

熱延ロール技術の展望

佐野義一*

Yoshikazu Sano

View of Hot Rolling Roll Technology

① 緒 言

20世紀はエネルギー革新の時代と呼ばれ、その基礎材料となった「鋼の時代」ともいわれる。我が国も1950年代を境に、鉄鋼生産の急速な増勢に転じ、やがてはEC、米国と共に最近伸長著しい中国を加えて主要鉄鋼生産国としてのゆるぎない地位を占めるに至った。その経済性、地球環境保護の観点から、来たる21世紀においても鉄鋼は代表的な素形材としての地位を保っていくであろう。圧延用ロールはこの鉄鋼生産技術・能力を支える重要なパートナーである。

ところで、圧延は、原材料からの溶融・精練、素材造形過程と共に鉄鋼製造工程の主要プロセスで¹⁾、中でも熱間圧延は製品寸法、材質を造り込む上で多岐にわたる高度な機能が必要とされてきた。当社開発のハイスロールは、格段に勝れた耐摩耗・耐肌あれ性を武器に、熱間薄板圧延の分野を席卷してきたが、限界もみえてきた。

ここでは、熱間圧延鋼材の60%以上を占め、しかもコスト・品質競争が熾烈な熱間薄板圧延用仕上作業ロール（以降、熱間仕上ロールまたは熱延ロールと略す）に注目しその主体を占めるハイスロールの現状と課題から²⁾、21世紀の熱延ロールを展望する。

② 熱延ロールの課題

2.1 圧延設備・技術の動向

製鉄プロセスの21世紀における課題についてまとめられた図1によれば³⁾、コスト低減、製品の高級化に加えて、環境負荷の低減が主テーマで、これらを実現するための方法として、連続化、省略・統合化、自動化などの必要性が示されている。鉄鋼製造プロセスでの造形・圧延加工分野におけるこのような動きは、この10年目覚ましいものがある。熱間薄板製造プロセスの進歩・変遷をまとめた図2にみられる⁴⁾、薄スラブ連続・コンパクト圧延システム（図中、薄スラブCC法）は、今や熱間圧延における新設設備の主流となっており⁵⁾、究極的には圧延用ロールを要しないストリップ連続も、限定的とはいえ実用化が進められている⁶⁾。これらの動きは、使用するロール必要数の減少に向うものである。

一方、大規模圧延設備においても、高品質・高付加価値製品と高度な自動化を狙った連続圧延が国内では2基実用化されている⁷⁾。さらに、スケジュールフリー化や製品材料特性の造り込み精度を高めるための動きも精力的に進められている¹⁾。

