

1. 日本鉄鋼業をめぐる情勢と鉄鋼技術

1.1 エネルギー構造の変化

1.1.1 プロローグ

昭和 50 年代は、石油を中心に激動した時代であったといえる。二度にわたり高騰した石油価格は、世界経済に長期にわたる不況と混迷を与えた。昭和 40 年代までの高度成長は終わり、エネルギー多消費の重化学工業を基盤とした素材型の日本の産業は、社会の成熟度以上のスピードで産業構造の変革を迫られた。その結果、経済成長率は数%の安定低成長時代となり、エネルギー原単位の低い情報知識産業の比重の大きい産業構造へ変化しつつある。

重化学工業の中核ともいえる鉄鋼業は、典型的エネルギー多消費型産業であり、当然大きな影響を受けたが、石炭への回帰と省エネルギーを軸とする技術革新によつて、この試練によく対応し、一時的停滞はあつたものの、基幹産業としての地位を確保している。

すなわち、鋼材製品の多様化高度化に対応しつつ、一方で減量と技術開発により、体質強化を計っている。さらに、鉄を中心として、非鉄、セラミックスに広がる総合素材メーカーをめざして、またエンジニアリング、機械、化学の各分野を付加した多角化を求めて、各社各様の企業努力が続けられている現状である。

以下に、この 10 年間のエネルギー事情を中心とした鉄鋼業の推移について概説したい。

1.1.2 鉄鋼業のエネルギー事情

(1) 概説

世界の粗鋼生産は、1973 年の 7 億 t から一時的減退はあつたものの回復基調にあり、1979 年には 7.5 億 t になつたが、第二次石油危機後、西側先進国を中心に大幅減少し共産圏での堅調をみながらも 1982 年には 6.45 億 t になつた。世界エネルギー消費における鉄鋼シェアは約 7% である。

さて、日本の粗鋼生産は 1973 年の 1.20 億 t をピークに 1 億 t 強の低迷を続け、第二次石油危機のインパクトからついにここ 2 年連続 1 億 t を割り、1982 年では 9630 万 t にまで減少した。

粗鋼プロセス別では、転炉 80.7、電炉 17.8、平炉 1.5% から、転炉 72.5、電炉 27.5% と電炉シェアが伸びているのが特色である。

鉄鋼のエネルギー消費は、1973 年 649、1982 年 471 $\times 10^{12}$ kcal であり、一次エネルギーに占めるシェアは 19.0 から 13.6% へと大幅に下がつた。総合エネルギー原単位は、それぞれ 541,489 万 kcal/t-粗鋼 で、この間名目 9%、実質 16% の省エネルギーが実行された。エネルギー構成別でみると (1982 年)、石炭 75.2、石油類 6.8、購入電力 18.0% の割合である。

またそれぞれのエネルギー種類の対全国シェアは、石炭 68.3、電力 13.1、石油類 1.4% である。石油類使用は、1973 年から 1982 年で、129 から 37 l/t-粗鋼 (LNG を含む) に激減した。エネルギー消費 471 $\times 10^{12}$ kcal (1982 年) のうち、一貫高炉系 88、電炉系 12% のシェアで、総合エネルギー原単位でみると、全国平均 489、高炉系 593、電炉系 215 万 kcal/t-粗鋼 である。

高炉系原単位が比較的高く、名目上この 10 年間大幅な低下がないのは、主として、高溶銑配合、石炭系エネルギー比率向上を指向した高燃料比操業、鋼管、冷延材などエネルギー消費の大きい高付加価値材の増加による。すなわち、エネルギー原単位低下と背反するコスト指向的な操業戦略を各社がとつた理由による。

(2) 高炉系一貫製鉄所のエネルギー動向

エネルギー消費動向は、高炉の燃料比を中心に時期的に三つの大きな流れに分けて考えることができる。

第一に、一貫製鉄所においては、全体の 3/4 以上が製鉄分野で消費され、石炭が主体である。

石油危機以前には、原料炭が重油の 2~2.5 倍 (カロリー当たり) のコストであつたから、コスト引下げは常に高炉におけるコークス比の引下げであつた。このため原料処理、高温送風などを徹底させ低燃料比を達成するとともに重油の大量吹き込みを行つて新鋭炉では 400 kg/t-溶銑 以下のコークス比を実現させた。この結果、大幅な燃料としての副生ガス不足から、圧延用加熱炉、ボイラーを中心に重油の大量導入が行われた。また環境対策のため高硫黄重油から低硫黄重油へ、さらに LPG、LNG へのクリーン化転換が行われた。

