

“技術の生命誌” 試論¹

——産業技術論の基本問題——

An Essay on the Application of Biohistory

Fundamental Problems of the Philosophy of Industrial Technology

大阪市立大学大学院経済学研究科 *Discussion Paper* No.71, 2012年4月17日

坂上茂樹

はじめに

1. 文明にとって熱機関とは？
2. 1万3千年、650年、20年……現代という時代^{いま}
3. 技術の生命誌 —— その静学的、比較静学的側面
4. 技術サブシステムの動態 —— 技術の生命誌の動学的側面
5. 技術の生命誌を通して見た技術の環境適応とリ・スイッチング

むすびにかえて

補論：産業技術史におけるマクロ的、ミクロ的視点について

はじめに

たまたま筆者は大学で産業技術論を講じて来たが、産業技術論などといっても、「産業技術それ自体」といったモノは何処を探しても転がっていないのであるから、“論”の対象、詮議の中身はどのみち属人的な取捨選択の結果とならざるを得ない。かく開き直る私がある程度の裏付けと確信を以て扱えるのは現代技術の古典領域に限られる。それは第一次、第二次産業革命の牽引車となった機械技術の領域であり、社会の根幹をなすエネルギー変換技術や交通・移動技術の世界では今日においてもなお基幹をなす技術群である。

このような分野やその周辺限定の技術史を穿り返してばかりいる逃げ口上として私は常日頃、「知識には学習参考書型と辞書型の二類型がある」、「辞書の値打ちの一つは何時、誰に引かれるか分からないようなコトバまで収録されていることにある」、「溺れる者は藁をも掴む」、「健康体に薬は要らぬ」、「私の書いたモノの読者はきっと100年か200年後に現れる」などと嘯^{うそぶ}いて来た。

実は100年後でなくとも、日立造船の若手ディーゼル技術者から「上司に目先の細かいことだけでなく広い視野から自分の仕事を見つめ直すために貴方の本を薦められて読みま

¹ 本稿は『経済学雑誌』第112巻『別冊 講義資料』(2011年10月)所収の「産業技術論の基本問題」を改訂増補すると共に、構造技術における歴史的進化の諸相に係わる併載の補足的な小論を補論として合併させ改稿したものである。

した」と告げられた経験もあれば、船用蒸気タービン技術史に係わる拙著を *Amazon* で見つけて真っ先に注文してくれたのが川崎造船のタービン設計技師さんであったなどといった例もある。大変お世話になった船用ディーゼル機関メーカーの技師長さんから、特許申請に対するライバル会社からの不服申し立てに拙訳書掲載の図が添えられていたが最終的には同社の提案に新奇性が認められたと聞かされ、恐縮した経験もある。

しかし、私の仕事は個別事象について具体的に知りたいという衝動に動機付けられただけの行為であるため、力を入れる程に聞き手、読者層の狭窄化が募るばかりの状況を招来している。この実情をガラにもなく多少憂慮し、かつ、未だ“まとめ”のようなスタンスで広い読者層に語りかけるほどの学識も無ければそんな歳回りでもない積りだが、産業や技術文明全般の行方について漠然と心に抱くところが無くもないような気がして来たため、自分の畑について少し俯瞰的な絵を描くと共に個別的テーマの関連付けをしてみようと思いついた。その結果拵げてみた破れ風呂敷が以下の拙文である。些か床屋政談めいているとは思いますが、御用とお急ぎの無い方は暫しお付き合い頂きたい。

1. 文明にとって熱機関とは？

さて、現代技術文明の根底に位置するのは熱機関という名のエネルギー変換装置である。そこで用いられる一次エネルギーの主力は両大戦間期、石炭(石炭焚ボイラ+蒸気機関)から石油(重油焚ボイラ+蒸気タービン、内燃機関)へと大きくシフトした²。

その結果、第二次世界大戦は明確に石油を動力源として用いた石油資源争奪戦という本質を有するに到った。『石油帝国主義』のタイトルの下、両大戦間期におけるソビエト連邦・イラン・イラクの石油利権を巡って繰広げられた列強ならびに国際石油資本とソ連との確執を扱ったフィッシャーの興味深い書物³が出版された 1926 年、ドイツはヴェルサイユ条約による事実上の航空事業禁圧を反故にして軍備再強化に拍車をかけ始め、最古の自動車メーカーにして往事ドイツ航空発動機界の双璧をなした二社を合併させ Daimler-Benz 社(現・Daimler A.G.)を誕生させた。

友好国ルーマニアの油田を生命線と恃むドイツは'35 年に到って同条約を破棄、国内で石炭液化による人造石油製造事業を振興する一方で、'38 年からは更なる石油資源を求めて東欧諸国への侵攻を開始、“電撃戦”で名を上げた。

日本はこれより先、ソ連領北サハリンの石油利権欲しさに 1920 年、軍事的占領の挙に出、ソ連政府から開発利権をもぎ取って北樺太石油(株)を設立した。しかし、北サハリンの石油開発は資金枯渇の影響もあってジリ貧に陥り('43 年、利権返還)、日本は'42 年の蘭領インドネシア占領を手始めにインドシナ半島、ビルマ(ミャンマー)へと侵攻する南方作戦へと転じた⁴。

第二次世界大戦当時の主要産油国はアメリカ、ソ連、ベネズエラ、イラン、インドネシアといったランキングをなしていたが、イランは 1941 年より英・ソの支配下に置かれていた。ドイツはバクー油田を目当てにソ連へと侵攻の触手を伸ばしたものの、南方石油資源に眼が眩んだ日本同様、戦線拡大に伴う補給途絶に苦しみ、共に惨敗を喫した。

しかし、石油を以って石油を奪い合う第二次世界大戦は終結したものの、戦後世界においては①：中東油田の本格開発、②：アメリカ政府の PB レポートを通じたドイツ有機化

² 熱機関の熱源は太陽熱から核分裂熱まで含め、多種多様なモノが実用ないし試用されている。ソーラー・スターリング機関などもその一例である。有名な Jaeger・Le Coultre の ATMOS 置時計は室温の変化をガス入りダイヤフラムで受けてゼンマイを巻き上げ、1℃の温度差で 2 日間動く。このため、永久時計などと呼ばれるが、この機構もまた、熱機関の一種である。しかし、熱機関の主要な熱源は化石燃料となっている。

³ Louis Fischer/荒畑寒村訳『石油帝国主義』(改造社版、初訳 1927 年、新泉社版、1974 年)。新泉社版に付された奥田秀雄による「解題」は充実した論文である。

⁴ 『石油帝国主義』及び中根良介『石油・近代戦・内燃機関』海と空社、1942 年、三輪宗弘『太平洋戦争と石油』日本経済評論社、2004 年の第 5 章、参照。因みに中根良介は有名な私立英語学校であった国民英学会を卒業後渡米、インターナショナル石油会社精油所、更なるその親企業であるスタンダード石油会社、同日本総本部に勤務の後、日産自動車、同販売(株)、満洲自動車(株)と渡り歩いた異色の経歴を持つ技術者であった。中根『オクタン価とセタン価』山海堂理工学論叢(26)、1943 年、著者紹介に拠る。

学工業技術の拡散⁵、という物質的・知的起爆剤が同時に炸裂した。その結果、戦後世界において石油が担う戦略的重要性は戦時にも増して高まるばかりとなり、エネルギー並びに材料資源における石油一辺倒依存体制と形容されるに相応しい時代相が顕現した⁶。

こういった一連の物語全体にそもそもの発端を与えたのは炭素と炭化水素が生命の根幹をなすという事実である。とりわけ結合の腕の多い炭素は地球上の生命の基幹物質であり、それ故に化石燃料の根源ともなっている。

さて、生身の生命の一形態としての人類と過去の生命の遺産とを結合する麻薬的カラクリである熱機関の時代が切り拓かれた発端は周知のようにイギリス産業革命にある。1878年、人類史が力学的エネルギーの熱エネルギーへの転換と共に始まり、熱エネルギーの力学的エネルギーへの転換を以って到達点としている、と喝破したのは F. エンゲルス(1820~95)である。曰く：

人類史の門口には、力学的運動が熱に転化することの発見、すなわち摩擦火の創出があり、これまでの発展の終点には、熱が力学的運動に転化することの発見、すなわち蒸気機関がある⁷。

エンゲルスは“蒸気機関から人類が享受すべき恩恵は当時のイギリス資本主義社会においては不完全にしか実現されていない”と続けている。当時のイギリス社会は労働者階級の絶対的窮乏化が危惧されるほどの状況を呈していた。とりわけ、ほぼ十年毎に襲って来た周期的恐慌は労働者大衆を貧窮と困苦のどん底に陥れずには措かなかつた。K. マルクス(1818~83)やエンゲルスはこれを生産諸力と生産関係の矛盾として捉え、生産諸力を生産関係の桎梏(手かせ足かせ)から解放し、人類を解放する途となるような生産ならびに社会関係の構築、即ち社会主義革命の必然性を主張すると共に、それへと向けた運動の組織化を志した。

然しながら、彼らはその生きた時代の制約からして第二次産業革命の“サワリ”に触れてはいたものの、蒸気タービンには全く、石油時代の申し子＝内燃機関にもほとんど接していなかったと想われる。この思想史上の両巨星は従って、今日の目からすれば、未だブリティッシュな状態にある現代技術文明の住人であったと言えよう。

⁵ アメリカ政府出版局(Publication Board)の *PB Report*。ドイツの様々な技術が細かくレポートされ、化学分野においてはとりわけその有機化学(元来は石炭化学)技術が丸裸にされ、世界に知らしめられた。それらは戦後、石炭化学からこれと相似た石油化学へと転じようとしていたわが国の化学会社にとっても無二の虎の巻となった。

⁶ 戦前戦後を通じたわが国の石油事情については例えば岡部 彰『石油』日本経済評論社、1986年、参照。もっとも、新しい類似文献は他に幾らでもあろう。

なお、石炭や石油と同じ化石燃料の内でも天然ガスはメタン=CH₄を主成分とし、平均組成 C₈H₁₈ で表されるガソリンや C₁₆H₃₀ で表されるディーゼル油より炭素の割合が低い。このため、それは燃焼時の CO₂ 排出量が少なく温暖化対策に有利とされている。しかし、炭素含有率が低いというまさにその本質からして天然ガスは有機化学工業原料としては不利を託つ。

⁷ 『反デューリング論』大月書店版マルクス・エンゲルス全集、第20巻、1968年、119頁。同巻所収の『自然の弁証法』にもこれよりかなり詳しい記述がある。424~426頁、参照。

その二人が常に掲げた生産諸力の解放なる概念は、この脈絡から解する限り、技術を無闇に進歩させ生産活動を、今様に表現すれば GDP を矢鱈に巨大化させることを意味するのではなく、少なくとも当面の課題としては蒸気機関に代表される生産諸力の稼働率を計画的に、かつ長期に亘って高位平準化させ、そのことを通じて技術進歩の果実を労働者大衆に広く行き渡らせる……その程度の意味を担っていたのではなかろうか？

単に GDP を増大させるだけなら、“欲と二人連れ”の途の方が余程手っ取り早かろう。実際、彼らが見届けられなかった第二次産業革命をスプリングボードとして耐久消費財という商品類型が創出され、資本主義経済は大躍進を遂げた。この意味において生産諸力は“解放”され、大衆は“豊か”になった。その頃以降、開発経済の一モデルとして再三試みられた社会主義の高いパフォーマンスはなべて永続させず、やがて計画経済は市場経済に屈服した。

この間、上述のように、文明の^{かまど}竈に投入される一次エネルギーは著増の一途を辿り、その主力は石炭から石油へと移行して行った。マルクスの時代以来、“石炭危機説”⁸、“石油危機説”⁹、“脱・内燃機関論”、“脱・熱機関論”等々を巡っては最近の CO₂・温室効果ガス騒ぎ¹⁰まで含め、大真面目な、あるいは政治的な意図を帯びた掛け声が繰返し発せられて来ている。然しながら、威勢の良い議論に限って、その実現は今以て未遂状態にあるのが現実である。

例えば、わが国において事業発電分野で現状約 3 割、世界全体では約 1 割のシェアを有する原子力発電。これは“脱・石油”、“ストップ・温暖化”のエースであるかのように喧伝されて来た。然しながら、核燃料の要素賦存量と価格動向¹¹、廃炉を極めつけとする放射性廃棄物の処理・再処理コストを含め、原発のライフサイクル全体を通じた安全性の担保に

⁸ 石炭危機に関する経済学者の著作としてマルクスとほぼ同時代人である W.S., Jevons(1835~82)の *The Coal Question*(1865)は記念碑的労作と言えよう。

⁹ アメリカにおいて石油資源枯渇に対する初の警告が唱えられたのは 1866 年であったという事実は小さな驚きではなかろうか？ 上原益夫『石油学入門』日刊工業新聞社、1980 年、268 頁、参照。

¹⁰ 序でに、温室効果ガスの地球大気温度への影響について如何なる議論がなされて来たかについて付言しておこう。このテーマ、実は月の表面温度が何度位かという問いと共に 19 世紀前半以来、物理学者、天文学者にとっての一大関心事であった。無論、産業革命以降、この問題の切実度は一層高められた。このテーマに関する学説史的考証を踏まえた独自の分析を提示したのが電離説や反応速度論で知られるスウェーデンの大化学者

S.,A.,Arrhenius である。彼の議論は、人類の産業活動に起因する温室効果ガスの大気中濃度の変化は無視出来ない気候変動をもたらし得るが、その方向性は常に同一であるわけではない……、つまり、^{あたたか}恰も現在語られている展望と同じような結論に終わっている。cf. *On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground. London, Edinbergh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science. 5th. ser. April, 1896.*

¹¹ 原子力発電における燃料コストの比重は火力発電一般のそれより相対的に低いとされている。しかし、それ自体の生産構造とエネルギー資源需給動向、即ち経済原則からして石油価格が高騰すれば核燃料価格も上昇に転じざるを得まい。勿論、原発にブレーキがかかれれば石油価格は反騰しよう。

要するコスト……詰まるところその現実的な経済性については内外何れの取組に対しても大いなる疑問が抱かれざるを得ない¹²。

所謂“専門家”や利益集団がひねくり出した“原子カルネッサンス”などという戯言^{たわごと}をはじめとする美辞麗句を他所に、この度の東日本大震災・津波に伴う東京電力福島第一原発の大惨事は原子力発電所なるモノが安全に死なせてやろうとしても全然一筋縄では行かぬシロモノであるという事実を世界に知らしめた。

マスコミに駆り出された所謂“専門家”たちのコメントを通じて彼らの嘘つきぶりも世間に認知される所となった。連中は当座、機械要素(後述)の仲間である压力容器や格納容器の優れた耐震強度ばかり喧伝していた。しかし、このテのプラントにおいて一番脆いのは円筒と球体とを連続的に繋いだ容器本体などではなく、同じく機械要素の仲間ではあるが長い直線部や急な屈曲部を含む配管系統(管、管継手、弁、シール装置)である。カブトムシと遊んだりゴキブリに一撃喰らわせた経験があれば、難しい構造力学に頼らずとも奴らの弱点が脚にあること位は分っていて良い筈である。

もっとも、当該の炉においては格納容器設計に脆弱性が潜んでいたとの暴露記事が現れている(『毎日新聞』2011年3月30日 夕刊)。更にまた、炉心溶融、压力容器と格納容器の損傷といった事態まで次々と発覚するに到った。今後、最も危惧されるのは産官ぐるみのヨリ大きな嘘が実態として暴かれて行くことである。

さて、原子力は単位当り出力の極めて大きな、コストパフォーマンスの高い発電所を可能にしたが、加圧水型であれ沸騰水型であれ原子炉に付帯する動力取出装置の実態はカルノー効率の制約下に置かれた、しかも過熱蒸気を用いる一般火力発電所に比して極度に低い蒸気条件(温度・圧力: 圧力では $1/2 \sim 1/3$)の飽和蒸気で作動する、桁違いに大きいだけ取り柄の低回転(1500/1800rpm.)タービンプラントたるに過ぎない¹³。

“超臨界圧軽水冷却炉”という名の高圧原子罐^{がま}が首尾良く実用化されればこの点は幾分改善されるとの触れ込みではあるが、これなど臨界点(圧力 218.3kg/cm²、温度 374.2℃)を超える、そしてヨリ高い蒸気条件の下で稼動している一般火力発電所の足元に近づく蒸気条件を達成するだけのシカケにしては気難しく、かつ、後先何かにつけ、即ち最善のシナリオでコトが運んだ場合においてさえ“高くつく”シロモノになること必定である。

他方、電磁流体の作用に依拠し、カルノー効率の制約から自由である MHD 発電などは

¹² この潜在的ないし本質的高コスト体質はやがては大惨事へと到りかねない無理の累積と抑え込みを暗示するものである。拙著『船用蒸気タービン百年の航跡——現代技術史の基本構造と日本技術史のアイデンティティ』ユニオンプレス、2002年、序章、参照。原子力発電をメインとする最近の技術動向については『日本機械学会誌』Vol.114 No.1149「特集 エネルギー技術の最先端」2011年、参照。

¹³ 高い蒸気条件を活かすため高圧1筒+中圧1筒+低圧2筒構成を採り1~2段再熱サイクルを構成する火力発電用タービンとは異なり、条件の低い極大流量の飽和蒸気を扱う原発用タービンは、申し訳程度の再熱サイクルが構成される場合であっても(湿分離加熱器の使用[後述]、中圧部を持たず、高圧部1筒+低圧部2~3筒という構成となっている(全て複流式)。

耐熱材料や冷却法の開発に躓き、今やほとんど忘れられた存在に成り下がっている。そして同じ自由を享受する燃料電池の勢いもマスコミの騒ぎぶりとは裏腹のテイタラクである。燃料電池に係わる原理的発想は 1839 年に遡ると聞かすが、管見による限り、我国では 1929 年、東京で開催された万国工業会議の第 10＝燃料・燃焼セクションにおいて秋田鉱山学校の H., Greger 博士によってなされた燃料電池についての研究報告が最も古い学術講演のようである¹⁴。

それ以来、燃料電池の研究はアポロ計画、デュポン社(米)におけるイオン交換膜素材(Nafion®)開発をはじめ、幾つかのブームを経験しつつ内外で継続された。私も 1980 年代の終り頃、池田市の国立大阪工業技術試験所¹⁵で炭酸塩型燃料電池の開発実験を見学させて貰ったが、“それからどうした……”というハナシは一向、巷^{ちまた}には伝わって来ていない。

最近でも固体高分子型や固体酸化物型等、大いに社会の期待を担っている分野も存在してはいる。しかし、巴拉ード社(加)における開発を契機に自動車用動力源として一気に衆目を集めるに到った前者など、純水素作動では高くつき、メタノール改質ではイオン交換膜の CO 被毒による寿命短縮が不可避、ガソリン改質などとんと絵空事のようなものである。また、そのエネルギー密度を上げるために高温作動させようとすれば合成樹脂の宿命としてイオン交換膜の寿命は更に短縮されるであろう。

セラミック電解質を用い、高温で作動するが故に高いエネルギー密度を稼ぐことが可能な固体酸化物型燃料電池においてはセラミックと熱膨張率の異なる金属電極との接合および電極それ自体の寿命がネックとなっている。

結局のところ、燃料電池に関してコストや寿命の点で少なくとも移動用動力源として内燃機関に全面的に代位し得るほどの成果は報告されていない。恐らく、部分代替が精一杯であろう。この点は二次電池の高価格・低寿命を託つバッテリーカーも同断である¹⁶。

また、燃料電池と同様、カルノー効率の制約とは無縁な太陽光発電は大変な優れ物である半面、“文明国”においては家庭用発電であれソーラーカーであれ政府予算(補助金)や一般消費者の懐への賦課(料率アップ)抜きには成り立たぬシロモノである。それ程までに高コストであるということは製造過程においてそれだけの石油を喰っているということと同義である。電力に限らず日本のエネルギー商品は安定供給を隠れ蓑に高値安定型供給体制の下で販売され続けている。とりわけ電力料金の高さはこの国のアルミニウム精錬業の国際競争力を喪失させ、産業自体をほぼ、即ち自前の水力発電所を保有する 2 社を除いて総崩

¹⁴ cf. H., Greger, *New Principles for the Construction of Fuel Cells. (Proceedings of the World Engineering Congress Tokyo 1929 Vol. XXXII. Kogakkai, 1931, pp.195~205).*

¹⁵ 大阪工業技術研究所を経て現・独立行政法人産業技術総合研究所 関西センター。

¹⁶ 燃料電池を含む近年の動力技術開発趨勢について幅広く取上げた文献として『日本機械学会誌』Vol.105, No.1007(2002年10月)の「特集 21世紀のエンジンシステム：課題への挑戦」、同 Vol.108, No.1045(2005年12月)、「メカライフ特集 エネルギー」、Vol.109, No.1052(2006年7月)、「小特集 省エネルギーと新エネルギーの現状と将来」、Vol.111, No.1075(2008年6月)、「メカライフ特集 もりもの」、Vol.112, No.112(2009年11月)、「小特集 この20年間で発展したエンジン技術」、がある。

れさせた負の武勇伝を以って聞える程であるが、それを更に押し上げようというのであるから始末が悪いこと夥しい¹⁷。

太陽光、風力や小規模水力、バイオマス等、再生可能なエネルギーはソフトエネルギーと総称されるが、現代世界におけるソフトエネルギーの発電寄与度は 2010 年実績で原発のそれとほぼ並ぶに到ったとは言え 13%ほどに過ぎない。少なくとも、今様の“文明国”においてはライフラインの根幹として化石燃料依存型の大規模電力事業を維持する必要性は絶対的である。量産に因って太陽電池のコストを低下させるという策も無しとはしないが、それが力づくでなければ量産されない程度のシロモノであるというのもまた厳然たる事実である¹⁸。

