

Title	技術史と労働史の相補性について：機関車・機関車型ボイラにおける燃料, 焚火および燃焼
Author	坂上 茂樹
Citation	経済学雑誌, 115 卷 3 号, p.109-155.
Issue Date	2015-02
ISSN	0451-6281
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	Publisher
Publisher	大阪市立大学経済学会
Description	玉井金五教授退任記念号
DOI	

Placed on: Osaka City University

技術史と労働史の相補性について

—— 機関車・機関車型ボイラにおける燃料，焚火および燃焼 ——

坂 上 茂 樹

目 次

はじめに

1. ボイラにおける燃料，焚火および燃焼
2. 機関車ボイラにおける燃焼室の原初的態様
3. 機関車ボイラにおける燃焼室の近代的態様
4. 機関車ボイラにおける燃焼部の進化と焚火様式
5. ビルトイン型燃焼室導入に係わる技術論
6. 陸用機関車型ボイラにおける並行的進化と“燃焼室”
むすびにかえて

はじめに

甚だ自明のことではあるが、技術史と労働史とは、あるいは開発の足跡と運用の足跡とは相補性の関係にあり、両者相俟ってこそ互いの理解は十全と言える水準に到達する。技術的視点のアカデミックな近代産業史分析は早晩、事実経過の表層を掬うだけの営為に終らざるを得ない。

この視点から改めて日本近代産業技術史を見直すに、対象の軍艦、鉄の棺桶（潜水艦）、軍用自動車、鉄道車両、飛行機たるを問わず、あるいは船用動力プラントや車両用内燃機関、航空発動機等を具体例とするサブシステム・ユニットおよび個々の部品レベルにおいてであれ、はたまた陸用大形ガス機関や鉄道車両用台車に眼を向けるにつけ、凡そ資料考証の過程において要所所で生産及び運用に当る現場技術者及び現業労働者に多大のストレスを押し付けつつ平然として憚らぬ高位開発要員の姿に遭遇せぬことなどまず一日としてあり得ない。

それは、かかる片務的關係性にこそ近代日本産業社会のエトスがあったかと歎じさせられかねぬ程の露骨さであり、主要なサブシステム・ユニット関係でその例外に挙げられ得べきアイテムとしては2014年11月、日本自動車殿堂入りを果たされた伊藤正男氏（1911～2002）の令名と共に歴史に深く刻み込まれた陸軍統制発動機に唯一、指を屈し得るのみである¹⁾。

1) 筆者の仕事はほとんどがこの方面に係わる論考であったし、相当数の続稿も用意されているから、此処にそれらを逐一掲げる煩は避ける。陸軍統制発動機については拙著『日本のディーゼル自動車』¹⁾

更に、近代技術の成果を運用し直接的生産ならびに運輸サービス等の生産に係わる固有の労働過程のみならず、現場の労働者を取り巻く作業環境や彼らが制御技術サブシステムとして組込まれる空間の居住性にまで眼を向けるなら、そこに“閣下”たち上層部の意が用いられた^{ため}験しなどまさしく稀有である。居住性は兵器にあっては生存性に波及するスペックをなすから、事態は殊更深刻であった。

我国における近代産業の発展過程から放たれる特異な“気”は、察するところ、官民を問わず黒船、国難、外圧その他諸々を口実に生産者ないしは技術的成果の運用当事者たる現場の技術者・労働者に多大なる歎寄せを及ぼして顧みぬばかりか、彼らの無償の下支えを当然視して止まぬ指導層や技術エリート達の悪しき性癖から発する体臭に他ならない。しかもそれは今日にまで及んでおり、この国に蔓延する御都合主義的な提案・改善制度や労働時間に係わる慢性的無法状態、現業労働者の責任感への只乗り、そして繰返される不当労働行為や過労死の淵源を為している²⁾。

以下においては往時、陸運界の王者に君臨した蒸気機関車のボイラにおける燃料と焚火と燃焼とにまつわる技術と労働の歴史が考察される。無論、焚火とは特殊具体的な労働過程を指し、燃焼とはそれに係わる物理的・化学的過程を意味する。その何れにおいても燃料の性状は客観的制約条件をなした。

それらの絡み合いによって構成されて来た技術と労働の歴史を改めて読み解こうとする今回の作業に当り、キーワードとして選ばれた術語は燃焼室である。この切り口設定に対してヒントを与えてくれたのは吉田敬介・田坂誠均「熱工学的鉄道ファンからみた蒸気機関車」(『伝熱』Vol. 45 No. 193 [2006年10月])である。

同論文の記述内容については言いたい点もあれこれあるが、如上の切り口を発想させてくれた契機は誠に簡明であり、そこに観られる単純な用語上の誤り、即ち、執筆者が火室ないし内火室を「燃焼室」と呼んでいる点にある。確かに、ボイラ業界一般においては燃焼空間を“燃焼室”と呼ぶ例が見受けられる。しかし、こと、機関車ボイラの世界にこの用語法は通用しない。^{ファイヤ・ボックス、コンパッション・チャンバ}火室と燃焼室とは明確に区別されねばならぬ対象物である。

もっとも、この点を含め、同論文を批判するのが本稿の目的なのではない。本稿の狙いは技術史と労働史との相補性の検証にあり、具体的には、①：機関車ボイラにおいて燃焼室なる一つの術語によってその原初的形態と近代的形態という全く異なる実在が指し示されていた状況

㍻日本経済評論社、1988年、『ディーゼル技術史の曲りかど』信山社、1993年、『伊藤正男——トッペンエンジニアと仲間たち——』日本経済評論社、1998年、『鉄道車輛工業と自動車工業』同、2005年、参照。なお、技術体系の3サブシステム区分と発展の動態、最大律の支配については拙稿「“技術の生命誌”試論」(本学リポジトリ登載)、参照。

2) 企業による特許権領有云々は単にその階層構造最上層部における現象たるに過ぎない。因みに、かの陸軍統制発動機は国家による技術篡奪の典型をなす。

の解明, ②: 近代的燃焼室が要請されるに至った客観的根拠の洗い直しとその背後に在った焚火作業と総称される個別的労働過程の内実への接近, ③: 燃焼室の導入を巡って機関車ボイラ発達史の系論と位置付けられるべき陸用据付機関車型ボイラにおける並行的進化の確認, の3点に定められる。

1. ボイラにおける燃料, 焚火および燃焼

1) 燃料

i) 石炭およびコークス

とは言え, 上記の課題を遂行するためには議論の取っ掛かりとしてボイラにおける燃料, 焚火および燃焼に係わるやや抽象的な事項を最低限, 押さえておく必要がある。

ボイラに供される燃料には固体燃料, 液体燃料, 気体燃料がある。固体燃料の代表は石炭であるが煉炭³⁾やコークス, 薪が用いられる場合もある。液体燃料の典型は重油, 気体燃料としては天然ガスと高炉ガスが挙げられるが, 歴史的過程を重視する行論の関係上, 主役は石炭となる⁴⁾。

石炭は植物由来の化石燃料であり, その主たる成分は炭素であるが, 炭素の他に灰分, 水分, 硫黄分などから成っており, その構成比は国内炭, 外地炭を問わず, 産地毎に様々に異なっている。次に謂う揮発分とは初めから石炭に含まれていたガスではなく, 石炭が熱分解する過程で形成される HC や CO₂, SO₂ といったガス類であり, 固定炭素とは HC や CO₂ の形成に与らずに残る炭素を指す。

石炭の燃焼はその加熱によって表面の水分が飛び, 内部の水分が飛び, 続いて揮発分が生成され, これが空気と混合して着火して残りの揮発分を燃焼させ, その熱で固定炭素に火が点く。実際にはある程度, 燃焼が進めば, 灰分が表面を覆うようになるので, その後の燃焼は謂わばこのマスク越しの反応となる。

3) 様々な石炭を粉碎し, 適当に混合してタールやピッチで固めたもの。熱量調節に便利である他, 石炭粉の飛散防止にも役立つ。形態的には豆炭に類する。運轉教育研究會『最新 燃焼の理論と給油』交友社, 1935年, 115~121頁, 参照。但し, この時の鉄道省煉炭規格は7400kcal以上~5800kcal以上の第1~第4種という4つのみであった。6つに改められた鉄道省の機関車用煉炭規格については機関車工學會『新訂増補 機関車の構造及理論』下巻, 22頁, 松波『燃料 一固体一』35頁に掲げられているが, 乙號の内容については前者のみに十全の記述が見られる。鉄道省における機関車用煉炭の発熱量の推移については後述。

4) 以下の記述は機関車工學會『新訂増補 機関車の構造及理論』下巻, 交友社, 1941年, 1~27頁, 松波秀利『燃料 一固体一』岩波講座機械工学, 1942年, 田中 楠彌太「蒸気原動所の燃料および燃焼」(山崎毅六・田中 楠彌太・宮川行雄・石井直治郎・若菜 章『燃焼・燃料, 潤滑・潤滑油』山海堂, 熱機関体系3, 1956年, 所収)等に拠っている。

表1 各種石炭の成分分析表

炭 鑛 名	水分 (%)	揮発分 (%)	固定炭素 (%)	灰分 (%)	硫黄 (%)	發熱量 (Kcal/kg)	比重	粘結性
北海道歌志内	3.16	40.29	53.43	3.12	1.40	7,752	—	—
同 空知	1.11	36.29	53.50	9.10	0.27	7,480	—	有
同 美唄	3.38	39.70	48.80	8.12	0.35	7,700	1.323	なし
同 幌内	3.71	42.77	44.33	9.19	0.36	6,917	—	なし
同 夕張	1.45	42.42	45.63	10.50	0.21	7,579	—	有
同 大夕張	1.25	36.47	58.16	4.12	0.81	8,153	1.240	有
同 別保	7.00	46.84	40.54	5.62	0.16	6,919	—	—
關東 高萩	16.46	37.63	34.17	11.74	0.24	5,280	1.352	なし
同 勿來	13.66	36.21	30.71	19.42	3.04	4,837	1.414	なし
中國沖ノ山	11.34	36.63	47.45	4.68	1.02	6,225	1.36	なし
同大嶺無煙	3.98	8.60	62.64	24.78	0.36	5,735	—	なし
九州 中鶴	9.22	36.03	50.45	4.30	0.48	6,670	1.303	なし
同 大ノ浦	2.23	39.78	49.86	8.13	0.41	7,138	1.310	普通
同 田川	1.91	39.82	49.45	8.82	0.39	7,235	—	微
同 豊國	3.97	44.20	45.38	6.45	0.54	7,268	1.320	普通
同 新原	2.90	40.60	45.10	11.40	0.39	6,655	1.30	なし
九州 三池	0.89	36.83	51.56	10.72	4.62	7,639	—	強
同 松島	1.62	41.96	47.78	8.64	1.65	7,205	1.30	微
樺太 内幌	12.59	43.08	33.43	4.85	—	6,461	—	—
同 大平	7.01	38.19	51.68	2.78	—	7,170	—	—
朝鮮 平壤	1.13	9.61	81.13	8.13	0.79	7,685	1.50	無煙不粘結
同 阿吾地	10.95	36.98	35.41	16.66	0.35	5,112	1.10	なし
滿洲 撫順	4.31	38.55	50.65	6.59	0.67	7,070	—	—
同 本溪湖	0.69	21.70	77.61	5.58	0.45	7,360	3.301	有
北支 開灤	0.40	26.15	51.05	22.40	3.01	—	—	—
同 井陘	1.13	19.67	74.68	4.52	1.48	8,762	—	有
佛印 鴻基	1.1	6.91	88.86	3.13	—	8,055	—	無煙

生産技術協会『實用工學便覧』山海堂、1951年、379～380頁、より。

同書、改訂版、1966年、397～398頁も同じ。

表2 石炭の工業分析による分類

名 稱	燃料比	固定炭素 (%)	揮発分 (%)	燃焼状態	粘 結 性
無 煙 炭	12以上	92.3以上	7.7以下	青色短焰	不 粘 結
半無煙炭	7～12	87.5～92.3	7.7～12.5	煤煙少い短焰	不 粘 結
半瀝青炭	4～7	75.0～87.5	12.5～25	光ある短焰	粘結～不粘結
高度瀝青炭	1.8～4	50～75.0	24.3～25	煤煙ある長焰	多くは粘結
低度瀝青炭	1～1.8	35.7～50	24.3～50	煤煙ある長焰	粘結～不粘結
黒色褐炭	1以下	50以下	50以上	—	不 粘 結
褐色褐炭	1以下	50以下	50以上	—	不 粘 結

同上書、378頁(改訂版、396頁)、より。

以上から水分と灰分を除いた状態における固定炭素と揮発分との構成比によって石炭は次のように分類された(燃料比=固定炭素/揮発分)。一般に上段の炭種ほど生成年代が古く、下に行くほど若い石炭であるとの括りになるが、高い地熱により炭化が加速された石炭=は若くして無煙炭の一種となる。また、石炭と呼ばれるに相応しいほどに炭化が進んでいない状態の炭種は亜炭、水浸し状態にあって一層、炭化度の低い炭種は泥炭と称される。国内炭の主力は瀝青炭の類であった。

粘結性とは石炭を乾留してコークスを造る際の性質を指すが、ボイラ燃焼においては燃焼灰の融点^{クリンカ}が低く凝結物を生成し易い性質を意味する。

なお、燃料比は石炭の燃焼性状を大きく左右する指標となる。戦後の日本では燃料比4を超える炭種を無煙炭と称しているが、古くは引用の表のようにより高級な欧米の規格が準用されていた。艦船用ボイラの燃料が石炭であった時代には煤煙が僅少であるため隠密行動をとり易くしてくれる無煙炭は軍用艦艇の大切な燃料であった。

しかし、当然ながら燃料比の高い、換言すればHC発生量が少なく火焰の短い石炭ほど火付きは悪く、コークスのそれに至っては更に劣る。勿論、火焰の長さがボイラ火室設計の重要なパラメータたることはM. ファラデー『ロウソクの科学』(1861年)以前からボイラ設計に活かされて来た真理である。

更に、石炭の成分を元素レベルまで分析し、その発熱量と対応付けたのが次表である。純炭素がCO₂になる時の発熱量はメートルで約8100kcal/kgであり、H₂の発熱量は約33900kcal/kg、Sのそれは2500kcal/kgであるから、石炭の発熱量は燃料比が無煙炭よりやや下がったところで最大となるが、燃料比が下がるに連れてO₂及びN₂の割合が増す(揮発分がHC主体からCO₂主体に移行する)ので発熱量は落ちて行っている。最も若い石炭である薪の発熱量は樹種に依り4000~5000kcal/kg程度を示す。

表3 石炭の元素分析による分類

炭名	炭素(%)	水素(%)	酸素及窒素(%)	発熱量(Kcal/kg)
褐色褐炭	57~67	6~7	37~28	5,500
黒色褐炭	65~75	6~4	29~21	7,000~8,000
長焰不粘結炭	75~80	5.5~4.5	19.5~15.5	8,000~8,500
長焰粘結炭	80~85	5.8~5	14.2~10	8,500~8,800
普通粘結炭	84~89	5~5.5	11~5.5	8,800~9,300
短焰粘結炭	88~91	5.5~3.5	6.5~4.5	9,300~9,600
亜無煙炭	90~93	4.5~4	5.5~3	9,200(平均)
無煙炭	93~96	2(平均)	4	9,200

同上書、378頁(改訂版、396頁)、より。

イギリスでは石炭はその性状・用途に応じて Admiralty coals (軍艦ボイラ用)、Steam coals

(その他ボイラ用), Coking coals (コークス製造用), Gas coals (都市ガス製造用)などに分類されていた。都市ガス(灯用ガス)製造過程においてもコークスとタールが副産物として得られるが、揮発分を予めほとんど飛ばしてしまったコークスの発熱量は7000kcal/kg前後と無煙炭よりかなり低くなる。

生産技術協会が掲げた上掲諸表のデータは人脈的にも旧海軍由来のモノであるためか海外の標準と良く合致していると思われるので、敢えてそれらを引用したが、鉄道省→国鉄で使用された国内・外地産の石炭は一貫してこれらの表に示された内の良質の石炭類よりかなり品位の劣る炭種であった。そして、発熱量を、即ち機関車の出力を揃えるため、それらの中から相対的に良質な石炭と劣悪炭のブレンドを行ったり、数種を混合して煉炭に加工する形での使用が行われた⁵⁾。

鉄道省における良質炭の供給はとりわけ戦時下に厳しい制限を受け、機関助士に苦役を強いたと伝えられているが、戦時のブレンド率変更による発熱量低下を直接、示すデータとしてはその平均値について1935年:6580kcal, '36, '37年:6440kcal, '38, '39年:6460kcal, '40年:6320kcal, '41年:6210kcal, '42年:6150kcal, '43年:6060kcal, '44年:5980kcal, '45年:5730kcal, '46年:5390kcal, '47年:5300kcalとあり、粉炭混入率も'40年の40%から'47年の70%へと漸増を示した事蹟が記録されている⁶⁾。

また、機関車用煉炭の規格変遷についてはある程度の数値把握が可能である。機関車工學會が掲げた鉄道省の煉炭規格と大阪及び岡山鉄道管理局によって示された国鉄データとを比べれば、「国鉄煉炭」7種の発熱量、6510~6640kcal/kg以上は戦前の6分類時代の鉄道省の甲號規格に謳われている6800~7600kcal/kg以上より著しく低い値であるが、戦中に追加されたと思しき薪に毛の生えたような存在である乙號の5500kcal/kg以上よりは格段に改善された品質となっていた。因みに、筆者が知り得た海軍第一種煉炭の発熱量は7780kcalであった⁷⁾。

ii) 重油とガス

重油は石炭に対して発熱量が10000~11000kcal/kg程度と大きく、品質が一様で取扱い容

5) 鉄道用炭の工業分析データについては森彦三・松野千勝『機関車工學』下巻、大倉書店、1912年、337~348頁、運轉教育研究會『最新 燃焼の理論と給油』90頁、機関車工學會『新訂増補 機関車の構造及理論』下巻、4~11頁、大阪鉄道管理局編『機関区従事員必携』大鉄図書(株)、1951年、424~428頁、岡山鉄道管理局『機関車乗務員必携』1952年、253~254頁、参照。

