

特別講演

□第167回春季講演大会渡辺義介賞受賞記念特別講演
(平成26年3月21日)

製鉄業と私 —鉄鋼業の持続的成長のために—

Steel Manufacturing and Myself
— Steel Manufacturing in Japan for Sustainable Growth —

二村文友 新日鉄住金化学(株) 取締役相談役
Bunyu Futamura



*脚注に略歴

1 はじめに

この度は、栄誉ある渡辺義介賞を頂いた上に、このような場まで与えて頂き、誠に勿体なく思う次第です。製鉄業で育てられた小生の体験から今後のために皆様のお役に立てるようなことを少しでもお伝えできればと思います。製鉄業は資源・エネルギーに乏しいものづくり立国にとっての基幹産業であり、鉄鋼人は常に社会に役立つ鋼材を安定供給することで成長し、またそのことで生甲斐を感じているのだと思います。その意味において、「製鉄」とは、鉄鋼人の組織的集団芸術とも云えるのではないのでしょうか。従って、製鉄企業の持続は、鉄鋼人の人生の大前提だと思いますので、企業の持続的成長に不可欠な要素、即ち、社会の役に立ち続けるために具備すべきことについて、技術的側面から限られた経験の範囲内ですが、以下、お話しさせていただきます。

2 鉄鋼業を取り巻く環境変化と対応

新日本製鐵(株)に入社した翌年の1973年に石油危機が起これ、経済が停滞し、局面を打開すべく、我が国の製造業ではエネルギーの多様化、省エネルギー化への急速な転換が始まりました(図1)。鉄鋼業では、それに加え、鋼材に対する顧客からの品質要求の多様化・厳格化が目まぐるしく進展し、量伸びのない中で大合理化を進めながら、多品種・小ロット生産へとシフトして行きました。まさに「量から質への大転換」の始まりだったと思います。品質競争は激しさを

増す一方で、顧客ニーズへの速やかな対応が肝要で、従来以上に、「製・販・研(製造/工場・販売/営業・研究)」の一体運営の重要度が増した様に思いました。以下に、小生が勤務した名古屋製鐵所での体験を中心に、厚板と薄板での対応をお話し致します。

2.1 寒冷深海域の海底油田開発ニーズに応える厚板低温靱性鋼の開発

2度にわたる石油危機を契機に、中東産油国への一極集中のリスクを分散させるために、それまで顧みられなかった寒冷地や氷海での油田開発の動きが一気に始まりました。そこで、寒冷深海域の石油掘削リグ用に低温靱性に優れた高強度良溶接性厚板の供給が求められ、当社は積極的に受注する営業方針を取りました。その結果、名古屋製鐵所の厚板工場はそれまでの一般構造用および造船用普通鋼の大ロット大量製造体制を、海洋構造物を始め、ボイラー・圧力容器、そして低操業下に於ける全社ミル集約もあり、産機用の非調質・調質ハイテンや耐摩耗鋼、SC鋼等、小ロット多品種の品質嚴格材へ、製造プロセスの抜本的な転換を進めました(図2)。石油危機を境に鉄鋼業界だけでなく製造業全体が、汎用品を作れば売れる量の時代から高品質・高機能材料を追求する質の時代に、はっきり変化したと認識しました。

そこで、特殊鋼厚板の新しい製造体制を整えるために、材質・内部品質(中心偏析、介在物)・表面品質に関する各製造工程における品質目標を品質設計・工程冶金・研究、そして製造部門と連携して明確化し、それを実現できる設備対策の

* 昭和47年京大大学院資源工学科卒業後直ちに新日本製鐵(株)に入社、名古屋製鐵所生産技術部長、本社技術総括部長等を歴任、平成15年取締役名古屋製鐵所長、18年常務取締役、19年副社長技術開発本部長歴任。21年新日鐵化学(株)社長、25年取締役相談役、26年4月より相談役。19年20年鉄鋼協会副会長。

