

討15 熱延スプレー冷却制御システム

住友金属工業 中央技術研究所 小野正久 黒川知明 平尾文樹  
和歌山製鉄所 武田 英

I 緒言

熱延における巻取温度は重要な管理項目であり、所要精度を得るために最近のプラントでは種々な方式によるスプレー冷却制御がなされている。筆者等もアナログコントローラーやミニコンを用いた、スプレーコントローラを開発して来ている。ここではデジタル方式によるスプレー冷却制御システムを紹介すると共に、システム開発に当って実施した冷却に関する実験結果等も併せて紹介する。

II スプレー冷却設備

スプレーゾーンは制御のために図1の如く分割し、種々の優先順位で選択できる様にした。

従来スプレー用バルブとして高頻度のオンオフに耐えるものが得がたく、精度の良い制御を行う上で問題であった。

筆者等は流体素子の原理で作動するバルブが可動部分を有せず、且つ高速応答性を持つことに着目し、これをスプレー冷却制御に応用するべく現場テストを重ね、種々改良の結果実用化に至っている。図2は流体バルブ設置の状態を示すが、上流側に

従来のボールバルブを入れ、不使用バンクについてはボールバルブを閉状態にして給排水設備の負担軽減を図った。

III 制御システム

III-1 コンピュータシステム

図3の如くミニコンを使ってシステムを構成した。ミニコンに対しオペレータは通常何ら入力する必要はない。本システムの仕様を表1に示す。

III-2 制御機能

制御システムの主要機能を以下に記す。

III-2-1 プリセット

材料が仕上ミルにかみ込んだ時点で必要水量を計算し、バートップに同期させて流体バルブをONする。

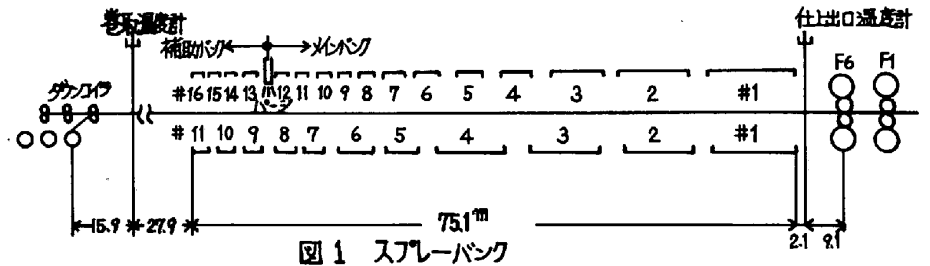


図1 スプレーバンク

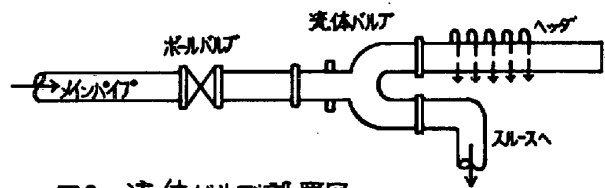


図2 流体バルブ設置図

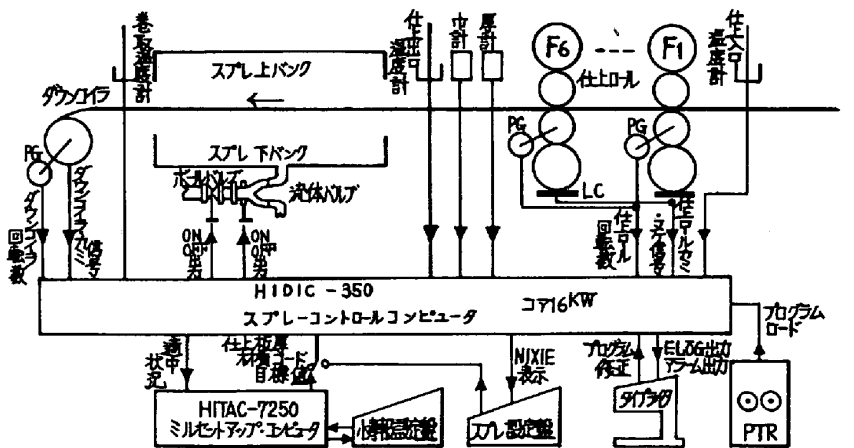


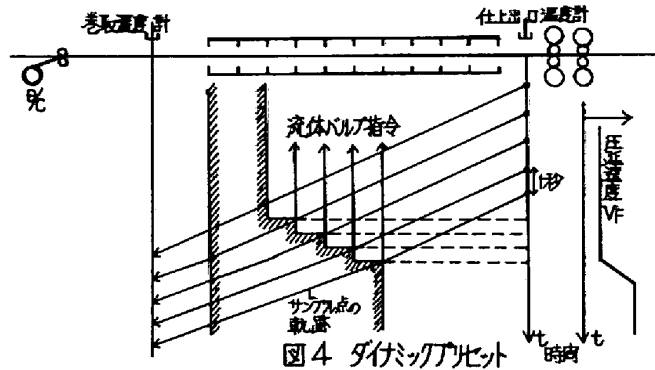
図3 コンピュータシステム

表1 システムの仕様

項目	範囲	項目	範囲
板厚	12 ~ 19.0 mm	巻取温度	500 ~ 800°C
圧延速度	MAX 756 mpm	テープ量	20 ~ 100°C
加速度	MAX 12 mpm/s	トップワーク量	20 ~ 60°C
仕上温度	750 ~ 950°C		

Ⅲ-2-2 ダイナミックプリセット

仕上出口温度計立上り以後定時間ピッチで仕上温度、圧延速度等をサンプリングし、サンプル点進行中の圧延速度変化をも考慮して必要な冷却能を計算し、サンプル点の進行に同期させて流体バルブをON-OFFする。図4



Ⅲ-2-3 アダプティ フィードバック

巻取温度計立上り以後定距離ピッチで目標温度との偏差をサンプリングし、補助バンクにて修正する。

Ⅳ 冷却モデル

必要な冷却水量の算出はスプレージョン単位長当りの冷却能 $h$ を用いて求める。図5 冷却を受けるストリップの温度 $T$ は厚み方向で均一分布として(1)式になる。

$$T = T_0 \cdot \exp\left(-\frac{2 \cdot h}{C \cdot \rho \cdot H} \cdot t\right) \quad (1)$$

