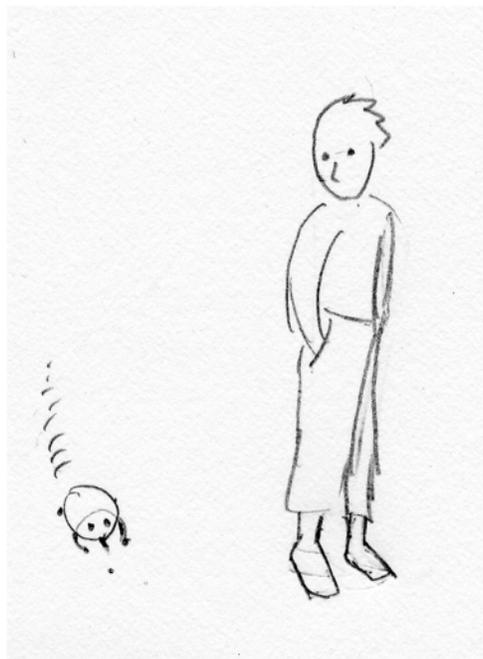


未来を築く常温核融合

ジェット・ロスウェル

Jed Rothwell



日本語版：未来を築く常温核融合

訳 Jed Rothwell、大野順子

<http://lenr-canr.org/acrobat/RothwellJmiraiokizu.pdf>

2007年5月1日 初版発行

英語版：Cold Fusion and the Future

Jed Rothwell

<http://lenr-canr.org/acrobat/RothwellJcoldfusiona.pdf>

ポルトガル語版：A Fusão a o Frio e o Futuro

訳 Sergio Bacchi

<http://lenr-canr.org/acrobat/RothwellJafusoafrio.pdf>

英語版編集者 Susan Seddon

日本語版編集者 大野順子

イラスト Aya Rothwell

この本には著作権はありません。自由にコピーして下さい。

目次

まえがき	1
1. 常温核融合の基本的なしおり	7
2. 理想的なエネルギー源	23
3. 今できる予測.....	39
4. 平凡な技術、日常的な製品	42
5. 革命的な技術.....	51
6. 相乗効果：常温核融合と他の発見が一緒になる	55
7. 変化の傾向	59
8. 巨大規模の海水淡水化施設	76
9. 地球温暖化	80
10. ニワトリ・ロボットなど賢明な機器	86
11. 破壊力はないが大混乱を引き起こす軍事用の機器	97
12. テロと大量破壊兵器	104
13. 石油産業には将来性がない.....	109
14. 電気事業には将来性がない.....	113
15. 常温核融合を家庭に	124
16. 人口、公害、土地と農業の問題.....	130
17. 自動車の未来.....	145
18. 未来の飛行機、宇宙船、個人用の飛行機	156
19. 状況を悪化させる可能性	167
20. 失業の恐れ	173
21. 遠い未来の暮らし.....	177
付録 A:用語集	184
付録 B: 常温核融合で可能的になる応用	192
付録 C:温度の比較	194
文献.....	195

まえがき

常温核融合ですばらしいことをやり遂げることができる。それを分かってもらおうと思ってこの本を書いた。本書は常温核融合研究の歴史書ではないし、調査レポートでもない。常温核融合が存在している証拠を述べるために本書を書いたのではない。存在すら疑う読者は先に学術専門誌と学会の論文を読んで判断していただきたいと思う。私たちのウェブサイト¹には3,900項目の文献目録と2,000本の論文が載っている。

本書は次の点の実験によって証明されたことを前提としている。常温核融合は存在していること。実験は数百の大学や国立研究所などで再現されたこと。実用的な応用に十分な高い温度と出力密度に達していること。もし製品開発まで進んだら、常温核融合は公害をほとんどなくし、石油に費やす金を節約できる。その額は一日に数十億ドルである。貧困にあえぐ20億人にとって天の恵みになる。富裕な国にとっては未来への希望を回復させる。

あいにく、この研究は米国では抑圧されてきた。論文は出版できない、研究費が出ない状況だ。2004年に米国の政府のエネルギー省はこの研究分野を15年ぶりに調査した。エネルギー省が公式に発表した報告書はでたらめだったが、各調査委員の報告はもっとまともな内容だったから、希望の光とって良いだろう。² それにしても、何年も続いて戦わなければ、ささやかな研究費も手に入らないのが現状だ。ついては、この本の目的は読者を激励して、納得させ、この政治闘争の味方につけることだ。

大体の常温核融合の研究者は利益より科学の面に興味がある。この現象はどんな新しい自然のなぞを現しているのか、理論ではどう説明できるのかを知りたい。一方、一般の人々は、常温核融合が自分に何をもたらしてくれるのかを知りたい。本当にエネルギー危機を解決できるのか。それとも、従来の原子力のように、期待に沿わなくてがっかりさせるのか。この考え方は私利的だとは思わない。人々はエネルギー問題のことを心配し、人々にとって何が重要かまず考えるべきだ。エネルギー危機は年々悪くなる。とうとう本格的な地球温暖化が始まっていると思われる。2004年の日本は何度も季節外れの台風に襲われたし、瀬戸内海の海面は劇的に高くなっている。国際危機にはたびたびエネルギー、特に石油が絡んでいる。イラク戦争は「石油のための戦争」という批判は過言かもしれないけれど、確かに石油は原因の一つである。中近東に石油がなかったら、米国はその地域の紛争に巻き込まれなかっただろう。見出しニュースの背後にはエネルギー問題がよく登場する。空気汚染はほとんどエネルギー生産によるものだ。第三世界の最も一般的な予防できる病気、苦痛と死亡の原因はエネルギー不足によって起きている。

なおこの本では研究の現状を説明するより、遠い未来の夢に目を向けて、どうなるか展望したい。この本を書くのは楽しかったが、読者も楽しんで読んでいただけたら幸いだ。これは決して技術的な分析とかビジネスチャンスやら研究開発の短期見通しでは

¹ <http://lenr-canr.org/>

² LENR-CANR.org, Special Collection, 2004 DoE Review of Cold Fusion, <http://lenr-canr.org/Collections/DoeReview.htm>

ない。むしろ、アーサー・C・クラークの名作「未来のプロフィール」³ に倣った空想科学小説のようなものとして考えていただきたい。賢明な読者は気づかれると思うが、私の多くのアイデアは「未来のプロフィール」から勝手に拝借させていただいた。たとえば、大規模の海水淡水化設備、海水からの資源の採掘、外洋航路ホバークラフト、ロボットが運転する車などである。

ここで予想する技術には、突飛なおとぎ話のようなものも、そしてこっけいなものもたくさんあるが、全てすでに発表されている常温核融合の実験結果と炭素繊維、薄膜ダイヤモンド、コンピューターの並列処理など、有望な従来の技術に基づいている。突飛な予想でも一応は物理的に可能である。一つ、空想の例として、巨大な炭素繊維のドームでラスベガス市を覆って、町全体に冷房をかけることを考えてみよう。これはいつかできるようになると思う。できると言っても、実用的かどうか分からないし、望ましいかどうか分からない。冷房の装置は高すぎるから、この企画は進まないかもしれない。ラスベガスの市民たちは自分の町全体に冷房をかけたくないかもしれない。ともかく、これは常温核融合でやろうと思えばできるが、他のエネルギー源では全く無理だ。

実験結果は好成果もあれば、まだ疑問に思うものもある。高温度のグロー放電（プラズマ）の実験はまだ、大森、水野、チリロを含む5つの研究所でしか再現されていない。この研究に間違いがあるとは思わない。水野は数年間にこの実験を数百回繰り返したし、最良の実験装置を利用した。しかし、実験がもう少し広く再現されるまで疑問が残るので、この実験に基づく予測は仮説だけだ。一方、50°C から 150°C まで、比較的低い温度の発熱は数百人の研究者が再現したから、間違いなく存在している。これを疑うなら、実験に基づく科学そのものを拒否している。もし、常温核融合がうまく開発できたら暖房や蒸気タービンのようなあまり高くない温度の応用はきっとできる。

常温核融合は数え切れないほど製品の作り方を変える。暖房から工場の窯、街路照明、飛行機までデザインが抜本的に変わる。しかし、この本では少数の機械を取り上げてみた—主に自動車と発電機とロボットについてである。常温核融合だけで十分議論の的になるのに、さらに、輪をかけて信じられないような技術についてこの本で述べたい。例として、今の高速道路を皆廃止して、地下道路として作り直すことを提案する。読者にとって、これは水泳プールの温水器の論考より面白いと思うから、この企画にかかる法外な金額を無視していることを許してくれるだろう。今日の技術ではとんでもない金額がかかるだろう。今の地上高速道路の百倍もするかもしれない。私が想定しているのは、数十年、もしかしたら数百年したら、大規模な企画を考えるようになり、そして、段階的に費用はだんだん低くなって、社会も裕福になるから、やがて実行できるようになるという事だ。今、日本橋の高速を地下に通らせて、昔の景観を取り戻す計画が出ているが、すでにボストン市では由緒ある歴史地区では高速を地下に通す工事が完了した。いずれ技術が向上し、大きい企画を手がけることができるようになることを期待している。

非常識なとっぴな企画は考えるのが楽しいからこの本に入れたが、私はとりわけ大きくて手に負えない問題を解決する企画に興味がある。

³ Clarke, A.C., *Profiles of the Future*. 1963: Harper & Row. 日本語版、「未来のプロフィール」、1980年、角川書店、訳者、福島正実、川村哲郎

最近ニューヨーク・タイムズ紙が「エネルギー自給は達成できない目的である」と宣言した。なぜできないかという「主にアメリカは世界の石油生産の四分の一を使用しているのに、国内の石油埋蔵は世界の3パーセント以下である。」⁴ 言い換えればタイムズ紙は石油に取って代わるほど豊かな代替エネルギー源は永遠に発見できないと思っている。「達成できない」と言い切っているのもあって、「短期間ではできない」とか、「よほど活発な研究と開発がなければ、20年以内にできない」とか言っているのではないのだ。常温核融合はこの「達成できない目標」を直ちに達してくれる。十倍のエネルギーでも、千倍のエネルギーでもたやすくもたらす。実際的な制限は一つだけあって、廃熱をあまりたくさん出したら環境に悪いということだ。他の技術と組み合わせ、賢明に使ったら、地球温暖化の対策、貧困層に衛生と淡水の供給、公害、外来種、近づき難い荒野に逃亡する悪人やテロリストを探すことなど、対処する能力が及ばない悪夢のような問題をたくさん解決できる。これらの問題には共通点がなさそうで、まして新しいエネルギー源とは関係がないようにみえるが、常温核融合をうまく利用すれば対処できることをここで示したいと思う。

この本の内容は具体的設計図から程遠い予測である。もし未来にいろいろな問題を常温核融合の機械で解決できたら、その機械はここで描いたものとまるで違うものになるだろう。描くどころか私は未来の機械を具体的に想像することすらできない。ここではただ理論上なにができるか提案して、問題の解決は可能であることを示唆したい。

私たちの経験では常温核融合の波及効果を把握できないと思う。私たちはこの現象に接したことがなくて、感触がつかめない。応用も少数のものしか想像できない。未来においては、製品の企画者は生まれながらに常温核融合を常識だと感じて、その機能に慣れきっているから、私たちなら考えもおよばないやり方で本能的にうまく常温核融合を利用するだろう。1970年にいくら先見の明のあるコンピューターの専門家でも1990年に台所のミキサー、ホテルの客室の扉、カメラ、「あいまい論理制御」の炊飯器、⁵ 手持ちのラジオ電話など、数千種類の機械が爪の大きさのコンピューターを備えているとは夢にも思わなかっただろう。当時のコンピューターの専門家は綿密な装置とソフトウェアに精通していたが、ご飯の炊き方については全然知らなかっただろう。コンピューターを会計に役立つ計算機と研究室の手ごろな道具と見なしても、ご飯を炊く道具とは考えなかった。指の爪の大きさの「超小型演算装置」が発売されたら、炊飯器の設計者はそれをどううまく使えるかすぐ分かった。さまざまな製品開発の専門家たちは早速この小型コンピューターを思いがけないところに新しい方法で使った。今から見ると当たり前のことだ。ホテルの管理人と宿泊客は皆、コンピューター制御の扉と鍵の利点分かる。こういう漸進的な改良が一つか二つだけ現れただけだったら、未来を想像することは難しくないが、さまざまな機械が一度にたくさん改良されたら、その総合的な影響は想像しにくい。常温核融合のエネルギー源は補聴器の電池から飛行機のエンジンまであらゆる大きさの物が手に入るようになって、そして目新しい様々な応用が可能とな

⁴ ニューヨーク・タイムズ紙、社説、2004年9月13日、“CAMPAIGN 2004: THE BIG ISSUES Looking for Energy in the Campaign”

⁵ 例として象印の *Neuro Fuzzy* ®, Model No. NSBC-E10 がある。

ると、その累積的効果はコンピューター革命よりもはるかに大きく日常生活と社会を根本的に変えることになる。

読者は、この研究には反対が多いし、研究者たちの多くが落胆し引退した教授たちだと言うのに、ここですばらしい未来の話をして無意味だと感じるかもしれない。実験は数ワットの発熱を超えたことはめったにない。常温核融合の動力で走る車ははるか遠い夢だ。しかし、私は希望とそして説得力のある明るい未来像がなければこの長い、つらい、不公平な戦いに耐えきれない。

学問の分野の中での争いに触れることは避けたいと思うが、この分野では学問の自由が妨げられ、政治的争いの軋轢にはまり込んでいることが分からなければ、この話はまるで非常識だと思われるだろう。率直に言うと、この研究は実験結果に見向きもしない人々によって却下され鎮圧されている。著名な大学教授や研究員は自分が何を研究するかを自由に選択できるはずなのに、常温核融合の肯定的な実験結果を発表しようとしたら、出版も講義も禁じる命令を受け、さらに嫌がらせを受けたり、在庫品係などの単純労働にまわされたりする。

ノーベル賞受賞者ジュリアン・シュウィンガーが常温核融合の論文を米国物理学協会の学会誌に出版しようとしたら、ノーベル賞受者なら出版する自由裁量権が認められているのに、断られた。シュウィンガーはこれに抗議して学会を辞めて、次のように言った：

順応主義に従えという圧力はすごくある。私も圧力を経験している。匿名の審査委員会の悪意に満ちた批評を理由として、私が提出した論文を編集者に拒絶された。検閲が公明正大な批評に取って代わると科学の死となる。⁶

シュウィンガーが亡くなって数年後、私は学会の上部の人にこの事件について尋ねた。「シュウィンガーは気が狂ったに違いないから、彼の威厳を守ろうとして学会は論文を発表させなかった」と説明された。

注目すべきは科学者の大部分は中立の立場だということだ。興味を示さない人もいるけれど、主な科学者は偏見がなく好意的に受け入れている。これまでに数十万人が常温核融合の論文をホームページからダウンロードした。論文は難しく、専門知識がなければ分からないから、読者の大部分は科学者だと推定できる。問題は、研究者は新しい発表を一々検討する時間がないから、ネイチャー誌、サイエンティフィック・アメリカン誌や新聞などの評価をそのまま受け入れることだ。あいにく、常温核融合に反対している派閥は少人数なのにマスメディアに対して大きな影響力があって、偏見に満ちた報告を出版して、一般の人にも科学者にも偏見を植えつけた。派閥の中心はネイチャー誌の前編集者ジョン・マドックス、サイエンティフィック・アメリカン誌の前と現在の編集者二人、⁷ 1989年の米国エネルギー省の常温核融合評価委員会の会長ジョン・ハイ

⁶ Schwinger, J., *Cold fusion: Does it have a future?* Evol. Trends Phys. Sci., Proc. Yoshio Nishina Centen. Symp., Tokyo 1990, 1991. 57: p. 171. <http://lenr-canr.org/acrobat/SchwingerJcoldfusiona.pdf>

⁷ Appeal to Readers, LENR-CANR.org, <http://lenr-canr.org/AppealandSciAm.pdf>

ゼンガである。⁸ 他の反対派にはエネルギー省の指導部、特にプラズマ核融合の研究者がいる。米国物理学協会のロバート・パークは特に了見の狭い、罵倒に満ちた攻撃をする。彼は1991年にワシントン・ポストで常温核融合の結果は「愚行か虚偽」だと非難して、その発言を2002年に繰り返した。^{9,10} 常温核融合の主要研究者はパークに論文のコピーを送ると申し出したが、断られた。1999年に私は米国物理学会でパークに会った際、論文のコピーを渡そうとしたが、彼は見向きもせず、手に取ろうともしなかった。それどころか床に落として部屋を出て行った。

常温核融合はこの猛烈な反対と激しい技術的な困難に打ち勝てるかどうか予測できないが、打ち勝つことができ、やがて商業化されるという希望を持ってこの本を書いた。断っておくが、それは希望であって予想ではない。実験は正しくて、効果そのものは存在していることは疑う余地がないけれども、反対を乗り越えられるかどうかは不明である。これは二つの要因による：

まず、マックス・プランクが言ったように「科学の進展は葬式ごとに進む。」彼は次のように説明した。「新しい科学の真実の勝利は、反対派を目から鱗が落ちるように納得させるわけではなくて、むしろ反対派がだんだん死んでいき、その新しい真実に慣れた新しい世代が成長してくることで達成される。」¹¹ 権力のある支配者層の科学者がたくさんいて、あまり理性的ではない熱情で反対しているので、自分が間違っていると白状できないから、研究は彼らが死ぬまで待たなければならないだろう。残念ながら常温核融合の研究者は引退した科学者が多くて、反対派よりも年上で早く死んで行くのが現状だ。

つぎに、一般の人々が立ち上がらないと解決への進歩はない。サミュエル・フローマンは次のように書いている：

ヒュー・E.C.・ビーヴァー卿は1955年に第一回空気汚染国際会議の講演で、英国で七百年続いている空気汚染の対策について述べた。苦情につぐ苦情、委員会の会合につぐ会合、報告につぐ報告、どれも効果がなかった。数世紀が経つにつれて、状況はさらに悪化したただけだ。やがて1952年に恐ろしい4,000人の死者を伴ったロンドン・スモッグ事件が起こり、ヒュー卿が議長を務める新しい調査委員会の出番となった。調査委員会の報告は好評を博して、それによって有効な対策をとったとビーヴァーが言った。その報告書はとくに優秀だったわけではなくて、一般市民はやっと、報告を受け入れる態度になったからだ。覚えておくべき教訓は、ビーヴァーいわく「問題の解決は世論、そして世論だけに、よるものだ。」¹²

一般の人に常温核融合の値打ちを説明しなければならない。

⁸ Cold Fusion Research, November 1989, A Report of the Energy Research Advisory Board to the United States Department of Energy, <http://www.ncas.org/erab/>, <http://lenr-canr.org/acrobat/ERABreportofth.pdf>

⁹ Park, R., *The Fizzle in the Fusion*, in *Washington Post*. 1991. p. B4.

¹⁰ Park, R., Frank Znidarsic 宛ての手紙, 2002年.

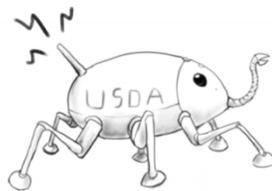
¹¹ Planck, M., *A Scientific Autobiography*, 1948: Philosophical Library, p. 33 (E. Gaynor 翻訳)

¹² Florman, S., *The Existential Pleasures of Engineering*. 1996: St. Martin's Griffin, p. 40.

たとえ財政的支援を得て研究をしてもうまく行かないかもしれないから、エネルギー危機はエネルギー節約、良い工学技術、社会改良、風力発電のような実証済みの代替エネルギーなどで対応すべきだ。ウランの原子力をやり直すべきだ。私は常温核融合の千億ドルもかかる、絵に描いた餅のような突貫研究計画は絶対提唱しない。現在この分野の未完成な知識を考えれば、そんな金額を賭けるわけに行かない。一方、危険負担を承知しながらもすでに再現され、好成果をあげている研究に妥当な研究費を出すべきである。エネルギー危機にかかわっているのは私たちの将来だ。毎日、世界中の人々は石油などの化石燃料に37億ドルを費やし、0.9クワットのエネルギーを発生する。常温核融合があれば15トンの重水で同じ量のエネルギーを発生でき、費用は約350万ドルしかかからない。毎日37億ドルを社会のために使ったらどんなに良いか想像していただきたい。このお金を石炭と石油ではなくて、住宅、教育、食料、基礎構造などに使ったらいかに社会的な利益出るか想像してほしい。毎週約42,000人の子供は飲料水を媒介とした病気で死ぬ。¹³ 親は十分な燃料を買う余地があれば、飲み水を沸かし、食べ物をほどよく加熱調理して、冬に部屋を温かくしてこの病気を防げる。

研究しても良い結果が出ないかもしれないし、反対派に押しつぶされるかもしれない。それでも常温核融合を支援する。不利を承知で私は一生懸命に挑むつもりだ。

常温核融合の研究者たちすら、自分たちの仕事はどんなにすごい可能性があるか分かっていない。常温核融合は現在のエネルギー源をさらに改良した代替の「クリーンエネルギー」だけではない。「代替」と呼ぶのはインターネットに接続したペンティアム系の最新のコンピューターのことを「そろばんと鉛筆の代替」と呼ぶようなものだ。常温核融合は想像を絶するほど性質的により良いものだ。



本書の多くの主題は著者が前に「インフィニット・エネルギー」の雑誌に発表したものに加筆したものである。編集者であった故ユージン・マローブに謝意を捧げる。

なおこの本の英語版はスーザン・セドンが編集してくれ、日本語版は大野順子に翻訳と編集を手伝ってもらった。さらに北海道大学の水野博士に監修の労を取っていただいた。この三人に感謝いたします。

ジェド・ロスウェル

2007年4月

¹³ Pruss, A., et al., *Estimating the Burden of Disease from Water, Sanitation, and hygiene at a Global Level*. Environmental Health Perspectives, 2002. **110**(5).

1. 常温核融合の基本的なしおり

大学の図書館やインターネット上の LENR-CANR の図書室に常温核融合の理論や実験的の文献は何百本もある。この本は役に立つ可能性をもつ技術がテーマであるから、この章では個々の実験を説明するより、効果はどんなものか、研究者は実験を行うときはどんなことをするか、よくある質問とその回答をまとめた Q&A 集である。もっと詳しい総合的解析としてはストームズの論文や¹⁴水野¹⁵と高橋¹⁶の本をすすめる。

常温核融合反応は誰が発見した？

常温核融合はマーチン・フライシュマンとスタンレー・ポンズが発見して、1989年3月に発表した。その以前にほかの研究者はごく瞬間的な証拠は認めた。1920年代にパンスとピーターズは水素吸蔵合金は室温で核反応を起こしヘリウムを発生していると報告したが、後で撤回した。¹⁷ キムの説によると1934年にデイは常温核融合の証拠の兆しを観察したかもしれない。¹⁸ 1981年ごろフライシュマンとポンズが研究を始めたころ、水野は重水素化パラジウムから妙な荷電粒子を観察したが、しばらくこの謎に頭をひねってから、機器誤差としてはねつけた。¹⁹ この早期の研究者たちと違ってフライシュマンとポンズは明らかな兆候を何回も認めたとし、長年研究を続けたから、わりと信頼性のたかい、再現性のいい結果を得た。

常温核融合とは何だろうか？

常温核融合とは特定の条件において金属水素化物（スポンジのように水素を吸い取る金属）の中で起こる反応である。過剰熱、ヘリウム、荷電粒子が発生されるし、たまにとっても低い率で中性子も出る。

ある実験では試料の金属が核変換された。（原子核が別の原子核に変化すること。たとえばパラジウムが鉄やクロムに変わる。）この反応はパラジウム、チタン、ニッケル、超伝導セラミックなどで観察されたことがある。

過剰熱の意味

多くの化学反応も原子核反応も発熱現象である。たとえば、マッチを擦ると、摩擦によって熱くなる。燃え出して、燃料が使い尽くされるまで燃え続く。摩擦で加えたエネルギーより、貯蔵された化学エネルギーをたくさん放出する。常温核融合の重水ガスのセルも同じ特徴がある。いったん反応が始まると、入力エネルギーは必要としない。そのまま、入力なしで出力だけの発熱反応がつづく。液体セルやイオンビーム蒸着などで

¹⁴ Storms, E., *A Student's Guide to Cold Fusion*. 2003, LENR-CANR.org, <http://lenr-canr.org/acrobat/StormsEastudentsg.pdf>

¹⁵ 水野 忠彦、「常温核融合—研究者たちの苦闘と成果」（工学社、2005年）

¹⁶ 高橋 亮人、「常温核融合2006」（工学社、2006年）

¹⁷ Mallove, E., *Fire From Ice*. 1991, NY: John Wiley, p. 104

¹⁸ Kim, Y.E., *Possible Evidence of Cold D(D,p)T Fusion from Dee's 1934 Experiment*. Trans. Fusion Technol., 1994, 26(4T): p. 519. ICCF-4 version: <http://lenr-canr.org/acrobat/KimYEpossibleeva.pdf>

¹⁹ Mizuno, T., *Nuclear Transmutation: The Reality of Cold Fusion*. 1998, Concord, NH: Infinite Energy Press, p. 35

は、反応を保持するために始終外から電気の入力が必要がある。この入力電気は熱として分散するし、同時に常温核融合反応も過剰熱を放散する。電源からセルに2ワットの入力を加えて3ワットの熱が出れば、1ワットは過剰熱である。

実用的な観点から見ると発熱は常温核融合の一番重要な側面だろう。フライシュマンを始め、発熱は化学反応ではなくて原子核反応である一番いい証拠だと思う研究者が多い。過剰熱の特徴を理解しない人が多い。次の課（12ページ）に詳しく取り上げる。

常温核融合は化学反応か原子核反応か、未知な反応か？

この課題も次の課に詳しく取り扱うが、簡単にいうと、化学反応である可能性は全くない。燃料を消費しないし灰を残さない。反応のセルに入っているのはほとんど水だけだ。水は不活性物質だから燃えないし、ほかの発熱変化はない。セルに入っている金属水素化物は発熱反応を起こすが熱量は非常に少ない。

ある実験ではエネルギー量は長い間に実験の誤差が積み重なった失敗であるかもしれない。たとえば3.246ワットの入力の場合、研究者は間違っって3.297ワットの出力があると思ひ込む。51ミリワットのわずかな過剰熱に見えるが本当はゼロだ。これはどんな測定器でも誤差になる恐れがある。しかし多数の実験では誤差をはるかに上回る過剰熱を測っている。なかには500から10,000ミリワット（0.5～10ワット）の結果もあって、信頼性の高い測定ができていていると思われる。

常温核融合は目に見える科学反応の灰は残さないが、いわゆる「原子核反応の灰」を残す。すなわちヘリウム、三重水素、核変換、そしてまれに中性子を発生する。たまには融解か蒸発するような物理変化も起こす。（詳しくは2章第6節）

常温核融合のセルは原子反応をおこしているなら、なぜ非常に熱くならないか？

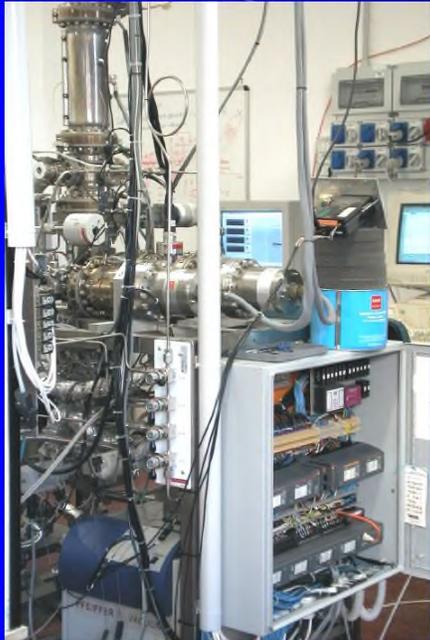
核反応は膨大なエネルギーを放つから原子炉の中か太陽の光球のようにものすごく熱いものだと思う人もいる。しかし必ずしもそうではない。低濃度のラジウムとかウランの核分裂物質は場合によって触ったら熱くなくかわずかだけ暖かいこともある。一個ずつの原子反応は何千万電子ボルトを放つのに、化学反応に参加する原子はせいぜい3、4電子ボルトを放つ。

化学反応は限られた期間ではあるが核反応より多く発熱することもある。燃えるマッチは低濃度のラジウムの試料より熱い。ラジウムのなかで反応に加わる原子はきわめて少ないのに、燃える試料は一度に何兆もの原子が反応している。ラジウムはそのまま何万年経ってもまだ暖かいがマッチは30秒しないうちに燃料がきれてすぐ冷める。

常温核融合は容易で安価な卓上実験か？

世界で有数の電気化学の研究者リーチャード・オリアニは50年にわたる研究の中で常温核融合の実験が一番難しかったと言う。実験の費用は5万ドルから2000万ドルかかる。実験に使う装置は比較的簡単なもの、たとえば、フライシュマンとポンズの銀メッキが下まで届かない特製のデュワー試験管から、三菱重工業先進技術研究センターと

イタリア国立原子力研究所（ENEA）（図 1.1）の特注設計の高性能の質量分析計まである。実験は大体 6 ヶ月から 2 年間はかかる。フライシュマンとポンズが発表したころにフライシュマンは「比較的簡単な」方法だと指摘したが、十億ドルのトカマク方式のプラズマ核融合試験装置と比較をするならば、という意味であった。



主要特長

- ✓ 高分解能質量分析計
(Balzers QMA 410)
- ✓ NEGポンプ二つ利用される：
 - SAES Capacitor B 1300 (ST185 TiV 合金 600 g) 高熱作動 (300 - 400°C)
 - SAES GP200 MK4 W (ST707 合金 170 g) 室温作動
- ✓ 動的ポンプ作用：
 - 主ポンプ: Pfeiffer TMU 261 ターボ分子ドラグ・ポンプ
 - バッキングポンプ: Pfeiffer TMU 071 + MD4
- ✓ 低温吸着ポンプは利用されていない
- ✓ 自動操作 (Field-point + LabView)
- ✓ 圧力安定の記録回路

図 1.1. 高価格の実験装置の部分。オンライン分析ヘリウム検出のための高解像度の質量分析計イタリア国立原子力研究所、C. R. ENEA Frascati. (<http://www.frascati.enea.it/nhe/>)

常温核融合は再現しにくいし、やっと再現できてもたいてい不安定だ。生木で火をたくみたいな反応で、なかなかつかなくて、ついてもまた弱くなって消えたりする。まだ理論上不明な画期的な発見だから無理もない。1948 年から 1952 年までトランジスタ（半導体）の根本的研究開発がなされたが、わずかの原型しか存在しなかった。希少価値があったにもかかわらず、再現性が悪かったし、もろくて、あてにならなくて実用的ではなかった。ある科学者は思い出してこう言った：「ごく初期のころは誰かがドアをパタンと閉めればトランジスタ性能は急に変わったりした。」²⁰ しかし、1950 年代の半ばまで進むと大量生産のトランジスタが何千万台も使用されていたし、どれも初期の原型のものとは比べて優れた性能を持っていた。

話がうますぎるのではないかと疑う

常温核融合は話がうますぎると否定的な態度をとる人がいる。常温核融合の研究者はきっと希望的観測に陥っていると考える人はマイケル・ファラデーの金言を教訓にすべ

²⁰ Riordan, M. and L. Hoddeson, *Crystal Fire, the Birth of the Information Age*. 1997: W. W. Norton & Company.

きである。「自然の法則に従っていけば、すばらしすぎるものはない。」人類は古代の人々なら奇跡に思うぐらい素晴らしい発明を数え切れないほどしてきた。

近代物理学者は疑問を抱く理由は彼らが一向に現象を説明できないからだ。しかし、高温超伝導は理論も分からないくせにその存在を認めている。1939年以前、誰も太陽の核融合がどうして起こるか分からなかったし、1952年以前は生きている細胞の増殖さえ分からなかったのに、日が照ることと細胞が増殖をすることを否定する人などいなかった。

多くの人は「話がうますぎる」を心ひそかに疑う理由として、「元手なしに儲かることはない。」と知っているからだ。何をしても困難があって、自然の恵みは苦勞せねば手に入らない。資源は今もいつまで経っても不足しているから、ほかの人と競争して分け前を奪い取るしかない。そう思う人間は石器時代の考え方から抜け出していない。世の中に不足している資源は知識と科学だけだ。知識は力であって、知識があれば想像もできないぐらい地球の莫大なエネルギーと物質資源をはじめ、やがて太陽系全体の資源の扉を開けることができる。遠い未来に日常的に惑星間の旅が自由にできる日が来ると思うが、その時、誰でも欲しかったら一千ヘクタールの生活空間が与えられるかもしれない。たとえば火星に豪華な私有地、それか地球の大都市のなかで巨大建造ビルの庭付き五ヘクタールのマンションを持つ。いつかロボットは改善され、音声の簡単命令が分かるようになって、料理や掃除の家事労働ぐらいはできるだろう。ロボットの価格は今のコンピューターのようにだんだん安くなるだろうから、欲しかったら誰でも数十のロボットの召使にまめまめしく世話をしてもらおう。とびぬけて豊富な天然資源はエネルギーで、収穫の方法を見つけるだけが問題である。太陽は 2.8×10^{26} ワットのエネルギーを放つ。一日で地球を全部溶かして蒸発するのに十分だ。皆に配ったら、一人一人の分け前は、人類全体の消費エネルギーの四千倍になる。²¹

実用的な機械も実験装置と同じように高いか？

高くない。実験の費用は主に熱、荷電粒子、核変換、中性子などの計測器に使う。セルと電極は超高精度な作り方も超高純度の材料も必要としない。図 1.2 で見られるように、電極は手製で製作公差は 1 ミリメートル程度である。この電極は役に立つ程度のエネルギーを放って触れないぐらい熱くなったセルもある。セルはある程度、高性能のアルカリ電池かニッケルカドミウム電池に似ているから、将来の大量生産するセルは電池とほぼ同じ値段になるだろう。

常温核融合の成功には何が一番肝心か

常温核融合の成功はこの本をお読みになっている読者しだいである。一般の市民が研究を積極的に支持しなければ研究は消え去るかもしれない。まえがきで述べたように賢明なる有権者が政府と科学界に圧力をかけないと、この研究は米国では鎮圧されるだろうし、ヨーロッパと日本では研究を妨げられる。

²¹計算は次のとおり。太陽出力 2.8×10^{26} W、世界一次出力 $12 \sim 13$ TW = 1.2×10^{13} W、世界人口 6×10^9 人、太陽出力/世界一次出力 = 2.3×10^{13} 、人口で割ると 3,888 倍となる。

かりに、政治的な反対を乗り越えても、研究が本格的に始まってからは別の問題が出る。理論を構築し反応を完全に制御するまで長年かかるかもしれない。反応が確かに制御され放射線とか他の危険な副作用がないと保証できない限り、一般の人は商業的な装置を受け入れると思わない。

今の自動車や発電機などを全部取り替えるのにどのくらい金がかかるだろうか

金がかからない。どの機械でも寿命があって、いつか取り替えなければならない。廃れた時点で常温核融合のモデルにすれば良い。車は五年か十年ぐらい持つから、移行期間は約十年間だろうけれど、最後の段階では、石油の車を所有するのは不便になるから、移行期間は加速するかも知れない。（詳しくは7章第2節）常温核融合の製品の生産ラインの設立は最初は高価だろうけれど、常温核融合のモデルは化石燃料のモデルより簡単で安いはずだし、運転するのはただ同然だから、総合的にみて金がかかるところか莫大な金額を節約できる。

1. 熱は効果の主要な痕跡

常温核融合を発表してからフライシュマンは良く「熱はこの効果の主要な痕跡」と指摘した。熱は容易に検知できる。そして原子核反応の証拠として一番信頼できる。この点は放射線を発生する他の核反応とはまったく異なる。（放射線を発生しない核反応もある。詳しくは2章第1節。）放射線は普段、熱よりよほど観察しやすい。普通の核反応では常温核融合と同じような1、2ワットを放ったら、それに伴い、遮蔽されていないセルのそばに立つ人間はたちまち死ぬぐらいの強い放射線も放つ。

これはこの分野における一番重要な課題で、広く科学者の間でも誤解されている。

熱は熱であって、化学反応、原子核反応、摩擦、どこから発生しても、同じ効果を及ぼすし、同じ方法で熱量計で検出できる。熱量計はこの三つの熱源の区別はまったくつかない。

昔風の台所用の木のマッチは約0.2グラムである。（アメリカのマッチは日本のより少し大きい。）マッチを擦ると約40ワットの熱が25秒続くから、あわせて約1,000ジュールのエネルギーとなる。同じ重さのパラフィンのろうそくはもっと長く燃えて8,400ジュールを放つ。ところでマッチでもろうそくでも酸素がなければ燃えない。酸素も燃料も合わせて0.2グラムの物質を供給しなければならない場合には、一番多いエネルギー源になるものは0.02グラムの水素と0.18グラムの酸素である。燃やすと水が0.2グラムできて、3,133ジュールを放つ。空気のない閉鎖されたセルにはこれ以上のエネルギーを放つ化学燃料は存在していない。

普通の常温核融合実験に使う電極は棒型だとマッチ、円形だと硬貨とほぼ同じ大きさである。仮に0.2グラムのパラジウム電極が常温核融合によって1ワット熱が発生し始めるとしよう。50分経ってから3,000ジュールの熱量が発生し、理論上まだ化学反応の領域内（3,133ジュール）ではあるが、実際問題としてパラジウムがこれだけの化学エネルギーを発生することはとても不可能だ。2時間経っても反応が盛んに続いているら

化学エネルギーの可能性は完全に除外できる。このぐらいの重さのある電極は1、2ワットを絶え間なく発生して、数週間続いたことがある。合計 10万ジュール (メガジュール) 以上発生した。少数の電極は50から300メガジュールを発生した。

常温核融合の電極にはわずかな化学燃料がたまる。この実験の陰極は水素化物といって水素か重水素を吸い込む金属である。水素と酸素が電気分解され、水素だけが電極に吸収されて、酸素ガスが少しセルの上部の空間に残る。電気分解が終わってから、水素が徐々に出てくる。水素が上部の空間にある触媒金属に当たって燃焼して、わずかな熱を放つ。(図 1.5 参照) パラジウムはほかのどの金属よりも容易に水素を吸収して、また放出する。十九世紀にパラジウムの水素化物はタバコのライターとして使われた。しかし、0.2グラムのパラジウム電極は飽和吸収の状態でもわずか286ジュールの水素を保つ。²²

ある実験では、過剰熱は誤差限界に近いので計りにくい、他の実験では劇的に明確で時には三倍に上る(300%の過剰)。気体状態の実験ではエネルギー入力がない。熱が生じて、セルが周りのものより熱くなれば、それは常温核融合の過剰熱に決まっている。

今まで最も劇的な実例は水野の報告した実験で、100グラムのパラジウムの陰極を用いて、一ヶ月以上数ワットの過剰熱を認めて、合せて12メガジュールを発生した。一ヶ月すぎたある朝、非常に熱くなっていて、とうとう100ワット以上を出力していた。セルは触れないぐらい熱かったので、水野は危険を感じて、電源を切った。切った後も発熱が続いた。この現象は他の研究所でも観測されたことがあって「死後の熱」と呼ばれている。水野はセルを電源から取り外して水がいっぱい入っているバケツに沈ませた。次の朝にはバケツの水が全部蒸発していたので、再び満たした。また蒸発してしまい、再度バケツを水で満たした。11日間に合計37.5リットル蒸発してからやっと室温に冷めた。これだけの水を蒸発させるには85メガジュールが必要である。電源を切る以前の過剰熱まで含めると、少なくとも97メガジュールの発熱があった。これは2.8リットルのガソリンに含まれるエネルギーに等しい。実際には、これよりはるかにたくさん発熱があったに違いない。この推定値はポリ・バケツが完璧な断熱材だとしてのものだが、無論それはばかげた仮定であって、そしてバケツが夜中に空になって朝満たすまでセルが数時間空気に当たっていたことを無視している。本当のエネルギーの総計は多分数百メガジュールを超えただろう。

このセルは、他のあらゆるセルと同じであるが、ごく少量の化学燃料しかないし、探知できる化学の灰は生じなかった。セルの大きさはコーラの缶ぐらいで、中身はほとんど重水である。電極は100グラムのパラジウムの棒だ。97メガジュールを発熱できる量の木材、石炭、石油ならこのセルの何倍より大きくなければならないし、もちろん燃やしたら灰になる。

²²計算は次のとおり。0.2 g Pd = 0.002 mol Pd。金属に水素を飽和吸収すれば Pd:H 比率が 1:1 となって、0.002 mol のパラジウムと同じく 0.002 mol の水素 (0.002 g) が染み込む。燃やして水にすると 0.001 mol H₂O になる。水の生成熱は 285,800 J/mol。しかし Pd:H 比率を 1:1 まで上げるのは大変難しいから、例の昔のパラジウムのライターは多分 1:0.5 を過ぎなかったとだろう。言い換えれば 30 g のライターは 20 の木のマッチとほぼ同じぐらいのエネルギーを保った。

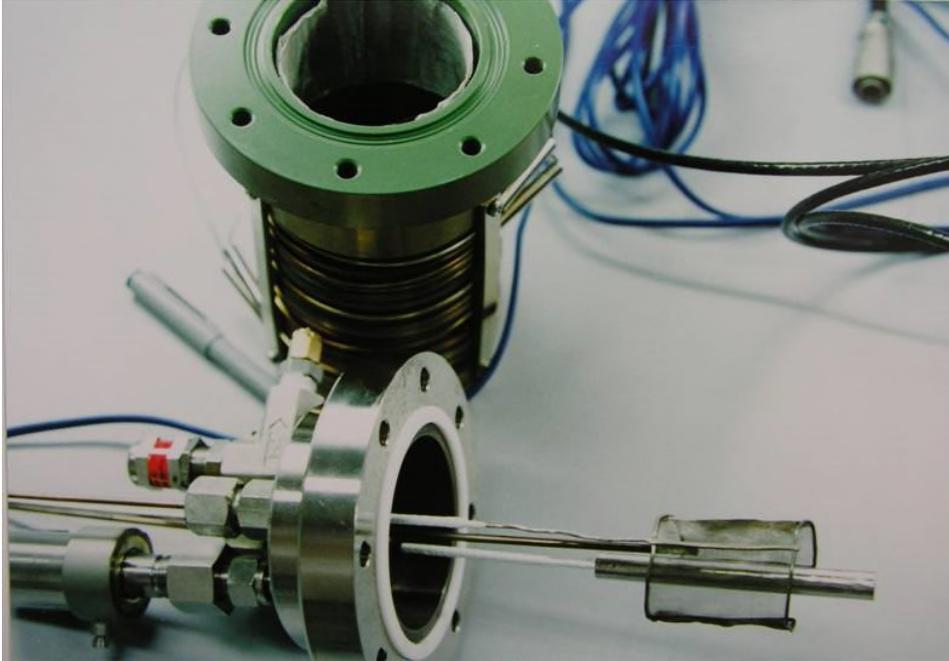


図 1.2. 水野忠彦のセル。陰極（右下）は 100 グラムの筒。「死後の熱」から 85 メガジュールのエネルギーを放った。これは 2.7 リットルの石油と同じエネルギー量で平均的なアメリカの自動車だと 27 キロメートル走行できる。

したがって、常温核融合の陰極は「永久に燃えるマッチ」のようなもので、燃え尽きない、目に見えるほどの燃料を消費しない。実験の陰極は何週間も絶えず発熱することがあるけれど、研究者は陰極やセルのほかの試料の分析に取り組もうとして、普通は一、二ヶ月で実験を終える。過剰発熱をするセルをそのままほっておいたら、何週間、何ヶ月、ついに何年も発熱することは疑う余地がない。

科学の知られている現象でこんな作用は原子核反応だけだ。放射性崩壊、核分裂、核融合のどれかだろう。化学によるエネルギーではない。原子核反応か、以前観察したことのない未知のエネルギー源である。

今のところ、多数の結果を勘案すると、常温核融合は実際に原子核融合だろう。いわゆる「原子核灰」、すなわちさまざまな量の三重水素と中性子とヘリウムを生ずる。陰極の原子を核変換によってほかの元素に変えたことがある。重水素が二つ一緒に核融合すると、24 メガ電子ボルトの一定量のエネルギーを放つ。1 グラムの重水素ガスは 345,000 メガジュールを放つ。²³ 97 メガジュールを発生した水野のセルはおそらく 0.3 ミリigramの重水素をヘリウムに変換したと思われる。あいにくこのセルはヘリウムの発生を観察できる仕組みにはなっていなかったから、それは確認できなかった。他の実験ではヘリウムがこの割合で観察されたことがある。この他の実験は水野のよりエネルギー量がとても少なかったゆえ、微量のヘリウムを発生したが、近代の測定器では微量のものでも信頼性の高い観察ができる。ヘリウムとエネルギーの比率を始めて確認した

²³ S. K. Borowski, NASA Technical Memorandum 107030 AIAA-87-1814, "Comparison of Fusion/Antiproton Propulsion Systems for Interplanetary Travel," Table 1, "Cat-DD" data, <http://gltrs.grc.nasa.gov/reports/1996/TM-107030.pdf>

研究者は米国海軍のチャイナ・レーク海軍武器研究所、メルヴィン・マイルズ等で、いくつかほかの研究所も続いてこの結果を再現した。SRIで行われた常温核融合の実験のヘリウムとエネルギーの比率は重水素のプラズマ核融合の予測する値に近い。その証拠を図 1.3 に示す。

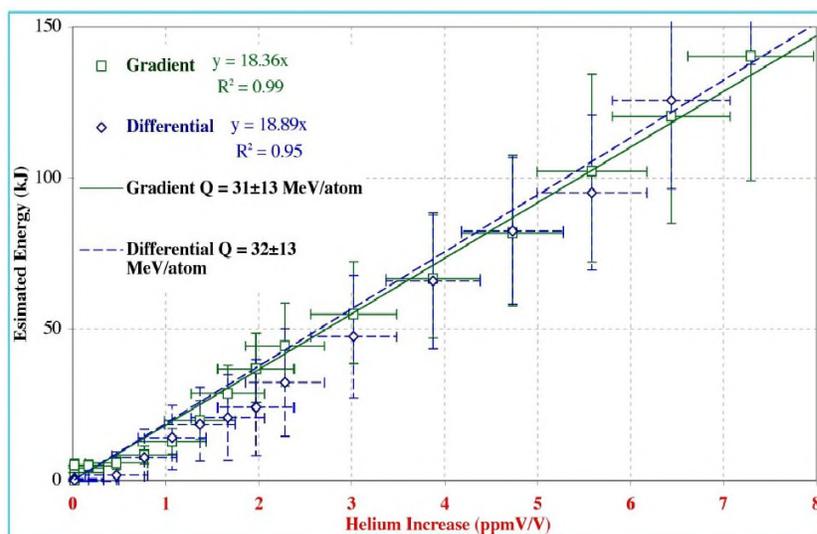


図 1.3. SRI で行った (ケース式) 実験のヘリウム測定の結果。Hagelstein, P.L., et al., *New Physical Effects in Metal Deuterides*. 2004, Massachusetts Institute of Technology: Cambridge, MA. <http://lenr-canr.org/acrobat/Hagelsteinnewphysica.pdf>

重水素がヘリウムに変換する率は非常に低いから、セルにある重水は数年、大きいセルの重水は数百年足りるので、セルは無期限と言っていいぐらいエネルギーを発生する。陰極も核変換でわずかに変わるけれど、これも変化率が低いから何年ももつ。

物理変化がセルの長期間の実験を遮ることがあるかもしれない。たまに陰極が熱くなりすぎて溶けたり蒸発したりすると、反応が急に止まる。(詳しくは2章第6節) 商業的な製品を作る前に、研究者はこれを予防する方法を見つけなければならない。

常温核融合の副生産物としての三重水素と中性子はプラズマ核融合の理論では説明できなくて、11桁少ない。思うにおそらく、これは室温の金属格子の状態は太陽の中の状態と全く違うせいだろう。シュウィンガーがいみじくも次のように述べた、「常温核融合の状況は熱核融合とは違う」。²⁴

2. 実験の概要を見る

実験の中心は熱を測る熱量計である。

いろいろな熱量計が使われてきた。一番見ていて面白いのは冷却水の流れを計って熱量を定める流量式タイプである。瞬間湯沸かし器によく似ている。冷たい水が入ってきて熱くなって出る。温度差に冷却水の量を乗じた値が熱量を示す。

²⁴ Schwinger, J., *Cold fusion: Does it have a future?* Evol. Trends Phys. Sci., Proc. Yoshio Nishina Centen. Symp., Tokyo 1990, 1991. 57: p. 171. <http://lenr-canr.org/acrobat/SchwingerJcoldfusiona.pdf>

熱量計は理論上簡単だが、実際に利用するとなかなか複雑である。流量式の熱量計の写真を図 1.4 に示す。



図 1.4. エドモンド・ストームズが組み立てた熱量計。右下に無停電電源装置の役割をする自動車用の電池がある。停電は実験を台無しにすることもある。実験台はなるべく安価で普通の材料と計器で組み立てるけれど実験は決して安いものではないし、素人の道具ではできない。E. ストームズ提供。

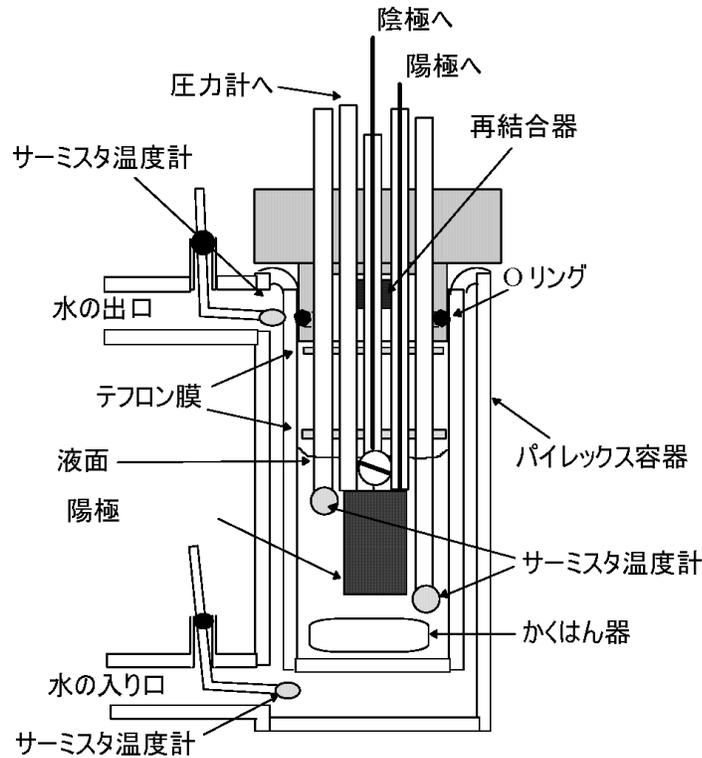


図 1.5. 上の写真 (図 1.4) の熱量計。セルとセルの周りを流れる冷却水の図解。

図 1.5 は写真の木箱に据えたセルの部分だけ図式的に表した。セルはパイレックス・ガラスの二重壁の容器。内部の容器に電解液が入っていて、その周りの外側の空間に冷却水がある。常温核融合の陰極と陽極が中の電解液に浸かって、周りにいくつかの検出器や装置がある。セルの下にある電解液を一定の温度に保つためのかはん器、電解液の熱を測る電子温度計、冷却水の温度を測る 2 本の温度計、上部の空間には触媒白金がある。(触媒白金によって酸素ガスを結合して水にしなければセルは爆発する。)

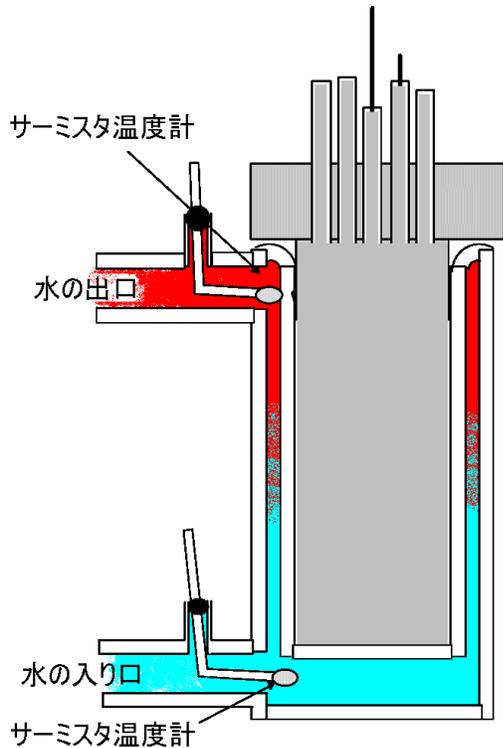


図 1.6. 冷水ジャケットだけ示している熱量計の簡略図。

図 1.6 は冷水が流れる外側の容器（冷水ジャケット）を示している略図である。冷たい水がポンプで流されセルの下から入って、温かくなって上から出ていく。下の温度計が入り口、上の温度計は出口の温度を測る。例として：

電力計は電気分解に使う電力の入力として 2.3 ワットを示している。

1 分間に 30 ミリリットルの冷水が容器を貫流する。

入口の温度計が 24.31°C を示し、出口のは 26.60°C を示す。

その差（出口温度引く入口温度）は 1.29°C である。

30 ミリリットルの水 × 1.29°C = 38.7 カロリーの熱、つまり 162.5 ジュール。

162.5 ジュールを 1 分間（60 秒）で割って、出力 2.7 ワットとなる。

2.7 ワットの出力から 2.3 ワットの入力を引けば 0.4 ワットの過剰熱が残る。

写真（図 1.4）で示したように、セル全体が木箱に入っていて、その木箱はさらに大きい木箱に入っている。大きい箱は温度自動調整装置によって ±0.1°C の温度を保つ。ロシアの民芸品マトリョーシカ人形のように何層かの入れ子式になっている。外からみると大きな箱に小さな箱があり、その中に魔法瓶が置かれ、その中に冷却水の容器があって、中心にセルが設置してある。

図に示さなかった装置はポンプ、冷却水の流量を一分間に 20 ミリグラムの誤差で測定するサイフォンと電子重量計、電力重量計や温度計のデータを収集するコンピューターである。

この装置はきちんと動く時はすばらしいものであるが、HO 形鉄道模型²⁵のようにたびたび故障する。注意して見守っていなければならないし、定期的に調整したほうが良い。だから研究者たちはより使いやすい、ゼーベック熱量計や近代的な電子装置を好む。

常温核融合を否定する人なら上記の結果を見て、どこかに間違いがあるのではないかと疑うだろう。仮に冷却水の流れは 1 分間に 30 ミリリットルではなくて、26 ミリリットルなら、入力と出力が釣り合って、過剰熱がないことになる。それとも、電力計に問題があって、入力は 2.3 ワットではなくて本当は 2.7 ワットであるかもしれない。入口の温度計は 0.19°C 低すぎるか、それとも出口の流れがうまく混ざらないから、暖かい流れの層ができて、それを測ってしまったかもしれない。これらの問題はどれも 0.4 ワットの過剰熱を誤って示してしまう。一方、同じ確率で、時にはマイナス 0.4 ワットの値を示すこともある。出力がマイナスになる吸熱反応は時々あるけれど、これほど大きく継続して起こる吸熱反応は不可能だから、研究者はマイナスの結果は誤りだと一目見て分かる。陰極が実験の始めに水素を吸収すると、短時間の吸熱反応が起こる。熱量測定器でこの反応が容易に認められる。しかし典型的な小さい陰極では -0.4 ワットより遙かに小さい -0.01 ワット程度のもので、長く続くことはない。

いかげんな実験をする人は確かにこんなへまをすることもあるし、いろいろな間違いが組み合わさって、なおさら厄介になることもある。だから実験は再現ができなければ疑問に思うのは当然である。何度も繰り返し多数の研究所において実験を行うことと、計器をじっくり調節することが重要だ。

図 1.4 のストームズの熱量計では 0.4 ワットほどの大きな誤りは考えにくい。冷却水の流れは電子重量計で 10 ミリグラムの精度で計られる。30.01 ミリリットルと 30.02 ミリリットルの違いが認められるし、たびたび電子重量計が正常かどうか調べるので、26 ミリリットルを 30 と間違えることはありえない。同じように、2.3 ワットの入力を計るのにコンピューターに備えた 1 ミリワットの精度の直流電力計を使う。複合波形を測る研究者は、製造者が正確さを保証する 16,000 ドルの専門の電力計を使う。ストームズの熱量計は 0.02 ワットを高い信頼性で測れる。なお、この過剰熱は繰り返し、さまざまな種類の熱量計で観測されている。流量式の熱量計はやや複雑だから、否定派の人が結果に疑問を感じることはもっともだが、他の種類の熱量計、たとえばゼーベック式のもの(図 1.9)には冷却水も「暖かい流れの層」も全くないから、その疑問は当てはまらない。もちろんゼーベック熱量計でも過剰熱を観測している。要するに、過剰熱が流量式の熱量計の系統誤差の可能性は完全に除外できる。

熱量計を組み立てることはこの実験の一番簡単な段階である。熟練した人なら数ヶ月でできるだろう。それからの仕事は骨が折れる。数ヶ月か数年かかることもある。陰極を選んで、用意して、実験後、電子顕微鏡や質量分析計で分析する。常温核融合を否定

²⁵ HO 形鉄道模型のことが分からない読者はおそらく 1980 年以後に生まれたと思う。

する人は、よく実験が簡単だから「高校生でもできるはずだ」という。（実はこの実験を行う高校生はいるけれど、とても優秀な生徒たちだ。オレゴン州に住んでいて、夏休みに近くの大学が開催する優等生特別クラスに参加している。）²⁶

批評家は繰り返して常温核融合のセルのことを台所用の「瓶」と呼んで、その「瓶」にパラジウムを「突っ込む」だけでたちまち実験できるという。²⁷ 2001年に「ニューズウィーク」誌の記者がこんなふうな間違っただけの伝説をいろいろ集めて短い記事にした。²⁸

常温核融合の科学者は、「プラズマ核融合」と比べてあっと言わせるほど簡単な仕組み、広口びんに水を入れて電池みたいに電極を二ついれて...

そして、常温核融合主義者たちはごく、わずかなエネルギーしか生産しないと主張するから、この不明瞭な結果を正当化しようとして、微妙な測定に頼る確実な実験もたくさんあると彼らは考える...

第一、上で述べたように、熱量計は決して「あっと言わせるほど簡単」な仕組みではない。セルは台所用の「瓶」ではなくて試験管で、特別製のものが多い。電極は生産し分析するのに数ヶ月かかることもある。物が小さいからといって簡単だとは限らない。電極は半導体と高温超電導体ほど複雑だ。

そして、常温核融合の研究者（「主義者」ではあるまい）は自分が「ごくわずかなエネルギー」を生産したと主張してはいない。測定しやすいほど大きい出力と膨大なエネルギー量を報告している。1850年代に近代の熱量計ができたが、その最初の装置でも0.4ワット程度の熱は測ることができた。手で触って分かるほどの熱を確認できた実験もある。マクブレイは300%まで上がる持続性の過剰熱を信頼水準シグマ90で確認して、「よってこの効果は小さくはなくて、つかの間のものでもない」と発言した。²⁹

3. プラズマ核融合（熱核融合）と常温核融合の実力を簡単に比べる

プラズマ核融合（最近では「常温」に対して「熱」核融合と呼ばれるが）は太陽の中で起こっている核反応である。上で述べたように熱核融合は重水素を2個融合して常温核融合と同じ比率でヘリウムと熱を生産するが、対比できるのはそこまでだ。そこだけは似ているがあとはまったく比べ物にならないくらい違う。熱核融合の反応が発熱を1ワット生じたら、それに伴って致死性の中性子を生じるから、厚い鉛か鉄の障壁がなければ観測者はたちまち死ぬ。トカマク型核融合炉は周りの物を放射線にさらし、生み出す核廃棄物の量は現在のウラン核分裂炉と同じくらいで、次世代の核分裂炉よりたくさん

²⁶ *High School Students Do Cold Fusion*, <http://lenr-canr.org/Experiments.htm#HighSchoolStudents>

²⁷ Chang, K., "U.S. Will Give Cold Fusion Second Look, After 15 Years," *New York Times*, March 25, 2004. この新聞記者はつりあいを保った公平な記述を書こうとしたのだろう、そして研究者を侮辱するつもりはなかったらしいが、思わず試験管のことを台所道具の「瓶」と軽蔑した言い方を用いた。こんな描写は絶えず使われるから気が付かないかも知れない。

²⁸ Beals, G., "Science: Pining for a Breakthrough," *Newsweek*, October 15, 2001

²⁹ McKubre, M. C. H., et al., *Development of Advanced Concepts for Nuclear Processes in Deuterated Metals*, EPRI TR-104195, Research Project 3170-01, August 1994

の危険物を撒き散らす。³⁰ 建設予定の国際熱核融合実験炉（ITER）は1991年現在では50億ドルかかると予想されていた。2005年に日本がITERの誘致をあきらめた時点では予想費用は120億ドルだった。トカマク型核融合炉の費用も誰も見当がつかないけれど、千億ドルを超えそうだ。結局、歴史上最も高い発電機になるだろう。しばらく運転すると放射性廃棄物が溜まるから、大都市から遠く離れた場所に建てたほうが良い。電気を遠くまで送電するか、熱で水素ガスを作って、ガスをパイプラインで大都市に送ることになるだろう。

熱核融合の研究は60年続いてきた。何千人もの科学者が常勤で働いて、毎年約10億ドルがかかる。あいにく実用的な装置への進歩はあまりない。資金は全額が税金でまかなわれ、企業や投資家は少しも興味を示さない。一方、常温核融合は18年続いている、数十人のボランティアの学生や研究者が本業の傍ら研究しているか、または引退した教授が研究を続けている。資金は一年に約10万ドルかかっているが主に自費である。それにも関わらず熱核融合を追い越し、実用的で商業的な装置に近づいた。熱核融合はいずれ取り残されたまま消え去ると思う。

史上最大のプラズマ核融合の反応は10.7メガワットを放った。出力として、はるかに常温核融合を超えたが、約0.6秒しか続かなかったから、合わせたエネルギー量は6メガジュール程度だ。³¹ これより大きいエネルギー量を放った常温核融合の実験は数十ある。前に述べたように数百メガジュールに達したのもある。過剰熱は小さい、せいぜい数ワットの程度なのに何週も何ヶ月も続くことがあるから、やがて常温核融合のカメが熱核融合のウサギを追い越す。エネルギー量の比較は不公平かもしれない。熱核融合の研究者は今まで大量のエネルギーを生産しようという目的でやってきたわけではないから。熱核融合の研究プログラムの主要目的は二つあって、それにも達していない。

「エネルギー分岐点」を越えることと、「自立」することである。「エネルギー分岐点」とは装置の出力が反応を支える入力と同じになる。「自立」する反応（「完全発火」とも言う）は入力をやめても装置がひとりでの核反応を続ける。エネルギー分岐点はかれこれ50年間、この研究のいわゆる聖杯（渴望の品）である。観測筋はまだ程遠い目的だと主張して、宇宙まで行こうとして常により大きい気球船を作るようなものだととえる人もいる。常温核融合はとっくの昔1991年頃に熱核融合の二つの主要目的に達した。たくさんの常温核融合のセルは電気分解の入力より多い熱出力を観測した。それに、ガス添加陰極でも「死後の熱」の陰極でも、反応が始まってから外からの入力がないのに熱が出ているから、「自立」している。

プラズマ核融合炉は常温核融合の実験設備よりとても値段が高い。技術的な理由により、プラズマ核融合発電機は大規模でしか建設できない。大都市に一つだけですむか、アメリカ中にわずかの数しか築けないだろうと予測する識者がいる。常温核融合の発電機は小さくても大きくても構わない。プラズマ核融合発電機は同じ生産量の従来のガスや石炭の発電機と比べて大きくかつ複雑である。図1.7に示した反応炉は実験的で、別

³⁰ Krakowski, R.A., et al., *Lessons Learned from the Tokamak Advanced Reactor Innovation and Evaluation Study (ARIES)*. 1993, Los Alamos National Laboratory.

³¹ Strachan, J.D., et al., *Fusion Power Production From TFTR Plasma Fueled with Deuterium and Tritium*, PPPL-2978, 1994, Princeton University Plasma Physics Laboratory

に高い出力密度を目的としたわけでもなかったが、それにしても、この巨大な機械だから 10.7 メガワットは大した出力ではない。普通は実験用の装置は小さく作られるのだが、トカマクは実験でも巨大な装置でなければ反応が起こらない。これは発電所ではない。発電機は備えていなくて、ここにあるものはトカマク炉と、反応を分析する計器だけだ。プラズマ核融合の主な出力は熱ではなくて中性子だが、中性子を用いて電気を起こす仕組みはまだ誰も真剣に考えていない。ITER の計画には実用的な発電機が入っていない。鉄道機関車やヘリコプターのエンジンは 15 メガワットの熱エネルギーを生産するが、このトカマクよりずっと小さい。常温核融合の出力密度は高いから、燃焼機関と同じぐらい小型で場所を取らないだろう。

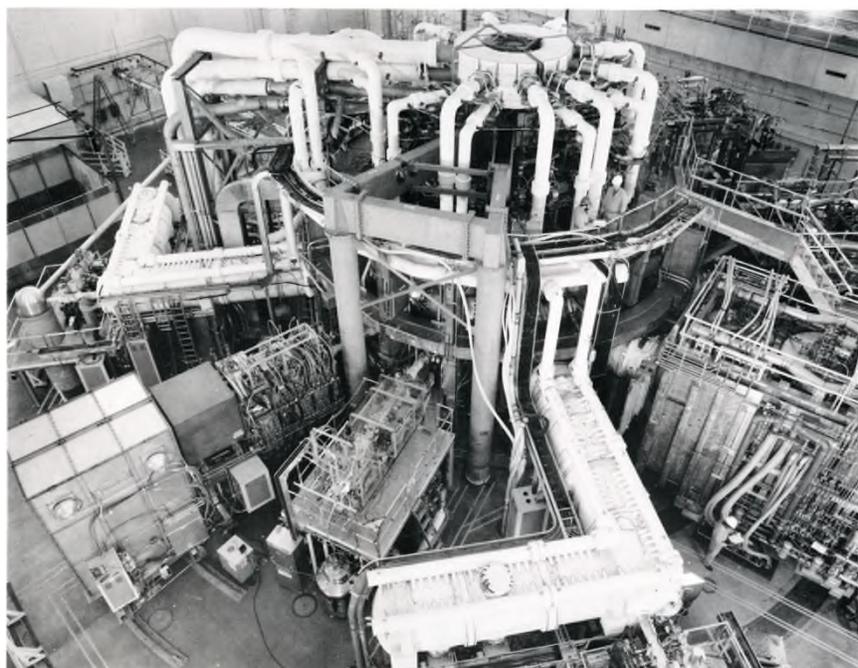


図 1.7. アメリカ合衆国、エネルギー省、プリンストン大学プラズマ核融合研究所のトカマク核融合試験炉 (TFTR)。右上の人間の大きさに注目すべき。この機器の建設は研究所の案内書によると「約 10 億ドル」かかって、営業経費は 7 千万ドル。実験では熱核融合の最大記録となる 6 メガジュールを放った。*PPPL: An Overview, 1991: Princeton University Plasma Physics Laboratory.*

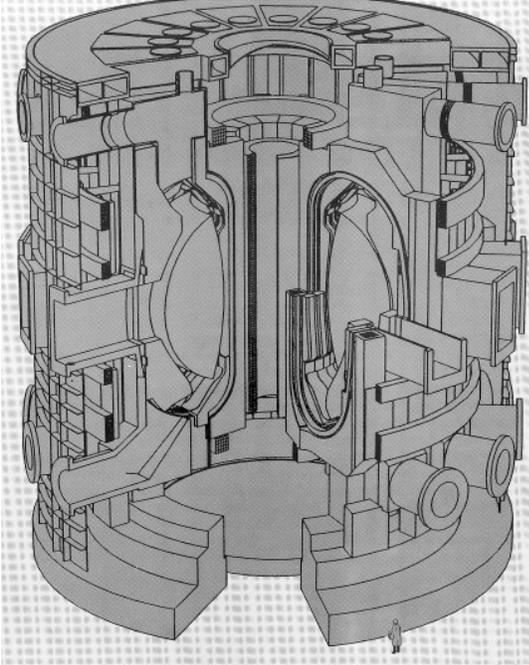


図 1.8. 今から設立する予定の国際熱核融合実験炉（ITER）トカマク、1991年現在の想定。右下の人間の大きさに注目すべき。PPPL: *An Overview, 1991*: Princeton University Plasma Physics Laboratory.