検討・成案化とタイムリーな実行推進、即ち、現場で製鋼から厚板・出荷までの一貫製造プロセスを確立することに専念しました。

高価な合金元素を最小限にして、低Ceqで高強度と低温靱性を両立させる製造方法の開発が進められました。低温加熱、制御圧延と制御冷却を組み合わせ、結晶粒微細化を最大限使い、従来の熱処理法では得られない強度と靱性のバランスを実現する新しいメタラジー TMCP (Thermo-Mechanical Control Process) が開発されました。TMCP鋼を安定製造するための鋼の清浄度の目標やTMCPの仕様が明確になり、高純度二次精錬技術と厚板制御圧延制御冷却技術の開発に着手し、P<50ppm、S<10ppm、H<1.5ppm、T.O<15ppmを保証する量産製造プロセスNSR¹⁾ (New Secondary Refining) と、制御圧延制御冷却設備CLC (Continuous on Line Control Process) をそれぞれ1982, 84年に完成させまし

た(図3²⁾)。また最も重要な低温破壊靱性は、シャルピー試験だけでは不十分であり、大型実厚CTOD (Crack Tip Opening Displacement: き裂先端開口変位) 試験機や、総合研究所で大型引張試験機による、実厚の鋼材および溶接部での実証も可能となりました(図4³⁾)。この特殊鋼厚板一貫製造プロセス確立により、オイルショック以降の低操業時代に対応する全社厚板ミル集約の下で名古屋製鐵所の役割:「特殊鋼・大単重」が整ったと思います。

特殊鋼厚板の連铸化は悲願で、既存連铸機の垂直曲げ化による介在物対策や稠密ロール軽圧下による中心偏析対策等を実行推進しました。しかし、それでもなお当時、品質厳格材では鋼片段階で偏析の均熱拡散処理を余儀なくされたものがありました。B添加する調質ハイトンを始め連铸曲げ戻し部で生じる横割れの無手入化は、程遠いことでありました。その後、連铸機での電磁力利用、極厚垂直連铸機など、製鋼技

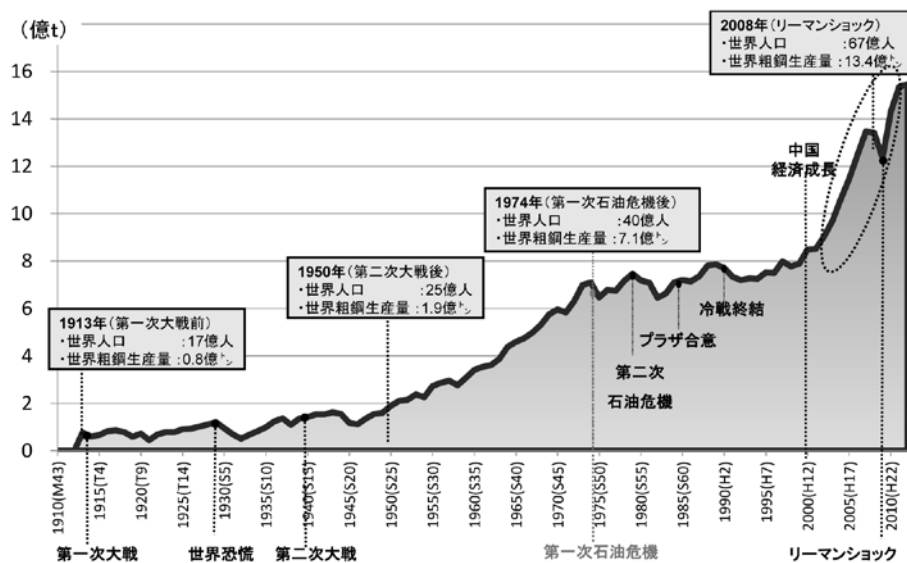


図1 世界の粗鋼生産

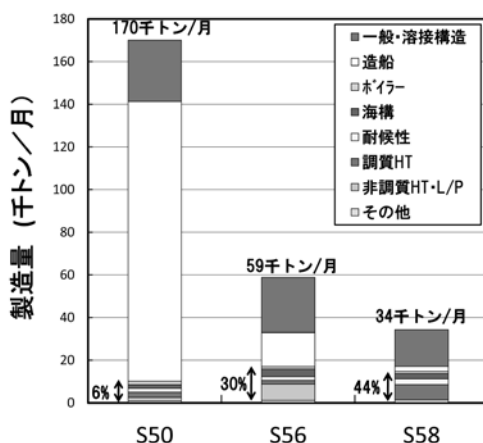


図2 厚板生産量と品種の変化 (新日鐵住金(株)名古屋製鐵所)