$T_0$ : 初期温度  $C$ : 比熱  $\rho$ : 密度  
 $H$ : 板厚  $h$ : 熱伝達係数  
 $t$ : 経過時間

更に(2),(3)式の如き変換を行なって単位長当りの冷却能 $h$ を定義する。

$$T = T_0 \cdot \exp\left(-\frac{h \cdot L}{H \cdot N}\right) \quad (2)$$

$$h = \frac{2 \cdot h}{C \cdot \rho \cdot \pi \cdot D} \quad (3)$$

$L$ : 冷却長さ  $N, D$ : 仕上ロール回転数及び直径

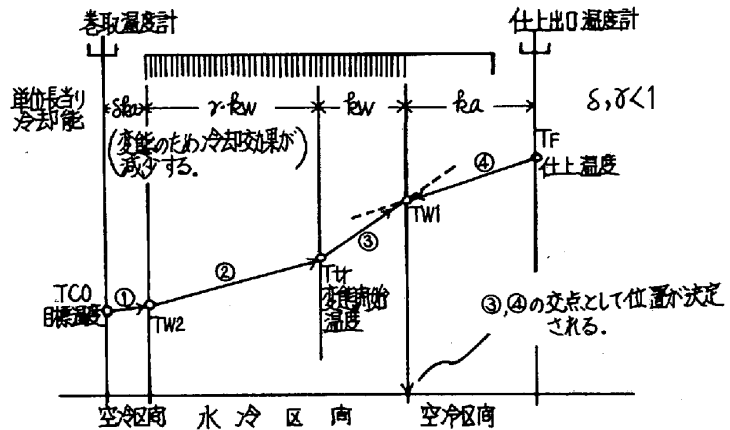


図5 水冷区向算出手順

Ⅴ 制御状況

制御波形、的中状況、アダプティ フィードバックの様子を図6~8に示す。

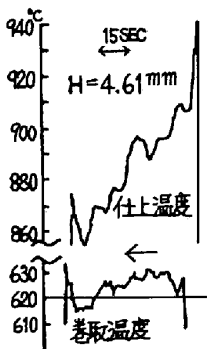


図6 巻取温度制御例

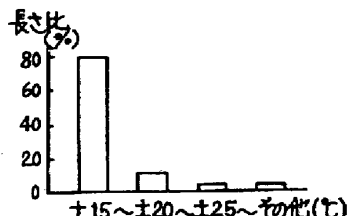


図7 的中状況

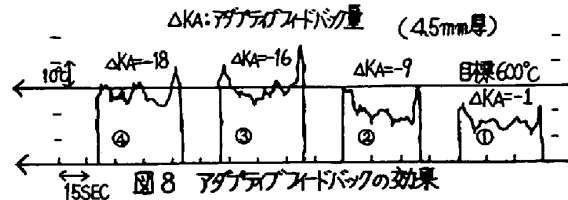


図8 アダプティブフィードバックの効果

Ⅵ 冷却能の測定

Ⅵ-1 実験室での冷却テスト

ホットランスプレーの冷却法についてはラミナーフローによる冷却が効果的といわれ多く採用されて<sup>1)</sup>

いる。しかし実機ではストリップ上面を冷却水は川の様に流れ、下面はジェットスプレーであるため、落下点のごく近傍を除いてラミナー状態は存在しない。実験室でこれらに近い状態で熱伝達率を測定し実機の冷却能との比較を行なった。

