



鉄の歴史

圧延の歴史

—とくにホットストリップミルの初期の歴史について—

History of Rolling
—Early History of Hot Strip Mill—

加藤健三

大阪大学 名誉教授

Kenzo Kato

1 はじめに

鉄と鋼、第76年(1990)第12号p.7に西山賞受賞特別講演として「鉄鋼圧延および加工技術の高速化について」の内容を発表させていただいたが、その際とくに鉄鋼業にとって深い意義をもつストリップミルの歴史について明治政府から派遣された岩倉使節団が英国において日本人として初めて近代圧延工場を見学したことを述べた。今回はそれらのことおよびその後の米国における連続式鋼板圧延機の初期の発達の歴史について記述し、あわせて日本のホットストリップミルの高速化の歴史にも触れてみたい。

表1は文献1)で示した歴史の流れと圧延の関係であるが、日本鉄鋼協会の創立の時期も示しており、この歴史の流れに沿って記述することにしたい。

表1 歴史の流れと圧延の関係

明治 4	1871	岩倉使節団米欧回覧
明治 5	1872	英国シェフィールド訪問(カメロ社の熱間圧延工場見学)
明治 6	1873	使節団帰国
明治23	1890	国会発足(第1回議會)
明治30	1897	官営八幡製鉄所設立
大正 4	1915	日本鉄鋼協会創立
大正 5	1916	初代 野呂景義会長
大正14	1925	第1回講演大会
大正15	1926	Butler工場(Columbia Steel Co.) (粗圧延機1基、仕上圧延機4基) Ashland工場(ARMCO.) (粗圧延機7基、仕上圧延機7基)(月産400001)
昭和 3	1928	Butler工場(ARMCO.に合併)
昭和16	1941	八幡製鉄所戸畑工場 (粗圧延機4基、仕上圧延機5基)
昭和17	1942	広畑製鉄所 (粗圧延機1基、仕上圧延機4基)
昭和20	1945	終戦

2 岩倉使節団と熱間圧延¹⁾

明治政府が生まれた直後に、世界の政治と経済の調査を目的として岩倉具視を特命全權大使とする岩倉使節団が明治4年(1871年)11月に横浜を出発し、米国および欧州各国を訪問して明治6年(1873年)9月に帰国している。木戸孝允、大久保利通、伊藤博文ほか約50名の大使節団であって、冶金関係では大島高任も参加しており、表2に示したように二十代、三十代の参加者が多く、その心意気の大きさを感じる。

とくに久米邦武の記述による「米欧回覧実記」を見ると、明治5年(1872年)に英国を訪問した際、シェフィールドのカメロ氏経営の鉄鋼会社を見学し、長さ4800mm×1380mm×厚さ300mmの鋼板用スラブの熱間圧延の実況に接し、大きな感銘を受けたことを述べている。恐らくこれが日本の代表者が近代的な熱間圧延工場を見学した最初ではないかと思われる。そこで以下に久米邦武の記述をそのまま示してみたい。

『夫より甲鉄艦の板を鍛成する場に至る、是を場中第一の大施行とす、此日は木材にて観台を釘装し、我一行を其台に上らしめて、施行を覧観す、爐口を開けは、職人六七人許、指揮を聞て、爐中に烙せる鋼板、長さ十六尺、幅四尺六寸、厚さ一尺に余るものを、鈎鎖の力に頼て曳き出せり、鋼板の全質、烈火に烙し、白炎の度に至りたれば、全面に炎焰を吐く、爐口を距る五六間の処に、巨大の「ロールレン、マシイネ」を居え、前後に輪筒を施せる鉄砧(てっちゃん)をおき、紅烙せる鋼板を、其上に載せ、職人十八名、左右に分れ、長き鉄把を以て、推して「ロール」に挟めは、「ロール」猛力を以て転回し、之を後に輾(めぐ)り出す、後面にも同しく十八名の職人あり、之を推振(おしまわ)し、又前に輾り出す、如此(かくのごと)くする十余回、鋼板は一輾り毎に、鍛えて縮小し、厚さ九寸となれり、指揮官尺度を以て、其厚さ

