



躍動

若手研究者・技術者の取り組みと将来の夢

企業の研究者が圧延プロセスの開発を 13年間続けて感じたこと

13 years of Experience about Rolling Process Development
by a Researcher at Steel Manufacturers

後藤寛人
Hiroto Goto

JFEスチール(株) スチール研究所
圧延・加工プロセス研究部
課長

1 はじめに

著者は、2011年にJFEスチール株式会社、スチール研究所、圧延・加工プロセス研究部に配属されて以来、熱間圧延工場と形鋼工場の塑性加工プロセスの開発に取り組んできた。大学時代、鉄鋼分野に全く関わっていなかった著者は、入社当初は右も左も分からず、先行きに不安を感じていた。しかしながら、13年間の塑性加工プロセスに関する技術開発のなかで、塑性加工について学び、企業における研究員の役割を理解しながら、工場の操業安定化や生産能率の向上、新商品開発に貢献してきた。また、開発業務だけでなく学術的な活動も進めてきた。その結果、国内外の学会での報告の機会が得られた。また、査読付き論文が公開され、2023年には日本鉄鋼協会より俵論文賞が授与された。

著者と同じように、不安を抱えながら鉄鋼メーカーの研究員としての業務をスタートした若手研究者は少なくないと思う。しかし、弊社だけに限っても、後輩たちの仕事ぶりから、著者よりも高い能力を有していると感じる。多くの若手研究者が不安など抱かずに、自信を持って業務に没頭してほしい。本稿では、後輩たちの参考になればと考え、右往左往しながらも進んできた著者の経験を紹介したい。鉄鋼メーカーの研究者として関わった開発業務、研究内容を書き記すことにする。本来であれば、開発業務についても詳細に書きたいが公開可能な範囲に留め、すでに公にしている学術的な成果については具体的に伝える。

2 鉄鋼メーカーの基礎を学んだ若手時代

2.1 プロセス開発の研究員の役割

入社して最初に与えられた研究テーマは、熱間圧延工場の新商品開発だった。通板安定化や歩留り向上、コイラーでの巻形状安定化、加熱炉条件や水冷条件の最適化など、熱間圧延工場の圧延ラインにあるほぼすべてのプロセスの検討に関わった。大学時代、航空機のジェットエンジンや産業用ポンプなどの流体機械を扱う研究室に所属しており、入社当初、塑性加工の知識は皆無だった。そのため、熱間圧延工場の圧延ラインのすべてに関われる仕事は、塑性加工プロセスの研究者への一歩を踏み出すうえで、最適なテーマだったと感じている。

鉄鋼製品の商品開発には、プロセス開発だけでなく、材料開発の研究部も重要な役割を果たしていることは、今でこそ当たり前前に理解している。新入社員時代に商品開発に関わったことにより、プロセス開発と材料開発の両方があるからこそ、鉄鋼材料の新商品が実現できるのだと業務を通じて実感した。また、設備や制御システムの投資が必要な商品開発だったため、熱延工場の操業を担当する部署だけでなく、設備部や制御部とも連携しながら開発を進めた。

海外に市場を持つ商品であることから、営業部とも関わることも多く、2014年の入社4年目のときに初めて海外出張を経験した。著者が担当したプロセスを通じて製造された商品が、世界で使われている光景を目の当たりにして、日々の業務が世界につながっていることを実体験として理解できた。この経験は、その後の仕事のモチベーションにつながった。様々な部署との連携を必要とする仕事を体験することで、鉄鋼メーカーの技術開発の流れを若手時代に理解できたことは幸甚だったと感じている。

2.2 塑性加工プロセスの基礎を学んだ研究テーマ

最初に携わった開発のなかで、特に注力したのは粗圧延工程でのシートバーの平面形状の制御だった。シートバーの先端部と尾端部は、仕上圧延前に通板安定化を目的に切り落とされることから、平面形状は歩留りに大きな影響を与える。シートバーの切り落とされる先端部および尾端部の部位は、一般的にクロップと呼ばれている。

粗圧延工程には、サイジングプレスによる幅圧下、そしてエッジャーによる幅圧延と水平圧延がある。サイジングプレスでは大規模な3次元変形が発生し、幅圧延と水平圧延が複数回繰り返されることから、平面形状は粗圧延工程の条件によって複雑に変化する。図1に、熱間圧延工場の圧延ラインとシートバーのクロップカットについての模式図を示す。

