

# 特別講演

□第175回春季講演大会渡辺義介賞受賞記念特別講演  
(平成30年3月19日)

## 次世代を担う新薄板表面処理製造所の コンセプトとプロセス技術

Novel Concept and Processing Technology of Our Next  
Generation Surface Treated Sheet Steel Plant

三喜俊典  
Toshinori Miki

日新製鋼(株)  
取締役会長



\*脚注に略歴

### 1 はじめに

この度は栄誉ある生産技術賞を頂戴し、身に余る光栄であり厚く御礼申し上げます。

これまで、ご指導頂いた先輩方や関係者の方々、色々な面でご支援いただいた皆様方に心から御礼申し上げます。私は大学を卒業して日新製鋼に入社し、技術者・経営者として鉄鋼業に携わって参りました。その中でも20世紀最後の新製造所である東予製造所の建設にプロジェクト発足から営業生産に至るまで関わらせて頂いたことは、とても感慨深く感謝しております。本報告では、その東予製造所について次世代を睨んだ建設時のコンセプトや導入した新プロセス技術および当製造所をフルに活用した薄板表面処理鋼板の高付加価値製品などについて紹介したいと思います。

### 2 新薄板表面処理製造所 (東予製造所) の紹介

図1に示しますように1990年(平成2年)に日新製鋼の21世紀の将来構想を描くための委員会が発足されました。委員会では、1991年(平成3年)に当時の愛媛県の東予市(現在:西条市)に新しい薄板表面処理製造所を建設することを決議し、地盤改良、インフラ工事、埠頭浚渫工事などを経て生産設備の建設に入り、20世紀の最終年である2000年(平成12年)に新製造所の竣工式を行い21世紀を迎えることとなりました。主力の生産ラインとしては、連続酸洗-圧延ラインと連続溶融亜鉛めっきラインの建設を行い、現在では当社のプロ

フィットセンターとして欠かせない役割を担っております。

### 3 新薄板表面処理製造所の建設戦略

当時、日新製鋼が21世紀に向けての戦略として掲げたテーマは、「高付加価値製品への生産シフトおよび拡大」でした。これは、日新製鋼の経営理念である「お客様とともに作り上げる技術・商品」から生み出す高付加価値製品を拡大させ、日新製鋼らしさをより多くのマーケットに認識してもらうという戦略です。それ故に、より一層の小ロット・多品種生産の効率化を実現する必要がありましたが、図2に示しますように薄板表面処理部門においては既存設備の老朽化などによる設備能力不足やコスト競争力の低下などの課題が抽出されました。それらの課題を解決するための手段として新生産設備の増設を決定いたしました。当時の当社では敷地が狭隘であるという課題があったため、将来の工場集約も念頭に置きながら新立地への製造所の建設を決断しました。

1990年(平成2年): 将来構想検討委員会発足  
1991年(平成3年): 愛媛県東予市(現在:西条市)へ新製造所建設決定  
1992年(平成4年): 地盤改良、インフラ工事他開始  
1993年(平成5年): 酸洗、圧延、溶融めっき設備建設検討開始  
1994年(平成6年): 埠頭浚渫工事開始  
1996年(平成8年): 東予建設推進プロジェクトチーム発足  
1998年(平成10年): 生産設備建設開始  
1999年(平成11年): 東予製造所発足、酸洗ライン営業生産開始  
2000年(平成12年): 酸洗-圧延連続化営業生産開始  
連続溶融亜鉛めっきライン営業生産開始  
東予製造所 竣工式

図1 東予製造所建設の経緯

\* 昭和50年3月山口大学工学部を卒業後、同年4月日新製鋼(株)入社、平成11年6月堺製造所生産管理部長就任後、執行役員商品開発部長、常務執行役員堺製造所長、常務執行役員名古屋支社長、取締役常務執行役員を歴任し、平成23年4月代表取締役社長、平成29年4月より取締役会長に就任し、現在に至る。

