

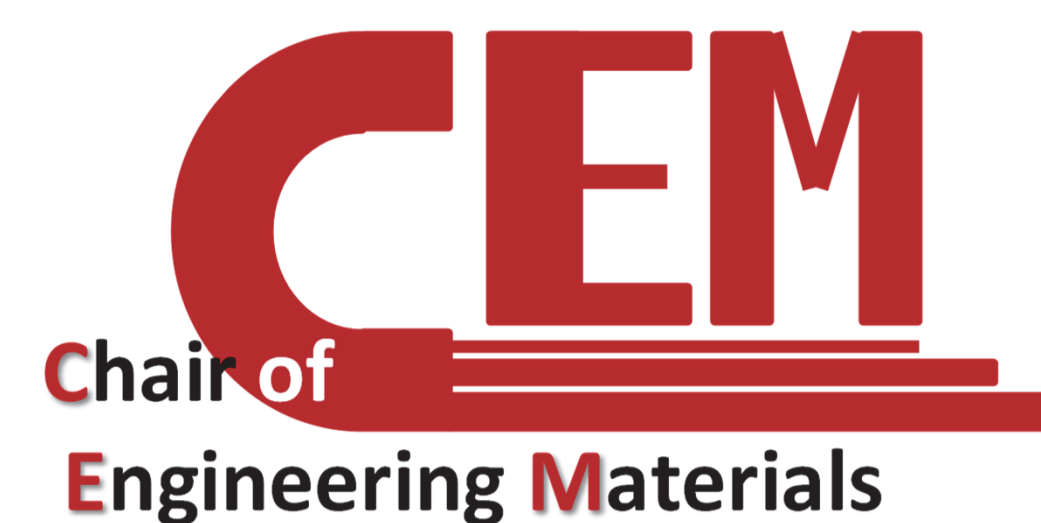
冷間圧延時の荷重・ 先進率モデルの高精度化

東京大学大学院工学系研究科 機械工学専攻 柳本研究室



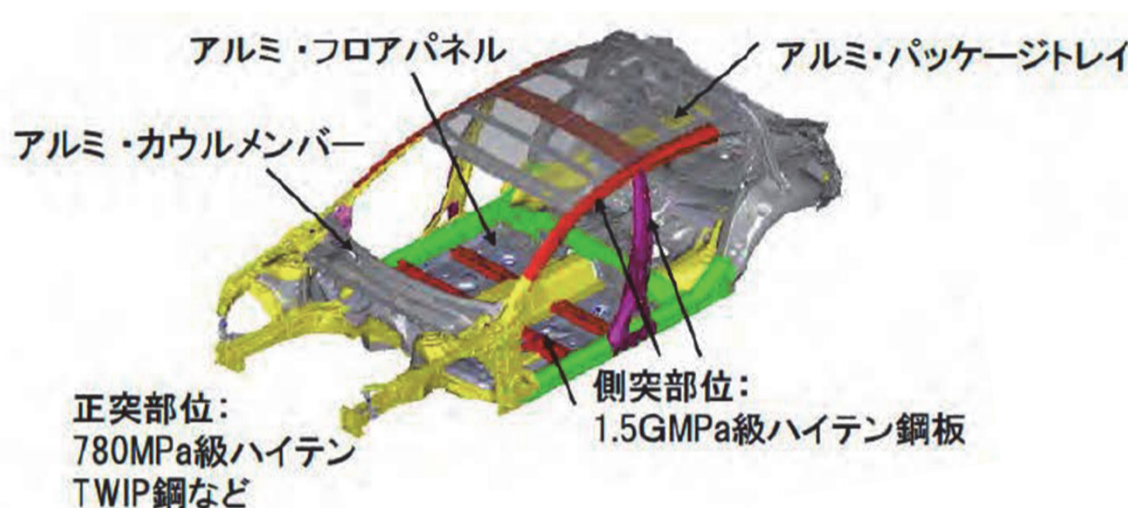
東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

Chair of Engineering Materials
Graduate School of Engineering, The University of Tokyo
Hitta Kambayashi and Prof. Dr.-Eng. Jun Yanagimoto



1. 序論

圧延は、鉄鋼の主要な加工法である。鋼板の製造では、熱間圧延後に仕上げとして冷間圧延を行う。鉄鋼生産は、高機能、高付加価値材料の開発が求められている。中でも自動車用ハイテン鋼板は需要が急増するとともに開発が進んでいる。



