



鉄の歴史

戦後復興・発展期における我が国鉄鋼製造技術史—技術編 鉄鋼の圧延技術抄史 1945-1965

中川吉左衛門 広島電機大学 教授

Kichizaemon Nakagawa

Historical Aspects of the Steel Rolling in Japan 1945-1965

1 はじめに

社団法人日本鉄鋼協会の会報編集委員会は、本会共同研究会の各部長経験者に、終戦から1965年までの戦後復興と発展の足取りについて、分担執筆するように依頼しているという。筆者は1951年大学卒業後直ちに川崎製鉄株式会社に入社したので、この初期には経験がないと辞退したが、この時期に活躍され、復興・発展に真に尽力された先輩諸兄に、そのご指導への感謝を捧げるため、ご指名を受けることにした。

戦後の復興に当たって、占領下でのことで、苦労されたことと思う。また、その後の発展は大きい、零からの出発ではなく、戦中またはもっと以前からの、それぞれの分野がどうあるべきかを深く考えていた諸先輩の方々の叡智が、周囲の援助と時機を得て、この時期に急成長したと思う。圧延技術についても、その連続化、自動化、さらに大型化、高速化も加わり、連続大量生産方式によるコストダウンを遂行していった。連続化、高速化は新しい高度な品質を生むことにもなった。

さて、終戦後から始まるこの時期の一般状況に触れることへの是非はあると思うが、尋常ならざる状況であり、これを脱出し地ならしをなし得たからこそ、その後の発展があったと考えられるので、この時期の共通認識を持つため触れたいと思う。このシリーズにおけるコークス技術抄史¹⁾、日本鉄鋼業(その軌跡)など^{2,3)}からも引用すると、1945年8月15日、第2次世界大戦が終わり、あらゆる状況は悲しいが荒廃の極にあった。その上、占領管理下の重工業に対して、極東委員会(主たる対日交戦11か国—後に13か国から成る)並びに連合国の対日占領政策は、「日本の潜在的戦争能力の完全排除」と「経済の民主化」を主眼として行われ、1946年8月にGHQ(連合軍総司令部)より鉄鋼13社22工場に対して賠償指定が行われた。これは1949年5月に

解除されたが、筆者が1951年4月に入社した当時、設備の一部に賠償指定の貼紙が一部残っていたように思う。その他、財閥の解体、主要企業の責任者の追放、企業の解体など、行方がどうなるかわからぬままに混迷を続けた。

2 戦後の復興

2.1 復興に向かって

戦争が終わっても、占領された我が国にとって、すぐに復興とはいかなかった。日本鉄鋼業(その軌跡)²⁾によると、復興時代を1946年～55年(昭和21年～30年)と、1955年までとしているが、同書33頁には、わが国鉄鋼業の戦後生産の立ち上がりは、在来の設備を復旧し、利用して、1950年にはほぼ戦前の生産を取り戻すことができたともあり、種々凸凹はあるが、朝鮮戦争までの1946年～50年を復興時代としてよいと思う。

とりあえず、平和産業としての鉄鋼業の姿が模索され、1946年12月、経済安定本部を中心に、「傾斜生産方式」が計画され、まず炭鉱へ鉄鋼を重点的に投入し、増産された石炭を重点的に鉄鋼生産のために投入し、こうして増産される鉄・石炭を他の産業に割り当てることによって、順次生産全体に効果を及ぼしていく方式が推進された。この施策は戦後再建に最も効果があったと評価されている⁴⁾。

1947年3月、ギリシャ内乱を契機とする東西の対立が明らかになり、国際状況を急角度に変化させた。西側自由圏における発展・復興が計画され、同年6月にマーシャル・プランが発表された。これが、米国の対日政策に微妙な変化を与えて行くことになる³⁾。

1947年7月、拙速の努力によりとして、最初の経済白書(この時には、経済実相報告書といった)が経済安定本部から発表された⁵⁾。以来順次継続されることになる。1948年6月にインドで開かれたエカフェ会議で、東アジアの経済

再建と発展のため、日本の工業力が利用されるべきことが決議され、我が国の復興への温かい援護が与えられた²⁾とある。

1947年の後半から、米国ストライク調査団による技術調査が行われた。鉄鋼班長としてUSスチールのベネット圧延部長が来日（その後もしばしば来日）し、1948年には、屑鉄（製鋼用原料である）調査団が、1949年初めにも第2回同調査団が来日し、これらにUSスチールの部長などの来日があり、我が国の技術者が米国の実情を知り、アドバイスを得る絶好の機会であったという²⁾。筆者の入社早々の記憶では、「すべてを計測して、その値をもとに操業する」という、勘を排除する提言が心に残っている。

また、調査団とは別に、GHQの招請により、指導のためにUSスチールの人々が来日し、これらは示唆多いものであった。前述のストライク調査団の報告は好意的で、「鉄鋼無用論を一掃した」とある。この時期のアメリカの調査団の来日とその指導は、わが国の技術向上に大きな刺激であったことがわかる²⁾。

2.2 復興期の技術

戦中、戦後の「生産設備年次調査表」によると、表1のように示されている⁶⁾。圧延技術は製品の種類の数と圧延機の種類の数だけあると考えられるが、大きくりすることにする。

また、分塊圧延や厚板圧延などの熱間圧延においては、加熱と冷却の技術が圧延技術とその理論に大きく影響す

る。冷間圧延においても、その圧下率とその後の焼鈍技術が同様である。しかし、製品ごとの部会などもあり、圧延工場のうち、圧延機設備と圧延技術に注目する。

当時より若干あとの終戦後9年経った1954年、日本鉄鋼協会、通商産業省重工業局、日本鉄鋼連盟の3者からなる鉄鋼技術共同研究会の中の鋼材部会は、鋼材部会報告（鉄鋼圧延に関する研究）第1～3巻⁷⁾

第1巻 圧延理論、分塊圧延、薄板圧延

第2巻 中小形圧延、線材圧延

第3巻 帯鋼圧延、鋼管圧延

を報告している。

2.2.1 分塊圧延

大型鋼片を処理する分塊工場は、すべて二重逆転式圧延機を用い、駆動にはイルグナー式電動発電機により高圧の交流を直流に変換し、これを圧延機に直結したミルモーターに導いて運転を行うのが普通であった。分塊工場の配列には分塊圧延機のみにより構成されているものと、これに1～2組の連続式鋼片圧延機を付属させて、小断面鋼片およびシートバーの圧延を行うものに分類される⁸⁾。