第二は、第一次石油危機以後の石炭、石油の等価時代である。限界に近づきつつある高炉燃料比をさらに低減しつつ、各種の省エネルギーを織り込みながら全体の総合エネルギー原単位を下げることにくふうがはらわれた。重油は、省エネルギーの結果、節約されながらもまだ使用されていた。

第三は、第二次石油危機以後の対応であり、石炭の 2

倍以上に高価格化した石油を排除する徹底したオイルレス指向である。高炉の重油吹き込みの中止、圧延部門での重油を代替する副生ガス増加のための高炉での意識的なコークス比増加などの対策がとられた。

また、転炉ガスの回収強化も大きく寄与した。この結果一貫製鉄所の石炭依存率は旧来の 70% から 90% 以上に強化されることになった。

(3) 電炉系製鉄所のエネルギー動向

電炉メーカーの総数は約 65 社、約 600 基の電気炉がある。使用エネルギーは (1982 年)、 57×10^{12} kcal、エネルギー原単位 215 万 kcal/t-粗鋼 である。

高炉における鉄鉱石還元のための石炭のように、電炉ではスクラップ溶解の電力が製鉄所エネルギーの過半を占める。全体エネルギーに占める電力の割合は、2次加工の少ない普通鋼メーカーでは約 80%、特殊鋼メーカーでは 65~70% である。残りは石油系燃料である。

電炉メーカーにおけるエネルギー対策の推移は、大略次の 3 段階に経過を区分することができる。

第一に、第一次石油危機後の約 5 年間で、各炉の燃焼調節やヒートパターンの適正化などの操業改善を中心とした時期である。

第二は、第二次石油危機を契機とした加熱炉へのレキュベレーター、電気炉へのスクラップ予熱装置などの省エネルギー設備の導入である。

第三は、石油高価格が長期化するに及んで、長期的展望からの既存老朽設備のリプレースによる生産設備の更新近代化、つまり大型超高出力 (UHP) 電気炉、最新式加熱炉、連続鋳造設備などへの投資が進んだ。

エネルギー種別的には、電炉および圧延用電力、加熱炉用等燃料としての石油類というパターンのエネルギー構造からはのがれられないので、もつばら、省エネルギーは、各種の原単位低下つまり電気炉用電力の 10~20% 削減、加熱炉用燃料の 40~60% の削減などの努力として進められた。

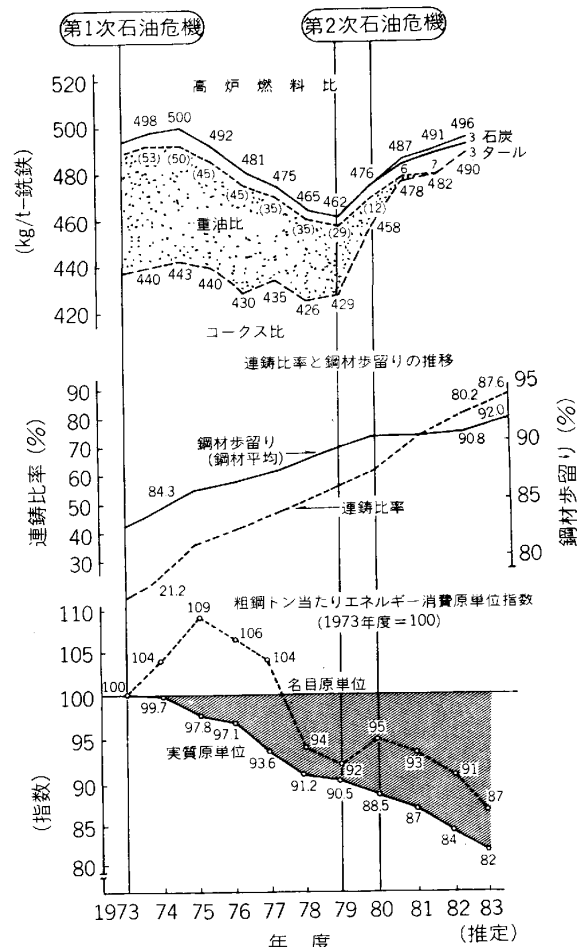
購入電力と石油系燃料という高価格エネルギーに依存しながらも、電炉メーカーがなお粗鋼生産シェアを伸ばしえたのは上記省エネルギーを含む厳しい合理化努力とスクラップ価格の比較的低位安定によるものと考えられる。

