

# ファインスティール

Fine Steel

中村元治\*

Motoharu Nakamura

## 1. ファインスティールとは

鉄鋼材料に対する市場のニーズは石油ショック以降の省エネルギー、省資源などの社会的要請、需要業界の技術革新、先端分野の発展などにより、ますます高機能を有する素材が要求される一方、円高や中進製鉄国の追い上げによる国内外の市場環境の対応から、低廉化への要求も強まるなど、二極化への傾向がはっきりしてきた。鋼材の高機能化とは何かと考えると、靱性、溶接性、耐食性、耐候性や磁気特性などの各種機能を高めたものの追求であり、高張力鋼板、表面処理鋼板（亜鉛めっき鋼板）、ステンレス鋼や電磁鋼板などが高機能材として位置づけられる。表1に主な鉄鋼材料の生産量の変化と用途を示したが、昭和48年に比べて、昭和62年の生産量は厚中板や熱延薄板などの一般鋼材は減少しているが、高機能材は著しく増加し

ている、このような高機能材を狭義の「ファインスティール」と呼んでいる。これらファインスティールは産業社会のニーズの多様化、高級化に対応して、今後とも著しく需要が増大すると考えられる。

これに対して、通商産業省では、わが国鉄鋼業の中長期的な展望の策定に取り組むため、昭和62年3月以来、「基礎素材産業懇談会」を開催し、昭和62年「新世代の鉄鋼業に向けて」と題する中間報告において、ファインスティール化の推進が必要であると提言された<sup>1)</sup>。このような認識のもとに、昭和62年12月に「ファインスティール研究会」が設置され、この研究会では、「ファインスティール」を、狭義の鋼材にとどまらず、「鉄および鉄合金を中心に、現在鉄鋼業が取り扱う金属素材、金属間化合物および金属系複合材で、従来存在しないもの、および従来のもので、従来以上の物質的価値、社会的価値を生み出す素材」と定義してい

表1 主な鉄鋼材料の需要変化（昭和48年=100とした場合の昭和62年の生産量）

区分	鋼種	生産指教* [S62年]	主な用途	備考
一般鋼材	厚中板	46. 2	機械構造用材、一般構造用材、自動車部品	輸入鋼材
	熱延薄板	65. 5	パイプ、造船材、機械部品、ボイラー材	
	冷延薄板	95. 6	自動車の内外板、家電製品の内外板、鋼製家具、建築部材	
機能材 (ファイン スティール)	亜鉛めっき鋼板	196. 0	自動車の内外板、洗濯機冷蔵庫の外板、鋼製家具	耐食性向上
	高張力鋼板	339. 8	自動車部品、LPガスタンク、海上コンテナ、海洋構造物	軽量化
	電磁鋼板	141. 9	モータ、トランス用鋼板	省エネルギー
	ステンレス	151. 3	化学装置、車輛用、パネ電子機器用、原子力関連	耐食性

\* (出所) 通産省「鉄鋼統計月報」

\*新日本製鐵(株) 広畑技術研究部部長  
〒671-11 姫路市広畑区富士町1

表2 ファインスチールの市場規模<sup>2)</sup>

機能	市場規模 (億円/年)	
	1985年	2000年
I 機械的機能材料	6,800	13,800
II 熱的機能材料	300	1,200
III 化学的・生体機能材料	11,000	33,000
IV 電気電子の機能材料	900	13,000
V 磁氣的機能材料	2,800	5,600
V その他	2,700	12,600
合計	24,500	79,200

る<sup>2)</sup>。このような広義のファインスティールは、従来にない新しい物質的価値と社会的価値を生み出すため、市場規模は指数関数的に伸びることが期待され、ファインスティールの市場規模は、表2のように1985年時点で、2兆5000億円程度であるが、15年後の2000年には、3倍強の8兆円弱と増加していくと、研究会では予測している<sup>2)~3)</sup>。このように市場規模が急成長することが予想されるため、数多くの企業がファインスティール産業への進出を狙っており、国際競争も激しくなるものと思われる。このような中で、最も有力なファインスティール産業の担い手は、わが国鉄鋼業である

