

# 新日本製鐵における環境に優しい鉄鋼製品(エコプロダクツ)の開発 — 全体概論 —

## Development of Environment-Conscious Steel Products in Nippon Steel Corporation

河合 潤  
Jun KAWAI

### 抄 録

地球温暖化をはじめ地球環境問題は、今日人類にとって極めて重要で切実な課題となっている。地球文明の発達のみを追求し享受してきた人類社会にとって、今や持続可能な発展へどう取り組んでいくかが大きな命題となっている。日本の鉄鋼業においても、近年地球環境対応を企業活動における重要な課題と位置付け、この持続可能な発展に対して貢献すべく種々の取り組みがなされている。環境に対する取り組みは大きく、1)CO<sub>2</sub>削減、省エネルギー対応、2)リサイクル、廃棄物削減対応、3)環境保全、環境改善対策の三つに分けて考えることが出来る。こうした考え方に基づいて新日本製鐵でも製鉄プロセスの環境対策や各需要分野の要求に応えた各種環境対応の商品開発を推進してきた。これらの中から環境に優しい鉄鋼製品：エコプロダクツの開発について各需要分野ごとに新日本製鐵の取り組みを紹介した。主な需要分野は、自動車、家電・電機、容器、電力・エネルギー、建築・土木、船舶・鉄道、などの分野であり、それに対応する代表的なエコプロダクツを概説した。

### Abstract

Global environmental problems, including global warming, are extremely important and urgent issues for humankind. The human society that has pursued and enjoyed only the development of global civilization now faces the challenging proposition of sustainable development. In recent years, Japan's steel industry has positioned global environmental compliance as an important objective in corporate activities and has taken various initiatives to contribute to this sustainable development. These environmental initiatives can be considered in three main categories: 1) reduction in CO<sub>2</sub> emissions and energy consumption; 2) recycle and reducing waste; and 3) environmental protection and environmental improvement. Based on the above ideas, Nippon Steel has implemented environmental measures for steel production processes and has promoted the development of various environmentally compliant products to meet the requirements of diverse consuming industries. Here are introduced the initiatives launched by Nippon Steel in the development of environmentally conscious steel products (eco-products) for specific consuming industries. The main industries targeted are: automobiles; household electric appliances and electric machinery; containers; electric power and energy; building construction and civil engineering; ships and railroads. Representative eco-products that meet the requirements of these industries are described.

### 1. 緒 言

地球温暖化をはじめ地球環境問題は、今日、人類にとって極めて重要で切実な課題となっている<sup>1)</sup>(図1参照)。地球文明の発達のみを追求し享受してきた人類社会にとって、今や持続可能な発展へどう取り組んでいくかが大きな命題となっている。

日本の鉄鋼業においても、近年、地球環境対応を企業活動における重要な課題と位置付け、この持続可能な発展に対して貢献すべく種々の取り組みがなされている。こうした取り組みの中から、特に鉄鋼製品として環境対策へ貢献する“エコプロダクツ”の開発について新日本製鐵の取り組みを紹介する。

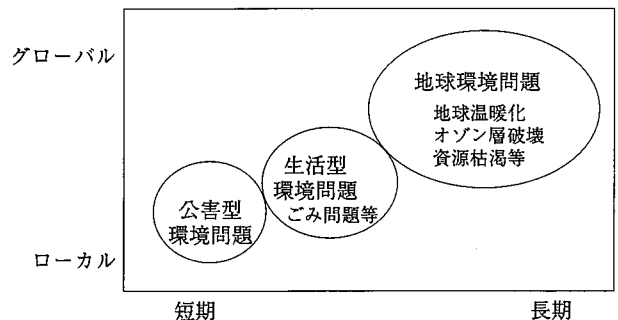


図1 環境影響の拡大<sup>1)</sup>

\*<sup>1)</sup> 技術開発企画部 部長 技術企画グループリーダー  
東京都千代田区大手町2-6-3 ☎100-8071 ☎(03)3275-6832

## 2. 環境に優しい鉄鋼製品(エコプロダクツ)とは何か

### 2.1 鋼材のライフサイクルと環境貢献

図2は鋼材のライフサイクルを示す概念図である。このように鉄鋼原料の採掘から製造、加工組立、使用、廃棄までのトータルの環境負荷を最小にするようなライフサイクルアセスメント(LCA)が重要であり、その手法、定量化が目ざされている<sup>2)</sup>。

この中で、鉄鋼の製造および製品の立場から環境に貢献するフェーズは大きく次の三つの段階が考えられる。

- 1) 鉄鋼製造段階(原料から鋼材生産まで)
- 2) 鋼材を用いて個々の製品を造る加工組立段階
- 3) その製品を使用する使用段階

第一の段階は鉄鋼の製造プロセスそのものであり、エネルギーや環境負荷の少ない製造プロセス、即ちエコプロセスの確立である。

鉄鋼業はエネルギー使用量の大きい産業であり、オイルショックを契機に省エネルギー対策に積極的に取り組み、現在では世界トップレベルの省エネルギープロセスとなっている<sup>1,3)</sup>。環境対策についても、大気汚染、水質、粉塵、騒音対策等、従来より種々の取り組みがなされており、またさらに一層の改善を目指して引き続き多くの対応が検討されている。

第二の段階は鋼材を使用する需要家の製造プロセスの段階での貢献であり、ある特定の鋼材を使用する事により、その環境負荷の改善、削減が達成できるものである。例えば、加工工程の製造効率の改善や工程省略・簡素化などが計れるものを示している。

第三の段階は鋼材を用いた最終製品が使用される段階で環境に寄与するものである。例えば、自動車の燃費改善やモーターの高効率化などに貢献することである。

第二、第三の段階は鉄鋼製品が商品として需要家や最終ユーザーに利用される段階で環境に貢献するものであり、即ち、こうした製品が環境に優しい鉄鋼製品：エコプロダクツと呼べるものである。

### 2.2 “環境に優しい”とは

それでは、“環境に優しい”とはどういう内容かについて考えてみたい。ここでは環境に優しいという表現は、“環境負荷が少ない”“環境を汚染しない”という保守的な意味から、“環境を改善する”“良き環境を創造する”という積極的な意味まで広く使われている。この環境対応の区分は種々の見方があるが、大きく三つに分けて考えることができる。

この区分は鉄鋼製造プロセスに対しても適用できるが、ここでは

環境に優しい鉄鋼製品(エコプロダクツ)について考えたい。

### 1) CO<sub>2</sub>削減、省エネルギー対応

エコプロダクツを使用する事によりその工程や商品が高効率となるもの(例：自動車の軽量化、モーター効率向上)、製造工程の省略や簡素化に寄与するもの(例：プレコート鋼板による塗装工程省略など)、クリーンエネルギーの使用に貢献するものなどがある。

### 2) リサイクル、廃棄物削減対応

リサイクルし易い鋼材の開発、リサイクラブルな製品の設計に寄与するもの(例：家電リサイクル対応)、鉄鋼というそもそもリサイクルに適した材料である鉄鋼の用途拡大(例：スチールハウス)、長寿命化への貢献(例：高耐食性、高耐震性など)などがあげられる。長寿命化は廃棄物の削減や材料使用量の減少により、エネルギーの削減や資源節約に寄与するもので、特に、土木、建築のようなストック型の製品については大きな意味がある。