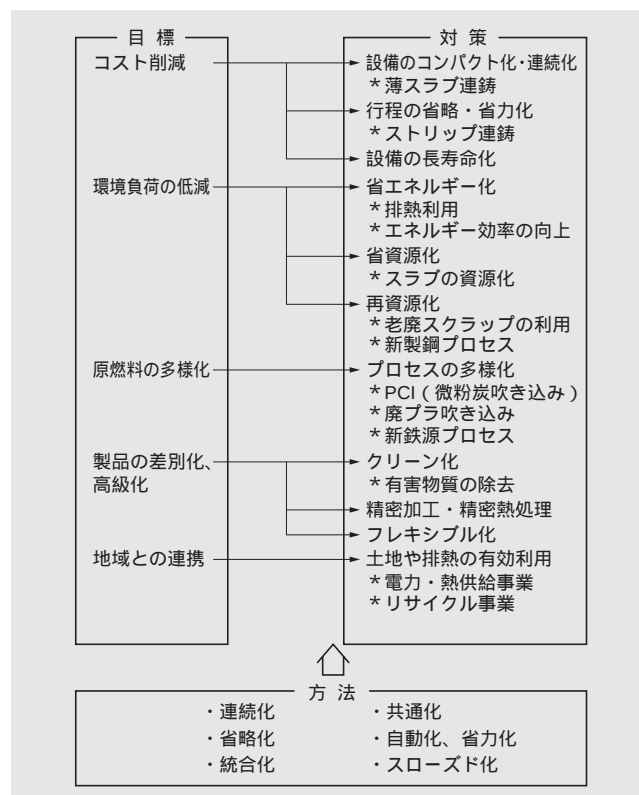


図1 21世紀の製鉄プロセスの目標と対策の方向³⁾

Fig. 1 Objects and measures of steel making process in the 21st century³⁾

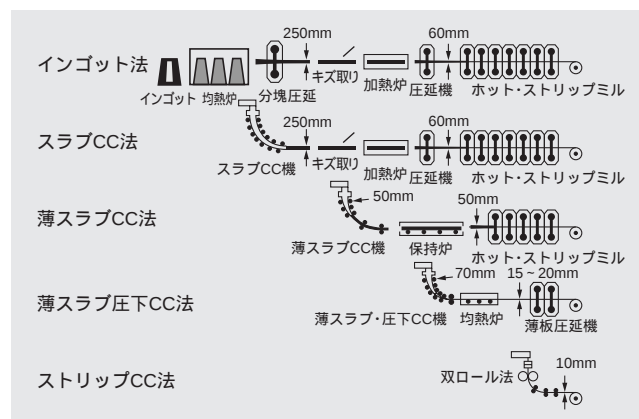


図2 熱間薄板製造プロセスの進歩⁴⁾

Fig. 2 Development of hot strip production process⁴⁾

* 日立金属株式会社 若松工場 工学博士

*Wakamatsu Works, Hitachi Metals, Ltd.

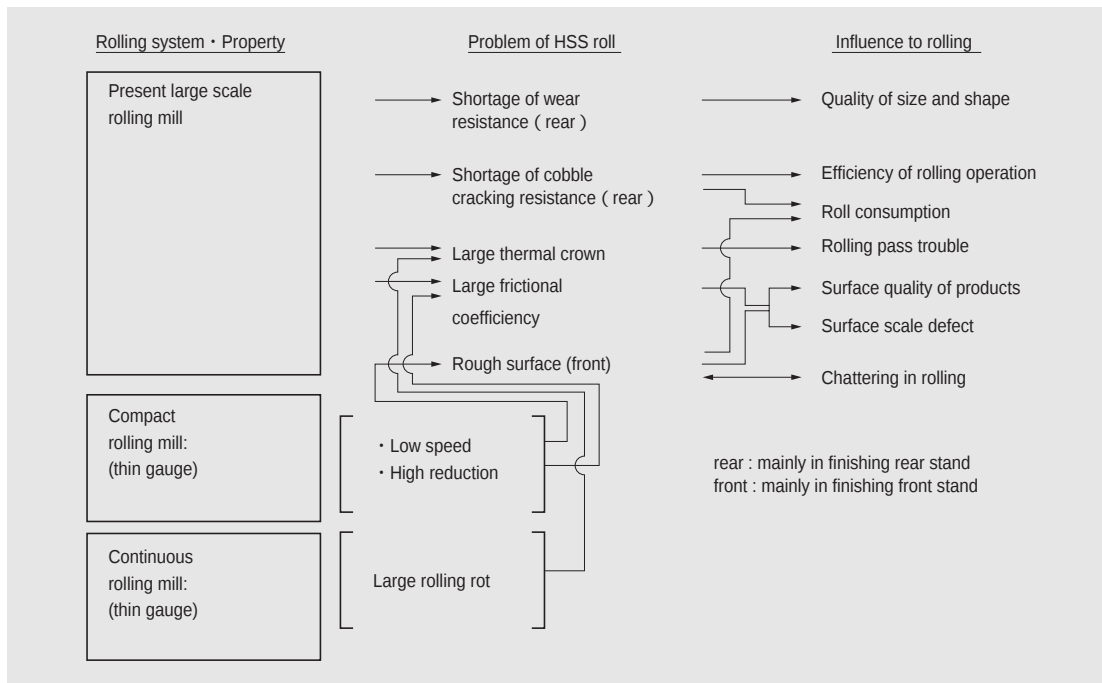


図3 スケジュールフリー化と圧延長増加に対するハイスロールの課題

Fig. 3 Problems of HSS roll for schedule-free rolling and increase of rolling length per campaign