### 3.1 新薄板表面処理製造所の建設コンセプト

新薄板表面処理製造所の建設コンセプトとしては、図3に示す4つのコンセプトを掲げ検討を進めていくことにしました。まずは、「研究・開発サクセスストーリー」の実現です。当時、日新製鋼では第三の新溶融めっき鋼板である溶融亜鉛-アルミニウム-マグネシウム合金めっき鋼板（以下 Zn-6% Al-3% Mgめっき鋼板と称す）の実機生産化に向けて研究開発を進めていました。新製造所をその Zn-6% Al-3% Mgめっき鋼板の製造拠点に置き、生産技術、設備技術を習熟させ、製造ノウハウを確立させることで、Zn-6% Al-3% Mgめっき鋼板の技術発展を成し遂げていく戦略を掲げました。次に「コストダウン（高品質・高労働生産性）」です。新製造所の建設ですからコストダウン追及は当然のことですが、本建設では物流からユーティリティ部門も含め徹底した自動化により次世代に繋がる世界トップレベルの労働生産性を達成することを目指しました。次に「需要動向の変化への対応力（小ロット・製品多様化対応）」です。21世紀はあらゆる分野での技術発展などに伴いお客様のニーズも多様化すると想定しま

した。このニーズにより生み出された製品を少しでも早く実機で生産できるよう多種多様な板厚・品種・後処理を生産できる装備と工程能力を保持し、その生産拠点とすることを目標としました。最後に「仮想一貫製鉄所化（分散立地の弱点克服）」の実現です。日新製鋼は高炉を保有する製鉄会社ですが、高炉から最終工程までが複数の製造拠点到分散しています。そのため、一貫製鉄所に比べ物流コストや納期面で弱点となっていました。新製造所ではこの弱点を克服するため一貫製鉄所を模倣した生産管理、物流システムを構築することを目標に掲げました。

### 3.2 新プロセス技術の導入

前項で述べたコンセプトを実現するために開発・導入したプロセス技術について紹介します。新製造所には主要な生産ラインとして、連続酸洗-圧延ライン、連続溶融亜鉛めっきラインの2ラインの建設を行いました。まずは連続酸洗-圧延ライン（以下 RSPM と称す）に導入した技術を紹介します。

