

Title	産業技術史におけるマクロ的、ミクロ的視点について
Author	坂上、茂樹
Citation	経済学雑誌. 別冊. 112巻2号
Issue Date	2011-10
ISSN	0451-6281
Type	Learning Material
Textversion	Publisher
Publisher	大阪市立大学経済学会
Description	

Placed on: Osaka City University Repository

産業技術史におけるマクロ的、 ミクロ的視点について

坂 上 茂 樹

はじめに

蒸気機関車をタネとして標記について例解する。以下に述べるのは高圧機関車やタービン機関車等の特殊機関車ではなく、営業路線で主力として働いた数多くの機関車たちに係わるハナシ……余り詳細には立ち入らず、正確さも二の次、言ってみれば、今年度における「産業技術論の個別問題」総論である。

1. マクロ的視点から観た先進諸国と日本の機関車技術事情

各国の蒸気機関車設計思想をその全体的プロポーションから探る。これが所謂、マクロ的視点である。以下、蒸気機関車という個別交通機械技術の環境適応、適応放散の巨視的輪郭を辿ってみよう。

a. イギリス

機関車サイズは中庸。ボイラ圧も中庸。量的にも質的にも有力な産炭地を抱え、複式化による燃料節減動機に欠けたため、二・三気筒複式が流行ったごく初期を除いて複式は傍系に終始し、ほぼ単式に帰一。振動、とりわけ旅客機の場合、高速化に随伴する乗客への振動の悪影響低減に早くから意が用いられていた（その大元は高額の特急料金に依存する経営思想にあった）。それぞれの時点における具体的な答えは内側気筒、三気筒、並列四気筒などの諸型式に結実した。機関車は各有力私鉄で内製されるのが普通で、有力私鉄毎に F., Webb, N., Gresley, A., Stanier など個性溢れる設計者が輩出した。他方、独立の機関車メーカーは植民地輸出用の製品を扱うものが多くかった。

イギリスの急客機の場合、概して牽引力（トルク）の絶対値より高回転・高出力化による高速運転性能が重視されたから、動輪径は 2000 mm 程度、勢い気筒径も相対的に小さくまとめられていた。営業列車におけるスピードアタックは乗務員の誇りでさえあり、この意味でも多気筒化は非常に有利な設計であった。その結果、イギリスの機関車は優美な姿態に似合わず、比出力において武骨極まる同級ドイツ機などを著しく凌駕した。

罐圧力は先進諸国の中では控え目で、戦後、国有化された時点において標準型式に指定された主要機種を見ても $14.1\sim17.6 \text{ kg/cm}^2$ といった戦前の黄金時代に準ずる値が踏襲されていた。

b. ドイツ

機関車サイズは中庸。過熱方式実用化 (Karl Schmidt) に先駆けた国情ゆえに20世紀はじめには複式化は不要、罐圧向上も不要、それよりも蒸気圧を $14\sim15 \text{ kg/cm}^2$ 程度までと低めに抑え、過熱 (T_f 引き上げ) による熱効率向上を優先すべしとの思想 (Robert Garbe) が特にプロイセンにおいては行き渡っていた。

古くはバイエルン等において並列四気筒複式の急客機も愛好されたが、結局、この型式は後のドイツエンジンの主流とはならなかった。ボイラ圧は 16 kg/cm^2 程度を経て漸次、欧米先進国の水準からすればまず中の上と言える 20 kg/cm^2 程度にまで引き上げられたが、結局、これも事後的に 16 kg/cm^2 辺りに戻すことでの安定を得ている。この事実はやや情けなくもある。

