

本邦鉄道車両用タイヤ技術史

坂上 茂樹

Issued	2021-10
Type	Technical Report
Textversion	Author
Rights	© 坂上茂樹. All rights reserved.

本邦鉄道車両用タイヤ技術史

Technological History of Tires for the Rolling Stock in Japan

坂上茂樹

目次

はじめに

1. タイヤと輪心, その結合法と補助固定法
2. 昭和戦前期以降における国産タイヤの材料と製造法
3. 焼嵌めと締め代比
4. タイヤ損傷の諸類型(1) 踏面損傷と弛緩
5. タイヤ損傷の諸類型(2) 重大損傷事例
6. 本邦国有鉄道におけるタイヤ固定技術の変遷と世界の動向

むすびにかえて

余話 溶接補修, 心すべし

はじめに

鉄道車両の足回り部品はランダム応力の作用下にその機能を発揮する。かかる使用状況下において疲労強度設計は困難を極め、ある意味においては不可能となる。極端な冗長設計を以てこの問題に対処する途は経営的側面から遮断されている。そこで、時として安全水準を割込むような設計が選択されてしまうことにもなる。

営業運転を通じた経験的技術の蓄積は工学的研究開発の深化と両輪をなしつつ妥協点の模索に貢献して行く。産業技術の一要素たる鉄道車両やその部品たち、そしてその製造・検修設備たちはかような実践的技術進歩の物語に主役として、あるいは脇役として登場する。本稿はそれらの具体的生きざまにタイヤという過去の名脇役を主役に据えつつ接近しようとする試みである¹。

鉄道車両用車輪は草創期以来、永らく輪心(ホイール・センタ)に外輪(タイヤ)を嵌め込む格好で構成されることを常として来た。金属製の輪であるタイヤは金属製の輪心に焼嵌めされ、多くの場合、補助的な固定具(外れ止め)を添えられて後者に一体保持されていた。走行により

¹ 本稿は鉄道車両の足回りに係わる技術史論として拙稿「鉄道車輛用ころがり軸受と台車の戦前・戦後史」、「20世紀前半アメリカの鉄道輪軸について」、「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」(何れも大阪市立大学学術機関リポジトリ掲載)の続編をなす。今後、輪心の材料、工作、損傷に係わる資料を得て輪心技術史の起草を試みられれば、と願っている。

摩耗するのはタイヤの踏面＝外周部であるから、減り切ったタイヤを嵌め代える方が車輪を丸ごと交換するより経済的である。

この処方方の要諦は焼嵌めにあり、材料力学の術語を用いれば、それは厚肉組合せ円筒と呼ばれる構造となる。適切な焼嵌め代を付与された、つまり、常温で輪心の外径 D より若干小さな内径 d を与えられたタイヤは 300°C 程度に加熱・膨張せしめられた上、常温(必ずしも 20°C を意味しない)の輪心に嵌められる。

常温に復せばタイヤは収縮し、輪心との間に強固な締め嵌めが得られる。この時、タイヤは伸び、輪心は縮んで互いの内外径は等しくなる。ここに厚肉円筒の公式を適用すれば、焼嵌め代と材料の物理的性質に応じて両円筒の接触面における相互圧力の大きさが求められ、両円筒内に作用する半径および円周方向応力も計算される。

この意味において、タイヤ焼嵌めは科学的に解明され尽した事象の如くであるが、実態は真逆、トラブル頻出で、これを解消すべくより実態に即した理論として提起された材料力学的モデルも盤根錯節を極めた割に決定版とはなり得なかった²。

そして、実務的には右往左往の果てに早晩、一体車輪、即ち輪心とタイヤが一体成型された車輪への高飛びが世界共通の流れとなった。以下、本稿ではかような過程を我国に関する資料を軸として概観し、翻って我が国有鉄道が置かれていた状況をも考察して行く。

² 例えば、住友金属工業の技師であり斯界の権威であった永島菊三郎の「スポーク輪心とタイヤの焼嵌めに就て」、「スポーク輪心とタイヤの焼嵌め圧力を一様にする焼嵌め代に就て」何れも『日本機械學會論文集』第6巻 第25号、1940年、参照。ディスク輪心への移行はそれ故、一種の逃げであった。

1. タイヤと輪心，その結合法と補助固定法

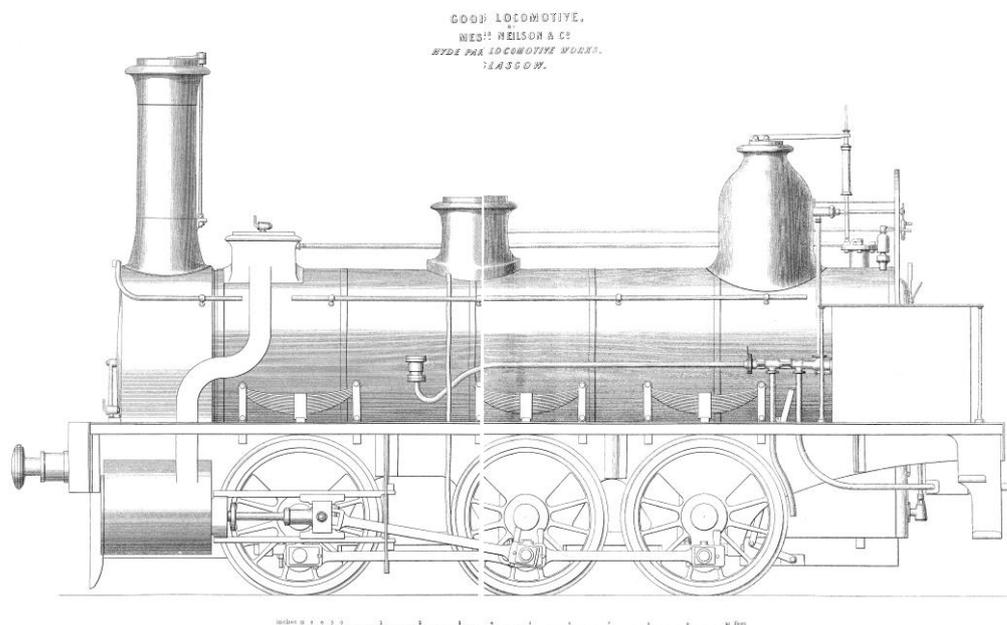
i) 欧米の先行技術

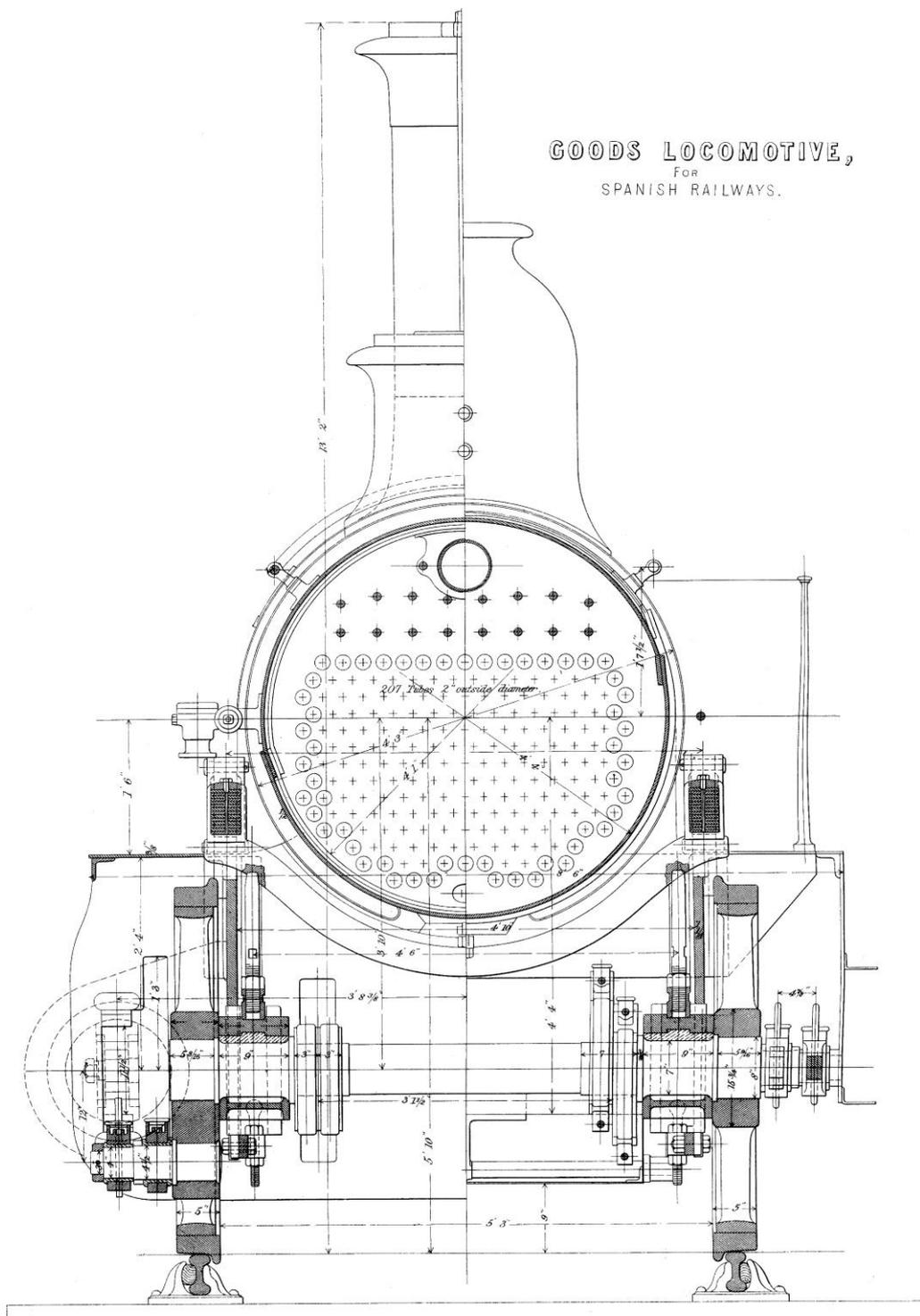
頭書の如く，タイヤと輪心との結合は焼嵌めを基本とし，タイヤの自由状態の内径を d ，輪心の外形を D とする時， $d < D$ とし，タイヤを加熱・膨張させた上で輪心をタイヤに落とし込む。この時， $(D-d)/D$ を締め代比と呼ぶ。大小各様の締め代比に係わる問題については別途，後述する。

歴史的にはこの焼嵌め法の中でも単にタイヤとリムの平滑な内外円筒面を単に接合させる，つまり最も単純なそれが先行したように窺われる。タイヤ材料として錬鉄が，輪心材料として鋳鉄が用いられていた 1860 年代イギリスの例を図 1-1~6 に示す。敢えて機関車たちの全体像を掲げたのは時代の雰囲気伝えたいがためである(多くの元図の側面図は A3 版を遙かに超えている)。

吹き曝し運転台を持つ図 1-1 の貨物用機関車はグラスゴウの Messers. Neilson & Co. によりスペインの Valencia and Ponferrada Raliway 向けに建造された。6 つの連結動輪と 457.2φ の外側 2 気筒を持ち，先・従輪は無く軸配置は $0C_0$ であった。因みに，この出典文献には同種の構成を採ったシンプル極まる車輪断面が多数，掲げられている。

図 1-1 単純円筒面の焼嵌めタイヤ付き動輪を持つ機関車



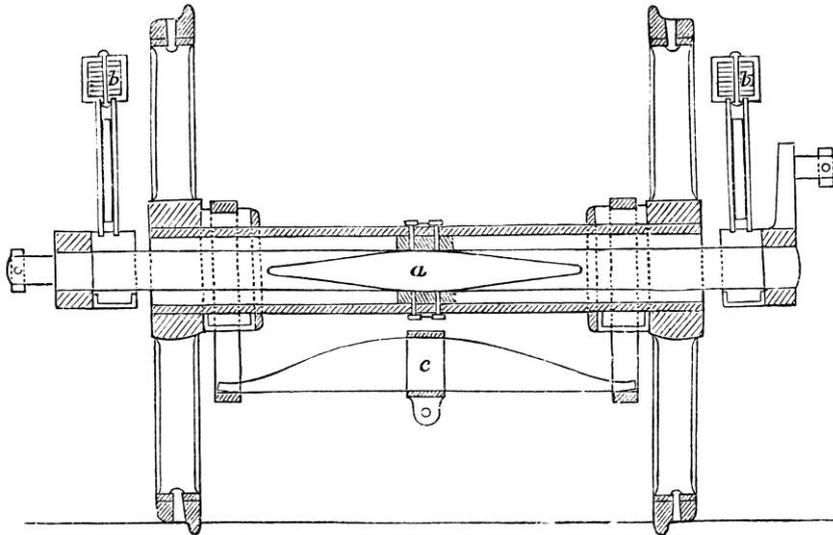


Z., Colburn, *Locomotive Engineering and the Mechanism of Railways*. London, 1871, Vol. II, Plate XII, XIV より.

しかし、車両の重量化・高速化とともに焼嵌めのみでは不満が高じたらしく、各種の補助固定法が開発・実用されるに至った。図 1-2 はその劈頭に位置するかと思しき余りにも安直な、思わず笑みを浮かべたくなるような補助固定法の一案である。これは改造の産物なのか

も知れぬが、健気にも 1935 年刊の書から得た後掲図 1-10 にも 1 として登場して来る。

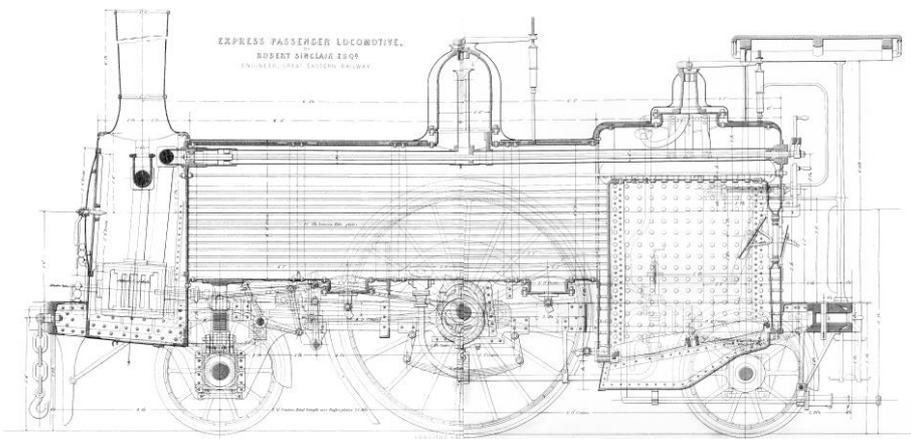
図 1-2 テーパ付き貫通りベットで固定されたタイヤ

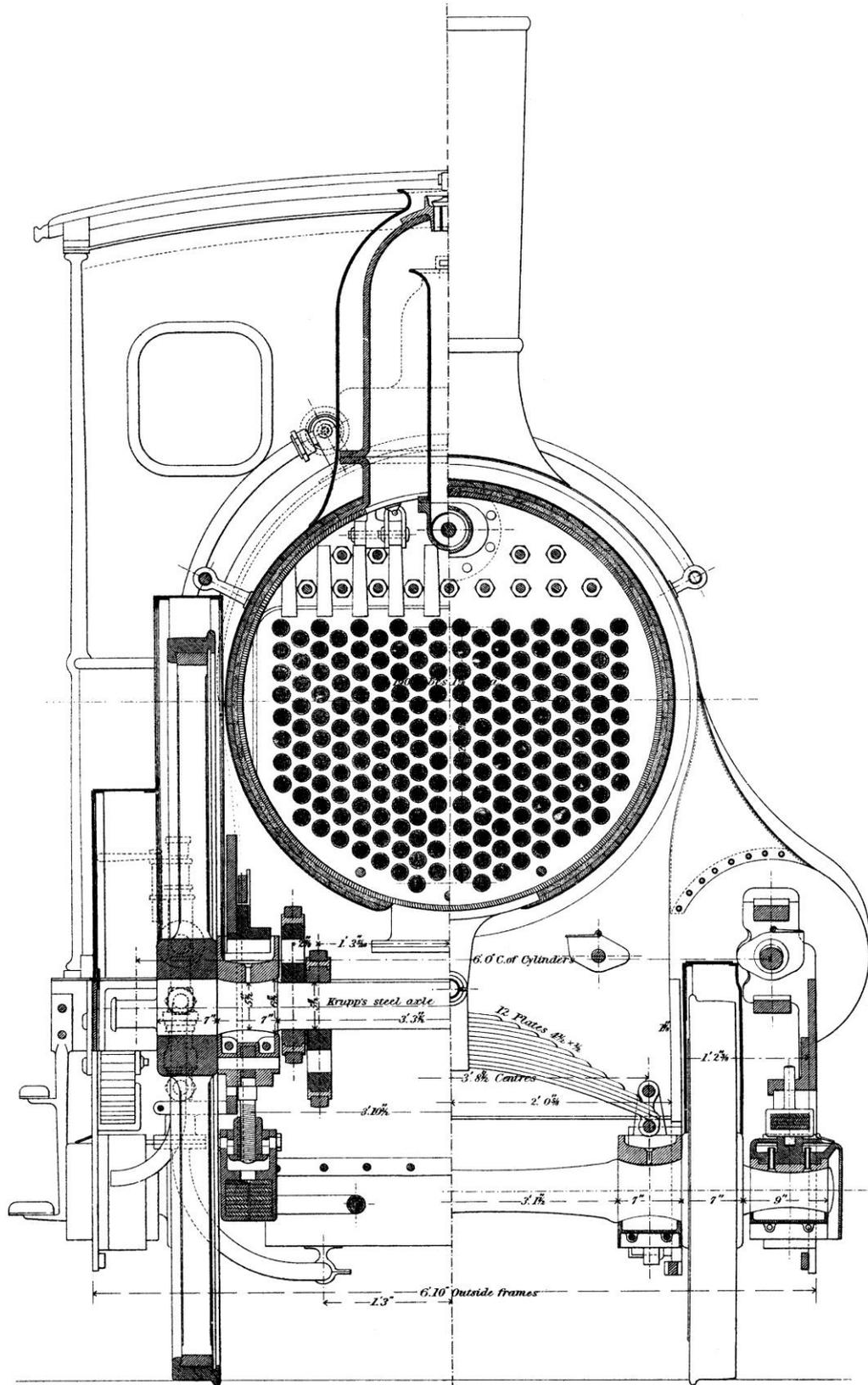


Colburn, *ibid.*, Vol.I, p.313 Fig.236.

図 1-3 は Robert Sinclair が Great Eastern Railway 向けに建造した 406.4 φ の外側 2 気筒式旅客用機関車で車軸配置は 1A1(“single driver”)であった。これは高速走行する機関車に連結動輪は危険であると考えられていた時代の産物で、2159mm 大動輪のタイヤは“shoulder”を持つ上、止め輪こそ描かれていないものの、肩部の反対側には円周溝が彫られており、要すれば止め輪ないし数個の部分円環状抑え金具を挿入可能な設計となっていたようである。

図 1-3 “Shoulder” と溝が工作された焼嵌めタイヤ付きの動輪を持つ機関車

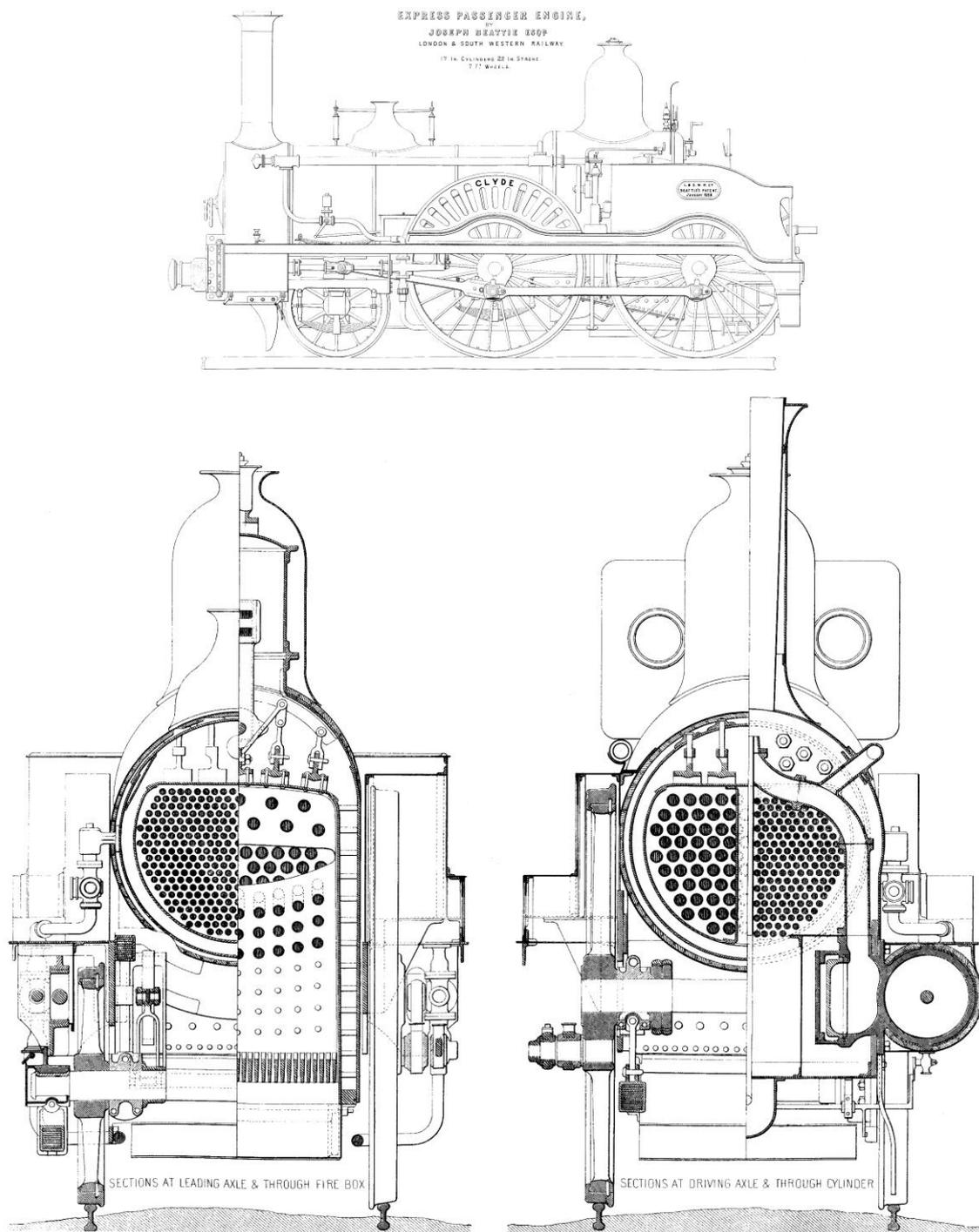




Colburn, *ibid.*, Vol.II, Plate IX,X より.

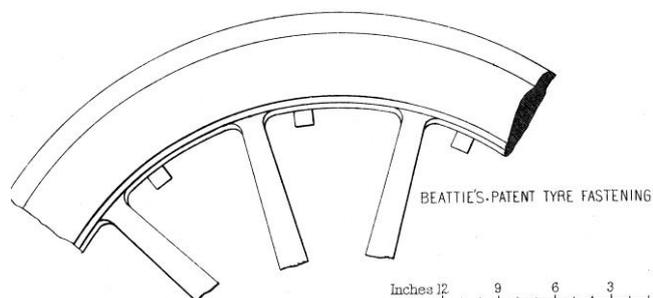
図 1-4 は Joseph Beattie により London & South Western Railway 向けに造られた 381 ϕ の外側 2 気筒と先進的な連結動輪を持つ運転台吹き曝しの急行旅客機で、車軸配置は 1B. 2133.6mm 大動輪には彼の特許タイヤ補助固定法が採用されていた(図 1-5).

図 1-4 固定ピン付きタイヤを先輪(左), 動輪(右)に有する機関車



Colburn, *ibid.*, Vol.II, Plate XVI, XVII より.

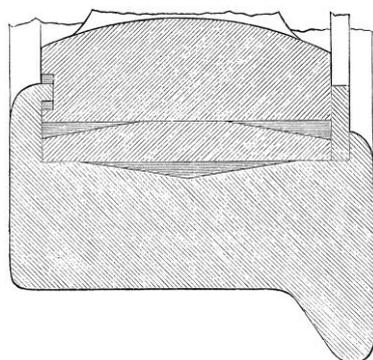
図 1-5 Beattie のピンによる(らしき)特許タイヤ固定法



Colburn, *ibid.*, Vol.II, Plate XVII より.

止め輪の類の使用が拡大した結果であろう，中には凝り過ぎたメカニズムを開発する者も現れた．図 1-6 は出典文献の著者その人の創案になるバネ入りタイヤ(弾性車輪)である．これはリムとタイヤの間に環状の空間を設け，そこにバネ鋼製の帯板を巻いたバネ輪を収容する一種の弾性車輪であった．勿論，その開発の狙いは衝撃緩和にあった．これは単に机上の空論に終わったアイデアではなく，実車実験まで行われた技術である．もっとも，その成績は総じて芳しくなかったようである．

図 1-6 Colburn のバネ入りタイヤ



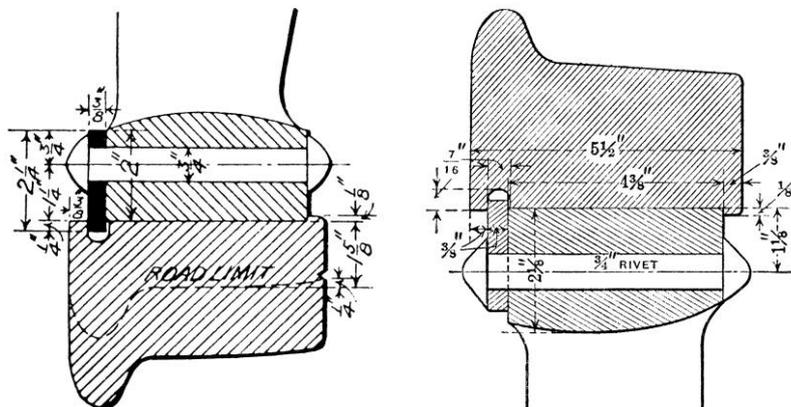
Colburn, *ibid.*, Vol.I, p.277 Fig.217.

ヨリ近代的なタイヤ補助固定法に係わる問題については旧稿にて 1906 年にアメリカで発行された資料に依拠して 6 つの型式を紹介しておいたので，そちらを御覧頂きたい³．

ここではそれがマイナーな技術であったためか事後対策的技術であったが故か，旧稿図 5 には含まれていなかった方式 1 点のみを図 1-7 として掲げておく．その右図を得た資料の解説に拠れば，これは Pennsylvania Railroad の技術で止め輪は環状ではなくセグメント式であった．時代的にはこの前後からタイヤは圧延鋼材製，輪心は鋳鋼製が相場となる．

³ 拙稿「20 世紀前半アメリカの鉄道輪軸について(1/2)」図 5，参照．

図 1-7 タイヤの輪心に対する一つの補助固定法

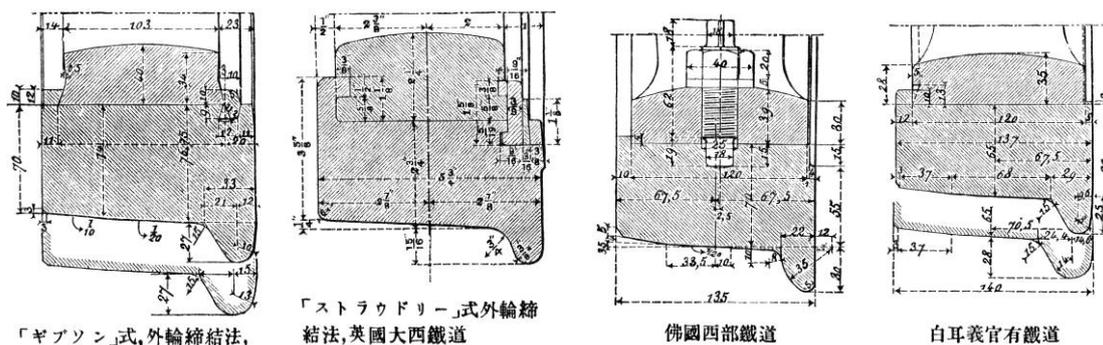


左 : *Locomotive Dictionary*, 1st., ed., N.Y., 1906, p.177 Fig.1319.

右 : *Machinery's Cyclopedia with 1929 Supplement*.Vol.IV, p.228 Fig.7.

続いて 1910 年刊行の邦語文献，森・松野『機関車工学』中巻に眼を転じよう(図 1-8)．同書においては白耳義官有鐵道の例として焼嵌めのみによる“Shrinkage & Shoulder”方式が実用されていた旨，紹介されている．一応，“Shoulder”だけ追加されている点で幾分の進化形となつてはいたが，これに対しては時の先進技術というよりは残存技術との位置付けの方が似つかわしかろう．森と松野はこの技術について，タイヤの脱出や割損飛散防止策が無く「勾配線用機関車には不適當なり」とし，これを多数のボルトで補強した佛國西部鐵道の処方は「稍安定を保つこと得べし」と評している．

図 1-8 タイヤの輪心に対する各種の固定法(1910年の邦語文献より)

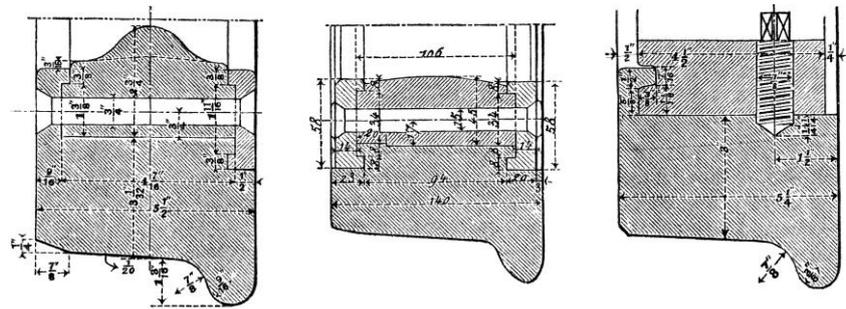


「ギブソン」式, 外輪締結法,

「ストラウドリー」式外輪締結法, 英國大西鐵道

佛國西部鐵道

白耳義官有鐵道



英國北東鐵道

英國官有鐵道

本邦機關車に屬するものゝ一例

森 彦三・松野千勝『機關車工學』中，大倉書店，1910年，222~224頁，第823~826，827~830圖。

数片に分かたれた溝付きと緩い逆テーパ断面を有するモノとからなる一對の円環を併用し、タイヤ内側面内周をかしめる Stroudley 式について森・松野は「其の構造複雑にして外輪の取替えに不便のみならず『リテーニング，リング』が外輪の厚さを侵蝕すること約四分の三吋に達するを以て外輪の使用期限を短縮するの缺點あり」としている。

実際、鐵道省~国鉄における外輪使用限度を機關車先・従台車々輪および炭水車々輪の内、制輪子が作用しないものについて観ればストラウドレー式 32mm，それ以外は 25mm であり、同じく客貨車々輪の内、制輪子が作用するものについて観ればストラウドレー式 29mm，マンセル式 25mm，省基本形・ギブソン式/セット・スクリュー式は 22mm であったから、ストラウドレー式におけるタイヤの持ちの悪さは一入^{ひとしお}であった⁴。

彼らの図は過密なハッチングにより甚だ見難くなっているが、上段左端の Gibson 式について、森・松野は「比較的簡單なるを以て歐州各國に廣く採用せらる」と述べている⁵。

ストラウドレー式の 2 重止め輪をセット・スクリューに換えた下段右の方式について森・松野は「其の構造簡單にして外輪の使用期限比較的長久なるを以て廣く採用せられたり我邦に於ても此の形式を應用せるもの最も多し」と述べている(強調引用者)。

下段中央は Mansell 式であるが、締結にはボルトが用いられる場合もあった。森・松野はマンセル式について「最も安全なる方法なれども『リム』に『リベット』穴を有するを以て

⁴ 達第 64 号(大正 14.2)，達第 799 号(昭和 5.9.11)一部改正，より。機關車工學會『最新 機關車檢修工學』交友社，1940年，316~317頁，大阪鐵道管理局『機關區従事員必携』大鉄図書，1951年，307頁，参照。

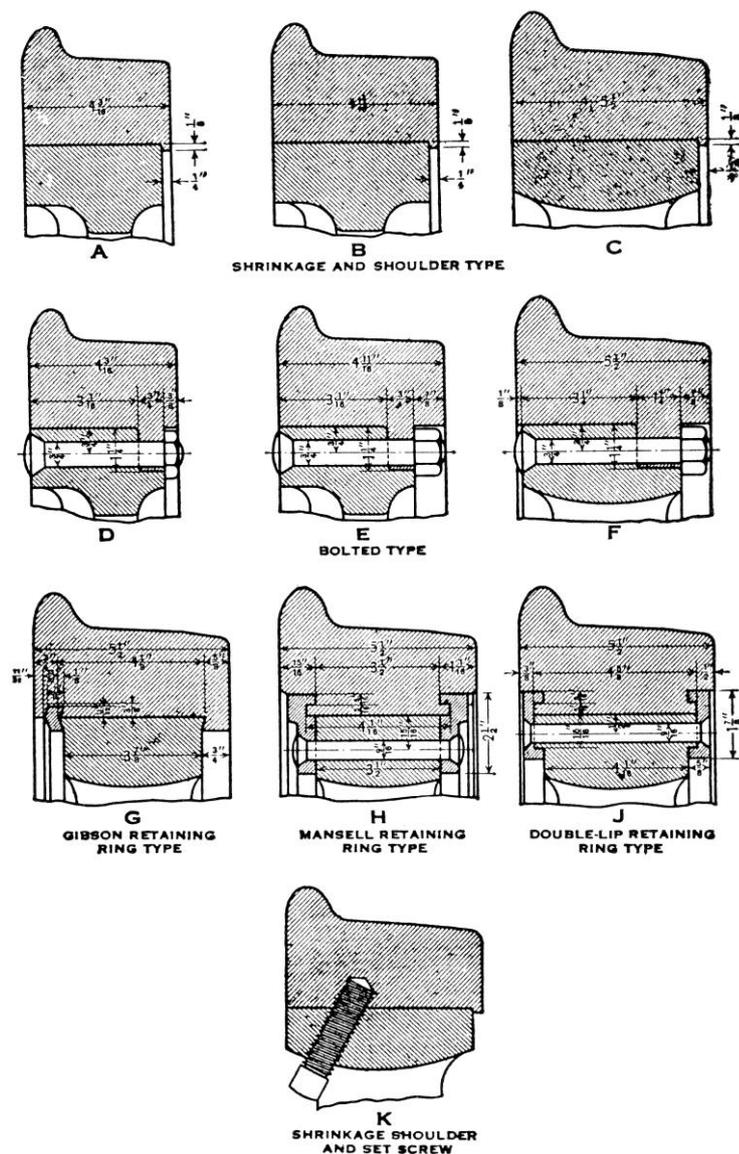
玉置は“7”状断面の輪片と“J”状断面の輪片とを片側で組合せるものをストラウドレー式として紹介しつつ森・松野と同様の欠点を指摘している。玉置光夫『鐵道車輛のタイヤ』国鉄長野工場，1959年，28頁，参照。玉置は執筆当時，国鉄長野工場 機關車課長。

⁵ 有原，今村，藤田および玉置は緩い逆テーパの脚を持つ“7”状断面の止め輪を用いる方式(図 1-10, 7)をギブソンとしており，有原と藤田は“y”断面の止め輪を用いる方式を Bute 式と表記しているが，委細不明である。有原俊二『最新機關車工學』東洋書籍出版協会，1935年，350~351頁，今村一郎『改訂増補 機關車技術問答解答集』私家版，1935年，165~167頁，藤田 隆『蒸氣機關車の設計と構造理論』鐵道科学社，1948年，87頁，第 48 圖，玉置同上書，28頁，参照。

其の力を殺ぎ且つ加工上最も手数を要するを以て廣く用ひられず……」と評している。同左はマンセルを簡略化したイギリス North Eastern Railway の処方である。

図 1-9 は 1930 年にアメリカで刊行された文献から引いたものである。A, B, C は “Shrinkage & Shoulder” 方式である。D, E, F のボルトオン方式は 1913 年に制定され、1920 年に改正を見た鋼製タイヤ付き車輪に係わる A.R.A. 推奨方式であり、F がその改正版のようである⁶。

図 1-9 タイヤの輪心に対する各種の固定法(1930年のアメリカ文献より)



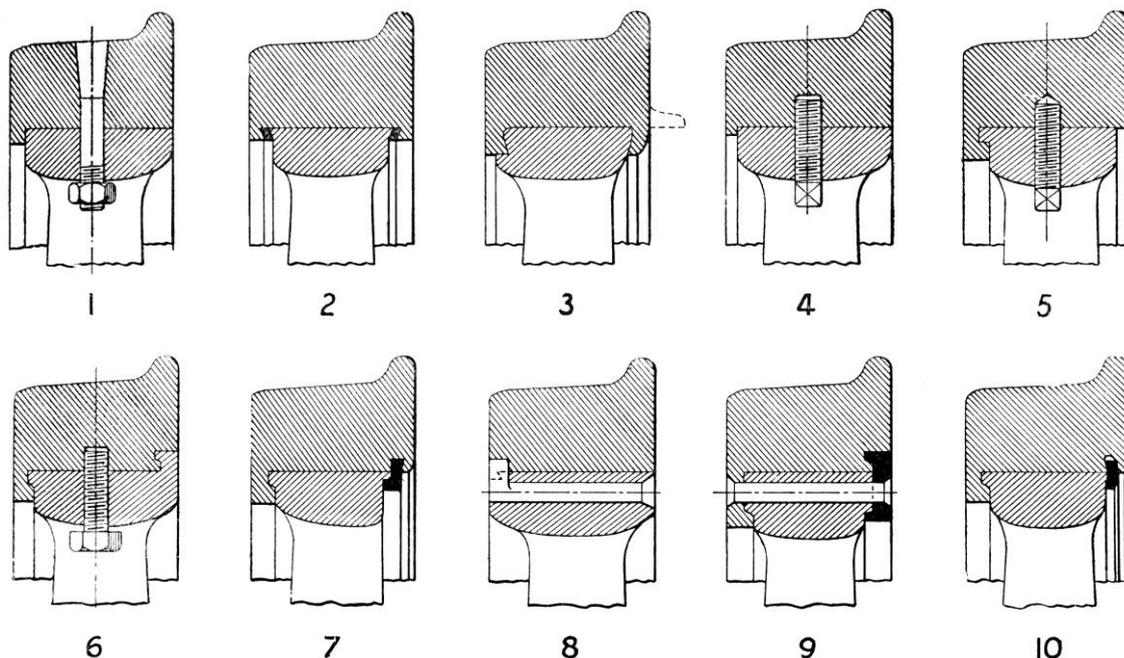
Locomotive Cyclopedia of American Practice. 9th., ed., N.Y., 1930, p.691, Advertisement of the Railway Steel-Spring Company(N.Y.)

⁶ cf., *Locomotive Cyclopedia of American Practice*. 7th., ed., N.Y., 1925, pp.674~676.

