

図1 HCGLラインレイアウト  
Fig. 1 HCGL line layout

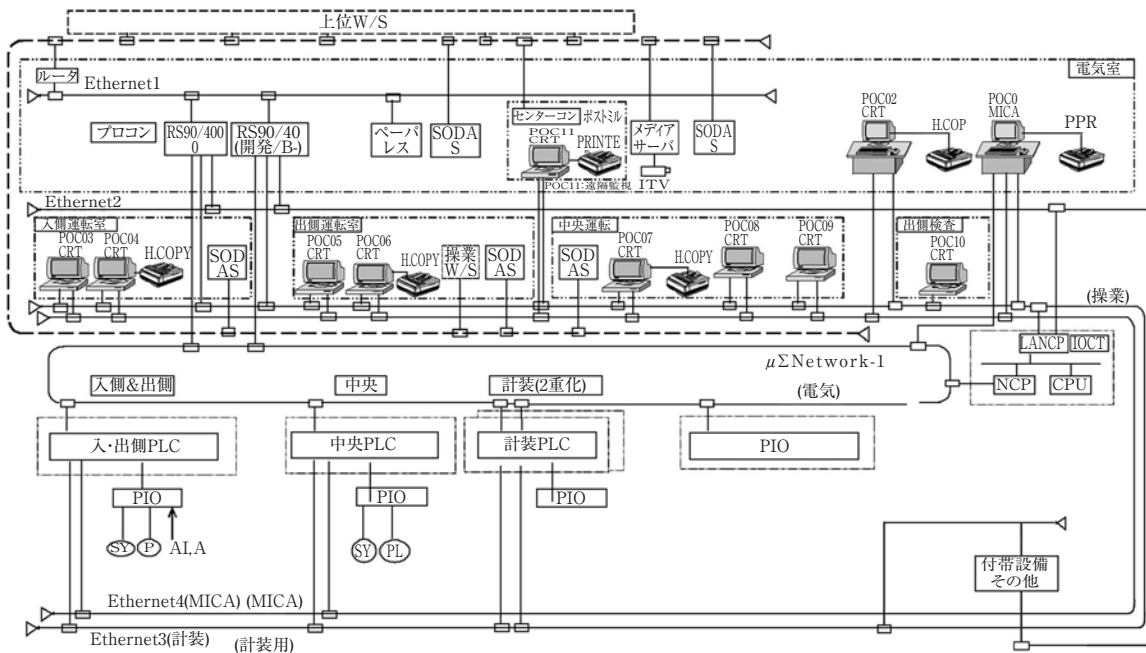


図2 HCGLシステム構成  
Fig. 2 HCGL system control configuration

表1 HCGL設備仕様

Table 1 Specification of HCGL equipment

処理材料		普通鋼	
コイル仕様	板厚	冷延鋼板	0.6mm~4.0mm
		熱延鋼板	1.6mm~6.0mm
	板巾	600mm~1350mm	
	内径(入側/出側)	508,762/508,610,762mm	
	外径(入側/出側)	Max 2100/2100mm	
	重量(入側/出側)	Max 25/25Ton	
Maxライン速度(mpm)		(入側/中央/出側) 240/150/220	
Max TV	冷延鋼板	220mm・m/min	
	熱延鋼板	275mm・m/min	
生産能力		94 Ton/Hr [冷延鋼板 3.2mm×914mm]	
生産品種		GA, GI, GF ZAM	
設計・製作		焼鈍炉・合金化炉：三菱重工業 前後設備・めっき機：日立製作所	

- ・コイル結束バンド切断
- ・ベイオフリールへのコイル挿入(コイル巾, 高さ調整機能)
- ・コイル先端検出器を活用したコイル先端口出し
- ・形状修正(ローラーレベラー方式)
- ・ライン外への端板屑搬送(コンベア方式)

これら自動設備は、W/Sからの素材情報(板厚, 板巾, 鋼種等)や投入順序等の情報をベースに自動制御を行っている。

また、HCGLでは0.6mm~6.0mmの広範囲な板厚の溶接に対応するため、「MSWとMAGの一体型溶接機」を導入している。

MSWは従来より板厚4.5mm以下が安定領域とされ、4.5mm越えでは機器の強度的な問題等により安定した溶接を得ることが困難である。そこでHCGLでは厚板側の溶接にMAGを導入している。

MAGは先行材と後行材を突合せ、ワイヤーと鋼板間にてアークを発生させ、そのアーク熱で鋼板とワイヤーを連続的に溶融させ、ビードを形成、溶接を行う方式であり、厚板に対しての溶接安定性に優れている。

またHCGLでは、さらなる溶接安定化を目的として「溶接監視システム」を導入し、溶接後の自動判定を実施している。当システムの代表的な特徴を以下に示す。

- ・溶接実績(溶接温度・電流値・電極加圧等)の板幅方向でのモニタリング実施。(図3にモニタリングの一例を示す)
- ・各溶接実績に対して上下限值を設け、板巾方向での