但し、森・松野『機関車工學』下巻、上述箇所の第百十~百十三表に謂うC.U.値は(我々には好都合なことに)kcal値の誤りであり、それを1.8倍した数値はB.T.U.ではなく、全く意味の無い数値である。

6) 横堀進「鐵道における燃料事情と對應策」(日本機械學會『日本機械工業五十年』1949年、757~767頁所収の761頁)、第16表、参照。横堀は鐵道技術研究所技師。

7) 但し、戦後の鐵道用煉炭は何れも6600kcalの石炭相当品として扱われていた。旧い海軍第一種煉炭規格については運轉教育研究會『最新 燃焼の理論と給油』119頁、第20表、参照。

易であり、着火し易く低い空気過剰率で完全燃焼可能であり、発熱量の制御が容易である。灰分は含まれるが、石炭の場合に比して遥かに少なく、大形ディーゼル機関やガスタービンにおいてならともかく、ボイラにおける燃焼であればその後始末に大した手は掛らない⁸⁾。

ボイラ燃料として重要なのは残渣油、即ちC重油である。その燃焼過程においては燃料液滴中の重質分が熱分解により（蒸し焼きにされて）炭素粒子を生ずる過程を含み、こうして形成された謂わば微粉炭の燃焼には中・軽質液体粒子のそれよりも多くの時間を要するため、バーナから出る燃焼火焰は軽油のそれに比して約2倍の長さとなる。

天然ガスは主成分がメタン CH_4 で爆発限界が狭いため取扱いが容易である。発熱量は $8000\text{kcal}/\text{Nm}^3$ を超える。これはしかし、近年、事業発電用ならびに暖房用ボイラにおいて重用されるに至った燃料である。

古くから燃料に供されて来た高炉ガスは CO および H_2 を可燃分とし、発熱量は $700\sim 1000\text{kcal}/\text{Nm}^3$ に過ぎないが、高炉の副産物であり（それ自体は只であり）、燃焼も容易である。往時、高炉ガスは排ガス・エコノマイザ付き大形ガス機関の動力源に用いられたが、この製鉄所自家発電用原動機が蒸気タービン・プラントに代替されて既に久しい。また、コークス炉ガスやモンド・ガスは高炉ガスよりリッチな気体燃料となる⁹⁾。

2) 焚火

続いて、ボイラ焚火の諸様式について縦覧しておこう¹⁰⁾。焚火法には大別して上込め、下込め、横込めの3通りがあり、最も原始的な反面、負荷変動への適応能力に優れた手焚きは上込め焚火法の一つである。

鉄道省においては機関車の焚火に片手ショベル（ワンスコ：容量 1kg ）、両手ショベル（同 2kg ）を投炭の瞬間に手首を利かせて反転させ、石炭を火床上の狙った部位に叩き付ける「伏せショベル」の技術や火格子を10のブロックに分ち、22分間に600杯・ 600kg 、15分間に300杯・ 600kg などという神経衰弱的な投炭方法が¹¹⁾科学的・中立的な装いを凝らした燃焼「理論」の後ろ盾の下に標準化され、各ブロックの火床の厚みのコントロール能力が機関助手昇進へのハードルとされていた。この焚火法はしかし、元を質せば、低品位の石炭を天から下って来た知的苦闘の痕跡に欠ける燃焼装置を以て十全以上に遣いこなし、燃料報国の実

-
- 8) 辻元徳三『燃焼装置』岩波講座機械工学、1942年、山崎毅六「内燃機関の燃焼および燃料」山崎・田中・宮川・石井・若菜前掲『燃焼・燃料、潤滑・潤滑油』所収、参照。
- 9) 拙稿「三井鉱山 三池ならびに田川瓦斯発電所について（訂正補足版）—— 日比勝治の回想とデータ集から—— 付・補論。低圧電気点火システムについて」（大阪市立大学学術機関リポジトリ掲載）、参照。
- 10) 水井雅典「汽罐燃焼装置並自動制御装置」電気學會編『晩近の火力発電所』電気學會、1933年、辻元徳三『燃焼装置』岩波講座機械工学、1942年、菅原菅雄『蒸気ボイラ及び蒸気機関』上巻、日本機械學會、1949年、37～73頁、同『蒸気罐』改訂版、上巻、産業図書、1950年、128～219頁、同『新版 蒸気ボイラおよび蒸気原動機』丸善、1963年、20～54頁、参照。

を挙げようとした現場人の健気な使命感と発想力から生み出された窮余の運用技術に他ならなかった¹¹⁾。

これに対して、イギリスでは一定のピッチで投炭し、火床の両サイドと手前をやや厚くする同一の規範に従ったは言え、3~4回の投炭で火格子上を一巡する方法が良しとされていた¹²⁾。

また、日本海軍においても石炭焚時代の初期には鉄道省におけると同様、「十能」を用いて少量・頻回の神経質極まる投炭を行わせる船橋善彌機関中将(1867~1925)創案の「基本焚火法」が推奨されていた。しかし、日本海海戦の如き局地戦から長途の航海を伴う外洋戦への推移により、焚火要員の疲労の軽減を通じた焚火効率の長時間に亘る高位平準化とが必至の要請となり、イギリス海軍流の一見や大雑把に映るような焚火法への転換を余儀無くされたと伝えられている¹³⁾。

ちらしストーカは人の扱うショベルを機械力(回転ショベル、蒸気ジェット等)に置換えたもので、回転ショベルを有する大容量の装置においては③に観るようなエンドレス・チェーンによって駆動される火格子面は図とは逆の方向に移動せしめられる。これは粒子の大きな石炭ほど遠くへ飛ぶため、石炭にその粒径≒質量に見合う燃焼時間を与えるためである。

蒸気機関車に多用されたスクリー・コンベアを用いる機械式給炭機は最後の石炭撒布に蒸気力を用いるタイプであるから、小形下込めストーカではなく、スプレッド・ストーカの一種という分類になる¹⁴⁾。

下込め式においては石炭がスクリー・コンベアやプランジャによって燃焼面に溢れさせるような格好で押し上げられる。空気もこれと並行して下方より押込まれる。

横込め式の内、③の前送り水平・鎖床式ストーカは専ら小規模施設の自動化に用いられた。なお、大容量の設備では先に言及の通り、エンドレス・チェーンと火格子とを分け、チェーンは単に駆動機構として用いられ、その焼損を防ぐ措置が講じられた。

石炭を微粒子に粉碎し、空気と共にバーナによって火室に吹込み、燃焼させる微粉炭燃焼は1920年代に大いに発展し、今日においても発電用大容量石炭焚きボイラの主流をなしており、

11) この点については拙稿「C53型蒸気機関車試論〔訂正版〕——近代技術史における3気筒機関車の位置付けと国鉄史観、反国鉄史観——」(大阪市立大学学術機関リポジトリ登載)で既に十分、論じておいた。

12) cf., A., Morton Bell, *Locomotives*. 7th. ed., London, 1950, Vol. II, p. 276.

13) 生産技術協会(渋谷隆太郎)『旧海軍技術資料 第1編(2)』1970年, 9, 10頁, 『同(3)』1970年, 10~11頁, 参照。負荷変動が大幅かつ急激である船用ボイラが石炭焚きであった当時の焚火法は専ら手焚きであった。それが機械化されるより先に船用ボイラは石炭・重油混焼, 重油専焼の時代となった。据付ボイラにおける手焚の諸相については後に別の角度から取上げられる。

14) この方式の機関車ボイラ用ストーカは1911~12年頃, アメリカで完成の域に達した。cf., Alfred W., Bruce, *The Steam Locomotive in America Its Development in The Twentieth Century*. N.Y., 1952, p. 81. ブルースはAlcoの設計技師。

図1 ボイラ焚火法の諸様式

火格子燃焼種類	 給炭方向 通風方向 火格子面	使用燃料	火格子燃焼率 kg/hm ² *	通風	
① 上 込		手焚	一般固体燃料	100 ~ 150	自然通風
		 ちらしストーカ	成可く粒の揃つた石炭	120 ~ 150	自然通風 押込通風
② 下 込		 大型下込ストーカ	揮発分多き石炭 粘結性を有するものも焚き得る	普通 200 ~ 250 最大 300 ~ 400	押込通風
		 小型下込ストーカ	灰分多く熔融點低きもの不可		押込通風
横 込		 移動火格子ストーカ 鎖床ストーカ 移床ストーカ	4500 kcal/kg以上の一般石炭 但し無煙炭コークス等は後部アーチを設け空気を豫熱すること	普通 100 ~ 150 最大 200 ~ 250	自然通風 押込通風
		 傾斜火格子 (段火格子)	一般固体燃料 褐炭, 亞炭 木屑 バガス	100 ~ 200 500	自然通風 (押込通風)
⑤ 逆送り傾斜		 特殊ストーカ (マルチン式)	灰分又は水分極めて多き粗悪炭		押込通風

辻元徳三『燃焼装置』岩波講座機械工学, 1942年, 26頁, 第9圖。

後述される通り機関車ボイラへの適用例も無くはなかったが、本稿の主たる対象からは除外する¹⁵⁾。

3) 燃焼

さて、実際にボイラにおいて進行せしめられる石炭の燃焼は火格子燃焼と微粉炭燃焼とに分

15) 言うまでも無く、微粉炭燃焼装置についてはここまで言及されたボイラ燃焼、燃焼装置に係わる文献の全てにおいてその記述が見出される。

けられる。ここでは焚火装置の項と同様、本稿の対象に即して前者についてのみ要点を紹介しておく¹⁶⁾。

火格子燃焼における燃焼機構は並進燃焼と逆進燃焼と攪拌燃焼とに分けられる。並進燃焼は燃焼中の石炭層の上に重ねるように新たに石炭を撒布する焚火様式に対応しており、火移り(燃焼拡散)の方向と通風の方向とは何れも下から上であり一致している。蒸気機関車における通常の手焚きやスプレッド式ストーカに依る焚火はこの並進燃焼である。

逆進燃焼とは燃焼拡散の方向と通風の方向とが逆になっている場合を指し、陸用据付ボイラにおける鎖床式ストーカを用いた焚火による燃焼様式がこれに当る。即ち、新たに供給された石炭の燃焼は火室の輻射熱によって上から下へと進行するが、通風は下から上へと向う。下込め式ストーカを用いる場合の燃焼もこれに該当するが、通風能力が限られ、燃料を選り好みする。鎖床式ストーカにおいては灰(石炭ガラ)の処理は至って簡単であり、ある程度以上の微粉炭焚以外の陸用石炭焚ボイラの燃焼装置はほとんどこの式か、上述の如く火格子をエンドレス・チェーンから分離した型式であった。

並進燃焼はこれから燃えようとする石炭に焰と共に高温の空気を供給する燃焼様式であるから火移りが良く低品位炭や無煙炭、コークスの燃焼に適する。欠点は火格子上における均一な厚さの火層形成が難しく、空気不足により揮発分を逃し易い恨みがあり、散布された燃料中の微粉成分が未燃焼のまま排出されるシンダー・ロスが多いことであり、鎖床式以外においては当然、灰の始末が面倒にもなる。

逆進燃焼は燃え拡がりつつある石炭に逆方向から冷気を吹き付ける格好になるから低品位炭等の燃焼には適さない。また、前送り水平横込め式の一種である鎖床式ストーカにおいては燃料が供給される鎖床火格子手前部分においては空気不足となってCOやHCが活発に発生し、燃料があらかた燃え尽きた奥の方では隙間が増して空気過剰となる。このため火格子の両端部から燃焼空間へと立ち昇る異質なガスを十分、攪拌混合し、未燃焼ガスを燃焼させてやる空間容積と攪拌用のシカケ(前部アーチ、後部アーチ)が必要がある。とりわけ、概して揮発分が多く(燃料比が低く)、粘結性の乏しい国内炭を焚く場合、 $\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2\text{CO}$ というガス化反応が盛んとなりがちであるため、その再 CO_2 化を促すためにも火床と受熱部との間の空間自体を大きく設定してやる必要がある。

攪拌燃焼は火格子上の石炭層を攪拌し、燃焼を助長する方法であり、その実施のためには階段式振動火格子が用いられる。但し、交ぜ返し過ぎると火床の温度過昇を招き易い上、クリンカや吹き抜けを生じ易くなる。

2. 機関車ボイラにおける燃焼室の原初的態様

16) 田中前掲「蒸気原動所の燃料および燃焼」、参照。

機関車ボイラにおける燃焼室，但し，近代的意味におけるそれとは内火室の前方罐胴部への突出し部分に他ならない（後掲図10）。これについては次節以下で詳しく触れられる。

然しながら，燃焼室再導入の先進国となったアメリカの体系的な機関車工学事典には上記とは全く異なる燃焼室の定義が長らく掲げられて来た。その一例を引けば，次の通りである：

機関車ボイラにおける火室と煙室との間の室ないし空間。その目的は燃焼を促進し，燃焼ガスが煙管に入る前にそれから追加的な熱を獲得することにある。普通には用いられていない。

時として火室と後部管板との間のスペースが燃焼室と呼ばれている。幅広く浅い火室が用いられる場合，突然の劇的な温度変化を蒙る燃焼炭の火焰による直接的な熱から遠ざけられていないならば煙管は漏洩に因る事故を生ずるため，後部管板は火室のノド部から8～10インチ前方に設けられる（*Locomotive Dictionary 1906*. p. 19, 段落付け，強調は引用者）。

論理的に観れば，引用後段の内容は既に前段のそれに含まれているのであって，これでは屋上屋を架すが如き内容とも言えるが，そこに「時として」なる限定の副詞句が挿入されているところこそがこの文章のミソである。

後の版においても前段部は：

機関車ボイラにおける火室と煙室との間の室ないし空間。その目的は燃焼を促進し，燃焼ガスが煙管に入る前にそれから追加的な熱を獲得することにある（*Locomotive Cyclopedia 1925*. p. 30, *Locomotive Cyclopedia 1930*. p. 30）。

と，やや短縮された形で繰返されており，若干，変更された内容の後段が続いている。

ある程度の知識を有する向きにとって，この前段部分はそれ自体，一見，至極当り前の記述のように映るであろう。ただ，これをあくまでも後段，即ち燃焼室の近代的態様と区別された実在物と捉えたとすれば，その真意たるや今日では到底，理解され難いではなからうか？そして，これが燃焼室の原初の形態を意味するやや舌足らずの定義であったとすれば，その何たるかを明らかにするには余程古い書物でも繙くしかない。

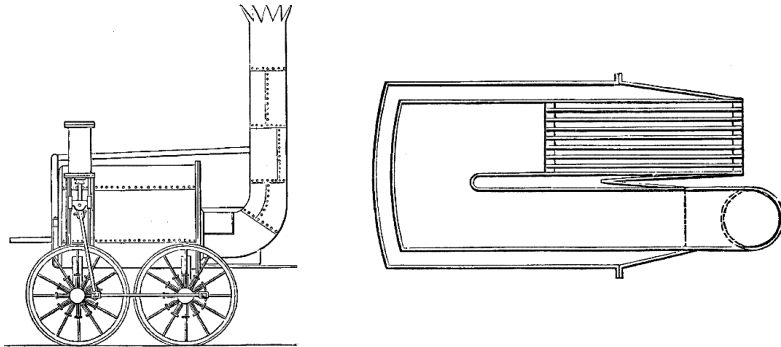
次図は1829年，Timothy Hackworthによって設計製作された *Sanspariel* 号とそのボイラ（平断面図）である。これは同年，開業する Liverpool and Manchester 鉄道への採用を巡り，10月6日，同区間一往復に相当する距離を稼ぐため，リヴァプール近郊 Rainhill 鉄道橋付近の平坦線 2.4km（両端に 200m の加速区間併設）を 24 往復，約 115km を走破して競われた機関車競争の参加車両 3 両の一つで，他に John Braithwaite および John Ericson の *Novelty* 号と G., Stephenson の *Rocket* 号が参加した¹⁷⁾。

サンスパリエル号は最もパワフルかつ高速の機関車ではあったが，ノヴェルティ号と共に故

17) レインヒルの機関車競争については文献に事欠かぬが，ここでは森彦三・松野千勝『機関車工学』上巻，大倉書店，1910年，25～30頁を挙げておく。

障りタイヤを余儀無くされた結果、後者のみが完走を遂げ、天下にその令名を轟かせることとなる。それ故、サンスパリエル号は歴史的固有名詞となるロケット号の謂わば引き立て役に終わった車両ではあるが、決して失敗作ではなく、修繕後は数年間の重仕業に耐え、良好な使用実績を残している。

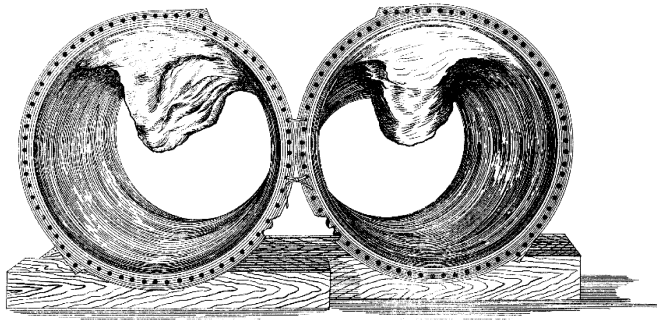
図2 1829年の *Sanspariel* とそのボイラ平断面図に見る原初的燃焼室の原型



Zerah Colburn, *Locomotive Engineering and the Mechanism of Railways*. London, 1871, Vol. I, p. 26 Fig. 27, 28.