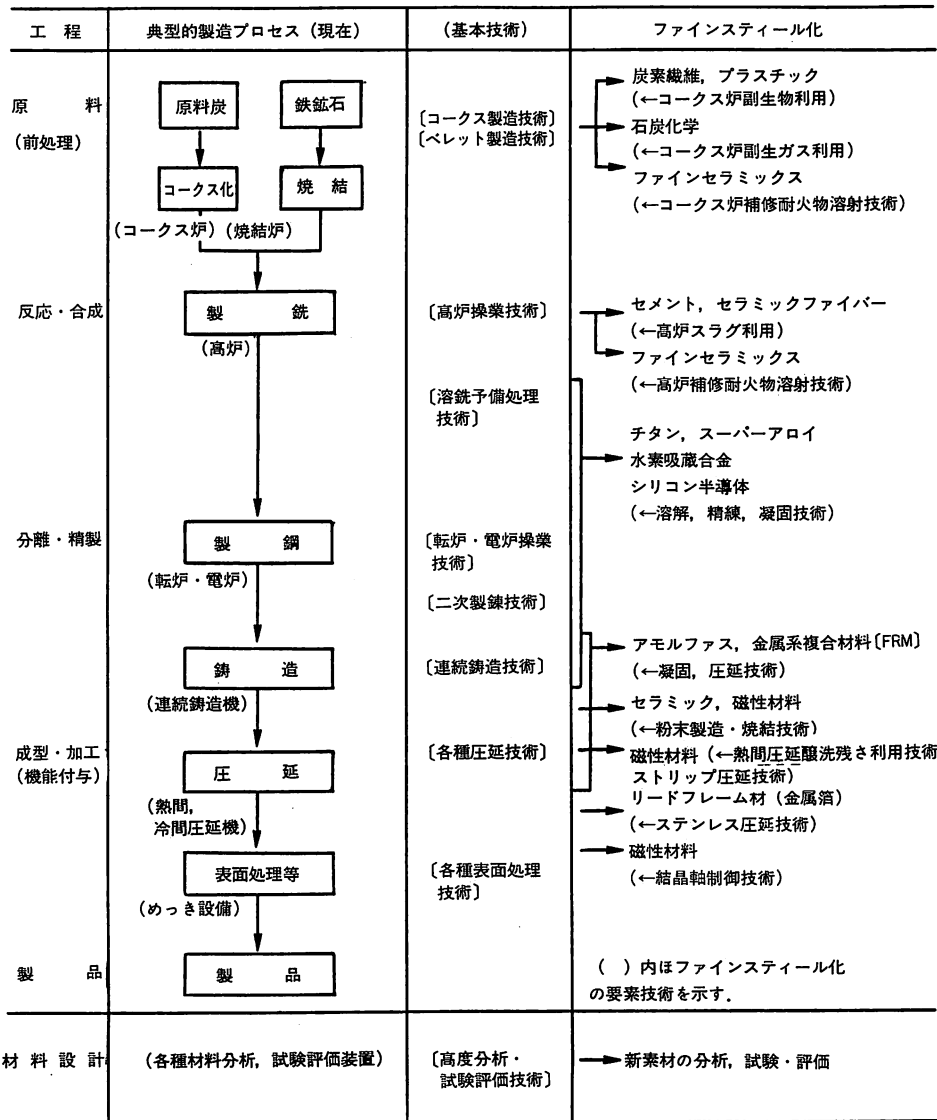


図-1 鉄鋼業の多角化に活用される技術・ノウハウ<sup>1),2)</sup>

と言える。何故ならば、鉄鋼業は図-1に示されるように、コークス製造技術から各種表面処理技術、高度分析・評価技術までの幅広い要素技術を有しているためである。例えば、連続鋳造技術や圧延技術の応用により、アモルファス金属や金属系複合材料(FRM; Fiber Reinforced Metal)等の製造が可能になる。このような、これまで蓄積された広範かつ高度の技術・ノウハウおよび、人材等の経営資源の活用により、ファインスティール化を一層推進することにより、総合素材産業=ファインスティール産業として、21世紀に更に発展することが期待されている。