Gはギブソン、Hはマンセルとあるが、Hの止め輪“lip”はタイヤ側のみとなっている。Jはこれをリム側にも持つもので、こちらが真正マンセルである。Kは森・松野の紹介になるフランス式—“Shrinkage & Shoulder”方式セット・スクリュー補強版—の亜流に分類されよう。

1935年にイギリスで刊行された書物に収録されている諸方式を眺めると(図1-10)、簡略化への強いバイアスが観取される。但し、最もシンプルである筈の純焼嵌め法(“Shrinkage & Shoulder”方式)は見当たらない。

図1-10 タイヤの輪心に対する各種の固定法(1935年のイギリス文献より)

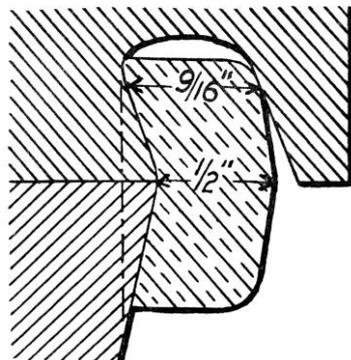


A, Morton Bell, *Locomotives Their Construction, Maintenance and Operation*. 1st., ed., London, c.a., 1935, p.114 Fig.13. ditto., 7th. ed., London, 1950, Vol.I, p.114 Fig.13 も本図と全く同一。

10はタイヤ内周面の肩部がアリになっていない点からすればギブソンの一種である。その止め輪の“J”状断面の拡大図が図1-11である。タイヤ内周面の溝に嵌め込まれる部分の逆テーパ断面が示されており、根元とウェスト部との寸法差は0.8mmであった(ウェストから先の露出部は矩形断面)。止め輪の挿入後、タイヤ内側面内縁部をかしめ、嵌入部をアリ結合させたワケである。摩耗・損傷タイヤを取外す場合、タイヤを2~3箇所で溶断するか、車輪旋盤に輪軸をセットし止め輪の露出部を削り落とし、輪軸を分解してタイヤを焼抜く、つまり車輪を炉中で加熱、取出してタイヤを叩き出すといった方法が執られた⁷。

⁷ 削り落とし法を執る場合、ナマクラ故に止め輪の方がタイヤのかしめ部より削り易く、半径が小さい分、切粉も少ない(切削時間が短い)。但し、かくする場合には輪心まで削ってしまわぬことが肝要である。

図 1-11 第 10 方式における止め輪の断面



ditto., 1935, p.115 Fig.14.

ii) 鐵道省~国鉄基本型の止め輪

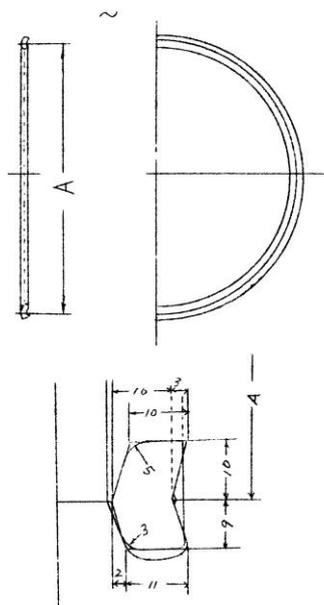
鐵道省~国鉄の基本型式として採用されることになった止め輪はギブソン式である。その本邦初採用や基本型としての制定時期については不明ながら、遅くとも大正末期(1920年頃)にはこれが「基本形」として認められ、その摩耗限度が定められていた⁸。

その詳細を図 1-12 に示す。止め輪断面における根元とウェストとの寸法差はメートル表示で 1mm に設定されていた⁹。止め輪の挿入は勿論、輪心にタイヤを焼嵌めしてからの工程となるが、焼嵌めについては別途、論ずることとし、ここでは止め輪そのものとその取扱いについての議論を先行させることにしよう。

図 1-12 鐵道省基本型式の止め輪とタイヤ固定状況

⁸ 注 4 前掲, 1925 年の「達第 64 号(大正 14.2)」, 参照。昭和初期になされた言及としては 1930 年の前掲「達第 799 号(昭和 5.9.11)」, 勝山政次郎『最新 機關車技術問答三百題』交友社, 1932 年, 117~118 頁, 東京鐵道局運轉課改版『最新機關車綱要』東洋書籍出版協會, 1934 年, 166~167 頁, 参照。後者は「現在我國の基本形はギブソン式に似て……」と述べている。

⁹ なお, 以下は筆者の推定に過ぎぬが, 省基本型の止め輪(ギブソンのそれ)なるもの, 実は棒材を輪にした定寸の成形品ではなく, 異形断面の軟鋼製線材の所謂コイル材で, 現場はその丸味と長さを現物タイヤに合わせて調製・切断させられていたのではなかろうか? これなら異径タイヤ溝への嵌入も容易である上, 低コストでもあった筈である。

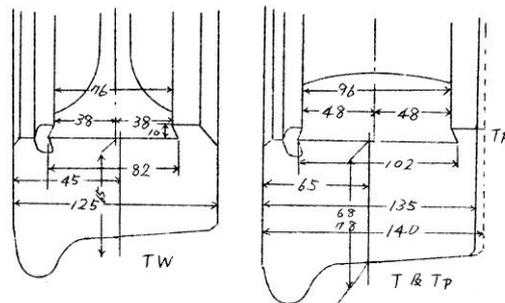


番号	A	材料	重量	記事
1	480	SS 41	225	
2	500		235	
3	550		258	
4	600		282	
5	630		296	
6	680		319	
7	730		343	
8	750		352	
9	770		361	
10	780		366	
11	810		380	
12	840		394	
13	880		413	
14	910		427	
15	960		451	
16	1060		497	
17	1090		512	
18	1190		558	
19	1210		568	
20	1240		582	
21	1360		638	
22	1440		676	
23	1590		696	

AD 6 8 1 0 を本図に改む	
理由	鉄道車両技術協議会の決議に依り タイヤ種別並びに厚変更のため

作 図
昭和 19-1-31
AD 6 6 2 4 0

タイヤ取付装置 AC 6 4 6 3 Z

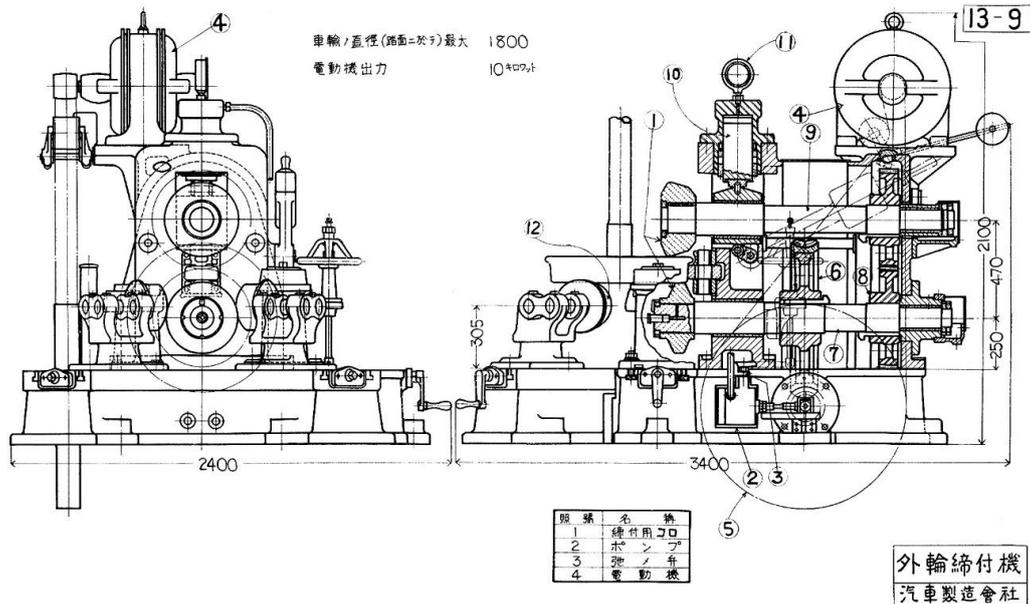


玉置『鉄道車輛のタイヤ』33頁, 第33図, 第34図.

かしめ法としては回転テーブルとニューマチック・ハンマから成るタイヤハンマ, それが無ければ手持ちの大ハンマ(大鎚)が動員された. タイヤハンマには客貨車用タイヤ1対を同時にかしめる機種もあったようである. これらとは異なる油圧による転圧式のタイヤかしめ機(図 1-13)も提供されていたが, 予算制約からか機能不良のためか, 実態としてこのかしめ工程にはタイヤかしめ機ではなく, タイヤハンマないし手持ちの大ハンマが汎用されていたようである. 少なくとも, 修繕・検修関係のテキストからはそのように推察せざるを得ない¹⁰.

¹⁰ タイヤハンマや大ハンマについては築館 武『機関車検修の理論と実際』東洋書籍出版

図 1-13 汽車製造會社製 1,800mm 動輪タイヤかしめ機



機械學會『國産機械圖集』1932年, 13-9.

タイヤハンマや大ハンマによる手作業の場合、転圧機におけるような全周かしめではなく、輪心外周の $\frac{1}{9}$ に当る長さ亘って等間隔で 3 ヲ所、かしめる所作が指定されていた。なお、部分かしめ法においては止め輪の合口部は必ずかしめるよう定められていた¹¹。

それにしても、図 1-13 においてワークが組立てられた輪軸(インサイド・ベアリングの先台車輪軸)として描かれている点には些か疑問が残る。輪軸の振れを上方で抑える振れ止め機構が皆目描かれていない(危険極まる)ことは措くにせよ、先ず、車軸の輪心への冷間圧入自体がタイヤ焼嵌めの後に行うことを以て原則と定められていたからである¹²。

次に、そもそもタイヤの焼嵌めとはこれを薪、木炭、ガス、重油、電気を熱源とする炉の中で 300°C 程度に均一に加熱し、これを取り出して水平の台上に寝かせておいた処に輪心をクレーンで吊り降ろして嵌め込む工程である。そして、嵌込み完了直後に止め輪を叩き込み、亀裂発生防止のため、タイヤの温度が $150\sim 200^{\circ}\text{C}$ にある間にかしめを済ませるよう指示されていた。つまり、それは結構な時間勝負の作業であった。小倉工場での実験に拠れば、気温 $25\sim 27^{\circ}\text{C}$ にて制限時間は 20 分前後であった。新製時ならかように厄介な一連の作業は輪心に対して行うのが常道であり、輪軸相手にかかる作業をしていたのでは徒に手数を要す

協會, 1941年, 215頁, タイヤハンマについてはまた、坂田行造『最新 機關車修繕技術 後編』大鐵図書, 1951年, 290頁, 玉置『鉄道車輛のタイヤ』168頁, 参照。

¹¹ 『最新 機關車檢修工學』323頁, 参照。なお、部分かしめの長さについて、玉置『鉄道車輛のタイヤ』165頁には「少なくともタイヤ外周長さの $\frac{1}{6}$ づつ」と、異なった表現が見られる。

¹² 大 14-9-22 達第 750, 改正昭 7-12 達第 994, 『機關車檢修の理論と實際』221~222 頁, 参照。焼嵌め前に輪軸組立てを行う場合には圧入力を小さく取る(締め代を小とする)。

るだけである。修繕時における旧来の 3 箇所かきめ法の由来もこの時間的制約の側面から了解可能なワケである¹³。

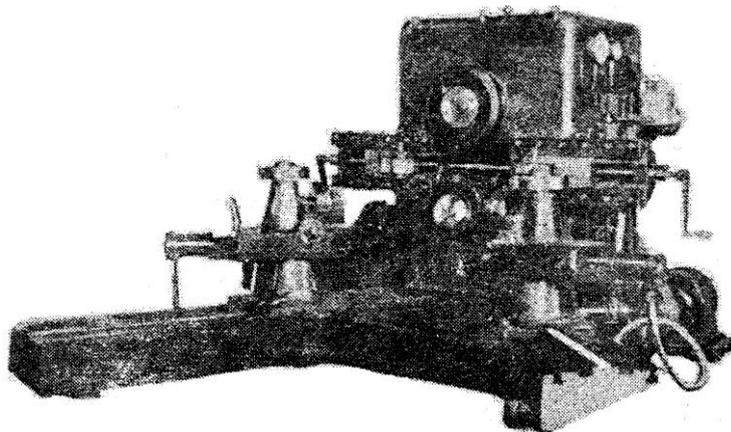
他方、上述の通り、修繕に際してのタイヤ抜取りには止め輪がある場合なら輪軸組立て状態で後に数例が示されるような車輪旋盤を用いて輪心から止め輪の露出部を削り去った後、輪軸を分解し、①：車輪を炉中で加熱、外縁部に位置するタイヤが温まった頃合いを見計らって炉外に取出し、タイヤを大ハンマで叩いて外す方法(焼抜き)、および、②：タイヤにガス溶断によって 2~3 箇所深い切込みを入れ、楔を打込んでハンマで強打・切断し、輪心から分離させる方法、の 2 つがあった¹⁴。

輪軸状態での炉中加熱などほとんどあり得ないが、②を採る場合なら輪軸を分解せぬまま行うことも可能ではあろう。これに新たなタイヤを焼嵌め、止め輪を嵌入し、かきめてならぬという法は無い。それ故、図 1-13 がかような例外的処方を表現したモノであるなら、これを全くのデタラメとすべき理由はない。

もつとも、輪軸状態でのタイヤ切断は軸を垂直とする場合には裏返しが必要となり、水平にするとしてもかなりの危険を伴う。かような難作業に続けて輪軸相手にタイヤの焼嵌めまでさせられたのでは裏返しが又々厄介となる。であればこそ、タイヤの焼嵌めは単体の輪心に対して行うを常則としたワケである。なればこそ、図解されるべきはその状況であろう。

戦後、ある程度、予算面の復興があったからか、機械式ないし手持ちハンマに依るかきめ方式に代る全周転圧方式の、但し、図 1-13 とは異なる新型のタイヤ締付け盤が各工場に整備されるようになった。当然ながら、これもまた輪軸ではなく単体車輪を扱う機械であった(図 1-14, -15)。

図 1-14 戦後のタイヤ締付け盤(日本機械製作所製)



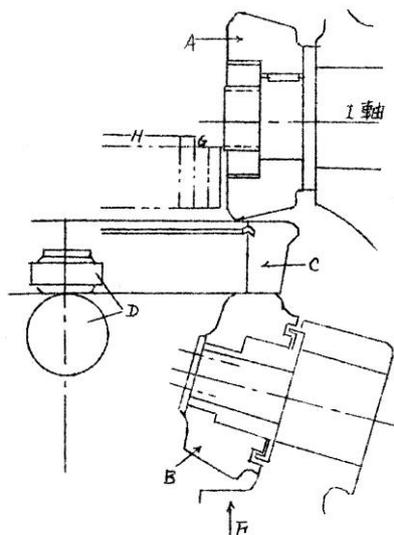
玉置『鉄道車輛のタイヤ』176 頁、第 6 図。

¹³ 昭 11.6 工作局 客貨車輪軸作業基準、昭 12.4 工作局 機関車タイヤ焼嵌作業基準。前掲『最新 機関車検修工学』323 頁、『最新 機関車修繕技術 後編』289~290 頁、玉置『鉄道車輛のタイヤ』165, 167~168, 178 頁、参照。

¹⁴ 『機関車検修の理論と実際』215 頁、『最新 機関車修繕技術 後編』289 頁、参照。

図 1-15 において A, B は約 300φ のローラー, D, D はタイヤを焼嵌めたばかりの車輪 C を支持する受けローラーである. B の下に油圧シリンダが位置し, 常用油圧 200kg/cm² にて F の方向に 40 トンの圧力を加える. 主電動機出力 15 馬力. 適用タイヤ外径 660~1750mm. H, G はそれぞれ電気機関車, 電車の減速大歯車である. かしめ割れを防止するため, 締付作業は圧力 5 トン程度から開始し, 車輪を 4~5 回転させる内に最大圧力へと引上げて行った. 勿論, かしめは全周に亘って実施された.

図 1-15 同上の転圧機構



同上書, 177 頁, 第 7 図.

2. 昭和戦前期以降における国産タイヤの材料と製造法

1) 1921年以降，我国で進められたタイヤ材料に関する研究

第二次産業革命以降の近代的なタイヤ材料は概ね高炭素鋼となり，戦後復興期までそれは平炉鋼と電気炉鋼によって精錬されていた。戦後は純酸素上吹き転炉がこれに加わり，更に純酸素底吹き転炉，純酸素上底吹き転炉へと発展した。何れにおいてもタイヤ用には車軸用のそれと同じく脱酸を十分に行ったキルド鋼が用いられた。所謂，特殊鋼の採用は稀であり，かつ，かような趨勢は世界共通であった¹⁵。

タイヤ材料には高い耐摩耗性・靱性・疲労強度が求められる。古くはタイヤが硬過ぎればレールの摩耗が増すと考えられ，線路屋と車両屋の間に不毛な対立のタネとなっていた。踏面とレール頭部の硬度差が甚だしければ，確かに両者の摩耗を巡る関係はその通りであろう。もっとも，実用されていた範囲の様々な材料を組み合わせた場合における両者の摩耗現象は複雑で，これを説明し切る理論は見出されていなかった。

しかし，鐵道省および住友製鋼所における体系的な実験の結果，タイヤ材料の炭素含有率をある程度以上高くすることによってタイヤとレールの摩耗量が共に減少するという事実が解明された。この内，1921年の鐵道省における研究が摩耗試験機を用いた基礎研究であったのに対して，住友製鋼所におけるそれは1923~34年にかけて行われたアムスラー摩耗試験機による基礎研究および試験車両と試験軌道を用いた実験とから成っていた(図 2-1)¹⁶。

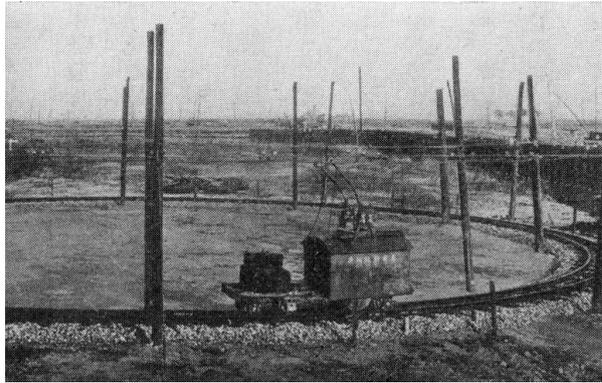
図 2-1 住友製鋼所におけるタイヤ磨耗試験の概況

¹⁵ わが国，と言っても国有鐵道における鐵道車両用タイヤの技術やその歴史全般については日本国有鐵道編『鐵道技術發達史 V 第 4 篇 車両と機械(1)』1958 年，384~399 頁，玉置『鐵道車輛のタイヤ』全編，広重 巖『輪軸』交友社，1971 年，67~87, 143~159, 247~251, 289~334, 360, 362~391, 460~463, 467~472, 475, 476~477 頁他，参照。

広重は国鐵工作局から幡生工場(現・JR 西日本下関総合車両所)に転じた技師。広重の書は業界で永らく“バイブル”視されて来た文献である。そこには玉置の著作に対する一片の言及すら無いが，記述の重なる範囲に関する限り事実上，玉置の著作に依拠しているように見える。立場上，後者について“知らなかった”とは言い得えまい。また，その筆致からすれば玉置は『鐵道技術發達史』当該部分の執筆者であったのではなからうか？

平炉や電気炉，戦前期アメリカにおけるタイヤ材料規格については拙稿「20 世紀前半アメリカの鐵道輪軸について」(大阪市立大学学術機関リポジトリ掲載)，キルド鋼については拙稿「1930~60 年代前半における本邦鐵道車軸とその折損事故について(1/2)」，参照。

¹⁶ 日本国有鐵道編『鐵道技術發達史 II 第 2 篇 施設(1)』1959 年，641~642 頁，『鐵道技術發達史 V 第 4 篇 車両と機械(1)』384~391 頁，玉置『鐵道車輛のタイヤ』111~122 頁，広重『輪軸』289~295 頁，参照。



住友金属工業㈱『住友金属工業六十年小史』1957年，103頁，より。

模型電車を用いた住友製鋼所における実験は鐵道大臣官房研究所，鐵道省工務局，同工作局との共同研究として進められ，1926年3月に開始され，'29年1月，終了した。円形軌道の諸元は直径24.4m，レール30kg・長さ10mで4種類，軌間430mm，カント無し，外軌全長78.0m，内軌全長75.2m，枕木レール1本当り16丁，道床はバラスト(厚さ61cm)，であった。試験車は電動車と付随車，何れも2軸で重量2t，電動機DC100V，8HP，車輪径280mm，速度約11km/h，レールとタイヤとの接触面積7.8mm²，接触圧力64.1kg/mm²(鐵道省の1600mm，軸重14tの動輪では70kg/mm²)，供試タイヤは3種であった。条件を揃えるため雨天での試験は行われなかった。供試タイヤ，レールの性状を表2-1，-2に示す。

表2-1 供試タイヤとレールの化学成分

住友製鋼所製平炉鋼タイヤ				八幡製鉄所製レール			
	C%	P%	種別		C	P	種別
1	0.74	0.031, 0.034	酸性	1	0.80	0.040	塩基性
2	0.62	0.021	塩基性	2	0.53	0.034	〃
3	0.43, 0.46	0.016, 0.031	酸性	3	0.35	0.031	〃
—				4	0.031~0.35	0.088~0.104	酸性転炉

玉置『鐵道車輛のタイヤ』112~113頁，より。レール4は4種に再区分された。

表2-2 供試タイヤとレールの機械的性質(試験片14φ，標点距離50mm)

タイヤ			レール				
	硬度 H_B	抗張力 kg/mm ²	伸び%		硬度 H_B	抗張力 kg/mm ²	伸び%
1	240, 270	86.5, 88.8	15.0, 12.0	1	277	94.8	11.0
2	240	80.3	12.0	2	205	70.0	23.0
3	182, 196	60.0, 65.4	34.5, 24.0	3	165	57.7	30.0
—				4	190~220	62.3~73.0	24.5~27.0

同上書，114頁，第5表，より。

12通りの組合せに係わる各試験において、試験車両は円形軌道をいずれも8,000回、周回せしめられた。一連の実験を通じて見出されたレールとタイヤの全摩耗量をタイヤ種別に基準を置いて総括したのが表2-3である。

表2-3 レールとタイヤの全摩耗量

試験番号	タイヤの種類	タイヤの炭素含有量 %	レールの種類	レールの炭素含有量 %	タイヤ磨耗の全量 Kg	レール磨耗の全量 Kg	レールとタイヤとの磨耗の和 Kg	レール磨耗のタイヤ磨耗に対する比
8	第1種	0.74	第1種	0.80	0.994	825	9244	830
1	"	"	第2種	0.53	0.860	1650	1736	2020
6	"	"	第3種	0.35	0.215	4.40	4.615	2042
2	"	"	第4種	0.35	1.600	2875	3035	1800
9	第2種	0.62	第1種	0.80	3.925	1400	17925	357
4	"	"	第2種	0.53	2.750	2350	2625	855
7	"	"	第3種	0.35	2.547	2240	24947	880
3	"	"	第4種	0.35	3.250	3925	4250	1215
10	第3種	{ 0.43 0.46	第1種	0.80	16778	2400	40778	143
5	"	0.43	第2種	0.53	18525	4475	63275	241
11	"	{ 0.43 0.46	第3種	0.35	1259	3820	50790	340
12	"	{ 0.43 0.46	第4種	{ 0.31 0.32	16151	5645	72601	355

同上書、117頁、第7表。

タイヤとレールの摩耗について総括すれば、タイヤの摩耗はC%が最も高い第1種が最小で第2種、第3種と続いている。レールの摩耗は第1種タイヤと組合せられた場合が最小となり、第2種、第3種と続いている。タイヤの摩耗量はC%を敏感に反映してC%が高いほど少なく、レールの摩耗もタイヤのC%が高いほど少ない。レールもC%が高いほど摩耗が少ないが、その相関はタイヤの場合ほど顕著ではない。何れにせよレールの摩耗量の方がタイヤのそれより大となるが、その比はタイヤが硬くレールが軟らかい場合ほど高い。

タイヤとレールの総摩耗量は試験番号6(硬いタイヤと軟らかいレールとの組合せ)で最小、同10(軟らかいタイヤと硬いレールとの組合せ)で最大となっている。次位は試験番号8(硬いタイヤと硬いレールとの組合せ)であった。かような実験結果は山手線で観察される実際の摩耗の傾向と一致するものであった。なお、酸性転炉鋼はP%が高く、これがレール摩耗を激甚としている上、タイヤ摩耗にも悪影響を与えていた。タイヤのC%が高く、レールのC%が低い場合、直線線路上でのレール頭部の摩耗が多くなることが別途、確認されていたため、タイヤのC%を高めるとともにレールのC%も程々に増してやるのが得策と考えられた。

引続き、高炭素鋼、熱処理鋼、Cr鋼から成るタイヤと高炭素鋼、熱処理鋼、Mn鋼(ポイント、クロッシングに使用)から成るレールとを用いた実験が遂行された。異材レールを混交させる実験も行われた。摩耗量が少ない特殊材料を用いたため、試験車両の軌道巡回々数は

32,000回とされた。タイヤの摩耗量はCr鋼タイヤと熱処理レールとのペアが最小、レールの摩耗量はCr鋼タイヤとMn鋼レールとのペアが最小となった。また、炭素鋼レールの頭部にグラファイト・グリースを塗布する実験も行われた。しかし、これらの鋼種が規格化されることはなく、フランジ塗油器、レール塗油器の実用も戦後に持ち越される¹⁷。

明治時代のイギリスに範を求めた規格では硬めとされていた機関車動輪用タイヤ鋼は大正期に至って軟らかめとなり、八幡製鉄所製タイヤに激しい摩耗を生じたりしていたが(当時の国産タイヤ鋼は八幡製と住友製とでかなり異なる硬度を有していた)、大正期から昭和初期にかけては諸外国のタイヤ材料規格の検討の下、逆転現象が現れ、再び硬めとなる兆しを見せていた。そして、上記の研究成果を踏まえることにより、輪軸のトップメーカー、住友製鋼所製タイヤ鋼の炭素含有率は実勢として0.5%台から0.6%台へと漸増せしめられた。もっとも、国鉄のタイヤ鋼規格に炭素含有率が明示されるに至ったのは1959年からであり、そこでは炭素含有率0.60~0.75%と定められていた(表2-4)¹⁸。

表2-4 鐵道省~国鉄におけるタイヤ材料規格の変遷

規格 番号	制定 年月	種別	化 学 成 分 %								機 械 的 性 質			地ナラシ	落重試験	試験片 採取位置	記 事
			C	Si	Mn	酸 性 炉		塩 基 性 炉		Cu	引張強サ kg/mm ²	伸 び %	絞 り %				
						P	S	P	S								
鐵道院 イ9号	明42.7	客貨用								53 ⁷ ~16 ² 66 ² ~79	25~18 18~14			有			
		機関車用								76~89 ²	15~10			有			
鐵道院	44.4	客貨用								68<	12<			有			
		機関車用								70<	10<			有			
鐵道省	大12.4	客貨用								60<	90-T.S 1.5 以上				有		
		機関車用								70<					有		
SA101A	13.9	客貨用								60<							
SA144	昭2.1	機関車用								70<					有		
		客貨用								65<	120-T.S 4 以上			有			
SA176	3.8	客貨用				0.055≥	0.050≥	0.045≥	0.050≥								
SA176B	5.5	機関車用								75<				有			
		なし								80<	139-T.S 4以上			機関車用のみ 有			
SA176C	7.5	"												内径700mm 以上のみ有			
SA176D	9.1	"												内径800mm 以上のみ有			
特別規格	20.2	"				0.065≥	0.060≥	0.055≥	0.060≥								
JES6502	23.8	"				0.055≥	0.050≥	0.045≥	0.050≥								
SA218	29.Ⅱ	"	0.60 ~0.75	0.15 ~0.35	0.50 ~0.75	0.055≥	0.050≥	0.050≥	0.050≥								
SA218A	33.8	"			0.50 ~0.90					0.0035≥	80~100	13≤	17≤	落重再試験 時に同一浴 鋼全数実施	1浴鋼ごと 内径710mm 以上の動輪 に実施	試験鋼塊 70×150mm を30°に絞 り試験ナラシ	材料規格は 車両用高炭 素鋼仕様書 (SA12)
		"	0.60 ~0.75	0.15 ~0.35	0.50 ~0.90	0.055≥	0.050≥	0.050≥	0.050≥	0.0035≥	80~100	13≤	17≤	落重再試験 時に同一浴 鋼全数実施	1浴鋼ごと 内径710mm 以上の動輪 に実施		落重再試験 品は2個と する
JRS 14101- 2097 (SA218C)	38.Ⅱ	"				0.050≥	0.050≥	0.045≥	0.045≥	0.0030≥	74~98	14≤ 9≥ (T.Sに比 例算出)	18≤ 13≥ (T.Sに比 例算出)	調整冷却後 全数実施	1トリベ ンに全寸法 で実施	落重試験品 本体の变形 の少ない部 分より採取	

広重『輪軸』68頁、表2.1.

引張強サの53⁷は53.7。他も同じ。但し、16²は66.2の誤り。玉置『鉄道車輛のタイヤ』99頁、参照。T.Sは引張強サ。

¹⁷ 玉置『鉄道車輛のタイヤ』123~129、282~285頁、広重『輪軸』289~295、323~326頁、参照。

¹⁸ 玉置『鉄道車輛のタイヤ』第2章、広重『輪軸』67~75、289~295、338~340、376頁、住友金属工業『住友金属工業六十年史』1957年、103~104頁、参照。

住友による試験は国際的に評価された業績である。もっとも、そこにもベッセマー鋼(酸性転炉鋼)は不適との結論など、やむを得ぬ時代の制約はあった。

タイヤ材料としての熱処理鋼の採用は低調に推移した。1923年、鐵道省は試験的に引張り強さ 85kg/cm² 以上、伸び 15%以上の焼入れ・焼戻しタイヤ 60個を C51(18900)型の動輪に試験的に導入、東京、名古屋、神戸、門司の鐵道局において現車試験が実施されたが、その成績にバラツキが甚だしく、総じて不良であり、硬い動輪タイヤ材料導入の試みは単発的試行に終わった。

表 2-5 C51 型動輪(熱処理と普通)摩耗実績比較と熱処理タイヤの成績良否

局名	タイヤ種別	1万マイル当り磨耗量平均値		成績良否	
		踏面	フランジ		
東京	第1回報告	特 フ	0.61 0.68 0.58 0.55	0.37 0.09 0.39 0	否
	第2回 "	特 フ	0.51 0.70	0.66 0.70	良
	第3回 "	特 フ	0.21 0.26 0.35 0.46	0.52 0.54 0.29 0.64	良
名古屋	第1回 "	特 フ	0.71 0.73	0.31 0.31	良
	第2回 "	特 フ	0.11 0.30	0.28 0.27	
	第3回 "	特 フ	0.22 0.23 0.63 0.38		否
	第4回 "	特 フ	0.43 0.55	0.21 0.29	
神戸	第1回 "	特 フ	0.31 0.22	0.37 0.34	否
		特 フ	0.25 0.18	0.44 0.35	否
		特 フ	0.33 0.22	0.87 0.88	否
	第2回 "	特 フ	0.28 0.15	0.74 0.58	否
		特 フ	0.57 0.34	0.24 1.61	良
		特 フ	0.29 0.284	0.337 0.266	否
戸	第3回 "	特 フ	0.377 0.384	0.436 0.289	否
		特 フ	0.603 0.703	0.210 0.627	良
		特 フ		3.52 3.77	良
門司	第1回 "	特 フ		3.42 1.50	否
	第2回 "	特 フ		2.19 2.20	良
司	第3回 "	特 フ	0.37	2.07	
		特 フ	0.42	2.77	
		特 フ	0.36 0.42 0.37 0.48	0.80 0.99 0.98 0.98	良

注 1 特は熱処理タイヤ フは在来タイヤ
2 1回の報告2以上の報告のあるものは試験車2両以上のとき

玉置『鐵道車輛のタイヤ』103頁、第2表。

1926年、鐵道省においてはイギリス製の熱処理タイヤ Sandberg Sorbitic タイヤ 300個の電車への試用が開始された。普通タイヤ、住友製鋼所製の熱処理タイヤとの比較において、この輸入品はフランジ摩耗こそ少ないが踏面摩耗は却って酷く、護輪軌条と接触するフランジ内側面の摩耗が甚だしいため削正時の除去量が大きくなり、早期の取替えを余儀無くさ

れた。その高価格と短寿命ゆえに当該輸入タイヤの本格採用は見送られた¹⁹。

総じて我国の鉄道車両用タイヤ材料の熱処理は例外的処置であった。1953年にはD52、C59など蒸気機関車のタイヤの踏面の黒裂対策として焼均しが施され、'57~59年には同じく蒸気機関車用タイヤの黒裂対策として油焼入れ・焼戻しタイヤが開発された。しかし、熱処理タイヤは真空脱ガス法が製鋼工程に導入されて以降、その使用が停止された²⁰。

なお、多くの場合、鐵道省~国鉄のタイヤにはフランジのみに摩耗対策として火炎焼入れが施されていた。1934年10月に制定された作業基準第2号「タイヤ焼入装置並に作業の仮基準」がその出発点であり、手持ちのバーナを用いた火炎焼入れ(水冷)の処方が規定された。'62年にはこれを改訂し、若干機械化された装置を用いるフランジ焼入れ方を定めた「車輪フランジ焼入れ作業標準」が発効した²¹。

また、'62~63年には22.6‰勾配と曲線が続く山陽本線、瀬野~八本松間に投入されていた蒸気機関車車輪踏面の中凹摩耗対策としてCr鋼製タイヤが開発されたが、'64年、当該区間における蒸気機関車(後押し補機)の運用停止とともにCr鋼タイヤの使用も停止された²²。

2) 近代的なタイヤ工作法

鋼塊切断やタイヤミルによるタイヤの圧延(ローリング鍛造)については前掲拙稿にて一通り取扱われているが²³、本稿でも八幡製鐵所関連の文献その他から旧稿で利用し得なかった各種タイヤミルの全体画像を含め、画像情報を掲げておきたい²⁴。

図2-2はタイヤ用鋼塊の一例で丸型鋼塊である。これ以外にも8角形や菊型と称する断面形状を有するモノもあった。

図2-2 タイヤ製造用丸型鋼塊

¹⁹ 玉置『鉄道車輛のタイヤ』102, 104~105頁, 参照。

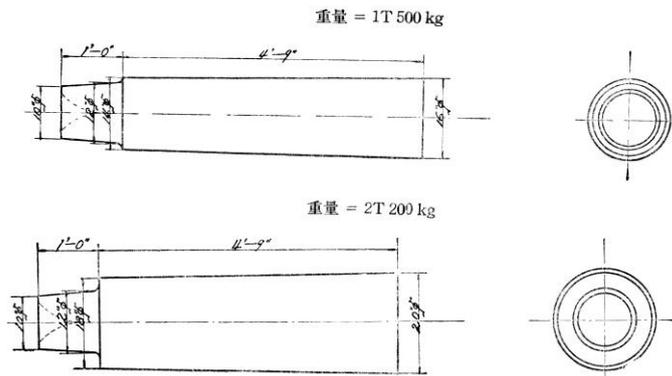
²⁰ 玉置『鉄道車輛のタイヤ』101, 148~149頁, 広重『輪軸』11~15, 75, 86~87頁, 参照。詳しくは後に再論する。

²¹ 『最新 機関車檢修工學 320~322頁, 機関車工學會『新訂増補 機関車の構造及理論 中巻』, 交友社, 1941年, 169~171頁, 『機関車檢修の理論と實際』216~218頁, 『最新 機関車修繕技術 後編』290~292頁, 玉置『鉄道車輛のタイヤ』286~308頁, 広重『輪軸』307~319頁, 参照。

²² 広重同上書, 87頁, 参照。

²³ 「20世紀前半アメリカの鉄道輪軸について(1/2)」, 参照。

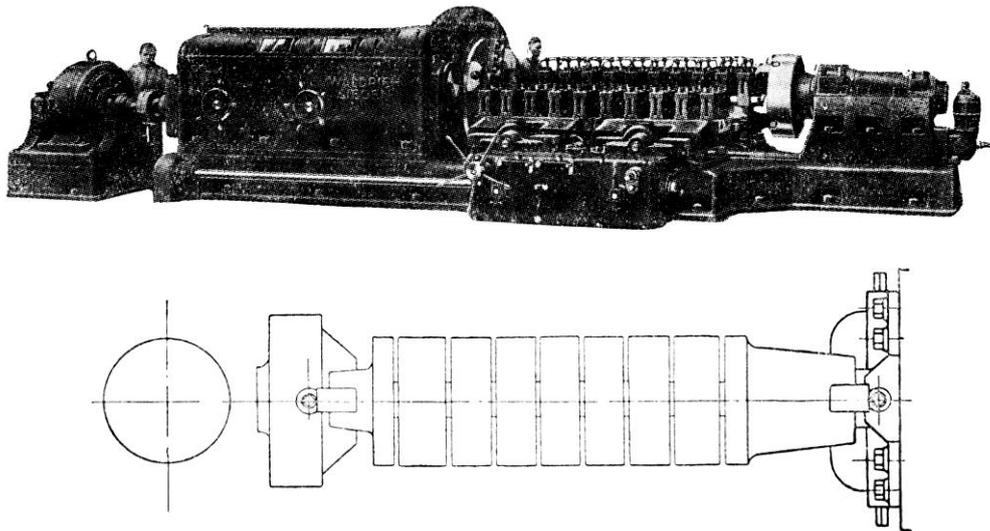
²⁴ 永松秀夫「壓延法(タイヤミル)」(永松秀夫・日高政一『壓延法(タイヤミル 厚板)』共立社 實用金属材料講座 加工編, 1937[再版'38]年, 所収), 参照。



永松「壓延法(タイヤミル)」6頁, 第3圖, より.

図 2-3 は鋼塊切断機と呼ばれる一種の大きな^{たじん}多刃旋盤と, これによって中途まで突っ切られた鋼塊を示す. 工作中, 切削部位には切粉の排出とバイト冷却のために圧縮空気が供給され続けた. 突っ切りを途中で止めているのは爾後のマテハンを容易にするためである.

図 2-3 鋼塊切断機と中途まで突っ切られたタイヤ用鋼塊

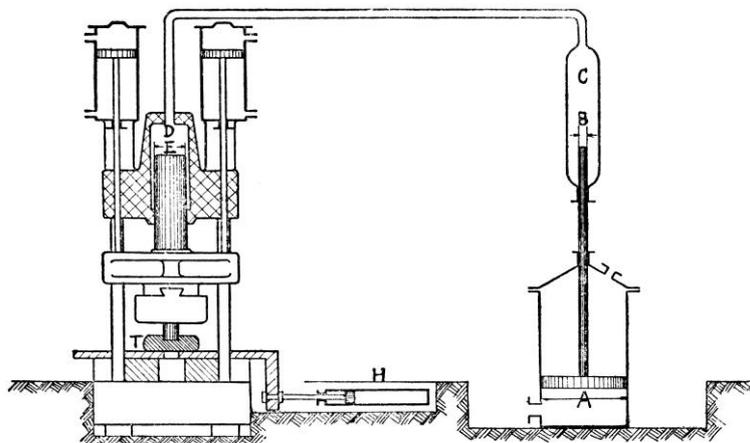


永松「壓延法(タイヤミル)」7頁, 第4圖, 第5圖.

^{くさび}楔を撃ち込んで分離されたワークは加熱された後, 図 2-4 に観る水圧プレスによって穿孔された. それらの押圧能力は 1200t ないし 2000t であった. 水圧機では穿孔に続いて金型を併用したごく粗い鍛圧も行われた. なお, 右側の A を付された気筒から始まる系統は蒸気増圧機である²⁵.

²⁵ これについては拙稿「三菱神戸造船所(1915年8月8日) (→IRDB)にてやや詳しく紹介しておいた.

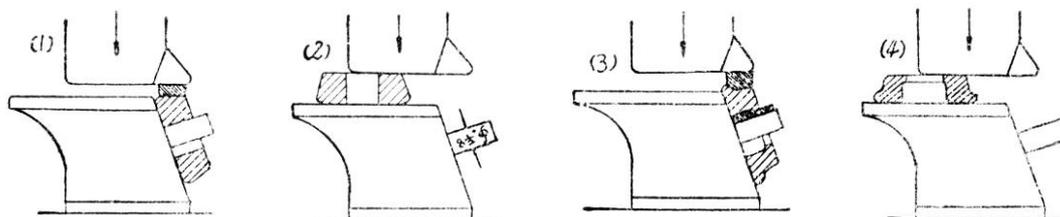
図 2-4 水圧プレスによるワーク中央の穿孔



永松「壓延法(タイヤミル)」6頁, 第3圖, より.

八幡で A 式と呼ばれた工法において, 粗形材は ^{スチームハンマ} 汽槌を用いた鍛圧工程に送られた. ここでは図 2-5 に観るような独特のハンマヘッドと加工治具を兼ねるアンビルとを組合わせた拡開鍛錬作業=荒地成形が進められた.

