

アルミニウム圧延機の設定計算システムの概要

Mill Setting Calculation System for Aluminum Rolling Mill

佐藤 一幸 IHI メタルテック株式会社機械技術部 部長

IHI グループはアルミニウム圧延設備について国内外ともに豊富な製作実績を誇る。近年、これらの圧延設備には設定計算システムが装備され、数式モデルから求めた設定値とデータベース化された設定値がセットされる。これによって、操業は立ち上げ早期に安定し、製品の板厚分布精度の向上が可能となった。従来は圧延機ユーザー任せであった分野を電気メーカーと協力し、設備メーカーとして主要な部分を供給可能とした。今後も圧延設備の高付加価値に不可欠な技術として発展させ改良を続ける。

IHI has constructed many aluminum rolling mills in the world besides Japan. Recent IHI rolling mills have incorporated a setting calculation system that has been supplied in corporation with electronic system supplier. This system has an automatic mill setting function with mathematical models obtained from rolling theories as well as actual setting values stored in the database. This has enabled the stable operation of rolling mill line, ensuring rolling accuracy of aluminum strip. IHI and IHI MetalTech will continue to develop and improve rolling technologies.

1. 緒言

IHI グループはアルミニウム圧延設備に関して、熱間、冷間とも国内・外に豊富な製作実績を誇る。またアルミニウムの熱間圧延設備から箔圧延機までを一貫して製作・供給できるメーカーは世界でも類を見ない。

本稿は、最近の圧延設備に装備された設定計算システムの概要を述べる。第1表にアルミニウム圧延機の設定計算システムの供給実績を示す。

2. 設定計算とは

圧延機の運転のために、① 圧延ロールの間げき設定（ロールギャップ設定）② 入側・出側の張力設定 ③ 速度設定 ④ 形状制御装置の初期設定 ⑤ ロール冷却、圧

延潤滑のためのクーラントスプレーのタイミング・圧力などの設定、をあらかじめ行う必要がある。

設定計算とは、これら圧延機設定諸元のうち、理論的に計算できる部分を数式モデル化して数値計算することをいう。

また、設定計算システムとは、これらの計算結果と、圧延の操業実績から決めるべき付属機器の設定条件についても併せて初期設定データとして機械系に転送するシステムのことをいう。

本システムに付属する適応学習機能によって、圧延ごとに精度評価する。この結果を基に次回の設定データを修正することによって、設定精度を向上させる。適応学習機能のある設定計算システムによって、操業の安定と製品コイルの板厚分布精度の向上を図ることができる。業界では慣

第1表 アルミニウム圧延機の設定計算システムの供給実績
Table 1 Supply records of mill setting calculation system for aluminum rolling mills

機種	圧延機構成	引渡(年)	備考
熱間圧延機	2 350 mm*1 1 スタンド (粗) + 4 スタンド (仕上) 圧延ライン	2006	新設
冷間圧延機	1 850 mm 冷間圧延機	2005	新設
	1 900 mm 冷間圧延機	2005	新設
箔圧延機	1 800 mm 箔圧延機	2005	新設
	1 800 mm 仕上箔圧延機	2005	新設
	1 830 mm 箔圧延機	2004	新設
	2 083 mm 箔圧延機	2001	改造
	2 032 mm 箔圧延機	2001	改造
	1 930 mm 箔圧延機	1999	新設
	1 930 mm 仕上箔圧延機	1999	新設

(注) *1: ワークロール胴長

習的に、機械の動作指令シーケンスプログラムを「レベル-1」、設定計算システムを「レベル-2」と呼び、機能分担を明確にしている。

圧延コイルの先端部分の精度を極限まで引き上げる必要がある場合は予測精度の向上が追求され、圧延荷重計算、板クラウン（板幅方向の板厚分布の指標）計算、コイル巻取り温度の予測において設定計算システム「レベル-2」が活躍する。一方、圧延が開始した直後からのフィードバック制御においては、機械の動作指令シーケンスプログラム「レベル-1」が機能を発揮する。

