

## 技術解説

## 鋼板プロセッシング技術開発の歩みと今後の展望

## Development of Processing Technology for Flat Sheet Products

井上 昭彦\*  
Akihiko INOUE相場 雅次  
Masaji AIBA花岡 博  
Hiroshi HANAOKA岩本 芳昭  
Yoshiaki IWAMOTO

## 1. はじめに

鋼板の製造技術は、過去数十年にわたり高品質・高機能商品の製造と高生産性の両立を追い求める中で進歩を遂げてきた。本稿ではそれらの中から、連続焼鈍による深絞り用鋼板と高張力鋼板の製造技術確立、連続溶融亜鉛めっきプロセスによる高耐食性自動車用鋼板製造技術の確立、電気ブリキの目付量均一化と労働生産性向上技術の開発について概括する。

## 2. 連続焼鈍技術の進歩

## 2.1 連続焼鈍による深絞り用鋼板製造技術開発

我が国における本格的な冷間圧延鋼板の製造は、1940年に新日本製鐵戸畑製鐵所で5スタンド・タンデム冷間圧延機が稼働して始まった。当時、冷間圧延後の材料に必要な機械的性質を付与するための焼鈍は、バッチ式の電気焼鈍炉を用いて行っていた。戦後、冷間圧延鋼板の需要拡大に伴い、冷間圧延、焼鈍ともに設備の増設が相次いで行われたが、焼鈍についてはバッチ焼鈍炉にて処理を行う時代が続き、高生産性の実現、品質の均一化、短工期化等を可能とする連続焼鈍技術の確立が待たれていた。

1959年に広畑製鐵所に我が国初のブリキ用連続焼鈍ラインが導入された。以降、国内において連続焼鈍ラインが相次いで建設されたが、そこで製造される材料は遅時効性を必要としない硬質グレードのブリキ用原板に限られていた。これは、バッチ焼鈍ではフェライト中に固溶する炭素が冷却過程でセメントイトとして析出するが、バッチ焼鈍と比して冷却速度が大きい連続焼鈍では、冷却後に過飽和固溶炭素が残るため、焼鈍後の鋼板は時効性を有する硬質な材料となるためである。

一方で、自動車・電気製品などを中心に深絞り用冷間圧延鋼板の需要が増大し、連続焼鈍による深絞り用冷間圧延鋼板の製造技術確立のニーズが高まっていき、新日本製鐵では1968年、連続焼鈍法による深絞り用冷間圧延鋼板の製造を行うための基礎研究に着手した。

製鋼段階での成分の調整に加え、熱間圧延工程では700℃程度の高温巻取りを行って焼鈍前にAIN、Fe<sub>3</sub>C等をまとめて粗大析出させることにより、焼鈍時の粒成長を阻害する微細な析出物の減少及び{111}方向の結晶成長に不利な固溶元素の減少を図った。また、焼鈍工程では加熱・均熱後に急冷した鋼板を400～450℃程度の温度で保持する処理(過時効処理)を加えることで、過飽和固溶炭素を短時間にセメントイトとして析出させ、遅時効性を得ることに成功した。当社はこうしたプロセスを世界に先駆けて実用化し、君津製鐵所No.1 C.A.P.L.(Continuous Annealing Processing Line)を1972年6月に稼働させた。

君津製鐵所No.1 C.A.P.L.は焼鈍炉部に過時効処理のための熱処理炉(過時効炉)を有し、電解洗浄からリコilingまでの5つの工程を1つに統合したもので、従来からの製造プロセスに比較して、低い操業コストで、材質の均一性、表面品位、形状等の品質に優れた鋼板を、短期間で製造出来る画期的なプロセスとして大きな注目を浴びた。その後1979年2月に八幡製鐵所No.1 C.A.P.L.が稼働し、連続鑄造材による一般加工用から完全非時効超深絞り冷間圧延薄板を含むC.A.P.L.素材体系を確立したり。

