり、不幸中の幸いであった。

表 3.2 暫定仕様と最終仕様の比較

1884年4月23日 暫定仕様	1884年10月22日 最終仕様
多段式軸流タービン (翼長はディスク巾の約1/3)	同左 翼形状、取付角度、ピッチ等の説明追加
多段式半径流タービン	— (削除)
複流タービン (スラストバランスの為)	同左
スラスト軸受	同左
摩擦ダンピング軸受 (ワッシャー方式、及び、プッシュ方式)	同左 (ワッシャーの動き代1/100インチの追
軸搭載遠心ポンプ (強制潤滑油方式)	遠心ポンプにスクリュウポンプ追加
軸搭載吸込ファン (潤滑吸込)	同左
蒸気タービン速度制御 (軸搭載吸込ファンとダイヤフラム/ピスト	同左
グラント (タービン軸貫通部からの蒸気漏洩防止)	同左
応用分野：	応用分野：
ポンプ (加圧用等)	同左 (高圧アキュムレータ充填用等)
圧縮機およびガスタービン (ガスタービン翼の根本部の冷却)	同左 (ガスタービン翼内部に冷却穴加工)
— (記載なし)	船用推進 (推進軸への数個のプロペラの取付け等)

(出典： 特許 No. 6735(1884)より著者作成)

更に、応用分野として、船舶の推進用が追記され、蒸気タービンが高速の為、スクリュウプロペラを数個取付け、プロペラへの負担を軽減する方法迄記載していることから、船用への応用は、当初より、パーソンズの念頭にあったことは確実である。このことは、グラスゴー大学の教授のバイルズ(J.H. Biles)の記述からも明らかであると思われる：

1888 年、船舶の照明のための発電機を駆動する機関の型を選択しなければならなかった。パーソンズは私を訪れ、2 台の彼の蒸気タービンを発注するよう説得された。以

前、私はそれを使ったことがあったが、余り満足のいく結果ではなかった。会話の中で、私は、彼に船舶を推進するのに、何故、蒸気タービンを搭載しないか、と尋ねたが、彼の回答は、静かな微笑みであった。

私は蒸気タービンを設置することにしたが、この試みは成功であった¹³⁷。

1889年12月パーソンズは、クラーク・チャップマン社との共同経営を解消したが、この理由は、「より大型のタービンの建造に素早く移行する必要性に関する不一致によるもので、タービンに対するパーソンズの主観的な生産的機会は、リスクと避けられない不確実性が大きすぎると感じたパートナーとは異なっていたからである。米国では、2,000カ所近く中央発電所が建設されていたのに比べて、英国では、ほんの一握りしか設置されていなかったのもので、クラークとチャップマンが大型タービンの製作を拒否したのは堅実であった。更に、ガスからの強力な競争があり、電気は、街路灯と言う限定された応用のみであったからである。」¹³⁸と、ニューキャッスル大学ビジネス・スクールのマックガバン (Tom McGovern) とマックリーン (Tom McLean) は述べ、当時の英国の電気市場は小さく、クラーク・チャップマン社の判断は妥当であった、としている。

しかしながら、パーソンズが大型化を切望していたのは、発電機駆動用の蒸気タービンではなく、船舶を推進するための蒸気タービンであったのである。これは、クラーク・チャップマン社に在職中から、船用蒸気タービンの開発を手掛けていたことから明白である。

1911年に初版が発行された、パーソンズの蒸気タービンの発展を記述した本『*The Evolution of the Parsons Steam Turbine*』の中で、著者であるリチャードソン (Alexander Richardson) は、下記のように記載している¹³⁹：

パーソンズ氏が船用問題の研究を始めたのは、初期のダイナモ駆動用タービンを製

¹³⁷ Biles (1906), p. 1.

微笑みは、船舶への適用を考えていた意図を図星を指された反応であった、と考えている。

¹³⁸ McGovern and McLean (2013), p. 454.

¹³⁹ Richardson (2014), p. 69.

造していた(クラーク・チャップマン・パーソンズ社の)ゲーツヘッド工場であり、...
彼が最初に設計したスクリュ・プロペラを駆動するタービンは、タンデム(Tandem)
型¹⁴⁰で、出力は 200 馬力、タービン車室は 2 つに分かれていた。膨張の約半分はそれ
ぞれのタービンで行われ、蒸気は二つの車室間の配管を大気圧程度の圧力で流れるこ
とになっていた。この蒸気タービンでプロペラを駆動した場合、1 指示馬力あたり約 13
ポンドの蒸気を消費すると推定されていた。しかし、この蒸気タービンは、... パート
ナーシップの難しさのために作られることはなかったのである。

こうして、1889 年パーソンズは自分自身の蒸気タービン製作会社、C・A・パー
ソンズ社をニューキャッスル郊外のヒートンに設立したが、軸流タービン特許権は、ク
ラーク・チャップマン社が保持したため、半径流タービンを開発し、1892 年に、自分
自身が出資したケンブリッジ(Cambridge)発電所に 100kW パーソンズ半径流タービ
ン 1 台を、1893 年には、スカボロー(Scarborough)発電所に 120kW パーソンズ半径
流タービン 2 台を納入した。ケンブリッジ発電所は、復水式タービンであり、その性
能試験は、ユーイング教授により実施されたが、その性能は、当時の船舶の推進機関
である、2 段膨張蒸気機関と同等、あるいは、同等以上の性能であった¹⁴¹。

この後、パーソンズは、船用タービンの開発に本格的に乗り出し、1894 年船用蒸気
タービン開発のため、船用蒸気タービン会社を設立し、タービニア号の建造に取り掛
かった。船用蒸気タービンの開発では、プロペラ・キャビテーションの問題、半径流
蒸気タービンの出力不足等の困難に遭遇した。しかしながら、1893 年に軸流タービン
特許を取り戻し、これを適用したマンチェスター・スクエア発電所 350kW パーソ
ンズ軸流タービンの良好な性能試験の結果が判明したため、軸流タービンに換装する

¹⁴⁰ 蒸気タービンの型式には、タンデム型とクロス型とがあり、タンデム・コンパウンド型とは、複数の
車室で構成される蒸気タービンを「串」のように一つの軸で結び、発電機を駆動する型式をいう。ク
ロスコンパウンド型は、複数の車室を持つ蒸気タービンが二つの軸で構成され、それぞれ、別個の発
電機を駆動する型式のことをいう。

¹⁴¹ Neilson (1903), p. 42.
Garnett (1908), p. 127.
Parsons (2014), p. 175.

と共に、推進軸を1軸から3軸に変更し、ようやく目標の34.0ノット¹⁴²を越える34.5ノット¹⁴³を達成した。1897年のスピットヘッド(Spithead)でのヴィクトリア女王即位60周年を祝う、英国海軍観閲式で、タービニア号は、巨大な軍艦の間を前代未聞の速度で縫うようにして進んだのであった。こうして、英海軍は、船用蒸気タービンの優越性を確信し、翌年、魚雷駆逐艦(Torpedo Boat Destroyer)2隻を、改組したパーソンズ船用蒸気タービン会社に発注し、第一次世界大戦前までは、世界のほぼすべての軍艦のみでなく商船にも、パーソンズ船用タービンが採用されることになったのである。

3) パーソンズの蒸気タービン開発動機・目的の推定

1884年に完成した蒸気タービンの開発過程については、下記のように推定することができる。

1880年代初期、船用蒸気機関の出力は、陸用蒸気機関よりも極めて大きく、精緻に改善され、出力・効率ともに最高水準にあったことから、新たな強力な原動機が囑望されており、市場のニーズがあった。この市場ニーズは、船舶を推進するための原動機であった。

パーソンズは、後の1909年のグリーンock哲学協会で「船舶に蒸気タービンを適用するには、非常に大きな困難に遭遇する事が判っていたので、陸用のより簡単な目的に適用して成功した後に着手するのが、当然と思われた。」¹⁴⁴と述べたように、船用蒸気タービンの開発には困難が予想されたので、開発の手順として開発の容易な陸用蒸気タービンにまず着手し、その後、陸用蒸気タービンが改善され、船舶を推進できるほど出力に到達した後に船用蒸気タービンを開発しようとしたものと、推定できる。

1881年に英国学術協会に出席したパーソンズは、船用往復動蒸気機関の限界に誘発され、純粋高速回転機械である蒸気タービンの必要性を認識して、船舶に適用する船用蒸気タービンの開発を思い立った。このことは、1881年10月から始まるノートか

¹⁴² Smith (1936), p. 17.

タービニア号と同時期に開発された往復動蒸気機関推進の最初の実働 A 級魚雷駆逐艦ハヴォック(Havock)号は仕様27ノットであり、蒸気タービンを全ての軍艦に適用したかったパーソンズにとって、タービニア号の速度は、これを越えるものでなければならなかった。(Horseman (2020), p. 4)

¹⁴³ Stoney (1909c), p. 983.

¹⁴⁴ Parsons (2015), p. 75.

ら裏付けられる。その開発に際しては、最適速度¹⁴⁵の乖離がより大きく、開発が困難な船用タービンを直接開発するのではなく、回避手段として、最適速度の乖離がより小さい、陸用蒸気タービンの開発をまず手掛けた、と考えるのが合理的であると思われる。

1898年4月19日から5月14日の間に枢密院(Privy Council)の司法委員会(Judicial Committee)で審議されたパーソンズの1884年の軸流蒸気タービン特許の延長申請に対し、審議の中で、証人により「パーソンズは、多くの実験と長期にわたる徹底的な研究の結果、実用的な蒸気タービンを作り出すことができ、そのようなタービンを上手く作動させるための不可欠な条件を明らかにした」¹⁴⁶と主張されていることから、蒸気タービンの開発は、1884年2月にクラーク・チャップマン社の副共同経営者となってから、蒸気タービンの開発を始め、4月に特許を取ったのでは余りにも短く、上記の「多くの実験と長期にわたる徹底的な研究」の明言に反する。また、4人の委員の中の一人は、最終的に、「パーソンズ氏は、ケンブリッジの学生時代に本件に直接関心を向け、多くの時間を打ち込み、それについて考えた ... 彼が成功の条件を決定することができたのは、長期にわたる研究と多くの実験の後でのみであった。」¹⁴⁷と述べ、長期にわたる多くの実験があったことを認め、特許の延長に賛成しており、1903年までの延長が認められた¹⁴⁸。

また、この審議の際に、「パーソンズは、彼の発明 ... に大量の投資を必要とした。彼は、彼の時間を請求しないが、使った資本に対して7%の利子を仮定して1,107ポンド13シリング10ペンス¹⁴⁹の損失があったと主張」しており、これは、個人的に出費したものであるから、クラーク・チャップマン社に参画する前の実験に要した金額と思われる。

このことから、クラーク・チャップマン社に参画する前から、数多くの研究や実験

¹⁴⁵ 当時の発電機の速度は、毎分1000-1500回転、スクリュー・プロペラのそれは、100回転以下であった。蒸気タービンの速度も数千回転であり、最適速度の乖離は、スクリュー・プロペラの方が大きい。

¹⁴⁶ Watson, Lord, Lord MacNaghten, Lord Davey and Sir Richard Cough (1898), pp. 353.

¹⁴⁷ 同上, p. 357.

¹⁴⁸ Saul (1968), p. 206.

¹⁴⁹ アームストロング社での見習いのためにパーソンズは£600払っているが、これは、今日(2019年)では、\$60,000に相当する事から(Marsh (2019))、\$110,700に相当する。

をパーソンズが行っていたことが判る。N.C. パーソンズも「パーソンズのタービンは初めての実用的な蒸気タービンで高速の発電機であるが、アイデアをどのように組合わせたかについては、情報は乏しい。彼は常に鋭い実際的な実験を行っているので、多くの準備作業があったはずであるが、殆ど参考文献はない。」¹⁵⁰と述べており、スカイフも「クラーク・チャップマン社での短い雇用の期間に蒸気タービンを考案したとは信じ難い。」¹⁵¹と言っていることから了解できる。

そして、個人の資力では開発完了が困難であることから、船舶関係の機器を製作し、船内照明市場への参入を企てていたクラーク・チャップマン社で7.5kW という小さな蒸気タービンを完成させ、当時、需要のあった船内の照明用の船用発電機に蒸気タービンをまず応用した後、75kW まで改善していった。しかしながら、クラーク・チャップマン社ですでに、船用蒸気タービンの計画を立てていたことから判るように、クラーク・チャップマン社では、これ以上の出力の改善が不可能と判断した。こうして、1889 年蒸気タービン製作会社の C・A・パーソンズ社と出力の改善を確認するための発電事業会社 DISCO 社を設立し、陸上の発電用の蒸気タービンとしての出力が十分に大きくなり、船舶に適用可能となった時に船用蒸気タービンの開発を開始した、というのが蒸気タービン誕生の開発経緯であったと、考えるのが最も妥当と考える。

1884 年のパーソンズによる蒸気タービンの発明動機・目的については、1882 年の「ブラッシュ・バブル」に代表される電気照明の勃興により、発電機を直接駆動するための原動機として蒸気タービンを開発した、というのが、これまでの経済学史家および科学・技術史家による一般的な見解であった。

しかしながら、パーソンズの蒸気タービン発明迄の過程の詳細、つまり、

- ① 1873-1877 年間のケンブリッジ大学在学中に蒸気タービンの模型を製作していたこと。
- ② 1877 年のアームストロング社での見習い期間から 1883 年キトソン社を去るまで、火薬から発生するガスにより駆動される回転機(Spinner)を装備した魚雷の開発を行っている。これは、ガスタービンであるが、ガスタービンは、蒸気

¹⁵⁰ Parsons (1984), p. 21.

¹⁵¹ Scaife (1984), p. 6.

タービンと同じ原理であり、作動流体が相違するだけであること。

- ③ 1881 年 8-9 月にヨークで開催された英国学術協会に出席し、往復動蒸気機関は 200 年の歴史があり、精緻に完成され、将来性がないこと、および、ガス機関が期待されていることを把握したこと。
- ④ 1881 年 10 月から始まるノートには、ガス機関の欠点が述べられ、蒸気タービンの翼と思われる記載があること。
- ⑤ 1881 年から 1883 年の米国訪問までの間に、当時、理論的にも実用的にも十分に水車から多段式蒸気タービン(Compound)を着想したと思われること。
- ⑥ 1884 年クラーク・チャップマン社で、当時ブームであった船内照明のニーズに多段式蒸気タービンを開発することは、資金不足であったパーソンズにとって好機であったこと。
- ⑦ 1884 年の 4 月の暫定特許は、すでに多くの予備実験がなされて、原型機が完成していること、また、10 月の完成特許は、初号機が既に製作完了済であることを示唆しており、この完成特許には、船用への蒸気タービンの適用が詳細に記述されていること。
- ⑧ クラーク・チャップマン社で船用蒸気タービンの計画を行っていたこと。
- ⑨ 電気の応用が拡大するのは、電気モータの普及、交流長距離送電の発展の後の 20 世紀以降であり、当時の発電市場は小さく、既存の高速往復動蒸気機関の容量で十分賄えたこと。
- ⑩ 1880 年代初期、大容量の原動機を必要としていたのは、民事および軍事の両方の分野において船用の原動機であったこと。

これらを考慮すると、蒸気タービンの開発は、1881 年から 1883 年の間に、蒸気タービンの着想を得て、種々の予備実験を行い、1884 年にクラーク・チャップマン社に入社後に本格的な開発実験を行い、1884 年 4 月から 10 月の間に初号機を製作完了した、と理解するのが妥当であると考えられる。

また、パーソンズの蒸気タービンの開発動機・目的は、当初から、船用蒸気タービンであった、と理解するのが適切であると判断できる。

これは、当時の帝国主義的な覇権競争が激化しているという社会経済状況から、植民地を多く保有する英国にとって、海上覇権を確保することが必須であったこと、高

度に洗練され改善の余地がないほど出力の限界に達していたのは、船用往復動蒸気機関であったことをパーソンズが十分理解していたことを考慮すれば、首肯できるものとする。

事実、パーソンズが、当初、アームストロング社のエルズウィック工場で、ロケット推進式魚雷の開発に傾注したのは、同じ工場で、ホワイトヘッド(Whitehead)が1866年に発明した圧縮空気推進式魚雷に誘発されたからだ¹⁵²、といわれている。ホワイトヘッドの魚雷は1876年には18ノット、1884年には24ノットを達成していた¹⁵³。これに対抗するため高速の魚雷駆逐艦が必要されていたのである。このためには、高出力の船舶推進機関、つまり、船用蒸気タービンが必要であったのである。「パーソンズは、当初から、蒸気タービンを戦艦(軍艦)や大西洋横断客船に使用することを念頭に置いていた」¹⁵⁴というスミスの見解は、著者と同じものである。

経済史家のアレンは、「産業革命」の論考の中で、発明には計算が働くのであり、利益の見込みのない「新しい機械の開発になぜ費用をかける必要があるだろうか。... 発明することが採算に合うから発明されるのである。... 18世紀イギリスの産業革命は、そこでそれを発明することが採算に合うから発明されたのであり、ほかの時期、他の場所では利益の見込みがなかったのである」¹⁵⁵、と述べ、利益および時期(『時』)と場所(『場』)の重要性を指摘している。

ジョーンズもその著『現代成長理論』の中で、「新規の発明のためには、膨大な初期費用が必要...。発明家は、その発明によって社会にもたらされる利益の幾らかを利潤として獲得できる期待が少しはなければ、この初期費用を負担しようとしなないであろう。... 発明家にアイデアを生み出すための膨大な初期コストをかけさせる唯一の理由は、... 利益を得ることを発明家が期待すること以外にはない」¹⁵⁶と主張する。

¹⁵² Scaife (1984), p. 8.

¹⁵³ Scaife (1988), p. 25.

¹⁵⁴ Smith (1936), p. 16.

¹⁵⁵ アレン (2017), p. 2.

¹⁵⁶ ジョーンズ (1999), p. 85, 91.

1880 年代初期、大きな利益の見込まれていた分野は船舶推進分野であり、パーソンズは蒸気タービンの船用へ適用を当初から考え、「蒸気タービンを船舶の推進用に適用することには、大きな困難が待ち構えているので、この原動機がより容易で、より簡単な陸用の目的に適用して成功した後にはのみ着手するのが当然と思われた」¹⁵⁷の言明とおり、まず、陸用タービンで出力の拡大を図り、船舶の推進抵抗に打ち勝つ出力を得る見通しが経った後、船用蒸気タービンを開発した、と考えるが、正当であるように思われる。

こうして、蒸気タービンがなぜ 1884 年に発明されたかという『時』の問題となぜ英国でという『場』の問題は、1880 年代初期の英国の社会経済的状況は、民事および軍事の両分野において、大出力の船用原動機が必要とされており、これが、パーソンズの蒸気タービンの開発動機・目的であった。また、100 年以上に渡る往復動蒸気機関の進歩を介して高度に発達した英国の技術のみが、蒸気タービンの開発を可能としたのである、と要約できる。

3.4 小括

発明は、社会経済的条件と技術的条件を満たした時、不可避免的に現れる¹⁵⁸ことから、陸用タービンと船用タービンのそれぞれの条件を「市場のニーズ」および「技術のシーズ」という視点から分析した。

陸用タービンでは、市場のニーズとして、白熱灯による照明というニーズがあり、発明されたばかりの蒸気タービンは、船内照明というニッチな市場で徐々に改善され出力を増加していったことを示した。「発明は、その誕生と発達、および、完成をそれが最も強く要求される所でおこなわれる」¹⁵⁹ことから、発明活動の唯一利用可能な測定である特許¹⁶⁰について、特許制度の始まった 18 世紀後半からパーソンズが特許を取得した 1884 年までの蒸気タービンに関する特許の件数を調査した。これから 1880

¹⁵⁷ Parsons (2015), p. 75.

¹⁵⁸ Furfey (1944), p. 144.

¹⁵⁹ Parsons (2015), p. 152.

¹⁶⁰ Johnson (1975), p. 33.

年前後の社会は、蒸気タービンの発明に対する関心が高く、蒸気タービン誕生の社会的背景を準備したことを指摘した。

このような社会的環境の下、熱力学の知識も、利用可能な材料も、その加工技術とといった技術のシーズも蒸気タービン発明の条件を 1884 年には満足していたことを検証した。この状況下での蒸気タービン実現の問題点は、高速の蒸気噴流によって生じる軸の回転数を如何に制限するかにあった。パーソンズは、これをワッシャー方式およびブッシュ方式の摩擦ダンピング軸受を発明し、実験により高速でも安定な軸・軸受システムを考案した。この後、フランシス水車の類推から多段式蒸気タービンを考案し、ここに世界で初めて実用的な蒸気タービンを実現したのであった。

船用タービンについては、北大西洋航路の客船と軍艦に大型高速船の市場ニーズがあり、このために大出力の推進機関が切望されていたことを示した。特に、英国の食糧の大半を輸入に依存するという脆弱性は、帝国主義に勃興による軍拡競争と合わせ 1880 年前後には、喫緊の問題となっていた。こうして、英国の海上覇権の維持・拡大の必要性から、極度に完成され、出力の改善の余地のない、容積型原動機である往復動蒸気機関に代わる、工学的に大出力に適する速度型原動機¹⁶¹である蒸気タービンが待望されていたことを指摘した。この社会経済的な背景に基づく安全保障および軍事的観点からの指摘は、従来の経済史や科学・技術史ではなされていなかったものである。

船舶への蒸気タービンの適用は、推進時の水の抵抗に打ち勝つ必要があることから、陸用蒸気タービンの出力が十分に発展するまで待たねばならなかった。陸用蒸気タービンが当時の一般的な船舶の推進機関である 2 段膨張往復動蒸気機関の性能と同等となると、パーソンズは、当初の意図のとおり、船用タービンの開発に乗り出した。船用タービンの大出力化は、陸用蒸気タービンでの設計から「蒸気タービン相似則」を適用して技術的に可能であり、技術のシーズは現存していたのである。

蒸気タービンが、なぜ 1884 年に英国で発明されたかという『時』と『場』の問いは、「全ての起源の問題は、その後のあらゆる発展の本質を研究する上で重要である」

¹⁶¹ 石谷 (1957), p. 36.

石谷は、容積型はバケツやトラックで水を輸送するようなもので、作業流体をいちいち入れ物に出したりする必要があり、動作は間欠的であるが、速度型は水と鉄管で輸送するようなものであり、動作が連続的であることから、速度型の方が大出力に適する、と述べている。

¹⁶²こと、並びに、経済史および技術史における発明の問題、つまり、「発明は、... 新たなニーズの出現、それに応える必要なピース ... がそろった時に現れがちになる」¹⁶³という説の妥当性の有無の問題という二つの点で重要である。著者は、この『時』と『場』の分析を通じて、パーソンズの蒸気タービンの着想から開発決心、問題解決、実現に至る発明経緯を詳細に検討し、その動機・目的を解明しようとした。そこで明らかになったことは、従来の経済史および科学・技術史において一般的にいられている、パーソンズの蒸気タービンの開発動機・目的は、陸用の発電機を駆動するためであるとの説よりも、1880年代初期の社会経済的条件から、船用タービンの開発が当初よりの動機であったとの主張の方が、より妥当性があることを示し、当時の技術的条件も英国のみが可能としたことを示した。また、少数の経済史家および科学・技術史家は、動機を船用推進機関と記述しているものの、その動機や経緯は説明されていなかった。このため、パーソンズの蒸気タービン発明までの動機や経緯を詳細に辿ることにより、この主張を補強し、完全なものとした。

また、パーソンズ蒸気タービンの発明時期も、従来「完成した機械が最初に何時運転されたか判らないが、1884年である事は間違いない」¹⁶⁴との言明に対し、初号機は1884年4月以降1884年10月以前の間製されたことを同定した。

¹⁶² 石谷 (1984), p. 255.

¹⁶³ アーサー (2014), p. 161.

¹⁶⁴ Scaife (2000), p. 173.

第4章 パーソンズ蒸気タービンのイノベーション

パーソンズは、クラーク・チャップマン・パーソンズ社(Clarke, Chapman, Parsons & Co.)での共同経営の間、約 250 基の蒸気タービンを製作したが、殆どは船舶の船内照明用で小出力であった。より大型のタービンの製作に素早く移行したいパーソンズに対し、クラーク(Clarke)と チャップマン(Chapman)は、米国では、2,000 カ所近く中央発電所が建設されていたのに較べて、英国では、ほんの一握りしか設置されていなかったため、大型タービンの開発はリスクが大きいと判断し、資金と人員の提供を拒否した。このため、パーソンズは、1889 年 12 月クラーク・チャップマン社を離れることにした¹。この時、クラーク・チャップマン・パーソンズ社で製作した最大の容量機は 75kW であったが、パーソンズは、既に、500kW の蒸気タービン図面を書き上げていた²。

蒸気タービンの発明当時は、陸用も船用も往復動蒸気機関が主要な原動機であった。ケルビン(Kelvin)卿の「新しい方法は、職人やメーカはもちろん、機械技術者にも歓迎されない。斬新であればあるほど、乗り越えなければならない無関心や敵意は大きい」³の言葉通り、新しい原動機である蒸気タービンへの関心は少なかった。このため、蒸気タービンを陸用あるいは船用に適用するには、自ら発電事業会社や船舶事業会社を設立し、蒸気タービン市場を開拓しなければならなかった。同時に、これらを製作する会社をも設立する必要があった。

本章では、パーソンズの蒸気タービンにおけるイノベーション過程を詳細に検討する。

4.1 陸用蒸気タービン

1) 経済的条件(市場のニーズ)

アーク灯や白熱灯用の発電機を駆動した原動機は、当時、長い歴史を持つ往復動蒸気機関であった。低速の蒸気機関はベルトやロープで発電機の必要とする回転数まで上げられたが、ベルトやロープでの損失が大きいため、発電機と直接結合可能な高速の往復動蒸気機関が開発された。ブラザーフッド(Brotherhood)の高速蒸気機関は、1877 年パリの鉄道駅の照明に使用された。1877 年特許を取ったパーソンズの対向ピ

¹ McGovern and McLean (2013), p. 454.

² Scaife (2000), p. 190.

³ Watson, MacNaghten, Davey and Cough (1898), p. 358.

ストーン・シリンダー回転(Epicycloidal)蒸気機関は、このブラザーフッド蒸気機関よりも経済的であったが、その後出現したより優れたウィランス(Willans)高速直結蒸気機関により衰退した。ウィランス蒸気機関は 1883 年ガス灯により焼失したウィーンのオペラ座の白熱灯照明用ダイナモ発電機の原動機として使用された以降、英国の発電所で多数使用され⁴、「1892 年 300 馬力(hp)以上の英国発電所の全容量 33,000 馬力の内 3 分の 2 がウィランス高速直結蒸気機関であった」⁵。1897 年には、英国発電所の容量の半分以上が高速蒸気機関で、その 70%はウィランス蒸気機関であり、ウィランス蒸気機関は 1890 年代の標準であった⁶。

このような状況の下、パーソンズは蒸気タービンを発電事業に適用するため、自ら出資して、電気事業会社を 3 社－ニューキャッスル地域電気照明会社(Newcastle and District Electric Light Co.)、ケンブリッジ電気供給会社(Cambridge Electric Supply Co.)およびスカボロー電気供給会社(Scarborough Electric Supply Co.)－を設立した。パーソンズは、蒸気タービン・システムの導入を確保する為、それぞれの会社の財政的リスクを受けざるを得なかったのである⁷。この三つの会社への投資額は 3,000 ポンドに上廻ったといわれている⁸。

(1) ニューキャッスル地域電気照明会社(DISCO 社)

DISCO の設立と発展：

DISCO 社は、英国北東部のニューキャッスル市に 1889 年 1 月 14 日の登記・設立された。その前々日に作成された設立趣意書である覚書および定款は、5 つの章と出資者の名前から構成されている簡潔なものであった。第 3 章の「会社設立の目的」には、(a) から(n)まで 14 項に渡って活動内容が記載されており、ニューキャッスル市または英国の他の場所での照明その他の目的のための発電事業を行うこと、および、発電所を建設することなどの一般的な事項の他に、(g) 項には、「発明または装置に関する発見や使用を研究、開発、促進すること、ならびに、当社にとり何らかの形で関心または利益のある、またはその可能性のある事項について実験を行うこと、または、その促進を図ること。あるいは、それらについての研究、開発、試作、発見、使用、

⁴ Dunsheath (1962), pp. 147-148.

⁵ 同上, p. 152.

⁶ Byatt (1979), p. 110.

⁷ Parsons (1936), p. 19.

⁸ Appleyard (1933), p. 136.

製作の実験やその促進を図ること、あるいは、そうすることによって実験やその促進を図ること」⁹と記載されており、開発品の実験・検証も会社設立の目的の一つとなっていた。事実、ニューキャッスル市の中心部に建設された、この会社の最初の発電所のフォース・バンクス(Forth Banks)発電所は、「パーソンズは、間違いなくこの発電所を彼の蒸気タービンの開発のための実験場にした。というのは、多かれ少なかれ恒久的なプラントが設立される迄、数多くの機械が当社の手を通過したことを記録が示しているからである」¹⁰と、1939 年当時、DISCo 社の社長であったオーチャード(F.A. Orchard)が、英国電気学会の北東支部長としての挨拶の中で述べている。フォース・バンクス発電所は、このように、実際にパーソンズ蒸気タービンの実験・検証の場であった。

そして、覚書および定款の章の終わりの後には、「私たち、下記に名前と住所が記載されている数人は、本提携の覚書に従って、会社を設立することを望んでおり、それぞれ、各自の名前の向かい側に記載されている資本の内の株数を取得することに合意する」とパーソンズを筆頭に下記のように、投資者の名前、職業、住所および持ち株数が記載されていた。

各加入者の持ち株数	
Charles A. Parsons, エンジニア, ライトン	1
Benjamin Chapman Browne, ナイト・エンジニア, ニューキャッスル	1
John N. Milburn, 船主, ニューキャッスル	1
John Bell Simpson, 炭鉱主, ライトン	1
H.C. Harvey, 弁護士, ニューキャッスル	1
Crawford, ロンドン	1
Arthur F. Wade, ロンドン	1
WM. Mathwin Angus, St. John's Works, ニューキャッスル	1
John W. Spencer, Newcastle Steel Works, ニューキャッスル	1

この内、Harvey、Crawford と Spencer 以外は、設立された DISCo 社の取締役役の名を連ねている。

⁹ DU/EB/162 (1889).

¹⁰ Orchard (1939), p. 49.

クロフォード卿(Earl of Crawford)は、ロンドンのデットフォード(Deptford)に大きな発電所を建設していたロンドン電気供給会社(London Electric Supply Corporation)の会長であり、ウェイド(A. Wade)もこの会社の関係者であった¹¹。これ以外の人たちは、ニューキャッスル及びその近郊で事業を営む有力者であり、パーソンズの個人的な友人、業務上の知人であった。

DISCo 社は、資本金 5 万ポンド、ミルバーンが会長、パーソンズが社長として設立されたが、DISCo 社が設立される 6 日前の 1 月 8 日に、同じニューキャッスル市にニューキャッスル・アポン・タイン電気供給会社(Newcastle-upon-Tyne Electric Supply Co.)(以降、NESCO と略す)社が設立された。両社は発電事業を行うため、暫定命令を商務省に申請したが、認可された暫定命令は、二つの会社に、ニューキャッスル市の同じエリアでの発電事業を許可するものであった。同一エリアへの重複した送配電用ケーブル敷設工事に伴う干渉や無駄な設備投資を節約するため、両社は、可能な取決めを行うべく会合したが、DISCo 社の取締役会には、ロンドンの取締役がいること、および、当時、帰趨の定まっていなかった交流(AC)あるいは直流(DC)という特定のシステムに拘束されるという理由で、NESCO 社は合併の可能性を拒絶した。このため、NESCO 社は、市の東側を供給し、DISCo 社は、西側に集中することで合意し決着した¹²。こうして、当初の配電エリアは、NESCO 社は 10 平方マイル¹³となり、DISCo 社はそれよりも少し狭いエリアであった。

DISCo 社が設立されると、サイトの取得、発電所に必要不可欠なボイラや蒸気タービン等のプラント機器の発注を開始したが、蒸気タービンについては、尚も、パーソンズ自身が共同経営者であったクラーク・チャップマン・パーソンズ社に 4 基の 75kW 軸流蒸気タービンを発注すると共に、暫定命令の日付から 2 年以内に送配電ケーブルを指定の街路に敷設しなければならないことからケーブル敷設工事をも開始し、また、このケーブル敷設ルートに沿って消費者を獲得する活動をも開始した¹⁴。

フォース・バンクス発電所に設置された最初の 2 基は 1890 年 1 月に NESCO 社よ

¹¹ Parsons (2014), p.171.

¹² McGovern and McLean (2017), p. 671.

¹³ 同上, p. 671.

¹⁴ Orchard (1939), p. 49.

り1か月早く、電気の供給を開始した。これは、蒸気タービンを使用した世界で最初の公共中央発電所となった。この蒸気タービンは、その時まで組立てられたパーソンズ蒸気タービンの全てがそうであったように、大気に蒸気を排出するものであり、現在のように、復水器に蒸気を排出し、その蒸気を凝縮させる復水式蒸気タービンではなかった。このため、復水式往復動蒸気機関による発電方式よりも熱効率は劣ったものの、蒸気タービンは、

- ① 高出力密度機関であり、出力/重量が大であることから、資本コストが小さいこと
- ② 小型であり、空間の経済性があることから、建設コストが低であること
- ③ 負荷変化に対する効率変化が少いことから、広い負荷範囲で経済的であること
- ④ 良好な速度制御による電圧が定常であることから、高価な白熱灯の破損が少ないこと
- ⑤ 摩擦発生個所が軸受のみであることから、摩耗・損傷が少なく、運転監視・メンテナンスが殆ど必要なく、これらの費用が少ないこと
- ⑥ 回転機関であることから、往復動蒸気機関で問題となる振動の発生がないこと
- ⑦ 往復動蒸気機関ではシリンダー・ピストン間の摩擦の緩和のために絶えず潤滑油の添加が必要であるのに対して、蒸気タービンでは潤滑油の消費は極く僅かであり、運転員および潤滑油のコストを削減できること

等¹⁵

の特徴から、この後、船舶の船内照明用から、徐々に陸上での発電用に使用されるようになった。

DISCo社のフォース・バンクス発電所は、ホーソン・レスリー(Hawthorn, Leslie and Co.)社の元船用機関部門から購入した建屋を利用したものであり、ボイラ3基はこの会社から購入した¹⁶。1906年3月から5月にかけて英国における公益事業の状況を視察した米国の報告書には、「フォース・バンクス発電所は、パーソンズが彼の最初のタ

¹⁵ Gentsch (1906), pp. 317-320.

¹⁶ Parsons (2014), p.172.

ービンを導入した時に建設されたもので、当初は、約 5 基の小さなターボ発電機で、これらの幾つかは、その後廃棄されたり、他のものが追加されたりしているが、現在は、3 基の 500 kW と 6 基の 150 kW ターボ発電機がある。... 古い建屋でボロボロで、発電所がずっと大きくなり続ければ、建て替える必要がある」¹⁷と記載されており、DISCo 社が初期投資をいかに節減したかが伺える。1892-93 年の間に旧設備の復水式化を行い¹⁸、燃料費用の逡減を図っているが、最新の機器の導入にともない、1905 年までには上記報告書の記載の通り廃棄されたものと考えられる。1902 年の全設備容量は 3,000kW¹⁹。1905 年には 2,400kW²⁰であったが、1907 年近くに建設されたクローズ発電所の稼働にともない、旧式となったために廃止された。

需要の拡大にともない、クローズ(Close)発電所が、フォース・バンクス発電所の道路を隔てたほぼ反対側に 1901 年から建設開始された。クローズ発電所は、当時の最先端の設計の鉄骨構造・煉瓦壁作りの発電所であり、ここは、元々、ニューキャッスル近郊のゲーツヘッドの新しい工場に移転した往復動蒸気機関などの機械製作メーカーであるスコット・マウンテン(Scott and Mountain)社の敷地²¹であった。DISCo 社は、約 8 万ポンドをこの建設のために資本支出²²し、1902 年稼働開始した。初号機は、1 基のパーソンズ蒸気タービンの軸のそれぞれ 500 kW の発電機 2 基を駆動する合計 1,000 kW の出力²³という珍しい型式であった。1904 年の全設備容量は、2 基 1,000 kW となり、1908 年迄に 2 基の 1,500kW パーソンズ蒸気タービンが追設され、3 基の 500 kW タービンがフォース・バンクス発電所から移設された²⁴。

1902 年暫定命令を取得し、ニューキャッスル西約 5 マイルのニューバーン(Newburn)地区迄その操業を拡大すると共に、1904 年には当時のベンウェル・フェナム都市地区議会(Benwell & Fenham Urban District Council)との協定によりベンウェルおよびフェナム地区に拡大した。この地区は、同じ年の後半に、ニューキャッスル市と合併した。この合併により DISCo 社の供給エリアは、タイン川の北岸に沿った、

¹⁷ National Civic Federation (1907), p. 300.

¹⁸ DU/EB 143/4 & 5 (1892 & 1893).

¹⁹ Hunter (1902), p. 441.

²⁰ National Civic Federation (1907), p. 300.

²¹ Orchard (1939), p. 50.

²² DU/EB 143/13 (1901).

²³ Hunter (1902), plate 54/Fig. 8.

²⁴ Orchard (1939), p. 50.

幅約 2Mile、長さ 6Mile の帯状をカバーする 13 平方マイルと拡大した²⁵。

こうして、1904 年にはレミントン(Lemington)発電所がニューキャッスルの西約 3.5 マイルの郊外に建設され、フォース・バンクス発電所から移設された 2 基 400 kW と 1 基 150kW パーソンズ蒸気タービンで、レミントンおよびニューバーンおよびその近郊に電気を供給した。前述の米国視察団は、「良く設計された直流(DC)発電所であり、安価に発電できる筈」²⁶と論評している。この発電所の建設のための資本支出を確保するため、前年の 1903 年に臨時総会を開催し、1 万株の新規発行を決議している²⁷。

1908 年にニューバーンに建設されたニューバーン発電所は、製鉄会社のスペンサー (Spencer and Sons)社からリースした敷地に建設したもので、鉄鋼所にある往復動蒸気機関からの排気蒸気を使用した廃熱発電所であり、排気蒸気量の変動の影響を抑制するため蒸気溜め(レシーバ)を備えていた。DISCo 社は、前年にスペンサー社と排気蒸気の使用契約を締結し、発電コストの大幅低減を図ったのである²⁸。設備容量は、750 kW が 1 基であった²⁹。

表 4.1 に DISCo 社の発電設備の推移を示している。

DISCo 社の経営内容：

DISCo 社は、当初、照明事業のために設立されたが、当初、照明事業は 1882 年に制定された「電気照明事業法(Electric Lighting Act)」により規制されていた。この法律は、電気事業の開始より 21 年後には、地方自治体が強制買収できる条項が含まれていた。このため、資本集約的な新しい電気照明事業という発電事業の資金の調達は困難となり、商務省(Board of Trade)より認可されても実際に着手する事業者は少なかった³⁰。このため、1888 年には強制買収条項を 42 年に延長する改正電気照明事業法が公布された。1888 年の改正電気事業法の成立前後、ドイツのアルゲマイネ電気会社(Allegemeine Elektrizitäts-Gesellschaft)(以降、AEG と略す)社のドリヴォ＝ドブロ

²⁵ Orchard (1939), p. 49.

²⁶ National Civic Federation (1907), p. 301.

²⁷ DU/EB 143/15/1 (1903).

²⁸ DU/EB 143/19 (1907).

²⁹ Orchard (1939), p. 51.

³⁰ Self and Watson (1952), p. 18.

表 4.1 DISCo 社発電設備推移

DISCo社発電設備の推移								
年	発電所名	出力 台数xkW	毎分回転数 rpm	交流/直流	周波数 Hz	送電圧 V	合計出力 kW	備考
1889								
1890	フォース・バンクス	4x75	4,800	交流(単相)	80	1,000	300	クラーク・チャップマン・パーソンズ社製 ソンズ反動型軸流蒸気タービン(非復水式)
1891	フォース・バンクス	1x100 2x150	4,800	交流(単相)	80	1,000	550	パーソンズ社製パーソンズ半径流型蒸気タービン(復水式) 最初の2x75kWは廃棄と推定 ^{*1}
1892	フォース・バンクス	2x150	4,800	交流(単相)	80	1,000	850	
1893								2x75kW復水式化完了
1894								1894年軸流タービン特許回復。 下記は全てパーソンズ社製軸流型タービン(復水式)
(1895)								(1x100kWを廃却と推定) ^{*2}
1896	フォース・バンクス		9,600/4,800	交流(単相)	80	1,000	750	最初のギア式タービン (これにより、2x75+100kWを廃棄と推定) ^{*3}
(1897)	フォース・バンクス	2x150	4,800	交流(単相)	80	1,000	1,050	1904年1x150kW機レミントンへ移設
(1898)	フォース・バンクス	3x500	3,000	交流(単相)	80	1000	2,550	
1899								
1900	フォース・バンクス	2x400		直流		480	3,350	1904年レミントンへ移設
1901								
1902	クローズ	1x1,000	1,800	直流		480	4,350	発電機2基/タービン1基
1903								
1904	クローズ	1x1,000	(－)	直流		480	5,350	両機ともフォース・バンクスより移設 (移設時、2x400→2x410kWへ変更+1x150kWDC化と推定)
	レミントン	2x410 1x150	(－) 4,800	直流		480	5,370	
1905								
1906	クローズ	2x1,500	(－)	直流		480	8,370 ^{*4}	発電機2基/タービン1基
1907								
1908	ニューバーン	1x750	(－)	交流	(－)	(－)	9,870	蒸気機関からの排気タービン
1909								
1910								
1911								
1912								
1913								
1914								
*1 Orchard論文(1939)に「当初、4x150kW+1x100kW+2x75kWとの記載があることからの推定した。								
*2 Stoney論文(1938)に「実験機として数年間使用」と記載があることからの推定した。								
*3 1906年英国を視察したNational Civic Federation報告に、「フォース・バンクスは 3基x500kW + 6基x150kW=2,400kWとあることから推定した。								
*4 1906年英国を視察したNational Civic Federation報告にDISCoの設備容量は7基5,970kW 480VDC+9基2,400kW 1,000VACと記載ある。								
(年代)は推定設置年代を示す。								
(－) はデータなしを示す。								

(出典：Hunter (1902), National Civic Federation (1907), Stoney (1909b), Parsons (1936), Stoney (1938), Dunsheath (1962) より著者作成)

ヴォルスキー(Mikhail Osipovich Dolivo-Dobrowolsky)や米国のテスラ(Nicola Tesla)により 3 相モータが完成され、直流モータも米国のスプレイグ(Frank J. Sprague)により路面電車に牽引に使用できるまで改良された。こうして、電気モータの開発により、以前は、照明に使用されることに制約されていた電気は、工場の一般動力また路面電車などの牽引用動力として、蒸気機関動力に代わって使用され、電気の需要は拡大していった。英国では、1892 年ブラッドフォード市 (Bradford) で初めて路面電車が採用され、路面馬車に取って代わり、その他の町でも路面電車が次々と採用されていった³¹が、これらの電気は、それぞれ地元の小さな発電所から供給されていたのである。

³¹ Hannah (1979), p. 15.

電気照明事業法は、その名のとおり、照明事業を対象としたものであり、電気モータのような新しい動力技術に対応できなかった。また、変圧器の発展による、大規模な発電所による電気の生産により、より広範なエリアに電気を供給するという可能性にも対応できなかった。この問題を検討するための第一歩として、1898 年クロス卿 (Viscount Cross) を委員長とする貴族院および庶民院両院共同委員会 (Joint Select of the House of Lords and the House of Commons) が設置された。この委員会の勧告は下記のようなものであった³²。

電気エネルギーの供給から得られる利益が保証されている場合：

- ① 発電所サイトを取得するための強制力を授与する。
- ② サイトが供給エリアにない場合でも、発電所と供給エリア間の街路の掘削権を授与する。
- ③ 発電プラントの規模が大きく高電圧の場合、数多くの地方自治体を含むエリアであっても、電気エネルギーを供給する権限を授与する。

この事業者には、他の認可済の事業者に主として一括取引あるいは卸売りで供給する事業者も含まれる。

- ④ 高電圧で一括取引で供給する場合、強制買収の条項は適用しない。

この勧告は政府の内外の団体によって支持されたが、政府は実質的に何もせず、1909 年の電気照明事業法の改正まで法律とならなかった。しかしながら、この勧告は、発電事業会社が申請した議員立法法案を審議する際に準用された³³。

この勧告は新しい発電事業者が、他の事業者によって未だ提供されていないエリアへ電気を供給するという暫定命令を請求することを妨げなかった³⁴ので、一般に電力法案 (Power Bill) と呼ばれる最初の議員立法法案が 1898 年に議会に提出された。これは、ミッドランド市 (Midland) の 2000 平方マイルのエリアに暫定命令の許可済事業者に一括取引で電気を供給する大規模発電所をこのエリア外に建設するというものであったが、これに対し地方自治体は、既得権である自らの電気独占事業が脅威に晒され

³² Self et al. (1952), p. 24-26.

³³ Garcke (1906), p. 28 および the Electric Council (1985), p. 33.

³⁴ Self et al. (1952), p. 27.

ると考え、頑強な地方自治体組織を組織し、この法案を廃案とさせた³⁵。

このような状況の下、DISCo 社は、1899 年末には 300kW の動力需要があったことから、1900 年に供給エリアを拡大し、タインサイド全体に照明および動力用電気を供給するというタインサイド電力会社(Tyneside Electric Power Co.)法案を議会に提出した。この法案は、パーソンズとパーソンズが蒸気タービンを船舶の推進に適用するために 1894 年に設立した船用蒸気タービン会社 (Marine Steam Turbine Co.) の出資者であり、ロンドンのコンサルタント・エンジニアであるスイントン(Alan A. Campbell Swinton)とパーソンズが協同して作成したものであった³⁶。

1900 年には、DISCo 社法案の他に NESCo 社法案を含め 5 件の議員立法が申請され、キットソン卿(Sir James Kitson)が議長の議会委員会が、これらの法案を審議した。キットソン議長は、リーズ(Leeds)市の蒸気機関の製造で有名なキットソン社(Kitson & Co.)の社長であり、パーソンズの兄のクレア(Richard Clere Parsons)は、1880-1887 年の間、この会社の出資者且つ共同経営者であった。また、パーソンズ自身も 1877 年ケンブリッジ大学卒業後、4 年間でニューキャッスル・エルズウィックの W.G.アームストロング社で訓練生として過ごした後この会社に入社し、1884 年ゲーツヘッドのクラーク・チャップマン社に移るまで在籍した会社であった³⁷。

審議の結果、DISCo 社法案と他 1 法案が否認され、他の 4 件が承認された³⁸。こうして、DISCo 社は、動力供給による事業の拡大の機会を喪失したのであった。

DISCo 社の議員立法法案が否認された理由について、NESCo 社設立時からの取締役であるワトソン弁護士の甥は、後に「DISCo 社の計画の根拠として提出した事例は十分に準備されたものではなかった。パーソンズの兄との共同経営の解消が、キットソン卿の意見に影響を与えたというのは疑わしい³⁹。キットソン卿は大人物であった。叔父のワトソンが DISCo 社の弁護士で法案を準備していたなら、議会を通過させることができたであろう」と述べて、「電気事業はエンジニアリングの問題ではなく、政治

³⁵ Garcke (1906), p. 30.

³⁶ Hore (1994), p. 3 および Garcke (1906), p. 33.

³⁷ Scaife (1988), pp. 27-28.

