

将来研究課題小委員会報告書

(平成5年12月)

I

1. はじめに

2. 鉄の位置づけ—何故鉄か？

3. 考察の視点

II 本委員会—フェロ・フロンティア・サイエンスにおける研究課題

1. 鉄の神秘の根源を求めて

2. 革新的フェロ・マテリアルの創製を求めて

2. 1 新たな物性の発現を求めて

- 1) 超高純度鉄の物性と製造法
- 2) スーパースティールの物性と製造法
- 3) 汚染由来合金系に関する系統的研究
- 4) Feをベースとした超合金や金属間化合物の物性研究^{1)~3)}

2. 2 現象の更なる理解と新たな手段を求めて

- 1) 溶融金属、溶融酸化物の界面現象
- 2) 溶融金属、溶融酸化物の流体力学
- 3) 鉄鋼材料質設計の洗練化
- 4) 鉄鋼材料研究のメソスコピックアプローチ
- 5) 計算鉄鋼材料学の組織的推進

3. 新世代の製造法を求めて

3. 1 製錬法

- 1) 次世代高炉法
- 2) 新精錬法
- 3) 連続製鋼法
- 4) 精錬・加工プロセス全体のアルゴンまたは窒素シール化、真空化
- 5) 電磁冶金プロセスの推進
- 6) 高速ガス分離法

I はじめに

1. 考察の背景

21世紀を目前にして人類は大きな価値観の転換点にある。世紀末という特別な時代には、価値観の転換を伴う社会的変動を経験すると云われる。20世紀という大きな区切りを迎えて、人類が直面している問題は、規模の大きさと質の深刻さにおいて、かつて経験したことのない広がりを持っている。

すなわち、これまで人類は多様な価値観を持ち、複雑な利害関係で結ばれる各構成員が、競争原理に基づいて、いわば各自の欲求のおもむくままに活動し、科学技術を発展させ、経済成長をうながし、物質文明を築き上げてきた。特に、20世紀後半の先進諸国における物質文明の進展は目覚ましく、その結果は人類の活動の影響を地球規模にまで及ぼすに至った。こうして人類は、その活動の拠って立つ基盤が有限であり、従来のような独立の経済活動を放置しておけば、地球環境の破壊を通して、人類自身の存立が危ぶまれるという認識に追い込まれることになった。

すなわち、人類は多様な価値観を互いに許容しつつ、有限な環境と資源の中で共生し、持続可能な発展を保障する、という共通目標の下で活動する方向への転換を余儀なくされることになった、と言えよう。

かくして21世紀には、人類に対して、自然環境との共生関係の確立が求められる。人類社会の内部でも、民族と民族、生産者と消費者、都市住民と農山漁民等、従来の独立あるいは対立的な関係にあった、様々な組合せの構成主体の間での共生を追求する新しい文化の確立が求められる。しかも、それらは、同時に21世紀を超えて人類の持続可能な発展を保障するものでなければならない。そのためには、従来とは大きく異なる方向への価値観や方法論の転換が必要となる。

21世紀の文明社会を物質面で支える材料の製造と利用の分野において、そのような転換がどの様になされるべきかを考察するとき、その製造時に、環境、資源、エネルギーの面、更には雇用の面でも社会に大きな影響力を持ち、基盤材料として圧倒的に大量に使用される鉄鋼材料の役割の見直しが必要と考えられる。

2. 鉄の位置づけ—何故鉄か？

鉄は宇宙で最も普遍的な元素の一つであり、地球上でもその普遍性の故に、生物にとって不可欠の元素である。さらに鉄鋼は木材、セメント、プラスチックと並ぶ四大構造用素材の中でも最も多様な特性と応用をもつ普遍的な材料である。しかも重量にして全金属の95%を占めるそのシェアは、資源の豊富さ、エネルギー原単位の低さ、材料としての多様性から考えて、将来大幅に低下するとは考えられない。

確かに科学技術の進歩は鉄以外の元素に新機能を発見し、新材料の開発は鉄鋼には及びもつかない新用途をもたらす、結果的には従来の鉄鋼の用途を狭めるような現象がしばしば過渡さ

3. 2 加工法

- 1) 超微加工圧延プロセス
- 2) 超塑性
- 3) インテリジェントプロセス
- 4) 原材料からの直接パーツ作製技術
- 5) 未經焼成形加工技術
- 6) 粉末不均質材料
- 7) 超急冷法の代替技術
- 8) 大型気相処理プロセス
- 9) インテリジェントロボティック圧延
- 10) 溶融塩、溶融金属を用いた新冷却技術

4. 新しい鉄鋼製品を求めて

4. 1 鉄鋼材料

- 1) 500キロハイテン(2.1の2)および3.2の1)参照)
- 2) ファインスチール
- 3) 太陽電池鋼板(4.2の2)参照)
- 4) ハイウェイ鋼板

4. 2 Feをベースとしたニューコンビジット

- 1) 絶縁薄膜/Feコンビジット
- 2) 半導体薄膜/Feコンビジット
- 3) 多孔質セラミックス/Feコンビジット
- 4) 非鉄金属間化合物/Feコンビジット
- 5) フォトクロミック、サーモクロミック膜/Feコンビジット
- 6) その他

5. 資源の総合利用と地球資源の枯渇対策課題における製鉄プロセス及び製鉄技術の応用

5. 1 鉄鉱石含有微量元素の資源化

- 1) Ti原料(ルチル)の代替資源
- 2) 鉄鉱石中の微量元素の回収
- 3) リンの濃化回収
- 4) 複練鉄鉱石中の有価成分の回収

5. 2 リサイクルと廃棄物からの有価物の完全回収システムの確立

- 1) エネルギー(可燃物)の有効利用
- 2) ガスト中のZn, Cr, Mn等の分別回収
- 3) Cu, Ni等の回収と有効利用

5. 3 エネルギーの長期展望への貢献

- 1) 地球規模でのCO₂低減対策への貢献
- 2) 地球及び都市環境のクリーン化システムへの貢献

6. 進め方の考察

- 1) 地球規模での鉄鋼産業のあり方に関する課題
- 2) 鉄鋼技術の科学的インフラストラクチャーの整備と充実
- 3) 上工程を中心とした共同研究遂行のための諸条件

III おわりに

れる。しかし長期的にみれば、そのような新用途の出現も、鉄鋼材料の革命的な改善や合金化あるいは複合化による鉄への新機能の付与という形で、むしろかなりの部分を鉄鋼材料に置き換え、必要不可欠の機能のみが特定の元素や化合物に属するという結果で終わる例の方が多い。それは、最終的には資源、エネルギー、環境の境界条件の下での定常解に達するということであろう。

つまり、新機能の発現や新材料の開発はそれに伴う新用途分野を開拓し、鉄鋼材料研究にとって新たなターゲットをもたらすともいえる。

従って、人類にとって鉄鋼に関する研究課題は無限であり、時代の進展によっても尽きることはないと断言してよさそう。

しかし、どの国が、あるいはどの社会がそれらの課題を担うべきかという設問に対しては、回答は一律ではない。

ただ、その回答は今や人類共通の目標として設定される、人類社会の持続可能な発展(Sustainable Development)という命題に即したものでなければならないことは明らかである。

その命題の中で最優先課題の一つである地球環境保全、とくにCO₂や酸性雨の地球規模での低減には、省エネルギーの推進が最も有効で不可欠な方策であること、省エネルギーの推進はエネルギー価格の高い社会において最もインセンティブが高く、現実もそれを裏付けていることを考慮すれば、鉄鋼のようなエネルギー集約的産業は、当面高いエネルギー効率を実現し得る社会に配置すべきことが要請される。すなわち、地球規模での鉄鋼需給の保障と省エネルギーの必要性という観点に立てば、当面日本はその鉄鋼産業が健全な発展を遂げ得る環境を保障する義務を世界から要請され、日本の鉄鋼産業はその技術の維持向上に務め、それを世界に移転普及させる使命を任されていると言えよう。したがって、人類にとっての歴史的転換点と言われる現在の時点で、日本において鉄鋼技術における将来研究課題を人類社会の持続可能な発展という命題のもとで考察し、課題解決の方策を練ることは、世界からの要請であり、極めて時宜に適したことになる。

3. 考察の視点

さて、今、鉄鋼技術に関する将来の研究課題を考える視点としては、以下の3点が考えられる。

その1つは、日本の中で鉄鋼業を取り巻く諸状況の変化をある程度予期した視点である。鉄鋼産業の日本社会におけるプレゼンスの将来、鉄鋼の資源およびエネルギー供給の将来といった、相関的観点から将来の研究課題を見る視点、とくに人的資源・物質資源・エネルギー資源の将来状況との関わりを重視する、いわばソースオリエンテッドな視点である。環境問題との関わりはこの観点から考察すべき最も重要な課題となり得る。