図 1.9. 典型的な常温核融合の実験。ゼーベック熱量計（左にある箱）で行う。ジョン・ダッシュ、ポートランド州立大学の研究室。写真撮影は D.チキア。B.ジーマン提供。熱量計は 6,000 ドルかかる。他の備品を含めて大体の実験は約 50,000 ドルかかる。ボランティアの学生や引退した教授が実験を行うから人件費はかからない。優れた実験は一回につき 50 から 300 メガジュールを発生したことがある。熱核融合が 60 年努めても達成できなかった主要目的を見事に成功した。

2. 理想的なエネルギー源

常温核融合は理想的なエネルギー源と考えられる。公害を出さない、燃料は無尽蔵にある、従来のエネルギーより何千倍も安くなる、エネルギー密度も出力密度も高い。すなわち、小さな装置から膨大なエネルギーが高い馬力が出てくる。重水1グラムのエネルギー量は石油、石炭など化学燃料と比べて約百万倍ありそうだ。わずかな量の重水燃料は何十年も持つ。出力密度はウラン核分裂炉ほど高いが、危険な核分裂炉が遮蔽された大型の発電所でしか利用できないのとは違い、常温核融合はどこでも使えて、ガソリンエンジンと同じぐらい小型で軽い。

表 2.1. エネルギー源の比較表

	無公害	極めて安全	枯渇しない	量は無限	低価格燃料	低価格装置	高密度	どこでも建設できる	無休(4)	今利用できる
化石燃料						✓	✓	✓	✓	✓
水力発電	✓	✓	✓		✓	✓	✓			✓
風力発電	✓	✓	✓		✓					✓
太陽エネルギー	✓	✓	✓		✓					✓
ウランウム核分裂	(1)		✓	✓	✓		✓	(3)	✓	✓
プラズマ核融合	(2)		✓	✓	✓		✓	(3)	✓	
常温核融合	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

(1) 核分裂の原子炉は運転中公害を出さないがウラン鉱山で掘り起こしている際に公害を出す。使用済みの核燃料や放射性廃棄物の処分は重大な問題で費用もかかり、テロのいわゆる「汚い爆弾」に使われる可能性もある。

(2) ロスアラモス国立研究所の調査によると、プラズマ核融合は現在の核分裂炉（従来の原子力発電機）とほぼ同じ量の核廃棄物を生み出す。商業的にみて次世代の核分裂炉と競争できるとは思えない。環境、安全、健康面での利点もないだろうと予想する。³²

(3) 核分裂炉は大惨事が起こりえるから都市から離れた場所に構築する。プラズマ核融合炉は大量の核廃棄物を生み出すと考えられ人口密度の高い場所に建てないほうが賢明である。

(4) 「無休」とは年中無休で需要に応じると言う意味。太陽エネルギーと違って夜でも利用できる。断続的な太陽と風力のエネルギーを水素ガスに変えて貯めることはできるが高価格になる。水力発電は渇水の場合に問題がある。常温核融合を含めてどのエネルギー源でも整備のために定期的に止めなければならない。

³² Krakowski, R.A., et al., *Lessons Learned from the Tokamak Advanced Reactor Innovation and Evaluation Study (ARIES)*. 1993, Los Alamos National Laboratory.

こんなすばらしい有利な点ばかりあるから人は「なんとなく話がうますぎる」と思うだろう。しかし、常温核融合に特別な長所があるわけではない。表 2.1 に示すようにこの利点は他のエネルギー源にもある。

風力と水力発電、そして太陽電池は生産する段階以外はほとんど公害を出さない。どれも枯渇しない太陽のエネルギーから出て来るけれども、出力が限られている。水力はすでに最大産出量に達している。川はあと数十億年流れるから、水力発電は絶えることはないが、先進国にはダム建設に適する場所がほとんどない。風力は絶えず風の吹く場所、水力は条件が整った特殊な場所に建設しなければならない。そのような場所はエネルギーが必要な大都市から遠く離れていることが多い。太陽光発電は曇ったり夜になると得られないので断続的だ。理論上、ノースダコタ州、サウスダコタ州、テキサス州の3州がもし風力発電を実施するなら、合わせた風力発電は米国の電力需要を全部補うことができる。^{33,34} しかし、ノースダコタ州やサウスダコタ州は人口密度の高い都市から遠く、電力を何千キロメートルも送電できない。そこで風力から水素ガスを作るという方法がある。水素ガスを天然ガスと同じようにノースダコタ州から西、東海岸までパイプラインで送り、燃料電池を利用すれば効率よく発電できる。発電所のタンクに水素ガスを貯めて風の少ない時でも要望に応じて使える利点もある。しかし、このシステムは高価格で、実施するまで時間がかかり、約 25 万もの風車を建設しなければならない。風車の数は米国の長距離トラックの総数とほぼ同じで、膨大な建設材料と労力がかかる。ヨーロッパの風力発電の見通しは米国より明るい。もし北海の建設可能な場所すべてに洋上風力発電装置を建てるとすると、ヨーロッパの現在の需要の 4 倍を補うことができる。³⁵

論理的な議論はさておき、技術の観点から考えると常温核融合は他のエネルギー源と比べてユニークな特徴はない。温度が炎より高くなることもないし、エネルギー密度が高いわけでもない。核融合の燃料の重水は無限で値段はただ同然だが、これは太陽光にも同じことが言える。化学燃料より千万倍長くもつが、ウランもそうである。確実に安全だが、太陽光や水力、風力にも同じことが言える。しかし、この表 2.1 にみられるようにたくさんの有利な特質を兼ね備えたエネルギー源は常温核融合だけだ。それに危険な性質はなさそうだ。熱核爆弾のように巨大な爆発を起こすことはない。核分裂炉のように有害な放射線をまき散らすことはない。しかし最近これは疑問になってきた。第 12 章を参考。

1. 無害の原子力源もある

一見して、常温核融合がおきているとは思えない面がある。原子力だというのに、危ない透過性の放射線や危険な副産物を発生しない。多くの人は原子力なら従来の核分裂やトカマク核融合のように危険な放射線を出すに決まっていると思うが、必ずしもそうではない。プルトニウム 238 の装置は発熱だけで、危険な放射線や副産物を発生しない。

³³ U.S. Department of Energy, NREL, *Wind Energy Resource Atlas of the United States*, <http://rredc.nrel.gov/wind/pubs/atlas/>

³⁴ American Wind Energy Association, <http://www.awea.org/>

³⁵ Danish wind industry Association, <http://www.windpower.org/en/core.htm>

アルファ線も発生するが、アルミホイルか紙一枚で簡単に遮蔽できる。常温核融合もアルファ粒子（ヘリウム原子核）を発生するが同じように遮蔽できる。プルトニウム 238 は触ってわかるほど熱い、使用できる熱を数十年続いて放つ。NASA は宇宙船の電源として、プルトニウム 238 の「放射性同位元素熱電発電機」（RTG—以後は熱電池と記す）を使う。³⁶ 熱電池は非常に頑丈である。昔、熱電池を備えたロケットが打ち上げられてまもなく故障し、自爆装置で爆発した。熱電池は海底から回収され、新品同様だったので後でまた違う宇宙船に備え付けられた。

プルトニウム 238 が中に入っている熱電池は無害で、おもちゃには使えないが取り扱いには安全だ。しかし、プルトニウム 238 そのものは非常に稀有で、精錬しにくいから 1 キログラムが百万ドル以上になる。³⁷ 比較的、良質な同位元素をわずかな量だけ単離させるのに、数トンの使用済み核燃料からそれを抜き出さなければならない。残される核燃料の放射性物質とその危険性は減らない。核燃料の中に含まれている微量の安全なプルトニウム 238 の金属だけを利用して、始末に困る危険物が残ってしまう。

カッシーニ宇宙探査機に使われた熱電池を図 2.1 に示す。プルトニウム 238 の半減期は 88 年であって、放射性崩壊は常温核融合と違って止められないから、写真の反応装置は熱く 100 年経ってもまだ熱い状態を保ったままである。従来の原子力の発電機なら、厚い遮蔽物が必要で、写真の女性はそのそばに立ってはいられないはずである。カッシーニにはこの熱電池が三つ備えられている。プルトニウム 238 は 1 グラムにつき 0.56 ワットの熱を発生し、熱電池に 8 キログラムが入っていて、熱出力は 4,480 ワットである。変換効率が低くて、電気の出力は 285 ワットだけである。^{38,39} 常温核融合のパラジウムはこれよりかなり高い出力密度が出ることが証明されている。それに熱の変換効率の高い装置がある。だから 285 ワットの常温核融合の発電機はこれより小さくて手ごろになる。

³⁶ NASA, Space Radioisotope Power Systems, *Multimission Radioisotope Thermoelectric Generator*, April 2002, <http://spacescience.nasa.gov/missions/MMRTG.pdf>

³⁷ 軍事機密に関連しているためであると考えられるが価格は不明である。一キログラムにつき百万ドルから千万ドルまでと推定される。米国エネルギー省はプルトニウム-238 の同位体分離の新しい工場を建設している。工場は 15 億ドルかかるし、稼働寿命中プルトニウム-238 を 150 キログラム生産し、有害の放射性廃棄物をドラム缶 50,000 個分以上残す。Broad, W., *U.S. Has Plans To Again Make Own Plutonium*, in *New York Times*. 2005.

³⁸ Uranium Information Centre, Melbourne, Australia, Plutonium, Nuclear Issues Briefing Paper 18, <http://www.uic.com.au/nip18.htm>

³⁹ NASA Vision Missions, Nuclear Systems Program Office, “Project Prometheus,” <http://spacescience.nasa.gov/missions/npsfactsheet.pdf>

GPHS-RTG

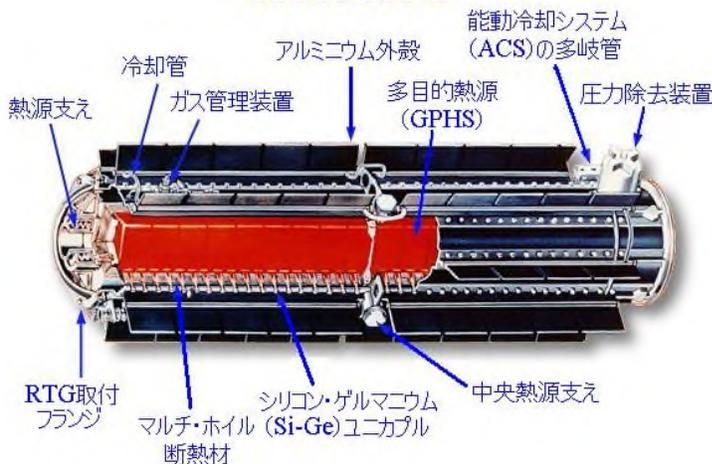


図 2.1. NASA のカッシーニ宇宙探査機無人調査船の多目的熱源の放射性同位元素熱電発電機 (General Purpose Heat Source Radioisotope Thermoelectric Generator - GPHS-RTG) (熱電池)。

小型の放射物の熱電池は心臓ペースメーカーの電池として利用されたこともある。(図 2.2) 数百人の患者にうまく埋め込むことができた。化学電池よりずっと長く約 20 年は持つ。患者がプルトニウムを摂取する危険性はなく、患者がわざと胸から取り出し粉々にしその粉を吸い込まない限り安全である。^{40,41} しかし患者が老いて亡くなつてからの電池の取り扱いが問題になる可能性があるため、この種類の放射熱電池の販売は取りやめになった。死後ペースメーカーをきちんと処理しなければ、周りの人の健康を害する恐れがあるからだ。



図 2.2. プルトニウムの熱電池によって作動する心臓ペースメーカー。プルトニウム材料は上の穴に入っていたが摘出されている。この類の装置は数百人の患者に埋め込めたが悪影響はなかった。常温核融合も規模を縮小できるし好きなだけ拡大することもできる。写真提供 <http://www.orau.org/ptp/collection/Miscellaneous/pacemaker.htm>

⁴⁰ NASA, Environmental Effects of Plutonium Dioxide, <http://saturn.jpl.nasa.gov/spacecraft/safety/appendc.pdf>

⁴¹ Sutcliffe, W. G., et al., A Perspective on the Dangers of Plutonium, Lawrence Livermore National Laboratory, April 14, 1995, UCRL-JC-118825, <http://www.llnl.gov/csts/publications/sutcliffe/118825.html>

常温核融合の装置は機能的に NASA の熱電池かペースメーカーのようになるだろうが、材料は稀有な同位元素ではなくて、安全な一般にある金属である。常温核融合に使う金属は使用前には無害である。時々長期にわたって利用されエネルギーを大量に発生した後、弱い放射性を持ったり、三重水素を発生したりしたが、専門家筋によると商業製品ではこの現象は防げるだろうということだ。わずかな三重水素が発生しても公衆衛生上の問題にはならない。よく事務所で使う避難誘導灯のような消費者向けの製品にはすでに三重水素が入っていて、将来の常温核融合の装置より量は多いと思われる。煙探知機のアメリシウムのような微量な放射性物質はほかの家庭用品にも事務用品にも使われている。天然の放射性物質もある。たとえば、家やビルの地下室にラドンのガスが自然に蓄積することがある。一番大きい放射性廃棄物の汚染源は石炭である。現在、世界中の石炭を燃やして、8,960 トンの放射性金属トリウムと 3,640 トンのウランを空気中に放っている。⁴² 常温核融合ではこのような大量の危険なごみを環境に撒き散らすことはない！ 燃料として、重水は 1,200 トンしか消費しない。仮定の話として、仮に 1,200 トンの材料が全部三重水素になっても、石炭ほどのひどい公害にはならない。いずれにしても、もし放射性物質が発生してもセルから漏れないだろう。セルは現在の自動車用の電池と同じように密封される。自動車用の電池は危険な腐食する酸が入っているが、めったに漏れたり害を及ぼしたりしない。常温核融合のセルも同様に信頼性が高いだろう。弱い放射性物質を分離して残る安全な金属と重水をリサイクルすることは難しくはない。放射性生成物の安全性に対する根強い不安感がまだあったら、セルに煙探知器によく似た放射線警報機を備えればいい。（煙探知器はアルファ粒子検出器であって、アルファ粒子が煙に吸収されると警報がなる。この装置は簡単で安くて、信頼性が高い。）

プルトニウム 238 は体内に摂取されると健康上の問題をおこす。アルファ粒子が徐々に金属と直接、あるいは隣接する組織を害する。破片を吸ったりしたら、肺に引っかかると数年後、肺癌になる恐れがある。プルトニウムは放射性崩壊を止められないが、常温核融合の反応はすぐ止まる。アルファ粒子放射も止まるから、ひどい事故か何かで人が反応の起きている陰極の破片を摂取しても反応そのものはすぐ止まるのでプルトニウムのように次第に時間をかけて体組織に損傷を与えるということはない。

プルトニウム 238 は体内に摂取されると健康上の問題をおこす。プルトニウムから出るアルファ粒子が徐々にまわりの組織を害する。破片を吸ったりして肺に引っかかると、数年後に肺癌になる恐れがある。プルトニウムは放射性崩壊を止められないが、常温核融合の反応はすぐ止まる。アルファ粒子放射も止まるから、ひどい事故か何かで人が反応の起きている陰極の破片を摂取しても反応そのものはすぐ止まるので、プルトニウムのように次第に時間をかけて体組織に損傷を与えるということはない。

⁴² Gabbard, A., *Coal Combustion: Nuclear Resource or Danger*. Oak Ridge National Laboratory Review, 1993. 26(3 & 4), <http://www.ornl.gov/info/ornlreview/rev26-34/text/colmain.html>

2. 常温核融合にふさわしい先進技術の熱機関のいろいろ

カッシーニ・ミッションの熱電池の信頼性は優れている。1972年にNASAのほぼ最初の熱電池が宇宙船パイオニア10号に搭載された。三十年間、連続的に見事に深宇宙で発電を続けた。熱電池は作動部分がないから信頼性が高い。熱電効果による装置はいろいろの種類があって、プラズマ状態の昔風のラジオの真空管に似た装置もあるが、一番信頼性の高いタイプは半導体のように固体の装置だ。遠い未来には常温核融合の固体の熱電装置で全ての電気を起こすだろう。現在、問題となるのはこの装置は高く、効率が悪いということだ。熱の5%から10%だけ電気に変換して、残りを廃熱として捨てる。20%を電気に変換する試作品は開発されている。常温核融合の研究者ピーター・ハゲルステインを含む数人の科学者は変換率は50%から80%までに達するだろうと言う。彼らは効率の優れた熱電装置を発明したと言っている。これを開発できたら、常温核融合に理想的だ。さらに言えば、高性能のガスタービンなどの熱機関よりずっと性能が良く、化石燃料をたくさん節約する。

理想的な装置が登場するのを待っている間に、従来の回転部のある小型発電機の装置を常温核融合で使えば良い。常温核融合の熱は費用はかからないが、やはり小さくて静かであり、熱くならなくて場所をとらない効率的な発電機が望ましい。カッシーニ宇宙船に備えた熱電池は数千万ドルかかったが、仮に百ドルで同じ機械が手に入ったとしても家庭用の発電機としては実用的でない。電気の出力はたった285ワットで電子レンジにも不十分だ。重さは75キログラムで4000ワットの廃熱を出す。一軒の家の電源には、この大きな機械(図2.1)を10から20台、並べなければならない。地下室か庭に工場用の加熱炉を置くようなものだ。

常温核融合にふさわしい先進技術の回転部の熱機関は二種類、小型タービンとスターリングエンジンがある。

小型タービン発電機(またはマイクロ・タービン)はビルや家庭用に開発されている。30から60キロワットを発電する。一本の軸に発電装置と圧縮機とタービン・ホイールを備えるので従来型のタービンと比べて部品数が少ない。従来の玉軸受の代わりに空気の圧力で浮く「空気軸受」に乗るから、潤滑油はいらないし消耗と補修管理が少なくなる。ある会社はこの機械を3,000台設置している。⁴³ 機械の大きさは冷蔵庫とほぼ同じである。普通のエンジンと違って、天然ガス、プロパン、生物ガス、灯油など幅広い種類の燃料が使える。常温核融合では燃えるガスや灯油の代わりに蒸気を使う。

NASAは上記の熱電池の代わりにスターリング・エンジン放射性同位体発電機(SRG)を開発している。作動部分があって熱電池ほど持続しないが、小さくて軽くなるのでこれは宇宙船では重要な要素である。より大きい25キロワットのスターリング発電機も開発されている。⁴⁴ 光を集中させた太陽熱発電機に使うか、外燃式(機械の外で燃料をもやす)発電機として使う。密封した単独の装置だから補修管理が少なく、これもまた大きさは冷蔵庫のようである。恒久の作動流体として水素ガスを使う。密封したユニットに気筒とピストンが四つと発電機が組み込まれている。光電池よりはるかに効率が

⁴³ Capstone Turbine Corporation, <http://www.microturbine.com/index.cfm>

⁴⁴ Stirling Energy Systems, Inc., <http://www.stirlingenergy.com/>

いい。熱源は装置の外にあるから常温核融合には理想的である。外で燃料を燃やすかわりに常温核融合の熱を使う。

3. 実用的な常温核融合の装置は具体的にどんなものか

商業的な常温核融合の装置はどんなものだろうか？ たとえば常温核融合で温まる温水器のような装置（日本の瞬間湯沸かし器ではなく、アメリカの家庭用の温水器）は一見したところでは現在のガスや電気の温水器と同じように見える。ガスのバーナーの代わりに常温核融合の装置を備える。常温核融合の実験ですでに出力密度が十分高いことが証明されたからガスのバーナーの大きさで十分な熱が供給できる。

お風呂の天日（太陽熱温水器）とガス温水器を考えてみると天日は場所を取るが、ガス温水器はそんなに大きくなくて良い。というのは 炎の温度と密度が非常に高いのでコンパクトな装置で良い。常温核融合の反応もガス温水器に近い。

常温核融合の研究者トーマス・ベンスンは大型装置の有様を次のように説明している。

装置は箱型で大型トラックのバッテリーか小さいコピー機ぐらいの大きさである。廊下やドアを通れる大きさで、小型フォークリフトで持ち上げ取り扱うことのできる重さだ。装置の中のセル活性物質は 10 枚ぐらいの薄片の活性化した固体の電解質、セラミックか複合のナノ構造の金属水素化物である。一枚一枚の薄片は表面積の広いプラチナの電極で囲まれ、その間に圧力の制御措置によって適切な量の重水素ガスが流れ込む。センサーは温度や圧力や電解質の化学成分など基本的事項を監視する。制御措置は内蔵されたプログラムが表に基づいてこのデータを処理して常温核融合の反応の具合を推定し、核融合の熱が一定に続くように電極の電力、ガスの圧力、化学組成の変数（可変要素）を変える。もし制御措置に誤動作が起こるか、ほかの部品が故障したら、反応は自然に止まって、装置が次第に冷める。反応は狭い条件でしか起こらないので、この条件を維持するために始終制御しているから本質的に安全である。

セルは熱交換器と一緒に鋼鉄の容器に入れる。熱交換器は蒸気タービンにつながっている。第二の案としては、固体発電機としてセルの各面を熱電池のパネルで囲み、それを鋼鉄の容器に入れる。蒸気タービンは使わない。

この常温核融合の装置はいろいろに応用できるように設計されて、家庭用の発電機から、小さい工場の電源まで使える。箱は 10 キロワットの熱を発生し、その熱は電気に変換できるし、直接暖房か工場の生産の加熱に使える。装置をたくさん集めてモジュール式蒸気発生装置にも熱電発電機にも使える。家にはこの装置一つか二つで足り、木材を乾燥させる窯には 10、下水処理場には 50 ぐらいが必要だろう。

装置は 5 年から 10 年間作動したら、電解質や薄片の性能が半分ぐらい低下するだろう。重水素ガスは少しずつ漏れるだろうから 2~3 年おきに貯蔵タンクを補給しなければならないかもしれない。

装置は大きなバッテリーのようなものと考えればいいが、タイプによって温度熱量が異なる。

ある装置は 80 から 200°C までの中熱温度に設計され、ほかのものは 500 から 1,000°C まで、もっと高い温度まで達するように設計される。温度は生産会社の仕様規格によって設定温度のプラスマイナス 50°C の範囲以内に制御される。この装置はゼネラルエレクトリック、ウェスティングハウス、三菱、日立など大手工業会社が生産する。政府と保管会社の安全研究所によって認証され、デザインは標準機構に登録させられる。エレベーターや車のような毎日の生活になじみのある電気や化学機器と同じように検索され認定される。定期的に点検を受けて安全を保証させられる。

装置は種類によって、いろいろなプロセスで蒸気か熱、または電気を起こす。どれも日本、アメリカ、ヨーロッパ、中国、韓国などの巨大な工業会社の厳しい競争によって常に開発されるだろう。世界中の技術者と投資家は常温核融合が本当に存在していると分かったら、金や名誉のにおいをかぎつけて必死になるに違いない。いったん最初の試作品のセルが発表されたら、後は技術者が細かい問題を解決していくと自信を持って推定できる。

十年間大量生産すれば、装置そのものや、熱電池やほかの構成部品は大量市場に応じて、1920 年代の自動車と 1980 年代のコンピューターと同じように劇的に安くなる。生産効率は理論上の最高水準に達するだろう。

4. セルはどう生産されるか

常温核融合のセルは物理的に普通の電池など電気化学の製品に似ているから、大体同じような生産ラインで作られ、同じぐらいの値段で売られるだろう。世界中には電池のような製品を作る専門知識と能力と資本のある製造会社は何千もある。常温核融合現象を物理学的に説明できて、標準設計ができたなら、たくさんの会社は競争によって、価格を押し下げるだろう。たしかに、電池は高度技術で注意深く管理される生産ラインを必要とするが、資本投資と専門的な知識は自動車組立工場や千メガワットの発電所ほどは必要ない。電池の生産ラインは清潔でなければならないから、汚染防止の対策が大事であるが、超小型電子技術の生産ラインの無塵室（クリーンルーム）の厳密で高価な基準を満す必要はない。電池の生産ラインなら数ヶ月で設立できる。現在、インターネットを通じて、香港にあるユナイテッド・パワー社からアルカリ電池の生産ラインを既製品で買うことができる。そう遠くはない将来にここを含めて多くの生産会社が常温核融合の装置の生産設備を売って、数千の会社はその設備を使って山のような数の装置を生産すると期待する。

第一世代の多くの装置の大きさと出力は多分単 1 電池とほぼ同じだろう。エネルギー源なら、小さい規模の装置の方が 1 ワットあたりの利益が高い。



図 2.3. 北海道大学、水野忠彦の典型的な込み入った研究室。上、研究員河崎智子（左）と水野（右）。
写真 J. Rothwell

装置は極端に困難な精密生産を必要としないことはすでに確認した。第 1 章に述べた水野の装置を始めとして、数個の装置はすでに商業的に応用できるほどの熱量と高い温度を発生している。電気化学の専門研究者はこの装置を手作りでこしらえた。確かにこの人たちは特殊技術を持っていて、汚染防止に気をつけている。超純水と品質が保障された 99.9% 純粋の試薬を使う。しかし道具と作業台は非常に清潔であるとは言い難いし、セルは宝石製作の道具と材料を利用して手作りで組み合わせている。

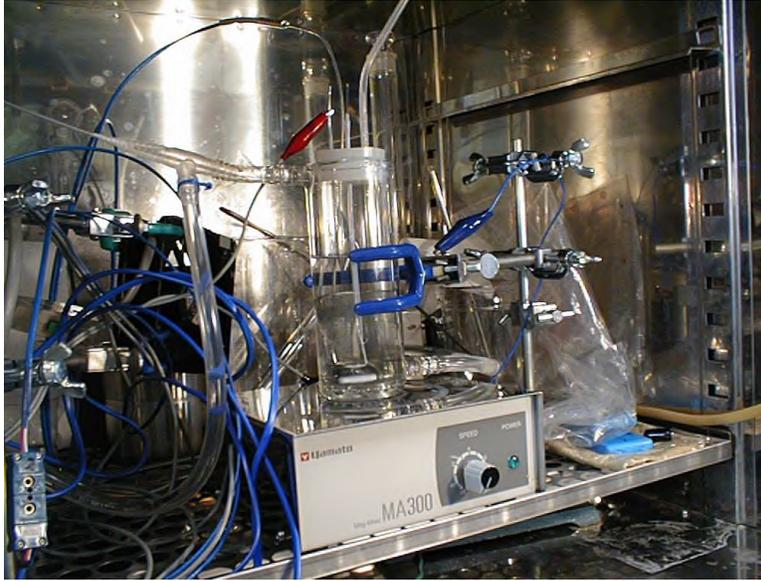


図 2.4. 水野忠彦の研究室のグロー放電のセル。写真 J. Rothwell

5. 化石燃料との価格を比較する

この章は次の仮定に基づいている：常温核融合は重水を燃料とする。プラズマ核融合が重水から得ると同量のエネルギーを得る。この根拠となる実験の証拠はかなりあるけれども、⁴⁵ 研究者が全員これに納得したわけではない。重水素を融合しながら、二次反応として電極の金属を核変換していると思われる。重水素の核反応は化学反応に比べて何百万倍ものエネルギーを発生するが、電極の金属における二次反応は多分エネルギーをたくさん発生していないと考えられる。場合によってはエネルギーを吸収しているかもしれない。

まえがきで述べたように、世界の人々は毎日、化石燃料に約 37 億ドルを費やす。この燃料を燃やすと約 0.9 クワッド⁴⁶ (1×10^{17} ジュール) のエネルギーが生ずる。この費用は実際かなり低く見積もっている。生産の最初の段階の原価しか含まれていない。石油の場合はいわゆる「井戸元価格」である。一日で生産される原油のバレル数に世界平均的な価格 40 ドルをかける。⁴⁷さらに石油を精油して、ガソリンスタンドに配ると値

⁴⁵ Miles, M., B.F. Bush, and J.J. Lagowski, *Anomalous effects involving excess power, radiation, and helium production during D2O electrolysis using palladium cathodes*. *Fusion Technol.*, 1994. **25**: p. 478.

⁴⁶ 「クワッド」 (quad) は国家規模のエネルギー単位である。「イギリス熱量」 (Btu) からくる。1 Btu \approx 1055 ジュール。1 quad (quadrillion - 1000 兆 - の略) = 10^{15} Btu。1 quad は約 1.055×10^{18} ジュールである。世界の合わせたエネルギー消費は 420.7 クワッド、日本は 22.4 クワッド、米国は 98.8 クワッドである。

(2003 現在)。 <http://www.eia.doe.gov>

⁴⁷ 石油の量は「バレル」 (樽) で測る。1 バレル = 159 リットル。エネルギーに当てはまる単位はいろいろあるから厄介だ。石油の卸し売り値はこの本を書いた 2004 年に 1 バレルにつき約 40 ドルだったが 2006 年現在はその倍ぐらいである。

段が倍になる。アメリカでは1ガロン2ドルで売るわけだが、この率では1バレルに84ドルかかる。⁴⁸

石油に関する社会的負担もある。空気の汚染やどうしてもさけられない石油流出や事故がある。ある専門家は目に見えない社会的費用を計算に入れれば、アメリカのガソリンの値段は2ドルではなくて、5ドルぐらいだと指摘する。言い換えれば、公害や病気への負担が3ドルかかる、車を運転する人は自分で2ドル払って、周りの人に残りの3ドルを強制的に支払ってもらっているわけだ。

表 2.2 は三つの主要な化石燃料、石炭、石油、天然ガスの消費量を示す。データは米国エネルギー省の *Annual Energy Review 2002*,⁴⁹ とエネルギー省、エネルギー情報局のデータ概要のウェブ・サイトからのものである。⁵⁰

表 2.2. 世界の化石燃料の消費量

燃料	一年分	一日分	単位あたり原価	一日の価格	一日のクワッド量
石炭	52 億米トン*	1.4 千万米トン	\$18/米トン (アメリカ国内価格)	3 億ドル	0.26
石油	240 億バレル	6.7 千万バレル	\$40/バレル	27 億ドル	0.39
天然ガス	92 兆立方フィート	2520 億立方フィート	\$2.95/千立方フィート、アメリカの井戸元価格	7 億ドル	0.25

*「米トン」または「ショート・トン」はアメリカの単位。1 米トン=907 キログラム。ほぼ 1 トンと同じと考えれば良い。

三つの燃料を合わせた年間生産は 335 クワッドである。他の主要なエネルギー源の分類は、天然ガス精製所の液体の副産物と原子力、水力発電、地熱と風力発電を含む「その他」である。これらは合わせて 68 クワッドを発生するから、世界の一次エネルギー生産は合計 403 クワッドだ。(2001 年現在)

⁴⁸ 1 ガロン 2 ドルということは 1 リットルにつき 57 円かかる計算になる。実際には日本とヨーロッパはガソリン税が高いから、もっとかかる。アメリカのガソリン税はほとんどかからず、1 リットルにつき 2 円ぐらいである。だからアメリカでは節約する誘因動機がない。

⁴⁹ *Annual Energy Review 2002*、米国エネルギー省、エネルギー情報局。クワッド数は調査の表 11.1、281 ページより。この表は年計だから、私は 365 で分けた。石炭と石油のいくらかは エネルギー以外の応用、プラスチックなどを作るために使われる。しかし、ここで示すクワッド数は燃料として燃やすものだけ含まれている。

⁵⁰ <http://www.eia.doe.gov/neic/quickfacts/quickcoal.htm>,
<http://www.eia.doe.gov/neic/quickfacts/quickoil.html>,
<http://www.eia.doe.gov/neic/quickfacts/quickgas.htm>

毎日化石燃料でまかなう 0.9 クワッドのエネルギーを代わりに常温核融合で生産すると約 15 トンの重水を消費する。価格は大雑把に言って 150 万ドルかかるだろう。消費される 15 トンの重水とは別に、古い解体されたセルを再生利用するための重水も必要で、これには約 200 万ドルかかるだろう。この見積もりの詳細は後述する。合計 350 万ドルになる。よって、化石燃料を置き換えるための重水燃料は、化石燃料より約 1,000 倍安い。技術が発達すればもっと安くなる。

常温核融合は水力と原子力発電よりはるかに安くなる。

肝心な点は、年間 2.8 兆ドル儲かる世界一巨大な経済部門であるエネルギー産業が 13 億ドルに縮んで、風船ガムの世界の総売り上げの四分の一ぐらいの規模になることだ。⁵¹ 平均的な人はエネルギー消費に年間 0.22 ドル払うことになる。アメリカ人は他の国の誰よりもエネルギーをたくさん使うから、平均的に年間 1 ドル払うわけだ。今日、年間 2,499 ドルを払っていると比べてゼロに等しい。米国の総合エネルギー消費は 7,030 億ドルから 2.1 億ドルに値崩れする⁵²

上記で毎日未使用の重水 15 トンぐらいを消費するのに加え、再生用の重水も合わせて約 350 万ドルするだろうと推定したが、その根拠は次の通りである。

核融合は重水素 1 キログラムにつき、 3.45×10^{14} ジュールの熱 (3.45 億メガジュール) を発生する。石油は 1 キログラムにつき 45 メガジュールの熱を出す。重水素ガス 1 キログラムは 760 万キログラムの石油とほぼ同じエネルギーを生み出す。

重水の 1 モルは酸素 16 グラムと重水素 4 グラムからなっているので、重水素ガスは重水より 1 キログラムにつき 5 倍のエネルギーを持つ。純粋の重水 1 キログラムは 6,900 万メガジュールを発生し、これは石油の 1,533,000 キログラムが発生するエネルギーに等しい。

普通の水は 0.015 at% (原子百分率) の重水を含む。すなわち、普通の水素原子 6,700 につき、重水素原子が 1 つあるわけだ。(ある文献は 5400 に 1 と指摘する。)⁵³ 1 キログラムの普通の水に入っている重水を核融合させると 13,000 メガジュールを発生する。

私たちは全世界年間 403 クワッド (4.3×10^{14} メガジュール) を消費する。このエネルギーがすべて常温核融合か、プラズマ核融合からくるとしたら、年間に重水を 6,162 トン消費することになる。このぐらいの重水は大型工場が 8 箇所あれば抽出できる。

化石燃料が発生するエネルギー 335 クワッドだけを常温核融合に置き換えるためには年間重水 5,000 トンが必要だ。すなわち一日につき重水 15 トンが必要だ。しかしこれは理論上の計算であって、実際にはもっとたくさん必要になってくる。というのは多量

⁵¹ 世界最大の風船ガムのメーカー Wm. Wrigley Jr. Company は他の食品を含む総売上高が 36 億ドルと報告している。その内、風船ガムは 27 億ドル分だが、世界の売り上げ総額の約半分に当たる。

⁵² *Annual Energy Review 2002*. 2003, Energy Information Administration, U.S. Department Of Energy. <http://www.eia.doe.gov/emeu/aer/>, p. 13, year 2000 data

⁵³ Hamer, W., Peiser, H., *A Hydrogen Isotope of Mass 2*, NIST, <http://nvl.nist.gov/pub/nistpubs/sp958-lide/043-045.pdf>. これによると「近代の最良推定は地球の不変化体の水素だと比率は 5433.78 である。」

の重水を注いでもエネルギーに変わるのはそのうちのわずかな量なので多くは装置の中にそのまま残ってしまう。残った重水は回収され再利用されるだろう。

一日につき重水 15 トンに加え、再利用の重水 2,000 トンが必要だと推定する。



図 2.5. オンタリオ・ハイδρο・インターナショナル社のブルース岬重水生産所は年間 800 トンの生産能力があったが、1997 年に閉鎖された。この規模の工場が八つあれば全世界のエネルギーを供給するだけの重水が抽出できる。写真はカナダ原子力公社提供。



図 2.6. カナダ原子力公社、先進重水試験的生産工場、ハミルトン、オンタリオ州。この工場は 1 年間に約 1 トンの重水を生産した。大規模にすれば図 2.5 の古い工場より効率が良くて公害が少ない。写真はカナダ原子力公社提供。

現在の高純度の重水は 1 キログラムにつき 1,000 ドルもするが、先日、中国の会社がインターネットの大量広告メールで純度 99.85% の重水を 460 ドルで売り出していた。(誰が何のために重水を買うのか不思議に思ったが。) 普通の重水はまとめて大量に買うと 300 ドルくらいになる。⁵⁴ 常温核融合のセルを生産する工場はその場で自分の装置を使って普通の水から重水を分離抽出するからまとめて買うぐらいの値段でまかなえ

⁵⁴ Miller, A.I. (Atomic Energy of Canada Ltd.), *Heavy Water: A Manufacturers' Guide for the Hydrogen Century*. Canadian Nuclear Society Bulletin, 2001. 22(1), http://www.cns-snc.ca/Bulletin/A_Miller_Heavy_Water.pdf

るだろう。重水の生産原価の大部分はエネルギー代だから、常温核融合でその装置を起動させれば、値段は50%か80%安くなるはずだ。言い換えれば、分離抽出の機械から出てくる重水のほんのわずかだけ—約0.05%—は機械そのものを動かすのに使用しなければならない。それは、今日の分離抽出の技術での話のだが、今日の方法は1940年代からあまり改良されていないから、効率が悪い。三菱工業などの会社はもっと近代的な効率の良い環境にやさしいやり方を提案しているし、カナダ原子力公社は新しい方法をオンタリオ州、ハミルトンの試験的生産工場で試した。⁵⁵ 今日の方法でも常温核融合は価格を100ドルまで下げるだろう。次世代の技術では価格は50ドル以下になりえる。廃止された古いセルの重水を精製すればもっと安価で1キログラムにつき数ドルしかかからないだろう。

実用的なセルは液体重水より重水素ガスの方を使うだろう。ガスでも重水の量と価格の推定は変わらない。地球の重水素はすべて普通の水と混ざった重水に含まれている。現在、小売で買うと重水素ガスは重水より高いけれど、先進の抽出技術は液体ではなくガスを生産するからセルの工場ではガスのほうが安くなる。

世界全体のエネルギーを補う6,162トンの重水は核融合によって酸素ガス4,930トンとヘリウム1,227トンに変わる。アインシュタインの特殊相対論の有名な式 $E = mc^2$ によると質量が5トンほど質量欠損として減少しエネルギーに変換される。今使っている化学燃料と太陽エネルギーでも同じく質量5トンが減少する。すべてのエネルギー源は質量をエネルギーに変換する。

地球に重水は 2×10^{13} トンあるから、現在のエネルギー消費率では32億年間は足りる。この惑星が存在する限り十分であろう。太陽は50億年経てば白色矮星に変わるから地球が破壊される。地球以外の太陽系には重水素はたくさんあるし、ほかの惑星では、集中度が高い。地球では重水は水の0.015%であるが、火星では0.1%で、金星では2.2%である。⁵⁶

ところで平均的な自動車は一年に重水を約1グラム消費する。第一世代の常温核融合で動く熱機関の効率は、従来のガソリンエンジンとほぼ同じで燃焼熱を自動車を駆動するエネルギーに変換する効率は20%位と想定する。今の熱機関より効率が悪いとは到底考えられない。ひねくれた天才でない限り、従来の自動車より資源を無駄にするデザインは考えないだろう。

さて、米国の乗用車は平均して一年間に18,936キロメートル走り、2,014リットルの石油を消費している。⁵⁷消費された燃料は、70,000メガジュールの熱エネルギーに変化する。この内、14,000メガジュールが直接自動車の駆動に使われている。駆動に使われたエネルギー（推進力）は、最後には廃熱となり空気を熱くする。エネルギーは最終的にはすべて廃熱、すなわち熱エントロピーに変わるのだ。

⁵⁵ Miller, A.I., 同書

⁵⁶ Miller, A.I., 同書

⁵⁷ *Annual Energy Review 2002*. 2003, Energy Information Administration, U.S. Department Of Energy. <http://www.eia.doe.gov/emeu/aer/>, p. 61.

言い換えれば、米国の平均的な車は重水 1 リットルにつき 2,000 万キロメートル走る。

6. 白金族金属の問題

常温核融合は白金族金属だけでうまくいくかもしれない。白金族はイリジウム、オスマニウム、パラジウム、白金、ロジウム、ルテニウムが含まれているが、みんな貴金属だ。貴金属しか使えないようだったら、高額であることと、量が少ないということで、大量生産が制限される。白金は現在、金より値打ちがあるし、2001 年現在、パラジウムの値段は 1 オンス 1,090 ドルに上った。パラジウムの供給は需要を満たせないから、貴金属の会社はすでに鉱産の採取とリサイクルに極力努めており、最新技術を利用しても年に 171 トンしか生産できない。⁵⁸ 常温核融合がパラジウムの需要を増加させても、これ以上生産を増やす方法を新しく開発できると思わない。よって、常温核融合はパラジウムしか入手できなければ、そのパラジウムを 24 時間運転する中央発電所で最大限に利用しなければならない。個々の家の発電機や車は一日ほとんどの時間は利用されない状態になるから貴金属はそういう応用には使えない。家と車は中央発電所の電気か水素ガスを利用することになる

世界のパラジウム供給の半分ほどは自動車の触媒コンバータに使われている。幸い、常温核融合が普及すれば、触媒コンバータはもう要らなくなるからそのパラジウムを中央発電所に廻せる。

この問題にもう一つ厄介な面がある。常温核融合は陽極の金属をほかの金属に核変換する。北海道大学、テキサス農工大、三菱重工などの実験でこれは確実に証明された。常温核融合のセルはパラジウムを少しずつほかの金属、特にクロムと鉄に変換するかもしれない。⁵⁹ これは常に必ず起こるかどうかもまだはっきり分らない。防げるかもしれない。防げないとしたら、採掘する年間 171 トンのパラジウム貴金属はエネルギーをあまり生産しないうちに、ほぼ値打ちのないクロムと鉄に変わる。この予測が正しいとすると中央発電機でパラジウムを 24 時間利用して、何十年も何回も同じ金属をリサイクルする計画はうまくいかない。パラジウムが数年の内に鉄に変化するようだったら、常温核融合は実用的なエネルギー源にはならない。

幸いなことに常温核融合はニッケルやチタンや他の金属でも起こるという実験結果もある。この材料の実験はパラジウムほど広く再現されていないから、疑いが残る。常温核融合はこれらの金属をも核変換するだろうけれども、逆に利点になるかもしれない。もしかしたら、この核変換を調整して、好きな元素を生産できるかもしれない。常温核融合の自動車を数年運転してから、中のセルを取り替えて電極をリサイクルする。ニッケルかチタンの数割は金か何かの貴金属になっているかもしれない。

他の原因によって何年も使うと電極は自然に少しずつ崩壊するかもしれない。核反応の熱は強烈で微少な面積に集中するから、金属が溶けるか蒸発し、噴火口（クレーター）

⁵⁸ U.S. Geological Survey <http://minerals.usgs.gov>. 他の情報筋は年によって 220 トンに近いと報告している。100 トンぐらい採掘されて、後は再利用される。

⁵⁹ Mizuno, T., T. Ohmori, and M. Enyo, *Anomalous Isotopic Distribution in Palladium Cathode After Electrolysis*. *J. New Energy*, 1996. 1(2): p. 37.

を形成することもある。噴火口の周りの元素はよく核変換されている。溶けても金属はまだセルの中に残るから、あとで再生できる。でも破壊される表面は性能が悪くなるだろう。数年経って表面にたくさんのでこぼこの噴火口や割れ目があったら電極は効かないだろう。しかし、噴火を巧みな熱工学によって最小限に抑えることはできるだろう。どの機械でも消耗によって寿命は限られている。初期の常温核融合装置は熱破壊と外から侵入する汚染によって耐用年数は数年に限られるかもしれない。電極は定期的に整備をするたびに置き換えなければならないだろうが、密封を改善すれば途中で置き換えなくても良いくらい長く持つだろう。

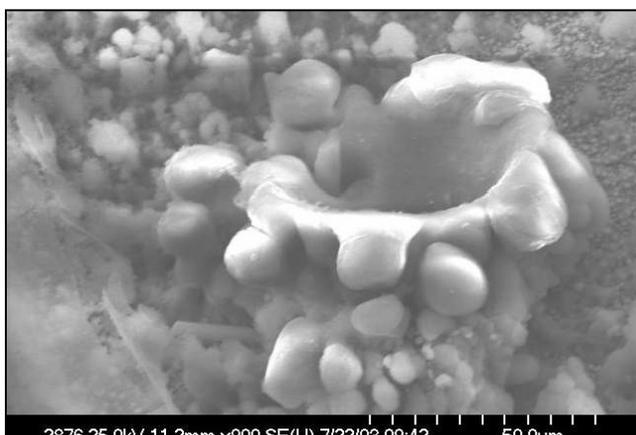
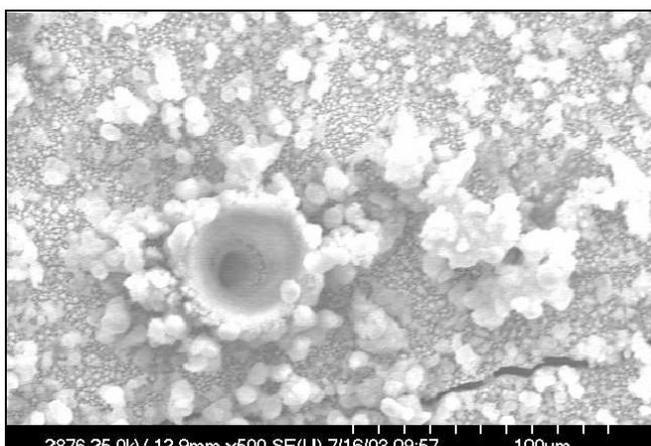


図 2.7. 溶解した金属が液体の中で凝固したことを示唆する特徴。米国海軍、宇宙と海上戦争システム (SPAWAR) 研究所、Szpak, S., P.A. Mosier-Boss, and F. Gordon. *Precursors And The Fusion Reactions In Polarised Pd/D-D₂O System: Effect Of An External Electric Field*. in *ICCF-11*. 2004.

3. 今できる予測

常温核融合が商業化される前に、研究資金を妨げている政治的な問題を始めとして、いろいろな困難を乗り越えなければならない。乗り越えた後、本格的な研究を始めることができる。現象を詳しく説明できる理論が現れるまであまり進歩がないかもしれないし、それはいつ現れるか誰も言えない。理論がしっかりして、反応を完全に制御できるようになってから、製品開発に乗り出すことができる。暖房とか発動機は根本から設計をやり直し、生物と環境に害がないことを保証できるように厳格に試験しなければならない。今のところ、安全性は問題になると思わない。というのは、粒子はほとんど放射されないし、放射されているものは紙一枚か、アルミホイルで遮へいできる。この放射はあまりにも弱くてまれにしか出てこないから高感度の機器でも探知しにくいわけだ。反応が起こっている遮へいされていないセルのそばに立ったことがある研究者が数百人いるが、健康を害した兆候はない。

実験結果によって、常温核融合は次の物質的な特徴を持っているから、エネルギー源として革命的な可能性があることと、実用的になりうるということが分かる。その特徴は：

- 数は少ないけれども実験ではコンパクトな機械で実用的な発電機としての威力を発生する温度と出力密度まで達したことがある。
- ガソリン・エンジンと違って、酸素が要らないので、一酸化炭素や他の排気ガスを発生しないから、屋内でも使えるし、また、水中でも、宇宙でも使える。
- 危険な放射線や放射性廃棄物を発生しないから、どこでも、人間の体内のペースメーカーにでも、安全に使える。
- 核燃料は重水素かパラジウムか、または両方が反応に参加しているかはまだはっきりしていないが、どちらにしてもその燃料は数十年もつことは分かっている。
- 常温核融合は白金族金属だけではなくて、ニッケルとチタンのような一般的な金属でも観測されたことがある。（詳しくは第2章第6節）
- 規模は大きくても小さくても同様にうまく使える。

すでに小規模の装置は作成されているから、小規模で使えることは確かだ。普通の常温核融合の陰極は1センチぐらいの針金か金属板である。第2章で示したプルトニウム熱電池と同じように常温核融合の熱電池を開発すれば、いずれは携帯電話や腕時計など数え切れない小型、低電力の装置で使える。顕微鏡でしか見えないナノメートルの小さな装置でも利用できるかもしれない。超小型の内燃機関などより見込みがありそうだ。規模を大きくできるのも確かだ。というのは、どのエネルギー源だって、理論上は規模を大きくできる。陰極そのものを大きくする必要はない。個々の陰極かガスを吸収した金属はガソリン・エンジンのピストンほど大きくなると思わないが、今日の半導体の自動化された大量生産の技術では小さいセルを何千個か何百万個を集めてメガワット規模の反応措置を製造できるだろう。同じように、現在の千メガワットのウランの原子力発電機は小さい物を合わせて作る。原子炉の芯には燃料棒配列があって、棒の中に何千も

の小指先の大きさのウランのペレットが入っている。(図 3.1) 未来の常温核融合の発電機の中にペレットと同じ大きさのセルが入るかもしれない。

エネルギー源の比較表

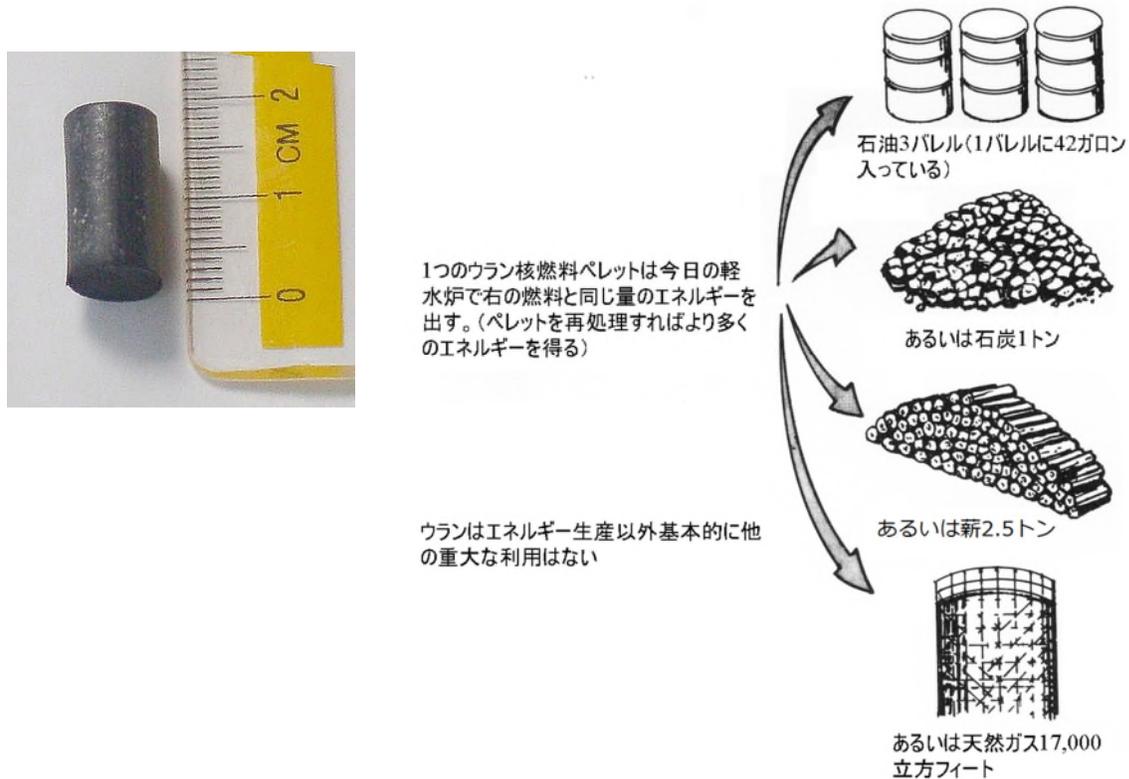


図 3.1. 見本のウラン核燃料ペレット (実際はゴムでできている)。長さ 1.7cm、幅 0.7cm。米国原子力学会、555 North Kensington Avenue, La Grange Park, Illinois 60526

常温核融合の限界もはっきりしてきた。「グロー放電」または「プラズマ」常温核融合と呼ばれる高熱の種類は存在していると思われるが、⁶⁰ これを利用して溶鉱炉とロケットのエンジンを直接起動できないと思う。しかし、一次エネルギー資源として十分活用できる。常温核融合で発電して、電気で溶鉱炉を加熱できるし、または水を分解してその酸素と水素を燃やして加熱できる。ロケットも酸素と水素で打ち上げられる。スペースシャトルの主エンジンの燃料はそれである。(第 18 章参照)。

常温核融合が商業化されたらどうなるか考えてみよう。上記の物質的な特徴によって、次の製品工学の想定ができると思う。

- いろいろな装置は開発され、幅広い範囲の温度で操作できる。装置によって生ぬるい温度から、高温たとえばチタンの融点 1,660°C まで達するだろう。常温核融合の熱は陰極を溶かしたことがあるから、こんな極端な高温まで上がると考えられる。

⁶⁰ Mizuno, T., et al., *Production of Heat During Plasma Electrolysis*. Jpn. J. Appl. Phys. A, 2000. 39: p. 6055.

- いろいろな熱機関が開発され、あらゆる規模の応用に使えるようになる。ガソリン、交流電気や電池などの従来のエネルギー源に比べ、常温核融合は様々な応用ができる。
- 最初は常温核融合は主に1ワットから1キロワットまでの小規模の技術に利用されるだろう。小型の機械の方が開発しやすく、安く生産でき、低出力の製品はワット一つにつき利益が高い。
- 熱機関と熱電池は三重水素のような危険な短寿命の放射性物質をセルに確実に封鎖するように設計できる。

4. 平凡な技術、日常的な製品

もし常温核融合が本当に商品化されたら、すべての人の日常生活があらゆる面で革命的に変わる。平凡な熱源として使うことができる。平凡だからこそ望ましい。安全と清潔だから優れている。化石燃料の代わりに使えるから、このまますぐ応用できる。

常温核融合がもたらす変化は最初のうちは平凡なものだ。エネルギー革命の前触れは驚くべき未来的な応用ではなくて、むしろ日常生活のひっそりした変化に現れるだろう。今より多くの人々が自由に使えるエネルギー、清い飲み水、公害のない生活空間を得ることから始まる。ずっと後には、地下磁気浮上列車だの、何百万人が無重力を楽しむ宇宙ホテルだの未来的なものを導くかもしれないが、最初は何十億人に飲み水をもたらすことから始める。

まず販売される機械はポンプ、モーター、電灯、暖房、冷房、温水器、自動車など、小規模のものだ。これを先に製造する理由は三つある。

1. これらは最も必要で広く使われる。
2. 小規模ではあるが、総合的に大部分のエネルギーを消費する。巨大な機械、すなわち鉄道機関車や飛行機や溶鉱炉などは、それぞれ膨大なエネルギー量を消費するが、数が少ない。
3. 小さい機械は大体安く、普通の人々が近くの店で買えるので、変化の速度は消費者の行動で決まる。（詳しくは下記2節と7章第5節）

1930年代に政府の農業電化事業が進んでいた頃、ある日曜日の朝、教会でジョージア州の農夫はこの世に奇跡は二つあると告げて「心にイエス、家に電気」だと説明した。今日、私たちは電気、きれいな水、その他の生活必需品があまり豊富だから当たり前だと思い込んでいて、それのない生活は想像できない。しかし、残念なことに、人口の三分の一にあたる20億人にはそれが不足していて、言語に絶する苦痛と環境被害が起こっている。不衛生な水は年間220万人の死亡者を出し、総死者数の5.3%にあたる。その犠牲者の大部分は五歳未満の子供だ。⁶¹ 貧困層は収入の多くをさいて灯油を買わなければならない。インドとハイチでは山林を切り払って、薪を集めなければならないからその結果、洪水が起きて、村と農場と土地そのものを破壊する。常温核融合があれば、まず第一、この人たちはお茶と赤ちゃんの粉ミルクのためのお湯を沸かす。今も沸かした方が安全だと分かっているが、燃料を買う金がない。その後、常温核融合で作動する浄水器が料理、入浴、動物の飼料用の水を供給する。常温核融合の電気は夜に本を読む電灯、テレビ、携帯電話、コンピューターなどに使える。最近では中国のへんぴな村で小型水力発電機（なべの大きさのものが多く）と低電力のLCDテレビが重要な情報と社会変動をもたらしているが、この傾向はさらに早まるだろう。常温核融合はこのような村の農業機械、単車、車の動力となる。

⁶¹ Pruss, A., et al., *Estimating the Burden of Disease from Water, Sanitation, and hygiene at a Global Level*. Environmental Health Perspectives, 2002. **110**(5).

アメリカの貧困層もエネルギー費に苦しんでいるから喜ぶわけだ。アトランタ市では、平年の冬に支払いできなくて暖房の天然ガスを止められてしまう家庭は5万世帯に昇る。ガソリンも1リットル 0.53ドル（約60円）もしては買えない人も多い。

常温核融合がたとえ、人類全体に19世紀の水準の衛生と照明しかもたらすことができなくても、それでも歴史上の一番有益な大躍進となる。しかし、それ以上のものをもたらすに決まっている。先進国の私たちは山ほどポンプやモーターや電灯はあるけれど、その機械は不利なエネルギー源を使っている。融通がきかない、危険、それにあまりにも不潔で高すぎる。壊滅的地球温暖化を引き起こしているかもしれない。問題点は改善できるが、われわれは現状に慣れているから、その欠点は目に入らない。私たちは閃きと想像力に欠けていて、改善そのものを心に描くことができない。常温核融合は多くの恵みを人類に与えるが、一番貴重なのはおそらく活動的な変化、進展、そして明るい、発展的なより良い未来への新たな希望を与えることである。

1. 現在のエネルギー源は大いに物足りない

明らかに現代のエネルギー源はある要求に応じることが出来ない。携帯電話やコンピュータの電池は足手まといになる。すぐ切れるし電力が弱いから機能が限られる。煙探知機の電池が切れて火事になり、多くの死傷者を出す。医療機器における問題はさらに深刻だ。例として、心臓補助ポンプがある。これは人工心臓に似ているが、心臓を取替えるのではなくて、血流を増加させて心臓を助けるものだ。人工心臓と違って、うまくいって延命できることが多い。数年間も取り付けられたままのものもある。心臓の仕事量を減らすから、心臓麻痺の後か手術の後心臓が治癒するのに役立つ。今日の心臓ポンプは中に乾電池を備え、皮膚の上から電磁誘導で充電する。ペースメーカーのような埋め込み装置より電力をたくさん消費するから、しょっちゅう再充電しなければならない。最初のポンプの一つ、「アビオコア」は2001年に発売された。重さは1.4キログラムで、充電なしでは30分しか動かない。停電の場合も30分までだ。常温核融合のバージョンならもっと軽くて小さいだろうし、一生動き続ける。といっても、第一世代のものは違う。現在の技術では、エネルギー源は何十年持つにしても、ポンプそのものは5年かせいぜい10年で摩滅して動かなくなるだろう。しかし常温核融合があればそれにふさわしいずっと長持ちするポンプの開発に弾みをつける。人工筋肉（電気活性高分子）でできるかもしれない。心臓そのものの機械力は約2ワットだから、同様の力の補助ポンプを患者の体の中に埋め込んでも熱電池の廃熱は問題にならない。⁶²

医学の装置は他にも切望されているが、今日のエネルギー源では無理だ。たとえば、電気で動く義足、速く遠くまで行ける電動車椅子。近くまで歩く速度で満足している老人のため電動車椅子はたくさんあるが、若い障害者もいるから、自転車のスピードで行きたい人もいる。発明家ディーン・ケーメンが開発した電動車椅子は階段や急な坂道を登ったり、整地されていないでこぼこの地面も進むことができる。ケーメンは「セグウェイ」の電動スクーターを発明した。常温核融合はこの車椅子とセグウェイの改良に役立つし、私の気に入りの電動自転車にも持ってこいのものだ。

⁶² Pinkerton, G., *Miniaturized Electronics: Driving Medical Innovation, Medical Device & Diagnostic Industry*

患者は原子力のペースメーカーや人工器官を拒むと思わないでほしい。試験的過ぎるとか危険だと思わないだろう。第2章で述べたようにプルトニウム動力のペースメーカーはすでに受け入れられている。通常の化学電池のペースメーカーは6年ぐらいで切れて、少々危険と痛みを伴う手術で入れ替えなければならない。生涯持続する装置ができたら、患者は喜んで受け入れるだろう。

誰が見ても現在の電池が携帯電話や人工心臓のような応用分野に不十分だと分かるが、他のすべてのエネルギー源も同じように不備で短命で高価である。19世紀と20世紀の社会には十分であったかもしれないが、私たちの基準はもっと高い。農業の草刈り機などに使う小型石油エンジンを例にとってみよう。使いにくくてイライラさせられるし、危険だ。持ち歩くのに重い。効率が悪いから、せいぜい燃える石油の熱は一割ほどしか機械力にならない。あまりうるさいので遠く離れた所からも聞こえるし、たびたび使う人は防音用耳あてを着用しないと聴覚障害が起こる。起動させるのが難しくて、厄介な手間を何回も繰り返さねばならないことがある。いったん動いても、機械的負荷が増大しすぎるとエンストを起こす。また面倒な手順でエンジンをかけなくてならない。くさい毒ガスを出すから、屋内で使えない。起動して数分経つとエンジンブロックが熱くなり、人に当たったらやけどするし、物に当たったら火がつくこともある。この道具を使う人は有毒爆発物である燃料を家や車庫に貯蔵しなければならないが、こぼれたり、発火したりするから、毎年事故が何件も起こっている。

もし、未来の常温核融合の便利さに慣れてしまった人々が、今の時代を振り返ると、私たちはこの惨めな機械に始終いらだっていたに違いないと思うだろう。私たちは同じように1600年代の人々を振り返ると当時の人々を哀れに思う。昔の人は旅に出ると馬に乗ってひどく険しい道を1時間にせいぜい13キロメートルぐらいしか行けなかった。私たちから見ると隔離されて悔しかったのではないかと思う。ところが彼らは多分そう感じなかった。自分たちは道路交通の問題があると気が付かなかっただろう。道路はこんなもので、改善できるなんて思いもしなかつただろう。いわゆる想像力の欠如である。17世紀の半ば頃状態は変わり始めた。フランスで運河の工事を進めてローマ帝国の滅亡以来始めて道路を整備した。1820年代には鉄道が開発されて交通が本格的に発達できるものと目覚めた。ところが鉄道がヨーロッパのすべての大都市に行き渡ったら、もうこれで輸送機関は完成されて、改善する見込みも必要もないという気持ちになった。ハイラム・マキシムは優秀な発明家だったのに、自動車は鉄道より重大な利点があることに気が付かなかった。彼の想像力の欠如は、目標に達成するためには技術と才能だけでは足りないということを物語っている。必要性を感じて、仕事は大変だがやる価値があると思わなければ目標は達成できない。マキシムは次のように書いた：

自動車できたのはガソリン・エンジンだけがきっかけと人は思い込んでいる—しかし私が思うにはこれは間違っている。我々は蒸気エンジンを一世紀以上使っていた。蒸気車は1880年、否1870年でさえ作ろうとおもえば作れたはずだ。でも、そうしなかった。1895年まで待った。

なぜ道路車両をもっと早く作らなかつたかと言うと、私の意見では、自転車はまだ多数はなかつたので、普通の道路を使った長距離の旅行の可能性ということに人の考えを向けさせられなかつた。鉄道で十分だと思った。自転車は新しい需

要を生み出したが、それを満たすことは鉄道の能力では及ばなかった。とうとう自転車も自分が生み出した需要を満たすことができなくなった。足で推進するのでは間に合わなくて、機械力で推進する乗り物が必要になったのだが今は自動車はそれになかった物だということが分かる。⁶³

今のエネルギーがどんなにひどいか、そしてどんなに改善できるかを悟るまで、多くの人々は現在のエネルギーから常温核融合へ、あるいは風力発電のような従来の代替エネルギーへ切り替えようとはしないだろう。不満は進歩への第一歩である。

2. 機械そのものが安くなる

第一世代の常温核融合の装置は始めて発売されるころには高価だろうが、いったん目新しさを感じなくなって販売競争が始まったら従来の化石燃料のものと同ほぼ同じ値段になるだろう。競争が激しくなって数年後にはブランドが増えて、常温核融合装置は化石燃料の型より安くなると思う。設計はより簡単で、部品数が少ない。たとえば、自動車は消音器も、公害防止の触媒コンバータも、燃料タンクも要らない。

売値は同じで、燃料に年間数百ドルかかる化石燃料のモデルか燃料がただ同然で公害を出さない常温核融合のモデルかを選べるのならば消費者は皆常温核融合のモデルにする。化石燃料のはまもなく生産中止される。

常温核融合の暖房や自動車はアメリカ人にとってあまり革命的に感じないかもしれない。中流のアメリカ人は今でも使いたいだけのエネルギーを自由に使っている。誰かが「使い放題の石油をただであげる」と言っても、用もないのに何百キロメートルも余計に走り回る人は少ないだろう。

中流のアメリカ人は周りを見て、貧乏な人の生活が楽になったことを喜んで、地球温暖化の悪夢がだんだん薄れていくの見てほっとするに違いないが、自分自身には常温核融合が金の節約をもたらすことは最初あまり感じないだろう。その人が電気会社か石油会社で働いているのでなければ直接の影響は少ないと思う。そこで働く人はすぐさま失業する。その失業は常温核融合がもたらす新しい雇用機会に埋め合わせることができる。私は願う。生活は急に変わらないだろうが、小さな変化は即時に現れ始めるし、次第に大きな影響を及ぼす。常温核融合の技術は規模が小さいし、装置そのものも小さいから、その変化は財界首脳や経済の専門家が予想するより早く、すばやく社会に浸透する。大規模の原子力発電所とは全然違う。常温核融合で起動する典型的な機械は店で買って自分でひょいと持ち上げて持って帰る物になると思う。車なら、自分で運転して帰る。何億人が新しい製品を買いたがる、そしてその製品は生活に役立つと分かったら、その効果はすごい。1908年から、安い大量生産の自動車が新発売された。その車は少しずつ、一台ずつ売られた、町の少数の人しか持たなかったのに、まもなく静かに人の生活ぶり並びに人生そのものに影響を与えた。1980年に個人用のコンピューターがもうすぐ自分の日常生活、仕事、娯楽、結婚、教育、子育てなどにまで深刻に影響を及ぼすと

⁶³ Rae, J., *The American Automobile Industry*. 1984, Boston, Mass.: Twayne Publishers, quoted in Cardwell, D., *The Norton History of Technology*. 1995: W. W. Norton & Company, p. 368.

想像した人はほとんどいなかっただろう。一台ずつのコンピューターの購入で気づかない内に社会が変わったわけだ。

ある専門家はたとえ今すぐ常温核融合が完成されても、他のエネルギー源と取り替え、多数の人の日常生活になじむまで50年間はかかるだろうと言う。電話や電気は多数の世帯に届くまで50年ほどかかった。ガソリン・エンジンの自動車は1880年代に初めて作られたが、1908年まで大量生産の段階に入らなかったし、都市に多数に現れて、交通の邪魔になり始めたのは1920年代だった。舗装した道とガソリンスタンドの大規模の基幹施設ができるまで自動車はあまり広まらなかったが、常温核融合にはそんな基幹施設は必要ない。常温核融合の車は今ある道をそのまま使えるわけだし、重水を分配するガソリンスタンドのようなものは全く要らない。コンピューターは1945年に発明されたが、普及するのに45年かかった。常温核融合はこの型にも当てはまらないと思う。電気と電話網、自動車の大量生産、超小型の半導体工場は複雑な、資本集約的、大型産業が必要で、実を結ぶまで数十年かかった。常温核融合の方はもっと簡単にできる。

3. どこでも何にでもエネルギーは不可欠

機械は皆エネルギーを消費する。あらゆる必需品の内、エネルギーだけはすべての産業と通産に影響を与える。エネルギーの価格と有効性を変えれば、生産コストは隅々まで変わる。

常温核融合は鋳業、輸送、生産加熱、切断機、製粉などの原価を安くする。木や石から、最新の高技術の炭素繊維まで材料は皆安くなる。とくにエネルギー含量の高い材料、たとえばアルミニウム、鋼鉄銅、黄銅、綿などの価格は下落する。⁶⁴

現在、化石燃料工業が一番多く石油を消費する業種だ。つまり石油会社は自分たちが作る燃料を自分の油田、石油タンカー、精製所、パイプライン、石油配達トラックなどに使わなければならない。北海の海上石油掘削基地はドリル、ヘリコプター、作業員の宿舎の発電機と暖房など小さい油田が生産するぐらいの石油を消費する。燃料を作るために費やすエネルギーは生産費と言われる。石油会社は自分が生産する石油の10%から20%を自分の機械を動かすために使う。(ピメンテル⁶⁵は20%だと推定する。非公式な他の文献によると10%である。油田の場所と種類と、どのくらい遠くまで輸送するか、そして石油の質によるらしい。)石炭はもっと効率が良くて、生産費は8%ぐらいだ。風力発電の生産費は約2%である。風力発電機の架設が終わってから、そのタービン、発電機と塔を作るために使ったエネルギーと同じ量のエネルギーを「返済」するまで2、3ヶ月かかる。機械は20年間持つ。20年後に発電機と翼が使い古され、取り替えなければならないが、塔はもっと長く持つ。常温核融合の重要な生産費は普通の水から重水を分離抽出することで、今日の抽出の技術ではこれは約0.05%で、将来技術が改良されるにつれてもっと減るだろう。(第2章参照。)

⁶⁴ Centre for Building Performance Research, Victoria University of Wellington, New Zealand, <http://www.vuw.ac.nz/cbpr/documents/pdfs/ee-coefficients.pdf>

⁶⁵ Pimentel, D. and M. Pimentel, *Food, Energy, and Society, Revised Edition*. 1996: University Press of Colorado, p. 17.