## 2.2 気水冷却技術の開発

君津製鐵所No.1 C.A.P.L.及び八幡製鐵所No.1 C.A.P.L.では、一次冷却方式として、雰囲気ガスを冷却して鋼板表面に吹き付けるガスジェット冷却を採用していた。その冷却速度は10℃/s程度であるが、この冷却速度域では、固溶炭素は粒界析出となるため、析出物間距離が長くなり、過時効に時間を要するという問題があった。一方、他社にて実用化された一次冷却に水焼き入れを採用したプロセスでは、その冷却速度は1000℃/s程度であったが、このような高い冷却速度の場合は、結晶粒内にも微細な炭化物が析出し、拡散距離が短くなるため、必要な過時効時間が短くなる一方で、伸び、n値等の特性値は低下する。

1980年代初め、当社は新しい冷却方式として、気水冷却方式(AcC: Accelerated Cooling process)(図1)を開発

\* 執行役員 東京都千代田区丸の内2-6-1 〒100-8071

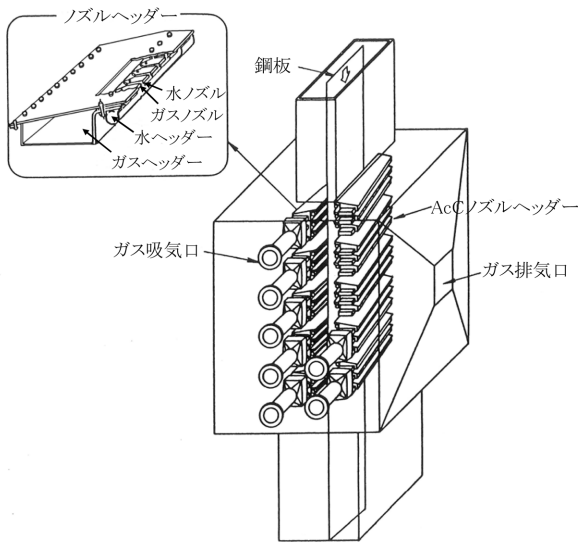


図1 AcCユニットの構造

した。この方式は水ヘッダーとガスヘッダーを有する気水冷却ノズルから噴射される気水混合流を鋼板に吹き付けて冷却を行うもので、 $100^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 程度の冷却速度を持ち、また、噴射する水量、ガス量、ヘッダ数等を制御することにより、冷却終点温度及び冷却速度のコントロールが可能なるものである。この冷却方式を採用することにより、過時効処理時間の短縮と材質確保の両立を可能にした。

また1970年代後半頃から自動車の軽量化、安全対策を目的として高張力鋼板へのニーズが高まってきていたが、AcCの高い冷却速度と温度制御性を活用することにより、固溶強化型、析出強化型の高張力鋼板に加えて、1180MPa以上の高強度までカバーする変態組織強化型の高張力鋼板を効率的に製造することを可能にしたAcCは、1982年7月稼働の名古屋製鐵所No.1 C.A.P.L.、同8月稼働の広畑製鐵所H-C.A.P.L.にて相次いで導入され、新日本製鐵の連続焼鈍技術の核となった。

### 2.3 当社の連続焼鈍技術の展開

当社は冷間圧延鋼板における連続焼鈍技術を常にリードしてきた。当社の技術を導入した連続焼鈍ラインは、社内の7ライン（厚手5ライン、薄手2ライン）を始めとして国内外で20を超える。当社は設備技術の外部展開に加えて、操業技術指導を行うことで、世界の連続焼鈍技術の普及・発展に大きく寄与してきた。

また1990年以降、当社は自動車メーカーを中心とした日系メーカーの海外展開に対応すべく、現地生産化を進めてきた。その端緒となったのは、米国インランド・スチール（現アルセロール・ミッタルUSA）との合弁会社I/N Tekである。I/N Tekでは1990年に当社製C.A.P.L.を稼働させ、高品質の冷間圧延鋼板を北米の需要家に供給している。以降、タイSUS（Siam United Steel：1999年）、ブラジルUsiminas（2000年）、中国BNA（2005年）に当社製

C.A.P.L.を導入し、世界展開を図っている。今後もこうした流れは続き、当社の連続焼鈍技術は、当社の海外展開におけるコア技術の一つとして、その役割が期待されている。