### 3. 設備の特徴と操業状況

#### 3.1 入側設備

入側設備における主な自動化項目を以下に示す。

- ・隣接するめっき原板仕掛かりヤードからHCGL入側コイルスキッドへのコイル搬送

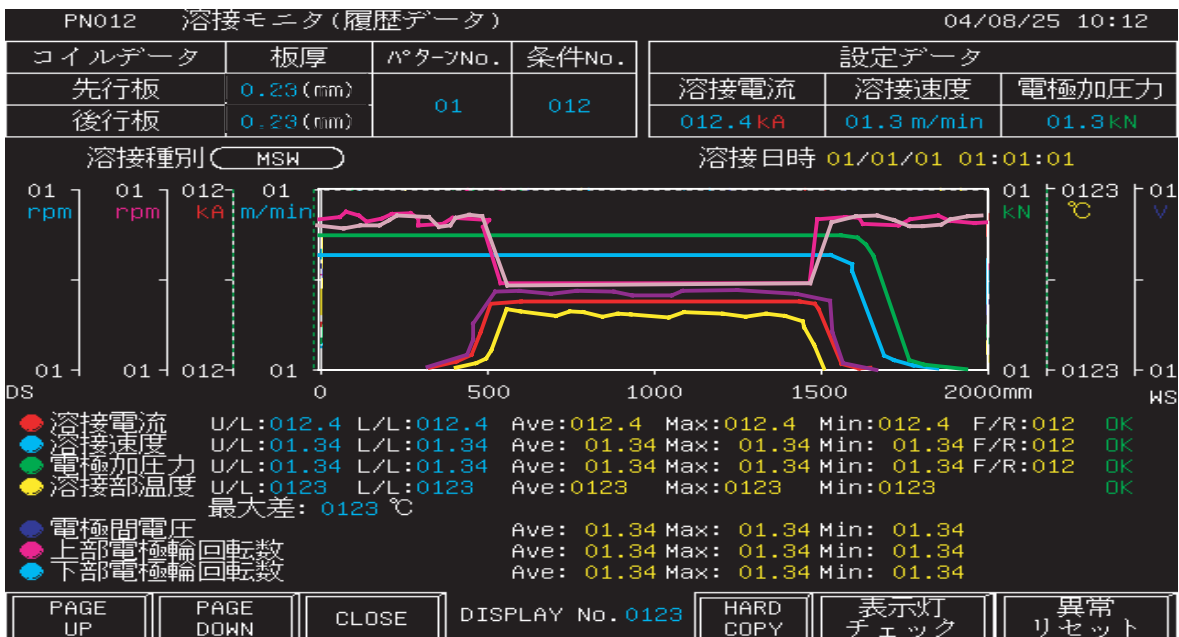


図3 溶接監視システムモニターの一例

Fig. 3 Example of the display of a welding surveillance system

実績を常時監視し、溶接状態の自動判定を実施。

- ・過去の実績データを常時約8000件蓄積し、溶接トラブル時の解析の迅速化。

当システム導入により、溶接不良起因のトラブルの発生はほとんどなくラインの安定稼動、能率向上に大きく寄与している。

## 3.2 焼鈍炉

### 3.2.1 焼鈍炉設備

HCGL焼鈍炉は、予熱帯 (Pre-heating Section)、第一加熱帯 (No.1 Heating Section 以下 1HSと称す)、第二加熱帯 (No.2 Heating Section 以下 2HSと称す)、均熱帯 (No.2 Heating Section 以下 2HSと称す)、均熱帯

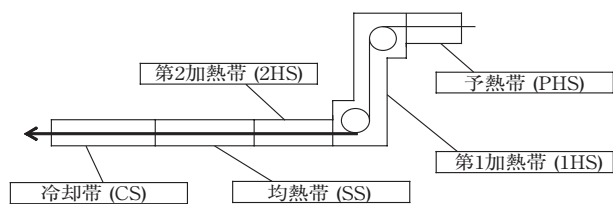


図4 HCGL焼鈍炉概要

Fig. 4 Overview of HCGL annealing furnace

表2 焼鈍炉各セクション主仕様と特徴

Table 2 Specifications and features of each section of the annealing furnace

セクション	主仕様	特徴
PHS	炉長：1m バーナー：36万kcal×6本 ハースロール：15本	1HSからの排ガスの未燃分をアフターバーナーで燃焼した後、鋼板と熱交換を行い、鋼板を約300℃近傍まで昇温する
1HS	炉長：26m バーナー：12万kcal×180本 ゾーン数：6z	・衝突噴流式バーナー採用 ・P/Cテーブルによるバーナー負荷自動制御
2HS	炉長：89m バーナー：12万kcal×52本 ゾーン数：4z ハースロール：45本	・ラジアントチューブ方式による間接加熱 ・省エネを目的としたリジェネイティブバーナー採用 ・モデル式による自動板温制御
SS	炉長：53m バーナー：10万kcal×14本 ゾーン数：3z ハースロール：27本	・ラジアントチューブ方式による間接加熱
CS	炉長：60m クーリングファン：6台 ゾーン数：6z ハースロール：27本	・ガスジェット冷却装置による鋼板冷却 ・巾方向調整用ダンパによる巾方向均一冷却

(Soaking Section) 及び冷却帯 (Cooling Section) から構成されている。

図4に焼鈍炉の概要を、表2に各セクションの主仕様および特徴を示す。HCGL焼鈍炉の特徴は1HSに採用した「MH製高効率衝突噴流式還元バーナー (Mitsubishi-Hitachi Impinging Deoxidized Burner；以下MIDバーナーと称す)」と2HSに採用した「出側板温自動制御」である。

以下にこれら2点の特徴について紹介する。

### 3.2.2 MIDバーナーの特徴

MIDバーナーは、鋼板に対し垂直に配置することで火炎の衝突噴流による対流伝熱を主とする直火加熱式バーナーであり、従来直火帯で使用されてきた輻射加熱主体のものに比べ、冷間圧延鋼板のように表面放射率の小さい被加熱物に対して、非常に高い熱流束を有する。また衝突噴流火炎により、高い加熱応答性を有する。さらにこのバーナーは、高い熱流束を得るために火炎形状形成用の燃焼筒の先端をテーパ状に絞ることにより、定格燃焼時において約125m/secの噴出速度が得られる構造としている。

これらの特徴を実現するにあたり、MIDバーナーは、プレミックス燃焼方式を採用している。この方式は、燃焼ガスとエアを予め混合させバーナーに供給するため、燃焼速度が極めて早く、高温の燃焼火炎が形成され、鋼板の急速加熱を可能にしている。

第二の特徴は、鋼板表面を還元加熱する能力を有していることにある。一般のバーナーに多く使用されているノズルミックス燃焼方式のバーナーは、拡散燃焼であり遊離酸素が発生し鋼板を酸化してしまう。この燃焼方式は、空燃比の調整により、鋼板酸化をある程度抑制することは可能であるが、完全に解消することは困難である。一方、MIDバーナーはプレミックス燃焼方式であるため、遊離酸素の発生がなく鋼板表面を還元する能力を有している<sup>1)</sup>。

