



RIETI Discussion Paper Series 06-J-059

日本の鉄鋼業の省エネルギー対策の費用対効果分析

戒能 一成
経済産業研究所



Research Institute of Economy, Trade & Industry, IAA

独立行政法人経済産業研究所

<http://www.rieti.go.jp/jp/>

日本の鉄鋼業の省エネルギー対策の費用対効果分析

2006年11月

戒能 一成 (C)*

要 旨

日本の鉄鋼業は、日本のエネルギー消費の10%を占めており、その省エネルギー対策の成否は地球環境問題をはじめとするエネルギー・環境問題を論ずる上で非常に重要である。

本稿においては鉄鋼業の環境自主行動計画による省エネルギー対策の進捗状況を公的統計から客観的・定量的に評価し、さらにその費用対効果の推計を試みた。

その結果、鉄鋼業の環境自主行動計画による省エネルギー対策により、1998年度から粗鋼1t当総合エネルギー消費原単位は急激に改善し、2005年度において1990年度を基準に約7%、1998年度を基準に約13%の改善が達成されていることが客観的資料から確認された。

当該対策に伴う費用については、鉄鋼業の設備投資など追加的資本費用とエネルギー操業費用の低減分から少なくとも約1,753億円程度、近年のエネルギー価格高騰分を考慮しても約684億円程度であったと推計された。

これにより、鉄鋼業の環境自主行動計画による省エネルギー対策の費用対効果を推計すると約¥124,000/t-CO₂、近年のエネルギー価格高騰を考慮しても約¥64,000/t-CO₂となり、政府の税制・排出権割当制などの措置の未然防止という意味はともかく、内外のモデルによる限界削減費用試算結果や現実のEU排出権価格などと比べて著しく費用対効果の低い「割高で負担の厳しい」対策であると評価された。

これらの結果から、税制・排出権割当制などと比較して環境自主行動計画は実効性がないなどとする議論には根拠がないこと、鉄鋼業が環境自主行動計画によりこのような厳しい負担を厭わず着実な成果を挙げていることは評価しなければならないが、費用対効果から見た場合には今後の鉄鋼業の省エネルギー対策のあり方について再考の余地があることが示された。

キーワード: 鉄鋼業、省エネルギー、費用対効果

JEL Classification: L61, Q30, D24

* 本資料中の分析・試算結果等は筆者個人の見解を示すものであって、筆者が現在所属する独立行政法人経済産業研究所、IPCC-NGGIP、国立大学法人大阪大学などの各組織の見解を示すものではないことに注意ありたい。
本資料の作成にあたり有益な助言を頂いた慶應義塾大学産業研究所野村浩二助教授に深く感謝するものである。

- 目 次 -

要 旨
目 次
本 文

1. 日本の鉄鋼業のエネルギー消費と費用対効果分析の考え方
 - 1-1. 鉄鋼業のエネルギー消費と環境自主行動計画
 - 1-2. 鉄鋼業のエネルギー消費概観
 - 1-3. 鉄鋼業の省エネルギー対策の費用対効果分析の考え方

2. 日本の鉄鋼業のエネルギー消費原単位の分析
 - 2-1. 鉄鋼工程のエネルギー消費と原単位
 - 2-2. エネルギー転換工程のエネルギー自家消費と原単位
 - 2-3. 鉄鋼業のエネルギー消費原単位の推計結果

3. 日本の鉄鋼業の追加的省エネルギー対策費用の分析
 - 3-1. 鉄鋼業の資本費用の分析
 - 3-2. 鉄鋼業のエネルギー操業費用の分析
 - 3-3. 鉄鋼業の追加的省エネルギー対策費用の推計結果

4. 考 察
 - 4-1. 鉄鋼業の省エネルギー対策の費用対効果
 - 4-2. 鉄鋼業の省エネルギー対策の今後の見通し

別掲図表
補 論

電力・蒸気のエネルギー量の評価について

参考文献・数値出典

2006年 11月
戒能一成 (C)

1. 日本の鉄鋼業のエネルギー消費と費用対効果分析の考え方

1-1. 鉄鋼業のエネルギー消費と環境自主行動計画

1-1-1. 日本の鉄鋼業の概要

1) 鉄鋼業の経営規模と産業構造

日本の鉄鋼業は、2004年度実績で売上高 11.8 兆円、常時従業者数 16.4 万人^{*1}を擁する代表的な製造業である。

鉄鋼業の産業構造は、高炉・転炉設備を保有し鉄鉱石から鉄鋼製品を一貫製造する高炉 5 社と、電気炉設備を保有し主に屑鉄をリサイクルして鉄鋼製品を製造する電炉会社約 40 社、さらに鉄鋼製品を二次加工する鋼材会社約 350 社から構成されている。

高炉会社が全社東証一部上場の大企業であるのに対して、電炉会社・鋼材会社はほぼ全部が中堅・中小企業となっている。

参考 図 1-1-1-1. 鉄鋼業売上高・鉱工業生産指数 推移

2) 鉄鋼業の生産と鋼材需給

日本の鉄鋼業の粗鋼生産高は 1970 年代からほぼ 1.1 億 t 前後^{*2}で推移しており、そのうち平均して約 30 %相当の鋼材を輸出している。

鋼材の輸出入については一貫して輸出超過であるが、その時系列での推移は国内需要と密接な関係があり、国内需要に対し輸出は負の相関、輸入は正の相関がある。

鋼材生産の内訳を見た場合、1970 年代から建設用鋼材などの普通鋼が頭打ち傾向にあるのに対し、ステンレスなどの特殊鋼の生産が徐々に増加して推移しており、2005 年実績で約 20 %が特殊鋼となっている。

参考 図 1-1-1-2. 粗鋼生産・輸出入-国内需要構成 長期推移

図 1-1-1-3. 鋼材生産・鋼種構成 長期推移

1-1-2. 鉄鋼業のエネルギー消費とエネルギー起源二酸化炭素排出の位置づけ

1) 2004 年度実績における位置づけ

日本の鉄鋼業のエネルギー消費は、2004 年度実績において約 2,380PJ^{*3}に達し一次エネルギー総供給の約 10 %を占めており、単一の産業としては電気事業に次ぐ国内有数のエネルギー多消費産業である。

一方、エネルギー起源二酸化炭素炭素排出量は、2004 年度実績において約 4,900 万 t Cに達し、国内総排出量の約 15 %を占めている。

エネルギー消費に比べエネルギー起源二酸化炭素排出量の比率が高くなっているのは、鉄鋼業が鉄を還元するエネルギー源として炭素排出係数の大きな原料炭を大量に使用していることに起因している。

2) 1990 年度からの時系列での位置づけの変化

1990 年度から比較した場合、2004 年度の鉄鋼業のエネルギー消費・エネルギー起源二酸化炭素排出量の位置づけは若干低下しているが、その理由は鉄鋼業のエネルギー消費・エネルギー起源二酸化炭素排出がほぼ横這いで推移したのに対し、民生・運輸部門を中心に日本全体のエネルギー消費・エネルギー起源 CO₂ 排出量が鉄鋼業のエネルギー消費などに対して相対的に大きく増加したためである。

*1 経済産業省企業活動基本調査報告(平成 16 年度値速報)による

*2 経済産業省鉄鋼統計年報、日本鉄鋼連盟統計資料による

*3 経済産業省資源エネルギー庁総合エネルギー統計(2004 年度版)による、エネルギー起源二酸化炭素排出量も同じ

[表 1-1-2-1. 鉄鋼業のエネルギー消費・エネルギー起源二酸化炭素排出の位置づけ]

| | エネルギー消費(PJ) | | | エネルギー起源二酸化炭素(MtC) | | |
|-----------|-------------|----------|-------|-------------------|----------|-------|
| | 国内総供給(a) | 鉄鋼業消費(b) | b/a | 国内総排出(c) | 鉄鋼業排出(d) | d/c |
| 1990 年度 | 20,183 | 2,446 | 0.121 | 288.8 | 49.3 | 0.171 |
| 2004 年度 | 23,673 | 2,379 | 0.101 | 326.3 | 49.2 | 0.151 |
| 2004/1990 | 1.173 | 0.972 | | 1.130 | 0.997 | |

(数値出典: 総合エネルギー統計)

1-1-3. 鉄鋼業の環境自主行動計画

日本の鉄鋼業は、1-1-2. で述べたようなエネルギー環境問題上の位置づけを踏まえ、気候変動枠組条約京都議定書が成立した 1998 年に、経済団体連合会の環境自主行動計画の一環として、日本鉄鋼連盟の会員 68 社で以下のような目標を定め、自主的に対策を行っていく旨を公表している。

具体的に当該環境自主行動計画においては、粗鋼生産 1 億t 水準を前提として、2010 年度の目標年度に 1990 年度のエネルギー消費量の実績値と比較して 10 %の省エネルギー量を達成するなどの数値目標を設定している。

当該環境自主行動計画は、日本鉄鋼連盟内部での P D C A サイクルによる内部評価検証の他、毎年度日本経済団体連合会及び経済産業省産業構造審議会・総合資源エネルギー調査会フォローアップ合同小委員会傘下の鉄鋼WGにおけるレビューを受けている。

[表 1-1-3-1. 鉄鋼業の環境自主行動計画の概要]

構成企業 社団法人日本鉄鋼連盟 68 社 (2004 年度で鉄鋼業のエネルギー消費の約 97.4 %相当)

数値目標 基準年度を 1990 年度とし、目標年度 2010 年度において以下の内容を達成する。

1) 鉄鋼生産における省エネルギー

粗鋼生産 1 億トンレベルを前提として、エネルギー消費量を 10 %削減。

2) 廃プラスチック活用による追加的取組み

集荷システムの整備を前提として、高炉等における廃プラスチックの活用により、1) に追加してエネルギー消費量を 1.5 %削減。

3) 製品・副産物による社会での省エネルギー貢献・国際技術協力による貢献など(内容略)

算定基準

1) 統計基礎 石油等消費動態統計を基礎とし、国の標準発熱量・炭素排出係数を使用。

2) 計量範囲 数値目標の 1), 2) については、鉄鋼業の鉄鋼プロセス、附属設備(自家発電、コークス炉、オンサイト関連会社)とし、当該範囲と外部とのエネルギーの投入・払出しを考慮する。共同火力発電、IPPは対象に含まない。

評価検証 業界内、日本経団連、産業構造審議会・総合資源エネルギー調査会などで毎年度フォローアップ。

1-1-4. 鉄鋼業に対する省エネルギー法の工場関連規制制度と環境自主行動計画

日本の鉄鋼業の工場は、1 工場当たりのエネルギー消費が非常に大きいため、ほぼ全部が省エネルギー法が制定された 1980 年代当時から同法上の第 1 種エネルギー管理指定工場として規制対象となっている。

同法により、第 1 種エネルギー管理指定工場は経済産業大臣が定めた工場エネルギー判断基準の適用を受け、目標を定めてエネルギー効率の向上を進めるための中長期計画の策定や、エネルギー消費実績値の定期報告の提出などの義務が課せられている。

エネルギー消費実績値が工場エネルギー判断基準と比較して著しく不十分である場合、経済産業大臣は当該工場に対し改善のための「合理化計画」の策定を指示し、さらに指示に従わない場合企業名を公表して指示に従うべき旨の命令を行うこととされている。

1-1-3. で述べた鉄鋼業の環境自主行動計画と、省エネルギー法におけるこれらの規制制度は同じ省エネルギーを目的とする重複した枠組みとなっているが、環境自主行動計画は省エネルギー法における工場エネルギー判断基準を遵守することを当然の前提としており、従って当然に省エネルギー法の判断基準を上回る目標が設定されている。

このため、本稿では分析の便宜上 1998 年度以降の鉄鋼業の省エネルギーの成果は環境自主行動計画の成果であるとする^{*4} こととする。

参考 表 1-1-4-1. 省エネルギー法の構造と工場関連措置(抄)

1-1-5. 本稿の目的

1-1-3. で述べた鉄鋼業の環境自主行動計画については、日本鉄鋼連盟、日本経団連、産業構造審議会・総合資源エネルギー調査会などでのフォローアップが行われており、その内容の妥当性と着実な進捗が確認されているところである。

しかし、いずれも日本鉄鋼連盟からの報告に基づいた検証であり、独立な算定基準を設けて客観的に検証した訳ではない。

また、鉄鋼業に限らず環境自主行動計画一般について、環境省中央環境審議会地球環境部会などで再三議論されている点として、履行の担保措置がなく実効性が疑問であること、経済合理的に可能で容易なことだけを実施しているに過ぎないではないかなどの論点が挙げられる。このような論点が再三議論されるのは、自主行動計画が実際にどの程度の「経済的負担」を伴う内容を履行しているのかを実証的に分析し、経済的な側面から見た環境自主行動計画の費用対効果を実証的に評価する手法が未確立であるためであり、議論を整理していくためには実証的な研究の蓄積が必要であると考えられる。

このような状況を踏まえ、本稿においては、以下の 2 つの内容を目的として、鉄鋼業の環境自主行動計画についての客観的・定量的な評価を試みるものである。

- a. 総合エネルギー統計などの公的統計を用い、鉄鋼業の省エネルギー対策の進捗状況とその見通しを日本鉄鋼連盟の試算とは独立に客観的・定量的に評価する。
- b. さらに、内閣府経済社会研究所の資本ストック統計などの公的統計を用いて 1) で評価した省エネルギー対策に掛かった経費や得られた便益を推計し、鉄鋼業の省エネルギー対策の費用対効果を推計する。

*4 本稿では 1998 年度以降の鉄鋼業の省エネルギーの成果を環境自主行動計画の成果としているが、省エネルギーの判断基準を示し工場での実践を支援推進するための基盤的枠組みである省エネルギー法の関連規定の意義や重要性を疑うものではない。

鉄鋼業の環境自主行動計画は、技術的に見た場合、省エネルギー法の工場エネルギー判断基準を確実に遵守するための日々の取組みの中から生まれてきたものであり、また省エネルギー法の工場エネルギー判断基準は環境自主行動計画の成果の進展に応じて向上が図られていくものであるため、両者の効果は本来識別不可能なものである。

1-2. 鉄鋼業のエネルギー消費概観

1-2-1. 鉄鋼業の代表的生産工程

鉄鋼業の生産工程は、大きく分けて以下の9つの工程に区分される。

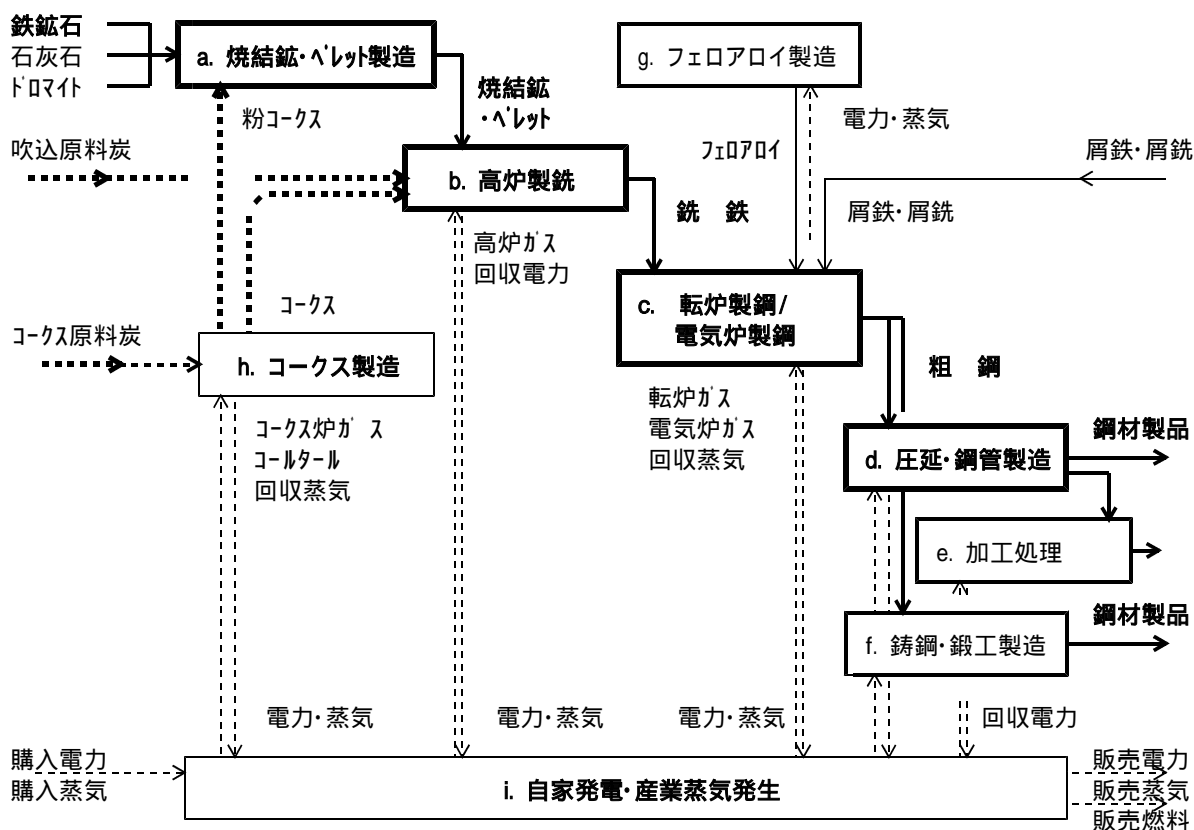
典型的な一貫製鉄所における、各生産工程の間の鉄とエネルギーの流れを図1-2-1-1に示す。

高炉を持つ製鉄所であってもコークス製造やフェロアロイ製造の工程がなく外部からの購入に依存している場合があり、また最近では鉄鋼業の経営再編の影響により高炉より上流側の工程を他の製鉄所で行い転炉以下の工程のみを持つ製鉄所も現れている。

さらに、電炉会社の製鉄所では、通常は電気炉製鋼と圧延鋼管製造のみが設けられており生産工程は非常に簡潔である反面、半製品などの物流が非常に複雑になっている。

製鉄所の生産工程構成は製鉄所毎に変化に富んでいることから、「鉄鋼業のエネルギー消費」を見る際に、総量を考える場合には各製鉄所のエネルギー消費を合成し図1-2-1-1に示すような一貫製鉄所の生産工程に換算して比較する必要がある。一方、総量の変化要因を考える場合には各生産工程別のエネルギー消費動向を観察し分析する必要があることが理解される。

