

高木 蒸気機関車技術論に対する疑問以上のもの

大阪市立大学大学院経済学研究科 *Discussion Paper* No.118, 2019 年 4 月 3 日

坂上茂樹

はじめに

1. 機械を観る眼……I 断面ビームのウェブ中立線上に展開された肉抜き孔
2. C53 弁装置における連動大テコの肉抜き孔
3. C53 弁装置連動大テコ受のダストシール

おわりに

はじめに

趣味世界の事象に属するが、ことある毎に“鐵道省~国鉄蒸気機関車設計「拙劣」論”の拡散を図り、己が存在の誇示を図る人士として高木宏之の名を挙げることが出来る。その所説は偏見と思い込みに起因する誤りに満ちているため、同じ趣味人でも高い専門性を保持する高等な人々の中には高木の著書を「間違い探し」のネタにして興ずる趣向が流行しているとも聞く。

筆者はそこまでの趣味的造詣を欠くため、この種のゲームへの参加資格を欠くが、謬説も機械工学通論レベルのそれともなれば世間一般が被る害も甚大となり得るが故に、職業上これを看過することは出来ない。

C53 型蒸気機関車に係わる筆者の所論に対して高木は正面からは応えなかったようであるが、迂闊にも筆者は高木が機械技術史に係わる労作などとは到底言えぬ著書の中でその謬説に謬説を重ねている事実を最近まで見落としていた。遅れ馳せながら今一度、筆を起こさねばならぬと考えるに至った所以である¹。

1. 機械を観る眼……I 断面ビームのウェブ中立線上に展開された肉抜き孔

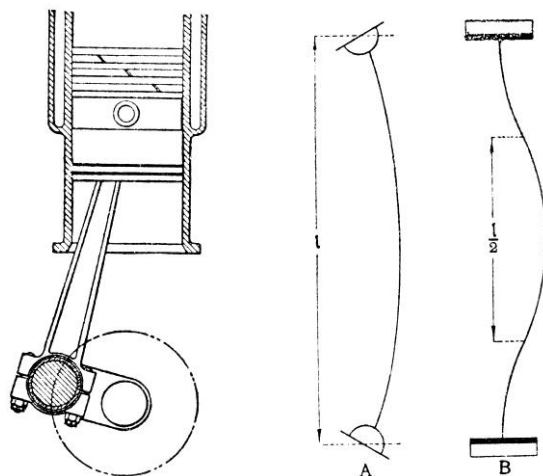
まずは機械技術を観る眼という点から肉抜き孔付き I 断面ビームという点で C53 の弁装置における連動大テコの親戚に当たるかの如き機械部品について、内燃機関のコネクティングロッド(以下、連桿)の場合を取上げて検証してみることから始める。

¹ 拙稿「C53 型蒸気機関車試論[訂正版]」(大阪市立大学学術機関リポジトリ掲載)doi:

10.24544/ocu.20171211-029. 高木の C53 に係わる謬説についてはその『国鉄蒸気機関車史』ネコ・パブリッシング、2015 年、74 頁、参照。

C53 論に係わる筆者の一層コンパクトな記述としては「蒸気機関車 C53 に見る国産化技術の歴史的展開」『ツールエンジニア』Vol.59, No.1, 2018 年、66~95 頁、参照。

図 1 連桿に生ずる曲げ



P.,M., Heldt, *High-Speed Combustion Engines*. N.Y., 1939, p.227 Figs.1, 2.

第 1 に考慮されるべきはガス圧である。図 1 右はガス圧によって連桿に生ずる曲げを誇張表示したもので、運動の面に沿った曲げは A のような、運動の面に直角方向の曲げは両端においてピストンピンとクランクピンによる拘束を受けるため B のようなパターンとなる。曲げ応力の大きさは曲線の長さの 2 乗に比例するから、ある値を取るガス圧によって運動面内に作用する曲げモーメントは運動面に直角方向のその 4 倍となる。

ピストン回りの慣性力も連桿に作用する応力の第 2 の発生源となるが、その大きさは当然ながらガス圧由来のそれに比して小さくなる。このため 4 サイクル機関の排気上死点における空突きの問題を除けば設計上、無視されることが多い。