結局、カルノー効率の制約からの自由を謳う技術に余り大きな期待を抱くのは危険だということである。我々が肌で知っているようなタイプのエネルギー多消費型“文明国”において、家庭用太陽光発電や燃料電池、ソフトエネルギーは量産によるコストダウンを金科玉条とする石油ガブ飲み・大量生産型文明とその基底にあって同じく化石燃料・核燃料に主として依存する事業発電・広域配電網の存在とを前提し、せいぜいこれと共生する存在、即ち他の代替エネルギーと共にエネルギー多様化・危険分散のアイデア商品程度に止まるのが関の山である。多くの業界がビジネスチャンスと見て参入を画策している“スマートグリッド”化もこの限界性を突破するツールには程遠く、何れは **simple is best** の大原則を逸脱した“システム倒れ”、“デジタル倒れ”に相応しい結末を迎えるしかないであろう。

エネルギー中毒社会とも高エネルギー社会とも形容されるべき現代社会がその根幹においてかような十年一日は愚か百年一日の如き状況下にあり続けている現実を鑑みるなら、現代技術文明の下で醸成されつつある危機の実相はマスコミが喧伝する温暖化などではなくエネルギー危機にこそあると結論付けられて良い。それは、とりもなおさず両者の急迫度が桁違いであるからに他ならない。代替技術が真に活力を発揮するのはまさにその時である。だが、それは決して気楽な時代の到来を意味しはしない。

¹⁷ 安定供給をお題目とするような産業なら国有化した方がマシである。その方が下請や“資本のもとへの労働の実質的包摂”の一形態たる非正規雇用下にある労働者に対する搾取の実体もガラス貼りにし易からう。公企業にすれば技術進歩に疎くなるというのはフランス国鉄を想起した途端にバレる嘘である。無論、技術進歩を無限定に善とするのは危険極まりない思想である。

¹⁸ コストはともかく、エネルギー安全保障の観点からは巨大太陽光発電所といったモノも考えられよう。しかし、それはあくまでも社会インフラとしての大規模発送電事業の補完事業にしかならない。ここに本邦電力業界業界強腰の構造的根拠がある。

2. 1万3千年、650年、20年……現代という時代

さて、一次エネルギーの主体たる化石燃料の要素賦存量に関しては確かに様々な“読み”がなされている。私はこの方面についてそう多くの文献をサーヴェイしている訳ではないが、楽観論の典型として兼子 弘のデータに依拠する村中重夫「大予測：30年後の自動車用動力源」の所説を引いておこう。

表1 化石燃料の賦存量と可採年数

	消費量 (A) (1990年)	埋蔵量 (B)	埋蔵量可採決 年数 (B/A)	埋蔵量+資 源量 (B+C)	埋蔵量+資源量 可採年数 (B+C)/ (A)	可能性領域 (D)	可能性領域 可採年数 (D/A)
天然ガス							
在来型	1.7	141	83	420	247		
非在来型	—	192	113	450	265	400	235
ハイドレート	—	—	—	—	—	18,700	11,000
石油							
在来型	3.2	150	47 *	295	92		
非在来型	—	193	60	525	164	1,900	594
石炭とリグナイト	2.2	606	275	3,400	1,545	3,000	1,363
全化石燃料 (非在来型天然 ガスを除く)	7.1	1,090	154	4,640	654		

単位：石油換算ギガトン / 埋蔵量(Proven Reserves)：現在の技術と市場条件で生産可能な資源 / 資源量(Resources)：未発見だが市場条件、技術革新、地球科学の進歩次第で将来の埋蔵量に追加できるもの / 可能性領域：地殻に存在が予想される数量。この時点における“非在来型天然ガス”には現在脚光を浴びている頁岩ガスが含まれる。

村中「大予測：30年後の自動車用動力源」『エンジンテクノロジー』No.04, 1999年9月、表1。元データは兼子 弘「メタンハイドレートと自動車用燃料の将来」『自動車技術』Vol.53, No.5, 1999年。

流石に村中も表の右端を合算して得られる1万3千余年といった数字には直接触れず、(埋蔵量+資源量)÷消費量=約650年という値を拠り所として「とりあえず本稿で扱う数十年程度の時間スケールでは、液体燃料はそこそこの価格で十分に供給される、との予測」が成り立つと結論付けている。

果してこのような予測は正しかったのであろうか？ また、石油連盟のように“200年は心配ない”位に楽観していて良いのであろうか？

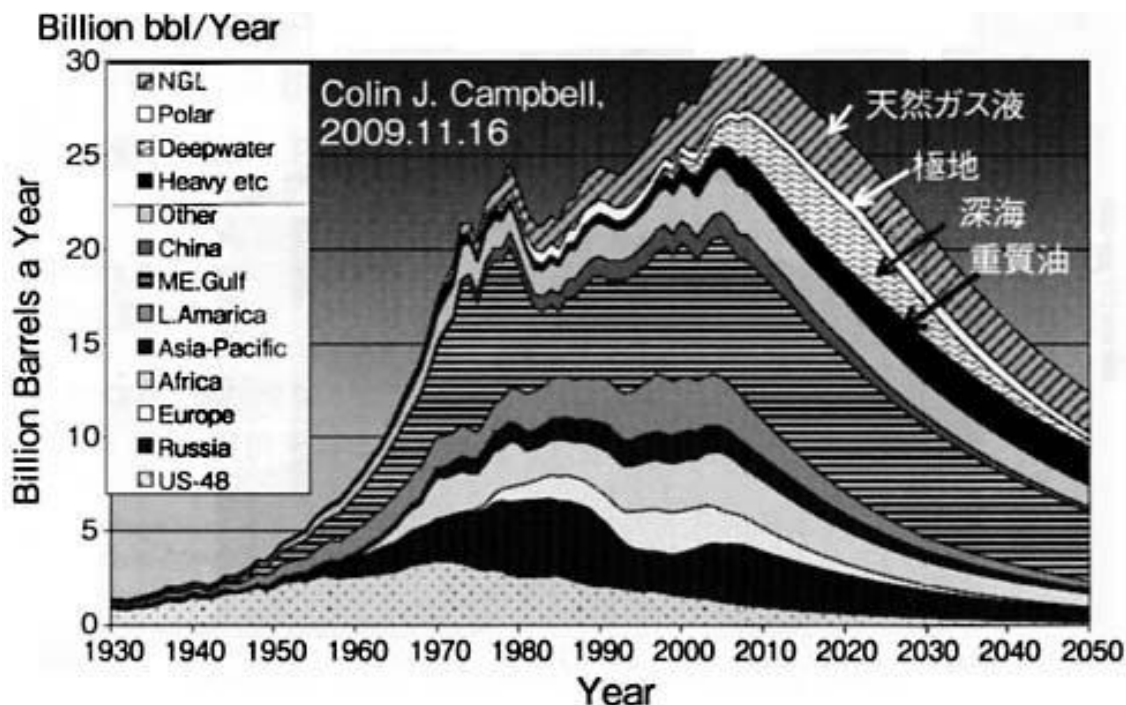
折りしも、サウジの“水増し”疑惑が世界に衝撃を走らせた。世界の石油年産量のピークは様々な予測の繰返し・改訂を経て目下、2012年あるいは2020年などと予測されて来ている。この間、石油価格の暴騰を抑えるため、石油輸出国機構(OPEC)は産油諸国の確認埋蔵量を元に需給調節を図って来た。然しながら、近年とみに掘り急ぎ傾向著しいロシアに抜かれ世界第2の産油国となったとは言え、巨大産油国でありOPECの首領でもあるサ

ウジアラビアの石油会社が宣伝する 9 千億バレルなる「確認」埋蔵量増加予測は大幅な水増しを含むモノで、実態は 6 千億バレルほどが関の山ではないのかというのが話のスジであった¹⁹。

この騒ぎの震源は *WikiLeaks* によるアメリカ外交文書のスッパ抜きにあった。そこで紹介されている情報についての真偽の程は不明ながら、石油の埋蔵量なるものの信憑性に対して従来から大いなる疑念が提起され続けて来ているのは事実である。

一方、2010 年の夏に公表された中田雅彦のサーヴェイ論文に拠れば、当節、世界の専門家・諸機関も石油価格の動向に関して兼子や村中の予測とは全く異なった警鐘を発するようになって来ている。即ち、楽観説の権化＝国際石油会社 Exxon Mobil でさえ 2004 年には研究開発の行方次第では石油生産の先細りが危惧されると公言し、同じく楽観説で聞える国際エネルギー機関(IEA)も *World Energy Outlook 2009* においては未開発・未発見油田からの大幅な増産が無ければ、2030 年時点で 2008 年レベルの生産量は維持され難いとしている。中田に拠れば、IEA 関係者はこのデータブック以外の様々な場においても「安い石油の時代の終り」を警告しているということである。

図 1 Colin Campbell の予測



中田雅彦「警鐘：石油不足の時代が迫っている」『エンジンテクノロジーレビュー』Vol.2 No.3, 2010年8月、より。

元データは Colin Campbell, Open Comment to the Editor of the Guardian on the Article, Key oil figures were distorted by US pressure, says whistleblower.

¹⁹ 潮田道夫「サウジの水増し疑惑」『毎日新聞』2011年2月16日“水説”、参照。

http://www.peakoil.net/files/Campbell_comments_20091110.pdf

重質油とは C/H 比と S 等の含有率とが相対的に大きな原油である。

World Energy Outlook 2009 の刊行直後、反・楽観説の旗手＝石油業界出身の地質学者 Colin Campbell は厳しい、即ち“未開発・未発見油田からの大幅な増産”などという“青い鳥”幻想を払拭した予測を世界に突付けた。

サウジアラビアにある世界最大のガワール油田が操業を開始したのは 1951 年である。確かに、“今後、そのように容易く低コストで採掘可能な、しかも純良な軽質油の大油田が多数発見されることはない”などと神様が人間どもの頭ごなしに決めているというワケではなかろう。然しながら、簡単に掘れるような大油田ならとうの昔に見つけられていて良かった筈である。アメリカの頁岩ガス資源にしても、頁岩層の存在そのものはとうの昔から知られていた事実であり、水平掘削技術の実用化が開発着手の決め手となっただけである。従って、未だ知られぬ美味なる油田の存在、即ち柳の下の二匹目のドジョウについて過大な期待を抱き続けるのは甘いと考える方がまだしも常識的かつ理性的推論である。

実際、新開発の油田や非在来型油田からの収量は既存油田の生産力減退を辛うじてカバー出来るかどうかのレベルに過ぎないといった予測も示されているし、イギリスのトップ企業グループ、アメリカのエネルギー省、アメリカ統合軍、石油業界関係者も相次いで厳しい警告を発している。それらを総括した中田は“石油生産量は 20 年後には現在の半分程度に減退する”と言って憚らない。需要側の食欲如何にも依るが、その価格高騰は必至であろう²⁰。

最近では新聞の経済面等に数十年後の中国、更にはインドの経済成長を予測した記事が散見されるようになった。その一つに拠れば、2009 年に日本を抜いた中国の GDP は 2027 年にはアメリカのそれを捉え、インドは 2028 年に日本と並び、2050 年にはアメリカのそれとも肩を並べるが、その頃には中国の GDP はアメリカ、インドの 2 倍近くに達している、といった推計が掲げられている²¹。

しかし、エネルギー資源における上述のような制約を考慮に入れるならば、これから先、late comer であるほど降りかかって来るのは後発性の不利益ばかりということになる。これを思えば、現在がこの種の絵空事を弄んでいるべき時でないことは火を見るよりも明らかである。

また、最近では産油国であり石油の大量消費国でもあるサウジアラビアについては、同国が 2038 年には石油の純輸入国へと転ずるのではないかと、といった予測すら提起されるに到っている。その具体化は「安い石油の時代」に終わりを告げる最大の画期となるであ

²⁰ これらの情報に関しては中田雅彦「警鐘：石油不足の時代が迫っている」『エンジンテクノロジーレビュー』Vol.2 No.3, 2010 年 8 月、参照。

²¹ 『毎日新聞』大阪版、2011 年 3 月 7 日、夕刊“特集ワイド 3 位じゃだめなんですか GDP”、参照。推計は強欲資本主義の権化＝ゴールドマン・サックスによるもの。

ろう²²。

これらの情報に比べれば如何にも矮小な、蛇足めくネタで恐縮だが、私がこの2つのレポートを引張って来た『エンジンテクノロジー』、『エンジンテクノロジーレビュー』なる二誌は何れも山海堂の発行になる月刊誌『内燃機関』の後身であった。『内燃機関』は戦時色華やかな1937年9月に創刊され、敗色濃い44年11月、休刊に到った雑誌で、'62年7月号より月刊誌のまま復刊されたが、'95年12月号を以って再度、休刊に追い込まれた。

同誌は'99年3月、理工系マンモス学会の双璧、自動車技術会と日本機械学会の編集協力を得、誌名を『エンジンテクノロジー』に改めると共に、隔月刊の形で復活したものの、2007年12月号を以ってこれも休刊、程なく山海堂自体が計画倒産に到った。

'09年4月、両学会の再度の後押しを受けた同誌は自然科学系出版社として知られる養賢堂から隔月刊『エンジンテクノロジーレビュー』の新誌名で復活したが、こちらも'11年2月号を持ってあえなく休刊へと追い込まれた。

微細な現象を精査する学術論文が掲載される学会誌や宣伝媒体的な業界誌・一般向け商業誌と鼎立しつつ両者のギャップを埋め、日本の *MTZ (Motortechnische Zeitschrift)* を目指した三誌の来し方と廃刊経緯には日本経済の盛衰が、そして石油を喰う側の代表的技術の一つたる内燃機関が未だ社会的に重要な(分野によってはあらゆる比較を絶して最も重要な)原動機であり続けながら、排出ガス後処理技術や瑣末なメカの改良、制御技術に係わる更新情報を除けばこの間、本質的進歩とは縁遠い、謂わば“終っている”技術に転籍を遂げたという現実が象徴されている。そして、それなのに、依然として我々は内燃機関に全面的に引導を渡せるようなシカケを手にはしていない、ということである。

²² 潮田道夫「石油『輸入』国サウジ」『毎日新聞』2012年3月21日“水説”、そこで紹介されている大場紀章「『そもそも』から考えるエネルギー論」『日系ビジネスオンライン』3月12日、参照。

3. 技術の生命誌 —— その静学的、比較静学的側面

皆さんは著名な生物学研究者、中村桂子によって提唱された生命・生物事象に対するアプローチとして「生命誌」なる考え方があるのをご存知だろうか？ 念のために中村の所説を約言しておけば、生命誌とは基本を科学に置きながら生物の構造や機能を知るだけでなく、生きるもの全ての歴史と関係を知り、生命の歴史物語(Biohistory)を読み取る作業であり、生物における個体発生と系統発生(遺伝・進化)を追う営為である²³。

生物とそれが係わり合うもの、総じて自然全体を見て行かねば生命誌は読み取れない。世の中には天文学的、地質学的、進化論的、人類史的時間以外にヒトの一生や日常生活の尺度で計られる時間、マイクロ世界の時間が複合的に流れている。科学自体が複数の時間や空間や空間を組込んで行くと自ずと“誌”になって行くと中村は語っている。

また、個々の細胞中にある DNA の全てをゲノムと呼ぶが、各人のゲノムは祖先を辿って人類の始まりに繋がり、更には地球上に最初に登場した生物へと繋がっている。化石などから DNA を基本にした自己複製する細胞＝ゲノムの誕生は 38 億年以上前に遡るとされている。ヒトのゲノムには生命誕生以来のこの長い歴史が刻み込まれている。ゲノムを知ることはその歴史を知ることになる。これが生命誌の考え方である。

中村に拠れば、ケッタイな多数の生き物たちが突然、誕生した“カンブリア紀の大爆発”を 3 億年も遡る今から約 9 億年前に遺伝子そのものの大爆発があり、動物特有の遺伝子のほとんどがその頃に出来てしまったそうである。遺伝情報を担う DNA に生じた変異の幾つかはやがて個体の形質として発現し、それが大きな環境変化の中で初めて、しかし多くの種で一斉に、試されることに因って進化が具現した。

しかし、その過程を通じて一切合切が変わって行ったというワケではない。ヒトのヘモグロビンには既に 5 億年前の魚類に使われていた。その元になるグロビンとほぼ同じものは豆や細菌の中にも見出されている。このように“少数の主題で数々の変奏曲を奏でる”のが自然の特徴的な働きであるという。

クロロフィルとヘモグロビンとは進化の過程で「流用」されたとしか思えないほど似た構造を共有している。クロロフィルによる光合成は原始大気中の水素を用いるところから始まり、やがて原料として水を分解して用いるメカニズムへと進化した。かくて、光合成の廃棄物として酸素が排出されるようになった。大気中の酸素濃度上昇により多くの種が死滅したが、一部の生物がこの大規模な環境変化を機に酸素を上手く利用する生き方を獲得し、繁栄の機会を掴んだ。つまり、種として進化を遂げた。

我々の体内にはこのような長い歴史がその痕跡を留めており、かつ我々は地球上の他の生物たちとそれを共有している。地上のあらゆる生物は共通の祖先を持つ仲間であり人間だけが特別視されてはならない。そして如何なる文明社会になろうと人間はヒトとしての、他の生物たちと共通の 40 億年近い生命の歴史を担う部分を背負って行かねばならない。

生命誌の狙い、願いは学問的理解と日常の体験・直観、つまり知識と体験の一体化にある。

²³ 例えば、中村桂子『生命誌の世界』NHK ライブラリー、2000 年、参照。

生命誌にとっては専門家と素人、研究者と生活者などの区別なしに誰もが当事者であり、知識や知恵、生きものとしての人間の感覚を共有することが重要である。共通性と多様性、変らないものと変るもの、その先にある個としての“私”への関心、これが中村が提唱する生命誌の通奏低音でありテーマでもある。

また、生命誌の目的は自然・人間・人工の関係作り、どんな社会をつくるか、どんな世界観を組立てられるのか、自然とは何か、人間とは何か、人間は何処から来て何処へ行くのか、といった過去・現在・未来に^{またが}跨る根源的な問いに係わって行くことであるという。

中村のTV講演や著作に魅力を感じた私はかつて機械要素、ヨリ正確に、但し幾分回りでどく表現するならその設計情報における幾何学的側面としてのそれを“機械の遺伝子”ないしはDNAの複合体である“機械のゲノム”に相当するモノと見立てることを原点に「技術の生命誌」なるアナログ的な概念を頭出し程度に提起した²⁴。

私が設計情報における幾何学的側面を重視するのは形状と材料、ギリシア哲学で言えば^{けいそう}形相と質料を区別し(殊更“観念論”を振りかざしたいワケでは毛頭無いが)、人智の働きの世界における前者、即ち形相の本性性を強調したいからである。形相とはカタチの謂いであるが、むしろアイデア、神様の設計図集に最初から収められていた図面と言った方が当たっていよう。

機械要素の形相は機械装置の遺伝子たるに相応しい意味合いを持っているが、設計は単なる要素の組合せに終るワケでは毛頭なく、材料や加工法、形状設計における固有の経験知が活かされる場とならなければならない²⁵。そして、しばしばこれらの点に表現された設計者のセンスが設計の巧拙に直結することとなる。同じようなゲノムを持っていても生物個体に現れる形質には違いがある。同様に、CADでカタチが出来、解析ソフトで強度的にOKと出たからお仕舞い、といった“設計”では作品の出来栄も知恵の伝承も覚束ない²⁶。

子供の頃、再三聞かされた“神話”に次のようなモノがあった。曰く、天地創造の時、神様は粘度を捏ねて^{ヒトガタ}人形を造り窯に入れた。最初の作品は生焼け(白人)でお気に召さず世界の片端に捨てられた。二番目は焼け過ぎ(黒人)でこれまた反対側に捨てられた。三度目に程好く焼けたのが黄色人種で世界の中心を住処として与えられた。これは何の可愛げも無い我田引水的太平楽に過ぎないが、質料と形相とセンスとの関係の説明としては確かに一応の体をなしていた。

言うまでも無く、質料ないし材料無しに物質的世界は存在し得ない。その上、材料の如何は特定の機械要素をある種の示準化石ともしてくれる。例えば青銅器時代の楔、鉄器時

²⁴ 拙著『開放中国のクルマたち』日本経済評論社、1996年、「はじめに」参照。

²⁵ 例えば内燃機関設計においては燃焼室内外におけるガス流動や^{ウォータージャケット}水套内における水流の方向付け、点火栓や噴射ノズルの配置、タービン設計においては動翼における円周方向2節振動や部分負荷運転時、低圧最終段附近に生ずる蒸気流れの乱れに対する配慮等々に係わるそれ、といったことである。

²⁶ Ferguson, E., S./ 藤原良樹・砂田久吉訳『技術屋の心眼』平凡社、1995年、は技術における経験知と洞察力=心眼とその伝承の重要性を説いた名著である。

代のそれ、といった具合に……。しかし、この事実にも拘らず、仮令それが何から造られていようと、楔は楔でありそのカタチに期待されるハタラキを示す同種の機械要素であるという点がひとまずここでは決定的に重要だと考えたい。その埋め合わせでもないが、ここで遺伝情報から排除された材料という重大極まる要素は次節において展開される議論の中で然るべき役割を割り振られることになる。

さて、概念の借用なら単に“技術誌”で良かったのだが、これでは技術史の誤植のようでもあり記述的ないしノスタルジックな技術史(Technohistory)や社会経済史への心情的補完物の如きそれなら今更珍しくも何ともない。また、未来への関心も希薄と受け取られがちである。そこで、アナロジーを一步深める下心で敢えて“技術の生命誌”などという借用丸判りの言葉を敢えて捻り出したワケである。