[図1-2-1-1. 鉄鋼業の主要生産工程概念図]



(図注 実線は鉄の流れ、破線はエネルギーの流れを示す。表示の都合上エネルギーの流れの一部省略している。実際の製鉄所では、さらに各工程に付随して生産される関連製品の製造工程が併設されている。)

1-2-2. 生産工程別・エネルギー源別エネルギー消費量推移

1) 生産工程別エネルギー消費

総合エネルギー統計を用いて1990年度以降の鉄鋼業の生産工程別のエネルギー消

費量⁵を観察した場合、エネルギー消費の大部分は高炉製鉄と圧延鋼管の2つの工程が占めていることが理解される。

各工程の詳細な技術的説明は第2章で行うが、高炉製鉄工程は鉄鉱石中の酸化鉄をコークス等で還元し銑鉄を作る製鉄の主要工程であり、焼結鉱・ペレット工程やコークス製造工程はその前処理、転炉・電気炉製鋼工程は銑鉄を粗鋼に転換する後処理工程であるため、高炉製鉄工程のエネルギー消費が突出して大きくなっているものである。

粗鋼以降の工程については、現状において粗鋼の大部分は圧延鋼材や鋼管に加工されており、鋳鋼・鍛鋼品は非常に少ないため、加熱炉や焼鈍炉などでの処理が必要な圧延鋼管製造工程のエネルギー消費が相対的に大きくなっているものである。

2) エネルギー源別エネルギー消費

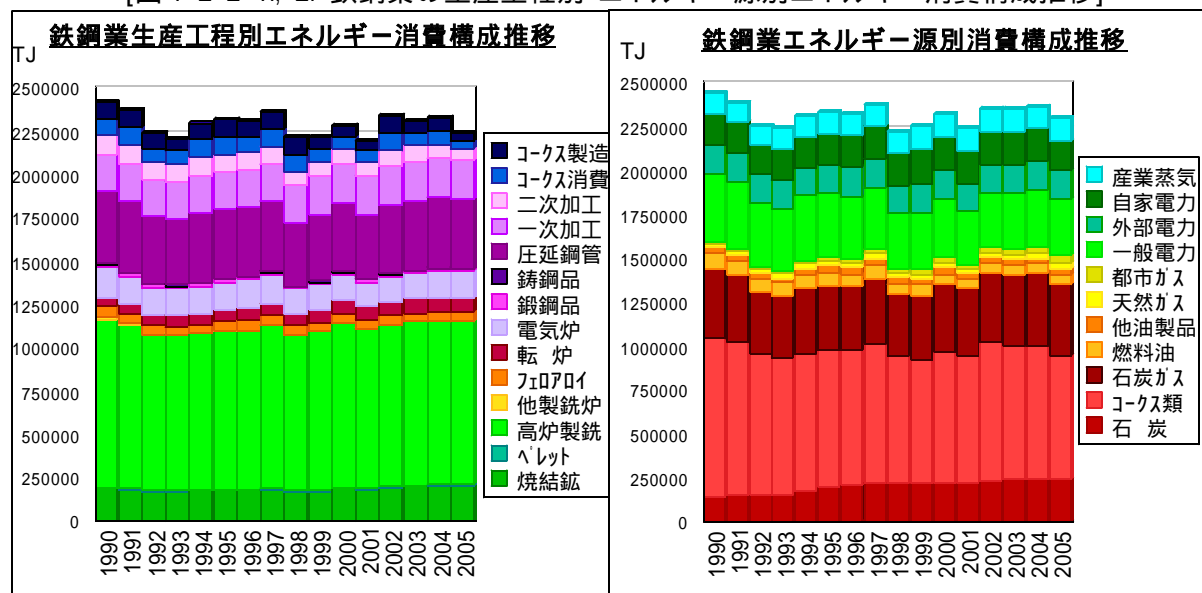
1990年度以降の鉄鋼業のエネルギー源別のエネルギー消費量を観察した場合、エネルギー消費の大部分は原料炭から製造されるコークス類と石炭ガスが占めており、次いで電力となっていることが理解される。

石炭・石炭製品については、1990年代中盤から、高炉製鉄工程の操業においては、高炉の炉頂から投入するコークスを減らし、高温空気と一緒に吹込用原料炭の微粉炭を吹込み操業効率を向上させる「PCI: Pulverized Coal Injection」という操業技術が導入されたことから、コークス類に替えて石炭のエネルギー消費が徐々に増加しつつある。

石油・天然ガス等については、量的にはいずれもわずかな比率を占めるに過ぎないが、石油製品の消費が減少し天然ガス・都市ガスの消費に代替される傾向が見られる。

電力・蒸気については、鉄鋼業においては電気炉工程・圧延鋼管工程などを中心に電力の需要が相対的に多く、蒸気の需要は比較的少ないことが理解される。

[図 1-2-2-1.,-2. 鉄鋼業の生産工程別・エネルギー源別エネルギー消費構成推移]



*5 本稿におけるエネルギー消費量は、総合エネルギー統計の考え方に従い、電力・蒸気は一次換算したエネルギー量を最終消費部門の間接消費量として計上する「間接法」を用いて算定している。従って、自家発電・産業蒸気発生に伴う損失分は最終的に電力・蒸気を消費した各工程に分配されている。

1-2-3. 粗鋼生産量・設備稼働率推移

1) 粗鋼生産量推移

鉄鋼統計を用いて1990年度以降の鉄鋼業の粗鋼生産量を観察した場合、1990年度の1.1億tから1998年度に0.9億t迄一旦低下し、その後2002年度から1.1億tを回復して推移している。

粗鋼生産の内訳を見た場合、製鋼時の炉種面では電気炉に対し転炉による粗鋼生産比率が上昇していること、鋼種面では特殊鋼⁶の生産、特に転炉による特殊鋼の生産が増加して推移していることが観察される。

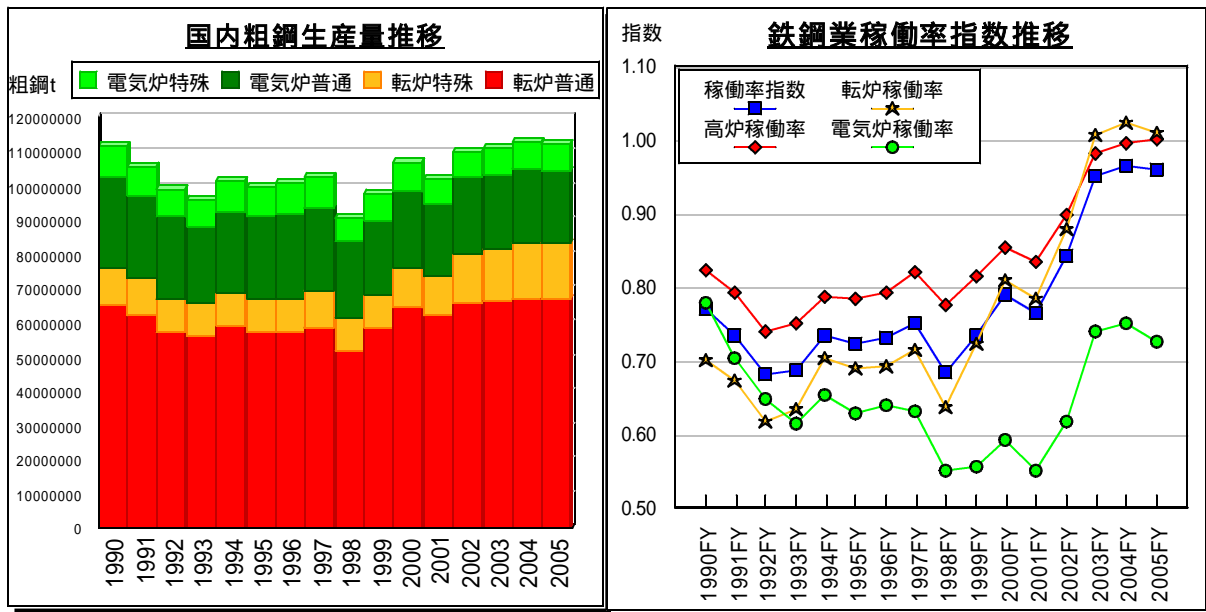
このような変化は、1990年度以降、国内での公共投資の削減や住宅着工件数の低下により普通形鋼・棒鋼など汎用的な建設用鋼材の需要が相対的に減少したこと、内需・外需ともに高性能な機械部品素材や油井用鋼管など高付加価値な特殊鋼への需要が年々増加していることなど鉄鋼業を巡る「鋼材需要の高付加価値化」に伴い生じたものである。

2) 設備稼働率推移

鉄鋼統計による設備容量推移を基礎に、高炉・転炉・電気炉の設備稼働率及びこれを合成した1990年度以降の鉄鋼業の設備稼働率指数⁷を観察した場合、1990年度から2000年度頃迄稼働率は80%程度で推移していたが、2000～2003年度に大規模な設備休止・統合による構造調整努力が進められた結果、現状ではほぼ100%に達している。

しかし、高炉・転炉では完全に100%の設備稼働率となっている一方で、電気炉については構造調整が進められているものの、原材料の屑鉄供給源の分散や鋼材需要の高付加価値化への対応に苦慮⁸しており、設備稼働率はなお1990年度を下回っている。

[図 1-2-3-1.,-2 国内粗鋼生産量推移・鉄鋼業稼働率指数推移]



*6 特殊鋼(合金鋼とも呼ばれる)については、成分・性質により鋼種毎に厳密な定義があるが一般的定義はない。概ねニッケル・クロムなどを5%以上含む又は炭素含有量が0.8%を超える鋼材であり、焼入・焼戻などの熱処理を行って使用される鋼といえよう。

*7 設備稼働率指数は、高炉・転炉・電気炉の工程の相互接続関係に従い、次式で算定される平均指数である。

$$[\text{設備稼働率指数}] = ([\text{高炉稼働率}] * ([\text{転炉・電気炉算術加重平均稼働率}]))^{0.5}$$

*8 電気炉については、その原材料の大部分がリサイクルされた屑鉄であるため、鉄鉱石から新たに製鋼する高炉・転炉に比べ原理的に品質管理が困難であり、高付加価値製品を作ることが非常に難しいという技術的特性がある。

1-3. 鉄鋼業の省エネルギー対策の費用対効果分析の考え方

1-3-1. 省エネルギー対策の内容と積上げ型評価の不可能性

1) 日本鉄鋼連盟によるエネルギー消費増減要因分析

日本鉄鋼連盟によれば、鉄鋼業のエネルギー消費量の実績値の変化については、以下の3つの要因により変化が生じ、1990年度と比較した現在のエネルギー消費量が実現しているとしている。

- a. 省エネルギー要因: 省エネルギー設備投資、操業改善など
- b. 増エネルギー要因: 製品の高付加価値化、環境対策・リサイクル対策による増加
- c. 条件差要因: 生産量の影響などの条件差

このうち、c. の生産量の影響などの条件差に関する要因は、数値処理により簡単に除去できるため、a. 省エネルギー要因と b. 増エネルギー要因について考える。

a. 省エネルギー要因については、コークス乾式消火設備(CDQ)や炉頂圧発電設備(TRT)などの設備投資や、圧延鋼管工程への熱鋼片の直送化などの操業改善について、個々の技術的対策の外形的效果を積み上げたものと考えられる。

b. 増エネルギー要因については、製品の高付加価値化による加工度の向上や、環境対策・リサイクル対策のため a. の要因が減殺された効果を示していると考えられる。

2) 費用対効果の積上げ型評価の不可能性

「省エネルギー対策の費用対効果」を考える上では、a. 省エネルギー要因と b. 増エネルギー要因の個々の内容を識別して評価し、個々の対策の費用対効果の積上げにより全体の費用対効果を考えることが一つの方法として考えられる。

しかし、当該手法は a. 省エネルギー要因側の評価には適しているが、b. 増エネルギー要因側についてはその費用対効果を評価する方法が原理的に存在しないという問題があり、この方法を適用することはできない。

例えば、産業廃棄物削減のため廃棄物を再生利用する対策を講じエネルギー消費が増加した場合、増加したエネルギー消費量は把握できるが、当該対策に伴う投資などの経費についてはそもそも省エネルギーとは何の関係もなく経済的便益も生じない、純粋なりサイクル率の向上のための対策として支出されたものである。従って、このような場合には省エネルギー対策としての費用を定義することも評価することもできないこととなる。

参考 図 1-3-1-1. 90 ~ 2004 年度の省エネ対策とエネルギー消費変動要因(日本鉄鋼連盟資料)

1-3-2. 省エネルギー対策の費用対効果の集成的評価手法

1-3-1. のような問題点から、鉄鋼業の「省エネルギー対策の費用対効果」を評価するためには、a 省エネルギー要因 と b. 増エネルギー要因が混在したままで、結果として達成された省エネルギー実績量をその効果と見なし、外形的に掛かった経費から生じた利益を控除した値を費用と見なして集成的に評価することが必要である。

具体的には、鉄鋼業について以下のような項目を評価することにより、集成的評価を行うことが考えられる。

(効果)

- 1990 年度と比較した鉄鋼業の粗鋼生産 1 億t 水準でのエネルギー消費削減量

(費用)

- 1990 年度と比較した鉄鋼業の粗鋼生産 1 億t 水準での資本費用・操業費用の変化量(+経費/-利益)

1-3-3. 省エネルギー対策の効果の評価手法

1990 年度と比較した鉄鋼業の粗鋼生産 1 億t 水準でのエネルギー消費削減量を評価するためには、以下のような統計資料を用い、基準を設定してエネルギー消費量と粗鋼生産量を測定することが必要である。

また、今後の見通しを考える上では、環境自主行動計画が開始された 1998 年度を基準とした比較を行うことが必要である。

これらの基準年度と比較した鉄鋼業の粗鋼生産 1 億t 水準でのエネルギー消費削減量は、すなわち粗鋼生産 1t 当たりエネルギー消費原単位変化の 1 億倍に等しいため、以下粗鋼生産 1t 当たりエネルギー消費原単位を算定することとする。

- 粗鋼生産量: - 鉄鋼統計による各期粗鋼生産量とする。
 - 転炉・電気炉構成比や普通鋼・特殊鋼構成比、屑鉄比などによる補正は行わず、粗鋼生産量そのものを用いる。
- エネルギー消費量: - 石油等消費動態統計における鉄鋼業のエネルギー消費量を、指定生産品目別に総合エネルギー統計方式によりエネルギー量に換算し集計した値を用いる。
 - 中間製品・半製品の輸入代替などによる影響は考慮しない。
 - 総合エネルギー統計に従い、外部へ払出したエネルギー源、電力・蒸気などは当該工程のエネルギー消費に含めない。
 - 外部購入した電力・熱については、一般用電力・外部用電力などの効率変化による外部影響を排除するため、鉄鋼業の自家発電効率・産業蒸気は実績効率により一次エネルギー換算し、一般用電力・外部用電力などは平均値で固定した係数で一次エネルギー換算して評価する。(補論 1 参照)
- 粗鋼生産 1t 当たりエネルギー消費原単位:
 = エネルギー消費量 / 粗鋼生産量 (GJ/t)
- 粗鋼生産 1t 当たりエネルギー起源二酸化炭素排出量:
 = エネルギー起源二酸化炭素排出量 / 粗鋼生産量(tC/t)

1-3-4. 省エネルギー対策の費用の評価手法

1990 年度・1998 年度と比較した鉄鋼業の粗鋼生産 1 億t 水準での資本費用・操業費用の変化量を評価するためには、以下のような統計資料を用い、基準を設定して資本費用・操業費用と粗鋼生産量を測定し、粗鋼生産 1t 当たりの追加的省エネルギー費用原単位を試算することとする。

設備投資などの資本費用への換算においては、鉄鋼業の主要設備の法定耐用年数は概ね 14 年となっていることから、耐用年数 14 年の定率法償却を仮定して試算を行う。

資本費用・操業費用とも、現在価値換算と帰属利払費の計算については、割引率・長期金利を 3 % として試算を行い、さらに割引率が変化した場合を仮定した感度分析を行う。

ここで、資本費用の計算において、設備投資などの内訳中どの程度が省エネルギー投資であったのかを識別することが非常に重要であるが、当該内訳を識別する手法については第 3 章で詳細に述べる。

- 粗鋼生産量: (1-3-3. 効果の評価手法に同じ)
- 資本費用: - 内閣不経済社会経済研究所の民間企業資本ストック調査により、環境自主行動計画が開始された 1998 年度以降の実質設備投資額の増加分として識別された資本費用(減価償却費・帰属利払

費)を試算する。

- 内閣不経済社会経済研究所の民間企業資本ストック調査により、環境自主行動計画が開始された1998年度以降の設備除却額の増加分として識別された資本費用を試算する。
- 1990年度・1998年度と比較した2004年度実績におけるエネルギー費用低減額とする。但しエネルギー価格変化の影響を除くため、1998年度実質エネルギー価格と2005年度実質エネルギー価格の2通りで試算する。
- 鉄鉱石などの原材料費や人件費の変化については、省エネルギー対策との因果関係が希薄であると考えられるため捨象する。

操業費用:

粗鋼生産1t 当たり追加的省エネルギー費用原単位:

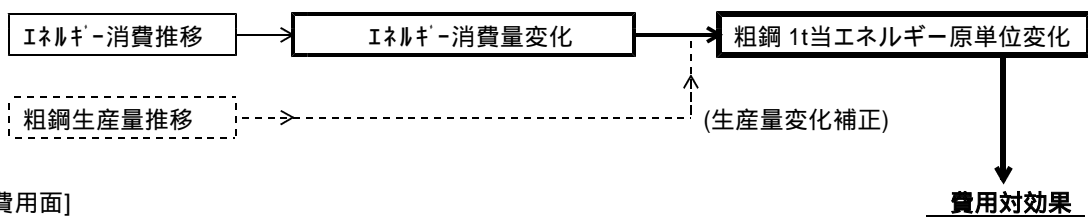
$$= (\text{追加的資本費用} + \text{追加的操業費用}) / \text{粗鋼生産量} \text{ (¥/t)}$$

(2000年度実質価格)