また、形鋼用の分塊圧延は、ブルームやビレットを圧延し、継目無管用の分塊圧延は丸鋼を圧延した。

2.2.2 形鋼・線材圧延

大形圧延においては、分塊工場より直接送り込まれた熱鋼片もしくは冷鋼片の再加熱したものをうい、3重もしくは

表1 圧延工場建設年次別表⁶⁾

種 別	昭和12年	13年	14年	15年	16年	17年	18年	19年	20年	21年	22年	23年
分 塊	3297(12)	0	79.8(3)	600(1)	600(1)	165(1)	801.6(4)	199.2(3)	0	0.5(1)		5,743.1(26)
大 形	818(7)	0	36(1)	120(1)	0	135(1)	0	0	37.5(1)	0	0	1,146.5(11)
中 形	771.4(15)	282.8(5)	7.04(5)	48(2)	24(2)	40.2(3)	150(2)	50(3)	▲110(2)	6(1)	0	1,466.4(36)
中小形	231.14(10)	60.3(3)	47.4(5)	0	0	0	6(1)	5.6(2)	0	150(1)	0	500.44(22)
小 形	1,072.94(37)	28.4(6)	71.2(7)	37.8(6)	41.4(4)	6(1)	8.4(2)	▲ 75(1) 39.25(3)	14.35(2)	2.1(2)	0	1,246.84(69)
線 材	562(6)	0	0	0	0	180(1)	3.84(1)	0	0	0	0	745.84(8)
厚 板	1,026.35(11)	3.6(1)	297.02(5)	110(2)	21.6(1)	450(1)	0	▲ 60(1) 12(1)	0	0	0	1,860.57(21)
中 板	313.79(9)	0	0	0	0	0	0	0	1.2(1)	0	0	314.99(10)
薄 板	445.65(11)	1.2(1)	3.6(1)	2.4(1)	0	0	0.6(1)	0	0	0	0	453.45(15)
ブリキ	150(2)	0	0	0	0	0	0	0	54(1) ▲120(1)	0	0	81(2)
ユニバーサル 高級生鉄鋼板	135(3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	135(3)
帯 鋼	194.5(5)	6(1)	3(1)	0	ストリップ 270(1)	0	0	0	0	0	0	473.5(8)
筒 管	359.2(11)	0	0	0	0	0	116(3)	0	5(1)	0	0	464.2(15)
外 輪	36(3)	0	0	0	0	0	0	13(1)	0	0	0	49(4)
その他	10.75(4)	0.012(1)	0.18(1)	1.41(2)	0.54(2)	0	0.36(1)	4.65(4)	0	0.97(2)	0	18.842(47)

▲：廃止、()：工場数

は2重逆転式圧延機にて圧延を行う。圧延機は3～4基のスタンドを横一列に配列して構成する⁸⁾。

中形圧延は普通3重圧延機を用い、4～5基のスタンドを横一列に並べるが、仕上最終スタンドを2基または複2重式としたものもあった。小形圧延機を併置した中小形工場にしたものもあった⁸⁾。

小形圧延においては、圧延機を2列に配列し、第1列を粗圧延機とし、1～2基の3重圧延機を横に配列して粗圧延を行い、仕上列はこの列に平行に配列され、4～5組の圧延機を備えて仕上圧延を行うものが、いわば旧式工場の標準であった。進歩したものでは、粗圧延として2重連続式圧延機を用いていた。中形圧延機と併置するときは、前記の如き中形圧延機に小形圧延機を平行に配置する。

更に進歩した中小形工場が戦争末期に、日鉄輪西に建設された。いわゆるジグザグ配列の工場で、粗圧延機は準連続式と連続式とを組み合わせた形式で、通過材をチルターにより回転させ、材料通過に無理がなく、正確な製品寸法が得られたとある⁸⁾。

線材圧延の圧延機は、普通4列に分かれており、この中最初の1列に3重圧延機を配し、他は複2重式とし、3～4組の圧延機を1列として配置したもの、最初より複2重式をもって階段状としたものがあった。進歩したものでは、最初の2列を連続圧延機としている。仕上げまでの通過数は16～19パスで、仕上径の最小は5.5mm丸が普通である⁸⁾。この仕上径の最小が5.5mmより若干小さくなったのは最近のことである⁹⁾。

2.2.3 鋼板圧延

鋼板では、板厚6mm以上のものを厚板、板厚3mm未満のものを薄板、この中間のものを中板という。

(1) 厚板圧延

厚板の圧延は、二重逆転式圧延機によるものと三重ラウト式圧延機によるものがある。前者は大型の鋼板、後者は比較的薄い厚板圧延に利用された。二重逆転式圧延では、直接鋼塊からあるいは分塊圧延された鋼片から圧延され、粗圧延用と仕上圧延用の2基を備えるのが普通であった。三重ラウト式圧延では、非逆転駆動で中ロールの上下で往復圧延されるが、パスラインの高さが中ロール径の大きさだけ上下するので、その前後において鋼板の受け渡しをするチルチングテーブルも連動して上下する¹⁰⁾。

板厚3.5mm程度以上は三重ラウト式で圧延され、板厚3.2mm以下はプルオーバーミルで圧延されたようである。取引厚と圧延する機種とは、あまり関係なかったという¹¹⁾。

(2) 薄板圧延

プルオーバーミルによる圧延を薄板圧延ということにす

る。

熱間薄板圧延では、素材はシートバーで、その寸法の一例では、幅は200～250mm、長さは790～950mm、厚さは製品の大きさにより種々で6.8～12.5mm、一枚の重量は13～24kgくらいであった¹²⁾。プルオーバーミルの説明図を図1に示す。薄物に仕上げるときには、8枚または10枚重ね圧延を行った。その熱間圧延薄板製造工程を図2に示す。この図は仕上がり8枚重ね圧延のときを示している¹³⁾。

川崎製鉄(株)では、1951年2月に千葉製鉄所を開設し、その建設費を少しでも自前で持つということから、千葉において、1952年11月に、プルオーバーミルによる薄板工場

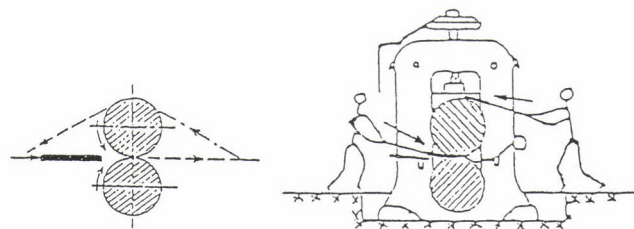


図1 プルオーバーミル¹³⁾

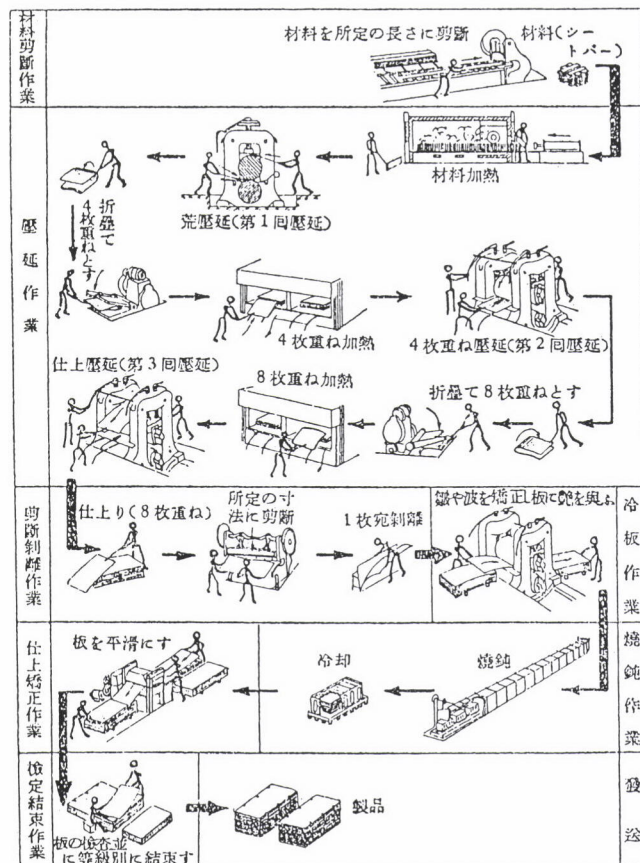


図2 プルオーバーミルによる熱延薄板工程図¹³⁾

表2 戸畑ストリップ熱延粗圧延機¹⁸⁾

圧延機名称	型式	ロール寸法		電 動 機			減速比	ロ ー ル		スタンド間 距 離
		径	長	馬力	電圧	R.P.M.		R.P.M.	周 F. P. M.	
スケール プレーカー	2Hi	27"	43"	HP 500	A.C. 3,300	500	17.20	28.9	203	} 19'~8 $\frac{1}{2}$ " 32'~0"
No.1	"	32"	43"	2500	"	500	20.00	25.0	215	
No.2	"	"	"	2500	"	500	20.00	25.0	215	
同 上 縦		24"		200	220	400/950	28.70	13.9/33.2	87.5/208	} 56'~8"
No.3	2Hi	32"	43"	2500	3,300	500	13.10	38.2	328	
同 上 縦		24"		200	220	400/950	18.00	21.6/51.0	135/320	
No.4	2Hi	32"	43"	2500	3,300	500	9.87	51.0	439	} 79'~ $\frac{1}{2}$
同 上 縦		24"		200	220	400/950	14.35	27.8/66.2	175/416	