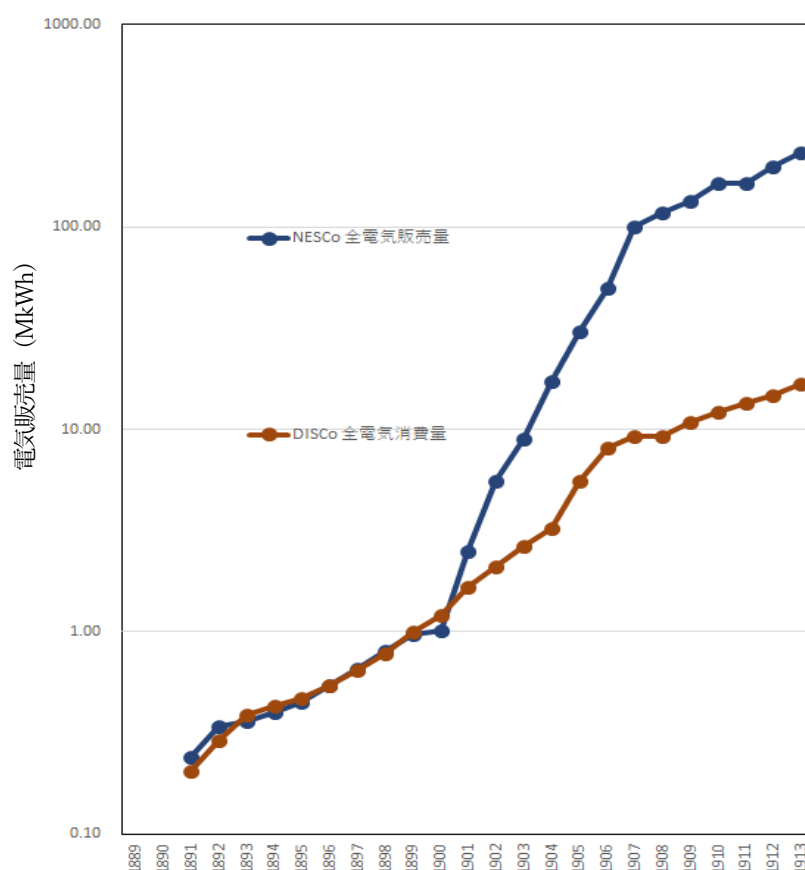
³⁸ Hore (1994), p. 2.

³⁹ パーソンズの兄のクレア(Clere)は、1880-1887 年の間キットソン社の共同経営者であった(Smith (1954), p. 740)。この発言は、共同経営の解消は必ずしも友好でなかったことを示唆している。

の問題である」との後に英国首相となったロイド・ジョージ(David Lloyd George)が、NESCO 社のコンサルタントである C.T.マーズに語った言葉を引用している⁴⁰。キトソン議長も、ワトソン弁護士も、ロイド・ジョージも自由党議員であった。パーソンズ自身は、後に、キトソン社を退社した理由を回顧しているが、パーソンズ自身との関係は良好であった。

図 4.1 に DISCo 社の電気販売量の推移を、NESCO 社と比較して示している。

図 4.1 DISCo 社および NESCO 社の電気販売量の推移



(出典：DISCo 社 DU/EB143/1-25, NESCO 社 McGovern et al. (2017)より著者作成)

これから判るように、1900 年までは、DISCo 社も NESCO 社も主として照明を事業としており、発電事業規模は同等であった。1900 年以降は、DISCo 社は、提出した議員立法法案が否認されたことにより、暫定命令で認可されたエリアのみの電気の供

⁴⁰ Hore (1994), p. 3.

給に限られることになった。一方、NESCO 社は、議員立法法案が成立した結果、NESCO 社は高電圧の電気を地元丈でなく広いエリアで、家庭の照明および工場の動力用として供給することが可能となった。続いて、積極的に議会に働きかけ、さらに、供給範囲の拡大をするとともに、路面電車や鉄道の動力供給契約、一括供給契約、他電力会社との協定・吸収・合併を通じて、事業を急速に拡大していった。

DISCO 社では、1899 年に 300kW の動力需要があり、動力の供給も開始しているが、1901 年には、照明および動力の申し込みが大きく増加し、将来、動力の大きな需要があるものと期待された。このため、クローズ発電所を建設し 1902 年より稼働開始した。しかしながら、1904 年 3 月末には、キトソン卿が取締役のノース・イースタン鉄道会社(North Eastern Railway Co.)の電化計画にともない、ノースイースタン鉄道会社の中央駅とフォース駅への 13 年間に渡る電気供給契約が破棄され、大幅な利益の減少があった。しかしながら、この損失を相殺する新たな契約を締結し、事業は継続拡大していった⁴¹。ノース・イースタン鉄道会社は、関係の深い NESCO 社に切り替えたのである。

1908 年には、創業以来初めての電気需要の減少を経験しているが、これは、不況と長期的ストライクによるものである。特に、鉄鋼業の不振が大きく影響した。また、この頃より、1906 年ドイツで発明された金属フィラメント⁴²が一般的に使用されるようになった。このため、大幅な電気消費量の減少があったが、一方では、照明コストの低下による新たな消費者の大幅な増加があり、照明需要は相殺された⁴³。1911 年にはニューキャッスル市とニューバーン地区の電気路面電車への動力供給契約を締結し⁴⁴、DISCO 社の照明および動力の需要も順調に増加していった。

創業より 1914 年の間、25 年間で設備容量は 300kW から 9,870kW へと約 33 倍、電気販売量は 21 万 kWh から 1927 万 kWh へ約 92 倍へと事業が拡大したのであった。

この電気販売量による DISCO 社の販売電気量当たりの生産性の向上を、図 4.2 に、

⁴¹ DU/EB 143/12-16 (1900-1904).

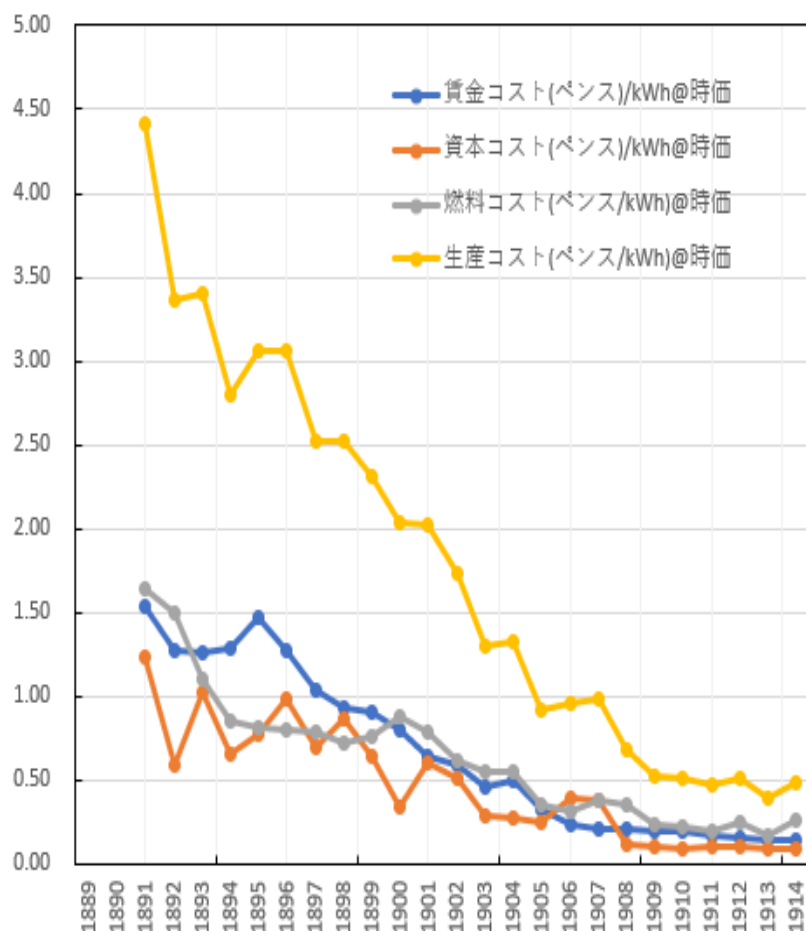
⁴² Hinton (1979), p.58.

⁴³ DU/EB 143/20 (1909).

⁴⁴ DU/EB 143/23 (1912).

時価で示している。

図 4.2 DISCo 社生産性の推移



(出典：DU/EB 143/1-26 (1889-1914)より著者作成)

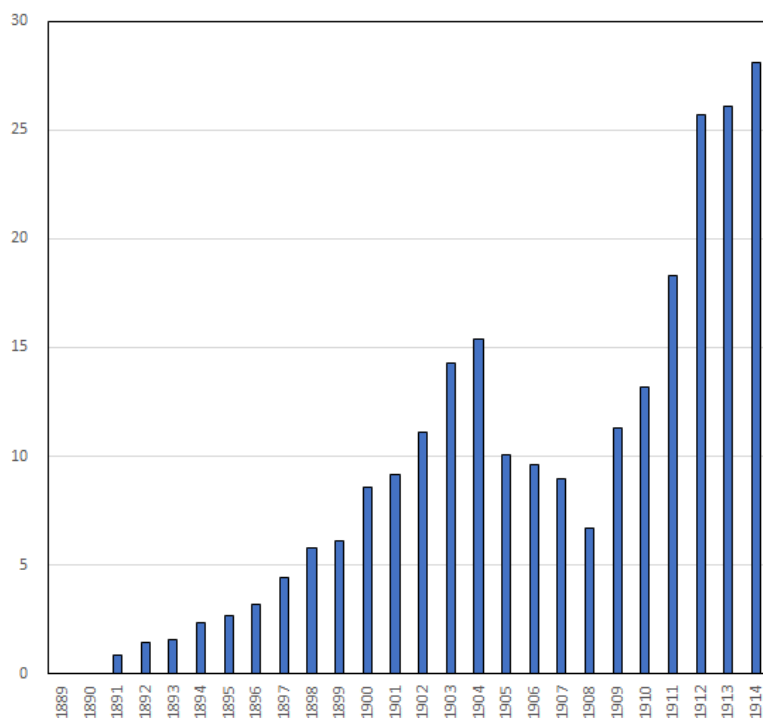
会社設立 2 年後の 1891 年から第一次世界大戦前までの生産コストは、途中、紆余曲折はあるものの、約 10 分の 1 に減少している。賃金コスト、資本コスト、燃料コストもそれぞれ、1/11、1/16、1/16 に減少しており、それぞれの分野で生産性が向上していることが判る。

1891 年は、賃金コストは生産コストの 35%、資本コストは 28%、燃料コストは 37%であったが、1914 年には、それぞれ、28%、18%、53%となってる。燃料コストの占める割合が増えたのは、電気販売量が 21 万 kWh から 1,920 万 kWh へと約 92 倍となり、パーソンズ蒸気タービンの燃料消費率も改善された筈であるので、燃料価

格が1.4倍⁴⁵上昇したことによるものと思われる。

純利益の推移を図4.3に示している。

図4.3 DISCo社の純利益推移(x1000 ポンド)



(出典：DU/EB 143/1-26 (1889-1914)から著者作成)

創業以降純利益は順調に増加しているが、1905年から1907年にかけては減少した。この理由については、取締役報告書には、1905年については、「単なる照明会社から完全な安価な動力会社に転換するために資本支出の増加が必要」と記載されており、レミントン発電所建設のための資本支出があったこと、また、1906年および1907年はレミントン発電所からの利益が少なかったこと、および、1907年は「機械工業をはじめ他の産業の仕事量の減少により、動力や他の電気需要が低迷したこと、および、石炭価格の上昇により利益の減少となった」と述べられている⁴⁶。1908年の利益の減少は、不況および長期ストライキによる需要の減少によるものであった⁴⁷。

⁴⁵ ミッチェル (1995), p. 751.

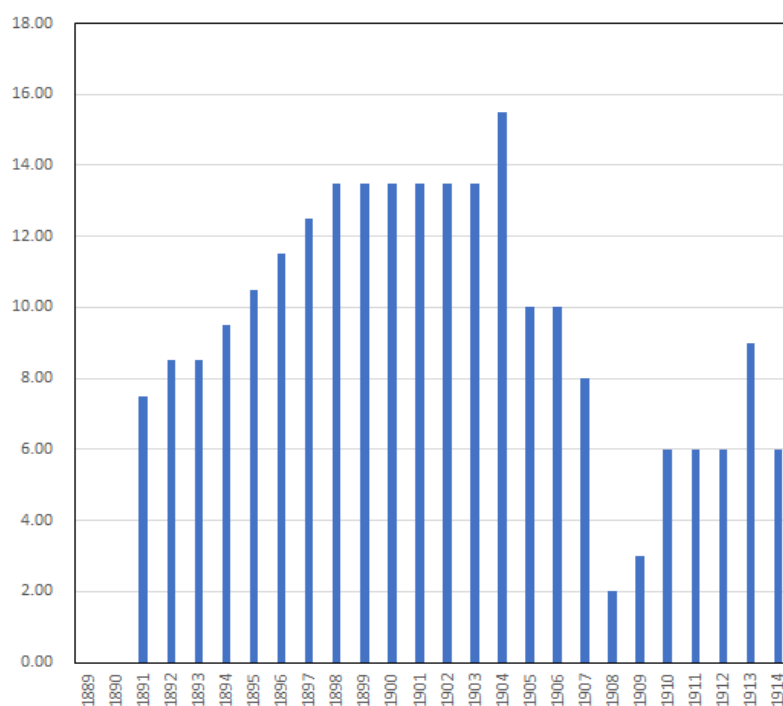
⁴⁶ DU/EB 143/17-19 (1906-1908).

⁴⁷ DU/EB 143/20 (1909).

図4.4に DISCo 社の配当を示している。

1905 年から 1908 年の配当は、純利益の減少を反映し、配当率が減少しているが、配当が 6%を下廻った 1908 年と 1909 年の 2 回のみであり、DISCo 社への投資は、1889 年の創業より 1914 年までの平均配当率は 8.9%であった。これは、英国の海外投資の 1907 年-1908 年の平均リターンが 5.2%であったことを考慮すれば、非常に優れた投資であった⁴⁸。

図4.4 DISCo 社の配当推移(%)



(出典：DU/EB 143/1-26 (1889-1914)から著者作成)

(2) ケンブリッジ電気供給会社(Cambridge Electric Supply Co.)

ケンブリッジ電気供給会社の設立と発展：

ケンブリッジ電気供給会社は、1892 年資本金 5 万ポンドで設立されたが、この地区の発電事業権は、ケンブリッジ市当局(Cambridge Corporation)が 1890 年に取得していた。ケンブリッジ市は、他の多くの自治体と同様に、電力供給というやや投機的な

⁴⁸ Paish (1909), p. 475.

事業を自ら行うことには抵抗があった。そこで彼らは、町の照明のための議会権限を C・A・パーソンズ社(C.A. Parsons and Co.)に委ねることに合意したが、その際には、この仕事を遂行するための別会社を設立することが条件であった。こうして、ケンブリッジ電気供給会社が設立されたのである。ケンブリッジ市当局は、電気供給事業という認可を得ただけで発電所の建設を行わなかったので、2,040 ポンドでケンブリッジ電気供給会社に権利を譲渡した⁴⁹。

当初の取締役は、下記のとおりであった⁵⁰。

The Rev. G.B. Finch,	会長(Chairman)
The Hon. C.A. Parsons,	社長(Managing Director)
Sir B.C. Browne	
D. Munsey	
John B. Simpson	
G. Whitmore	

この中、フィンチ(G.B. Finch)は、クイーンズ・カレッジ(Queens' College)の名誉教授⁵¹で、Rev.から判るように牧師でもあり、会長職を務めた。社長は、パーソンズが務めた。ブラウニー卿(Sir B.C. Browne)は、パーソンズがニューキャッスルに設立した発電事業会社 DISCo 社のフォース・バンクス発電所を建設するために購入した跡地のホーソン・レスリー社の会長であった⁵²。シンプソン(John B. Simpson)は、DISCo 社にも出資したニューキャッスルの炭鉱所有者である。

1892 年ケンブリッジ電気供給会社のトムソン・レーン(Thompson Lane)発電所に、半径流式の 100kW パーソンズ蒸気タービンが 3 基設置された。これは、これまでのパーソンズ蒸気タービンのように大気に排気を放出するのではなく、復水式のタービンであった。この蒸気タービンは単相の発電機に接続され、各発電機は、10 燭光(Candle Power)の 3,500 灯の白熱灯を点灯する能力があった。また、これらの機械は、ボルトで固定することなく、金属製のトレイの中でゴム製のブロックの上に各ユニッ

⁴⁹ Parsons (2014), pp. 173-174 および Bowers (1982), p. 167.

⁵⁰ Cambridge Electric Supply Co. (1894).

⁵¹ Parsons (2014), p. 173.

⁵² Grace's Guide to British Industrial History, "Benjamin Chapman Browne."

トが設置されるという、非常に自立したものであった⁵³。ゴム・ブロックで本質的に少ない蒸気タービンの振動を更に吸収したため、非常に静粛であった。このため、往復動機関の振動と騒音に苦情のある地域からの蒸気タービンの更なる注文を受けた⁵⁴、という。

これらの蒸気タービンの一つが、ケンブリッジ大学のユーイング(J.A. Ewing)教授に試験され、1892年8月の報告書には、下記のように評価された⁵⁵。：

この試験の結果は、復水式蒸気タービンが本質的に経済的な熱機関であることを示している。全負荷の効率から比較的小さな割合(しか変化しない部分負荷での)効率は、おそらくどの蒸気機関よりも良好であり、中央発電所からの電気照明に蒸気タービンを使用する際には特に興味深い特徴である。私の意見では、現在のタービンダイナモは、特殊な軽量且つ効率的な高速原動機としての他の可能な用途を別にすれば、重負荷と軽負荷の両方で蒸気を経済的に利用できるだけでなく、並外れた軽量さとコンパクト性、初期費用の少なさ、基礎の独立性、振動のなさ、安定した速度制御(Governing)、シンプルさ、取扱いの容易さ、メンテナンス・油・監視要員(Attendance)などの必要とされる費用の少なさの理由から、中央発電所での使用に非常に適している。

こうして、100kWのパーソンズ蒸気タービンの蒸気消費量は、当時の最良の往復動機関と同等であることが、公式に認知された⁵⁶。英国の黎明期の発電所産業について書いたR.H. パーソンズは、「ユーイング教授のような権威のある人物が、このように包括的に好意的な意見を述べたことは、無知や偏見によって、パーソンズの発明が、“玩具に過ぎない”とか“蒸気食いでしかない”といった一般的に言われている口汚い言葉を打ち消すのに何よりも有効であった。ユーイングの報告書が発表された後、蒸気タービンが中央発電所の新しい要素設備として真剣に受け止められなければならないことは、もはや疑いの余地がなかった」⁵⁷と述べている。

⁵³ Parsons (2014), p. 174.

⁵⁴ Bowers (1982), p. 167.

⁵⁵ Parsons (2014), pp. 174-175.

⁵⁶ Gibbs (1947), p. 214.

⁵⁷ Parsons (2014), p. 175.

トムソン・レーン発電所は、1892 年 7 月末から建設作業を開始し、1892 年 11 月 19 日より営業運転を開始した。当初、10 燭光の 230 灯の白熱灯⁵⁸に電気を供給したが、その年の末までの 1892 年度取締役会報告書には、4,700 灯と急激に供給先が増加し、6,200 灯の申し込みがあると記載されている⁵⁹。

その後、照明負荷は順調に拡大し、1895 年には、トリニティー・カレッジ(Trinity College)とその周辺の街路への供給を行うため変電所を建設すると共に、75kW のパーソンズ蒸気タービンを 1 基追設し、全容量を 525kW としている⁶⁰。1896 年には、新規加入が 40 あり合計 287 となり、1897 年には、42 の新規加入があり、プレビステリアン・カレッジ(Presbyterian College)へ電気を供給するためのケーブル敷設⁶¹を行っている。1898 年には新規顧客 36 があり、合計顧客数は 365 となった。1899 年には、需要の増加により、500kW パーソンズ蒸気タービンを 1 基追設した⁶²。

1902 年には急激な需要の増加にともない、新規の発電所を建設し移設する必要があると判断されたが、翌年には、不可能と判断し、トムソン・レーン発電所に隣接する土地を購入し、倉庫や修理・工作工場を設置している。1903 年には、ケンブリッジ地区の近隣地区への電気供給が、議会で承認され、供給エリアが拡大した。1904 年には、更に、隣接地を購入し事務所を移転している⁶³。この後、1905 年には、500kW パーソンズ蒸気タービンを 2 基追設し、旧式の蒸気タービンは廃棄しており、全発電容量は、1,650kW となった⁶⁴。1908 年には、本社にショールームを開設し電気器具(Fitting および Appliances)を展示し、電気需要を喚起するのに有効であったとしている。また、この年の取締役会報告書には、金属フィラメント電灯は炭素フィラメントの 2 倍の光を出すにも拘らずエネルギー消費は 1/2 のため、顧客一人当たりの収入が減少した、と記載されているが、結果としては、電気照明は安価となるので、顧客の数は、将来、

⁵⁸ これは約 14kW に相当する。(Bowers (1982), p. 167)

⁵⁹ Cambridge Electric Supply Co. (1893).

⁶⁰ Cambridge Electric Supply Co. (1896). 当初の設備容量は 300kW であったので、1893 年に 150kW パーソンズ蒸気タービン 1 基が追設されたと考えられる。

⁶¹ Cambridge Electric Supply Co. (1898).

⁶² 同上 (1897-1900)。

⁶³ 同上 (1903-1905)。

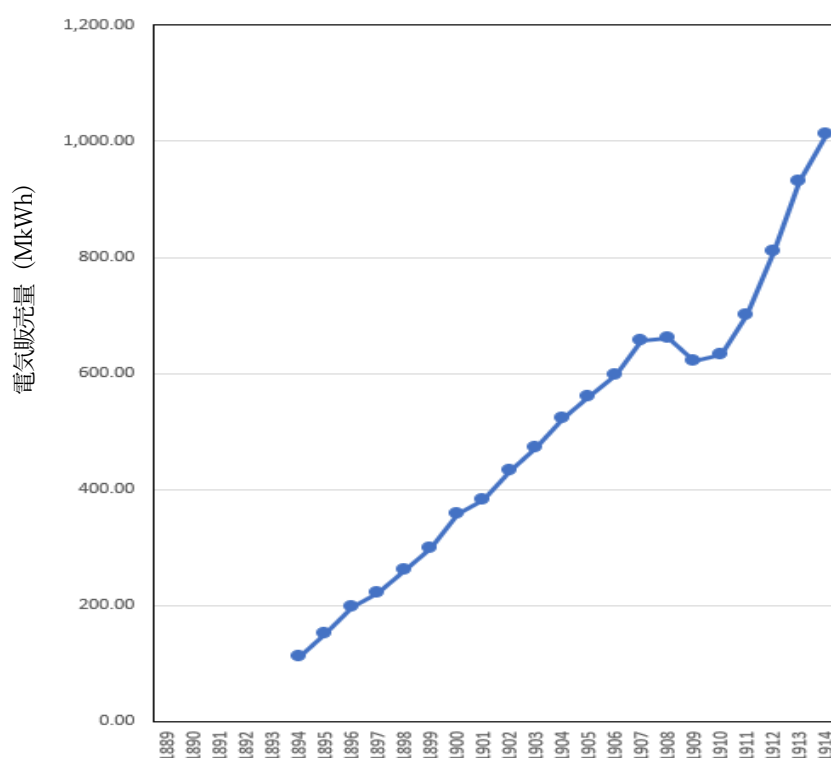
⁶⁴ 取締役会報告書(1906)には、具体的な出力の記載ないが、旧設備 100kW x 3 基と 75kW x 1 基を廃棄したと考えられるので、500kW x 2 基で代替したと考えられる。

大きく増加するものと取締役会は予想している、と記載されている⁶⁵。その後も顧客は順調に増加し、1908年には新規顧客が102増加し、1909年175、1910年152、1911年179、1912年198、1913年235、1914年183と顧客数が順調に増加⁶⁶し、販売電力量は、当初の1894年の112MWhから1914年には1,011MWhと20年間で約10倍増加⁶⁷した。

ケンブリッジ電気供給会社の経営内容：

ケンブリッジ電気供給会社の電気販売量の推移を図4.5に示している。

図4.5 ケンブリッジ電気供給会社の電気販売量の推移



(出典：Cambridge Electric Supply Co. (1895-1915)より著者作成)

1908年および1909年の販売量の落ち込みは、金属フィラメントの導入により、電気消費量が減少したため⁶⁸、と取締役報告書には記載されている。その後は、新規顧客の

⁶⁵ Cambridge Electric Supply Co. (1909).

⁶⁶ 同上 (1909-1915).

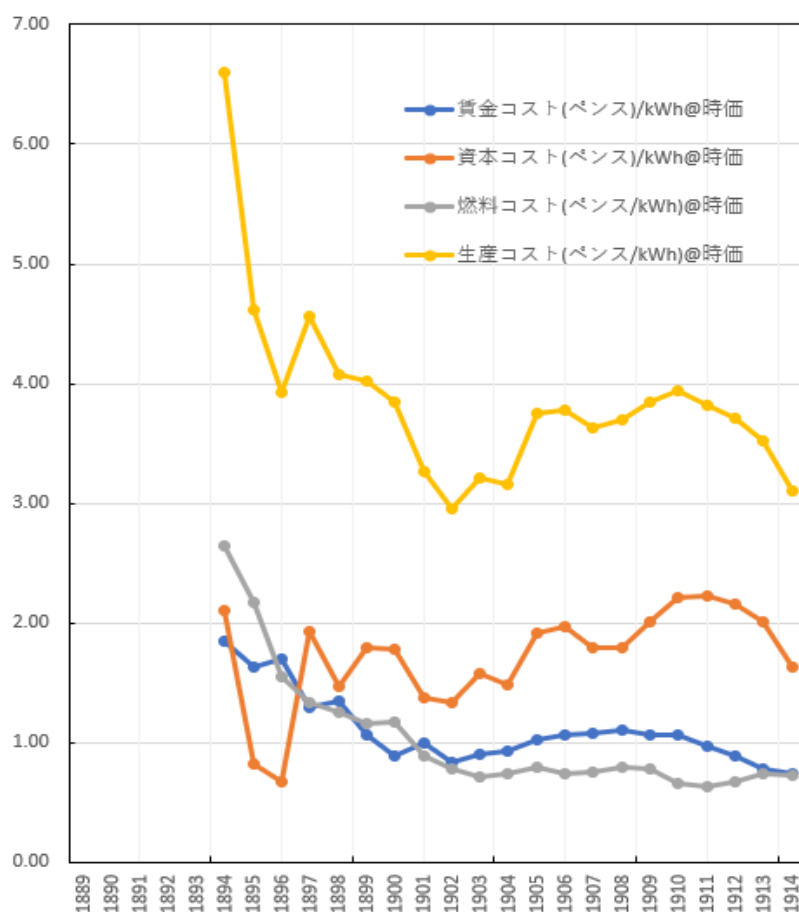
⁶⁷ 同上 (1905, 1915).

⁶⁸ Cambridge Electric Supply Co. (1909-1910).

増加により販売量は増加し、減少することはなかった。

ケンブリッジ電気供給会社の販売電気量当たりの生産性の向上を、図4.6に、時価で示している。

図4.6 ケンブリッジ電気供給会社生産性の推移



(出典：Cambridge Electric Supply Co. (1895-1915)より著者作成)

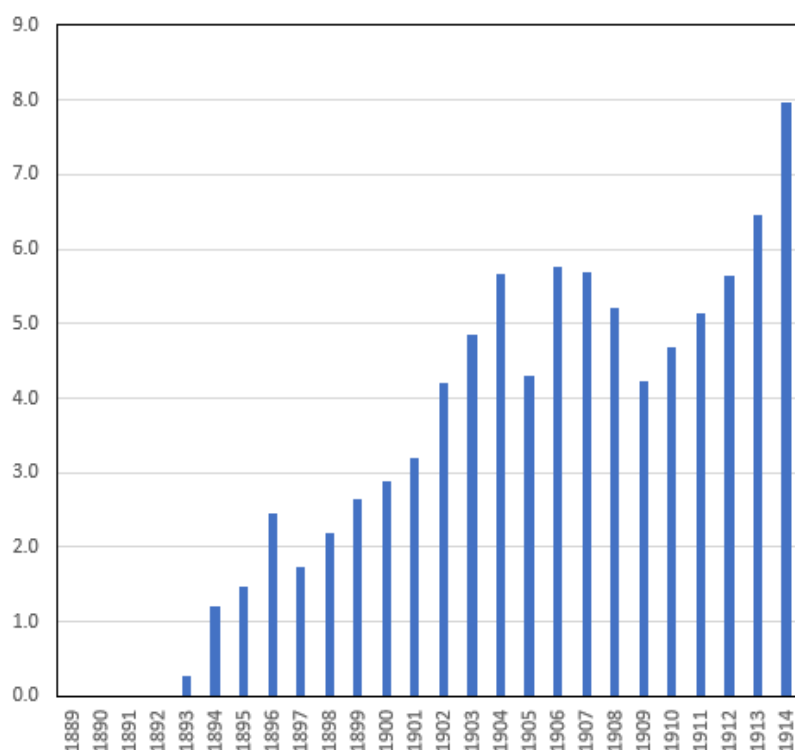
会社設立2年後の1894年から第一次世界大戦前までの生産コストは、途中、紆余曲折はあるものの、約2分の1に減少している。賃金コスト、資本コスト、燃料コストもそれぞれ、1/3、2/3、1/5に減少しており、それぞれの分野で生産性が向上していることが判る。

1894年は、賃金コストは生産コストの28%、資本コストは32%、燃料コストは41%であったが、1914年には、それぞれ、24%、52%、23%となってる。資本コストの占める割合が増えたのは、電気販売量が112万kWhから1,010万kWhへ約9倍と

拡大する途中、新たなパーソンズ蒸気タービン設備等を購入しており、この購入の際の社債や銀行からの借入金への返済が大きくなったものと思われる。

図 4.7 に純利益の推移を示している。

図 4.7 ケンブリッジ電気供給会社の純利益推移(x1000 ポンド)



(出典：Cambridge Electric Supply Co. (1894-1915)より著者作成)

1896 年の純利益の突出は、石炭価格が 6.75%低下したこと、資本支出の減少、および、前年に追設した 75kW パーソンズ蒸気タービンの大きな恩恵による⁶⁹。1905 年の減益は、社債他の利子支払いによるものである⁷⁰。1907 年の減益は水処理プラント、節炭器(Economizer)、変電所の追設等の資本支出の増加によるものであり、1908 年と 1909 年の減益は、金属フィラメント電灯の導入によるエネルギー消費量の減少によるものであった⁷¹。1910 年の取締役会報告書に初めて「動力」の文字が出現するが、これ以降、照明用でなく、動力用にも電気需要が増大していった模様である。報告書

⁶⁹ Cambridge Electric Supply Co. (1897).

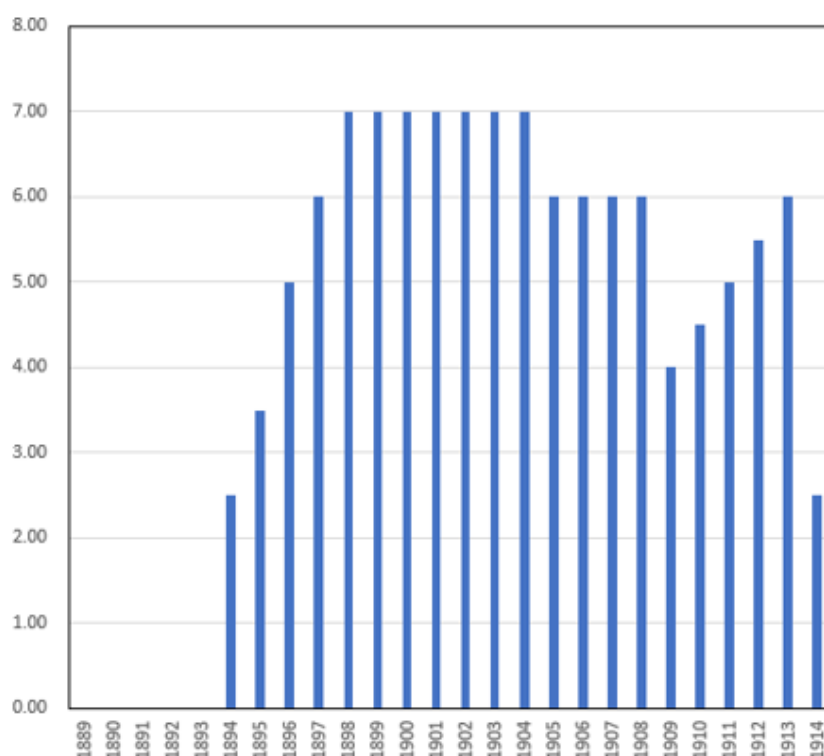
⁷⁰ 同上, (1906).

⁷¹ 同上, (1908-1910)

には、「電気は、機械の駆動に利点があるので、今後、更に増加するものと予想している。... 金属フィラメントで電気代が安価となるので、これまで部分的にしか照明していない顧客の拡張を誘起するし、また、新規顧客が増加するものと期待される」とも記載されている⁷²。こうして、第一次世界大戦前まで、順調に純利益は増加しており、経営的に成功した会社であった。

図4.8にケンブリッジ電気供給会社の配当を示している。

図4.8 ケンブリッジ電気供給会社の配当推移(%)



(出典：Cambridge Electric Supply Co. (1895-1915)より著者作成)

事業開始初期は、通常、利益は事業の見通しが立つまで内部留保するのが普通と思われるので、1892年と1893年は無配当となっている。1894年より徐々に配当を増加し1898年から1904年までは、7%の配当を行っている。この配当が7%を越えていない理由については、取締役会報告書からは明確でないが、これは、ケンブリッジ市当局との協定により、配当が7%を越えると電気料金を下げる必要があることから、

⁷² Cambridge Electric Supply Co. (1911).

7%が上限としたものと思われる⁷³。

1909 年の 5%配当の落ち込みは、減益によるものであり、その後の増益に伴い、配当も徐々に改善されている。ケンブリッジ電気供給会社の設立より 1914 年までの 23 年間の平均配当は 5.1%であり、1907 年－1908 年の英国海外投資の平均リターンとほぼ同等であり、十分満足のいく投資であったと考える。

(3) スカボロー電気供給会社(Scarborough Electric Supply Co.)

スカボロー市当局は、1883 年という早い時期に発電事業を許可する暫定命令(Provisional Order)を受領していたが、ケンブリッジ市を含め、多くの事例と同様に、市当局は電気を供給するための更なるステップを踏まなかった。最終的には民間企業に任せることになり、資本金 5 万ポンドでスカボロー電気供給会社が設立され、市に電気を供給することになった。1891 年に暫定命令に基づく権限をスカボロー電気供給会社に 525 ポンド⁷⁴で譲渡することで合意した。契約の条件によると、市当局は 21 年後に継続企業としてこの会社の事業を購入する権利を有していた。代わりに、32 年後に購入、あるいは、その後、5 年ごとに、営業権や収益力を考慮せずに、電気照明法に基づいて購入することも可能であった。電気は、個人用照明には 1kWh あたり最大 7 ペンス(d.)、街路用照明には 6 ペンスで販売されることになっていたが、会社が資本金に対して 8%の配当を得ることができた場合には、この価格は引き下げられることになっていた⁷⁵。

当初の取締役は下記のとおりであった⁷⁶。

Richard Steble

George Smith

John Dale

John Woodall

⁷³ このような市当局との協定は、一般的であり、ニューキャッスルの NESCo 社は、市当局との間で、配当が 8%を越える場合は、超過分の半分を翌年の電気料金の価格を下げることを合意している。(National Civic Federation (1907), p.281)

⁷⁴ Scarborough Maritime Heritage Centre.

⁷⁵ Parsons (2014), p. 176.

⁷⁶ Scarborough Maritime Heritage Centre.

George Lord Beeforth

John Simpson

Charles Parsons

Alan Swinton

スイントン(Alan Swinton)は、ロンドンのコンサルタントであり、後にパーソンズの船用蒸気タービン会社の出資者となったり、タインサイド電力会社法案をパーソンズと協同して作成しているが、スカボローの発電プラントの設備仕様書は、彼が準備している⁷⁷。

スカボロー発電所は、1893 年 2 月建設が始まり、1893 年 8 月には送電開始した。当初、2 基の 120kW パーソンズ復水式蒸気タービンが設置され、単相の発電機をそれぞれ駆動した。蒸気タービンは、ケンブリッジ電気供給会社と同じく半径流式であった。1893 年 9 月営業運転を開始したが、最初の 3 か月間は、早朝および夜間の暗い時間帯にのみ電気を供給したが、1893 年 12 月末からは、終日電気を供給するようになった。当初は、8 燭光(candle power)の約 4000 灯を点灯したが、急速な需要の高まりのため、1894 年に 75kW 容量のパーソンズ蒸気タービンを 1 基追設した。また、1895 年には 150kW が 1 基、更に、1900 年には 500kW が 1 基増設され、全設備容量は 965kW となった⁷⁸。1904 年にはスカボロー路面電車に供給するようになり、需要は 790,064kWh へと上昇し、1914 年第一次世界大戦前には、1 億 kWh 以上となった⁷⁹。

この発電所は、「信頼性が極めて高く、パーソンズ蒸気タービンを導入したこの企業は、最初から株主に利益をもたらした」⁸⁰とのことである。

2) 技術的条件(技術のシーズ)

パーソンズは、1884 年から 1889 年末まで、ニューキャッスル市のタイン川の対岸に位置するゲーツヘッド(Gateshead)のクラーク・チャップマン社の副共同経営者であり、会社の名前もクラーク・チャップマン・パーソンズ社であった。この在任中の 1888 年に、電気照明事業法が改正され、強制買収条項が 21 年より 42 年に延長されたこと

⁷⁷ Scarborough Maritime Heritage Centre.

⁷⁸ Parsons (2014), pp. 176-179.

⁷⁹ Scarborough Maritime Heritage Centre.

⁸⁰ Lord Hinton of Bankside (1979), p. 37.

から、発電事業への参入が多く計画された。ニューキャッスルでも、NESCo 社が 1889 年 1 月 8 日に設立され、パンドン・ディーンに往復動蒸気機関発電所を建設する計画をした。パーソンズはこれに続いて 1 月 14 日に DISCo 社を設立した。この理由は、彼の発明した蒸気タービンが、それ迄は、船内照明用という特殊な用途に使用されていたため、これ丈では、十分ではないと考えた彼が、蒸気タービンの陸用発電という市場を確保するために、より直接的な行動に出たのであった⁸¹。この市場に蒸気タービンを製作・供給するための蒸気タービン製作会社が設立された。

(1) C・A・パーソンズ社

パーソンズは、クラーク・チャップマン・パーソンズ社在任中の 1889 年 6 月⁸²に、ニューキャッスル市の郊外のヒートン(Heaton)に自身の蒸気タービンの製作会社である、C・A・パーソンズ社⁸³を設立した。

この在任中のパーソンズによる二つの会社の設立は、利益相反になると判断したクラーク・チャップマン社とパーソンズとの 6 年間の共同経営は、1889 年 12 月 31 日に突然解消⁸⁴された。この解消に伴い、パーソンズの 1884 年の軸流蒸気タービン特許は、クラーク・チャップマン社が保持することになった。このため、1894 年この特許を調停により回復するまでは、軸流蒸気タービン設計を使用することができず、この間は、新たにパーソンズが開発した半径流蒸気タービンを使用せざるを得なかった。このため、DISCo 社のフォース・バンクス発電所⁸⁵やケンブリッジ電気供給会社のトムソン・レーン発電所やスカボロー発電所では、当初、半径流蒸気タービンが使用されたのである。

⁸¹ Scaife (2000), p. 191.

⁸² Heaton Works Journal (1954), p. 7.

⁸³ この地は、現在では、ドイツに本社を持つシーメンス社の工場となっており、パーソンズの功績を称え、C・A・パーソンズ工場と呼ばれている。

⁸⁴ Scaife (2000), p. 193.

ヒートン工場史に、「パーソンズは蒸気タービンを最大限に発展させるために、クラーク・チャップマンとの共同経営を解消し、自分で新しい工場を建設することにした」(Heaton Works Journal (1954), p. 7)と記載されているように、当初より、パーソンズは、大型蒸気タービンの開発を希望したが、クラーク・チャップマン社は蒸気タービンの将来性を見通せず、開発のための原資を提供しなかったために、パーソンズは共同経営を解消した、と考えるのが合理的と思われる。McGovern and McLean ((2013), p. 454)も著者の推定を補強している。

⁸⁵ フォース・バンクス発電所の最初の 4 基の蒸気タービンは、パーソンズがクラーク・チャップマン・パーソンズ会社に在任中に発注したものであるので、軸流型である。

C・A・パーソンズ社は、自身の資金と少数の友人により財政支援により設立された⁸⁶。ヒートン工場には、クラーク・チャップマン社と一緒に働いていた仲間が移動したが、その数は全員で48名⁸⁷であった。この中には、米国ウェスティングハウス社のパーソンズ蒸気タービンの製造ライセンスの購入に伴い米国に派遣され、米国の蒸気タービンの父と呼ばれるようになったホッジキンソン(Francis Hodgkinson)や後に技術部長となるストウニー(Gerald Stoney)が含まれていた⁸⁸。工場は、小型の機械と組立工場、鍛造・鋳造工場(Blacksmith Shop)、小さな会議室のある管理事務所から構成されており、敷地面積は僅か2エーカーの借地で⁸⁹工場の長さは170ft(約50m)、幅は50ft(約15m)であった⁹⁰。当初は、この小さな工場で、製造、機械加工、組立、試験までの全ての蒸気タービンの製作が行われたのである。

この工場は、パーソンズ蒸気タービンの生産量の拡大に伴い、次々と拡張されていた。1900年までに機械・組立工場と事務所は拡張され、実験建屋、試験建屋、鍛造工場、鋳造工場が増設され、1912年までに大型の機械工場、組立工場、翼製作工場、鋳造工場、および、サーチライト工場が新たに建設され、敷地は長さ約1150ft、幅約480ftに拡大した⁹¹。

図4.9に1912年現在のヒートン工場の建屋配置を示している。

このヒートン工場で、現在一般に使用されている復水式のタービンが1891年に世界で初めて製作された。この蒸気タービンは、軸流タービンの特許を使用できなかったために、パーソンズが、数年をかけて幾度かの失敗の後に開発した100kW半径流タービンであった。この蒸気タービンは、DISCo社フォース・バンク発電所に納入され、ケンブリッジ大学のユーイング教授により試験された。この結果が満足のいくものであったので、ケンブリッジ電気供給会社トムソン・レーン発電所およびスカボロー発電所に適用された。DISCo社の設立目的の一つは、パーソンズ蒸気タービンの開発・実験・検証の場であったので、この蒸気タービン自体は、そこで実験機として数

⁸⁶ Parsons (2014), p. 173.

⁸⁷ Heaton Works Journal (1954), p. 7.

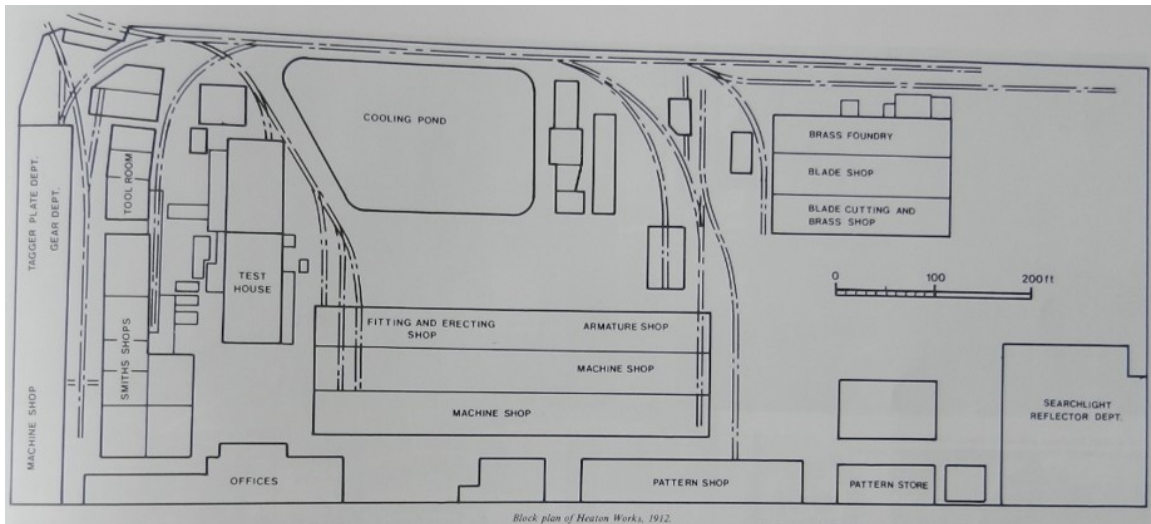
⁸⁸ Scaife (2000), p. 199.

⁸⁹ Heaton Works Journal (1954), p. 7.

⁹⁰ Engineering (1932), p. 144.

⁹¹ PA-1083 (1989), pp. 5, 9.

図4.9 ヒートン工場の建屋配置図(1912 年)



(出典：PA-1083 (1989), p. 9)

年使用された⁹²。この工場で製作された陸用の最大の半径流パーソンズ蒸気タービンは、1893年に製作されたポーツマス市電気照明発電所(Portsmouth Municipal Electric Light Station)向けの150kW機である。この発電所は、パーソンズ蒸気タービンを初めて購入した公的機関の発電所であると共に、低速往復動蒸気機関と初めて並列運転を行ったことで有名である⁹³。

また、この工場では、船用タービンの製作を行うための専用会社であるパーソンズ船用タービン会社(Parsons Marine Steam Turbine Co.)が設立されるまで、船用タービンも製作しており、世界初の蒸気タービン船であるタービニア(Turbinia)号の駆動用蒸気タービンの製作も行っている。この蒸気タービンは2000SHP(1500kW)の半径流タービンで、1894年タービニア号に搭載されたが、キャビテーションのため計画通りの速度が得られなかったため、1894年に軸流タービン特許をクラーク・チャップマン社から回復した後は、軸流タービンに変更している⁹⁴。

1894年、当時最大である350kWの軸流蒸気タービンがヒートン工場で製作された。これは、ロンドンのメトロポリタン電気供給会社(Metropolitan Electric Supply Co.)の

⁹² Stoney (1938), p. 251.

⁹³ Parsons (2014), p. 179.

⁹⁴ Nicholas (1996), p. 67.

こうして、1894年以降のパーソンズ蒸気タービンは全て軸流式となった。

マンチェスター・スクエア(Manchester Square)発電所向けであった。この発電所は、前年に 10 基のウィランス高速往復動蒸気機関を設置したが、近隣の住民はこの機関による振動と騒音に強い不満を表明し、最後には法的手段に訴えた。発電会社は、蒸気機関の基礎に入念且つコストのかかる対策を実施したが、不愉快さを軽減するのに失敗した。この結果、裁判所は、会社に 18 ヶ月以内にこのトラブルを解決する効果的な手段を見つけるか、あるいは、運転を止めるよう命令したのである⁹⁵。このため、この会社は、切羽詰まって、この問題の解決として、パーソンズに蒸気タービンを供給するように依頼したのであった。

この単相 350kW パーソンズ蒸気タービン発電機により、近隣の住宅の時計を止めるという振動やガタガタという非常に大きな騒音⁹⁶に対する住民の苦情を取り除くことができ、この発電所は閉鎖という危機から免れたのである。このパーソンズの冒険的事業は、大成功であった⁹⁷。メトロポリタン電気供給会社は、続いて、この発電所のために、更に、2 基の 350kW を発注し、後には、他の発電所向けに数台の 500kW を発注した。他の電気事業会社もこの先例に従い、パーソンズ蒸気タービンを使用し始めたのであった⁹⁸。

1896 年には、最初のギア式蒸気タービンが製作され、DISCo 社に納入された。このタービンは、蒸気タービンが毎分 9,600 で回転し、発電機が毎分 4,800 で回転するもので、出力は 150kW で 80Hz の単相交流電流を発生するものであった。ギアは最適回転数が異なる駆動機と被駆動機の場合に適用されるが、The Engineer 誌はこの重要性を下記のように指摘している⁹⁹：

1896 年初頭まで、623 基の C・A・パーソンズ社製直接結合型タービン発電機が納入されており、ギア式蒸気タービンを開発する必要はなかった。しかし、このことは、後年の最も重要な開発の方向を指し示す運命的な第一歩であった。タービンと発電機の

⁹⁵ Parsons (1936), p. 29.

⁹⁶ Lord Hinton of Bankside (1979), p. 34.

⁹⁷ Parsons (1987), p. 362.

この蒸気タービンは非復水式、つまり、蒸気タービンの排気を大気へ放出していたので、騒音を軽減するために、高さ 120ft の煙突から排気している(Lord Hinton of Bankside (1979), p. 34)。このため、騒音問題は完全には解決されなかったものと思われる。

⁹⁸ Engineering (1932), p. 143.

⁹⁹ The Engineer (1934), p.88.

