



私の論文

／ 今振り返ってみて、行間にこめた思い、エピソード

並列計算を用いた厚板オンライン圧延モデル

An Online Rolling Model for Plate Mill Using Parallel Computation

大塚貴之

Takayuki Otsuka

日本製鉄（株）

技術開発本部

プロセス研究所研究企画室 室長

1 はじめに

平成31年に澤村論文賞を受賞したISIJ International掲載論文「An Online Rolling Model for Plate Mill Using Parallel Computation」について、「私の論文」で紹介する場を頂いたため、以下に研究の背景や工夫点など、論文中に書けなかった内容について紹介したい。

本論文は厚板を対象とした圧延モデルに関するものであるが、そもそも薄板の熱間圧延と厚板圧延とは、根底にある物理現象は同一であるため、同じモデルが用いられても問題が無い。したがって、本論文で示してある一連の計算式は、本来薄板の熱間圧延においても用いることができる（はずである）。

一方で、本文にも記載しているとおり、厚板の圧延においては、薄板熱間仕上げ圧延のようにスタンド数＝圧延パス数とならず、リバース圧延故のパス数やパス間時間の不確かさが存在し、これが圧下スケジュールの決定に自由度と同時に困難さをもたらしている。

そこで、本論文ではこの困難さを克服する手段の一つとして、General Purpose computing on Graphic Processing Unit (GPGPU) の利用を試みている。GPGPUでは、プログラミング言語に制限があることや、デバッグが若干困難な不利な点もあるが、安価にかつ多スレッド演算が可能であるという特徴を有している。

2 該当論文の概要

本論文では、厚板粗圧延・仕上げ圧延における圧延スケジュールモデルの開発を目指している。ここで、圧延スケ

ジュールモデルとは、品質やサイズの観点から、予め設定された板厚、板幅、板長および仕上げ（場合によっては中間）圧延温度の制約の中で、インプットとするスラブサイズおよび加熱温度から、各パスの圧下量と圧延時間（＝圧延温度）およびデスケーリングや中間水冷などの冷却条件を設定するものと定義する。

スループット拡大を目指す場合は、圧延機能力の最大を使用し、最短時間・最少パス数で圧延することが望ましいが、本論文では扱っていない前材の影響や、材質確保の観点から要請される圧延温度制約、形状などの制約から通常はその限りではない。特に、近年、制御圧延と呼ばれる途中パスでの圧延温度指定を実施する鋼種が増加しており、適切な圧延スケジュールを規定することが生産性や品質の確保の面から重要となっている。

このような要請のもと、本研究は進められてきたが、論文中でも記載のように、厚板圧延ではパス数や、デスケーリングやパス間の待ち時間など、さまざまな自由度があるために、探索数が膨大となり、通常のスケジュール方法では計算時間が間に合わないという事象が発生した。というのも、温度モデルは有限要素法を用い、転位密度を逐次計算しながら圧延荷重を求めるなど^{1,3)}、計算モデル自体が高度化していることもあり、現場のプロセスコンピュータで操業に支障が無い時間で計算を完了することは困難であった。

3 並列化の検討

そこで、まずはどの計算スキームに演算時間を要しているかを探索した。その結果、Fig.1に示すように、スケジュー

* [今回の対象論文]

大塚貴之、阪本真士、高町恭行、東田康宏、瀬川裕司、竹島将太：「An Online Rolling Model for Plate Mill Using Parallel Computation」, ISIJ International, Vol.57 (2017), No.11, pp.2042-2048 (第29回澤村論文賞受賞)

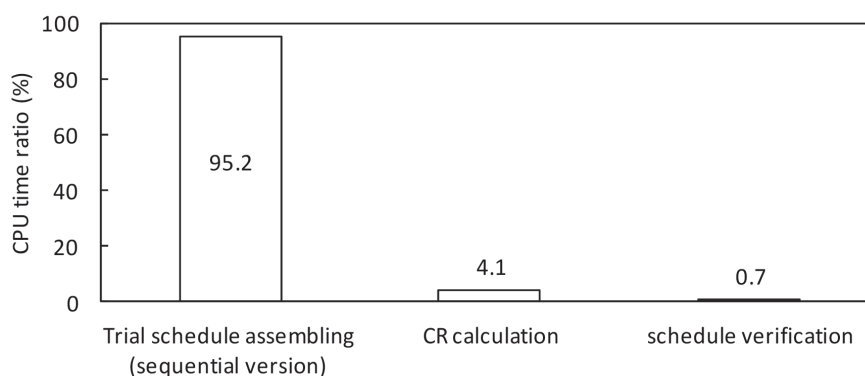


Fig.1 Estimation of CPU time for each module.

