

# プルオーバー・ミルの時代

坂上 茂樹

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

# プルオーバー・ミルの時代

## The Era of Pull-over Mills

坂上茂樹

### 目 次

はじめに

1. 薄板圧延技術の進歩に係わる鉄鋼業界の自己評価
2. 20世紀前半期までの鋼板圧延技術体系
3. 戦前戦時~復興期の八幡製鐵所における薄鋼板，中鋼板圧延技術体系
4. 戦前戦時期の川崎造船所における薄板圧延技術体系
5. 復興期日本の薄鋼板圧延業
6. 薄板圧延技術の革新とこれに係わる自動車業界の評価

むすびにかえて

### はじめに

比較的狭い幅の薄鋼板を間欠的に圧延する技能依存性の極めて高い2重ロール機，その代表がプルオーバー・ミルである。これによって圧延された薄鋼板は幅が狭いため，大きな鋼板プレス品を得るには成形品同士を接いでやる必要があっただけでなく，そもそも板厚の均一性に欠けていたが故に精確なプレス成形品を打出す所作自体が困難であった。乗用車車体などの設計自由度を高めるには外板用の薄鋼板の製造技術を自動制御された広幅の連続圧延方式に代替することが希求され，それは普通薄鋼板においてはストリップ・ミルという形で達成された。一方，同じくプルオーバー・ミルによって圧延されていた電磁鋼板と呼ばれる機能性薄鋼板の代表たる珪素鋼板の生産性向上はセンジミア・ミルと称する冷間圧延機の導入によって実現された。以下に述べるのは乗越えられ廃却された技術たちに係わる消息である。

「往時，殷盛を極めながら戦後，一気にストリップミルへと置換えられたプルオーバー・ミルについての技術的記録はほとんど何も残されていない」……40年前，そう聞かされて以来，筆者は機械技術史の余技として圧延関係の資料類にも気を配るようになった。しかし，プルオーバー・ミルについての画像や断片的言及以外，これに係わる本格的な技術資料には実際，永らく出遭えなかった。

時を経て『北九州市産業技術史調査研究 八幡製鐵所の設備・技術の変遷 第4分冊 圧延設備』（北九州産業技術保存継承センター，2010年）なる資料の存在を知った筆者は“求め続けて来た資料は結局，こういう姿にまとめられていたか”と早合点しかけた。けれども，製鐵所内部資料などを駆使して編まれた同書の内容は1901年，官営製鐵所として発足以来の設備

=固定資本の履歴簿に偏しており、プルオーバー・ミルによる圧延工程の機械技術としての勘所や労働過程に係わる情報については全く期待外れであった。

圧延労働者が過酷きわまる作業環境下、彼の感性と体力とを發揮し、その技能を駆使しつつイギリス産業革命期さながらの素朴な固定資本といかに対峙し遣いこなして来たのか…そのあたりの事情を理解せぬ限りプルオーバー・ミルをめぐる技術、圧延労働者の矜持と尊厳、つまりプルオーバー・ミルの時代について窺い知れたとは到底、言えない。

本稿は同時代の八幡製鐵所や川崎造船所の技術者たちが書き残してくれた然るべき工学的文献からプルオーバー・ミルによる熱間圧延工程の諸局面に深く係わる部分のみを抽出、整理した内容を柱としている。ただし、加熱炉や溶解炉の図は分量が気になるので省略した。

以下に展開される内容は筆者の機械技術史への構造技術サブシステム側からのアプローチの余滴ないしは副産物……謂わば棒に当たった犬の<sup>つぶや</sup>吠きに過ぎない。それしきの文章が先人たちの荒くも気高い息遣いを忘却の彼方から蘇らせる一機縁にでもなってくれるなら僥倖の極みである。

## 1. 薄板圧延技術の進歩に係わる鉄鋼業界の自己評価

鉄鋼界における戦後技術革新の代表格であった鋼板、とりわけ厚板(plate)と区別される薄板(sheet)圧延における技術転換の意義と、われわれが以下において果すべき責務について、若干の確認を済ませておきたい。一鉄鋼業界人は1960年に次のように述べたものである。

**薄板製造法の変遷** 鋼板の製造法がプルオーバー方式からストリップ方式へ移行したことは、薄板製造技術上から見ればまさに革命的なことであり、これによって今日のような薄板生産のめざましい進歩、発展をもたらすことが出来たといっても過言ではない。プルオーバー方式とくらべて、ストリップ製造工程の特徴をつぎに述べよう。

(1)プルオーバー圧延方式——わが国においては、戦後もなお暫くは、ハンドミルによる薄板の生産が主体となっていたが、これは2重式ロールの前後に2人の作業者が立って、ロールからかみ出される熱板を引き出し、これを上のロールを越えて反対側に返し、さらにロールにかみ込ませるといふ、文字通り Pull-Over の作業を繰り返して圧延する方法で、その工程はシートバーという鋼片を、加熱炉で加熱しロールで上記のような圧延をおこない、さらにこれが薄くなるにつれて、2枚、4枚、8枚と折り重ねて何回もロールをくぐらせ、最後に折目目を切断して、板を1枚ずつ、はぎ離してつくられていた。

このようにプルオーバー方式では、ハンドミルという名の通り全く人力操作が主となり、自然、重労働と高度の熟練技術を要し、工程も繰返し非連続であるため生産性

も低く、量的にも品質的にも、もはや現在の需要動向には適応できないものとなってしまった<sup>1</sup>。

なるほど……，ではあるが，然らば「重労働と高度の熟練技術」とは具体的にはどのような事態，状況であったのか？ はたまた，「量的にも品質的にも，もはや現在の需要動向には適応できない」と表現される時，具体的にはどの程度の品質と生産量とをイメージすればよいのか？

当時であればこの種の疑問に即答してくれる専門家は決して少なくなかったであろう。もっとも，上に語られた工程描写は不正確に過ぎ，「最後に折り目を切断して」などという手順に至っては往時の薄板圧延業界全体を見渡す限り，誤謬と断じられて大過ない。

なぜなら，広く行われていた 2 回折り畳み工法において折り目を残したまま加熱したり圧延したりすれば，工程の要件をなした剥離と酸化および 2 段階加熱が不如意となったからである。プルオーバー・ミルに対する業界人の認識は 1960 年時点でさえかかる偏りに満ちていた。それ以後 60 年を経た地点に立つわれわれにとって，解明されるべきは基本的な事項ばかり，とならざるを得ないのである。

## 2. 20 世紀前半期までの鋼板圧延技術体系

次に，戦前期における鋼板圧延技術体系の概略を再構成しておこう。そもそも，圧延(rolling)とはロールの間にワークを挟み込んで転圧し，その厚みを減じつつ長手方向(ロールの円周方向)に延ばしたり，その断面形状を所期のそれへと変形させて行く塑性加工の総称である。板材の圧延においては平滑ロールと称するおおむね単純な円筒形のロールが，鉄道軌条や H 型鋼など条鋼の圧延においては孔型ロールと称する様々な円周溝の入ったロールが用いられる。それらの直径は 6~50in.(152.4~1270mm)と実に多様であった。通常，ワークの変形を容易にするため，圧延は熱間で，つまり 1000℃前後の高温に加熱されたワークを加熱炉から引き出して行われた。また，必要に応じて圧延の途中で再加熱が行われる場合もあった<sup>2</sup>。

条鋼の圧延においては仮令，熱間であってもワークの断面形状を一気に変える所作は困難であり，とりわけ大きな変形はロールの半径方向には実現され得ない。このため，条鋼の圧延は，様々な溝形状を有するロールの対を動員し，かつ，必要に応じて半製品を適宜，横

---

<sup>1</sup> 小林道三(川崎製鉄千葉製鉄所)「鋼板」産業教育協会編修『図説 日本産業大系 第 1 巻 エネルギー 鉄鋼 非鉄金属 鉱石』同協会，1960 年，177~178 頁，より。以下，小林の記述は Strip Mill(連続ロール)に依るストリップ圧延方式の解説となるが省略。ストリップミルについては中山亀六(芝浦共同工業→IHI)「圧延機」『図説 日本産業大系 第 2 巻 機械要素 産業機械 計測・光学・動力機器』所収，にも詳しい。ストリップミルを基幹として'38 年に操業を開始，年産 672,000 トンを誇った当時最新鋭の Carnegie-Illinois Steel Company Irvin 工場の薄板圧延プラントとその各種要素技術については中島龍一『鋼材圧延』潮文閣 重点産業講座 II，1944 年，338~363 頁，参照。中島は日本製鐵技師。

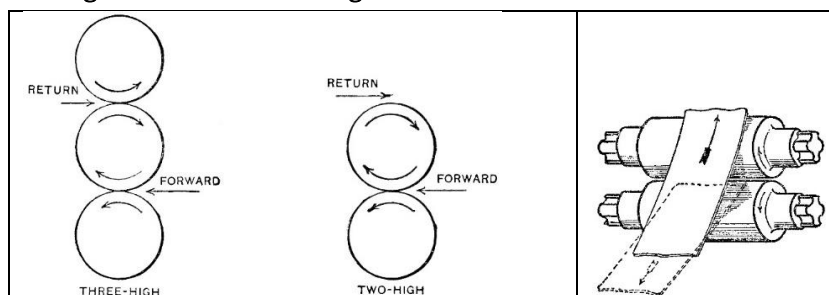
<sup>2</sup> 以下，メインストーリーに関しては主として cf. *Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement*. N.Y., 1929, Vol.V, pp.282~284.

転させながら逐次的工程を経て行われる。かくて、古くから条鋼の圧延にはジグザグ、階段状、半連続式、連続式など、壮大な圧延工場が充當されていた。当然ながら、連続式圧延方式は高能率ではあった。線材圧延における圧延速度は独立したミルで圧延されたワークを人力マテハンで次工程へと繋いで行く従来方式において 9m/s であった。これに比して、連続式ミルにおけるそれは約 23m/s と公称されていた。しかし、当時は一連のロール回転数の最適制御が困難であった。このため、1930 年代においてはおおむねその導入は低規格品の製造工程に限定されていた<sup>3</sup>。

これに対して、板材の圧延は 1920 年代前半まではアメリカにおいてさえ 1 軸式ロール工場、即ち共通の原動軸から駆動される数組のロールの間にワークを繰返し通過させる比較的小ぢんまりとした工程という恰好で実施されていた。世界に大きく水をあける格好で最初の Strip Mill がアメリカに呱呱の声を挙げたのは意外に早く、'26 年であったが、その世界的普及は四半世紀後、つまり戦後の事蹟に属する。

それ以前に一般的であった圧延の要領は図 1 に示される通りで、左側に描かれている Three-high rolling mill(3 重ロール機)においては下方のすき間で圧延されたワークは上方のすき間を通過して再び圧延されつつ戻され、更に次のパスで下方のすき間へと噛み込まれた。2 度目以降のパスに際してはネジ機構によってロールのすき間が詰められて行くため、パスごとに逐次、板厚は減少せしめられた。

図 1 Three-High Mill(左)と Two-High Mill



左, 中: *Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol.V, p.282 Fig.1.*

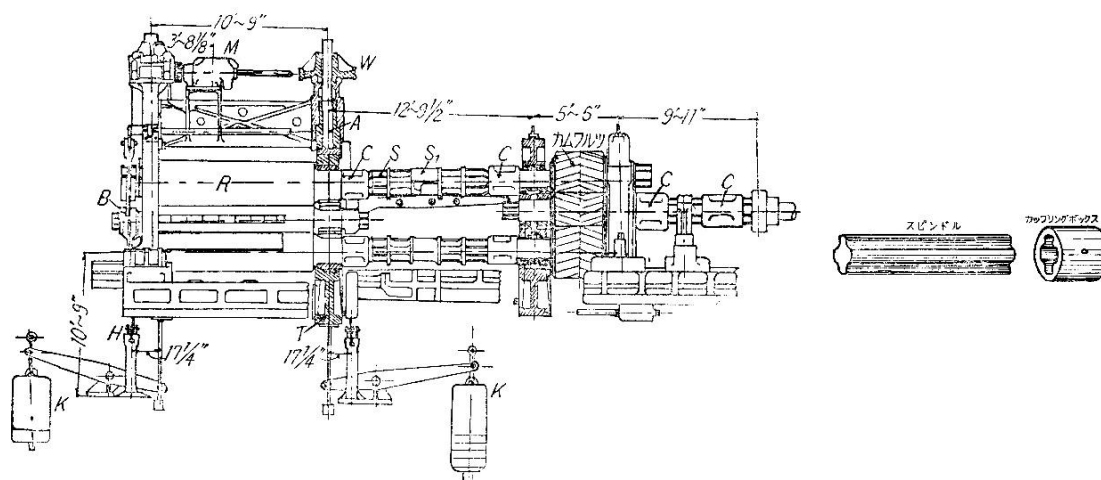
右: 中島『鋼材壓延』252 頁, 第 186 圖.

<sup>3</sup> 連続式ミルを含め、条鋼を主体とする圧延工場の具体的なレイアウトやその歴史の変遷については園田一夫『壓延法(大型・中型・小型)』共立社 實用金屬材料講座 加工編、1937(再版'39)年、第 3 章、第 4 章に詳しい。執筆当時、この著者の肩書は日本製鐵八幡製鐵所技師・工學士。1941 年には日本鐵鋼協會より「ロール口径が壓延能率に及ぼす影響並びにその時間的研究」に対して褒賞金を授与されている。八幡製鐵(株)八幡製鐵所『八幡製鐵所五十年誌』1950 年、311~312 頁、参照。日本製鐵は 1934 年の製鐵大合同により、官營八幡製鐵所以下、輪西製鐵所、釜石製鐵所、富士製鋼、九州製鋼、兼二浦製鐵所、東洋製鐵を束ねて発足した。

この Three-high mill はアメリカで発達した。Cambria Iron Co.の技師 John Fritz が 1857 年、レールの製造用に用いたのがその嚆矢とされている。当初の形態においては下ロールが高さ固定で駆動ロールをなし、中・上ロールは位置可変で、上ロールも歯車駆動されていたようであるが、中ロールが高さ固定の駆動ロールをなし、位置可変の上下ロールが交互に、つまりワークが噛み込んでいる時だけ摩擦駆動されるタイプ(Fritz 改良式)や上下ロールの高さが固定され、位置可変の中ロールが駆動ロールとなってワークの噛み込みにより上ないし下ロールが駆動されるタイプ(Alexander 式)が現れ、後二者が普及した。Three-high mill によってワークを扱う場合には昇降テーブルないしチルト・テーブルが不可欠で、ロール位置の変更と併せてそれは蒸気動力を以て駆動されるようになった<sup>4</sup>。

図 2 は後年、代表的な厚板用 Three-high mill となった Lauth 式をワークの進行方向から眺めた図である。本型式は小径の中ロールを用いるためコンパクトで動力費も安上がりとなる。上下ロールは中ロールのバックアップ・ロールとしても機能せしめられる。図 2 の機械はロールの駆動様式にこそ 1894 年に発明された当時の古典的形態を保持していたが、駆動歯車にはバックラッシが少なく滑らかな動力伝達に適するやまば歯車(herringbone gear)ないし double hericai gear<sup>おご</sup>が着られていた<sup>5</sup>。

図 2 Lauth 式 Three-High Mill とたわみ伝動軸



<sup>4</sup> 園田『壓延法(大型・中型・小型)』19, 23~26 頁, 山ノ内 弘『壓延・引抜及搾出し加工法』共立社, 1936 年, 8 頁, 参照。残念ながら, 園田の記述には一部, 文意が不明瞭な箇所がある。山之内の肩書は早稲田大學教授・工学博士。その前歴については不明。

<sup>5</sup> ラウト式厚板ロール機については橋本 亨『鋼材壓延法』修教社書院, 1941 年, 92~93, 168~169 頁, 中島『鋼材壓延』225~235 頁, 参照。橋本は官営八幡製鐵所時代から教習所講師を務めたりする傍ら<sup>かたわ</sup>, 30 年間, 主として条鋼圧延に係わって来た技術者のようである。条鋼圧延に実用された橋本の発明については『鋼材壓延法』579~580 頁に紹介されている。

左：日高政一「壓延法(厚板)」(永松秀夫・日高政一『壓延法(タイヤーマイル 厚板)』共立社 實用金屬材料講座 加工編, 1937[再版'38]年), 第 18 圖(永松は日本製鐵八幡製鐵所技師, 日高は日本製鐵八幡製鐵所技師・工學士).  
中島『鋼材壓延』226 頁, 第 171 圖もほぼ同じ.  
右：中島『鋼材壓延』40 頁, 第 10 圖.

動力は右側から投入され, カムワルツと呼ばれた歯車機構によって減速・振分けられ, ロール軸間距離の変動を許容する伝動軸<sup>スピンドル</sup>S, S<sub>1</sub>と継手<sup>カップリング</sup>Cとの組合せからなる一種のたわみ継手入りの駆動軸を介して上部ロール R と下部ロールとを回転させた. R の圧下は電動機 M からウォームとウォームホイール W, 左右にある圧下スクリュウ A を通じて行われた. K は A を軸方向に拘束するための錘である. 遊転する中ロールの高さは左右の水圧シリンダ H とリンケージ B とによって定められた. T はフレームの断面を示す<sup>6</sup>.

ついでながら, 20 世紀初めごろまではアメリカにおいてもロールへの動力伝達は圧力角 22.5° 歯筋ねじれ角 30° の斜歯<sup>はすば</sup>歯車(ヘリカルギヤ)によるのが普通であり, その歯元には強度を増すため通常より大き目のフィレットが与えられていた. その歯形はもちろんインボリュートであった.

一方, 図 1 の右側, ヨリ単純な Two-high rolling mill(2 重ロール機)はイギリス産業革命に直接端を発する近代的圧延機構の嚆矢である. 1830 年代終盤から'40 年代を通じて圧延機と言えれば分野を問わず, つまり条鋼用であれ線材用であれ板材用であれ, ほぼこればかりであった. Two-high mill における上部ロールの駆動には歯車, または下部ロールからの単なる摩擦駆動によった. アメリカにおいては歯車駆動が支配的となっていたが, イギリスおよび日本では摩擦駆動が一般的であった.

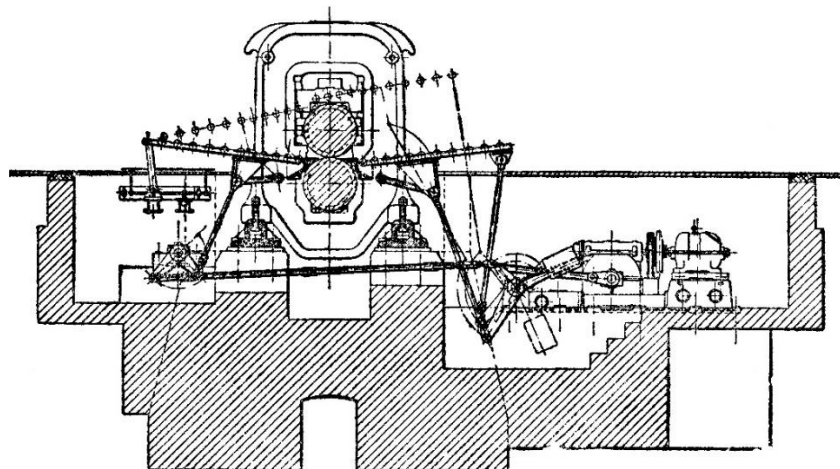
Two-high mill におけるワークの戻り行程は上部ロール上にその尾部を引上げて載せ, ロールの回転によって運ばせる恰好で遂行された. この圧延機が Two-high Pull-Over Rolling Mill とともに単に Pull-Over Mill と呼ばれた所以である. 1840 年頃には鉄道レールのような重量物でさえテコを用いて人力でプルオーバーする豪放かつ危険きわまりない圧延風景が展開されており, その 24 時間の生産量は 14~18t であったと伝えられている<sup>7</sup>.

後年, 重量の大きなワークを扱う場合には Two-high mill にも人力でプルオーバーせず済ませるため, 大仕掛けなチルティング&リフティング・テーブルが附設されるようになって行った. 図 3 は電動式のそれで, 後面に設備されたリフティング・テーブルの方は特に大規模な機構となっている.

<sup>6</sup> カムワルツについては Kamm walz などとマコトシヤカに綴られた例を見受けるが, 正しくは Kammwalze であり, 古臭いドイツ語で, その謂いは歯付きの円筒, つまり歯車であるにすぎず, その現代的呼称はピニオンスタンドとなっている. なお, ここにある継手は万一の際, それ自身が破壊してヨリ枢要な部位への重大損傷波及を防ぐ機能を担わされていた.

<sup>7</sup> 園田『壓延法(大型・中型・小型)』19~20 頁, 参照.

図3 前面 Tilting Table, 後面 Lifting Table 付きプルオーバー・ミルの例



中島『鋼材壓延』257頁, 第190圖.

しかし、後部に控える 1 人の“捕手”と通称された作業員が比較的軽いワークの頭部を“火箸”という名の長大なヤットコで掴み、ローラーを支点として尾部を跳ね上げては上ロール上に載せ、前部へと押し返す光景は実に 1950~'60 年代まで其処此処に散見された。つまり、優に一世紀を超える“プルオーバー・ミルの時代”があったワケである。

また、図 1 には示されていないが、Two-high mill にはロール自体を逆転させ、ワークをシャトル運行させるタイプも存在した。Reversing two-high mill がそれで、重量ワークの扱いには便利である。逆転式 2 重ロール機を 1863 年に発明したのは London and North Western Railway の技師長、John Ramsbottom の功績である。当初は人力でギヤチェンジを行っていたが、1866 年、R., Doelen(英)によって専用の自己逆転式 2 気筒蒸気機関が開発され、人力操作を駆逐し、'67 年にはドイツでもその使用が始まった。1900 年には逆転電動機が投入されている<sup>8</sup>。

以上に加え、互いに逆方向に回転する Two-high mill をタンデム化して Three-high mill のようにワークを段違い往復させる Double two-high mill なる機械も実用されているが、薄板圧延とはますます縁遠くなるのでここでは省略する<sup>9</sup>。

さて、いかにも不器用な Non-reversing two-high mill が永らく使い続けられていたのはそれには構造の単純さ以外にも固有のメリットがあったからである。第 1 に、Two-high mill には空行程があるので一見、非能率的であるかのように映るが、これは必ずしも正しくはない。プルオーバー・ミルがフル稼働している時には 1 つのワークの圧延中に圧延を終えた 1 つが戻り行程にあるワケで、純然たる空行程はなく、案外、能率的なのである。第 2 に、プ

<sup>8</sup> 園田『壓延法(大型・中型・小型)』20~21 頁, 橋本『鋼材壓延法』87, 90 頁, 山ノ内『壓延・引抜き及搾出し加工法』8 頁, の記述に折り合いをつけただけであり、技術史的記述としてはいささか心許ない。Ramsbottom(1814~'97)は合口入りピストンリングをはじめ、今日に伝わる様々な機械技術を創案した大技術者である。

<sup>9</sup> 園田『壓延法(大型・中型・小型)』21~23 ページ, 参照。

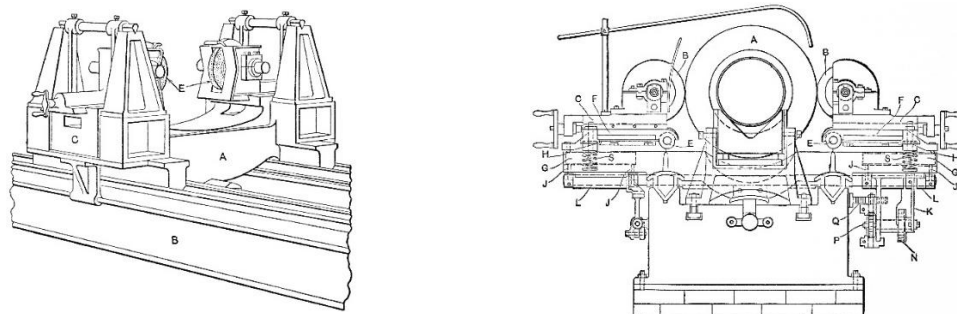


ルオーバー・ミルにおいては一方向の圧延が繰返される中で材料中に含まれた不純物がワークの片方に絞り出されて来るため、ここを切断除去すれば優良な<sup>せいひん</sup>成品を得やすいという長所があった。これに対して、圧延が双方向的となる Reversing two-high mill や Three-high mill においては不純物の片寄せなど到底かなわぬ芸当であった。

圧延される鋼材には断面が 6in. ないしそれ以上の bloom, 2in.×12in.以上の slab, 1 1/2~6in.の一边ないし直径を有する billet, 2in.未満の厚みと 6~12in.の幅を持つ sheet bar があり、それぞれを生み出す圧延機は各成品の名称を以て、例えば最後の例なら sheet bar mill と呼ばれた。これは Three-high mill に属し、スラブないしブルームからシートバーを圧延する装置であり、そのロール径は 24~32in.(609.6~812.8mm)に及んだ。川崎造船所に設備されたそれについては後ほど詳しく紹介する。

“プルオーバー・ミルの時代”を通じて、鋼材の熱間圧延用ロールの材料としてはロールの胴(転圧部)を急冷硬化させたチルド鑄鉄が用いられ続けた。これは、後に改めて触れるが、セメントタイト(Fe<sub>3</sub>C)化した硬化層を表層に持つため、熱間圧延を繰返し高温に曝されてもその硬度が落ちないからである。ロールの形状はおおむね真円筒とされたが、必要に応じて専用研削盤(図 4)を用いてごく軽度の鼓型や樽型に研削される場合もあった。ロール研削盤は図 4 右のように研削されるロールをそれ自身のロールネック軸受を以て支持する構造を採っている例が多かった。プルオーバー・ミルのロールネック軸受についても後ほど簡単に振り返る。

図 4 ロール研削盤 2 態

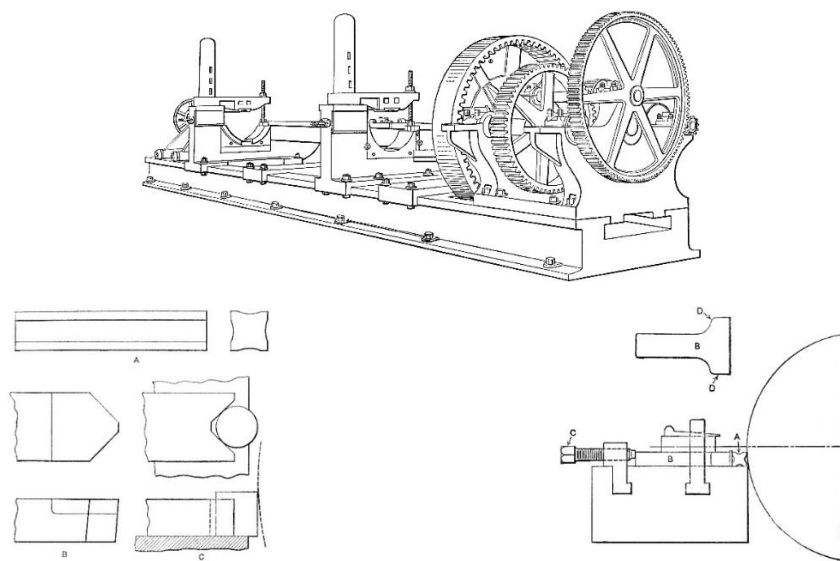


Poole Roll-grinding Machine の Wheel Carriage      Lobdell Roll-grinding Machine の Carriage  
*Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol.V, p.278 Fig.1, p.279 Fig.2.*

なお、ロール研削盤とは別に、ロール旋盤と呼ばれる特殊な切削工具を用いる専用機もロール径やロール溝の旋削(turning), ロール面の修復(dressinng)に用いられていた(図 5)。硬いワークを切削するため、その工具には独特の工夫が凝らされていた<sup>10</sup>。

<sup>10</sup> ロール研削盤については cf. *Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol.V pp.278~280.* ロール旋盤やその切削工具については cf. *ditto.*, pp287~289. 古くはロールをスタンドに装着したまま専用の駆動装置を組付け、低回転で在姿旋削する手法も行われ

図5 60in.ロール旋盤, その工具と切削状況



ditto., p.287 Fig.1 p.288 Fig.2, Fig.3.

図5 下左の上, A は4つのエッジが切れ刃となっている, ただしスローアウェイではなくいずれも数回の再研削が可能な円筒旋削用工具でその切れ刃の幅は著しく大であった。同 B(中と下)は総形バイトで, 四角断面の棒鋼圧延用ロール溝の粗切削工具。こちらは鍛鋼製シャンクに硬鋼製切れ刃を溶接したものであった。同 C(中と下)は丸断面の溝切り用工具で, これも総形バイトの一種には含められ得ようが, 実体は単なる工具鋼製の円筒に過ぎず, これを<型ノッチを持つブロックによって工具台上においてワークに押しつけつつ切削を行った。図5 下右は左図A 工具の使用状況を示す<sup>11</sup>。

ていたが, 修正済みのロールを別途, 用意しておき, これに交換してしまう方が効率的との判断に傾いた。製鐵所技師・工學士布目四郎吉『鐵及鋼の壓延作業法』丸善, 1917年, 268~269頁, 参照。

<sup>11</sup> 図5のAおよびC的な切削工具については橋本『鋼材壓延法』287頁に丸孔型バイト(第253圖), 平面バイト(第254圖)としてごく簡単に紹介されている。

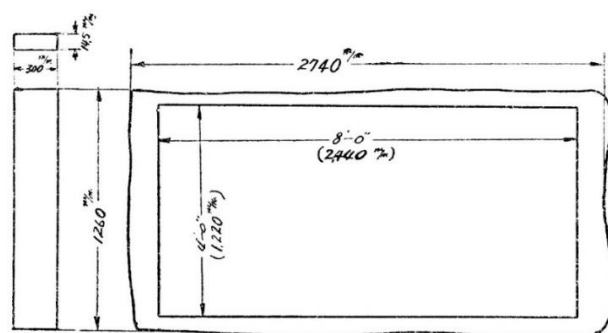
なお, 断片的資料ながら, 1927年当時, 八幡製鐵所で使用されていた輸入, 日本特殊鋼製ならびに内製のチルドロール旋削用バイトはCを1%強含む高炭素Cr鋼(独および内製。Cr:約2~5%), 高炭素W鋼(英および内製。W:約3~5%), 高炭素CrW鋼(日本特殊鋼製, 内製。Cr:約2~5%, W:約4~6%)の類が併用されていた。しかし, 比較試験の結果, 比較的硬度の低いホットロールには高炭素Cr鋼製バイト, 硬度の高いコールドロールや艶出しロールには高炭素CrW鋼製バイトが適し, 高炭素W鋼製バイトはいずれにも不適格と判定された。三村善之亮・森寺一雄「チルドロール旋削用バイト材比較試験報告」『製鐵所研究報告』12-176, 1927年11月, 参照。矢島忠正『官營製鐵所から東北帝國大學金屬工學科へ——大石源治史料にみる実践的鐵冶金學の黎明期——』東北大学出版会, 2010年, 390~384頁に全文引用。

自動車車体の外板やブリキ板などに好適な光輝仕上げされた極めて平滑度の高い高級薄鋼板や非鉄金属の精密圧延は熱間圧延後の半製品を酸洗いした後、Two-high mill を以て冷間仕上げ(スキンパス)された。これはワークの表面酸化やスラグの浮出しによる肌荒れを防ぎつつ高度の板厚管理を行うためであり、冷間圧延の最小板厚は実に 0.003in.(0.076mm)とされていた。圧延に伴い材料に加工硬化を生ずるため、通常、2 パスごとに光輝(無酸化)焼鈍が実施された。軟らかい製品を得るには工程の最後に光輝焼鈍が行われ、硬い製品を得るには最後の焼鈍後、1~2 パスが実施された。冷間圧延用ロールは内部に水を通し、加工熱による熱膨張の悪影響を抑止していた。その材料には工具鋼の類、若干の W を含む Cr-V 鋼などが用いられ、焼入れと研削により高い硬度と表面粗度が付与されていた<sup>12</sup>。

また、冷間圧延ロールの駆動においては歯車のバックラッシュに起因するビビリや振動が成品表面に擦過痕を残す事態を避けるため、20 世紀の序盤からやまば歯車が手厚い制振構造とあわせて常用されていた<sup>13</sup>。

薄鋼板や中鋼板の材料はロールをタンデムに多連装した大仕掛けな厚板ないし条鋼圧延機によって圧延されるシートバーと呼ばれる幅 250 ないし 300mm 程度の長く厚い帯鋼を定寸切断した鋼片である場合が普通であった。図 6 は厚さ 15.5mm、幅 300mm のシートバーを長さ 1260mm に切断した材料(左)と、これを熱間圧延によりロール円周方向、つまりシートバーの短辺方向に正常に延ばして出来た 1 枚の半製品から、厚さ 1.6mm で幅 4ft.、長さ 8ft.の矩形の平面形状を有する中鋼板を製品……表面が酸化して黒っぽく見える <sup>ブラック・シート</sup> 黒板として切り取る状況(右)を示す。

図 6 切断されたシートバー(左)、圧延後の半製品と製品(右)



伊藤正夫『圧延法(中鋼板の製造法)』共立社 實用金屬材料講座 加工編, 1937(再版'39)年, 6 頁, 第 2 圖<sup>14</sup>。

<sup>12</sup> 冷間圧延薄鋼板については cf. *Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement*. Vol. II pp.157~160.

<sup>13</sup> やまば歯車の適用については cf. *Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement*. Vol. III pp.544~553.

<sup>14</sup> 執筆当時、伊藤の肩書は日本製鐵八幡製鐵所技師・工學士。後、第二鋼材部長、鋼材部長を歴任。彼は 1944 年、日本鐵鋼協會より「高級薄鋼板製造技術の改良進歩」の功績に対して服部賞牌を授与されている。『八幡製鐵所五十年誌』42~45, 312 頁, 参照。

成品(半製品)は左側が先頭のロール噛み込み側，右側が尾部に当っており，後者は“Fish tail”などと称された。半製品においては正常に圧延が行われても<sup>きりしる</sup>切代となる余材がその周縁部に不規則にはみ出す。この切代を可及的に小さくしようと志向されていたのはもちろんであるが，いつの時代にも幾分か——薄板なら重量比 10~18%程度——の切代発生は不可避とされていた<sup>15</sup>。

図 6 に示されているとおり，圧延されたワークはロールの幅方向にはほとんど拡がらず，その進行方向側へと大きく延びる。この時には絞られたホースの先から出る水のように，先進(Forward slip)と称してその進行速度も増す。圧延初めの噛み込み時にはロールの周速がワークの送り速度を上回り，ワークは引張り込まれる形になるのに対して，吐き出される際のワークの速度はロールの周速を上回る。これは圧延の基本であるが，連続ロールで圧延などという所作が言うは易くして実行面では相当に難しくなる所以も実はここにある<sup>16</sup>。

プルオーバー・ミルなどとは全く対照的な技術として鋼板を連続圧延する所謂 Strip Mill が世界に大きく先駆けてアメリカに誕生したのは上述のとおり 1926 年である。それに次ぐ八幡製鐵所の設備設備が輸入・整備され始めたのは'36 年であり，その操業は一応，1940 年に開始されている。しかし，戦時下，これをフル稼働に至らしめられなかったため，生産性や製品々質の点でこれに遥かに及ばぬ技術であったとは言え，プルオーバー・ミルを以てする薄~中鋼板の熱間重ね板圧延法は 20 世紀前半を通じてしぶとく生き残る。しかも，それは世界的に共有された状況となっていた。

### 3. 戦前戦時~復興期の八幡製鐵所における薄鋼板，中鋼板圧延技術体系

では，薄板圧延に係わる「重労働と高度の熟練技術」とは具体的には一体，いかなる内実を有していたのか？あるいはまた，それが「量的にも品質的にも，もはや現在の需要動向には適応できない」ものとなったとの形容は具体的にいかなる状況を反映しつつ発せられたのか？はたまた，一般論として，プルオーバー・ミルにはどのような労働過程と製品々質と生産量とが対応していたのか？……かような問題について，1930 年代後半以降の八幡製鐵所がらみの技術文献を頼りに紹介して行こう。

Two-high mill は厚板工場においても使用されていたが，プルオーバー・ミルとしてのその稼働は中厚以下の鋼板圧延工場に限定された。われわれはこれを薄板圧延，ブリキ板圧延，

---

<sup>15</sup> 圧延時のロールの軸方向断面が正常とされる矩形ではなく鼓型となっている場合，板は Sparing と称して中央部が厚く両側が薄い，平面形状的には両端 Fish tail のごとき形状を呈し，大きな切代を要することになる。逆に，これが樽型になっている場合には Buckling と称し，中央部が薄くなって両端が舌状の平面形状を呈し，廃品となりやすい。橋本『鋼材壓延法』632~633 頁，参照。圧延時におけるロールのプロフィールや成品に生ずる欠陥についてはやがて詳しく取り上げられる。

<sup>16</sup> 圧延されたワークの幅の増大と先進については山ノ内『壓延・引抜及搾出し加工法』41~47 頁，参照。

中鋼板の圧延の順に紹介し、熱間圧延ロールの主役であったチルドロールとロールネック軸受とにまつわる技術についてもここで若干の言及を行う。

## 1) 薄板の圧延

八幡製鐵所における薄板圧延は3重ロール機を以て1901年6月21日、操業を開始した。この工場は後に設備を更新し、第1中板工場と改称された。八幡における本来の薄板製造は1906年11月1日、本邦初の亜鉛(Zn)引き鋼板(トタン板)製造工場である波板工場(→第1薄板工場)として始まった。その技術はもちろん旧式の非密着圧延(Loose Rolling)であったが、肝心の操業実績のほどはあまり顕著とは言いかねるような状態が続いていた<sup>17</sup>。

波板工場のテイタラクゆえでもあろうか、後に八幡製鐵所職工養成所長となる向井哲吉はその著書において「<sup>ブリキ</sup>鉄力用板の如き極薄きもの」の圧延法に「米國式と英國式」とがあり、米國式が圧延機1基を粗延から仕上にまで用いるのに対して英國式では粗延、仕上2基をペアとしており、米國式は生産性、英國式は製品々質において優ると語り、重ね圧延についても触れておりながら、当時行われていた非密着圧延法の実態を伝える数値データは何一つ掲示されていないが、実際には非密着圧延法では上手く行かぬため「特に薄い鋼板を得る爲には相當の厚さを有する軟鋼板を加熱しこれに薄板の両面を挟んで」圧延するといった古い手口に逃げる場合もなくなかったようである<sup>18</sup>。

同じところで彼は鋼板圧延一般について略述しつつ、薄板圧延に関しては「普通の薄板は壓延中に水を灌ぐも型に打込むか<sup>ひだ</sup>襞を附るか發電機に用うる板の如きは必ず熱間に壓延すべきものとす」(194頁)などと述べている。絞り加工に処される鋼板、トタン波板の原板と珪素鋼板に係わる下りについては解らぬでもない。しかし、「水を灌ぐ」は中鋼板の荒圧延におけるロール冷却の謂いかとは想えるが、やや不得要領な記述ではある。

また、1917年刊の布目前掲書「附録 製鐵所に於ける『ローリングミル(Rolling mill)』に就て」においては「薄板工場は主として厚さ1耗乃至 $1/8$ "の薄板を製出しつゝあるものにして特記するの事項なし」(7頁)、などと切捨てられる始末で、これ以上軽くは扱いない記述が与えられていた。

1917年頃、八幡製鐵所は設備機器一切をアメリカから輸入し、密着圧延法(Tight Rolling)へのシフトを企てたが、第2薄板工場ほぼ完成の1920年頃に至ってもその操業は依然として軌道に乗っていなかった。非密着・密着なる工法の勘所については間もなく触れるが、当

<sup>17</sup> 以下、八幡製鐵所の事蹟については『八幡製鐵所五十年誌』122, 370~374, 443頁、参照。もっとも、同書135~136頁の記述は乱脈を極めているので採らない。波板工場の操業開始日については布目『鐵及鋼の壓延作業法』巻末最終の「製鐵所ヒケル『ローリング、ミル』概要表」、『八幡製鐵所五十年誌』107頁、による。

<sup>18</sup> 向井『最新 簡易製鐵術』丸善、1915年、192~195頁、参照。軟鋼厚板によるサンドイッチ圧延法については布目『鐵及鋼の壓延作業法』275頁、橋本『鋼材壓延法』634頁、参照。そこでの板厚は0.02mmとか0.025mmとあるが、その状況も典拠も全く不明である。引用は橋本の書より。

時は重ね圧延される板の材質についての定見も確立未満の状況にあり、非密着圧延法にて圧延された重ね板をローラーレベラーのごとき機械に通して波状進行させ、「糊着」を剥がそうとしたり、「使ひ古しの硫酸中に瞬時浸し洗蝕せしめ之を爐内に装入」し「微細なる綠礬を以て覆はれ相接合することを防」いだりする有様であった<sup>19</sup>。