常温核融合は現在のエネルギー部門で使っている大量の材料と熟練労働者と資本を他の分野に使える。材料というのはたとえば石油タンカーと電気配達網の鉄鋼とコンクリートなどだ。石油タンカーは全船舶の四分の一ぐらいに当たり、重さで言えば、船荷の34%に当たる。⁶⁶

常温核融合では石炭の露天鉱や石油精製所や送電線に使う土地も必要なくなるので、他の目的に使える。

従来のエネルギーの生産費が高い理由はエネルギー生産は油田、石油パイプライン、精製所、港湾施設、天然ガスのパイプライン、発電所、水力発電のダム、炭鉱、石炭列車、ガソリンスタンド、道路の上に蜘蛛の巣のようにはりめぐらされた配電網など、広大な基幹施設が必要であるからだ。高速道路を走る時、あるいは飛行機で都市の上を飛ぶ時、エネルギーの生産、格納、配達に関係のあるものをいかにたくさん目にするかに気づき驚く。常温核融合があれば、この基幹施設は排除できる。世界中のエネルギーは数十の工場でまかなえる。

食料には統合エネルギーがたくさん必要だ。「統合エネルギー」とは食べたら得るエネルギー、いわゆるカロリー数のことではない。牛肉の統合エネルギーは牛に食べさせるトウモロコシを耕したトラクターに使った石油のエネルギーと、そして牛を輸送して、屠殺してから、肉を保存する冷蔵庫が消費する電力、そして料理に使うエネルギーのことである。近年になって食料の統合エネルギーは大いに増えた。特に南米やオーストラリアから、地球の反対側のヨーロッパとアメリカに新鮮な果物を運んだりするからだ。トウモロコシの缶詰は栄養分 375 キロカロリーを補充するが、缶詰を製造するのに 3,065 キロカロリーがかかる。その内、トウモロコシそのものを生産するのに 450 キロカロリー（主に農業機械の燃料）と包装の缶詰の金属と紙を生産するのに、1,006 キロカロリーかかる。原始的な方法で耕し、食べ物の処理するとこれより少ないエネルギーでできる。もし、一人前のトウモロコシを作るのに 3,065 キロカロリーの仕事をしなければならぬのに、それを食べても 375 キロカロリーしか得ることができなければ、人が自分の手足でその仕事をすれば、飢えて死ぬ。私たちが飢えないのは機械にその仕事をやらせてもらっているからだ。機械は食料の栄養分の 1 カロリー 1 つを作るのに化石燃料の 10 カロリーを消費してしまうわけだ。

冷蔵と冷凍のような近代の食品保存方法は、漬物、干物、缶詰など昔のやりかたと比べて、エネルギーをたくさん消費する。冷凍食品の 455 グラム分のトウモロコシを作るのに 1,270 キロカロリーかかるし、それを冷凍庫に入れると毎月さらに 265 キロカロリーかかる。⁶⁷

肉は一番贅沢な食べ物である。私たちが食べる動物の餌、つまり植物類を育てるのにとてつもない量の化石燃料がかかる。140 グラムの一人前分の牛肉にはカロリー量は 375 キロカロリーだが、それを作るまで、の 13,000 キロカロリーの化石燃料、主に石油を燃やさなければならぬ。言い換えれば、100 グラムのハンバーガーを注文したら、

⁶⁶ Organisation for Economic Co-operation and Development, <http://www.oecd.org/dataoecd/39/20/2751848.pdf>

⁶⁷ Pimentel, 同書, p. 192, p. 195. 1 kcal = 4,184 J トウモロコシの缶詰を生産するのに 12.9 MJ がかかる。307 g の石油に等しいエネルギー量である。

おまけに2リットルのガソリンが追加注文として来るというわけだ。みんなが自覚していないが、私たちは石油に頼りきっている。石油が枯渇したら、私たちは仕事に通えなくなるだけではすまない。飢えて死ぬ。しかし、良いことは、石油を常温核融合と取り替えると食料の生産価格は即座に大幅に減ることだ。

4. 常温核融合があっても効率性はまだ大事

常温核融合があれば、効率性はまったく問題にならないだろうと考える人が多い。たとえば、ある読者は「効率良くしても金の節約を考えなくて良いから、建物に断熱材を入れたりしないだろう」と予測した。

場合によってはエネルギー効率が悪くても全体からみれば経済的になることがある。たとえば、大体の熱機関では、低い温度で運転するように設計したら、エネルギー効率が悪くなるが、その代わり機械は長持ちするし整備費も節約できる。現在の原子力発電機は比較的低い温度と圧力で運転するからパイプとタービンの消費率が減って、機械は長く持つ。(第14章参照)

しかし、効率が悪ければ、機械は使い物にならない場合がある。たとえ金を節約する必要がなくなってもやはり効率を重視した方が良い。第2章で述べたNASAのカッシーニ宇宙の熱電池で家の電気をまかなってみたらどうなるか想像してみた。この装置の変換効率は10%だけだから、役に立つ程度の電気を発電しようと思えば、人間ほど大きい装置を20台も裏庭に並べなければならぬ。廃熱でそのあたりは暑くなり近所迷惑だ。

もし、自動車の変換効率が5%か10%だけだったら、19世紀の蒸気機関車のトラクターのように巨大なエンジンになる。断熱材のない建物には大きい、やかましい暖房機が必要だし、暖房をつけてもやはりすきま風が入って居心地が悪いだろう。極端な例を挙げれば、日本の伝統的な農家ほど、すきま風がよく入る構造は他にはないだろう。障子は紙でできている。寒い夜なんかに雨戸も閉めるけれども、これも薄い板で断熱材として役には立たない。こんな家に住むと、一日の内、お風呂に入っている時間だけ暖くなる。冬に歯磨きが凍ることもある。部屋は火鉢とかコタツで暖めるだけだ。

伝統的な農家のコタツは暖かくて、居心地が良いし、恋人にはもってこいの場所だが、それを経験するために寒い部屋の中ですごす近代の日本人はあまりいないと思う。常温核融合があれば、部屋に5キロワットの室内暖房具を置くことはできるが、それでも寒いだろう。ヨーロッパでは中世期の城の中には燃え盛る暖炉があったが、向かって座ると顔が熱くなりすぎ、反対に背中が冷えた。

効率性を大事にしなければならない理由はもう一つある。遠い未来には人類はこの本で描写している大規模計画を果たすためにエネルギーの消費率を10倍か100倍に増やすかもしれない。機械の働きを増やせば、廃熱は生物圏に障害をもたらす、人間と他の種に悪影響を及ぼすかもしれない。今だって、自動車と暖房設備が集中する大都市の気温は周りより1、2度高くなることもあり、雪は早く溶ける。これはきっと植物に悪いと思う。未来の機械の廃熱を少なくするために適度に効率よく作らなければならない。

近い将来に大規模計画を開始する前に、常温核融合は第 14 章と 15 章で説明するように、熱電併給装置の使用を奨励するから、総合的に効率を良くして人類の総エネルギー消費量を低くできると思う。

5. 常温核融合によって特によりよくなる機械

常温核融合はすべての機械の価格を安くする。機械によって性能もよくなるが、大型テレビやミシンのようなものは別に変わらないだろう。携帯型にする理由もないし、コンセントを差し込むのは不便ではないし、どちらにせよエネルギーをあまり使わない。ミシンはどこから電力が来ても迅速にならない。しかし他の機械は作業費が安くて、便利になり、公害が少なくなる。比較的簡単に常温核融合のデザインに切り替えることのできる機械があるし、切り替えれば莫大な利益がでる製品もある。特に目立つ商品を発売されると予想される順番に並べてみた：

- 携帯用の電話やコンピューター、電話中継器、飛行記録計などの電子装置は再充電する必要はなくなる。常温核融合で温まる熱電池を利用して数十年つけっぱなしにしても切れない。
- 電灯。特に単独型の頑丈な低電力の発光ダイオード式のもの。これも熱電池を電源に使う。キャンプ用具、非常用照明設備、第三世界の村などに適切。
- 家庭用ストーブ、暖房、温水器。
- ポンプなどに使う小型モーター。動力は熱電池か、直接蒸気タービン、またはスターリングエンジン。
- 熱活性化による吸収式冷凍機。これは今日売られている天然ガスの火を利用する冷蔵庫のように熱によって中を冷たくする。冷却効果を熱で起こせることに矛盾に感じるかも知れないが、この場合、熱は圧縮器の代わりに使う。冷房もできる。この冷却効果は沸点に近い温度で効率よくできる。⁶⁸
- 車、単車、トラクター、他の小型乗り物。
- 大型でわりと簡単な工業設備。たとえば沸点以下で熱処理可能な加熱炉。
- 沸点より高度の加熱処理機。
- トラックや建設用機器などに使う大型エンジン。
- メガワット規模の発電機や重機。
- 大規模の海水淡水化設備。
- 鉄道機関車や船舶用エンジン。
- 污水やごみ処理のための熱分解工程装置。合成石油と肥料を生産する。石油は燃料としては必要なくなるが、石油化学原料と潤滑油に使う。そのうち、装置が小型になって全自動運転になるだろう。トラックに載せられるくらいの大さきになると大量生産され、污水処理のために町村に配られるだろう。（詳しくは 1 3 章）
- 航空宇宙応用のエンジン。

⁶⁸ U.S. Department of Energy, *Thermally-Activated Absorption Chillers*, http://uschpa.admgt.com/TB_TAchillers.pdf

6. 先に小さい機械

いつの日にか常温核融合が完全に再現できて、制御もできると想定する。物理学者と化学者たちはホッと安堵のため息をつきながら、試作品を製品の企画者と生産技師にわたす。それを「出発の日」と呼ぼう。基礎研究も続くから、より性能の良い装置が次々にできる。実用的な半導体は1952年に開発後まもなく大量生産されたが、半導体の基礎研究は勢いが衰えずに今日も続いている。

生産技師たちは必死で生産機械や生産ラインを開発する。その仕事は数年かかるだろう。その間に管理機関の専門家は装置が安全であることを確かめる。「出発の日」からおよそ三年後商品が現れると思う。最初に出てくるものは小型機械だろう。大型機械より開発も生産も手早いし、資源も少なくて済むから、先にストーブとか、ポンプ用の熱機関などができる。少数の専門的な高価で複雑な機械もできる。NASA、軍隊、電話会社が手の届かない宇宙などで行う重要な行動のために常温核融合熱電池を欲しがらう。

石油は単位当たりエネルギー量が石炭やガスなど他の化石燃料と比べて一番高い。石油は主に交通機関に使われるから、これが開発の最初の目標となるだろう。常温核融合で作動できるあらゆる物のうち自動車は消費者の立場からいけば一番魅力的であるし、公害防止、地球温暖化軽減、経済発展に対して有益な効果がある。自動車業界ではこれに気付いて、必死で常温核融合で動く自動車を開発するだろうが、新しいデザインを設計して、生産ラインを変えるまではかなり時間がかかる。「出発の日」からおよそ十年はかかるだろう。トヨタとホンダはハイブリッド車の開発を始めてから発売まで五年ぐらいかかった。ところで常温核融合のデザインもおそらくハイブリッド（電機モーターと常温核融合の蒸気タービンを適宜使うもの）だろう。日本の自動車産業はこの技術ではリードしていて、アメリカの企業は今頃やっと日本の技術の使用許諾契約を取っている状態だから、おそらく日本は先導的な役割を果たすだろう。

常温核融合の自動車がショールームに現れるころ、家庭用の熱電併給装置が発売される。

私たちは多くの応用には電気が必要だと思うが、電気の代わりに直接常温核融合の熱をうまく利用できるかもしれない。電動に慣れきっているから他の動力を普段考えから外している。しかし、19世紀末の、小型の自動蒸気機関は今の電気モーターのように広く応用された。圧縮空気は昔から動力に使われたが、現在も大工と自動車整備士は圧縮空気の道具を使う。熱くならないし、電気火花がでないから安全だ。未来には洗濯乾燥機は常温核融合の熱を直接そのまま使って、中で回転する部分は小型のスターリング熱機で動くかもしれない。電気の代わりとなる熱の直接使用は15章に取り上げる。

5. 革命的な技術

第4章では既に普及している機械について述べたが、この章ではこれまで化石燃料では非実用的だったか、あるいは不可能だった方法を常温核融合を使った新しい技術によって可能にできることについて述べる。常温核融合の特徴を生かした飛躍的な新しい機械を発明して化石燃料では想像もできないようなことが達成できる。一番最初に作るべきものは海水淡水化設備だと思う。機械そのものはもう使われている。何百万人もの飲み水を海水淡水化装置でまかなえる。それに加え、常温核融合による改良で灌漑装置を作り、地球規模の改善ができる。それは砂漠に花を咲かせることだ。

これは塩水を飲み水に変える機械だ。現在、主に中近東の富裕な国の乾燥地域ですでに飲み水を供給しているけれど、農業に使うほどの量は生産できない。化石燃料やウランの原子力は高すぎて、公害が多すぎる。常温核融合では、水の生産を数百倍に増やし、さらに数千倍に増やしたら、人工の川を作り、灌漑ができる。やがて樹木と植物が生えて、天候に良い影響を与えて、サハラとゴビ砂漠の一部を農地に変える。この地域には最も貧乏な国々があるし、これから貧乏になる石油産出国もあるから、新しい農地は非常に役立つだろう。

新聞によると、近い将来に、淡水は石油に取り替わって、一番求められるかつ論争を起こす資源になるということだ。淡水のために戦争がおきるかもしれない。常温核融合はこの悪夢の筋書きを防ぐことができる。

大規模の海水淡水化設備は第8章で詳しく説明する。

公害のないエネルギーが無限にあれば海水淡水化の他にできることがたくさんある。すでに商業化された物に常温核融合を加えたら、地球の状況を変えることができ、飢餓や公害を減らして、生活必需品の不足をなくして、工業原料、肥料、食料などの価格を大幅に減らすことができる。革命的な影響を与える技術としては次のものがある。

「屋内農業」はもっと盛んになる。これは簡単な温室からコンピューター制御の先進技術の水栽培の工場までである。日本ではトマトやイチゴ、ヨーロッパでは花の温室栽培が進んでいる。さらに日本にはレタスの野菜工場がある。屋外農場と比べて土地と水と農薬の利用が少なくなるから、環境の被害が減る。第16章で詳しく説明する。

通信は改良される。携帯電話の基地局の代わりに常温核融合で作動する無人操縦飛行機を配備することによって、発展途上の地域と国でも携帯電話を使えるようにする。価格は大幅に下がるかもしれない。この飛行機は高高度だが衛星より低く飛ぶから、普通の携帯電話に届く。現在、低軌道衛星に届く特別製の携帯電話はあるが、アンテナが大きいし、電力をたくさん使う、おまけにたくさんの人が一度に使えない。山の上の基地局は別として、飛行機は普通の基地局より供給区域が広い。飛行機は数ヶ月一定の場所を巡回しているか、ヘリコプターのように空中静止して所定位置につく。悪天候のおこる層より上の位置で旅客機より高く飛ぶ。時々基地から代替りの飛行機が飛び立ち、今まで巡回していたのが基地に下りて整備される。携帯電話だけではなくてラジオとテレビの放送も送信する。静止地球軌道の放送衛星は赤道線上にあって、北半球地方にはうま

く届かないからこの飛行機は特に役に立つ。NASAは現在、このために太陽電池の小型飛行機を開発しようとしているが、この飛行機はもろくて、搭載量が小さいからあまり実用的ではない。

高高度からの携帯電話の放送は捜索救助活動に役立つ。頼りにならない、むらのある携帯サービスしかない田舎の地域ではとくに助かる。迷った山歩きの人は峡谷をさまよっているから携帯の基地局につながらない場合が多いが、受信機が頭上の飛行機にあれば、この問題は起こらない。未来ではほとんどの人は携帯を持つだろうと思うが、万一この迷った人が持っていなかったり、電話が故障になった場合には望遠レンズを備えた高高度の飛行機でその人を探す。第10章で小さい人工知能の「鳥の頭脳」型のロボットが基地から送られて、森の真上を飛んで人を探すというもっと革命的なやり方について述べる。

革新的な飛行機と宇宙船が開発されるだろう。あるものは現在の飛行機より座席数が多くなる。民間飛行機は今の一番早い軍用機ほど早くなる。(第18章参照。)

エネルギー集約型で自動化されたリサイクルの技術はすでに開発されているが、エネルギーをたくさん使いすぎるからうまく進んでいない。例として、毒性化合物は封鎖された容器の中で熔融金属に浸かると分子が原子に分解させられる。元素は種類別に分けて集めることができる。これは焼却炉ではないから、大気に何も放ったりしない。ヒ素のような毒性の元素は化合物から分けてもまだ危ないが、自動的にヒ素を隔離して精製し、安全な容器に入れて、ヒ素を原料に使う工場に出荷すれば良い。ダイオキシンのような無害の元素から成っている有毒化合物や発がん性の化合物は即座に安全な構成物質に分解される。(ダイオキシンの場合にこれは炭素、水素、酸素、塩素である。)有機化合物や下水汚物や医療廃棄物は水と炭素と他の微量の元素に分解される。Molten Metals Technology, Inc. (熔融金属技術社) というマサチューセッツ州の会社はこの方法の先駆者だったが、あいにく倒産してしまった。⁶⁹

1. 新しい製品の洪水

基本研究が終わって、特許が得られたら、少数の会社はセルの生産を開始するだろう。多くの会社はそのセルを購入し、製品に応用し、その製品の性能を改良する。そして爆発的な製品開発が始まる。かつて、同じような傾向は電気、半導体、コンピューターなどの基本的な発見で見られた。核心となる着想はある会社または研究所から出て来る。少数の会社はそれに基づく部品を生産する。多数の会社はその部品を買って、製品に使う。それにかかわる人の数と資本と勢いはとても多くなるだろう。

飛行機の歴史をみると常温核融合とよく似ている興味深い点がある。1908年まで専門家の大部分と新聞の編集者のほとんどは飛行機は存在していないと思い込んでいた。ライト兄弟は1903年に初めて飛んで、1904年と1905年にデイトン市で一般市民の前で毎週数回飛行を繰り返し、最後に40分間続いた記録的な飛行をしたが、新聞と科学誌では専門家はライト兄弟を非難して、デイトン市まで旅して、自分で見てみようとしなかった。1908年8月にウィルバー・ライトはフランスで大勢の専門家の前で飛んで、

⁶⁹ Holusha, J., *BUSINESS TECHNOLOGY; No-Smoke Ways to 'Burn' Wastes*, in *New York Times*. 1993.

あつと言わせた。ヨーロッパの新聞は熱狂的に報道し、やがてヨーロッパ全土がウィルバーを賞賛した。

最もうるさかった批判者でライバルの一人、アーチディーコンは次のように書いた。「長い間、長すぎる間、ヨーロッパでは、そして彼らの生まれた国でもそうかもしれないが、ライト兄弟ははったりだと攻められた。今日からはフランスでは彼らは神聖化されてあがめられる。私は大変に喜びながら最初にこれを言う者の一人として、その悪名高い不正な扱いを償いたい。」⁷⁰ 一方、アメリカの報道界はこのニュースを無視した。数週間後にオーヴィル・ライトが首都ワシントンで飛行機を飛ばして見せた。そして飛行の大流行が世界を狂わせた。1911年のサイエンティフィック・アメリカン誌の飛行特集で「50万人以上の男性は航空関連の産業企業に積極的にかかわっている。」と報告した。

常温核融合が本格的に産業化されたら、50万人の製品開発者は必死になって働くだらう。彼らが本領を発揮したら新しい製品の洪水となるだろう。開発に参加しない大手会社はないと思う。必死にならないければ、たとえばゼネラル・モーターズでは、早く常温核融合の自動車を開発しなければ、フォードやトヨタに負けて破産すると分かる。

常温核融合は数え切れない二次効果を起こす。商品及びサービスの価格を下げ、今まで元が取れなかった製品やリサイクルを可能にする。製品をより軽くて、丈夫で安全にする。

私は分かり切った応用しか想像できない。無論、さまざまな機械に数え切れない改良と変更を加えることができるが、私は自分が関わった企業以外は詳しく分からないからどんな変更をすれば良いか見当がつかない。常温核融合が登場したら、製品の企画者はまもなく使い方を学ぶだろう。1980年代にマイクロプロセッサができてから、数年後にそれを台所のミキサー、ホテルの客室の扉、お風呂の温度やポンプの制御器など、その時まで誰もコンピューターで改良できると思わなかった装置に備え付けた。いたるところで使用されると物珍しさが消え、目に付かなくなった。1965年の人に、近い将来にあなたの家のお風呂にはアポロ宇宙船のコンピューターより高性能の制御コンピューターが入ると告げたとしよう。その人は驚くより、戸惑うだろう。「一体どうしてお風呂にコンピューターなんか要するのか？ お風呂に制御せねばならない部品はどこにあるのか？」と聞くかもしれない。今日の電気工は「常温核融合は電気を起こすのにいい方法だろうけど、どうして照明設備に直接備える必要があるのか分からない。家の配線には欲しいだけ、十分な電流が流れているのではないか」と思うだろう。その電気工は最初は考えつかないかもしれないが、配線には電力がありすぎるほどある。感電死や火事を起こすこともある。配線をなくし、照明設備と他の機器には直接の電力供給があった方がよい。現在の配線は電力を供給するだけでなく、天井の照明を付けたり消したり、調光操作装置で制御したりする。配線の代わりにコンピューターのネットワークですべての照明設備を制御した方がよい。そうすれば、照明は一箇所から制御でき、帰っ

⁷⁰ Archdeacon, E., *L'Auto*, (雑誌) 1908年8月。常温核融合を批判している人たちは 多分これほど丁重にあやまらないと私は思う。常温核融合の研究者もライト兄弟ほど寛大に批判者を許すことはしないだろう。両側の敵意は深すぎて、そんな償いはもはや無理だろう。

てきてから、玄関に入る前に家中の灯と電気製品をつけることができる。直接電線をオン・オフにする時代はもう終わりつつある。最新の発光ダイオードの照明は複雑なコンピューター制御が必要だ。自分の気分や時間に合わせて、色と濃さと強度を選ぶことができる。部屋を深紅から一瞬のうち、鮮やかに黄色に変えて、今度は日光で部屋を包むことができる。⁷¹ 未来には私たちはきっとこんな重大な選択でせわしいだろう。現在の携帯電話の多くの着メロから一つだけ選ばなければならないと同じように。

⁷¹ Yunis, J., *TRADE SECRETS, Light That Swings Quick as a Mood*, in *New York Times*. 2004 年。
<http://www.colorkinetics.com/>も参照。赤、青、緑の発光ダイオードがそれぞれ個別にあるから光は調節できる。ほとんどどんな色にでもできるが、実は今の段階では真っ白にならない。この新聞記事が「科学技術」の欄ではなくて「家庭」の欄に載ったのは意味ありげな気がする。

6. 相乗効果：常温核融合と他の発見が一緒になる

常温核融合は他の多くの技術の開発に弾みをつける。すでに商品化されて安定している技術をはじめ、試作品の段階で止まっている技術もある。理論上は可能だがまだ開発に踏み切っていない物もある。もしなんとかして開発できたら、常温核融合とそれを組み合わせたらすばらしい物になるうえ、非常に利益が見込める。だから、このような可能性が生まれるなら、企画者たちが仕事にとりかかる動機となる。

常温核融合と組めば費用効果も値打ちも上昇する技術がたくさんある。これは相乗効果である。アメリカン・ヘリテッジ英語辞典は次のように定義する。「二つ以上の物や力の相互作用によって、結合された効果が個々の効果を足すより大きくなる。」例として次のようなものがある。

熱発電

常温核融合は熱を放つ。主な機械は電気を必要とするから熱を電気に変えなければならない。回転する蒸気タービンを使う手はあるが、その装置は大きいし、うるさい。常温核融合による「熱電」装置のほうが適切だ。（詳しくは2章第1節）この装置は作動部分がなくて、太陽電池が光エネルギーを電気に変換するように、熱電池は熱を電気に変換する。

太陽電池はおなじみの電子計算機にも屋上の太陽電池パネルにも使われている。常温核融合の熱電池も同じように規模は小さいものから大きいものまでできる。蒸気タービンは限られている場所でしか使えないが、熱電池はどこでも使えるから、応用範囲は広い。

ところで今の熱電池では実用にならない。一般に利用されるものはせいぜい5%か10%の効率しかない。これは改良する余地があって、すでに進歩が見られる。20%の効率の試作品がある。ある専門家は50%から80%の効率は可能かもしれないと言っている。常温核融合が実現したら、熱電池の開発に弾みがつくが、現在の熱源ではこの開発は進まないだろう。

工業規模の純粋同位体元素の生産

常温核融合は一つの産業や一個の製品に対しても多数の効果を及ぼす引き金となるかもしれない。新しい技術と前から存在している技術との相互作用は複雑で予想しにくいだろう。例として、銅のような多量のエネルギーを消費しなければならない原料の価格を下げる。さらに、銅の元素の同位体を銅63と銅65別に分離するのも安価になるかもしれない。現在は分離された純粋な同位体の試料は主に国立研究所でごく少量に生産され、その試料はグラムかミリグラム単位で研究者に売られている。これは広く知られていない実験結果ではあるが、銅の同位体はそれぞれ根本的に違う効果をもたらすことがある。ある同位体は電気か熱をよりよく伝える。同位体分離方法はエネルギーをたくさ

ん消費するから高価である。常温核融合はこれを安くするから、純粋銅 63 と銅 65 の工業規模の量が生産できて、新しい産業が生まれるかもしれない。

シリコンの特定の同位体もあるかもしれない。それを使えば、半導体をより速くできるかもしれない。

現在は工業規模の純粋同位体の生産は高すぎるから、軍事の応用、特に原子爆弾の生産以外はやっていない。ミサイル防衛企画として米国政府は鉛 207 の同位体を宇宙のレーザーに使えるかと思って、大量に分離してみた。うまく行かなかったが、幸いにもたった 2.5 億ドル (275 億円) だけの無駄で、この実験は廃止された。⁷² (ミサイル防衛企画はそのまま続いていて、今まで 900 億ドルがかかっている。それなのに米国政府は常温核融合には 1 ドルも使う余地がないと言う。)

スズ (錫) は豊富にある元素で、1 キログラムの価格はほぼ 1 ドルである。しかしスズ 112 の同位体は 1 グラムにつき 100 ドルで、スズ 115 は 1,700 ドルである。⁷³ スズそのものは豊富だが、スズ 115 は天然の金属に 0.34% 含まれるだけで、他の九つの同位体から分解しにくい。もし、低価格の大量のスズ 115 が手に入るようになったら、研究者はそれを試して、珍しい貴重な特性が分かるかもしれない。今日、スズ 115 を詳しく分析して試しても意味がない。たとえ、貴重な特性を発見しても、スズ 115 の製造原価は高すぎて、広く利用できないからだ。

人工筋肉

いわゆる「人工筋肉」(電気活性高分子、EAP) が今開発されつつある。生物の筋肉の働きをまねたものだ。電源を入れると縮み、電源を切ると緩む。モーターや歯車や軸受けなどよく故障をする稼動部の代わりになる。機械的に動く部品と比べて人工筋肉は静かで丈夫で寿命が長い。いつかは人工器官(義足など)や人工心臓、ロボット、はばたき飛行機や他にたくさんの未来的な機械に使えるだろう。常温核融合が商品化されたらこの人口筋肉の応用開発が促進される。用途の広い実物そっくりの人口筋肉に動力つきの義足を開発しても、もし利用者がその足を動かすために 10 キログラムの重い電池を苦労して持ち歩いて、四時間おきに充電しなければならない状態なら意味がない。

人造ダイヤモンドと掘削技術

人造ダイヤモンドの研究はたくさん行われてきた。特に薄膜のダイヤモンドは役立つだろうと思われている。眼鏡の表面に張ると引っかき傷はつかないし、切削工具に張るともっと鋭くて長持ちする。この方法はまだ実用化されていないが、もしうまくいったら、常温核融合と組み合わせると掘削技術を大いに改良できる。ダイヤモンド切削工具と常温核融合と改良したロボットを組み合わせると自動的に掘削する機械ができ、常温核融合の高い出力密度と移動性と酸素のない場所でも使える利点を生かして新しい可能性が出てくる。採掘する原料の価格を下げ、地下の工事費も下げる。やがて高速道路、工場、倉庫、下水処理場など広大な地下建設を実行できるかもしれない。ある専門家は

⁷² Theodore Gray, *The Wooden Periodic Table*,
<http://www.theodoregray.com/PeriodicTable/Elements/082/index.html#sample14>

⁷³ 価格は TASC Corporation Japan、1999 年現在。

現在の掘削技術でも地下の建設の方が近い将来に地上の建設より安くなると推測している。工業団地を地下に埋める、または浅い海の下に埋めることにより地域的美観を取り戻すことができるに違いない。

ダイヤモンドの切削工具の計画がうまくいかなければ、大量のただ同然のエネルギーを利用する他の方法、たとえばレーザーか、高熱で掘削工事の価格を下げるができるかもしれない。

第17章で詳しく述べるように、大規模の地下建設はすでに始まり、もう米国ではボストン市の高速道路を地下に埋めた。残念なことに、たった5.6キロメートルのトンネルにかかった費用は20億ドルから150億ドルに膨らんだし、⁷⁴ トンネルに水が漏れているし、天井が一箇所落ちて死傷者を出したから、大幅に修繕しなければならなかった。英仏海峡トンネルと同じように、工学的には大傑作だが、経済的には惨事である。⁷⁵ しかし、大型地下建設は可能だという証拠だ。価格はだんだん安くなり、見積もりも正確にできるようになる。

スイスでは道路も鉄道も混んでいるから、地下の半真空のトンネルを時速500キロメートルで走るリニアモーターカー（磁気浮上列車）を作る計画が本格的に検討されている。この「スイス・メトロ」はうまくいけば、ヨーロッパの他の国にまで広まると考えられている。⁷⁶ この企画は未来的ではあるが、日本では鉄道と高速道路の長いトンネルはすでに多くあり、常温核融合の掘削ロボットができれば、日本はスイス・チーズのように穴だらけになると思う。

日本では、平らな空き地はあまりなくて、小さい険しい山が多いから道路と鉄道用のトンネルをよく作る。そして、駅の周りに地下街が多い。通勤者は駅に向かうのに激しい交通の中を通り抜けるのを避けて地下の歩道トンネルを歩く。帰りに買い物もできる。日本は地震が多いので矛盾しているように感じるかもしれないが、表面地震波は地下の建設にはあまり影響しない。1989年にサンフランシスコでマグニチュード7.1の地震がおきた際、地下鉄の駅でそれに気が付かなかった人もいた。

地下の工事で掘り起こす土砂と岩をどうやって処理するかが一番大きい問題になるかもしれない。日本では、これを湾に入れて埋立地にするが、この方法は自然を破壊する。関西国際空港を作るのに大阪の近郊の丘と小さい山を平らにしてしまった。松下幸之助は日本の山の二割ぐらい壊し、75,000平方キロメートルを平らにして、そしてその岩を海にどっさりと棄てて、200年かけて四国ほどの大きさの五番目の島を作るという狂気としか言いようのない企てを考えたこともある。⁷⁷ 残念ながら、常温核融合の無限のエネルギーは、大惨事と大規模の自然破壊に走る力も我々にもたらす。

⁷⁴ Central Artery/Tunnel Project, <http://www.bigdig.com/>

⁷⁵ Pym, H., *BBC Analysis: Eurotunnel's money troubles*, <http://news.bbc.co.uk/1/hi/business/3472955.stm>

⁷⁶ The Swissmetro/Eurometro transport system, <http://www.swissmetro.com/>

⁷⁷ Kerr, A., *Dogs and Demons: Tales from the Dark Side of Modern Japan*. 2001: Hill and Wang, p. 234

人工知能

膨大な研究費の投資があつたにもかかわらず、近代コンピューター応用の多くはうまく進んでいない。特にロボットはあまり進歩が見られない。人工知能はまだ納得がゆくように開発されていないし、本当に自分で行動ができる自律ロボットもまだ現れていない。アメリカの防衛庁の研究部（DARPA）は鳴り物入りで「大挑戦 2004 年」として自律の無人車（自動車と単車）の 227 キロメートルレースを開催した。レースの道路は交通止めにしたから、他の交通の妨げはなかった。雨や夜の暗闇にも対応しなくても良かった。結果はどうなったかという、DARPA は無駄口をたたかず「大挑戦 2004 年に指定された道筋を完走したチームはなかった」とだけ報告した。⁷⁸ 実は、すべての車は 11 キロメートルも行かないうちにまごまついて道から外れたり、影を障害物と間違えて先に進むのを拒んだりした。40 年間ロボットの集中研究をしたあげく、まだこれが精一杯だった。

ところが、一年後の「大挑戦 2005 年」の結果は劇的に進んでいた。⁷⁹ スタンフォード大学の車は道路を 6 時間 53 分で完走した。他のチーム五つの内、四つは 10 時間以内に完走した。人工知能そのものはその一年間では進んだかどうか分からないが、明らかに工学者たちはこの自動運転に関する問題の解決に取り組んだのだった。

汎用人工知能は向こう数十年に開発できなくても、それでもロボットは物を認識し、それを持ち上げて運ぶこと、自分であっちこっち行ったりすること、簡単な音声入力の命令を理解し、家事をすることなど、限られた分野の特定の人工知能は多分できると思う。汎用人工知能があれば、こういう仕事はロボットが自分で覚えることができるから、工学者が一々そのやり方をプログラム開発するまで待たなくて済むだろう。

他の種類のコンピューター知能とロボットはもっと成功している。コンピューターはチェスの世界一の名人に勝った。小型の自律ロボット飛行機は無人でオーストラリアから米国まで飛んだことがあるが、誰もまだこれに乗る切符は買おうとしないだろう。遠隔操作の軍事用の探知飛行機はもっと信頼でき、普及している。

汎用人工知能があってもなくても、ロボット技術は大きく進展し、商業化されるに違いない。なお、歩き回ったり、簡単な行動を行ったりするにはあまり優れた知能を必要としないことを忘れてはならない。ネズミやコウモリやニワトリはもちろん、蜂でさえこんな行動はできる。その動物の頭脳はいくら素晴らしくて複雑であろうと、いずれは生物学とコンピューターの進展によって仕組みが分かるようになり、それを模範にして、「鳥の頭」級コンピューターができるだろう。（第 10 章参照）

⁷⁸ The Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), <http://www.darpa.mil/>

⁷⁹ DARPA Grand Challenge, <http://www.darpa.mil/GRANDCHALLENGE/index.html>

7. 変化の傾向

常温核融合はこれまでに前例のない変革を起こす。先史時代の火、言葉、農業などの発明に匹敵するだろう。有史上で一番変革と発明の多い時代は19世紀だと思う。蒸気機関、鉄道、電報、電話、衛生管理、麻酔薬、電灯、電気機関、自動車など、多くの発明があった。私の意見では、20世紀の発明より、19世紀のものは人々の生活に根本的な影響を与えた。機械はみんなエネルギーを消費し、エネルギーは技術のあらゆる側面に関わっているから、常温核融合だけで、やがて19世紀の偉大な発明を合わせたほどの社会的変化を誘発する。

常温核融合は以前の技術革命より大きな影響力があるにもかかわらず、前の技術革命の歴史は大いに教訓となる。人々の変化に対しての態度と反応は予想できる。近代歴史では教養のある人が革新に猛烈に反対した例は常温核融合ほどではないが、以前の革新や改革はやはり社会をかきまわし、反対がおこり、達成するのに膨大な投資と労働力がかかった。歴史は化石燃料から常温核融合への切り替えに役立つヒントを与えてくれる。技術の変化の模範となるものをいろいろ取り上げてみよう。

1. 新しい物は古いのを真似る

初期の自動車は「馬のない馬車」の形をしていた。初期の常温核融合で動く車は今日の石油で走る車と同じような形で始まるだろう。同じ車体や車輪、制御装置、電子装置などで作る。かつては車型と大きさは選り取りみどりだったが最近の自動車は安全規則と空気力学のおかげでみんな大体同じような形になってきた。

初期の常温核融合の発電機はたぶん今日の火力発電機に似ているだろう。設計者は石炭のボイラーを取り外し、代わりに常温核融合の熱源を入れて、他の部品をそのまま残すだろう。ほとんどの設計者はなるべく実証済みの方法を使い、どうしても変えなければならぬ時だけ新しくするものだ。

常温核融合の家庭用のセントラルヒーティングはすでにある天然ガス用の熱風道をそのまま利用する。同じ安全規則に従う。家庭用の発電機は、配線をそのまま使い、ヒューズ箱の位置に発電機をつなぐ。

新しい技術の最初の段階は古い部品を一つずつ新しい技術に取り替えることになる。19世紀の木造船に鉄を取り入れたように新しい材料と古いのが文字通り混ぜ合わされることがある。

初期は木の部品に似た形の鉄の部品にするのが常であった。...多くの船主は鉄に対する偏見を持っていたから、全てに鉄が使用される前に複合構造の中間段階があって、鉄を骨組みとタイプレートに使い、外板と甲板に木材を使った...⁸⁰

⁸⁰ Baker, W., *The Lore of Ships*. 1963: Holt, Rinehart and Winston, "The Hull," p. 19.

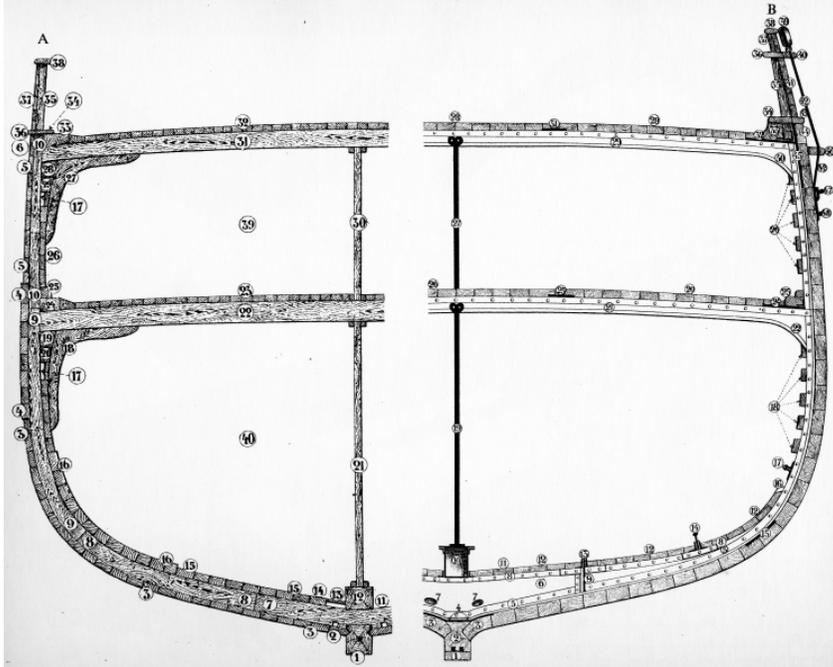


図 7.1. 木でできた船殻の横断面（左）と 19 世紀の鉄の部品を組み合わせた船殻（右）。木造船の形をそのまま使用して、部品だけ鉄を取り入れている。Baker, W., *The Lore of Ships*. 1963: Holt, Rinehart and Winston, “The Hull,” p. 27

新しい技術はよく古い形態を真似る、真似ない方がうまく行く場合でも。原始の中国の焼き物は滑らかな表面にする方が作りやすいのに、わざわざ編んだかごの形にした。初めてのプラスチックの家庭道具や家具は木や枝編みのような伝統的な材料の色と形にした。1960年代にはやっとプラスチックの椅子はプラスチックに見えるようになった。私は1970年のころ、見本市で初期のワープロの実演を見たことがある。画面はタイプライターに見えるようになっていた。新しい文字は画面の下の行だけに現れた。カーソルは上に動かなかった。上の文書を直そうとしたら、想像上の紙をぐるぐる回すふりをして、それをまた画面の下までおろさねばならなかった。工夫して苦勞して、古い物の欠点を新しい物にむりやり当てはめた。こうすれば、タイプライターに慣れている秘書たちは安心して使えると販売員が説明した。同じように、発電所の制御室の壁に旧式の大きい開閉器がある。いわゆる「拳銃式の握り」だが、昔は、壁の向こうにあった大きな装置とつながっていたから、手で力を入れて動かしたわけだ。しかし、今は電気のスイッチになっているから、わざわざ大きくする必要はない。正式報告書によるとこれはスリーマイル島原子力発電所の事故の要因となった。「制御機器の規模を小さくしなかったから、制御パネルの貴重な場所を無駄にしまい、そして他の制御機器は作業員の手の届かない所に置かなければならなかった。」⁸¹

初期の常温核融合装置は多分不恰好なデザインで数年後に廃れるだろう。新しい技術の初期の製品ほど早く古臭くなる物はない。

⁸¹ Ford, D., *Three Mile Island*. 1982: Penguin Books, p. 115

新しい技術の初期のデザインはよく今の生活を基準に考えている。そして、生活はこうあるべきだとか、昔はこうだったという考えに基づく。しかし、全く新しい機械が現れるとその想定はもう通じなくなる。初期のお抱え運転手付き高級車は後ろの乗客の乗る部分にはドアと屋根がついていたが、運転手が座る前の席は上にキャンバスの布の覆いだけあって、運転手とハンドル、アクセルなどが埃や寒さや雨にさらされていた。なぜこんな形にしたかという、多分馬車の御者は外に座ったからだ。この伝統は守るべきだと考えていたと私は思う。これもわざわざ馬車の古い形と欠点を新しい自動車に当てはめた例である。その後の高級車は、今のと同じように、客と運転手は同じ車内に座り、間に窓付きの仕切りがある。

真新しい技術を企画する人はよく、解決しなくて良い多くの問題をわざわざ苦労して解決する。初期の鉄道のデザインとして機関車の動輪に尖がったスパイクをつけ、レールに同間隔の穴を開けることを考えた。設計者は滑らかな鉄鋼のレール動輪は牽引力がなくて滑ると思ったから、動輪のスパイクがレールの穴にすっぽりとはまるようにすればうまくいくと思った。機関車自体の重さは普段動輪の空回りを防ぐということには思い当たらなかった。この設計者はまったく間違っていたわけではない。この問題は普段は起こらないが、レールが氷やぬれた落ち葉やイナゴの大群で覆われた場合には動輪は滑って牽引しないことがある。スパイクのデザインは実用的でないが、機関車は砂を運び、滑るレールにそれを落とし静止摩擦を多くする。近代の機関車は高度に複雑な電子制御によって、空回りを防いで効率よく運転できるように動輪の車軸に最適な回転を伝える。設計者は実際に機械操作の経験を積むと、何が問題かはっきり分かってきて、初期のデザインの役に立たない余計な「製品の特徴」を捨てる。次世代の機械は大体すっきりして、無駄がない物ができる。

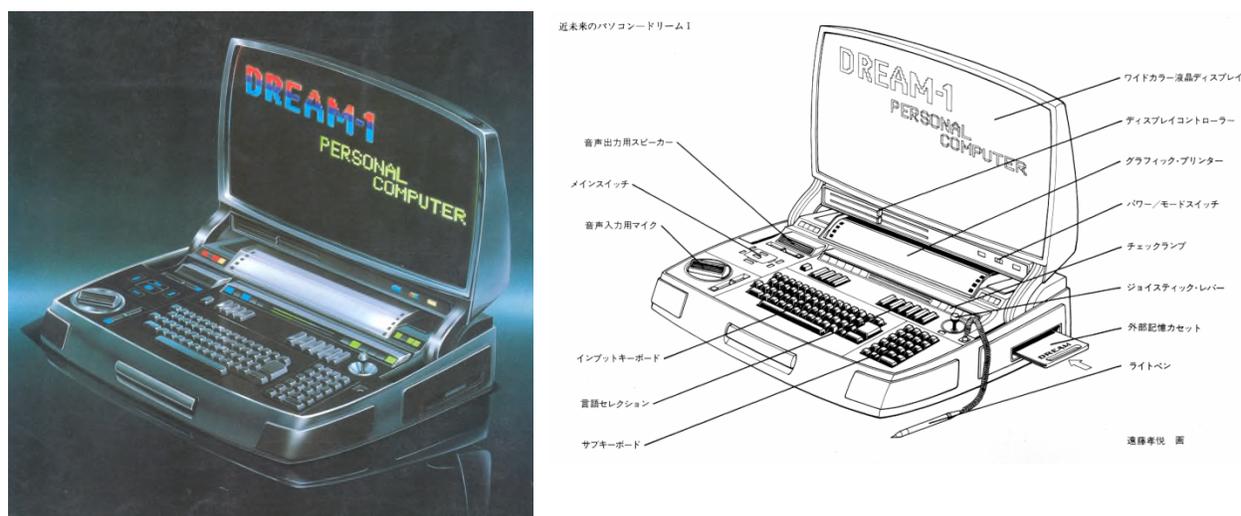


図 7.2. 「ドリーム I」、サイエンス誌の想像した理想的な個人用のコンピューター。別冊「パーソナル・コンピューター」1981年6月。表紙と社説のページ。

図 7.2 にはサイエンス誌（サイエンティフィック・アメリカンの日本語版）の編集者が想像した「近い未来のパソコン、ドリーム I」を示す。希望リストをすべて加えたデ

ザインである。多目的の携帯コンピューターに普通のキーボードに加え使い道の不明瞭な余分のキーが付け加えられ、音声入力用の大きな回転するマイクロホン（左）、ジョイスティック、光ペン、外部記憶カセット、おまけに内蔵グラフィック・プリンターまで加えた。機関車の動輪にスパイクを付けようとした設計者のように、何が必要か、何がうまく使えるか分からなかったから、なんでも投げ込んでみた。携帯コンピューターを使う人はあまり印刷することはない、もし旅行中に印刷しようと思えばホテルのコンピューターを借りるか、近所のコンビニで印刷してもらえることは想像できなかった。当時今のようなコンビニも存在していなかった。この機械には画面の下の「ディスプレイコントローラー」のように、重要でないわりに大きすぎる制御つまみがある。これは多分明らさとコントラストを調節するものだろうが、もっと小さくできる。「パワー・モードスイッチ」は多分内蔵の電池かコンセントの電気を選ぶためにあると思うが、こういうのはコンピューター自身がコンセントに差し込んでいるどうか探知して、判断すれば良い。

日本の編集者たちはこの空想の機械に役に立たない機能をたくさん詰め込んだが、同じ号の座談会では、専門家は重大な機能を見落とした。個人用のコンピューターには漢字入力は必要としないだろうと決め付けたのだ。

石田「漢字を使いたいというのは...。」

開「これは強いです。」

岸田「どうしてだろう、僕は漢字なんかいらないうけど...。」

開「要するに名前とか...特に出力の段階で—贅沢なのでしょうか。なんでも要求すれば...という感じもありますね」

岸田「効率からいえばローマ字が最もいい...。」⁸²

タイプで漢字入力ができなければ、音声入力ではどうかという議論もあった。1970年代には漢字入力は根本的に不可能だとういう専門家もいた。⁸³ところが1981年にこの記事が出版されて数年後に漢字入力のできるワープロが出ると、漢字入力は難儀だと言っていたにもかかわらず、みんな使い始め人気が出た。現在は仕事にワープロを使わない知的職業者は少ないだろう。1995年までにはウィンドウズのコンピューターは日本の漢字、中国語、アラブ語、ヘブライ語、ロシア語など、50以上の文字の種類を入出力ができるようになった。振り返ってみると座談会の専門家はいったいどうして自分たちの使っている文字を書くのは別に大事ではないと思っただろう。現在、ワープロとか電子メールが一番広く使われているコンピューター応用だろう。常温核融合も同じように普及したら、日常生活に染み込んで、以前存在しなかった機能も絶対必要となってくるだろう。それなしでどうやって暮らせたのか不思議に思うだろう。今、電子メールとインターネットなしでは暮らせないと思うように。

初期の個人用のコンピューターには設計者が経験したことない新しい、独特なデザイン問題があった。常温核融合技術にも、きっと同じような問題があるだろう。

⁸² 石田晴久その他、「パソコンの夢と現実」、サイエンス、1981年、p. 122

⁸³ Unger, J., *The Fifth Generation Fallacy*. 1987: Oxford University Press.

2. グールドの断続平衡説

とっくの昔に問題を解決して、その問題対策はもう要らないというのにそのまま現在の機械のデザインに残ることがある。いわゆる「QWERTY」（クワーティ）という、タイプライターのキーボードの配列は、人が素早くタイプを打った時に先端に活字の付いた金属の腕がもつれないようにデザインされたものだ。一世紀前からもつれる問題はなくなったから、このデザインを続ける必要はもうない。しかし私たちは使いやすい文字配置に切り替えようとはしない。生物学者スティーブン・J・グールドはクワーティ・キーボードのことを最低のデザインと評した。⁸⁴ このデザインがまだ生存していることは進化論の根本的な機能によく似ている社会現象二つによるものだと言った。それは：偶発的な出来事（contingency）と、現職効果（incumbency）である。偶発的な出来事とは「予想できなかった出来事の連鎖」の結果である。現職効果とは単に早い者勝ちである。早くからまだ競争がない時に良い地位に着くことを意味する。初めはいろいろな考えが出て、柔軟性があるがまとまらない。偶発的にある方向に定まるとみんなその流れに乗り安定する。現職効果は「その流れの安定性を強化する」とグールドが言った。例として、「最低な政治家はいったん政権を握ると、特権、任命権、公共への知名度の手綱を握るから、ほとんど永久的に勝利する。」これはグールドの断続平衡の理論の根拠となる。「複合システムは普通、均衡状態になる。もし変化を起こさせるなら、その変化はいったん起こるとすぐ進み、すぐに終わる。」常温核融合への切り替えも、こんな型に当てはまると思う。始まってから、長い間混沌としているが、急に世界中に変化が生じるだろう。

ガソリン自動車から常温核融合への切り替えは特にはっきりした断続平衡進化の例だろう。新しい種類の車を生産する準備は長い時間かかる（均衡状態）。車は石油精製所とガソリンスタンド、道路、交通標識などの大きいシステムの一部だ（複合システム）。しかし、いったん常温核融合のモデルが発売されたら、消費者にそれを買わせる圧力は大きいだろう。車の約四分の一が常温核融合のモデルになると、ガソリンスタンドは次々につぶれるだろう。ガソリンスタンドはもともと薄利で、1970年代の石油ショックで、ガソリンの消費率が数パーセント減った時にたくさん倒産した。周りのスタンドが次第になくなって、ガソリン車を持つことはだんだん不便になる。生産中止となって、交換部品は手に入らなくなる。若い修理工はガソリン・エンジンを修理する方法がわからなくなるだろう。おそらくカリフォルニア州では公害防止法でガソリン車が禁じられるだろう。アトランタ市、ニューヨーク市など、他の大都市も同様の措置を講じるに違いない。頑固な自動車愛好者であってもまだ使い古していない車を早め買い替えざるを得ないことになるだろう。それから十年後にはほんのわずかな人だけがガソリンを買う。大都市で営業をしているガソリンスタンドは今の馬小屋ほど珍しくなるだろう。

⁸⁴ Gould, S. *Bully for Brontosaurus*. 1991: W. W. Norton & Company, p. 69

3. おもちゃ、そして贅沢品、やがて必需品

新しい機械が初めて出回る時は最初、愛好家のハイテクおもちゃに過ぎない。1900年の自動車と1977年の個人用のコンピューターのように風変わりな、新奇な、不安定な役に立たない器具を試したい人しか興味を示さない。最初の個人用のコンピューターはフロッピー・ディスクもない高すぎるおもちゃだった。当初の自動車は、道端で故障を直すのが楽しいと思った金持ちの若い紳士が買っていた。

しばらくするとその機械は贅沢品となる。まだとても高価だが、もっと信頼できる物ができる。前ほど専門知識がなくても作動できる。古い技術と比べて利点がある。1905年までに、自動車は訓練を受けていない普通の人々が運転できるようになった。馬より早く、乗るのに快適で、風雨に耐えられるようになった。

そして機械は改良され、大量生産され、安全に誰でも簡単に使えるようになる。多くの人にとって必需品となる。自動車はフォードが850ドルの「T型車」を紹介した日、1908年8月12日にこの段階に入った。⁸⁵ コンピューターはだんだんと進化して1980年代後期には、いつの間にかこの段階に入っていた。

まず、機械の価格は劇的に下がる、そして機械の信頼性は上昇して、古い物に取って代わる。米国の馬の個体数は1929年にピークを迎えて、その後急減した。⁸⁶ 1992年のころ、コンピューターはあらゆるビジネスにまで広がった。手書きの台帳に複式簿記は忘れ去られた技術となった。この段階をすぎると、その機械に対しての人々の態度がどういふふうに変わっていくのか予想できる。最初はエリート主義だと批判したり、実用的でないと思ったりする。昔は自動車を見たら、特に泥にはまった自動車を見たら「馬を使えよ！」と呼びかけた人が多かった。あとで、その機械に慣れてしまったら、それなしでどうして生活できたか想像できなくなる。フレデリック・ルイス・アレンはこの変化を次のように記述した。1906年に後に大統領になったウッドロー・ウィルソンは新しい車が現れた時に金持ちがこれ見よがしに運転しているのを見て「わが国に自動車ほど社会主義の感情を呼び起こす物はない」と言った。「富裕の横柄さをありありと表わしているシンボルだ」と出張した。ところが1925年になると、インディアナ州、マンシー市の低所得の女性は社会学者にこう言った：「車をやめるより服なしで済ませた方がましよ。」他の女性は、「車をやめるより、食べ物を減らした方がいい」と言った。聞き取り調査をしていた学者は農家の主婦にどうしてその家族は浴槽がないのにフォードのT型車があるかと聞いたら、「だって、浴槽に乗って町まで行けるわけがないでしょ！」という返事が返ってきた。アレンはこの返事を「自動車革命にふさわしい主題歌だ」と述べた。⁸⁷

常温核融合は鉄道、自動車、マイクロプロセッサのような基本的な発明に似ているが、あまり比べない方がいい。投資家は常温核融合の革命はコンピューターの急発展の

⁸⁵ Microsoft Bookshelf CD, *The People's Chronology*, 1992: Henry Holt and Company.

⁸⁶ 史料は一つしかない。私の母が受けた、1939年のコーネル大学の経済学の授業の思い出である。教授は馬から車への切り替えが大幅な失業をおこしたと繰り返して言った。大恐慌の主要因だと彼は考えた。

⁸⁷ Allen, F., *The Big Change: America Transforms Itself: 1900-1950*. 1952: Harper & Brothers. Chapter 8, "The Automobile Revolution" Original English quote: "You can't go to town in a bathtub!"

ように進行すると予測してはいけない。実践上の違いがたくさんあるから、これによって事業戦略は違ってくる。たとえば、常温核融合の装置は広範囲にわたって安全性をテストして、保証しなければならない。コンピューターでは安全性は問題にならない。また、常温核融合の装置、たとえば暖房は生産者によって形と作用はさまざまに違っても良いが、コンピューターは技術標準にぴったり合わないとなりに立たない。IBMのPCかアップルのMacと互換性がなければならない。

常温核融合は歴史的にみてこれまでの発明とは異なる。全く新しい現象で予想もできず、説明もできないものだから、科学者や工学者の大部分は未だにその存在すら否定する。以前の発明は専門家をそんなにびっくりさせなかった。エックス線の発見だけは専門家も素人も驚かせた。鉄道の開発は16世紀から運河の採掘に使った木のレールに乗せる車の延長上にあった。⁸⁸ 最初の鉄道を建設する前に、運河の建設者は質の良い路床の作り方が分かっていた。個人用のコンピューターは本質的には1979年代の汎用コンピューターに格好良いがあてにならない基本ソフトウェアを接ぎ木したようなものだ。1979年のプログラマーは個人用のコンピューターを数時間で使いこなすことができた。もしそのころのプログラマーが今の個人用のコンピューターを使っても、使い方が分からなくて困惑することはない。つまり今のコンピューターは特に進んだ機能と能力を備えているわけではない。昔と比べて、主に印象的なのはメモリーが多いことと、込み入ったソフトウェアがたくさんあることだ。それらのソフトウェアは明らかに大勢の人が何年もかけて作った苦心の作品である。しかし、そういう込み入った人工のものは珍しくない。ニューヨーク市の建物、アイオワ州の農地、国会図書館にそろった本も複雑さと多くの人の努力を反映している。

私の推測では、主流ではない会社や研究所が先に常温核融合の開発を進める。現在のエネルギー産業である石油会社や電気会社などは開発の役割を果たさないだろう。新規性は大企業にとって心理的な障壁となるので変化の規模を把握することが難しいだろう。新しさに挑戦し、工学と販売手段を十分にすばやく変えることは無理かもしれない。既存の化石燃料の会社は簡単な実用的な理由によって市場に参入できないだろう。というのは、常温核融合のエネルギー源は機械に内蔵されるし、重水の燃料は乾電池の燃料のように装置に一回組み入れられ封印されるからだ。熱機関や暖房や電池を生産する経験のある会社は常温核融合のセルを生産する技能があるだろうが、油井を掘ったり、石炭を採掘したりする化石燃料の会社にはそんな技能はない。

マイクロプロセッサ（超小型演算装置）ほど多目的に使える発明は他にほとんどない。店のレジから自動車のエンジン、エレベーター、ロケットまで、数え切れない機械に利用されている。今はもう、いたる所にあるのでみんな慣れている。電動歯ブラシとか、開いたら音楽が鳴る誕生日カードに使われていてもほとんど気が付かないくらいだ。エレベーターの操作など、マイクロプロセッサが引き継いだ機能は主に前から存在していて、アナログ装置ですでに実現されていた。我々の家庭内や自動車や台所、そして毎日に生活に使う平凡な道具は、マイクロプロセッサのなかった1970年代とほぼ同じように見える。確かに事務所は違って見えるし、電話局とか天文台の中は見違えるほど

⁸⁸ Cardwell, D., *The Norton History of Technology*. 1995: W. W. Norton & Company, p. 65

違う。マイクロプロセッサより常温核融合の方が多くの驚くべき新しい機械の種類を生み出すと思う。特に第三世界では常温核融合の方がたぶん毎日生活にもっと大きく影響を及ぼすだろう。

4. 時代遅れなのに、なかなか消え去らない物

「COBOL (コボル)」というプログラミング言語は時代遅れなのに、これから先 20 年間もただらと使われるかもしれない。

蒸気機関車は 1930 年代からすでに時代遅れだが、中国ではまだ使われている。低技術で修理しやすい。しかし、ディーゼルと電気機関車より燃料を三倍消費し、たびたび修理しなければならないし、公害をたくさん出すから、石炭発電や原子力発電によって動く電気機関車に切り替える方が良い。だから、中国政府は最近日本から新幹線の列車を購入した。

蒸気機関車の根本的なデザインは 1840 年までに完成され、その後あまり変わらなかった。ピストンは前方にあって、蒸気と煙は煙突から押し出された。1910 年ごろまで、設計者たちは使おうと思えば、機関車に当時盛んになっていた船舶用の石炭火力の蒸気タービンを使うことができた。タービンの方がピストンより効率が良い。しかし、蒸気タービンの開発の代わりにディーゼル機関の開発に乗り出した。1910 年の設計者は石炭の蒸気タービンの機関車には開発費を使う価値がないと思ったらしい。これは廃れつつある技術の特徴である：基となる科学が進歩しても、その科学を応用しようとしなない。技術が取り残されることになる。

海洋航行の帆船は 1850 年にはもうデザインが廃れつつあったのに、1870 年代までたくさん作られた。第一世界大戦のころまで、就航していたのがまだあったが、経済貢献は小さかった。貨物の量は多分ごくわずかであって、船客は乗せなかった。私の父が船乗りだった 1930 年代には稀だったが、太平洋で見かけたことがあったという。珍しいので船長は懐かしがって、帆船のまわりをぐるぐる回ったということだ。1951 年には世界中に商業用の横帆式の帆船は二つだけしか残っていなかった。⁸⁹

蒸気機関車、帆船、COBOL のプログラムが長続きするのには共通する特徴がある。三つとも高価である。長期投資である。より良い物が出てきたからと言って、捨てるわけにはいかない。ゆっくり変わる技術の例である。

ただらと長引いてきた時代遅れの技術は危機に面したり、市場に大きな変化が起こったりすると突然に消え去ることがある。第一世界大戦は帆船に最後の打撃を与えた。船団についていけなかった。米国と英国は必死になってたくさんの安い汽船を作ったから、戦争が終わったら、海運市場は供給過剰になった。限界企業の帆船には経済的な役割はもうなかった。COBOL で書かれたプログラムは 1960 年代にはやった汎用大型コンピューターに使われた。COBOL のプログラムでは、1999 年を「99」と表すように年号を下 2 桁で表示していたので「2000 年危機」に対応できなかったから、2000 年までにたくさん廃止された。他のは一時的に問題をしのいだが、あと 10 年か 20 年経ったら、

⁸⁹ Tunis, E., *Oars, Sails and Steam*. 1952: The World Publishing Company.

もう一度修理しなければならない。やがて、他の危機に直面するか人工知能や超並列処理が大きく進展して、市場が大幅に転換することによって、残っている COBOL のプログラムは失速し消えるだろう。

石油業界の最後の危機はタンカー船の油流出災害か精製所の爆発かもしれない。いったんこの企業が衰退し始めると、整備費をけちって、新しい装備を買わないだろうから、壊れかけた装備の事故の可能性が高まるかもしれない。重大事故のあと、人々は会社に即、業務を停止するように要求するだろう。石油化学原料などエネルギー以外の石油の応用は全部、施設内の常温核融合の機械で生産する合成石油で補う。電気業界の最後の危機は多分ハリケーンで高压電線が倒されることだろう。大型の中央発電所と水力発電のダムと風力タービンは耐用年数が数十年残っていても、電線を修繕して顧客に再接続するほどの価値がないから、廃止となるだろう。それに常温核融合の発電機を買う人が多いから、電気会社の顧客の数は減っているはずだ。電気会社がつぶれると一番大きな問題は残っている原子力発電所の始末だろう。

個人にとって、自動車は高価な長期間の出費だ。アメリカで石油の値段が 1 ガロンにつき 2 ドルを超えたからといって、効率の悪い車を持つ家族はそれを一夜にして突然捨てるわけにいかない。5 年間か 10 年間、車が消耗するまで待たなければならない。温水器や冷蔵庫のような耐久財は 15 年間ぐらい持つ。店やオフィスの暖房機とエレベーターは 30 年間ぐらい持つから、常温核融合ができてからも古いのがずっと作動しているだろう。新幹線の車両は 20 年間持つし、新しいのを設計するのに時間かかるだろうから、常温核融合が登場して 40 年後にまだ少数の旧式の外部からの電力で動く列車は残っていて、そのためにわずかながら千メガワット級の老朽化した発電所がまだ使われているかもしれない。

5. 切り替えはいったん始まったら早く進む

ある専門家は常温核融合への切り替えは電気、電話、自動車とコンピューターへの切り替えのように 50 年間かかるだろうと予測している。私はそうは思わない。家庭用機器はいったん商業的な製品が現れたら、切り替えは早く進むだろう。常温核融合にはもちろん工場の新しい生産ラインが必要だが、電話と自動車には必要だった基礎設備（インフラ）は常温核融合には必要ない。低価格の個人用のコンピューターの開発に 30 年間かかったが、常温核融合は最初から低価格だろう。常温核融合で作動する機器は主に温水器のような低価格の一般消費者が買う商品だから、変化のペースは一般消費者が決める。つまり、人が店で買い物をすることによって常温核融合の活用が促進されるだろう。

ある朝起きてみると温水器のタンクが壊れて、家の地下室は水でいっぱいになっていることを想像していただきたい。（これはアメリカの例だが、日本の普通の家には地下室はないし、瞬間湯沸かし器は壊れても水をこぼさない。）給水管を閉めて、床に溜まった水をふき取ってから、新しい温水器を買いにホームセンターへ走る。すぐ必要だから、ぐずぐずしないで、早速その場で新しいのを選ぶ。あなたの選択は委員会に承認される必要もなく、国会がその予算を割り当てる必要もない。飛行機とか工場の大型加熱炉を取り替えなければならない場合は検討、計画、許可などに何年もかかることがある。

そのホームセンターに温水器が三種類展示されている：電機、天然ガス、常温核融合のモデルだ。どれも約300ドルかかる。（第2章で説明したように、常温核融合は特に他のより高くなるはずはない。）

さて、あなたならどれを選ぶか？ ガスと電気のモデルは燃料費年間200ドルから400ドルかかる。常温核融合のモデルは燃料費がゼロだ。三つとも同じように5年間の保証書と、業界の承認証がある。最初は臆病な顧客は新しい技術に手を出さないかもしれないが、次第に常温核融合を選ぶようになる。ガスと電気のモデルは埃をかぶり、製造中止となる。ガスの温水器を売ることは携帯音楽プレイヤーの iPod を欲しがっている顧客に蓄音機を売ろうとするようなものだ。

あなたが温水器を選んでいる時、同時に世界中の何千万人の他の顧客も常温核融合のモデルを選んでいる。昔は発展途上国と田舎では人々は時代遅れの機械を購入したが、現在ではそんな差はない。ペンシルベニア州の小さい町でも日本の田舎の村でも、コンピューターと衛星放送受信アンテナはいたるところにある。古いモデルが製造中止となったら、みんなが常温核融合の物を買いたくなくても買わざるをえない。この場合の市場は独裁者になることがあって、人気のない製品と知られていないブランドを強制的に追っ払ったりする。大手電気店には DVD プレイヤーばかり並び、もう VHS のプレイヤーは徐々に姿を消している。プレイヤーが手に入らなくなった VHS テープは棚のがらくたの山となる。しかし食通の料理人なら、ガスのオーブンとレンジを使い続けたいかもしれない。料理は一種の芸術だから、料理人は自分が慣れている道具を使いたがる。あいにく、ガス会社が倒産するだろうから市場はこれを却下する。ちょうど良い焼き具合を出すためにどうしてもガスの火が要ると言う頑固な料理人や陶芸家には、多分専門店がガスボンベを売るか、それとも常温核融合の機械で水を分解して、水素ガスを作る。（水素の炎が見えるように他の化学物質を少し加えて色をつけた方が良い。）アーサー・クラークが言うように、人類はいくら古い道具でも完全に捨てることはない。アトランタ市では、調理ストーブのために黄麻布の大袋に入っている石炭がまだ買える。しかし、廃れた道具を探したり、使ったりするのは面倒だ。

常温核融合への切り替えのペースは消費者が決めるから、早く進む。企業経営者は自分が先導者で決定者だと勘違いすることがあるが、経営者は顧客の奴隷であって、顧客の気まぐれを満たさなければならない。特に温水器のような安く広く使われている製品の場合には権力はすべて顧客が握っている。

6. 芯となる技術

常温核融合の開発には多数の新式の「周辺機器」が必要になる。周辺機器とはコンピューターの場合、ハード・ドライブ、プリンター、液晶ディスプレイ画面など、コンピューターそのものにつなぐか加える機械である。コンピューターの芯となる物はマイクロプロセッサの部品である。マイクロプロセッサが発売されてから、電子愛好家たちがそれを使って、図 7.3 に示すような原始的なコンピューターをこしらえた。この写真の通り、古いテレビ画面にキーボードと音楽のテープレコーダを付けたりしたが、全然あてにならないし、実用的ではなかった。周辺機器もほとんどなかった。

常温核融合の周辺機器は主に小型熱機関と発電機と熱電池になるだろう。

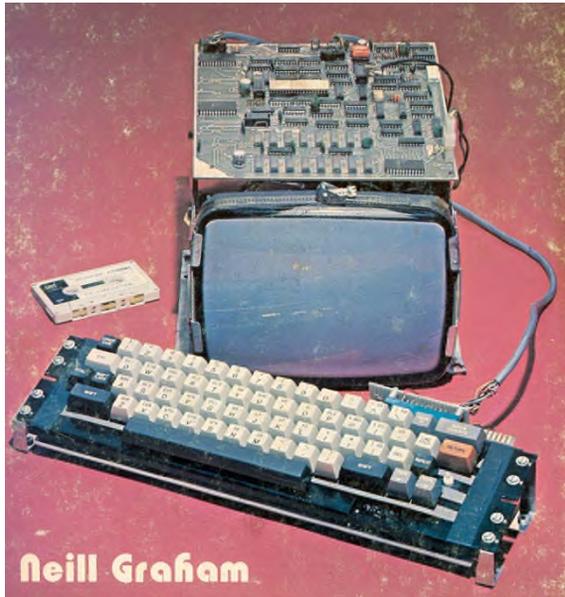


図 7.3. 初期の個人用のコンピューター。左にデータのためのオーディオテープが見える。Graham, N., *Microprocessor Programming For Computer Hobbyists*, 1977: Tab Books、表紙。

マイクロプロセッサが発売されてから、大勢の経営者と設計者と工場の人たちが必死に働いて、年々あらゆる部品と周辺機器を漸進的に改良した。だんだんとメモリーもハード・ドライブも大きく速くなって、新式のプリンターやディスプレイ画面が出現して、新しい会社が次々にできた。競争が激しくなった。製品開発サイクルは5年間から半年に縮まった。この大量の仕事には何百万人の優秀な人の努力と何十億ドルの資本がかかった。しかし天才的な飛躍的発明はなかった。この業界で働いている人の中で、もし誰か一人の貢献がなければ他の人がそれをやったに違いない。元々の絶対必要だった芯の発明は最初にできたマイクロプロセッサだけだ。これがなければ、個人用のコンピューターの他の部品を開発しても無意味だった。

マイクロプロセッサが先にできなければならなかったということは、マイクロプロセッサの方が作りにくいとか、他の物より高価だという意味ではない。マイクロプロセッサだけが重要だという意味でもない。無論プログラムもハード・ドライブもなければコンピューターとして成り立たない。常温核融合も「芯」となる発明ではあるが、それを利用する多くの製品では、熱電池など、常温核融合のセル以外の部品の方が高価となるだろうし、その部分を作る会社の方がセルを生産する会社より儲かるかもしれない。

個人用のコンピューターが開発される前にもプリンターのような周辺機器の市場はあったが、ごく小さかった。1970年代に毎年約40,000台のコンピューターとプリンターが販売されたが、今日は一時間毎に19,000台のコンピューターが販売されている。⁹⁰ プリンターが少数しか売れなかった昔には誰も100ドルのプリンターを開発しようとしなかった。同じように現在は熱電池の市場はあるが、売り上げがごく小さいから、誰も改良しようとしなない。

7. 開発の段階

マイクロプロセッサと自動車のような基本的な「芯」となる発明は、新しい製品の開発を四つの段階で引き起こす。まず、機械そのものに必要となる周辺機器ができる。次は誰でも予想できるような改良ができ、新しい発明がなされて元の機械よりうまく使えるようになる。大型コンピューターは会計処理に使っていたから、マイクロプロセッサが入っている小さいコンピューターができたなら、それも当然、同じ会計処理に使うが、もっと低価になると分かった。三番目の段階では新しい機械は従来の古い機械の機能範囲を超えて、人々が予想しなかった新しい応用に使う。従来の機械が影響を及ぼさなかった分野の物に取って代わる。コンピューター化されたコンパクト・ディスク・プレーヤーはLP盤レコード・プレーヤーに取って代わった。1970年にコンピューターは音楽のレコードに関係あると予測した人はクロード・シャノン⁹¹のような専門家以外は少数人しかいなかった。やがて最後の段階に入り、新しい機械はこれまで実用的ではなかった応用と、不可能だった応用を可能にする。

マイクロプロセッサの場合この段階は：

1. **周辺機器。** 小型プリンターと固定磁気ディスク。これらが発売されるまでマイクロプロセッサはおもちゃに毛が生えたようなものだった。
2. **改良。** 従来のデータ処理プログラムをさらに発展させたバージョン。たとえば、それ以前手書きで会計処理をした小企業のための会計システムソフトなど。
3. **他の技術に取って代わる。** マイクロプロセッサは自動車のアナログ燃料噴射機、LP盤レコード・プレーヤーなどデータ処理に関係ない機械に取って代わった。個々の小さいコンピューターが大きい中央コンピューターに取って代わった。
4. **新しい応用。** テレビゲームからインターネットまで。インターネットは主要な大学、研究所、会社などだけにつなぐことはできたが、マイクロプロセ

⁹⁰ この推定の情報源は：Sanders, D., *Computers in Business, An Introduction*, 1968: McGraw-Hill, p. 512。「コンピューターの設備の数は1970年に90,000台から1975年まで200,000台に増える見込みである。」前提として古いコンピューターはみな廃止され1975年に存在したものはみんな1970年から1975年の間に売られたとすると、年間の売り上げは約40,000台となる。実はあの時代のコンピューターは5年間以上持った。現在は年間約170,000,000台のIBM PC式のコンピューターとサーバーは売られている。これはアップルのコンピューターと大型コンピューターが含まれていない。Systems-world http://www.systems-world.de/id/6556/CMEntries_ID/25586

⁹¹ クロード・シャノン (Claude Shannon, 1916年 - 2001年)。数学者。情報理論の父と呼ばれている。

ッサーがなければ、個人の家までは届かなかった。誰でもインターネットで新聞を読んだり家族にビデオ映像つきの手紙を送る手段にはならなかった。

自動車の場合：

1. **周辺機器。** より良いタイヤ、エンジンを手動でスタートさせるクランクの代わりに始動機。
2. **改良。** 馬車よりもっと町のあちこちに行くこと。初期の自動車は「馬のない馬車」として考えられた。というのは、個人用の車両として使われ、大勢の人のための大量輸送として使えなかった。当時の車はもろかったし、大きな町を離れると舗装した道とガソリンスタンドは少なかったから、遠距離の旅行にも使えなかった。
3. **他の技術に取って代わる。** しばらく経つと自動車はもっと信頼できるようになって、路面電車と通勤線のような短い距離の大量輸送に取って代わった。中央コンピューターから小型コンピューターへの変換のように中央の網状組織の機械は固有の小さい機械に代えられた。
4. **新しい応用。** 改良された道とガソリンスタンドが盛んになってから、モーターも現われ、自動車は個人でできる新しい長距離の旅行をもたらした。そして自動車は郊外の住宅地、高速道路、商業モールなどいろいろとありがたいようなありがたいようなものをもたらしてくれた。

常温核融合の場合：

1. **周辺機器。** より良い熱電池と他の小型で手入れのいらない熱機関。
2. **改良。** 自動車、ポンプ、発電機など、もう存在している機械の改良型。
3. **他の技術に取って代わる。** 電気会社を追放する。これもまた、中央の網状組織の大きな機械が固有の小型機械に代えられて、私たちはエネルギーが自給できるようになる。
4. **新しい応用。** 埋め込み人工心臓、大規模の海水淡水化設備、個人用の飛行機など、多くの新しい応用が可能になる。

開発は風変わりな応用と楽しい応用ももたらす。たとえば：

自動車の場合：野外のドライブイン映画劇場、自動車レース、地位の象徴としての車、スポーツカーやスポーツ用多目的車など、車が空想と病的執着（フェティッシュ）の対象となる。

コンピューターの場合：数千人が参加して物語の主人公を演じるするオンラインゲーム、世界中に即座に届く通信、あらゆる国と職業と身分の人が参加するオンライン討論会などがある。

常温核融合の場合：巨大ツェッペリン型飛行船。これは観光船みたいなもので陸の上をゆっくり低く飛ぶ。まえがきで述べたように、巨大な炭素繊維のドームでラスベガス市を覆って、町全体に冷房をかけるかもしれない。ドームの壁に数十メートルのけばけばしいビデオ広告が映って、スピーカーから町全体にひびく音楽が流れる。冷房は歯が

ガタガタなるほど冷たくする。古い世代の人たちはこんな俗悪なものは想像できなかっただろう。

最後に、人間は人間だから、新しい技術はいつの間にか性愛に関連するようになる。車を家から遠く人里離れた場所に駐車する、インターネットはポルノを入手するために使う。次世代の起業者はどうすれば常温核融合をこの業界に使えるか考えるだろう。個人が周回軌道まで飛んで行き、無重力な状態を楽しむ手段として使えるだろうか？

半導体は発明される可能性は低かったのにもかかわらず、幸運が重なって発明された。いったん発明されたら、集積回路のような派生的な発明は必ず後から付いて来る。常温核融合も幸運が重なって発見された。常温核融合の製品は技術的な問題と政治的な反対があるから開発できないかもしれないが、もし開発できたら、家庭用の発電機とか効率的な熱電池のような派生的な発明は必ず付いて来る。

8. クリステンセンの理論、分裂的な技術と維持する技術

ハーバード大学のクレイトン・クリステンセン教授は見事な分析で、彼が名づけた「破壊的」(disruptive)と「持続的」(sustaining)技術の区別を定義した。⁹² 破壊的な技術とは、まだ不十分だが大きな将来性がある機械または技法だ。破壊的な技術は主流の顧客にとって最初は小さすぎるか、遅すぎる、あるいは高すぎる。特殊な欲求のあるニッチ(隙間)市場の顧客に人気がある。その機械はいったん売り上げが伸びたら、従来の技術よりどんどん改良され、主流の市場に下から忍び込む。やがて従来の製品を放逐する。

クリステンセンは「破壊的」に対して「持続的」技術を対比させる。持続的技術は、誰もが好むように現在の最先端技術を改良して、製品をより早く、安く、高機能にする。これは、製品を売っている会社にとって最も大事なことだが、現在の顧客にとってその製品がより魅力的になるようにする。普通は古い製品より高度に複雑で、製造するのにもっと専門的知識と高価な生産ラインが必要になる。この場合の「持続的」という言葉は「漸進的」という意味ではない。「持続的」な製品は今までの製品と物理的な論理が違うこともあるが、機能的に同等で、今までと同じ市場と同じ顧客の必要を満たす。クリステンセンは「急進的」なのに「持続的」な変化の例として、掘削機の動力として蒸気機関がガソリンエンジンに取って代わられたことをあげて、次のように述べる。「蒸気ショベル(蒸気力による掘削機)は蒸気の圧力で多数の機関を動かし、バケツを作動させるケーブルを伸ばしたり、引っ込めたりしたが、ガソリンエンジンのショベルは機関が一つだけあって、歯車、起重機をつめ、円筒、ブレーキなどの各々が違う仕組みだった。…」違っていても既存の掘削機の製造会社はすばやくガソリンエンジンへ切り替えることができ、従来の顧客もまもなく新式の機械を買うことになった。既存の会社の経営者は競争相手に取り残されないように維持技術を見極めて、それに積極的に投資するように訓練されている。

既存企業は持続的な技術をうまく扱えるが破壊的な技術になると戸惑うことがある。既存企業の技能は破壊的な技術に当てはまらない場合がある。航空輸送が始まっていた

⁹² Christensen, C., *The Innovator's Dilemma*. 1997: Harvard Business School.