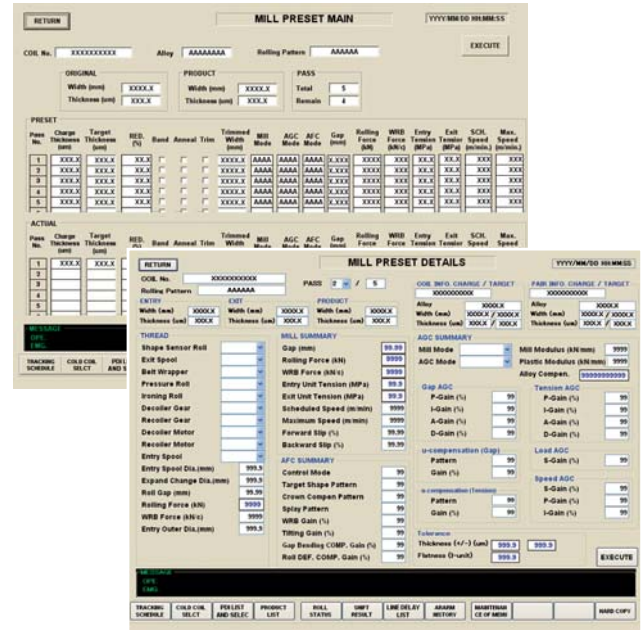
本設定計算技術がなければ、圧延開始時点の設定は圧延オペレータの勘と経験に頼るしかなく、圧延業界に新規参入し新たに圧延工場を立ち上げるような場合には、圧延技術経験を積むまでの間、手探り状態が続き経営資源にも無駄が発生する。また、実績のある圧延メーカーでも、設備更新の際などに、それまで蓄積してきた実績やオフラインで実施してきた設定計算技術を、新たに導入する設定計算システムに反映することもでき、早期に立ち上げが可能となる。

アルミニウム圧延機の改造工事において、改造工事と同時に、設定計算システムの新規導入が行われる例はその証左である。

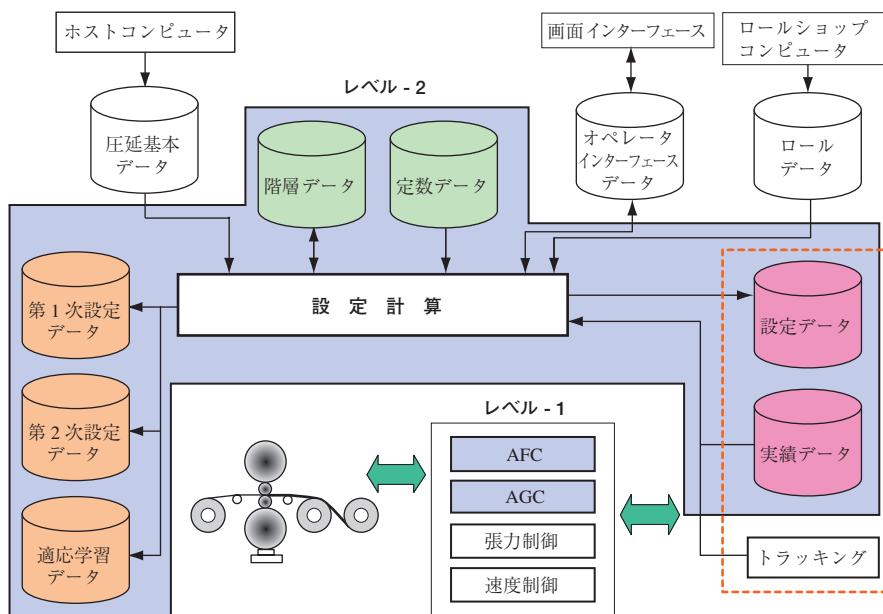
我が国の鉄鋼やアルミ圧延メーカーは本技術領域に関して、圧延操業技術の根幹をなす技術として重視し、従来から自社開発し改良を重ねて自らの操業技術のレベルアップを図っている。

設定計算技術は、アルミニウム圧延に新規参入する諸外国の圧延機ユーザのみならず、これからの圧延設備には必要不可欠な技術である。

第1図に、アルミニウム箔圧延機の設定計算インターフェース画面（HMI：Human-Machine Interface）の例を示す。第2図に圧延機設定計算システムの概要を示す。本システムは下記で構成されている。



