



躍動

若手研究者・技術者の取り組みと将来の夢

理論と現場と制御研究者

Control Researcher Connects Academic Theory to Manufacturing Floor

小林俊介

Shunsuke Kobayashi

新日鐵住金(株) 技術開発本部
プロセス研究部 制御研究部
主任研究員

1 はじめに

私が入社して8年が経ち、勤続年数2桁が目前となった。世間的には中年と呼ばれる年代にさしかかってきているが、会社では40、50代の方々が第一線で活躍しておりまだ若手として扱われる場合も多い。

私は新日鐵住金でプロセス系の研究開発を行う部門である技術開発本部プロセス研究所の制御研究部に所属しており、これまで主に厚板加熱・圧延プロセスの研究開発に取り組んできた。本稿ではそのうち鹿島製鉄所厚板工場におけるミル負荷適正化技術の開発内容について紹介するとともに、8年間の会社生活で考えた企業における制御研究者の役割についてこの場を借りて述べたい。

2 厚板圧延ミル負荷適正化技術の開発

鹿島製鉄所厚板工場には粗、仕上の2つのレバースミルがある。まず粗ミルにおいて成形圧延、幅出し圧延、厚み出し圧延を行った後、仕上ミルに移送する。仕上ミルでは厚み出し圧延の続きを行うとともに、下流パスでは製品を平坦に仕

上げるための形状調整圧延を行う(図1)。

このとき、要求される機械特性を確保するための温度調整条件が設定されている製品では、移送中や仕上ミル圧延中において鋼板が調整温度となるまで冷却待機する場合もある。

粗ミルから仕上ミルへ移送するタイミング(移送パス)は操業制約条件下である程度任意に決定することが可能で、これにより両ミルの圧延負荷配分が決定される(表1)。

従来、この移送パスは粗ミルのオペレータがラインの状況を見ながら判断していた。しかし、オペレータは他にもターン操作やデスケアラ操作などを行わなくてはならず、非常に業務負荷が高い状態となっていた。また、後行する圧延材の圧延条件を十分考慮しておらず、圧延能率が常に最大化されているとはいえなかった。

そこで、両ミルの圧延負荷を適正化する移送パスを導出する方法を開発した。

複数の圧延材を考えたとき、同じような条件の圧延材が続く(大ロットの)場合には粗・仕上ミルの圧延時間を単純に等分するように移送パスを決定すれば良い(図2(a))。しかし、前後で圧延時間の異なる圧延材が圧延される場合には一方のミルにおける待機や、ミル間での圧延材の滞留が発生

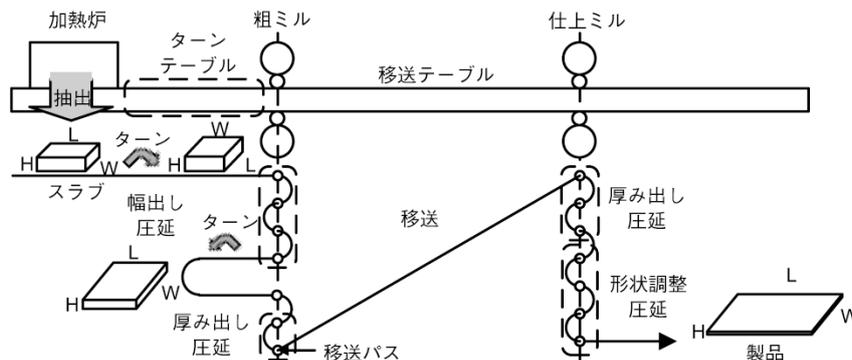


図1 鹿島製鉄所 厚板圧延プロセス

し、圧延能率が低下する場合がある(図2 (b)、(c))。また、調整温度が設定されている圧延材については冷却待機時間を考慮する必要がある(図2 (d))。

このため圧延能率を最大化する移送パスを導出するためには、先行材の圧延状況や後行材の圧延条件を考慮して移送パスを決定する必要がある¹⁾。

この移送パス決定問題は、離散値である移送パスを圧延順に順次選択していく組み合わせ最適化問題であり、図3の分枝図の探索として表される。

この全ての移送パス組み合わせについて総当たりで圧延時間を評価すると圧延材数に対し指数関数となる回数のパススケジュール計算が必要となり、オンライン運用可能な時間で計算を完了させることができない。

そこで、本問題に対し幾つかの最適化手法の適用を検討した。また、本問題に適した独自の手法を提案したので以下にて説明する。

まず適用を検討したのは分枝限定法^{2,3)}である。この方法ではまず基準となる圧延時間を設定しておき、次に総当たり法と同様に分枝探索を行うが、基準圧延時間を越えた分枝はそれ以下の探索を打ち切る(図4)。