この試みに直接の契機を与えたのは自動車用・車両用ディーゼル機関技術を中心とする対中国技術移転に係わる実態調査と聴き取り、文献考証に基いた分析への取組みであった。そこから浮び上った命題をアナログカルに表現すれば、“中国内燃機関技術界にとっては外来種の場合当たりの移殖ではなく、①：その選択的導入、および、②：在来種の遺伝子組換えないし在来種への新遺伝子の組込みを通じた人的能力の涵養、とを正しく組合せることこそが肝要である”といったメッセージとなる²⁷。

アナロジーの下心をもう一步踏み込んで開陳してみよう。機械技術において遺伝子ないしゲノムに相当するモノは再三触れて来たように形相として観た機械要素である。改めて述べれば、機械要素とは機械を「機能、形状で分類していき、同類のものに分類できる基本的な要素」(日本機械学会『機械工学事典』)を指し、具体的にはネジ、リベット、キー、ピン、止め輪、軸、軸受、軸継手、カム機構、筒とピストン、歯車、ベルトと滑車、リンク装置、弾み車、バネ、管、管継手、圧力容器、ガスケット、パッキン、シール装置等々がそれに当る。

この内、キーやピンは多くの場合、^{くさび}楔、従って斜面利用の一形態であり、ネジ溝は尖端角の極めて浅い直角三角形を円柱に巻き付けた際の斜辺の軌跡を辿ったものであるから斜面利用の一形態に他ならない。斜面の利用という点ではカムも同根である。

ネジないし螺旋は古代ギリシアはアルキメデスの“水ネジ”(アルキメデス・ポンプ)辺りに端を発し、古代ローマではアレクサンドリアのヘロンによりオリーブ・ぶどう等圧搾用のスクリュウ・プレスへと展開せしめられ、中世に到り締結機構として利用されるに転じた²⁸。

円盤の中心に軸を取付け、または貫通させたものを輪軸と呼び鉄道輪軸はその典型をなす。クランク、ベルトと滑車、チェーンとスプロケット等も全て輪軸の応用例である。輪軸相互間において摩擦力により回転力を伝える仕掛けを摩擦板と呼び、その表面摩擦力を

²⁷ その後の中国技術界の動態はまさしくその対極に位置付けられるように見える。機会があれば確認作業を試みたいところである。

²⁸ W.,Rybczynski/春日井晶子訳『ねじとねじ回し この千年で最高の発明をめぐる物語』早川書房、2003年、はネジのみならず機械要素の起源と展開を知る上で絶好の文献である。

凸凹の交互噛合い仕掛けに置換えたものが歯車である。軸の遊離したものは特にコロと呼
ばれ、古代以来、重量物の輸送に用いられる。コロはころがり軸受の一要素ともなる²⁹。

筒とピストンの仕掛けは注射器や水鉄砲、トコロテン突き、オイルダンパ等でお馴染み
だが、これと、リンク装置の一種たるスライダクランク機構とを組合せた上位の複合要素
は往復動原動機や往復動ポンプとして広く具現している³⁰。

機械要素の多くは古代や中世に起源を發しており、時代と共にその形(歯車の歯形がサイク
ロイドかインヴォリュートか等々)や材料(同じ形の工具が炭素鋼製か高速度鋼製か超合金製か等々)
の変化はあってもその本質・形相は変わらず古くもなっていない。それらは本質的に不易であ
り、人類の歴史がある限りそれらが機械の中から抹消されるような事態は起り得ない。人
類の文明史にネジもコロも歯車も無いような時代が訪れる気遣いが無いのは、恰も光学機
械からレンズが無くなり得ないようなものである。

我々の眼前にある機械はすべからず機械要素を単独に、あるいは組織・器官の構成要素と
して含んでいる。つまり、その限りにおいて古代や中世起源のシカケは近代や現代技術と
複合しつつ生きている。如何に絢爛たる最先端技術を鑲められた現代技術と言えども古層
の要素と無縁に虚空に浮かんで存在するようなことは決して起り得ない。畢竟、あらゆる
機械は同類にして同じ歴史を共有しているということになる。ここに生命誌におけるゲノ
ムとその歴史的時間の複合、異なった尺度を持つ時間の複合との相同性が見出される。

他方、機械やその体系が有限な個数の原基的諸要素から構成される複合的な存在である
という事実はヘモグロビンの例と同様、似たような構造・様式が異なった時点において、あ
るいは異なった場において観察されることの根拠ともなっている。言い換えれば、自然に
劣らず人間も“少数の主題で数々の変奏曲を奏でる”ことを得意として来たと言えるワケ
である。

スターリング・エンジンや“濃度差エンジン”など、ソフト熱機関とでも総称され得る研
究分野の我国における第一人者であった一色尚次がその著書に謂う「らせん状に進む技術」
³¹、「メタ復活」、「メタテクノロジー」³²の原理的基礎の一つはここにある。

²⁹ 拙稿「鉄道車輛用ころがり軸受と台車の戦前戦後史」本研究科 *Discussion Paper No.60*,
2010年(リポジトリに登録)、参照。DPはパソコン上での語句検索が可能になっているので
試して欲しい。

³⁰ これら機械要素全般については例えば、馬場秋次郎編『機械工学必携』三省堂、第7版、
1986年、5編「機械の要素」、参照。

³¹ 『省エネ CAR・未来 CAR これからの自動車用エンジン』工業調査会、1980年、204~206頁、
参照。

³² 『ポスト・エネルギー 動きだした未来エンジン』社会思想社、1980年、「まえがき」、154~158
頁他、参照。

一色の近著『B29より高く飛べ！ 一色尚次博士の若き日の研究回想録』原書房、2010年において
は残念ながらこのテの技術論の痕跡は失せ、回顧と顕彰のみが繰返されている。

なお、一色の内燃機関=ハード熱機関技術への言及は『ポスト・エネルギー』50頁にお
けるNa冷却排気弁の起源に係わる記述から近著38~39頁における“層状給気”を巡る話
題まで、誤りや不正確さに満ちている。Na冷却排気弁の技術史については別稿を予定し

また、精密工学の権威、小林 昭もその著書において「トランスファ・エンジニアリング」なる概念をキーワードとして用いている。これは「異業種、異種材料における『モノづくり』をトランスファして、目的の分野で生かす」こと並びに「新旧の技術のトランスファ」であり、何れも現状打破のブレイクスルー策として位置付けられている³³。

小林に拠れば、この概念が着想されたのは随分古く、1963年頃であったというから、彼はその後の長い先端的研究生活を通じて“あらゆる機械は同類にして重なり合う歴史を共有している”という基本的視座からトランスファ・エンジニアリングを実践して来たことになる。小林は差し詰め“技術の生命誌”の良き実践者であったと言えよう。

また、筆者は最近、ある年配の技術者から蒸気機関車ボイラの火室構造が15年ほど前、ごみ焼却炉本体設計に際してヒントとして役立ち、とりわけその自動給炭機(アルキメデス・ポンプの進化形であるスクリュウ・コンベア的一种)の構造が焼却炉用ウッドチップ自動供給装置設計の参考になったとの体験談を聞かされた。これなど、時間的・空間的トランスファ・エンジニアリングの最たる例である。

私が予告したいのは、追って詳しく論じられることであるが、技術の成果は不変の構成要素の複合体をなすという静学的命題を究極的根拠として成立する「メタ復活」や「新旧のトランスファ・エンジニアリング」という比較静学的現象がこの先、人類社会を取り巻く資源・エネルギー環境の大地殻変動に対する新たな適応放散の形態としてその出現頻度を増すであろうという点である。即ち、石油一辺倒時代の到来と共に陳腐化せしめられた諸技術は石油枯渇時代を生き抜くための宝刀となり得る、ということである。

だとすれば、そこで自ずと目が向けられるべきは、同じ適応放散という現象を過程として、つまり動学的観点から分析する視角の構築ということになるであろう。

ている。

³³ 『これからの工学・技術者に求められるもの』養賢堂、1992年、『「モノ」づくりの哲学』工業調査会、1993年、参照。

4. 技術サブシステムの動態 —— 技術の生命誌の動学的側面

前節で見たように、個々の技術的成果は有限個の不変の構成要素の複合物という形で成り立っている。しかし、その一方で、総体として観れば、技術の世界のモノゴトは時間・空間軸と共に大きく変化して来て今、私たちの目の前にある。中村に拠れば、生物を考える時に全体性ほど重要な視点は無いということであるが、この点是对象が人工、機械である場合においても全く同じである。

実際、ほぼ等しい機械要素から成り立っている筈の同種の機械同士、例えば蒸気機関車、飛行機、自動車、航空発動機、車輛用内燃機関、船用機関等々からそれ自身が機械要素の一つに数え挙げられる“ころがり軸受”などに到るまで、イギリス、ドイツ、アメリカ、フランス、スウェーデン、日本など各国の対応物たちはみな程度の差はあれそれと判るような“氣”を発している。そして、多くの場合、それらは一朝一夕に演出された個性などではなく継続的開発、換言すれば進化ないし一連の環境適応過程の帰結である。

ある古い機械は単に形状設計や使用材料に表現された今日とは異なる時代的制約の故にその個性を発揮しているだけではない。「訛りは国の手形」などと言われるが、それらは必ず原産地固有の社会的・歴史的環境条件に対する適応放散の氣を放つが故に、例えば如何にも“ある時代のアメ車”そのものとして、“あの頃のイギリス製モーターサイクル”然として、はたまた“全盛期のドイツ機関車”らしく見えるワケである。そして、その伝統の血は幾分かでも今日の作品の中に名残をとどめずにはいない。

ここでは普段、余り人目につかない二つの分野から、代表的工作機械である旋盤のベッド案内面と鋳鉄溶解炉であるキューボラに係わる例示をしておくにとどめよう。

図2 旋盤ベッド案内面の三様式

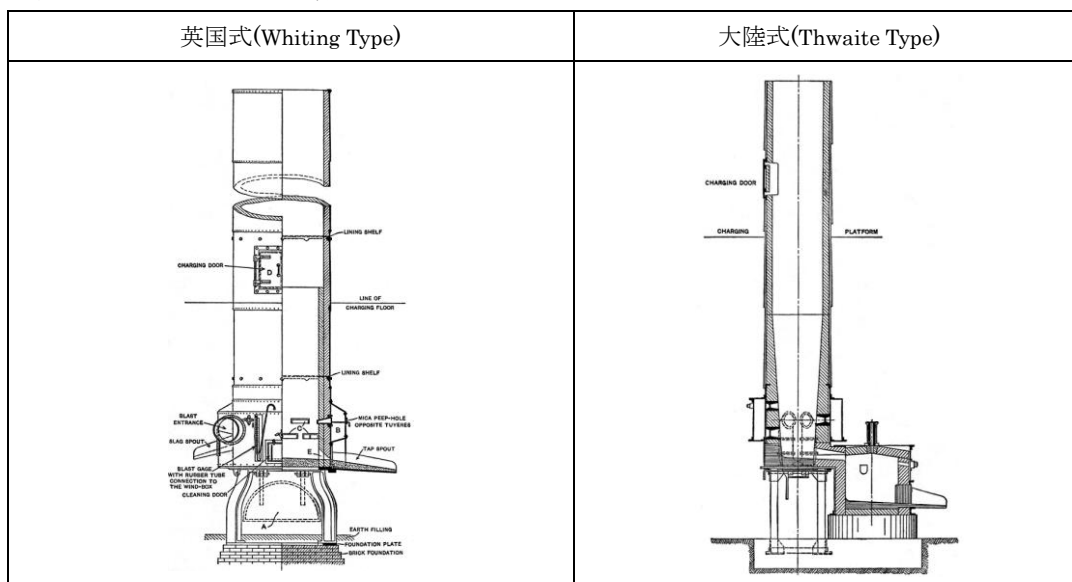
英国式	米国式	折衷式
新潟鉄工所 20NG 型	池貝鉄工所 D20 型	池貝鉄工所 K 型

佐々木榮一「工作機械総覧」『岩波講座 機械工学 VI 1 機械工作』1942年、88-90頁、鈴木信也『初学者

のための 工作機械と工具』理工学社、1962年、33~34頁、より。

旋盤ベッド案内面における英米の個性差は前者がごく普通の平面研削盤のみで製造・加修何れも可能ながら、加修間隔自体は短めとなるのに対して、後者においては専用研削盤によって著しく高能率に製造可能であり、摺動部には摩耗後もある程度正確な位置決め機能が保持されるため、相対的に大きな加修間隔が期待出来る。その反面、米式は加修に際しても専用機無しでは高能率の工作が難しいという点に約言されよう。

図3 キューボラの二様式



Machinery's Encyclopedia with 1929 supplement. N.Y. 1929, Vol.II, p.276 Fig.1, p.277 Fig.2.

キューボラにおける英国式、大陸式の個性差は前者が後工程に大容量かつ均質な溶湯の保持を目的とする反射炉等、再溶解・再混練設備の存在を前提とした相対的に大規模な(大物中心ないし小物量産型)鑄鉄製品生産技術体系の一要素として最も適性を発揮したのに対して、後者が自己完結的な小規模(小物中心型)鑄鉄製品生産単位の基幹技術として、とりわけ屑鉄、屑鋼材を副原料に用い、溶湯成分分布の均一性を要件とする“セミ・スチール”、“強靱鑄鉄”の小規模生産に有効であったという点に認められる。もともと、その存在意義はミーハナイト鑄鉄技術の確立によってやがては失われることとなる³⁴。

かような適応放散の相、メカニズムを今一つの車輪として描き加えられないなら、生命誌という概念の借用は動きの無い単なる順列組合せの議論、鉄道輪軸に喩えるなら片輪^{かたりん}だけ、全く用を為さない未成品レベルに終わってしまう(スペインの“タルゴ” [左右独立車輪]は別格

³⁴ これら二様式の特徴については拙稿「近代ピアノ技術史における進歩と劣化の200年——Vintage Steinwayの世界——」本研究科 *Discussion Paper* No.59, 2010年[リポジットに登録]、の中でやや詳しく論じられている。

である！)。

本家＝生命誌の領域では変化は遺伝子に生じた様々な、全体として見れば中立的であるような変異の中である環境の変化に対して有利に作用する特定の要素が選択され、選択淘汰の累積を通じてある変異が固定化し、種としての形質が進化して行くと考えられている。しかし、技術の分野では、思わぬ失敗も予期せぬ成功も付き物であるとは言え、ゲノムの要素としての歯車が転位歯車になるのもボルトがウィットねじからメートルねじに、あるいは ISO ねじに推移し、その締付が塑性域角度法になったとしても、それらは皆、人智の命ずる所なのであって、偶発するランダムな変化が選択淘汰され、その累積の結果として“進歩”が画されて来たとは首肯し難い。やはり、多少の当り外れがあったとしても人工の世界においては何らかの目的意識が働いており、その結果として t 期の後に $t+1$ 期の中身が形作られたと考えるのが穏当であろう。

そこで私が構想した動的要素＝技術の生命誌の中にあつて現代技術の古典領域における進化の相、その動態を記述する道具立て、これが以下に述べる技術サブシステム論である。

即ち、現代技術の古典領域の顔役たちは機械であれ装置であれプラントであれ、①：構造(材料・形状設計・加工)、②：動力、③：情報通信制御という 3 つの技術サブシステムの絡み合いによって構成されており、その全体としての変化ないし適応進化は各技術サブシステム夫々の内部変化に因って惹起されるサブシステム間バランスの変動、バランスとアンバランスの交代劇という形で現象する、という見通しがそれである³⁵。

①：構造技術の項においては、前節で技術的遺伝情報の本源たる幾何学的側面の背後に一旦雌伏を余儀なくさせられた材料問題が次元を換えて浮上して来る。凡そ材料なるものは機械要素に止まらず躯体を含む構造物の肉体全てを形作り、その機能を支え、その歴史的到達段階を刻印する質料である。この資格において材料に係わる事柄は上記の位置、即ち第 1 技術サブシステムたる構造技術サブシステムの筆頭にランクされる。

即ち、人工界においては使用されている材料技術ならびにそれに付帯する加工技術はその如何によって工作物の大雑把な年代特定が可能になるほどの重要性を有している。実にこの材料ならびに加工法の進化転変こそは自然界には見られぬ人工界ならではの一大特質であり、これ無くして技術文明における進化の大半は実現され得なかった^{36,37}。

³⁵ 情報通信・制御技術は R&D 及び製造の次元では計測・検査と深く係わっている。

なお、この考え方は拙著『船用蒸気タービン百年の航跡』「序章」において初めて提唱され、日本産業技術史学会『産業技術史事典』思文閣出版、2007 年、「航空機と自動車」総論で改めて展開された。この事典における私の執筆になる 22 の個別小項目群は概ねその具体的適用例をなす。

³⁶ 材料と加工法の進化転変の例は枚挙に暇ない程であるか、ネジで例えるなら材料は木か鉄か鋼か特殊合金か、はたまたプラスチックか？ スレッドの加工は鑿やすりによつたかバイト(旋削)によつたか、それとも転造品か成型品か？ 歯車であれば木製か鋳鉄か、後者でも鑄放しか研削仕上げか？ あるいは鍛造粗形材からの歯切り加工によるものか？ その場合においても熱処理後の仕上げの有無は？ それともそれは冷間鍛造品か焼結品か粉末鍛造品か、あるいはプラスチック成型品か？ ……といった具合になる。

また、材料にせよ加工法にせよ、ある時点では特別な手練手管を駆使した末に辛うじてモノになるか否かの瀬戸際にあったような技術が後の世では有触れた存在となっている現象もごく普通に看取される。逆に、昔は玩具にしか用いられ得なかったゴム製クローラがその後、材料技術の進歩のお陰で実物の小形建機ぐらいには用いられるようになっていく。そして、多くの場合においてはこういった現象を技術進歩の中身として定義付けることが可能である³⁸。

また、次位に来る形状設計の本義は単なる意匠の捻くりなどではなく、機械装置の遺伝子たる各機械要素の形相を“このような楔、～ネジ、～歯車、軸受³⁹etc., etc.”といった形で個別具体化させて行く作業、それらを組合せることによってなされる機構からユニットに到る取りまとめ(ユニット設計)、更には全体性の構築(総合設計、艤装設計)から構成される。無論、強度計算においては材料強度に関する情報は前提である。

②、③についてはその何たるかの説明に多言を要しないであろう。無論、「3つの技術サブシステム」などと振りかざしてみても、現代技術の古典領域においてさえその全ての現状と歴史に通暁することなど到底出来る業ではない。しかし、幸いにも熱機関に係わる動力技術はそれ自身、構造技術(強度計算)、動力技術(熱計算)、情報通信制御技術から成る下位

材料とその加工技術との大雑把な歴史的展開事例については『日本産業技術史事典』「航空機と自動車」の項、「航空機の生産技術体系」、「自動車の生産技術体系」、参照。

³⁷ 但し、質料としての人工物は加工度が高い程、自然の産物に比して寿命が短くなる。金属は通常、自然界では化合物の形で存在する金属原子を無理やり単体で取出したモノであるが故に大気に曝露されれば速やかに化学変化を遂げてしまう。原油から力づくで抽出され結合させられた分子・原子群から成る合成樹脂は紫外線や油をはじめとする他の要素と反応して急速に脆化・劣化する。その度合いは再生品ほど甚だしい。コンクリートは岩石より、紙は木より、なめし革は天然獣皮より短命である。これは人工界の質料が須らく負わされた宿命であり、人工界などと称してもそれを自然界と拮抗する概念であるかのように見做すのは幻想である。

それどころか、一時、持て囃された PCB、フロンなど「夢の素材」、アスベストから核廃棄物に至まで、人の手によって創造ないし蔓延させられた物質の中でなまじ寿命の長いアイテムに限ってロクなモノは無い。拙稿「近代ピアノ技術史における進歩と劣化の 200 年—— Vintage Steinway の世界 ——」、参照。

³⁸ A., スミス、『国富論』第一篇第一章のピン・マニファクチャ論、即ち分業による生産力の進歩に関する下りを想起してほしい。そこを読んである世代のヒトなら「アイスクリームの歌」を想起せずには済まない筈である。

マルクスが『資本論』第 1 部第 3 篇第 5 章(大月、全集版 23a、236 頁)で、何が作られるかではなく、どのようにして、どのような労働手段をもって作られるかが経済的諸時代を区別する。労働手段は、人間労働力の発達の測定器であるばかりでなく、労働がそこにおいて行なわれる社会的諸関係の指標でもある。

と述べたのも明らかに同じ趣旨であろう。

³⁹ 但し、平軸受は機械設計者側の意図に即した平軸受メーカーによるオーダーメイド、ころがり軸受はメーカーが用意した規格品の中から機械設計者が選択するレディーメイド方式を採るのが常道である。

サブシステムをその内部構造という形で包蔵してくれている⁴⁰。

そして偶々^{たまたま}、私は動力技術の一部をなす熱機関の歴史を主たるテーマとして来た。このため、お蔭様でと言うべきか、内燃機関や蒸気タービン技術史を扱う過程において材料・形状設計・加工に係わる構造技術サブシステムの問題の幾つかについて、かなり気合を入れて取上げることが出来た。

些か迂遠ながら、熱機関を主体とする動力技術サブシステムにおける 2 世紀半に及ぶ発展の概要を以下に述べれば、イギリス産業革命は植民地に産する天然資源の大量供給に依拠する繊維産業を主導部門としたが、その動力技術における裏付けは水力と蒸気力にあった。熱機関の分野においては石炭焚きの低圧ボイラと往復動蒸気機関からなる蒸気動力プラントこそが第一次産業革命の牽引車であった⁴¹。

この種の量産型大工業^{マニユファクチャ}に対してイギリスでは早い時期から知識集約型ないし高付加価値型産業としての小規模な革新的機械工業育成の必要性が叫ばれた。その経営革新のツールとして期待を担ったのは高圧化やボイラの安全設計をはじめとする蒸気動力プラントの改良ではなく、独立した小形動力であった⁴²。

