

国産レールの製造設備及び技術の革新過程 Innovations of Rail Steel Making Processes in Yawata Works

西尾 一政*、山口 富子**、榎本 弘毅***、岡崎 睦****

NISHIO Kazumasa・YAMAGUCHI Tomiko・MASUMOTO Hiroki・OKAZAKI Atsushi

八幡製鐵所、鋼材、レール、レール製造プロセス、技術革新
Yawata Iron and Steel Works, Steel material, Rail, Rail making process, Technological innovation

要旨

1901年に製造を開始した八幡製鐵所におけるレールの製造設備及び製造技術を「製鋼」・「造塊」・「圧延」の工程別に整理し、各工程及び工程間の連携に見られる約100年間にわたる技術革新過程を要約した。製鐵所内外からのニーズに対して自主技術の開発あるいは社外からの技術導入により常に革新的設備と技術で対応した経過を明らかにすることができた。

いきさつ

これまで八幡製鐵所において製造されたレールの材質の変遷について報告してきたが、その背景となるレールの製造設備と技術の革新過程を要約した。官営八幡製鐵所は近代的な銑鋼一貫製鐵所として設立された。その製造工程は、溶銑炉で鉄銑石をコークスで還元して得られる高C(炭素)量の銑鉄に始まるが、ここでは①「製鋼：銑鉄を精錬し、所定の成分のレール鋼とする」、②「造塊：製鋼で得られた溶鋼を鑄型で凝固させ固体の鋼塊とする」、③「圧延：鋼塊を圧延して所定形状のレールとする」の3つに区分し、設備と技術の革新過程を整理した。また研究開発の連携組織の例も示した。

1 製鋼

(1) ベッセマー転炉

1901年、八幡製鐵所創業時の製鋼には、酸性転炉(ベッセマー転炉)と塩基性平炉が用いられた。レール鋼は原則としてベッセマー転炉により溶製された。その利点は、原料は溶融銑鉄(溶銑)のみでスクラップや燃料が不要なこと、製鋼時間が短いこと等であるが、一方で溶銑への空気吹込みにより製錬するため平炉鋼よりもN(窒素)量が多くなり、またスラグが酸性となるためP(燐)を除去できないという短所もあった。従って前提条件としてPを0.1%以下としたベッセマー用溶銑が必要となるが、鉄銑石の供給源が中国、朝鮮、マレーシアへと拡大されるにつれPの含有量が増加していった。そのため一部のレール

は平炉での製造も開始されたが、1920年代末には銑鉄のP量は0.1%をはるかに超えてベッセマー転炉によるレールはほとんど不合格となり、またベッセマー法は平炉法より歩留まりとコスト面で劣り、一方平炉の増加により銑鉄不足となる等の理由で、1927年11月ベッセマー転炉は廃止され、レール鋼は全て塩基性平炉により溶製されることとなった¹⁾。

(2) 塩基性平炉

塩基性平炉は主原料に銑鉄を用い、これにスクラップや鉄銑石を加えて製錬するが、その特徴は塩基性スラグによるPの除去が可能である点である。日本にとっての問題点はスクラップの供給源をアメリカに頼っていたことで、これに対し八幡製鐵所では鉄銑石を多く用いる銑石法がすでに1910年代から実施されていた。さらに1920年代からはタルボット炉や予備精錬炉により銑鉄を予備処理した後平炉へ供給する合併法により溶銑の大量使用も可能とし、能率と歩留まりの向上が図られ、太平洋戦争中には実施率は90%に達した。しかし1940年にスクラップの、1941年には石油の輸入が途絶、太平洋戦争により1942年には南方からの鉄銑石の入荷が急減、レールの質は悪化、量は低減した。

太平洋戦争後、銑鉄不足でスクラップ法へ転換されたため、タルボット炉や予備精錬炉は平炉に改造された。また傾斜生産が実施され、石炭の事情の好転に続き、アメリカからの重油放出による重油への転換で1948年末にはフル生産に近い状態まで回復した。1952年には酸素吹き込みによる酸素製鋼法が開