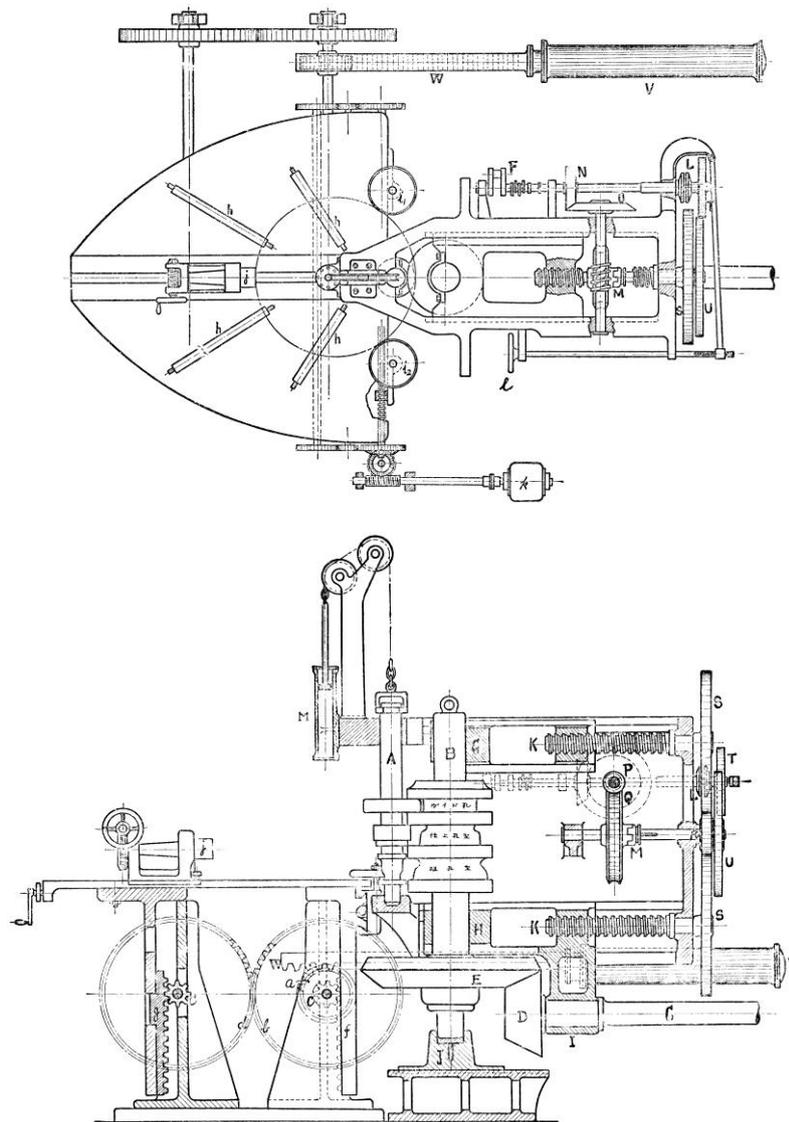
図 2-5 スチーム・ハンマによる拡開鍛錬作業(A 式工法)



永松「壓延法(タイヤミル)」12頁, 第11圖.

続いて, A 式工法においては図 2-6 の Jackson 式外輪^{タイヤミル}圧延機による圧延が行われた. この機械はガイドローラーを用いる一種の倣い加工機であった.

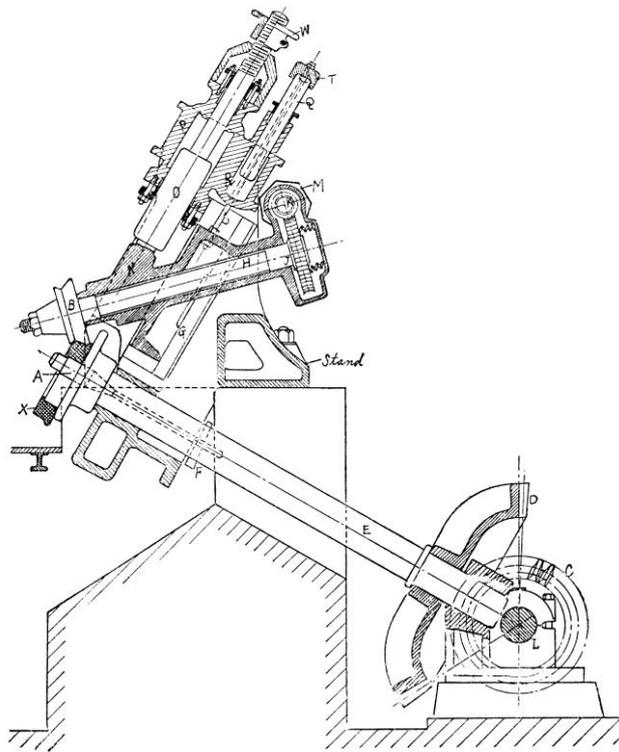
図 2-6 Jackson 式外輪圧延機による圧延(A 式工法)



永松「壓延法(タイヤミル)」13~14頁, 第12圖.

今一つ、八幡でB式と呼ばれた工法においては汽槌作業の代りに図2-7に観られる外輪粗延機によって粗形材Xは荒地成形された。B式の方が相対的に非・熟練依存的工法となっていたことが判る。ただし、外輪仕上げ圧延機の高ければ、1000馬力蒸気機関で駆動されるこの巨大な外輪粗延機も省略可能となっていたはずである。

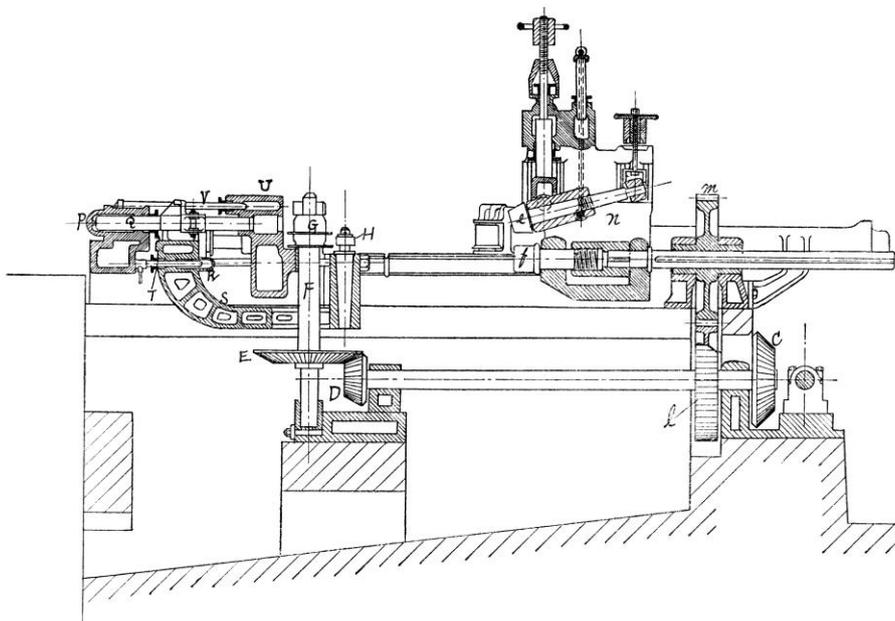
図2-7 外輪粗延機による荒地成形(B式工法)

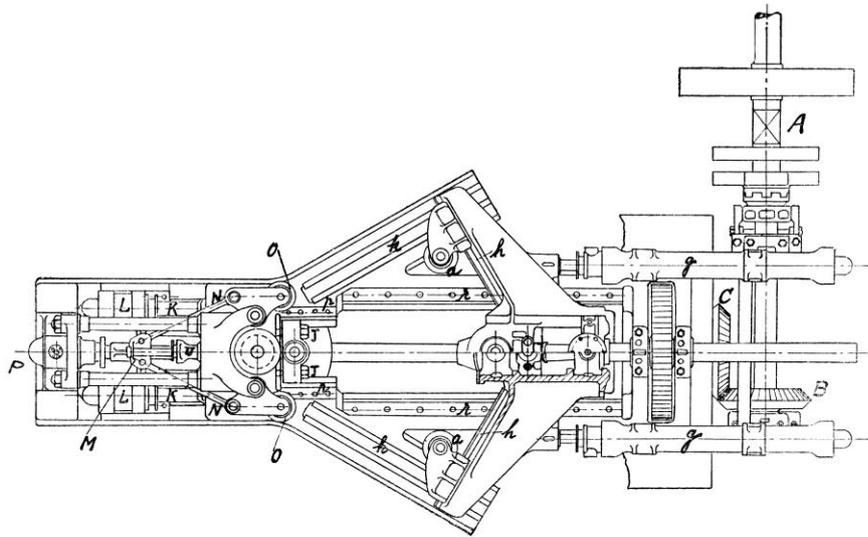


永松「壓延法(タイヤミル)」17頁, 第13圖.

B式工法における外輪仕上げ圧延機は図2-8のような体をなしていた。その駆動は1600馬力の蒸気機関によった。ワークはHとGによって挟まれ、リム厚方向に転圧されつつ回転させられる。aとoはガイド・ローラーで、リム幅はeとfとの間で圧延成形された。

図2-8 外輪仕上げ圧延機(B式工法)

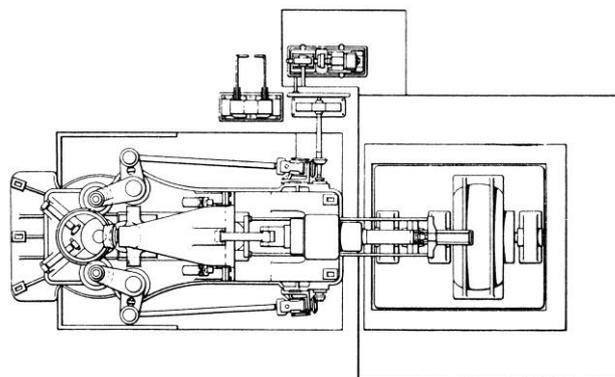


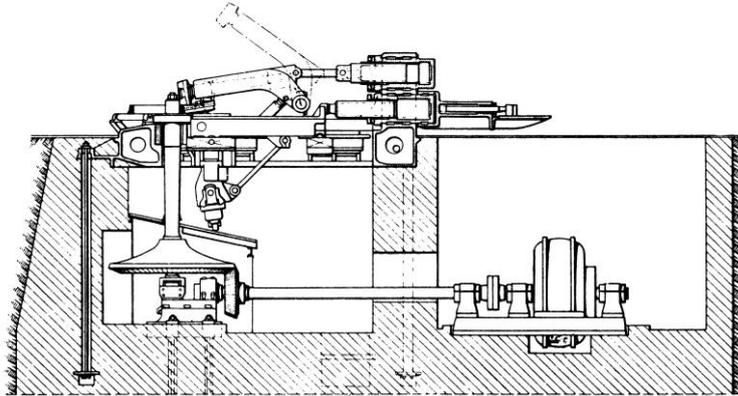


永松「壓延法(タイヤミル)」19~20頁, 第14圖B.

図 2-9 はヨリ後年の電動機直結駆動型タイヤミルで, かの外輪粗延機はこれの時代には無用化されていたかと想われる. 出典文献は由緒正しいものであるが, 図の発給元は不明である. 八幡か住友金属工業のいずれかであろう. それにしても, 住友金属工業が新日鉄に吸収された挙句, 旧姓の痕跡まで抹消されて新生, 日本製鉄(株)の一部となってしまったことは鉄道輪軸やタイヤの技術史を掘起して来た者にとってはやや残念である.

図 2-9 電動機直結駆動型タイヤミルによるタイヤの圧延

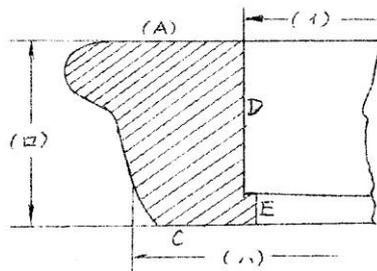




機械工学図集編集委員会編『機械工学図集 1 機械工作』技報堂，1952 年，25 頁，〔7〕②。

タイヤの機械加工要領は図 2-10、表 2-6 の通りであった。ちなみに、'30 年代後半の八幡製鐵所におけるタイヤ製造工程における除去加工で削り落される重量まで含めた総材料歩留りは 50~60%程度に過ぎなかった。

図 2-10 客貨車用タイヤの機械加工部位と加工精度



加工精度	
測定箇所	寸法 μm
(イ)	±0.3
(ロ)	+1.0 -0
(ハ)	+5.0 -2.0

玉置『鉄道車輛のタイヤ』155 頁，第 18 図。

表 2-6 客貨車用タイヤの工作要領

工程	機種	加工要領						
		加工部位	仕上符号	残留仕上代	切削工具	切込	送り	切削速度
1	アールレス 又は ターニング	A	▽▽	片側	#S1 HS 3	70	0.4	$\frac{7}{8}m$ 64 85
				0.5		$\frac{7}{8}m$	$\frac{7}{8}m$	
1	"	D	▽	30	#S1	10.0	0.4	64
1	"	E	▽		#S1	10.0	0.4	64
2	ターニング	C	▽		#S1	5.0	0.8	43
3	ボーリング アンドター ニング又は ボーリング	D	▽▽	0.1	#S1 HS 4	5.0	0.9	43 2.4
						0.5		

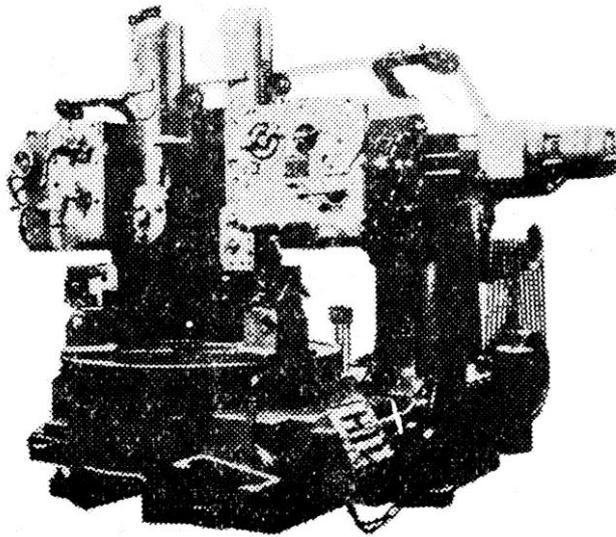
同上書，156 頁，第 4 および 5 表。

S1 は超硬合金チップ鋼切削工具用 1 号，HS3，-4 は臨 JES(臨時日本工業規格)の高速度鋼第 3 種，

同第4種か²⁶。

即ち、タイヤは①：内側面 A を正面旋盤または^{フェイスレース} 堅旋盤で粗旋削→仕上旋削され、②：内周面 D ならびにその肩部 E を^{ターニング} 堅旋盤またはタイヤ中ぐり盤と称する専用機で粗旋削された(図2-11)。もっとも、中ぐり盤とは名ばかりで、その実体はヘッドを2つ持つテーブル径が大きく送りの小さな専用堅旋盤であった²⁷。

図2-11 鐵道省濱松工機部製タイヤ中ぐり盤



日本機械学会『日本機械工業五十年』535頁，第28圖。

テーブル径 1,500mm，電動機 25kW。

次いで③：外周面 C が堅旋盤で旋削され、最後に、④：内周面 D を堅旋盤またはタイヤ中ぐり盤で仕上旋削された²⁸。

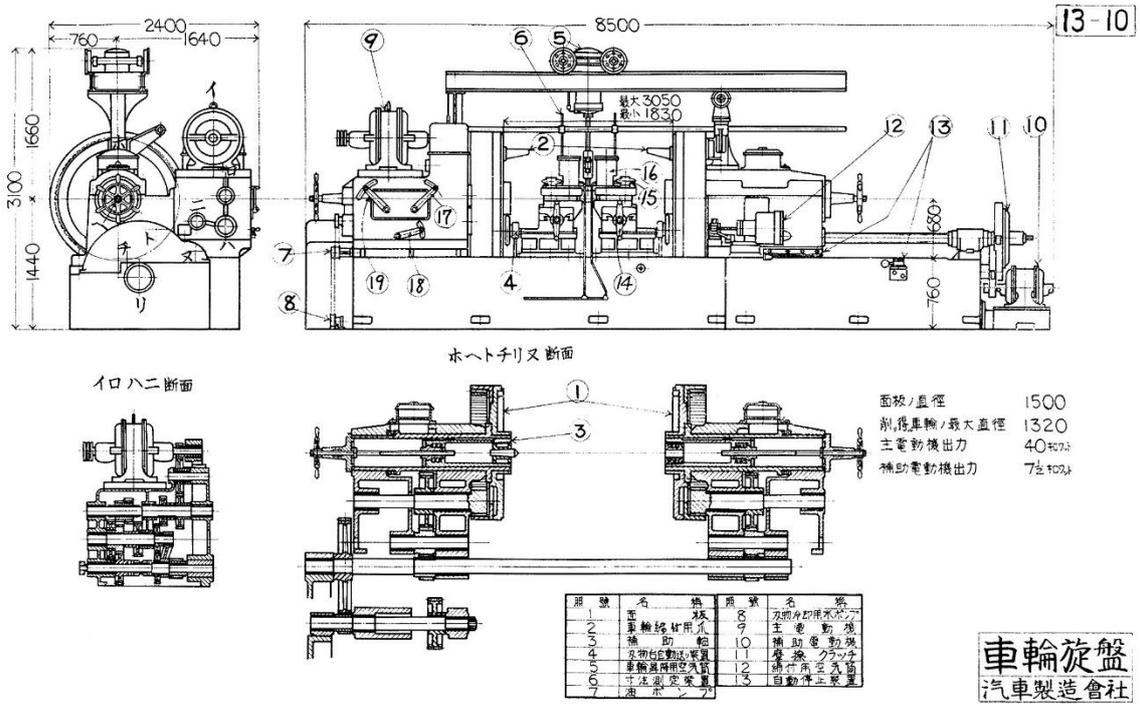
²⁶ 前者について、JIS H 5501 においては S1. # については不明。伊藤 鎮・川崎正之『機械工作法 下巻』日本機械学会 1952 年，334 頁，第 9・11 表，参照。高速度鋼の JIS 記号は SKH で第Ⅲ種，第 4 種は Co 高速度鋼で，これには甲乙(4A, 4B)があった。岡本正三・横田清義・佐藤忠雄・玉置正一・大和久重雄『機械材料〔金属編〕上巻』日本機械学会，1954 年，207 頁，第 2・77 表，参照。

²⁷ 1940 年，Schuess(独)の製品を参考に鐵道省が開発に成功，濱松工機部，大阪機械製作所(現・㈱オーエム製作所)で製造された 1,500mm タイヤ中ぐり盤については日本機械学会『日本機械工業五十年』1949 年，534~535 頁，日本国有鐵道編『鐵道技術発達史 VI 第 4 篇 車両と機械(2)』1958 年，1424~1428 頁，五十嵐修蔵『鐵道 100 年の技術——車両と機械の歩み——』工業調査会，1974 年，70 頁の写真 83，88~91 頁，参照。他に Niles(米)の製品を模したらしき 2,300mm 型が，小倉工機部，大阪機械で製作されたようであるが，東京瓦斯電氣工業(→日立精機)の関与を含め，その詳細については不明とせざるを得ない。

²⁸ 玉置『鐵道車輛のタイヤ』155~156 頁，参照。

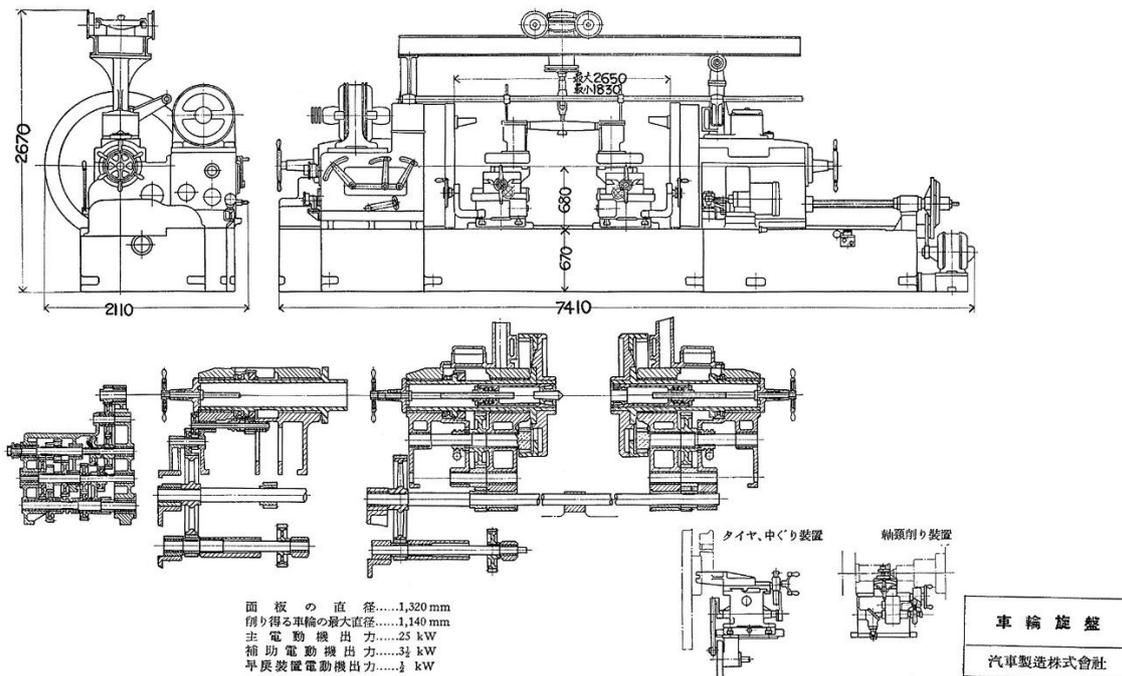
こうして出来上がったタイヤは輪心に焼嵌めされ、必要に応じて止め輪を施される。圧入による輪軸組立ての後、タイヤの踏面は上述の通り各種の車輪旋盤、動輪旋盤によって旋削された。以下には車輪旋盤 3 機種とを例示しておく(図 2-12~14)。

図 2-12 汽車製造會社製 1,320mm 車輪旋盤



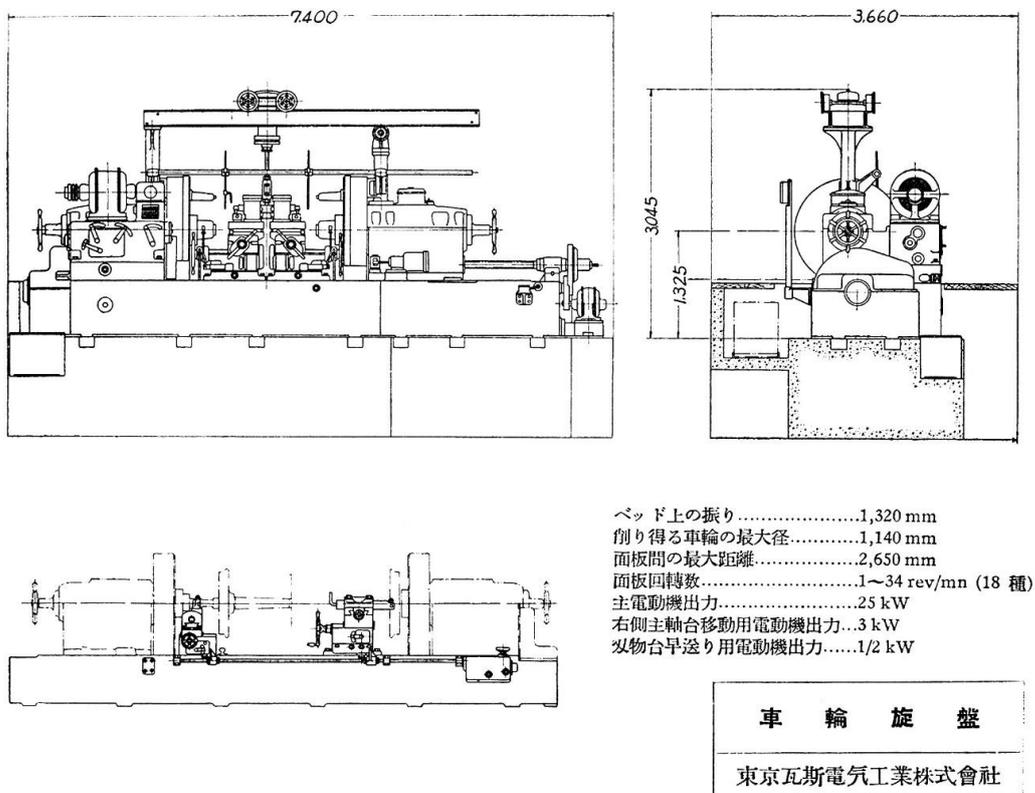
機械學會『國産機械圖集』13-10.

図 2-13 汽車製造會社(→川崎重工業)製 1,140mm 車輪旋盤



日本機械學會『改訂国産機械図集』1937年，218頁，より。

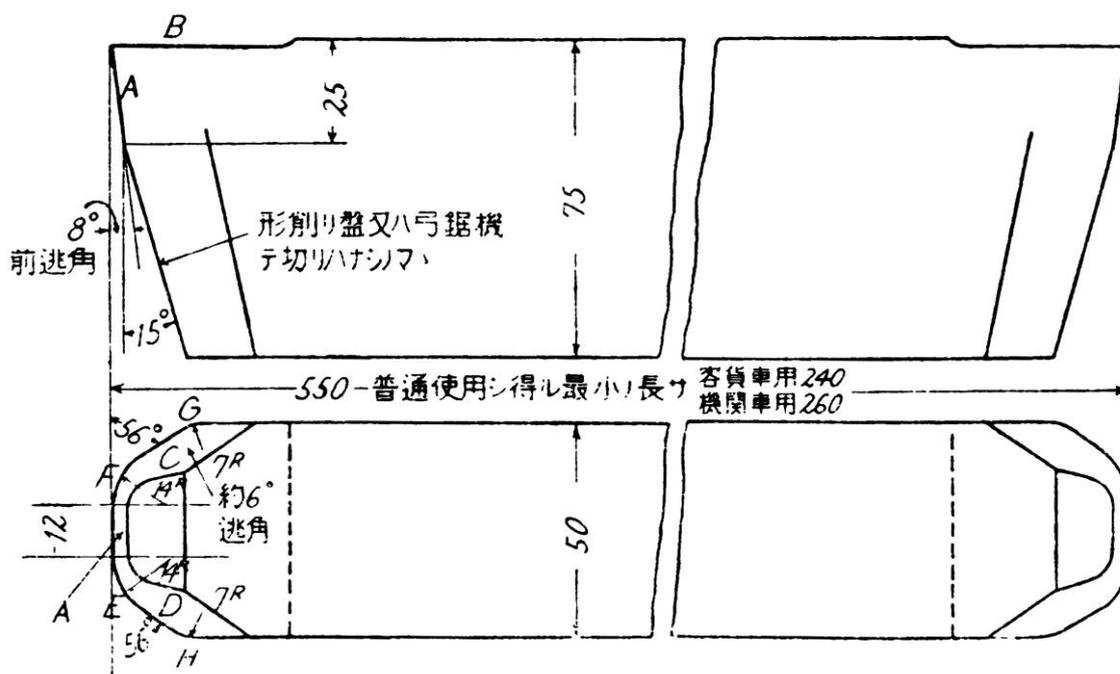
図 2-14 東京瓦斯電気工業(→日立精機)製 1,140mm 車輪旋盤



同上書，216頁，より(部分)。

鐵道省で車輪旋盤による客貨車用(機関車用も?)タイヤ旋削に用いられていたバイトについては 5%Co 高速度鋼製でその断面寸法 75×50mm にして使用開始時長さ実に 550mm, 両端に設けられた切れ刃の両肩がフランジとのフィレット部に合致した総形に成形されており, その間に幅 12mm の先端平行部を持つという特殊な粗削り用バイトについてのみ文献記述を見出し得た(図 2-15). これを何度も裏返しに研ぎ直しながらその全長が 240mm になるまで使い続けたとある²⁹.

図 2-15 鐵道省使用の客貨車外輪粗削り用バイト



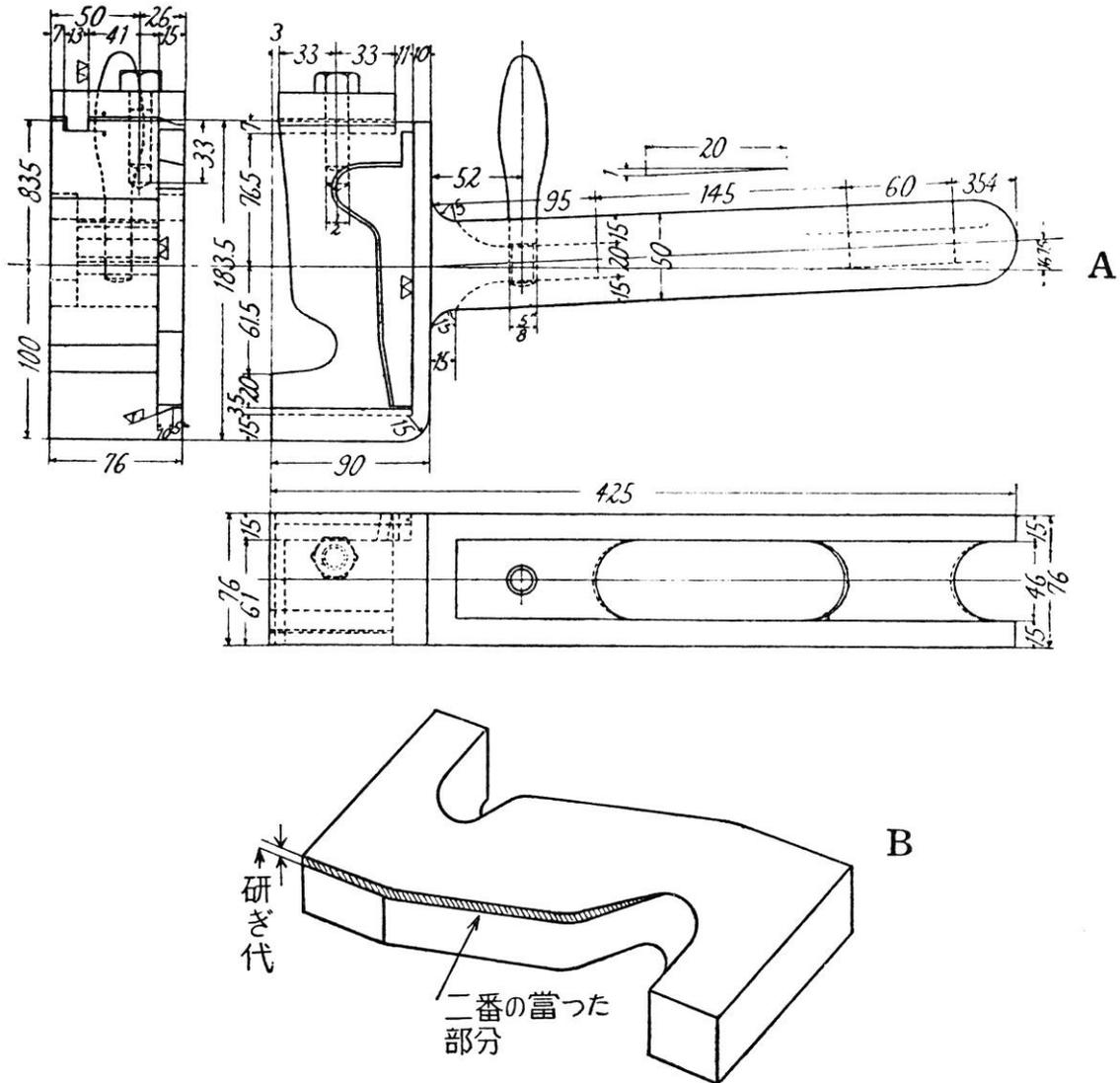
山口貫一『刃物及其熱処理』13頁, 第20圖。

客貨車用タイヤ仕上げ旋削バイトとしては図 2-17 のような総形バイトである“S”型の挿込刃が専用シャンクとともに使用されていたようである。両サイドのプロフィールが切れ刃をなすが, 逃げ角を取っているため裏返しには使えなかった。B の斜線部が逃げ面の摩耗部となるため, 全体を Blanchard 研削盤のような平面研削盤で研いで切れ刃が再生された。特に, シャンクの軸に平行に近い切れ刃部に大きな逃げ角を与えると平面研削した際に切れ刃全体のプロフィールに変化を来してしまうため, 逃げ角はほどほどに抑えて研ぎ直しを頻繁に行うことが「賢明な策」とされた³⁰。

²⁹ 山口貫一『刃物及其熱処理』共立社 實用機械工學講座・工作編, 1934年, 12~16, 99, 102頁, 参照。

³⁰ ドイツで使用されていた鉄道車両用タイヤ踏面仕上げ旋削用 2重倣いアタッチメントについては拙稿「エンジンと工作機械との物語」(→IRDB), 図IV-2-1の辺り, 参照。

図● 鐵道省で用いられていた客貨車用タイヤ仕上げ旋削ようバイト

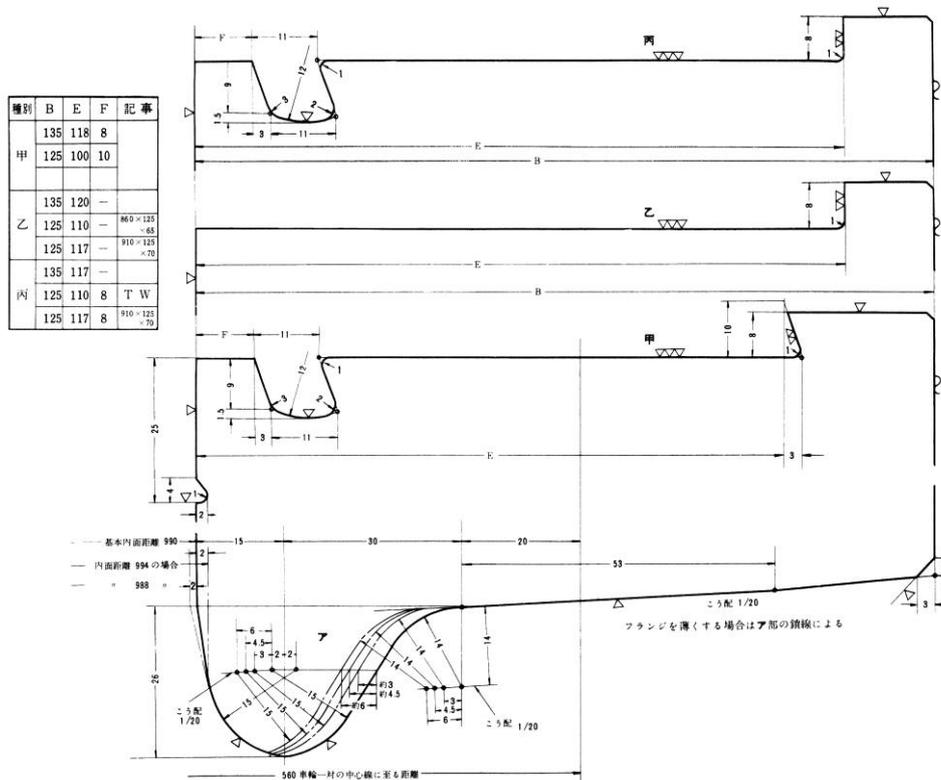


山口貫一・堀 謙作『旋盤仕事』共立社 實地工作法講座，第一卷，1935年，15頁，第29圖。

鐵道省~国鉄におけるタイヤの基本断面は図 2-17 の通りであった。タイヤフランジへの火炎焼入れについては上述の通りである。なお、図 2-17 の「甲」の内側面、フランジの上に見られ、無論「乙」，「丙」にも存在する 4mm 幅の窪みは円周溝をなしており、踏面と内側面に専用のゲージを当て、▽記号の付けられた加工面にてフランジ残厚を計測するための基準溝となっていた³¹。

³¹ タイヤ厚さ・フランジ・ゲージとその使用法については広重『輪軸』120頁，高速車両用輪軸研究委員会編『鐵道輪軸』丸善プラネット，2008年，215~216頁，参照。なお，当然ながら現在，このゲージは単にフランジ・ゲージと呼ばれている。

図 2-17 鐵道省~国鉄におけるタイヤの基本断面(昭和 18-10-27, タイヤ断面形状 AD 66238)



機械工学図集編集委員会編『機械工学図集 4 交通機械』技報堂, 1955 年, 102 頁, ⑧³².

なお、鉄道車輪には以上に観た焼嵌めタイヤ付き車輪以外にタイヤを持たない一体鍛鋼車輪、一体鋳鋼車輪、チルド鋳鉄製一体車輪といった製品類型が開発、使用されており、この国とも縁を結んでいた。ここでは先ず、図 2-18 として最後のモノ、それもアメリカの製品ではなく、れっきとした国産品の広告を掲げておく。当該のチルド鋳鉄製一体車輪はランクの低い地方鉄道、軌道、専用線の車両やトロッキ等に使われていたものと考えられる³³。

遺憾ながら、その製造元である畠中工場については浅学にして多くを知り得ぬが、チルド車輪等を扱った畠中工場の広告としては 1909 年のものが確認されるので、この製品について同社には少なくとも 4 半世紀程度の製造実績があったことになる。因みに、そこには「創立廿六年」とあるから同社の創業は 1883 年に遡るといふ計算になる³⁴。

図 2-18 畠中工場製国産チルド鋳鉄車輪の広告

³² 玉置『鉄道車輛のタイヤ』11 頁, 第 3 図(2)もほぼ同じ。

³³ 一体鍛造車輪や一体鋳鋼車輪、チルド鋳鉄車輪についても前掲拙稿「20 世紀前半アメリカの鉄道輪軸について(1/2)」, 参照。

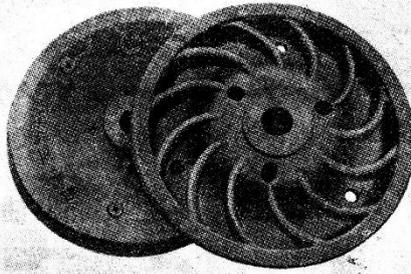
³⁴ 東京機械陳列所『機械案内』明治四十二年十二月, 参照。

チルド[®]H車輪

絶対ニ舶來品ヲ要シマセヌ

○主ナル特徴

チルド部分ノ硬度ト靱度ガ車輪ノ大小ニ應ジテ一定シテ居リマスカラ非常ニ永ク御使用ヲ耐エルト同時ニ軌條ヲイタメル心配ガアリマセン。
チルド部分ノ深サガ極メテ一様デアリマスカラ片ベリガイタシマセンノ上ニ靱性抗張力及ビ耐摩性ニ富ンデ居リマス。
トロ用車輪ハ輕量車輪デヨク重荷ニ耐エル事ガ出來マス。
價額モ低廉デアリマスカラ從ツテ全ク經濟的ト存ジマス。



上圖は電軌及鐵道用大型車輪を示す

○弊所發賣ノモットー

創業以來四十年ノ貴重ナ經驗ト最新ノ學術的研究トニヨリ益々優良ナ製品ヲ安價ニ廣ク内外市場ヘ供給スル事デアリマス。
各用途ニヨリソレゾレ好適ノ車輪型大小多種持合セテ居リマス。

營業科目

鐵道、軌道、鑛山、炭坑、土木索道、起重機、搬送器用各種、チルド車輪車軸
碎石用齒板胴板、其他高級鑄物類、運搬車、橫轉車並ビニ鐵道用品製造

島中工場

東京市芝區三田豊岡町二番地
十四番地
電話三田(45)0658, 0659

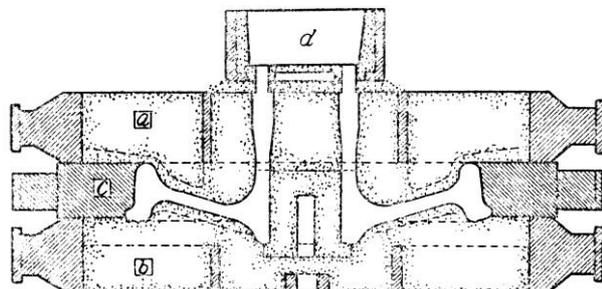
○型錄贈呈

機械學會『機械學會誌總索引第壹輯』1933年、卷末広告11頁。

チルド鑄鉄とは型の一部に冷し金(chiller ないし chill)を用いて局所的に溶湯の冷却凝固を促進し、その部分を硬いセメントタイトに富む白銑化させた鑄鉄である。チルド鑄鉄車輪の鑄造方案については同じく「国産」品として南滿洲鐵道(以下、本文中では滿鐵)のそれに関する情報を紹介しておく。滿鐵における進取の気風を現す一つのアイテムたるチルド鑄鉄車輪はそれ自身の鐵道工場、恐らくは大連の沙河口工場で製造されていた。その平均寿命は40ヶ月と公称されており、まずは立派な耐久成績であった。

滿鐵製チルド鑄鉄車輪の鑄型縦断面を図2-19に示す。[a]、[b]は共に砂型であるが、乾燥させて水分を飛ばした乾燥型が用いられていた。[c]がチルド部を成形するための環状金型、つまりチルドである。

図 2-19 満鐵チルド車輪の鑄型



a=上型 b=下型 c=金型 d=湯溜箱

谷口光平『チルド鑄物』共立社 實用金屬講座 材料編, 1937年, 27頁, 第36圖.