並列四気筒複式に代るものとしては単式三気筒が広く試みられ、とりわけ貨物機においては一家をなしたが、急客機を含め、大勢はやはり単式二気筒であった。急客機においてドイツの設計陣はイギリスの設計家とは対照的に本音において高回転化を嫌っていたものと見え、三気筒最急客機05型（スピードアタック用）や61型においては 2300 mm という大動輪径が選択されている。分邦時代以来、それらの機関車の製造は幾つかの大手メーカーによっていた。

c. フランス

石炭節約に有利な複式が産業動力用蒸気機関の分野と同様、早い時期から盛行した。並列四気筒複式機関車や Anatole Mallet の連接型四気筒マレー複式を生んだお国柄でもある。フランスではまた、私鉄時代から軽量列車の高い最高速度よりも重量列車を可及的に高い表定速度で運行させる実質的性能重視の伝統が形成されていた。

このため、フランスの機関車に重量、速度、出力、ボイラ圧等、スペック的に突出したモノは乏しく、罐圧も最終的に 20 kg/cm^2 止りに落ち着いた。しかし、蒸気機関車時代の末期にはシャプロン・マジックで名高い Andre Chapelon の手で幾多のリビルトが実施され、その作品たる三・四気筒複式機関車群の高い牽引及び燃費性能は世界各国の注目的となり、ある意味において蒸気機関技術史の掉尾を飾る作品群となった。

d. アメリカ

初期には燃費節約・航続距離伸張を狙い、二気筒複式が流行した。その後、四気筒並列複式、四気筒串型複式も導入されたが何れも大成し得ず、複式としては重量貨物用にマレー機が主流となった。しかし、その大型化はこれに伴う低圧気筒の直径増大が車両限界と抵触する所で行き詰まり、かつ、この広大な国では重量貨物列車に対してもかなりの高速牽引が要請されたため、直径 1 m にもなんなんとする巨大な低圧ピストンの往復運動に起因する振動もネックとなった。

このため、一時期は単式三気筒も導入され成功を収めたが、結局、高速重量貨物機としてはこの国独自の連接型単式四気筒（シンプル・マレー）巨人機が主流となり、それ以外の用途には単式二気筒が専ら充当された。

アメリカは石炭資源も豊富であり、航続距離はシンプルに大きな炭水車を従えれば確保可能であった。また、アメリカは産油国でもあるから、発熱量の大きな重油への燃料シフトは容易であり、これが断行されてからは尚更、燃費・航続距離の問題は解消された。

アメリカはまた高圧化にことのほか熱心な国でもあった。N. Y. C. 鉄道に例を求めれば、1904～

'26年 14.0 kg/cm^2 , 1931年 15.8 kg/cm^2 , 1937年 19.4 kg/cm^2 , 1946年 20.4 kg/cm^2 といった値を拾うことが出来る。しかも、この最終値でさえアメリカにおいては必ずしも高い方の数字ではなく、U. P. 鉄道や Pennsylvania 鉄道, Kansas City Southern 鉄道等では戦前期、既に $21 \sim 22 \text{ kg/cm}^2$ 程度の罐圧力が実用されていた。無論、それらは熱効率向上を目指したが故のスペックではなく、高出力化がその主たる狙いであった。

但し、高圧化により気筒径の相対的縮小と往復運動質量の相対的低減が可能となつたため、これ以上単純化し得ない単式二気筒構造でありながら無理なく高回転化（相対的に小さい動輪径）が実現された。その結果、アメリカでは蒸気機関車時代の末期には二気筒急客機を以つてする最大 160 km/h 程度の、つまりイギリス、ドイツ並みの高速旅客列車の営業運転が実現された他、7000馬力級のシンプル・マレー巨人機によって牽引される長さ 1 マイルもある重量貨物列車に対しても 100 km/h 、軽量貨物列車ともなれば 130 km/h といった高速ダイヤが引かれていた。これらの機関車たちは一部の大手私鉄で内製された他は Alco, Baldwin という二大メーカーの製品比率が高く、やや大味で個性に欠ける嫌いはあったが、製品並びに製造技術の革新は著しかった。

e. 日 本

過熱を優先し、複式化や高圧化を軽視する設計思想を墨守した点においてわが国の官営鉄道はガルベ以上にガルベ的であった。狭軌で 1750 mm という急客機の動輪径など、標準軌間であれば 2354 mm に相当するほどの巨大さで、低回転志向の現われの極致であったが、この大動輪径と 16 kg/cm^2 止まりに終った低目のボイラ圧と帳尻を合わせるため気筒径（→往復運動質量）は嫌でも大きく取られねばならなかつた。しかも、狭軌という事情も手伝つて三気筒以上は構造複雑として忌避され、ごく一部の例外を除けばほとんど総てが振動面に本質的不利を託つ単式二気筒であった。