シートバーの平面形状を制御するためには、粗圧延工程での圧延材の変形を理解する必要がある。塑性加工プロセスが並べられた粗圧延工程は、圧延加工に携わる研究者が最初に取り組む研究として最適な内容だった。圧延加工の研究者として13年が経過した今では、同研究部の先輩たちが、新入社員に向けたテーマとして選定したことが理解できる。

3 シートバークロップ長さに関する研究

3.1 従来知見を調べたことで得た気づき

シートバーの平面形状を制御するにあたって、従来知見の調査を進めた。平面形状の制御については、それまでに様々な研究¹⁻⁵⁾がなされていたが、従来知見の整理と開発を進めるなかで、新たな現象に著者は気がついた。

従来の研究では、幅圧下プレス後、水平圧延後の平面形状に板厚プロファイルがどのように影響するかについてはあまり明確にされていなかった。著者は、このことに気が付き、板厚は幅圧下プレスと水平圧延を模擬した鉛モデル実験とFEMにより幅圧下プレス後の板厚プロファイルが水平圧延後の平面形状に及ぼす影響を調査した。図3に、サイジングプレスラボ設備の概要を示す。

3.2 シートバークロップ長さに関する新たな知見

調査の結果、幅圧下プレス後、水平圧延後の先端部クロップ長さが極大となる幅圧下プレス量が存在することが分かった。図4は、サイジングプレスラボ設備での鉛スラブ圧下実験とFEM解析の結果である。

このような幅圧下プレス量に対する先端部クロップ長さの挙動は、幅圧下プレス時の増厚の影響を考慮することで説明できる。先端部の増厚が大きい箇所ほど水平圧延時の圧延方向への延伸が大きいいため、板厚プロファイルがダブルバルジ形状の場合はフィッシュテールが延長し、シングルバルジ形状の場合はフィッシュテールが短くなる、あるいはタング形状になることが分かった。

この知見は実操業に反映されただけでなく、国内学会の講

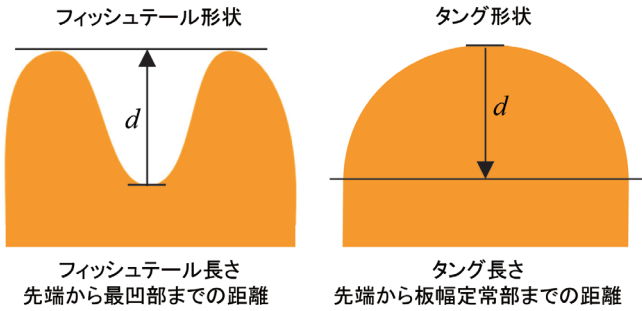


図2 シートバークロップ形状 (Online version in color.)

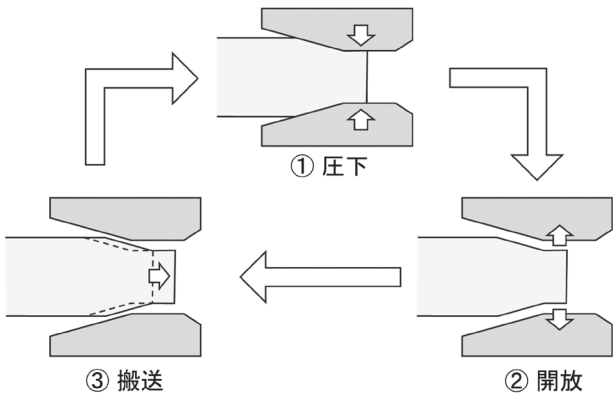


図3 サイジングプレスラボ設備の動作

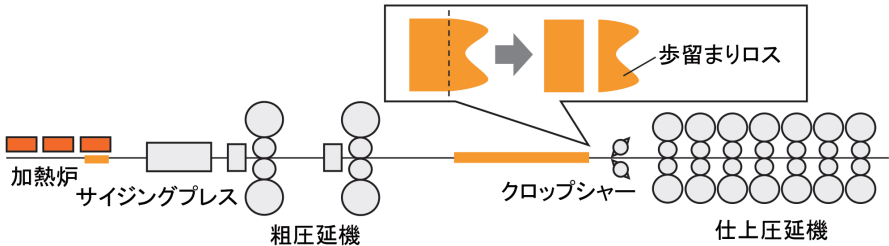


図1 クロップカット (Online version in color.)