しかしプレミックス燃焼方式は、燃焼負荷をある値以下に下げるとノズル流速が火炎伝播速度より低下し、バーナーノズルから本体を経てプレミックス配管に逆火が発生する。また混合ガスが燃料の着火温度を超えると自然着火し、逆火が発生する。

この逆火対策として、MIDバーナーに以下の改良を施すことにより、プレミックス燃焼方式の適用を可能としている。

すなわちバーナー先端部に細管流路 (多孔円筒構造) を用い、1,350℃を超える炉内温度で高温になった細管流路にプレミックスガスを高速で供給することで、混合ガス流速を燃焼速度以上に保持するようにした。また、炉内温度1,500℃でも耐えうるバーナーとするため、燃焼筒および燃焼ノズルにSiCセラミックスを採用する

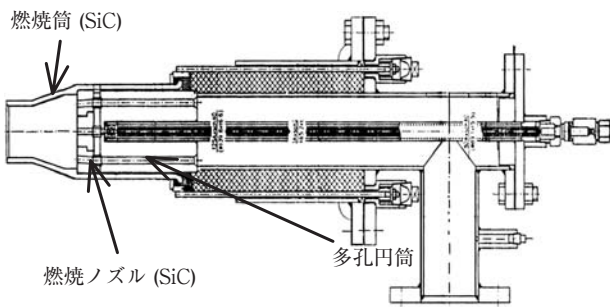


図5 MIDバーナー構造  
Fig. 5 Structure of MID burner

ことで、バーナー内部を高温環境から遮蔽し、逆火に繋がる自然着火を防止した。図5にMIDバーナーの構造を示す。

上記対策による逆火防止が可能となったため、予熱空気温度を350℃まで加熱し操業しており、これにより常温空気使用時に比べ約20%の省エネを達成している。

以上により、1 HSの炉長の20%短縮が可能となり、鋼板表面を酸化させることなく、高TV操業 (Max275) を実現している。

### 3.2.3 板温自動制御

焼鈍炉加熱帯出側板温は製品の機械的性質を決定付ける重要な要素である。

しかし従来、加熱帯出側板温はオペレーターによる手動操作を主体に調整していた。それ故、目標板温に対するばらつきが大きいという問題があった。特に板厚、ラインスピード等の操業条件変更時における板温調整は高度な技術を要するため、オペレーター個人の力量差によるばらつきが顕著に発生していた。

HCGLでは、上記問題を解決し、製品の機械的性質の安

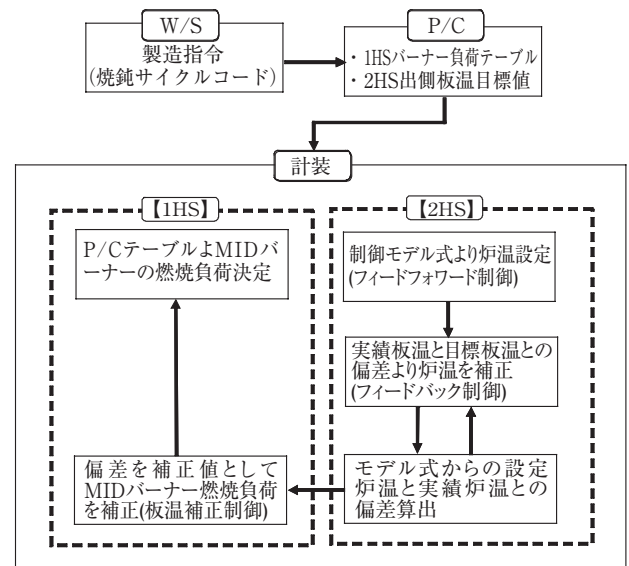


図6 HS出側板温自動制御フロー  
Fig. 6 2HS sheet temperature automatic control flow

定化を図るべく、2 HS出側板温制御に自動制御を導入している。図6に2 HS出側板温自動制御のフローを示す。

特徴は、1 HSに採用しているMIDバーナーの優れた熱応答性を生かし、間接加熱方式である2 HSの炉慣性分を補正する制御を導入していることにある。

図7に1 HS補正制御有無でのコイルトップ部における2 HS出側板温のバラツキを示す。図7から、1 HS補正制御を行うことにより、2 HS出側板温のバラツキは明かに軽減されていることがわかる。つまり、HCGLでは1 HS補正制御を板温自動制御に取り入れたことにより、ラインスピード、板厚変更によるTV変動にも追従遅れのない板温制御を確立することができた。

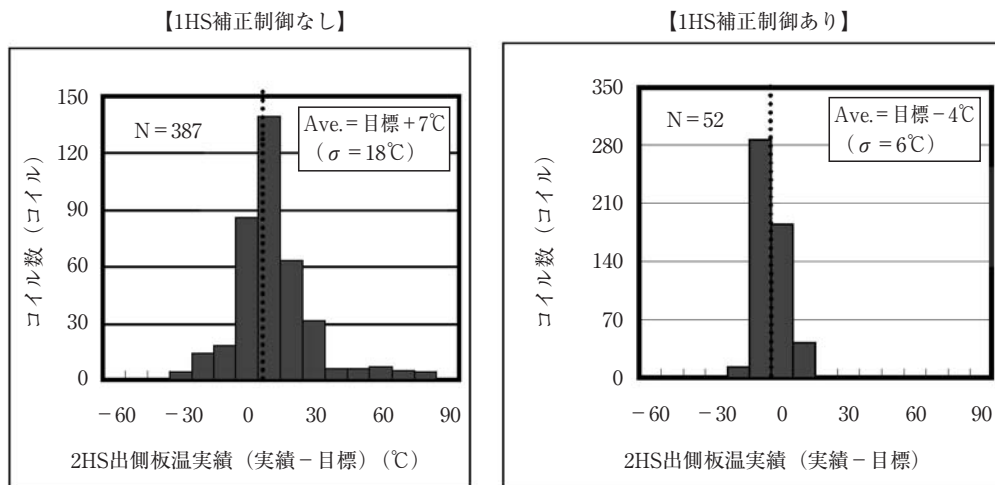


図7 コイルトげ部での2HS出側板温の実績分布 (目標板温との偏差)  
Fig. 7 Actual distribution of 2HS exit-side strip temperature at head of coil