サンスパリエル号のボイラは火格子を内蔵する炉筒と折返し部、戻り炉筒から構成されていた。火格子上の燃焼は勿論、並進燃焼となる。炉筒と呼ばれる燃焼装置は、後には表面がコルゲート加工（波型炉筒化）され強度と表面積の増加が図られたとは言え、所詮は只の筒であり、伝熱面積不足は否めない。しかし、焚火時に焚口戸から内部が望見出来、その圧潰・膨出（多くは頂部の垂れ下がり）の兆候を直接視認し得るため、技術が低位であった時代性に適う燃焼空間の構造であった。

図3 膨出（垂れ下がり）を生じた船用ボイラの炉筒

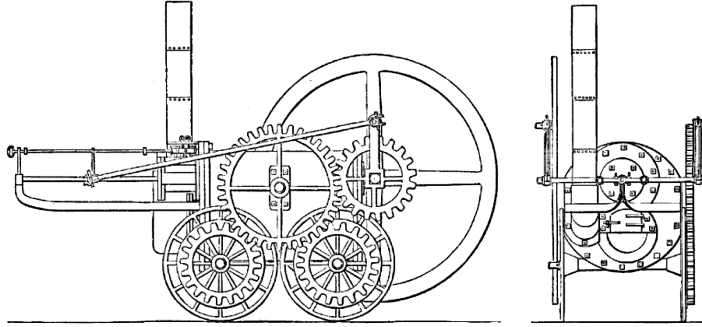


『機関術教科書 卷之一 附図』1908年7月、一ノ六十九、より（刊行元記載・図番無し。本文編未見）。

この炉筒に折返し部と戻り炉筒を併設し、戻り炉筒ボイラとするアイデアは蒸気機関車の父、Richard Trevithick その人に端を発しており、Wylam 鉄道の機関車にはこのタイプのボイラが使用されていた。ハックワースはこの鉄道を振り出しにステブソン機の機関車工場、Stockton

and Darlington 鉄道と渡り歩いた技術者であり、この鉄道で彼が 1827 年に製作した *Royal George* (1827) のボイラも同じタイプであった。

図 4 Trevithick の戻り炉筒ボイラを持つ機関車 (1803 年建造)

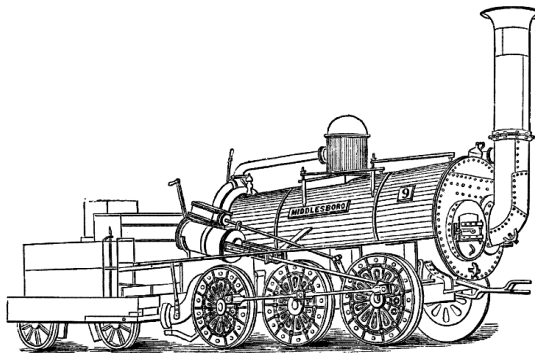


Colburn, *ibid.*, p. 13 Figs. 7, 8.

ハックワースは 1830 年、ストックトン&ダーリントン鉄道向けに *Globe* 号を開発した。そのボイラは前作とは打って変わって単一炉筒型となり、火格子は炉筒内に装備されていた。もっとも、当初は炉筒の前方に直径方向の水管が多数装備され、熱交換とガスの回転に与らしめられていたが、同時代の罐水管理状況下においてはスケールに依る短時間での閉塞を防ぎ得ず、暫く後に水管は撤去された。つまり、それは謂わばコルニッシュ・ボイラになったワケである。

1830 年から '34 年にかけて、彼は同鉄道向けに一連の成功作となる機関車を開発したが、その 1 両である *Middlesbord* 号のボイラは伝統的な戻り炉筒型に戻されていた。次図はこの機関車本体がテンダー 1 両と連結されている状態を示しているが、実際の運用においては本体の両側にテンダーが連結され、煙突(焚口)側のテンダーは燃料車で、そこから焚火が行われた。図に表現されている反焚口側のテンダーには水樽が載せられた。

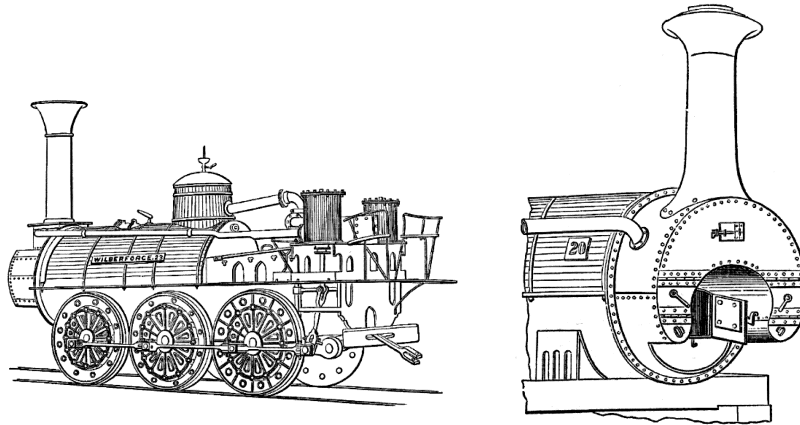
図 5 Stockton and Darlington 鉄道の *Middlesbord* 号



ditto., p. 49 Fig. 43.

更に、1832年から'36年にかけて、彼はそれらの後継機に当る *Wilberforce* 型を新たに送り出した。ウィルバーフォース型は内製、外製(スチブソン)合わせて多数、整備され、同鉄道において大活躍した。その長さ 13ft., 直径 44in.のボイラは直径 29in., 長さ 9ft.の炉筒の中に火格子を収め、炉筒の奥からは銅製の戻り煙管群(外径 $1\frac{1}{4}$ in., 長さ 4ft, 片側 53本)が炉筒の両側を走って燃焼ガスを焚口直上の煙室へと導く構造を有していた。

図6 Stockton and Darlington 鉄道の *Wilberforce* 型とそのボイラの焚口・煙室端



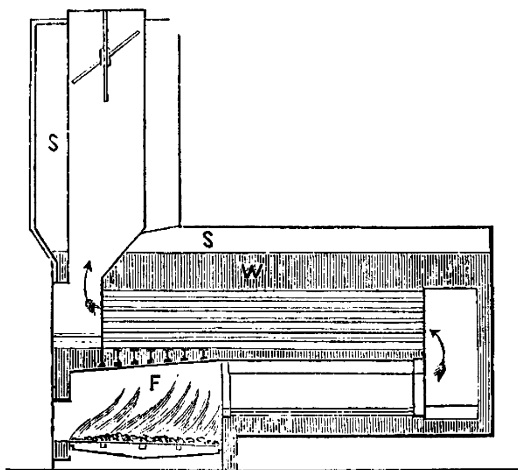
ditto., p. 42 Figs. 45, 46.

アメリカの叩き上げの機関車技術者であり、1866年にロンドンで雑誌 *Engineering* を創刊した大物ジャーナリストでもあった Z., Colburn (1832~'70) の掲げる数値が正しいなら、炉筒の奥 5ft 分は焚口サイドに戻り煙管を支持する管板を持つ行き止まりの空間となっていた。そして、これこそが「火室と煙室との間の室ないし空間」であり「燃焼ガスが煙管に入る前にそれから追加的な熱を獲得する」使命を担う燃焼室の原初的態様の濫觴をなす空間であった。もっとも、この点に関して分り易く確認させてくれる断面図については未見である。なお、煙管について付言すれば、かのロケット号のボイラは純然たる煙管ボイラであり、煙管ボイラのアイデア自体は James Watt にまで遡るが、こと機関車ボイラにおける戻り煙管については原初的燃焼室を備えたウィルバーフォース型のボイラが嚆矢となっている。

また、'32年には R., L., Stevens (米) に依っても同型の舶用らしきボイラが造られていた。それが実際、艤装されたのか否かは定かではないが、斯界においてはガス流動への抵抗源となる他、後述の通り伝熱上も不利となる煙管長を徒に増大させることなく蒸発量を強化させるため太い罐胴に炉筒~燃焼室~煙管系を 1~4 組収めた Scotch ボイラと総称される高丸ボイラが漸次、興隆して行く¹⁸⁾。

18) Bruce は “The internal firebox extension type of combustion chamber had been known and applied as early as 1832.” と述べている。しかし、それが何れを指すにせよ、そこに原初的燃焼室とビルトイン燃焼室との混同があることに別はない。cf., Bruce, *ibid.*, p. 82.

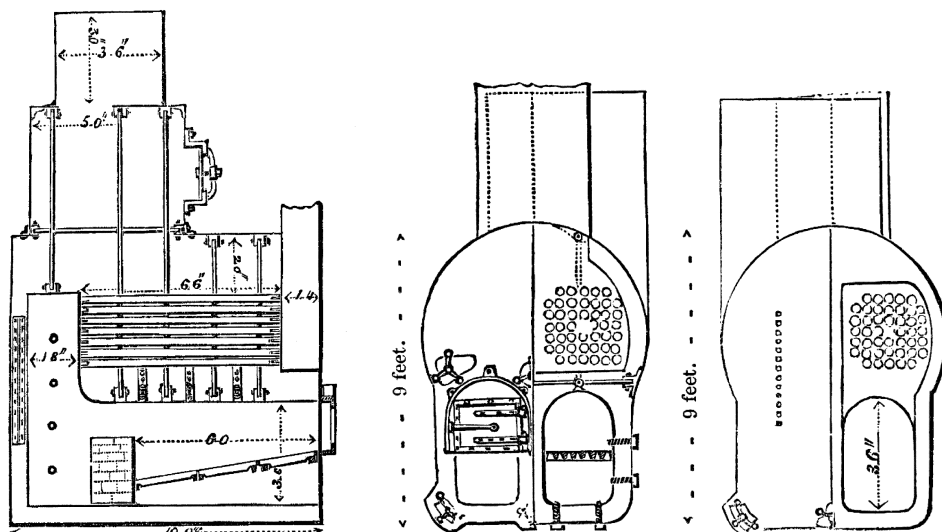
図7 Stevensの戻り煙管ボイラ



R., H., Thurston, *A History of the Steam-Engine*. London, 1895, p. 275 Fig. 89.

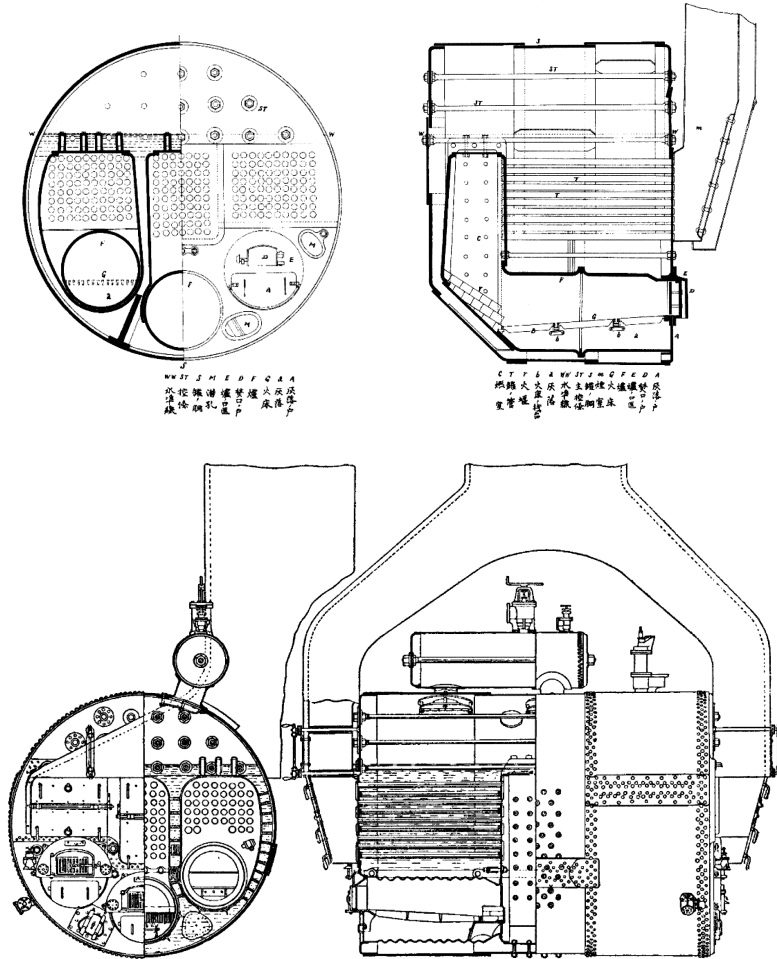
次図は Messrs. Miller and Ravenhill, and Co. によって汽船 *Tagus* 号への載せ替え用として 1844 年に建造されたボイラで、管見の限りにおいて建造年代が判明しているイギリスで最も古い船用戻り煙管式ボイラである。これは当時、流行していたオリジナルの戻り炉筒ボイラの煙管式への更新用として建造されたモノの一例であるらしく、背中合わせのペア、即ち両面焚き(図9参照)の形で何組か艀装された。もっとも、この低圧ボイラは騰発性能こそ良かったものの、蒸気に水を混入させる水気立ちの傾向が強く、また煙管群の位置が高過ぎて急激かつ

図8 *Tagus* への換装用として 1844 年に建造された初期の戻り煙管式船用ボイラ



John Bourne, *Treatise on the Steam Engine in Its Application to Mines, Mills, Steam Navigation, and Railways*. 3rd. ed., London, 1849, p. 66, Figs. 99~101.

図9 3 炉筒型船用スコッチ・ボイラ 2 例 (直円筒炉筒と波型炉筒・両面焚き)



上：前掲『機関術教科書 卷之一 附図』一ノ一、一ノ二、より。
 下：J., A., Ewing, *The Steam-Engine and Other Heat-Engines*. Cambridge, 1897, p. 354 Figs. 175, 176.

大幅な水位変動を起こしがちであるとして、同社の成功作とは見做されていなかった。左図には「燃焼室」を含むボイラの縦断面、右図には「燃焼室」の横断面が描かれている。原文はこれについて“aftermost Smoke-box”と注記しているが、煙室なら中央図の右側上に見る空間にこそ似つかわしい。

次図は直円筒炉筒を有する完成形態に近いスコッチ・ボイラを示す。この炉筒が強度と伝熱面積をアップされた波型炉筒へと進化したところでスコッチ・ボイラは最終発展形態を迎えることになる。

我が船用ボイラ界において、煙道の折返し部、即ち上の“aftermost Smoke-box”は燃室

(combustion chamber) と称され、スコッチのようにそれを水中に位置せしめる型式は湿燃室ボイラ (wet combustion chamber boiler), Howden Johnson ボイラのようにこれを鏡板と耐火煉瓦貼りの炉壁とに囲まれた空間へと置換え, そこに堅水管を走らせたその進化型は乾燃室ボイラ (dry combustion chamber boiler) に分類されて来た。それらは 19 世紀末葉から 20 世紀初頭にかけて永らく船用ボイラの主力を務める型式となった。燃焼室について着目すれば機関車における原初は標準へと転生したワケである。

確かに、蒸気機関車に立ち帰れば、コルバーンによって紹介されたような種類の戻り煙管式の炉筒・煙管ボイラないし原初的燃焼室付きボイラは「普通には用いられていない」型式たるに止まった。これは排気に依る誘導通風を規範として発達を遂げた煙管ボイラの一つたる近代的機関車ボイラにしてみれば自然な成り行きであった。そこで折返しをやっていたのでは過熱管寄せに主蒸気管に気筒に吐出管に煙室にと、何から何まで運転室の直前、即ち火室回りに持って来なければならなくなるからである。

なお、1886 年の Strong ボイラはスコッチ・ボイラにヒントを得た複波型炉筒の、但し直煙管式の機関車ボイラ、1900 年の Vanderbilt ボイラは単一波型炉筒の、これも直煙管式の機関車ボイラとして斯界に異色の存在感を示した。しかし、船用ボイラとは桁違いの高燃焼率を特徴とする機関車ボイラに波型炉筒如きでは最早、脆弱に過ぎ、何れも敢無く敗退を余儀無くされている¹⁹⁾。

3. 機関車ボイラにおける燃焼室の近代的態様

機関車ボイラの本質は限られた占有スペース・重量の中、激しい振動の下に最大の蒸発量を稼ぐその特性に関係付けられる。そのパワーの源は高い燃焼率にある。即ち、一般的なボイラの燃焼率が $50\sim 400\text{kg/m}^2\cdot\text{h}$ 、多くは 200 台までであるのに対して機関車ボイラのそれは営業運転においても短時間には最大 $780\text{kg/m}^2\cdot\text{h}$ 以上にも達し、鉄道省における試験台試験においては $935.08\text{kg/m}^2\cdot\text{h}$ までの追い込みが実施された記録がある。また、海外での試験においては $1200\text{kg/m}^2\cdot\text{h}$ などという値まで試みられている。

将に機関車ボイラの焚火は戦闘状態を呈する。当然、その最大蒸発量発揮時点における効率は排気が持ち去るエネルギー=排気損失及びシンダー・ロスの昂進に因り上例の $935.08\text{kg/m}^2\cdot\text{h}$ 、縮切 35%にて 38.86%と著しく低い値を記録せざるを得なかったが、機関車ボイラにおいても極度に追込まれていない場合の最良効率は大容量水管ボイラの 90%前後には遠く及ばぬものの $168.28\text{kg/m}^2\cdot\text{h}$ 、縮切 17%にて 69.65%、 $214.15\text{kg/m}^2\cdot\text{h}$ 、縮切 24%にて 67.63%、 $251.65\text{kg/m}^2\cdot\text{h}$ 、縮切 30%にて 68.28%と 70%近くをマークし、場合によっては若干これを

19) Bruce, *ibid.*, pp. 149, 151 (Fig.14).