当時、小形動力需要が如何に切実であったかは、イギリスでも大陸でもそれに応えるべく水道が動力分配に用いられた事蹟すらあったという記録からも窺えよう。やがて、フランスとドイツとりわけ後者において独立の小形動力として内燃機関が本格的に実用化され、この需要は一応充足された。

大規模繊維産業は連続操業に拠るコストダウンを至上命題としたから夜間操業の照明としてガス燈が開発され、大都市においては都市ガス＝灯用ガス(light gas)網が発達していた。初期の蒸気機関車はその製造過程において生ずる廃棄物＝コークスを燃料として用いていた程である。最初のガス機関は元来、灯火用であった都市ガスを焚く動力機として開発され、操業時間が短く発停頻繁な動力を需要した機械工場等に普及し、やや規模の大きな需要家向けには自家発生炉付きの中形ガス機関が開発された。また、ガス機関は高炉やコー

⁴⁰ 第 1 節で触れた原発用蒸気タービンを例に述べれば、その定格回転が火力発電用のそのの $\frac{1}{2}$ となっているのはそのサイズに由来する強度計算上の要請を、そのサイクル中に湿分分離器ないし湿分分離加熱器が組込まれ、ブレードに湿分分離用の溝が切られているのは低い蒸気条件に由来する熱計算上の要請をそれぞれ受けた制御・構造技術上の帰結である。

また、2006 年 6 月に相次いで発生した中部電力浜岡原発 5 号機、北陸電力志賀原発 2 号機の低圧翼車ブレード損傷事故は当該動翼に負荷変動時の蒸気流れ攪乱に耐えるだけの強度を付与しておかなかった(熱計算の帰結を反映し切れなかった)構造設計のミスに因るもので、原型となった GE 社の古い製品においては然るべき補強策が講じられていた。この事故の概要については例えば『朝日新聞』2006 年 10 月 10 日(夕刊)の高サイクル疲労に関する解説記事、参照。

⁴¹ 拙稿「A. ユアの大工業(マニユファクチャ)論」『経済学雑誌』第 83 巻 第 3 号、1982 年、参照(リポジトリに登録)。

⁴² 拙稿「技術進歩思想における労働主体把握 —— C. パベジとユア ——」同、第 84 巻 第 6 号、参照(リポジトリに登録)。

クス炉の排ガスを利用する大規模自家発電用の大形動力装置にも進化を遂げた。

やがて、事業用大規模発電事業が発達し、それらの動力は蒸気タービン・プラントに帰一する。小規模動力は末端需要箇所⁴³に据付けられた電動機によって充足されるようになり、独立型の内燃機関は移動用動力として重きをなすに到った⁴³。

往復動蒸気機関技術が内燃機関の母胎となったように、発電用・船用動力として世紀転換期に開発された蒸気タービンは重油焚ボイラと結合された大出力プラントの構成要素としてその地位を確立する一方、ガスタービンの基礎ともなった。ここにおいて現有型の動力技術体系が定礎された。

これら動力技術体系における進化の各段階、各局面において構造技術、とりわけ熱計算と並び立つ強度計算に係わる力学体系が発展した。また、動力技術の内部構造という形で包蔵された構造技術サブシステム上の問題の多くは石器時代以来の歴史を継承するかのよう⁴⁴に、^{ダクタイル} 鋳鋼、特殊鋼(耐熱・耐食鋼等)、超硬合金、焼結合金、複合材料、あるいは鋳鉄、球状黒鉛鋳鉄、軽合金、軸受合金といった材料技術上の開発によって解決されて来た⁴⁴。

構造技術サブシステムの材料技術的側面について私はまた、軸受鋼に係わる材料ならびに加工(とりわけ熱処理)技術の進歩に触れ、あるいは近代ピアノにおける鉄骨の材料(鋳鉄)ならびに加工(鋳造)技術の如何がその構造力学的特性を通じて最終製品の発音特性を深く規定していることについての分析を行った⁴⁵。近代ピアノ関係ではミュージックワイヤの伸線に係わる技術史をも取上げ、また交通機械技術史の脈絡においては熱間厚物プレス加工⁴⁶や熱間鍛造⁴⁷に係わる技術の変遷をも扱った。また、木材の利用技術史についてさえ多少の言及は試みて来ている。木材は機械材料としてかつて重要な地位を占め、建築物・家具・楽器用材料としては今日でも極めて重要な地位を占めるが、その機械材料としての最後の檜舞台は航空機機体とミサイルのノーズ・コーンであった⁴⁸。

⁴³ ガス機関の全盛時代を含め、拙著『ディーゼル技術史の曲り角』信山社、1993年、第1章、参照。

⁴⁴ 蒸気機関一般、蒸気タービン関係については『船用蒸気タービン百年の航跡』、『日本産業技術史事典』「ガスタービン」の項、進化経済学会編『進化経済学ハンドブック』共立出版、2006年、Part2事例「原動機」の項、内燃機関関係についてはR.ディーゼル著/拙訳・解説『ディーゼルエンジンはいかにして生み出されたか』山海堂、1993年、『ディーゼル技術史の曲り角』、航空発動機に関しては「三菱内燃機・三菱航空機のV及びW型ガソリン航空発動機——ルノー、イスパノ・スイザ、ユンカース、93式、W型——」(入稿済)、蒸気機関における固有の一形態たる蒸気機関車については「C53型蒸気機関車試論[訂正版]」本研究科 *Discussion Paper* No.62、2010年(リポジトリに登録)、参照。

⁴⁵ 前掲「近代ピアノ技術史における進歩と劣化の200年——Vintage Steinwayの世界——」、 「スタインウェイ・ピアノにおける発音特性と整調規準の推移」本研究科 *Discussion Paper* No.65、2011年、参照。

⁴⁶ 大島 卓編『現代日本の自動車部品工業』日本経済評論社、1987年、200~201頁、「自動車部品企業の技術形成——プレス工業とアクスル・ハウジング加工技術」中岡哲郎編『技術形成の国際比較』筑摩書房、1990年、所収、参照。

⁴⁷ 「C53型蒸気機関車試論[訂正版]」補遺 クランク車軸の技術史、参照。

⁴⁸ この点についても「近代ピアノ技術史における進歩と劣化の200年」、参照。

結果的に、3つの技術サブシステムの内、私として最も疎遠なのは情報通信制御の技術サブシステムである。その背景には神風特攻隊やガガーリン少佐を含め、永らく生身の人間が制御装置の枢要を占めて来たし現在でも相当な部分を担っているという客観的現実がある。もっとも、この分野については個人的な能力自体の制約が大きく、若干でも言及し得たのは動力技術サブシステムの内部構造としてのそれ、動力技術サブシステムとの協業形態における、あるいは R&D ツールとしてのそれ……具体的には船用蒸気タービンや内燃機関の出力制御系、船用ディーゼル機関の運行支援用遠隔モニタリング・システム(現行では通常メンテナンス用、将来的には排煙脱硝装置の管理を含む)、船用ディーゼル開発における機関本体と排気タービン過給機系とのマッチング(シミュレーション)等々といった話題のみとなっている⁴⁹。

生体における骨格、筋肉、脳神経系にも比定され得るこれら構造・動力・制御の3技術サブシステム区分は技術進歩の動態について考える場合の良き導きの糸となる。それは、先に述べたように、技術の進歩というモノは概括的に表現すれば3つのサブシステム間のバランスとアンバランスとの狭間に生起する動的過程として最も良く理解されるからに他ならない。

管見に拠れば、技術進歩が3つの技術サブシステム間のバランス⇔アンバランスを通じて発現することの究極的根拠は自然界が最小律に支配された世界であるのに対して人間界においては最大律が支配的であることに求められる⁵⁰。

最小律(law of minimum)とはドイツの高名な化学者 Justus von Liebig によって 1843 年に提唱され、「リービッヒの最小律」として知られるようになった法則である。これに拠れば、植物の収量(生育)は必要栄養素の内、最も少ない肥料要素(無機成分)によって制約される。

彼は、植物の生育には窒素・リン酸・カリウムが必須であるが、その生長は3要素中、最も不足している成分によって影響され、他の2要素が過分に存在しても埋合せにはならないという事実を解明する一方、自身の理論に基づく化学肥料を創生した。

後に最小律は無機養分以外の微量元素や水・日光・大気等の育成条件まで含める概念へと拡張された。その反面、各要素間に若干の補完関係が成立する場合が見出され、必ずしも最小律は絶対的ではないと考えられるようになった。しかし、最小律の基本思想は今日においても配合肥料の N-P-K 比を決めるための基礎理論として生き続けている。また、光合成植物は主要な食物連鎖の基底をなすが故に、最小律は自ずと自然界の秩序の根幹をものなしていると考えて良い。

ところが、人間界においては肥料の3要素ならぬ3つの技術サブシステムの内的発展は不均等であることが常態であり、そこに予定調和は存在しない。この客観的情況を背景と

⁴⁹ 『船用蒸気タービン百年の航跡』、「戦前・戦時期の国産中・大型自動車用機関について(2)」『経済学雑誌』111巻4号、2011年、参照。

⁵⁰ 中村桂子はこの点について自然界のパターンとしては「最大より最適が合っている」という表現を用いている。中村前掲書、227、230頁。

しつつ、技術サブシステム相互間における発展のバランスを確保する裏付けとしては人智しか存在しない。しかも、観察の積重ねによれば人智なるものは往々にして“欲と二人連れ”であり、経済的利益、戦争の勝利といった利己的目標故に分断されていたり初めから或る方向を指示されていたりするが故に曇らされていること夥しく、最小律に準じて関連各技術サブシステム間で最も弱い部分に基準を設定し、全体の良きバランスを優先させるなどという方向にはまず作用してくれない。

何か突出した、あるいは使い勝手に優れた要素が見出されれば、これを最大限に活かした“進歩”、“開発”が志向される。状況を後から反省すれば、まるで“何とかの一つ覚え”さながらである。確かに、それでも何処かに小器用に皺寄せして置けば全体としてマトマリ、格好はつけられる。その一瞬の社会が、市場がそれを求めていたのであるから、それはそれで当事者たちにとっては技術者冥利に尽きる課題にはなったのであろう。

だが、何れ、また程度の差はあれ、その皺寄せは上位技術システム(最終的な作品あるいは社会全体のシステム)における歪み、内的アンバランス、とどのつまりは無駄、不経済という格好で意識されざるを得なくなる。技術サブシステム内部に、そしてその延長上、技術サブシステム相互間に累積されるアンバランス＝歪みが大きいほど上位システムの維持には綱渡りの技が要求され、これを行うに際しての困難度＝コストは増し、時に大惨事といった悲劇的局面が招来されたりもする。

安治川口駅構内でかつて発生したガソリン動車炎上事故はアンダーパワーというサブシステム間アンバランスに艤装(取りまとめ)設計の稚拙さと線路保安システムの不備が重なったことに起因する悲劇の一つであった⁵¹。ピストン航空発動機は総じて無理の集積体であったが、とりわけ初期の回転気筒空冷星型発動機に到ってはケレンないしはサプライズとしか言いようの無いようなシロモノであった⁵²。そして言うまでも無いことであるが、原発事故は歪みの強圧的抑え込みとその暴力的破綻の典型である⁵³。

大形ピストン航空発動機などは軍需に引き摺られて短期間に世代交代を遂げたが、今少しの技術的改良に未練を抱いた状態でジェットエンジンの到来に遭遇したため、あえなくその本来の勢力版図を奪われてしまった。また、その低いコストパフォーマンスからすれば、それが“軍転民”に失敗し、早期に第一線撤退を余儀無くされたのは当然の成り行きであった。

他方、原爆用プルトニウム製造装置として開発された原子炉は強力な熱源としての新進

⁵¹ 坂上茂樹・原田 鋼『ある鉄道事故の構図』日本経済評論社、2005年、拙稿「途中転轍事故とデテクター —— 線路の側から見た安治川口事故の要因に関する一試論 ——」『経済学雑誌』第111巻 別冊(後期)、2010年、参照。

⁵² 拙稿「回転気筒空冷星型航空発動機の盛衰(上中下)」『LEMA』、No.478、479、480、2005年、「ル・ローン回転気筒空冷星型発動機について(1),(2)」『LEMA』No.503,504 2011年、参照。

⁵³ この危険性については先にも言及した通り、『船用蒸気タービン百年の航跡』序章にて述べておいた。

対抗技術が現れなかったという機を捉え、軍用動力プラントとしての地歩を築き、かつ、事業発電用の罐^{かま}として華々しく“軍転民”にも成功した。原発の特徴はその強大なパワーだけでなく、個体の経済的寿命が“ゾウの時間・ネズミの時間”よろしく航空発動機に比して桁違いに長い点にある⁵⁴。これでは電力会社が重度の原発中毒患者となる謂れも理解出来る。

しかし、この個体寿命という点に眼を奪われること無く、最近に到るまでの原発開発改良史を振り返れば、老朽原発が危ないとか新しい世代は安全だとか言ったハナシとは別に、現有最新施設なるものが丁度’60年代のピストン航空発動機同様、少なくとも民需用発電部門においてはそろそろ年貢を納めるべき世代に当たっていると結論付けられても不自然ではないのではなからうか？

それはともかく、サブシステム間における歪みの発生と克服の過程には技術の国民性、そのアイデンティティーが集約的に表現される。よって、私は技術進歩、その適応放散におけるこのような構造的本質を活写する方法としても上記3区分は充分遣い物になると考える。実際、最大律の過剰表現の典型としてかつての日本における軍事技術開発を凌ぐ程に悪しき例はちょっと見当たらない。これをアメリカやイギリスにおける対応過程と比べれば、落差は余りにも顕著である。言い換えれば、かつての敵国のそれが最大律の抑制された適切な表現であったのに対して我国のそれは誠に近視眼的・視野狭窄的行動の場当りの継ぎ足しの繰返しであった。

この点については艦艇用蒸気タービン技術における米国の歩みと艦本式タービン開発史との対比⁵⁵、我国の航空発動機開発史における水冷(→液冷)開発における無定見とその蹉跌⁵⁶、空冷開発において露呈した“井の中の蛙”的情况⁵⁷、これと表裏一体をなした機体開発におけるもたつきや挫折の具体例が多くを語ってくれている。

兵装偏重の余り船体強度、防御力ならびに復元力の切下げを甘受させられ、なおかつパワー不足に泣かされたこの国の艦艇設計における基本的制約は軍用機設計におけるそれとも通底するものであった。第二次大戦期の看板戦闘機、偵察機を比較してみても、スピットファイヤー(英)戦闘機は発動機の出力向上を背景に末期においてはほとんど初期とは別の飛行機にまで成長を遂げつつ活躍を続け、斬新な設計の木製偵察機モスクトー(英)のバ

⁵⁴ 但し、物理的寿命に関してはこの限りではなく、航空発動機においてもアメリカ辺りでは非常に使用期間の長い個体が散見される。この点については拙稿「Rolls Royce 初代 *Eagle* 航空発動機について —— その戦後改良に見る動力技術進歩の内部構造 ——」(『経済学雑誌』第111巻2号)の末尾で多少、例示しておいた。

⁵⁵ この点については拙著『船用蒸気タービン百年の航跡』の第5,6章、参照。

⁵⁶ その前史的部分については「三菱内燃機・三菱航空機のV及びW型ガソリン航空発動機 —— ルノー、イスパノ・スイザ、ユンカース、93式、W型 —— 」にて詳細に取上げられる。

⁵⁷ 航空発動機技術史についてはこれまで『LEMA』誌上に多少の論考(リポジトリに登録)を載せた他、『経済学雑誌』でも発表を続けて行く積りであるが、この“井底の蛙”ぶりの具体的解明こそは私が直近の使命の一つと考えるものである。

ランスに優れた機体は戦闘機、爆撃機への改造にも良く堪え、高性能の姉妹機種を相次いで誕生させた。それらの心臓をなしたのは2速2段過給機に依りほぼ同じ外形寸法から倍の出力を叩き出すに到り、アメリカでも大量にライセンス生産された **Rolls-Royce Merlin** 発動機である⁵⁸。

これに対して、我国の対応物は何れもパワー不足下における兵装偏重と歪んだ用兵思想の結果、機体強度、防御力を犠牲とする小さくかつ偏ったバランスに逃げ込まざるを得ず、遂にその境地を脱し得ぬまま憐れな末路を迎えた。発動機も結局のところ安定した力量を発揮し得たのは辛くも開戦前に開発を終えていた機種だけであったが、それらの改良からは結局大した成果は引出されなかった。

もっとも、そのイギリスにしても戦後、世界初のジェット旅客機“コメット”の開発に際しては辛酸を舐めさせられている。ジェット・エンジンの特性を活かすべく高々度飛行に供される同機の機体客室に働く反復予圧応力に係わる疲労強度設計上の錯誤に因り、同機は就航後、空中爆発事故を続発させた。かくて、イギリスは民間航空機製造においてアメリカに油揚げを攫われる格好となった⁵⁹。

失敗と成功との分水嶺は技術サブシステム個々の問題であると共に、それらの間のバランシングが場当りの取られていたか大局的に良く煮詰められていたかの違いにあったと言つて良い。失敗は技術サブシステム間の動的バランシングを見極め、全体の発展を統括出来る目利きの技術者が育っていなかった時に起きているという風にも表現出来よう。機械技術における“進化”の主役は環境や偶然、偏見に支配されているとは言え、あくまでも人智である。

この角度から 20 世紀技術史を大局的に回顧すれば、その前半は戦勝を最大の目標とする強行的かつ石油依存的技術進歩追及の時代、その後半をコンピュータ技術に助けられて前半期に累積された不均衡の解消を図りつつ、石油資源への全面依存体系の深化に因り、矛盾を極端にまで昂進させた時代、と看做すことが可能である。

⁵⁸ もっとも、最末期のスピットファイヤーには一回り大きな *Griffon* (2500HP)まで搭載されている。令名夙に聞こえる *Merlin* 等、RR 発動機については同時代から現在に至るまで解説記事・紹介論文・書籍の類に事欠かない。しかし、通説に反して RR 社の航空発動機開発史と言えども全て順風満帆であったワケではなく、際どい成功もあれば窮余の策の奏功といった事蹟もあった。この点については前掲拙稿「Rolls Royce 初代 *Eagle* 航空発動機について —— その戦後改良に見る動力技術進歩の内部構造 ——」を参照されたい。

⁵⁹ 簡単には『産業技術史事典』「航空機機体の設計思想」の項を見よ。

5. 技術の生命誌を通して見た技術の環境適応とリ・スイッチング

そのようにして山を越え谷を渡って“進化”を遂げて来た現代技術の古典領域ではあるが、視野を 20 世紀後半に絞り込んで少し反省してみれば、その進化＝最大律の発現様式が安価な石油(原・燃料資源)という環境要素への適応ないし過剰適応という只一つのキーワードを以って理解可能であることが直ちに感得される。

およそ最大律の発現形態を求めて直近百年の時空を見渡せば、構造技術サブシステムにおいては^{たわ}撓みコロ軸受や自動調心玉軸受・自動調心コロ軸受、複式コロ軸受(国鉄 55 年体制!)といった個別機械要素ないしその複合体の安直な使用⁶⁰、材料技術面においてはフロンやアスベスト、プラスチック類の濫用といった事例が目に見え込んでくる。

動力技術サブシステムにおいては車輛用高速ディーゼル機関開発に際しての渦流燃焼室適用レンジの背伸び⁶¹、乗用車機関における製品差別化志向に引き摺られた不必要な過給、パラレル・ハイブリッド⁶²、ミラーサイクルや可変圧縮比機構を典型とするメカ倒れの新機軸の開発導入等の事蹟が目につく他⁶³、産業動力の分野においては陸用蒸気動力プラントの後を追いたい一心でなされた船用再熱サイクルプラントの開発⁶⁴、セラミックの断熱性や高温強度への片想いに根差すセラミック・エンジン構想やガスタービンの熱効率向上幻想とそれに立脚する開発⁶⁵、といった蹉跌が観察される。類例は大小各種枚挙に暇なしと

⁶⁰ それぞれ拙著『鉄道車輛工業と自動車工業』日本経済評論社、2005 年、第 6 章、前掲「C53 型蒸気機関車試論[訂正版]」、前掲「鉄道車輛用ころがり軸受と台車の戦前戦後史」において論じられている。

⁶¹ 陸軍統制発動機制定以前になされた東京瓦斯電機工業における開発や、その前後に亘って池貝鉄工所・池貝自動車で行われた開発はその典型であるが、戦後の 4t 車用機関開発においてははずゞ自動車もその轍を踏んでいる。拙著『日本のディーゼル自動車』日本経済評論社、1988 年、207~215、239、355~357、410 頁、『伊藤正男 —— トップエンジニアと仲間たち』日本経済評論社、1998 年、95~96、243~244 頁、参照。

⁶² これについては拙稿「経過点としてのハイブリッド —— 歴史屋の眼」『LEMA』No.452、1998 年(リポジトリに登録)、参照。現行のパラレル・ハイブリッド方式の問題については後ほど批判的に立ち返る。

⁶³ この辺りの事情について信頼性の高い情報を提供してくれていたのが『内燃機関』、『エンジンテクノロジー』、『エンジンテクノロジーレビュー』といった雑誌である。

なお、自動車なかんずく乗用車機関においてメカ倒れの技術が乱立して止まぬ背景の背景としてそれらが良質の燃料を喰わせて貰っているという事実がある。船用中・大形ディーゼル機関は産業廃棄物たる C 重油を焚かされている。C 重油は夾雑物に満ちており低温燃焼時には S による硫酸腐食を、高温燃焼時には V の酸化物(セラミック)によるヴァナジウム・アタックを惹起する。そうした環境の下で船用ディーゼルには高度な信頼性・耐久性が求められている。メカ倒れの新機軸にかまけていられぬワケである。自動車機関が何時までも夾雑物と無縁な燃料ばかりを焚いていられるかのように考えるのは幻想に過ぎない。船用ディーゼル機関の燃料による腐食については今村弘人『船用ディーゼル機関』山海堂、1995 年、52~53、107~108 頁、参照。