*九州工業大学 教授

**九州工業大学 助教

***元新日本製鐵(株)

****(株)フジコー、元新日本製鐵(株)

*Kyushu Institute of Technology Professor

**Kyushu Institute of Technology Assistant Professor

***Formerly Nippon Steel Corp.

****Fujico Co. Ltd., Formerly Nippon Steel Corp.

始され、特に鋼浴に直接酸素を吹込むベッセマライジングは、鋼浴温度の上昇、燃料原単位と製鋼能率の飛躍的な向上など従来の平炉製鋼法を一変させる革新的な効果を示した。平炉は1961年に粗鋼生産380万トンのピークに達したが、次の純酸素上吹転炉が生産性において勝ることから転炉の伸張につれて順次生産が縮小され、1970年5月30日全て休止された^{2),3)}。

(3) 純酸素転炉 (LD転炉)

平炉はスクラップ法に転換されたが1950年勃発した朝鮮戦争で価格が高騰しスクラップ不足が深刻になったとき、スクラップに依存しないオーストリアの純酸素上吹転炉法の情報を入手し、1954年試験転炉による吹錬試験が開始された。1956年オーストリアのアルピネ社からの技術導入契約が日本のジェネラル・ライセンサーとしての日本鋼管(株)との間で成立した。これより八幡において1957年9月17日わが国最初の純酸素上吹転炉 (LD転炉) が火入れされた。純酸素転炉の導入によりこれまで平炉で生産されていた鋼種が順次転炉へ変換されて行った³⁾。

レール鋼は1967年から純酸素転炉による生産が始まり、1969年には平炉による製造は中止されて全レールが転炉化され現在に至っている。ほぼ全て溶銑を用いる転炉では、鋼製品の純度が向上して強度が低下するため、C量は熱処理 (HH) レールでの焼割れを防ぐため変えず (0.68%)、Mn (マンガン) 量が平炉材の0.65%から0.78%へ増加された。またSi (珪素) 量を平炉材の0.18%から0.13%に減少して脱酸が弱められた。1978年には連続鋳造法の導入に伴い、製鋼後の溶鋼脱ガス処理が取り入れられた。

2 造塊

(1) セミキルド鋼塊

創業時から、レール鋼には当時の欧米と同じくC含有量が0.3~0.6%の中炭素鋼が用いられ、鋼中のO(酸素)がある程度除去 (脱酸、キリング) されたセミキルド鋼として溶製された。溶鋼は台車上に置かれたほぼ正方形断面の鋳型に上注ぎ注入されて鋼塊となり、均熱炉で加熱された後分塊圧延機で鋼片に圧延され、常温に冷却されることなく直ちに軌条工場に送られ製品レールに圧延された。

セミキルド鋼は凝固時に溶鋼中に残存したガスの放出による気泡の生成と凝固に伴う収縮をバランスさせて歩留まりの向上を図った鋼種であったが、セミキルド鋼のレールには、PやS (硫黄) の偏析欠陥

によりレール使用時に頭部縦裂、頭部横裂、端部水平裂等の損傷が多発することが問題であった^{4),5)}。また鋼中のH (水素) によるシャッター亀裂の発生も問題となったが、1953年以降輸出用レールから圧延後にレールを徐冷する処置がとられた⁶⁾。