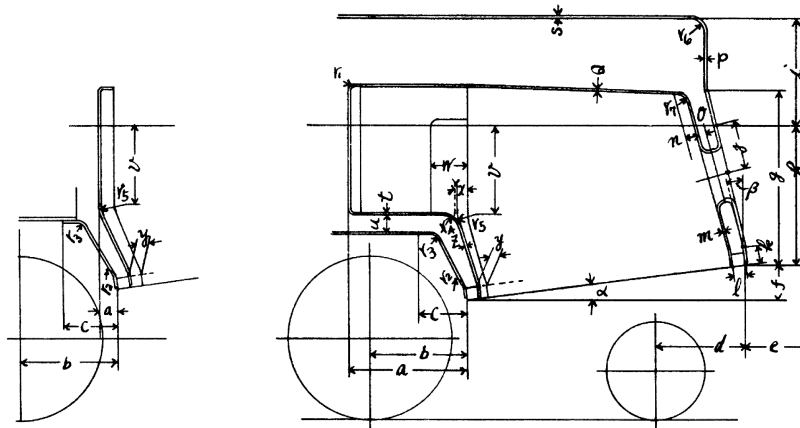
上回る程度にまで達していた事例が記録されている²⁰⁾。

その機関車ボイラに比較的遅く再導入された燃焼改善技術、それが燃焼室、但し、近代的意味におけるそれ、つまり、内火室の前方突出し部である。ここでは取り敢えず鉄道省の機関車における実施態様を掲げておこう。鉄道省、国鉄の機関車においてボイラに燃焼室を有するのは大戦末期の D52 (深さ 1100mm および 1020mm)、戦後、D52 を改造して誕生した D62 (同)、C62 (同)、C59 の 1943 年の 2 両と戦後型 (101 号機以降：深さ 600mm)、D52 のそれを寸詰まりにしたような同じく戦後の E10 (同 650mm) のみであった²¹⁾。

もっとも、この退嬰性に頼りかむりするだけなら常の事ながら、「しかし火室といい燃焼室というが、同一の作用のものであり、名称にこだわる必要はない」などとまで開き直られると一介の技術史屋としてはその余りに厚顔にして自己保身的な思考法に只々呆れ返らされるばかりである²²⁾。

なお、燃焼室深さの測り方は一様ではなく、アメリカの図面においては管板の正味前進寸法を表示しているが、本文に謂う燃焼室の深さは外火室ノド板の内面、^{マッド・リング}底 枠との接合面から燃

図 10 鉄道省の機関車におけるボイラ火室、燃焼室無しと有り



国鉄工作局動力車課監修『蒸気機関車各部設計寸法』交友社、1956年、4頁、より。

20) 運轉教育研究会『最新 燃焼の理論と給油』146～149頁、石谷清一・武田晴爾『動力用汽罐構造』共立社、1937年、14頁、藤田 隆『蒸気機関車の設計と構造理論』鐵道科學社、1948年、29、41頁、参照。

21) アメリカのマンモス機関車においてはその深さが2mから時に3mに及ぶものまで存在した。なお、燃焼室採用に関して横堀 進は「これは保守上の缺點があることも無視して燃焼上の効果を期待したものである」等と述べているが、これはそう恩着せがましく語られるべき問題ではなかった。横堀前掲「鐵道における燃料事情と對應策」757頁。また、その表題に謂う對應策は旧知のモノ、アメリカの低質炭用火格子の模倣等、実用未滿の試行ばかりである。

22) 日本国有鐵道鐵道技術研究所次長、横堀章一の言説。引用は同所長、大塚誠之監修の書物、『鐵道車両 — 研究資料 —』日刊工業新聞社、1957年、34頁、より。

焼室管板のウォーター・サイド面までの水平距離、即ち“a”に当る²³⁾。

鉄道省における燃焼室の位置付けは実験結果に照応して大凡、「機関車の様に単位時間中に多量の石炭を燃焼せしむるものにおいて、瓦斯が燃焼室に居る時間が短いから、餘り効果がない」といったところから“火室容積の火格子面積に対する割合を大きくして火室内の燃焼状態を良好にすると共に伝熱効率を改善し、かつ、煙管長を無闇かつ無駄に大きくすることなしに大形ボイラを得るに相応しい方法である”，といったところへと比較的短い時間の内に推移を示していた²⁴⁾。

先に見た通り、アメリカの機関車工学事典における燃焼室の定義には後段に機関車ボイラにおける近代的燃焼室に係わる次のような記述が併記されていた。今一度だけ、その繰返しを御赦し頂ければ、それは：

時として火室と後部管板との間のスペースが燃焼室と呼ばれている。幅広く浅い火室が用いられる場合、突然の劇的な温度変化を蒙る燃焼炭の火焰による直接的な熱から遠ざけられていないならば煙管は漏洩に因る事故を生ずるため、後部管板は火室のノド部から8~10インチ前方に設けられる (*Locomotive Dictionary 1906. p. 19*)。

というコトであった、

この近代的意味における燃焼室の効果に対してアメリカでは1912年に研究成果が共有され、その本格的な普及が始まった。この趨勢を承け、後段は'25年版において：

火室と後部管板との間のスペースは^{ヒルトイン}組込燃焼室と呼ばれている。幅広く浅い火室が用いられる場合、突然の劇的な温度変化を蒙る燃焼炭の火焰による直接的な熱から遠ざけられていないならば煙管は漏洩に因る事故を生ずるため、後部管板は火室のノド部から8~72インチ前方に設けられる。燃焼室は長大なボイラを持つマレー機関車に広く用いられている (以下、略。 *Locomotive Cyclopedia 1925. p. 30*, 【段落、強調は引用者、72in.=1828.8mm】)。

と改められ、更にこの記述は'30年版においては：

火室と後部管板との間のスペースは燃焼室と呼ばれている。幅広く浅い火室が用いられる場合、突然の劇的な温度変化を蒙る燃焼炭の火焰による直接的な熱から遠ざけられていないならば煙管は漏洩に因る事故を生ずるため、後部管板は火室のノド部から8~72インチ前方に設けられる。燃焼室は長大なボイラを持つ多くの機関車に用いられている (以下、略。 *Locomotive Cyclopedia 1930. p. 30* 【段落、強調は引用者】)。

と、実勢を反映した形で発展的に継承されており、管見の範囲ではこれとほぼ同じ形でその

23) 鉄道省の機関車ボイラにおける燃焼室導入経過についても前掲拙稿「C53型蒸気機関車試論〔訂正版〕」にて取上げられているので再論は避ける。

24) 前段は機関車工學會『改訂増補 問答式機関車大典』交友社、1938年、59~60頁より。後段については機関車工學會『新訂増補 機関車の構造及理論』上巻、交友社、1940年、149~150頁、藤田前掲書、33~34頁、参照。

'38年版、'41年版、'47年版にも登場し続けている。

但し、これらの記述の内容はかなり不十分であり、ビルトイン燃焼室の管板漏洩防止効果は、かしめ箇所を火焰との直接接触の断続に因る温度変化から隔離する熱的側面のみならず、煙管長を短縮し、その横振動を抑制する力学的側面からも発揮されるものである。つまり、煙管は本来、力学的には前後2枚の管板を拘束する控えの役割を担う部材であるが、余りに長くなればそれ自身の撓み振動の悪影響を管板との接合部に対して及ぼすようになって来るワケである。

それはともかく、燃焼室の近代的態様ないし20世紀における機関車ボイラ燃焼室の正統なイメージは畢竟、一貫してこのビルトイン型ないしインターナル型燃焼室に係わるそれであったとの結論になる。もっとも、本来、その原初的態様に係わる記述であり既に痕跡器官化して久しい前段がカットされもせず、かつ、それとの関連性においてのみ意味を持つビルトイン燃焼室なる術語や後述する溶接構造の普及にも拘わらず煙管漏洩問題が敢えて延々と繰返され続けた冗長性の所以については疑問を呈さざるを得ない²⁵⁾。

少なくとも筆者は1906年版の著者が定義の前段に些か唐突な格好で上述の如き“見せ球”を投じたのは機関車ボイラにおける一筋縄では行かぬ発展経緯の存在を匂わせたいがためのや^{ヒケラカシ}や独りよがりな筆遣いであった点だけは確実と見ている。

4. 機関車ボイラにおける燃焼部の進化と焚火様式

1) イギリスにおける機関車ボイラの進化と焚火様式

では、そもそも機関車ボイラはどのように進化し、やがて正統な意味におけるビルトイン型燃焼室を持つに至ったのであろうか？

先に“燃料車”などというこなれぬ言葉を用いたが、これは意図してのコトであった。何故なら、かの機関車競争時代前後から暫くの間、イギリスでは機関車の燃料に石炭ではなく専らコークスが用いられていたからである。

産業革命の牽引産業であった綿紡績業は装置産業的側面が色濃く、規模と操業時間の拡大とがその採算性の決め手となった。連続操業への鍵は夜間照明にあり、その方途として進化したのが石炭乾溜によるコークス炉ガスの生産とガス灯による照明、即ち都市ガス産業であった。都市ガスは高価であったから、一般にそれは動力用ボイラの燃料には供されなかった。

かような次第で、イギリスでの創生期における機関車は石炭ではなく石炭から工場照明等に用いられるガス灯燃料たる灯用ガス^{ライト}を取出した後の謂わば廃棄物であるコークスを焚かされた。

25) ビルトイン燃焼室と並んでアメリカで用いられた“internal combustion chamber”なる用語法については、cf., Bruce, *ibid.*, p. 144.

コークスは余程の空気不足状態にでも追込まれない限り黒煙を発しないからとりわけ客車列車の燃料として好適であった。しかし、コークスは製鉄用熱源・還元剤をはじめ、重要な工業用炭素資源でもあったから、やがて機関車ボイラはその重量に対しては固より発熱量に対しても「最も安価な燃料」である石炭焚きへとシフトせしめられた。

機関車ボイラに石炭を供した嚙矢は 1837 年および '39 年の Messrs. Gray & Chanter で、火室はコークス用と石炭用に 2 分され、揮発して来る石炭ガスの燃焼用に 2 次空気が導入されるようになっており煙突には誘引通風用のプロアが設けられていた²⁶⁾。

1845 年には Dewrance によって火炉と燃焼室とに分割した火室が開発された。恐らくこれがビルトイン燃焼室の嚙矢なのであろうが、その詳細については不明である。

この他、1856 年には Messrs. Dubs and Douglas によって火室後壁から管板に向けて突出し揮発性ガスを押し止める midfeather が開発され、'57 年には昇降式の火格子が創案された。また、1857 年には陸船用水管ボイラで名高い Yarrow and Co. Ltd. の Alfred Fernandez Yarrow によって 2 次空気導入管を備えた煉瓦アーチが提案されている。

まとまった両数、整備された例に、これより先、1852 年から London and North-Western 鉄道の M'Connell によって投入され始めた運転整備重量 34.75 トン、7ft (初期型) ないし 7ft6in. (後期型) 直径の動輪と先・従輪を持つ (1A1 型) の機関車があり、それらは直径 51in.、煙管長 7ft (初期型) ないし 9ft (後期型) の石炭焚きボイラを装備し、26ft² の火格子面積を有するその大きな火室には燃焼室が併設されていた。煙管長から知れるように、とりわけ初期型における燃焼室深さは大きかった。もっとも、このボイラは排気性状こそ良かったものの伝熱面積不足で力行中の排気温度が 538°C にも達しており、即ち排気損失が大きく、その効率は低かった。煙管が短過ぎたのであろう²⁷⁾。

続いて London and South-Western 鉄道の Joseph Beattie によってその発熱量をフルに活かす石炭焚きボイラが開発され、営業運転で大量旅客輸送に石炭に依る無煙運転の実を挙げた。この石炭焚きボイラは営業運転において大成功を収めたビルトイン型燃焼室付きボイラの嚙矢として歴史にその名をとどめている。

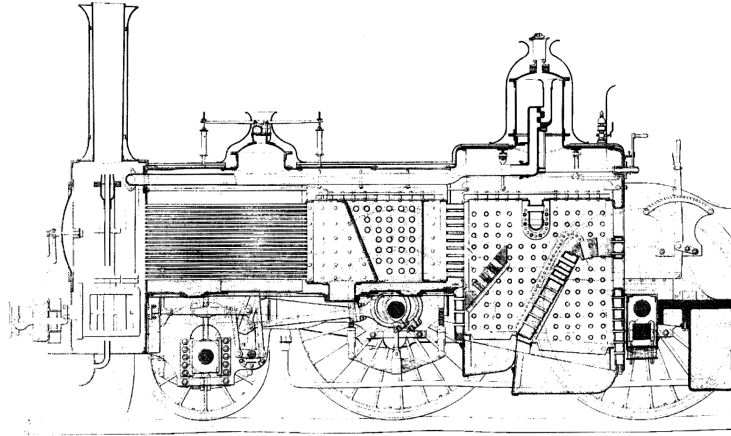
1853 年、ビーティーは既存の機関車ボイラを石炭・コークス併燃に改造して探りを入れた。改造の眼目は火室と火格子を 2 分し、元の火室ではコークスを焚き、補助火室で石炭とコークスとの混合燃焼を行わせる点にあった。補助燃焼室の排気はコークスの火焰の上に細管群を通して送られた。

翌 '54 年初めに彼は石炭専燃ボイラを載せた機関車 *Canute* を営業路線に送り出した。彼の石炭焚きボイラにおいて、火室は次図に示されるように傾斜した一種の水冷炉壁によって 2 分

26) 以下、暫く cf., Coiburn, *ibid.*, pp. 295~299.

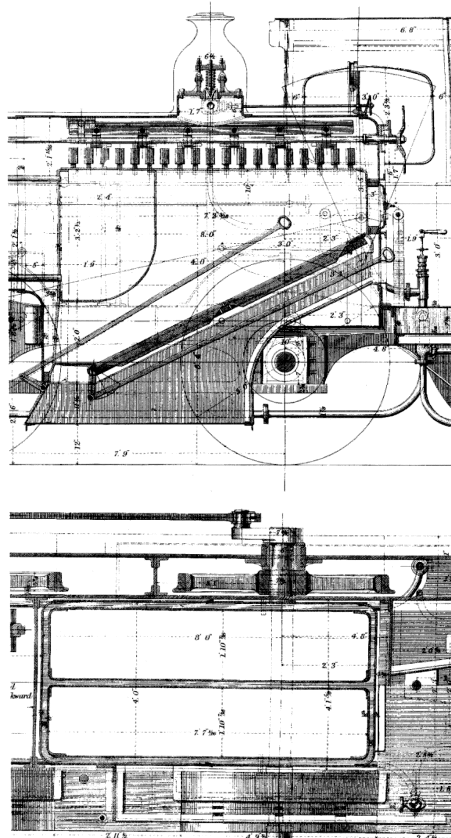
27) cf., *ditto.*, pp. 72~73. 煙管出口ガス温度のイメージについては後掲図 17 を参照のこと。

図11 Joseph Beattie の石炭焼きボイラ



Zerah Colburn, *Locomotive Engineering and the Mechanism of Railways*.
London, 1871, Vol. II, Plate XVI.

図12 James Cudworth の左右分割・傾斜火格子



ditto., Plate V (対エジプト輸出及び国内小規模鉄道向け機関車).

されており、夫々に焚口と火格子と灰箱とダンパが設けられていたが、主な火室はフット・プレート側のそれであった。この主火室で燃焼する石炭から発する揮発ガスは焚口戸の細孔群から流入する空気と混合して炉壁上部の耐火煉瓦の隙間から副火室に進入し、水冷された反らせ壁にぶつかってから耐火煉瓦アーチの下へと潜り込み、そこに明いた細孔から深く取られたピルトイン燃焼室に、そこから更に煙管へと進入した。副火室においては絶えず少量の石炭がゆっくりと燃焼せしめられた。煉瓦アーチが無ければこのボイラは無煙運転し得なかった²⁸⁾。

この本格的な石炭焚きボイラを載せた機関車は同鉄道において広く実用され、他の鉄道でも相当数が活躍した。もっとも、ピーティのボイラは従来のコークス焚きボイラに比べて重量もコストも嵩む。このため、その採用は一般的には手控ええられる傾向にあった。

1857年にはSouth-Eastern 鉄道の James Cudworth 技師によって左右に別れ、大きく前傾した長い火格子を与え、夫々の焚口から交互に火格子の手前側に投炭して揮発性ガスに十分な燃焼空間を確保する火室構造が *Folkestone* 型の改良設計の形で導入され、その効果が明らかとなった。この傾斜火格子において石炭は重力で火格子上を前進する内に揮発分を放出し、それは広い燃焼空間の中で着火・燃焼し、やがては固定炭素にまで着火が及ぶ。また、石炭の前進落下と共に新たな石炭を供給するスペースが作り出される段取りとなる。

長い火焰を発しないコークス焚きボイラの火室は火格子面積に対してその容積、つまり高さが短小であった。石炭焚きの火室はその逆でなければならない。そしてイギリスにおいては揮発性ガスに焚口戸や中空構造の控、煉瓦アーチの下に開口する空気孔等を通じて火層の直上に、時に煙室内の熱交換器等で予熱された2次空気を供給し、両者の迅速な混合→燃焼を図る考え方が支配的となりかけていた。勿論、大きく開いた焚口戸から直接入る2次空気は最悪の場合、力行時の強烈なドラフトに引かれてそのまま煙管に直通するので有害無益でしかない。Great Western 鉄道においてはこの2次空気供給量を機械的に制御する方途が見出されていた。そのようにでもせぬ限り石炭の無煙燃焼など不可能と思われた。

何れにせよ、ここで閉却されてはならないのは機関車ボイラに石炭焚きが導入されつつあった1850年代半ばまでの時点において、石炭導入に際してはコークス並の無煙燃焼が不可欠の要求項目とされていたという事実である。然るに、その後：

機関車に最小限の改造を施すことによって最も安価な燃料を用いたいという欲求のため、技術者は益々大衆の寛容につけこむようになり、遂にはほぼあらゆる処で石炭は鉄道におけるコークスの地位を奪い、その燃焼に対してここでは些細な、かしこでは最も粗野な方策が講じられたため、多くの場合、列車の空気は煤けて毒気を帯び、これに関しては不幸にも煤煙防止条例の条項は無力となっている (Colburn, *ibid.*, Vol. I, p. 93)。

などといった歓迎されるべからざる事態が招来された。恰も我国に汽笛一声が鳴り響いた時代

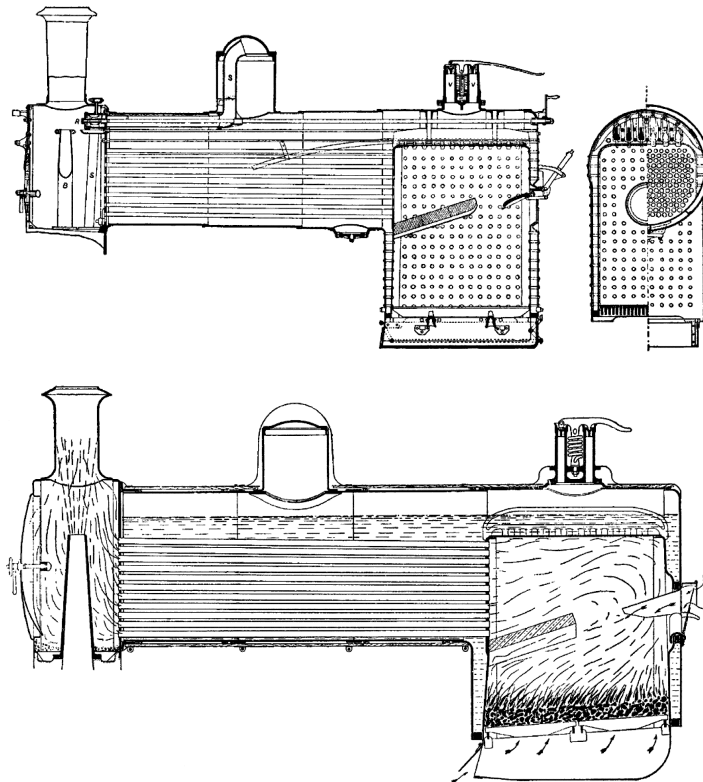
28) cf., *ditto.*, pp. 92~93.