ラインの全体概念図を図4に示します。RSPM では世界で

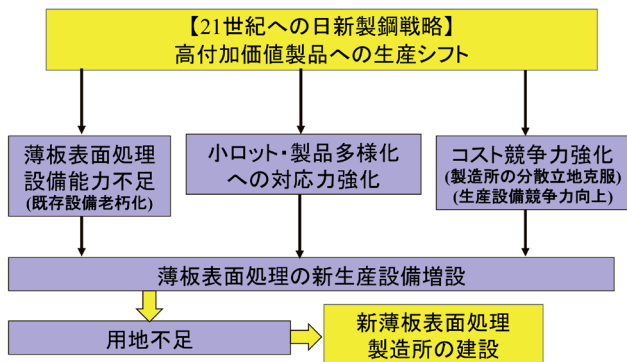


図2 建設検討時の日新製鋼の戦略と課題

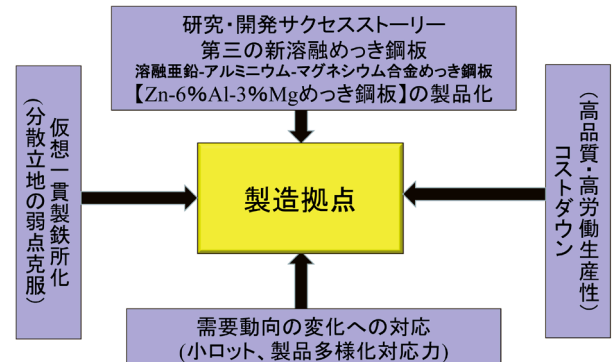


図3 新薄板表面処理製造所の建設コンセプト

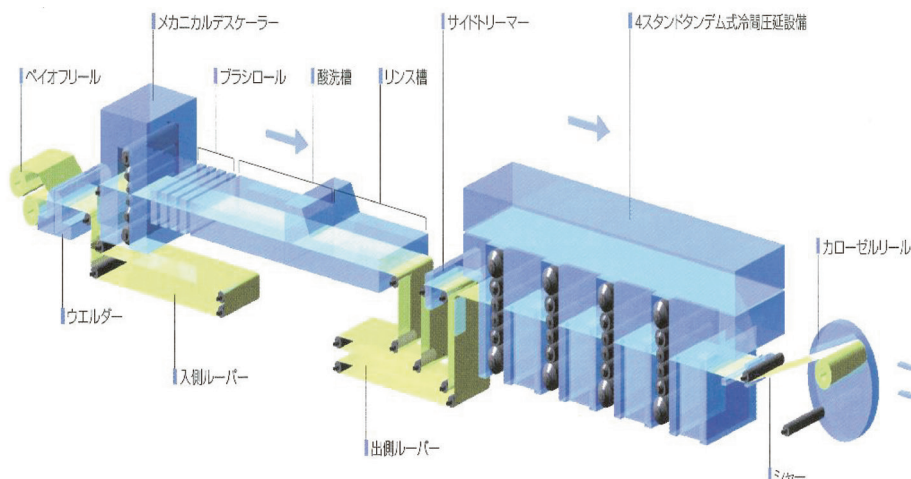


図4 連続酸洗-圧延ライン全体概念図

初の酸洗前プレ圧延方式によるメカニカルデスケーラーの導入を図りました。これは酸洗槽前に6Hi圧延機を設置し、この圧延機でホットコイル表面のスケールを粉碎することでその後の酸洗槽での脱スケール性を飛躍的に向上させるとともに多様な圧延も可能とした画期的な技術です。従来のメカニカルデスケーラーは、スキンプスミルもしくはテンションレベラー方式が採用され若干の予歪を与えることでスケールにクラックを生じさせケミカルデスケーラーである酸洗槽での脱スケール性を向上させていました。図5には酸洗前プレ圧延での圧下率別のスケールの粉碎状況を示します。従来方式では圧下率0～10%の間の領域が主流です。この図から圧下率20%を超えると、スケール層がクラックではなく細かく粉碎されているのが分かります。但し、黒皮の状態では圧延を実施すると摩擦係数が著しく高いため圧延荷重が高荷重になります。それを解決する手段としてφ300～270mmの小径ワークロールを採用しました。図6には圧下率とメカニカルデスケールセクションでのスケール除去率の関係を示します。ここでのメカニカルデスケールセクションとはメカニカルデスケーラーおよびその後段のデスケールブラシのことです。スケール除去率はある圧下率になるとサチレートします。RSPMではこのサチレートした領域の圧下率を確保し酸洗槽での脱スケール性の飛躍的な向上を維持しています。その結果、後段に設置した酸洗槽の長さは従来の半分つまり使用する酸の量、蒸気の量も約半分で済むことになり環境に配慮したラインであるといえます。ちなみにメカニカルデスケールセクションで除去したスケールは高炉へ鉄源として還元しています。

RSPMでは後段に6Hiの4スタンドタンデムコールドミルも有しています。このミルの特徴として本形式のミルとしては国内最小となるφ340～300mmのワークロールを採用し、また全長AGC (Automatic Gage Control)、ASC (Automatic

Shape Control) 制御を導入し国内最高峰の板厚制御能力と形状制御能力を有しています。同時に5スタンドタンデムコールドミル並の製造可能範囲も実現しています。

ここで、このRSPMの製造モードバリエーションについて紹介します。RSPMではあらゆるニーズに対応するためにメカニカルデスケーラーで圧延、調質圧延、オープンの3つのモードを、さらには後段のタンデムコールドミルで全STD圧延、単STD圧延 (#4STDのみ使用)、オープンの3つのモードを選択でき、それらの組合せによって 表1に示す製造バリエーションを有し、多種多様な製品の造りこみを可能としました。RSPMは従来のホットスキンプスミル、タンデムコールドミル、レバースミルで対応していた領域を連続酸洗-圧延ラインとして網羅できる画期的なラインといえます。

次に連続溶融亜鉛めっきライン (以下HCGLと称す) について紹介します。図7にはHCGLの全体概念図を示します。HCGLでは多品種に対応できるように3機のポットおよび将来のプロビジョン用として1機のポットスペースを保有しています。これらのポットは短時間での品種切替えを目的とし