1.1.3 省エネルギー

(1) 省エネルギー量

石油危機以後の 10 年間の鉄鋼業における省エネルギー率は、1973 年をベースに名目 9%、生産構造補正では実質 16% (1983 年は 18%) であつた。

この省エネルギー量は、日本全体のエネルギー使用量



実線は名目原単位 (点線) を 73 年度の生産条件、例えば鉄鋼比、鋼材歩留り等で補正した実質原単位。
 図 1.1.1 省エネルギー、燃料比、連続比率の推移 (日本鉄鋼連盟: 1983 年の内外鉄鋼業 (1984.1))

の約 2% に相当するものであり、その効果は大きい。名目上 9% の省エネルギーの過半は、総合エネルギー原単位が約 320 から 215 万 kcal/t-粗鋼 に減少し、かつ生産シェアが 17.8 から 27.5% に伸びた電炉系の寄与による。一方、一貫高炉系総合エネルギー原単位は、約 590 万 kcal/t-粗鋼 で、この 10 年間多少の変動があるものの大差なく名目上の寄与度は小さい。それは、大幅な省エネルギー効果がコスト指向による生産構造変化に起因するエネルギー増に相殺されたためである。

一貫製鉄所における総合エネルギー原単位を決める構造的要素は、高炉燃料比、溶銑配合比、冷延比率、そして生産負荷である。この 10 年間に、高炉燃料比は第一次石油危機時代に約 500 から 460 に下がり、第二次石油危機以後にはオイルレスを目指して 500 kg/t-溶銑 へ回帰した。次に、溶銑配合比は、減産によつて高炉能力が転炉に追いついたこと、また溶銑予備処理による熱不足対策として 84 から 94% と限界まで引上げられた。この溶銑配合比増 10% による増分 50 万に、減産によ

る固定増分 20 万、冷延材など製品の高級化による増分 20 万など総計約 90 万 kcal/t-粗鋼 が増加した。

一方、転炉ガス回収強化 25 から 94 Nm³/t-粗鋼 による 14 万、連铸比率向上 21 から 80% による約 15 万、加熱炉燃料原単位低減、約 25 万、排エネルギー回収 (炉頂圧回収タービン (TRT)、コークス乾式消火装置 (CDQ) など) 10~25 万、その他省エネルギー 10~25 万など総計約 90 万 kcal/t-粗鋼 の省エネルギーが達成された。省エネルギー効果が名目と実質に区分されるのは、高炉系のこの 15~20% の隠れた省エネルギーの加算の有無によるものである。

(2) 省エネルギーの手段

省エネルギーの手段は多岐多様で、省エネルギー技術は大小 150 余種類を越えるが、大きく三つに区分することができる。

第一は、操業改善である。燃焼制御や加熱パターンなどきめ細かい日常の操業くふうの積重ねである。

第二は、省エネルギーのための設備対策である。これには、エネルギー効率の改善と排熱回収とがある。前者には、副生ガスの最適カロリー配分や可変電圧周波数制御などが、後者には、回収熱エネルギーを自己プロセスに戻しインプットを低減する熱風炉の排ガス熱交換器や加熱炉のレキュペレーターがあり、ユーティリティを回収するものとしては TRT, CDQ がある。

第三には、プロセスや設備の近代化にともなつて製品の高級化や歩留り向上、省力化などとともに大規模な省エネルギーが達成されるものである。これには、連続製造、連続焼鈍、直接圧延などの工程間の熱ポテンシャルの上下変化を一貫連続化することによつて、鋼材の顕熱を合理的に扱おうとするものや、上底吹転炉、UHP 電炉、高圧高炉など本体プロセスの合理化にともなつて省エネルギーが達成できるものがある。鉄鋼業における投資は、年度によつて相当な変動があるが、約 1 兆円内

外であり、この 10 年間は、その約 20% が省エネルギー投資であつた。

しかし省エネルギー投資の効果は、初期の 40~50 から、最近の約 10 Tcal/億円・年に減少している。つまり、それだけ効果的な投資案件が少なくなつて、より困難な課題への挑戦にかけるところが大きくなつてきた。

さて、この 10 年間の省エネルギーの技術的動向を振り返ると、初期の比較的大きな投資を伴わない操業技術の改善時代から、省エネルギー設備投資依存型に移行し、今後は、プロセスそのものより強くかわる設備の近代化に依存するケースが増加し、かつ昼夜間問題などよりきめ細かい対策がいつそう必要となる。