### 3) 環境保全・環境改善対策

環境上有害または懸念される特定環境負荷物質を含まない製品(例：鉛フリー、クロムフリー)の開発、特に、特定物質が特別の機能向上として使用されていたものは、その機能性を維持することが必要である。エコプロダクツを使用することにより利用段階の環境汚染防止や安全性向上に貢献するもの(例：衝突安全性向上)、さらに、景観材料や抗菌対策、騒音対策に貢献するような良環境創造型商品などがあげられる。

## 3. 各需要分野におけるエコプロダクツ概要

このような考え方に基いて、各需要分野毎にその要求に応じて開発されてきた主要な商品(エコプロダクツ)を表1に示している。表の中でナンバーをつけたものはそれぞれ以降で個別に紹介するものである。なお、各需要分野に対応した過去の商品については、日本鉄鋼協会“鉄と鋼一創業80周年特集号<sup>4)</sup>”を参考にしている。

### 3.1 自動車分野

#### (1) 自動車の軽量化

自動車における省エネルギーはやはり燃費の向上が一番の課題であり、長年にわたり自動車の軽量化が取り組まれている。近年、軽量化と衝突安全性能を両立させる材料として自動車用高強度薄鋼板(ハイテン)が、その加工性の向上と相まってかなりのレベルまで採用されるようになってきた(§3.自動車用高強度薄鋼板)。特に、この分野では日本のメーカーがリードする形であり、現在、自動車の

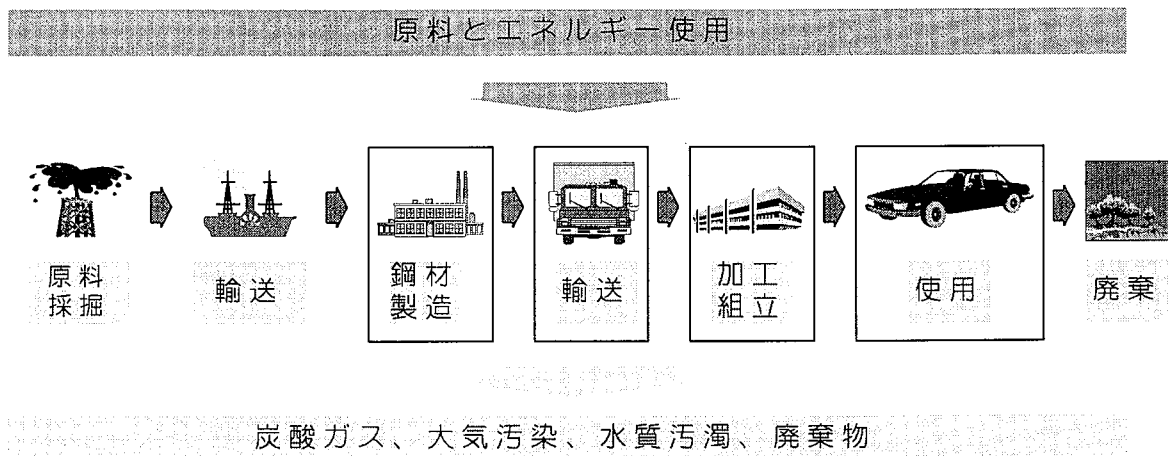


図2 鋼材のライフサイクル概念図

ホワイトボディに使用されるハイテン比率は30%程度になろうとしており、将来さらに増加するものと思われる。また、鋼板のみならず自動車の機能部品を支える特殊鋼棒線においても高強度化、軽量化に対応する開発が進められている(§5. 自動車用高強度棒鋼線材)。

このような軽量車体の開発気運に呼応して国際鉄鋼協会(IISI)では、世界18か国35の鉄鋼メーカーが“鋼製超軽量車体”の共同開発すなわちULSAB(Ultra Light Steel Auto Body)プロジェクトをスタートさせた<sup>5)</sup>(図3参照)。このプロジェクトは、鋼製車体でも最先端の技術を駆使することで、車体機能、衝突安全性を維持しつつ軽量化を計ることを実証するのが目的であり、昨年ホワイトボ

ディの試作車を完成させ初期の目標(軽量化25%)を達成し、引き続き1999年1月より、車両全体の環境適合性(一層の軽量化、安全性、リサイクル性等)を目指したULSAB-AVC(Advanced Vehicle Concept)プロジェクトをスタートさせている。

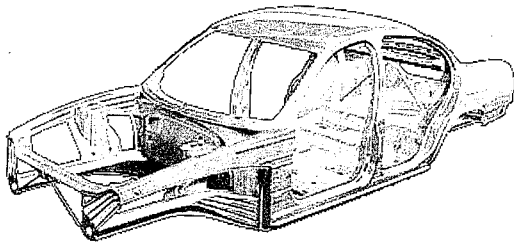
(2) 衝突安全性

衝突安全性については、衝突時のエネルギー吸収性能の大きいハイテンとして、DP(Dual Phase)鋼やTRIP鋼が評価され採用されている(§4. 衝撃吸収高張力鋼板)。

図4は衝突エネルギーの吸収性能を示しているが、DP鋼板やTRIP鋼は従来型のハイテンに較べて優れた特性を現している<sup>6)</sup>。自動車製造段階(加工段階)での省エネルギーとしては、加工性、プレ

表1 各需要分野におけるエコプロダクツの例

分野	CO <sub>2</sub> 削減, 省エネルギー	リサイクル, 廃棄物削減対応	環境保全, 環境改善
自動車	軽量化, 安全性向上 §3 自動車用高強度薄鋼板 §4 衝撃吸収高張力鋼板 §5 自動車用高強度棒鋼線材 燃焼効率向上 §6 排気系用耐熱ステンレス鋼	自動車リサイクル対応 ・長寿命化……高耐食性 各種表面処理鋼板等 ・スクラップリサイクル推進	騒音, 振動対策 ・制振鋼板(パイブレス)  排気ガス浄化能向上 §6 排気系用耐熱ステンレス鋼
家電, 電機	モーター効率向上 §11 高効率高機能電磁鋼板 加工性向上 §7 高潤滑鋼板 塗装工程省略 §10 プレコート鋼板	家電リサイクル対応  長寿命化, 耐食性向上 ・表面処理鋼板, 塗装鋼板	環境負荷物質フリー §8 鉛フリー電子部品用表面処理鋼板 §9 クロムフリー亜鉛めっき鋼板 騒音対策, 磁気シールド対応 §11 高効率高機能電磁鋼板
容器	スチール缶素材の軽量化 ・極薄ぶりき鋼板 工程省略 §12 Tダイ方式ラミネート鋼板	スチール缶リサイクル推進 →リサイクル率80%アップ ・スチールEOE(イージー・オブジェクト)	容器素材としてのLCA評価  環境ホルモン対応
電力, エネルギー	発電効率向上 §15 高効率ボイラー用鋼管 (超々臨界圧) トランスの効率向上 ・トランス用方向性電磁鋼板 エネルギー輸送効率向上 ・高強度高耐食性ハイハイ用鋼管	ごみ発電対応 §15 ごみ焼却ボイラー用オーステナイトステンレス鋼管  長寿命化	クリーンエネルギー対応 ・原子力発電対応 ・石炭IGCC対応 ・LNGコンバインドサイクル対応 §13 LNGボイラー煙突用耐食厚板 環境汚染対応 §14 ドープフリー型油井管プレミアムジョイント
建築, 土木(含橋梁)	施工効率向上 ・大入熱溶接用鋼 ・ハイパービーム (外法一定H形鋼) 工程省略 ・建築用耐火(FR)鋼	長寿命化, 耐久性・信頼性向上 ・高強度建築用構造用鋼 ・長大橋ワイヤー用高張力鋼線 耐食性 §16 海浜耐候性鋼 §17 高耐食性溶融Zn-Mgめっき鋼板 §21 チタンクラッド鋼板 鉄の用途拡大 §18 スチールハウス ・メガフロート(大型浮体構造物)	環境保全(残土, 騒音, 振動他) §19 ガンテツパイル工法 §25 道路用吸音パネル  景観, 環境美化 §20 景観材用鋼管 §21 チタン材料 環境負荷物質フリー (脱塩化ビニル化) §24 オレフィンラミネート鋼板
船舶, 鉄道	軽量化 ・船舶用高張力鋼板 (TMCP鋼他) ・車両のステンレス鋼化	車両リサイクル対応 §23 ステンレス鋼車両リサイクル  長寿命化, 耐食性向上 ・ステンレス鋼車両 ・耐疲労強度レール	耐衝撃性, 安全性向上 §22 ハイアレスト鋼 (脆性破壊伝播停止性能鋼) ・ケミカルタンカー用ステンレス鋼板
その他(未来材料)	スーパースチール(スーパーメタル, ウルトラスチール) ……単一素材の機能極限追求		