回転数をそれぞれ独立して選定できるという利点は明らかである。DISCo 社は新たな(蒸気タービンの)発展に関して 2 度目の貢献をするという栄誉を担った。

このギア式蒸気タービンの重要性は、第 1 に、相似則により大出力の蒸気タービン
を設計することが可能¹⁰⁰となること、第 2 に、大容量の低速の直流(DC)発電機¹⁰¹で
なく、ポンプや送風機・圧縮機、圧延ミルなどの産業用にも利用可能となること、第
3 に、船舶の低速のスクリュー・プロペラと組合すことができることにあるが、実際
には、ギアの製作精度が向上する 1909 年に船舶へ実験的に適用されるまでは応用が
困難であった。

また、1896 年は、ヒートン工場にとって、パーソンズ蒸気タービンが、米国へ初め
て輸出されるという歴史的な年でもあった。これは、米国で採用された最初の商用機
で出力は 120kW であった¹⁰²。

1900 年には、ドイツのエルバフェルド(Elberfeld)発電所に当時最大の 1,000kW パ
ーソンズ蒸気タービンが 2 基輸出され、1902 年には NESCo 社のネプチューン・バン
ク(Neptune Bank)発電所で 1,500kW が、1903 年と 1907 年には同じく NESCo 社の
ガーヴィル(Carville)発電所で 3,500kW と 5,000kW のパーソンズ蒸気タービンが商業
運転を開始した。

1908 年には、メトロポリタン地区鉄道会社(Metropolitan District Railway Co.)のロ
ッツ・ロード(Lots Road)発電所向けに 6,000kW が製作された。この発電所は地下鉄
用発電プラントで、当初、英国ウェスティングハウス(British Westinghouse Co.)社¹⁰³
に発注されたが、設計丈でなく製造も拙く、契約通りの熱消費率が達成できなかった。

¹⁰⁰ タービンの出力比は、回転数比の二乗に逆比例するということから、ヨーロッパの通常の毎分
3,000 回転の場合、 $150\text{kW} \times (9,600/3,000)^2 = 15,360\text{kW}$ となり、大型の蒸気タービンの開発が可
能となる。(Horseman (2019), p. 5-6)

¹⁰¹ 直流発電機には整流子があるため、大容量の高速発電機では整流子が焼損することになる。

¹⁰² Parsons (1936), p. 40.

¹⁰³ 米国ウェスティングハウス社(W 社)は、1889 年英国 W 社を設立し、1901-1902 の間に英国のマン
チェスターに大規模工場を建設した。この会社が、ロッツ・ロード発電所向けに、5,500kW を 8 基
受注した。1905 年運用を開始したが、1908 年の性能試験で保証熱消費率を超過した。これは、石
炭の消費量を増し、地下鉄の運転コスト増となるため、1908 年 10 月 W 社タービン取換えの入札が
行われ、C・A・パーソンズ社が選定された。(Dyson (2012), p. 414)
また、英国での製造は、1895 年の W 社へのパーソンズ特許の譲渡契約条件に違反するとして、C・
A・パーソンズ社との大きな法廷論争となった。(Scaife (2000), pp. 375-376)

このため、発電機はそのまま使用し、蒸気タービンのみ C・A・パーソンズ社製に交換された。この C・A・パーソンズ社の蒸気タービンとウェスティングハウス社製発電機の組合せは成功し、熱消費率も良好であった¹⁰⁴。

1912 年には、米国シカゴのコモンウェルス・エジソン社(Commonwealth Edison Co.)のフィスク(Fisk)発電所向けに 25,000kW の蒸気タービンを受注した。これは当時世界最大の蒸気タービン発電機であった¹⁰⁵。この発電所には、米国のゼネラル・エレクトリック社(General Electric Co.)(以降、GE 社と略す)製の蒸気タービンが、発電所開設当初より多数設置されていた。これにも拘らず、フィスク発電所に GE 社の競争相手であるパーソンズの蒸気タービンが導入された経緯については、コモンウェルス・エジソン社のインサル(Samuel Insull)社長がパーソンズに話を持ち掛けたといわれており¹⁰⁶、更に、その背景について、パーソンズの伝記を書いたアップルヤード(Rollo Appleyard)は、下記のように述べている¹⁰⁷。

世界の工場での機械的な製作方法の進歩と、電灯の同時需要に伴い、発電所でも産業プラントでも使用できる強力に信頼できる原動機が必要であった。1911 年、この問題を検討した結果、米国では米国製のタービンは英国製のタービンよりも効率が悪いという結論に達し、最善の方法(Best Practice)で製作された非常に大型の C・A・パーソンズ社製のターボ発電機と復水器を米国に輸入すれば、良い結果が得られると判断されて決定された。

1914 年 6 月の性能試験の結果、パーソンズの蒸気タービンは、GE 社タービンの燃料消費率よりも大きく良好で、20 年以上運用され、「頼りがいのある古老(Old Reliability)」と呼ばれるほど信頼性が良く好評であった、といわれている¹⁰⁸。C・A・パーソンズ社は、第一次世界大戦後の 1923 年に同じ会社のクロフォード・アベニュー発電所(Crawford Avenue Power Station)向けの 50,000kW のタービン発電機を受注

¹⁰⁴ Scaife (2000), p. 375.

¹⁰⁵ Weightman (2011), p. 115.

¹⁰⁶ Scaife (2000), p. 420.

¹⁰⁷ Appleyard (1933), p. 56.

¹⁰⁸ Scaife (2000), p. 421.

している¹⁰⁹。

1912年には、運転中の英国の発電所の3分1以上が蒸気タービンであり、新規に建設される公共用発電所は全て蒸気タービンとなる状況となった¹¹⁰。20世紀初頭から始まる米国やドイツからの英国蒸気タービン市場への参入にも拘らず、C・A・パーソンズ社ヒートン工場の陸用蒸気タービンの製作累積出力は、1889年までには約4,000馬力(約3,000kW)¹¹¹、1899年までには約60,000馬力(45,000kW)¹¹²、そして、図4.10に示すように、1901年には約100,000馬力(約75,000kW)、1907年には約260,000馬力(約195,000kW)、1911年には約530,000馬力(約398,000kW)、そして、本研究の最後の検討年代の1914年には、約700,000馬力(525,000kW)へと拡大していったのである。これは、英国国内および海外の多数のパーソンズ蒸気タービンのライセンスを含めておらず、これらの数値を含めると更に膨大な生産累積量となるのは確実である、と思われる。

C・A・パーソンズ社の会社設立より第一次世界大戦直前までの取締役会報告書は紛失されたものと思われ、入手できなかった。このため、利益や配当などの経営内容の変化については不明である。しかしながら、パーソンズが亡くなる1年前の1930年には、パーソンズが責任を持った最後の設計である NESCo のダンストン(Dunston)B 発電所向け再熱蒸気タービン 50,000kW が製作されている¹¹³が、この蒸気タービンは、当時、世界で最高の熱効率¹¹⁴であった。この事実は、C・A・パーソンズ社にこのような開発する技術的及び経営的余裕があったことを示すものであり、経営は順調であったと思われる。更に、1997年ドイツのシーメンス(Siemens)社に買収¹¹⁵されるまで、パーソンズの名を冠した会社が存続したこともこの証左であると考え

¹⁰⁹ Appleyard (1933), p. 56.

¹¹⁰ Hannah (1979), p. 13.

¹¹¹ Parsons (2015), p. 55.

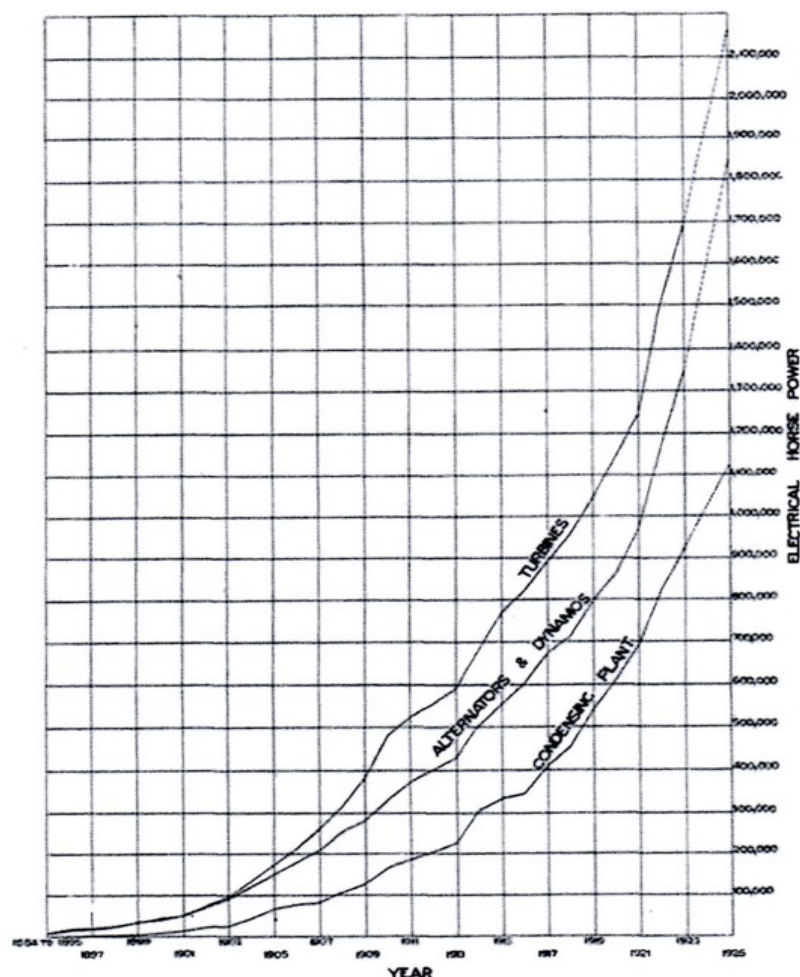
¹¹² Parsons (1988), p. 198.

¹¹³ Ewing (1931), p. 119.

¹¹⁴ Bolter (1994), p. 159.

¹¹⁵ Horseman (2019), p. 193.

図4.10 C・A・パーソンズ社ヒートン工場の蒸気タービン製作累計出力推移



(出典：PA-318 (1923), p. 24, Fig. 27)

4.2 船用蒸気タービン

1800 年代後半は、大洋航行客船(Oceangoing Liner)の急速な技術進歩および大型化の時代であった¹¹⁶。特に、1860 年代からは、大西洋航路の最速横断船に与えられる「ブルーリボン賞(Blue Riband)」制度により、速度の重要性が強調され、競争が激しくなった。このため、船殻材料の鉄鋼化、外車推進からスクリュウ推進、蒸気機関の 1 段膨張機関から 2 段膨張機関へ、そして、パーソンズが蒸気タービンを発明した 1884 年の直前には、3 段膨張機関が出現しつつあり、出力の増大化というイノベーション

¹¹⁶ Nicholas (1996), p. 67.

をもたらした¹¹⁷。また、1871年のドイツの統一以降の帝国主義の始まりは、世界の強豪国家の中で強い国家意識が高揚した時代であり、各国の海軍の増強が図られ、特に、海外植民地を保有する国では顕著であった¹¹⁸。

1) 経済的条件(市場のニーズ)

パーソンズは、商船や軍艦にとって、特に、大型の商船や軍艦のように非常に大きな推進力が必要とされる場合、蒸気タービンが往復動蒸気機関に優ると確信していた¹¹⁹。同時に、パーソンズは、蒸気タービンという発明品を市場で商品に転換し、旧技術である往復動蒸気機関を新技術である蒸気タービンに代替するには、マーケティング(市場開拓)が必要であるとの重要性を認識していた¹²⁰。こうして、「パーソンズは、蒸気タービンで船を推進させることが可能であることを、客船会社や海軍に確信させることは、如何に難しいかをよく理解していた。このため、1897年のスピットヘッド海軍観閲式(Spidhead Review)でのタービニア(Turbinia)号を使った有名なデモンストレーションという形で、偉大なマーケティングを行ったのである」¹²¹。

パーソンズは、蒸気タービンにより推進される実験船タービニア号を建造するために、1894年1月ニューキャッスル市の東端のウォールセンド(Wallsend)に「船用蒸気タービン会社」を設立した。当初、パーソンズは全部を自分自身で取組み、全てのリスクを個人的に取る積りであったが、最終的には、知人、友人からも出資してもらい小さな共同出資会社(Syndicate)とし、自身も数千ポンドを出資した¹²²。出資者は下記のとおりであった¹²³：

Earl of Rosse

C.A. Parsons,

社長(Managing Director)

N.G. Clayton, Chesters, Northumberland

¹¹⁷ Geels (2005), p. 124.

¹¹⁸ Nicholas (1996), p. 67.

¹¹⁹ 同上, p. 67.

¹²⁰ ローゼンバークもイノベータの条件の一つとして、「成功したイノベータは、マーケティングと宣伝に注意を多く向けた」といい、マーケティングの重要性を述べている(Rosenberg (1982), p. 222)。

¹²¹ Nicholas (1996), p. 67.

¹²² Swinton (1907), p. 268.

パーソンズの出資額は9,000ポンドであった。(Leggett (2011), p. 292)

¹²³ Richardson (2014), p. 8.

Christopher Leyland, Haggerston Castle, Beal, Northumberland

J.B. Simpson, Bradley Hall, Wylam-on-Tyne

A.A. Campbell Swinton, 66, Victoria Street, Westminster

ロッセ卿(Earl of Rosse)は、パーソンズの長兄のローレンス(Laurence Parsons)、レイランド(Christopher Leyland)は元英国海軍将校¹²⁴、シンプソン(J.B. Simpson)は DISCo 社設立時の出資者、スウィントン(A.A. Campbell Swinton)は、ロンドンのコンサルタントで、スカボロー電気供給会社の出資者でもあった。

資本金は2万5千ポンド¹²⁵で、会社設立趣意書には、下記のように下記のように記載されていた¹²⁶：

この会社の目的は、パーソンズ氏の良く知られている蒸気タービンを船舶の推進に適用し、能率的に又徹底的にテストするに必要な資本を提供する事にある。もし、成功すれば、新しいシステムは、原動機として蒸気を使用する現在の方法を大きく変革し、また、これ迄の最速の船舶で可能であった速度よりも、もっと早い速度を達成する事が可能となる、と信じる。...

より高速のスクリュウ推進器の採用に当たっての効率、配置、サイズ、材料等は、調査と実験によってのみ決定できるので、新しい推進システムの完全かつ網羅的なテストの資金を提供するためにこの会社は設立された。

そして、5年前では蒸気タービンを船舶の推進に適用することは困難であったろうが、この最近2年間の蒸気タービンの発展と改善により、1,000馬力以上で回転数が、毎分約2,000回転であれば、蒸気消費量は、最善の3段膨張蒸気機関よりも少ないのは確実であると固く信じている、とも記載し、船用の往復動蒸気機関と比較した場合の船用蒸気タービンの利点として、下記事項を挙げている¹²⁷：

1. 速度の増加

¹²⁴ Smith (2009), p. 48.

レイランドはタービニア号の船長、パーソンズは蒸気タービン機関の主任技師の役割を果たした (Parsons (1920), p. 113)。

¹²⁵ Appleyard (1933), p. 91.

¹²⁶ Richardson (2014), p. 9.

¹²⁷ Appleyard (1933), p. 92.

2. 船舶の積載力の増加
3. 蒸気消費の経済性の向上
4. 狭い水路での航行の容易性の増加
5. 初期コストの低減
6. 機械重量の低減
7. 機関監視コストの低減
8. 機械保守費の低減
9. 振動の大幅低下

10. スクリュープロペラおよび軸サイズ及び重量の低減

こうして、1894 年タービニア号が進水し、当初は、単段の 1650 軸馬力(SHP) (1230kW)¹²⁸ 半径流蒸気タービンで単軸のスクリュー・プロペラを駆動したが、速度は期待したよりも遅かった。様々な試行錯誤の後、1897 年に漸く取り戻した軸流タービンの設計を適用し、個別の推進軸を持つ 3 基の軸流タービン 2300SHP(1715kW)¹²⁹ に取替え、1897 年のスピットヘッドで、34.5 ノットという驚異的な速度を観衆の前に示したのである。

客船：

タービニア号の成功によりパーソンズは同年自分の名を冠したパーソンズ船用蒸気タービン会社へと組織変更し、1898 年海軍からヴァイパー(Viper)号とコブラ(Cobra)号、合計の二隻の魚雷駆逐艦(Torpedo Destroyer)を受注した。この後は、海軍からの追加の受注がしばらく途絶えることとなった。このため、パーソンズは客船市場への進出を図ることを決意し、1901 年共同出資会社「タービン蒸気船会社(Turbine Steamer Ltd.)」を設立し、世界で最初の蒸気タービンで推進される客船、キング・エドワード(King Edward)号を建造した。この会社は、クライド川で客船を運行するウィリアムソンと造船会社のウィリアム・デニー社、および、パーソンズで新船舶のコストをそれぞれ 3 分の 1 ずつ負担¹³⁰して設立された。蒸気タービンはパーソンズ船用蒸気タービン社が製作した。

キング・エドワード号は長さ 250ft、排水量 650 トン¹³¹で、3,500 軸馬力¹³²の蒸気タ

¹²⁸ Horseman (2019), p.13.

¹²⁹ Richardson (2014), p. 13, Table II.

¹³⁰ McOwat (2006), p. 88.

¹³¹ Parsons (2015), p. 111.

¹³² Stevens and Hobart (1906), p.630.

ービンが搭載されていた。クライド河口で同じ航路を走行する最新の3段膨張往復動蒸気機関と直接比較することができ、燃料消費量は約15%良好であった¹³³。この結果、1902年には、クイーン・アレキサンドラ(Queen Alexandra)号4,400軸馬力¹³⁴が追加発注され、クライドの住民に安価な蒸気船と役立った。この経済性と利益の得る運航は、蒸気タービンをより広い造船業コミュニティにとって魅力あるものとした¹³⁵。このクライド船の成功は、サウス・イースタン鉄道会社(South Eastern Railway Co.)のドーバー-カレー(Dover-Calais)間の英仏海峡横断船サービスのための最初の蒸気タービン船の発注へと導いた。1903年に完成したクイーン(The Queen)号と名付けられたこの船は、軸馬力9,700¹³⁶で、速度、経済性、および、燃料消費率に関して予想以上であった¹³⁷。

同じ1903年には、ニューヘブロン-ディエップ(Newhaven-Dieppe)間の英仏海峡横断船のブライトン(Brighton)号が建造され、1903年4月にはクリストファー・ファーンニス卿(Sir Christopher Furness)のヨット、エメラルド(Emerald)号が初めて大西洋を横断する蒸気タービン船となった。当時、アラン汽船(Allan Line)は、ヴィクトリア(Victoria)号とヴァージニアン(Virginian)をカナダ航路に就航すべく建造中であった¹³⁸。アラン汽船と対抗するキュナード汽船(Cunard Line)は、1年後の1905年に、同じく大西洋航路に蒸気タービン推進船のカルマニア(Carmania)21,000軸馬力を就航させたが、更に、巨大な大西洋横断客船を計画した。当時、大西洋航路は、熱狂的な国威発揚の場であり、1898年以降、ドイツの汽船会社が優位であった。キュナード社は、英国政府から低利子の補助金2.6百万ポンドと年間15万ポンドの補助金を得て、合計75,000馬力(2基の37,500馬力)を搭載した¹³⁹モーレタニア号とルシタニア号の建造を計画した¹⁴⁰。この二隻の船の成否にはキュナード社の存亡がかかっており、キュナード社は、諮問委員会を設置し、往復動蒸気機関と蒸気タービンの比較を行い、

¹³³ Parsons and Stoney (1906), p. 185.

¹³⁴ Stevens et al. (1906), p.630.

¹³⁵ Leggett (2011), p. 305.

¹³⁶ Stevens et al. (1906), p.630.

¹³⁷ Bywater (1922), p. 238.

¹³⁸ ヒューズ(1976), p. 202.

¹³⁹ Stevens et al. (1906), p.631.

¹⁴⁰ Nicholas (1996), p. 60.

この両船舶は、英国政府が平時は高速の郵便船として使え、戦時には、海軍補助艦として使用できる船の建造を切望したことから建造された(Klein (1988), p. 116)。

パーソンズの蒸気タービンを採用することに決定した¹⁴¹。モーレタニア号とルシタニア号はそれぞれ 1906 年に進水し、1907 年にはルシタニア号がドイツよりブルーリボンを取り戻し、1909 年にはモーレタニア号がブルーリボンを取り、その後 21 年間保持したのである。

1906 年パーソンズは往復動蒸気機関の低圧排気蒸気を蒸気タービンに使用する特許を取り、1908 年にオタキ(Otaki)号に初めて適用し、12%の燃料削減の結果を得た¹⁴²。このシステムは、1912 年に竣工した有名なホワイト・スター汽船社(White Star Line)のタイタニック(Titanic)号など数多くの船舶に適用された。

また、1910 年には、ヴェスパシアン(Vespasian)号という貨物船を購入し、ギア減速の蒸気タービンを搭載し、換装前の 3 段膨張往復動蒸気機関との比較試験を行った。ギア式蒸気タービンは、15%以上の燃料消費量の改善が見られた¹⁴³。第一次世界大戦直前の 1914 年に就航した英国最大の客船アキタニア(Aquitania)号 60,000 軸馬力¹⁴⁴は、最後の蒸気タービン直結推進システムであった¹⁴⁵。

このように、船用蒸気タービンは、高速の商船から低・中速の貨物船に至るまで数多く適用されるようになり発展していった。

軍艦：

スピッドヘッドでの海軍観閲式でのデモンストレーションの成功により、翌年の 1898 年海軍は魚雷駆逐艦ヴァイパー号を発注したが、海軍は、蒸気タービン技術にまだ大きな懸念を持っており、懲罰的な保証条項が付けていた¹⁴⁶。これは、保証速度を達成できない場合、10 万ポンドを支払うというもので、1987 年価格で 400 万ポンドという高額なものであった¹⁴⁷。保証速度は前進速度 31 ノット、後進速度は半速であったが、ヴァイパー号は 6,150 軸馬力¹⁴⁸のパーソンズ蒸気タービンを搭載し、実際の試運転では前進速度 37 ノットを達成、後進速度の 15.5 ノットを成功裡に達成した¹⁴⁹。次いで、やや大型のコブラ号(6,500 軸馬力)を受注したが、両艦とも 1901 年に前者は

¹⁴¹ ヒューズ (1976), pp. 202-203.

¹⁴² Parsons (1948), p. 15.

¹⁴³ 同上, p. 20.

¹⁴⁴ Smith (2013), p. 282.

¹⁴⁵ 中澤 (1999), p. 520.

¹⁴⁶ McOwat (2006), p. 87.

¹⁴⁷ Parsons (1987), p. 367

¹⁴⁸ Stevens et al. (1906), p.630.

¹⁴⁹ Garnett (1908), p. 159.

座礁、後者は沈没し乗組員 67 名が死亡、14 名が救助された¹⁵⁰。どちらもタービンに起因するものではなかったが、これらの 2 つの惨事の影響は海軍当局の熱意を弱め、新しい蒸気タービン駆動の軍艦が発注されるまで、数年が経過した¹⁵¹。

海軍は、蒸気タービンによる推進を更なる試験をせずには、使用しないことを決定した¹⁵²ので、1902 年、海軍は 3000 トンクラスの巡洋艦 4 隻の発注時に、その内の 1 隻は、14,200 軸馬力(2 基 7,100 軸馬力)の蒸気タービンを搭載したアメシスト(Amethyst)号¹⁵³とし、他の 3 隻の姉妹船は通常の往復動蒸気機関駆動とした。これらの性能の比較試験の結果、アメシスト号の性能は、速度および燃料消費量のいずれも往復動機関船よりも卓越していた。こうして、蒸気タービンの優位性が決定的に実証されたので、1905 年、海軍本部の設計に関する委員会は、将来の全てのクラスの軍艦は、蒸気タービンを搭載すべきと推奨した¹⁵⁴。

第一海軍卿(First Lord)のフィッシャー(Fisher)が述べた、パーソンズの蒸気タービンを今後採用する理由は、下記のとおりであった：

どのような推進装置を搭載するのが良いのかを徹底的に検討しなければならなかった。蒸気タービン推進方式には、現在のところ、幾つかの欠点があることは認識しているが、重量の軽減、作動部品の数の減少、故障の可能性の減少、スムーズな作動、操作の容易さ、高出力での石炭消費の節約、これによるボイラ室のスペースの減少、機関室の人員の減少がある；さらにこのシステムでは機関が船舶内の低い位置にあるために保護性能が向上する。これらは、欠点を補って余りある利点であるため、採用することを決定した。航海速度だけを考えれば、タービン推進を採用することに問題はなかった。この委員会が最も重視した点は、迅速かつ容易な操縦のために十分な停止力と旋回力を持っているかであった。試験は、蒸気タービンを搭載したアメシスト号と往復動機関を搭載した(3 隻の)姉妹船との間で行われた；... 適切なタービン機械を採用することで、すべての要求を完全に満たすことができると考えられ、艦隊の一員として、あるいは、狭い水域で行動する際の操船能力は十分に満足できるもので

¹⁵⁰ Jarrett (1984-85), p. 42.

アプリーヤードは、約 44 名が死亡、12 名が救助されたという(Appleyard (1933), pp.147-148)。スミスは、79 名の乗組員の内、12 名が救助され、死亡した人員の中には、パーソンズ船用タービン会社やボイラ・メーカーからの派遣者が含まれていたと述べている(Smith (2013), p. 278))。パーソンズ船用タービン会社は数名の社員を亡くしており、公的基金に 500 ポンド寄付している(PAR-38/2)。

¹⁵¹ Bywater (1922), p. 238.

¹⁵² Klein (1989), p. 116.

¹⁵³ Alexander (2014), p.13, Table II.

¹⁵⁴ Klein (1989), p. 116.

あった¹⁵⁵。

実際、往復動蒸気機関の固有の特性により、往復動蒸気機関の艦隊は全速で非常に長い時間、故障することなく航行することは不可能であった。全速力で1時間走るとに、2時間の修理が必要だった¹⁵⁶、のである。

こうして、1905年23,000軸馬力(11,500軸馬力2基)のパーソンズ蒸気タービンを搭載した戦艦ドレッドノート(Dreadnought)号が着工され、翌年には就役した。この戦艦は、保証速度21ノットを上回る性能を発揮し、多くの巡洋艦よりも速く、既存の英国、フランス、および、ドイツのどの戦艦よりもほぼ3ノット(約17%)速く¹⁵⁷、英国海軍の海上支配権を確実なものとした。これは、「(蒸気)タービン・エンジンを始めて搭載した、全(てが)主砲の革命的軍艦」¹⁵⁸であり、この「ドレッドノート革命」により、各国海軍は、パーソンズ蒸気タービンを輸入あるいはライセンスにより製造するようになり、第一次世界大戦前の軍艦及び商船は、ほとんど、パーソンズ蒸気タービンとなったのである。

1909年には、より高速の巡洋戦艦の70,000軸馬力(35,000軸馬力2基)のライオン(Lion)号が、そして、1912年には、75,000軸馬力(37,500軸馬力2基)の巡洋戦艦クイーン・メリー(Queen Mary)号が建造¹⁵⁹された。こうして、各国でも超弩級戦艦の建造が始まり、ドレッドノート号は、新たな軍備競争を各国間で惹起する契機となったのである。

2) 技術的条件(技術のシーズ)

パーソンズは、1894年1月に船用蒸気タービン会社を設立したが、この時の状況について、1922年パーソンズは、Scientific American 誌上で長い時間インタビューしたバイオータ(Hector Bywater)に次のように語っている：

最初から、私は、船舶のタービン推進の可能性を信じていたが、私は、特にタービン駆動に必要な高速回転で効率的に作動するプロペラを見つけるという、障害となる特別な困難に気付いていなかった。1894年¹⁶⁰、私は、ライトン・オン・タイン(Ryton-on-

¹⁵⁵ Parsons (1911), p. 83.

¹⁵⁶ Jones and Keogh (1985), p. 128.

¹⁵⁷ 同上, p. 128.

¹⁵⁸ 藤田 (2015), p. 95.

¹⁵⁹ Horseman (2020), p. 62.

¹⁶⁰ 1894年1月に船用蒸気タービン会社は設立されており、この発言は記憶間違いだと思われる。パー

Tyne)の家の池で、小さな船のモデルを使って実験をし、まず、非常に高速に適合する船型を決定し、次に、プロペラの動作を研究した。

このモデルの一つは、長さ 2ft で、時計仕掛けと 2 枚羽根のプロペラを作動させるねじれたゴム製コードが取り付けられており、18,000 rpm の回転数で回転し、6 ノット
の速度でボートを動かした¹⁶¹。

他のモデルもそれに続き、最終的には実物大タービン蒸気船に必要なプロペラ効率を計算することができた。

この段階で、後に「タービニア号」として広く知られるようになった船の建造のための共同出資会社が結成された¹⁶²。

このように、準備周到の後に、船用蒸気タービン会社を設立し、実験船タービニア号を建造した。1897 年スピットヘッドでの海軍観閲式で、驚異的な 34.5 ノットという速度を示威し、実験船が成功した後に、船用蒸気タービン会社をパーソンズ船用蒸気タービン会社に改組したのであった。

この新しい会社の資本金は 50 万ポンドで当初の取締役は下記のとおりであった¹⁶³：

Earl of Rosse

C.A. Parsons,

社長(Managing Director)

Norman C. Cookson

Christopher Leyland

J.B. Simpson

A.A. Campbell Swinton

新会社の取締役は、旧会社の取締役であったクレイトン(N.G. Clayton)が、最近亡くなったため、クレイトンの代わりに、パーソンズの隣人のクックソン(N.C.

ソンズは、船体の設計は殆ど自身でおこなっており、1894 年 8 月 2 日にタービニア号が進水(Smith (2009), p. 48)、1896 年 9 月には試験準備が完了している(Jarret (1984-85), p. 42)ことから、発言に矛盾があり、また、開発開始が、余りにも遅すぎると考えられる。事実、Parsons Marine Steam Turbine Co.の社内誌には、1893 年の早期にモデル試験を開始したと思われると記載されている(Parsons Marine Steam Turbine Co. (発行年不明), p. 2)。

また、軸流蒸気タービン特許を回復していなかったことから、1893 年の後半にタービニア号用の半径流蒸気タービンの設計を開始している(Tyne and Wear County Council (1981), p. 2)。

¹⁶¹ Parsons Marine Steam Turbine Co. (発行年不明), p.2 には、最初の 2ft のモデルは、釣竿と釣り糸で曳航し、次に試したのは、長さ 6ft のモデルで、プロペラシャフトの単段減速スパイラル・ギアを介して、握じったゴム紐で駆動した、と記述されており、パーソンズの記憶間違いと思われる。

¹⁶² Bywater (1922), p. 238.

¹⁶³ PAR-38/1 (1900)

Cookson)が新会社の取締役役員となった¹⁶⁴他は、すべて、旧会社と同じ役員構成であった。

新会社の設立の翌年、海軍より魚雷駆逐艦ヴァイパー号を受注した。船殻とボイラは、ホーソン・レズリー社(Howthorne, Leslie & Co.)に二次発注された。コブラ号はアームストロング・ウィットワース社(Sir W.G. Armstrong, Whitworth and Co.)により建造され、パーソンズ船用蒸気タービン会社が蒸気タービンを供給した¹⁶⁵。しかしながら、タービンの製作は、パーソンズ船用蒸気タービン会社の「タービニア工場が未だ完成していなかったため、これらの船舶のタービンは、C・A・パーソンズ社のヒートン工場で作成」¹⁶⁶された。

1900 年初めから 1900 年 6 月末までを対象とする取締役報告書は、「政府や造船会社、船主との交渉を行っており、早期に工場がフル稼働し、タービン・システムが国内外の主要船主や政府の軍艦に採用されることを確信している」¹⁶⁷と述べるほど、新会社は、当初より希望に満ちたものであった。軍艦の分野に進出した後、商船の分野にも進出し、クライド川を本拠とする造船会社と汽船運航会社とそれぞれ 3 分の 1 ずつ出資した「タービン蒸気船会社」を 1901 年に設立し、キング・エドワード号を建造した。1901 年 8 月及び 9 月のヴァイパー号とコブラ号の事故直前の 1900 年 7 月初めから 1901 年 6 月末までの取締役会報告書では、「取締役会は、この 1 年間、当社が確実かつ満足のいく大きな進展を遂げたことを喜んでいる。... キング・エドワード号は、今年の夏に、3 か月のシーズン中に多くの乗客を運び、最も成功した。このクラスの船舶におけるタービン機関の実用的な成功を完全に証明した。この船は売却する予定であるが、それまでの間に可成りの利益を得ており、これは、今年度の会計に計上されている。... 更に、これよりも大きなクライド蒸気船(「クイーン・アレクサンドラ号」)と更に大型の 2 隻のヨットを受注した」¹⁶⁸と報告されている。

ヴァイパー号とコブラ号の事故のあと、海軍は蒸気タービンの艦装を一次中止したが、1902 年には海軍からアメシスト号他一隻向け、クライド川の造船会社ウィリアム・デニー社から 2 隻の海峡横断船向け、および、数隻の大型ヨット向けの蒸気タービン

¹⁶⁴ Scaife (2000), p. 325.

¹⁶⁵ Appleyard (1931), p. 145.

¹⁶⁶ Heaton Works Journal (1954), p. 10.

¹⁶⁷ PAR-38/1 (1900)

¹⁶⁸ PAR-38/2 (1901)

を受注している¹⁶⁹。パーソンズ船用蒸気タービン会社は、このように、順調に成長していき、1903年には、アメシスト号と海峡横断船クイーン号が完成した。この年、蒸気タービン機関の需要が急速に増加していることと、大量の工場の手持ち量を抱えていることから、英国内の主要なエンジニアリングおよび造船会社に船用蒸気タービンの製造をライセンスすることに決定している¹⁷⁰。

1904年度(1903年7月初めより1904年6月末)の取締役会報告書では、「会社の事業は順調に進んでいる」¹⁷¹と冒頭に記載するほど、受注量が多く、英国の海軍および造船会社からだけでなく、フランス、ドイツ、オランダの海軍からも受注した。日本での船用蒸気タービンの製造独占権を三菱に供与もしている¹⁷²。こうして、事業が順調なことから、ウォールセンド工場の土地をリース契約から購入へと変更することに決定している¹⁷³。

1905年には、大型の船用タービンを製作するため、隣接地に土地を取得した。また、戦艦ドレッドノート号向けをはじめ多数の軍艦用船用蒸気タービンを受注するとともに、大西洋横断客船カーメニア(Carmania)号向けをライセンシーが製造している。米国海軍向けおよび客船向けをも数隻製造中であった¹⁷⁴。1906年には、機械工場を延長するとともに棟(Bay)を追加し、大型蒸気タービン用の大型機械を導入し、事務所の拡張も行っている¹⁷⁵。1907年にはライセンスでモーレタニア号とルシタニア号の蒸気タービンが完成し、米国2社、ドイツ1社、ロシア1社にライセンスを供与している¹⁷⁶。

1908年度(1907年7月初めから1908年6月末)の取締役会報告書に、「昨年の初め、工場は十分に稼働しなかった。その後、タービン機械の追加注文を受けたが、この地域のエンジニアのストライキにより、今年の生産量に大きな影響を与えた」¹⁷⁷と記載される一方、「取締役会は、現在、英国海軍用に建造中の全ての軍艦に“パーソンズ型”

¹⁶⁹ PAR-38/3 (1902)

¹⁷⁰ PAR-38/4 (1903)

¹⁷¹ PAR-38/5 (1904)

¹⁷² 蒸気タービン製造技術習得のため、三菱長崎造船所より技師1名と職工1名がパーソンズ船用蒸気タービン会社に派遣されている(松本(1913), p. 141)。

¹⁷³ 同上。

¹⁷⁴ PAR-38/6 (1905)

¹⁷⁵ PAR-38/7 (1906)

¹⁷⁶ PAR-38/8 (1907)

¹⁷⁷ PAR-38/9 (1908)

の蒸気タービン推進機が装備されていることを喜ばしく思っている。これは、現在までに装備された船舶でパーソンズ型が非常に成功したことが証明されたからである。更に、世界の多くの海軍当局が英国海軍に倣っていることも喜ばしく思っている。また、このシステムが商船でも採用され続けられていることも喜ばしい」¹⁷⁸と記述されているように、軍艦でも商船でも舶用パーソンズ蒸気タービンの採用は拡大していった。また、この年、初めて、往復動蒸気機関の排気蒸気を低圧蒸気タービンに使用するという複合機関を採用したオタキ号が進水した。

1909年には低速の貨物蒸気船(Tramp Steamer)の分野を開拓するため3段膨張機関を装備したベスパシアン号(Vespasian)を購入し、貨物状態で蒸気および石炭の消費を計測した後、蒸気タービンに換装すべく取外し作業を行っている¹⁷⁹。また、英海軍の高速巡洋戦艦のライオン号に蒸気タービンを供給している。

1910年度取締役会報告書¹⁸⁰には、軍艦および商船への蒸気タービンの適用が大きく拡大し、過去5年間英国海軍のほぼすべての軍艦にパーソンズ蒸気タービンが採用され、英国と植民地の143隻の軍艦に蒸気タービンが装備されており、全部でその出力は2,100,000馬力となると報告されている。この他、米国、フランス、ドイツ、イタリア、オーストリア、日本、スペイン、デンマーク、スウェーデン、ブラジル、アルゼンチン、および、中国のそれぞれの海軍の建造中の軍艦について、パーソンズ・タービンの装備状況を記述されており、第一次世界大戦前の異常な軍備拡大競争を目の当たりにすることができる。また、英国丈でなく、フランス、カナダ、イタリア、米国、および、日本¹⁸¹でも商船にパーソンズ蒸気タービンが採用されていることが報告されている。更に、燃料経済性が非常に良好な往復動蒸気機関と低圧蒸気タービンを組合わせた複合機関を採用したオリンピック号およびタイタニック号などが建造中であることが記載されている。そして、ギア式蒸気タービンに換装されたヴェスパシア

¹⁷⁸ PAR-38/9 (1908)

¹⁷⁹ PAR-38/10 (1909)

¹⁸⁰ PAR-38/11 (1910)

¹⁸¹ 日本の商船は天洋丸と千代丸で、太平洋航路に使用され、その目的を完全に達成した、と記載されている。(PAR-38/11 (1910))

天洋丸の蒸気タービンの製造技術習得のため、三菱長崎造船所から技師1名と職工1名がウォールセンドのパーソンズ舶用蒸気タービン会社に派遣されている(コンティヘルム (1989), p. 117)。

ン号の広範なテストが昨年行われ、往復動機関と較べて 15%蒸気消費量が低下したことが報告された。このギアシステムが、今後、貨物船に広範囲に使用されとの期待が述べられるとともに、英国海軍で実験的に採用するため魚雷駆逐艦¹⁸²が建造中であると記載されている。

1911 年度の取締役会報告書¹⁸³には、1911 年にも多数の軍艦を英国海軍より直接、または、サブコントラクターとして多くの蒸気タービンやギヤ式蒸気タービンを受注したこと、また、前年と同じく、フランス、ドイツ、米国、オーストリア、ロシア、スペイン、日本、トルコの各国海軍向けのタービン製作状況が詳細に記述されている。この年、日本海軍にも製造ライセンスを供与するとともに、大型装甲巡洋艦がヴィッカーズ(Vickers)社で建造中で¹⁸⁴、他の 3 隻の姉妹艦は、日本で建造されると記載されている。更に、パーソンズ・タービンを装備した高速客船ルシタニア号およびモーレタニア号の運航経験は優れた定期性と高速性を示し完全に満足のいくものであった、と述べ、キューナード社より、これらよりも更に大型のアクイタニア号を受注しただけでなく、他に、大西洋航路、太平洋航路、海峡横断船、沿岸船向けにタービンを多数受注したことが報告されている。また、低・中速船へのギア式蒸気タービンの利点がヴェスパシアン号の 32,000 マイルの航海で信頼性と燃料経済性が立証されたことから、今後、広く使用されることを望むと記載されている。これは、「1914 年には、一段ギア減速が商船および軍艦のタービンの標準となった。ギヤはタービンの速度を、プロペラの速度と関係なく最適化し、タービン速度が増加した(ため、出力と効率の増加が可能となったためである)」¹⁸⁵と述べられているように現実のものとなった。更に、中速船へ適用した往復動蒸気機関と低圧蒸気タービンを組合わせた複合機関もオリンピック号が期待通りの性能を発揮し、中速船の分野に活用拡大中である旨が報告されている。

¹⁸² これは、ヴァイパー号と同じくパーソンズ船用蒸気タービン会社が受注し、船殻とボイラを二次発注している。ダンバートン(Dumbarton)のデニー(Denny)社が二次発注先となった(PAR-38/11 (1910))。

¹⁸³ PAR-38/12 (1911)

¹⁸⁴ これは、建造時期から判断して、巡洋戦艦金剛と考えられる(坂上 (2002), p. 136)。

¹⁸⁵ Nicholas (1996), p. 73.

これは、図 4.9 の第一次世界大戦後からギアタービンの製作が急上昇していることから判る。

1912 年から 1914 年までの取締役会報告書は紛失されたと思われ、入手することができなかったが、1912 年には、巡洋戦艦クイーン・メリー号を受注した他、その後も軍艦および商船向けの蒸気タービンの受注は継続して拡大していった。このように、パーソンズ船用蒸気タービン会社及びそのライセンシーは、第一次世界大戦まで、事実上、世界の軍艦および商船にその推進用蒸気タービン機関をほとんど供給したのである¹⁸⁶。

図 4.1 1 にパーソンズ船用蒸気タービン会社の製作累積出力をしている。

パーソンズ船用蒸気タービン会社の経営内容：

入手のできたパーソン船用タービン会社の取締役会報告書は、第 3 回総会の 1900 年度分からであったが、1900 年度分の貸借対照表(Balance Sheet)には利益の記載がなかった。

1901 年度は約 1 万ポンド強の赤字であった。これは、初期投資が大きく、ヴァイパー号とキング・エドワード号を安値で受注したこと、および、初期段階に多くのスタッフを雇用したことによる¹⁸⁷。しかしながら、1902 年度より純利益が出始め、1903 年からライセンスを供与したこと、1904 年度からライセンス料(ロイヤルティー)が利益に上乗せされるようになった。1905 年度は前年とほぼ同じ純利益を得たが、1906 年度の純利益は低下した。これは、生産量の減少と工場の土地をリースから購入へと変更したことによるものと考えられる¹⁸⁸。1907 年度は最高の純利益を出しているが、生産量が前年度の 2 倍強であったことによる¹⁸⁹。1908 年度は、ニューキャッスル地区でのエンジニアのストライキにより生産量に大きく影響し、前々年度の水準にまで低下したが、その後は、第一次世界大戦前まで、順調に安定して利益が伸びている。1911

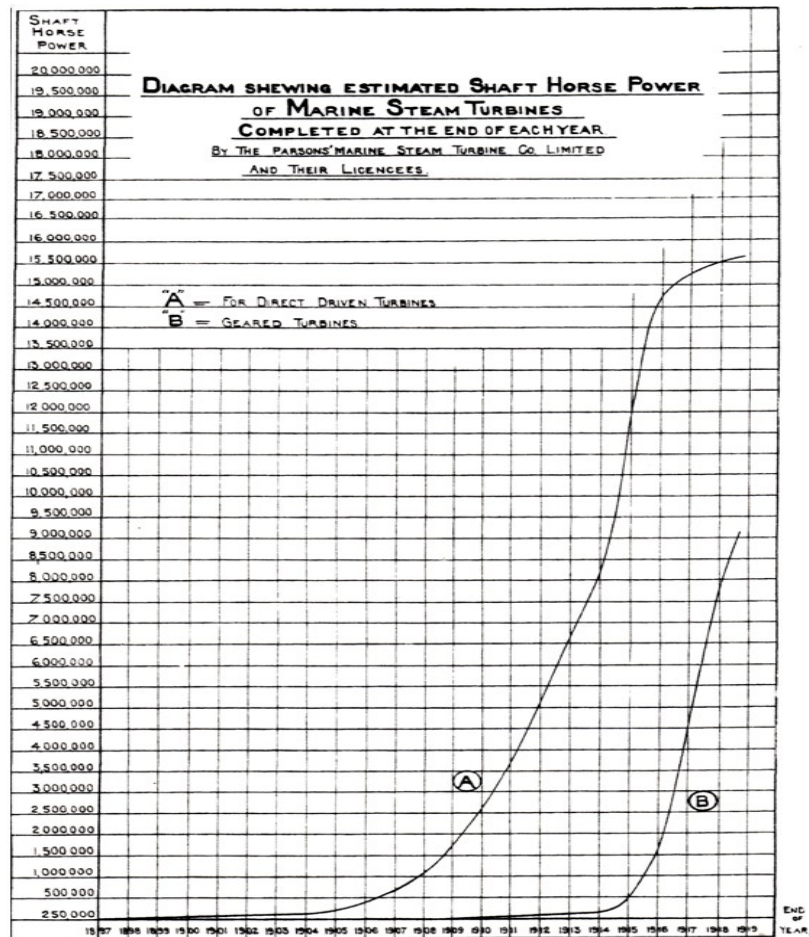
¹⁸⁶ 英国では、クライド川の造船会社ジョン・ブラウン(John Brown & Co.)社が 1908 年米国のゼネラル・エレクトリック社が開発したカーチス型タービンのライセンスを取得した(Scaife (2000), p. 389)。海軍はパーソンズ社の独占を排するため、1910 年 23 隻の I クラス駆逐艦を発注し(Nicholas (1996), p. 27)、第一次世界大戦中の英国海軍の半数は、このブラウン・カーチス型となった(Nicholas (1984), p. 22)。しかしながら、翼と翼車の破壊事故を起こし続けたため、1920 年代初期には使用されなくなった(Goulburn (1984), p. 14)。このため、第二次世界大戦前まで、英国海軍では、パーソンズ蒸気タービンが独占的地位を占めることとなったのである(Horseman (2020), p. 60)。

¹⁸⁷ PAR-38/2.

¹⁸⁸ PAR-38/7.

¹⁸⁹ PAR-38/8.

図4.11 パーソンズ船用蒸気タービン会社ウォールセンド工場蒸気タービン製作
累計出力(ライセンス会社製作分を含む)



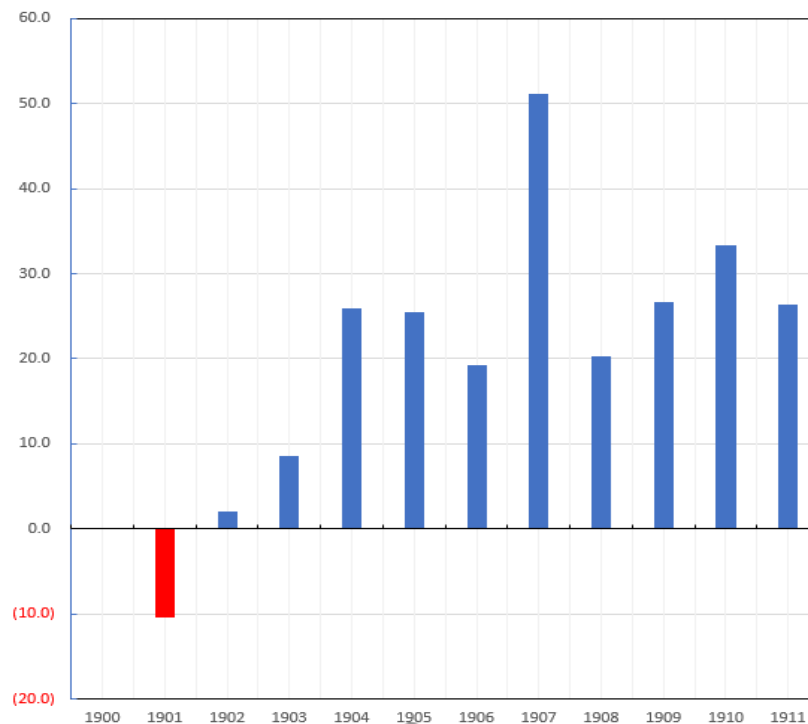
(出典：AS.IES/5/5/1 p. 27)

年度は、船用タービンとスクリュー推進船の実験のために支出が大きかったため、利益の減少があった¹⁹⁰が、船用蒸気タービン分野の主導的な最新技術の開発・製造会社であるとともに、世界中の会社にライセンスを供与しており、経営的には全く問題のない会社であった、といえる。

図4.12に純利益の推移を示している。

¹⁹⁰ PAR-38/12.