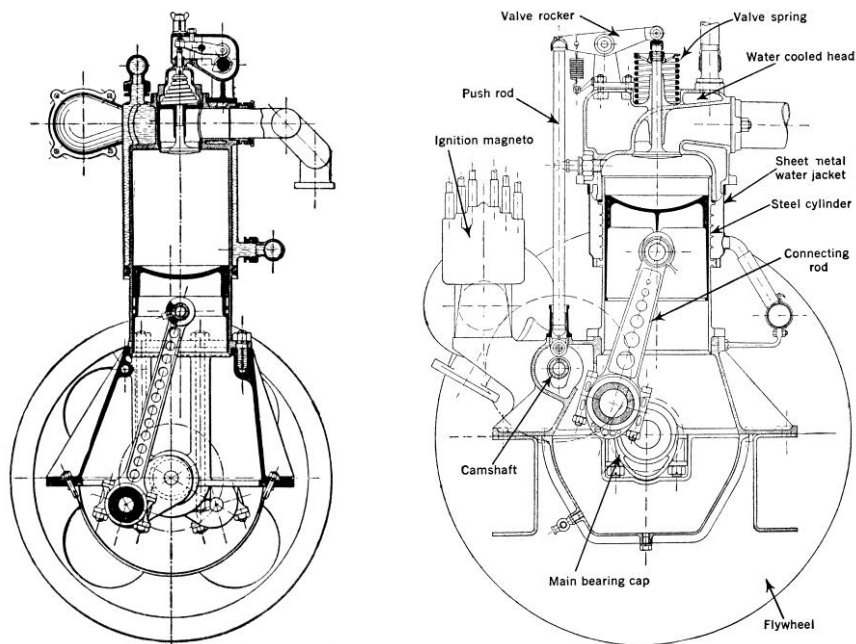
なお、発動機連桿の運動は極めて複雑で、小端部のそれは往復運動に近く大端部のそれは回転運動に近い。全体としては振り子状の左右振動をも行う。それら全てを解析的に追究する所作は労多くして実りが少ないため、普通は行なわれないが、振幅の両端に向う過程においては回転の外側に向う遠心力が作用するため、桿部にはこれに因る曲げモーメントが働く。その最大値はピストンピン中心からクランク軸中心までの距離をピストンピン側からほぼ 3 : 2 に内分した辺りで最大となる²。

この曲げによって桿部の内側は圧縮され、外側は引張られるが、桿部には上に述べたようなガス圧に依る強大な圧縮応力が繰返し作用する。このため、連桿は両者を合せた最大圧縮応力に因って座屈を生じないように、勿論、安全率を計上しつつ設計される。

図 2 左にイギリスで最初期に成功した航空発動機である Gustavus Green の Green Engine Co.による作品の横断面を示す。この発動機の連桿のプロフィールは平行に近く、そのウェブ中立線上には肉抜き孔が展開せしめられていた。

² 東 彌三・永井 博・三木吉平『発動機設計法』共立社、内燃機関工学講座 5、1936 年、128~131、318~325 頁、参照。正確な分割比は 0.6 ではなく 0.577 となる。

図 2 Green 発動機ならびに A.E.G.航空発動機の一例



左 : Victor W., Pagé, *Modern Aviation Engines*. Vol.I, N.Y., 1929, p.xxxi.

右 : *ditto*., p.xxii.

また、図 2 右はやや大きなテーパを付与された肉抜き孔付き連桿を持つドイツ A.E.G.(Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft)製航空発動機の横断面である³。

