

# 高機能化と合理化に貢献する高性能鋼板の開発

## ——鋼板事業部——



長谷 登

常務取締役  
鋼板事業部長

### はじめに

当社の鋼板技術史は1961年のJ & L社からの連続式鋼板圧延技術導入に始まり、以来36年間にわたり和歌山製鉄所および鹿島製鉄所に熱延ミル、厚板ミル、冷延ミル、溶融亜鉛めっきライン、電気亜鉛めっきラインの新設、増強をはかり、また需要家の皆様のニーズにマッチした製品をタイムリーに、更にはニーズを先取りして開発を行って参りました。その結果、自動車、家電、鉄道、造船、建築、土木、エネルギー分野等非常に広範な需要分野の部材用素材として広く御愛顧頂き、当事業部は当社の経営基盤の中心を占める重要な事業部門に急成長して参りました。これも、ひとえに需要家の皆様を始め、多くの関係者の皆様の御支援の賜物であり、ここに心から御礼申し上げます。

さて、鋼板事業部の取り扱い製品を大別しますと、熱延鋼板、冷延鋼板およびこれらの表面にめっきや塗装を施した表面処理鋼板を扱う薄板グループと、厚鋼板を扱う厚板グループに分けられます。

薄板に関しては、先ず和歌山製鉄所において、1962年にホットストリップミル(熱延ミル)、63年にコールドストリップミル(冷延ミル)、64年に溶融亜鉛めっきライン(CGL)、68年に電気亜鉛めっきライン(EGL)、70年に第二CGLを稼働させ、引き続き鹿島製鉄所において、69年に初の国産熱延ミル、71に冷延ミル、77年にCGL、84年にEGLを稼働させて、東西供給体制を整えました。またこの間、81年に鹿島に連続焼鈍炉を導入、83年に鹿島冷延ミルの完全連続圧延化を行い、87年以降も、和歌山製鉄所においては、第三CGL、第二冷延レバースミル、100%水素焼鈍炉、連続焼鈍コーティングラインを設置し、鹿島製鉄所においては、第二EGL、第二CGL、第二連続焼鈍炉、第二冷延ミルを設置して、増大する薄板の需要に応えるとともに、品質、コスト、納期の面での戦力向上に寄与しました。特に鹿島第二冷延ミルは世界で初めてベアクロス4段圧延機を適用し、高精度圧延技術の確立に成功したもので、平成8年度大河内生産技術賞を受賞いたしました。更に製品開発については、当社はこれまで経済性のみならず、需要家の皆様の製造工程への配慮やお使いいただくための利用技術の視点に立って、総合的に効果が発揮できる開発に心がけて参りました。このような視点から、79年に強度と形状精度の両立を可能にした焼付硬化型冷延鋼板(BH鋼板)を、80年に薄目付でかつ耐食性に優れたZn-Ni合金電気めっき鋼板(SZ鋼板)をそれぞれ開発、世界で初めて実用化して、高い評価をいただいております。また、加工性に優れた熱延および冷延ハイテン、無方向性電磁鋼板(スミロックス)、薄膜型複装鋼板(タフコートIIIおよびIV)、合金化溶融亜鉛めっき鋼板、潤滑処理鋼板などの高性能、高機能鋼板を開発、商品化して、需要家の皆様における部材の高機能化、合理化に貢献する鋼板として現在広く御愛用いただいております。

一方厚板ミルは、先ず、和歌山製鉄所に65年に、続いて70年に鹿島に設置され、東西2ミル体制が整いました。その後、オイルショックに伴う造船不況による長期需要低迷期を迎え、87年に和歌山製鉄所の厚板ミルを休止し、鹿島1ミルによる効率的生産体制となり現在に至っております。この間製造技術面では連続鋳造化の推進による素材合理化、板厚精度向上、平坦度向上、平面形状の制御等圧延技術開発等により品質向上、歩留り向上、に寄与しました。また、圧延ラインで高品質を造り込む熱加工制御(TMCP)技術開発に注力し、75年にSHT(Sumitomo High Toughness)プロセスを、83年には水冷型のDAC(Dynamic Accelerate Cooling)プロセスを実用化し、造船用高張力厚鋼板、ラインパイプ用厚鋼板、海洋構造物用厚鋼板等の量産中級鋼の重要な製造プロセスとなりました。また、このプロセス採用により、厚鋼板の溶接性が改善され、需要家の皆様における施工合理化に貢献して参りました。また、水力発電所の水圧鉄管(ペンストック)用高張力鋼板や、LNGタンク用9%Ni鋼板等熱処理を必要とする量産型高級厚鋼板は和歌山製鉄所にて開発、商品化し、安全性の面から要求される性能に対して安定した性能を有する厚板を供給して参りました。その後、鹿島製鉄所に技術移転を行い、現在も需要家の皆様から高い評価を頂いております。

今後の大競争の時代に備え、需要家の皆様における部材の高機能化、施工合理化に貢献し、かつリーズナブルな価格の商品開発が益々要求されると思われ、当社はこうしたご要求に迅速に対応して参りたいと考えております。

## 薄 鋼 板

### 1. 薄鋼板の技術史

当社における薄板の生産は、1953年に和歌山製鉄所（以下、和歌山）に Schloemann 社製の連続帯鋼圧延機を設置したことに始まる。この設備は小径電縫鋼管用素材の自給と帯鋼の外販を目的とし、69年に鹿島製鉄所（以下、鹿島）のホットストリップミル（以下、熱延ミル）が完成するまで稼働した。しかし、薄板の実質的な生産開始は62年の和歌山熱延ミルの完成まで待たねばならない。

年表に、当社の薄板製造に関連する主要な技術トピックをまとめた。本報告では、約36年に及ぶ当社の薄鋼板の技術史を以下に解説する。

#### 1-1 欧米の技術・設備に学んだ時代 (1960—68年頃)

##### 1-1-1 熱延ミル・冷延ミルの導入

当社は62年に和歌山製鉄所に熱延ミルを設置し、薄板の生産を始めた。以下に、薄板分野への進出の経緯を簡単にまとめる。

和歌山第1高炉に続く設備計画として熱延ミルとコールドストリップミル（以下、冷延ミル）の設置を58年に決め、鋼板分野への進出を決定した。熱延ミルについては、和歌山製鉄所が第1高炉のみという段階では、過渡的に厚板・薄板双方の生産ができるものを設置し、将来の需要の伸びと販路の拡大に従って専用化するのが得策と考え、120インチ幅の厚板設備を設置し、これを粗圧延機と兼用にした厚板・薄板設備（コンバインドミル）とし、仕上げ圧延機は66インチ幅の5スタンドとする計画を立てた。その後需要動向の詳細検討を行った結果、80インチ幅の粗圧延機と6スタンドの仕上げ圧延機に計画を変更し、最大仕上げ圧延速度747mpm、200万トンの年産能力を有する国内最大の半連続式熱延ミルとして、60年に着工、62年に完成した。仕上げ圧延機は米国UE社製であるが、粗圧延機は同社と提携していた芝浦共同工業製である。また、冷延ミルについては、当時の国内需要の大半が4尺幅以下であったことから、56インチ幅の5スタンドのタンデムミルとし、63年に完成した。

熱延ミルの操業に関しては、未知の分野が多く基幹要員に対する十分な事前教育が必要であると考え、60年、当社は米国J & L社（Jones and Laughlin Steel社、現LTV Steel社）と連続式圧延設備の操業に関して製鋼から最終製品までの全工程にわたるノウハウを受けることを内容とする技術援助契約を5年間の契約期間で締結した。そして翌61年、クリーブランド工場に技術実習団を派遣して操業技術を習得し、詳細な作業マニュアルにとりまとめ、帰国後、一般作業者の教育を行うことにより、熱延ミルの順調

な立ち上げに成功した。なお、生産・原価管理とデータ処理の実態調査のために61年、更に冷延ミルの操業技術習得のために62年、それぞれ技術実習団をJ & L社に派遣した。

製品開発に関しては、深絞り用鋼板について、転炉における適正製鋼条件と冷延ミルにおける最適圧下率を見出し、深絞り性に優れた自動車用冷延鋼板の製造技術を開発した。

##### 1-1-2 溶融めっき設備の導入

亜鉛めっき鋼板の製造に関しても当社は全く経験がなかったため、63年にJ & L社と技術契約を締結し、技術実習団を派遣して操業技術を習得した。そして翌64年、センジミア式酸化・還元炉型、コーティングロール式めっき厚調整、テンションレベラー等を有する溶融亜鉛めっき設備を導入し、順調な立ち上げに成功した。

##### 1-1-3 オープン焼鈍設備の導入

68年、和歌山製鉄所に米国L. Wilson社と提携していたIHI製のオープン焼鈍設備を導入し、72年には鹿島製鉄所にも設置した。これはコイルを垂直に立てて巻き戻し、耳端部に細いワイヤを挿入して層間に隙間を開けたコイルを作り、焼鈍に供するもので、焼鈍雰囲気ガス組成の調整により脱炭素・脱窒素が可能である。本設備により、炭素含有量が10ppm以下の極低炭素鋼の製造が可能となり、成形性の優れた極低炭素鋼、電磁鋼板の製造に適用されてきた。しかし焼鈍前後に巻き直し作業が必要であること、隙間を空けて巻き取るのでコイル直径が巨大になり、薄手の大単重コイルの場合には2つ以上のコイルに長さ分割せざるを得ないことなど、生産性に難点があり、近年製鋼段階での極低炭素鋼の精錬技術が確立されるとともにオープンコイル焼鈍は姿を消しつつある。

#### 1-2 自社開発技術と国産技術・設備による技術発展の時代(1968—74年頃)

米国J & L社からの技術導入により薄鋼板の製造技術を習得した当社ではあるが、以下に述べるような種々の自社開発技術により、高い水準の技術力を持つに至った。

その結果、81年には米国U.S. Steel社のGary製鉄所に冷延鋼板製造技術に関する包括的技術援助契約を結び、約1年間にわたる技術援助を行うまでになった。昔教わった米国に対する恩返しだが、米国鉄鋼業界最大級のU.S. Steelに対して行えたことは意義深いことである。

##### 1-2-1 和歌山熱延ミルの計算機制御技術

68年、日立との共同研究により純国産技術で仕上げ圧延機の計算機制御（ミルセッタップ）技術を開発し、和歌山熱延ミルへ適用した。この技術によって69年に毎日工業技術賞、70年に機械振興協会賞、72年に日本塑性加工学会会田技術賞などを受賞した。これは、与えられた圧延条件で所定の負荷配分を実現するための設定計算を、経験的なパワーカーブに頼ることなく理論準拠方式で行う技術を確立

## 薄板関係の年表

年代	新設備／プロセス開発	製 品 開 発	技術表彰／技術協力など
1961 62 63 64 65	<ul style="list-style-type: none"> <li>・米国 J &amp; L 社から連続式鋼板圧延技術導入</li> <li>・(和)熱延ミル</li> <li>・(和)冷延ミル</li> <li>・J &amp; L 社から連続式亜鉛めっき鋼板製造技術導入</li> <li>・(和)No.1 溶融亜鉛めっきライン</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・欧州向け熱延鋼板受注</li> </ul>	
1966 67 68 69 70	<ul style="list-style-type: none"> <li>・(和)No.1 電気亜鉛めっきライン</li> <li>・(和)オープンコイル焼鈍設備</li> <li>・(和)熱延仕上げ圧延機の計算機制御(日本初)</li> <li>・(鹿)熱延ミル(初の純国産ミル)</li> <li>・(和)No.2 溶融亜鉛めっきライン</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・マツダ(東洋工業)向出荷開始(冷延より)</li> <li>・日産向出荷開始(熱延より)</li> <li>・トヨタ向出荷開始(冷延より)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・塑性加工学会 会田技術賞(薄鋼板の成形性、圧延理論と変形抵抗の研究)</li> <li>・毎日工業技術賞(ホットストリップミルの計算機による全自動化)</li> <li>・機械振興協会賞(同上)</li> </ul>
1971 72 73 74 75	<ul style="list-style-type: none"> <li>・(鹿)冷延ミル</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・米国 GM 向冷延鋼板受注</li> <li>・非調質 780MPa 級熱延ハイテン</li> <li>・塩ビカラー鋼板販売(住友ハイビニー)</li> <li>・熱延潤滑処理鋼板(S コート)</li> <li>・家電用プレコート鋼板(住友ハイコート)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・塑性加工学会 会田技術賞(ホットストリップミル計算機制御用数式モデルの開発)</li> </ul>
1976 77 78 79 80	<ul style="list-style-type: none"> <li>・(和)製鋼～冷延オンライン生産管理システム</li> <li>・(鹿)ホットチャージ熱延</li> <li>・(鹿)No.1 溶融亜鉛めっきライン</li> <li>・(鹿)熱延仕上げ油圧圧下</li> <li>・(鹿)片面合金溶融亜鉛めっき</li> <li>・(和)冷延ミル V C ロール適用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・340～440MPa 級冷延ハイテン(箱焼鈍)</li> <li>・340MPa 級冷延 B H 鋼板(RBH340, 世界初)</li> <li>・780～980MPa 級冷延ハイテン</li> <li>・Zn-Ni 合金電気めっき鋼板(スミジンスーパー, 世界初)</li> <li>・家電用プレコート鋼板(住友ハイコート)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・塑性加工学会 会田技術奨励賞(モデル型を用いたプレス成形の解析)</li> </ul>
1981 82 83 84 85	<ul style="list-style-type: none"> <li>・(鹿)No.1 連続焼鈍設備</li> <li>・(鹿)冷延完全連続圧延化</li> <li>・(鹿)連続式塗装ライン</li> <li>・(鹿)No.1 電気亜鉛めっきライン(堅型めっきセル)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・490～540MPa 級熱延ハイテン(SHA490-540B)</li> <li>・無方向性電磁鋼板(スミロックス)</li> <li>・二層型 Fe-Zn 合金電気めっき鋼板(スミジnkエクシード)</li> <li>・薄膜型複装鋼板(タフコートIII)</li> <li>・黒色化処理鋼板(スミジnkブラック)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大河内記念技術賞(VC ロールの開発)</li> <li>・金属学会 技術開発賞(新熱延ハイテンの開発)</li> <li>・塑性加工学会 会田技術賞(BH 鋼板の開発)</li> <li>・金属技術表面協会 技術賞(SZ 鋼板の開発)</li> <li>・米国で L-SE 設立(合併)</li> </ul>
1986 87 88 89 90	<ul style="list-style-type: none"> <li>・(鹿)熱延エッジヒータ</li> <li>・(鹿)No.3 酸洗設備</li> <li>・(和)No.3 溶融亜鉛めっきライン</li> <li>・(和)No.2 冷延レバースミル</li> <li>・(鹿)熱延サイジングプレス(フライング式)</li> <li>・(鹿)熱延仕上スタンド間厚み計</li> <li>・(和)100%水素焼鈍炉</li> <li>・(鹿)No.2 電気亜鉛めっきライン</li> <li>・(和)No.3 酸洗設備</li> <li>・(和)連続焼鈍コーティングライン</li> <li>・(和)熱延エッジヒータ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・Zn-5%Al 合金溶融めっき鋼板(ガルファン)</li> <li>・フッ素樹脂塗装鋼板(住友エスフロン30)</li> <li>・外装用 G A 鋼板(鉄フラッシュめっき)</li> <li>・電気めっき系潤滑処理鋼板(スミジnk T2J)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・英国 B S 社へ技術供与(SZ 鋼板など)</li> <li>・科学技術庁長官発明奨励賞(VC ロール)</li> <li>・米国 LTV 社へ技術援助を開始</li> <li>・欧州 SIKEL 社と HOESCH 社へ電気亜鉛めっきに関する技術協力を開始</li> </ul>
1991 92 93 94 95	<ul style="list-style-type: none"> <li>・熱延ワークロールへのハイスロール適用拡大</li> <li>・(鹿)No.2 溶融亜鉛めっきライン</li> <li>・(鹿)No.2 連続焼鈍設備</li> <li>・(和)熱延 ROT 冷却設備更新</li> <li>・(鹿)No.2 冷延タンデムミル</li> <li>・冷延ベアクロスミル実用化</li> <li>・(和)熱延サイジングプレス</li> <li>・(鹿)熱延 ROT 冷却設備更新</li> <li>・(和)冷延タンデムミル連続化</li> <li>・リムド鋼全廃(ほうろう用高酸素鋼)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・440MPa 級高成形性冷延鋼板(連続焼鈍)</li> <li>・440～590MPa 級高穴掘り型熱延鋼板</li> <li>・溶融めっき系潤滑処理鋼板(タフジnk F)</li> <li>・新薄膜型複装鋼板(タフコートIV)</li> <li>・高潤滑防錆油[SP2]</li> <li>・母材耐食性熱冷延鋼板</li> <li>・合金化溶融めっき系潤滑処理鋼板(タフジnkアロイ F)</li> <li>・矩形断面冷延鋼板(レクティ)</li> <li>・超深絞り用冷延鋼板(SCUF)</li> <li>・55%Al-Zn 合金めっき鋼板(アルジnk)</li> <li>・導電性潤滑処理鋼板(スミジnk TJ)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・米国 LS-II 設立(合併)</li> <li>・鉄鋼協会 山岡賞(有機複合被覆鋼板「タフコート」の開発)</li> <li>・米国 LTV 社へ資本参加(包括技術協力)</li> <li>・英国 BS 社へ電気亜鉛めっきの操業技術改善に関する技術協力を開始</li> <li>・金属学会 技術開発賞(高成形性冷延ハイテン)</li> <li>・機械学会 技術賞(高生産性フライング式幅サイジングプレスの開発)</li> <li>・米国 TRICO 社設立(合併)</li> <li>・材料学会 技術賞(切欠部加工性の優れた 70k, 80k 級新熱延ハイテンの開発)</li> </ul>
1996	<ul style="list-style-type: none"> <li>・(和)熱延粗ミルモーター更新</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・大河内記念生産賞(ベアクロスミルによる高精度圧延)</li> </ul>

したもので、画期的な成果である。すなわち、圧延機各スタンドの圧下設定値およびロール回転数をいかに定めるかという命題に対し、平均変形抵抗と Sims の圧延理論に基づいて算定・実用化することが可能になったわけである。これには、欧米に先がけて鋼材の熱間変形抵抗の実験研究に着手し、鉄鋼協会圧延理論分科会による共同研究を中心になって牽引されてきた池島俊雄博士（現、住友シチックス㈱社友）以来の伝統を継承し、落下ハンマー法による実験を行って普通炭素鋼の熱間平均変形抵抗の数式化を完成したことが大きなブレイクスルーになった。この式は美坂（現、共同酸素㈱社長）の熱間平均変形抵抗式として広く世界に普及している。

また、連続圧延機においてその総合特性を定量的に解明する手法も開発された。これは、「連続圧延機のある変数が目標値に合致していないときにそれを修正するには何をどれだけ操作したらよいか？」という命題に対する指針を与えるものであり、影響係数理論として知られている。その後、対象を冷間連続圧延機についても拡大、圧延機の自動制御、圧延中に圧延寸法を変更するための走間設定変更などの新技術への発展の基礎となった。

#### 1-2-2 鹿島熱延ミル

増大する鉄鋼需要に対応するために鹿島製鉄所の建設を決定し、67年鹿島建設本部を設置し熱延ミルの建設に着手した。このミルは8年前に当社が初めて建設した和歌山熱延ミルの経験とその後の操業技術が生かされた我が国初の純国産熱延ミルとして69年に稼働した(写真1)。粗圧延機6基、仕上げ圧延機7基からなる全連続式ミルで、最小厚さ1mmの生産を可能とし、薄手材の生産比率が多くても高い生産性を発揮することを目指し、大型化と高速化が図られた。コイル単重最大31トン、圧延速度最大1325m/min（当時世界最高）のほか、圧延中の速度アップコントロール、粗圧延機 No.5、No.6スタンドの近接配置、近接巻き取り機の設置など薄手材の圧延温度確保に配慮した設備構成のミルである。