18 個単位で鑄造された後, 赤熱状態のチルド車輪群は煉瓦貼りの焼鈍ピット内で 3 日をかけて十分に焼鈍された. 装入時のピット内温度は 600°C, 取出し時のそれは 200°Cであった. この焼鈍によって製品の耐久力は大幅に向上せしめられた.

表 2-7 は満鐵製およびアメリカ製チルド車輪の化学成分, 表 2-8 は満鐵工場における原料配合の一例を示す.

表 2-7 チルド車輪の化学成分

製造所名	化 學 成 分 (%)				
	C	Si	Mn	P	S
満鐵鐵道工場製	3.49	0.84	0.70	0.134	0.069
〃	3.55	0.82	0.59	0.132	0.078
〃	3.52	0.73	0.41	0.100	0.062
〃	—	0.61	0.54	0.100	0.091
〃	3.80	0.79	0.59	0.160	0.079
米 國 製	3.80	0.51	0.54	0.238	0.095
〃	3.43	0.45	0.64	0.252	0.098

同上書, 27~28頁, 第8表.

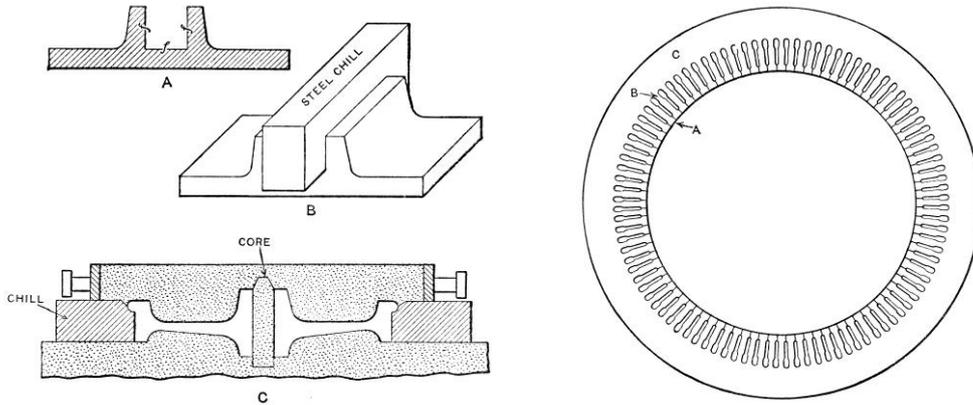
表 2-8 満鐵チルド車輪の原料配合の一例

原料の種類	配合割合(%)	原料の種類	配合割合(%)
鞍山平爐銑 (Si 1.5%)	15	軟 鋼 屑	5
〃 低珪素銑 (Si 0.9%)	15	マ ン ガ ン 鐵	4 kg/吨装入
古 車 輪 屑	65		

同上書, 28頁, 第9表.

他方、本家、アメリカにおける鑄造方案の一例を尋ねれば図 2-20 の如くであった。左図上は普通の冷し金を用いる機械部品鑄造に係わる図解である。

図 2-20 アメリカにおけるチルド鑄鉄車輪の鑄造方案



左 : *Machinery's Cyclopeda with 1929 Supplement*. Vol.II, p.99. 右 : *ditto.*, Vol.IV, p.422 Fig.30.

アメリカにおけるチルド車輪鑄造用の上型と下型も砂型であったが、乾燥型ではなく生型であったようである。環状チルには 2 通りあり、一つは滿鐵のその原形に当る 3~4 インチの厚みを持つムクの金属環であった。ここに示したのは今一つの方式、即ち“収縮チル”である。これは溶湯の凝固・収縮を追いかけるようにその内径を収縮させ、ワークの収縮に追隨して接触を保つことによってその熱を逃し続けさせようとする趣向であった。この“収縮チル”については幾つもの特許が取得されていた。本図はその一つで、A に触れた溶湯の熱によりバーB が熱膨張し、A の表面は内方に押し出される。C にはムクである場合もその内部を空洞とし冷却水を巡らせる場合もあったが、何れにしても C の直径は膨張せず、A の連なりによって構成される内周面の半径が縮小せしめられるというところがミソであった。

3. 焼嵌めと締め代比

1) 戦前～戦時期, 欧米と鐵道省の例

タイヤ内径を d , 輪心外径を D とすると ($D > d$), 焼嵌めてから常温に復した時, タイヤは $\pi(D-d)$ だけ伸び, 外せば元に戻る……即ちタイヤの伸びはフックの法則に従う弾性限度内での現象とならねばならない. 実際には輪心外径 D に縮みを生ずるが, その値は小さいので単純化して考える場合にはこれを無視する.

材料の縦弾性係数を $E(\text{kg/mm}^2)$, 応力を $F(\text{kg/mm}^2)$, 単位長さ当りのひずみを σ で表せば $E = F/\sigma$ となる. タイヤ焼嵌めの場合, その自由状態における内周長さを $L(\text{mm})$, その伸びを $l(\text{同})$ としてひずみを表せば:

$$E = F/l/L = FL/l$$

つまり:

$$F = E l/L$$

l/L を D と d とを以て表現すれば:

$$F = \pi E(D-d)/\pi D = E(D-d)/D$$

よって:

$$(D-d)/D = F/E$$

となる.

上述の通り $(D-d)/D$ を締め代比と称する. 材料の特性 E が等しければ, 大きな応力 F を働かせたければ締め代比を大きく取らねばならない. また, 締め代比は D や d の絶対的大きさそのものとは無関係に定義される. なお, 恒温室など存ろう筈もないが, 作業現場の温度が 30°C 相違すれば締め代比にして $0.35/1000 D$, つまり, 鐵道省~国鉄標準値の 35% などという甚大な差を生ずるものと認められていたから, この点でもかなり現場の技能に依存する作業実態があったと推定するしかない³⁵.

続いて, タイヤ焼嵌め時代における具体的な焼嵌め代ないし締め代比に係わる問題に目を転じよう.

イギリスでは材料力学の理論などものは, St., H., Moore の式なる経験式が適用されていた³⁶.

$$\text{即ち } \text{締め代比} = (17/16 D + 12.5) \cdot 1/1000 D$$

これを鐵道省の機関車動輪に適用すれば:

外径 1250mm の動輪の輪心外径は約 1094mm であるから, 締め代比は約 $1.074/1000$

外径 1400mm の動輪の輪心外径は約 1244mm であるから, 締め代比は約 $1.073/1000$

外径 1750mm の動輪の輪心外径は約 1594mm であるから, 締め代比は約 $1.070/1000$

となる. これでは小径になるほど締め代比が大となる勘定であるが, 事実上, イギリスにおけるタイヤ締め代比は $1.07/1000$ という一定値であったと観て差支えない.

³⁵ 温度差に因る偏移については玉置『鐵道車輛のタイヤ』164 頁, 参照.

³⁶ 玉置同上書, 168 頁, 参照.

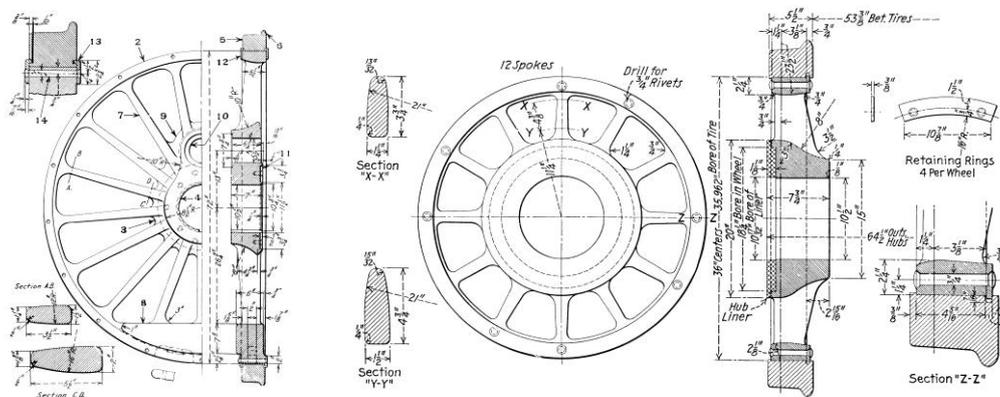
アメリカにおいては1907年、タイヤの焼嵌め代に係わるA.R.A.標準が制定された。これに拠れば、直径66in.(1676.4mm)未満の鑄鉄および鑄鋼製輪心については直径1ft.につき $\frac{1}{80}$ in.=締め代比 $\frac{1.042}{1000}$ 、直径66in.以上のそれについては直径1ft.につき $\frac{1}{60}$ in.=締め代比 $\frac{1.389}{1000}$ と、イギリスと較べ、小径輪心に対しては緩く、大径輪心に対してはきつい焼嵌め代となっていた³⁷。

この'07年のA.R.A.標準は'33年、若干改訂された。新たに制定されたA.A.R.標準は外径38in.(965.2mm)の輪心に対して直径1ft.につき $\frac{1}{80}$ in.、即ち、締め代比 $\frac{1.042}{1000}$ 、外径90in.(2286mm)の輪心に対して直径1ft.につき $\frac{1}{60}$ in.=締め代比 $\frac{1.389}{1000}$ とし、この両端の間ではリニアに増減させる、という内容となっていた³⁸。

一般に直径の大きな車輪は輪重も固定軸距も大きいから、走行中、そのタイヤは大きな転圧力と転向横圧とに苛まれる。それ故、車輪径と締め代比とを相関させる所作には合理性が認められる。先・従輪や炭水車車輪がタイヤ付きである場合、車輪ないし輪心外径は36in.(914.4mm)が相場であったから上の標準は概ね機関車の動輪に係わる規格と観て良い。

なお、巷説には反するが、'41年時点においてはアメリカの蒸気機関車動輪にもこれを止め輪付きとする例が存在していた。動輪以外の機関車々輪には一体式とタイヤ付きとがあり、こちらもタイヤ付きの方では純・焼嵌め式と止め輪付きとが混在していた(図3-1)。

図3-1 '41年当時のアメリカにおける止め輪付き蒸気機関車々輪



動輪(疑似マンセル止め輪付き)

従輪(図1-7様の止め輪付き, Alco製)

動輪 : *Locomotive Cyclopedia of American Practice*, 1941, p.682 Fig.8.150. 従輪 : *ditto.*, p.724 Fig.8.291.

タイヤ付き先・従輪における締め代比については遺憾ながら不明とせざるを得ない。なお、'30年代後半からは電気機関車やディーゼル機関車が台頭して来るが、趨勢としてこれらの領域では純・焼嵌め式車輪が幅を利かせていたようである³⁹。

³⁷ cf., *Locomotive Cyclopedia of American Practice*, 7th., ed., N.Y., 1925, p.588.

³⁸ cf., *Locomotive Cyclopedia of American Practice*, 10th., ed., N.Y., 1938, p.643, 11th., ed., N.Y., 1941, p.681.

³⁹ cf., *ditto.*, 1938, p.653, 1941, p.687, Advertisement of Alco Railway Steel Spring Div..

ドイツ国鉄では Hütte に依拠する $1/1000$ の焼嵌め代が採用されており、わが鐵道省においてもドイツに倣って $1/1000$ の焼嵌め代が導入された⁴⁰。

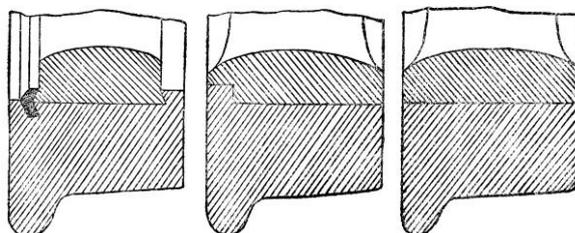
この締め代比ではタイヤとリムの接合面との温度差が中央部で 80°C に達すれば締め代が失われる。タイヤ嵌め合い面側の温度が 180°C に達するとこの温度差を生ずるため、制輪子圧力は温度面から規制されねばならなかった⁴¹。

なお、タイヤの伸びや輪心の収縮・変形に因って弛緩を生じたタイヤについては締め直しを施したり新品ないし別の旧品タイヤへの交換がなされたりしたが、締め直しや旧品の転用に際してはライナと称する機関車用で厚さ $0.2\sim 2.0\text{mm}$ 、客貨車用は同 $0.2\sim 1.6\text{mm}$ の磨き帯鋼板製ストリップを 3 片以下、1 重に挿入し緊締力確保を図る弥縫策が執られた⁴²。

2) 滿鐵の例

井口祐太はその著書に「外輪取付部の断面」として図 3-2 を掲げている。左は省基本形、中・右は純・焼嵌めである。焼嵌めと締め代比について彼は「將外輪之内徑小約輪心外徑之 $1/800$ 乃至 $1/1000$ (此内徑之差謂 Shrinkage^{シリンケージ}) 以爐加熱至約 150°C 乃至 200°C 使之膨脹嵌入輪心」と述べている。 $1/800$ なら $1.25/1000$ であるから滿鐵における外輪締め代比は $1/1000\sim 1.25/1000$ であったということになる⁴³。

図 3-2 滿鐵におけるタイヤの取付け様式



井口祐太(姚寶琦 譯)『袖珍機關車圖解』私家版、大連、1938 年、188 頁、第 125 圖(番号消去)。

1938 年と言えは恰も 161 両の C51 が改軌の上、大陸に供出された年回りに当るが、同書 186 頁の「第 124 圖 動輪」として省基本形、即ち「外輪止輪」付きの小径動輪が掲げられている事に鑑みれば、図 3-2 左は供出 C51 関連情報ではなく、巷説に反し、従前より内地製あるいは欧州製の車両ないし輪軸の中に省基本形外輪取付法を採る個体が存在してい

⁴⁰ cf., R., Garbe, *Die Dampflokomotiven der Gegenwart*. 2. Aufl., Berlin, 1920, S.352.

⁴¹ 『新訂増補 機關車の構造及理論 中巻』158 頁、F., Meineke und Fr. Rohrs, *Die Dampflokomotive Lehre und Gestaltung*. Berlin, 1949, S.406, 『機関区従事員必携』306 頁、玉置『鐵道車輛のタイヤ』168, 243~259 頁、広重『輪軸』329~333 頁、参照。

⁴² 玉置『鐵道車輛のタイヤ』164~165, 179~180 頁、広重『輪軸』153~155 頁、参照。

⁴³ 井口は鐵道省勤務後、渡満し大連鐵道教習所講師、哈爾濱鐵道局運轉事故主査等を歴任した技術者。なお、井口『改訂最新 蒸氣機關要義 全』私家版、大連、1940 年、250 頁にも第 162 圖として本図と同じモノが掲げられ、同じ説明が日本語で付されている。

たことを示す情報として理解される方が自然であろう。この仮説はやがて証明される。

さて、この $1/1000 \sim 1.25/1000$ なら左程、驚かされるような締め代比でもないが、ほぼ同時期、1941年に印刷された満鐵、蘇家屯機関区技術者の筆になる内部資料にはこれとは全く異なる値が理論的説明ならびに機関車型式別のデータと共に掲げられている。恐らく、こちらの方が新しい情報ではあろう⁴⁴。

そこには、満鐵においてタイヤ鋼は $E = 2,100,000 \text{ kg/cm}^2$ 、弾性限度内の F は抗張力の $1/2$ 程度であるが安全性を考慮して F の $2/5$ とされていたため、抗張力 85 kg/mm^2 に対して $F = 34 \text{ kg/mm}^2$ として扱われていた。従って、締め代比は $(D-d)/D = F/E$ より $34/2,100,000 \doteq 1.62/1000$ となる。満鐵におけるタイヤ締め代比は新品の輪心を用いる場合にはこの値を基準とする設定となっている、とある⁴⁵。

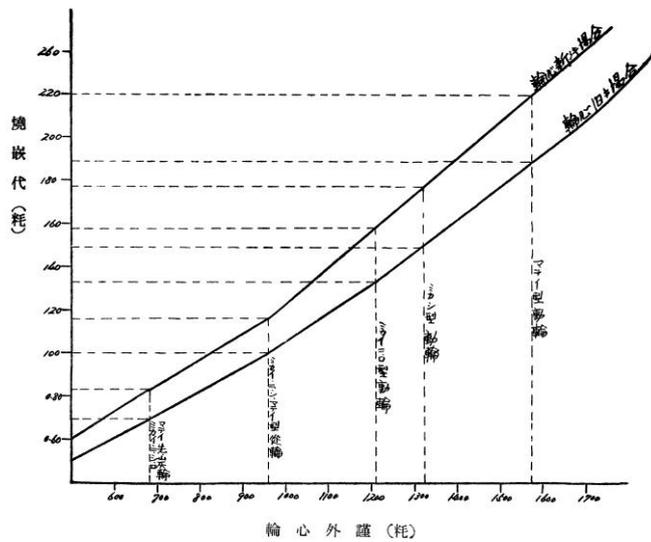
これは極めて大きな締め代比である。そして、これを一例として具体化したのが図 3-3 に示される実用値で、アメリカ流に輪心外径にほぼ相関するような格好で焼嵌め代が大きく設定されており、実際に急行貨物機マテイ(2D1)の 1750mm 動輪で新品輪心の場合には 1.65%程度、旧品輪心に対しては 1.19%程度とされていた。マテイ以外の型式の動輪における新品輪心に対する締め代比は 1500mm 動輪・重軸重のミカシ 1.34%、1370mm 動輪のミカイ他 1.30%とやや低め、旧品輪心に対してはミカシ 1.24%、ミカイ他 1.09%となっていた。なお、ミカロの従輪について不記載の理由は不明である。

新しい輪心を使用する際に焼嵌め代が大きくなっているのは輪心の変形(直径縮小)分が考慮に入れられた結果である。古い輪心においては変形が既に出尽くし、加工硬化が終った状態にあるためこの割り増しは計上不要となったワケである。

図 3-3 1941年当時の満鐵貨物用機関車々輪におけるタイヤ焼嵌め代

44 蘇機區技術「研究會での拾ひもの(其ノ一)」より今村國光「第一題 機關車外輪焼嵌めに就て……」奉天鐵道局輸送課『驀進』第六卷 第一號(通卷 56 號), 1941年4月, より。

45 縦弾性係数は応力と弾性域における歪みとの関係を表す比例定数であるが、一般に応力-ひずみ曲線の直線部分を外挿し、材料の降伏や破壊とは無関係に 100%ひずみが得られるところの応力として表される。その一例である $2,100,000 \text{ kg/cm}^2$ というのは 21 t/mm^2 という法外な値であるが、この材料で造られた断面積 1 mm^2 、長さ 1000 mm の針金に 21 kg の錘を吊るせば針金は 0.1%伸びて 1001 mm になる、と言えはその現実的意味が理解されよう。



備考 1 輪心新シキ場合ノ焼嵌代ハ舊シキ場合ニ對シ平均 0.2 耗ヲ増加
2 輪心 50 耗心部ニテ測定公定燒嵌代 10 分ノ 1

今村國光「第一題 機關車外輪焼嵌めに就て……」第一表. 縦軸の小数点に注意.

滿鐵の機關車用スポーク輪心をアメリカの対応物と較べれば強度的にやや弱体であったかと想われるが、輪心径を考慮に入れて締め代比を変えるのは純然たるアメリカ的手法である。アメリカの流儀を真似るには工作技術の管理にそれなりの水準を要すると考えられる。それを可能にしたのは進取性と並んで滿鐵が難度の高い、あるいは面倒な修繕業務を大連(沙河口)工場に集中させていたためではないかと想われる⁴⁶。

それ故、井口の値と今村の値との間に折合いを付けることは出来なくもない。即ち、井口の値は新製ではなく修繕におけるそれである、締め代比と動輪径とは概ね相関せしめられており大動輪の D 型機の場合、特に大きな値が指定されている……といった理解である。残念なのは大動輪を有する C 型機についてのデータが一切、提示されていないことである。

また、今村に拠れば、焼嵌めの緊締力(締め)はタイヤと輪心という両円筒の接触面における相互圧力であるから、その計算は中空円筒をなす圧力容器胴部の殻に作用する応力を扱う場合と同じになる。内径 D 、長さ L の円筒をその軸を含む平面で両断した時、殻の 2 断面に働く力 P は内圧を P とすれば：

$$P = DLP$$

材料の抗張力を F 、殻の厚さを t とすれば、殻が耐え得る力 P_1 は：

$$P_1 = 2FtL$$

となり、 $P = P_1$ 即ち $DLP = 2FtL$ となった時、材料は破壊に至る。この時には：

$$P = 2Ft/D$$

焼嵌めなら P 即ち内圧が緊締力に当る。滿鐵の設計において F は抗張力の 40% に取られ

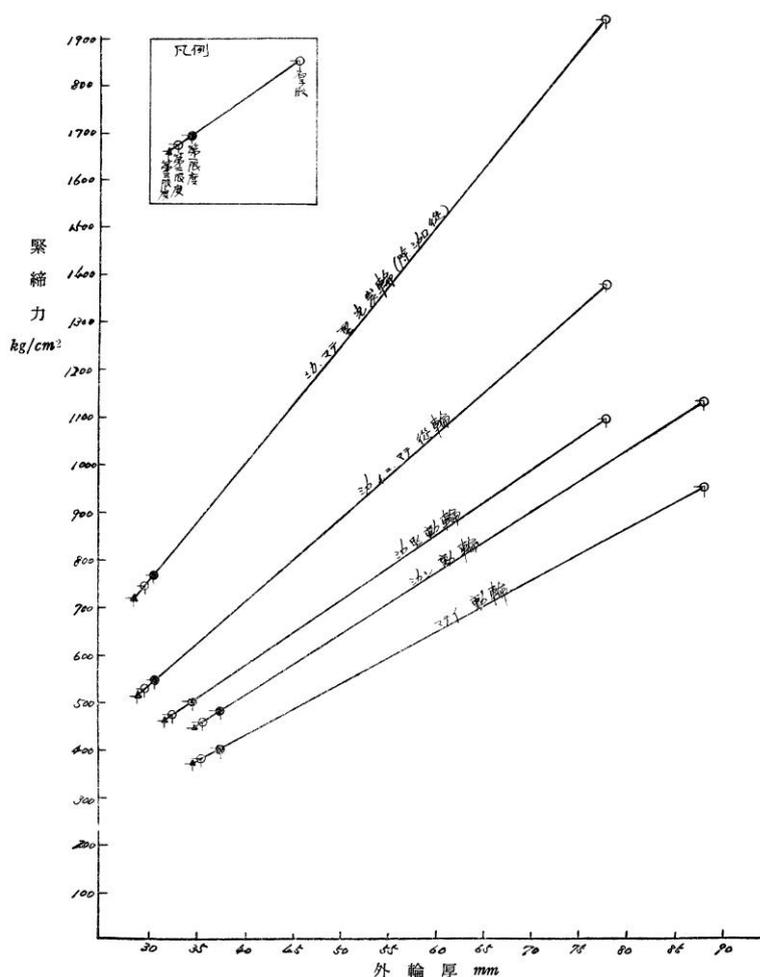
⁴⁶ 滿鐵は沙河口の他、遼陽、公朱嶺、安東の車両工場を擁していたが、それらの能力と沙河口のそれとの間には大きな懸隔があったと考えられる。

ていた。これは定数扱いとなる。ある機関車を前提にすれば D もまた定数である。因って、焼嵌めの緊縮力 P はタイヤの摩耗に起因する厚み t の減少に比例して低下することになる。

満鐵の機関車におけるその具体描像は図 3-4 に示される通りであった。ここでもミカロの従輪は埒外とされているが、その理由は不明である。

とまれ、情報の出所と具体性とを考慮すれば、成熟期の満鐵においてはかような考え方に準拠して純・焼嵌め法ないし“Shrinkage & Shoulder”式の機関車タイヤ固定法が実施されていたと判断して大過無いと考えられる⁴⁷。

図 3-4 1941 年当時の満鐵貨物用機関車々輪におけるタイヤ厚と焼嵌め緊縮力との関係



今村「第一題 機関車外輪焼嵌めに就て……」同上，第二表。

「但し標準焼嵌同一焼嵌代ニ於ケル」と附記されている。

⁴⁷ 今村，同上論文，より。注記は前表に掲げられた標準値で，との謂いであろう。やがて観る満鐵の同時代資料においても止め輪の採用が確認出来るタイヤは旅客用機関車パンシの動輪と特急アジア客車々輪のそれのみであった。

4. タイヤ損傷の諸類型(1) 踏面損傷と弛緩

概況

その原因探求の可否ないし成否は別にして、踏面損傷は事象そのものについては大方、視認可能である。大方、というのには中に隠れていて削正時に姿を現す損傷例もあるからである。但し、これに対しては“知らぬが仏”を地で行かざるを得ない。同様に、弛緩もタイヤに付けられた目印がズレていたりテストハンマで叩けば濁音を発したりするから五感で直ちに判定可能である。

厄介なのは踏面に生じた疵の分類と原因探求である。材料に係わる全般的強度不足や気泡、砂疵等の局所的欠陥、圧延工程で生じた疵や熱管理の不行届き(過熱や急冷)に因る全体的ないし局所的な組織変性といった使用前から伏在した謂わば先天的欠陥に起因する損傷も多発したが、それらの諸要因と何ほどかの係わりを持ちつつ、使用過程においては様々な損傷が生じた。しかも、これらの踏面損傷には区々な分類概念が貼り付けられていた。玉置と広重によるそれをラフに対応付けつつ併記すれば表 4-1 のようになる。

表 4-1 踏面に後天的に生ずる損傷

玉置	広重
ブレーキバーン(焼割れ)	熱きれつ(フランジ切れ)
	熱ひびわれ(ブレーキ・バーン)
踏面破碎	片状はくり(Spalling)
剥離	三日月きず
踏面拡がり	
滑り平面(スキッド)	フラット(スキッド)
	スキッドはくり
踏面築上	かぶさり
	溶着
早期摩耗, 片減り	
シェリー・クラック(表面下疵, 黒裂)	疲れはくり(Shelling)

玉置『鉄道車輻のタイヤ』313~325頁, 広重『輪軸』336~342頁, 参照。

ブレーキ・バーンは過剰な制動に起因する表面の過熱→脆化であり微小亀裂発生の元となる。破碎や剥離は表面の部分的な欠けや剥がれであるが、その要因や態様は勿論、一通りではなかった。逆に、同じような写真に異なった損傷名が与えられている場合があつて始末が悪い。それかあらぬか、横きず、縦きず、網目状きず、斜めきず、その他きず、などといったシンプル極まる名称が用いられる場合もあつた⁴⁸。

⁴⁸ 工作局修車課『タイヤきず写真』[9A-5(附録)], 1960年3月, 参照。本編については未見。

スキッド(フラット)系のトラブルは車輪ロック状態での滑走に因るあれこれの損傷である。シェリー・クラックは重軸重の D52 が運用され始めた戦後、動輪タイヤとレールとに生じた損傷であるが、総じて蒸気機関車の軸重が大きく直径の小さい車輪とこれに踏みつけられるレールとに出易かった。電気機関車やディーゼル機関車のみの走行線区においてはその発生を観なかった⁴⁹。

何であれ踏面に生じた異状が発覚すれば、問題の緊要度に応じて定期修繕や臨時修繕の対象となり、削正や締め直しが、鐵道省の場合なら同一タイヤについて 2 度まで行われた。後者はタイヤを焼抜き、適当なライナを使用して再度、焼嵌める所作で、勿論、この際に新品への交換が行われる場合もあった。

もっとも、それらは自動車タイヤのパンク修理や摩耗・交換の如く、謂わば日常的修理であり、それだけでは重大損傷とは呼ばれないし、また、そこから重大事故には至らぬのが普通である。運輸事業者としては当然ながら統計データの類も採っていたのであろうが、残念ながら統計にせよ分析にせよ、左程の熱意を以て発表されていなかったことだけは確かなようである。

管見による限り、戦前期の国有鐵道に係わるタイヤの踏面損傷・弛緩状況を体系的に捉えたデータは参照出来ていない。むしろ、わが鐵道省においてはタイヤの踏面損傷や弛緩に係わる系統的な資料収集や分析をこととする報告書の類など、凡そ編纂されていなかったのではないかとさえ訝られる。

そこで、以下においては参照可能であった戦前期、満鐵における踏面損傷事例、戦後、国鉄における踏面損傷事故ならびにタイヤ弛緩に関するデータの順に概観を試みる。但し、満鐵の資料は重大損傷事故に力点を置くものであっただけに、軽微な踏面損傷についての情報量は誠に少ない。

1) 満鐵におけるタイヤ表面損傷事故

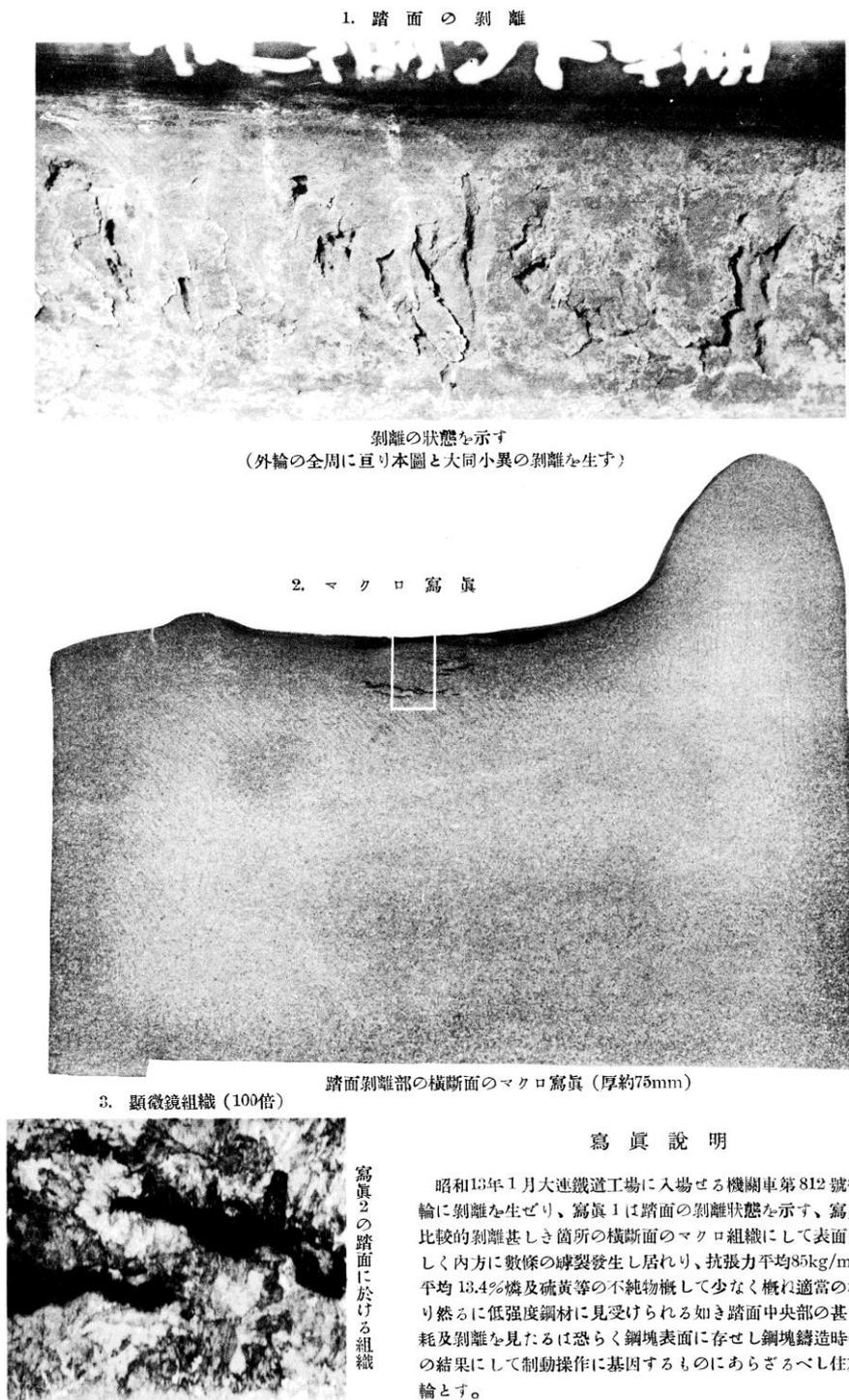
図 4-1 は踏面剥離を生じた国線用パン(パシロ)第 812 號の従輪タイヤの踏面写真ならびに横断面マクロ写真である。タイヤは住友製で厚さは十分残っており、試験片を採取して行われた抗張力、伸びの測定値も比較的良好であったため、損傷の原因は局所的な材料欠陥と推定されている⁵⁰。

⁴⁹ 以上についてより詳細な事蹟や文献参照箇所については戦後の国鉄における踏面損傷を扱う処で取上げる。

⁵⁰ 井上愛仁『毀損せる鐵道車輛鋼製部分品の破面寫眞及其の説明』南滿洲鐵道(株)鐵道總局, 1939 年, 71~75 頁, 参照。井上は満鐵鐵道技術研究所調査役。

なお、マクロ写真とは被検面を平滑に研磨してから 30~50%「塩化銅アンモン」(塩化第二銅アンモニウム: $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{NH}_4\text{Cl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ か?)水溶液中に 5 分程度、浸漬して表面をエッチングし、タワシを用いて水洗いする所作を必要に応じて繰返し、表面のマクロ組織、即ち偏析や樹枝状組織を肉眼ないし拡大鏡で観察し、これと損傷との係わりを探求するための検査ツールである。玉置『鐵道車輛のタイヤ』340 頁, 参照。

図 4-1 踏面剥離を生じた国線用パシ(パシロ)第 812 號の住友製従輪タイヤ



井上『毀損せる鐵道車輛鋼製部分品の破面寫眞及其の説明』74頁、第47圖。

図 4-2 はその炭水車々輪タイヤについての同様な図解である。やはりタイヤは住友製で、その抗張力、伸びの測定値は良好で、損傷原因は局所的な材料欠陥と推定されている。

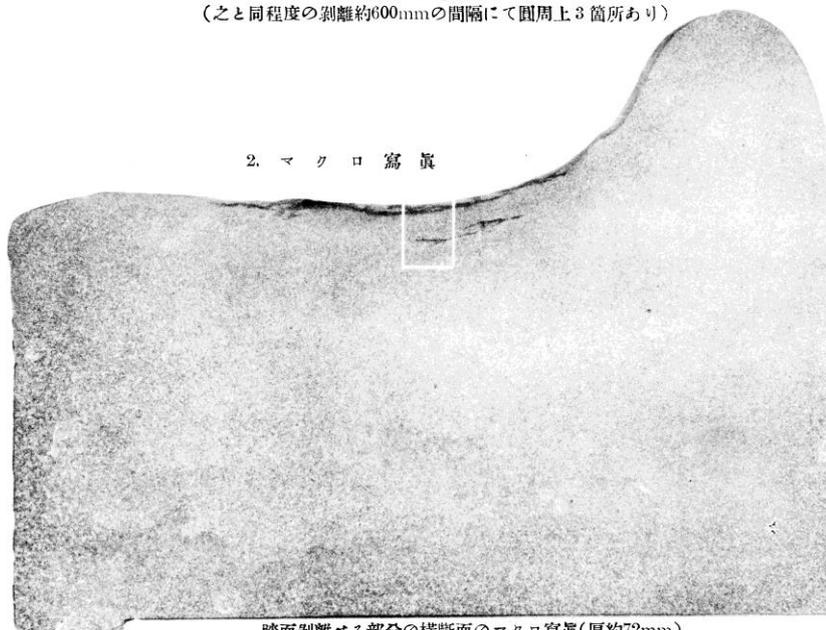
図 4-2 踏面剥離を生じた国線用パシ(パシロ)第 812 號の住友製炭水車々輪タイヤ

1. 踏面の剥離



剥離の状態を示す
(之と同程度の剥離約600mmの間隔にて圓周上3箇所あり)

2. マクロ写真



踏面剥離せる部分の横断面のマクロ写真(厚約72mm)

3. 顕微鏡組織 (100倍)



写真2の踏面に於ける組織

写真説明

第47圖と同一機關車にして從輪以外炭水車外輪にも同様剥離を生ぜり、写真1は踏面の剥離状態を示し2は或る剥離箇所横断面のマクロ組織を示す、之亦表面より少しく内方に罅裂存在せり、抗張力平均86kg/mm²強、伸平均13.6%燐及硫黄等の不純物の含有量比較的少なく概ね適當の材料と認めらる。

第47圖の寫眞説明下方に記載せると同一原因により剥離を生ぜるものと認めらる、住友製とす。

同上書, 75 頁, 第 48 圖.