### 2.4 今後の展開

地球環境保護の観点から、自動車用途を中心に高張力鋼板のニーズは今後ますます高まるものと予想される。また、強度だけでなく、あわせて良加工性をも必要とされるケースがさらに増加していくものと思われる。高張力鋼板の製造は、プロセスでの安定通板性や材質を始めとする品質の安定性等の面で、様々な難しさがある。さらに、連続焼鈍ラインでは通常軟質な鋼板から高張力鋼板まで幅広い材質のものを、外観品位の厳しい外板用途向けの材料を含めて、1つラインで作分けすることが必要である。これらはプロセスの生産性の低下、製品歩留の低下等を引き起こす要因となるが、引き続き高効率で高品質の冷間圧延鋼板を製造するための操業技術開発・プロセス開発を進め、当社は連続焼鈍技術のさらなる向上を図っていく。

## 3. 連続溶融亜鉛めっき技術の自動車鋼板への展開

### 3.1 溶融亜鉛めっき鋼板の自動車への適用

溶融亜鉛めっき鋼板はZnの優れた耐食性と鋼材に対する犠牲防食性から古くから活用されており、新日本製鐵では1951年5月に八幡製鐵所に日本ではじめてのNo.1連続式亜鉛めっきラインを稼働させた。溶融亜鉛めっき鋼板が自動車車体用防錆鋼板として本格的に使用されるようになったのは、1970年代後半に設定された自動車車体の防錆品質を“3年孔あきなし、1年表面錆なし”とするカナダコードからであり、溶接性、塗装性を両立した片面溶融亜鉛めっき鋼板が採用されることになった。当社では片面めっき法として電磁ポンプ法、ロールコーティング法を開発し、八幡製鐵所、名古屋製鐵所にて生産を開始した。

その後、1980年代中ごろの“6年孔あきなし、3年表面錆なし”とするノルディックコードの設定から、鋼板の外面の防錆効果を向上させる両面めっきが必要になった。また1980年代後半には北米自動車メーカーが防錆目標“10年孔あきなし、5年表面錆なし”を設定したため、鉄鋼各メーカーはこれの達成を目標とした防錆鋼板の提供にしのぎを削ることになり、日本では優れた防錆効果と溶接性、プレス加工性を両立した厚目付けGA（Galvannealed steel sheet）が主流となっていった。

### 3.2 自動車向け厚目付けGAの開発と実機化

純金属の亜鉛をめっきしたGI（Galvanized steel sheet）めっき鋼板は、亜鉛が軟質であるためプレス加工時に金型との摩擦係数が大きくなり、金型に対する鋼板の流れ込みが阻害され、自動車の複雑な形状への加工時の障害とな

る。また車体の塗装に疵がついたときにGIは亜鉛の腐食が速いため、塗膜が膨れて外観を損なうという課題を抱えていた。GA鋼板は溶融亜鉛めっき後、加熱処理（合金化処理）を行うことにより、鋼板の鉄をZnめっき中に拡散させて得られた防錆鋼板（亜鉛-鉄合金めっき）であり、めっきとしての防錆性能を持ちながら自動車メーカー側での優れた“プレス成形性”“溶接性”、“塗装耐食性”を実現するものである<sup>2)</sup>。

当初厚目付けGAは2層構造が主流であった。厚めっきの下層で長期防錆力を確保し、上層に鉄濃度の高い合金めっきを施すことにより、プレス成型性、塗装性を高めたものである（AS-E鋼板）<sup>3)</sup>。当社では1986年にCGL（Continuous Galvanizing Line）⇒EGL（Electro Galvanizing Line）での2工程生産でプロパー生産を開始した後、1988年にCGL改造によるインライン製造を実現した。AS-E鋼板はピーク時に424 500 t/年の生産となったが、その後は重要家のコストダウン指向の強まりもあり、上層めっきが無くとも自動車メーカーの要求を満たせるGAを開発し現在に至っている。