また、わが鉄道省設計陣は線路への上下振動による衝撃を緩和するため前後振動を野放しにするという類稀なる設計思想に立て籠っていたから、高速旅客列車においては振動激甚、旅客は迷惑、乗務員の辛苦は世界記録級であった。かくて加えて、鉄道省はその台所事情ゆえに燃費節減には殊更うるさく、乗務員には特異な動作（重労働）が要求されていた。

機関車の開発は海外技術の模倣導入を含め、ほぼ鉄道省工作局車両課に独占されており、民間製造会社は下りて来る図面通りに造るという下請け的営為に終始させられた。ほぼ唯一の例外が標準軌間の南満洲鉄道であったが、内製、輸入、日本国内製機関車が混在したこの地においてもほぼ単式二気筒ばかりで、僅かに古くはマレー、後に単式三気筒が用いられる程度に終つた。罐圧力も 17 kg/cm^2 を実用した一形式を除けば、むしろ鉄道省より低い 14 kg/cm^2 程度の値に終始した。

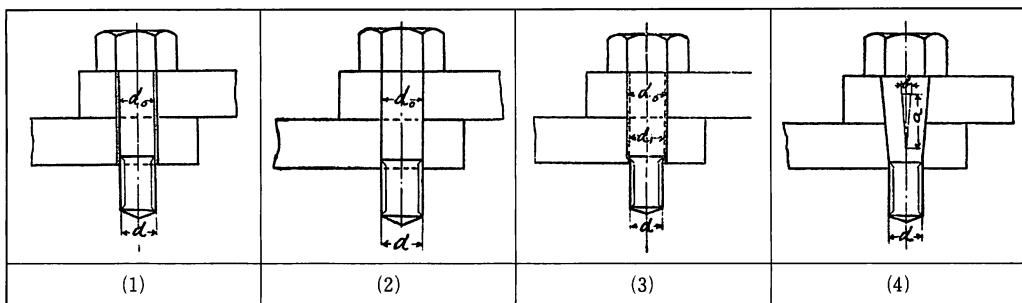
鉄道省一家的な上意下達方式の下においては“欠陥車”的存在は制度的に排除されており、現に有つた欠陥の尻拭いは現場の正常な業務の一環として日々、行われていた。

2. ミクロ的視点から観た戦前・戦時期日本における機関車技術の自画像

かような国情、お国柄の違いは機関車技術の細部に異なつた刻印を押さずにはいなかつた。しかも、その制約からの脱却策の成否並びに方向性の如何によつては機関車のプロポーション全体に係わるような大きな変化の流れが導出されて来ることになる。

以下に微細構造進化の典型として引くのは蒸気機関車に用いられた一機械要素たるボルトの仕様（遺伝子情報）とそれらの部品としての遣い分け（棲み分け）に関する具体的事例である。ミクロ的対

図1 鉄道省における機関車用ボルトの種類



林 講師「機関車構造講義」「機関車講義」(無刊記), 所収, 203-204頁, より。

この資料は鉄道省における現業員教育課程のテキストであり, この講義と藤戸講師による「機関車の操縦」, 本山邦久による「弁装置」の三点が1冊に合本されている。

象への視点が如何にマクロ的展望へと通ずるものであるのかについて注目して頂きたい。

さて, 鉄道省の蒸気機関車に使用されていたボルトは, 計器類に組込まれていた矮小なビス類を除けば, 数種類に大分類された。

図1の(1)は「粗仕上ボルト」, つまりごく普通のボルトである。ボルトの胴部にもボルト孔の内面にも精密な仕上は施されていない。後者など往々にしてパンチングによって穿孔されたままの状態である。これは精度を要求しない締結部位に用いられる物で, ボルトの軸径 d_0 1 in. につき孔径 d は $1/32$ in. ほど大きく取られる。