⁶⁴ 『船用蒸気タービン百年の航跡』275~276 頁、参照。

⁶⁵ 同上書 283~284 頁で紹介した“スーパーマリンガスタービン”も、それを載せた“テクノスーパーライナー”も結局はイカサマ話に終わった。計画段階より“TSL”は燃費が余りにも悪く、燃料搭載量を切詰めてペイロードを確保しようとすれば国内航路ぐらいにし

言えるほどであるが、更にエネルギー変換技術面では原子力の平和利用もこの隊列に加えられるべきであろう。

無論、上位の開発においてはスペック優先の乗用車設計や兵装偏重の兵器設計、大電力消費型の生活ならびに産業構造の構築といった事態が以上に対応して来た。しかし、それらの何れをも超える最大律の究極的表現形として石油全面依存症の右に出るものなど到底思いもよらぬ……これが恐らく 20 世紀、特にその後半に係わる最も正直な自画像であろう。

石油化学は上述の通り石炭化学＝タール工業と極めて良く似た守備範囲を持っている。しかし、原料資源として見た場合、石炭は炭素含有率が高過ぎて薬品・染料・火薬など、フラインケミカルに類する領域への展開ならまだしも、マスに繋がるヘヴィーな材料化学には展開させ難い。言い換えれば、石油文明への転換と共に、自動車工業をはじめ⁶⁶、あらゆる産業分野においてマスが可能に、そして競争を勝ち抜くための合言葉となった⁶⁷。

逆に表現するなら、石油枯渇＝エネルギー・材料資源コストの上昇によってあらゆる産業領域で生産主体はそれ自身の損益分岐点悪化に直面するだけでなく、需要規模の縮小とも向き合わねばならなくなる。進化の方向は高価なエネルギー・材料資源コストへの適応放散へと転ずる。

無論、マスが可能かつ至上であり続けるような領域は相変わらず存続するが、その範囲は自ずと限局されて行くであろう。また、現代技術の外挿という方向性について格好の例を挙げれば、CFD(計算流体力学)を駆使した高効率ジェットエンジンや高効率蒸気タービン、“超省エネ”ディーゼルといったモノの開発などというような営為は今暫くは継続されるであろう。

か役立たないだろうと揶揄されていた。かような使い方になれば運行時間に占める荷役時間の割合が増すばかりで高い速度のメリットは霧消してしまう。2003年に小笠原航路就航の目算が立てられたものの運航会社はその余りの高運行コストを理由に受領を拒否。大油喰い虫“TSL”は製造元の三井造船に留まったが、今般、東日本大震災の被災者救援用に海上宿泊施設として供されることが決定され、久方ぶりの出航となった(『毎日新聞』2011年5月14日、朝刊)。これが110億円を捨てたも同然というイカサマ話のオチである。アメリカ陸軍の主力戦車を巡る現在の問題については後ほど触れられる。

⁶⁶ 日本自動車産業の成長史については大島 卓・山岡茂樹『自動車』日本経済評論社、1987年、呂 寅満『日本自動車工業史』東京大学出版会、2011年、参照。

⁶⁷ 一頃、過大な幻想を振り撒いた「多品種少量生産」論や「変種変量生産」論を核とする日本的生産システム論の熱病が退いた事実は基礎過程の推移に学んだ知的健全化の現われとして歓迎されるべきことである。新奇性の極めて高い技術領域や独特の材料・工作技術を要する分野を除けば、量産効果や人件費の低廉性を相殺するほど便利な“技術”など存在しない。

市場占有率に裏付けられたマスの継続が如何に絶大な競争力を生み出して来たかについて、私はかつて我国における小型乗用車製造企業の生産量の推移・変動を跡付けることで明らかにした。「日本自動車産業の中進国的自立と発展 —— 『日本的生産システムの歴史構造』前掲『技術形成の国際比較』所収、参照。

しかし、浜岡原発 5 号機、志賀原発 2 号機の如き欠陥設計品は論外であるにせよ⁶⁸、それらの改良は何れも分野的に局限される筈である。しかも、これから先の成果＝残された改善余地自体については、資源ナショナリズムという逆風下での世界的規模における生産単位集約に拠る規模の経済性追求などと同様、ある程度、先が度見えてしまっている。

そこで必至となるのが石油全面依存に先立つ時代の技術へのメタ回帰である。思いつくままにその数例を挙げてみれば、バイオマス燃料、石炭化学、多燃料内燃機関⁶⁹、蒸気機関⁷⁰。これらは総じて言えば“技術体系におけるリ・スイッチング”あるいは大きな環境変化＝要素価格体系の変容に対する常識とは一見逆の適応過程となる。

言うまでもないが、リ・スイッチングとは P. Sraffa によって提唱された実質賃金率(⇔利潤率)変動と企業における技術選択との関係についての理論である。それは実質賃金率の変動によって最も有利となる技術がパラドキシカルに入替わる現象を指し、「技術の再転換」と訳される。通常、経済学において資本は可塑的であると仮定されるから、この転換は短期的事象に属する。それは資本あるいは生産関数をどのように定義するかを巡る論争の火種ともなったが、現在では単に例外的にのみ起り得る事象として取扱われている⁷¹。

短期的事象としてのリ・スイッチング問題は経済学的重要性を喪失したが、長期ないし超長期的事象として見た場合、それには重大な意味がある。何故なら、ある生産要素の価格が上昇した場合、当該要素をヨリ節約する方向に技術シフトが生起すると考えられがちであるが、このことは普遍的命題でも永遠の真理でもないからである。

今一度、やや長いタイムスパンを用意してトラック用ディーゼル機関を引合いに出して考えてみよう。コストパフォーマンスにおいて高効率である、換言すればエネルギー消費原単位の小さいエンジンは文句無しに“良い”エンジンである。それが耐久力に優れているほど、その生産に投じられたエネルギーは製品の長い一生を通じて消尽されて行くから、LCA で見た省エネルギー性が実現されることにもなる。その上、当該エンジンの汚染物質発生原単位が小さければ尚更それは“理想的な”原動機だと言える⁷²。

しかし、これは確かに現状へと至る技術進歩のストーリーそのものではあるのだが、少し考えてみれば、そのようなストーリーが近似的にせよ実現するのは当の製品を大量に需要する市場の存在が前提されている場合だけであることが判る。言い換えれば、この種の

⁶⁸ 製造元の日立製作所と電力 2 社が事故原因をタービン設計上の問題と断定した点については『朝日新聞』2006 年 10 月 28 日の記事、参照。

⁶⁹ 拙稿「多燃料発動機の時代と日本」『経済学雑誌』110 巻 4 号、2010 年、参照。

⁷⁰ 拙稿「C53 型蒸気機関車試論[訂正版]」参照。

⁷¹ 大阪市立大学経済研究所編『経済学辞典』第 2 版、岩波書店、1979 年、「資本 2」、「リ・スイッチングの問題」、同第 3 版、1992 年、「資本 2」の項、参照。

私がここで用いるリ・スイッチングはスラッファのオリジナル概念より遥かに長いタイムスパンでなされる環境変化に対する技術の再適応過程を指す。

⁷² 一般に原単位とは鉱工業製品一単位の製造に必要とされるある生産要素の量を指すが、本稿ではこれを拡張し、通常「〇〇率」と呼ばれている概念の物量的側面を時に強調し、「〇〇原単位」などとを表すと共にこれを総称としても用いる。

エンジンを載せたトラックによって極めて多くの物流が日々、実現していること、即ち、最大律の一表現としてのその過剰利用状態がそもそも必要条件として在るワケである。

また、今やトラック用ディーゼル機関の主要部品の中にその製造をトランスファマシンを典型とする大規模な生産手段に依らぬものなど一つとして無い。エンジン・マネジメントに用いられる機械仕掛けの脳とでも言うべきコンピュータやその部品の生産技術体系に到っては更に大仰である。それらはどれを取り上げてもマスを絶対的成立要件とする技術ばかりである。内需頼みであれ輸出頼みであれ、総体としてマスが稼げなければこの類の生産技術体系はその減価償却さえ覚束ないのである。

やや角度を変えつつ更に一步立ち入って見るに、ある程度以上の技術の存在が前提されている場合、内燃機関の耐久性を規定する因子は実のところ、とりわけ本質的に素直な特性を有する直列 6 気筒機関においては、その設計や製造技術がどうのこうのといった点よりもエアクリーナーのダスト捕捉率と潤滑油の性能、それも通常の潤滑性能に加え、添加剤によって左右される対酸化性や燃焼性生物の分散性である⁷³。

かような部品や補助材料の高い機能・品質はエンジン本体のコストパフォーマンスと寸分違わず、大規模な開発・生産技術体系と大きな総製造コストを以ってのみ購^{あがな}われるものである。即ち、それらは大量に生産され続けることによって製品 1 単位に按分される開発ならびに製造コストが十分に低められるという大前提を欠けばその研究開発も生産技術の体系の維持も不可能であり、商品として到底成立し得ないものばかりである。

これを要するに、エネルギー消費原単位が小さいという意味で工学的に優れた、最適化された製品というものは大量生産・大量消費が合理化され、例えばトラック用ディーゼル機関に対する需要とその使用強度⁷⁴とが共に極めて高いような経済状況の下でしか成立し得ない(この場合、景気変動の問題は外乱的事象として良い)。このような社会はとりもなおさず石油資源を総体としては大量に消費するタイプの社会である(とりわけ好況局面においては)。これ

⁷³ 勿論、機関下回りの剛性と機関上回りの出来、即ち燃焼室設計の最適化(例えば予燃焼室式か直噴式か)及び燃焼室と噴射系とのマッチングは肝要である。わが国においては 1970 年代以降、予燃焼室式から直噴式へのシフトに伴って自動車用ディーゼル機関のメジャーオーバーホール距離は 3 倍程に伸張した。本文記述はそれらが一段落して、換言すれば一定水準に達している限りにおいてのハナシである。

なお、先に述べたディーゼル機関技術の対中国移転論との絡みで補足すれば、私が新種の移植ではなく在来種への“遺伝子組込み”を是とした判断の物理的根拠は当時の中国に健全な下回りと基礎体力を有する幾つものトラック用旧世代直列 6 気筒ディーゼルが現存していたという事実にある。

⁷⁴ 使用強度なる概念を厳密に定義することは困難である。それには自動車の例で言えば、総保有台数、総走行距離、それらの実際の走行パターン(負荷率)が絡んで来る。エコカー減税や ETC 装備車の休日高速料金は千円上限などという愚策によってもクルマの総使用強度は高められる。更に、燃費や環境負荷に関しては以上に加え、排出ガス有害物質の発生量と浄化能力のあり方を左右する保有車両全体における車齢分布状況も考慮されねばならない。もっとも、厳密な定義を与えずとも使用強度の増減を傾向として捉まえ、あるいは個別事象についてその増減を判定することは可能であり有意である。

が 20 世紀後半に定式化された現代社会の基本構造に他ならない。

また同様に、この社会にあってはトラック用原動機の汚染物質発生原単位低減への努力はエネルギー消費原単位の切り詰めと同様に必須の行為となっているが、その実現の暁においてなお、使用強度如何ではそこから発するエネルギー資源の総消費量と並行するかのように汚染物質の総排出量もまた通増しかねない。汚染物質排出原単位をゼロになし得ぬ限り、この危険性は現実に存在し、かつ、それは如何なる工学的方途によっても解消され得ない。内燃機関工学のある権威者は実に率直な口調で次のように述べている：

1 台からの騒音や排気による大気汚染は僅かであっても総てのエンジンからのものは都市内公害に、さらに地球環境汚染に大きい影響をもつが、その適切な対策は未開発であるのが現状である⁷⁵。

技術者・工学者には“新技術で人類を幸福にする”などという唯我独尊のお題目を捨て、論理的かつ倫理的に使用強度に絡む総排出量ならびに総消費量命題に心致すようお願いしたいものである。

石油という生産要素の価格上昇と共に生産と物流の経費節減、使い捨ての抑制は必至となる。恰も、トラックに拠る長距離物流の一部が労働力という生産要素の調達難(ドライバーの賃金上昇)を契機として鉄道貨物輸送へのモーダルシフトを余儀無くされているように……。

一方、その鉄道はエンジン 1 台、部品 1 点レベルではなく、ある特定の産業についてエネルギーという生産要素の消費と当該産業の発展との関連を反省し、翻っては現代産業社会総体におけるそれについて思いを巡らせる材料となるに相応しい産業類型をなしている。

即ち、運輸業としての鉄道業に注目すれば、電化によりその利便性は大いに高められ、今述べた貨物分野においては高賃金に泣くトラック輸送に優る“効率的”な都市間輸送が可能とされるまでになっている。このことは社会全体にとっても個別の荷主にとっても結構な限りである。

しかし、その原単位ベースの結構さは飽くまでも、①：相当の輸送需要の存在、②：鉄道に喰われる総エネルギー量の増大、の 2 つを前提ならびに結果として引き連れていられる状況があればこそ成り立っている事態でしかない。即ち、①が欠ければ“効率的”になされている筈の鉄道経営自体が忽ち危機に瀕し、逆に、経営が安定する程であれば必然的に②が結果される。

鉄道旅客輸送についても同断である。この半世紀、地方の赤字路線廃止を補うように新幹線と地下鉄の建設が進んだ結果、我国鉄道の総営業キロ数はほとんど一定で推移した⁷⁶。

その一方で、空調が完備された車輛の両数は増大し、大都市圏における列車編成は長大

⁷⁵ 古浜庄一他編『エンジンの事典』朝倉書店、1994 年、古浜による「序」、より。

⁷⁶ 運輸政策研究機構『交通経済統計要覧 平成 22 年版 2010』2011 年、136~137 頁、参照。線路の総延長という場合、複線では倍に、複々線では 4 倍にカウントされるため、線路がどれだけ伸びたとか減ったとかを表す場合にはこの「営業キロ」の方が日常感覚に合致している。

化し、コンピュータ制御により極限的に高められた列車ダイヤ密度の下、相互乗り入れは輻輳を極め、かつ、ヨリ高い表定速度での軽業的運行が日常化している。これに呼応する電氣的・電子的な線路保安施設の高度化も新展し、多くの線区に普及せしめられている(一部に重大事故を招く手抜きもあったが)。

そうした中、駅員は減らされて行く一方である。その結果、乗客救護に車掌の手が取られるようになったため、異常時の列車停止時分は長くなった。無論、停車中にも空調と照明は稼働したままである。動き出してからでも発停が繰返されればエネルギーロスが計上され、ダイヤ回復のために高加速運転が実施されれば更に電力消費は跳ね上がる。

また、多くの駅にはショッピングモールと贅を競うかのような照明が施され、空調区域も増大した。また、その駅の多くは自動車交通に押しつけられ高架化・複層化・地下化されたから、矢鱈と長いエスカレータやエレベータが多数設備されている。そして、出改札からホームでのアナウンスに到るまで、人手は可及的に電気仕掛に置き換えられている。

表 2 鉄道輸送実績の推移

	旅客 100 万人キロ	分担率 %	貨物 100 万トンキロ	分担率 %
1990	387,478	35.0	27,196	5.0
1995	400,056	34.0	25,101	4.5
1997	395,239	33.0	24,618	4.3
1998	388,938	32.3	22,920	4.2
1999	385,101	32.0	22,541	4.0
2000	384,441	32.1	22,136	3.8
2001	385,421	32.1	22,193	3.8
2002	382,236	31.9	22,131	3.9
2003	384,958	32.3	22,794	4.1
2004	385,163	32.7	22,449	4.0
2005	391,227	33.6	22,812	4.0
2006	395,908	34.4	23,191	4.0
2007	405,544	35.2	23,334	4.0
2008	404,585	35.7	22,256	4.3
2009	393,903	-	20,561	3.9

運輸政策研究機構『交通経済統計要覧 平成 22 年版 2010』20、26、49、51 頁、より⁷⁷。

これでは鉄道による旅客・貨物輸送量(人キロ・トンキロ)/同分担率が総体として伸びる傾向にあるワケでもなく、むしろ表 2 に見るように実態はその逆、旅客では多少の千鳥足を踏

⁷⁷ 同上書、18、24、62、66 頁にも関連するデータが掲げられている。

みながら辛うじて横這い、貨物では下降線を辿っているにも拘らず、また幾ら古典的な抵抗制御/発電ブレーキ(103系など)やその変種(221系など)からヨリ省エネルギーなサイリスタ・チョッパ制御/回生ブレーキ(201系など)、VVVFインバータ制御(207系など)への進化が謳われ、あるいは車体軽量化だ空力設計だLED化だと高唱されて来ているにも拘らず、総エネルギー消費量の増大が不可避となるのは当然の報いである。

実際、電力消費についてやや具体的に拾って見るに、鉄道業における電力消費量は大口(産業用)電力需要の約7%という非常に安定したシェアを保ちつつ、表3に示される通り1989年度から2009年度にかけて1.1685倍(15,497,612MWh→18,109,231MWh)の伸長を示している。景気変動の煽りで総発電量とほぼ連動する恰好で小幅のマイナスを記録した年度も4回あったが、20年間で16.85%という増加は単純に均して表現すれば年率0.78%の伸びとなる。この先、上述の如きパワーエレクトロニクスの躍進をはじめとする技術革新の効果が一巡し終えれば、かかる逡増傾向には従前にも増して拍車がかかって行かざるを得なくなるであろう。

表3 電力10社における総発電量ならびに鉄道業向け供給量の推移(1989~2009年度)

年度	発電量 総合計 MWh	鉄道業向け MWh	1999	897,934,875	18,152,296
1989	675,925,973	15,497,612	2000	918,214,538	18,158,584
1990	726,814,585	16,365,562	2001	902,158,049	18,212,407
1991	750,234,699	16,763,501	2002	923,687,712	18,538,602
1992	757,694,456	17,105,870	2003	913,760,026	18,390,683
1993	762,566,903	17,282,282	2004	947,681,018	18,764,158
1994	816,586,938	17,654,583	2005	965,027,586	19,047,623
1995	834,926,730	17,864,132	2006	971,571,799	18,664,801
1996	852,238,745	17,726,867	2007	1,003,533,215	18,735,905
1997	872,165,675	17,999,914	2008	972,007,134	18,745,699
1998	880,286,348	18,117,392	2009	939,774,244	18,109,231

電気事業連合会 HP、「電力統計情報」より。

この間の電力10社の総発電量増大(675,925,973MWh→939,774,244MWh : 1.3904倍)は均らしてみれば1.66%の年率となり、鉄道業向け供給量の伸びの略2倍という値を示している。家庭用エアコンや情報機器等、民生部門でのエネルギー消費の伸びがその分著しかったからである。10年しか持たぬ当節のインバータ・エアコンは30年経っても平然と稼働している先輩たちより確かに原単位ベースで2倍も省エネであるかも知れぬ。しかし、エアコンの場合は電車と異なり、その台数が2倍にも3倍にもなってしまったから所詮、その程度の省エネ効果では焼け石に水にしかなかったという次第であろう。無論、その省エネ効果でさえ初期のOn⇔Off制御機に対する代替過程が一段落した時点以降は定石通り控え目な水準に帰着していると見られて良い。かくて生じた民生需要著増の結果、総発電量に対するシェアという観点から見た鉄道向け需要はこの間、2%強から2%弱へとごく僅か低下した勘定となっている⁷⁸。

⁷⁸電気事業連合会 HPの「電力統計情報」、FEPC INFOBASE 2010、参照。なお、1989

言うまでもなく、輸送用機器、一般機械、電気機械等の使用過程におけるエネルギー消費は通常その製造過程におけるそれよりも遥かに大きいのであって、例えば自動車の使用過程における石油(潤滑油を含む)消費量は石油内需全体の4割近くにも達しているのに対して、部品工業を含む自動車産業の製造過程で消費される石油換算エネルギーは全製造業におけるそれと比べてもたったの1~2%程度に過ぎない⁷⁹。

それ故、現代日本における石油を主とし原子力を従とする産業的エネルギー消費構造のモデルをデータの掴まえ易いメジャーな業種に求めようとする場合、GDPベースで如何にも巨大な自動車産業などよりも鉄道業の方が遥かに相応しく、この点において鉄道業なる構造不況業種は案外なことに現代の高エネルギー産業社会総体の縮図と見做し得る。そしてその鉄道業の経営実態たるや、関西人をして大阪駅が東京の駅並みにキレイになったと能天気^{たとい}に喜ばせていられるような状況など御世辞にも呈してはいない。仮令、その虚飾を取り繕^{つくろ}わんがため若狭湾岸で原発がせつせと稼働している事実^{たとい}に片目を瞑るとしても、結局、そこに観察されるのは“売上げ減少か、さもなければエネルギー貧乏か?”、恰も“行くも地獄、戻るも地獄”の経営事情だということである。

公共企業としての鉄道業は電力産業同様、絶えず変動する負荷の下にあって^{ピークロード}尖端負荷に応じた設備投資を強られるという点で他の産業一般と異なっているようにも見受けられよう。しかし、実のところ製造業界一般においても、余程の好況局面でもない限り、景気変動の下で競争を繰り広げ設備投資の意思決定を迫られる個別企業は生産設備に対する過剰投資とそのツケとしての低操業度に繰返し悩まされているのが常である。即ち、安定したシェアを保持する業界トップ企業以外の競合企業群においては慢性的設備過剰状態に陥りがちなのであり、この点において業界全体として見た自動車産業や製造業一般の構造は、波動の周期が長い点を除けば、鉄道業とさして変わるところがない⁸⁰。