これにより、打ち切った分枝探索の分だけ総当たり法よりも短い計算時間で厳密解を導出することが可能となる。ただ

し、この方法では設定した基準圧延時間によっては分枝限定が効率的に行われず総当たり法と同程度の計算時間がかかったり、分枝限定が効率的に行われた場合でも計算時間短縮効果は高々圧延材1本分程度で、実用的な時間内での解導出は困難であった。

次に検討したのがグリーディ法³⁾である。この方法は図5に示すように、当該圧延材のみの圧延時間を評価して順次移送パスを決定していく方法である。

この方法ならば圧延材数に対しパススケジュール計算回数は線形となり、非常に短い時間で移送パスを導出することができる。しかしながら後行する圧延材の条件を考慮していな

表1 移送パスと圧延負荷バランスの関係

移送パス	移送厚	圧延負荷バランス
早	厚	
中	中	
遅	薄	

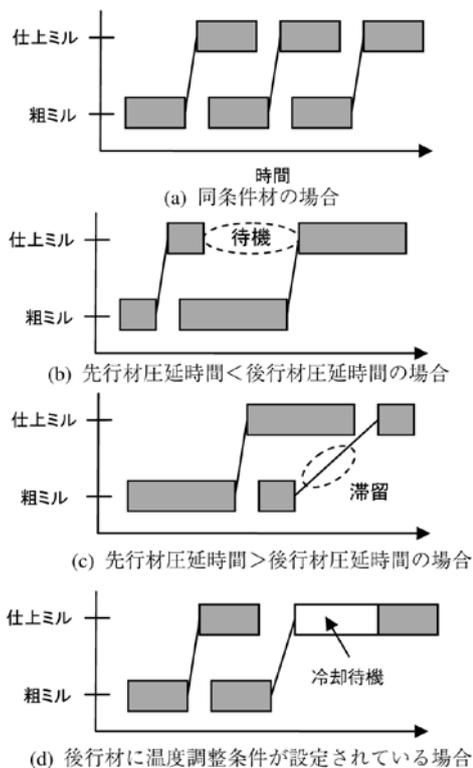


図2 複数材圧延における課題

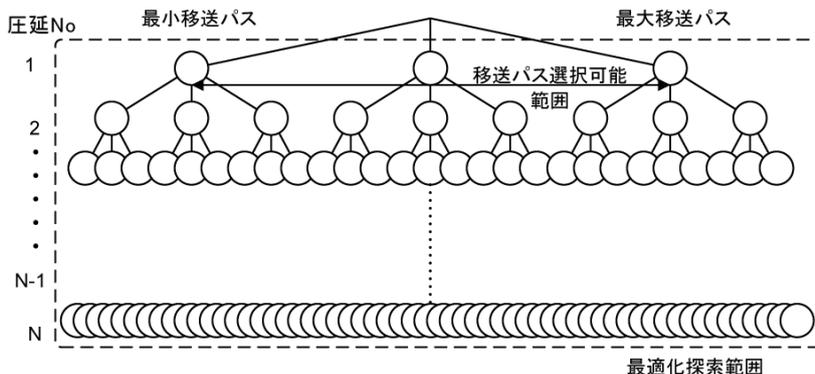


図3 移送パス決定問題 分枝図

いため計画的な移送パス決定ができず、厳密解と比較して大きく圧延能率が低下してしまう場合がある。

以上のように分枝限定法による求解では圧延能率の高い厳密解を導出できるが計算時間が非常に長くなり、グリーディ法による求解では計算時間は短くなるが導出された移送パスによる圧延能率は低い、ということがいえる。ここで、図5を見るとグリーディ法は探索深さ1の分枝限定法を繰り返しているとみなすことができる。そこで、計算時間があまり長ならない程度に探索深さを限定し、逐次最適化を繰り返す方法を考案した¹⁾ (図6)。

たとえば探索深さを3とした場合、まず圧延材3本目の圧延完了時刻を最も早くするような圧延材1本目、2本目、3本目の移送パスを導出する。次に圧延材1本目は確定として、圧延材4本目の圧延完了時刻が最も早くなるような圧延材2本目、3本目、4本目の移送パスを導出する…ということを繰り返していく。この方法ならば探索深さを計算時間が許容さ

れる範囲で設定すれば圧延材数が増加しても計算時間の増加は線形であり、後行圧延材も考慮しながら移送パスを決定するため、圧延能率の高い解を導出できることが期待できる。