## 2. 鉄鋼業における

### ファインスティール化の現状

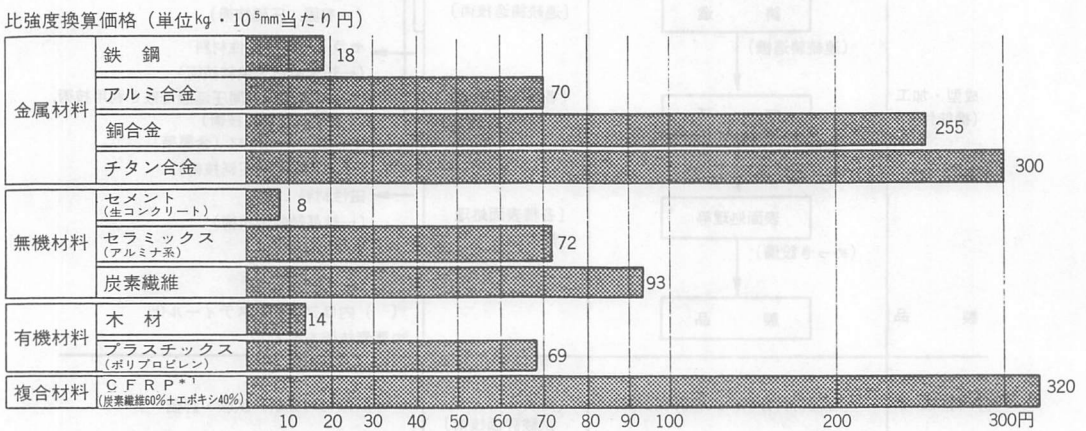
産業材料としての鉄鋼は、構造用材として優れた特性を有し、図-2のように比強度あたりの価格にみられるような高い経済性を有している<sup>4)</sup>。また、機能材として、磁性を有するなどの特性もあわせもっている。しかしながら、鉄鋼の需給を取り巻く環境は、石油ショックがもたらした経済・社会の変化を一つの契機として、さらに最近の貿易摩擦、急激な円高等により鉄鋼需要の量的成長には伸び悩み現象が続いている。一方、材料ニーズに対する質の面では、産業界の各分野の企業が活路を求め、省エネルギー、省資源等のコストダウン、新エネルギーの利用開発、商品の差別化、高付加価値化などによるセールスポイントの追求に努力を傾注している。このため、従来以上の高機能を有する素材が要求され、最適素材を求めて、鉄鋼に限ら

ず、産業材料に対する選択志向が従来に比べて格段に幅広くなってきている。

これに対して、鉄鋼業においてもエレクトロニクス技術の進展をベースとして、鉄鋼製造プロセスの高度化を進め、新しいセンサー、コンピュータ・テクノロジーの進展による大容量、高速演算可能計算機による制御等によって、オンラインでの材質制御の可能な製造プロセスを実現出来るようになってきた。その結果、今日の鉄鋼材料は一時代前の製品に比べて、所謂「ファインスティール」と呼ぶに相応しい新商品に脱皮を遂げているといえる。以下産業分野別にファインスティール化の具体例を述べてみたいと思う。

### 2.1 自動車におけるファインスティール化

わが国の自動車生産台数は、昭和35年の48万台から昭和63年の1280万台へと急速に伸びてきた。自動車において、鉄鋼材料は主要材料であるが、近年、樹脂、軽合金のような競合材料も台頭してきており、一部の部品での置き換えも認められるが、自動車全体の重量比から見れば、鋼板および鋳鉄を併せた鉄鋼材料が全体の77%を占めており、基本構成材料として鉄鋼材料が重要な位置づけにあることは明らかである<sup>5)</sup>。この間、自動車産業は生産性の向上、排気ガス規制値の達成、低燃費化、防錆対策などの課題を克服して、世界のトップレベルをゆく技術を築いてきた。今日のわが国の自動車はスタイリング性、走行性、室内スペース、静粛性、耐求性などに関する機能向上の面でどれをとっても先端技術を駆使したものとなっており、このなかで、鉄鋼材料のファインスティール化が大きく貢献し