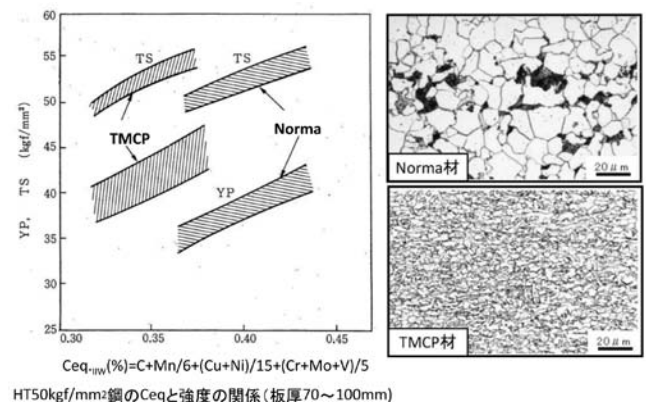


図3 TMCP鋼の開発²⁾ (写真提供: 新日鐵住金(株))

術がさらに高度化し、現在では、ジャッキアップ型石油掘削リグのラック&コード用極厚780MPa厚板（-60℃低温靱性保証、最大板厚210mm）のCC（Continuous Casting：連続鋳造）化も実現して居ります（図5⁴⁾）。

2.2 自動車軽量化による燃費向上と衝突安全性両立のニーズに応える薄板ハイテン鋼の開発

薄板の代表品種である自動車用鋼板においても、1973年のオイルショックを契機に70年代後半から80年代半ばにかけて、燃費向上・軽量化と耐久性向上・防錆強化ニーズが高まり、90年代に入ると衝突安全性の基準も順次強化され、更に90年代末以降は、地球環境問題からも排ガス中のCO₂規制により、一層の燃費向上・軽量化が問いつけられています。これらのニーズに応えるために、1980年代より名古屋製鐵所では、低炭Alキルドの冷薄で作っていた自動車用外板の防錆性能を一層強化すべく、顧客との強い連携のもとにZnメッキ鋼板化に全力で取り組みました。Znメッキ鋼板で、外板に必要なプレス成形性、塗装後の耐食性および溶接性（連続打点性）を同時に成り立たせるのは容易ではありません

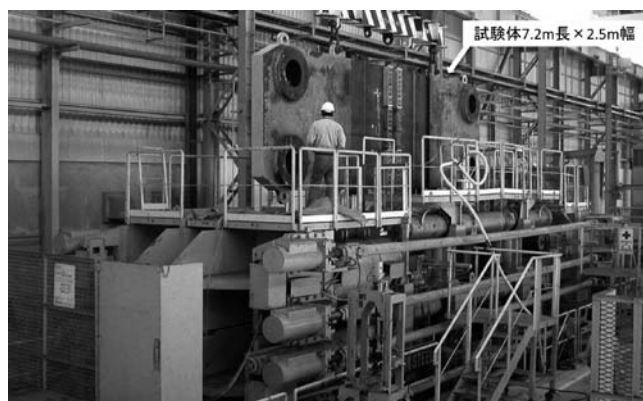


図4 実厚鋼板の引張試験機³⁾

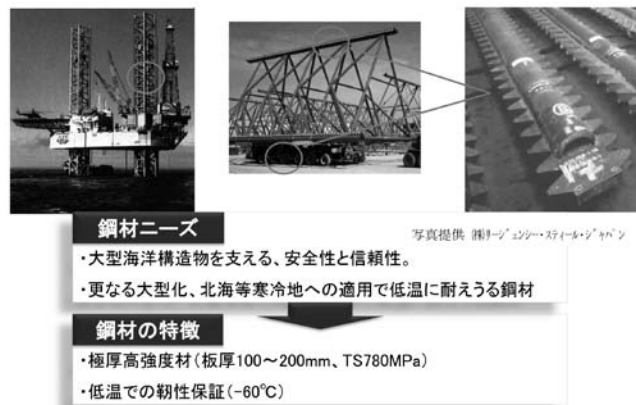
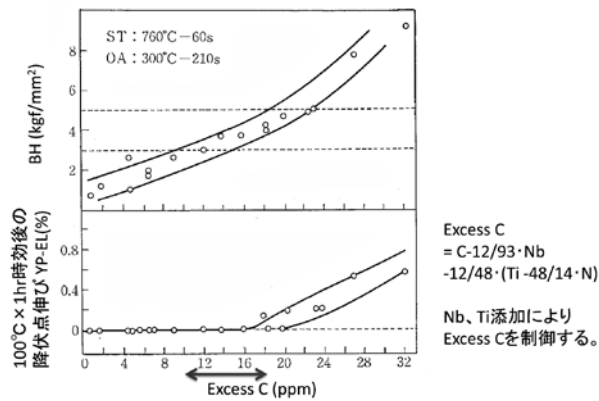