のハナシである。

運用上の工夫としては火格子の手前に投炭し、揮発性ガスが出終わってから奥に寄せ、空所に投炭するといった焚火法が広く実行された。これは労働現場への躰寄せの歴史的起点に他ならなかったが、それ自体としてはガスの混合・燃焼に必要な時間と空間を稼ぐ真々当なワザでもあった。また、イギリスにおいては都市近郊の煤煙が問題となる線区においては無煙炭の使用が望ましいとされた。

次図は世紀転換期のイギリスにおいて標準とされた狭火室を有する典型的な石炭焼き機関車ボイラ (London and North-Western 鉄道) とその類似品におけるガス流動のイメージである。煉瓦アーチの作用と焚口内のバップルによる下向き 2 次空気流れに注目されたい。2 次空気の煙管への直接的吹き抜けを防ぎ、揮発分の完全燃焼を図るためのバップルは国鉄 SL 図面編集委員会『日本国有鉄道 蒸気機関車設計図面集』(原書房, 1976 年) に拠ってチェック可能な鉄道省歴代の機関車においては 1897 年の輸入機 6200 型 (英), 1901 年の国産 230 型, 1903 年の旧日本鉄道輸入機 3200 型 (英), 1911 年の輸入機 8700 型 (英), 1913 年の輸入機 9850 型 (独) と

図 13 世紀転換期イギリスの石炭焼き機関車ボイラ (狭火室) とガス流動イメージ



上 : Ewing, *ibid.*, p. 351 Figs. 173, 174

下 : *The Locomotive of To-day*. 6th. ed. London, 1915, p. 60 Fig. 12.

いったのごく少数の古典機のみにおいて実用例を認め得る機構であった。

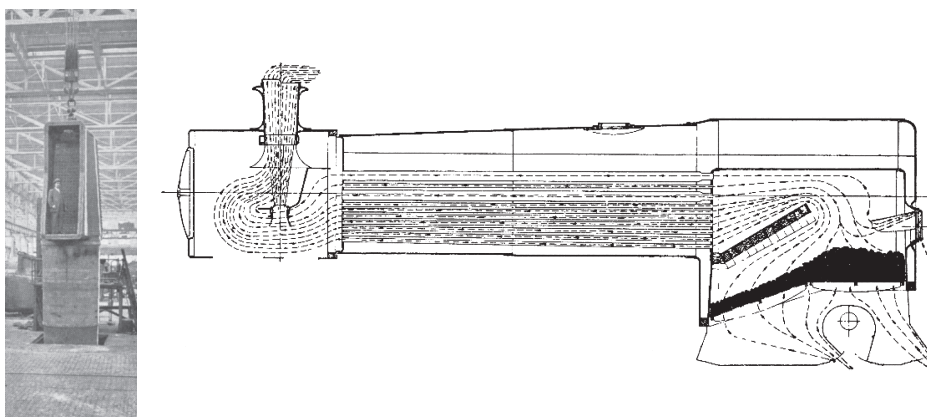
そして、機関車用石炭焚き煙管ボイラの本体（過熱装置以外の部分）は完全燃焼よりもむしろ蒸発量ならびに力行時最大燃焼率の向上を公準として進化を遂げ、その過程において火室容積の拡大、煉瓦アーチの導入と焚火方法の改善が図られた。

動輪の間に火室を収容する石炭焚き狭火室における進化の頂点は1927年から投入されたCharles CollettのGreat Wwstern鉄道*King*型2C急行旅客機のそれであった。これにはその恰好をした燃焼室は無かった。但し、*King*の火室などは“長火室”と呼び得るほどの空間であったのであり、内火室の前部、煉瓦アーチ上部は事実上、燃焼室を為していたと観て大過無い。恐らく、後年、André Chapelonが行った2C1→2Dのリビルド・マジックの成果たる狭火室についても火格子の縦横比に関しては同じ命題が成立するであろう。

もっとも、*King*型の狭火室にはピーティヤーやカドワースによって切り拓かれた石炭専燃ボイラ技術の精華が統合的に盛込まれていた。写真に関しては火室床開口部の縦横比ならびにヒトの身長との比較、図では長大な煉瓦アーチの作用、焚口戸から火焰表面へと導入される2次空気の流れと均一ではなく手前、第3動軸上の水平部を厚い予熱→揮発帯とし、その先の傾斜部を薄い燃焼帯とする火床形成法とに注目されたい。

ここに示されているのは火格子の両サイドと手前を若干、厚く、後は只管、薄く均一にという鉄道省的にして現業労働者である機関助士の精神的・肉体的緊張に過度に依存した焚火（投炭）技術とは全く異なる、大まかなように見えて実は長きに亘る伝統を踏まえ、考え尽された無煙・完全燃焼本位の火床成形技術であり、謂わば燃焼室の恰好をしていない燃焼室の伏在であった。

図14 GWR *King* 型の細長い狭火室と焚火法，ガス流動のイメージ



The Great Western Railway, *The "King" of Railway Locomotives*. London, 1928. pp. 76 and 78.

2) アメリカにおける機関車ボイラの進化と焚火様式

アメリカ開拓時代の機関車は最も入手容易な燃料である薪焚きからスタートしている。この

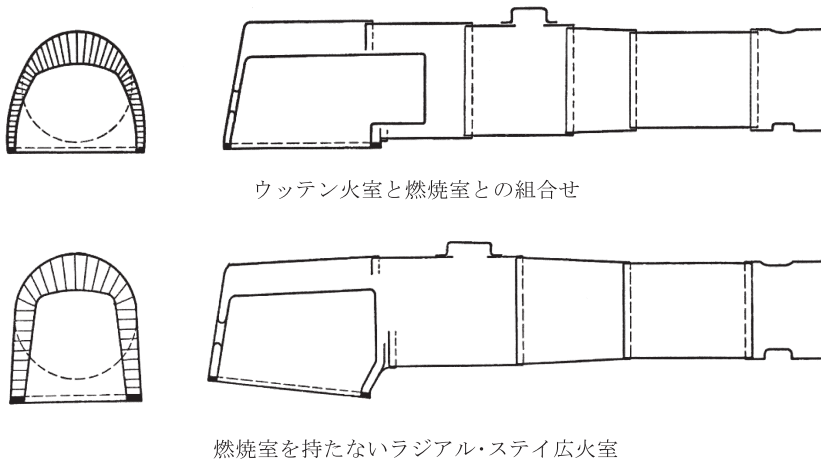
発熱量の低い燃料を活かす如何にもアメリカ的な方途の一つが 1877 年に導入された広大な火格子面積を有する Wootten 火室（後掲図 15）である²⁹⁾。

もっとも、アメリカではこれより古くから機関車ボイラで石炭を焚くために燃焼空間を広く取る手法として火室とビルトイン燃焼室とから成る空間内部に水平に水管群を走らせ、罐胴上部を汽水分離ドラムに使う水管石炭焼きボイラ (Dimpfel : 1849 年) や長い燃焼室の下部に垂直の水管群を懸垂するそれ (Boardman : 1853 年) 等が提案され実用にも至っているが、何れもメジャーな技術とはならなかった。技術的問題に加え、石炭の入手容易な地域に限られていたためであろう³⁰⁾。

しかし、やがてはそのアメリカでも石炭が「最も安価な燃料」となっていく。石炭焼き化の流れを受け、コルバーンは 1857 年から '59 年にかけて蒸気ジェットで 2 次空気を火層直上に制御して引き込む技術を確認し、複数の鉄道の機関車においてその効果を実証している。コルバーンの技術などはずっと後年の、但し、これとは異なるアプローチである石炭ガス化方式（後述）を先取りしかねないほどの発想であった。

アメリカではまた、広火室において内火室管板の下方から同後板上部（焚口の上）へと斜めに差し渡された 2 本の水管によって煉瓦アーチを支えるアーチ管の導入（1900 年頃）といった程度の改良が導入され、大陸諸国や我国にもその採用例は拡大した。やがて火格子面積の増大に伴い、アメリカにおいては石炭焼き導入当初に実用されたビルトイン燃焼室の再導入が開始され、やがてこれが普遍化した。

図 15 1920 年代初期のアメリカにおける火室と燃焼室との対応例



Arthur Julius Wood, *Principles of Locomotive Operation*. 2nd. ed., N.Y., 1925, p. 190 Fig. 69, p. 191 Fig. 71.

29) cf., Bruce, *ibid.*, p. 35.

30) cf., Colburn, *ibid.*, p. 94.

アメリカの大形機関車に観られるような広大な火格子上に投炭する作業は苛酷であり、ウッテン火室などにおいては焚口が2個設けられ、機関助手2名がそれぞれを受け持つ体制が構築されていた。しかし、これも程無くメカニカル・ストーカの装備や、採算上それが有利であるような鉄道においては重油専燃ボイラの導入によって昔話となった。

アメリカを先達とする燃焼室の普及・標準化に貢献したのが突合せ溶接技術という生産技術の確立である。これに伴って火室、とりわけ内火室長手接手からの漏洩事故の憂いが払拭されたからこそ、第一次世界大戦期以降、燃焼室は機関車ボイラの標準装備品となり得たのである。燃焼室管板部からの漏洩に対しても、かしめられた挿入端の周囲を電気溶接する工法が採用されるに至り、燃焼室導入に因る火焰直撃回避・煙管長短縮と相俟ち、かつてあれほど不安視された煙管漏洩も根絶された。そのアメリカにおいては1922年頃には全溶接火室が導入され、1930年代半ばには全溶接構造の機関車ボイラの時代が到来している。

なお、ビルトイン・タイプの燃焼室が標準化して行く過程において、アメリカでは1915年以来、これとほぼ同じ縦断面形状を与えるものでありながら構造的には全く異なる燃焼室構築法が試みられている。これは火室底枠を長く設定した上、その前方36～42インチ(914～1067mm)分を火格子の及ばぬスペースとし、ここを底面としてノド板までの間に高さにして30～36インチ(762～914mm)まで耐火煉瓦壁を積み上げて燃焼室空間を構成させる方案である。振動激甚である機関車ボイラにおいてこの煉瓦構造物の維持費用は当然高み、溶接工法の進歩と共にこの所謂“cross wall”は廃れて行った³¹⁾。

その後、アメリカの機関車用大形ボイラにおいては燃焼空間の構成部品としてサーミック・サイフォンの導入が進められた(1920年代)³²⁾。

サーミック・サイフォンはイギリス人、John L. Nicholsonによって1922年に発明され、後にChicagoの会社で最初に製品化された後、イギリスにも逆輸入された。このため、ニコルソンをアメリカ人とする巷説が生まれたようであるが、Phillipson, *ibid.*に拠れば彼自身は英国人である。サーミック・サイフォンは実体的には内火室の天井板と火室管板の足部とを繋ぐ形で縦方向に複数、取付けられる扁平な漏斗状の構造物で、煉瓦アーチを支え火室伝熱面積を追加すると共に罐水循環を促進しボイラの効率及び蒸発量アップ、内火室天井版の安定支持に貢献する優れモノであった。アメリカの大形機関車ボイラには長大な燃焼室の内部にまでこ

31) cf., Bruce, *ibid.*, pp. 128～129. カドワースは前掲の火室構造に至る前、火格子と内火室ノド板との間に“fire brick”を設ける“cross wall”方式の前駆形態の如き設計を行い、その縦断面はあたかも燃焼室の如き様相を呈していたが、単発事例に終わったようである。cf., Daniel Kinner Clark, *The Steam Engine A Treatise on Steam Engines and Boilers*. Vol. I, London, 1895, p. 308 Fig. 135.

32) 突合せ溶接技術の燃焼室普及に対する貢献についてはcf., Bruce, *ibid.*, pp. 82, 85, 127～128. 管端の溶接についてはcf., *Machinery's Encyclopedia with 1929 Supplement*. Vol. I, p. 444 (この本文が1917年のものか'25年のものかについては不明)。

れを装備する例を観た³³⁾。

更に、アメリカでは逆“Y”型の鋼管数連から成るヨリ構造単純なサーキュレータの導入(1940年代)への進化が観察された。

3) 大陸諸国その他における機関車ボイラの進化と焚火様式

機関車ボイラの石炭焚き化に当り、フランスでは粉炭(文字通りの粉ではなく砂利から鶏卵程度までの粒状性)の実用性が確認されたため、空気を通し難い粉炭の層を燃焼させられるよう薄い火床を得るため、広い火格子面積を有する大きな火室が導入されるようになった。この場合、ごく薄い火層を保つ投炭技術があれば揮発性ガスを下からの通風によってかなり良く燃焼させられたが、この焚火法では往々にして火床の局所的吹抜けを生じ易く、かつ、一旦、吹抜けると温度降下を生じ、当該部に再投炭しても中々着火しないため、機関助手に肉体的のみならず精神的にも過重労働を強いる結果となる。そして、言うまでも無く、これを徹底的に励行させた機械化部隊の司こそがかの鉄道省と石炭時代初期の日本海軍に他ならない。

燃焼室の再導入について改めて概括すれば、この方面の牽引車は他でもないアメリカであったが、イギリスにおいても London and North-Eastern 鉄道においては *King* 型のライヴァル、Nigel Gresley の *A1*、*A3* および *A4* 級 2C1 急行旅客機が 1922 年から '35 年にかけて投入され、その広火室付きボイラには *A1*、*A3* においては浅い燃焼室が、蒸気機関車の世界速度記録を叩き出した *A4* においては *A3* よりやや深い燃焼室が与えられ、その性能向上に貢献していたし、後年の大形機関車のボイラには燃焼室の採用例が普通に認められる。また、シャプロンの書から知れるように、フランスの機関車においても燃焼室は新しい大形機には広く採用されて行った。

これに対して、ドイツは独り長煙管主義でほぼ一貫した。4 気筒や 3 気筒の機関車を使いこなし、高圧蒸気機関車や蒸気タービン機関車にまで手を出した技術大国としてはアンバランスな現象である。ドイツの機関車工学書の一つを見ても、燃焼室については英米の紹介が中心となっている。但し、1931 年から試用に入った Schmidt-Henschel 高圧機関車の低圧罐は燃焼室付きの水管火室を有していた³⁴⁾。

また、3 両のみ建造された 05 型急客機の内、1937 年の 003 号にだけは重油に近い燃焼特性を有し比較的大きな燃焼空間を必要とする微粉炭燃焼ボイラが装備されており、その内火室にはドイツ国鉄機関車用煙管ボイラでは初の 1.5m の深さ(図 10 の“a”)を有するアメリカ式の燃焼室が併設されていた。

33) cf., Phillipson, *ibid.*, pp. 84~86, M., P., Sells, *The Steam Locomotive of To-day*. London, 1951, p. 25~32, Bruce, *ibid.*, pp. 149~150..

34) cf., Friedrich Wilhelm Eckhardt, *Die Konstruktion der Dampflokomotive und ihre Berechnung*. Berlin, 1952, SS. 156~159, 島『最近の鉄道』24~25 頁.

05003 は当初、機関車本体を前後逆にして運転室を前端に配し煙室の後方にテンダーを従えるキャブ・フォワード型で開発されたため、テンダーから通常の石炭の焚火を行い得なかった。微粉炭でも機関車本体全長に近い距離を運ぶとなれば十分厄介であるが、石油資源を軍用に優先する国策のため重油焚きを諦め、止む無く選択されたのがこの微粉炭焚きであったと想われる³⁵⁾。

スピード・アタッカーとして誕生せしめられた 05 の流線型カバーは戦争中、撤去され、003 も通常型に改造された。この時、あるいは遅くとも 3 両のディレーティングが施された 1951 年には 003 のボイラは石炭焚きへと変更された筈であるが、その性能云々については不明である。

更に、'53 年から '56 年にかけて製造された 01.10 型の更新用ならびに新製 10 型用のボイラは 05003 のそれと同等の本格的な燃焼室を有する形式となる。ということは、やはり 003 のボイラの性能は良かったと考えざるを得ない。もっとも、戦後世代は石油が手に入り易くなった時代の子らしく、当初から重油焚きとなっていた³⁶⁾。

なお、上述の通り、鉄道省の大形機関車においても燃焼室の導入は遅れ馳せながら実施された。ここでも電気溶接は重要な役割を演じたが、鉄道省の機関車ボイラにおける溶接組立の実用範囲は内火室までに止まった。これには戦争に因る負の影響も大いに作用していたようである。

鉄道省の島 秀雄 (1901~1998) の燃焼室論については後程、改めて取上げられるが、彼はアメリカ以外ではそれほど、我国においては全く採用例を見ていないサーミック・サイフォンについてその長所を認めつつ、整備上の不便と「適用を誤ると火室温度を下げ過ぎて燃焼を害する場合がある」などと“引かれ者の小唄”じみた言説を弄しているが、導入者たる者“角を矯めて牛を殺す”結末を招かぬよう実験的に探りを入れる位のコトは言われずともやっけて然るべきである。また、島はサーキュレータに関しては写真を掲げるのみで特段の言及は与えていなかったが、こちらは戦後、大阪鉄道局において若干の試用実験が行われる運びとなっている³⁷⁾。

南満洲鉄道のアメリカ製、ないしその強い影響下にあった大形機関車や戦後、国鉄の D52 や D→C 改造機関車においてメカニカル・ストーカーは燃焼室と共に採用され、重油 (敗戦直

35) cf., Eckhardt, *ibid.*, SS. 112, 114, 118, Chapelon, *ibid.* (English ed.), pp. 278~281.