上記の厳密解法、グリーディ法、提案法と、その他適用検討した動的計画法^{2,3)}と混合整数計画法⁴⁾により移送パスを最適化し、予測圧延時間と求解時間を比較した結果を図7に示す。

厳密解法では圧延時間が最も短くなる厳密解を導出可能であるが、求解時間が許容計算時間を遥かにオーバーしている。グリーディ法では求解時間は低減しているが、圧延能率が高い解を導出できていない。提案法ならば許容計算時間内で厳密解に近い圧延能率となる準最適解を導出できていることが確認できる。

提案法を搭載した一貫パススケジュール設定モデルを実機に適用し、モデル指示通りに移送を実施する効果検証試験を行った (図8)。その結果、圧延条件が似ている試験非実施材と比較して、ネックとなっている仕上ミル圧延時間が減少

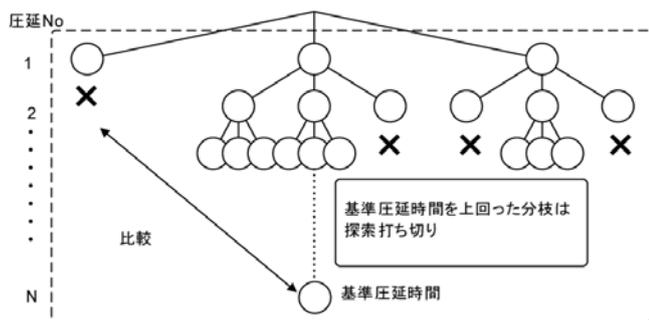


図4 分枝限定法による移送パス組み合わせ探索

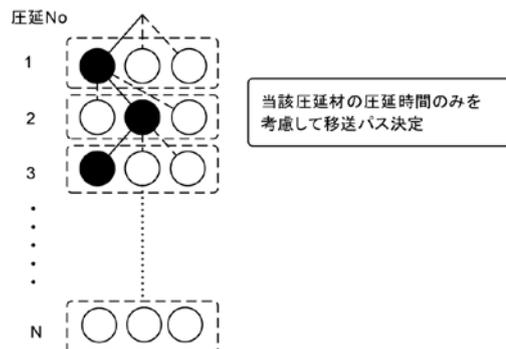


図5 グリーディ法による移送パス組み合わせ探索

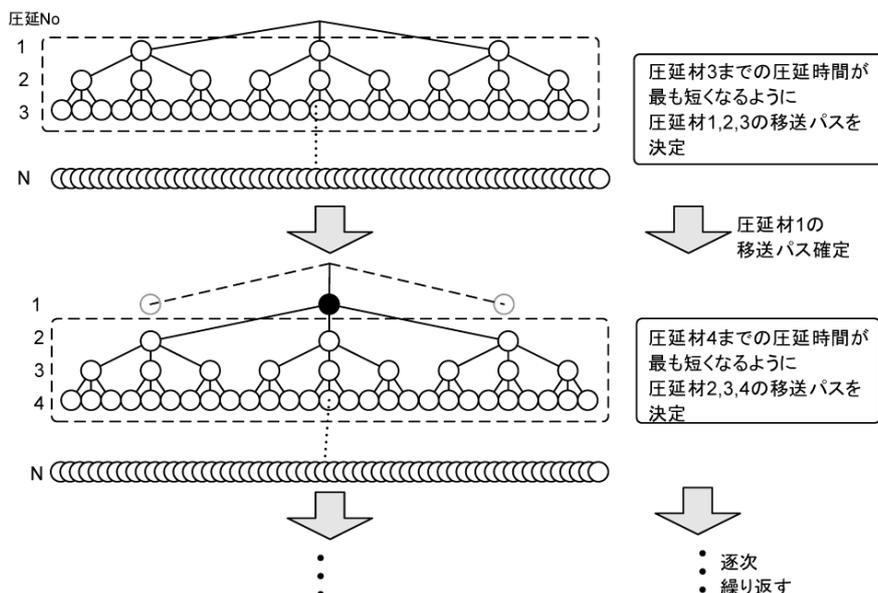


図6 提案法による移送パス組み合わせ探索

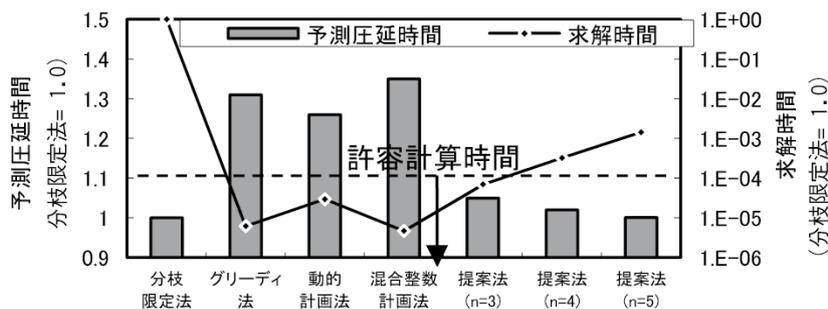


図7 各種最適化手法性能比較

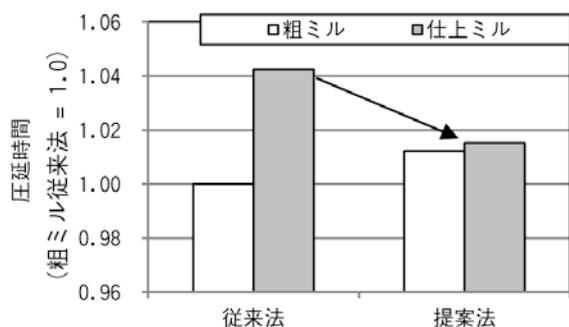


図8 実機試験結果

し、両ミル圧延負荷が適正化し、圧延能率が向上可能であることが確認できた。

3 企業の制御研究者として

私は2006年に入社し、製鉄所構内の研究部の配属として8年間は大きな配置転換なく、主に鹿島製鉄所厚板工場のプロセス改善に携わってきた。今年の4月からは研究所の本部がある富津へと移ったが、業務内容は継続している。

8年間の研究開発の中で特に重要と感じているのは現場との関係である。優れた制御理論や物理モデルを搭載したコントローラを開発しても、

- ・インターフェースが使い難い
- ・メンテナンスが煩雑である
- ・現場の操業ノウハウとかけ離れている