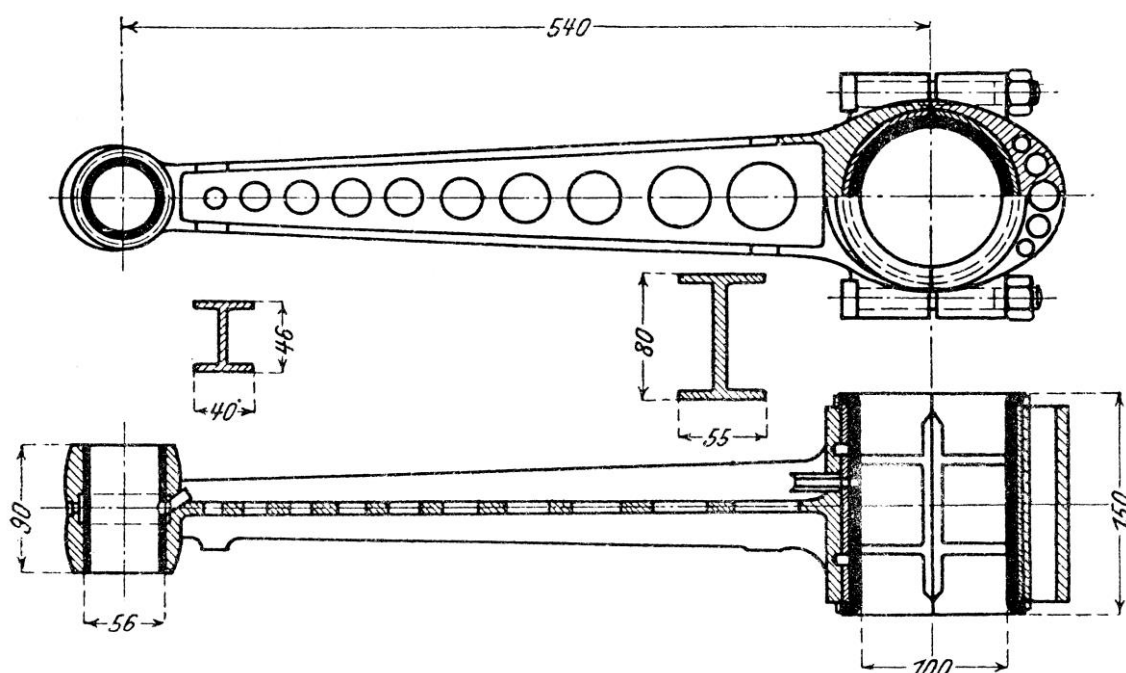
桿部のプロフィールを平行とするか大小のテーパ付きとするかはその圧縮や曲げに対する強度如何に依ってではなく、桿部とクランクピンを抱く大端部との繋がりを滑らかにし、応力集中を回避するという観点から定められる。列型発動機においてはクランク軸の振り振動回避のため、星型発動機においては数少ないクランクピンに多くの気筒のガス圧トルクが印加されるため、クランクピン径は自ずと太くなり、これを抱く大端部は大柄になる。

因って、大馬力発動機の連桿ほどその桿部には小端部から大端部に向けて大きなバックテーパが付与されることになる。図 3 はこの種の肉抜き孔付き連桿の図面であり、ドイツの自動車メーカー、N.A.G.(Neue Automobile Gesellschaft)製舶用機関(150φ×130mm)のそれを示す⁴。

³ この会社は往時、大小の内燃機関を含む重機部門を擁する総合充電・重機メーカーであった。

⁴ このやや極端なショート・ストロークは如何にも不自然である。130φ×150mm が正しいのでは、とも想われるが、訂正の根拠もないのでそのまま引用した。回転数については 800~1200rpm.とある。同書、S.609 の前に挿入された *Konstruktionstafel XXXII* として別の N.A.G. SV 直列 6 気筒 100 馬力舶用機関が描かれており、その気筒サイズは 190φ×230mm と穏当な値で、肉抜き孔付き連桿の中心間距離は 535mm であった。燃料はベンゾール。

図3 N.A.G.船用機関の連桿



Hugo Güldner, *Das Entwerfen und Berechnen der Verbrennungskraftmaschinen und Kraftgas-Anlagen*. 2. Aufl., Berlin, 1913, S.177 Fig.315, 316.