3.3 ポット周辺設備

3.3.1 ポット

HCGLでは合金化溶融亜鉛めっき鋼板(GA)・溶融亜鉛めっき鋼板(GI)・溶融 Zn-5%Al合金めっき鋼板(GF)・ZAMの4品種を3種類のめっき浴にて生産を行っており、このめっき浴切替方式として「3ポット移動方式」を採用している。図8にHCGLポット配置図を示す。

一般的に、2品種以上の生産ラインでは操業用ポットと待機用ポットの間で、メタルポンプ等を使用して、めっき浴を移し替える「めっき浴汲替え方式」が採用されることが多い。しかし、HCGLのように4品種もの

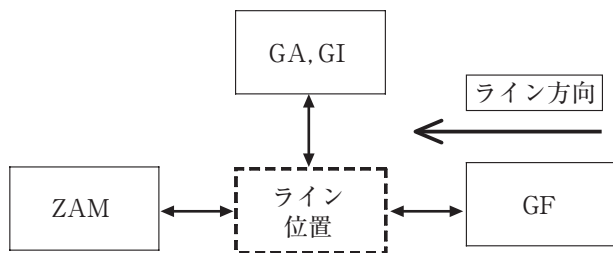


図8 HCGLポット配置図  
Fig.8 HCGL pot arrangement plan

生産を行う場合は、めっき浴切替方式より、ポット移動方式の方が、時間・コストの両面から非常に有効となる。

3.3.2 ポット直上設備

ポット直上の設備は、めっき直後の鋼板に直接処理を施すため、製品の表面外観および光沢観、めっき層構造等の品質を決定づける重要な設備である。

従来、ポット直上設備の操作は、オペレーター個人の技能と感性に依存した操業が主体であったため、めっき後製品の品質面でのばらつきが大きく、品質改善を行っていく上での障害要因となっていた。

しかし、HCGLでは表3に示す様に、ポット直上設備の制御に、P/Cとリンクさせた自動制御を導入すること

表3 めっき品種とポット直上設備およびその特徴  
Table 3 Coated products and equipment directly above the pots and its features

品種	ポット直上設備	設備の特徴
GA	合金化炉	・焼鈍炉1HSと同じMIDバーナー採用により条件変更時の応答性に優れる ・燃焼負荷は操業条件に応じたP/Cからの自動設定による自動制御
GI GF	ミニマイズドスパンダ装置	・高TV操業対応を目的とした薬液噴霧ノズルの多段ヘッダー化 ・TVに応じた自動ヘッダー段数選択機能
ZAM	エアージェットクーラー	・TVに応じたファン出力自動制御

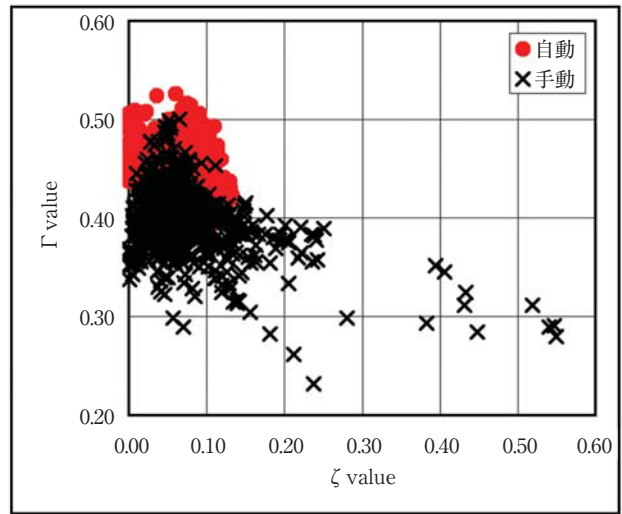


図9 合金化炉制御の違いによる合金層構造の比較  
Fig.9 Comparison of alloy layer structure by differences in galvannealing furnace control

により、品質のばらつき低減を図っている。

一例として、合金化炉制御方法の違いによるGA材のめっき層構造の比較を図9に示す。ここで、図9に示すΓ valueは、X線回折法を用いて測定したΓ相厚みの指標値である。ζ valueについても同様の方法で測定したζ相厚みの指標値である<sup>2)</sup>。

これら値はGAの品質を決定付ける重要なファクターであるため、所定の基準内であつ、ばらつきを抑えた操業が必要となる。

図9に示すように、合金化炉の自動制御化により、Γ value、ζ valueともに従来の手動制御に比べ明らかに、ばらつきが低減されていることがわかる。このように、HCGLでは安定した合金層構造を有する高品質なGAの製造を可能にしている。同様に、他の品種についても自動制御導入により、高品質な製品の安定生産を実現している。

3.3.3 めっき付着量制御

HCGLでは、以下の制御を組み合わせたガス圧力自動コントロールによるめっき付着量制御を導入している。

- ・操業条件を制御パラメーターとしたモデル式からの基本ガス圧力設定 (セットアップ制御)
- ・コイル内での操業条件変動に伴う付着量誤差補正 (フィードフォワード制御)
- ・コイル内での付着量計からの実績付着量情報によるガス圧力補正 (フィードバック制御)
- ・実績圧力と実績付着量情報からのモデル式誤差補正 (学習制御)

また、一般的に、めっき付着量計は耐熱性の問題より、クーリングタワー立下り部以降に設置されることが多い。しかしその場合、ポット部からの距離が長くなるため、フィードバック制御が遅れ、その結果、めっき付着量制御の精度が低下する。特に板厚が厚い程コイル長が短くなるため、付着量制御の精度低下は致命的なものとなる。

HCGLは付着量計室の冷却能力向上対策を実施することにより、クーリングタワー上部への設置を可能とし、迅速な付着量フィードバック制御を実施している。

### 3.4 スキンパスミル

スキンパスミルにおける制御概要を図10に示す。

HCGLスキンパスミルは、以下の2つの制御を組み合わせた自動制御を行っている。

- ・製造指令データよりスキンパスミル前後の張力・荷重をP/C内で計算しプリセットを行う。(セットアップ制御)
- ・前後のブライドルロールより伸び率を計算し、荷重へフィードバックを行う。(伸び率制御)