	比較車平均	結果
捻り剛性(Nm/deg)	11 531	19 024
曲げ剛性(Nm/deg)	11 902	20408
振動数(Hz)	38	59
重量(kg)	271	208

図3 ULSAB(超計量車開発プロジェクト) 国際鉄鋼協会(IIIS)

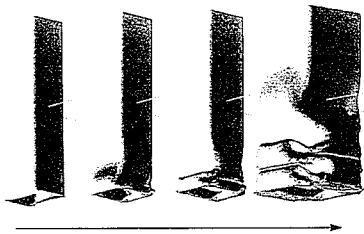
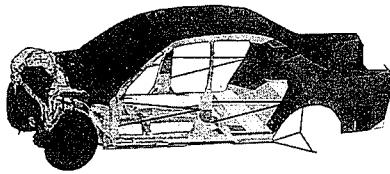
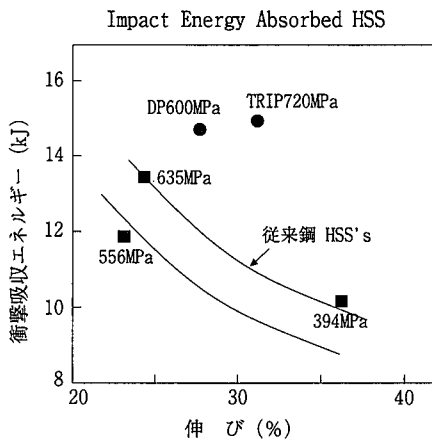


図4 衝突エネルギー吸収鋼板<sup>5)</sup>

性の改善による作業能率、負荷の軽減があげられる。これに対しては、従来よりIF鋼等の超深絞り鋼板やBH(Bake Hardening)鋼板などが使われてきたが、現在では、ハイテンでも加工性の良い鋼材としてこのTRIP鋼等が注目されている。また、ULSABプロジェクトでも導入されたTB(Tailored Blank)材による加工やドロフォーミング成形など新しい鋼材の利用加工技術が今後の展開として期待される。

(3)自動車排気系材料

軽量化と合わせて燃費向上策としては、エンジンの燃焼効率向上

に種々の改善がされている。また、排気ガスの浄化能を向上させるためにも排気ガス温度の上昇が必要である。これらに伴う排気温度の1000℃程度への上昇に対して、排気管用耐熱ステンレス鋼が開発され、排気マニホールドや触媒コンバーター用材料としてその使用が拡大している(§6. 排気系用耐熱ステンレス鋼)。

3.2 家電・電機分野

(1)電磁鋼板でエコデザイン(§11. 高効率高機能電磁鋼板)

家電・電機分野では機器の使用段階における消費電力の削減が最大の課題である。特に直近では、トップランナー方式の管理によりエネルギー効率の向上は各メーカー共に重要視しており、より高効率な電磁鋼板の使用によって発電機、変圧器、モーターやコンプレッサー等のエネルギー効率向上を計る方向で取り組まれている。電磁鋼板はまたその優れた機能により、省エネルギーのみならず騒音低減、磁気シールドなど環境を制御するエコマテリアルとして各種用途に活用されている。

(2)高機能表面処理鋼板

家電用材料として各種のめっき鋼板や高機能化成処理鋼板などが開発されているが、これらの採用により耐食性の目的以外にも潤滑性、耐指紋性、意匠性などの要求性能に添えている。鋼板に潤滑性の皮膜を付与した潤滑鋼板の開発により、プレス成形加工時の潤滑油省略が可能となった(§7. 高潤滑鋼板)。こうした材料の使用によって、プレス時の加工工程の効率化、無塗油化、脱洗浄化等の加工段階での環境改善に大きく貢献している。さらに近年、高性能プレコート鋼板の開発によりユーザーでの塗装工程の省略が可能となり、順次その使用が拡大している。プレコート鋼板は耐汚染性と共に高度の加工性も必要であり、こうした要求に添えた優れた製品が開発されている(§10. プレコート鋼板)。

(3)特定環境負荷物質フリー化

近年、環境意識の高まりにより、環境上懸念される特定の環境負荷物質を含まない製品への要求が増えており、家電製品においては必要機能を維持した鉛フリーやクロムフリーの要求に添える製品の開発が望まれていた。

近年新日本製鐵の開発した鉛フリーZn-Sn-Ni合金めっき鋼板は電子部品用表面処理鋼板の性能としての耐食性、半田性、耐ホイスカー性 全てに優れるものであり、今後その適用拡大が期待される(§8. 鉛フリー電子部品用表面処理鋼板)。

薄鋼板の主力である各種表面処理鋼板では、環境負荷物質である六価クロムを含むクロメート処理が施されているものがあるが、この六価クロムを削減する観点からクロムを含まない製品の要求がある。こうした要請に添えて、新日本製鐵ではクロムを含まない表面処理亜鉛めっき鋼板およびプレコート電気亜鉛めっき鋼板の開発に成功した(§9. クロムフリー亜鉛めっき鋼板)。今後、これらをさらに改善し、幅広い用途で適用できるよう検討中である。

(4)家電リサイクル対応

電氣製品の長寿命化、長期使用は今後重要なアイテムである。特に家電製品のように家電リサイクル法のスタートにより廃棄費用の必要になるものは、LCAの観点からも維持修理の体制作りによるリユースの推進と共に耐食性の向上他長寿命化への対応が重要である。この点に関しては自動車と同じく各種表面処理鋼板や塗装鋼板が開発され採用されている。

一方、家電リサイクル法の制定に伴い廃家電製品の処理、取り扱いが家電メーカーにとって大きな課題となっている。今後、こうし

たりサイクルに適した材料や設計に大きくシフトしていくものと思われ、この命題に応える材料開発が必要になってくる。

### 3.3 容器分野

容器分野では、近年のライフスタイルに呼応して、特に飲料缶を中心にその生産は大きく伸びている。日本における飲料缶総需要は年間約340億缶となっており、その内スチール缶比率はおよそ60%を占めている。スチール缶は元来、内容物の品質を安全に確保するための強度、密封性、耐熱性、遮光性、耐水性などが高く容器用素材として総合的に優れている。