その2つ目は、より要素技術の研究と開発に関連した視点である。鉄あるいは鋼について従来利用されていない物性の技術システムへの採用の検討や、プロセスあるいは利用技術システムの中における鉄や鋼の振舞いの未解明部分の研究といったソースオリエンテッドな視点、言い換えるならば、鉄あるいは鋼に関する材料科学に譲られた問題を明らかにする問題意識で

また3番目はニーズオリエンテッドな視点であり一般的にはソースあるいはシーズオリエンテッドな課題が設定された後に、具体的な課題解決の過程で発生する。

しかし、将来課題ということを含めると、3番目の視点にはSF的な要素を含ませるべきで、例えば現状では到底不可能と思える超強度を目指すとか、ある新素材のみに許されている新用途に適合させるべく鉄に新機能を付加するなど、鉄の可能性の拡大をいかに意識的に目標として扱う立場になる。そして、これらの視点の全てに系統可能な発展への貢献という要請が益々強められよう。

なお、第1の視点は、いずれ高度産業化社会あるいは産業化後社会において、日本鉄鋼業はその業容や業態を問われ、また必然的に人的資源・鉄源・エネルギー源そして環境の問題と直面するであろうという意識に根ざしている。

人的資源の点からいえば、当然作業のフルオートマチックあるいはセミオートマチック化による業容の改善によるファッション化である。そしてそのオートマチック化はプロセスの非人格化でなく、プロセスの人間化でなければならない。プロセスに関わる人間が、省力化を徹底しながらその仕事を通してプロセスとの対話の場を獲得する、といった方向でのヒューマンフレンドリー・ファッションブル・オートメイションプロセスの実現である。

鉄源の点から言えば、スクラップの徹底利用、高リン、高Al₂O₃、高結晶水含有など主鉄鉱石源の劣質化への対応、様々な有用共存元素を含む複雑鉱石の利用などの問題がある。特に、スクラップは従来のプロセスへの適用性の面からだけでなく、スクラップ自体の特性に即した利用法を溶解から加工、材料物性の全領域にわたって体系的に検討する必要があり、ここに、シーズオリエンテッドな研究との結合点がある。

エネルギー、環境の点では、当面エネルギー源を石炭に依存せざるを得ない鉄鋼プロセスにとり、CO₂問題との関わりは避けて通れない。スクラップの完全利用は大幅なCO₂削減への道を開くと言う点でも重要であり、社会学的アプローチを含めて総合的検討が必要である。

以上のような問題認識の下に、本小委員会では鉄鋼技術の将来研究課題に関して考察を行い、後述する課題群を抽出した。鉄鋼という人類にとって最も長い歴史を有する材料に関する技術であるにも拘らず、ここに挙げられた課題の多くは、学際的かつ未踏の学問領域における組織的研究なしには達成され得ない高度の科学的研究課題を含んでいる。

したがって20世紀末という歴史的転換点に立った人類が予見する未曾有の課題に対して科学的解決策を追求するために、新たにフェロ・フロンティア・サイエンスを構築し、総合的かつ学際的に研究を推進することをここに提案するものである。また、このような推進体制の維持発展を保障するためには、それを任ずる研究者の育成強化を長期的に行う必要があり、そのための方策についても付言している。

2) スーパースティールの物性と製造法

超高純度鉄と高純度合金元素をベースにし、合金元素の役割、加工法の役割を徹底解明し、超高強度、超耐食性などのスーパースティールへのデザイン法やデータベースの作成を進める。鉄鋼こそ、強靱で大量消費に耐え得る唯一の構造材料であり、21世紀の文明をささえる文明基盤材料であるという視点に立ってスーパースティールの開発に取り組む。したがって、スーパースティールに期待される物性の最たるものは、現行の鉄鋼材料をはるかに超えた強靱性と耐食性である。

高純度化するにつれて鉄の耐食性が向上することを考えれば、超高純度鉄をベースに超耐食性鉄鋼材料が開発される可能性がある。強さだけに注目すれば、炭素添加だけでかなり高レベルまで強度を上げることができる。例えば、低炭素の母材中に高炭素の領域を繊維状に存在させ得ることができれば(In situ Steel-Steel Composites)、高強度かつ高靱性の新しい鉄鋼を創出することができるとは考えられる。このように、強度と靱性を同時に確保し得る新しいmicro-structureを考えだし、それを実現するプロセスを確立することが重要であって、炭化物を始めとする鉄鋼の強化相のモフォロジーと強化相と鉄の界面を制御する新たな基盤技術の開発が必要である。その効果は、超高層建築等への応用はもちろん、宇宙航空分野を始めとする最先端技術分野への鉄鋼の進出を可能とさせ、鉄鋼の文明基盤材料としての立場をさらに強固なものとする。

本テーマは鉄鋼に関わる、極めて正統的かつchallengingなテーマであり、材料工学・鉄鋼材料分野の研究基盤を強化すると共に、多くの若い研究者を吸引する効果と発揮し得る。同時に鉄鋼の高純度化を促進すると共に、鉄鋼中のcarbon-handlingに関わる技術の飛躍的進展をもたらし、新しい視点に立った合金鋼開発の指針を示し得ると期待される。

3) 汚染由来合金系に関する系統的研究

汚染合金元素(Cu, Sn, Cr, Niなど)がある程度含む鉄を天の賜と受け止め、この系の物性を把握し、その特性を活用し得る材料設計と各々に最もふさわしい合理的な製造法を探索する。それら元素の除去や固定には、精錬-凝固-加工の一貫プロセスの中で対応策を取るべく各分野の垣根を越えた専門家集団による研究グループの組織化が望ましい。

新しい方法論の開発を含めた総合的アプローチを行う。

- ・凝固時における合金元素の挙動
- ・凝固直後の強度と延性の発現に対する合金元素の影響とその機構の解明
- ・薄肉CCプロセスの条件での合金元素の挙動の制御
- ・加工と熱処理の組合せによる組織制御による合金元素の強度特性に対する効果の向上

4) Feをベースとした超合金や金属間化合物の物性研究^{11)~13)}

超高純度鉄を実現した上で、その材料としての可能性を拡大するための合金研究、さらには様々な金属間化合物の物性に関する系統的研究を組織する。

強度、磁性、組織、特殊変態、非晶質、過冷液体など鉄鋼材料における新世界を開拓する。

①水系吸蔵合金

現在、TiFe系が知られている。清浄で環境汚染の無い水系燃料を実用化するための、吸蔵能

11 本委員会フェロ・フロンティア・サイエンスにおける研究課題

1. 鉄の神秘の根源を求めて

宇宙、地殻、生物における鉄の存在状態とそこで果たしている役割や機能などを徹底解明する。生物や海洋における鉄の役割分析には、ナノppmの分析を可能にするクリーンルームが必要で、それは超微量環境分析への道を開く。

2. 革新的フェロ・マテリアルの創製を求めて

2.1 新たな物性の発現を求めて

鉄の新たな物性を切り開き、鉄の物性変更、属性変更を可能とすることにより、共生文化を支える基盤材料としての要請に応える。

1) 超高純度鉄の物性と製造法

①超高純度鉄の物性の探求

鉄の究極の姿を明らかにする。さらに微量不純物元素の役割を徹底追求し、また主要合金元素との多体相互作用効果を明らかにする。こうして、鉄および鉄合金の本性を明らかにし、その応用の指針を得る。

②超高純度鉄の物性

現状では、鉄鋼の強度上昇を図ると共に、それに伴って生ずる負の現象を制御すべく限られた合金元素の添加が行われる。このことによって、鉄鋼の最大の特徴の一つである優れたリサイクル性を阻害することなど、環境に対する新たな負の効果が生じ始めている。この悪循環を断つためには、ここで鉄鋼の基本系とも言うべきFe-C系に再度注目し、負の効果を生ずることなく鉄鋼の強度の上昇を図ることを考えるべきである。

③超高純度鉄製造法の研究

原料、還元剤および燃料選択から始め、溶融法の得失、どの段階から溶融法を導入するかなどのシステム評価研究を行う。

溶融凝固法では、微量不純物・元素の挙動と構成元素組成分布の超精密制御が問題となる。このため、6~7N以上に不純物を除いた超高純度鉄に成分制御した特定の合金元素のみを加えた高純度鉄合金、あるいは非鉄金属介在物を極低化した超高度清浄化鉄といった素材の生成技術の研究開発が必要。