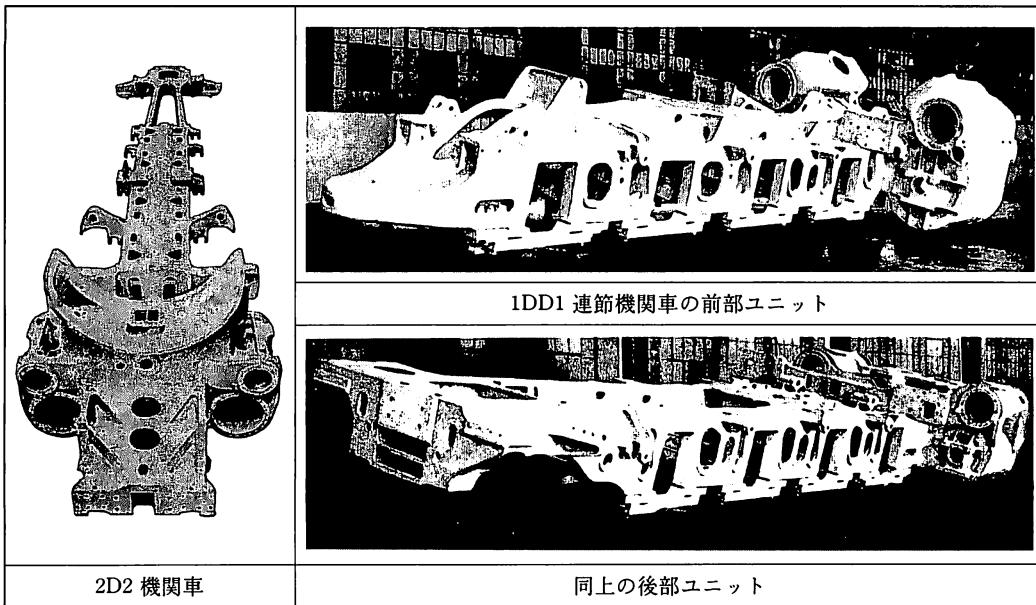
同じく(2)は「仕上ボルト」と呼ばれる物で, ボルトの胴部, 孔の内面とも, やや丁寧に仕上げられている。この「仕上ボルト」の使用法には二通り, 即ち, 胴部の直径 d_0 と孔径 d を等しく取る場合と孔の直径 d を胴部の直径 d_0 よりやや大とする場合とがある。言うまでもなく, 同径である方が締結は堅固であり, 孔径 d を大きくするのは敢えて結合部にある程度の撓みを持たせたい場合である。具体例を挙げれば, 前者はボイラの膨張受の取付など, 後者は軸箱守控の取付などに用いられた。

(3)は「打込ボルト」と呼ばれた物で, 現在の用語法からすれば“平行リーマボルト”である。そのボルト胴表面は極めて精密平滑に仕上られており, 対応するボルト孔の内面もリーマという仕上工具を用いて精密に仕上られていなければならない。普通, このボルトは胴部の直径 d_0 が孔径 d よりも若干大きくなる程度に後者を仕上げ, 両者の間に多大の摩擦力が働くように調整して用いられる。

この「打込ボルト」の締付に際しては当然ながら只漫然とボルトを差込み, ナットを回すようなワケには行かない。先ず, 胴と孔の接触面に潤滑油を塗布し, ボルトをプレスで押込むかハンマーで打込むかし, かつ, その力が加わっている間にナットを人力で締め寄せる手立てを講じ, 一番最後に本締めに到るという段取りとなる。使用部位は罐台, 滑り棒受, 制動吊ピン, 棒台枠に対する氣筒の取付, 主連棒のストラップ取付などである。