(3) 各工程の主要な省エネルギー対策

一貫製鉄所における製造工程は、冶金反応を主とする製鉄、製鋼の製錬工程と、塑性加工、熱処理を行う加工工程に二分できるが、石炭を主体 (現在は全体の 90%) とする全エネルギーの 3/4 は精錬工程とりわけコークス、焼結、高炉の製鉄部門で消費される。

最終利用形態から見ると、反応熱 35、圧延 20 など合わせて有効熱として 60%、排エネルギーが高温排熱 20 (スラグ顕熱、高温排ガスなど)、および冷却水や炉体放熱など低温排熱 20 合わせて 40% である。

有効エネルギー 60% に相当する部分での低減の可能性は小さいので、排エネルギー 40% のうち、特に高温排エネルギー 20%、100~120 万 kcal/t-粗鋼 の回収に今後の省エネルギー技術の成否がかかっていると考えられる。

(a) 製鉄部門

コークス炉は石炭をエネルギーのふりいでコークス、ガス、タールに分離する。乾留所要熱量 65 万 kcal/t-石炭の最大出熱費目 (40%) である約 1000°C の赤熱コークスからは、CDQ によつて約 0.5 t-蒸気/t-コークスの高圧蒸気回収が可能である。次に大きい約 700°C の

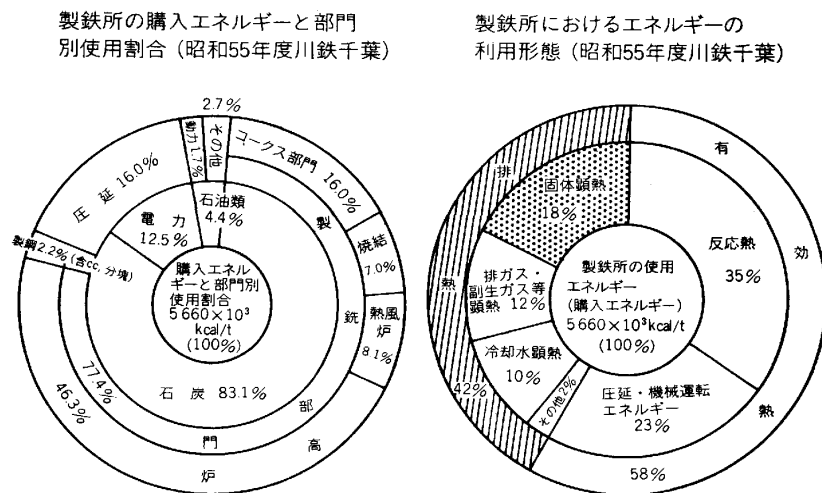


図 1.1.2 製鉄所におけるエネルギー利用形態 (編者: 鉄鋼界, 34 (1984) 2, p. 21)

ークス炉ガスの顕熱を回収し石炭の調湿 (水分 10 から 5% へ) の熱源に用いるという試みも工業化されている。

焼結炉では、品質の改善と合わせて、ークス配合量 40 kg, 点火用燃料 1 万 kcal/t-焼結鉄 以下の原単位低下と、成品顕熱回収、主排風顕熱回収が行われ、また主排風機の回転数制御も導入され省電力に寄与した。

高炉では燃料比、ークス比という操業パラメータが、そのまま副生ガス発生量を決め製鉄所の石炭依存度を定める。排熱回収としては、熱風炉の排熱回収、高炉頂圧発電 TRT の普及度が高い。TRT では、15~40 kWh/t-溶銑の電力回収ができる。1982 年の設置数は、TRT 32 基で、発電総量は 20 億 kWh となり一貫製鉄所電力の 6% (1983 年には 8%) を供給した。

(b) 製鋼部門

この部門の主要な対策は、転炉ガス (LDG) の回収強化と連続铸造 (CC) 比率向上である。LDG については溶銑配合 94% に相当する約 100 Nm³/t-粗鋼まで回収されており炭材吹き込みなどで 150 Nm³ に達した例もある。連铸比率については、1973 年の 21.2 から 80% にも達し 90% になるのも時間の問題である。連铸化による省エネルギー効果は、対分塊比較から 10~15 万 kcal/t になり歩留り向上を加味すると連铸比率 1% 当たり約 3 万 kcal/t となる。