演会で報告¹¹⁾する機会につながった。2016年6月、オーストリア、グラーツにて開催された圧延技術に関する国際学会 Rolling2016で報告¹²⁾するに至り、研究者として初めて海外での報告の機会を得た。そのときの欧州出張ではドイツの大学に赴き、次年度の共同研究を持ち掛けて、契約することができた。2017年には、ドイツの大学へ短期留学をして、人生で初めて海外での生活を送った。わずかな期間ではあったが欧州の豊かな社会に触れたことで、労働のあり方や日本の製造業について深く考えるきっかけとなった。この欧州で見てきた光景も、人生に大きく影響を与えている。

昨今は、日本の多くの企業において、操業や技術に関する情報を外部へ公開することに消極的な状況がある。本来であれば、技術開発で得られた知見を外部に公開することは難しい。塑性加工で生じる変形挙動という基礎的な内容において新たな知見が得られたため、学会発表が認められた。開発業務のなかで偶然見つけた現象から、学会発表ができたことは幸甚だったと感じている。

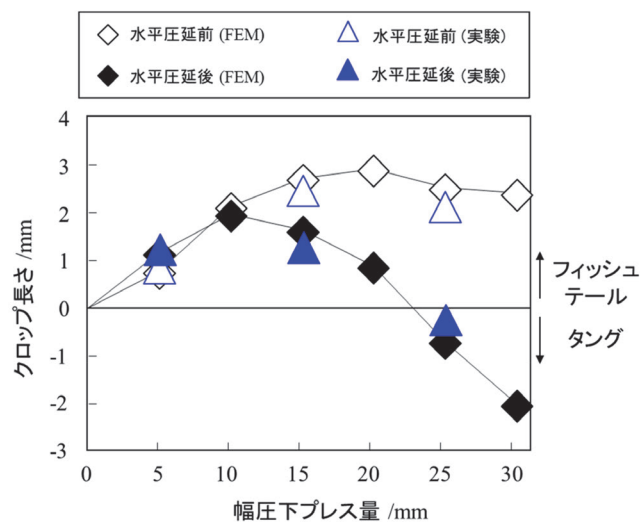


図4 幅圧下プレス量とシートバークロップ長さ (Online version in color.)

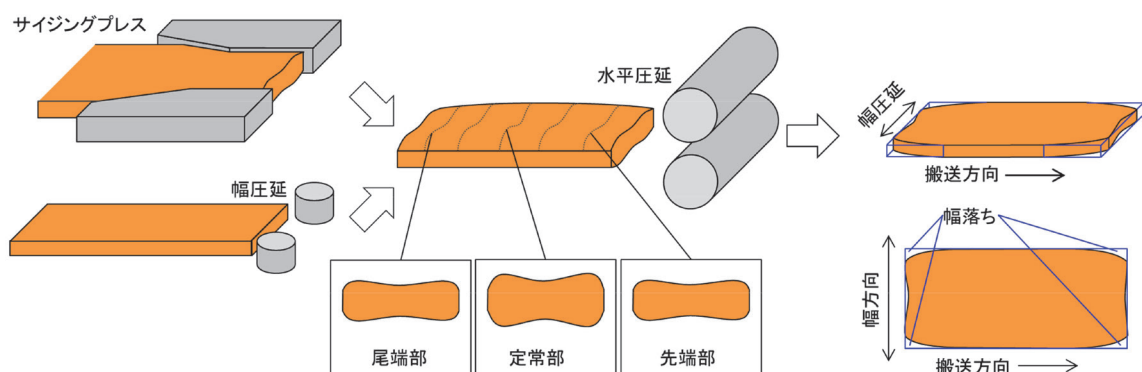


図5 従来の幅落ち発生メカニズム (Online version in color.)