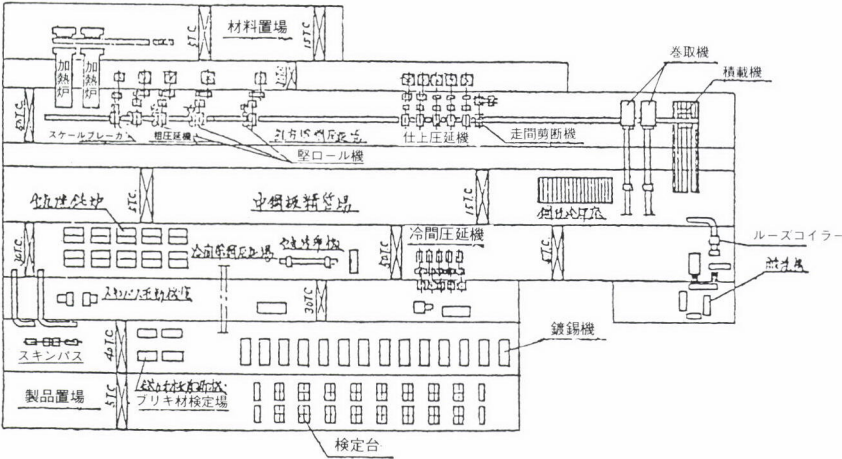


図3 八幡製鉄所戸畑ストリップ工場 (1941年)¹⁸⁾

を建設し操業を始めている。千葉の第1ストリトリップミルが1958年4月に稼働し、この熱延プルオーバーミル工場は1959年1月に休止した¹⁴⁾。

高級薄鋼板の冷間圧延では強圧下を与えるため、3重式冷間薄板圧延機および4重式冷間薄板圧延機が用いられた¹⁵⁾。

川崎製鉄では自動車用、車両用の高級仕上鋼板（特優鋼板）が生産されていたが、戦時中の生産は民需用の普通鋼板が抑制され、航空機用鋼板、防弾鋼板、けい素鋼板、鉄かぶと用鋼板さらに葉きょう用鋼板（久慈製鉄所のルッペを使用し、1942年から生産）が製造された¹⁶⁾。

(3) 帯鋼圧延

帯鋼圧延については、鋼材部会・帯鋼分科会の報告¹⁷⁾に詳しいので、抜粋して述べる。帯鋼は主として米国において発達し、1890年頃までは、スケルプなどは形鋼工場で圧延された。帯鋼薄物の需要が高まり、専門工場で圧延されるようになった。高級材質ものをフープ（帯鋼）、普通品をcottontie（綿花梱包材）といった。

日本最初の帯鋼工場は1935年3月稼働の日本鉄板徳山工

場と4月稼働の日亜製鋼尼崎工場とである。これより前、1931年から日本鋼管では小形工場でスケルプの圧延を初めていた。

(4) 広幅帯鋼連続圧延

ホットストリップ圧延（連続式）

帯鋼の幅は、5/8～3"くらいから、次第に広くなり、7"、10"と広くなり、1920年には22"幅、1923年にはAshlandの連続圧延機で36"幅になり、1926年にはPennsylvania州のButlerの工場で48"幅になった。このButler Millが広幅帯鋼（ワイドストリップ）の模範として発展を続けていく¹⁷⁾。

1941年にアメリカより輸入された広幅帯鋼連続圧延機（ストリップミル）が八幡製鉄所に建設された。図3、表2¹⁸⁾に示すように、粗圧延機は4基あり、それぞれ逆転をしない連続圧延である。粗圧延機では仕上圧延機と異なり、それぞれの圧延機が圧延材料を同時に噛み込んでいることはない。次の熱間仕上圧延機群は、設計では6基であったが都合により5基で建設され、各スタンドの仕様は表3に示すようである¹⁸⁾。

1942年に、アメリカより続いて輸入された中厚板連続圧

表3 戸畑ストリップ熱延仕上圧延機¹⁸⁾

スタンド	ロール寸法		電 動 機				減 速 比	ロ ー ル	
	径	長	馬 力	電 圧	R.P.M.	型 式		R.P.M.	周速F.P.M.
No.1	W. B. 21"×45"	43"	HP 3500	600	200/400	D. C.	3.00	66.5/133	366/ 732
2	"	"	3500	"	200/400	"	1.96	102/204	561/1122
3	"	"	3500	"	135/270	"	直 結	135/270	742/1484
4	"	"	3000	"	170/370	"	"	170/370	935/2035
5	"	"	3000	"	170/370	"	"	170/370	935/2035

注；ロール間隔は18'~0"発電設備は9000 k.V.A. 同期電動機に2基の直流発電機(3250kW)を連絡して構成せるもの2組を用いる

表4 戸畑冷延圧延機設備¹⁹⁾

		1 号	2 号	3 号	4 号	5 号
ウワーク	寸 法	18"×42"	"	"	"	"
	r. p. m. 回 転 数	47 ~72	86~115	144~193	203~273	241~321
バック アップ	寸 法	40"×42"	"	"	"	"
	回 転 数	17 ~27	31~57	53~71	74~100	88~120
減 速 比		8.36	6.923	4.15	2.93	2.458
電 動 機	出 力	500	1000	1000	1000	1250
	回 転 数	400/600	600/800	"	"	"
原 動 機 設 備						
電 動 機	5200HP	3300V		375r.p.m.	3 相 同 期	
発 電 機	3500kW	600V D.C.		375r.p.m.	他 励 複 巻	
励 磁 機	90kW	220V D.C.		375r.p.m.	自 励 複 巻	

延機が広畑製鉄所に建設された。これは粗圧延機が逆転式になっており、半連続式といわれるものである。仕上圧延機群は4基よりなっている。戦後2基を追加して、6基からなる仕上圧延機とし、ホットストリップ圧延を行っている¹⁹⁾。

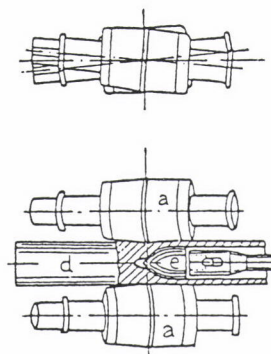
コールドストリップ圧延（タンデムミル）

八幡製鉄所戸畑ストリップ工場には冷間圧延機も設置されている。図3のヤードの中央近くにみえる。この冷間圧延機は4重圧延機の5基の連続式よりなり（5タンデムという）、表4の設備仕様である。5番スタンドの後面にはフライングマイクロメータを付し、走間で厚み測定を行う。圧延中には各スタンド前において、スプレーガンを用いてパーム油を吹きつけ板の延びを良くする。このパーム油は後に電気清浄装置により取り除く。

