



JFEスチール(株) 東日本製鉄所 千葉地区 第3熱延工場
(写真提供: JFEスチール(株))

鉄と鋼 第100巻記念

加工分野座談会

板圧延における 寸法・プロフィール・形状制御の新展開

独自技術を開発し、世界をリードしてきた日本の圧延・成形加工技術。最近では加工負荷の大きいハイテンが増加し、新たな研究開発が必要となるなど、取り組むべき課題は多い。そこで「鉄と鋼」100巻を記念し、加工分野で活躍する研究者にお集まりいただき、これまでの研究開発の経緯と現在の課題、そして今後の展望について語っていただいた。

(2014年8月20日収録)

出席者(敬称略)

- | | |
|-------|--|
| 藤田 文夫 | 東北大学名誉教授 (司会) |
| 阿高 松男 | 東京電機大学名誉教授 産官学交流センター 顧問 |
| 石川 孝司 | 名古屋大学 大学院工学研究科 マテリアル理工学専攻教授 |
| 江藤 学 | 新日鐵住金(株) 技術開発本部 プロセス研究所 圧延研究部長 |
| 中田 直樹 | JFEスチール(株) スチール研究所 圧延・加工プロセス研究部長 |
| 植野 雅康 | JFEスチール(株) スチール研究所 圧延・加工プロセス研究部 主任研究員 |
| 濱崎 洋 | 広島大学 大学院工学研究院 材料・生産加工部門 助教 |
| 大塚 貴之 | 新日鐵住金(株) 技術開発本部 プロセス研究所 一貫プロセス研究部主幹研究員 |
| 前田 恭志 | (一社)日本鉄鋼協会 論文誌編集委員会「鉄と鋼」第100巻記念特命小委員会 委員 |
| 柳本 潤 | (一社)日本鉄鋼協会 論文誌編集委員会 前副委員長「鉄と鋼」第100巻記念特命小委員会 委員 |

次々と新鋭の圧延機を建設していった日本

藤田 皆さん本日はお集まりいただきありがとうございます。本日の座談会は、圧延・成形加工分野において特に板圧延における寸法制御、形状制御を中心に、歴史と展望を語っていただきたいと思っています。それでは最初に圧延機建設の歴史から

話したいと思います。阿高先生ご執筆のレビュー「板圧延技術革新を支えた圧延理論」(鉄と鋼第100巻1号掲載)の圧延機の新設数と日本の粗鋼生産量の推移(図1)を参考にすると、粗鋼生産量は1970年代中頃の石油ショックまで右肩上がりに増加し、この頃までに大型圧延機の建設が相次ぎました。そして1980年代以降はほとんどが改造となっています。新設は

1995年の川崎製鉄千葉第3熱延工場、2000年の中山製鋼所新熱延工場が最後となっています。これについて阿高先生から詳しく教えていただけますか。

阿高 圧延機の建設史について日本と欧米とを比較すると、日本が鉄鋼生産を始めたのが1880年、当時の薄板圧延は3段式のブルオーバー圧延機が主流で、世界の粗鋼生産量は440万tでした。その後1920年に米国で熱間薄板タンデム圧延が商業化し、それから薄板の大規模熱間圧延が始まりました。1940年の日本の粗鋼生産量は690万t、終戦の年である1945年は450万tでした。1956年に第一次鉄鋼合理化計画が実行され、欧米の設備を次々と導入し、数年後には設備は欧米とほぼ同じレベルになり、1973年に粗鋼生産量は1億2,000万tに達しましたが、品質はまだ問題がありました。1980年代の後半に省エネルギーの観点から連続鋳造と熱間圧延との接続が進められ、またハイテン材が増え、熱間圧延機のパワーアップが行われました。1970年代初期の完全連続冷間圧延機の稼働から約20年遅れの1990年代後半になって、熱間圧延の完全連続化が実現し、生産量が20%アップしました。それからコイル全長にわたって材質が均一化し、通板安定性が向上し、また極薄板の製造も可能になったと報告されました。

植野 歴史を振り返ると、日本が世界で初めて開発した技術が、その後に世界標準になった例はかなりあります。例えば1970年代の冷間圧延の完全連続化や、HC（ハイクラウン）ミル、PC（ベアクロス）ミルなどで、開発された先輩方の業績の大きさを感じます。また、エンドレス熱間圧延も日本が世界に先駆けて実用化したもので、実際の操業を現場で見ると、「これほどすごい



阿高 松男

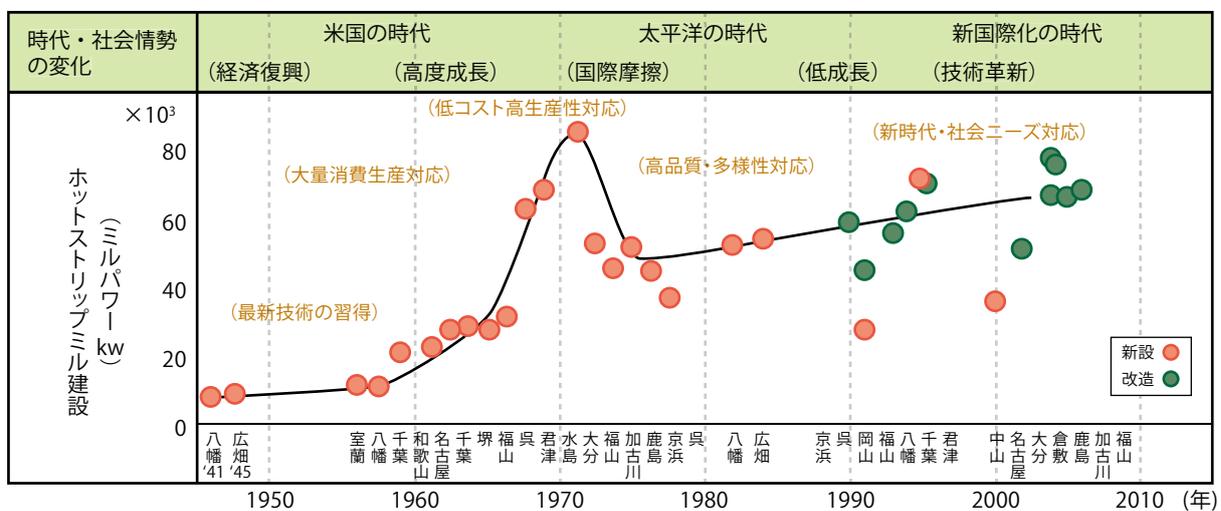
東京電機大学
名誉教授
産官学交流センター
顧問

技術をよく開発したものだ」と感心します。私たちの世代は大きな建設案件に携わる機会が少なく、先輩方が建設時の話をするたびに、正直、技術屋としてはうらやましく感じます。