そんな中、'21年に日東製鋼(株)なる会社の川崎工場がドイツ人技師および職工長を招聘して本邦初のブリキ板製造に乗り出した。残念ながら、同工場は早くもその翌年、閉鎖の憂き目を見るが、八幡は'22年10月、このドイツ人技師3名、即ち「ダブリュー・ルウオースキー」(Walter Lwowski)、「ヨハネス・ヘンケ」(Johannes Henke)、「ヨハネス・フローワイン」(Johannes Frowein: 後、彼に代って「ハウベルト・シャウエルテ」を招聘)と日本人の経験職工13名ほどを雇い入れ、密着圧延法による自らのブリキ板製造事業を軌道に乗せようとする挙に出た。高等官待遇の主任技師として迎えられたルウオースキーは直ちに設備の改修を命じ、10月15日の第2薄板工場操業開始に当ってはロール予熱の必要性を示すなど、密着圧延法の要諦を熱心に伝授し、職工長となったヘンケは率先してその技能を発揮して見せ、ともに'26年7月まで3年10ヵ月の在任期間を全うした<sup>20</sup>。

彼らの離任から約10年後の'30年代半ば、中・薄板は本邦全鋼材需要の約1割を占めるに至っていたが、未だ薄板輸入は根絶されておらず、他方、国産品の輸出もトタン板が東洋および南洋市場を制しつつある程度に止まっていた<sup>21</sup>。

当時、わが国においては慣例的に厚さ1mm以下の鋼板を薄鋼板と称していたが、明確な名称規格として薄板、薄鋼板が規定されていたわけではない。それどころか、薄板と称されるモノの種類は実に207種にも及んでおり、煩瑣を極めていたため、これを52種に簡素化する試みが商工省にて進められていた。最量産品種はU.S. Standard Gage #30 1/2に相当する0.29mmの板厚を有し、縦横3×6ft.で約50kgの結束状態にて13枚を数える“13枚物”であった。1mm以下の品種が薄板生産比率の多くを占め、かつその大部分が極薄の“13枚物”であるような状況は国際的にも異例であった。これは当時、波板を含むトタン板への旺盛な国内需要があったからである<sup>22</sup>。

<sup>19</sup> 布目『鐵及鋼の壓延作業法』271~272頁、参照。もっとも、これがどこまで製鐵所における実践例を反映する記述であったか、はたまた一般論であるのか、著者の筆致は不明確ながら、後者のようでもある。なお、このローラーレベラー的な機械は剥離機と呼ばれ、機能不十分のためほどなく棄却された。橋本『鋼材壓延法』634~635頁、参照。

<sup>20</sup> ドイツ人技術者の氏名原綴りについては『八幡製鐵所の設備・技術の変遷 第4分冊 圧延設備』薄板設備、59頁、参照。

<sup>21</sup> 以下、薄鋼板の圧延については平世將一『薄板(壓延法)』共立社 實用金屬材料講座 加工編、1937(再版'39)年、による。執筆当時、平世の肩書は日本製鐵八幡製鐵所技師・工學士(東京帝國大學)。その「緒言」には「大正十一年末本邦に密着壓延法を<sup>【おぼろ】</sup>親しく吾人を指導し十有餘年にして本邦薄板工業の今日の大をなさしめたる、當時の技師長ルオスキー氏並に職工長ヘンケ氏の功績を讃へ度い」と記されている。平世は戦後、富士製鐵に移り、常務取締役、さらには新日本製鐵広畑製鐵所の所長などを歴任した。

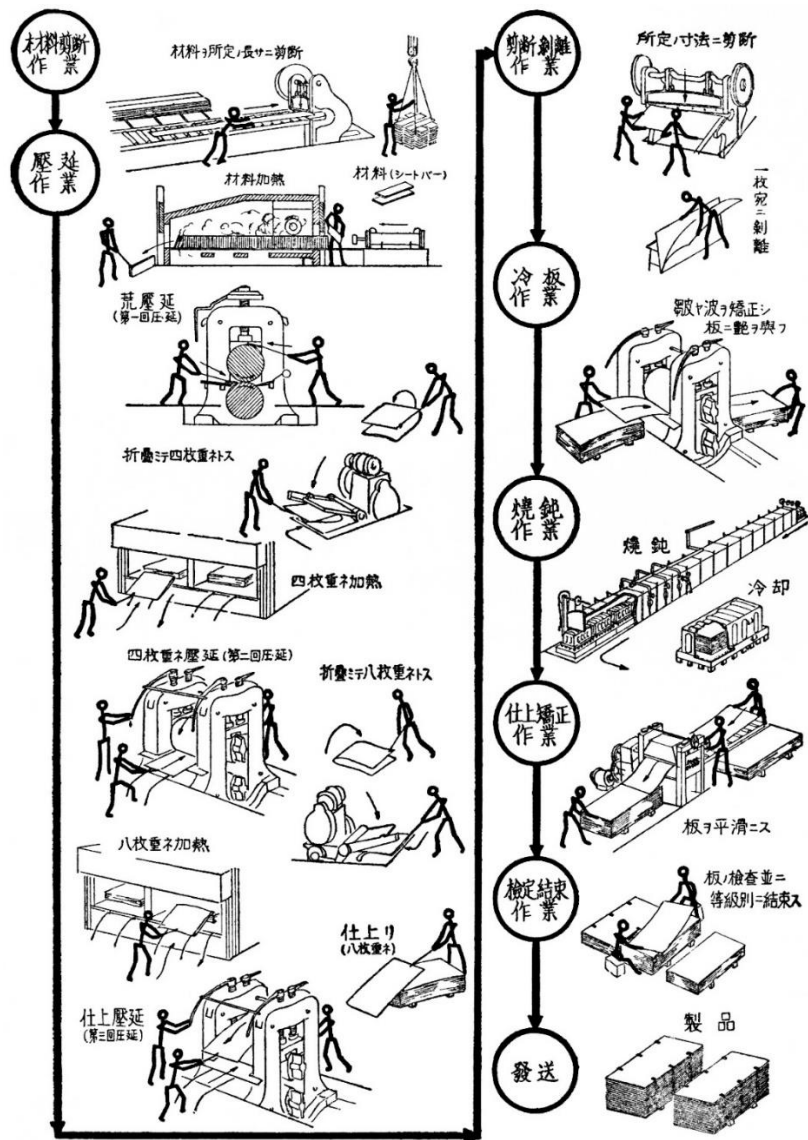
<sup>22</sup> 亜鉛メッキ鋼板(トタン板)全般については森 正親(日新製鋼大阪工場)「亜鉛鉄板」産業教育協会編『図説 日本産業大系 第1巻』192~198頁、参照。

薄板の材料は極軟鋼に分類される鋼種であったが、Cの含有率は国内製品に関しては0.12%以下とされており、一般的な極軟鋼の0.15%以下より更に柔らかめの鋼材が用いられていた。Cの含有率が少ないほどZnめっきに適するのがその主な理由である。

Two-high millにおいては荒でも仕上げでも圧下装置の機械的なガタやスタンドなど各部の変形のため圧延可能な最小板厚が決まっており、その値は「締切り」などと称されていた。ロール圧下による締切りは2mm内外に限界付けられ、これより薄い板の圧延には数枚を重ねて同時に圧延する重ね圧延工法に訴える必要があった。“13枚物”の圧延は通常、8ないし10枚重ねで実施された。

熱間圧延において重ねられた板の融着を防ぐ方途に2つあり、古くは上述の非密着圧延法、つまり素板の間に木炭粉やオガ屑を投入し、比較的低温で圧延を行う所作が一般的であったが、これによって極薄板を圧延するのは困難であった。対照的に、わが国においては八幡製鐵所 第2薄板工場を嚆矢とする密着圧延においては重ねて圧延される板の剥離を容易にするため、鋼材自身の成分が善用された。即ち、Siの含有率を高めれば材料は酸化しやすくなり、表面の酸化被膜が板相互の剥離剤となる。P含有率の増大によっても同様の効果が発揮され、かつPを含む材料は表面粗度に優る。ただし、頼みとする酸化被膜の強度はSi添加材に劣る。アメリカではPの、ドイツではSiの増量にアクセントが置かれ、わが国においてはその折衷案が採られていた。

#### 図7 八幡製鐵所における薄板製造工程(その1)



平世『薄板(壓延法)』10頁，第1圖。

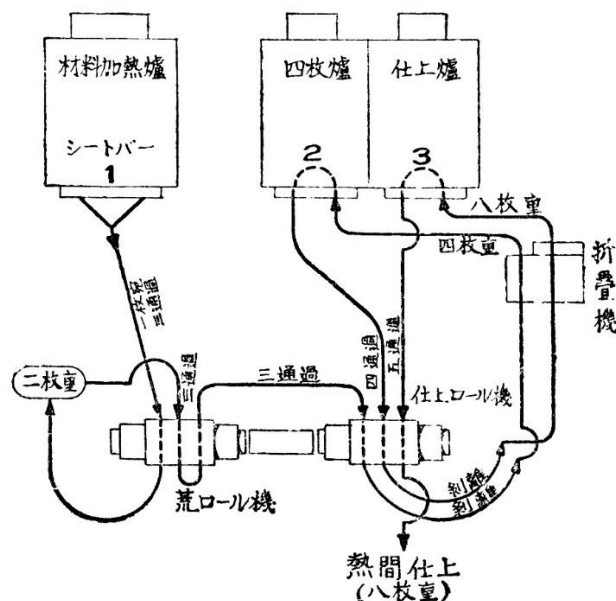
密着圧延による薄板製造の工程は図7、図8に示されている。高温の炉を使用し、圧延も熱間で行われる工程であったから、薄板工場は鉄鋼業一般のそれと同じく3交替・24時間連続の操業形態を採っていた。八幡製鐵所にて最量産品種である“13枚物”を圧延する場合、厚さ9.6mm、縦横250×950mm、あるいは厚さ11.9mm、縦横200×950mmのシートバーが使用され、それらの重量はいずれも約17.9kgであった。シートバー自体は定尺の10倍程度の長さで搬入されるため、薄板工場の作業はシートバーのせん断が起点となっていた。

せん断されたシートバーは材料加熱炉(Pair Furnace)に装入され、連続加熱された。シートバーを次々に入れ、後ろを機械で押し<sup>プッシャー</sup>て前から取り出したワケである。当時、八幡製鐵所では材料加熱炉の燃料として石炭や重油あるいは発生炉ガスではなく、高炉ガス



(950kcal/m<sup>3</sup>)とコークス炉ガス(4100kcal/m<sup>3</sup>)との2:1混合ガス(約2000kcal/m<sup>3</sup>)が常用されていた。それによる加熱条件の安定化は製品品質の改善やロール折損の減少, 加熱手(古称: 焼方)の人員削減に著効があった。加熱は炉内における材料の強い表面酸化とスケール生成を抑えるため還元炭を以て行われ, 加熱温度は材料の化学成分により800~850ないし900°Cの間で調節されたが, シートバーの後縁は装入時に呼び込まれる空気のため酸化され, スケールを生じがちであった<sup>23</sup>。

図8 八幡製鐵所における薄板圧延工程(その2)



平世『薄板(壓延法)』24頁, 第17圖.

最後の「熱間仕上」は熱間仕上りの謂いである。

材料加熱に続く圧延工程こそはプルオーバー・ミルとこれを扱う圧延労働者の独壇場であった。圧下手はロール機の前面側方に立ち, 板の噛み込み衝撃や戻って来た板の状況から圧下ハンドルを操作して圧下率を最適化して行った。前後の圧延工は焼けた板を噛み込ませ, 送り返し続けた。平世はアメリカにおける熱間ストリップミルの導入を意識しつつ, この伝統的圧延工程の意義について:

圖解を視るも薄板製造の根幹は實に此の壓延に存する事がわかる。而して全製造工程中最も深き経験と長き熟練とを要し, 加ふるに最も過激な労働を伴ふものである。故に薄板壓延は英國ウェールズ地方に其の淵源を發し歲月は流れて2百餘年子々孫々

<sup>23</sup> 平世『薄板(壓延法)』11~12頁, 参照。ガスの発熱量については伊藤『壓延法(中鋼板の製造法)』7頁による。ちなみに, そこでが発生炉ガスの発熱量は1531kcal/m<sup>3</sup>とある。布目は還元炭について「火焰は極めて緩和に櫻赤色を保たしむること」(『鐵及鋼の壓延作業法』272頁)と表現している。

迄も謂ゆる秘傳物として極秘に附せられ他工業に比して著しく其の進展は遅く、最近の不況に刺激せられて漸く米國方面より目覺んとして居るのである。然し多様の品種を少量に製造し、且つ市場の狭隘なる日本に於ては、目下行はれてゐるウェールズ傳來の壓延法より外に猶當分は適當な方法は無いと考へられるのである<sup>24</sup>。

と述べている<sup>25</sup>。

ただ、同じ Welsh Rolling Method の、それも 2 回折り畳み法によるその解説図でありながら、一見すれば明らかなように、視覚的にキャッチーな図 7 と圧延工程のみを詳解した線図である図 8 とでは若干異なつた工程流れが示されている。そこで、ヨリ詳細かつ実態に忠実な内容を有する図 8 に依拠しつつ、“13 枚物”を製造する際の工程を概略、再現してみよう<sup>26</sup>。

材料加熱炉から引出されたシートバー 2 枚は荒ロール機により 1 枚ずつ交互に 3 回、短辺方向に圧延された。1 枚ずつ、とは言い条、1 枚を圧延中に先行する 1 枚は上ロールで戻り行程を走っており、その一瞬の間隙を衝いて圧下手は圧下ハンドルを扱い、上ロールの高さを僅かずつ下げ、上下ロール間隔を狭めて行つたワケであるから一連の動きに無駄はなく、ワークの重量が許す範囲内においては逆転式 2 重ロール機や 3 重ロール機よりもプルオーバー・ミルの方が作業能率は高かつた。このワークを 2 枚重ねとし、さらに 2~3 回圧延された。これで当初 200 ないし 250mm であつた短辺は 700~900mm 程度にまで伸ばされる。この 2 枚重ねのワークは直ちに仕上げロール機へと送られて 3~5 回圧延され、その長さは約 2000mm にまで延びる。ここまでの荒圧延(シートバーの圧延)になる。

作業者はこのワークが冷めぬ内にこれを 2 枚に剥離し、全表面での穏やかな酸化被膜の形成を促した後、1 枚ずつ火箸で折り曲げ、下駄のような履物で折り目を踏みつけた後、アリゲータ型せん断・折り畳み機で 2 つに折畳んでからその 2 つを再び重ね合せ、4 枚重ねとした<sup>27</sup>。

平世の説明は簡略でありながら錯綜しており、また、当然過ぎるからか、彼をはじめ誰もそのようには明言していないのであるが、この時、折り目は切断されていたと考えるしかない。尻尾や横の不規則部も切落された。かくして得られる「未だ仕上りの長さとはならず其の途中まで壓延された鋼板」は業界用語で葉板(Pack : 束)と呼ばれた。つまり定義上、パッ

<sup>24</sup> 平世『薄板(壓延法)』11 頁、より。

<sup>25</sup> 1944 年には桂木人美によって「從來のプルオーバー式壓延法による作業員の過激な壓延労力を軽減し、且つ壓延能力の向上を計つた」薄板輪轉式粗壓延法なるものが考案されている。これは Two-high mill の下ロールの周りに小径のガイドローラー群を展開させ、ワークが下ロール周回しては上下ロール間に噛み込まれる所作を繰返すうちに圧延されて行くという着想であつたが、發明者の善き意図にも拘らず、実用化には至らず仕舞いであつた。『八幡製鐵所五十年誌』319~320 頁、参照。

<sup>26</sup> 平世『薄板(壓延法)』25 頁、参照。

<sup>27</sup> 素足に下駄の出で立ち高温の鋼板を扱うためであつたが、板によるアキレス腱の切断事故が多発したという。宮尾 進の回想。新日本製鐵株式会社 八幡製鐵所 電磁鋼板部『珪素 50 年の歩み』1974 年、49 頁、参照。

クとは完成直前の週刊誌綴じや袋綴じまがいの折畳まれた板の束ではなく、未完成の平らな板の束を意味する術語なのであった<sup>28</sup>。

この4枚重ねの葉板は葉板炉(Pack Furnace)へと装入され、700~800℃程度に加熱された。ワークが4枚重ねパックであればこれを扱う葉板炉は4枚炉、後続の8枚重ねパックを扱う葉板炉は8枚炉ないし仕上炉などと呼んでその機能から区別されてはいたが、いずれの葉板炉も構造的には同一物であった。

両葉板炉における加熱の目的は単に圧延により圧壊された結晶粒を融合・粗大化させ、次の圧延の変形抵抗を低減させておくことだけに限られたのではない。4枚重ねであれ8枚重ねであれ、葉板の加熱に際して：

最も重要な事項は還元焰で作業して剥離を容易ならしむる如き被膜を生成せしめ、悪性の脱落し易きスケールの発生は絶対に防止する様に作業する事である。成分の變化に應じての加熱も必要であるが、ロールの調子に順應する如き加熱をなす迄に熟練すれば加熱【手】も完成されたと呼ばれるのである。作業方法はロール機より來れる葉板が爐に装入されるれば、加熱手は直ちに大火箸を用ひて1組宛兩爐壁に立て掛け、爐内の輻射熱を吸収せしめると共に葉板の間に多量の燃焼瓦斯を浸透せしめ、機を見て順次に爐底に倒して平らに積重ね、板の内部外部の温度一樣になる如くに加熱するのである。此の倒す時機と積重ねとは肝要である。斯くて積重ねて内外均等に加熱せられたる葉板はロール機の作業に應じて引出されるのである<sup>29</sup>。

炉壁に立てかけておいた程度で「葉板の間に多量の燃焼瓦斯を浸透せしめ」られ得たのは折り目が切除されていたからこそである。折り目が残されておれば、左様な所作など到底、覚束ぬ。この葉板炉においては迅速な炉扉の開閉とワーク・ハンドリングとが必須とされたが、それは言うは易くして実行には相応の危険と困難を伴う作業であった<sup>30</sup>。

炉から引出した後、4枚重ねのパックであればこれを仕上げロール機に3~4回通し、その長さを再び2000mm程度まで延ばす。この工程を4枚圧延と呼んだ。続いて、延べられたワークの「此の4枚を各枚毎に剥離」し、言い換えれば「再度1枚々剥離し各板の表面に均等の酸化被膜を作」る(25頁：強調引用者)。この時、仮にも折り目が残されておれば谷折り

---

<sup>28</sup> 引用された定義は伊藤『壓延法(中鋼板の製造法)』9頁、より。橋本が「シートバー加熱爐」を荒炉と区別した上、4枚炉を「荒爐」、4枚炉と8枚炉との対を「ペアーファーネス」と呼んでいるところまでは古称かと想えなくもないが、その著書においては剥離→表面酸化工程について全く無視するなど薄板密着圧延の本質を外した記述が繰返されており、折り目の切除についての記述も当然ながら微塵も見当らない。『鋼材壓延法』655~666頁、参照。

<sup>29</sup> 平世『薄板(壓延法)』12、15頁、より。

<sup>30</sup> 万事、量を追求したアメリカにおいては葉板炉の連続炉化が実現されていた。葉板は厚いシートバーのようにそれら自体を並べて後から順に押して行くワケには参らぬので、炉床に搬送機構を設備し、葉板を1枚ないし1組ずつ載せ、相次いでトンネル炉を通過させた。平世『薄板(壓延法)』15頁、中島『鋼材壓延』254~255頁、参照。

の内面を覗き見るぐらいが精々であり、葉板を4枚に、つまり1枚1枚に剥離させるなど絶対に不可能である<sup>31</sup>。

続いて各板を再び折り畳み機にかけて2つ折りにし、これを4つ重ね合わせて8枚重ねとする。2回目の折り目と尻尾とを切除した後、この8枚重ねパックを8枚炉に装入、再び上に引用された2段階式の要領にて還元雰囲気の下、先ず炉壁に立て掛けて板のすき間に燃焼ガスを入れ、次に平積みにして700~780℃で仕上げ加熱する。終了後、引出された板は正しく重ね合わされ、仕上げロール機にて4~5回圧延される。この工程を仕上げ圧延と呼び、これにて熱間圧延工程は終了する。

その後、冷間でのせん断・剥離→矯正→焼鈍→仕上げ矯正→検査と続いた流れは図6のとおりである。せん断はギロチン型せん断機により、「先づ長手の片側を切断し、次に尾部【】側部【】最後に頭部の順序で切断するが最も能率が好い」(43頁)とある。平世はその理由について触れていないが、常識として基準線は長く採られるに越したことはなく、尾部は後述のとおり何かと欠陥を生じがちな、大きく切捨てたい部位であった。後の手順は板を台上で回して行った以上、当然である。

剥離は剥離用火箸で板の1角を数回折り曲げて剥ぎ口となるすきまを開かせ、剥離用の刀またはタガネを厚みの中央に打込んで上下4枚ずつに2分割し、さらに2分割を2回重ねて1枚へと至った。いかに表面酸化被膜が形成されていたとは言え、せん断された端部を有する密着圧延鋼板がそう簡単に剥げるワケなどなかった。なお、剥離までに発生ないし発覚した仕損じ品・不良品を除外して得られる熱間圧延工程における1級品の材料歩留(重量比)は79~82%程度であった<sup>32</sup>。

折畳みから剥離へと至る一連の工程については中島龍一もまた次のように述べている。

薄板・仕上鋼板・ブリキ板等のごとく薄い鋼板を圧延する際には、その圧延の過程に於いて、数回折り畳んで圧延する工程を繰り返さねばならぬ、そのために折畳機が必要であるし、またそれを加熱して再び圧延する際には、畳んだ縁が揃つてゐる必要がある。折畳めば直ちにその縁を切ることになつてゐる、そのためには剪断機も必要となる、この折り畳み及び剪断の両操作のために、便利のよい折畳み剪断機が用ひられてゐる。これは作業中は常に運轉されてゐて、必要に応じてその機械の平盤下に畳み目をつけた葉板を持つていけば、直ちに整然と畳まれ、その横縁の刃部に持つていけば葉板の形状の不規則の部分が揃つて切つて捨てられるのである。またこの折り畳まれた鋼板は、後にまた原状の如く一枚一枚に剥ぎ別けられねばならぬが、この操作は日本では主として人力にて行ふが、外國にもこの剥離作業には相當困難してゐる<sup>33</sup>。

<sup>31</sup> 前の方の引用は平世将一「製鐵所に於ける珪素鋼板製造に就て」『鐵と鋼』第14年第1号、1928年1月(1927年11月に催された日本鐵鋼協會第3回公演大會での講演)より。この平世論文はJ-Stageにて全文閲覧可能となっている。

<sup>32</sup> 平世『薄板(壓延法)』43頁、参照。

<sup>33</sup> 中島『鋼材壓延』64頁、より。

板を“折畳めば直ちに折り目を含むその 4 つの縁を切る……”などと表現してくれておればより明晰であったろうに、これまた惜しい記述である<sup>34</sup>。

なお、過酷を以って聞こえた八幡の珪素工場についての回想によれば、圧下手の持ち時間は 2 時間で、その終了が近付く頃には肉体的・精神的疲労が昂進し、製品精度にバラツキが散見された。持ち時間を終えた圧下手は頭を数分間、水に浸けて冷し、回復後、塩と水とを補給しつつ板の剥離作業に取り組んだ。それでも圧延スタンド関係の高熱重筋労働は苛烈を極め、疲労による痙攣、つまり熱中症で倒れる作業者が続出した。熱中症は 1931 年に公傷として認められるようになったが、作業者の気風は倒れて後止むといった敢闘精神に溢れており、これを人々は“珪素魂”と呼んで自らを鼓舞し続けた<sup>35</sup>。

続いてロール機の機械的特徴へと眼を転じよう。図 7 および図 8 と対応する圧延工場のロール機配置は 1 軸配置とするのが通例であり、動力伝達様式の類型としては作業機のグループ駆動に属した。生産効率上、荒ロール機と仕上げロール機との基数比率は 1 対 1 が望ましいが、2 基ずつとすれば建設費も動力費もかさむ。図 9 下のような配置は妥協の産物であった。

作業機としてのロール機は荒も仕上げも当然、プルオーバー・ミルである。プルオーバー・ミルによる薄板圧延においてはロール回転数が低いため、図 9 上に示すイギリス工場のようにクランク軸にフライホイールを取付ける蒸気機関駆動時代の方式(平面図)によればフライホイールも減速大歯車もそのサイズが巨大とならざるを得ず、特に 10m 近い大径となるフライホイールの装備については諦めざるを得ぬ場合さえあった。1926 年当時、八幡の珪素工場における圧延原動機フライホイールは直径 7.7m、重量 5630kg のサイズを有していた。図 9 下のように、小径のフライホイールを高速回転するピニオン軸に取付けるのは「強力なる減速歯車が製作され得るに到」(15 頁)った電動機時代ならではのコンパクトなまとめ方であるが、そこには信頼性の高いたわみ継手の存在も希求される場所であった<sup>36</sup>。

---

<sup>34</sup> もっとも、中島は『軌条』共立出版、1943 年、なる同時代の著書があるところからして、少なくとも当時は板圧延に直接係わる技術者ではなかったようである。

<sup>35</sup> 石田軍治「圧下手のある一日」新日本製鐵八幡製鐵所 電磁鋼板部『珪素 50 年の歩み』62 頁、および同書、44 頁、参照。

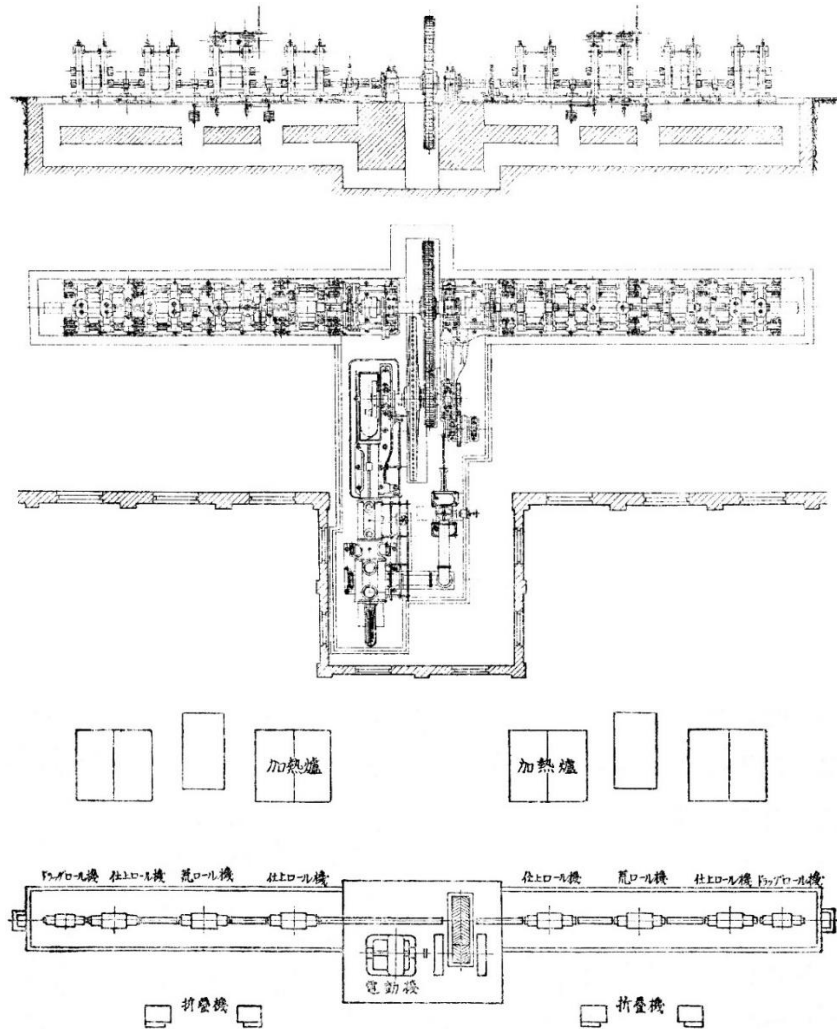
<sup>36</sup> 圧延機駆動用の蒸気機関については布目『鐵及鋼の壓延作業法』286~290 頁、橋本『鋼材壓延法』246~257 頁、同じく電動機については『鐵及鋼の壓延作業法』291~294 頁、『鋼材壓延法』257~283 頁にかなり詳しい。

八幡のフライホイールについては新日本製鐵八幡製鐵所 電磁鋼板部『珪素 50 年の歩み』44 頁、参照。

たわみ継手については後述。布目は旧時代の処方について、薄板圧延ミルにおけるフライホイール装備が「実用上困難なり」とまで述べている。『鐵及鋼の壓延作業法』109~110 頁、参照。

なお、同書第二百廿八圖は同種のミルを電動機(1200PS/180rpm.)から 26 本のロープで駆動する例であり、従動軸の大径プーリーはフライホイールを兼ねている。説明書きはドイツ語であるが、対応本文(267 頁)に図の素性に関する記述はない。圧延機におけるロープ伝動に関しては橋本『鋼材壓延法』101 頁、第 73 圖、102 頁、第 74 圖にも例示を觀る。ロ

図9 ロール機その他設備の一般的配置(旧[上]と新[下])



上：布目『鐵及鋼の壓延作業法』第二百廿九圖。

内側より広幅荒ロール，同仕上ロール(圧下スクリー連動装置付き)，狭幅仕上ロール，同荒ロールか？

下：平世『薄板(壓延法)』16頁，第5圖。

もつとも，高速電動機駆動においても歯車への衝撃荷重を抑えるという観点だけからすれば減速軸に大径のフライホイールを取付ける古式にならう方にはあった。要は，歯車の設計と工作の水準が向上したため，少々の負担には目をつむりつつ小径・高回転フライホイール方式を採る妥協策が可能となったという理屈である<sup>37</sup>。

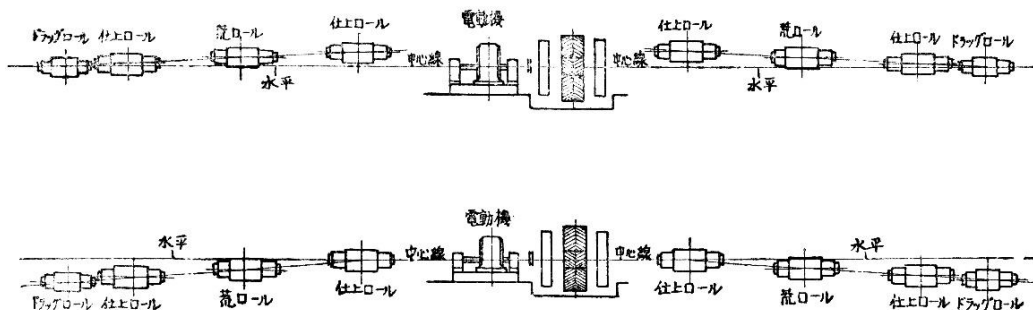
ープは往時，工場伝動装置として汎用されていた。拙稿「工場における動力分配の古典的技術体系について」(→IRDB)，参照。

<sup>37</sup> 須永己代治『鉄力板の製造(壓延法)』共立社 實用金屬材料講座 加工編，1937年，11頁，参照。この著者の執筆当時の肩書は日本製鐵八幡製鐵所技師・工學士。その後，彼は第一鋼材部長を経て1945年12月から'50年3月まで八幡製鐵所技師長(教習所長兼担)に在

各ミルの駆動ロール(下ロール)の軸芯は原動軸のそれと一直線上にあるのが本来であるが、かかる精度保証は困難であったため、現実には図 10 (上), (下)いずれかのアライメント調整が実施されていた。平世は仕上げロールの軸芯を中心線より 6~9mm 嵩上げし、端末のドラッグロールの軸芯を中心線と合致させる(上)の方が仕上げロールの軸芯を原動軸中心線と合致させ、後続を垂れ下らせる(下)よりも動力消費が少ないと述べているがその理由については触れていない。恐らく(上)の方がフライホイールと大歯車の目方による原動軸のデフレクションに対して順応的であるがゆえに軸受における摩擦損失が小さかったというカラクリであったのであろう。

(上), (下)の共通項として原動側から遠ざかるにつれて軸芯が下げられているのは動力発生装置から遠い方のロールでの噛み込み衝撃によって近い方の下ロールが「打上げられ」、最悪、上ロールがワークを咬んでロックしてしまう事態(Gagging)を避けるためと記されている。いささか解り辛い説明であるが、左翼側を例にとれば、当初“し”状をなしていた軸系の左端にあるドラッグ・ロールと呼ばれる一種のブレーキの制動力が働いている限り、たわみ継手にも固有の摩擦抵抗が働くがゆえに、その姿勢は“ㄣ”のようになりがちで作業上、危険である。これに対して、その当初形状を“r”にしておけば同じ場合、同じ理由で軸系は“J”状の姿勢を採ろうとするから安全であるとの謂いであろう。

図 10 ロール軸芯のアライメント調整



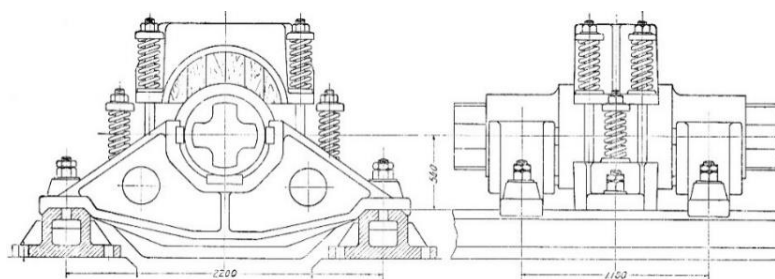
平世『薄板(壓延法)』36頁, 第28圖.

駆動系の左右軸端に置かれているドラッグ・ロールは短いロールを上下から木片で強圧する構造の摩擦ブレーキである(図 11)。薄板圧延においては圧延抵抗の頻繁な on-off に起因するロールの回転ムラが伝動軸の継手に存在する回転方向のすき間と相乗して軸の回転が著しく不整となる傾向を免れない。ドラッグ・ロールはこれに対する抑制策で、摩擦により継手の回転方向遊隙を常時、片寄せておく機能を有し、この種の薄板圧延設備には不可欠の

任し、'48年には「薄鋼板製造技術の工場並びに鐵鋼の生産復興」の功績により日本鐵鋼協會から服部賞牌を授与されている。八幡製鐵(株)八幡製鐵所『八幡製鐵所五十年誌』1950年, 卷頭グラヴィア, 42~45, 312頁, 参照。

サポーター  
助演者であった。それは上記のような弊害をもたらすはするが、これは軸系の垂れ下がり付与によって対処すれば済むだけの問題であった<sup>38</sup>。

図 11 ドラッグ・ロール



平世『薄板(壓延法)』19頁, 第11圖.

薄板圧延工場の所要動力については実用的な実験式として次の式が用いられていた。

$$P = 0.03 \times D \cdot L \cdot A$$

Pは所要馬力(HP), Dはロール径(cm), Lはロール胴長さ(cm), Aはロール機数.

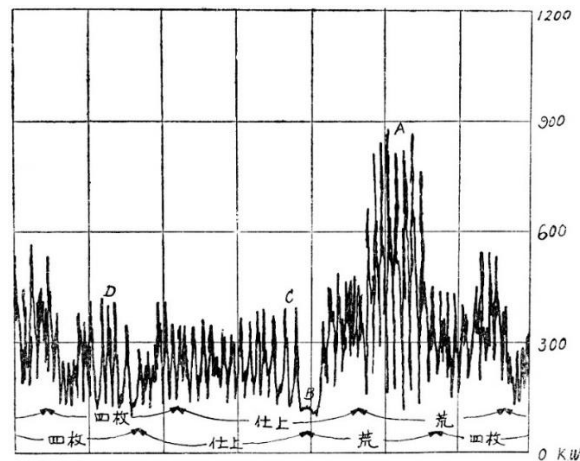
もともと、薄板圧延は負荷変動が極めて大きい工程をなしていた。図 12 はシートバーを扱う荒ロール機 2 基, 4 枚重ね圧延と 8 枚重ねの仕上げ圧延を行う仕上げロール機 2 基, 両軸端のドラッグロールから成り, 11000HPsec の蓄勢力を有するフライホイールを備えた 1 軸プラントにて“13 枚物”をホットロールした際の負荷変動曲線の一例である。このフライホイールが無かったなら, 電動機へのピーク電流は遥かに大きな値となっていたワケである。2 段書きされた作業工程の上段は電動機に近い方の, 下段は遠い方のミルを示し, 横軸の 1 目盛は 5 分間を表す<sup>39</sup>。

図 12 薄板圧延工程における負荷変動の一例

<sup>38</sup> 中島『鋼材壓延』286頁, 参照.

<sup>39</sup> 11000HPsec の蓄勢力とは見慣れぬ表現であるが, フライホイールの回転数ダウン, 即ちロールへのワーク噛み込みの瞬間におけるフライホイールの回転数と噛み終り時点でのそれとの差として表現されるフライホイール放出仕事量の謂いである。馬力と秒との組合せであるため, やや戸惑わされるが, 意味するところは kWh と本質的に変るところはない。その値はフライホイールの慣性モーメントと回転数の自乗の差とに比例する。





平世『薄板(壓延法)』23頁，第15圖。

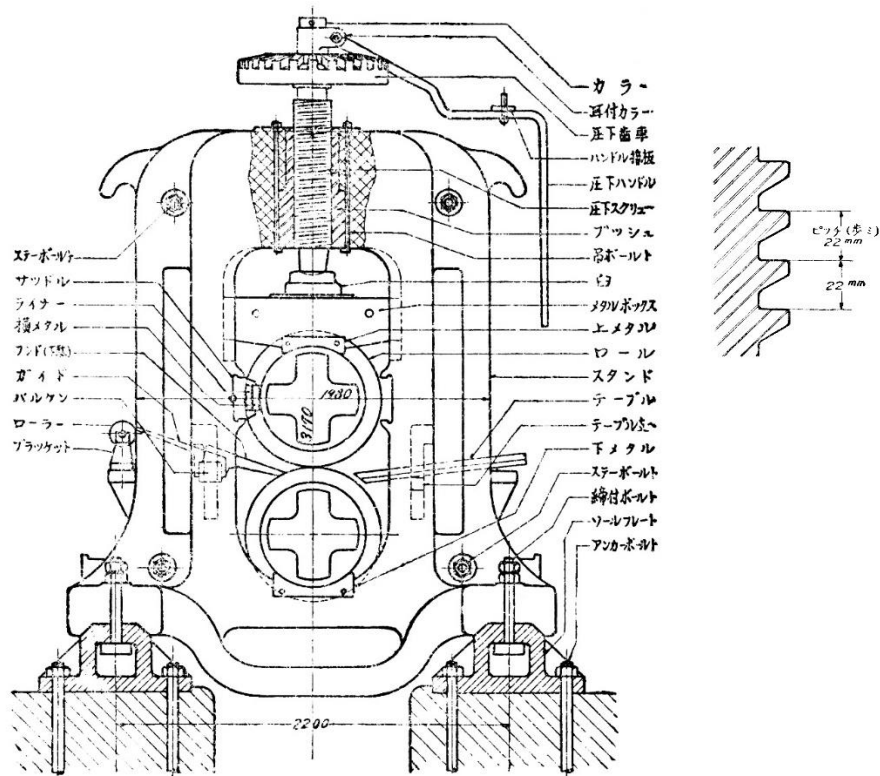
図12のAは荒ロール機を2基同時に，Bは空転，Cは仕上げロール機を8枚重ねで2基同時に，Dは仕上げロール機を4枚重ねで2基同時にそれぞれ稼動させた場合であり，荒圧延の衝撃負荷の大きさが窺われる<sup>40</sup>。

圧延工場の裏方である動力発生装置は当時の本邦圧延工場においては全て電動機となっていた。しかし，イギリスや欧州においては伝統的な水車や蒸気機関を使い続ける工場も残存していた。

続いて圧延工場におけるメインキャストについて縦覧を試みよう。荒圧延ないし図7に謂う第1回圧延の主体は荒ロール機(Roughing Stand: 図13)である。シートバーは右方，圧下ハンドル側から噛み込まれて圧延され，ローラーを支点として尾部を跳ね上げられ，上ロールに載せられて復帰する。シートバーの厚さを6mm程度まで薄くしておれば荒圧延は不要となり，いきなり仕上げロール機(Finishing Stand)にかけられ得たが，薄いシートバーの圧延には相応のコストがかかるため，厚めの安価なシートバーを用いて荒ロール機で荒延べ(Break down)を行う方が総合的に有利との計算が成り立っていた。

### 図13 八幡の薄板荒ロール機とその圧下スクリュウのネジ山

<sup>40</sup> このあたり，一部，平世の解説の明らかな誤りを訂正。



平世『薄板(壓延法)』16頁 第6圖, 18頁 第9圖.