内丸最一郎『内燃機関 前編』丸善, 1931 年, 362 頁, 第 283 圖はこれの複写物である。

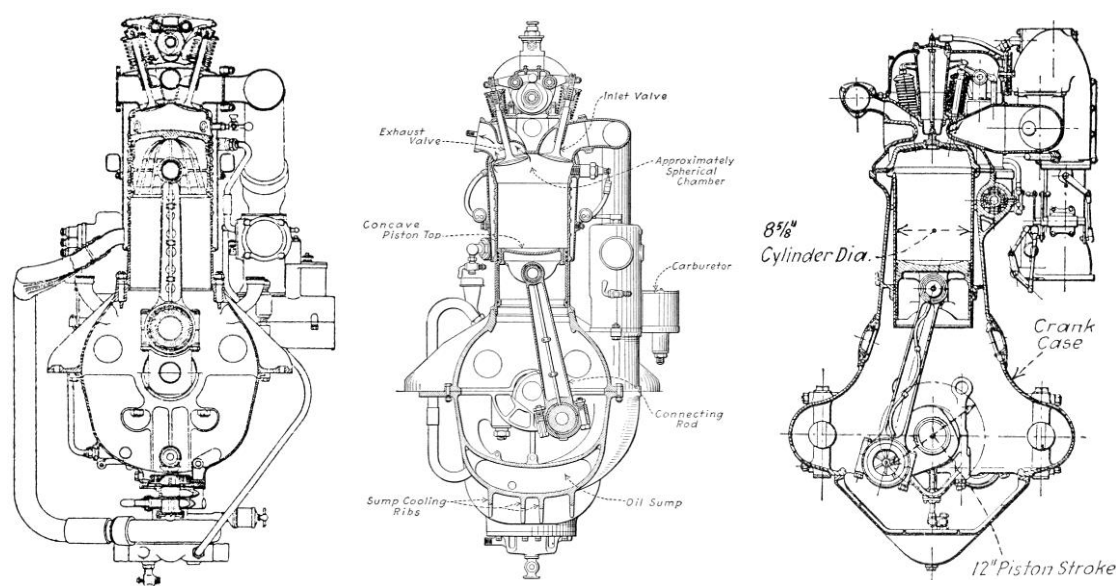
中立線上に展開される肉抜き孔は連桿の曲げ強度を損なわず, その軽量化に資する。このため, 以上の他, Benz(独)の競争自動車用機関, BSA(英: Birmingham Small Arms Trade Association)の小形自動車機関等においてもその採用例が認められた⁵。

しかし, 列型航空発動機や自動車機関においては高負荷化に伴いクランクピンからの油を小端部へと導きピストンを内側から冷却する手法が一般化し, かつ, その手口が図 4 に観られるようなウェブへの油管ネジ止め方式からその中立線上に油孔を貫通させる方式へと進化したため, ウェブへの肉抜き孔は廃れて行った。

また, 星型発動機の主連桿においては削り込まれた桿部よりも質量・運動量共に優る大端部の軽量化・肉抜きが志向されるようになり, 更に先進メーカーにおいて大端部と桿部との繋がりを合理化する設計手法として中立線を軸に I 断面を 90° 回した H 断面化が導入されるに及び, この傾向は加速され, H 断面化は一部の競技自動車機関にも採用された。

⁵ Benz 競技自動車機関のそれ(長孔付き)については A.E.G. 内燃機部技師長であった Friedrich Sass の *Geschichte des Deutschen Verbrennungsmotorenbaues von 1860 bis 1918*. Berlin, 1962, S.620 Bild 352, BSA 機関については隈部一雄『内燃機関学』山海堂, 1955 年, 511 頁, 第 540 圖, 参照。

図4 連桿ウェブへの油管ネジ止めの例



左：Fiat A12(伊), Gunston/川村忠雄訳『航空ピストンエンジン』グランプリ出版, 1998 年, 160 頁より。

中：Mercedes(独), Pagé, *Modern Aviation Engines*. Vol.I, p/117 Fig.46.