といった理由でオンライン化しても使ってもらえず陳腐化してしまうことがある。上記の事例でもモデルで導出した移送パス指示が見難い、現場の感覚とかけ離れたサイズでの移送を指示するといったことがあり、最初はせっかく導出した移送パスを参照してもらえなかった。こうならないためには現場の技術室やシステム担当者、オペレータと協議を重ね、インターフェースを設計したり、モデルをチューニングしたり

という多岐にわたる仕事も必要となる。また、現場でのメンテナンス性を考えて高性能でも複雑なロジックより多少性能が落ちてでもシンプルなロジックを搭載したり、上記事例の様にプロコン計算負荷を鑑みてヒューリスティクス手法を採用するといったように、常に現場で実用化する際のイメージを持ちながら研究開発を進める必要がある。

私が企業の研究者であることも関係すると思うが、論文誌を読んだり学会に参加して最新の理論の動向を把握することも不可欠である一方で、制御研究者の仕事には他の分野の研究者と比べてエンジニア的な面が強いように感じる。このように制御や物理モデルの理論を現場で実践する架け橋となるのが制御研究者であり、それが面白いところであると同時に難しいところでもあると思う。

今後も理論と現場の狭間にあるこの仕事を楽しみながら続けていきたい。

最後に産学の鉄鋼、制御関係者との交流・議論の場を提供していただいている鉄鋼協会に感謝の意を表したい。特に2011年には計測・制御・システム工学部会の若手フォーラム幹事を務める機会をいただき、同年代の鉄鋼制御に携わる方々と情報交換したり、様々な分野の先生方から話を伺い、大きな刺激を受けることができた。今後も関係各方面の先輩方には学会等でお会いした際など宜しくご指導いただきたい。

参考文献

- 1) 小林俊介, 角谷泰則, 矢野森義雄, 児嶋次郎: 第134回圧延理論部会, (2011), 圧理134-10.
- 2) 福島雅夫: 数理計画入門, 朝倉書店, (1996)
- 3) 長尾智晴: 最適化アルゴリズム, 昭晃堂, (2000)
- 4) 野村真佐子, 能勢和夫, 平田清, 東和彦, 島田信太郎: 日本オペレーションズリサーチ学会秋季研究発表会アブストラクト集, (1993), 168.