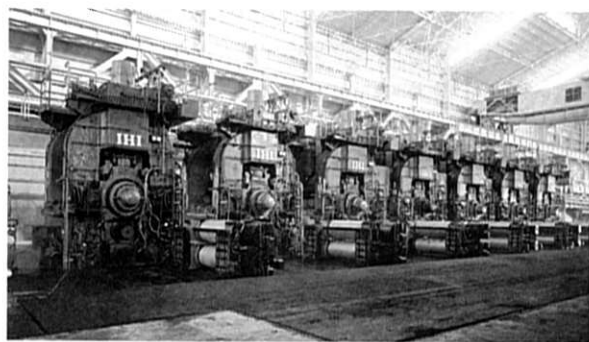


写真1 初の純国産ホットストリップミル（1969年に稼働）

#### 1-2-3 鹿島冷延タンデムミル

71年に、広幅厚物サイズの量産冷延ミルとして鹿島冷延

タンデムミルを稼働させた。建設の当初計画では在来の電動圧下式であったが、IHIにより油圧圧下式圧延機が日本で誕生したので、計画を変更し、三菱重工と共同で油圧圧下式圧延機を開発、圧下位置検出手法に独自のテンションバー方式を考案し、実用化した。油圧圧下式圧延機は見かけの剛性を油圧制御機構の調整によって自在に設定可能であることを活かし、各スタンドごとに圧延機の剛性を使い分ける新理論を世界で初めて実用化した。これは、鈴木弘先生（当時東京大学生産技術研究所教授）のご指導を受け、その圧延理論研究成果を実機適用したものである。また、前述の影響係数理論に基づく新制御手法を適用し、タンデム圧延機におけるスタンド間張力一定制御による板厚制御レベルアップを実現した。更に、この冷延工場には、和歌山冷延の操業経験による工場内レイアウトの最適化や工場内防錆技術の改善が織り込まれている。

#### 1-2-4 ガスワイピング式めっき厚さ制御

日立と日新製鋼が開発・実用化した技術であり、以後の溶融めっきの主流に発展した。当社では70年、和歌山No.2溶融亜鉛めっきライン新設時に採用した。このラインには、無酸化加熱炉、スパングルミニマイズ処理などの新技術も採用し、在来の亜鉛鉄板に比べると、表面外観に亜鉛結晶模様（スパングル）のない、めっき厚の薄い鋼板の製造が可能となり、新しい用途が開けた。そして後年、鹿島溶融亜鉛めっきラインによる自動車車体用防錆鋼板の開発へと発展する原点になった。

#### 1-2-5 電気亜鉛めっき堅型めっきセル

68年に和歌山 No.1電気亜鉛めっきラインを設置し、熱延および冷延鋼板を母材とした電気亜鉛めっき鋼板「スミジंक」を製造・販売してきたが、この和歌山における横型めっき槽の操業経験をもとに、堅型めっきセル方式を三菱重工と共同開発し、これを採用した鹿島 No.1電気めっきラインを84年に新設した。これは厚目付での生産性に優れ、後に、米国における合弁事業 L—SE、L—SII、欧州への技術輸出などに生かされ、高電流密度高速電気めっきの主流技術になった。

#### 1-2-6 新造塊法によるリムド鋼のプレス成形性改善

低炭素アルミキルド鋼は成形性に優れた鋼板を製造できるが、鋼塊歩留りが悪いこと、リム層がないことによる表面疵の発生などの理由で高価格であった。昭和40年代初期に表面はリムド鋼の性質を有し内部はアルミキルド鋼の性質を有するコアキルド鋼を開発し、安価で成形性の良い鋼板の提供が可能となり、自動車業界の発展に寄与した。しかしその後、連続鋳造アルミキルド鋼を薄鋼板へ適用するための技術改善が進み、より均一な鋼板の供給が可能となり、コアキルド鋼は姿を消した。

#### 1-2-7 プレス成形技術の研究成果に基づく顧客支援

リムド鋼やアルミキルド鋼などに関して熱延、冷延、焼鈍工程における微細析出物の挙動と集合組織の関係を明ら

かにすることによって、オープンコイル焼鈍方式で $r$ 値が高く深絞り性に優れた冷延鋼板の開発を進めるとともに、プレス成形技術に関する研究にも注力した。例えば、当社は64年に150トン複動油圧プレスを導入し、プレス成形性に関する基礎的試験を行ってきたが、70年には500トン複動油圧プレスを研究所に導入した。これによって成形の難しい大型部品の実プレスを行うことが可能となり、顧客とともにプレス成形性に関する研究を推進した。また、自動車部品の成形解析に使用されるスクライブドサークルテストに関して、余裕ひずみと不良率の関係を明らかにし、適正なプレス条件の設定や振当材料グレードの合理的な決定を可能にした。更に、スクライブド鋼板を販売するとともに、その解析に協力することにより、成形技術や鋼板の成形性評価技術の向上に寄与した。これらの研究成果は自動車メーカーと鉄鋼メーカーの共同研究の場である薄鋼板成形技術研究会において討議され、自動車業界の発展と自動車用鋼板の品質向上に寄与するとともに、当社の製品と利用技術に対する信頼感を高めることに貢献している。

### 1-3 エネルギー価格高騰に対応する省エネ技術と新製品の開発(1975—86年頃)

#### 1-3-1 製鉄プロセスにおける工程の連続化・直結同期操業

##### (1)和歌山分塊圧延スラブの熱延直結圧延

分塊圧延ラインと熱延圧延ラインが隣接直線配置されている利点を活用して、75年から和歌山分塊圧延スラブの熱延直結圧延を開始した。最盛期には年間45万トンを行い、連続製造設備の設置により鋼塊—分塊圧延が姿を消すまで約7年間続いた。

##### (2)鹿島製鋼工場と熱延工場の直結操業

76年に鹿島で連続製造スラブを加熱炉へ高温挿入して圧延する、ホットチャージ圧延法が開発され、その後、和歌山・鹿島両製鉄所で漸次拡大された。83年に鹿島熱延工場に近接した新連続製造設備が完成するに及び、熱片操業は本格的な段階を迎えた。この熱片操業の拡大は、連続製造技術、生産管理技術を始め、圧延スケジュール制約の緩和技術、スラブ寸法の統合、圧延形状制御技術、ロール摩耗改良技術などの開発成果に負うところが大きい。更に、87年には鹿島製鋼・熱延総合効率化起業の完成により、熱片比率は80%台へと大幅に向上した。

##### (3)鹿島熱延サイジングプレス

サイジングプレス技術は86年に川鉄水島で初めて実用化された。これは、スラブ幅をプレスで圧下する際にスラブを走行停止させ、長さ8m級のスラブ全長を幅プレスするには数次に分けてスラブの送り・停止・プレスを繰り返す方式であった。サイジングプレス技術を採用するに当たり当社では、スラブ走行を停止することなしに幅プレスを続行する方式の揺動型プレスをIHIと共同開発し、88年

に世界で初めて実用化した。これにより、鹿島熱延ミルの高い圧延能率を阻害することなしにスラブ幅集約を行うことに成功し、ドイツ Thyssen Stahl 社をはじめ、その後のサイジングプレス採用時の主流技術になっている。なお本技術に関して、94年に日本機械学会技術賞を受賞した。

#### (4)熱延仕上げ圧延形状制御技術および高寸法精度圧延技術

圧延幅ナロウダウン制約の緩和、頻繁な寸法取り替えに対応しうる板厚・形状制御能力の向上、用途に応じた板クラウンの作り分け機能の充実を目指して、ワークロールシフト、強力なロールベンダの採用、VCロール(可変クラウンロール)、油圧圧下による自動板厚制御、中間スタンドの板厚計測によるフィードフォワード制御等を開発・実用化した。VCロールは製鋼所のアイディアを基に圧延研究陣と共同で圧延ロールとして完成させた新技術であり、82年に大河内記念技術賞を受賞した。当社では、熱延コイル用スキンプスミルを皮切りに、熱延仕上げ圧延機の下流スタンド、冷間圧延機、調質圧延機、連続焼鈍ラインや溶融亜鉛めっきラインのライン内スキンプスミルに適用している。

また77年には、和歌山熱延仕上げ圧延機スタンド間の油圧駆動式ルーパによる張力一定制御を開発し、更に79年には鹿島熱延粗圧延機縦ロールによるエッジングと後続の水平ロール圧延による幅変化を解明し、粗圧延機列の中間スタンドでの板幅実測値に基づく縦ロール開度へのフィードフォワード制御(粗AWC)を実現。その後も、仕上げ圧延出口から巻取り機までの鋼帯に生じる幅変動メカニズムの解明など、熱延ラインの複雑な板幅変動要因の解明と制御技術開発への取り組みを続け、後続工程や顧客での歩留り向上に寄与している。

#### (5)鹿島冷延完全連続圧延化

完全連続圧延はNKKが福山で先行実現した。当社では連続圧延するための入り側走行設備と圧延機とを直角配置して走行鋼帯を90°回転させる設備を三菱重工と共同開発し、鹿島冷延工場のレイアウト上の制約を克服して83年に完全連続圧延化を実現した。また、圧延寸法の変更に伴う圧延機の設定変更を、当社伝統の圧延時スタンド間張力一定制御のもとで行うことにより、寸法変更に伴う厚み変動を少なくすることにも成功した。これらの技術開発は生産能力の増強と品質向上によるコスト低減に寄与した。

#### (6)鹿島連続焼鈍設備の導入

ふりき用薄板の生産に実用されてきた連続焼鈍方式を新日鐵・NKKがそれぞれ独自の設備構成で汎用薄板の生産に発展させた。当社は新日鐵方式の採用を決め、81年に鹿島製鉄所に導入した。連続焼鈍プロセスの誕生は、従来の4工程1週間のプロセスを1工程十数分に短縮するものであり、これ以降、深絞り用や非時効性鋼板の製造にもこのプロセスを適用できるようにするための研究開発の時代を迎えた。



### 1-3-2 自動車の燃費改善ニーズに応える高張力鋼板の開発

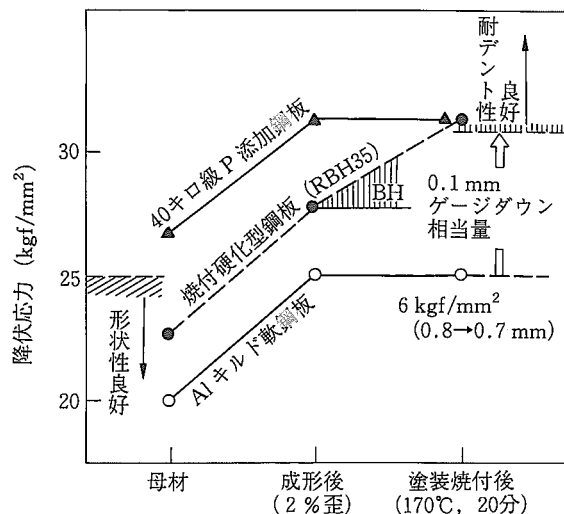
73年の石油危機を契機に、自動車の燃費向上対策の有力手段として車体の軽量化が進展した。薄板の分野ではこれに対応して各種の加工性の良い高張力鋼板が開発された。

#### (1) 自動車用冷延高張力鋼板

プレス成形性が劣るために単純形状の部品にしか適用できなかった従来の高張力鋼板に対して、燐添加アルミキルド鋼系で深絞り性の良い35k~45k級冷延高張力鋼板を箱焼鈍法で開発し、77年から車体パネルへの適用を開始した。

また自動車外装用としては、部品の形状精度と高強度化の両立が必要であり、加工時には柔らかく、車体完成時には硬くなる鋼板が求められた。これに応じて当社は、プレス加工後の塗装焼付時に降伏強度が上昇する35k級の焼付硬化型絞り用冷延高張力鋼板「RBH35」を79年に開発し、翌年から量産供給を開始した(第1図)。これは低炭素アルミキルド鋼板に特有な時効硬化現象を自動車生産工程における塗装焼付処理と結びつけば、上述のニーズに応えられることを提案したもので、このために必要な硬化量を連続焼鈍方式によらず在来のコイル式加熱焼鈍(箱焼鈍)において実現する手法を理論的に究明し、焼付け硬化性と優れたプレス成形性の両立に成功したものである。この技術開発によって84年に塑性加工学会会田技術賞を受賞した。その後、連続焼鈍によってプレス成形性の優れた鋼板を製造する技術も発展し、自動車車体軽量化の有力手段として欧米にも普及した。

更に、自動車バンパ等の強度部品には60k級までの鋼板が従来使用されていたが、更なる高強度化の要望に応じて、80k~100k級の冷延高張力鋼板の製造体制を確立し、79年に実用化した。これは冷間圧延後の連続焼鈍により製造され、高強度であるにもかかわらず低降伏比、高延性、高加工性を有し、複雑な形状の部品の成形を可能にした。

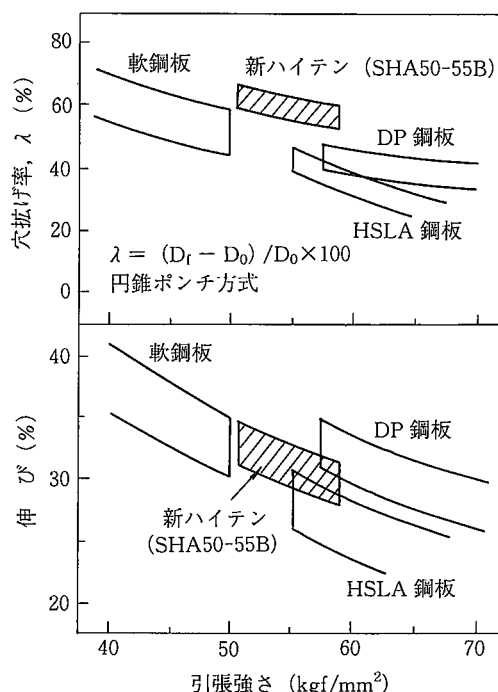


第1図 パネルの製造工程における鋼板の降伏強度の変化

#### (2) 自動車用熱延高張力鋼板

熱延鋼板についても、低C-Si-Mn-Cr系の鋼を熱間仕上圧延後急冷し、極低温で巻取り処理を行うことによって、80k級の高延性熱延複合組織鋼板「SHA80D」を開発、82年に量産を開始し、自動車乗員保護を目的としたドアビーム等に使用された。

また82年に、熱延ミルの加工熱処理的効果を最大限活用したHICAT法 (Hot Rolling, Inline Controlled Cooling and Auto-Tempering) により、成形性と溶接性に優れた50k~55k級の熱延高張力鋼板「SHA50-55B」を開発した。当時熱延ハイテンとしては、NbやVの炭窒化物を利用する析出強化型 (HSLA) 鋼板やフェライト地中に硬質なマルテンサイトを分散させる複合組織 (DP) 鋼板が知られていたが、従来のハイテンよりもSiやMn量を低下させておけばC量を高めてもスポット溶接性の劣化を生じないという新たな知見に基づき、加工性と溶接性に及ぼす熱延条件を詳細に調査した。その結果、単純な成分系である炭素鋼を制御圧延・制御冷却後比較的低い温度 (400~500°C) で巻き取ることにより、DP鋼よりも経済性や溶接性に優れ、析出強化鋼よりも加工性に優れた上記のハイテンの開発に成功した(第2図)。この鋼板はホイールや足回り部品の軽量化材料として使用されるようになったが、特にホイールについては、当社は82年より日産自動車と共同開発を行うことにより、他社に先駆けて55k級高張力鋼板の商品化に成功し販売を開始した。当社が熱延鋼板の販売開始以来ホイール用鋼板の品質向上に努力してきたことが、この開発に結びついたと言える。この技術開発によって84年に日本金属学会技術開発賞を受賞した。



第2図 制御冷却を活用した熱延新ハイテンの機械的性質

### 1-3-3 表面処理鋼板の発展

耐久消費財の生産拡大に伴い、耐久性の確保と大量生産性の実現を両立できる有力な武器として、あらゆる分野において表面処理鋼板の採用が拡大し、その品種も多様化し始めた。

#### (1) 車体防錆用表面処理鋼板

エネルギー価格の高騰を契機に日本製小型乗用車の優れた性能に対する評価が世界的に高まり、我が国の乗用車生産・輸出台数が急速な伸びを示した。当社は、北米における乗用車の車体防錆力向上ニーズの高まりをいち早く察知して車体防錆鋼板の開発を進めた。車体防錆に関する技術思想は各自動車メーカーの過去の経験、現在の生産諸条件およびノウハウに大きく依存しており、その結果、材料選択基準も各社で異なる。そのため各自動車メーカーの要求に合致した表面処理鋼板を開発し、安定供給に努めてきた(第3図)。

米国で車体防錆用表面処理鋼板として開発されたジンクロリッチ塗装鋼板(ジンクロメタル)の技術を、他社に先がけ73年に導入し、最初はイゲタ鋼板で、その後83年に鹿島製鉄所に連続式塗装ラインを設置し、日産自動車等に安定供給を続けた。

80年に和歌山電気めっきラインを利用して、高耐食性でかつ優れた溶接性と加工性を有するZn-Ni合金電気めっき鋼板「スミジンスーパー：SZ鋼板」を世界で初めて開発し、81年以降マツダ等で大量に使用された。その後国内高炉6社全てが生産を開始するとともに、欧米でも9社が生産を開始し、世界的な品種となった。当社は米国LTV社と合併でLS-II社を設立して日系トランスプラントのニーズに応えるとともに、英国BS社、欧州HOESCH社

および欧州SIKEL社に技術供与した。SZ鋼板の開発は、85年に金属表面技術協会の技術賞を受賞した。

85年には、SZ鋼板を母材とし、ジンクロメタルの技術を応用した有機複合鋼板「タフコート」を開発、引き続き有機皮膜の開発を進め、87年には約 $1\mu\text{m}$ の薄膜型複合鋼板「タフコートIII」として完成させた。これは、世界の自動車メーカーが車体防錆の最終目標としていたいわゆる「10-5-2」(穴あき腐食保証10年、外面錆保証5年、内板可視部錆保証2年)に対応可能な表面処理鋼板として大量に採用されている。(更にタフコートIVとして発展しているがこれは後述する。)

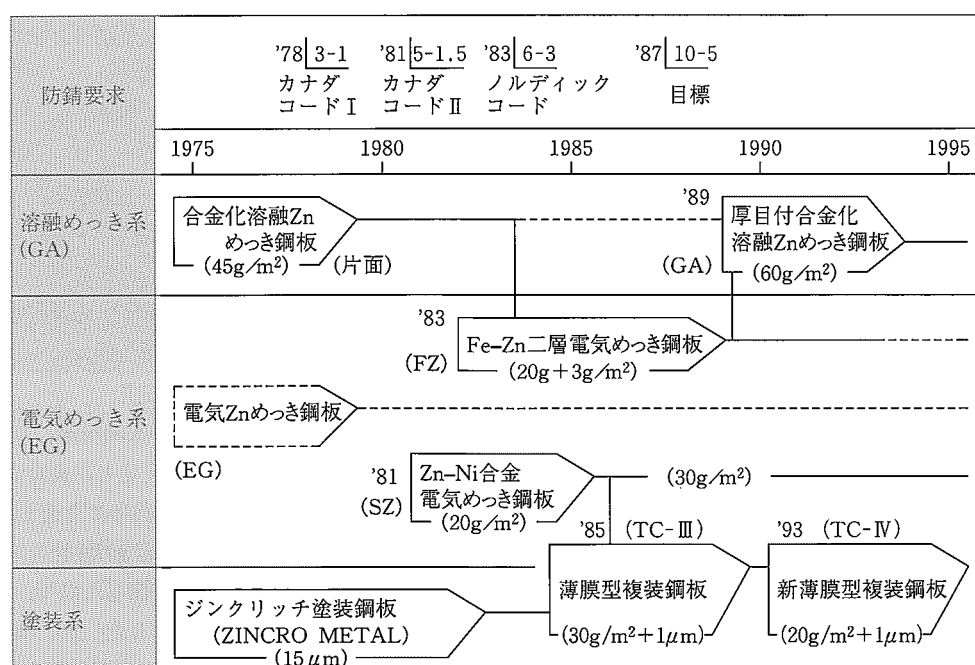
新日鐵とトヨタ自動車が共同で開発したのが、二層型Fe-Zn合金電気めっき鋼板であり、83年採用が開始されたが、当社は製造技術を独自開発し、実施権許諾を得て83年鹿島電気めっきラインで製造を開始した。