これら以外に、井上は客車タイヤ、デカ型機関車(1E)第 1717 號の炭水車タイヤに係わる踏面剥離の図解を掲げている(図 4-3, 4)。後者においてはタイヤ切損という重大損傷事故に

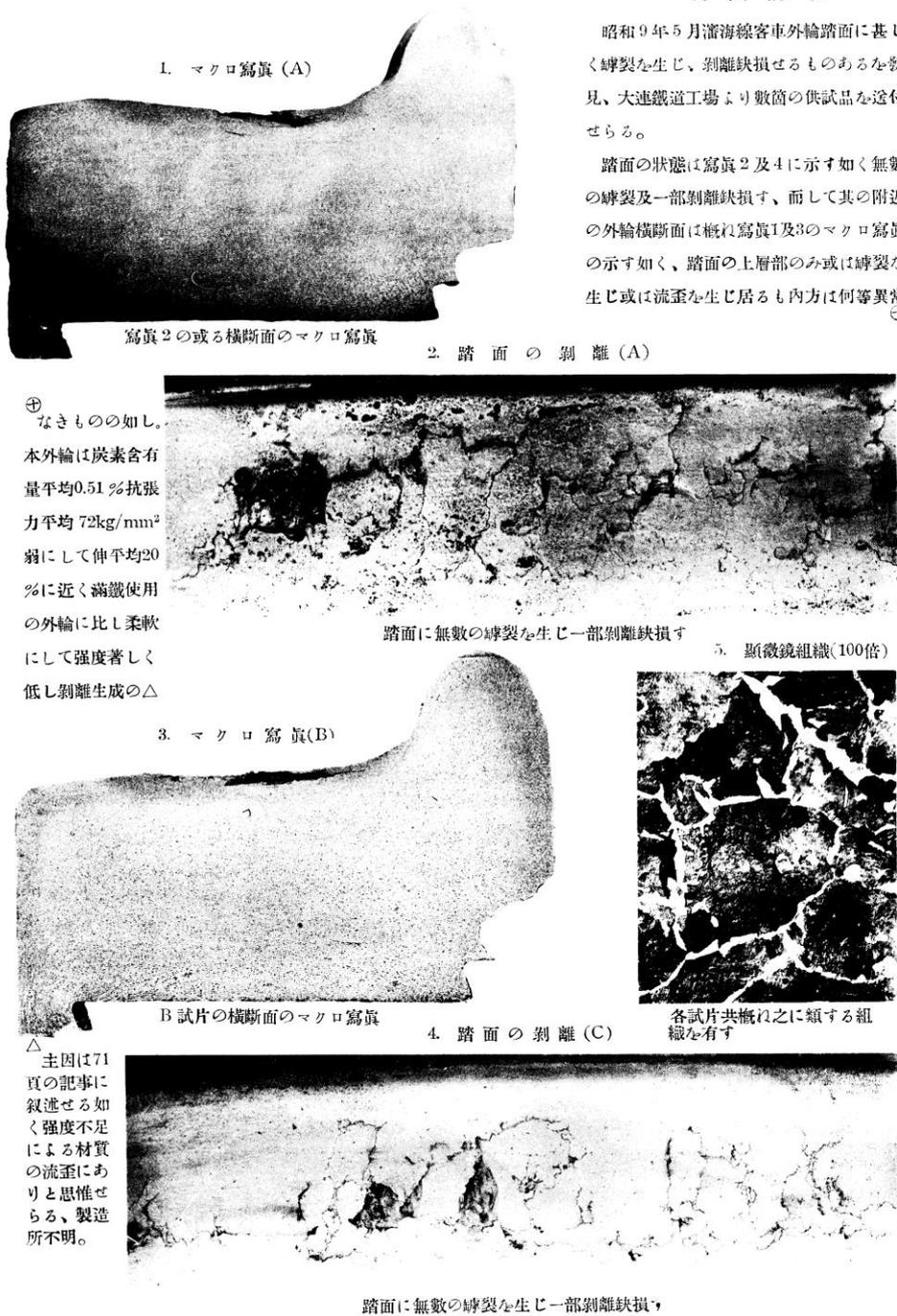
至っていつているが、当該タイヤにおいては使用限度に近い31mm厚まで摩耗が進行していた。

図 4-3 表面剥離を生じた客車のタイヤ

寫 真 說 明

昭和9年5月濱海線客車外輪踏面に甚しく罅裂を生じ、剥離缺損せるものあるを發見、大連鐵道工場より數箇の供試品を送付せらる。

踏面の状態は寫真2及4に示す如く無數の罅裂及一部剥離缺損す、而して其の附近の外輪横断面は概ね寫真1及3のマクロ寫真の示す如く、踏面の上層部のみ或は罅裂を生じ或は流歪を生じ居るも内方は何等異常[⊕]



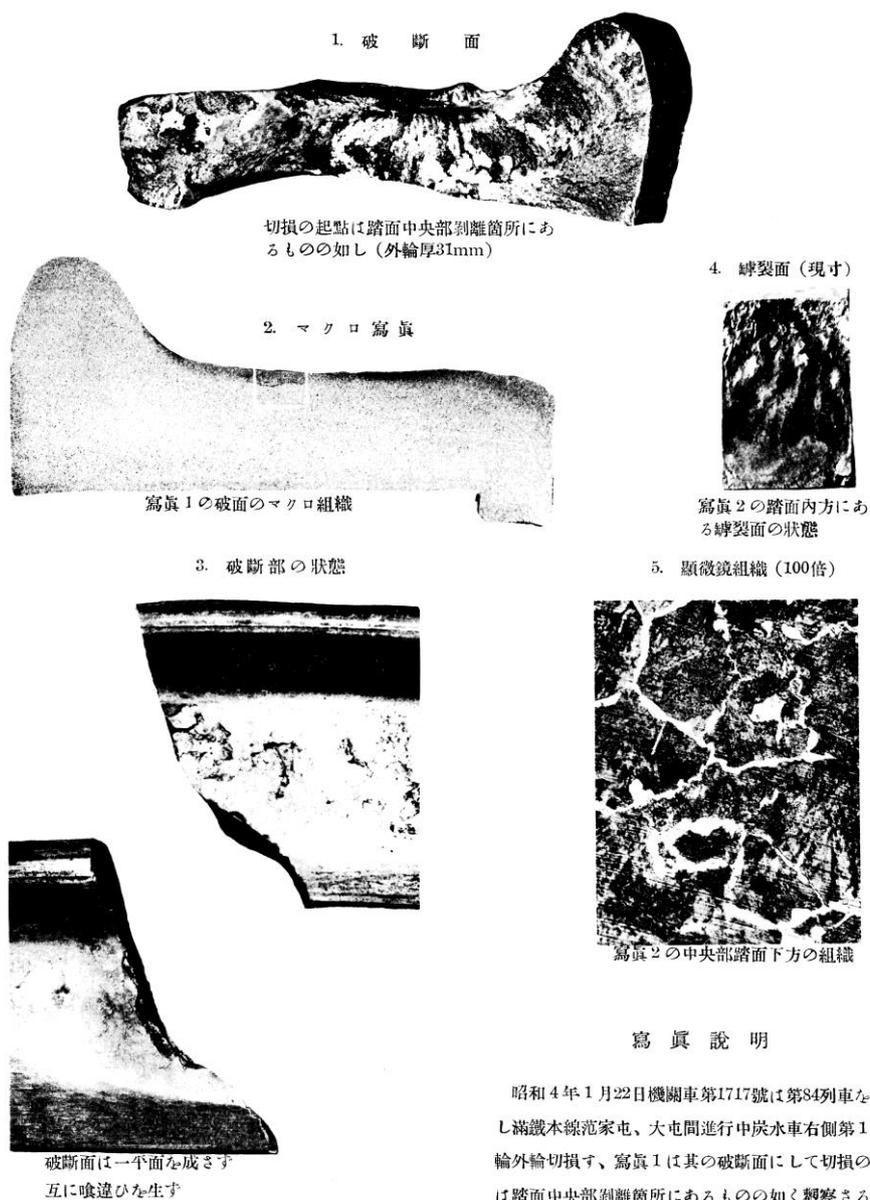
⊕ なきもの如し。
本外輪は炭素含有量平均0.51%抗張力平均72kg/mm²弱にして伸平均20%に近く鋼織使用の外輪に比し柔軟にして強度著しく低し剥離生成の△

△ 主因は71頁の記事に叙述せる如く強度不足による材質の流歪にありと思惟せらる、製造所不明。

踏面に無數の罅裂を生じ一部剥離缺損す

同上書，72頁，第45圖。

図 4-4 表面剥離から切損に至ったデカ型機関車第 1717 號の炭水車タイヤ



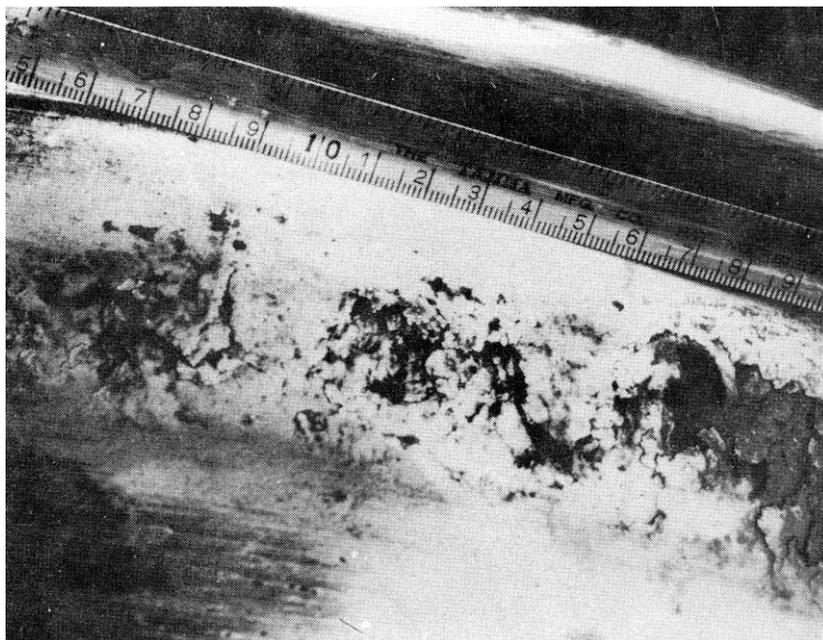
同上書，73頁，第46圖。

2) 国鉄におけるタイヤ表面損傷事故

管見に及んだ戦後における国有鉄道関係の踏面損傷事例報告にほぼ共通して言えることは5W1H的情報の欠落である。勢い、それらはどれも単なる損傷事例図鑑の様相を呈する結果とならざるを得ない。そこで、以下においてはその数例を引用するに止める⁵¹。

先ず、「ハクリきず」と呼ばれた損傷事例。

図 4-5 ハクリきず



『タイヤきず写真』3頁, 6(その1)。

続いて「三ヶ月状きず」と呼ばれた損傷事例。疵は円周方向の溝の中に現れているように見えるが、この点については当該報告書の本編未見ゆえ不明である。三ヶ月疵には表面にごく僅かしか現れておらず、削正時に削って行って初めてその大きさが発覚する事例もある

⁵¹ 国鉄関係の一般的な損傷タイヤに係わる写真としては玉置『鉄道車輛のタイヤ』314頁第2図～318頁第18図、広重『輪軸』360頁写真A.1, 362頁写真A.4～368頁写真B.6, 369頁写真C.1, 391頁写真G.3まで(明らかに一体車輪のそれと判明するモノを除く)、工作局修車課『タイヤきず写真』[9A-5(附録)], 1960年3月, 1頁1～8頁9まで19葉、といったモノが挙げられる。

なお、広重『輪軸』366～368頁の写真説明には「湯境」という言葉が繰返されている。これは本来、鋳物用語である(日本鑄協會編『鑄物便覧』丸善, 1952年, 347頁, 同『図解 鋳物用語辞典』日刊工業新聞社, 1988年, 258頁)。造塊の際には溶鋼を鋼塊鑄型内に鑄込みはするが、鑄型の形状は単純で「湯境」など出来そうにない。広重の「湯境」は造塊時に冷却凝固に伴って生ずる収縮管の謂いかと疑われる。爾後の鋼塊切断→鍛造→ローリング工程を考えれば写真の如き大空隙の伏在は戦時生産技術体系崩壊の物証のように思えるが、広重にはヨリ立入った説明をして欲しかったところである。

ということなので、写真はこれを更に削り下げた画像であるのかも知れない。固より、三ヶ月状疵には表面に明瞭に現れているモノもあった。

図 4-6 三ヶ月状きず

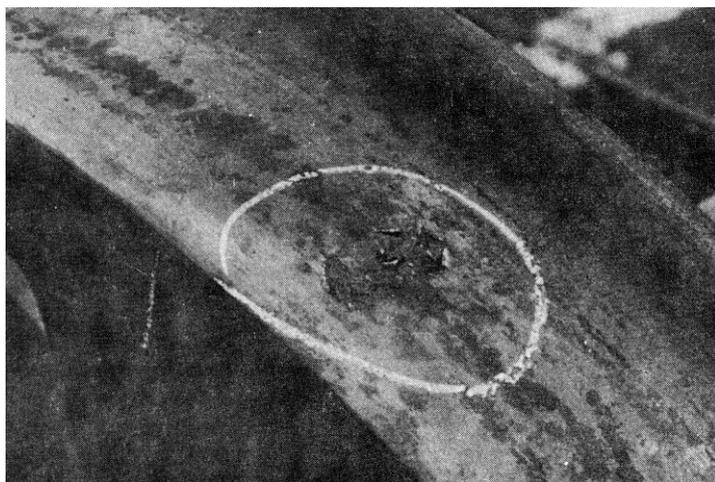


同上, 5 頁, 7(その 1).

何れにせよ、この疵は軸重の大きな輪軸に作用する剪断力に因って発生する損傷で、傷はタイヤの接線に対して斜めに、時には深く入り、表面部分は片状剥離へと至った。この点については黒裂との係わりにおいてより詳しく立入ることとする。

スキッドハクリはフラットが成形された後の車輪の回転に伴う衝撃に因って生じた剥離である。

図 4-7 スキッドハクリ

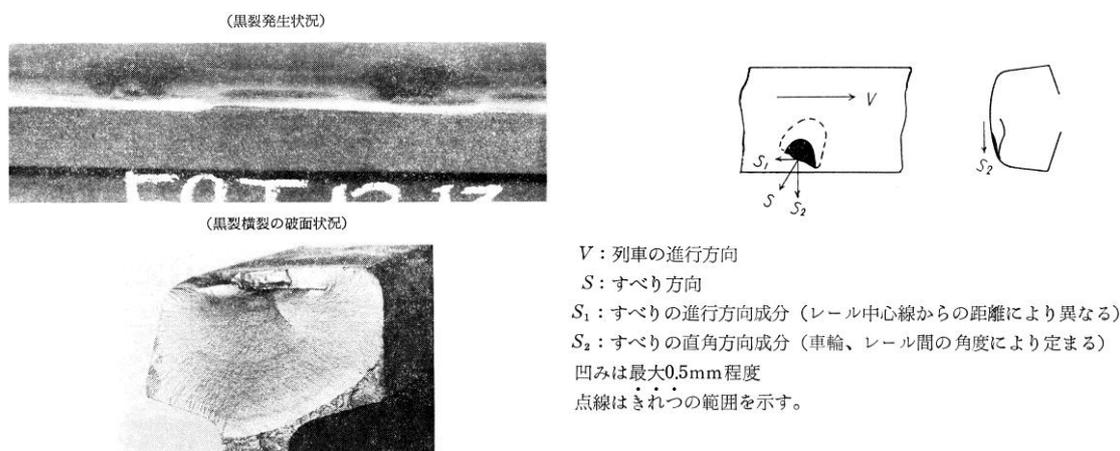


同上, 6 頁, 8(その 1).

これらとは別に興味深い事象として黒裂、シェリングないしシェリー・クラックがあった。これは貝殻状亀裂の謂いで、三ヶ月状疵発生の一形態をもなしていた⁵²。

黒裂は戦時設計から標準設計へと改修され、その最大軸重を 16.28 トンから 16.76 トンへと増大させた D52 が東海道・山陽本線上を走行するようになってから、即ち 1953 年から'59 年頃にかけて両線区の蒸気機関車走行区間の 50kg レールに多発するようになった(図 4-8)。言い換えれば、電気機関車走行電化区間においては発生しなかったワケである。この問題に対して国鉄では'58~'62 年に「レールおよびタイヤの黒裂対策委員会」が立ち上げられ、その発生機構の解明と防止対策が審議された⁵³。

図 4-8 レール頂部に発生した黒裂



広重『輪軸』12 頁, 写真 1.2, 13 頁, 図 1.11.

黒裂の名は腐食により亀裂部が呈する色に因む。その発生の一要因としては当該線区レールの炭素含有率が'49年に 0.45~0.60%から 0.55~0.70%へ、'51年に 0.60~0.75%へと相次いで引上げられた事情があるとも考えられた。即ち、大きな接触圧を持つ車輪の転動に因って垂直方向に剪断力を加えられたレール表層部は加工硬化を受ける。他面、車輪の転動と曲線通過や蛇行動に伴う迂りはレール頭部の表層に水平方向の力を作用させる。それらが相乗した結果、硬いレール頭部の表層下に水平方向の亀裂面を生じ、その先端は表面に現れて三ヶ月あるいは舌状を呈する。疲労部分は通常なら摩耗・除去されてしまうが、硬いレールは摩耗が遅く、重軸重は疲労損傷を速める。黒裂はその結果として現象するものかと考えられた。

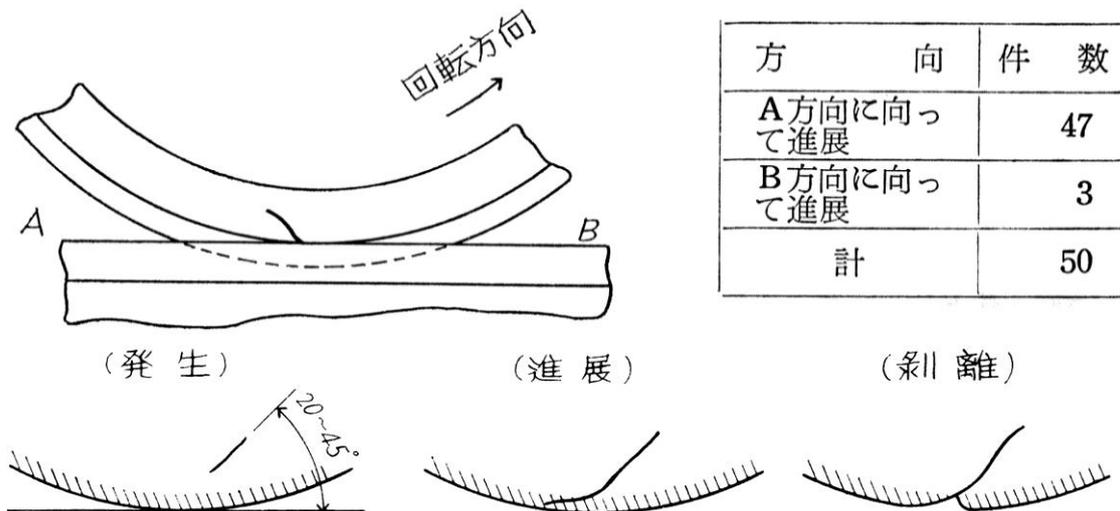
また、黒裂は曲線通過抵抗を下げるため機関車前部より連続水撒きを行う上り勾配の曲線区間において多発した。これは水によるレール頂部摩耗の抑制、亀裂に浸入した水が圧縮

⁵² 以下、黒裂の問題については玉置『鉄道車輛のタイヤ』320~325 頁、広重『輪軸』11~16, 75, 87, 338~340 頁, 参照。

⁵³ D52 改修後の最大軸重については前掲『機関区従事員必携』244 頁, 参照。

続いて、タイヤの黒裂に関する広重の図解を図 4-10, -11 に示す。図 4-9 上附表の数値はデータ採取期間不明であるが、2 倍して百分率として解せば良からう。稀には B 方向への黒裂もあったということである。

図 4-10 タイヤの黒裂とその発生ならびに進行状況



広重『輪軸』339頁，図 8.11，8.12.

図 4-11 タイヤ黒裂の断面

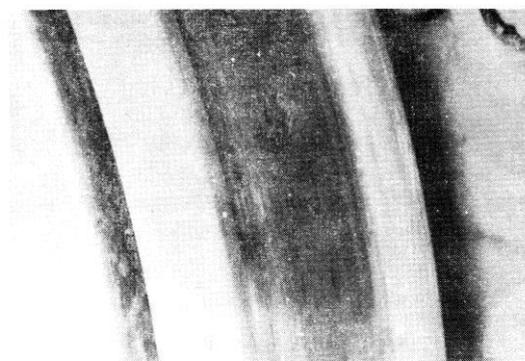


同上書，339頁，写真 8.2.

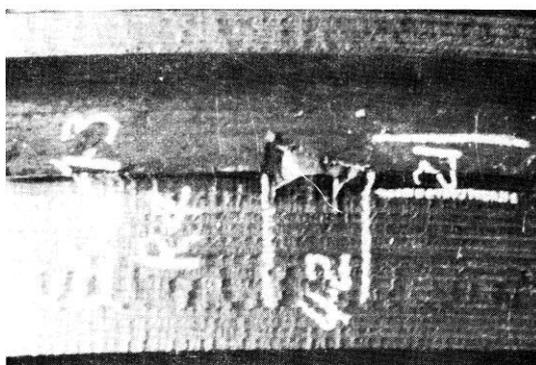
タイヤの黒裂発生対策の一環として'53年10月より住友製の炭素含有率(0.63%, 0.70%, 0.74%)と熱処理法(熱処理無し, 焼均し・焼戻し)を異にするタイヤ4種を用いたD52の試験が開始された。'55年8月までに炭素含有率の高い焼均し・焼戻しタイヤの成績は不良であった。また, 住友においては接触圧を可及的に低下させる踏面形状の検討が進められ, '58年5月より広島工場受持ちの大形機関車における現車試験が開始された。同時期には材質を変えたタイヤが鷹取工場受持ちの大形機関車において現車試験に供された。

'57~'59年頃を境として油焼入れ→焼戻しを実施し, 引張り強さを100~115kg/mm², 踏面硬度をH_s41~47程度まで高めた熱処理タイヤが実用に供されるようになった(ショア硬度47程度ならさして硬くもない)。

図4-12 D52の熱処理タイヤに生じた剥離疵



D52370
第2位 動輪左側
第1回 無火時に発見
第3回 " 以降に
は消滅



D5243
第4位 動輪左側
工場入場時発見



D523
第4位 動輪左側
発見後の経過
12×20
↓
10×15
↓
8×28
↓
6×8
(発見、写真)
撮影時

『タイヤきず写真』9頁, 参考: 熱処理タイヤに生じたハクリきず。

然しながら、熱処理タイヤにおいても黒裂に起因すると思しき剥離疵はかなり多く発生した(図 4-12)。これは硬度が高ければ接触圧力による踏面の変形量が乏しいため、実効的な接触面積が小となり、接触圧が高くなってしまふことの結果であると考えられた。

結局、どの策も著効を欠いたものと見え、'66 年からは製鋼工程に真空脱ガス法が導入されたことを契機として熱処理タイヤの使用は中止となった。脱ガスが徹底的に行われるほど鋼の中に Al_2O_3 など極度に硬い非金属酸化物が生成され難くなる。このことに因り、剪断力が鋼の中で不均等に作用する際に亀裂の起点となるべき非金属介在物の存在頻度が低下するため、その疲労強度は高められる。これは転がり軸受が高潔度軸受鋼の開発によりブレーキングから解放された一件と同じことで、転動疲労破壊という点において車輪とレールとの関係は転がり軸受における転動体と軌道輪との関係に等しいワケである⁵⁴。

なお、黒裂発生の多い型式として玉置は C59、C62、D51、D52、D62 を挙げている。この時代のこと故、D62 は第 1 次改造による最大軸重 16.2 トンの甲線用 D62 の謂いである。玉置は何の注釈も与えていないが、ここに相対的に軽軸重の D51 が名を連ねている理由の一つはそれが万能機関車として単機での勾配線区普通旅客列車牽引や重連での急行列車牽引といった仕業に充当されていたからではないかと想われる。旅客列車は貨物列車より速度が高い分、レールの継目等を通過する際に機関車の車輪が受ける衝撃は大きくなるからである。

日本の国鉄は狭軌にしては車両限界が大きく、車両は軌間の割りに重軸重となっていたこと、2 気筒機関車のシリンダ径もこの車両限界と重軸重を活かすために大きく、機関車のサイズに比して強大な動輪周牽引力が発揮されていたこと等については夙に強調しておいたところである⁵⁵。

このことは即ち、動輪トルクの絶対値もその変動幅も、とりわけその大形機関車群においては大きかったということである。この重軸重の下での大きなトルク変動が国鉄大形蒸気機関車群の動輪やそれに苛まれたレールに生じた黒裂の主たる要因と考えられるべきである。実際、蒸気機関車の引退と共に車輪踏面の黒裂は消滅した⁵⁶。

また、正常な知性を持つ人間なら島 秀雄らが C62 や D52 を以てほとんど狭軌の限界に迫る存在と見做した根拠は此処にもあったかと気付かされて然るべきである。徒に機関車を大形化しその出力を高めても、各構成部品や軌道側がそれに耐え難くなるばかりである。無論、ヨリ高級な材料へと舵を切れば車両、軌道双方における事情は自ずと異なつて来ようが、何れ最大の制約条件は経営主体の台所事情にあった。

ところで、車輪種類別の黒裂発生頻度において最大であったのは蒸気機関車の動輪ではなく、その従輪であった。従輪は小径であるにも拘らず、1 軸従台車の場合、重軸重(輪重)に

⁵⁴ かような点については前掲拙稿「鉄道車輛用ころがり軸受と台車の戦前・戦後史」参照。

⁵⁵ 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)、参照。

⁵⁶ 現在、黒裂は高速鉄道のレールにまゝ発生する現象として知られ、レールシェリングと呼ばれている。鉄道総合技術研究所編『第 2 版 鉄道技術用語辞典』丸善、2006 年、参照。

設計される傾向があるため、そのタイヤは厳しい常温圧延に曝される。しかも、従輪は牽出しに際しては軸重移動の影響を最も大きく被る。これに因る従輪軸重の増加分を機関車諸型式について計算すれば 500kg~1 トンにも及んだ。しかも、戦後、小倉工場にて実施の電子管式機関車計重台を用いた数十両の蒸気機関車の軸重実測結果に拠れば、台枠の前後方向水平が担保された静止状態においてさえ軸重は甚だしいバラツキを示しており、大形機関車においては設計軸重に対して±2 トン程度の過不足を呈していた。かような実態があったから、従輪には瞬間的に設計値を大幅に上回る輪重が作用しているものと推定された⁵⁷。

もっとも、運転整備状態における D52 の機関車本体の各軸重は先輪軸：8.45 トン、動軸前から：16.76 トン、15.51 トン、15.18 トン、16.61 トン、従輪軸：12.03 トンで、その従輪軸は躯体の割りには案外、軽軸重に設計されていた。これに対して、D51 におけるそれはやや分不相応なことに 13.20 トンもあった。この点は動軸々重の相対的に軽い D51 が黒裂発生の多い機関車の一つにランクされていた事実を説明する今一つの理由に数え上げられて良い⁵⁸。

3) 国鉄におけるタイヤ弛緩

タイヤの弛緩はその緊締力の不足に起因する現象であるが、その要因としてはタイヤおよび輪心の真円度・円筒度不足、それらの接合面の表面粗度(→熱伝導率)低位、焼嵌め代不足、焼嵌め時の不均一加熱といった走行前の工作に係わる諸要因に加え、タイヤ肉厚の減少、輪心とレールとによる常温圧延、ブレーキ熱によるタイヤの膨張といった走行に由来する劣化があり、更には輪心の経年変形といった問題も絡んで来る。従って、タイヤの弛緩は実際には極めて複雑な諸要因が競合した結果、発生することが多い。

ライナの挿入は接合面を 2 重化するため、トラブルを招き易い。圧着された接合面には不可避免的に若干の隙間ないし空気層が介在することになり、フレッチング(微動摩耗)や水による化学的腐食を招きがちであるが、ライナ挿入に因ってその機会が 2 倍になるからである⁵⁹。

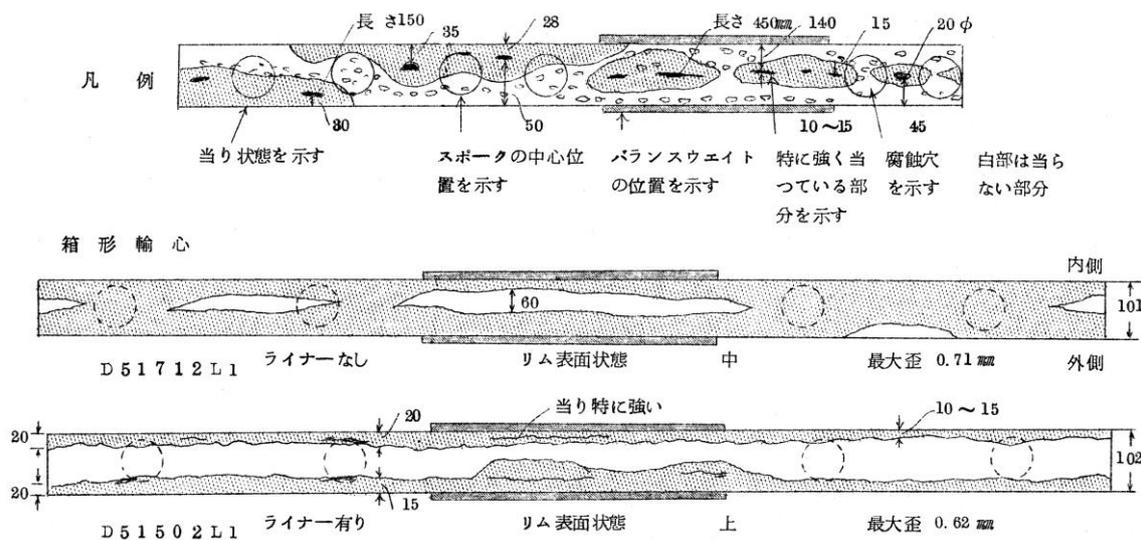
図 4-13 は長野工場のデータに基づく輪心リム外周面の荒損状況に係わる図で、凡例と D51 動輪のボックス輪心 2 例を示す。ライナ挿入が接触面積の低下と当りの悪化を招いている状況が示されている。リムの外周面が荒れておれば制動時におけるタイヤから輪心への熱伝導が阻害され、タイヤとリムとの温度差が増し、応分、緊締力は低下するからタイヤ弛緩が招来され易くなる。連続制動でこの温度差が 80℃になれば 1%の締め代比において緊締力が失われる点については先に触れた通りである。

⁵⁷ 玉置『鉄道車輛のタイヤ』324~325 頁、参照。このバラツキは軸箱摺動部やイコライザ回りに作用する摩擦に起因する現象であると考えられる。

⁵⁸ 前掲『機関区従事員必携』244 頁、参照。因みに、D50 の従輪軸々重は 10.81 トンであった。

⁵⁹ フレッチングについては前掲拙稿「鉄道車輛用ころがり軸受と台車の戦前・戦後史」において簡単にではあるが種々、論じておいた。

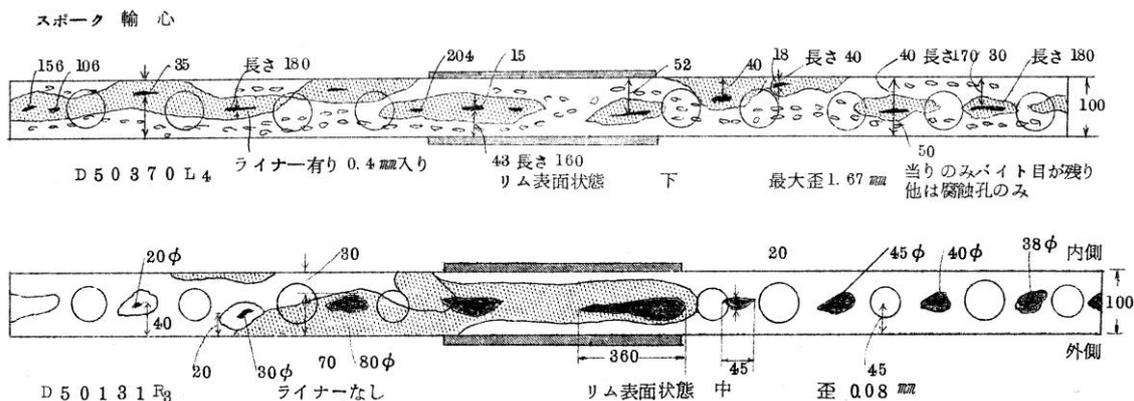
図 4-13 輪心リム外周面の荒損状況(1) 凡例と D51 動輪の 2 例



玉置『鉄道車輛のタイヤ』224~224(3)頁, 第9図, より.

図 4-14 はスポーク輪心を持つ D50 動輪々心の 2 例であり, ライナの有無に係わらずボックス輪心におけるより甚だしく不均一な当りを生じていること, ライナ無しの場合, 却って面圧の偏りが酷くなっていることが判る.

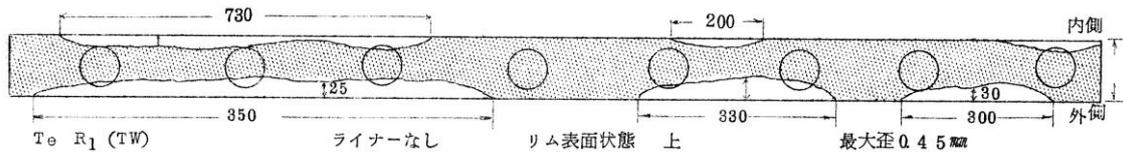
図 4-14 輪心リム外周面の荒損状況(2) D50 動輪の 2 例



同上, より.

図 4-15 には炭水車々輪における輪心リム外周面の荒損状況が示されている. 機関車や炭水車の型式については不明であるが, 輪心が素直なスポーク輪心であるため動輪よりは良好な当りが観察される.

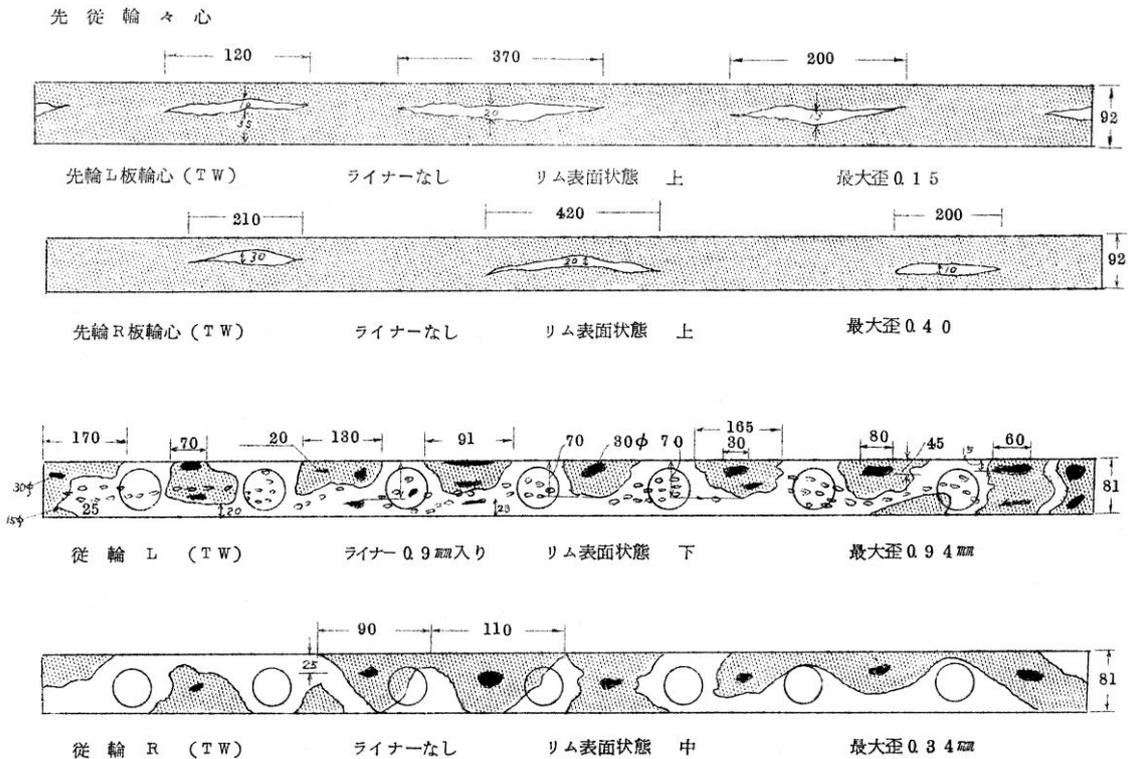
図 4-15 輪心リム外周面の荒損状況(3) 炭水車々輪の事例



同上, より. 所々に寸法記入漏れが見られる.

図 4-16 は先輪と従輪に係わる輪心リム外周面の荒損状況を示す. 機関車型式は不明であるが, ディスク輪心を持つものは良好な当りを示している. スポーク輪心を持つ従輪における当りは炭水車における同類の車輪のそれより極度に悪くなっている.

図 4-16 輪心リム外周面の荒損状況(4) 先輪と従輪に係わる事例

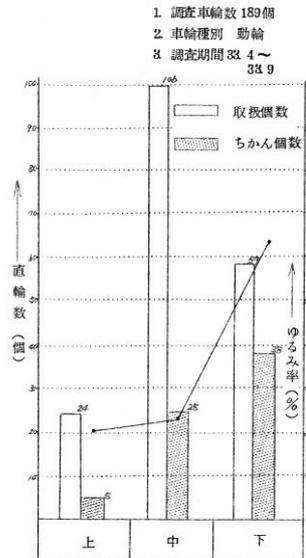


同上, より.

長野工場に入場した機関車における輪心外周面の肌荒れの程度とタイヤ弛緩との関係を纏めれば表 4-2 および図 4-17 のようになり, 表面荒損と弛緩との相関を窺わせている.

表 4-2 輪心肌荒れ程度とタイヤ弛緩 図 4-17 輪心肌荒れ程度とタイヤ弛緩

形式	繕		肌荒れ状態		
	種	別	上	中	下
D 51	取替数		9	66	7
	ゆるみ数		3	18	23
D 50	取替数		4	2	10
	ゆるみ数		2	6	13
C 57	取替数			6	
	ゆるみ数			0	
C 56	取替数			7	4
	ゆるみ数			0	0
C 51	取替数		6		
	ゆるみ数				3
合	取替数		19	31	21
	ゆるみ数		5	25	38
計	計		24	106	59
	比率 = $\frac{\text{ゆるみ数}}{\text{取替数}}$		0.208	0.236	0.645

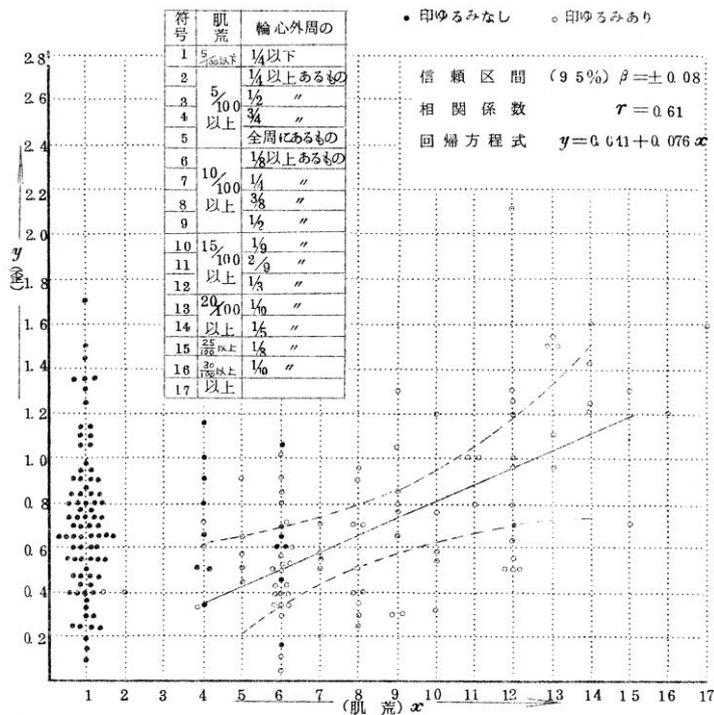


同上書，226頁，第4表，第10図.

合計取替数の31は81の誤植.

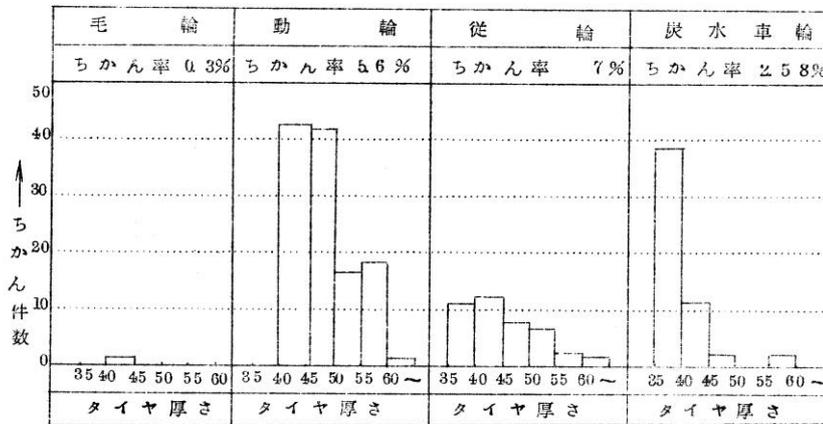
図4-18は輪心外周面の肌荒れと輪心の変形との何れがタイヤ弛緩と強い相関を示すかについての広島工場のデータである. これによって肌荒れの方が輪心の歪みよりも強い相関を見せており，後者はタイヤ弛緩における副次的要因たることが明らかにされた.

図4-18 タイヤ弛緩に対する輪心外周面の肌荒れと輪心の変形との相関



同上書，227頁，第11図.