(注) 価格は1981年末価格

(\*1) CERP; Carbor Fiber Reinforced Plastics

図-2 各種材料のコスト比較<sup>4)</sup>

ている。かつて、自動車車体用薄板には、表面の美しさとともに加工性が強く要求され、軟質化の方向で開発が進められてきたが、車体の軽量化による燃費向上が重視されるようになり、高強度で、かつ、加工性の優れた高張力鋼板が要請され、とくに難加工部位に使用される鋼板には、軟鋼板と同等の成形性が必要であり、強度とプレス加工時の深絞り性の両立した鋼板の商品開発が必要となった。そこで加工性を受け持つ軟らかくて、伸びの良いフェライト相と硬いマルテンサイト相が適度に混在する複合組織をもつ高張力良加工性鋼板が、当社の製鋼、圧延技術および連続焼鈍技術を駆使して実現された。また、成形時は軟らかく、加工が容易で、加工後の塗装焼付け時に硬化するBH鋼板 (Bake Hardening) も使用されている。

次に、自動車の防錆については、欧米メーカーが車体に10年間穴あきが発生しないこと、5年間表面錆が出ないことを目標として、厚亜鉛めっき鋼板を採用する方向に進んだのに対して、わが国では薄めっきで所要の性能を満足できる方向で取り組み、亜鉛-ニッケル合金電気めっきに薄膜有機皮膜処理した鋼板、鉄-亜鉛二層電気めっき鋼板、さらに溶融亜鉛めっきに鉄-亜鉛電気めっきを施した加工性、溶接性と防錆性を同時に満足する表面処理鋼板を商品化し、需要家で好評を得ている。

自動車のタイヤはゴム製であるが、図-3のように、そのベルト部の中に、走行時の安全性、強度保証を目的として、乗用車で0.75kg、トラック、バス用で10kgのスティールコードが使用されている<sup>6)</sup>。このスティールコードは強度が280~340kg/mm<sup>2</sup>、線径が0.175~0.380mmの極細高強度線である。この商品のポイントは製鋼工程での酸化物系の不純物の生成を防止し、それによって伸線過程での断線をなくし、走行時の安全を守る、最もクリティカルな線材における極限を追求した商品といえる。

また、自動車の騒音、振動の低減のために、制振鋼板の使用がはかられている。制振鋼板は二板の鋼板を振動吸収機能を持つ非常に薄い樹脂 (粘弾性物質といわれる性能のもの) で接着した樹脂複合鋼板であり、自動車のエンジンの騒音が特に問題となるディーゼル車のオイルパンで実用化されている。オイルパンに適用する場合、最も問題となったのは、写-1のように複雑な形状のプレス成形性が要求される点である。そこで、プレス成形性の優れた深絞り用鋼板を用い、樹脂の接着性、変形特性、プレス条位等を詳細に検討し、

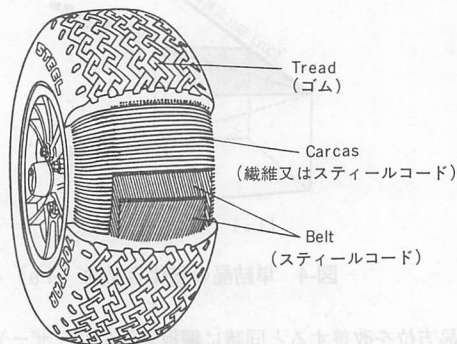
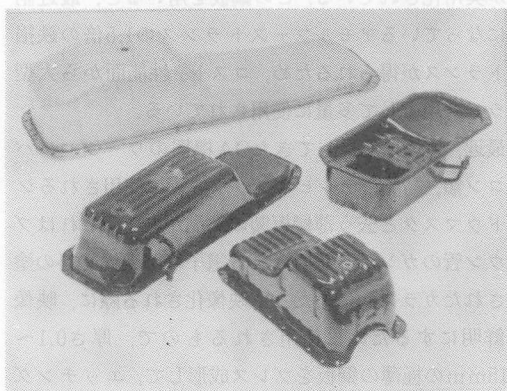


