

討12

冷間圧延用循環式クーラント・システムの解析

日本鋼管 技術研究所 国岡計夫 ○福田脩三 大久保豊
 福山製鉄所 浅川弘文 可知康彦
 京浜製鉄所 神馬照正 岡見雄二

I 緒言 冷間タンデム圧延機のクーラント・システムは、従来の直接噴射方式に代わり循環噴射方式が多く採用され始めている。¹⁾これは、①圧延油原単位・水原単位が著しく少なくてすむ。②廃油の排出量が少なく、従って廃油処理コスト面で有利である、からである。しかし(1)循環使用に伴うエマルジョンの経時変化が大きく、最適な潤滑状態を維持することが難しい。(2)不安定エマルジョンの濃度、および分散状態を一定にしてミルへ供給することが難しい、等の問題点を有している。しかしエマルジョンの安定供給、および圧延操業に最適なクーラント・システムの検討は未だ充分に行なわれていない。我々はエマルジョンの濃度、および分散状態の安定供給のための適正なクーラント・システムの究明、およびクーラント・システム操作方法を確立すべく(i)システムの実態調査と、システム特性の解析(ii)模型実験による適正クーラント・システムの検討(iii)連続・自動式クーラント濃度計の開発、を行なった。主として、Tin-Gauge圧延用牛脂ベースのクーラント・システムを研究対象とした。

II システムの実態調査と、システム特性の解析

2-1. 調査方法 実機の循環式クーラント・システムを模式的に示すと図1のようになる。図中のA~Hの個所よりエマルジョンの濃度、および分散状態(タイト指数)に着目し、サンプリング測定を行なった。次に実機のクーラント・タンクの混合動特性として、MAKE-UP時の油投入後のタンク内各部での濃度変化状況を測定した。濃度センサーとしては、光透過度を検出する方式のものを使用した。図3にタンク内濃度の測定位置を示す。

2-2. 結果 図2に実機システムでのサンプリング測定の結果を示す。濃度は各サンプリング場所ともほぼ一定の値を示し、タイト指数はポンプ出側で階段状に大きくなっている。MAKE-UP時の実機タンクの混合動特性の測定結果を図4に示す。タンクのコーナー部のセンサー(NQ.4 NQ.5 NQ.6)の出力が振動型の応答を示し、これは短絡流や、死空間の存在等不安定な流体の挙動を示している。また混合完了までに要する時間(混合時間)は約44分であり、これは平均滞留時間の約4.4倍で、タンクの巨視的混合特性は不十分である事がわかった。²⁾これらの結果から①クーラントの濃度はタンクの混合特性で決まり分散状態(タイト指数)はポンプ・ノズルで決まる。

②濃度の安定供給にはタンクを完全混合槽に近付けることが必要であり、実機タ

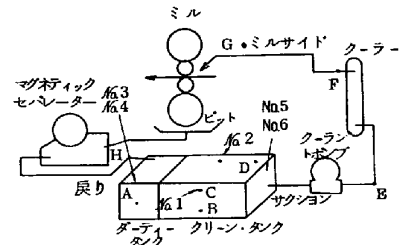


図1 循環噴射方式クーラント・システム概略図

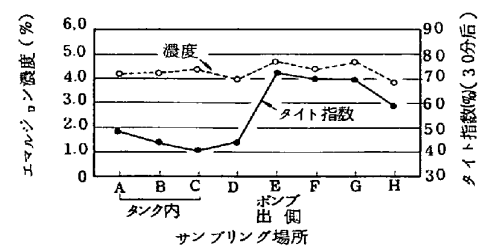


図2 エマルジョン濃度とタイト指数のシステム内分布 (A-ミル)

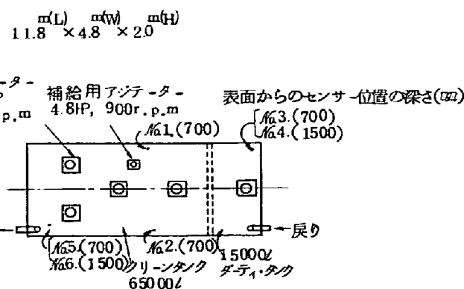


図3 クーラント・タンクの平面図と濃度センサー取付け位置

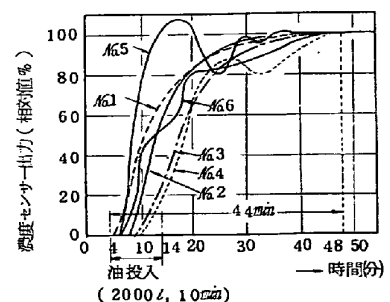


図4 クーラント・タンクの撹拌特性 (MAKE-UP時)