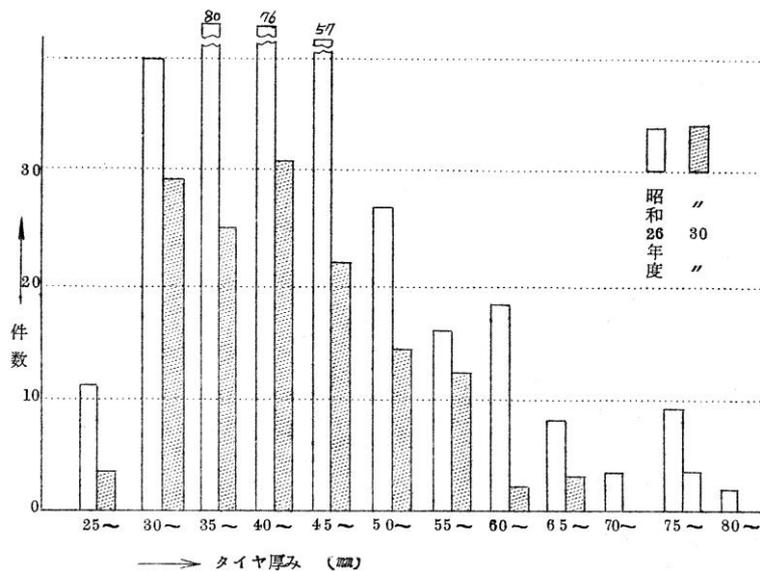
図 4-19 '58 年，長野工場に入場した蒸気機関車の車輪別・タイヤ厚さ別弛緩数



同上書，229 頁，第 12 図。第 1 列は勿論，先輪。

摩耗によるタイヤ厚さの減少は緊締力低下を結果するため，当然ながらタイヤ弛緩の誘因となる。図 4-19 は長野工場調べによる'58 年 1 年間の蒸気機関車の車輪別・タイヤ厚さ別弛緩数，図 4-20 は小倉工場調べの'51 年度ならびに'55 年度入場車(蒸気機関車?)におけるタイヤ厚さ別弛緩数を示す。厚さが 50mm を下回れば弛緩の発生が急増している。

図 4-20 '51 年度，'55 年度，小倉工場入場車におけるタイヤ厚さ別弛緩数

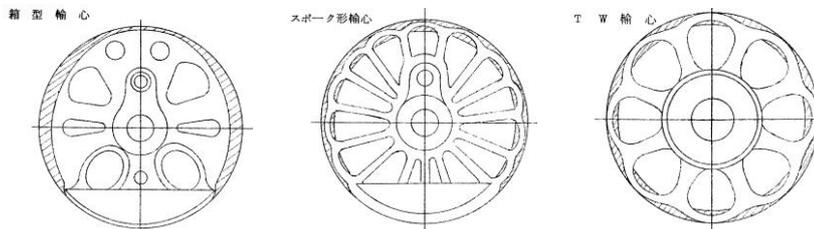


同上書，227 頁，第 11 図。

続いて，タイヤ弛緩に対する副次的要因たる輪心の変形ないし構造強度面に係わる問題について観れば，当時，国鉄における輪心の変形は図 4-20，表 4-3，図 4-22 の如き様相を呈していた。スポーク輪心を持つ D50 の動輪におけるそれよりボックス輪心を持つ D51 の

方が変形=実効締め代低下量は総じて少なかったが、個体差も甚だしかった。

図 4-21 国鉄車両における輪心の変形パターン



玉置『鉄道車輛のタイヤ』231頁，第15図．輪心は誤植．

鑄造歪みと呼ばれる変形が生ずるのは溶湯凝固時，断面積の小さなスポーク部は冷却が速やかで早く凝固し収縮しようとするにも拘わらずリムに拘束されて収縮出来ぬため，冷却後もスポーク内部に絶えず縮む方向への鑄造応力が作用してリムを引張り，これが時間経過と共に鑄物全体の歪みを惹起するからである．釣合錘部を中空とし，完成後，鉛を詰めるのも肉厚の不均等を可及的に抑制するためである．

表 4-3 D51・D50 総計 56 両における動輪々心直径の変化('55 年度以降タイヤ取替え時)

所属機区	機号	タ替月 イ + 取期数	輪心直径寸法差 (mm)							
			オ一動輪		オ二動輪		オ三動輪		オ四動輪	
			L1	R1	L2	R2	L3	R3	L4	R4
長岡	D51 109	32	-0.09	-0.10	-0.21	-0.57	-0.10	-0.12	-0.70	-0.95
	" " 185	36	-0.39	-1.58	0	-0.14	-0.99	-1.01	-0.19	-0.09
	" " 296	"	-0.43	-0.33	-0.31	-0.25	-0.10	-0.38	-0.35	-0.08
	" " 301	28	-0.03	-0.23	-0.23	-0.03	+0.76	+0.50	-0.12	-0.35
	" " 404	23	+0.02	0	-0.11	+0.28	-0.02	-0.05	-0.37	-0.62
	" " 486	30	-0.34	-0.18	-0.44	-0.10	-0.87	-0.84	-1.47	-1.29
	" " 932	38	-0.17	-0.11	+0.05	-0.34	-0.16	-0.11	-0.12	-0.45
	" " 82	35	+0.24	-0.15	+0.32	+0.14	-0.01	+0.54	+0.26	+0.11
	" " 852	39	-0.18	-0.29	-0.46	-0.25	-0.20	-0.20	-0.56	-0.54
	" " 443	35	-0.01	+0.04	+0.09	-0.02	-0.03	+0.23	+0.57	+0.37
直江津	" " 609	34	-0.06	-0.28	-0.24	-0.40	+0.04	-0.10	-0.19	-0.15
	" " "	"	-0.10	-0.10	-0.17	-1.09	-0.31	-0.33	-0.62	-0.30
	D50 107	29	-0.60	-0.23	-0.23	-0.07	-0.25	-0.28	-0.10	-1.99
	" " 173	25	-1.01	-1.26	-0.44	-0.73	-0.55	-0.74	-0.13	-1.46
	" " 183	36	-0.11	-1.20	-0.22	-0.32	-0.18	1.14	-1.36	
	" " 184	"	-0.43	-0.28			-0.16	-0.26		
	" " 243	"	-0.14	-0.05	-0.14	-0.25	+0.17	-0.18	-0.39	-0.11
	" " 372	32	-0.33	-0.06	+0.03	-0.22	-0.09	-0.24	-0.35	-0.21
中 略										
木曾	D51 820	21	-0.04	-0.13	-0.25	-0.25	-0.57	-0.24	-0.35	-0.23
	" " 521	24	-0.30	-0.43	-0.43	-0.03	-0.27	-0.25	-0.07	-0.45
	" " 174	27	-0.24	-0.17	+0.16	+0.01	-0.31	-0.06	-0.06	-0.61
	" " 40	27	-0.45	-0.60	-0.73	-0.27	-0.30	-0.52	-0.47	-0.63
	" " 587	26	-0.32	+0.03	-0.32	-0.52	-0.38	-0.50	-0.45	-0.64
	松本	D50 154	30	-0.55	-0.110	-0.61	-0.60	-0.68	-0.68	-0.60
" " 328		31	-0.06	-0.18	+0.09	-1.81	-0.03	-1.10	-1.42	-2.13
" " 237		22	-0.20	-0.32	-0.23	-0.53	-0.06	-0.14	-1.05	-0.80
" " 194		25	-0.56	-0.40	-2.00	-1.84	-0.45	-1.21	-1.99	-1.00

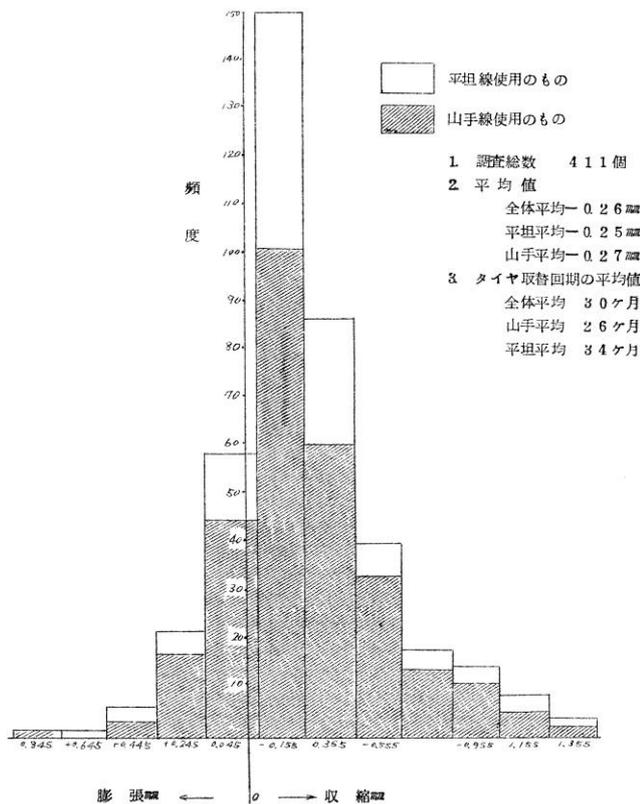
同上書, 232 頁, 第 8 表.

※-2.00 は輪心削正したもの. 他の※は Thompson の検定により導出.

訂正二重線も書込みではなく資料発行時点のもの.

表 4-3 は長野工場調べのデータであり, そこに謂う輪心直径寸法差は計測された最大値と最小値との差を意味するようである. 因って, 同心円に近い状態で変形した場合, 数値は変形の程度を反映せぬことになるが, 変形パターンは輪心の種別毎にほぼ定まっていたのでその点については考慮外という理屈が立っていたのであろう. 輪心削正や測定器の変更に起因する誤差は除去ないし補正されている. このデータを使用線区別分類を強調しつつ, 統計処理の上, 図式化したのが図 6-5 のヒストグラムである. 変形は軒並みに起っているが, その分布は正規分布そのもので, 傾向的には直径の縮小が観察された.

図 4-22 表 4-3 のデータのヒストグラム



同上書, 233 頁, 第 16 図.

また, 蒸気機関車に係わる型式別データとして玉置は鷹取工場調べのそれを掲げている(表 4-4). 対象は'49 年から 4 年余りの間に 2 回以上タイヤ取替えた個体で, これは総取替え両数の 15% に相当していた. 1 回のタイヤ取替えに際して計測された輪心外周の縮小は平均約 0.7mm であったが, 新品の輪心における塑性変形が最も甚だしかったから, 新製・焼

嵌め時に締め代比の 10~20%が失われているものと推定された。

表 4-4 蒸気機関車動輪々心の型式別変形状況(鷹取工場調)

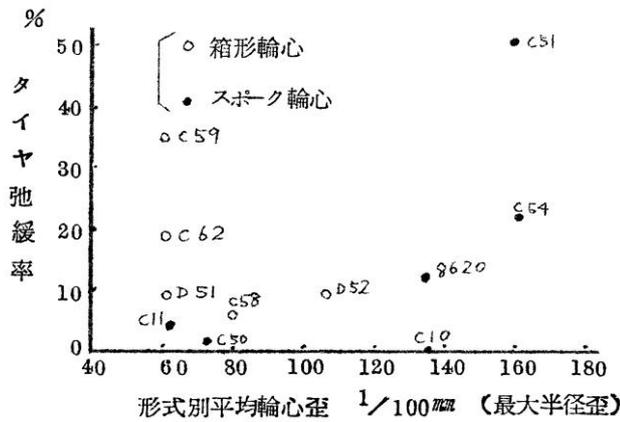
形 式	調 査 回 数	輪心外周変化率	輪 心 径 変 化 量	締 代 縮 小 量	タ イ ヤ 弛 緩 率
D 5 2	3	0.55%	0.18mm	0.15%	1.0%
D 5 1	3 2	0.72	0.23	0.19	1.0
C 6 2	2	0.50	0.16	0.10	2.0
C 5 9	1 0	1.63	0.33	0.21	3.6
C 5 8	2 6	0.58	0.18	0.13	4
C 5 5	1	0.25	0.08	0.05	2.4
C 5 4	2	0.86	0.27	0.17	2.5
C 5 1	5	0.60	0.19	0.12	5.2
C 1 1	3	0.69	0.22	0.16	3
9 6 0 0	1	0.13	0.04	0.04	1.0
8 6 2 0	2	0.10	0.03	0.02	1.2
平 均	8 7	0.8 6	0.2 2		1.4

同上書, 235 頁, 第 9 表.

「量」と「率」とに係わる誤植に注意. 締め代縮小率の平均は 0.122%.

然るに, 輪心直径の縮小率とタイヤ弛緩率との間に明確な関係は認められなかった. 現実には輪心の変形には半径歪み, 直径歪み, リム側面の振れがあり, これらに輪心径や軸重など他の要因が相乗した結果としてタイヤ弛緩が発生するものと推定されるしかなかった. 図 4-23 は蒸気機関車諸型式の動輪における最大半径歪みとタイヤ弛緩率とを関連付けた鷹取工場のデータで, タイヤ弛緩現象の複雑さを窺わせる情報となっているが, 総じて 1750mm 大動輪, スポーク輪心, 2C1 の車軸配置といった諸要素が不利に作用していたように観える.

図 4-23 蒸気機関車諸型式の動輪々心における最大半径歪みとタイヤ弛緩率(鷹取工場調)



同上書, 237 頁, 第 18 図.

タイヤ弛緩のヨリ具体的な発生状況については限られたデータのみが参照可能であった。表 4-5 は'53~57 年度における鷹取工場受持ち蒸気機関車主要型式の車輪別弛緩割合を集計したデータである。先輪では D51, 動輪では C59, C62, D50, 従輪については C12, C10, C57, 炭水車に関しては較差こそ小さいものの C59, D50, C62 が高い弛緩率を示していた。

表 4-5 戦後における国鉄蒸気機関車諸型式のタイヤ弛緩率%(鷹取工場調)

	年度 形式	28				29				30				32				平均 計	
		先	D 5 2	2.6	2/78	0.9	1/110	0	0/38	0	0/110	0.9	3/336						
	D 5 1	21.6	29/134	7.0	10/142	18.2	8/44	4.5	3/84	13.6	55/404								
	D 5 0	0	0/4	8.3	1/12	16.6	1/6	0	0/4	7.7	2/26								
輪	C 6 2	5.6	2/36	0	0/36	0	0/24	5.6	3/54	3.3	5/150								
	C 5 9	7.0	6/86	4.3	4/94	8.8	3/24	3.1	4/128	5.1	17/332								
動	D 5 2	11.2	48/430	11.8	63/532	5.9	16/270	10.3	45/436	10.3	192/1668								
	D 5 1	12.5	90/716	8.2	66/806	9.9	25/252	1.9	3/412	3.6	189/2186								
	D 5 0	33.5	4/12	38.9	14/36	2.9	1/34	0	0/16	19.4	19/98								
輪	C 6 2	8.5	10/118	23.1	25/108	34.3	24/70	22.0	18/82	20.4	77/378								
	C 5 9	27.6	75/272	38.8	117/302	34.0	32/94	23.8	56/194	32.5	280/862								
従	D 5 2	3.8	4/104	2.1	3/144	1.9	1/54	5.4	6/122	4.2	14/414								
	D 5 1	9.9	16/162	10.5	24/228	13.5	7/52	17.0	16/94	11.7	63/536								
	D 5 0	0	0/2	0	0/4	0	0/4	0	0/4	0	0/4								
	C 6 2	0	0/26	6.8	3/44	3.8	1/26	3.5	2/58	3.9	6/154								
	C 5 9	14.4	17/118	14.5	18/124	7.9	3/38	6.5	9/92	11.8	44/372								
	C 5 8	1.6	1/64	4.5	4/88	0	0/40	5.1	4/78	3.3	9/270								
	C 5 7	38.9	7/18	19.2	5/26	0	0/6	31.2	10/32	27.1	22/82								
	C 5 5	9.1	2/22	15.0	3/20	33.3	2/6	14.3	2/14	14.5	9/62								
	C 5 4	0	0/4	0	0/2	10.0	2/2	0	0/10	11.1	2/18								
	C 5 1	0	0/16	7.7	2/26	0	0/3	12.5	1/3	5.2	3/58								
	C 5 0																		
	輪	C 1 2	32.2	9/28	42.9	6/14	0	0/3	23.6	3/28	29.5	23/78							
		C 1 1	8.9	5/56	7.5	3/106	4.5	1/22	6.1	6/98	7.1	20/282							
	C 1 0	0	0/4	21.4	3/14	0		66.7	4/6	23.2	7/24								
炭	D 5 2	5.6	21/378	8.5	46/540	9.2	26/284	3.4	19/466	6.5	109/1668								
	D 5 1	10.3	55/534	3.9	22/568	8.9	19/214	4.8	15/316	6.8	111/1632								
	D 5 0	20.0	4/20	7.9	3/38	10.0	1/10	11.1	2/18	11.6	10/86								
	C 6 2	6.8	10/148	15.6	25/160	4.3	3/86	12.7	16/126	11.3	59/520								
	C 5 9	10.4	38/366	14.5	63/434	17.7	23/130	17.0	52/306	14.2	176/1236								

同上書, 216~217 頁, 第 3 表.

なお, リム外周面の肌荒れはタイヤ弛緩の一大要因であったが, 急勾配線区を抱える盛岡工場の“田代氏”はタイヤ嵌合面にリーフィンク・タイプのアルミペースト(アルミフレークが表面張力により塗膜表面に浮き平行配列する)80%, 接着剤となるウルシオールクリヤ 20%(重量比)の混合物をシンナー40%で希釈した液剤を塗布してから焼嵌めする手法を試み, 接合面の温

度差小にして弛緩も起さず，取替え時に発錆も観察されぬ好成績を得たと伝えられている。この塗料は速乾性，耐熱性，防錆性，熱伝導性に優れ，かつ，接合面からの空気層駆逐に著効を発揮した。もっとも，これに追随する例が現れたのか否かについては不明である⁶⁰。

大局的に観れば，かような新奇性にも有効性にも富む化学技術というものは本質的にはそれと鼎立せしめられるべき対応物を機械技術や電機技術の領域において持つことになる，との理解が自然であろう。

⁶⁰ 玉置『鉄道車輛のタイヤ』260~261，458頁，参照。

5. タイヤ損傷の諸類型(2) 重大損傷事例

概況

上述の通りタイヤの踏面損傷や弛緩は検修員の五感によって知覚され、発覚した事案は緊要度に応じて修繕に回された。それらは概ね自動車タイヤのパンク修理や交換の如く、謂わば日常的修理に属するトラブルであった。

これに対して、タイヤが外れたり割れたり裂けたり踏面が大きく剥れれたりといった即、ないし早晚、使用不能に陥るような損傷が発生すれば、タイヤに係わる重大事故となり、運転事故に直結する。そして、これなら事故統計や報告書の類に記録されていた筈である。

然るに、管見の限りでは鐵道大臣官房研究所『業務研究資料』にも個別折損事例分析やブレーキ発熱の影響分析が僅かに各 1 例散見されるのみで、重大損傷事故に係わる体系的論究の類は皆無である。何処か他には集計データがあって活用されていたのであろうが……。

他方、満鐵に関してはそれがある。ことによると、戦前期の日本でこの方面に係わる体系的資料を編んでいたのは満鐵のみであったのかも知れぬ。そこで以下、戦前期の満鐵データ、これと較べれば著しく無機質な鐵道省のデータ、そして戦後の国鉄に関するデータの順にその内容を抜粋・紹介して行くとしよう。

1) 満鐵

井上に拠れば、1930 年頃までは満鐵でタイヤ切損事故と言えは貨物用機関車に限定されていた。ところが、'30 年代後半、旅客列車の高速化・重量化に伴い旅客用機関車、客車のタイヤ事故が多発するようになった。大直径の動輪タイヤが 2 箇所以上で破断分離飛散すれば、その危険性は極めて大きく、重大運転事故が惹起される場合もあった⁶¹。

タイヤの重大損傷事故は 3 種類に大別された。第 1 は横破断。大部分はこれであった。横破断の起点は様々で、フランジ先端より発した損傷には過度の制動が係わっていた。第 2 は縦罅裂と縦欠損。何れも製鋼上の欠陥に起因したが、その発生頻度は比較的少なかった。第 3 は強度不足や製鋼上の欠陥に起因する踏面剥離。

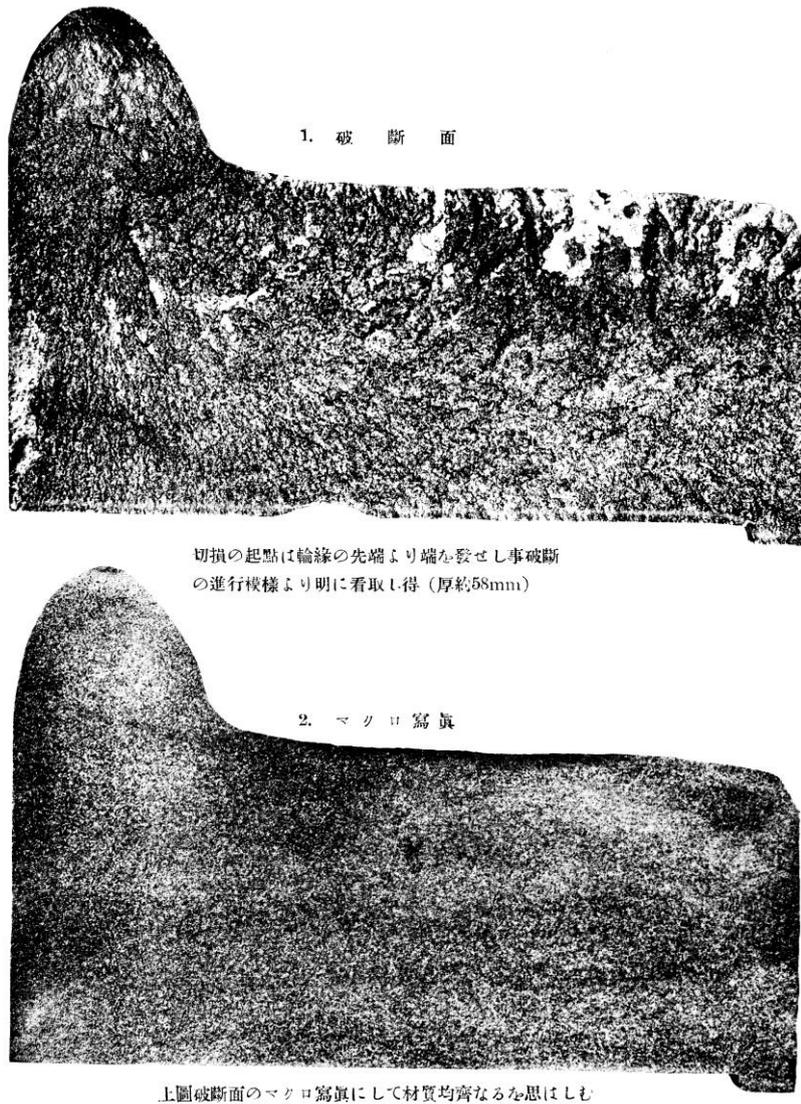
フランジに溶接盛金したタイヤにおいては盛金部よりの破断が多発した。踏面より発生した損傷もあり溶接盛金や過度の制動が原因と目された。輪心接合部外側角よりの損傷も多発したが、その決定的原因は不明であった。また、止め輪溝付近他より発する横破断もあった。切損原因としては製鋼上の欠陥、圧延および爾後の熱操作の不適當、焼嵌め代と輪心の変形、ライナ挿入、運転取扱上の不備等が考えられたものの、未だ調査は不充分であった。

なお、報告書に収録されたタイヤ損傷事例 28 件中、11~3 月の厳冬期に発生したものが 25 件、1 月だけでも 10 件に達しており、切損事故に限れば 4 月中の 1 件を除く全てが上記期間内に発生していた。このことから、タイヤ切損事故と鋼材の低温脆性や軌道凍結との関連が疑われた。もっとも、冬季は輸送負荷が大きくなるという点も考慮されねばならない。以下、井上の報告から具体例を紹介する。

⁶¹ 井上『毀損せる鐵道車輛鋼製部分品の破面寫眞及其の説明』参照。

a) 熱罅裂を生じたタイヤ 強制動時の表面加熱による Heat Crack は勾配線用機に多発した。次の 2 例は北朝鮮の勾配線用機の例でフランジ全周に微細な熱亀裂が見出された。弁調整時に付けた疵が該部を加工硬化・脆化させ熱亀裂と相乗したと推定される例もあった。

図 5-1 ミカロ第 1483 号の住友製第 7 位動輪タイヤ横破断例



寫眞説明

昭和12年1月22日機關車ミカロ第1483號は第166列車清津—會寧間補機仕業終了し車庫に格納後23日午前1時大音響を發して第7位側輪外輪軌條接觸箇所に於て切損せり、寫眞1は其の破断面にして、2は其のマクロ寫眞を示す、外輪の厚約58mm、住友製。

踏面は全周に沿ふて微小龜裂發生し又フランヂ先端には第26圖3と略同様の熱罅裂及窪孔あり (寫眞添付せず) 破損の起點はフランヂ先端及踏面にあり、熱罅裂が切損の主要原因を醸成せしものと想はる。

井上『毀損せる鐵道車輛鋼製部分品の破面寫眞及其の説明』46頁、第25圖。

図 5-2 ソライ第 1025 号における住友製第 8 位動輪タイヤ横破断例



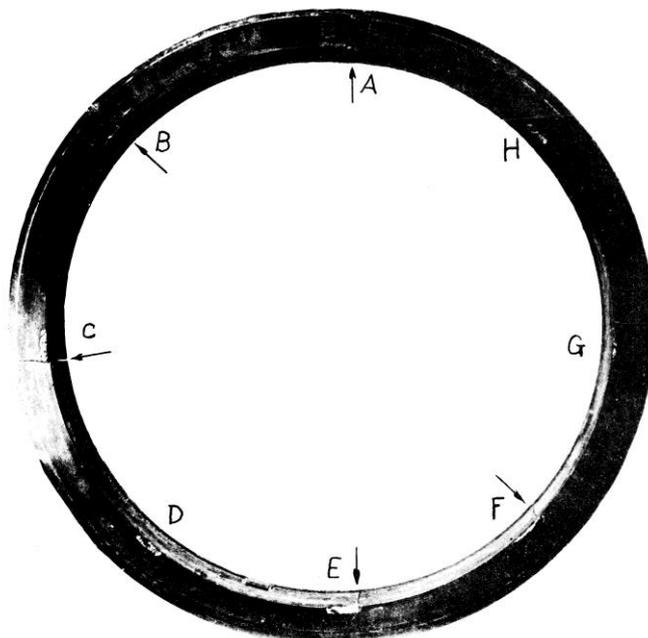
同上書, 47 頁, 第 26 圖

b) 溶接部から切損したタイヤ 筆頭はタイヤ技術史の余滴にも値せぬが, 「滿洲國」國鉄線展開史の興味深い一駒である. 図 5-3, -4 はソ連の協力・管理下に敷設・運営されていた旧・呼海鐵路の「滿洲國」國鉄編入(33 年 2 月→濱北線)に係わっている. その来歴から 5ft.(1524mm) 軌間を有したソ連系の接收路線を滿鐵なみの国際標準軌間 4ft. 8¹/₂ in.(1435mm)に改軌する

際、「満洲國」國鉄の黒幕，満鐵はその小形機関車のタイヤを外に 44.5mm 寄せて 1524mm に合せ，工車用機関車を即製したらしい。その時期は'36 年 1 月である。

図 5-3 広軌改軌のためにオフセットされたタイヤの切損事故

1. 溶着部より破断分離せる外輪



8 箇所の溶着箇所中 5 箇所より破断分離
(矢は切断箇所を示し A, B, C, E, F. 等は溶着位置を示す)

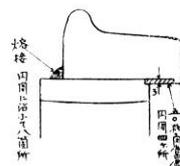
寫真説明

昭和11年1月元松浦工廠に於て標準機関車を廣軌用に改造の爲外輪と輪心とな溶着中 8 箇所の溶着箇所の内 5 箇所より切断分離を見るに至つた。

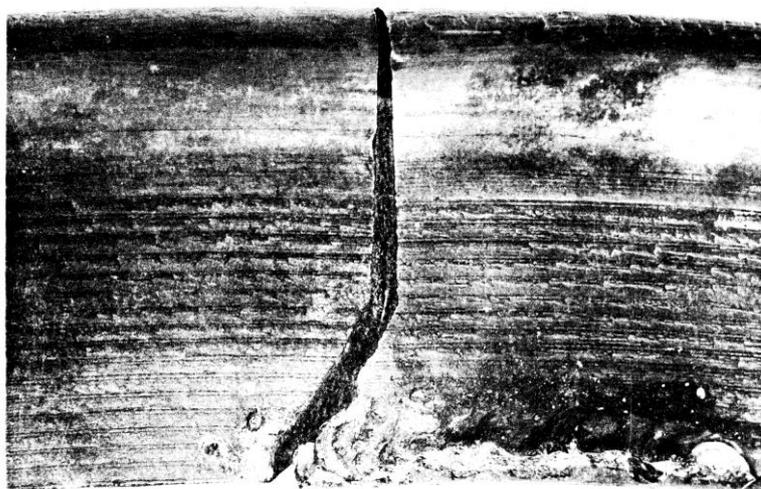
改軌方法は輪心の位置は其の儘とし外輪のみ 3 の圖面に示す如く外方に移動し溶着するもので切損の起點は溶着部の末端より發生し(寫真 1 参照)又破断面よりして溶着が切損の主要原因なるを直感せしめる。

溶着作業は零下 30°C の屋外に於て行はれたと云ふ。
外輪の厚約 62mm。

3. 外輪と輪心との溶着



2. 溶着部に於ける破断の状況



寫真 1 の F 部の破断箇所(溶着の端末部附近より起點を發す)を示す A, B, C 及 E 部に於ても F 部同様溶着部の端末附近より破断の起點を發す。

同上書，52 頁，第 29 圖の左半分。“1 月元”の“元”は地名の一部ではなく初旬……ハジメであろう。

輪心のリム角には 3×5.5 程の段付きが旋削され、タイヤは 3t×50[□]の位置決め用当金 4 枚を介して焼嵌められ、接合部 8 か所には「零下 30℃の屋外に於て」隅肉溶接が施された。

図 5-4 同上の破断面

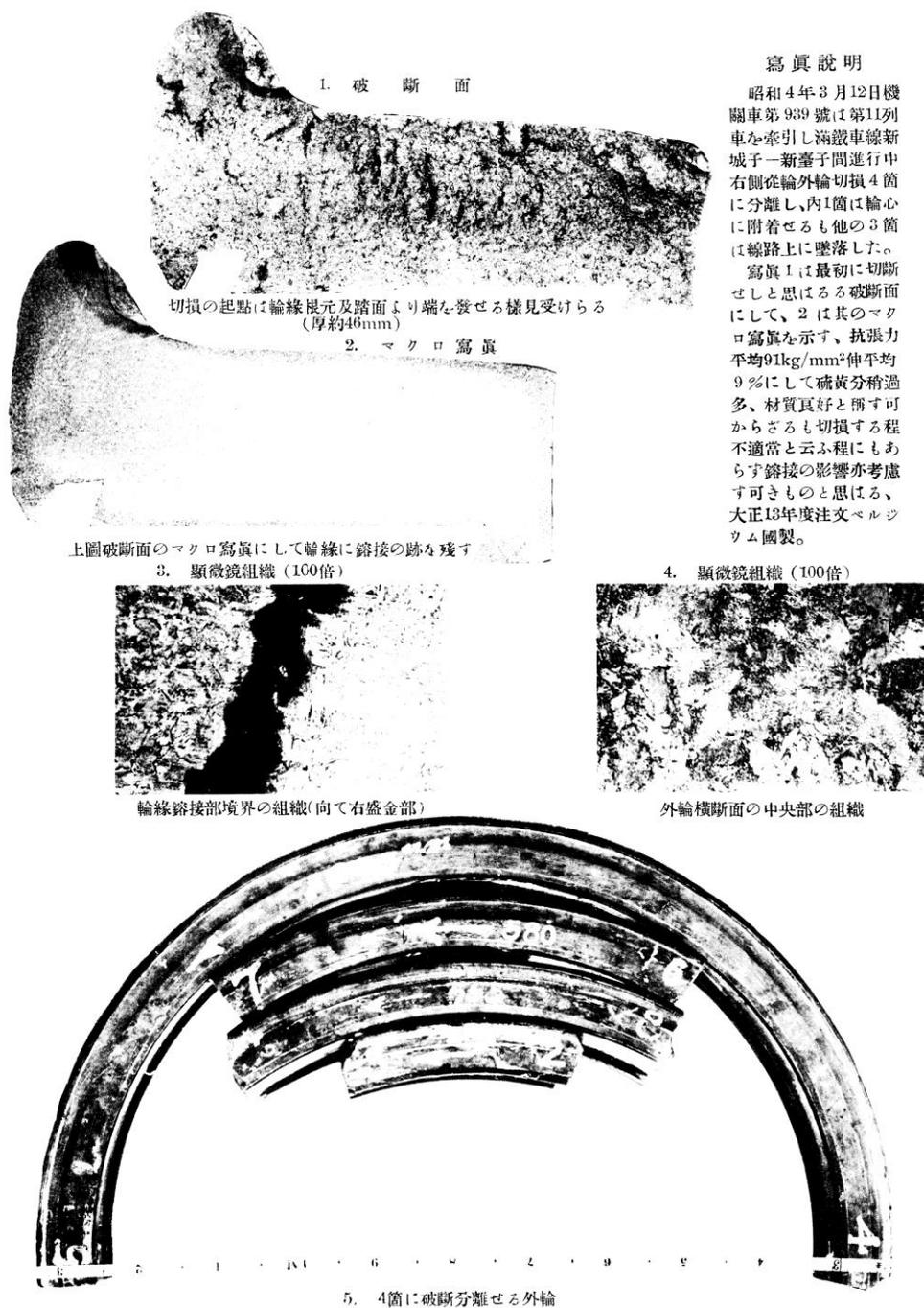


同上書, 52 頁, 第 29 圖の右半分.

この弥縫策は見事に破綻した。これをどう繕ったか、それが単なる例外事象であったからか、'35年夏より順次進捗した改軌工事は成功裏に終り満鐵はその面目を施すことになる。

続いて、図 5-5 は溶接盛金フランジから切損したパシシ第 939 号従輪のベルギー製タイヤを示す。そこに止め輪が使用されていた事実は明瞭である。

図 5-5 溶接盛金フランジから切損したパシシ第 939 号のベルギー製右側従輪タイヤ



同上書，60頁，第36圖。

図 5-6 は溶接盛金フランジを有するが、止め輪付近から疲労破壊し、4 分裂したパシシ第 923 號の住友製第 3 動輪タイヤを示す。

図 5-6 止め輪付近から疲労破壊したパシシ第 923 號の住友製第 3 動輪タイヤ



止輪溝右方に疲労罅裂発生し之より切損の端を
發せり (厚約55mm)

寫真説明

昭和10年1月17日パシシ第 923 號機關車は第 21 列車を牽引し滿鐵本線萬家嶺一許家屯間進行中右第 3 動輪外輪 4 箇に切損分離せり、寫真 1 は其の内或 1 箇の破断面にして止輪溝の右方に明瞭なる疲労罅裂発生し半月狀に發達せり、之より破斷の起點を發し進展せる模様



上圖破面のマクロ寫真、輪縁には溶接盛金の跡を残す。

を明に認める事が出来る、寫真 2 は其のマクロ寫真で輪縁に溶接により盛金施行せらるゝも切損の主要原因には關與せざりしもの之の如く觀察さる、他の破片の破面を檢するに止輪溝附近に疲労罅裂の發生なきも之より破斷進展し輪縁より破斷の發生を認められない、抗張力平均 90 kg/mm² 弱、伸 9—11% 化學的成份適當、住友製。

外輪に疲労罅裂發生する事は比較的稀である、疲労罅裂の核心は止輪溝の底部角隅ではない様である。

3. 顯微鏡組織 (100倍)

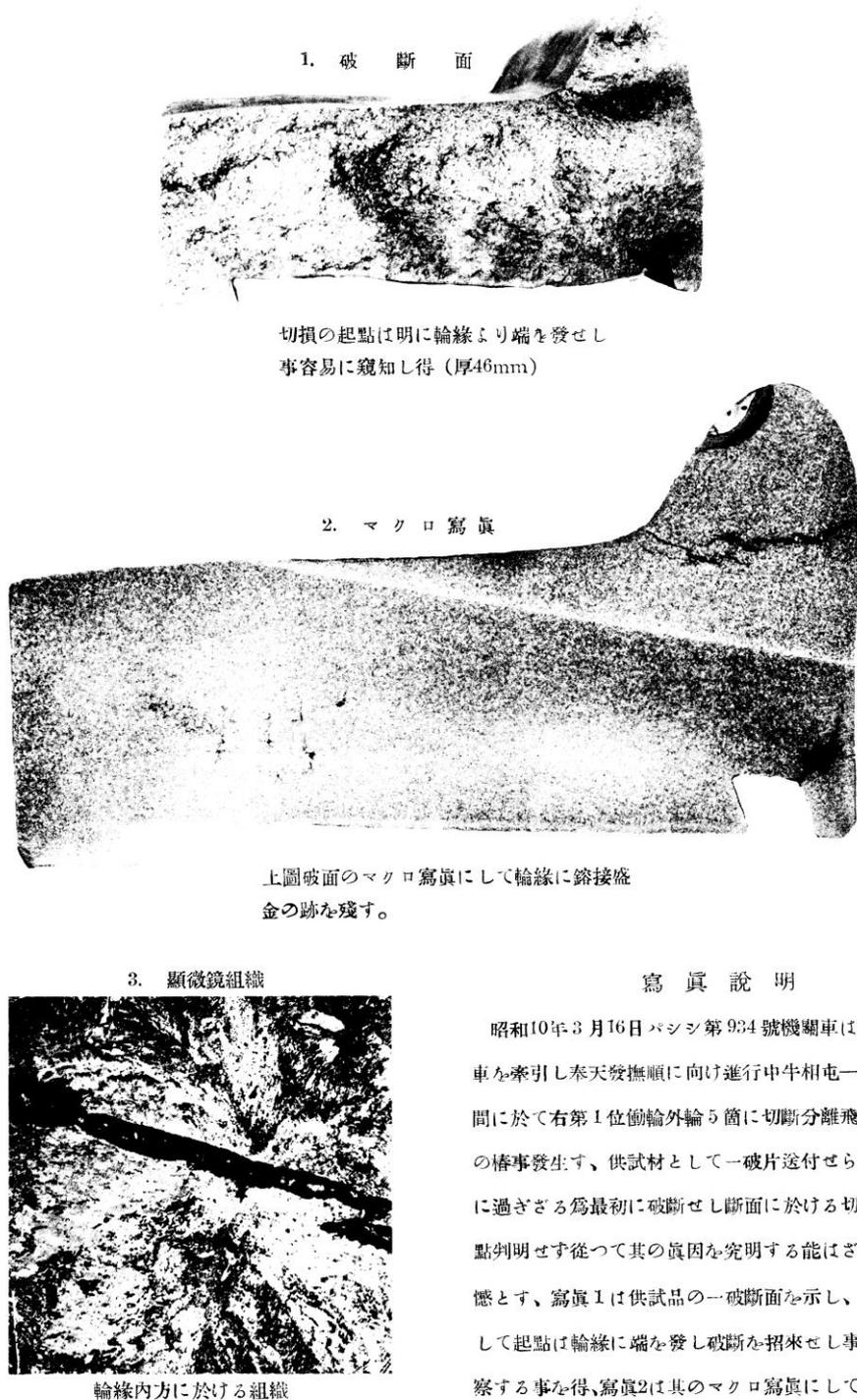


止輪溝附近の疲労罅裂發生部の組織

同上書，58 頁，第 34 圖。最後の文の真意は不明。

図 5-7 は 5 個に切損飛散したパシシ第 934 號の止め輪付き右第 1 位動輪タイヤを示す.