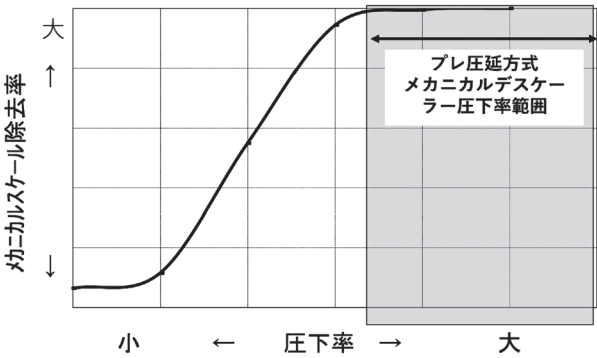


図6 圧下率とスケール除去率の関係

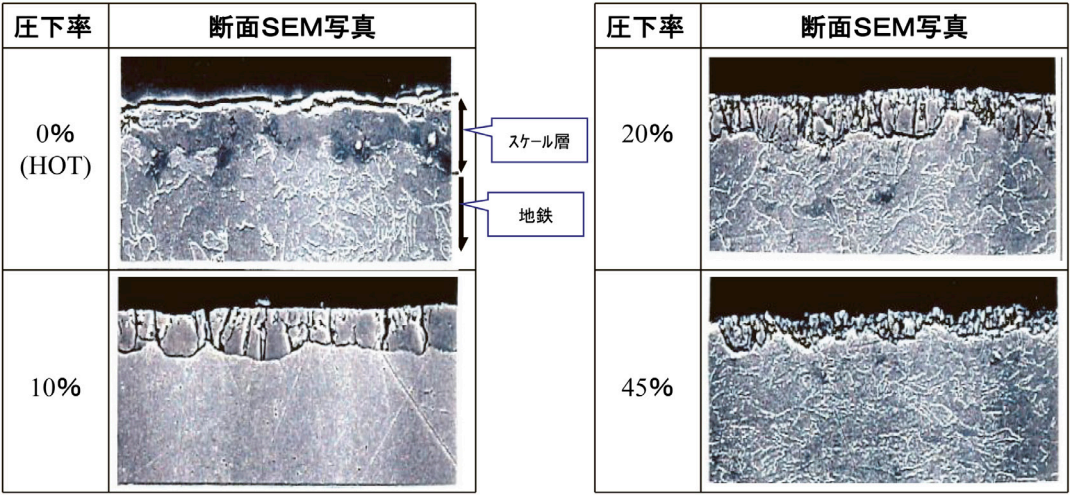


図5 酸洗前プレ圧延後のスケール破壊状況



表1 圧延モードバリエーションと製品への適用

| メカニカル<br>デスケーラー | タンデム<br>コールドミル  | 適用圧延<br>率範囲(%) | 目的                         | 適用製品                               | 従来の対応          |
|-----------------|-----------------|----------------|----------------------------|------------------------------------|----------------|
| 調質圧延            | OPEN            | 2～9            | ホットめっき原板の形状、<br>材質改善       | ホットめっき                             | ホット<br>スキンプスミル |
| 圧延              | 全STD            | 25～90          | コールドめっき原板及び、冷<br>延中間品の圧延   | コールドめっき、<br>冷延中間品、<br>特殊鋼他         | タンデム<br>コールドミル |
| OPEN            | 全STD            | 15～75          |                            |                                    |                |
| OPEN            | #4STD<br>(単STD) | 2～15           | ホット仕様製品の肌及び、<br>板厚精度、材質改善  | ホットめっき、<br>熱延酸洗材、<br>特殊鋼、<br>鋼管素材他 | レバースミル         |
| 圧延              | #4STD<br>(単STD) | 15～30          |                            |                                    |                |
| 圧延              | OPEN            | 10～20          | ホット仕様製品の板厚精度、<br>材質改善(酸洗肌) | 特殊鋼、<br>熱延酸洗材                      |                |

