

展望

圧延プロセスの進展と今後の展望

Overview of the Development of Rolling Process Technology and the Future R & D

鎌田正誠
Masamoto Kamata

大分大学 地域共同研究センター
客員教授

1 はじめに

日本鉄鋼業のプロセス技術の進展は目覚ましいものがあり、最近の20年くらいは世界の最先端技術の発信地となってきた。人件費の安さを武器として、中国や韓国などの躍進は目覚ましいが、そのような環境の中で、日本鉄鋼業がまだまだ健在なのは、常に、世界一の技術を開発し続けることによって、技術に関しては、相当優位な地位を保っているからである。

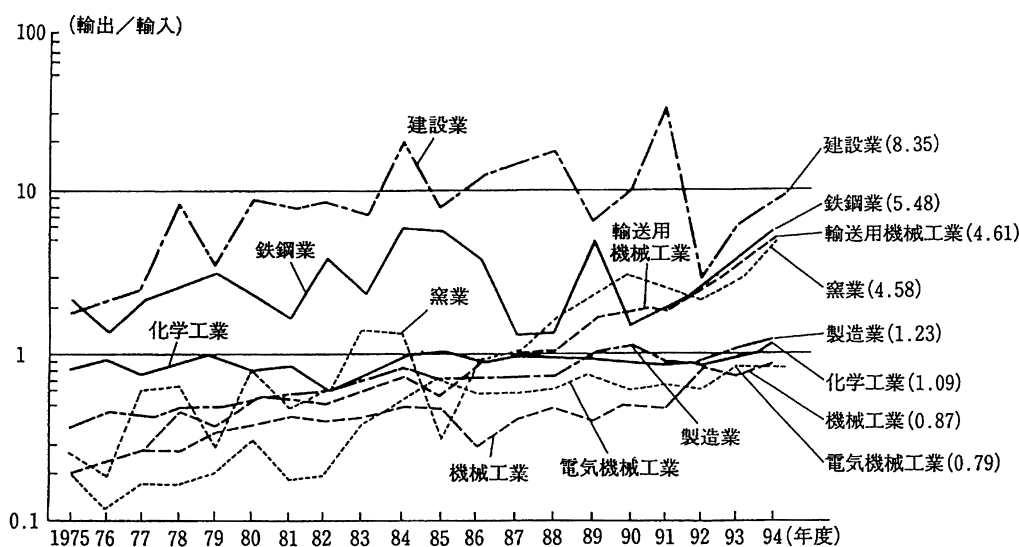
具体的な圧延プロセス技術の進展については、すでに種々報告¹⁻⁴⁾などされているので、本報では、各技術分野に対する今後の考え方と、企業における研究開発のあるべき姿について、筆者の主観を交えながら論じる事にする。

2 日本の鉄鋼技術の位置づけと若干の考察

図1に技術貿易収支の推移を示す。この図は技術輸出と技術輸入の比を示したものであり、ちょうど1.0の所が輸入と輸出がバランスした所であり、1.0以上が技術輸出の方が技術輸入よりも多い産業であり、1.0以下は未だ技術輸入が多い産業分野である。

図から解かるように、製造業全体としての比率が1.0をオーバーしたのはつい最近であり、未だ、技術を外国に依存している分野も残っている。

技術輸出の優等生は建設業、鉄鋼業、自動車を中心とする輸送用機械工業、窯業などであるが、窯業や輸送用機械などの分野は最近急速に技術輸出を増やした産業であり、過去20年に亘りコンスタントに技術輸出入比率を1.0以上に保ってきた産業は建設業と鉄鋼業のみである。



資料：総務庁統計局「科学技術研究調査報告」

図1 日本の産業別技術貿易の輸出・輸入金額比

以下世界的に見ても、トップクラスの実力を築いて来た鉄鋼業における圧延プロセスの技術が、なぜその地位を得たかについて少し分析してみる。

圧延工程の国産技術の歴史はそんなに古いものではない。本当の意味における国産技術は昭和40年代に入ってから発芽し始め、その後急速に成長をとげた。

日本における圧延技術も、それ以前は、欧米主としてアメリカから技術輸入されていた。私事になるが、筆者がNKKへ入社した当時（昭和37年）は、何か新しい事をやろうとした時には、先ずアメリカの技術を調査し、技術導入することが常識であった。

昭和40年代に入り日本経済の高度成長と、アメリカの鉄鋼業の停滞などの要因から、国産技術を育てようという気運が鉄鋼業全体に高まってきた。それ以後、それ迄の技術輸入体質から脱却し、日本発の技術が世界をリードする指導的立場に変わっていった。

この発展の要因として次の三つくらいが考えられる。

第一は、これは若干逆説的な言い方となるが、我が国の圧延技術の後進性にある。我が国における圧延技術の開発には、それ迄の欧米の技術と比べ、開発のアプローチにおいて際だった差異があった。欧米特にアメリカにおいては、圧延は長い伝統を持ち、経験主義的技術が幅を利かせていた。それに反して我が国では、それ迄、余り技術蓄積がなかった事を逆手に取り、理論を最大限活用し、理論から見てあるべき姿を予測し、理想的な圧延技術開発を目指したことが特徴的であった。

第二は理論に基づいた新技術を実機化するにあたり、今では極く当たり前になっているプロセス制御計算機（プロコン）の活用を、最も初期の頃から行って来たことである。プロコン活用にあたっては、所謂安定理論を基礎とした狭義の制御理論の範疇ではなく、プロセス運転全体を統括する広義のシ