図-3 スティールラジアルタイヤの構造<sup>6)</sup>



写-1 複雑な形状に成型された制振鋼板

今では一板の鋼板でプレス成形が可能なものなら、どんなに加工が厳しいものでも、制振鋼板でプレス成形が可能となった。また、オイルパン以外でも、エンジン周辺部材として、ヘッドカバー、ダストカバー等の部材への適用が検討されている。

## 2.2 電機・情報通信分野での

### ファインスティール化

電機・情報通信産業は、エレクトロニクス技術等の進展により、製品のコンパクト化、光通信による情報の大量伝送技術が進むとともに、事務効率化のためのOA機器類の商品が急速に普及しており、ここでも高機能を有するファインスティールが随所に使用されている。まず、オーディオ機器、産業用ロボットの駆動モーター、VTR用の小型精密モーターでは、磁性的な角度特性が優れた無方向性電磁鋼板が多量に使用されている。トランスの効率を高めるために、鉄損 (磁化した時に消費するエネルギー) の低い材料が要求されるが、従来の方向性電磁鋼板 (図-4のように結晶の磁化容易軸 [001] が圧延方向に揃っている鋼板) の結

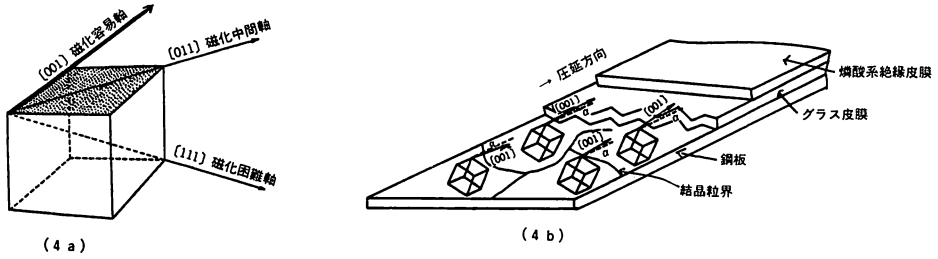


図4 単結晶の磁化容易軸 (4 a) と磁化容易軸が圧延方向に揃った方向性電磁鋼板 (4 b)

晶方位を改善すると同時に鋼板表面にレーザー光を照射することにより、鉄損の大半を占める渦電流損を著しく減少させた、いわゆるレーザー照射方向性電磁鋼板が実用化されている。この鋼板を用いると、最近話題になっているアモルファストランスの1.5倍の鉄損のトランスが得られるため、コスト、性能面から大型トランス用として多量に使用されている。

最近、急速に伸長してきたOA機器のワープロ、パソコン類、高品位テレビのブラウン管に使用されるシャドウマスクと云う薄鋼板製の部品がある。これはブラウン管のガンから照射される電子線が発光塗料の塗布されたガラス面にあたって映像化される際に、映像を鮮明にするために使用されるもので、厚さ0.1～0.15mmの極薄の鋼板をプレス成形して、エッチングにより、電子線を通すために、30万個の穴が開けられる。このため鋼中の酸化物系の不純物を減少しておかないと穴が繋がってしまい、シャドウマスクとしての機能が果せなくなる。標準ブラウン管一台当りの使用量は約300gであるが、溶解、精練から圧延加工まで鉄鋼の高度技術を駆使して製造される鋼板である。

### 2.3 エネルギー関連分野での ファインスティール化

① 石油・天然ガス掘削産業と低温域海洋構造物  
エネルギー関連分野は、石油等の化石エネルギー資源の探査・採取産業、電力などの二次エネルギー産業、さらには原子力等の新エネルギー開発などと多岐にわたっている。