VI-2 実験方法及び結果

実験装置を図9に示す。

注水方法は

- ①ラミナーフロー
- ②ミスト冷却
- ③流水冷却

の3種にて行った。

①②については  
150mm×150mm(厚3.3~9.3mm)の板に  
上下面均等に注水した。

③については長さ150mm  
幅100mmのH形鋼状の試験  
片を傾斜させ、上面に沿  
て水を流した。温度測定は

いずれも板厚中心にCA熱電対を埋め込んで行った。ラミナーフロー冷却ではブラックゾーンが時間と共に拡大していく。

図10はラミナーフロー冷却のブラックゾーンでの熱伝達率で高い値を示している。

ブラックゾーンの外は膜沸騰領域であり、熱伝達率は落下点に比し1桁低い値を示した。

ミスト冷却の熱伝達率は数100 kcal/m<sup>2</sup>hr<sup>2</sup>で場所によらず均等である。

図11は流水冷却の場合の

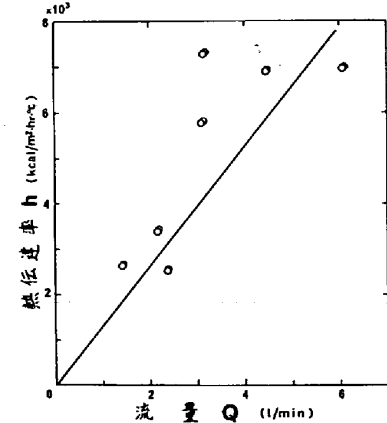


図10 ラミナーフロー冷却  
ブラックゾーンでの熱伝達率

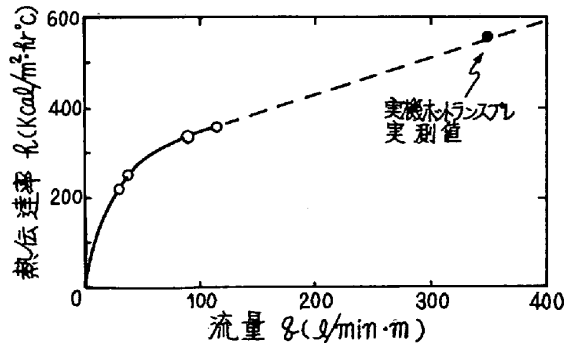


図11 流水冷却の熱伝達率

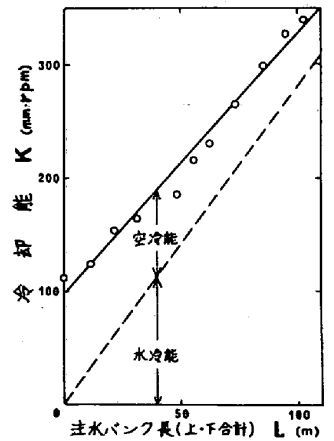


図12 実機の冷却能

VI-3 実機の冷却能との比較

実機のスプレーバンクでNO SPRAY から順次注水バンクを増していき冷却能  $K = h_c \cdot L$  を求めたものが図12である。図12の水冷能の勾配より冷却水の熱伝達率を求めると  $h_{WATER} = 576 \text{ kcal/m}^2\text{hr}^\circ\text{C}$  となる。この値を図11上に黒点で示してある。図10、11より実際のホットランスアレーの熱伝達率はラミナーフロー落下点での値より1桁低く、膜沸騰の流水冷却、ミスト冷却の値に近く、数100 kcal/m<sup>2</sup>hr<sup>2</sup>であることが判る。

Ⅶ 巻取温度と機械的性質

Ⅶ-1 平均レベルとコイル内変動