荒ロール機のスタンド(両側のフレーム)は鑄鋼製が支配的となっていた。荒ロール機の圧下スクリーンは左右スタンドに各1個となっており、そのネジ山もピッチの細かい<sup>のこば</sup>鋸刃ネジとなっていた。いずれも理由はここでは圧下率も圧延衝撃も大きく、機構的頑強性が第一義とされたからである。圧下スクリーンについての詳しい<sup>いきさつ</sup>経緯は仕上げロール機との係わりで後述する。圧下スクリーンの下にある臼(breaker)は過大な衝撃荷重が加えられた際に割れて飛散し、要部の破壊を防止する安全装置で、その周囲には飛散防護策が講じられるのが常であった。

上ロールは日本流では下ロールから摩擦駆動され、ワークの噛み込みとともに跳び上り、吐出しとともに下ロールの上に落ちる **Jumping Roll** となっていた。ロールの組替え法にはスタンドの間隔を拡げて行うか、その側面から行うかの二通りあった。後者の方が構造的には大がかりとなる反面、作業効率は高かった。

荒ロール機のロール胴部の材料はチルド鑄鉄とねずみ鑄鉄とが混在した **Mottle** と呼ばれるもので、その表面のショア硬度は 45~55 程度が好ましいとされていた。内部はねずみ鑄鉄であった。この種の鑄鉄ロールはセミチルド・ロールとして分類された。荒ロールはセミチルド・ロールとして新製されたり、仕上げロールが摩耗→旋削を重ねた結果、当初、20mm ほどあったチルド鑄鉄層が失われ、**Mottle** が現れた古ロールの再利用という形で調達されたりした。

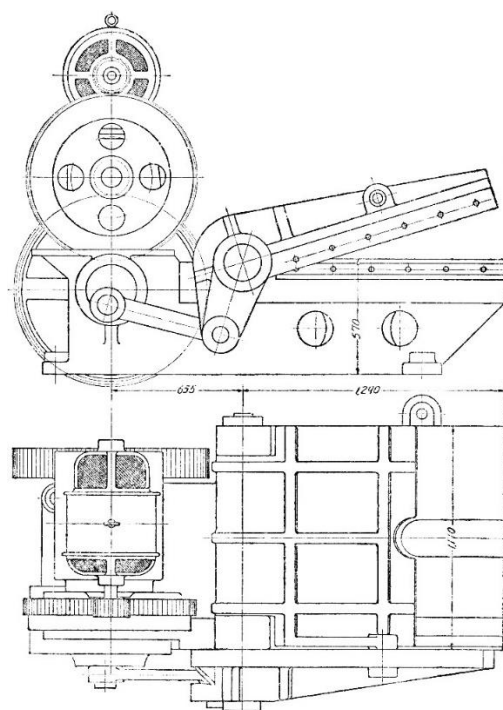
図 14 人力による折り曲げ作業



平世『薄板(壓延法)』25 頁, 第 18 圖.

荒ロール機での圧延を終えたワークは仕上げロール機で 3~5 回, 圧延され, これにて荒圧延は完了する. 荒圧延を終えたワークは表面酸化を促すため熱い状態のまま剥離されてから予め人力によってラフに折り曲げられ(図 14), その後, 折り畳み機(Doubler)によって折り畳まれ, 4 枚重ねとなる. その際, 折り目と板の端に現れる不揃い部は切断されたと考えられる. 図 15 は切断刃を備えた電動式折り畳みせん断機(Doubling Shear)の一例であり, アリゲータ型せん断機(紙を切る押切りの大形版)に翼(圧え板)を付加した機械である.

図 15 電動式折り畳みせん断機



平世『薄板(壓延法)』20頁，第12圖。

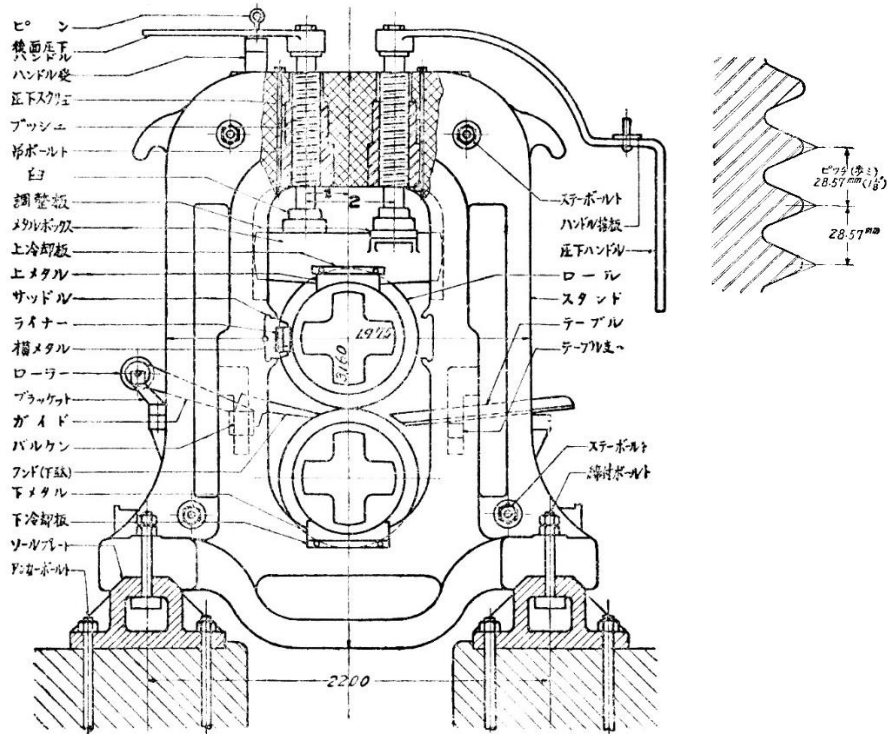
1回目の折り畳みと裁断を終えた4枚重ねのパック(葉板)は上述の通り4枚炉とも葉板炉とも呼ばれた炉の中に装入された。材料加熱炉と葉板炉とは独立していたり併設されていたりした。葉板炉においても強い酸化によるスケールの発生を抑えるため加熱は還元炎によって行われた。加熱手はロール機を出た板(葉板)の状態を診ながら大火箸を振るい、予備加熱としてこれを4枚1組単位で両側炉壁に立てかけ、輻射熱を吸収させると同時に、そのすき間に炭素リッチな燃焼ガスを充分浸透させた後、タイミングを見計らってこれを倒して積層させ、その内部温度が一様に材料加熱より $100\sim 150^{\circ}\text{C}$ 低い温度となるまで加熱した。

図7に謂う第2回圧延はこのワークを4枚重ねの状態仕上げロール機に通す工程であった。そこでの3~4パスが終了した後、再び剥離され表面酸化を進められたワークは2回目の折り畳みと裁断によって8枚重ねとなり、再度、加熱炉にて加熱された。この8枚炉ないし仕上げ炉の様式は独立型である場合もあれば4枚炉と併設されたり荒炉と3連化されたりとマチマチであった。2度目の2段階加熱の後、8枚重ねのワークは同じく第3回圧延として仕上げロール機に4~5回ほど通され、せん断・剥離以降の工程へと送られた。

折り畳まれない状態で行われる最後の荒圧延に加え、この第2回圧延と第3回に当る最終仕上げ圧延とを受け持ったのが仕上げロール機(Finishing Stand: 図16)である。衝撃荷重の点で荒ロール機よりは相対的に軽い負荷で運転される仕上げロール機のスタンドには铸铁製と铸鋼製とが併存していたが、材料機能としては無理の効く後者に当然、分があった。図

16 においてもワークは右方，圧下ハンドル側から噛み込まれ，上ロールに載せられて復帰した。

図 16 八幡の薄板仕上げロール機とその圧下スクリーウのネジ山



平世『薄板(壓延法)』17頁 第7圖, 18頁 第10圖。

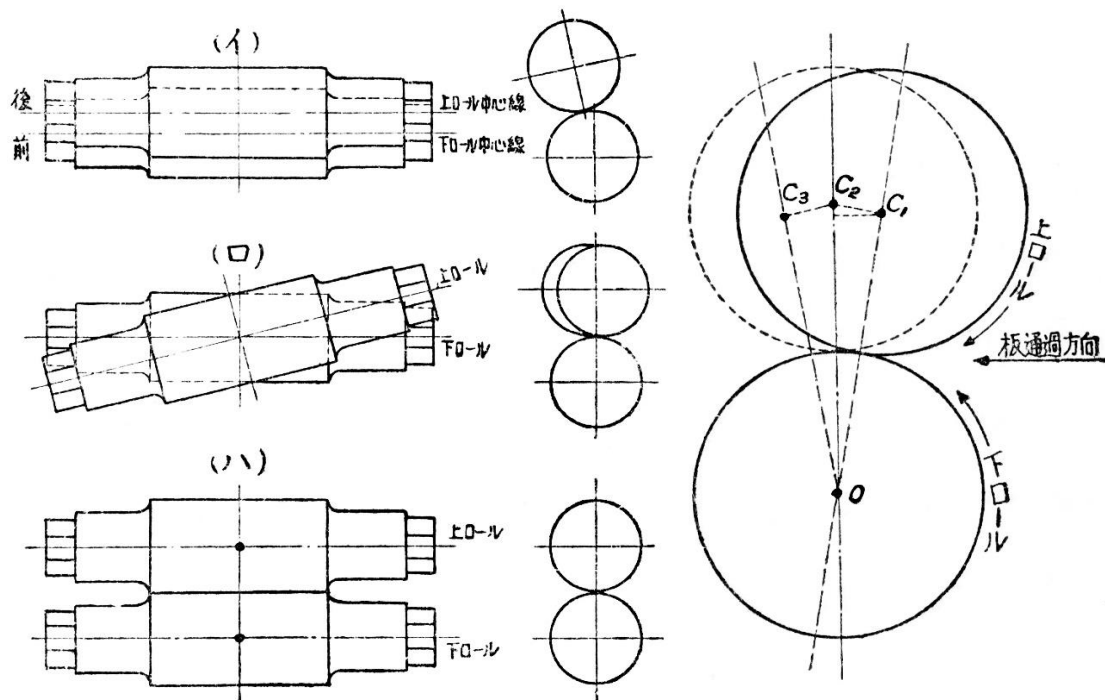
仕上げロール機の仕様は圧下スクリーウがスタンド当り各 1 本式と 2 本式とに大別された。やがて取り上げられる川崎造船所葺合工場のそれは 1 本スクリーウ式であったが，八幡その他の機械は図 16 に示されているような 2 本スクリーウ式で，ネジ山は荒ロール機のそれよりはピッチのやや大きい先端丸み付きの三角ネジとなっており，その他の工場においてもこの種の 2 本スクリーウ式が一般的となっていた。これは 2 本スクリーウ式 **Two-high mill** の方が最小圧延板厚を小さく取れるからである。

その第 1 の理由はスタンドの構造にあり，メタルボックスがテコとして作用するため，同じ圧下スクリーウの軸力が大きな圧下力として作用することにある。

第 2 の，ヨリ枢要な理由は図 17 右に示されている。同心調整と称されるが，上下ロール軸は水平で互いに平行，かつ同一垂直面に含まれるように設定されるべきである(図 17 左の (ハ))。この際，2 本スクリーウ式なら前後圧下スクリーウを微調整により上ロールの軸芯が空転時  $C_1$  に位置せしめるような状態で締め切っておける。ワークの噛み込みにより上ロールがロールネック軸受のすき間偏倚やスタンドとのそれ，スタンド自体の微小なひずみによってワーク進行方向へと押されれば，その軸芯は  $C_2$  へとシフトする。

かくすれば、ワークを噛んでいる間、最も強大な圧下力、つまり圧延効果が発揮される。これに対して、当初から上ロールの軸芯を見かけの最適位置  $C_2$  に位置させておけば、その軸芯は圧延中、ワークに押されて  $C_3$  へとシフトし、圧下スクリーに当初は存在しなかった遊びを生じ続ける結果となる。1本スクリー式においてはかような調整しか出来ぬワケで、単純な同心調整が主として横メタルの操作によって行われた。

図 17 上下ロールの同心調整と上ロールの微調整

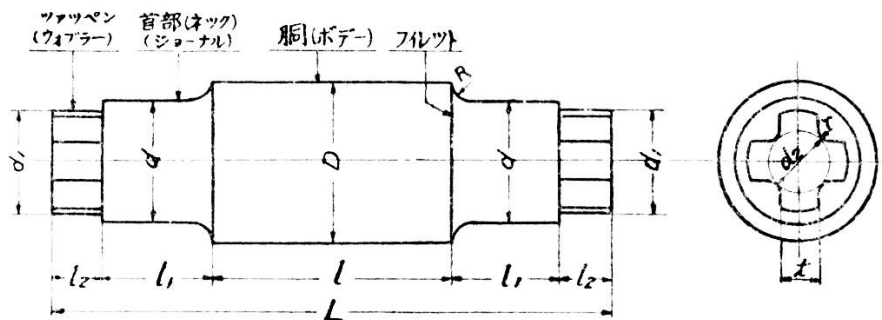


平世『薄板(壓延法)』32頁, 第22圖。

ただし、2本スクリー式におけるかかる微調整は一つ誤れば軸受やロールの過負荷を招くため、大いに経験と熟練を要する作業となっていた。平世はこれについて「秘術に属するもの」(33頁)とも形容している。仕上り板厚の大きな荒ロール機においてかかる配慮は不要であり、1本スクリー式で何ら不都合はなく、むしろ強度的にもそれが適していた。

薄板の仕上げ圧延用ロールは胴の表層をチルド鋳物としたチルドロールであり、ショア 60~70 程度の表面硬度が確保されていた。圧延ロールは直径が大きいほど曲げ剛性が高くなり加工トン数当りの摩耗寸度も小さくなる半面、板の伸びは接触圧力が高く食い込みのよい小径ロールの方が大となり、動力消費の点でも小径が有利となる。その妥協策として薄板圧延ロールの直径は 28~32in. の間に設定されていた。図 18 は八幡製鉄所で当時使用されていたその寸法一覧である。D = 30in.(762mm) のロールにおける最適な周速は毎秒 1m 強の 65~66m/min.(回転数にして約 29rpm.) と認識されていた。

図 18 八幡製鉄所で当時使用されていた薄板圧延ロールの寸法



符 號	D	d	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	l	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	R	r	t	L
A工場	710	550	500	330	1,170	405	285	75	160	—	2,550
B工場	760	600	520	—	1,170	540	250	80	50	180	2,750
C工場	762	610	533	322	965	457	254	63	63	190	2,387
C工場	762	610	533	322	1,118	457	254	63	63	190	2,540

平世『薄板(壓延法)』21頁, 第13圖.

チルドロールの本性とも絡むが、薄板圧延の要諦は作業の連続性、定常性にあった。上述のとおり、チルドロールの内部構造は表面近くのチルド層と内部のねずみ鉄材とがそれらの中間物としての Mottle を介して複合したものであった。これが温度変化に曝されれば互いの熱膨張率の差によって熱応力が発生し、しかも、それが材質相互の脆性ないし靱性の相違のため、亀裂や折損に進展しやすい。

八幡の珪素工場に係わる元・圧延工の回想によれば、ロールの「7t600kgの胴体が、ちょうど包丁で切ったように音もなく折れる」とある。ロール折損は甚大な生産障害を伴うため、1927年、ロール折損に関する賞罰制度が制定された。圧延工の月収が100~300円程度の時代である。

- ・ロール1ヵ月(作業25日)無折損 賞金20円
- ・ロール1ヵ年(作業300日)無折損 賞金50円
- ・ロール折損1本につき 罰金15円

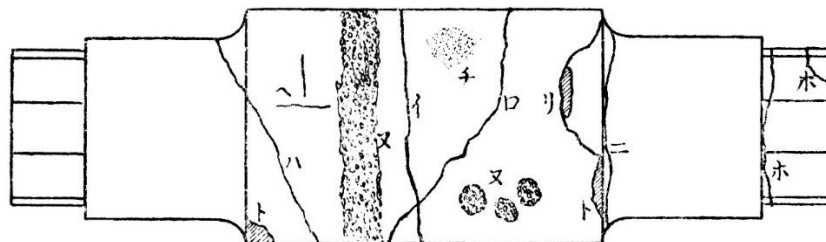
その効あってか、'34年1月、第二薄板工場(旧称 珪素鋼板工場)においては無折損ロール世界記録、347日間、10,043tが達成された。そして、この制度自体が'36年10月に操業を開始した洞岡珪素工場への熱延珪素鋼板移転を機に11月、廃止に至った<sup>41</sup>。

チルドロールの損傷様式としては図19のような症例が現れていた。(イ)は胴折れ、(ロ)は胴の斜折、(ハ)はネックからの斜折、(ニ)は首折、(ホ)はツアッペン折れと呼ばれ、最も頻度が高いのは(イ)の胴折れであった<sup>42</sup>。

<sup>41</sup> 新日本製鐵八幡製鐵所 電磁鋼板部『珪素50年の歩み』29頁, 隼太仙作「我が懐かしきプルオーバー」同書63頁, 参照。

<sup>42</sup> Zapfen は普通にはジャーナル, 軸頸を意味する言葉である。

図 19 チルドロールの損傷様式



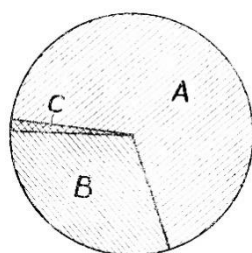
平世『薄板(壓延法)』37頁, 第29圖.

そして、その原因の筆頭は熱応力であり、過大な圧下や材料の加熱不足、といった工程内での機械的要因、さらにはロール自体の材質不良がこれに続いていた。(ロ), (ハ), (ニ)のような斜折にしても片方のネックのみが過熱した時に起りやすく、圧下の左右不均等、ロールの材質不良、板の加熱不均等による例もあった。(ホ)は無理な圧下かロールの材質不良に起因する損傷であった。(ハ)のような表面亀裂も温度変化に起因する。(ト)は角欠けで、コーナーRの不足やフィレット部の過熱、ネックへの水かかりなどによって生じた。(チ)はピンホールで鑄造欠陥に属する。(リ)はチル剥げで材料欠陥の現れである。(ヌ)は痘痕と呼ばれる“あばた”で、網目状の亀裂の中にスケールが侵入した結果とされている。それらは砥石で削り取られ得るものの、かようなロールで高品質の薄板は圧延出来なかった。

これら以外にも不注意による火箸など金属物件やネック軸受の潤滑剤など異物の噛み込みなどに起因する疵があり、時にはそこからロール折損に至る事態さえ招来された。

ロール折損の原因別寄与度は図 20 に例示されているとおりで、熱的要因の突出度が観取されよう。遺憾ながら、何月からなのかは空白になっているため不明であるが、対応する本文記述と照し合せれば1月から12月までの12箇月データのようなものである。

図 20 チルドロールの折損原因(第2薄板工場, ロール機8基, 1934年 月~12月)



A. 熱的原因	30本	69%
B. 機械的原因	14本	29%
C. 材質不良	1本	2%
合計	45本	100%

平世『薄板(壓延法)』37頁, 第30圖.



そこから、ロール折損防止の決め手とも形容されるべきは操業中におけるロールの熱的安定性である事実が判明するのであるが、それは当然至極ながら作業の連続性、定常性によってしか充足され得ない種類の条件であった。平世は：

例へば高温にて作業中のロールを何等かの理由で壓延中止したる時はロール外部は冷却し内部は高温を保つて居る。斯くて再び壓延を始めるとよく折損する、又此と反対に冷いロールを用ひて急激に壓延を行ふ時は板によつて與へられた熱を内部に傳達する時間がない爲めに外部は高温に内部は冷い状態を保持して居る之の場合も折損を起し易い。……中略…… 斯くの如く壓延を中止する事はロールの取扱上危険であると共にカーブの形を變じてロールの調子を狂はし其の後の作業が困難となる。そこで薄板壓延に於ては作業の中斷は絶対禁物であつて食事も交代に行つて終始一様の間隔で仕事を進めて行くを必要條件とする。溫度變化多き比喻は夏より折損多く上ロールは下ロールより多く折損するのが常であるのも此の間の事情を立證する。

現在にてはロール製造の技術が壓延の發達に追隨出來ず多量の壓延噸數に耐え得るロールなき爲めロールは薄板作業にて最も大なる消耗品となり<sup>【かつ】</sup>且甚だしく薄板の壓延能率と進歩とを牽制してゐる<sup>43</sup>。

と慨嘆することしきりであつた。「カーブ」の意味については間もなく触れる。

なお、八幡製鉄所の薄板部門においては連続作業中、その作動温度が 200~300°Cに達するホットロールのロールネック軸受として Cu : 87%, Sn : 9.5%, Zn : 2%, Pb : 1.5%程度の化学組成を有する砲金メタルの一種が用いられており、Zn を抑え、Pb を増量気味とする方が好成績であると認められていた。その冷却のためにはメタル内に冷却水通路が鑄込まれたり(図 58)、メタルボックス内に冷却水管が導かれたりした。

ロールネック軸受の潤滑剤としては高温と極圧のため通常の潤滑油は不適とされ、Hot neck grease ないし現場では「ヘット」と称されるアスファルトと石油精製の残渣油(釜底油)とを利用して造られた特殊グリースが用いられていた。そのスペックを示す一例として溶融点(リング アンド ボール法)109°C、灰分 13.8%という数値が掲げられている<sup>44</sup>。

<sup>43</sup> いずれも平世『薄板(壓延法)』38頁、より。隼太「我が懐かしきプルオーバー」には、「昭和 15 年頃から、ロールの熱変化による折損の防止と、生産の向上という考えから、食事は交代制で 15 分か 20 分となり 20 分以上は何らかの理由なしでは休めませんでした。遅くなると同僚に迷惑をかけるからです」とある。

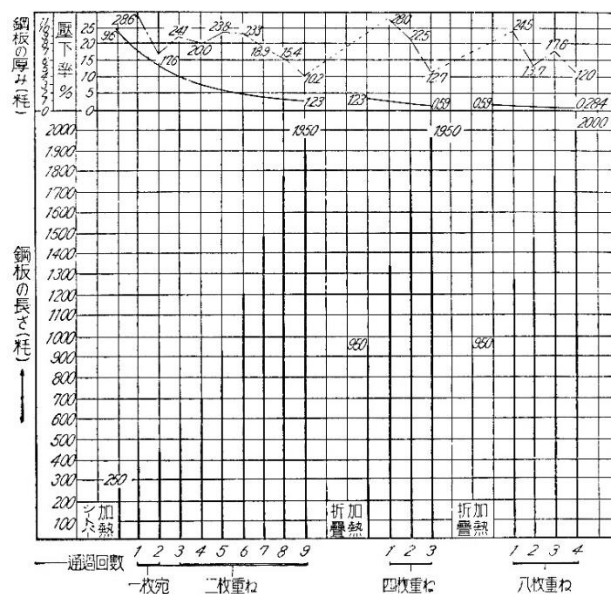
<sup>44</sup> 平世『薄板(壓延法)』18頁、参照。リング アンド ボール法については不詳。溶融により規定の球が環を通過する状況で判定したものか？

このグリースは残渣油に動植物油、タール、松脂油、石鹼などを混合した残滓(residum)グリースの一種に属する。ロールネック軸受以外の主な用途としてはワイヤロープ、開放式歯車などで、加熱後、柄付き雑巾やブラシにて塗布された。中根良介・石河 淳『潤滑油の正しき使用法』山海堂、1944年、270頁、参照。

なお、石鹼としては主としてソーダ石鹼が用いられており、冷延ミル用には石灰石鹼基のコールド・ネック・グリースなる対応物が詠えられていた。山口文之助『潤滑剤』岩波講座機械工学 III 機械材料、1943年、51頁、第 32 表、参照。もっとも、そこではネック・グリースの成分についての解説はホット、コールドともに皆無である。

では、このあたりで圧延作業の進行と、それにまつわる諸問題へと眼を転じよう。平世は2本スクリー式のみルによる圧延工程におけるロールのパスごとの圧下調整には1本スクリー式におけるよりも「多少熟練を必要とするが其の調製は自在に出来て薄物圧延には優って居る」(18頁)と述べつつ、ロール圧下を映す鏡であるワークのパスごとの変形について「1例にすぎぬ」(26頁)と断りながら、1本スクリー式である荒ロール機と2本スクリー式である仕上げロール機において実測された図21および表1のようなデータを掲げてくれている。ワークはもちろん“13枚物”である。ただし、誠に残念なのは板厚の測定部位についての情報が完全に欠落している点である。

図21 荒圧延, 仕上げ圧延における板の寸法変化実測例



平世『薄板(壓延法)』26頁, 第19圖。

表1 荒圧延, 仕上げ圧延における板の寸法変化実測値

荒ロール機にて圧延を行ふ								
通過回数	鋼板1枚の厚み(耗)			鋼板の長さ(耗)			圧下率 %	備 考
	$t_1$	$t_2$	$t_1-t_2$	$l_1$	$l_2$	$l_2-l_1$		
荒	1	9.600	6.850	2.750	250	350	100	材料寸法9.6m/m × 250 m/m × 950 m/m 製品寸法13s×3' ×6'
	2	6.850	5.647	1.203	350	425	75	
	二枚重ね×3	5.647	4.285	1.362	425	560	135	
	# 4	4.285	3.428	0.857	560	700	140	
仕上げロール機にて圧延を行ふ								
通過回数	鋼板1枚の厚み(耗)			鋼板の長さ(耗)			圧下率 %	備 考
	$t_1$	$t_2$	$t_1-t_2$	$l_1$	$l_2$	$l_2-l_1$		
延	二枚重ね×1	3.428	2.608	0.820	700	920	220	$t_1$ 通過前の鋼板の厚み
	# 2	2.608	2.000	0.608	920	1200	280	$t_2$ 通過後の鋼板の厚み
	# 3	2.000	1.621	0.379	1200	1480	280	$l_1$ 通過前の鋼板の長さ
	# 4	1.621	1.371	0.250	1480	1750	270	$l_2$ 通過後の鋼板の長さ
	# 5	1.371	1.231	0.140	1750	1950	200	

4 枚 壓 延								
通過回数	鋼板 1 枚の厚さ(耗)			鋼板の長さ(耗)			壓下率 %	備 考
	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>1</sub> -t <sub>2</sub>	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	l <sub>2</sub> -l <sub>1</sub>		
1	1.231	0.887	0.344	950	1330	380	28.0	t <sub>1</sub> 通過前の鋼板の厚み
2	0.887	0.687	0.200	1330	1700	370	22.5	t <sub>2</sub> 通過後の鋼板の厚み
3	0.687	0.599	0.088	1700	1950	250	12.73	l <sub>1</sub> 通過前の鋼板の長さ
								l <sub>2</sub> 通過後の鋼板の長さ
仕 上 壓 延								
通過回数	鋼板 1 枚の厚さ(耗)			鋼板の長さ(耗)			壓下率 %	
	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>1</sub> -t <sub>2</sub>	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	l <sub>2</sub> -l <sub>1</sub>		
1	0.599	0.455	0.144	930	1250	300	24.50	
2	0.455	0.392	0.0628	1250	1450	200	13.79	
3	0.392	0.323	0.0691	1450	1760	310	17.60	
4	0.323	0.284	0.0388	1760	2000	240	12.00	

平世『薄板(壓延法)』26頁, 第19圖, 27頁, 第4表.

このロール圧下率について平世は：

此の壓下率はロールの調子, 加熱の程度, 製品の種類, 材料の種類及び寸法等により千差萬別で一定の方式はなく適當の調節を機を見てなすもので此は1例に過ぎぬ.

此の壓下は1回の通過毎に板の様子を迅速に觀察してハンドルを握るロール手が微細の調整をするもので最も熟練を要する作業の一つである<sup>45</sup>.

と述べている.

薄板重ね圧延における板厚の適切な管理のためには圧下率の調節その他のみならず, ロールの軸方向断面形状と温度によるその管理が肝要であった. ヨリ粗暴な(?)工程をなす厚板圧延においては温度上昇による鋼製ロールの強度低下を回避するためロールは内部から水冷されており, その温度変化は少なかった. その上で, たわみや胴部の摩耗を嫌って厚板圧延用ロールの胴は若干, 中凸に, つまり微妙な樽型に削られていた<sup>46</sup>.

これに対して, 内部を水冷されていないプルオーバー・ミルの薄板圧延用ロール, 特に仕上げロール機のそれは操業中の様々な局面で異なった温度を呈さざるを得なかった. 順調な熱間圧延継続中のロール胴中央部温度について, 薄手物を主とするわが国では350~400℃が良しとされていた. しかし, 時としてこれを超える値となった. この時のネック部の温度は200~250℃, あるいは300℃程度であった<sup>47</sup>.

作業進行中, この温度勾配の結果, 中央部がヨリ多く膨張して胴部が真円筒となるよう, 薄板仕上げロール機の胴部は冷間では若干の中凹に, つまり微妙な鼓型となるように仕上げられており, これを“カーブ”, “クロス”あるいは“キャンバー”などと称していた. 八幡の薄板仕上げロール機のロール中央部の凹みは実態として直径で0.8~1.0mmに調整されていた.

<sup>45</sup> 平世『薄板(壓延法)』26頁, より.

<sup>46</sup> 永松前掲「壓延法(厚板)」35頁, 参照.

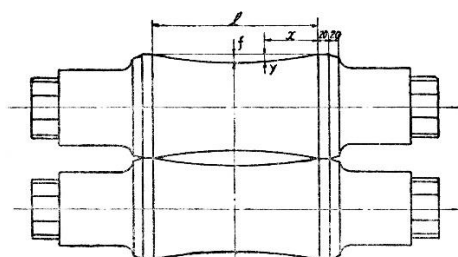
<sup>47</sup> 厚手物主体の欧米に在っては300~350℃あたりが選好されていた. 平世『薄板(壓延法)』31頁, 参照.

この“カーブ”は図 22 の式によって定められる場合もあったが、その際にも「作業経験を加味して」現場主導で図 23 のような修正が施されていた。なお、八幡製鐵所においてはロール組替えの便に配慮して上下ロールのプロフィールは同一とする習わしであった。

図 22 “カーブ”とその計算式

$$y = K(xl^2 - 2x^2 + \frac{x^3}{l})$$

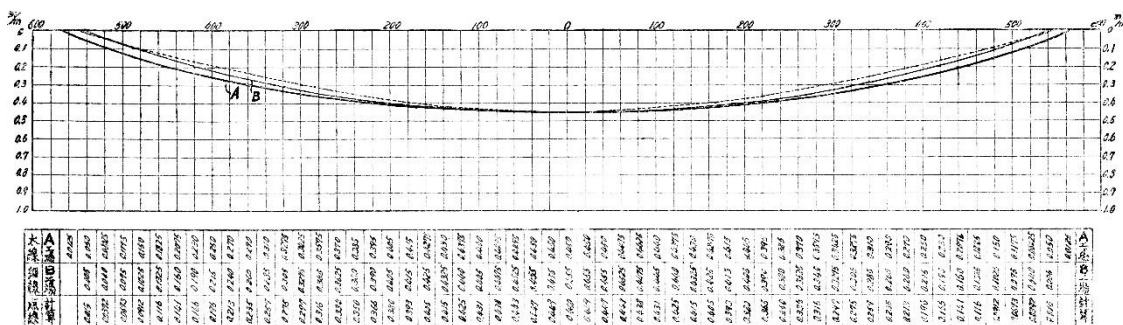
$$K = \frac{3.2f}{l^3}$$



平世『薄板(壓延法)』35 頁, 第 26 圖.

左右外側, 幅 20mm のテーパ部はヘットの胴部への侵入防除策.

図 23 計算式による“カーブ”(破線)と実際に用いられていた修正“カーブ”(A, B)



平世『薄板(壓延法)』35 頁, 第 27 圖.

“カーブ”の成形はロール旋盤ないしロール研削盤によって行われたが、平世は前者においては切込みが深い上に切削時間も長くなるので二重の意味で不経済であり、しかも加工面の表面粗度自体も薄板用ロールには不適であるとしてロール研削盤に軍配を上げている。してみれば、当時のわが国において前掲図 5 下の A のような特殊工具とロール旋盤とは知られていなかったのか、橋本の第 253 圖, 第 254 圖とは何であったのか、と訝られるところである<sup>48</sup>。

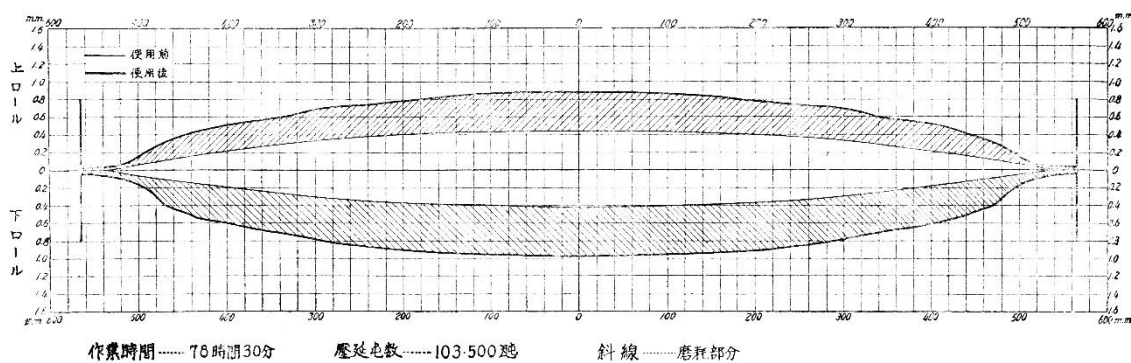
<sup>48</sup> もちろん、通常、7~8in.程度の長さを有する A を用いて“カーブ”を付与する場合、B の“pusher”に若干の角度付けが必要となる。この角度調整は取付けネジを少し緩め、D をハンマで軽く叩き、再度、ネジを締付ける手順となる。cf., *Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement*. Vol.V, p.289.

また、平世は旋盤や研削盤には固有の癖<sup>くせ</sup>があるので、その影響を相殺するため、同じ機械で工作されたロールを同一ミルに取付けるに当っては送りの方向が反対となるようになされるべきであり、かつ、材料の機械的性質の偏りによる影響を相殺するにはロール<sup>カ</sup>製造時、下になっていた側(通常、メーカーの商標打刻)も互い違いになるのが望ましいとまで力説している<sup>49</sup>。

温度上昇によりほぼ真円筒となったロールには累積圧延トン数が昂じて行くにつれて必ずその胴部に摩耗が進行してくる。このため、現場は摩耗限度に至ればロールをスタンドから抜いて冷態にて研削ないし切削し、正しい“カーブ”を与え直したり、使用限度を超えた仕上げロールを荒ロールに格下げ再利用したり、廃棄ロールをチルドロールの材料としてリサイクルに回したりしていた。この所作全体はロールの組替えと称された。

ロールの摩耗は図 24 に表現されているように当初の冷態時における鼓型プロフィールをおおよそ保ったまま進行して行くのが理想である。

図 24 仕上げ成形時と摩耗後における上下ロールの冷態プロフィール



平世『薄板(壓延法)』33頁, 第24圖。

図 24 下に付記のデータによれば、操業時間 78 時間 30 分でこの程度まで摩耗していた勘定になる。この間の圧延トン数 103.5t を 78 時間 30 分で割れば平均圧延率は 1318.5kg/h(1 シフト 8 時間に約 10.6 トン, 1 日 24 時間に 32 トン弱)となる。単なる実験としてかようなデータが採取されたとも思えぬので、実際に、例えばある月曜の朝から火曜、水曜と丸 3 日、72 時間続けて約 95 トンをこなし、4 日目、木曜日の第 1 シフト終了 1 時間 30 分前に運転を停止してロールの放冷にかかり、第 2 シフトの前半 4 時間を費やしてロール組替えを終え、以後、7 日目、日曜第 1 シフトの終了 1 時間 30 分前まで操業を続け、運転停止後放冷開始、第 2 シフトの前半 4 時間でロール組替えを終え、残る 4 時間、操業を続けて第 3 シフトに交替、8 時間後の日曜深夜零時から次の循環が始まるといった、あるいはそれに近い操業形態が実践されていたのであろう。

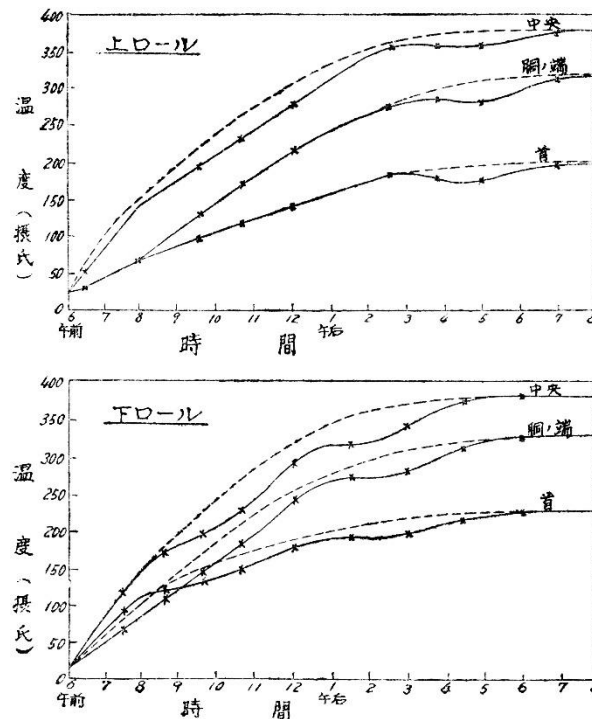
<sup>49</sup> 平世『薄板(壓延法)』35~36 頁, 参照。

もとより、冷態時の鼓型プロフィールを保ったままでの摩耗が可能となるのは圧延作業中、ロール温度が適正に管理されている時だけである。平世によればロール・プロフィールの調節法にはおおよそ7つの手があった。

① 作業速度および板の加熱温度による熱調整……………「ロール<sup>ぬく</sup>温め」

板を通す時間間隔を短くすればロール温度は上昇する。この手は荒圧延の場合に効果的である。始業時には幅の狭い板や厚い板を通して中央部の温度を速やかに上昇させる。この所作を現場では「ロール温め」と呼んでいる(図25)。

図25 「ロール温め」の進捗状況例



平世『薄板(壓延法)』29頁, 第21圖。

この「ロール温め」は「中々苦勞多く利益少なき仕事であり且ロール折損も此の間に多きため」(30頁), 注意を要する。折損の危険を低減させる目的で「ロール・ヒーター(Roll Heater)にてロールを組込前に豫熱して置く事が多い」(30頁)。ロール・ヒーターとしては電気式(誘導加熱, 抵抗加熱)が便利である。段取りは予熱→組込→「ロール温め」となる。また, 板の加熱温度の調節を通じて作業中の微妙な温度変化による影響を相殺するケースもある。「練達の士は此の微細な調整は板の加熱温度を加減してやつてゐるが此は熟練の極致であらう」(30頁)。

② 冷却水による熱調整

軸受箱を冷やす冷却水の量を多くしてやればネック温度は低下し, その軸径は収縮するので, 胴の中央部を熱膨張させたのと同じ効果を得ることが出来る。「此の作用

は極めて敏感にして些細な水量の増減も直ちにロールカーブの状況に著しき變化を來す。此の調整が又實に熱板ロール取扱いの重要事項であつて此の取扱いの巧拙は直に立派な板を作るか否かを決定する」(30頁)

③ ヘットによる熱調整

この方式は給脂量の加減によってネック軸受の温度を変え、ネック部の軸径を増減させる手口で、冷却水による操作とその原理は通底していたものの、効き自体はヘットの方が鈍感であった。平世曰く、「唯注意すべきは冷却水はあまりに敏感なる爲僅かな不注意もロールに大きな影響を與えロール調子を反つて狂すばかりでなくロール折損の原因をさへも作る事である。未熟の作業員にあつてはヘットによる方が失敗が少ない」(31頁)。

④ 圧下による熱調整

圧下を強くしてロールに多くの熱を与える手口であり、主にロールが冷えている時に利用された<sup>50</sup>。

⑤ ガス加熱による熱調整

始業時の「ロール温め」に際して、あるいは冬季の作業中にロール温度保持の目的で行使される手法であった。

⑥ 蒸気または空気による熱調整

ロール温度が450°Cを超えると折損の危険度が高まる上、高温では胴部の摩耗も昂進するため、主としてロール全体の冷却を目的として冷却が実施された。ヒートショックを抑える観点からは蒸気が「過熱蒸気ならば更に有効便利」である<sup>51</sup>。

⑦ 砥石による調整

50×50×100mm程度のエメリー砥石を棒の先端に取付け、テコの作用を駆使して回転中のロールを強圧し、不良部分のプロフィールを修正することもあった。「又ロール表面が粗くなる時、モットルが出る時、スケールがロール表面に附着した時、又絞り疵をロール表面に入れた時等種々の場合にロール表面の清浄と更生とに砥石を用ふる事が甚だ多い。仕上り板の表面の優良化を望まんとすれば砥石は缺く可からざるものである」(32頁)。

現場ではかような手立てが適宜、打たれていたワケであるが、これについて平世曰く：

<sup>50</sup> 板の変形による内部摩擦を強め、その発熱を利用したのか、単に接触圧と接触面積を増大させて熱伝導を促進したのか、あるいはその相乗効果を狙ったのかについては不明である。

<sup>51</sup> 橋本はロール胴部の温度分布は幅の中央を最大とし左右両端に向け漸減することを正常とする旨述べた上、ロール軸と平行に位置する冷却蒸気管の母線上に胴部温度分布に相関せしめられた直径を持つ蒸気ノズルが多数、展開された図を掲げている(『鋼材壓延法』665~666頁および第468圖)。しかし、「主としてロール全体の冷却を目的として実施され」たとする平世の弁に照らせば、これは屁理屈と判定されても致し方ない処方であり、古い思想の反映物かと想われる。また、橋本がヒートショック抑制のためスチームトラップを通した蒸気を使用すべしと述べている点はその認識の時代的制約を如実に示している。

薄板壓延の秘傳は實に此のロール熱度の調整又は膨張調整を巧妙になして常にロールは眞圓<sup>【ほんとう】</sup>の状態で作業すると云ふ處に存する<sup>52</sup>.