図5 石油掘削リグのラック&コード用極厚ハイテン厚板⁴⁾

でした。試行錯誤の後、研究・品質設計部隊が中心になって、一貫プロセスメタラジーとしてIF（Interstitial Free）鋼でその解を出し、更に外板の軽量化対策としてのBH（Bake Hardening：焼付硬化型）ハイテン化も同時にIF鋼でその解を見出しました。即ち、顧客での焼付塗装時に発現するBH量とIF鋼に於けるExcess-C（微量の固溶C）との関係を原理原則レベルで明確にしました。NbとTiの複合マイクロアロイングによるExcess-Cを制御する新しい発想により、自動車用外板の防錆強化とBHハイテン化の両立を世界に先駆け開発しました（図6⁵⁾）。

この一貫プロセスメタラジーを安定的に実現するための設備対策を、研究・品質設計・工程冶金・製造部門と連携して成案化し、実行推進しました。自動車外板に要求される外観の厳しさは云うまでもありませんが、Znメッキ化は予想に反して原板の造り込みを一段と厳格にする必要が生じました。Znメッキは原板の疵を隠すどころか、むしろ目立たせることが分かったのです。これらを踏まえ、IF鋼の増大に対応すべく、製鋼ではRH（Rheinstahl Hüttenwerke）真空脱炭装置の大還流化、CCモールド内電磁力利用技術導入による高速鋳造化等を、熱延では粗圧延再配置や仕上直後急冷等のIF鋼対策を、冷延工程では、高冷延率化やCGL（Continuous Galvanizing Line）高温焼鈍化等、一貫製造プロセスを整えました。

その後、90年代に入ると衝突安全対策として補強部材の追加による重量アップを打ち消すべくさらなる自動車軽量化が喫緊の課題となり、車体や足回りの強度部材を軽量化するため590MPa以上の各種ハイテンの開発が進められました。開発の早い段階すなわち、顧客に於ける設計段階から部品メーカーと共に参加し、強度部材の軽量化の総合的な提案、例えば部品点数を減らすことを可能にするハイテン、部品の一体成形を可能にするハイドロフォームに適するハイテン、形状凍結性などのハイテンの課題を克服するためのプレス技術などの提案を行い、部品の試作までを見せ、真に顧客・部品



10-17ppmのEx.C制御により30-50MPaのBHと非時効を両立。

図6 Excess C制御によるBHと非時効の両立⁵⁾

メーカーと一体となった開発を指向しました。衝突時の吸収エネルギーを評価する装置を実機化し、材料評価並びに衝突シミュレーションの精度を高め、全体の開発工期を短縮するのに大きく寄与したと思います。

こうして自動車用ハイテンは、パーツや使用目的に応じ、DP (Dual Phase) 鋼、TRIP (Transformation Induced Plasticity) 鋼、高穴伸び性ハイテン、1GPa以上の超ハイテン等の開発を進め、軽量化と衝突安全に大きく寄与しています。しかし、まさに小ロット多品種の典型であり、信頼性の高いリピート注文ではありますが、少ない在庫で如何に効率生産するかが残された課題です。

3 企業の持続的成長の不可欠要素

石油危機以降の量から質への大転換への対応の様子を、2つの事例で経験に基づいて紹介致しました。諸先輩が、その変化に対応し乗り越えて来た姿を目の当たりにし、その知恵と工夫を学びながら、私自身も与えられた持ち場・立場で、その後も一層目まぐるしく生じる変化と激しい競争の中で、変化への対応力の強化に見様見まねで努力して参りました。