後年、車体防錆用鋼板として溶融めっき系にも注目が集まったが、この項は後述する。

#### (2) 家電・建材用表面処理鋼板

家電・建材分野においても、製品の耐久性向上、製品製造工程の合理化、環境対策等のために表面処理鋼板の採用が飛躍的に拡大し、その品種も多様化した。

84年には、製品製造時のハンドリングによる汚れが付着し難く、取れやすい耐指紋性鋼板「スミジント1」を他社に先がけ商品化した。これはクロメート処理された電気亜鉛めっき上に約 $1\mu\text{m}$ の有機皮膜を施したものであり、耐指紋性ととも耐食性も大幅に向上し、家電分野におけるベース材に成長した。耐食性を更に向上させた「スミジント2」を加え、ニーズの多様化に応えた。表面を着色処理することも一つの夢であったが、SZ鋼板の表面を特



第3図 自動車ボディー用表面処理鋼板の変遷

殊処理することにより落ち着いた色調を持つ黒色処理鋼板「スミジンプラック」を開発し、85年に商品化した。複写機の内板等に使用されている。

86年には主として建材分野における耐用年数の増加要求に応えるべく、耐食性と加工性に優れた5%Al-Zn溶融めっき鋼板を技術導入し、「スミガルファン」を商品化した。

塗装鋼板分野においても、製品の高級化と多様化が進行した。79年には、冷蔵庫や蛍光灯反射板等の可視部ハイライト面への使用を目的として、鮮映性に優れた「住友ハイコート」を商品化した。特に冷蔵庫の扉用として採用が拡大したが、後年採算が合わず、この用途からは撤退せざるを得なくなった。

建材分野では、耐用年数の保証を含む高級化が要求され、81年にはフッ素樹脂を塗装した塗膜20年保証の「住友エスフロン」を、84年には色調に特徴を持たせた「住友マットカラー」を商品化した。更に、母材に耐食性・加工性の優れたスミガルファンを使用し、赤錆10年保証の「住友ガルファンカラー」と塗膜10年保証の「住友ハイカラー10」を商品化した。

## 1-4 薄板製造設備の増強による価格・品質競争力の強化(1987—96年)

### 1-4-1 薄板製造設備の更新と増強

自動車生産をはじめ国内経済の発展に伴い増加する薄鋼板の需要と顧客における品質向上活動や省力自動化展開に伴う鋼板の表面品質・寸法精度の厳格化に応えるために、薄板生産設備の更新と増強を進めた。また、バブル経済崩壊後はミルの集約・製造設備の統合や材質統合などの管理面での効率化に向けた検討も進めている。主なものについて以下にまとめた。

#### (1)和歌山熱延加熱炉の更新

88年に、炉内のスラブ搬送をウォーキングビーム+エキストラクタ方式で行う加熱炉に更新し、プッシャー式加熱炉特有の裏面疵問題を解消した。この更新に当たり、長さ12mの長尺スラブを装入できる加熱炉とすることにより、在来よりもスラブ厚さを薄くしてステンレスコイルの単重増加ニーズを充足可能とし、厚すぎるスラブから圧延することによる表面疵を回避したいという日本ステンレス（当時）からの期待にも応えた。

#### (2)和歌山熱延ミル圧延機のモーター更新

96年に既存設備の基礎配置などの制約を克服して、出力6000kWの粗圧延機の旧モーターを14000kWに増強更新した。スラブ加熱温度を下げて、なおかつ仕上げ圧延温度のメタラジー要件と両立させ、表面疵の回避と新たなメタラジー要求への対応を図った。これによりステンレス熱延の和歌山集約が可能になり、製鋼から熱延コイルまでを和歌山で一貫生産することが実現した。83年に上流にF<sub>0</sub>S

タンドを増設したほか、仕上げ圧延機については、稼働後25年以上を経過したため主電動機の更新を進めている。

#### (3)和歌山 No.3 酸洗設備

No.1酸洗設備のリブレースとして、欧州で開発された塩酸タービュランス流による酸洗装置を国内で初めて89年に設置した。また本設備により、国内で初めて板厚7mmまでの厚肉鋼帯の酸洗が可能になった。

88年に新設された No.3溶融亜鉛めっき設備で自動車用防錆鋼板として極低炭素鋼の適用が増大するに伴い、酸洗出側で行う耳切り（トリミング）とトリム屑の処理が難題になった。すなわち極軟質の極低炭素鋼や薄手材は回転刃物によるトリム、トリム屑のチョップカット処理とともに剪断トラブルを起こしやすい。そこで、トリム屑巻取り処理方式を採用するとともに、トリマー本体にも剛性が高く刃物クリアランスの精度を維持しやすく、かつ、走行中にトリム板幅の変更が可能な新技術を採用することによって、トリム屑の断続を回避して高速安定走行を実現した。

#### (4)鹿島 No.3 酸洗設備

87年、後年の新冷延工場設置を想定して、在来の熱延・冷延設備とは離れた場所に酸洗設備を新設した。本設備では、入側にスキンプラス圧延機を設置してスケールブレーキング効果を高め、強力なテンションレベラーによる形状矯正・キャンバー矯正効果によって高速酸洗を可能にした。いずれも当社独自の研究成果を採用したものである。また、優れたプレス成形性を有するために生産量が急増した極低炭素鋼板のサイドトリミング仕上りの健全性を維持するために、独自の耳端部サポート機構を開発し、実用化した。

テンションレベラーの本来の機能は平坦度の優れた薄板製品に仕上げるための形状矯正である。当社において、その矯正メカニズムが解明されて、テンションレベリングを最も効果的に実現するための設備構成、すなわち、平坦矯正のための伸長作用とロール曲げに伴う板そりの矯正作用をそれぞれ最適ロール径による専用ユニットとして構成する新技術が誕生し、テンションレベラーの性能が画期的に向上した。更に、ピンチロール設備や駆動主レベラーと伸長レベラー本体の間の板張力を活用することによりテンションレベリング効果を発揮させる簡易型レベリングをも開発し、市中のコイル加工センターでの薄板矯正や熱間厚板矯正などで成果を挙げている。

#### (5)和歌山 No.2 冷延レバースミル

Si含有電磁鋼板やみがき特殊鋼用途に適用される高炭素鋼板などの要求寸法精度の充足と在来設備による低生産性からの脱却を図るために、88年に冷延ミルを新設した。このミルでは、各種型式の圧延機の性能を圧延形状制御に関する研究成果に基づいて評価した結果、国内で初めてCVC圧延機を採用することにした。また、レバース圧延における厚み制御に関して蓄積した研究成果を活かし、圧延負荷や張力 AGC などによる負荷変動があっても圧延速度



の変動を防ぎ、かつ圧延加速・減速時にも圧延機速度と巻取り機・巻戻し機の周速度の揃速性を乱さない高精度の圧延を実現するために、ミル駆動系の高応答・高精度化を図ることによって、 $\pm 0.5\%$ の厚み精度を達成した。これは、それまで直流電動機が適用されてきた圧延機の駆動に、可変速度制御技術に著しい進歩を遂げてきた交流電動機をいち早く採用したことをはじめ、機械系の共振周波数、電気制御系の制御精度の向上、電動機とロールのGD<sup>2</sup>の軽減とマスバランスの最適化などの効果である。

#### (6) 鹿島 No.2 冷延タンデムミル

圧延と制御に関する研究成果を結集して、全自動高精度圧延を実現させた冷延ミルを93年に新設した(写真2)。より厳格な板厚精度の要求に応えるためには、周波数の高い板厚外乱にも対応可能な制御系を開発する必要があった。そこで、圧延材と圧延機スタンドごとに圧下位置操作とロール速度操作を最適量配分にて同時操作できる新技術(板厚制御アクチュエータのベクトル制御技術)を完成させた。これは板厚制御アクチュエータ操作時の周波数特性の解明に基づく成果である。在来手法では制御操作の副作用で生じる上流の板張力変動によって制御効果が減殺されていたが、この副作用から脱し、高応答アクチュエータ(高応答性・高速油圧圧下装置、交流可変速電動機による高応答速度制御装置)や充実したセンサーの真価を発揮せしめることが可能になり、目標板厚の $\pm 0.4\%$ 以内の高板厚精度を実現した。

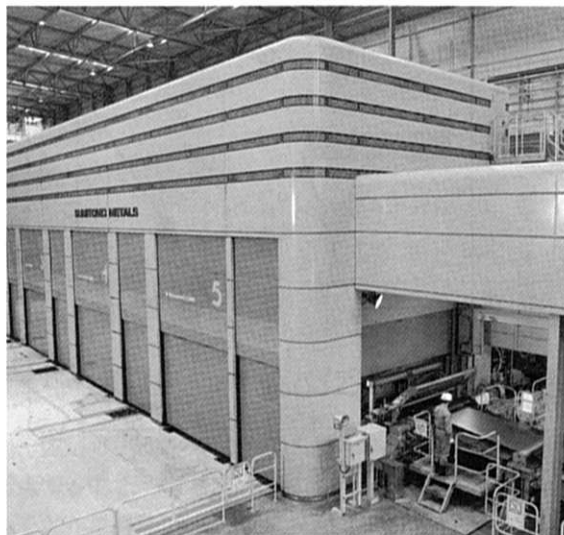
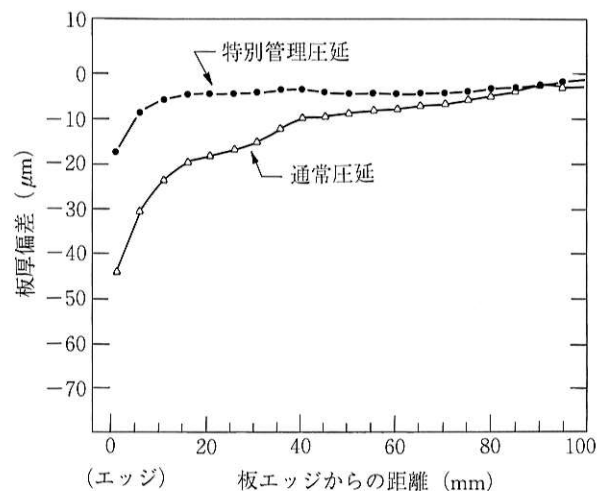


写真2 最新鋭のコールドストリップミル (1993年に稼働)

またこの冷延タンデムミルでは、上流スタンドに世界で初めてベアクロス4段圧延機を適用し、下流には和歌山 No.2レバースミルで形状制御のノウハウを蓄積したCVC6段圧延機を適用した。ところで在来の新設圧延機は圧延機メーカー1社で設計製作するのが常であったが、上流・下流スタンドそれぞれに求める機能を充足するための最適

配備を求めて、2社組み合わせの独自設計を行い、エッジドロップの抑制可能な新設備を実現した。これまで、冷延に際し板エッジに発生する薄肉化現象(エッジドロップ)の抑制には、端部テーパ形状ロールやエッジャーによる局部対処が必要とされてきた。しかし当社では、圧延形状制御に使用する放物線状ロールクラウンによってエッジドロップの抑制が可能であることを早くから発見し、実用化の手段を探索してきたので、ベアクロス圧延機の格段に大きなクラウン制御能力を採用して、高精度圧延新技術を確立した(第4図)。また、この圧延機では、圧延光沢がクロスロール圧延によって向上するという新機能も開発された。

ベアクロス圧延機は三菱重工が開発し、新日鐵広畑が熱延ミル新設時に実用化した新技術であるが、鹿島冷延ミルへの適用の成功により、熱延・厚板圧延から冷延薄板圧延まで、鋼板圧延の全分野に実用されるとともに、それぞれの分野で新たな機能をも誕生させ、鋼板圧延に新時代を拓いたものとして、平成8年度大河内記念生産賞を受賞した(新日鐵、三菱重工と連名)。



第4図 鹿島第二冷延ベアクロス圧延による幅方向の板厚精度向上

#### (7) 和歌山100%水素雰囲気焼鈍炉

欧州で開発された100%水素雰囲気高対流によるコイル焼鈍設備を89年に国内初採用、水素の優れた熱伝導性と高対流によって高能率加熱と均一加熱が両立するうえ、雰囲気中にC、Nを含まないため優れた品質が得られることなどを確認して旧来のコイル焼鈍設備を更新し、92年に量産対応を完了した。本設備は品質の優れた高炭素鋼板や電磁鋼板の製造に活用している。

#### (8) 鹿島 No.2 連続焼鈍設備

プレス成形性の優れた冷延鋼板を製造するために極低炭素IF鋼の高温・高速通板の実現が求められた。そこで通板技術に関する研究成果を駆使することによって、6尺幅の極低炭素IF鋼帯の安定生産が可能なNo.2連続焼鈍設備を92年に新設した。この設備では、低炭素鋼系の過時効

処理 (over aging) 機能や100kgf/mm<sup>2</sup>を超える高張力鋼板の製造機能を兼備させるために新日鐵式の気水冷却方式を採用した。

当社では81年に設置した鹿島 No.1連続焼鈍設備において、ガスジェット冷却+過時効処理式連続焼鈍を既に採用していたが、当時の技術では走行鋼帯の蛇行防止と薄手材の高温焼鈍時に発生する鋼帯の絞り込み防止との両立が難しく、連続焼鈍への生産対象量の拡大が難しかった。そこで、通板走行に関する研究実験装置を設置して新技術を開発し、和歌山および鹿島の新設溶融亜鉛めっきライン、鹿島 No.2連続焼鈍設備における広幅薄手材の高温高速通板を実現した。また、溶融めっきラインにおけるめっき厚さ調節用ガスノズルと鋼板の間隔あるいは電気めっきラインにおける電極と鋼板の間隔を板幅方向で均一に維持するための板すり防止技術を開発することによってめっき厚みの均一化も実現した。95年、本技術により AISE の Kelly 賞を受賞した。

#### (9) 鹿島 No.2 電気めっきライン

89年、薄膜型複装鋼板タフコートIII (スミジックスーパー+有機複合皮膜) の需要拡大に対応するために、従来当該有機複合皮膜処理を担当していた鹿島連続塗装ライン内に電気めっきセルを設置し、一工程での製造を可能にした。既存ラインへのめっきセルの組み込みに当たっては省スペースが最大の課題であったが、これに対して、鹿島 No.1電気亜鉛めっきラインやLS-Eで実績にある堅型めっきセルが威力を発揮した。また、めっきセルの前に特殊な下地処理用設備を設置し、耐ストーンチッピング性を安定して確保ならしめた。有機複合皮膜は約1μmという極薄膜であるが、コーティング技術の改良により、極めて狭い範囲の制御が可能になっている。

#### (10) 和歌山 No.3 および 鹿島 No.2 溶融亜鉛めっきライン

溶融めっき鋼板の需要拡大に対応し、88年に和歌山 No.3 溶融亜鉛めっきライン (CGL) を、引き続き92年には鹿島 No.2 CGL を設置した。和歌山 No.3 CGL 案画当時は溶融亜鉛めっき鋼板の自動車用途への適用拡大は未だ不透明であったが、板幅を6尺幅とし、かつ溶融めっき後に上層電気めっきを施すことのできるスペースをプロビジョンとして確保した。この決断により、その後の自動車用ニーズの急速な顕在化に対して迅速に対応することができた。これらの CGL においては、自社開発した直火還元バーナー、ノンサーマルクラウンロール、FOEN 製を改造したワイピングノズル、シミュレーション試験から導き出され適正配置された浴中ロール、カップバーナーとインダクションヒーターを併用した合金化炉、上層めっき槽などが装備され、高温焼鈍、めっき量の均一化、合金化度の制御、二層めっき材の製造などが可能となり、自動車外板への採用を実現した。また和歌山 No.3 CGL には、めっき後にコーターとオープンを設置し高機能性鋼板の製造への対応を可能とし

た。

#### 1-4-2 自動車用鋼板の開発

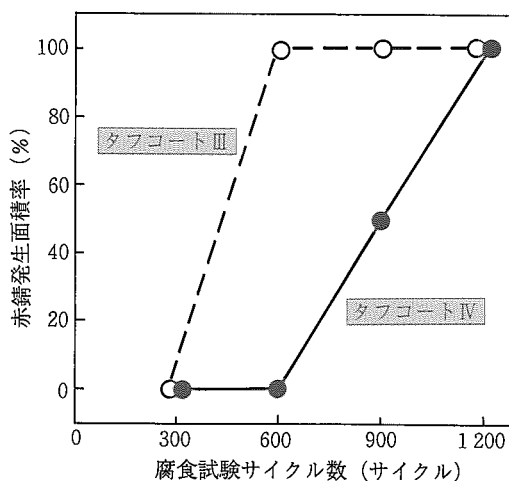
薄板需要の柱である自動車生産は90年まで拡大が続けた。この間の薄板製品の顧客ニーズの主体は防錆鋼板と高張力鋼板の適用拡大であり、高機能製品の開発と供給能力の拡大を推進した。91年以降はバブル経済の崩壊による内需の減退と円高に伴う国際競争力の激化を受けて、費用対効果の関係がより厳しく見られるようになり、コストアップを伴わない高機能化を重視した。

##### (1) 自動車用防錆鋼板

自動車への防錆鋼板の適用は引き続いて拡大した。これに呼応して生産能力の飛躍的な拡大や製品性能の向上を進めた。

85年にタフコートIIIを商品化したが、その後、寒冷地での自動車外装用材料として重要な性能である耐ストーンチッピング性を改善した改良型タフコートIIIを87年に商品化した。

実車腐食環境下では、当該鋼板自体の発錆のみならず、取り付け部品などの発錆に起因する外来の錆が付着することにより当該鋼板の錆が誘起されることがある (貫い錆)。膜厚1μm程度の有機被膜は一般的には耐貫い錆性が不十分であるが、タフコートIIIの有機複合皮膜を3価鉄イオンに対するバリアー性の高い被膜へと改良し、新薄膜型複装鋼板「タフコートIV」として93年に他社に先駆けて商品化した (第5図)。