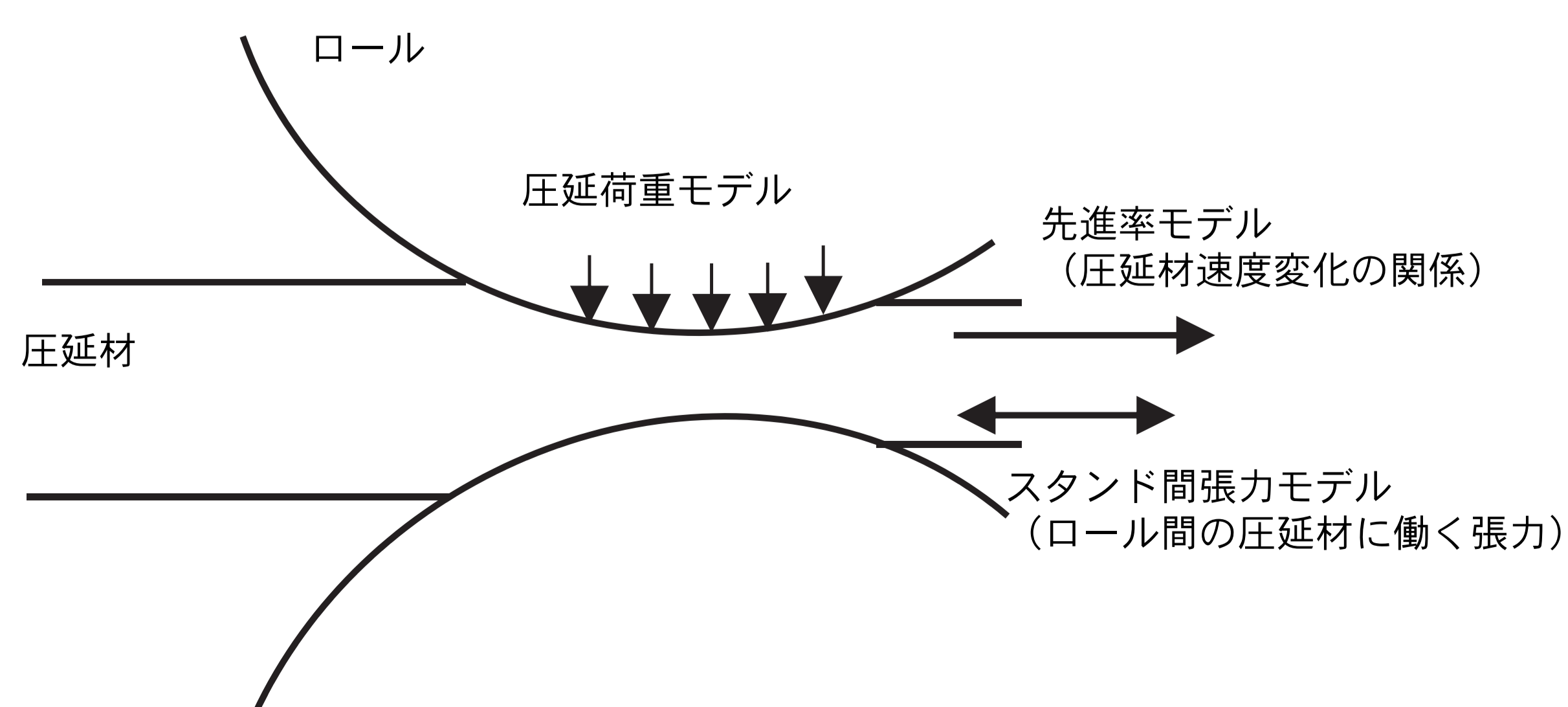
しかし、ハイテン鋼板は強度が高いために圧延制御が難しい。圧延オンライン制御のために使われている圧延モデルの精度向上が求められる。圧延モデルは、新素材でも精度良くモデル化できる、理論的なアプローチが求められる。特に冷間圧延タンデムミルにおけるセットアップ制御、すなわち圧延開始時や板厚変更時の制御を短時間で行うためにはモデルの精度が不足している。

また、新素材の圧延や、非定常状態の圧延では介入操作が必要となり、そのためのシェアドコントロールシステムが必要となる。システム構築のための実験のために圧延シミュレータを構成する必要がある。高精度モデルがシミュレータ実現のために必要である。