フライングマイクロメータは規定寸法にて零を指し、厚みの過不足により+-の値を示す。この指示をみて圧下調整を行うが、原則としてまず4号と5号スタンド間のテンション調節を行い、これで不十分な時には1号スタンドの圧下調整を行う。

ロールの旋削に当たっては、4号と5号の上ワークロールのみ0.02mmの中凸とし、他はすべてフラットにした。

1～5号スタンドの仕様は表4のようである¹⁹⁾。

図4 マンネスマン式穿孔法²¹⁾

2.2.4 継目無管圧延

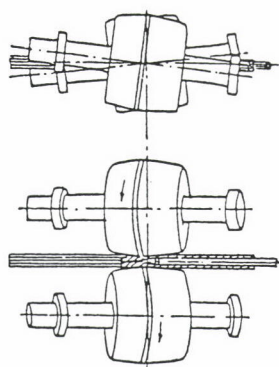
継目無鋼管を圧延製造する最初の工程において、中実の丸鋼片を穿孔して中空素材にする。これが穿孔圧延である。この工程に使用する穿孔機として用いられるものに、ピアサ、クランクプレス、ハイドロリックプレスがある。

このピアサは圧延に分類されるもので、マンネスマン兄弟により発明され、実用化されたピアサでは主ロールおよび補助ロールを使用して穿孔を行い、比較的厚肉の素管を得ていた。その後ロールを改良し、ロール直径増加に伴う周速度の増加と、ガイドシューの適切な使用により、穿孔素管の肉厚を薄くすることを可能にし、次の工程の圧延作業を容易にすることができた^{20,21)}。この両穿孔法を次に示す。

マンネスマン式穿孔は、図4に示すように細長いロールを用い、厚肉素管を製造し、丸鋼塊の穿孔も可能であった。図5に示すスティーフェルマンネスマン式穿孔では、胴径が比較的大きく、胴長が比較的短いロールを用い、加工速度が大きく、薄肉素管を製造し、分塊圧延による丸鋼片のみを素材とした²¹⁾。

しかし、両者は原理的に差がないのでともにマンネスマン式ピアサと称し、前者を厚肉穿孔方式、後者を薄肉穿孔方式と区別することもある。同時の設備をこの分類で表5に示す²⁰⁾。

ピアサにはこの他に、円錐型または円盤型のロールを有

図5 スティーフェルマン式穿孔法²¹⁾表5 厚肉／薄肉・穿孔方式²⁰⁾

型 式	製 作 所 名	台 数	電 機 馬 力	電 機 r.p.m.	傾 斜 角	最 大 径 mm	長 さ mm	能 率			
								使用丸棒		素 管 最大長	能 率 本／時間
								max	min		
厚 肉 穿 孔 方 式	A-1	Demag	1	850	184	92	6°	445φ	600	185φ 122φ	3M200 3" 6" GP 118 100 11.6 22.0
	A-2	島村工業	1	600	194	97	6°35'	400φ	600	130φ 122φ	1M800 2" 1 1/2" 120 128 11.5 9.2
	A-5	Demag	1	3,350	147.5	61	4°	650φ	927	515φ 279φ	3M200 8" 10" 39 30 25.0 27.0
薄 肉 穿 孔 方 式	B	Demag	1	1,300	980	91	6°~10°	800φ	500	180φ 75φ	5M800 3" 5" 140 85 6.9 10.5
	C-1	Meer	1	2,000	300	80	4°~10°	970φ	508	220φ 85φ	7M000 3" 6" 120 82 14 22
	C-5	芝浦共同	1	2,700	300	80	4°~10°	970φ	508	220φ 85φ	7M000 3" 4" 120 100 14 15

するスティーフェル式ピアサがあるが、現在我が国にはこの種ピアサを設置した工場はない²⁰⁾。

この原理による穿孔圧延法の特許は1885年1月に認可されたが、実用的に初めて成功したのは1886年8月といわれている²²⁾。

穿孔に続いて行われる製管法は多い²³⁾が、プラグミルによる場合には、プラグとロールの間で圧延され、全長さを圧延後に素管は90°回転され、その後新しいプラグで再度圧延される。つぎに、磨きロール機、定径ロール機（あるいは絞りロール機）に送られて外径を整えられたのち冷却され、精製・検査の後出荷される²³⁾。1945年までの鋼管の生産量は表6のようである²⁴⁾。

2.3 復興期を振り返って

復興期の初期には、何も手付かずの時期があり、これを過ぎてやっと何かをしても、混乱と赤字から抜けられなかった。傾斜生産法を実施するようになって復興が目に見えてきたところで、朝鮮戦争の特需を足がかりに、復興を確かなものとし、次なる発展をめざす気力を持つことが出来たと言えよう。

どの辺からを復興と言えよいであろうか。その日暮らしの生産は終戦後すぐにもあったであろうが、ストックを消費するだけの生産を復興と言うのはつらい。戸畑のコー

表6 1936年から1945年まで10年間のわが国の鋼管の生産量と日本鋼管および住友金属の占めるシェア（製鉄業参考資料による）²⁴⁾

年 次	全 国	N K K		住 友		N K K + 住友	
	トン	トン	%	トン	%	トン	%
1936	188,659	147,260	78.0	41,399	22.0	188,659	100.0
1937	224,256	156,656	69.8	52,298	23.3	208,954	93.2
1938	225,838	151,639	67.1	51,314	22.7	202,953	89.9
1939	270,000	188,878	69.9	52,037	19.2	240,915	89.2
1940	261,186	187,211	71.6	45,804	17.5	233,015	89.2
1941	230,645	157,155	68.1	47,902	20.7	205,507	88.9
1943	204,526	141,421	69.1	36,261	17.7	177,682	86.8
1944	187,731	109,895	58.5	51,734	27.6	161,629	86.1
1945	45,149	20,971	46.5	20,169	44.7	41,140	91.1

（1942年（昭和17年）の統計は見当らなかったで省略した。また、1943～45年の値は戦後1950年にまとめて発表されているので、それを利用した。）

ルドストリップミルは1946年10月に、ホットストリップミルは同年12月に、圧延作業を再開した²⁵⁾。葺合の製鋼工場は1946年10月に再開した²⁶⁾。このあたりの時期が復興の開始とみてよいのではないかと考える。

先述のように、毎年経済白書が出されるようになったが、最初の1947年7月の22年経済白書（この時には、経済実相報告書といった）では、経済緊急対策が付けられており、「財政も赤字、企業も赤字、家計も赤字」と表現され⁴⁾、「傾斜生産方式」が推進されて行く。経済白書の副題は、

22年 付経済緊急対策、23年 回顧と展望、

24年 経済現況の分析、25年 安定計画下の日本経済であり、わが国経済が次第に落ち着きを取り戻しつつあることが、よく判る表現になっている。

3 戦後の発展

3.1 発展に向かって

戦後5年間、懸命の復興努力を行っているところに、1950年6月、朝鮮戦争が勃発し、わが国では鉄鋼業のみならず経済全般が活気づくことになる。

これより少し前、1950年4月、半官半民であった日鉄が、純然たる民間会社2社に分割された²⁷⁾。これを機会に、関西大手3社、住金、川鉄（1950年8月に川重より分離）、神戸が一貫会社に転身することが企画され、鋼管（この時一貫体制であった）を含めた6社体制で日本鉄鋼業は進むことになった。