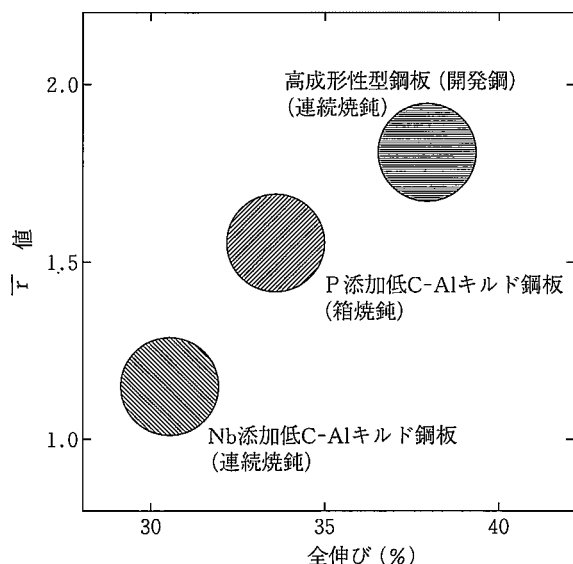
第5図 タフコートIVの耐貫い錆性

車体防錆鋼板のもう一方の雄である二層型 Fe-Zn 合金電気めっき鋼板は、その目付量が20g/m<sup>2</sup>と少なく、更なる耐食性向上のために、厚目付が容易な Fe-Zn 合金化溶融亜鉛めっきに切り替えられた。この場合も、塗装適合性と加工性を確保するために、上層に電気めっきを施した二層型が、外板用のみならず内板用にも採用された。当社は上層めっきの実施権許諾を新日鐵から得る一方、製造技術を独自開発し、89年他社に先がけ和歌山 No.3 CGL において

インライン両面上層めっき材を商品化した。バブル経済崩壊後のコスト見直しの中で、高潤滑防錆油・高潤滑洗浄油・塗装技術等の開発改善により、上層めっき省略の可能性が高まり、徐々に切替が進行している。

## (2)自動車用高張力鋼板

当社は79年に焼付硬化型35k級冷延ハイテンを開発し、車体外板パネルや構造部材の薄肉・軽量化に寄与してきたが、部位によってはより高強度の冷延鋼板の適用による一層の軽量化が期待された。しかし、従来の45k級ハイテンは強化元素としてNbやPを使用していたため、前者では高い $r$ 値が得られず、後者で高い $r$ 値を得るためには箱焼鈍方式によらざるを得なかった。そこで、極低炭素鋼の機械的性質に及ぼす熱延、焼鈍条件の影響を調査した結果、PとMnを複合添加した極低炭素Ti添加鋼を熱延後低温巻取りすることによって高い $r$ 値と伸びが得られることを見出し、連続焼鈍および溶融亜鉛めっきプロセスで深絞り性に優れた高成形性冷延45k級ハイテンを92年に開発・実用化した(第6図)。この技術開発により、94年に日本金属学会技術開発賞を受賞した。



第6図 各種440MPa級冷延ハイテンの伸び・ $r$ 値バランス

一方足回り部品の軽量化のために熱延ハイテンの適用が拡大する中で、穴抜け性に優れた45k~80k級熱延ハイテンを92年に開発し、45kおよび50k級鋼板が同年に実用化された。その後、60k級まで足回り用途に実用化されている。この鋼板は、低C-高Si系の成分設計と冷却制御によるフェライト・ベイナイト組織制御によって、強度・穴抜け性バランスの向上に成功したものであり、延性や張出し性も従来鋼よりも高い値を有している。また、従来低強度鋼の二枚構造から成っていた足回り部品を60k級の高穴抜け型熱延ハイテンを用いて、一枚構造化して軽量化する検討が進められ、97年に採用される予定である。これは、成形性の良い高張力鋼板を用いることにより、軽量化とコス

ト低減を両立させた例である。

また、高張力鋼板の弱点である延性不足を解消する材料として残留オーステナイト型80k級熱延鋼板が新日鐵などにより開発されていたが、当社はより低炭素当量で溶接性に優れた高延性型熱延80k鋼を93年に開発した。この鋼板は普通鋼にSiとAlを添加し、熱延条件を管理することにより、10~15%のオーステナイトを残留させた鋼板であり、残留オーステナイトの加工誘起変態現象により、55k級従来鋼板なみの高い延性を有している。その後、固溶強化能の小さいAlの活用による低強度化の研究開発を進め、現在、60k~80k級の熱延および冷延鋼板が開発されている。この鋼板は高速変形時のエネルギー吸収能に優れることが明らかになり、自動車の衝突安全規制強化の動きに対応して、衝突エネルギー吸収用材料としての活用も期待されている。

普通鋼板よりも耐食性に優れる鋼板の開発ニーズに応じ、Cu、P添加により耐食性を向上させた「母材耐食性鋼板」を93年に開発し、軟鋼から高張力鋼板までの熱延鋼板と冷延鋼板を商品化した。これは防食性能とエクストラ価格がいずれも表面処理鋼板と普通鋼板の中間に位置する商品であり、顧客の性能・価格バランス重視の考え方に合致する。自動車の窓枠や足回り用途からの適用が始まった。

自動車のホイールにおいても高張力鋼板の採用が進み、82年以降、55k鋼または60k鋼が採用されている。更なる高強度化のニーズに対応して、97年にはホイール用80k熱延鋼板を開発した。この材料は成分系の改善により表面品質や化成処理性を改善するとともに、熱延条件の高精度な制御によりホイール用材料として必要な成形性も確保している。

## (3)自動車用深絞り鋼板

自動車製造時のコスト・生産性・商品性を改善する手法の1つとして自動車構成部品の一体成形化のニーズがある。これは通常複数個の成型品を溶接して組み立てるのに対して、大寸法の素材を用いて一体で成型する方法である。このニーズに応えるために90年に電気めっき系列の超深絞り用鋼板を開発し、サイドパネルアウターに実用化された。

高成形性材料の開発にはその後も注力し、94年にはより延性と $r$ 値が高い超深絞り用冷延鋼板を開発した。これには製鋼段階での高純度鋼溶製技術、大圧下冷延技術および高温連続焼鈍技術などが活用されている。

## 1-4-3 家電・建材関連薄板製品の開発

### (1)機能処理鋼板の開発

家電・建材関連の薄板製品については昭和50年代に表面処理鋼板化が進んだが、昭和60年代に入ると特殊機能を備えた表面処理鋼板の開発が活発となった。

オゾン層破壊物質として特定フロンなどの有機溶剤の生産を制限・廃止する動きに対応して、プレス後の洗浄を省略できる潤滑処理鋼板を開発した。89年には電気めっき系

潤滑処理鋼板（スミジंक T2J）を商品化し、92年には溶融めっき系潤滑処理鋼板（タフジंक F）を商品化した。更に、電磁波シールド性確保のニーズに対応して、導電性能も兼ね備えた潤滑処理鋼板（スミジंक T J）を95年に商品化した。また、優れた耐食性とグレーの色調を兼ね備えた合金化溶融めっき系潤滑処理鋼板（タフジंकアロイ F）を93年に商品化し、プレコート鋼板の代替用として使用されてきている。

## (2) Al-Zn 合金めっき鋼板の拡充

世界鉛亜鉛研究開発機構が開発した5%Al-Zn合金めっき鋼板の技術を導入し、86年に和歌山製鉄所第二溶融めっきラインを改造してスミガルファンとして販売を開始し、屋根・建材および農業施設用資材などに使用された。その後、鉄骨系住宅の骨材への適用拡大を意図して最大4.5mmまでの厚物を供給するために、96年に、その生産を鹿島No.1溶融亜鉛めっきラインに移管した。また、米国にて開発された55%Al-Zn合金めっき鋼板の高耐食性に早くから注目し、82年に技術導入してその実施時期を見計らっていたが、94年に和歌山No.3溶融亜鉛めっきラインを改造し、アルジंकとしての受注を開始した。建材分野をはじめとして、家電・自動車分野への拡大が期待される。

## (3) プレコート鋼板

プレコート鋼板の中で特記すべき製品は冷蔵庫ドア用高鮮映性プレコート鋼板である。これは和歌山製鉄所で特殊な製法で製造した溶融亜鉛めっき鋼板を用いて、イゲタ鋼板にて高鮮映性プレコート鋼板に仕上げたものである。85年頃に各社の冷蔵庫ドアに採用され、その品質の高さが話題となった。また、89年には粉体プレコート鋼板の製造を開始し、冷蔵庫の側板などに採用された。しかし、バブル経済崩壊後のリストラの中で、95年にはいずれのプレコート鋼板も製造を中止した。一方、88年には従来の常識を越えた超深絞り用プレコート鋼板を、93年には粉体塗装製品の肌合いを受け継いだ低コストの袖肌プレコート鋼板を、更に、94年には屋外耐久性、端面耐食性および加工性に優れたエアコン室外機用プレコート鋼板を製品化し、プレコート鋼板の適用分野を大幅に拡大することに成功した。

## (4) 建材用塗装鋼板

建材用塗装鋼板では、まず87年に、業界で最も長期間の30年塗膜保証を実現したフッ素樹脂塗装鋼板「住友エスフロン30」を製品化した。これは、塗膜の最外層にクリア皮膜を有し、3コート3ベークで製造される。また、艶消し調の重厚感を持つ意匠性塗装鋼板「住友マットカラー」の耐久性を向上させるために、5%Al-Zn合金めっき鋼板を母材として使用して10年保証を実現させた「住友マットカラー10」を89年に製品化した。その後、意匠性と耐食性を兼備する塗装鋼板の開発に取り組み、94年には、55%Al-Zn合金めっき鋼板（アルジंक）を母材とした「住友マットカラー10AZ」と同じくアルジंकを母材として、更に塗

膜の耐摩耗性を飛躍的に高めた高意匠性フッ素樹脂塗装鋼板「住友エスフロンAZ」を製品化した。更に96年には、景観材料として高寿命でメンテナンスフリーな塗装鋼板を求める市場ニーズに応えるために、フッ素樹脂塗装鋼板「住友エスフロン」シリーズの加工性を大幅に改善した。これにより、フッ素樹脂塗装鋼板は、塩ビ鋼板やフッ素ラミネート鋼板の代替材料として厳しい加工を要求されるパネル分野への用途拡大が期待されている。

## 1-4-4 その他の薄板製品開発

### (1) 電磁鋼板の拡充

87年以降の10年間で、和歌山製鉄所での電磁鋼板の生産体制を質・量ともに大幅に強化した。88年に電磁鋼板専用の連続焼鈍コーティングライン（ACL）を完成し、電磁鋼板の製造を同所に集約した。88年に設置したNo.2冷延レバースミルによる高寸法精度冷間圧延の実現もあり、JIS規格のS18級までの品質の優れた製品を効率よく製造できるようになった。また91年には、JIS規格S9級相当品までの受注体制を確立した。更に94年には、ACLの増強が完成し、製造能力は質・量ともに拡大した。

### (2) 高炭素鋼板の開発

和歌山製鉄所での高炭素鋼板の製造体制も87年以降の10年間で大幅に強化された。前述のNo.2冷延レバースミルの稼働や89年に導入した水素焼鈍設備の本格設置（92年に増強完成）により、特性が均一でかつ板厚精度に優れた高炭素鋼板の製造が実現した。

また、丸鋸などに用いられる合金工具鋼SKS5-HS鋼、SKS51-HS鋼などを90年に、帯鋸台金用合金工具鋼D6Aを93年に、更に自動車チェーン等の用途に耐遅れ破壊性に優れたCr-Mo鋼95年に、それぞれ製造販売を開始した。

## 1-4-5 海外展開

米国LTV社との合併事業として、85年に米国にてL-SEレクトロガバナイジング社（以下L-SE）を設立し、米国GM社向けを主とした自動車用厚目付電気亜鉛めっき鋼板の製造設備を設置、その後日系自動車メーカーの現地生産の進展に伴いタフコート鋼板の製造も可能な二基目の電気めっき設備（L-S IIエレクトロガバナイジング社）を91年に設立した。

また88年に、LTV社への技術援助を開始し（上工程および熱延・冷延）、92年同社への資本参加に合わせて改めて包括技術協力を締結し、現在まで継続中である。更に、電気亜鉛めっき技術に関して、86年の英国British Steel社（BS社）へのスミジंकスーパーとタフコートの技術供与に続いて、89年には欧州SIKEL社およびHOESCH社に電気亜鉛めっきに関する技術協力を開始した。更に、93年には再度、BS社への操業技術改善に関する技術協力を開始し、現在まで継続している。

95年には、LTV社、BS社との合併企業TRICO社を米国に設立し、電気炉製鋼法による熱延鋼板の製造に乗り

出した。

## 2. 将来展望

以上に概説したように、当社は62年に和歌山熱延ミルを稼働させ熱延鋼板の製造を始めたのを皮切りに、63年に冷延鋼板、64年に表面処理鋼板の量産を始めた。また同時に、研究開発体制も整え、顧客での様々なニーズに応えるための製品と製造技術の開発に注力してきた。この間、自動車や家電向けを中心とした旺盛な薄鋼板の需要増加にも助けられて、薄鋼板の生産量も飛躍的に増加し、当社の収益を支える主要製品分野に成長した。一方、91年のバブル経済の崩壊以降は量的な拡大は停滞したが、国際競争力を意識した製造技術開発や顧客でのコストアップを伴わない高機能化を重視した製品開発を進めてきた。

今後もこれまでと同様に顧客重視の立場に立ち、薄板製造技術の分野においては、省力化、省エネルギー化によるコスト低減とミルの集約や製造設備の統合による効率化を進めるとともに、製品開発の分野においては、顧客でのプロセスの自動化、工程簡略化に寄与し得る製品開発や顧客のニーズに合致した製品開発を進めたいと考える。更に、管理コストの低減までを視野に入れた薄板規格体系の統合・削減や鋼板の機能を最大限に活用するための利用技術開発等についても顧客と共同で積極的に進めて行きたい。

## 厚 鋼 板

### 1. 厚鋼板の技術史と今後の展望

当社の厚鋼板は1965年に和歌山製鉄所にて製造を開始し1970年には鹿島製鉄所に当社2番目の厚板工場が稼働を開始し、東西2ミル体制となった。

その後、オイルショックに伴う造船不況による長期の低迷期を迎え、87年には和歌山製鉄所の厚板工場を休止し、鹿島1ミルによる効率的生産体制となった。

この間、素材合理化・品質改善技術、厚板操業改善技術等が大幅に進み、また厚板プロセス技術開発面では、板厚精度向上、平坦度向上、平面形状制御等の圧延技術開発により品質向上、歩留り、納期達成の向上に寄与した。

また、当社は圧延ラインで高品質を造り込む熱加工制御(TMCP)技術開発に力を注ぎ、他社に先がけてSHT(Sumitomo High Toughness)プロセスを開発し、87年に大河内記念生産特賞を受賞。更に水冷型のDAC(Dynamic Accelerate Cooling)プロセスを実用化し、造船用高張力厚鋼板、ラインパイプ用厚鋼板、海洋構造物用鋼板等の量産中級鋼の重要な生産プロセスとなっている。

また、水力発電所の水圧鉄管(ペンストック)用高張力鋼板や、LNGタンク用9%Ni鋼板等熱処理を行う量産型高級鋼は当初和歌山製鉄所で開発、商品化され、製鋼技術面での開発、進歩、熱処理の最適化等により品質向上・安定がはかられ、当社の看板商品に成長した。

その後鹿島に製造移管されてからも顧客から引き続き高い評価を得ている。

今後の残された課題と展望は以下のとおりである。

- ① TMCP技術の一層のレベルアップ
- ② 生産の能率および効率の更なる向上
- ③ タイムリーな商品開発
- ④ 顧客のニーズを先取りする商品開発

以下に厚板関係の年表、製造技術設備およびプロセス技術開発、ならびに製品開発の歴史をまとめるとともに厚板新製品を紹介する。

小松原 望／鋼板事業部 薄板技術室 担当課長

小峰一晃／鋼板事業部 専任部長

保母芳彦／鋼板事業部 専門部長

(問合せ先)小松原 TEL: 03(3282)9239



厚板関係の年表

年代	製 品 開 発	プロセス技術開発	新 設 備 設 置
1965	・橋梁用H T 570製造開始 ・耐候性鋼(C R 2)製造開始		・(和)分塊厚板ミル設置
66	・石油タンク用H T 590製造開始		
68	・Cr-Mo鋼製造開始		
69	・ペンストック用H T 570製造開始 ・TAPS向けラインパイプの厚板製造	・厚板用スラブC C化 ・ラインパイプ用厚板制御圧延技術	・(和)無酸化熱処理炉導入
70	・ペンストック用H T 690製造開始		・(鹿)厚板工場操業開始
72	・海洋構造物用Z方向特性保証鋼 ・橋梁用H T 690, 780製造		
74			・(鹿)粗圧延ミル, スリッター設置
75	・LNGタンク用9%Ni鋼製造開始 ・ペンストック用H T 780製造開始(輸出)	・SHTプロセス稼働開始	・(鹿)SHTプロセス用加熱炉設置
76	・ペンストック用H T 780製造開始(国内) ・球形タンク用クラックフリー型HT590開発 ・耐HIC鋼厚板(C R 5)開発 ・ラインパイプ用にX 70厚板製造開始		
77	・SHT法による造船用ハイテン製造開始		
78	・海洋構造物用Z鋼大量製造開始	・SHT法大河内記念生産特賞受賞 ・(和)厚板圧延量累計1 000万トン	
79		・(鹿)直接焼入プロセス稼働開始	・(鹿)直接焼入設備設置
80	・Al-B処理Cr-Mo鋼開発	・SSC法による船級認定取得	・(鹿)エッジャー設置
81	・クラッド鋼製造開始		・(和)クラッド鋼製造設備設置
82	・ペンストック用H T 950開発	・ASME QSC認定取得	
83	・耐摩耗鋼スミハードK 400, K 500開発	・(鹿)DAC- I プロセス稼働開始	・(鹿)水冷型TMCP(DAC- I)設置
84	・DACによる造船用ハイテン製造開始		・(鹿)仕上げミルハウジング更新
86	・造船用差厚鋼板製造開始		
87		・インラインロール研削技術	・(和)厚板ミル停止, (鹿)に統合
88	・超高層ビル用H T 490(T-DAC)認定	・(鹿)DAC能力向上技術開発	・(鹿)水冷型TMCP設備増強
89	・ペンストック用極厚H T 950開発(150mm)		
90	・厚肉高靱性9%Ni鋼開発(55mm)		
92		・造船用テーパー鋼板圧延技術開発	
93	・橋梁用溶接予熱低減型H T 780開発	・ISO 9001認定取得	・(鹿)エッジャー油圧化, 自動制御化 ・(鹿)ミル直近にγ線厚み計設置
94	・海洋構造物用高HAZ靱性鋼納入	・クラッド鋼製造中断	
95	・ペンストック用H T 950初納入(輸出)	・新生産管理システム稼働(FRIENDS)	・粗圧延機モーター更新
96	・橋梁用低予熱, 大入熱対策鋼納入 ・建築用低YR HT590認定(SA440)		・(鹿)水冷型TMCP設備改造

2. 製造技術設備およびプロセス技術開発

2-1 厚板工場の操業と製造設備の変遷

当社の厚板製造は1965年, 和歌山製鉄所に分塊厚板工場が設置され開始されたが, 1970年には鹿島厚板工場が稼働し, 東西2ミル体制となった。操業開始から現在に至る間の歴史は大きく3つの期間に分けることができる。