- ・超高密度振動攪拌による溶鋼の高清浄化
- ・電磁気力利用非金属介在物除去技術の開発
- ・鋳造器からの汚染防止のための非接触鋳造法の開発
- ・凝固界面温度制御(固体・液体界面の非平衡プロセス制御)

力増、加工性改善などが求められる。将来は、新規な結晶構造の探索や、加工方法の革新を求めて、広範囲の研究が必要とされる。

④形状記憶合金

パイプ継ぎ手のような一度きりの動作が必要な用途に、Fe-Mn-Si、Fe-Cr-Ni、Fe-Ni-C、Fe-Ni-Co-Ti系の非熱弾性型マルテンサイト変態を利用した安価かつ高性能の形状記憶合金を開発することが望まれている。

金属間化合物は材料として特異な性質を示すため、様々な可能性を秘めており、鉄を含む金属間化合物は、鉄分野の材料研究対象として今後ますます期待が持たれる。以下に一部を例示する。

⑤磁性材料

永久磁石ではネオジウム磁石(Nd-Fe-B)の次世代の磁石として、窒素を含有する「ナイトロマグ」、また、ソフト磁性材料としては、飽和磁化の大きいFe-N系、さらには全く新しい金属間化合物について、基礎研究、実用化研究が課題となる。

⑥磁歪材料

機械制御デバイスや音響素子にニーズがある超磁歪材料として、TbFe₂、DyFe₂等がある。磁歪特性の向上とコスト低減、および、磁歪材料応用技術の研究が要求される。

⑦熱電材料

FeSi₂など、優れた熱電材料として期待されている。クラスタリーオンビーム法など最新の非平衡プロセスをこれら熱電材料の製造に応用することにより性能の飛躍的向上を計ることが必要である。同時に、新しい化合物の探索を続けることも重要である。

⑧高温耐熱材料

FeAlのように、鉄をベースとする金属間化合物の中に高温耐熱材料として高いポテンシャルをもつものが含まれている。高温延性と加工性の改良が必要である。

⑨光磁気記録材料

光磁気記録材料としてTb-Fe、Dy-Fe系非晶質材料が注目されている。

⑩化合物半導体

斜方晶のFeSi₂は0.9eVのバンドギャップをもつ化合物半導体であり、すでに述べたように熱電材料として有望である。このような化合物はほかに多数存在するはずであり、今後の探索に期待される。

そのほか、高温耐熱材料、形状記憶合金、超電導体、蛍光性化合物、超イオン電導体、発火合金など、無限の可能性がある。溶融鋳造めっきにおけるFe-Zn系の研究や、めっき層の非晶質化促進元素の探索なども、課題としてあげられる。

これら金属間化合物の結晶構造や物性特性の系統的研究、例えば超格子や準結晶の研究が深化することにより、材質設計手法による新物質の創出も期待されると考えられる。

2. 2 現象の更なる理解と新たな手段を求めて

1) 溶融金属、溶融酸化物の界面現象

超高精度、超高純度あるいはプロセスの超精密制御を可能とするためには、反応の微視的機構を明らかにする必要があるが、そのもっとも基本的現象は、異相間の界面現象である。界面現象に着目しつつ、反応の微視的機構を解明する。

① マランゴニー効果

溶融金属や溶融酸化物の自由表面では表面張力の効果が大きくなり、マランゴニー対流が発生することが知られている。このマランゴニー対流は大きな濃度勾配場や温度勾配場で生ずる現象で、濃度勾配場による対流の効果は耐火物の溶損やスラグ-メタル界面反応のマイクロメカニズムに関連している。また、熱プラズマによる加熱溶解反応では大きな温度勾配場が生じ、溶融金属中の大きな攪拌の原因になっている。このように、このマランゴニー効果の研究は先の電磁気力の応用でも述べたように表面形態の制御に重要な意味を持っており、この分野の研究の発展が重要である。

② 微量不純物成分の除去反応

超高精度鉄や高純度鋼などの製造においては、微量不純物成分の除去が問題になる。たとえば、酸素濃度はppm以下になると脱炭速度が極度に遅くなるということが知られている。このように不純物濃度が極度に小さくなると、元素どうしの衝突確率がボルツマン分布に従わなくなる領域が存在するであろう。このような微量不純物成分の反応機構に関する研究は未だ行われていない。

③ 界面の微視的構造

界面の微視的構造の観察、解析手段の開発が必要である。気泡と微粒介在物の相互作用、液滴や微粒子の異相への侵入挙動などの基本的現象解明に不可欠である。

2) 溶融金属、溶融酸化物の流体力学

① 非線形流動解析

ナビエ・ストークスの式は流動解析において非常に重要な式である。しかし、これまではおもに流れと力の線形関係を用いて解析されてきた。しかし、流れの安定性を定量的に評価したり、渦流の周期性、あるいは凝固組織の形成過程を時間発展的に解析するためには、非線形関係を用いる必要がある。この非線形流動解析は「カオス」の表現方法であり、乱れの中の秩序を研究する分野である。フラクタルもその表現方法の一つである。この領域は現在様々な分野で研究されており、材料製造技術でもこの応用研究が期待される。

② 電磁気力の応用

高精度金属や高純度鋼の精錬において融体の保持容器からの不純物の汚染が問題となる。そのためには保持容器に接触させないようにするが、あるいは保持容器を使用しない方法がある。その方法の一つとして電磁気力の応用がある。これは磁界と電流に直角方向に力が作用するという原理を応用したもので、たとえば、現在ではコールド・クルーシブルが研究・開発されている。これは今後、大容量で使用できるようにすることが要求される。また、電磁気力を利用した鋳型を使わないモールド・レス製造の開発も重要課題である。

- ・電子論第一原理計算の逆システムの構築による、鉄鋼材料の電子論の展開と物性予測の高度化
- ・分子動力学の活用
- ・様々な媒合要素の場の連成シミュレーション
- ・非線形現象のシミュレーションの高度化と逆解析に導くモデリングの実現
- ・動的知識データベースの構築
- ・バーチャリアリティの手法を活用したシミュレーションの高度化とプロセス解析制御への利用

などが可能になっていくと考えられる。

④ マンマシンインターフェイスの変革による生産技術の革新

また、マルチメディアなどの通信機能の拡充は生産現場におけるマンマシンインターフェイスの変革を実現する可能性がある。例えば、複数の逐次プロセスが1ヶ所で集中管理され、そこではごく少数の人間がディスプレイとキーボードに向かい、全工程を制御あるいは設備保守を要するイメージが描かれる。これには様々なオンラインシミュレータと知識データベースが重要な要素となる。快適な職場環境作りや、将来予想される熟練工不足に対応した技術課題であり、無人の全自動生産システムが究極的な姿であれば、その実現に不可欠な要素である。

⑤ 推進に当たっての課題

これらの開発を支援する基礎データベースの充実が必要である。ここでのデータベースは熱力学データ等の物性値だけでなく、速度論的データ、加工条件と材料組織・物性の相関データなどを対象とし、組織的・系統的なデータの収集・整理が必要となる。さらには、現象を支配する基本原理や重要な物理因子の定量的解析を、逆解析システム・AIシステム・ニューラルネットワークシステム等を駆使して行うことが求められる。

また、数値解析やデータ処理などのアルゴリズム、計算結果の表示方法なども重要な研究開発要素であり、将来的にはこれらもデータベース化されるべきである。とくに、高度な計算法を従来とは異なるレベルで活用する、いわばインテリジェント・コンピューティングと称すべき新しい技術の開発が必要である。例えば、固相、液相、気相間の界面で生じる物理化学現象はモデリング反応の進行に応じた物性値変化の予測をAI的に判断しながらのシミュレーションによる解析が必要であり、こうした計算機科学の新しいタイプの高度利用法を構築させる。また、仮想現実感(virtual reality)の手法を積極的に導入し、反応炉内での現象解析、加工過程での相の変形や原子の移動過程の解析等に利用することも考えられる。計算機能力の向上がもたらす新手法の利用を常に検討する必要がある。

計算機の活用による鉄鋼に関する総合的なデータベース構築や生産技術に関する逆解析的なアプローチはまさに世界への貢献であり、基礎研究たど奥層への回答ともなり得る。そのため、従来の研究組織だけではなく、新たにそのための産学横断的かつ組織的な取り組みが重要となる。

(参考文献)

- 1) 山口正治、馬越祐吉「金属間化合物」日刊工業新聞社(1984)

・全般

3) 鉄鋼材料材料設計の洗練化

素材製造プロセスの進展と併行して、材質制御を合金設計によるのではなくプロセス条件で主として行うための基本的研究を行い、リプロセスコストを視野に入れた材料設計コンセプトを確立する。