4 開発業務と投稿論文

4.1 形鋼分野の開発で知識が増えた

2016年からは、熱延工場のプロセス開発だけでなく、形鋼の圧延技術の開発も担当するようになった。サイジングプレスによる鍛造も複雑な塑性変形を伴うが、H形鋼や鋼矢板の孔型圧延では、さらに複雑な塑性変形が発生する。形鋼の新商品を製造するための新プロセスの開発に携わり、FEM解析を駆使しながら孔型の設計を行った。そして、形鋼分野での技術開発で培った三次元変形の知識と、新入社員時代から取り組んできたサイジングプレスのFEM解析が、論文を執筆する契機となった。

4.2 熱延鋼帯の幅非定常部

サイジングプレスによる幅圧下、あるいはエッジャーロールによる幅圧延後の幅方向の厚みプロファイルは、幅端部が厚くなるドッグボーンと呼ばれる形状となる。また、幅方向の厚みプロファイルは搬送方向で一様ではなく、先端部および尾端部ではドッグボーンは小さく、定常部では大きくなることが知られている^{12,13)}。そのため、ドッグボーンが小さい先端部と尾端部は、水平圧延中に発生する幅拡がり小さく、ドッグボーンが大きい定常部は幅拡がりが大きくなり、その結果、定常部の幅に対して先端部と尾端部の幅が狭くなり幅落ちが発生すると考えられていた¹³⁻¹⁵⁾。図5に、サイジングプレスによる幅圧下、あるいはエッジャーロールによる幅圧延、その後の水平圧延によって幅落ちが発生するメカニズムを示す。

しかしながら、著者は、文献調査を進める過程で、従来知見では説明できない現象が発生していることに気が付いた。いくつかの文献では、先端部と尾端部において、エッジャーロールによる幅圧延後の幅に対し、幅圧延に続く水平圧延後の幅の方が狭くなる事例が紹介されていた^{14,16)}。しかし、水平圧延により先端部および尾端部の幅が縮小するメカニズム

についての検証はなされていなかった。

この幅縮小現象については、サイジングプレスと水平圧延のFEM解析を実施するなかで、著者も気が付いていたが、メカニズムまでは理解してなかった。一方で、H形鋼や鋼矢板のFEM解析を実施するなかで、圧延材の先端部と尾端部の幅が縮小する現象があることを知っていたので、サイジングプレス後のスラブを圧延した場合でも同様の現象が発生すると予想し、幅縮小の発生メカニズムを明確にする研究に着手した。

4.3 従来知見を覆すための実験

従来知見に対する反例を示すことで、幅縮小が発生することを試みた。先端部および尾端部と定常部のドッグボーン高さの差が、水平圧延時に生じる幅拡がりの差となり幅落ちになるのであれば、全長にわたって一樣な横断面を持つスラブを水平圧延したときに幅落ちは発生しないはずである。そこで、全長にわたり一樣な横断面を持つ鉛スラブの水平圧延実験を行い、幅落ちの発生状況を確認することで従来のメカニズムの妥当性を検証した。つまり、全長にわたって一樣な横断面を持つスラブを水平圧延することで、先尾端部と定常部とでドッグボーンプロフィールが異なる影響を除外したのである。図6は、鉛スラブに与えた横断面形状である。

実験だけでなくFEM解析も実施した。水平圧延中に時々刻々の幅プロフィールを噛み止め実験により観察することは難しい。FEM解析であれば、実験では観察することのできない圧延途中の幅の変化を観察できる。実験では幅縮小が発生する事実を示すこと、FEM解析では、圧延中の時々刻々の幅プロフィールの変化を観察することを目的とした。

4.4 新たな現象を明確にした実験結果

図7は、全長にわたり一樣な横断面を持つスラブを水平圧延した後の尾端部の幅プロフィールである。尾端部周辺で幅落ちが発生していることが分かる。先端部および尾端部と定常部のドッグボーン高さに差がない場合においても、幅落ち