36) 01.10 型や 10 型については篠原正瑛『全盛時代のドイツ蒸気機関車』誠文堂新光社、1971 年に型式図 (簡単な側面図) が掲載されているが、現在ではネット上で容易に閲覧可能となっている。燃焼室付きボイラへの換装は古い 18⁶ 型においても実施されている。

37) 島 秀雄『最近の鐵道』岩波講座機械工學, X 別項, 1944 年, 12~13 頁, André Chapelon, *La Locomotive a Vapeur* (English ed. translated by George W., Carpenter). Somerset, 2000, pp. 85~86, 参照。

後は松根油) 併燃方式は戦後の国鉄勾配線区においてヨリ広く実用された(重油供用履歴自体は相当古いが、何れも散発的であった)。

また、わが国有鉄道においても鉄道省～国鉄時代を通じて燃焼改善と消煙を図るため、圧縮空気を2次噴射する、コルバーン流に蒸気エゼクタによって空気を吹き込む、等々の実験が断続的に行われて来た。戦後、この内、垂れ流し式“蒸気エゼクタ式消煙装置”は広島鉄道管理局における現車実験で最終的に好成績が確認されたため、飽和蒸気を過熱蒸気に代えただけの格好で約1世紀を経てわが国鉄線上において実用される運びとなり、その消煙ならびに燃費節減効果を発揮する結果となったと伝えられている³⁸⁾。

もっとも、この技術が如何程に全国展開せしめられたのかについては不明とせざるを得ない。少なくとも1951年時点における大阪鉄道管理局、1952年時点における岡山鉄道管理局の文章に観る限り、黒煙防止は独り機関助手のみの責任に帰せられていた。曰く：

市街地附近の運轉には次の方法で無煙運轉につとめること。

1. 停車中は絶対に黒煙を出さないこと。
入駅前から適切な準備、投炭位置の斟酌、発車の際の連続投炭を避けること。
2. 市街地通過列車は1杯投炭の励行投炭位置の斟酌、適当なる火床の厚さ保持、石炭7%の撒水励行。
3. 市街地の入換機関車は無煙投炭法の研究励行。
4. 市街地滞泊有火機関車は無煙保火法の研究、掻きならしの際特に注意し黒煙を出さないこと。
5. 市街地の点火機関車は無煙点火法の研究励行をすること³⁹⁾。

これはつまり、黒煙を出さぬためには黒煙を出さぬような焚火法を自ら編み出して実行すべし、“良きに計らえ”，という無責任極まる太平楽以外の何物でもなかった(撒水は石炭微粉の飛散防止措置)。

それにしても、火室の基本諸元や火格子の構造、火床成形法における根本的相違はあったものの、せめてKing型のボイラ焚口上に位置せしめられていたようなバッフルか、願わくば揮発ガス層への2次空気噴射とビルトイン燃焼室とが、即ち、理想としては後のペア、即ち石炭焚き導入期の2大基本技術がヨリ早い時期に最適化・実用化されておれば燃焼改善・黒煙低減に著効が発揮され、かの「伏せショベル」などという神経衰弱的・ストレス集約的焚火法導入＝狂信的な労働強化策を展開させた屁理屈などその時点で即、潰せていたことであろう。

戦後、アルゼンチン、南アフリカ共和国などごく一部において前述の石炭ガス化方式(Gas Producer Combustion System)にその究極の姿を見出した処で機関車ボイラの進化はその頂点

38) 日本国有鉄道『鉄道技術発達史 V』1958年、303～304頁、参照。

39) 大阪鉄道管理局編『機関区従事員必携』188～189頁、岡山鉄道管理局『機関車乗務員必携』176頁、より。

を迎えた。甚だ見栄えの良い事蹟として、南アフリカ共和国鉄道の 25NC 型機関車（復水器付き）が石油価格高騰の 1981 年から '82 年にかけて大改造を施され 26 型（通称 *Red Devil* 又は *L. D. Porta*）へと転生せしめられたリビルドの例を挙げておこう。

L. D. Porta とは石炭ガス化方式を創案したアルゼンチンの技術的者 Livio Dante Polta の名前である。改造の要点は①火格子ピッチを詰めて燃焼空気の流入量を石炭投入量に対応する理論空気量の半分以下（30～50%）に絞る、②灰箱から火室内部に補機並びに主気筒の排気の一部を吹き込むノズルを設置する、の 2 点であった。この時、復水器は無論、撤去されている。

改造の狙いは、吹き込まれた蒸気が火格子上で燃焼している石炭と反応して水性ガスを発する反応（ $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$ ）を利用し、この水性ガスをボイラの真の熱源に用いる点にあった。何の事はない、戦時日本で用いられた代用燃料自動車の「湿式木炭ガス発生炉」の蒸気機関車版である。燃焼用 2 次空気の導入・制御機構は蒸気エゼクタ方式であったかと想われる。

この改造に因って出力は向上し同一負荷における熱効率は 1.5 倍に高められた。それは石炭の完全燃焼、力行時における fire-throwing の抑止、即ち、火格子流路の絞りに依って火焰の煙室への吹き抜けやシンダー・ロスが抑制されたことに起因する改善であった。一般に機関車ボイラの効率を低迷させた最大の要因は高い燃焼率に見合わぬ過少な受熱面積にあるとされているが、それは既に確認して来たように力行時における火焰および未燃焼燃料の吹き抜け抜け損失の形で現象していたからである。しかし、この本質的改良も残念ながらメジャー化するには時宜を逸した革新に終わった⁴⁰⁾。

5. ビルトイン型燃焼室導入に係わる技術論

1) ビルトイン型燃焼室導入が燃焼促進に対して有した意義

ビルトイン燃焼室（再）導入の意義については、①：燃焼からのアプローチ、②：伝熱からのアプローチ、③：管板の前進に伴う過熱度の低下に係わるアプローチ、が可能である。先ず、その燃焼促進上の効果について観て行こう。

石炭焼きボイラ一般における石炭の種類に応じた燃焼室サイズについては次のような指示が見られる：

正規の火室が火格子直上の空間であるのに対して燃焼室はその内部で揮発性ガスの燃焼が生起し、そこで発生した熱がボイラ伝熱面を通して水に吸収されるその延長部である。

40) アルゼンチンにおける改造事蹟と共に、cf. B. Hollingsworth and A. Cook, *The Illustrated Encyclopedia of World's MODERN LOCOMOTIVES*. London, 1983, pp. 9, 146～147, 198～199, Adam Harris, *Steam Locomotive Development in the Late Twentieth Century*. in Chapelon, *ibid.* (English ed.), pp. 610～625, Peter van Zeller, *The Gas Producer Combustion System*, *ditto.*, pp. 626～631.

火室の水平方向の寸法が所与の条件の下で必要とされた火格子のサイズによって定められるのに対して、煙管ボイラにおける火格子からボイラ胴までの垂直高さは燃料の種類に依存する。無煙炭の場合、それは通常、直径42～54インチのボイラにおいては24インチに、60～72インチのボイラにおいては30インチに設定される。瀝青炭の場合、処理されるべき揮発分がより多いが故に、より大きな空間が求められる。この場合、距離は48インチ径のボイラにおいては42インチ、72インチ径のボイラにおいては52インチまでとなるべきである。水管ボイラにおいてその高さはボイラの全体的形態及び型式に依存する。

ガスの生成と固定炭素の燃焼以外に火室が担う主たる役割は高温の未燃焼ガスと供給された空気との混合にある。既述の通り、燃焼室はこの混合気が火室から立ち上がって来た時にこれを燃焼させるためである。その深さを決定するための確立された規則といったものは無いようであり、スペースがあり過ぎて有害ということはなく、火炉を設計する際には燃焼室をボイラ据付場所に固有の空間的制約が許す限りにおいて大きくされて良い。煙管ボイラにおいてしばしば見られるように、火格子後壁背後のスペースの一部にこれを収める手法はその床をそこから斜めに立ち上げ、灰の除去を便利にする点以外に特別な意味合いは無さそうである⁴¹⁾。

蒸気機関車のボイラにおける燃焼室は車両限界のためその高さではなく燃焼場の奥行きを増す格好にならざるを得ぬが、機関車においては強烈なドラフトで通風するので奥行を稼ぐのは高さを稼ぐのと同じ結果となる。

ボイラではないが、重油焚き加熱炉における燃焼室についてはバーナとバッフルとの間隔を強調し、かつ、石炭焚きからの転換事例に即しつつ、次のように指示されていた：

油の蒸気全体が相当の高温に、つまり約750°F(約400°C)に加熱されない限り燃焼は完結せず煙と煤が発生する。油蒸気のかような過熱を達成させるためにはしばしば作業物質の加熱空間とは区別された場所で燃焼を生起させることが必要となる。一般に、石炭焚き加熱炉の火室でそれは充分である。もし、火格子が残存しているならそれらは2ないしそれ以上の耐火煉瓦層で覆われねばならない。燃料と空気とをより徹底的に混合させ、その燃焼を促進するため、バーナの前方、その大きさ次第で小形バーナなら15～18インチ、大形のそれならその2倍までの位置にしばしば耐火煉瓦製のバッフル壁ないし突起物が設けられる。バッフルに硬いカーボンの堆積物がある場合にはそれがバーナに近過ぎるかバーナの霧化作用が不十分であるか、油と空気との混合が不十分であるかの兆候である。重油バーナからの目に見える火焰は滅多に加熱されるワークを舐めるべきではない⁴²⁾。

41) cf., *Machinery's Encyclopedia with 1929 Supplement*. Vol. I, p. 408. 燃焼改善に寄与する火室容積の増大については cf., E., A., Phillipson, *Steam Locomotive Design: Data and Formulæ*. London, 1936, p. 84.

42) cf., *Machinery's Encyclopedia with 1929 Supplement*. Vol. III, pp. 231～232.

重油焚きの場合、燃焼ガスが最高温度に達するまでにはバーナ噴孔からの距離も時間もある程度かかるため、これを稼ぐだけの火室高さを確保してやる必要がある。そしてそれはコークス焚きではなく石炭、恐らく瀝青炭の類を焚く加熱炉のそれと同程度であったとの理屈になろう。

石炭焚きの場合、石炭の種類にも依るが、無煙炭、あるいは砕かれてから長い時間が経過し“風化”した石炭は木炭やコークスにやや近くなり、長い火焰は生成され難いし、燃焼最高温度到達点も火格子から近い処に位置して来る。伝熱面に熱供給する主体は熱ガスのみとなるので、火炉の高さは余り必要無く、却って輻射伝熱を促進するためには伝熱面と火床が近接している方が好都合となる。

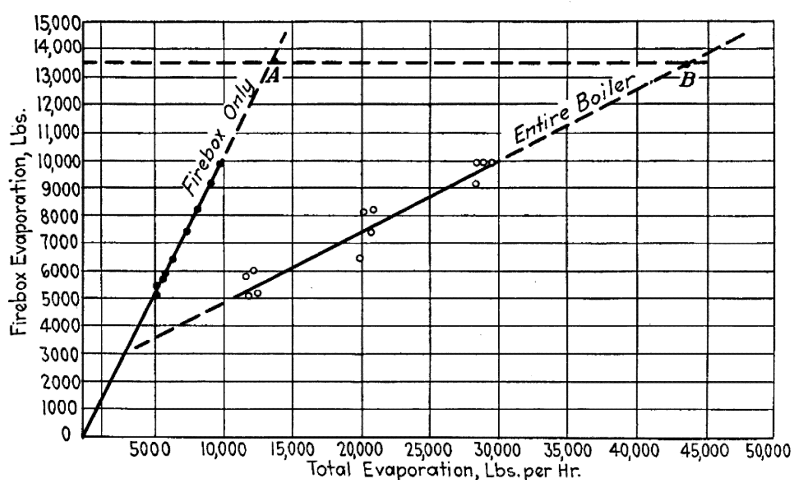
しかし、燃料比の低い石炭には揮発成分が相対的に多く含まれているため、燃焼ガスは重油の場合ほどではないがかなり長い火焰を生じ、それが最高温度に達するまでには火格子から陸用据付ボイラ一般においては上方に十分な火炉高さを確保してやるのが望ましい。

横長にして行くしかない機関車ボイラにおける燃焼室設置の効果は重油併燃（海軍式呼称なら混焼）、更には重油焚きの場合の方が顕著であったと考えられる。アメリカの機関車ボイラにおいてはドラフト・パン（石炭焚き機関車の灰箱に相当）の前方、火室ノド板側から強烈なドラフトに対抗して進行方向後方に噴射する方式が実用化されている⁴³⁾。

2) ビルトイン型燃焼室導入が伝熱促進に対して有した意義

アメリカで1912年に為された実験に拠れば、機関車ボイラに於ける火室と煙管の蒸発への寄与度は次図の通りであった。

図 16 火室蒸発量と総蒸発量の実測値 (1912年)



A., J., Wood, *ibid.*, p. 193 Fig. 72.

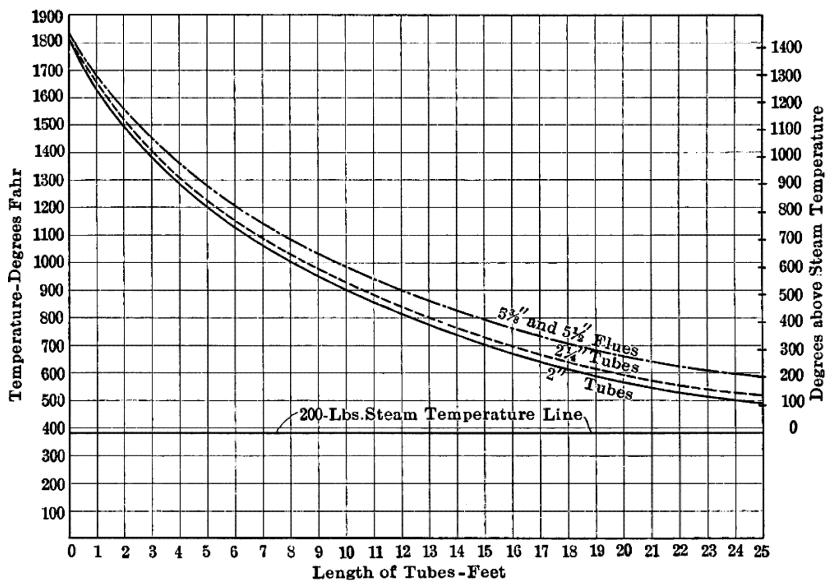
43) cf., Wood, *ibid.*, pp. 180~181.

このボイラはBのフルパワー点で43,500lbs/hの蒸発量、その内、アーチ管を含め246ft²の表面積を有する火室からの蒸発量はA点、13,500lbs/hを占め、3,009ft²に及ぶ煙管表面からの蒸発量は線分ABの長さ、即ち30,000lbs/hを占めた。総伝熱面積の7.5%を占めるに過ぎない火室は総蒸発量の31%に貢献し、50%負荷(蒸発量)の場合、その寄与度は更に35%まで上昇した。それは単位面積当りにして6倍の蒸発率を意味した。

煙管の蒸発への寄与度が相対的に低いのは煙管内を流れるガスの温度が次図に示されるように先へ行くほど低下するからであり、低い温度勾配の下では熱移転が鈍化するからである。煙管を長く取っても先の方は伝熱的には無用の長物になるだけである。また、負荷率が下がった時に火室からの伝熱の寄与度が高まったのは煙管入口のガス温度自体が切下げられ、この曲線群が下方にシフトしたからである。

因みに、飽和蒸気の200lbs (14.0kg/cm²) 線は381.4°F=194.1°C当っている。曲線がこれに近付けば熱の流れは急激に衰え、下に潜れば流れの方向は逆転する。ボイラ圧を16kg/cm²まで引上げるためにはガス温度が少なくとも200.4°C=392.7°F線を、20kg/cm²なら211.4°C=412.5°F線を超えていなければならず、そのためには、他の条件にして等しければ、煙管長は短い方が有利という極めて単純な理屈になる。そして、それを火室伝熱面積増大、燃焼ならびに伝熱効率向上と同時にもたらしてくれるのがビルトイン型燃焼室であった⁴⁴⁾。

図17 煙管の長ささとガス温度



ditto., p. 195 Fig. 73.

藤田前掲『蒸気機関車の設計と構造理論』34頁、第11圖はこれの引き写し。

44) 火室伝熱面積増大が伝熱効率上、有利である点については、cf., Phillipson, *ibid.*, p. 84.