図4.12 パーソンズ船用蒸気タービン会社の純利益推移(x1000 ポンド)



(出典：PAR-38/1-12 (1900-1911)より著者作成)

配当については、1902 年度から純利益が得られるようになったものの、配当の余裕がなく、1902 年とおよび 1903 年度は配当が見送られている。1903 年度の取締役会報告書には、大きな利益が期待で配当ができるものと思われる¹⁹¹、と記載されていたとおり、1904 年度から配当ができるようになった 1904 年度は 5%の配当であったが、1911 年まで連続的に 10%の配当を続けることができるほど利益は安定していた。最大の純利益のあった 1907 年には、10%の配当の他に、2.5%の一時金(Bonus)を提供している¹⁹²。さらに、1911 年度にも、10%の配当の他に、2.5%の一時金を提供しており、配当および一時金を支払った後も、十分な余剰金があり翌年に繰り越している¹⁹³。1897 年の設立から 1911 年までの平均配当は、一時金を含めると 5.4 %であり、パーソンズ船用蒸気タービン会社への投資は、十分投資の価値はあったものと判断で

¹⁹¹ PAR-38/4.

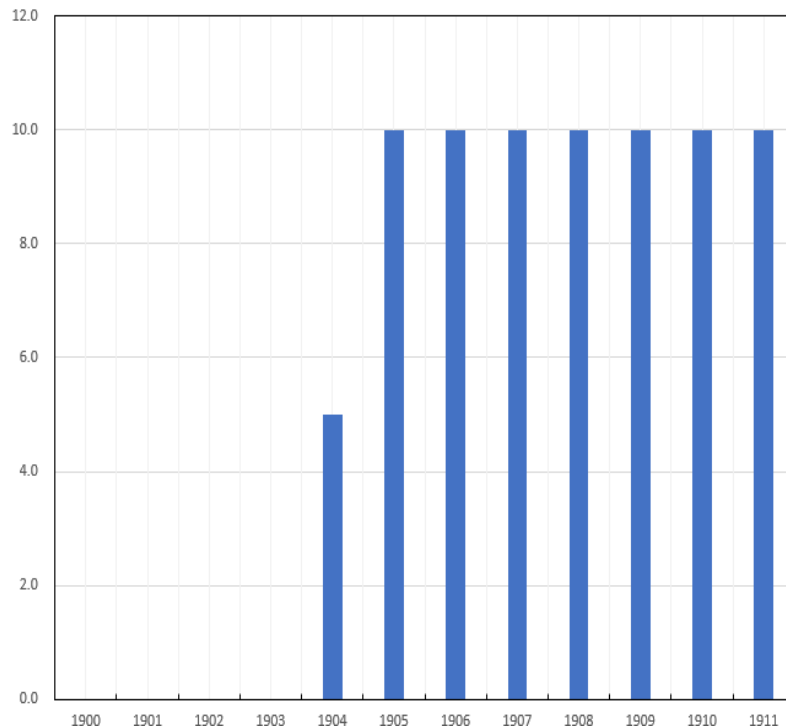
¹⁹² PAR-38/11.

¹⁹³ PAR-38/12.

きる。

図4.11にパーソンズ船用蒸気タービン会社の配当を示している。

図4.11 パーソンズ船用蒸気タービン会社の配当推移(%)



(出典：PAR-38/1-12 (1900-1911)より著者作成)

4.3 小括

「イノベーション」とは、「発明」した後、発明品を製品化し、市場へ投入することであるが、本章では、パーソンズが自らの発明品である蒸気タービンをどのように市場に投入し、製品化していったかという「イノベーション」過程を「市場のニーズ」と「技術のシーズ」という観点から詳細に考察した。

陸用蒸気タービンについては、市場のニーズを惹起し、パーソンズは蒸気タービンを発電事業に適用するため、自ら出資して、「ニューキャッスル地域電気照明会(DISCO)社」、「ケンブリッジ電気供給会社」および「スカボロー電気供給会社」という3つの電気供給会社を設立した。この三つの会社への投資額は3,000ポンド以上を投資している。

他方、蒸気タービンという製品を製作するための技術のシーズが必要なため、これ

にも、自ら出資して、「C・A・パーソンズ社」を設立した。最初に設立した電気供給会社である「ニューキャッスル地域電気照明会社」は、C・A・パーソンズ社が開発した蒸気タービンの実験・検証のための施設として3つの技術開発において重要な役割を果たした。すなわち、パーソンズ蒸気タービンの設置、復水式蒸気タービンの設置、および、ギア式蒸気タービンの設置である。これは、蒸気タービンのその後の発展に大きな貢献をした。

陸用蒸気タービンは、往復動蒸気機関のように振動がなく静粛であることから、それまで発電事業で使用されていた往復動蒸気機関に代わって次第に採用されていった。

船用蒸気タービンについては、市場のニーズを惹起するために、「船用蒸気タービン会社」を設立し、「タービニア号」を建造し、スピットヘッドでの海軍観閲式での世界の海軍関係者の前でデモンストレーションを行った。このマーケティング活動は非常な成功を収め、翌年、海軍より魚雷駆逐艦を2隻受注するとともに、海軍は次第に蒸気タービンを採用するようになった。1905年には、海軍本部は、将来の全てのクラスの軍艦は、往復動蒸気機関に代わって、蒸気タービンを搭載するよう決定した。商船分野においても、「タービン蒸気船会社」を設立し、クライド川の定期船を建造し、商船用船用蒸気タービンのニーズを喚起した。この成功により船用蒸気タービンの適用範囲は、河川の定期船から、海峡横断船、大西洋横断船へと市場のニーズと歩調を合わせて、拡大していった。これと共に、船用蒸気タービンの出力は増大し、性能は改善されていった。

船用蒸気タービンを製作するため、パーソンズは、タービニア号の成功後直ぐに、「船用蒸気タービン会社」から自らの名前を冠した「パーソンズ船用蒸気タービン会社」に組織変更した。この船用蒸気タービン製作会社は、自社工場の製作能力を超えるほど軍艦及び商船の需要があったため、国内外の造船会社や機器メーカーにライセンスを供与した。

船用蒸気タービンは、当初は、高速性能を必要とする軍艦や大洋航海船に採用されたが、中速・低速の船舶にも適用するため、ギア式蒸気タービンや往復動蒸気機関と低圧タービンの組合せの複合機関を開発した。こうして、第一次世界大戦前の蒸気タービン船は、軍艦においても商船においても、ほとんど、パーソンズ型蒸気タービンを採用したのであった。

このような陸用および船用パーソンズ蒸気タービンのイノベーション過程から下記のことがいえる。すなわち、アッターバックは、「新しい製品技術は、粗雑で高価で、信頼性が低いものであるが、いくつかのニッチ市場においてきわめて望まれている方法で、機能を充足することがよくある」¹⁹⁴と述べているように、発明品は、当初、既存の技術の製品と比較して、性能(出力、熱効率)が悪い。このため、既存の技術との競争に打ち勝つためには、既存技術と競争しないニッチ分野を必要とする。蒸気タービンも例にもれず、当初、船舶の照明分野で使用された。これは、蒸気機関で推進される蒸気船には蒸気が豊富にあり、「蒸気食い」と呼ばれるほど、蒸気を多く消費する発明したばかりの蒸気タービンでも、船舶の推進に用いられる往復動蒸気機関の蒸気消費量と比較すれば少量であり、問題とならなかったからである。こうして、当初、蒸気タービンは、船舶の船内照明用というニッチ分野で、出力と熱効率を改善していった。

ニッチ分野で、性能や信頼性が改善された後、この新しい技術である蒸気タービンは、古い技術である往復動蒸気機関と競いながら進化していった¹⁹⁵。この進化過程は、パーソンズの 1904 年の英国学術協会の会長挨拶に良く表れている¹⁹⁶：

鬱蒼とした森の中の若い苗木のように、新しい発明は成熟するまで成長しようと努力する。しかし、古い木や高い木の陰に隠れてしまい、必要な光を得ることができない。一度でも他の木と同じくらいの高さに成長することができれば、すべては簡単だ。そうすれば、光と太陽の恵みを公平に受けることができる。このように、発明の歴史の中では、最初の発明の際に周囲の環境が良くないことがよくある。このように、発明の歴史の中では、最初の攻撃の際に周囲の環境が好ましくないことがしばしばある。その後、別の人たちによって繰り返され、最終的には、さまざまな状況の下で成功し、定着する。

¹⁹⁴ アッターバック (1998), p. 119.

¹⁹⁵ 往復動蒸気機関は蒸気タービンの発明と前後して 2 段膨張より 3 段膨張機関へ、そして 4 段膨張機関へと進化していった。このような、新技術の出現を受けて旧技術が改善される結果は、「Sailing Ship Effect」と呼ばれている。このような例は、数多く見られるが、蒸気船の出現によって帆船が高速化を図ったことに由来する。Ward の論文が初出である (Ward (1967), p. 169)。

¹⁹⁶ Parsons (2015), pp. 42-43. 1904 年はパーソンズ船用蒸気タービンを装備したモーレタニア号が着工した年であり、パーソンズ蒸気タービンは陸用でも船用でも大きく発展していた。

船舶の照明で改善された蒸気タービンは、次いで、陸用の発電設備に適用され、次第に、当時の主力の発電機駆動機であった往復動蒸気機関を、次第に駆逐していったのである。

そして、陸用の蒸気タービンの性能が、当時、船舶の推進に使用されていた往復動蒸気機関と同等となると、蒸気タービンは船舶の推進にも適用された。船舶の大型化・高速化にともない、船用蒸気タービンの出力は巨大化し、往復動蒸気機関では実現が不可能となったからである¹⁹⁷。船用蒸気タービンの大型化と同時に、陸用蒸気タービンも大型化していった。これは、発電需要の増大により、「規模の経済」を追求して、中央発電所から広い供給範囲へ供給するという大型発電所の建設にともない、蒸気タービンも大型化していったからである。

このように蒸気タービンの「イノベーション」は、社会経済的条件(市場のニーズ)と技術的条件(技術のシーズ)の相互作用の中で進行していったのである。

¹⁹⁷ 蒸気タービンの占有スペースは、往復動機関の約1/3-1/4であり、モーレタニア号の必要とする馬力を往復動蒸気機関で実現しようとする、サイズが非常に大きくなり、製作することが不可能となる。モーレタニア号は、蒸気タービンの使用なくしては、実現不可能であったのである(Stoney (1909a), p. 953)。

これは、帆船の発展とよく似ている。帆船が速度を上げるため、その推進力を増加しようとする、帆面積を増加する必要があるが、帆面積を増加するには、船体を大型化する必要である。船体が大きくなると、推進抵抗が増え、推進力を更に増加させる必要があり、いずれかの時点で、それ以上の改善が不可能になってしまう。こうして、帆船から蒸気船へ移行した。同じように、往復動蒸気機関の大型化により船舶を高速化・大型化を図ることは、次第に不可能となり、往復動の蒸気船から蒸気タービン船へ移行したのである。

第5章 パーソンズ蒸気タービンの普及

「普及」は「市場に広く行きわたること」であるが、パーソンズの蒸気タービンが普及すべき市場は、陸では発電用設備分野であり、海では船舶の推進装置分野であった。この二つの分野は、100 年以上もの歴史をもつこれ以上改善する余地のないほど完成された往復動蒸気機関が独占していた。パーソンズの蒸気タービンはこの機関と競争する必要があった。パーソンズ蒸気タービンは、往復動蒸気機関に対する本質的な優位性により、次第にこれら二つの市場に広く行きわたっていった。

本章では、蒸気タービンと往復動蒸気機関の経済的比較を行い、英国での電気の普及状況、および、蒸気タービン技術の普及に重要な役割を果たしたライセンスに関して検討する。

5.1 蒸気タービンと往復動蒸気機関との比較

1) 一般的比較

1905 年に出版されたゲンツ(Wilhelm Gentsch)のドイツ語の蒸気タービン教科書『*Dampfturbinen*』には、「蒸気タービンの往復動機関に対する経済的優位性は、パーソンズ蒸気タービンの急速な導入が説明している。1904 年初頭まで、つまり、大々的に実用されてから 6 年以内に、総出力は約 700,000 馬力(約 520,000kW)となり、その中には、一基 10,000 馬力(約 7,500kW)のものがある」¹と直截に、蒸気タービンの往復動蒸気機関に対する優位性が記述されている。

また、ハットン(Fredric Remsen Hutton)は、1907 年に出版された『*The Mechanical Engineering of Steam Power*』の中で、蒸気タービンの往復動蒸気機関および回転式蒸気機関に対する優位点を 24 項目、劣位点を 11 項目挙げているが、主要点を下記のよう to 纏めることができる²。

優位点：

- ① 蒸気の膨張範囲大であることから熱効率高・蒸気消費量・燃料費用・水費用
低

¹ 著者が参照したのは、1906 年発行の英語訳「Steam Turbine」である(Gentsch (1906), p. 316)。

1904 年の 6 年前は、1898 年に相当するが、「大々的に実用」の意味は、魚雷駆逐艦ヴァイパー号の馬力が言及されている馬力とほぼ同等であることから、この船舶への応用を示唆しているものと思われる。

² Hutton (1909), pp. 534-538.

- ② 単位出力当たりの重量小…資本コスト低
- ③ 高速で小型であり占有空間小および軽量…建屋・基礎小となることから資本コスト低
 パーソンズ蒸気タービンのサイズは 400 馬力(約 300kW)までは
 往復動蒸気機関の 1/2、400 馬力以上では僅か 1/3
 蒸気タービン基礎は往復動蒸気機関の 15-30%³
- ④ ピストンの摩擦なし/ピストン・パッキン不要…摩耗・漏洩ないことから、メンテナンス費用低
- ⑤ シリンダーへの潤滑不要…潤滑不要であることから補給員不要であり潤滑油消費少であることからメンテナンス費用低
 排気蒸気凝縮水に含油ないことから、循環して使用することができ、水費用が低
- ⑥ 過熱蒸気の適用容易…潤滑剤の分解やケーシングの変形によるトラブルなし
- ⑦ 速度制御優…精密な速度制御による一様且つ安定した回転であり、往復動蒸気機関のような振動なし
- ⑧ 起動時間短…往復動蒸気機関のように暖機する必要なく起動がはやい
 起動操作も簡単
- ⑨ 負荷変化による効率変化少…往復動蒸気機関は経済負荷があり、これ以外では効率低下

劣位点：

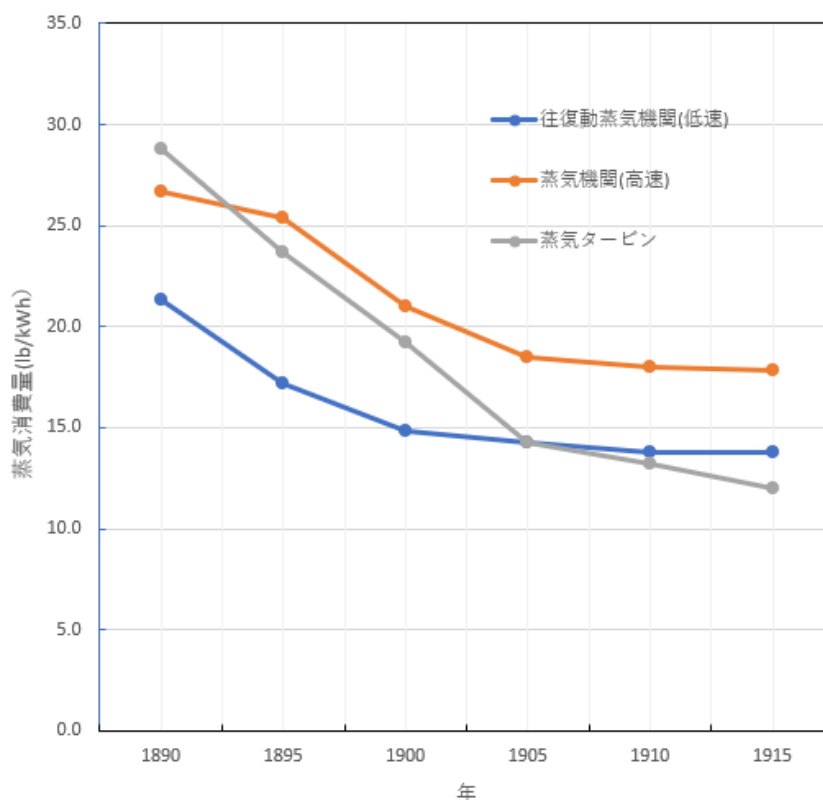
- ① 逆転不可…逆転が必要な場合、逆転タービン或いは逆転装置が必要
- ② 起動トルクが少…鉄道には不適
- ③ 高速機関…発電機用には適するが、回転ミルや鉱山のホイスト用では、減速ギアが必要
- ④ 停止時間が長い…低摩擦であるので、事故や故障時に早急に停止させたい場合でも時間を要する

図 5.1 に発電用往復動蒸気機関と蒸気タービンの蒸気消費量を示している。1890

³ Gentsch (1906), p. 317 および p. 319.

年代初期には、蒸気タービンの蒸気消費率は、低速の往復動蒸気機関よりも良好となり、1905 年には、高速の往復動蒸気機関よりも良好となったことが判る。1890 年から 1915 年の間、蒸気タービン出力は、75kW から 31,000kW へ、低速往復動蒸気機関出力は、670kW から最大 5,500kW へ、高速往復動蒸気機関出力は、180kW から最大 1,900kW へと増加している⁴。

図 5.1 発電用往復動蒸気機関と蒸気タービンの蒸気消費量



(出典：Sankey (1917), p. 726, Fig.9, p.727, Fig.10 & p. 730, Fig. 11 より著者作成)

発電機を除く蒸気タービンおよび往復動蒸気機関本体のみの単位重量当たりの出力を、表 5.1 に示しているが、2,500kW の場合、低速蒸気機関の重量(含む、フライホイール)は 340kg(930 ポンド)/kW、高速蒸気機関の場合は 62kg(140 ポンド)/kW、蒸気タービンの場合 11kg(24 ポンド)/kW であり、蒸気タービンの重量/出力比が非常に小さいことが判る。

⁴ Sankey (1917), pp. 7226-727 および p. 730.

表 5.1 往復動蒸気機関と蒸気タービンの出力と重量

Table 23. Comparative weights of slow engines, fast engines, and turbines, 1904 (in metric tons [2,204 lb], exclusive of dynamos)

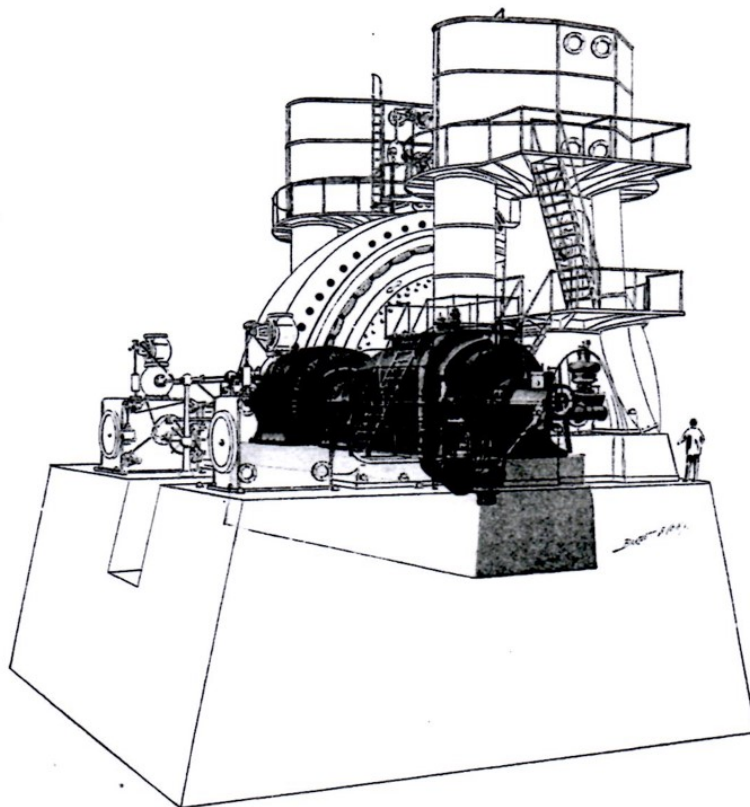
Kilowatts Output	Weight of Slow-speed Engine	Ditto Weight of Flywheel	Weight of High-speed Engine	Weight of Turbine
500	140	27	30	9
750	190	43	45	12
1,000	250	59	60	14
1,500	380	88	90	21
1,800	450	100	110	23
2,000	530	120	120	25
2,500	700	145	155	27
3,000	—	—	—	32
3,500	—	—	—	35
5,000	—	—	—	42

SOURCE: William Chilton, "The Steam Turbine," *Journal of the Institution of Electrical Engineers* 33 (1904):600.

(出典：Hunter & Bryant (1991), p. 341, Table 23)

また。蒸気タービンと往復動蒸気機関の躯体および基礎の大きさについて、図 5.2 に 5,000kW の往復動蒸気機関とパーソンズ型蒸気タービンの場合を示しているが、蒸気タービンの占有空間がいかに小さいかが理解できる。

図 5.2 往復動蒸気機関と蒸気タービンのサイズ比較



(出典：Melville & Macalpine (1904), p. 10)

この躯体と基礎のサイズの相違は、機器および建設コストに大きく影響し、1906 年頃の出力 750kW の往復動蒸気機関と蒸気タービンの見積もりコストを、表 5.2 に示す。

表 5.2 往復動蒸気機関と蒸気タービンの機器および建設コスト

<i>Turbine.</i>		<i>Engine.</i>	
Turbine and Generator,	\$22,500	Engine,	\$14,600
Surface Condenser,	5,200	Generator,	8,950
Erecting Condenser,	200	Surface Condenser,	3,000
Foundations,	250	Foundation,	1,656
Superheater,	1,300	Erecting,	2,500
	\$29,450		\$30,706

(出典：French (1907), p. 344)

タービン発電機コストは 22,500 ドル、往復動蒸気機関発電機コストは 23,550 ドルと見積もられた。蒸気タービンの排気はより低圧力(高真空圧)まで膨張するため復水器のサイズは、往復動機関よりもコストが高くなる。基礎のコストは、往復動蒸気機関は躯体が大きい上に往復動の振動に耐える必要から、基礎が大きくなりコスト高となる。著者のフラレンチ(Lester G. French)は、過熱器(Superheater)を無視した場合、蒸気タービン発電機の場合は 37 ドル/kW、往復動機関の場合は 40 ドル/kW となると結論している。

この他、土地と建屋のコストについては、タービン発電機の場合は 3,600ft²、往復動蒸気機関の場合は 7,200ft² 必要であり、このコストの差は、18,000 ドルになると結論しており、蒸気タービンの建設コストは往復動蒸気機関よりも低いものとなっている。

実際の発電所でのメンテナンスおよび運転コストについては、表 5.3⁵に示しているように、往復動蒸気機関は、タービンと比較して、非常に大きいのが特徴であり、メンテナンス・コストおよび運転コストの往復動蒸気機関の合計コストは、蒸気タービンよりも約 20%コスト高となっている。メンテナンス・コストが 5 倍高い理由は、上記の優位点④に記載したとおり、往復動蒸気機関は、蒸気漏れやガタにより発生する緩み箇所を頻繁に増締めする必要がある、メンテナンス要員を多数雇用しなければ

⁵ French (1907), p. 346, Table III.

ならないからである。水のコストが高いのは、往復動蒸気機関は、往復するピストンとシリンダーとの摩擦を軽減するため、絶えず潤滑油を給油する必要がある。この潤滑油が、上記の優位点⑤に記載したとおり、シリンダー内部に漏洩し、排気凝縮水(復水)に混入するため、ボイラで再使用するには、油成分を除去する水処理する設備を設置するか、或いは、再使用せず水を補給するかどちらかを選択しなければならない。当該発電所の場合、水を補給することを選択したことによって、水のコストが 10 倍掛かっているものと思われる。また、消費される潤滑油の量を補給しなければならないため、潤滑油のコストは 5 倍となっている。

表 5.3 単位出力(kW)当たりのメンテナンスおよび運転コスト

DISTRIBUTION OF MAINTENANCE AND OPERATION. CHARGES PER KW. HOUR.		
Maintenance.	Reciprocating Engines.	Steam Turbines
Engine room mechanical.....	2.57	0.51
Boiler room.....	4.61	4.30
Coal and ash handling apparatus.....	0.58	0.54
Electrical apparatus.....	1.12	1.12
Operation.		
Coal and ash handling labor.....	2.26	2.11
Removal of ashes.....	1.06	0.94
Dock rental.....	0.74	0.74
Boiler room labor.....	7.15	6.68
Boiler room oil, waste, etc.....	0.17	0.17
Coal.....	61.30	57.30
Water.....	7.14	0.71
Engine room mechanical labor.....	6.71	1.85
Lubrication.....	1.77	0.35
Waste, etc.....	0.30	0.30
Electrical labor.....	2.52	2.52
Relative cost of maintenance and operation..	100.00	79.64
Relative investment in per cent.....	100.00	82.52

(出典：French (1907), p. 346, Table III)

これらの点は、最初期から蒸気タービンのセールス・ポイントであった模様で、図 5-3 に示すように、1894 年のパーソンズ社の専門雑誌広告には、「平均負荷時の蒸気

消費量は、どの(蒸気)機関よりも少ない。E.M.F.⁶の完璧な制御。潤滑油、監視員、占有スペースの削減に大きく貢献。重量は同じ出力の他のプラントの約 1/4」 と広告されている。

図 5.3 パーソンズ社(1894 年)雑誌広告



(出典：Electrical Review (Nov., 23, 1894), p. xiv.)

これと同じような、英国の発電所における建設コスト、メンテナンスおよび運転コストに関する利用可能なデータはない。バイアット(I.C.R. Byatt)が、博士論文の「The British Electrical Industry 1875-1914」の中で、「この時期の電力供給コストについては、多くの情報が公開されているが、残念なことに、そのほとんどが、欠落していた

⁶ E.M.F.は Electric Motive Force の略で発電機電圧制御が良好のため、当時高価であった白熱灯の寿命を大きく伸ばした。

り、誤解を招くものである。総コストの中で大きな割合を占める資本コストについて、きちんとした数値が示されることは殆どない」⁷と述べている通りである。

しかしながら、断片的なデータから往復動蒸気機関と蒸気タービンの建設コストを比較することは出来る。往復動蒸気機関を使用して 1902 年に開設されたマンチェスターのシュアート(Stuart)発電所の建設コストは £ 25/kW であった。一方、パーソンズ蒸気タービンを使用した 1903 年に開設された NESCo 社のカーヴィル(Carville)発電所の建設コストは £ 16/kW であった。その後、1903 年-1909 年の間に同じくパーソンズ蒸気タービンを使用して拡張した際の建設コストは £ 10/kW であった⁸。

このパーソンズ蒸気タービンの優位性は、スイスのブラウン・ボヴェリ(Brown Boveri)社の設立者の一人であるチャールズ・ブラウン(Charles Brown)が、甥のエリック・ブラウンに宛てた 1896 年に手紙に端的に述べられている⁹：

私はこれまでに 3 つの中央発電所がパーソンズ蒸気タービンで運転されているのを見てきました。これらはすべて拡張中で、再びパーソンズ蒸気タービンとなる予定です。単位出力当たりの蒸気の消費量を知ることができませんでしたが、彼らは... 往復動蒸気機関よりも少ないと言っています。この 3 つの発電所では、蒸気タービンは、運用は容易で、ほとんど監視を必要とせず、故障も全くなく、油の節約にも非常に効果的であるといっており、非常に好意的な評価を得ています。更に、蒸気タービンは潤滑油(の補給)を必要とせず、蒸気は表面復水器で凝縮され、ボイラーへの供給に再利用されています。このため、ボイラーの大敵である潤滑油による損傷もありません。パーソンズ蒸気タービンは、昼夜を問わず可動している。パーソンズ蒸気タービンはコストが低く、建設費も余り懸かりません。事実、私が見たものは、全て、一階に設置されていた！私は、電気においては、蒸気タービンが一般的な往復動機関よりもはるかに優れていると確信しています：蒸気タービンの方がはるかに簡単に制御でき、照明の光は蓄電器の場合のように安定しています。蒸気の使用量は僅かに多いかもしれませんが、建物や機

⁷ Byatt (1962), p. 118.

⁸ Byatt (1979), p. 120.

⁹ Bolter (1994), p. 159.

械にかかる余分な費用の利子や償却や、賃金や油にかかる余分な費用には及びません。
電氣的な観点からの利点を考慮に入れない迄も。

この後、1900 年のドイツのエルバフェルト発電所でのパーソンズ蒸気タービンの成功を目の当たりにして、ブラウン・ボヴェリ社はパーソンズの蒸気タービン特許を購入することに決定している。

2) 英国内発電プラントの比較

1906 年に米国民間連合会(National Civil Federation)が、公益事業(ガス・電気・路面電車)の運営主体として、公営・民営組織のいずれが良いかを検討するために英国に多数の人員を派遣し行った英国の発電事業に関する調査に関する報告書『Municipal and Private Operation of Public Utilities』が 1907 年に発行されている。これは、当時の公営と民間の発電事業の状況を知る貴重な資料であるが、これまで、参照されることはなかった。これに基づいて、往復動蒸気機関を使用した発電事業者とパーソンズ蒸気タービンをした発電事業者の電気販売価格、発電コスト、収益等を比較し、1906 年時点で、パーソンズ蒸気タービンが、往復動蒸気機関に対してどのような経済的ならびに技術的な位置にあったかを検討する。

米国調査団が調査した発電事業会社は全部で 10 企業、公益事業者は 4、民間事業者は 6 であるが、本検討では、公益事業者として往復動蒸気機関のみを使用して公営発電事業を営んでいるマンチェスター市とグラスゴー市、および、パーソンズ蒸気タービンを使用して民間発電事業を営んでいるニューキャスル市の NESCo 社¹⁰とパーソンズが設立した DISCo 社を選択した。この 4 社を選択した理由は、分析の複雑性を回避するためである。人口が稠密で照明が主であるロンドンの事業者である公営 1 企業セント・パンクラス行政区(St. Pancras Borough)、および、民間 3 企業ロンドン市(City of London Electric Lighting Co. Ltd.)、ウエストミンスター(Westminster Electric Supply Corporation Ltd.)、セント・ジェームズ(St. James and Pall Mall Electric Light Co. Ltd.)を検討から除外した。照明と動力が分離されておらず分析をなし得ないからである。ロンドン地区の民間企業のセントラル(Central Electric Supply Co.

¹⁰ NESCo 社の蒸気タービンの設備容量比率は表 5.4 に示すとおり 80%であるが、旧設備の往復動蒸気機関は最大負荷時の予備機として使用されるのが普通であるので、蒸気タービンが主要発電設備と考えて良い。

Ltd.)は、ウエストミンスターとセント・ジェームズに一括販売(バルク)していることから、これも除外した。グラスゴーの公営企業は、パーソンズ蒸気タービンと往復動蒸気機関の両方を使用していることから、これも比較検討から除外した。

マンチェスター市、グラスゴー市、NESCO 社および DISCO 社の米国調査団が訪問した時の 1906 年時点での設備容量は表 5.4 のとおりであった。

表 5.4 設備容量(1906 年)

発電事業主体	設備	資本金(£)	発電機数	設備容量 (kW)	平均設備容量 (kW)	蒸気タービン容量比率 (%)
マンチェスター市	往復動蒸気機関	なし	22 (直流14基+交流8基)	32,800	1,491	0
グラスゴー市	往復動蒸気機関	なし	19 (直流19基)	10,460	551	0
NESCO社	往復動蒸気機関 +パーソンズ蒸気タービン	750,000 (750,000)	14 (直流3基+交流11基)	17,450	1,246	80
DISCO社	パーソンズ蒸気タービン	300,000 (230,000)	16 (直流7基+交流9基)	8,370	523	100

注：資本金の欄は、認可資本(払込み資本)を示す。

(出典：National Civic Federation (1907) Vol III, pp. 292-307 より著者作成)

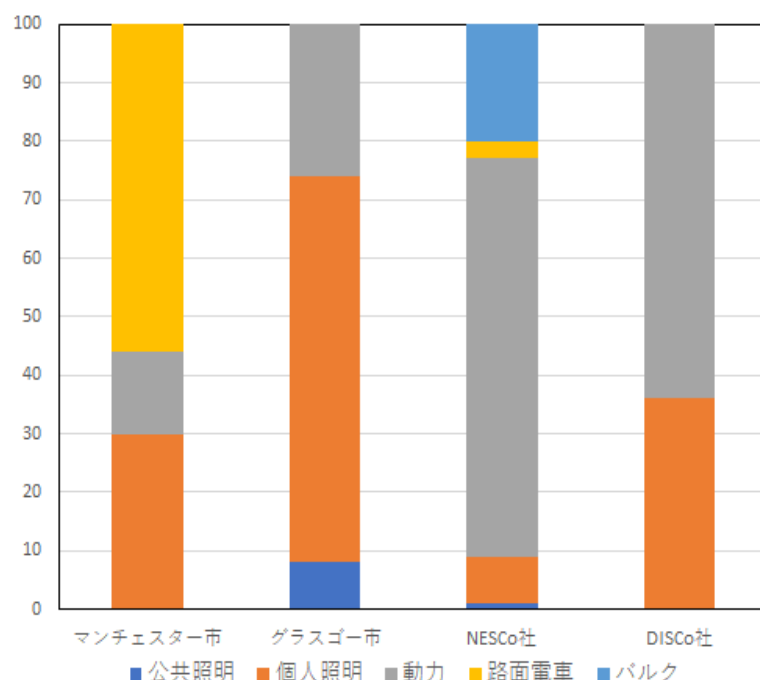
販売負荷構成：

発電した電気は、公共照明・個人宅照明・(工場)動力・路面電車の動力と使用されるが、上記 4 つの発電事業者のそれぞれの販売負荷構成比率 (%) を図 5.4 に示しており、社会経済構造の状況が良く判る。

マンチェスター市は、動力用負荷が少なく、路面電車用の負荷が全体の 56% を占めており、路面電車が発達していること判る。グラスゴー市は、街路照明が 8%、個人照明が 66% であり、街路照明の比率が比較的高い。これは、公共用のアーク灯照明をマンチェスター市は 94 灯に対し 827 灯と多数設置している¹¹ことによる。グラスゴー市は、路面電車も発達していたが、路面電車への電気供給は、別会社の路面電車専用

¹¹ National Civic Federation (1907) Vol III, p. 315.

図 5.4 販売負荷構成比率(%)



(出典：National Civic Federation (1907) Vol III, p. 316 より著者作成)

発電所から供給しており¹²、路面電車用負荷はゼロとなっている。NESCo 社は、動力用負荷が 68%を占めるとともに他の電気事業者への一括供給(バルク)が 20%を占めており、バルク供給を大規模に行っているのが特徴である。DISCo 社は、NESCo 社と同じニューキャッスル地区に位置するが、DISCo 社の販売高欄は、個人照明と動力のみで、それぞれ、36%と 64%であった。ニューキャッスル地区は、石炭産業、造船業他の重工業が発達しており、動力の供給比率が他市と較べて際立って大きいことが判る。

事実、ニューキャッスルを含む英国北東部は、表 5.5 に示すように、人口は、英国全体の 5%弱にも拘らず、石炭の産出は 21%、コークスの生産は 41%、鉄鉱石の採掘 40%、銑鉄の生産は 36%、造船は 55%を占めていたのである。

ニューキャッスル市の路面電車については、DISCo 社および NESCo 社の反対に拘わらず、市当局は 1898 年に議会に申請し、1901 年には 2600kW のマナーズ(Manors)発電所を建設した。この発電所の容量は、当時の NESCo 社と DISCo 社の合計容量と

¹² National Civic Federation (1907) Vol III, p. 453.

表 5.5 英国北東部の産業

NORTH-EAST COAST INDUSTRIES.

	Population. 1901.	Coal Mined. 1906.	Make of Coke. 1906.	Ironstone Mined. 1906.	Pig Iron. 1906.	Shipping Built. 1906.
		tons	tons	tons	tons	net tonnage
North-East Coast industrial area.. ..	2,015,000	52,097,377	7,830,000	6,126,324	3,628,651	630,872
United Kingdom	41,458,721	251,067,628	19,296,526	15,500,406	10,109,453	1,156,771
Ratio :- $\frac{\text{North-East Coast}}{\text{United Kingdom}}$	4.8 per cent.	20.7 per cent.	40.5 per cent.	39.5 per cent.	36 per cent.	54.5 per cent.

(出典：Merz (1908), p. 458)

同じという大型発電所であった。また、その後も設備を増強し 1905 年には 6700kW の設備容量であった¹³、という。NESCO 社の路面電車用負荷は、タインサイド路面電車軌道会社向けと、ノース・イースタン鉄道の電気鉄道向け¹⁴であるが、その比率は 3%であった。DISCO 社も、ニューキャッスル市と新しく合併したニューバーン地区の電気路面電車に牽引動力を供給している¹⁵が、電気路面電車の項目はなく、路面電車用動力の販売は、米国訪問団の資料の動力の項目の中に含まれているものとする。

販売高:

販売高構成比率を図 5.5 に示している。

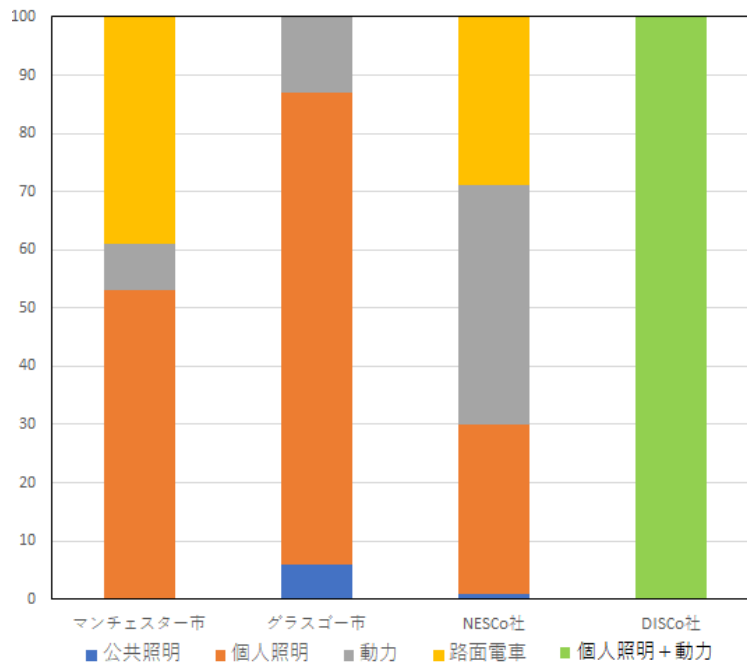
各発電事業者とも個人照明からの販売高(売上)構成比率が販売負荷構成比率と較べて大きくなっており、マンチェスター市では販売負荷比率 30%に対して販売高比率は 53%、グラスゴー市および NESCO 社では、それぞれ、66%に対し 80%、8%に対し 20%となっている。DISCO 社は不明であるが、同様と考えられる。つまり、各企業とも平均発電価格よりも個人照明は高く販売し、動力や路面電車用価格は低く設定していることを示している。

¹³ Hore (1994), p. 5.

¹⁴ Bevan (1992), p. 48.

¹⁵ DU/EB 143/23 (1912).

図 5.5 販売高構成比率(%)



(出典：National Civic Federation (1907) Vol III, p. 378 より著者作成)

事実、照明料金は、マンチェスター市 4.5 ペンス、グラスゴー市 6 ペンス、NESCo 社 3.75 ペンス、DISCo 社 4.5 ペンスであり、動力は、マンチェスター市 1.25 ペンス、グラスゴー市 1.5 ペンス、NESCo 社 1.5 ペンス、DISCo 社 2.5 ペンス¹⁶であった。

発電単価と販売単価と燃料単価：

発電単価および販売単価と燃料単価¹⁷を表 5.6 に示す。

発電単価・燃料単価・販売単価は、市営発電事業者と較べて民間発電事業者の方がいずれも安い。NESCo 社や DISCo 社のあるイングランド北東部は石炭が昔から豊富であり価格が安い。

この価格差を打消すため、市営発電事業者の平均発電単価と民間発電事業者の平均単価、および、それぞれの燃料単価の平均を取ると、下記のような数値となる：

¹⁶ National Civic Federation (1907) Vol III, pp. 340-341. 照明および動力とも使用量により料金が異なるよう設定されており、上記数値は、最低使用料金である。

¹⁷ 発電単価、燃料単価、販売単価は、販売電気量当たりで計算している。

表 5.6 発電単価・販売単価・燃料単価比較

	発電単価 (ペンス/kWh)	燃料単価 (ペンス/kWh)	販売単価 (ペンス/kWh)
マンチェスター市	0.84	0.26	2.15
グラスゴー市	0.82	0.21	2.45
NESCo社	0.53	0.12	1.11
DISCo社	0.82	0.35	1.59

(出典：National Civic Federation (1907) Vol III, pp. 316, 378,379 より著者作成)

マンチェスター市/グラスゴー市 平均発電単価：0.83 ペンス/kWh

平均燃料単価：0.24 ペンス/kWh

平均販売単価：2.30 ペンス/kWh

NESCo 社/DISCo 社

平均発電単価：0.68 ペンス/kWh

平均燃料単価：0.24 ペンス/kWh

平均販売単価：1.35 ペンス/kWh

平均燃料単価は同じであるので、市営発電事業者であるマンチェスター市/グラスゴー市の平均発電単価は、民間の発電事業者である NESCo 社/DISCo 社の平均発電単価よりも高いことが判る。表 5.4 に示した平均設備容量は、両社ともほぼ同じであるので、これは、往復動蒸気機関と蒸気タービン発電機という設備による差である。市営発電事業者の主要設備である往復動蒸気機関は、民間発電事業者の主要設備であるパーソンズ蒸気タービンよりも発電単価(コスト)が高いことを示している。

また、平均販売価格も、平均燃料単価は同じであるので、マンチェスター市/グラスゴー市は NESCo 社/DISCo 社よりも高い販売価格で電気を販売していることが判る。これは、マンチェスター市/グラスゴー市の市民は、民間発電事業者であればより価格の低い照明用電気を購入できるのに反して、高い価格の電気を購入していることを意味している。

NESCo 社と DISCo 社の発電単価の相違については、発電端負荷率がそれぞれ 20%

と7%¹⁸であることから、NESCO社は、動力および路面電車の負荷が大きいため、負荷がより平準化され平均負荷が高くなるためと考えられる。また、NESCO社の平均設備容量は、表5.4に示すように、DISCO社の約2倍強であり、これは、大型のパーソンズ蒸気タービンが設置されていることを意味する。事実、NESCO社には、1903年に、最新の3,500kWパーソンズ蒸気タービンが設置されている。大型蒸気タービンの性能は良好なため、燃料消費量が減少することにより、発電コストが下がったと考えられる。

また、DISCO社の燃料単価が同じ地域のNESCO社よりも高い理由は、NESCO社が電力用石炭(Steam Coal)を使用しているのに対し、DISCO社は、粉炭(Small Coal)を使用しており、石炭単価は前者が5/4 シリング/トンに対し後者は8/3 シリング/トン¹⁹と2倍強高いことにある。また、DISCO社に設置されているパーソンズ蒸気タービンの平均容量は523kWとNESCO社の1246kWと比較して小容量であることから、性能が劣り燃料の使用量が増加したと考えられる²⁰。

運転・メンテナンス費：

運転・メンテナンス費用の詳細とメンテナンス単価を表5.7に示す。

表 5.7 運転・メンテナンス単価

	油・水等 (ポンド)	メンテナンス・修理代等 (ポンド)	他 (ポンド)	合計 (ポンド)	販売量 (kWh)	運転・メンテナンス単価 (ペンス/kWh)
マンチェスター市	4,968	12,008	1,007	17,983	33,686,710	0.13
グラスゴー市	2,552	4,183	0	6,735	18,248,468	0.09
NESCO社	1,480	4,812	0	6,292	30,378,852	0.05
DISCO社	1,844	870	0	2,714	5,183,834	0.13

(出典：National Civic Federation (1907) Vol III, p. 379 より著者作成)

¹⁸ 発電端負荷率は、発電量(kWh)/設備容量(kW)x365 日 x 24 時間/日から計算できる(発電量は、National Civic Federation (1907), p. 316、設備容量は p. 313 に記載されている)。

¹⁹ National Civic Federation (1907) Vol III, p. 358.

²⁰ Jude (1906), p. 256 によれば、パーソンズ 500kW 機の蒸気消費量は 25lb/kWh、1250kW 機の蒸気消費量は 21lb/kWh であり、16%の差がある。

往復動蒸気機関を使用しているマンチェスター市/グラスゴー市の平均メンテナンス単価は 0.11 ペンス/kWh であり、パーソンズ蒸気タービンを使用している NESCo 社/DISCo 社の平均メンテナンス費は 0.09 ペンス/kWh である。このことから、往復動蒸気機関の人員および燃料代を除く運転・メンテナンス費用は、パーソンズ蒸気タービンよりも約 20%高いことが判る。

DISCo 社の運転費に関わる油・水等の費用が突出して高いが、この理由については、不明である。メンテナンス・修理代等のみを比較すると、NESCo 社も DISCo 社も 0.04 ペンス/kWh であり、他方、マンチェスター市およびグラスゴー市のそれは、0.09 ペンス/kWh と 0.06 ペンス/kWh である。このことから、NESCo 社及び DISCo 社のメンテナンス・修理代等の費用は、マンチェスター市およびグラスゴー市のほぼ 1/2 であり、パーソンズ蒸気タービンのメンテナンス・修理代等の費用は、往復動蒸気機関と較べて大幅に低いことが判る。

5.2 発電事業の発展と陸用蒸気タービン

1) 英国発電事業の発展と蒸気タービン

英国の発電所に設置される発電機の平均サイズは、1895 年は 0.1MW を少し越える程度であったが、1905 年には 5 倍となり、1913 年には更に倍となった²¹。大型の発電所の効率は、高速の蒸気タービンの開発・発展により大きく進歩し、それまで使用されていた大型の往復動蒸気機関は、1906 年にロンドンの電気路面電車システム (London's Electric Tramway System) に動力を供給するために建設されたロンドン郡議会 (London County Council) のグリニッジ発電所 (Greenwich Power Station) の 4 台の 3,500kW ユニットを最後に、以降、英国の新規の発電所では使用されなくなった²²。こうして、表 5.8 に示すように、1900 年代前半までには、蒸気タービンは、往復動蒸気機関を抜き、発電設備において重要な位置を占めるようになったのである。

²¹ Hannah (1979), p. 11.

²² The Electric Council (1985), p. 37.

表 5.8 英国照明および牽引発電用設置容量の推移(単位 MW)

Dates	Reciprocating plant	Turbine plant	Other (or uncertain)	Total
1884-94	21	1	18	40
1895-97	21	1	20	42
1898-1900	121	3	38	162
1901-03	201	16	61	278
1905-07	113	93	4	194
1908-10	44	144	6	194
1911-13	53	236	8	297

(出典：Bowers (1984-85), p. 47)

電気は、照明・牽引・動力に使用されたが、電気による照明は、1870 年代末から 1880 年代初めにかけて、公共広場、街路、国会図書館、劇場、鉄道駅、美術館等々でアーク灯が使用されたのが始まりであった。英国スワンおよび米国エジソンの白熱灯の発明により、1880 年代初めからは、白熱灯による照明が増加してきたが、英国では 19 世紀初めからガスによる照明が既に発達していた。これは、製鉄業の発展によるコークス製造時の副産物である石炭ガスが多量に生産されていたことから、これを利用したものであった。やがて、ガス照明需要が拡大すると、照明用石炭ガスを直接石炭からも製造するようになった。こうして、都市化された英国では、ガス配管が巡らされ、ガス照明の広範なネットワークが確立されていた²³。

このような経緯…英国ではガスによる照明が発展していたこと、および、英国のガス価格は豊富な石炭により電気と較べて安価であったこと…により、ガス照明は、第一次世界大戦以降までも、照明の主流であり続けた²⁴。表 5.9 に英国および米国におけるガス照明と電気照明の発展を示しているが、英国の電気照明の発展は米国と比べて非常に遅れるものとなった。

²³ オーウェン (2004), p. 18.