4) 鉄鋼材料研究のメソスコピックアプローチ

材料の機械的性質や耐蝕性などの化学的性質は原子オーダーの特性と言うよりは、数百あるいは数千原子層からなるメソスコピックな相の特性に大きく依存すると考えられる。このように材料物性を支配する最小単位の相の挙動を明らかにする。

5) 計算鉄鋼材料科学の組織的推進

製鉄・加工のプロセス設計及び新規(構造)材料設計・制御のための計算機科学の高度利用を基礎にした方法論の確立。

生産現場はもちろん研究現場における現象把握、データ取得、解析への材料科学、並びに情報処理工学の全面的かつ徹底的導入。

そのための方法論、ハード開発、支援基礎データの蓄積。

① 計算機利用の現状と課題

計算機は大量のデータの処理と計算の高速性に特徴があり、このことを利用して、非線形現象のように直観的には容易に把握できない複雑な要因が交錯した系の表現に強みを発揮している。すなわち科学技術の研究開発において計算機は、

- ・実際には実現できない条件の仮想的実験あるいは結果予測
- ・複雑な系の特性解析と、最適値などの極値探索
- ・複雑な系の構成による最適現象の検証や機構検討

を通じて研究開発活動の生産性向上に寄与している。さらにはプロセスシミュレータやAI等の手法によるプロセス制御にも有効性を示している。しかしながら、材料やプロセスの設計・開発・特性予測・制御を計算機システムだけで完全に行うには、解決されなければならない幾多の課題がある。これは計算機のハードとしての能力の限界にも原因があるが、より根本的には、系の支配因子が完全に把握されていないことや、さらに従来の計算機利用が順解析をベースとしたモデリングやシミュレーションに偏り、観測事実など現実との学問的対話の道具として未発達の状態にあることによる。

今後、未知の問題や課題を探索する手助けとなる計算機システムの構築が求められる。

② 計算機能力の発展

計算機の物理的能力およびそれを発揮させるソフトウェアの発達速度は著しく、今後当分はこの速度の速度は鈍むことがないと言われている。例えば、演算速度、メモリー容量はそれぞれ今後10年間で数十倍以上になると予想されている。

また、通信の高速度・大容量化の進展もめざましく、計算機の小型化・高機能化とあいまって、移動体通信機能を持ったモバイルコンピュータという概念も生まれている。

③ 計算機を活用した鉄鋼材料科学および生産技術の展開

今後の継続した計算機技術の発展を見通せば、材料科学・プロセス工学の領域での計算機利用は一層高度化されていくことは疑いない。計算機を活用した鉄鋼材料科学の展開では

- 2) (社)日本機械工業連合会、(財)金属材料研究開発センター「平成2年度 金属系汎用素材(鉄系)の極限条件下における使用状況に関する調査研究」(1992)
 - ・水素吸蔵合金 …… pp. 128~133
 - ・磁性材料 …… pp. 108~112
 - ・磁歪材料 …… pp. 112~115
- 3) 和泉 修、渡辺勝也、北田正弘「金属間化合物を知る辞典」アグネ承編社(1989)

3. 新世代の製造法を求めて

3.1 製錬法

1) 次世代高炉法

原料と高温還元ガスが向流接触する連続プロセスである高炉法は数百年の歴史を有するが、熱効率や反応効率の面で原理的に優れているため、管々と技術的改良を重ね、依然として鉄源供給の主流の地位を占めている。将来も、原料条件や社会的条件の変化の中で、高炉の機能を最高度に発揮させるための技術課題を解決する努力が製鉄技術者に課せられている。

ここでは、そのような次世代高炉を実現するための技術課題に触れる。

① コークス製造技術

コークス充填層は、高炉という反応装置にとって必要不可欠な構造体であり、そこは要求される機能を保証し得るコークスの革命的な製造技術の実現が望まれる。

a) 高反応性コークス

コークスのソリューションロス反応の開始温度を下げ、反応速度を高めることが可能となり、高炉の反応効率とエネルギー効率が大幅に向上し、資源節約的の種が実現し得る。コークスの強度を下げずに結晶構造や結晶度を抑制し、反応性を高める、結晶間への触媒物質の注入なども考えられる。

b) 高速中温コークス化

800~900℃の高速中温乾留により、大幅なエネルギー削減と生産効率向上が期待できる。高圧下での乾留、高速伝熱、連続圧密乾留などの要素技術の集積が必要である。

特に高速伝熱に対しては、金属炉壁の利用が有効であるが、濃炭、硫化に対する耐久性向上が重要な鍵と言える。

c) フェロ・コークス

粒石の総積挿入密度を高め、反応効率も高まる。コークス強度維持技術の開発がキーポイントとなる。

② 焼結製造技術

世界の鉄鉱石資源事情は粉砕化を必然としており、革新的な粉粒利用法が期待される。

a) 高反応性焼結粒

900℃以下で高い反応性を持つ焼結粒を実現する。カルシウムフェライトの周囲の気孔率増大などの組織制御が必要。

b) 新型コールドポンドプレート

粘結剤や養生技術の革新により、塊成化過程の大幅な省エネルギーの実現が期待される。

③高炉の設備と運転

a) 原料の直接使用技術

石灰や粉砕石を高炉の向流移動層としての特徴を大幅に損なわない範囲で、大量に吹き込み技術、工程省略による大幅な省エネルギー、環境調和性を獲得できる。特殊バーナーや二段炉口を含む吹き込みハード技術の開発が必要。

b) 高効率化技術

設高炉や超高温高炉など小型で高い生産性を実現し得る高効率高炉の実現をはかる。高圧設備技術に加え高速度分離膜などの周辺技術の開発も必要。

2) 新精錬法

原料条件や社会経済的条件が高炉法の利点を発揮させ得る環境が生じており、溶融還元法を始めとする新製鉄法の開発が世界的に進められている。ここでは、現在開発中のプロセスとは異なる視点で課題を提起した。

①原料の予備処理、高純度化

原料品位の低下、粉砕化の傾向がますます強くなることを考えれば、微粉化工程を加えてでも、脱ガングのための事前処理を行うことが必要となろう。鉱石の微粉化による脱ガング、脱不純物が可能となれば、単純な還元工程が採用でき、新しい製鉄法の開発につながる。鉱石の微粉砕の手段としては、FeOまで予備還元して鉱石の脆弱化を促進する方法が考えられる。乾燥のために昇温が必要な場合には、乾燥-予備還元を組み合わせることで、より有利になる。

石灰についても、スラリー化による脱灰分、脱硫 (FeS系)、脱りん処理などが考えられる。スラリー化した原料に対する事前処理には、海上輸送時の船上で行う方法が有力である。処理済の高純度原料をスラリーのまま炉内に吹き込むためには、鉱石の場合には、スラリー媒体である水の分離を必要とする。メタノールなどにより水を置換して、再スラリー化することができれば、事前処理から製鋼までの連続化も可能となろう。

②低温高速水素還元法

鉱石の還元に水素を用いる方法は安価な水素源の確保が前提となる。安価な水素が利用できるのは炭素還元とは全く異なる水素還元の特性を活用した還元プロセスが考えられる。

a) 低温高圧水素還元-金属粉末-焼結または直接圧延

高圧により還元速度を高めると同時に金属相に水素を溶解させ、還元鉄を水素脆性を利用して微粉砕し、ガング成分を分離する。金属鉄粉がそのまま結用原料粉末として利用し得る。又は直接圧延法により粉末から直接加工材を成型する。

b) 発生期水素の高速度還元機能の活用

水素は金属中では原子状水素に溶解して溶解している。この水素が、原子状水素のまま、気相へ脱離すればその反応性は極めて高いことが期待される。原子状水素の再結合プロセスの反応機構の解明を要するが、現象的にはそのような期待に応える結果も認められている。¹¹⁾ この条件を積極的に利用するために、水素吸蔵合金やパラジウム膜を備えた炉壁あるいは反応壁の利用、さらには水素吸蔵鉄粉共存下の流動還元などの方策を考え、低温での水素還元速度の飛躍的増大を達成する。後者の場合、還元炉内の鉄粉は一部抜きとられ、水素吸蔵炉との間で

このことが鋼へのEMCの適用を困難にしている。現在、モールドを併用した電磁誘導法（軟接触凝固法）の開発が我が国で開始されつつある。この電磁誘導法は鋼の誘導をも可能にするものである。また、高周波磁界を用いる(1)式のものとは原理を異にする水平式（直流）電磁誘導法 (Horizontal Electro Magnetic Casting = HEMC) の提案もある。