電気炉では、省電力対策につぎる。UHP 化による効率化、スクラップ予熱、酸素吹き込み、自動制御による最適電力投入などによつて電力原単位は 440kWh/t-粗鋼まで下がり、15~20% の省電力を達成した。最良成績炉では 350 kWh/t が期待できる。

(c) 圧延部門

圧延部門は、最終製品の形態によつて多様なエネルギー消費構造となるが、製鉄所系全体に占める割合は 15~20% で、このうち 50~60% が加熱炉用燃料、30~40% が圧延用電力、その他蒸気 4~5% である。

この中でもつとも効果的な省エネルギー手段は、加熱炉の省エネルギーと工程の直結である。

加熱炉の熱量原単位は、従来約 50 万 kcal/t であったが今や約 25 万 kcal/t まで半減した。これには排ガス損失を押さえるべく大型高効率レキュペレーターの設置、冷却損失低減のためのスキッドなどの断熱強化、低空気比操業、最適ヒートパターン操業など数多くのくふうの相乗効果が寄与した。

工程の直結、省略、連絡化については、連铸材の直接圧延 (CC-DR)、熱鋼片の加熱炉装入 (HCR, HDR)、厚板のオンライン直接焼入れ、連続焼鈍などが代表的な

省エネルギー技術である。

(d) 動力部門

ここでは、投入石炭エネルギーの約半分の副生ガスを電力、蒸気に、また電力を圧縮空気、酸素などに転換、供給する。これらの動力設備で転換されるエネルギーは、一貫製鉄所全エネルギーの 30% にも相当する。このためこの動力設備でのエネルギー転換効率の向上が全体に及ぼす効果がきわめて大きい。とりわけ発電設備の影響が大きい。

また、副生ガスのカロリー水準と使用側加熱効率、および時間変動を考えた最適なガス-ミックス配給システムも重要である。

また省エネルギーで回収した蒸気群を、圧力、量を考慮しつつどのようにまとめ再配分してゆくかも問題の一つである。

1.1.4 今後の課題

以上のように、この 10 年間の日本鉄鋼業は、エネルギー問題を軸として展開し変動してきたといえる。今後も、この状況は続くものと予想されるが、当面する課題はより複雑で困難なものとなると思われる。最後に、この点について若干述べたい。

(1) エネルギーコストの低減

鉄鋼製造コストの中で、エネルギーは最大のコスト費目である。一貫製鉄所にあつては今や約 90% が原料炭である。したがつて、この原料炭の質、価格両面での安定確保が重要である。石炭輸出国との友好関係の維持、原料ソースの多様化、輸送コストの低減、一般炭使用技術の開発 (高炉への微粉炭吹き込み (PCI)、成型ークス、人造粘結炭など) に努力が払われている。

電炉製鉄所にあつては、最大の所要エネルギーは電力であるから、原子力、石炭、LNG などエネルギー源の多様化による安価で安定した電力供給が望まれる。操業としては、いつそう電力原単位低下が促進される。

鉄鉱石の還元エネルギーは 175 万 kcal/t-Fe であるから、粗鋼までのエネルギー原単位が高炉系がークス、焼結を含めて約 400 万、電炉系が約 150 万 kcal/t-粗鋼と大差がある。一方、日本のスクラップ蓄積量が 7.5 億 t に達しスクラップ輸入比率も 10% 以下となつており、今後スクラップの量、価格面の有利な条件の展開が期待できる。この意味で、スクラップが安価なエネルギー (同時に省エネルギー手段) かつ鉄源として、再び転炉でも一部で増量する可能性も考えられる。

(2) 省エネルギーのいつその進展

省エネルギーの速効的な技術テーマは一巡して、その意味での省エネルギー限界説もある。また現在、一貫製

鉄所では高燃料比、高溶銑配合とエネルギーミニマムとはおよそ 100 万 kcal/t-粗鋼 も離れたコストミニマム指向の路線をとっている。

しかし、今後さらに、操業技術の極限への挑戦、工程直結技術の拡大、いつそうの廃熱回収技術と回収エネルギーの利用方法のくふう、新製鉄法の研究などを推進してゆく必要がある。

一貫製鉄所において、現在、燃料比約 500 kg/t、溶銑配合 94% で約 590 万 kcal/t-粗鋼 のエネルギー原単位は、近い将来 500 万、長期的には 450 万 kcal/t と、技術的困難さを乗り越えて明るい予測をもちたい。(省エネルギーの進展 55=廃熱回収 35+工程近代化 15+操業改善 5, およびこの結果としての燃料比減 20 kg 減による 10, 溶銑配合 5% 減による 25, 合計省エネルギー量 90 万 kcal/t. したがって 590-90=500 万 kcal/t. 長期的には、燃料比さらに 40 kg 減で 20, 溶銑配合 10% 減で 50, いつそうの省エネルギー 70, 合計 140. 590-140=450 万 kcal/t.)