もちろん、この「秘傳」を日本人たちに教えてくれたのがかの大恩人、ルオスキー技師長と職工長ヘンケ氏である。

以上は仕上げロール機のロールの温度および形状管理に係わる話題であって、同じ薄板用でも荒ロール機におけるカーブは相対的に浅く、セミチルド・ロールのように軟質のロールを用いる際には摩耗が早いため、却って 0.2mm 程度、中凸にしておく方が作業場、適当であるケースもあった。「要するに之等のカーブは絶対的のものでなく仕上に最も好都合に適應する様修正が必要なのである」(34 頁)。

その修正要因はロールの材質と新旧(硬い材料ほど、新しいロールほど膨張大となる)、ロールの寸法(カーブは胴長と直径に逆相関する)、製品のサイズと種類(カーブは板の長さならびに板厚と相関し、その幅とは逆相関する)、作業温度(高ければカーブを深く採る)、ロール冷却の有無、単位時間当たり圧延トン数(ロール温度を規定)などであった<sup>53</sup>。

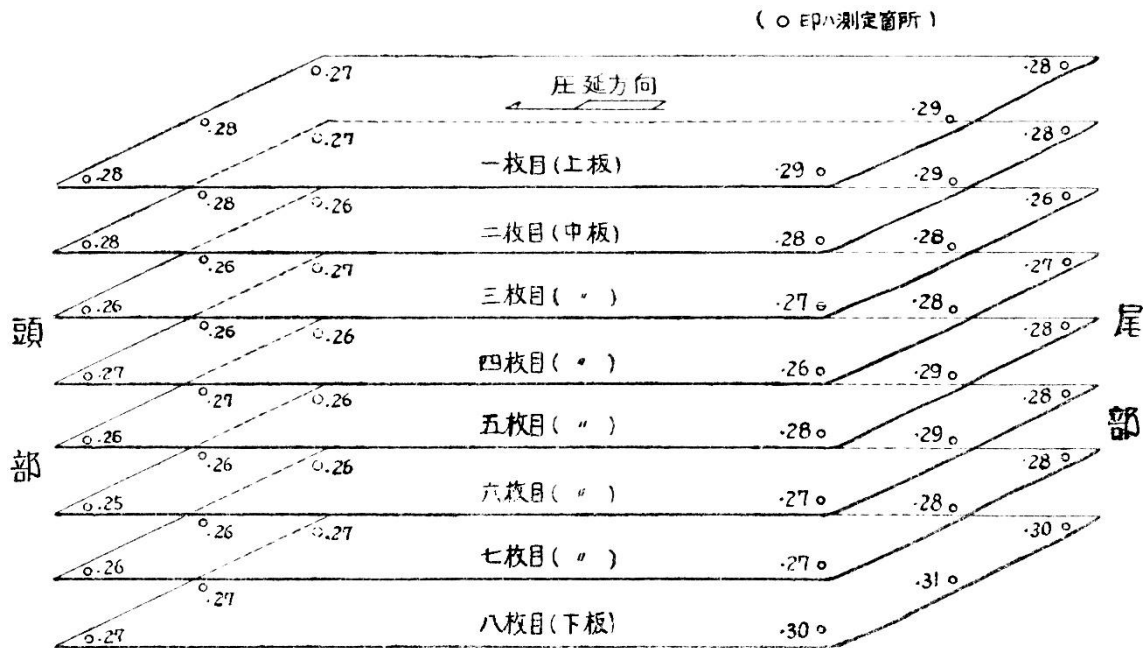
最後に、薄物重ね板圧延の成果である半製品の出来栄えについて確認しておこう。「中凹のロールを用ひて壓延しロールの圓塼は假の姿故變化多く又重ね板の事とて内外にて冷却の差もあり延べられたる板には……不同が表はれて来る」(39 頁)。平世は仕上げの 8 枚重ね圧延を終えた“13 枚物”を定寸にせん断し、1 枚ずつに剥離して各板ごとに両短辺 6 箇所ですその厚みを計測したデータを抜かりなく提示してくれているので、これを図 26 として引いておく。これを総括すれば、1 枚ごとに観るなら長手方向ではロールに噛み込まれる先頭側が尾部側よりも薄く、幅方向では両側が薄くなっており、板同士を比べれば外側にあった板は厚く、中ほどにあった板は薄くなっている。板の中央を測定したデータが欲しかったところであるが、なかったのであろうから致し方あるまい。

## 図 26 8 枚重ね圧延を終えた“13 枚物”各板ごとの厚み計測値

<sup>52</sup> 平世『薄板(壓延法)』29 頁、より。

<sup>53</sup> 平世『薄板(壓延法)』34 頁、参照。





平世『薄板(壓延法)』40頁, 第31圖.

平世はこのデータを踏まえ：

此の傾向は重ね板の特性にして必ず存在するものである。此の不同を少くするには加熱を均等にしてロールカーブの調整を誤る事なく、折疊、切捨を正しく、適正なる壓下を行はねばならぬ、特に荒延への影響が甚しい、荒延の壓下大なれば仕上板の不同も大にて従つてシートバーの厚み大なる程不同も大となる。シートバーに不同あれば製品の不同は尚更甚しくなる、重ね板壓延の連続鋼帯壓延(Continuous Hot Strip Mill)に劣る最も大きな缺點は生産高の少なきことゝ實に此の厚み不同多き點である<sup>54</sup>。

と述べている。

なお、重ね板壓延に係わる「最も大きな缺點」たる生産性の低さと板厚のバラツキ以外の主な製品欠陥としては：

荒 洞：ロール洞に付着した板表面のスケールが板に転写されて生ずる圧痕

ヘット疵：ヘットが洞部に進入し、圧延部に噛み込まれることによる圧痕

角 落：長さ不足のため定尺切断した際に角が丸くなる隅角寸度不足

ヒッコミまたは三日月疵：幅不足のため両側中央部に現れる三日月状の厚い部位

厚 縁：重ね板の1枚が短い、あるいは両側の重ね方不良の際、他の板の尾部や側端に生ずる重なり不良に起因する厚肉部<sup>55</sup>

<sup>54</sup> 平世『薄板(壓延法)』40頁, より。

<sup>55</sup> これなど、折り目が残されておれば発生し難い欠陥である。

耳割れ：圧延中，板同士がすれ違う，あるいはロールの中央を通らぬような時，周縁部の裂け目が板の中ほどへと切れ込むこと<sup>56</sup>

粘着：材質不良，加熱の不均等・不適當，圧下不正，ロール通過不正，工程途中の剥離不十分などにより板同士が広くあるいは狭い範囲で粘着すること

折れ重なり疵：重ね板の頭部は離れているのに尾部に粘着箇所がある時，圧延反力により上の板が後方に推され(遅れ：Backward slip)，粘着部で折れ重なって生ずるシワ<sup>57</sup>

絞り疵：ロールの中凹カーブ過大時，板の尾部(fish tail)が絞られて折り重なり，先頭に向うV型を呈する欠陥

肉剥げ：過剰加熱ないし圧下過大時に板面の肉の一部が剥ぎ取られる欠陥

スケール疵：荒炉などで発生したスケールの噛み込み

レンガ疵：耐火レンガ，耐火粘土粉末の噛み込み

波形：過剰圧延の結果であり，ロールの中凹が過ぎたり縁部にヘットを噛み込めば縁部に，中凸が過ぎれば中央部に生ずる波打ちで，全体がカマボコ型や皿型に丸く膨れることもある

などが挙げられていた<sup>58</sup>。

全体がカマボコ状や皿状を呈する場合もあった。平世は重ね圧延された薄板の欠陥について：

此等の缺點は多少なりとも如何なる薄板にも存在するものにて之の判断に當りて如何なる程度より疵に入れるかは慣習に依るの外はないのである，使用目的により或時は疵となり或時は許されることがある<sup>59</sup>。

と総括している。

もちろん，本来の圧延工程の後には矯正(cold Rolling)，焼鈍(Annealing)，仕上矯正(Roller Levelling)といった修正工程が控えており，製品は幾分か化粧直しの上，等級に分類された上で出荷された。その総体が薄板重ね圧延の技術体系をなしていたワケである。

平世は「或る日の検定結束作業」における“13枚物”の「一級品」合格実績と不合格要因別のデータを掲げてくれているので，これを表2として引いておく。右端の欄に謂う歩留はもちろん材料歩留ではなく，合格枚数比である。そして，「或る日」と言っても操業は1日8時間なのではなく，8時間3交替の24時間連続操業である。甲乙丙の3組が8時間ずつの3シフトを組んでいたワケである。スタンドとあるのは圧延機のフレームではもち

<sup>56</sup> これも折れ目が残っておれば発生し難い欠陥である。

<sup>57</sup> 重ね板のどこか1辺にでも折れ目が残っておれば，この“折れ重なり疵”なる欠陥が定義されるべき客観的条件は失われる。

<sup>58</sup> 平世『薄板(壓延法)』40~42頁，より。こちらの方が出版物としては古いものの，橋本によって伝えられた Sparring や Buckling といった用語は同時代にはもはや使用されなくなっていたようである。

<sup>59</sup> 平世『薄板(壓延法)』42頁，より。

ろんなく、動力発生装置の左右両翼に展開した荒ロール機と仕上げロール機のグループとの謂いであろう。

表 2 或る日の検定結束作業における“13枚物”の「一級品」合格率

組別	スタン ド別	受検枚数	検定一級品 枚数	落板枚数内訳				一級品 歩留%
				壓延落	剪断落	冷板(一部壓 延落を含む)	焼鈍、矯正落	
甲組	A	2,233	2,191	33	1	8	0	98.1
	B	2,260	2,213	26	0	15	6	98.4
乙組	A	2,256	2,188	29	0	24	15	97.0
	B	2,254	2,183	50	0	21	0	96.9
丙組	A	2,295	2,267	20	0	8	0	98.8
	B	2,278	2,241	29	0	7	1	98.4
合計		13,576	13,283	187	1	83	22	97.8

平世『薄板(壓延法)』56頁、より。

表 2 の数字はまた、プルオーバー・ミルを基幹とする薄板圧延プラントがただ 1 件のロール折損さえなく、最も理想的に操業出来た際の生産性を示すデータともなっていると考えられる。そこに掲げられた枚数は著しく多いように見えるが、仕上げ圧延は 8 枚重ねゆえ、8 時間の 1 シフト当たり平均 2263 枚とすれば仕上げロールから最後に出てくる平均回数は 283 回に届かない。仕上げロール機が片翼 2 基なら 1 基当たり 141 回余りである。1 パス当りの所要時間はロールの周速と切代コミの板の長さからして 2 秒ほどであったから、正味それだけなら合計 5 分とかかからない。だが、真の問題は 141 回余り繰返される最終吐出しの間に、食事さえ交代で摂りながら、それに関連する何回もの荒・仕上げパスを割込ませ、その前後工程を同調させながら常に微妙な感覚を動員して板厚を制御して行く技にあった。つまり、その労働過程は工程が順調に経過している限りにおいては高熱重筋・高反復にして繊細きわまる集団的営為でもあったとの描像が正しいワケである。

ただ、“13枚物”の目方は 1 枚当たり 3.81kg 程度であったから日産平均 2263 枚とすればその総重量は 8622kg にしかならない。切代を含めれば約 2 割増しの 10229kg 程度には達していたであろうが、それでも図 23 に付記された圧延重量の約 32%に過ぎず、この程度ならロール組替えは週間に 1 度やれば充分、事足りるという頃合いである。もっとも、圧延重量は板の厚さと長さとの係わる問題であって、当時のわが国において薄板に分類される事例もあった鋼板中、最も重い 1.6mm 厚、3ft.×6ft.の“2枚物”なら 1 枚の目方が 21.03kg もあったから、厚手の板を延べておれば表 2 に対応する重量の数倍ぐらひは圧延出来ていたであろう。

当時の八幡製鐵所における等級別の結束バンド側面の色分けは品質等級に応じて「一級品」が白、「二級品」は青、「三級品」には赤。と定められており、その下に短尺物、大形切

屑，小形切屑，剥離不能な「クツキ板」が続いていた。仕損じ品もいきなり返り屑とはせず，その有効活用が市場に委ねられていたワケである<sup>60</sup>。

それはそれとして，「一級品」の平均合格率が 97.8%とは誠に立派な成績である。ただし，その枢要部をなす圧延工程の実態は製品々質にせよ生産量にせよ材料歩留にせよ，まさしくここまで覗いて来たごとくであった。

それだけに，ヨリ発達した躯体と制御機構を有する巨大な固定資本の体系が確立した後，プルオーバー・ミルを以てする重ね板圧延工法が時代遅れの技術として一切，顧みられぬどころか，ほとんど侮蔑の対象となり果ててしまった事態も，ある意味，致し方のない運命なのであった。

## 2) ブリキ原板の圧延

次に八幡製鐵所におけるブリキ原板の圧延へと対象を切換えよう。ブリキ板とは錫メッキ鋼板であり，その主たる用途は缶詰の缶や石油缶であった。この工程もまた，プルオーバー・ミルが活躍した分野であるが，Sn はトタン板材料の Zn よりも遥かに高価であるため，ブリキ板には Sn を可及的に節約出来るよう，所謂“高級鋼板”（中鋼板の項で紹介）と同様にトタン板向けなどの普通薄鋼板におけるよりも一段と高い表面粗度求められる高品質な薄板としてランクされた<sup>61</sup>。

八幡製鐵所においてブリキ板製造が始まったも 1922 年であったが，須永の著書によって幾らか詳細な技術を窺えるのは 1930 年代半ばの工程である。1934 年 1 月 16 日に洞岡ブリキ工場が操業を開始しているから，同年 11 月に脱稿された同書の記述対象は恐らくこれであろう。

ブリキ板の素になるブリキ原板は Tin Bar の圧延によって得られた。本質的にこれはシートバーと同じ鋼片であるが，須永は「主として鹽基性平爐法によつて製造される。仏蘭西，<sup>【ベルギー】</sup>白耳義等の所謂大陸物は一部轉爐製のものもあるが其の品質は概して平爐鋼に劣つて居る様である」（1 頁）と語り，国産ブリキ原板を塩基性平炉鋼による重量 3.0~4.5t の鋼塊から圧延される旨，述べた上，その化学成分について：

C : 0.03~0.11%, Mn : 0.3~0.5%, Si : ≤0.06%, P : 0.07~0.09%, S : ≤0.04%, Cu : ≤0.20%

と紹介している。

各元素の多寡による作用は薄板一般の項にて論じられた傾向と同様ながら，Si と P について須永は「以前歐洲では壓延作業に於いて鋼板の剥離を容易ならしむるために 0.08~0.15%位の硅素を加へて居たが現今では米國と同様硅素の量を減少して剥離の力を燐に求めて居る」と解説している(2 頁)。

<sup>60</sup> 平世『薄板(壓延法)』55~56 頁，参照。

<sup>61</sup> 当時の八幡製鐵所におけるブリキ板製造工程については主として須永『鋳力板の製造(壓延法)』を参照。

化学成分と同様に留意されるべきはそれがリムド鋼塊たるべき点である。リムド鋼塊は外周部に不純物が少ないため、これを圧延した板の表面は軟らかく疵つきやすいが、その表面粗度は優れており、Sn の節約に好適である。「鉄力原板の肌を滑らかにし出来るだけ錫の附着量を減じて優秀な鉄力板を作ると云ふことは鉄力板製造者としては寸時も忘れてはならない大切な点である」(4頁)。

その反面、リムド鋼塊の外周部には存在して欲しい P や Si まで少なくなっているため、圧延をよほど巧みに行わなければ剥離に困難を来す。八幡ではこのリムド鋼が選ばれていた。溶鋼の脱酸を徹底させて得られるキルド鋼からブリキ原板が造れぬというワケではなかったが、表面性状が不良化し疵や雲形模様を生じがちである上、大きな収縮空孔部を切除せねばならぬため、キルド鋼は後述されるように材料歩留においても劣っていた<sup>62</sup>。

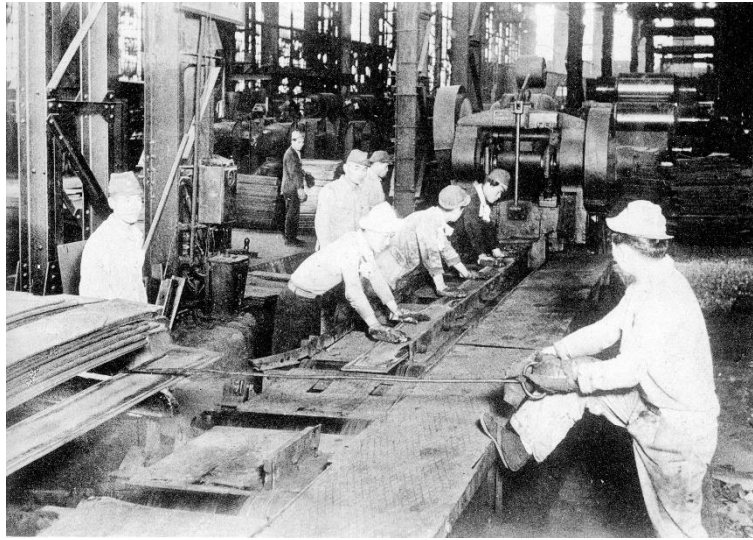
チンバーは均熱炉から取り出された鋼塊を逆転式分塊圧延機にて反復圧延し、連続式圧延機にて4分程度で一気に圧延された。この際、品質を最重視して鋼塊の上下端を切断し、これを棒鋼の材料に回し、中央の良質部のみをチンバーに振り当てる所作も行われた。独りアメリカにおいては熱間→冷間 Strip Mill によってブリキ原板を製造する工法が自動車用薄鋼板製造設備の余力活用法として実用化されていたが、'34年時点においてはその他の国々は未だにチンバーを材料とするイギリス Wales 流圧延工法の天下であった<sup>63</sup>。

Wales 流の工法によるブリキ原板の製造工程は搬入された10mほどの長さを有するチンバーのせん断とスケールや遺物の噛み込みや残収縮孔、表面の肌荒れなど不良部位の除去を以て始まった、図27は復興期に撮影された光景ではあるが、その実態は図6に表現されている戦前期そのままの人力作業であった。バーの幅は200ないし250mmで、切断長さは製品の幅+20~30mmとした。その厚みは標準的には8mm、8.8mm、9mmの3種であった(表3)。

#### 図27 洞岡ブリキ工場における材料せん断作業(1951年頃)

<sup>62</sup> キルド鋼、リムド鋼について簡単には拙稿「1930~'60年代前半における本邦鉄道車軸とその折損事故について(1/2)」(→IRDB)、参照。古くはキルド鋼の方が良好な機械的性質を示した。1970年代以降、2次精錬時に真空脱ガスを行った上で連続鋳造法によって鋼塊が製造されるようになり、鋼種としてはほぼ強脱酸鋼、即ちキルド鋼に帰一している。

<sup>63</sup> 須永『鉄力板の製造(圧延法)』4=5頁、参照。



八幡製鐵(株)八幡製鐵所 鋼材部薄板課 『八幡製鐵所五十周年記念 鋼材部薄板課寫真帳』 1951年, より.

表3 八幡製鐵所で造られていたブリキ原板とそのチンバーのサイズ

種 類	鉄 力 板	チ ン バ ー	
		横 延	縦 延
市 場 向	100 封皮物	8.0mm × 250mm × 730mm 11.4kg. 3枚取	
	170 封皮物	9.0mm × 250mm × 750mm 13.2kg. 4枚取	9.0mm × 250mm × 530mm 9.3kg. 3枚取
石 油 罐 向	天 地 板	8.8mm × 250mm × 795mm 13.7kg. 3枚取	8.8mm × 250mm × 530mm 9.1kg. 2枚取
	棚 板	8.0mm × 250mm × 730mm 11.4kg. 3枚取	8.0mm × 250mm × 500mm 7.8kg. 2枚取

但, 石油罐向けは 29# × 20" × 30", 30# × 18<sup>3</sup>/<sub>4</sub>" × 28" に壓延の上, 鍍錫後製品寸法に剪斷す.

須永 『鉄力板の製造(壓延法)』 6頁, 第1表(一部, 明らかな誤植を訂正).

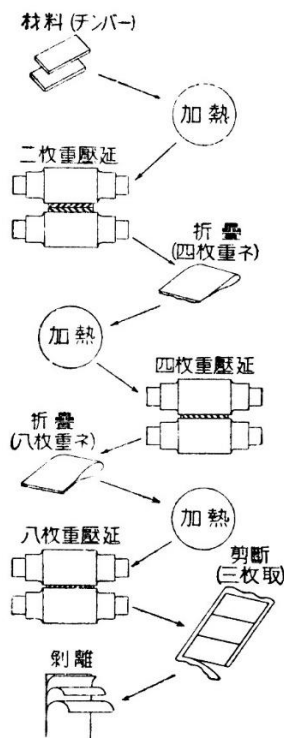
図7の出典に係わる八幡製鐵(株)八幡製鐵所 鋼材部薄板課とは洞岡ブリキ工場, 高級鋼板工場, 珪素鋼板工場を束ねて新設された部署であったようである. この内, プルオーバー・ミルが生き残っていたのは珪素鋼板工場(荒3基, 仕上6基)と洞岡ブリキ工場(熱間8基), である. 電気鉄板などと俗称された珪素鋼板は透磁率が高く電気機器における鉄損(鉄芯の交番磁化の際に生ずるヒステリシス損+鉄芯における渦電流損: 他の条件が同一なら電圧に比例)を低減させる電磁特性を有する Si 添加 0.5~5%の低炭素鋼で, 輸入防遏のため, 八幡製鐵所において 1919年より研究が開始され, '24年には工業化に成功, 川崎造船所がこれに続いた. 珪素鋼板は構造用鋼には適さず, 需要は電気機器向けに限定される<sup>64</sup>.

普通のブリキ板の縦横は 20" × 28" (508 × 711.2mm)であったので, 圧延に際しては幅狭のチンバーを長辺方向に 20" +まで延ばす方式(縦延べ)と幅広のそれを短辺方向に 28" +まで延

<sup>64</sup> 茅 誠司 『金屬電気材料』 共立社 實用金屬材料講座 材料編, 1937年, 第4章, 小林道三 「けい素鋼板」 産業教育協会編修 『図説 日本産業大系 第1巻』 同協会, 1960年, 181~185頁, 参照.

ばす方式(横延べ)とがあり、後者の方が作業は困難であったが、取り枚数が多いため生産トン数は稼げ、また、広幅のブリキ板に対する需要が増えてきたため、横延べが主流となりつつあった。圧延工程自体は薄板圧延とほぼ同様で、工程の流れは図28の通りであった。

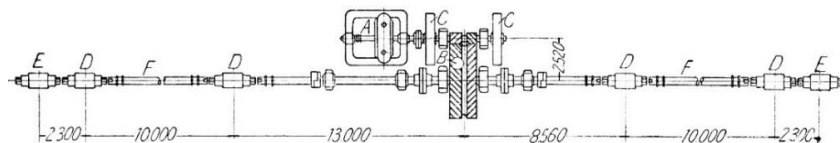
図 28 ブリキ原板の圧延工程



須永『鉄力板の製造(壓延法)』7頁，第2圖.

混合ガスの還元炎を熱源とする連続炉の一種である荒炉内に立てた状態で材料の硬さや延びの良否に応じて、しかし可及的に低い温度に、具体的には850℃前後に均一加熱されたチンバーは取出し後、1枚ずつ交互に3回ほど圧延され、これを2枚重ねての圧延は3~4回。「これを剥離して二つに折り」(7頁)、続いて折り畳み機にかけて正しく折り畳んで4枚重ねとし、バッチ式の葉板炉(4枚炉)の内壁に1パックずつ立てかけて「板の内部の方まで火氣を入れ」(9頁)る予備加熱の後、正しく積層して780~790℃に再加熱。これを3~4回圧延し、「1枚づつ剥離され二つに折畳まれて8枚重ねとな」(8頁)った葉板を葉板炉(8枚炉)にて3度目の加熱に処した後、これを3~5回圧延する。ワークの折り畳みはアリゲータ型せん断機に翼を取付けた15HP程度の電動機を持つ折畳せん断機によった。これは薄鋼板用のそれと同型である。手順は剥離→折畳み→4ないし8枚重ねとなっているが、剥離→酸化の必要上、ここでも折畳みに付帯して折り目の切落しがなされていた点は薄板圧延の場合と相等であったと観るしかない。

図 29 一般的なブリキ原板圧延ミルの配列

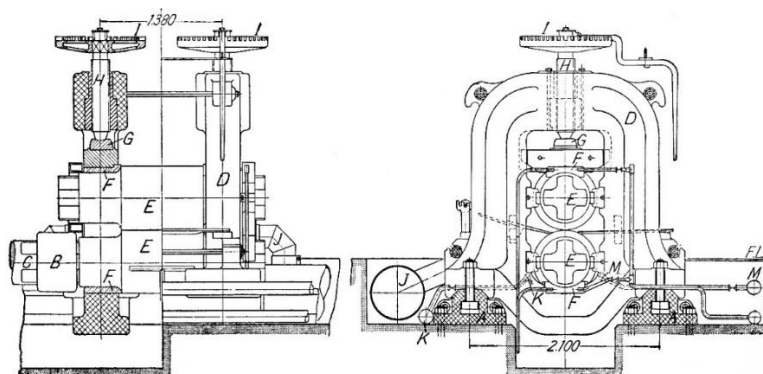


須永『鉄力板の製造(壓延法)』10頁，第5圖。

図 29 は一般的なブリキ原板圧延ミルの配列で，使用されていたのはもちろんプルオーバー・ミルであったが，須永によれば，薄板工場とは異なって荒ロール機と仕上げロール機との区別を設けぬのがブリキ原板工場の通則であった．ロール機の所要動力は 200~250HP が目安とされた．軸のアライメントは薄板用ミルと同じく垂れ下がり方式(約 1mm/m)であった．「作業場には油煙，塵埃等が多いので全密閉型の電動機が推奨されて居る」(10 頁)．もちろん，全密閉型とは言え通風路は確保されていた．同じ環境下で働く労働者の方は開放式の肺しか持ち合せていなかったのではあるが……．

図 30 は典型的なブリキ原板圧延用プルオーバー・ミルを示す．構造的には薄鋼板圧延用の荒ロール機に相当するモノである．冷却用水管(無印：M と一部重なっており紛らわしい)を従えた上下メタルは砲金製であったが，須永によれば，その組成は薄鋼板圧延用ロール機におけるそれとは若干異なり，Cu：83.5%，Sn：9.0%，Zn：2.0%，Pb：4.0%，燐銅 1.5%で，燐銅(P を 10~15%含む Cu-P 合金)は脱酸剤として添加されていた．

図 30 典型的なブリキ原板圧延用プルオーバー・ミル



A：ソール・プレート，B：カップリング，C：スピンドル，D：スタンド，E：ロール，F：メタル，G：ブレーカー，H：圧下スクリュー，I：圧下歯車，J：グリース煙排出管，K：ロール加熱用ガス管，M：ロール冷却用蒸気管(ロール近傍では破線で表示)

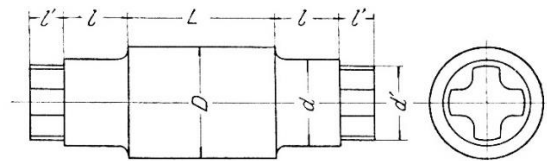
須永『鉄力板の製造(壓延法)』12頁，第6圖。

ロールネック軸受用グリースは「釜残油，アスファルト，及びカルシューム石鹼を等分に混合して作ったもので一般にはホット・ネック・グリース(Hot necks grease)と呼ばれて居る」(15 頁)．これは平世のそれより若干，具体的な説明である．





図 32 八幡製鐵所で使用されていたブリキ原板圧延用チルドロール



m/m	D	d	d'	L	l	l'	重量 kg
横延へ	710(28')	560	480	950	460	220	4,800
縦延へ	660(26')	508	406	730	460	204	3,500

須永『鉄力板の製造(壓延法)』14 頁, 第 7 圖.

また、須永はロールの欠陥によるワーク表面の微細な疵は表面が酸化鉄の膜によって覆われる<sup>ブラックシート</sup>黒板や厚い Zn 膜で覆われるトタン板では問題ならぬが、Sn 層の薄いブリキ板では問題になる。そこには「天地の相違」(14 頁)があるため、これがブリキ原板の圧延を「極めて至難」(8 頁)にしている要因となっており、かつ、それには「高級なるチルド・ロールが要望される譯である」(15 頁)としている。もともと、かく強調されている割にブリキ原板の材料歩留が薄板のそれより高かった事実についてはすでに確認済みである。

その上で、須永は圧延トン数を伸ばし、温度変化による表面の微細亀裂(fire crack)の発生を抑制する目的で材料に多少の Mo を添加する件に触れ、次のような材料の化学成分構成を紹介し、その表面硬度についてはショア 67 と付記している<sup>66</sup>。

C : 3.19%, Si : 0.55%, Mn : 0.32%, P : 0.58%, S : 0.046%, Mo : 0.27%

ロールの“カーブ”はやはり中凹で、中央における直径は 0.7~0.9mm 小さくされていた。作業開始に当ってロールを速やかに真円筒に近付けるため、幅の狭い厚めのワークを通す「ロール温め」の手口も薄鋼板一般と同様であった。「このロール温めは極めて困難なもので餘程上手にやらないと板は屑となるばかりである」(15 頁)。

ガスによるロールの加熱や予熱器(電気式[抵抗式, 誘導式]および重油式, ガス式)による「スタンドに組込んだまゝ回轉せしめず(16 頁)」250~300°C程度まで予熱する所作も行われた。この在姿予熱は組込み前に予熱という平世の記述とは異なる。

「ロール温め」に続く一昼夜の間は比較的厚い板の圧延を行い、ロール温度が中央部 370~410°C, ネック部 200°C程度の適正温度に近づき、そのプロフィールが真円筒になって来れば圧延されたワークの尾端 fish tail 部の切れ込みは浅くなる。かくなれば、以後、「製作困難な薄物にかゝる」(16 頁)のであった。ロール温度が低い内は板の伸びも悪く剥離も巧く行かないからである。

ロール表面を運転中、エメリー砥石で研削して微細な表面疵を除去したりしながら、この円筒状態を可及的に長く維持するのが重要で：

<sup>66</sup> 須永『鉄力板の製造(壓延法)』15 頁, 参照.

ロールの形が眞圓筒に近づいた時は其形を崩さない様に努める。則ち成るべく作業速度を一樣にして急激な熱の變化を與へない様に専念する。従つて作業を中止すると云ふことは最も嫌ふべきことであつて作業を開始した暁は晝夜間斷なく食事すら交代に行つて作業を續ける譯である<sup>67</sup>。

しかし、この状態が二昼夜も続くと摩耗によりロールのプロフィールは熱間にあつても中低へと變じて来る。すると再び薄物の扱いは困難となるため、再び厚めの板の圧延に切替える。これにも難渋するようになればロール削正の潮時である。

ロールの削正回帰は良質のチルドロールが用いられ、かつ、荒ロール機と仕上げロール機とが別である場合には1週間程度となるが、当時は薄物への需要が昂進して来ていたため、週の途中でロールの組替えを行わざるを得ぬケースが増える結果となっていた。

ロールの形態維持のためにはガス加熱、蒸気冷却、メタル給水の加減などの策が講じられた。「斯うした具合にロールを常に眞圓筒に近い形に保つて行くと云ふことが最も大切な要件でロールの形状さへ正しければ容易に立派な原板が造られるのである」(17頁)。

ロールの圧下その他、圧延作業全般について須永は次のように述べている。

壓下は職工自身が壓下ハンドルを握つて行ふ。壓下率(Draught)は別に定めることなく最高30%位を目標として適宜それ以下の壓下を加へる譯である。壓下が過大なる時はロールを折損する危険もあれば又パックの絞つて裂けることもある。又壓下が過少なる時は一般にパックの剥離が不良である。壓下手はロールの状態、加熱の程度などを考へて適當なる壓下を行ふものでこの間の消息に到つては全く説くことを許さない領域である。

この壓延作業は極めて至難なる技術と共に劇しい不斷の労働とを要する。800°Cくらいに加熱された25kg位もある板を火箸の先に掴んで自在に振り廻し一樣の歩調を以て休むことなく労働を續けなくてはならない。殊に作業場は加熱爐が近いために熱氣甚だしく夏期にありては往々室温50°C位に達する。そこで壓延職工も極めて體格の優秀なるものを選んでこれに當てゝ居るが、近代的の工場では種々なる設備を施して勞苦の軽減を計<sup>【ママ】</sup>つて居る。戸外より冷風を送つて室温を低下する。ネックより出るグリースの惡臭、加熱爐より溢<sup>【いっしゅつ】</sup>出する煙等を扇風機其他の方法で戸外に放出する。作業床を二重床にして中に冷水を循環せしめて暑熱を低減する。其他米國ではロールに板を咬ませるのも後面で板を受け取つて前面に送り返すのも全部機械化して居る處もある。

ロール機1臺1交代8時間に生産する原板の量は5,000~7,000kg位で作業に従事する職工の数はロール機1臺1交代に付米國に於ては10人位本邦に於ては15人位である<sup>68</sup>。

<sup>67</sup> 須永『鋳力板の製造(壓延法)』16頁、より。

<sup>68</sup> 須永『鋳力板の製造(壓延法)』18~19頁、より。

後の方、「近代的の工場」以下はアメリカにおける実施状況の紹介である。アメリカにおいては当時からプルオーバー・ミルの前面にチルティング・テーブル、後面にリフティング・テーブルを取付ける例が現れており(図 3), その駆動は電動機ないし水圧によっていた。これに引きかえ、わが国においては「全く説くことを許さない領域」の「極めて至難なる技術」を行使しつつ「劇しい不斷の労働」に励む高熱重筋高技能労働者の体格, 体力, 気力に一切が委ねられるばかりであった<sup>69</sup>。

須永の掲げたブリキ原板の 1 シフト当り出来高「5,000~7,000kg 位」は平世の紹介になる薄鋼板の実績や, それとの絡みで論じられた圧延トン数の値に比してかなり少ない。これは総じて板厚が薄い上, 熱間圧延の仕上り後に控えていた複雑な後工程の問題とも関連する現象であったかと想われる。

即ち, 8 枚重ねの仕上げ圧延を終えたばかりの 2~4 枚取り原板は圧延の翌日, 冷間で 8 枚重ねのままその 4 辺をせん断された(前掲図 28)。さらに, このパックは剥離用火箸を用いて 1 枚ずつに剥離され, 1 回目の酸洗いに処せられた後, 無酸化焼鈍, 冷間圧延の一種である矯正, 2 度目の無酸化焼鈍を施されてブリキ原板として完成した。

ブリキ原板はそのまま高級品として販売され, 加工の上, Cr メッキや塗装, 珪<sup>ほうろう</sup>瑠引きを施され商品化するグループと, ブリキ板になるものに分れた。後者は 2 回目の酸洗いを受けた後, 熔融した錫の中に浸漬され, その表面に錫の膜を付着させた状態で引上げられ, ブリキ板となった。八幡製鐵所と東洋鋼鋳にアメリカ製ラインが導入され, 国産初の電気メッキによるブリキ製造が開始されたのは 1955 年であり, それ以前に国産ブリキと言え, その全てがこの種の熱漬メッキ・ブリキであった。ブリキ原板の製造工程がストリップ化されて行った万事お定まりの経過についてはことさら言及されるまでもなからう<sup>70</sup>。

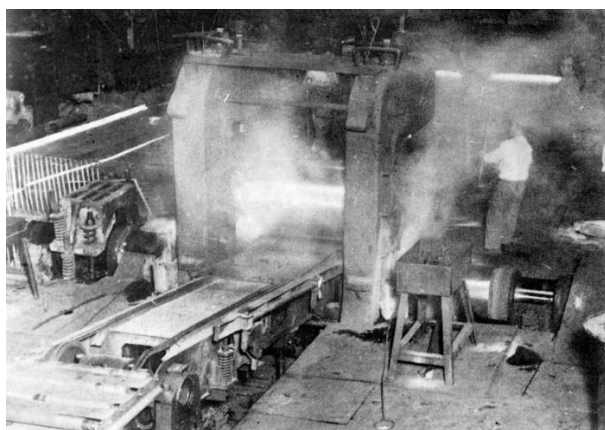
なお, 復興期, 八幡製鐵所鋼材部薄板課にあって洞岡ブリキ工場とともに生き残りのプルオーバー・ミルを稼働させていたのは珪素鋼板工場である。同工場における仕上用の 1 基には 1950 年頃, 恐らく労働軽減と生産効率改善への試みであろうが, チェーン式人力駆動のチルティング・テーブルが前後に取付けられ, 多少の「近代的の工場」化が図られた(図 33)<sup>71</sup>。

### 図 33 チルティング・テーブルを追加された珪素鋼板工場のプルオーバー・ミル(後面)

<sup>69</sup> 中島『鋼材壓延』256~257 頁, 参照。

<sup>70</sup> 鈴木桂一(東洋鋼鋳下松工場)「ブリキ」産業教育協会編『図説 日本産業大系 第 1 巻』同協会, 1960 年, 186~191 頁, 参照。現在もブリキは主に缶用材料の分野にて健在を誇っている。しかし, Sn は非常に高価であるため, ブリキの亜種と形容されるべき製品類型——鋼板に Cr メッキを施した Tin Free Steel, 樹脂ラミネート鋼板など——がそれぞれの特性によってブリキを部分代替すべく相次いで投入されたため, その独占的地位は失われた。

<sup>71</sup> 『八幡製鐵所五十年誌』125 頁, 参照。



『八幡製鉄所五十周年記念 鋼材部薄板課寫眞帳』より。

図 32 は当時、撮影された写真であり、これが社史に謂う仕上用の 1 基である。前掲図 29 とともにプルオーバー・ミルの戦後史を語る一葉であるから、特に珍しくもなくブリキ製造工程との係わりもないが、ここに添えておきたい。もちろん、その左に小さく写っているのはかのドラッグロールである。

なお、八幡製鉄所における珪素鋼板の試作は 1916 年に着手されたが大成せず、'24 年 11 月以降にその製造が再開されている。当時、珪素鋼板は珪素鋼塊からシートバーなどを造り、プルオーバー・ミルによって熱間圧延されていた。その工程自体は材料が異なりこそすれ、薄板圧延に於けるとほぼ同じであり、本稿においては繰返しを避ける意味で独立項目としては扱わなかった。平世自身、彼の『薄板(壓延法)』に「薄板の範圍に包含さるゝ」「珪素鋼板(電氣鐵板)、美裝鋼板、耐鏽鋼板、ベニヤ鋼板、航空機用鋼板等種々の特殊鋼板」に係わる記述を含めたかったようであるが、紙幅の都合によりそれらは「割愛せざるを得ぬ」(59 頁)次第となったと述べている<sup>72</sup>。

その上、実体として薄板圧延と珪素鋼板圧延とは生産点として分化し切れていない時代があった。即ち、珪素鋼は材料として硬く脆<sup>もろ</sup>い上に成品には厳格な板厚精度が求められ、また、珪素鋼板の圧延は温度管理にも神経をすり減らす面倒な工程となっていた。その焼鈍条件にも酸化防止や冷却速度管理面での繊細な注意が必要とされた。平世は“13 枚物”の薄板圧延の余技として始まった八幡製鉄所の珪素鋼板製造について、「珪素鋼板の方は副業的に生産し漸次従業員の訓練と上達と共に増産する事になつて居る」が、材料欠陥への配慮から 0.3mm 厚の製品ならに 2 枚で 38.0kg、最大の 0.8mm 厚の製品用に同 48.4kg という薄板用より数%大き目のシートバーを用いた関係もあって「非常に従業員の訓練には困難を感じる」などと洩らしている<sup>73</sup>。

<sup>72</sup> その結果、平世の古いレポート、「製鐵所に於ける珪素鋼板製造に就て」はこの方面に係わるほとんど唯一の公刊資料となってしまった。

<sup>73</sup> 前者は 0.29mm 厚“13 枚物”用シートバーの 6%増し、後者は 0.8mm 厚“5 枚物”のその 4%増しの重量となっていた。

珪素鋼板工場における圧延工の採用試験においては身長 165cm, 体重 65kg の体格要件に加え, グリップ付きの 50kg の鉄塊を両手に各 1 個下げ, 30m の距離を最低 2 往復歩けることが求められた。それでも, 合格者中, 長く勤め上げられる人は 3~4 割に過ぎなかった。強い体力のみならず, 不屈の精神力が求められたからである<sup>74</sup>。

この珪素鋼板圧延の技術的難度はやや時代が下っても定性的には同じであったらしく, 「ロール機として最も条件の良い時機にのみ珪素鋼板の壓延が行はれ, 他は薄板の壓延を行ふ」などという現場の融通機転を専ら頼みとするような技能依存的操業形態が永らく踏襲されざるを得なかったようである<sup>75</sup>。

八幡における熱延珪素鋼板製造は敗戦を乗り越え, 1946 年 3 月, 再開に漕ぎ着けた。その後の改善努力が実り, 同工場において'56 年 1 月, ロール中間組替え省略, 6 日間連続圧延が達成されたのは特筆されるべき偉業であった<sup>76</sup>。

この熱延珪素鋼板の古式ゆかしい製造形態は'60 年代に入っても暫時, すき間産業的に生き永らえていたが, 珪素鋼のホット・ストリップを冷延する形で製造された高品質の無方向性冷延珪素鋼板の普及は抑えようもなく, さらには, 本田光太郎, 茅誠司 両博士によって発見された鉄の結晶格子におけるある一つの方向が特に優れた磁氣的性質を持つという物理現象を産業技術として活かそうとする努力が同じ頃, Sendzimir ミル(Z-ミル)と呼ばれる 20 個のクラスター・ロールを持つ特異な冷間圧延機の実用化を通じて結実するにおよび, 方向性冷延珪素鋼板の時代が出現した。そして, これにより, プルオーバー・ミルの時代は真の終焉を迎える。八幡の熱延珪素鋼板製造は 1967 年 6 月 5 日の閉鎖式を以って終りを告げた<sup>77</sup>。

### 3) 中鋼板の圧延

戦前期のわが国において中鋼板とは 1~6mm の板厚を有する鋼板を総称する業界用語であった。この内, 八幡では 3.2mm を超える板厚の中鋼板は Three-high mill によって圧延されており, プルオーバー・ミルによって分担されていたのは厚さ 1~3.2mm, 幅 3~5ft., 長さ 6~12ft. の鋼板で, 長さが幅の 2 倍というのが定尺であった<sup>78</sup>。

中鋼板の材料は炭素鋼(C 含有率の低い順に極軟鋼, 軟鋼, 半硬鋼, 硬鋼, 最硬鋼)と特殊鋼とに分類された。工具鋼なみに 0.50~0.60% の C を含有する最も硬い中鋼板はスコップの材料とし

<sup>74</sup> 柴原 保「誰にもできない圧延作業」新日本製鐵八幡製鐵所 電磁鋼板部『珪素 50 年の歩み』61 頁, 参照。

<sup>75</sup> 中島『鋼材壓延』298~304 頁, 参照。引用は 301 頁, より。もっとも, 中島の記述の元データをなしたのは当然ながら平世「製鐵所に於ける珪素鋼板製造に就て」である。

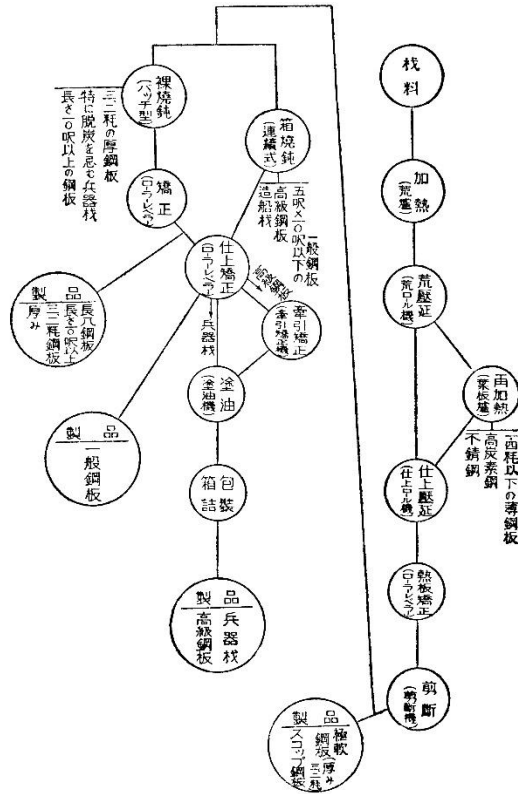
<sup>76</sup> 新日本製鐵八幡製鐵所 電磁鋼板部『珪素 50 年の歩み』31, 32~33 頁, 参照。

<sup>77</sup> 新日本製鐵八幡製鐵所 電磁鋼板部『珪素 50 年の歩み』34~35 頁, 年小林「けい素鋼板」, 参照。珪素鋼板の方は現在でも電磁鋼板の主力をなしている。

<sup>78</sup> 以下, 中鋼板の圧延については伊藤『壓延法(中鋼板の製造法)』による。

て不可欠な原板であった。また、中鋼板は仕上げの程度により普通中鋼板と熱間圧延後、酸洗、冷間圧延とを施される高級鋼板(美装鋼板ないし磨き鋼板)とに区別された(図 34)。

図 34 普通中鋼板の製造工程と製品展開



伊藤『壓延法(中鋼板の製造法)』3頁, 第1圖.