石川 私は大学で塑性加工の講義をしていますが、圧延機の形状制御技術の開発について、日本が新しい圧延機を数多くつくったことを説明すると、学生も興味深く聞いています。製鉄所の工場見学に学生を連れて行くのですが、PCミルを現場で見ると、感想文で「昔の日本の技術はすごかった」という印象を書いていたりします。当時の開発力は、驚くべきレベルだったのではないかと私も思います。

江藤 現在、ハイテンの増加によって、高負荷圧延が行われるようになり、以前に建設された圧延機がパワー不足になっています。1980年代や1990年代にプロフィール、形状制御の技術革新が進み、仕上圧延機の改造は行われましたが、耐荷重

■各社の連続熱延ミルの新設・改造の履歴(図1)



ミルパワーは生産性に対応している。1973年のオイルショックまでには、より高い生産性をめざした高ミルパワーの連続熱間薄板圧延機（ホットストリップミル）が建設された。1990年以後は熱間圧延機の建設は少なく、代わりに改造による機能の向上が主流となっている。

(出典)阿高松男、鉄と鋼、Vol.100(2014)、No.1、p.96



(司会)
藤田 文夫
東北大学名誉教授

パワーを増すための更新はほとんど行われていません。初期の段階でハイテンの増加が予測できたら、十分なパワーを持った圧延機が設計されていたかもしれませんね。

大塚 今後おそらく圧延機の老朽化に対してどういう対策が打てるかが問題になるでしょう。圧延機の更新時に優れた新技術を入れていくことが我々の課題だと思います。

時代とともに変化する圧延制御技術

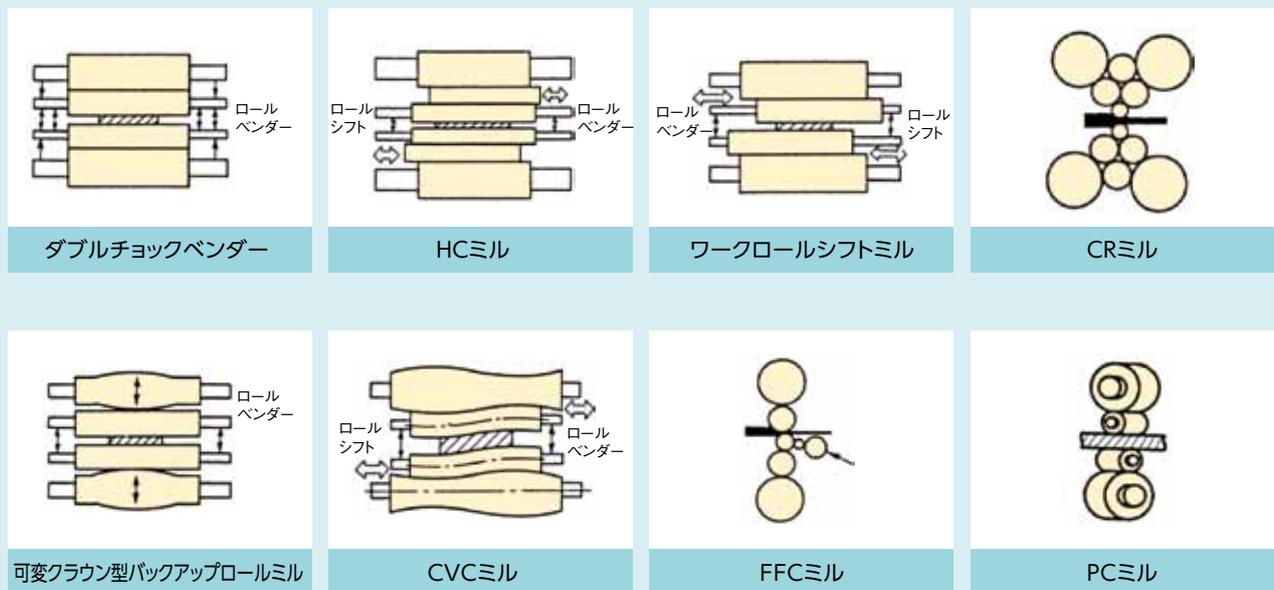
藤田 板圧延における寸法、プロフィール、形状制御関連の研究動向についてもご意見をうかがいたいと思います。研究発表

数の推移をみてみると、1960年代は板厚のコンピュータ制御に関する発表が多く、1976年以降はクラウン、形状制御、エッジドロップ制御等の発表が増えました。1980年代後半からはハイテンが登場し、基礎的な研究や温度制御性の向上などについて研究されています。これらの研究の開発経緯について、説明していただけますか。

阿高 1970年代に定常部の板厚制御技術がほぼ完成し、1980年代にはクラウン形状制御技術が完成しました。1990年代はクラウン・形状からエッジドロップの制御まで可能となりました。これを支えたのが、1960年代に始まった研究開発への大型計算機の導入です。それによってタンデム圧延の静的連続圧延理論に基づく大規模な数値計算が可能となりました。また、薄板圧延の三次元変形解析が近似的な形で行われるようになりました。

ハードの開発は、油圧圧下圧延機が1960年代に開発され、1970年代にタンデム圧延に導入されたことで、タンデム圧延の板厚制御性が急激に進歩しました。油圧圧下も機械サーボから電気サーボになり、圧下スクリー方式に比べ8倍の高速化が可能となり、板厚制御のレベルが格段と上がりました。1960年代は材料だけの三次元変形の解析がおこなわれていましたが、1970年代になって材料とロールの変形を連成した解析が行われるようになり、1980年代のクラウン形状制御技術の完成に結びつきました。これはクラウン形状制御機能を上げる