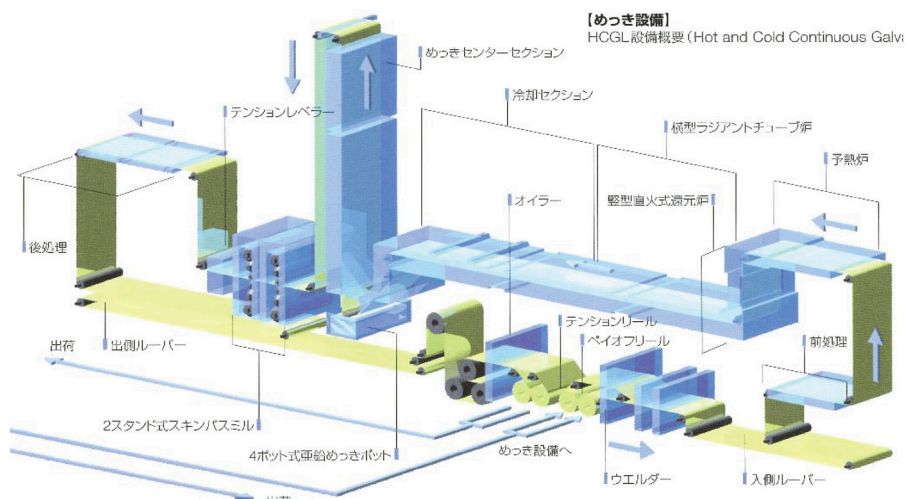


図7 連続溶融亜鉛めっきライン全体概念図

で移動式ポットを採用し、GA、GI、GF、Zn-6%Al-3%Mgめっき鋼板の4品種の生産を可能としました。後処理設備には機能性を付与した製品戦略に対応できるように2機のロールコーター設備と1機のスプレーリナー設備を保有し、製品レパートリー拡大に大きく寄与しています。また、HCGLは3元系である溶融亜鉛-アルミニウム-マグネシウム合金めっき鋼板を実機生産化した国内初の溶融めっきラインです。ここで、Zn-6%Al-3%Mgめっき鋼板の特徴の一つである耐腐食性能について簡単に紹介します。図8に塩水噴霧試験4hr後のめっき表面、断面の腐食状態について示します。試験はZnめっき鋼板、Zn-5%Alめっき鋼板、Zn-6%Al-3%Mgめっき鋼板で実施しました。Zn系めっき鋼板の耐食性は表面に生成する腐食生成物が大きく影響します。Znめっき鋼板の表面には板状で粗いZnO主体の腐食生成物が、Zn-5%Alめっき鋼板の表面には針状でやや粗いZn(OH)<sub>2</sub>

+ZnO 主体の腐食生成物が生成しています。これに対して Zn-6%Al-3%Mg めっき銅板の表面は微細な Mg 含有 Zn (OH)<sub>2</sub> 皮膜が覆われています。Zn-6%Al-3%Mg めっき銅板は Zn/Al/MgZn<sub>2</sub> 三元共晶を主体とし、MgZn<sub>2</sub> 相がめっき全体に均一に分散しているので腐食初期に Mg 含有 Zn (OH)<sub>2</sub> 皮膜が生成し高い耐食性が確保されます。

Zn-6%Al-3%Mgめっき鋼板を生産する際には多くの製造技術の確立が必要でした。その一つの重要な管理指標としてめっき浴直上における冷却速度が挙げられます。三元系溶融めっき鋼板は、Zn系溶融めっき鋼板に比べ温度依存性が高く、冷却速度のコントロールが重要です。図9にめっき浴温度と直上での冷却速度による斑点模様の発生の関係を示します。図に示すように浴温が低めかつ冷却速度が遅い場合に斑点模様が発生し外観不良となります。これはめっき層にZn/Al/Zn<sub>11</sub>Mg<sub>9</sub>が局所的に出現することで発生し、この部

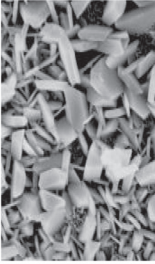
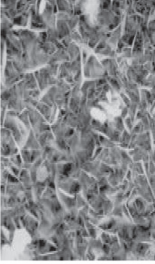
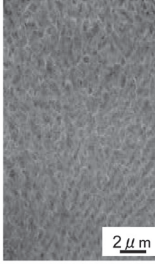
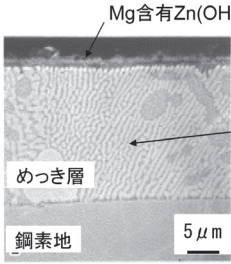
| Znめっき鋼板                                                                           | Zn-5%Alめっき鋼板                                                                      | Zn-6%Al-3%Mgめっき鋼板                                                                 |                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |  |
| 生成物                                                                               | ZnO主体                                                                             | Zn(OH) <sub>2</sub> +ZnO                                                          | Mg含有Zn(OH) <sub>2</sub>                                                            |
| 板状で粗い                                                                             | 針状でやや粗い                                                                           | 緻密で薄い皮膜が表面に均一形成                                                                   |                                                                                    |