右：Beardmore(英), Pagé, *Modern Aviation Engines*. Vol.II, p.1511 Fig.715 より。

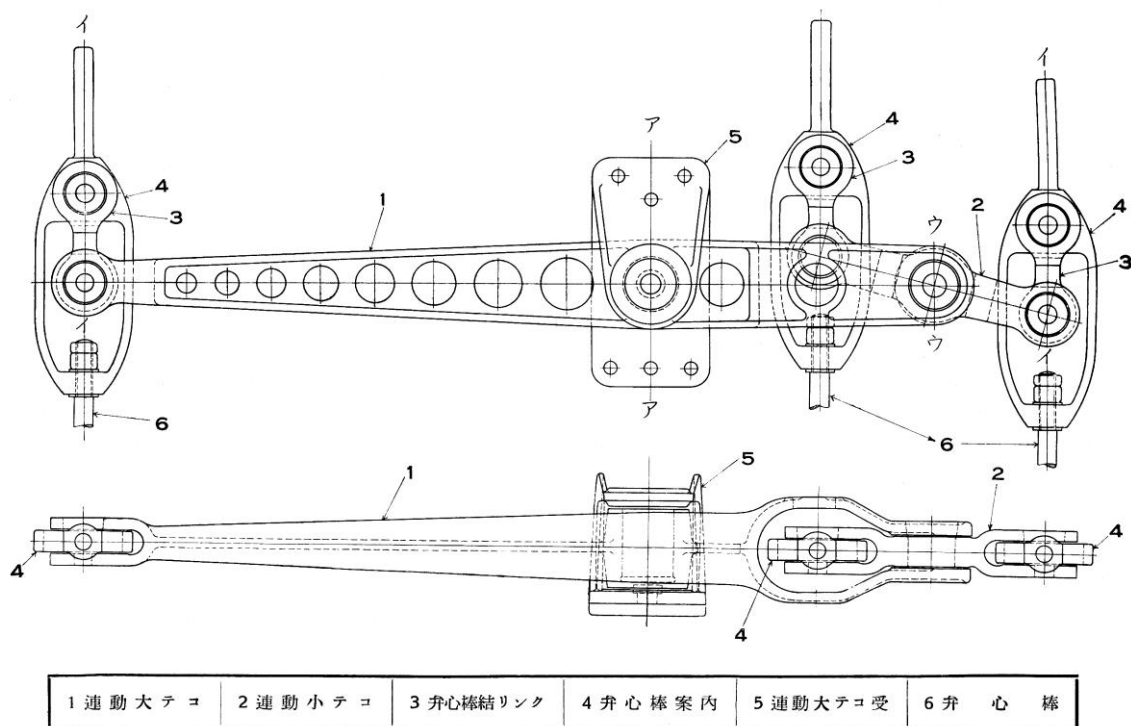
2. C53 弁装置における連動大テコの肉抜き孔

I 断面ビームのウェブ中立線上に展開された肉抜き孔はビーム揺動(ウェブ平行)方向の曲げ剛性を低下させない。この点は内燃機関の連桿や他の様々なビーム、クレーンのブーム一般等の構造と同根である。もっとも、C53 の弁装置の連動大テコは骨組構造ではなく、図 5 及び図 7 に示されるように極めて厚いフランジ 2 枚をウェブで結び一体化した I 断面ビームであった。テコとして曲げモーメントを受ける支点を持つため、その平面形状にはテーパが付与されていた。一連の肉抜き孔に対して接線状に X を配して行けばクレーンのブームのような構図が浮び上って来るであろう。なお、図 6 は C53 の弁装置、連動テコ回りに係わる図であるが、そこには強度不足を訴えんがための作為の痕が明確に観取されるであろう。

興味深いことに、同時代資料には連動テコの材料について鋳鋼(SC41)ないし圧延平鋼第二種(SS41)または圧延棒鋼第二種(SR39)と表記されている。従って、後二者などは鍛鋼粗形材の機械加工仕上品ではなく全面削り出し品であったということになる。鋳鋼品に帰一させ得なかったのはメーカー(汽車製造と川崎車輛)の技術的経験の差に対する配慮が為された結果であると考えられる⁶。

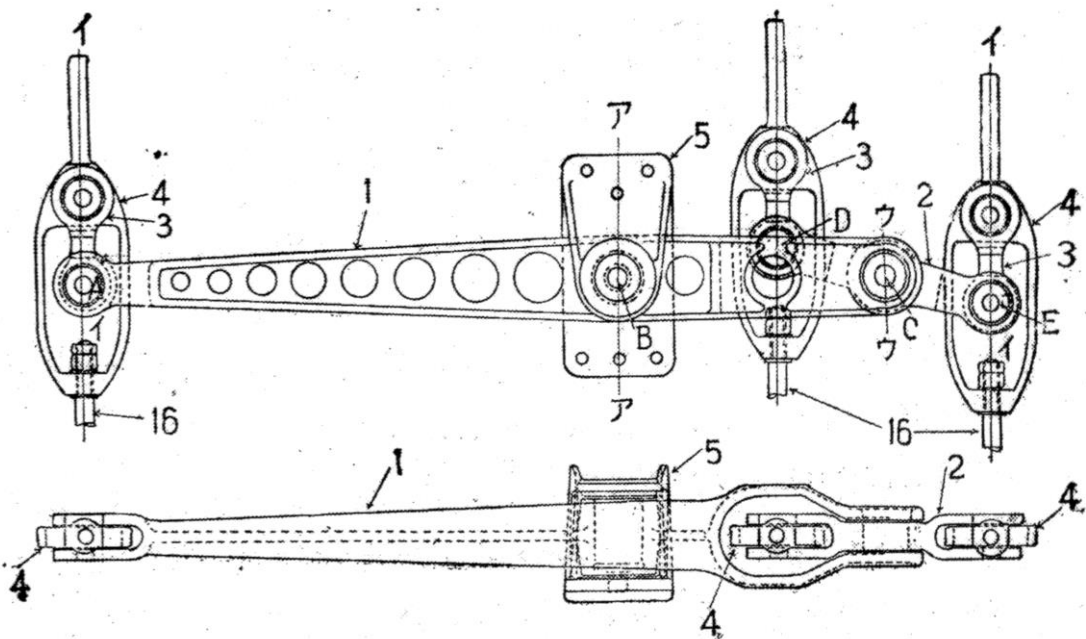
⁶ 材料については機関車工学会『最新 機関車名稱辞典』新訂増補第六版, 交友社, 1940 年, 314 頁, 同『新訂増補 機関車の構造及理論 上巻』交友社, 1940 年, 507 頁, 築館 武『機関車检修の理論と実際』改訂増補第 20 版, 東洋書籍出版協會, 1941 年, 540 の 2, 545 頁, 参照。恐らく、汽車製造には造船を基盤とする川崎グループにおけるような鋳鋼技術の蓄積が乏しかったと観る。勿論、材料欠陥は鋳鋼品においても発生し得る。