1951年9月には、対日講和条約（49か国）が調印され、終戦後の占領政策は終了して、米国は我々に資金を提供し、技術と市場を与えてくれた²⁸⁾というようになり、我が国は自立して本格的な進展をはかる気運にあった。

第1次合理化計画が1952年に発表になり、1951年を初年度年、1953年までを予定したが、計画が延びて結局のとき

表7 戦後日本鉄鋼業の近代化投資の推移³⁰⁾

時期区分 (年)	投資額 (億円)	近代化投資の特徴	各期末における年間生産設備能力(1000t)				新 設 一 貫 製 鉄 所			
			粗鋼生産能力 (LD転炉)	連続铸造	ストリップミル 熱 間 冷 間		社 名	製鉄所名	1号高炉 火入れ 年月日	炉内容積 (m ³)
戦 後 (1946~50)		壊滅的狀態にあった設備の補修と改善。	11,552	—	270	139	—	—	—	—
第1次 合理化 (1951~55)	1,282	導入技術による技術の遅れの回復。ストリップ・ミルを中心とした圧延部門近代化。	11,279	—	1,476	1,278	川崎製鉄	千 葉	53. 6.17	877
第2次 合理化 (1956~60)	6,253	臨海一貫製鉄設備新設による能力拡大。LD転炉導入。専用船建造。	28,194 (4,843)	—	7,698	3,929	神戸製鋼 八幡製鉄	神 戸 八 幡 (戸畑)	59. 1.16 59. 9. 1	753 1,603
第3次 合理化 (1961~65)	10,138	新立地製鉄所の新設、大型投資による大幅能力増。	53,256 (24,745)	—	22,380	9,481	住友金属 日本鋼管 東海製鉄 八幡製鉄	和歌山 水 江 名古屋 堺	61. 3.15 62.11.16 64. 9. 5 65. 6.24	1,350 1,709 2,021 2,047
(1966~70)	22,428	新鋭拡大投資(高炉・転炉の大型化。連続化。一貫コンピュータ化。連铸の導入)。	114,635 (91,480)	11,169	39,882	18,370	日本鋼管 川崎製鉄 八幡製鉄 神戸製鋼	福 山 水 島 君 津 加古川	66. 8.26 67. 4.18 68.11.27 70. 8. 7	2,004 2,156 2,705 2,843
(1971~75)	40,258	公害防止投資割合の増加。	152,010 (125,319)	44,826	56,928	23,937	住友金属 新日本製鉄	鹿 島 大 分	71. 1.20 72. 4.19	3,159 4,158

ろ1955年までとし、表7のごとく、5年刻みで第1次から第3次まで行われた²⁹⁻³¹⁾。

第1次から第3次合理化計画(5か年計画)の15年間、1951-1965年はその後に続く大きな発展の前期というべき時期であろうと考えている。

3.2 合理化計画

3.2.1 第1次合理化計画(1951-1955年)

第1次合理化計画の主たる狙いは、戦時中荒廃ないし老朽化した圧延設備の更新・近代化であり、とくにストリップミルの導入であった^{32,33)}。これはマーシャル援助によってストリップ化をはかった欧州鉄鋼業への対抗措置と戦時中の技術進歩の遅れを取り戻す試みであった。したがって、ストリップミルの他、分塊、形鋼・線材、厚板、帯鋼、銅管などの近代的圧延設備への投資が我が国全体の投資の半分以上を占めた。

この間、川崎製鉄は千葉での新立地による近代的一貫製鉄所の建設をいち早くスタートさせた。

その他、操業技術の導入も積極的に行われ、八幡、富士両社はアームコ社から、ホット、コールドストリップや亜鉛鉄板、珪素鋼板などの技術導入を行い、これらはその後の技術導入の先駆的なものとなった。かくして圧延部門を中心に外国技術の吸収が精力的に行われた。この近代化設備の6割は輸入機械であった^{32,33)}。

3.2.2 第2次合理化計画(1956-1960年)

1953年7月、朝鮮休戦協定調印の運びとなり、朝鮮特需が無くなったためか、1954年は大不況であったと記憶している。1955年は「静かなるブーム」といわれるように好転し、第2次合理化計画の初年度である1956年には、経済白書で「もはや戦後ではない」と宣言している。

1956年5月、通産省は20か年計画と称される試案を発表し、鉄鋼生産の構造の質的転換を要望している³²⁾。そして、川鉄千葉につぐ新立地製鉄所として、戸畑、水江、灘浜や製鉄所の拡張計画が起きている³²⁾。

第2次合理化計画の狙いは、能力の拡充に重点がおかれたものであった。圧延関係では、分塊6基、ホットストリップ5基、コールドタンデム2基、同レバース16基、厚板2基、線材7基が新設されている³²⁾。

世界銀行より主要6社に対する高炉を中心(高炉10基)とする包括的融資が与えられ、操業管理方式では米式のラインスタッフシステムを採用し、原料管理から高炉、転炉、圧延を一直線に結ぶ集中管理方式を採用し、また大型専用船にそなえて築港、埠頭にも意を用い、あらゆる意味で模範的新製鉄所が出現した³²⁾。

ちなみに転炉は1957年に導入され、転炉への転換は急速に行われている。

3.2.3 第3次合理化計画(1961-1965年)

第3次合理化計画では、高炉4~5基、製鋼能力600~800

万トンの大規模製鉄所の建設をめざし、まさに倍増計画になった。この趨勢は次の5か年にも続いていく。

この間、1956年には、わが国造船量が世界1位となり、1960年には、池田内閣は所得倍増計画を策定している。そして、第3次期間中に投資された製鉄所は、表7のようであり、1961年頃には、次の数年の6製鉄所の立地手当が行われている。

この期中の1962年、1965年は大不況といわれるが、1954年の不況時とは異なり、それ程のこととは感じなかった。輸出力がついており、内需と生産量の差は輸出に向かい、国際問題化することになる。

3.3 合理化期の各圧延技術の発展

3.3.1 分塊圧延

第1次合理化計画では、従来小型銅塊から直接圧延されるものが大部分であったが、大型銅塊を造り分塊してから圧延機にかける方式に順次変えるため、分塊圧延機の新設増強が行われた³⁴⁾。

第1～第3次合理化期に建設された分塊設備は表8、表9のようである³⁵⁾。この表を見ると、能力増が著しい(スラブ用とブルーム用、その他でレベルが異なる)。

表8 戦後の分塊設備 (昭和41.12現在)³⁵⁾

社場・工場名	形 式	公称能力 千トン/年	メーカ	建設 年
川鉄・千葉	ハイリフト式	1,600	U. E	29
八幡・八幡	"	1,600	Sack	33
神戸・神戸	"	840	自 社	34
鋼管・水江	"	1,200	Blow Knox	34
八幡・戸畑	"	1,600	Sack	34
住金・和歌山	"	1,200	Sack	35
富士・室蘭	"	1,200	日 立	35
富士・広畑	ユニバーサル式	2,400	U. E	35
神戸・神戸	ハイリフト式	1,200	自 社	36
川鉄・千葉	ユニバーサル式	2,400	Blow Knox	36
住金・小倉	ハイリフト式	840	日 立	37
八幡・戸畑	ユニバーサル式	3,000	Blow Knox	37
東海・名古屋	"	3,000	Mesta 三菱	39
八幡・堺	ハイリフト式	1,440	日 立	40
住金・和歌山	ユニバーサル式	3,000	石 川 島	40
日新・呉	ハイリフト式	950	A. B	40
鋼管・福山	ユニバーサル式	4,500	B. K. 日 立	41
住金・和歌山	"	3,600	Sack 石川島	41