■各種プロフィール・形状制御圧延機(図2)



圧延後板の幅方向板厚分布(プロフィール)や平坦度不良(形状)の制御を行うために数多くの圧延機が開発され、厚板圧延、薄板熱間圧延、薄板冷間圧延に利用されている。この制御は、ロールベンダー装置、ロールシフト装置をアクチュエータとして行われる。さらに、高強度な薄板を圧延するニーズに駆動され、ワークロールの直径を小さくする方向に圧延機が進化した。

(出典)益居健、塑性と加工、Vol.32(1991)、No.4、p.421

圧延機が次々と開発されたことが関わっています。

それから、1980年代から有限要素法が適用され始め、1990年代には有限要素法によって従来困難とされた問題の解析がされるようになり、エッジドロップの制御技術に結びつきました。さらに、圧延中の材料の変形の把握が可能となったことで、材質予測制御へと発展し、2000年以降は材質制御に研究が集中してきました。

藤田 冷間圧延や熱間圧延の連続化によって、平均的な板厚制御はずいぶん安定しました。プロフィール・形状については、重工メーカーと鉄鋼メーカーが協力し合っていくつも大きな開発がなされてきました。HCミルやPCミルなどの新しい技術の導入は本当に大きなチャレンジだったと思います。

阿高 熱間圧延の連続化が可能になったのは、スケジュールフリー圧延がある程度完成したからだと思いますが、現在スケジュールフリー圧延は問題が残っているという声も聞きます。これについて若い方はどう捉えていますか。

植野 スケジュールフリー圧延の技術は進歩していますが、実際の現場では目標のクラウンや形状を出すために板幅によってスラブの挿入順が制約されています。これは、サーマルクラウンの予測精度やそれを制御する技術等が不十分であるためだと考えられます。

藤田 連続化は冷間圧延で始まり、タンデムの連続化、酸洗タンデム連続焼鈍という究極の連続化が行われたのですが、熱間圧延は仕上圧延の連続化に問題があって、なかなか広がりませんように思います。

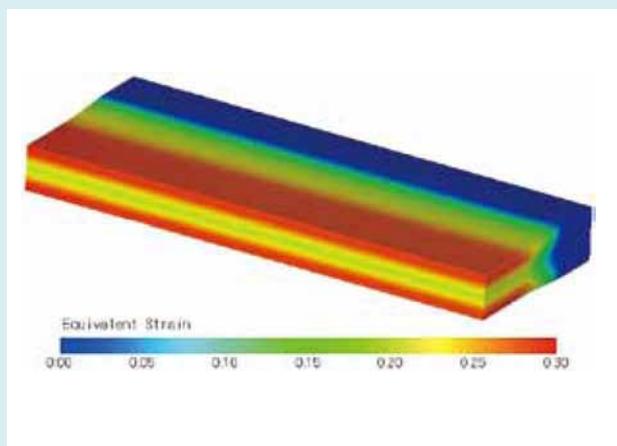
今後は精度や質の高い製品が求められ、プロフィール・形状



制御技術がより重要になると思いますが、これは1970年代、1980年代に大学と企業が協力して行った研究がベースとなっています。当時の様子についてはご存知でしょうか。

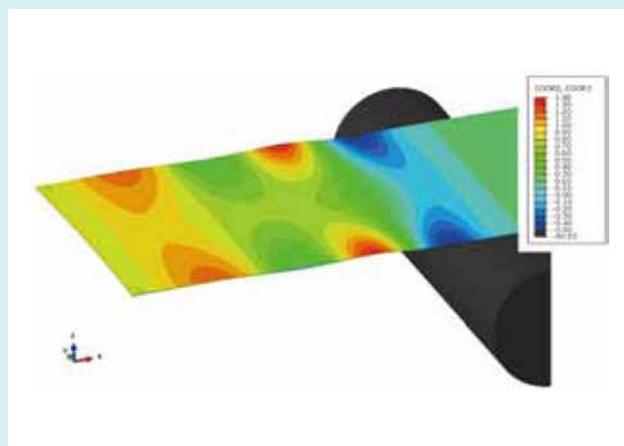
石川 私が学部4年生の頃、製鉄所に実習に行く機会がありました。板プロフィールを測定したところ、均一だと思っていた板が、かなりの分布を持っていることに驚きました。当時は自動車の生産台数が急増し、自動車外板用に均一な薄板が望まれていました。私は幅方向の板厚変化を理論的に解析する研究に携わりましたが、今のように計算機の環境が整っておらず、苦勞してパンチカードを使ってプログラムを自作したりしていました。計算によってさまざまなことがわかり、例えば圧延方向の張力分布の影響やエッジドロップなどについてシミュレーションを行い、実機でサンプルをとって検証しました。疑似三次元解析と言いますが、有限要素法が登場する直前の頃で、数多く

■FEMによる圧延解析例(図3)



熱間圧延(板厚60mm→50mm)による3次元圧延解析による材料内部に生じる相当ひずみ分布の解析結果。

(提供)前田恭志



冷間圧延時の形状解析の例。ロール(弾性体:4段ラボ圧延機:図中には下ワークロールのみを表示)、圧延材(弾塑性体:板厚1.0mm、板幅120mm)の3次元FEM解析結果。図中のコンターは、板の変位量を表しており、圧延出側での座屈形状として圧延板形状が表現されている。