特にセットアップに関しては、実操業のデータを解析し、①焼鈍炉での熱影響による変形抵抗の差(図11)、②メッキ種による摩擦係数の差(図12)を考慮した荷重モデルの作成を行い、モデルより算出された値をセットアップしている。

また長手方向の変動もフィードバック制御により目標

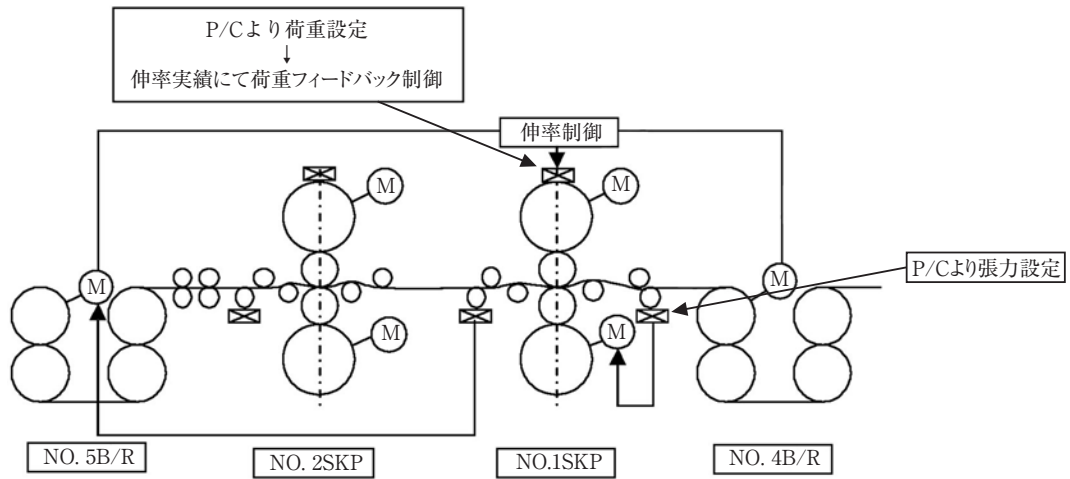


図10 SKP制御概要  
Fig.10 Outline of SKP control

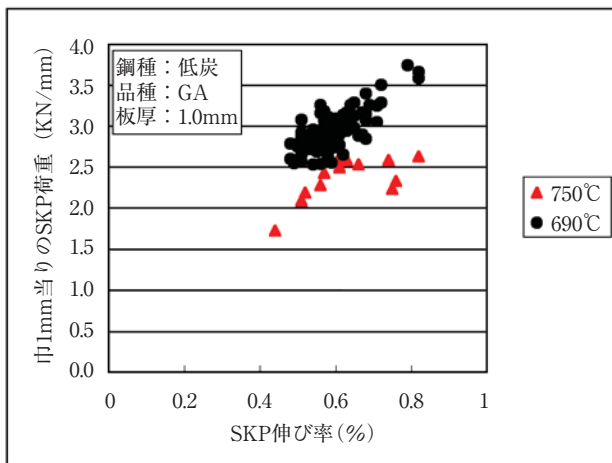


図11 焼鈍温度のSKP荷重への影響  
Fig.11 Effect of annealing temperature on SKP roll force

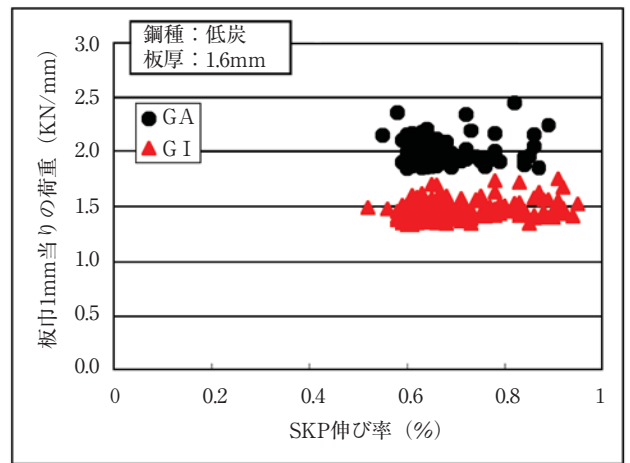


図12 品種のSKP荷重への影響  
Fig.12 Effect of products SKP roll force

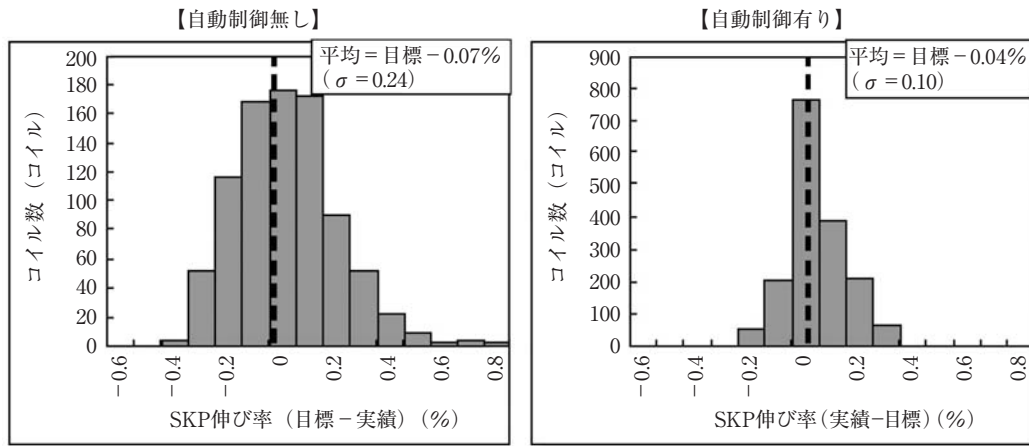


図13 SKP自動制御導入効果  
Fig.13 Effect of automatic control of SKP

伸び率内にコントロールできており、従来制御（オペレーターによる手動制御）に対し、格段に制御性が向上した。図13に制御有無によるコイル定常部での伸び率のバラツキを示す。