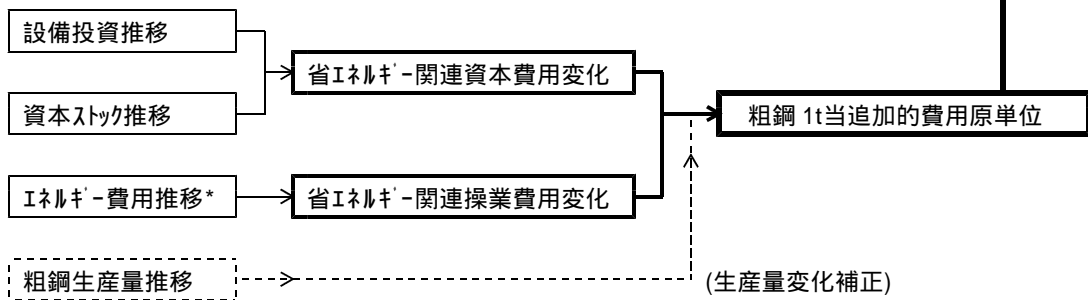
参考 表 1-3-4-1. 主要鉄鋼業関係設備の耐用年数表

[図 1-3-4-1. 鉄鋼業の省エネルギー対策の費用対効果分析の考え方]

[効果面]



[費用面]



(* 操業費用のうち 鉄鉱石など原材料費用、労務費用などの影響は微小として捨象している。)

2. 日本の鉄鋼業のエネルギー消費原単位の分析

2-1. 鉄鋼工程のエネルギー消費と原単位

2-1-1. 焼結・ペレット工程

1) 焼結・ペレット工程の概要

焼結工程とは、粉化しやすい鉄鉱石を直接高炉に投入すると目詰まりを起こし高炉での還元効率が低下するため、高炉に投入する前に鉄鉱石と石灰石・ドロマイトなどの副原料を焼固め、一定の強度の塊状に加工して高炉での還元反応の前処理を行う工程である。

ペレット工程とは、同様の目的から、粉状の細かい鉄鉱石を副原料と一緒に圧縮成型し焼成したものである。

現在の日本の鉄鋼業では、鉄鉱石の約 80 % が焼結・ペレット工程で焼結・焼成加工されているが、その大部分が焼結鉱であり、ペレットはごくわずかとなっている。

鉄鉱石のうち強度があり粉化しにくい品質の良い鉄鉱石は、塊鉱として焼結・ペレット工程を経ずに直接高炉に投入されている。

焼結・焼成のエネルギー消費を節減するため、品質の良い鉄鉱石を購入するための原料調達面での努力や、塊鉱が多くても安定的に高炉を操業するための制御技術面での努力が行われており、焼結鉱・ペレットの比率は 1990 年度の 83 % から 2005 年度の 78 % に徐々に低下しつつある。

2) 焼結・ペレット工程のエネルギー消費

焼結工程においては、粉砕した鉄鉱石と石灰石・ドロマイトなどに粉コークスを混ぜたものを原料とし、コンベヤ状の金属格子の上に薄く伸ばして石炭ガスを用いたバーナで点火し連続焼結し焼結鉱が製造されている。近年では、コークスを節減するために粉コークスに微粉炭を混合して焼結を行うことが行われており、石炭の利用比率が増加している。

焼結した焼結鉱は高炉での利用に適した大きさに破碎・選別されるが、連続焼結装置や破碎・選別装置の操業時に電力が消費されている。

公的統計値がないため把握できないが、焼結工程においては焼結鉱や燃焼ガスの廃熱から蒸気を回収する熱回収設備が普及しており、実際には焼結工程の投入エネルギーの一部が蒸気として回収されている。

3) 焼結・ペレット工程のエネルギー消費原単位と「予備還元処理技術」

焼結・ペレット工程でのエネルギー消費原単位は、2) でのエネルギー消費を焼結鉱・ペレットの合計産出重量で除したものと定義される。

焼結・ペレット工程のエネルギー原単位を見た場合、1990 年代を通じて 1990 年度の約 2.0GJ/焼結t から 2004 年度の約 2.2GJ/t にエネルギー消費原単位が若干悪化する傾向にあるが、これは以下の理由による。

焼結・ペレット工程では、鉄鉱石と石灰石・ドロマイトなどが焼結・焼成され鉄鉱石中の酸化鉄が石灰分と溶融・融着するが、この際にごくわずかに酸化鉄の還元反応が起きている。近年では焼結・ペレット工程において積極的にこの酸化鉄の還元反応を進め、高炉での還元負担を減少させて、両工程を通算したエネルギー消費を節減する「予備還元処理」が行われるようになってきているためである。

- 参考 図 2-1-1-1.-2. 焼結鉱・ペレット・塊鉱直接利用の推移、同構成比の推移
図 2-1-1-3. 焼結ペレット工程エネルギー消費の推移
図 2-1-1-4. 焼結ペレット工程エネルギー消費原単位推移

2-1-2. 高炉製鉄工程

1) 高炉製鉄工程の概要

高炉製鉄工程は、焼結鉱などの中の酸化鉄を還元して銑鉄を製造する鉄鋼業の主要工程であり、鉄鋼業のエネルギー消費のほぼ 50 % を単独の工程で占めている。

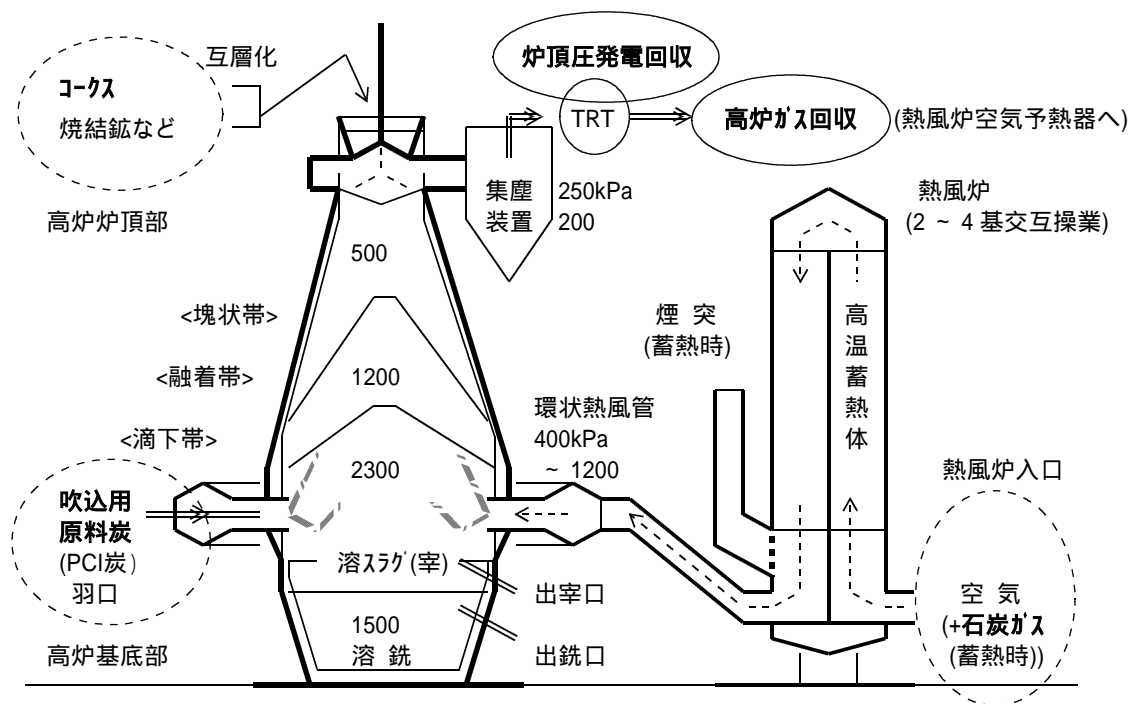
高炉には 3 つの系統でエネルギーが投入されている。

- a. 炉頂部から焼結鉱などと一緒に入られるコークス
- b. 炉底部から高温空気と一緒に微粉炭として吹込まれる吹込用原料炭(PCI炭)
- c. b. の高温空気を製造するため熱風炉に投入される石炭ガス

これらの投入エネルギーのうち、炉内での酸化鉄の還元反応の際に余剰となった一酸化炭素などは、炉頂部から高炉ガスとして回収され、自家発電・蒸気発生や高炉の熱風炉燃料として再利用されている。

さらに、高炉ガスは非常に高い圧力を持っているため、脱塵後炉頂圧タービン(TRT)で炉頂圧発電を行い電力が回収されている。現在では、低圧損型TRTや乾式脱塵TRTなどの高効率な回収設備も普及しつつあり、エネルギー回収のための取り組みが進められている。

[図 2-1-2-1. 高炉と主要付属設備の構造例(断面図)]



2) 高炉製鉄工程のエネルギー消費⁹⁾とPCI操業技術の普及

高炉製鉄工程においては、1980年代まではほぼ炉頂部から投入されるコークスと熱風炉からの高温空気のみにより製銑を行っていたが、近年高温空気と一緒に吹込用原料炭(PCI炭: Pulverized Coal Injection Coal)の微粉炭を高炉内に吹込み、コークスを節約し高炉操業全体としてのエネルギー効率を改善する「PCI操業技術」が開発され普及している。

日本の鉄鋼業では1990年代中盤頃に既にほぼ100%が「PCI操業技術」を採用してお

*9 エネルギー投入と回収を一体的に扱うため、高炉へのエネルギー投入を正号、回収を負号の消費として定義する。

り、高炉でのエネルギー投入においてはコークスに対し石炭の占める比率が上昇しほぼ技術的限界に達して推移している。

一方、高炉製鉄工程から回収される高炉ガスについては、1990年代前半では回収量が増加して推移していたが、1990年代後半からは回収量が横這いで推移している。

3) 高炉製鉄工程のエネルギー消費原単位と省エネルギー技術の変化

高炉製鉄工程の銑鉄 1t 当たりエネルギー消費原単位については、1990年度の 12.5GJ/銑鉄t から2004年度の 11.8GJ/銑鉄t に大幅に改善してきている。

銑鉄 1t当たりエネルギー投入・回収の各原単位を1990年度を基準とした指数で見た場合、1990年代中盤迄は投入が横這いで回収が増加しており、1990年代後半においては投入・回収ともに減少するという特徴的な変化が見られる。

このような変化が見られる理由は以下のように説明される。1990年代中盤まで高炉へのエネルギー投入量は維持したまま、高炉ガスの高度回収や炉頂圧発電設備(TRT)の設置などによりエネルギー回収量を増加させる方向で省エネルギーが進められてきた。

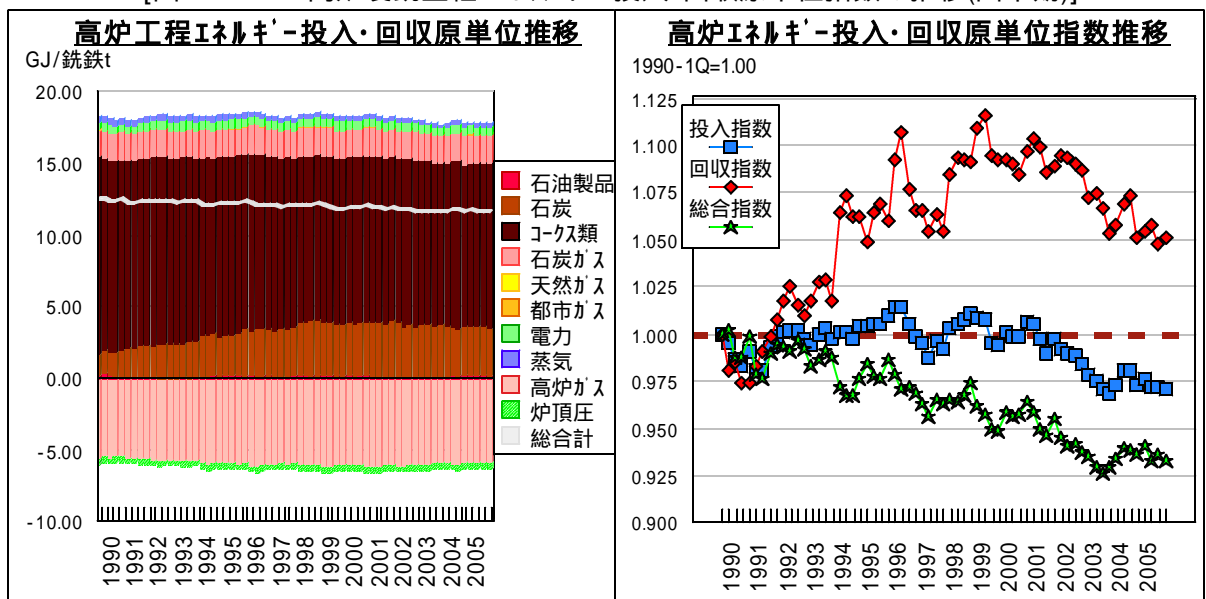
しかし、2000年頃からは、2-1-1. 3) で述べた予備還元処理技術などの導入により、高炉でのコークスや吹込用原料炭などのエネルギー投入量が相対的に低減されることにより省エネルギーが進められつつあり、その結果回収される高炉ガスの量も減少して推移している。

また、操業管理技術という側面から見た場合、1990年代後半において経営統合や事業提携を背景に鉄鋼業の生産設備は急速に整理統合が進められており、その結果設備稼働率が大幅に向上し、エネルギー投入量の低減に大きく寄与しているところである。

- 参考 図 2-1-2-1.-2. 高炉製鉄工程投入原材料の推移、原材料構成比の推移
- 図 2-1-2-3.-4. 高炉製鉄工程エネルギー投入・回収量の推移(年度,四半期)
- 図 2-1-2-5.-6. 高炉製鉄工程エネルギー投入・回収原単位の推移(年度,四半期)
- 図 2-1-2-7.-8. 高炉製鉄工程エネルギー投入・回収原単位指数の推移(年度,四半期)
- 図 2-1-2-9.-10. 高炉製鉄工程エネルギー投入・回収原単位と稼働率指数(年度,四半期)

[図 2-1-2-6. 高炉製鉄工程エネルギー投入・回収原単位の推移(四半期)]

[図 2-1-2-8. 高炉製鉄工程エネルギー投入・回収原単位指数の推移(四半期)]



2-1-3. 転炉・電気炉製鋼工程

1) 転炉製鋼工程の概要

転炉製鋼工程は、高炉製鉄により製造された銑鉄を成分調整・温度調整し、所定の性状の粗鋼を製造し、連続鋳造などにより粗鋼(鋼片)を製造する工程である。

成分調整の第一は、銑鉄は鋼鉄に比べて炭素分が多く、融点は低い脆過ぎて材料としては使いにくい。ため、溶解したままの銑鉄(溶銑)に酸素を吹込み、4%近い溶銑中の炭素分を一酸化炭素として除去し0.1%程度に下げて溶鋼にする「脱炭」である。

当該過程では、除去された一酸化炭素が転炉ガスとして回収され、さらに高温の転炉ガスの余熱が蒸気として熱回収されている。

成分調整の第二は、ステンレスなどの特殊鋼を製造するためにフェロクロム・フェロニッケルなどを添加したり、機械的性質改善や不純物の高度除去のためフェロマンガ・フェロシリコンなどを添加するなど、フェロアロイ(合金鉄)による「合金化」を行うことである。

転炉製鋼工程では、溶銑中の炭素が酸素と反応し一酸化炭素になる過程で自己発熱するので、温度調整を要する特殊な仕様の鋼材以外では燃料は必要ない。当該性質を利用して、近年一貫製鉄所では品質管理上の限界まで転炉へ屑鉄を多量に投入し、粗鋼を増産しつつ後述する電気炉のエネルギー消費を低減させるという省エネルギー操業(高屑鉄比操業)が行われている。

2) 電気炉製鋼工程の概要

電気炉製鋼工程は転炉とは異なり、基本的に屑鉄を再溶解し、成分・温度調整して所定の性状の粗鋼を製造し連続鋳造などにより粗鋼(鋼片)を製造する工程である。

多くの先進国では、屑鉄が地域毎に分散して発生するため、設備規模が小さく設置が容易な中小規模の電気炉が分散して操業する形態が採られることが多い。

リサイクルされた屑鉄は、大まかな性状により等級分類されて流通しているが、以下の2つの点で銑鉄と異なるため電気炉による処理が必要である。

- a. 炭素分が低く融点が高い屑鉄を再度溶かさなければならないこと
- b. 高付加価値な鋼の製造に適さない不純物の混入が避けられないこと

従来、上記 b. の問題から電気炉製鋼では高付加価値鋼は製造できないとされてきたが、屑鉄の分別調達を徹底しフェロアロイなどによる成分調整を駆使することによって、近年では電気炉から自動車用鋼板などの高付加価値鋼を製造する技術が開発されている。

電気炉では、屑鉄を黒鉛電極による放電加熱や高周波加熱で溶解するために大量の電力を必要とし、また炉の形態により起動時や屑鉄の余熱などに燃料を必要とする。

当該特性から、産業用電気料金がピーク料金に設定されている夏期においては、一部の電気炉では電気料金節減のため操業を停止し補修を行ったり意図的に稼働率を落とすなどの操業傾向が見られる。

電気炉からは、黒鉛電極や屑鉄中の炭素が屑鉄中の錳などの酸素分と反応し、一酸化炭素を主成分とする電気炉ガスが回収されるが、銑鉄と異なり屑鉄ではそもそも溶解している炭素分が非常に少ないため、同じ製鋼工程であっても回収される電気炉ガスは転炉ガスと比べ非常に少ない。

3) 転炉・電気炉製鋼工程のエネルギー消費と「転炉シフト」

転炉製鋼工程のエネルギー投入・産出量を見た場合、操業用のエネルギー投入があるものの、転炉ガスの回収によって見掛けのエネルギー消費がほぼ0として観察される。なお、統計上の問題から転炉ガスからの蒸気による熱回収は把握されていない。