電炉系製鉄所については、電気炉の省電力技術を中心に総合エネルギー原単位 200 万 kcal/t-粗鋼 (普通鋼メーカー) を達成するところが増加しよう。

(3) エネルギー需給構造の弾力性向上

一貫製鉄所では、オイルレス指向で石炭比率 90% 以上となっており、石炭からの副生ガス (BFG, COG, LDG) は製鉄所の圧延エネルギーはもとより共同火力などへの外販など多岐に配分されている。全体のマクロバランスは高炉の燃料比、コークス比、溶銑配合比で骨格が形成される。ガスカロリーの最適配分や電力、燃料の昼夜間バランスなどの需給調整システムの月、日、時間それぞれの細かさで生産工程、外部電力会社からの受電とよく調和させてゆく体系が重要である。

また、動力設備は製鉄所全使用エネルギーの 30% も転換させているので転換効率と需給バランスが重要である。排熱回収形態 (予熱空気、熱媒、蒸気、電力など) とその利用方法についてもエネルギー需給面から十分考える必要がある。

エネルギーの需給構造を、常に最適状態に保つ弾力的なエネルギー運用システムがいつそうくふうされる。

(4) 製品の多様化、高級化への対応

全体としては船舶、建設向きの厚中板、一般熱間圧延鋼材が減少して、自動車、電気、エネルギー産業用の高級化した製品が多様なニーズによつて伸びている。自動車用高張力鋼、ラミネート鋼板、高張力スチールコード、複合亜鉛めつき鋼板、エネルギー産業用の低温高張力鋼、耐サワー鋼管、プラットフォーム用鋼管、耐高温用鋼、原子力用ステンレス、電機用低鉄損電磁鋼、アモルファ

ス金属、その他溶接用新素材、重防食鋼矢板などである。

今後、高級化によるエネルギー消費の増大や多様化による多品種小ロット化による非効率化に耐え、歩留向上、省エネルギーを新商品対応の品質確保と両立させ、同時にコスト引下げを図つてゆくためには、プロセスの原点に戻つて考える必要がある。

また、鉄、非鉄、セラミックス、炭素繊維、プラスチックなどの材料としての特性が広がつてゆくなかで、新素材時代に適合する鉄をとりまく複合化などにもいつそうの研究が必要となつている。

(5) 新エネルギー、創エネルギー技術の開発

石炭と石油の価格格差が、これ以上進展する第三次石油危機のような事態が発生すると、副生ガスが単なる製鉄所内燃料のみならず積極的な外販エネルギーもしくは CI 化学原料となる可能性がある。

その意味で、一貫製鉄所はコークス炉、高炉、転炉という巨大なガス発生器をもつていることになり (投入石炭の約 45% が副生ガスになる)、ガスの分離、精製技術開発がすでに進められている。

一方、石炭液化としては、新エネルギー総合開発機構 (NEDO) が従来のパイロット研究の 3 法を統合し、250 t/日の大型パイロット (NEDOL プロセス) を計画している。褐炭液化も日豪間プロジェクトとして 50 t/日のパイロットが建設中である。

石炭ガス化も、製鉄の経験を活かした鉄浴ガス化の研究が進められている。また、1982 年に鉄鋼業界は、非鉄業界とともに製錬新基盤技術研究組合を設立し、通産省の共通基盤型石油代替エネルギー開発技術開発費補助金制度のもとで、溶融還元製錬技術、溶融スラグ顕熱回収技術の二つのテーマが進められている。

エネルギー多消費産業である鉄鋼業は、エネルギー生産産業的性格をもつているといえ、拡大の可能性はある。

1.2 計算機利用の拡大

1.2.1 鉄鋼業における計算機利用拡大の背景

最近 10 年間の鉄鋼業における経営体質の変化の特色は、なんといつても量より質重視への変化であり、この変化を支えた最大の担い手は、鉄鋼界のなかでの広汎な計算機の利用であるといえる。

日本の鉄鋼業において非常によく計算機が利用され、かつ高度化している背景には、以下のような要因があると考えられる。

① 国際競争力を保持するため、品質、コスト、納期などで絶対的に優位に立つ必要があること