2. 圧延プロセス

圧延プロセスを定式化したときの主要要素は

- 体積速度一定法則
 - 圧延荷重モデル
 - 先進率モデル
 - スタンド間張力モデル
- である。



圧延荷重モデルについては、塑性域の応力-ひずみ関係を理論的にモデル化することによる精度の向上が求められる。

先進率モデルは接触域で発生する摩擦力に影響を受ける。この摩擦係数は接触域にそって変動することが知られているが、従来のモデルは大きく省略されている。

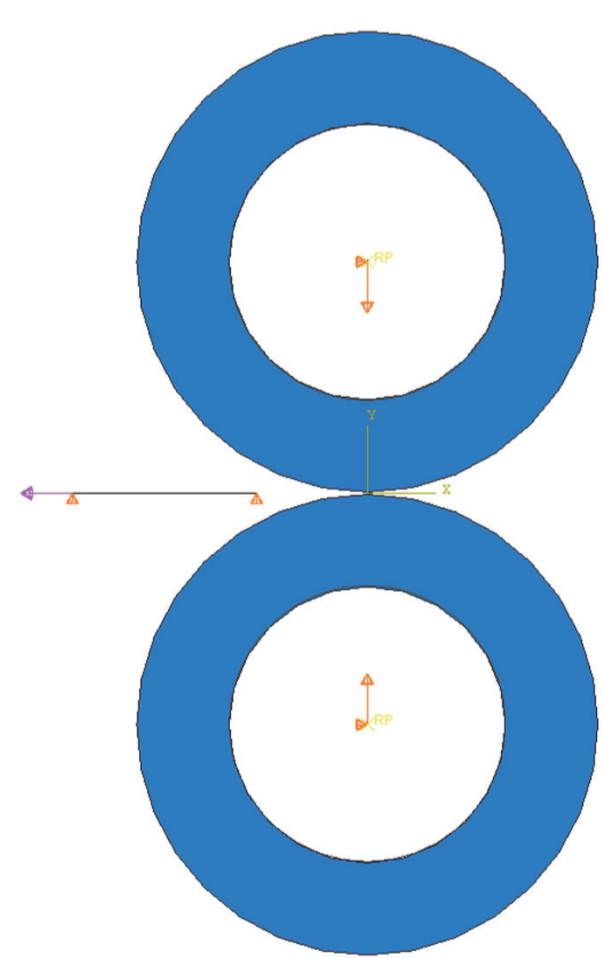
またこの2つのモデルに対してスプリングバックが影響するが、これもハイテン材に対してはこの量の予測が難しい。

これらを圧延オンライン制御のためリアルタイムで計算できるモデルが必要である。

3. 検証

研究のうち検証のフェーズでは、従来のモデルでの精度が低下する場面を検討し、その原因となった現象を上記の圧延プロセスの要素のうち先進率モデルの高精度化に必要な検証を行う。それを改善する新しいモデルを考案し、有限要素法 (FEM) によるシミュレーションや実機操業データと比較して正当性を確かめる。

従来モデルでのモデル化が難しい状態として、圧延材に対する後方引張り張力を加えたときに、ロールと圧延材速度が一致する中立点がロール軸直下より前方に移動する状態がある。ロールの表面の変形や圧延材のスプリングバックを考慮しないモデルでは表現できない。



検証したFEMのモデル

Orowan微分方程式

これが起きる状態について、従来モデルと、二次元弾塑性FEMとで圧延圧力分布を求め比較する。従来モデルでは、条件の僅かな違いで大きく圧延荷重分布が変化する不安定状態となっているが、シミュレーションからはその傾向は認められない。これを表現するモデルを今後検討する。

$$\frac{df(\phi)}{d\phi} = 2Rp(\phi)\sin\phi \mp 2Rr_f \cos\phi = 2Rp(\phi)(\sin\phi \mp \mu \cos\phi)$$