図5 C53の弁装置、連動テコ回り



『最新 機関車名称辞典』新訂増補第六版，161 頁，第 128 圖。

図6 同上に係わる高木の図



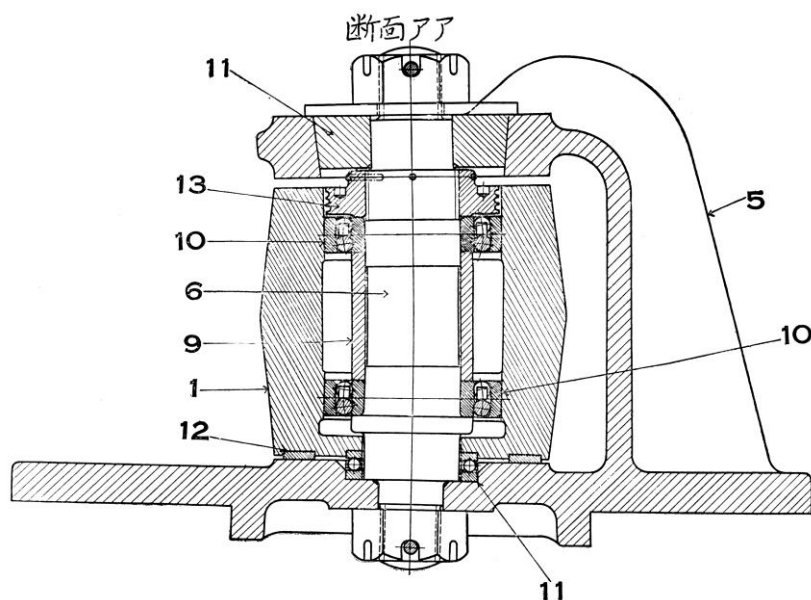
高木前掲書，74 頁，より。高木『満洲鉄道発達史』潮書房光人社，2012 年，120 頁にも同じ図。

高木は連動大テコの設計強度不足について「早くも 1931(昭和 6)年に連動大レバーの折損が 1 件発生した」(75 頁)などと述べ、これを印象付けようとしているが、連動大テコが設計上の強度不足に因って折損したのであれば軒並みに折れていて然るべきなのである。老朽化していない台枠や車軸、軸受、タイヤやバネにおいても材料欠陥や工作上の欠陥に因る折損・切損・破損の類は散発しているワケで、その材料が鋳鋼に帰一せしめられていなかった点に鑑みれば、本件の真相としてはやはり材料ないし工作不良が最も疑われて良い処である⁷。

3. C53 弁装置連動大テコ受のダストシール

本件については先ず以て C53 弁装置連動大テコ支持軸受に係わる正しい断面図を掲げておくことから始めよう。

図 7 C53 弁装置の連動大テコ受



『最新 機関車名称辞典』162 頁，第 129 圖，より。アアについては図 5，参照。

このユニットについて、高木は何処からか図を持って来た上、これを切手のようなサイズに縮小しつつ次のように「解説」している。

C53 形の連動大レバー中心軸受。組立時はまず機上の座面にアキシャル球軸受 11(下

⁷ 台車や車軸軸受、主電動機回りの軸受等の事故については拙稿「鉄道車輛用ころがり軸受と台車の戦前・戦後史」(大阪市立大学学術機関リポジトリ登載)，doi: 10.24544/ocu.20171211-030.