企業の持続的成長に欠かせぬ要素の第1番目は、変化に強い体質作り、即ち変化への対応力強化だと思います。変化する時代の流れと、それに呼応して生じて来る様々な顧客からのニーズ等を、適確に把握し、顧客と一体となった早期開発着手とニーズに間に合う開発力、これが互いの信頼を深めながら共に変化を乗り越えて行くための要諦だと考えます。図7は、「製・販・研」一体運営に必要な組織間の連携と、それぞれの組織の果たす役割を表しています。ポイントは顧客ニーズとその対応について、常に「製・販・研」で情報を共有化することと、オンサイト研究と総合研究所の機能・役割です。オンサイト研究は、総合研究所の一般解の追求を拠り所としながら、事例でも申し上げた通り、個別ユーザーに対する解をその製鉄所の製造技術と設備で実現するために、達成すべき品質目標を製鉄所の品質設計・工程冶金・製造部門と連携

して明確化し、ハード・ソフト両面の具体的対策の実機化を促進支援する役割があります。いわば、現実的特殊解を実行する役割です。一方、総合研究所は、中長期的視点で、顧客で起こりそうなイノベーションに常に耳を傾けながら、ナノからマクロまで階層的な鋼の観察解析技術とシミュレーション技術を磨き、それを武器に鋼の本質に迫るところから、先進技術として顧客に応えるソリューションを見出し、オンサイト研究を通じ、製鉄所に於ける実機化・製造を実現して行くのが、最大の役割であります。こうして「製・販・研」一体運営が円滑に機能して始めて、変化への対応力の強化が図られると確信して参りました。図8⁶⁾は参考までに高度観察解析技術等の例を示しています。物理化学現象が、サブナノのオーダーで且つ3D (3次元) で観察解析出来る様になり、そこには新しい事実の発見と新たな鋼の可能性や、材質予測モデルの精度向上につながる知見も見出しつつあります。

持続的成長に欠かせない2つ目の要素として、今日は多くを話すことは出来ませんが、持続的な製造基盤整備があります。創業以来、半世紀を過ぎる製鉄所は多く、設備の計画保全を徹底し、重大設備事故を未然に防ぐことは極めて重要です。また、目覚ましい発展を遂げているITを駆使した業務改革はもちろん、もの造りにもシミュレーション技術や予測技術に取り込んで、精度向上や工期の圧縮にも活用し、競争力を高める必要があります。

地域に対する環境対策は、云うまでもなく、地球環境問題即ちCO₂削減にも業界共通の課題として取り組んで行く必要があります。

最後は人材育成の持続です。社会ニーズ、顧客ニーズに対応して、前述した「製・販・研」一体連携のチームに参加して解を見出す仕事は、必ず人材を育てると考えます。解決能力を高め、達成感を覚え、自己の成長を実感するに至ると思います。そういう人材を組織として継続的に育てて行くのに大事

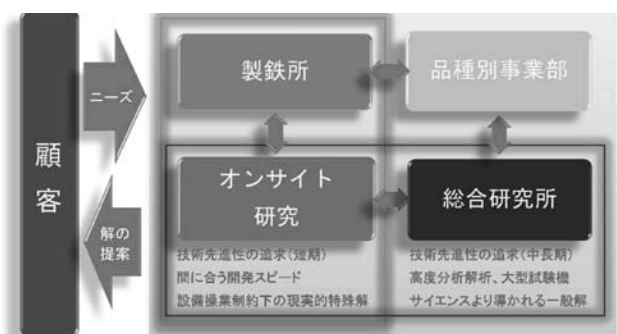


図7 「製・販・研」一体運営

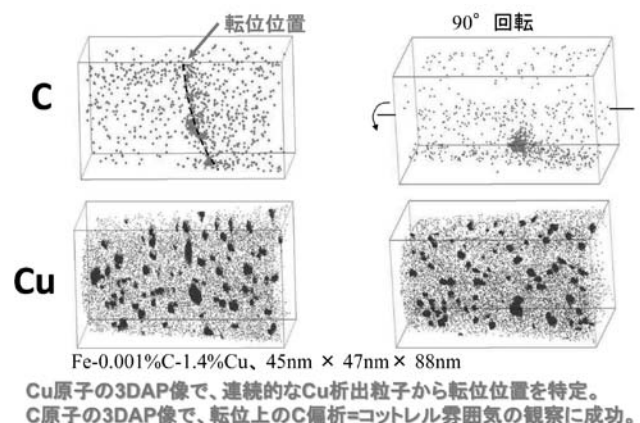


図8 転位へのC固着(コッレル雰囲気)の3Dアトムブローブ観察⁶⁾
提供：新日鐵住金(株)