²⁴ Fouquet and Pearson (2006) p. 145 Table 1 参照。

表5.9 英国および米国におけるガス照明と電気照明の発展

'Light Hours' produced by Gas and Electric Central Stations

A. U.K. (thousand million)			
	Gas	Electricity	Total
1881	10.5	nil	10.5
1891	18.2	negligible	18.2
1895	20.3	0.6	20.9
1898	23.2	1.5	24.7
1904	28.3	6.1	34.4

B. U.S.A.			
	Gas	Electricity	Total
1869	1.8	nil	1.8
1890	8.9	4.2	13.1
1900	10.1	14.5	24.6

(出典： Byatt (1979), p. 26, Table 3)

この遅れの原因について、ニューヨーク州立大学(SUNY Oswego)のシーマン(Daniel Shiman)は、下記のように述べ²⁵、電気照明拡大の障害となった要因として、ガスのコストに対する電気のコストに加え、電気の質に対する嗜好の差と法規制、および、地方自治体の敵意²⁶を挙げている。

米国では、強力な電灯による街路灯の効果がすっかり定着しており、ロンドンのような大都会の街路に十分な照明がない状態が長く続いていたことを考えると、不思議な気がする。英国では、工場や店舗、オフィスなどでアーク灯がかなり普及していたが、街路灯の契約と密接に結びついていた中央発電所からの供給はストップしていた。確かに価格の差は重要だが、米国では製品の品質も重要だと考えられた。ニューヨークでは、ダウンタウンの電灯にガス料金の3倍の金額を支払ってもよいとしていたが、英国の都市はそうではなかった。英国ではコストを最小限に抑えることが重視され、1882年に制定された「電気照明事業法」による法的な問題や、地方自治体が民間企業を敵視していたこともあり、「贅沢な灯り」の普及が進まなかったのである。

²⁵ Shiman (1993), p. 326.

²⁶ この敵意は、地方自治体がガス照明事業の主体であり、電気照明を脅威と考えたことから生まれた。

これに対し、英国の遅れの原因として、ハバカクは、一つは、照明の需要は主として都市需要であり、米国の都市人口が 19 世紀末には英国よりも急速に成長し、照明の全需要が、英国よりも米国で急速に成長したこと、もう一つは、英国ではガス産業が良く発展しており、新技術である電気を採用するのを困難にしたことを挙げている²⁷。

電気牽引については、1881 年パリで第 1 回の電気博覧会(Electrical Exhibition)で電氣路面電車が展示される²⁸と、英国で初めて 1883 年にブライトン(Brighton)にフォルク鉄道(Volk's Railway)により電氣鉄道の運行が開始され、1890 年にはロンドンで電車による地下鉄が開始された²⁹。この後、各都市での路面電車の開設、および、従来の蒸気機関車鉄道の電化が次々に行われるようになり、これらの動力は、中央発電所あるいは自家用発電所(Isolated Factory Power Plant)から供給された。これらの電化に投資された結果である総固定資産形成量を表 5.10 に示しているが、20 世紀に入って急激に路面電車、鉄道の電化が進んだことが判る³⁰。

表 5.10 英国総固定電氣資産形成量

<i>Gross Fixed 'Electrical' Capital Formation, 1897-1913</i> (£m.)					
	Electricity supply	Electric tramways	London underground railways	Isolated factory power plants and main-line railways	Total
1897	2.5	0.6	0.8	—	3.9
1898	3.3	1.7	0.9	—	5.9
1899	4.8	2.6	1.7	0.2	9.2
1900	6.3	7.0	1.7	0.5	15.4
1901	6.5	6.8	1.7	0.4	15.4
1902	7.4	6.8	3.6	0.7	18.4
1903	7.6	6.8	5.5	1.4	21.3
1904	5.2	6.2	6.7	1.7	19.8
1905	5.4	5.9	5.4	2.5	19.1
1906	4.6	5.9	3.8	4.0	18.3
1907	2.9	4.1	1.7	7.5	16.2
1908	2.7	2.8	0.5	2.7	8.8
1909	2.6	2.9	0.4	4.6	10.5
1910	2.7	1.7	0.7	6.8	11.9
1911	2.8	1.7	0.7	10.3	15.6
1912	1.6	2.0	1.9	13.0	18.5
1913	3.3	1.6	2.8	13.8	21.5

(出典：Byatt (1979), p. 6, Table 1)

²⁷ Habakkuk (1967), p. 209.

ハバカクは、「英国のスタートが早かったために、新しい技術を取り入れるのが困難であった」と先行者(Early Starter)と後発者(Latecomer)の問題の一つの例であることを指摘している。

²⁸ Swinton (1912), pp. 433.

²⁹ Hennessey (1972), p. 82.

³⁰ Byatt (1979), p. 6.

動力として電気を利用するには、モータが必要であるが、直流モータは 1870 年代、および、1880 年代に利用可能であったが、信頼性がなく広く使用されていなかった。1887-1900 年の間に、米国でテスラ(Nikola Tesla)とドイツ AEG 社のドリヴォ＝ドブロヴォルスキー(Michail Dolivo-Dobrovolsky)により交流多相モータが完成され、大きな牽引用の直流モータもこの期間に大きく改善された³¹。

電気モータの出現により、それ迄使用されていた蒸気機関の最小サイズは小さな工場には余りにも大きすぎるという問題に対して、動力の“小分割化(Fractionalize)”が可能となり、非常に小さな、コストの低いユニットで、また、小さな或いは断続的な動力を提供するのに、過度の発電を必要としないで、動力を提供する事が可能となった。直接的エネルギー節約、及び、資本節約の効果…床空間の大きな節約を含む…は大きく、新しい動力源の柔軟性は、作業配置全体の再編を可能とした。こうして、製造全体に生産性向上の広範囲な貢献を行ったのであった³²。

電気モータが採用されるまで使用されていた蒸気機関は、中央動力源として、工場全体の全ての機械的装置に接続され、大規模な工場では、天井に開けられた穴をとって、床(Floor)から床へ動力が分配されていた。この古いシステムは、騒音やよごがひどく、1 台故障すると修理完了するまで工場全体がストップした。最初は、産業界においては、電気モータは単に中央の蒸気機関に代わった丈で、より大きなフレキシビリティを提供しなかった。工場のベルトとシャフトの複雑なシステムは、残ったままであり、電気モータは、基本的に、工場の生産性を改善しなかった。しかしながら、これは、静かで煙を出さなかったことから、作業条件を改善したのである。これが、第一フェーズであった。

第二フェーズでは、シャフトに沿って機械がグループ化され、1 台の電気モータが一連の機械を駆動した。そして、最後の第三フェーズでは、各グループは、個別のより小さなモータで動かされるようになり、シャフトが全部取り除かれ、各機械は、自身の電気モータで運転されるようになった³³

³¹ Hannah (1979), p. 14.

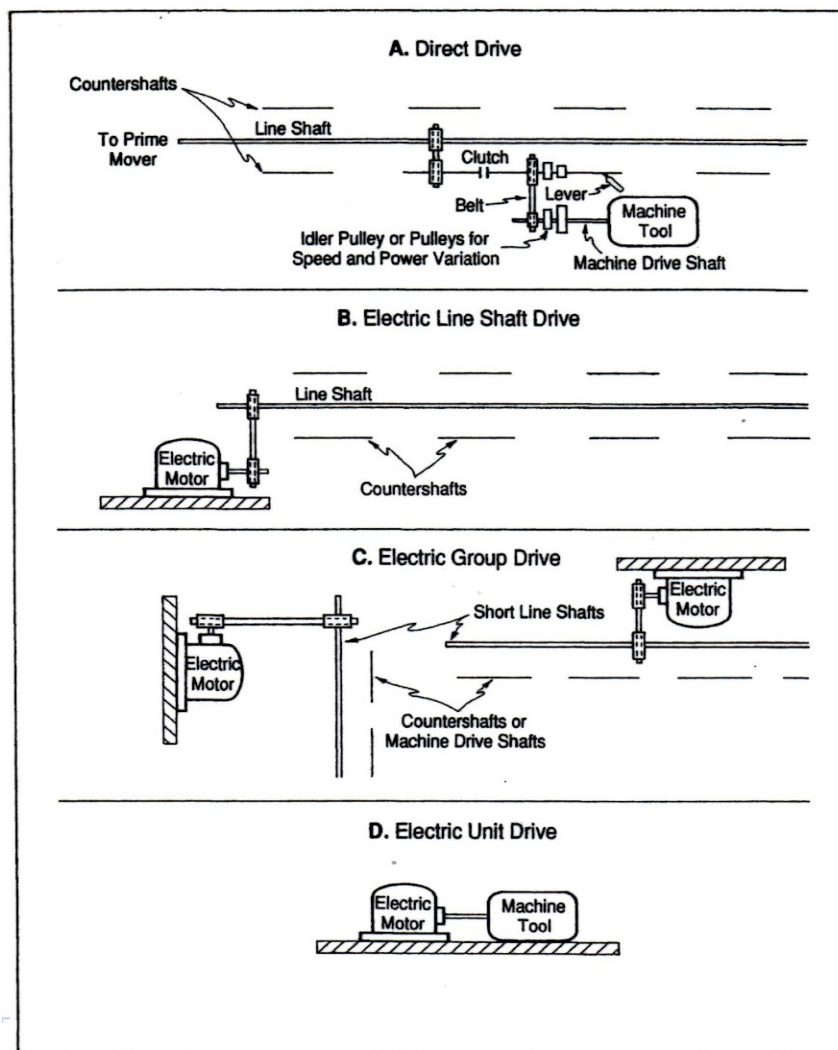
³² Rosenberg (1982), p. 78.

³³ Kander, Malanima and Warde (2013), pp. 314-315.

電線による個々の機械へ動力を配電する事により、工場での活動の再編が可能となり、機械は、製造作業の論理的な順番に従って、配置出来るようになった。マテハン (Material Handling) は少なくなり、機械操作の速度(Tempo)は、より良く調整され、一つの操作から次の操作へ連続的に、或いは、流れに沿って進むことが出来るようになった³⁴。

この進歩について、図5.6に示している。

図5.6 製造業における動力伝達の進歩



(出典： Schurr, Burwell, Devine and Sonenblum (1990), p.23, Fig.1.1)

³⁴ Schurr, Burwell and Devine, Jr. (1990), p. 4.

こうして、動力は、各産業において利用され、蒸気タービンの利用も拡大していったのである。表5.11に第1回生産国勢調査の行われた1907年度の英国における各産業の電気設備容量を示している。これによると、蒸気タービンによる発電設備は、発電事業では28%を、全電気設備の20%を占めているが、依然として、旧技術である往復動蒸気機関が主な電力供給源であった。

表5.11 英国製造業電気設備容量(1907年)(単位 kW)

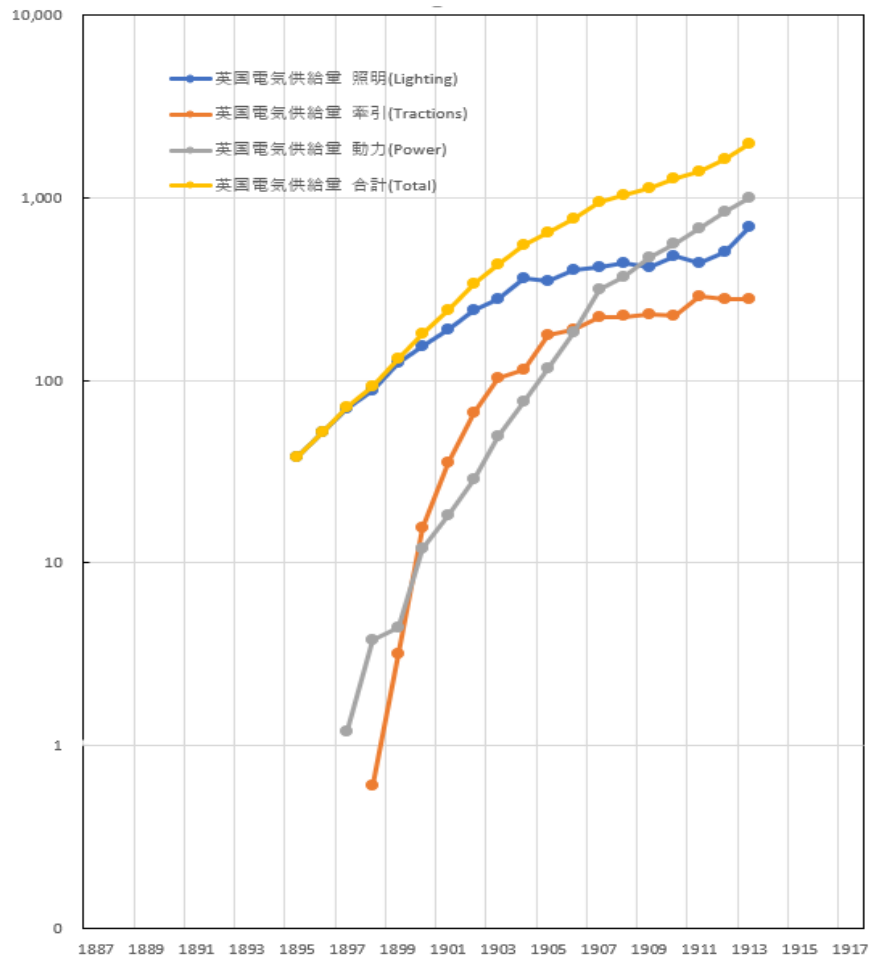
<i>Trade</i>	<i>Driven by reciprocating steam engines</i>	<i>Driven by steam turbines</i>	<i>Driven by other power</i>	<i>Total</i>
Mines and quarries	109,224	2,585	2,791	114,600
Iron and steel, engineering and shipbuilding	258,608	37,507	50,558	346,673
Other metal manufactures	7,903	402	6,677	14,982
Textiles	73,153	4,969	4,164	82,286
Clothing	5,759	1,089	3,203	10,051
Food, drink and tobacco	25,039	1,569	4,467	31,075
Chemical and allied	19,836	336	8,703	28,875
Paper, printing and allied	17,712	2,621	6,358	26,691
Leather, canvas and india-rubber	5,989	4	467	6,460
Timber	8,332	297	1,689	10,318
Clay, stone, building and contracting	12,490	3,962	3,220	19,672
Miscellaneous	1,129	—	484	1,613
Public utility services	738,572	295,245	18,988	1,052,805
Factory owners (power only)	1,497	—	74	1,571
Total	1,285,243	350,586	111,843	1,747,672

Source: *First Census of Production, 1907, Final Report*, p. 18.

(出典： Musson (1978), p.193)

このように、電気は、照明(Lighting)、牽引 (Traction)、動力 (Power) の各分野で確実に利用拡大していった。英国における電気の供給量の推移を図5.7に示しているが、当初は、電気は照明のみに供給され、次いで、工場の動力に、そして、路面電車や鉄道の牽引に使用されるようになっていった。そして、第一次世界大戦前には、工場の動力が、電気供給量の大半を占めるようになったのである。

図5.7 英国における照明・牽引・動力の供給量(x100 万 kWh)



(出典： Byatt (1979), p.111 のデータを使用し著者作成)

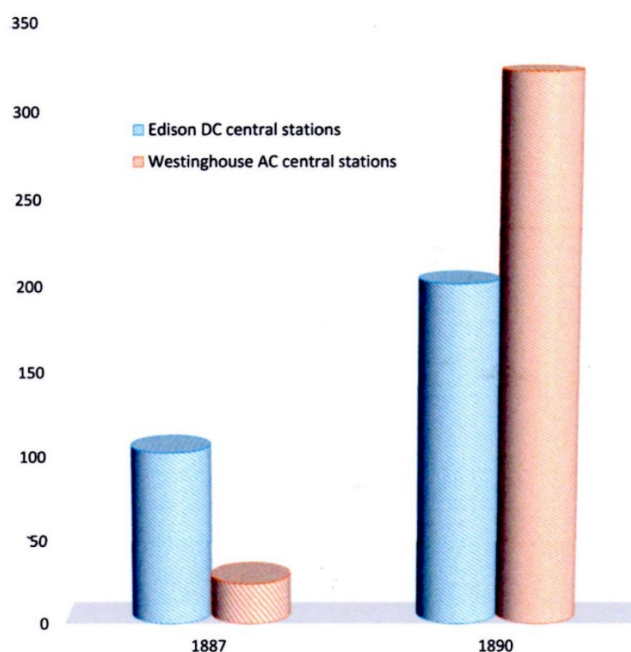
2) 米国発電事業の発展と蒸気タービン

米国での中央発電所方式による発電事業は、1882 年 9 月 4 日のエジソン照明会社 (Edison Illuminating Co.) によるニューヨーク市のパルストリート発電所の営業運転開始により始った。最初は直流の 400 灯であったが、数週間後には、1,284 灯の白熱灯が点灯し、1 年後の 1883 年 10 月 1 日は、11,555 灯に結線され、8,573 灯が点灯した³⁵。それまでは、自家発電所からの電気によりアーク灯や白熱灯が点灯されていた。エジソン(Thomas Elva Edison)と同時代の発明家のウェスティングハウス(George

³⁵ Hughes (1993), p. 43.

Westinghouse, Jr) も発電事業に参画し、1886 年 5 月ニュージャージーのトレントン (Trenton) で、最初の中央発電所を建設した。最初は、直流の 300 灯であった。ウェスティングハウスは、その後、1885 年後半から交流システムの開発を行い、1886 年 11 月 30 日米国最初の交流システムの中央発電所をニューヨーク州のバッファロー (Buffalo) に建設した³⁶。その後は、エジソンの直流システムおよびウェスティングハウスの交流システムの中央発電所の建設が図 5.8 のように拡大していった。

図 5.8 エジソン直流システムおよびウェスティングハウス交流システム発電所数



(出典：Allerhand (2017), p. 776, Fig. 9)

照明が、米国においても電気の最初の大きな市場であった。米国では石炭産業の未発達・技術的遅れによりガス灯は電気より価格が高くなる傾向にあった。たとえば、1885 年のニューヨーク市では、街路照明用のガス灯は \$ 1.18/燭光(Candle Power)に対しアーク灯は \$ 0.17/燭光³⁷であったため、電気照明は急速に普及していった。1886 年にはアーク灯 14 万灯、白熱灯 55 万灯であったのに対し、1902 年にはそれぞれ約 40 万灯、2000 万弱、1907 年には 56 万灯、4200 万灯、1912 年には 50 万灯、7600 万

³⁶ Prout (1972), p. 114.

³⁷ Passer (1953), p. 49.

灯となり、白熱灯照明が普及していったのであった³⁸。

電気牽引は 80 年代後半に米国で起こり、ヨーロッパへ急速に広まった。鉄道の電化が 90 年代後半に続き、多くの重要なイノベーションが米国で起こった³⁹。電気牽引による水平移動は、大都市を可能とし、1890 年代、馬車より早く、清潔、蒸気自動車よりきつい坂を上る事が出来たことから、馬から電気牽引の路面電車への移行は、米国のミネアポリス、ロスアンジェルス、ボストンといった大都市だけでなく、他の都市でも電気牽引が発達した。電気地下鉄採用も、1890 年代、ニューヨークで行われた⁴⁰。1891 年迄に、米国では 240 路線強の電気鉄道があり、それ迄の 30,000 頭の馬あるいはラバにより牽引と交代し、1890 年には 20 万人以上の都市 16 の内 14 都市で電気牽引があり、5,000-20 万人の都市 42 の内 41 都市に電気牽引があり、その総マイル数は 1,262.97 マイルであった。1897 年には電気牽引の総マイル数は 12,133 マイル、車両数 34,972 輦へと拡大し、1902 年には 21,914 マイル⁴¹へと 5 年で約 2 倍という伸張であった。このように、牽引動力も拡大していったのである。

動力についても、米国の工業化の進展によりその利用は拡大していった。つまり、米国は、南北戦争後の 1870 年から第一次世界大戦まで、「製造業の黄金時代(Golden Age of Manufacturing)」と呼ばれる⁴²ほど発展し、この間で英国を追い抜き、世界一の工業化経済国となった。しかしながら、1880 年までは、米国の富の源泉は、農業であったが、1890 年には製造業が首位となり、1900 年には、工業製品が農産物の産出高の 2 倍となるまで成長するという急激な工業化が進展した。これにより、米国経済における全エネルギーに対する電気の応用も、1899 年の 6.2%から、1903 年 6.8%、1907 年 8.2%、1910 年 9.2%、1913 年 9.7%⁴³と徐々に拡大し、工場の電化が進捗していった。そして、これらの電気は、中央発電所あるいは自家用発電所から供給され、蒸気

³⁸ Allerhand (2017), p. 769.

³⁹ Byatt (1979), p. 1.

⁴⁰ Nye (2009), p. 83.

1888 年ロンドンの地下鉄が世界で初めて電気を採用した(Byatt (1968), p. 249)。

⁴¹ Foster (1979), pp. 157-158.

⁴² Atack and Bateman (2006), pp. 4-575.

⁴³ Schurr et al. (1990), p. 382.

タービンの寄与度も表5.12に示すように、確実に拡大していき、1914年には6.8%となったのである。

表5.12 製造業動力における蒸気タービンの占有率

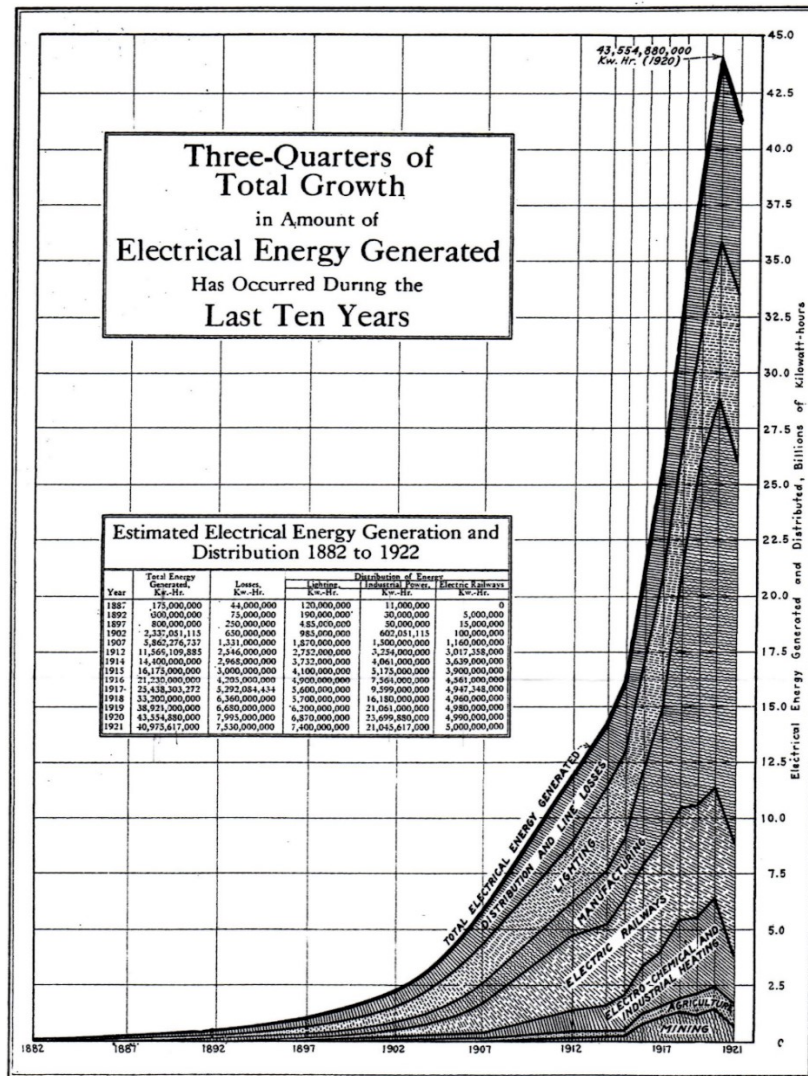
Year	Total Capacity (million horse-power)	Total Capacity (per cent)	Steam Engines	Steam Turbines	Internal Combustion Engines	Water Wheels and Turbines	Primary Electric Motors ^a
1879	3.4	100.0	64.1			35.9	
1889	5.8	100.0	78.4		0.1	21.5	
1899	9.8	100.0	82.0		1.4	14.8	1.8
1904	13.0	100.0	80.8	1.1	2.2	12.6	3.3
1909	18.1	100.0	73.3	3.3	4.1	10.1	9.2
1914	21.6	100.0	63.1	6.8	4.5	8.4	17.2
1919	28.4	100.0	47.0	10.9	4.3	6.2	31.6
1925	34.4	100.0	31.8	15.5	3.4	5.3	44.0
1929	41.1	100.0	22.3	18.0	2.9	3.8	53.0
1939	49.9	100.0	13.0	22.6	3.5	3.3	57.6
1954	110.2	100.0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	67.7
1962	154.1	100.0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	70.3

出典： Du Boff (1966), p.427, Table 1

また、米国における照明、牽引、動力用電気需要の発展を図5.9に示しているが、当初、電気は照明に使用され、次いで、製造(工場動力)、電気鉄道(牽引)に適用され、農業や鉱業にも使用拡大していった。

こうして、米国の発電事業市場は、英国よりも急速に発展したのであった。

図5.9 米における照明・牽引・動力の供給量(単位 x100 万 kWh)



(出典：Huey (1922), p. 546)

5.3 普及とライセンス

普及はイノベーションに続いて、新技術の使用が拡大・成長するプロセス⁴⁴であり、潜在的市場への新技術の移転⁴⁵を伴っている。この移転は、下記の三つの主要な方法により行われる：

⁴⁴ Parker, (1978), p. 121.

⁴⁵ Mulder (2005), p. 6.

- ① 海外子会社の設立
- ② ライセンス供与(Licensing)
- ③ 輸出⁴⁶

子会社を海外に設立するには、直接投資する大量の資金が必要であり、この資金コストを抑制するためには、少数参加(Minority Participation)、ジョイントベンチャー、既存会社の買収、および、段階的な関与があるが、いずれにしろ、資金の問題がこの決定プロセスの制約となる。ライセンス供与は、海外での製造に直接参加することによる損失のリスクの代わりにライセンス料の収入が得られるという利点があるものの、ライセンス利用者側(Licensee)が、素早く技術的に追いつき、最後には、ライセンス供与者側(Licenser)のノウハウを会得し、ライバルあるいは優位に立つ懸念がある⁴⁷。こうして、ライセンス供与は、ライセンス供与者が、無形資産以外の資産の内、海外への直接投資に必要とされる資本・広域販売・補助的販売網などの資産を持っていない時には有効とされる⁴⁸。輸出は、輸出先の政府の規制により左右され、特に、関税が障害となる。

パーソンズは、海外で蒸気タービンを生産する子会社を設立しなかったため、ライセンスと輸出に関して検討する。

1) ライセンスの契約形態

ライセンスの契約には、下記の三つの形態がある⁴⁹。

- ① 販売額ないし生産量に応じたロイヤルティー(使用料金制)
- ② 事前一括払い(固定価格)
- ③ 両者の組合せ

ロイヤルティー契約の優位性は、技術を利用する製品の需要水準の情報を事前に持っていない場合、ライセンス供与者側は、実際の需要水準に応じたライセンス料を得ることが可能であること、また、一括払いは、情報の非対称性から需要規模が不確実

⁴⁶ Parker (1978), p.163.

⁴⁷ 同上, pp.165-170.

⁴⁸ クームズ, サビオッティ, ウォルシュ (1989), p. 181.

⁴⁹ 長岡貞男, 平尾由紀子 (2013), p. 213.

であるため、ライセンス料が低くなり、企業間のライセンスが困難となる、といわれている⁵⁰。

2) パーソنزのライセンス政策

パーソنزは、海外子会社を設立せず、ライセンスを供与する政策をとった。この理由については、陸用蒸気タービンについては、開発途上であったことに加え、新世界で新たに会社を設立するリスクが大きいこと、また、資金の調達もパーソنزの金融関係から困難であったと考えられる。船用蒸気タービンについては、その華々しい成功に伴い、世界各国での「需要が高まるに連れて、自身の工場の製作能力を超過」⁵¹し、全ての需要に対応するのは困難であったこと、船舶特に軍艦の場合は、国際情勢によって必ずしも輸出が可能でないことが挙げられる。

パーソنزの生涯に関して大部の著作を書き上げたアイルランド・ダブリンのトリニティー大学(Trinity College)の機械工学科教授のスカイフ(W. Garret Scaife)は、その著作『*From Galaxies to Turbines*』において、パーソنزは、ワット(James Watt)が法に訴えて自身の特許を執拗に保護しようとして技術の進歩を結果的に遅らせたのに対し、パーソنزは、「特許による保護を願ったが、競争者を抑圧する手段として、特許を使わなかった。時が来ると、彼は、彼の発明を使用して製造するライセンスを積極的に推進する政策を採用するようになった。」⁵²と述べている。また、「当時の意見では、パーソنزは、タービンの開発に関心があったと思われ、誰が使用するかは、二次的な重要性であった。彼は、製造権を他の者にライセンスすることに不承不承ではなかった。ヒートン工場が開発資金を得るのに十分なお金を稼いでくれれば、それでいいと思っていた。」⁵³ともいわれているように、経営者というよりも技術者としての性格がライセンス政策に大きく影響したとされる。このように、1906年の土木技術者協会での論文発表の討論の際、聴衆の一人から「蒸気タービンの製造ライセンスを

⁵⁰ 長岡貞男ら (2013), p. 215-216.

⁵¹ Dunsheath (1962), p. 200.

⁵² Scaife (2000), p. 142.

⁵³ Hore (1994), p. 3.

惜しげもなく供与した寛大な心に感謝」⁵⁴と言われるほど、ライセンスには固執しなかった。

一方では、このようなライセンス政策が取られた理由について別の見方があり、アップルヤードは、パーソンズの伝記の中で、蒸気タービンの成功が、内燃機関の完成に邁進している人々に大きな刺激を与えたと述べた後、「パーソンズは、蒸気タービンを国内外に広く普及させるためには、他の企業に製造のライセンスを与えることが望ましいと考えていた。」⁵⁵と書いている。パーソンズは、当時、急速に発達しつつあった内燃機関の蒸気タービン市場への侵入を防止するためにライセンス供与を惜しまなかった、と考えるのが、より妥当性があると思われる⁵⁶。

(1) パーソンズ陸用蒸気タービン・ライセンス

パーソンズは、広範囲な開発作業を行い、効率と出力の増加を行い、1895 年迄には、パーソンズの蒸気タービンは、400 台、400kW までのものが、中央発電所や自家用発電所(Isolated Plant)で運転されていた。しかしながら、実用機としてのパーソンズの蒸気タービンについては、1895 年まで米国では殆ど知られておらず⁵⁷、パーソンズの蒸気タービンへの取り組みの成功が米国に届いた時、ゼネラル・エレクトリック社(GE 社)とウェスティングハウス社(W 社と略す)は、達成された事柄に大いに関心を持った⁵⁸。GE 社の 3 人⁵⁹が、W 社よりも早く 1995 年ヒートン工場を訪問し⁶⁰、パーソンズ蒸気タービンの米国特許を購入する最初の機会を持っていたが、これを利用しなか

⁵⁴ Parsons and Stoney (1906), p. 40.

⁵⁵ Appleyard (1933), p. 266.

⁵⁶ 1892 年にはドイツでディーゼル内燃機関船の実験が行われた(Slaven (1992), p. 8)。「非常に先見の明のある」パーソンズである(Appleyard (1933), p. 266)ので、第一次世界大戦後に急速に採用されていた内燃機関の急速な発展に脅威を覚え、その市場進出を防止する意図があった、と考えるのがより合理的と考える。

1912 年に第一海軍卿のフィッシャーが内燃機関の採用の可能性について質問した時、パーソンズの回答は、「高出力の内燃機関の出力/重量は未だ大きくなく、大型軍艦には使用できない。」であった。フィッシャーは、パーソンズに「蒸気タービンの成功は素晴らしいが、情報には常に漏れ(Funnel)がある事を忘れないように」と注意喚起している(Sumida (2014), p. 261)。

⁵⁷ Hodgkinson (1935), p. 531.

⁵⁸ Passer (1953), p. 310.

⁵⁹ PAR4/2 (1931).

⁶⁰ Scaife (2000), p.322.

った。これは、エジソンの技術に関する数学的解析の協力者で「エンジニアリングの天才」と呼ばれたスタインメッツ(Charles P. Steinmetz)が反対したからである。「蒸気タービンの質問に関して、私は、この分野は非常に将来性があると考え、この点に関し、最大の可能な速度でこの件に何が出来るかの実験を急ぐべきと思う。私はパーソンズの蒸気タービンを大きく評価しない。蒸気消費の点で効率的でないとしても、単純な設計が好ましい。パーソンズとの協定を結ぶ事は、延期するのが好ましい。」⁶¹との意見であり、パーソンズの蒸気タービンの段数の多さを問題にした、と思われる。

これに対して、ウェスティングハウスは、変圧器の特許購入から明らかなように電気動力に関心があり、容積型回転蒸気機関(Displacement Rotary Engine)の実験を行っていたが、この性能悪いこと⁶²から、パーソンズ蒸気タービンが交流発電機を駆動する原動機の可能な選択肢であることを悟った。ウェスティングハウスは、副社長のケラー(E.E. Keller)を英国に派遣し、パーソンズの蒸気タービンを調査させた。この時、権限を副社長に委譲し、価値を見出せば、米国でのライセンスを購入し、適切な対価を払うよう指示していた⁶³。こうして、1895年9月11日、パーソンズとW社の間で、船用推進用を除く、パーソンズの米特許およびカナダ特許の供与が合意された⁶⁴。5年間のライセンス料£10,000で、W社は、この間、最小の製造量を達成する必要があったが、これを達成することができなかったため、契約は更新されなかった⁶⁵。

特許契約に伴い、1896年ヒートン工場から120kWの単相交流復水タービンがW社へ出荷されたが、W社で引き続き、パーソンズ蒸気タービンの「必要な設計ノウハウ」を伝播するため⁶⁶、後に「米国の蒸気タービンの父」と呼ばれる、若いエンジニアのホジッキンソン(Francis Hodgkinson)がW社に派遣された。こうして、ホジキン

⁶¹ Passer (1953), p.310.

⁶² Davis (1975), p. 70.

⁶³ Scaife (2000), p. 323.

⁶⁴ Watson, MacNaghten, Davey and Cough (1898), p. 350.

⁶⁵ Scaife (2000), p. 323.

⁶⁶ 同上, p. 323.

同時期のパーソンズ蒸気タービンは、粗雑で、手が掛かり多くの技術的問題を抱えていたので、ホジッキンソンの派遣は必須であった。1899年までパーソンズ蒸気タービンは実験段階であったといわれている(Foster (1979), p. 235)。

ソンの指導の下、1898年にはW社の初めての商用機である300kW⁶⁷機3基が完成し、ピッツバーグ近郊のW社空気ブレーキ社(Westinghouse Air Brake Company)に設置され、1900年には、1,500kW機⁶⁸がコネチカット州ハンフォード市の最初の中央発電所に納入された⁶⁹。

こうして、W社の蒸気タービンの出力は1905年には7,500kW、1909年には10,000kW、1913年には15,000kW、1914年には30,000kWと大きく進歩⁷⁰していき、後発のGE社と並ぶ二大蒸気タービン製作会社として事業を発展させていった⁷¹。ホッジキンソンは1936年の退職までW社で40年間業務を行った⁷²。

この他の海外の陸用パーソンズ蒸気タービンのライセンスを供与された主要な企業には、スイスのブラウン・ボヴェリ(Brown Boveri)社、米国のアリス・チャーマーズ(Allis Chalmers)社、イタリアのアンサルド(Ansaldo)社がある⁷³。

英国内の陸用蒸気タービンについては、ヒートン工場で製作する方針であったが、1905年に高速往復動蒸気機関で有名なウィランズ・ロビンソン社(Willans and Robinson Ltd.)に船用蒸気タービンを除く、英国国内での10年間のライセンスを供与している⁷⁴。

(2) パーソンズ船用蒸気タービン・ライセンス

船用蒸気タービンの開発は、1894年の船用蒸気タービン会社(Marine Steam Turbine Co.)の設立に伴うタービニア(Turbinia)号のパーソンズ社(C.A. Parsons Co.)

⁶⁷ 400kW との文献もあるが、W社エンジニアの資料に従った(Bannister et al. (1988), p. 2)。

⁶⁸ 2,000kW との文献もあるが、これは過負荷出力であり、W社エンジニアの資料に従い、定格出力1,500kWを採用した(Bannister et al. (1988), p. 2)。

⁶⁹ Passer (1953), p. 311.

⁷⁰ Hodgkinson (1918), pp. 8-10.

⁷¹ 1911年2月までの米国における蒸気タービン生産量は、GE社2,150,000kW、W社1,600,000kWであり(Roe (1911), p. 132)、後発のGE社が急成長した。

⁷² Scaife (2000), p. 323.

⁷³ Appleyard (1933), p. 54.

ブラウン・ボヴェリ社は1901年(Bolter (1994), p. 167)、アリス・チャーマーズ社は1905年(Bannister and Silvestri (1988), p. 2)ライセンスを取得している

⁷⁴ Scaife (2000), pp. 358-361.

ウィランズ・ロビンソン社のロビンソンは、パーソンズ社の元社員フリガー(Fullager)の蒸気タービン特許を基に共同出資会社を設立しようとしたが、パーソンズと和解した。このため、特別にライセンスを供与されたものと考えられる(Hore (1994), p. 5, Scaife (2000), p. 360)。

による製作に始まる。1897 年のスピットヘッド(Spithead)でのヴィクトリア女王即位 60 年記念の海軍観閲式でのタービニア号の 34.5 ノットという当時の驚異的な速度を示威することに成功し、この年、船用蒸気タービン会社(Marine Steam Turbine Co.)を改組し、パーソンズは、パーソンズ船用蒸気タービン会社(Parsons Marine Steam Turbine Co.)を設立した。この時、パーソンズの所有する蒸気タービン特許の内、船用タービン特許は船用蒸気タービン会社へ移行され、陸用タービンの特許はパーソンズ自身が保有した。

蒸気タービンの実用化が進捗すると、海外から特許を要望する案件が増加した為、陸用および船用蒸気タービン特許を一括管理するため、1899 年 8 月 1 日パーソンズ外国特許会社(Parsons Foreign Patents Co.)が設立された。この会社の設立目的には、「Charles Algernon Parsons を甲とし、Parsons Marine Steam Turbine Co. Ltd.を乙とし、本社を丙とし、この間ですでに作成されている、甲および乙の特許に関する独占的権利を、ここに示されている条件で、ヨーロッパ諸国およびその各植民地(英および伊を除く)における独占的権利を許諾するという、既に準備され表明されている契約に、変更の有無に関わりなく参画し実行すること」⁷⁵と記載されており、外国への特許供与会社であった。資本金は、£ 60,000 で、社長は、パーソンズの兄のローレンス(Rosse of Birr Castle)で、パーソンズ自身も役員として参画した。

1900 年ドイツのエルバフェルド(Elberfeld)市向けの当時最大の 1,000kW パーソンズ蒸気タービンが成功すると、スイスに本社のあるブラウン・ボヴェリ社が、1901 年陸用および船用蒸気タービンの製造ライセンスをこの外国特許会社から購入した⁷⁶。1904 年には急速な船用蒸気タービンの需要の増加および手持ち量が充分にある⁷⁷ことから、パーソンズ船用蒸気タービン会社は、英国国内の造船所およびエンジニアリング企業が簡易条項により取得できる一般政策に転向した。このため、1905 年以降、国内のライセンス利用者数は急激に増加した⁷⁸。

⁷⁵ PAR36/1 (1889).

⁷⁶ Bolter (1994), p. 167.

⁷⁷ PAR/38/4 (1903).

⁷⁸ Parsons (1911), p. 85.

こうして、1904年には、パーソンズとの共同事業で、初めての蒸気タービン客船キング・エドワード号を建造したデニー造船所(Denny & Co.)を含む国内5社がライセンスを取得し建造中であったのに対し、1905年には、国内25社、海外は米国4社、オランダ1社、カナダ1社、イタリア1社、ドイツ1社、ベルギー1社、フランス1社、モンロビア1社、デンマーク1社と日本の三菱合資会社がライセンスを持っていた。1906年には国内1社/海外5社、1907年海外4社、1908年国内1社/海外2社、1909年米国海軍、1911年には日本海軍がそれぞれライセンスを新たに取得している。このように、第一次世界大戦前まで、世界の船舶の駆動用の蒸気タービンは、客船であっても、軍艦であっても、殆ど、パーソンズの蒸気タービンを使用したのがあった。

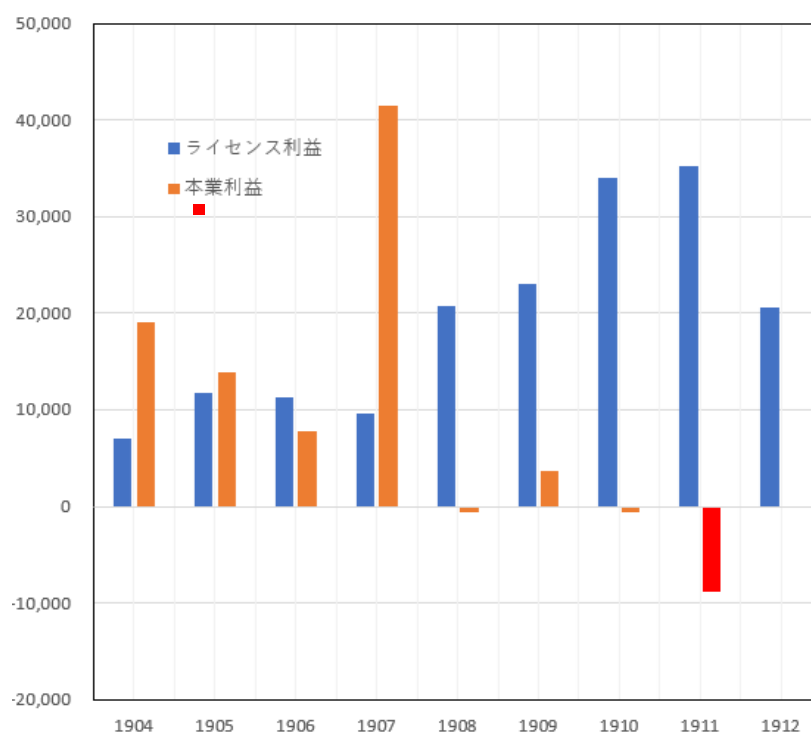
表5.13にパーソンズ船用蒸気タービン会社で、1891年から1910年までの間に製造した船舶の累積隻数と累積馬力数を示している。

表5. 13 パーソンズ船用蒸気タービン会社累積生産隻数および馬力数

Parsons Turbine Completed and under Construction								
	軍艦		商船		ヨット		合計	
	隻数	HP	隻数	HP	隻数	HP	隻数	HP
英国および植民地	156	2,480,300	62	631,000	6	17,000	224	3,128,300
米国	25	392,000	6	40,000	4	12,200	33	444,200
ドイツ	26	757,600	1	60,000	—	—	27	817,000
フランス	18	292,800	4	62,000	—	—	22	354,800
日本	7	213,100	7	76,000	—	—	14	289,100
イタリア	9	163,100	2	24,000	—	—	11	187,100
ブラジル	3	38,400	—	—	—	—	3	38,400
アルゼンチン	4	72,000	—	—	—	—	4	72,000
ペルー	—	—	2	15,000	—	—	2	15,000
チリ	2	50,000	—	—	—	—	2	50,000
中国	3	19,000	—	—	—	—	3	19,000
ポルトガル	1	11,000	—	—	—	—	1	11,000
スウェーデン	1	7,000	—	—	—	—	1	7,000
デンマーク	2	8,000	—	—	—	—	2	8,000
スペイン	16	102,500	—	—	—	—	16	102,500
ロシア	4	168,000	—	—	—	—	4	168,000
オーストリア	4	95,000	—	—	—	—	4	95,000
ベルギー	—	—	3	34,000	—	—	3	34,000
合計	281	4,869,800	87	942,000	10	29,200	378	5,841,000
出典：Charles A. Parsons, The Marine Steam Turbine from 1891 to 1910, Institute of Naval Architects, July 5, 1911, PAR51/510 The Marine Steam Turbine from 1894 to 1910								

また、図5.10には、パーソンズ船用蒸気タービン会社のライセンス料とロイヤリティーの合計、および、純利益からこの合計を差引いた金額、つまり、本業としての自社での製作による利益を示している。これから判るように、ライセンス供与による利益が非常に大きい。全体として、1907年度を除き、本業による利益は、減少傾向にあり、本業による利益は、ライセンスによる利益の増加にも拘らず減少し、1908年度と1909年度は少額の赤字、1911年度は大幅な赤字となっている。このような状況を、スカイフは、「製造活動は利益には殆ど貢献しなかった。勿論、特許活動は、製造設備の存在なしには貢献できないだろうけれど」⁷⁹と述べている。

図5.10 ライセンス利益および本業利益



(出典：PAR-38/13 (1912)およびPAR-38/5-12(1904-1911)より著者作成)

5.4 小括

パーソンズが蒸気タービンを発明した時、発電および機械の駆動機、および、船舶

⁷⁹ Scaife (2000), p. 389.

の推進機は、100 年以上もの歴史を持ち、高度に完成の領域にあった往復動蒸気機関であった。パーソンズ蒸気タービンは、往復動蒸気機関と比較して容積/出力が小さく建設コスト/出力が小さい。メンテナンス・コストも低い等の利点の他に、蒸気タービンの蒸気は、高真空圧まで膨張でき、熱効率が良いという本質的な熱力学的優位性を持つ⁸⁰。このため、パーソンズの蒸気タービンは、徐々に普及していった。

陸用蒸気タービンの場合には、変圧器の発明、交流による長距離送電の実現など、発電技術に関連した分野の発展により、中央発電所から遠隔地まで送電するという「規模の経済」を求めて、蒸気タービンは大型化していき、建設・運転コスト/出力が低下していった。電気の利用も、当初の白熱灯照明から金属フィラメントの発明により照明コストが低減したことにより、拡大していった。また、モータの発明により工場動力や電気鉄道の動力などへの利用も拡大し、蒸気タービンは普及していったのである。

船用蒸気タービンの場合には、大西洋航路の船舶の大型化・高速化に伴う推進力の大出力化に往復動蒸気機関では対応しきれないことから、利用が拡大していった。また、パーソンズ自身によるギア式蒸気タービンの導入や往復動蒸気機関と低圧タービンを組合わせた複合機関の開発など、低・中速船舶への利用拡大の努力も大いに評価する必要がある。また、19 世紀末期からの帝国主義に基づく海上覇権の争いは、軍艦の大型化・高速化を促進し、蒸気タービンの発展の条件を醸成した、と考えられる。このような社会経済的環境が船用蒸気タービンの発達および普及に寄与した。

蒸気タービン技術の普及に伴い、国内および海外からもパーソンズ蒸気タービンの需要が増大した。増大する需要に対して、海外子会社の設立や製品輸出による対応が考えられるが、パーソンズは製造ライセンスの供与で対応した。蒸気タービンは発電のために需要があるのであり、電気を必要とする国々はいずれも経済的にも技術的にも発展している国であった。それらの国々では、すでに、往復動蒸気機関や他の産業設備を生産する大企業が存在しており、企業のサイズ⁸¹においても技術において

⁸⁰ 往復動蒸気機関では、26 インチ真空以上での運転は实际的でない。蒸気タービンは、28 インチ真空以上で運転ができ、29 インチのものもある。26 インチから 29 インチへの真空の増加は、主蒸気圧力が 75(5kg/cm²)から 150psi(10kg/cm²)への増加することに相当する(Potter, (1920), p. 136)。反対に、往復動蒸気機関の優位性は、低速・可変速・起動トルク大・逆転が可である点にあり、蒸気タービンでは対応できない分野も多くある(Hirshfeld and Barnard (1913), p. 393)。

⁸¹ 松本は、パーソンズ社とライセンスを供与された三菱長崎造船所の資本金の規模は、それぞれ、約 22 万円と 600 万円であった、と指摘している(松本 (1993), p. 154)。

も一流の企業であることから、誕生して間もない陸用および船用蒸気タービンを製作するパーソンズ社が進出するにはリスクは余りにも大きい、と判断したものと思われる。更に、海外への製品輸出のためには、工場設備を急速に拡大する必要があったが、そのためには資本が必要であった。パーソンズが設立した際の出資者は、パーソンズの才能を確信する知人、実業家、貴族であり、銀行もニューキャッスルの銀行であり、ロンドンに根拠を置く大きな投資銀行ではなかった。このような資本制約によってもライセンス供与を選択したものと思われる。これらに加え、蒸気タービンの市場を拡大するには、国内外に広く普及させる必要があり、このためには、他の企業に製造ライセンスを与えることが望ましいと考えていたことによる、と考えられる。

ライセンスの供与による、パーソンズの蒸気タービン製作会社 C・A・パーソンズ社の経営への貢献は不明であるが、パーソンズ船用タービン会社の経営への大きな貢献から判断して、同様に、大きかったと判断される。パーソンズ船用タービン会社のライセンス収入は莫大であった。

ライセンスに伴う技術移転には特許情報、図面や製品、および、関連する情報がランセンサーよりライセンシーに与えられるが、これらで製品を製作するには完全ではない。パーソンズ蒸気タービン技術の米国ウェスティングハウス社へ派遣され、後に「米国蒸気タービンの父」と呼ばれたホッジキンソンの例のように、人の移動による情報の伝達が必須であるように思われる。事実、三菱へのライセンス供与時にも、製作技術を学ぶために日本から技師と職工が派遣されている。このように、技術的人材の移動は、「普及」過程において重要な役割を果たす⁸²ことを、いくら強調しても強調し過ぎることはない、と思われる。

ライセンス供与により、パーソンズの蒸気タービン技術は世界各国に拡散し、現在のように発電機器の主要原動機の基盤形成に大きく貢献した、と考えられる。

⁸² 技術伝播の方法としてジョンソンは、①実際の製品、②特許仕様や専門誌等の書かれた言葉、③視覚や口頭、④人員の移動を挙げている (Johnson (1975), pp. 97-98)。

第6章 パーソنزの資金調達とネットワーク

アイデアを具体化する発明の際には膨大な初期費用が必要¹であり、製品化された発明品を市場に投入するというイノベーションの際にも、原材料の購入や生産設備の建設などに資金が必要である。つまり「新しい技術には新しい資本が必要なのである」²。パーソンズが蒸気タービンを発明し、蒸気タービンの製作会社や蒸気タービンによる発電事業会社を設立した際にどのように資金を調達したかを検討する。

また、資金調達する際には、個人的および業界ネットワーク(Personal and Business Network)が重要である³が、ネットワークが、パーソンズの資金調達へどのように影響したかを分析する。

6.1 資金調達

チャールズ・A・パーソンズは、1854年6月13日第3代ロッセ(Rosse)伯の6番目の末息子としてロンドンで生まれた。ロッセ家の先祖は英国から16世紀末にアイルランドに移住して来た⁴。父のウィリアムは、アイルランドのバー城(Birr Castle)に巨大な望遠鏡を建設した有名な天文学者で、王立協会(Royal Society)の会長をも務めた。後に第4代ロッセ伯となるパーソンズの長兄ローレンス(Laurence)は天文家、二人の兄は夭逝し、4番目のランダル(Randal)は牧師、3歳年上のリチャード・クレア(Richard Clere)は土木技師であった⁵。パーソンズは公教育を受けず、兄弟と一緒に当時の一流の数学者で物理学者であるストウニー博士(Dr. Johnstone Stoney)⁶と有名な科学者であるボール卿(Sir Robert Ball)の二人の家庭教師により教育を受けた⁷。

第3代ロッセ伯は、パーソンズが13歳の1867年に逝去したが、ロッセ卿が亡くなった時、アイルランドの地所は£20,000、英国の地所は£60,000の価値があった⁸、と

¹ ジョーンズ (1999), p. 85.