④凝固界面温度制御

単結晶育成には固-液界面での大きな温度勾配の確保が不可欠である。これには高周波電場印加による加熱法が適用できる。特に、近年、欧州で活発な開発が進められている横断磁束誘導加熱 (Transverse Flux Induction Heating = TFH) は大きな加熱速度が得られるため、温度の制御の有力な武器となろう。温度勾配と単結晶育成条件を把握することが重要となる。

6) 高速ガス分離膜

低エネルギー消費の高効率分離膜の開発

製鉄プロセスにとり、酸素または高酸素濃度空気は極めて重要な反応剤であり、酸素を現行の分離方式よりもはるかに低エネルギーで空気より分離できれば、その波及効果は極めて大きい。高速ガス分離膜研究の意義はまずこの点にある。

一方、炭ガスからの炭酸ガスの分離は地球温暖化防止対策の一環として研究されている。炭酸ガスを分離する方法としては、吸収法、吸着法、膜分離法、蒸留法がある。たとえば、吸収法のうちラジカル吸収法は炭酸ガスをイオンとして吸収するので炭酸ガス分圧が低くても分離効率が上がり、吸収液の再生にエネルギーを要する。膜分離法は現在、酢酸セルロース膜、ポリスルホン膜、芳香族ポリアミド膜などが炭酸ガスの分離に利用できる。この方法は高純度の分離は困難であるが、設置面積が少なく、省エネルギー的である。天然ガスからの炭酸ガスの回収では、炭酸ガス濃度は90~95%で、回収率は90~95%であり、吸収速度は100~20,000Nm³/h程度である。そこでエネルギー消費が少なく高速の炭酸ガス分離膜の開発が必要である。

また、クリーン・エネルギーとして水素ガスが注目されている。太陽熱を利用して水を分解した後、急冷し、酸素と水素の混合ガスからの水素ガスを分離膜により安価で効率的に製造することが可能になるであろう。

(参考文献)

- 1) I. Barin 他 The 6th IISC Proceedings
2) 徳田 昌則 第135回 西山記念講座 p 141 (1990)
3) 浅井 遊生 次世代大規模プロジェクト技術への提言より

3. 2 加工法

1) 超強加工圧延プロセス

99%以上の強冷間加工による超高強度鋼の開発。現在超高強度極細鉄線として実用化されている超高強度鋼は¹¹⁾、加工熱処理と強冷間加工によって達成されたものと考えられるが、ハード、ソフト両面からの研究を行うことにより耐遅れ破壊特性に優れた200キロや300キロ鋼の開発が可能と考えられる。強冷間加工と熱処理の工夫により従来レベルより強度、耐遅れ破壊特性共に著しく向上する

循環することになる。

3) 連続製鋼法

製鋼プロセスの連続化は製鋼技術者にとっての夢であった。高炉-転炉法という巨大プロセスが健在な時期には、連続製鋼法にチャンスはなかなか回らなかった。しかし、新しい製鉄法の出現、スクラップの大量使用により、溶鋼原料が変化すれば、連続製鋼法にとってもチャンスは考えられる。例えば、炭素含有量が1%程度の溶鋼原料が供給される条件では、脱ガス設備と組み合わせた型の連続プロセスが考えられる。¹²⁾

4) 精錬・加工プロセス全体のアルゴンまたは窒素シール化、真空化

現代の精錬法では、窒素や酸素を極微量に除去しても処理後の空気との接触で、窒素レベルの上昇、介在物の発生が避けられない。また、圧延工程で、スケールの発生が避けられない。シーリング技術の究極は、全工程設備をすっぽりアルゴン（精錬工程）又は窒素（圧延工程）雰囲気とし、作業はロボットまたは宇宙服に身を固めた作業者に任せるという状態であろう。特殊な場合には真空化も有り得る。無酸化圧延技術の進展は新しい圧着技術、加工技術の芽ともなり得るが、新しい潤滑剤の開発をも必要としよう。完全シール化は、多くの新技術や新製品開発の口火を提供することが期待される。

5) 電磁冶金プロセスの推進¹³⁾

①高純淨化

最終到達不純物の濃度は攪拌エネルギーの増大に伴って減少することが知られている。現在採用されているガス攪拌方式では投入可能な攪拌エネルギーに限りがある。ここでは、電磁振動攪拌を用いる超高密度攪拌エネルギー方式による溶鋼の高純淨化法を開発し、コールド・クルーシブルと併用して高純淨鋼の量産プロセスを開発する。

②非金属介在物除去

溶湯に電磁気力を印加すると、非金属介在物と金属との大きな電気伝導度の差に起因して、電磁気力は金属には作用するものの、非金属介在物にはほとんど作用しない。そのため、介在物は金属から反作用力を受け除去される。この原理を利用するのが介在物電磁除去法である。この方法の適用により、従来、その除去が困難視されているサブミクロンサイズの介在物除去が可能となる。

③モールドレス誘導

アルミニウムのモールドレス誘導はすでに確立された技術であり、米国を中心にスラブサイズ鋼片の大量生産が行われている。この誘導は電磁誘導 (Electro Magnetic Casting = EM C) と呼ばれている。この基本原理は溶湯静圧 ρgh を電磁気圧 B²/2μ とバランスさせるものである。

ρgh = B²/2μ (1)

鋼の場合、アルミと比較して、密度ρが大きいこと、および誘導速度が大きいので溶湯保持高さhが大きくなること、の2点から(1)式を成立させるのに要するBの値が極めて大きくなる。

これはマルエージ鋼に関する河部らの研究¹²⁾によっても明かにされている。将来研究としては、これらの成果を汎用鋼にまで拡大できるような加工熱処理に関する基礎研究と超強力圧延機と折り重ね圧延法¹³⁾を相結合した新しい超強力圧延法の開発研究を行う必要がある。

2) 超塑性

一般に超塑性が発現する変形温度は絶対温度で材料の融点の1/2以上、超塑性変形速度は10⁻⁴~10⁻²/sと小さいため加工コストが高く、航空機部品の様な高付加価値品の製造以外には利用され難い欠点があったが、結晶粒微細化によって10³/s以上の加工速度で加工できる材料も報告されるようになってきている。^{14) 15)} 鉄合金および鉄鋼材料における超塑性は、高温域で発現する微細粒超塑性と、αγ変態を利用した変態超塑性および室温付近での加工誘起マルテンサイト変態による変態超塑性があり、積極的な研究がおこなわれている。また、微細粒超塑性と変態超塑性は接合技術、粉末冶金プロセスへの応用も検討されている。¹⁶⁾

今後の研究課題としては、加工熱処理、超急冷法、メカニカルアロイイング等を利用した結晶粒微細化技術の徹底的研究によるナノ材料開発と、これらの材料を利用した高速超塑性加工技術の開発および加工誘起超塑性を利用した低温超塑性加工技術の開発が上げられる。高速超塑性加工技術の開発はナノ材料開発の成否に依存するが、低温超塑性加工技術は加工用金型、機械等のハードおよび加工ソフト開発が重要になると考えられる。

なお前記高速超塑性を有する材料が開発されれば、高温ロールによる低速高圧下圧延（一般圧延）、局部加熱による工具なし圧延、ダイレス引き抜き等の加工技術開発にはそれほど大きな困難はないと考えられる。

3) インテリジェントプロセス

加工された製品の形状の精密性の向上はいうまでもない。またプロセスの省力・省エネルギーを図ることも、プロセスのインテリジェント化の主要な目的であり、鉄鋼の圧延プロセスでは加工ラインそのものが静止ロボットと呼べるまでの域に進歩を遂げている。今後は工具および装置に対する被加工材からの加工反力および熱流を計測し、加工中の被加工材の状態の常時モニターと加工プロセスのダイナミックなオンライン最適化を図ることを可能にする。そのため計測解析法の進展を十二分に活用するようにシステムの開発を進める。そして、プロセス自身が自己の改善や開発の方向を提示するように高度化させる。

4) 原材料からの直接パーツ作製技術

粉末利用技術では、従来からの焼結プロセスに種々の改良が加えられ、焼結膜法、射出成形法や超塑性を有する微細結晶粉末を利用した焼結と超塑性加工を組み合わせたプロセスが開発されている。¹⁷⁾

今後はそれぞれのプロセスに適した粉末材料の低コスト製造法の開発と、射出成形と焼結プロセスの連続化や焼結と超塑性加工を同時に行えるプロセスの開発等が課題となろう。なおいずれのプロセスにおいても粉体成形のための潤滑性に優れ、変態性を有しかつ除去しやすいつ優れたバインダーの開発が課題となる。