普通鋼板の材料はシートバーであった。これを荒炉にて加熱し、荒ロール機、仕上げロール機の順に圧延を行った後、熱間矯正機にかけ、続いてせん断機によって寸寸とする。このまま製品として出回る類型もあれば、平坦度を高めるため、さらに焼鈍→仕上げ矯正機(→牽引矯正機)にかけてから販売される場合もあった。普通中鋼板の製造工程と製品展開は図 31 に示されている。伊藤は「最近焼鈍を省いて焼準(Normalizing)を施すことが盛んになりつゝあるのである」(3頁)と付言している<sup>79</sup>。

中鋼板用シートバーの材料は主として塩基性平炉鋼による鋼塊であった。転炉鋼も使用されはしたが、一般にそれによって造られる製品の品質は劣っていた。中間的な板厚である 1.6mm で、その縦横が 4×8ft.の中鋼板を圧延するためのシートバーは製品のグレードによ

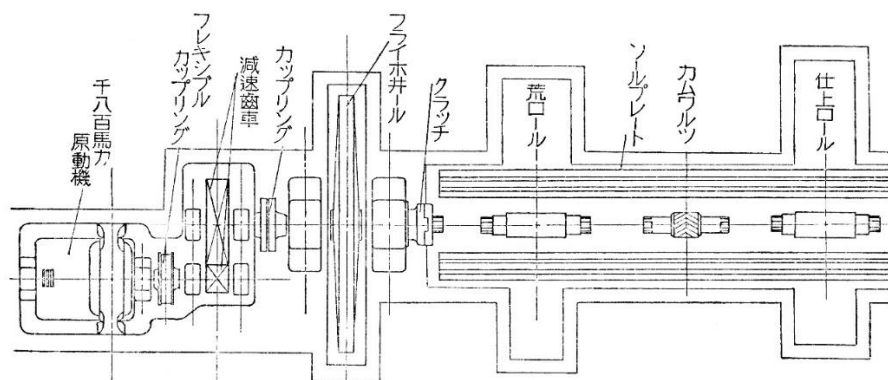
<sup>79</sup> 放冷を炉外で行わせる焼準(焼きならし)は炉中放冷を行わせる焼鈍(焼きなまし)よりも冷却速度が速い、つまり能率的である。C含有率 0.8%以下の炭素鋼においてはそれ以外に両者を取り立てて区別するほどの違いはない。日本材料学会編『機械材料とその試験法』同学会, 1975年, 38~40頁, 参照。

り厚さが 14.3, 14.5 ないし 14.9mm に分れており, その縦横は 300×1260mm, 重量はそれぞれ 42.4, 43.0, 44.2kg であった(その一例を図 5 に観た). 厚さ 3.2mm, 縦横 5×10ft. という中鋼板を圧延するためのそれは厚さ 35.8, 36.3 ないし 36.8mm で, その縦横は 300×1570mm, 重量はそれぞれ 132.0, 134.0, 136.0kg もあった. ここまで大きなワークであるから, 戻し時のプルオーバーはチルティング・テーブルによった. なお, 重量がかさむから, 中鋼板用のシートバーは寸定切断後, 中鋼板圧延工場に届けられたようである.

加熱は混合ガスの還元炎によっており, 材料の種類とサイズにより異なるが, 連続炉である荒炉の抽出温度は 950℃前後であった. 圧延速度が遅い時には材料を炉中に長く留めてその温度を過昇させぬよう加熱も緩徐化させる必要があるなど圧延に合せた工程の同期化が求められた. 異種材料を扱う場合にも同様の問題を生じ得たため, 性質の似た材料をまとめて処理する工夫も必要とされた.

図 35 に八幡製鐵所第一中板工場における圧延ロール機の配置を示す. 減速軸に大径のフライホイールを担持させているのは単に旧式の設備ゆえにであろうが, 板厚に相応して圧延の衝撃が大きいという面も考慮されていたと思われる. 電動機は三相交流遊動電動機で, 圧延作業場内に設置される際にはここでも「塵埃防止のために」(12 頁)通風密閉型であるべしとされた. 減速歯車はやまば歯々車の 1 段式であったが, 新しい設備では 2 段減速式が主流化しつつあった.

図 35 八幡製鐵所第一中板工場における圧延ロール機配置



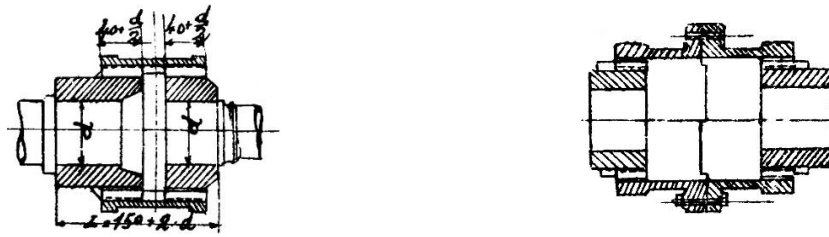
伊藤『壓延法(中鋼板の製造法)』12 頁, 第 6 圖.

電動機への衝撃印加を防ぐため, 最初の継手はたわみ継手となっており, 当時はその一種であり, 折り畳まれた金属製バネを用いる Bibby Coupling の使用が盛行していた. それは図 36 に示されるように, 帯鋼製つづら折れバネを介して入出力側が対峙する格好の継手である.

図 36 Malmedie 社(独)の Bibby Coupling







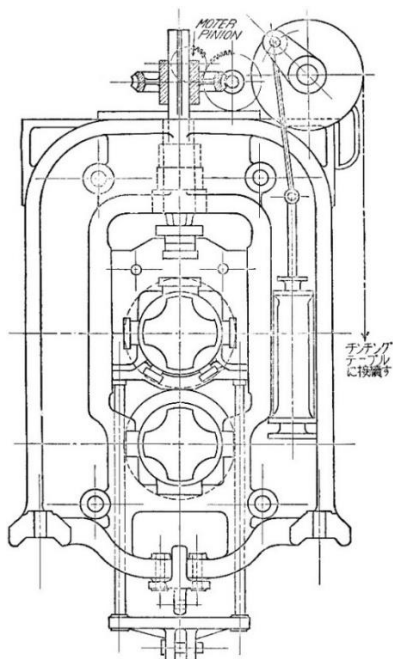
布目『鐵及鋼の壓延作業法』第九十六圖 一，二，第九十七圖。本文 118 頁も参照。

図 38 は第一中板工場の荒ロール機である。そのスタンドはもちろん鑄鋼製であった。下ロールはスピンドルとカップリング・ボックスを通じて直接駆動された。上ロールは所謂カムワルツから歯車駆動された。この荒ロール機の吐出し側には水圧式のチルティング・テーブルが装備されていたように見受けられる。なお、圧下スクリーは 1 本式で、圧下は電動機によっており、上下ロールのすき間はインジケータによって表示された。

インジケータの詳細について伊藤は記述していないが、それは厚板圧延における圧下ゲージと同様の計測器であったと考えられる。後者は圧下スクリーの上にスクリー・ピッチによって定まるその  $1/100\text{mm}$  程度の進退に対応する回転角度を周りに目盛りされた円盤(→シンブル)を載せた延長軸を取付け、円盤外周に隣接して 2mm 程度の目盛りが刻まれた直定規を鉛直に立て(→スリーブ)、その縦目盛りによる円盤のおおよその高さと同様に円周目盛りが示す円盤の微小沈下量とからその精確な高さ、即ち圧下量を読み取るマイクロメータの巨大版のごときシカケであった。もともと、ただでさえ薄暗い現場に塵埃や油煙、それに後掲図 42 に活写されているように、荒ロール機の周りには濛々たる蒸気が立ち込めていたのであるから、これではいかにも読取り辛い計器となっていたであろう<sup>80</sup>。

図 38 八幡製鐵所第一中板工場の荒ロール機

<sup>80</sup> インジケータについては日高政一「壓延法(厚板)」24~25 頁、参照。

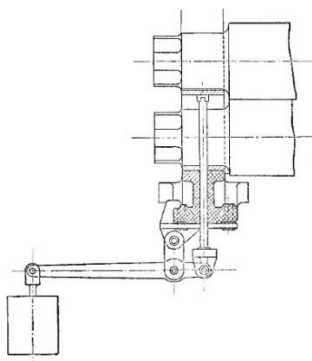


伊藤『壓延法(中鋼板の製造法)』13 頁, 第 7 圖.

*MOTER* ではなく *MOTOR*, チンチングではなくチルティンク.

また, 上ロールはジャンピング・ロールではなく, 錘によって常時, 突き上げられているタイプで, 所謂 *Balanced Mill* となっていた(図 39).

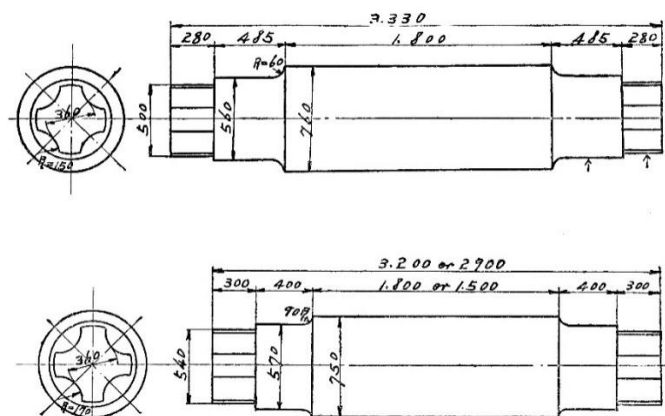
図 39 荒ロール機の上ロール平衡装置



伊藤『壓延法(中鋼板の製造法)』14 頁, 第 8 圖.

荒ロールは合金鋼の鑄造ないし鍛造品で, その寸法, 化学成分は図 40 上, 表 4 の 1~4 のとおりであった. 表面硬度はショア 45 内外と軟らかく, 圧延トン数は鑄鋼ロールで 12000 トン, 鍛鋼ロールで 25000 トン程度であった.

図 40 中鋼板圧延用ロールの寸法(上: 荒ロール, 下: 仕上げロール)



伊藤『壓延法(中鋼板の製造法)』15頁, 第9圖.

表4 中鋼板圧延用上下ロールの化学成分

No	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	摘 要
1	0.3-0.4	0.20-0.40	0.20-0.50	<0.03	<0.03	2.50-3.50	0.50-1.00		荒ロール用 鉄鋼ロール
2	0.55-0.60	0.3	0.5						//
3	0.45					0.5	1.0		//
4	0.27-0.33					0.5	1.0		//
5	3.1-3.2	0.50-0.55	0.4	<0.6	0.03内外			0.3	仕上ロール用 チルドロール

伊藤『壓延法(中鋼板の製造法)』15頁, 第5表.

ロールネック軸受は上ロールではメタルボックス内, 上下左右に設けられており(下部は空転時用), 下ロールにおいては下と左右に設けられていた. メタルの化学成分は:

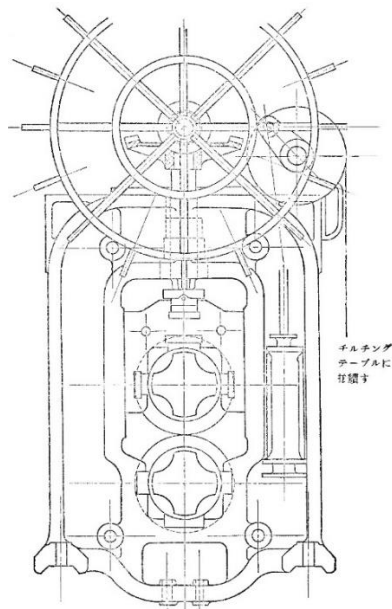
Cu : 85.5%, Sn : 9.0%, Zn : 2.0%, Pb : 2.0%, 燐銅 1.5%

であった. その潤滑剤については須永の説明と同じく「釜残油, アスファルト, 及びカルシウム石鹸等を混合して作った黒色塊状の」「ホット・ネック・グリース」(21頁)と記されているが, 伊藤は「仕上ロールのネックは200°Cにも温度が昇るので熔融点の比較的高い(110°C~120°C位)のものを使用し, 荒ロールのネックには比較的低い(80°C~90°C位)ものを使用する」(21頁)と具体的な使い分けまで紹介してくれている. そして曰く, 「ロールネックが過熱するときは多大の動力を消費せしむると共にロールの形状に變化を來さしめ或は折損の原因となるので注油には細心の注意を拂はなければならぬ」(22頁).

仕上げロール機は図41に示される. 板厚が薄くなってきたワークを扱うため, 上ロールはJumping Rollとなっていた. これも後面にはチルティング・テーブルが付設されていた. 伊藤は新しいミルには前面にもこれを装備する例が増えていたと述べている. ロールの圧下は圧下手が大径の舵輪のような圧下ハンドルを回して行った. その取っ手は舵輪, したがって圧下スクリー回転角度の目安となり, その大きなフライホイール・マスは上ロール引

上げを迅速化する助けにもなった。この圧下ハンドルは前掲図 9 にも見えていたタイプである。圧下スクリューは左右スタンドに各 1 本であった<sup>81</sup>。

図 41 八幡製鐵所第一中板工場の仕上げロール機



伊藤『壓延法(中鋼板の製造法)』16 頁，第 10 圖。

仕上げロール機のロール(図 40 下)は表 4 の No.5 に掲げられているとおり，チルドロールで，チルの深さは約 20mm，ショア硬度 65 程度。その平均圧延トン数は 5000 トン程度であった。圧延中，胴部の円筒度を保つため，加熱用のガス管や冷却用の蒸気管が多数，装備されていた。「ロールネックを支へる軸受にはパイプを鑄込み之に水を通して之を加減してネック温度を調節して」(17 頁)いた。

通常，3mm 以上の鋼板は 1 枚ずつ圧延可能であったが，2.3~1.5mm の板は 2 枚重ねで圧延された。それより薄い板を扱う場合，荒ロールで 2 枚重ね圧延した葉板を仕上げ炉にて再加熱し，これを仕上げロールで 3 枚重ねにして圧延した。

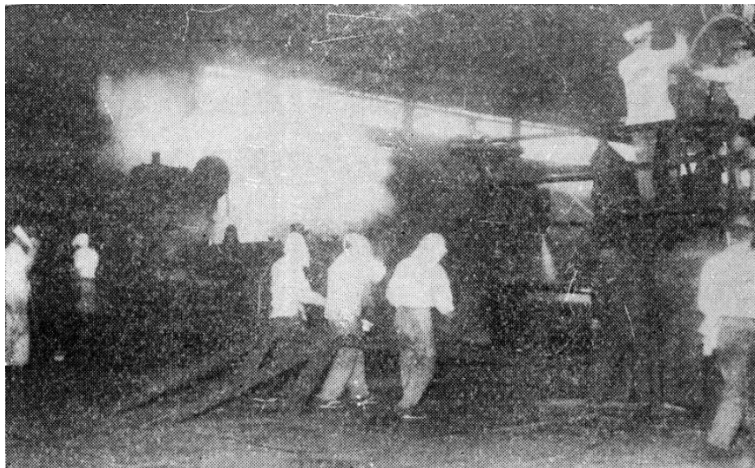
最量産品である 1.6mm 厚の中鋼板を例に採れば，材料加熱炉にて加熱された 2 枚のシートバーを荒ロール機にて 1 枚ずつ交互に 3 回圧延し，次に 2 枚重ねにして 2 回圧延する。圧下率の上限は 30%程度で，これを超えるとロール折損の危険が増した。また，この間，荒ロールには絶えず冷却水を注いでその温度上昇による鈍り<sup>なま</sup>を防止し，また，ワークに付着するスケールを除去する。続いてワークを仕上げロール機に移して 2~3 回，圧延した後，引き剥がして双方とも裏返し，ロールに接していなかった 2 面を表にして 2~3 回圧延する。これは両面に等しい光沢を付与するためである。この圧延方式を伊藤は Loose rolling と呼んでいるが，剥離促進のため板の間に何かの粉を振りかけていたワケではなく，光沢付与の

<sup>81</sup> 舵輪のような圧下ハンドルの機能については橋本『鋼材壓延法』648 頁，参照。

ための裏返しはその用をなしていたらしい。仕上げロールの作動温度は 300~400°Cに保たれるべきで、特に薄い板ではロール温度が低いと冷却されて延びが悪化しがちとなった。各ロールの胴部は高温状態で真円筒となるように冷態では鼓型(中央部直径にて - 0.6~0.7mm)を呈するように仕上げられていた。

図 42 は中鋼板の圧延風景である。左が荒ロール機、右が仕上げロール機であり、前者から立ち昇る蒸気と後者の大きな舵輪のごとき圧下ハンドル、それを操る圧下手の姿が印象的である。「荒ロール機では上下ロールの間隔はインジケーターによつて示されるから之を観ながら又同時に材料の温度に注意しつゝ圧下を加へて行くが仕上げロール機では圧下手が鋼板の温度とか延び具合に注意しつゝ手加減にてハンドルを動かして行くのである」(19頁)。

図 42 八幡製鐵所第一中板工場における圧延風景



伊藤『壓延法(中鋼板の製造法)』18頁，第11圖。

表 5 は 1.6mm×4ft.×8ft.の中鋼板の圧延中における圧下率，図 43 は板の長さの延びの，それぞれ一例を示す。

表 5 1.6mm×4ft.×8ft.の中鋼板の圧延中における圧下率

荒ロール機にて壓延を行ふ

通過回数	鋼材一枚の厚み (mm)			鋼材の長さ (mm)			壓下率%
	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>1</sub> -t <sub>2</sub>	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	l <sub>2</sub> -l <sub>1</sub>	
1枚宛 1	14.500	10.360	4.100	300	419.8	119.8	28.5
" 2	10.360	7.420	2.940	419.8	586	166.2	28.6
" 3	7.420	6.058	1.362	586	718	132	18.4
2枚重ね4	6.058	4.438	1.620	718	980	262	26.8
" 5	4.438	3.513	0.925	980	1238	258	20.8

仕上ロール機にて壓延を行ふ

通過回数	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>1</sub> -t <sub>2</sub>	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	l <sub>2</sub> -l <sub>1</sub>	壓下率%
2枚重ね1	3.513	2.967	0.546	1238	1466	228	15.55
" 2	2.967	2.585	0.381	1466	1682	216	12.84
" 3	2.586	2.078	0.508	1682	2098	411	19.65
" 4	2.078	1.857	0.221	2098	2342	249	10.63
" 5	1.857	1.587	0.270	2342	2740	398	14.52

材料寸法 14.5m/m×300m/m×1260m/m

製品寸法 1.6m/m×4'-0×8'-0

t<sub>1</sub> 通過前の鋼材厚み (mm)

t<sub>2</sub> 通過後の鋼材厚み (mm)

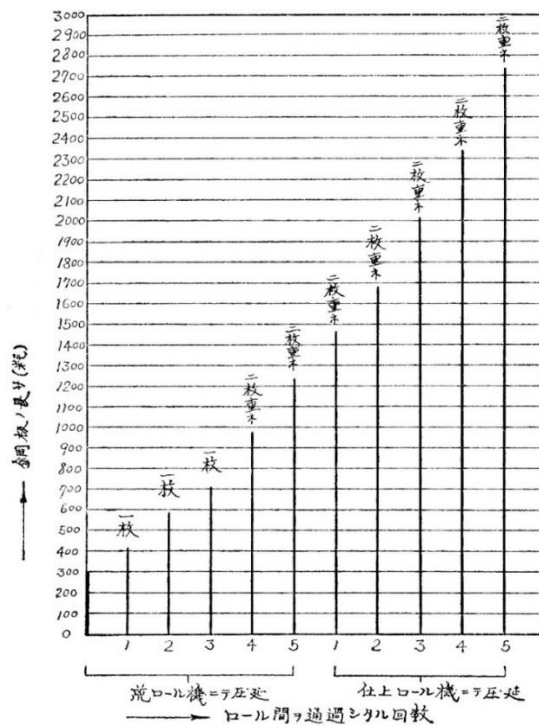
l<sub>1</sub> 通過前の鋼材の長さ (mm)

l<sub>2</sub> 通過後の鋼材の長さ (mm)

$$\text{壓下率} = \frac{t_1 - t_2}{t_1} \times 100$$

伊藤『壓延法(中鋼板の製造法)』19頁, 第7表.

図 43 1.6mm×4ft.×8ft.の中鋼板長さの圧延中における伸び



伊藤『壓延法(中鋼板の製造法)』20頁, 第12圖.

伊藤は圧延作業においてロールの同心調整, 左右圧下率の均等性保持, 「ロール温め」の手法や予熱策, 保温のための作業ペース保持, 作業途中でのロール冷却や加熱, 「材料を眞

直ぐに通すこと。重ね板の壓延の時は上下の板を正しく重ねること」(21頁)といったごく基本的な事項の肝要性についても一通り触れている。

圧延トン数昂進後における幅狭ワークへの切替え、それでも圧延成績不良となった時点での再旋削ないし再研削(「ロールグラインダーの方が正確且迅速である」[21頁])、ロール組替えなどについても薄板やブリキ原板のケースと同様であったが、鋼製である荒ロールについては鈍らぬよう、圧延中は先にも観たとおり「絶えず冷却水を注ぎロール温度の上昇を防止し」(19頁)ていたのが大きな相違である。

圧延作業は毎週、月曜の朝から始まるのを常とし、1交替8時間の圧延トン数は1.6mm厚、縦横4ft.×8ft.の無規格の普通板で約50トンであった。「ロールが良質であれば一週間連続して使用されるが週の中途に於て取替へることもある」(21頁)。即ち、数日～1週間でロールは再研削→組替えに供されていた<sup>82</sup>。

なお、ロールのトラブル中、最難題である折損について伊藤は：

荒ロールの如く低温作業にしてしかも強靱なる合金鋼ロールを使用するものでは比較的折損は少いが仕上ロールでは可成の數に達するのである。原因は色々あるが主なるものはロール温度の變化、壓下過度である。荒ロールでは注水しつつ作業するのでロール表面の冷却、加熱が反覆されるため焼割れを生じ、それが次第に擴大して折損するが多い。折損部位は主として胴の中央部であるが胴部とネックとの境に於て折損することもある<sup>83</sup>。

と述べている。

圧延を終えた板はローラーテーブルに載せられ、上下、互い違いにローラーを連続させたローラー・レベラーへと送られた。これを通過させてある程度の曲りや波打ちを矯正された後、板はギロチン型せん断機ないしメタルソーの一種であるトリミング・シャーにて定寸切断された。

続いて板は裸焼鈍ないし箱(無酸化)焼鈍の処せられた。焼鈍爐はトンネル炉であった。焼鈍後、板には仕上矯正が施される。これには普通鋼板ならローラー・レベラーが用いられ、客車用仕上鋼板やより高級な美装鋼板なら予備的にローラー・レベラーにて強く矯正する、あるいは圧延ロールにて軽く冷間<sup>スキンパス</sup>圧延した後、ストレッチャーと呼ばれる矯正機にかけ、水圧で牽引して矯正が施された。軽く冷間圧延したのは降伏点を超える引張による材表面におけるひずみ模様(Lüder's lines)の発生を予防するためである<sup>84</sup>。

<sup>82</sup> 1日出来高については伊藤『壓延法(中鋼板の製造法)』22頁、参照。無規格品とは海軍規格(船体用、水管罐本体用、水管罐以外用、航空機用鋼板)、陸軍規格(普通鋼板、航空機特殊鋼板)、鐵道省車輛鋼板(仕上鋼板)ならびに日本標準規格に板厚ごとの寸法公差が細かく規定されていないものを指す。これらの規格については同書33～34頁、参照。

<sup>83</sup> 伊藤『壓延法(中鋼板の製造法)』22頁、より。

<sup>84</sup> 伊藤『壓延法(中鋼板の製造法)』32頁、参照。なお、転覆事故時の安全性向上のため、鐵道省では昭和初期より客車の部分的鋼体化を推進していた。鋼体化のため従前より重くなった特急列車を牽引させるため、1928年にはC51に替るC53型蒸気機関車が開発された。C53については拙稿「C53型蒸気機関車試論[訂正版]：近代技術史における3気筒機関車の



中鋼板の内、高級美装鋼板に分類される製品は以上のような熱間圧延と事後処理の後、ブリキ原板と同様に酸洗いを施され、冷間圧延→箱焼鈍→矯正に処せられた。その冷間圧延には伝統的な Lauth 式 3 重ロール機(図 2)やバックアップ・ロールを備えた 4 重ロール機といった新進の圧延機も使用され始めていた。高級鋼板の材料としてはやはり、リムド鋼塊の方が表面の仕上りにおいて優っていた<sup>85</sup>。

#### 4) チルドロールの材料や鑄造に係わる技術

プルオーバー・ミルの時代はチルドロールの時代でもあった。比較的単純な構造を持つ前者と製造容易で安価な割に高機能の後者とが相まって優に一世紀を超える高度に技能依存的な高熱重筋労働の世界を形成、護持して来た。その後半戦に参画した八幡製鐵所においてはチルドロールの自給も行われていたため、当時の開発技術者が残してくれた書物によってそれに係わる技術の機微を読み取る所作が可能となる<sup>86</sup>。

チルド鑄鉄とは既述のとおり、ある種の化学組成を有する溶銑を金型ないし一部を金型とした砂型に鑄込み、所望の部位のみを急冷・硬化させた鑄鉄である。一般に溶銑は C を 2.5~4.0%含むが、凝固後に C はセメンタイトなる化合物( $Fe_3C$ )の形で存在する化合炭素と黒鉛化する遊離炭素とに分れる。セメンタイトはさらにフェライト(純鉄に近い組織)と交互に層状化してパーライトと呼ばれる組織を形成したり単独で存在したりする。パーライトは鑄鉄の靱性を高め、遊離セメンタイトはその硬度を高めると同時に脆性をも増す。黒鉛は鑄鉄の強度には全く寄与しないが、仕上げられたその表面に保油性を与え、耐摩耗性を改善する。

鑄鉄中の黒鉛とセメンタイトとの割合は主としてその冷却速度によって決まり、冷却速度が速くなれば遊離炭素を形成する暇<sup>いとま</sup>がないため C はセメンタイトを形成し、この時、鑄鉄は硬くなり、その破面は白色を呈する。チルド鑄物はその表面付近のみを白銑化し、セメ

---

位置付けと国鉄史観、反国鉄史観」, 「蒸気機関車 C53 に見る国産化技術の歴史的展開」(→ IRDB), 参照. リューダーズ・ラインについては拙稿「戦時日本の中速・大形高速ディーゼル——艦本式、横須賀工廠機関実験部式、新潟鐵工所、三菱神戸造船所——」(→ IRDB)においても若干、触れられている。

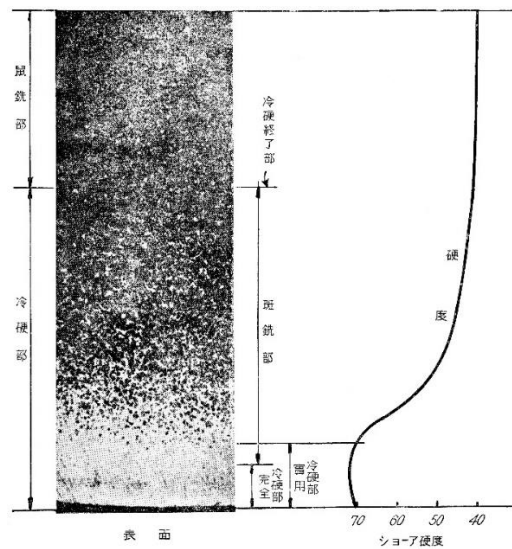
<sup>85</sup> 伊藤『壓延法(中鋼板の製造法)』第 3 章, 参照.

<sup>86</sup> 以下、チルドロールの技術に関しては主として谷口光平「合金チルドロールの研究」と『チルド鑄物』共立社 實用金屬材料講座 材料編, 1937(再版'38)年, による。後者執筆当時の谷口の肩書は日本製鐵八幡製鐵所技師・工學博士。1937 年に彼は日本鐵鋼協會より「チルドロールに関する理論の究明及び合金ロールの研究發明」の功績に対して香村賞牌を授与されている。『八幡製鐵所五十年誌』313 頁, 参照。彼が東京帝國大學より博士学位を授与されたのはこの研究成果によってであり、その全容を公開したものが上に挙げた「合金チルドロールの研究」『日鐵八幡製鐵所研究所 研究報告』Vol.XV No.1 1936 年 1 月, である。

なお、川崎造船所においてチルドロールの内製が行われていた証拠はない。それかあらぬか、同製鋼工場熔鋼課長 谷山 巖の書『鐵及び鋼鑄物』(修教社書院, 1935 年), 第六章 第五節「チルド鑄物」における記述は 17 頁ほどと粗略である。

ンタイトに富む冷硬部とした鑄鉄である。図 44 は実物チルドロール切断面の写真と各表面深度に対応する硬度分布を示すデータである。

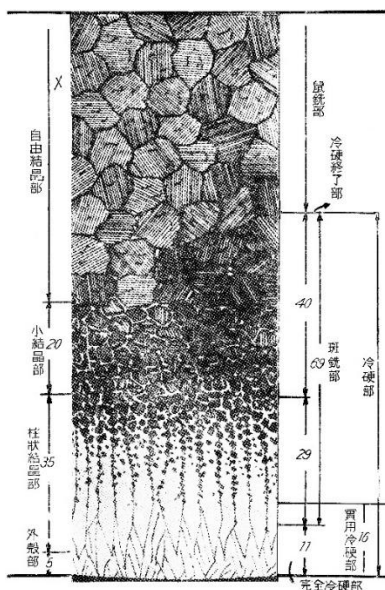
図 44 チルドロールの切断面の写真と硬度分布



谷口『チルド鑄物』31頁，第42圖。

また，図 45 は同じ切断面を 20%硫酸水溶液に 50 分間，浸漬し，その結晶粒界を顕現させた画像である。

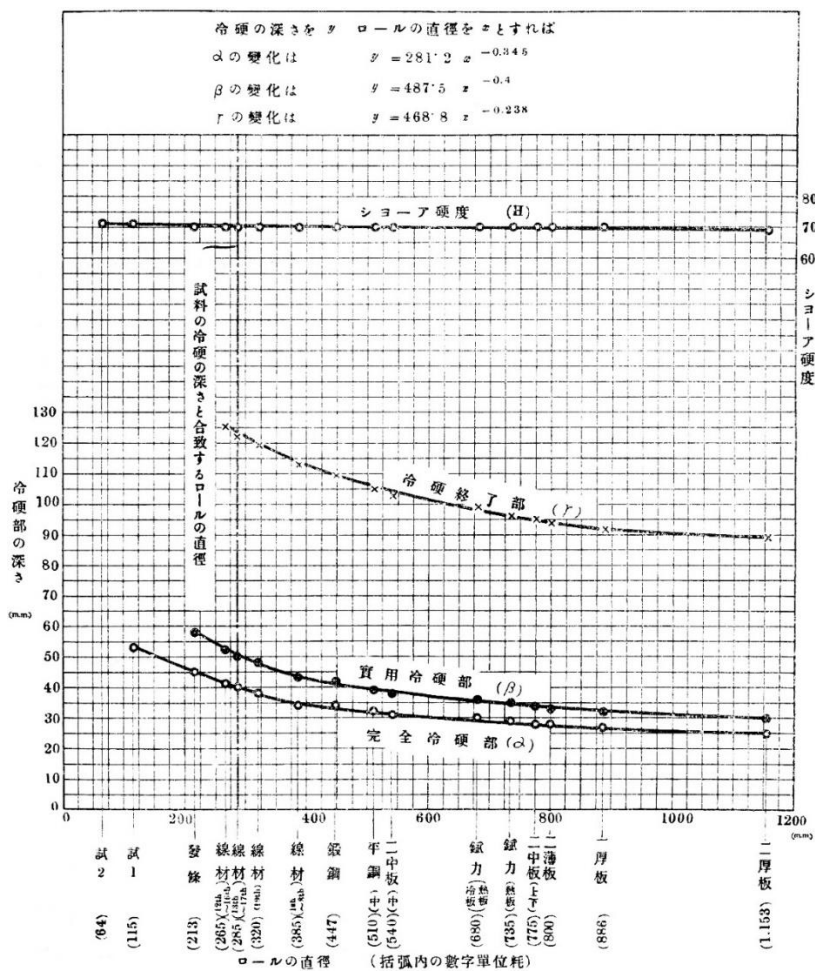
図 45 チルドロールの切断面における結晶粒の構造分布



谷口『チルド鑄物』39頁，第45圖。

直径を異にする試料用および実用チルドロールにおける表面硬度ならびに各層の深度分布は図 46 に示されている。サイズに係わらず、表面硬度はショア 70 近傍で安定しており、冷硬部の深さは直径の小さいロールの方が大となっている。

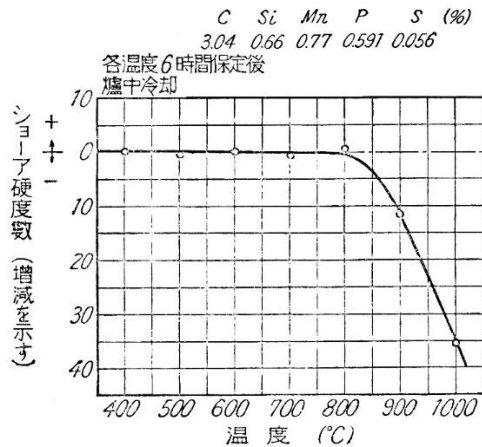
図 46 様々な直径を有する各種チルドロールの表面硬度と冷硬部の深度



谷口「合金チルドロールの研究」14頁，第13圖。

かかる特性に加え、極めて重要であったのはチルドロールの比類なく高い耐熱性である。図 47 はチルドロールの冷硬部を 400~1000℃の各温度に 6 時間曝した後、焼鈍し、冷却後、それぞれの硬度を測定したデータである。要するに、冷硬部は何と 800℃もの高温に至るまで軟化の兆しなどいささかも顕してはいなかったワケである。

図 47 チルドロール冷硬部の加熱→焼鈍後における硬度低下状況



谷口『チルド鑄物』34頁，第43圖.

ここが鋼の焼入れとは全く異なっている．C を 0.04~1.7%含む鋼の焼入れにおいてはワークを C の含有率に応じて 900~750°C前後に加熱し，固体状態のまま Fe 原子の配列をオーステナイトと呼ばれる格子構造に変態させた後，これを急冷し，マルテンサイトと呼ばれる硬い結晶組織に変態させる．C の含有率が高ければ C 原子はマルテンサイトの格子の中に取り込まれてこれを歪ませ，その硬度を一層高める．ただし，この状態は化合即ち原子相互の強固な化学的結合ではなく，固溶体と称して固体が共存しているだけである．これは急冷により化合を生ずる時間的余裕が奪われていたからこそ生起する現象に他ならない．

それゆえ，実際には焼き戻しなどの後処理を含め，調質という形をとるものの，熱処理によりその機械的性質を改善された鋼は一般に高温安定性を欠き，300~400°C程度の加熱によって容易に“焼き”が戻って，つまり，鈍ってしまう．中鋼板の荒圧延用鋼製ロールが水掛けなしでは操業出来なかったのも，ハイス(高速度鋼)なる工具用特殊合金鋼が開発されたのも，あるいは現代に至ってハイス・ロールのごとき複合ロールが鋼材熱間圧延用に開発されているのも理由はただ一つ，まさしくこの点にある．

ところが，チルドロールは比較的安価な材料とシンプルな鑄造工程により，とうの昔から複合ロールとしての実を獲得していたワケである．そして，ここにこそチルドロールが不満を抱かれながらもプルオーバー・ミルの構成要素として永らく愛好され，その時代を支えて来られた所以がある．

では，チルドロールはいかなる工程を経て製造されていたのか？ これを材料と造型および鑄込みとに分けて紹介して行こう．谷口はブリキ工場の冷板ロール(胴径 660mm，胴長 850mm，仕上重量 3800kg)について，その材料から鑄込みに至るまでの状況を詳細に記録してくれているので，これを表 6 として引かせてもらう．

表 6 普通チルドロールの材料製造から鑄込みに至る状況

(1) 材料配合							
種 別	割合 (%)	重 量 (kg)	化 學 成 分 (%)				
			C	Si	Mn	P	S
(a) 装 入 原 料							
大 暮 銑	15	3225	4.18	0.63	0.26	0.30	0.010
鞍 山 銑	5	1075	4.14	1.84	0.25	0.16	0.043
廢棄チルドロール	30	6450	2.95	0.60	0.65	0.54	0.078
〃 サンドロール	29	6235	3.68	0.64	0.68	0.28	0.069
チルドロール残屑	9	1935	3.00	0.55	0.50	0.45	0.060
廢 棄 鑄 型	12	2580	3.50	1.92	0.85	0.25	0.040
小 計 (1)	100	21500	3.49	0.81	0.63	0.37	0.057
(但し小計(1)の分析結果は各々の成分に就き各原料中の該成分含有量にその配合割合を乗ぜしものを更に全部合せて算出せり。)							
(b) 調 節 劑							
燐 素 鐵		108	1.34	0.12	1.11	14.69	0.340
錳 鐵		43	0.19	79.72	1.61	0.01	0.008
滿 庵 鐵		108	5.97	2.44	75.70	0.26	0.009
小 計 (2)		259					
總 計		21759	3.49	0.97	1.01	0.44	0.058
總計中の分析数字は小計(1)の際と同様各々の成分に付前記原料小計(1)及び調節劑各々の該成分含有量にその重量割合を乗ぜしものを更に全部合せて算出す。							
(2) 燃 料 煉炭 500 kg 高尾一號炭 8200 kg 計 8700 kg (溶解鑄量匙當り約 400 kg)							
(3) 操業時間其他							
装 入 時		前日午後12時40分~午後3時40分					
點 火 時		當日午前7時15分					
溶 解 時		〃 8時15分~午後1時45分					
精 鍊 時		〃 午後1時45分~ 2時32分					
出 銑 時		〃 〃 2時32分~ 〃 2時37分					
試料(アローベ)採取							
順 位	時 間	方 法	理 由				
1	午後1時45分	反射爐より	溶 解 終 直 後				
2	〃 2時15分	〃	精 鍊 途 中				
3	〃 2時31分	〃	精 鍊 了 之 以 出 銑 決 定				
4	〃 2時45分	取 鋼 よ り	成 品 に 對 する 參 考				
鑄造方法 下注ぎ廻轉法 4本鑄造 出銑温度稍々高し(1380°C附近) 注入温度普通(1280°C)							
成品ロール表面硬度 鋼中央部の圓周を四等分し四個所を測定す(一ヶ所10回測定平均値)							
		1	2	3	4	平均値	
シヨア硬度		65.0	65.2	66.2	65.4	65.45	
他の3本も殆んど同じ							
(4) 諸成分歩留							
			化 學 成 分 (%)				
			C	Si	Mn	P	S
配 合 成 分			3.49	0.97	1.01	0.44	0.058
成 品 ロ ー ル			2.96	0.76	0.62	0.40	0.060
歩 留 (%)			84.81	78.35	61.39	90.91	103.45

谷口「合金チルドロールの研究」99頁, 第40表.