ステム構築であり、その意味で鉄鋼業は自動化技術、計算機利用技術において、産業界においてもトップランナー的な役割を果たした。

第三は最近の流行語で言えばアウトソーシングの活用である。圧延は巨大で超精密プロセスである。代表的な圧延機である熱間薄板圧延機においては、材料は時速100kmで圧延され、また最終工程である冷間薄板圧延においては、製品寸法精度は μm 単位で管理されている。これらを実現する技術は非常に幅広く高度であり、全ての技術を鉄鋼会社だけで開発することは不可能である。この為、鉄鋼会社が中心となり関連技術を有する他業種のプロの力を有効に活用して巨大システムを開発してきた。即ち、機械メーカーには巨大で精密な圧延機を造る技術、電機メーカーにはモータの高速応答性と精密な速度制御技術、計測器メーカーには精密製品技術を支える各種の計測器、コンピュータメーカーには信頼性の高い制御用計算機とソフト技術、潤滑油メーカーには製品の表面技術を支える潤滑油の合成等、機械・電気・化学の分野のプロの技術を引き出しながら開発を行ってきた。また、最初に述べたように我が国の圧延技術の根幹は、圧延理論に支えられてきたが、その面では学会や大学との連携も大きな力となった。

図2に鉄鋼圧延技術の開発の枠組みを示す。

3 日本における鉄鋼圧延技術の進歩

圧延分野の技術進歩を大別すると（1）連続化技術（2）個々のプロセスの高精度化・高効率化技術に分けられる。以下これらの進歩について解説する。

3.1 連続化技術

連続化技術は大別すると二つある。第一は各圧延プロセスの中の作業の連続化、そして第二は従来個別に運転されてい

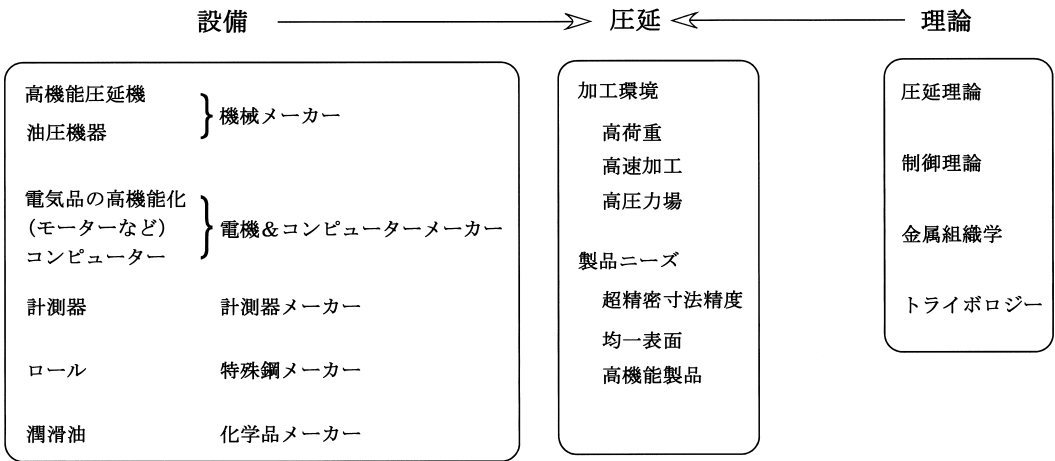


図2 圧延技術を支える周辺技術

たプロセスを連続化し統合するものである。連続化により生産性が飛躍的に向上するとともに、製品品質も向上した。この連続化技術については、殆ど全ての技術を我が国が世界に先駆けて開発してきた。

以下簡単に、連続化技術の進展について述べる。

3.1.1 連続化技術の進展

連続化の先駆けは、コールドタンデム圧延機の完全連続化であった。

この圧延機は1971年NKK（福山製鉄所）において世界に先駆けて開発された。これにより、その当時の生産コストの約30％が削減されるという大きな成果が得られた。この方式は、その後発展し、前工程である酸洗や後工程である連続焼鈍炉などと直結され冷延工程全体の連続化に迄拡大した。

冷間圧延機の完全連続化は、今や世界標準となり、最近建設される設備は殆ど完全連続化されている。冷延ばかりではなく、その他の圧延周辺のプロセスにおいて、種々の連続化が図られたが、その進展の概要を表1に示す。

そして、連続化技術の最近における大きな話題は、薄板熱

延の完全連続化技術である。熱延の連続化は、従来から困難とされて来たが、1996年川崎製鉄の千葉製鉄所第3熱間圧延工場において世界に先駆けてエンドレス・ホットストリップミル⁵⁾が稼働した。この設備は仕上圧延機前で、シートバー（スラブを粗圧延機で圧延した半製品）を接合し、仕上圧延機内では途切れることなく連続的に圧延し、巻取機直前のシャーにてストリップを分割して巻取るものである。これにより生産性の向上、製品品質の向上、薄肉化が達成された。

図3にエンドレス・ホットストリップミルの概要を示す。

3.1.2 連続化に対する考察

以上、鉄鋼各社で開発されてきた連続化技術の概要について述べたが、連続化はメリットばかりでないことについて、少し解説する。大きく分けると問題点は二つある。

第一の問題点は連続化によって種々の制約が発生し、生産工程の自由度が減り、自由な生産計画作成に齟齬を来す事である。例えば、完全連続式コールドタンデムミルについて考えてみる。前述のように、圧延機に材料が入って来る前に、素材コイルは溶接されるが、繋がる素材寸法が大きく違うと連続した圧延が不可能となる。例えば、素材厚み2.3 mmのコイルの後に、4.5 mmの素材をつないだ場合を想定する。圧延機の圧下位置は瞬時には変更できないので、入り側厚みのステップ的な増加により瞬間的に過大な力が圧延機に作用し、大事故の繋がるのが予測される。勿論、油圧圧下による圧下力一定制御など、事故回避策はある程度考えられるが、不安定な作業になることは間違いない。よって、多くの工場では圧延機に入ってくる素材の接続条件を、予め決めておき極端な条件変化を回避するのが、普通の操業である。この様なことは、完全連続化されていない単独運転の圧延機では考えなくてもよい余計な制約である。生産計画を組む工程管理者から見ると、必要な時に、必要な寸法の製品が圧延出来る