スプレーゾーンはいくつかのバンクに分割されており、巻取温度変動をゼロにすることはできない。巻取温度の精度は要求される機械的性質の許容範囲から決定すべきものである。巻取温度の精度という場合①コイル全長の平均的レベルと②コイル内変動の二つに分けられる。制御上は加減速の激しいバンクのON-OFFを頻繁に行う場合が困難であり、この点からは②の精度が問題となる。一方熱履歴からは巻取後の自己焼鈍を考えると②の場合熱拡散があるため、温度変動と機械的性質の関係は①とやや様子が異なる。これらのことから1コイルの内の意識的に温度変動を与えて機械的性質との関係を調べた。

Ⅶ-2 試験条件

圧延条件を表2に示す。仕上温度は図13の如くほぼ一定である。圧延速度一定で1コイル中数回特定バンクを全閉及び全開することにより、巻取温度に約130°Cの波状変動を与えた。

表2 圧延条件

板厚	4.5mm	圧延速度	430 m/min (加速位)
板巾	1250mm	仕上温度	885 ± 10°C (図13)
コイル長	約430 m	巻取温度	635 ± 65°C (参照)

コイル全長から巻取温度チャート上に示すA~Y点を目標にサンプリングして機械試験値を求めた。

Ⅶ-3 試験結果

抗張力の試験結果を図14に示す。図13の巻取温度変動と明らかな対応が見られる。波状変動以外に圧延トップからボトムにかけてなだらかな傾きが見られるが、これは長手方向の分析値から算出される抗張力等の値の傾向と一致するので偏析によるものである。

温度差130°Cによる抗張力の差は約6 kg/mm<sup>2</sup>あり、上記コイルのコイル内抗張力変動を1 kg/mm<sup>2</sup>以内にするには温度変動を20°C以内にしかつ、温度差約100°Cのテーパークリーニングを実施する必要がある。

Ⅷ 結 び

熱延巻取温度のためのスプレー冷却制御システムについて述べたが今後は最終温度を目標に入れるのみでなく冷却速度も含めた制御の方向に進むであろう。

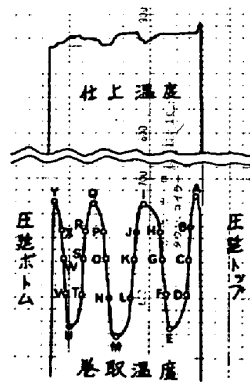


図13 試験コイルの温度

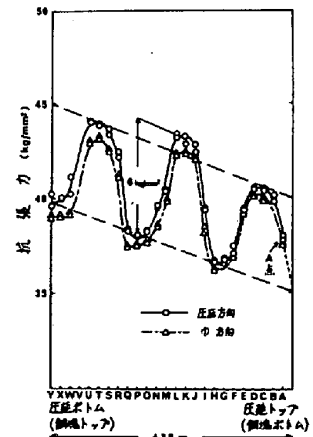


図14 試験コイルの抗張力

参考文献

- 1) J.N.Adcock ; J.I.S.I. Nov. '62 909
- 2) 田中他 ; 三菱重工技報 Vol.2 No.2 48
- 3) 三好他 ; 住友金属 Vol.18 No.4 419