第1期(1965~74) 発展期

特記点; 1974年には生産量新記録達成

第2期(1975~87) 減産, 不況期

特記点; オイルショック以降, 造船不況により長期低迷

1987年に和歌山厚板工場を休止

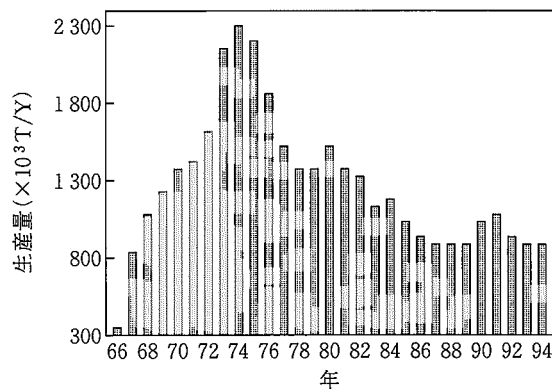
第3期(1988~ ) 回復期

特記点; 造船復活, 内需拡大で鹿島1ミル下, 高負荷操業

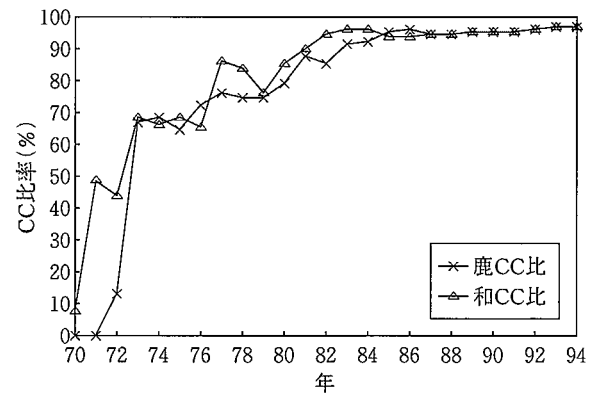
第1図には生産量の推移を示し, また第1表には厚板工場の主要技術トピックスをまとめた。

第1表 製造技術関係年表

年代	新設備、プロセス技術開発関係のトピックス	年代	新設備、プロセス技術開発関係のトピックス
1965	(和)分塊厚板ミル完成、営業運転開始	81	(和)(鹿)仕上圧延機の油圧AGC設置 (和)クラッド製造設備完成、クラッド鋼製造開始
66	ステンレス鋼板圧延開始	82	(鹿)ASME QSC認定取得、オンラインUST装置更新
67	C R圧延技術開発 (C R : Controlled Rolling) (和)No.2, No.3熱処理炉設置	83	(鹿)DAC設備完備、DACプロセスの本格化 (和)圧延機プロコン新制御システム完成
68	(和)GBP (透過式自動超音波探傷機) 設置 (和)熱処理焼入装置 (ローラークエンチ方式) 設置	84	(鹿)2ndミルハウジング更新 (鹿)テンパー専用熱処理炉設置
69	(和)No.1連続鋳造設備設置、C Cスラブ使用開始 TAPS向 (X-65) ラインパイプ材C R圧延技術	85	(鹿)ホットレベラー更新、(鹿)2ndメインモーター更新 (鹿)No.2, No.3加熱炉改造
70	(鹿)厚板工場完成、操業開始 (圧延機: 2ndミルのみ)	87	(和)厚板工場休止、(和)大径管工場休止 (鹿)クラッド製造設備移管
71	(和)圧延機にAGCおよびプロコン設置 C C材による造船40キロ、50キロ鋼板の認定取得	88	DAC設備改造 広幅DAC設備設置 全面UST装置設置
74	(鹿)1stミル設置 (2stand体制完成)、スリッター設置 (鹿)大径管工場U Oミル稼働	91	スラブ切断ノロ取りグラインダー装置設置
75	(鹿)SHTプロセス稼働開始、台車炉設置	92	コンテナ輸送体制完成
76	(和)精整体質改善起業 (コンバインドシャー、40M冷却床 他) (鹿)ステンレス圧延開始	93	エッジャー油圧AWC化、2ndミルに直近γ線厚み計
78	SHTプロセス大河内記念生産特賞受賞 (和)(鹿)ホットチャージ化スタート	94	ショットブライマー設備更新、ロール研削装置稼働 厚板工場とステンレス精整工場の統合
79	(鹿)直接焼入装置稼働 (和)ASME QSC取得	95	1stミルメインモーター更新 (GTOインバーク方式) 2ndミル集塵機稼働、3RH装置設置 (第1製鋼工場) 新生産管理システム (FRIENDS) 完成
80	(鹿)エッジャーミル設置、(和)自動超音波更新		



第1図 生産量推移 (整備量ベース)



第2図 CC比率推移

## 2-2 素材合理化および上工程の品質改善技術

厚板製品は鉄鋼製品の中で板厚が最も厚いため、素材段階での造り込み技術が製品品質を大きく決定づけると言われているが、当社においても素材技術の進歩が厚板の品質向上に大きな役割を果たしてきた。厚板から見た素材の合理化と品質改善技術について、その概要を以下に示す。

### 2-2-1 連続鋳造化の推進状況

連続鋳造プロセスの出現とその飛躍的な拡大（第2図参照）は厚板の品質、操業改善に圧倒的な貢献をした。現在、連鋳適用比率は99%を超え、インゴット法はごく限られた極厚材、特殊材に使用されるのみとなっている。

### 2-2-2 素材品質改善技術と合理化取り組み

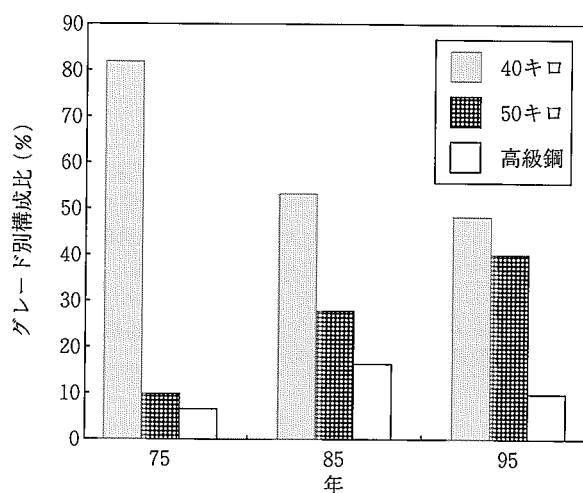
厚板から見た素材品質改善技術の主要取り組み状況について、特に影響の大きい技術の項目だけを列記すると以下のとおりである。（詳細は製鋼関係の項を参照方）

- (1)S, P低減化技術（機械的性質、素材表面疵）
- (2)中心偏析対策技術（内質）
- (3)介在物対策技術（内質）
- (4)水素低減化技術（内質）
- (5)無手入化技術（素材表面疵、ホットチャージ化）
- (6)インゴット製造技術（高級鋼内質）

## 2-3 厚板操業技術の変遷と進歩

### 2-3-1 品種構成および製造プロセスの変遷

グレード別の構成推移を第3図に示す。厚板は船舶、建設、産業用機械、パイプ等が主な用途であるが、いずれの分野においてもハイテン化が進行し、40キロ鋼主体の構成から50キロ鋼の大幅増加、60キロHT以上の増加傾向が顕著になってきている。この結果、製造プロセスにおいても、普通圧延主体からオンラインで品質を造り込むTMCPの時代に変化しており、現在でのTMCP比率は52%と過半数を超えてきた。



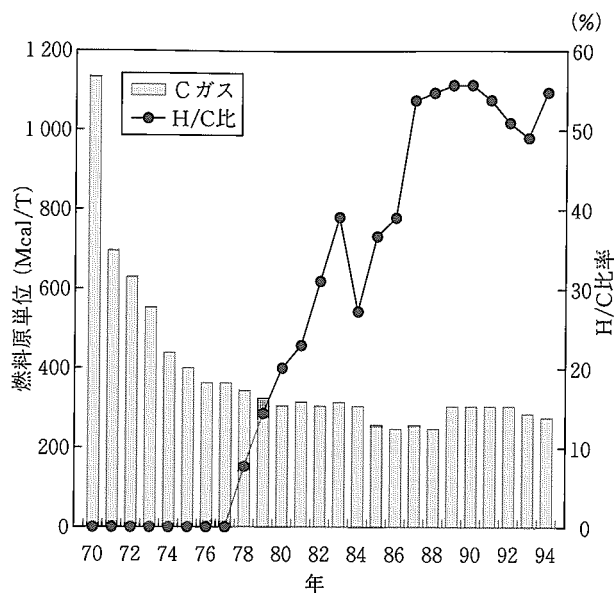
第3図 グレード別構成比推移

### 2-3-2 操業技術改善

厚板工場の主要諸元である歩留り、加熱炉エネルギー原単位の推移を第4図、第5図に示す。歩留り向上の具体的な施策は後述する圧延技術、生産管理システムによるところが大である。

加熱炉燃料原単位の低減対策としては、ヒートパターンの改善、SNT、SSCバーナー開発、高効率レキュペレータの採用、スキッド断熱、炉壁セラミックタイル化、空燃比制御自動化、燃焼制御自動化およびホットチャージの導入とその適用比率拡大等があげられる。また、歩留り、原単

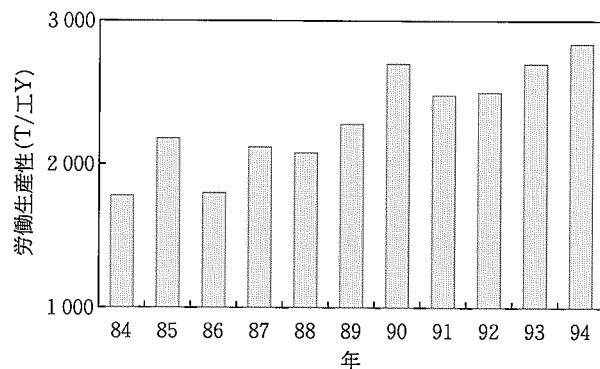
位の改善には各職場のJK活動等の地道な活動が大いに貢献してきた。



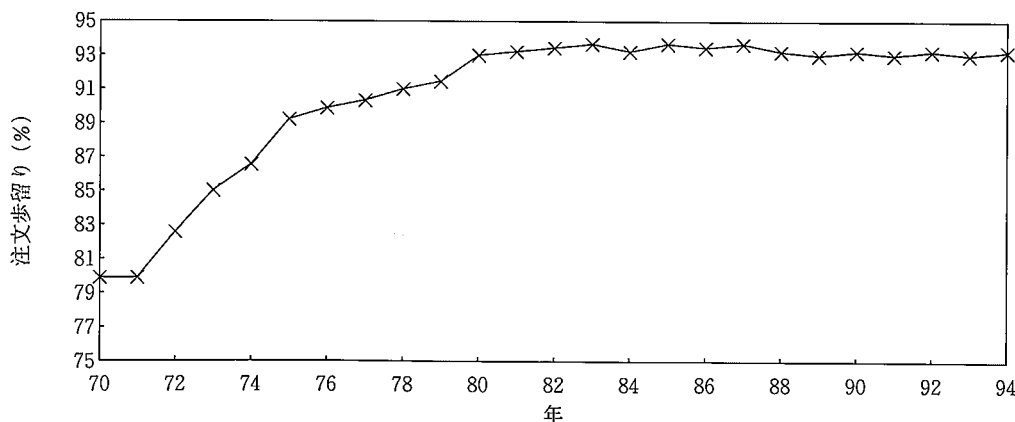
第5図 加熱炉燃料原単位とホットチャージ比率推移

### 2-3-3 生産性向上

第6図に厚板工場の労働生産性の推移を示す。生産性向上対策としては、自動化・省力化による要員削減と能率・稼働率向上による生産能力向上の両面から実施されてきた。



第6図 労働生産性推移 (鹿島)



第4図 注文歩留り推移

## (1)自動化・省力化

省力化を目的として、実施してきた対策内容の概要を以下に要約した。

### a. 自動化機器設置；

- \*表示関係機器（ステンシル装置，ラベル装置，刻印機）
- \*検査関係機器（ $\gamma$ 線厚さ計，製品長さ計，UST装置ほか）
- \*自動手入れ機（スラブグライnder手入機，スラブ切断ノロ除去装置，製品全面手入れ機）

### b. 運転作業自動化；

加熱炉装入・操炉自動化，圧延自動運転化，オイルセラ一，遠隔監視，冷却床自動運転化，クロップ処理自動化，DSS 自動化，パイリングカー自動運転ほか

### c. 物流改善；

スラブヤード物流改善，ショットプライマー物流改善ほか

### d. 生産管理システム；

スラブ，鋼板の進捗情報，置場情報のオンライン化

### e. その他；

各種作業改善，多能化，職場統合など

## (2)能率，稼働率の向上

過去の圧延能率の推移はマクロ的には下降基調である。これは TMCP 比率の増加，品種構成変化によるところが大きい。鹿島 1 ミル体制以降は生産能力向上が課題となり，圧延能率ならびに整備能力向上対策が実施され，生産能力向上が図れた。

圧延能率対策としては，圧延スケジュール改善，圧延機メインモータ更新・高容量化（2nd ミル：5 000kW DC → 7 500kW AC，1st ミル：4 500kW DC → 6 500kW AC），スラブ単重アップのためのスラブ設計システム改善，DSS 直進制御改善，ステンシル装置更新（鋼板停止タイプ → 送間タイプ）等が実施された。

整備能力向上対策としては，次工程設備の単体能力向上，工場内物流改善，関連処理能力向上（試験設備，倉庫）などについて，それぞれ対策がとられ，外販整備能力で約 20 % の向上が図れた。

稼働率は，従来のメンテナンス技術に加えて設備診断システムの導入が図られたことや TPM 活動が積極的に展開されてきたことが成果となってあらわれたと考えられる。最近の技術トピックスとしては，当社が独自に開発したオンラインロール研削技術が実用化し，仕上げミルに設置されたことである。本装置は非接触研削可能なアプレッ シブジェット方式で，ロール替え周期の延長が実現した。

### 2-3-4 直行率

直行率は手入れ，再矯正等の計画外の発生が無く，合格した製品の比率であり，生産効率を表す重要な指標である。その対策としては，成品手入れ減少の観点からスラブ手入れ方法変更（溶削方式 → グライnder方式），スラブ切断ノロ除去用グライnder装置の導入等が大きな効果を発揮した。

また，再矯正減少の点からは，当社が独自開発した新ホットレベラーの導入が大きな効果を上げた。新ホットレベラーはレベリングロールを大径，小径の 2 グループに分割して，広い範囲の板厚に対して矯正効果を高めるとともに両グループ間でテンションを付与する機能，ベンディング機能を持ち，薄物の耳伸び，中伸び等の部分歪みに対しての矯正効果を向上させた。

### 2-3-5 品質保証技術の高度化

品質に対する要求は使用条件の過酷化，保証レベルの高度化等による材質，内質に対する要求の厳格化に加え，加工時の精度向上，生産性の向上等を図るうえで重要な鋼板寸法精度，形状に対する要求も厳格化してきた。これらの要求を満たすために製造技術だけでなく，検査技術の向上についても進められてきた。検査機器の高度化が顕著な内質検査，板厚検査の状況を以下に示す。

#### (1) UST 設備の高度化：

（68年和歌山）GBP 設置（透過式連続自動超音波装置）→（80年和歌山，83年鹿島）反射式連続自動超音波装置に更新 →（88年鹿島）CST 設置（全面探傷対応連続自動超音波装置）を新設

#### (2)精整ライン厚さ計：

（70年） $\gamma$ 線厚さ計（2head，精度 $\pm 60\mu\text{m}$ ，at25mm，不感帯1500mm）→（89年）更新（3head，精度 $\pm 41\mu\text{m}$ ，不感帯50mm）

また材料試験においては加工，試験の自動化，試験センター全体の F A 化が実施され，材料試験のリードタイム短縮を図ることができた。この他，鹿島厚板工場は93年に ISO 9001を取得し，製造システム全体のレベルアップがなされた。

## 2-4 厚板プロセス技術開発

### 2-4-1 圧延技術動向

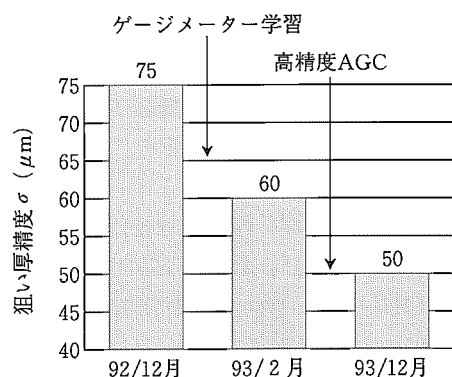
第 2 表に厚板圧延技術発展の歩みを示す。板厚制御，平坦度制御，板幅・平面形状制御，圧延設備技術，およびプロセス・コントロール・システム等の圧延技術の基本となるところで大きな進歩があった。

#### (1)板厚制御

板厚制御は，セット・アップ制御と AGC（Automatic Gauge Control）とからなるが，まず，セット・アップ制御に関して，当社ではいち早く高歩留り，高能率かつ平坦度精度良好な圧延を行うを数式モデルを開発し，実機への導入を行った。また，制御モデルの改善や，ミル近接  $\gamma$  線厚み計を用いたゲージ・メーター式の学習を行って板厚精度向上を図ってきた。AGC に関しては，ミル近接  $\gamma$  線厚み計を用いたモニタ AGC および FF-AGC を実施し，大きな効果を得ている。第 7 図に，設置効果による狙い厚精度の推移を示す。

第2表 圧延技術発展の歩み

65	70	75	80	85	90	95	
板厚制御	ドラフト スケジュール モデル (和)	電動 AGC (和)	油圧AGC (和) (鹿)	VCロール (和)	近接γ線 厚み計	モニタ,FF ACG	オンライン・ロール 研削
板幅制御			エッジヤ (鹿)		平面形状 計	レーザ 幅計	エッジヤAWC
能 率			ミル・ハウジ ング更新 (鹿)	ミル・モータ AC化 (鹿)			ミル・モータGTO インバータ
その他	圧延プロ コン (和)	熱間圧延 油 (和)	BuRローラ・ ベアリング (和) (鹿)	コンビネーション・ ホット・レベラ (鹿)	差厚鋼板	ミル集塵 装置	テーパー鋼板 スケール 制御



第7図 狙い厚精度の推移 (板厚10~20mm)

## (2) 平坦度制御

平坦度制御に関する当社独自の技術として、VCロールの実用化が挙げられる。また、業界初であるオンライン・ロール研削の実施も平坦度制御に大きな効果を上げている。更に、これら圧延における対策だけでなく、熱間強力コンビネーション・レベラの採用により、平坦度良好な板の造り込みが可能となった。

## (3) 平面形状および板幅制御

平面形状に関しては、まず、成形圧延の圧下量を最適化するモデルの導入 (最適 DBT 制御) を行った。次いでエッジャを設置し、歩留りを大幅に向上させたが、更なる高歩留りを追求するためにデタッチド・タイプのエッジャとしては初めて油圧化を行い、より高精度な制御を実現した。また、平面形状制御や板幅制御を行ううえでセンサは大変重要なものであるが、当社では、圧延ライン平面形状計やレーザを用いた高精度幅計を独自に開発し、戦力化してきた。

## (4) 圧延設備技術

制御のみでなく、設備的にも圧延技術は大きな進歩を見た。まず、(鹿)仕上げミルについては、高能率圧延による生産性の向上および高圧下圧延による製品の強度、靱性の向上を目的として、仕上げミル・モータの増強が行われた。

特に、このミル・モータは業界初の交流電源方式を採用し、メンテナンスおよび耐久性の向上も図った。また、ほぼ同時期に仕上げミル・ハウジングの更新も行われ、高圧延荷重への対応を可能としたのと同時に、BuR ローラ・ベアリ

ングの開発により低速での高荷重圧延をも実現した。更に、ミル・モータに関しては、(鹿)粗ミルにおいて世界初の大型 GTO 素子を用いたインバータ制御を導入し、電源設備を改造することなく出力の増加を図った。

加えて、圧延における能率や品質向上のみならず、工場内の環境改善にも注目し、業界では唯一のミル集塵装置の設置も行った。

## (5) プロセス・コントロール・システム

板厚、板幅、平面形状等の制御精度向上および自動化の推進のための中心的な役割を担うプロセス・コントロール・システムは、最先端技術の実現のための改善が常に行われている。より高度化するニーズに応えるべく 5~10 年間隔で大規模な更新が行われ、その都度様々なメーカーの最新ハードウェア、OS が導入された。同時に、プロセス・コントロール・システムを構成する様々なメーカーの様々な機種、および生産管理などを行うビジネス・コンピュータを有機的に結合するネットワークの導入も時代に先駆けて行われてきた。