上層めっきを活用したのは、GAを厚目付け化する際に生じるプレス成型性とめっき密着性の両立の困難さを2層化により克服することであった。GAは亜鉛中に鉄を拡散させることにより製造されるが、鉄の拡散量が少ない（加熱が不足）とめっき表面に軟質な $\delta$ 層（ $\text{FeZn}_{13}$ ）が多く存在し、めっき金型との摩擦抵抗を大きくしプレス性を阻害する。反対に鉄の拡散量が多い（加熱が過剰）と固くて脆い $\Gamma$ 相（ $\text{Fe}_3\text{Zn}_{10}$ ）、 $\Gamma_1$ 相（ $\text{Fe}_3\text{Zn}_{21}$ ）がめっきと鋼板の界面に厚く生成し、プレス加工時に化合物が割れて剥離が生じてくる。めっき層が厚くなるほど加熱時間は長くなるので、厚目付けGAでは、プレス性とめっき密着性を両立する操業域は狭い範囲となる。また鉄の拡散反応は、鋼中成分、めっき浴中に添加されたAlの濃度、合金化の温度条件により変化する。よって上層めっきを活用せずに、自動車メーカーが使いやすい厚目付けGAを安定的に製造するには、めっき付着量のばらつきを極力抑えるめっき付着量制御技術と、合金化条件を最適化する製造技術が必要となる。

当社では1980年代中頃より厚目付けGA製造技術の開発を精力的に行い、1988年7月に名古屋製鐵所No.4 CGL、1989年7月に八幡製鐵所No.4 CGLに厚目付けGA製造対策工事を実施すると共に、1990年6月に名古屋製鐵所No.5 CGL、1991年10月に君津製鐵所No.4 CGLを新ラインとして立ち上げた。さらに1993年9月に君津製鐵所No.3 CGLを能力増強、1995年5月に名古屋製鐵所新No.1 CGLを立ち上げるなど、国内自動車メーカーを中心としたGA鋼板の急速な需要増加に応じていった。

また当社では1995年に厚目付けGA鋼板のプレス成型性を更に高めるL処理技術を実用化<sup>4)</sup>し、AS-E鋼板の製造

は2005年に終了することとなった。L処理技術とは、GA鋼板の表面に7 nm程度の非常に薄いマンガンと燐のアモルファス酸化被膜を形成させたものであり、このアモルファス皮膜がプレス加工時に皮膜自体が変形しながらも金型とGAとの間に介在し続けることで潤滑性を保ち続け、プレス成型性を飛躍的に向上させることができる。L処理技術は2003年に（社）表面技術協会の技術賞を受賞した。

### 3.3 GAの需要拡大（海外展開、国内増強）

1980年代半ばから、国内自動車メーカーの海外生産が開始され、年々その規模は拡大していった。当社ではこれらに対し、当初は輸出にてGA鋼板の供給を行っていたが、海外需要の拡大に対応すべく海外でのGA鋼板製造に取り組むこととなった。溶融亜鉛めっき鋼板の生産は大量生産方式ではあるが、単一明細の大量生産ではなく、顧客の用途に合わせサイズ、鋼種の異なる製品を連続して造り込むものである。また自動車外板として使用に耐える美しい表面外観の作り込みは、製鋼～熱間圧延～冷間圧延の前工程からの一貫製造技術、一貫品質として担保する必要があり、GA製造プロセス単体だけではなく、複数工程の連携と原板条件に合わせためっき工程の造り込みが高度にインテグレートされた製造技術である。

新日本製鐵では海外生産にあたり現地パートナーとのジョイントベンチャー方式をとり、設備導入のみならず一貫製造技術を現地パートナーと共に構築してきた。1991年3月の北米I/N KOTE社No.1 CGLを始めとして、2001年4月にブラジルユニガル社No.1 CGL（2011年5月にNo.2 CGL）、2005年4月に中国BNA社No.1 CGL（2010年2月にNo.3 CGL）を立ち上げ、今後メキシコ、タイでのCGL建設が決定されている。また国内においても、2002年4月に八幡製鐵所GAPL（Continuous Galvanizing Annealing and Processing Line）、2006年6月に君津製鐵所No.5 CGL、2006年9月に名古屋製鐵所新No.2 CGL、2006年12月に広畑製鐵所No.2 CGLと新ラインを立上げて生産能力を拡大すると共に、車体軽量化による燃費改善や衝突安全性の確保に有効な高機能高強度材の対応力を強化している。