(出典)前田恭志、CAMP-ISIJ、Vol.26(2013)、p.564



江藤 学

新日鐵住金(株)
技術開発本部
プロセス研究所
圧延研究部長

の情報を提供できたのではないかと思います。

柳本 私が関わったのは1988～1989年頃からです。有限要素法で三次元解析を試みる機運が高まった頃でした。エッジドロップの制御が主目的だったと思います。各社で独自開発が行われ、圧延理論側と数値解析側の両面から検討が行われました。その成果は学会で発表され、研究者同士が議論合って技術を高めており、かなりの数の研究者が関わっていました。今考えれば、計算機の能力は今とは比較にならないほど低いレベルでしたが、基礎理論の検討を産学共同で実施できたという意味では良い時代だったと思います。ただ、それで全ての問題が解決したかという点、形状はまだ解けていません。理由は明確で、有限要素法の三次元解析でも、圧延形状、つまり平坦度不良の予測には、エッジドロップ等の板厚分布の解析と比較してさらに100倍程度の精度での変形解析が必要となるのですが、いまだ有限要素法による数値計算に適した基礎理論が確立されていないからです。

中田 熱間圧延でも冷間圧延でも、板形状の問題からタンデム圧延機の見終スタンドで十分な圧下率がとれていません。特に熱間圧延での仕上後段強圧下は、圧延能力を高めるだけではなく、製品の組織をつくり込むなど重要な技術であるにも関わらず、ここ20～30年、あまり進歩していないようです。最近進歩した計測技術やビッグデータを用いた制御技術などを駆使して、課題を解決していくべきだと思います。

前田 形状の問題が完全に解決すればスケジュールフリー圧延ができるはずですね。

大塚 形状の問題が最後に残っているのは、形状についてもう一段階高い精度が求められているからではないでしょうか。特に先端で張力が張れないと形状が悪くなることがあります。現場ではばらつきが問題になりますが、ばらつきは圧延理論よりも材料側のわずかなひずみ履歴の差、温度差などが関係していると思います。材料の変形のばらつきにももう少し着目していく必要があるのではないかと思います。

濱崎 私のような若手の研究者にとっては、計算をするには有限要素法を使うのが当たり前となっています。ただ有限要素法は、現象そのものを理解していないと結果を読み取れないという危うさがあると思います。ハイテンは高強度ゆえに加工すると問題がたくさん出てきますが、これを有限要素法だけで計算しても、解決策は見出せないと思います。そのため理論的な解析は非常に重要だと思います。

藤田 有限要素法はあくまでメソッドなのですよ。要するに数値実験です。ですから、理論と数値実験を含めた実験の両立が重要だと思います。

中田 有限要素法は、例えば形鋼やパイプの圧延における複雑な変形についての理解が進むという意味で、この20年ぐらいいかに役に立ったと思います。ただ実際の操業にはばらつきがあり、前提条件どおりにはいきません。圧延材の幅方向に温度むらがあったり厚みの偏差があったりすると、反りや疵が発生することがありますが、それをうまく予測できていないというケースがあります。

江藤 現象を理解して、打つべき対策を考えていかないとけません。有限要素法は数値実験ですから何らかの答えは出てきますが、それだけではアクションには結びつかないと感じています。

藤田 ところで話は変わりますが、圧延機の型式はHCミルやUCミル、PCミルなど、すでにある形式でニーズを満たしていると思いますか。

大塚 シフトミルには、特に厚板でパス間での短時間に設定できないという問題があります。最近欧州メーカーを中心に、高強度で、高パワーのシフトミルが開発され、パス間でもパス内でもシフトが可能となっています。

植野 HCミルは冷間圧延にとっては画期的で、加減速時に荷重変動などが起こっても、たわみが変化しにくく、板形状を制御しやすいという特長があります。ただハイテンでは負荷が問題となり、ワークロール径を小さくしないと圧延荷重が大きくなってしまいます。

大塚 新日鐵住金の太分製鉄所で厚板の形状制御圧延機として新しい知能圧延機(クラスター型構造の圧延機:知能圧延機)が導入されています。これはロールがクラスター状に千鳥状に配置され、厚板にしてはかなり小径の形状制御圧延機になっています。こういう新しい形式の圧延機も最近開発されています。

江藤 新しい圧延機の開発はニーズとのマッチングだと思います。例えばクラウン制御のためのロールプロフィール制御については、PCミルだと大きなクラウン制御能力はありますが、ロール摩耗分散機能はありません。ロールシフトと組み合わせるか、あるいはロールグラインダーと組み合わせるか。これから高負荷圧延が進むと、そのような課題に対応した新しい圧延機形式が必要に

なってくると思います。知能圧延機が時代のニーズとして強く求められれば、もっと開発が進むのではないのでしょうか。

阿高 知能圧延機は軽圧下で形状を矯正する装置で、強圧下するのにおそらく対応はできないでしょう。そうすると、強圧下するための形状制御性に優れた圧延機は、別の形があるのではないのでしょうか。そのようなニーズがハードメーカーに伝わっていないような気がします。もっとオープンにしてニーズを発信すべきではないかと思います。

柳本 昔のPCミルや6-HIGHのHCミルなどは、鉄鋼メーカーと重工メーカーの共同で開発されましたが、今は共同開発を期待しにくい環境にあるようです。オールジャパンとしての動きがあってもよさそうな気がしますよね。

藤田 現在は各社同じようなレベルの圧延機がそろっていますが、ハイテンのように高度なグレードのものをつくる圧延機が国内にいくつかあってもいいと思います。最適な圧延機の配置を日本全体で再構築してもいいのではないのでしょうか。

ハイテン独自の課題と解決策

藤田 先ほどからハイテンが話題となっていますが、ハイテンの現在の問題や課題、今後の開発動向について、ご意見をいただけますでしょうか。

前田 神戸製鋼所の場合、比較的ハイテンの比率が高く、熱間圧延、冷間圧延の負荷は高くなっています。またプレス技術についても、シミュレーションを使って一般的に設計できる技術を開発していく必要があると思います。さらに新しい超ハイテンなどは圧延だけではなくCAL（連続焼鈍ライン）で強度を出すので、CALの温度制御や平坦度制御も重要で、加熱からCAL・矯正ラインも含めて、つくり方から考え直す必要があるのではないかと考えています。