上記2つの制御を組み合わせることにより、コイル全長にわたり、SKP伸び率の安定化が図れるようになり、製品の機械的性質・表面外観・形状のばらつき低減が図れている。

### 3.5 後処理設備

多様化しているユーザーニーズへの対応および、製品付加価値を高め他社との差別化を図る目的で、表4に示す後処理を実施している、これら複数の後処理に対応すべく「スプレーリンガー設備」と「ロールコーター設備」の2種の後処理設備を保有している。

HCGL営業生産開始当初は、スプレーリンガー設備と

表4 めっき品種と後処理種類

Table Coated products and types of after-treatment

	普通クロメート	耐食クロメート	クロムフリー
GA	●		
GI	●		
GF	●	●	
ZAM		●	●

ロールコーター設備の併用にて後処理を実施していた。しかし、後処理付着量制御に有利であるロールコーター設備にて実施できるよう配管系統および制御ソフトの改造を実施した。

図14にスプレーリンガー方式とロールコーター方式でのクロム付着量実績を示す。図14に示すように、ロールコーター方式に変更したことにより、クロム付着量のバラツキが半減されたと共に、絶対値水準自体がほぼ目標値に近づいた。

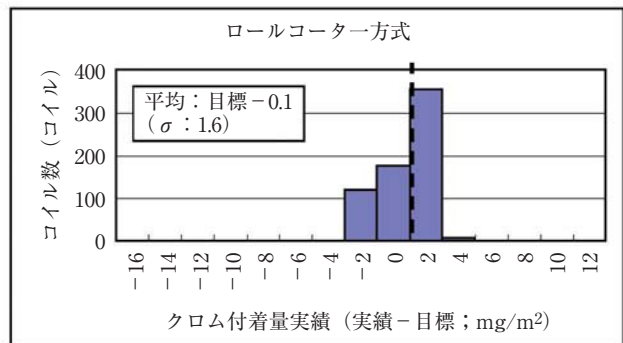
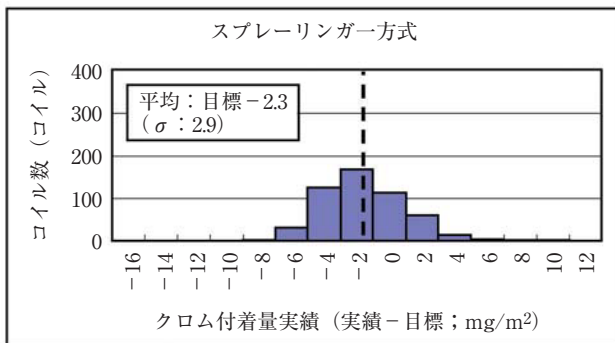


図14 塗布方式の違いによる後処理クロム付着量実績の分布  
Fig.14 Actual distribution of the chromate weight by the difference in an application



また、現在、地球環境汚染防止の観点から、欧州を中心に6価クロム化合物等の指定重金属の使用規制の動きが活発化している。その中で、当社は「無機系クロムフリー液」の開発に成功し、製品化している。無機系クロムフリー液は有機系に比べ、溶接性・導電性・耐ビス緩み性等の特性に優れている。

HCGLでは設備改造およびロールコーター条件の適正化を図り、2002年よりZAMにてクロムフリー処理の営業生産を行っている。今後、他の品種に対してもコーター条件の確立を図り、全品種に対してクロムフリー化を展開していく。

#### 4. ZAMの特長と製造技術

##### 4.1 ZAMの特長

表5にZAMと既存の溶融亜鉛めっき鋼板との品質性能比較を示す。

表5 ZAMと既存亜鉛めっき鋼板との品質性能比較  
Table 5 Comparison of quality performance between ZAM and popular galvanized steel sheets

		ZAM	GI	GF	GL
耐食性	平坦面	◎	△	○	◎
	加工部	◎	○	○	○
	切断端面	◎	△	△	△~×
機械的特性		○	○	○	○~△
曲げ加工性		○	○	○	○
溶接性		○	◎~○	○	△
耐疵付性		◎	△	○	△

優(◎) ← → 劣(△~×)

ZAMはめっき層中へのMg添加により、めっき表層に形成される腐食生成物が安定化するため、長期間にわたって優れた耐食性を保持し続ける。この結果、ZAMは溶融55%Al-Zn合金めっき鋼板(GL)と同等レベルでGIやGFより格段に優れた耐赤錆性を有する。またZAMはZnの持つ犠牲防食作用と、Mgにより端面を覆う腐食生成物が安定化する効果で加工部および切断端面においても平坦面と同様に非常に優れた耐食性を有する。従って、ZAMは総合的な耐食性において溶融亜鉛めっき鋼板の中で最高レベルの性能を有するものである。

さらにZAMは耐食性以外の曲げ加工性・溶接性等の諸特性にも優れており、様々な成型加工や溶接加工が可能であり、これからの市場要求に十分満足しうる新

めっき鋼板である<sup>3)4)</sup>。

##### 4.2 ZAM製造技術

ZAMを製造するためには、めっき浴に易酸化性のMgを3%もの濃度で添加し、かつめっき層の三元共晶組織を制御し、さらにZn-Al-Mg系特有の異常外観へ対応する技術、すなわち、既存の溶融亜鉛めっき鋼板とは異なる製造プロセスの確立が必要となる。