(2) キルド鋼塊

セミキルド鋼のPやSの偏析欠陥を軽減するため1957年にOを完全に除去したキルド鋼に鋼種が転換された。すなわちSi量の増加により脱Oが強化されセミキルド鋼はキルド鋼となった。脱酸にはAl (アルミニウム)、Ti (チタン) も併用され、鋼塊は水張りキルド鋼となった。これによりセミキルド鋼に多かった偏析欠陥によるレール損傷は激減した。Si量の更なる増加で偏析欠陥は更に軽減された。しかしキルド化により鋼中O量が減少するため (燃料からの水分との平衡関係で) 鋼中に溶解しているH量が増加し、これがレールに圧延後時間の経過につれてHがガス化してレール内部にシャッター亀裂 (白点) を生成するようになり、頭部横裂、端部水平裂が多発するようになった。特に熱処理 (HH) レールに著しくなった。このため、1961年からはレール製品圧延後の徐冷による脱Hが強化され、Siを増加してさらに脱酸を強化し均質化が図られた⁵⁾。1961年、東海道新幹線用50Tレールの製造に当たっては、溶接性を考慮して脱Sも行われ、押湯付きキルド鋼塊が採用された⁵⁾。これは後の60kgレールにも適用された⁷⁾。

図1にキルド鋼とセミキルド鋼の鋼塊の縦断面の偏析状況を示す⁸⁾。

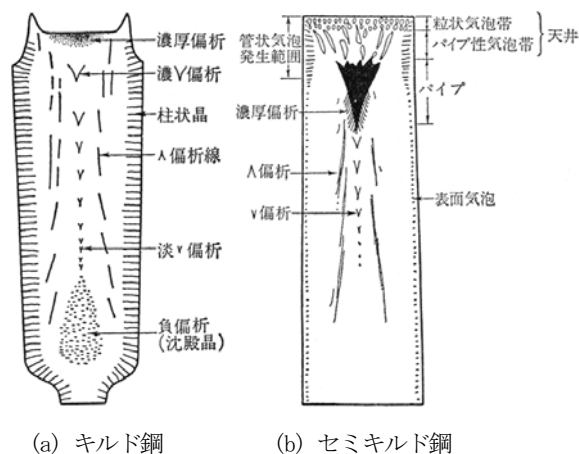


図1 キルド鋼とセミキルド鋼の鋼塊縦断面の偏析状況⁸⁾

(3) 連続铸造铸片

1978年、レール用鋼片を鋼塊から連続铸造による铸片へ変更する連続铸造化(CC化)が始まり、規格が抜本的に改正された。溶鋼の脱ガス(DH法)処理が実施された。レールのCC化は、1978年に約20%、1979年度に約50%、1980年度に100%実施された。

3 圧延

(1) 孔型圧延

1901年の創業時から、鑄型内で凝固した鋼塊は均熱炉で約1200℃に加熱された後分塊工場で長方形の鋼片に圧延され、常温まで冷却されることなく直ちに軌条工場へ送られた。軌条工場では孔型ロールによりレールへ圧延された。これを直送圧延と称したが、鋼片を再加熱しない点では、1種の省エネルギー工程であり、1970年の軌条工場改造まで続けられ、レール圧延の基本方式であった。

孔型圧延には上下2本の水平に配置されたロールを用いるが、ロールの孔型形状と素材の加工方法で3種類の圧延法が用いられていた。しかしロールの摩耗や圧延反力を小さくするため、1935年の改造工事でスラップアンドエッジング法に統一され、圧延パス回数と仕上げ圧下率は減少し、仕上げ温度は上昇した。圧延後のレールは冷却床で空冷された後精整工場でプレスにより矯正されたが、1929年からはローラー矯正機に更新された¹⁰⁾。レールの生産は、1930年に国内向けレールの全量国産化を達成し、1934年には年産30万トンで戦前の最高記録を樹立した。1945年8月8日には第3次空襲のため全工場が一時操業を停止した。1945年10月、戦災により休止していた第二、第三大形工場の操業再開とともにレールの供給が再開され、さらに1948年11月1日軌条工場が操業を再開した。1959年に生産量は30万トンに達し戦前の水準に復帰した。