図 5-7 フランジ溶接盛金部から切損したパシシ第 934 號の右第 1 位動輪タイヤ



寫 眞 說 明

昭和10年3月16日パシシ第934號機關車(第83列
車を牽引し奉天發撫順に向け進行中牛相屯一深井子
間に於て右第1位動輪外輪5箇に切斷分離飛散する
の椿事發生す、供試材として一破片送付せられたる
に過ぎざる爲最初に破斷せし斷面に於ける切損の起
點判明せず従つて其の眞因を究明する能はざるを遺
憾とす、寫真1は供試品の一破斷面を示し、之より
して起點は輪縁に端を發し破斷を招來せし事明に洞
察する事を得、寫真2は其のマクロ寫真にして輪縁に
溶接盛金の跡を残す、抗張力約90kg/mm²伸10%、
外輪厚約46mm、製造所不明。

同上書, 59 頁, 第 35 圖.

c) 鋼材に欠陥を有したタイヤ これも 6 例報告されているが、破断寸前の処を発見された特急アジア客車々輪の例のみを引いておく。このタイヤも住友製の止め輪付きであった⁶²。

図 5-8 横割裂した特急アジア用客車ハ 8 第 1003 號の住友製第 1 位車輪タイヤ

1. 横 割 裂

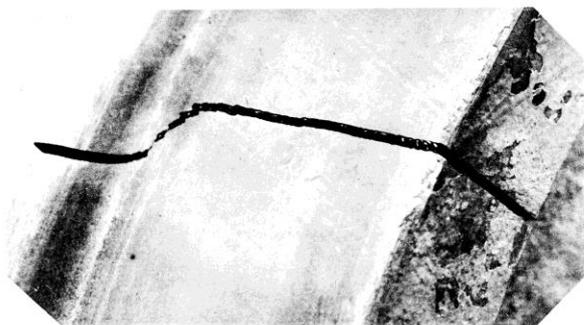


本割裂は外輪断面の全幅に亘り発生し其の罅隙表面に於て約3耗、深さ輪心に達す、而して二、三箇所辛うじて联接せるに過ぎず

寫 真 說 明

昭和11年12月4日四平街驛に於て特急アジア(第12列車)客車ハ 8 第1003號第1位車輪横割裂を生じ居るを乗務検車手點檢の際發見した。⊕

2. 横 割 裂



寫真1と同一割裂(視角を更へて撮影)

3. 横 罅 裂 (輪 縁)



寫真1の割裂部より圓周に沿ひ約1340mmを距りたる箇所に發生せる輪縁先端の罅裂

⊕

横割裂は寫真1及2に示す如く一平面を形成せず破断の起點が單に一箇所にあらざる如き示唆を與へる、寫真4は此の横割裂を外力を以て分離せる破面にして破断の起點が一は輪縁根元にあり、他は止輪溝附近にあり夫々獨立して相前後して罅裂の端を發せしものと想像せしめる。

寫真3は輪縁先端に生成せる横罅裂にして之が進展すれば横割裂となる可きものである、尙寫真は輪縁先端の旋削甚が粗雜なるを示して居る。

寫真5は4のマクロ寫真で内方に縦罅裂存在せし事を實證す。

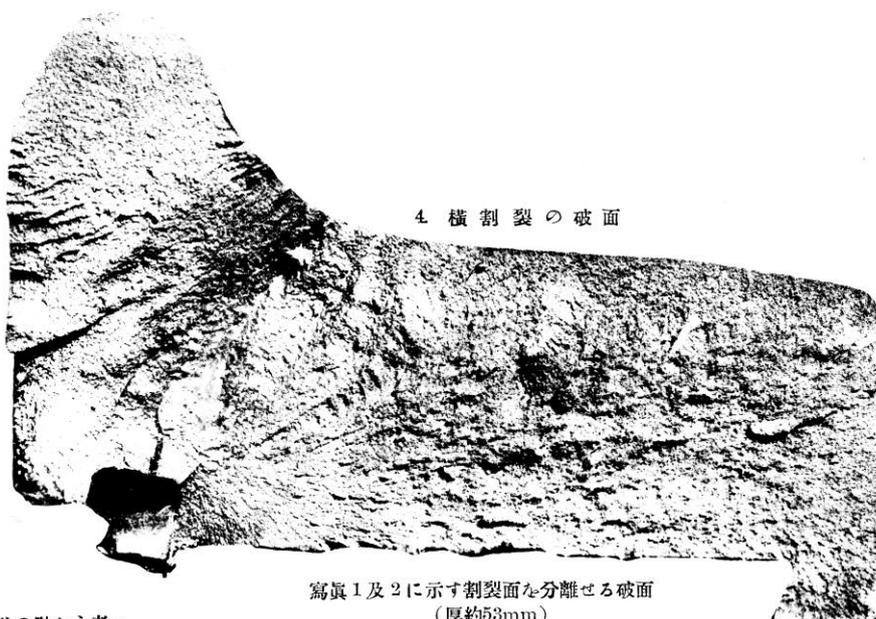
寫真6は輪心と接する外輪の内側面で内方の縦罅裂が進展して外表面に達せるもの、其の長さ約1米で、横割裂と之より約1米340距りたる横罅裂との間に於て生成して居る。

(65頁へ續く)

同上書、64頁、第39圖の左半分。説明は次図に続く。内側面は内面の謂い。

62 メーカー特定は出典文献、81~85頁の第5表に拠る(該当箇所は83頁)。

図 5-9 同上の割裂部を分離した破面

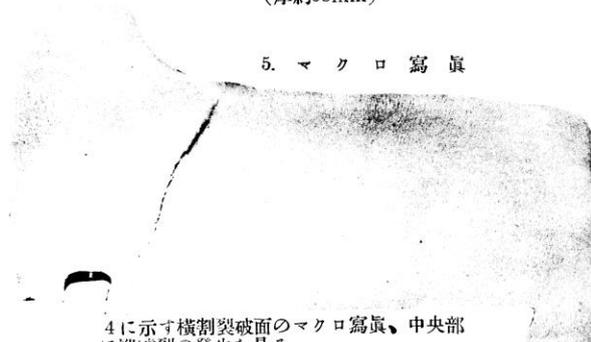


4 横割裂の破面

△

此の點から考へて縦罅裂は外輪の全體としての強度を減少する作用を爲すと共に横罅裂發生の起點ともなり得る可能性を有するから外輪の横破断とも密接なる關係ある様に考へられる而して之は云ふ迄もなく製鋼上の欠陥によつて生成したものである。

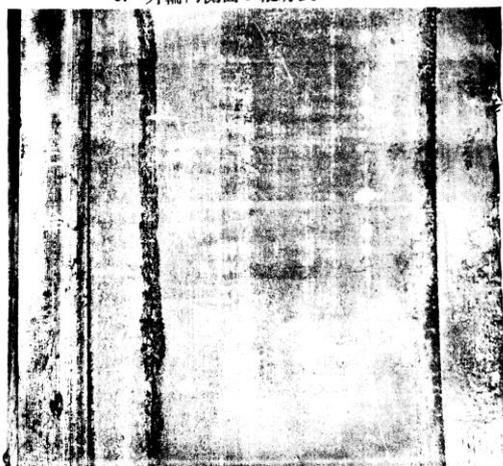
寫真 1 及 2 に示す割裂面を分離せる破面 (厚約53mm)



5. マクロ寫眞

4 に示す横割裂破面のマクロ寫眞、中央部に縦罅裂の發生を見る

6. 外輪内側面の縦罅裂



輪心と接する外輪の内側面には寫真 1 の横割裂と寫真 3 に示す横罅裂との中間長約 1 米に亘り止輪溝に平行して縦罅裂發生しあり。

寫眞說明 (64頁より續く)

材質試験の結果抗張力 92.9—101.1kg/mm² 伸 5.2—9%、断面收縮率 4.8—10.1%で抗張強度大なるも伸及断面收縮率小に概して靱性乏しきを感じしむ。

化學試験の結果は炭素含有量最大 0.79% 最小 0.74%、平均 0.77%で稍高く、滿俺量平均 0.91%で之亦高い、斯く兩者が共に高い事は靱性に於て面白からぬ結果を招くもので、米國材料試験協會の規格では滿俺量を 0.8% 以下と規定して居る。

本外輪の主要毀損と認めらるゝ横割裂は何が主要原因であつたか材質試験の結果だけでは有力且單一なる實證を擲む事が出来なかつたが、材質の靱性の不足、内部に潜在せし縦罅裂、輪縁部の旋削の粗雜等を擧げれば毀損の誘因又は副因として考へられない事はない割裂面(寫眞 4)を見ると破断起點は輪縁根元及止輪溝附近の二箇所にあり、縦罅裂は恰も之を連結するかの如く發生して居る、

△

同上書、65 頁、第 39 圖の右半分。ここでも内側面は内面の謂い。

d) その他の原因により切損したタイヤ 満鐵では変形した輪心の削正は「實際は極稀で輪心の平均直径を基礎として外輪の焼嵌シロを計算して其のまゝ焼嵌するのが常則であ」った。また、ライナも使用されていた。その結果、過大応力が働き、接合面からの破断と推定すべき事案が散見された。第 1732 號はデカ(1E), 第 1049 號はソリニ(1D), 第 407 號はダ

図 5-10 応力過大・表面疵からの亀裂により破断した Standard Steel 製動輪タイヤ

寫眞説明

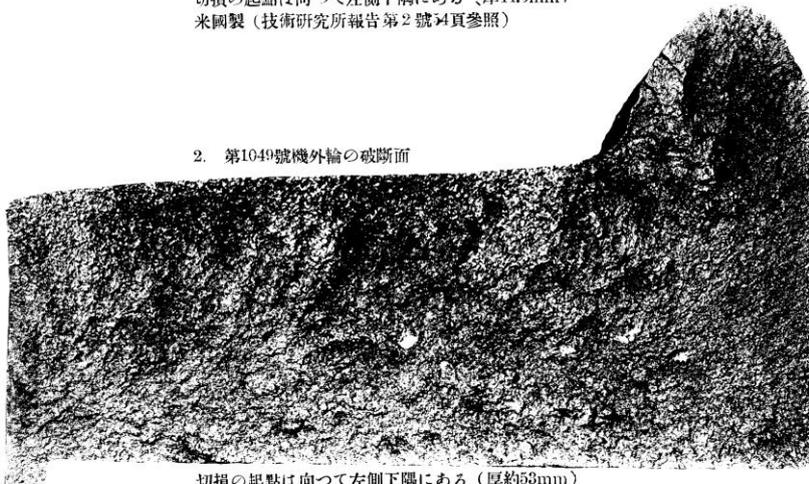
輪縁の反対内側の角隅附近より起點の端を發したものは本圖以外相當數あつた、之等毀損品の内材質試験の結果これと云ふ欠陥を發見しなかつたものは古輪心の直径不同による焼嵌シロの不適正、或は挿入ライナー（若弛緩外輪にライナーを挿入せしとすれば）の不適合等が主要原因となり内力最大部分に相當する上記角隅より

1. 第1732號機外輪の破断面



切損の起點は向つて左側下隅にある（厚44.5mm）
米國製（技術研究所報告第2號54頁参照）

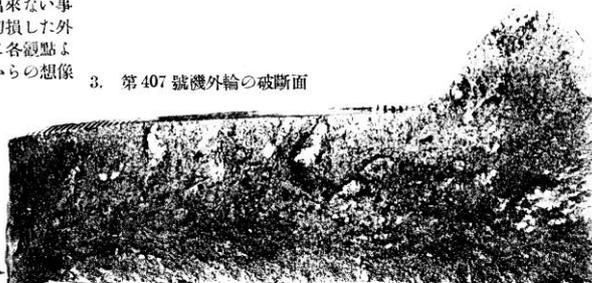
2. 第1049號機外輪の破断面



切損の起點は向つて左側下隅にある（厚約53mm）
米國製（技術研究所報告第7號44頁参照）

⊕ 破断したとも想像出来ない事はない、然し之は切損した外輪及輪心に就き詳細に各觀點より調査検討した結果からの想像ではなく單なる常識的判斷である、寫眞3示に外輪はタガネによるマークに起點を發した事は容易に首肯出来る。

3. 第407號機外輪の破断面



タガネ目

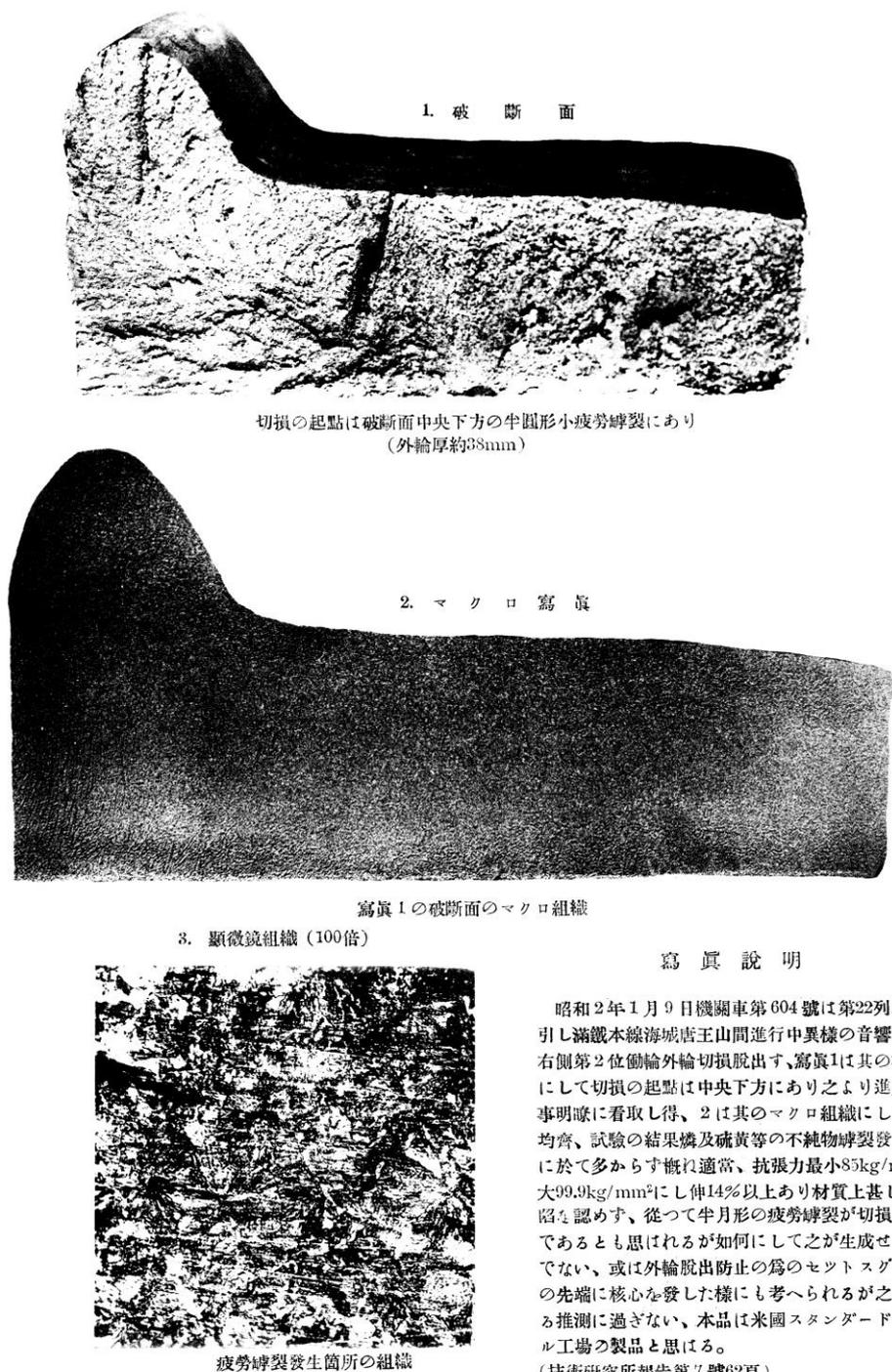
切損の起點は向つて左側下隅にある、タガネ目は外輪弛緩の移動程度を觀測する爲附せる示標と想はれ、之が切損の起點となつた様に見える、厚約38mm米國製（技術研究所報告第7號58頁）

同上書, 78 頁, 第 49 圖.

ブイ(1C2)か、切損の起点となったタガネ目は数多の弛緩例の存在を暗示している⁶³。

図 5-11 は接合面の微小疲労亀裂より切損したテホイ(2C)の右第 2 位動輪タイヤである。

図 5-11 微小疲労亀裂より切損したテホイ第 604 号動輪の Standard Steel 製タイヤ



同上書，79頁，第50圖。

⁶³ 同機は純・焼嵌め式動輪タイヤ(23年 Vickers 製)にもフランジ盛金起点の切損を來した。

セット・スクリュウ云々について付言すれば、井上は満鐵によるセット・スクリュウ式タイヤ固定法の実施は1927年頃には絶えていたという事実から、「真相不明であるが多分セットスクリュウの先端の窪孔ではなかろうと思はれる」とも述べている⁶⁴。

2) 国有鉄道

i) 戦前期の鐵道省

当時の重大タイヤ損傷事故データとしては玉置が1931~'35年度の割損事故統計を掲げてくれているので表5-1~6として紹介しよう。元データの出所素性については不明である。

表5-1 鐵道省の1931(昭和6)年度におけるタイヤ割損事故

年	月	日	局名	機号	部位	原因
6			名		D	止輪部キレツ
6			"	6760	D	盛金
6			"	D5068	D	"
6	5	9	"	D50294	D ₁ L	"
6	6	1	"	C5393	D ₂ L	材質不良
6	7	8	"	D50349	D ₁ R	盛金
6	7	20	"	D50323	D ₁ L	"
6	9	8	大	535	D ₁ R	焼入
6	10	21	名	D50174	L	剥離
6	12	6	"	D50194	D ₁ R	盛金
6	12	15	"	D50197	D ₁ L	"
6	12	24	門	68699	D ₃ R	疲労(不純物稍多)
6	12	30	"	58695	D ₂ L	材質不良(折出)
7	1	20	名	D50294	D ₁ L	盛金
7	2	21	門	C5192	D ₂ R	疲労
7	3	21	"	C51281	D ₃ L	"
7	3	22	名	D50153	D ₁ R	盛金
7	3	22	"	59668	T ₁ L	"
7	3	24	"	C535	tL	疲労
6	4	30	名	トム1351	3	材質不良(折出)
	9	9	東	"1669		"(組織粗)
	7	19	"	クハ15018		焼入

玉置『鐵道車輛のタイヤ』326頁、より。

t: 従輪, LR: 左右, D₂L: 第2動輪左, T: 炭水車, 数字は車輪位: 1列右-1列左-2列右-2列左……。

玉置に拠れば、タイヤ割損の原因は材料不良(硬過ぎ・靱性不足, 内部疵), 走行による常温圧延, 焼嵌め不良, ライナ挿入等, タイヤ側の要因と輪心の強度不足・変形, 過度の制動, レール/ポイント/クロッシングの不整, 輪軸組立て不良, 台車不良, 台車蛇行動, 低気温等のタイヤ外要因とに分けられる。材料不良による割損には早くも焼嵌め時に発生するもの

⁶⁴ 井上『毀損せる鐵道車輛鋼製部分品の破面寫眞及其の説明』77頁。

があり、ブレーキ・バーン等、使用条件に起因する割損は相当な使用時間の経過後に発生するのを常とする。実際には諸要因が相乗し、主原因不明の割損例も多かった。

表 5-2 鐵道省の 1932(昭和 7)年度におけるタイヤ割損事故

年	月	日	局名	機号	部位	原因
7	4	3	名	C 538	tL	疲 勞
7	4	19	大	8 562	D ₂ L	材質不良 (巢)
7	5	29	札	4 9667	D ₂ R	" (折出)
7	6	9	門	3 8634	D ₁ L	疲 勞
7	7	6	仙	1 8632	D ₂ L	"
7	7	14	札	3 9651	D ₁ L	焼 入
7	9	5	名	D 50374	D ₂ L	制動熱
7			門	C 51196	D ₂ L	"
7			東	C 51180	"	材質不良 (折出)
7	11	21	名	D 50249	D ₄ R	盛 金
7	12	2	"	C 51135	D ₁ L	疲 勞
7	12	28	大	C 5358	t R	"
8	1	9	名	C 531	D ₃ L	"
8	1	16	"	D 50249	D ₁ R	盛 金
8	1	18	門	6 8630	D ₃ R	疲 勞
8	1	29	"	C 51243	D ₂ R	" (内面腐蝕)
8	2	6	"	C 5120	"	材質不良 (折出)
8	2	1	名	4 8659	D ₁ L	盛 金
8	2	20	札	4 9671	D ₁ R	
8	3	1	東	C 51180	D ₂ R	材質不良 (折出)
8	3	6	東	C 50104	T ₁ L	" (巢)
8	3	17	"	C 51249	D	" (")
7			東	モユニ 2004	1	焼 入
7	4	26	名	レ 1630	4	材質不良 (不純物多)
8	2	1	仙	ト 4139	2	" (組織粗)
7	1	13	門	トム 8801		熔 接

同上書, 327 頁, より.

'32 年, 東京鐵道局管内の電動車に割損事故が 1 件見られ, 爾後, 逐年増加を示している。玉置に抛れば, これはタイヤの「バックゲージ側に焼入を施したためであり」, 名古屋鐵道局管内の割損例はフランジ盛金に起因していた⁶⁵。

蒸気機關車について観れば, D50 においては最大軸重下で轉向横圧に曝される第 1 動輪, C51 では最大軸重の第 2 動輪, C53 では從輪に割損が多発した。既述の通り, 從輪は小径

⁶⁵ タイヤ内側面(バック・フェイス)を焼き入れたの謂いか? 輪心の疲労強度不足を補うためかとも想われるが恐らくこれ位では実効性皆無であったろう。ともかく意図不明にして異例の処置である。

なお, バックゲージとはタイヤないし車輪内面間距離を測定する計測機器。バックゲージとその使用状況については広重『輪軸』189~190 頁, 『鐵道輪軸』214~215 頁, 参照。これは輪軸組立てや輪軸の検査時に行われる計測で, 車輪と車軸との関係を診るための方途である。

であるにも拘らず、比較的重軸重に設計されており(C53 では動軸重とほぼ等しい 15.3t)、使用条件が厳しく、軸重移動の影響を最も大きく受ける車輪である。

表 5-3 鐵道省の 1933(昭和 8)年度におけるタイヤ割損事故

年 月 日	局 名	機 号	部 位	原 因
8 5 28	札	D5095	D ₃ R	熔 接
8 9 25	大	C51116	D ₂ L	疲 勞 (締 替)
8 9 30	札	C51138	D ₁ R	熔 接
" "	"	"	D ₂ R	"
8 10 7	門	C51222	D ₂ L	制 動 熱
8 10 30	名	C5160	D	疲 勞 (締 替)
8 11 5	大	48631	D ₂ L	"
8 11 8	札	18652	D ₃ R	材 質 不 良 (折 出)
8 11 21	東	2327	D ₃ L	"
8 12 2	名	D50304	T	盛 金 (使用限度)
8 12 17	名	C51103	D ₂ L	疲 勞
8 12 21	大	88634	D ₂ L	材 質 不 良 (巢)
9 1 2	名	C5391	tR	盛 金
9 1 4	"	C51118	D ₁ L	止 輪 部 變 質
9 1 24	門	38624	D ₂ L	疲 勞
9 1 26	"	C51195	D ₁ L	" (締 替)
9 1 30	東	D50321	D ₃ L	材 質 不 良 (巢)
9 3 21	大	C5328	t R	疲 勞 (内面腐蝕)
9 3 23	名	D5024	D ₁ R	盛 金
9 1 20	東	モハ 3003	2	焼 入
2 7	"	" 10165	7	"
3 15	"	" 10124	4	"
9	"	"	"	"
8 10 28	東	ワム 21290	4	材 質 不 良 (巢)
11 2	名	ワム 894	"	" (")
8 12 3	門	オロ 30733	6	"
9 1 20	札	ナハ 23708	1	疲 勞
9 2 19	大	ワム 5564	"	"

同上書, 328 頁, より.

盛金は母材を加熱するが、盛金部に比して母材は熱容量が大きいいため自ずと急冷され、その組織は硬く脆いマルテンサイト化される傾向が強い。つまり、焼入れされる。特に、溶接ビードの終端部は続く溶接部への加熱に因る焼戻し効果を被らぬため急冷され易く、危険度が高い。

同じことはブレーキ・バーンや動輪の空転時にも該当する。固体同士が接触する場合、表面の粗さ故に見かけは平滑面でもその真実接触面積は小さく、軽く擦れ合った場合でも無潤滑の場合、真実接触面の温度は容易に 1000℃程度に達し熱点となる⁶⁶。

⁶⁶ Bowden and Tabor/曾田範宗訳『固体の摩擦と潤滑』丸善, 1961 年, 34~36 頁, 参照.

これを機能として行い、運動エネルギーを熱エネルギーに変換し散逸させるのが摩擦ブレーキである。変態点を超えて加熱された熱点はブレーキの緩解後、急冷さ・焼入れされ、硬く脆い組織となる。この組織には輪心とレールとの間の常温圧延によって微細な亀裂が入り、その成長はタイヤの割損へと繋がりがちである。

表 5-4 鐵道省の 1934(昭和 9)年度におけるタイヤ割損事故(1)

年	月	日	局名	機 号	部 位	原 因
9	4	1	東	C 5 1 4 4	D ₃ R	材 質 不 良 (巢)
	5	23	大	C 5 1 3 0	D ₁ R	制 動 熱
	6	23	門	C 5 1 6 8	D ₁ R	疲 勞 (内 面 腐 蝕)
	7	11	札	1 8 6 4 9	D	盛 金
	8	22	大	C 5 1 2 0 9	D ₃ R	材 質 不 良 (巢)
	9	14	東	2 9 6 0 4	D ₁ R	" (")
	9	27	名	D 5 0 2 4 5	D ₁ L	盛 金
	10	3	"	D 5 0 2 4 6	D ₃ R	"
	10	14	名	D 5 0 2 6 2	T ₁ R	"
	12	10	門	C 5 1 2 5 1	D ₂ R	疲 勞 (内 面 腐 蝕)
	12	12	東	C 5 1 3 8	D ₁ L	焼 入
	12	20	名	D 5 0 7 5	T ₄ R	盛 金
	12	24	"	D 5 0 2 5	E ₂ R	制 動 熱
	12	26	"	D 5 0 1 9 8	D ₁ L	"
	12	29	門	C 5 1 2 1	D ₃ R	"
10	1	15	仙	D 5 0 5 5	D ₁ L	焼 入
	1	19	"	4 9 6 9 4	D ₃ R	制 動 熱
	1	19	名	D 5 0 2 1	D ₃ R	"
	2	2	札	3 9 6 6 7	D	焼 入
	2	7	名	C 5 3 4	D ₂ L	制 動 熱
	3	11	大	C 5 1 8 8	D ₂ L	"
	3	15	名	C 5 3 7 4	D ₂ R	"
	9	5	東	モハ 3 1 0 0 9		焼 入
	6	"	"		材 質 不 良 (巢)	
	6	8	"	" 1 0 1 7 9		焼 入
	7	10	"	"		"
	7	10	"	" 大 井 9 1 1 号		"
	7	10	"	" 9 1 2 "		"
	7	10	"	" 9 1 3 "		"
	"	"	"	" 9 1 4 "		"
	"	"	"	" 9 1 5 "		"

同上書, 329 頁, より.

鋼塊からの切出しに発し、鍛造による粗形材成形からタイヤミルによる圧延に至るタイヤ粗形材の変形過程を想起すれば明らかな如く、鍛錬比(鍛造比)という点から観ればタイヤのそれは円周方向に大きく軸方向には小さい。このことに因ってタイヤ鋼は相対的には円周方向に高く軸方向に低い伸びと衝撃値を有する。このことは耐割損性の点では有利である反面、耐弛緩性という点では不利となる。炭素含有率についても同様であり、タイヤ鋼は

相反する性質を際どくバランスさせたところで使用されるべき材料ということになる。

東京鉄道局管内の電動車焼入れタイヤの割損事故は'34年度，最高潮に達している。上述の通り，タイヤ内側面に焼入れを施した意図は不明である。申し添えれば，タイヤ内面間距離を測るためにバックゲージを当てた位では測定面に大した疵は付かない。

表 5-5 鐵道省の 1934(昭和 9)年度におけるタイヤ割損事故(2)

年 月 日	局 名	機 号	部 位	原 因
7 10	東	モハ 916 "		焼 入
"	"	" 917 "		"
8 20	"	" 918 "		止 輪 部 キ レ ッ
8 14	"	モハ 30116	7	焼 入
10 25	"	" 30113	2	"
10 26	"	" 30165	3	"
"	"	" "	5	"
"	"	" "	2	"
"	"	" "	6	"
11 1	"	" 10181	4	"
11 5	"	" 31051	3	焼" 入
"	"	" 10040	4	"
9 12 18	"	" 30102	2位	焼 入
12 19	"	" 31022	3	材 質 不 良 (巢)
10 1 9	"	" 30087	4	焼 入
2 11	"	" 30115	1	"
3 9	"	" 30012	3	材 質 不 良
9 4 10	"	オハ 18274		" (巢)
7 1	"	ト 4071		" (")
10 10	"	ナハ 12530		" (")
10 4	門	セム 2275		"

同上書, 330 頁, より。

電動車における内側面焼入れタイヤの割損事故は'35年度に至り漸く終息の傾向を顕現し始めている。他方，鐵道省旅客用電気機関車を定礎する型式となった EF53 の動輪にもタイヤ内側面への焼入れが施されていた事実が表 5-6 下から明らかとなっている。

各鐵道局が勝手にあれこれの新機軸を験したとは思えぬから，この件も本庁や鐵道大臣官房研究所との何らかの連携ないし示達の下に電動車や電気機関車といった該当車両を多く配置されていた東京鐵道局にて実施された試行なのであろう。

然しながら，その具体的経緯を知るための手がかりは極めて乏しい。『鐵道技術発達史』に至ってはそもそもこの方面に係わる戦前の事蹟についての言及を一切欠く有様であり，目下のところその経緯については闇の中とせざるを得ない。

戦前期，鐵道省時代のタイヤ割損事故データを振返った序でに，些か蛇足めくが，一連のタイヤ割損表にその名を連ねる古い型式の蒸気機関車群について概説しておこう。6760 は 1914~18 年，川崎造船所製の旅客機で 2B テンダの初号機，500 型は 1887~1902 年，Dubs(英)

製の 1B1 タンク機, 8550 型は 1899~1906 年, Schenectady(米:→Alco)製の 1C テンダ機, 2327 は'05 年, North British(英)製の C1 タンク機(所謂 B6 の内, 2120 型の 1 両), 8705 は'11 年, North British 製の旅客用 2C テンダ機 8700 型の 6 号機, 8724 は翌年, これを鐵道省が汽車製造にコピーさせて誕生させた国産化版 8700 型の 12 号機, 900 型は 1898 年, Schenectady 製の 1B1 タンク機である. 寄せ集めと模倣の構図は滿鐵のそれを彷彿とさせる. なお, この中では相対的に製造年の新しい 6760 型のみが過熱蒸気機関車であった⁶⁷.

表 5-6 鐵道省の 1935(昭和 10)年度におけるタイヤ割損事故

年	月	日	局名	機号	部位	原因
10	4	9	仙	C511	D ₃ L	疲労(内面腐蝕)
	4	19	名	C5373	tL	材質不良
	5	26	名	C51155	D ₂ L	疲労(ライナー)
	6	21	"	38676	"	"(材質不良)
	7	11	東	8724	D ₂ R	材質不良(巣)
	8	16	"	28697	D	"()
	9	5	"	C51249	D ₃ L	"(折出)
	9	10	"	18691	D	"(巣)
	9	19	"	914	D ₁ L	"()
	9	20	"	8850	D ₁ R	焼入
	11	21	"	59621	D ₃ L	材質不良(巣)
	12	2	札	9041	D	"()
	12	3	門	C5119	D ₂ R	疲労(ライナー)
	12	8	東	D50159	D ₃ R	材質不良(剝離)
11	1	8	"	8705	D ₁ R	焼入
	"	"	"	"	D ₁ L	"
	"	"	"	"	D ₂ L	"
	1	20	仙	C51157	D ₁ L	疲労(ライナー)
	2	2	名	C534	D ₂ R	ライナー(材質稍不良)
	2	5	大	D50270	D ₂ R	制動熱
	2	17	名	D50357	D ₃ L	"
	2	27	"	C5158	D ₁ L	"
	3	4	東	58632	D ₂ L	材質不良(巣)
	3	8	名	D50239	D ₃ L	制動熱
3	22	門	C51220	tR	ライナー(タイヤ薄)	
10	4	25	東	モハ31009		焼入
11	3	3	"	EF534	D ₁ L	"

同上書, 331 頁, より.

ii) 戦後の国鉄

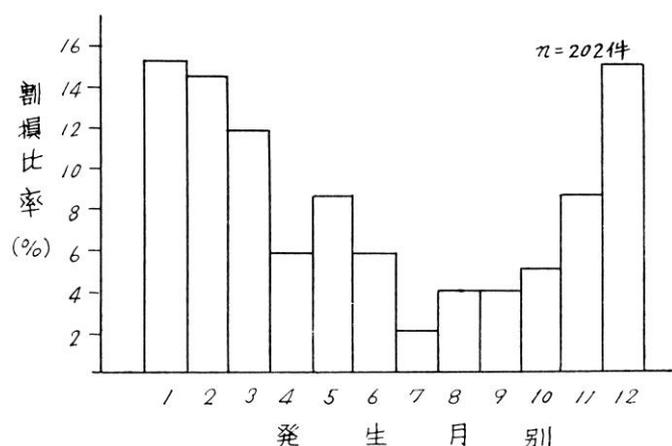
『鐵道技術発達史』の記述は戦後のタイヤ割損事故に関してもごく粗略なモノだけである. 以下, この間の動静を玉置や広重の記述によって補足しつつ紹介して行く⁶⁸.

⁶⁷ 荒井文治・臼井重信『機關車ガイドブック』誠文堂新光社, 1963 年, 卷末資料より.

⁶⁸ 『鐵道技術発達史 V 第 4 篇 車両と機械(1)』391~392 頁, 玉置『鐵道車輛のタイヤ』

広重は1948年から'63年までの間に国鉄で発生したタイヤ割損事故は総計202件であったと述べているが、年ないし年度別の数値は挙げていない。広重が掲げているのは月別発生比率の集計である。これを図5-12として引用しておこう。

図5-12 国鉄における月別のタイヤ割損比率(1948~'63年)



広重『輪軸』81頁，図2.15.

井上が語った満鐵での切損事故と同様，厳寒期の発生比率が際立つ(国内ゆえ，気温自体は満鐵の場合より余程高かった筈であるが)．そこで1963年のタイヤ規格改正時，材料の靱性向上に留意し“圧延後700℃まで空冷してから炉中で600~500℃になるまで3時間以上保持した後，取出して空冷”という従来の段取りは圧延後，焼均しを行う，即ち“炉中で830~870℃に2時間保持の後，取出して空冷する”工程へと変更された。

広重は「焼ナラシの実施により過去の冬期におけるタイヤ割損の集中化の要素の一つは取り除き得ることが期待できる」と述べている．もっとも，その成否については定かではない．時代は急速に一体圧延車輪へとシフトして行ったからである⁶⁹。

戦後，貨物用大形機関車の動輪と電動車々輪を中心にタイヤ割損事故が頻発した．'50年度においては住友(新扶桑)の'46~'48年製のものに多く，厚いタイヤにも割損を生じていた．そこで'51年，国鉄本社技師長の下，関係各方面を糾合し「車軸，タイヤ折割損対策調査会」が設置された．鉄道技術研究所においては割損タイヤ25個の材料分析が行われた．それらの原因別は白点(内部疵)11件，ブレーキ・バーン/亀裂11件(フランジ部に多発)，気泡/偏析2件，疲労破壊1件であった。

1949，'50，'52，'53~'58年度の国鉄におけるタイヤ割損事故は玉置によって次のように集計されている．相変わらず元データの出所来歴は不明である。

332~336頁，参照。

⁶⁹ 広重『輪軸』81~83頁，参照．引用は83頁，より。

表 5-7 1949(昭和 24)年度の国鉄におけるタイヤ割損事故

年 月	発 生 場 所	破 損 個 所	車 号	タ イ ヤ 種 別
24. 4			S L	
24. 5			S L	
"			S L	
"			G	
"			G	
24. 6			S L	
"			S L	
24. 7			S L	
"			S L	
"			G	
24. 10			S L	
24. 11			S L	
"	横 須 賀 線	ブレーキバーン	E C	A 5 5
"			G	
24. 12	中 央 線	ブレーキバーン	E C	A 5 1 5 8
"			G	
25. 1			S L	
"			S L	
"			G	
25. 2			S L	
"	京 浜	ブレーキバーン	E C	1 4 7 3
25. 3			S L	
"			G	

玉置『鉄道車輛のタイヤ』334 頁, より.

表 5-8 1950(昭和 25)年度の国鉄におけるタイヤ割損事故

年 月	発 生 個 所	破 損 個 所	車 種	タ イ ヤ 種 別
25. 4	横 須 賀	ブレーキバーン	E C	E 6 1 9 1
"			G	
25. 5			E L	
"	横 浜 線	ブレーキバーン	E C	7 5 7 6 0 0
25. 6	横 須 賀	ブレーキバーン	E C	7 1 4 7 5
"	鶴 見 線	焼 嵌	E C	2 A 7 8 4 3
"	総 武	"	E C	E 6 3 5 4
25. 7			S L	
25. 8	山 手	ブレーキバーン	E C	2 A 6 2 4 3 2
25. 10			S L	
"			G	
25. 11			S L	
"	京 浜	ブレーキバーン	E C	
"	総 武	焼 嵌	E C	
25. 12	中 央 線	ブレーキバーン	E C	
"	総 武	焼 嵌	"	2 A 6 2 0 2 9
"	"	"	"	7 6 7 1
25. 12	大 阪	焼 嵌	E C	2 B 6 9 6 5
"	"	"	"	7 E 8 1 0 1
"	"	"	"	5 7 1 3 6 9
"	"	"	"	E 7 6 0 4
26. 1			S L	
"	中 央 線	ブレーキバーン	E C	
"	横 須 賀	"	"	E 7 8 5 2
"	"	"	"	
"	"	"	"	7 S 8 1 0

同上書, 335 頁, より.

表 5-9 1952(昭和 27)年度の国鉄におけるタイヤ割損事故

27 10	仙 鉄	割 損	D51 DL3
27 11	仙 鉄	"	C51TR3
27 12	名 鉄	"	C59D
"	名 鉄	"	C59DR1
28 1	札 鉄	"	D50DR3

同上書, 335 頁, より.

表 5-10 1953~'58(昭和 28~33)年度の国鉄におけるタイヤ割損事故

年 度	年 月 日	発 生 場 所	破 損 個 所	車 号	タ イ ヤ 種 別
28	28 4 11	山手 目黒	ワレ オ3位	36037	T W
	4 28	北陸 南井	キズ入	ワム 30948	"
	10 17	山陽 フキ中野	フランジ欠損オ4位	トム 9115	"
	10 20	" 岡山	欠損	L 6225	"
	29 2 5	函館 奈井江	ワレ 炭 L2	C 5124	"
	3	秋	割損	C58 TR8	"
29	29 7 27	東海道 勝所	78位 踏面剝離	シキ 252	"
	9 19	山陽 岩田	剝離各位	ワム 14658	"
	9 25	函館 長万部	ワレ オ1位	レ 2982	"
	9 28	東北 水沢	徒台車R	D 51102	"
	7	札	割損	C57 tL	"
	30 1 13	東海道 大阪	910位一部剝離	スハ 43284	"
	3 1	網走 呼人	ワレ DR ₂	18694	T 140
	7 24	" 岐阜	ワレ DL1	D 52416	T 125
30	30 5 13	東海道 浜松	キレツ オ2位	ワム 2389	T W
	5 27	東北 長町	ワレ オ4位	ワム 52480	"
	31 2 2	東北 郡山	ワレ D1	ED 169	T 109
	3 26	山陽 西阿知	" 6位	オハ 851232	T W
	3 31	東海道 大阪	フランジ欠ケ8位	スハ 32588	"
	30 8	秋	割損 tL	D51	T W
31	31 31 7	広	割損 tL	C59	T W
32	32 5	日豊 大分	割損 L	C552	T W
	32 2	篠ノ井 冠着	割損 DR ₃	D 51501	
33	33 11 17	信越 軽井沢	割損 DL ₃	D 51323	

同上書, 336 頁, より.

即時的および将来的対策として伸び・絞りの大きい鋼材の調製(但し, 炭素含有率を下げることは耐摩耗性が損なわれる), 製鋼時の異物介入抑止と脱ガス徹底, 圧延後の徐冷徹底, 落重試験の実施, 入念な工作, ブレーキ操作の適正化, フランジ部に作用しない制輪子の採用, 制輪子材質の改善, 一体圧延車輪への移行等が議論され, 当面の対策としてはフランジに作用しない制輪子の使用, ブレーキ操作の緩徐化, 入念な工作, が指示された⁷⁰.

⁷⁰ フランジ部に作用しない制輪子を蒸気機関車について観れば, 炭水車用に乙 20, 160, 161 号, 動輪用に乙 164 号(→C55, E10: 第 3, 第 4)が設定されたが, その採用は特に動輪に

貨車におけるタイヤ割損事故について広重は表 5-11 のようなデータを掲げている。過去 15 年間の統計とあり'49~'63 年の 15 年間かとも想われるが肝心の起点は不記載である。

表 5-11 過去 15 年間に国鉄で生じた貨車におけるタイヤ割損事故

厚さ (mm)	年次	製 造 年 次															計
		16年 以前	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29年 以後	不明	
タ イ ヤ 厚 さ (mm)	24							1	1						1		3
	25	1	1													1	3
	26	1		1					1	1						1	5
	27		1						2	2		1	1			1	8
	28	1	1		2				1	2							7
	29			2	1	1				2						2	8
	30	1	1							4		1				1	8
	31		1	1	1					3						1	7
	32		1	1		1							1				4
	33															1	1
	34																0
	35							1									1
	36~39				1		1		1	1							4
	40~44						2		2	2							6
	45~49								1	1							2
	50~54	1								1							2
	55以上									4	1						5
	計	5	6	5	5	2	3	1	9	24	1	2	2	0	1	8	74

広重『輪軸』250 頁，表 5. 7.