表9 分塊圧延設備数の推移³⁵⁾

	昭28	昭39
ブルーミング・ミル	3重式 4) 10 2重逆転式 6) 13	2) 15
スラビング・ミル	2重逆転式 3) 3 ユニバーサル式 0) 4	7) 11

(注) ブルーミング・ミルは3重式が2重逆転式に変わり、スラビング・ミルは高効率のユニバーサル・ミルに変わってきている。

二重式圧延機で広幅スラブの幅圧下をするために、ハイリフト式が用いられるようになり、次の段階で垂直ロールを付けたユニバーサル式にして、パス時間を短縮して能率アップをはかり、ホットスカーフィングを付けてスケール疵を防ぎ、その他圧延歩止り向上のために種々の改善を行い、圧延機を国産化する努力がなされた。

3.3.2 形鋼・線材圧延

形鋼は二次加工をうけることが少なく、工場出荷のままの形で使用されることが多く、そのために多様な用途に向けた多様な製品形があり、その圧延方法も非常に多くの手段・手法が開発されてきた。3重圧延機の孔型ロールと孔型前後面のガイドで各種断面を製造し、経験的手法も多く、孔型内のメタルフローなどモデルを使った検討も多く行われている。

高層ビル建築用に広幅H形鋼の需要が高まり、ユニバーサルミルを設置した広幅H形専門工場を建設するようになり、1961年11月堺製鉄所で稼動にはいり、同年10月川鉄・葦合工場、1963年3月、富士鉄・広畑で続いて稼動にはいった^{36,37)}。

中小形圧延では、従来の並行式、半連続式のものが、全連続式またはクロスカントリー式の採用となり、1955年から1965年にかけて改善設備が設置された³⁵⁾。圧延機については、圧延速度の高速度化のために縦ロールを採用し、寸法精度向上のためにプレストレス方式採用などの改良が行われた³⁶⁾。

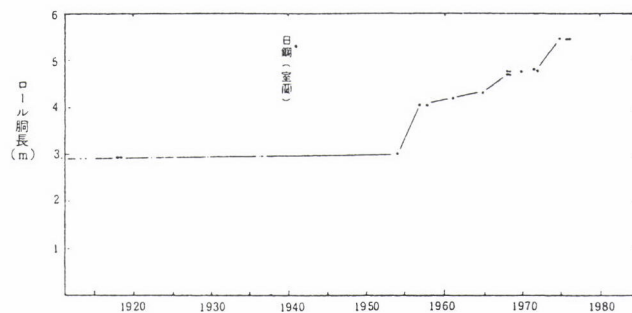
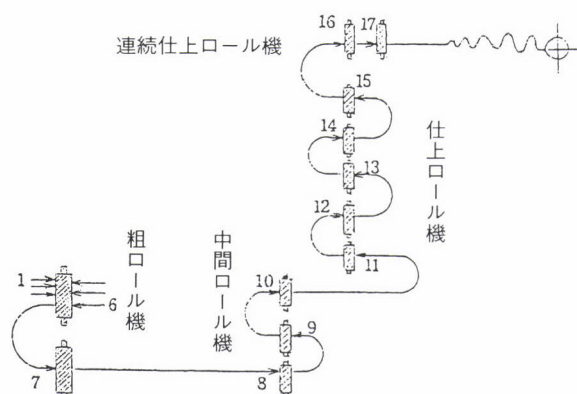
線材圧延では、旧来のガレット式あるいは半連続式などに代わって全連続式圧延機が出現して以来10年を経過し、生産能力は1953年度から1962年度で1.5倍になった。その改

表10 戦後の主なる高速連続線材圧延設備³⁹⁾

会社	工場	昭和 年	機 械	電機
八幡	光	29	Siemag	東芝
神戸	神戸	31	Morgårdshammer	富士
富士	室蘭	33	U. E. 芝共	東芝
大同	昆崎	33	Morgårdshammer	日立
住金	小倉	33	B. K. 日立	日立
神戸	神戸	35	Schlöemann	日立
吾嬬	吾嬬	35	日 立	日立
中山	武豊	35	中 山	各社
神戸	神戸	36	神 戸	富士
八幡	光	36	住友機械 Siemag	東芝
富士	釜石	36	Schlöemann	三菱
大阪	西島	36	大阪製鋼	東洋
住金	小倉	40	日 立	日立
川鉄	水島	40	新 潟 鉄 工	東芝
神戸	神戸	40	神 戸	富士

表11 厚板ミル年表⁴¹⁾

年	記 事
1941 1944	日本製鋼室蘭に5300mmミル、世界一広幅 アメリカ Homestead に現在の厚板工場の教科 書といわれる 160" (4064mm) ミル稼働
1954	鋼管鶴見に日本最初の本格的厚板ミル、120" (3040mm) ミル稼働
1957	八幡に 160" (4064mm) ミル稼働
1958	広畑に 160" (4064mm) ミル稼働
1960	アメリカ Republic Steel, Gadsden 134" (3400 mm) ミルに厚板ミルとしてはじめて圧延プロコ ン導入
1961	川鉄千葉 166" (4200mm) ミル稼働
1963	鋼管鶴見ミル改造 134" (3400mm)
1964	アメリカ Bethlehem Steel, Burns Houbert 160" (4064mm) ミルに厚板ミルとしてはじめて AGC導入
1965	住金和歌山に 170" (4300mm) ミルの分塊厚板 兼用ミル稼働、その後厚板専用となる。なお厚板 ミルハウジングの国産としてはこれが最初
1967	川鉄水島 4100mm ミル稼働。厚板としては日 本ではじめてAGC、圧延プロコン導入

図6 厚板圧延のロール胴長の推移⁴³⁾図7 帯鋼圧延のロールスタンド 配列・パスの順序例⁴⁴⁾表12 ホット・ストリップ・ミル（昭和42.6現在）⁴⁷⁾

社名・工場名	型式ロール幅	メーカー	建設 年月	圧延 速度 m/min	公称 能力 千トン
八幡・戸畑1H 2H 堺 計	全連続43"	U.E 芝共	16.9	620	1,200
	半連続80"	Mesta 芝共	33.11	713	1,800
	全連続56"	U.E 芝共	39.1	945	3,000
					6,000
富士・広畑 室蘭 計	半連続86"	U.E 芝共	17.12	650	1,560
	半連続56"	U.E 芝共	32.9	680	1,560
					3,120
東海・名古屋	全連続68"	U.E 芝共	38.7	915	2,400
鋼管・水江 福山	半連続68"	Mesta	34.8	680	1,800
	全連続80"	Mesta 三菱	41.8	883	3,000
川鉄・千葉1H 2H 計	半連続56"	U.E	33.4	680	1,200
	全連続80"	U.E	38.9	1,015	3,000
					4,200
住金・和歌山	半連続80"	U.E 芝共	37.3	748	2,220
日新・呉 " 周 南 計	全連続36"	Louis 三菱・日立	28.8	724	540
	全連続60"	Mesta 三菱	40.11	865	1,920
	ステッセル59"	Krupp 日立	36.3	305	180
					2,640
日本・川崎 冶金	プラネタリー	日立	41.6	112	810