同じ種類の問題については、石谷清一と武田晴爾も一般論として：

コルニシ、堅罐，又は機関車罐の如き内焚式の汽罐が，案外相當の熱効率を収むるのは，全く爐を傳熱面で包圍して居るからであつて，汽罐が吸収する全熱量の 50～80% を，殆んど輻射で吸収するのである。即ち此の場合に於ては，輻射と接觸に依る熱貫流率 K は最高 200 に達することがあるが，罐端に到るに及んで激しく減少し 15～20 となる。……中略……即ち一般の汽罐は，傳熱面に附着する瓦斯膜，及煤等の爲めに，瓦斯熱の吸収に對して，非常に高價な大なる傳熱面を備へて居るものである⁴⁵⁾。

と単純直截な表現で語っている。

この引用文からは彼らのややあからさまな“上から目線”が観取される。それは彼らの関心の真ん中に事業発電用大形水管ボイラ，それも Benson 臨海圧ボイラ（英）や Sulzer モノチューブ・ボイラ（スイス）といった高度な貫流ボイラがこの時既に位置せしめられていた事実由来する生理的反應であつた。

しかし、彼らが列挙したコルニッシュ・ボイラやコ克蘭・ボイラといった据付け罐とは異なり，機関車は途中給水に因る騰発減退を避けるため上り勾配に差し掛かる前に罐を満水状態にしておき，加減弁満開のまま罐水位の下限近くまで，つまり空焚き寸前まで全負荷運転を続行するよう仕向けられていた。そもそも，かようにして牽引定数一杯に機関車の性能を絞り出させるような指示を与える点にこそ運行ダイヤの役目はあつた。そして，そこには機関助士の限界的敢闘があり機関士がその職能を離れ，暫し彼と交替するような場面さえ演じられていた。

それにしても，かような場合において肝心な客観的ポイントは，この種の仕業が遂行されるためには機関車ボイラそれ自体に仮令「高價」につこうとも「大なる」熱水タンクとしての機能が具備されていなければならなかつたということである。困って，座敷で悠然と煙をくゆらせて居れば済む陸用据付けボイラの如く単なる効率や蒸発量のみでは御し切れぬ特性が機関車ボイラにはあつた。少なくとも，機関車ボイラの評価に際しては，この 2 人の著者のように，その固有性を見落してしまわぬことが肝要である。

3) ビルトイン燃焼室導入と島の過熱度低下説

ビルトイン燃焼室を導入することは火室管板を前進させることに他ならない。煙管端部への火焰直撃回避の必要性和この面における燃焼室の貢献とに関しては *Locomotive Dictionary* やその後裔が改訂の都度，反芻して来たところである。大形機関車における長大煙管の振動回避も燃焼室設置の余得として認められて来た。もっとも，こと煙管漏洩防止に對して電気溶接が決定的効果を發揮した点については既に言及された通りである。

島も『最近の鉄道』12，13 頁において，大形機関車では火室容積不足のため未燃焼損失が

45) 石谷・武田前掲『動用力汽罐構造』35～36 頁。熱貫流率（熱通過率） $K=Q/\Delta t$ Q は通過熱量， Δt は壁を介した 2 流体間の温度差。 K の単位はメートルクで $\text{kcal/m}^2\text{h deg}$ 。

増大すること、燃焼室の設置がその回避に役立つのみならず輻射伝熱面積を拡大させ蒸発効率を高めること、そしてそれが高負荷運転時における「火室管板の過熱燃損」を抑止する効能を発揮すること、について正当な見解を述べている。

ところが、島はここでも「煙管に入る燃焼ガス温度を下げる事は蒸気の過熱温度を低下さす恐れがあるから、火床面積と火室容積との間には一定の関係がある」などと一家言呈する所作を忘れていない。ただ、これだけでは当り障りない事柄の単なる羅列に過ぎず、本音として彼が過熱度を重視すべく燃焼室を浅目に設定しなかったのか、それとも燃焼室を深くして火室伝熱面積の方を、従って蒸発量の方を高めたかったのか、そもそも那邊を最適解ないし妥協点と見做そうとしていたのかについて、そこからは皆目伝わって来ない。

無論、島は極めて深い燃焼室を持つアメリカの過熱蒸気機関車が過熱度低下の憂いを託っているというような具体的情報など提供してきてはいない。筆者にしても、極めて深い燃焼室の図面については見ているものの、現にそれが過熱度の低下を来したとの欠陥報告については聞き及んでいない。邪推すれば、島の“瓢箪鯨”のような説は“何かをするための理屈”にはなっておらず、むしろ“何かをしないための理屈”，あるいは、やっではみたが試験成績が不首尾に終わったというような場合に備えて張られた一種の予防線と見做されかねぬのである。

これと口裏を合わせるように、鉄道省の現場では地方を動かしその成果が思わしければこれを選択的に吸上げる中央常套の意向を受けたものと見え、燃焼室導入に係わる試行が散発的に細々と断続されていた。そして、恐らく島の危惧に由来するものと想われるが、その過程においては過熱度を確保するための若干の補償措置＝小細工が講じられる結果となっていた。即ち、従来、鉄道省機関車ボイラ大煙管の火室管板側には挿入の便を考慮して端から約500mmの段付き狭窄部(140φ→120φ)が設けられており、その内部を2往復(C59戦前燃焼室付き試行2両のE型過熱管では1本1往復×2回)する過熱管はこの狭窄部にまで達してはいなかった。これに対して、燃焼室を有するボイラ用大煙管の狭窄部(同)の長さは僅か140mmへと短縮され、過熱管全長を稼ぐと共にその内端を火室側に360mmほど引き寄せるのに貢献せしめられていたのである⁴⁶⁾。

もっとも、再び穿った見方をするなら、C59での試行は本音のところ最終的な“引導渡し”のための通過儀礼となっても構わぬという程度の実験として位置付けられていたのかも知れない。何故なら、少なくともこと鉄道省に関する限り、燃焼室への正当な評価の契機は、明々白々に、重心を前方にシフトさせるという不純な(?)意図の下にC59のそれより2倍近く深い燃焼室を与えられたD52のボイラが思いの外素晴らしい性能を発揮したという事蹟に在ったか

46) 鉄道省の旧大煙管規格については機関車工學會前掲『新訂増補 機関車の構造及理論』上巻、213頁、新規格については国鉄工作局動力車課監修前掲『蒸気機関車各部設計寸法』5頁、参照。燃焼室導入と大煙管の仕様変更との対応関係については国鉄SL図面編集委員会『日本国有鉄道 蒸気機関車設計図面集』57頁、「形式C59-2」(C59ボイラ燃焼室無しと有りとの対照図面)、参照。

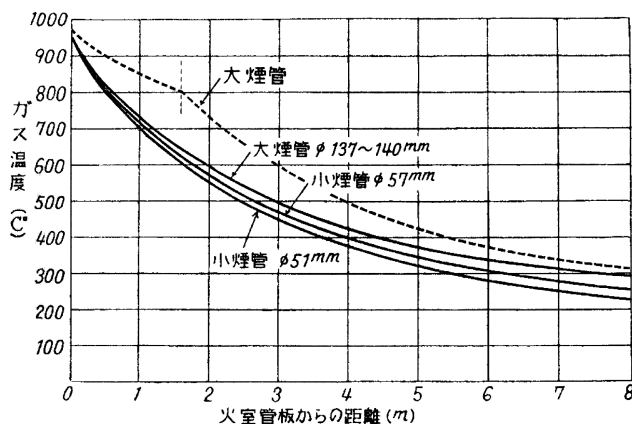
らである。05003 のボイラの高性能が D52 のそれ同様にまぐれ当りと言えるのか否かについてはそれが微粉炭燃焼であっただけに断定困難であるが、少なくとも D52 の場合は同じ瓢箪でも“瓢箪から駒”の方であったというオチにはなろう⁴⁷⁾。

一連の経過に照らして観るに、少なくとも燃焼室付き C59 におけるかの 360mm 追加策は島の下心無しとしない杞憂の産物宜しく終ったと見受けられる。アメリカの対照事例を想えば、同じことは D52 においても該当しそうである。

戦後の国鉄文献にはボイラ内の燃焼ガス温度について、ピークが 1500°C、煙管入口で 800~900°C、同出口で 300°C といった相場が示されている。この 800°C というのが燃焼室有りに対応した値であるとすれば、あるいはそれが仮に 700°C に下がっていたとしても、その程度の低下に因って 200°C 前後の飽和蒸気から 300°C 程度の過熱蒸気を得るための熱源としてさしたる不足の生じよう筈は無かった。

むしろ、図 17 を想起するまでも無く、大煙管を長く取れば前端的過熱管寄せにごく近い部分では却って冷却作用が演じられかねぬワケであって、そもそも本当に過熱度の不足を心配するのであれば、語られるべきは燃焼室無し・長煙管方式における不利についてでなければならなかった筈である。この意味において藤田『蒸気機関車の設計と構造理論』34~35 頁の記述は正しい、即ち島の“瓢箪鯨”とは一線を画する理屈となっている。これを私見に拠って模式化したのが次図の破線である⁴⁸⁾。

図 18 ガス温度の降下パターン



Wood (前掲図 17) 譲りの藤田『蒸気機関車の設計と構造理論』34 頁、第 11 圖に追加。

47) 燃焼室の設置により火室管板は前進し、アクセス性を低下させる他、これによりボイラの、従ってある程度は機関車全体の重心の前方移動が結果される。cf., Phillipson, *ibid.*, p. 84. D52 における燃焼室の成功に至る経過についても前掲拙稿「C53 型蒸気機関車試論 [訂正版]」の中で一通り論じられている。

48) ボイラ内ガス温度についてはまた、大阪鉄道管理局編『機関区従事員必携』30 頁、岡山鉄道管理局『機関車乗務員必携』26 頁、参照。

この破線は燃焼室有りの場合の大煙管内ガス温度降下パターンを示している。燃焼室の深さを1600mm、煙管入口温度を800℃としている。ご察しの通り、これは所詮、一種のお手軽なコラージュの産物に過ぎぬが、大凡の傾向は表現し得ている積りである。

以上、突き放して言えば、燃焼室導入効果に対する島の“瓢箪鯨”的見解からは総じて踵に重心を預けたような心構えしか伝わって来ないということである。

6. 陸用機関車型ボイラにおける並行的進化と“燃焼室”

他方、同時代の日本においては暖房・給湯・動力用にも石炭焚きの据付ボイラや石炭を熱源とする工業用加熱炉も多用されていた。大阪府下では未だにコルニッシュ、ランカシャーといった旧世代のボイラが Babcock & Wilcox 水管ボイラなどに伍して健在、というよりむしろ多数を占めていたが、その燃焼率の過大・過小によって、あるいは焚火技術の未熟さ故に燃料を浪費し、かつ、都市部において煤煙問題を深刻化させていた。

このため、大阪府立産業能率研究所は火炉と使用燃料とのマッチング指導、罐水検査、排気のCO、CO₂濃度測定、ボイラ効率測定、「焚焼」指導等を随時実施すると共に、1933年以降、年一回の投炭競技会開催を通じて「焚焼手ノ技術ノ練磨ト指導精神ノ徹底ヲ期」すことに努めることとなる⁴⁹⁾。

投炭方法の改善は鉄道省の機関車における対応物と比べれば至って長閑なレベルにあったが、その基本は初期の海軍や鉄道省～国鉄同様、少量・頻回という点に尽きた。次図はボイラではなく、珐瑯工場の釉薬炉における例であり、火格子面積0.157m²(正方形なら一辺40cm)という極めて小規模な施設における改善例であるが、それでも改善後の燃焼率は田川炭鉱の塊炭を用いて212kg/m²-hであったから、据付ボイラであったとすればかなりの高負荷に相当する。

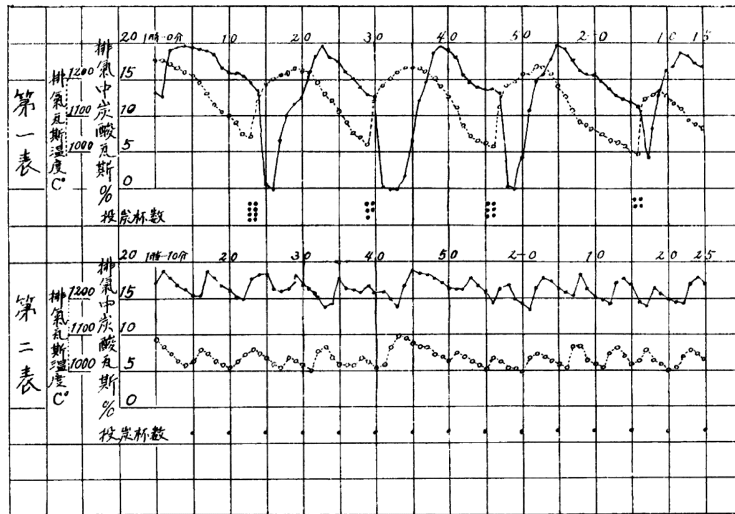
次図「第一表」における排気温度(…○…)落ち込みに続くCO₂濃度(—●—)の急落はその時点における不完全燃焼、即ちCOの増大を物語っている。この時にはCOや黒煙と共に多量のHCも排出されていたことであろう。

改善後(「第二表」)における1回の投炭量はショベル1杯・2kg以下と指定された。排気温度もCO₂濃度も従前より格段に安定している。想像の域を出ぬが、ここでの改善は恐らく定性的にはイギリス式から船橋式へという海軍とは逆のコースを辿る過程であったと考えられる。火格子面積が極小であるだけにこれで十分、長時間操業に堪えるという理屈が貫徹せしめられたことにそれ自体としては何の無理も不思議もない。

但し、20～30分に1回数杯ずつから正確に5分毎・1杯ずつ投炭への焚火方式切替えは“ながら作業”的労働過程の維持をより困難にしたから、斯くの如き恰好だけ“科学的な”指導を

49) 大阪府立産業能率研究所『産業能率ト指導実績』1936年、「第3章 燃焼能率」、参照。

図 19 少量・頻回投炭によって得られた燃焼安定化効果の一例



大阪府立産業能率研究所『産業能率ト指導実績』124頁，第20表。

行ってみたところで、労働強化も無しにこの改善型が定着し得たワケは無い。つまり、ここでも“科学”の名を借りて動員されたのは現場の無償の下支え力であったと判断するしかないということになる。

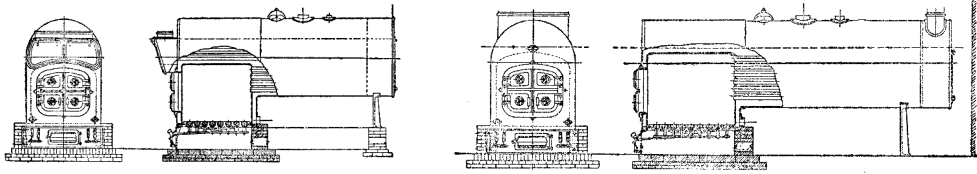
他方、少ない初期投資でより大きな蒸発量・熱量を獲得したいというバイアスは厳然たる経済原則に基づくモノであり、新規設備における燃焼率向上要求は必至の圧力であったと観られる。それ故、少数派であった機関車型据付ボイラにおいてもこの方向性に即し、燃焼室ないし相当空間の追加、機械式給炭機、微粉炭燃焼よりも安直な重油焚き等の導入は自然な流れとなっていた。

かくて、機関車ボイラにおける進化は機関車型据付ボイラ界における並行的進化という形で各種各層の対応物を見出す結果となる。そして、これに直接携わった技術者がとりわけ燃焼室ないしその相当物の導入効果に対して吐露していた見解を鉄道省における対応物、さしずめ島のそれと突合せて見ることは又と無い一興ともなるであろう。

以下において主として取上げられるのは20世紀初めにアメリカのKewanee Boiler Companyによって開発された煉瓦積み基礎と煙道を必要としない据付用機関車型ボイラの一つ、ケワニー・ボイラである。これは概ね10kg/cm²程度までの蒸気圧で稼働する給湯・暖房用温水ボイラの一種であり、我国においても盛んに模造され、その亜種として機関車ボイラ同様の“直煙式”とスコッチ・ボイラのような戻り煙管を有する“戻り煙式”とがあった。次図は標準的な上向き通風型の2様式である⁵⁰⁾。

50) 在来炉筒型より耐圧力大とされたケワニーが相変わらず7kg/cm²で常用されたのは給水ポンプや減圧

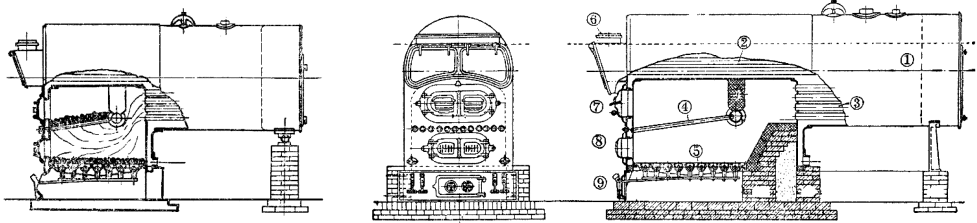
図20 上向通風型ケワニー・ボイラ（“戻り煙式”=甲型と“直煙式”=乙型）



菅原前掲『蒸汽罐』下巻，59頁，第9・61圖，60頁，第9・63圖。

ところが，このケワニー・ボイラの中には手焚きの下向き通風型なるゲテモノがあった。これは元来，並進燃焼が進行せしめられるべき火格子上で敢えて逆進燃焼を強行させる型式で，火焰は往路，“√”状に流れるため，「小型の下込式を逆にした様な形で一種の下込式」などと分類されてもいる⁵¹⁾。

図21 下向通風型“戻り煙式”のケワニー・ボイラ（燃焼室無しと同“cross wall”式有り）



燃焼室無し：辻元『燃焼装置』25頁，第8圖。

燃焼室有り：菅原，同上書，58頁，第9・59圖。

火格子は2段になっており，機関車ボイラのアーチ管を真似たと思しき，これと同じ機能を受け持つ水管によって支持された上段火格子④上に投炭され，燃焼中に砕けて細粒化した石炭は下段に位置する揺動火格子⑤に落ちて燃え尽きる。これに適合する機械式給炭機といった利器は残念ながら開発されなかったため，下向き通風ケワニーの焚火は手焚きに限られた。

どう見てもこれは余り感心出来るような燃焼方式のように観えぬが，所与の火室寸度の下でラフな投炭を前提しつつ，長い火焰を生ずる石炭を焚きたい，あるいは燃焼率を通常型における設計基準値よりも大きく取りつつ完全燃焼を図りたいユーザーのために捻り出された方式なのであろう。つまり，それは極端な少量・頻回投炭に頼らずとも多量に発生する揮発分の完全

ㄨ 圧弁，放熱器等から成る既存周辺機器体系に割込んだ後発性，送気圧向上自体がさして利益を生まず，蒸気輸送の距離延長には管径増大を以て対処し得たことに因る。

大阪商科大学に暖房用汽罐として据付けられた大阪高尾鐵工所（現・高尾鐵工所）製上向き通風・戻り煙式ケワニー型“ヒノデ”ボイラとその数奇な運命については松本裕行「大阪商科大学・大阪市立大学における暖房汽罐室の変遷——戦前期・接収期・返還後を通じて——」『大阪市立大学史紀要』第7号，2014年10月，参照。筆者としてはその続稿に期待したい。