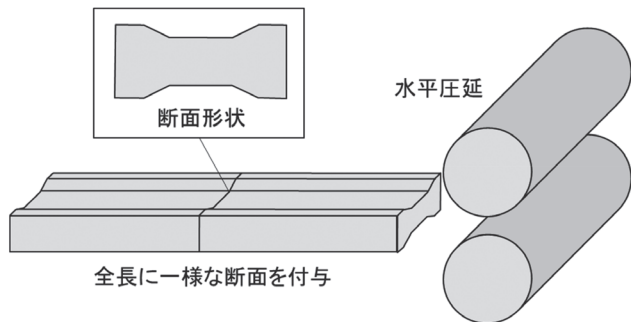


図6 全長に一樣な断面を有する鉛スラブの圧延実験

が発生することが確認され、従来知見では説明できない現象を実験により示した。

図8は、尾端部における幅プロフィールの時間変化である。噛み止め実験で得られた幅プロフィールも描画している。図8を見ると、ロールバイトの手前で幅が縮小していることが分かる。実験とFEM解析の結果から、全長に一樣なドッグボーン形状を横断面に持つスラブを水平圧延すると、尾端部ではロールバイトの入側で一時的に幅が縮小することが明らかとなった。

従来知見だけでは説明できない現象を、ラボ実験とFEM解析によって示すことができた。この知見を論文としてまとめ¹⁷⁾、2022年9月に公開。2023年9月には日本鉄鋼協会から依論文賞をいただいた。

開発業務を進めるなかで見つけた不可思議な現象を追

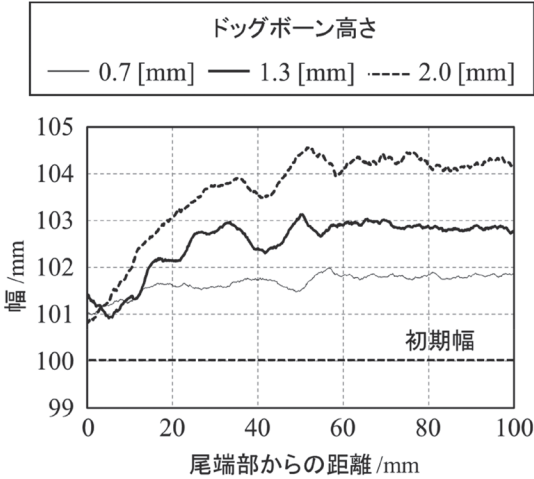


図7 全長に一樣な断面を有する鉛スラブを圧延したときの幅プロフィール

	FEM	実験
幅プロフィール	——	——
圧延材とロールの接触範囲	A	B

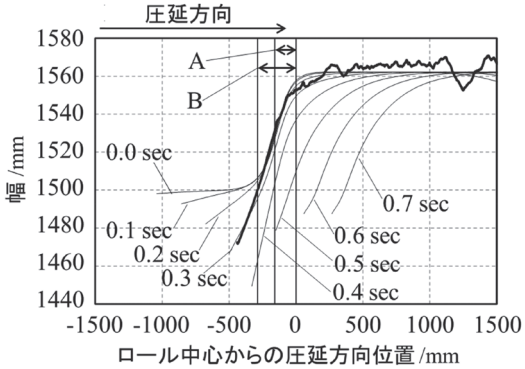


図8 圧延中の幅プロフィールの変化

求めた結果、論文としてまとめることができた。実は、圧延中に幅が縮小するという現象について同僚に説明したとき、懐疑的な意見をもらうことが多かった。しかしながら、ラボ実験により実証するとともにFEM解析によりメカニズムを説明することで、同僚からの理解を得ることができた。従来知見にないことを他者に理解してもらうためには、労を惜しまずに証拠を示すしかない。一方で、確かなデータを提示すれば、一緒に議論してくれる同僚がいる環境をありがたいと感じた。新たな気付きに対して客観的な意見をもらえたことで、論文としてまとめることができた。的確な指摘をくれた上司や同僚に感謝を伝えたい。

5 おわりに

鉄鋼メーカーの研究者として、不安を感じながらスタートした若手時代。能力以上のことを求められて辛い時期もあったが、13年が経過した今は仕事に充実感を覚えている。自信がなかったからこそ、上司や同僚の意見を素直に聞き入れて業務を進めてきたし、与えられた仕事はチャンスと捉えて向き合ってきた。

13年という研究者としての生活は決して長いものではないが、振り返ると与えられたものが多かったように思う。新入社員時代の研究テーマでは、鉄鋼メーカーの研究者としての基本を学ばせてもらった。その後の開発業務に関するテーマも、上司から与えられたものや同僚との雑談のなかから見つけたものが多い。そして、学会報告や論文のテーマについても、開発業務を進める過程で、たまたま見つけたものを拾ったという感覚がある。多くのチャンスを与えてくれた上司、同僚に心から感謝する。