5) 未經熱成形加工技術

製品の成形に当たって、鍛造・塑性加工・半溶融加工・粉末冶金などの確立技術では不可能な素材に対して、物理的合理性のある成形加工を考案する。このことによって、加工性の壁にはばまれて手数のかかる過程を経て製品に成形しなければならないために現実化しなかった、新製品の出現が期待できる。すでに考案されて未經熱ではないが、未だ工業化されておらず活用の検討の価値があるものとして「¹⁸⁾」がある。これは非塑性材料を粉砕流動させるパスを用いて成形体をつくり、焼結によって最終製品を得ようとするものである。この成形法の研究からMAのメカニズムなどについての重要な知見も得られつつある。したがって、たとえ成形法そのものとして確立できなくても、材料の物性と加工法との関係を解明する上で、常に新しい原理に基づく成形加工法の研究開発を行う必要がある。

6) 粉末不均質材料

粉末を利用した複合材料、傾斜機能材料作製方法としては現状では粒子配列法、自己発熱反応法、溶射積層法などが考えられ、主として宇宙往還機用耐熱材料としての研究が行われている。⁽¹⁹⁾ (20)

これらの技術により金属とセラミック、プラスチックあるいは固溶しない金属同士を複合化することが可能であるが、現状では安定した品質のものを安価に製造すると言う点で不十分である。

今後の課題としては原材料となる粉末の品質、形状制御技術の高度化、例えばゲルゾル法による方法⁽²¹⁾の開発および粉末の混合配列制御技術の開発と焼結過程での熱応力の発生を極力おさえられる焼結法のハード、ソフト両面からの開発が考えられる。

7) 超急冷法の代替技術

冷却は物体の熱伝導によって決定され、物体内の温度分布の均一化を図りつつ急冷することは不可能である。しかし、急冷の目的によっては、たとえば非平衡相の状態の製品を製造するという場合には、熱力学的に等価な処理をもって急冷に備えることができる。つまりMA法などをプロセスに組み入れたシステムを構成する。

8) 大型気相処理プロセス

気相めっきプロセスの近年の発展はめざましく、純Zn、Alの超層めっきラインとしてはすでに実用プラントが稼働⁽²²⁾ (23)しており今後電鍍、溶融めっきに次ぐ第三のめっきプロセスとして発展することが考えられ、そのための課題として真空設備、E Bガン、イオン化機構の大容量化等のハード研究と気相析出に関する基礎研究および高機能めっきの開発等のソフト研究が課題として上げられる。⁽²⁴⁾

また、対象とする金属元素を制御しやすき気相成分とするための種々の金属有機化合物の合成法、それらの物性に関する研究なども必要とする。

そしてさらに将来の課題としてはこれら気相処理技術と連続焼鈍プロセスとの融合による新しい表面改質プロセスの開発や、大型気相処理で開発される真空技術と圧延圧接技術を組み合わせた新しい複合鋼板製造プロセスの開発等が考えられる。

また気相処理と真空圧延圧接技術を複合組み合わせることによって傾斜機能材料の連続製造

も可能と考えられる。

9) インテリジェントロボティクス圧延

①ユニバーサル圧延技術

形鋼のユニバーサル圧延ではなく、多品種少量生産時代に対応してロボット化の進んだマイクロミルにより、線材・棒・小形材などを一基のミルで注文に対応して生産する技術を構成する。3)のインテリジェントプロセスの一例である。

②多層圧延技術

薄圧延技術としてより超高速度鋼製造あるいは複合材料製造技術としても活用できる。

③半溶融圧延技術

10) 溶融炉、溶融金属を用いた新冷却技術

ウッドメタルやSnのような低融点金属を溶融スラグと直接接触させて、スラグの熱回収に利用する可能性を検討する。金属のロスも極力少なくし、回収し得ることが前提。また、出鉄や出鋼口等の冷却システムに、水の代わりにこれらを使用し熱回収することも考えられる。

(参考文献)

- 1) 柏島、勝亦、金築：日本金属学会報 29, No.4, 313 (1989)
- 2) 河部善邦他：金属材料技術研究所報告集5, 42 (1984)
- 3) 小西、参木：塑性加工 19, No.213, 814 (1978)
- 4) 東健司：日本金属学会報 29, No.1, 22 (1990)
- 5) 宮川松雄：成形技術調査報告書 一般塑性材料の利用開発技術調査部報告書 成形センター 平成3年3月 p121
- 6) 前原廣裕：同上 p146
- 7) 永井宏：粉体工学雑誌 30, No.5, 341 (1993)
- 8) 木原輝二、相澤龍彦、陳 湘南明、市毛健一：塑性加工22, No.91, P.129 (1991)
- 9) 新野正之：機能材料 7, No.10, 31 (1987)
- 10) 佐多延 博：機能材料 9, No.2, 47 (1988)
- 11) 深田龍三：同上 p51
- 12) 杉本忠夫：粉体工学雑誌 29, No.12, 912 (1992)
- 13) S. Schiller et al: Metalloberfläche 38, 7 (1984)
- 14) 前田正恭 他：鉄鋼協会講演大会予稿集 s1189 (1984)
- 15) 佐藤清士：第138・139回 西山記念講座 p103 (1991)

4. 新しい技術製品を求めて

4. 1 鉄鋼材料

1) 500キロハイテン (2. 1の2) および3. 2の1) 参照)

2) ファインスチール

現在気相処理によってTiN、TiC、Al₂O₃、SiO₂等のセラミックスコーティングを行い意匠性鋼板や工具等を製造することは広く研究され実用化されている。⁽²⁵⁾ (26)

今後は電子・電気業界で各種の表示素子、検出素子として開発・研究されているフォト、エレクトロ、サーモ、クロミックあるいはルミネッセンス皮膜を大型気相処理装置で形成させる技術開発が行えれば、スイッチひとつで壁、天井、床等が発光したり色をかえたりする新しい内装材や天気、気温によって色が変化する外装材、ガードレール用材等の開発が可能となる。

3) 太陽電池鋼板 (4. 2の2) 参照)

4) ハイウェイ鋼板

首都高速など、極めて使用頻度の高い大都市の高速道路は寿命が短く、今後建て替えが課題となる。交通量を確保しながらの建て替えには新しい工法が工夫されるべきであろう。そこでプレハブ式高速道路の建設を可能にするようなハイウェイ鋼板構造物の需要が発生する。

4. 2 Feをベースとしたニューコンビジット

鉄はその相構造、添加元素によって膨張係数を 3×10^{-7} から $1.2 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ まで変化する事ができるので、多種の物質のコーティング基板としての適性を有している。また、大型化や量産化も可能なコーティング基板である。

一方、PVCやCVDなどのコーティング技術の発展により金属、合金から半金属、セラミックスまでのコーティングプロセスの設定、さらにはコーティング技術の組合せにより、鉄あるいは鉄基合金にあらゆる機能コーティングすることは可能といえる。

しかし、このためには、コーティングする物質に対する被コーティング材のあり方(被コーティング材の物性、被コーティング材表面の酸化物構造など)に関する系統的な研究が必要である。また、大型化、量産化に対応できるコーティング技術に関する研究も必要である。

1) 絶縁薄膜/F eコンビジット

Fe基合金は合金元素と鉄との酸化の自由エネルギーが異なるので、加熱条件(雰囲気、温度など)によってその表面に種々の酸化物が生成できる。

例えば、Alを5mass%程度含有した鋼板を低酸素濃度雰囲気下で加熱すると、表面にAl₂O₃を主体とした酸化物が形成される。このような合金成分と加熱条件により形成されるFe基合金表面の酸化物と種々の絶縁コーティングとの組合せを系統的に研究することにより、新しい絶縁材料を見いだす。

2) 半導体薄膜/F eコンビジット

太陽電池がグリーンな電気エネルギー源として脚光を浴びて数十年経つが、太陽電池が汎用な電気エネルギー源となるには、大面積のものを如何に安く造るかが重要な課題である。これまでに、ステンレス鋼コイルを基板として、プラズマCVD法にて連続的にa-シリコン太陽電池を製造する方法が知られている。しかし、原料となるシリカガスの価格が高いことや非常に複雑な製造プロセスであることから、さらなるコスト低減が必要である。

安価な太陽電池を製造するための基板側の課題としては、基板表面の浄度を上げることであり、表面介在物やマイクロスケール残存の無いステンレス鋼の製造技術の研究が必要である。一方、コーティング技術に対しては、大型・高速CVD法の研究や溶融炉電気めっき法⁽²⁷⁾の研究が必要となる。

いずれにしろ、今後の太陽電池の発展には、より実用的な観点から技術開発を推進できる材料研究者の積極的な参画が不可欠である。

3) 多孔質セラミックス/F eコンビジット

大気汚染につながる汚染物質の排出抑制に触媒の利用は、今後ますます広がっていくといえる。現在、触媒担持には、ムライト、コーディエライトなどの酸化物セラミックスが用いられているが、加工面や衝撃特性の面で、さらには大型化の面で種々の問題を抱えている。