² Nelson, Peck and Kalachek (1967), pp. 17-18.

³ McGovern and McLean (2017), p. 668.

⁴ Parsons (1948), p. 28.

⁵ Clark (1933), p. 507.

⁶ ストウニーの息子のジェラルド(Gerald)は、パーソンズの蒸気タービンの開発における重要な協力者となった。

⁷ Klein (1988), p. 53.

⁸ Scaife (2000), p. 103.

言われており、ロッセ未亡人は依然のように三人の息子の教育をし続け、毎年、ヨーロッパ大陸へも旅行した⁹。

パーソンズは、1871 年 17 歳でダブリンのトリニティ・カレッジに入学、大陸での休日の成果であるドイツ語や数学の習熟に対して授賞しているが、ギリシャ語は不得意であった¹⁰。1873 年にはケンブリッジ大学に入学し、数学を学び、当時、公式のコースではなかった機械工学や熱力学の講義も受講している¹¹。卒業試験は 11 番目(11th Wrangler)という優秀な成績で 1877 年に卒業した。

ケンブリッジ大学を卒業後直ぐに、ニューキャッスルの W.G.アームストロング社のエルズウィック工場に特別訓練生として入社した¹²。

1881 年にはアームストロング社を離れ、兄のクレアが共同経営者であったリーズ(Leeds)のキトソン社に入社した。ここで、ケンブリッジ大学在学中に特許を取っていた対向ピストン・シリンダー回転蒸気機関の製作・販売¹³するとともに、小さな実験所を設置し、コストを半分負担し、アームストロング社で始めていた魚雷のロケット推進の実験をここで継続した。しかしながら、ロケット推進剤の不完全な燃焼により予測不可能な困難に遭遇し、2 年後に放棄している¹⁴。この 1883 年迄のキトソン社での期間中でも、純粋の高速機関はパーソンズの頭から離れず、多分、収入よりも実験に多額の費用を出費したと、言われている¹⁵。

この純粋の高速機関、つまり、蒸気タービンのアイデアから発明までパーソンズが個人的に出費した資本は、1898 年に行われたパーソンズの 1884 年特許の延長申請の審議時、公認会計会社モンクハウス・ゴダード社(Monkhouse, Goddard, and Co.)が査

⁹ Clark (1933), p. 508.

¹⁰ Klein (1988), p. 54.

¹¹ Constant (1980), p. 69.

¹² Marsh (2019), p. 2.

この時、£ 600(2019 年価値で約 US\$60,000)を支払ったことは、第 3 章で述べたとおりである。

¹³ パーソンズはこれにより少額のロイヤリティを得たと言っている(PAR4/2, (1927)).

¹⁴ Bowden (1964), p. 434.

¹⁵ Smith (1954), p. 740.

定したところによると、£ 8139(ポンド)13s.(シリング)7d.(ペンス)で、利益は£ 7031 13s.9d.で、差し引き£ 1107 13s.10d.の赤字であった¹⁶。

キトソン社に実験作業のコストのパーソンズの負担金を支払い、1884 年、ニューキヤッスルのタイン川の対岸のゲーツヘッドにあるクラーク・チャップマン社に副共同経営者(Junior Partner)として参画した。この時の経緯について、スカイフは下記のよう

電気主任技師として従事した。彼は幸運にも大きな個人的にかなりの財産を受け継いでおり、£14,000 を投資して事業の 8 分の 1 の株を確保することができた。この投資額を現代的に評価することは難しいが、当時の熟練工が週£1.10s から£2 を得ていたこと考慮すれば、これは、百万あるいは 2 百万ポンドに相当すると思われる。

共同出資経営(Partnership)の公文書は、1884 年 2 月 1 日付けで、魚雷に関するものと思われるのれん代として£6,000 が加算されていた。彼の業務の過程で取得したいかなる特許の権利は、共同出資者ものであることが明記されていた¹⁷。

クラーク・チャップマン社入社後わずか 2 か月後には、蒸気タービンの暫定特許を申請し、10 月には詳細図面を添付した完全な仕様を提出して最終特許を取得するとともに出力 7.5kW、回転数毎分 18,000 回転の原型機を製作した。こうして、ここに世界で初めての実用的な蒸気タービンが完成したのであった。パーソンズ蒸気タービンは、この後、出力は 75kW まで上昇し、蒸気消費量も改善され、クラーク・チャップマン・パーソンズ社で約 250 基製作されたが、これらは、主として、船内照明用に使用された。船舶の推進用に蒸気タービンを適用するため¹⁸、より大型のタービンの製作に素早く移行する必要性を主張するパーソンズは、人員と資金を要望したが、クラーク・チャップマンはこれを拒否した¹⁹。このため、パーソンズは、1889 年 1 月に発電

¹⁶ Watson, Lord, Lord MacNaghten, Lord Davey and Sir Richard Cough (1898), p. 356.
使った資本には 7%の利子が仮定されている(同上)。

¹⁷ Scaife (2000), p. 150.

¹⁸ パーソンズは、ゲーツヘッドのクラーク・チャップマン・パーソンズ社にいる時から、船用の問題について研究し始めていた(Richardson (2014), p. 69)

¹⁹ McGovern and McLean (2013), p. 454.

事業会社のニューキャッスル地域電灯会社(DISCO 社)を設立し、自ら社長となり発電事業を通じて蒸気タービンの性能(出力および蒸気消費量)を改善しようとした。しかしながら、クラーク・チャップマン社から、利益相反に相当する旨の警告書が送付された。こうして、パーソンズとクラーク・チャップマン社は6月に1889年12月31日付けで共同出資を解消することに合意した。

この合意書には、パーソンズに、£6,000 ののれん代と出資金£14,000 から減少分£383 7s0d を差し引き、更に、魚雷事業ののれん代£800 と1889年²⁰6月3日(最終監査日)迄の予想利益£550 を加算して支払われるものとする、と記載されていた²¹。

DISCO 社は、資本金5万ポンドで設立されたが、出資者は、二人のロンドン電気供給会社(London Electric Supply Corporation)の関係者以外の6名は、ニューキャッスルおよびその近郊で事業を営む有力者であり、パーソンズの個人的な友人、或いは、業務上の知人であり、パーソンズも出資し社長職を務めた。1891年にはスカボロー電気供給会社(Scarborough Electric Supply Co.)を、1892年にはケンブリッジ電気供給会社(Cambridge Electric Supply Co.)を自ら出資して設立した。スカボロー電気供給会社もケンブリッジ電気供給会社も資本金5万ポンドで設立され、出資者は、同じく、パーソンズの個人的な知人、業務上の知人であったと思われるが、出資者の多くの職業は詳細不明である。しかしながら、これら3つの発電事業会社へのパーソンズの出資額は全体で約£30,000であったことが、長兄のローレンスへの手紙から判っている²²。

更に、パーソンズは、1889年6月に蒸気タービン製作会社であるC・A・パーソンズ社(C.A. Parsons and Co.)をニューキャッスルの東郊外のヒートン(Heaton)に設立した。C・A・パーソンズ社はパーソンズ自身と少数の友人の出資により設立された²³が、設立趣意書や取締役会報告書等がないため、出資者の出資金額の詳細は不明である。しかしながら、インドへと旅立つ長兄のローレンスへの1897年12月8日付けの

²⁰ Scaife (2000), p. 194. 原文には1886年と記載されているが、1889年の誤記と考えられる。

²¹ Scaife (2000), p. 194.

²² PAR52/44 および Scaife (2000), p. 328,

²³ Parsons (2014), p. 173.

手紙の中で、C・A・パーソンズ社を非公開の有限会社(Private Limited Co.)にしたいとの手紙が残っており、その中で下記のように書き送っている：

土地を抵当に入れた借金は年5%の£9,000のみです。資本金は4万ポンドを超えており、これには現在のお金から支払われた特許料や、実験作業などは一切含まれていないので、財政的には第一級の状態です。

..... ヒートン工場に関しては、クラーク・チャップマンの時代に£20,000、それ以降は£5,000、合計£25,000の現金を投入しました。投資した金額はこれだけで、引出したものは全期間にわたって約3%です...²⁴。

このことから、パーソンズは、C・A・パーソンズ社設立時には、£20,000を投資し、その後、£5,000を追加投資し、1897年時点のC・A・パーソンズ社の資本金は£40,000となったものと考えられる。

しかしながら、パーソンズの非公開の有限会社へとC・A・パーソンズ社を改組する意向は、理由は定かでないが、1913年迄実現されなかった²⁵。

スカイフは、この手紙から、「パーソンズは、莫大な財産を築いたわけではないが、個人的な財産は過去15年間で立派に成長していたことが判る」と書いている²⁶。

パーソンズは蒸気タービン推進船を開発するため、当初、パーソンズは全部を自分自身で取組み、全てのリスクを個人的に取る積りであったが、最終的には、知人、友人からも出資してもらい小さな共同出資会社(Syndicate)²⁷を結成し、1894年ニューキャスル市の東端のウォールセンドに資本金£25,000で船用蒸気タービン会社(Marine Steam Turbine Co.)を設立した²⁸。パーソンズの出資額は£9,000であったが、これは、

²⁴ PAR52/44 および Scaife (2000), p. 328,

²⁵ Scaife (2000), p. 328.

²⁶ 同上, p. 328.

²⁷ Swinton (1907), p. 268.

²⁸ Appleyard (1933), p. 91.

パーソンズが保有する蒸気タービン特許に対する対価として全額払い込み済の株式として与えられたものであった²⁹。

1897 年 6 月のスピッドヘッドでの海軍観閲式でのタービニア号の成功に伴い、船用蒸気タービン会社は改組され、同年 9 月新しく資本金£500,000 のパーソンズ船用蒸気タービン会社(Parsons Marine Steam Turbine Co.)となった。新会社は、旧会社よりライセンス、タービニア号本体、他すべての機材を旧会社から購入し、旧会社には現金 3 万ポンドと株式 8 万ポンドが支払われた。更に、一定のロイヤリティと、増資の際にはさらなる株式を得る権利が与えられた。これにより、特許権者のパーソンズは、旧会社の持分に应じて、現金 9 千ポンドと株式約 3 万ポンドを受け取った。また、旧会社は、消滅した訳ではなく、尚も、保持しているロイヤリティやライセンス権に基づいて収入を得た。新会社では、パーソンズ自身は 300 株、£ 30,000 相当を保有し、少数株主としての立場を保った³⁰。

船用蒸気タービン会社およびパーソンズ船用蒸気タービン会社の設立には、海軍退役将校であるレイランド(Christopher Leyland)が出資していた。レイランドはパーソンズよりも 5 歳年上で、タービニア号の船長を務めた人物であるが、銀行家であるレイランド家の財産を受け継いでいた³¹。新会社のパーソンズ船用蒸気タービン会社が、ヴァイパー号を受注した際、速度などの保証性能を達成できなかった場合には、海軍は£ 100,000 を補償するよう要求した。この金額は莫大な金額であり、レイランドは、この条件を聞いたときのパーソンズの落胆した顔を見て、彼に向かって「大丈夫だ、チャーリー、僕は君を応援するよ」と言った³²、とのことであり、それ程裕福であった。

また、この頃パーソンズは、客船や鉄道連絡船などの商船市場へ参入することを熱望したが、それぞれの会社は、他の者が実験をすることを望んでいるように思われ³³、下記のような状況であった。

²⁹ Scaife (2000), p. 237.

³⁰ 同上, pp. 325-326.

³¹ 同上, p. 225.

³² 同上, p. 327.

³³ Parsons and Walker (1906), p. 8.

(造船業を営む)ウィリアム・デニー社(William Denny & Brothers)の共同経営者であるアーチボルド・デニー(Archibald Denny)は、数年前にパーソンズの論文を聞き、新しいエンジンの可能性に感銘を受け、商船への搭載を提案するために彼に近づいた。クライド鉄道の蒸気連絡船の所有者は、この種の船のスポンサーになるよう誘われたようだが、そのような提案の正式な記録は残っていない。デニーのアプローチは正式なものではなく、調査的なものであったことは間違いない。いずれにしても、その反応は落胆するもので、鉄道からの支援は得られなかった。しかし、こうしている内に、フェアリー-キャンベルタウン(Fairlie-Campbeltown)間の長い航路を、頼りになるが遅い外輪船ストラスモア号(Strathmore)で運航していたジョン・ウィリアムソン船長(Captain John Williamson)は、タービン蒸気船の価値を独自に検討していたようで、やがて、この河口(Firth)での新しい事業を開始するリスクを負うことに同意した³⁴。

こうして、クライド川のダンバートン(Dumbarton)で造船業を営むウィリアム・デニー社とクライド川の河口で客船を運航しているウィリアムソン船長、および、パーソンズの個人的な負担ではなく、パーソンズ船用蒸気タービン会社がそれぞれ、実験船を建造するための費用£33,000³⁵を1/3ずつ負担する、タービン蒸気船共同出資会社(Turbine Steamer Syndicate)が1900年末に結成された³⁶。1901年にキング・エドワード(King Edward)号が進水し、世界で初めての蒸気タービン推進客船となった。この船による運航は大成功であり、翌年には、タービン蒸気船共同出資会社は、タービン蒸気船会社(Turbine Steamers, Ltd)に改組され、クイーン・アレキサンドラ(Queen Alexandra)号が建造費£38,500で建造された³⁷。タービン蒸気船会社は、ウィリアムソンが大部分の株を所有し、社長職を担った³⁸。

³⁴ Paterson (1969), pp. 155-156.

³⁵ 同上, p. 156.

³⁶ ウィリアムソン船長は、翌年フェアリー航路に蒸気船を就航させ、維持することを条件に、グラスゴー・サウスウェスタン鉄道(Glasgow & Western Railway)の保証の下で、スコットランド・ナショナル銀行から融資を受けている(Paterson (1969), p. 156)。

³⁷ Slaven (1992), p. 7 および McOwat (2006), p. 88.

³⁸ Paterson (1969), p. 175.

クイーン・アレキサンドラはキング・エドワード号よりも少し大型で、蒸気タービン費は£10,500であった(Paterson (1969), p. 164)。

「クイーン・アレクサンドラ号の成功は、キング・エドワード号の成功に勝るとも劣らないものであった。船用蒸気タービンが商業的に有用であることをクライド川流域以外の船主が理解すると、ウィリアム・デニー社やパーソンズ船用蒸気タービン社に新造船の注文が殺到した。最初の注文は、予想通り、成功したクライド型蒸気船とほぼ同じサイズとタイプの海峡横断型蒸気船であった。」³⁹といわれている。

このように、クライドでの蒸気タービン船の成功は、ドーバ-カレー(Dover-Calais)間やニューヘブン-ディエップ(Newhaven-Dieppe)間⁴⁰の英国海峡横断蒸気タービン船や後の大西洋横断蒸気タービン船による運航の繁栄の基となった。

6.2 ネットワーク

発明から製品化に至る最初期の資金の調達には内部資金と外部資金の二つの調達方法があるが、内部資金調達は自己が保有する財を利用するものであり、外部資金調達には、友人・知人からの出資や、或いは、金融市場からの債務証書、株発行などによる調達がある。この外部調達は、調達しようとする事業の不確実性や企業家と投資家間の「情報の非対称性」⁴¹により、調達難度つまり利率が異なる。この点で金融を含む社会経済的ネットワークは重要性であり、また、技術的ネットワークも重要となる。このように、ネットワークは、合法性・評判・資金・ビジネスチャンスなどの重要な資源へのアクセスを提供するものである⁴²。

イノベーションの研究で有名なフリーマン(Chris Freeman)は共著の『*The Economics of Industrial Innovation*』の中で、ネットワークについて、下記のように述べている：

現在、イノベーションにおけるネットワークの役割に関する十分な証拠があり、19世紀のイノベーションの典型的なパターン（発明家兼企業家）や20世紀のイノベーショ

³⁹ Paterson (1969), p. 168.

⁴⁰ Leggett (2011), p. 305.

⁴¹ Shane (2008), p. xxiv.

⁴² McGovern and McLean (2013), p. 464.

ンの典型的なパターン(外部とのコミュニケーションに優れた社内の研究開発部門)が、21世紀にはネットワークを活用した協調的なシステム・イノベーションのパターンへと移行しつつあると推測される⁴³。

パーソンズが活躍した時代 19 世紀後半から 20 世紀初頭は、20 世紀の企業による研究開発が主流となる前の最後の発明家兼企業家の時代であり、個人的な社会経済的および技術的ネットワークが重要な時代であった。このため、パーソンズのネットワークについて俯瞰することにする。

1) 社会経済的ネットワーク

パーソンズが最初に設立した会社である DISCo 社の投資者は、貴族やニューキャッスル及びその近郊で事業を営む有力な船主、炭鉱主、色々な産業の事業家や弁護士で、パーソンズの個人的な友人、業務上の知人であった。DISCo 社に続き、スカボロー電気供給会社やケンブリッジ電気供給会社を設立したが、DISCo 社の「投機的事業(Venture)の成功に勇気付けられ、パーソンズと共同してこれらの電気供給事業は開始された。これらの二つの発電事業の資金の殆どの部分は、パーソンズのシステムに確信を抱いた人々の間で、ニューキャッスルで調達された。」⁴⁴のである。

陸用および船用蒸気タービンの製作会社である C・A・パーソンズ社、実験船製作会社の船用蒸気タービン会社、および、改組後のパーソンズ船用蒸気タービン会社のいずれもパーソンズの家族、知人である銀行家や友人が出資者であった。

また、蒸気タービン事業を通じては、アイルランド貴族のギネス家が経営するダブリンのビール醸造所に抽気タービンを 1900 年に納入しているが⁴⁵、これは、アイルランド貴族の第二世代のアーディローン卿(Lord Ardilaun、アーサー・ギネス)やアイヴァー卿(Lord Iveagh、エドワード・ギネス)との関係によるものであった⁴⁶。また、DISCo 社の最初の発電所であるフォース・バンクス発電所は、造船会社のホーソン・レスリ

⁴³ Freeman and Soete (1997), p. 225.

⁴⁴ Swinton (1907), p. 268.

⁴⁵ ビール醸造時に使用される大釜の加熱として蒸気タービンからの抽気蒸気を使用する。蒸気タービンからの抽気には油脂分がないため、醸造プロセスでは、特に、魅力的であった(Scaife (2000), p. 438)。

⁴⁶ Leggett (2011), p. 292.

一社(Hawthorn, Leslie and Co.)の跡地を購入して建設したものであるが、この発電所のボイラはホーソン・レスリー社から購入している⁴⁷。このホーソン・レスリー社には、後にパーソンズ船用タービンの製造ライセンスが供与されている。同じく、パーソンズと協力して世界初の蒸気タービン推進船キング・エドワード号の建造を担当したウィリアム・デニー社には、最初のパーソンズ船用蒸気タービンのライセンスが与えられた⁴⁸。

2) 技術的ネットワーク

陸用蒸気タービンの関係者では、ケンブリッジ発電所向けの復水式蒸気タービンの性能試験を実施し、パーソンズ蒸気タービンへの偏見を打破する公式報告書を作成したケンブリッジ大学のユーイング(J.A. Ewing)教授がいる。彼は、クラーク・チャップマン社との軸流タービン特許の調停手続きの際には、パーソンズ側の専門家として活躍した。これにより、パーソンズは、1894年に特許を穏当な額で取り戻すことができた⁴⁹。また、スカボロー発電所の性能試験は、著名なケネディー(A.B.W. Kennedy)卿によって行われ、この結果、追加の大型ユニットの受注に繋がった⁵⁰、と言われている。

船用タービンでは、タービニア号の性能試験が約 20 回、ユーイング教授の手によって行われ、ユーイング教授のレポートにより、海軍省は蒸気タービン推進船の重要性を完全に理解し、後の魚雷駆逐艦の受注に繋がった⁵¹。

タービニア号の試験の際、タービンの性能を大まかに把握することはできたが、蒸気タービン機関の出力を正確に測定することはできなかった。このため、パーソンズとユーイングは、船用タービンのデータを正確に実験室で把握することを意図し、ハスラー(Haslar)にある海軍本部実験所の船舶実験水槽の責任者であるフルード(Edmond Froude)⁵²に、模型実験により特定の速度で推進するために必要な蒸気ター

⁴⁷ Parsons (2014), p. 172.

⁴⁸ Strang (2009), p. 8.

⁴⁹ Appleyard (1933), p. 80.

決着額は£1,500であった。当初、クラーク・チャップマン社が要求した額は、£98,000であった(Scaife (2000), p. 215)。

⁵⁰ Dunsheath (1962), p. 199.

⁵¹ Jarret (1984-85), p. 42.

⁵² 造波抵抗の分析で使用される船体の速度と長さ比で定義されるフルード数は、父のウィリアム・フルードに因む。

ビンの出力について信頼できるデータを得るよう依頼した。こうした関係は、海軍建艦本部(Naval Construction)のホワイト(William White)長官への接近を可能とし、船用蒸気タービンが最初の採用される可能性の高い魚雷駆逐艦の仕様について議論できるようになった⁵³。また、「パーソンズとロッセ卿は、政治的・産業的に権威のある人物を選ぶだけでなく、海軍作家で、当時、女王に仕えていた公爵のブラッシー(Brassey)や、著名な政治家であり海軍本部の代弁者でもあったデボンシャー公爵(Duke of Devonshire)にも会社の役員になるよう声を掛けたりして、海軍本部の社会的ネットワークにもアクセスできるよう」⁵⁴に努力した。

こうして、タービニア号の開発状況は海軍の関心を引き⁵⁵、パーソンズとホワイトを含む海軍の将校の小さなグループは、タービニア号の驚異的な速度を示す必要を認識して、1897年のヴィクトリア女王の海軍観閲式でデモンストレーションを計画し、内外からの参加者および見学者を驚愕させたのである⁵⁶。

6.3 分析と考察

パーソンズは、第4代ロッセ伯(長兄のローレンス)や、社会経済的および技術的ネットワークを介して、友人や知人から資金を調達し、二つの蒸気タービン製造会社と三つの発電事業会社を設立し、自ら社長を務めた。

蒸気タービン製造会社：

- ・ C・A・パーソンズ社…陸用蒸気タービン製造
- ・ パーソンズ船用蒸気タービン会社…船用蒸気タービン製造

発電事業会社：

- ・ DISCo 社(Newcastle and District Electric Lighting Co.)
- ・ スカボロー電気供給会社
- ・ ケンブリッジ電気供給会社

⁵³ Leggett (2011), pp. 294-295.

⁵⁴ 同上, p. 293.

ブラッシー侯やデボンシャー侯はパーソンズの会社の役員にはなっていない。

⁵⁵ 1986/12/28 付けパーソンズよりローレンスへの手紙には、ホワイトと後進速度を全速の 2/3 とする要求を緩和するよう連絡している旨が記載されている(PAR52/33)。また、スピードヘッドでの観閲式でのデモンストレーションの前にホワイトはタービニア号に搭乗もしている(Leggett (2011), p. 296)。

⁵⁶ Leggett (2011), p. 297.

C・A・パーソンズ社の財務状況は詳細不明であるが、この会社は、1913年に非公開の有限会社(Private Limited Company)⁵⁷となり、1968年にはレイロル社(A. Reyrolle and Co.)と合併、持ち株会社のレイロル・パーソンズ社(Reyrolle and Parsons Ltd.)の管理下で、それぞれの名前で取引を行った。また、1977年にはクラーク・チャップマン社と合併した NEI(Northern Engineering Industries)の一部門 NEI パーソンズ社(NEI Parsons Ltd.)となった⁵⁸。1989年 NEI 社はロールス・ロイス社と合併し、1997年ドイツのシーメンス社に買収される迄存続している。このことから判るように本研究課題の第一次世界大戦前までは、経営的には健全な会社であった、と判断してよい。

パーソンズ船用蒸気タービン会社は、利益も配当も問題ない会社であったが、株式資本は、1900年から1911年まで£500,000⁵⁹のままであった。

DISCo 社、スカボロー電気供給会社、ケンブリッジ電気供給会社も経営的には十分満足の行くものであったが、株式資本金は、スカボロー電気供給会社については不明であるが、DISCo 社は、1889年の£50,000から1914年£300,000⁶⁰へ、ケンブリッジ電気供給会社は、1893年の£50,000から1914年£100,000⁶¹へと増加した。

このパーソンズの関係する企業の成長と類似の企業と成長とを比較するため、まず、製造業分野では、英国のエジソンと呼ばれるフェランティ(S.Z. de Ferranti)が設立した電気機器製作会社と船舶補機メーカーのクラーク・チャップマン社と比較する。

フェランティ⁶²は、1890年に S.Z. デ・フェランティ社(S.Z. de Ferranti Ltd.)を名目資本金£100,000で設立し、1901年には S.Z. デ・フェランティ社の資産を引き継ぎ、

⁵⁷ Gibbs (1947), p. 213.

⁵⁸ PA-1083 (1989), p. 29 および p. 32.

⁵⁹ PAR-38/1-12 (1900-1911).

⁶⁰ DU/EB/143/1-26 (1889-1914)

⁶¹ Cambridge Electric Supply Co. (1893-1915).

⁶² フェランティは 1883 年ロンドンで初めて照明事業を開始したグロブナー(Grosvenor Gallery Company)社の技術顧問として、自身の設計の発電機に取替え、技術的問題を解決した。1887年グロブナー社を吸収し、LESCo 社が認可資本£1,000,000で設立された。フェランティは、この会社のロンドン郊外のデトフォード(Deptford)発電所からロンドン市全体の電気負荷を 10,000 ボルトで送電・供給するという壮大な計画を主導した。この LESCo 社の最大の投資家はワンテッジ卿(Lord Wantage)で£220,000を投資した。グロブナー社の創設者であるリンゼイ卿(Sir Coutts Lindsay)は、£50,000を投資した(Bowers (1982), p. 144-146)。フェランティの計画は頓挫し、この会社は 1905 年まで 18 年間無配当であった(Byatt (1979), p. 103)。英国にはこれ丈のリスクを取ることのできる大富豪の貴族がいたのである。

新しい会社であるフェランティ社(Ferranti Ltd.)を設立した。名目資本金は £ 400,000⁶³、投下資本(Capital Employed)は約 £ 263,000⁶⁴であった。これは、パーソンズ船用蒸気タービン会社の資本金とほぼ同等であり、製造業の分野では、パーソンズの会社は遜色ない企業であった、といえる。1914 年の投下資本は £ 300,000⁶⁵であり、ほぼ変化なしであった。

船舶の補機類の製造で有名なクラーク・チャップマン社は、一時、パーソンズが副共同経営者として在籍していた歴史のある企業であるが、資本金は、1884 年 £ 112,000、発行株式は 1893 年 £ 140,000 から 1914 年には £ 223,000⁶⁶であった。1900 年から 1911 年まで増加しなかった資本金 £ 500,000 のパーソンズ船用タービン会社と比較して、クラーク・チャップマン社は、小資本であるが、発行株式は 1.6 倍に増えている。

発電事業に関しては、同じニューキャッスルで同じ年に設立された NESCo 社(Newcastle-upon-Tyne Electric Supply Co.)と比較すると、第一次世界大戦前には、ヨーロッパ最大の送電網⁶⁷を持つ英国有数の広域発電会社へと発展した NESCo は、1889 年の £ 12,000⁶⁸から 1914 年には £ 1,710,000⁶⁹と 140 倍強と大きく成長しており、パーソンズの発電事業会社の DISCo 社の 6 倍の成長率、ケンブリッジ電気供給会社の 2 倍の成長率と大きく乖離している。

パーソンズの設立した企業は、いずれも企業として成功であったが、クラーク・チャップマン社や NESCo 社との発展の差の原因はどこにあったか、資金の問題と市場の問題の二つの観点から考察することにする。

1) 資金の問題

カンダーらは、その著『*Power to the People: Energy in Europe over the Last Five*

⁶³ Wilson (1988), p. 57 および pp. 75-76.

⁶⁴ 同上, p. 158.

⁶⁵ 同上, p. 159.

⁶⁶ McGovern and McLean (2013), p. 465.

クラーク・チャップマン社は 1864 年にクラークにより設立された会社であるが、上記資料には、

⁶⁷ McGovern and McLean (2017), p. 680.

⁶⁸ Hadfield (1994), p. 1.

⁶⁹ McGovern et al. (2017), p. 673 の Preference Share £ 912,000 + McLean and McGovern (2017), p. 296 の Ordinary Share Capital £ 912,000 の合計。

Centuries』の中で、「企業家による新しい会社はイノベーションを製作し、市場へ出さなければならない。…これらの企業への資金を提供するために、金融市場による資本の投資が必要」⁷⁰といい、シュエラ(F.M. Scherer)も、『*Innovation and Growth, Schumpeterian Perspective*』の中で「企業家-イノベータが確信させなければならない唯一の人物は、資金を提供する銀行家」⁷¹という。

シュムペーターもその著『経済発展の理論』の中で、

新結合に必要な生産手段の購入に用いられる金額は、もし当該経済主体がたまたますでにこれを所有しているのでなければ—それが原則である—、果たしてどこからくるのであろうか。…彼自身の貯蓄だけで十分であるというのは、ごく例外の場合だけである。…別の調達方法に帰せられるべきである。…ここでいう別の貨幣調達方法とは、銀行による貨幣創造のことである⁷²。

といている。

技術発展の研究者である英国エクセター大学のパーカー(J.E.S. Parker)は、その著『*The Economics of Innovation*』の中で、発明とはイノベーションの初期段階のことであり、「イノベーションとは、将来性のある技術可能性を市場性のある現実に変換する段階」⁷³と定義し、下記の4つの機能に分かれるという：

- ① 発明
- ② 企業家精神…努力・前進・組織・資金援助の獲得
- ③ 投資…冒険的事業(Venture)に資金を危険に晒す行為
- ④ 開発…試行錯誤によりオリジナルのアイデアを商業的に利用可能となるまで完全にする一連の長い技術的活動

⁷⁰ Kander, Malanima and Warde (2013), p. 28.

⁷¹ Scherer (1984), p. 13.

⁷² シュムペーター (2015), pp. 193-195.

⁷³ Parker (1978), p. 50.

パーカーは発明と市場への製品投入であるイノベーションを含めて、イノベーションと主張しているが、この点は、発明とイノベーションを明確に分離して定義する本論文著者とは意見が相違する。

そして、資金がこれらプロセスの発展を制約する、といている⁷⁴。

この資金は、通常、金融市場から調達するが、パーソンズが発明家・企業家として活躍し始めた時期の英国の銀行は、下記のように状況であった⁷⁵：

イングランド銀行(Bank of England)は、自社の利益と狭い範囲の友人の財産ばかりに気を取られおり、これが、英国経済全体や産業の低迷にどんなに影響を与えたかは測りしれない。... ヴィクトリア朝後期とエドワード朝の市場では、イノベーションや生産性の高い産業、特に、外部から大量の資本を必要とする産業の革新や企業活動を阻害するようなパターンを形成する上で、致命的な、おそらく重大な役割を果たしたかもしれない。

他の銀行として、商業銀行(Merchant Bank)、民間銀行(Private Bank)および合資銀行(Joint-Stock Bank)があるが⁷⁶、商業銀行は、投資銀行であり短期融資に傾注し、海外の借り手に資金調達をしたが、長期の産業融資は回避した⁷⁷。民間銀行も合資銀行も短期融資のみであり、産業との結び付きは薄弱であった⁷⁸。

英国の株式市場は、「19 世紀中葉⁷⁹まで、ほとんどの製造工業でも、証券取引所で株式を発行して資金を求める株式会社として資本公募することができなかった」⁸⁰ので、第一次世界大戦までは、大きな企業丈が公的株式発行で資本が調達できた⁸¹が、多くは依然として私企業に留まり、創業家族が所有し、株式市場に上場しなかった。企業の上場を取り扱ったのは地方の証券取引所で、運河や鉄道の株式を取引していた。1885 年には 12 の取引所があったが、ロンドンの証券取引所は、最大であったものの製造

⁷⁴ Parker (1978), p. 169.

⁷⁵ Pollard (1989), p. 249.

⁷⁶ 同上, p. 249.

⁷⁷ オーウェン (2004), p. 19.

⁷⁸ Pollard (1989), p. 249.

⁷⁹ 1856 年に「株式会社法」、1862 年に「会社法」が制定された(オーウェン (2004), p. 335)。

⁸⁰ マサイアス(1988), p. 165.

⁸¹ McGovern and McLean (2013), p. 464.

業との関係は殆どなく、英国政府や海外の借り手の資金調達が主業務であった、という⁸²。

このような状況下では、かなりの企業を経営する非国教徒のプロテスタントの経営者が資金提供者としての信用貸しが極めて重要であった⁸³。これは、非国教徒は、法的制約により政府とか軍とかに職を得られなかったため⁸⁴、迫害された宗派の絆は、血縁に優るとも劣らない実行ある事業上の結び付きを強め⁸⁵、社会の「異端者」、社会的地位の不安定性という逆行を梃子として、経済的業績を達成したからであった⁸⁶。

この非国教徒の中で特にクエーカー教徒は重要であり、教徒間には、フレンド・プロヴィデント(Friend Provident)という相互補助団体があった。パーソンズが一時副共同経営者であったクラーク・チャップマン社は、チャップマンがクエーカーの家族の生まれであり、会社の弁護士であるワトソン(Robert Spence Watson)もクエーカー教徒で自由党の有力委員であった。クラーク・チャップマン社は、1893年に長期社債を発行しているが、その内、£ 30,000はこの相互補助団体が引き受けている⁸⁷。こうして、1893年の株式資本は£ 140,000であった事業は、1914年には株式資本£223,000の会社へと発展したのである⁸⁸。

パーソンズの DISCo 社と同じ年に設立された発電事業会社 NESCo 社の社長の J.H. マーズは、タイン川の有数の造船会社であるウィガム・リチャードソン造船会社(Wigham Richardson Shipbuilding Co.)の経営者であるクエーカー教徒の J.M. リチャードソンの姉妹の一人と結婚しており、取締役のワトソン(Robert Spence Watson)弁護

⁸² オーウェン (2004), pp. 335-336.

⁸³ マサイアス(1988), p. 166 および p. 174.

⁸⁴ Mokyr (1990b), p. 245.

⁸⁵ ランデス (1980), p.86.

⁸⁶ キンドゥルバーガー (1968), p. 45.

産業革命においても、主導的な役割を演じた企業家のうち非国教徒出身の割合が他に比べて不釣り合いなほど多いとランデスは指摘している(ランデス (1980), p. 86.

⁸⁷ McGovern, et al. (2013), p. 463.

⁸⁸ 同上, p. 466.

士はクラーク・チャップマン社の弁護士と同一人物であるが、もう一人の姉妹と結婚しており、両者は義理の兄弟であった⁸⁹。

NESCo 社設立時の資本金は、1905 年まで北東部の地元から調達したが、一括取引(バルク)による成長戦略は、資金を全国的に調達する必要とした。J.H.マーズの長男のチャールズ・マーズは、NESCo 社の技術を指導したコンサルタントであったが、NESCo が一部株を所有している北東鉄道の社長を介して商業銀行のレオナード&ウォルター・カンリッフ(Leonard and Walter Cunliffe)との関係を深めていった。カンリッフは 1908 年に、NESCo の取締役役に任命されている。この関係は、商業銀行のラザード・ブラザース社(Lazard Brothers)から 1906 年と 1909 年の社債発行を可能とし、1909 年の社債発行額は利子 4.5%の £ 688,000 と巨大な額であった⁹⁰。こうして、NESCo の株式資本は、1891 年の £ 19,000 から 1914 年には £ 1,710,000 の英国での有数の発電事業会社へと成長したのである⁹¹。

これに対して、パーソンズは、DISCo 社の設立、それに続く、C・A・パーソンズ社、ケンブリッジとスカボローの発電事業会社、および、船用蒸気タービン会社設立時の資金は、「6.1 資金調達」の節で見たように、長兄のローレンスの支援を得ており、他にパーソンズの発明家・企業家としての能力・技能を信じる個人的な貴族の友人、業務上の知人、エンジニアから出資を得た。英国の電力産業の誕生より第一次世界大戦までの発展について博士論文を書いたバイアット(I.C.R. Byatt)も「主として彼の兄から得て、株式市場からの資金調達は考えなかった」といっている⁹²。

このように、パーソンズの設立した会社は、金融市場からの調達を考慮しなかったことから、パーソンズ船用タービン会社も、DISCo 社、ケンブリッジ電気供給会社も会社設立後の資金供給は、内部留保金、当座借越(Overdraft)、社債発行、株主に優先的に購入権を与える新規株式発行により、事業を成長させた。C・A・パーソンズ社もスカボロー電気供給会社も同様であった、と考えられる。このため、パーソンズが設

⁸⁹ McGovern and McLean (2017), p. 671.

⁹⁰ McGovern, etc. (2017), p. 679.

⁹¹ McLean and McGovern (2017), p. 296, Table 2.

⁹² Byatt (1979), p. 146.

立した会社の成長は、特に、発電事業は、NESCO と較べて大きく劣後するものとなった、と考えられる。

1905 年の英国最大の株式資本を保有する会社のインペリアル・タバコ会社(Imperial Tobacco Co.)のそれは、1 千 8 百万ポンド強であり、米国の最大の会社の U.S. Steel 社はほぼ 2 億 8 千万ポンド強⁹³であったことと較べると、パーソンズの関係する会社は、いずれも小さな企業であった。

社会学者の松本は、船用蒸気タービン会社と長崎造船所の資本金の比較を行っているが、1894 年価格で、

船用蒸気タービン会社	資本金 約 22 万円
三菱長崎造船所	600 万円

であった⁹⁴としており、日本の企業と比較しても小企業であった。

このように、パーソンズの関係する企業は、資本金の小規模な企業であったが、パーソンズの関係する企業丈でなく、英国企業の資本金は、一般的に米国企業と比べて、小規模であった。英国企業は、1914 年まで 80%近くが小規模な個人企業(Private Company)であり、これは、規模が小さすぎて資本市場には魅力がなかったこと、また、家族経営者が、外部の支配を恐れて資本市場への参入を渋ったことにより、資本不足に陥ったからだ、といわれている⁹⁵。

パーソンズの関係する企業が成長しなかった資金に関する問題には、パーソンズ関連企業の特殊要因と英国社会の経済的一般要因があった。

その特殊要因とは、パーソンズ自身が「パーソンズは、(蒸気)タービンの開発に関心があり、... ヒートン工場が、開発のための資金を提供する限り、彼は幸福であった」⁹⁶といわれるように、パーソンズは企業家よりも技術者の気質であったことが挙げられる。パーソンズのこの個人的な資質については、バイアットもその博士論文で、「英国の電気産業では、エンジニアと事業家との水平統合が不十分で、米国やドイツのよ

⁹³ Payne (1967), p. 539-541.

⁹⁴ 松本 (1993), p. 155.

⁹⁵ Aldcroft (1964), p. 132.

⁹⁶ Hore (1994), p. 3.

ギブbsもパーソンズの関心は、常に、資金よりも技術にずっと関心があった、といっている(Gibbs (1947), p. 213.

うに両者が協働することはなかった」と述べた後、「ビジネスマンは技術的なトレーニングをほとんど受けておらず、エンジニアは商業的な問題を自分の領分とは思っていなかった。... パーソنزのビジネス・スキルが高ければ、もっとうまくいったかもしれない」と述べている。そして、パーソنزの「タービニア号」のボイラを供給したヤロー(Yarrow)は、パーソنزが蒸気タービンを重要な原動機へと発展させたことを絶賛しているにも拘らず、事業能力は劣ると考えていた、とアップルヤードの本から引用している⁹⁷。

更に、「パーソنزにとって、特許は更なる開発の資金提供に重要であり、ライセンスとロイヤルティーの支払いからの収入を最大化する必要があった」⁹⁸といわれるように、ライセンスからの資金調達に注力したことを指摘することができる。

一般要因としては、英国社会は短期融資に傾注し、長期融資には関心を示さなかったことから、イノベーション企業への融資が滞ったことが挙げらる。このことは、多くの経済史家が指摘しており、例えば、サマイアスは、「銀行制度は、短期貸付のためには非常に安定した、非常に効率の高い道具立てとなったが、投資に資金を供給するためには、重要な道具立てではなく、この点、銀行が新しい大工業の成長をはじめから援助したドイツとは異なる...。イギリスでは、シティーは工業にかなり背を向けていた。」⁹⁹と述べていることから判る

2) 市場の問題

市場には国内市場と国外市場があるため、これらについて個別に検討することにする。

国内市場の問題：

1850 年英国は世界一の工業国であったが、1870 年には、米国が世界一の工業国となり、世界総工業産出高に占める割合は、英国 23.3%、米国 23.5%となった。1910 年

⁹⁷ Byatt (1962), p. 477.

パーソنزは、アイルランド気質で憎めないが難しい性質で、思いやる心を持っているにも拘らず、理不尽なほど苛立ちや怒りを示すことがあった、という(Gibbs (1947), p. 213)。この気質の逸話は多く語られている。

⁹⁸ Scaife (2000), p. 353.

⁹⁹ マサイアス (1972), p. 370.

には英国 13%、米国 35.3%¹⁰⁰と米国は急速な工業化を果たした。人口も 1850 年には、英国と米国はほぼ 2,000 万人とほぼ同等であったが、1911 年には、英国は 4,000 万人、米国は約 9,200 万¹⁰¹人と米国の半分以下となった。

このように、英国は一般的に市場が狭い丈でなく、英国発電事業は、1888 年までに米国では 500 以上の中央発電所が建設されていたのに対し、英国では同じ時期に僅か 12 の小さな発電所しか建設されていなかった¹⁰²ことから判るように、英国発電事業は米国に比べ非常に遅れていた。この原因は 1882 年の「電気照明事業法」による 21 年後の地方自治体による強制買収条項にあるが、1888 年にこの条項が 42 年に改定され動力ブームが発生したものの、工業化の遅れにより、英国では発電事業は米国ほど成長しなかった。

このように英国において発電事業が発展しなかったもう一つの理由として、米国では、蒸気タービンを製造するウェスティングハウス社(W 社と略す)やジェネラル・エレクトリック社(GE 社と略す)といった電気機器製造会社は大企業であり、多くの電力会社の株を製造会社が持ち、電力会社は機器の設計と開発を製造会社に依存した¹⁰³のに対し、英国では、C・A・パーソンズ社といった電気機器製造会社は発電事業の資金を提供するには余りにも小さかったこと¹⁰⁴、および、電力会社がコンサルティング会社を使用し発電所を設計するため、製品の標準化を阻害したこと、および、市当局がマーケットを支配し、契約時に厳しいペナルティーを課す¹⁰⁵といった英国市場の特異性にあったことが考えられる。

また、蒸気タービン製造の観点からは、パーソンズは英国内外の企業に陸用および船用蒸気タービンのライセンスを供与したため、英国内では、造船会社や機械製造会社が、蒸気タービンを製作することが可能となり、蒸気タービンを製作する会社の数

¹⁰⁰ バグウェル・ミンゲイ (1975), p. 158, 第 28 図。

¹⁰¹ 同上 (1975), p. 1, 第 1 表。

¹⁰² Sakamoto (1978), p. 56.

¹⁰³ Byatt (1979), p. 126.

¹⁰⁴ Sakamoto (1978), p. 68.

¹⁰⁵ Wilson (1988), p. 51.

が増加した。このため、企業としての「規模の経済」を利用できなかったことが考えられる。陸用タービンでは、国内向けは、ヒートン工場で製作する方針であったが、ウィランス・ロビンソン社に、ライセンスを供与しており、船用タービンでは、需要の急速な増加により、ウォールセンド工場の製造設備能力を超えたため、海外丈でなく、多数の国内の造船所やエンジニアリング会社にライセンスを供与した。

国外へのライセンスの供与の場合、国外ライセンシー・メーカーが英国へ逆輸出するという不利を被ることになった。例えば、陸用蒸気タービンのライセンスを 1895 年と 1900 年にそれぞれ供与された米国 W 社やスイスのブラウン・ボベリ社(BBC と略す)は、素早く製造技術を習得するとともに技術を改善し、米国 W 社は、1899 年マンチェスターに電気機器製造会社である英国 W 社(British Westinghouse)を設立し、1905 年には、メトロポリタン地域鉄道(Metropolitan and District Railway)ロッツ・ロード(Lots Road)発電所向け 5,500kW パーソンズ型蒸気タービンを納入するまでになった¹⁰⁶。また、英国は自由貿易市場であったため、1911 年にはスイス企業の BBC 社が、NESCO 社ダNSTON(Dunston)発電所に 6,250kW のパーソンズ型蒸気タービンを輸出する¹⁰⁷までになるなど、英国の狭い発電用蒸気タービン市場が更に狭くなり、C・A・パーソンズ社の成長を阻害する要因となった。

更に、米国では、パーソンズの反動型蒸気タービンと異なる型式の衝動型蒸気タービンの特許を、1896 年にカーチス(Charles G. Curtis)が取得した。この特許を 1901 年カーチスから購入し、実用化した米国 GE 社は、1906 年¹⁰⁸ドイツのアルゲマイネ社(Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft, AEG と略す)にライセンスを供与した。この AEG 社も蒸気タービン製造技術力を急速に高め、1911 年には、BBC 社とおなじく、NESCO 社ダNSTON発電所に 7,200kW カーチス型蒸気タービンを納入するまでになった。英国では、1909 年ジョン・ブラウン(John Brown)社がこのカーチス型の船用蒸気タービンのライセンスを取得した¹⁰⁹。

¹⁰⁶ Scaife (2000), p. 375.