1940年代のころ、鉄道会社は飛行機に適用できる技能と組織能力が乏しくて、航空会社の市場に入り込もうとはしなかった。飛行機が改良された第二次世界大戦後には、航空会社はしっかりと確立されていたから、鉄道会社は参入したくてもできなかった。初期のデジタルカメラはカメラの既存会社より、日本のコンピューターのプリンター会社が作った。常温核融合の装置も多分今日のエネルギー産業に関係ない会社を作るだろう。

破壊的な技術は最初は既存の技術ほど良くない。デジタルカメラは初期の頃は画面が粗く、高価だった。破壊的な技術には少しは利点もあって、たとえば単位価格が安いことはあるが、普通は悪い点が多く、費用効率が低い、装置が遅い、信頼性が低い、効率が悪い場合がある。だから既存の顧客はこの技術の使いようがない。破壊的な技術の方が従来のものより簡単な場合が多い。破壊的な技術はかならずしも創造的ではない。製品は研究の新しい結果の場合もあるが、古い技術を再提出し、もっと魅力的な形にする場合もある。破壊的な技術を売るなら、新しい顧客を見つけなければならない。探すのに一番良い場所は新興成長市場だ。1981年にシーゲート社は5.25インチのハード・ドライブを発売した。クリステンセンは当時の一番普及していたドライブと比べている：

	8インチのドライブ ミニコンピューター市場	5.25インチのドライブ 卓上コンピューター市場
容量 (MB)	60	10
容積 (立方インチ)	566	150
重さ (ポンド)	21	6
アクセス時間 (ミリ秒)	30	160
1メガバイトの価格	\$50	\$200
単位価格 (原価)	\$3000	\$2000

小さいドライブは効率が悪くて、遅くて、1メガバイトにつき単価が高かった。1981年にドライブの既存の顧客は数人が同時に端末装置によってアクセスする「ミニコンピューター」を生産していた会社だった。その会社は1ドルにつきより多いメガバイト数とより短いアクセス時間が欲しかった。ドライブが軽いか重い、そして容積の場所はいくら取るかは問題にしなかった。一方、卓上コンピューターの新興市場の顧客は速度とメガバイト数を犠牲にしても、低い単価と、場所を取らないコンパクト、軽いドライブが欲しかった。シーゲート社はもしミニコンピューター市場の会社に売ろうとしたら、すぐに破産しただろう。ところで5.25インチドライブは8インチドライブよりもっと簡単な技術に基づいていたから、より早く進歩した。1987年までは8インチドライブがまだ速くて容量が多かったが、5.25インチドライブの容量はミニコンピューター市場の要求を十分に満たせるようになった。8インチドライブは容量はむしろ市場の要求を超えたぐらいだったが、価格は5.25インチドライブほど落ちなかったから、廃れてしまった。顧客の要求に忠実に応じて、古い8インチドライブを売り続けていた会社はたちまち倒産した。「自分の顧客の囚人になった」とクリステンセンは述べた。シーゲートより二年後に5.25インチドライブの市場に入った会社はシーゲートの豊かな経験と満足している顧客基盤と競争できなくて、失敗した。

常温核融合は、特に初期の段階では、破壊的な技術の歴史上の一番良い例になると思う。最初の機械は多分、高価で厄介だろう。胸を躍らせるような最先端の技術を好む人

と、南極の基地に住む研究者やNASAのロケット科学者のようにどうしても必要な人だけが使うだろう。しかし、こんな応用は巨額の利益を生むことがある。NASAは小型のプルトニウム放射性同位元素熱電発電機（RTG）一つに何百万ドルも払う。（第2章参照）常温核融合の装置を生産する専門的な会社はNASAの熱電池のような隙間市場に進入して、間もなく大きな利益を収め、それを研究開発に再投資し、主流の大きい低価格の市場に挑む支度をする。

現在分かっている常温核融合の性能から判断して、いったん反応を制御できるようになったら、小型装置はすみやかに開発されるだろう。予見できない安全性の問題が起こるかもしれない。あるいは化石燃料の会社は国会で政治的な作戦をとって、常温核融合の利用を法律で禁じるかもしれない。しかし、こんなことが起こらないならば、ゼネラルエレクトリック社が大型の400メガワットの発電機を開発する数年も前に家庭用の20キロワットの発電機が販売されるだろう。燃料費を無視して機器費用だけを見ると、家庭用の発電機は今の化石燃料の発電機より容量1キロワットにつき値段が高い。ゼネラルエレクトリック社が常温核融合の大型発電機を開発をするならそれを差し止めるものはないが、その機械ができて発売されるころまで、多くの人はずいぶん前に小型発電機を買っているはずだから、上で説明した5.25インチドライブのように小型機械の価格は落ちて、大きい機械と中央電力市場はもうなくなるだろう。

従来の顧客には問題としてうつる物でも、新しい顧客には魅力とうつる場合がある。油圧の掘削機械は、1940年代に発売された。最初は小さくて、弱かった。幅の狭いすくいシャベルでたった1/4立法ヤードの土しかひとすくいに掘ることができなかった。ケーブルの掘削機はひとすくいで1から4立法ヤードを掘り、油圧の機械より1立法ヤードにつきいぶん安い値段だった。ケーブル掘削機で作業員が家の土台部分を掘ってから、つるはしとシャベルで土台から道まで水と下水管のための狭い掘割を掘った。この狭い掘割にはケーブル掘削機は大きすぎたが、油圧掘削機は理想的な大きさだった。機械が小さかったことは利点となった。機械もシャベルも小さいから、狭い穴を掘るのにちょうど良かった。油圧掘削機は改良され、1970年代に大きい作業でも小さい作業でも使えるようになった。ケーブル掘削機の製造会社は倒産した。クリステンセンはその会社の1950年代の立場を次のように述べている。

油圧技術はその会社の顧客には要らなかった、否、使うことさえできなかった。ケーブルの掘削機の生産会社はそれぞれ、少なくとも20社あって、競争相手から互いの顧客を盗むことに熱心だった。顧客の次世代の要求から目をそらしたら、たちまち現在の商売は危険にさらされる。また、油圧掘削機の市場は1950年代に小さそうだったから、油圧掘削機を開発するための投資より、さらに大きい、より良い、より速いケーブル掘削機を開発して現在の競争相手から市場シェアを手に入れる方が会社にとって明白に有益な成長の機会となるはずだった。... この会社は技術が手に入らなかったから潰れたわけではない。油圧の技術についての情報が乏しかったせいで失敗したのでもない。... 経営者に活気がなかったからまたは横柄だったから失敗したのではない。油圧技術がビジネスとして成り立たなくて、やっと成り立つようになった時はもう遅すぎたのだ。

常温核融合の研究は主流の組織の中にいる異端の科学者がおこなって来た。アモコ石油生産会社や電力研究所（EPRI）などのエネルギー研究の主流研究所も参加して、今まで一番印象的な研究をしたが、その優れた結果に背を向けて研究を縮小したり、廃止したりした。これらの組織の中の経営者は常温核融合に対して敵意があるらしい。^{93,94} クリステンセンの説がもし正しければ、この経営者は敵意とともに当惑も感じているだろう。常温核融合を使って自分たちは何ができるか見当がつかないのだろう。EPRIは大手電力会社の合弁企業である。初期の常温核融合の発電機は高価な珍品だろう。多分数千ワットを発電するのに、5万ドルはかかるだろう。従来の発電所と比べて、効率が悪くて、規模は数百万倍も小さい。風力発電機か小型ガス火力発電機は電力網につながりうまくいき、経済的になるが、小型の常温核融合の発電機は全然違う。この高すぎるおもちゃのような発電機はやがて安い、信頼できる家庭用の発電機に発展して電力会社を倒産させる。電力会社はこんな機械を開発するわけがない。

常温核融合の実施的な発電機はたとえばどんなに高価でも、どんなに狭い分野の専門的の市場のためであろうと、電力業界にとって「死の接吻」という致命的なものになる。1895年の最初のばちばちと音を立てたり急に止まったりした自動車はそれから34年後に馬車に、逃れられない、長く続く終わりを告げたように、そして個人用のマイクロ・コンピューターが登場をしてから10年後に大型汎用コンピューターがほとんど姿を消したように、電力会社は必然的に消えていく。常温核融合がエネルギー産業を助けることはない。絞め殺すことしかできない。常温核融合に対する、本当に合理的な反応があるとすれば、それは電力会社と石油会社と他のエネルギー会社が整然と倒産を迎えられるように支度をする事しかない。もちろん、これはEPRIと石油会社の経営者にとって、考えられないことだ。彼らの立場から見ると、ヨーロッパの小国、リヒテンシュタインが宣戦布告したら、米国防衛庁が早速全面降伏をするようなものだ。

⁹³ Hoffman, N., *A Dialogue on Chemically Induced Nuclear Effects. A Guide for the Perplexed about Cold Fusion*. 1995, La Grange Park, Ill: American Nuclear Society. (EPRIのThomas Schneiderが書いた序文は敵意を示している。)

⁹⁴ Lauzenhiser, T. and D. Phelps, *Cold Fusion: Report on a Recent Amoco Experiment*. 1990: Amoco Production Company, Research Department.

8. 巨大規模の海水淡水化施設

きれいな水は食べ物、健康、衛生の元である。清潔な水を手に入れるということは地球上の誰にとっても当然の権利である。常温核融合は貧しい人に水を沸騰させて飲料水を与えることができ、それによって年に 200 万人の人々を救うことができる。（第 4 章参照）しかし、人々は安全な飲料水以外にも水が必要だ。快適な生活を送るには毎日入浴する必要があるし水洗トイレと農地への灌漑設備が要る。人類にこれだけの量の水を持ってくるには常温核融合を使って海水を飲料水に変える海水淡水化設備が必要だ。

サハラとゴビ砂漠の三分の一を灌漑するとしよう。残りは野生の動植物の砂漠保護地区として残す。人々によって数世紀にわたって自然を破壊され砂漠化された土地を元に戻すことになる。そこに作り出される農地はアメリカ国内の耕地と同じ 390 平方キロメートルとなる。

表 8.1. 世界一大きい砂漠と米国の農地と比較する。

	百万平方キロメートル
サハラ	9.0
ゴビ	3.4
米国の農地	3.9

地下の根に直接、少しずつ水を送る「地下細流灌漑」の方法を選ぶとしよう。空気中に水をまくのと比べ約三分の一の水ですむ。アメリカ国内の優良農地なら年間 1000 ミリメートルの雨が降るから、約 400 ミリメートルの水が要るわけだ。砂漠にはほとんど雨が降らないと仮定すると、私たちは水の全量を供給しなければならない。1,560 立方キロメートルの水が要る。2002 年のデータによるとサウジアラビアでは 30 の巨大な淡水化施設が年間に約 1 立方キロメートルの水を供給している。一つの施設を建設する費用は 8 億 9400 万ドルかかる。この施設は発電所兼用なので電力も作り出している。全世界の淡水化施設は約 5 立方キロメートルから 10 立方キロメートルの水を年間に供給する。⁹⁵ 世界一大きい施設はイスラエルのアシュケロンにあって地中海に面している。年間 0.1 立方キロメートルの水を供給している。建設費は 2500 万ドルだった。イスラエルの飲み水の六分の一を供給しており、これは工業、農業などを含んだ全部の水の内 5%に当たる。

⁹⁵ 海水淡水化設備の生産量のデータは闇に包まれていてはっきりしない。多くの情報筋によればサウジアラビアは 2002 年に 10 億立方メートルを生産したというし、他の情報筋は 20 億立方メートルだという。サウジアラビアは世界の 20%を生産しているというのもあれば、30%だというのものもある。サウジアラビア政府の「サウジアラビア情報資源」ウェブ・ページ (<http://www.saudinf.com/main/y3668.htm>) によると：「サウジアラビアは海水からの淡水生産の世界全体の 21%を占めていて、施設は 30 あって建設費 SR 150 (4652 億円) と整備費を含めて、合わせて SR 700 億以上 (2.1 兆円) かかった。施設は全部 SWCC により運営されていて、一日に淡水 300 万立方メートルを生産すると共に電力 5,000 メガワットを発生する。」Hydronet 組織 (<http://www.hydronet.org/article-print-55.html>) によると全世界の生産量は約 10 立方キロメートルである。これらは概算である。

砂漠の灌漑には今ある施設の 312 倍もの海水淡水化施設が要る。または 15,600 ものアシュケロン大型設備が必要ということだ。世界の工場など大型設備の数を考えれば 15,600 はそれほど多いことはない。アシュケロン設備の面積は 300 m × 250 m (7.5 ヘクタール) でイスラエルが払った値段では 3.9 兆ドルとなる。しかし費用は常温核融合を使うと劇的に十分の一以下くらいに下がる。常温核融合だと塩の抽出技術が簡単になり、建設費も安く、運営、管理、修理費も安くなる。サウジアラビアの施設は発電と兼用だがそれほど電気は要らないので、はじめから建設費用は半減するだろう。安いエネルギーはアルミニウム、鉄、銅や他の建設用材のコストも下げる。建材の運送費やブルドーザーやパイプラインのポンプの操業費も安くなる。淡水化施設の設計も標準化され、大量生産で安くなる。

近代の海水淡水化装置はほとんど「逆浸透処理」で行っている。機材は高価だがこの方法は効率性が良くエネルギーの節約になる。常温核融合でやるには多段フラッシュ法 (Multi-Stage Flash, MSF) という古い方法がより良いと思う。それは海水を沸騰させて煮詰めて集める方法だ。これだと逆浸透法より、4 倍から 30 倍のエネルギーが要るが、しかしもちろん余分にかかるエネルギーは常温核融合だと問題外だ。多段フラッシュ法はエネルギーの効率が低い装置は安いし、耐久力がある。それに水に残る塩の含有量は逆浸透法より少ない。逆浸透法では 10 ppm (百万分の一) から 500 ppm だが多段フラッシュ法では 1 ppm から 50 ppm となる。⁹⁶ 逆浸透法で残る塩は水を飲んでも人に害がないが、灌漑水として何十年も使うと土に塩分が溜まり不毛になる恐れがある。

灌漑プロジェクトは現在と同じく 3.9 兆ドルかかるとしたら、高すぎて人々はやろうとはしないだろう。これはとんでもない金額で日本の国内総生産額の 9 割に当たる。人々は戦争にだけはそのぐらいの金を使う。⁹⁷ 常温核融合を使ってさえ多額の金がかかるしどうしても何十年もかかる。しかし最初の施設が完成したら、作物は収穫され土地の価値も上がり、利益が出始める。もし建築費が割高でも常温核融合によって今よりもっと私たちは金持ちになっているはずだ。常温核融合は石油、石炭、電力供給網にかかる金を節約できる。言うまでもなく、石油争奪の戦争もなくなる。熟練工の労働力も余ってくる。石油精製所や発電所を建設する人々は失業するが、灌漑施設は精製所に似ていて、大規模で数千の工場やタンクや何キロも続くパイプラインが要るから、この人たちにそれを建設する仕事を与えられる。常温核融合は社会の金と資源を無駄にせず蓄える。個人的には我々は月に何百ドルかを貯金できる。この貯金のいくらかは大きな社会目的のため、未来の世代に使うため、地球上の貧しい地域のために捧げるのが賢明だと思う。

実を言うと、15,600 の淡水化施設は多分過剰予想だろう。先ほど述べたように雨は降らないと仮定しており水をずっと続けて供給しなければならぬと予想した状況での数字だ。ところでプロジェクトが進んでいくと植物や木が裸だった土地に生い茂るように

⁹⁶ California Coastal Commission, *Seawater Desalination in California*, <http://www.coastal.ca.gov/desalrpt/dchap1.html>

⁹⁷ ノーベル受賞の経済学者の研究によるとイラク戦争は今まで負傷した退役軍人の長期医療などを計算に入れば 2 兆ドルがかかるだろう。Wilson, J., *Iraq war could cost US over \$2 trillion, says Nobel prize-winning economist*, in *The Guardian*. 2006. <http://www.guardian.co.uk/Iraq/Story/0,2763,1681119,00.html>

なる。気候は変わり自然にもっと雨が降るようになる。灌漑の必要性が少なくなる。はじめ7,000施設を建てるのに何十年もかかるが、建て終わったときには雨量が増え、あとの8,600はもう要らなくなるかもしれない。

常温核融合でなくても今日の技術と資材でも石炭、石油、および天然ガスを燃やす海水淡水化施設を建築できる。ロサンゼルスのような数百万人の都市のため飲料水を供給する施設をこれまで十分建ててきた。ウランの原子力では何千もの都市に十分な施設を建てられる。しかし大規模の灌漑に足りる水は供給できない。施設の価格は何兆ドルもかかる上、化石燃料でやれば残っている石炭と天然ガスは急速に枯渇するし、空気汚染と地球温暖化の悪夢を生み出す。原子力では危険な使用済み核燃料棒の山ができて、始末に負えない。風力、太陽熱は公害を起こさないが化石燃料よりずっと安いことはない。それに風力と太陽熱は広い用地が必要だ。建てるのに大量のコンクリートと鉄が要る。やはり灌漑プロジェクトには現在使っているどの方法よりずっと安価なエネルギー源が必要だと言える。

1. 海水から役立つ元素を抽出する

このプロジェクトには面白い副次的な利点があるかもしれない。現在の施設では、海水から水を取ったあとの濃縮塩水を海に返しているが、将来的には、これを沸騰させるか、又は化学処理をして海水に溶けている役に立つ貴重な元素を取り出せる。人は大昔からこのやり方で塩を生産している。しかし、これは雑な方法で、もっと高度技術が要るかもしれない。核燃料の同位体分離の技術をさらに開発して、流れる海水をろ過し、取りたい物質を水から抜き出せるかもしれない。どちらの方法も莫大なエネルギーを使う。しかし、常温核融合の経済では問題ない。

海水には有意義な元素が70以上含まれている。最も多い、価値のあるものはナトリウム、塩素、硫黄、マグネシウム、カリウム、カルシウム、臭素、ストロンチウムである。十立方キロメートル内に世界中の一年分の供給量を越える量がある。臭素は1924年に初めて取り出され商業化された。⁹⁸ 第二次世界大戦中にアメリカとイギリスで大量のマグネシウムが抽出された。⁹⁹ 残念ながらパラジウムや金など貴金属の含有率はマグネシウムより数億倍も低い。

我々が気候を改善し自然の雨も増やし、もっと屋内栽培も進めて、必要な水の量が1,560立方キロメートルより減って、1,000立方キロメートルになったと想定しよう。マグネシウムと臭素は海水中に大量にあるので少量だけ取り出し残りは海に返す。他の価値のある元素は含有率が低い。何十年も海水淡水化設備を運転して改良するうちに、抽出の技術も進歩して、選択吸着を利用し、取り出すのが経済的に採算がとれるようになる。下の表に取り出し可能の元素を示す。

⁹⁸ Clarke, A.C., Profiles of the Future. 1963: Harper & Row, chapter 12

⁹⁹ U.S. Geological Survey <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/magnesium/mgcommcs04.pdf>

表 8.2. 1,000 立方キロメートルの海水に含まれる元素と化合物

元素または化合物	現在世界中の消費量	海水に溶解されている量	消費量の倍数*
塩 (NaCl)	210,000,000	30,215,827,338	144
マグネシウム (Mg)	3,360,000	1,280,000,000	381
硫黄 (S)	59,000,000	898,000,000	15
カリウム (K) **	23,000,000	399,000,000	17
臭素 (Br)	570,000	67,000,000	118
ヨウ素 (I)	21,400	58,000	3
モリブデン (Mo)	127,000	10,000	0
バナジウム (V)	60,000	2,000	0
パラジウム (Pd)	171	0.06	0

* 海水中には現在世界中の消費量の何倍の元素が含まれているかを示す。

** 米国地質調査所 (USGS) によると炭酸カリウム、 K_2O 、の世界生産は 27,400,000 トンである。 K_2O は重量でカリウム 83%である。

出典

消費：米国地質調査所 (USGS) <http://minerals.usgs.gov/minerals>.

海水元素：Y. Nozaki, *A Fresh Look at Element Distribution in the North Pacific*, Ocean Research Institute, University of Tokyo, http://www.agu.org/eos_elec/97025e-table.html

ところで 1,000 立方キロメートルにはまた、1 億 50 万トンの重水が含まれる。今消費しているエネルギーのすべてを賄うのに、その中のわずか 6,200 トンの重水が必要となる。

やがて、農業改良と屋内栽培によって、我々は余分の 3,900 平方キロメートルの農地は必要なくなるだろう。しかし、なんにせよ砂漠を灌漑して緑に覆われたすばらしい土地を作ることしよう。人々に住むに適した土地を与え、より良い環境を提供し、前の世代によって破壊された土地をよみがえらせるからだ。

題 9 章では、巨大規模の海水淡水化のプロジェクトが地球温暖化を防ぐのにどう役立つか考える。

9. 地球温暖化

常温核融合は地球温暖化の問題を解決できる。私が言っている意味はこの問題を改良したり、速度を落としたり、対処か妥協をするという意味ではなく、根本からなくすのだ。我々がもし常温核融合を賢く正しく利用すれば、ワクチンが小児麻痺に有効だったように地球温暖化を完全になくせる。大規模な問題を修復してくれる。他のエネルギー源ではとてつもなく高くつくか、直そうとすると、かえって悪くなることもあって、別の問題を引き起こすことがある。

常温核融合は年々悪化する真剣な問題、飢えや森林の消滅や飲料水不足、人口の激増などに対処するのに大いに役立つだろう。常温核融合だけでこれらを解決できるわけではないが、改善の方向へと向きを変えられることができる。国内あるいは地球規模の企画を立て常温核融合で動く機械で森、平原、海への侵入生物種を駆除したり、高速道路のそばのごみの山を片付けたり、危険な廃棄物を始末したりできる。もちろん、これらの目的を達するには、農業や森林管理や浄水所などに使う新しい機械も開発しなければならない。問題はひとりでは直るわけではない。人の命を奪うような真剣な問題が簡単に解決できる場合でも、必ずしも実現するわけではない。1955年以來、先進国の人々が数百円ずつ献金さえすれば、世界から小児麻痺を完全になくすることができたのに、実現しなかった。¹⁰⁰ これらの難問を処理するのに政府や企業やさまざまな社会的機関が参加しなければならない。議会が新しい法律を通過させなければならない。注意深く計画を立てて、企画をまとめて、経済的援助が要る。長期にわたる世界の政府機関と大手銀行からの融資と援助が必要だ。この企画は政府の賢明な方針と企業の優れた製品開発と、より良い健康医療制度、教育、機会均等、長年延び延びになっている社会改良が必要だ。

仮に、ハイチの山々の森林を取り戻すために常温核融合のトラクターや農耕機を使うとしよう。ハイチの人々に常温核融合の発電機や暖房機を与えなければ、今まで通りまきを燃やすために木を切らなければならない、森林は取り戻せない。生活水準を全面的に向上しないと貧困層は公害や自然破壊をやめたくてもやめられない。社会構造の改革なしでは新しい技術をいくら使っても飢えや他の社会問題は改善しない。むしろ失業者が増えるから悪化しかねない。

特に我々人間を含む莫大な種の絶滅を起こしかねない手に負えない問題である地球温暖化を常温核融合でいかに解決できるかを見てみよう。

まだ温暖化について疑っている専門家もいるけれども、この章では地球温暖化が起きているという合意に基づいて考えてみる。起きつつあると信じられるいくつかの兆候が現れ始めた。世界中の氷山は警告すべき早さで溶け始めている。日本の周りの太平洋の水温は1、2度上昇し、巨大な台風を発生させている。以前の日本の気候は予測しやすく、初夏に1ヶ月の梅雨があり、9月に台風が始まった。ほとんどの年は2、3の大型台風が来ていた。ところが2004年の春と夏に季節外れの、近代の気象観測が始まって

¹⁰⁰ 1988年にやっとこの病気を第三世界からなくする対策をとり始めた。資金は国際ロータリークラブと日本政府が寄付した。2006年に37,678症例が報告されている。2008年まで世界中から取り除けるだろう。<http://www.polioeradication.org/>

以来の7つもの大型台風に見舞われた。過去20年間に瀬戸内海の水位は7センチメートル上がった。アメリカの2005年のハリケーンの季節も歴史上最もひどいものの一つだった。

ほとんどの専門家は地球温暖化は本当だと信じている。そして、それは化石燃料を燃やすことによる二酸化炭素のせいだと思われる。太陽光放射の変化など他の原因も考えられる。原因は何であれ、または複数の原因が絡まっているにしろ、常温核融合は問題解決に役立つ。

二酸化炭素が問題だと仮定しよう。常温核融合はすぐに化石燃料に取って代わるから、今より悪化するのを止めることができる。これで二酸化炭素や他の環境を壊す要素を防止できる。しかしながら20世紀からすでに空気中にある二酸化炭素はやはり問題として残る。サハラとゴビ砂漠に新しく森を育てることによって空気中の二酸化炭素から炭素を捕捉し、木の中に封鎖することができる。残った酸素は空気中に戻す。(第8章参照) 自然に少しずつ炭素はなくなっていくかもしれない。ある専門家は海中の植物が炭素を吸っていくと言っている。

代案として、地球温暖化は二酸化炭素ではなく他の変化によって起こったと考えてみよう。または他の自然現象、たとえば太陽光放射が増えているから起こっているとしよう。太陽を制御し放射線を直接減らすことはもちろん我々のできることの範囲を超えている。しかし、それは光線のすべてが地球上に届くのを許すということではない。もしどうしても必要なら、私たちは宇宙エレベーターを10台築くことができる。そして何千トンの資材を宇宙へ運び上げ地球軌道を周回するマイラー樹脂製の傘で地球に届く太陽光線を遮ることもできる。これは信じられない大掛かりな計画に聞こえるかもしれないが、宇宙エレベーターは一個につき、わずか60億ドルしかかからない。(たったこれだけ!) 100万平方キロメートルのマイラー樹脂はそんなに費用もかからないし重くない—約700万トンだから50船の大型コンテナ船で運べる。ただし宇宙に配置するのが大変な作業だ。常温核融合はこの仕事をやりやすくし価格も下げる。(宇宙エレベーターについては18章で述べる。)

常温核融合以外の技術で地球温暖化に対応でき、問題を根絶できるとは考えにくい。常温核融合は今までのエネルギーに比べてあまりにも根本的に違うから、その存在だけ考慮すれば、人類はいかにして地球上に生活するか、何のために生きているかという、革命的な発想の転換を喚起させるかもしれない。私たちは一分間に約900万リットルの化石燃料を燃やして地球温暖化を起こしている。¹⁰¹ 想像を絶する巨大な行為だ。石炭の山と石油の川を燃やしている。常温核融合のみこの有害な行為と同じ規模で対抗できる。

砂漠への灌漑の仕組みは本当に実行可能だろうか? 森を作っても炭素を十分封鎖する効果はあるのだろうか? 8章で述べたようにサハラとゴビの三分の一の灌漑設備を建設するには、今日の技術では3.9兆ドルかかる。手の出ない額であるが常温核融合を使って大量生産の機械でやるならこのプロジェクトははるかに安くできる。人道的だ

¹⁰¹ 米国エネルギー省、Energy Information Administration, International Petroleum Monthlyによると、一日に83,150,000バレルを消費する。1バレル=159リットル

し、プロジェクトが始まってから、5年ぐらい経てば、パイプラインが敷かれ、最初の施設が操業し、土地から収穫できるようになる。そうすると操業費が払えるだけの利益が上がるはずだ。これが20年も続くと利益が増えて元が取れるだろう。

常温核融合の最初の海水淡水化は多分サハラかゴビ砂漠で始めることはないだろう。初期の常温核融合の施設は今日の化石燃料とウラン原子力の施設より安価であるが、それにしても高くつき、操業するのに多数の専門家が必要となるだろうから、ロサンゼルスのような先進国の大都市に建てるほうが良い。元を取るのも早く確かだから。地下灌漑設備はアメリカとイスラエルにすでに使われているが、もっと広がるだろう。木々はどこで育てても炭素を封鎖するから、温暖化の対策としてカリフォルニア州やイスラエルに新しい木を植えれば、サハラと同じほど効果的だ。海水淡水化の計画が軌道に乗ったら、経費も下がり、設備も標準化され、自動的されて、わずかな人で操業できる巨大な施設を建てることもできる。サハラのような人が住めない場所にも大きいプロジェクトを立ちあげ、やがてサハラは人口も増え、裕福になるだろう。

育ちゆく森は1ヘクタールにつき、年間1トンから10トンの炭素を捕捉し封鎖する。成木に達する30年後には森は1ヘクタールにつき150トンの炭素を封鎖する。もし砂漠とギリシャの島とハイチなどを灌漑して森に返したとして、200万平方キロメートルの新しい森ともう200万平方キロメートルの畑や農場を作るとしよう。新しい森は300億トンの炭素を封鎖する。人類の活動は現在、年間約60億トンの炭素を空气中に排出しているから、この森は私たちの4.5年分の炭素を吸収してくれることになる。この森が成木になるころには常温核融合はすでに現在の二酸化炭素を排出している機械を全部なくしているから、人類が19世紀、20世紀に化石燃料から出した古い二酸化炭素を除去すれば問題が済む。成長しきった木はもうあまり炭素を吸収しないので成木となった木を切り倒すことによって次の若い木が育ち無期限に一酸化炭素を減らし続ける。切った木は今と同じく建築資材や新聞紙となる。古い新聞紙、廃屋の朽ちた木材などは地下深くに埋めることだ。石炭の露天鉱の廃鉱などがこれに合っている。こうすれば森林の火事も防げる。火事はせっかく封鎖した炭素を空气中に戻してしまう。

もし成木を伐採するだけで十分でないなら、または新しい土地を森林地だけではなくて公園や住宅にするなら、木が古くなって枯れた時に炭素を永久に抜き取ることができるといい。常温核融合のロボットがサハラの新しい森とヨーロッパとアメリカの古い森から倒れた木や枯れた木を集めて地下深く埋めることができる。ロボットは現在の木材伐採機ほど大きくない。そんな大型機械は森林を害するし、町の公園や人の住まいの周りで使えないから、人間の大きさぐらいの機械にするか、もしかしたら、キツツキか昆虫の大きさが適当だろう。道がないので機械が通れない森の中で倒れた木をキツツキの群れが片付けることもできる。木々は炭焼きにして水分と養分を吸収し純粋炭素である炭だけ残す。埋立地の場所をとらないように炭を圧縮して埋め立てる。言い換えれば、私たちは人口の石炭鉱を作るようなものだ。もしかしたら、枯れ木をそのまま他の炭素のごみ、生ごみ、わら、のこくず、古新聞紙などと一緒に埋め立てたほうが簡単で安上がりかもしれない。

つまり炭素からなる製品は地中深く埋め、森の中で自然に腐ったり再利用させたりしないということだ。腐るということは普通、炭素を空气中に戻すことになる。この埋立

地は積み重ねているうちに古新聞や木材や他のごみが山ほどたまる。近年、ごみが増加していると非難されている。しかし実際には地球上には私たちが作り出すごみがほとんど入る深い穴が十分ある。製品を作るためにもともと鉄、石炭などの鉱山の巨大な穴を掘っているのではないか。掘り終わったあと古い製品をその穴に戻して埋めたら良い。未来の考古学者はこの埋め立てごみを見つけ小躍りをするだろう。未来の製造業者は新しい製品となる終結した資源を見つけて喜ぶだろう。今リサイクルは高くつくので物を捨ててしまうが、常温核融合とロボットはやがてリサイクルをもっと安価にする。

1. 合成石油

もしこの基本構想が十分な炭素をすばやくなくすることができないなら、そして深刻な温暖化が本格的に起きてしまったら、常温核融合で莫大な数の工場を建てて、一酸化炭素を炭素と酸素に分けたら良い。そして炭素を水から分けた水素と合わせる。別の言葉で言うなら、合成石油を作る。そして環境に影響のない土地の地中深くへポンプで流す。サウジアラビアなど、地理的に言えばもともと炭化水素が多量含まれていた地層にその合成石油を永久に封鎖する。つまり、逆燃焼によって合成石油を生産して、逆油田で地下に戻す。元来の燃焼のエネルギー量以上にエネルギーが必要ということだ。人類が空气中に放出した炭素をすべて回収するには工業革命から現在までの石炭と石油を燃やしてできたエネルギーと同じ量のエネルギーを費やさなければならない。常温核融合はこれだけのエネルギーを容易に供給できるが何千もの工場や空气中的炭素を除去し回収しなければならず、何兆ドルの費用がかかるかもしれない。森や農耕地や住宅など気持ち良い場所を作る淡水化施設と異なり炭素回収工場はそれ自体では利益を上げられない。地球温暖化を防ぐには役に立つが、それ以外の何に役に立つかは考えつかない。その過程で大量の合成石油を製造できるが工場廃棄物にすぎない。鉱炉のかわりに海水淡水化施設から残る塩水と同じだ。ほんのわずかは石油化学原料と潤滑油として使えるだろうが残りはポンプで地下に送り結局無駄になる。もしかしたら月か他の惑星で何かに使えるなら送り出すかもしれない。まだしも宇宙エレベーターを建設するのに純粋炭素が必要だから、炭素だけが欲しいという声上がるかもしれない。

人類は地球温暖化を修正するためこれだけの金をささげることが疑問に思うかもしれないが、私はそうする必要があると思う。

- 何人かの専門家が恐れているように地球温暖化が深刻だとしたら、温暖化を止めなければ取り返しのつかないことになる。ニューヨーク市、フロリダ州、ベニス市が海中に沈んでしまう。
- 我々が化石燃料とその燃料が起こす公害、病気、戦争、テロ行為に払うのをやめたら多額の金が残る。
- 常温核融合は温暖化対策や他の大きなプロジェクトを安価に可能にできる。

人類はすでに巨大プロジェクトや危険を伴う地球規模の実験に取り組んでいる。我々は空气中に多量の二酸化炭素を注入し、主に商業モールの駐車場を作るためだと私には思えるが、アメリカにおいて一年間に 525,000 ヘクタールの土地を舗装している。取るに足りない、些細な理由であるいは理由もなく舗装している。我々が使うエネルギーは

三分の一を無駄にしている。もしもっと効率の良い蛍光灯と車を使い、省エネの家を作るなら、もっと快適に、健康で、安全にすごせる。

たとえば、戦時中は国中で集結して数年のうちに驚異的な努力をするものだ。第二次世界大戦は逆巨大プロジェクトの一種だった。つまりこれまで何代もかかって築き上げたものを荒廃させてしまった。5,000万人を殺し、何千、何万という大都市、町、村を破壊してしまった。

灌漑プロジェクトは最終的には食料生産を増やし、土地の価値を上げ、それ自体で元が取れ利益を見込める。いかにも、長い目で歴史を見れば大陸横断鉄道のようにすばらしい利益となる。おまけとして地球温暖化をなくすことができる。でも、たとえ第二次世界大戦の二倍の費用がかかるにしろ、地球温暖化によって都市、州、国が洪水に見舞われるのに比べれば計り知れないほど安価である。

私がここで述べた灌漑や宇宙かさのような空想的な巨大プロジェクトは無理だと誰も思うべきではない。1950年代には初めて星間飛行の可能性が学会誌や雑誌に載って、人々はそれを考慮し初めた。しかしある専門家は永遠に人類の能力以上のことだと取り合わなかった。アーサー・C・クラークは1963年にこう書いた：¹⁰²

決して分かれようとしぬ人がある。六十年前に飛行の可能性をあざけた人、あるいは十年前（いえ、たった五年前！）惑星へ旅することを笑った人は今、星は私たちの手の届かないところだと確信している。またもや彼らは間違っている。私たちの時代の巨大な教訓を把握していない。それはもし何か理論上可能なら、現実になるのに基礎科学の法則が反対しないなら、遅かれ早かれそれは達成される。

常温核融合の研究者たちは心の広い想像力のある人たちであるにもかかわらず、前代未聞の劇的な力を人類に与えることになるのを実感しないこともある。エドムンド・ストームズは次のように述べている：

...より良いエネルギー源が人類の能力を増し、何のせいで起きているにせよ、地球温暖化が及ぼす影響を抱えて生き延びるだろう。都市を海岸線から移したり、ある都市をポンプで排水し堤防で守る、あるいは普通の農地には乾きすぎている土地に散水したり、ある一定の場所だけ隔離して快適な生活を送るように環境を作り出すなどするには莫大なエネルギーがかかる。

私が思うにはストームズの考え方の規模は小さすぎる。私たちは地球温暖化と折り合う用意をすべきではない。他の地球規模の危機、侵入種とか、森林の消失、人口過剰にしても折り合うべきではない。その場しのぎの方法と中途半端な方法で何とかするだろうと思っはならない。何百万の貧しい人が水位が上がるのに見捨てられている間に少数の金持ちを助ける計画を立てるべきではない。貧しい人を見捨てるということは集団虐殺である。大きな視野で見なければならぬ。これまで考えたこともない規模で。常温核融合はこれまで夢見たどんなものより大きい力と物質的豊かさを人類に与えてくれ

¹⁰² Clarke, A.C., *Profiles of the Future*. 1963: Harper & Row.

る。その力と富をこれまでの問題を解決するのに賢く使える。問題を一掃し、温暖化が始まる前の状態に戻せる。温暖化をほっておくことは自殺行為だ。

10. ニワトリ・ロボットなど賢明な機器

NASAは人工知能を利用していわゆる「ロボセクト」という昆虫のような小さいロボットを作ること検討している。次のように説明している。

未来の宇宙探検の計画の大筋として、多数のロボセクトをデザインして、現存するあるいは昔生存していた生物の証拠や資源、希少鉱物、水の兆候など探すことを考えている。磁気力や他の力を測定したり、岩の割れ目まで入り込んだり、小型の定着物を組み合わせたり、惑星物理学の調査を行ったり、遠隔通信の中継の機器を運んだり、そして独特な実験もできる。嗅覚や味覚のような感覚器機能がいろいろ考えられるが、生物の味覚組織などを真似た化学センサーを利用できる。ロボセクトに特殊な実用的な移動運動の技法を備えることもできて、長い距離を横断のために跳躍したり、飛んだりできるし、または目的地まで這ったり、地下の作動のために穴を掘って、もぐったりできる。¹⁰³

第6章で、動物の頭脳の機能が詳しく分かるようになったら、それを模倣して、初めて「鳥の頭脳級」の実用的な人工知能のコンピューターができるだろうと予測した。そのコンピューターをもっと詳しくみて、常温核融合との相乗効果について熟考してみよう。この二つを組み合わせたらうまくいくと思う。

1. ニワトリ・ロボット

何億ドルもかけた最高のコンピューターにさえできないことがニワトリにはできる。ニワトリは物体と影の区別が分かる。ニワトリは信じ難いほどすばやく正確に三次元の空間を移動する。

飛べる動物だから視力と反射神経は人間よりすぐれている。ニワトリを飼う人に聞いてみるがいい。居間のソファに巣ごもっているニワトリを家から追い出そうとすると、ニワトリが慌てて目の前をすり抜け、テーブルの下をくぐり、飛び出して、台所のドアを通り、調理台へ降りて即座に飼い主のお昼ご飯を見つけ、アッという間に一番おいしいものを一口つまむ。このすばらしい性能に対抗するスーパーコンピューターはない。人工知能を三十年前から開発しようとしているが、おそらくあと五十年経っても人を真似た言葉や直感はまだできないだろう。しかし物を見分けたり、三次元の空間に動いたりする能力はネズミとかニワトリ程度の動物とは競争できるようになると思う。この能力はロボットに新しい優秀な機能を与える。

人工知能への鍵はいわゆる「超並列処理」(MPP)の設計である。従来のパソコンはデータを計算をする部分(CPU、中央演算処理装置)が一つしかない。並列処理のコンピューターは処理装置が何千もある。その一つ一つの装置はパソコンのと比べて小さく、のろくて、簡単かもしれないが、同時に働けるから、たくさんの人が同時に田植えをす

¹⁰³ Bar-Cohen, Y., *Electroactive Polymers As Artificial Muscles - Capabilities, Potentials And Challenges*, Robotics 2000 and Space 2000 conference, Albuquerque, NM, USA, February 28 - March 2, 2000, <http://ndea.jpl.nasa.gov/ndea-pub/EAP/EAP-robotics-2000.pdf>. こんな創造的な思案を聞くとNASAに惚れ直す。

るように問題をより早く解決する。特にパターン認識のような課題には力を発揮する。生きている脳は並列処理のコンピューターに似ている。細胞の一つ一つが同時に個別に働く。スーパーコンピューターの大部分は以前から並列処理のデザインである。最近やっと小型のパソコンにも応用されるようになった。いわゆるマルチコア・プロセッサである。今日の並行小型コンピューターは2か4の処理装置しかないが、近いうちに8から16に増える。

2007年インテル社が80の処理装置を備えた試作品を発表した。これは1996年の世界一早いスーパーコンピューターとほぼ同じスピードでデータ処理ができる。ところでスーパーコンピューターは家ぐらいの大きさと電力500,000ワット使用に対して新しい製品はわずか指先ぐらいの大きさと電力は60ワットしか使わない。5年先には実現される見込みである。

20年先には一つの機械の中の何千もの処理装置を一つのチップに収容できるかもしれない。多分1,000倍は速くなり、視覚とパターン認識においては100,000倍速く成り得る。(現在のコンピューターはすでに1980年代のより5,000倍も速くなっている。) わずか100グラムの手に乗る大きさのコンピューターがニワトリの頭脳と同じ能力を持つことを想像していただきたい。そのコンピューターは三次元をうまく動き回る。物体を見分ける。そして人間や昆虫をみて、「行動し意思をもち予測できる行動をする動物だ」と認識する。

本物のニワトリは責任感がない。勝手にやりたいことをやる。コンピューターを作る時このまねはしない。意思、動機、期待、欲望などを取り除く。生きる喜びを奪い、客観的な知力だけ残す。「命令に従う」といったニワトリが普通たまにしかやってくれないことをこのコンピューターにさせる。そしてこのコンピューターを小さなロボットに備え、子供と同じく程度の強度を与える。食卓の皿を片付けるように命じる。ニワトリが調理台の上の皿を認識できると同じように、ロボットは皿が分かり、それを持ち上げてゆっくり運んで、丁寧に皿洗い機に入れる。壁にぶつかったり、ゴミ箱に皿を投げたりはしない。普通のニワトリの行動と比べればこれらの任務は容易なものだ。

ロボットは仕事をこなすのにわずかなニワトリの能力機能があればできる。ニワトリの知能があれば人の区別ができ、どういう行動をする人かもわかる。ただし本物のニワトリは、好き嫌いもあるし、えこひいきしたり、人を恨んだり、餌を忘れたら怒ったりするけれど、ロボットはそういうことはしない。ニワトリはいかにも人間と同じようにたらふく食えば、後は一日中縄張り争いもするし雄が雌に求婚するなどの社会行動に没頭する。ニワトリ・ロボットにはこんな能力はなくてよろしい。

ニワトリの視力と反射作用に加えて、ロボットには主制御装置として従来のコンピューターが内臓される。それは現在の一点張りの理論的なコンピューターであいまいさまでは分からないが命令を覚えたり、日程を把握し、守ったり、体内のGPSや電子カメラを使ったりする。交通規則を理解するから歩道を歩き信号を待って青になったら道を渡る。ニワトリは信号機と青色が認識できても意味が分からない。制御コンピューターは交通規則を理解できるけれども、実際の世界で信号機と青色をはっきり認識できない。



図 10.1. 女の子とペットのニワトリ。ニワトリはこの子と家族のほかの人を見分けた。ニワトリは人間の基本感情と意思が分かる。たとえば人が怒ってニワトリを家から追っ払おうとしたらニワトリは慌てて逃げる。

洗濯ものをたたんだり皿を片付けたりする、ゆっくり動く家庭用のロボットは乾電池で動かすことができる。一日に何回か充電しなければならないかもしれないが、すでに充電した電池のパックをさっと取り替えればすむ。常温核融合はこの室内用のロボットの機能を高めることはしないが、他のロボットを相乗効果的にいっそう役に立つようにする。特に独自に動き回る森の中とか南極や海の底や遠い惑星のような苛酷な環境に送られるロボットに適切だ。常温核融合はこれらのロボットに従来のエネルギー源ではできない、まったく新しい能力を与える。

常温核融合を使ってニワトリほどの大きさのロボットを作ることをご想像していただきたい。ニワトリに合っている仕事を与えられる。ある種の昆虫を見つけ殺すことだ。アメリカの森は中国から侵入したカミキリムシが木を食い荒らしている。¹⁰⁴ ロボットを国立公園に持って行って、決まった区域を巡回しこのカミキリムシを駆除せよと命じる。ロボットは何日も休まず仕事を続ける。ニワトリはすばやく動く小さい虫でも捕まえるのが得意だ。虫の種類を見分け、どれがおいしいか、どれが苦いか、どの虫が刺すか知っている。私たちのロボットは間違っって別の虫を殺すことはしないし人に向かってくることもない。本物のニワトリのように羽があり木の上に飛び上がることができる。象の鼻かカニのはさみみたいな手を伸ばし、落ち葉や土を掘り起こして探す。巡回区域を組織的に見回り、少なくとも日に一回はすべての個所をチェックする。文字通り草の根を分けても虫を捜し出す。疲れることもなく木々に這い上がって探し、ニワトリの機能と同じく区域を認識し、さらに体内に GPS があるから迷うことはない。的になる虫が夜行性であれば、電力はいくらでもあるので夜間用のカメラや発光ダイオードのランプもつけられる。従来の昆虫退治に使うフェロモンなども利用する。

¹⁰⁴ USDA Forest Service, Asian Longhorned Beetle, <http://www.na.fs.fed.us/spfo/alb/>



図 10.2. ツヤハダゴマダラカミキリ (*Anoplophora glabripennis*)の雌。米国農務省

ロボットは虫を殺したとか、もう一步で虫をつかみ損ねたとか、いろいろな観察をする時、日付、時間、GPSで測定した位置を記録する。定期的に内蔵されている携帯電話で記録と経過報告を自然学者が控えている本部に送る。ロボットの群れから送られて来るデータがたまるとカミキリムシの駆除プロジェクト担当の学者にとっては宝庫となる。ロボットの技術者と自然学者が相談して、時々ロボットの群れに新しいソフトウェアを配ったり、新しい命令をしたりして機能向上させる。たとえば、雨の後か夏の終わりにはある特定の種類の木々に注意して虫を探すようにと指示を出すことができる。

故障を調べたり定期的に保守点検をするためにロボットを工場に呼び戻し、また指定された地域に送り返す。ニワトリは移動が速くて、遠い所からでも家に帰る。GPSを備えたニワトリ・ロボットは北アメリカのどこへでも数週間で、また世界のどこへでも数ヶ月で自分の力で移動できる。技術的には問題ない。足や羽は人口筋肉で動くが、自然の筋肉と同じくらい長持ちする。ある鳥は南アメリカから北アメリカまで毎年渡ってくる。海鳥は嵐を生き延び何千キロメートルの旅をする。

これらのロボットは最終的に大量生産により安価に手に入る。国立公園に10,000羽のニワトリ・ロボットを放して虫を駆除できる。やがて何百万羽を北アメリカに放すこともできる。これらを組織して、広い地域を探す。その中の一つが虫を見つけたら、直ちに群れの他のロボットを呼んで手助けを求める。数年後にはカミキリムシがすべていなくなり、ロボットたちを呼び戻し、次の害虫駆除に向かう。

ニワトリ・ロボットの設計書

重さ1、2キログラム。本物のニワトリとほぼ同じだが、必要に応じて形は全く違っていてもいい。大きい昆虫に似ている。

足は4か6ある。

移動は機械の稼働部の代わりに人工筋肉（電気活性高分子、EAP）で行う。人工筋肉の負荷時間と強度はすでに商業的に応用されている。

このロボットは飛べる。プロペラ機ではなくてはばたき飛行機である。硬い折りたたみ式の羽がある。鳥よりカブトムシに似ている。プロペラはうるさくて危ない。人間に傷をつけるかもしれないから羽にする。

両眼視力。夜間行動用には微光視力と暗視の性能を備えている。

GPS 付きの携帯電話と群れのほかのニワトリ・ロボットとのコンピューター・ネットワークを備えている。

殺した昆虫の写真を送り返す。あるロボットは昆虫や被害を受けた木などの標本を持ち帰る。

他の種も観察し写真とビデオを撮る。自然科学者にとってこのデータは貴重である。多くの種の現実的な個体数など初めて得られる。

昆虫をやわらかいプラスチックでできたペンチで殺す。毒や尖ったものなど人間に害を与えられる方法や環境を汚す方法は使わない。

内臓したフェロモンを分配する装置がカミキリムシを誘う。

丈夫なプラスチックから作るが、外側は軟質のゴムに包まれる。とがった部分とか出っ張っている部分はない。軽いから、車か人に間違っつつかたり、木から子供の上落ちたりしても大げがはさせないだろう。

静かで控えめ。音を出したり、自然環境を荒らしたりしない。つるなどの侵入植物種を切ったり枯れ木を集めたりするロボットはゆっくり働いて、一本の太いつるを切るのに数時間もかかることもあって、キツキより静か。

目立つ色だがげげげげげげげげ。側面に「米国農務省」(USDA)と説明書が書いてある。

限られた数の音声命令に従う。「とまれ、向こうへ行け、助けろ、報告しろ」など。

ロボットの背中に捜索救助のために赤い「緊急呼び出しボタン」がある。ボタンを押すとすぐ携帯電話で警察に連絡をし、押した人の画像と声を送信する。もし連絡がつかなければ、ロボットはボタンを押した人にそこで待つように説明してから、空へ高く飛び上がり、もう一回警察に電話をかける。

遠足のピクニックなどに突っ込んだら、音声で自己紹介をする。「コンニチワ。このロボットは農務省の害虫の防除装置です。お邪魔でしたら、『向こうへ行け』と命じて下さい。万一、緊急支援が必要ななら、『助けて』と命じて下さい。なお、農務省がコーネル大学と組んでこの防除プロジェクトを行っておりますが、もしご興味ありましたら、『報告しろ』と命じて下さい...」

人をびっくりさせたり、脅かしたりしない。むしろ可愛い外見だ。人に迷惑かけない。「行け」といわれたらすぐ向こうへ行く

人がそのロボットを拾って家に持って帰ろうとしたら、抵抗したり、逃れようともがいたりはないが、声で次のようなアナウンスを繰り返す。「このロボットを妨げないで下さい。このロボットは米国連邦政府の所有財産です。ただいまあなたの写真を撮って警察に送信しています。緊急の場合なら、背中にある赤いボタンを今すぐ押して下さい。」(ボタンが赤く点滅する。)



図 10.3. 公園の中のニワトリ・ロボット。害虫がついた木に登る、飛ぶ機械。イラスト A. Rothwell.

掃除機ロボットはすでに商品化されている。原始的ではあるがニワトリ・ロボットと同じような機能がある。掃除機はニワトリ・ロボットがカミキリムシを探すように部屋の隅々まで行き来してほこりを吸い取る。もっとニワトリ・ロボットに似ている機械も現在南カリフォルニア大学で開発されつつある。これは小型のゆっくり動くロボットで野菜畑のナメクジを捕まえるために見回っている。¹⁰⁵ 設計者が将来の型と考えている機械はナメクジを液体の樽に沈ませて、その液でナメクジを殺し、発酵させ、生物ガスを発生させて、その力で動く。言い換えれば、ロボットは餌動物を消化して得たエネルギーで次の餌動物を探す。無論、生きているニワトリは同じように虫を食ってそのエネルギーで次の虫を探す。ナメクジを食べる捕食ロボットの基本型はゆっくり動き少量の

¹⁰⁵ Kelly, I., et al., *Artificial Autonomy in the Natural World: Building a Robot Predator*, <http://www.coro.caltech.edu/People/ian/publications/ecal99.pdf>

力を使う。ナメクジより速く動くものは捕まえられない。(ナメクジはゆっくり動くだけでなく、赤い発光ダイオードの光で照らすと目立つから、とても見分けやすい。) これらのロボットがだんだん改良されるとやがて害虫など活発な動物を捕まえるようになる。次第にここで私が述べているニワトリ・ロボットに近づくだらう。読者はそれではなぜ常温核融合が必要なのかと戸惑うかもしれない。害虫駆除で得られる化学のエネルギーでニワトリ・ロボットを動かせるのじゃないか。死滅させる害虫のエネルギーを利用していいし、それだったら、燃料電池とか普通の乾電池でも十分ではないか? 確かにそういうものでニワトリ・ロボットを動かせるし、次第に実用的な元の取れる製品になるだろうが、常温核融合はその開発の活性剤になって、製品を改良を促進させる。力の限界をとてつもなく広げることができれば、新しい機能と信頼性とさらなる開発に余裕と可能性が生まれる。

乾電池を使うとニワトリ・ロボットは重くかさばる。飛ぶことができず歩くか這うしかない。行き先までたどり着くのに交通の激しい道を渡るのが難しい。耐水性に作ってあっても激しい流れの溪流を渡れないし急な土手を登れない。木の高い所の虫は探せないし突き出た岩や他の届きにくい所も無理だ。燃料電池は乾電池よりエネルギーをたくさん蓄積するけれども、これも重くて動きの範囲が限られる。獲物のエネルギーを収穫する機械は上述したナメクジ退治のロボットか生きているニワトリと同じように「飢えて死ぬ」ことがある。というのは、森の中でエネルギー不足で立ち往生してしまうことがある。以上の開発のやりかたではエネルギーを節約しなければならない。最初の製品からとても効率よく虫を捕獲するのを作らなければならない。GPS と携帯電話も使えないし、高精度の重いコンピューターも内臓できない。工場から指定位置まで長距離を飛ぶこともできない。ところが常温核融合は設計者にゆとりを与える。といっても、エネルギーをいくら使ってもいいというわけではない。何百ワットの廃熱を放射すれば危険だから、ある程度効率を考えなければならない。しかし、10ワットから20ワットぐらいの電力は簡単に出せる。これは生きているニワトリより数十倍力強い。

最初のロボットはあまり効率的ではないだろう。初期の型はたくさんの虫を捕獲できないだろう。しかし常温核融合では「飢える」ことはない。何週間も何ヶ月もゆっくりながら、任務についていて機能上できる限りのスピードで働き続ける。そして詳しい性能のデータを設計者に送り返し、それは次世代の型を改善するのに役立つ。

本物のニワトリの脳は驚くほど小さい、1グラムぐらいだ。わずかなエネルギーしか消費しない。コンピューターで操作される人工の鳥形の脳はいずれはこれに匹敵する1グラムになるかもしれないが、最初の型は百グラムかそれ以上の重さがあり、数ワットを使用するだろう。常温核融合はこれらのまだ効率の悪い最初の雑な型をたくさんの製品に試してみる機会を与える。常温核融合なしだとこれらの製品は改良するためには長年待たなくてはならない。

燃料電池を使うロボットは駆除した虫の低画質画像と害虫の見つかった地域の初歩のデータを溜めることができるだろう。データはデジカメ用のメモリーカードに入れられる。毎週ロボットが燃料補給に基地に帰った時にカードは収集される。(乾電池だと数時間ごとに基地に帰らなければならない。) 常温核融合を使うともっと運べるから、携帯用コンピューター用のハードディスクを積み込めるし、高画質画像やビデオ映像、

GPSによる位置確認や温度、光の具合、気象、もしかしたら内臓される質量分析計の測定値まで、何でも設計者と自然科学者に役に立つデータを蓄えることができるかもしれない。夜間にこれらのデータを基地に無線ネットワークを通じて送れるし必要なら時間ごとに送ることができる。もし谷間などの携帯用の基地局から離れて送信できない場所にいる時は現在地をGPSで記録しておいて、送信可能な高度まで飛び上がれる。そして、送信をすませ、最新のソフトウェアを受信したりして元の場所に戻って行く。

今日のエネルギー源では制約があるので設計者たちはアイディアに行き詰まってしまふ。ある機能を動かすには他の機能をあきらめなければならない。いらだたしい妥協と困難な選択をしなければならない。ナメクジを食うロボットを設計している研究者はこれらのデザイン上の複雑な制約を次のように説明している：

...動物と同じく私たちのロボットは同じ自由な生息環境に置かれているので、多数の異なる目的を同時に求めなければならない。ナメクジを集めなければならない、電池は充電せねばならない、迷子になってはいけない、燃料補給の場所まで戻れるほど電気量を残さなければならない、感知装置と活動の装置の機能性を保持せねばならない、その他いろいろある。どうすれば、ロボットをプログラムを組むことによって生存可能時間を最大にできるだろうか？ 設計者としての方策は計算上の許容解を求め、機械を十分効果的に行動させることだ。消化の過程での効率が悪いので、このシステムは最適な状態でも、生きるか死ぬかぎりぎりの線に近い生存性の境界領域に近いから、ナメクジだけ食う動物が経験するより達成要件が厳しいかもしれない。

残念ながら我々は詳細な情報が足りないので、特定な最適解を即座に計算できない...