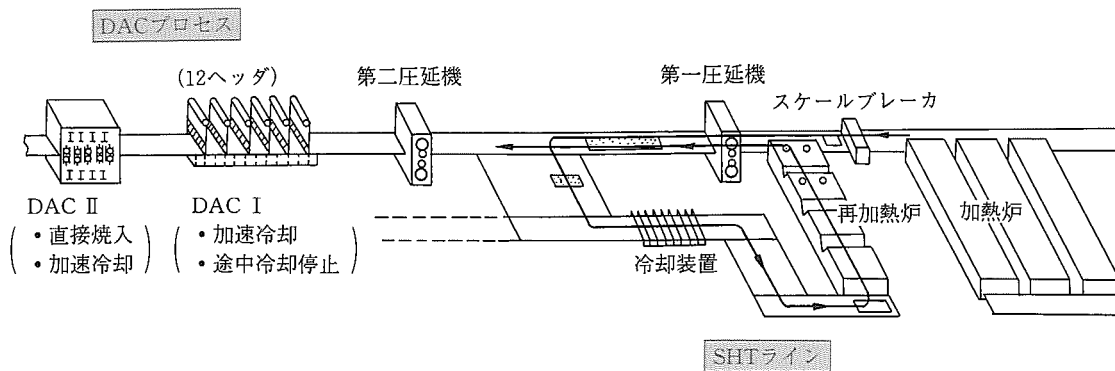
制御精度の維持・向上のためのプロセス・コンピュータのアプリケーション・ソフトは、制御モデルを除き、当初は重電メーカーにより製作されていたが、開発期間の短縮、独自ノウハウの蓄積を目的として、昭和60年代初期より住友金属ファミリー各社による内製へと移行し、現在では 100% 内製となっている。また、PLC、DCS についてもその比率が高まっており、ネットワーク技術とともに当社独自の制御技術の蓄積の場となっている。

## 2-4-2 TMCP (Thermo-Mechanical Controlled Process) 技術

TMCP 技術は、主に強度・靱性・溶接性等改善を目的として、化学成分および加熱・圧延・水冷の組み合わせによりオンラインで機械的性質を造りこむものであり、厚板製造の中で最も発達し、品質向上に大きく寄与してきた。この契機となったのが、69年の TAPS (アラスカ縦断石油パイプライン) の製造であり、その後、当社が開発、実用化した SHT プロセスが本格的な TMCP 設備に至ったものである。

第8図は鹿島厚板工場の TMCP 設備レイアウトである。





第8図 鹿島厚板工場のTMCP設備レイアウト

現在、中級鋼以上を主体に適用拡大が進み、50%を超えるTMCP比率となり、厚板製造のメインプロセスとなっている。

#### (1) 制御圧延 (CR, SSC) プロセス

加熱・圧延での温度を制御して、冶金的組織と結晶粒度を制御する技術が開発され、これを制御圧延 (Controlled Rolling 略してCR) と呼び、①圧延温度制御、②均一低温加熱、③低温・強圧下等の特徴として開発・対策が行われてきている。

①圧延温度制御……圧延中の鋼板温度履歴を制御し、かつその条件で、高精度圧延を実現するために、以下の技術確立がなされた。

- 調整条件および調整方法：材料要求性能確保と高能率両立化
- 圧延温度予測精度の構築：調整条件を取り入れた温度予測式・圧延荷重・圧延ドラフトスケジュール計算
- 温度計測技術

②均一低温加熱……連続加熱炉に対しては、特に低温域での均一加熱の一層の向上を目的として、以下の技術確立がなされた。

- スキッドシフト (固定スキッド) と ORT (Open Radiant Tube) バーナーの導入
- スキッドボタン嵩上げ
- 二段燃焼型 SSC (Sumitomo Staged Combustion) バーナー
- 燃焼制御モデルを用いて、均熱度を考慮した制御とし、計算温度による管理の実現

③低温・強圧下……低温での一層過酷な制御圧延を行うために、圧延機へ次の対策が取られた。

- ハウジング更新
  - ・高荷重化 ( $8200^{\circ}\text{T} \rightarrow 8700^{\circ}\text{T}$ )
  - ・高剛性化 ( $695 \rightarrow 775^{\circ}\text{T/mm}$ )
- 油圧 AGC 導入
- ミルモーター更新 DC  $5000^{\text{kW}} \times 2 \rightarrow$  AC  $7500^{\text{kW}} \times 2$

#### (2) SHT プロセス (Sumitomo High Toughness Process)

SHT 法は鋼板の圧延工程の中間に変態点以下への冷却および適正な焼きならし温度への再加熱を行う二段圧延プロセスであり、設備としては、再加熱炉、冷却装置、ミルラインと再加熱炉を結ぶ搬送装置から構成されている。75年に鹿島にラインが設置され、ラインパイプ素材、造船ハテン、海洋構造物等の極寒地で使用される高靱性鋼板を主体として製造実績を上げている。操業技術としては、SHT 材と通常圧延材を組み合わせた組合せ圧延により、従来のCR法の課題である能率低下に対して、高能率を兼ね備えた TMCP 製造として技術確立がなされた。

こうした真価が認められ「新しい加熱処理法による高靱性鋼板の製造法」として78年度の大河内生産記念特別賞を受賞した。

#### (3) 直接焼入れプロセス

直接焼入れ法は圧延ライン内仕上圧延機後面に焼入れ装置を配置して圧延後の熱を利用して焼入れする方法であり、79年、鹿島にローラークエンチタイプの直接焼入れ装置を設置した。本プロセスの最大課題は、焼入れ開始段階の鋼板温度を高温かつ均一に確保することであり、そのための操業技術改善がなされてきた。加熱高温化に伴って課題となるスケールキズ対策が種々取られた。

#### (4) DAC プロセス (Dynamic Accelerated Cooling Process)

当社の加速冷却プロセスである DAC は、83年に主に造船用50k 鋼をターゲットとして開発された。その後パイプ材への適用拡大を目的として88年にはDAC 前段部が強冷タイプに増強された。また、96年には、更なる適応拡大と均一冷却を目的として改造がなされた。対象板厚も、従来25mm から50mm へと適用板厚拡大され現在製造の主力製造プロセスとなっている。

本プロセスの現在の設備仕様を第3表に示す。特徴としては、①強冷から弱冷まで制御可能な冷却装置、②仕上げ圧延機に接近した冷却装置 (2nd ミルから25m)、③送間冷却方式、である。

第3表 TMCPプロセス設備仕様

	上部冷却ノズル	下部冷却ノズル	冷却能(t25)
SHT	スプレー	スプレー	5℃/s
DAC I	前段：ミスティング・ジェット 後段：CWC	前段：ミスティング・ジェット 後段：スプレー	25℃/s
DAC II	前段：スリット・ジェット 後段：スプレー	前段：スリット・ジェット 後段：スプレー	25℃/s

本プロセスの技術開発としては、①冷却制御技術・②平坦確保技術・③温度計測技術・④冷却設備管理の4点がある。

#### ①冷却制御技術

a. 停止温度確保……停止温度精度は、開始温度・停止温度にても異なるため、冷却モデルと組み合わせて階層別に学習させることで、水冷での変動要素の影響を最小化している。また、冷却制御方法もサーマルランダウンを防止する途中増速制御を採用している。

b. 均一温度分布確保……均一水冷のために、緩冷却用としてCWC (Curtain Wall Cooling) 下部はスプレータイプ冷却とし、スプレーパイプ内に多孔整流板を配した均一流量分布を実現した。一方、鋼板の端部の過冷防止のためエッジマスキング、先後端過冷防止装置を装備した。

#### ②平坦確保

平坦確保として、上記の四周マスキングに加えて、上下での水量のパターンを持つことにより平坦確保のための水冷対策を行っている。また、水冷材が温度低下のため、矯正反力増大に対処するため熱間レベラー反力を600tから3000tにし、強力曲げ矯正を可能にした。

#### ③温度管理

水冷での温度管理は、冷却後の復熱温度を測定できる位置へ温度計を設置し、上面での水乗りによる測温不安定を防止するため、水切り装置をDAC出側に設置している。温度計の信頼性確保のため、温度計専用マイコンと温度計のダブルチェックにより温度異常が検出できるようにしている。

#### ④冷却設備維持管理

冷却ノズル詰まり・ノズルの変形等は、水冷能力を維持するうえで必須であり、ノズル詰まりのため、オートストレーナー・常時水出しシステム等の対策をとっている。また、ノズル変形のために、ノズルヘッドの昇降機構・防熱板等の対策をとっている。

### 2-4-3 精整ラインおよびオフライン処理関係技術

#### (1)精整ライン

精整ラインは冷却床、採寸、切断、検査、表示、パイラーで構成されているが、自動化、能率向上、品質向上の観点を主体にレベルアップが図られてきた。中でも、中心的

な設備である切断装置に関しては、76年に(和)厚板工場が設置したコンバインドシャーカ特記すべき点である。これは従来20mmまで処理していたラインを抜本的に改造し、当時業界では初めての50mmまで処理するラインに変えるために、ダブルサイドシャーとエンドシャーを組み合わせたコンバインドシャーを設置したものである。

最近では、サイドシャーのピンチロールの制御法をレベルアップして直進度を向上し、切断面の品質向上が図られた。採寸に関しては、和歌山厚板工場に83年に設置したPSG (Plate Shape Gauge) と呼称される鋼板形状認識装置が採寸作業を大きく変貌させた。これは、圧延されたままの鋼板をライン走行中に計測し、平面形状計測結果と精整指示情報を用いて最適な採寸指示を決定している。

その他の技術については、自動化を目的とした自動機器の導入、自動運転化や間欠作業から送間作業への切り替え等が行われてきた。(詳細は2. 3. 3(1)項を参照)

#### (2)熱処理設備

熱処理設備は60年代後半に大きな変革があった。

\*熱処理炉：直火式→無酸化式、

\*焼入れ装置：加圧式(プラテン式)→連続式

(和)厚板工場も一連の改造を実施したが、その中で特に焼入れ装置については業界のトップをきって連続式に更新し均一冷却技術の発展に貢献した。その後は主に省エネルギーと省資材の技術改善が主で、省エネルギー技術では、レキュベレータの設置、バーナー改造、炉壁断熱化等で、省資材については、ハースロール、ラジアントチューブの材質、形状の変更等を行ってきた。また、高付加価値品の増加で、熱処理能力増強が必要となり、鹿島に75年に台車炉、84年にはテンパー炉を設置した。

#### (3)ショットブラスト、プライマー

プライマー装置には片面塗装方式と両面同時塗装方式の2つのタイプがあるが、当社は和歌山、鹿島とも後者の方式を採用している。両面同時塗装方式は設備がコンパクトであるメリットが有る反面、裏面の塗膜品質確保に課題があり、その解決に向けての取り組みが行われてきた。

年 代	搬送方式	補 修 法	課 題
65～ 82～ 94～	リングローラ バーコンベア 同上	タッチアップ装置 部分補修(手動) 自動タッチアップ装置	補修面積大 見栄え

最下段方式(現状)はバーコンベアの接触部分を部分的に自動補修するもので、品質、見栄えとも問題なく、両面塗装方式の完成域に達成したものと考えられる。

また、94年にショットプライマーラインの改造を行い、No.2ショットブラストの新設、自動ステンシル、自動ラベラー等の省力化設備の導入、調合室のライン近接化を行い、能率、品質、省力化の面で大幅な進歩を遂げた。

#### (4)その他オフライン処理

その他オフライン処理としては、成品手入れ、ガス切断、プレス、レベラー、成品徐冷、立会作業、倉庫作業がある。それぞれにおいて技術改善がなされているが、主な点にのみ言及する。設備面での充実が顕著なのは成品徐冷である。当初は徐冷カバーのみの体制のものが、現在では、保温徐冷炉、伸縮式カバー徐冷、冷却床上オンライン徐冷装置、土間徐冷を順次設置し、品質要求レベルと溶鋼水素値により、上記設備を使い分けて、対応している。当社独自技術としては、コンテナ輸送が挙げられる。鹿島と中継基地の堺の間の海上輸送に適用しており、厚板専用コンテナで厚鋼板を輸送するもので、荷役能率で従来の約6倍の効果を上げている。

#### (5)クラッド鋼製造技術

79年、和歌山で圧延法によるステンレスクラッド鋼の開発に着手。その後試作を重ね、81年1月から受注製造開始。82年末には能力600t/月の量産体制を確立した。

圧延法は合せ材（ステンレス）と母材（鋼）の表面を研磨後、その四周を溶接にて接合し、これを加熱、圧延して所定寸法にクラッドを製造する方法であるが、当社の圧延法は合わせ材と母材間にニッケル箔の挿入と特殊真空処理を施すことにより、接合性の向上を図ったのが特徴である。ベース品はSUS—炭素鋼による片面クラッドであるが、たゆまぬ開発を続け、高級ステンレス鋼（2相ステンレス鋼、高耐食ステンレス鋼他）や、更にモネル・キュプロニッケル・チタンと言った特殊材質との組み合わせによるクラッド鋼を種々開発してきた。

87年鹿島に設備移管後は、和歌山で開発した技術をベースに、製紙プラント用広幅薄厚チタンクラッド、管板用チタンクラッドと製造を拡大してきた。

## 2-5 生産管理システム

厚板の製造は一品ごとの注文仕様を持った成品を大量生産することが基本であり、一品ごとに異なった多くの生産工程を通して処理される。このため、複雑な処理工程を柔軟に安定して運用できる生産管理システムの優劣が工場の操業全体に大きな影響を及ぼすことになる。このため、65年和歌山稼働以来のバッチシステムの改善を基本として、コンピュータの発展（容量・処理スピード向上）に伴い、71年鹿島には、指示・実績のリアルタイム処理化を実現した。このリアルタイム処理により、操業として、物に合わせた・物流に合わせた情報処理が可能となり、厚板の複雑な物流に対応した指示・実績情報システムを確立した。

更に、76年和歌山・84年鹿島にて、光ネットワーク（LAN）を構築し、異質コンピュータの連結・構造化データベース化・アセンブラ言語から高級言語への変更によりソフト生産性の向上が図られた。これにより従来複雑な処理であった仕様決定の自動化・置き場管理システムの

導入・ホットチャージのロールスケジュール自動化等情報の多様化に対応したシステム基盤が確立した。95年には、受注・計画の効率化を目的としてシステム改善がなされた。

従来の製造・営業・中継基地で別々に保有している情報の繋がるようにし、情報のオープン化を指向した。このための情報量対応のため LICS（Relational Data Base）・イメージ入力・無線端末入力等情報の管理・I/Oの簡素化を図り、ユーザーでの情報活用の充実を図っている。また、スラブ設計への最適化理論遺伝子アルゴリズム：GA（Genius Algorithm）の適用およびホストCPUとEWS並列処理化による大規模データ処理の実現を図った。

## 3. 厚板製品開発の歴史

### 3-1 需要分野別の厚板製品開発年表と市場ニーズ

和歌山製鉄所の厚板工場が1965年に稼働して以降の各需要分野別の厚板製品開発年表と市場ニーズを第4表に示す。また、2項以降に各用途分野別の厚板製品開発の歴史について述べる。

### 3-2 造船、海洋分野用厚鋼板製品開発

#### 3-2-1 造船用厚鋼板

厚板の最大の需要家である造船業界からの厳しい品質要求は当社厚板開発の駆動力となり、これに応えるべく各種の新製品が開発された。具体的には77年より従来のノルマ処理鋼板に替わる、当社独自のSHT（Sumitomo High Toughness）法による高靱性造船用HT490鋼板の船級承認を得て実製造を開始した。これは、圧延途中でのスラブ再加熱と制御圧延（CR：Controlled Rolling）によってオフライン熱処理ノルマ鋼と同等以上の高靱性を達成したものであり、その後のスラブ低温加熱CRによるSSC（Sumitomo Special Controlled Rolling）法、オンライン加速冷却により組織コントロールするDAC（Dynamic Accelerated Cooling）法へと発展して行った。

これらのTMCP（Thermo-Mechanical Control Process）技術は、軟鋼なみの溶接性を維持したハイテンの製造を可能にし、ハイテン比率拡大による軽量化によって造船業界の合理化に寄与することができた。同時に、造船用厚板からスタートしたTMCP技術は、海洋構造物等の他分野における高性能厚板製造技術の進歩に大きく寄与することとなった。

一方で、ファブリケータにおける溶接施工能率の向上要求から大入熱溶接部の熱影響部（HAZ）高靱化技術開発に注力した結果、 $\gamma$ 粒の粗大化防止としてのTiN析出を利用した大入熱対策鋼、更に、 $\alpha$ 粒の微細析出を促進させる

第4表 用途分野別厚板製品開発年表と市場ニーズ

用途分野		65	70	75	80	85	90	95	市場ニーズ		
船舶・海洋	造船	SHT法適用 → SSC法 → DAC法適用 → TMCP+TiN, BN析出鋼適用									
	海洋構造物	耐ラメラシア鋼製造 ラック用厚肉 HT590製造				ラック用厚肉 HT780: 180mm製造 → TMCP鋼適用 → TMCP+TiN析出鋼適用					
エネルギー	ベンストック	HT570 → HT690製造 → HT780製造 → Max180mm — (50mm) (100mm) — (150mm) — (200mm) → HT950製造									
	タンク	原油	HT590製造 → エレガス溶接対応 HT590製造								
		球形 タンカー含	HT590製造 HT780製造				クラックフリー-HT590開発 LPGタンカー用高靱性 NonNiHT730開発 高靱性NonNi HT780開発				
		低温度 タンカー含	アルミキルド鋼 2.5, 3.5Ni 9Ni 開発		SHT適用 → DAC適用 (アルミキルド, 2.5Ni) 27mm → 35mm → 40mm → (50mm)		DAC適用1.5Ni アンモニア混載タンカー用 440及び530N/mm <sup>2</sup> 鋼				
	ラインパイプ	TAPS(X60)		X65	X70	耐HIC, CO <sub>2</sub>					
プラント 石油・化学 火力・環境		Cr-Mo鋼製造 耐クリープ割れAl-B 処理Cr-Mo鋼開発									
		石油精製プラント用 耐HIC鋼開発									
		耐硫酸露点腐食鋼 CRIA開発									
建築鉄骨		TMCP型低YR HT490 T-DAC厚鋼板一般認定取得 高性能HT590開発 予熱低減型HT590 開発、製造 一般認定取得 極低YP鋼SLY100開発									
橋梁		HT570製造	HT690, HT780 開発、製造		エレガス溶接用 HT570開発 予熱低減 HT780開発 予熱低減 厚肉HT570 開発、製造						
建設機械 産業機械		耐摩耗鋼開発 SUMIHARDK-235~360				SUMIHARDK-400, 500					

厚肉化	高強度化 高硬度化	高靱性化	低YR化	予熱低減化	大入熱溶接性	耐環境劣化性 向上	メンテナンス 低減化
-----	--------------	------	------	-------	--------	--------------	---------------

( )内は開発板厚を示す。

( )内は開発板厚を示す。

BNを利用した大入熱対策鋼などが開発された。

### 3-2-2 海洋構造物用厚鋼板

海洋油田開発の深海化に伴ってプラットフォームも大型化されることとなり、従来のジャッキアップタイプに使用される鋼板は強度レベルが HT590から HT780へとグレードアップするとともに、板厚、要求靱性も増大していった。更に、ノード部では板厚（Z）方向の応力が加わることから耐ラメラシア特性も要求されるが、これらの要求をすべて満足する鋼板として、ボロンを初め各種添加元素の最適化による厚肉 HT780Z 鋼板を開発し、'78年から本鋼の大量生産が開始された。