鉄道業は以上の諸点からして高エネルギー産業社会の縮図とも代表的産業とも認められ得るのであるが、なおその生産手段の一つであり、今やその多くが鉄道業自身の生産物と

年以降の総発電量は沖縄電力を含めた数字になっているが、そのシェアは1%に満たない。因みに、その沖縄でも2003年よりモノレールが開業している。

⁷⁹ 産業部門別石油需要量については石油連盟HPの「今日の石油産業データ集」、参照。自動車製造過程における石油換算消費エネルギーは'80年代に1.3%から1.6%、'90年代に1.7%から1.9%へと微増傾向を辿った。『自動車産業ハンドブック』(日産自動車→日刊自動車新聞社)各年版、参照。

なお、同ハンドブックは2002年版以降『自動車年鑑』と合体し『自動車年鑑ハンドブック』に改題、'04年版以降『自動車年鑑』となったが、2001年の政府統計改編以降、自動車製造過程における石油換算消費エネルギーの項目は消滅した。

⁸⁰ 再び前掲拙稿「日本自動車産業の中進国的自立と発展——『日本の生産システムの歴史構造』の参照を乞う。

なお、私見に拠れば、多くの業界で定型句として用いられる「過当競争」なる言葉の真意はこの「低操業度状況に置かれている企業間で繰広げられる市場争奪戦」という点にあると考えられる。

なっている鉄道車輛そのものに注目しても同じ命題は強化されねばならない⁸¹。第 1 に、鉄道旅客車輛界において長らく推進されて来た高速化は輪軸という鉄道車輛にとって最も枢要な、そして恰も常時、回転曲げ試験に供されているに等しいこの機械要素における時間当り回転数増大への必然性とこれに印加される最大衝撃値昂進への高い蓋然性とを通じてその短命化(早期疲労)を強要する。故に、高速化は一種の使い捨てる的行為を加速する処方であり、やがてはエネルギー需給の逼迫に伴い、この類の手練手管は窮屈になって行くという意味において。第 2 に、車輛全体の自動車化、なかんずく過剰品質^{オーバークオリティー}を目的とする早期代替思想とその実現形たる使い捨て行動は NC 工作機械の短命化と同様、パワーエレクトロニクスとりわけ制御技術の発展に構造技術が引き摺られた結果として解釈されるが、かような早期代替思想の合理性が何時まで持つかもまた、石油価格の動向次第であるという意味において⁸²。

そこを押し切るのが進歩ではないかと叱責されればそれまでであるが、このテの“進歩”は地上に拡がった現代文明という名の病変組織を安価な石油が潤しているからこそ出来た力業であるに過ぎない。そして、現実には“出来た”ように見えていても、原単位ではなくトータルで測ればエネルギー消費効率は低下を来しているワケである。

この先、かようなワンパターンの手口を重ねて行く戦術はエネルギーコストの上昇に伴って益々困難とならざるを得ない。1 単位の荷を最小のコストで運ぶために全体として 1 億単位の総輸送量を前提とするシステムを構築し、かつ、とめどなくその容量を拡大させて行けば総合効率の上昇が自ずとついて来る、といった大風呂敷は今後、益々その合理性を主張し辛くなるということである。

経済学者の中には技術進歩の一局面を捉え、“収穫逡減の法則は現実には成り立っていない。観察されるのは収穫逡増である”と主張する向きがある。これなどはしかし、モノゴトを原単位ベースで、しかも都合の良い角度^{アングル}でしか見ていないからこそ振りかざし得る主張であるに過ぎない。トータルの産業的エネルギー使用効率に注目する限り、観察されるのは逡増どころか逡減傾向以外の何ものでもない。しかも、人類が全面依存症に陥っている一次エネルギー・材料資源は人類史的尺度においては非再生性と言って良く、かつ、既に落日の兆候を呈しつつある。

ここにおいて、大量生産・大量供給=大量需要されるが故に可能となる効率化・高速化・原単位コストの切下げというシナリオは石油価格の上昇と共に伝家の宝刀としての——実は欺瞞性に満ちた——神通力を喪失する。と同時に、石油不足時代、即ち“循環型社会”

⁸¹ 『鉄道車輛工業と自動車工業』においては 2004 年の東急電鉄による東急車輛完全子会社化(上場廃止)と東日本旅客鉄道(株)を筆頭とする JR 北海道・九州・東海各社の車輛内製化政策について論じておいたが(i、202~203 頁)、2008 年 10 月には TOB を通じて日本車輛製造(株)が JR 東海の連結子会社となった。

⁸² 輪軸の寿命については前掲 D.P. No.62 「C53 型蒸気機関車試論[訂正版]」350 頁、鉄道車輛の自動車化については前掲『鉄道車輛工業と自動車工業』202~203 頁、参照。

83を極北とする低エネルギー社会への近接過程においては、キャンベルの予測にも明示されているように、各種液体燃料については価格全般の高騰のみならず、品位における応分の低下(重質化)をも覚悟しなければならない。

このような環境条件の変化の中で究極的に選択されるべきは、結局、物入りに終わってしまうような工学の途=エネルギー消費原単位の削減策ではなく、内燃機関をはじめ石油を喰う機器・施設の使用強度の絶対的切下げという社会的選択の途を措いて他に無い。また、それが為されるならば徒に“高度な”性能をあらゆる内燃機関に要求するようなことは非合理的主張となり、それらの汚染物質排出原単位に対して一律に目くじらを立て、その開発に大枚の資源を投入する社会的必要性もまた激減する。上述した多燃料性に加え多用途性への高まり行く環境圧力の下で作り易さ、使い易さが選択されるべき内燃機関諸類型にとって重要な形質となる⁸⁴。

ヨリ具体的イメージとして挙げるなら、例えば高速ディーゼル機関においては様々な副燃焼室方式の共存・競合から統制型予燃焼室式への選択淘汰を経てほぼ似通った直噴式へ、更には電子制御式コモンレール噴射装置へという半世紀に亘る技術進化の途が遡行され、新たな、様々な特性を有する多燃料発動機への進化が繰広げられて行く可能性が高まる^{85, 86}。

航空発動機の世界ではひとまず、第二次石油危機を背景に開発が進められながら、その後の原油価格反落によりお蔵入りさせられた **Advanced Turbo-Prop** 復活の途が拓かれよう⁸⁷。こういったところまでは時間差を伴った現代技術の外挿的展開ないし過去の遺産の食い潰しという格好でなされる原単位追及の道である。

航空用ガスタービンの高度な生産技術は軍用機及び艦艇用航転型ガスタービンに対する根強い需要故にしぶとく生残るであろう。しかし、軽質液体燃料の価格がある閾値を超え

⁸³ 循環型社会については松本有一『循環型社会の可能性：いま変わらなければ』関西学院大学出版会、2000年、参照。

⁸⁴ 多用途性の点から内燃機関技術史を振り返る試みとして拙稿「スミスモーター再論」、『経済学雑誌』第112巻 第1号、参照。

⁸⁵ この進化の半世紀について簡単には前掲『日本のディーゼル自動車』参照。その裏面史については『鉄道車輛工業と自動車工業』参照。

⁸⁶ 多燃料機関については前掲拙稿、室木 功『灯油で運転できる「新型ロータリエンジン」』文芸社、2008年、参照。但し、室木のこの著書は旧著の焼き直しで、サブタイトルに謳われる多燃料性についてはごく粗略な記述しか見出されない。なお、灯油やこれとほぼ同じジェット燃料を焚けるという特性は多くの場合、軍用車輛機関に求められる範囲の多燃料性である。

⁸⁷ 今日主流のファンジェットないし高バイパス比ターボファン・エンジンは前部の円筒状ダクトに大径のファンを収容している。これを開放(剥き出し)し、その形状を空力的にヨリ優れた、船舶のハイスキュード・プロペラの如きものに改め推進効率を高めたファンジェットを **Advanced Turbo-Prop**、**Unducted Fan-Jet** などと称する。ATPの技術的側面については島村完治「ATPエンジン(高速ターボプロップ)」『航空技術』No.370、1986年1月、ATP開発を巡る政治的下世話についてはR.,J.,Samuels/奥田章順訳『富国強兵の遺産』三田出版会、1997年、406~413頁、参照。

れば民間航空輸送はピストン航空発動機全盛時代にそうであったように奢侈財としての性格を肥大化させ、これに対する総需要は限界的に萎縮し、現行型の航空発動機の技術体系は維持し難くなる。ある範囲においては小形ガスタービンに代るジェット燃料焚きバンケル型ロータリー機関の登用といった可能性も無しとしまし⁸⁸。

バンケル機関は補機設計にさえ宜しきを得れば無類の実装性を誇る。マツダがその乗用車用機関としての開発量産に成功し、ル・マンのような格式ある耐久レースに勝利を収めた事蹟は偉とするに余りあるとは言え、バンケルはこれ見よがしの複雑さが高級感を醸し出す乗用車用機関などよりも産業動力機関として優れた資質を有している。自動車機関としてのバンケルの寿命は2011年のRX-8生産打切りにより、ほぼ潰えたかに見えるが、その適性が活かされる場が今暫く、ある限られた期間・範囲においてではあれ存在し、あまつさえ拡大し得るという可能性を頭から切捨てて良い理由などありはしない。その好例がアメリカ陸軍主力戦車の補助電源ユニットである。

即ち、ガスタービン駆動の主力戦車 M1 Abrams の燃費改善策として主機更新計画(Honeywell AGT-1500→Honeywell/GE LV100-5)に着手したアメリカ陸軍は、主機更新だけでは不十分と判断したものと見え、2009年より補助電源をバッテリー・ユニットから陸軍戦車・自動車研究開発センター(U.S.Army Tank, Automotive Research, Development and Engineering Center)によって2008年に開発された多燃料バンケル型ロータリー機関駆動式発電ユニットへと(車体側ほぼ無改造で)置換する策を講じつつある⁸⁹。

同ユニット搭載のバンケル・ロータリーはローター押しのけ容積 330cc(マツダの製品の半分ほど)、従前の蓄電池が230kgであったのに対してユニット総重量は100kgに激減された。詳細データは不明ながら、少なくとも主機動力を分岐して充電する従前のシステムよりもこちらの方が高効率ということである。

バンケルより低位かつ汎用的な生産技術体系から生み出され、かつ、より重質の油を焚くことが出来、熱効率の高いディーゼル機関の版図が航空発動機の領域においても再確立する可能性もまた、否定出来ない。これは単体熱効率においてこそガスタービンに優るも

⁸⁸ バンケル型ロータリー機関は小形ガスタービンとレシプロ機関との中間的な性格と平均負荷率の高い産業動力用機関に適した特性を有しており、世の中にはそれに打って付けの隙間的用途というようなモノが必ず在るのである。既に実物でもラジコン模型の分野でも航空発動機として用いられており、バイク(スズキ他)、船外機やチェンソー(ヤンマー)にも実績がある。また余り芳しい成績ではなかったが車輛用機関の分野ではディーゼル化の実験も行われている(ヤンマー、RR)。このような事蹟については五味 努監修『自動車工学全書 6 ロータリーエンジン, ガスタービン』山海堂、1980年、82~85頁、拙著『ロータリーエンジン』第一法規出版、1988年、拙稿「ロータリー・エンジン」科学朝日編『独創技術たちの苦闘』朝日選書、1993年、参照。

⁸⁹ cf. *Wikipedia*, M1 Abrams, especially see n.43. バンケル型ロータリーの定常回転型発電モジュールへの応用可能性については前掲拙稿「経過点としてのハイブリッド —— 歴史屋の眼」にて論じておいた。

の⁹⁰、小さい比出力、相対的に大きな空気抵抗に逆らいつつ低空を飛行せざるを得ず、しかもその低い飛行速度を吸気量増加の糧となし得ないという致命的制約故に機体搭載状態における運用上のエネルギー消費原単位において後者に劣る技術である。然しながら、それは航空部門におけるリ・スイッチング、即ち液体燃料総消費量極小化への最後の切札と、換言すれば航空発動機技術史の掉尾を飾るものとはなり得る技術である。

その原動機が著しく低い平均負荷率で運転される乗用車の分野においては第一に“油喰い虫”の駆除、即ち車輛の小形軽量化・原動機の小出力化が、第二にマヤカシ技術からのリ・スイッチングが必要となろう。

後者の典型が古くはホンダの複合渦流調速燃焼 CVCC、可変バルブタイミング機構 VTEC、当節ではさしずめその性能が過大評価されているトヨタ・プリウスの如きパラレル・ハイブリッドである。CVCC は層状給気に因って制御された希薄燃焼を実現する機構ではなく、単に燃焼室表面積の増大に因り燃焼温度を下げ、NO_x生成を抑えつつ総合的な摩擦損失削減を通じて燃費悪化を防いだだけの機構であり直ぐに引退させられた。もっとも、産業技術として観れば、その個別企業イメージ向上への寄与は絶大であった。VTEC などは無用の複雑化に過ぎない。パラレル・ハイブリッドのような小賢しいメカを弄するより内燃機関の単体効率改善に励み(例えばマツダ)、更には小出力の原動機を発電機直結で連続定格運転させるシリーズ・ハイブリッドを構成し、電子的にトルクや出力を制御するシステムを具体化させる方がシンプルであり、熱効率的にも排出ガス対策上も遥かに有利かつ合理的なことは自明である⁹¹。

⁹⁰ 移動体用動力源としてのガスタービンとディーゼルとの熱効率＝燃費について公平に比較することは用途の厳密な重なりが担保されぬ限り難しい。飛行機では互いの出力の懸隔、運用状態における速度差が大き過ぎる。戦車や魚雷艇は公平な比較が可能な稀有の適用例である反面、情報の壁が厚い。米軍戦車における空冷ディーゼルと AGT-1500 との等燃費曲線を重ねた図が林 啓男『タンクテクノロジー』山海堂、1992 年、122 頁に図 3-1-21 として掲げられているので是非、参照されたい。

それは恐らく、Abrams 開発途上において公表されたデータの一部だったのであろうが、Continental AVCR-1360 ディーゼルについては 180g/PS-h、AGT-1500 については 210g/PS-h までのコンターが描かれている。但し、AGT-1500 の場合、対応出力レンジが著しく狭く、冷却ファン駆動損失の差を割引いても低い実用燃費となること必至の状況を窺わせている。アメリカ陸軍にとっては謂わば“これが苦勞の始まり”なのであった。上述の LV100-5 は AGT-1500 の燃費を 33%カットするという触れ込みで開発されたガスタービンである。額面通りにコトが運んでいたとすればディーゼル以上の熱効率になる。

もっとも、熱機関技術史を知っている人間ならこのテの駄法螺は聞き飽きている。仮令、常識に目を背けた甘い予測としてピンポイント性能の点でそれに近い値が達成されたとしても、こと実用燃費に関する限りディーゼルは愚か AGT-1500 と比べても大して代わり映えしなかったというのが実態なのであろう。そうとでも考えぬ限り、上に見たバンケル駆動発電ユニットのようなモノが急遽、開発された理由を詮索しかねるからである。

⁹¹ 前掲拙稿「経過点としてのハイブリッド —— 歴史屋の眼」は各種のモジュラー化された小出力原動機付シリーズ・ハイブリッド・ユニット(例えばその動力源は上述のバンケルや低公害ディーゼル、燃料電池等々)を用途に応じて臨機応変にレンタル使用する方式の合理性＝

折りしも、2010年3月、JR貨物の入換用ディーゼル・ハイブリッド機関車HD300-901(試作1号機)がデビューした。HD300はモジュラー化されたディーゼル発電ユニットと蓄電池ユニットとを用途に応じて組合せ、熱効率最適化を図るといふ筆者の発想と同根の理念に立脚して開発された機関車である。入換用の場合、ディーゼル単体なら1500PS程度は欲しいところであるが、ハイブリッド化のメリットが活かされ、発電モジュールに組込まれているディーゼル機関の連続定格出力はたったの270PSに過ぎない⁹²。

機関車にしてこれである。気掛りは電池のコストパフォーマンスであるが、この問題の存在自体はパラレル/シリーズとは無関係である。この点さえクリアされるなら平均負荷率が極端に低い乗用車の街乗り運転時における高効率化・低公害化などは、遅閉じミラーサイクルだ高圧縮比だと奇を衒い人心を迷わせるのではなく、小形軽量車体に“スーパーカブ”のエンジン辺りを用いるシリーズ・ハイブリッド・ユニットでも逃げてやるのが解決への正しいアプローチとなる。ユニットは下道用と高速用の2種類あれば事足りる。

それは仮令、エンジン単体の燃費・汚染物質発生原単位(g/kW-h)で測れば退化と見做されるべき技術選択であったとしても、この切替えを通じてエネルギー消費量の絶対的削減がもたらされ得るならば正しいリ・スイッチングである。勿論、汚染物質についてはその発生原単位は当然ながら、その絶対的排出量についても実効的に抑制されるべきである。そして、それらのことが達成された暁には自動車の無用なモデルチェンジなど止めるに若くはない。

ただ、同一性能で比較すればパラレルよりもシリーズの方が相対的に大容量の電池を必要とするであろう。この先、電池のコストパフォーマンスという隘路が終局的に解消困難となるような局面に立ち到るかも知れない。その期に及んでなお自動車にしがみついているべきであるか否かは大いに疑問であるが、かかる場合でも、ブルドーザの分野で目下、展開され始めている技術＝原単位削減の道は参考になる。即ち、負荷変動が大きいものの惰力走行がほぼ絶無であるためエネルギー回生が困難な運用特性を有するブルドーザにおいて、既にディーゼル機関を定常回転させインバータ制御により作業負荷変動に応ずる方式が実用化されている。これに準じたシステムを基幹に据え、そこに可及的小容量の電池を組合わせてやる技術でも捻り出されれば、自動車の分野においてもある程度、有効な代替策とはなる⁹³。

どの道、かようなことをやっていると自動車屋の現有生産技術大系の陳腐化は不可避であり、その利益も相当薄くなりそうである。しかし、世界は自動車屋のために在るワケではない。また、輸送用機器としての自動車の有用性は措くとして、どちらに転んでも所詮“油喰い虫”にしかかなり得ないシロモノやそれを大量生産する産業に世界が何時までもブ

“simple is best”を唱えたパラレル・ハイブリッド批判のエッセーである。

⁹² HD300については例えば『日本機械学会 交通・物流部門ニューズレター』No.41 2011年3月、参照。

⁹³ 世界最大の建機メーカー、Caterpillar Inc.の新型電動ブルドーザについては富永安生「D7エレクトリックドライブブルドーザ」『LEMA』No.503, 2011年、参照。

ラ下り続けているという状況は決して座視されたままであって良い事態とは言えない。この点についての深く広範な合意が形成される時がり・スイッチングにとっては真の離陸期となろう。また、このような意味においても鉄道業は、技術文明の今日的病理を象徴するのみならず、その真っ当な未来を照射する産業分野であると見做される。

“simple is best”の鉄則に適う上述の小形原動機定格運転式シリーズ・ハイブリッド技術は斯界の情報チャンネルを壟断している、即ち情報の非対称性を作り出し、かつそれを恣意的に活用することの出来るカー・メーカーによって封印され、無用に複雑なシステムが蔓延り^{はびこ}持て囃されている。これが製品差別化を合言葉とする市場経済に典型的に付随する非効率性である。社会が何時までもこの種の欺瞞から目を逸らしているようではお先真っ暗である。個別的製品が良く出来ていて“間に合う”ことと、それが社会にとっての長期的最適解であることとの間にはしばしば天地ほどの落差がある⁹⁴。

燃料液滴の分散・霧化と可燃混合気形成、その自己発火による多着火核型の所謂ディーゼル燃焼を生起させるディーゼル機関は最高の熱効率を発揮する熱機関である。しかし、私としてはディーゼル機関の将来性、とりわけ自動車用原動機としてのそれに関してはナノ粒子の生体への有害性に関する科学的知見が定まるまで保留せざるを得ない。最近流行の均一予混合燃焼型“予混合ディーゼル”の類に係わる工学的実験が知的遊戯に終わらぬことを祈るばかりである。

それでも、一般論として言えば、こと重量級商用車の分野に関してはある程度の“必要悪”には目を瞑らねばならぬであろう。無論、この分野においても使用強度絶対的切下げへのスタートが早い^{つむ}に越したことはない。他方、産業廃棄物たるC重油を焚き、高い平均負荷率の下、優れた熱効率を稼ぐ船用中・大型ディーゼルに対する評価については自動車一般と同日の論になく、私見に拠れば将来性のある“必要悪”であり続けよう。航空ディーゼルなどは仮令、復活したとしても、使用強度に鑑みれば環境負荷という点でモノの数にはなるまい。

上に述べたようなり・スイッチングに対して退嬰的なイメージばかりを膨らませる必要はない。10年ばかりで屑鉄と化すNC工作機械群を他所に、戦艦大和の主砲砲身を削った旋盤をはじめ、戦前生まれで今尚、活躍を続けている工作機械や産業機械は到る所にある。かつての陸軍統制発動機は燃費こそ現代の作品に劣っていたが、騒音や排気中の臭気・黒煙・NO_x排出といった点において現役の後輩たちに見劣りするようなものでは決してなかった⁹⁵。

戦後、川崎重工業の船用蒸気タービン開発グループが艦本式タービンにおける事故記録

⁹⁴ 無論、これは「21世紀に間に合いました」というキャッチコピーと「間に合う」の異義、即ち、關一 大阪市長の大阪商科大学「建学の精神」に謂う“早く間に合う卒業生を送出せよと願うのでもない”云々の表現との語呂合わせである。「建学の精神」についてはイロイロ勝手な部分引用が繰返されているが、一度、全文を見ておいてほしい。本学HP→学生生活→学生支援→『Campus Life——学生生活ガイド——』冒頭、参照。

⁹⁵ 『日本のディーゼル自動車』、『伊藤正男——トップエンジニアと仲間たち』参照。

の徹底的検証を踏まえつつ、これを発展させる形で自主開発に進み、成功を収めた逸話は業界では周知の事柄に属する⁹⁶。また、この途の識者、元・日本海事協会の星野次郎は「一種のシミュレーターとして、昔の損傷に関する知識を持つことが、機械の製造者あるいは機械の操作に従事する人達にとって、有効な手段になる」とも唱えている⁹⁷。