表1 我が国で開発された連続化技術

圧延ライン	連続化された設備
熱間薄板圧延	連続鑄造＋熱間薄板圧延 熱間薄板圧延 仕上げ圧延機完全連続化
冷間薄板圧延 関連	完全連続式冷延ミル 連続焼鈍炉 酸洗＋完全連続式冷延ミル 酸洗＋完全連続式冷延ミル＋連続焼鈍炉
条鋼圧延	連続式ユニバーサルミル 完全連続式棒鋼圧延機
継目無管圧延	マンドレルミル＋サイザー

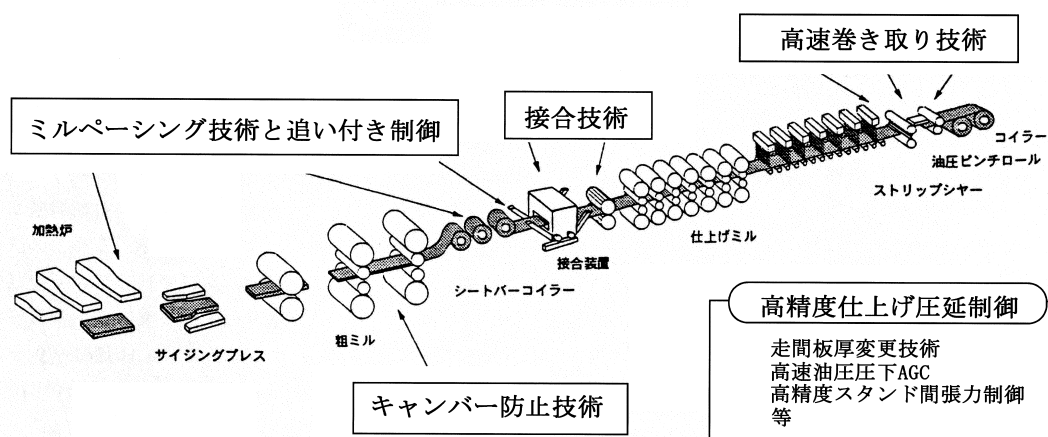


図3 エンドレスミルの全体図と主要な開発技術

事がベストである。完全連続化をしたお蔭で、余計な制約が新たに発生し、工程運用の面では、マイナス効果が出てくることも、頭に入れておく必要がある。

工程制約が増えるということは、他のプロセス、例えば連続焼鈍炉などでも同様である。大きな板厚変更は炉出側での材料温度の急激な変動につながり、制約条件となる。

連続化のメリットは多々あるが、この様に連続化に伴う制約条件が、新たに発生し、自由な工程計画立案の妨げとなり、別の面でデメリットが生じることをよく理解しておく必要がある。

もう一つの問題点は、連続化する各プラントの生産能力を均等しておく必要があることである。例えば、1500 mpmの圧延機と400 mpmのCALを直に接続した場合、ネックとなるのは、CALであるから、圧延機もCALの速度に合わせて400 mpmで運転しなければならない。この場合には圧延機は設備の能力の約1/4しか有効に使っていないことになるので、設備の無駄が生じる。

勿論、複数の設備を連続化して、一気に製品を仕上げると言うメリットもあるので、メリットデメリットの両面を勘案しながら設備計画を立てる必要がある。

連铸と熱延の直結化においても、同様の問題がある。連铸の能力と熱延の能力を比較すると連铸2～3ストランドと熱延の能力がマッチングしているので、1ストランドの直結などは考えられず、複数ストランドに対する直結技術が必要となることは自明のことである。

以上、連続化はメリットばかりではないことを喚起する為、連続化にあたっての注意点を述べたが、連続化技術によってプロセス全体としては生産性、製品品質の向上など大きなメリットが生じたことは間違いのないところである。

3.2 個々のプロセスの高精度化・高能率化技術

次に個々のプロセスの高精度化・高能率化技術の進展について述べる。これについては、多くの技術が世界に先駆けて開発され、枚挙の暇がないので主な項目を表2に示す。

特に製品の形状は重要でありHC ミル（日立製作所開発）、ペアクロスミル、CR ミル（三菱重工開発）など形状制御特性の優れた新しい形式の圧延機が、数多く日本で開発されたことは特筆に値する。

またモーターメカには色々な技術開発をお願いしたが、最近の成果は交流モータの開発である。高電流－高電圧素子の開発により、超大型の鉄鋼圧延用モータにも交流モータが採用可能となり速度制御の高応答性化が実現した。以下高精度化・高能率化技術について、少し考察を加えてみたい。

表2 各圧延プロセスの代表的な開発技術

圧延プロセス	代表的開発技術
熱間薄板圧延	高精度板厚制御 形状、クラウン、エッジドロップ制御 大幅圧下技術 板幅制御 通板時蛇行制御 ルーバー高精度制御 ルーバーレス圧延 ハイスロール
冷間薄板圧延	高精度板厚制御 形状、クラウン、エッジドロップ制御 高性能潤滑技術 高速圧延技術
厚板圧延	高精度板厚制御 形状、クラウン制御 板幅制御 平面形状制御 キャンパー制御 制御圧延 制御冷却
形鋼圧延	高精度板厚制御 カリバー自動設計システム 外法一定H形鋼 制御冷却
継目無管圧延	プレスロール穿孔機 高交叉角鉋管穿孔法 マンドレルミル肉厚制御 オンライン直接焼入れ ストレッチレデュースー肉厚制御