石油・天然ガスの掘削環境は年々、深井戸化、ターティエ化しているとともに、その周辺環境はより寒冷地化、極地化、さらには沖合油田における水深度化に加え、炭酸ガス、硫化水素等を含むサワー井戸の増加等により、鋼材の高級化の要求は強くなって来ている。氷海域に建設される海洋構造物では-80℃の極低温環境に耐えるため、単なる高張力だけでなく強度があり、かつ低温脆性破壊にも耐える鋼材が要求される。

厚板では一般に板厚が厚くなる程、こうした高度の特性を付与することが難しくなるが、特にジャッキアップタイプでは、鋼板の厚さが200mmもの極厚サイズが要求され、また通常タイプの構造物においても厚さ数十mmの板厚で要求特性を満足するものでなければ

表3 原子炉構造用鋼材とその用途<sup>7)</sup>

使用部位	原子炉名	鋼種
液体燃料容器	水溶液均質炉 液体金属燃料炉	321, 347, 348 ステンレス鋼 低合金Cr-Mo鋼
圧力容器 (蒸気発生器を含む)	PWR, BWR など軽水炉 イギリス形ガス冷却炉 有機冷却炉	ステンレスクラッド鋼 炭素鋼または高張力鋼
格納容器	PWR (ドレスデン形) エンリコフェルミ炉 その他	高張力鋼
冷却系配管 熱交換器	ガス冷却形 軽・重水形 有機冷却形 液体金属形 均質形	炭素鋼 ステンレス鋼, Cr-Mo鋼, Ni基合金 炭素鋼, Cr-Mo鋼 ステンレス鋼, Ni基合金 347ステンレス鋼
計測器制御機器用 などの付属設備	イギリス形ガス冷却炉 軽水炉 試験炉	ステンレス鋼, 炭素鋼 ステンレス鋼

ばならない。したがって、これらの鋼板の製造段階では、板の圧延方向あるいは幅方向に加えて、板厚方向を考慮して製造される。このため、鋼板内での結晶粒を微細化し、結晶粒間の結合力を高め、しかも板厚方向での均一な微細化を図り、結晶粒界での不純物を極力なくすなどの製造技術が必要である。そのため、当社では溶解・精錬段階での高纯净化に加えて、加熱～圧延～冷却の下工程全域をオンラインで一貫して制御するCLC (Continuous on Line Control) プロセスの技術を確立することにより、低温海域海洋構造物用の高張力鋼板を新たな成分系、製造プロセスで供給できるようになっている。

② 原子力発電用鋼板

わが国の原子力発電は経済性、安全性の確保によって、その比率が増大している。原子力発電所は逐次大型化、高効率化が図られ、さらに次世代の原子力発電となる高速増殖炉の開発も着実に進んでいる。原子力発電所の使用機器には、稼働率と安全性の一層の向上をめざして、厳しい品質基準が設定されており、使用される材料の防食基準等がきめ細かく要求されている。原子炉の構造用材料の用途を大別すると、炉心構造、压力容器、格納容器、配管類、ポンプ、バルブ類、熱交換器等であり、これらの材料は表3のように殆んど鉄鋼材料が使用されている<sup>7)</sup>。

③ トカマク型核融合炉の開発と超電導磁石用構造材

核融合反応を起こさせるには原子をプラズマ状態にし、温度1億℃、密度が1cm<sup>3</sup>当たり100兆個、保持時間約1秒と云う条件が実現すれば可能であるといわれている、放出されるエネルギー量は核分裂反応の数倍から数十倍におよぶ。重水素と三重水素を燃料とした場合、発生するエネルギー量は単位当たり石油8トン分に相当するといわれており、エネルギー資源の乏しいわが国にとっては、極めて重要な未来のエネルギー源の一つと考えられている。超高温、超高密度のプラズマを閉じ込めるには強力な磁場を利用する磁気閉じ込め方式とレーザー光を利用する慣性閉じ込め方式があり、磁気閉じ込め方式ではトカマク型の研究が最も進んでいる。日本原子力研究所ではJT60に続く核融合実験炉に使用する超電導磁石用構造材料の開発を鉄鋼各社との共同研究により進めている。要求特性は極低温で強度と靱性を持ち合わせ、しかも非磁性であることが必要である。当社の開発による、窒素を添加したCr-Ni系オーステナイト系ステンレス鋼の新材料は極低温での引張り強さが150kg/mm<sup>2</sup>、靱性が極低温で