転炉での高屑鉄比操業や特殊鋼生産の増加などを背景に、1990年代中盤から転炉での加熱用の石炭投入量と転炉ガスの回収量が増加して推移していることが観察される。

一方、電気炉のエネルギー消費はほぼ全部電力であるが、電気炉での粗鋼生産高の減少を受けてエネルギー消費の絶対量は減少して推移している。

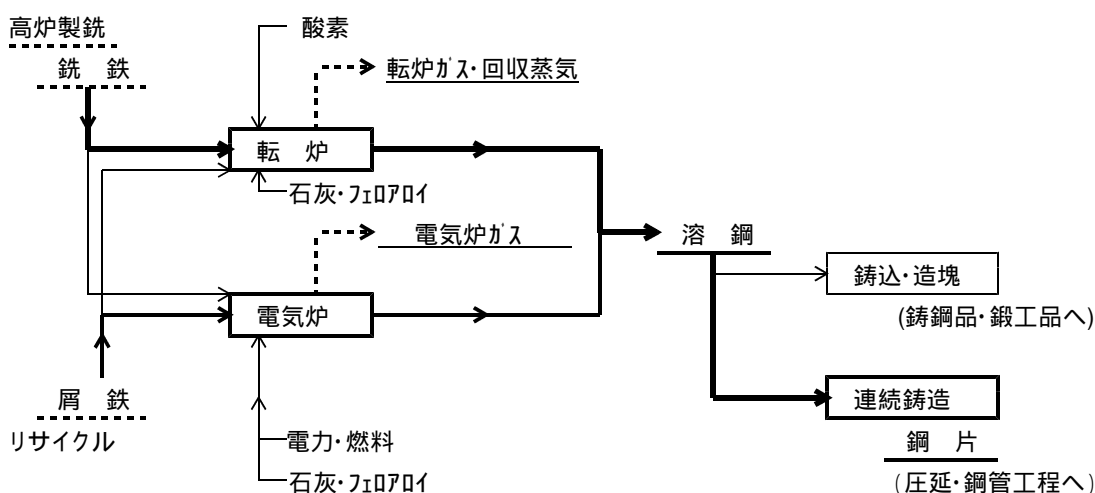
4) 転炉・電気炉製鋼工程のエネルギー消費原単位^{*10}

転炉製鋼工程の粗鋼生産 1t 当たりのエネルギー消費原単位は、操業管理の高度化による転炉ガスの回収強化などの省エネルギー努力にもかかわらず、高屑鉄比操業や特殊鋼比率の増加などの影響で、エネルギー原単位は-0.2GJ/粗鋼tから+0.1GJ/粗鋼t程度一旦悪化後横這いで推移している。

電気炉製鋼工程の粗鋼生産 1t 当たりの見掛けのエネルギー原単位についても同様であり、スクラップ予熱や直流電気炉への設備投資などの省エネルギー努力にもかかわらず、特殊鋼比率の増加などによりエネルギー原単位は 4.8GJ/粗鋼tから 5.0GJ/粗鋼t程度でほぼ横這いで推移している。

- 参考 図 2-1-3-1. 転炉・電気炉製鋼工程の概要
 図 2-1-3-2.,-3. 転炉製鋼工程の投入原材料推移, 同構成比の推移
 図 2-1-3-4.,-5. 電気炉製鋼工程の投入原材料推移, 同構成比の推移
 図 2-1-3-6.,-7. 転炉・電気炉粗鋼生産量推移(年度, 四半期)
 図 2-1-3-8., -11. 転炉・電気炉製鋼工程エネルギー投入・回収量の推移(年度, 四半期)
 図 2-1-3-12.,-15. 転炉・電気炉製鋼工程エネルギー投入・回収原単位の推移(年度, 四半期)

[図 2-1-3-1. 転炉・電気炉製鋼工程の概要]



2-1-4. 圧延・鋼管製造工程

1) 圧延・鋼管製造工程の概要

圧延・鋼管製造工程は、転炉・電気炉製鋼工程により製造された粗鋼(鋼片)を、圧延などの加工によって鋼板や形鋼、鋼管を製造する工程である。

現在では多様な鋼材需要に応えるため、殆どの一貫製鉄所では鋼片を輸出している他、国内の他の製鉄所に鋼片を供給したり供給を受けたり、特定の種類の鋼材に特化した操業を行っており、個々の国内製鉄所での圧延・鋼管製造工程を比較することは非常に困難な状況にある。

圧延工程には熱間圧延・冷間圧延があるが、全ての鋼片は一旦熱間圧延され、その一

*10 製鋼工程だけを見た場合、転炉より電気炉の方がエネルギー原単位が大きいが、粗鋼のエネルギー消費の比較では焼結・ペレット工程や高炉製銑工程などの前工程のエネルギー消費を含めて考える必要があり、製鋼工程だけでの比較には意味がない。

部がさらに冷間圧延されて焼鈍処理されるという関係にある。

鋼管工程では用途により鋼片から直接鋼管を製造するもの(シームレス鋼管)と、一旦熱間圧延された鋼材を変形し溶接・鍛接し鋼管とするもの(電縫鋼管・UO鋼管など)がある。

転炉・電気炉製鋼工程までは銑鉄・屑鉄など鉄の由来で区分されて扱われていたが、本工程以降は由来を区別せず、鋼種と形状により大きく分けて熱間圧延鋼材(普通鋼・特殊鋼)、冷間仕上鋼材(普通鋼・特殊鋼)、鋼管の3(5)分類で扱われている。圧延・鋼管工程の概要と各鋼材分類間の関係を図2-1-4-1.に示す。

2) 圧延・鋼管製造工程のエネルギー消費

圧延・鋼管製造工程のエネルギー消費量を見た場合、鋼片を加圧変形させる圧延装置の電力消費や、鋼片連続加熱炉・焼鈍炉での石炭ガス消費が大部分を占めている。

なお、実際の圧延・鋼管製造工程では、鋼片からの熱回収、圧延時の電力回収などが行われているが、統計上の問題からこれらの回収エネルギーは計上されていない。

3) 圧延・鋼管工程のエネルギー消費原単位

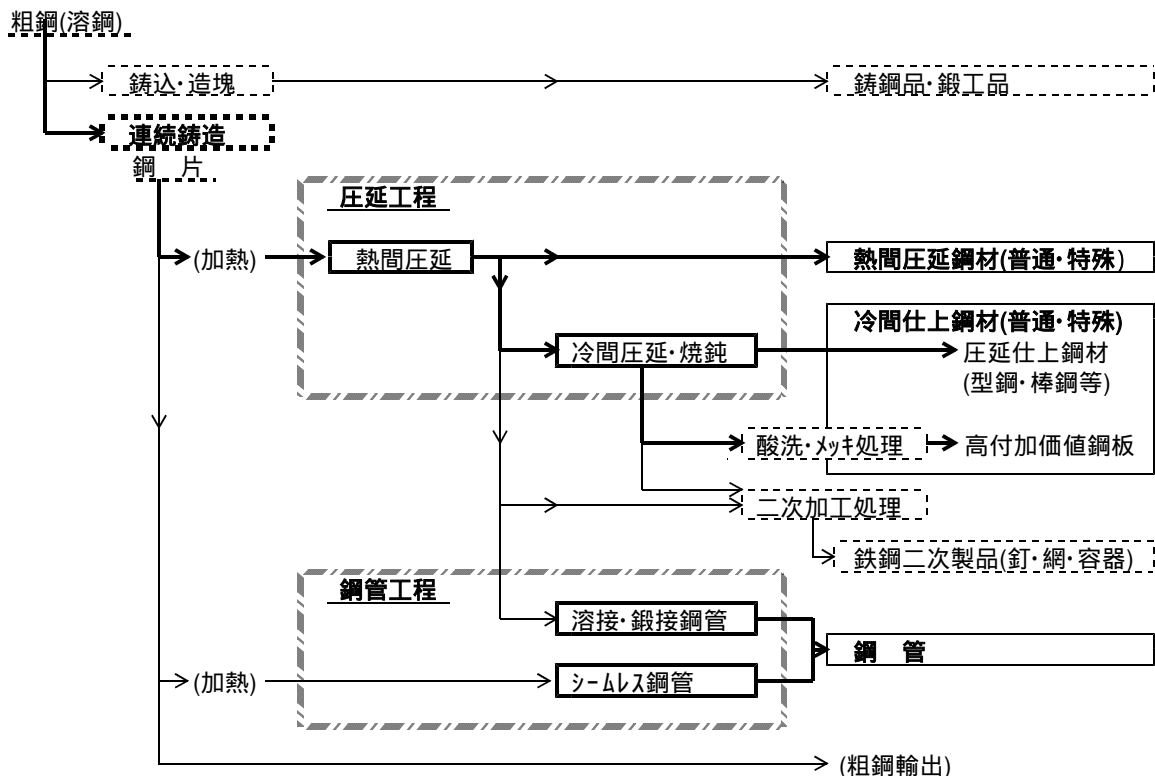
圧延・鋼管製造工程のエネルギー消費原単位については、特殊鋼冷間圧延鋼板など熱間・冷間で2回圧延されかつ焼鈍炉で長時間熱処理を行うような高付加価値鋼材の比率が増加すれば、その分エネルギー消費原単位が悪化する要因となる。

ところが、圧延・鋼管製造工程のエネルギー消費原単位は、1990年度の3.5GJ/tから3.9GJ/tに一旦悪化した後、2000年度を境に大きく減少に転じ、3.7GJ/tに改善している。

これは高温鋼片の直接圧延(HDR)や加熱炉直接投入(HCR)などの操業改善、加熱炉への高性能工業炉の導入や連続焼鈍設備の導入などの設備投資による鉄鋼業の省エネルギー努力の成果であると考えられる。

- 参考 図2-1-4-1. 圧延・鋼管製造工程の概要
- 図2-1-4-2.,-3. 圧延・鋼管製品の延加工量の推移、同構成比推移
- 図2-1-4-4.,-5. 圧延・鋼管製造工程のエネルギー消費量の推移(年度,四半期)
- 図2-1-4-6.,-7. 圧延・鋼管製造工程エネルギー消費原単位の推移(年度,四半期)

[図2-1-4-1. 圧延・鋼管工程の概要と各鋼材分類]



2-1-5. 加工処理工程

1) 加工処理工程の概要

加工処理工程は、圧延・鋼管製造工程により製造された素材を、研磨、酸洗・メッキ処理などを行い高付加価値な鋼板や線材・棒材などに一次加工したり、あるいは線材・板材から金網や飲料缶などの製品(鉄鋼二次製品)に二次加工する工程である。

2) 加工処理工程のエネルギー消費・エネルギー消費原単位

加工処理工程のエネルギー消費量については、酸洗装置・メッキ装置など各種加工装置の電力消費・蒸気消費が大部分を占めている。1990年代を通じ、溶融亜鉛メッキ・電気亜鉛メッキなど高付加価値鋼板の需要が増加し一次加工のエネルギー消費が増加した反面、缶類などの二次加工製品需要の減少(輸入品への代替やアルミ缶・PETボトルへの代替)により、加工処理工程全体でのエネルギー消費はほぼ横這いで推移している。

一方、加工処理工程のエネルギー消費原単位については、1990年代前半から中盤にかけて一時悪化したが、操業管理の高度化などにより徐々に改善して推移している。

参考 図 2-1-5-1.-2. 加工製品工程のエネルギー消費量・同原単位の推移

2-1-6. 鋳鋼品・鍛工品製造工程

1) 鋳鋼品・鍛工品製造工程の概要

鋳鋼品・鍛工品製造工程は、大型ポンプ・バルブなどの鋳鋼品、原子炉圧力容器・タービン軸などの鍛工品など、いずれも特殊用途の大型鋼製部材を製造する工程である。

鋳鋼品では転炉・電気炉製鋼工程の途中で溶鋼を直接鋳型に流込んで製造し、鍛工品では溶鋼を一旦鋼塊に造塊しこれを鍛造して製品を製造するため、いずれも転炉・電気炉製鋼工程のうち連続鋳造を経由しないという工程上の特徴がある。

公共投資などの社会資本整備の一巡を受け、近年の鋳鋼品・鍛工品の需要は減少して推移している。

2) 鋳鋼品・鍛工品製造工程のエネルギー消費・エネルギー消費原単位

鋳鋼品・鍛工品製造工程のエネルギー消費量については、製品需要の減少を受けて大幅に減少して推移している。一方、鋳鋼品・鍛工品製造工程のエネルギー消費原単位については、ほぼ横這いで推移している。

参考 図 2-1-6-1.-2. 鋳鋼品・鍛工品製造工程のエネルギー消費量・同原単位の推移

2-1-7. フェロアロイ工程

1) フェロアロイ工程の概要

フェロアロイ工程は、転炉・電気炉での製鋼時に添加される副原料であるフェロマンガ、フェロニッケル、フェロクロムなどのフェロアロイ(合金鉄)を製造する工程である。

フェロアロイの需給については、1990年代において特殊鋼需要の増加に伴い消費量が増加しているが、価格競争力の低下や鉱産国の製品化輸出政策により外国産製品への代替が進んでおり、国内生産量・国産比率とも減少して推移している。

2) フェロアロイ工程のエネルギー消費・エネルギー消費原単位

フェロアロイ工程のエネルギー消費量については、輸入品への代替による製品需要の減少を受けて一旦減少した後横這いで推移している。一方、エネルギー消費原単位については、フェロアロイの生産品目構成の変化の影響で若干悪化して推移している。

参考 図 2-1-7-1 フェロアロイの需給推移

図 2-1-7-2,-3. フェロアロイ工程のエネルギー消費量・同原単位の推移

2-2. エネルギー転換工程のエネルギー自家消費と原単位

2-2-1. コークス製造工程

1) コークス製造工程の概要

コークス製造工程とは、高炉製鉄時の還元剤であるコークスを製造するため、コークス用原料炭をコークス炉で乾留して粘結固化させ不純物を除去する工程をいう。

コークス炉には、原料炭の水分を調整しコークスの品質管理とコークス炉の省エネルギーを図る石炭調湿設備(CMC)、コークス炉から取出された赤熱コークスの消火時に熱回収を行うコークス乾式消火設備(CDQ)、さらに各工程からの廃熱を回収する設備などが付属している。

コークス炉での乾留により、コークス用原料炭などの原料から、ほぼ純粋な炭素塊であるコークスと、水素・メタンなどの混合物であるコークス炉ガス、ナフタレンなどの混合物であるコールタールが産出する。コークス製造工程の概念を図 2-2-1-1. に示す。

2) コークス製造工程のエネルギー自家消費

コークス製造工程でのエネルギー自家消費は、高炉ガスなどコークス炉での乾留用・操業用など加熱・動力用のエネルギー源の投入分と、コークス炉から取出された赤熱コークスを乾式消火設備(CDQ)に送る迄の間の燃焼による転換損失分の合計である。

1990年代を通じて、コークスの生産は微減から横這いで推移しているが、良質の原料炭事情の悪化により、オイルコークスや廃プラスチックを非・微粘結炭に混合して強度の高い高品質のコークスを製造する技術が普及したため、乾留に要する加熱用エネルギーが増加する反面、コークス転換時の損失分が減少^{*11}して推移している。

3) コークス製造工程のエネルギー自家消費原単位

コークス製造工程におけるコークス製造 1t 当たりのエネルギー自家消費原単位については、1990年代を通じてコークス原料炭事情の悪化や高炉でのコークス強度への要求性能の向上などを受けて、加熱・操業用エネルギーについては徐々に原単位が悪化する傾向が見られる。

一方、転換損失部分については、コークス用原料炭の構成や炉修の有無・周期などの影響を受けて変動が大きいが、1990年度中盤から若干原単位が改善傾向で推移しており、結果としてコークス製造工程のエネルギー自家消費原単位は横這いで推移している。

参考 図 2-2-1-1. コークス製造工程のエネルギー自家消費量推移(含コークス生産量)

図 2-2-1-2. コークス製造工程のエネルギー自家消費量原単位の推移

2-2-2. 自家発電・産業蒸気工程

1) 自家発電・産業蒸気工程の概要

自家発電・産業蒸気工程とは、鉄鋼業の製鉄所の構内における電力・蒸気の需給を管理し、自家発電・蒸気発生設備からの電力・蒸気の供給と、コークス乾式消火装置や炉頂圧発電など設備からの電力・蒸気の回収を管理する工程である。

大規模な一貫製鉄所では、電力・蒸気に加えて高炉ガスやコークス炉ガスなど各種の石炭ガスの需給管理を兼ねた「エネルギーセンター」として運営されている。

鉄鋼業における電力・蒸気の工程別エネルギー消費などを考える上での基礎となる、石油等消費動態統計においては、残念ながら各工程別の電力・蒸気の回収エネルギー量を

*11 総合エネルギー統計では、廃プラスチックのエネルギー投入や炭素排出は定義により 0 と見なしているが、2004年度現在で投入量は約 20 万 t 程度であり、コークス生産量約 4,000 万 t と比較して非常に小さいため本稿でもこれを捨象して考える。

識別して把握しておらず、高炉製鉄やコークス炉など同統計から把握される電力・蒸気の回収エネルギー量は、製鉄所(鉄鋼業)全体としての電力・蒸気の回収エネルギー量を示している。

2) 自家発電・産業蒸気工程のエネルギー自家消費・エネルギー自家消費原単位

自家発電・産業蒸気工程でのエネルギー自家消費は、構内での発電設備での自家消費、構内送配電網・蒸気配管の送配電損失や送配熱損失が考えられる。

しかし、これらの自家消費は石油等消費動態統計などの統計では識別されておらず、発電・発熱設備での自家消費は損失として、工程へ送られた電力・蒸気は全部各工程部門の最終消費として扱われており、自家消費分を独立して把握することができない。

従って、自家消費のエネルギー自家消費原単位も知ることができず、仮に自家発電・産業蒸気工程で省エネルギー対策努力を行った場合には、その効果はエネルギー転換効率の向上あるいは各工程での最終消費の低減として捕捉されることとなる。

3) 自家発電・産業蒸気工程のエネルギー転換投入・エネルギー転換効率

2) のような問題を認識した上で、自家発電・産業蒸気工程でのエネルギー転換投入とエネルギー転換効率を参考迄に示す。

鉄鋼業の自家発電については、エネルギー投入の半分以上を高炉ガス～コークス炉ガスなどの石炭ガスで賄っており、また全体の 20 %を超える回収電力(未活用エネルギー)が利用されている。さらに産業蒸気については、エネルギー投入の約 70 %が回収蒸気(未活用エネルギー)で賄われており、残余の大部分も石炭ガスで賄われている。

これらのことは、鉄鋼業が製鉄所内の各工程の回収エネルギーや副生ガスを上手に活用して電力・蒸気を賄っていることを示している。

鉄鋼業の自家発電・産業蒸気のエネルギー転換効率については、自家発電効率は 1990 年代を通じて年々改善しているものの、産業蒸気効率が悪化傾向にあり、全体として 1990 年代を通じてわずかに悪化して推移している。

これは、近年の鉄鋼業における自家発電・産業蒸気の内部需要の増加に伴い、エネルギー効率の良い工程からの回収電力・蒸気や石炭ガスの利用では間に合わなくなり、石炭による発電・発熱が行われるようになった結果、全体で見た場合の効率が若干低下しているものである。