著者と同じように、仕事に不安を感じているエンジニア、研究者は多くいると思う。仕事を始めたばかりのころは、全体が見えないため、求められている役割が見えにくい。著者の経験では、与えられた課題と向き合っていたら、組織の全体感や仕事の意義が見えてきた。そして、知見が広がったからこそ、オリジナリティが分かるようになり、論文に書くようなテーマも見つけられた。暗中模索ではあったが、与えられた課題と向き合うことで著者は能力的にも、精神的にも成長できたと感じている。

仕事が辛いと感じる時期は必ずあるが、助けてくれる上司や同僚がいる。前向きに、仕事に向き合ってほしい。本稿に記した著者の経験が励みになれば嬉しく思う。エンジニアや研究者の成長への期待を記し、本稿の結びとする。

参考文献

- 1) 二階堂英幸, 直井孝之, 植木茂, 藤原煌三, 阿部英夫, 二瓶充雄: 第38回塑性加工連合講演会講演論文集, (1987), 37.
- 2) H. Nikaido, K. Fujiwara, H. Abe and M. Nihei : Iron and Steel Engineer, 67 (1990), 21.
- 3) 沖正海, 平松輝生: 鉄と鋼, 67 (1981), S1031.
- 4) 比良隆明, 磯部邦夫, 阿部英夫, 二階堂英幸, 藤津武, 頭山奨: 川崎製鉄技報, 21 (1989), 188 (in Japanese).
- 5) 比良隆明, 阿部英夫, 磯部邦夫, 内田秀史, 二瓶充雄: 第39回塑性加工春季講演会講演論文集, (1988), 305.
- 6) H. Muller and W. Rohde : Metallurgical Plant and Technology International, 15 (1992) 5, 60.
- 7) M. Chun, I. Ahn and Y. Moon : Metallurgical Plant and Technology International, 14 (2005) 3, 408.
- 8) 沖正海, 芝原隆, 寒川顕範, 波床尚規: 住友金属, 42 (1990), 324.
- 9) 芝原隆, 沖正海, 布川剛, 中村信一: 鉄と鋼, 73 (1987), S1093.
- 10) 比良隆明, 植木茂, 阿部英夫, 頭山奨, 磯部邦夫, 二瓶充雄: 第38回塑性加工連合講演会講演論文集, (1987), 45.
- 11) 後藤寛人, 壁矢和久, 木村幸雄, 高嶋由紀雄, 三宅勝: 第66回塑性加工連合講演会講演論文集, (2015), 339.
- 12) H. Goto, Y. Takashima, Y. Kimura, M. Miyake and K. Kabeya : 10th Int. Rolling Conf. and the 7th European Rolling Conf., (2016).
- 13) 芝原隆, 河野輝雄, 美坂佳助, 布川剛: 塑性と加工, 25 (1984), 115 (in Japanese).
- 14) 岡戸克, 有泉孝, 野間吉之介, 藪内捷文, 山崎善政: 鉄と鋼, 67 (1981), 2516. https://doi.org/10.2355/tetsutohagane1955.67.15_2516
- 15) 渡辺和夫: 塑性と加工, 25 (1984), 75.
- 16) T. Higo, K. Yamada and S. Ogawa : 44th Mechanical Working and Steel Processing Conf. Proc. : 8th Int. Rolling Conf. and Int. Symp., (2002), 335.
- 17) 後藤寛人, 木村幸雄, 三宅勝: 鉄と鋼, 108 (2022), 616. <https://doi.org/10.2355/tetsutohagane.TETSU-2022-014>

(2024年3月19日受付)

先輩研究者・技術者からのエール

元広島国際学院大学教授

古元 秀昭

熱 間圧延分野でご活躍中の後藤寛人氏は製鉄会社で圧延プロセス開発を進められ、2023年9月に一般社団法人日本鉄鋼協会から俵論文賞を受賞された新進気鋭の若手研究者です。「企業の研究者が圧延プロセスの開発を13年間続けて感じたこと」を読ませて頂きました。とても示唆に富んだものであり、拙筆ながら、同じ熱間圧延分野で開発業務を経験したことがあるのでコメントさせていただきます。