3.2.1 プロセス制御のありかた

圧延プロセスにおける高精度化・高能率化技術は制御技術の進展に負うところが大きい。特に近年は、種々の新しい制御理論が実際の圧延機制御に利用されてきた。このジャンルについての総合的な展望が、藤井⁶⁾によって纏められているので、それを引用させていただく。表3に制御の新しい理論とその応用分野を示す。

そして、実際にこれらの制御手法を的確に活用することにより、製品の寸法精度は格段に向上している。

その成果の一例を挙げると、川鉄千葉の冷延においては、マスフロー板厚を活用して、加減速時を含めたオーバーオールな圧延で±2.5 μm（製品板厚：0.5 mm）という素晴らしい板厚精度を達成している。図4⁷⁾に板厚実績チャートを示す。

プロセスの高生産性、製品品質の向上には制御技術が大きな力となったことは、前述したとおりであるが、留意しなければならない点も多々ある。制御理論が取り扱う主要分野はプロセス変数を迅速に目的の値に合わせこむ、フィードバック制御理論である。適応制御やロバスト制御など新しい制御

表3 鉄鋼プロセス制御における制御技術の応用事例

制御手法	圧延・加熱炉
最適制御 (O) 非干渉制御 (D)	AGCゲイン最適化 (O) 熱延ルーパー制御 (O, D) 熱延仕上げ板厚制御 (O) 熱延仕上げ板厚制御 (O) 冷延タンデム板厚制御 (O) 冷延ミル板厚制御 (D) 線材寸法制御 (O) 棒鋼ミル張力制御 (D) 加熱炉制御 (O)
適応制御 (A) 状態・パラメータ推定 (P)	熱延ルーパー制御 (A) 熱延巻取温度制御 (A) 冷延ミル板厚制御 (A) 冷延ロール偏心制御 (P) 冷延形状制御 (P)
ロバスト制御 外乱推定制御 (RD) H ∞ 制御 (H) 予測制御 (RP)	熱延ルーパー制御 (A) 冷延加減速板厚制御 (RD) 圧延機軸振動抑制 (RD) 連続焼鈍炉板厚制御 (RP)
知的制御 エキスパートシステム (ES) ファジィ推論 (F) ニューロ応用 (N)	厚板パズスケジュール (F) 熱延板厚セットアップ (F) 冷延タンデムセットアップ (F) CGL鍍金厚付着制御 (F) 加熱炉燃焼制御 (F)

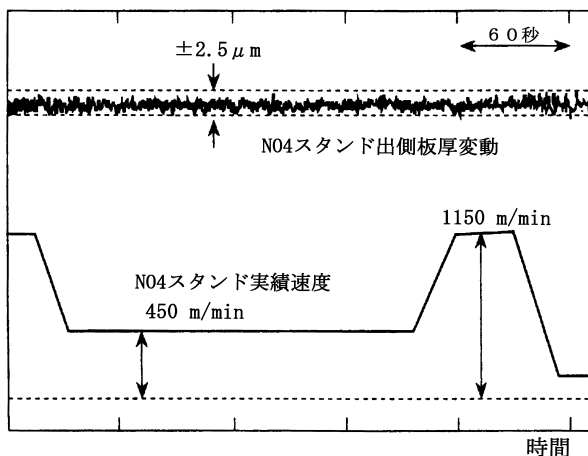


図4 新AGCによる制御結果 (板厚: 0.5mm)

理論が華々しく登場し、実際に圧延プロセスの中で適用され大きな成果に繋がっていることは確かなことである。しかし、圧延プロセスの自動運転の中でコンピューターが行っている仕事の多くはモデル計算によるプリセットである。

例えば、熱延プロセスの仕上げ圧延機周りの制御を考えてみると、仕上げ圧延機出側での板厚や材料温度を目標値に合わせ、かつスタンド間で張力を最適値にする為に、仕上げ圧延機各スタンドのロールギャップとロールスピードを決定し、プリセットをする必要があるが、これらは、通常圧延理論を用いて計算される。一旦、材料が圧延機を通過した後では、各種のセンサー情報によるフィードバック制御が主役となるが、材料先端部の運転精度は、モデル精度に全てが掛か

っている。正直に言って現在の圧延理論の精度では十分とは言えない状況であり、圧延を繰り返しながらモデルをチューンアップして行く所謂モデルの学習機能が重要な機能となる。ところが、制御理論の研究の殆どが、前述のようにフィードバック制御のロバスト性、応答性向上にウエイトが置かれており、モデルフィッティングについては、マイナーなテーマとして取り扱われているような気がする。圧延プロセスにおける計算機制御機能の多くが、モデル計算によるプリセットであるので、膨大な圧延実績データからモデル精度を向上させるモデリング技術についても、多くの研究成果が出てくることを期待したい。

モデリングに関してもう一つ付け加えておくと、ファジー、ニューラルネットなどAI技術の適用である。これらの手法は前述の圧延モデルの不備を補うものとしては、魅力的であるが、種々の報告に目を通していると圧延理論を全く放棄して、すべてをこれらの手法に依存するような開発事例が、時々目に付く。筆者の感覚からするとこれらの手法は、今迄の圧延理論の不備を補うものとして活用するのがベストであり、9割方は、信頼出来る圧延理論を全く放棄して、新しくこれらの手法を白紙状態から適用すると学習のロスも大きく、大きな成果には繋がらないと感じる。やはり基本は圧延理論であり、この不備を補う学習機能として、前述のAI手法を活用する方向付けが大切だと思う。

圧延制御についても一つ大切と思うことは、制御論理(制御方案)の構築である。現在行われている主流の考え方は、前述のように如何にして安定的に、かつ迅速に目標値に圧延変数を合わせこむかというフィードバック理論の応用である。この合わせこみ手段の前に考えなければならないのは、自動運転を達成する為の制御ロジックの構築である。具体的な事例として、少し古い事例となるが、以前、筆者自身、開発に関わった絶対値AGC⁸⁾や前述の川崎製鉄で達成された高精度冷延板厚制御を例にして説明する。