参考 図 2-2-2-1.-2. 鉄鋼業自家発電・産業蒸気のエネルギー転換投入推移
図 2-2-2-3. 鉄鋼業自家発電・産業蒸気のエネルギー転換効率推移

2-3. 鉄鋼業のエネルギー消費原単位の推計結果

2-3-1. エネルギー消費原単位の推計

2-1., 2-2. で見た鉄鋼業のエネルギー消費量やエネルギー消費原単位は、各工程での投入・産出による原単位であるため、各工程のエネルギー消費量を合計し、粗鋼生産量当たりに換算したエネルギー消費原単位に整理する必要がある。

ここでは、鉄鋼工程のエネルギー消費量原単位と、鉄鋼工程・エネルギー転換工程(コークス製造工程)を合計した総合エネルギー消費原単位を算定する。

さらに、当該エネルギー消費原単位の改善の効果による、エネルギー起源CO2 排出排出原単位の変化も見しておくこととする。

2-3-2. 鉄鋼工程のエネルギー消費原単位・エネルギー起源炭素排出原単位

鉄鋼工程の粗鋼 1t 当たりエネルギー消費原単位を見た場合、1990 年度を基準とした場合、エネルギー消費原単位は約 5 %改善していることが理解される。

鉄鋼業環境自主行動計画が開始された 1998 年度を基準とすると、エネルギー消費原単位は約 10 %改善しており、大きな効果を挙げていることが理解される。

同様に、粗鋼 1t 当たりエネルギー起源炭素排出原単位についても、1990 年度を基準として約 5 %、1998 年度を基準として約 10 %改善しており、同様の結果が確認される。

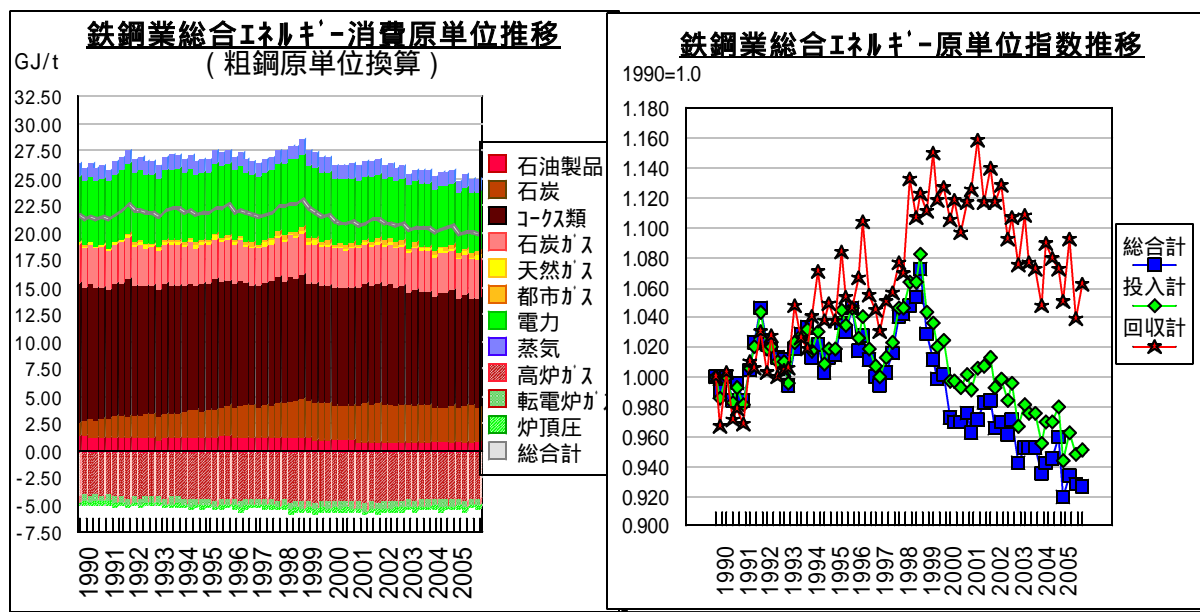
- 参考 図 2-3-2-1.,-2. 鉄鋼工程のエネルギー消費原単位推移(年度・四半期)
 図 2-3-2-3.,-4. 鉄鋼工程のエネルギー消費原単位指数推移(年度・四半期)
 図 2-3-2-5.,-6. 鉄鋼工程のエネルギー起源炭素排出原単位推移(年度・四半期)
 図 2-3-2-7.,-8. 鉄鋼工程のエネルギー起源炭素排出原単位指数推移(年度・四半期)

2-3-3. 鉄鋼業の総合エネルギー消費原単位・エネルギー起源炭素排出原単位

鉄鋼業の粗鋼 1t 当たり総合エネルギー消費原単位を見た場合、1990 年度を基準として約 7 %、1998 年度を基準として約 13 %改善している。

同様に、粗鋼 1t 当たり総合エネルギー起源炭素排出原単位を見た場合、1990 年度を基準として約 6 %、1998 年度を基準として約 12 %改善している。

[図 2-3-3-2.,-4. 鉄鋼業の総合エネルギー消費原単位推移・同指数推移(四半期)]



- 参考 図 2-3-3-1.,-2. 鉄鋼業の総合エネルギー消費原単位推移(年度・四半期)
 図 2-3-3-3.,-4. 鉄鋼業の総合エネルギー消費原単位指数推移(年度・四半期)
 図 2-3-3-5.,-6. 鉄鋼業の総合エネルギー起源炭素排出原単位推移(年度・四半期)
 図 2-3-3-7.,-8. 鉄鋼業の総合エネルギー起源炭素排出原単位指数推移(年度・四半期)

2-3-4. 鉄鋼業の総合エネルギー消費原単位の変化要因分析

鉄鋼業の粗鋼 1t 当たり総合エネルギー消費原単位の改善内訳を、工程別に整理し、各工程での工程別エネルギー消費原単位と、粗鋼 1t当エネルギー消費原単位を対比して比較した結果は、表 2-3-4-1. のとおりである。

ここで、各工程での工程別エネルギー消費原単位が悪化しているにもかかわらず、粗鋼 1t当エネルギー消費原単位が改善している工程は、以下の 2 つの効果の複合効果によって粗鋼 1t当エネルギー消費原単位が改善しているものと考えられる。

- 操業技術改善効果: 微粉炭吹込操業(PCI)技術や操業管理技術などの技術革新によって粗鋼 1t当の当該工程の中間工程投入量・加工量が減少した効果
- 製品構成効果: 鋼材需要側の需要構成変化などによって製品構成が変化し相対的な各工程での処理量構成が変化する効果(外的効果)

各工程での粗鋼 1t当エネルギー消費原単位の寄与度の内訳を見た場合、高炉製鉄、コークス製造工程の寄与が全体の 70 %程度を占めていることが理解される。

コークス製造工程を含め、高炉製鉄以外の工程では工程別エネルギー消費原単位が悪化しているにもかかわらず粗鋼 1t当エネルギー消費原単位が改善しており、上記の技術改善効果・製品構成効果の寄与が非常に大きかったことが理解される。

逆に、高炉製鉄工程などでは、工程別エネルギー消費原単位の改善に比べて粗鋼 1t当エネルギー消費原単位の改善が「目減り」しているが、これは転炉高屑鉄比操業など粗鋼生産に占める銑鉄の構成比が低下したことによる効果であると考えられる。

これらの結果から、2-3-1. ~ -3. で見た鉄鋼業の大幅な省エネルギー対策の成果は、個々の工程での直接の省エネルギー対策が積重ねられたものではなく、各工程の中間投入の調整と最適化により全体として粗鋼 1t当エネルギー原単位が低下するという、ある種の「工程間の摺合わせ技術」による工程横断的・総合的な対策であったことが理解される。

[表 2-3-4-1. 鉄鋼業の総合エネルギー消費原単位の変化要因分析(抄)]

| 工程 / 対策・効果 | 工程別原単位改善 | 粗鋼原単位改善 | 対策内容・設備*1 |
|------------|--------------|------------|---------------------------------|
| 鉄鋼業 | --- | -1.4GJ/粗鋼t | |
| 鉄鋼工程 | --- | -0.9GJ/粗鋼t | |
| 焼結・ペレット工程 | +0.2GJ/焼結t | -0.0GJ/粗鋼t | (塊鉱直接投入) |
| 高炉製鉄 | -0.7GJ/銑鉄t | -0.4GJ/粗鋼t | 塊鉱直接投入 微粉炭吹込操業(PCI) |
| 転炉・電気炉製鋼 | --- | -0.0GJ/粗鋼t | |
| (転 炉) | +0.3GJ/粗鋼t | | 転炉高屑鉄比操業 |
| (電気炉) | +0.2GJ/粗鋼t | | 直流電炉・スクラップ予熱 |
| 圧延・鋼管製造 | +0.2GJ/圧延t | -0.1GJ/粗鋼t | 直接圧延・投入(HDR/HCR) 連続焼鈍・高性能加熱炉 |
| エネルギー転換工程 | --- | -0.5GJ/粗鋼t | |
| コークス製造 | +0.4GJ/コークst | -0.5GJ/粗鋼t | (微粉炭吹込操業(PCI)) |
| 自家発電・蒸気 | --- *2 | --- *2 | 高効率発電設備 |

(注 *1 対策内容・設備欄の ()書は、当該工程以外の工程での間接的対策などを示す。

*2 自家発電・産業蒸気工程の省エネルギー効果は各工程の内数)

3. 日本の鉄鋼業の追加的省エネルギー対策費用の分析

3-1. 鉄鋼業の追加的資本費用の分析

3-1-1. 鉄鋼業の追加的資本費用

鉄鋼業が環境自主行動計画に従い実施した各種の省エネルギー対策については、その追加的な投資額が生産能力増強などの他の目的の投資額から識別されて公表されていない。現状において、各種の公的統計から客観的に把握できるのは鉄鋼業全体の設備投資総額と資本ストック変化から推計される総設備償却・除却額の推移のみである。

従って、鉄鋼業の省エネルギー対策のための追加的費用を知るためには、設備投資と設備償却・除却の内容を目的別に整理した枠組みを考えることが必要である。

仮に、このような枠組みに従い省エネルギーに関する設備投資額、設備償却・除却額が識別できたとすると、設備投資と設備償却・除却に対応する平均資本費用を推計することができると思われる。

[図 3-1-1-1. 追加的省エネルギー資本費用の内訳整理]



3-1-2. 鉄鋼業の設備投資推移と追加的省エネルギー設備投資の推計

鉄鋼業の設備投資を見た場合、2004 年度実績で売上高 11.8 兆円に対し取付ベースの新規設備投資額は約 1.7 兆円であり、1998 年度以降ほぼ横這いで推移している。

ここで、鉄鋼業の設備投資の絶対額は 1990 年度前後に一旦大幅に増加した後減少して推移しており、1998 年度の環境自主行動計画の開始以降、鉄鋼業では各種の省エネルギー設備投資が行われた事実があるにもかかわらず、設備投資自体の絶対額が増加したことを直接的に観察することはできない。

従って、設備投資の絶対額が減少している中で、設備投資の内訳が量的投資から質的投資のうち省エネルギー投資に変化したと考え、当該変化を推計することが必要である。

本稿では、1つの考え方として、以下の2段階の推計により追加的省エネルギー投資分を推計することとする。但し、当該推計手法の精度を評価することは困難であるが、その精度は必ずしも高いとは言えず、少なくとも 10 ~ 20 % 程度の誤差が含まれているものと考えなければならない。

a. 量的投資・質的投資の分離

鉄鋼業の主要設備の新增設については、1980 年代からその設備構成に大きな変化はないため、設備容量 1 単位当たりの新增設費用はほぼ同じと考えられる。

従って、鉄鋼業の取付ベースでの設備投資額推移を、主要設備容量実績値の増

加量推移で回帰推計し、主要設備容量の増加と因果関係にある設備投資分を量的投資分と推計することにより、設備投資額推移から量的投資分と質的投資分を識別することができると考えられる。

b. 質的投資からの環境自主行動計画による追加的省エネルギー投資の推計

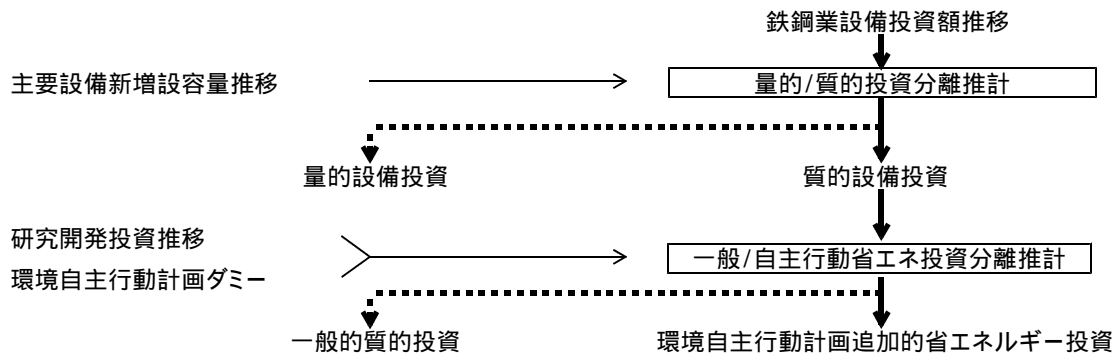
新製品開発やエネルギー以外の費用低減などの質的向上を図るための一般的な設備投資においては、相応の研究開発投資を付随するものと考えられる。

一方、質的投資のうち鉄鋼業の環境自主行動計画に伴って開始された省エネルギー投資は、1998年度以降に特異的に発生していると考えられる。

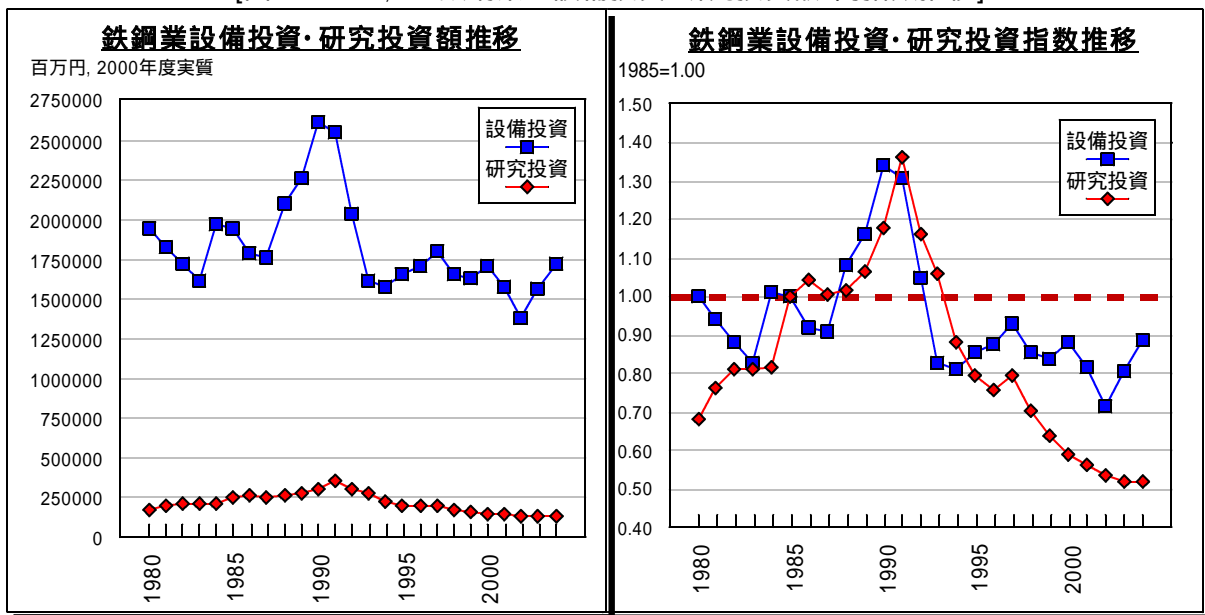
従って、a. で識別された質的投資分を、研究開発投資と1997年度以前を0、1998年度以降を1とする環境自主行動計画ダミー変数で回帰推計することにより、質的投資分の中から一般的な質的設備投資と環境自主行動計画による追加的な省エネルギー投資の平均値を識別することができると考えられる。

- 参考 式 3-1-2-1. 鉄鋼業の環境自主行動計画による追加的省エネルギー投資の推計・識別
 図 3-1-2-1. 鉄鋼業の環境自主行動計画による追加的省エネルギー投資の考え方
 図 3-1-2-2,-3. 鉄鋼業の設備投資・研究投資額推移、同指数推移

[図 3-1-2-1. 鉄鋼業の環境自主行動計画による追加的省エネルギー投資の推計の考え方]



[図 3-1-2-2,-3. 鉄鋼業の設備投資・研究投資額・同指数推移]



3-1-3. 鉄鋼業の設備償却・除却推移と省エネルギー対策除却の推計

内閣府経済社会総合研究所の資本ストック推移と設備投資推移から推定される鉄鋼業の設備償却・除却の推移を見た場合、年度によるばらつきが非常に大きい。2004年度実績で鉄鋼業の売上高 11.8 兆円、新規設備投資額約 1.7 兆円に対し、設備償却・除却額は平均して約 1.3 兆円程度である。

鉄鋼業の設備償却・除却額を時系列で見た場合、1993年度や2000～2003年度に大きな設備除却が行われており、鉄鋼会社間の大規模な再編・事業提携を背景に、老朽・低効率設備を除却することによって、残存設備の稼働率を高め、労働生産性やエネルギー効率を向上させる対応が採られたことが観察される。

具体的には、設備償却・除却額を、前年度の資本ストックと、環境自主行動計画が開始された1998年度以降の鉄鋼業主要設備容量減少量の推移で回帰分析することにより、資本ストックにかかる係数部分が設備償却、1998年度以降の設備容量減少量にかかる係数部分を設備除却と推定することができる。

ここで、設備除却については、必ずしも省エネルギーだけを目的としたものではないと考えられるため、本稿では以下の理由から、設備償却から識別された設備除却に関する損失を捨象する場合を主たる結果とし、参考迄に全部が省エネルギー対策の除却であった場合を示すという2通りの考え方を採ることとする。

- 設備除却の経営判断は、需給調整による価格の上方誘導や労働生産性の向上、エネルギー効率など様々な要因を考慮して総合的に行われるものであり、需給調整や労働生産性の向上などを目的とした部分とエネルギー効率の向上を目的とした部分を識別・分離することは事実上不可能であること。
- 見方を変えれば、設備稼働率の向上によるエネルギー効率の向上は、設備除却による集約化の経営メリットの重要な一部分であり、経営判断を行うにあたってはこれらの効果を総合的に判断されていると考えられること。