このロッツ・ロード発電所の W 社蒸気タービンは、第 4 章で述べたように保証性能を達成することができず、パーソンズ社製に取り換えられた。

¹⁰⁷ Hore (1994), Figure 18.

¹⁰⁸ Griffiths (1997), p. 146.

¹⁰⁹ Horseman (2020), p. 58.

このように、陸用においても船用においても、蒸気タービンを製造する会社の数が増え、英国内での蒸気タービンの受注競争は次第に激化していき、パーソンズの C・A・パーソンズ社やパーソンズ船用タービン会社は、市場占有率を徐々に喪失し、発展機会を喪失していった。

事実、英国発電所および路面電車用発電所における蒸気タービンの設置容量は、1905-7 年間では新規設備の約 2 分の 1、1908-10 年間では 3 分の 4、1910-13 年間では、4 分の 5 と増加していった。しかしながら、1900 年までの英国発電所および路面電車用発電所におけるパーソンズ社蒸気タービンの設置容量の占有率は、100%であったのに対し、ライセンシーのウィランズや W 社、カーチス型を製作する GE の英国子会社である英国トムソン・ヒューストン(British Thomson-Houston)やドイツ AEG 社の新たな参入により、1907 年までには 20%、第一次世界大戦前には、設置容量占有率は 5%へと低下したのである¹¹⁰。

発電事業については、英国においては地方自治体の権威が強く、NESCO 社のような例外を除いて、電気供給範囲が各自治体の区域と狭いエリアに制限されており、パーソンズの関係した発電事業会社を含め、小規模な電気事業会社であり、成長の余地は少なかったと考えられる。

国外市場の問題：

英国は自由貿易国であったのにたいし、米国やドイツは高い輸入関税¹¹¹を発電機器に賦課した。このため、パーソンズ陸用タービンは米国に数台輸出された以外は、殆ど、オーストラリアや南アフリカなどの植民地国にしか輸出できなかった。

また、船用蒸気タービンは、主として、軍艦の推進装置として使用されたため、当初は輸出できたものの、殆どの国は、次第に技術移転による自国での製造を指向したことから、ライセンスせざるを得ず、自身の事業規模を拡大することは不可能であった、と思われる。

更に、陸用蒸気タービンについても、米国やドイツには既に大規模の企業が存在しており、海外市場を開拓するために現地に法人を設立することは、殆ど、不可能であ

¹¹⁰ Byatt (1979), pp.111-112, Table 21.

但し、パーソンズ社の占有率は、メーカ不明分を除いた値である。

¹¹¹ 米国の 1897 年のデニングリー関税法では、57%であった(バグエル・ミンゲイ (1975), p. 173)。

った。例えば、1904 年時点の米国電気機器製造会社の 1 位と 2 位である、GE 社と W 社の資本は合計約 3 千万ポンド強であり、この 2 社で米国市場の大半を占有しており英国最大の企業のインペリアル・タバコ会社の資本金のほぼ 2 倍であった¹¹²、ことを考慮すると、C・A・パーソンズ社が米国に子会社を設立し、市場を拡大することは不可能であり、ライセンス供与をせざるを得なかったと考えられる。

6.4 小括

パーソンズ蒸気タービンの「発明」「イノベーション」「普及」の各過程で、材料を購入し、加工・生産するには、資金が必要である。パーソンズは、アイルランドの裕福な貴族の生まれであり、「発明」過程では、自身あるいは家族の資金により、蒸気タービンのアイデアの実現へ向けて傾注した。

発明が市場へ提供される製品となる「イノベーション」過程では、自ら投資して、発電事業会社 3 社および陸用蒸気タービンと船用蒸気タービンの製造会社を設立した。この資金は、自分自身と家族、および、パーソンズの発明家・企業家としての能力・技能を信じる個人的な貴族の友人、業務上の知人、エンジニアから出資で賄われた。これは、パーソンズの人的および事業家ネットワークから調達されたものである。会社が設立された後は、会社設立後の資金供給は、内部留保金、当座借越、社債発行、株主に優先的に購入権を与える新規株式発行により調達されるが、パーソンズ自身の株式配当による資金も、当然、再投資されたものと考えている。

パーソンズの陸用蒸気タービン製作会社である C・A・パーソンズ社、および、船用蒸気タービン製作会社であるパーソンズ船用タービン会社は、「普及」過程においてライセンスを国内外の会社に供与することにより、ライセンス収入を得た。これが、発電事業および船用推進事業の興隆に伴う生産・販売の拡大による収益とともに、成長の基盤であった。

このような状況にも拘らず、パーソンズの関連した会社が、大きく成長しなかった理由は、英国の金融市場が短期投資からの利益を重視し、長期投資を忌避したからだ、

¹¹² Payne (1967), pp. 540-541.

と一般にいわれている。しかしながら、金融市場にとって、パーソンズの会社のような小規模企業は、魅力的でなかったことも要因として挙げられる。

更に、パーソンズの関連した発電会社は、地方自治体の権限内への電気供給であり、市場が狭隘であったことも原因の一つである。市場が狭いために、電力会社も小規模である。このため、新たに設置する発電機の容量も必然的に小さいものとなり、それを駆動する原動機は、往復動蒸気機関か蒸気タービンを選択することになる。英国における平均発電機設置容量は、図 6.1 に示すように、比較的小容量であった。

図 6.1 平均発電機設置容量

Installed up to the end of 1892	KW 78
Installed during 1893	35
4	96
5	103
6	129
7	156
8	120
9	251
1900	236
1	328
2	261
3	347
4	501
5	503
6	672
7	749
8	794
9	775
1910	488
11	641
12	924
13	1,113

(出典：Byatt (1962), p. 110)

当時は、500kW 以下では往復動蒸気機関、1,00kW 以上では蒸気タービンが良い¹¹³といわれており、英国の中央発電所で往復動蒸気機関が使用されなくなった 1906 年以前は、往復動蒸気機関との競争が未だ続いていたのである。

さらに、20 世紀に入ると米国の GE 社のカーチス型や、ライセンスを供与した米国

¹¹³ Byatt (1962), p. 108.

の W 社やスイスのブラウン・ボヴェリ社が英国市場へ進出し、更に、競争が激化し、C・A・パーソンズ社の蒸気タービンの市場占有率は減少していった。

国外市場は、米国やドイツの保護関税により、米国およびドイツの発電市場から締め出され、植民地への輸出に限られることになった。

このように、パーソンズの設立した会社の成長は、資金の問題および国内と国外の市場の問題の二つの要因により、制約されたものと考えることができる。

終章 結論

本論文の目的は、モキアの基本的な問いである「技術の変化が現代の経済成長へと導いた... が、技術はどのように進歩するのか」という、経済発展と技術進歩の関係を、パーソンズ蒸気タービンを例に実証的に研究することより答えようとするものであった。

経済を成長へと導く技術は、シュンペータの技術変化プロセスの三分法、すなわち、「発明」・「イノベーション」・「普及」というそれぞれの過程を通じて進歩する。本論文は、パーソンズ蒸気タービン技術のこの3つの過程を、シュムクラーの「技術革新は市場のニーズと技術のシーズが鉄のよう作用して進行する」という「鉄理論」を援用し、社会経済的条件(市場のニーズ)と技術的条件(技術のシーズ)の観点から分析したものである。

本論文の目的は、まず、「事実に基づかない理論... は不毛である... 統合的な検証済の成長理論を経済学が構築しうるには、事実の蒐集と分析」²が必要であると言われていることから、蒸気タービンの「発明」・「イノベーション」・「普及」の各過程における経済的条件および技術的条件を詳細に検討し、事実を蒐集・分析することであった。窮極的には、「経済成長と技術進歩」の経済学である「現代技術論」・「技術革新論」に新たな視点を提供すると共に、この理論の発展に寄与することを目的としたものであった。

第1章「課題」では、経済成長が一人当たりのエネルギー消費と強い相関があり、全エネルギー消費量の内、約3分の1から約5分の1が、電気エネルギーとして消費されていることを示した。その電気は、現代社会の根幹をなす社会的基盤であること、その電気の約60-80%が蒸気タービンにより発電されており、経済発展において重要な位置を占めるが、この事実は余り知られていないことを指摘した。

この蒸気タービンは、1884年英国のパーソンズによって発明されたが、蒸気タービンの技術進化と経済発展との関係については、経済史家および技術史家はいずれもこれまで殆ど関心を示してなかったことを先行研究から明らかにした。

¹ Mokyr (2010), p. 13.

² キンドゥールバーガー (1968), p. 72.

このことから、本論文は、蒸気タービンの「発明」・「イノベーション」・「普及」過程を、社会経済的および技術的観点の両方から、詳細且つ総合的に分析することを課題とした。

また、本論文は、「発明」過程に大きな関心を持つ。特に、「発明」がなぜ、何時どこでなされたかという、動機・目的、および、『時』と『場』の問題に注目する。これは、「発明」が経済成長のエンジンであり、その発明の起源を探求することは、経済発展と技術進歩の相互作用を研究する上での根本課題であると確信しているからである。なぜなら、往復動蒸気機関の発明については、「なぜ 18 世紀に英国で？」と問われ、多くの経済史家および技術史家の研究があるのに対して、蒸気タービンには、この問いが発せられることはなかったからである。

現在、電気は社会の極めて重要な社会的基盤であり、その電気の主要な発電機器は蒸気タービンであること、および、その蒸気タービンを発明したのは、1884 年英国のパーソンズによってであることが忘れられている³。

第 2 章「前史」では、「どのような技術の発展にも、先行する歴史的な前例を調査し、技術を創造した原因の基礎を調査することは非常に重要」⁴であることから、パーソンズ蒸気タービンの発明に先行する、陸用往復動蒸気機関の発展、船用往復動蒸気機関の発展をこれまでの研究成果を基に、社会経済的条件である「市場のニーズ」および技術的条件である「技術のシーズ」という視点から俯瞰し直した。この理由は、往復動蒸気機関が、パーソンズが発明した蒸気タービンと同じ市場で競争する事になるからである。

当時、往復動蒸気機関、特に、陸用往復動蒸気機関と較べて、より出力の大きい船用の 2 段膨張往復動蒸気機関は、その技術的限界に達しており、パーソンズが蒸気タービンを発明する数年前の 1880 年前後は、大西洋航路の繁栄と帝国主義的な海上の覇権競争により、更なる船舶の大型化・高速化を必要とし、大出力の原動機の開発が囑望されていたことを明らかにした。

³ N.C パーソンズは、1985 年の発表で、パーソンズの死後 54 年経つが、パーソンズの名前は、その年に改定出版された古くからの『Chambers Biographical Dictionary』にはない、と既に忘れ去られていると、指摘している(Parsons (1987), p. 359)。また、クラークは「An Almost Unknown Great Man」という論文を書き、パーソンズ蒸気タービン発明の重要性を強調している(Clark (1984a))。現在の蒸気タービン・エンジニアでもその名を知るものは少ない。

⁴ Meher-Homji (2000), p. 281.

第3章の「パーソンズ蒸気タービンの発明と発展」では、発明は、社会経済的条件と技術的条件を満たした時、不可避免的に現れることから、陸用タービンと船用タービンのそれぞれの条件を「市場のニーズ」および「技術のシーズ」という視点から分析した。

はじめに、発明された蒸気タービンが、当時のブームであった白熱灯による船内照明というされ「市場のニーズ」に適合するものであったことを指摘した。

また、「発明は、その誕生と発達、及び、完成をそれが最も強く要求される所でおこなわれる」⁵ことから、発明活動の唯一利用可能な特許について、特許制度の始まった18世紀後半からパーソンズが特許を取得した1884年までの蒸気タービンに関する特許の件数を調査した。これから、1880年前後には、蒸気タービンのアイデアが多数申請され「市場のニーズ」があったことを明らかにした。蒸気タービンのアイデアは多数あったものの1880年以前では実現できなかった理由として、「熱力学」・「材料」・「加工技術」の未発達を挙げ、これらの知識・材料および加工技術が、1880年頃には、蒸気タービンの実現を可能とする状況にあったことを、つまり、「技術のシーズ」が存在していたことを裏付けた。

しかしながら、「市場のニーズ」および「技術のシーズ」があったとしても、純粹の回転蒸気機関である蒸気タービンの実現は、当時のエンジニアの間では、一般的に、不可能と考えられていた。それは、蒸気を大気圧に噴出した時に発生する蒸気の色度が非常に速く、効率の良い回転機関とするには、非常に高速となることが知られていたからである。つまり、1880年頃の純粹の高速回転機関を実現するための問題点は、下記の二つであったことを指摘した：

① 高速に回転する時、回転軸が大きく振動し、時には破損してしまうこと(軸が振れ廻るという危険速度の問題)

② 高速の噴流蒸気によって生じる軸の回転数をいかに制限するかということ
パーソンズは、この二つの問題を解決し蒸気タービンを実現したが、実現に至るまでの経緯を詳細に分析した。

この分析から、パーソンズがケンブリッジ大学在学中から蒸気タービンを着想して

⁵ Parsons (2015), p. 152.

いたことを先ず指摘した。この息を吹きかけると高速で回転する、厚紙の羽根をシーリング・ワックスで止めた木綿糸車は、蒸気タービンモデルであり、1884 年副共同経営者として参画したクラーク・チャップマン社で、世界で初めての実用的な蒸気タービンを実現させたことを論じた。

また、発明後のパーソンズ蒸気タービンについて、船内照明から陸用の発電事業へ適用され、次いで、商船および軍艦の推進に適用され、改善・進歩していった軌跡を詳細に辿り、パーソンズ陸用蒸気タービンの発展およびパーソンズ船用蒸気タービンの発展を明確に記述した。

そして、船用蒸気タービンニーズとして、当時の社会経済的条件として、大西洋航路の発展と帝国主義的な海上覇権競争があり、船舶の大型化と高速化は、当時の喫緊の問題であったことを指摘した。この社会経済的背景の考察に基づいた、船用蒸気タービンのニーズに関する軍事的観点からの考察は、見当たらない。

次いで、パーソンズ蒸気タービンの発明の『時』と『場』の問題を取り上げ、まず、パーソンズ自身の言葉による開発経緯・時期を調査し、ケンブリッジ在学中から、発明に至る経緯を詳細に分析・検討した。これにより、パーソンズの蒸気タービンの開発は、1884 年 2 月のクラーク・チャップマン社に参画した後から始められたとする従来の説を、1884 年特許の延長申請時の法的資料に基づき、パーソンズはクラーク・チャップマン社に参画する前に、私的な支出を行い、予備的な実験を行っていたことを示し、従来の説を批判した。

パーソンズの蒸気タービン特許の 1884 年 10 月の完成仕様書と初号機の写真との比較、および、文献の裏付けから、特許の完成仕様書が提出された 1884 年 10 月 22 日以前、暫定仕様書が提出された 1884 年 4 月 23 日の間に、初号機が完成されていたことを明らかにした。これは、従来の経済史や技術史では、1884 年のいつかは不明と主張されてきたが、この学説を改めるものである。また、1884 年 4 月の暫定仕様書から、原型機はそれ以前に完了していたと推定するのが合理的であることを示した。

そして、パーソンズ蒸気タービンの発明の『時』と『場』については、1880 年代初期の社会経済的状況は、民事および軍事の両分野において、大出力の船用原動機の出

⁶ Scaife (2000), p. 173.

1885 年とする論者も多い(例えば、French (1907), p. 42 および Klein (1988), p. 55)。

現を囑望しており、これが、パーソンズの蒸気タービンの当初からの開発動機・目的であると考えるのが合理的であることを示した。また、100 年以上に渡る往復動蒸気機関を介して発達した英国の技術蓄積のみが、蒸気タービンの実現を可能としたことも示した。

第4章の「パーソンズ蒸気タービンのイノベーション」では、パーソンズが発明品である蒸気タービンを如何に陸用蒸気タービンの市場である発電事業市場と船用蒸気タービン市場である船舶の推進機関市場へ参入し、市場を拡大していったかを詳細に分析・考察した。

陸用タービンでは、DISCo 社を始めとする発電事業会社を設立し、「市場のニーズ」を喚起するとともに、蒸気タービン製作会社である C・A・パーソンズ社を設立し、「技術のシーズ」を提供した。

船用タービンについては、タービニア号を使ったスピットヘッドでのデモンストレーションは、優れたマーケティングであり、「市場のニーズ」を醸成するための計画であったことを指摘した。タービニア号の開発の目的は当初より軍艦であったが、更に、商船の市場へ進出するため、自ら出資して、当初、タービン蒸気船会社という共同出資会社を設立した。また、船用蒸気タービンの建造会社であるパーソンズ船用蒸気タービン会社を設立し、「技術のシーズ」をも提供した。

こうしたパーソンズが設立した発電事業会社3社、陸用蒸気タービン製作会社、船用タービンの製作会社の発展をそれぞれ詳しく調査し、「市場のニーズ」と「技術のシーズ」の相互関係を分析・検討した。この分析は、著者が2019年に英国を訪問して入手した資料に基づくものであり、これまでは、余り注目されていなかったものである。

特に、発電事業会社2社については、入手した資料に基づき、電気販売量、生産コスト・利益・株式配当率を詳細に分析し、事業の発展の推移を確認した。そして、発電事業における賃金コスト・資本コスト・燃料コストの経年的改善を示し、蒸気タービン発電プラントの生産性の向上を同定した。

「イノベーション」理論において、新製品は粗雑であり性能も劣ることから、既存の製品と競合しない「ニッチ市場」の必要性が多くを経済史家により指摘されているが、蒸気タービンの場合も、まず、船舶の照明というニッチ市場で性能(出力および燃料消費率)および品質(信頼性)を改善し、次いで、陸用往復動蒸気機関が占有していた

発電事業に参入している。そして、陸用蒸気タービンが十分に発展すると、今度は、船用往復動蒸気機関が主流であった船用推進機関の分野へ進出していった。

このことからイノベーションにおける「ニッチ市場」モデルは、蒸気タービンの場合にも妥当する。しかしながら、これまでの「ニッチ市場」モデルは、「単一ニッチ市場」モデルであるが、蒸気タービンの場合は、船舶照明用から陸用発電用へニッチ市場が移動し、陸用発電用蒸気タービンが改善され、出力が大きくなると、船舶の推進に適用された。このことから、「複数ニッチ市場」モデルが適切と考えている。

本論文の時代の範囲外であるが、石油危機後、高速が必要でなくなったタンカー等では、蒸気タービンからディーゼル機関への転換が進み、現在では、陸用の発電用蒸気タービンが、蒸気タービン技術の主流となっている。このことから、多くの経済史家および技術史家は、当初から、蒸気タービンは発電用に開発され、進化・発展したとしているが、本論文で明らかにしたように、パーソンズの蒸気タービン開発の動機・目的は船舶の推進にあったと考えられる。

蒸気タービン技術の例から、技術は、技術を醸成する「ニッチ市場」を求めて、ジグザック状に進化することがあり、「事前的目标」と「事後的結果」が異なることもあることが示された。

一方、蒸気タービンの発明に刺激され、船用機関では、特に、競争相手である往復動蒸気機関も大出力化が図られ、3 段膨張機関が、次いで、4 段膨張機関が開発された。これは、木造製帆船から鉄鋼製蒸気船への転換時、鉄製船殻を持つ大型帆船を建造し、貨物容量を増加したこと、乗員コストを削減するための揚重機を導入したこと、追加のマストで高速化を図ったことから、「帆船効果(Sailing Ship Effect)」と名付けられているが、これは、旧技術の防護戦略の一種であり⁷、蒸気タービンの場合にも同じ事象が発生したと指摘することできる。

第5章の「パーソンズ蒸気タービンの普及」では、まず、蒸気タービンと往復動蒸気機関の一般的比較を行い、優位点と劣位点を明確にした。往復動蒸気タービンにも利点が若干あるものの、本質的な差異は、建設・運転コストにあることを指摘した。特に、往復動蒸気機関においては、潤滑油の補給や機械のガタの増締めのためのメン

⁷ Geels(2002), p. 1270.

テナンス要員が常時必要であること、また、潤滑油が消耗することによるその補給コストが蒸気タービンに比べて格段に大きいことを指摘した。これは、パーソンズ蒸気タービンの開発当初の 1894 年の専門雑誌の広告からも伺うことができることを示した。

次いで、今まで着目されていなかった 1905 年に英国を訪問した米国視察団の報告に基づき、英国内の蒸気タービンを主として発電設備とする発電事業会社 2 社と往復動蒸気機関を主として発電設備とする発電事業会社 2 社の販売負荷構成比率、販売高構成比率、発電単価・販売単価・燃料単価、運転・メンテナンス単価を比較した。この結果、蒸気タービンを主として発電する発電事業会社の方が、単価が低いことが分析できた。また、同じ蒸気タービンを使用する発電事業会社の間の単価の差異についても分析した。

また、英国と米国の発電市場の発展と蒸気タービンの寄与について言及した。英国および米国の発電市場が、まず、照明から始まり、次いで、牽引(鉄道)、工場動力へと拡大・発展していったことを詳細に定量的に示した。英国の発電市場の発展は、米国よりもいずれの分野でも遅れたが、照明分野で遅れた原因として、英国では石炭産業の発達により、ガス灯コストが低かったことを指摘した。牽引(鉄道)が遅れた理由は、米国で電気鉄道が始まり技術が先行していたこと、動力で遅れた原因は、米国の工業化の進展が早かったことによる⁸。

蒸気タービンの「普及」は、蒸気タービンの発明と同じ頃に発明された変圧器により長距離送電が可能となり、「規模の経済」を利用できたこと、モータの発明により工場の電化が行われたこと、白熱灯から金属フィラメント電灯の発明に照明需要が拡大したことなど、関連技術の発達に負うところが大きい。これらによって、発電コストと電気価格が低減し、これにより電気需要が高まり、更に、発電コストと電気価格が低減し、経済が発展するという正のフィードバック効果によって、蒸気タービン技術も発展したのであった。

ライセンス供与は、技術の伝播という「普及」の一つの様態であるが、パーソンズは、蒸気タービンの需要の拡大に伴い、製作能力を超過したため、陸用蒸気タービンも船用蒸気タービンのいずれも、国内外の企業にライセンスを供与した。パーソンズ

⁸ 英国の工業化の遅れた原因として、「Early Start」の問題指摘など、多くの研究がなされている。

陸用蒸気タービンのライセンスを導入した米国ウェスティングハウス社は、ジェネラル・エレクトリック社と並ぶ2大電気機器製作会社となった。米国の発電市場は英国よりも非常に急速に発達していったが、これは、米国都市部が急成長し発電市場が拡大したこと、ガス価格が英国よりも高価であったこと、また、急激な、工業化・大都市化の進展など、発電事業にとって、良好な環境であったことによる。こうして、米国の電気産業は拡大成長していき、米国での蒸気タービン技術は発展し、パーソンズ蒸気タービン技術を凌駕するようになっていったことを示した。

パーソンズのライセンス政策は、「蒸気タービンの製造ライセンスを惜しげもなく供与した寛大な心に感謝」⁹されるほど寛容であったが、これによるライセンス収入は莫大なものであったことをパーソンズ船用蒸気タービン会社について示した。このパーソンズの採ったライセンス政策は、社会的ネットワークが弱いことによる資金調達能力の不足、経営者としてよりも技術者としての資質によるといわれている。しかしながら、蒸気タービンの市場を拡大するには、国内外に広く普及させる必要があり、このためには、他の企業に製造ライセンスを与えることが望ましい、と考える採用した積極的な戦略であるとする方が妥当と思われる。

また、ライセンスには、人的移動による技術移転が重要であることを指摘した。

第6章の「パーソンズの資金調達とネットワーク」では、パーソンズが「発明」・「イノベーション」・「普及」の過程で必要な資金について検討した。この資金調達のためには、個人的および業界ネットワークが必要なことから、このネットワークについて分析した。また、資金調達における英国金融市場の問題点にも言及した。

本研究は、経済と技術の関係をパーソンズの蒸気タービンの「発明」・「イノベーション」・「普及」の各過程を、詳細に分析することにより解明しようとする実証的研究であった。この「発明」・「イノベーション」・「普及」の各過程における社会経済的条件と技術的条件を詳細に検討し、事実を蒐集・分析した。この事実の蒐集と分析は、「経済発展と技術進歩」の経済学分野である「現代技術論」・「技術革新論」の理論を構築する際の貴重とケース・スタディーとなるものと考えている。

本研究の成果は、下記に纏められる：

⁹ Parsons and Stoney (1906), p. 40.

- ① パーソنزの蒸気タービン発明動機・目的について、事実を蒐集し、発明過程を詳細に実証的分析した。これは、「発明」過程の稀少なケース・スタディと考えられる¹⁰

パーソンズが蒸気タービンを発明した時代の社会経済的背景を分析した結果、大西洋航路および軍艦において大出力・高速の船舶が必要とされていたことを指摘し、蒸気タービン開発の動機・目的は、「船用蒸気タービン」にあることを示した。この社会経済的な背景に基づく、軍事的な観点からの指摘は重要であると考えている。

- ② 蒸気タービンの発明が、何故 1884 年という『時』に英国という『場』で起こったかの理由について、当時、民事および軍事の両分野における社会経済的条件、および、往復動蒸気機関はその技術的限界に到達していたという技術的条件から究明した。100 年以上の渡る英国の往復動蒸気機関を介して高度の発達した英国の技術蓄積のみが、蒸気タービンの開発を可能にしたことを明らかにした。
- ③ パーソンズ蒸気タービン初号機の完成時期については、これまで、不明とされてきたが、1884 年 4 月から 1884 年 10 月の間であると推定できることを特許の図面および初号機写真の比較分析等により示した。
- ④ パーソンズが市場を開拓するために、自ら投資した企業の生産コストおよび財務状況を詳細に検討し、「市場のニーズ」と「技術のシーズ」を如何に開拓したかを、著者が 2019 年英国訪問して入手した資料に基づき解析・論及した。

また、DISCo 社およびケンブリッジ電気供給会社の生産性、利益、株式配当の定量的な分析にした。特に、蒸気タービン発電所の生産性の分析によって、各要素の改善を確認した。

さらに、パーソンズ船用蒸気タービン会社の利益、株式配当の定量的な分析もおこない、パーソンズの設立した企業の発展を、社会経済的状况と技術的状况の両面から総合的に分析した。

¹⁰ ロジャーズ は、「技術・開発過程の初期段階(発明)についての研究は、普及研究に比べるとほとんどない」といっている(ロジャーズ (2001), p. 198)。

⑤ 英国内の往復動蒸気機関を使用する発電所と蒸気タービン使用する発電所の経済性比較を、これまで利用されていなかった米国調査団の資料に基づき、詳細に分析・検討した。1906 年時点で、蒸気タービン発電所は往復動蒸気機関発電所より優位であったことを示した。

⑥ パーソنزの船用蒸気タービン製作会社は、ライセンスによる収入が莫大であったことを、英国訪問時に入手した資料に基づき定量的に分析し指摘した。

⑦ パーソنزの設立した企業の発展は、パーソنزの経営者というよりも技術者としての性格により、十分なものとはならなかった、といわれているが、資金調達力の弱さ¹¹と蒸気タービンの市場を拡大するには、国内外に広く普及させる必要があり、このためには、他の企業に製造ライセンスを与えることが望ましいと考えた、積極的な戦略であると、考える方がより妥当性があることを指摘した¹²。

このライセンス政策により、パーソنزの蒸気タービン技術は世界各国に拡散・普及し、原理の異なる他のタービン技術の発明をも惹起し、現在のように発電機器の主要原動機の基盤形成に大きく貢献した、と考えている。

⑧ パーソنزが「発明」・「イノベーション」・「普及」の各過程で必要とした資金について詳細に分析・検討した。資金調達におけるネットワークの重要性について論じ、パーソنزの場合について論考した。

また、英国内の金融市場の問題点、および、国内と国外の市場の問題点を指摘した。こうして、パーソنزの設立した企業の成長が制約された理由を総合的に分析・検討した。

⑨ 「技術革新」理論で従来より指摘されている下記事項が、蒸気タービン技術のおいても確認することができた：

- ・ 発明された製品は、既存の製品との競争に晒されるために、まず、旧技術を直接競争しない「ニッチ市場」が必要であることが、蒸気タービンの場

¹¹ Freeman and Soete は、イノベーションにおける金融を含めた「ネットワークの重要性」を指摘している (Freeman and Soete (1997), p.225)。

¹² 当時急速に発達してきた内燃機関に対抗する必要があったためと考えている。

合、船内照明・陸用発電・船用推進へと発展し、船内照明と陸用発電が、次の発展段階のニッチ市場を提供した。

- ・蒸気タービンの発展においても、往復動蒸気機関の「帆船効果(Sailing Ship Effect)」という旧技術の防護戦略が働いたと解釈できた。
- ・技術の普及には、人的移動が重要な役割を果たすことを示した。

⑩ 技術の発展の過程は、「事前的目标」と「事後的帰結」が必ずしも一致しないことがあることに留意する必要があることが、パーソンズ蒸気タービンの発展過程からいえる。

すなわち、蒸気タービンが発電用の主要機器となっている現状から、蒸気タービンが発電用に発明されたと推定するのが間違いであるように、事実の理解には、「事前的目标」と「事後的帰結」には齟齬が起り得ることから、目的等の理解に誤りを犯す可能性があることに注意しなければならない。

本研究は、パーソンズ蒸気タービン技術の進歩と経済発展に関する事実の収集と確定を行う実証的研究であった。

今後は、経済と技術の関係に関する浩瀚な文献を渉猟し、「経済発展と技術進歩」の経済学の分野である「現代技術論」・「技術革新論」において新たな技術論の構築に貢献したい、と考えている。

参考文献：

1. Aldcroft, D.H. (1964), "The Entrepreneur and the British Economy, 1870-1914," *The Economic History Review*, New Series, Vol. 17, No. 1, pp.13-134.
2. Allen, Robert (2014), "Technology" in Roderic Floud, Jane Humphries and Paul Johnson (eds), *The Cambridge Economic History of Modern Britain Vol. I 1700-1870*, Cambridge, UK: Cambridge University Press.
3. Allerhand, Adam (2017), "A Contrarian History of Early Electric Power Distribution," *Proceedings of the Institution of Electrical and Electronics Engineers*, Vol. 105, No. 4, pp. 768-778.
4. アレン, R・C, 眞嶋史叙・中野忠・安元稔・湯沢威訳 (2017) 『世界史のなかの産業革命』 名古屋大学出版会。
5. Andrew, James, Jennifer Tann, Christine MacLeod and Jeremy Stein (2000-2001), "Steam Power Patents in the Nineteenth Century – Innovations and Ineptitudes," *Transactions of the Newcomen Society*, Vol. 72, pp. 17-38.
6. Appleyard, Rollo (1933), *Charles Parsons: His Life and Work*, London, UK: Constable & Co. Ltd.
7. Armstrong, Sir W. (1882), "Address," in *British Association, Report of the Fifty-First Meeting of the British Association for the Advancement of Science: held at York in August and September 1881*, John Murray, pp.767-773.
8. アーサーW・ブライアン, 日暮雅通訳 (2014) 『テクノロジーとイノベーション』 みすず書房。
9. Ashworth, W. (1960), *The Economic History of England 1870-1939*, London: UK, Methuen & Co.
10. AS.IES/5/5/1 (発行年不明), *Geared Turbines and their Application to the Mercantile Marine*, the Parsons Marine Steam Turbine Co., Tyne and Wear Archives.
11. Attack, Jeremy and Fred Bateman (2006), "Manufacturing," in Susan B. Carter et al. (eds), *Historic Statistics of the United States, Earliest times to the Present*, Vol. 4, New York USA: Cambridge University Press, pp. 4-573-4-578.

12. バグウェル, P.S., G.E. ミンゲイ 著, 東正美・原田聖二・加勢田博訳 (1975),
『比較経済史 イギリスとアメリカ 1850-1939』 ミネルヴァ書房。
13. Bannister, Ronald L. and George J. Silvestri Jr. (1988), "Evolution of the Central
Station Steam Turbine in the United States," *Presented at the American Society
of Mechanical Engineers Winter Meeting, Chicago, IL*, pp.1-15.
14. Barde, Robert, Susan B. Carter, and Richard Sutch (2006), "International Migration,"
in Susan B. Carter, Scott Sigmund Gartner, Michael R. Haines, Alan L. Olmstead,
Richard Sutch, Gavin Wright (eds.), *Historical Statistics of the United States,
Volume One*, New York, USA: Cambridge University Press.
15. Bevan, J.R. (1992), "Public Utilities in the 19th Century: Gas and Electricity," in
M. Barke and R.J. Buswell (eds.), *Newcastle's Changing Map*, Newcastle, UK:
Libraries & Information Service, pp. 48-49.
16. Bolter, J.R. (1994), "Sir Charles Parsons and Electrical Power Generation – A
Turbine Designer's Perspective," *Proceedings of the Institute of Mechanical
Engineers*, Vol. 208, pp. 159-176.
17. Bowden, A.T. (1964), "Charles Parsons – Purveyor of Power," *The Chartered
Mechanical Engineer*, Vol. 11, No. 9, pp. 433-438.
18. Bowers, Brian (1982), *A History of Electric Lighting and Power*, P. Peregrinus, UK:
Institute of Engineering and Technology.
19. Bowers, Brian (1984-85), "Developments in the Electricity Supply Industry,"
International Journal of the History of Engineering and Technology, Vol. 56, pp.
45-47.
20. Bramwell, Sir Fredrick (1882), "On Some of the Development of Mechanical
Engineering during the Last Half-Century," in *British Association, Report of the
Fifty-First Meeting of the British Association for the Advancement of Science:
held at York in August and September 1881*, John Murray, pp. 494-512.
21. Briggs, Asa (1982), *The Power of Steam: An Illustrated History of the World's Steam
Age*, Cambridge, UK: The University of Cambridge Press.

22. Buchanan, R. A. (1994), *The Power of the Machine: The Impact of Technology from 1700 to the Present Day*, London: UK, Penguin Books.
23. Byatt, I.C.R. (1962), *The British Electrical Industry 1875-1914*, Oxford University PhD Dissertation.
24. Byatt, I.C.R. (1979), *The British Electrical Industry*, Oxford, UK: Clarendon Press.
25. Byatt, I.C.R. (1968), "Electrical Products," in Dereck H. Aldcroft (ed.), *The Development of British Industry and Foreign Competition 1873-1914*, London, UK: George Allen & Unwin Ltd., pp. 238-273.
26. Bywater, Hector C. (1922), "The Parsons Steam Turbine," *Scientific American*, Vol. 127, No. 4, pp. 237-239.
27. Cambridge Electric Supply Co. (1893-1915), Report of Directors.
28. カードウェル, D.S.L., 金子務訳(1982) 『技術・科学・歴史』 河出書房新社。
29. Carlaw, Kenneth I., and Richard G. Lipsey (2002), "Externalities, Technological Complementaries and Sustained Economic Growth," *Research Policy*, Vol. 31, pp. 1305-1315.
30. カルノー, サディー, 広重徹訳・解説 (1973), 『熱機関の研究』 みすず書房。
31. Clark, E. Kitson (1933), "Sir Charles Parsons," in W.R. Inge (ed.), *The Post Victorians*, London, UK: Ivor Nicholson & Watson, Ltd., pp. 501-518.
32. Clarke, J.F. (1984a), "An Almost Unknown Great Man, Charles A. Parsons-Charles Parsons & the Significance of the Patents of 1884," *Occasional Papers in the History of Science and Technology* No. 4, Faculty of Humanities of the Newcastle upon Tyne Polytechnic.
33. Clarke, J.F. (1984b), *A Century of Service to Engineering and Shipbuilding*, Newcastle upon Tyne, UK: The North East Coast Institution of Engineers and Shipbuilders.
34. Cohn, Raymond L. (2005), "The Transition from Sail to Steam in Immigration to the United States," *The Journal of Economic History*, Vol. 65, No. 2, pp. 469-495.

35. Constant II, Edward W. (1978), "On the Diversity and Co-Evolution of Technological Multiples: Steam Turbine and Pelton Water Wheels," *Social Studies of Science*, Vol. 8, pp. 183-210.
36. Constant, Edward W. II (1980), *The Origins of the Turbojet Revolution*, Baltimore, USA: The John Hopkins University Press.
37. Cook, Stanley S. (1923), "Development of the Steam Turbine," Lecture 1, Journal of the Royal Society of Arts, Vol. 71, No. 3695, pp. 729-738.
38. クームズ, R., P. サビオッティ, V. ウォルシュ (1989), 竹内啓・廣松毅訳 『技術革新の経済学』 新世社。
39. コンティヘルム, マリー, 岩瀬孝雄訳 (1990) 『イギリスと日本』 サイマル出版会。
40. Davis, A.W. (1975), "Thirty-Ninth Parsons Memorial Lecture: Eighty Years with the Marine Steam Turbine," Transaction of Institute of Marine Engineers, Vol. 57, pp. 69-81.
41. ダニレフスキー, ヴェ (1968) 榊本セツ・岡邦雄訳 『近代技術史』 岩崎学術出版社。
42. デリー, T.K., T.I. ウィリアムズ著 (1971), 平田寛・田中実訳 『技術文化史 上』 筑摩書房。
43. デリー, T.K., T.I. ウィリアムズ著 (1972), 平田寛・田中実訳 『技術文化史 下』 筑摩書房。
44. ディキンソン, H.W. (1994), 磯田博訳 『蒸気動力の歴史』 平凡社。
45. Dossi, Giovanni (1982), "Technological Paradigms and Technological Trajectories," *Research Policy* Vol. 11, pp. 147-162.
46. Du Boff, Richard B., (1966), "Electrification and Capital Productivity: A Suggested Approach," The Review of Economics and Statistics, Vol. 48, No. 4, pp.426-431.
47. DU/EB 143/1-26 (1889-1914), "DISCo Balance Sheet, Profit and Loss Account, and Director's Report," Tyne and Wear Archives.
48. DU/EB 162 (1889), "Memorandum and Articles of Association of the Newcastle and District Electric Lighting Co. LTD," Tyne and Wear Archives.

49. Dunsheath, Percy (1962), *A History of Electrical Power Engineering*, Cambridge, USA: The MIT Press.
50. Dyos, H.J. and D.H. Aldcroft (1969), *British Transport: An Economic Survey from the Seventeen Century to Twentieth*, Leicester, UK: Leicester University Press.
51. Dyson, Andrew (2012), "British Westinghouse revisited," *LSE Research Online*, pp. 412-425.
52. Eglin, W.C.L. (1904), "Report of the Committee for the Investigation on the Steam Turbine," *National Electric Light Association 27th Convention*, Vol. 1, pp. 235-287.
53. *Electrical Review*, Nov., 23, 1894, Tyne and Wear Archives.
54. エルトン、アーサー (1979), 佐伯康治訳 「第9章 あかりと熱のためのガス」, チャールズ・シンガー, E.J. ホームヤード, A.R. ホール, T.I. ウィリアムズ編著, 田辺振太郎訳編著 『技術の歴史 第7巻』筑摩書房, 164-222 頁。
55. Encyclopaedia Britannica 13th Edition (1926), Vol. 23, "Ship."
56. Encyclopaedia Britannica 14th Edition (1929), Vol. 20, "Ship."
57. Engineering (1932), "The Works of Messrs. C.A. Parsons and Company, Limited," *Engineering*, Vol. 134, No. 3743, pp. 143-147.
58. Ewing, Alfred (1931), "The Work of Sir Charles Parsons," *Proceedings of the Royal Institution of Great Britain*, Vol. 27, No. 127, pp.107-133.
59. Ferguson, Eugene S. (1967), "Metallurgical and Machine-Tool Developments," in Melvin Kranzberg and Carrol I W. Pursell, Jr. (eds.), *Technology in Western Civilization*, London: UK, Oxford University Press, pp. 264-284.
60. Fincham, John (1979), *A History of Naval Architecture*, London, UK: Scolar Press.
61. Fletcher, Max E. (1975), "From Coal to Oil in British Shipping," *The Journal of Transport History*, New Series Vol. III, No. I, pp. 1-19.
62. フォーブス, R.J., 石谷清幹・坂本賢三訳 (1979) 「第5章 動力」, チャールズ・シンガー, E.J. ホームヤード, A.R. ホール, T.I. ウィリアムズ編著, 田邊振太郎訳編著 『技術の歴史 第7巻産業革命上』筑摩書店, 125-139 頁。

63. Foster, Abram John (1979), *The Coming of the Electrical Age to the United States*, New York, USA: Arno Press.
64. Fouquet, Roger (2008), *Heat, Power and Light*, Cheltenham: UK, Edward Elgar.
65. Fouquet, R. (2009), "A Brief History of Energy," in Joanne Evans and Lester C. Hunt (eds.), *International Handbook on Economic of Energy*, Cheltenham: UK, Edward Elgar.
66. Fouquet, Roger and Peter J.G. Pearson (2006), "Seven Centuries of Energy Services: The Price and Use of Light in the United Kingdom (1300-2000)," *The Energy Journal*, Vol. 27, No. 1, pp. 139-177.
67. Freeman, Chris and Luc Soete (1997), *The Economics of Industrial Innovation*, London, UK: Pinter.
68. French, Lester G. (1907), *Steam Turbines Practice and Theory*, Vermont, USA: Hill Publishing Co.
69. Furfey, Paul Hanly (1944), "Steam Power: A Study in the Sociology of Invention," *The American Catholic Sociological Review*, Vol. 5, No. 3, pp. 143-153.
70. 藤田哲雄 (2015) 『帝国主義期イギリス海軍の経済史的分析 1885-1917 年』
71. Fynes, Geoff (2021), *Abel Henry Chapman から C.A. Parsons への手紙@1883 年*, Parsons Heritage Project.
72. Garcke, E. (1906), *The Progress of Electrical Enterprise*, London: UK: Electrical Press Ltd.
73. Garnett, W.H. Stuart (1908), *Turbines*, London, UK: George Bell and Sons.
74. Gebhardt, George F. (1917), *Steam Power Plant Engineering*, New York, USA: John Wiley & Sons, Inc.
75. Geels, Frank W. (2002), "Technological Transitions as Evolutionary Reconfiguration Process : a Multi-Level Perspective and a Case-Study," *Research Policy*, Vol. 31, pp. 1257-1274.
76. Geels, Frank W. (2005), *Technological Transitions and System Innovations*, Cheltenham, UK: Edward Elgar.

77. Gentsch, Wilhelm (1906), *Steam Turbines*, New York, USA: Longmans, Green, and Co.
78. Gibbs, Calude D. (1947), "Parsons-The Man and His Work," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, Vol. 156, No. pp.213-216.
79. Godin, B (2014), "Invention, Diffusion and Linear Models of Innovation," *Journal of Innovation Economics & Management*, Vol. 15, No. 3, pp. 11-37.
80. ゴードン, ロバート, J., 高遠裕子・山岡由美訳 (2018) 『アメリカ経済の終焉』 日経 BP 社。
81. Goulburn, J.R. (1984), "Steam Turbine Manufacture in Ireland," *First Parsons International Turbine Conference*, Dublin, Ireland: Parsons Press, pp. 13-16.
82. Griffiths, Denis (1997), *Steam at Sea: Two Centuries of Steam-Powered Ships*, London, UK: Conway Maritime Press.
83. Groudsblom, Johan (2009), "Fire: A Socioecological and Historical Survey," pp.105-116, *Concise Encyclopedia of History of Energy*, C.J. Cleveland (ed.), Amsterdam, Holland: Elsevier.
84. Habakkuk, H.J. (1967), *American and British Technology in the Nineteenth Century*, Cambridge, UK: Cambridge University Press.
85. Hadfield, Tony (1994), "The Newcastle Upon Tyne Electric Supply Company," in *The Pioneering Work of the Tyneside Electrical Industry held at Parsons Turbine Generators, Heaton Works*, The Newcomen Society.
86. 萩原泰治 (2006) 「現代技術論」, 神戸大学経済経営学会 『経済学研究のために』, pp. 131-135.
87. Hannah, Leslie (1979), *Electricity before Nationalization A Study of the Development of the Electricity Supply Industry in Britain to 1948*, London, UK: The Macmillan Press Ltd.
88. Harley, Charles K. (1971), "The shift from sailing ships to steamships, 1850-1890 : a study in technological change and its diffusion," in Donald N. McCloskey (ed.), *Essays on a Mature Economy: Britain after 1840*, London, UK: Methuen and Co.

89. Harley, C. Knick (1988), "Ocean Freight Rates and Productivity, 1740-1913: The Primacy of Mechanical Invention Reaffirmed," *The Journal of Economic History*, Vol. 48, No. 4, pp. 851-876.
90. Harris, F.R. (1984), "The Parsons Centenary – a Hundred Years of Steam Turbine," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, Vol. 198A, No. 9, pp. 183-224.
91. Harrison, Arthur P. Jr. (1979), "Single-Control Tuning: Analysis of an Invention", *Technology and Culture*, Vol.20, No.2, pp. 296-321.
92. 橋本嘉彦著 (2001), 中岡哲郎・鈴木淳・堤一郎・宮地正人編 『新体系日本史 産業技術史』 山川出版。
93. Heaton Works Journal (1954), "The Hon. Sir Charles A. Parsons, O.M., K.C.B., F.R.S.," *Heaton Works Journal*, Vol. 7, No. 38, pp. 3-30, Tyne and Wear Archives L3767.
94. Hennessey, R.A.S. (1972), *The Electric Revolution*, Newcastle-upon-Tyne, UK: Oriel Press.
95. Hills, Richard L. (2000), *Power from Steam*, Cambridge: UK, Cambridge University Press.
96. Hinton, Lord of Bankside (1979), *Heavy Current Electricity in the United Kingdom: History and Development*, Oxford, UK: Pergamon Press.
97. 平本文男 (1983), 「商船」 『世界大百科事典 第15巻』 平凡社, 154-162 頁。
98. 弘岡正昭 (2003) 『技術革新と経済発展』 日本経済新聞社。
99. Hirshfeld, C.F. and Wm. N. Barnard (1913), *Elements of Heat-Power Engineering*, New York, USA: John Wiley and Sons, Inc.
100. Hodgkinson, Francis (1904), "Practical Notes on Steam Turbine," *National Electric Light Association 27th Convention*, Vol.1, pp. 288-322.
101. Hodgkinson, Francis (1918), *An Historical Review of Steam Turbine Progress*, Westinghouse Electric & Manufacturing Company.
102. Hodgkinson, Francis (1935), "Steam Turbines (A Review)," *Journal of the Franklin Institute*, Vol. 219 No. 5, pp. 523-551, No. 6, pp. 717-739.

103. Hore, Richard A. (1994), "Pioneering Work of the Tyneside Electricity Industry," in *The Pioneering Work of the Tyneside Electrical Industry held at Parsons Turbine Generators, Heaton Works*, The Newcomen Society.
104. Horseman, Geoff (2019), "Evolution of the Parsons Land Steam Turbine," *The 2019 Parsons Memorial Lecture, Institution of Mechanical Engineers*.
105. Horseman, Geoff (2020), *Parsons Marine Steam Turbine: From Destroyer to Dreadnought 1898-1918*, Parsons Heritage Project.
106. 星野芳郎 (1978) 『星野芳郎著作集 第3巻 技術史 I』 勁草書房。
107. Huey, Arthur S. (1922), "Electrical Development the Key to Prosperity," *Electrical World*, Vol. 80, No. 11, pp. 545-546.
108. Hughes, J.R.T. and Stanley Reiter (1958), "1,945 British Ships," *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 53, No. 282, pp.360-381.
109. ヒューズ, トム, 出光宏訳 (1976) 『大西洋ブルーリボン史話』 至誠堂。
110. Hughes, Thomas Parke (1962), "British Electrical Industry Lag: 1882-1888," *Technology and Culture*, Vol. 3, No. 1, pp. 27-44.
111. Hughes, Thomas P. (1993), *Network of Power*, Baltimore, USA: The Johns Hopkins University Press.
112. Hunter, Louis C. (1985), *History of Industrial Power in the United State, 1870-1930, Vol. 2 Steam Power*, Charlottesville, USA: the University Press of Virginia.
113. Hunter, Louis C. and Lynwood Bryant (1991), "History of Industrial Power in the United State, 1870-1930, Vol. 3," Mass., USA: MIT Press, pp. 330-347.
114. Hunter, W.D. (1902), "Newcastle and District Electric Lighting Co.'s Power Stations," *Proceeding of Institute of Mechanical Engineers*, Vol. 68, Issue 1, pp. 441-451.
115. Hutton, Fredric Remsen (1909), *The Mechanical Engineering of Steam Power*, New York, USA: John Wiley & Sons.
116. IEA (2020), *KEY WORLD ENERGY STATISTICS*, International Energy Agency.
117. Ireland, John de Courcy (1954), "Charles Algernon Parsons," *Hermathena*, No. 83, pp.51-82.