失敗記録を残すことは極めて重要である。逆に、開発→失敗経験→対策→安定化というサイクルを省略し、完成した形だけが伝えられる場合には“なぜ=know why”が失われてしまいがちである。同じ川崎重工業はかつて大形自動二輪車のマイナー・チェンジに際して生じたミスを通じて往時イギリスの技術者が設計に込めた知恵を思い知らされることとなった。

即ち、川崎航空機は二輪車用 4 サイクル機関技術の導入と白バイに関する伝統の継承を狙って 1964 年、目黒製作所を吸収した。その後、白バイ車=メグロ K1 をベースとして K2、W1、W1S が相次いで開発された。そして 1971 年、思わぬトラブルと“know why”の再発見が後者の W1S-A への小変更時に経験された。

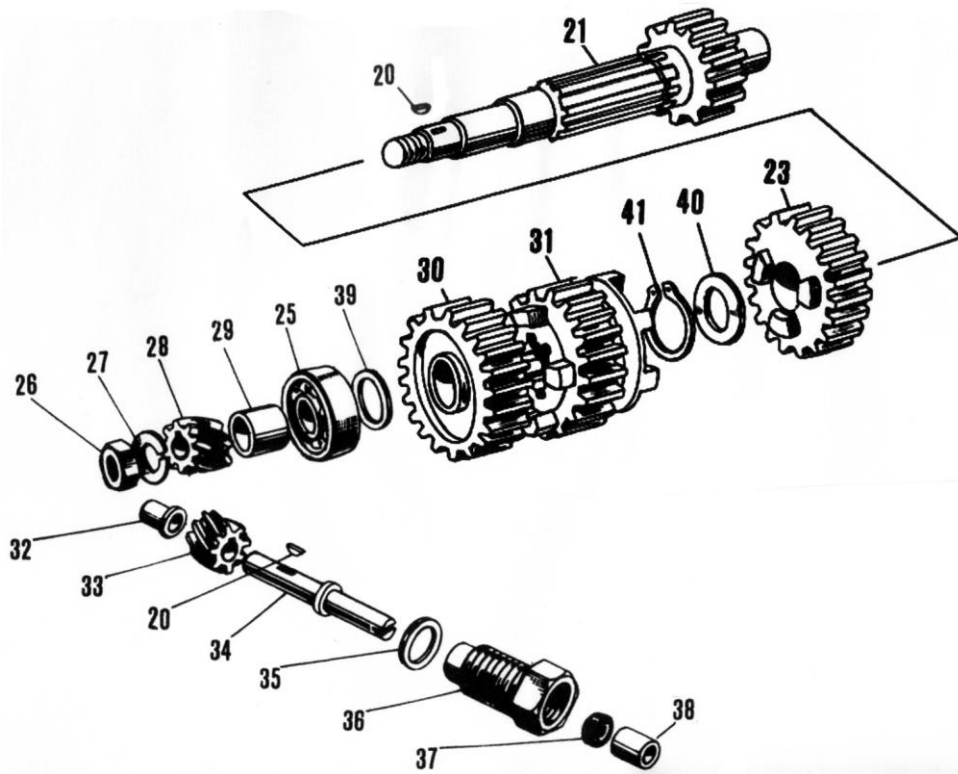
この際、速度計駆動回転の取出しが従来の変速機副^{カウンタシャフト}軸(上図“21”)端のネジ歯車(同“28”、“33”)に依る方式から当時既に一般的となっていた、但し、伝動ケーブルにとってはより負荷の高くなる前輪からの駆動方式へと改められ、不要と看做された歯車は撤去され、副軸々端部は短縮された(中図“35”)。

図 4 カワサキ 650 : W1S から W1S-A にかけての変速機副軸回りの設変・対策事蹟

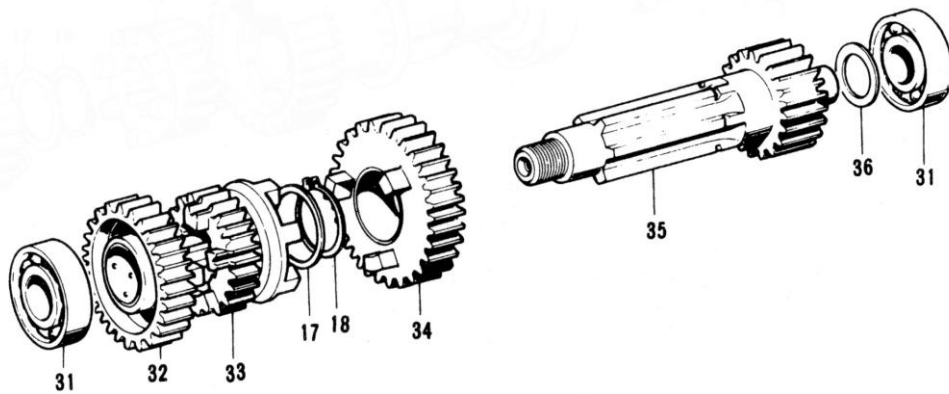
⁹⁶ 時期についてややトーンが異なるが、武田博士追悼記念出版委員会『武田博士を偲んで——相似設計論の展開——』2001年、石谷清幹による「序」、川崎重工業(株)機械ビジネスセンター『原動機事業 100年のあゆみ』2008年、72頁、参照。

⁹⁷ 星野次郎『機関損傷解析と安全対策——NK船50年の歩み——』成山堂、1999年、まえがき、参照。

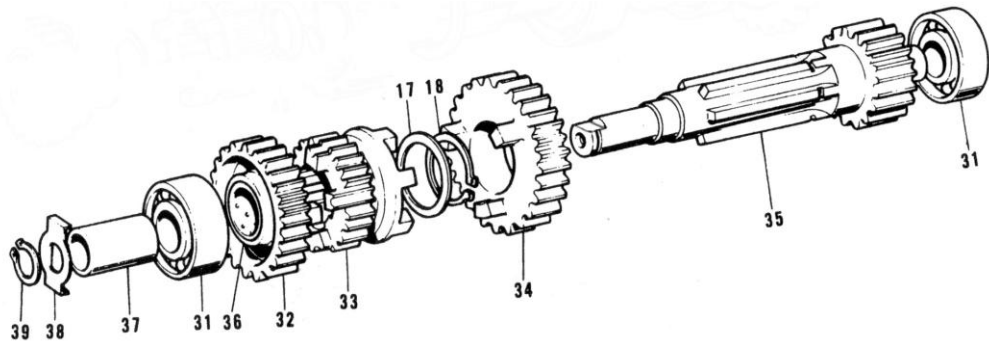
W
1
S
後
期



W
1
S
|
A
初
期
・
未
对
策



W
1
S
|
A
・
对
策



W1S : 川崎航空機工業(株)・カワサキオートバイ販売(株)『カワサキオートバイ 650-W1/W1S 部品表』1968年、10、11 頁の図を合成(W1~W1S にかけて常時噛合変速機クラッチの歯車・内歯々車式から爪クラッチ[claw clutch ないし dog clutch]式への変更もあり、煩瑣を避けるため)。

W1S-A : 川崎重工業(株)・カワサキオートバイ販売(株)『Kawasaki パーツカタログ 650 : W1S-A』1971年、17、17-1 頁、より。

しかし、この変更に伴い、副軸と並行する主軸^{メインシャフト}とこれを貫通するクラッチ・プッシュロッドとの間の長い環状隙間に潤滑不良を生じ、焼付き事故が頻発した。原因探求の結果、速度計駆動歯車が飛散させる微量のオイルミストがこの重要部位の潤滑を担っていたという目立たないにも係わらず重要な事実が突止められた。

川崎重工業は副軸を再延長すると共に(下図“35”)、かつて歯車の在った副軸端延長部にインペラ(同“38”。不当にも“ロックワッシャ”などと命名されているが何物を固定する役目をも果たしていない)を組込むことにより焼付き対策に成功した。古人の知恵はかような迂路を経ることによって初めて見出されたワケである。勿論、“ロックワッシャ”なる偽名の下、このインペラ=古人の知恵の代替物は次のマイナーチェンジモデル、650RS : W3 においても継承されている。

ピアノは楽器であり、バイク以上に切実な生産財のカテゴリーから外れた例ではあるが、技術の進歩の実相について充分、示唆に富む存在である。即ち、近代ピアノに範を求めれば、ある点を超えた生産性原理への屈服、即ち進化の機構に関して人工界を自然界から分かつ最大の要因をなす材料ならびに加工技術上の“革新”は楽器製造という^{なりわい}生業の原点からすれば概ね本末転倒の営為、即ち楽器としてのパフォーマンス切捨てと引替えになされる技術シフトそのものであった。ピアノに対する総需要減退への答えが生産単位の集約化に終るなら斯界の見通しは相変わらず暗いが、いきなり少量生産に回帰せずとも絶頂期中規模生産技術体系が巧く「メタ復活」ないし「トランスファ」せしめられ、そのリ・スイッチングが果されるとすれば、この間に失われた品質の幾分かを挽回すること位は十分に手の届くこととなる⁹⁸。

わが国においては一般製造業界のみならず土木建築業界さえその生産物たる建造物に堅牢性・耐久性よりは低コスト性と壊し易さを求め、何年か後により良いモノに造り替えれば良いと居直りつつ粗製乱造^{いそ}に勤しんで来た。その挙句、この国には隅々までストック軽視のスクラップ&ビルト“文化”が蔓延^{はびこ}ってしまった。このような粗製乱造“文化”は油上の楼閣の典型である。それでも、この国には世界に誇るに足る江戸期までの建築物が神社仏閣、城郭、古民家から町家に到るまで多数、現存してくれている。参考に値する情報が実物として豊富に在るという意味でこの国の住人は幸運である。

⁹⁸ 2010年5月登場のフルコン、ヤマハCFX 辺りはその具体的一形態と言えるのかもしれない。再び拙稿「近代ピアノ技術史における進化と退歩の200年」、「スタインウェイ・ピアノにおける発音特性と整調規準の推移」の参照を乞う。

以上要するに、マスが稼ぎ易い技術は何処でも彼処でも常に良き技術であり、その高度化ならびに集積、そしてそれを経済的に下支えする使い捨て行動の普遍化を通じて最大多数が養われ、社会の厚生水準が増進されるという図式そのものが悪しき幻想、フェティシズムに過ぎなかったというだけのコトである。

これからはまた、リ・スイッチングと並行して従前の使い捨て文明の様々な所産の中から小は道具から大は社会インフラに到るまで、救うに足るアイテムを選択しては修理・改造を施して延命するといった類の仕事がその重要性を増して行くであろう。それらは“石油喰い虫”をとめどなく増殖させるモダンタイムズ的挙動……シミュレーション・ソフトで OK が出れば CAD で作図、“know why” も有らばこそ、当の線分が直線であろうが曲線であろうが、円であろうが四角であろうが一切お構いなし、後はデータを送って CAM で加工、といった手口の彼岸に立つ人智と技との発現である。

石油依存以前の時代の作品の再生・再現はそこに込められた改良への意図とは裏腹に、しばしば改悪を結果する。往時の匠たちの技と心を汲取る“心眼”が磨かれなければならない。かくなれば、リ・スイッチング・アイテムの再生や開発、生産は工芸や芸術、更にはスポーツといった人間的営為とも通底する創造の場であることが知られて来るであろう。

要素価格の上昇に対する適応の途として当該要素の消費原単位削減と使用強度切下げという対照的な選択肢があった。前者、即ち工学の途が当該要素に対する総需要を拡大してしまう副作用を傾向として随伴する場合、これをある閾値を超えた当該要素の稀少化＝価格上昇への対抗戦略として発動することは不合理となり、経済的強制に拠る、つまり非・目的意識的模索の累積的帰結としての、はたまた政策的意図の実現形態としての石油使用強度切下げならびに技術体系のリ・スイッチングが依るべき方途となる。

その第一段階としては差当り工業製品におけるメーカー保証期間や製造打切り後の部品保有期間の延長義務付け、安全ないし保安基準の強化といった温和な措置で十分であろう。むしろ、このような些事の積み重ねこそが得策なのであり、他に大向こう受けするような妙案など存在しないと覚悟してかかる方が無難である。そして、この程度のことで傾くような商品やビジネスモデル、経営体、産業ならこの先、低エネルギー社会に連れて行く意味は無いというワケである。かようなモノは“油喰い虫”として駆除し、新たな挑戦に資源を再配分するという思想を確立することこそが喫緊の要務である。

そう遠くない将来、技術体系におけるリ・スイッチングは取るに足らぬ例外的事象として開始され、その発生頻度を漸増させ、やがてドミノのように波及して行くであろう。その総てが生命誌的時間より遥かに短いスケールにおいて展開されて行くことは不可避である。その過程を通じて大局的な流れとしては熱機関の総使用強度切下げを重要な契機とする脱・石油という生き残りの途が選択されるに若くはないであろう。

むすびにかえて

先次大戦集結以降、今日までの社会的環境は特異ないし例外的な歴史の一瞬であった。この意味において現代技術は単なる指準化石(それが含まれる地層の堆積年代を示す化石)を超えた指相化石(それが含まれる地層の堆積環境を明示する化石)と形容されねばならない。

経済学者は極端なケースとしての **unlimited supply of labour** を前提としたモデルを作り、それを修正することで例えば戦後の開発経済について論じて来た。しかし、戦後世界が経験した“エネルギー革命”の実体は経済学のモデルに類比すれば石油という名の万能低賃金労働者が際限無く流入して来たケースに喩えられる。まさに **unlimited supply of energy** であった。この魔法のような生産要素はしかし、早晚とめどなくその価格を急騰させ、やがてその供給自体がは断ち切られると予想されている。

経済学者もいい加減、“日本でクルマを造ることはアメリカで畑を耕すのと全く同じこと”などという空標語と訣別し、アタマを切り替えるべきである。もっとも、頭脳明晰な理論経済学者にかかれば恐らく如何なるモデルもたちどころに出来上ってしまうこと請合いである。困難は基礎過程自体が変わって行く、あるいはむしろこれを変えて行く点にある。

我々はこの直近半世紀余りのそれとは大きく異なる要素価格体系の下で技術体系に従前とは全く別の適応放散＝淘汰と進化を可及的速やかに、かつ小さな摩擦でもって遂げさせて行くという課題を突付けられている。その途上においてはしかし、欲望と衝動、偏見の命ずるところ無数の渦、即ち回り道、抜け駆け、総じて言えば短期的にして私的な最大律追求行為が発動されずには済まないであろう。しかし、それにかまけ過ぎれば不当に大きな機会費用の計上が不可避となり、人類生残りへの余地をそれだけ狭隘化させることになる。

私は古典的な G.サートンの「新ヒューマニズム」⁹⁹と立場を一にしている、一般市民が様々な技術開発に対して事ある毎に“果してそこにどれほど資源を投入する価値があるのか？誰が得をし誰が結局損をさせられるのか？”と問い質す姿勢とそれに必用な程度の知識を身につけて欲しいと願い、そのためにせめて一隅を照らすことが出来ればと不断に念じている。小は一企業から、一産業、果ては天下国家世界に到るまで、“夢”の実現による繁栄の虚実と広がり工学や技術、経営学の言葉によってではなく、**多くの人々に降りかかる社会経済的帰結の如何に即して検討・事前評価されるべき問題だからである。**

一般論としては、とりわけ経済の成長局面においては、「売れば技術はついて来る」というのが実勢であった。しかし、一頃期待された核融合などは論外で、到底、民需用熱源として“高くつく”云々どころの騒ぎではなく、さしずめ“夢のまた夢”の次元に終始するしかあるまい。

これに引き替え、件の“超臨界圧軽水冷却炉”辺りは、幸いにもその実現性に対して健全な懐疑が共有される高速増殖炉などとは異なり、何れ手の届く“実用化”可能な技

⁹⁹ 『科学史と新ヒューマニズム』の原著は1931年に出版され、1938年以来、森島 恒雄の訳になる岩波新書の一冊は最終1977年まで版が重ねられた。

術なのかも知れない。しかも、この原子罐、末は高速増殖炉として成立させることも可能との触れ込み故、金喰い害虫=原型炉“もんじゅ”積年の惨状に切齒扼腕しているであろう原子力利権勢力=“原子カムラ”の懲りない面々にとっては是が非でもその実用化に漕ぎ着けたい技術と見受けられる。

確かに、金と時間をかければ大抵の技術は程度の差はあれ“出来たような気がする”あるいは“間に合う”位の水準には到達して来た。これはピストン航空発動機や軍用機あるいは戦後における原発や防衛機器、H-II~H-IIA ロケット開発の歴史が等しく教えるところである。“超臨界圧軽水冷却炉”の釣書は冒頭にも述べた通り誠に胡散臭い限りであるが、“もんじゅ”や未だ危機的状態にある福島第一原発に関する対策ぐらひは金に糸目をつけず何とか頑張ってほしいと願う。

他方、同じ夢でも人工光合成ないしそれに類するモノなら核技術のような種類の危険は無さそうである。しかし、現実には多くの動物がヘモグロビンの担体である赤血球の造り変えを絶えず行っているように、所謂“常緑樹”を含めて多くの植物も落葉ないしそれ自身の枯死という形でクロフィルの定期的更新を繰返している。これは恐らく、この種の高度に複雑で傷付き易い高分子構造物(光触媒)を修復・延命しながら使い続けるよりも定期的に更新する方が効率性が高い、即ち経済的だからであろう。

もっとも、この点についてある生物学者に聞いてみたところ、この1年なる寿命は被毒がつきものの触媒、それも高分子のそれとしては驚異的な長さ、まさしく何億年の進化の賜物である。仮令、遠い将来、金に糸目をつけない実験室的流儀で人工光合成的なコトが出来たとしても、恐らく人工的に合成された高分子触媒の寿命は5分か10分で尽きるだろう、とのこと。従って、それを産業技術として成立可能な程度の規模に拡大し、かつその収率を高位に保つにはかなり頻繁かつ大規模な、ほとんどちっしゅペーパー並みの使い捨てに類する更新投資が絶えず要請されることになる……つまりここでもそれだけ“高くつく”コトになるかも知れぬ。ヘタをすれば、結局こちらの方が原子力より質が悪かった、といったようなオチにも到りかねない。

一般論として微分屋稼業を^{なりわい}生業とする科学者、技術者たちが夢を追いたがる習性は理解出来るし、コストが嵩むと言ってもそれはいずれエネルギー価格の全般的騰貴傾向に埋没して行く範囲の現象で済むハナシなのかも知れない。しかし、何処に出口が有るとも無いとも知れぬ回り道に大枚注ぎ込むよりは太陽という自然の核融合の恵みに植物積年の自然力を借りて^{あずか}与って行く方が余程得策というものである。

日々の紙面を見るに、今や資本は一世代前の“松下哲学”など何処吹く風……課税回避に万策を弄しつつ低賃金労働を求めて国内の雇用を切捨てるかと思えば地域独占に安住して暴利を貪り、制度を随意に変えさせるは人間は遣い捨てるはと凡そやりたい放題、ほとんど往古を偲ばせるかの如き御乱行^{ぎょう}ぶりである。けれども、資本に乘せられた“欲と二人連れ”の綱渡りが時と共に高くついて来るといふ舞台裏や、結局のところ“儲けるのは資本、乗せられた挙句そのツケを廻されるのは国、社会、つまり国民”という構図が多くの

局面を通じて明らかにされて行けば、この乱行を下支えして来た一枚岩の“国民”なる仮想現実には崩れ落ちるしかあるまい。

“格差”なるものの中から生産手段の所有と非所有によって規定される階級というその本質が顕現して来る蓋然性は高まるばかりとなる。社会の不合理を糺すより格差の隙間を巧みに泳ぎ渡る処世術ばかりが持て囃される時代がこのまま永続して良いとは判じ難い。今、求められているのはこれとは異なる思想と行動である。誠に残念なのは社会がその辺りの核心的事実から目を背け、閉塞感の捌け口を衆愚政治的パフォーマンスに求めている限り、リ・スイッチング一つにも決して性根など入らないということである。

無論、立場や考え方、タイムスパンの設定如何で社会的厚生や社会的・技術的合理性を巡る諸問題への解は異なって来るから、リ・スイッチングの途は平坦ではあり得ない。蒸気機関車や鉄道車輛用ころがり軸受と台車といった生産財の進化を巡る技術史は技術的合理性に係わる問題についてのまたとない教材である。こういう極めて単純武骨なモノに係わる非常に解り易い構造を持つ技術変化でさえその解は容易に収束し難く、しかもその時々々の暫定解に到る過程は実に多数のジグザグを伴って展開されるしかなかった。

その間の蹉跌を単なる過去の無駄足としてではなく、人々の努力に因って刻まれた一つの歴史教材として、この先、欲望にかまけて大いなる“回り道”に踏み込んだり反・バンケル教の如き偏執的“原理主義”に陥ったりせぬための糧として活かす知的回路が構築されねばならない。

ここに生命誌的観点からする技術史研究＝技術の生命誌の意義がある。技術ないし工学の成果に対して発生順序から「古い」、「新しい」などと判定し、古きを見下しても傲岸の極み、土台、無意味なことである。それらは偶さか特定の環境的・社会的条件の下で手に入る技術的・工学的ストックを動員し、可能な限りの諸要素を結集させることを通じて得られた最適化過程の暫定的具象化物たちであり、現代に繋がる複数の時間を共有する仲間たちだからである。

技術の生命誌から人類の将来をヨリ広く展望すれば、歴史的時間を共有する水車小屋は蒸気機関と互いに排除し合わぬばかりか、同じ時を共有する蒸気タービンや多燃料発動機とも、はたまた本質的にそれらとは異なる存在としての IT 技術とさえ、単に共存し得るというだけでなく、共存し重層化されて行くべき必然性を担っている。