(4)も同じく「打込ボルト」の一種であるが, 図では大いに誇張されているものの, 胴部に $1/192$ という実際にはごく僅かなテーパが付与されている。このボルトは(3)と区別するため「両勾配打込ボルト」と称された。現代の呼称では“テーパ付リーマボルト”である。孔の側はストレートにリーマ仕上される。このボルトの工作は非常に面倒であるが, 他の型式とは異なり, 軸力により伸

図2 アメリカにおける蒸気機関車の気筒部合体式鋳鋼台枠 (General Steel Casting Co.)



Locomotive Cyclopedia of American Practice 1941, p. 668, p. 670. Fig. 8.06, Fig. 8.07.

左の写真からは罐台、蒸気室、気筒、滑棒受、圧縮機受、空気溜等が台枠と完全合体成形されていることが看取される。この写真は島秀雄『最近の鉄道』岩波講座機械工学 [X別項], 1944年, 20頁にも第32図として載録されているが極めて不鮮明である。

び（瘦せ）ても孔との摩擦力は大して低下しない。

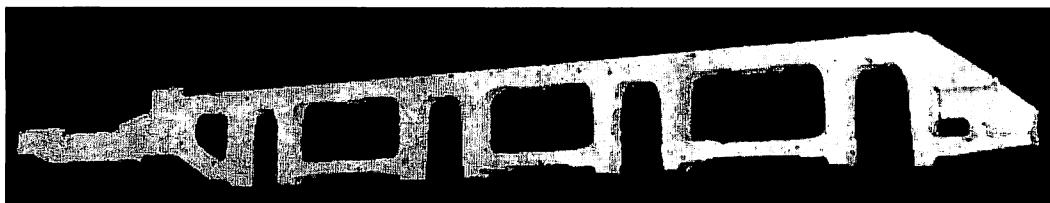
実は「両勾配打込ボルト」なる機械要素はドイツにおいて板台枠機関車における気筒取付ボルトとして開発され、鉄道省の機関車に早速取り入れられた物であった。その結果、1913年から'32年にかけて製造された鉄道省国産蒸気機関車に用いられていた板台枠 ($t=25\text{ mm}$ 程度)への気筒取付は絶てこの「両勾配打込ボルト」に帰一することとなった。これは遺伝情報に生じた変異とその拡散に係わる好例である。

なお、戦前期日本における機械化部隊の序列としては海軍に先ず指を屈し、続いて国有鉄道、更に陸軍というのが通り相場であろう。その代表的機械化部隊、鉄道省におけるテーパ付リーマボルトの使用開始がこの時点・用途にあったという事蹟は本邦工業界におけるその導入時期を探るに当って記憶されるに足る状況と言って良い。

しかし、ドイツにおいてもその追随者たりしわが国有鉄道においても板台枠は程なく横剛性と検修の便に優る棒台枠（と言っても実態は $t=90\text{ mm}$ 程度の圧延鋼板を切り抜いたもの）に取って代られたから、この「両勾配打込ボルト」もこの交替劇と共に主役の座から降ろされたと見て間違ひ無かろう。板台枠のように厚味のある物にかようなテーパー付の、しかも長いリーマボルトを用いれば食い込みが如何にも強固に過ぎ、また、棒台枠であれば通常の平行リーマボルトを以って充分な締結力が確保され得るからである。それ故、ボルトに関して言えば、筆者が偶々参照し得たこの『機関車講義』なる資料は特殊なボルトの使用が集中したある特定の時代相を伝える示準化石の如き文献であったということになる。

イギリスでは板台枠が一貫して主流を占めたし、気筒ないしピストン当たりに作用する総蒸気圧は

図3 鉄道省蒸気機関車の“主台枠”