当時，機関車用タイヤにおいて摩耗限度とされていた厚さ 28mm 未満のタイヤと 1949 年以前製のタイヤとを取替えれば過去の割損事故 74 件中，71 件，95%は防止出来ていたという推計となった。

'64 年 5 月 16 日の総裁達第 272 号において厚さ 28mm 未満のタイヤ，'49 年以前製タイヤの取替えが指示された。更に，'64 年 7 月 30 日の総裁達第 393 号によって'49 年以前製タイヤの取替え限度は「厚さ 35mm 未満」と定められ，1967 年 12 月 25 日の工修第 2236 号「昭和 24 年以前製タイヤ使用制限の徹底方について」において 1949 年以前製のタイヤを客貨車以外の車輪に用いることは厳禁された⁷¹。

においては限定的であった。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，115~117 頁，参照。

⁷¹ 広重『輪軸』249~251 頁，参照。

6. 本邦国有鉄道におけるタイヤ固定技術の変遷と世界の動向

1. 本邦国有鉄道におけるタイヤ固定技術の変遷

1923(大正12)年, 当時, 満鐵, 朝鮮鐵道においては「止め輪」などタイヤの補助固定具なしの所謂アメリカ流, 純・焼嵌め法を成功裏に実施しており, 北海道でも 5700, 8100, 9200 型機関車にこれを適用して支障を来していない事蹟に鑑み, 第 2 回車両研究会においては止め輪廃止の義が取上げられた⁷².

他方, 九州では 8550, 5700 型機関車に純焼嵌め法を適用したところタイヤ脱出事故を生じ, 止め輪の導入により事なきを得るといふ真逆の事態が経験されていた. このため, 研究会での議論は収斂に至らず, 従来通り止め輪を使用し, 「重要な問題であり即決しがたい. 各装置に対しユルミ破損などを統計的に調査し, 工作上的難易なども考慮し, なお研究するを適当と認める」との結論に至った. 鐵道省におけるタイヤの締め代比は上述の通り 1/1000 であった.

翌年の第 2 回^マ車両研究会特別委員会においては焼嵌めによるタイヤと輪心の変形, 測定方法, 摩耗限度における弛みの状況, タイヤおよび輪心削正後の経過時間と寸法, 直径と焼嵌め代との関係, タイヤ止め装置について審議され, 後者については「現行のもの(止め輪式)を適当と認める」と結論付けられた. 然しながら, 止め輪の溝付近には往々にして亀裂の発生とこれによるタイヤ寿命の短縮が観察されるという事実もあった.

1933(昭和 8)年の第 21 回車両研究会においてもこの問題が取上げられ, 数種の改良案が提出されたが, 即決には至らず, これに関連するタイヤ弛み防止の問題と併せて住友金属工業, 神戸製鋼所, 川崎車輛, 鐵道大臣官房研究所, 東京鐵道局, 大阪鐵道局, 工作局を委員とする特別委員会に研究が付託された. 研究所ではその後, 車両研究会とは独立した研究が継続された. 他方, この頃から 9600 型の動輪に止め輪を配したモノの試用が開始されている. それらについては後年, 「既に 10 数年異状なく使用中……」と報告された⁷³.

世界的に観れば, 安全性に優る一体鍛鋼車輪の蒸気機関車動輪以外への採用は 20 世紀初頭, アメリカで始っており, ややあって一体鑄鋼車輪の製造も行なわれるようになっていた. 我国においても'33 年にはアメリカ, Edgewater Steel Company 製圧延機を輸入し, 旧満洲, 朝鮮の鐵道向けに数種類, 総計約 1 万枚の一体鍛鋼車輪が製造された. しかし, 国有鐵道をはじめ内地の鐵道においては鋼材と経費の節約のためタイヤ焼嵌め車輪が採用され続けねばならなかった⁷⁴.

⁷² 以下, このテーマについては特に断らぬ限り, 『鐵道技術發達史 V 第 4 篇 車両と機械 (1)』 395~399 頁, 玉置『鐵道車輛のタイヤ』 29~33 頁, 広重『輪軸』 143~144 頁, に拠る. なお, 満鐵で純・焼嵌め法が行われていたと言っても, 既に縷々観て来た通り, 全てがそれに帰一していたワケでも, それに係わる事故が皆目発生していなかったワケでもなく, むしろその実態は真逆であった.

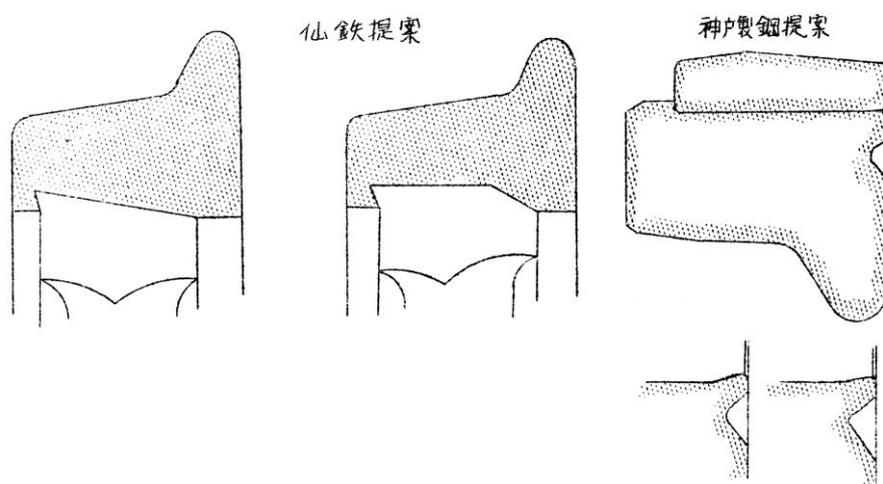
⁷³ 『新訂増補 機關車の構造及理論 中巻』 161 頁, 参照.

⁷⁴ 前掲拙稿「20 世紀前半アメリカの鐵道輪軸について(1/2)」, 『鐵道輪軸』 63 頁, 参照. 無論, 摩耗の激しい蒸気機関車の動輪などはアメリカでも最後までタイヤ焼嵌め式であった.

かかる流れを背景として1936年6月には「客貨車タイヤ焼バメ作業基準」が、翌年4月には「機関車タイヤ焼バメ作業基準」が制定された。

特別委員会では主としてタイヤの取付方法に係わる研究が推進された。しかし、各種の考案は何れも成功しなかった。即ち、1942年頃までに車両研究会で取上げられたタイヤ固定法には仙台鉄道局の勾配により脱出防止を図る案(図6-1左, 中), 円周数箇所を溶接する案, 神鋼のタイヤ内側面に円周溝を付けその縁をハンマを用いてかしめる案(図6-1右: 広重に拠れば締め代は与えない), 焼嵌めのみによるタイヤ固定法などがあつた。

図6-1 仙台鉄道局の案と神戸製鋼所の案



玉置『鉄道車輛のタイヤ』30頁, 第30図, 第31図。

この内、勾配式は工作上の難点を伴つた。とりわけ、タイヤ内周面と輪心外周面との接合部は制動時、タイヤが昇温した際に熱を逃がす熱流路をなすため、そこに密着不良を生ずれば、ブレーキバーンの危険性は著しく昂進する。また、溶接式においてはタイヤ材料への悪影響が見出された上、弛み防止には効がなかつた('35年報告)。

神鋼式は大鐵にてC55の従輪に適用した現車試験が行われた。しかし、第1次試験では23~25.5ヶ月を経て弛みを生じ、試験中止に至つた('36年報告)。形状寸法を一部変更した改良型の試験は継続されたが、10~20ヶ月後に全て使用困難となり試験は中止された。

止め装置を更に改良するとともに、輪心の強度を増す案が提起されたが('39年報告)、試作以前に将来、焼入れタイヤが使用される事態を考慮する場合、このようなかしめを行う方案は不適當と判断されたため、試験は打切られた(第30回, '41年報告)。

焼嵌めのみによる方式はタイヤが弛んだ場合に脱出、裂損・飛散の恐れありとされていたが、東鐵での現車試験では50ヶ月を経て何ら異常なかつた。その後、現車が華中鐵道へと転出せしめられたため、彼の地にて観察を継続する旨、決定された('41年報告)。

'36年以来、蒸気機関車の動輪にボックス輪心が採用されるようになり、その強度が向上

するとともに均一性が高められていた。かくて、輪心の変形に起因するタイヤの弛みが著しく抑止されるようになると、工作精度の向上と相まって純・焼嵌め法によるタイヤ固定法の信頼性が増すものと考えられるようになっていた。

確認のため、'40年、ボックス型と従来のスポーク型の動輪について輪心の変形とタイヤの弛みについての比較調査が着手され、ほぼ予期どおりの傾向が明らかとなった。'41年の車両研究会においては更なる調査の継続と純・焼嵌め法による現車試験を東京、名古屋、大阪、広島、札幌の5鉄道局にてD51を用いて行うことが決められた。

その結果を踏まえ、'42年度特別委員会においては：

- (1) 調査の結果、輪心の設計が良く出来ているもの、および工作が入念に行われているものについてはタイヤの弛みが極めて少ないこと
- (2) 現車試験の成績から止め輪の有無はタイヤの弛みにあまり関係がないと思われる
- (3) 弛んだ場合の安全装置としての止め輪は第1項のような車輪に対しては不必要と思われる。この見地から、止め輪のない機関車を次第に増加させ、それで十分安全であるとの確信が深まれば将来的に機関車には止め輪を用いないでよくなると思われる

と決議された。この中でも特に(1)などは技術幹部による工作・検修現場への責任転嫁そのものと形容可能な論である。

'43年1月、戦時規格委員会規程が定められ、同年2月、製作会社を交えて戦時設計打合会が開催され、タイヤ止め輪は正式に廃止され、前掲図2-6「乙」が正規の型式となった。つまり、我が国有鉄道における純・焼嵌め法の制式化は戦時設計の制度化という形で強行されたワケである。もっとも、実態として「乙」はD52、D62、EF13辺りの動輪に採用されたのみである。「甲」と「丙」は何れも止め輪式で機関車の動輪、先・従輪、客貨車、電車に多用されていた⁷⁵。

しかし、止め輪なしのタイヤには案の定、相当な脱出事故が発生した。即ち、'46年12月から翌年9月までの僅か十ヶ月間に名古屋鉄道局管内の機関車だけでも新製・修繕車両につき46件もの脱出事故が記録されている。

かくて、戦後、運用・検修現場からは止め輪復活への要望が盛んに発せられた。これに対しては「止め輪をやめたのは……相当綿密な調査の結果これを廃止したので」あるからとて、まず、弛みの早期発見策としてタイヤ内外側面に輪心を通して白線を引き、そのズレによって弛みを可視化する方法が指示された。差し詰め、朝令暮改では上層部の沽券に係わる、といったスタンスであろう⁷⁶。

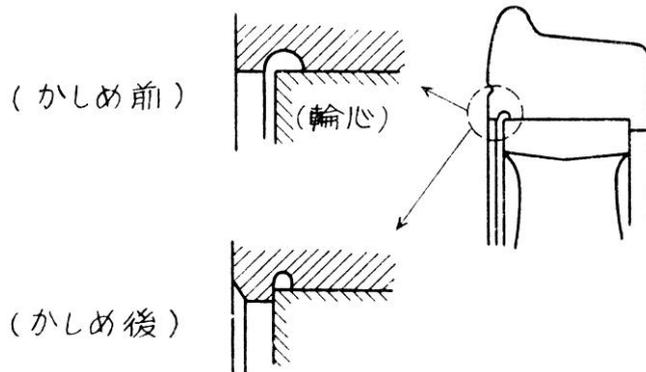
しかし、その後も現場サイドからの止め輪復活論が絶えることはなかった。そこで、'51年以降、止め輪なしタイヤの内周面に図6-2の如き(止め輪嵌入用のそれに似た)溝を彫り、内側からかきめる方式が試験的に導入された。同方式はタイヤ脱出防止に著効を発揮したが、更

⁷⁵ 広重『輪軸』468~477頁、参照。

⁷⁶ 白線云々を巡っては満鐵におけるタガネ目に係わる一件を想起して頂きたい。

新のため摩損タイヤを加熱して抜出す場合、予めそのかしめ部を削り取っておかねばならず、かつ、その際に輪心まで削ってしまいがちであったため、工場関係者からは嫌われた。

図 6-2 溝付きかしめ法の実施要領

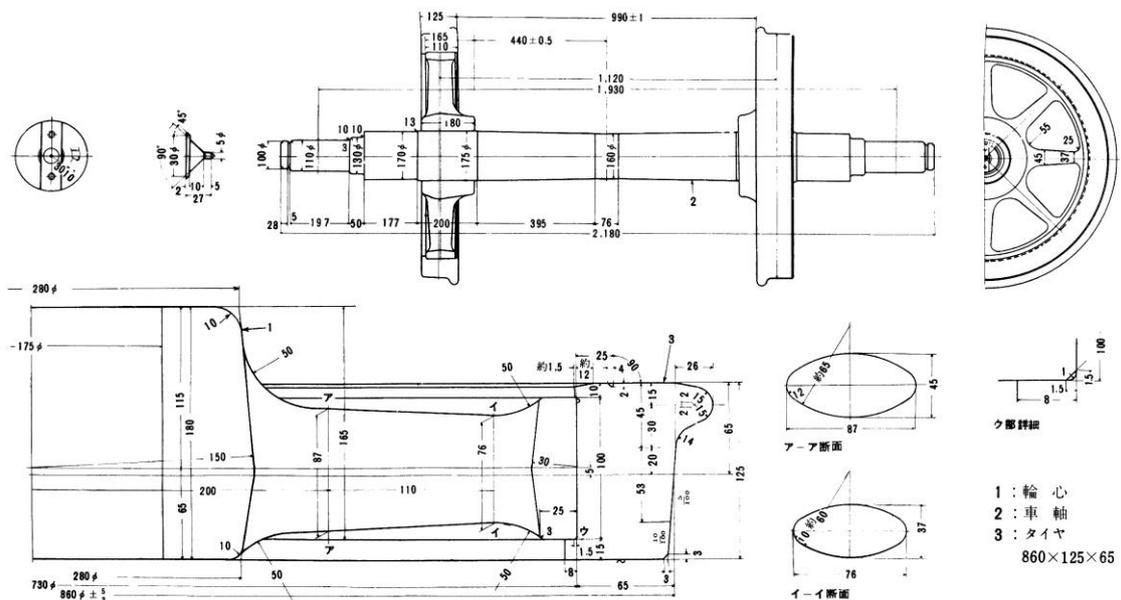


広重『輪軸』144頁，図4.2.

玉置『鉄道車輛のタイヤ』30頁，第32図よりはこちらの方が解り易い。

それでも、一部の動輪においては釣合錘の関係で止め輪の嵌入が不可能であったことに加え、止め輪なしに設計された輪心に止め輪嵌入溝を彫るとリムの断面積が減少してその強度不足を来すことがあったため、この溝付きかしめ法の試験的導入は推進された。

図 6-3 輪軸(12ト長軸，コロ軸受)に見る溝付きかしめ法の実施例



『機械工学図集 4 交通機械』89頁，③.

'52年6月，止め輪なしタイヤの弛み脱出が比較的多い九州の実情が調査され，その焼嵌

め作業が正規の作業基準通りに実施されていること(!), 連続下り勾配区間において連続制動を使用する場合の事故例が多いこと, ブレーキの作用しない従輪においても軸重が大きく輪心強度の低いものに事故が多いこと, ブレーキの不緩解に起因する事故例があることが確認された。

同年 9 月, これを承けた工作局では遅まきながら止め輪の意義を再確認し, 差当り配置替えにより連続勾配区間に使用する機関車に止め輪付き動輪を持つ個体を充当する, 将来的には全車両に止め輪を採用する, という方針を定めた。そして新製車両は全てこの方式に改められ, 修繕車両にも逐次, 止め輪が挿入されて行った。設計上, それが不可能である場合には溝付きかしめ法が採用された。

その後, 止め輪なしで設計された蒸気機関車, 電気機関車の輪心を止め輪取付け用に改造・試用の結果, 異常なきことが確認されたため, '55 年 11 月からは電車, 客貨車の止め輪なし輪心にも同じ工作が施され, タイヤ更新の都度, 止め輪付きへの改造が進められた。

その一方で, 国鉄においても遅まきながら一体鍛鋼車輪の導入が進められつつあった。'52 年には電車, 気動車への採用が開始され, '58 年には固定編成特急客車, '60 年からは貨車への採用が開始され, 我が国有鉄道においても時流は漸く, しかし急速に一体車輪へと転ずることとなる。勿論, 電気機関車やディーゼル機関車もその例外ではあり得なかった⁷⁷。

一世紀に亘る長い歴史を有してはいるものの, 所詮, 焼嵌めタイヤ付き車輪などというモノは技術の自然的進化という流れから観るに, 先次大戦無かりせばより早い時点において棄却されているべき技術であった。その場合にも蒸気機関車の動輪だけは束の間の例外をなしたであろう。但し, そもそも蒸気機関車それ自体が先次大戦により廃止へのタイム・テーブルを無理やり先延ばしされた動力技術の典型をなしていたのではあるが……。

2. 戦後, 各国で実用されていたタイヤ固定法

1) アメリカ

戦後のアメリカでもディーゼルを含め, 機関車用にタイヤ焼嵌め車輪の使用は続いていた。とは言え, 流石に止め輪を併用する型式は廃れ “Shrinkage & Shoulder” 式一辺倒となっていたらしい。焼嵌めにおける 1933 年の A.A.R. 締め代比標準は踏襲され続けていた。そして勿論, 焼嵌めタイヤ付き車輪の最後の牙城は蒸気機関車の動輪であった⁷⁸。

'58 年に実施されたかの国鉄による欧米タイヤ調査団による調査を通じてアメリカにおいてタイヤを焼嵌めしているのは「バランスウエイトのある機関車の動輪のみであつて」, 機関車の先・従輪から炭水車の車輪, 客貨車の車輪まで一体鍛造品か一体チルド鑄鉄品となっていること, 連続下り勾配区間においては客貨車々輪のみにブレーキを作用せしめる運用も行われていること, 動輪タイヤの焼嵌め代が我国のそれより 30~40%大であること, 輪心の強度も国鉄におけるそれよりも応分高くなっているといった諸事実が確認されてい

⁷⁷ 広重『輪軸』88 頁, 参照。

⁷⁸ *Locomotive Cyclopedia of American Practice*. 13th., ed., N.Y., 1947, pp.620, 621, 625.

る⁷⁹.

2) ヨーロッパ

表 6-1 は同調査団報告から引用された欧米主要鉄道におけるタイヤ焼嵌め代に係わるデータである。最上段、P.R.R.がアメリカである以外は欧州各国の国鉄の値である。車種や輪心の種別に応じて相当な幅は観察されるものの、スイスを筆頭に大きな締め代比が採用されていたことが分る。そこで汎用されるタイヤ材料は我国の対応物と大差なかったが、タイヤ内周面ならびに輪心外周面の仕上程度は優り、Surahammars 工場等では「研磨仕上」が施されていた⁸⁰。

西ドイツ刊の蒸気機関車検修書の一つにも蒸気機関車動輪におけるタイヤは輪心直径 1000mm につき 1~1.3mm の締め代に中ぐり→精密仕上げ削りされる、と記されている⁸¹。

表 6-1 '58 年の国鉄海外鉄道調査を通じて紹介された各国の締め代比

会社、国鉄	車種	締め代 $\times 10^{-3}$	
P, R, R		1 ~ 1.33	PRR : ペンシルバニア鉄道
S, N, C, F	機関車	1 ~ 1.3	SNCF : フランス国鉄
	客貨車	1.5	
D, B, B	客貨車	1.3 ~ 1.65	DBB : ドイツ連邦(西独)国鉄
	軽デスク	1.5 ~ 1.8	
	スポーク	1.0 ~ 1.3	
S, B, B	軽い車	1.67	SBB : スイス連邦国鉄
	重い車	1.61	
	アルミニウム輪心	2.1	
	機関車スポーク	1.4	
F, S		1.2 ~ 1.4	FS : イタリア国鉄

玉置『鉄道車輛のタイヤ』169頁, 第1表。

⁷⁹ 無論, これは重軸重を勘案した上での余裕強度の謂いである。玉置『鉄道車輛のタイヤ』32頁, 参照。バランスウェイト云々は素直に読めばロッド駆動以外の電機やディーゼルを除外する表現であるが, 何処までの精度を持つ言葉遣いであるのかについては不明である。アメリカの初期「非・蒸気」機関車に純・焼嵌め式のタイヤ付き動輪が用いられていた件については上述の通りである。

⁸⁰ 玉置『鉄道車輛のタイヤ』168頁, 参照。この工場については不詳。スウェーデンに Surahammar なる地名あり。なお, 「研磨仕上」は研削仕上の謂いであろう。無論, このために研削盤を整備するなら望むらくは表面粗度測定機器も手配しておかれるべきアイテムとなる。表面粗度測定技術については拙稿「戦前の技術遺産を掘り起こす……その3 海軍航空本部ならびに廣工廠資料に観る表面粗さ測定装置」『ツールエンジニア』Vol.60 No.1, 2019年1月, 参照。戦後の欧米におけるタイヤ材料規格については玉置『鉄道車輛のタイヤ』131~141頁, 広重『輪軸』73頁, 参照。

⁸¹ cf., Walter Weikelt/Manfred Teufel, *Die Technologie der Ausbesserung der Dampflokomotiven*. Berlin, 1962, S.100.

欧州各国におけるタイヤ補助固定法としては戦前期同様、ギブソン式の止め輪の類を用いることが一般的であった。イギリスの Southern Railway は'50年頃、純・焼嵌め法をその 2C1 機関車の動輪に採用しているが、これは未だ例外的と言える取組みであった⁸²。

西ドイツではギブソンの類が “*Sprengring*” の名で広く知られ、そのかしめにはローラーないしハンマが採用されていた。マンセルも健在で、西ドイツにおいてはこの両者が汎用されていた。もっとも、小形・低速の機関車動輪においては止め輪を省略するケースも観察された⁸³。

3) 国鉄

戦後、一体式車輪が普及する以前のわが国鉄においては輪心径に係わらぬ 1% の締め代比が踏襲され、タイヤ補助固定法としてはギブソンに類する鐵道省基本型の止め輪が汎用され続けた。これ以外に一部、設計上、止め輪を挿入出来ぬ車輪においては図 6-3 に似た溝付きかしめ法が採用されたものの、機関車々輪タイヤ補助固定法の主流はあくまでも鐵道省基本型であった。

欧米並みの締め代比やアメリカ的・滿鐵的な純・焼嵌め法の採用には締め代比設定上の工夫のみならず、予算制約上、得策とは言いかねる輪心の強化やタイヤ使用限度の見直し、接合面の工作程度改善を必要とした。

1% という緩い締め代比を以てする焼嵌めと省基本型止め輪との併用は安価にしてある程度の信頼性を持つ比較的安全なタイヤ固定法であったと認めて大過ない。運用・検修現場が終始、純・焼嵌め方式導入の試みを嫌い、止め輪を希求して来た点についても既に観た通りである。

強い締め代比と高い工作精度・表面粗度に依存し、輪心強度に対しても厳しい要求を突き付けつつ運用上の配慮まで欲して止まぬ……それがアメリカで復活せしめられていた純・焼嵌め法の本性である。左様に厄介極まる回り途を回避しつつ、然るべき時点で同じくアメリカによって先鞭が付けられて久しい一体式車輪へのシフトを断行する。

国鉄で行われたのはこのような所作である。無論、一体式は数次に亘る削正を経て使用限度に達すれば丸ごと使い捨てられる。しかし、リサイクルを前提すればそれも極度に不経済とはならない。もっとも、弛緩と無縁な一体圧延車輪ではあるが、それは決して割損や踏面損傷のようなトラブルと無縁な存在であるワケではない。安定への途は技術者の努力によって徐々に拓かれるしかなかった⁸⁴。

⁸² cf., A., Chapelon/trans. by W., Carpenter, *La Locomotive a Vapeur*. Somerset, 2000, p.105.

⁸³ “*Sprengring*” に対応する英語は “*snap ring*” であり、弾性に富む小物部品を連想させかねぬ用語であるが、モノはギブソンの止め輪である。cf., Meineke und Rohrs, *Die Dampflokomotive Lehre und Gestaltung*. SS.408~409.

⁸⁴ 一体車輪に生ずる各種の損傷や実験的原因探求、解決策の模索状況の一端については住友金属工業の開発技術者、坂本東作による『鉄道車両用車輪の破壊に関する研究』1986年

ある技術を極限的に磨き上げる収獲通減的アプローチに踏み込むことなく、機を見て次のステップへと歩を進める……それが鐵道省~国鉄技術陣によって幅広く採択された技術開発スタンス……島 秀雄の所謂「親死ね、子死ね、孫死ね」思想である。それが常に成功裏に具体化されたか否かは措くにせよ、本邦焼嵌めタイヤ付き車輪の技術史もまたその一系論に他ならなかった⁸⁵。

10月(1987年2月, 大阪大学博士論文), 参照。

⁸⁵ 鐵道における蒸気動力技術全盛期に定礎された鐵道省の技術体制とそれを引き継いだ国鉄のそれは急速に進化する新たな動力技術の体系に対しては非・適合的であった。それ故、この方面における国有鐵道の民間技術依存度は当初より相対的に高かった。然しながら、ことディーゼル技術に関する限りそれは不首尾に終った。以上の点については拙著『鐵道車輛工業と自動車工業』(日本經濟評論社, 2005年)において指摘したところである。もっとも、筆者の高速ディーゼル技術史に係わる論考は元々、かような実態を解明することに原点を据えていた。拙著『日本のディーゼル自動車』(同, 1988年), 参照。

むすびにかえて

焼嵌めタイヤの使用を前提とする限り、そして技術官僚的目線からすれば、純・焼嵌め法はスマートであり、現場をしてこれを自在に行わしめんと欲する志向は自然であった。しかし、我が国有鉄道においては輪心強度の応分の引上げや研削盤を極北とする工作精度向上への設備的手配等の施策は一切、執られて来なかった。これでは技術を泣かせるだけに終わったことも当然の報いである。

一方、現場技術者の目線からは単純明快な締め代比設定を与件とする止め輪の使用が希求され続けた。世界的に観ても止め輪なしの純・焼嵌め法の実用は少数派に過ぎず、しかも、これが導入される際にはそれなりの段取りや工作設備が整備され、かつ、運用上の配慮もなされていた。もっとも、リムの変形を生じた輪心に削正が施されることは「実際は極稀で輪心の平均直径を基礎として外輪の焼嵌シロを計算して其のまゝ焼嵌するのが常則であ」ったとの明言に示される通り、少数派の一つである満鐵における管理水準は、確認が及ぶ限りにおいて1939年頃までは、甚だ低かったのではあるが。

わが国有鉄道は最盛期、26もの鉄道車両工場を擁していた。その全てないし主要拠点工場に純・焼嵌め法が要求する高い工作水準に見合う設備を充当するための投資に関して、それは戦前・戦時期から復興期を経て高度成長期に至るまで一貫して厳しい予算制約の下に置かれていた。

ドイツの古式に則った鐵道省~国鉄の緩い締め代比+止め輪方式はわが国にとっては最も経済的な身の丈技術をなしていた。車両は鉄道にとって生産手段であり運輸サービスを生産するための技術の一つである。そうである限り、車両の開発、製造、運用に当っては生産点の論理なり生産性の哲学なりの貫徹、換言すれば安全性を担保した上での投資の見込み収益率に対する考量こそが唯一正統な思想となる。

筆者にして最も遺憾とするのは国富窮迫の下、鐵道省、陸軍、海軍といった戦前期のわが国を代表する機械化部隊の全てにおいてその歪められた適用が運用・検修・製造現場への強い、あるいは野放図なまでのシワ寄せを当然のこととしつつ日々繰返されて来たという事実である⁸⁶。

今や、鉄道車両用タイヤはほぼ淘汰されるに至っている。然しながら、粘着走行に依る鐵道がそこにある限り、車輪踏面とレール頭頂部とのせめぎ合いは日々、繰返されて行く。かくて、今日のレールシェリングに昔日の峠越えのイメージが重なる。積み重ねられた経験は技術と工学の中に洗練・体化され、現在の問題に光を投じてくれる。有名無名を問わず、不利な境遇の下で様々な問題と格闘せしめられた技術者、労働者の血と汗の上に現下の鐵道技術システムは成り立っている。近代技術の世界とはなべて左様なモノである。デジタル技術はその上前を掠め盗ったところで成立し得た体系であるに過ぎない。

本邦近代機械技術史の基本構造を一切弁えることもなく、鐵道省~国鉄の技術を貶めたい

⁸⁶ この点については拙稿「三菱航空発動機技術史 第三部」の総括においても強調しておいた。

との下心からか、鹿鳴館的な海外ならびに外地鉄道崇拜思想を只管鼓吹して来た福笑い教徒の如きが低能ネット空間に今後とも跋扈した挙句、あるいはその悪しき行動規範の延長上に無限定な純・焼嵌め法優位説を唱え、人心を惑わせ技術営為の積み重ねを貶めようと画策する惧れが今後とも無いとは言えぬ。かかる行為は有毒植物として技術史の畑から完全駆除されるに若くはないことを宣告しておく。

余話 溶接補修，心すべし

遠き日，旧・満洲の北部で起きた蒸気機関車にまつわる事故，それも組立て中，材料欠陥を溶接で補修した箇所からのフレーム折損という誠にスキャンダラスなトラブルについて紹介しておきたい。

この事故は川崎造船所兵庫工場で製造された蒸気機関車において発生した。当時の同工場における鉄道車両製造に関して社史は次のように語っている。

大正十一【1922】年に於ては，獨り我國諸官廳及民間會社よりの受註品のみならず，支那山東鐵道より廣軌二 - 八 - 〇型機關車及炭水車各四輛の註文を引受けるに至つたが，これは我國に於て製作せる最初の廣軌式なるものにも拘らず，頗る良好の成績を以て納入を了し，本邦製車輛海外輸出の端緒を開いたのである。續いて大正十二【1923】年には支那吉長鐵路局並に滿鐵京城鐵道局の註文により何れも廣軌式機關車の納入を終り，又此外にも朝鮮・支那及南滿洲各地に於ける販路を漸次擴張したのである。

.....中略.....

さて前記の如く支那方面の販路漸く擴大し，山東・吉長・洮昂・吉敦・呼海及東支等の支那各鐵路局及臺灣總督府より多數の機關車及車輛に對する註文あり，何れも昭和元【1926】年末迄に其納入を完了した(強調および【】内引用者)⁸⁷。

引用中にも登場する呼海鐵路は本論にもあつた通りソ連の協力を得て中国，黒龍江省が敷設した鉄道で，真の意味における広軌，つまりロシア流の 1524mm ゲージで建設され，紆余曲折を経て 1928 年 12 月，全通に至り，ソ連の管理下に置かれていた。

川崎造船所兵庫工場から分解状態で送られた問題の機関車は 1926 年製の製造番号 1148, 1149 で呼海鐵路では 800 型と呼称された 803 号機，804 号機であり，運転整備状態における機関車重量 70.0 トン，同炭水車重量 50 トン，車軸配置 1D の機関車であつた⁸⁸。

1927 年初頭，この 2 両ないしその片方は哈爾濱(ハルビン)の松花江を挟んだ対岸に位置する呼海鐵路局の松浦鐵道工場にて滿鐵大連(沙河口)鐵道工場のスタッフによって組立てられた⁸⁹。

トラブルはこの時に発生している。即ち，クレーンで吊上げられた際，鑄鋼製の機関車メイン・フレーム，サイドメンバのトップ・レールが左右とも第 1 動軸バック・ジョーの根元からポッキリと折れてしまったのである。

⁸⁷ (株)川崎造船所『川崎造船所四十年史』1936 年，170~171 頁，より。川崎造船所兵庫工場は 1928 年 5 月，分社化されて川崎車輛(株)となり，'69 年，川崎重工業・川崎航空機工業と合併し川崎重工業(株)となる。

⁸⁸ 川崎重工業(株)車両事業本部『蒸気機関車から超高速車両まで』1996 年，50 頁，写真 053(803 号機)および 324 頁の表，参照。但し，そこに軌間 1435mm とあるのは誤りであろう。呼海鐵路の 1435mm への改軌は本論でも観たように，また，後述される通り，十年ばかり後の事蹟だからである。

⁸⁹ 井上愛仁『毀損せる鐵道車輛鋼製部分品の破面寫眞及其の説明』南滿洲鐵道(株)鐵道總局，1939 年，158, 168~169 頁，参照。図は 168~169 頁，第 99 圖。

井上曰く：

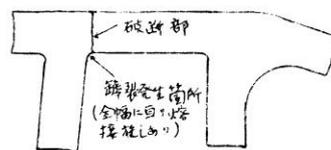
昭和 2 年初頭呼海鐵路局用新造機關車(川崎車輛製)を哈爾濱對岸松浦鐵道工場に於て大連鐵道工場の手にて組立中台枠釣上の際左右二箇共圖 2 に示す同位置より破斷した、寫眞 1 及 6 は夫々左右兩臺枠の破斷面を示す、破斷の起點は圖 2 に示す如く第 1 位働輪軸の裝備せらるる所でアツパーフレームレールの下際角隅である。

1. 左側臺枠の破斷面 左側臺枠



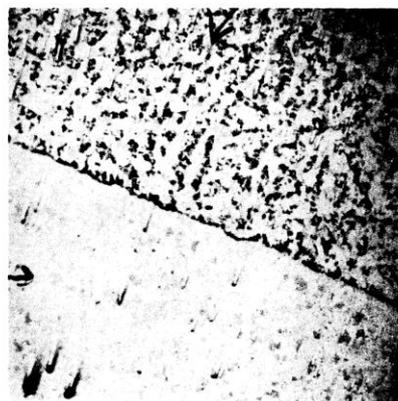
破斷の起點は下方にあり

2. 破斷位置



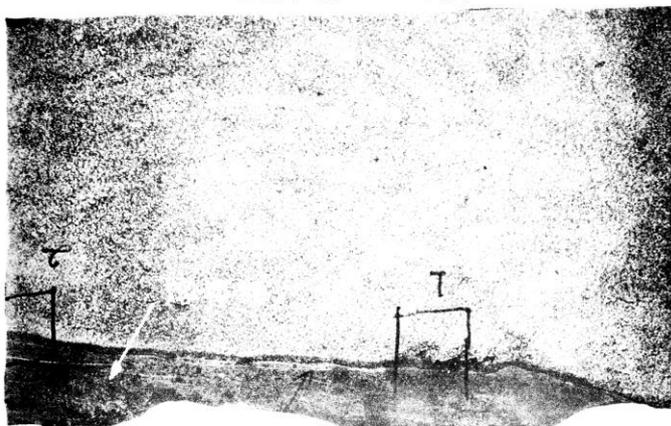
第 1 位働輪軸の裝備せらるる位置

4. 銲接部の組織(8倍)



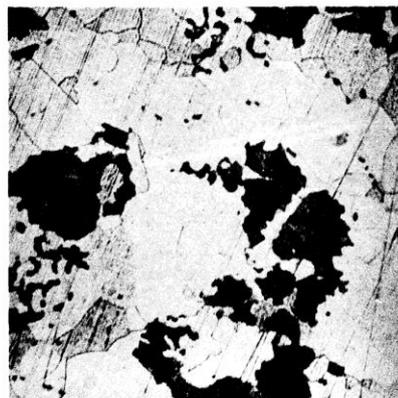
上半部が鑄鋼部、下半部が銲接部

3. 破斷面一部のマクロ寫眞



寫眞 1 の下半分のマクロ寫眞

5. 台枠本体の組織(100倍)



井上『毀損せる鐵道車輛鋼製部分品の破面寫眞及其の説明』168~169 頁，第 99 圖，左側(168 頁)より。

而して其の下際は写真 3 及 7 に示す如く熔接が施されてあつた，従つて破損の重要な役割を演ずるに至つたものと想像される，然かし臺杵を貨車其の他より卸下或は積載の際に於ける取扱又は組立作業に於ける釣上操作等に関しては現地に於て立會又は調査したのではないから此の間に於ける真相は全然不明であるので破損の眞因の判定は困難であるが熔接盛金が破断状態から推考して有力なる毀損原因の一つであつたと推測出来る。

右側臺杵

6. 右側臺杵の破断面



破断の起點は下方にあり

8. 熔接部の組織(8倍)



上半分は鑄鋼部、下半分が熔接部

9. 臺杵本体の組織(100倍)



7. 破断面の一部のマクロ写真

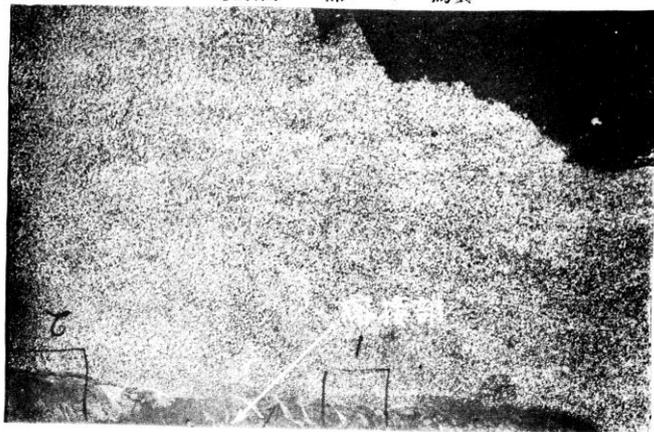


写真6の下半分のマクロ写真

井上同上書，168~169頁，第99圖，右側(169頁)より。

材質試験の結果抗張力は左側臺枠 44kg/mm²強, 右側臺枠 47kg/mm²強 伸は左側のもの最大 25%最小 16%, 右側のもの最大 29%最小 18.5%であつて炭素量は夫々0.24%又は 0.23%で相接近するも燐及硫黄は左側臺枠に多く夫々0.061%及 0.064%に達して居る.

つまり, 溶接補修部において母材と溶接部とが組織として一体化せぬ“天ぷら溶接”となつており, 補修は単なるゴマカシ, 化粧直しに過ぎなかつたワケである. これでは母材の瑕が応力集中点となつて折損を惹起し易くなるばかりである. まさかペデスタル・ブレイス(軸箱守扣^{ひかき})の取付を忘れたりはしていなかつたと想われるが………….

母材の欠陥が左右同じように補修されていたという事態は鑄鋼粗形材の欠陥を示す証拠というよりも, 機械加工工程において左右同じように削り過ぎていたコトを暗示する事態であつたのかも知れない. あたかも 80 年後, 川崎重工業が新幹線“のぞみ”車両用台車枠においてやらかしたように…………⁹⁰.

誠に残念ではあるが, 本件に係わる代替部品供給や賠償に係わる消息については一切不明とせざるを得ない.

1933 年 2 月, 呼海鐵路の一部は他の多くの鉄道と共に名ばかりの「滿洲國有鐵道」の路線をなすべく接收され, 滿鐵の管理運営下に置かれることになる⁹¹.

これに伴い, 1935 年 8 月以降, 呼海鐵路を含む旧・ソ連系鐵道のゲージを順次, 滿鐵なみの國際標準軌間 1435mm へと変更する改軌工事が敢行された⁹².

この時, 滿鐵は己が安直さ加減と溶接の性悪さを思い知らされることになるのだが, そこで発生したタイヤ切損事故の詳細については本論にて言及された通りである.

⁹⁰ 本件の発覚は呼海鐵路における当該事故から起算して 91 年後であつた. こちらは溶接部の後処理不良に削り過ぎが重なつた事象. <https://www.khi.co.jp/news/C3180228-1.pdf>

⁹¹ 原田勝正『滿鐵』岩波新書, 156~158 頁, 参照.

⁹² 原田同上書, 162~166 頁, 参照.