51) 辻元前掲『燃焼装置』25頁，参照。

燃焼＝黒煙防止を図り得る、換言すれば燃焼空間の確保と揮発性ガスと空気との混合促進が自ずと可能になるような設計にはなっていたと見做されるワケである。

この命題は、図 21 右に示されるように、火格子面積、従って蒸発量の大きな下向き通風型ケワニー・ボイラにおいて機関車ボイラにおける“cross wall”と全く同様の煉瓦積みの手口により燃焼室が構成されていた点からも補強される。陸用据付ボイラは機関車ボイラの如き激しい振動には苛まれぬから、当該部は保守の面における不安からは解放されていた。アーチ管の孫のような水管に依る伝熱面積増大と罐水循環促進も蒸発量と効率の嵩上げに有効であった。もっとも、コスト・アップと可搬性（移動据付の便）の低下は究極の省力化を実現させてくれる適当なストーカが得られなかった弱みと併せて燃焼室付き下向き通風型ケワニー・ボイラの大きなデメリットをなした。

燃焼率において機関車ボイラと格違いとは言え、連続運転時間の極端に長い暖房・給湯用石炭焚き温水ボイラにおいてそのコスト・パフォーマンス向上のために燃焼率を上げようとすれば、仮令、燃焼室等を付加したとしても、手焚き、即ち人間の体力に依る焚火を以てしては到底これを賄い切れなくなる。

そしてこの場合においても、所与の火室設計が前提とされたから、上向き通風型の火室に下込め式ストーカあるいは鎖床式ストーカーが装備されざるを得なかった。また、かくすれば下向き通風型の場合と同様、敢えて低質炭を嫌う逆進燃焼を進行させる結果となることも致し方無かった。

これらを装備させられた上向き通風型ケワニー・ボイラにおいては燃焼面がボイラ本体の下、即ち火室底枠のかかなり下に位置せしめられ、それにより火格子を降ろしたのと同じ結果が得られ、自ずと既往の火室高さに 20%方、追加される格好となった。

その根拠について、安藤鐵工所設計部の安藤虎一は、この高さが従前通りであった場合：

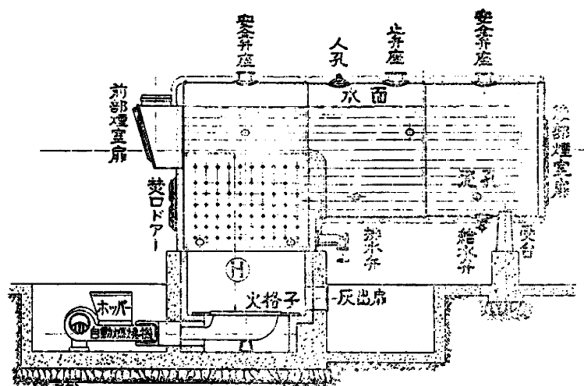
……手焚きと違ひ自然通風で無い爲、送風機に依り、無理矢理通風にて焚火がなされるものであるから、圖の如く戻火（バック・ファイヤー）の恐れがあり、又燃焼室天井に火焰が突當る故、天井鋼板に變質を起させることになる。尚ほ排風機の勢がよくなると、小粒燃料を吹飛ばし、煙管内及び煙道に灰が溜り、一段と通風状態を悪くする原因となる。依つて第 6 圖の如く H の高さが普通より長い位に火格子の位置を定めるのが安全である⁵²⁾。

という風に述べている。そこで、安藤の、印刷不鮮明な第 6 圖ではなく、第 4 圖を次に引いておこう。

しかし、安藤の弁にも拘わらず、この火室有効高さ追加措置によって燃焼という面においては恰も機関車ボイラの火室におけるビルトイン燃焼室の追加と同じ効果が生み出されたと考えぬワケには行かぬのである。強烈なドラフト通風ではなく、高い煙突に依る安定した自然通風

52) 安藤虎一「ケワニー型汽罐に就て」日本動力協會『動力』別冊，Vol. 47，1940年6月，より。

図 22 上向き通風型ケワニー・ボイラにおける下込め式ストーカの装備状況



安藤虎一「ケワニー型汽罐に就て」45頁、第4圖。

に頼る陸用据付ボイラにおいては燃焼を助長するための燃焼室なる追加燃焼空間を火室管板のシフトによって設けずとも、所与の火室設計の下での燃焼面降下によって稼がれた火室上部空間にその役目をあてがえば類似の燃焼改善効果が得られたと観られるからである。そして、当然ながらそれによって火焰からの総発生熱量は増大し、燃焼ガスの最高温度自体も高められる結果となるのでなければならない。

しかも、上図のような小形下込め式ストーカが用いられる場合、上記の効果は主として高められた燃焼率に伴う火焰の容量増大に見合う燃焼空間確保の意味を担うものであったが、前送り水平横込め方式となる鎖床式ストーカ(図1③)においては火床の奥と手前とでは発生するガスの性質が異なっていたから、それらを混合させるために余分な混合・燃焼空間が必要とされた。更に、何れのストーカを用いる場合でも粘結性の低い国内炭を焚く場合にはガス化反応の尻拭いという副次的目的のためにも追加の空間が必要とされた。つまり、増大せしめられた火室実効高さはこの意味における混合・再燃焼空間としても一役買うことがあったと考えぬワケに行かぬ⁵³⁾。

つまり、この空間ないし火室容積確保の手口には今尚、業界において語り継がれている高燃焼率に起因する内火室天井板や前部(火室)管板の熱負荷増大回避といった当り障りの無い意味合だけではなく、強められた火焰をその本来の最高温度近くにまで到達させるための時間と空間の追加による燃焼改善と伝熱性能向上効果を獲得する積極的意図が兼併されていたのであり、熱負荷軽減論に偏した通説は単なる反面真理に過ぎない。

そもそも、熱負荷なる術語は内燃機関の世界で用いられるやや曖昧な術語であり、これを敢えて此処に持込んだのはこの筆者である。内燃機関においても熱負荷が熱通過率と同義となる

53) 松本の調査に拠れば、大阪商科大学に据付けられた複数のケワニーにはこの鎖床式ストーカが装備されていたようである。

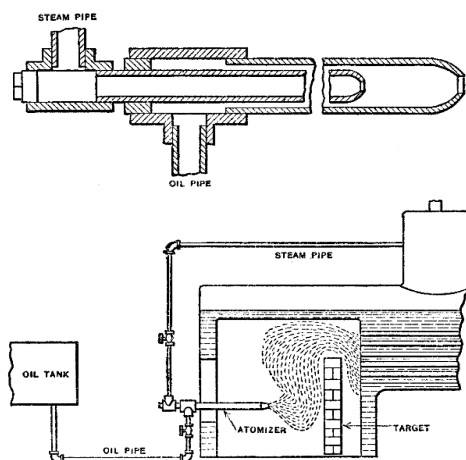
場合はあるが、材料や機構上の変更により熱通過率を高めることによって当該部材の熱負荷を軽減することは気筒頭や排気弁など内燃機関の高温に曝される部品においてはごく当り前に行われる所作である。

然しながら、ボイラにおいてはそもそも伝熱部材に熱を印加し、これを通過させ、その向う側にある水に伝えさせねば蒸気発生装置として意味を為さぬのであるから、熱負荷などという表現は筋違いも甚だしい。しかし、かような筋違いの術語をつい援用したくなるような“逃ぐるに若かず”節が安藤以来、今日まで脈々と唱えられて来ているという状況を是非、お汲み取り頂きたい。

さて、更に高い蒸発量と制御性を狙う場合、ボイラは多くの場合、即ち、石油の使用が制限されてさえないなければ、微粉炭燃焼の煩を嫌って重油焚となる傾向があった。無論、重油焚きケワニーにおけるバーナ位置は長い燃焼火焰が最高温度に達した直後、伝熱面に触れるか触れない程度に充分低く設定されねばならなかった。

因みに、ケワニーではないが、もう少し骨のある高い圧を発生させられそうな機関車形据付ボイラにおける重油燃焼のシンプルなイメージは次図の通りであった。バーナ先端と“TARGET”及び火室管板との間隔については先に重油焚き加熱炉に関連して述べたような配慮が為されていたと考えられる。バーナには送風装置やエアコンが付属し、元の焚口には仕舞いが付けられ、元の火格子のそれに相当する位置には火焰からの輻射熱を反射する耐火煉瓦の床等が構築されていた筈であるが、この図ではそれらについて一切、省略されてしまっているようである。

図 23 機関車形据付ボイラにおける重油燃焼のイメージ



Machinery's Encyclopedia with 1929 Supplement. Vol. IV, p. 502 Figs. 1 and 2.

重油焚きケワニーの方が鎖床式ストーカー付ケワニーなどにおけるより内火室天井板や管板における熱通過率は大きくなっていった筈であり、内火室天井板への熱通過率だけなら下向通風

型における上段火格子からの輻射熱によるそれも焚火状況の如何によってはかなり大きくなっておらねばならなかった筈である。

因って、かような観点からも燃焼促進・伝熱改善効果を等閑視した熱負荷緩和一辺倒説のお門違いと根拠薄弱性が傍証される。「天井鋼板に變質」を生ずる云々も、恐らくやってみてなどいないのであろう。しかも、これが機関車ボイラにおけるピーク時燃焼率の $\frac{1}{4}$ 強程度に過ぎぬ温水ボイラのハナシと来るのであるから片腹痛い限りである。

そして、既に在るモノを模倣したに過ぎぬ安藤の“三十六計”節と“何かをしないための”島の“瓢箪鯨”説との間には取り敢えずの安全志向という共通項が見出されるという括りにもなる。してみれば、本件に係わる日本的進化の様相は焚火と燃焼のみならず技術進歩に対する消極的スタンスという思想的領域にまで跨る並行性を呈していたとの形容こそが相応しいということにもなる。

むすびにかえて

以上の考察を通じて技術史と労働史との相補性を例証するための3論点、即ち、①：機関車ボイラにおける燃焼室の異なった2形態、②：近代的燃焼室の客観的生成根拠とその背後をなした焚火作業という個別的労働過程の内実、及びこの点に係わる我国の特異性、③：燃焼室導入に観る機関車ボイラと陸用掘付機関車型ボイラとの間における並行的進化の関係、については粗方、解明されたと算用される。

機関車燃料がコークスから石炭へとシフトした際、その揮発分の完全燃焼と黒煙抑止のため的一方策としてその有効性が証明された燃焼室、即ちその原初の形態とは区別されたビルトインないしインターナル燃焼室を含む改良諸方案はイニシアル・コストの増加を嫌う事業者側の姿勢により後退を余儀無くされ、焚火法における無理強いや火室構造の些細な変更に主役の地位を譲った。皺寄せの歴史的発端は此処にある。

なканずく、前者に係わるわが鉄道省固有の極限的なまでに歪められた運用技術である「伏せショベル」焚火法は天から降臨して来た一向に代わり映えのしないハードウェアを劣悪なる条件の下で活かし切ろうとする健気な使命感から生まれた現場的ソフトウェアの骨頂であった。

それでも、火格子面積増大と燃焼率高上趨勢の中でビルトイン燃焼室は低質燃料を焚くアメリカの大形機を先達に再導入期を迎え、突合せ溶接技術の確立を承けて機械式給炭機共々、多くの国々で機関車ボイラの標準構造へと取入れられて行った。

機関車容量が相対的に小さな国々においてその導入ペースは概して遅れがちであったが、次第にビルトイン燃焼室の燃焼改善・伝熱効率向上効果が認識され、大容量の機関車ボイラへの導入はストレス集約的焚火方式に拘泥していたわが鉄道省においてさえ実現した。

然しながら、King型ボイラ焚口上のバッフルや石炭焚き導入期における技術の双璧である

2次空気噴射と燃焼室との早期再導入・実用化がなされておれば「伏せショベル」などという神経衰弱的焚火法の導入、即ち苛烈なる労働強化策が強行されるべき謂れなどから無かった。

燃焼室の導入についてより広い視野を以て観れば、機関車型陸用据付ボイラにおいても並行的ないし模倣的進化の形跡が認められた。しかし、中進国日本における機関車ボイラへのビルトイン燃焼室導入や模倣の模倣たる機関車型陸用据付ボイラ国産化の過程において技術「開発」当事者達からはマトモな開発経験があれば決して発せられていなかったであろう消極的ないし退嬰的な言説が垂れ流されていた。

これは鉄道省に関しては燃焼室や2次空気噴射や機械式給炭機を含む新機軸全般に対してそれが示した“故きを温ねず新しきに頬かむり”しつつ、現業労働者に対する躰寄せ、即ち労働強化と滅私奉公のモラルを機械的改良に対して最優先させるというその普遍的スタンスの個別具体的発現形態に他ならなかった。

島や安藤のボイラ技術論＝当該技術に対する日本的通説は試行錯誤を重ねた開発経験から滲み出た箴言ではなかった。早いハナシ、島の代表作であるC53やD51、そしてその直轄下に開発されたC59のボイラなど単にD50のそれをプチ整形しただけのモノに過ぎなかった。結局、鉄道省の大形ボイラ開発に係わる本格的な経験は小笠原藤吉のD50と衣笠敦雄のD52のみであったという総括にもなる。温水ボイラ・メーカーの端くれで、その立地に目を着けた陸軍によって陸軍の輸送用潜水艇の2番手メーカー兼試作工場にデッチ上げられた東京都京橋区月島の安藤鐵工所と安藤虎一その人について、筆者は取り立てて知るところも無いのであるが……⁵⁴⁾。

本稿における考察から、そして筆者の日本近代動力技術史に係わる一連の、未刊の論考におけるそれを含めた思索から導かれる総括は概ね以下のような基調を帯びざるを得ない。

即ち、開発は欧米、自らは模倣……これは蒸気機関車に限らず温水ボイラの世界でも航空発動機においても同様であった。むしろそれはこの国の近代技術の歩み全体に言える特性であった。別の表現を求めると、この国の技術者・工学者達は理論を好み高邁な論文や評言を物しはしたが、技術のファンダメンタルズと格闘する体の開発経験、とりわけ技術者として得難く周囲に対しても十分に申し開きの立つような種類の失敗経験にも、あるいは生産性と実用性を徹底的に高めるような種類の地道な日常的研鑽の積上げにも概して縁遠かった。

前者について言えば、これを“彼らには大失敗が許されなかった”などと表現してしまっただけは格好良過ぎる修飾になる。彼らはなべて大失敗しない途ばかりを選んだのではあるが、仮令、その成果が少々不出来であっても、それを高踏的態度で否定し続けて居さえすればコトは取繕

54) 陸軍潜水艇の件については松原茂生・遠藤 昭『陸軍船舶戦争』陸軍船舶戦争刊行会、1996年、248～250頁、土井全二郎『決戦兵器 陸軍潜水艦』光人社、2003年、中島篤巳『陸軍潜水艦隊』新人物往來社、2006年、参照。

えるような境涯に在った。何故なら、ある場合には現場が健気にも尻拭いしてくれたからであり、分野によっては文字通り人間の使い捨てが組織的に行われ、“死人に口無し”であったからである。

往時、我国には電気数学者は居ても電気工学者は居ない、などと揶揄されたものである。電気系統は確にかつての日本技術体系におけるアキレス腱を為し、例えば国産航空発動機の稼働率を大いに引き下げていた。また、軍艦砲塔駆動装置の方面では端からこれを忌避してかかる気風を醸成させてもいた⁵⁵⁾。

しかし、冒頭から述べて来た通り、理論を以て事足りりとし、生産性と実用性の高上に向けた泥臭い手仕事を軽視するかの如き悪弊は強ち電気に限られた現象ではなく、航空機機体や航空発動機、車両用内燃機関等の分野においても大いに散見されたところである。

これを、単純に“彼らの評論家的姿勢”などと形容することもまた誤りである。再度、ここで指弾されるべきは、島や安藤のボイラ技術論の諸所に退嬰的トーン＝取敢えずの安全志向が共有されていたという事実それ自体ではなく、かような姿勢を通じて自己保身を全うした「開発」技術者達が運用現場に対しては結果として達成される“無事故記録”によって強化されたハリボテの権威性を以て臨むばかりか、平然と齟寄せを及ぼして憚らぬ精神構造を日々、涵養強化して行ったというその行動様式である。

陸軍、海軍、鉄道省に絡む技術体制とは概ねかような片務的關係性の空気に満ちたを閉塞的空間であった。開発者と直接的生産者及び運用者との関係性において唯一、例外をなした陸軍統制発動機でさえ、これを開発者対国家という逆方向の關係性において捉えるならば後者に依る技術篡奪の典型、片務性の究極的表現でしかなかった。

本稿において垣間見られた光景も先進国の対応物とも組織的・系統的模倣のやり放しを習いとす一方で後の始末については気にさえかけぬ後進国型のそれとも峻別されるべきこの中進国日本の機械化部隊とその高位開発技術者達を、多くの局面において思い込みから思い上がりへ、そして置き去りへという失敗のステロタイプを繰返した彼らの特徴付ける無償の現場の下支え力に甘え切った生態の一縮図であったに過ぎない⁵⁶⁾。

そして、本邦近代機械技術史に陰を落すこの種の構造的欠陥は20世紀技術史の負の遺産と

55) 電気云々については富塚 清『八十年の生涯の記録』私家版、1975年、13～14頁、参照。

56) この種の失敗のステロタイプと三菱航空発動機開発部隊における「何かをしないための理屈」＝「横着設計」の意義と限界については拙稿「三菱航空発動機技術史 第I部～第III部」(大阪市立大学学術機関リポジトリ掲載)をご参照頂きたい。

そうした中であって貫徹された鉄道省現場技術者の泰斗、今村一郎による運用経験や発想の工作局車輛課に対するフィードバックは蓋し例外中の例外であり、今村の傑出性を示して余りある事蹟であった。彼の貢献、即ち無償の下支えの一端について取上げた続稿は既に出来上がってはいるが、まとめて提供したい海軍関係動力技術史に係わる数編の後で、何れ本誌上に登場することになる。

して今日に至るまで承継がれており、かかる悪弊を必ずしも昔話として切り捨ててしまい得ぬ点こそが格好だけは ILO の常任理事国に数えられているものの、労働時間や労働者保護に係わる主要な条約については未だ何一つ批准さえしていないこの国を蝕み続ける病根そのものとなっている。