1954年からの4次にわたる軌条工場の全面的な合理化改造工事が1961年に完了し面目が一新された¹¹⁾。また1961年にはシャッター亀裂防止のため、圧延後550℃から150℃まで8hかけてフェライト域で徐冷しHを放出する徐冷設備が強化され、鋼塊のキルド化と直送圧延に伴うシャッター亀裂は激減した^{12), 13)}。

(2) ユニバーサル圧延

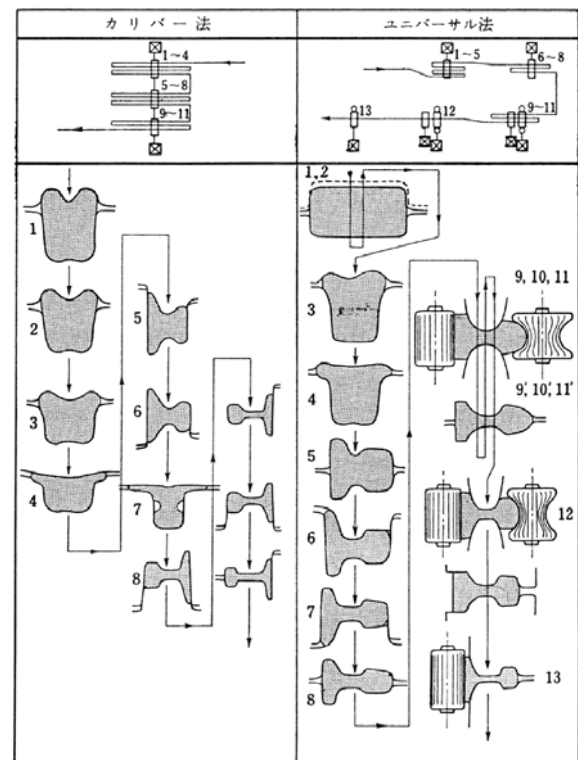
1970年にフランスのバンデル・シデロール社とレール圧延技術に関する技術援助協定が締結され、さらに後述した八幡製鐵所の知見を加えてユニバーサル圧延機が導入され、軌条工場は全面的に改造され

た。生産能力は月産3.5万トンから7万トンに倍増した。ユニバーサル圧延では上下2本の水平ロールに加えその両面に縦ロールを設け4本のロールで1つの孔型を形作る点に特徴があり、レール頭部・脚部の鍛錬効果による高品質化、ロール摩耗の軽減による高精度化等が可能となった。加熱炉の更新で鋼片が大型となったことにより上注ぎ鋼塊は大型化され、工程は分塊圧延→鋼片冷却→再加熱→軌条圧延とする2ヒート圧延に変更となり、直送圧延と圧延後のレール徐冷が中止された⁷⁾。2ヒート圧延でもシャッター亀裂の発生は見られないが、これは鋼片が常温まで冷却される過程及び加熱炉で圧延温度まで再加熱される過程でHが逸出除去されるためである。

1980年にレール用鋼片は連続铸造铸片に100%変更され、鋼塊→分塊圧延法による製造は中止された。铸片は、常温へ冷却された後再加熱されてレールに圧延されるが、溶鋼の脱ガスと再加熱によりシャッター亀裂は発生していない⁹⁾。

一方、1972年以降海外製鉄会社へのユニバーサルレール圧延に関する技術協力も活発となった⁶⁾。

図2に孔型圧延とユニバーサル圧延におけるロール孔型とパススケジュールを示す⁷⁾。



(a) 孔型圧延 (b) ユニバーサル圧延

図2 孔型圧延とユニバーサル圧延におけるロール孔型とパススケジュール⁷⁾

4 研究開発連携組織

新設備の設計製作と操業や新製品の開発を支援した組織の例を示す。

(1) 圧延理論に関する研究

戦後、1948年に日本鉄鋼協会共同研究部会が発足し、その一部門の鋼材部会の中に圧延理論分科会が組織され圧延研究が開始された。1955年には研究組織が改められ、産官学による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。分科会は1972年に「圧延理論部会」に昇格し、現在に到っている¹⁴⁾。