一方現在では、容器用素材として鋼材のみならずアルミニウムや樹脂(PET)等の多くの材料が使用されているため、これらの素材間競争が激しい分野であり、経済性、環境負荷・リサイクル性が種々議論されている。

#### (1) 極薄ぶりき鋼板

こうした中でスチール缶は現在そのリサイクル率が80%と各種容器用素材をリードしている形であるが、省エネルギーの一層の寄与として、環境負荷や経済性の面からもスチール缶素材の軽量化、薄肉化が取り組まれている。ぶりきは飲料缶など日常生活に密着した消費材であり、食品容器として高い品質が求められる。特に2ピース缶は製品加工工程がシビアで、缶の軽量化のための素材の薄肉化は製缶加工上大きな課題である。

図5は製缶用素材の板厚の推移を示している。20年前に約0.32mmであった2ピース缶(350mlDI(Deep Ironing)缶)のぶりき素材厚みは10年前に0.24mmとなり、そして1998年遂に0.19mmの極薄素材が開発され大きな注目を集めている<sup>7)</sup>。仮にこの極薄ぶりき鋼板が350mlビール缶に適用された場合、缶重量は従来よりも約15%低減することができ、省資源、省エネルギーに貢献できるものと期待される。

#### (2) 極薄ラミネート鋼板

食飲用の金属缶はほとんどが内部を塗装して使用される。こうした有機溶剤を用いる塗装・焼き付け工程は環境問題から敬遠され、この工程が省略できれば環境改善効果は大きいものがある。製缶業界では、このような塗装使用に代える目的で、各種のフィルム樹脂をあらかじめ鋼板にラミネートしたフィルムラミネート鋼板が開発され使用されている。このタイプでは、LCA的にも従来の塗装タイプに較べて一段と優れた評価を示している。ラミネート缶は省エネルギー効果のみならず、内容物の味や香りを長期間保持できること、環境ホルモン問題のような環境対応の効果とも相まってその使用は急速に拡大しつつある(写真1参照)。

このような中、新日本製鐵では製缶メーカーなどとの共同開発により、スチール缶用の0.18mmという極薄のラミネート鋼板を逐次



写真1 2ピース・ラミネートスチール缶の使用例

実用化してきたが、1999年に入り、その素材加工性をさらに改善し一層の加工率アップに耐える極薄ラミネート鋼板を開発した。

この鋼板は既に350ml缶において国内市場で実用化され高い評価を得ているが、この2ピース・ラミネートスチール缶では、350ml缶として世界最軽量級が実現されている。

一方、ラミネート鋼板の製造法の一つとして、直近、ポリプロピレン(PP)樹脂を直接鋼板上に溶融押し出しするTダイラミネート法によるラミネート鋼板を開発した(§12. Tダイ方式ラミネート鋼板)。この方式は従来以上に加工性と耐食性に優れ、今後、ポリエチレン(PE)やPET樹脂への適用拡大も期待されている。

### 3.4 電力エネルギー分野

#### (1) 発電効率向上

電力エネルギー分野での使用段階における環境対応は、いかにエネルギー効率を向上させるかの一言に尽きると思われる。

発電分野では、化石燃料を電力エネルギーに変換する高効率変換技術の開発、実用化が着実に進められている。このような各種の高効率発電システムの開発に伴い使用される鋼材への要求も高まっている。例えば、超々臨界圧発電では高温高圧化に呼応した高効率ボイラー用鋼管(NF616等)の開発、実用化により、発電効率は飛躍的に向上している(§15. 高効率ボイラー用鋼管)。トランスの分野でも、高効率のトランス用電磁鋼板が開発され、モーターの効率化と同じく低鉄損化による変換効率は大幅に向上している。

#### (2) クリーンエネルギー

地球環境問題としてCO<sub>2</sub>削減対策が叫ばれる今日、エネルギー分野ではクリーンエネルギーへの対応が重要な課題となっている。原子力発電は現在その進展が停滞気味ではあるものの、第3回締約国会議(COP3)で決定したCO<sub>2</sub>レベルを達成するためには今後原子力発電所の増設が必須である。

クリーンエネルギーとしてのLNGへの期待はますます高まっており、発電分野でもLNGコンバインドサイクル発電は急速に拡大

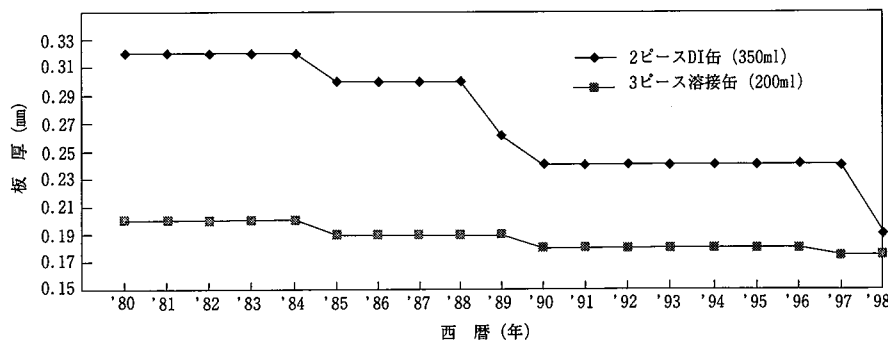


図5 製缶用素材の板厚推移

しつつある。こうしたLNG焚きボイラーの進展に伴い、その煙突用材料としてライニングが不要かつ錆片の飛散がほとんどない新耐食鋼が強く求められていた。新日本製鐵では、この要請に応じて長期間のメンテナンスフリーを可能とするLNG煙突用新耐食厚板(WELACC5)を開発し注目を集めている。この製品は1997年実機採用以来その適用は拡大中であり、今後も期待されている(§ 13. LNGボイラー煙突用耐食厚板)。

また、石炭火力もクリーン化や効率化を目指した石炭ガス化発電(IGCC)が開発中であり、早晩こうした発電形態に移行していくものと思われる。

### (3) エネルギー輸送の効率化

エネルギー輸送の分野では、石油や天然ガスの生産増大に伴ってラインパイプによるエネルギー輸送が世界的に拡大している。例えば、世界の天然ガスはその80%がパイプラインを介して送られており、残りの20%がLNG船による輸送である。このようなパイプラインでは、近年、輸送効率の向上のために輸送圧力を高める要求が強く、これに呼応した高強度のラインパイプ用鋼管が開発されている。また敷設場所は極寒地域や深海底など従来以上に厳しい環境になっており、その面でもラインパイプの高強度、高耐食性が重要になっている。

こうした高耐久性への対応は長寿命化や鋼材使用量削減として加工段階での環境負荷低減にも貢献している。また、ラインパイプの高強度化は鋼管の軽量化や薄肉化を可能とし、溶接技術の向上と相まって溶接作業負荷の軽減にも寄与している。

### (4) 環境に優しい石油掘削(§ 14. ドープフリー型油井管プレミアムジョイント)

石油掘削現場における油井管のねじ継手部の締結時には、従来コンパウンドグリースが塗布されるのが一般的である。しかし、このグリースには鉛を主とした重金属粉が含まれており、環境汚染や作業性の問題があった。新日本製鐵では、ねじ部に優れた固体潤滑皮膜を付与したドープフリー(グリースを塗布しない)プレミアムジョイントを開発し、一切の液体潤滑剤を用いることなく締結でき、かつ、従来継手と同等の使用性能を確保できる画期的な成果を実証した。今後、本格的なフィールドへの適用、浸透が期待される。