- 参考 式 3-1-3-1. 鉄鋼業の追加的省エネルギー対策設備除却の推計・識別
図 3-1-3-1. 鉄鋼業の追加的省エネルギー対策設備除却の考え方
図 3-1-3-2. 鉄鋼業の主要設備容量推移
図 3-1-3-3. 鉄鋼業の設備投資、設備償却・除却額推移

3-1-4. 鉄鋼業の省エネルギー設備投資、設備除却額推移と平均資本費用の推計

3-1-2., 3-1-3. での識別・推計手法を用いて、設備投資・設備除却額推移を具体的に推計し、さらにこれを毎年度の資本費用に換算する。

a. 追加的設備投資額の推計-1. 量的投資・質的投資の分離

内閣不経済社会総合研究所による鉄鋼業実質設備投資額推移を、鉄鋼統計年報における主要設備容量推移で回帰推計した結果、設備投資のうち量的投資に有意な相関のある設備は電気炉設備のみであるという結果を得る。

実際、1980～2005年度において新增設が行われた主要設備は電気炉のみであり、当該結果は妥当であると考えられる。

参考 式 3-1-4-1. 設備投資推移からの量的投資・質的投資の分離結果

b. 追加的設備投資額の推計-1. 量的投資・質的投資の分離

a. の結果分離された質的投資額を、総務省科学技術研究調査報告による研究開発投資額、国内総生産デフレータで実質化した値の数及び1998年度以降のダミー変数などを用いて回帰分析し、1998～2005年度の環境自主行動計画に対応する省エネルギー投資の年平均値を分離・識別した。

その結果、1998～2005年度の環境自主行動計画に対応する省エネルギー投資

の年平均値は約 3,020 億円(2000 年度実質価格) と推定された。

参考 式 3-1-4-2. 質的設備投資推移からの省エネルギー投資の分離結果

c. 追加的設備除却額の推計

内閣不経済社会総合研究所の資本ストック及び設備投資推移から推計される鉄鋼業の資本償却・除却額を、前年度資本ストック及び鉄鋼統計年報から推計される 1998 ~ 2005 年度主要設備の設備容量減少量を用いて回帰分析し、1998 ~ 2005 年度の環境自主行動計画の開始後に行われた設備除却費用を分離・識別した。

その結果、1998 ~ 2005 年度の環境自主行動計画の開始後の設備除却相当費用は、平均して t 当たり約 734.74 百万円(2000 年度実質価格)であり、さらに 1998 ~ 2005 年度の設備容量減少量 11.8 百万t から、除却費用は 8,700 億円と推定され、仮に 2012 年度迄に追加の除却がないとした場合、年平均値は約 6,200 億円(2000 年度実質価格) に達するものと推定された。

参考 式 3-1-4-3. 設備償却・除却額推移からの省エネルギー目的設備除却の分離結果

d. 追加的設備投資額・設備除却額からの平均資本費用推計

b, c. の平均設備投資額及び平均設備除却額については、費用対効果の推計のため、毎年度の平均資本費用として換算することが必要である。

鉄鋼業の主要設備の平均法定耐用年数が 14 年^{*12}であることから、平均設備投資額については、b. の 1998 ~ 2005 年度の 7 年間分の投資を 14 年間で償却したと仮定し、さらに長期金利・長期割引率を仮定した上で、設備投資額を毎年度の減価償却費、帰属利払費、公租公課(固定資産税 1.4 % 相当)に平均化することが必要である。

設備除却額は除却損失費として単年度に計上されているので、関連する除却が 2005 年度以降 2012 年度迄(1998 年度から起算して 14 年後)に追加的に生じなかったと仮定して、単年度当たりの平均除却損失費^{*13}を推計した。

その結果、鉄鋼業の環境自主行動計画省エネルギー投資に関する資本費用は、平均して設備投資分だけで約 1,740 億円、仮に設備除却分を全部考慮すると約 8,000 億円に達するものと推計された。但し、当該数値は省エネルギー対策によるエネルギー操業費用の低減分を考慮する前の数値であることに留意ありたい。

[表 3-1-4-4. 鉄鋼業の環境自主行動計画省エネルギー投資に関する資本費用推計]

| (百万円,2000 年度実質価格) | 長期金利・割引率 2 % | 3 % | 4 % |
|-------------------|--------------|---------|---------|
| 設備投資分 | 174,186 | 181,933 | 189,680 |
| 平均減価償却費 | 147,845 | 147,845 | 147,845 |
| 平均帰属利払費 | 15,494 | 23,242 | 30,989 |
| 平均公租公課 | 10,846 | 10,846 | 10,846 |
| 設備除却分 | | | |
| 平均除却費用* | 621,599 | 621,599 | 621,599 |

(表注: 設備除却分は、必ずしも全部が環境自主行動計画に伴う省エネルギー対策ではないことに注意)

*12 表 1-3-4-1. 主要鉄鋼業関係設備の耐用年数表 参照。

*13 除却の場合、残存耐用年数に応じて帰属利払費と固定資産税が不要となるが、除却された設備の残存耐用年数が不明であること、除却された設備費用の数%に過ぎないことから、ここでは捨象する。

3-2. 鉄鋼業のエネルギー操業費用の分析

3-2-1. 鉄鋼業のエネルギー操業費用の推計

鉄鋼業が環境自主行動計画に従い実施した各種の省エネルギー対策の結果、2-3-3. で見たとおり総合エネルギー消費原単位は1990年度を基準として約7%、1998年度を基準として約13%改善しており、エネルギーに関する操業費用がその分低減しているものと考えられる。

当該エネルギー費用の低減分は典型的な副次的便益であり、費用対効果を分析する際には、3-1. で見た平均資本費用から控除して評価しなければならない。

鉄鋼業のエネルギーに関する操業費用については、直接の統計資料は存在しないため、日本貿易統計や日本銀行企業物価指数などのエネルギー源別の価格資料からエネルギー源別の各時点での単価を推計し、鉄鋼業のエネルギー消費量に乘じることにより、鉄鋼業のエネルギーに関する操業費用を推計することができる。

参考 表3-2-1-1. 鉄鋼業のエネルギー操業費用の推計に用いたエネルギー源別価格資料

3-2-2. 鉄鋼業のエネルギー操業費用の推移と評価基準の問題

1) 鉄鋼業のエネルギー操業費用の推計結果

3-2-1. での手法により、1990年代の鉄鋼業のエネルギー操業費用を推計すると、2003年度からの原油価格高騰の影響を受けてエネルギー価格は原油価格において約4倍と大幅に変動しており、エネルギー価格の変動による外的影響を非常に大きく受けているため、1990年代を通じて行われた鉄鋼業の省エネルギー対策の操業費用面での効果を直接的に観察することができないことが理解される。

また、鉄鋼業としての影響は量的にわずかではあるが、電力・都市ガスについては1990年代に部分自由化の影響により産業用電気料金・産業用ガス料金は大きく低下しており¹⁴、こうした要素も直接的な観察結果に影響を与えていると考えられる。

参考 図3-2-2-1.,-2. 鉄鋼業エネルギー操業費用原単位推移(年度・四半期)

図3-2-2-3. 実質エネルギー価格推移(日本貿易統計輸入価格を実質化,四半期)

2) 鉄鋼業のエネルギー操業費用の評価基準

1) のような外的影響の問題により、単純なエネルギー操業費用を計算しただけでは大きな外的要因の影響が混在しており、省エネルギー対策によるエネルギー操業費用節減を必ずしも正しく推計できないことが判明した。

特に、エネルギー源価格の高騰により、鉄鋼業が投資の意志決定をした時点よりも省エネルギーによる操業費用の低減による便益が大きく観察され、鉄鋼業がどのような経済的見通しにより省エネルギー対策を行ったのかを評価することができないことが懸念される。

このため、こうした外的影響の問題を取除くため、エネルギー操業費用については以下の2つの方法で評価を行うこととする。

a. 1998年度単価固定法

各エネルギー源のエネルギー源別価格を、省エネルギー対策が開始された1998年度の価格に固定し、エネルギー操業費用原単位の低減額から評価を行う方法。

鉄鋼業が省エネルギー対策を開始する時点においては、1998年度以前のエネルギー価格を想定して設備投資などの対策を実施する判断を行ったと考えられる。

このため、省エネルギー対策が開始された1998年度の単価に固定して評価するこ

*14 戒能(2005)「電気事業・都市ガス事業に関する政策制度変更の定量的影響分析」参照。

とが1つの案として考えられる。

但し、この方法では鉄鋼業の省エネルギー対策がどの程度の負担を覚悟して行われたものなのかを知ることができるが、現実には鉄鋼業の経営上現時点で発生している副次的便益の大きさを知ることができない。

b. 2005年度直近価格評価法

各エネルギー源のエネルギー源別価格を、直近年である2005年度の価格に固定し、エネルギー操業費用原単位の低減額から評価を行う方法。

鉄鋼業の投資の意志決定如何に関係なく、省エネルギー対策によって現在生じている副次的便益は2005年度の(高騰した)価格でのエネルギー操業費用の低減相当分であり、当該副次的便益をそのまま評価することが1つの案として考えられる。

但し、この方法では現実に現時点で生じている副次的便益を知ることができるが、鉄鋼業の省エネルギー対策がどの程度の負担を覚悟して行われたものなのかを知ることができない。

3-2-3. 鉄鋼業のエネルギー操業費用低減の評価結果

3-2-2. での2通りの方法により、鉄鋼業のエネルギー操業費用の低減を評価した。

a. 1998年度単価固定法

1998年度単価固定法により推計したエネルギー操業費用の低減は極めて少額であり、粗鋼1億t生産の条件下で年間100億円にも満たないものと推計された。

1998年度から約13%相当の省エネルギー対策が実施されているにもかかわらずエネルギー操業費用が殆ど低減しない理由は、省エネルギー対策により当時相対的に廉価であった石炭の使用を節減する一方、同一エネルギー量あたりの価格が石炭の10倍近く高い都市ガス・天然ガスなどの利用が拡大してきたためと考えられる。

このことは、鉄鋼業の環境自主行動計画が開始された時点では、当該計画は各種の省エネルギー対策などによるエネルギー操業費用の低減による経済的利益を目的としたものではなかったことが推察される。

b. 2005年度直近価格評価法

2005年度直近価格評価法により推計したエネルギー操業費用の低減は、エネルギー源価格全般の高騰を受け、粗鋼1億t生産の条件下で年間約800～1,100億円、エネルギー操業費用の約10%程度であると推計された。

エネルギー源価格がほぼ底打ち状態にあった1998年度と比較して、2005年度では原油価格が4倍、原料炭価格で2倍以上となった反面、電力・都市ガスの部分自由化を受けてこれらの価格が約10%低減したため、結果としてエネルギー操業費用が大きく低減したと評価されたものと考えられる。

[表 3-2-3-1. 鉄鋼業の省エネルギー対策によるエネルギー操業費用低減の評価結果]

| (2000年実質価格) | 各時点での評価 | 1998年度単価固定 | 2005年度直近固定 |
|-------------------------------|---------|------------|------------|
| 原単位 (¥10 ³ /粗鋼t) | | | |
| 1990FY | 6.393 | 4.708 | 10.307 |
| 1998FY | 5.083 | 5.083 | 10.613 |
| 2005FY | 9.478 | 4.750 | 9.478 |
| 原単位低減 (¥10 ³ /粗鋼t) | | | |
| 90 05FY | +3.085 | +0.009 | 0.829 |
| 98 05FY | +4.395 | 0.066 | 1.135 |

(= 粗鋼1億t時のエネルギー操業費用(1,000億円))

3-3. 鉄鋼業の追加的省エネルギー対策費用の推計結果

3-3-1. 鉄鋼業の追加的省エネルギー対策費用

3-1., 3-2. で見たとおり、鉄鋼業が1998年度に開始した環境自主行動計画による各種の省エネルギー対策費用については、省エネルギー対策以外の目的での設備投資・設備除却やエネルギー源別の価格変動などの外的要因を完全に排除しきれないため、費用についての考え方に従って何通りかの値をとるか、あるいは実際の費用が当該値の範囲内に存在しているものと考えられる。

このような多義性を踏まえた上で、環境自主行動計画の開始年である1998年度を基準とし、長期割引率を3%と仮定した場合の粗鋼生産高1億t水準での費用は、当初約1,753億円、結果として約684億円であると推計された。

参考 図3-3-1-1. 鉄鋼業の追加的省エネルギー対策費用のまとめ

3-3-2. 鉄鋼業の追加的省エネルギー対策費用の意味

3-3-1. で試算した4通りの費用について、誤解を避けるためその意味を再度整理しておく。

1) 鉄鋼業が当初「覚悟」した費用の最小値（設備投資のみ・1998年度固定価格）

鉄鋼業が1998年度当時に環境自主行動計画による省エネルギー対策投資を検討するに当たり、最小限度の経営負担として「覚悟」した費用が年度平均約1,753億円である。

当該費用のうち経費としては、設備投資分のみが計上されているが、実際には設備除却など省エネルギー対策を副次的な目的の1つとして行った対策が存在しており、費用の対象範囲としては過小評価である可能性がある。

一方、便益としては1998年度当時のエネルギー価格に基づくエネルギー操業費用低減分が計上されているが、これは当時期待(覚悟)された最低限の分であり、実際の鉄鋼業の経営上発生している便益より小さい。

2) 鉄鋼業が結果として負担した費用の最小値（設備投資のみ・2005年度固定価格）

鉄鋼業が2005年度時点で環境自主行動計画による省エネルギー対策投資により、エネルギー価格変動の結果として生じた便益を設備投資による経費から控除した費用が年度平均約684億円である。

経費としては、1) 同様に設備投資分のみが計上されており設備除却などが含まれておらず、費用の対象範囲としては過小評価である可能性がある。

一方、便益としては2005年度時点のエネルギー価格に基づくエネルギー操業費用の低減分が計上されており、ほぼ現実の負担に近い値を示しているものの、当該値は鉄鋼業の省エネルギー対策への「努力水準」を必ずしも正しく反映しておらず、エネルギー価格変化による費用を過小評価していると考えられる。

3), 4) 鉄鋼業が当初「覚悟」した費用の最大値（設備投資+設備除却・2005年度直近価格）

鉄鋼業が1998年度当時に環境自主行動計画による省エネルギー対策投資を検討するに当たり、経営上当該対策に関連するとして負担を考慮した最大費用。

当該費用のうち経費としては、設備投資と除却損失の全部が計上されているが、実際には設備除却の主たる目的は需給調整や労働生産性の向上などの経営上の目的にあると考えられ、省エネルギー対策は副次的な目的の1つとして行ったに過ぎないが、経営判断への各要因の寄与度が不明であるため参考として全額を計上したもの。

エネルギー価格の評価時点(1998年度, 2005年度)の影響はあるものの、設備除却損失が非常に大きいため、費用は約7,000～8,000億円と極めて高い水準になってしまう。

4. 考 察

4-1. 鉄鋼業の省エネルギー対策の費用対効果

4-1-1. 鉄鋼業の省エネルギー対策の費用対効果

鉄鋼業が1998年度に開始した環境自主行動計画による省エネルギー対策投資などについて、その省エネルギー対策としての費用対効果を推計した結果以下のとおり。

なお、年度による費用や省エネルギー効果の偏差を補正し平均化するため、1998～2005年度に行われた設備投資・設備除却が、ほぼ2回再整備される1998～2030年度での平均費用(2000年度実質価格表示)を平均省エネルギー効果で除して費用対効果を推計している。

- a. 鉄鋼業が当初「覚悟」した費用対効果 : 約 0.6 円/MJの正の値^{*15}
- b. 鉄鋼業が結果として達成した費用対効果: 約 0.3 円/MJの正の値

[表 4-1-1-1. 鉄鋼業の省エネルギー対策の費用対効果推計結果]

(1998～2030年度平均, 長期割引率3%, 粗鋼生産高1億t, 単位: 2000年価格 ¥/MJ)

| 算定対象範囲 / エネルギー-価格前提 | 1998年度固定価格 | 2005年度直近価格 |
|---------------------|------------|------------|
| 対策費用 (設備投資のみ) | +0.587 | +0.302 |
| (長期割引率2%) | +0.557 | +0.272 |
| (長期割引率4%) | +0.617 | +0.332 |
| (参考) 設備投資+除却損失全部 | +3.009 | +2.724 |
| (参考) 鉄鋼業平均エネルギー費用 | +0.125 | +0.412 |

4-1-2. 鉄鋼業の省エネルギー対策によるエネルギー起源二酸化炭素排出量削減の費用対効果

4-1-1. 同様の評価方法により、鉄鋼業の環境自主行動計画による省エネルギー対策投資などによるエネルギー起源二酸化炭素排出量の削減に関する費用対効果を試算した結果以下のとおり。

- a. 鉄鋼業が当初「覚悟」した費用対効果 : 約 124,000 円/t-CO₂
- b. 鉄鋼業が結果として達成した費用対効果: 約 64,000 円/t-CO₂

[表 4-1-2-1. 鉄鋼業のエネルギー起源二酸化炭素排出量削減の費用対効果推計結果]

(1998～2030年度平均, 長期割引率3%, 粗鋼生産高1億t, 単位: 2000年価格 ¥/t-CO₂)

| 算定対象範囲 / エネルギー-価格前提 | 1998年度固定価格 | 2005年度直近価格 |
|---------------------|------------|------------|
| 対策費用 (設備投資のみ) | +124,284 | +63,997 |
| (長期割引率2%) | +117,889 | +57,602 |
| (長期割引率4%) | +130,678 | +70,390 |
| (参考) 設備投資+除却損失全部 | +637,333 | +577,045 |

*15 仮に省エネルギー対策によるエネルギー操業費用低減で回収できる投資であったならば、当該費用対効果は0以下の負の値でなければならない。

4-1-3. 鉄鋼業のエネルギー起源二酸化炭素排出量削減の費用対効果の評価

4-1-2. での推計結果を、内外のエネルギー起源二酸化炭素削減対策の費用対効果と比較した場合、鉄鋼業のエネルギー起源二酸化炭素排出量の削減に関する費用対効果は著しく費用対効果が低く、ほぼ京都メカニズムを全く使わずに国内削減措置のみで京都議定書の第1 遵守期間目標を達成しようとする場合の限界削減費用に達してしまうものと評価された。