ご承知のように、絶対値AGCの概念はそれまでのロックオンAGCでは、取りきれなかった材料先端部の板厚を目標値に合わせこむ、その当時としては画期的なものであった。この制御のミソは、その当時(昭和40年代後半頃)の常識では、不可能と決め付けられていたゲージメーター式から推定される絶対板厚値を使ったフィードバック制御にある。絶対値AGCの導入により、それまでは、板厚計での実測値が得られるまで放置されていた板厚制御がロードオン直後から可能となり、オフゲージが大幅に減少した。これは、単なるフィードバック制御理論から得られる静定時間の短縮などに比べて、比較にならない大きなメリットを生み出した。

また、川崎製鉄で達成された高精度冷延板厚制御は、ロールバイトの中でのマスフロー一定と言う圧延原理を巧みに利

用して、遅れ時間の無い正確な板厚推定を制御の基本原則としている。

この二つの例から分かるように、プロセスの特性を理解した上で、新しい制御方案そのものを作り出すことが大きな成果に繋がる。少なくとも製鉄工場で働く制御技術者は、単に最新の制御理論を現場へ適用するという作業だけではなく、プロセスの運転の根本に立ち返ってプロセスそのものを理解し、フィードバック理論の元となる制御ロジック(制御方案)の開拓領域まで、視野を広げた方が良いと思う。こうする事により、先ほどの二つの例のように、単なるフィードバックの応答性を上げるよりも、比較にならないような大きなメリットに繋がる成果が得られるであろう。

3.2.2 圧延理論解析の進歩

多くの高精度化・高能率化技術は圧延理論による基礎的な検討に基づいている。圧延理論については、近年の計算機の計算速度の高速化や計算アルゴリズムの整備などにより、急激な進歩を遂げた。特に有限要素法による圧延過程の計算技法⁹⁻¹¹⁾などが多くの研究者によって、研究されている。

ここでは主として柳本の報告¹²⁾に沿って解説する。有限要素法による解析は、特に形鋼や棒鋼等3次元変形が主体の加工工程で威力を発揮しており、現在では、新しい製品のかりバー設計には、なくてはならない手段としての立場を確立しつつある。以前であるとプラスチックを使ったモデル実験、かりバーの試作、試圧延をへて、製品の圧延に漕ぎ付けるのが普通の手順であったが、現在では、これらの工程の内の多くが有限要素法による計算で置き換わりつつある。実際に現場レベルで、このような計算手法を使いこなす為には、データのインプット容易さ、計算結果の見易さなど、ユーザーインターフェイスの開発が重要であるが、柳本はこれらを重視した「CORMILL System」を開発している。また、大学のみならず多くの鉄鋼会社でも、同様のシステムの開発が進められた。今後、この様なSystemを活用していくことによって、新形状製品の出荷の迅速化、かりバー設計要員の合理化など多くのメリットが期待される。

図5に「CORMILL System」のシステム構成図、及び、図6にかりバーデザインの新しい手法を示す。

しかし、実際のミルにおけるオンライン制御モデルなどの様に、迅速な計算が必要なケースについては、膨大な時間を要する有限要素法的な計算では間尺に合わない。この様なオンライン制御の分野においては、松本¹³⁾が主張しているように、古典的手法による数式化や近似モデルも一つの立場が与えられてしかるべきと考える。ある程度の物理現象を踏まえたモデル式は、瞬時に、計算結果を必要とするオンラインのプリセット計算などには不可欠であり、有限要素法による

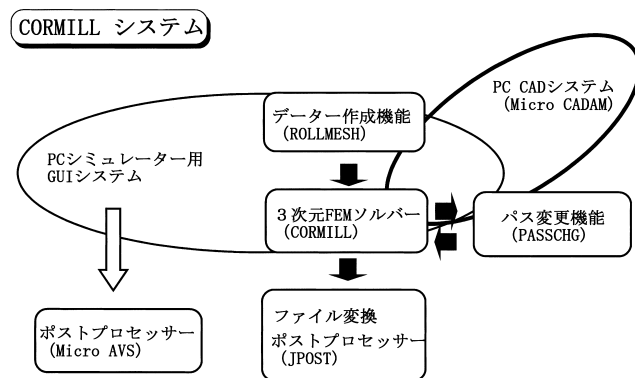


図5 CORMILL Systemの全体構成図

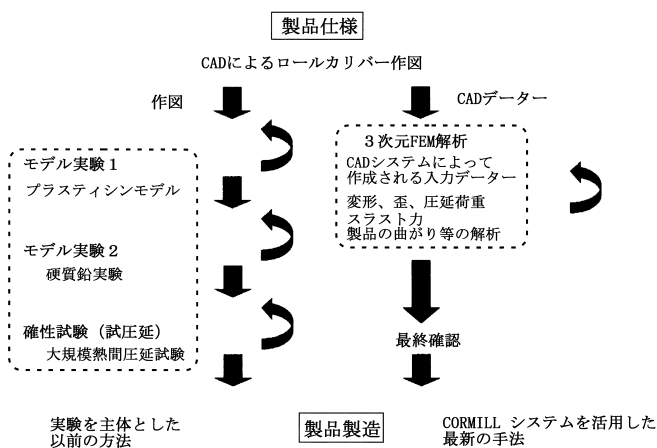


図6 ロールデザインの手順とFEM解析

厳密な数値解の裏づけのある簡便な数式化は今後の重要な課題である。

4 プロセス技術の新しいフロンティア

圧延を中心とするプロセス技術開発のこれまでの流れは、連続化技術に象徴されるような生産性の向上や製品寸法形状の高精度化が中心であった。勿論、この路線は今後も継続的に進展すると思われるが、次の大きなニューフロンティアは、プロセス技術による製品材質作りこみ分野であろう。