チルドロールの原料としては Si をなるべく含まぬ銑鉄が好適であった。その方がチルの入り方が良いからである。塩基性平炉銑なら Si は少ないが、Mn が多く含まれ過ぎていた。よって、チルド鑄物用に特別、誂えられた銑鉄か廢棄チルドロールをはじめとするチルド鑄物の廢品やチルド鑄物鑄造時の湯口や押湯などその鑄造工程の廢品がチルドロール鑄造時の原料となった。

チルドロール用の銑鉄として、当時はコークス銑ではなく木炭高炉に冷風を吹込んで溶解された木炭銑——低 Si, 低 S で融点が低く、凝固後は C のほとんどがセメント化してしまうような銑鉄——が最良であると信じられていた。木炭銑は謂わば在来鉄であつて、欧米でも国内(釜石, 大暮[広島])においても製造されていた。しかし、その適性や根拠については様々な意見が吐露されていたにも関わらず、未だ科学的な決め手には欠け「今日の所未だ斯界の謎と

目され」(『チルド鑄物』6頁)ていた。逆に、普通のコークス銑を精錬してチルド鑄物用の原料銑とする所作も行われていた(兼二浦チルド銑)。

廃棄物の再利用が行われる場合には Si の総含有率が低くなりすぎることがあるため、チルの深さの制御や脱酸、鑄割れ防止の目的で Si と鉄の合金であるフェロシリコンが、脱酸・脱硫を必要とされるなら Mn と鉄の合金であるフェロマンガが、湯流れ改善のためには P と鉄の合金であるフェロホスホル(燐鉄)といった合金鉄が加えられた。P の含有率が低いスウェーデンの高級木炭銑はチルドロールの原料としては不適であった。

表 6 の例において使用された溶銑爐は No.2 反射炉であった。チルドロールはそれ自体が大きい上に、(1)配合材料 (a)装入原料 の項にあるとおり、原料として木炭銑、コークス銑以外に廃棄チルドロールなどが活用されていたため、キュポラでは到底役不足で、天井蓋が取外せる大形の 15 トン程度の反射炉が常用されており、その燃料は石炭であった。もっとも、これで高 Cr 鑄鉄の溶解に必要な 1500°C 以上の炉内温度を保つのは至難であったから、高 Cr チルドロール用の溶銑調達には平炉が用いられねばならなかった<sup>87</sup>。

溶解作業は前日の昼過ぎから 3 時間かけて材料を装入、翌日 7:15 に火入れ、昼過ぎに溶解を終えて精錬に入り、14:32 から 14:37 にかけて一気に取鍋への出銑が行われた。この間、反射炉から試料を取出すこと溶解終了時、精錬途中、精錬終了・出銑決定時の都合 3 度。これを砂型に鑄込んで火花の散り具合を観察し、冷却後はこれを破断し、破面より湯の適否を鑑定、必要に応じて添加物を投入して成分調整が行われた。この操業途中での試料採取も成分調整もキュポラには出来ぬ芸当であった。さらに、取鍋からの試料にて最終チェックが行われている。この日の出銑温度は約 1380°C と高めであったが、鑄込みは 1280°C まで冷ました通常の状態で行われた。

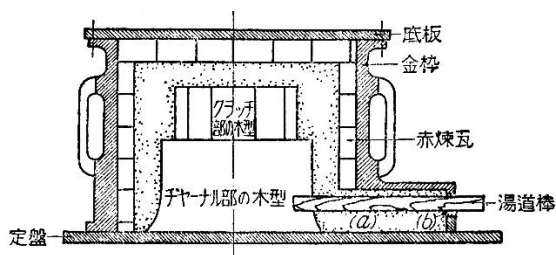
八幡製鐵所におけるチルドロールの鑄型は下型、金型、上型の 3 つに区分されていた。下型はクラッチ(カップリング・ボックスに挿入される✚部)、ジャーナルおよび湯口から成っていた<sup>88</sup>。

これの造り方には全て込め型による方法(図 48)とジャーナル部の成型を廻し型に委ねる方法(図 49)とに分たれ、大きなワークなら後者によった。

#### 図 48 込め型によるロール下型の造型法

<sup>87</sup> 反射炉、平炉については拙稿「20 世紀前半アメリカの鉄道輪軸について(1/2)」(← IRDB)、「鑄鋼と日本海軍潜水艦主機用気筒の鑄造方案」(『ツールエンジニア』誌掲載予定→ IRDB)において一通り取上げておいた。

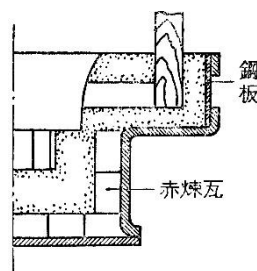
<sup>88</sup> 谷口は「湯道」としているが採らない。



定盤の上にて倒立させて造型

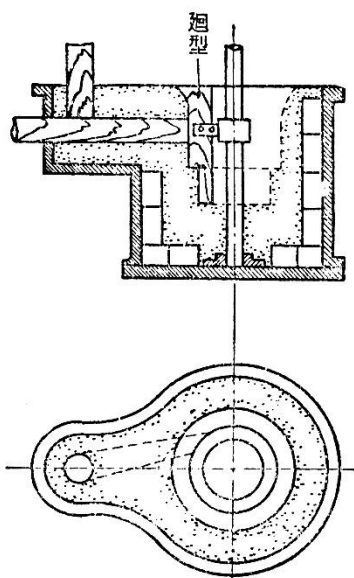
左：谷口『チルド鑄物』12頁，第3圖。

右：同上，第4圖。



正立させ，湯道棒を抜き (b)の横を塞ぎ湯口棒を立てる

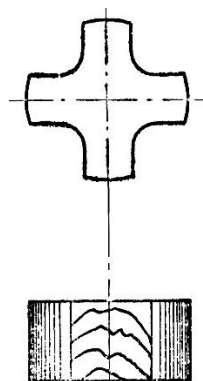
### 図 49 廻し型によるロール下型の造型法とクラッチ部の木型



廻し型によるロール下型の造型法

左：谷口『チルド鑄物』12頁，第5圖。

右：同上，第6圖。



クラッチ部の木型

図 49 には接線方向に付けられた湯道が描かれている。これは図 48 の込め型による造型においても同様で，鑄込みの際，溶湯を旋回させるための方案である。

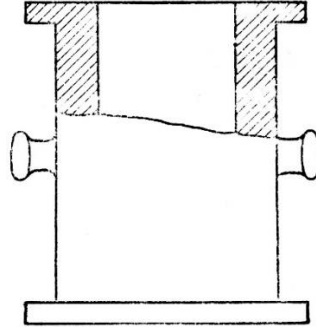
砂込めを終え，木型を引き抜かれた鑄型の表面には黒味(黒鉛 60kg に対して糖蜜 1~2kg を混ぜ，粘土水[はじろ]で薄めた液)を塗布して平滑に仕上げ，乾燥炉にて徐々に 500~600°C まで加熱した上，夕刻から翌早朝までその状態で乾燥させる。

典型的なチルドロール鑄造用金型は上下のフランジと耳軸<sup>トランニオン</sup>とが付いた厚肉円筒で，ロール胴部の成形に与り，謂わば中型<sup>なかがた</sup>に相当する。これは造塊用の鑄型と同種の材料による鉄鑄物で，その化学的組成の一例を示せば：

C : 3.83%, Si : 2.05%, Mn : 0.69%, P : 0.317%, S : 0.043%

の配合であった。その形状は図 50 に示されるとおりで、厚みは通常、実にロール径の  $1/3 \sim 1/2$  にも取られていた。

図 50 チルドロール用金型



谷口『チルド鑄物』13 頁，第 7 圖。

溶湯が注ぎ込まれば金型は膨張する。他方、溶湯は凝固とともにその寸法を減じて行く。このため、溶湯と金型とが直接接触している時間は案外短く、両者のすき間には直ちに断熱層をなす空気が進入して来る。金属内の熱伝導にも時間を要するため、チル層の形成に、即ち溶湯の急冷に直接関与出来る金型の有効厚みは胴直径の  $1/9$  であるとも主張されていた。少なくとも  $1/2$  などという厚みは不要であった。

しかし、その厚みは金型の寿命にはプラスに影響する。よって、金型は表 7 に示されるように、理論的に必要とされるより遥かに厚く鑄造され、その内面が荒れて使用に適さなくなればボーリングし、ヨリ大径のロール鑄造用に回された。ボーリングの回数は 50 回にも及ぶ例があった。

表 7 八幡製鐵所におけるロール金型のロール径別の厚み

チルドロールの種類	ロールの直径 (mm)	金 型			
		外径(mm)	内径(mm)	厚味(mm)	厚味/内径
厚板用上下ロール	864	1,838	885	476	1/1.86
" 中ロール	503	1,100	528	286	1/1.84
中板用仕上ロール	750	1,500	775	362.5	1/2.14
鋳力冷板及び熱板用ロール	600	1,230	680	275	1/2.47
小型用ロール	310	830	325	252.5	1/1.28

註：金型の内径 = ロールの直径 + 縮み代 + 仕上代

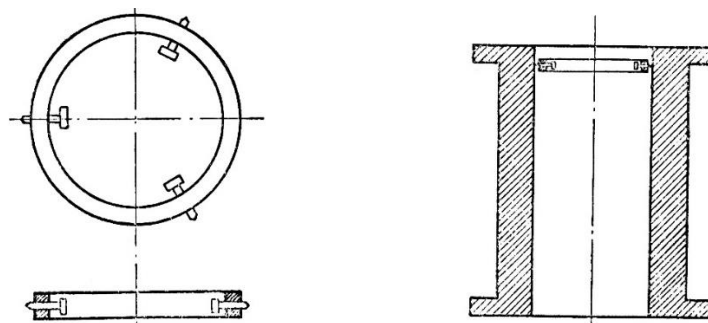
谷口『チルド鑄物』14 頁，第 2 表。

この金型を使用する場合には先ず、乾燥炉に入れて、翌日取出し、 $100^{\circ}\text{C}$ 程度に冷えた時、内面をワイヤブラシか電動研磨機で磨いた後、油煙を水で溶いた液を塗布した上、図 51 左



のような上型を載せるための鉄製リングを同右のようにロール胴部幅相当の高さに固定する。これを終えた金型は再び乾燥炉に装入，乾燥される。

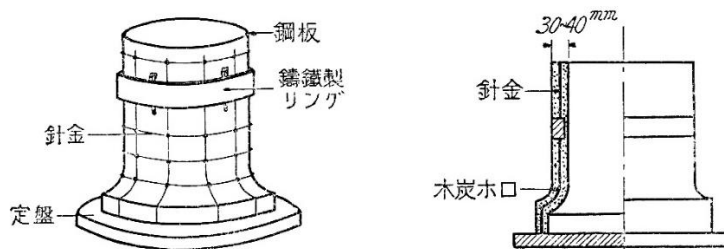
図 51 上型を載せるリングと金型内へのその装着



谷口『チルド鑄物』14頁，第8，9圖。

上型はクラッチ部，ジャーナル部，押湯部から成り，それらは別個に造形された後，組み合わされた。その材料は木炭ホロと呼ばれ，浜砂 800kg，木炭粉 60kg，コークス粉 60kg の混合物に粘土と水とを適宜，配合した混合物であった。ジャーナル部を造形するには定盤上に七輪のごときプロフィールの鋼板製異形円筒をその外表面に油を充分塗布して据え，その周りを針金と鑄鉄製リングで取巻き(図 52 左)，これを芯にしてその木炭ホロの層を形成し“鉄筋木炭ホロ”の構造物を得る(図 52 右)。これが完成すれば円筒内部でコークスを燃やして木炭ホロの層を充分に乾燥させる。そして円筒を引き抜き，その内面に黒味を塗布した後，炉内乾燥に付す。

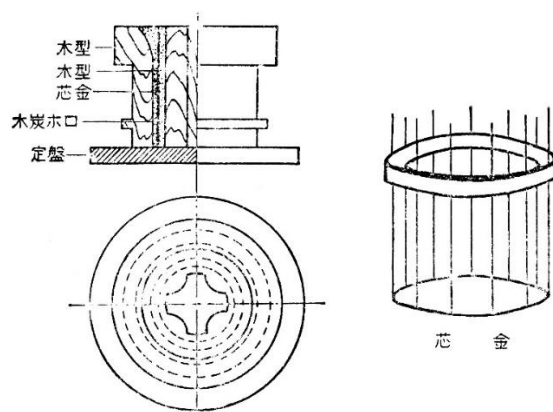
図 52 上型ジャーナル部の造形



谷口『チルド鑄物』15頁，第10，11圖。

クラッチ部の造形は定盤上に木型と芯金を置き(図 53)，すき間を木炭ホロにて充填し，乾燥後，黒味を塗布した後爐な乾燥に供する。押湯部の造形もこれに倣う。その高さは 1000~1500mm，直径はクラッチ部のそれと同寸とする。

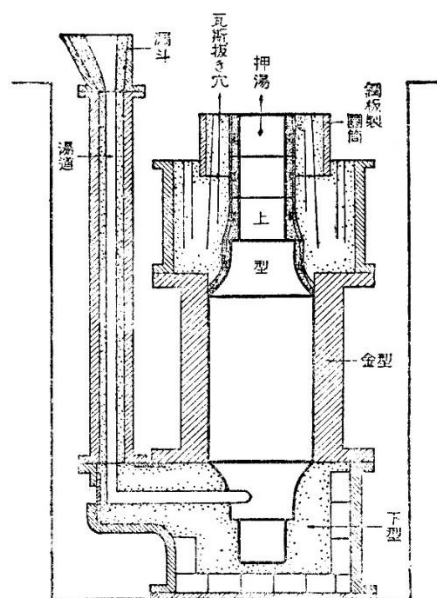
図 53 クラッチ部の造形(定盤上に木型と芯金)



谷口『チルド鑄物』16頁，第12，13圖。

チルドロール用鑄型の組立状況は図54に示される。湯口の内径についてはロールのサイズに応じて大形120mm，中形100mm，小形60mmという社内規程があった。その高さについては押湯の上端より200~300mm高くするよう求められていた。その造型は大きな湯口は左右の半割り型を掻き型にて別個に作成し，黒味塗布の後，ボルトを以て結合する方式により，小形のそれは左右の金枠を結合したまま込め型により製作し，木型を抜いてから内部に黒味を流した。出来上がった各部鑄型は鑄込みの前日，乾燥炉にて乾燥された。

図54 チルドロール用鑄型の組立状況



谷口『チルド鑄物』17頁，第14圖。

湯道とあるところは通則に従う限り湯口である<sup>89</sup>。

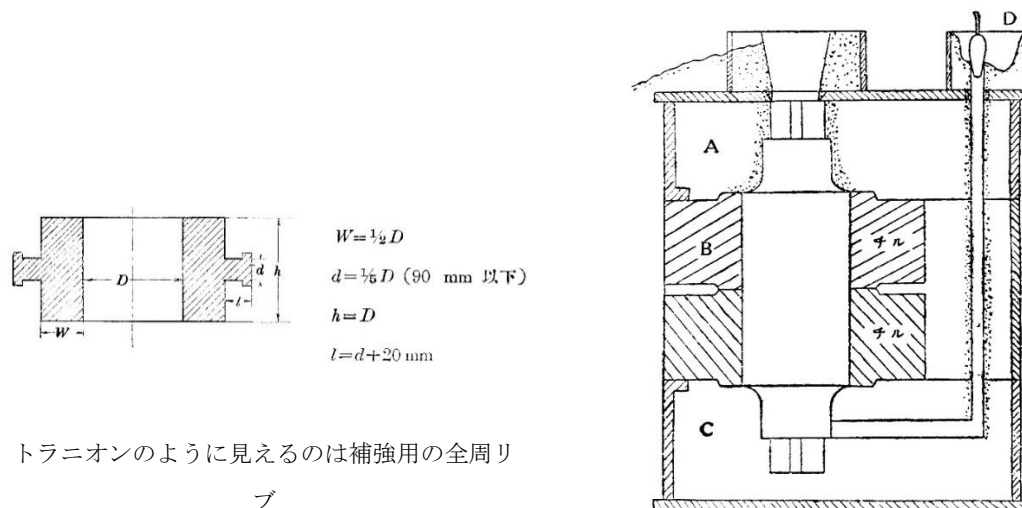
<sup>89</sup> 橋本『鋼材壓延法』121頁，第86圖も本図と同様のもので，「湯道」との表記となっている。

鑄込み当日の朝，乾燥炉から取り出された熱いままの各部鑄型を以て型合せが行われた。金型内のリング上に上型ジャーナル部，クラッチ部，押湯部の鑄型を載せ，金型と鑄型とのすき間に荒土を詰めて搗き固め，金型の上に鑄物製の鑄枠を載せ，型とのすき間を荒土で搗き固め，押湯部の造型のために鋼板製円筒を継ぎ足し，ここにも荒土を充填した後，所々に針金を突き刺してガス抜き孔が明けられた。

金型の下からリングを撤去し，ジャーナル部と金型との接合部を黒味でコーキングし，湯口を立てた下型の上に上型と一体化された金型を，湯口の上には漏斗(受口ないし湯溜)をそれぞれ載せてボルトオンすれば型合せは完了する。型合せはワークが小さければ床上にて，大きければ図 51 のようにピット内で行われた。

なお，八幡製鐵所における処方とは異なり，2 段以上に分割された金型の使用を示す図が残されているので，これを図 55 として引いておく。金型を多段化するのは破損に対する危険分散策であった。その合せ面は素のリング端面ではなく，ワーク側に接触圧を高めるための縁が設けられていた。製造本数が少ない工場での鑄造事案であったからなのか否か，バルブ付きの湯溜や砂型に直接造型された湯口など，あたかも日本海軍における潜水艦主機用鑄鋼製気筒の鑄造方案に近い湯口系となっていた状況が観取されるものの，川崎造船所にチルドロール鑄造実績を見出し得るのか否かについては不明である。

図 55 2 段金型を用いたチルドロール用鑄型の組立状況



トラニオンのように見えるのは補強用の全周リ

ブ

谷山『鐵及び鋼鑄物』559 頁，第 423，424 圖。

鑄込みは組み立てられた型の金型の温度が 60~70°C に降下するのを待って行われた。注湯は湯がジャーナル部を満たす頃までは徐々に進められ，以後は接線湯道による溶湯の旋回速度が毎秒 1~2 回となるようなペースに引上げられた。序盤は湯が飛沫となって金型内

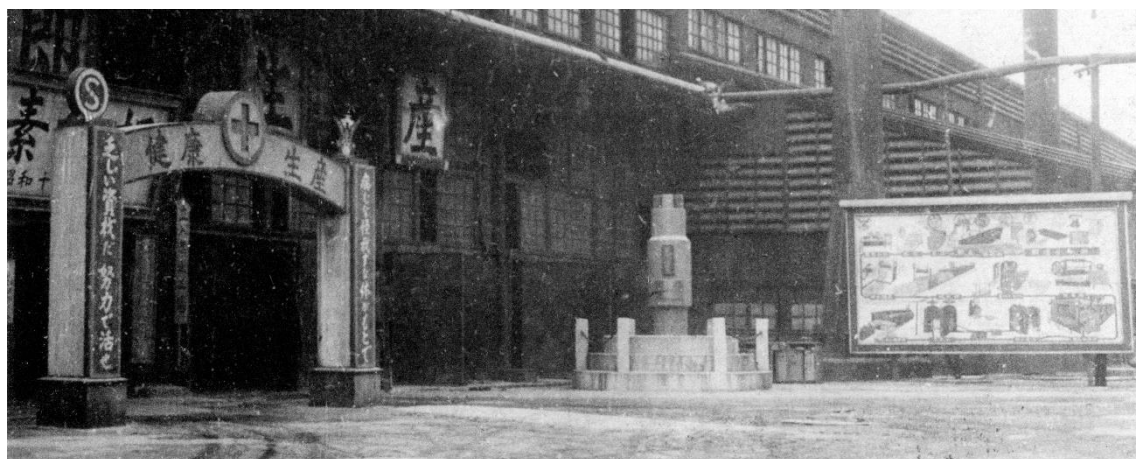
面に付着し、成品粗形材の肌を荒れさせるのを防ぐ必要からの、中盤以降は湯の旋回により不純物を旋回する渦の中心付近に集めた状態で湯面を上昇させ、成品の表面から遠ざける意図ゆえの措置であった。

湯がクラッチの頂部に達すれば注湯を止め、漏斗は土で塞がれた。押湯部には木炭と藁灰を投入して温度低下を抑止しながら適宜、数回にわたって押湯が注がれた。このようにする方が安全・確実に押湯を確実に型の限界まで高めてやれたからであろう。

鑄込みが終れば翌日まで放置し、それから型バラシ、砂落しに入る。金型はクレーンで吊り上げる。成品粗形材の胴、つまり金型部はこの時、特に仕上は要しない。砂落しに当っては上型部のリングを棄損させぬよう注意する。湯道はクレーンで吊られた破碎用鉄球を撃ち当てて折り取られた。取出された成品粗形材は旋削により所定寸法に加工され、続いて研削盤仕上げされた。表 6 掲示の例では、この時に 1 チャージから 4 本吹かれたロールの平均表面硬度はショア 65.45 であったと記されている。

図 56 は戦後、撮影された情景ながら、八幡製鐵所 珪素鋼板工場の入口に祀られていたのはかような工程を経て完成されたチルドロールである。

図 56 八幡製鐵所 珪素鋼板工場の入口に祀られていたチルドロール



『八幡製鐵所五十周年記念 鋼材部薄板課寫真帳』より。

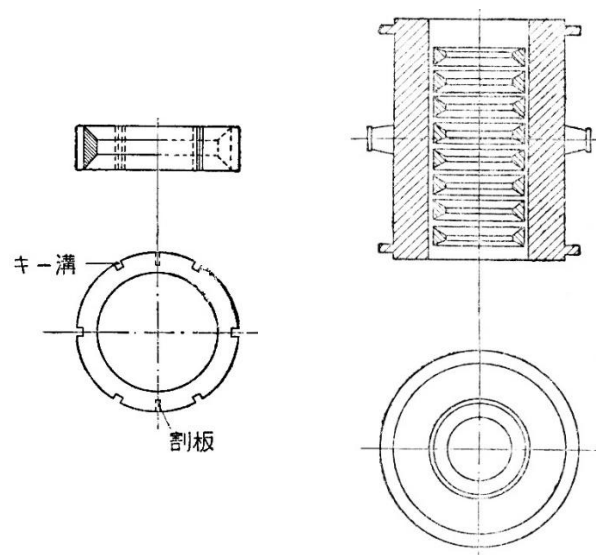
セミチルドロールを作るにはその内面全周に 15mm 間隔で幅 8mm、深さ 15mm の縦溝が彫られた金型を用意しておき、金型の溝底に 10 番線の太い針金を通してこれを鑄物砂で埋込んだ上、引き続き内面全周を砂の層で覆って行く。これをある程度乾燥させた後、針金を引き抜き(針金を抜いた孔はガス抜きとなる)、型の両端にゲージを当てて廻し型の要領で内面に貼り付いた砂の層を適当な厚さまで削ぎ落とす。その表面に黒味を塗布して乾燥炉に装入すればセミチルドロール用“金型”の完成である<sup>90</sup>。

<sup>90</sup> 橋本『鋼材壓延法』117~118 頁にも同様のことが図(第 85 圖)とともに記述されている。

砂の層が 5mm 程度なら標準的なセミチルドロールを、これを薄くするほどチルドロールに近い成品を、厚くするほど表面の軟らかいそれを吹くことが可能となる。薄板用荒ロールなどはこのようにして鑄造されたセミチルドロールである。チルの均等性においては直<sup>じか</sup>の金型鑄造よりもこちらの方が優れており、当然ながら金型の寿命に関してはこちらの方が遥かに長くなる。なお、表 6 の装入原料にその名を連ねているサンドロールとは金型なしで普通に砂型鑄造されたそれを指す。

孔型チルドロールは当初、平滑ロールを旋削して造られていたが、肝心の場所からチル層を除去してしまうのは面白くないため、金型内にロール溝に対応する断面とキー溝を持つリング状の金型を木製楔にて固着させる方が案出された。木製楔は溶湯の凝固が終わる頃には燃え尽きてリングは金型と分離されており、型バラシに際しては割溝から割って除去された(図 57)。この種の孔型チルドロールは条鋼圧延などにも一部、使用されていた。

図 57 孔型チルドロール鑄造用金型、リングとその使用状況



谷口『チルド鑄物』20頁，第19，20圖。

割板というのはこの割溝に鋼板を挿し、こじ割るとでもいう意図か？

なお、谷口の主たる研究テーマであり、彼がもっぱら八幡製鐵所ロール課 堂山鑄造工場 で吹かせていた合金チルドロールはなぜかブリキ工場の冷板ロールと第二薄板工場の冷板ロール、つまり冷延用 2 重ロール機にばかり使用された。そして、八幡製鐵所の冷延用ロールは遂には谷口の合金チルドロールに帰一せしめられるに至った。それらの胴部は平滑に仕上げられて美しい光沢を放ち、その平均表面硬度はショア 90~91 に達していた。もちろん、製出される鋼板にはこのロール面の優良性が転写されていた。

しかし、Mo 0.27% 添加チルドロールについては先に須永による紹介を参照し得たものの、この種の Ni, Cr 添加合金チルドロールが熱延ロールとして用いられたとする記述はどこに

も見出されない。また、戦時体制への傾斜の中、「以上なる至硬の値……を得んが爲には是非共上記至硬成分範囲のニッケル・クロム量【Ni:  $\geq 3.50\%$ , Cr:  $\geq 0.43\%$ : 引用者補】によらざるべからざるを明らかにせり」と強調されたような資源配分を熱延ロールにまで及ぼす余地は急速に失われて行ったと了解して大過ない。よって、谷口には申し訳ないが、プルオーバー・ミルに御縁のなかった合金チルドロールについての紹介はここでは割愛せざるを得ない。

## 5) ロールネック軸受

プルオーバー・ミル用チルドロールの技術的内容はプルオーバー・ミルの時代を通じて特段、変化しなかった。これと類似の経過を辿ったのがロールネック軸受である。広くロールネック軸受一般について観れば、古くはこれに木材が用いられる例もあった。樹種はリグナムバイタと呼ばれ、比重が 1 より大きく材は緻密で自己潤滑性に富み、含油軸受用として好適な南洋材であったが、乱伐により稀少種化した。また、ホワイトメタルやその一種であるバビットメタルが用いられる場合もあった。薄板熱間圧延用ロールネック軸受の分野においてより高い負荷容量と耐熱性とを有する軸受材料として砲金が選好されるようになっていた点については覗いて来たとおりである。

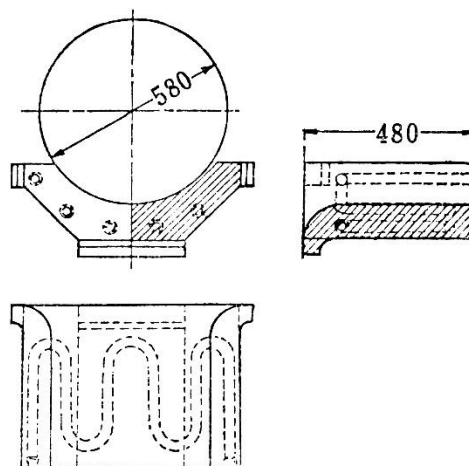
もとより、軸受の摩擦損失など小さいに越したことはないが、プルオーバー・ミルにおいては圧延速度が遅く、圧下率は高い。したがって、ロールネック軸受の摩擦抵抗はその真逆の条件下で作動するストリップミルにおけるほど重大な問題とはならなかった。以下、「ガタガタに摩耗した軸受メタルに真黒にグリースを塗り付け、それに水をそそいでいる旧式のプルオーバーミルの」「原始的なロールネック軸受」であった開放型金属軸受についての検討から始めよう<sup>91</sup>。

薄板仕上げ圧延用プルオーバー・ミルのチルドロールは約 400°C になんなんとする温度で稼動せしめられていたため、軸受部も 200~300°C の高温となった。しかも、ロールネック部の熱膨張による増径を考慮して軸受の包括角度は大きく採られ得なかったため、その軸受面圧は 200~400kg/cm<sup>2</sup> に達していた。かように過酷な使用条件に対しては砲金、青銅の類で造られた開放型以外の軸受では到底、使用に耐えなかったのである。

この軸受は上または下と左右という 3 つのセグメントに分割され、スタンドに直接取り付けられた。内部に冷却管を鑄込み、ネックの熱膨張を抑えつつ、やや大きめの包括角度を設定しようとするメタルも存在したが、これはどちらかと言えば少数派であった(図 58)。

図 58 冷却管鑄込み型ロールネック・メタルの一例

<sup>91</sup> 以下、主として軸受・潤滑便覧編集委員会『軸受・潤滑便覧』日刊工業新聞社、1961年、687~689 頁による。



『軸受・潤滑便覧』688頁，図11・3.

ホットネック・グリースを適宜，投入して潤滑されるプルオーバー・ミルのロールネック軸受の寿命は3~4週間，圧延トン数にして2000~3000トンと見込まれていた．同じ2重ロール機でも冷延用や軸受を常時，積極的に水冷却する分塊圧延機や厚板圧延機のロールネック軸受には砲金のみならずホワイトメタルに砲金のグリッドを鑄込んだメタルや砲金とホワイトメタルとの組合せメタルも使用されていたが，熱延用プルオーバー・ミルに関する限り，耐熱性・耐圧性に劣るホワイトメタルは使用され得なかった．

この間，1909年にデビューしたのがL.,H., Baekeland(ベルギー→米：1863~1944[綴りはこれが正しい])の発明になり，彼の名にちなんでBakeliteと命名された世界初の実用的合成樹脂である．フェノール樹脂の一つであるベークライトはフェノール類とフォルムアルデヒドとの縮合反応により生ずる熱硬化性樹脂で，そのオイルレス・ベアリングとしての使用は'28年にアメリカにて始まり，ロールネック軸受としての採用はやや遅れてドイツにて開始され，寿命約10倍，動力消費約 $\frac{1}{2}$ というその良好な成績ゆえに圧延工場の80%に水潤滑のベークライト軸受が普及した．'30年代のアメリカにおいても同様の普及が観察されている<sup>92</sup>．

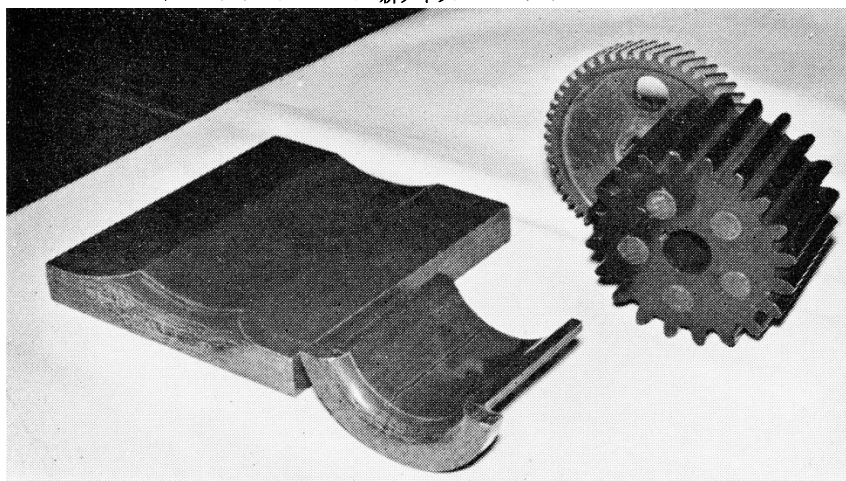
ベークライトの製造は石炭酸ないしクレゾールとフォルマリンにアルカリを加えた水溶液とを原料とし，これを約90°Cに加熱し縮合させて行われる．その途中，油状になったところに帆布，アスベスト布，グラスファイバー布などを浸漬し，これを積層して加熱・加圧したものは積層ベークライト，縮合が進んで固まってから粉末化し，充填物と混合，加熱・

<sup>92</sup> 以下，櫻井高景『合成樹脂』岩波講座機械工学 III 機械材料，1942年，3~5頁，古郡哲郎(住友ベークライト調査部)「フェノール樹脂」『図説 日本産業大系 第4巻 化学薬品 窯業品』1960年，所収，東邦彦「合成樹脂軸受について」マシナリー編集部『軸受』小峰工業出版，1964年，所収，川崎景民『オイルレスベアリング』アグネ，1973年，16~18頁，参照．Baekelandは親友となった高峰讓吉にわが国における彼の特許の実施許可を与え，早くも1911年には三共合資会社品川工場ではベークライトの試作が始まり，'14年には製品販売に至った．これが住友ベークライト(株)の淵源をなす．

加圧成形したものは造型ベークライトと呼ばれ、その成形温度・圧力は一般に 140~160℃、140~200kg/cm<sup>2</sup>程度とされる<sup>93</sup>。

ベークライトが軸受材料として用いられる場合、必要に応じて黒鉛や二硫化モリブデンといった固体潤滑剤が配合される。また、ベークライトが<sup>オイルレスベアリング</sup>含油軸受として成形される際には繊維成分、黒鉛、パラフィンなどとともにその粉末を加熱・加圧成形した後、加熱油中に浸漬する。ロールネック軸受は一時期、無音歯車などとともに積層ベークライト製品の代表格をなすことになる(図 59)。

図 59 ベークライト製の軸受(旧タイプ/新タイプ)と無音歯車



古郡「フェノール樹脂」より。

八幡製鐵所研究所においては 1927 年頃よりクレゾールとホルマリンを原料とするベークライト軸受の研究に着手、小形線材工場のロールネック軸受を諸種、試作の後、'34 年 3 月より工作課にて製作する運びとなり、翌年 9 月、ブリキ工場冷延ロールのネック軸受としての使用開始に漕ぎ着けた。そして、日鐵ではこの軸受材料にニッテツのベークライトの謂いと思しき“ニツテライト”という名を与えた<sup>94</sup>。

'37 年 4 月には八幡製鐵所戸畑修繕工場内にこの種の軸受製作工場を新設し、日産 3 個体制が敷かれた。同年 7 月、日華事変が勃発すると圧延業務繁忙の中、金属材料入手難となり、ベークライト軸受増産の方向性が決定され、日産 16 個体制が構築された。その結果、'39 年

<sup>93</sup> 石炭酸は 1834 年ドイツで石炭タール中から発見された後、'41 年にその組成が解明され、消毒薬として医療現場を革新し、さらに世紀末に至ってはそのニトロ化合物であるピクリン酸が火薬原料として脚光を浴びた重要な化学薬品である。三井化学工業技術部「フェノール(硫酸化法)『図説 日本産業大系 第 4 巻 化学品薬品 窯業品』所収、参照。

<sup>94</sup> ベークライト軸受に係わる八幡製鐵所での事蹟については内川 悟「ロール用合成樹脂軸受に就て」『鐵と鋼』第 26 年 第 7 号、1940 年(1939 年 9 月に催された日本鐵鋼協會 第 22 回公演大會での講演)、参照。この論文も J-Stage にて全文閲覧可能である。なお、原料としてクレゾールを用いることでより効率的な工程が得られたとする内川の主張は部分的真理に属すると想われる。



9月時点において大形ロール、中形ロール、小形ロール、連続ロール、冷板ロールなど、11工場でそれが使用され、「薄板用熱間ロールを除き全ロール機に使用予定にて製作中」……つまりプルオーバー・ミルは唯一の除外対象となっていた。

ベークライト軸受にはある範囲までは軸受周速および荷重を増すほどにその摩擦係数が低減して行くという麗しい性質がある。また、その熱伝導率の低さゆえに、潤滑剤としては水ないし少量の油を混ぜた冷却機能重視のそれが好適で、大量の水を用いればその負荷容量はさらなる向上を示し、ホワイトメタルのそれに匹敵する。固体潤滑剤の添加や軸受面の鏡面研磨はこの特性を一層、助長させた。

ベークライト軸受の摩擦係数は 0.008 以下であり、消費動力の節減率は 20~25%、時に 79%(八幡製鐵所第一鉄力工場冷板ロール機)などという値に及んだ。この動力節約はロール機の圧下率や同時圧延本数のアップへと繋がったため、その生産能率は著しく向上した。ベークライト軸受の摩耗は少なく耐久力はホワイトメタルの 4 倍、砲金メタルの 3 倍に達した。その上、水潤滑は経済的であったし、グリースの噛み込みによるロールやワークの表面疵発生が根絶されたためロールの削正回数が削減され、応分、成品の表面光沢は改善された。ホットネック・グリースとスケールとが混合し、溝に落ちて固まった廃棄物は「圧延工場の癌」などとして嫌われてきたが、その発生も止んだ<sup>95</sup>。

内川は：

……今後一層我々は製作並に使用に<sup>【1】</sup>倦まざる努力を致し可及的速に各種ロール機的全軸受をニツテライト化し以て 1 吨たりとも多量に 1 錢たりとも安價に良質鋼材を製作し……<sup>96</sup>

と力説したものである。もっとも、「全軸受」にプルオーバー・ミルのそれが込められていたのか否かについては何の確証もない。

圧延機軸受としてのベークライト軸受の使用は当初、開放型金属軸受の直接代替品として図 59・旧タイプのごとき形態を以て始められた。しかし、ベークライトの熱伝導率は砲金のそれに比して  $1/400 \sim 1/500$  と極めて低く、摺動面から熱を逃しにくい厚肉構造は本質的に不利をかこつため、図 59・新タイプに観られるような薄肉化が志向された。また、戦後はスラスト受けとして別途、ころがり軸受を併設する使用形態も現れた。そして 1960 年頃には「分塊圧延機のネック軸受をとって見ると、現在わが国で稼働中の 14 基の内、13 基までは合成樹脂軸受を使用しており、パーミルの分野においても<sup>【55】</sup>略同様の状況と推察される」と表現されるほどの事態まで現出した<sup>97</sup>。

けれども、熱間圧延を行うプルオーバー・ミルにおいてはロール温度が総じて高く、仕上げロール機においてはとりわけ高温であったため、戦後になってもそのロールネック軸受にベークライト軸受が採用されるには至らなかった。アスベストを基材とするベークライ

<sup>95</sup> 内川「ロール用合成樹脂軸受に就て」、参照。

<sup>96</sup> 内川「ロール用合成樹脂軸受に就て」より。

<sup>97</sup> 引用は『軸受・潤滑便覧』689 頁、より。

トに耐熱添加材を入れ、300°Cで熱処理した軸受を高温グリースで潤滑する装置実験では230°Cまでなら十分、耐えられ、270°Cになって軸受内面が焦げても暫くは機能すると確認されている。もちろん、その程度ではプルオーバー・ミルのロールネック軸受としての合格水準には程遠かった。