善は、圧延速度の高速化、コイル単重の増加、圧延温度の均一化による品質向上、作業員の低減などである。その他、特殊鋼主体の圧延機の設置やロールの材質改善などを進んだが、まだブロックミルは出現していない³⁸⁻⁴⁰⁾。表10に戦後の主なる高速連続線材圧延設備を示す³⁹⁾。

3.3.3 厚板圧延

戦前のラウト3重式圧延機に代わって、新しい160インチおよびそれ以上のロール胴長の4重式仕上圧延機を設備した広幅厚板圧延機が戦後の標準となった。厚板ミルの建設年表^{41,42)}を表11に示す。

厚板の主たる用途に造船用があり、船の大型化やUOEパイプの大径化などに対応して、建設を追って胴長が広くなっている。その様子を図6に示す⁴³⁾。また、AGCの導入、自動化、高精度化、国産化をはかり、1965年に稼動した住友金属の分塊、厚板のコンビネーション・ミルは国産1号といえるものである⁴¹⁾。

3.3.4 帯鋼圧延

帯鋼圧延では、広幅帯鋼圧延（ストリップ圧延）が代替として発展するので、深くは触れないで置く。先述したように、小形工場で圧延を始めている。例えば、図7のように、レピータを使つての圧延であった⁴⁴⁾。

戦後の新しいものが、1953年2月、川崎製鉄西宮工場、

同年6月住友金属和歌山工場、同年8月日亜製鋼呉工場稼働している⁴⁵⁾。1954年8月、日本鋼管川崎に、デマーク社製の帯鋼（フープ）と帯厚板の連続式15スタンド、フープ幅は最大450mmで、年産30万トンのものが稼動し、鍛接管

表13 コールド・ストリップ・ミル (タンデム)⁵⁰⁾
(昭和42.6現在)

会社名・工場名	型式 ロール幅	メーカー	建 年	設 月	圧延 速度 m/min	公称 能力 千トン
八幡・戸畑1C	54"	Mesta	15. 9		915	480
2C	42"	"	29. 3		1,220	360
4C	56"	"	37. 2		2,170	480
富士・広畑1C	56"	U. E	29. 1		1,250	504
東海・名古屋1C	56"	U. E	36.11		1,430	540
鋼管・水江	56"	U. E	36. 4		1,830	720
福山	80"	U. E芝共	41. 7		1,676	1,320
川鋼・千葉1C	56"	U. E	33. 6		1,320	480
2C	56"	Mesta	38. 4		2,170	600
住金・和歌山1C	56"	Mesta	38. 3		1,700	720
神戸・堺	56"	芝共	38. 5		1,070	780
東洋鋳・下松	56"	Mesta	34. 2		1,370	600

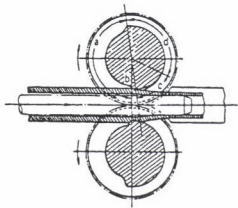


図8 ピルガーミル(1891年)^{54,55)}

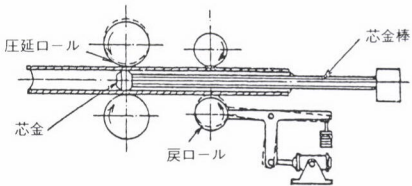


図9 プラグミル(1906年)^{54,55)}

表14 わが国の継目無管製管方式別台数と外径可能範囲⁵²⁾

製管方式		台数	外径範囲(mm)
傾斜圧延方式	マンネスマンー プラグミル	4	34.0~381.0
	マンネスマンー ピルガーミル	1	165.2~457.0
	マンネスマンー アッセルミル	1	50.8~165.2
	マンネスマンー マンドレルミル	2	34.0~140.0
プレス方式	エルハルトブッシュベンチ法	2	210.0~1061
	ジンガー法	1	21.7~ 76.2
	ユージヌセジュールネ法	7	25.4~280

昭和44年3月現在

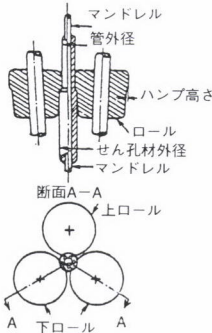


図10 アッセルミル(1935年)^{54,55)}

(フレッツムーン法)の材料として用いられた。これは、1971年9月その役目を終えた⁴⁶⁾。

3.3.5 ストリップ圧延

(1) ホットストリップ圧延

この時期におけるホットストリップミル一覧表を表12に示す^{47,48)}。合理化計画でストリップミルに重点がおかれたことがよく判る。ミルの高速化、扱うスラブの大型化、寸法品質の均一化、歩留りの向上をめざし、自動化についても意欲的に取り組んでいる。粗圧延も連続化して生産性の向上をはかっている。ロール組替にターンテーブル方式を採用してロスタイムを軽減し、BISRAゲージメータ方式によるAGCの効果を上げ、ホットランテーブル上での冷却効果を上げるなど、生産量の拡大に比例して技術も目覚ましく進展した⁴⁹⁾。

半連続式よりも連続式を多く用いるようになってとともに、熱延ステンレス用にステッセルミル、またこれも熱延ステンレス用にプラネタリーミルが設置された⁴⁷⁾。

(2) コールドストリップ圧延

タンデム圧延

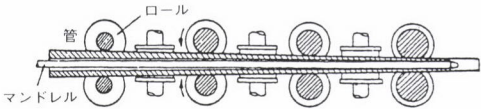


図11 マンドレルミル(1949年)^{54,55)}

この時期におけるコールドストリップミルの一覧表を表13に示す⁵⁰⁾。タンデム圧延は、全スタンド同時に噛み込んでいる状態で圧延し、比較的厚いものは4タンデム、薄物は6タンデム、多くは5タンデムである。この表を見ると、建設年を追って圧延速度が増大していく。より薄いものを能率良く生産するためである。製鉄、電機、機械、制御、圧延油などの関係者の合作といえる。

レバース圧延

レバース圧延設備では、1937年に東洋銅鋳下松においてU.E.製のものが設置され稼動した。レバースミルはシングルスタンドで4重式圧延機が普通である。

その他、ステンレス鋼板、電磁鋼板、普通鋼の極薄板などを生産する目的で、6重式、Y型(7重式)、6重式をさらにバックアップした12段式、さらにもう一段バックアッ

ブした20段式圧延機（ゼンジミア・ミル）などが開発された。これらは、材料に直接触れて圧延するワークロールの直径が極く小径であり、広幅硬質材料の冷間圧延に有用である⁵¹⁾。

3.3.6 継目無管圧延

銅管は用途が多様であり、従ってその製造法もそれぞれに合うように非常に多様である。これを大別すると、継目無管と溶接・鍛接管である。継目無管の最初の穿孔工程には、マンネスマン圧延穿孔法と他にプレス法などがある。1969年3月時点のわが国の状況は表14のようである^{52,53)}。

マンネスマン圧延穿孔の後に続く圧延法は前表のようであり、図8～図11にそれぞれが開発された年と説明を加えて示す^{54,55)}。このあとなお仕上げ工程がある。この4つの方式のうち、マンドレルミル圧延法は連続圧延法とも言われ、連続式で能率が高い方式である⁵⁶⁾。