図8 塩水噴霧試験4h後のめっき表面、断面の腐食状態

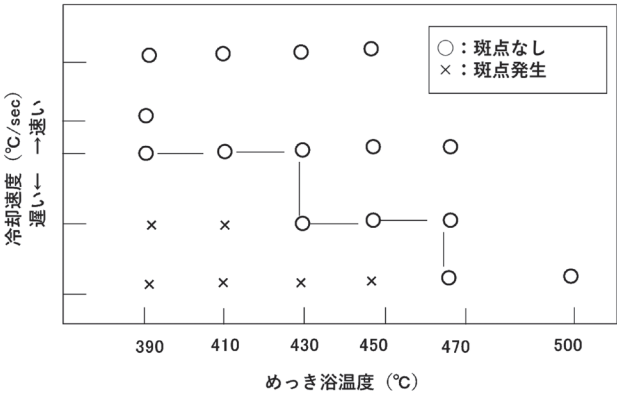


図9 めっき浴温度と冷却速度による斑点模様との関係

分は変色性が通常の部分と異なるため色調に変化が生じ斑点模様となります。これを回避するためにHCGLではめっき浴直上にエアージェットクーラーを設置しました。このエアージェットクーラーには、最大能率で高品質が得られるように最適配置とコントロール機能を導入し国内初の三元系溶融めっき鋼板の生産技術を実現しました。また、この斑点模様は耐食性などの機能性には全く問題はありませんが、やはり見た目が美麗でないという点から敬遠される品質異常です。表2に以上に述べたHCGLの製造レパートリー拡大対応を整理した結果を示します。

3.3 高労働生産性製造所の実現

新表面処理製造所では、世界最高レベルの高労働生産性の実現を目標に検討を重ねました。その中で、先ず挙げられた課題が分散立地による弱点の克服です。図10に当社の表面処理製品の高炉から最終製品までの代表的な流れを示します。簡単に紹介しますと、製銑、製鋼、熱延は広島県の呉製鉄所で、その後ホットコイルは新表面処理製造所である愛媛県の東予製造所もしくは大阪府の堺製造所へ送られます。さら

表2 HCGL 製造レパートリー拡大対応

| 設備                | 目的                      | 内容                            |
|-------------------|-------------------------|-------------------------------|
| 移動式ポット            | 多品種対応                   | 3ポット+プロビジョン用1ポットスペースを装備       |
| 後処理設備             | 製品レパートリー拡大対応            | スプレーリンガー1式<br>ロールコーター2式を装備    |
| めっき浴直上エアージェットクーラー | Zn-6%Al-3%Mgめっき鋼板実機生産対応 | めっき浴直上での冷却速度の最適化による最大能率での品質確保 |

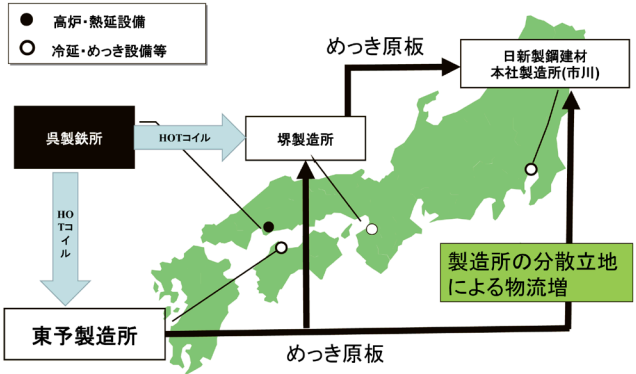


図10 表面処理鋼板製造の流れ

には、その後一部の製品は東予製造所から堺製造所もしくは千葉県の日新製鋼建材本社製造所、堺製造所から日新製鋼建材本社製造所などのルートを搬送し各製造工程を通過した後製品化されます。この物流の多さが分散立地の弱点であります。新製造所を建設するに際し、この弱点を少しでも克服すべく全社一貫コイルナンバー運営システムの構築を図りました。これは呉製鉄所での熱延アップ後に付与されるコイルナンバーを全社共通のナンバーとして運営し製造所間での一貫した履歴情報のやりとりを可能とすることで物流および工程付与の際の効率化を実現しています。このシステムは現在でも仮想一貫製鉄所化を目指した適用拡大のための改良を実施