## 3.5 建築・土木分野

### (1) 長寿命化、耐久性、信頼性の向上

建築・土木分野におけるストック型構造物の場合、環境への寄与としてはやはり“長寿命化”によるものが大きいと思われる。こうした社会資本分野では耐久性や信頼性が重視され、従来から耐食性や耐震性の要求に応じて多くの高強度高張力鋼板が採用されてきた。例えば、造船分野と同じく加工熱処理(TMCP: Thermo-Mechanical Control Process)を活用した建築構造物用高張力鋼板の開発など、耐震設計に対応した低降伏比(低YR)型高張力鋼が大型建築物に採用されている。高さ300mに及ぶランドマークタワーや東京都庁舎などの超高層ビルには、50kgf/mm<sup>2</sup>、60kgf/mm<sup>2</sup>級の低YR高張力鋼が大量に使用されており、現在では80kgf/mm<sup>2</sup>級のものが相次ぎ開発され、建築物のみならず長大橋にも採用されている。

### (2) 長大吊り橋ワイヤー用高張力鋼線

1998年に完成した本州四国連絡橋の明石海峡大橋は、全長3911m、中央支間長1991mの世界最大の長大吊り橋として歴史にその名を刻んでいる<sup>8)</sup>(写真2参照)。このような吊り橋建設の

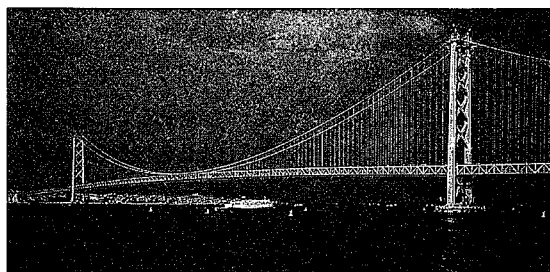


写真2 明石海峡大橋

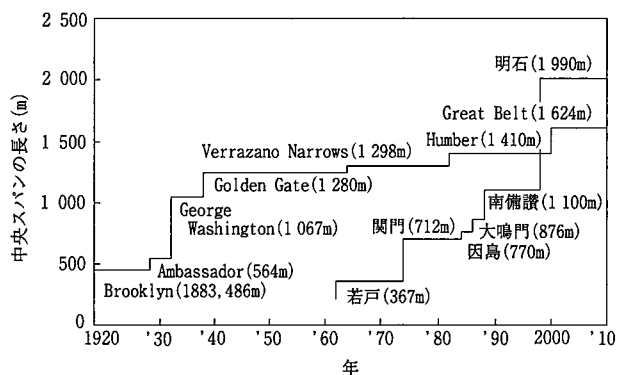


図6 吊り橋径間長の推移<sup>9)</sup>

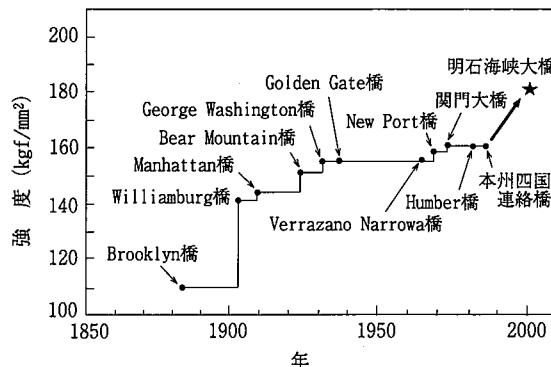


図7 吊り橋用ワイヤー強度の推移<sup>9)</sup>

発展はその中央径間長の推移によってみる事ができる。

図6は世界の吊り橋の中央径間長の推移を示している。径間長1990mの明石大橋はその進歩において一段の飛躍を果たしている。これは図7に示すようにそれを支える吊り橋用ワイヤー強度が併せて進歩してきたことによる事が明らかである<sup>9)</sup>。明石海峡大橋では、180kgf/mm<sup>2</sup>級高張力鋼線が開発され使用されている。この鋼材の採用によりワイヤー自身と構造部材の軽量化が計られ、鋼材節減エネルギー量は重油換算で14600klにも及ぶと試算されている。

### (3) 構造物の耐食性

構造物の耐食性の面でも防食技術の発展と相俟って種々の改善、開発が行われている。耐候性鋼は古くから世界中で建築物や橋梁に用いられているが、飛来海塩粒子の多い海浜帯では耐候性機能が期待しにくい短所があった。1998年、耐塩害性に優れた海浜耐候性鋼が開発されその使用範囲は大幅に拡大された<sup>10)</sup>(§ 16. 海浜耐候性鋼)。また海中に設置される橋脚は海水面近傍の腐食が大きな問題であったが、東京湾横断道路(アクアライン)では表面にチタンを

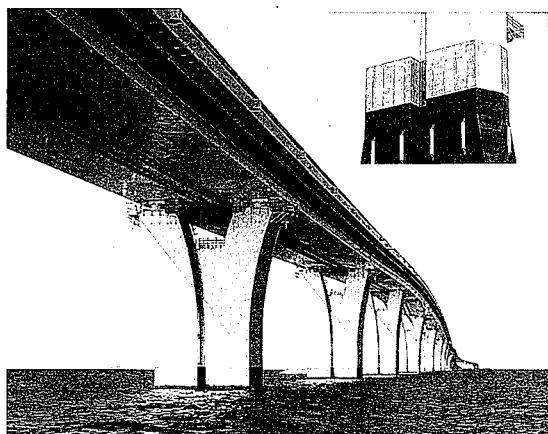


写真3 東京湾横断道路(アクアライン)の橋脚に使用されたチタンクラッド鋼板

クラッドしたチタンクラッド鋼板が採用されている<sup>11)</sup>(§ 21. チタンクラッド鋼板)(写真3参照)。

このような大型構造物は一般に建設後の維持メンテナンスに膨大な費用と労力を必要とするため、最近ではメンテナンスフリー機能が強く要望されており、垂鉛めっき橋梁のような技術や先の耐候性能のレベルアップなど施工防食技術と合わせて材料開発にも一層の取り組みが行われている。

建材用めっき鋼板においても環境保護の観点から一層の耐食性向上、長寿命化の要求がある。新日本製鐵で開発した溶融Zn-Mg合金めっき鋼板ダイマジンクは、従来の垂鉛めっき鋼板よりさらに耐食性が優れた特性を示しており、今後のエコプロダクツとして期待される(§ 17. 高耐食性溶融Zn-Mg合金めっき鋼板)。

#### (4) 鉄の用途拡大

鉄は自然界に最も多く存在し、最も安定な元素であり、有史以来人類と共存してきたエコマテリアルである。一旦使用された鉄は再びリサイクルできる循環型資源といえる。このようなエコマテリアルである鉄の用途を拡大し、より持続可能な発展へ貢献しようとの考え方から開発した商品について述べる。

スチールハウスは木造住宅の構造部材を鋼材に置き換えた住宅である(§ 18. スチールハウス)。米国では25年前から急速に普及し、現在では年間約10万戸が建設され、戸建住宅の1割に達している。1998年、アメリカ鉄鋼協会のサステナブルスチール会議では、スチールハウスはその耐久性、環境負荷、リサイクル、省エネルギー等から“環境に優しい住宅”として紹介されている。わが国においても、阪神淡路大震災以来、その安全性、耐久性の観点から導入されるようになっており、現在、鋼材倶楽部を中心としてその普及拡大が進められている。