表2 岩倉使節團一行

特命全權大使 使節團職名	官名	氏名	年齢	出身
同副使	右大臣	岩倉具視	四七	公家
参議	木戸孝允	三九	長州	
大藏卿	大久保利通	四二	薩摩	
工部大輔	伊藤博文	三一	長州	
外務少輔	山口尚芳	三三	肥前	
外務少丞	山田一之	四一	幕臣	
何礼之	阿比	一一	幕臣	
福地源郎	渡辺洪基	二四	幕臣	
小松清治	林董三郎	二二	和歌山	
外務少記	長野桂次郎	二八	幕臣	
外務七等出仕	池田政雄	二四	幕臣	
同	安藤太郎	二五	幕臣	
外務大録	中山信彬	三〇	肥前	
兵庫県知事	式部助	二七	公家	
外務大記	野村靖	二九	長州	
神奈川県大参事	内海忠勝	二九	長州	
權少外史	久米邦武	三三	肥前	
戸籍頭	田中光顕	二九	土佐	
租稅権頭	安場保一	三七	熊本	
租稅権助	若山儀一	三三	東京	
阿部潜	阿部潜	三三	幕臣	
沖探三	富田命保	三二	鳥取	
杉山一成	吉雄辰太郎	二九	幕臣	
侍從長	東久世通禧	三九	公家	
宮内大丞	村田経満	三六	薩摩	
陸軍少将	山田顕義	二八	長州	
兵学大教授	原田一道	四二	幕臣	
文部大丞	田中不二麿	二七	尾張	
文中教授	長與乗継	三四	肥前	
文中助教	中島永元	二八	肥前	
文部省七等出仕	近藤昌綱	二六	静岡	
同中助教	今村和郎	二六	土佐	
文部九等出仕	内村公平	四二	山形	
造船頭	肥田高良	四六	幕臣	
鉦山功	大島為仁	一九	岩手	
鐵道中属	瓜生震一	四六	福井	
司法大輔	佐々木高行	四二	土佐	
司馬大輔	岡内重俊	三〇	土佐	
權中判事	同内重俊	三〇	肥前	
同	中野健明	四六	福岡	
同	平賀義賢	四六	福岡	
權少判事	長野文炳	一八	大阪	

を査し、施工を止む、」

以上の部分であるが、初めての見学としては、よく観察しており、加熱炉における加熱の作業（文章では作業のことを施工と呼んでいる）が7、8人で行われていること、また、加熱温度も白炎の状態になれば、鉤鎖（かぎのついたチェーンか？）で炉からスラブを引き出し、炉から10 m ぐらいの所にある「ロールレン、マシイネ」すなわち、熱間圧延機に装入する。その際、回転輪のついた鉄製の装入設備があり、その上に加熱したスラブをのせて、18名の作業員が左右に分かれて工具を使用してロールに押し込むとしている。

熱間圧延機の前面および後面にはそれぞれ18名の作業員がおり、10回以上の圧延を行うようであるが、幅1380 mm×厚さ300 mm以上のスラブの熱間圧延であるから、圧延機も相当大きなものと考えられ、往復圧延のできる可逆式のものであったのであろうか。

ここで久米邦武の記述に疑問がある。それは始めの厚さが一尺すなわち30 cm程度で、10回以上圧延を行って九寸(27 cm)とは考えられない。一寸(3 cm)の間違ひであろうか。終わりに指揮官が仕上がり厚さを測る。指揮官とは作業長のことか、おもしろい。

さて、以上に続く次の記述はきわめて細かい観察のもとに記した熱間圧延作業の記録として高く評価したい。久米邦武の記述のままに以下に示したい。

「此「ロール」を出入するときに、職人傍らにあり、常に「ポンプ」にて水を進注（ほうちゅう）し、「ロール」の輪際に注ぎ、長帚（ちょうそう）を以て、板面を掃ひ銹を除く、此時に水は忽ち蒸氣に變して驚騰し、帚首の落たるは、瞬間に灰燼となる、炎炎赫赫として、満場為めに紅なり、鍛成の後、之を「リュフティン、マシイネ」にて鉤（つる）しあげ、側なる地上に投す、漸に紫に、漸に黒し、かかる板数枚を堆積せる間を、職人は徘徊す、西洋人は、貴賤皆履（くつ）を著さるなし、故に烙鉄鋭鋼の上を奔走しても足を傷るの憂あ

るなし』

以上の部分の記述は、とくに熱間圧延中の水によるロールの冷却と長いほうき（帚）による圧延板表面のデスケーリングのことが記録されており、現在のような高圧水技術のない時代のこととはいえ、『長帚をもって板面をはらい、さびを除く。この時に水はたちまちに蒸気に変化して霧騰（ばくとう）し、帚首（ほうきの先）の落ちたのは瞬間に灰となる』というように、誠に勇壮な表現を用いて熱間圧延を記述していることに興味を感じる。岩倉使節団の一行も日本人として初めてスラブの熱間圧延を見学して、さぞかし大きな感銘をうけたことであろう。