ンクの混合性能は向上させる必要がある等の事柄が明らかとなった。

II 模型実験によるクーラント・タンク混合方法の検討

3-1. クーラント・タンクの巨視的混合特性の検討。実機システムの実態調査の結果より、タンクの巨視的混合特性を向上させるため、実機の $1/5$ の模型タンクを用いて検討した。図.5 に示す如く、トレーサーとして KCl 溶液を用い、滞留時間分布函数を測定し、混合装置の逆混合流モデル (図.6) における混合拡散係数

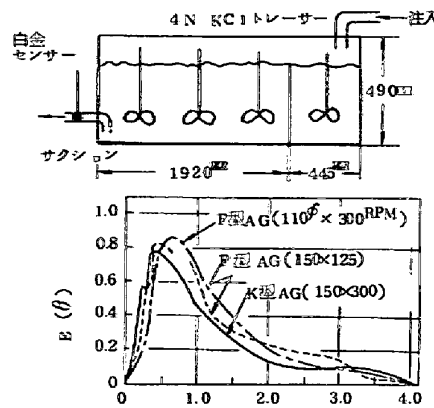


図.5 模型タンクによる滞留時間分布曲線

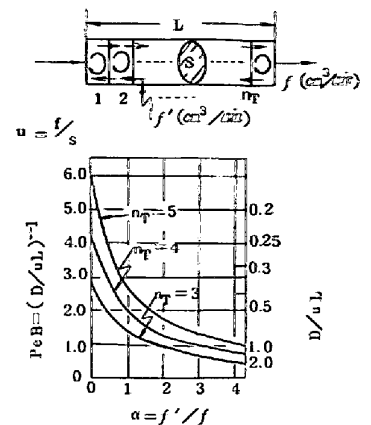


図.6 攪拌装置の逆混合流モデル

D を含む無次元数 D/uL , および逆混合流比率 $\alpha (=f'/f)$ を求め、 α を混合状態の評価基準とした。得られた結果の一例を表.1 に示す。表よりタンク外部に配管を設け、タンク内に巨視的な循環流を作り出す方式が α が大で混合特性が格段に良いことがわかる。本実験は、後述する連続・自動式クーラント濃度計を用い、現物の水-油脂系のものについてさらに定量的な実験を行なう予定である。

3-2. クーラント・タンク用攪拌機単体に関する検討。

クーラント・タンク内に通常、複数個設置される攪拌機は、

i) 分離・浮上しようとする油脂層をタンク下方へ巻き込む作用。

ii) 油脂分粒子の分散作用

を受け持ち、またタンクの巨視的混合特性とも大きな関連性を持つ。前述のシステムの実態調査の結果から、攪拌機が受け持つべき最も大きな役割は、i) の油脂層の巻き込み作用であると考え、主としてこれを検討した。図.7 は、我々が基本型として検討した攪拌機の概略図である。油脂の巻き込み程度は図.7 中の、円筒中心部の液面近傍での、乱流度で決まると考えられる。これは主に、攪拌翼による吐出流量 (Q_d) と、円筒の上部スリットの有効断面積 ($h \times w$) によって決まるが、攪拌機運転の実際においては、液面上の上部スリットの切れ込み深さ (図.7 中の h) によって大きく影響される。よって h を種々変え、巻き込みが開始される回転数を測定した。得られた結果の一例を図.8 に示す。巻き込み開始の目視判断を容易とするため、トレーサーとしてはアルミニウムの粉末を用いたが、実際の圧延油と同じ結果を示すことは確認してある。

3-3. まとめ 以上のような実験・検討の結果から、クーラント・タンクの適正な混合方法として概略以下のような結論を得た。

i) タンク上面に分離・浮上しようとする油脂層を良好に巻き込

分類	説明	図	測定条件				結果	
			AGタイプ	回転数 周/分	その他条件	D/uL	$\alpha (n_T=5)$	
基準型(従来)		A	1	—	0PPM B	$\alpha=0$ $n_T=4.8$	0.166	0.048
			2	F 型	300PPM B	$d=110\phi$	0.261	0.523
			3	K 型	" B	$d=150\phi$	0.320	0.818
外部配管方式		B	4	F 型	" B	$v_{ex} \approx 160 \text{ l/min}$ $r=2$	0.526	1.848
			5	F 型	" A		0.532	1.879
			6	F 型	" B	$v_{ex} \approx 80 \text{ l/min}$ $r=1$	0.455	1.496
			7	F 型	" A		0.420	1.318