現在、我が国における優れた造船技術や大型構造物製造技術を生かしたメガフロート(大型浮体構造物)の開発が進められている。これは鋼材による大型の浮体構造物を作製し、“海に浮かぶ陸地”を造るプロジェクトである<sup>12)</sup>(写真4参照)。このような方式を採用して海上空港や各種海上基地などを造ることにより、従来の埋め立工法に比べ施工効率面で大幅に工期が短縮されるだけでなく、より地球環境に優しい工法として実用化が期待されている。

#### (5) 施工効率の向上

大型構造物の建設時の施工効率の向上は加工段階の環境負荷低減

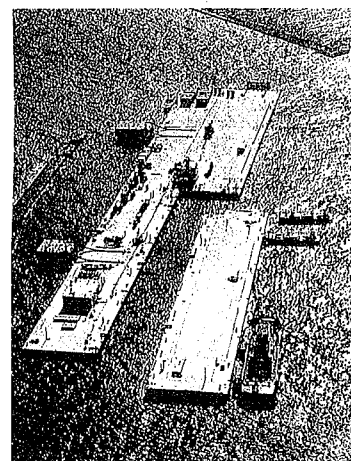


写真4 メガフロート実証試験<sup>12)</sup>

として成果をあげている。例えば、建築用耐火(FR)鋼の開発による耐火被覆施工の省略や簡素化、外法一定H形鋼(ハイパービーム)の使用による建築時の効率化、造船分野と同じく大入熱溶接鋼や予熱低減型高張力鋼の採用による接合・溶接効率の向上など、各種施工技術の発展と共に鋼材面での改善、開発があげられる。

最近では、TMCP極厚H形鋼の開発により、溶接組立ボックス構造物にその座を奪われていた超高層ビルの柱材も再度ロールH形鋼の持つ優位性が見直され、鉄骨加工の簡略化による省エネルギー、コストダウンが期待されている。

#### (6) 環境に優しい建築・土木材料

建築・土木分野での環境に優しい、環境にコンシャスな対応として、騒音・振動対策等のような環境対策、環境負荷物質対応、そして環境美化や景観材としての配慮が考えられる。

土木分野において新日本製鐵の開発した“ガンテツパイル工法”は建設残土の少ない、低騒音、低振動の鋼管杭工法であり、環境に優しい工法として第二名神高速道路の基礎として採用後、数多くの実績を残している(§ 19. ガンテツパイル工法)。

最近、自動車による騒音対策として高架道路の天井からの反射音が問題となっているが、これを吸収する吸音パネルを開発し成果をあげている(§ 25. 道路用吸音パネル)。

建材用ラミネート鋼板では、従来塩化ビニル樹脂を使用した塩化ビニルラミネート鋼板が多く使用されているが、塩化ビニル製品の焼却によるダイオキシン問題から脱塩化ビニル化の要求がでていく。こうしたニーズに応えるものとして、ポリプロピレンを主成分とする環境に優しいオレフィンフィルムによるラミネート鋼板を開発し注目されている(§ 24. オレフィンラミネート鋼板)。

周辺環境への意識の高まりとともに生活環境における快適性が注目され、構造物の景観や美化が重要視されるようになってきた。都市部においても全体の調和が重視され、景観に対する規制や新たな見直しが行われている。こうした流れの中で新日本製鐵及び新日本製鐵グループも、建築産業界で作る景観材料推進協議会の一員として景観、美化といった環境改善に取り組んでいる。各種の景観材用鋼管や鋼板、チタン材料等景観材料分野でも環境に優しいエコプロダクツの開発を推進している(§ 20. 景観材用鋼管, § 21. チタン材料)(写真5, 写真6参照)。



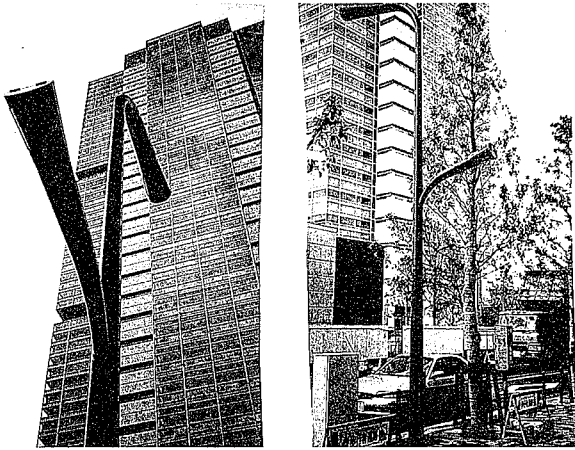


写真5 景観材用テーパ鋼管

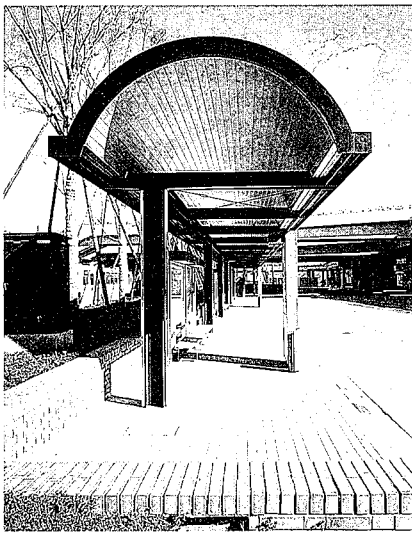


写真6 ステンレス屋根シェルター

### 3.6 船舶・鉄道分野

#### (1) 輸送分野における軽量化

船舶、鉄道等の輸送分野においても、自動車分野と同じく軽量化による輸送エネルギーの効率化は重点課題である。

船舶分野では船舶重量の80~90%が鋼材重量であり、使用鋼材の高強度化による船殻重量の軽量化は極めて重要である。こうした要求に応じてTMCP鋼などの船舶用高張力鋼板の開発、実用化により、高張力鋼板の使用比率は既に60%を上回るレベルになっているが、今後さらに拡大していくものと思われる。

鉄道分野においても、高速化と相俟って軽量化への取り組みは積極的であり、近年アルミニウム車両の増大と共にステンレス鋼車両の拡大が進展し、省エネルギー化に貢献している。

#### (2) 衝突安全性

船舶分野では地球環境問題からも耐衝撃性や安全性が重視されており、衝突時の安全性能や亀裂伝播停止(アレスト)性能に優れた鋼板の開発が注目されている。また、運搬物保護の観点からタンカーのダブルハル(二重船殻)構造やケミカルタンカー用ステンレス鋼の採用など鋼材に対する多くの要請に応えている。

最近、大型船舶、海洋構造物など広い分野で安全性向上や海洋汚染防止を実現する鋼材としてハイアレスト鋼板が開発され注目を集めている(§22. ハイアレスト鋼)。ハイアレスト鋼板は、脆性破壊

の伝播や拡大を停止するアレスト性能が従来鋼に比べて3~10倍も優れている特徴がある。ハイアレスト鋼板は鋼板表層部の金属組織が1~3 μmと工業的規模では世界初の超細粒鋼(SUF鋼: Super Ultra Fine鋼)で、これにより鋼板表層部の耐脆性破壊(アレスト)性能を著しく向上させたハイブリッド(複層構造)型鋼板である<sup>13)</sup>(写真7参照)。