HCGLでは世界で初めてZAMの工業生産を実現するため、様々なZAM対応製造技術の確立を行ってきた。以下にその代表的な製造技術を紹介する。

ZAMのめっき表面は図15に示すように、全面的に微細な三元共晶組織で覆われている。しかし、めっき後ある条件によっては、図16に示すような斑点状外観が現

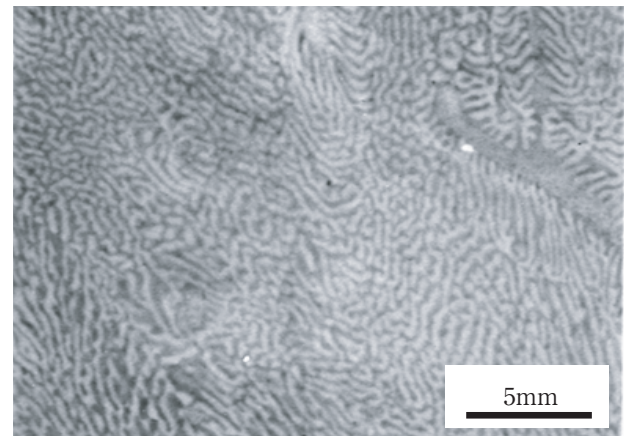


図15 ZAM表面組織の一例  
Fig.15 Example of ZAM surface texture

れ、著しく製品の表面外観を損なうことがある。この斑点状外観の調査を行った結果、めっき後の冷却速度に依

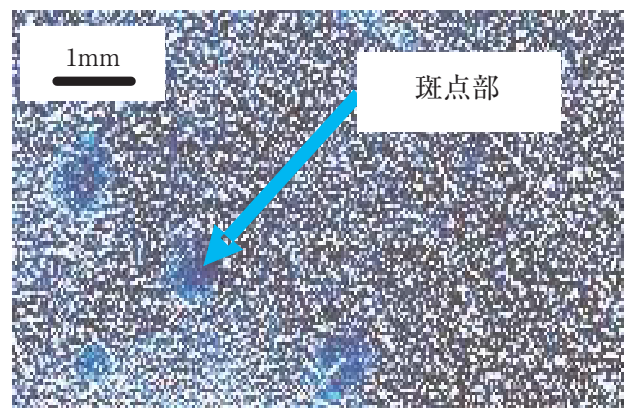


図16 ZAM斑点状外観の一例  
Fig.16 Example of ZAM spotted appearance

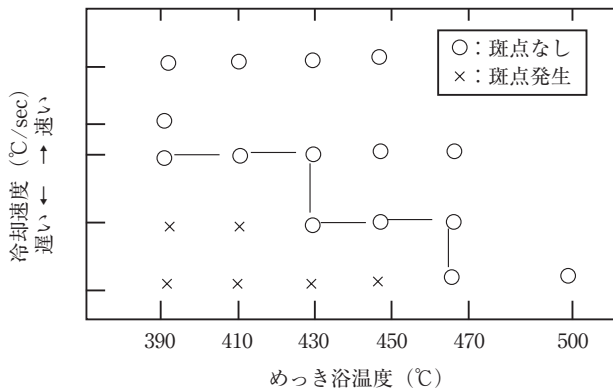


図17 冷却速度と斑点状外観の関係  
Fig.17 Relationship between cooling rate and spotted appearance

存していることが判明した。

図17に、めっき後冷却速度と斑点状外観との関係を示す。冷却速度を速くすることで、斑点状外観の抑制が可能となることがわかる。HCGLでは全ての板厚で所定の冷却速度が可能となるファン容量 (Max風量: 3,850m<sup>3</sup>/min) を備えたエアージェットクーラー (以下AJCと称す) を設け、かつ適正冷却速度となるよう設定されたP/C内部のテーブルによりAJCファン出力の自動制御を行っている。

またZAMは易酸化性のMgを3%も含んでいるため、浴面上に浮遊しているドロスが鋼板に付着すると、その部分を起点として凝固したMg系酸化膜がドロス状の模

様となり外観不良の一因となる。この外観不良を抑止するには、起点となる浴表面の浮遊ドロスを排除することまたは発生させないことが有効であると考え、HCGLでは以下の対策を施している。

- ①スナウト内にドロスポンプを適用し、断続的に発生する浮遊ドロスの除去を行う。
- ②湯面高さ測定用のレーザー式距離センサーをポット近傍に設置し、湯面高さを連続的かつ定量的に監視している。またインゴット投入機の動作タイマーを適正化することにより、自動かつ連続的にインゴットの投入を行い、湯面変動を極力抑制した操業を実施し、湯面高さの変動による浮遊ドロスの発生を抑止している。

以上の対策により、ドロス状の模様による外観不良を発生させることなく安定した品質の製造を実現している。

### 4.3 ZAM生産状況

図18にライン立上りから現在に至るまでのHCGLにおけるZAM生産量および生産比率の推移を示す。ZAMは、その優れた耐食性から、多種多様な用途や分野に用いられ、現在約18,000T/月まで生産量がのびてきている。また、その比率は、HCGLトータル生産量の33%を占めるまでに至っている。