表.1 滞留時間分布函数測定実験結果

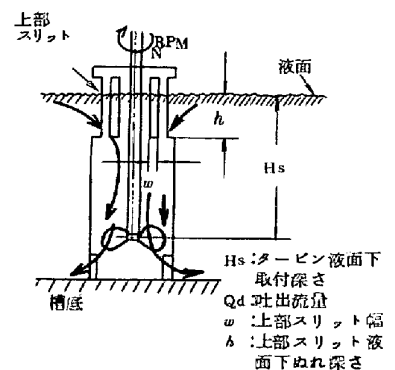


図.7 攪拌機の巻き込み作用

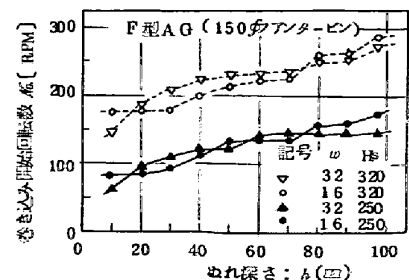


図.8 攪拌機の巻き込み特性

むためには、整流用円筒上部の開口部の形状を適正に選ぶ必要がある。

ii) タンクの巨視的混合特性の改善策としては、例えばタンク外部に設けた配管により、循環流を生成する方式が有効である。

iii) 上記の攪拌機単体の改善、および巨視的混合特性の改善により、タンクを完全混合槽に近づけることができ、濃度の安定供給が達成される。

IV 連続・自動式クーラント濃度計の開発

4-1. 測定方式 クーラント濃度計（エマルジョン濃度計）については、過去に比重検出方式のものや誘電率測定方式のものなど幾例かの検討報告があるが、油脂分の付着性やクーラント中に含まれる鉄粉やゴミ等の誤差要因の影響を受けやすく、いまだに実用的なものは知られていなかった。我々はクーラント中を伝わる音波の伝播速度と温度とを測定し、両者から演算回路によって濃度値を出力とする方式のものを検討し、現場システム内に取り付けて良好な測定精度を得た。音速度の測定は、シング・アラウンド方式を採用し、測温には保護管外径 1.0 mm の白金測温抵抗体を使用している。検出部の配管内におけるクーラントの流速や圧力変動は、精度上問題とならない。本測定法は水中と油脂中の音波伝播速度が大きく異なる事を利用したもので、測定原理的にも密度測定方式よりも有利であり、種々の誤差要因の影響を受けにくい。

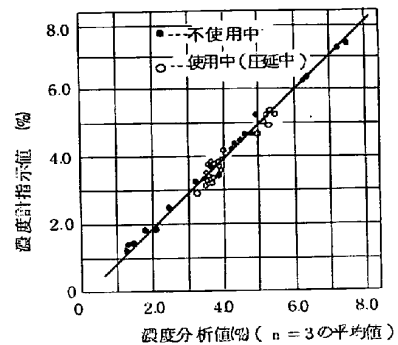


図.9 分析値と濃度計指示値

4-2. 現場実測データ 図.9 に現場実験の結果を示す。実機のクーラント・タンク（内容積：約 120m³）のタンク底より約 310 mm の位置、および配管系の一部に濃度検出用のパイプ（100A）を接続し、濃度計の指示値とサンプリング分析した濃度測定値とをつき合わせたものである。クーラント温度として、45℃～70℃の範囲で、鉄分含有量や不ケン化油混入量、乳化剤添加量、分散状態等によって層別されず、クーラント濃度計として十分な検出精度を得た。完全に、自動・連続式の測定である。図.10 はクリーン・タンクのサクシジョン近傍（測定点高さはタンク底より 310 mm）に濃度計を取り付け、クリーン・タンク内に 3 台ある攪拌機の運転条件を種々に変え、クーラント・タンク内のクーラント濃度の変化状況を測定した一例である。濃度計をサクシジョン近傍に取り付け、まず、タンク内の全攪拌機を運転状態にした後、全攪拌機を一斉に停止させ、この後、濃度計取り付け個所から遠い攪拌機より順に運転させた。攪拌条件に対応して、濃度測定が良好に行なわれている事がわかる。図.10 中、攪拌機をすべて停止させると油脂分粒子が一斉に浮上することにより、タンクの下層濃度が低下する過程が