### 3.4 今後の展開

地球環境対応としてのCO<sub>2</sub>排出削減への社会要請は今後益々高まるものと考えられる。こうした社会要請に対し、我々は自動車車体の軽量化を実現する高機能、高強度等の新商品を開発・供給すること、不断のもの造り力向上への取組みにより無駄、ロスを極限まで排した高効率生産を可能とすることが使命である。高強度材の造り込みに添加される合金元素はめっきの濡れ性や合金化を阻害し、またGA鋼板製造プロセスは温度パターンに制約があり高強度の性能を高めるにはまだまだ解決すべき課題も多く残され



ている。

溶融亜鉛めっきプロセスは多様な学術領域（界面反応、金属組織学、流体力学、熱力学、電気化学、伝熱工学、プロセスコンピューター技術など）がインテグレートされた技術であり、当社では個別要素技術のレベルアップとコンピューターの機能アップに伴う理論化の進展により更なる技術の深化を推進中である。我々は技術を磨きあげ、またこれらの技術をワールドワイドに展開していくことにより、地球環境問題などの社会要請に応え続けていきたいと考えている。

#### 4. 容器用素材製造技術の進歩

##### 4.1 電気ブリキラインでの全不溶性陽極化技術の導入<sup>6)</sup>

銅板に錫をめっきした電気ブリキは、主に容器用材料として古くから使用されてきた表面処理銅板の一つである。電気ブリキのめっき製造は、従来から陽極に錫を使用する方法で実施されており、めっきされる錫は陽極の錫が電気的に溶解することで供給されている。しかし、この方法では、後述の通り品質、操業面での課題も多く、電気ブリキラインにおいて全不溶性陽極化を実現することは、電気ブリキ製造に携わる者にとって、長年の懸案であった。

当社では、長年の研究開発の結果、錫を化学的に溶解してイオン供給する技術をはじめとした幾つかの要素技術を確認し、遂に電気ブリキラインでの全不溶性陽極化技術を確認し、工業化を世界で初めて実現した（参考文献5）、6）、図2参照）。本章では、その技術内容を概括する。

可溶性錫陽極での問題点は、以下の通りである。

(i) 錫陽極の交換作業負荷が多大

- (ii) 錫陽極を完全に消耗するまでには使用出来ず、コストロスが発生
- (iii) 錫陽極の消耗に伴い、陽極の変形や移動が避けられず、極間距離短縮（＝めっき電力原単位向上）が困難
- (iv) 錫陽極の消耗が均一でないため、極間距離が不均一となり、めっき量の均一化が困難
- (v) 陽極効率（錫の溶解）が陰極効率（錫の電着）を上まわると、めっき液中錫イオン濃度を低下させるのが困難で、めっき液の廃液が不可避（液ロス発生）
- (vi) 板エッジへの錫オーバーコートによる錫ロスが発生（錫陽極交換作業が必要で、エッジオーバーコート防止の設備が設置出来ない）

これらの問題解決には、電気亜鉛めっきやティンフリースチール同様に、不溶性陽極を適用することで改善可能となるが、電気ブリキラインで長年、可溶性錫陽極が適用されてきた理由は、錫の溶解が電氣的イオン化以外には実用化出来ていない点にあった。

##### 4.2 錫イオン供給技術の開発

可溶性錫陽極では、陽極自体がイオン供給源であるのに対して、不溶性陽極では、陽極自体がイオン供給源とは成りえないため、系外からの錫イオン供給が必要である。しかし、錫は元来化学的に安定で通常の状態では殆ど溶解しない。

めっき液中での金属錫の化学溶解反応は下記である。



金属錫の化学溶解反応速度は、めっき液中の溶存酸素の供給と拡散速度が律速となり、単にめっき液に浸漬したのみでは溶解速度は極めて小さい。従って、金属錫の化学的な溶解速度を工業的に利用できるまでに高めるには、拡散層の減少、溶存酸素の確保、反応面積の確保が必要となる。そこで、以下の技術を採用することで、これらの課題を解決するに至った。