ルの仮組みに時間を要していることが判明した。このスケジュールの仮組には、製品厚からスラブ厚まで板厚を積み上げて計算する「逆計算」パターンと、スラブ厚から製品厚まで板厚を積み下げて計算する「順計算」のパターンがあるが、前者のパターンにおいては、収束計算を必要とするため、演算時間がかかるという結果となった。何とか式展開を通じて逆関数を求める試行を行ったり、簡易式化したりすることも考えたが、場合によっては意図しない結果になる可能性もあり、断念した。

次に、収束計算を並列化することで計算時間短縮ができないかを考えた。一言で並列化といっても、多くの方法が存在し、各方法で一長一短がある。本研究で並列化計算すべき部分は、出側板厚と圧延荷重から入側板厚を求める部分であり、この計算に最適な並列化手法を検討した。

収束計算による入側板厚の計算手法として、予め圧延温度を仮決めしておき、試行圧下量での材質変化から荷重を推定し、作業ロールの偏平変形を求める。これが与えられた荷重制約となるまで圧下量を適正化させ、収束させる。この収束計算を並列化によって回避する場合、複数候補となる入側板厚を決定し、この入側板厚と出側板厚から荷重を計算するという順計算によって処理を進める。複数候補となる板厚のメッシュは、十分な荷重精度を得られるだけのメッシュであり、本手法では20ミクロンと設定した。

20ミクロンのメッシュで一回の圧下量の最大値を40mmとすると、2000並列とすることで1回の計算で終わることになる。そこで次に並列化手法の検討を実施した。複数の並列化手法について検討を行ったところ、2000並列を実現する手法としてはGPUを用いた並列化が適当であるという結論に達し、GPUの導入を検討開始した。しかし、当初GPGPUによる並列化が可能なファクトリーマシンの調整に苦勞し、また、データの移送等に要するオーバーヘッド時間を考慮したり、CUDAへのプログラミングやり直し、デバッグなど、色々な困難があった。このような困難がありつつも、い

かなる材料においても目標の2s以内という計算時間でスケジュールをくみ上げることができ、開発を完了した。

4 おわりに

当該論文は学術的に最先端の知見が得られたとか、多くの示唆に富む実験結果が得られたとかいう種類のものではないが、どちらかと言うと工業的な価値を見出していただき、澤村論文賞という非常に栄誉ある賞を頂いたと考えている。このような論文発表が可能な価値の高い論文誌が日本国内にあるということは、鉄鋼材料に携わる学术界・産業界の人間にとって、非常にありがたいことではないかと思う。色々な論文誌がある中で、鉄鋼関連の分野において、国内外の価値の高い論文を集められているのも、上記の理由も一つであるように思う。

本技術の開発にあたっては、共著者として掲載した以外にも、多くの方の検討やサポートがあった。残念ながら、論文誌の規定上も全員の名前を挙げるができなかったのが残念であるが、この場をお借りして、社内外の本技術の開発に携わった全ての方にお礼を申し上げたい。また、当該論文の価値を高めて頂いた、査読者の方、日頃よりお世話になっている論文編集委員長・副委員長・委員の方々にお礼を申し上げ本原稿の結びに代えさせて頂く。

参考文献

- 1) A.Yoshie, M.Fujioka, Y.Watanabe, K.Nishioka and H.Morikawa : ISIJ Int., 32 (1992), 395.
- 2) A.Yoshie, T.Fujita, M.Fujioka, K.Okamoto, H.Morikawa and H.Mabuchi : ISIJ Int., 36 (1996), 444.
- 3) A.Yoshie, T.Fujita, M.Fujioka, K.Okamoto and H.Morikawa : ISIJ Int., 36 (1996), 474.

(2019年9月30日受付)