植野 雅康

JFEスチール(株)
スチール研究所
圧延・加工プロセス
研究部 主任研究員

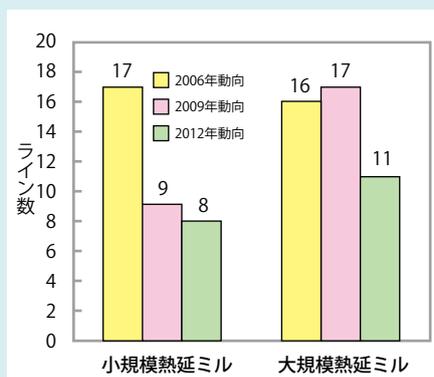
柳本 今の設備では限界がきているという感覚をお持ちですか。

前田 ええ。今のラインは軟鋼ベースに生産性を重視して設計されたものなので、その中でハイテンの量が増えてくると、連続化が必要かどうかも含めて、一貫ラインとして考え直さなければいけないと思います。

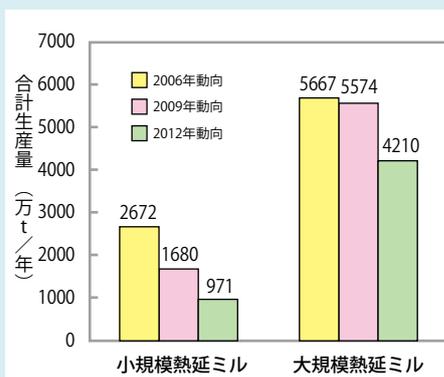
中田 薄板の熱間圧延では1990年代から、ハイテンの効率的な生産が圧延ライントータルで検討された結果、圧延機の増強よりも加熱炉やランナウト冷却設備の増強を中心に開発が進められてきました。私はランナウト冷却の開発を担当したのですが、ランナウト冷却での温度精度はハイテンの材質を大きく左右します。通常、鋼板を850℃程度から600℃程度まで冷やすのに対して、ハイテンでは500℃以下まで冷やす場合があって、しかも非常に高い精度の温度制御が要求され、苦勞させられます。強化元素の添加量を増やして許容範囲を広げようという考え方もありますが、それはコストダウン追求に逆行する後ろ向きな考え方です。ですから、冷却技術の開発には絶え間ない努力が必要だと感じています。

江藤 バッチ圧延している限り先尾端の冷却が完全に均一

■世界の熱延工場新設計画(ライン数)(図4)



■世界の熱延工場新設計画(生産量)(図5)



海外では熱延ミルの建設が盛んで、一時期は初期投資が小さくエネルギー効率の高い薄スラブCC-熱延プロセスに代表される小規模ミルの増加が顕著であった。しかし最近ではそのペースがやや低下し、大規模ミルへ回帰する傾向も見られる。

(出典) 小川茂: 第207・208回西山記念技術講座、日本鉄鋼協会、(2011)、p.102に平成25年度のデータを追記
(データ出所) 鉄鋼年鑑(平成19年度、22年度、25年度版)、鉄鋼新聞社、(2007、2010、2013)、それぞれp.365、385、341



中田 直樹

JFEスチール(株)
スチール研究所
圧延・加工プロセス
研究部長

になることはなく、熱延中の温度むらが大きいと、冷間圧延時に板厚変動として取り切れないレベルになってしまいます。熱間圧延の先尾端部分の温度制御の問題と、冷間圧延の板厚制御の問題との両方を合わせて考えねばならないと感じています。

前田 制御量が増えればより荷重変動が増える。そうすると形状の問題も出てくる可能性があり、技術的な問題が膨らんでくるわけですね。温度が主原因であれば、そこが大きな課題かもしれませんね。

大塚 AGCも先端は対応できていないと思います。先端のクランプを短くするには、温度の均一性や形状、板厚も考える必要があります。制御だけではなくモデルを用いて考えないといけないと思います。また、板厚計の精度の問題があります。X線やγ線など、放射線の強度の減衰具合によって板厚を計測しているのですが、板の密度や温度によって値が変わってしまうのです。

石川 最近ホットスタンピング用のハイテンが注目されています。ホットスタンピングの生産性を上げるためには板材の加熱速度が速い通電加熱を適用すれば良いのですが、板厚の薄いところは抵抗値が上がるために、わずかな板厚差でも温度分布が発生してしまいます。そのために、板厚分布の精度をさらに上げていかなければなりません。

濱崎 ハイテンのプレス成形での大きな問題は、割れとスプリングバックによる形状不良です。10年ぐらい前の980MPa級の超ハイテン材は引張試験で、塑性変形が始まってすぐに切れてしまいましたが、材料のつくり込みや製造プロセスの改良が進み、現在各社のハイテン材はこのような問題はないようです。スプリングバックは、材料の改良ではなく、金型形状や塑性加工のプロセスなどを改良して解決するしかありません。スプリングバックの予測は、応力が反転するときのハウシंगाー効果が強く出るので、これを有限要素法などで計算すれば、現段階では形状は予測できるところまでできています。ただしこれは研究室レベルの話で、実機では金型やプレス機に発生する

たわみにより、材料と金型の接触状態が変わり材料の流れ込みが変わってきます。さらに材質の予測については、例えば結晶塑性の有限要素解析や、凝固のシミュレーションでフェーズフィールド法などがあり、これらはマルチスケールアナリシスと呼ばれ、これによりマクロな応力・ひずみ特性の予測が研究されています。圧延分野もそれを適用すれば、例えば圧延中の再結晶や材料組織の変化や圧延後の応力・ひずみ特性がわかるかもしれません。

柳本 成形加工の解析には、やはりマクロな変形解析が重要になりますよね。マクロな構成式やマクロな塑性変形の記事の方法など、基礎理論の研究が必要になりそうです。

濱崎 私はいわゆるマクロな構成式と呼ばれる分野を研究していますが、残された課題はたくさんあります。今、注目されているのは、引張試験で均一変形する以上の大きなひずみでの加工硬化特性で、加工硬化が続くのか、あるいはサチュレートしていくのかがわかれば、既存の構成式でもある程度は理解できるのではないかと考えています。それから、多軸応力状態での異方性はマクロな塑性力学ではホットな分野で、r値や流動応力の方向の依存性、降伏曲面の形状、あるいはそれが塑性変形に伴ってどう発展していくのかは調査が進んできました。今後は異方性が成形の解析精度に及ぼす影響を実機の実績と計算結果を比較しながら検討していく段階となっています。