もし電池や燃料補給の寿命など心配しなくて良ければ設計者の仕事はずいぶん楽になる。常温核融合はこの擬似動物に普通の動物より何百万倍ものエネルギーを与える。「生きるぎりぎりの線」どころか、はるかに優れた可能性が出てくる。この問題に取り組んでいる設計者は注意深く釣り合いを保つ見事な解法を必死で探している。常温核融合はこれまでのデザイン上の難題を一刀両断に解く。これまで賢い節約と効率の設計配慮を苦勞なしに押しつける。他の多くの機械も同様だ。これまでに、デザイン上の妥協をするのが癖になってしまっていて、設計者たちは自分が妥協をしていることに気が付かなくなった製品も常温核融合によってまるで違うようになる。

ニワトリ・ロボットは夜間の警備員としてすばらしい。動き回る警報機か番犬ロボットが部屋から部屋へと24時間見回るのを想像してみよう。動く物体や普通ではないものにすぐ気が付く。生きているニワトリは不審者が家にきたらすぐ見分ける。鳴き声を上げ、ばたばたあわてて納屋の垂木に逃げる。ヨーロッパではガチョウが番犬として使われている。泥棒は普通の警報機を壊したり、大きな的である犬を撃ったりする。しかしニワトリを捕まえたりピストルで撃ったりはできないだろう。見回りロボットはすぐ内臓の携帯テレビ電話で警察へ通報し、その間に隠れたり、高い所へ飛び上がったりして、警察に生放送で泥棒の撮影を送り続ける。

また、警備用のニワトリ・ロボットはかかしの役目もする。定期的に野菜畑を見回りカラスや鹿を追い払う。そして納屋へ行き家に戻る。煙や火の気の気配を調べて、動き回る火災警報器にもなる。小さな子が庭で遊ぶ時には子供がふらふらとさまよい出たり、池に落ちたりしないように見守る優秀な子守りになる。

ちょっとした知性は結構役に立つ。小さな頭脳さえあればいろいろなことができる。常温核融合のセルは腕時計の電池など小規模なものまで縮小できる。もし、スズメかセミの大きさの飛べるロボットができたらどうなるだろう。中国の研究所で、セミより小さい常温核融合のセルを作ったがでセミよりたくさんの出力があった。現在、昆虫の大きさのスパイ飛行機がアメリカや英国の大学と軍隊の研究室で開発されている。¹⁰⁶ これらのロボットは強くないから、主に偵察機として使う。目標を見つけたら、自分で対策を取らないで人間かニワトリ・ロボットの群れを呼ぶ。不法侵入の人間や車を見分けることができるかもしれない。道に迷った山歩きの人たちや逃亡中の悪人あるいはアフガニスタンの山に潜むテロリストたちを捜すのに何百万個もの警官ロボットを出動させる。人間の軍隊が国中のすべての木の後ろや洞窟や家を捜すのは不可能だが、虫たちはこれらの場所に入って捜索できる。一千万の虫ロボットが高速で昼間、広大な地域を探索できる。混雑したスタジアムですべての人を見回り、また近くから顔写真を撮る。昆虫程度の大きさで知性しか持たないロボットに何十年も持つ電源を備えつければ想像もできない能力を持つ。

虫ロボットがもし独裁者に仕えることになる、市民の周りをうろろしながら見張り、行動を監視し、どの本を読んでいるか、誰に会って、何を話しているか記録するだろう。市民が不振なこととか普段と違う指定された仕事に関係ないことをすると虫ロボットはすぐに警察にビデオを送る。数え切れない悪事に使うことも考えられる。第11章ではニワトリ・ロボットと虫ロボットを利用して考えられる身の毛がよだつまざまな武器について述べる。

もし人工知能のコンピューターがニワトリ程度より進んで、猿とか犬ほど賢くなったら人間社会の肉体労働の大部分をこなすようになるだろう。現在レトリバー犬は盲導犬の役目をするし、オマキザルは四肢麻痺患者の世話をする。患者のコンピューターやテレビを操作したり、看護婦のように食べ物を運んで食べさせたり、顔を洗ったりする。もしこの動物は動物らしい感情がなければ、車の運転だって人並びにできると思う。木の上で戯れる猿の反射作用はオリンピック選手やアクロバットより良い。猿は仕事の内容と目的さえ分かったら、そしてやる気になったら、決まりきったやり方の普通の仕事、たとえば生産ラインや料理や脳外科手術などの手作業はできるだろう。手術を行うロボットはもちろん人間の医者や監督のもとで働くが、しかし実際の仕事はロボットがやる。ちょうど飛行機が旅のほとんどを自動操縦でするように。精密なレーザーによる目の手術はすでにコンピューターがやっているし他の方法ではできない。

¹⁰⁶ Micro Air Vehicle (MAV) Advanced Concept Technology Demonstration (ACTD)、米国防総省国防高等研究事業局、<http://www.darpa.mil/tto/programs/mav.htm>

2. 侵入生物と他の人間がもたらした問題

侵入生物種は人間がある生態系から違う生態系に運ぶ有害な外来種である。中国のカミキリムシは輸出物に紛れ込んで間違っ てアメリカに持って来られたが、人為的に持ってくる場合もある。アメリカの東南部の葛（カズラ又はクズ）がその良い例だ。葛は日本原種だ。19世紀末に地すべりを防ぐためにアメリカの鉄道会社が持ち込んだ。葛は生長が速い。一日30センチメートルも伸びる。だから地すべりを防ぐ任務には適している。しかしアメリカ国内には葛の天敵はいなかったの で300万ヘクタールの土地を覆いつくし荒地にしてしまった。^{107,108}

西部のシアトル市のあたりでは「反アイビーリーグ、つた反対同盟」と呼ばれる団体が公園や保護区の森をまわってヨーロッパつたを切り取っている。ヨーロッパつたは もちろんヨーロッパでは問題をないのだがアメリカでは今までの環境を破壊する侵入生物種だ。

侵入生物種対策の最良の方法は駆除したい生物種と同じ規模かその天敵と同じ規模の自律ロボットを作ることである。すなわち、葛やヨーロッパつたはキツツキと同じ大きさのロボットで駆除するのがいい。昆虫と同じ大きさでは仕事に時間がかかりすぎ、犬や人間の大きさでは邪魔になる。今日、農業用の機械のほとんどはトラックやトラクターの大きさだが、駆除の仕事にはこんな大きなロボットは不適當だ。昆虫や鳥の大きさのロボットがいい。オーストラリアの海に侵入している日本のマヒトデとワカメと戦うのには魚のような潜水ロボットが適當だ。¹⁰⁹

マヒトデとワカメは日本からオーストラリアの海までコンテナ船のバラスト水で運ばれた。バラスト水は海の環境を破壊している！ 常温核融合を使うか使わないかにかかわらず至急何らかの手を打たなければならない。幸いなことに排水口に簡単なこし器のようなフィルターをつければ多くの問題を取り除ける。1ミリメートル以上のものをズタズタに切って殺すことによって可能だ。現在の技術とより良い検査と法律によって新しい有害な外来種を予防できる。しかし、もうすでに浸透した外来種を今の技術で駆除するのは難しい。葛何百万本を人の手で刈るのは金がかかりすぎる。ヒトデの雌は2000万個の卵を産むからオーストラリアの海中でいくら潜水夫を雇っても無理なことが分かる。舌がもつれるようだが、ヒトデは人手では手に負えない。時々外来種の原産地からその天敵をつれてきて駆除することがある。日本のマヒトデの敵を探してオーストラリアに持ってくれば良い。しかしこの天敵にあたるものもやはりオーストラリアの海にとっては外来種なのだ。そしてこれもまた新しい予想できなかった問題を起こすかもしれない。これはいすの足が一本少し長すぎるからといってそれを切った人のたとえ話に似ている。一本少し切ったらこんど別の一本が少し長くてぐらつくので、それを少し切り、また長さを合わせるために別のを切っていくうちに、いすの足はどうとうなくなってしまうという話だ。

¹⁰⁷ National Park Service, *Weeds Gone Wild: Alien Plant Invaders of Natural Areas*, Kudzu, *Pueraria montana* var. *lobata*, <http://www.nps.gov/plants/alien/fact/pulol1.htm>

¹⁰⁸ University of Alabama, *The Amazing Story of Kudzu*, <http://www.alabamatv.org/kudzu/>

¹⁰⁹ マヒトデ、*Asterias amurensis*、ワカメ、*Undaria pinnatifida*。世界侵入生物種データベース (issg) によるとこれらは世界のひどい侵入生物種上位100種に入っている。 <http://issg.org>

ニワトリ・ロボットは最終的にはカミキリムシを退治するだろうと思う。私たちはもっと雑なやり方で、殺すつもりはなくまたは望んでもいないのに、ほかの種を絶滅に追いやっている。ところでもしニワトリ・ロボットが北アメリカのカミキリムシを完全に駆除できなくてもその数を減らして木々への損害を減らすができる。とすると、外来種が支配している生態的地位を空けることになり、アメリカに元々いたコガネムシなどがそこに戻る。何百万個のニワトリ・ロボットは最初の襲撃からカミキリムシを駆除するまで二、三年かかるだろう。その後何千かのロボットが森をパトロールして被害を受けた木を探せば良い。そして個体数を数え、他の種の状態も観察する。

他の環境上の問題も小さなロボットで対応できる。アメリカの鹿（オジロジカ *Odocoileus virginianus*）は約 3000 万頭いるが、最近では東部で増えすぎている。土地が維持できる数より何百万頭も多くいる。鹿は木の芽を食い荒らし、絶滅の恐れのある木々を食べ、その結果自分たちを餓死させる。鹿に寄生するダニを媒体として人への病気も広がっている。首都ワシントン市のあたりでは自然科学者が鹿を「ひづめ（蹄）のあるドブネズミ」と呼んだ。鹿の数が爆発的に増えたのは人間が鹿の天敵であるオオカミやオオヤマネコを都市から追い払ったし、また人は狩をしなくなったからである。ニワトリ・ロボットは鹿を暗殺してまわるわけにはいかない。鹿が特に多い郊外で銃を発射できないし、人の目の前で鹿が殺されるのは見たくない。ロボットは武器や毒薬を持ってうろろするわけにはいかない。好奇心の強い子供や牛のようにのっそりした大人が誤って殺されるかもしれない。しかしロボットは鹿を見つけて避妊薬を投与できる。野生の動物への避妊法は小規模ながら試されている。しかし大きな費用がかかる。薬は安いが経験豊かな狩人が鹿を見つけ注射の矢を打ち込むのに時間がかかる。その上、矢は人々にとって危険だ。この方法はロボットで行うなら、注意深く現場試験をして、そして数年は、人がロボットを通じて遠隔制御で矢を打つべきだろう。ロボットは半自律的に動けばいいだろう。ロボットは鹿を見つけ、投薬をする前に管理者にその鹿のビデオ映像を送信して承諾を得る。多分獣医はもっと安全な方法を開発するだろう。たとえば人間が使っている皮膚貼付で投与する避妊とか鹿の口内に薬を吹き付けるか、または鹿が食べようとする植物に吹き付ける方法があるかもしれない。

この方法は野生化した動物にも使える。現在、実験的に RU-486 経口（妊娠中絶）剤をのら犬と猫の餌に混ぜている。ロボットが一匹ずつに投与したほうが数多くの動物に効果的に手当てできるだろう。

ニワトリ・ロボットは人間が大通りや公園や川に残した汚物やごみを回収できる。放射線検出器を備えたロボットは遺失した放射性廃棄物を探せる。発癌性のごみや放射性の破片や危険薬品を辛抱強く探し収集し安全に始末することができる。

11. 破壊力はないが大混乱を引き起こす軍事用の機器

世界の軍事組織のあらゆる設備と機械、船、戦車、トラック、通信衛星から懐中電灯やラジオまでが常温核融合が登場したとたんに廃れる。もしオーストラリアぐらいの国が今から十年後に常温核融合で動く武器、郵送車両、飛行機、後方支援体制などを整えて現れたら英国が、アヘン戦争で中国の軍隊を打ち負かし、アメリカの南北戦争で南軍の蒸気の装甲艦が北軍の木造帆船を惨敗させたように、簡単に敵を打ち負かせる。¹¹⁰

常温核融合による軍事力への最も重要な貢献は新しい武器ではないだろう。むしろ車両のエンジンや発電機や輸送機、民間用の日常的な機械への貢献の方が効果的だろう。そういう物が近代戦争に大きく影響してきた。アメリカの南北戦争と第一世界大戦には鉄道が重要な役割を果たした。1948年にアイゼンハワー将軍はアフリカとヨーロッパの軍事作戦について次のように書いた：¹¹¹

...アフリカとヨーロッパの軍事成功に最も重要だとほとんどの高官が思うようになってきた機器はいろいろある中で次の四つだ。それはブルドーザーとジープ、2½トンのトラックと C-47 (DC-3) 型の飛行機だ。奇妙なことにどれも戦闘のために設計されたものではなかった。

他に多数の民間用の技術、たとえばオクタン価の高いガソリンやラジオや抗生物質ペニシリンも第二世界大戦に重要な役割を果たした。

ヘリコプター、トラック、戦車などに高性能の常温核融合のエンジンを備えるとこの武器の本質が変わる。運動領域はほぼ無限大に伸びる。常温核融合のヘリコプターは地球のどこからでも飛び立って、ノンストップでどんなに遠くへでも飛べる。最高速度で飛ぶ。今日のヘリコプターでは時速 400 キロメートルだが、要するに燃料消費量を最小にする巡航速度で飛ぶ必要はない。¹¹² 船、戦車、ヘリコプター、輸送機は現在の原子力航空母艦と潜水艦のように、数ヶ月運転しても燃料補給をする必要がない。戦車戦の厄介な悩みの種は燃料補給と物流管理だ。1944年の秋には主に燃料不足によって米軍のヨーロッパ侵攻は立往生した。また、ドイツの戦車隊はバルジ大作戦でガソリンが切れたせいで、動けなくなって、負けてしまった。1991年の湾岸戦争では燃料貯蔵所を設立することと燃料を運搬することに大きな努力と人材を費やした。常温核融合の戦車は燃料の必要がないのでキャタピラーがすれきれぬまで走れる。常温核融合のホバークラフトはほぼ無期限に活動できる。

レーダーは軍隊のために開発されたが、民間にも重大な影響を与え、人に害を与えないという意味では武器ではない。常温核融合でさまざまな新しい武器を開発できる。

¹¹⁰ これは海戦が始まった第一日目の出来事である。次の日北軍の装甲艦が到着し、勝負が付かなかったが海戦史においてのターニング・ポイントとなった。その後、世界中で艦隊を鉄製に変えたのである。

¹¹¹ Eisenhower, D., *Crusade in Europe*. 1948: Doubleday & Co., p. 164

¹¹² 常温核融合によってヘリコプターがもっと速く飛ぶことはない。速度の制限要因はエンジンの出力ではなくて、回転翼と車軸の強さである。

それは主にレーダーのように人を殺さない武器であるように望む。武器よりおもちゃのように見える小さくて、安い物がたくさんできると思う。とにかく、私は武器のことは詳しく分からないし、戦争のことを考えたくないから、この章では主に無害の物を取り上げる。

軍隊や武器の専門知識がなくても、飛行機やその他の機械の基礎的知識さえあれば、安い大量生産の小道具を常温核融合で動かすことによって、誰でも飛行機を無効にするか破壊するやり方を色々と思いつくだろう。架空の王国ルリタニアが米国空軍の動きを封じて、破壊する方法を考えてみよう。

まず、米国空軍の戦闘機の数はいくつか少ない。1組に130機ずつあり、10組ある。合わせて1,300機しかない。

次に、ジェット・エンジンは意外ともろい。航空母艦では飛行機が飛び立つ前に乗組員が1列になってゆっくりと飛行甲板を歩きながら、ねじ、道具、金属のかげらなどを探す。これは異物と破片捜し（FOD-walk）と言う。こんな物がエンジンに吸い込まれたら、深刻な被害を与えることになり、飛行機が飛べなくなることもある。ジェット・エンジンはよく鳥を吸い込むことによって損害と事故が起こる。米連邦航空局によると毎年飛行機と野生動物の衝突は約4,000回起こり、3億ドルの損害を出す。主に鳥と衝突するが、鹿とか他の動物と滑走路でぶつかることもある。^{113 114}

従って、飛行機を無効にする簡単な方法はスパナぐらいの鉄棒をエンジンに投げ、妨害することだ。エンジンは損害を受け爆発するかもしれない。いずれにせよ、戦闘力を失う。だから、あなたが米国空軍を負かすためには鉄棒が1機につき10本、計13,000本が要る。止まっている飛行機のそばで鉄棒を持って飛行機を見張りながら待つわけだ。パイロットがエンジンをかけて、回転を速めると、あなたはさっと飛行機に近づき、エンジンに鉄棒を10本ほど投げる。まわりの軍隊の人たちがあなたを止めようとするだろうから、その人たちの妨害を乗り越えるのがこつだ。そのためにルリタニア人は小さくて、ゆっくり飛ぶカラスカリモコンの模型飛行機ぐらいの大きさの機械を13,000個ほど大量生産すると想定しよう。プロペラで動くものか、羽ばたき飛行機かもしれない。高度3,000メートルでせいぜい時速150キロメートルで飛ぶだろう。

無人操縦飛行機はアメリカからオーストラリアまで飛んだことがある。飛行機の群れを制御するのは難しくないはずだ。遠くまで飛ぶのも難しくはない。

このカラス・ロボットは初歩的なコンピューターとカメラと遠隔操作装置を備えている。100個の群れで行動する。群れは超高空で飛ぶ偵察機によって制御される。この偵察機は2メートルぐらいの大きさで、衛星利用測位システム、カメラ、司令部までの無線通信系などを備えている。分散型ネットワークになっている数十の偵察機なら、撃ち落とすににくいから、その方が良くもかもしれない。通信は衛星電話か、偵察機の連鎖でル

¹¹³ International Bird Strike Committee. <http://www.int-birdstrike.com/index.html> http://wildlife-mitigation.tc.faa.gov/public_html/

¹¹⁴ 2009年1月15日にUSエアウェイズ1549便がカナダ雁数羽にぶつかり、両方のエンジンが止まって、ニューヨーク市のハドソン川に緊急着水した。熟練な搭乗員たちと近代の飛行機のデザインのおかげで乗客乗員全員が無事だった。

リタニアまでつなぐかもしれない。偵察機は成層圏を飛び回って、ルリタニアの管制官の命令をカラス・ロボットに伝える。燃料は無限だから、ラジオとカメラの電力は好きなだけ使って良い。カラス・ロボットも偵察機も米国空軍の基地の上でいつまでも無期限にぶらつく。ジェット飛行機かタービン・エンジンで動くヘリコプターのエンジンがかかるたびに、カラス・ロボットは小型カミカゼのように急降下攻撃をして、エンジン吸気口にさっと入る。カラス・ロボットの群れは数週間か数ヶ月、プロペラが消耗して止まり落下するまで、ぶらぶらと上空を飛んでいる。ルリタニアから毎日新しいカラス・ロボットを送り込む、位置についてうろついているカラス・ロボットが落ちると代わりのが来る。カラス・ロボットの価格は窮地に立たされる米国の戦闘機よりずっと安い。

このカラス・ロボットは空から武器で簡単に撃ち落とせるのではないかと思われるだろう。まさにそのとおりだ。農夫は散弾銃でカラス・ロボットを撃ち落とせる。空軍と陸軍の兵隊はきっと数百個のカラス・ロボットを落とせるだろう。しかし、その間にルリタニアから代わりの数千個を送ることができる。対空砲やミサイルは3,000メートル上空を無作為に飛んでいる鳥のような物に当たるように設計されていない。大槌で蚊をたたくようなものだ。米国がカラス・ロボットを一つ落とすために使う砲弾と人件費と努力に費やす金はルリタニアで新しいカラス・ロボットを生産するのに使う金より多い。経済的に「非対称戦争」（つりあいの取れない戦争）である。

米空軍がこの邪魔者の機器を機銃掃射するためにヘリコプターか戦闘機を派遣しようとしたら、ルリタニアで見張っている操縦者は数羽のカラス・ロボットにそれを止めるように命じる。最後の作戦として、ルリタニア空軍の有人飛行機をアメリカへ送る。数十の飛行機しかないかもしれないが、カラス・ロボットと同じく常温核融合で動くから、米国軍はこれに対して無防備である。化石燃料のエンジンでは届かない高度で、全速力で世界のどこからでも飛んでくる。もしかすると、大気より高く飛ぶかもしれない。アメリカにたどり着くと大都市や基地の上で空中静止して、ぶらつきながら米国軍をあざける。米国軍がそれを迎撃するために戦闘機を発進しようとしたら、カラス・ロボットが何千羽も空から急落下して、敵の飛行機を不能にする。ミサイルが入っている筒のカバーが開くとすぐ筒に身を突っ込む。アメリカ軍はいらいらし、パニックになる。これが数週間続くと、米空軍には飛行可能な無傷な飛行機はなくなるから、降伏交渉を行わなざるを得ない。これはあり得ないと思うなら、過去にゲリラ作戦と革新的な小型武器で小国が偉大な帝国に勝ったことがあるのを忘れないで欲しい。英国との独立戦争にアメリカが勝ち、アメリカとの戦争にベトナムが勝った例がある。ベトナムで米空軍が人間と動物を感知して、それを狙うハイテク爆弾を落とす作戦では、ベトナムの兵隊は尿が入っているバケツを森の中の木の枝からぶら下げて、爆弾のセンサーを狂わせた。

運動領域は限られていないから、カラス・ロボットは簡単に足跡を消し、どこからでも攻めることができる。各々の群れは無作為な方向へ数千キロメートル飛び、向きを変えてあちこちからの的に向かって集中攻撃する。東から来るカラス・ロボットがいれば、世界の反対側まで飛んで西からのものもあるかもしれない。レーダーに感知されないように、海の波の上をかするように低く飛ぶかもしれない。深い森の中に隠れて数週間命令を待つかもしれない。

これは言うまでもなく空想に過ぎない。現実にこんなことがあったら、米国軍はすぐ工夫して、小型ミサイルか他の機械を開発して、カラス・ロボットをぶち壊すだろう。この小型防衛ミサイルは短い距離しか飛ばないから従来の化学燃料を使っても良い。つまるところ、常温核融合は大型の有人の化学燃料を使うジェット戦闘機やヘリコプターの時代を終わりにする。大型の有人の飛行機が残るとしたら、吸気装置と爆発する燃料を捨てて、常温核融合で再設計しなければならない。

「大量破壊兵器」とは対照的に、破壊力はないが大混乱を引き起こす兵器はたくさん想像できる。タイヤに穴を開けたり、電線と電話線を切断したり、地球位置把握システム（GPS）の偽通信を近くから放送したりして、または根気よく、駐車している給油車の下から穴を開けたりするなどだ。常温核融合のドリルは錐が擦れてなくなるまで回転できる。あるいは鋼鉄の棒を白熱状態まで加熱して、その状態を数週間保って、少しずつ物を貫通する。

埋設された光ファイバーの幹線の上には作業員にそこを掘らないように警告する標識がある。カラス・ロボットはこの標識を探して、そこに穴を掘って、光ファイバーを切断する。パイプラインも同じように標識があるから妨害しやすい。石油の精製所は守れてもそこまでくるパイプラインは何千キロメートルまで延びているから、守りきれない。こんな基本的施設を隠すことはできなくて、いくら大軍隊でも多くの兵隊を使ってそれを全部見張ることはできない。

遠隔操縦の小さなカラス・ロボットは夜になってそっと基地に進入して、ビルの軒か荷物の積み降ろし場のそばのごみのなかに隠れて待ち、数日後に火事を起こす。ディズニー映画の「リロ&スティッチ」の言葉を借りれば、この「人類を破滅させる凶器」は壊したい気持ちを抑えられなくて「大都市へ行き、そこで下水道を中断させ、みんなの左足の靴をかつぱらう」というわけだ。ハロウィーンのお菓子ねだりのいたずらが何百がおこっても軍隊を止めることはできないが遅らせることはできる。しかし、こんな妨害が来る日も来る日も、何千回も起きたら、混乱と余計な仕事が増えるから軍隊は対処できなくなる。ノルマンディ侵略の時フランスの抵抗運動（レジスタンス）はノルマンディへ進もうとしていたドイツの援軍をこんなゲリラ作戦で妨害して遅らせた。イラク戦争では自動車爆弾などテロ作戦を行う人の数は少ないが米国軍の大勢の兵隊をてんてこまいさせ、イラクの国民の士気をくじいた。

戦闘機を破壊するために鉄棒いりのカラス・ロボットを送るのが一番いい。大きい爆弾のようなものを送っても無意味だ。カラス・ロボットの方が安くて、小さくて、早いし、それを扱う味方の兵隊にとって安全だ。飛行機の弱みが分かればわざわざ爆弾を落とす必要はない。敵のパイロットを無力にすれば、怪我をさせる必要はない。そうは言っても従来の爆発物を常温核融合の装置に備えるとさらに恐ろしい武器になる。爆発物が入っている無人誘導武器は主力艦のような最強の高性能の武器体系に打ち勝つだろう。（ミサイル地下発射台だけには勝てないだろうが。）

従来の MK-47 型魚雷を参考にしよう。1970 年代に初めて配置され、長さは 6 メートル、重さ 1.5 トンである。1.4 キロメートル離れた場所から目標を捕捉できて、燃料が切れるまで 8 キロメートル走れる。値段は一本 250 万ドルである。さて、常温核融合の

バージョンを想像してみよう。運動領域は100万キロメートルだ。軸受けが擦れてしまってエンジンが動かなくなるまで全速力で走れる。目標が100メートル以上になることはめったにないから、電子制御は簡単で安くなる。さて、ルリタニアはアメリカに宣戦布告をする寸前だとしよう。ルリタニア軍は魚雷の群れを送り込み、アメリカの港と海軍基地のそばの海でうろついて、航空母艦のような主力艦が出港するまで待つように命令する。主力艦が魚雷のそばを通ると、魚雷はそのすぐ後に付いて行きながら、たびたび衛星ラジオで現在地と稼働状況、周りの気象状態などをルリタニアの司令部に報告する。無人誘導の魚雷は人が乗っている船より速く走ったり加速して曲がったり、操縦したりできるから、船は逃げられない。魚雷は主力艦より3,000倍安くて、さらに単純化されたデザインの物を大量生産すれば、100,000倍安くなると思う。だから米国海軍がその魚雷をいくらか破壊できたとしても、ルリタニアは敵を圧倒するほどたくさん作る余地がある。

魚雷は水上艦のすぐ後ろ数メートル離れて付きまとう。潜水艦を追跡することはもう少し難しい。潜水艦が水中に潜ると、魚雷がたくさん群れになってついて行く。潜水艦は感知されないように大変静かに航行するが、すぐ後ろにつく魚雷はポロペラの音を聞き逃すことはない。ついでに乗組員の会話までとらえ、それを録音して、ルリタニアまで通信するだろう。ラジオの電波は水中では短距離しか届かないので潜水艦に最も近い魚雷、第1魚雷はルリタニアと連絡が取れない。しかし、第1魚雷より数メートル後ろ、50メートル上の方に第2魚雷が泳いでいるわけで、第2魚雷に通信を送る。第2は50メートル上の第3へと、連鎖的に水面まで情報が行く。水面を走る列の最後の魚雷は位置と状況報告を衛星通信で司令部まで送る。ルリタニアは宣戦布告をするとたんに最後の魚雷に攻撃命令を発する。まもなく第1魚雷が船に体当たりして爆発して、第2、第3も続いて攻撃する。

普通の大きさの、従来の弾頭魚雷の力を補うために1メートルぐらいの魚雷のような、大きな魚のような機械で追跡させれば良い。この機械は小さくて弾頭もないから安いので、敵の船1隻を100個ぐらいが追いかける。ルリタニアまでの通信回路を保持するために使えるだろう。それとも、潜水艦の乗組員への嫌がらせのため、昼も夜も船殻をとんとんと叩いたり、プロペラと潜水舵の邪魔をしたり、潜望鏡を覆ったり、音波探知機のマイクに向けて下品な音を立てたりする。潜水艦が水中に潜ったら、この魚の群れはさっと船にやって来て、カサガイみたいに船殻にくっついてただ乗りする。物理学者フリーマン・ダイソンは「移動する吸着機雷」か「コバンザメ」のような機器で潜水艦の跡を追うことができると述べた。このロボット装置は通りかかる船にくっつく。第二次世界大戦のために普通の吸着機雷が50万個配備された。1942年空想科学小説には自動制御方式の移動する機雷が描写されている。遠くから潜水して移動し、港に入ってその上を船が通りかかると爆発するというものだった。¹¹⁵

戦艦の乗組員はまだ爆発しない吸着機雷が船についていることに気が付くかもしれない。英国海軍の海軍大将、アントニー・グリフィン卿の話によると、熟練した潜水者は

¹¹⁵ Leinster, M., *The Wabblers*, in *Astounding*. 1942. 後に「サイバネティックス」（人工頭脳学）と呼ばれるようになった学問の初期の説明である。

大洋の真中で停止した船の下に潜って吸着機雷を外す訓練を受けているということだ。¹¹⁶ 停止している船は攻撃を受けやすいので大変危険だ。常温核融合による「移動する吸着機雷」を操作するのが簡単で効果的だ。まず吸着機雷は世界の反対側からでも港のそばまで泳いできて、潜水艦が出港するのを待って、確実に後を付ける。他の船が吸着機雷を探しに来たら、吸着機雷は海の底の泥にもぐって隠れる。次に、この吸着機雷を外すのは現在よりもさらに難しくなる。初歩的な人工知能か遠隔操縦で動き、動力に限りがない、泳げる吸着機雷が100個ぐらいあればどうなるか想像してみよう。潜水者が潜って、それを船殻から外そうとすると、吸着機雷が潜水者を見て、慌てて立ち去って、船殻の違う場所に移動する、船から少し離れて泳いで、暗い海水のなかで潜水者があきらめるまで辛抱強く待つ。潜水者がいなくなると、潜水艦がまた動き出すと吸着機雷がさっとまたくっつく。

潜水艦には対魚雷の武器が装備されている。その数は分からないがたとえば20個あるとしよう。その場合にルリタニア軍は大型の弾頭魚雷を40個送り、それを補助するロボット魚100個ぐらい送れば良い。

潜水艦は隠れることが一番大きな利点だ。核ミサイル潜水艦が軍事的脅威となるのは、それがどこに隠れているか分からないから、第一攻撃で破壊できないからだ。潜水艦についていく常温核融合の魚雷があると、もう隠れることはできなくなる。

架空のルリタニアにはこんな魚雷は要らないかもしれないが、現実の世界では中国と北朝鮮なら欲しいだろう。アメリカに反対する核兵器保有国はこの二国だけだ。常温核融合が実現されれば、中国はこんな魚雷を簡単に開発できるはずだ。イスラエルも核ミサイル潜水艦を持っているから、イスラエルに敵対する国々も魚雷が欲しいだろう。

1. ニワトリ・ロボットを武器にする

ここまでで想像した武器は常温核融合と現存している技術を組み合わせてできるだろう。カラスのような兵器は遠隔操作で動かせるが、大勢のルリタニアの兵隊は昼も夜も操作しなければならない。制御の通信回路が時々切断されるとカラス・ロボットは敵に捕まえられてしまうだろう。

第10章で未来の人工頭脳の発達による、「鳥の頭級」の制御コンピューターを想像した。こんな物があれば、私は「ニワトリ・ロボット」と名づけたが、NASAは「ロボセクト」と呼んでいる小型の自律行動する機械ができるだろう。「カラス」のような武器に原始的な人工知能を与えれば、生きている鶏か蜂程度の行動ができるようになり、より効果的になる。ひとりで飛んで、人間を認識したり、物と動物の種類を見分けることができる。今日のロボットにはできない、物と物影の識別がニワトリ・ロボットにはできる。この章で想像した武器を実行することと、それを制御して、容易に的に当てることができるだろう。

人類にとって、ニワトリ・ロボットは恵みとなる。第10章で述べたように外来種を退治したり、ごみを片付けたりして、人間ができない多くの仕事をする。しかし、悪用さ

¹¹⁶ Griffin, A., 著者への私信、1993年

れるとニワトリ・ロボットは、特に従来の武器と相まって、恐ろしいものになる。テロリストか独裁者なら、拳銃の大きさの飛ぶロボットを何百万個も生産して、それに銃弾か蜂のような毒の注射の針を備えるかもしれない。被害者の目の前まで飛んで来て、近距離で撃つ。都市か基地の上で空中静止して、ビルのドアか窓が開くとその中に飛び込んで暗殺するかもしれない。本当の鶏と同様、他の動物や物体、おとり、すでに殺してしまった人とまだ生きている人間を見分けることが容易にできるし、人よりすばやくて機敏だから、防ぎようがない。制服や武器の見分けもつくし、箒をもって鶏を台所から追っ払おうとする人の意思も分かる。たとえば、あなたと私が飼っている鶏に餌をやろうと思って、二人とも手に残飯を入れた器を持って庭に出ると、そこにいる鶏の群れは私たちを見るとたんに、食べ物付きの人間二人だと認識する。群れが二つに別れ、あなたと私の周りに来てねだる。こんな行動は蜂のように原始的な知能を持つ動物でもできる。私たちが鶏に餌をやっている時に蜂の巣にぶつかったら、その蜂は群れて出てきて、二つのグループに別れ、私たち二人とも刺す。今日の超高速のコンピューターなら、私たちをカメラで見ても別々の物体だと分からないかもしれないが、怒っている蜂にはそれができる。だからこの飛ぶ拳銃は影やマネキンを見分け本物の人間だけ選んで、その人間に体当たりをする。

この飛ぶ拳銃か蜂は究極の「利口な武器」となる。一発で敵の兵隊を殺すか重傷を負わせる。トラック数台分の武器を持つテロリストは世界のどこかに隠れたままで、少しも危険にさらされないで、数週間でアメリカの兵隊をほとんど全員暗殺できる。こんな非道な武器に対応できるのは他の常温核融合の鳥の頭級の制御装置だけだろう。幸いなことに、対抗する武器はロボットを壊すための物で人間には害はない。冷戦時のような恐ろしい小型核兵器の軍備拡張競争のようなことを繰り返す必要はない。対抗する機器は飛ぶ拳銃を壊したり、空から落としたりすれば良い。ニワトリなら他のニワトリを捕まえることができるというわけだ。

上で述べたようにパイプラインは遠隔操縦のカラス・ロボットか自律のニワトリ・ロボットから攻撃を受けやすい。パイプラインを隠すことは不可能だ。人間の軍隊は小型武器から守りきれないが、味方のニワトリ・ロボットの群れなら、効率よく妨害行為から守りながら、普通の事故や流出も防げることができる。

常温核融合も鳥の頭級のコンピューターも遅かれ早かれ開発されると思う。それらの潜在的利点は欠点よりはるかに多い。しかし、技術が実現されるとすぐ、この章で描写した武器が作られる恐れがあることは誰でも分かる。だから、民主主義の国々が先にたって研究を進めるべきだ。

12. テロと大量破壊兵器

専門家のほとんどは常温核融合の原子爆弾は物理的に不可能だと言う。それが正しいことを願う。もし可能なら、靴の大きさの装置で広島原子爆弾ができるかもしれない。誰かがそれを大量生産して、数千ドルずつで売ることも考えられる。放射性ではないから探知する方法がない。爆弾は有り得ない話だが、2004年8月号のポピュラー・メカニクス誌の表紙となり特集記事が組まれた。



図 12.1. 2004年8月号のポピュラー・メカニクス誌の煽情的な表紙。題は「アメリカの最も恐ろしい悪夢：自家製の水素爆弾、常温核融合の技術によって誰でもすぐ手に入る材料で核兵器が作れる。」

ユージン・マローブは常温核融合の核兵器の可能性について心配したが、この記事は彼の言葉を引用した。名を伏せているが防衛局の専門家の意見も引用した。彼らは常温核融合によって三重水素と兵器級のウランの生産が簡単になって、従来の核兵器の生産過程のある段階がやりやすくなると心配しているらしい。でも、そうなっても核兵器の主な生産と整備の段階は変わらないし、数十億ドルと数千人の専門家が必要だ。ほとんどの専門家がポピュラー・メカニクス誌の記事は煽情的で常温核融合の現在の状況を悪化させるとはねつけた。マーチン・フライシュマンは国家安全保障の心配があったから、1989年の常温核融合発見の発表を遅らせたかったとよく言うけれども、彼でさえこの記事は「極端」だと言って、次のように述べた。

もちろん「常温核融合」は国家安全保障に関連しているが、ポピュラー・メカニクス誌の記事はこの課題に貢献しているとはとても思わない¹¹⁷

研究者の多数は常温核融合の暴走反応 (runaway reaction) は次の理由によって不可能だと思っている:

1. 常温核融合の反応は原型を保った金属格子がなければ起こらない。

¹¹⁷ Fleischmann, M., 著者への私信、2004年

2. 反応はゆっくり始まって、だんだん温度が上昇するから、非常に熱くなる前に格子を破壊するだろう。
3. 常温核融合は連鎖反応ではない。ウランの核分裂連鎖反応では、事象一つが二つ以上の事象を直接起こす。そして、その事象は非常に短い時間で起こるから、事象の数は指数関数的に1マイクロ秒で80世代の率で増えることがある。

常温核融合は金属の温度を上げることがあって、この高い温度によって反応が強まることはよくある。これは「正帰還」(positive feedback)と呼ばれている。木を燃やすのと似た現象であって、炎が熱を起こし、熱が燃料を蒸発させ、発火させて、火を加速する。でも、火も常温核融合も核分裂のような連鎖反応ではない。

この限界があるにもかかわらず、不安を与える説明できない爆発は少なくとも五つあった：¹¹⁸

1. 1985年2月、フライシュマンとポンズ、アメリカ、ユタ大学。初期のセルが研究室で爆発した。
2. 1989年9月、T. P. ラーダークリシュナンその他、インドのバーバー原子力研究センター。電解液の温度が「急に」71°Cから80°Cまで上昇してから、まもなくセルが爆発した。¹¹⁹
3. 1991年4月、X. チャンその他、中国、南西原子物理化学研究所。¹²⁰パラジウムの筒の陰極でガラスのセルの爆発が3回起こった。その内2回セルを破壊して、ふたを1~2メートルほど飛ばした。事象から約半時間後にセルを浸していた溶液の温度は5°C上昇していることが分かった。セル上部の空間にガスは33ミリリットルしかなく、もしこれが単なる化学現象なら、この事象を起こすにはこの約40倍のガスが必要だった。
4. 2004年9月、J-P. ビベリアン、フランスの第二エクス・マルセイユ大学。パラジウムの筒の陰極のセルが爆発した。セルの上部の空間に多くても120ミリリットルのガスしかなかったので、これほど大きい化学反応を起こすとは思えない。
5. 2005年1月。水野忠彦その他、北海道大学。グロー放電の実験の最初の段階で、普通プラズマがまだ現れない時に温度が急に80°Cまで上昇し、陰極はまぶしい白い閃光に包まれた。一瞬後にセルは粉碎され、セルが入っていた低音容器のパイレックス製の安全ドアが吹き飛ばされた。セルのガラスの破片は6メートルまで飛び、

¹¹⁸ 爆発は他にたくさんあるかもしれない。この章は2006年3月に書き直したが、まもなく研究者から連絡が入ってもう二つの爆発を報告する論文があると教えてくれた。この分野は広くて、全部の情報を把握することはできない。英語だけでも論文が数千本あって、他の言語でもたくさんあり、出版されていない結果もたくさんある。

¹¹⁹ Radhakrishnan, T.P., et al., *Tritium Generation during Electrolysis Experiment*, in *BARC Studies in Cold Fusion*, P.K. Iyengar and M. Srinivasan, Editors. 1989, Atomic Energy Commission: Bombay. p. A 6. <http://lenr-canr.org/acrobat/Radhakrishnitriumgen.pdf>

¹²⁰ Zhang, X., et al. *On the Explosion in a Deuterium/Palladium Electrolytic System*. in *Third International Conference on Cold Fusion, "Frontiers of Cold Fusion"*. 1992. Nagoya Japan: Universal Academy Press, Inc., Tokyo, Japan. <http://lenr-canr.org/acrobat/ZhangXonthexpl.pdf>

破片の一つで水野は怪我をした。爆発は約 132,000 ジュールを発生しており、これは実験の入力エネルギーの 441 倍である。¹²¹

第 1、3、4 と 5 番目の結果は異常だった。というのは、化学反応の限界を超えた量のエネルギーが発生したのだ。第 2 の結果はどのくらいエネルギーが発生したかは不明で、従来の再結合の爆発だった可能性がある。1992 年 1 月に SRI 社で悲劇的な事故が起こって研究者アンドルー・ライリーが亡くなった。しかしこれは従来の化学反応だった。信じられないほど偶然に一連の安全装備が次々に効かなくなった結果だった。¹²²

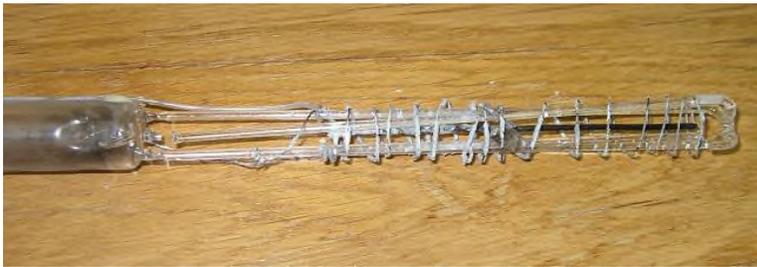


図 12.2. 2004 年 9 月に爆発したセルの残がい。第二エクス・マルセイユ大学。写真 J-P. ビベリアン提供。

一番目のユタ大学の事件では最も多いエネルギーを発生した。ラジオのインタビューでチャールズ・ボデット¹²³は次のように事件を描写した。

ユタ大学の校内、北ヘンリー・アイリン棟の 1113 号室で初期の実験を行った。ある夜、実験をそのままにして、翌朝に戻ったら、部屋はめちゃくちゃだった。私と話した目撃者によると、実験台に大きな穴ができ、空気中に粒子状物質がたくさん浮いていて、ポンズとフライシュマンはおかしな表情をして、まるでカナリ

¹²¹ Mizuno, T. and Y. Toriyabe. *Anomalous energy generation during conventional electrolysis*. in *The 12th International Conference on Condensed Matter Nuclear Science*. 2005. Yokohama, Japan. <http://lenr-canr.org/acrobat/MizunoTanomalouse.pdf>

¹²² Smedley, S.I., et al. *The January 2, 1992, Explosion in a Deuterium/Palladium Electrolytic System at SRI International*. in *Third International Conference on Cold Fusion, "Frontiers of Cold Fusion"*. 1992. Nagoya Japan: Universal Academy Press, Inc., Tokyo, Japan.

¹²³ Charles Beaudette, *Excess Heat. Why Cold Fusion Research Prevailed*. 2000, Concord, NH: Oak Grove Press (Infinite Energy, Distributor) の著者。

アを呑み込んだ猫のように得意満面の顔をしていた。本当に喜んでいたらしかった。¹²⁴

この反応は間違いなく化学反応より多くエネルギーを発生したにもかかわらず、もっと大きい装置で大規模の爆発を起こすことが可能だという証拠にはならない。最悪の場合、この暴走反応は従来の原子炉芯の熔融事故と似ていることが起こるかもしれない。熔融事故はそのウランと同じ量の化学燃料よりエネルギーをたくさん発生できる。チェルノブイリ爆発事故のように壊滅的な被害も起こせる。しかし原子爆弾のように凄まじい爆発は起こせない。

事故が起こったとしても中には放射生物質はほとんどないから、福島のような空气中に放射性物質が飛散するという惨劇は絶対起こらない。

ウランの原子炉は熔融事故がまったく不可能になるように設計できる。次世代の小さな球状ウランからなっている「ペブルベッド炉」はこの目標をかなえることができる。この原子炉には「ミニ反応装置」であるテニスボールの大きさの玉が 300,000 個入っている。玉は丸い形によって互いに安全な距離に保たれ、臨界事故が起こる状態にはなれない。玉は気体ヘリウムによって冷却され、そのヘリウムはひとりで対流によって巡回される。ポンプのように壊れる装置は必要がなくて、たとえ原子炉がほっておかれても巡回する。これに似たやり方もあるが他の方法で常温核融合のセルも熔融が起こることがないように設計できるだろう。ほとんどの専門家はいったん反応が理論的に解明できれば 1985 年の爆発や熔融事故は不可能になるだろうと言う。

残念ながら、フライシュマンとポンズは 1985 年 2 月の爆発のあと、燃えた実験台の部分か電極の破片のような物的証拠を保存しなかったから爆発の性質について何も分かっていない。私が思うにこれは無責任で専門家としてふさわしくない行為だった。フライシュマンは後悔して、私に同意している。あいにく常温核融合の歴史には同じように注意を怠った行動がたくさんあって、重大な実験証拠とデータを軽率にも破壊したり捨てたりした例は少なくない。1991 年に水野は実験後に電極の表面に黒い物質が発生したのを見つけて、しばらく何だろうと頭を悩ましてから、こすり落として捨ててしまった。パラジウムの微細粒子は黒いから、そのなぞの黒い物質はパラジウムだったかも知れない。あるいはパラジウムと何か別の元素が混じっていたかもしれない。水野は次のように書いた。

実験をいったん止めて閉鎖セルを開けた後、試料を取り出してみた。するとその表面には黒い析出物が電極の全面を覆っていたのである。この時にはなぜこんなに汚染されているのか、また表面がこんなに変化しているのか、全く理解できなかった。目的はあくまでも通常の d,d 核融合反応の確認であったし、またすぐに実験を開始したかったので、電極の分析には思いが及ばなかったのが事実であった。空気中から炭素が入り表面に析出したくらいの認識しかなく、後に反応機構

¹²⁴ RADIO WEST、Douglas Fubbrezio が行ったインタビュー。相手は M. McKubre と C. G. Beaudette。2002 年 11 月、KUER、ユタ大学の KUER 局、<http://lenr-canr.org/Collections/KUERinterview.htm> 記録によるとこの穴は 36cm とあるが、フライシュマンの記憶によると穴はもっと小さかった。

の新解釈に至ったときに、宝を捨て去ったに等しいことがわかったのであった。
125

水野は2005年の爆発の際には物的証拠とコンピューターのデータを注意深く保存しており、この事故はまだ検討中である。

¹²⁵ 水野忠彦、「核変換—常温核融合の真実」、1997年、工学社、第3章4。

13. 石油産業には将来性がない

現在は「一次エネルギー資源」は石炭、石油、原子力など色々あるが、常温核融合より良いものが現れなければ、100年後には一次エネルギー資源としては常温核融合しか残らないだろう。常温核融合の発熱は、電気や化学燃料のような他の種類の二次エネルギーに変換されるかもしれない。他の一次資源はだんだん利用されなくなるが、まず石炭と石油のような一番高価なものと問題や公害を起こすものが先に止められるだろう。

アメリカで初期に常温核融合に取り替えたい最も魅力的な市場は石油だ。その理由は：

- 石油は最も高い化石燃料だから、顧客はなるべく早く取り替えたいだろう。石炭は約十倍安いから取り替える動機は石油ほど強くない。¹²⁶
- 石油は石炭など他の燃料よりエネルギー生産費がやや高い。石油の10%か20%は石油そのものを抽出したり精製したりするのに使う。中近東で抽出する石油は日本と北米までタンカーで運ばなければならない。そのタンカーが消費する燃料は運ぶ石油の5%に当たる。
- 石油の大部分は一つだけの目的に使われる：運送である。主にガソリンの自動車だが、ディーゼルの鉄道機関車と船と飛行機にも使う。米国および他の国では昔石油の火力発電所があったが1970年代のエネルギー危機の後に段階的に廃止された。¹²⁷ 石油を使う機械の種類が限られているから、市場として狙いやすい。車両の常温核融合エンジンを開発すれば石油市場の45%が容易に手に入る。
- アメリカは石炭とウランはたっぷりあって、天然ガスはほぼ自給自足だが、石油の60%は輸入に頼っている。アメリカ国内の油田の発見は1930年代にピークに達したが、1970年代からほとんど発見されていない。国内の石油生産高は1971年にピークを迎えたが、現在は三分の二にまで減っている。数十年後にゼロにまで減るだろう。¹²⁸
- 石油は政治色が濃い。石油の大部分は戦争と革命とテロリズムに苦しめられている中近東から来る。イラク戦争に反対する何人かは「石油のための戦争」だと非難している。それは議論の余地があるけれども、一方、中近東に石油がなければアメリカはその地域に絡んでいないだろう。

¹²⁶ エネルギー源の発熱量はそれぞれ違う単位で測るから比べにくい。石炭は1トン燃やせば25,849ジュールを放つから、石油の4.4バレルに等しい。2002年に石炭1トンは17.80ドルかかったが、石油1バレルは20.34ドルかかったから、石炭の方が約五倍安かった。2004年9月に石油は40ドルまで上昇したが石炭はほぼ前と同じ値段だった。Annual Energy Review 2002. 2003, U.S. Department Of Energy. <http://www.eia.doe.gov/emeu/aer/>, p. 215

¹²⁷ Annual Energy Report 2002, p. 149

¹²⁸ Deffeyes, K., *Hubbert's Peak, The Impending World Oil Shortage*. 2001: Princeton University Press.

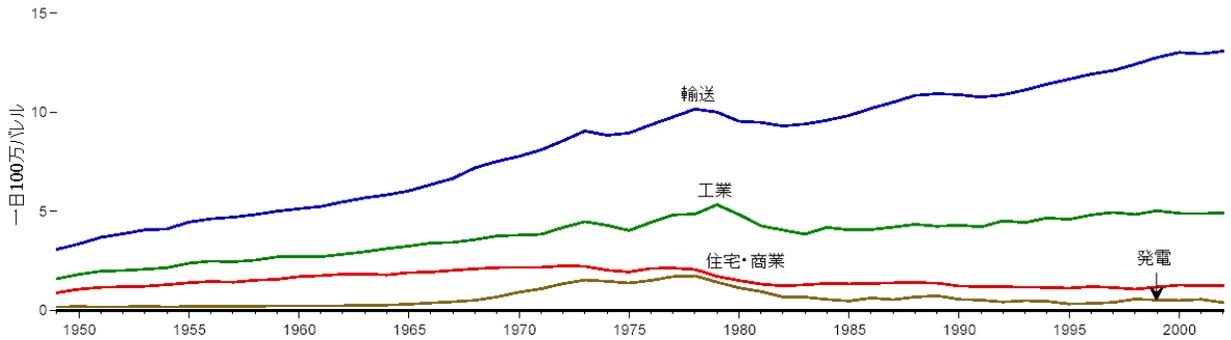


図 13.1. 米国の業種別の石油消費量。Annual Energy Report 2002、p. 148

マーチン・フライシュマンは次のように言った：「常温核融合は古い自転車のようなものだ。しばらく慣れないとだめだ。慣れれば信じるようになる。研究室で何回か見ればそんなに不思議に思わなくなる。」派生するさまざまな結果も十分に理解できるまで時間がかかる。専門家も意外とその結果を見過ごしてしまうことがある。私はたびたび石油の専門家と常温核融合のことを話した。彼らは、石油はいろいろと使い道があって、プラスチックのようなものを精製する材料などとして売るから、燃料として売る市場がだんだん先細ってもかまわないと言う。石油の19%はエネルギーに関係ない応用に使われるが、将来、市場は伸びるだろうとも言った。研究者ハル・プトフによるとペンゾイル社、テキサコ社、マラソン社、コストル社などの石油会社の社長との会議において、彼らはただ同然のエネルギーを歓迎すると言った。プトフは社長たちが次のように言ったと伝えた：「我々の貴重な資源を土地から吸い取って、ナイロンやプラスチックや医薬品などを作ると、量はあまり使わないが、利益幅が大きい。土地から吸い取って車の動力として使ったり、家の暖房に使ったりするのはバン・ゴッホとピカソの絵を燃やして家を温かくするようなものだ。どうぞ、我々の業界からこの負担を取り除いて下さい。ついでに、精製所を効率よくするために、この新しいエネルギーを使わせて下さい。」失礼ながら、この社長たちはふざけていたか、虚勢を張っていたとしか思えない。正気な重役なら、売り上げの81%を失うという見通しをこんなに楽天的にとらえるわけがない。それに石油会社は顧客が石油を使って何をしようが知ったことじゃない。顧客がそれを燃やすにしろ、ナイロンにするにしろ、1バレルにつき同じ40ドルもらえるからかまわないはずだ。どっちにせよ、社長たちは間違っている。売り上げの100%を失うことになる。石油の値打ちは全くなくなる。私は石油化学の専門家に、「石油は原料から合成できるだろうか？ 炭素と水を与えれば、炭化水素の石油化学製品をどれでも作れるだろうか？」と聞いてみた。専門家は「作れることは作れるが、膨大なエネルギーがかかるよ」と答えた。「石油を合成するには、同じ量の石油を燃やす以上のエネルギーがかかる。世界一不経済な化学工場になるだろう。」と続けた。常温核融合の話題だというのに、いきなり聞かれたら、専門家でさえエネルギーがただなら、この工場は安く操業できることに気が付かない。

合成石油の精算所は今日の精製所に似ているだろう。主な操業費はパイプやポンプのような設備の消耗である。炭素は空気中の二酸化炭素からとって良い。あるいは石炭、またはごみか下水から取っても良い。後者を使うなら都市から処理代を払ってもらえる。

日本とペンシルベニア州ではすでに有機ごみを熱解重合の施設に送り、石油を合成している。パソコン、古いタイヤ、七面鳥の骨と羽でさえ油に変換できる。その施設の一つの社長は次のように説明した。「私たちは地球が自然に数十万年をかけてする処理を加速して数分で行ってしまう。」¹²⁹ この施設が製造する油は高すぎて、多数の応用に使えない上、生産するのにエネルギーがかかりすぎると批評する人がいる。常温核融合があればもっと安くなるし、アスファルトから潤滑油まで、もっといろいろと開発できる。この機械の小型タイプはプラスチックの工場に備えられるだろう。石油を地中からポンプで吸い取って、遠くまで運ぶより、周りの空中から取ったり、ごみ処理から作る方が安全で便利だし経済的だ。

熱解重合の機械はやがて全自動になって、トラック一台で運べるほど小型のデザインになるかもしれない。過疎地域の下水処理のために大量生産されるかもしれない。現在、第三世界の村で処理されていない下水（人間と動物の汚物）は肥料に使われたり、川に流されたりするから、飲み水がひどく汚染されている。そんな村にとってこの機械は恵みとなる。遠い未来に、さらに小型になって、現在の冷房か暖房装置と同じ大きさになるかもしれない。家やアパートの地下室に備えられ、トイレ、風呂、台所の生ゴミが全部この装置に流される。装置ではこのごみと下水を即座に処理して、純水と少量の乾燥した無害の固形廃棄物、主に炭素に変える。固形廃棄物は自動的にナイロン袋に封鎖されて、月に一回リサイクルに出される。

遠い未来に、食料の化学合成が完成されると、この家庭用の機械を食料合成装置になく。もともと食べ物だった下水とごみは自動的にもう一回食べ物に変化する。

地球温暖化を避けるために、未来には大規模工場で二酸化炭素を分解し合成石油を作る。これは逆油田としてサウジアラビアのような所で炭化水を油田に流し込み封鎖する。（詳しくは第9章）

石油会社と電気会社の社長やエネルギーの専門家が化石燃料から代替エネルギーへの移行は50年間から70年間かかるだろうとテレビなどで主張している。この人たちは公の場で常温核融合のことに触れないが、私との個人的な会話では、常温核融合も次世代のウラン原子力か風力発電のような代替エネルギー源と同じように長い年月がかかるだろうと言った。その意味は彼らに任せれば70年間はかかる、ということだ。彼らは新しいエネルギー源に切り替える前、自分の油田を使い切って、自分の発電所が古くなって消耗してしまうまで待ちたい。そして私たちも彼らの予定表に従って待つ欲しいわけだ。彼らは気が付いていないことだが、人は電化製品などホームセンターへ買いに行く時、より良いモデルを見つけると50年間どうしようかと迷ってやっと新しい方の機器を選ぶということはない。（詳しくは第7章第5節）常温核融合の家庭用の発電機を買う人は電気会社の発電機にはまだ耐用年数50年間が残っているからと言って躊躇することはない。顧客は自分が買う物は電気会社と石油会社にどんな影響を及ぼすかと熟考することはない。かえって腹いせに常温核融合のモデルを選ぶかもしれない。人々は電気会社と石油会社に対して、友情とか忠義を感じるどころか、OPECと石油会社に対

¹²⁹ Segre, F., *Company Seeks Fortune Turning Garbage into Oil*, Reuters News Service, <http://www.planetark.com/dailynewsstory.cfm?newsid=21583&newsdate=22-Jul-2003>

しても、愛想をつかしている。普通の人には石油会社の製品を使うのを止める機会があれば、少し高くても代わりのものを買う。代わりのものがはるかに安ければさらに喜んで買うだろう。

14. 電気事業には将来性がない

前章では、常温核融合製品が発売されれば、直ちに石油の市場がなくなるだろうと説明した。電気事業もいずれはだめになると思う。石炭発電は公害を起こすし、原発は危ない放射性廃棄物を残すから、廃止すべきだと誰でも承知するだろう。無公害である発電もいずれは経済的ではなくなるから止めると思う。風力発電と太陽光発電の代替エネルギーも高価だからすぐ止める。やがて水力発電も非経済的になる。水力発電のダムを整備するのは安い、ダムから都市までの電線は高価な整備が必要だ。いつか嵐で電線が倒されたら、直すだけの価値がないからそのまま廃止するだろう。



図 14.1. 嵐の被害を受けた高圧電線。配電設備は電力会社のアキレス腱である。フロリダ州、2004年9月

直接太陽光を浴びる宇宙と月の表面では未来においては、太陽光発電は常温核融合と競争できるかもしれないが、それまでに製品開発者は常温核融合に慣れてしまっているだろうし、常温核融合エネルギー源が大量生産で信頼性が良く安いのができるから、月でも設計者たちは他のエネルギー源を使う手間を省くだろう。

電気会社が常温核融合に対して脆弱な理由を理解するために、まず電気事業の歴史を見てみよう。19世紀と20世紀には、大型の中央発電所で電気を起こすのが合理的だった。発電所は都市から遠く離れた場所に作らなければならなかったから、遠くへ送電して、複雑な巨大な電力供給網で配電する必要があった。都市から離れた場所にしなければならない理由は二つあった。石炭の発電所はもうもうたる煙を出したからだ。また、

水力発電のダムは川が急落する場所で作らなければならなかった。そんな場所では航行できないので都市はそのそばには発達しなかった。近代になると、原子力発電所も都市から遠く離れて設置した。人々はなんとなく原子力は危険ではないかと感じたからだが、後でそれは賢明な予防策だったことが分かった。米国の商業用の原子炉は運転中の事故で死者は出ていないがウランの鉱業と精錬の段階では数千人が癌になって若死した。それに、重大事故はいくつかあった。特に目立つのはブラウンズ・フェリー（1975年）、ランチョ・セコ（1978年）、スリーマイル島（1979年）とコネチカット・ヤンキー（1996年）である。¹³⁰ この事故は危なかったし、歴史上、最も事故処理に金のかかった業務災害だった。事故の障害と放射性物質を片付ける作業には数十億ドルかかり、その地方の電気会社を破綻寸前にまで追い込んだ。

歴史的には、中央発電所は安全にして、安価、清潔で公害が少なく、機械の規模を拡大することによって効率が良くなった。昔の機械を操作するのは危険だったが、なるべく安全性を確保するために、そして公害を減らすために大きな中央設備にした。操業と整備のために数百人の作業員が必要だった。

中央発電所では技術が 80 年間進化したあげく中央発電所としての利点が薄れてきた。近代のガス火力発電はあまり公害を出さない。昔の石炭発電と比べて、安全で自動化されたから、作業員の数が少なく整備の仕事はずいぶん少ない。機械の大きさによる効率性も昔ほどない。中型の 100 メガワットのガス・タービン発電所は巨大な 1000 メガワット発電所と同じ程効率的である。中央発電と配電網を持続する理由としては「現職効果」が強い。つまりこの設備は支払い積みで、慣れていて、使い方がよく分っている。（第 7 章第 2 節、スティーブン・J・グールドの「現職効果」の定義とコメントを参照。）常温核融合があってもなくても来たる数十年間に電力産業は停滞して苦境に立つだろう。少しずつ工場と高層ビルの自家発電設備、特に熱電併給（下で説明する）に押しつけられている。常温核融合はこの傾向に拍車をかけるだろう。各々の家、事務所、工場、農場などに直接電力と暖房の熱を供給する。

表 14.1 は中央発電の主な利点を示している。しかしこの利点を考えなくてすむようになった。というのはすでに改良されて発売されている発電機や後の常温核融合にはこの機能はもう必要ないからだ。

¹³⁰ コネチカット州検事当局新聞発表、1997年9月16日付けでコネチカット・ヤンキーの事故について次のように述べた。「ここにあるのは、北東電気会社が自分で作り上げてきた原子力管理の悪夢である。目標は原子力発電所を閉鎖することではなくて、核廃棄物のごみ捨て場から放射能汚染を除去することだ。」 <http://www.ct.gov/ag/cwp/view.asp?A=1772&Q=282568>.

表 14.1. 中央発電と電力会社の利点

大型中央発電所の利点	近代発電機	常温核融合
人口の少ない地域に建設するから、公害の被害者が少ない	✗	✗
公害はある程度減る	✓	✓
規模拡大によって経済的になる	✓	✗
燃料を効率よく使う	✓	✗
より安全	✓	✓
熱電併給	✓	✓
電気会社の利点		
専門家が設備保全をする	✓	✗
専門家が配電網を監視する		✗
嵐などの自然災害の後、配電網をすぐ修理する		✗
電力を配電することによって容量と設備のコストを共有する		✗
多数の発電機の交流を同期化する		✗

✓ 近代の天然ガス火力発電あるいは常温核融合ではこの機能をもっと良く果たす。

✗ 近代の天然ガス火力発電あるいは常温核融合ではこの機能の必要がなくなる。

電気会社の顧客として、あなたは発電容量を共有している。必要な時だけ、巨大中央の発電機のわずかだけの出力を利用するから、自分の発電機を買うより機器費用が安い。夜、電気会社の設備が余る時には料金が安いから、工場がそれを利用することがある。この利点は常温核融合でも効く。各家族が小型発電機を買うより、中型のを買って近所の家で分けて使ったら経済的だろう。温水器だって、同じように、隣の家と共有した方が安上がりかもしれない。しかし、共有するためには、断熱材に包まれたパイプを設置しなければならないし、ガス料金をいくら払えばいいか決めなければならないし、300ドルの装置の節約のために誰もそんな厄介な手間はかけない。常温核融合があれば、自分で機器を買った方が面倒くさくなくて、機器の値段が安いから共有する価値がない。

1. 熱電併給（熱電気複合利用：CHP）

現在の小型の発電機は効率が悪くて、熱の25%を電力に変換して、残りは廃熱として失う。初期の常温核融合の発電機もこうなるだろう。「廃熱」とは工学术語だが、私たちは文字通りにその熱を捨てる必要はない。温暖な熱を使う適当な応用の方法があれば、大いに利用できる。たとえば冬は熱を暖房として家の中に流し、夏は吸収式冷凍の冷房に流す。木材の熱処理の釜に廃熱を流すと、温度を56°Cに保って、寄生虫を殺す。廃熱を利用することは「熱電併給」または熱電気複合利用（CHP）と呼ばれている。小型の発電機の効率が悪くても、熱電併給を使うと、超効率的な100メガワットの電気会社の発電機よりも家や事務所、工場に役立つかもしれない。^{131, 132}

大型発電所も熱電併給に使える。これは別に新しい考えではない。ニューヨーク市では電気会社は19世紀から熱電併給をして、道路の下にパイプを通してビルの暖房に使う蒸気を分配している。これは「地域暖房」とも呼ばれる。この方法がもっと広まらないのはほとんどの発電所が都市や工場から遠い隔離された場所に設立されているからだ。発電所から都市まで蒸気を50キロメートル運送するわけにいかない。熱が冷めてしまう。熱電供給をするには、蒸気を必要とする建物のそばに発電所を作らなければならない。原子力発電所のそばに余る蒸気を利用する工場を設立するという提言があるけれども、実行されていない。電気会社の発電所はあまりにも大きくて、たくさんの無駄になる蒸気を発生するので、同じ規模の蒸気の応用方法を探すのは難しい。発電所の蒸気のほんのわずかだけ工場に送るのであれば経済的に価値がないだろう。

ガスタービン公害が少なく、全自動で運転するから、熱電併給に適している。日本では私有のガス火力熱電併給機が工場や総合オフィスビルで盛んに使われている。その結果、日本の電気会社の電力需要は伸び悩んで、1996年がピークだった。¹³³ 米国では熱電併給は1989年の1,610億キロワット時から2004年には3,550億キロワット時に増えて、すべての電力使用の9%となっている。¹³⁴ コーネル大学の構内では、8メガワットの熱電併給機が燃料の70%を電力と暖房の熱に変換する。¹³⁵ こんなメガワット規模の装置は商業モール、高層ビル、工場、大学構内、飛行場など大型の単独施設には適している。

米国エネルギー局は合弁企業と組んで小型ガス火力熱電供給機より一段と進んだ装置で吸収式冷凍の冷房まで供給できる機械を開発しようとしている。¹³⁶ 常温核融合のバージョンなら臭気や二酸化炭素などガスを出さないから地下室や狭い機器室に備えても安全だろう。セルがリサイクルされるまで、原子反応の生成物は封鎖されたセルの中に残る。この機械は都市、郊外、辺鄙な丸太小屋などどこにでも設置できるだろう。

¹³¹ United States Combined Heat and Power Association, <http://uschpa.admgt.com/>

¹³² CMC Power Systems, Inc., <http://www.cmcpower.com/html/electricity/household.asp>

¹³³ 読売新聞、「東電、新規発電所計画を凍結へ」、2001年2月8日

¹³⁴ Annual Energy Review 2002, Table 8.2c.

¹³⁵ Cornell University, <http://www.sustainablecampus.cornell.edu/energy.htm> 構内では1.1メガワットの水力発電機を含んで、合わせて55メガワットを消費する。

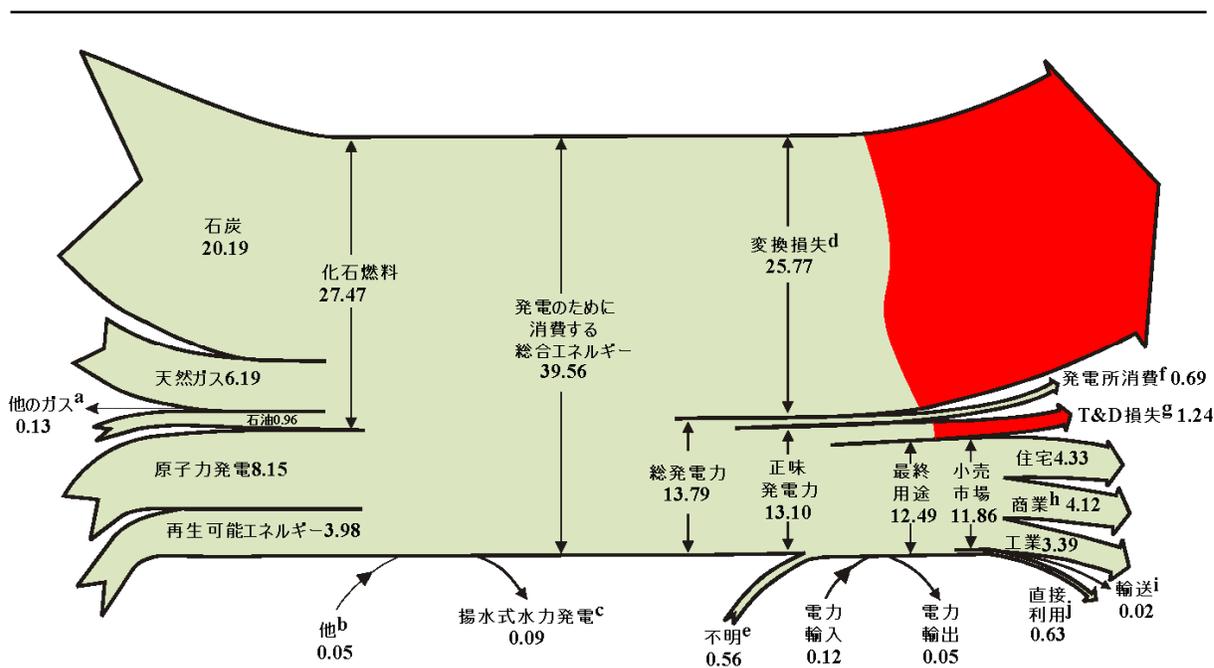
¹³⁶ Petrov, A., et al., *Study Of Flue Gas Emissions Of Gas Microturbine-Based CHP System*, Engineering Science and Technology Division (ESTD), Oak Ridge National Laboratory (ORNL), Oak Ridge, Tennessee

第一世代の常温核融合発電機は多分、先進技術の小型タービン発電機に似たものになるだろう。小型タービン発電機はエネルギー局とゼネラルエレクトリック社、キャップストーン社、インガースル・ランド社と他の工業会社で共同開発している。驚くほど効率性が良く、25キロワットから500キロワットまで発電できる。出力1キロワットに付きたった500ドルしかかからない。点検整備は15ヶ月おきで済む。¹³⁷

燃料の値段がゼロにもかかわらず、常温核融合の発電機は多分熱電併給式となるだろう。暖房無しで済ませるから場所と機器費用を節約できる。次の章で詳しく取り上げる。

¹³⁷ U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, Advanced Microturbine Systems Program

米国の中央発電所から膨大な量のエネルギーが無駄になっている。この図はそれを物語っている。電力の全体的な流れを示す。（単位はクワッド、第2章参照）：



^a 溶鉱炉のガス、プロパンガス、他の化石燃料から生産される排ガス
^b 電池、化学製品、水素、ピッチ（石油タール）、購入蒸気、硫黄、他の技術
^c ポンプに消費するエネルギーを除いた、揚水式水力発電所の出力
^d 発電に利用される総エネルギーの約三分の二
^e データフレームの差とサンプリング誤差以外のもの
^f 発電所運転に利用される電力、総発電電力の5パーセントと推定されている
^g 送電かつ配電（T&D）の損失、総発電電力の9パーセントと推定されている
^h 商業小売の売上に加えて、表 8.5 に示される「他」の小売売上の約 95 パーセント（表 8.5 とは米国エネルギー情報局の原文のこと）
ⁱ 表 8.5 に示される「他」の小売売上の約 5 パーセント（表 8.5 とは米国エネルギー情報局の原文のこと）
^j 商業かつ工業の現場発電正味発電力と、隣接施設あるいは共同設置の施設同士の収入の情報が入手不能の電力売り上げ
 注意：四捨五入誤差によって総額は足した要素の総額と異なることがある。
 出展：表 2.2a、8.1、8.5、A6（米国エネルギー情報局の原文）

図 14.2. Annual Energy Review 2002. 2003, Energy Information Administration, U.S. Department Of Energy. <http://www.eia.doe.gov/emeu/aer/>, p. 219. 電力の流れ、2002年。単位はクワッド。無駄になるエネルギーは右上、赤色で示されている。（赤色は J. Rothwell が付け加えた。）

26クワッド—電力を起こすのに使うエネルギーの65%にあたる—は変換損失として無駄になる。さらに1.24クワッドが送電かつ配電（T&D）に失われる。熱電供給ではこの無駄になるエネルギーを利用する。廃熱は暖房か熱処理に使って、発電機と電力を利用する建物が同じ場所にあるから、T&Dの損失は起こらない。現在、アメリカで変換とT&Dの損失を合わせて失うエネルギー量はすべての石炭で起こすエネルギーより多い。（石炭は電力のために26クワッドの熱を起こし、工業応用、主に溶鉱炉に、もう3クワッドを起こす。）言い換えれば、無駄になる27クワッドは全世界のエネルギー消費の7%である。中央発電の代価として高価である。

2. 電気会社は何の為にあるか

上で述べたように、現在電気会社のおかげで発電機を共有することができる。必要な時、必要なだけ利用するから、自分で機械を買うより安上がりだ。電気会社は他にも次のような利点と重要なサービスを提供する：需要変動に応じて地域へ電力を送電する。天候による被害などの応急修理をする。今の状態ではこの役割は確かに大事だが、常温核融合があれば不必要になる。どの家もビルも自給自足になり電線がなくなる。電気会社の特に困難な職務は配電網のあらゆる発電機の交流電力の正弦波のピークを同期することだ。2002年の米国北東部の停電はアメリカの歴史上一番広範囲で長時間だった。主な理由は発電機が起動する時、いろいろな異種類の発電機を完全に調整するのが難しかったからだ。各々の建物が自分の発電機を持つようになれば、同期する必要がなくなる。どうせやるなら、交流電力ではなくて直流電力にするだろう。交流電力の大きな利点は効率よく遠くまで送電できることだが、発電機が地下室にあれば、送電をする必要がないから、直流にした方がよい。テレビとコンピューターのような近代の装置は直流を利用するし、直流の方がやや安全で、感電して怪我をすることが少ない。

ある専門家は、家庭用発電機があっても電力を共有した方が経済的だと言う。家庭の発電機は昼間留守の時、余った電力を配電網を通じて欲しい人に売り、夜になるとオフィスの発電機から電力を買う。カリフォルニア州では、家庭用の太陽電池の電力が余ったら、電気会社はそれを買う仕組みになっている。配電網はすでに設置されているからこのやり方は経済的かもしれない。第一世代の発電機は高価になるだろうから、共有して利用した方がいいだろう。家庭なら、洗濯機が動いているピーク時に15から20キロワットが必要かもしれない。もし常温核融合の発電機が1キロワットにつき1000ドルかかるとしたら、10キロワット用のを買って、ピーク時に足りない電力だけ電気会社から買えば済む。しかし、現在、家庭用の予備発電機は1キロワットにつきたった350ドルしかないから、¹³⁸ 常温核融合のがこれに近い値段なら、20キロワット用のを買えばよい。そうすれば不足する心配もなくて、電気会社と契約しなくてよい。



Fig. 14.3. 窓のそばに置かれた7キロワットの家庭用の予備発電機。左に冷房機が見える。20キロワットの常温核融合の発電機はほぼこの大きさになるだろう。写真：D. Kontac, Amazon.com.