車軸やタイヤの折損・切損事故については拙稿「1930~'60 年代前半における本邦鉄道車軸とその折損事故について」(大阪市立大学学術機関リポジトリ登載)，「本邦鉄道車両用タイヤ技術史」(2019 年中に『ツールエンジニア』誌に連載開始予定)，参照。

輪・転走体・上輪の3分割)を置き、その上にレバー1をずれないように置き、あらかじめ複列自動調心球軸受10などをはめてナット21で固定した中心ピン6を挿入・固定する。分解時はこの逆順である。防塵パッキン17は下側のみで、上方からの異物は入り放題である。ナット21の外周溝は、ラビリンス・パッキンのつもりであろうが、これはタービンのような高速回転でないと全く効果がない。複列自動調心軸受の採用も不可解で、ベアリングの選定基準が疑われる。全体的に、機械工学科教材の図面集でも手本に設計したかのような感が否めない⁸。

流体の絞り損失や流体が狭い隙間からやや広い空間に出る際の圧力上昇を利用して漏洩を抑えるラビリンス・パッキンは非接触シールの一種であるため摩擦損失をほとんど伴わない。ラビリンス・パッキンがタービン等に使用されるのはこの理由からである。もっとも、そのシール性が高速回転ないし高周速部位であるが故に発揮されるなどという主張は全くのナンセンスである⁹。

現に、ラビリンス・パッキンと似た(時に区別されない)モノにラビリンス・シールがあり、こちらは往復運動、揺動、回転に適合し、その使用部位は高回転ないし高周速箇所には少しも限定されない¹⁰。

また、図7の13“連動テコ球軸受^{おきえ}”を掴まえて「ラビリンス・パッキンのつもり」などとした見立ても同様にナンセンスである。“連動テコ球軸受押”に内外の圧力差を保つという機能は無かったし、端から左様な機能など期待されてもいなかった。“連動テコ球軸受押”なる名称にも拘らず、その機能の一半はダストシール(塵^{ちり}ヨケ)であった。そして、その当該部位は非接触型軸シールという点においてのみラビリンス・パッキンやラビリンス・シールと同類をなすモノであった。

無論、シール機構としてのその名称は“ラビリンス・パッキンもどき”などではなく正則の術語として在り、「油溝」ないし「グリース溝」をその呼称とする。通常、その溝幅は2~3mm、溝の深さは4~5mmで、ひと所に3本以上配するものとされる。この溝に4号、即ち稠度^{ちよう}175~205程度の高温用ないしグリース・シール用の軟らかめのグリースを充填すれば、それはダストシールとしての効力を発揮し、特に「グリース溝」と呼ばれる。次図においては(a)が当該部品に最も近い(図8)¹¹。

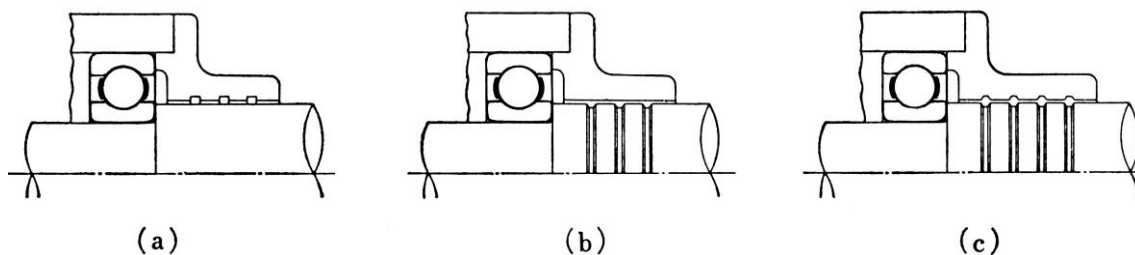
⁸ 高木『国鉄蒸気機関車史』74頁、より。21は本図13、17は本図12。

⁹ 鈴木徳蔵他『機械設計 上巻』日本機械学会、1949年、301~302頁、日本トライボロジー学会『トライボロジー ハンドブック』養賢堂、2001年、311~314頁、参照。