このように費用対効果が相対的に非常に低い理由は、省エネルギー対策の遅れた発展途上国や移行経済国での京都メカニズムや国際排出権取引制度を活用した経済合理的な対策と比べ、既に炉頂圧発電設備(TRT)やコークス乾式消火設備(CDQ)、微粉炭吹込操業(PCI)などの省エネルギー設備や技術の普及率がほぼ一巡している日本の鉄鋼業において強いて追加的省エネルギー対策を講じているためであると考えられる。

鉄鋼業の環境自主行動計画においても、最近では「製品による社会での省エネルギー貢献」によるLCA的な視点からの省エネルギー面での波及効果の分析や、「国際技術協力による省エネルギー貢献」による共同実施やCDM事業への取組みなどの形で実施内容やその効果についての考え方を再整理する動きが見られる。

鉄鋼業の環境自主行動計画に関する自主的な負担と対策の努力は確実に実績を挙げているが、その取組みは高く評価されなければならないが、このような著しく費用対効果の低い対策を継続していくことが本当に必要か否かについては、十分再考の余地があると考えられる。

[表 4-1-3-1. 鉄鋼業のエネルギー起源二酸化炭素排出削減の費用対効果の比較]

| | |
|---|---|
| - 鉄鋼業のエネルギー起源二酸化炭素排出削減の費用対効果 | 63,997 ~ 124,264 円/t-CO ₂ |
| - IPCC-TARのモデルによる日本国限界削減費用 ^{*16} | |
| 国内削減措置のみ | 150,054 円/t-CO ₂ |
| 先進国間取引あり | 34,017 円/t-CO ₂ |
| 京都メカニズム完全活用 | 15,437 円/t-CO ₂ |
| - EU-ETS の排出権価格(2006年11月時点 ^{*17}) | |
| 最高価格(30.0 1-0/tCO ₂) | 4,500 円/t-CO ₂ |
| 直近価格(8.9 1-0/tCO ₂) | 1,335 円/t-CO ₂ |
| (- 環境省提案の炭素税額(2005年度) | |
| | 2,400 円/t-C) (655 円/t-CO ₂) |

4-1-4. 鉄鋼業のエネルギー起源二酸化炭素排出量削減の制度論的意味

ここまでの推計結果は、省エネルギー対策としての費用対効果についての考察であったが、視点を変えて「政府の省エネルギーに関する税制・排出権割当などの政策措置の回避」という意味での費用対効果を考察してみる。

3-3-1. での推計結果から、鉄鋼業は、環境自主行動計画の開始年である1998年度の時点では粗鋼生産高1億t水準での対策費用を当初年間約1,753億円と見込んでいた。

*16 参考文献 #7 の平均値を 1990年実質価格1ドル = 110円で邦貨換算。

*17 1ユーロ = 150円で邦貨換算。

また、その後のエネルギー価格の高騰により、結果として対策費用は年間約 684 億円であったと推計される。

一方で、環境省が 2005 年度に提唱した環境税額は 2,400 円/t-C (約 655 円/t-CO₂) であり、仮に鉄鋼業の 2005 年度の全排出量約 4,400 万t-Cが課税対象^{*18}となったとすると、約 1,057 億円の税負担が発生する計算となる。

1998 年度以降のエネルギー価格の変化が仮に半分であったとすると、粗く考えて鉄鋼業が負担した環境自主行動計画の費用は約 1,220 億円^{*19}となり、当該税負担とほぼ同水準の費用であったと考えることができる。

従って、鉄鋼業の環境自主行動計画による省エネルギー対策は、純粋な省エネルギー対策としての費用対効果は著しく悪いが、結果として「政府の省エネルギーに関する税制や排出権割当制などの打撃の大きい政策措置の回避」という意味での費用対効果においてはほぼ妥当な水準であったことが推定される。

見方を変えれば、環境省が 2005 年度に提唱した環境税程度の負担を伴う措置については、鉄鋼業については既に 1998 年度から自主的にこれを内部負担し、着実に実行して成果を挙げていることが示され、税制や排出権割当と比較して自主行動計画に実効性がないなどの議論には根拠がないものと考えられる。

4-2. 鉄鋼業の省エネルギー対策の今後の見通し

4-2-1. 鉄鋼業の工程別設備投資による省エネルギー対策の追加可能性

鉄鋼業が 1998 年度に開始した環境自主行動計画による省エネルギー対策投資などについて、ここまでの評価においては 2005 年度迄の省エネルギー対策投資などの費用とその効果を評価してきたが、今後 2010 年度迄の見通しについて考察してみる。

鉄鋼業の環境自主行動計画による省エネルギー対策投資については、既に殆どの分野で既存の省エネルギー対策設備の整備が一巡しており、今後追加的な整備の余地は殆どないか、あっても極めて限定的であると考えられる。

その反面、製品の高付加価値化など鉄鋼工程の工程別エネルギー消費の増加要因は今後とも拡大を続けると考えられ、今後工程別の省エネルギー対策については大きな効果を期待できないものと考えられる。

[表 4-2-1-1. 主要省エネルギー設備の普及率の国際比較(1996 年日本鉄鋼連盟調査)]

| (普及率 %) | 日 本 | 韓 国 | アメリカ | イギリス | ドイツ |
|-----------------|-----|-----|------|------|-----|
| 炉頂圧発電設備(TRT) | 100 | 100 | 2 | 0 | 24 |
| 転炉ガス回収設備(LDG) | 100 | 25 | 11 | 18 | 0 |
| コークス乾式消火設備(CDQ) | 85 | 50 | 0 | 0 | 33 |

4-2-2. 鉄鋼業の工程横断的・総合的な省エネルギー対策

高炉における塊鉱直接投入、微粉炭吹込操業(PCI)、転炉における高屑鉄比操業など、

*18 現実の環境省の環境税提案(2004,2005 年度)では、鉄鋼製造用の石炭・コークスを免税とする、一定の省エネルギー対策を行った事業者への軽減措置を講じるなどの配慮がなされているが、当該提案の配慮は関係者の長い交渉の結果として形成されたものであることから、ここでは 1998 年度の鉄鋼業の経営判断の段階でどうであったかを考察するためあえて全量課税の状態を仮定している。

*19 粗い推定であるが、(1753 + 684) / 2 = 1218 である。

工程横断的・総合的な省エネルギー対策については 1998 年度からの環境自主行動計画の省エネルギー対策の主要部分を占めており、かつ 1990 年度を基準として現在迄にエネルギー効率を約 7 % 改善、1998 年度を基準として約 13 % 改善を達成するなど、2010 年度の目標(1990 年度比 10 % 削減)に向けて確実な成果を上げていることが示された。

しかし、2005 年度現在においてこれらの技術の普及は既に一巡しつつあり、微粉炭吹込比率や転炉の屑鉄比などが飽和化する傾向が見られるなど、現在実施されている環境自主行動計画における省エネルギー対策の目標の範囲内であれば有望と考えられるが、2010 年以降にそれ以上の改善が期待できる状況にはないことが推察される。

- 参考 図 2-1-2-2. 高炉製鉄工程投入原材料構成比の推移
 図 2-1-2-6. 高炉製鉄工程エネルギー投入・回収原単位の推移(四半期)
 図 2-1-3-3. 転炉製鋼工程の投入原材料構成比の推移

4-2-3. 鉄鋼業の設備除却による稼働率向上を通じた省エネルギー対策

2000 年以降の鉄鋼業においては、需給調整と稼働率向上を通じた省エネルギーなどの経営合理化を目的として、高炉～電気炉などの老朽・小規模設備を除却する経営判断が行われ、これにより設備稼働率は飛躍的に向上し構造調整が一挙に進んだ感がある。

しかし、2005 年度現在の高炉・転炉などの稼働率は既に 100 % 近くに達しており、電気炉についても 80 % という例を見ない稼働率水準で操業が行われており、今後 2010 年度頃までの期間においては、設備除却による稼働率向上の余地は殆どないと考えられる。

- 参考 図 1-2-3-2. 鉄鋼業稼働率指数推移

4-2-4. 鉄鋼業の省エネルギー対策関連新技術

4-2-1. ～ -3. で考察した現在の対策内容に加えて、鉄鋼業においては革新的な省エネルギー対策関連の新技術の導入により、さらに大幅な省エネルギー対策を実現する計画が進められているところである。

2010 年度迄の期間においてこれらの新技術がどの程度導入されるかという点については必ずしも明らかではないが、中長期的な省エネルギー対策の推進の観点からは、こうした重要な新技術に対して正当な評価が与えられるべきであり、政府は京都議定書の第 1 約束期間(2008 ～ 2012 年)に仮に間に合わないとしても必要な支援を怠るべきではないと考えられる。

[表 4-2-4-1. 鉄鋼業の主要な省エネルギー対策関連新技術(日本鉄鋼連盟による)]

焼結鉱製造工程 新焼結プロセス

現在の焼結鉱製造工程における造塊焼結を、さらに高温・長時間で行うことにより鉄鉱石の部分還元を促進させ、高炉でのコークス・吹込原料炭などの還元剤を大幅に削減する技術。焼結用消費は増加するが、焼結-高炉製鉄工程を通算してエネルギー消費が 10 % 程度削減される。

高炉製鉄工程 直接還元プロセス

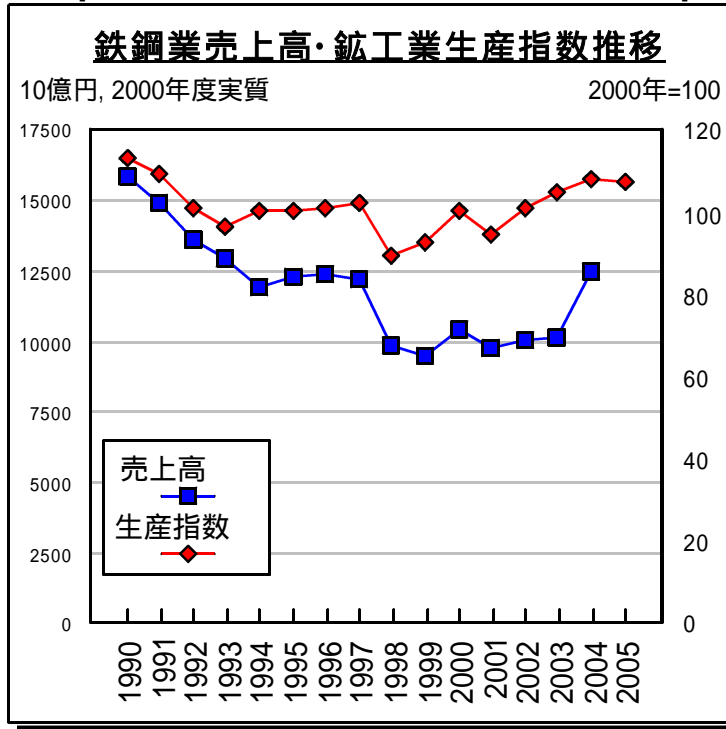
焼結鉱とコークス等から一旦銑鉄を作って製鋼する現在の製鉄プロセスを改め、粉鉱石・微粉炭・副原料などの原材料を造粒し還元焼成することにより、直接粒鉄や海綿状鉄などの製鉄鉄源を製造する技術。粉体反応を利用することにより 20 % を超える省エネルギーが見込まれる。

コークス製造工程 SCOPE 21 プロセス

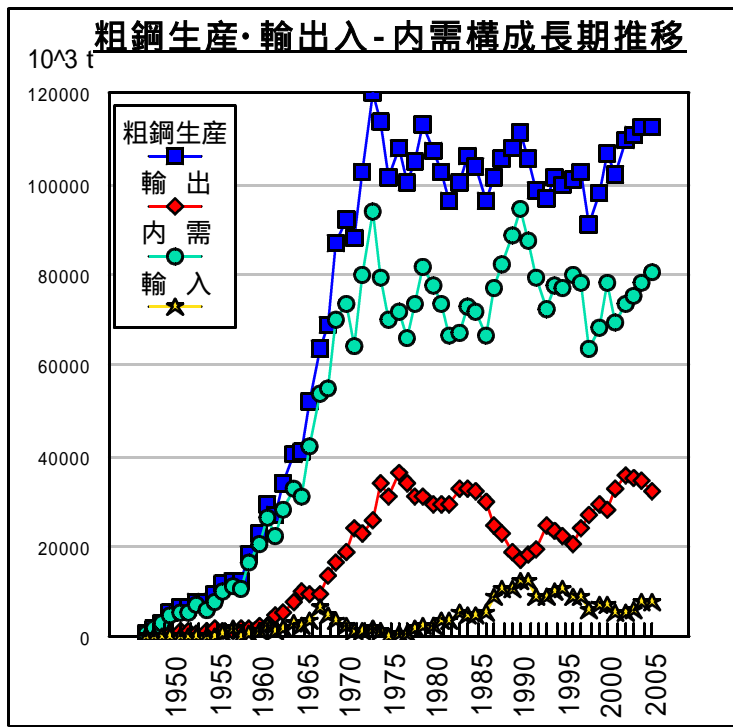
今後寿命を迎えるコークス炉の代替として、予備処理の高度化による非微粘炭利用拡大、高密閉炉体によるコークス製造エネルギーの 20 % 以上低減や燃焼損失の低減、予熱・中低温乾留による生産性の向上などを目標とした次世代型コークス炉(SCOPE 21)を開発導入する。

別掲図表

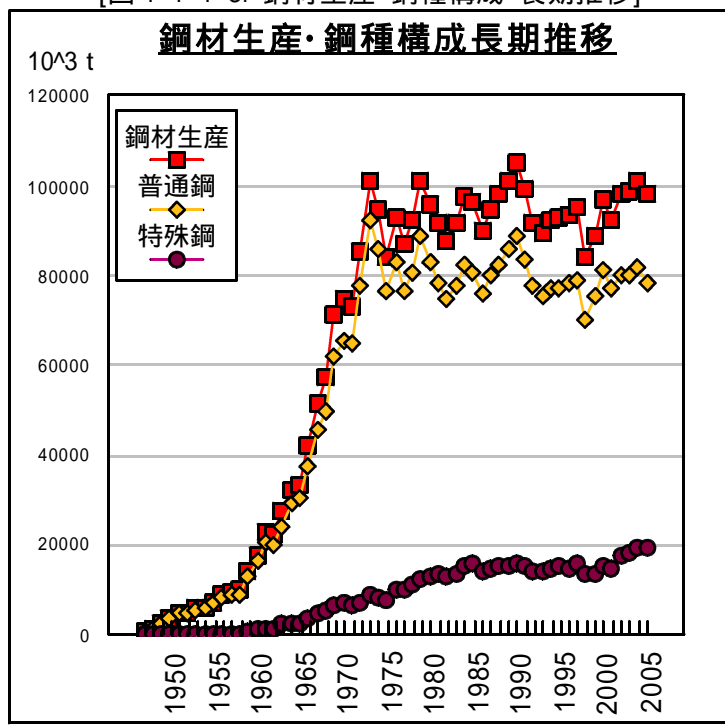
[図 1-1-1-1. 鉄鋼業売上高・鉱工業生産指数推移]



[図 1-1-1-2. 粗鋼生産・輸出入-国内需要構成 長期推移]



[図 1-1-1-3. 鋼材生産・鋼種構成 長期推移]



[表 1-1-2-1. 鉄鋼業のエネルギー消費・エネルギー起源二酸化炭素排出の位置づけ]

| | エネルギー消費(PJ) | | | エネルギー起源二酸化炭素(MtC) | | |
|-----------|-------------|----------|-------|-------------------|----------|-------|
| | 国内総供給(a) | 鉄鋼業消費(b) | b/a | 国内総排出(c) | 鉄鋼業排出(d) | d/c |
| 1990 年度 | 20,183 | 2,446 | 0.121 | 288.8 | 49.3 | 0.171 |
| 2004 年度 | 23,673 | 2,379 | 0.101 | 326.3 | 49.2 | 0.151 |
| 2004/1990 | 1.173 | 0.972 | | 1.130 | 0.997 | |

(数値出典: 総合エネルギー統計)

[表 1-1-3-1. 鉄鋼業の環境自主行動計画の概要]

構成企業 社団法人日本鉄鋼連盟 68 社 (2004 年度で鉄鋼業のエネルギー消費の約 97.4 %相当)

数値目標 基準年度を 1990 年度とし、目標年度 2010 年度において以下の内容を達成する。

1) 鉄鋼生産における省エネルギー

粗鋼生産 1 億トンレベルを前提として、エネルギー消費量を 10 %削減。

2) 廃プラスチック活用による追加的取組み

集荷システムの整備を前提として、高炉等における廃プラスチックの活用により、1) に追加してエネルギー消費量を 1.5 %削減。

3) 製品・副産物による社会での省エネルギー貢献・国際技術協力による貢献など(内容略)

算定基準

1) 統計基礎 石油等消費動態統計を基礎とし、国の標準発熱量・炭素排出係数を使用。

2) 計量範囲 数値目標の 1), 2) については、鉄鋼業の鉄鋼プロセス、付属設備(自家発電、コークス炉、オンサイト関連会社)とし、当該範囲と外部とのエネルギーの投入・払出しを考慮する。共同火力発電、IPPは対象に含まない。

評価検証 業界内、日本経団連、産業構造審議会・総合資源エネルギー調査会などで毎年度フォローアップ。

[表 1-1-4-1. 省エネルギー法の構造と工場関連措置(抄)]

エネルギー使用の合理化に関する法律 (昭和 54 年 6 月 22 日法律第 49 号, 平成 17 年 8 月 10 日最終改正)

- 第 1 章 総則 (第 1 条 目的, 第 2 条 定義)
第 2 章 基本方針等 (第 3 条 基本方針, 第 4 条 エネルギー-使用者の努力)
第 3 章 工場に係る措置等 (第 5 条 ~ 第 51 条)

(工場エネルギー判断基準)

第 5 条 (事業者の基準となるべき事項)

第 5 条 経済産業大臣は、工場におけるエネルギーの使用の合理化の適切かつ有効な実施を図るため、次に掲げる事項並びにエネルギーの使用の合理化の目標及び当該目標を達成するために計画的に取り組むべき措置に関し、工場においてエネルギーを使用して事業を行う者の判断の基準となるべき事項を定め、これを公表するものとする。