なことについて一云したいと思います。人材育成の継続性の鍵を握っているのは、45～50才代の部門長クラスだということです。組織の中の一部門の長を任せ、人生のマイルストーンから見ても、論語によれば「天命を知る」年代でもあります。即ち世の中の役に立つ鋼材を開発して、安定供給し、喜んで使って頂くこのミッションを果すために、私達鉄鋼人は生まれて来た、そういう自覚をする年代だということです。少し銜った云い方になりますが、鉄鋼人が集団芸術家の一人として「生きている必然性」を自覚しなくてはならない年代で、その自覚を若い世代に日常的に伝えて行くことが、人材育成の継続性に最も重要なことだと確信して居ります。

4 おわりに

石油危機を契機に始まった、量から質への大転換の實際を目の当たりにし、自からも諸先輩の薫陶を得ながら、参加出来たことを幸せに思います。しかも中部地区の政財界からの強い要請で、地域の行政、多数の顧客群および金融とのJVで

始まった名古屋製鐵所で、大転換に携われたことに妙な縁を感じて居ります。即ち経緯からして、そもそもこの製鐵所は、地域社会、顧客のニーズに対応して、役に立つ鋼材を届けるために生まれたという背景があったからです。

省エネ・省資源、そして大合理化を進めながら、質への転換を「製・販・研」一体運営強化のもとに、顧客の声に耳を傾け、ニーズに見合う品質装備力を整えて行くことに携わりながら、集団芸術家達の創作活動の支援が出来たことは、小生の人生にとっても誠に悔のない有意義なことであったと感謝して居ります。図9は、これからの創作活動についての期待を表しています。電子顕微鏡を始め、種々のナノ観察機器と計算機の進歩・発達により、鋼のメタラジーに関する仮説が次々に実証（もちろん否定もある）され、鋼の中で生じる物理化学現象のメカニズムが解き明かされつつあります。今や、鋼のメタラジーにも、鋼の本質に立ち返ったシンプルなサプライズがますます期待される時ではないでしょうか。

参考文献

- 1) Y.Ohnishi, T.Komai, H.Siino, Y.Mizukami, I.Kobayashi and S.Fujino : I & SM, Feb., (1985) , 29.
- 2) 服部恵一, 田中淳夫, 岡本健太郎, 富田幸男, 津田幸夫, 山場良太, 土師利昭, 伊藤亀太郎: 製鉄研究, 314 (1984) , 19.
- 3) 新日鐵住金 (株) : 季刊 新日鐵住金, 2 (2013) , 22.
- 4) 新日鐵住金 (株) : <http://www.nssmc.com> および (株) リージェンシー・スチール・ジャパン
- 5) 山田正人, 徳永良邦, 伊藤亀太郎: 製鉄研究, 322 (1986) , 90.
- 6) 3DAP解析として例えば, J.Takahashi, K.Kawakami and Y.Kobayashi : Mater.Sci.Eng., A 535 (2012) , 144.

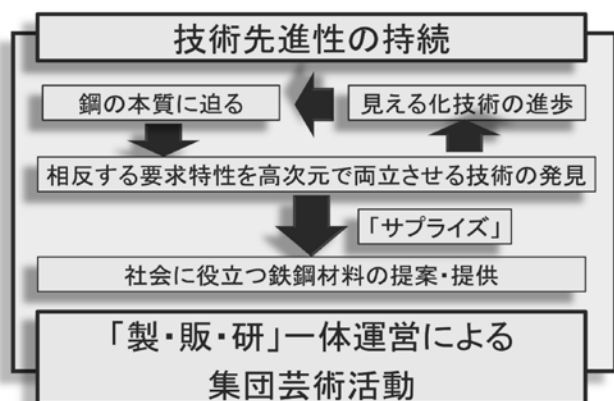


図9 「製・販・研」一体運営による技術先進性の持続

(2014年3月20日受付)