¹⁰ ラビリンス・パッキンとラビリンス・シールとを区別した解説として日本機械学会『機械工学事典』(1997年)における該当項目、両者を区別せぬ解説として日本トライボロジー学会『トライボロジー辞典』(養賢堂、2007年)におけるラビリンス・シールの項目を挙げておく。

¹¹ 車両用ころがり軸受研究会『車両用ころがり軸受』白泉社、1959年、222~223頁、軸受・潤滑便覧編集委員会『軸受・潤滑便覧』日刊工業新聞社、1961年、329頁、赤岡 純編著『シール技術』近代編輯社、1972年、175、176頁、転がり軸受工学編集委員会『転がり軸受工学』養賢堂、1975年、200~201、214~215頁、参照。

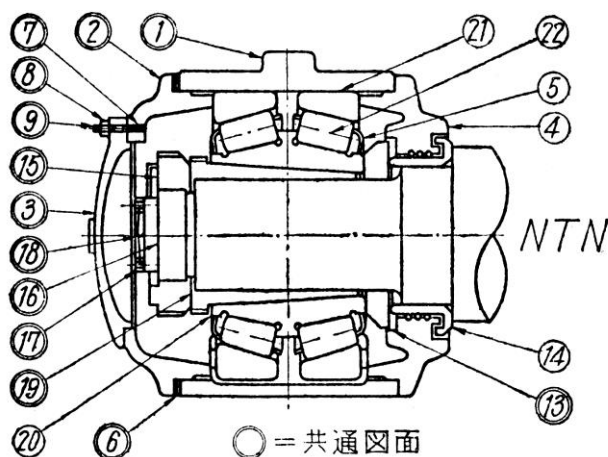
図 8 油溝ないしグリース溝



『転がり軸受工学』201 頁，図 6.2。

図 9 はグリース溝を車軸々受の軸箱後蓋に採用した例である。鉄道車両技術に関心を寄せる者なら読んでいて当然のような出典文献ではあるが，敢えてそのような書籍から引用しておく。勿論，④の後蓋に旋削されている溝がグリース溝であり，此处にグリースを保持させ，⑭の塵除座との間でグリースに依るダストシール機構を構成せしめていたワケである。

図 9 軸箱後蓋にグリース溝を用いた例



照号	名 称	照号	名 称
1	軸 箱 体	12	割 ピ ン
2	前 蓋	13	座 金
3	小 蓋	14	塵 除 座
4	後 蓋	15	締付ナット
5	保 持 器	16	キ ー
6	調 整 板	17	ボ ル ト
7	植 ボ ル ト	18	針 金
8	ナ ッ ト	19	ス リ ー プ
9	割 ピ ン	20	軸 受 内 輪
10	ボ ル ト	21	同 上 外 輪
11	溝付ナット	22	コ ロ

横堀 進『鉄道車両工学』共立全書，1955 年，212～213 頁，第 8.42 図，より。

先の引用箇所を観られる問題の本質は，術語云々ではなく，技術に対する基本的な描像が得られていない，という点にある。図 7 の 13 を観て“これはグリースなどを充填してシール性を持たせるための仕掛けだな”と直観出来る程度の心眼なら普段から「機械工学科教材の図面集でも」眺めておれば自ずと養われるものである。

当該部分における連動大テコの設計や軸受選定に係わる問題点については既にリポジットリ登載の前掲拙稿において論じられているので此处では繰返さない。グリース溝やフェルト・リング，皮革といったシール機構ないし材料についてもそこで取上げられている。それらのシール技術は合成ゴム製リップシールの進化を前にして主要な使用部面からは退散を

余儀無くされたが、今も何処か周辺の領域においてしっかりと生き残っていることであろう。

おわりに

引用例の如き工学的知識水準、機械を“見ても観られぬ眼”を以て鐵道省技術陣の設計を批判し、剩え貶めるなど論外である。左様な徒輩にはデータの趣味的陳列程度が分相応であろう。

然しながら、わが国の生活と生産を現に支えた機械とそれを生み出し運用した人々が活き、去って行ったその過程の実相に迫ろうとするなら技術的知識は固よりマトモな眼力と人間性が不可欠となる。

出版社、編集者の罪も深い。彼らは見慣れぬ術語を銜い、些末な計算を披歴するサマを見ただけで専門家の証しなりと誤認したのであるが、その大いなる不見識は誹られねばならぬ。それは誤謬と偏見を蔓延させる行為への加担に他ならぬのであるから。