第1図 アルミニウム箔圧延機の設定計算インターフェース画面の例
Fig. 1 Interface samples for aluminum foil mill setting calculation system



(注) AFC：Automatic Flatness Control
AGC：Automatic Gauge Control

第2図 圧延機設定計算システムの概要
Fig. 2 Schematic chart of rolling mill setting system

- (1) 設定計算システムにおける設定計算 (Set up Calculation)
- (2) 圧延機をフィードバック制御するプログラム
 - ・自動形状制御 (Automatic Flatness Control : AFC) プログラム
 - ・自動板厚制御 (Automatic Gauge Control : AGC) プログラム
 - ・張力制御 (Tension Control) プログラム
 - ・速度制御 (Speed Control) プログラム
- (3) 入側と出側のコイルの管理を行うトラッキング (Tracking) プログラム
- (4) プログラム間で共有するデータベースとの関係上位のコンピュータ (Host Computer) と、ロールの情報をもたらすロールショップコンピュータ (Roll Shop Computer : RSC) から圧延の諸元データ (Primary Data Information : PDI) を受け、定数データ (Constant Data) と階層データ (Hierarchy data) を用いて設定計算を行う。

この結果は圧延機の設定データ (Set up data) としてデータ蓄積するとともに圧延機側に送られる。コイル一つ圧延が終わるごとに実績データ (Actual data) が収集される。設定計算プログラム内の適応学習計算プログラムによって学習値 (Adaptive Learning Data) を蓄積しつつ、次回以降の圧延設定値に反映させる。

3. 設定計算システム開発の経緯

当社は、鉄鋼や非鉄圧延メーカなどの顧客に機械設備ハード面を供給するのが主であった。従来の顧客は設定計算システムを独自に製作するか、電気メーカに基本システムを製作依頼し、納入後に改善・改良を重ねるのが一般的である。

1995年に某社からアルミニウム箔圧延機の引き合いがあり、設定計算システムはそのときの応札の必須条件であった。アルミニウム圧延は鉄鋼圧延と比較し、操業の詳細が公表されることが少ない。したがって、理論ベースの設定計算システムは新規参入組が求める新しいニーズであった。しかし、それまでは当社としてアルミニウム冷間圧延機に計算機システムを納入したことはあったが、アルミニウム箔圧延機には設定計算システムの納入実績はなかった。当時の電気メーカも顧客のニーズに適合したシステムは、短期間での対応は無理であった。

当社は、理論ベースの設定計算をオフラインながらもっており、この市場への進出の機会をとらえるため、蓄積し

てきた技術をベースとして、筆者らが開発を進めていたアルミニウム箔圧延機のロール変形解析計算プログラムを基に、短期間で設定計算システムを構築し、この案件に望んだ。当社は、電気メーカと協力してアルミニウム箔の粗圧延用と仕上げ圧延用の計2基のアルミニウム箔圧延機を設定計算システム付きで納入し、設定計算システム装備のアルミニウム圧延機で実績をつくった。

4. アルミニウム圧延の設定計算の特長

考慮されるべき機種ごとの特記事項を下記にまとめる。

- (1) 熱間、冷間ともに純アルミ系から鋼並みの硬さの合金まで、材料の硬さが大きく異なる。また、コイルメーカによって特殊な合金を圧延する場合もある。設定計算では、それぞれの場合の圧延荷重を正確に予想することが必要である。

当社では、アルミニウムの材質や圧延条件によって広範囲に変化する圧延荷重、圧延トルクなどの圧延特性を計算の際の仮定条件を少なくして、より一般的な圧延特性が求められるようプログラムを構成している。熱間圧延では、Orowanの理論式⁽¹⁾、冷間圧延ではBland & Fordの式⁽²⁾、箔圧延では、Stoneの式⁽³⁾を基にしたものを使用している。

- (2) アルミニウムの熱間圧延の接触弧内では、圧延される板と圧延ロールの間は、混合摩擦潤滑状態となる。これは、滑り摩擦領域と固着摩擦領域がロールギャップ内に存在する状態である。このため、圧延負荷の予想に関してこの現象を考慮した適切な理論に基づき計算することが必要になる。