更に、最近では一層の深海開発に対応すべくプラットフォームも多様化がすすみ、SHELL がメキシコ湾で深海の世界記録を毎年更新し続けている TLP（Tension Leg Platform）が一般化されているが、これには高靱性厚肉の 500N クラス鋼板が使用されている。また、本鋼板は部材の安全性を考慮して溶接部に対して API RP 2Z に従った厳しい評価による高い限界 CTOD 値が要求される。これらの要求に応えるべく低 Al 化による溶接部の局部的脆化部のない（LBZ フリー）鋼板を開発し、上記 SHELL の大型プロジェクトに '94 年より大量納入を継続中である。

## 3-3 エネルギー関連分野用厚鋼板製品開発

### 3-3-1 揚水発電、水圧鉄管用厚鋼板

電力エネルギーは国民生活、産業活動の基盤を支える重要なエネルギーであり、経済成長に呼応して年々増加の一途をたどっており、需要に応じた電源開発が行われている。

特にピーク需要に対応する手段として揚水発電所の建設が進められるとともに大型化が進んでいる。

これを支えてきた重要な技術として高強度高張力鋼板製造技術の開発と大規模な水圧鉄管の設計、施工技術の進歩が挙げられる。当社では68年の HT690 からスタートし、73年の HT780 の特認試験を経て、今日では HT950/200mm までの開発を完了している。これまでに国内外の主要発電所の水圧鉄管用として約17万トンの厚鋼板を納入している。

溶接構造用 HT690, HT780 は66年日本溶接協会の鋼種認定を取得し、社内の球形タンク等で実績を積み重ねた。69年には学識経験者のご指導のもと、水圧鉄管用として要求されるトンネル内の厳しい溶接環境における溶接性の確保と母材および溶接部の靱性確保に重点をおいた42mm 厚 HT690 の開発に成功し、70～72年に電源開発(株)沼原水力発電所向けに2900トン納入した。関西電力(株)奥吉野水力発電所および中部電力(株)奥矢作水力発電所向けとして50～100mm 厚 HT780 の特認試験に参画し、より一層溶接性と低温靱性の優れた HT780 鋼板を開発するとともに水圧鉄管用として具備すべき品質特性と鋼板の品質設計に対する基本的な考え方を収得した。この時点で技術進歩のあった点は以下のとおりであり、今も HT780 製造技術の基本事項となっている。

- ①適正な有効ボロンを確保し、ボロンによる焼入れ性の向上を最大限に利用するボロン処理技術の確立
- ②熱処理炉を無酸化加熱炉にし、ローラクエンチと直結することにより焼入れ性を高め、鋼板全面にわたり均一な機械的性質を確保

## ③優れた製鋼技術により清浄度の高い鋼質を確保

また、分岐管補剛材用として板厚方向性能を保証した HT590以上の極厚高張力鋼板の要望に対しても製鋼技術を駆使した超清浄鋼にて対応してきた。

更に水圧鉄管の大型化に対応するため81年に50mm厚 HT950の開発に着手以来、微量成分の活用、およびこれらの制御と超清浄鋼の精錬を可能にした優れた製鋼技術を駆使し、更に熱処理の工夫によって200mm厚 HT950の開発も完了している。そして96年には世界で初めて HT950を使用したスイスの Cleuson-Dixence Power Project の水圧鉄管に41～43mm厚 HT950を納入した。

## 3-3-2 貯槽、容器

## ・LNGタンク用厚鋼板

当社では、地上式 LNG タンクの内槽材として9%Ni鋼の製造と納入を75年に開始し今日に至っている。

この間、80年代における同鋼の脆性破壊伝播停止特性に関する日、米、欧国際共同研究を始めユーザーとの多数の共研に参画し LNG タンクの安全性に関してミルメーカーとしての寄与を果たすとともに、得られた知見を実製造条件の改善に反映し、一貫して高靱性な9%Ni鋼を製造、供給してきた。一方、近年クリーンエネルギー源としての LNG 需要は増大の一途をたどり LNG タンクの容量も拡大の傾向が著しい。これに応じ厚肉の高靱性9%Ni鋼板が必要とされるが、当社では従来からの化学成分や熱処理条件の厳密な制御に加え、PやSの極限までの低減と3段熱処理の採用により板厚55mmまでの高靱性9%Ni鋼板の開発を完了している。第5表に鋼板の諸特性を示す。これらの鋼は学識経験者やユーザーを交えた評価委員会にて大型 LNG タンクへの適用性が実証され、この内板厚40mmの鋼板は90年に地上式としては当時世界最大容量14万 KLのPC(プレキャストコンクリート) LNG タンクに実用されている。

第5表 厚肉高靱性9%Ni鋼板の諸特性例

(板厚：55mm)

化 学 组 成 (wt%)					
C	Si	Mn	P	S	Ni
0.05	0.25	0.66	0.001	0.001	9.32
母 材 特 性					
YP (N/mm <sup>2</sup> )	TS (N/mm <sup>2</sup> )	vE-196 (J)	限界CTOD -196°C(mm)	K <sub>Ca-196°C</sub> (kN/mm <sup>3/2</sup> )	
604	716	257	≥0.95	>8.854	
溶 接 部 特 性					
溶接法・溶材 入熱(kJ/mm)	TP (N/mm <sup>2</sup> )	vE-196 (J)	限界CTOD* -196°C(mm)	K <sub>Ca-196°C*</sub> (kN/mm <sup>3/2</sup> )	
GTAW・70%Ni 2.9~4.4	748	173	≥0.75	>8.854	

\*：ノッチはFL

## ・LPGタンク、タンカー用厚鋼板

地上式 LPG タンクには低温用 Al キルド鋼～9%Ni鋼に至る多岐にわたる鋼板が使用される。当社では高度な安全性と経済性の両立を考慮して、既に2.5～3.5%Ni鋼を開発しているが、更に前者に対しては TMCP 技術を組み合わせ、安全性レベルの向上を図っている。

また、より以上の経済性を追求するため、Niを1.5～0.5%にまで低減した TMCP タイプの鋼を開発し、これらの鋼が LPG 温度にて十分な安全性を有することの実証も終え、この内前者はすでに海外の LPG タンクへの適用実績を有している。

一方、船用 LPG タンク用の鋼板には上述の高い安全性に加え大入熱溶接に耐える優れた溶接部靱性の確保が求められる。これに対し、前述の TMCP 技術の高度化と B, Ti, Al 等の微量添加元素の制御により Ni 無添加にてこれらの極めて厳しい要求を十分満たした鋼板の開発に成功している。本鋼の代表的な特性を第6表にまとめて示す。なお、本鋼はすでに大量の適用実績を有する。

また、アンモニア混載 LPG タンク用鋼材には優れた低温靱性ととも高TS、低YPすなわち低降伏比の両立と言った厳しい要求がなされるが、これに対しても TMCP 条件の高度な最適化により開発に成功している。

## ・原油タンク用厚鋼板

原油タンク用鋼として、直接焼入れ・焼戻し処理条件とN等の微量成分元素の最適化により最大限の強度、靱性向上効果を確保し、それにより P<sub>CM</sub>の大幅低減を通じ、予熱無し、大入熱溶接が可能な HT590鋼を開発、実用化している。

第6表 LPG船用大入熱溶接型高アレスト性厚鋼板の特性

化 学 组 成 (wt%)						
C	Si	Mn	Nb	Ti	B	Al
0.06	0.13	1.41	0.012	0.01	0.001	0.009
母 材 特 性						
板厚(mm)	YP(N/mm <sup>2</sup> )	TS(N/mm <sup>2</sup> )	K <sub>Ca-46</sub> (kN/mm <sup>3/2</sup> )			
16	416	466	8.348			
目標	≥325	440~560	≥3.921			
溶 接 部 靱 性 特 性						
溶接法／ 入熱(kJ/mm)	vE-51* (J)		K <sub>Ca-46</sub> * (kN/mm <sup>3/2</sup> )			
FAB/8.6	162		11.511			
目標	≥27		≥3.700			

\*：ノッチはFL

## 3-3-3 ラインパイプ用厚鋼板

ラインパイプ分野においては69年に当社が先がけて TAPS 向け X60に制御圧延 (CR: Controlled Rolling) 技術を適用して以来発展したことは有名であるが、71年には北海海底ラインパイプ用に X65を連続鍛造で製造した。



また、75～76年にはソ連向けX70の大量生産が開始され、引張試験における強度、伸びバランス改善の観点からのNb, V, Tiのマイクロアロイ利用技術、スラブ加熱および制御圧延方法の最適化が検討された。

更に母材のセパレーションとYR規制、溶接金属の高温割れ問題などから化学成分、制御圧延方法の最適化等の技術的改善が展開がされた。

一方、鋼材のHIC防止技術としてCu添加(73年)によるBP条件耐サワー鋼、Ca添加(81年)によるNACE条件耐サワー鋼の開発が行なわれ、その後のTMCP技術を利用して組織制御による耐サワー鋼の製造技術が確立された。

### 3-3-4 ボイラ、石油精製、化学、環境プラント用厚鋼板

ボイラ、石油精製プラント等の高温部で使用されるCr-Mo厚鋼板は68年から製造を開始した。70年代後半に入り、世界各地の11/4Cr-0.5Mo鋼を用いた石油精製装置、ノズルネックの溶接熱影響部に使用中に割れを生ずる問題(クリープ割れ)が報告された。当社は80年に耐クリープ割れAl-B処理11/4Cr-0.5Mo鋼を開発し、ユーザーに供給してきた。

70年代前半には石油精製プラントにおいて水素誘起割れ(HIC)によるトラブルが報告されており、当社はプラントエンジニアリング会社と共同で実プラントでの暴露試験も実施し、'76には、耐水素誘起割れ性を有したプラント用鋼板、CR-5を開発、販売を開始した。

ボイラ等の煙突では亜硫酸ガスを含む燃焼ガスが冷却され、硫酸露点により、普通鋼は著しく腐食される。当社は、実際の煙突内環境をシミュレーションした実験室での腐食試験に加え実機での暴露試験を重ね、73年に耐硫酸露点腐食鋼CR1Aを開発し、厚板、鋼管、薄板を製造販売してきた。最近ではごみ焼却プラントの煙突、ダクト等にも使用されている。

## 3-4 建築、橋梁用厚鋼板製品開発

### 3-4-1 建築鉄骨用厚鋼板

建築物の大型化、高層化、インテリジェント化に伴い、溶接し易い高強度な厚肉鋼材が必要になってきた。当社はTMCP技術を駆使した厚肉建築構造用490N/mm<sup>2</sup>級鋼材T-DAC33, 36を開発し、88年に建設大臣一般認定を取得した。その後、JIS化された建築用鋼材(SN鋼)との整合性を持たせ、T-DAC325, 325B, 325C, および355, 355B, 355Cとして、94年に認定された。本鋼材の特徴は次のとおりである。

- ・板厚40mm超えでも薄肉材と同様の高い降伏点を保証  
したバラツキを抑えているため、合理的な設計が可能。
- ・地震時の安全性を配慮し、降伏比(降伏点/引張強さ)80%以下を保証。

- ・炭素当量、または溶接割れ感受性組成の上限値を規定し溶接性に優れている。

- ・板厚方向の特性(絞り値)を保証。(グレードC)

92年には更に高強度な建築構造用高性能590N/mm<sup>2</sup>鋼材SA440を開発し、実物件に使用。その後、個別認定実績を重ね、96年にはSA440B, Cとして建設大臣一般認定を取得した。本鋼材使用により、更に合理的な設計、施工が可能となり、今後の需要増加が期待される。(新製品紹介参照)また、95年の阪神淡路大震災による鉄骨造建築物の被害も契機となり、地震動エネルギーを吸収する極低降伏点鋼材が脚光を浴び始めた。当社の極低降伏点鋼材SLY100は94年に既に実物件に採用され、製造販売している。

### 3-4-2 橋梁用厚鋼板

国内の橋梁は60年頃からスパンの長大化が進み、これに伴い、上部構造の自重軽減のため高張力鋼板が使用されるようになってきた。当社は65年に橋梁用の570N/mm<sup>2</sup>級高張力鋼板の製造を開始した。また、70年頃から、橋梁や水圧鉄管等の溶接構造物用の690～780N/mm<sup>2</sup>級高張力鋼板を開発した。そして72年には阪神高速道路公団、港大橋に橋梁用として我が国で初めて780N/mm<sup>2</sup>級高張力鋼板が使用され、当社材も採用された。一方、建設コスト等の面から近年PC(プレストレスコンクリート)製橋梁の伸びが著しく、鋼橋の競争力向上が大きな課題となっている。最近、当社は以下に示すとおり、鋼橋の競争力向上に寄与する厚鋼板を提供してきた。87年にはレインボーブリッジ(吊り橋)の主塔用に当社の大入熱用の570N/mm<sup>2</sup>級高張力鋼が使用された。本鋼はエレクトロガス溶接を行っても、溶接熱影響を受けた部分の靱性低下が少なく、施工能率向上に寄与した。

93年には溶接時の予熱温度を従来の約100℃以上から約50℃に低減できる780N/mm<sup>2</sup>級高張力鋼板を開発提案し、本州四国連絡橋、明石大橋用として納入した。また、現在建設が始まっている第二東名神高速道路では、主桁の数を3～2本に減らした合理化橋梁が採用されはじめている。96年には主桁フランジ用として厚肉予熱低減型の、ウェブ用としてはエレクトロガス溶接対応の570N/mm<sup>2</sup>級高張力鋼板を納入し、施工能率向上にも寄与した。

鋼橋の競争力を向上させるうえでメンテナンス低減も重要な課題である。耐候性鋼の裸使用では、安定錆生成までに長時間を要し、その間の錆汁による汚染や見栄えの問題がある。また海塩粒子や凍結防止材により安定錆が生成しない等の問題をかかえている。当社は20年間暴露した耐候性鋼安定錆構造を解析し、新たな視点で早期錆安定化技術を開発し、実用化を進めている。

細川能夫／鋼板事業部 厚板技術部 専任部長  
渡辺祐一／鋼板事業部 厚板技術部 次長  
(問合せ先)細川 TEL: 03(3282)6483

## 燃料タンク用材料「SZ-GTX」

従来、乗用車や二輪車などの燃料タンクにはターンめっき鋼板（Sn-Pb 合金めっき鋼板）が広く使用されてきた。シュレッダーダストの法規制（1986年4月施行）に伴い、脱 Pb 化が検討されている。当社では Zn-Ni 系電気めっき鋼板の燃料タンクへの適用を追及してきた結果、加工後の耐食性や耐燃料腐食性に優れた燃料タンク用電気めっき鋼板「SZ-GTX」を開発したので、主な製品性能を以下の紹介する。

### 【特徴】

SZ-GTX は特殊処理を施した Zn-Ni 合金めっき層とクロメート被膜の二層構造からなる。

現在ガソリンタンクとして使用されているターンめっき鋼板やEGクロメート鋼板と比べた性能を第1表にまとめる。

#### (1)塩水噴霧試験による耐食性

平板、加工後、クロスカット後のいずれかにおいても極めて良好な耐食性を示す。

#### (2)耐ガソリン腐食性と耐ガソホル耐食性

ターンめっき鋼板やEGクロメート鋼板と同等以上の良好な耐食性を示す（第1図）。

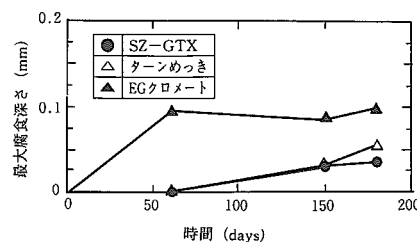
#### (3)成形性と溶接性

ターンめっき鋼板よりも動摩擦係数が小さく、成形性に優れる。また、スポット溶接の連続打点性やシーム溶接性に関してもターンめっき鋼板を凌駕する。

評価性能	SZ-GTX	ターンめっき	EGクロメート
耐食性 (塩水噴霧)	平板	◎	△
	円筒絞り	◎	△
	クロスカット	◎	△
耐ガソリン腐食性試験	◎	○	○
耐ガソホル腐食性試験	◎	○	○
成形性(動摩擦係数)	◎	○	○
溶接性	ろう付け性	○	○
	シーム溶接性	◎	○

◎：極めて良好，○：良好，○：ベース，△：劣る

第1表  
SZ-GTXの諸性能



第1図 ガソリン腐食試験での最大腐食深さ

問合せ先：鋼板事業部 薄板技術部 TEL(03)3282-9239 FAX(03)3282-6761

## 導電性潤滑処理鋼板 スミジングTJ処理 (EG-TJ)

亜鉛めっき鋼板の成形時に付着した油や汚れの除去のために使用される洗浄剤である、1,1,1-トリクロロエタンや特定フロンは、オゾン破壊物質に指定され使用が禁止された。

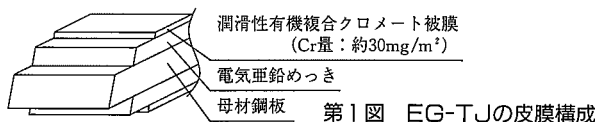
このため各種代替方法が検討されているが、無塗料で成形できる潤滑処理鋼板の使用は、洗浄剤を使用しない点で画期的である。

亜鉛めっき鋼板に潤滑性を付与する方法としては、鋼板表面を潤滑性樹脂で被覆することが一般的であるが、樹脂は絶縁体であり導電性との両立は困難である。

そこで、最表面に樹脂皮膜を有しない、導電性潤滑処理鋼板を開発したので以下に紹介する。

### 【特徴】

EG-TJ（第1図）は、電気めっき鋼板上に潤滑性有機複合クロメート皮膜を有する潤滑処理鋼板である。



第1図 EG-TJの皮膜構成

#### (1)潤滑性（第2図）

最表面のクロメート層に潤滑性能を付与。従来の有機皮膜型潤滑処理鋼板と同等、かつ特殊クロメート処理鋼板塗油材より潤滑性に優れる。

#### (2)導電性（第3図）

優れた導電性を有し、従来のクロメート処理鋼板と同様にアース用途への適用が可能。

#### (3)スポット溶接性

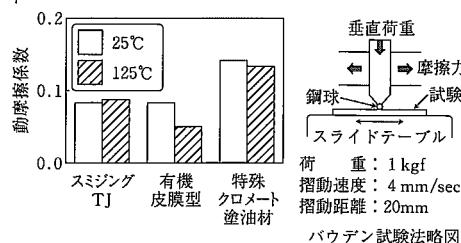
適性溶接電流範囲が広く、連続のスポット溶接においても安定した作業が可能。

#### (4)耐食性

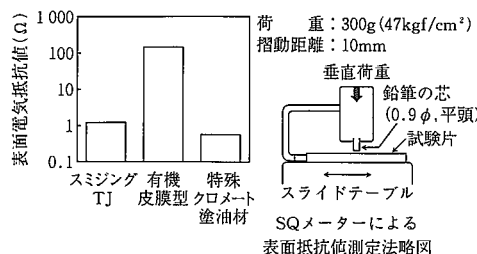
特殊クロメート処理鋼板よりも耐食性に優れる。

#### (5)性能まとめ（評価：◎優 ○良 □同等 △劣）

	導電性潤滑処理鋼板 EG-TJ	有機皮膜型 潤滑処理鋼板	特殊クロメート 鋼板
色調	無職	淡黄色	淡黄色
潤滑性	◎	○	○
導電性	◎	△	ベース
溶接性	◎	△	ベース
耐食性	◎	○	ベース