他方、軸受界においては1920年代末期よりころがり軸受の適用範囲拡大が顕著となって来ており、Fischer(独)、Timken(米)、SKF(Swed.)の製品がロールネック軸受として使用され始めていた。その最大の短所は日本で使うには高価に過ぎる点であった<sup>98</sup>。

そうした中にあっても極度の衝撃荷重に曝される分塊圧延機フィードローラを支えるロールネック軸受としては耐衝撃性に優れたたわみコロ軸受が理想的なのではないか、とする意見が一部に根強かった。日本精工(株)により肌焼鋼製中実円筒コロ軸受がロールネック軸受として最適である事実が発見されたのは1958年である。とまれ、高価であったころがり軸受を、あるいは特にたわみコロ軸受をプルオーバー・ミルのロールネック軸受として指名しようなどという奇案が唱えられなかった点だけは幸いである<sup>99</sup>。

やがて、ロールネック軸受の遣い分けとしては低速(低周速)部位に黄銅、砲金ないし合成樹脂製のすべり軸受、高速(高周速)部位にはころがり軸受および油膜型すべり軸受という処方が一般化して行った。即ち、圧延速度が100km/hを超えるストリップミルにおいては高回転に耐える軸受が不可欠となる。同時に、その1段当り圧下率は小さいため、軸受の摩擦抵抗が圧延抵抗中に占める割合はプルオーバー・ミルにおけるよりも大となる。このため、ストリップミルのロールネック軸受は時とともに動定格荷重において優るころがり軸受と高速性に優る油膜型すべり軸受とにほぼ帰一したワケである<sup>100</sup>。

油膜型すべり軸受とは流体力学的理論に依拠して設計された平軸受の謂いで、システムティックな給油装置と厳格に管理された潤滑油とを必要とする。MORGAN, MESTA, SCHLÖMANN, DEMAG など圧延機メーカー各社がこれを開発したが、Morgan Construction Co.(米)のMORGOIL軸受が最も広く使用されている。これは超仕上げを施された軸とCdを主体とする軸受合金とをファインチューニングしたすべり軸受である<sup>101</sup>。

<sup>98</sup> 橋本『鋼材圧延法』583頁、第439圖はころがり軸受(単列円筒コロ軸受×2+単列スラスト玉軸受)の帯鋼仕上げロールのネック軸受としての採用例となっている。

<sup>99</sup> 日本精工(株)『日本精工五十年史』1967年、315~317、356~362頁、拙稿「鉄道車輛用ころがり軸受と台車の戦前・戦後史」(→IRDB)、拙著、『鉄道車輛工業と自動車工業』日本経済評論社、2005年、第6章、参照。

<sup>100</sup> ただし、ニッテライト軸受は現在でも福岡市のリックス株式会社によって製造販売されている。工作機械のみならず、“軸受にも良否なし、適否あるのみ”なのであろう。

[https://www.rlx.co.jp/product/category/resin/nitte\\_light](https://www.rlx.co.jp/product/category/resin/nitte_light)

<sup>101</sup> 「モーゴイル軸受とその加工法」マシナリー編集部『マシナリー文献集19 軸受』小峰工業出版、1951年、所収。この書籍は工業技術協会編『ベアリング』として同じ出版社から'53年に再刊されている。MORGOIL軸受の給油システムについては『軸受・潤滑便覧』487頁、図1・33、700頁、図11・27、参照(もっとも、この2つは全く同一の図である)。

この油膜型すべり軸受には複雑高度な強制循環給油システムが不可欠であるが、バックアップロール用軸受の例として最大 2500m/min(150km/h !!)という高い圧延速度を許容し、かつ、その実績を通じて 50 年もの長寿命が証明されている。

現在、ストリップミルの 4 重ロール機において直接ワークに触れるワークロールのネック軸受としてはラジアル/スラスト両荷重に耐える 4 列円すいコロ軸受、特に近年は取扱い簡便な密封型のそれが、ワークロールを背後から支え圧延荷重を負担するバックアップロールのネック軸受としてはコールド・ストリップミルにおいては従前の油膜軸受+スラスト用複列円すいコロ軸受に代って寿命が 3.5 年程度と短く高速性にも劣るとは言え潤滑系統が著しくシンプルな 4 列円筒コロ軸受、スラスト受け用複列円すいコロ軸受、位置決め用深溝玉軸受の組合せが多用されるようになっており、空転時の抵抗を削減するため、この種の軸受にはオイルミスト潤滑が採用されている。ホットストリップミルのバックアップロールのネック軸受としては相変わらず高速性に優れた油膜軸受がスラスト受けとしての複列円すいコロ軸受を従え、複雑な潤滑系統によって護られながら汎用されている<sup>102</sup>。

#### 4. 戦前戦時期の川崎造船所における薄板圧延技術体系

##### 1) 薄板圧延

㈱川崎造船所は 1918 年 9 月、その製鋼ならびに厚板製造工場を神戸市内に葺合工場として竣工させ、その操業開始によって八幡製鐵所のライバルとして名乗りを挙げた。第一回薄板工場の竣工と操業開始は'24 年 6 月であったが、当初からトタン板、同波板は製造されていたようである。翌年には第二擴張薄板工場、さらに翌年には第三擴張薄板工場が完成する。それら 3 工場は'28 年 12 月、第一薄板工場と命名され、'28 年 12 月完成の第四擴張薄板工場は直ちに第二薄板工場と号された。'29 年 5 月にはシートバー・ミルの操業が開始されている。同年 8 月より葺合工場は川崎造船所製板工場と改称された。

'31 年 4 月には薄板工場に Aschenbach Buschhütten の 3 重冷延ロール機が導入されて特優鋼板の圧延が始まり、'32 年 5 月には既往の平炉に加え、電気炉が導入された。'33 年 9 月には Demag の 4 重冷延ロール機が導入されている。珪素鋼板の製造は'33 年 5 月より着手されており、メッキ工場の竣工によりブリキ板の製造が開始されたのは'35 年 8 月であった<sup>103</sup>。

<sup>102</sup> ストリップミルの各種ロールネック軸受に関しては中山「圧延機」、『軸受・潤滑便覧』487~489, 692~701 頁, 日本潤滑学会編『改訂版 潤滑ハンドブック』養賢堂, 1987 年, 1002~1009 頁, 日本トライボロジー学会編『トライボロジー ハンドブック』養賢堂, 2001 年, 169 頁, 参照。

<sup>103</sup> 以上、川崎造船所における製板関連の沿革については『株式会社 川崎造船所製板工場』1936 年、冒頭の「沿革」および㈱川崎造船所『葺合工場内新設薄板工場及製品・兵庫飛行機工場 **ドルニエ**川崎型金属飛行機 繪はがき』(10 枚物: 1924 年?)による。

図 60 は 1934 年の作と思しき川崎造船所製鉄工場の広告チラシであり、そのサイズは B4 版より縦横とも 1cm 程度大きい。現物は黒、赤、緑、ピンクの 4 色印刷になっており、そこには新技術の導入と軍需、官需、民需の順に川崎の製品の存在感が謳われている。

図 60 1934 年の川崎造船所製鉄工場、広告チラシ

とは言え、薄鋼板業界は当時、国内メーカー乱立の様相を呈していた。これは鉄鋼二次製品の中でも、鋳鉄ほどではないにせよ、圧延機がシンプルであり、ロールも平滑ロールさえ用意しておけば事足りる薄板圧延は相対的に小さな投資規模を以て参入可能であったためである。八幡製鐵所の平世など：

薄板は競争激甚なる爲商略上、種々規定の厚さより薄手に製造の傾向を見、製品の聲價を失墜して國家的にも多大なる損失を蒙る爲、商工省に於て目下其の規格統一單純化を実施せられんとするは慶賀すべき事にして、……104.

とまで語っていたほどである。

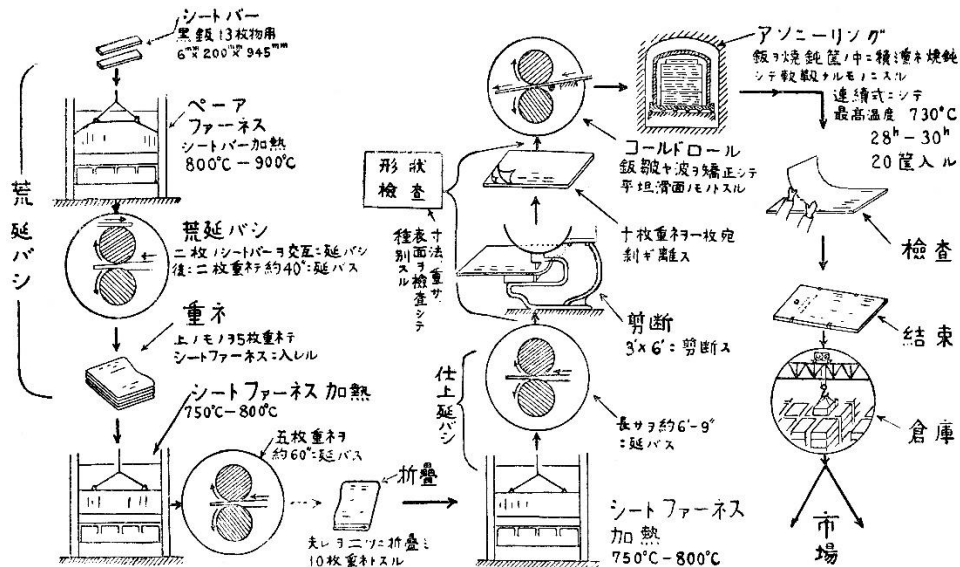
この過当競争的状况の中、わが国では唯一社、1 回折り畳み法による薄鋼板密着圧延を事業化していたのがほかならぬ川崎造船所である<sup>105</sup>。

104 平世『薄板(壓延法)』57 頁、より。

105 平世『薄板(壓延法)』24 頁、参照。

もっとも、同社内部資料などに拠るその委細復元は今のところ不可能である。そこで先ず、一般工学書より、ほぼこれを実体図化したとみなし得る画像を掲げておこう(図 61)。製品はお馴染みの“13 枚物”である。

図 61 川崎造船所 葺合工場における薄板圧延工程(その 1)



山ノ内『壓延・引抜及搾出し加工法』61頁，第69圖。

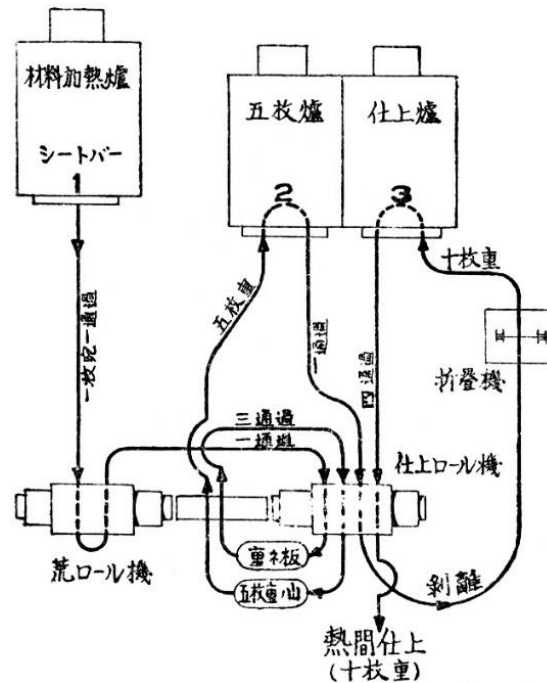
同じ“13 枚物”の圧延でも 1 回折り畳み法において使用されるシートバーは 2 回折り畳み法による八幡製鐵所の 9.6 ないし 11.9mm よりずっと薄く、5.9mm(ないし 6mm)となっていた点に注目したい。薄いシートバーは著しく高コストにつくという平世の言が想起されるどころである<sup>106</sup>。

なお、山ノ内は『壓延・引抜及搾出し加工法』の本文該当箇所においては八幡製鐵所その他におけるような 2 回折り畳み方式について語っておりながら、なぜか、これに対応すべき図解として川崎造船所でしか行われていなかった 1 回折り畳み式を表すこの図のみを掲げている。そして、この書物には川崎造船所関連の事蹟が断りなしに多数、紹介されている。

続いて、工程図解として見栄え重視となりがちな実体図ではなく、ヨリ精確と思しき平世の線図を引用しておく(図 62)。材料加熱炉から 1 枚ずつ取出されたシートバーは荒ロール機にて 1 回圧延された後、仕上げロール機を 1 回通した上で 2 枚重ねにされ、さらに仕上げロール機で 3 回圧延される。この 2 枚重ねをストックして 5 枚重ねを作り(Matching)、5 枚炉で加熱した後、仕上げロール機を 1 回通したものを 1 枚ずつに剥離し、表面酸化を促してからただ 1 回、折り畳み機により 2 つ折りとして 10 枚重ねにする。これを仕上炉で加熱し、仕上げ圧延を行う。熱間圧延終了時のワークは 10 枚重ねとなっている。

<sup>106</sup> 平世『薄板(壓延法)』25~26 頁，参照。後述のとおり、6mm 厚のシートバーが用いられる場合もあった。

図 62 川崎造船所 葺合工場における薄板圧延工程(その 2)



平世『薄板(壓延法)』24頁，第16圖。

ここでも最後の「熱間仕上」は熱間仕上りの謂いである。

10枚、時として12枚重ねとしたのは1本圧下スクルー式のプルオーバー・ミルにおいては2本式に比べて締切りが甘かったからである。また、薄いシートバーの高コストとならんで平世が嫌ったのは5枚重ね Matching の際の手待ちやその作業自体の煩雑さであった<sup>107</sup>。

ここで問題とされるべきは——折り畳み機が折り畳みせん断機であったか否かにも多少係わる点とはなるが——剥離と折畳みの後、折り目が果してどこで切断されていたのか、である。山之内の実体図(図61)の説明ではあたかも5枚重ねのワークが折り畳み機で丸ごと2つ折りにされたかのように、つまり折畳まれたワークは週刊誌綴じまがいの姿となったかのように読める。これでは密着圧延法の要諦をなす仕上げ炉での両面酸化を第1段階とする2段階加熱は不如意となる。

よって、かような折り方がされていたとは考え難いのである。平世の図(図62)では5枚重ねは1回パスの後、剥離→折畳→仕上げ加熱と進むから、折り畳みの延長として折り目の切落しさえなされておれば、仕上げ加熱は自ずと2段階で実行可能となる。週刊誌綴じとなる件について心配する謂れもなくなる。

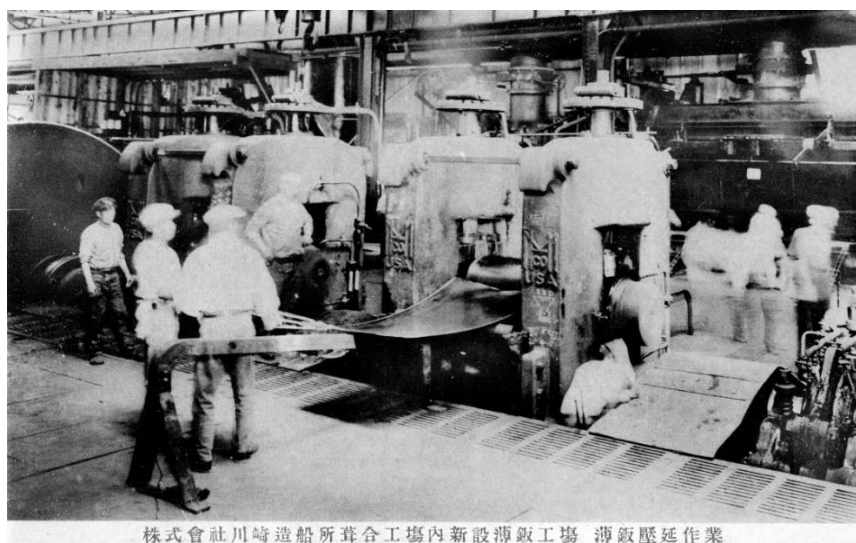
<sup>107</sup> 平世『薄板(壓延法)』26頁，参照。

仕上げ圧延の後にせん断機が控えており、そこで初めて折り目が切落され、その後で剥離が行われていたとすれば、「最後に折り目を切断して、板を1枚ずつ、はぎ離してつくられて……」なる小林の言にも強<sup>あなが</sup>ち誤りではなかったと判定され得る余地が残されていたことになる。この場合、折り目は圧延条件の左右不均等化や折り目圧延時に中板のどれかを Backward slip させる危険を回避し、かつ、圧延衝撃を無駄に大きくせぬようワークの尾部側にセットされるといった推定にでもなるか？

しかしながら、仮令<sup>たとひ</sup>、かような空想が正しかったとしても、この1回折り畳み法を実施していたのが独り川崎造船所薄板工場のみであった事実に鑑みる限り、小林の件<sup>くだり</sup>が2回折り畳み法を主流とした本邦薄板重ね圧延業界総体の技術を素直に反映した内容となっていないという結論だけは土台、不可避となるワケである。

1924年、葺合薄板工場操業開始当時の状況は図63によって偲ばれる。浅いピット内に据付けられたプルオーバー・ミルは片翼2基で、いずれもアメリカ製の圧下スクリー1本型であった。それゆえ、荒と仕上げとの判別は困難である。ピット内に横たわる駆動軸の端にはドラッグロールが確認され、他端、つまりその中央部には古式ゆかしい大径のフライホイールが構えていた。

図 63 1924年頃の川崎造船所薄板工場におけるプルオーバー・ミルと圧延工たち



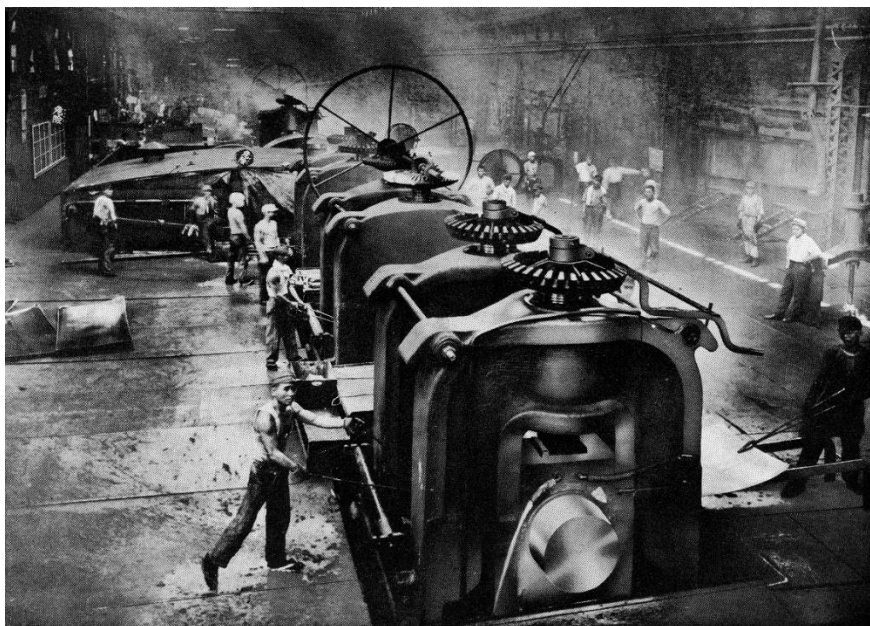
『葺合工場内新設薄板工場及製品・兵庫飛行機工場ドルニエ川崎型金属飛行機 繪はがき』より。

右側のプルオーバー・ミル後面では捕手と呼ばれた圧延労働者が板をローラーで支えながらその尾部を上ロールに載せ、前面噛み込み側へとまさに押し返そうとしている。

図64は1935年頃の第一薄板工場における薄板圧延風景である。手前が荒ロール機、奥が仕上げロール機で、その奥にも荒ロール機を配する片翼3基構成が採られていた。向って左、捕手の構える側がミルの後面側に当る。巨大なフライホイールは姿を消しており、近

代化の進捗が窺われる。減速装置を含むパワーユニットはエンクローズされている。エンクロージャには恐らく除塵機能を有する外気との強制換気装置が設備され、その内部には冷却性に優る開放通風型電動機が据付られていたのであろう。かような方式には電動機のみならず歯車の持ちに関しても分があったと考えられる<sup>108</sup>。

図 64 1935 年頃の第一薄板工場における薄板圧延風景



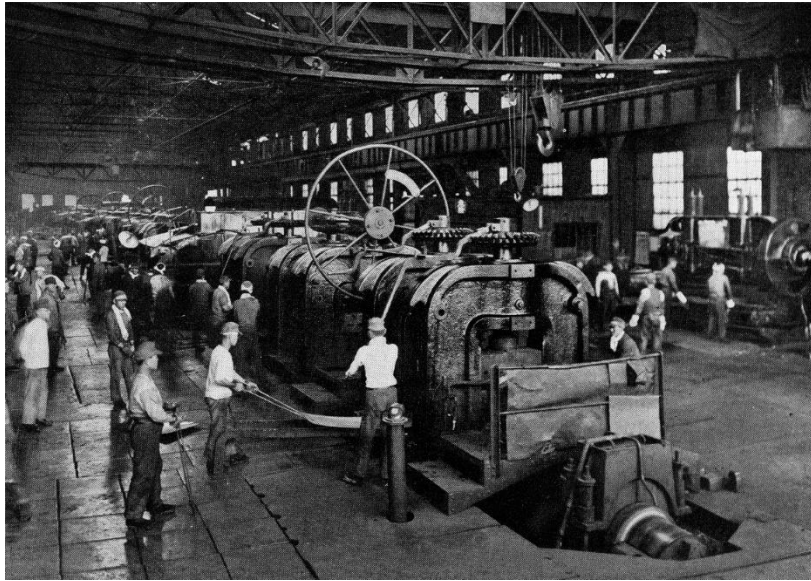
『株式会社 川崎造船所製鉄工場』より。

図 65 は同じ頃の第二薄板工場における薄板圧延風景である。片翼は手前から荒ロール機、仕上げロール機、荒ロール機の 3 基構成となっている。向って左、圧下手の守備位置がミルの前面側である。右手奥にはギロチン式せん断機が望遠される。川崎造船所のプルオーバー・ミルはこの通り、1 本圧下スクリュウ型に統一されていた。

図 65 1935 年頃の第二薄板工場における薄板圧延風景

<sup>108</sup> 逞しい労働者たちを活写したこの画像は絵葉書にもなり、川崎造船所『川崎造船所四十年史』1936 年、152 頁、佐藤武典『各種標準規格鉄鋼材料 薄鋼板機械製法』中央工學會、1939 年、83 頁、第十五圖、川崎重工業(株)『川崎重工業株式会社社史』1959 年、本史、925 頁にも掲載された有名な作品である。ただし、『社史』に大正 15 年、とあるのは時代考証的に不適當である。なお、中央左後方の作業者がかざしている長柄の大団扇<sup>うちわ</sup>のようなモノに書かれていた文字は“危険”である。





『株式会社 川崎造船所製鉄工場』より。

なお、プルオーバー・ミルではないが、薄板の冷間仕上用 2 重ロール機は微妙な締め切り調節が可能な 2 本圧下スクリー式となっていた<sup>109</sup>。

当時の作業現場の環境と働く人々の気風について、かつて葺合工場検査課長であった小森富作は「厚板・薄板のことども」と題した文章の中で：

一般に製鉄は高温作業の個所が多いので辛抱強い人でないと勤まらない。炉内の修理などは、前の日まで操業した炉を球に冷やして、その中に入って行くので、アスベストの防止と衣服でも長くは我慢できない。工員の眉毛はいつも焼けていた。当時若い西山さん(現川鉄社長)は率先して炉の中へ入るので、何時も眉毛を焼かれていた<sup>110</sup>。と回想している。このような過度とも言える敢闘精神はかつて本邦産業技術界の至る所に横溢していた。

## 2) シートバー・ミル

シートバー・ミルはシートバー専用の圧延機を指す。ところが、わが国鉄鋼界の総本山であった八幡製鉄所におけるシートバー圧延はこの種の専用設備によってはいなかったようである。逆転式分塊圧延機での反復圧延と連続式圧延機での圧延によって 4 分ほどでチンバーを仕立てる処方については先に須永の書から紹介しておいたが、例えば、社史にも次のような記述が見出される。

<sup>109</sup> 『株式会社 川崎造船所製鉄工場』および『川崎造船所四十年史』151 頁、参照。

<sup>110</sup> 『川崎重工業株式会社社史』本史、924 頁、より。西山さんとは西山弥太郎(1893~1966)。

第2分塊、第3分塊及び第6分塊の3工場は連続ロールの工場でシートバー、小鋼片を製造し、各製品工場へとこれを供給するものである<sup>111</sup>。

これによっても、八幡製鐵所においてシートバーは分塊圧延工場から供給される成品つまり半製品の一つであったと判明する。

他方、同所条鋼工場の製品々目には鉄道軌条や型钢、棒鋼などとならんで最小断面 8×250mm、最大断面 14×250mm のシートバーが掲げられており、その仕上ロールにはチルドロールが使用されたなどというより具体的な記載もある<sup>112</sup>。

これは恐らく双方とも正しいのであって、鋼管以外は何でも製造していた銑鋼一貫の大工場にしてみれば、平鋼とも薄板用母板とも呼ばれたシートバーなど所詮は単なる半製品の形態に過ぎず、時々都合で手の空いている圧延機を用いて調達しさえすれば事足りたのである。

それでも、大きな分塊圧延機に小さなシートバーを延べるためのロールを組込んで操業させるのは不経済であるため、八幡でも次第に条鋼工場などの設備がこれに振当てられるようになったのであろう。1900年以降、アメリカにおいては小形鋼材需要の伸長を背景として連続ロール2群から成り、その下流にワークを動態で切断するフライングシャーを従えた連続鋼片ミルが盛んに用いられるようになっており、戦前期の八幡製鐵所においてもほぼ同様の設備が小形条鋼工場として整備されてはいたが、特にシートバー・ミルとして位置付けられる専用設備はなかったというのが実態なのであろう<sup>113</sup>。

そのような設備においても圧延ロールには圧下率の限界があるため、過大な圧下率はロール折損事故など、支障の誘因となる。よって、薄いシートバーを延べるには連続ロールの連数を増す必要があったと考えられる。薄いシートバー＝高コストという平世の弁はかような技術的脈絡の下で意味を持つワケである。

ところが、銑鋼一貫製鐵所でもなく、それほどの大工場でもなかった川崎造船所製板工場では事情が著しく異なっていた。再び小森富作「厚板・薄板のことども」から引けば：

葺合工場では薄板の材料であるシートバーが製造できなかったもので、厚板を適当に切って使っていた。しかしコストが高くつくので、小田切所長は平鋼工場を建設することに決心された。丁度その時は、昭和2年のパニックで川崎は未曾有の難局に立っていたので、実現は絶望となってきたが、松方社長は幹部技師の熱望ということを理由に銀行や大口債権者に何回も足を運び、折衝に努め、平鋼工場の誕生を見たのでした。これは松方社長の最後の功績であり、また感謝すべき大きい置土産でした。このことなくば、現在わが国最大の薄板メーカーである川鐵はなかったかも知れません<sup>114</sup>。

111 『八幡製鐵所五十年誌』109頁、より。

112 『八幡製鐵所五十年誌』118、121頁、参照。

113 中島『鋼材壓延』110~120頁、参照。

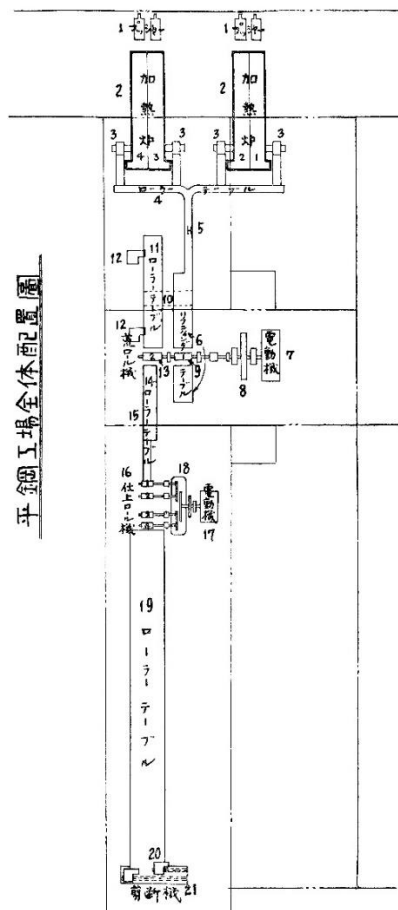
114 『川崎重工業株式會社社史』本史、923~924頁、より。

つまり、それは専用設備を以て量産されねばコスト的に引合わぬ薄板材料を供給するため、背伸びをしてでも整備されるべき固定資本なのであった。

この点を踏まえた上で、川崎造船所製鉄工場に導入され、1929年6月より操業に入ったシートバー・ミルについて、その概要を紹介して行く<sup>115</sup>。

回収熱交換器を備えた2列連続式鋼塊加熱炉2基はドイツ Ruppmann 社製で1931年7~8月に実測された炉床前部の平均温度は1413.03℃、抽出鋼塊温度は1174.33℃であった。燃料は撫順炭であったが、これを第二瓦斯工場で発生炉ガス化して使用された。圧延機および附属機械設備は Krupp Gurson Werke 製、電動機は Siemens Schukert Werke 製であった。図66にシートバー・ミル工場のレイアウトを示す。

図 66 平鋼工場の全体配置



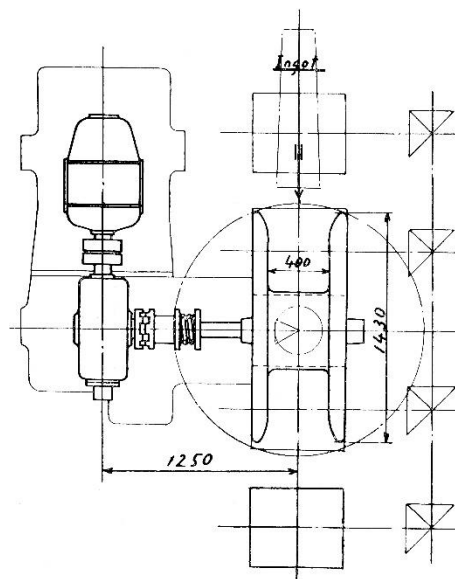
宗田・鈴木「『シートバー、ミル』ニ就テ」2頁, Fig.A.

<sup>115</sup> 以下については主として宗田太郎・鈴木虎喜「『シートバー、ミル』ニ就テ」川崎造船所製鉄工場、1931年9月、による。鈴木は加熱炉の、宗田(京都帝國大學卒)は圧延機の技術者であった。この報告書は彼らが1930年に催された日本鐵鋼協會第7回公演大會における発表内容をアップデートした上で印刷したもののようである。

本シートバー・ミルは須永が紹介した逆転式分塊圧延機と連続ロール機との組合せに近い構成となっていた。図 66 によりその工程を追えば、加熱炉から出された鋼塊(平均的には $300\text{mm}\square\times 1350\text{mm}$ )は(3)の搬出装置により(4)のローラーテーブルに載せられ、(9)の第 1 荒ロール機へと運ばれた。この時、鋼塊が尻を先にして出て来た場合には(5)の鋼塊方向転換装置にて $180^\circ$  転回させ、頭から噛み込まれるようにされた。第 1 荒ロール機における各パスを終了した鋼塊は(10)のコンベアにより(11)のローラーテーブルへと導かれ、(13)の第 2 荒ロール機へと向った。荒ロール機は双方とも 3 重ロール機であった。第 2 荒ロール機での各パスを終えた後、ワークは(15)のローラーテーブルによって(16)の連続仕上げロール機へと送られ、クーリング・テーブル(19)上でしばし放冷の後、せん断機(21)にて切断された。

実際の圧延工程はこれより遥かに複雑であったが、これについては各要素技術について縦覧しつつ立ち入って行くしかあるまい。この設備の特徴は「終始一貫殆んど人手ヲ要セズ全部機械的ニ作業シ得ル様ニ設計セラレテキル事」であった。ワークの流れの順に詳細を追えば、図 67 が(5)の鋼塊方向転換装置である。鋼塊が図のような向きで送られて来たなら、反転させられなければならない。

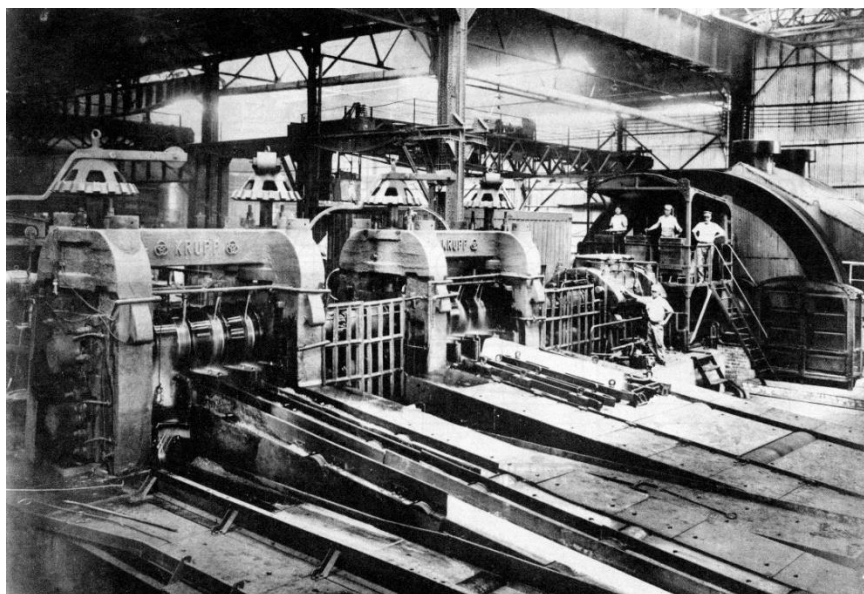
図 67 鋼塊方向転換装置



宗田・鈴木「『シートバー、ミル』ニ就テ」28頁, Fig.3.

図 68 は荒ロール機の写真で、手前が(13)の第 2 荒ロール機、奥が(9)の第 1 荒ロール機であり、その後方には巨大なフライホイールのハウジングが構えている。その背後には Siemens-Schuckertwerke A.G.製の三相交流誘導電動機(60Hz, 2200V, 1440kW/88rpm, 直結式)が控えていた。

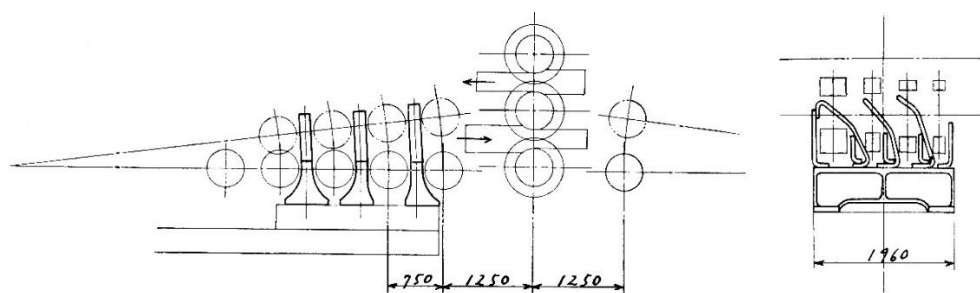
図 68 川崎造船所製鉄工場シートバー・ミルの荒ロール機



宗田・鈴木「『シートバー、ミル』ニ就テ」25 頁，より．山ノ内『壓延・引拔及擯出し加工法』57 頁，第 65 圖，中島『鋼材壓延』141 頁，第 86 圖はこれの引用である．

第 1，第 2 荒ロール機はともにロール外径 760φ の Three-high mill であり，第 1 荒ロール機には前後両面に，第 2 荒ロール機は後面のみにチルティング・テーブルが装備されていた．図 69 は第 1 荒ロール機のロールとチルティング・テーブルの配置を示す．後方チルティング・テーブルは略記されている．

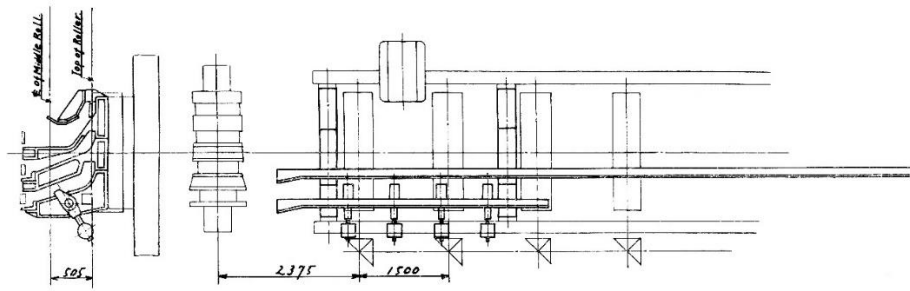
図 69 川崎造船所製鉄工場シートバー・ミル第 1 荒ロール機のロールとチルティング・テーブル



宗田・鈴木「『シートバー、ミル』ニ就テ」26 頁，Fig.1.

図 70 は第 2 荒ロール機のロールと後方チルティング・テーブルの配置を示す．

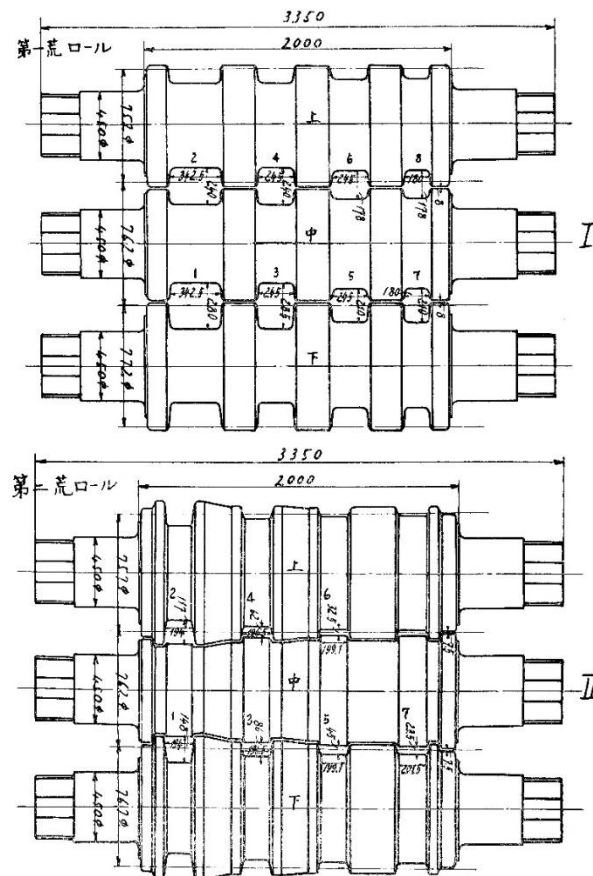
図 70 同，第 2 荒ロール機のロールと後方チルティング・テーブル



宗田・鈴木「『シートバー、ミル』ニ就テ」27頁, Fig.2.

これらの荒ロール機は漫然と鋼塊の噛み込みと吐き出しを繰返していたのではなく、その孔型ロールの各ロール溝を順次、往還させつつワークの断面積を段階的に絞り、その長さを延べて行っていた。両荒ロール機の孔型ロール形状は図71に示されている。

図71 川崎造船所製鋳工場シートバー・ミル荒ロール機の孔型ロール形状



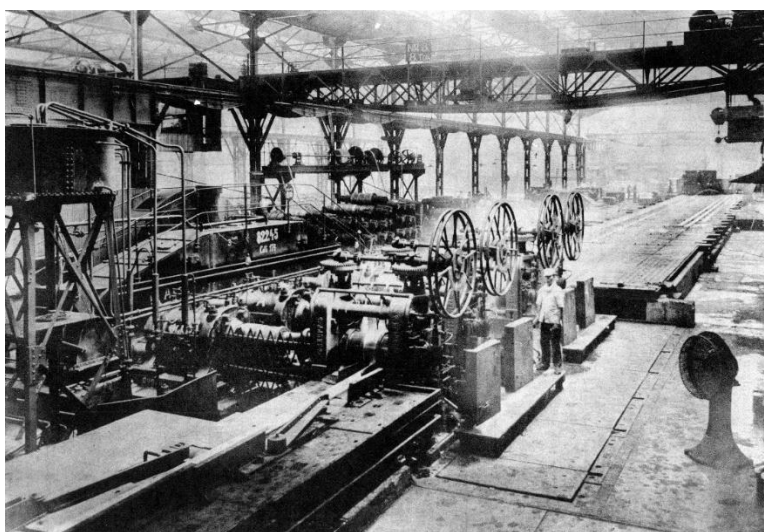
宗田・鈴木「『シートバー、ミル』ニ就テ」31頁, Fig.4.