補論：産業技術史におけるマクロ的、ミクロ的視点について

On the Macroscopic and Microscopic View in the History of Industrial Technology

はじめに

蒸気機関車をタネとして標記について例解する。蒸気機関車技術史においては概して突然変異は自然選択に対して不利に作用するという教訓が積重ねられて来た。それ故、以下に述べるのはかかる突然変異的創造物、即ち同時代の船用蒸気動力プラント並みの蒸気圧を用いる高压機関車やタービン機関車、復水式機関車、各軸駆動機関車等々の特殊機関車ではなく、営業路線で主力として営々たる働きを演じて来た数多くの機関車たちに係わるハナシ……余り詳細には立ち入らず、正確さも二の次、言ってみれば「産業技術論の個別問題」論である。

1. マクロ的視点から観た先進諸国と日本の機関車技術事情

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

a. イギリス

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

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

罐圧力は先進諸国の中では控え目で、戦後、国有化された時点において標準型式に指定された主要機種を見ても 14.1~17.6kg/cm² といった戦前の黄金時代に準ずる値が踏襲されていた。

b. ドイツ

機関車サイズは中庸。過熱方式実用化(Karl Schmidt)に先駆けた国情ゆえに 20 世紀はじめには複式化は不要、罐圧向上も不要、それよりも蒸気圧を 14~15kg/cm²程度までと低めに抑え、過熱(T_1 引き上げ)による熱効率向上を優先すべしとの思想(Robert Garbe)が特にプロイセンにおいては行き渡っていた。

古くはバイエルン等において並列四気筒複式の急客機も愛好されたが、結局、この型式は後のドイツエンジンの主流とはならなかった。ボイラ圧は 16kg/cm² 程度を経て漸次、欧米先進国の水準からすればまず中の上と言える 20kg/cm²程度にまで引き上げられたが、結局、これも事後的に 16kg/cm² 辺りに戻すことで安定を得ている。この事実はやや情けなくもある。

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

c. フランス

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

このため、フランスの機関車に重量、速度、出力、ボイラ圧等、スペック的に突出したモノは乏しく、罐圧も最終的に 20kg/cm² 止りに落ち着いた。しかし、蒸気機関車時代の末期にはシャプロン・マジックで名高い Andre Chapelon の手で幾多のリビルドが実施され、その作品たる三・四気筒複式機関車群の高い牽引及び燃費性能は世界各国の注目の的となり、ある意味において蒸気機関技術史の掉尾を飾る作品群となった。

d. アメリカ

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

このため、一時期は単式三気筒も導入され成功を収めたが、結局、高速重量貨物機としてはこの国独自の接続型単式四気筒(シンプル・マレー)巨人機が主流となり、それ以外の用途

には単式二気筒が専ら充当された。

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

アメリカはまた高压化にことのほか熱心な国でもあった。N.Y.C.鉄道に例を求めれば、1904~'26年 14.0kg/cm^2 、1931年 15.8kg/cm^2 、1937年 19.4kg/cm^2 、1946年 20.4kg/cm^2 といった値を拾うことが出来る。しかも、この最終値でさえアメリカにおいては必ずしも高い方の数字ではなく、U.P.鉄道や Pennsylvania 鉄道、Kansas City Southern 鉄道等では戦前期、既に $21\sim 22\text{kg/cm}^2$ 程度の罐圧力が実用されていた。無論、それらは熱効率向上を目指したが故のスペックではなく、高出力化がその主たる狙いであった。

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

e. 日本

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

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

機関車の開発は海外技術の模倣導入を含め、ほぼ鉄道省工作局車両課に独占されており、民間製造会社は下りて来る図面通りに造るという下請け的営為に終始させられた。ほぼ唯一の例外が標準軌間の南満洲鉄道であったが、内製、輸入、日本国内製機関車が混在したこの地においてもほぼ単式二気筒ばかりで、僅かに古くはマレー、後に単式三気筒が用い

られる程度に終わった。罐圧力も 17kg/cm^2 を実用した一形式を除けば、むしろ鉄道省より低い 14kg/cm^2 程度の値に終始した。

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

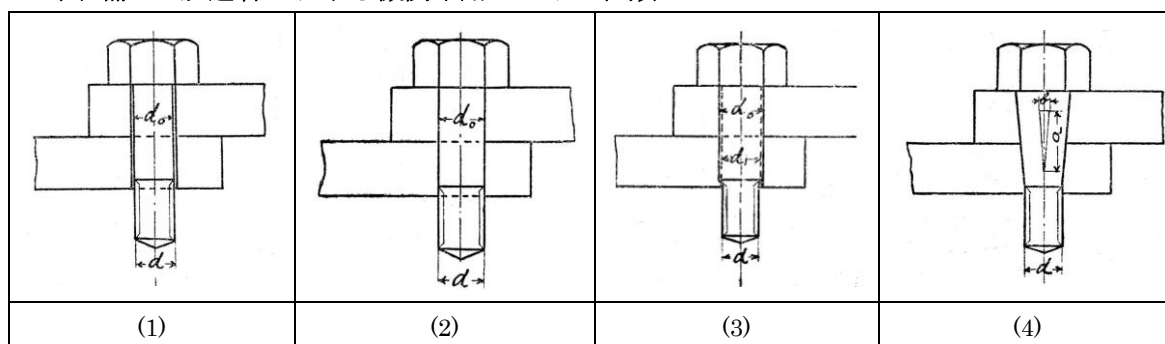
2. ミクロ的視点から見た戦前・戦時期日本における機関車技術の自画像

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

以下に微細構造進化の典型として引くのは蒸気機関車に用いられた一機械要素たるボルトの仕様(遺伝子情報)とそれらの遣い分け(棲み分け)に関する具体的事例である。ミクロ的対象への視点が如何にマクロ的展望へと通ずるものであるのかについて注目して頂きたい。

さて、1927年頃まで鉄道省の蒸気機関車に使用されていたボルトは、計器類に組込まれていた矮小なビス類を除けば、数種類に大分類された。

図 補 1 鉄道省における機関車用ボルトの種類



林 講師「機関車構造講義」『機関車講義』(無刊記)、所収、203~204 頁、より。

この資料は 9900 型(→D50)登場の 1923 年 6 月よりは後、それが D50 と改称される 1928 年 5 月よりは前に起草されたと思しき鉄道省における現業員教育課程のテキストであり、この講義と藤戸講師による「機関車の操縦」、本山邦久による「弁装置」の三点が 1 冊に合本されている。

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

同じく(2)は「仕上ボルト」と呼ばれる物で、ボルトの胴部、孔の内面とも、やや丁寧に仕上げられている。この「仕上ボルト」の使用法には二通り、即ち、胴部の直径 d_0 と孔径 d とを等しく取る場合と孔の直径 d を胴部の直径 d_0 よりやや大とする場合とがある。言うまでもなく、同径である方が締結は堅固であり、孔径 d を大きくするのは敢えて結合部に

ある程度の撓みを持たせたい場合である。具体例を挙げれば、前者はボイラの膨張受の取付など、後者は軸箱守控の取付などに用いられた。

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

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

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

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

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

しかし、ドイツにおいてもその追随者たるわが国有鉄道においても板台枠は程なく横剛性と検修の便に優る棒台枠(と言っても実態は $t=90\text{mm}$ 程度の圧延鋼板を切り抜いたもの)に取って代られた。であるとすれば、「両勾配打込ボルト」もこの交替劇と共に主役の座から降ろされたのであろうか？ 確かに、棒台枠のように厚味のある物にかようなテーパ付の、しかも長いリーマボルトを用いれば食い込みが如何にも強固に過ぎ、また、棒台枠であれば旧態通り平行リーマボルトを以って十分な締結力が確保されるように思える。

ところが、現実はそのようには展開しなかった。即ち、棒台枠に対する気筒取付ボルトは旧態＝“平行リーマボルト”＝「打込ボルト」に復せず、新規格の“テーパ付リーマボルト”が使用された。但し、それらは「両勾配打込ボルト」なる古称によってではなく「打込ボルト」なる紛らわしい「新」名称で呼ばれることとなった。

この判断の根拠の一つは車両実務研究会『機関車修繕便覧』交通研究会、1951年6月、である。曰く：

第4章 検査修繕および改造 3 シリンダの部(基準)

14 シリンダを台枠に取付ける際はその都度ボルト穴にリーマを通し打込ボルトを使用する(167頁)。

第5章 蒸気機関車作業基準 7 バネ、ブレーキ台車、ボルト

5 滑棒、返クランク、クロスヘッド滑金、シリンダ、台枠、軸箱守、加減リンクの打込ボルトはテーパ $1/200$ とし両センチにてバイト目がを残らぬよう仕上げる事。なお、首下のRは2~5mmとし打込代10mmを残す(387頁)【“。”は無い】

具体的工程について多少、補足すれば、テーパ付リーマボルトは工場にて一々自作されていた。全部の孔に仮ボルトを入れ、堅く締付けた上、気筒中心線の高さ及び台枠サイドメンバとの平行度が正しく出ていることの「確認が終れば仮ボルトを順次抜取りポタブルドリルブリーマー通しを行い、リーマ通しの終った穴からボルトを製作し穴を清掃の油を塗布し打込みする」といった段取りについての記述も興味深い¹⁰⁰。

なお、上記5の中ほどは旋盤を用いた“両センチ削り”を意味する。即ち、旋盤の心押し台と主軸の両方にセンチを嵌め、両センチ間、主軸側にセンチ穴を加工し「回し金」を取付けたボルト粗形材の頭を置き、面板の孔に回し金のツノを引っ掛けてワークを回転させたワケである。敢えて両センチ加工にした位であるから、テーパを与えるにはアタッチメントを用いたりせず、心押し台をオフセットさせる手口に依ったのであろう。勿論この場合、ボルトの軸端にもセンチ穴が必要となる。

テーパ付リーマボルトを個々に誂えるなどという一見面倒な工作が行われたのはナット側をガス溶断で落しても取付ボルトの軸部は孔に固く喰い込んでいて叩き出せず、時としてボルトを残したまま再穿孔に到ることがあったからである(『機関車修繕便覧』292頁)。しかし、かくすれば多少の孔径拡大は覚悟せねばならない。何本かのボルトがオーバーサイズになるようなら、予め様々な等級のO.S.ボルトを用意して構えるより臨機応変に適切な寸度のボルトを調整してやる方が能率的であった。無論、上のような旋削工程ではボルト胴部の表面粗度も手持ちドリルにリーマを啜えさせて行うリーマ加工の精度も大した水準を保ち得なかつたであろうが、実用上はそれで十分であった。

なお強調しておかれるべきは、テーパ付リーマボルトは一連の戦後文献では「両勾配打込ボルト」ではなく、単に「打込ボルト」と呼称されていたということである(『最新 機関車修繕技術 後編』113頁も同じ)。

では、かような変更ないしアップグレードは何時の時点で行われたのであろうか？ 戦後

¹⁰⁰ 坂田行造『最新 機関車修繕技術 後編』大鐵図書、1951年8月、252頁、より。かような具体的内容を有する指導書が相次いで出版されたのはそれらの本文記述にもある通り、車齢の昂進、酷使等の理由から、この時期に設計ないし製造欠陥絡みで気筒交換を要するに到る個体が増えたからである。

復興期？ 否、そうではない。以下に述べるのはこの変更経緯についての仮説である。

戦前期昭和における用語法をチェックするには国鉄 SL 図面編纂委員会編『日本国有鉄道 蒸気機関車設計図面集』(原書房、1976年)に当たるのが早道である。そこで確認可能な棒台枠付蒸気機関車 3 機種、即ち 1920 年代初期~'30 年代中期に作製された D50、C53、D51 の台枠図面の当該ボルト孔附近を見るに、C53 の場合には「1¼" 打込ボルト」と読める書込みが、D51 の場合には「▽▽34 打込」の添書きが見える。「両勾配打込ボルト」という表記やテーパ付を窺わせるような情報は何処にも無い。

気筒取付ボルトの孔径については国鉄工作局動力者課監修『蒸気機関車各部設計寸法』(交友社、1956年)の 12 頁に国鉄現役蒸気機関車 27(通常の型式呼称では 24)型式のそれが列挙されている。既に引退せしめられていた C53 についてのデータは無いが、1¼" という孔径は C53 と同世代の生き残り蒸気機関車に散見され、確かにこの孔径に対応する「打込ボルト」が往時使用されていた状況が窺われる。また、D51 における 34φ はそれ以後の国鉄大形蒸気機関車全てに採用された値であることも見て取れる。

但し、これらは孔径に係わるデータであり、ボルト側の諸元ではない。ボルトにテーパが付けられていたのか否かについては以上の図面からは窺い知れない。そこで気になったのが最も古い D50 の台枠図面である。判読し辛いですが、これにはボルト穴に「1⅞" 打込ボルト」、「1¼" 仕上ボルト」等、実に丹念に添書きが付されており、気筒取付ボルト孔附近には「1¼" + 打込ボルト」のような記入がある。実際には「"」と「+」とは上下 2 段重ねに表記されている。では、一体この「+」は何を意味するのであろうか？

もしも、それが“taper”の“t”を意味する“+”であったなら、D50 の主任設計者 小笠原藤吉は「打込ボルト」=“平行リーマボルト”と「両勾配打込ボルト」=“テーパ付リーマボルト”とに係わる古い区別を遵守し、「+」を付して後者であることを明記していたが、島 秀雄の時代になって車両称号規程改正と軌を一にするかのように「ネジノ基本」についても「粗仕上ボルト」は車両用ボルトの範疇から排除され、「打込ボルト」は軒並み 1/200 テーパ付とする等、表記法並びに規格の改訂スリムが行われた……逆に見れば単なる図面上における添書きからは新旧実物の異同が捉まえ難いような図面指示法への転換が為された……このように解するのが最も自然なのではなからうか？

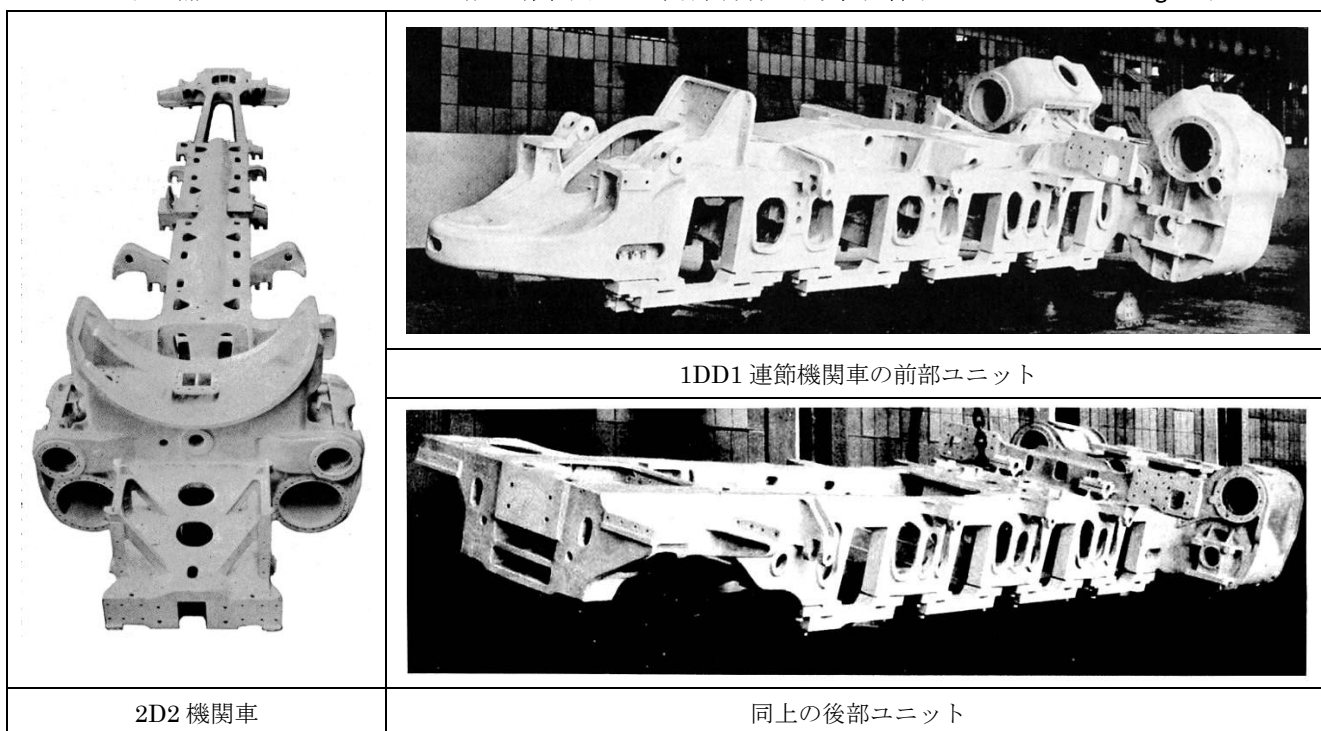
実際、その変遷経緯の詳細については管見の及ぶところではないが、1928 年当時の「鐵道省基本ボルト及ナット表」を見ると、1¼" ボルトは頭高 27mm、対辺寸法 61.21mm で、胴部直径は「普通ボルト」(恐らく従来の「仕上ボルト」)が 32mm、「打込ボルト」は 34mm(最大径?)、ネジ部直径は何れにおいても 31.750mm(1¼")、ピッチ 3.629mm となっている。つまり、C53 誕生当時、既に「打込ボルト」と「両勾配打込ボルト」との区別は消滅しており、後者が「普通ボルト」との対比において単に「打込ボルト」と呼ばれるようになっていたのである。序でに憎まれ口を叩かせて貰うなら、「1¼" 打込ボルト」と「▽▽34 打込」ボルトとは何のことはない、実質的に同じものであった(木下武之助編『機械日記便覧 1929』鐵道時報局、1928 年 9 月、85 頁)。

1930年に出版された指導書に気筒取付ボルトとしては「普通のもの」を用いると弛緩を生ずるため「打込ボルトを使用する」、「ボルトを打込む前にボルト穴を精密にリイマーを以て穴を仕上げ、ボルトは旋盤にて削り上げ、其の穴中にボルトを打込むのである」(武井明通・小森芳太郎・大月武一『最新 機関車の検査と修繕[検修法] 東洋書籍出版協会、273頁)、と述べられている点も上の状況判断と符合する。それ故、ボルトに関して言えば、筆者が偶々参照し得た先の『機関車講義』なる資料は様々なボルトの使用法が交錯したある特定の時代相を伝える示準化石の如き文献であったということになる。

イギリスでは板台枠が一貫して主流を占めたし、気筒ないしピストン当りに作用する総蒸気圧は抑えられていたから、かような右往左往は無かった、換言すれば気筒取付ボルトも通常のリーマボルトで終始、問題を生じなかったのではなかろうか？

想起されるべきはトルクないし気筒牽引力よりも回転数を重視し、相対的に小さな気筒径・動輪径を選好したイギリス流の急客機設計思想とそのほぼ逆を選好したドイツ→日本流のそれとの対照である。高出力化がある限度を超えた所で板台枠時代のドイツエンジンにおいては平行リーマボルトの締結力の限界が感得され、「両勾配打込ボルト」への仕様変更が試みられ、さらには棒台枠へのシフトが断行された。我国はその後を追った。多分、ドイツでも棒台枠と気筒との結合にはどう呼ばれたにせよテーパ付リーマボルトが用いられたのであろう。

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



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

左の写真からは罐台、蒸気室、気筒、滑棒受、圧縮機受、空気溜等が台枠と完全合体成形されているこ

とが看取される。この写真は島秀雄『最近の鉄道』岩波講座機械工学[X別項]、1944年、20頁にも第32図として載録されているが極めて不鮮明である。

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

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

逆に、アメリカに追随したくても鋳鋼技術は辛うじて先次大戦期、一部の機関車の主台枠(実体はサイドメンバ主要部)と世評必ずしも芳しからざる排気室一体型罐台の一部についてその製造をこなし得るに到った程度である。それ以前にも試みられてはいたが、亀裂を生じ易いとして現場からは忌避されていた。気筒の方は一貫して鋳鉄により蒸気室と一体の形で左右別々に吹かれ続け、鋳鋼はおろか鋳鉄による気筒ブロックの左右一体成形にさえ遠く及ばず仕舞いであった。

図 補 3 鉄道省蒸気機関車の“主台枠”



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

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

それ故、この程度の国が棒台枠の本格的採用以降、台枠と気筒との結合に関してテーパ付リーマボルト頼みの状況で終始一貫したことに意外性は少しも無い。また、主台枠鋳鋼化に見る彼我夫々の到達点は技術の平行的進化を示す具体例であると同時に、これ以上ないほど鮮明に国力・工業力の格差を見せ付ける技術史の示相化石そのものである。我々はか

ほどの工業技術力格差をものともせず、技術優位国に機械化戦争を仕掛けたこの技術劣位国指導層の無能ぶりに驚愕させられざるを得ない。

おわりに

以上、誠に粗略ながら、技術の微視的(遺伝子的)在り様はその技術の巨視的構造特性と不即不離の関係をなしており、見る眼さえあれば一方の中に他方の影を認めることが出来ることを事例を以って確認した。機会があれば……資料に恵まれさえすれば……溶接など他の接合技術を題材にしたり、既どころがり軸受に関連して試みたように、全く別の要素技術から議論を展開し、技術に対する構造的理解を深めることも可能であろう。

「それが解ってどうなる？」と問われれば、「C53型蒸気機関車試論」一つに当るにも、かような眼を以ってするか否かによって感興の程度に差が生じようし、そもそもかような視点が欠落したままで技術史＝技術における進化の相の理解が可能であるとは到底考えられないとお応えするしかない。「技術における進化の相を理解することそのものが一体何に繋がるのか？」と問われれば、差当りその問題は筆者にして可能な限り「技術の生命誌試論」において論じられている、と切り返すしかあるまい。