中です。

また、東予製造所ではホットコイルの受け入れから製品の払い出しまでの物流工程全てに自動装置を導入しました。その実現手段としてバース揚げ積みの自動化、AGV (Automatic Guided Vehicle) によるコイル運搬、ヤードクレーンによる半製品搬送の自動化を図りました。さらに、東予製造所では物流の効率化のためコイル搬送が製造所内で反時計回りに1WAYで流れるようなラインと置き場の配置を実現し短納期生産を可能としました。図11に東予製造所の物流システムの概念図を示します。

東予製造所では、これらの物流の全自動化に加え生産設備においても高労働生産性を追及しました。特に当社の特徴である小ロット・多品種生産に対応できるよう図12に示すように、国内最大レベルの製造可能板厚範囲と要員ミニマム化のための入側・出側設備自動化、さらにはタンデムコールドミルとロールショッップに代表される付帯設備との自動直結化を実現しました。その結果、労働生産性は、図13に示すように国内最高レベルを達成しています。

## 4 薄板表面処理鋼板の高付加価値製品の紹介

本項までに何度も説明で出てきましたが、東予製造所の高付加価値製品は第一にZn-6% Al-3% Mgめっき鋼板です。現在では、付加価値である高耐食性を評価されお客様からご好評頂いております。ここでは、簡単にZn-6% Al-3% Mgの耐食性について紹介します。図14には沖縄暴露試験による耐食性調査結果を示しています。図(a)には暴露期間と平坦部の腐食減量を示します。比較としてZnめっき鋼板、Zn-5% Alめっき鋼板のデータも示します。図より同一の暴露

期間では、Zn-6% Al-3% Mgのめっき層の腐食減量はZnめっき鋼板の1/4、Zn-5% Alめっき鋼板の1/2程度であることが分かります。次に図(b)にはめっき付着量と切断端面部から平坦部に赤錆が広がり始める時期を示します。同一めっき付着量でもZn-6% Al-3% Mgの方が赤錆の広がり始める時期が遅くなっており、Znめっき鋼板と比較すると3.5倍ほど長くなっています。これはZn-6% Al-3% Mgの特徴である犠牲防食性が端面部でも優位に作用しやすいことを示しており、これから高耐食性めっき鋼板であることが分かります。

また、その耐食性能だけでなく多くの特徴を有しているこのZn-6% Al-3% Mgめっき鋼板はお客様から高い評価を得ていますが、さらにはこのめっき鋼板をベースとした後処理レパートリーの数々のラインアップやある条件下でめっき層が黒くなる特色を活かし塗装工程を省略できる黒色Zn-6% Al-3% Mgめっき鋼板などの高付加価値製品も数多くお客様に提供しております。

- ◆広板厚範囲製造可能による小ロット対応  
酸洗鋼板: 1.6~6.0mm、冷延鋼板: 0.15~4.0mm  
めっき鋼板: 0.6~6.0mm
  - ◆多品種対応  
めっき浴⇒「3ポット移動式」による3品種めっき対応  
ポット直上設備⇒移動式設備による多品種、高品質対応
- | 品種      | ポット直上設備          |
|---------|------------------|
| GA      | 合金化炉(MIDバーナー方式)  |
| GI、(GF) | ミニマイズドスバンガル装置    |
| ZAM     | AJC(エアージェットクーラー) |
- ◆要員ミニマム化のためのライン構成  
冷延-RG(ロールグラインダー)の全自動直結化  
めっき設備 ペイオフリール、テンションリール隣接配置など
  - ◆入・出側コンベアー上設備の全自動化など