前述したように、Fe基合金は表面に種々の酸化物を形成させることができ、鉄酸化物自身も酸化触媒機能を有している。しかし、触媒担持体には、比表面積、すなわち反応面積が大きいことが要求される。

そこで、Fe基合金表面の粗面化処理と多孔質セラミックス被覆法の総合的研究を展開し、浄化、消費などの新しい機能性を探索する。

4) 非鉄金属間化合物/F eコンビジット

亜鉛めっき鋼板やアルミニウムめっき鋼板を加熱すると、Fe-ZnあるいはFe-Alの相互拡散によりめっき層がFe-ZnやFe-Al金属間化合物層に変化することは良く知られている。また、このようにして得られた金属間化合物層は拡散方向に対して著しい配向を有する構造となる。

しかし、金属間化合物を形成する二種類の非鉄金属層をFe基合金上に二層コーティングし、その後加熱して得られる金属間化合物の構造、特性に関する研究は少ない。Al-Ni系やAl-Ti系などの金属間化合物が特異な特性を有していることから、非鉄金属間化合物/F eコンビジットにも新たな特性の発現が期待でき、系統的な研究が望まれる。

5) フォトクロミック、サーモクロミック/F eコンビジット

これまでに、多数のフォトクロミック、サーモクロミック物質が発見されてきたが、無機系物質では光感度が低い、可逆性に乏しいなどの問題が、また有機系物質では長期の使用に耐えないという問題点がある。しかし、新規物質の探索や周辺技術の発展に伴い、これらの課題は今後、改善されていくと予想される。

フォトクロミックやサーモクロミック層をコーティングしたFe基板はファッションブルステールとして、ガードレールや内外装建材などへの展開が期待される。フォトクロミック、サーモクロミック物質の新たな探索も含めて、Fe基板に耐久性の良いコーティング皮膜の形成に関

する研究が必要である。

6) その他

再生資源の積極利用の観点からは、木材一紙、紙一鉄などのコンポジット材料も考えられて良い。例えば、自転車は従来の乗り物としてますます重要されると言われているが、トータル的な化石燃料消費量低減には、プラスチック製よりも、紙一鉄コンポジット製自転車がはるかに効果的と期待される。

(参考文献)

- 1) G.M.Rao, et al., J. Electrochem. Soc., **127** (1980) 127.
- 2) U.Cohen, et al., J. Electrochem. Soc., **122** (1976) 381.
- 3) R.Boen, et al., J. appl. Electrochem., **13** (1983) 277.

5. 資源の総合利用と地球資源の枯渇対策課題における製鉄プロセス及び製鉄技術の応用

5.1 鉄鉱石含有微量元素の資源化

鉱石資源の多くは近年の大量生産大量消費の活動の中で、良質鉱石の急速な枯渇化が進んでおり、難処理低品位鉱の利用が益々重要になっている。製鉄プロセスでは、鉄よりも活性な成分がスラグに濃縮することを利用して、微量成分の資源化を大規模に進めることが可能である。

1) Ti原料(ルチル)の代替資源

イルメナイト(TiO₂含有酸化鉄)の溶融還元を行い、酸化鉄を還元するとスラグとしてTiO₂濃度の高いルチル代替資源が得られる。

2) 鉄鉱石中の微量元素の回収

マグネサイト系微量V含有(0.05~0.10)鉄石原料の溶鉄と同時にVを回収する。また、低鉄物酸化鉄中にCoを含む鉄鉱石がある。これらは、微粉砕し、浮選による脱硫と同時にCoを回収する。高純度微粉砕鉄の還元には高炉以外の方法が考えられる。

3) リンの濃化回収

鉄鉱石の枯渇傾向に対して、鉄鉱石中のリンの資源化プロセスを製鉄プロセスに組み込む。製鉄スラグを高炉に投入して溶鉄のリンを高め、溶鉄脱リンスラグ中のリン濃度を15%以上にしてリン資源とする。

4) 複雑鉄鉱石中の有価成分の回収

中国や東南アジアには希土類元素、ニオブ、ほう素、ガリウム、バナジウムなどのレアメタル成分を含む、複雑組成の鉄鉱石が大量に埋蔵されている。これらを高炉で製鉄し、スラグに濃縮した後に、抽出分離する。

- 19 -

② 廃棄物の総合的無害化処理と利用技術

都市共生型製鉄プロセスをベースにした、総合的廃棄物処理と炭素利用のハードとソフトシステムの確立を通して、新しい産業のあり方を模索する。プロジェクトとしては、

- ・ PCBなど有害難処理化合物の無害化処理
高炉炉口より0.1kg/t(鉄鉄)を吹き込む程度で、日本の抱えているPCBのストックを処理できる。PCBの入っていた容器などは特別管理区域を設けて切断処理し、溶融還元炉などへ投入する。
 - ・ プラスチックを含む難処理廃棄物の処理
紙、プラスチック、金属、セラミックスの混合物などプラスチックを主体とし現在埋立処理しかできない廃棄物に対しては、製鉄所内に特別処理工場を設け、有効利用を兼ねた処理を行う。製鉄所の豊富な200℃程度の廃熱を利用して高温水溶液を含む湿式プロセス、粉砕、塊成化プロセス、高温乾式プロセスを利用する。
 - ・ 廃油、廃酸、廃薬品、医療廃棄物その他通常の処理では厄介な廃棄物の処理
特別な認可を買った処理施設で事前処理(粉砕、破砕など)を施した後、吹き込み、投入などの方法を選んで処理する。
- などがある。

6. 進め方の考察

研究課題が選ばれたところで、次に進むべきは具体的に何に取り組むかということである。課題毎に効果的研究体制を形成するための検討を組織的に行うことが必要である。本小委員会では鉄鋼産業界のスケールでそのような組織体制についても検討を行った。産業分野がますます多様化する将来の日本社会を展望するとき、特に製造業においては、一産業分野で活用できる研究資源は人的にも資金的にもより制約される方向にあると考えられる。鉄鋼関連産業においても例外ではなく、将来は一層限られた研究資源の効率的、効果的活用を必要とすることがあり、大学や国立研究機関ならびに企業の研究機関の有機な結びつきを強化保証する体制の追求が必然である。また、国際的な協力体制も種々の局面、分野で追求することが望まれる。

そこで、組織される有機的研究体制の形態は、当然取り組むべき課題のスケールや性格で異なり得る。ここでは、次のような3つの課題分野を提起することとした。

1) 地球規模での鉄鋼産業のあり方に関する課題

① 全人類の生活向上、環境保全のためのプロジェクトを推進し、他産業(自動車など)と協力してあるべき未来都市のビジョン、システムを設計、構築する。特に、世界的な大型プロジェクト(砂漠緑化、洪水防止用河川浄水設備、大型水力電源開発等)の推進が期待される。さらに、新しい未来のための社会基盤整備事業として、鉄鋼製品構造物(人工島(移動可能海洋工場等)、大規模防波堤、ダム、パイプライン)等、鉄鋼を利用した大規模開発プロジェクトを検討し、推進する。

- 21 -

5. 2 リサイクルと廃棄物からの有価物の完全回収システムの確立

市中発生スクラップ、ゴミ、ダスト等の製鉄所での処理を通じて、その有価分を完全に再利用する。

1) エネルギー(可燃物)の有効利用

紙、プラスチック、汚泥等を通常作業に効率低下をきたさない範囲で高炉に投入、吹き込むことにより、ダイオキシンなどの発生を抑制することを検討する。適当な投入方法や炉内蓄積を回避するガス抜き取り法などの開発が必要になる。

2) ガスト中のZn, Cr, Mn等の分別回収

焼結プロセスや溶融還元プロセスの採用が考えられる。

3) Cu, Ni等の回収と有効利用

製鉄所の200℃程度の高温を利用した高温水溶液反応の活用も考えられる。

5. 3 エネルギーの長期展望への貢献

製鉄技術プロセスはその規模の大きさ故に、本質的にエネルギー多消費であり、将来のエネルギー源の供給動向に大きな影響を受ける。そのために、新しいエネルギー源開発には積極的な関心を持つべきで、ゴードン仮説(天然ガス無機成因説)による天然ガス探査やマグマ利用プロジェクトにも積極的な支援が望まれる。