今後は、クロムフリーに代表される後処理種類や素材鋼種のレパートリー拡大を推進し、2006年度には全社

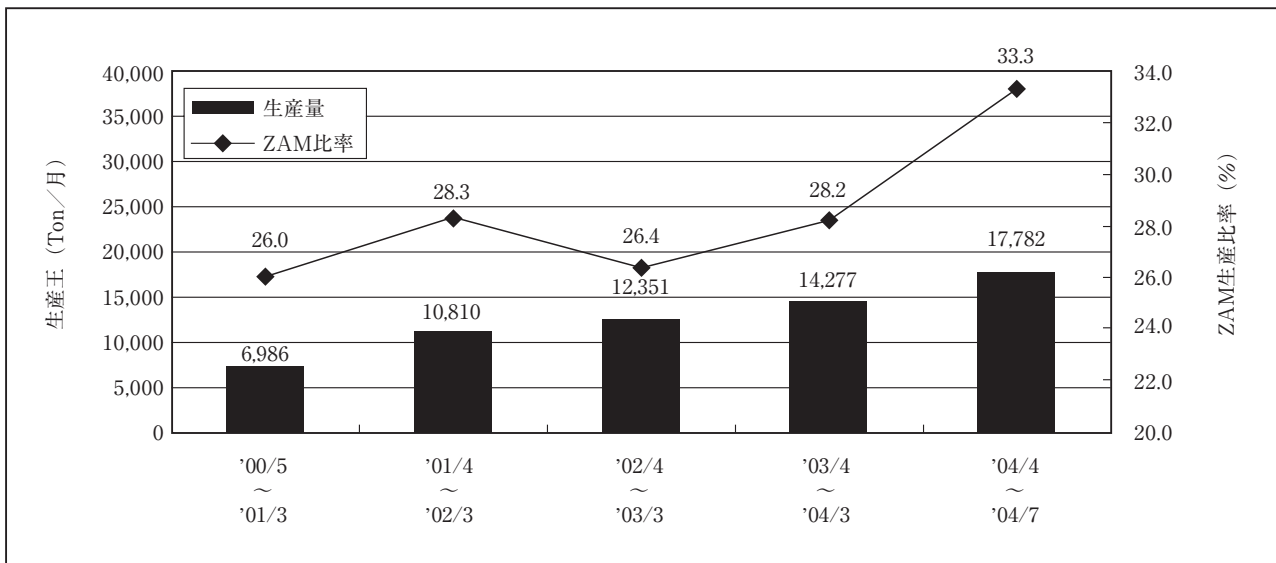


図18 HCGLにおけるZAM生産量および生産比率推移  
Fig.18 Changes in ZAM production volume

で約30,000T/月までの拡販を計画している。

### 5. 生産状況と今後の計画

図19に2004年4月～7月でのHCGLにおける板厚構成を示す。HCGLでは3章に述べた設備特徴を十分に活か

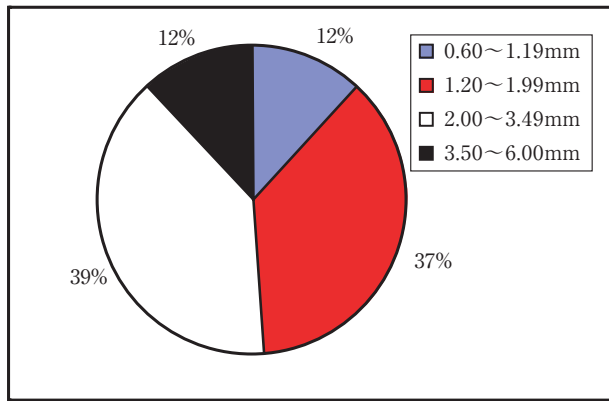


図19 HCGL板厚構成(04/4月～'04/7月実績)  
Fig.19 Composition of thickness in HCGL

した操業を実現することにより、広範囲な板厚の製品を生産している。

また、図20にHCGL立上りから現在に至るまでの生産量および生産能率(時間当たりの生産量)の推移を示す。(生産能率は比較のため、3.2mm厚×914mm幅の生産量に換算し算出している)

生産量および生産能率ともに計画通り順調に推移して

いる。特に生産能率については、現時点で約93Ton/Hrと溶融亜鉛めっきラインの中では世界トップレベルの水準にまで向上している。

### 6. 結 言

東予製造所HCGLは種々の新技術の導入および改善により高生産性を有し、かつ高品質製品の製造を実現している。

今後、更なる品質向上・生産性向上を目指し、新技術の開発および既存技術の改善を推進していく所存である。

#### 参考文献

- 1) 辻 厚由, 新屋 健二, 堀江 重成, 末盛 秀樹: Experimental Development of the High Temperature Mitsubishi Impinging Burner for Continuous Annealing Furnaces Treating Cold Rolled Strip
- 2) M.Saito, K.Hosomi, T.Kittaka; Galvatech' 1992, Amsterdam, The Netherlands, (1992), 173.
- 3) 小松 敦, 辻村 太佳夫, 安藤 敦司, 橘高 敏晴: 鉄と鋼, 86, (2000), 534.
- 4) T.Tsujimura, A.Komatsu, A.Ando; Galvatech' 2001, Brussels, Belgium, (2001), 145.

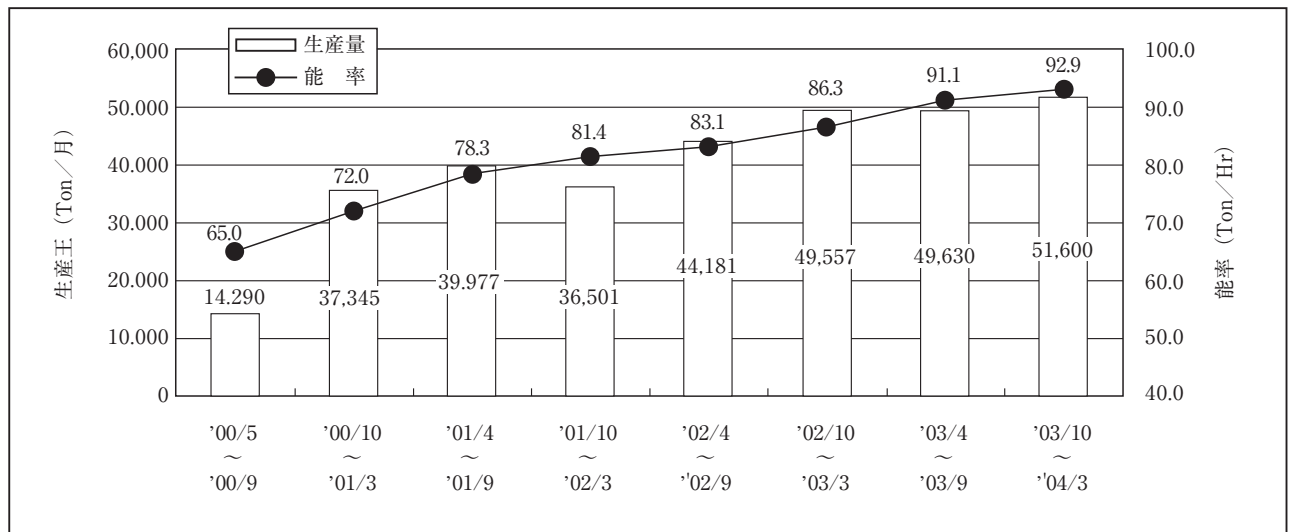


図20 HCGL生産量および生産能率の推移  
Fig.20 Changes in HCGL production volume and production efficiency