¹³⁸ Centurion Home Standby Generators, <http://www.centuriongenerators.com/>

電気会社の役割はコンピューターのタイムシェアリングに似ている。これは1960年代と70年代に早くも終わってしまった技術だ。1979年に最大4人用の「ミニコンピューター」にはメモリーが64キロバイト、ディスク・ドライブの容量は12メガバイトで値段は3万ドルだった。費用効率を良くするためにCRT端末を三つか四つないでメモリーとドライブを分け合って使った。大型汎用コンピューターには端末を数百つなくことがあった。ミニコンピューターも大型汎用コンピューターも入念なデザインによってコンピューターの機能を信頼できるように分け合った。基本ソフトは使用者の行動を調整して、一人だけが独占しない、他の端末に問題を起こさせないようにしていた。端末のハードウェアに問題が起きたり、そこで実行しているソフトウェアに問題が生じても基本ソフトウェアは止まらなかった。今日の電気会社は同じような行動をする。希少資源を配分し、消費を統制する。巨大な機械のわずかな量を分配する。問題が起きたら、昼でも夜でも、電気会社の専門家がすぐ直す。近年においてコンピューターのメモリーなどはもう希少資源ではなくなったので、私たちは汎用コンピューターを個人用のコンピューターと取り替えた。12メガバイトのディスク・ドライブの価値はもはや0.001ドルとなったから、わざわざ4人で分け合う必要はない。コンピューターは自分で整備する代物になってきた。事務用品店で紙の束と一緒に買う。各々の人は自分のコンピューターを持って、そして厄介なことだが、問題が起こったら自分で直さなければならない。そのためにある重要な応用には大型汎用コンピューターはまだ使われている。大型汎用コンピューターは小型のより費用効果が悪いけれども、壊れたらその専門家が早速修理にとんで来る。同様にもしかすると、将来には大学構内、軍用基地、大型モーターなどには専門家が年中無休で見守る50メガワット級の発電所が残るかもしれない。

常温核融合によってやがて電力はあまりにも安価になるから、電気会社は価値のない産物を売ろうとする立場になる。川のそばで水を売っているようなものだ。

ある評論家は人々は電力についての知識がないので、電気会社に任せたいから電力会社は存続するだろうと言う。自分のコンピューターの修理もままならないのに、発電機までも自分でやれというのは、かなわない。サミュエル・フローマは家庭用の発電機は信頼できないかもしれないと恐れている。次のように述べた：「私たちは皆電力会社と電話会社に憤慨しているが、問題が起きれば有能な作業員たちが現場に到着して物事をきちんと直してくれる。家庭用の太陽集熱器か風車を近所の機械工が直すと言うのは簡単だが、非常時に車を修理してもらおうとしたり、配管工に来てもらおうとしたりしたことがあるならこれは考えるだけでぞっとする。」¹³⁹ フローマはアトランタ・ジョージアに住んでいない。アトランタではもっと大変だ。冬の氷雨に伴う停電は数時間、場合によって数日続くことがある。電力会社はあてにならずなかなかやって来ない。それにしても、常温核融合の発電機はきっと家庭に不可欠なものになるだろうから、冷暖房の修理会社は、車の販売代理店が車の修理中に代車を貸すように、迅速交換サービスを提供するかもしれない。もし第一世代の発電機が少々信頼性に欠けるとなれば、1軒の家に小さい機械を2台備える方がいいかもしれない。1台だけでピーク需要の約半分満

¹³⁹ Florman, S., *Blaming Technology*. 1981: St. Martin's Press, p. 86

たせる。現在でも1軒の家に2台の暖房を備えることがある。¹⁴⁰ どちらにせよ、常温核融合の発電機は「近所の機械工」に修理させることはない。発電機は先端技術なのでネジをはずせば修理可能部品というのではないだろう。もし、ぴたっと動かなくなったら、自分で家庭器具を直したがる日曜大工なら、ホームセンターで代わりの封鎖された構成部分（セルや制御電子装置など）を買って、その部分をそっくり取り替えるだろう。

電気会社は配電網の整備費を大幅に削減できないと思う。この会社は専門知識がなければやっていけない。120年間も高圧送電線や電信柱や変圧器を扱っている。常温核融合は発電の費用を削減するが、電力配電回路網を改良する余地はあまりない。

水力と風力発電もきっと廃れる。ある特定の場所でしか使えないし、その場所は大体都市から遠いので、配電網を伝って都市まで送電しなければならない。常温核融合はどこでも使える。

もし全国規模の配電網がいまだに存在していなければ、今の発電技術でも、一からそれ作ろうとはしないだろう。それより地域の配電網と熱併給火力発電所、地域網の間に低容量の総合連結の配線を作れば経済的だろう。そうすれば醜い、有害な高圧の送電線を減らすことができる。ある人は送電線が健康問題を引き起こすと思っているが、その証拠はほとんどない。その一方で、送電線は自然破壊を起こしていることは疑う余地がない。大型送電線の敷設用地のために何百万本の木を切らなければならないし、用地に雑草や木がはえるのを防ぐために枯れ葉剤を使用するか羊の群れを利用しなければならない。

3. 常温核融合は電力の価格を三分の一に減らす

電力の価格は三つに分けられる。燃料、発電所の設備、電力供給網（電線と変電施設）である。この三つは偶然にほぼ等しく、どれも電気代の三分の一ぐらいになる。従って、理論上非常に安い燃料、またはただの燃料が手に入ったら、電気代が三分の一減るはずだ。実際には、ウランのような超安価な燃料でも、風と日光のように全く無料なエネルギー源でも、電力の価格は劇的には減らない。問題は安い発電機に利用できる安いエネルギー源がまだ見つかっていないことだ。日光は無料ではあるが、太陽電池は高い。風も金がかからないし、風力のタービンは年々安くなっているがまだ高価だ。そして風は広い地域に吹くから、広い配電網が必要だ。ウランは安価だが、危険だから、複雑な安全装置と格納建造物が必要となる。ウラン燃料で得する金はほとんど設備費に使い果たす。石炭は安価で、石炭火力発電所の公称価格は低いが、環境保護庁によると、空気汚染で健康被害を起こし年間に1万人ぐらい死者を出しているし、作物や自然にも害を与えている。¹⁴¹ 石炭ガス化すれば、この問題の大半は解決し、天然ガスほどきれいにな

¹⁴⁰ たとえば私の家。家が細長くて、寝室は片方にあるから、暖房会社は一台の大きな暖房機を備えるより、両側に小型暖房を二つ備えるように推薦した。夜は寝室の方の一台だけを付けっぱなしにするから経済的だ。機器費用がやや高いがまれに壊れる場合に片方だけで家を十分に温かくできるから、修理人がやってくるまで待つのは苦にならない。

¹⁴¹ Schaeffer, E.V.、米国環境保護庁、調整実施事務所の所長。公害防止法の緩い取り締まりに抗議して辞任した際の辞表届けに表記された人数。2002年3月1日。<http://www.grist.org/news/muck/2002/03/01/>

って、石炭の質量につきもっと電力が取れるけれども、発電機が高くなる。現在は天然ガスが廉価の燃料、少ない公害、廉価な設備で最も良く釣り合いが取れている電力源だ。

常温核融合の燃料、すなわち重水はただ同然だ。これまでの実験によると安全確実と思われるので家庭用の装置に使える。中央からの配電網の必要は徐々になくなるので電気料金請求書のもう三分の一がなくなるということだ。ところでここまできたら請求書を送る電気会社も顧客もなくなつてつぶれるはずだ。私たちに費用としてかかるのは発電機の費用と整備費だけだ。常温核融合はこの費用も少しずつ削ることができる。発電機だけではなく、あらゆる熱機関、自動車と飛行機のエンジン、冷房など、どれも機器費用を減らす。それには三つの理由がある：

1. よく使われる熱機関のデザインでは、効率性を犠牲にして機械の価格を安くする方法がある。低温度で運転する熱機関はカルノー効率性が悪くなるが機械が長持ちする。たとえば低温度の蒸気はパイプとタービンの消耗を抑える。ウラン燃料は安いから原子力発電所は比較的到低い温度で運転する。
2. 自動車以外は、大量にエネルギーを消費する装置は顧客にとって売りに出ているモデルの区別がしにくい。温水器のような機器には付加機能や装飾品がほとんどない。機能は一つしかない。アメリカだと地下室に備えるので形とか色は誰もかまわない。したがって、常温核融合を利用する機器の生産会社が競争できる範囲は限られて、セールスポイントとしては価格を最低にするしかない。
3. コストの主要な構成要素、この場合は燃料費が下がると、経済の法則として新しい技術を導入して、新たなビジネス・チャンスを生む。第7章で見たように、安いコンピューターが登場したら安いハード・ドライブの開発に拍車を掛けた。大量生産の自動車は、改良したより安いタイヤの市場を開いた。上で述べたように、あいにく電力では技術的欠陥によって現在この幸いな結果はまだ見えていない：安いウランの燃料は高価な原子力発電所でしか使えない、太陽エネルギーは無料なのに、高価な太陽電池でしか使えない。しかし常温核融合では、安い燃料は安いエンジンなど新技術の発展を促すだろう。

つまり、常温核融合は電力の経費の三分の二（燃料と供給網）をなくしてから、残る三分の一、発電機のコストも減らすだろう。

人は、廃れつつある機械と見込みのない事業の寿命を延ばそうとして、常温核融合を利用するだろう。そのやり方はしばらくうまくいくかもしれない。常温核融合が始まって半世紀経っても常温核融合で動くポンプを利用する少数の油井が残るかもしれない。1819年に蒸気船が初めて大西洋を渡った。1839年には蒸気船の大西洋航路のサービスが本格的に始まった。それなのに、1840年代には帆船の極致、快速「クリッパー・シップ」が生まれた。¹⁴² 短い、最後の帆船の花盛りであった。蒸気船というライバルに負けつつあった時でも、蒸気船の技術を借りたから長年生き残ることができた。というのは、クリッパーは当時最新の海洋工学を利用したのに、蒸気の引き船がなければ出港

¹⁴² クリッパー・シップとは「細長い船体、大きく前に傾斜した船首、高いマスト、大きな帆面積を特長とする19世紀の帆船」（研究社辞典）

もできなかったのだ。クリッパーはあまりにも船体が細長かったから、扱いにくかった。ニューヨークとロンドンの港では、狭い水路を蒸気の引き船に引いてもらって沖に出た。そして沖に出てから帆を揚げた。つまり、蒸気機関は帆船の時代を引き伸ばしてから、少しずつその幕を閉じさせた。そろばんを生産するのにコンピューターを使ったり、郵便局がライバルであるインターネットを通じて切手を販売するようなものだ。同じように衰退しつつある電気会社を支えるために、石炭発電所にとって代わる常温核融合の大型中央発電機を開発するかもしれない。やがては電力会社は消えていくと思うが、何十年間はこのやり方で社会に最も安い電力を供給してくれるかもしれない。

15. 常温核融合を家庭に

エネルギーの大部分は工業と運送に使われるが、22%にあたる相当な割合が住宅で使われている：

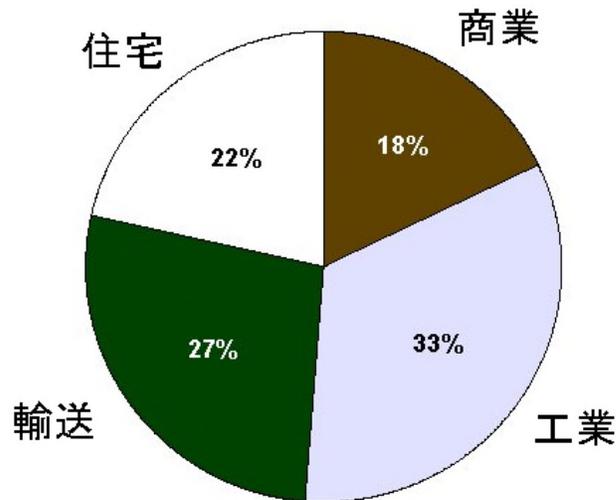


図 15.1. 2002 年の全米のエネルギー消費の最終用途の割合。 *Annual Energy Review 2002. 2003*, Energy Information Administration, U.S. Department Of Energy. <http://www.eia.doe.gov/emeu/aer/>, p. 36

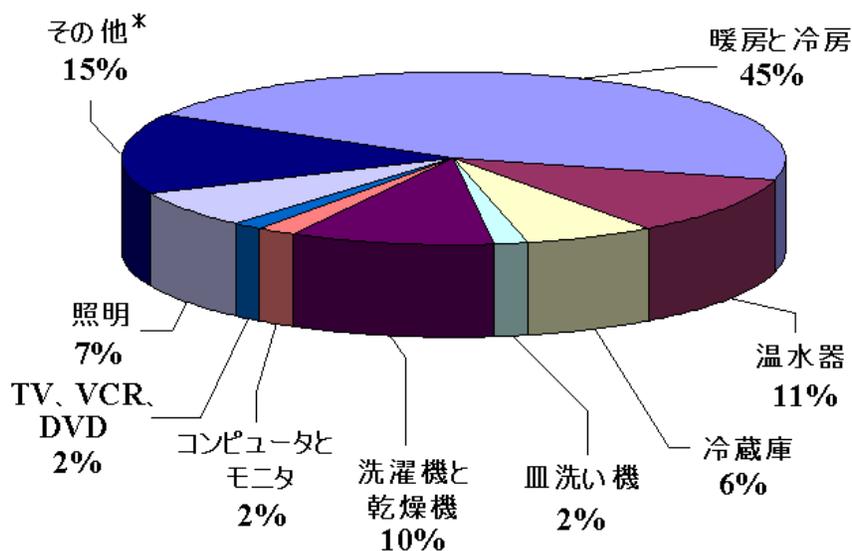
2000 年における米国のエネルギーは 7,030 億ドルかかった。一人につき 2,499 ドルである。¹⁴³ これは工場、軍隊、農業などで使用されたものも含む。一世帯は平均 2.59 人だから、¹⁴⁴ 一世帯で使用したのは 6,472 ドルにのぼる。世帯からみると、エネルギーのほとんどは間接的に使ったものだ。政府や軍隊で使うエネルギーは税金で払い、食料品を買えば農家の使った石油を払ったことになる。家庭で直接使うのは交通費（ガソリン）そして住宅用エネルギー（天然ガスと電気）だ。住宅用のエネルギーは 1996 年に平均 1,338 ドルかかった。¹⁴⁵ ここに、米国政府のエネルギー・スター・プログラムによる住宅用エネルギーの費用の内わけがある：¹⁴⁶

¹⁴³ *Annual Energy Review 2002. 2003*, Energy Information Administration, U.S. Department Of Energy. <http://www.eia.doe.gov/emeu/aer/>, p. 13, year 2000 data

¹⁴⁴ 米国、国勢調査局、<http://factfinder.census.gov>. 「世帯」の人数は「家族」と違う。家族の平均人数は 3.14 人である。家族は全員同じ世帯（住所）に住まないこともある。

¹⁴⁵ DOE/EIA-0632 (97), *A Look at Residential Energy Consumption in 1997*, November 1999, DOE/EIA-0632 (97), <http://www.eia.doe.gov/pub/pdf/consumption/063297.pdf>, p. 1. この数字は 1996 年からあまり変わっていない。

¹⁴⁶ Energy Star program, http://www.energystar.gov/index.cfm?c=products.pr_pie



* 「その他」とはオーブン、レンジ、電子レンジ、小型電化製品などいろいろな家庭用の製品。これらの製品の個々の利用料は世帯のエネルギーの消費の2%以下。

図 15.2. エネルギー・スター・プログラムより世帯のエネルギー費用の内訳。

我々は家でどのようにエネルギーを使っているかよく知っているので、その部門をみてみよう。そして常温核融合でいかに変わるか考えてみよう。

この円グラフはエネルギー消費量ではなく、コストの割合を示す。「暖房と冷房」の費用はほとんど天然ガスであり、電気より安い。電気は「照明」や「皿洗い機」に使われる。冷暖房にかかったのは費用から言えば45%であるが、消費量では全体のエネルギーの55%に当たる。

電気で補うエネルギーは常温核融合の熱で直接にまかなえる場合が多いだろう。

アメリカの今日の家庭では冷房とほとんどの冷蔵庫は電気だ。洗濯機と乾燥機も電気が多く使われている。家の暖房はセントラルヒーティングでほとんどは天然ガスだ。しかし少数の家では抵抗加熱式の電気ヒーターを使っている。この電気ヒーターのやり方は浪費である。電気は高級エネルギーなので、天然ガスの方が経済的だ。あるいは温暖な地域では熱ポンプ暖房が良い。ガス乾燥機は電気より経済的だが、アメリカ国内ではたった16%しか普及していない。¹⁴⁷ 家を電気抵抗加熱機で暖めるのに電気会社はガス発電を使っているとすると電気を起こし家に送電するまで、もともとのエネルギーの三分の二は廃熱として途中で失う。しかし家で天然ガスを直接燃やす暖房だと九割が暖房の熱となり、煙突から失うのは一割だけだ。

常温核融合の発電を使って、冷暖房のエネルギーを全部電気としてまかなうと一家庭につき40から50キロワットを発電しなければならない。家庭用発電機は中央発電より効率が悪く熱の25%ぐらいしか電力に変えられないので、熱を200キロワット生産し

¹⁴⁷ DOE/EIA-0632 (97), *A Look at Residential Energy Consumption in 1997*, November 1999, <http://www.eia.doe.gov/pub/pdf/consumption/063297.pdf>, Fig. 2.19.

なければならない。アパートの暖房装置と同じくらいの熱量だから、これでは発電機は大きくて、熱い、危険なものになる。

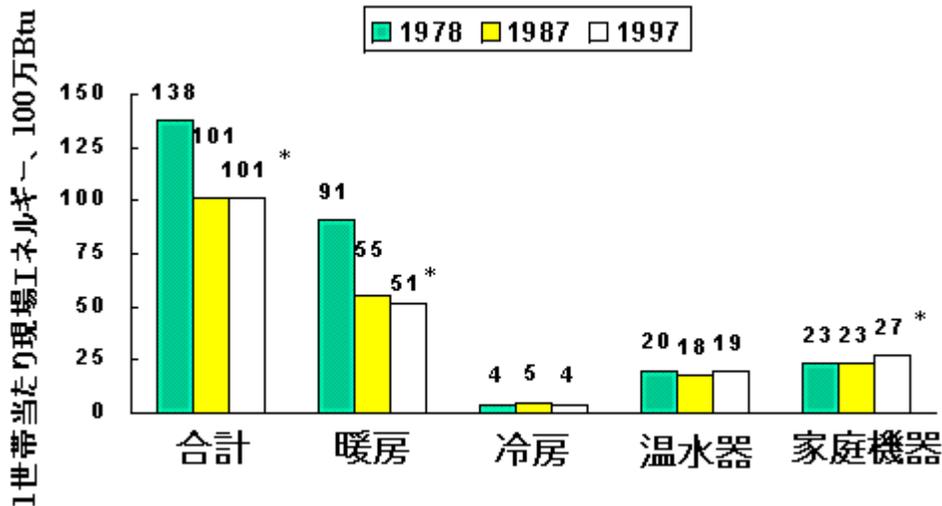
幸いなことに、そんなに大量の電気は必要ない。大きな家でも 10 キロワット程度で十分だ。というのは円グラフで表しているエネルギーの大部分は冷暖房なので電気ではなく、常温核融合の熱で直接まかなえるからだ。調理ストーブやオーブンは常温核融合で使える。料理人の何人かは調理ストーブやバーベキュー・グリルに常温核融合で作る水素ガスをつけるのを好むかもしれない。安全のために炭素や他のガスと混ぜて色をつけて見えるようにすれば良い。冷蔵庫は専用の常温核融合を付ける。ガス使用の冷蔵庫は 1930 年代から売られている。頑丈で使いやすく、経済的だ。内部の灯りだけに電気が必要となる。熱起動の冷房装置もある。¹⁴⁸

米エネルギー省発行の「家庭用エネルギー消費概要 1997 年」¹⁴⁹ によると、1997 年に平均の家で電気、天然ガス、暖房用石油、暖炉用のまきなどあらゆるエネルギー源から 1.01 億 Btu (イギリス熱単位) つまり 29,600 kWh (キロワット時) を消費した。それぞれのエネルギー資源は個別の単位で測るのが慣例だが、エネルギー省はすべてを「イギリス熱単位」に換算している。私は分かりやすいようにここではさらにイギリス熱単位をキロワット時に換算する。これら家で燃やしたり燃料と家で使う電気は「現場エネルギー」と言われが、その電気を発電する際に発電所でさらに 17,877 kWh の廃熱を生産する。それは「現地外エネルギー」と言われる。だから平均家庭用の消費量は、「現場」と「現地外」を合わせたエネルギー量、 $29,600 \text{ kWh} + 17,877 \text{ kWh} = 47,477 \text{ kWh}$ になる。常温核融合を使えば大まかにみて約 30,000 kWh に減らすことができるだろう。

現場エネルギーの 29,600 kWh は四つの種類に分けられる：暖房、冷房、温水器、電灯を含めた家庭機器である。図 15.3 にその内わけを示す。

¹⁴⁸ 米国エネルギー省、NREL、"Thermally Driven Air Conditioning"
http://www.nrel.gov/dtet/thermal_air_cond.html

¹⁴⁹ DOE/EIA-0632 (97)、同書



* 1978年と1997年の差は95%の信頼水準で統計的に有意である。

取材源：米国エネルギー情報局、1978年、1987年、1997年版、家庭エネルギー消費量

図 15.3. 平均家庭の現場エネルギー消費を合計と最終用別に分けた 1978年、1987年、1997年のデータ。エネルギー省発行 DOE/EIA-0632 (97), 図 2.8 より。

1997年の29,600 kWhのエネルギー消費を主に四つの分野に分けてみよう。そして常温核融合で直接まかなえる分野と常温核融合による電力の必要な分野と分ける。

表 15.1. 平均家庭の29,600 kWhの現場エネルギーを主な最終用別の四種類に分けた

	kWh	Percent
直接常温核融合の熱でまかなえる部門		
暖房	14,947	50%
冷房	1,172	4%
温水器	5,568	19%
合計	21,687	
常温核融合の発電機でまかなえる部門		
電化製品	7,913	27%

エネルギー省の資料での他の部分には、電化製品による表がある。1997年の冷蔵庫は1,141 kWhを消費するが、平均すると1軒に1台以上の冷蔵庫があるので1軒で使う冷蔵庫のエネルギー消費量は1,323 kWhとなる。1軒あたりの乾燥機の消費量は1,090 kWhだ。今日、冷蔵庫と乾燥機は電気で動くから他の電化製品と一まとめにするのが理にかなう。しかし、未来においては個々に直接常温核融合で動くので、別々に考えて、8%に与える2,413 kWhを「発電機」から「直接」に移動させよう。

表 15.2. 種類を一つ増やし、29,600 kWh の現場エネルギーを五種類に分けて、冷蔵庫と乾燥機を「直接」の部門に移した。

	kWh	Percent
直接常温核融合の熱でまかなえる部門		
暖房	14,947	50%
冷房	1,172	4%
温水器	5,568	19%
冷蔵庫と乾燥機	2,413	8% ← 上に移された
合計	24,100	
常温核融合の発電機でまかなえる部門		
電化製品	5,500	19%

これで常温核融合の発電は年間 5,500 kWh だけでいいことになり、他のすべての電化製品をまかなえる。

家庭での最大のエネルギー消費は暖房で、年間 14,947 kWh かかる。アメリカの普通の家には中央に温風暖房器があって、各部屋に穏やかに暖かい空気を流す。都合のいいことに発電機は廃熱を除去するために大量に低温の空気を流す。5,500 kWh を発電するのに 16,000 ~ 22,000 kWh の熱を除去しなければならない。これを家の暖房に使えば良い。ちょうど、車のエンジンの廃熱を暖房に使うように。冬に運転している時に、レバーを動かせば調節板を開いて熱くなっているエンジンの上を流れている新鮮な空気を車内へ送り出す。常温核融合の発電機の発熱は、調節板が冬には暖かい空気を部屋の中に流して、夏には煙突から家の外へ流す。調節板と扇風機と温度自動調節器（サーモスタット）があれば発電機を暖房機にできる。常温核融合の発電機は発電と暖房を兼ねているいわゆる「熱電併給装置」にするべきだ。発電の廃熱だけでは暖房には不十分かもしれない。もしそうなら発電をやめ熱だけ出すようにすれば良い。冬の深夜に人が寝たと電気の灯りが要らなくなると、暖房だけに切り替える。

理想的な熱電併給装置は 5,500 kWh の電気と 22,000 kWh の暖房、計 27,500 kWh のエネルギーを発生する。今日使っている 47,477 kWh と比べて少ない。しかし、電力が要らない夜間を計算に入れると、約 30,000 kWh を発生するだろう。常温核融合は思い切り使えるのにむしろエネルギー消費を広い範囲で節約することになるということは意外に思われるかもしれない。エネルギーの節約のために抑える必要はないが、やはり使うのを控えた方が良い。巨大プロジェクトにもっとエネルギーを使うことになるから。（詳しくは 4 章第 4 節）

一年は 8,760 時間である。ということは年間を通し平均して 24,100 kWh を直接常温核融合を使う装置（冷暖房、温水器、冷蔵庫、乾燥機）は常に 2.8 kW（キロワット）を消費していることになる。しかしこの平均値はあまり意味がない。暖房は冬場だけだ、それも夜が多い、冷房は夏場、昼間が多い。実際のエネルギー消費は、時間や季節によって大きなさがある。実際の電力需要の平均値はたった 0.6 kWh だが、昼間のある時間帯にはもっと高くなる。電気製品と灯りは夜遅くには消される。平日に家を留守にする時も消される。しかし忙しい土曜の朝にテレビ、洗濯機、ヘアドライヤー、コンピューター、灯りなどがつけっぱなしとなり、5 ~ 10 kW を使用する。洗濯機が起動すれば電

気が瞬間的にピークに達する。このピーク需要を補うために乾電池を使えば良い。しかし乾電池はすぐ使い切ってしまうから、常温核融合の発電機ほどの電気製品も起動後の消費の頂点に達した時でも定量が流れるようにする。大体 10 kW 要るだろう。

この分析は家に常温核融合の発電だけを備えるというのはいかにもまずい提案だということを示している。古い家庭用電化製品を使っていれば発電機だけを取り付けても間に合わない。特に上に述べたように抵抗加熱式の電気ヒーターを使っていれば 50 kW も必要になる。暖房装置が古くなるまで待って、10 kW の熱電併給装置に取り替えたなら安く上がる。さらに、常温核融合の乾燥機と冷房を一度に取り替える。この三種を常温核融合に代えると電力はピーク需要が低くなる。古い電気冷蔵庫は持っておいてもいいかも知れない。冷蔵庫は年間を通じたら乾燥機よりもっと電力を使うが一時間に使う量はわずかだ。乾燥機は実際に使っている間中は多量の電力を消費するのだ。

常温核融合がもっと一般的になれば家庭発電機の需要は少なくなる。最初の常温核融合乾燥機は常温核融合で熱を出すはまだ回転するのに電気モーターが必要だ。現在の天然ガス乾燥機も同様だ。おそらくモーターを回すのに家の配線につながらう。モーターは電力があまり要らないから家庭発電の負担にならない。しかしながら熱電池の改良が進み、設計者も常温核融合に慣れたら、乾燥機本体に発電機と電機モーターを備えればいいと思うようになるかもしれない。あるいは、電気をやめて常温核融合の熱で動かすスターリングエンジンの機械力でタンブラーを回すかも知れない。

多くの工場はプラスチックを溶かしたりパンを焼く釜などの「熱処理」に電気の抵抗加熱を使う。それに代わって常温核融合の熱が直接使われるだろう。

もし効率の高い熱電池が完成できるとしたら、やがてすべての電気機器、電灯やコンピューターなどは本体で電力を得ることになる。熱電池の効率は 80% までに上がると専門家の何人かは思っているが、そうなったら廃熱はほとんどない。デスクトップ・コンピューターは約 160 ワットの電気が必要だが、200 ワットの熱を生産し 80% を電力にすれば足りるわけだ。今日のコンピューターに比べるとほんのわずかだけ熱くなる。コンピューターをコンセントに差し込む必要はなくなる。そうすると家庭発電機そのものがもう要らなくなり、家の壁の配線もなくなるだろう。

16. 人口、公害、土地と農業の問題

常温核融合が実現しても人口問題を克服しなければ世界の貧困と環境破壊は解決できない。

常温核融合は地球上の 60 億の人々のすべてに十分な食料と繁栄と健康的で快適な生活をもたらすことができるだろう。しかしどの技術も地球上の 100 億、200 億の人口を支えることはできないと思う。もしできるにせよその負担が地球の生態系に与える破壊は悲劇的だ。幸いなことに人口ブームを抑えることが進んでいる。年々の出産数はまだ増えているし、第三世界の人口増加は制御されていないにもかかわらず、増加速度は減速している。人口問題の解決策ははっきりしている。必須の対策は三つある。

1. 教育と雇用機会を改善すること、特に女性に対して。
2. 健康医療改善。乳幼児死亡率を減らすのが特に大事である。貧困層が子たくさんである理由は子供の死亡率が高いからだ。子供が無事に育つという確信が持てれば産む子供の数を減らすだろう。
3. 国が養老年金を払う。貧困層は老後を子供にみてもらおうと思っているためにたくさんの子供を産む。

人口を減らせば公害も減る。この二つの問題ははっきりと関連がある。他の条件が同じなら、人がいればいるほど公害が出る。しかし公害を出す条件は社会によって異なる。一人当たりの公害の量は一律でもない。経済生産も同じで、1ドル分の製品を作るに決まった量の公害が出るとは限らない。先進国はすでに公害をある程度減らしたが、これからも大いに改善する余地はある。

1960年代日本の空気汚染はひどかった。人口密度も高く、空前の繁栄とさらに工業発達への期待がかかっていた。東京から富士山の見える日はわずかでニュースになるほどだった。川は離れた所からでも悪臭がした。公害と環境破壊は水俣と四日市で最悪となり、水銀による犠牲者と自殺者も出た。数々の訴訟で原告（公害の被害者）が勝訴し、裁判官は会社と地方自治体に対して責任があると認めた。国民は厳しい環境法律と改善を要求した。

四日市市環境部のウェブサイトは隠すことなく率直に町の惨事と回復の歴史を次のように語っている：

この裁判によって工場の煙が四日市ぜんそくの原因と認められたのです。そこで、工場は公害を防止する技術の研究や開発に多額のお金をかけるようになりました。また、裁判では工場だけでなく、国や県、市の責任も指摘されました。その結果、公害を取り締まる法律や、患者の救済のための法律が整備されることになりました。¹⁵⁰

¹⁵⁰ 四日市市環境部のウェブサイトより <http://www.city.yokkaichi.mie.jp/kankyo/kogai.htm>



図 16.1. 三重県、四日市、1960年代（左）と現在（右）。手前の石油化学コンビナートは記録にないほどひどい公害を出した。四日市市環境部のウェブサイトより
<http://www.city.yokkaichi.mie.jp/kankyo/kogai.htm>

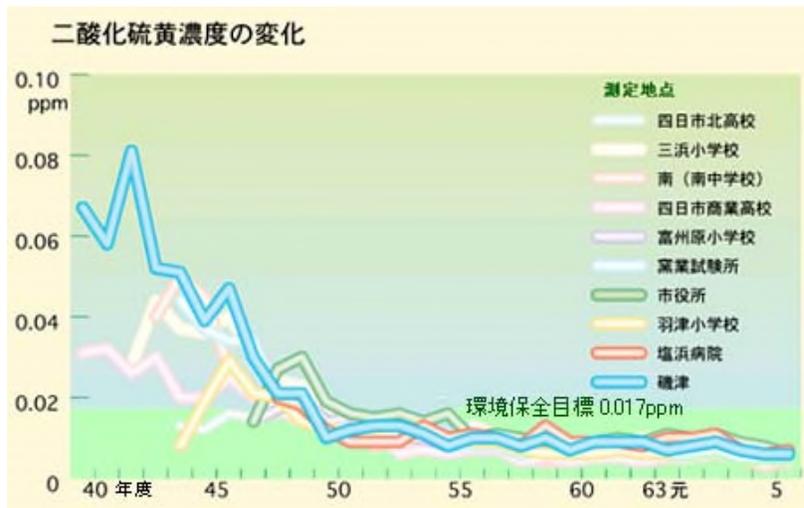


図 16.2. 二酸化二酸化硫黄濃度の変化。ピークは1967年（昭和42年）。四日市市環境部のウェブサイトより

1960年代の半ばに煙やほこりはとても深刻で子供たちは常に咳をし、のどの痛みと喘息に苦しんでいた。政府はそれは子供が対処すべき問題だと決め付けた。学校には共同洗面所を作り、子供は列に並ばされ毎日洗顔とうがいを規則付けられた。壁にはそれを奨励する大きなポスターが貼られた。現在うがい用の洗面所はもう必要ないが、いかにひどかったかを忘れないため、洗面台とポスターはいまだに学校に残されている。生徒は公害のひどかったころの先輩たちの姿を昔のニュース映画を見て、歴史を再現しどんなだったかを思い起こすよう、実際に列に並び洗面台の前でうがいをするのだ。

151

¹⁵¹ NHK、「ナビゲーション東海」、151と同じ



図 16.3. 1960 年代に日本の政府は、公害は被害者の問題だと決め付けた。学校に共同洗面所を備えて、子供たちに列に並びうがいするように命令した。ここに示すのは先生は子供たちに正しいうがいのしかたを教えている（上）。現在その洗面台はあのひどい時代の忍ばせるものとして残っていて、子供たちはそれを使ってみて、歴史を再現する（下）。NHK、ナビゲーション東海、四日市公害からのメッセージ、2004 年 9 月 20 日。

日本の人口は前とほぼ同じだが公害はずいぶん減った。実際には人口がわずかながら上昇し 40 年前に比べ都市部に集中している。日本の工場の技術者たちは公害を防ぐ万能の対策を発見したわけではない。国はただ常識に基づく法律を定めそれを守るようにし、費用に対し採算性の良い技術を使うように奨励しただけだ。

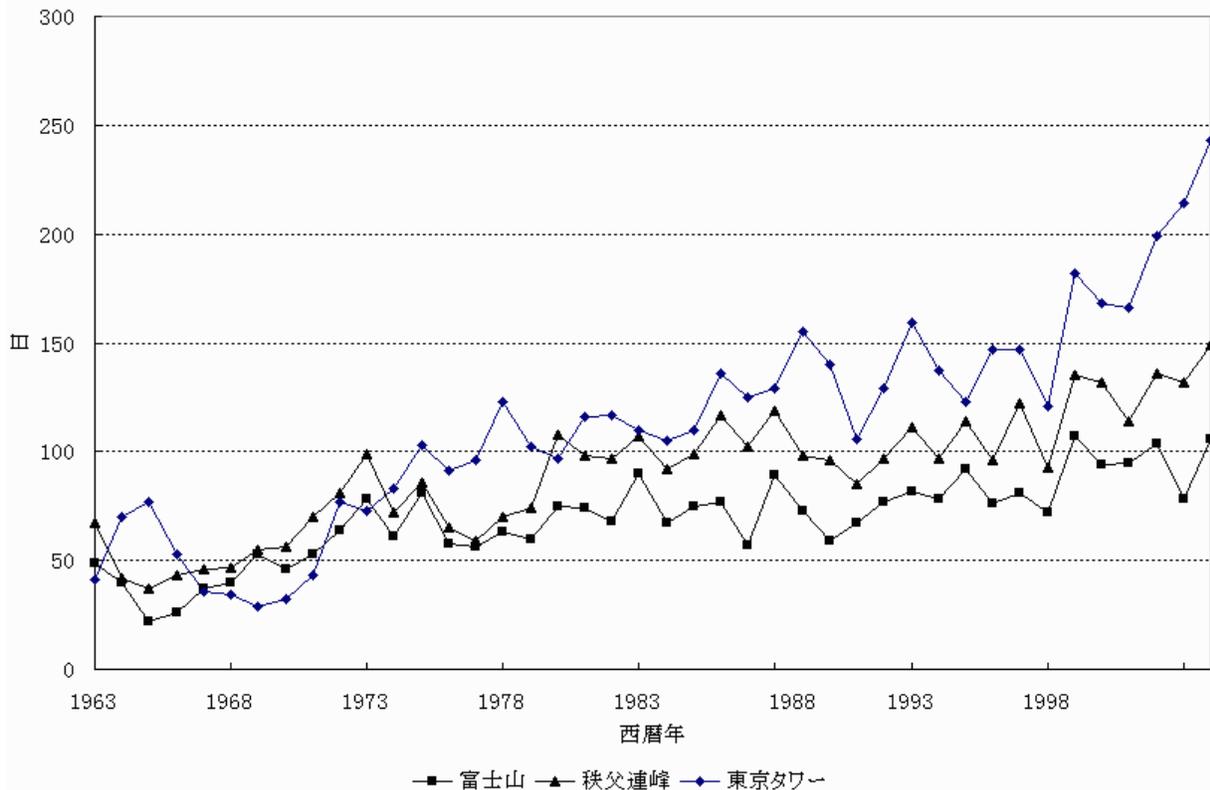


図 16.4. 視程日の経年変化。吉祥寺から東京タワー、富士山、秩父連峰の視程日数。午前9時に見えたか見えないかを記録している。成蹊大学、気象観測所 http://www.seikei.ac.jp/obs/pwork/tower_j.htm

今日、天候がよければ富士山は東京から見える。河川は 19 世紀以来の澄んだ流れとなり健康な魚が群れて泳いでいる。四日市は国連において最も空気の清潔な工業都市モデルに選ばれた。¹⁵²

今だに日本にはいくらかの公害問題がある。特に固形廃棄物だ。1970 年代、80 年代に日本は世界中の大気汚染防止の先端をいく技術を誇っていたが、今日では後れを取っていると専門家の何人は言う。さらに多くの無用な道路、海の堤防、ダム、川の護岸工事のコンクリート地獄を作り、現在も無茶な環境破壊が続いている。¹⁵³

少々人口を減らすのでは公害は今とあまり変わらないだろうし、地球温暖化は防げない。急速に人口を半分にすれば防げるかもしれないが、それは無理だ。一方、必死で技術を開発し膨大な予算をかければ、現在の技術で人口を保ちながら二酸化炭素ガスと他の公害を十倍減らすことは可能だと思う。常温核融合があれば、必死にならなくても、二酸化炭素ガスはもちろんゼロに削除できるし、他の公害はおそらく千倍減と思う。常温核融合によって費用がかかることはなく、それどころか節約することができる。常

¹⁵² NHK のドキュメンタリーの連続番組「ナビゲーション東海」、「四日市公害からのメッセージ」、2004 年 9 月 20 日。

¹⁵³ Kerr, A., *Dogs and Demons: Tales from the Dark Side of Modern Japan*. 2001: Hill and Wang.

温核融合の技術は二酸化炭素ガスを放出することはない。その他の公害は生産過程において、資源を放出していることによって起こる。せつかくの役に立つ資源を川に流したり、広範囲にわたって空気中にばら撒いたりしている。今日生産されるパラジウムの半分は自動車の触媒式排出ガス浄化装置に使用されている。パラジウムの大部分は高熱排気ガスによって次第に昇華してガスとなり自動車の後部のパイプから放出される。そうになると道や高速道路のそばの土と水に入り、人間、植物、動物にとって重金属有害物となる。パラジウムは金より値打ちのある貴金属だが私たちはその大半を捨ててしまっているのだ。苦勞してやっと手にいれたこのすばらしい有益な物質を毒にしてしまい全国にばら撒き、後始末をする術もない。

遠い未来において人口が制御されたら、公害が大いに減り、世界中の人が望むだけの教育を受け、たくさんの人が他の惑星に移住したいと思うかもしれない。やがては千億もの人々が太陽系の月や他の惑星に散らばって住むことができるかもしれない。地球の公害は自然界に近い程度まで減り、探知できなくなる。特に農業と重工業は砂漠の荒地か地下に、または月に移す。野外の農業は私たちの最初の改革の目標だ。それが公害と自然破壊の最も大きな元であるから。

コーネル大学のピメンテル教授夫妻は土地の危機について次のように述べている。「アイオワ州、ここは世界中で最も質の良い土壌であるが、100年間の農業で表土の半分を失ってしまった。」¹⁵⁴「最近の40年間、世界の耕地の約30%が失われた。」「さらに減っていく農地、拡大な耕地面積の損失の原因は、絶えず続く大都市の広がり、工業の発展と道路工事によるものだ。たとえば1945年から1975年までのアメリカで、ネブラスカ州ほど広い土地がアスファルトで舗装され、家と工場で覆われた。」私たちは明らかに家が要る。人々はどこかに住まなくてはならない。地上の景色の良いところに住みたいものだ。しかし土地を道路や工場、それにもまして農業に使うのはもったいないし、時代遅れだ。それらは土地、水、エネルギー、労働と費用を必要以上に使っている。

農耕地の確実性と効率は有史以前からほとんど発達していない。農夫は時々激しい雨や早魃のために一年の作物すべてを失うことがある。他の近代の工業が比較的軽い天候変化に左右されて年間生産をすべて失うなんて考えられるだろうか？

長い間にはたまに工場の生産が台風で中止させられ、倉庫の製品がだめになってしまうことがある。しかし工場では気づかれないかもしれない程度の嵐が農場の作物には致命的になることがある。とんでもないことだ。人間は絶対に気候に翻弄されるべきではない。人間はネズミやバッタに食料を食べられはしないかと心配する必要はない。文明は現在そんなことを克服できるはずだ。我々は食物を屋内で栽培し、他の製品と同様に何から何まで制御できる生産ラインを作るべきだ。

¹⁵⁴ Pimentel, D. and M. Pimentel, *Food, Energy, and Society, Revised Edition*. 1996: University Press of Colorado, p. 154

1. 屋内農場、または食品工場

温室は一部または全部を環境から隔離し、害虫から遠ざけることができる。しかし温室には太陽の光が必要だ。冬には生産高が落ちる。日本ではコスモプラントという会社が温室よりさらに進んだ、外界から完全に閉ざされた「野菜工場」を建設した。そこでは人工照明、栄養、温度などを人間が管理する状況でレタスを種蒔きから出荷までやっている。¹⁵⁵

コスモプラント社は2004年現在4工場が稼働し2工場を建設中であった。(残念ながら、この会社は2007年に閉鎖された。時代を先行し過ぎていたのだろう。)工場一つにつき4500万ドルかかる。一日に5,000個のレタスを生産し一つ¥158で売れる。野外の畑で作るレタスとほぼ同じ値段だ。工場では一年を通じて店に質のいいレタスを卸すことができる。消費者は緑色でやわらかく栄養価が高いものを好む。どの葉にも満遍なく光を与えるとみな同じように緑になり味も良い。消毒する必要はない。この方が有機栽培だ。アメリカ国内で機械で摘み取られた硬い緑のトマトが店で売られているが「野菜工場」と言われたら読者はこんな味気ない大量生産のものを想像するかもしれない。しかしコスモプラントのレタスはそんなものではない。日本人はもっと高い質の食べ物を好む。斑点やしみのない果物、味の良いものを欲しが。刺身で食べられる新鮮な魚や焼きあがったばかりのパンのように。金を多少かけてもいいものを食べたいのだ。アメリカの小さな食料品店では、冷凍食品、缶詰、菓子、蛆がわきそうなバナナとビールしかないが、日本では田舎の小さな店でもおいしい、新鮮な品ぞろいであっても別に驚くべき事ではない。

消費者が年間を通じて安定した値で買うことができるようにコスモプラント社や他の会社は良質の季節野菜、トマト、イチゴの工場を建設しようと企画している。

レタスは人工の光の下で育つのでレタス工場はたくさんのエネルギーを使う。でも、光線は注意深く設計されている。従来のもより使用する電気量は少ない。常温核融合を使うとしても蛍光灯を使おうとする食品工場はあまりたくさんの電気を消費するから、実用的ではない。

普通の野外の農場は地球上で最もエネルギーを効率悪く使っている産業だ。温帯では野外の作物の光合成の効率は低くて、冬は育たないから、年間を通じて太陽光線の0.1%しか吸収できない。人工の光を使う農業はこれよりも見込みがないという印象をまず持つだろう。火力発電や原子力発電は33%の効率性であり、第一世代の常温核融合の発電機も同じ程度の効率性だろう。従来白熱電球は10%だけ、蛍光灯と発光ダイオードは電気の30%を光に変える。効果的な照明を使っても火力か常温核融合の熱から光までの全体の効率はわずか10%である。季節の変化のない環境に人工の白色灯を使えば植物は光のたった1%か2%しか光合しないだろう。言い換えるなら、植物は熱エネルギーの0.2%を吸収する。植物の栄養カロリーの500倍のエネルギーを与えなければならない。普通の人だと一日に1,200キロカロリーが摂取されるから、これは5メガジュールとなるが、一日につき一人当たり2,500メガジュールの熱が必要だ。アメ

¹⁵⁵ NHKのドキュメンタリー連続番組、「ナビゲーション静岡」、光の技術が農業を変える、2004年9月27日

リカ人が現在すべての目的によって使う一日のエネルギーの2.6倍となる。¹⁵⁶ アメリカ人は他の国の人よりかなりの量のエネルギーを消費する。だからもし世界中の人々が菜食主義になって白色灯で生産される野菜を食べるとするとエネルギー消費は少なくとも今の十倍は増加する。肉食だとなおさらだ。常温核融合を持ってさえこれは費用がかかりすぎ、廃熱が多すぎる。

幸いなことに、これだけのエネルギー消費は必要ない。コスモプラント社の研究者、東海大学、その他の研究者はエネルギー消費の少ない方法の先駆者である。¹⁵⁷ レタスは最初の植物生産の2週間は白い蛍光灯の下で育てる。白い光は生産初期に最も適している。工場は7万個の苗の広さが要る。苗は小さく詰めて植えれば良いからそんなに広い場所も多く蛍光灯も要らない。6センチメートルに育ったら、10段の棚のある特別の育成室に移される。そこではベルト・コンベヤーに乗せられてゆっくり動く。ここで生長のほとんどの過程が行われる。2週間経てば出荷できるようになる。

育成皿のすぐ上に発光ダイオードがある。図16.5で示すように発光ダイオードは660ナノメートル波長の純赤色を発光する。図16.6は植物が良く吸収できる波長の帯域を示していて、低い帯域は400ナノメートルから450までの紺色で、高い帯域は620ナノメートルから680まで赤色である。発光ダイオードはちょうどこの高い帯域に一致しているから、赤い色は白と違って無駄にならないでほとんど全部吸収される。(葉緑素は緑色だから、赤と青の光を容易に吸収するわけだ。残る波長は510ナノメートルの緑で、これが葉に反射して、私たちの目に映る。つまり物体の色は吸収しない波長数の色である。)

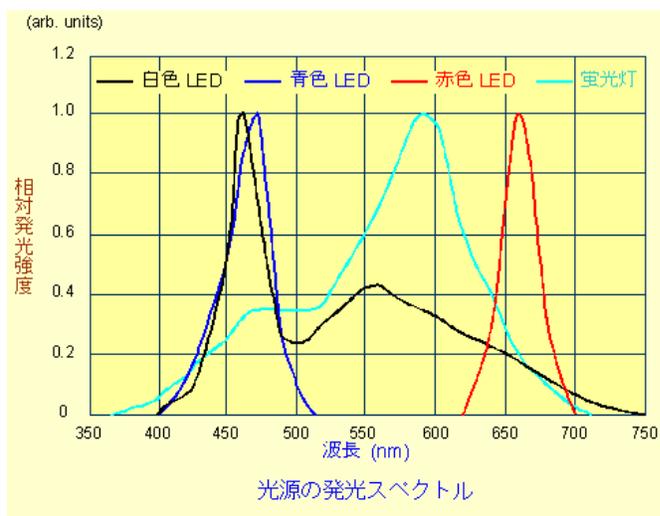


図16.5. 発光ダイオード(LED)の光源の発光スペクトル(周波数帯)。蛍光灯の光は580ナノメートルがピークだから、ほとんど吸収されない光合成有効放射以外の波長だから無駄になる。東海大学開発工学部生物工学、高辻正基提供。

¹⁵⁶ Annual Energy Review 2002, p. xvii. アメリカ人は年間一人あたり3.4億Btuを消費する。一日に90万Btu、または977メガジュールとなる。

¹⁵⁷ Tokai University, Plant Factory Laboratory, <http://www.c-living.ne.jp/pfl/index.htm>

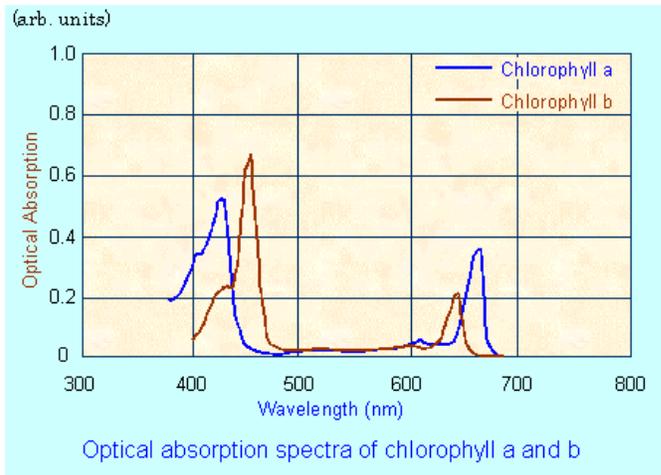


図 16.6. a 型と b 型の葉緑素の光吸収のスペクトル。この二つのピークの光は光合成有効放射 (photosynthetically active radiation - PAR)。二番目のピークはたまたま赤い発光ダイオードの波長に近い。東海大学開発工学部生物工学、高辻正基提供。

発光ダイオードの電灯装置はアルミニウムで作られ、低温に保つために、冷却水路の中に水を流す。こうすると通常の十倍は長持ちする。レタスに近づけても熱で葉を痛めることはない。電灯が近いと光の無駄も少なくなる。

農場では植物は夜は発育が止まるが工場では 24 時間光を当てるので光合成は続行する。他の環境も発育を促すのに最適な条件にしている。部屋には通常の 5 倍の二酸化炭素を入れる。室温、湿度、栄養は注意深く見守られ、適度を保つ。工場は外で作るのと違い、天候、季節の変化や土地の侵食などの影響を受けない。室内は昆虫やばい菌もいなくて、働く人は医師や看護師のように清潔な服を着、マスクをつける。野外の農場ではレタス栽培には 3 ヶ月もかかる。工場ではたった 1 ヶ月だ。発芽から苗の状態に 2 週間、育成に 2 週間である。

レタス工場には 200 万個の発光ダイオードがある。今日の明るい赤色の発光ダイオードは一個につき 125 ミリワットを消費する。工場の全部の発光ダイオードを合わせると 250 キロワットを消費する。大型トラック¹⁵⁸とほぼ同じ動力で、この大きさの発電機は 4×1×2 メートルで 4 トンの重さだ。大型トラックより静かだから、野菜工場に備えても近所迷惑にはならないだろう。エネルギーは一日につき 6,000 キロワット時で、2,000 キロワット時の光エネルギーに変換する。レタスの生産量 5,000 個で割ってみよう。そして結果を食物の単位であるキロカロリーに換算する。レタス一個につき 344 キロカロリーの光を与えていることになる。レタス一個の平均は 539 グラムで 54 キロカロリーの栄養価がある。ということはレタスは概算で約 15%の光を食物に変えていることだ。言い換えるなら、工場では野外農場より 100 倍効率良く光を食物のエネルギーにしているわけだ。¹⁵⁹ もちろん野外の農場では光は太陽からなので、ただだし公害もない。し

¹⁵⁸ The Goodyear Tire & Rubber Company, *Factors Affecting Truck Fuel Economy*, http://www.goodyear.com/truck/pdf/radialretserv/Retread_S9_V.pdf

¹⁵⁹ これは概算だが、東海大学の芦田教授はこの計算を確かめて妥当だと判断した。A. Ashida、著者への私信、2004 年。芦田教授に感謝します。

かし野外の農場は限界に達している。地球の約半分に当たる耕地に適した土地はすでに農地化され、降り注ぐ太陽光線を利用できる余地はそんなに残ってはいない。

人はレタスのみでは生きられないが、この工場では大人 200 人を維持できる食物エネルギーを生産していることには気づくべきだ。

野菜工場の光合成の効率はすばらしいがやはり莫大なエネルギーを消費する。普通の農場では野菜の 1 カロリーを生産するのに 10 カロリーかかる。¹⁶⁰ 野菜工場の場合は発光ダイオードの発電に必要なエネルギーは野菜の 1 カロリーにつき化石燃料か原子力では 59 カロリーもかかる。従来の肉製品の栄養カロリー 1 つを生産するのに 34 カロリーかかるが、野菜工場の比率はさらに悪い。しかし野菜工場は農業耕作機、害虫の消毒、食品冷凍、運送などでエネルギーを削ることができる。農場は普通、町や大都市から遠く離れている。工場だと都市の近くに建設して、運送費を減らすことができる。農場ではレタス畑は一度に生長し収穫し、倉庫に保存するので、出荷して売ってしまうのに一ヶ月かかるが、工場だといつも一定量を年間通じて生産、出荷できる。

¹⁶⁰ Pimentel, D. and M. Pimentel, *Food, Energy, and Society, Revised Edition*. 1996: University Press of Colorado, p. 192, p. 195



a.



b.

c.



d.



図 16.7. a. コスモプラント社のレタス工場。b. 白い蛍光灯の下で育つ苗 c. 赤い発光ダイオードの下の生長しきった植物 d. 作業員は清潔な制服を着てビニール手袋をはめて、レタスを包装する。NHKのドキュメンタリー連続番組、「ナビゲーション静岡」。



図 16.8. 東海大学の色々な発光ダイオードの下で植物を育てる実験。東海大学開発工学部生物工学、高辻正基提供。

レタス工場は資源を無駄にしない。すでに述べたように、レタスは病気や害虫、気候でやられたりはしない。土地を無駄にしない。これは地価の高い日本では重要なことだ。レタス育成皿は何段にも積み重ねて空間を利用するだけではなく、野外だともっとレタスごとの間をあけて栽培するが、工場ではレタスを8倍もくっつけて栽培できる。まとめると10×10メートル（0.01ヘクタール）の育成区間で20ヘクタールの農場と同じ量のレタスを生産できる。

コロンビア大学公衆衛生学部のD.デイポムイエ教授は都会中心部に野菜工場を建てる計画を進めている。彼のウェブサイト¹⁶¹によると「縦の農場」と名づけられている野菜工場には次のような利点がある：

- 干ばつ、洪水、害虫など気象による穀物の不作は避けられる。
- すべての作物は有機栽培される。除草剤、殺虫剤、化学肥料などは使わない。
- 排水をリサイクルするので農業排水がほぼ無くなる。

デイポムイエが企画している野菜工場は人工光ではなくて、ほとんど太陽の光で植木を栽培する。コスモプラント社の施設と比べて電気消費は少ないが、作物は夜育たないので、生産が遅くて、コスモプラント社ほど場所を節約できない。

デイポムイエの予測では：

周年栽培によって、作物生産高は室内の育成区間の1ヘクタールは野外農業の4から6ヘクタールに相当する。作物によって、たとえイチゴなどでは、比率は30ヘクタールとなる。

上記でコスモプラント社の比率は1ヘクタールが1,000ヘクタールに当たると推定したので、これと比べて30倍か100倍少ないが、アメリカは日本ほど土地を節約しなくていいので、デイポムイエの企画はアメリカには合っている。

未来には大きな野菜工場は何百もの育成段を持つ、40階建てのビルぐらいになるだろう。もしかしたら、さらに大掛かりなもの、国際空港と同じ50ヘクタールくらいで、最も高いオフィスビルに匹敵する400メートルになるかもしれない。そうすると300段作って、野外農場だと3000万ヘクタールに当たる生産量が見込める。中はすべて自動化され、人ではなくロボットが働き、休憩室や会議室、トイレなど人間のための無駄な空間は少なくてすむ。大都市近郊に一つか二つの工場を建てれば、都市で必要な農産物を補うことができる。都市から収集する生ごみと下水は工場に運んで肥料にして、再利用する。常温核融合を利用して高熱でエネルギー大量消費の技術を使い下水処理をすると今の方法よりずっと衛生的になる。

未来では人々は人の手に触れたり昆虫や危険なばい菌にさらされたりした野菜は買おうとしないだろう。その一方では2、3ヶ月前には下水と生ごみだった物を食べたり飲んだりしても平気だ。考えたくはないが、下水が水道に混じったりしているのが今日の私たちの現状である。

¹⁶¹ The Vertical Farm Project, <http://verticalfarm.com>

コスモプラントの照明器具を大規模な 50 ヘクタールの工場で使うと 1 ヘクタールにつき 750 メガワットという莫大な電力を消費する。廃熱を除去するのは無理だと思う。しかし、発光ダイオードは近い将来に効率が改良されるだろうし、東海大学の研究者たちは現在の発光ダイオードを断続パルス照明によって、より省エネにする方法を開発している。それにしても大規模な工場は現在の原子力発電所の 5 つから 10 合わせた電力が必要になるかもしれないし、世界の食料工場は現在の総計の電力容量より電気を消費するかもしれない。このための発電機は数千億ドルかかるだろう。常温核融合の燃料がただだとしても、まだ効率の良い発電機と照明器具の開発は必要である。

屋内農業で食肉生産を行ったらとてつもない量のエネルギーがかかる。食用として飼育される動物の飼料のカロリーは、肉から得るカロリーより十倍以上多いわけだ。幸いなことに新しい方法がもう研究されている。ニューハーベスト研究所¹⁶² (New Harvest nonprofit research organization) では「培養食肉」を開発している。生きている動物の代わりに、動物の生組織を体外で細胞培養して肉を生産する。これによってエネルギーを節約するだけではなくて、食肉の他の多くの問題を回避する。たとえば、獣脂の食べ過ぎによる病気、食肉につく病原体、日常的に家畜に投薬する抗生物質による抗生物質耐性菌、家畜糞尿の公害、そして牛や豚のような知能の高い動物を残酷にも狭苦しい飼養場に押し込んだり畜殺したりすることを避けることができる。

全世界では食糧生産地は約 15 億ヘクタールある。他の耕地は林業とトウモロコシ、サトウキビなど代替エネルギー用の植物などに使っている。食糧生産地は一人当たり 0.27 ヘクタールに当たる。何千もの巨大食料工場がこれらの土地に取って代わることができる。この工場はニューヨーク市とブルックリンなど五つの区の土地とほぼ同じ面積の 6 万ヘクタールの場所を取る。しかし、私はまったく場所を取らないようになるだろうと期待している。つまり地下に作るのだ。便利なように大都市の近郊か、あるいは大都市の真下に建設して、工場の上の地上は公園や住宅地にする。もし工場の規模を小さくできたらすべての食料品店の地下に工場を作るようにすれば良い。ここに中央下水処理設備からのパイプラインで無菌の肥料と純粋な水が送られてくる。レタス、イチゴ、メロンなどが熟したらロボットが収穫し、数分後店の棚に並べて売ることができる。

遠い未来に、もしかしたら食べ物は植物と細胞で生育する段階を省いて、原料から直接に合成できるかもしれない。これは野菜工場より場所と原料を節約する。これによって食料の価格はきわめて下がり、すべての人は好きなだけ食べ物が手に入るようになる。「合成する」と言えば、人工着色されたネバネバしたまずそうな食物とか、豆腐から作ったなんとなく肉に似ているようで似ていないような物を思い浮かべるかもしれないがそういう物ではない。私が考えているのは、物質的にも化学的にも自然のものと見分けがつかない物である。つまり見た目も栄養的にもそっくりなものである。¹⁶³ 一組の機械が新鮮な野菜、穀物、肉などいろいろな食べ物を三次元にスキャンして、いわば「電子鋳型」を記憶する。電子鋳型は原型を少しきれいにできるかもしれない。元の物体にある病原体や土、傷、欠点などを記憶から除く。べつの機械で原子を組み合わせて分子

¹⁶² New Harvest nonprofit research organization, <http://www.new-harvest.org/default.php>

¹⁶³ この技術の必然的な結果はアーサー C. クラークの有名な短編小説に描写されている。Arthur C. Clarke, “Food of the Gods” 藤井裕三 (訳) 「神々の糧」

形成して元の物体を完全に複製する。分子レベルで物質を分析できる計器は数十年前からある。一つ一つの原子を観測し、その原子を表面の位置から動かせる走査トンネル顕微鏡（STM）は最近できた。図 16.9 で示した写真は IBM の研究者たちが銅の上に鉄の原子を動かして「原子」という文字を書いたものだ。もちろん、三次元の物質を原子と分子の合成で組立てる技術からはまだほど遠いが、何百年もかけて開発すればやがてできると思う。ちなみに自然は数十億年前にこの技術を完成したわけだ。DNA と他の細胞機構が原子を操作して世界の生命の源を作ったというわけである。

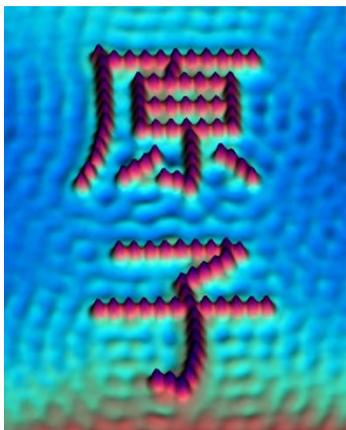


図 16.9. IBM の研究者たち、Lutz と Eigler が走査トンネル顕微鏡（STM）で銅の上に鉄の原子を動かして「原子」という文字を書いた。IBM STM Image Gallery.
<http://www.almaden.ibm.com/vis/stm/atomo.html>

私はすべての農場がなくなるということを提案しているのではない。いくらかは体験博物館として残すべきだし、他のは新しい食料の種類を発見したり自然への人間の関与が環境にどう影響するかを調べるための研究所として残したい。庭を楽しんだり、自分のために農業をする人たちによって何千万ヘクタールもの農地が耕されるのが望ましい。家畜にも土地を与えなければならない。家畜だって野生種と同じように地球に住む権利がある。ずっと先の未来の農業はロボットが激しい作業をこなしてくれるし動物は時が来ても切り殺されることはなく、農業はもっと楽しいものになるだろう。

自然栽培を好むアメリカ人は日本の消費者が温室栽培や野菜工場で育てたのがもっと有機栽培だと考えていることには納得できないかもしれない。矛盾に思うかもしれない。「有機栽培」とは正確に定義できないが、普通の人には「感じとして分かるもの」と思っている。もちろん、多くの日本人の食通は野菜工場のを軽蔑して、手をかけて作った野菜と地鶏の卵を欲しがると感じる。赤く熟れても味気のないトマトではなくて手に取ると強い香りのする本物のトマトを欲しがると感じる。そういう純粋食物主義者は工場のは消毒しなくていいということには感謝するが、規格統一された、決まった味の野菜には幻滅する。季節ごとに取れる野菜の種類がないと文句を言うしもし農場で働いた経験がない人だったらなおさら土地とのつながりがなくなると不平を言うだろう。

多くの農民は自然と土地を守っている。勤勉な農民は耕すことによって土地の沈下や浸食と地下水位の低下を防いでいる。高速を何時間も通勤する人やワイオミング州の地

下水を妨害している天然ガス会社と比べてみよう。^{164,165} この人たちは自然破壊に加担している。それに比べ普通の農民は賞賛されるべきだ。しかしこのように農耕は土地にとっていいこともあるが、耕さない方がより良い。一番望ましい方法は土地を「半自然」の状態に逆戻りさせることだ。大火事にならないように低木のやぶを刈ったり、森林管理をしたり、外来種が進入しないように守ったりする以外には人間の介入は最小限にするのが良い。「半自然」というのは人間は森林を焼くことによって何百万年もの間森林を形作ってきたということだ。今では鹿や他の大きい動物の行動が地形に及ぼした影響と同じく人間がやってきたことは自然の流れの一部として考えられていいのではないかと思う。

バッファロー共有地計画はアメリカの西部を昔通りの土地に逆戻りさせようとしている。私が考える常温核融合と野菜工場でやりたいことはこれに似ている。この計画によってアメリカの不毛地の800万ヘクタール（日本の国土面積の21%）はアフリカの平原のように自然保護区となり旅行者が訪れたい土地へと変貌する。大草原復元協議会のウェブ・サイトは次のように説明している：

バッファロー共有地とはメキシコからカナダにかけての地域を自然に戻し再び、地域と地域をつなぐ。もともと人工的だった柵などの境を取り除いて、我々人間も境を越えて協力をすることを再び学ぶ。バッファロー共有地は境を囲む柵が取り除かれる日に生まれる。野生の鮭が川から海へ回遊して帰ってくるように、バッファローが自由に草の海を移動する。ケニアの平原のように柵で動物を囲むのではなく、柵で人間の居住地を囲んでしまう。¹⁶⁶

地球の土地の半分は農業用に、そして二割は居住地域になっている。¹⁶⁷ 健全なる生態系を考えるなら、これらの土地の使用量はとても多すぎる。生物の多様性を脅かす。不幸なことにこれだけたくさんの土地を使っても十分な食物を得ていない。このやり方は限界に達している。生産技術といわゆる「緑の革命」によって生産高が増えた。しかし、他の方法、すなわち灌漑のしすぎ、地下水の使いすぎ、農薬と肥料の使いすぎで土地をだめにしている。代替りの方法をとっくの昔に探すべきだった。

2.水産養殖

野菜工場に似た、屋内の「魚工場」がある。これは米国北東部、特にボストン市の辺りの新鮮な魚の需要のかなりの割合を補っている。

海洋漁業は海の魚の数を急速に減らし環境への被害も大きい。未来において適切に管理されたとしても、世界中の食物エネルギーの1%しか供給できない。¹⁶⁸ 海中の網で遮断された地域に大きな養殖場が建設されているが、これが公害を起こし、環境破壊となっている。それに養殖サケは天然ものより多く水銀の毒が含まれているので論議を醸

¹⁶⁴ Diamond, J., *Collapse, How Societies Choose to Fail or Succeed*. 2005: Viking.

¹⁶⁵ Ivins, M. and L. Dubose, *Bushwacked*. 2003: Random House, Chapter 9.

¹⁶⁶ 大草原復元協議会（Great Plains Restoration Council）、バッファロー共有地計画（Buffalo Commons plan）、<http://www.gprc.org>

¹⁶⁷ Pimentel、同書、p. 155

¹⁶⁸ Pimentel、同書、p. 106

し出している。そして柵から逃げ出した養殖のがその地域の天然のを追い出していると言う学者もいる。屋内養殖場はこれらの問題をなくせる。小規模の土地から大きな量を生産できる。柵で閉じられた湖（海ではない）で中国では何千年の間魚の養殖をやってきた。しかし最近の高技術コンピューター化されたのはもっと生産性が高い。これらの工場は電気に頼ったエネルギー集約型工業だから常温核融合はコストを抑えることができる。

マサチューセッツ州の会社は0.5ヘクタールの施設で水槽に90万匹のシマスズキを育てている。この魚は池で育った養殖の魚、または天然のより健康で味が良い。水槽ではポンプが人工の川のように速い流れを作りだし魚は冷たい水を日に30キロメートルも泳ぐ。これで魚の味が良くなったし、魚にとっても静かな池より自然に近い流れの中の方が幸せだろう。普通の半分の日数、約9ヶ月で成長する。州の環境局によるとこの施設の使用後の水は飲料水の水質基準を満たす以上の質にして排水されている。¹⁶⁹

¹⁶⁹ Herring, H.B., *900,000 Striped Bass, and Not a Fishing Pole in Sight*, in *New York Times*. 1994.