戦前は継目無銅管の比重が高かったが、戦後には溶接技術の進歩により溶接管が増加した。その他、石油の価格が上がると、継目無銅管（油井用）だけが多忙になるという印象が強い。

3.4 発展（前期）を振り返って

分塊圧延における開発は、その大能力化、バスタイムの短縮および歩留り向上であった。しかし次の時期には、連続鑄造のニャネットシェーブ効果と連続化効果により、分塊圧延は連続鑄造と交替することになる。

形鋼圧延では、広幅H形鋼（当時は特に広幅といった）が、生産性および寸法精度の良さをもって躍進しはじめた。線材圧延では、高速化、直線パス化が進んだが、まだブロックミルの出現には至っていない。

厚板圧延では、広幅への進展（次の時期にもう一段の広幅化が進む）、大型化、AGC技術が進んだ。

帯鋼圧延はストリップ圧延と、やがて交替をすることになる。

ホットストリップ圧延では、BISRA（The British Iron and Steel Research Association）によるロードセルを用いたゲージメーター方式による板厚測定および板厚制御に熱が入った時期があった。また、プラネタリーミルの運転が行われた。

コールドストリップ圧延では、薄物の形状や疵問題の解決に力が注がれ、自動車用鋼板の製造技術（深絞り性向上）などが進展した。圧延油の共同研究、変形抵抗（熱・冷延とも）の共同測定なども行われた。

継目無管圧延では、モデルミルを作っての研究も盛んになった。モデル穿孔ミルでは、そのプラグの材質がポイン

トであった。

第一次合理化期の経済白書の副題をみると、
26年 年次経済報告、27年 独立日本の経済力、
28年 自立経済達成の諸条件、29年 地固めの時、
30年 前進への道、
とあり、1951年（昭和26年）9月に講和条約調印を行った我が国が、「これから再出発」という熱意に燃えていたことが強く感じとられる。

4 むすび

1948年に、日本鉄鋼協会、通産省重工業局、日本鉄鋼連盟の三者共同運営により日本鉄鋼協会・研究部会が発足し、その一部門として鋼材部会が置かれた。鋼材部会は1954年10月に、「鋼材部会報告」として、鋼材圧延に関する研究、1～3巻の大著を出版して、1955年に組織を改め、日本鉄鋼協会・技術共同研究会・鋼材部会・圧延理論分科会が発足した。1961年に鋼材部会が発展的に分割され、圧延理論分科会は共同研究会の直属になり、1972年に部会に昇格し、圧延理論部会になった⁵⁷⁾。

発足してからやがて半世紀になる。この初期の20年間を、圧延の多岐にわたる分野について、駆け抜けて見てきた思いである。不可欠な設備や付帯設備は数多く、それらに触れないできた。また、割愛、抜け落ちも多々あると思うが、お許しを頂きたい。

この時期の終わりの頃は、急発展の緒に着いた時期であったと考える。さらなる大発展に向かって、共同研究も増々盛り上がっていた。

参考文献

- 1) 石川 泰：ふえらむ，2（1997）515.
- 2) 川崎 勉：日本鉄鋼業—その軌跡—，（株）鉄鋼新聞社，（1982），29-38.
- 3) 川崎 勉：戦後鉄鋼業論，（株）鉄鋼新聞社，（1968），26-36.
- 4) 内野達郎：復刻経済白書月報No.2，（株）日本経済評論社，（1975），4.
- 5) 復刻経済白書第一巻昭和22年版，（株）日本経済評論社，（1947），4.
- 6) 日本鉄鋼協会編：最近日本鉄鋼技術概観，日本学術振興会，（1950），324.
- 7) 日本鉄鋼協会，通産省重工業局，日本鉄鋼連盟：鋼材圧延に関する研究，第1～3巻，（1954）
- 8) 前掲6)，312-316.
- 9) 浅川基男，中川吉左衛門：塑性と加工，38（1997），

- 787-793.
- 10) 材料研究会：工業材料便覧（金属），（株）理工出版社，（1952），1367-1368.
 - 11) 前掲10)，1369.
 - 12) 前掲10)，1379の第11表
 - 13) 前掲10)，1380.
 - 14) 川崎製鉄（株）：千葉製鉄所建設15年の歩み，（1967），168, 172.
 - 15) 前掲10)，1373.
 - 16) 川崎製鉄（株）：川崎製鉄25年史，（1976），30.
 - 17) 前掲7)，第3巻第6編帯鋼圧延，1-2.
 - 18) 前掲6)，317, 318.
 - 19) 前掲6)，321-322.
 - 20) 前掲7)，第3巻第7編鋼管圧延，187.
 - 21) 日本鉄鋼協会編：鉄鋼便覧，丸善（株），（1954），453.
 - 22) J. P. プーア：シームレス物語，今井宏訳・発行，（1984），6, 17.
 - 23) 日本鉄鋼協会編：鋼材製造法 [鉄鋼技術講座第2巻]，地人書館，（1959），170.
 - 24) 下川義雄：日本鉄鋼技術史，（株）アグネ，（1989），421.
 - 25) 福田宣雄：ストリップ技術の変遷，新日本製鉄（株），（1981），57, 67.
 - 26) 川崎製鉄（株）：せいはん60年，川崎製鉄（株），（1977），34.
 - 27) 前掲2)，537.
 - 28) 田畑新太郎：戦後復興期におけるわが国鉄鋼技術の発展，前付 [発刊にあたって]，日本鉄鋼協会，（1992）
 - 29) 前掲2)，55, 56.
 - 30) 飯田賢一：日本の技術2・鉄の100年八幡製鉄所，第一法規出版（株），（1988），94.
 - 31) 前掲24)，427.
 - 32) 日本鉄鋼連盟：鉄鋼十年史（昭和43年-52年），（1981），14-21.
 - 33) 日本鉄鋼連盟：鉄鋼十年史（昭和53年-62年），（1988），4-8.
 - 34) 前掲28)，188, 189.
 - 35) 前掲3)，517.
 - 36) 前掲2)，495.
 - 37) 前掲3)，541, 542.
 - 38) 前掲2)，496.
 - 39) 前掲3)，546, 547.
 - 40) 鉄鋼技術の進歩、鉄と鋼，51（1965），475-478.
 - 41) 新日本製鉄（株）：製鉄研究，（1982）310, 110.
 - 42) 河野耕二：最近の厚板製造技術、第11回西山記念技術講座、日本鉄鋼協会，（1971），7.
 - 43) 日本塑性加工学会：日本の塑性加工・I 歴史と進歩，（1986），228.
 - 44) 前掲7)，第3巻第6編帯鋼圧延，42.
 - 45) 前掲7)，第3巻第6編帯鋼圧延，2.
 - 46) 日本鋼管（株）：日本鋼管50年史，（1962），582.
 - 47) 前掲3)，524.
 - 48) 日本鉄鋼協会：わが国における最近のホットストリップ設備および製造技術の進歩，（1976），3.
 - 49) 前掲40)，456-461.
 - 50) 前掲3)，530.
 - 51) 前掲3)，531.
 - 52) 日本鉄鋼協会：鋼管マニュアル，（1970），19.
 - 53) 小島浩：継目無鋼管の製造技術、第23・25回西山記念技術講座，日本鉄鋼協会，（1973），70.
 - 54) 前掲52)，21-23.
 - 55) 前掲41)，165.
 - 56) 前掲21)，456.
 - 57) 日本鉄鋼協会圧延理論部会：第100回記念シンポジウム，（1994），1.

（1997年10月20日受付）