普通鋼の常温なみ以上のレベルと、その目標特性を達成するものが開発されている。

以上、いくつかの分野にわたって鉄鋼のファインスティール化の具体例をあげてきた。鉄鋼材料に要求される機能はますます高度なものとなり、これに対応する鉄鋼材料は従来の“鉄”のイメージを脱皮した高機能商品となってきている。

2.4 ファインスティールの将来展望

鉄鋼業では絶えず需要家からの要望に対応し、ファインスティール化を図ってきたが、今後これまでに蓄積された広範かつ高度な技術・ノウハウおよび人材等の経営資源の活用により、総合素材産業＝ファインスティール産業として発展しようとしている。

ファインスティール研究会では、ファインスティールを機能面から分類しているが、その代表例を示すと、表4のようになる。今後注目される材料について簡単

表4 機能別のファインスティールの例<sup>2)</sup>

機 能	ファインスティール
<b>I 機械的機能</b>	
1. 強度(張力)・靱性	超高張力ステンレス鋼
2. 比強度	金属間化合物, 金属系複合材料
3. 硬度, 耐摩耗	新工具鋼
4. 剛性・弾性	高応力バネ鋼
5. 延性・塑性	超塑性鋼
6. 快削性	超快削鋼
7. 制振・防振	ラミネート型制振鋼板
8. 構造材用新業形材	特殊ステンレス鋼管
9. 形状記憶性, 加工性, 溶接性	形状記憶合金
<b>II 熱的機能</b>	
1. 高温強度	超耐熱鋼, 結晶制御合金
2. 低温靱性	極低温鋼
3. 低熱膨張	低熱膨張合金
<b>III 化学的・生体機能</b>	
1. 耐食(湿式めっき)	特殊金属めっき鋼材
2. 耐食(乾式めっき)	乾式めっき鋼材
3. 耐食(ステンレス鋼)	特殊ステンレス鋼材
4. 耐食(クラッド)	クラッド鋼管
5. 耐食(有機被覆, その他)	高温用有機被覆薄鋼板
6. 水素貯蔵性, 生体適合性	水素吸蔵合金
<b>IV 電気電子的機能</b>	
1. 超電導性	金属系超電導材料, 酸化物系超電導材料
2. 導電性	リードフレーム材料
3. 半導電性	人工格子
4. その他	シャドーマスク用冷延薄鋼板
<b>V 磁氣的性質</b>	
1. 高磁気エネルギー積	希土類磁石
2. 高透磁率	アモルファス金属
3. 非磁性	非磁性鋼
4. 電磁波シールド	電磁波シールド材
<b>VI その他</b>	
1. 色彩	ファッションブルスティール
2. 軽量, 多孔質	ラミネート薄鋼板
3. 金属粉	高速度鋼粉末
4. 超微粉金属	超微粉金属/鉄系合金
5. 金属箔	鉄系金属箔
6. 高純度金属	高純度鉄

に紹介する。「機械的機能材料」のなかで、特に注目を集めているのが、金属間化合物と金属系複合材料(FRM)である。金属間化合物は従来のチタン合金やスーパーアロイと比較して、耐熱性と比強度(強度/比重)の点で優れた特性をもっており、航空機用エンジンの各種部品、ロケット、スペースシャトルなどの外壁材料としての用途が期待されている。金属系複合材料は高耐熱性、高強度の炭素、セラミックなどの繊維で金属マトリックスを強化した複合材で、高比強度、高比弾性率をもち、次世代の航空機、スペースシャトルなどの機体材料やエンジン材料としての用途が期待されている。