4.1 プロセスによる材質作りこみ技術

従来は、この分野は主として材料技術者によって検討が行われてきたが、近年、塑性加工の関係者の材質作りこみに対する関心が急激に高まっている¹⁴⁻¹⁶⁾など。これは、前述のように、計算速度と計算アルゴリズムの進展により有限要素法によるきめ細かな演算が可能となり、圧延時の材料の変形過程が小さなメッシュで計算可能となってきた事や、圧延時の温度変化の解析も正確に計算出来る様になって来た事から、

従来はマクロ的にしか取り扱えなかった圧延プロセスにおける再結晶、粒成長、相変態などの材料挙動が、微細に計算できる環境が整ったことが大きな原因であろう。また、材質設計の考え方も、従来のような添加元素に頼る方法から脱却して、圧延および冷却技術を最大限に利用して材質を作りこむ方向への、転換時でもあるのであろう。この辺の概念については津崎の論文「21世紀の材料設計概念」¹⁷⁾を引用させていただく。

図7に概念図を示すが、分離除去困難な元素を含まず出来るだけ単純成分組成の材料を製造プロセスによって、広範囲な機能を付与するのが21世紀の材料設計概念と述べられている。この様な材料技術者の願望と材料変形履歴と温度変化を定量化する道具を手にした、プロセス技術者の連携は、これからの鉄鋼プロセス技術の大きな成長分野となるであろう。具体的な、材料モデルとプロセスモデルの連携の関係を図8¹⁸⁾に示す。図から解るように、材料モデルとプロセスモ

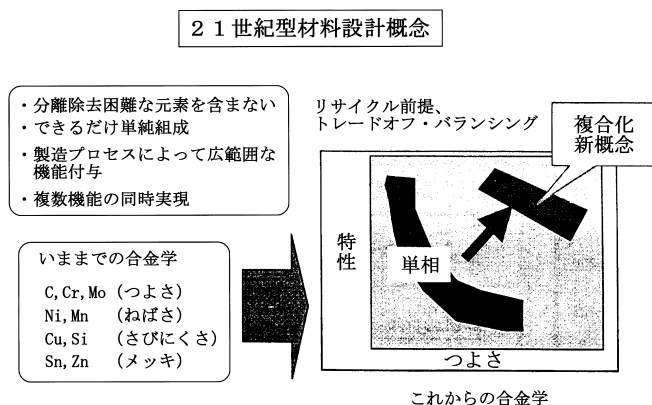


図7 21世紀型材料設計概念の模式図

デルが一体化され新しい材料設計の手段が実現する。従って、この分野の発展の為に、材料技術者とプロセス技術者のコンカレント活動が必須となるであろう。

私事になるが、以前筆者が、鉄鋼協会の圧延理論部会長を仰せつかっていた時に、この様な潮流の先駆けとして、部会の中で圧延の研究者と材料研究者のコンカレント活動W/Gを立ち上げた。材料の変形と温度解析の連成問題、再結晶や粒成長のモデル化については東大・生研の柳本助教授(当時)を中心として検討を進めて頂き、また再結晶、粒成長、相変態の実際のデータについては鉄鋼各社の材料研究者がサポートする体制の研究会(材料機能創出FEM解析技術検討会)が発足し、圧延&冷却後の粒径、組織形成について計算出来るシステムが生まれつつある。未だ完全なものとは言えないが、計算結果の一部を図9¹⁹⁾に示す。

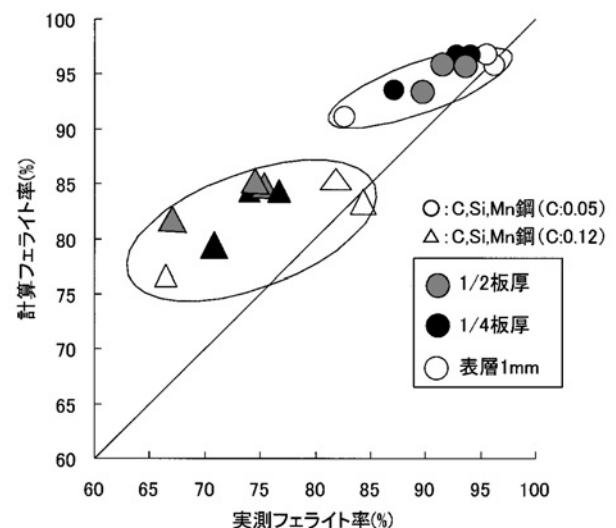


図9 組織計算ソフト (COMMS) による計算結果例 (フェライト分率)