図12 東予製造所高労働生産性アイテム

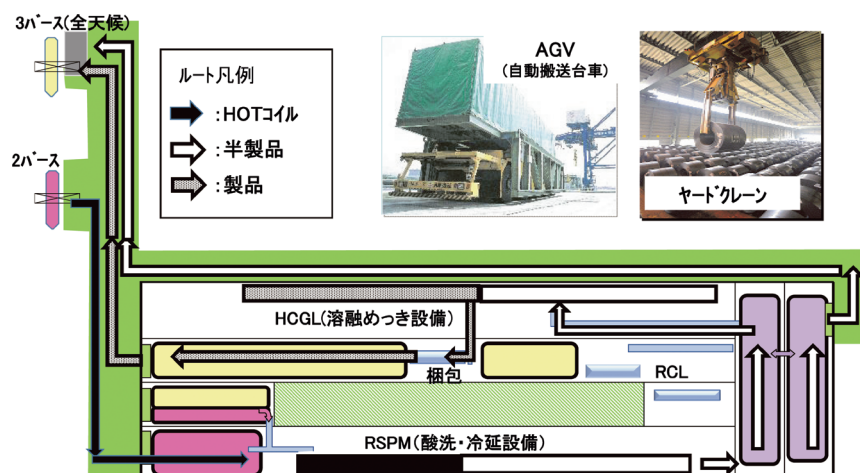


図11 東予製造所物流システム

【定義】労働生産性 = 生産量 ÷ 要員(直接部門・間接部門・関係会社含む)

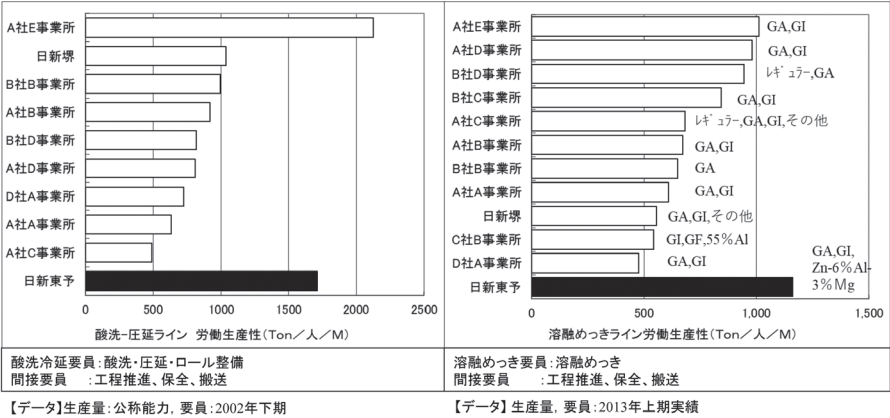


図 13 労働生産性比較

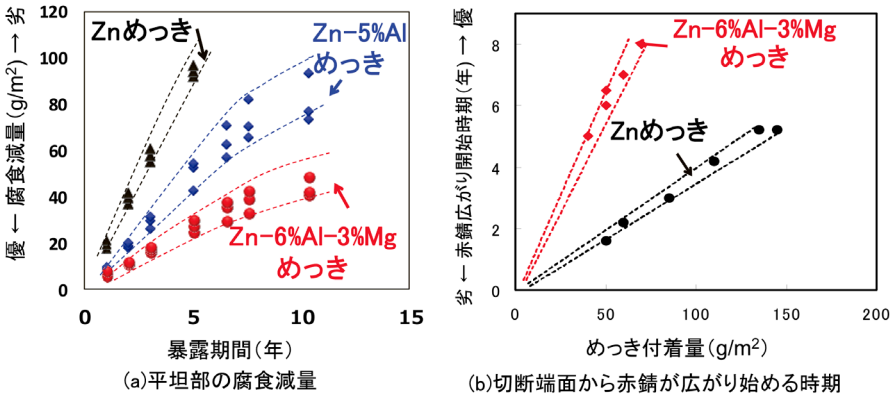


図 14 屋外暴露試験による耐食性 (暴露地: 沖縄県中城市)

## 5 おわりに

最後になりますが、現在の新興ミルの台頭や社会・産業の課題、ニーズの高度化を踏まえ、これからの日本鉄鋼業が持続的に発展していくためには「プロセス技術開発」、「人材育成」が最も重要と考えます。特に「人材育成」につきましては産学が一体となった取り組みがより一層重要性を増していくものと考えており、この鉄鋼協会における講演大会、各セミナー、各記念講座などの様々なメニューを今後も盛り上

げていき、一人でも多くの研究者・技術者が育成されることを期待します。また、人材のなかでも製造技術を支える「現場力」につきましては、鉄鋼協会における各技術部会を情報交換・切磋琢磨の場として活用することで各社の技能が絶えることなく日本鉄鋼業が永続的に発展し得る基礎となるよう期待を込め、最後の締めくくりとさせていただきます。

(2018年4月2日受付)