さて、ここで岩倉使節団が明治6年(1873年)に帰国してからの時代のことを考えてみると、世界の列強に負けてはなるものと近代化、工業化が進められ、明治23年(1890年)には第1回の国会が開催され、明治30年(1897年)には官営八幡製鉄所が設立された。また日本鉄鋼協会にとっても大正4年(1915年)に創立され、翌大正5年には初代会長に野呂景義先生が就任されて、第1回講演大会が大正14年(1925年)に実施された。

その頃の鋼板圧延機としては、八幡製鉄所には薄板工場に3重ロール機と2重ロール機があったようで、また一般の単圧メーカーでは図1に示すような2重ロール機によって、1枚または数枚の薄板を重ねて熱間圧延を行い、ロール前面にもどす時は図に示すようにロールの上部を通してもどし、また圧延するといった方法でやっており、プルオーバー (pull over) 方式と呼ばれていた。いわゆるブリキ板の製造はこの方法でやっていたが一定の長さのものしか圧延することができず、世界各国で長い薄板を連続的に圧延できないかという要望が20世紀に入って盛んになった。

ごく初期の段階では、圧延機を連続的に並べるが、実際は1基だけの圧延を行い、次のスタンドには圧延が終了してから入れるといった方式で、同時に2スタンド以上にかみ込む

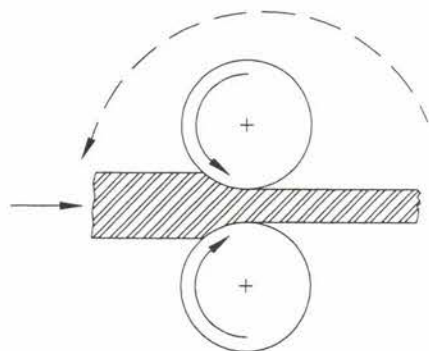


図1 2重圧延機とブルオーバー方式

ことがないので開放式連続圧延ということが出来るが、圧延が進んで帯板ストリップの長さが増加すれば、どうしても次のスタンドのロールに入ることになり密閉式連続圧延の状態になって、高度なロール速度とスタンド間張力の制御の問題が生じてくる。そのために最も開発の進歩を示した米国でさえ、1926年までは実用化の発表がなかった。

3 米国におけるホットストリップミルの初期の開発¹⁻³⁾

20世紀に入って世界各地で連続式鋼板圧延機の試作開発が進められるようになったが、その中でも最も先進的な開発競争を示したのが米国であり、鋼板を多量に使用する自動車産業の誕生とその隆盛がその開発競争を加速した。ここでは特に先端的な開発・実用化を行ったコロムビア・スチール社のバトラー（Butler）工場とアームコ社のアシュランド（Ashland）工場〔文献1〕でMiddle townとしたのは間違い〕の2社に絞って話を進めたい。

まずバトラー工場のことであるがペンシルバニア州にあって、表1にあるように1926年（大正15年）に発表され、連続圧延機の配列は次のようであった。

粗スタンド	可逆式2重圧延機	1基
仕上スタンド	タンデム式4重圧延機	4基

この配列形式はのちに半連続式と呼ばれるようになったもので、粗圧延のプロセスでは2重ロールを逆転させて7パス行い、4スタンド四重ロール仕上連続圧延機にかみ込ませて、1.2～0.5 mmの板厚に仕上げたといわれる。バトラー工場での成功はそれ以前は圧延速度がおそいため帯板ストリップが温度低下のため仕上がらなかったのを改善したためであるといわれる。そしてこの成功が歴史的に見て米国での最初であると考えられている。

ところで、このバトラー工場が1928年（昭和3年）にアームコ（ARMCO.）社に合併されたことを文献1）に発表しているが、その理由が不明であった。たまたま、だいぶ以前に

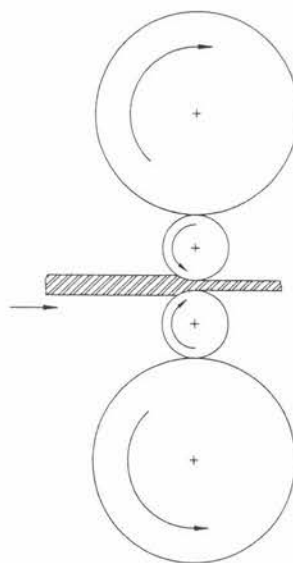


図2 4重圧延機

文献2）の本をアームコ社の研究者から寄贈を受けていた。この本はARMCO.（American Rolling Mill Company.）社の社長George M. Verity氏の伝記であって、平炉を持つ単圧メーカーであったアームコ社を高炉を持つ大企業に育て上げた功労者であって、民主的な経営でも知られ、多くの人材を育てた。今回はVerity社長のこの本から離れて、ひとりの若き技術者に光をあてて、ホットストリップミル開発の物語を記述してみたい。それは現在の鉄鋼業における新技術開発競争においても若い技術者の活躍を期待しているからである。