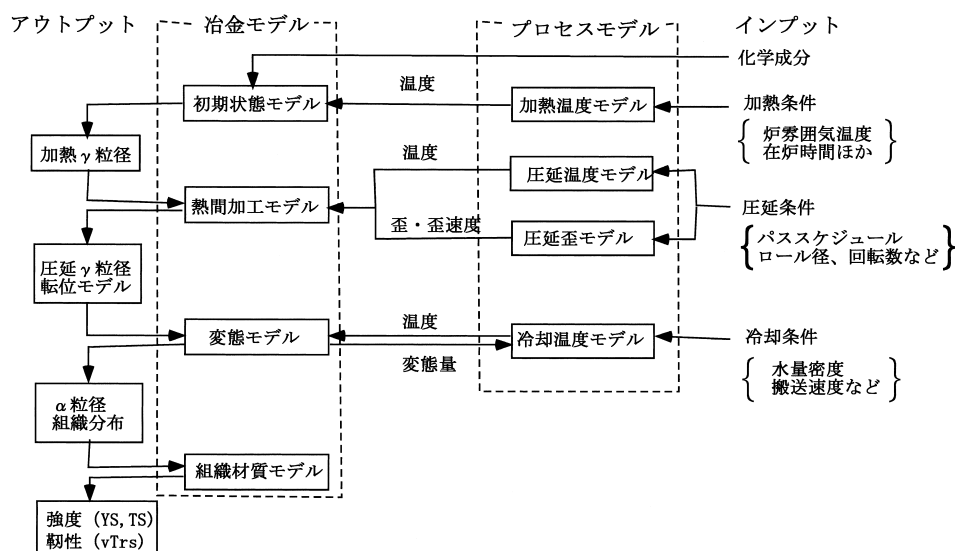


図8 材質予測モデルの全体構成

また、この分野の最近の成果は種々発表されているので、それらは文献²⁰⁻²²⁾などを参照されたい。

4.2 材質作りこみに寄与するプロセス技術の進展

しかし、現実的に、新しい製品を生み出す為には、理論計算だけではどうにもならない。画期的な新材質製品を安価に市場へ提供する為には、新しいプロセス技術の開発が必須である。

この視点から見た特筆すべき新技術について少し触れる。

第一は、川崎製鉄で開発された前述のエンドレス熱延ミルを用いた高R値薄板の開発である。これは、鋼板の深絞り性は結晶方位に依存し、{111} 方位の成長がR値を改善する現象を最大限に利用した製法である。従来のホットストリップミルの仕上げ圧延機においては、材料とロール間のスリップの心配があるため、潤滑圧延は不可能とされてきた。ところが、川鉄千葉で開発されたエンドレスミルにおいては、通板作業が無い為、スリップの危険が少ないことから潤滑圧延が可能となった。この潤滑圧延と仕上げ圧延機内で α 域圧延を行うことにより、板厚方向全域に亘って {111} 集合組織を形成させ、この鋼板を冷延後、焼鈍することにより最終製品としてR値3.0と言う高性能の深絞り用鋼板の製造に成功した事例が、報告²³⁾されている。

もう一つ面白い技術は、NKK福山製鉄所で最近設備化された「スーパーオラック(圧延後の加速冷却設備の呼称)」^{24, 25)}シリーズである。「スーパーオラック」は先ず厚板工場で実用化され、水冷での理論的境界である高速冷却速度(板厚20 mmで65℃/s)を安定して実現することが可能になった。その後、形鋼工場、薄板熱延工場へ設備化が拡大し、熱延においては板厚3 mmで700℃/sという驚異的な冷却速度を実現している。理論的境界に相当する高冷却速度を実現し、それと同時に冷却停止温度精度の飛躍的向上が実現した。またこれを利用して、強度、韌性、加工性および溶接施工性に優れた新しい鋼板の製造が可能となり、市場においてもその性能が高く評価されている。従来、特に高強度材は高価な合金元素を付与することによって、目的の強度を実現していたが、本技術によりプロセス内での冷却コントロールにより粒径、相変態を的確に制御することが可能となり、従来に比べて格段に少ない合金元素付与で目的の強度、韌性を具備する鋼材の生産が可能となった。いわゆるプロセスコントロールによる材質作りこみ技術の、大きな革新が実現したわけである。

これらの事例から解することは、プロセス技術の革新の為には、理論計算とともに新しいハード技術の創出が不可欠であるということである。

川鉄のエンドレスミルにおいては熱延仕上げミルにおいて潤滑圧延を可能とし、大きな均一歪を付与することが可能と

なり、またNKKの「スーパーオラック」シリーズにおいては、理論限界近い高速冷却技術と精度の良い冷却停止制御を実現したことにより、今まで不可能とされてきた粒径と相変態過程を正確に制御し、合金元素に余り頼らないプロセスによる材質作り分け技術を工業的に実現させた。

5 開発のあり方に関する考察

以上、鉄鋼圧延プロセス技術を中心とした近年の技術開発を鳥瞰し、各分野における今後の考え方を述べたが、最後に開発の重要性和そのあり方について考察する。

鉄鋼圧延プロセス技術のように、世界の最先端を走っている分野については、真似るべきお手本は殆ど無く、自前で新しい技術を開拓していく必要がある。韓国や中国などの追い上げを振り切り、日本が世界の最先端を走り続ける為には、単なるコスト競争では、負けることは明らかなので、新技術を開発し続けることによって、技術的な優位性を常に確保しておかねばならない。

新技術の開発にはリスクが伴うことは当然である。如何にしてリスクを最小にして最大の効果を出すかが、今後の最も大きな課題と考える。以下、技術開発のあり方について言及する。

みずから、新しい技術を開発していかねばならないジャンルにおいては、真似るべきお手本が無いわけであるから、開発にあたっては当然リスクを生じる。全くリスクの無い100%成功する技術開発などは、有り得ないし、またそのような開発姿勢から生まれてくる技術は、陳腐なものであり、とても世界をリードするようなオンリーワン技術ではないであろう。よって、世界一の技術の開発を目指すのならば、当然必要なリスクを誰かが取らねばならない。

しからば、企業において、どの部門がリスクを背負うかと考えれば、当然研究所という事になる。何故なら、研究所で開発時に用いる手段は、研究員の思考実験、コンピュータを用いた理論計算やシミュレーション、モデル実験による小規模な確性試験などであり、製造所での大規模な設備投資に比べると僅かの費用で、新技術の基礎を固めることが可能だからである。そして、研究所においては革新的な技術を追求するのが、本来の姿なのであるから、過去の技術に囚われない自由な発想が不可欠である。勿論、これには先ほどから述べているように、当然リスクが伴う。