八幡製鐵所内でも1967年に条鋼圧延技術分野に科学的手法を用いて条鋼・形鋼圧延の理論的技術体系を創り、現場の将来課題の研究開発に取り組む研究チームが結成され、形鋼圧延の研究開発が始められた。特にレールは1962年頃、旧式の圧延機に替わるリフレッシュ計画が進められ、1967年レールにユニバーサル圧延方式を採用することが決定された⁶⁾。

(2) レール研究会

1956年5月、レールの製造、検査及びレール仕様書(JRS)の細部徹底などについて調整をはかるため国鉄、八幡製鐵株、富士製鐵株により「軌条研究会」が開催され、その後半年に1度開催されたが、1960年8月に「レール研究会」と名称を変更して再出発した。さらに新日本製鐵株発足後は、1970年11月に日本鋼管株(現JFEスチール株)を加えて新発足し、1987年の国鉄の民営分割化までレールの性能向上を推進する機関として活躍した。検討された課題は、レール損傷統計による損傷の分析と対策、寸法許容差、製造過程と材質、検査方法の改善、新型レールの試作と試験等であった。また1950年から1965年まで国鉄の部外委託研究としてレールの材質改善委員会が設置されレール研究会と密接な連携のもとに運営された¹⁵⁾。

5 高強度レールの開発

本項については、第2回国際シンポジウム(2006年12月)で報告しているのので、主要項目のみを列挙した。

- ①1954年、焼入焼戻しによる式高強度レール(HHレール)の生産を開始。
- ②1968年、スラッククエンチによる端部熱処理レール(EHレール)の生産を開始。
- ③1976年、スラッククエンチによる熱処理レール(NHHレール)の製造を開始。
- ④1988年、インラインスラッククエンチによる直接

熱処理レール(DHHレール)の製造を開始。

- ⑤1997年、インラインスラッククエンチによる過共析鋼直接熱処理レール(HEレール)を開発。

あとがき

八幡製鐵所におけるレール製造技術の革新過程について要約した。1901年の創業以来、主要設備は外来のものがほとんどであるが、原燃料量事情、ユーザーニーズ等に応じて独自に設備技術・製造技術を開発し、設備能力を最大限に発揮させている点に独創性と革新性が見出せることが確認された。

引用文献

- 1) 吉川平喜：鉄と鋼、16(1930)5, pp. 483-526
- 2) 石原重利ほか：製鉄研究、No. 251(1965), pp. 103-147
- 3) 八幡製鐵所八十年史 部門史上巻 製鋼(1980), pp. 63-106、新日本製鐵株八幡製鐵所
- 4) 兒玉普匡：軌条の製造と其瑕、(1933), pp. 118-180、鉄道保線研究会
- 5) 塚本武之ほか：製鉄研究、No. 244(1963), pp. 1-18
- 6) 3)と同じ。軌条工場、pp. 169-193
- 7) 木下健太郎ほか：製鉄研究、No. 275(1972), pp. 1-19
- 8) (社)日本鉄鋼協会編：鉄鋼製造法(第1分冊)、(1972), pp. 684-687、丸善株
- 9) 技術本部条鋼技術部：製鉄研究、No. 310(1982), pp. 88-98
- 10) 内川 悟：鉄と鋼、24(1938)9, pp. 822-832
- 11) 鍵山正則ほか：製鉄研究、No. 244(1963), pp. 19-31
- 12) 栗原利喜雄：日本機械学会誌78(1975)10, pp. 941-947
- 13) 栗原利喜雄：鉄道技術研究資料、39(1982)7, pp. 325-332
- 14) 中島浩衛：形鋼圧延技術、(1999), pp. 30-36, 71-85、(株)地人書館
- 15) 安部成博：鉄道線路、20(1972)4, pp. 193-197