2.2 ハイスロールの課題

熱延仕上ロールのすべてを置換すべく、当社が開発したハイスロールにも、実用化10年を経て、様々な課題が顕在化してきている²⁾。既存の熱間薄板圧延機（ホットストリップミル）において、仕上げ前段ではハイスロールはその肌あれ耐久性が評価されて、高クロム鑄鉄ロールから完全に置換できたが、後段においては特に最終・最終前スタンドでは通板不良と絞りき裂による過大な損傷が主たる理由でハイスロール化が20%以下にとどまったままである。むしろ、最近では最終・最終前スタンドでのハイスロール化への取り組みは減退傾向ともみられ、このことを含め、圧延コスト低減を狙ったスケジュールフリー化などに対する圧延ロールの課題を図3にとりまとめた。図3には、ホットストリップミルの連続化や、欧米・東アジアで先行してきたコンパクト圧延システムにおけるロールの技術課題を併せ示す^{5), 6)}。

今後とも新設圧延システムの主流とみられるコンパクト圧延における耐肌あれ性や高摩擦係数への対応、大規模圧延システムにおける連続化で想定される過大サーマルクラウンへの対応が、既存圧延機における絞りき裂対策と共に熱延仕上ロールの主たる課題と考えられる。

③ 21世紀の熱延ロール

3.1 各種材質の検討

熱延ロール材は各種の耐摩耗材や加工工具にその源流をみることができ、それらの材料を基に熱間耐摩耗工具としての材質設計、大型・長尺化並びに複合化技術・設備の開発がロール技術発展の歴史であった。一方では目覚ましい発展がみられる表面処理技術が耐摩工具には広く用いられているが、研削・圧延使用の繰り返しによって、

50mm以上もの厚さにわたり同一特性が必要とされる熱延ロールには応用できないといった製造技術上の制約がある。これらを考慮して、熱延ロールに用いられてきた材質や今後期待できそうな材質に注目すれば、それぞれの材質はロールに求められる特性によって図4、図5のように整理できる。セラミックスの熱間圧延摩耗特性は常温摩耗でみられるほどには勝れていない点や耐摩耗性に圧倒的な強みをもつ超硬を含めて、サーメットにはロール材質として致命的な技術上の欠点がないことなどが注目される。