江藤 異方性の話が出ましたが、ハイテンは骨格部材には使えるがパネル材には使いにくいなど、プレス成形性の問題から使用範囲が限定的になっています。異方性の研究が進むと、自由度が出てくるのではないかと期待しています。最近、圧延で組織もつくり込む傾向にあると思いますが、圧延の集合組織は異方性に関係するため、材料がどんな特性を持ってプレス成形され部品になるかまで考えて圧延しなければならないかもしれません。

石川 今後は圧延で形状、寸法をつくりながら、組織もつくり込む時代に進んでいくと思います。その際に基礎のメタラジを常に考えた上でモデル化することが重要だと思います。

企業と大学の連携を深める

藤田 それでは次に、今後の研究課題や問題を中心に議論したいと思います。世界の動向に着目すると、熱延工場の規模は大規模圧延機の優位性が続いており、小規模圧延機は近年では減ってきているようです。薄スラブ連続鍛造は本数がそれほど多くなく、材質や表面に課題があるという印象です。エンドレス熱間圧延は大きな投資が必要で、スケジュールフリー圧延と逆行しているという課題があり、稼働しているエンドレス熱間圧延機は世界に2台しかないのが現状です。

このような状況で、ハイテンも含めた材質のつくり込みが今後の大きな課題として挙げられます。また形状、蛇行、板幅などの制御についてはハードを含めて課題が残っています。今後必要と思われる技術開発、研究を中心にご意見をいただけますか。

中田 まず酸化スケールに関する研究は、今後も進むと思います。ハイテンの高強度化のためにシリコンを添加することはスケールの問題に直結します。現在は熱間仕上圧延前に高圧水でデスクレーリングする技術が標準仕様となっていますが、今後はスケールの生成を抑制できる成分系にしたり、取れやすいようにする技術の開発が期待されます。それから冷間圧延では、ハイテンの高強度化に伴う生産性の低下が大きな問題になってくると考えられます。生産性を落とすことなくハイテンの高強度化に対応するには、扁平変形を小さく抑えられるロールの材料開発や、小径ロールの使用技術の開発がキーになってくると思います。

前田 生産性の低下は、ハードの更新も含めて基礎的なところから検討しないといけないのではないかと思います。各企業も進めていると思いますが、圧延理論部会や創形創質工学部会などで議論していったらいいと思います。

柳本 大学の立場で言うと、昔は大学と企業の共同開発は進めやすかったのですが、現在は技術の囲い込みが格段に厳しくなり、民間企業との共同研究やナショナルプロジェクトになりにくくなってしまっているのが残念です。特にプロファイルや形状の制御や理論解析に関する分野で、鉄鋼メーカーからの発信が弱くなっているように思えます。

濱崎 たしかに最近、企業が大学に研究を委託することはあまりないように感じます。企業ではすぐ成果が出るような研究に力が注がれていて、基礎的なところに時間が割けない状況になっているのではないのでしょうか。

柳本 逆に、大学の基礎技術を研究する人が減ったり、教室数が少なくなり、頼みにくくなっているということもあると思います。

阿高 家電などを主力とする電機業界が国内の競争に明け暮れて技術を囲い込み、世界のニーズを聞き損なって、国際競争に負けてしまったということがありましたが、鉄鋼業界も国内での競争が激化してきて同じような轍を踏んでいるような気がします。大学をうまく使うべきところとそうではないところを分け、せめて基礎技術は共同で研究してもいいのではないのでしょうか。

江藤 確かに今、企業は情報管理を厳しくしており、講演大会の発表件数も少なくなっていると思います。企業側がニーズの発信をしなければいけないと思いますが、すぐに成果につながりやすい研究テーマが少ないのも現実です。

大塚 ハイテンは、研究開発が商品に直結し過ぎているため、大学と研究しにくいという背景があるのではないのでしょうか。私がフランスにいた際、鉄鋼会社はかなりの研究を大学に委託して



大塚 貴之

新日鐵住金(株)
技術開発本部
プロセス研究所
一貫プロセス研究部
主幹研究員

いました。ヨーロッパでは一国では世界に太刀打ちできないという危機感があると思います。ただ、日本も現在は東アジアを中心に厳しい状況にあるので、危機感を軸にしてオールジャパンで取り組んでいけたらと思います。

中田 圧延技術については今後も継続して企業からニーズを発信していきたいと思います。ただ日本に製鉄所がたくさんあるわりには圧延の研究者は非常に少なく、今がやっていけるぎりぎりの数だという感じがします。

植野 硬くて脆いハイテンは、熱間圧延でも冷間圧延でも圧延中にエッジが割れる現象が頻繁に起こります。実はこの割れる現象の正体はよくわかっていないのです。延性破壊なのか、脆性破壊なのか、破壊の判断基準はアカデミックな部分が強く、企業で取り組むのは難しいテーマです。大学から評価手法を提案していただけたら、面白いのではないのでしょうか。

濱崎 ナショナルプロジェクトのように大きなプロジェクトを立ち上げるのは大変ですが、例えば鉄鋼協会の研究会などなら実現できそうな気がしますね。

石川 大学が企業と研究するとなると基礎的な研究になりますが、はじめによくディスカッションをして企業から大学に投げかけられるテーマを積極的に発信してもらえるといいと思います。

濱崎 数値解析において理論をつくらうとしたときに、現在のニーズがわかっていないと、課題が把握できず手につけられないということがあります。企業から課題を提案していただければ、現在圧延の研究に携わってなくても、塑性理論を研究している先生方はたくさんいるので発展があるのではないかと思います。

海外展開で日本の技術の優位性を保つには

藤田 今後の海外展開についても話したいと思います。自動車メーカーの海外生産が増加しており、これに対応した研究開発体制、他国の素材メーカーに対する優位性の確保など、課題はたくさんあると思います。特にハイテンについては、日本