第2図 動摩擦係数測定結果



第3図 表面電気抵抗値測定結果

問合せ先：鋼板事業部 薄板技術部 TEL(03)3282-9239 FAX(03)3282-6761

## 最近開発した特徴ある自動車用高張力鋼板

自動車の車体軽量化と衝突安全規制の強化に伴う安全性向上を目的に加工性に優れた高張力鋼板に対する要望がたかまっている。そこで、最近開発された特徴あるハイテンを中心に当社の自動車用高張力鋼板を紹介する（第1表）。

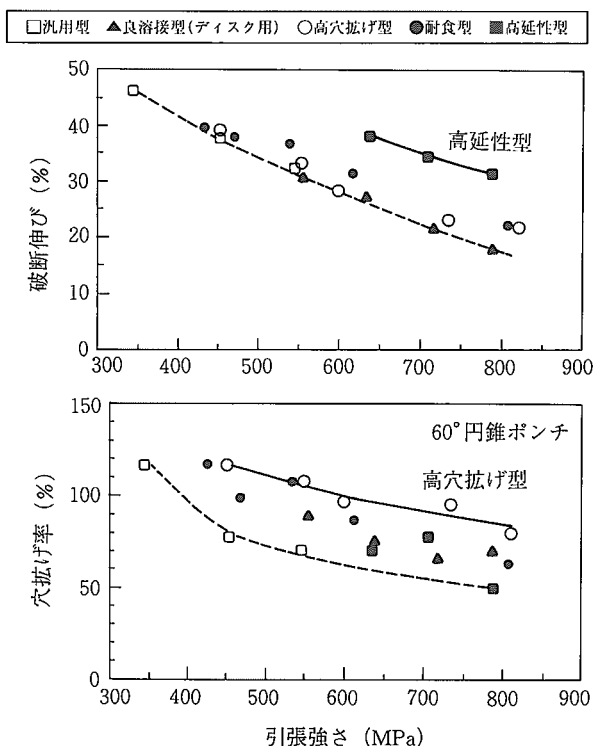
## 1. 熱延高張力鋼板（第1図）

## (1)高穴抜け型熱延鋼板

低C-高Si系の成分設計と金属組織の制御により、従来鋼よりも高い穴抜け性（伸びフランジ性）を付与した。

## (2)高延性型熱延鋼板

C, Mn, Si, Al量と金属組織の最適化によりオーステナ



第1図 熱延高張力鋼板の引張特性と穴抜け性

イトを残留させた鋼板で、優れた延性と張出し性を有する。

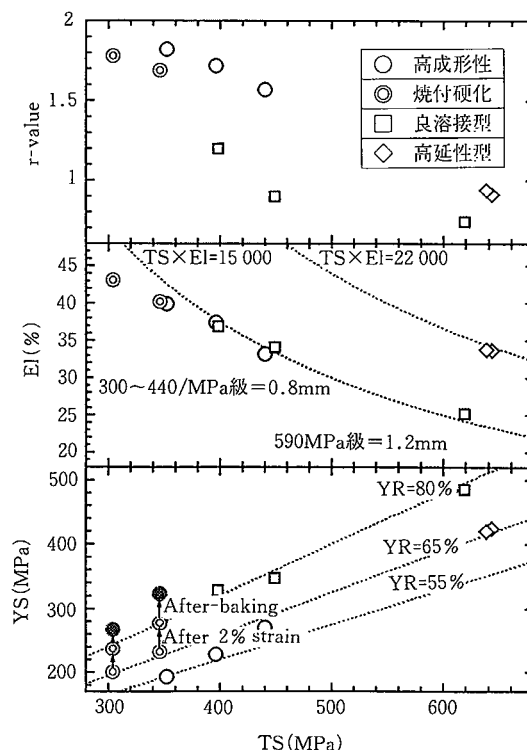
## 2. 冷延高張力鋼板（第2図）

## (1)高成形型冷延鋼板

極低炭素鋼をベースに Mn, P, Ti, Nb を適量添加して、高 r 値と低降伏比を実現させた非時効型の鋼板である。

## (2)高延性型冷延鋼板

C, Mn, Si, Al 量と連焼条件の制御により、高延性を付与した。高速変形時のエネルギー吸収能にも優れる。



第2図 冷延高張力鋼板の引張特性

第1表 当社で生産している熱延・冷延高張力鋼板（裸）のグレードと鉄連規格との対応

鋼板の名称		住友規格	合金元素	引張強さ (MPa)											〈参考〉 鉄連規格
				340	370	390	440	490	540	590	690	780	980	1180	
熱延鋼板	汎用型 1	SHA***	C, Mn		◎*	◎*	◎*	◎*	◎*						JSH***J, W
	汎用型 2	SHA***B	C, Mn					◎	◎	◎					
	良溶接型	SHA***W	Nb, Ti				◎*	◎*	◎*	◎	◎*				JSH***R
	低降伏比型	SHA***D	C, Si, Mn					◎*	◎*		◎*				JSH***Y
	高穴抜け型	SHA***H	C, Si, Mn, Cr				◎	◎	◎		◎	◎			
	高延性型	SHA***S	C, Si, Mn, Al						◎	◎	◎	◎			
	耐食型	SHA***CR	Cu, P, Si		◎	◎	◎	◎	◎		△				
冷延鋼板	汎用型	SCA***	C, Mn	◎*	◎*	◎*	◎*								JSC***W
	良溶接型	SCA***W	Nb, Ti			◎	◎*			◎*					JSC***R
	絞り加工型	SCA***R	C, Mn, P	◎*	◎*	◎*	◎*	◎	◎						(JSC***P)
	高成形型	SCA***X	Mn, Ti, Nb, P	◎	◎	◎	◎								JSC***P
	焼付硬化型	RBH***	Mn, Ti, Nb, P	◎*	△	△									JSC***H
	低降伏比型	SCAF***D	C, Mn							◎*		◎*	◎*	◎*	JSC***Y
	高延性型	SCAF***S	C, Si, Mn, Al							◎					
	耐食型	SCAF***C	Cu, P	◎											

◎：量産中，○：生産可能，△：開発中，\*：日本鉄鋼連盟規格対応品

## 海洋構造物用高靱性TMCP型厚鋼板

最近の深海油田開発においては、プラットフォーム建造コストの観点から形式としてはTLP(Tension Leg Platform)タイプが選択される場合が多い。

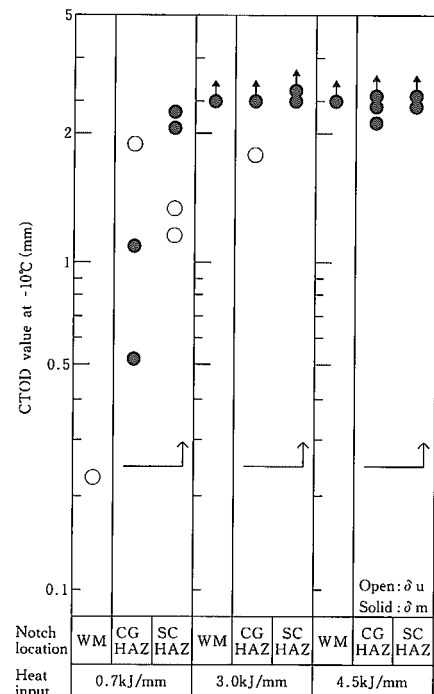
なお、海洋構造物用厚板に関しては、高い母材靱性に加えてAPI RP 2Zに従った厳しい評価による高HAZ靱性が要求される。これらを満足するために低A1化による脆化組織の生成防止およびNb-Ti添加量の最適化による組織の微細化を図った成分系を採用するとともにファブの溶接施工能率向上の観点から低 $P_{CM}$ 化による必要予熱温度の低減を可能とした。

一方、建造期間の短縮もコストセービングには重要な要素となる。そこで、鋼材製造期間短縮のための同一化学成分系による各種板厚(0.788"~3")規格(API 2W GR.50&GR.60)の造り分け技術確立に取り組んだ。

本鋼板の母材試験結果を第1表に、HAZのCTOD試験結果を第1図に示すが、いずれも非常に良好な性能が得られている。また、同一成分系による広い板厚範囲の製造にもかかわらず極めて狭い範囲に母材特性がコントロールされていることを確認している。

### 【特徴】

- ・溶接熱影響部の靱性が優れている。
- ・溶接時の予熱が不要である。
- ・高強度、高靱性を有する厚肉鋼板である。



第1図 HAZ部のCTOD試験結果 (Gr60 [T=76.2mm])

第1表 母材性能試験結果

試験項目		Gr60 [t=76.2mm]		Gr50 [t=101.6mm]	
		結果	規格*	結果	規格*
引張試験	降伏強さ N/mm <sup>2</sup>	441~458	414~586	381~413	345~483
	引張強さ N/mm <sup>2</sup>	537~551	Min.517	496~530	Min.448
	伸び %	30~35	Min.22	27~34	Min.23
シャルピー 衝撃試験	vE <sub>43</sub> Joul	350~396	Min.48	411~419	Min.41
	vTrs °C	-97	—	-89	—
板厚方向引張試験	絞り %	65~72	(Min.30)	75~77	(Min.30)
DWTT試験	NDTT °C	-90	—	-65	—
CTOD試験	CTOD mm	Min.1.69	—	1.14	—
5%至時効試験	vE <sub>43</sub> Joul	229~260	(Min.48)	241~380	(Min.41)
	NDTT °C	-70	—	-60	—

\*: API2W規格値 ( )内はAPI2Wの追加要求仕様

問合せ先: 鋼板事業部 厚板技術部 TEL(03)3282-6483 FAX(03)3282-6761

## アンモニア混載タンカー用530N/mm<sup>2</sup>級低温用鋼

船用LPGタンクは船舶の効率の活用のためアンモニアをも積載したいとの施主意向が強いが、この場合、アンモニアSCC防止の観点から鋼板のYS $\leq$ 440N/mm<sup>2</sup>が規定される。加えて、タンク軽量化の観点からは設計応力アップのために高TS( $\geq$ 530N/mm<sup>2</sup>)が望ましい。

これらの要求を満足させるためには母材の低YR化と低温靱性の両立が必要となることからTMCP条件の最適化による軟硬質混合組織化を図ることを検討した。その結果、第1表に示すとおり各板厚において要求される母材特性を十分満足する鋼板を開発した。

### 【特徴】

- ・高強度、高靱性、低降伏比を同時に満足し、アンモニア混載低温タンクに適用可能。
- ・溶接性に優れている。

第1表 開発鋼の母材性能

板厚 (mm)	YS (N/mm <sup>2</sup> )	TS (N/mm <sup>2</sup> )	YR (%)	温度 (°C)	vE (J)
25	415	542	76.5	-53	382
40	423	554	76.3	-68	248

問合せ先: 鋼板事業部 厚板技術部 TEL(03)3282-6483 FAX(03)3282-6761

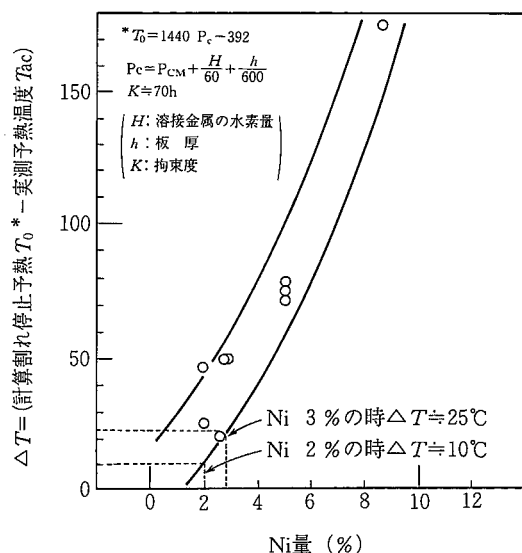
## 水圧鉄管用HT950厚鋼板

81年に50mm厚HT950鋼板の開発に着手以来、水圧鉄管の大型化のニーズに対応して100mm厚、150mm厚、更に200mm厚へと逐次ステップを踏んで、良好な溶接性および破壊靱性を兼備したHT950鋼板の開発を進めてきた。

ここでは分岐管補剛材用として板厚方向性能を保証した150mm厚HT950鋼板の性能例を紹介する。

化学成分の設計にあたっては次の点を考慮した。

- ①板厚中心部まで十分な強度、靱性を得るために適正な焼入れ性を確保
- ②き裂伝播停止性能の向上および溶接時の必要予熱温度低減効果を考慮した適正なNi量添加(第1図)



第1図 ΔTに及ぼすNi量の影響

- ③オーステナイト結晶粒の微細化による強度－靱性バランスの改善、表層部の靱性向上ならびに焼き戻し軟化抵抗の増大を目的に微量Nbの活用(第2図)。

第1表に母材の靱性き裂伝播停止性能を、第2表に溶接部継手部の靱性破壊発生阻止性能を示す。いずれも分岐補剛材用として十分な性能を有していることがわかる。

また、溶接施工条件を200mm厚HT780鋼板と比較して第3表に示す。開発鋼の溶接施工性はHT780鋼板とほぼ同等と言える。

化学成分の調整、熱処理の工夫によりHT780と同等の溶接性を有し、母材および溶接継手部の機械的性質は分岐管補剛材としての性能を十分満足するとともに、破壊靱性特性も優れていることが確認された。

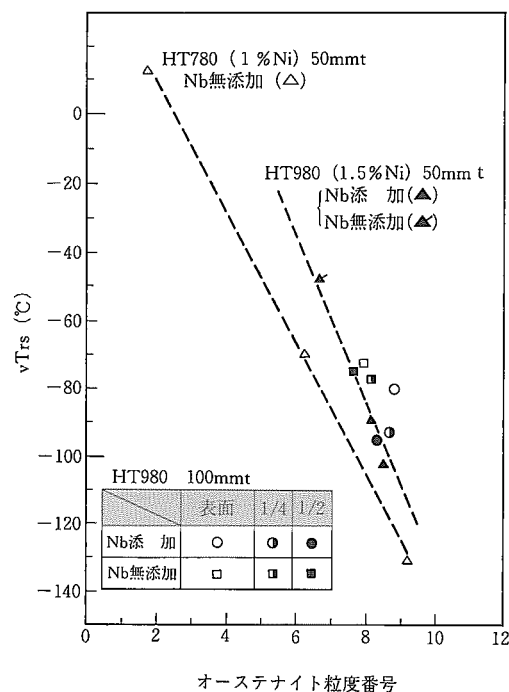
第1表 母材の靱性き裂伝播停止性能まとめ

必要な特性	開発鋼が保有する特性	
必要Kca値	0°Cにおける保有Kca値	必要Kca値を保有する最低温度
6.433kN/mm <sup>3/2</sup> / at 0°C	≥13.7kN/mm <sup>3/2</sup>	≤-27°C

注) WES303 (1983) のA種基準により算出

## 【特徴】

- ・板厚200mmで優れた靱性を有する950N/mm<sup>2</sup>鋼板
- ・HT780と同等の溶接性を有する。



第2図 100mm厚HT980鋼板のvTrsに及ぼすオーステナイト粒度の影響

第2表 溶接継手部靱性破壊試験結果

開先形状	Compact Tention試験			
	試験温度 °C	切欠長さ a mm	Kc値 kN/mm <sup>3/2</sup>	限界CTOD 値 δc mm
溶接法: SAW	0	168.4	5.686	0.170
	0	189.0	5.801	0.219

ノッチ位置: 垂直開先側Fusion Line

第3表 溶接施工条件比較結果(シクル用鋼板)

項目	HT980 Z	HT780 Z
板厚	150mm	200mm
Ceq	0.66	0.59
Pcm	0.34	0.28
予熱・バス間温度	SMAW 150~200°C SAW 125~175°C	150~230°C
後熱条件	150°C×2h以上	150°C×2h以上
入熱量	≤4kJ/mm	≤5kJ/mm 平均≤4.5kJ/mm
溶接棒の管理方法	乾燥 400°C×1h以上 保管 150°C	350°C×1h以上 150°C
フラックスの管理方法	種類 ボンドフラックス 乾燥 300°C×1h 保管 125°C	熔融型フラックス 250°C×1h以上 150°C



## 予熱低減型建築構造用高性能HT590厚鋼板

## 【特 長】

- ・降伏比が80%以下で、高い塑性変形能力を有す
- ・高精度な保有耐力設計が可能(降伏点の範囲が狭い)
- ・19mm~100mm まで降伏点または耐力は一定値を保証
- ・溶接時の予熱低減のご要望により、 $P_{CM} \leq 0.23\%$ 保証

## 【本鋼適用のメリット】

- ・重量軽減 (対HT490: -24%)
- ・板厚低減, 低  $P_{CM}$  化による溶接施工信頼性向上
- ・板厚低減, 低  $P_{CM}$  化による溶接作業の省力化

## 【化学成分の例】

第1表 化学成分値例

(単位: %)

板厚	C	Si	Mn	Cu	Ni	Cr	V	Ceq	$P_{CM}$
70mm	0.08	0.26	1.37	0.27	0.33	0.31	0.04	0.39	0.19

$$Ceq = C + Si/24 + Mn/6 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14$$

$$P_{CM} = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B$$

## 【機械的性質その他諸特性の例】

第2表 機械的性質その他諸特性

引 張 試 験 結 果					
規 格	引張試験				板厚方向引張
	YP N/mm <sup>2</sup>	TS N/mm <sup>2</sup>	EI %	YR %	絞り %
SA440C	450	603	32	75	78
シャルピー衝撃試験結果					
規 格	試験 温度	吸収エネルギー (J)			
		1	2	3	平均
SA440C	0°C	298	300	305	301
Y形溶接割れ試験					
試験温度(°C)		RT		50	
溶接方法		SMAW	CO <sub>2</sub>	SMAW	CO <sub>2</sub>
表面割れ率(%)		0	0	0	0
断面割れ率(%)		0	0	0	0

YP: 降伏点又は耐力, TS: 引張強さ, EI: 伸び, YR: 降伏比, RT: 室温

問合せ先: 鋼板事業部 厚板技術部 TEL (03) 3282-6483 FAX (03) 3282-6761

## 予熱低減型橋梁用HT780厚鋼板

## 【特 長】

- ・溶接時の予熱温度低減要望により、 $P_{CM} \leq 0.23\%$ 保証 (適用板厚50mm 以下)

## 【本鋼適用のメリット】

- ・低  $P_{CM}$  化による溶接施工信頼性向上
- ・低  $P_{CM}$  化による溶接作業の省力化 (予熱温度50°C)

## 【化学成分の例】

第1表 化学成分値例

(単位: %)

板厚	C	Si	Mn	Cu	Ni	Cr	Mo	V
50mm	0.08	0.20	0.89	0.25	1.03	0.50	0.41	0.04
	B		Ceq	$P_{CM}$				
	0.0008		0.47	0.22				

$$Ceq = C + Si/24 + Mn/6 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14$$

$$P_{CM} = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B$$

## 【機械的性質の例】

第2表 機械的性質の例

(板厚: 50mm)

引 張 試 験 結 果			
規 格	YP (N/mm <sup>2</sup> )	TS (N/mm <sup>2</sup> )	EI %
SUMITEN 780	752	809	24.4
シャルピー衝撃試験結果			
規 格	vE <sub>40</sub> (J)		vTrs (°C)
	平均		平均
SUMITEN 780	200		-94

YP: 降伏点または耐力, TS: 引張強さ, EI: 伸び

第3表 Y形溶接割れ試験結果例

Y形溶接割れ試験				
試験温度(°C)	25		50	
溶接方法	SMAW	CO <sub>2</sub>	SMAW	CO <sub>2</sub>
表面割れ率(%)	100	0	0	0
断面割れ率(%)	100	0	0	0

(板厚: 50mm)

問合せ先: 鋼板事業部 厚板技術部 TEL (03) 3282-6483 FAX (03) 3282-6761