入社直後から新商品開発に取り組まれ、サイジングプレス、粗圧延機列、仕上げ圧延機列、冷却装置そして巻取り機等の熱間圧延ライン全体を経験され、材料開発とプロセス開発の連携、設備部や制御部との連携が重要なことを指摘されています。

その中で注力されたのが粗圧延工程での被圧延材の平面形状制御です。平面形状とは被圧延材を上方から見た形であり、歩留まり向上、生産性向上のためには圧延後の平面形状を矩形とすることが必要となります。この制御技術は1970年代後半から1980年代に盛んに研究開発が進められた分野です。この分野の開発は既に十分尽

くされたように見えてましたが、新たな視点から板厚分布の影響については検討が不十分と整理され、本分野へ新たな光を当てておられます。圧延実験で3次元変形挙動を詳しく観察し、そして有限要素法による数値解析も実施し、実験と計算をうまく使いながら3次元変形の本質に迫り、先端部と尾端部で板幅が縮小するメカニズムを解明されました。圧延で板幅縮小は分かり難い概念ですが、サイジングプレスと粗圧延で生じる3次元変形の実験結果と計算結果について粘り強い観察と考察により板幅縮小の理解を深められた点に共感しました。また新しい開発テーマを製造現場で見出し、実験での現象観察、そして計算により理解を深める流れは研究開発の進め方として参考になると感じました。

さらに研究結果を論文にまとめ、国際会議で発表、そしてドイツでの海外留学と活躍の場を積極的に広げておられます。

今後はさらなる革新的なプロセス開発へ挑戦され、ますますのご活躍を期待しています。

日本製鉄(株) 技術開発本部 プロセス研究所 圧延研究部 板圧延研究室 研究第一課長

新國 大介

後 藤さんと初めてお会いしたのは、2012年12月に九州製鉄所(旧八幡製鉄所)で開催された圧延理論部会で、当時、後藤さんは入社2年目、私は入社5年目の頃だったと記憶します。懇親会の場において話をした際に、熱延プロセス全般にお詳しく、また、様々な課題意識をお持ちだったことに驚いたことを、ご本人の気さくで話しかけ易いお人柄と合わせて、よく覚えています。また、その後も学会活動や学会のフォーラムメンバー等でご一緒して、お話や議論をさせて頂く機会が多くありました。

今回、依頼がありました際に、私が先輩という立場でエールをお送りして良いものかと悩みはしましたが、そのようなご縁もあり、同年代の同じ研究分野の仲間としての立場から期待を述べさせていただくこととして、僭越ながら、お引き受けすることに致しました。

鉄鋼製品の中で最も生産量の多い熱延コイル製品には、SDGsの達成が急務の現況では、より優れた材質とより高い寸法精度が強く要求されています。通常、熱延工程ではスラブ1本毎のいわゆるバッチ操業を行うため、被圧延材の先尾端部は必然的に非定常部となり、例えば寸法の代表格の一つである板幅が長さ方向に有意に

変動してしまい、製品歩留を大きく阻害することが古くから続く実質未解決の課題となっています。後藤さんが取り組まれている「サイジングプレス幅圧下後の厚み分布が先尾端部の幅プロフィールに及ぼす影響」に関するご研究は、熱延工程の始点となる幅圧下と水平圧延で実質直方体のスラブに初めて幅変化が生じる過程を、工夫を凝らした精緻な実験と高度な数値解析で明らかにし、メカニズムの解明を通じて実プロセスの改善に繋げようとするものです。本稿でも示されておりますように、工業的貢献への期待は元より、まさに、後藤さんの研究に対する強い熱意と日頃からの多くの努力が覗えるご研究と改めて認識させていただいた次第です。

こうした後藤さんの研究への真摯な取組と熱意、またそのお人柄から、今後もますます研究分野にてご活躍されることを確信しています。また学会活動等での後藤さんの積極的な姿勢は周りにも伝播していくと思いますし、私自身も大いに刺激を受けています。今後、後藤さんが圧延研究を牽引し、そして圧延研究の分野自体を大きく盛り上げていただけると期待しています。今後も様々な場面においてお会いし、議論できることを楽しみにしています。