機関車工学会『問答式機関車大典』改訂増補版、交友社、1938年、488頁、より。

恐らく D51 のもの。鋳鋼製か否かは不明だが、わざわざ写真に撮ったのであるから、多分、そうなのであろう。この後(右)方に後台枠と称する $t=45\text{ mm}$ 程度の鋼板製延長部が継ぎ足される。

抑えられていたから、このような右往左往は無かった。言い換えれば、気筒取付ボルトも通常のリーマボルトで終始、問題を生じなかったようである。

ここで想起されるべきはトルクないし気筒牽引力よりも回転数を重視し、相対的に小さな気筒径・動輪径を選好したイギリス流の急客機設計思想とそのほぼ逆を選好したドイツのそれとの対照である。高出力化がある限度を超えた所で板台枠時代のドイツエンジンにおいては平行リーマボルトの締結力の限界が感得され、「両勾配打込ボルト」への仕様変更が試みられ、相前後して棒台枠へのシフトが断行された。

他方、アメリカにおいては早くから棒台枠が普及し、気筒回りでは片側気筒と罐台鑄物の片方半分とを一体鋳造し、これを機関車中心線上で左右合体させる工法が幅を利かせていたが、1920年代よりサイドメンバの鋳鋼化が始まり、更には Commonwealth One-Piece Engine Bed と称する一体鋳鋼台枠の登場を見、左右気筒を罐台、あるいは前部台枠と一緒に鋳鋼で吹いてしまう工程技術革新が展開、遂に'30年代を迎える頃には Commonwealth Cast Steel Locomotive Beds と称し、最大約 40 t にも及ぶ台枠と気筒ほか台枠回り部品との鋳鋼による完全合体成形が主流を占める勢いとなつた。従って気筒を台枠に如何なるボルトを以って結合するかなどという辛気臭い問題そのものが同時代のアメリカという国においては払拭されるに到っていたワケである。

わが国有鉄道の二気筒蒸気機関車は使用蒸気圧こそ低かったものの、大動輪径に見合う大ピストン直径を特徴としたから気筒に作用する総圧力は相当大きく、「両勾配打込ボルト」の採用やこれに続く棒台枠化を含め、ドイツ流技術への追随は合理的な選択であった。

逆に、アメリカに追随したくても鋳鋼技術は辛うじて先次大戦期、一部の機関車の主台枠（実体はサイドメンバ主要部）と世評必ずしも芳しからざる排気室一体型罐台の一部についてその製造をこなし得るに到った程度であった。それ以前にも試みられてはいたが、亀裂を生じ易いとして現場からは忌避されていたのである。

また、気筒は一貫して鋳鉄により蒸気室と一体の形で左右別々に吹かれ続け、鋳鋼はおろか鋳鉄による気筒ブロックの左右一体成形にさえ遠く及ばず仕舞いであった。それゆえ、この程度の国が棒台枠の登場以来、台枠と気筒との結合に関して平行リーマボルト頼みの情況で終始一貫したこと意外性は少しも無いと見るに若くはないのである。

おわりに

以上、誠に粗略ながら、技術の微視的（遺伝子的）在り様はその技術の巨視的構造特性と不即不離の関係をなしており、見る眼さえあれば一方の中に他方の影を認めることが出来ることを事例を

以って確認した。機会があれば……資料に恵まれさえすれば……溶接など他の接合技術を題材にしたり、既にころがり軸受に関連して試みたように、全く別の要素技術から議論を展開し、技術に対する構造的理解を深めることも可能であろう。

「それが解ってどうなる？」と問われれば、「C 53 型蒸気機関車試論」一つに当るにも、かような眼を以ってするか否かによって感興の程度に差が生じようし、そもそもかのような視点が欠落したままで技術史=技術における進化の相の理解が可能であるとは到底考えられないとお応えするしかない。

また、「技術における進化の相を理解することそのものが一体何に繋がるのか？」と問われれば、差当りその問題は筆者にして可能な限り「産業技術論の基本問題」において論じられている、と切り返すしかないのである。