また、熱間、冷間とも、圧延コイルの表面品質が、最終製品の表面品質に大きな影響を与える場合が多いため、クーラント (圧延潤滑とロール冷却を兼ねた液体) の適切な管理や、ブラシロールによるロール表面のコーティング管理が重要である。設定計算システムではブラシロールの押付けタイミングと圧力、回転数なども設定項目になっている。

- (3) アルミニウム箔の圧延においては、板幅より外の部分では圧延ロールどうしが接触する (キスロール)。このため、荷重計で検出される値から、アルミニウム箔に加わる正味の圧延荷重を分離することが難しく、荷重計で検出される値を実績値として使用するロールギャップ計算の学習に支障がある。このためには、キスロール部分のロール間接触変形も

考慮したロール弾性変形モデルが必要である。

一方、箔圧延領域でもロールギャップ計算が安定して行えることも必須である。従来のロールギャップ計算では、ロール弾性変形モデルと材料の塑性変形モデルとの間に、張力分布による幅方向の圧力分布への影響（張力フィードバック効果）を考慮しつつ、ロールと材料との間の境界条件を満たすロールギャップを求めるために収束計算を行っていた。しかし、1 mm以下の板厚では計算が収束しにくい実用的でなかった。

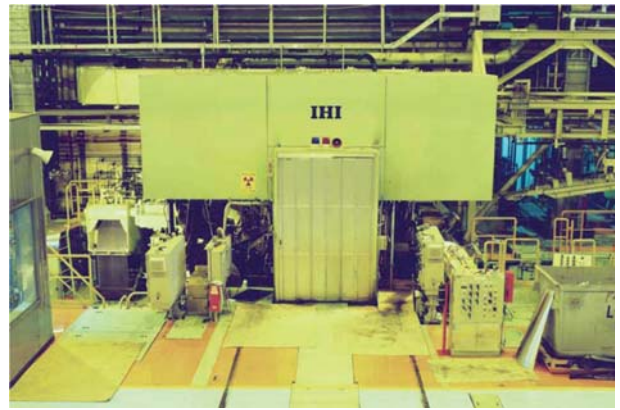
当社はこれらのロール弾性変形モデル、塑性変形モデルおよび張力フィードバックモデルを一つのマトリクス演算に統合した。この結果、収束計算で計算機に負荷を掛けることなく、実機の設定計算システムで利用可能な実用的なレベルでのモデルの開発が可能になった。このことがアルミニウム箔圧延機の設定計算システムの世界初の実用化につながっている。

- (4) アルミニウム箔用材料は圧延荷重が低く圧延ロールの弾性変形量が少ないが、箔コイルの1本の仕上げ圧延に4時間もの時間を要する。このため、初期の研削カーブから加工発熱によるロールの熱膨張のカーブを予想し、板厚分布を所定の範囲に収める技術が求められる。

また、設定計算システムをオフラインで活用すれば、圧延の生産計画時点で、板の形状制御のための制御機能を有効に活用するための、圧延外乱をあらかじめ見越した初期研削カーブを決めることができる。

5. 適用実施例

第3図に、設定計算システムを装備したにアルミニウム箔圧延機を示す。



第3図 CSAC社（台湾）アルミニウム箔圧延機
Fig. 3 Foil mills for CSAC (TAIWAN)

6. 結 言

2005年6月にIHIメタルテック株式会社が設立され、IHIの圧延機事業を引き継いでいる。本稿で紹介したアルミニウム圧延機の設定計算技術についても、これからの圧延設備に必要な不可欠なものとして同様に受け継がれている。今後とも当社の圧延技術のさらなる発展に努める所存である。

参 考 文 献

- (1) 日本鉄鋼協会編：圧延理論とその応用 誠文堂新光社 1970年4月 pp. 54 - 60
- (2) 日本鉄鋼協会共同研究会・圧延理論部会編：板圧延の理論と実際 社団法人日本鉄鋼協会 1984年9月 pp. 33 - 34
- (3) 日本鉄鋼協会編：圧延理論とその応用 誠文堂新光社 1970年4月 pp. 65 - 68