研究所の研究段階での、成功確率は2~3割あれば御の字であろう。

しかし、研究段階での試行錯誤に要する費用は、鉄鋼の巨大プロセスの建設に要する費用に比べれば桁違いに安価であるから、研究段階では相当幅を広げた検討を行ってもトータ

ル費用はそう大きくはならないはずである。

大切なことは、研究段階での小さな費用を惜しんで、中途半端な技術のまま巨大な費用で実際の設備投資を行ったり、十分な開発研究を行わないで、陳腐な技術水準の設備を作ってしまう、後で後悔することを避けることである。研究投資は実際の設備投資に比べれば、格段に安い費用で済むのだから、この段階で十二分に検討し、確信を持って設備投資に臨むべきであろう。

勿論、研究開発も決して聖域ではない。中長期的には、十分ペイするだけの成果をもたらす事は、研究者の義務であることは、はっきりしている。

研究所の役割について、もう少し考察する。研究開発には常に二つの側面が存在する。即ち、現状技術の不具合点の改善と現状技術の創造的破壊である。

これに関して、筆者自身の経験に基づいて、少し論じてみる。

先ず、筆者が若い頃関わった、前述の完全連続式冷間圧延機について考察する。最大の問題点であった通板、尻抜き作業を効率化する手段について、その当時の流れは二つあった。一つは、圧延設備は其の儘にして通板、尻抜き作業の自動化をする改善的な路線であり、もう一つは通板作業そのものを無くする、謂わば、その当時の常識に挑戦する完全連続圧延構想であった。その頃の多数派は前者であったと思う。しかし、研究所において当時としては画期的であった走間板厚変更技術に目途をつけていたこともあり、NKKでは、後者の道を選んだ。

また、最近NKKで開発された前述のスーパーオラックの場合にも、同じような経験をした。現場からは、現状のオラック設備では鋼材温度が不均一となり形状が乱れてどうしようもないので、何とか改善して欲しいと言う要望が出され、それを受けて、従来のラミナーフローのノズルの位置の改善など種々トライしたが、思うような結果が得られず、研究所独自の判断で、全く新しい方法にチャレンジした結果、従来の膜沸騰状態ではない、板全面の核沸騰状態を、安価で少量の水量で実現する技術の開発に繋がった。その結果、超高速冷却と温度ムラの無い収束冷却技術が生まれ、それに伴い、この分野での新しい商品展開に繋がったのである。

世界的な技術標準となるような新技術は、この様な創造的破壊の過程から生まれるようである。そして、この創造的破壊は、研究所の様な実際の現場から少し距離を置いた部署から生まれるというのが、実感であり、そして、企業における研究開発部門は、建設的なリスクを背負う部署としての位置づけであるというのが筆者の持論である。

6 おわりに

以上我が国の圧延プロセス技術の進展と各分野における留意点について述べた。そして、今後の世界的な大競争に勝ち残る為には、途切れる事のない技術開発により、後発の他国との技術的優位性を確固たるものにしておかねばならない。

筆者自身、40年近い技術開発生活を通じて学んだことは、新しい技術開発の種は尽きないということである。もうこの分野には開発するものが無いなどと思った事が何度とあったが、周りの技術環境が進歩すると、それらを活用してまた新しい技術の種が芽生える。

これからの鉄鋼技術を支える若い技術者達への願いは、新しい時代には、その土壤が提供してくれる新しい技術が、まだまだ眠っているということを認識して、それらを掘り起こす努力をして貰いたいということである。そして、考える力は無限であり、考えることにより、それが可能になるであろう。

参考文献

- 1) 菊間敏夫：塑性と加工，39 (1998) 7，46.
- 2) 菊間敏夫：第201回塑性加工シンポジウムテキスト，(2001)，71.
- 3) 藤田文夫：ふえらむ，1 (1996) 5，44.
- 4) 鎌田正誠：産業年報 (国民経済研究協会)，22 (1998) 5，26.
- 5) 例えば，二階堂英幸，市井康雄：ふえらむ，2 (1997) 11，48.
- 6) 藤井克彦：ふえらむ，2 (1997) 2，125.
- 7) 水島成人，深谷敏弘，鞍掛浩：川崎製鉄技報，31 (1999) 4，40.
- 8) 鎌田正誠：鉄と鋼，79 (1993) 3，N178.
- 9) 森謙一郎，R.Kopp：第38回塑性加工連合講演会論文集，(1987)，1.
- 10) 豊島史郎，森賀幹夫，中山公規，蝦名清，藤井晃二，竹内正道：塑性と加工，31-350 (1990)，398.
- 11) 山田健二：第169/170回 西山記念講座テキスト，(1998)，55.
- 12) 柳本潤：CAMP-ISIJ，13 (2000)，276.
- 13) 松本絃美：第189回塑性加工シンポジウムテキスト，(1999)，17.
- 14) 斎藤好弘，左海哲夫：第192回塑性加工シンポジウムテキスト，(2000)，1.
- 15) 小豆島明：同上，11.
- 16) 宇都宮裕，斎藤好弘，辻伸泰，李星熙，左海哲夫：同上，25.

- 17) 津崎兼彰：第189回塑性加工シンポジウムテキスト，
(1999)，25.
- 18) 新井勝：鉄と鋼，79 (1993)，N779.
- 19) 三田尾真司，三宅勝：鉄鋼協会圧延理論部会（材料機能
創出FEM解析技術検討会）未発表内部報告
- 20) 倉橋隆郎，竹士伊知郎，森本敬治，柳本潤：CAMP-
ISJI，14 (2001)，1157.
- 21) 服部重夫，前田恭志，串田仁：CAMP-ISJI，14 (2001)，
398.
- 22) 浅川基男：CAMP-ISJI，11 (1998)，264.
- 23) 西村恵次，福井義光，川辺秀尚：川崎製鉄技報，31
(1999) 3，17.
- 24) 影近博：NKK技報，179 (2002)，5.
- 25) 小俣一夫，吉村洋，山本定弘：NKK技報，179 (2002)，
57.

(2003年2月3日受付)