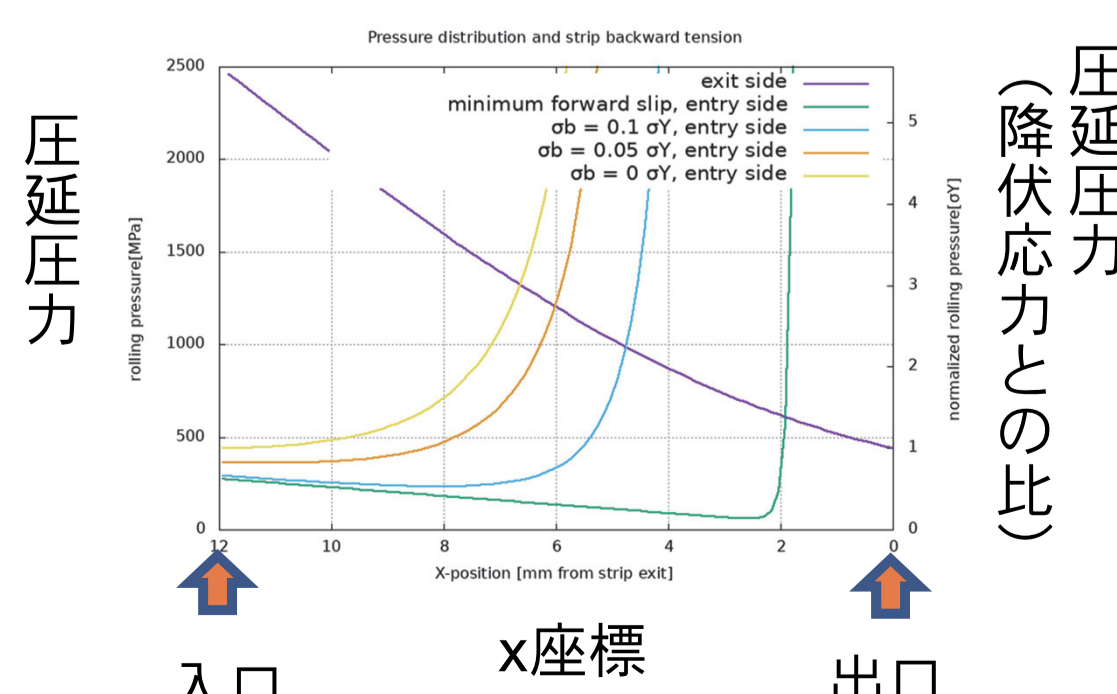
すべり摩擦状態では

$$f(\phi) = f_t(\phi) + f_r(\phi) = h \left(p(\phi) \left(1 \pm \mu \left(\frac{1}{\phi} - \frac{1}{\tan\phi} \right) \right) - 2k\omega(\phi, a) \right)$$

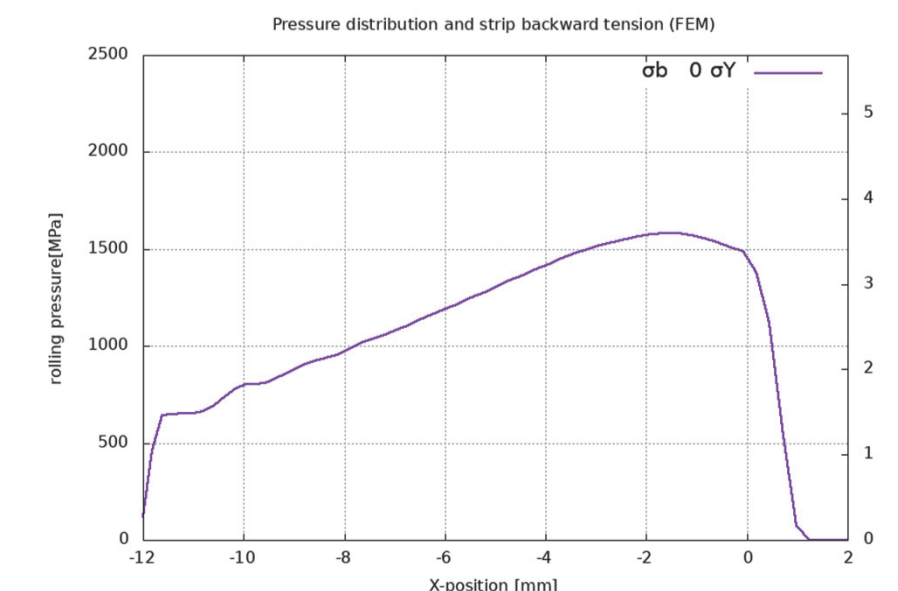
、固着摩擦状態では、

$$f(\phi) = h \left(p(\phi) - 2k \left(\frac{\pi}{4} \mp \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\phi} - \frac{1}{\tan\phi} \right) \right) \right)$$

$f(\phi)$: 水平方向合力
 $p(\phi)$: 鉛直方向応力
 a : すべり摩擦・固着摩擦判定関数
 $\omega(\phi, a)$: すべり摩擦時補正項



入口 出口
Orowan微分方程式による、
圧延圧力分布 (4つの
後方張力の値を設定)



FEMによる圧延圧力分布