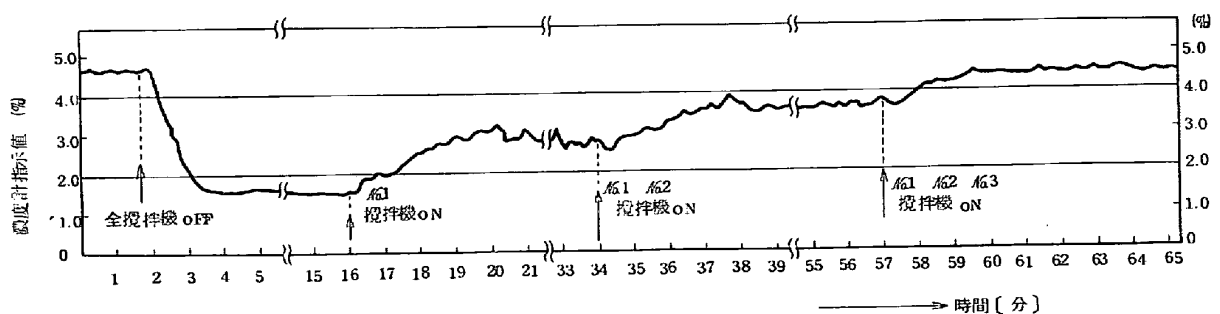


図.10 攪拌機運転条件による濃度変化状況（A-ミル）

測定されている。この曲線（図.11 中の（a））に、単一粒子の沈降、および浮上に関する Stokes の法則を適用し、油脂分粒子の粒子径分布を算出することができる。つまり、レイノズル数 Re の範囲により、

$$Re = \frac{ux\rho_w}{\mu} < 2 \quad \text{の Stokes 領域においては、}$$

粒子径 x [cm] と浮上速度 u [cm/Sec] の間に

$$u = \frac{x^2(\rho_0 - \rho_w)g}{18\mu} \quad \text{の関係があり、これと沈降（浮上）}$$

法による粒度分布測定の手法を応用したものである。

ここで ρ_0 : 浮上粒子（油）の密度 [$g \cdot cm^{-3}$]

ρ_w : 水の密度 [$g \cdot cm^{-3}$]

μ : 水の粘性 [$dyn \cdot sec \cdot cm^{-2}$]

g : 重力の加速度 [$cm \cdot sec^{-2}$] である。

図.11は粒子径分布測定の原理図、図.12は実機ミルで使用中の牛脂ベース圧延油エマルジョンについての粒径分布測定の一例であるが、体積・表面積平均の平均粒子径として 73.2μ の値を示しており、従来報告されている顕微鏡観察³⁾や、コルター・カウンタによる値よりもかなり大きい値が得られた。

引上述べたように、連続式クーラント濃度計が開発されたことにより、

i) システム内のエマルジョン挙動が一層明らかとなり、適正クーラント・システムの究明が容易となった。

ii) 濃度の自動制御等、クーラント・システム自動化の途がひらけた。

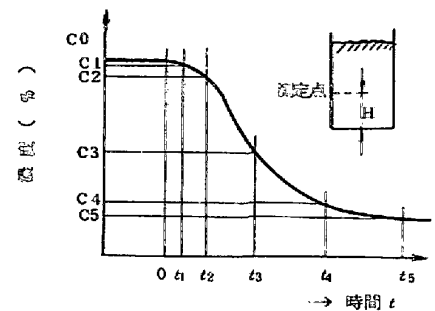
iii) 粒子径分布の測定等、圧延油の乳化安定性の測定や、ミルでのエマルジョンの管理にも使える。等多くの応用・発展が期待される。

V 結言 冷間タンデム圧延機の循環式クーラント・システムを、1)濃度および分散状態の安定供給。2)システム操業法の確立。を目的とし、検討を行なった。実機システムの実態調査と、模型実験の結果から、システムの特性と、その改善策をほぼ明らかにできた。また、連続・自動式クーラント濃度計の開発・実用化に成功した。適正クーラント・システムの究明は、開発した濃度計と模型を組み合わせ、さらに検討を行っており、近い将来、報告したい。

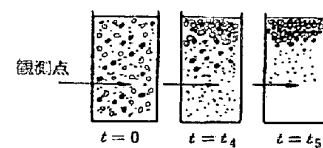
〔文献〕 1) 神馬, 岡見, 和田, 日本鋼管技報 No.56 (1972) P 235

2) O. Levenspiel, Chemical Reaction Engineering. John Wiley & Sons, Inc.

3) 戸田, 北島, 平尾, 潤滑 Vol.18 (1973) No.8



(a) 油の浮上曲線



(b) 浮上状況模式図

図.11 浮上様式と浮上曲線

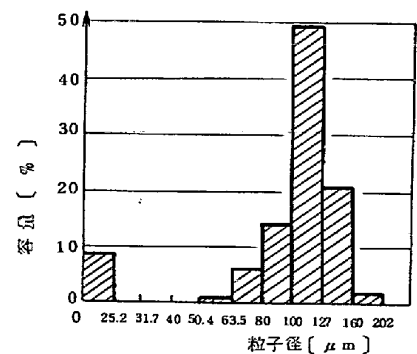


図.12 粒子径分布 (A-ミル)