#### (3) 加工組立工程の効率化

前述した軽量化への取り組みは鋼材使用量が削減される事になり、それ自体で加工段階の環境負荷低減に寄与する事になる。船舶や車両の製造では、その加工・組立段階の手間が大きく、この加工、組立の能率、即ち施工効率の向上が省エネルギー的にも重要である。

造船用高張力鋼として開発されたTMCP鋼は、低炭素当量化により溶接品質のみでなく溶接効率の向上に大きく貢献している。このように溶接作業の合理化を目的とした大入熱溶接用鋼材が種々開発され使用されている。

鉄道車両においてもその加工、組立段階の効率化に対して、材料面からの種々の工夫改善により環境対応に寄与している。

#### (4) ステンレス鋼車両のリサイクル(§23. ステンレス鋼車両のリサイクル)

輸送分野においても耐食性や耐疲労強度等の向上による長寿命化により使用期間の延長が計られている。これは新規製造の絶対数削減に繋がり、製造(加工)段階での環境負荷低減に寄与している。車両のステンレス鋼化や高疲労強度レールの採用などいくつかの具体

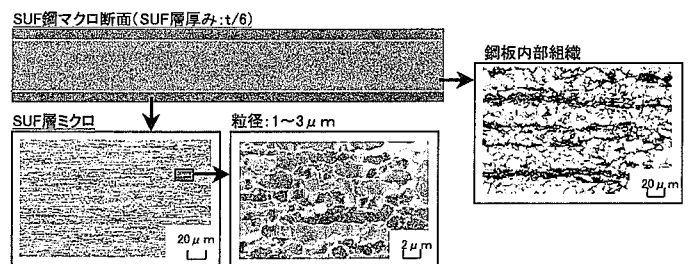
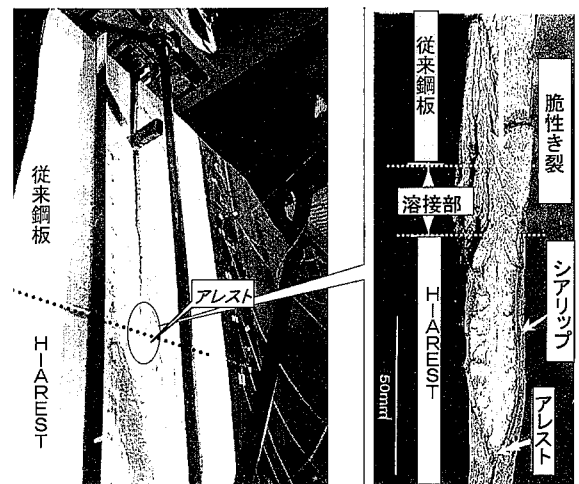


写真7 ハイアレスト鋼板



例をあげることができる。

一方、車両のステンレス鋼化の進展に伴い、廃車となったステンレス鋼車両のリサイクルが必要となりつつある。ステンレス鋼は昔からスクラップをベースに生産する体制にあり、その循環リサイクルについては体制が整っている。廃棄となったステンレス鋼車両はアルミニウム車両のようにグレードダウンすることなく、再びステンレス鋼車両に再生可能である点において、ステンレス鋼はより環境にコンシャスな材料である。

#### 4. 更なるエコプロダクツの開発に向けて

##### 4.1 各需要分野の今後の動向

いままで各需要分野におけるエコプロダクツ開発の具体例を展望してきた。地球環境対応を意識した流れは各分野ともに益々加速していくものと思われる。

現在、自動車業界では環境エネルギー問題への取り組みとして、電気自動車やハイブリッド車の実用化に拍車がかかっている。また、クリーンエネルギーとしての水素燃料の活用や燃料電池自動車の開発が国をあげて取り組まれている。

電力エネルギー分野でもクリーンエネルギーや新エネルギーへの対応は重要な課題となっている。原子力発電の拡大は、種々の障害もあるがCO<sub>2</sub>対策を鑑みると今後必須の課題である。また、国際的な核融合開発(ITER)も引き続き続けられている。電力供給分野では電力の平準化が大きな課題の一つであり、揚水発電、フライホイール、超電導、燃料電池などによる電力貯蔵技術の開発・実用化が進められている。

リニアモーターカーに代表される輸送分野の飛躍的な高速化や一層の軽量化、効率化、ストック型の社会資本分野での更なる耐久性の追求や安全性、信頼性、快適性への要求は、持続可能な発展との命題の下に進められていくものと思われる。

このような社会の要請に応じて推進していく新しい技術開発、技術革新には、新しいより高度な鋼材の開発が必須である。本来鉄のもっている多様な材質特性、潜在能力をさらに開発、利用することが将来に向けての課題である。環境にコンシャスなスチールプロダクツへの要請は今後も続くであろうし、またその期待に応えていかねばならない。

##### 4.2 スーパースチールの開発

鉄は従来から安価で大量に得られる高強度の素材として、“強度部材”として使用されてきた。しかしながら、この最も得意とする強度の領域に於いても、現在実用に供されている鉄鋼材料の強度は、大部分が鉄の理論強度に対して1/5~1/10程度以下で使用されており、最高でも未だ半分以下の低い値に留まっている(図8参照)<sup>14)</sup>。このことは、鉄鋼材料が未だ高強度化の大きな余地が残されていることを物語っている。

一方、その余地を埋めて実用化を実現するためには、多くの場合に強度とは相反する特性である塑性などの最適組合せや一段のブレイクスルーが求められる。このような命題を乗り越え、本来の鉄の機能の極限を追求する未来材料開発の一例が“スーパースチール”の開発である。従来の鉄の特性を飛躍的に超える“鉄を超える鉄”という21世紀の夢の材料開発が“スーパースチール”である。

スーパースチールの開発は、現在、通商産業省工業技術院の“スーパーメタル”研究開発と、科学技術庁金属材料技術研究所が進める“超鉄鋼材料(ウルトラスチール)”研究開発(STX-21)の二つの

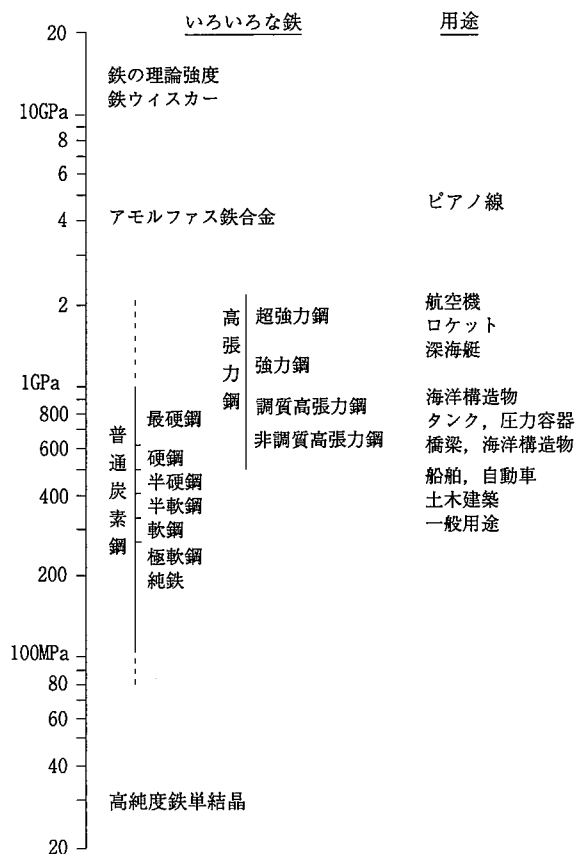


図8 鉄の強度のスペクトラム<sup>14)</sup>

プロジェクトがあり、新日本製鐵も参加して産官学連携が進められている。いずれも組織制御技術の開発により“超微細組織鋼”を作り、ホールベッチ則から外挿した予測領域において機械的強度や各種の機能を飛躍的に向上させ、純粋な鉄のもつ性能を極限まで引き出すとする開発である<sup>15)</sup>。これらの“スーパーメタル”や“ウルトラスチール”等を総称して“スーパースチール”と呼んでいる<sup>16)</sup>。