鋼塊は伏せ姿勢をとる前方チルティング・テーブルに導かれ、第 1 荒ロール機の第 1 ロール溝に噛み込まれ、後方チルティング・テーブルにより持ち上げられた後、第 2 ロール溝内を戻った。そこから吐き出されたワークは腕立て姿勢に構える前方チルティング・テーブルのガイドに導かれて右に 90° 転がされつつ落された後、第 3 ロール溝へと噛み込まれた。このような行き来をロール溝番号順に繰り返して、第 8 ロール溝から吐き出されたワークは図 66 (10) のコンベアにより第 2 荒ロール機のラインへと転送された。

第 2 荒ロール機においても以上と同様の所作が繰り返された後、第 6 ロール溝から吐き出されたワークは図 66 (11) のローラーテーブルへと送られ、(12) のせん断機で長手方向に 2 等分されると共に頭と尾の不良部分を切捨てられた後、第 7 ロール溝を通され、さらに水圧で表面のスケールを除去されて荒圧延を終え、連続仕上げロール(11)へと向った。

図 72 はその連続ロールの写真で、外径 460φ 前後の Two-high mill, 4 組から成っていた。その駆動電動機もまた Siemens-Schuckertwerke A.G. 製の三相交流誘導電動機(60Hz, 2200V, 1750kW/235rpm)であったが、こちらは減速歯車式となっていた。その後方に位置しているのがクーリング・テーブル(19)である。

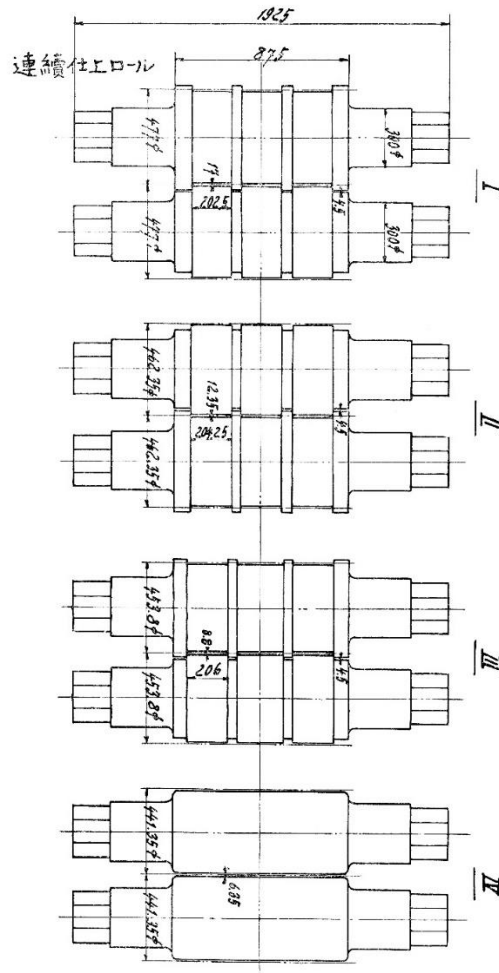
図 72 川崎造船所製鉄工場シートバー・ミルの連続ロールとクーリング・テーブル



宗田・鈴木「『シートバー、ミル』ニ就テ」29 頁、より。

連続仕上げロールの形状は図 73 に示されているとおりであった。圧延されるべきシートバーの厚みに応じてこの連続第 1~第 4 ロールの圧下調節が行われた。

図 73 川崎造船所製鉄工場シートバー・ミル連続仕上げロールの形状



宗田・鈴木「『シートバー、ミル』ニ就テ」32頁, Fig.5.

このシートバー・ミルに用いられていたロールのメーカーおよび化学成分は表 8 に示されている。この内、C含有率の高い下2段がチルドロールである。全体として折損した個体を交換している内、かように雑多な寄り合い所帯となってしまったのであろう。ただし、川崎造船所自身の名は見当たらない。

表 8 川崎造船所製鋳工場シートバー・ミル用ロールのメーカーおよび化学成分



第一荒ロール

分析 製造所	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
Krupp	0.082	0.268	0.63	0.012	0.028	0.18	0.22	0.07
Gutehoffnungshütte	0.47~0.66	0.103~0.25	0.45~0.84	0.011~0.041	0.016~0.038	0.104~0.31		
川崎車輛	0.31~0.54	0.12~0.29	0.56~1.38	0.018~0.056	0.013~0.041	0.2~0.4		
神戸製鋼	0.3~0.67	0.183~0.202	0.65~0.97	0.023~0.063	0.015~0.03	0.07~0.47		

連続第一、第二、第三ロール、第一荒ロール同様

第二荒ロール

分析 製造所	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
戸畑鋳物	2.18~2.96	0.68~0.82	0.27~0.45	0.39~0.47	0.09~0.14	0.023~0.08	0.033	0.103

連続第四ロール

分析 製造所	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
戸畑鋳物	2.8~3.69	0.6~0.73	0.24~0.46	0.32~0.50	0.067~0.16	0.07		
東京ロール	3.0~3.74	0.49~0.89	0.38~0.54	0.28~0.47	0.08~0.15	0.04~0.15		

宗田・鈴木「『シートバー、ミル』ニ就テ」33頁、より。

このシートバー・ミルによって圧延された各種シートバーの寸法と重量、そこから圧延される薄板の規格は表9に示される通りであった。もちろん、左の上から3行目がわが国薄板界の最量販品であった“13枚物”を延べる例である<sup>116</sup>。

表9 川崎造船所製鋳工場シートバー・ミルによって圧延された各種シートバー

シートバー寸法			単重	薄板寸法	シートバー寸法			単重	薄板寸法
m/m	m/m	m/m	kg	#	m/m	m/m	m/m	kg	#
5.75	200	945	8.53	31	9.75	200	793	12.1	26
6.90	×	×	10.24	30½	11.27	×	797	14.1	×
5.90	×	×	8.75	×	12.82	×	800	16.1	×
×	×	×	7.35	×	13.00	×	945	19.3	24
6.79	×	×	8.50	×	×	×	793	16.2	×
7.73	×	×	9.71	×	7.51	×	797	9.4	×
6.83	×	743	7.97	×	8.52	×	800	10.7	×
7.78	×	×	9.08	×	16.20	192	945	23.1	22
6.70	×	945	9.94	30	×	×	793	19.4	×
×	×	793	8.34	×	7.80	200	945	11.6	×
7.95	×	945	11.80	28	×	×	793	9.7	22
7.95	×	793	9.89	×	9.75	200	945	14.5	20
9.17	×	797	11.47	×	×	×	793	12.1	×
10.45	×	800	13.13	×	13.00	×	945	19.3	18
9.75	×	945	14.5	26	×	×	793	16.2	×

宗田・鈴木「『シートバー、ミル』ニ就テ」30頁、Table 1.

さすが専用機だけに、この装置によって圧延されるシートバーの厚みは最小5.75mmから最大16.20mmまで、バラエティーに富んでいた。もちろん、そこに薄ければ高コスト、といった因果連関はなかった。

<sup>116</sup> ただし、シートバーの厚みは5.9mm専一ではなく、6.0mmが用いられる場合もあったようである。宗田・鈴木「『シートバー、ミル』ニ就テ」38頁、参照。

このシートバー・ミルの圧延実績推移は表 10 に、ロール折損件数推移は表 11 に示されており、いずれにおいても順調な習熟過程が跡付けられているとともに、備考に記されているように、この「終始一貫殆んど人手ヲ要セズ全部機械的ニ作業シ得ル様ニ設計セラレテキル」シートバー・ミルが下流工程をなすプルオーバー・ミルの運用による Welsh Rolling Method に対していささか過剰設備の気味を呈していたらしき状況が窺われる。

表 10 川崎造船所製鉄工場シートバー・ミルの圧延実績推移

年 月	圧延鋼塊個数	半成鋼塊個数	半成率	圧延鋼塊重量	製 品 重 量	歩 止 率	一日平均 圧延送数
4- 8	8,728 個	517 個	5.9 %	8,176,400 kg	6,151,892 kg	73.31 %	314 送
9	14,338	434	3.0	13,738,750	11,124,587	80.97	509
10	16,062	216	1.3	15,246,300	12,404,724	81.36	643
11	18,858	286	1.5	17,888,100	15,121,858	84.54	663
12	17,623	108	0.6	16,732,350	14,448,263	86.35	643
5- 1	13,630	107	0.8	12,935,200	11,488,106	88.81	657
2	20,294	77	0.4	19,258,650	17,156,764	89.09	713
4	18,496	57	0.3	17,570,000	16,004,939	91.09	676
6	16,975	24	0.1	16,073,480	14,892,183	92.65	595
8	16,634	24	0.1	15,777,500	14,639,371	92.79	584
10	15,522	25	0.2	14,737,250	13,809,344	93.70	589
12	16,679	14	0.08	15,780,750	14,891,311	94.36	607
6- 2	17,206	19	0.1	16,368,270	15,479,583	94.91	604
4	16,415	10	0.06	15,212,360	14,596,173	95.90	585
6	16,694	18	0.1	15,472,510	14,924,537	96.50	595

備考 5年3月以降、薄板工場要求ノ数量ヲ壓延スルニ止メタリ。

宗田・鈴木「『シートバー、ミル』ニ就テ」35 頁, Table 3.

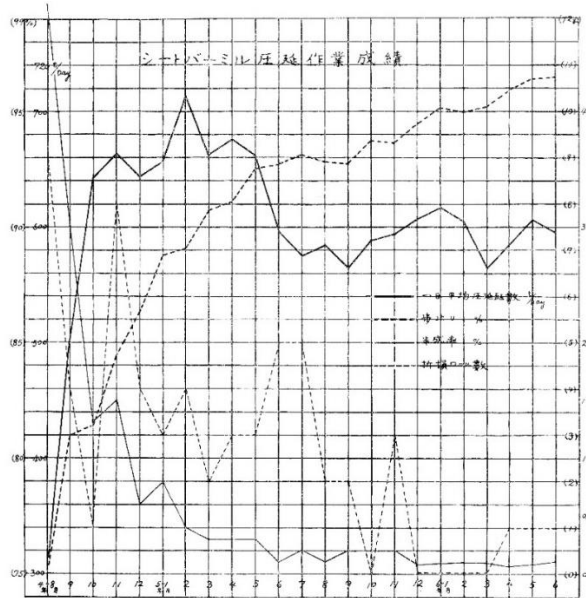
表 11 川崎造船所製鉄工場シートバー・ミルにおけるロール折損件数推移

年 月	第一荒ロール	第二荒ロール	連機ロール	合 計
4- 8	5	2	2	9
9	1	0	3	4
10	0	0	1	1
11	1	0	7	8
12	1	0	3	4
5- 1	0	1	2	3
2	3	0	1	4
3	0	0	2	2
4	1	0	2	3
5	0	1	2	3
6	4	0	1	5
7	2	3	0	5
8	1	0	1	2
9	2	0	0	2
10	0	0	0	0
11	3	0	0	3
12	0	0	0	0
6- 1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	1	1
5	0	0	1	1
6	1	0	0	1

宗田・鈴木「『シートバー、ミル』ニ就テ」36 頁, Table 4.

これらの実績を一葉にまとめて視覚化したのが図 74 である。

図 74 川崎造船所製鉄工場シートバー・ミルの圧延成績推移



宗田・鈴木「『シートバー、ミル』ニ就テ」37頁，より。

なお、このシートバー・ミルは「初メ獨乙人技師及ビ職長ノ指導ノモトニ作業ヲ開始シタルモノ」であつたが、彼らの指示したロールネック軸受潤滑剤は溶融点 110°C、灰分 13%のグリースを「ゴク少量」だけ加えた水であつた。過熱を恐れるがゆえの措置ではあつたにせよ、これでは摩擦損失が過大となり電力消費は「可成り高」く、軸受メタルの摩擦も「可成り甚ダシカツタ」(38頁)。

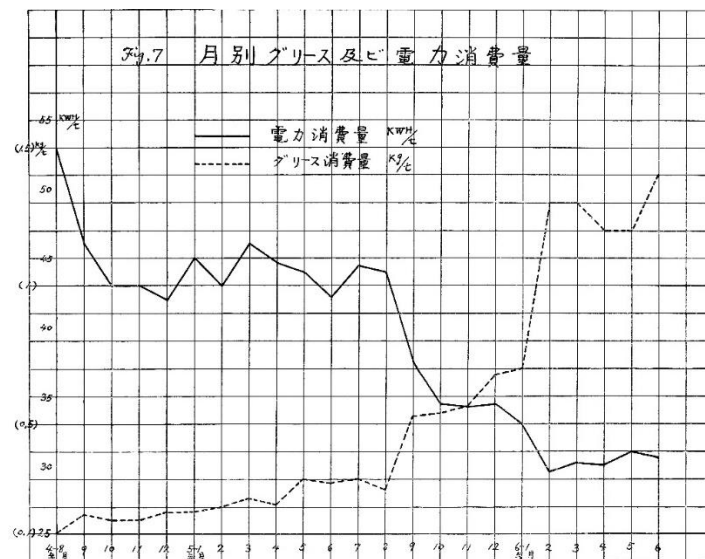
そこで、'30年9月より回転数の低い荒ロール機の一部と第1、第2連続ロール機のロールネック軸受潤滑を水なしグリースに切替え、「案外ノ好成绩」を得、その余勢をかって'31年2月頃より回転数の速い第3、第4連続ロール機のそれを、さらに全てのロールネック軸受の潤滑を水なしグリースへと改め、グリース消費の増加と引替えに多大の電力消費量削減が達成された。そのデータは表 12 およびこれを視覚化した図 75 に示されている。シートバー・ミルがアイドル運転している際の電力消費が水を主体とする潤滑時の 210kW に対して水なしグリース潤滑時にはわずかに 160kW であつたというから、かような成績も当然の結果と言えた。

表 12 川崎造船所製鉄工場シートバー・ミルにおける圧延鋼塊 1t 当り月別グリースおよび電量消費実績

年 月	電力消費量	グリース消費量	年 月	電力消費量	グリース消費量
4- 8	53 kwh/t	0.1 kg/t	5- 8	43.9 kwh/t	0.26 kg/t
9	46	0.17	9	37.5	0.53
10	43	0.15	10	34.5	0.54
11	43	0.15	11	34.3	0.56
12	42	0.18	12	34.4	0.63
5- 1	45	0.18	6- 1	33.0	0.7
2	43	0.2	2	29.6	1.3
3	46	0.23	3	30.2	1.3
4	44.7	0.21	4	30.5	1.2
5	44	0.3	5	31.0	1.2
6	42.2	0.29	6	30.6	1.4
7	44.4	0.3			

宗田・鈴木「『シートバー、ミル』ニ就テ」39頁, Table 5(正誤表に基づき1箇所, 訂正).

図 75 川崎造船所製鋳工場シートバー・ミルにおける圧延鋼塊 1t 当り月別グリースおよび電量消費量の推移

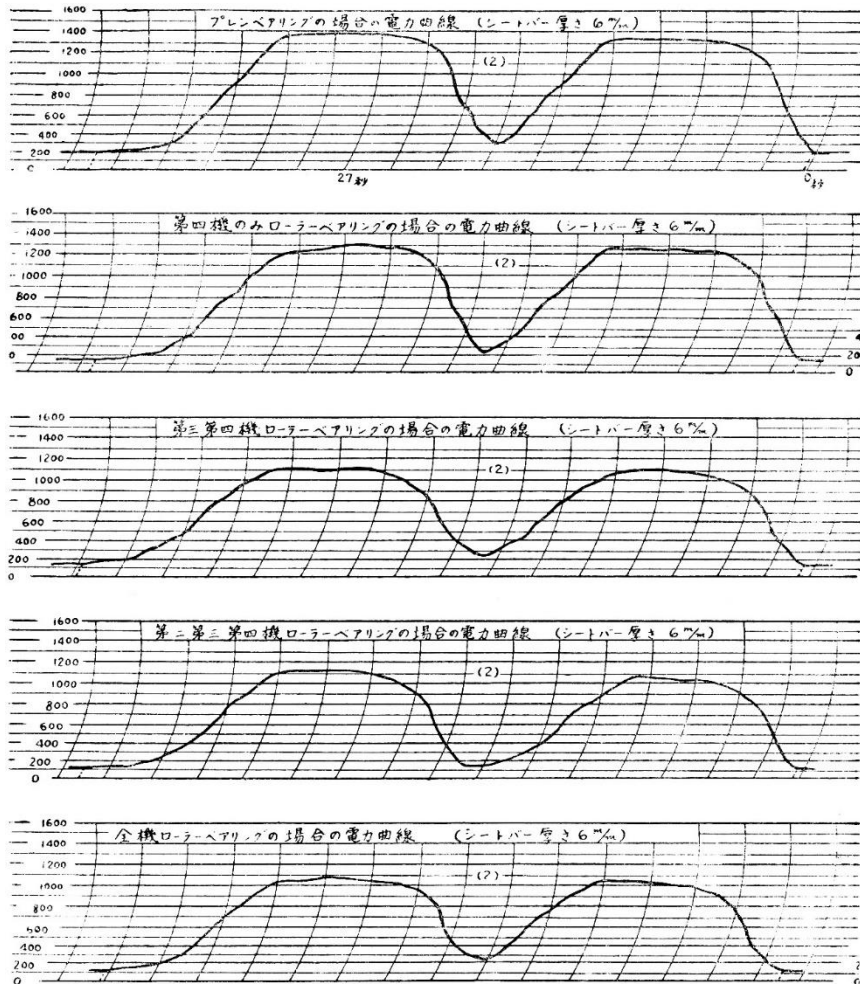


宗田・鈴木「『シートバー、ミル』ニ就テ」40頁, Fig.7.

宗田・鈴木「『シートバー、ミル』ニ就テ」の記述は時系列的にほぼ、この辺りで終わっているが、室田は引き続き'31年11月から'33年1月にかけて上記4連々続ロールのロールネック軸受を日本SKF興業の協力の下、順次、ころがり軸受(SKFの複列自動調心コロ軸受)化して行く実験を行い、成果を報告している。これにはシートバー圧延時の電力消費に関するデータも採録されているので、そのごく一部を図76として引いておく。これはその著書において宗田・鈴木の労作からの無断引用を重ねた山ノ内が珍しく出典を明記している箇所か

らの重引であるが、このデータだけからも、ころがり軸受の優越は明らかであった。問題は上述のとおり輸入コロ軸受が極めて高価であった点に尽きる<sup>117</sup>。

図 76 川崎造船所製鉄工場シートバー・ミルのロールネック軸受をコロ軸受化して行った際の電力消費低減状況



山ノ内『壓延・引抜及搾出し加工法』59頁，第67圖。

## 5. 復興期日本の薄鋼板圧延業

労働大臣官房労働統計調査部では'52年指定統計第55号として鉄精錬業，綿紡績業，セメント製造業，硫安製造業に係わる初の労働生産性統計調査を実施し，'54年には鉄圧延業，化学繊維製造業，自動車製造業，パルプ製造業，紙および板紙製造業を，'55年には毛紡績業ほか5業種を追加して調査の幅を拡大して行った。以下では労働大臣官房労働統

<sup>117</sup> なお，元文献であり日本鐵鋼協會 第10回公演大會(1933年3月)報告をベースとする宗田「壓延機のプレンベアリングをローラーベアリングに改装したる結果に就て」『鐵と鋼』第19年 第7号，1933年，は全文をJ-Stageにて閲覧可能である。

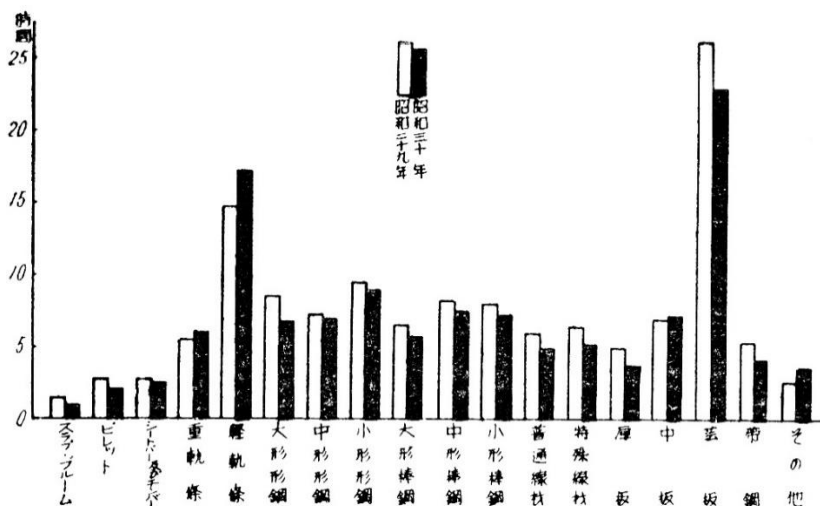
計調査部『労働生産性調査報告 鉄圧延業 昭和30年』(1957年)に依拠しつつ、復興期日本の薄鋼板圧延業の実態について振返ってみたい。

この調査においては外輪(鉄道車両用タイヤ)圧延事業、鋼管圧延事業ならびに新進のロールド・ストリップミルによる冷延鋼板圧延事業は対象外とされかつ、被調業種においても年産1万トンを超える鉄鋼圧延事業者のみが対象とされた。この括りにより製品分野別では線材のほぼ100%、帯鋼・厚板(6mm超)・中板(3~6mm)・型钢の約90%がカバーされたのとは対照的に、薄板(3mm以下)においては約65%がカバーされたに過ぎなかった。鋼材圧延事業は銑鋼一貫製鉄所、平炉製鋼事業者のほか単圧メーカーと呼ばれる鋼材を購入して熱間圧延だけを行う小規模事業者によって担われていたが、薄鋼板圧延業においては特に小規模ないし零細事業者の比率が相対的に高かったとの描像になる。

'53年を100とした場合の国内鋼材圧延トン数を'55年について観れば、造船需要に牽引されて厚板の生産は155に激増を見せ、総生産も124へと堅調であった。ブリキ板は129と平均を上回ったが、薄板はわずかに101にとどまっていた。同じ対象期間における直接労働の生産性向上を示す製品トン当たり所要労働時間低減状況は厚板で73.4%、平均でも87.7%であったのに対して、薄板においては87.4%に過ぎなかった。

製品別のトン当たり所要労働時間は図77のとおりで、厚板を100とすれば薄板は617にも及んでいた。これは薄板圧延が圧延パス数がヤタラに多く、しかも人力頼みの工程をなしていたからに他ならない。

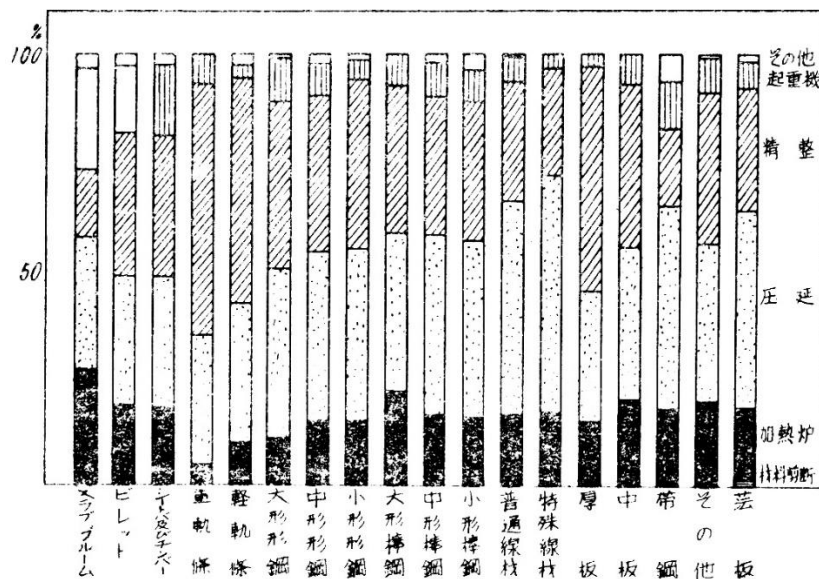
図77 製品別トン当たり所要労働時間('54年と'55年)



『労働生産性調査報告 鉄圧延業 昭和30年』11頁、第2図。

さらに、'55年についてこれを工程別所要労働時間構成に展開したのが図78である。実時間数では、材料せん断：0.61時間、加熱炉：3.53時間、圧延：10.42時間、精整(仕上)：6.63時間、起重機：0.42時間で合計23時間、という配分になっていた。

図 78 製品別・工程別所要労働時間構成(’55年)

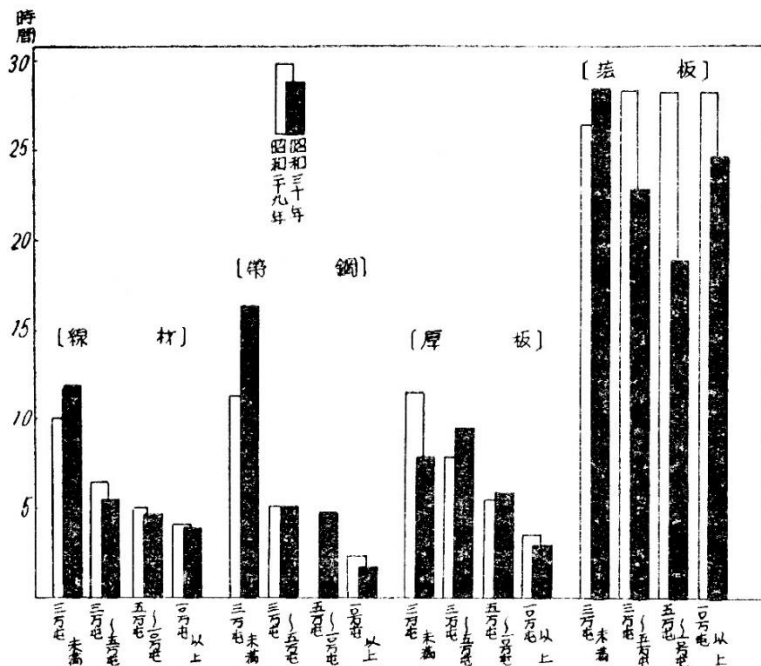


『労働生産性調査報告 鉄圧延業 昭和 30 年』 14 頁, 第 5 図.

’55 年における厚板のトン当り圧延時間などわずか 1.14 時間に過ぎなかったから、薄板圧延機は厚板圧延機の大方 10 倍ぐらいは回され、圧延工たちが気ぜわしく立ち働かされていた勘定になる。厚板は重いからこのバイアスは当然の結果とも読み取れようが、ワークの目方とは無関係に圧延機が 1 年 365 日×24 時間の年間暦時間の中で実際に回っていた時間の割合も厚板の 41.6%に対して薄板は 71.6%に及んでいたから、前者の 1.7 倍強にも達していた。厚板圧延機が回されていた時間は操業時間の 71%であったが、薄板圧延機における同じ比率は実に 92.2%にも達していた。つまり、操業中、プルオーバー・ミルはほぼ回されっ放しとなっていた。

他方、一口に厚板、薄板と言っても、メーカーの規模別に固定資本の体系が異なり、大メーカーほど常識どおりに合理化投資が進んでいたとすれば同日の談に非ずという判断にもなり得る。ところが、製品別・規模別に比較したトン当り直接部門所要労働時間のデータを集計した図 79 による限り、線材、帯鋼、厚板において規模別格差の傾向が明瞭であったのと対照的に、’54 年の薄板においては何の相関も示されておらず、’55 年のデータにおいては一方に規模との相関性が認められるものの、最大規模である年産 10 万トン以上のメーカーにおける値(24.69 時間)と 3 万トン未満のそれにおけるそれ(22.97 時間)との間に規模別格差に関連付けられるべきほどの差は観察されていなかった。

図 79 製品別・事業規模別に比較したトン当り直接部門所要労働時間(’54年と’55年)



『労働生産性調査報告 鉄圧延業 昭和30年』18頁，第7図。

これは、当時のわが国における薄板圧延部門においては基幹的な生産設備、固定資本の体系に係わる事業規模別格差がほとんど存在しなかった事実を物語る数字である。由来、わが国の薄鋼板需要は幅の狭い“13枚物”に偏っていた。これに対して他の製品分野においては品目が多種多様であり、中小圧延事業者においてはロールを頻繁に組替えては雑多な製品を圧延する多品種少量生産にその存立基盤を求めざるを得ぬ向きも多かった。当然、その生産性はモノカルチャー的量産メーカーに、あるいは量産ラインのそれに劣る。圧延ラインの近代化を云々する以前の問題として、この側面が他の製品分野における規模別格差顕現化の背景にあった。

1951年よりわが国においては鉄鋼第一次合理化計画がはじまっていた。しかし、それは場当たりの増設を重ねて来た圧延工場のレイアウト配置の合理化、工場増設、工程の連続化、マテハンの機械化とりわけチルティング・テーブルなどの新設、ホイストやクレーンの新設、ロール回転数ないし周速の増大、ロールネック軸受砲金メタルから合成樹脂メタル、畢竟、ニッテライト・メタルへの切替えなどを主体とする改善行為に重点を置いた取組みであった。先に確認されたとおり、高性能で廉価なロールネック用国産ころがり軸受の登場はまだまだ先であったが、プルオーバー・ミルは独りベークライト軸受ともころがり軸受とも無縁な存在として終始した。

薄板圧延に係わるこの種の改善実績として「D工場では、その一交替一台当り圧延屯数は、チルティングスタンド18.2屯から19.2屯へ、プルオーバースタンド9.7屯から11.9屯へと増加してきている」(16頁)などという事例も紹介されている。鉄鋼第一次合理化計画に



においては量的改善に主眼が置かれており、質的飛躍は業界全体として観る限り、その次に控える課題であった。

もともと、すでに'36年には「アメリカ以外の諸國に先んじて」八幡製鐵所の戸畑地区には熱間・冷間 Strip Mill が建設され、'40年5月にはコールド・ストリップミルが、'41年10月にはホット・ストリップミルがその操業を開始していた。当初はホットロールを輸入に仰ぎ、冷延工程にて連続圧延の勘所を探ったと見受けられる。未だにそのストリップ幅は940mmと狭くはあったが、この設備が早期にフル稼働出来ていたなら、その時点でプルオーバー・ミルの時代を終らせるには充分であった。戦時体制下、その実現が阻まれはしたものの、少なくとも斯界の大横綱、八幡製鐵所に関する限り、「人力本位にして幼稚な設備による困難な作業」の終焉は早くも戦時下、時間の問題と定められていた<sup>118</sup>。

川崎造船所では連続式圧延機になり切れていなかったかの Krupp 製シートバー・ミルでさえ実のところ持て余し気味であった。下流工程が Welsh Rolling Method とあつてはそれも致し方なき状況ではあつたろう。川崎造船所の後身をなす川崎重工業より1950年、分離独立した川崎製鐵においては'53年6月に火入れの第1溶鋳炉を柱とする千葉製鐵所内に同年、ホットおよびコールド・ストリップミルが輸入・整備され、プルオーバー・ミルの時代に引導を渡した。

同じく、'53年には八幡製鐵所のストリップミルも完全に立ち上がっていた。'54年には富士製鐵 廣畑製鐵所においてホット・ストリップミルが稼働を開始し、'57年には同 室蘭製鐵所において自動車々体外板用などに好適な薄板原板の連続圧延が可能な広幅式ホット・ストリップミルが呱呱の声を挙げるに至った。

1906年11月1日に波板工場として発足した八幡製鐵所 第1薄板工場はすでに'41年8月11日を以て廃止されていた。往時、鍛鋼工場の一角を占めていたその薄板圧延ショップは1945年、敗戦に相前後してその操業を停止していたらしい。1922年10月15日、本邦初の密着圧延法による薄板工場として操業を開始した第2薄板工場は'49年、輪西および釜石製鐵所へと移設された<sup>119</sup>。

とは言え、かような流れの中では八幡の旧第2薄板工場からの移転設備の稼働も洞岡ブリキ工場におけるプルオーバー・ミルの稼働も所詮、長くは続き得なかつたであろう。かくて、プルオーバー・ミルの時代は終焉を迎えた。熱延狭幅鋼板を基礎とする時代は去り、自動車や大形家電製品向けに大量需要される冷延広幅鋼板の時代が到来したからである。珪素鋼板は暫しやや例外扱いされ得たようであるが、'60年代の内にはこの最後の砦さえ失われるに至っている。

---

<sup>118</sup> 『八幡製鐵所五十年誌』128、136頁、参照。繰返しになるが、136頁にある「昭和2年特殊小型圧延及び薄板圧延作業を閉止し」などという年代記述は粗忽きわまる。本文ではこれを昭和20年として扱った。

<sup>119</sup> 『八幡製鐵所五十年誌』107頁、参照。

## 6. 薄板圧延技術の革新とこれに係わる自動車業界の評価

では、本邦自動車業界は薄鋼板圧延技術の革新をいかに、あるいはいかなる理由から希求し、その結果をどのように評価していたのであろうか？ その弁に耳を傾けてみよう。まずは豊田自動織機製作所→トヨタ自動車工業→日本電装と歩んだ技術者で、日本電装の社長をも務めた白井武明(1912~2002)の戦前~戦後にまたがる回想から：

鋼材の話しがでましたので、川崎製鉄の西山弥太郎さんが鋼板の品質改良に熱心であったことを紹介しておきたいと思います。それは西山さんがまだ葺合工場長の頃のことです。西山さんは自動車の薄鋼板の品質改良のために、月に一度は私どもの会社に意見を聞きにこられました。西山さんが云われるには

「アメリカではストリップミルを開発して、鋼板をエンドレスに圧延、これをコイルにして罐に入れ、焼鈍をていねいに行なっている。日本では3×6フィートの切り板をプル・オーバーで圧延する作業で、それに焼鈍装置も完備していないから、板の前後の硬さが違うので困っている。ストリップミルを設備したいが輸入できない。それでも4×8フィートの板ができるようになったのだから、製鉄業者の努力を認めて欲しい。日本の設備は格段に劣っているのでどうしても品質が不揃いになる。これはいたしかたないことで、なんとか辛抱してもらいたい」

ということでした。私どもは、不揃いは仕方ないが、穴ぼこのあるものが混入するのだけはやめてもらいたいと話したことがあります。戦后、西山さんは待望のストリップミルを輸入して、革新的な千葉工場を建設され、定めて大満足されたことと思えます<sup>120</sup>。

ここに云う「穴ぼこ」は件の“荒胴”を指しているのであろう。この件<sup>くだり</sup>は先にその敢闘精神を垣間見た西山の足跡に絡む、いかにも現場を知悉する技術者ならではの記憶と評価である。

続いて、自動車技術会の公式見解を引いておこう：

**a. 鋼板** ボデー用冷間圧延鋼板については、1950年頃より自動車工業会に鋼材品質向上対策委員会を設置し、鉄鋼メーカーと交渉を持ち、国産冷延鋼板の品質向上を図ってきたが、1953年自工会がアームコより高級仕上鋼板を輸入し、国産材との<sup>【マア】</sup>確性比較試験を行ったことによりボデー鋼板に対する新しい認識が芽ばえてきた。

次いでオースチン、ヒルマン、ルノーなどの技術提携による外車の国産化を迎え、ボデープレス技術の修得と乗用車の生産増大により、深絞り鋼板および広幅鋼板の必要性が再認識されてきた。

従来、国産冷延鋼板は、4呎物の切板が戸畑および広畑で細々と生産されていたが、これを契機として薄板需要の長期見通しが期待され、1958年より広幅を含めた冷

<sup>120</sup> 自動車工業振興会『自動車史料シリーズ(2) 日本自動車工業史口述記録集』1975年、156~157頁、より。当該座談会「トヨタ自動車創業よもやま話」の開催日時は1969年6月19日。

間圧延設備の増強，極深絞り鋼板の開発が始まり，今日の日本の自動車工業，製鐵工業の飛躍の原動力となった。

……………中略……………

1955年60%を占めていたキルド鋼も1961年には41%に減じ，現在は95%がリムド鋼に置換えられている。また当初3×6，4×8，5×10呎などの切板が使用されていたが，ブランキングサイズの合理化追求の結果と量産対応の必要性から，コイル化への迅速な切換えが実施された<sup>121</sup>。

キルド鋼，リムド鋼を巡る話題は'70年代以降の連続鋳造方式への転換を通じて陳腐化してしまっているが，自動車とりわけ乗用車製造業の発展は美しい広幅冷延鋼板抜きでは語り得なかったワケである。

## むすびにかえて

プルオーバー・ミルの時代，それは労働者が「油煙，塵埃等が」立ち込め「熱氣甚だしく夏期にありては往々室温50℃位に達する」作業場の中で熱中症に陥りながらの重労働を終日，強いられ続け，敢闘精神に溢れる技術者があてがわれた「アスベストの帽子と衣服」とを身に着け，「眉毛を焼かれ」ながら炉の修理を急かされた時代でもあった。

今日，かように苛烈な，消耗戦さながらの労働過程を礼賛することは時代錯誤でしかない。しかしながら，彼らの「劇しい不斷の」「最も過激な」労働は同時に「この間の消息に到つては全く説くことを許さない領域である」とまで形容された「極めて至難なる技術」や「最も深き経験と長き熟練とを要」する技能，「熟練の極致」の発露でもあった。

プルオーバー・ミルの時代を想うに際し，図7に棒人間として描かれていた，あるいは図64ほかの写真にその逞<sup>たくま</sup>しい姿を伝える圧延労働者たちが奮った「秘傳」や「秘術に屬する」技能と生産点におけるそのゆるぎなき地位，尊厳のほどを閑却するような事態があるとすれば，それは間違いなく彼らの後裔でしかない現代人の不遜である。

技能や熟練とは固定資本の体系の不出来を補うため必要に迫られて体得された人的諸力の体系であり，技術や工学はそれを客観化・マニュアル化して再現可能な体系へと昇華させて行く営為である。薄板圧延の歴史を繙<sup>ひもと</sup>くに，永らく生産現場の固定資本は「薄板壓延に用ふる機械設備には複雑なるものは無い」と表現された程度の素朴な機械ではあった<sup>122</sup>。

だが，仔細に眺めれば，プルオーバーミルは比較的容易に調達され得た機構や材料，補助材料をそれぞれの限界まで遣い切るといった体をなしており，その保全に当っては鋳造時の材質ムラやロール旋盤，ロール研削盤の癖を飲み込んだ処方が奨励されていた。それは思い付きの小細工ごときで改良され得るほど生半<sup>なまなか</sup>な機械であったワケでは到底なく，独りその特性を知悉する労働者によってのみ護り，かつ騙<sup>だま</sup>し騙し遣いこなされ得る一つの極限技

<sup>121</sup> (社)自動車技術会『日本の自動車技術20年史』同会、1969年、265頁、より。

<sup>122</sup> 引用は平世『薄板(壓延法)』15頁、より。

術なのであった。さればこそ、かような関係性は遙か世紀を跨いで継承され得たのである。プルオーバー・ミルの時代の実相はこの点にこそ見出されねばならない。

連続ロールの理論的メリットなど端から了解済みであった。量的販路と品質保証とに係わる問題に目途がついた時点で雪崩を打つかのような勢いで連続ロールの天下が訪れたのは当然の流れである。固定資本の体系整備が進むに連れて技能の質が変化を余儀なくされ、生産技術体系に占める人的諸力、技能のウェイト、人間の価値が総じて低下して行った結果もまた当然の報いである。

かくて、機械技術者累代の功績である固定資本の筋骨体系における充実と、さらにはそれを遙かに凌駕するテンポで到来したデジタル・ツールの進化とにより、さすがの薄鋼板圧延工程にも根底的革新のハンマが連打され、その然るべき結末として現業労働の尊厳性はおろか、生産現場におけるその必要度さえ根底から剥奪されるに至った。

しかし、思い返せばそれもこれも、全ては安価な石油に支えられて先進国に現出した高エネルギー社会とでも形容されるべきここ数十年間の世相の一コマでしかなかった。この間、スケールメリットが最優先され、その傾向はデジタル化によって一層加速された。鉄鋼や自動車や半導体チップの生産数量は目くるめくほどの増加を示した。けれども、同質的・階層的生産技術体系を共通項として来たわが国の鉄鋼や自動車、電子機器メーカーの多くは今や氣息奄々たる状況を呈しており、下請け企業や自動車部品メーカーに至ってはこの間、それらとの比較を絶するほどの厳しい状況に立たされっ放しである<sup>123</sup>。

また、自動車を引き合いに出して言うておくと、廃車費用がどれだけ掛かるか予測不能なクルマを買う大馬鹿者など滅多に居るものではなからう。ところが、この石油まみれの飽食・エネルギー中毒時代は同時に、将来の廃炉費用に目途すら立っておらぬ原発を林立させて行った時代でもある。目途が立たぬのは高濃度核廃棄物の解体と封じ込めの技術に成案どころか有望な試案さえ見当らぬからに他ならない。薄鋼板圧延技術が革新されて行った同じ空の下で、安価な石油を頼みとしつつ、かかる馬鹿が性懲りもなく繰返され、エネルギー浪費社会の爛熟、肥大化が昂進した。その総決算は間違いなく“赤”と出る。

けれども、この安価な石油、安価なエネルギーの浮かれた季節には早晩、終止符が打たれる。高い石油、高エネルギー価格に支配されるのみならず、大衆が家畜化されるデジタル管理社会という暗黒の冬が今や到来しようとしている。それを跳ね返すことは果して出来るのであろうか？

もっとも、仮令、かような暗黒時代が訪れようと、それが無限に続くことなどあり得ない。石油資源稀少化によって惹起されるその崩壊以降、われらが末裔たちは一体いかなる技を逞しゅうして生存の糧を手にするのであろうか？ 薄鋼板はそこに含まれるのであろうか？ 含まれるとすれば、それはどのようにして圧延されるのであろうか？

---

<sup>123</sup> 同質的・階層的生産技術体系の限界性については拙稿「日本自動車産業の中進国的自立と発展」中岡哲郎編『技術形成の国際比較』筑摩書房、1990年、所収、参照。