「熱的機能材料」では結晶制御合金が注目されている。結晶制御合金はミクロ組織を制御して高性能化を図った耐熱合金で、高温でのクリープ破断強度とか疲労特性、耐食性などが飛躍的に向上するため、ジェットエンジン、ガスタービン用材料として大いに期待されている。「化学的・生体機能材料」のうち、耐食性材料については、すでに自動車用鋼材で述べたように、湿式めっきによる高耐食性鋼板の進歩が著しい。最近では乾式めっき法が注目されており、物理的蒸着法、化学的蒸着法、イオンプレーティング、イオン注入法等が電子部品材料へ適用されている。チタン等の高価な材料を鋼板表面にはり合せたクラッド鋼板が高耐食性鋼板として用いられている。

「電気・電子的機能材料」としては、超電導材料が特に注目されているが、一時のフィーバは収まり、地道な研究開発が行なわれている。磁気共鳴イメージング(MRI)と呼ばれる新しい断層撮影による医療診断装置が、これまでのX線CTにかわって脚光を浴びており、国公立病院や民間大手の病院を中心に非常な速さで普及しつつある。MRIの磁場を発生させるマグネットには永久、常電導、超電導の三種があるが、わが国では0.3テスラ以上の超電導MRIが急速に伸びてきている。超電導は高い磁場を発生するため、磁気シールドが非常に重要となる。これらの磁気シールドとして、純鉄系の電磁厚板等が用いられる。この電磁厚板はMRIの磁気シールドの他に高エネルギー物理学の研究と応用に欠かせない粒子加速器のマグネットにも積極的に活用されている。半導体は平均年率30%以上の成長を続けており、今後20年間には更に800倍を超す伸びが見込まれている。ICはリードフレームと呼ばれる金属枠の上に組み立てられる。リードフレームとしては42%ニッケル-鉄合金、銅合金等が使われ

ているが、ステンレス系、鉄系リードフレームの開発も進められている。熱膨張性、強度、熱伝導性が主な要求特性であるが、打抜き加工性の向上のための厳密な寸法精度、良好な平ら度、残留歪が少ないことも重要で、素材製造には高度な技術が必要とされる。

「磁氣的機能材料」では高磁気エネルギー材料としてはフェライト磁石が用いられていたが、小型化、高性能化の要求から希土類磁石、特にNb系磁石が注目されている。また高透磁率の磁性材料としてアモルファス金属が脚光を浴びているが、今後多量に使用されるためには製品の安定化、コスト低減が重要な課題である。「その他の機能材料」にもますます多様化する市場ニーズに対応するため、たとえば、色彩、鮮映性、意匠などファッション性を持たせたファッションブルなスチール(すなわち、特殊色彩鋼板)が建材、家電製品や自動車の用途に用いられる。

以上のようにファインスティールに対する期待は大きいものがある。このため鉄鋼各社は積極的に、ファインスティール化に取り組んでいる。しかし、一層のファインスティール化を推進するためには、一企業単独での対応は困難であるため、政府の支援体制や産・官・学や業界の共同研究体制が整備される必要があり、逐次整備されつつある。その具体例として、「半凝固加工プロセス」、「金属間化合物」について、「超高温材料」の開発が通商産業省の全面的な支援でナショナルプロジェクトとして推進されることになっている。これにより、ファインスティール関連の研究が加速され、実用化が着々と進むものと思われる。このようなファインスティール化により、鉄鋼業は総合素材産業として、21世紀の社会、経済の発展に大きく貢献することが出来ると期待されている。

#### 参 考 文 献

- 1) 通商産業省基礎産業局監修；新世代の鉄鋼業に向けて(1987)、通産資料調査会。
- 2) 通商産業省製鉄課編；ファインスティール時代(1988)、通商産業調査会。
- 3) 川上元雄；ファインスティールの世界、鉄鋼界、39巻、2号(1989)、39~46。
- 4) 通商産業省基礎産業局新素材対策室監修；新素材便覧(1988)、通産資料調査会。
- 5) 松本清；鉄鋼材料と車への応用、鉄鋼界、37巻、11号(1987)、22~27。
- 6) 岩田昭治；タイヤ用スチールコード、特殊鋼、32巻、3号(1983)、38~
- 7) 浅田忠一、他；原子力ハンドブック(1982)、p207、オーム社