- (i) 錫溶解反応層として流動層を適用
- (ii) 流動層内高圧化と酸素吹込みにて、溶存酸素濃度を増加
- (iii) 金属錫を粒状化し、反応面積を確保

##### 4.3 流動層における錫粒の溶解

流動層内の高さの微小部分  $dZ$  における錫溶解（(1)式）による溶存酸素の消費は、(2)式によって表すことができる。

$$L \cdot dC = -k_f \cdot a \cdot (1 - \epsilon_f) \cdot (C - C^*) \cdot A \cdot dZ \quad (2)$$

$C$  : バルクの溶存酸素濃度

$C^*$  : 固液界面の溶存酸素濃度

$k_f$  : 流動層の物質移動係数

$a$  : 金属錫粒の比表面積

$L$  : 液流速

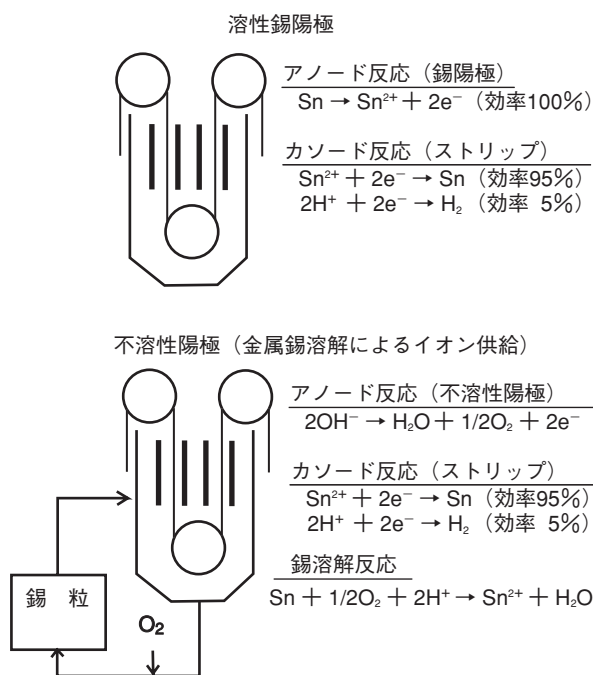


図2 溶性錫陽極と不溶性陽極のめっき法

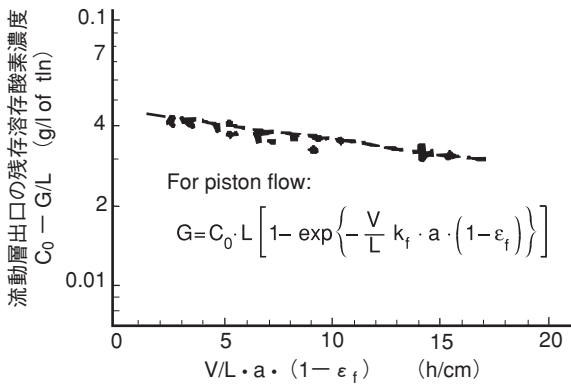


図3 流動層による錫粒溶解速度

$\epsilon_f$  : 流動層の空隙率

A : 流動層の断面積

Z : 流動層の高さ

流動層内の流れをピストン流で、 $C^*$ はCに比較して十分小さく無視出来ると仮定して、(2)式の積分から錫溶解による溶存酸素の消費、すなわち錫溶解速度は(3)式となる。

$$G = C_0 \cdot L \cdot [1 - \exp(- (V/L) \cdot k_f \cdot a \cdot (1 - \epsilon_f))] \quad (3)$$