5. 4 地球環境保全技術への貢献

1) 地球規模でのCO₂低減対策への貢献

① 海洋施肥効果の実証的確認

海洋のCO₂吸収源である植物プランクトンの増殖効果拡大の鍵とされる微量鉄イオン効果の確認。大規模なクリールームにより体系的な工学-海洋生物学との共同研究を要す。

② 鉄鋼スラグを用いたエコ・フレンドリーな海洋施肥技術の確立

鉄鋼スラグを軽石化し、長期間欠不足海面域に滞在させることによる長期施肥技術の基礎を確立する。これにより海洋植物プランクトンの形でCO₂吸収促進とその沈降によるCO₂供給プロセスの増大技術開発の展望が得られる。

③ 効果的な湧昇流誘起構造の建設

200m以深の海水を表面の層に供給し得る湧昇流技術は海面への栄養分の供給により植物プランクトンの増殖を促し、CO₂の吸収促進と漁獲の増大をもたらす。

2) 地球及び都市環境のクリーン化システムへの貢献

① 石灰利用における地味適正クリーナー・プロセス

特に中国、旧ソ連を対象とした石灰利用におけるエコ・フレンドリープロセスのハードとソフトシステム。

- 20 -

② 鉄鋼供給基地としての日本のあり方は、高級鋼材の供給とともに、鋼材生産システムを供給(ミニ・ミル、輸送システムなど)することにより、他の供給国とのスミ分けをはかり、発展途上国の工業発展を支援する方向で考えるべきだろう。具体例としては、発展途上国にとっての適正製鉄所とその設計に関する研究を行う。各国の発展途上国と鋼材供給国との関係(5~30万t/y)、原料(鉄石か、輸入スクラップか、輸入スラグか)をベースにした規模製鉄所の設計と供給方法を検討する。適正エネルギー(数千Kwのミニ発電所、石灰や木材の流体エネルギー化、太陽発電など)の供給方法も検討対象になる。

③ 地球環境保全に関する課題は、将来の鉄鋼産業のあり方に大きな影響を及ぼす重要課題となり得る。人類が自然と共生するための条件さらには、各々の社会の中で様々な構成主体が共生するための条件をどのようにして実現するか。特に鉄鋼の大消費国と産出国の間であるいは、エネルギー多消費素材供給型産業とエネルギー消費の少ない素材利用型産業の間で、たとえばCO₂排出の責任をどのように分ち合うべきか、CO₂税をどのように負担すべきか等の新しい共生問題に関する研究が重要課題としてクローズアップされてくると考えられる。

2) 鉄鋼技術の科学的インフラストラクチャーの整備と充実

新材料、新プロセスの研究開発には基礎データの蓄積は欠かせない。基礎データに様々な応用ソフトを備えたデータベースは研究にとっての重要なインフラである。日本にもアメリカのNational Institute of Standards and Technologyのような基礎データの測定や評価、蓄積を行う恒常的な共同研究組織が必要である。

米国、旧ソ連の大規模な軍事費の削減により、従来軍事研究費でまかなわれていた基礎研究、特に自然科学関連データの測定や蓄積、評価などデータベースに関する研究が今や危機に瀕していると言われる。鉄鋼産業界が、このような共同研究組織の維持に努め、せめて鉄鋼に関連する基礎データに対してでもその蓄積強化をはかり、人類遺産の継承と発展に寄与することには、鉄鋼研究の裾野の広さからいっても世界の科学技術への大きな貢献となる。

これを具体的な共同研究組織とした場合は、国立大学や国立研究所の一角に人材を集中できるような体制が必要であり、それらの機関の協力が前提となる。将来の研究資源の有効活用のための体制見直しに備えてこのような構想の熟成を期待したい。

そのような共同研究組織は、情報センターとしての機能も持っているが、何よりも、必要な熱力学データや材料物性データの系統的な測定と評価、測定手法や測定装置の開発などデータ製造に関するソフトとハードの現場を持つという世界にも類を見ない強力な研究組織となる。

国立研究機関からの専属のスタッフおよび技術職員の参画をもとめるが、各企業からの出向者や退職者を活用することも有力であろう。各社の保有する分析機器、測定機器の利用を可能とするようにし、分析、測定機器メーカーやコンピューターメーカーとの共同開発をも積極的に進める。

旧ソ連、東欧、中国などから優秀な若手を受け入れ、研究の場を提供することで、研究成果を挙げつつ国際貢献を果たすことも可能であろう。

3) 上工程を中心とした共同研究遂行のための諸条件

上述の共同研究組織が基礎データの測定と評価、研究、測定機器の開発という基礎的分野の

- 22 -

研究組織と情報センターの役目を果たすとすれば、新しい鉄鋼プロセスや鉄鋼材料の開発に直接つながる研究課題に対しては、対象に応じている研究組織が考えられる。

しかし、製鉄、製鋼、エネルギーなどのいわゆる上工程の分野では、共同研究体制をとり、人材や経費、設備の効率的な活用をはかることが望ましい。特に、例えば20年以上の長寿命が期待される高炉設備技術の発展は、新設高炉の建設が極めてまれになった日本のような経済環境では、中国などの新設あるいは移設高炉の建設が積極的な環境に比べれば、不利は免れない。

従って、ある程度規模の大きな試験高炉を建設し、共同して新しい設備技術開発試験や操業試験を行う体制を確立する機がいま熟してきたと考えられる。

III おわりに

以上、鉄鋼研究の将来課題について、分野毎に述べてきた。ただし製錬、加工、材料の各分野から1~2名の専門家を集めたとはいえず鉄鋼研究の極めて幅広い領域を網羅的にカバーした訳ではない。抽出された課題は多様かつ雑多であり、学問的にも技術的にもその意義、価値に幅があり、また考察内容にも精粗がある。これは、各委員の意見を出来るだけ生来のまま、編集や脚色なしに掲載したため、表現やフォーマットも不統一である印象を免れない。

しかし、少なくとも各委員の鉄鋼にかける愛と熱意の賜であり、鉄の未来への確信に基づいて提起された課題群であることを理解していただきたい。これらを一読され、一人でも多くの方が鉄の未来に思いを馳せ、その意義を感じて下されば、価値ある研究課題がこれらをかたき台にして、自ら導き出され、あるいは浮かび上がってくるであろうと信ずる。

なお、本小委員会の活動が終わり、報告書のまとめの段階で、鉄鋼協会内に長期展望検討小委員会提案に関する動きが具体化しつつある。それらの提案や活動内容は、まさに本小委員会における問題意識と軌を一にする。たとえば、第6章の第1項はそこで提案されている技術部門の近未来鉄鋼技術検討部会における主要な検討課題となろう。第2項は現在推進中のフェロ・フロンティア・ルネッサンスプロジェクトにおいて軌道にのせていただきたい課題である。また、第3項と合わせて技術部門の協会プロジェクト委員会を通じて進行していただきたい要望する。

付録

1. 工学教育の振興と助成

近年、若年層のメーカー離れが指摘されている。これは我が国の製造業の将来にとって由々しき問題である。これは初等・中等教育で知識教育に偏重し、設計から材料の選定、組み立てなどを行う「物造り教育」がなおざりにされて来た結果であろう。そこで、先人の経験や知恵を整理保存し、物造り文化の創設、歴史研究、基本哲学の構築を行うばかりでなく、それらを普及させることが重要である。そのために、初等・中等教育、大学教育のカリキュラムの研究支援を行い、さらに、物造り教育、技能教育の観点から実習教育の見直しを行う。たとえば、小・中学校の技術の時間に遊びを取入れた物造りの教科書を編集することが考えられる。また、大学での教育内容や方法の改善に関する研究支援も重要である。

2. コンペテツ1(ワン)レースの実施、テツワン・オリンピック

12月1日鉄の記念日に試験片程度の大きさで、残留抵抗比、強度・延性など機械的性質、酸の中での寿命等々を競い、その年度のゴールド・メダルをかける。鉄の芸術品などの出品も可能。

低中匠空理題小委員会 名簿 付木切丸鉄題小委員会 名簿

委員長	徳田 昌則	東 北 大 学
委 員	木原 諱二	東 京 大 学
	永田 和宏	東 京 工 業 大 学
	山口 正治	京 都 大 学
	湘沼 武秀	新 日 本 製 鐵 ㈱
	柴田 清	新 日 本 製 鐵 ㈱
	宇田川 辰郎	N K K
	戸塚 信夫	川 崎 製 鉄 ㈱
	高城 重彰	川 崎 製 鉄 ㈱
	丸川 雄浄	住 友 金 属 工 業 ㈱
	清水 正賢	㈱ 神 戸 製 鋼 所
	内田 幸夫	日 新 製 鋼 ㈱
	飯久保 知人	大 同 特 殊 鋼 ㈱
事務局長	岡田 健	(社) 日 本 鉄 鋼 協 会
	後藤 弘史	(社) 日 本 鉄 鋼 協 会
	大島 孝子	(社) 日 本 鉄 鋼 協 会