濱崎 洋

広島大学
大学院工学研究院
材料・生産加工部門
助教

だけが進んでいる状況だと、携帯電話のガラパゴス化のようにグローバル化できない状況に陥ったりすることはないのでしょうか。

前田 今まで国内でハイテン技術が進んできたのは、冷間成形技術を育成してきたからですが、一方ヨーロッパはホットプレス技術を研究してきました。今後、日本の自動車メーカーが海外生産を進めた場合、今までとは違う要求がくる可能性があります。

江藤 海外生産の場合、設備や制御に不具合があると、日本のように運転者にカバーしてもらうということが許されなくなるといいます。自動化のための制御技術や機械装置も含めた圧延技術を考える必要があると思います。

石川 機械加工ですと、最新のNCマシンとプログラムを海外へ移転すれば、現地で加工することは可能だと思いますが、鍛造などはノウハウがあって、プレスだけ移転しても加工できません。圧延はこのようなことができますか。

植野 最新鋭の圧延機を導入したら、海外でもハイテンの冷間圧延は可能だと思います。新興国のいくつかのメーカーは硬い

材料でも圧延可能な最新鋭の圧延機を保有しています。ただ、最終製品として品質を満たしたものをつくれるかという、それは否だと思えます。前工程の熱間圧延でのつくり込みや、冷間圧延後の焼鈍プロセスが重要で、そういう技術は簡単には真似できないでしょう。

石川 海外で日本の品質をつくるのは難しいということですね。

前田 ハイテンの比率が高くなり、同じような強度の材料を海外でも要求されたら、海外に工場をつくることを考えなければいけないかもしれません。核となるベース技術は国内でつくり、技術だけを海外に移転する場合、圧延制御はハードもソフトも含めて今以上のレベルアップが必要となりそうです。

柳本 自動車メーカーは海外生産しても、メインの開発は国内で行うようで、例えば高い精度が求められる型は国内で製作すると聞いています。圧延機は電機メーカーがさまざまな制御システムとともに移転してしまうと、技術が海外へ渡ってしまう可能性があります。日本の固有技術を保持しながら優位性を保つのは大きな課題ではないかと思えます。

江藤 例えば海外で普及しているミニミルでエンドレスで圧延した場合、スキッドマークも、先尾端の冷却むらも起こることはありません。この方法だとハイテンが製造しやすくなるかもしれません。日本の製造方法がむしろガラパゴス化しているという逆転の発想で海外展開を考えたら先に進めるのではないのでしょうか。

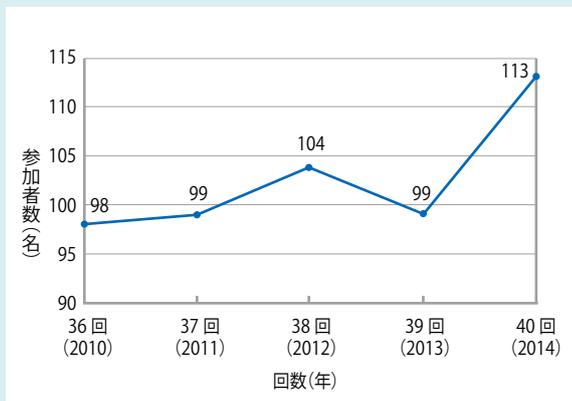
藤田 ミニミルは、スクラップからの原料でも銅の影響が出にくいなど、有利な点もあります。鉄鋼資源のないところ、または上工程のないところでミニミルを使って製造するというのも可能かもしれないですね。

前田 コンパクトで生産量に見合ったハイテン専用の製造ラインを海外につくれば、操業しやすいと思います。ミニミルも含めて、必須な圧延技術だけを抽出して移転するという考えもいいのではと思います。

江藤 単にすでにあるミニミルを真似しても仕方がないので、日本の技術屋でなければできないプロセスや圧延装置、技術を開発し、それをブラックボックスの形で現地へ持っていくことが重要だと思います。

中田 海外拠点でハイテンをつくるには、ある程度進んだ技術を移転することが重要です。ただし、ハイテンばかりつくるわけではないので、汎用品を低コストで量産する技術も日本で開発して持って行かなければならないと思います。それから、下工程だけが海外へ進出しているのが現状ですが、安定製造が難しいハイテンを途中まで国内で製造して後は海外で製造すると、かえってコストが高くなってしまう可能性があります。高品質で魅力的な商品も、国内で低コストでつくることができれば、お客様も海外調達ではなく、日本からの調達の方がよいと考えてくれると思います。

■鉄鋼工学セミナー材料・圧延コースの最近5年間の参加者グラフ(図6)



鉄鋼工学セミナーは製鉄15名、製鋼30名、材料圧延95名の定員で毎年行われ、2014年で40回目となった。ここ最近受講生が増加しており、定員を遥かに超える申し込みがある。



前田 恭志

(一社)日本鉄鋼協会
論文誌編集委員会
「鉄と鋼」第100巻記念
特命小委員会 委員

(株)神戸製鋼所
技術開発本部
材料研究所 研究首席



柳本 潤

(一社)日本鉄鋼協会
論文誌編集委員会
前副委員長
「鉄と鋼」第100巻記念
特命小委員会 委員

東京大学
生産技術研究所
第2部教授

阿高 これからの流れとして、資源国が資源をそのまま輸出するのではなく、加工して付加価値をつけて輸出する方向に進むと思います。そのため日本で全てつくるという構図は崩れていくのではないのでしょうか。海外で何をつくって日本で何をつくるか、つくり分けが必要ではないかという気がします。

柳本 とにかく日本から、優位性のある技術を発信することが重要です。そこは堅持しなければいけないのではないのでしょうか。

産学連携で若手に学ぶ機会と経験を

藤田 最後に今後の若手研究者の育成についてうかがいたいと思います。先ほど大学で圧延に関する研究室が少なくなり、また企業から相談を受け入れられるような、基礎的な研究を行う先生が少なくなっているという話がありました。これについて、今後どのようにして研究や教育を維持していったらいいのか、ご意見をいただけますか。