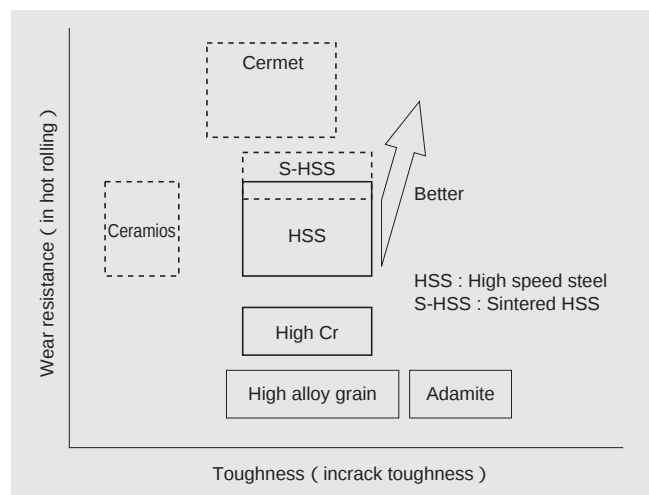


図4 各種材質の靱性と耐摩耗性の関係

Fig. 4 Toughness and wear resistance in various materials

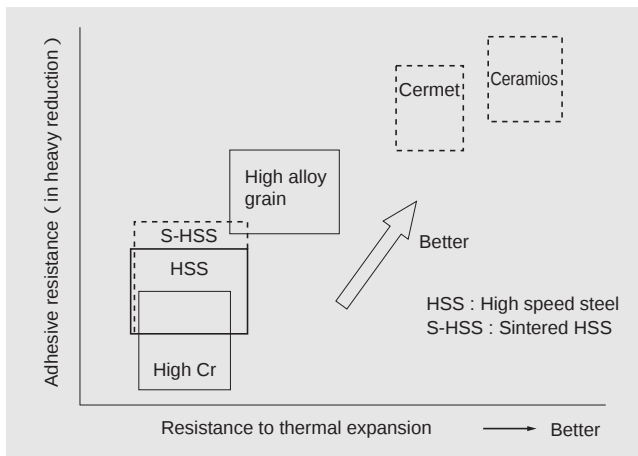


図5 各種材質のサーマルクラウン特性と絞り焼付性の関係

Fig. 5 Resistance to thermal expansion and adhesive resistance in various materials

前掲の図3に示したハイスロールの課題は、見方を変えれば熱延ロールに求められる特性そのものといえるから、表1に、要求特性別に現状鑄造ハイスとその粉末焼結材および超硬系サーメット、セラミックスそれぞれの特性評価を図4、図5の内容をふまえて比較整理した。

3.2 熱延ロールとしての課題と展望

表1に掲げた各材質につき、それらの特性向上や熱延ロールとしての実用化を目指した開発課題と動向について概説する。

(1) 鑄造ハイス

重要課題の一つである耐絞りき裂性に関して、そのき裂発生・成長・スパーリングに到るメカニズムとロール関連特性についてはほぼ解明できたと考える¹⁰⁾。絞りき裂の深さに対して、圧延材のロール面への焼付が強く関連していることを究明し、落重式熱衝撃試験法を導入して評価できるようにした¹¹⁾。そして、硬質・共晶炭化物の量、形態の適正化などの材質設計手法によって改良されたものの、耐摩耗性との両立およびサーマルクラウン

の課題は未達である。遠心鑄造法が有する重力偏析の弱点に対して優位にある連続肉盛法を用いて、その機能を最大限に利用した新材質の開発に期待したい。

(2) 焼結ハイス

材質設計自由度の高い粉末焼結法によるハイス材の改良も進めており¹²⁾、連続肉盛法などの鑄造法に勝る成果を見込んでいる。ただし、実用化に当たってはコストパフォーマンスや、大径・長尺化技術などの克服すべき課題が多く残されている。

(3) サーメット

前掲の表1から、サーメット、中でも超硬は材質的には全ての点でハイスロールと同等以上であり、熱延ロールとして有望といえる。しかも、熱間圧延では線材仕上ブロックミル用リングロールとして我が国に導入されて30年余りを経て、最近では組立構造や用途の広がりをもってきている¹³⁾、¹⁴⁾。また、当社では世界に先駆けて、鋼を内層とする複合サーメットロールの開発に成功し¹⁵⁾、長尺化への道を一歩進めてきた。

(4) セラミックス

高靱（じん）性化への広範な努力が現在も進められているものの、熱延ロールとして必要と考えている¹⁶⁾、 $22\text{M Pa}\cdot\text{m}^{1/2}$ を超える破壊靱性値（ K_{Ic} ）を有する材料開発の見通しは定かでない。100mm未満の冷間多段圧延用ロールや熱間では銅の圧延などに限定的に使用されてきており、これらの経験の蓄積と相まって、靱性向上をはじめ、靱性不足を補うロール構造や使用技術などの地道な開発が当面の課題であろう。

以上みてきた4材質のうち、鑄造ハイスを除く焼結系3材質の熱延ロールへの実用化に当たっては、それぞれの材料開発のほかに、下記のような共通の技術課題が想定される。

- a) 材質評価・設計技術：摩耗・肌あれの高精度評価法、実態に即したき裂伝播評価¹⁷⁾
- b) ロール構造設計技術：構造上避けえない複合体としての強度解析、圧延事故を想定した信頼性
- c) 大径・長尺ロールの複合化製造技術：開発の中核技術、残留応力制御と接合部の信頼性