17.自動車の未来

1. 断崖のそばに暮らす子供たち

未開の種族を訪ねるところと想像していただきたい。彼らが断崖のすぐそば、数メートル離れたところに小屋を建て住んでいるのを見つけるとする。時折、小さな子が遊んでいるうちに端に近寄りすぎて落ちて死んでしまう。見るに耐えられない状態だ。どうして人々は小屋を200メートル後ろに下がった所に建てなかったのか？ 子供を危機から遠ざけるためにどうして柵や壁を作らなかったか？ ひどいことだ。これらの人々は未開で野蛮人で、子供の命を大切にしていないと思うだろう。

さあ、アメリカ、日本、ヨーロッパのどの都市へでも行ってみよう。そして周りを見てみよう。数え切れない子供が時速80キロでビューと暴走する交通の激しい通りのそばに住んでいる。たびたび子供がボールや犬を追って道へと走り出る。学校へ行くのに通りを渡る時、両側を見るのを忘れ、車に轢かれてしまう。毎年、何千人の子供が殺され大怪我をしているのに私たちは防ぐのにわずかな努力しかしていない。¹⁷⁰ 未来の人はこの事を容認している我々を野蛮人とみなすだろう。我々は無慈悲で人でなしだと言うだろう。どの両親も子供の死を嘆くが子供が崖から落ちるのをほっておいた未開人のように我々も何ができるかと考える力に欠けている。事故死を防ぐ簡単な安上がりのやりかた、通りの周りに柵を作るとか、速度制限するなどの手段を講じていない。もし歩行者の柵がないなら住宅地の周りでは時速20キロメートルからせいぜい30キロメートル以上の速度で走るのを許すべきではない。それは人が走るスピードであり、馬や自転車の速度だから、運転手の反射神経によって、道に出ている歩行者を見たら十分にブレーキをかける余裕がある。また、この速度で事故が防げなかった場合でも、速度を落としているからはねられる歩行者は怪我をしても致命的ではないだろう。もし時速10キロメートルの車に轢かれても、人は跳ね飛ばされるが殺されるのはまれだ。¹⁷¹

自動車事故は黒死病、産業革命のころの鉱山や工場、近代戦争に匹敵するほどの死傷者を出している。まるで大虐殺である。車は主に第三世界で年間に120万の死者、3,880万の負傷者を出している。下記の20世紀の最悪の大惨事に並ぶ：

第二次世界大戦死者 5,000 万人

1918年インフルエンザ流行のよる死者 2,000 ~ 4,000 万人

第一次世界大戦死者 900 万人

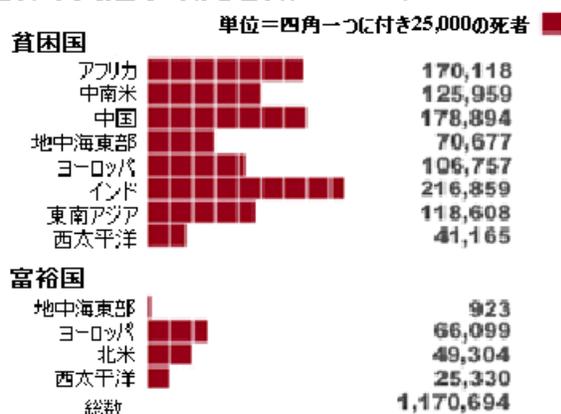
20世紀自動車事故総数死者 3,000 ~ 5,000 万人

¹⁷⁰ 英国の児童事故防止対策公益信託 (Child Accident Prevention Trust) のデータ表、<http://www.capt.org.uk/pdfs/factsheet%20road%20accidents.pdf>、によると、「2002年にイギリスの道路では16歳未満の子供の死傷者は36,000人にのぼる。」

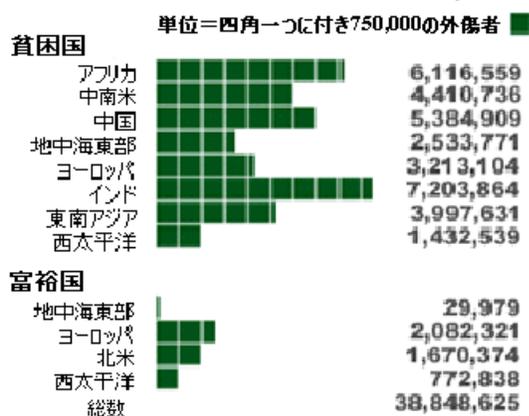
¹⁷¹ 英国の児童事故防止対策公益信託によると「研究によると40マイル(64km)の速度で走っている車にはねられた歩行者は85%殺されるが、30マイル(48km)ではこの割合は45%に落ち、20マイル(32km)では5%となって、またこの速度だと歩行者の30%はまったく怪我しない。」

車の公害は事故と同じくらいの死傷者を出しているか、それ以上かもしれないが、はっきりした数を知るのは難しい。富んだ国では車検も道路も整備されていて、事故も少なく抑えられるが、事故より公害の方がたくさんの人を殺していると思われる。世界保健機関（WHO）は自動車事故で欧州連合内では4万5千人を、ヨーロッパ全土では12万人の死者を出す と推定している。さらに「ヨーロッパで年間約8万人の死は交通量による長期にわたる空気汚染のためだ」と世界保健機関では述べている。¹⁷² 「欧州連合では交通渋滞を含む運送によっておこされた環境と健康への悪影響のコストは2,600億ユーロにのぼっていると推定される。」常温核融合は早急にこの公害を終わらせることができる。

世界の交通事故死者数 1998年



世界の交通事故外傷者数 1998年



SOURCE: WORLD HEALTH ORGANIZATION WHO/ISCP/1998.11

図 17.1. 1998 年の交通事故死傷者数、世界保健機関、*Injury: A Leading Cause of the Global Burden of Disease*

¹⁷² *Averting The Three Outriders Of The Transport Apocalypse: Road Accidents, Air And Noise Pollution*, Press Release WHO/57, 31 July 1998, <http://www.who.int/inf-pr-1998/en/pr98-57.html>

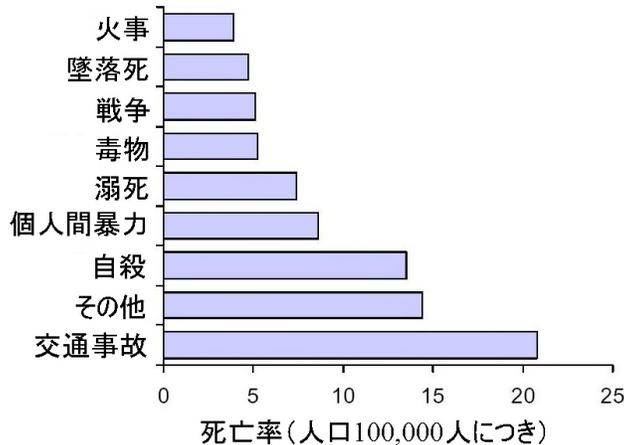


図 17.2. 原因別の負傷による死亡率、2000 年、世界保健機関、The Injury Chart Book, <http://whqlibdoc.who.int/publications/924156220X.pdf>。世界中の交通事故の死亡率は他の原因より高い。

自動車の改良は飲料水や食物や教育と同様に緊急に優先すべき事項だ。常温核融合は車をもっと安全にする鍵だ。それとともに便利ど使いやすく音も静かで、速く走る。

第三世界では、事故は第一世界で減らしたのと同じ方法で減らすことができる。従来の良質の道路と安全柵を設け、速度制限を下げる。その間に、第一世界はもっと急進的な解決へ向かって常温核融合を使うことができる。新しい車と道を開発したら、それを貧しい国々へ輸出できる。

子供たちを道のそばに住まわせ、汚染された空気を吸わせ、汚れた水を飲ませているのは子供への虐待と考えられる。すぐやめなければならない。ずっとそれに耐えてきたから、この怖さに私たちは無神経になってきている。この問題を解決する方向に向けての第一歩はこれが問題だと認めること、そして、何とかしなければと思い始め、解決策を探し始めることだ。

他のたくさんの技術上の問題は交通事故死や水質汚染ほど悲惨ではないが、やはり人生をみじめなものにしている。何十年も前に修復すべきだった。交通渋滞は人々の時間を無駄にしている。交通上の騒音、芝刈り機や工事現場の機械の騒音は大きな健康障害を起こしている。大都市のネオンサインやまぶしすぎる街灯の光は眠りを妨げ、夜空を楽しむことを不可能にしている。¹⁷³ 問題によってはそうする必要があって、逃げられないものだ。たとえば人は職場に行かなければならない。だから交通渋滞や公害は苦しまなければならぬ。しかし夜のまぶしすぎる照明は電力会社の株主しか恩恵を受けていない。うるさい芝刈り機からは何も恩恵はない。それどころか、人々が嫌がるイライラさせられる機械は持ち主にとって余計に金がかかる。そんな機械はだいたい設計がまずいか、ちゃんと手入れされていないからだ。

¹⁷³ 星空を守る会 (International Dark-Sky Association) 、<http://www.darksky.org/>、日本セクション：<http://www2a.biglobe.ne.jp/~wakaba/index.htm>

2. 自動車のデザインを再考案する

明らかに、常温核融合は記録的なインパクトがある。つまりガソリンに取って代わる。第2章で述べたことを繰り返して言うが、1キログラムの重水は150万キログラムの石油ほどのエネルギーを出し、そして未来では100ドル以下になるだろう。

最初の常温核融合のモデルは多分今日の車のようだろう。今のアメリカの高価な中型車のように大きくて重いだろう。軽く作る理由はない。アメリカでは消費者は重い車を好む。というのは運転が楽で、中が静かで、小型車より事故の時安全だ。¹⁷⁴

常温核融合は自動車のデザインを根本的に考え直す機会を与える。従来 of 車の構造と内部の機械をたくさん取り除いても良い。公害防止装置や省エネの潤滑油ポンプと冷房装置は要らないし、燃料タンク、換気、消音器も必要ない。空気の抵抗を少なくするための流線型の照灯のカバーなどは高価だから捨ててしまおう。しかし全体の車体を空気抵抗の少ない形にするのは運転しやすく安全だから、今の車の型を残すべきだ。燃費のよさと公害を出さないための研究は高い費用がかかるのでやめてしまう。車はリサイクルしやすい鉄の車体となる。これらの改造によって、常温核融合の車をガソリン車より安く生産できるようになる。

最初のモデルは蒸気タービンと電気モーターの二種類の動力源を適宜に使うハイブリッド車だろう。トヨタとホンダが販売しているガソリンエンジンと電気モーターのハイブリッド車と似たものになる。蒸気は外へ排気しない。凝縮され再び使われる。時代物の蒸気自動車は不便だった。ボイラーが冷たい時には火をつけてから30分待たなければ車は動かなかった。常温核融合も起動が遅いようだが、これは現在の実験のやり方によるだけかもしれない。車を起動させてから、常温核融合のエンジンが最大の力に達するまで20分かかるとしよう。ハイブリッド車だからしばらく電池に頼って走れば問題はない。¹⁷⁵ それにボイラーは断熱材に包まれ、水を温かく保つのでモーターはすぐ起動できて、また事故の際人をやけどから守る。真冬でも暖かい。というのは常温核融合では完全にエンジンを止めてしまわなくていいからだ。すぐ起動できるように、半停止状態で置いておく。スタート・ボタンを押して、アクセルを踏むと車は電池の力で動き出す。同時に常温核融合のセルはできるだけ迅速に高温に達する。タービンが回り始め、電池を再充電させる。車を駐車しても、タービンはしばらく回り続けて、電池が完全に充電されるまでそのままにしておく。そしてまた半停止状態に戻る。

蒸気タービンは常温核融合の車、トラック、土木機械などの重機を安価で信頼性の良いものにして、騒音もなくする。熱電池がよりよくなればタービンと取り替えて、作動部分を少なくし機械はさらに静かで簡単になる。

車には電子冷却のエアコンと暖房が付き、駐車している時も点けっぱなしにするだろう。ミニバン用の冷蔵庫のようなエネルギーをたくさん使う器具を取り付ける。

¹⁷⁴ National Highway Transportation Safety Administration, <http://www.nhtsa.dot.gov/>

¹⁷⁵ 今日のガソリン・ハイブリッド車の電池では1キロメートルぐらいしか走れないが、近い将来に電力から充電できる「プラグ・イン・ハイブリッド車」が発売される予定だ。

常温核融合の車の大きなセールスポイントは環境にやさしいということだ。ほとんど公害を起こさない。ブレーキパッドとタイヤのゴムは磨り減って空中の粉塵の公害となるし、潤滑油は道路に落ちるがこれらは現在のガソリン車の空気汚染と比べると些細な問題だ。現在のところアメリカではハイブリッド車は製造するのが間に合わないほど飛ぶように売れている。流行先端に行く人たちや時流に敏感な人たちは環境問題にいかに関心を持っているか見せたいのだろう。ホンダのハイブリッド車は普通のシビックのような型のせいか、まあまあだが、トヨタのプリウスは6ヶ月の予約待ちだ。なぜならプリウスは未来を先取りした型とコンピューター化したダッシュボード、そして時速15キロメートル以下のスピードで走ると電気操作になってささやくように静かに進むからだと思う。ホンダは低速度でも普通のガソリン車と同じような音をたてる。最初の常温核融合の車は内部はブレーキや変速機は今のと同じにしても外見は未来風なものにした方が売れると思う。

3. 交通手段の改良

未来において車の通勤は今ほどはなく、通勤距離も短くなることを私は願う。通勤する代わりに家の近くの支社でテレビ電話とコンピューター通信で本社と連絡を取って仕事ができれば良い。「本社」そのものもなくなるかもしれない。大きな会社は千人も社員がいるかもしれないが、都市のあちこち、または大陸か地球のあちこちに散らばった小さいオフィスを集め、大型画面のテレビ電話でつなぐ。改良した航空輸送が都市間の旅行と長距離トラックの輸送に取って代わるのを見たいものだ。しかしながら、看護師、教師、調理師、研究者といった職は実際にその場にいななければならない。車は次の何世紀かは主な交通手段として残るだろう。それを踏まえて、自動車と道路とが共にどんな思いがけない大きな発達をするか想像してみよう。

公害をなくするだけでなく、自動車がもたらすさまざまな技術問題と社会問題を考えよう：事故、騒音、不便さ、都市のドーナツ現象などの問題だ。町を離れると心地良い田舎の細道があるべき所に騒がしい高速道路があって、鹿や他の野生動物とぶつかる危険もある。だだっ広い道路舗装は環境の大惨事をもたらしている。自動車が運転できなくなって孤立している老人などの社会問題もある。

これらの問題を減らそうといろいろな基本構想が提案されたが、それらは中途半端で現実的でなく満足いくものではなかった。費用がかかりすぎる。もっと公共交通機関を増やせば良いと言うが、それは21世紀の問題に19世紀の解決策を出しているようなものだ。公共交通機関は日本ではうまくいっているが、アメリカの人口密度の低い郊外では使えない。アメリカ人が車を捨て自転車に乗ってまたは歩いて仕事に行くと思うだろうか？ または郊外に住むのをやめるとでも？ もしこれが最良の解決策なら、あきらめて次の何千年もみじめな交通渋滞の中で我慢するしかない。我々が必要なのは革命的な新しい大胆な解決策だ。と同時に、車もたらす便利さと自由も捨てないで残す。常温核融合と掘削技術とコンピューターの発達で私たちは主要道路と高速道路を地下に走らせることができる。そして、自動車はその名の通り人が運転しなくても自動的に動くようにできる。

運転手のいない車や地下の道路は単なる夢物語ではなく、現実になりつつある。カメラとレーダーで自動的に一定の車間距離を保つというシステムはすでにトヨタが研究し、試運転をしている様子がテレビのニュースで放送された。¹⁷⁶ ボストン市ではの中心地にあった高速道路を地下に埋め5.6キロメートルのトンネルにした。そして飛行場までの新しいトンネルと橋をつないで、町を活性化させた。2006年に東京都は日本橋の景観を取り戻すために、上を通っている高速をすべて地下にもぐらせる計画を発表した。「お江戸日本橋七つ橋」と歌われた川と橋の美しい日本橋付近が楽しめるようにビルの高さも制限される計画だ。

これは現実的ではないと思われるかもしれないが、地下の高速は旅の速度を二倍あるいは三倍に上げることができる。そしてほぼすべての事故を防げる。スピードを倍に上げ、世界中で100万人の死と350万人の重傷者を防ぎ、アメリカだけで2,300億ドルの病院費用を節約するシステムは現実的でないどころか、必然的にやってくると言える。¹⁷⁷ 私たちはどうして今のやり方で我慢していなければならないのか？ 最も良い方法を見つけるのだ。私たちの祖先は帆船や馬車でほこり道に行くのに満足しなかった。彼らは蒸気船を作り自動車を作った。巨大な発展だ。我々も同じような大きな前進を遂げる時だ。新しいシステムでより良い、より安全になると分かったら現状に満足しているべきではない。新しい技術がもたらす最良なものを地球上のすべての人たちは手にして当然だ。

常温核融合の自動車トンネルは設計者にとって今日のより作りやすい。なぜなら換気はそれほどたいした問題ではない。運転手は新鮮な空気が要るが、車は石油を燃やすのではないので、空気は要らない。つまり、現在の電気地下鉄の換気と同じ装置と同じ容量で良い。ガソリン車は危険なので禁止される。ガソリン車は事故の場合に爆発することがあるが常温核融合の車は大きい事故のあとで少々くすぶるだろうが爆発はしない。トンネルの道路の状況は常に最適である。下水道や電話線を修理するために道路を掘り起こすことはない。これらは地下トンネルの別の個所に設置されているので修理のため交通を止めることはない。トンネルにはテレビ、ラジオ、携帯のためのアンテナがある。トンネルの中は車がないと薄暗いが車が近づくと自動的に街灯がともり明るくなる。交通整理のコンピューターのために監視カメラと感知器がある。悪天候から守られ、車も公害を出さないで、この高技術のカメラなどは今日の地上の道路よりもっと長持ちする。車がトンネルに入ったら自動的に制御される。空港内の地下鉄と同じく人間の操縦者のいない横に進むエレベーターのようなものだ。トンネルの厳しく管理された環境では歩行者、動物、落下した枝、他の人間の運転手もいないから、現在のコンピューター技術でさえ車を自動化できる。

都会の住宅地では人々は地上の道を運転するか、店や学校へ行く時や夕方の散歩は歩道を歩く。遠くへ出かける場合は時速30キロメートル以下で地上道路を運転し、地下

¹⁷⁶ NHK、7時のニュース、2006年8月。トヨタ自動車ニュース・リリース

http://www.toyota.co.jp/news/06/Aug/nt06_041.html

¹⁷⁷ 幹線道路交通安全局によると、米国では自動車事故の被害は年間2300億ドルかかり、「米国に滞在しているすべての人の一人当たり平均820ドル」となる。

<http://www.nhtsa.dot.gov/nhtsa/announce/press/pressdisplay.cfm?year=2002&filename=pr38-02.htm>

道のトンネルの入り口まで行く。（車は運転手操作ではいくらアクセルを踏んでもコンピューターが制御しているから、時速 30 キロメートル以上では走らない。）入り口は地下の駐車場と同じように狭くて急だ。門があって、普段閉じている。子供や動物が入って来ないようにカメラとロボットに監視されている。自動装置は車がやってくるのを感知してぱっと門を開ける。トンネルに入ったらハンドルはダッシュボードに引っ込み自動運転装置のコンピューターが引継ぎ車を制御する。乗っている人は目的地の一番近い出口へ着くまで新聞を読んだり、昼寝をしたりする。

地下道は三次元交差なので、車は止まらずに進む。今日の高速の交差点のように、二つの道路が交わる時に一つはもう一つの下をくぐる。多分今の道より車線が少なくなるが、信号もないので早く行ける。入り口から入ってくる車が合流したり、出口が渋滞している時には時折交通が遅くなったり、止まったりするが、スピード操作は全部自動で交通管理コンピューターがやってくれる。車線が開くと全速力で再び止まらずに流れる。現在の信号は交差点で車が来いようがいまいが止まらせ、車がいなくなっても、数秒そのまま待たせるので無駄が多い。

市内の入り口から出口までの移動時間のスピードは速度 60 キロメートルだろう。大都市間の地下の高速道路は時速 250 キロメートルにもなりえる。しかし、こんな狭いトンネルでそんな急速なスピードでは慣れないと恐ろしい。これは全自動だからできるのであって、明らかに、人間が運転できる状況ではない。反射神経はそんなにすばやく働かない。一瞬の気をとられる事が大惨事を起こす。今日の高速のスピードでさえ、狭い出入道路から混んでいる主車線に合流するのは怖い思いをする。

トンネルの道は狭い路肩があればいい。すべての車とトラックは同じ速度で、同じ間隔で走る。運転手操作で走るよりもっと間隔を縮めて安全に走れる。鉄道のように互いに連結して走ることさえできる。アメリカの運輸省は連結した「高速道路の列車」を試してみた。これらは普通の車道に埋め込まれた磁石案内センサーによって自動運転する。¹⁷⁸ 道路の列車は運転手操作のない、清潔で邪魔されない地下の道では実施するのが簡単だ。車間の距離を取らないから、交通密度は三倍となりうる。中央の交通管理コンピューターは同じ目的地へ向かう車をグループにまとめて、列車を構成する。列車が出口に近付くと、車何台かは離れて出て行き、他のが列車に加わる。この再構成の間、ゆっくり行くか、または短期間止まることにする。

人間の運転手はいないので、車どうしが完全に協力し合う。無謀な運転や交通規則違反もない。無線ネットワークで車は周りの車と常に互いに情報を交換しているから、周りの車の行き先と計画を知っている。中央コンピューターは必要に応じて一般の命令を出す。もし事故があれば、7、8 キロメートル後ろにあるすべての車に即時に緊急の知らせが届いて、ブレーキをかけて止まるように命じる。すべて同じ速度で進んでいるので交通密度と状況を判断して安全圏内の最高速度で走る。追い越ししたり、車線を変更

¹⁷⁸ Bryant, B., Actual Hands-Off Steering: and Other Wonders of the Modern World. 1997, Federal Highway Administration, <http://www.tfhr.gov/pubrds/pr97-12/p32.htm> この技法はエネルギー節約もする：「車両はまとまって一団で運転して、車間は車の長さの約半分の場合に空力抵抗が劇的に減って、燃料節約と排出削減が 20%から 25%までである。」でも、常温核融合ではエネルギー節約はしなくても良い。

したり、慌てて外の車線から急に出口へ向かうとする危険はない。もし中央コンピューターが列車を外車線へ移動させようとしたら、周りの列車や個々につながっていない車に速度を落とし、入り込める場所を開けるように命令を出す。

これらの自動制御装置が完成すると、だんだん信頼性が高まり安価になって、コンピューターのソフトウェアも天候状態や、道路へさまよい出た動物など、地上高速の危機に対応するのに十分なほど発展するかもしれない。まだ残っている地上高速道路も改良部品を組み込み自動制御に換えて交通量と速度を上げることができるかもしれない。技術の進展は場合によって競争相手の廃れかかっている技術を引き伸ばすことがある。前にも述べたが、電力会社は、電力配電回路網などを数十年長く生かすために中央の常温核融合の発電機を使うかもしれない。古い高速道路は最後の運転手操作の車がなくなったら新しく直せば良い。しかし運転手操作と全自動の車を同じ道で走らせるのは良い考えではないだろう。いずれにせよ、運転手操作と全自動が重なるのはせいぜい10年から20年くらいの間だ。車はどうせ数年で消耗して買い換えなければならないし、全自動車が二倍早く、一万倍も事故が少ないと分かったら、運転手操作の車を買う人はいない。

トンネル内ではすべての車とトラックの窓とドアは完全に閉じられ、緊急時のほかは開かない。トラックの荷物は全部閉じられた分室に安全に積まれる。後部の開いたトラック、バタバタとなびく布でおおった荷物、ほこりやじりを撒き散らしていくトラック、かごに入れられたニワトリ、後ろの車の窓に汚水をかけていくゴミ収集車などは決して時速250キロメートルでは走れない。屋根にいい加減に家具をひもでくくった車を発見したら、入り口のロボットはトンネルの門を開けない。高速道路で吹き飛ばされて落ちてしまうからだ。乗っている人が座席ベルトを閉めていない時もロボットは門を開けてくれない。もし、トンネル走行中に座席ベルトをはずしたら車は警告を発し警官に通報する。ダッシュボードの画面に憤った警官が映り車が次の出口で外へ出され、パトカーが規則違反の用紙を用意して待っている。多分「大きなお世話だ。でしゃばりすぎだ」と思うかもしれない。私もやりすぎだと思う。しかし、時速250キロメートルで連なって列車式に走る車を安全に操作するにはこれしかない。極端な状況なのだ。良い側面もある。もし運転中に心臓麻痺がおこったら、警官にすぐ連絡をする。緊急医療サービスがすぐ画面に現れ安心させる。道を開けるために他の車はよけ、最寄りの病院の近くの出口まで自動的に運ばれる。救急車と共に医療チームが出口で待っている。

トンネルの長旅は見る物もなく、することもないから退屈だ。車は全自動だから、車内娯楽が発達する。窓はLCD液晶画面となり、車の中を明るくしながら、窓を不透明にしてプライバシーを守る。スクリーンセイバーのように見せ掛けの画面を出して、車が津波の上を波乗りしたり、溪流でカヌーで下ったりするのを選ぶこともできる。車は周りを保護してあり、エンジン音は静かで、道も滑らかだから、車のゆれは少ない。真夏の夕べにケンブリッジ川を下る小船でくつろぐ場面の方がふさわしいかもしれない。それともベニスのゴンドラとか宇宙へ向かっているつもりで周りに星座いっぱい場面を選ぶ。

自動車は地下鉄の車両や飛行機を思い起こさせる。それらはすべて同じ型、大きさ、高速運転ができ、中央コントロールの元ですばやく反応する。現在の車よりもっと嚴格

な技術基準を満たさなければならないし、安全保障のためにたびたび車検を受けなければならない。

今日のほとんどの事故は運転者のミスか無謀運転が原因で、機械の故障や道の悪さではない。重大事故はほとんどは時速 30 キロメートル以上の速度を出している時に起こる。地上の道では時速 30 キロメートル以下の速さの運転手操作、そして高速では全自動にすれば、大事故はまれになる。世界の死者は 120 万人から数千人へと減るだろう。制御コンピューターと探知機が発達すれば事故は今日の民間航空機の事故のように珍しいものとなり、新聞の第一面に載るだろう。

交通渋滞は事故によるものが多いから、普段のラッシュアワー以外は遅れは少なくなるだろう。ラッシュアワーそのものは予測でき、計画的に中央コンピューターで監視して、制御できる。時間帯あるいは場所により自動的に通行料をとれば渋滞はかなり減らせる。（石油の税金の代わりに通行料や走行距離による税金が必要となってくる。）ラッシュアワーに高速の入り口に近づくと交通管制コンピューターから、ビデオ電話で情報が送られてくる：「西部線は 15 分待ちです。代替りの道としてウィスコンシン通りをお使いいただけます。または午前 8:46 にこの入り口を予約できます。通行料は午前 7:00 から午前 9:00 までラッシュアワー料金増しとなっております。ご注意ください。」入り口予約をしたら、コンピューターから、近くへ駐車して待つよう指示が出る。入り口に入る 2 分前に知らせるための秒読みが表示される。

雪や嵐はトンネルの中の交通渋滞はほとんど招かないが、出口付近ではつかえるだろう。運転者は地上に出るのを渋る。地上に出ないで、家やオフィスの下の地下駐車場から地下の道へ直接行くかもしれない。

もし 10 章で述べた鳥の脳程度のコンピューターが開発できたら、自動車は地下と同じく地上でも全自動で運転可能となる。人は自分で運転することはない。ただ車に乗り、コンピューターに行き先を告げる。そして車がゆっくりと近所を通りぬけて地下に入り、時速 250 キロメートルで急カーブを疾走している間、リラックスしてすごせる。

こうした全自動の車は今まで運転できなかった人々に大きな恩恵をもたらす。今日の車が運転できない人たち、子供、盲人、弱い人、老人などが自分で乗れるようになる。現在、車が大人の健常者に与えている自由、独立性、移動性を社会のありとあらゆる人に与える。地下道ではすでに大きい事故はなくなっているはずだが、鳥の脳コンピューターが全部の運転を引き継ぐとまだ残っている事故はやっとなくなるだろう。ついに酔っ払い運転、無謀運転、神風タクシー、高速にのるのにびくびくしてうまくできない臆病な人、道に迷って道しるべを探している人、子供に運転の邪魔をされた親、携帯電話でしゃべっているばか者による事故をやっと取り除くことができる。

全自動の乗り物はトラック運転手やタクシー運転手や飛行機のパイロットなど、輸送部門の仕事をほとんどなくするだろう。

全自動の賢い乗り物に乗ることは読者が思っているほど目新しいことではない。大昔から人はこれをやっている。疲れた農夫は道をよく知っている馬の背に半分眠りながら揺られて帰っていくではないか。

人はもうトラックの荷台に乗ったり、座席ベルトなしで乗ったりはできない。地下道の事故はまれで、ガソリンが燃え上がる爆発はないが、座席ベルトなしでは時速 250 キロメートルの衝突の生存者はないだろう。多分小さい飛行機とジェットコースターで使っている両側の肩を抑える四点拘束ベルトになるだろう。(20 世紀の運転者にとって、この車は何よりも遊園地の乗り物を思い起こさせるだろう。) ヘルメットも必要かもしれない。ペットや品物も安全にしまわれる。もし衝突でいきなり止まって、後ろの座席から桃の缶詰が速度 250 キロメートルの勢いで飛んできたら、致命的打撃を与えることはありえる。さっき述べたように、これは極端な状態なのだ。しかし、設計者はどうすればいいか知っている。レースカーはこの速度で走るし、しょっちゅう衝突する。運転手のキャビン以外の車体は破壊して衝撃を吸収するようになっている。小型飛行機の事故では羽翼や外回りは衝撃で粉々に砕けるが乗客室の部分だけが残って滑走路を転がっている。そして乗客は怪我もなく歩いて出ていけるのだ。

危険な化学品や爆発物は地下道には持ち込めない。それらはゆっくりと走る地上道やパイプライン、やがてロボット・パイロットの操縦する飛行機で運ばれる。テロ行為や犯罪防止のために入り口のロボットは爆発物やか禁制品がないか自動車を点検しなければならぬ。

私は自動車は真に全自動である、規制され統一されるべきだと前にも提案したが、読者の何人かは自由がなくなると文句を言った。人は運転を楽しむ。自己表現だと考える。どの車も皆同じになるのは望まない。車の型を選ぶことによって個性を出したい。車のボンネットをあけて自分で弄って、自分で修理したい。しかし素人機械工が通常的に時速 250 キロメートルで走る車を手直しするのが許されるとは考えられない。ボーイング 747 機のタイヤを素人に取り替えさせるのを許すようなものだ。けれども、道のいくらかは自動車を楽しみ趣味として運転する人のために残したい。彼らはそうする権利がある。自転車に乗ったり、デラウェア川で泳いだり、カヌー下りするように、そしてハンググライダー乗りなど危険なスポーツのように。しかしながら、高速道路は人々に心理的満足を与えるためのものではない。公共の交通機関だ。エレベーターと変わりはない。全自動車と地下道は利点が多いから通勤者の多くはこの方を好む。それが生活をもっと規制し、おもしろ味に欠けるとしても。

ほとんどの地上高速道路が廃棄された時には何百万ヘクタールもの土地が他の目的に使用できるようになる。ガソリン自動車への懐かしさから有名な高速道路は国立公園として残しておくのが良いかもしれない。趣味として数万台のガソリン車が走っても測定できるほど公害にはならないし、運転して事故を起こす確立は低いから被害はない。景色の良いバージニア州のスカイライン・ドライブやカリフォルニア州の国道 1 号線は運転手操作、バイク、自転車用にやはり残すべきだ。新しいニュージャージー州立有料高速道路が今の道の 50 メートル下に 16 車線の自動地下道として開通すれば、古い高速を 100 キロメートルほど博物館にすれば良い。ガソリン車を運転し 21 世紀初頭のガソリンスタンドやファーストフードのレストラン、この時代の制服を着た高速パトロールの警官などがそこにいる。

都市間を高速道路で行き来する代わりにテレビ電話通信で済ませたり、航空機を利用する方が良い。または時速 500 ~ 1,000 キロメートルで走るリニアモーターカー (磁気

浮上列車)に。これは特別な線路を走行する。地下トンネルを出入りする普通の個々の車輪を持つ乗用車とは別のものだ。個人用の磁気浮上の車もありえるかもしれないが、考えにくい。トンネルの外、住宅地などに磁気浮上の線路を作って、誰でも自分の個人用の磁気浮上車を家の前か近くの駐車場に停めることもできるかもしれないが、これはあらゆる所に路面電車の線路を作るような感じで、不恰好で高価だ。線路のない道を走するために引き込み式の車輪をつける手もある。

磁気浮上の列車は車輪がないので早く走る。車輪は自動車の速度と操縦性の制限要因となる。ホバークラフトのように車輪のない乗り物もある。設計者は車がモノレールのようなぶら下がる線路の個人向けの風変わりな車も提案している。これらは騒音がうるさく操作が難しいので、実用的でないと思う。もし、未来において自動車を何かと取り替えるなら、次章で述べる個人用の航空機だと思う。

18. 未来の飛行機、宇宙船、個人用の飛行機

常温核融合に加えて宇宙航空技術と航空管理技術の進歩によって今までになかったタイプの飛行機が二種類できる。数千人の乗客や数百トンの貨物を運ぶことのできる大型のものと、反対に従来のより小さい、二人乗りの個人用のものだ。

1. 飛行機

飛行機とヘリコプターでは航続距離の制限はなくなる。それに燃料を節約して最大距離を飛ぶための巡航速度は全く必要ない。いつでも最高速度で飛べる。高精度のジェット機とラムジェット機の航続距離は無限になる。パイロットの食料さえあれば一ヶ月続けて音速の数倍で飛行できる。

現在の飛行機には互いに関連している問題が二つある：積荷容積量が小さいことと、始終飛んでいなければ墜落するということだ。ジャンボジェット機は500人搭乗できる。ボーイング社もエアバス社も1000人搭乗の飛行機を検討しているがこれは実用限界に近いだろう。従来の飛行機がこれ以上乗客を運べない理由は二番目の問題に基づく。速度はあまり落とせない、まして止まって空中静止できないから、長い滑走路が必要だし、安全のために別の飛行機から数キロメートル離れて飛ばなければならない。飛行機が大きければ大きいほど滑走路を長くしなければならぬし、すごい勢いで着陸する時滑走路の路面と着陸装置の摩滅が大きくなる。空港はすでに土地をたくさん使用しているから、都市のそばにある今の滑走路を二倍長くするという提案は可決されないと思う。

一千人も乗れる飛行機は大きく感じるけれど、鉄道と船の基準を考えれば大したことではない。1858年に進水した客船、グレート・イースタン号は飛行機では到底考えられないだっ広い豪華な船内に四千人の旅客を乗せた。または一万人の兵隊をぎゅうぎゅう詰めに乗せることができた。

理想的なのはヘリコプターのように穏やかに空中静止でき、垂直線に降りてきて長い滑走路を使わないで搭乗ゲートの近くに着陸できる巨大な飛行機だ。飛行機がゆっくり降りると同時に多数のタイヤがそりが路面にそっと当たるから、着陸装置にも地面のコンクリートにも負担がかからない。

航空交通が混む場合には空中静止できる飛行機はゆっくり飛んで、目的地の飛行場のずっと上空で他の飛行機のそばに止まって待つこともできる。ちょうど赤信号を待つ車のように。今の飛行機のように滑走路が開くまで猛スピードで空を周回する必要はない。これだと航空管制官の仕事をやりやすくする。分散化した多数の空港ができるので航空交通の問題が少なくなる。運送トラックぐらいの飛行機が直接工場やデパートの屋上に降りて材料と貨物を直送する。大きい空港に集中することはないので、交通の渋滞は起こらない。

空中静止できる航空機は四種類ある：

1. ヘリコプター。未来のヘリコプターは現代のより大きく早くなるとは考えられない。常温核融合は助けにならない。制限要因はエネルギー源ではなくて回転翼の材料強度と大きさである。
2. ホバークラフト。水面または地面に空気を吹きつけその圧力で浮く。
3. 飛行船。風船型かつゼッペリン型飛行船。
4. 垂直離着陸機 (VTOL)。ヘリコプターに似ているけれど回転翼の変わりにジェット・エンジンを利用する。

大型ホバークラフトは数十年間、主にイギリス海峡で連絡船として使われた。めざましい商業上の成功は収められなかった。というのは燃料を使いすぎたからだ。常温核融合では燃料は問題にならない。やがて英仏海峡トンネルができ、さらにいわゆる「高速船」の双胴船と競争できなかつたから、2000年までに段階的に廃止された。しかしホバークラフトには普通の船や飛行機、まして高速船を上回る本質的な利点がある。普通の船よりはるかに速い。悪天候や高波に左右されない。水面、氷、砂など、平らな表面なら渡ることができる。主に貨物用に、または人も乗船できるものとして大型外洋ホバークラフトが開発されるかもしれない。イギリス海峡を渡ったホバークラフトは、もしやろうと思えばロンドン、ニューヨーク間を二日で行けたはずである。より速いのも可能かもしれない。今日ではロンドンからニューヨークに貨物を航空便で送るのに二日かかる。小さな荷にわけ、飛行機の時間帯に合わせて載せるから時間がかかる。未来の巨大ホバークラフトは飛行機何台分もの荷を運ぶことができるだろう。従来のコンテナ船の港を使える。空港より多量の荷物をさばける。¹⁷⁹ 港の代わりに数キロメートル内陸に入った、新しい施設に行くこともできる。海岸から施設の間に広い平野があるとすると、平野を舗装しなくてもよく、高さ1メートル以上の物でなければ農産物、垣根、岩などがあっても大丈夫だ。ホバークラフトは次世代の高速船より良いと私は思っている。第一に、もうこれは存在している。操縦の経験豊かな人はたくさんいる。第二は、環境にやさしい。高速船は時速70キロメートルで走る時には水中翼船のように、高く波にのるので、クジラや他の大きな種類にぶつかって、殺してしまい、海洋生態を崩壊させる恐れがある。

ホバークラフトは軍隊によく使われる。というのは水上、砂、沼地、有刺鉄線、地雷原の上を1メートルかもっと高くやすやすと飛ぶからだ。アメリカ海軍は装甲した上陸用舟艇のホバークラフトをたくさん備えている。

巨大な固定された骨組みを持つ飛行船はゼッペリンと呼ばれる。常温核融合のは水素かヘリウムのガスの変わりに熱空気を使うか、熱空気とヘリウムを供用するかもしれない。未来の飛行船は何千トンもの荷物や原材料を大陸間輸送できる。飛行場は必要ない。広い場所さえあれば良い。鉱石を積み込む時には露天鉱の上空で地面の近くに浮かんでいけば良い。¹⁸⁰ 「反重力」の機械が可能なら話が違いますが、現在のあらゆる飛行できる乗り物のうち、飛行船は最も静かで壮観だと思う。水素を満たしたヒンデンブルグ

¹⁷⁹ 現在まで一番大きいホバークラフトの有料荷重は112トンで418人と60台の車を載せて、時速111キロメートルで走った。747機の有料荷重は140トンである。

¹⁸⁰ McFee, J., *The Deltoid Pumpkin Seed*. 1973: Farrar, Straus and Giroux.

号の飛行船は危険だったが熱空気とヘリウムのは安全だ。次第に開発され大きくなって、やがて「飛ぶ町」のようになるかもしれない。人はその中に住むかもしれない。現在、少数の引退した大金持ちが年中外洋船クィーン・エリザベス 2 世号に住んでいるように。

VTOL の飛行機は主に戦闘機のような、軍用用のもので開発されてきた。プロペラ推進もあるが、ヘリコプターとほぼ同じ大きさで速度はもっと出る。しかし危険なので商業的には成功していない。千キロメートル以上の旅行に必要なのは、19 世紀の蒸気船のように大勢の人が乗れる巨大な常温核融合のジェット推進の VTOL 超音速機である。4,000 人の乗客が席に着くと、VTOL は搭乗口からゆっくりと離れ、そして滑走路を使わないで一直線に空に上昇する。11,000 メートルの巡航高度に達すると、今度は目的地に向かってマッハ 3 (時速 3,572 キロメートル) で水平飛行する。到着する空港がもし混雑していたら、しばらく上空で静止して、搭乗口が空くまで待つ。そして緩やかに垂直に降りて、搭乗口まで進んで数十の出口から乗客を降ろす。

今日、ニューヨークから東京へ飛ぶのに 14 時間もかかるのでへとへとに疲れてしまう。超音速 VTOL 機では、3 時間 7 分かかる。今いる位置からちょうど地球の反対側に飛ぶのには 4 時間かかる。だから、機内娯楽や食事客も客室乗務員が枕を出して乗客を甘やかすことも過去のこととなる。現在の客室乗務員は緊急事態の際、客を安全に誘導するという大事な役割を果たす。この VTOL の飛行機ができる未来のころにはロボット客室乗務員は緊急対策において人間ほど上手になっているだろう。何が起こってもロボットは感情的になったりしない。何にせよ事故があったら、それは多分即時の大災害であって、人間の客室乗務員でも助けにならないだろう。人間の客室乗務員も犠牲になるだけだから、乗ってもらえない。もちろん、パイロットもロボット操縦に取り替えられる。

乗客は飛行中、席から立ったり、歩いたりしない方が良く、飛行時間が短いから、席以外のスペースはあまり必要ないだろう。しかし席そのものは今日のファースト・クラスのものと同じく、広くて、贅沢に作る。燃料効率を高めるため乗客をぎゅうぎゅう詰めにして場所を節約する必要はない。

大きい VTOL の航空運送機は高速道路の交通渋滞を緩和する。アメリカでは航空便を使う効果は既に出ている。次の日届く宅急便がはやっているが 長距離トラックの代わりに夜間の航空便を使っているのでトラックが少し減っている。常温核融合は航空輸送をずいぶん安価にする。VTOL の無人操縦飛行機で品物を工場から直接百貨店の屋上などに降ろして届ける。

VTOL 超音速機は、羽が小さいか、羽がない方が効果的かも知れない。揚力と制御は主にエンジンによって行われる。胴体は平で、ある程度羽の役割をする「揚力体」にする。近代の戦闘機はこのデザインである。

羽のある飛行機はエンジンが故障しても以外と遠くまで滑空できる。2001 年にエアバスのジャンボ機がエンジン故障の際、136 キロメートル滑空して無事着陸した。しかし、機体を空中に保つために揚力体とエンジンの力に頼る未来の VTOL 超音速機なら、エンジンがみんな止まったら、石みたいに落ちる。だからエンジンが不可欠なので、たくさんあった方が安全だ。二つほど故障しても残りのエンジンで普通に飛べるようにし

たら良い。¹⁸¹ VTOL 機にはエンジンが六つあればいいと思う。配置は自然に習い昆虫の足のよう、前に二つ、中部に二つ、後ろに二つにすれば良い。(図 18.1 参照) 離着陸の時、エンジンはまっすぐ下に向き、水平に進む時は少し向きを変え、飛行機を推進させる。この巨大なエンジンの向きを変えるのは不可能かも知れないが、それならエンジンの出口に操縦面をつける手がある。次世代の戦闘機にはこの技術を使っている。エンジンの向きを変えることができるなら、制御して平穏な飛行を保つためにすばやくエンジンを動かさなければならない。現在の飛行機は迅速に下げ翼(フラップ)を作動して制御する。巨大なネジとギアはとてつもない空気の抵抗力に逆らって下げ翼を動かす。未来の飛行機はネジの代わりに電氣的に作動する人工筋肉を使うかもしれない。第 10 章で記載した電気活性高分子はこのためには強度は十分ではないだろうが、圧電性物質などの他の種類を使えるかもしれない。

常温核融合は石油を燃焼するのとは比べて出力密度も温度もやや低いだろう。だから、常温核融合の飛行機のエンジンは多分石油エンジンより大きくて重いだろう。しかし、わずかな重水燃料しか使わないので、燃料タンクは要らないから、飛行機全体は軽くなる。ボーイング 747 機の機体の重さは 181 トンである。ニューヨークから日本まで飛ぶと、96 トンの燃料を燃やす。¹⁸² 安全のために予備燃料も 9.6 トン(10%) 搭載しなければならない。常温核融合は 96 トンの燃料と同じエネルギーを発生するために、重水 183 グラムを消費する。

常温核融合の航空宇宙のエンジンは少し想像し難い。しかし、従来の原子核分裂による飛行機用のエンジンは 1950 年代に開発されていて、その試作エンジンの一つは 120 時間運転された。C.ハミルトンはプログラムが最高潮に達した結果を次のように描写した：¹⁸³

ゼネラルエレクトリック社が開発した、直接サイクル研究プログラムは非常に優秀な結果を出した。直接サイクルのジェット・エンジンでは機関の気流は圧縮機を出てから迂回する。反応室に入って直接熱せられて、ダクト流によって機関のタービンの部分に戻される。1956 年にいわゆる「第一熱伝達の反応機実験」(HTRE-1) が行われて、地上試験で改質した J-47 系のタービン式噴射推進機は原子炉によって作動した。

このプログラムはもっと厳密な実験の段階 HTRE-2 と HTRE-3 にまで続いて、原子炉を使ってタービン式推進機をつかそれ以上起動する概念設計を確認したと言える。最後の HTRE-3 の形態ではタービン式推進機が二つ起動したし、飛行試験ではなかったが、装置は飛行機のエンジン室に入る大きさだった。

この開発プロジェクトは遮蔽の物質の重さと事故の危険さを考慮したゆえ中止された。最近また注目されている。ハミルトンは新しい企画によって 1,500°C で運転する原子力

¹⁸¹ 現在のジャンボ機はエンジンが四つあるが、飛行中に一つ止まっても大した事はなくて、乗客に知らせないでそのまま時間通りに到着する。

¹⁸² Boeing Company, <http://www.boeing.com/commercial/747family/index.html> 747 の長距離型は燃料容量は 174 トンである。

¹⁸³ Hamilton, C., *Design Study of Triggered Isomer Heat Exchanger-Combustion Hybrid Jet Engine For High Altitude Flight*. 2002, Air Force Institute of Technology: Wright-Patterson Air Force Base, Ohio.

かつ化学エンジンについて述べている。グロー放電の常温核融合ではこの温度まで達することができる。

飛行機用のエンジンのデザインは次のようにいろいろと想像できるが、どれも実用化できるかどうか分からない：

- 蒸気タービンで作動流体の蒸気は凝縮され再利用される。このデザインは重くて、比較的到低出力だが、遅いプロペラ機には良いかもしれない。同様にディーゼルエンジンも重くて低出力だが、第二次世界大戦でドイツ軍がディーゼルエンジンの高高度観測機に利用した。
- 酸素と水素の燃焼タービン。グロー放電のセルは多量の酸素と水素ガスを熱分解によって生産する。ガスはタービンの中で燃やせば、再結合して熱蒸気となつてはまたセルに戻る。ガスができ次第セルの出口のすぐそばで爆発的に燃焼するはずである。これは無論危険だが、まだ分解していないままセルに残る水は安全である。再結合して熱蒸気を取り込むのは無理かもしれない。そうなったら、飛行機は作動流体に使う水 250 トンを搭載しなければならないし、航続距離は運べる水の量によって制限される。現在の飛行機は 96 トンのジェット燃料を搭載するが、言うまでもなく水の方はこれより安全だ。
- 低速度飛行のために蒸気か酸素と水素のタービンとそして、高速飛行にラムジェット。「ラムジェット」とは周りの空気を作動流体として使う仕組みだが、中に高熱元が必要である。NASA が最近試したラムジェットは水素を利用した。常温核融合では水素を積載された水から発生できる。

航空宇宙学の技術者はきっと実用的な方法を発明するだろう。

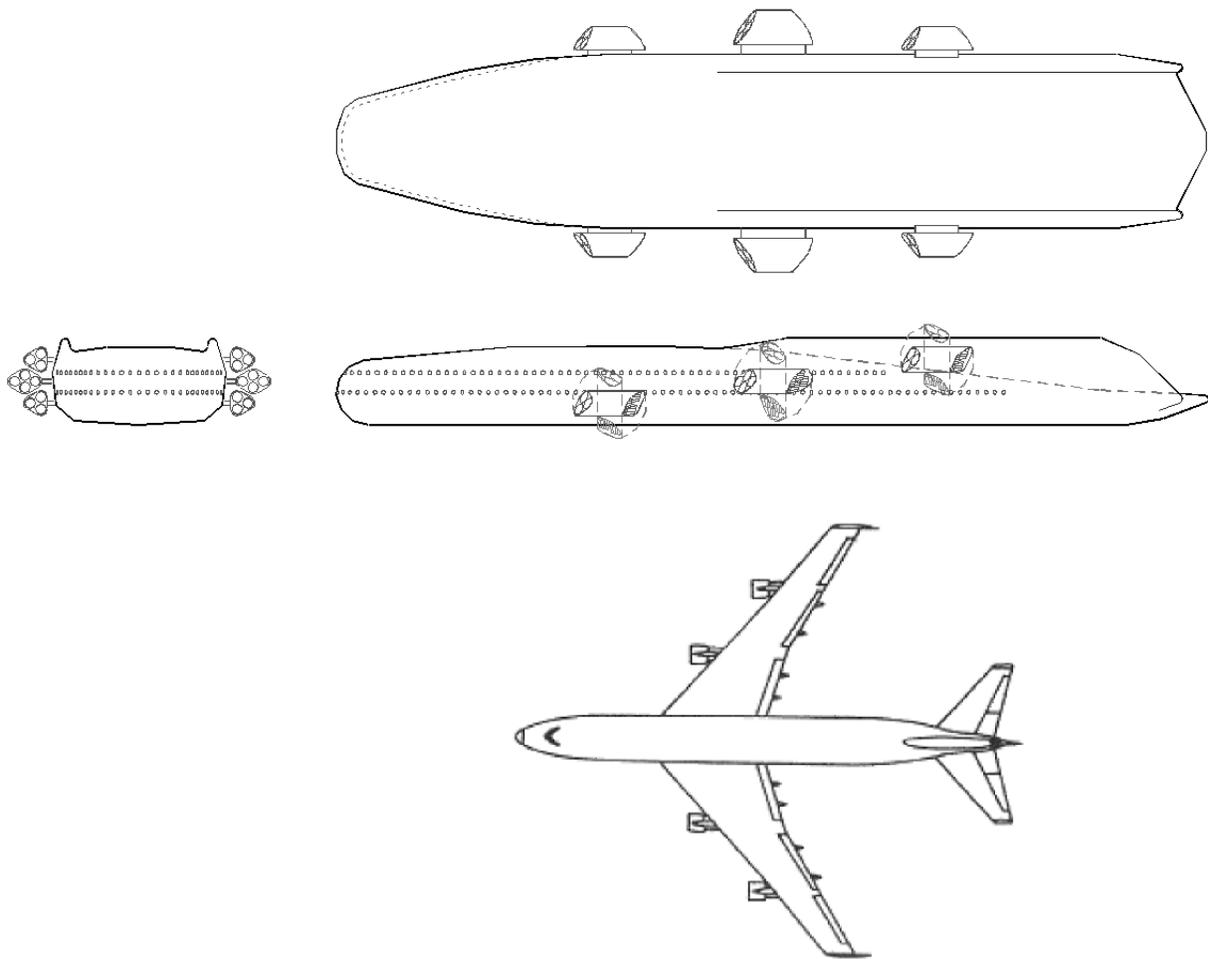


図 18.1. 超音速度の VTOL（垂直離着陸機）の旅客機。アダム・コックスが考えたデザイン。下図は比較のために同一縮尺で載せたボーイング 747。VTOL のエンジンは離着陸の際下に向くが向きを後ろに変えることによって前に進む。

超音速の垂直離着陸（VTOL）の旅客機の特徴

揚力体。機体そのものが巨大な翼の役割をする。

長さ： 122メートル

高さ： 12メートル

胴体の幅： 24メートル

重さ： 4,000,000 キログラム（ボーイング 747 の 10 倍）

エンジン： 常温核融合水素ジェットが 20 台。エンジン収納筒が 6 つある。

- 機体の両側に前後合わせて 4 個のエンジン収納筒があって、
収納筒にエンジンが 3 つずつ入っている
- 機体の側面中央に 2 個の収納筒があって、
エンジンが 4 つずつ入っている

エンジン収納筒は前の収納筒の排出の邪魔にならないように上下にも前後にもずらして互い違いに配列される。

操縦性

- エンジンはある程度の推力ベクトル制御が整備されている
- エンジン収納筒は 90° 回れるから、揚力を出して左右傾斜角度を変えることが可能

速度： マッハ 3（3572 キロメートル毎時）

乗客： 4,000 人。皆一等席で廊下やトイレなどを含めて一人あたり 1.4 平方メートルのスペースがある。ボーイング 747 と比べて一人あたり約 2 倍のスペースとなる。

客室甲板は一階と二階があり、合わせて 5,600 平方メートル。アメリカン・フットボール競技場とほぼ同じ広さ。

翼がないので機体の面積はボーイング 747 より小さい。

2. 宇宙船

宇宙旅行の一番厄介な段階は地球から軌道まで昇ることだ。いったん宇宙に出ればわりと簡単に月か他の惑星に行ける。このためのロケット・エンジンは温度も出力密度も非常に高くしなければならないが、現在分かっている限り、常温核融合の性質はロケットに直接使えそうにはない。間接的には使える。常温核融合で水をスペースシャトルの燃料である酸素と水素に分けられる。しかし、「宇宙エレベーター」という新しいたいへん見込みのある方法があり、最近開発の兆しが見えてきた。これは文字通り地球から宇宙の静止軌道衛星までつなぐ、36,000 キロメートルの炭素フィラメントの綱である。その綱を宇宙船がよじ登って行く。こんな綱を鋼鉄のような普通の物質で作ろうとしたらとても弱すぎて途中で切れる。しかし、最近、炭素のナノチューブが開発され、これは鋼鉄より 100 倍強い。十年以内にでも宇宙エレベーターに使えるほど強いのができるかも知れない。



図 18.2. 宇宙エレベーター。乗り換えの地球静止軌道の駅から地球を見下ろしている。地球はエレベーターの下に見える。NASA, Flight Projects Directorate, Space Elevator Concept, http://flightprojects.msfc.nasa.gov/fd02_elev.html

一本の細い綱を地球静止軌道の衛星から地球の地面までつなぐと、それを自動的のロボットの車はその綱を伝って他の綱を引っ張って上に登る。多数の綱を結合すれば、たくさんの人か何トンかの貨物を運ぶ大きい車が登れるようになる。エレベーターはどのロケットよりも安全で効率が良い。この企画は実は常温核融合がなくてもできるけれど、常温核融合はこれに使うエネルギー源として理想的だ。宇宙エレベーターが改良され、拡大されたら、次第に終点に巨大な宇宙基地と言うべき駅ができるだろう。地球から終点に物質を持ち上げれば、終点が重くなり物質が増えるほどうまくいく。質量が終点にたまったら、宇宙から登ってくるエレベーターの釣り合いの錘となる。やがて、この終点の駅に広い倉庫を建設し、その中で宇宙船を組み立てたり、貨物を貯蔵したりする。惑星行きの貨物の積み替えセンターとなる。¹⁸⁴

低重力あるいは無重力の環境で巨大なビルや構造を組み立てるのは地球の表面で超高層のビルとかスペースシャトル組立工場を作るのと比べると意外と経済的かもしれない。宇宙のビルは重力に対して建物を支える必要もないし、風や嵐や地震など自然の力に耐えなくてすむから構造設計は簡単になる。人間が滞在するための大きい宇宙の基地には空気を入れなければならないから、その空気の圧力に耐えられるように壁は非常に堅固にしなければならない。でも、倉庫として組み立てる建物とか、宇宙船の修理場として建てる構造には空気を入れる必要がないかもしれない。中を真空にしたら、かえって都

¹⁸⁴ 宇宙エレベーターには軌道上デブリ（宇宙のゴミ）がぶつかるかもしれないという別の問題が考えられる。この対策などを取り上げる NASA の出版物がある。Edwards, B., The Space Elevator. 2003: NASA Institute for Advanced Concepts.

合がいいだろう。中で働くのは宇宙服を着ている人間ではなくて主にロボットだ。やがて設計者は真空の中か低圧の窒素の中で多くの製品を生産する方が地球の工場と比べて安価で簡単だと納得するだろう。今日の半導体製造の工場の一番優れた防塵室より汚染が少ない。

エレベーターの終着駅を離れると、今度は宇宙を航行して月と火星と他の惑星に行ける宇宙船が必要になる。常温核融合には現在の技術のうち、電気推進装置のイオンエンジンが適当だろう。でも将来には、常温核融合が連続的に発生する大量のエネルギーの流れをもっと巧みに生かした新しい推進装置が開発されると私は期待する。

ロケットには高熱のプラズマのグロー放電の常温核融合が適切だと思う。それにしても、ロケットは推進体を運ばなければならないから、常温核融合の自動車やヘリコプターと違って巡航距離は限られる。巡航距離を延ばすために飛行機の上にロケットを乗せて成層圏近くまで従来のジェットエンジンかラムジェットで飛んでから、次にロケットのエンジンを発射する。こんなロケット・飛行機は大気圏から離れて、宇宙でしばらく巡航してから、どこからでも、自由に大気圏に再突入できる。常温核融合によるグロー放電のロケットには推進体として水が良いだろう。過熱蒸気によって、あるいはその場で分解して酸素と水素として発射できる。現在のロケットは爆発できる化学燃料を使うが、これは燃料と推進体としての二つの役割をする。推進体が水ならより安全である。このやり方を長年かかって改善し発展させれば、やがて宇宙エレベーターより安全になるかもしれない。

3. 個人用の飛行機

遠い未来に常温核融合の個人用の飛行機が開発されると期待している。小型で、全自動運転で、飛行計画は必要なくて今日の自動車のようにいつでも乗れる。50キロメートルより遠くへ旅行する場合、自動車に取って代わる。そして地下と地上の高速道路の自動車の数を減らし交通量を緩和できる。飛行機は目的地へ直接に向かう。自然を妨害しないように、人の迷惑にならないように、高空を静かにひっそりと飛ぶ。町の近くの短い旅なら、1,000メートル上の設定した航空路を飛ぶかもしれないが、町を離れたら、双眼鏡で見なければ気が付かないくらい目立たないよう雲より高く飛ぶ。

個人用の飛行機を「飛行車」と名付けよう。どこからでも離着陸できて、家の前の駐車場か屋上から、オフィスや店まで飛ぶ。まったく全自動で自律飛行する。ということは、ハンドルなどの制御装置がないしパイロットの資格は要らないし、乗客は操縦しなくていい。乗って行き先を告げれば自動的に目的地に着く。乗客なしでも飛ぶことができる。あなたのおばさんが帰る時、飛行車を貸してあげれば、彼女を家まで送ってから、飛行車はひとりであなたの家に戻ってくる。

中央航空交通管制のコンピューターは飛行車を常に監視して、すべての航空交通を規制する。悪天候か交通渋滞の場合に空中静止して状態が改良するまで待つように命令するかもしれない。

空想科学の作家たちは三種類の飛行車を想像したことがある。理論上、下記の三つのうち二つだけは物理的には可能である。

1. 「反重力」の装置、「無反応動機」ともいう。理想的だが、あいにくニュートンの第二法則に逆らうとしか思えない。それでも存在しうるなら、常温核融合で起動すると、風と動揺を起こさずひっそりと空中に浮かんで、着陸する順番を待つ。ところで一万台のガソリン・エンジンで動く無反応動機はうるさくてまるで悪夢のようになる。反重力は宇宙船にはもってこいの推進方法だ。数百年かけて開発すれば、太陽系のどこでも行ける個人用の宇宙船ができるかもしれない。
2. 全自動ロボット操作のヘリコプターかVTOL機。ロボット工学と航空交通管制の進歩から考えて、向こう50年か100年すればこれは開発できると思う。しかし、こんな機械はたとえ、常温核融合で起動しても風も起こし騒音もひどく、今の飛行機より低く飛ぶから鳥や他の野生動物をたくさん殺すだろう。数百人の大金持ちだけがこんなもので大都市の空を飛ぶのだったら、何とかなるだろうが、数十万人がアトランタ市やニューヨーク市の上を飛んだらとんでもない状態になる。
3. 人間が乗れる大きさのはばたき飛行機。プロペラを回す代わりに鳥のように羽を羽ばたいて飛ぶ。ありえないと思うかもしれないが、小規模のものはだいぶ前から作られていて、人間が乗るのもトロント大学で開発している。¹⁸⁵（有人機、正確には有婦人機というべきで、著名な女性パイロットが乗った。）1999年の飛行試験で瞬間的に低く飛んだ。これは常温核融合の起動で動かすとヘリコプターなどより、羽が比較的ゆっくり動き、下方に変位される空気は広い場所に広がるから、風と騒音公害が少ないはずだ。あらゆる鳥と飛行機と同じように、機体を空中に支えるだけの運動量の空気を下方に押さなければならない。機構の歯車ではなく人工筋肉（EAP）で起動すれば特に静かになる。

都会で数十万人が普段の買い物や通勤に飛行車を使うことはいつになっても無理だろう。たとえ、その機械は完全に静かであろうと、やはり生活を妨害する。絶えず頭の上を低空でビューと飛び、降りてくる。ローマ、パリ、ワシントン、ボストンなどの有名な建物の周りに小さい飛行機が群らがっているのは見たくもない。幹線道路の真上を20メートルくらいの高さで飛ぶなら許せるかもしれない。でも、私は都市では向こう数百年、車輪付きの乗り物に頼った方がましだと思う。個人乗りの飛行機は村や隔離された郊外と田舎の家とか、都市の住まいから遠いところまでの旅行に限って使えば良い。

アトランタ市に住む人が首都ワシントンに旅したいと想像しよう。距離は960キロメートルなので、現在、自動車では11時間かかる。飛行機では、場合によって4時間から12時間かかるが、天候によるし、空港で何時間も待たされ、空港警備員にくどくど質問されたり、指図されたりする。未来の地下高速道路では4時間かかるだろう。そんな長い時間車に押し込まれたくない人は一人で飛んで行きたいと思うだろう。まずコンピューターで飛行車を予約して、近くの便利な乗り場まで来てもらう。乗り場は商業モールか大きなホテルかどこかで、ちょっとした手数料を払えばその地域の航空サービスを提供してくれる。自分の車で飛行車が待っている屋内駐車場まで行って、飛行車の横に止まる。車から降りて、飛行車に乗り移る間に、ロボットが荷物を移す。車は離れて

¹⁸⁵ Project Ornithopter, University of Toronto Institute for Aerospace Studies
http://www.ornithopter.net/index_e.html

行って、ひとりで家に帰る。飛行車は屋内駐車場から車輪で外へ移動し、そして一直線に一万メートルの巡航高度まで上昇してから、ワシントンに向かって飛翔する。一時間半でナショナル空港に着くと普通のレンタカーが待っている。飛行車はその空港乗り場で違う客を待つか、飛行車が不足している他の町へ飛ぶ。

1,000 キロメートル以上の旅行には定期便の旅客機を利用するだろう。前述の超音速の旅客機である。

この筋書きでは、大都市では、数箇所から個人乗りの小さい飛行車が離着陸する。その飛行車は誰でもどこからでも飛び立つことを許せば騒々しく、その上、目障りとなる。しかし、少数の指定された場所で、垂直に昇ったり、降りたりするから、それほどじゃまではないだろう。この制度は相当早く、百年以内に、ヘリコプターとジェット機で実現できるかもしれない。ヘリコプターなどはうるさいが、一定の場所に限るなら、現在の飛行機ほど悪くないだろう。

飛行車はだんだん進歩して、遠い未来にやがて超音速に達するだろう。その日になったら人々は大陸から大陸へ毎日通勤したり、とっさの思いつきで友達に会いに行ったりする。数時間飛べば、地球のどこへでも、いつでも行けるようになる。

町か都市から数百キロメートル離れた所に住もうと、南極地域あるいはヒマラヤの山頂近くに住もうと、不自由はしない。電話一本で器具を整備するロボットか人間のベビーシッターが、今日と変わらない速さで玄関のドアの前に現れる。

未来には何億人もの人々が日常的に大陸や大洋、国境を超えて飛ぶ。さて、税関検査官や国境監視員がこの大勢のあとを追っかけることは想像し難い。やがて、「国民国家」だの「国境、入国管理」などの、陰気なくならない国の意識がだんだん薄れて、すたれてしまうことを願っている。そして誰でも太陽系のどこでもかってに好きなところに暮らしたら良い。国の名は郵便の宛て先にすぎないようになって、その国境を渡る時、現在バージニア州からメリーランド州へ入るように境に気が付かないだろう。遠い夢だと思えば、欧州連合を考慮していただきたい。1945年には現在の欧州連合の国々が互いに戦争状態だったのに、今日は互いに入国管理もないし、同じ通貨を使っているし、欧州連合の市民は自由にどの加盟国にも住むことができる。

19. 状況を悪化させる可能性

読者はもうすでに気付かれたと思うが、ここまで描写してきた優れた機器と卓越した性能は皆にすばらしい暮らしを与えることができるが、反対に、独裁者、テロリスト、無責任な会社か政府の手に渡ってしまったら事態を悪くする可能性も大いにある。高速地下道の入り口には安全のために門と監視ロボットが必要だが、独裁者ならこのロボット門番を利用して国民を追跡しようとするかもしれない。常温核融合の原子爆弾は多分不可能だと思うが、常温核融合を利用して人を殺したり、国を生き地獄の状況にするやり方はたくさん想像できる。

常温核融合によってユートピア（理想郷）—これはとらえどころのないものだが—に近づくことができる。確かにみんなに健康と余暇と物質的な富をもたらすことができる。多分それ以上に理想郷に近い状況は望めないだろう。しかしディストピア（暗黒郷）になる可能性はいつでもある。人間はどんな恵みでも災いに変えることができる。私たちは大昔道具を発明した日から、自分の環境を築きながら、自分の運命も築くようになった。

1989年に常温核融合が発表された時、ある過激派の環境保護主義者は最悪事態がおこる可能性におびえた。A.ロビンズとJ.リフキンやその他の人は常温核融合が本当に存在しているなら人間に力を与えすぎるから、実験間違いだと願うと言った。¹⁸⁶ リフキンは「赤ちゃんに機関銃を与えているようなものだ」と言い、次のように述べた：「常温核融合の結果は今まで一番悪いニュースだ。ちょうど世界的な認識を育てることがやっと進み始めたのに、この科学者たちがやってきて、もうそんな問題に取り組む必要がないと言う。」私はこの理論が理解できない。本当にもし「そんな問題」、つまりエネルギー危機と公害に取り組まなくても良くなるなら他の問題に取り組めば良いと思う。災難が足りなくなったわけではない。常温核融合はアメリカの医療危機、エイズ、犯罪、人種差別、宗教に基づく戦争などの問題は少しも解決できない。何億人の文盲の人に教育を受けさせることもない。リフキンは私たちの問題はエネルギーと公害に限られていて、それを解決したらもう心配することがなくなるから残念だとでも思っているのか？それに今、手に入る技術で世界を破壊しようと思えば容易にできる。常温核融合も核兵器も先進技術も要らない。現在、人類の最も古い道具、火を使って熱帯雨林を破壊している。その昔、中国人、ギリシャ人とローマ人は森林を破壊して、何百万ヘクタールの豊かな農地を砂漠にした。技術の破壊的な副作用は紀元前2000年にすでに今日ほどひどかった。

それにしても、常温核融合はきっと人々に迷惑を掛けるような小さな行為から大陸規模の荒廃まで起こすことができるだろう。超大型の携帯用ステレオで住宅地、浜辺、素朴な国立公園にやかましい音楽を流す。日本の美しい伝統的な街と自然公園の桜をまぶしいイルミネーションで照らす。ガソリン代を払わなくていいと分かったら人はダンプカーほど大きいスポーツ用多目的車を乗り回す。

¹⁸⁶ Mallove, E., *Fire From Ice*. 1991, NY: John Wiley. p. 86

常温核融合を使って、大気中の二酸化炭素を減らして地球温暖化の脅威を鎮めることは可能だと誰でも分かる。逆に誰かが常温核融合を使って二酸化炭素または他の公害を大幅に増やして儲かるやり方を考えるかもしれない。もし、熱帯雨林を1ヘクタール焼却して、または海のオキアミを何千トンか殺すことによって楽に一万円が儲かるなら、その無茶な行動を法律で禁じなければ誰かが実行するに決まっている。残念ながらアメリカの多くの法律は自然を守るどころか無茶な自然破壊を促している。エタノール製造、¹⁸⁷ 都市乱開発、8万ドルする効率の悪い豪華な社用車に資金援助をしている。この本で私は自然を守るために道を地下に埋めたり、機械を静かに目立たないようにしたり、そして工場を人の住みたくない砂漠に移すような常温核融合の長所を激励してきた。しかし、アメリカでは常温核融合が実現するとまず不動産業者が狂乱状態になって常温核融合を利用して、この世の最も青葉の茂った美しい国をごみで汚れた駐車場と破産した大型モールの荒地にしてしまうだろう。

常温核融合は私たちに選択の幅を広げてくれる。過去の誤りを修復し、生活をより良いものにする機会を与えてくれる。歴史を振り返れば悲劇と誤りが多いにもかかわらず我々の祖先はやはり賢明に道を選んで、たびたびすばらしい成果を上げた。米国では奴隷制度と児童就労のような冷酷な習慣を廃止したが、あいにく他の国ではこの習慣はまだ残っている。祖先はバッファロー狩りと捕鯨による種の大規模な破壊を食い止めた。世界の一番大きい哺乳動物である、シロナガス鯨は19世紀の捕鯨によって絶滅に瀕していて、数はまだ減りつつあるが、回復できるかもしれない。第16章で述べたように日本では空気汚染は1960年代と比べてかなり減っている。人々は過去において大いに進歩した。今、もう一度進歩をするかどうかは一般の人々の意志次第である。一般の人々が科学研究と新しい技術の責任ある利用を支持すると私は信じている。メディアと政治指導者がこの議論を明確に説明すれば、人々はきっとこの研究を正しい方向へ進めることができる。

ほとんどの人は合理的で正直だ。そうでなければ民主主義と自由市場資本主義は成り立たないし、人間そのものはとっくの昔に生存競争に負けて絶滅しただろう。歴史は大まかに見れば考え方のしっかりした大多数の人と近視眼的で強欲な少数派の愚か者との力比べだ。今まで常温核融合では、愚か者が全勝してほとんどの研究を鎮圧してしまった。私は最前列の観客として、この大失敗を見てきた。愚か者に大きな権力と政治力があることを私よりよく知っている者はいない。常温核融合の研究者たちがせっかくの少ない機会をやり損なったのもこの目を見た。国民の支持がなければ、絶対に研究資金がもらえないというのに、研究者たちが国民に自分の研究の正当性を説明する絶好の機会を逃したことが何度もあった。しかし、歴史が私たちに教えるのは、もうだめだと思われる時、突如として社会改革が起こるということだ。もうだめだと思われる時でも、否

¹⁸⁷ トウモロコシから作るエタノールはエネルギー源ではなくエネルギー吸収物質である。1メガジュール分のエタノール燃料を作るのに1.7メガジュールの化石燃料が必要だ。Pimentel, D. and M. Pimentel, *Food, Energy, and Society, Revised Edition*. 1996: University Press of Colorado、第19章参照。エタノール生産推進団体によるとこの比率は1メガジュールにつき0.6メガジュールしかかかっていないそうだが、その比率でも話にならないほど効率が悪い。

定派を乗り越えて勝利を得た場合が歴史上たびたびある。慎重に楽観的に見て、この本で描写したような明るい未来になると期待できると私は思う。

1. 虚無主義者と否定主義者

最近では悲観主義が流行している。教育を受けた富裕な有力者と、サイエンティフィック・アメリカン誌のジョン・ホルガン特別編集委員のような科学と技術の先導者は私たちは「科学の発展の終わりにたどり着いた」と言う。¹⁸⁸ 今後は新しい発見が望めるのは科学の詳細を補うものだけだと言う。物理学の基本定数の小数点以下の桁数を増やすことしか望めないだろうと言う。末端理論には少しの進歩はあるかもしれないが、実験科学は完了して、もう新しい事実は出て来ないだろうと言う。「歴史の終わり」に達したと言う人もいる。将来は今より少しだけ良い状態になんとかこぎつけるとしか望めない。社会、経済、政治はこれ以上改良できないものだという意見だ。ニューヨーク・タイムズ紙がエネルギー自給は「達成できない目標だ」と言った。（詳しくはまえがき）総意としてエネルギー危機は解決できなくて、いつまでも主に石油に頼るだろうという意味にしかならない。

常温核融合の研究を妨げる組織的な陰謀はないと思う。あるとしたら、一味は私を陰謀団の会議に招いてはくれないだろう。常温核融合への妨害は多分、強欲、知的な怠惰、知ったかぶりの態度、不合理、無知、そして最近流行になった虚無主義から生まれてきたという気がする。科学的主張を判断するなら、まずは文献をしっかり客観的に読まなければならないことは誰でも知っているはずなのに、否定派の先導者は読もうとしない。ホルガンは典型的な「無理だ、無駄だ」と唱えるような非科学的な態度をとっている。ホルガンと彼の編集者レニー、その他の否定派の人は自分の意見を立証する科学論文を発表したことがない。反証可能な論議も挙げたことがない。まるで科学論議は人気投票のように、彼らは自分の意見は大多数の合意に基づいていると主張する。レニーは論文を読んだり、技術問題を理解したり、反証可能な論議を挙げたりするのは自分の仕事ではないと厚かましくも私に手紙で言った。雑誌の読者はそれを期待していないと言う。¹⁸⁹ 正常の科学者だったらこんな妙な考えをいっていることは恥ずかしく思うのに、レニーはなんとこれを威張って言っているのだ。

世論を形成する多くの人々は進歩に対する信念を失っている。科学技術を軽蔑する態度と根拠のない畏怖の念にうたれる気持ちの間を周期的に行き来している。1960年代と70年代には技術はむなししい期待だと軽蔑されていた。新しい技術の実はフランケンシュタインの怪物のようにひとりで動き始めて、人間性を変える魔法の力を発散すると人は想像した。米国議会図書館の館長ダニエル・J・ブアスティンはタイム誌で次のように書いた：「技術共和国では循環的な世の中になる。そこでは、人が求める物は人間性が数世紀昔からのあこがれに基づいているのではなくて、技術そのものに基づいて作り上げるわけだ。」¹⁹⁰

¹⁸⁸ Horgan, J., *The End of Science: Facing the Limits of Knowledge in the Twilight of the Scientific Age*. 1996: Helix Books.