1904年6月のはじめ、背の高いひとりの若人が社長を訪問し、就職を申し込んだ。彼はJohn Tytusで、オフィス勤務を望まず、圧延工場を希望した。そこで鋼板圧延の責任者であるCharlie Hookを紹介された。彼は1875年に生まれてYale大学を出た工学士で、卒業後は家業の製紙工場で5年間働いたが満足せず、ミドルタウンの町にいたため近くにあるアームコ社の圧延工場のことを知っていた。そしてアームコに入って実際に熱間圧延工場で鋼板が延ばされるのを見て、一つの疑問を持った。それはもっと連続的にできないかということであった。もともと大学卒業後にペーパーマシンが紙を連続的に作っていることを見ていたためであろう。そしてある日、工場長のHookにその考えを話したがとても難しそうだと相手にされなかった。しかし、彼の熱意と苦闘によって必要な実験の許可を社長から与えられ、激励を受けるに至った。そして1913年に全工場の責任者になったCharlie Hookに圧延連続化の新しい提案を行った。ところがその時点で、折悪しくも第一次世界大戦が始まり、1918年までの計画はストップした。

大戦が終了した時点で、やっとTytusとHookに希望の光

があたった。それは大戦中に兵器製造用に建てた鍛造工場が不要となり、そこを使用して連続化研究のための委員会が作られ、また、Ashland Iron & Mining Co.からケンタッキー州のAshland工場を購入することになり、Tytusが中心になって秘密の実用化研究を進めることになった。

Ashland工場では1921年から3年間にわたり、猛烈な研究開発が進められ、1924年の初頭に鋼板連続圧延機が完成した。表1に示すように配列は次のようになっている。

粗スタンド	開放式2重圧延機	7基
仕上スタンド	開放式2重および3重圧延機	7基

この時点で見ると、密閉式のタンデム連続圧延にはなっていないようであるが、とにかく勇敢に試験圧延を実施し、当初は“Cobbles”と称する波板が多量に発生したが苦心の末、3年後には月産40,000tにまで達した。

ちょうどその1927年にはアシュランドに競争相手の会社を招待して見学会を行い、パトラー工場で研究開発を担当したNaugleとTownsendの両人と話し合い、アームコ社の特許の優位性が認められ、合併に進んだようである。1926年に発表されたパトラー工場の仕上スタンドの密閉式タンデム連続圧延の技術の優秀性を考えると、アームコとしても得るところ大であったのではないと思われる。

この頃から自動車の隆盛の影響をうけて各地で連続広幅ストリップミル工場の建設が始まり、1929年のデフレのために巨大産業がその影響をうけたのにもかかわらず、デトロイト、シカゴ、クリーブランドなどの単圧メーカーのためのストリップミルの生産をMestaやU.E., Westinghouse, Mackintosh-Hemphillなどの圧延機メーカーが開始することとなった。

以上が米国における初期のホットストリップミル開発の歴史の一例であるが、ひとりの若き技術者John Tytusの圧延連続化の夢と苦闘が実った物語であり、のちにアームコ社の副社長になった。

4 ホットストリップミルの高速化の歴史¹⁾

前述したように鋼板連続圧延の開発で問題になったのは、厚さ150 mmぐらいの広幅のスラブから熱間圧延を出発して、最終的に厚さ1.5 mmの薄板に仕上げるとすると、途中で帯板ストリップの温度低下が生じ、とても製品化が不可能になり、アームコのアシュランドでも再加熱炉を置いたこともあったようであり、熱間圧延の高速化は重要なテーマであったが、パトラー工場ではタンデム仕上スタンドの最終出口速度が毎分500 m程度でよいことがわかり、図3に示すようにかなり長年月の間、毎分600 m～700 mの時代が続いた。