G : 流動層の溶解速度

$C_0$  : 流動層入口の溶存酸素濃度

V : 流動層の有効体積

図3の通り、実際の溶解速度も(3)式に良く一致した。

#### 4.4 錫溶解速度の制御

図4に、金属錫流動溶解設備の概略を示す。図4の本溶解法では、図5の通り、吹き込む酸素の流量調整にて、広

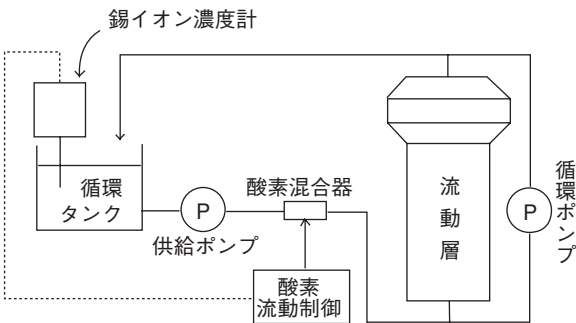


図4 金属錫流動溶解設備

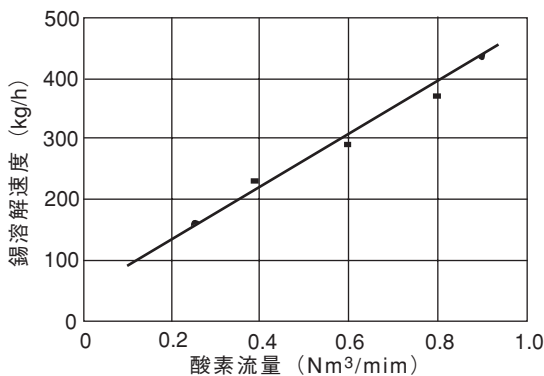


図5 酸素流量と錫溶解速度の関係

範囲で精度良く金属錫の溶解速度を制御可能とした。

#### 4.5 その他要素技術

(i) 錫粒製造技術の確立

溶融金属の多孔板滴下方式での金属錫粒製造技術を確立

(ii) 錫イオン濃度のオンライン分析計

蛍光X線によるオンライン錫イオン濃度分析システムを確立

(iii) 不溶性陽極の選択と改善

Ti/Pt電極の採用、Ptめっき法の改善による寿命延長

(iv) 鉄イオン除去技術の確立

めっき液のクロード化推進より鉄イオン蓄積が増加、イオン交換法による鉄イオン除去システムを確立

(v) 錫スラッジからの金属錫回収技術の確立

めっき液中で錫イオン  $Sn^{2+}$  の酸化により錫スラッジ  $SnO_2$  が発生し、沈殿物となる。本不溶性陽極法では、陽極から発生する発生期酸素や錫流動溶解層の溶存酸素によって、従来の可溶性錫陽極に比べ錫スラッジの発生が増大する。そのため、錫スラッジからの金属錫回収システム(スラッジ回収→培焼→水素還元)を構築した。

#### 4.6 全不溶性陽極化技術導入による成果

上述の技術開発により、電気ブリキラインでの全不溶性陽極化システム(図6)を完成し、数々の問題点を一挙に解決するに至った(参照文献5, 6))。

(i) めっき品質の向上

図7に、可溶性錫陽極と全不溶性陽極で製造した電気ブリキの銅板巾方向めっき付着量分布を示す。図のように、全不溶性陽極及びエッジマスク設置により、非常に均一な銅板巾方向めっき付着量分布が得られた。これは、製缶時の安定した溶接性確保に、重要な役割を果たしている。