この“スーパースチール”の開発が実現すれば、従来の実用領域とは一線を画した飛躍的な用途開発が可能となる。例えば、1889年に当時の技術の粋を集めて建設されたエッフェル塔は高さ300mの鉄塔であるが、現在の高張力鋼を用いれば同じ重量で750mの高さが材料技術面からは可能であると試算されている<sup>17)</sup>。さらに、将来この“スーパースチール”が実用化されれば1500m級の超高層タワー(いわゆるマイルタワー)が建設可能と期待される<sup>16)</sup>(写真8参照)。これは、近年提唱されている“ハイパービルディング(超々高層ビル)”の実現に寄与できるものである。このように既存の素材について、それぞれの単一素材としての機能を極限まで追求することにより、機能素材としての飛躍的な発展が大いに期待できる。

##### 4.3 環境経営

こうした地球環境問題に貢献し、更なるエコプロダクツ開発のためには、企業としての取り組みのスタンス、体制が重要である。経営者団体連合会では1991年、産業界として“地球環境憲章”を制定した。これを受けて多くの企業では近年、“環境対応”を企業活動の一つの理念として取り上げつつある。

新日本製鐵では1998年、“環境”を経営の柱の一つと定め、“環境経営委員会”を設置した。この委員会には、環境動向全般と製鉄プロセスの環境対策を進める“環境対策部会”、製鉄プロセスの省エネルギー、リサイクルを検討する“省エネルギー・リサイクル部会”、

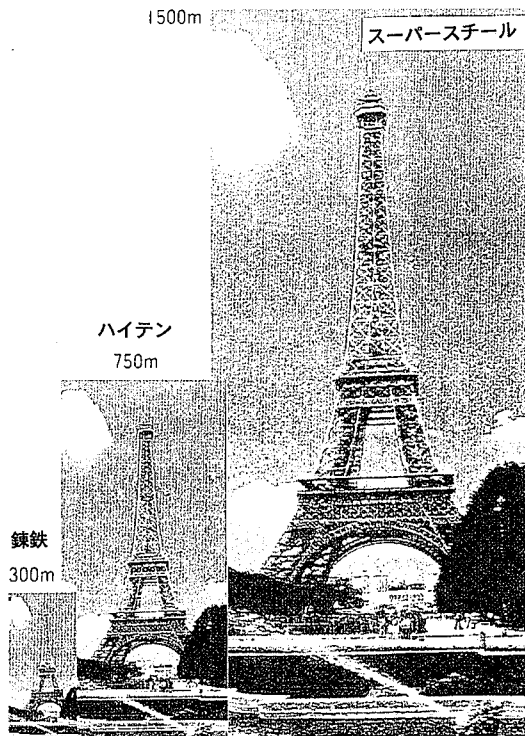


写真8 超々高層エッフェル塔の建設も可能に<sup>16, 17)</sup>

環境対応商品を取り扱う“環境対応素材部会”そして鉄で培った環境技術を新たな環境ビジネスとして貢献する“環境ビジネス部会”の四つの部会が設けられている。図9に部会と企業活動との連関図を示す。これらの部会により、環境経営として新日本製鐵の企業活動の全てをカバーする形になっている。更なるエコプロダクツの開発もこの環境対応素材部会の下で推進していくことになる。

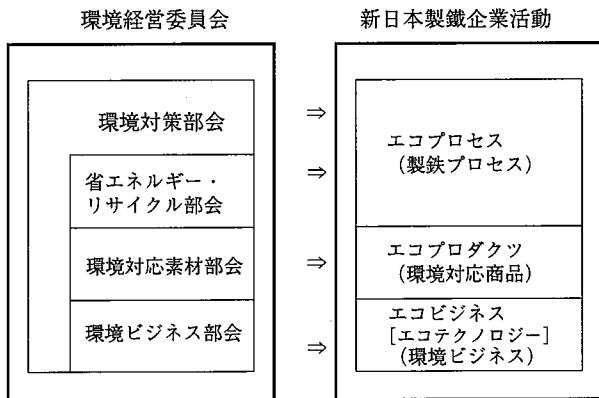


図9 新日本製鐵環境経営委員会と企業活動の連関

## 5. 結 言

人類は19世紀の産業革命、20世紀の技術革新の時代を経て、いまや豊かで快適な社会として飛躍的な発展を遂げてきた。一方、この事により地球環境や資源あるいは社会の受容性の限界に直面する事になった。地球温暖化、大気汚染など地球環境問題は21世紀を目前とした我々人類の切実で最重要な課題となっている。

21世紀は“環境の世紀”と言われている。全ての産業も今後環境を考慮せずには企業活動ができなくなるであろう。新日本製鐵も鉄鋼業として鉄の優れた特性、機能を生かして各種の環境対応商品(エコプロダクツ)をその要請に応じて開発してきた。

人類が鉄を発見して以来、鉄は安価で環境に優しい素材としてその文明の発展に貢献してきた。持続可能な発展が叫ばれる今日、鉄のもつ特性、機能を極限まで活用することにより、21世紀もまた、鉄はエコマテリアルとしてますます活用されるものと思われる。

新日本製鐵は21世紀もまた、エコプロセスとエコテクノロジーによってエコプロダクツを製造するエコカンパニーとして、地球環境保全に大きな貢献を果たしていきたい。

### 参考文献

- 1) 高松信彦：新エコマテリアル研究会発足記念シンポジウム，東京，1998-10
- 2) 通商産業省，日本鉄鋼連盟：鉄鋼製品のLCA評価調査委員会報告書，1997
- 3) 浅村 峻：第3回エコマテリアル国際学会Proceedings, 34(1997)
- 4) 日本鉄鋼協会：鉄と鋼，81(4)，創業80周年特集号，(1995)
- 5) 滝田道夫：自動車技術展'98春期大会シンポジウム，横浜，1998
- 6) 寺門良二：IISI-31 PROMCO Panel Discussion, Vienna, 1997
- 7) 新日本製鐵：Nippon Steel Monthly, (82), 5(1998)
- 8) 新日本製鐵：しんにつてつ。(135), 17(1999)
- 9) 高橋稔彦 ほか：吊り橋強度，径間長，製鉄研究。(332), 53(1989)
- 10) 新日本製鐵：Nippon Steel Monthly, (84), 1(1999)
- 11) 新日本製鐵：Nippon Steel Monthly, (81), 5(1998)
- 12) メガフロート技術研究組合：メガフロート紹介パンフレット，1998
- 13) 新日本製鐵：Nippon Steel Monthly, (81), 5(1998)
- 14) 松尾宗次：いろいろな鉄，日鉄技術情報センター，1997
- 15) 日本鉄鋼協会：鉄系メソスコピック組織制御材料創製技術調査報告書，1998
- 16) 千速 晃：月刊keidanren。(10), 30(1998)
- 17) 国際鉄鋼協会(IISI)：IISI環境報告書，1998