表1 スケジュールフリー・連続圧延からのロールニーズと各種ロール材質特性（推定を含む）

Table 1 Needs of roll and properties of various roll materials for schedule-free rolling and continuous rolling

Needs for strip roll	Rolling material and evaluation				Remarks
	HSS (Cast)	HSS (Sinter)	Cermet	Ceramics :SIALON	
Wear					For hot strip finishing rear Stand
Surface roughness (Roughness) (Adhesion)	○ (○) (○)	() () ()	() () (○)	() () ()	For rolling of SUS
Cobble cracking (Crack toughness) (Adhesion)	× (○) (×)	× (○) (×)	○ (○) ()	× (×) ()	For hot strip finishing rear Stand
Thermal crown (Thermal expansio) (Frictional coefficient)	× (×) ()	× (×) ()	○ (○) (○)	() () (○)	For hot strip finishing rear Stand

注) : excellent (better than the others in several times),
○ : good, () : between ○ and ×, × : worst

d) サーマルクラウン解析技術：複合体を前提，圧延材との摩擦発熱を考慮

e) 品質保証技術：非破壊微小欠陥検出，残留応力測定，遅れ破壊予知技術

④ 結 言

21世紀にかけて鉄鋼業が目指す省工程・無人化を実現可能なコンパクト・連続圧延などの圧延プロセスに適合しうる圧延ロールとして，鑄造ハイスロールに期待されるところは大きい，その限界もみえてきた。

一方では，焼結ハイスや超硬を含むサーメットあるいはセラミックスなどは，鑄造ハイスをはるかに超えた特性を有するものの熱延ロールとして未だ多くの未知数を抱えており，実用化に向けた地道な開発努力がなされている。

当社は鉄鋼メーカーほかの多くの協力を得て，鑄造ハイスロールの開発と実用化において先駆的役割を果たすことができたが，焼結ハイスをはじめとした有望視されるロール材の実用化研究にも取り組んでおり，“21世紀の熱延ロール”でも同様な役割を目指している。

ところで，圧延ロールは圧延システムと共存し発展してきた歴史がある。新世紀に実現を目指す熱延ロールには，これまでとは比較にならぬほどの高難度な技術課題が想定されるが，鉄鋼メーカーとのより緊密な協力体制と学・官の理解と強力な支援を得てその具現化に努めたい。

参考文献

- 1) 川並高雄：西山記念技術講座，169・170回（1998），1
- 2) 佐野義一：塑性と加工，39（1998-1），444，2
- 3) 林明夫：ふえらむ，2（1997），6，19
- 4) 日鉄技術情報センター：鉄鋼界，（1994-9），33
- 5) G.Kuebler：33 Metal Producing 7（1999），26
- 6) 戸崎泰之：鉄鋼界，（1997-4），18
- 7) 二階堂英幸，市井康雄：ふえらむ，2（1997），11，48
- 8) C.Hendricks,W.Rasinほか4名：Stahl u.Eisen，120（2000），2
- 9) 佐野義一，村上文雄，大島昌彦，服部敏幸，大畑拓己：日立金属技報，4（1988），91
- 10) 野田朗，松永榮八郎，服部敏幸，佐野義一：日立金属技報，13（1997），89
- 11) 大橋秀三，石黒徹，後藤宏：鉄と鋼，77（1991），652
- 12) 福沢宏，大末卓也，沖津俊夫，内田憲正：日立金属技報，10（1994），81
- 13) 三宅雅也，下瀬敏憲，荻原幸太郎：塑性と加工，23（1982-10），261，945
- 14) J.E.Karlsson：Roll 2000,International Conv. Center, Birmingham（1996-9），42
- 15) 日立金属（株）：日立金属技報，15（1999），25
- 16) 松永榮八郎，佐野義一：No.98-1 日本機械学会第75期総会講演資料，（ ）（1998），388
- 17) Y.Murakami,S.Hamada：Fatigue Fract.Engng.Mater. Struct., 20（1997），6，863