(ii) 労働生産性の向上

全不溶性陽極化により、陽極移動交換作業がなくなり、労働負荷は大幅に軽減し、錫陽極製造が不要となった。こ

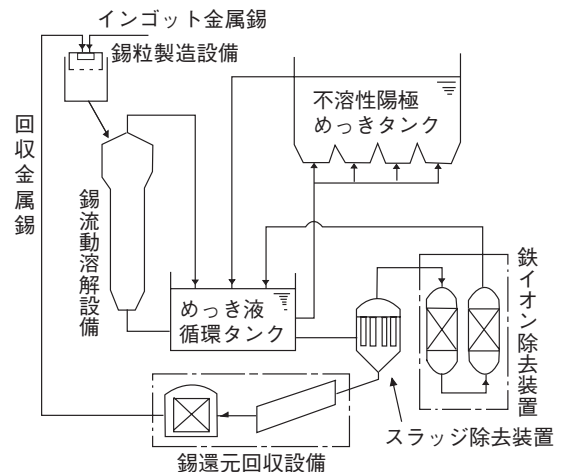


図6 電気ブリキライン全不溶性陽極システム

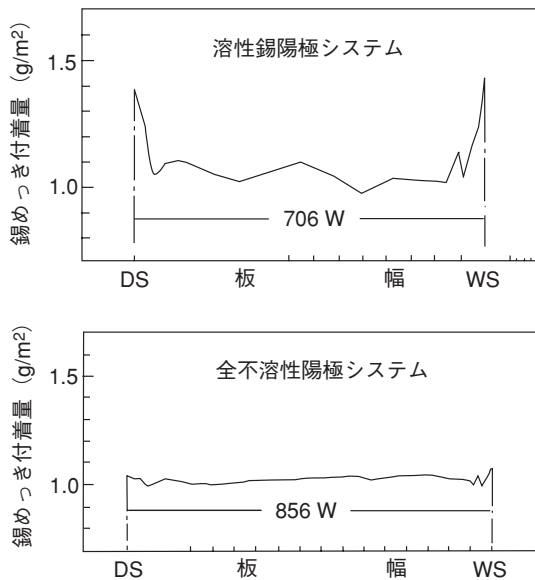


図7 鋼板幅方向めっき付着量分布

れに伴い、大幅な要員削減を行い、労働生産性は大きく向上した。

#### 4.7 今後について

当社が世界で初めて開発した電気ブリキラインでの全不溶性陽極システムは、当社内をはじめ、海外JVにも広く採用が広がっている。また、本全不溶性陽極システムは、一部海外メーカーにも技術協力、外販を行っているが、更に多数のメーカーから採用に向けた検討依頼を受けており、工業的には極めて有用な技術であることが認められている。この設備の特徴を生かした新商品も開発、プロパー化されており、電気ブリキラインにおいて、本技術は極め

て画期的な技術開発であった。

今後、容器用素材でも、環境対応等から更なる軽量化に向けたゲージダウン、薄めつき化は進んでいくものと考えており、不溶性陽極の優位性は更に高まるものと考えている。

#### 5. まとめ

以上述べてきたように、鋼板製造のプロセス技術開発は、広い意味での“連続化”をキーワードに、全長全幅にわたる鋼板品質の均一性と高生産性の両立を目指し推進してきた。今後も高品位の製品を安価に安定して製造する技術を確立するために、近年特に伸長著しい計算機技術、計測技術の活用を中心としたハード技術の高度化や、IT技術の進歩を活用した熟練オペレータのノウハウ共有化等のソフトウェア技術開発の両面から取組み、他社の追従を許さないプロセス技術の確立を目指していく。

#### 参考文献

- 1) 新日本製鐵(株)技術本部 薄板技術室:製鉄研究. (139), 310 (1982)
- 2) 新日本製鐵(株):鉄と鉄鋼がわかる本. 日本実業出版社, 2004
- 3) 金丸辰也, 森田順一, 中山元宏, 新井勝利, 小川裕:新日鉄技報. (353), 22 (1994)
- 4) 落合忠昭, 鈴木真一, 宮坂明博, 福井政治, 平田雅裕, 伊藤健:新日鉄技報. (378), 43 (2003)
- 5) 斉藤隆徳, 柏田耿介, 和氣亮介, 川崎良樹, 池邊優, 飯田豊彦, 井口安弘:表面技術協会講演大会. 79, 331 (1989)
- 6) 斉藤隆徳:電気メッキライン全不溶性陽極化技術の開発と工業化, 表面技術. 41 (1), (1990)



井上昭彦 Akihiko INOUE  
執行役員  
東京都千代田区丸の内2-6-1 〒100-8071



花岡 博 Hiroshi HANAOKA  
薄板事業部 薄板技術グループ  
マネジャー



相場雅次 Masaji AIBA  
薄板事業部 マネジャー



岩本芳昭 Yoshiaki IWAMOTO  
薄板事業部 ブリキ営業部  
商品技術グループリーダー