¹⁸⁹ *Appeal to Readers*, LENR-CANR.org, <http://lenr-canr.org/AppealandSciAm.pdf>

¹⁹⁰ Florman, S., *Blaming Technology*. 1981: St. Martin's Press, p. 7. 1977年に述べた。

ところが1980年代に大衆文化は全く逆方向に動いた。タイム誌の「今年の人」(マン・オブ・ザ・イヤー)にコンピューターが選ばれた。最初で最後だろうが無生物がその光栄に浴したのだ。インターネットを設計した人々とプログラマーは賞賛された。こんな極端な態度は機械のことが分かっていない人にありがちだ。技術は道具に過ぎない。悪にも善にも使える。四日市の公害をなくすることもできれば、原子爆弾も作れる。もちろん、道具もいろいろあって、損害を与えるためにしか使えないのものもある。拳銃を生産する会社は犯罪の元となっているととがめられるべきかもしれない。しかし、汎用技術を非難することは金づちで殴られたら金物店のせいにするようなものだ。

ホルガンとニューヨーク・タイムズ紙と科学発展の終焉を唱える人たちとはまさに正反対に、アーサー・C・クラークは1963年に次のように書いた：

海水に含まれている重水素が、今後想像される限りの遠い未来まで、人類のあらゆる機械を動かし、すべての都市に熱を供給することができる。今から二世のちにもし人類がエネルギーの不足に悩むとしたら一大いにあり得ることだが—それは人類の無能さのせいなのだ。我々は、炭田の上で凍え死ぬ石器時代人のようなものだ。

...原料物質が恒久に不足する必要はない。しかしジョージ・ダーウィン卿の予言—きたる永劫の窮乏の時代に較べれば、我々の生きている今日こそが黄金時代である—という言葉は、結局極めて正しいと断言してもいいかもしれない。この想像を絶する広大な宇宙においては、永久にエネルギーや原料物質に不足をきたすことはあり得ない。だが脳味噌に不足をきたすことは、大いにあり得るからである。

191

1818年にトマス・ジェファソンは次のように書いた：

各々の世代は前の世代が習得した知識を受け継ぎ、さらに自分の習得と発見を加え、それをすべて後世に伝えるということを絶えず積み重ねると、どれだけ長く伸びるか定めることはできないし、予見することもできないが、人類の知識と幸福を無限というわけではないが、無期限に伸ばすに違いない。まさに半世紀を振り返ると今、生きている多くの人々がまだよく覚えている時代だが、我々はこの間にいかに科学と技術のすばらしい進展があったかを見ることができる。それらのいくつかは自然力を人間の思いのままにして、人類の労働のくびきをつけて、たずなを操り、自然に仕事をさせて、労働を軽くして、人類の貧弱な力では及ばなかった事を成し遂げた故に、これまで人生の必需品しか知らなかったより多くの人々が快適な生活ができるようになった。これは楽天的な希望から生まれた空想ではなく、目の前に生きた実例があるのだ。¹⁹²

これは伝統的な考え方で、我々の文明の源泉である。

¹⁹¹ Clarke, A.C., *Profiles of the Future*. 1963: Harper & Row, 「未来のプロフィール」、1980年、角川書店、12章、福島正実、川村哲郎訳に基づく

¹⁹² Jefferson, T., *Report of the Commissioners for the University of Virginia*, August 4, 1818, <http://etext.virginia.edu/toc/modeng/public/JefRock.html>

人は昔から技術に対していくらか反感を持っている。人類が自分たちに負わせた恐ろしい機械と兵器を考えれば、反感を持つのは無理もないことだ。しかしリフキンが採り上げるラッドライト主義（機械化など進歩に強く反対する人）の種は、1960年代から居残っていて、常温核融合に対する人々の考えに影響を与えている。その人たちにとって「原子力」に関係あるものは言うまでもなく疑わしく、常温核融合はウラン核分裂のよううその約束と思われる。ジョン・フォン・ノイマンが1956年に言った「数十年後にエネルギーは使い放題の空気のようにただになるかもしれない」の言葉をばかにする人が多い。1954年に、戦後の楽観的な考えがピークに達した時代に原子力委員会の会長ルイス・ストラスはこの本の予言に似たことを述べた：

我々の子供は家で使い放題の安い電力を享受し、大飢饉は歴史の中でしか知らないし、苦もなく海の上や海に潜ったり、空気中を最低限の危険で高い速度で旅行したり、疾患が征服され人類はなぜ老いるか分かるようになり、我々よりずっと長生きしたりすると期待することは無理ではない。¹⁹³

フォン・ノイマンとストラスのような優れた人をはねつけることはばかげている。予言は数十年早すぎたがいずれは正しいと証明されるに違いない。常温核融合があってもなくても、いずれは欲しいだけのエネルギーを生産する方法は発明される。ただし世の中のレニーとリフキンたち反対主義者が勝てば、実現は無理だ。まえがきで述べたようにシュウイングーは「検閲が公明正大な批評に取って代わると科学の死となる」と恐れていた。マーチン・フライシュマンが言うには、「人は進展を望んでいない。進展によって居心地が悪くなる。望まなければ、進展は来ないものだ。」

フライシュマンは常温核融合への反対にがっかりして幻滅を感じている。近代科学の歴史にないほどの不正な屈辱に耐えてきた。無論フライシュマンが感じている激怒は私も感じるが心の平衡を保つように現実的かつ楽観的な見方もしたい。常温核融合の支持者はいくらか社会を信用しなければ負けてしまう。

進歩するためには、気持ちを均衡に保たなければならない。今の状態で絶対満足をしてはならない。感じるべき感情は不便なものに対しての不平、無駄と失った機会に対しての不満、そして簡単に防げる事故や公害や飢えなどに対する燃えるような怒りである。しかし、絶望してはならない。この問題を直す方法、物事を改良する方法を始終考えなければならない。ジェファーソンの言葉を信じて進展は「どれだけ長く伸びるか定めることはできない」が、今だって、「無期限に伸びるに違いない」。その限界にはまだほど遠い。未知の領域がもし北アメリカほど大きいとしたら、我々はまだ沿岸にわずかな開拓地を開いていて、大陸の大きさが大体分かっている、カリフォルニアは島か半島かまだ検討しているところだ。西方に未踏の土地が5,000キロメートル広がっている。これでも控えめな表現だ。自然の未発見の謎はいつまで経って減らない。新しい発見をするたびに、その向こうにまた数え切れないほどの新しい謎が見えてくる。私たちはいつか進取の気性がなくなり、自然から学ぼうとしなくなるかもしれないが、自然が教えてくれることは途絶えることはない。

¹⁹³ Strauss, L., *Speech to the National Association of Science Writers*. 1954: New York City.

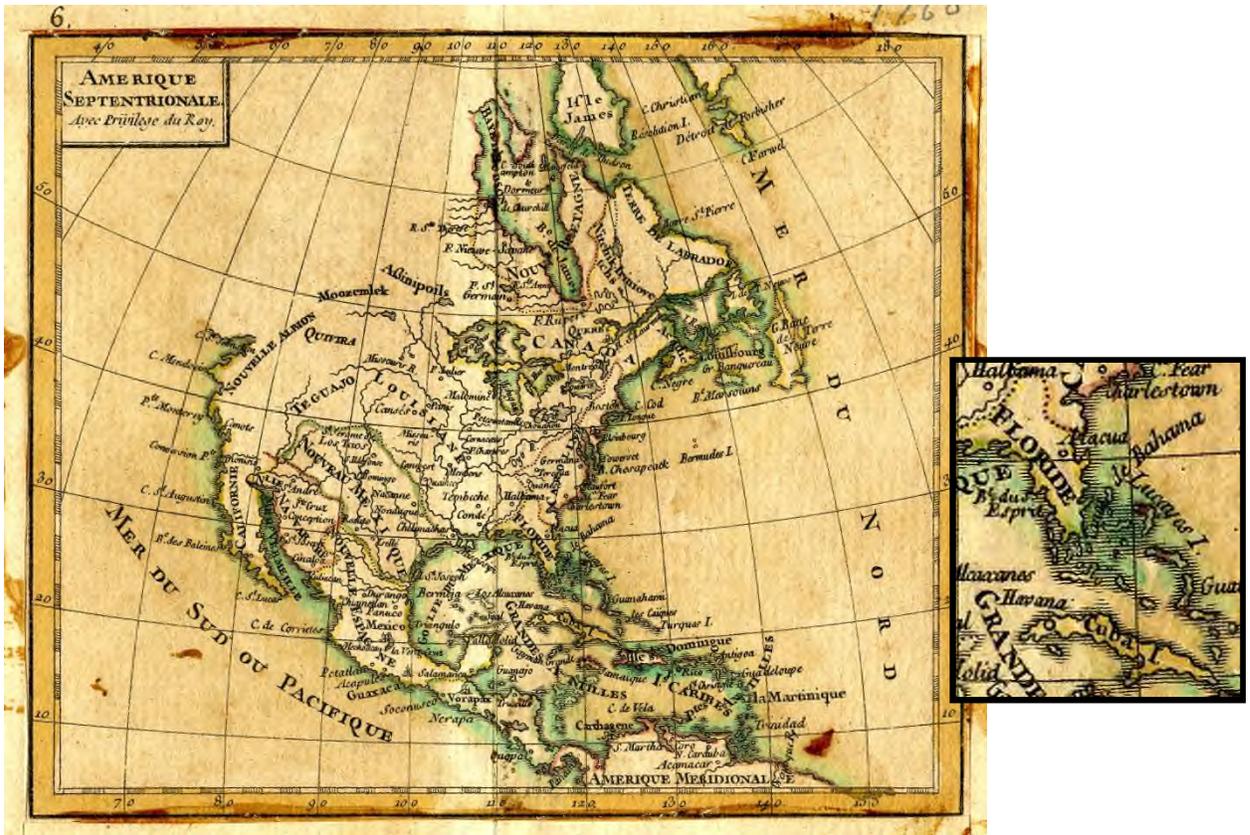


図 19.1. フランスで出版された約 1760 年代の北アメリカの地図。（左上に「国王の許可」とある。）フロリダは群島でカリフォルニアは島ではなく半島だと分かってきた時点。著者蔵。

20. 失業の恐れ

常温核融合が広く浸透すると化石燃料と電力の分野に経済的損害を与えて、失業者が増えるかもしれない。仕事を失う人は苦しむだろうが、社会全体における衝撃は思ったほどではないだろう。特にアメリカのような工業国ではエネルギー業界は金額としては巨額だが就業者は驚くほど小人数である。¹⁹⁴ 常温核融合は石油輸出国、ロシア、ベネズエラ、サウジアラビアではもっと深刻な広い失業と社会不況を起こすだろう。

常温核融合によって悪影響を受ける業界は化石燃料、特に石油業界だ。石油は1ジュールにつき最も高い燃料だ。金額からしても重量からしても地球上で最も大きな商業品であって、飛び抜けて大きい輸出入品である。

大部分の石油は発電や暖房ではなく輸送機関に使われる。飛行機や鉄道にも使うがほとんどは車のガソリンに精油される。常温核融合の車が現れるとガソリン車の売り上げは急減し、交代は早く進む。理由として：

1. ガソリンは一般的な家庭において高く目立つ経費だから消費者がすぐ常温核融合のモデルに取り替えたいのは車だ。
2. 車は五年から十年間に消耗するから、買い換えなければならない。どうせ買うなら、常温核融合のにするだろう。
3. 自動車会社の競争は激しいから、新しい常温核融合のモデルの市場シェアをつかもうと思って必死で開発するだろう。

石油が数年売れるとしても、石油業界は終わりに近づいていると分かる。石油業界は整備や、新しい施設に投資しようとはせず、今の手持ちの機械を使い果たすだろう。石油の専門家ケネス・ディヒュズによると、¹⁹⁵ 石油会社は原油の貯蔵は枯渇していると分かっているから、すでに設備をほったらかしにしている。会社をたたむころには石油タンカーや精製所はくず鉄の山に投げ捨てられるだけだ。もし移行期に、ぼろぼろのタンカーか輸送艦に深刻な事故が起きたら、人々はもっと急速にこの企業を見捨て、倒産させるだろう。（詳しくは第7章第4節）

電力会社と天然ガス会社も徐々にではあるが減びていく。電力会社は常温核融合に勝てないと分かったら、「打ち負かすことができないなら仲間になった方が安全だ」という態度をとり、石炭と原子力発電所を常温核融合の中央発電所に取り替えることもある。

新しい自動車がデザインされ、工場の生産ラインが動き出すまでには長い期間がかかる。最初のモデルが店頭に並んで、常温核融合の車への移行が始まるのは何年もかかるかもしれない。しかし最初の一台が売られて十年後にはガソリン車は消滅するだろう。（詳しくは第7章第2節）

¹⁹⁴ 米国連邦労働統計局 “Establishment Data Employment Seasonally Adjusted,” <ftp://ftp.bls.gov/pub/suppl/empsit.ceseeb3.txt>

¹⁹⁵ Deffeyes, K., *Beyond Oil, the View from Hubbert's Peak*. 2005: Hill and Wang.

化石燃料に直接関連する職業は以下の通りだ。

表 20.1. 化石燃料に直接関連する職業。労働統計局「季節調整済みの職業」、
<ftp://ftp.bls.gov/pub/suppl/empsit.ceseeb3.txt>, 2004年7月の欄のデータを抽出した。

業界	人数
石油と天然ガスの抽出	132,000
石炭鉱業	75,000
鉱業の推進活動	185,000 ただし石炭関係は 56,000 だけで、 あとの 129,000 は鉄など他の鉱業
石油と石炭の生産品	113,000 ただしエネルギーに関係ないのが多い
ガソリンスタンド	868,000

化石燃料関係では合計 120 万人が働いている。石油製油の 19% はエネルギーに関係なくプラスチック原料や肥料関係だ。これらはガソリンよりもっと労働力が必要だ。第一にこれは常温核融合への変更による影響を受けない。次にさらなる研究と発達により石油化学材料は常温核融合の熱を使って合成できるだろう。これは石油会社に打撃を与えるが、プラスチック業と合成石油原料の工場は自然の石油を材料にする工場と同じくらい必要なので雇用に影響は出ない。

上の表 20.1 の労働力の 75% はガソリンスタンドで働く低収入で先の見込みのない従業員たちだ。ガソリンスタンドの夜勤はアメリカではよく泥棒に入られる危険な仕事だ。高収入なのは経営者と修理機械工だけだ。修理工は常温核融合の自動車の整備に必要だから同じ仕事を続けられる。アメリカのガソリンスタンドは利幅が低いからコンビニを兼ねているスタンドが多い。店内で飲物、食物、雑貨を売ることによって利益を得ている。ガソリンが売れなくても、スタンドのいくらは近所や高速道路の旅行者へのコンビニとして残っていくだろう。

化石燃料の業界の 120 万人を他の部門と比べてみよう。食料品店では 280 万人が働いている。食料品店はガソリンスタンドより通常は給料も労働条件もいい。人々は常温核融合に関係なく同量の飲物と食物とか雑貨が要るわけだから、今と大体同じ程度の人数のレジ係りが必要なわけだ。ガソリンスタンドのレジ係りが普通の食料品店に移れば多分そちらのほうが良い仕事だろう。

これらの失業予想は実際の数より下回っているかもしれない。というのは、他の業界もやはり打撃を受けるからだ。たとえば世界中の船舶の四分の一は石油タンカーだ。だから造船業も減っていく。しかし、反面増加するかもしれない。常温核融合は新しいデザインいわゆる「高速船」とホバークラフトに最適だし、また輸送費を下げるから、世界中の貿易ブームに拍車をかけるかもしれない。¹⁹⁶

¹⁹⁶ 従来の船では燃料費は比較的安い、操業費の 5% ぐらいだが、「高速船」では三分の一ぐらいになると思われている。MGI Cargo Analyst, *Fast Ships*, <http://www.mergeglobal.com/fastship.pdf>

電力会社は次第に破産に追い込まれる。失業者を出すのは避けられない。しかし電力会社は石油業界より長く残るから、少しずつ長年かかって下降線をたどっていく。すぐに全従業員を解雇するわけではない。電力業界の大部分の人々は給料もよく、架線作業員や技術者だ。化石燃料業界の75%がただのスタンドの従業員であるのとわけが違う。彼らの技術は失業後も価値と需要のある職業だ。まさに、海水を淡水化して砂漠を緑化する、巨大プロジェクトの主力として必要である。常温核融合の家庭用発電機を税金免除にするなどして電力業界を早く解体させ、この人たちにより良い高給の社会に役立つ仕事をしてもらったほうが良いかもしれない。

石油業界の従業員の25%は技術者だ。パイプラインの建設、整備や船の事故などの流出油除去の専門家などである。石油業界が消えていくのに伴って、エクソンなどの石油会社は急成長の分野である環境のクリーンアップと保護の仕事に自己改革し再生できるかもしれない。私が大きな望みをかけている地球規模の巨大プロジェクトは21世紀の主導企業になるかもしれない。まずは20世紀の残したごみの山を片付けなければならない。そして、海と陸から侵入生物種を追放する。次には火星に移って、人間が住めるように大気と土地を変えて、地球から持ってくる植物と動物が生き残れるようにする。もし300年後にエクソンのような石油会社が地球の環境を守る抜群の専門家となり、さらに太陽系のあちこちの無人の天体を人間が住める環境にする専門家になっているなら、これは思いがけない皮肉なことだ。

人々はガソリンに週に20ドルを使うのを止めたら代わりに何かにお金を使うだろう。¹⁹⁷ もしかしたらもっと高級の肉を買うかもしれない。それは280万人の食料品店の従業員や「食料生産業界」で働く15万人の従業員のためになる。¹⁹⁸ または人々はもっと映画を見るようになるかもしれない。それは「映画および音楽業界」の38万人が恩恵を受ける。ガソリンに使われないお金は底なしのブラックホールへ落ちるわけではない。何らかの形で経済へ廻っていくのだ。

このような希望的観測にも関わらず十年間に120万人の失業者を出すというのは深刻な問題となる。これはアメリカの全仕事のほぼ1%に当たる。政治家や財界首脳が状況をつかめず慌ててしまっただけで移住をしくじると経済全体が失業によって傷つけられる恐れがある。しかしながら、雇用の他の問題、たとえばインドなど外国へ外部委託（アウトソーシング）の方がもっと経済に影響を及ぼすだろう。たとえば医療問題を考えてみよう。何人かの専門家はアメリカの医療の管理制度に注ぎ込むお金の三分の一は書類と管理者に使われていると指摘する。これはヨーロッパとか日本では5%以下だ。一人当たりの医療費は他国に比べ三倍である。これを解決するのにまず書類などに費やす無駄な経費を節約しなければならない。よって、書類づくめの人の大勢を首にするしかない。医療関係の従業員は1400万人いて、「金融保険業」では600万人が働いている。医療の管理の真剣な見直しをやれば何百万人もの人が仕事を失う。

¹⁹⁷ Energy Information Administration, *Annual Energy Review 2002*, p. 61. 2001年にアメリカの平均的な自動車は石油532ガロン（2014リットル）を消耗した。1ガロンにつき2ドルの値段とすると、週20.46ドルとなる。

¹⁹⁸ これらの職業分類も労働統計局による。

今から何十年先に第 10 章で述べたニワトリ・ロボットは雇用を減らすかも知れないが、我々の子供や孫にそのことは心配してもらおう。今私が理解に苦しんで当惑しているのは現在なぜこんなに失業者がいるかということだ。ソフトウェアは人手が足りず時間に追われてずさんできちんとした仕事できていない。修理工や技術者は長時間働く。見渡せばどこでもやらなければならない仕事があふれている。家々、建物、道路は修理が必要だ。学校の子供たちはもっと教師とあるいは放課後の手助けしてくれる人と過ごす時間が必要だ。私の知っている科学者や研究者はみんな一日 10 時間、そして週 6 日も働いている。引退したはずなのに、もう支払われなくてもまだ研究室でこつこつ働いている。私は経済について少ししか知らないが、失業は実際のやらなければならない仕事の量とはほとんど関係がないと思う。

石油の崩壊で重大な影響を受けるのは主に裕福の株の持ち主か産油国の王族だ。私たちは彼らの面倒をみる必要はない。もう 18 年も前から石油業界には未来はないと警告されている。もし彼らが常温核融合に投資するか、それとも自分の財産を守る他の対策を取るということをしないのなら、それは彼ら自身を責めるしかない。

21. 遠い未来の暮らし

「その幼い少年が特に楽しかったのは、古い木に登って熟した梨をもいで食べる
ことだった。春になると雪解け水でできた池におもちゃの小船を浮かべて遊んだ。
夏には犬と一緒にウッドチャックの巣穴を掘り起こす。そしてイチゴ畑の畝の間
に仰向けになって日向たで暖まったイチゴを食べた。世界一うまいものだ。」

フランクリン・D・ルーズベルト、幼年時代を振り返って。¹⁹⁹

「そこで、我々は、現代の騒々しい工場やはちきれんばかりの倉庫がひと昔前の
紡車や手織り機やバター攪拌器と同様に、いつの日か姿を消すことを期待してい
いと思う。その時我々の子孫たちはもはや持ち物があふれてごった返しているの
ではなく、現代の多くの人々が忘れていることを思い出すのだ—この世の中の本当
に大事なものは測り知れないもの、美と知恵と笑いと愛である。」

アーサー・C・クラーク「未来のプロフィール」

常温核融合ではどんな未来を築けばいいのだろうか？ 私はまず時代に逆行するこ
とを望む。公園、道、家などを、外見は 1950 年代、または 1920 年代のに戻したら良いと
思う。冷房をきいたドームの中での騒々しい未来の大都市を考えるとぞっとする。その
ような大都市は少々あっても構わないが、大多数の人々は首都ワシントン市のジョー
ジタウン区のような近所顔なじみの歩行者に優しい古い町での穏やかな暮しか、のどかな
田舎に住む方が幸せだろうと私は思う。



図 21.1. ジョージタウンの古い街並み(ワシントン市)。提供 oyster.com

¹⁹⁹ Miller, N., *F.D.R., An Intimate History*. 1983: Doubleday, p. 18

優れた科学技術こそ人目につかないものだ。常温核融合や他の画期的な発明を使って、生産やリサイクルなど文明に不可欠な工場を砂漠か、地下、月のような人が住みたくない場所に追い払う。誰かに機械の騒音が聞こえるようだったら、その機械はうるさすぎる。一人でも迷惑と感じたらその機械は煩わしいものだ。

私の望みは常温核融合で公害、騒音そして交通マヒのような時間を無駄にし、イライラさせる問題をいろいろと解決することだ。自動車は地下にもぐらせて、見えないようにして、そしてもう人に事故を起こさせないように自動化すれば良い。商業モールやファーストフードのチェーン店は目障りだから、どうしてもなければならぬようだったら、それも見えない地下に作れば良い。景色をさえぎる高速道路や醜い送電線もなくし、細い静かな、木陰の小道だけ残そう。英国の小道のように自転車と散歩、恋人たちが歩くのに適切な道が良い。20世紀の初期に公害や住宅について法律を作り一般の家族は製鉄所、露天鋳、悪臭を放つ屠殺場や石鹼工場などのそばに住むことはもう受け入れないと決めた。それなのに、どうしてまだ高速道路のそばに住むのだろうか？ もちろん、高速は必要な物ではあるが、すぐ近所を通ったり、景色を殺風景にするなど、人の迷惑となるものは許す必要はない。

夜はまぶしい光や騒音公害を追い払うべきだ。みんなが星と蛍を楽しみ、カエルのゲロゲロ鳴く声を聞きながら、安らかに眠る。冬に寒ければ、暖炉で火をもやし、公害がでないように煙突にひっそりと組み込まれている器具で煙を洗浄してもらう。

1960年代から科学技術に対して一般の人々の態度が変わり始めた。いじめに飽きて声を上げ始めたのだ。例をあげてみよう。1950年代に容赦なしにボストン市の中心地に高架道路を建設して、金持ちが車で通勤するのを便利にするためにアメリカの最も古い歴史的な都市景観をめちゃくちゃにした。1990年代にやっと、これを償うため、文字通り埋め合わせをした。この汚れた道を地下に埋めたのだ。1970年代に食料も最低の状態になって、品種改良によってわざと硬く育つトマトが発売された。畠から機械でもいで、青いまま出荷できるためのトマトだが、味も臭いもなく、濡れたボール箱を食べるように味気ないものだった。優先順位があべこべになって、客を無視してしまった結果だ。最近食料会社は慌てて自然の柔らかい熟したトマトを痛まないようにもいで、包装して出荷できる方法を開発している。どうして機械のために美味しくもない物を食べて、生活の質を落とさなければならぬか？ 製品の企画者は私たちの要求や流行や気まぐれに応じて開発を必死ですれば良い。それが彼らの仕事だから。お客様本位であるべきだ。²⁰⁰

ぞっとするような例ではあるが、最近のアメリカの墓地は、昔の垂直に立った墓石はなくなって、代わりにそばまで歩いて見下ろすまで墓が見えない、滑らかな地面と段差のない平らな石になってしまった。その石は等距離で整然と並んでいて、みんな同じで特徴も個性もない。風変わりな彫刻やロココ様式の飾り、樹木やベンチ、花壇、複雑な結婚と悲慘な幼少期を物語る石の配置などは昔のものとなってしまった。では、なぜ墓地が厳格に規格化されたのか？ 従業員が一人トラクターに乗ってすばやく草刈ができ

²⁰⁰ 熟れたやわらかいイチゴを摘み取るロボットが開発された。「イチゴ摘みロボット開発 熟れた果実選別 宮崎大農学部」、朝日新聞、2007年5月1日

るようにするためだ。我々は死んでも機械化された費用効率が高い合理化された方法、個性と人生の記憶をつぶす方法に従わなければならないのか？ 芝刈り機に都合のいいように墓石を規格化するのではなく、代わりにロボット機能の芝刈り機を開発すべきではないか。機械が自動的にでこぼこの記念塔や樹木や花壇、そして家の周りのウッドチップの巣穴とバラの花などにぶつからないようにすれば良い。

常温核融合の開発は近代の倫理によって進めていけば良い。すなわち機械は人間のために仕えるのであって、人間は絶対に機械のために働くことはない。

なによりも、都市や町で子供が自由に安全に遊べるようにしたい。私は 1960 年代に首都ワシントン市で幸せな子供時代を過ごしたが、未来の子供たちも同じようにのんびりした生活をおくるのが良い。夏は一日中外で子供どうし大人の監督なしで勝手に遊ぶ。雨が降ると道端や小川で泥遊び、日が照ると隣近所のベランダでチェスや囲碁をしたりトランプをする。未来の子供は自由に境も垣根もない森と牧草地を犬と一緒に歩きまわれば良い。(ただし子供を守るために小型ロボットが目立たないように付き添うと親が安心する。) 子供が自然から学ぶこと、友達と遊んでいる時経験することは貴重なもので、学校、教科書、コンピューターゲーム、スポーツなど、特に大人が行なわせる試合なんかよりよほどためになる。

近代の子供は退屈で孤立させられていて、社会生活が破壊されている。その原因は報道されているような犯罪によるものではない。テレビでもインターネットでもない。ほとんどの近所の犯罪率は 1960 年代より悪くなっていないし、あのころは、始終年上の子と遊んでいたから、犯罪なんか気にしなかった。この問題は日本にもアメリカにもあるが、それぞれの原因は違う。日本の場合は子供の青春を害しているのは勉強のし過ぎと塾である。日本はさておき、アメリカの問題は過去 60 年間、特に郊外では建築と都市計画が子供たちの幸せと独立を奪ってしまったことだ。交通手段がないことと、長い距離の危ない道は子供を家に閉じ込めてしまう。気軽に友達の家や学校、店や映画館まで自分では行けない。他の子供と林の中で砦を作ることもない。どこに行くにも親が運転して連れて行かなくてはならない。未来において、子供は全自動の車を呼んでいつでも好きな場所へ行けば良い。当然、親の許しを得てから行くのだが、車は十分な人工知能がついているから、親が許可をしなければ動かない。小学生になった子供たちは日常的に一人で、または友達と一緒に高速を飛ばし、行きたい所へ行く。小学生は適当な年齢制限だと思う。現在の飛行機会社は親の許可を得て五歳以上の子を付添人のない未成年者として乗せてくれる。

遠い未来を心に描いてみよう。今から数百年後に才能のある 10 歳の女の子が一人でピアノの上級クラスを受ける。スリランカの村から一人で月の向こう側にある音楽学校へ通う。この宇宙飛行は 3 時間かかるが、乗っている間中、宿題をほったらかしにして、友達とテレビ電話でおしゃべりをする。この往復に使うエネルギー量は今日のアメリカ人が一生使うのより多いかもしれない。それがどうしたと言うのだ。未来の世代がもし、今の私たちより千倍のエネルギーを消費しても、そして私たちから見ればくだらない理由に使っても、その騒音と廃熱が人に迷惑をかけないで自然を害しないなら、それで良いではないか。今日の子供がコンピューターゲームで遊ぶと、その子が自由に使える演算能力は 1970 年のどこの科学者が使ったのより多い。またその機械が一秒間で解く演

算の数は大昔の数学者が一生をかけても計算できなかつたものだ。それを資源の浪費だと意義を唱える人はいない。

私は貧乏は心を鍛えるとか、人は物を欲しがるのは欲張りのせいだか墮落しているからだという概念は大嫌いだ。世界の誰でも車を欲しい人は車を持つべきだ。それとも、十台の車とハイビジョンテレビにプールを持ちたいかもしれない。車は鉄でできているし太陽系の惑星から鉄はいくらでも賄える。その車が私の電動自転車の邪魔をしないのなら、そして、醜い高速道路と騒音、煙、汚れで自然を破壊しないのなら、人は欲しいだけの車を持てば良い。サミュエル・フローマンは次のように書いた：

現在の問題は痛ましく明らかである。たくさん的人是はたくさん物を欲しがっている。これは技術のせいではない。人間は本来こんな生き物だからこんな結果が生まれた...

何億人の恵まれない家族は適度な食料と住宅を欲しがっているということは常識である。それほど頻繁には言われぬことだが、いったん適度な食料と住宅を手に入れると今度は一流のレストランで食事をして、週末は海の別荘で過ごしたいと願う。人は交響楽団の切符と外国旅行が欲しい。... 文盲の人は読み書きを習いたい。そしてもっと教育を受けたい、またさらに教育を受けてから今度息子と娘を大学に送って医者と弁護士にしたい。こんな大勢の人がこんなたくさん物を欲しがっているのを見ると怖い。...²⁰¹

またフローマンはオクラホマで政府がただで土地を開拓者に配った時と現在を比較して、「オクラホマに大勢が殺到したのを見ているような気持ちだが、現在は数百人ではなくて数億人が参加して、賞品は土地ではなくて、人生が差し出すすべてのものだ」と言った。フローマンは普通の人々の欲求は妥当で分別があるものだが、大勢の「妥当な欲求を合わせればこの世の良い物が足りないから問題が生じる」と言っている。人口が多くて物資とエネルギーが限定されている限り、そして私たちの家、道路、工場などが野生生物が必要とする土地を侵略する限り、私たちは質素につつましく暮らさなければならない。

世の中に飢えている人がいて、絶滅危機にさらされている種がいるなら、何十台の車を買ったりだだっ広い屋敷に住んだりすることは道徳に反する。長い目で見ると解決方法は人の欲望を抑えることではない。それは不可能だ。それに、フローマンの言う通り、人は「己を克服すれば、続いて精神的に満足を得るといふようなあいまいな約束がかなえられるまでそこに立って待つようなことはしない。人類はこんなに進化の暖炉をくぐり抜けたのに素朴な田園生活では満足しない。」解決方法は誰でも事実上ほぼ無制限な量の物質を所有できるようにすることだ。それに普通の人に、好きなだけ金を与えても、多分無駄遣いはせず分別ある暮らしをするだろうと私は思う。

未来には極度の貧困を世界中から除去したい。人は食べ物、水、医療、高等教育、インターネット接続を好きなだけ与えられれば良い。これらは現在の街路照明や図書館や初等教育のように無料にするべきだ。と言っても、私は共産主義を提唱しているわけで

²⁰¹ S. Florman, *The Existential Pleasures of Engineering* (St. Martin's Griffin, 1996), p. 76

はない。すべての人が今日の大金持ちのように暮らせるようにしたいとか、大富豪を廃止したいという意味でもない。すべての人がアメリカやヨーロッパの中流の生活ぶりができれば十分だ。また金持ちがいてもかまわない。もしかしたら、数百万人、大企業家や宝くじに当たった人などは現代の映画俳優のように、見せびらかすような屋敷に暮すかもしれない。

ある資源は本質的に限られている。マンハッタンや千代田区の最高級地はわずかだけの人しか住めない。少数人しか偉い行政官とか大会社の社長とか大学学長にはなれない。それでも、くつろげる別荘が欲しい人には別荘が与えられて良いと思う。全員が軽井沢には入らないが、世界には美しい場所は他にいくらでもある。田舎に別荘地を増やすために殺風景な高速道路、工場、うんざりするファーストフードの売店をなくせば良い。現在の多くの醜い場所は私が小さかった時にはまだ美しい場所だったが、それをまた元のようにすれば良い。みんなに快適な暮らしの余地を与えるために、人口も減らした方が良いだろう。数十億人に月と火星に移住してもらうことによって地球の人口調節ができるかもしれない。(私は自然の美しさを見ながら暮すことを支持するが、月にも火星にも地球と同じではないがそれなりの美しい自然がある。またいつか、火星を地球と同じように変化させ、人間が宇宙服がなくても出歩けるようにできるかもしれない。)

これまで伝統的に貧困は避けられないものだと思われていた。「あなた方のそばには、貧しい人々がいつでも一緒にいる」(聖書、マタイ 26:11) この態度は社会改良を怠る言い訳となる。貧困は人々には悲劇であり、地域社会にとって脅威で、国の経済と安全の妨害となる。貧困は必然的ではなくて、今まで排除した多くの問題、たとえば伝染病、公害、部屋の中でタバコを吸うこと、文盲、下水溝などと同じように排除できるものだ。賢明な社会対策、教育、資本主義と新しい技術、特に常温核融合によって、すべての人に中流の収入と生活保護を与えることができる。今の状態は人間性によるものだから改善の見込みがないと言う人もいる。人間はどうしても他の人を搾取するし、勝利者がいれば誰か負けなければならないし、「木を切って、水をくむ」下級労働者がいなければならないなどと唱える人がいる。要するに、誰かが貧乏にならなければならないというわけだ。そう感じる人はみんなに与えるだけやりがいのある仕事が不足していて、そして図書館にみんなが読めるだけの本がないとでも思っているだろうか？

虐げられた大衆の暮らしはこれからもあまり改善される見込みはないと思っている人はその大勢の人たちのことが分かっていない。それは無名の点の集まりではなくて、私たちと同じ人間で、少しでも機会を与えられたら、私たちの恵まれている環境の十分の一でも与えられたら、その人たちは私たちと同じぐらい成功する。中国の10億人はこれから車を買う。石油の車を買うなら、世界は先例のない地球温暖化の災害に陥るかもしれないし、十年したらきっと石油不足になる。政府と企業には二つの道がある。中国の国民が車を買うのを見て、その辺に立って何もしないで災害を招くのをみているか、本格的な常温核融合の研究をして、その人たちに常温核融合のモデルを勧めるか。²⁰²

²⁰² 中国の科学者も常温核融合を研究している。少ない研究費でかなりの結果をあげている。 *The 9th International Conference on Cold Fusion, Condensed Matter Nuclear Science*. 2002. Tsinghua Univ., Beijing, China: Tsinghua Univ. Press.

飛躍的な進展はありえないと思う人は歴史が分かっていない。先進国に住む人は生活保護を受けている人でも、1600年から見れば富裕に暮らしている。大昔の人や原始的な人の基準では我々はみんな途方もなく金持ちで神のような能力がある。私たちは1800年の人たちがすばらしい夢の中でも、最悪の悪夢でも想像もしなかったことができる。世界のどこにでもいる友達と電話で話せる。何年も前の出来事が映像で見れる。インターネットには数十億のウェブページに記録されている本と情報があって、その中から見たいのを数秒で探せる。清潔な水はいつでも飲めるし、食べ放題の食べ物がある。食べ物は多すぎるくらいだ。恐ろしい病気の大部分は追い払った。祖父母の時代には治る見込みのなかった怪我を治したり、心臓そのものも治したり、新しい心臓を移植できる。14時間で世界の反対側まで飛べる。私の友達は気まぐれに四日連休に広島からアトランタに来て、音楽会を楽しんで帰って行った。科学者は遠隔制御のロボットを通じて他の惑星を探検する。さらに、我々の軍隊は命令がおりて30分後には地球のどこの国でも絶滅させたり、数千の都市を破壊して、1億人の罪なき人々を殺すことができる。

どの技術もそうだが、常温核融合の終局の目的は、人々に自由を与え、自分を幸せにするにせよ、惨めにするにせよ、とにかく人々に力を与えることだ。当面の目標は人口の激増以前の状態、そして産業革命の「暗い悪魔的な工場」と詩にうたわれた以前の状態に戻す。²⁰³ これは全てを元通りにというのではなく失ってしまった昔の良さを取り戻すということだ。もちろん、「暗い悪魔的な」ナイトクラブを好む人もいるが、多数の人はもっと自然に親しい生活をしたいと願う。私は決して「自然に帰れ」を進めているわけではない。自然回帰運動の人はもちろん原始的な農業などをしてかまわないが、普通の人はずうではなくて、自然と調和を保って暮らして、なるべく環境に害を与えないようにすればいい。誰も自然に翻弄されることがないことを期待している。水不足によって不作で食料が足りないと恐れることは絶対ないようにして欲しい。感染症を恐れることもなくしたい。独裁主義、テロ、犯罪、戦争などの束縛に捕らわれる人もいないことを望むが残念なことに、技術はそういう問題を解決する力はあまりない。

ともかく、子供の暮らしを改善することが一番大切だと思う。私は自分の幼年時代を哀愁をこめて懐かしがっているのかもしれないが、それは良い動機だ。フランクリン・ルーズベルトはハドソン川の谷間で田園詩的な幸せな幼年時代を送った。それは彼の社会改革と不屈の楽観主義の根本となった。たびたび故郷に帰って来て、屋敷と庭園を子供の頃と同じ状態に保つように固執した。彼は一生、すべての子供は自分と同じように幸福を味わうべきだと信じた。これは向こう数百年間において我々の文明の目標とするのにふさわしいと思う。この目標が達成されたら次には星間空間を渡ったり、宇宙の起源を解くような壮大な企画に進んでも良い。まずは20世紀の汚染を掃除し世の中を正常な状態に戻すことだ。金はたくさんかかるだろうけれど、子供たちに安全を与え、幸せにする経済的な余地がないと言うなら、金は何のためにあるのかと聞きたい。

林の中を歩いたり、暑い夏の日に池で泳いだりするような単純な楽しみはすべての子供に生まれながら当然与えられるべき権利である。誰でも自由に夜明けの朝に一人で外

²⁰³ Blake, W., "And did those feet in ancient time," 1804 (Church of England hymn "Jerusalem," 1916) 産業革命が起こした社会問題を取り上げた名作である。

へ出て、人のいない霜に覆われた小道を鷹が鳴く上の草原まで登って、目の前に手が届くほど近くに、鹿が飛び出すのを見る。

読者は2204年のメリーランド州のフレデリックの街に住んでいると想像していただきたい。冬の夜である。月に住んでいる友達は200万平方メートルの電波望遠鏡をロボットのチームを使って組み立てているが、気まぐれに週末だけそれを見に行ってみようかと思う。友人のやっているのは23世紀の目立たない小規模の物理学の実験で、今の常温核融合の実験のようなものだ。しかし、雪の夜はやはり家が一番だと思って、行かないことにする。私ならロボットにココアを持ってきてもらい、暖炉に火を燃やしてもらおう。テレビを観るより炎を見る方が面白い。気晴らしを好む人はインターネットにつないでいる幅2メートルの薄型テレビに、前200年間に録音されている世界中の番組、映画、ドキュメンタリー、ニュース放送、音楽会のどれでも映す。またはテレビ電話を使い、友達の家と画面をつないで、即座に映る等身大のイメージと話す。スポーツ競技の生放送を観るかもしれない。それとも、画面を「電子窓」に変えて、ビデオ映像のホームページにつなぐことができる。雄大な景色が好きなら、グランド・キャニオンの光景か、富士山、ヒマラヤ山脈、月のアペニン山脈から見下ろす雨の海を選ぶ。でも、私のように静かなひそやかな場所が好きなら、50キロメートル北の木に備え付けられているカメラに映る場所を選ぶ。そこは、200年前に私が歩いた草原が残っていて、いまだに霜に覆われて、静かで、月の光に照らされている。

付録 A:用語集

これは水野忠彦の本「核変換—常温核融合の真実」英語版のためにユージン・マローブと一緒に書いた用語集に加筆したものである。

アルファ粒子、アルファ崩壊 **Alpha particle, alpha decay**

放射性崩壊 (Radioactive decay) を参照

電流、電圧 **Amperage, Voltage**

電圧は電位か起電力の単位。直流の電力は電圧に電流を乗じる。川の水が水車を押すのとたとえば、電圧は水が落ちる高さで、電量は水の量に当たる。電流はアンペアで、電圧はボルトで測る。

陽極 **Anode**

プラスに帯電した電極で、酸素を引き寄せる。(電極及び陰極を参照)

原子、原子核 **Atom; atomic nucleus**

原子は元素の最小単位。プラスに帯電した原子核がマイナスに帯電した電子の雲に囲まれている。物質のほとんどは核に集中されている。化学反応は電子だけに影響して、原子核に変化を起こさない。原子核反応は原子を違う元素か、違う同位元素に核変換する。

ベータ粒子、ベータ崩壊 **Beta particle, beta decay**

放射性崩壊 (Radioactive decay) を参照

イギリス熱単位 **Btu (British Thermal Unit)**

1ポンドの水の温度を 1°F 上げる熱量。1 Btu = 1,055.06 ジュール

校正 **Calibrate**

実験の第一段階に測定機器を確かめるために、既知量と比べたり、より性能の良い機器と比べたりして校正する。たとえば、温度計を校正するために、定義からして 0°C である氷と水の懸濁液に挿し込んでから、次に 100°C の沸いている湯に差し込む。あるいは、もう二つ高性能の温度計と一緒に攪拌する容器の温かい湯に差し込む。湯が次第に冷めると三本の温度計が示す値を記録して、目標の温度計の修正係数を計算する。

熱量計を校正するために、熱量計の中に水に浸かった電熱器を置いて、数時間にわたって 1ワットの電力を流してから、2ワットに上げて、3、4、5ワットに上げる。電力の段階を上げてしばらく待つと、水に入る熱と熱量計の壁から出て行く熱が釣り合って熱量計の中の温度は安定する。仮に 1ワットで熱量計の温度は周りの温度より 2.4°C だとしよう。2ワットで周りより 4.8°C になって、3ワットで 7.2°C、となるとする。この温度をグラフで表して、校正曲線を引いて、校正定数は 1ワットにつき 2.4ワットであ

り、逆に言えば、摂氏 1 度につき出力は 0.42 ワットがあるわけだ。あとで試料室にセルを置くと温度が 5.1°C 上がる。そのセルは 2.1 ワットを発熱していると分かる。

この方法がうまくいく理由として、電熱器の消費する電気量は非常に正確に測れることと、その消費率は長い時間にわたって安定していることだ。もし電力計の質が悪かったり、電熱器につなぐ電源の質が悪くて電源変動が多ければ校正定数の誤差が大きくなる。熱量計を校正するのに一番大きな問題は機器の周りの温度、研究室の暖房などによる変化が起こす雑音である。

常温核融合の実験では校正とその他の機器試験の段階は数ヶ月かかることがある。

カロリー Calorie

1 グラムの水の温度を摂氏 1 度上げるために必要なエネルギー。これは約 4.19 ジュールに当たる。食べ物のエネルギーの単位も「カロリー」と呼ぶけれども、正確に言えば、この単位は 1 千倍のキロカロリーまたは「大カロリー」と呼ぶべきで注意が必要。

熱量計 Calorimeter

熱量計は発熱反応が起こす熱を測る。あるいは、吸熱反応が試料を冷たくすると吸収されてなくなる熱を測る。従来の旧式の熱量計は試料を水で囲む。試料が熱くなるにつれて、周りの水の温度が上がる。（吸熱反応の場合に温度が下がる。）水の質量と温度によって熱エネルギーの量を計算する。近代的なゼーベック熱量計では試料を「熱電対列」で囲む。熱電対列とは、直列につないで熱電対が数百入っているパネルである。熱電対の総合出力は試料が発生するエネルギー量を示す。

触媒 Catalyst

反応率を推進しながら、消耗されない物質である。常温核融合の閉鎖セルではプラチナの網か玉が触媒としてよく使われている。上部の空間に置くと比較的により低い温度で重水素ガスが酸素と再び結合する。

陰極 Cathode

電気化学セルの負端子につなぐ電極で水素を引き付ける。電解 (Electrolysis) を参照。従来の常温核融合の実験では陰極はパラジウムだ。

熱電併給、熱電気複合利用 Cogeneration, or combined heat and power (CHP)

普通の発電所は燃料の三分の二を無駄にして、冷却塔から立ち上る蒸気の雲となる。その蒸気はタービンを回すほど熱くないが、工場の加熱処理と暖房のためには十分熱い。熱電併給では、蒸気は工場と暖房が必要なビルに導管で送る。（詳しくは第 14 章と 15 章）

重水素、三重水素 Deuterium, tritium

普通の水素の原子は陽子と電子からなっている。重水素の原子は、核に陽子と中性子があって電子がある。普通の水の原子は重水素が約 6,200 につき 1 つある。

三重水素は核に陽子 1 つと中性子が 2 つある。三重水素は放射性同位体で、半減期は 12.3 年間だ。普通の水には検出できるほどの三重水素の量はない。

重水素と三重水素は水素の同位体である。

重水 (D₂O) は重水素と酸素からなっている。対照的に普通の水は「軽水」と呼ばれることがあるけれども、正しく言えば重水が分離されてから残る水で、重水素が自然比率 6,200 につき 1 より少ない水のことを「軽水」と呼ぶべきだ。この自然比率は地球のどこでも、水、氷、水蒸気でも同じである。

重水素化物 Deuteride

重水素を吸収した金属。(詳しくは水素化物参照)

重陽子 Deuteron

重水素のイオン。陽子と中性子だけで電子がない。

電気分解、電極、電解液 Electrolysis, electrode, electrolyte

電気分解とは、電流を電極から液体を通して違う電極へ流すことだ。その液体は「電解液」と呼ぶ。電気分解は分子を正電荷と負荷電を持つイオンに分ける。正電荷を持つイオンはマイナスの電極(陰極)に引かれ、負荷電を持つイオンはプラスの電極(陽極)に引かれる。水の分子は水素原子 2 つに酸素原子 1 つからなっている。これを電気分解すると、分子が砕かれる。水素原子は正電荷を持つから陰極に引かれ、酸素は陽極に引かれる。

電子ボルト Electron volt (eV, keV, MeV)

一つの電子が低い電圧の場所から、1 ボルト高い電圧の場所まで引っ張られることによって、その電子の増加するエネルギー。電子ボルトの単位は「eV」と書く。1,000 電子ボルトは「keV」で 100 万ボルト(メガ電子ボルト)は「MeV」と書く。化学反応では一般的に反応に加わる原子 1 つが 1 eV 以下のエネルギーを発生して、せいぜい 4 か 5 eV を発生する。原子核反応では原子 1 つにつきメガ電子ボルト規模のエネルギーを発生する。 $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19}$ ジュール。

元素 Element

原子の種類。ある元素の原子は皆同じ陽子の数を持つ。元素によって中性子の数が変わることがある。陽子の数が同じで中性子の数が違う原子は同位体と言う。

エネルギーと力の違い Energy versus power

エネルギーとは熱または物理的な仕事をする能力。力（パワー）は即時測定するエネルギーの消費率。たとえば、ある瞬間では10ワットのパワーを測るとしよう。これが安定して、そのまま20秒続くと、合わせて200ジュールのエネルギーになる。パワーは速度にたとえれば、エネルギーは一定の時間に移動する距離に当たる。（速度×時間＝距離、パワー×時間＝エネルギー）

過剰熱 Excess heat

外部から入力するエネルギー量を上回る熱。熱量計の中で起こる化学反応あるいは原子核反応で発生する熱である。常温核融合の実験で電気分解で4ワットを消費しているのに、セルから5ワットの熱を発生している場合に、余分の1ワットは過剰熱だ。これが出始めると化学か原子反応によるものか見分けられない。長く続いて出れば化学反応が作り出せるエネルギー量より多くなって、そして実験が終わってから、セルの中に化学反応が起こった形跡がなければ、その熱は原子反応によるものだと分かる。

発熱、吸熱 Exothermic, Endothermic

発熱化学反応あるいは発熱原子核反応は熱を放つ。吸熱反応は熱を吸収する。常温核融合の実験が始まると、パラジウムが水素か重水素を吸収して水素化物になる。これは吸熱化学反応だから、周りの物を冷たくする。実験が終わった時に、電源を切ると吸収された水素は少しずつ金属から漏れる。これは発熱化学反応だから周りが温かくなる。この二つの反応は釣り合いがとれる。水素が全部パラジウムから出て来れば、吸熱は発熱と等しくなる。常温核融合はこの化学反応よりはるかにたくさんのエネルギーを発生する。何千倍も出たり、まれな例ではあるが数十万倍も出たこともある。

核分裂、核融合 Fission, fusion

核分裂では重い元素の原子核が崩れて、もっと軽い元素になる。核融合では軽い元素が結合する。鉄より重い元素が核分裂をするとエネルギーを放つ。鉄より軽い元素の原子が分裂するのには発生する量より消費するエネルギーが多い。核融合は反対だ。軽ければ軽いほどこの元素は核融合で発生するエネルギーが多い。水素は最も軽い元素だから、これが核融合すると最も大きい核反応となる。この反応は星のエネルギー源である。

核分裂の核融合も結果として核変換が起こる。ある元素か同位体元素が他のになる。

ガンマ線 Gamma ray

放射性崩壊が放出する電磁放射。ガンマ線は10 keV から10 MeV までエネルギーを持つ。

死後の熱 Heat after death

ある常温核融合の実験では、電気分解の電源を切ってから、パラジウムの陰極が冷めるはずなのに、長い間発熱する。フライシュマンとポンスがこの現象を初めて観測し、「死後の熱」と名づけた。

ヘリウム Helium

二番目に軽い元素。同位体が二つある：不安定元素の陽子2つに中性子1つからなっているヘリウム3と、安定している陽子2つに中性子2つのヘリウム4がある。ヘリウム4は多くの核反応の副産物である。常温核融合もヘリウム4を生産している確実な証拠がある。

水素化物 Hydride

コーヒーが砂糖を吸収するように、水素を吸収した金属のことを水素化物と言う。重水素化物は重水素を吸収した金属である。もっと一般的に言うと、水素と陽性元素か陽性の原子団との化合物のことである。

イオン Ion

電荷を帯びた原子か原子団。陽イオンは一つか一つ以上の外殻電子が抜けている。陰イオンは原子が付加している。

同位体、同位体比 Isotope, isotopic ratio

陽子の数が同じで中性子の数が違う原子は「同位体」と呼ばれている。ある元素は多数の同位体がある。たとえば、銅の原子はすべて陽子が29あるが、中性子の数は34の原子もあって、36の原子もある。後者の方が重い。この銅の二つの同位体の原子質量は63（陽子29+中性子34）と65（陽子29+中性子36）になる。これは銅63 (^{63}Cu) と銅65 (^{65}Cu) と表す。金など、ある元素は同位体が一種類しかない。同じ元素の同位体は科学的性能は大体同じだが、鉄の各々の同位体の伝導性が違うというような微妙な違いも観測されている。この現象は同位体を分離して同位体が一種類しかない試料（モノアイソトピック試料）を作るのが高価で困難だからこの研究はまだあまり進んでいない。

ある元素の同位体は一定の比率にある。たとえば、銅の69%は銅63 (^{63}Cu) で、31%は銅65 (^{65}Cu) である。他の元素では同位対比の違いはもっと大きい。酸素の同位対比は ^{16}O 99.762%、 ^{17}O 0.038%、 ^{18}O 0.200%となっている。同位対比（または同位体分布）が不自然に違う比率として現れると、その原因は二つ考えられる：

1. 化学技法か物質的な技法によって人工的に同位体を分離したかもしれない。カナダ原子力公社はCANDU核分裂原子炉のために水素の同位体である重水を分離する。原子爆弾を作るためにはウランの同位体を分離する。
2. 核反応の生成物かも知れない。核反応は元素を1つかそれ以上の違う元素に核変換する。

常温核融合は同位対比を変えることがある。これは核反応だという証拠になる。

ジュール Joule

エネルギーの単位。1ワットの出力を1秒持続する。1カロリー=4.2ジュール。

キロワット **Kilowatt (kW)**

出力の単位。1,000 ワット。

キロワット時 **Kilowatt-hour (kWh)**

エネルギーの単位。1,000 ワットの出力を一時間持続する。1 キロワット時=3.6 メガジュール。

中性子 **Neutron**

荷電のない中性の粒子。軽水素以外の原子の核には必ずある。中性子の重さは陽子とほぼ同じである。

パラジウム、白金、白金族金属 **Palladium, Platinum, Platinum Group Metals (PGM)**

この貴金属は類似した特性があって、鉱石の中によく一緒に混ざっている。パラジウムは水素をたくさん吸収するから、水素ろ過器、水素化触媒と常温核融合の陰極に使われる。白金（プラチナとも言う）は陽極によく使われたりまたは対照試験の陰極として使われる。また白金は熱が出ないので校正のために使われる。白金族にはイリジウム、オスミウム、パラジウム、白金、ロジウムとルテニウムがある。

プラズマ **Plasma**

陽子、電荷を帯びた原子、中性子、電子が気体に似た状態の強く電離した物質。プラズマは電氣的に中性である。

力、パワー **Power**

エネルギーとパワー (Energy) を参照。

陽子 **Proton**

原子核にある正電荷を持つ粒子。

放射性崩壊 **Radioactive decay**

放射性崩壊では、原子核から粒子が放出され、原子は違う元素に変わる。外から影響のない自然発生的な放射性崩壊（自然崩壊）は三種類ある：アルファ崩壊、自発核分裂、ベータ崩壊。

アルファ崩壊ではアルファ粒子が放出される。この粒子はヘリウム原子核である：陽子 2つと中性子 2つ。アルファ粒子は正電荷を持つ。アルファ崩壊は重い元素、つまり周期表の中部より上の元素で発生する。ウランとそれ以上の重さのある元素では自発核分裂とベータ崩壊が起こる。自発核分裂では重い原子が軽い原子二つに分かれる。二つともほとんど同じ重さで、元の原子の半分ずつである。ベータ崩壊によって原子核が電子を放出するかまたは捕獲する。電子は陽子と中性子よりずいぶん軽いから、原子の質量はわずかだけ変わって、質量数は変わらないが、元素は違う元素に核変換する。例とし

て、三重水素（トリチウム）は陽子 1 つに中性子 2 つからなっていて、質量数 3 である。三重水素の原子がベータ崩壊をすると、中性子が陽子に変わって、電子を 1 つ放出して、その原子はヘリウム 3 に変わってしまう。ヘリウム 3 には陽子 2 つ、中性子 1 つあるから、質量数はまだ 3 である。ベータ崩壊は三種類ある：

1. β^- 崩壊。中性子が陽子に変わって、電子が放出され、元素が周期表の次の元素になる。
2. β^+ 崩壊。陽子が中性子に変わって、陽電子が放出され、元素が周期表の一段と下の元素になる。
3. 電子捕獲、または K 捕獲。陽子が一番低い軌道（K 殻軌道）の電子を捕獲して、中性子に変わって、元素が周期表の一段と下の元素になる。

これらは自然崩壊であって、すなわち原子がひとりで変わる。対照に、試料が原子炉か原子爆弾の中に入れられるか、原子炉から放出される中性子に衝撃を与える場合にも核変換が起こる。

放射性廃棄物 Radwaste (radioactive waste)

原子力発生と、核兵器生産と、ウランの採鉱後に残るくず。放射性能廃棄物の始末は大きな問題である。

熱電素子 Thermoelectric device

太陽電池が光エネルギーを電気に変換するように、熱電素子は熱を電気に変換する。熱電池には作動部分がないから消耗が遅いという利点がある。日本語ではこの二つの装置はよく太陽「電池」と熱「電池」と呼ぶのだが、正確に言えば両方とも電池のように電気を蓄えるわけではなくて、流れる光か熱のエネルギーを電気に変換する。

熱伝素子は可逆的の熱機関である。素子を熱にさらすと発電する（ゼーベック効果）。逆に熱伝素子に電流を流すと一面から半対面に熱を引く（ペルチェ効果）。現在の熱伝素子は効率が悪いから電気を起こすのにはほとんど使われていない。主に携帯冷蔵庫に使う。これは一般的にピクニックなどに持って運べる箱形の小型冷蔵庫である。車のダッシュボードの電源に差し込むことができる。電源を流すと箱の中が冷たくなるが、電流を逆にすると今度は箱の中が温かくなって、保温用の容器としても使うことができる。

核変換 Transmutation

ある元素が核分裂か核融合によって違う元素に変わること。

三重水素 Tritium

中性子が二つある水素原子。三重水素は放射性で半減期は 12.3 年間である。水素 (hydrogen) を参照。

ボルト Volt

電圧の単位。電流、電圧 (amperage, voltage) を参照。

ワット（電力と熱の単位） **Watt (electrical, thermal)**

力（パワー）の単位。直流の電気では、ワット＝電圧×電流。熱のワットは1ワット電力を消費する電熱器が発生する熱量である。

廃熱 **Waste Heat**

厳密に言えば、これは：「エネルギーの変換あるいは移動過程に発生される熱エネルギーで、その変換か移動中になくなるから、役に立たない」（パシフィック・ノースウエスト国立研究所の定義）。例として、典型的な自動車のエンジンの効率は20%である。ということは燃えるガソリンの熱は80%排気管から出て行って、20%が車両の駆動力となる。発電の場合は変換損失と送電かつ配電の損失は全部廃熱となる。エネルギーのあらゆる形態はやがて廃熱として散逸する。たとえば、車両の駆動力は最後にタイヤと道と空気を熱くする。

しかし、廃熱は必ずしも無駄になるとは限らない。

第15章で説明したように、冬に自動車を運転している時に、レバーを動かし調節板を開いて熱くなっているエンジンの上を流れている空気で車の中を暖かくする。つまり廃熱を暖房にする。典型的な発電所では熱の66%は無駄になって、冷却塔から蒸気として捨てられる。この蒸気は従来のタービンを回すほど熱くないが、暖房などに使える。熱電併給（cogeneration）を参照。

付録 B: 常温核融合で可能的になる応用

この表には長い間に読者から寄せられたいろいろな面白い考えや夢をまとめた。この考えの多数はこの本で触れている。リストは三つに分かれている：

- 私が支持できない悪い考え。
- 良い考え。多分今日の技術に常温核融合を加えれば作れると思う。
- 未来的な物、常温核融合に加え別な新しい技術が完成されればできると思う。

悪い考え
寒冷地において全ての歩道と車道を熱くする。これは生態に悪い。中央道路のみを熱くして雪を溶かすのはいい考えで従来のエネルギーで実行している。
効率を良くしても金を節約しないから、建物に断熱材を入れない。しかしそんな建物は住みにくい。常温核融合があっても効率はまだ大切である。
大型テラワット級の暖房と照明器具によって大都市では冬と暗闇は過去のものとなる。生態にとんでもない被害をもたらす！
大規模の冷房で暑い夏の暮らしは過去のものとなる。
高熱の金網塀。もちろんこんな危ない物は戦争意外に使えない。
数え切れない軍事用の新しい武器
テロリズムの兵器
常温核融合で動かす油田のポンプ。石油会社の社長はこれが欲しいと言ったことがある！第 13 章参照。
良い考え
従来の平凡なエネルギー応用、料理、照明、水のポンプと精製。運輸。特に第三世界では利益をもたらす。
改良した電気自転車。これは楽しいし、中国では実用的な交通手段として広く使われている。
絶えず空に浮いている熱気球か他の航空機。人が一年中住める種類もできるかも知れない。
超航空ロボット航空機。何年間か一箇所に空中静止して静止衛星の役割をする。テレビ放送、携帯電話の基地局として使われる。
飛行機はある程度重くしてもいいから、丈夫で安くなる。エンジンは小さくなって場所をとらない。
比較的低い温度で作動するタービン。低い温度だと機械が安くて長持ちする。
海水淡水化による巨大規模の灌漑プロジェクト。第 8 章参照
海水から役立つ元素を抽出すること。
熱的解重合の施設でゴミや下水や古いプラスチックを処理して、肥料と合成石油を生産する。その石油は燃料ではなくて、石油化学原料と潤滑油に使う。第 13 章参照
物を再利用（リサイクル）する工業を拡大して、今あるほとんどのゴミ捨て場を片付ける。
改良した屋内農場、水産養殖。第 16 章参照

未来的な物
大規模な掘削工事。道路、工場、商業モールなどを地下に埋める。
大型、長距離の有人宇宙船。推進システムにはイオンエンジンが適当。後には新式の推進装置が開発されるだろう。
ヘリコプターのような垂直離着飛行機（VTOL）。しかし多数の個人用ヘリコプターは騒音公害を起こす。
羽のない飛行機、ジェットの揚力で飛ぶ。
大型遠洋航行ホバークラフト。主に貨物用だが乗客も乗せるかもしれない。
宇宙エレベーター 第 18 章を参照
低重力のホテルを地球軌道に作って、一般の人々が休暇に利用できる。
宇宙発見と植民地化、もしかしたら、数十億人が参加できるほど大規模になる。月に地下の都市と工場を建設。
火星の地面と大気を変え、地球と同じにして人間が宇宙服なしで住めるようにする。
地球の地面と大気を元通りにして、20 世紀の汚れを片付ける。
人工器官の改良、特に動力をたくさん必要とする義足と義手。人工筋肉（電気活性高分子、EAP）で補う。
人工心臓と心臓補助ポンプの改良。
同じ技術を利用して、超人的サイボーグと体の拡張。たとえば足に装置を取り付けると時速 20 キロメートルで 100 キロメートル走れる。それとも腕に取り付けると翼で地球の重力を乗り越えて飛ぶ。（現在自転車のように漕ぐ飛行機はあるが、はばたいて飛ぶ物はない。）
移動するロボットを大改良。
逆油井。地球温暖化を防ぐために、空気中の二酸化炭素を取り出し、石油を合成し、地下深くに埋める。
大型屋内農場。月または宇宙ステーションで建設する。地球上の農地がいらなくなるので、住宅、娯楽、野生動物のために使う。
工業規模で鉄、シリコン、銅のような一般的な元素の同位体を分離する。純粋同位体元素は有用な特徴があるかもしれない。
工業規模で常温核融合の陰極の元素核変換

付録 C:温度の比較

温度	この温度では
0°C	水が凍る
20°C	多くの常温核融合の実験はこの温度で行われる
37°C	体温
60 - 80°C	コーヒーの温度。多くの産業加工はこの温度で行われる。常温核融合では簡単にここまで達することができる。数百の実験で達したことがある。
100°C	水の沸騰点。常温核融合ではここまで簡単に達するが、普通のセルは加圧容器ではないから、沸騰させないように意図的にもっと低い温度に保つ。これよりもっと高い温度だったら、常温核融合の反応が促進するだろうという実験証拠はかなりある。
200 -300°C	加圧水型原子炉が稼働する。常温核融合の普通の熱機関には理想的だろう。火力発電機の温度はもっと高いから効率がいいけれども機器の消耗も多い。
407°C	石炭の発火点
1,500 - 3,200°C	炉の種類によって異なるが、石炭炉の燃焼温度。常温核融合ではここまで達することは難しいかもしれないが、常温核融合によって電気を起したり、化学燃料を合成して、それを燃やせばこの温度に達することができる。
1,552°C	パラジウムの融点
1,660°C	チタンの融点。この温度以上では電極が溶けるので常温核融合では使えないだろう。
15,000,000 °C	太陽内部
400,000,000 °C	プリンストン大学の核融合試験炉 (PPPL) のプラズマ核融合の温度 ²⁰⁴

²⁰⁴ PPPL: An Overview, 1991: Princeton University Plasma Physics Laboratory. 300°C が実用的な応用に適切な温度だから、400,000,000°C は少々インピーダンス不整合だと考えて良いだろう。

文献

文献については格ページの下に脚注をつけた。常温核融合とエネルギーの未来について詳しく知りたい方には下記の本を特にお勧めしたい。

Annual Energy Review. Energy Information Administration, U.S. Department Of Energy.
<http://www.eia.doe.gov/emeu/aer/>

Beaudette, C.G., *Excess Heat. Why Cold Fusion Research Prevailed*. 2000, Concord, NH: Oak Grove Press (Infinite Energy, Distributor).

Cardwell, D., *The Norton History of Technology*. 1995: W. W. Norton & Company.

Christensen, C., *The Innovator's Dilemma*. 1997: Harvard Business School.

Clarke, A.C., *Profiles of the Future*. 1963: Harper & Row.。日本語版、「未来のプロファイル」、1980年、角川書店、福島正実、川村哲郎訳

Clarke, A.C., *Profiles of the Future, Millennium Edition*. 1999: Indigo. この版は常温核融合を取り上げている。

Deffeyes, K., *Hubbert's Peak, The Impending World Oil Shortage*. 2001: Princeton University Press.

Florman, S., *Blaming Technology*. 1981: St. Martin's Press.

Florman, S., *The Existential Pleasures of Engineering*. 1996: St. Martin's Griffin.

Krivit, S. and N. Winocur, *The Rebirth of Cold Fusion*. 2004: Pacific Oaks Press.

Mallove, E., *Fire From Ice*. 1991, NY: John Wiley.

水野忠彦、「核変換—常温核融合の真実」、1997年、工学社。英語版：Mizuno, T., *Nuclear Transmutation: The Reality of Cold Fusion*. 1998, Concord, NH: Infinite Energy Press.

Pimentel, D. and M. Pimentel, *Food, Energy, and Society, Revised Edition*. 1996: University Press of Colorado.

Storms, E., *The Science Of Low Energy Nuclear Reaction*. 2007: World Scientific Publishing Company.

高橋 亮人、「常温核融合2006—凝集系核科学への展開」2006年、工学社。