前田 最近、塑性加工を知らない新人が多く入社してきており、さまざまな教育メニューをつくって対応しているのですが、異分野を学んできた人に塑性加工を教えてもなかなか身につかず、やはり基礎的な学問は大学の講義の中で学んできてもらいたいですね。

植野 私が10数年前に入社してから多少の変動はありますが、社内の研究者の数は実はあまり変わっていません。また社内教育を充実させるため教育制度が整いつつあります。鉄鋼協会の圧延理論部会で若手ステップアップ講演が行われていますが、若手がそういう場に出て発表し、人脈をつくるというのは、とても有意義だと思っています。

大塚 企業の余裕がなくなってきて、新人の頃から成果や結果を求められ、腰を据えて基礎から研究できる雰囲気ではなくなっているように感じます。今必要なのは、基礎的な研究を企業と大学が共同で行うことではないかと思います。

濱崎 大学の講義ではなかなか圧延の内容に多くの時間を割けないのが現状です。しかし、少なくとも入社して社内教育を理解できる程度の塑性力学は教えるようにはしています。ただ圧延は、塑性加工や塑性理論を学んでいれば必然的に自分で勉強するようになります。例えば塑性加工では、使っている材料を調べると、それがどうやって作られているのかも知る必要があります。私も機会があれば工場見学に連れていって、どのように鉄鋼材料は作られるかを説明するようにしています。なかには工場見学で圧延工場を見たことがきっかけで、材料メーカーを志望する学生もいます。

石川 昔は鉄鋼工学科のほとんどの研究室が鉄鋼材料の研究をしていたので、かなりの卒業生が鉄鋼メーカーへ就職していました。現在、我々の研究室は塑性加工の研究をやっていますが、鉄鋼メーカーへ就職するのは3年に1人か2年に1人くらいかで、地元の自動車関連企業に圧倒的に多く就職しています。

中田 新入社員のときにある程度の知識を持っていると、1人立ちするのが早いですね。機械関係の学科を出て入社する場合、塑性加工だけでなく、材料力学、流体力学などの基本を理解したうえで入社してくれれば本人はもちろん周りも助かります。育成については、社内教育はもちろん重要ですが、学会や社外での講習会は刺激があります。他社で自分と同じような立場の人が自分と同じような苦勞をしているということがわかると、モチベーションが上がります。ですから、研究のリーダーはできるだけ多くの若手が外に出て行って議論できるように、背中を押してあげるべきだと思っています。

柳本 鉄鋼工学セミナーの参加者は、今、非常に多いです。鉄鋼メーカーに入社後4～5年の方を中心にして、定員140人に対して180人くらい集まっています。社内とは違った刺激を受けるのでしょうか。教育は社内だけでカバーできるわけではないのですよね。

植野 私は鉄鋼工学セミナーと鉄鋼アドバンスセミナー、両方



(前列左から)石川孝司氏、阿高松男氏、藤田文夫氏、江藤学氏(後列左から)大塚貴之氏、濱崎洋氏、中田直樹氏、植野雅康氏、前田恭志氏、柳本潤氏

とも参加したことがあります。鉄鋼工学セミナーではさまざまな内容を一度に聞けたり、著名な講師の話を直接聞けたりできるので非常に刺激になりました。鉄鋼アドバンスセミナーは少人数で具体的なテーマを話すのですが、腹を割って話せる雰囲気があります。

大塚 私の大学の近くに日本材料学会があって、足繁く通っていたのですが、そこで鉄鋼会社の方の発表を聞いて、私も材料の研究をやりたいと思い、それがきっかけで鉄鋼会社に入ろうと思いました。学会は学生に対して仕事の魅力を発信する場でもあるような気がします。

藤田 私の大学には圧延機がありますので、圧延に関するさまざまな実習を行いました。今、そういう環境が少ないのが問題ですよね。メンテナンスのかかる圧延機を保持するのは大変だと思いますが、例えば大学間で協力して、できるだけ学生に経験させるのも教育になるのではないのでしょうか。

柳本 最近では圧延機や工場の建設の経験がない人が多いという話がありましたが、これは問題ではないかと思います。建設経験を持つ方が今はまだおられるので、経験者の貴重な知識を教育に生かせないかと思います。

植野 私の年代だと小さい案件の建設経験はあるのですが、大きな案件はなく、それを学ぶ機会があれば、素晴らしいことだと思います。

柳本 海外展開するときに、圧延機の建設に研究所も参画できるといいですね。

大塚 海外展開については、今後は特に欧州のプラントメーカーが競合となりそうですが、彼らは数多くの建設経験を積んでいます。操業経験もあります。今は東アジアではハイテンはつく

れないかもしれませんが、良い設備を保有しているのですから、そのうち追いつかれ、牙城だったハイテンも追い越されるのが容易に想像できます。情報流出という懸念もありますが、それよりも海外で圧延機の建設経験を積むのは非常に重要なことではないでしょうか。圧延機建設も見据えた長期的な展望を日本国内で一致団結して進めていけたらと思います。

阿高 新たな設備投資がないから研究のモチベーションが上がらないというのは違うような気がします。研究主導で変えていくような改革が必要なのではないのでしょうか。取り組むべきことはたくさんあります。熱間圧延機も50年、60年経過しているので、改修だけでなくそろそろリプレースがあり得ると思います。研究側からこういうメリットがあると呼びかけて、革新的設備への投資のきっかけをつくるのも必要だと思います。研究者が夢をなくしてしまったら、鉄鋼の世界は夢が描けなくなってしまいます。ぜひ若い人には頑張ってもらいたいと思います。

藤田 今回の座談会で、圧延分野はまだまだ課題がたくさんあると認識されたのではないのでしょうか。課題が山積するなかで、鉄鋼協会等の研究会などをうまく利用して、研究テーマの発掘、共同研究、問題解決等に積極的に取り組んでいくことが、圧延の技術者を養成していく1つの方法になるのではないかと感じました。今後の皆さんの活躍を期待して座談会を終わりにしたいと思います。本日はありがとうございました。