118. 石谷清幹 (1954), 「蒸気動力史論 第1報:陸用蒸気原動機単位出力発達史論」『科学史研究』 第32号, pp. 19-27。
119. 石谷清幹 (1957) 『熱機関体系第9巻 蒸気原動機 II』 山海堂。
120. 石谷清幹 (1959) 「技術における内的発達法則について」『科学史研究』 第52号, pp. 16-23。
121. 石谷清幹 (1964) 「動力史の時代区分と動力時代変遷の法則」『科学史研究』 第28号, pp. 12-17。
122. 石谷清幹 (1984) 「技術の内的発達法則と技術史観」 日本機械学会編 『技術の心 - 機械技術史をさぐる』 丸善出版社, pp. 255-285。
123. 石谷清幹・赤木新介・加治増夫 (1980) 「船舶推進力変換技術の通史と展望」『日本機械学会誌』 第83巻 第742号, 47-51頁。
124. 石谷清幹・赤木新介・西川栄一 (1985) 「船用推進技術の歴史と動向を論じディーゼルプラントに及ぶ」『日本船舶機関協会』 第20巻 第12号, 40-51頁。
125. Jarrett, F.E.C. (1984-85), “Application of the Steam Turbine to Marine Propulsion,” *International Journal of the History of Engineering and Technology*, Vol.56, pp. 38-44.
126. Johnson, P.S. (1975), *The Economics of Invention and Innovation*, London, UK: Martin Robertson & Co. Ltd.
127. Jones, Archer and Andrew J. Keogh (1985), “The Dreadnought Revolution: Another Look,” *Military Affairs*, Vol. 49, No. 3, pp. 124-131.
128. ジョーンズ, チャールズ I, 香西泰監訳 (1999) 『経済成長入門』 日本経済新聞社。
129. Jude, Alexander (1906), *The Theory of Steam Turbine*, London, UK: Charles Griffin & Co.
130. Kander, Astrid, Paolo Malanima and Paul Warde (2013), *Power to the People : Energy in Europe over the Last Five Centuries*, Princeton: USA , Princeton University Press.
131. キンドゥルバーガー, C・P, 坂本二郎・加野英資・菅宣雄訳 (1968) 『経済発展理論 上』 好学社。

132. Kirby, Richard Shelton, Sidney Withington, Arthur Burr Darling and Fredrick Gridley Kilgour (1990), *Engineering in History*, New York: USA, Dover Publication, Inc.
133. Kirkaldy, Adam W. (1970), *British Shipping*, Newton Abbot, UK: David & Charles Reprints.
134. Klein, Hans R. (1988), "Studies in the Society's History and Archives: Sir Charles Algernon Parsons," *RSA Journal*, Vol. 137, No. 5389, p. 53-56.
135. Klein, Hans R. (1989), "Studies in the Society's History and Archives: Sir Charles Algernon Parsons (ii)," *RSA Journal*, Vol. 137, No. 5390, pp. 115-118.
136. 小林学 (2013) 『19 世紀における高圧蒸気原動機の発展に関する研究 [水蒸気と鋼の時代]』北海道大学出版会。
137. Landes, D.S. (1965), *Technical Change and Development in Western Europe 1750-1914*, in H.J. Habakkuk & M.M. Postman (eds.), *Cambridge Economic History of Europe Vol VI*, Cambridge, UK: Cambridge University Press, pp. 504-518.
138. ランデス, D.S., 石坂昭雄・富岡庄一訳 (1980) 『西ヨーロッパ工業史 I: 産業革命とその後 1750-1968』 みすず書房。
139. Leggett, Don (2011), "Spectacle and Witnessing: Constructing Reading of Charles Parsons's Marine Turbine," *Technology and Culture*, Vol. 52, No. 2, pp.287-309.
140. Leyzerovich, Alexander S. (2008), *Steam Turbines for Modern Fossil-Fuel Power Plants*, GA: USA, The Fairmount Press, Inc.
141. リリー, S. 伊藤眞一・小林秋男・鎮目恭夫訳 (1977), 『人類と機械の歴史』 岩波書店。
142. Lipsey, Richard G., Kenneth I. Carlaw, Clifford T. Beker (2005), *Economic Transformation*, Oxford: UK, Oxford University Press.
143. Lord Hinton of Bankside (1979), *Heavy Current Electricity in the United Kingdom: History and Development*, Oxford, UK: Pergamon Press.
144. Lyon, David (1980), *The Ship, Steam, Steel and Torpedoes: The Warship in the 19th Century*, London, UK: Her Majesty's Stationary Office.

145. MacLaren, Malcolm (1943), *The Rise of the Electrical Industry during the Nineteenth Century*, Princeton: USA, Princeton University Press.
146. Marder, Arthur J. (1940), *The Anatomy of British Sea Power*, New York, USA: Alfred A. Knoff.
147. Marsh, Allison (2019), "This British Family Changed the Course of Engineering," *IEEE Spectrum*, 31 May 2019, pp.1-5.
148. Maywald, M (1956), "The Construction Costs and the Value of the British Merchant Fleet, 1850-1938," *Scottish Journal of Political Economy*, Vol. III, No. 1, pp. 44-66.
149. マサイアス, P., 小松芳喬監訳(1972) 『最初の工業国家』 日本評論社。
マサイアス, P., 小松芳喬監訳(1988) 『最初の工業国家』 日本評論社。
150. 松本三和夫 (1993) 「技術移転と科学・技術教育」 伊藤俊太郎・村上陽一郎共編 『講座 科学史 2 社会から読む科学史』 培風館, pp.127-163。
151. McGovern, Tom and Tom McLean (2013), "The Growth and Development of Clarke Chapman from 1864 to 1914," *Business History* Vol. 55, No. 3, pp. 448-478.
152. McGovern, Tom and Tom McLean (2017), "The Genesis of the Electricity Supply Industry in Britain: A Case Study of NESCo from 1889 to 1914," *Business History* Vol. 59, No. 5, pp. 667-689.
153. McLean, Tom and Tom McGovern (2017), "Costing for Strategy Development and Analysis in an Emerging Industry: The Newcastle Upon Tyne Electric Supply Company, 1889-1914," *The British Accounting Review*, Vol. 49, pp.294-315.
154. McNeil, Ian ed. (1996), *Encyclopedia of the History of Technology*, London, UK: Routege.
155. McOwat, Peter (2006), "The Design and Performance of the *King Edward* Turbines," *International Journal for the History and Engineering and Technology*, Vol. 76, pp.87-99.
156. Meher-Homji, Cyrus B. (2000), "The Historical Evolution of Turbomachinery," *Proceedings of the 29th Symposium*, Texas A & M University, pp. 281-322.

157. Melville & Macalpine (1909), "Report of Steam Turbine," in The Melville and Macalpine Reduction Gear, *Broadening the Field of the Marine Steam Turbine: The Problem, and Its Solution*, Pittsburg, USA: George Westinghouse.
158. Mendonca, Sandro (2013), "The Sailing Ship Effect : Reassessing History as a Source of Insight on Technical Change," *Research Policy*, Vol. 42, pp. 1724-1738.
159. Merz, Charles H. (1908), "Power Supply and its Effect on the Industries of North-East-Coast," *Engineering*, pp. 458-460.
160. 南亮進 (1976) 『動力革命と技術進歩』 東洋経済新報社。
161. ミッチェル, B. R. 編 (1995), 犬井正監・中村壽男訳 『イギリス歴史統計』 原書房。
162. Mokyr, Joel (1990a), *Twenty-Five Centuries of Technological Change*, London, UK: Harwood Academic Publishers.
163. Mokyr, Joel (1990b), *The Lever of Riches : Technological Creativity and Economic Progress*, Oxford: UK, Oxford University Press.
164. Mokyr, Joel (2010), "The Contribution of Economic History to the Study of Innovation and Technical Change: 1750-1914," in Bronwyn H. Hall and Nathan Rosenberg, (eds.), *Handbook of Economics of Innovation Vol.1*, Amsterdam: Holland, North Holland, pp. 11-50.
165. Mulder, Peter (2005), *The Economics of Technology Diffusion and Energy Efficiency*, Cheltenham, UK: Edward Elgar.
166. Musson, A.E. (1978), *The Growth of British Industry*, London, UK: B.T. Batsford Ltd.
167. 長岡貞男, 平尾由紀子 (2013) 『産業組織の経済学』 日本評論社。
168. 中西重康 (2011), 「蒸気機関の発展と産業革命」, 機械学会関西支部シニア会交流サロン報告。
169. 中澤武 (1999), 「タイタニックとマリンエンジニア」『日本船用機関学会』第34巻 第8号, pp. 514-520.

170. National Civic Federation (1907), *Municipal and Private Operation of Public Utilities, Part II, Vol. III, Report of Experts-United Kingdom*, New York. USA: National Civil Federation.
171. ネイシュ, ジョージ, P.B. (1978), 須藤利一訳 「第 18 章 船と造船」, シンガー, チャールズ編著 『技術の歴史 第 6 巻』 筑摩書房, 411 頁。
172. Neilson, Robert Morrison (1903), *The Steam Turbine*, New York, USA: Longmans, Green, and Co.
173. Nelson, Richard R., Merton J. Peck and Edward D. Kalachek (1967), *Technology, Economic Growth, and Public Policy*, Washington , USA: Brookings Institution.
174. ネルソン, リチャード R., シドニー・G. ウィンター, 後藤晃/角南篤/田中辰雄訳 (2007) 『経済変動の進化理論』 慶応義塾大学出版会。
175. Nicholas, D.G. (1996), “A Brief History of the Marine Steam Turbine,” Transactions of the Institution of Marine Engineers, Vol. 108, Part 1, pp. 67-88.
176. Nordhaus, William D. (1996), “Do Real-Output and Real-Wage Measures Capture Reality? The History of Lighting Suggests Not,” in Timothy F. Bresnahan and Robert J. Gordon (eds.) *The Economics of New Goods*, Cambridge, USA: National Bureau of Economic Research, pp. 27-70.
177. Nye, David E. (2009), “History of Electricity,” in C.J. Cleveland (ed), *Concise Encyclopedia of History of Energy, Amsterdam, Holland: Elsevier*.
178. 奥村正二 (1941) 『工作機械発達史』 科学主義工業社。
179. Orchard, F.A. (1939), “North-Eastern Centre: Chairman's Address, The History of a Pioneer Undertaking,” *Journal of the Institute of Electrical Engineers*, Vol. 84, No. 505, pp. 49-53.
180. オーウェン, ジェフリー, 和田和夫監訳 (2004) 『帝国からヨーロッパへ』 名古屋大学出版会。
181. PA-1083 (1989), *NEI Parsons A Century of Power, 1889-1989*, NEI Parsons, Tyne and Wear Archives.
182. PA-318 (1923), “History of the Development of Heaton Works of C.A. Parsons & Co. 1889 to 1923,” Tyne and Wear Archives.

183. PAR-36/1 (1889), "Memorandum of Association of Parsons' Foreign Patents Co. Ltd.," Tyne and Archives.
184. PAR-38/1-12 (1900-1911), "Parsons' Marine Steam Turbine Co. Director's Report," Tyne and Wear Archives.
185. PAR-38/13 (1912), "Parsons' Marine Steam Turbine Co. Director's Report," Tyne and Wear Archives.
186. PAR-38/4 (1903), "Parsons' Marine Steam Turbine Co. Director's Report," Tyne and Wear Archives.
187. PAR4/2 (1931), "History of Westinghouse License," Tyne and Wear Archives.
188. PAR4/2 (1927), "Sir Charles Parsons, September 6, 1927," Tyne and Wear Archives.
189. PAR51/510 (年代不明) "The Marine Steam Turbine from 1894 to 1910," Tyne and Wear Archives.
190. PAR52/2-51 (年代不明), "Letter from Parsons to Laurence," Tyne and Wear Archives.
191. Paish, George (1909), "Great Britain's Capital Investment in Other Lands," *Journal of the Royal Statistical Society*, 72(Pt 3), 465-495.
192. Palmer, Sarah (1985), "The British Shipping Industry 1850-1914," in Lewis R. Fisher and Gerald E. Panting (eds.), *Change and Adaptation in Marine History: The North Atlantic Fleet in Nineteenth Century*, Proceedings of the Sixth Conference of the Atlantic Canada Shipping Project April 1 - April 3, 1982, Maritime History Group Memorial University of Newfoundland, pp. 89-115.
193. Parker, J.E.S. (1978), *The Economics of Innovation*, London, UK: Longman.
194. Parsons Marine Steam Turbine Co. (発行年不明), "Turbinia, the World's First Turbine Driven Ship," Wallsend, UK: *Parsons Marine Steam Co.* L623 · 8/LRS7525, Tyne and Wear Archives.
195. Parsons, Charles (1884), "Improvements in Rotary Motors Actuated by Elastic Pressure and Applicable also as Pumps," UK Patent No. 6735.

196. Parsons, C.A. (1888), "Description of the Compound Steam Turbine and Turbo Electric Generator," *Proceeding of the Institution of Mechanical Engineers*, October, pp. 480-522.
197. Parsons, C.A. (1899), "Development of the Steam Turbine," *Cassier's Magazine*, Vol. 16, No. 3, pp. 191-203.
198. Parsons, Hon. Sir Charles A. (1911), "The Marine Steam Turbine from 1895 to 1910," *Transaction of the Institution of Naval Architects*, Vol. LIII, Part II, pp. 79-95, Discussion, pp. 112-134.
199. Parsons, Charles A. (1920), "Some Reminiscences of Early Days of Turbine Development," *Journal of Franklin Institute*, pp. 111-113.
200. Parsons, Charles A. and George G. Stoney (1906), "The Steam Turbine," *The Excerpt Minute of Proceeding of The Institution of Civil Engineers*, Vol. CLXII, Session 1905-1906, Part I, p. 7-79.
201. Parsons, C.A. and R.J. Walker (1906) , "The Development of the Marine Steam Turbine," *Transactions of the Institute of Marine Engineers*, Vol. 7, pp.5-24.
202. Parsons, G.L. (2015), *The Scientific Papers and Addresses of the Hon. Sir Charles A. Parsons*, Cambridge, UK: Cambridge at the University Press.
203. Parsons, N.C. (1984), "The Origin of the Steam Turbine and the Importance of 1884," *Sir Charles Parsons: A Symposium to Commemorate the Centenary of his Invention of the Steam Turbine and Electric Generator, The International J. for the History of Engineering and Technology*, Vol. 56, Issue 1, pp. 21-26.
204. Parsons, N.C. (1987), "1985 Parsons Memorial Lecture, 1884: The Rebirth of Steam Power," *The Proceeding of the Institution of Electrical Engineers*, Vol. 134, Pt. A, No. 4, pp. 359-368.
205. Parsons, R.C. (1879), "Loss of Power in the Screw-Propeller and the Means of Improving its Efficiency," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, Vol. 30, pp.588-609.
206. Parsons, R.H. (1936), *The Development of the Parsons Steam Turbine*, London: UK, Constable and Company Ltd.

207. Parsons, R.H. (1948), *The Steam Turbine and Other Inventions of Sir Charles Parsons*, London, UK: Longmans, Green and Co.
208. Parsons, R.H. (2014), *The Early Days of the Power Station Industry*, Cambridge, UK: Cambridge University Press.
209. Passer, Harold C. (1953), *The Electrical Manufacturers 1875-1900*, Cambridge, USA: Harvard University Press.
210. Paterson, Alan J.S. (1969), *The Golden Years of the Clyde Steamers (1889-1914)*, Newton Abbot, UK: David & Charles.
211. Payne, P.L. (1967), "The Emergence of the Large-Scale Company in Great Britain 1870-1914," *The Economic History Review, Second Series*, Vol. XX, No.3, pp. 519-542.
212. Payne, P.L. (1974), *British Entrepreneurship in the Nineteenth Century*, London, UK: MacMillan.
213. Periman, Richard D. (2009), "Energy Flow in Early Industrial World," in C.J.Cleveland (ed.), *Concise Encyclopedia of History of Energy*, Amsterdam, Holland: Elsevier, pp. 45-52.
214. Pollard, S. (1952), "Laissez-Fair and Shipbuilding," *The Economic History Review, New Series*, Vol. 5, No. 1, pp. 98-115.
215. Pollard, Sidney (1989), *Britain's Prime and Britain's Decline, The British Economy 1870-1914*, London, UK: Edward Arnold.
216. Pollard, Sidney and Paul Robertson (1979), *The British Shipbuilding Industry 1870-1914*, Cambridge, USA: Harvard University Press.
217. Potter, Andrey A. (1920), *Elements of Steam and Gas Power Engineering*, New York, USA: McGraw-Hill Co.
218. Prout, Henry G. (1972), *A Life of George Westinghouse*, New York, USA: Arno Press.
219. Richardson, Alexander (2014), *The Evolution of the Parsons Steam Turbine*, Cambridge, UK: Cambridge University Press.

220. Ritchie, L.A. (ed), *The Shipbuilding Industry, A Guide to Historical Records*, Manchester, UK: Manchester University Press, pp. 1-24.
221. Roe, Joseph Wickham (1911), *Steam Turbine*, New York, USA: McGraw-Hill Book Co.
222. ロジャーズ, E.M., 青池慎一・宇野善康訳 (2001) 『イノベーション普及学』 産業能率出版部。
223. Rolt, L.T.C. and J.S. Allen (1977), *The Steam Engine of Thomas Newcomen*, Derby: UK, Moorland Publishing Co.
224. Rosenberg, Nathan (1972), "Factors affecting the Diffusion of Technology," *Exploration in Economic History*, Vol. 10, Issue 1, pp. 3-33.
225. Rosenberg, Nathan (1982), *Inside the Black Box : Technology and Economics*, Cambridge, UK: Cambridge University Press.
226. Rosenberg, Nathan (1998), "The Role of Electricity in Industrial Development," *The Energy Journal*, Vol. 19, No. 2, pp. 7-24.
227. ロップ, A.M., 鈴木高明訳 「第 16 章 造船, チャールズ・シンガー, E.J. ホームヤード, A.R. ホール, T.I. ウィリアムズ編著, 田邊振太郎訳編著」, チャールズ・シンガー編著、田邊振太郎訳編著 (1979) 『技術の歴史 第 9 巻鋼鉄の時代上』 筑摩書店。
228. Sahal, Devendra (1981), *Pattern of Technological Innovation*, London, UK: Addison-Wesley Publishing Company.
229. 坂上茂樹 (2016), 「蒸気動力技術略史 - 潤滑と気密の問題に留意しつつ - 」『大阪市立大学大学院経済学研究科 Discussion Paper No. 89』。
230. Sakamoto, Takuji (1978), "On the Retardation of the British Electric Industry before World War," 長崎大学研究年報, Vol. 19, pp. 55-74.
231. Sankey, Captain H. Riall (1917), "Heat Engine," *Thomas Hawkley Lecture, Proceedings of the Institution of the Mechanical Engineers*, Vol. 93, pp. 701-749.

232. Saul, S.B. (1968), "The Engineering Industry", in Dereck H. Aldcroft (ed.), *The Development of British Industry and Foreign Competition 1873-1914*, London: UK, George Allen and Unwin Ltd., pp. 186-237.
233. 齊藤正美 (2005), 「船舶技術における内的発達法則」 『経済理論』 第42巻 第1号, 55-64頁。
234. Scaife, W. G. S. (1984), "Charles A. Parsons' 1884 Patents and his Prototype Turbo-Generator," *First Parsons International Turbine Conference*, Dublin, Ireland: Parsons Press, Trinity College, pp. 5-12.
235. Scaife, W. Garret (1985), "The Parsons Steam Turbine," *Scientific American*, Vol. 252, No. 4, pp. 132-139.
236. Scaife, W.G. (1988), "Charles Parsons' Experiment with Rocket Torpedoes - the Precursors of the Steam Turbine", *The Transactions of The Newcomen Society*, Vol. 60, Issue 1, pp. 17-29.
237. Scaife, W. Garrett (2000), *From Galaxies to Turbines*, Bristol, UK: Institute of Physics Publishing.
238. Scherer, F.M. (1984), *Innovation and Growth, Schumpeterian Perspective*, Cambridge: USA, The MIT Press.
239. Schmookler, Jacob (1966), *Invention and Economic Growth*, Cambridge, USA: Harvard University Press.
240. Schurr, Sam H., Calvin C. Burwell, Warren D. Devine, Jr., Sidney Sonenblum (1990), *Electricity in the American Economy*, New York, USA: Greenwood Press.
241. シュムペータ, 塩野谷祐一・中山伊知郎・東畑精一訳 (2015) 『経済発展の理論上』 岩波書店。
242. Scientific American Supplement No. 633 (1888), "The Compound Steam Turbine," New York, USA.
243. Self, Sir Henry and Elizabeth M. Watson (1952), *Electricity Supply in Great Britain*, London, UK: George Allen and Unwin Ltd.

244. Shane, Scott (2008), "Editor's Introduction, in Scott Mc (ed.), *Handbook of Technology and Innovation Management*, Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd., pp. xv-xxviii.
245. Shiman, Daniel R. (1993), "Explaining the Collapse of the British Electrical Supply Industry in the 1880s: Gas versus Electric Lighting Prices," *Business and Economic History*, Vol. 22, No. 1, pp. 318-326.
246. Slaven, Anthony (1992), "Modern British Shipbuilding, 1800-1990," in L.A. Ritchie (ed.) *The Shipbuilding Industry, A Guide to Historical Records*, Manchester, UK: Manchester University Press, pp. 1-24.
247. Smil, Vaclav (1999), *Energies: Illustrated Guide to the Biosphere and Civilization*, Cambridge: USA, The MIT Press.
248. Smil, Vaclav (2005), *Creating the Twentieth Century*, New York: USA, Oxford University Press.
249. Smith, Edgar C. (1954), "The Hon. Sir Charles A. Parsons, A Centenary Tribute," *Engineering*, Vol. 177, No. 4611, pp.740-741.
250. Smith, Edgar C. (2013), *A Short History of Naval and Marine Engineering*, Cambridge: UK, Cambridge at the University Press.
251. Smith, Frank E. (1936), "Sir Charles Parsons and Steam," *North-East Coast Institution of Engineers and Shipbuilders, The First Parsons Memorial Lecture*.
252. Smith, Ken (2009), "Turbinia, The Story of Charles Parsons and his Ocean Greyhound," Newcastle-upon-Tyne, UK: Tyne Bridge Publishing.
253. Smith, H. Gerrish and L.C. Brown (1948), "Shipyard Statistics," in F.G. Fasset (ed.), *The Shipbuilding Business in the United States of America Vol.1*, New York, USA: The Society of Naval Architect and Marine Engineers.
254. スミス, アダム, 玉野井芳郎・田添京二・大河内暁男訳 (1968) 『世界の名著 31 国富論』 中央公論社。
255. Somerscales, E.F.C. (1996), "Steam and Internal Combustion Engines," in Ian McNeil (ed.), *An Encyclopedia of the History of Technology*, London, UK: Routledge, pp. 272-349.

256. Sprague, Ensign Frank (1883), *Report on the Exhibits at the Crystal Palace Electrical Exhibition, 1882*, Washington, USA: Navy Department, Bureau of Navigation, Office of Naval Intelligence, Government Printing Office.
257. Stevens, Theodore and Henry Metcalf Hobart (1906), *Steam Turbine Engineering*, New York, USA: The McMillan Co.
258. Stodola, A. (1905), *Steam Turbines*, New York, USA: D. Van Nostrand Company.
259. Stoney, Gerald (1909a), "Steam Turbines. Lecture I," *Journal of the Royal Society of Arts*, Vol. 57, No. 2968, pp. 951-960.
260. Stoney, Gerald (1909b), "Steam Turbines. Lecture II," *Journal of the Royal Society of Arts*, Vol. 57, No. 2969, pp. 964-977.
261. Stoney, Gerald (1909c), "Steam Turbines. Lecture III," *Journal of the Royal Society of Arts*, Vol. 57, No. 2970, pp.983-989.
262. Stoney, Gerald (1938), "Scientific Activities of the Late Hon. Charles A. Parsons, O.M., K.C.B., F.R.S.," *The Second Parsons Memorial Lecture, Journal of the Electrical Engineers*, Vol. 82, No. 495, pp. 248-261.
263. Strang, A. (2009), *Sir Charles Algernon Parsons, The Portsmouth Connection*, The Institute of Materials, Minerals and Mining.
264. Strassmann, W. Paul (1981), *Risk and Technological Innovation*, Connecticut: USA, Greenwood Press.
265. ストワーズ A., 坂本賢三訳 (1981a), 「第 7 章 船用蒸気機関」, チャールズ・シンガー, E.J. ホームヤード, A.R・ホール, T.I. ウィリアムズ編著, 高木純一訳編著, 平田寛他訳 『技術の歴史 第9巻 鋼鉄の時代 上』 筑摩書房, 110-121 頁。
266. ストワーズ, A., 石谷清幹・坂本賢三訳 (1981b), 「第 6 章 定置蒸気機関」, チャールズ・シンガー, E.J. ホームヤード, A.R・ホール, T.I. ウィリアムズ編著, 高木純一訳編著 『技術の歴史 第9巻 鋼鉄の時代 上』 筑摩書店, 97-109 頁。
267. Sumida, Jon Tetsuro (2014), *In Defence of Naval Supremacy: Finance, Technology, and British Naval Policy, 1889-1914*, Maryland, USA; Naval Institute Press.

268. 杉田英昭 (1987) 「蒸気機関とスチームシップ」 『海事資料館年報』 Vol. 15, pp. 11-23.
269. Swinton, A.A. Campbell (1907), "The Story of the Steam Turbine and its Inventor," *The World's Work*, Vol. X, pp. 266-269.
270. Swinton, Alan A. Campbell (1912), "Electricity Supply: Past, Present and Future," *Royal Society of Great Britain, Notices of the Proceedings of the Meeting of the Members*, Vol. 20, pp. 433.
271. Tanuma, Tadashi (ed.) (2017), *Advances in Steam Turbines for Modern Power Plants*, Duxford: UK, Woodhead Publishing
272. 田辺哲夫 (1977), 「蒸気機関の発達史 1」 『海技と受験 機関長コース 5 月号』 海文堂, 101-109 頁。
273. Termuelen, Heinz (2001), *100 Years of Power Plant Development*, New York: USA, ASME Press.
274. The Electric Council (1987), *Electricity Supply in the United Kingdom*, The Electric Council.
275. The Encyclopaedia Britannica 13th edition (1926), Vol. 23, London, UK: The Encyclopaedia Britannica Co.
276. The Engineer (1934), "The Development of the Parsons Steam Turbine," *The Engineer*, Vol. 157, No. 4070, pp. 32-34.
277. Thirtle, Colin G. and Vernon W. Ruttan (1987), *The Role of Demand and Supply in the Generation and Diffusion of Technical Change*, London, UK: Harwood Academic Publishers.
278. Thurston, Robert H. (1900), "The Steam Turbine: The Steam Engine of Maximum Simplicity and of Highest Thermal Efficiency," *Transactions of the ASME*, Vol. 22, pp.170-261.
279. Thurston, H. (1939), *A History of the Growth of the Steam-Engine with Supplementary Chapter by William N. Barinard*, MA, USA: Cornell University.
280. Traupel, W. (1979), "Steam Turbines, Yesterday, Today and Tomorrow," *Proceeding of Institute of Mechanical Engineers*, Vol. 193, pp.391-400.

281. 角山栄 (1974) 「イギリス史におけるエネルギー」 『エネルギー史研究』 Vol. 4, 1-7 頁。
282. Tyne and Wear County Council (1981), *Turbinia*, Newcastle, UK: Tyne and Wear County Council Museums.
283. Usher, Abbot Payson (1988), *A History of Mechanical Inventions*, New York, USA: Dover Publications, Inc.
284. アッターバック, J.M., 大津正和・小川進監訳 (1998) 『イノベーションダイナミックス』 有斐閣。
285. ヴィル, サイモン・P, 梶本元信・野上秀雄訳 (2012) 『ヨーロッパ交通史、1750-1918 年』 文沢社。
286. Vill, Simon (1991), “Shipping Industry Technology,” David J. Jeremy (ed.), *International Technology Transfer*, Aldershot, UK: Edward Elgar, pp. 74-94.
287. von Tunzelmann, G.N. (1978), *Steam Power and British Industrialization to 1860*, Oxford, UK: Claredon Press.
288. Ward, W.H. (1967), “The Sailing Ship Effect,” *Bulletin of the Institute of Physics and Physical Society*, Vol. 18, No. 6, p.169.
289. Watson, Lord, Lord MacNaghten, Lord Davey and Sir Richard Cough (1898), “In the Matter of Parsons’ Patent before the Judicial Committee of the Privy Council,” *Reports of Patent, Design and Trade Cases*, Vol. XV, No. 15, pp.349-359.
290. Weightman, Gavin (2011), *“Children of Light : How Electricity Changed Britain Forever*, London, UK: Atlantic Books.
291. Williams, Edward Huntington (1910), *A History of Science*, New York, USA: Harper & Brother.
292. Wilson, J.F. (1988), *Ferranti and the British Electrical Industry, 1864-1930*,” Manchester, UK: Manchester University Press.
293. リグリオ, E・A, 近藤正臣訳 (1991) 『エネルギーと産業革命-連続性・偶然・変化-』 同文館。

Web 公開文献：

1. Encyclopedia Britannica, “Charlotte Dundas,”
<https://britannica.com/topic/Charlotte-Dundas>.
最終接続日 2020 年 3 月 26 日
2. Grace’s Guide to British Industrial History, “Benjamin Chapman Browne,”
https://www.gracesguide.co.uk/Benjamin_Chapman_Browne,
最終接続日 2021 年 8 月 17 日
3. Scarborough Maritime Heritage Centre, *Scarborough’s Electricity Supply 1893-1948*,
<http://www.scarboroughsmaritimeheritage.org.uk/article.php?article=624>
最終接続日 2021 年 8 月 18 日
4. World Balance 2018
<http://www.iea.org/sanky>,
最終接続日 2021 年 6 月 30 日。

謝辞：

著者は、約半世紀弱、民間企業において蒸気タービン・プラントの設計・建設・試運転に携わってきました。製品は、米国ウェスティングハウス社(W社)と技術提携した“W社タービン”と呼ばれていた蒸気タービンでしたが、これは、元々、パーソンズが1884年に発明したものであると知ったのは、ずっと、後になってからでした。

パーソンズの発明に至るまでの技術的、社会経済的な背景を研究したいと思い、神戸大学大学院経済研究科萩原泰治教授のご指導を受けることになりました。研究範囲も「発明」から「イノベーション」・「普及」へと広がり、「経済発展と技術進化」を総合的に研究することができました。萩原教授からは、最終稿に至るまで、数々の貴重なご助言と懇切なご指導を頂きました。心からお礼申し上げます。

また、同研究科の重富公生教授および奥西孝至教授には、本稿作成に至るまで、温かくご指導・ご教示頂いたことを、感謝申し上げます。

下記の人たちには、筆者が英国を訪問し、パーソンズ蒸気タービンの資料を収集するに際し、慣れない文献調査を懇切丁寧に対応頂きました。お礼申し上げます。

- ・ Tyne and Wear Archives :

- Ms. Alison Pigott, Archive Engineering Team

- Mr. Mark Cordell, Archive Engineering Team

- ・ DANA Research Centre:

- Ms. Prabha Shah, Research Services Librarian

- Ms. Venita Bryant, Library and Research Administrator

- Ms. Silvia De Vecchi, ditto

- ・ Bir Castle Archives:

- Ms. Lisa Shortall, Archivist

- ・ Science Museum:

- Ms. Cati Watson, Library and Archives Collection Assistant

- ・ Cambridge Archives:

- Ms. Sue Martin, Photographer & Technician

最後に、妻の英子に、大学院生活の間の多くの理解・忍耐・励ましに対して、心からの感謝を述べたいを思います。

補遺 1：語彙集

1. Billion

10^9

2. Candle Power (c.p.)

蠟燭 1 本分の光の強さ(光度)に相当する古い単位

3. Ft

Feet(フィート)の略

英米の長さの単位で、 $1 \text{ ft} = \text{約 } 0.3 \text{ m}$

4. HP、SHP、IHP

HorsePower、Shaft HorsePower、Indicated HorsePower の略

出力の単位で $1 \text{ HP(馬力)} = 1 \text{ SHP(軸馬力)} = 0.746 \text{ kW}$

指示馬力は、蒸気機関の平均シリンダー圧、ストローク長等から求められ、指示馬力と馬力との間には直接的な関係はなく、実際の出力は、シリンダーとピストンとの摩擦他の影響により小さくなる。指示馬力と馬力の関係については、NTNU(Norwegian University of Science and Technology)の名誉教授 Jorgen Lovland(A History of Steam Power, p. 2)によれば、 $\text{HP(馬力)} = (0.7-0.9) \times \text{IHP(指示馬力)}$ であることから、本論文では、船用蒸気機関の出力を保守的(大きい側)に評価し 0.9 を採用した。

5. Mtoe (Million Tons of Oil Equivalent)

石油 100 万トン相当の意味

$1 \text{ Mtoe} = 0.014 \text{ T kWh}$

6. ppp

Purchasing Power Parity

購買力平価

7. PSI

Pound per Square Inch の略

英米の圧力単位で $1 \text{ psi} = 0.07 \text{ kg/cm}^2$

8. rpm

Revolution per Minute の略

回転数の単位(回転数/分)

9. W(ワット)、k(キロ)W、M(メガ)W、G(ギガ)W、T(テラ)W

W は電力・動力の単位で、100 万 kW の発電量は、約 35 万世帯(約 100 万人)の電気を賄える、と言われている。

$1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}$ 、 $1 \text{ MW} = 10^3 \text{ kW} = 10^6 \text{ W}$ 、 $1 \text{ GW} = 10^9 \text{ W}$ 、 $1 \text{ TW} = 10^{12} \text{ W}$

補遺2：「タービン」の定義

「蒸気タービン」とは、ターボ協会によると、「蒸気の持つ熱エネルギーを速度に変換して運動エネルギーとし、これを羽根車により機械的エネルギーに転換し仕事として取出す回転原動機である。」¹となっており、タービンは、羽根(翼)による流体の相対運動を必要とする。

そもそも、タービンという言葉は、最初、フランスのビュルダン(Claude Burdin)が、1822年にフランスの科学アカデミー(Academy Science)に提出した「水力タービン、つまり、高速回転機」(Hydraulic turbines or high-speed rotary machines)と題する小論文で初めてタービンという言葉を使用した²。

タービンという言葉は、ラテン語の独楽を意味する *turbinem* から取られたものであるが、これは、ビュルダンが、自身の考案した水力装置は、これ迄の「古い落下水の重量による上掛け水車や、急激に流れる流れの衝動による下掛け水車と明確に区別すべき、と考えたからであり、古い水車では、水の羽根車のバケット或いはフロートに対する相対的な運動が全くないが、タービンでは、管或いはダクトを介して曲がった羽根への水の流れが、動力装置の運転には必須であり、動力は、こうして、早く流れる水と曲がった通路の中に閉じ込められている通路間で引き起こされる衝動および反動から導き出される³。」とアッシャー(Abbot Payson Usher)は、ビュルダンがタービンという言葉をやわざ使った理由を説明し、タービンには羽根(翼)による相対運動が必要であると、説明している。

ところが、一般的に、蒸気タービンの歴史を説明する時、蒸気タービンのアイデアは古くからあり、BC120年には、アレキサンドリアのヘロンの反動タービン(付図-1)を、又、1629年に、イタリアのブランカ(Giovanni Branca)が、衝動タービン(付図-2)を考案した、と言われる。

また、パーソンズに先立って1883年にスウェーデンのド・ラバル(Karl Gustaf Patrik de Laval)が、付図-3に示す最初の蒸気タービンを発明した、とも言われる

¹ ターボ機械協会編 (1990年), p. 12.

² Meher-Homji, (2000), p. 224.

³ Usher (1954), p. 383.



付図-1 ヘロンのアイオロスの球
(出典：T. Stevens et al. , p. 24)

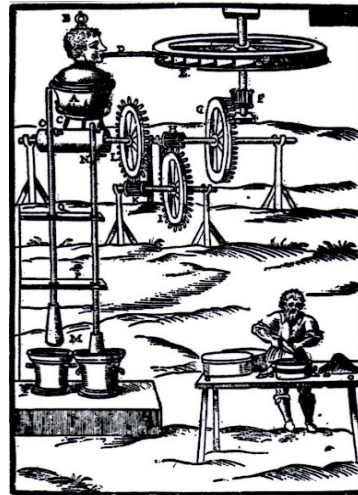


Figure 6.10
Branca's conception of a steam turbine
(From his *Le Macchine*, 1629)

付図-2 ブランカの蒸気機関
(出典：R. S. Kirby et al. p. 152)

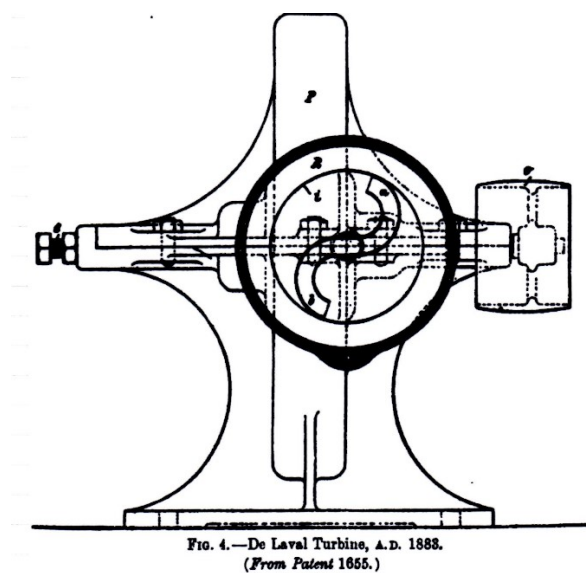
が、ヘロンと同じ原理であり、これらは、ヘロン及びド・ラバルには羽根がなく、単に、蒸気噴出時の自身の反動により回転しており、蒸気タービンではない。米国のエイブリー(William H. Avery)もヘロン型の蒸気機関の特許を 1831 年に特許を取り、木材の切断等に多数使用している⁴が、これは、ヘロンと同じ原理に基づくもので蒸気タービンではない。

ブランカには、羽根はあるものの蒸気の噴流を羽根に直接当てている丈で、相對運動をしていない。これを蒸気タービンと呼ぶのは、水車と水力タービンを区別しないことと同じであり、ビュールダンが、「タービン」と言う言葉を意識して使用した事に反する、と考えている。

一方、流体力学において流れの相似則である有名なレイノルズ数の導入や潤滑したレイノズル(Osborne Reynolds)も 1875 年に 12,000rpm の圧力複式タービンに運転に成功しているが、蒸気消費が大きかったので、この装置は既存の蒸気機関と競争力を決して持つ事が出来ないと結論し、それ以上追及しなかった⁵。

⁴ Thurston (1939), p. 526.

⁵ Scaife (1984), p. 7.



付図-3 ド・ラバルの蒸気機関
(出典：T. Stevens et al. p.25)

このよう経緯から明らかなように、実用的な蒸気タービンを発明したのは、正真正銘、パーソンズである、と言える。

参考文献：

- Kirby, Richard Shelton, Sidney Withington, Arthur Burr and Fredrick Gridley Kilgour, Engineering in History, New York, USA: Dover Publications, Inc.
- Meher-Homji, Cyrus B. (2000), "The Historical Evolution of Turbomachinery," in Jean C. Bailey, Dara W. Child, Joanne Burnet (eds), Proceedings of the 29th Symposium, 2000, p. 224.
- Thurston, Robert H. (1939), *A History of the Growth of the Steam-Engine with Supplementary Chapter by William N. Barnard*, Oxford, USA: Cornell University Press.
- ターボ機械協会編 (1990 年) 『蒸気タービン』 日本工業出版。
- Scaife, W. G. S. (1984), "Charles A. Parsons' 1884 Patents and his Prototype Turbo-Generator," *First Parsons International Turbine Conference*, Dublin, Ireland: Parsons Press, Trinity College, pp. 5-12.
- Stevens, T. and H.M. Hobart (1906), *Steam Turbine Engineering*, New York, USA: The MacMillan Co.
- Usher, Abbot Payson (1954), *A History of Mechanical Inventions*, New York, USA: Dover Publications, Inc.

補遺 3: 「ホギング(Hogging)」と「サギング(Sagging)」

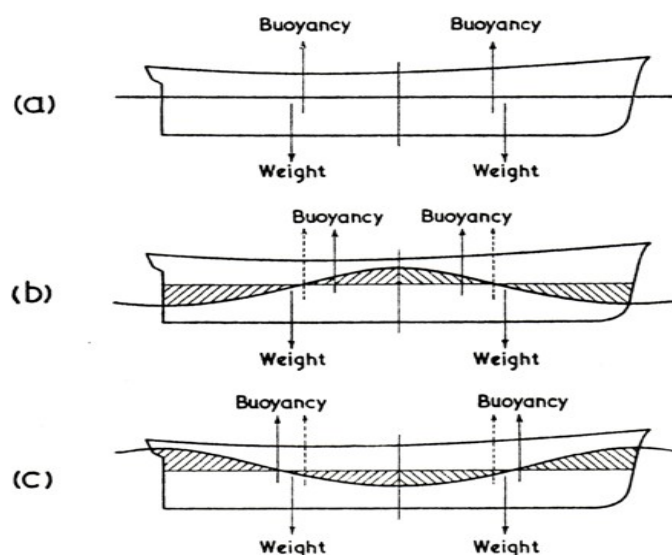
図はそれぞれ下記の状態を示す。

(a)は、静水状態での船体の重量と浮力を示しており、これらは釣り合っているため、船の構造部材に曲げ力は作用しない。

(b)は、船体の長さが、波の谷から谷までの所に来た時、すなわち、波の山が船体の中央部にきた時の状態を示している。この状態をホギングという。この時には、船体中央部が持ち上げられる状態となる。浮力は、斜線で示すように、船体の両端側で小さく、中央部側で大きくなるため、浮力作用線は、静止状態と較べて船体中央側に移動する。こうして、船体の重量作用線と浮力の作用線の間隔が広がり、船の構造部材に曲げの力が発生する。

(c)は、船体の長さが波の山から山までの所に来た時、すなわち、波の谷が船体の中央部にきた時の状態を示している。この状態をサギングという。この時には、船体中央部が波の谷間に沈む状態となる。浮力は、斜線で示すように、船体の中央側で小さく、両端側で大きくなるため、浮力の作用線は、静止状態と較べて船体の両端側へ移動する。こうして、船体の重量作用線と浮力の作用線の間隔が広がり、ホギング状態の時とは反対の曲げの力が船の構造部材に発生する。

このようにひと波ごとに船の構造部材に影響を与えることから、亀裂や金属疲労の原因となる。



(出典：Robb (1979), p. 354)

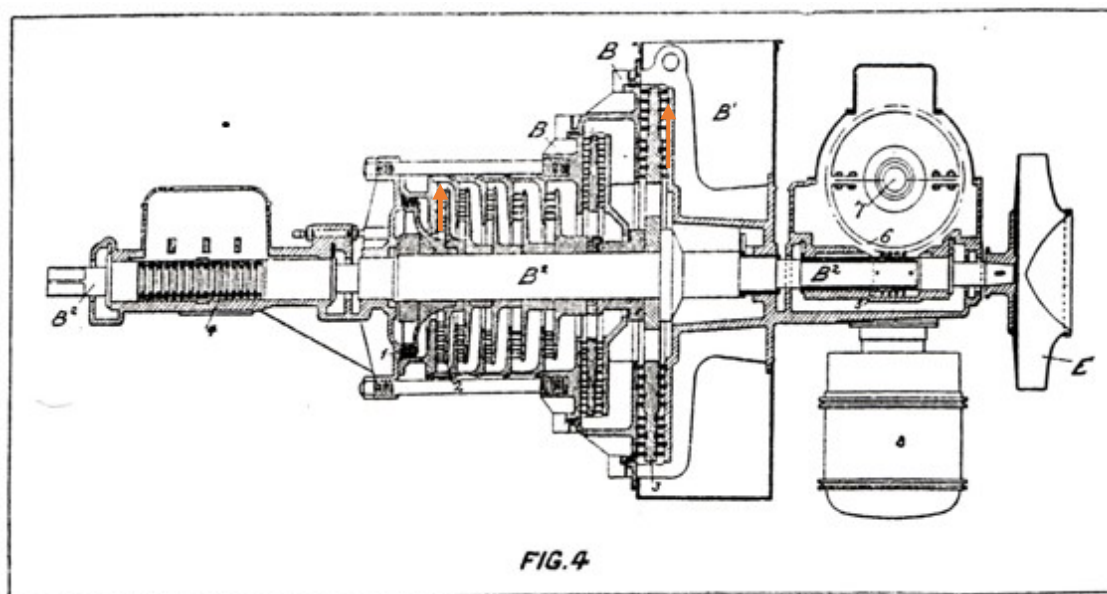
参考文献：

Robb, A.M. (1979), "Ship-Building," in Charles Singer, E.J. Holmyard, A.R. Hall and Trevor I. Williams (eds.), *A History of Technology Vol. V The Late Nineteenth Century, 1850 to 1900*, Oxford, UK: the Clarendon Press, pp. 350-390.

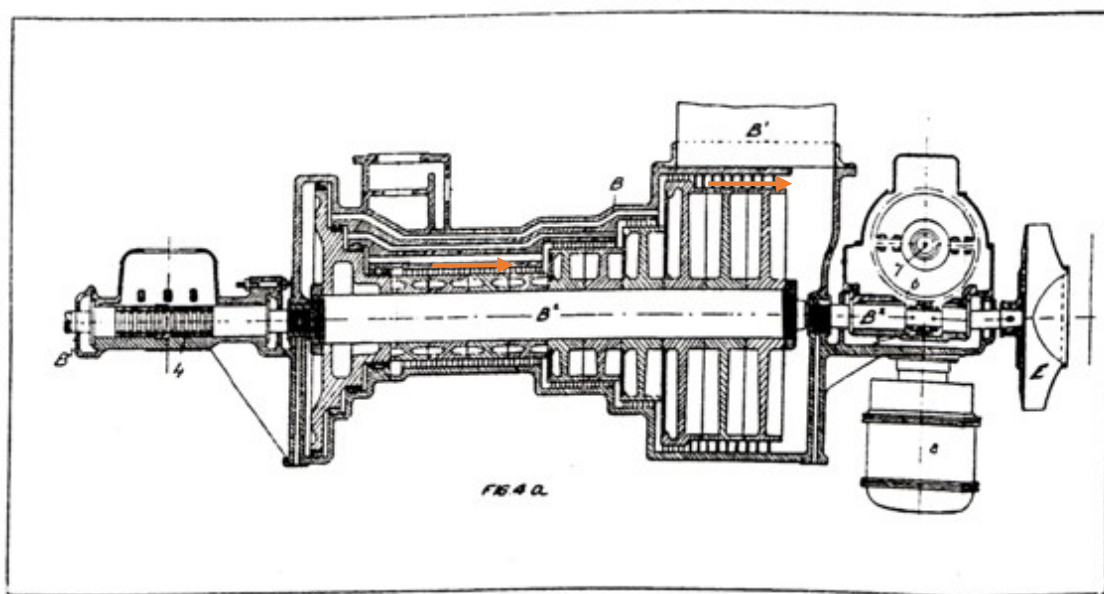
補遺4：「半径流蒸気タービン」と「軸流蒸気タービン」

「半径流蒸気タービン」とは、回転軸と直角方向(半径方向)に蒸気が流れ、軸の半径方向に取付けられている翼を通過することにより、その反動力により軸に回転力を与える型式をいう。

半径流蒸気タービンの例を下記に示している(流れ方向を↑で示す)。



「軸流蒸気タービン」とは、回転軸に平行に蒸気が → 方向に流れ、軸に沿って取付けられている翼を通過することにより、その衝撃力、あるいは、反動力により軸に回転力を与える型式をいう。



参考文献：

Parsons Patent No. 391, A.D. 1894, "Improvement in Mechanism for Propelling and Controlling Steam Vessels.