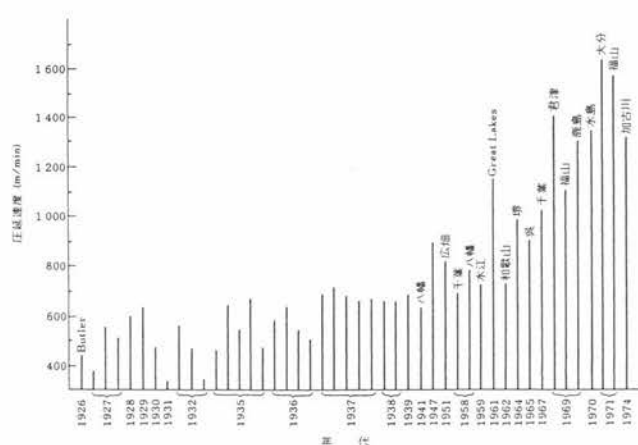


図3 ホットストリップミルの高速化

わが国においては、初めて昭和16年(1941年)に八幡製鉄所戸畑工場でホットストリップミルが稼働した。その主な仕様は次のような全連続式である。

粗スタンド	2重圧延機	4基
仕上スタンド	タンデム式4重圧延機	5基
ホットコイラー		2基

この戸畑の全連続式圧延機までは最終出口速度は従来の範囲内であって、ついで昭和17年(1942年)の年末に広畑に半連続式の粗圧延機と4重ロール4基のタンデム仕上圧延機の組み合わせのものが設置されたが、当初は主として厚板を生産し、1951年になって仕上2基が増設されて、薄板用ストリップミルになった。このミルは少し高速化が進んだ。

ところで、わが国のホットストリップミルの高速化の傾向を図3から見ると、戦争が終わって昭和40年(1965年)頃になると、俄然、新鋭設備が続々と出現し、仕上スタンドにおける最終出口速度が毎分1000 mから1600 mまで上昇している。

歴史的にはホットストリップミルの高速化は図3に示すように、かなり長い間とまっていたが、第一にはコールドストリップミルの生産増強に対応して、大型ホットコイルの必要性が大きくなり、大型のスラブから連続圧延を始めることになり、帯板ストリップの長さが増加し、後端部の温度低下を生ずるようになるので、その防止のための高速化が必要になった。そのために、ズーム圧延方式が開発された。それは仕上スタンドの数を6から7さらに8スタンドに増加し、温度低下を防止するため仕上スタンドで先端部を通過させた後、順次、速度を上げていき、仕上スタンドの出口温度を一定に保つことができた。

高速化にともなう第二の問題点はロール軸受や圧延機の剛性などのミル構造についてである。初期のストリップミルでは平軸受が使用されたが、高速高圧下に耐えるためにころ軸受が広く使用されるようになった。しかし、平軸受に比して

ロールネック径が小さくなり、高速における許容負荷量が低下することがわかったため、スリーブ型で潤滑油を強制的に送入する油膜軸受が実用化され、今日に至っている。また、圧延機の剛性については高速化、高圧下化が進み、ミルスプリングが増加するので、ハウジングの強化、ロール径の増大、圧下スクリュウの強化、ロールネックの強化がはかられた。

第三には長さ方向の板厚の自動制御（AGC）と圧下装置の高応答性についてであり、ホットストリップミルではコールドストリップミルに比して帯板ストリップが高温でやわらかいため張力および圧力による板幅、板厚の変動が生じやすいので、制御の値をごく小さく保持する必要がある、BISRA ゲージメータ方式などを採用している。さらに、圧下装置の応答性をよくするため、油圧圧下装置が開発され、利用されている。

第四には帯板ストリップの幅方向の形状制御がロールベンダーとの組み合わせによって進歩しつつあるとともに、ロールの摩耗を減少させながら良好なストリップ表面の仕上げを得るための熱間圧延潤滑法も進歩を示しつつある。

以上のようにホットストリップミルの高速化を支える各種の技術開発が進歩し、高速で優秀なホットコイルが生産できるようになったことは喜ばしいことであり、長い歴史を通してホットコイルの形状と表面が大きく向上したといわれている。

5 おわりに

鉄鋼技術の各分野においては技術者、研究者の不断の努力によって歴史的に進歩発展が進められて来たが、今回は圧延の歴史のなかで熱間圧延、とくに日本人として明治維新直後、初めて近代的熱間圧延工場を英国で見学した岩倉使節団のこと、世界的に見てホットストリップミルの開発に活躍した初期の歴史における米国の若き技術者たちのこと、そしてホットストリップミルの高速化についての初期からわが国の現在に至るまでの歴史について考えてみた。諸賢のご参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 加藤健三：鉄と鋼，76（1990）12，2065.
- 2) C. Borth：True Steel，Central Printing Co.，（1941），144.
- 3) 中川吉左衛門：圧延理論部会30周年記念シンポジウム，日本鉄鋼協会，（1985），26.

（2005年4月6日受付）