(2014年7月8日受付)

先輩研究者・技術者からのエール

大阪大学 大学院工学研究科 電気電子情報工学専攻 教授

谷野 哲三

小林さんは、日本の基幹産業である鉄鋼業を担う企業の若手研究者です。しかもご自身がしっかり自覚しておられるように、これから益々重要な役割を担っていくことを期待されている時期にあります。その小林さんが8年間に及ぶこれまでの研究開発活動を総括され、今後の展望を述べられたのがこの記事であり、大変興味深く読ませていただきました。

前半というか多くの部分を割いて、入社以来取り組んでこられた鹿島製鉄所における厚板圧延ミル負荷適正化技術の開発について、多くの図を添えて詳述しておられます。問題は最適化問題として捉えることが出来ませんが、解を求めるために必要になる時間も考慮して、厳密な最適解より適切な準最適解を求めるのが有効です。小林さんはいくつかの既存の手法に問題に固有のアイデアも取り入れ興味深い方法を開発しておられます。私自身も最適化を研究テーマの1つとしておりますが、実際問題に有効な方法を開発することはなかなか困難であり、いろいろご苦労もあったであろうと拝察しております。

後半では、企業の制御研究者として小林さんが思うところを率直に述べておられます。そこにも書かれていますよう

に、まさに理論と現場の狭間にある仕事をどうこなしていくかが極めて重要です。私自身はずっと大学で理論研究しかしてまいりませんでしたので、現実に対する視野の欠如を時に感じることもあります。小林さんの立場は、現場の状況の的確な認識と最新の手法研究動向の把握の両方を要求されるものであり、その負荷は大きなものです。ですがそれに応える能力をお持ちだと思いますし、併せて意識もお有りであることが本稿からうかがえ、非常に嬉しく感じました。

工学という「ものづくり」が重要であることはもちろんですが、単に「もの」があるだけではダメなことは、ハードウェア・ソフトウェアの話でいつも出てくることです。私自身システム工学(数理工学)を専門にしていることもあって、いつも学生に「使う工学」も大切だと話しています。「もの」はうまく使ってこそ生きますし、逆にうまく使うことを考えた「もの」を作ることも必要です。鉄鋼業は、非常に大規模で洗練された設備を有し、かつそれを非常に有効に活用していくことが要求される産業だと認識しています。小林さんのような有能な制御技術者が今後更に大きな役割を担っていかれることを楽しみにしております。益々のご健勝とご活躍をお祈りして筆を置かせていただきます。

株式会社神戸製鋼所 技術開発本部 生産システム研究所 制御技術研究室 室長

西野 都

小林さんとは直接の面識はないのですが、以前に厚板の移送厚について関心を持ったことがあり、ISIJやJSTP、SICEでのご活躍は存じ上げておりました。ORをコア技術に持ち、理論から操業現場への落とし込み、現場での戦力化・定着化までをやり遂げる実力の持ち主との認識です。今回の躍動の記事を拝見し、技術検討もさることながら鉄鋼メーカーの制御研究者としての心構えや意気込みに大変共感しました。僭越ながら少しだけ業務経験の長い小職なりの考えを2つ述べさせて頂き、小林さんへのエールとさせて頂きたいと思います。

商品開発と生産技術の基本的な違いは、前者が既存の業務プロセスに載せる新しいレシピを開発するのに対し、後者は業務プロセス自体を開発することである点だと考えています。ゆえに設備知識は当然ながら製品構成や操業現場の業務実態や価値観、保全業務の実態等、全てを把握し整合させた上で開発を行わなければ生産技術は営業上の戦力にはなりません。特に制御技術開発は、制御理論やセンサーやアクチュエータに関する物理的な知識だけでなく、対象材の特性等に対する深い知識がなければ既設システム以上の高度化が難し

くなってきており、広範な技術的見識も求められる非常に取り付きにくい技術分野の一つです。私は、我々鉄鋼メーカーの制御研究者には、この高いハードルにやりがいを見出し、営業上の戦力となることを最大の喜びとするメンタリティが必要だと常々思っており、小林さんの「理論と現場の狭間にあるこの仕事を楽しみながら続けたい」という一節に接し、大変喜ばしく思うと同時に我々も負けていられないと発奮させられました。

もう1つ申し上げたいのは、理論と現場の狭間をエンジニアリングとしてだけ捉えるのではなく、この部分にも新たな理論や手法の体系が眠っている可能性があるということです。人の要素が絡む部分も多く、もしかしたら工学の域を出るかもしれませんが、開発生産性を格段に高める手がかりがあるかもしれません。今後、鉄鋼協会の部会活動等でご一緒させて頂くことがあると思いますが、是非、日本の鉄鋼メーカーの競争力強化に向けて議論し、共に切磋琢磨させて頂ければと存じます。

小林さんをはじめとする同世代の制御研究者の今後のご活躍を大いに期待しております。