- 一 燃料の燃焼の合理化
- 二 加熱及び冷却並びに伝熱の合理化
- 三 廃熱の回収利用
- 四 熱の動力等への変換の合理化
- 五 放射、伝導、抵抗等によるエネルギーの損失の防止
- 六 電気の動力、熱等への変換の合理化

2 (基準の改廃(略))

第 6 条 (主務大臣の指導・助言)

(第 1 種エネルギー管理指定工場)

第 7 条 (第 1 種エネルギー管理指定工場の指定)

第 8 条 (エネルギー管理者の第 1 種エネルギー管理指定工場への設置義務)

第 9 ~ 13 条 (エネルギー管理者・エネルギー管理員の資格・業務・要件)

第 14 条 (第 1 種エネルギー管理指定工場における中長期的計画の策定義務)

第 15 条 (第 1 種エネルギー管理指定工場における定期報告義務)

第 16 条 (第 1 種エネルギー管理指定工場の基準未達時の合理化計画策定指示及び命令)

第 16 条 主務大臣は、第一種エネルギー管理指定工場におけるエネルギーの使用の合理化の状況が第 5 条第 1 項に規定する判断の基準となるべき事項に照らして著しく不十分であると認めるときは、当該第 1 種エネルギー管理指定工場に係る第 1 種特定事業者に対し、その判断の根拠を示して、エネルギーの使用の合理化に関する計画(以下「合理化計画」という。)を作成し、これを提出すべき旨の指示をすることができる。

2 主務大臣は、合理化計画が当該第 1 種エネルギー管理指定工場に係るエネルギーの使用の合理化の適確な実施を図る上で適切でないとき、第 1 種特定事業者に対し、合理化計画を変更すべき旨の指示をすることができる。

3 主務大臣は、第 1 種特定事業者が合理化計画を実施していないとき、当該第 1 種特定事業者に対し、合理化計画を適切に実施すべき旨の指示をすることができる。

4 主務大臣は、前三項に規定する指示を受けた第 1 種特定事業者がその指示に従わなかつたときは、その旨を公表することができる。

5 主務大臣は、第一項から第三項までに規定する指示を受けた第 1 種特定事業者が、正当な理由がなくその指示に係る措置をとらなかつたときは、審議会等(国家行政組織法(昭和二十三年法律第百二十号)第八条に規定する機関をいう。以下同じ。)で政令で定めるものの意見を聴いて、当該第 1 種特定事業者に対し、その指示に係る措置をとるべきことを命ずることができる。

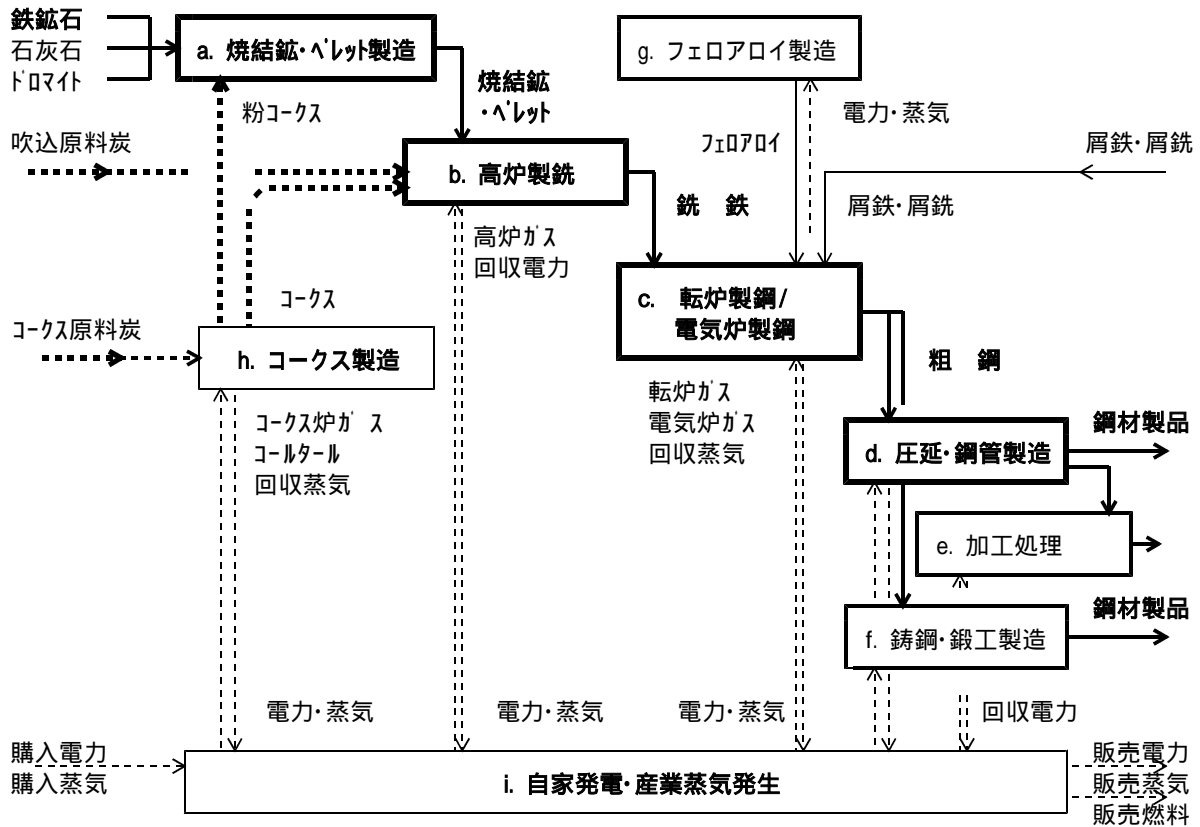
(第 2 種エネルギー管理指定工場(中小規模工場・第三次産業事業所等) (第 17 ~ 19 条 (略))

(登録調査機関による調査 (第 20 条) (略))

(指定試験機関・指定講習機関・登録調査機関に関する手続 (第 21 ~ 51 条 (略))

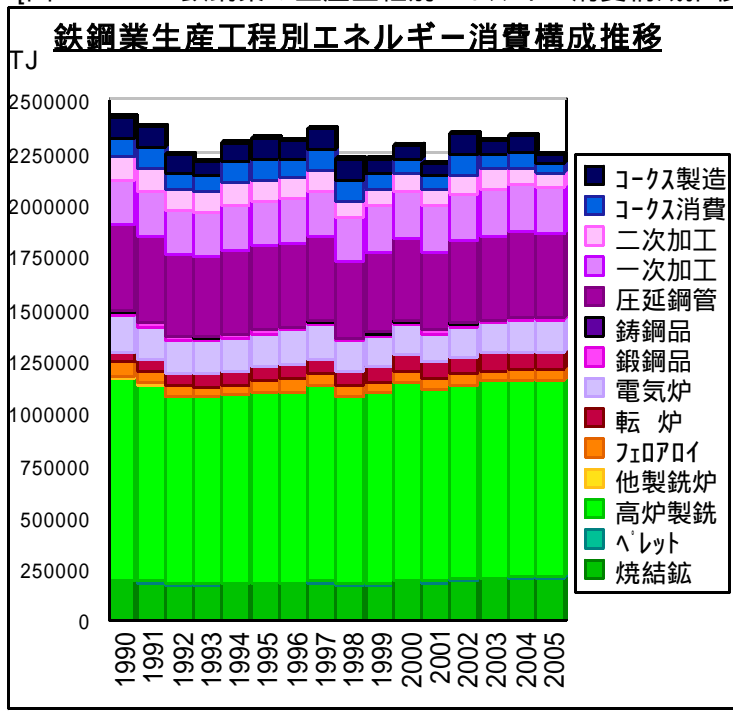
- 第 4 章 輸送に係る措置 (第 52 条 ~ 第 71 条, 内容略)
第 5 章 建築物に係る措置 (第 72 条 ~ 第 76 条, 内容略)
第 6 章 機械器具に係る措置 (第 77 条 ~ 第 81 条, 内容略)
第 7.8 章 雑則・罰則 (第 82 条 ~ 第 99 条, 内容略)

[図 1-2-1-1. 鉄鋼業の主要生産工程概念図]



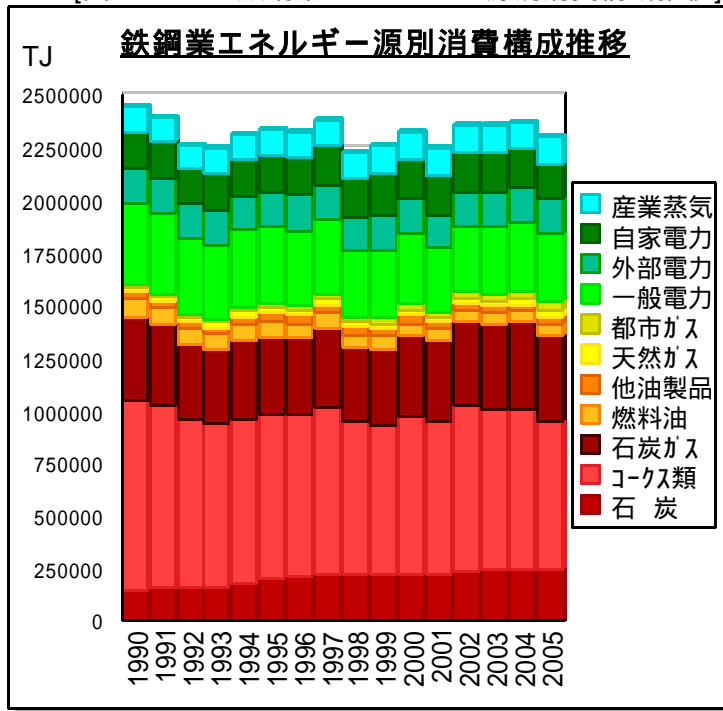
(図注 実線は鉄の流れ、破線はエネルギーの流れを示す。表示の都合上エネルギーの流れを一部省略している。実際の製鉄所では、さらに各工程に付随して生産される関連製品の製造工程が併設されている。)

[図 1-2-2-1. 鉄鋼業の生産工程別エネルギー消費構成推移]

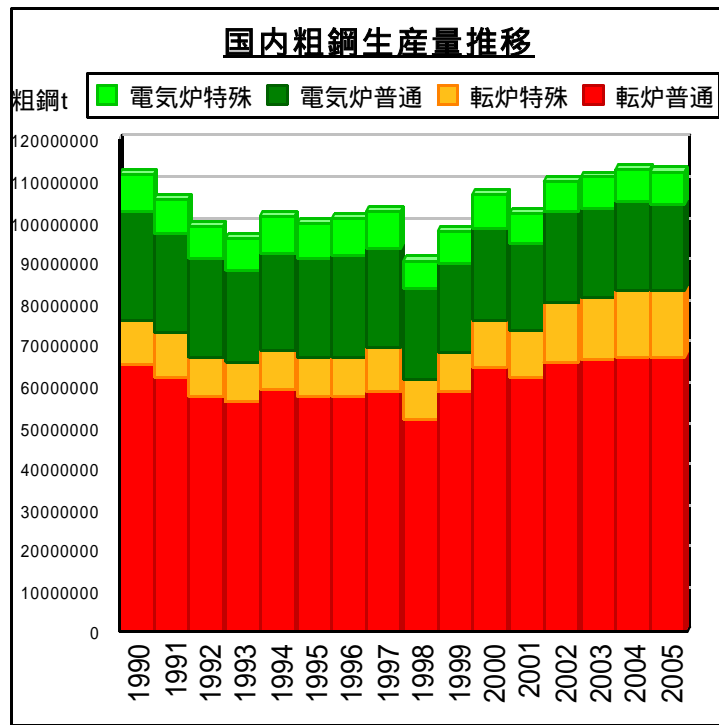


(図注: 他製鋼炉とは高炉以外の製鉄炉、一次・二次加工とはメガ鋼板・飲料缶などの製造に関するエネルギー消費をいう。)

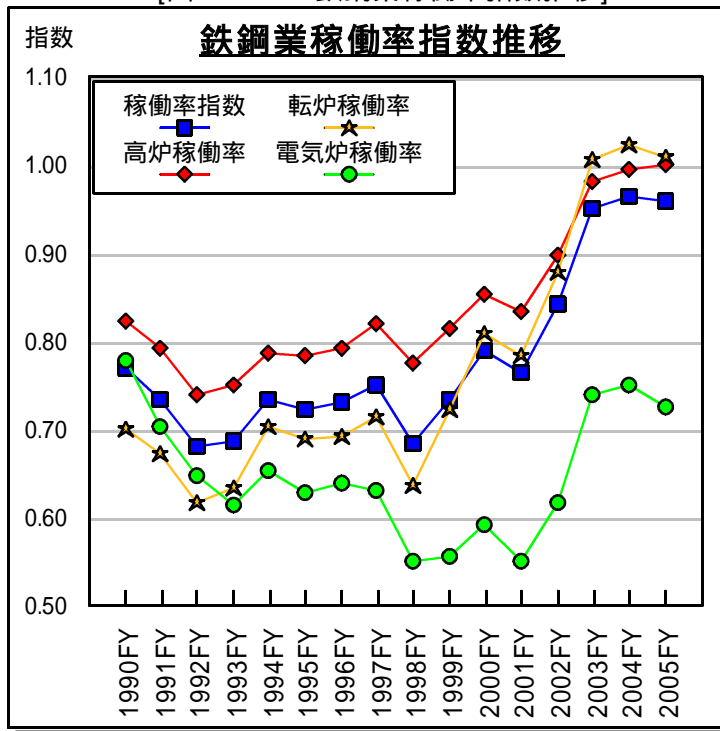
[図 1-2-2-2. 鉄鋼業のエネルギー源別消費構成推移]



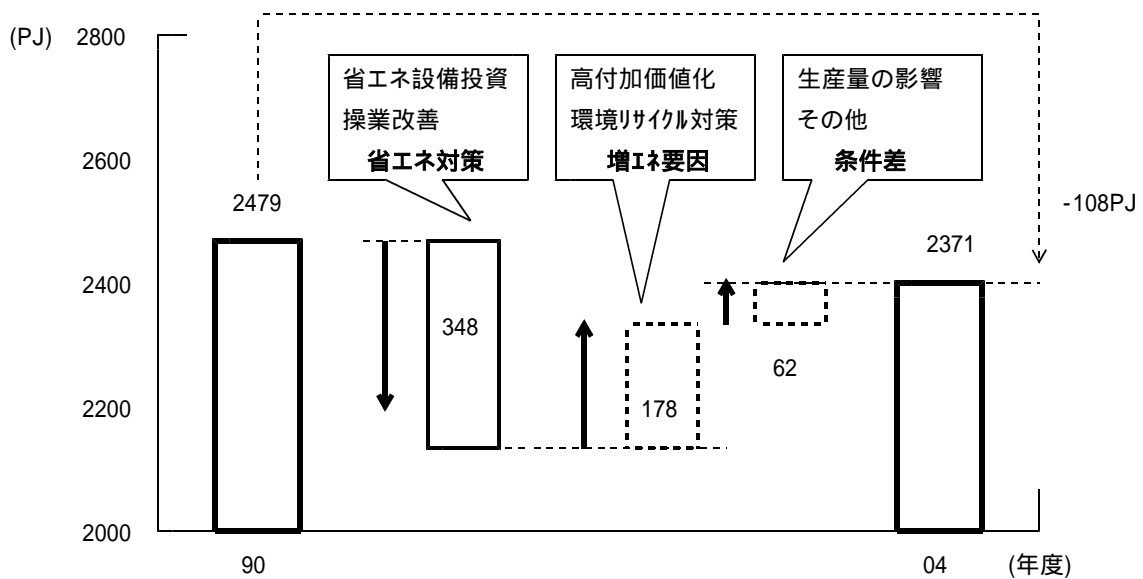
[図 1-2-3-1.,-2 国内粗鋼生産量推移]



[図 1-2-3-2 鉄鋼業稼働率指数推移]



[図 1-3-1-1. 90 ~ 2004 年度の省エネ対策とエネルギー消費変動要因((社)日本鉄鋼連盟資料)]



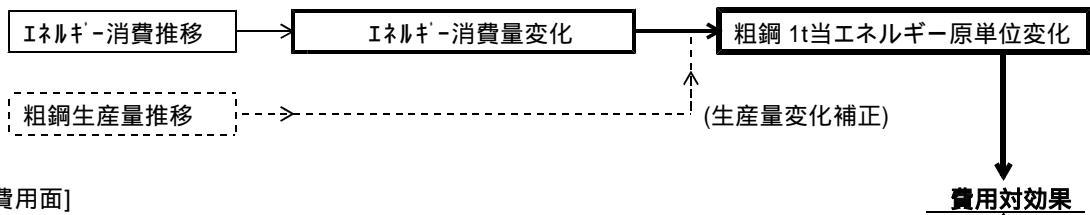
[表 1-3-4-1. 主要鉄鋼業関係設備の耐用年数表]

| | | | |
|-------------|-----|------------|-----|
| 製鉄設備 | 14年 | 鉄鋼熱間圧延設備 | 14年 |
| 純鉄又は合金鉄製造設備 | 10年 | 鉄鋼冷間圧延設備 | 14年 |
| 製鋼設備 | 14年 | 鋼管製造設備 | 14年 |
| 連続式鋳造鋼片製造設備 | 12年 | その他の鉄鋼業用設備 | 15年 |

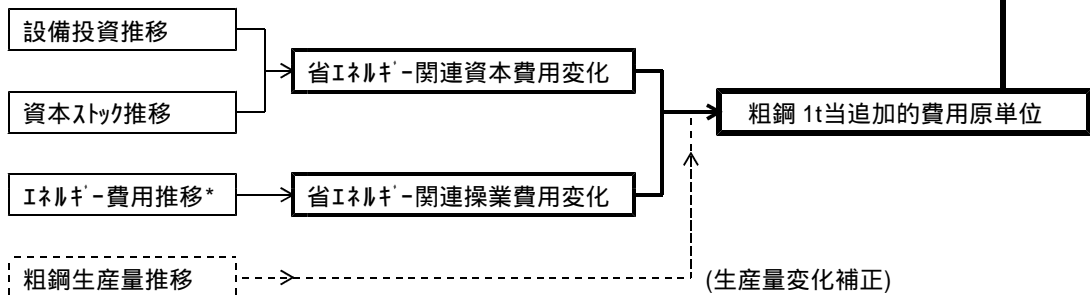
出典: 2005年現在、耐用年数財務省令による

[図 1-3-4-1. 鉄鋼業の省エネルギー対策の費用対効果分析の考え方]

[効果面]

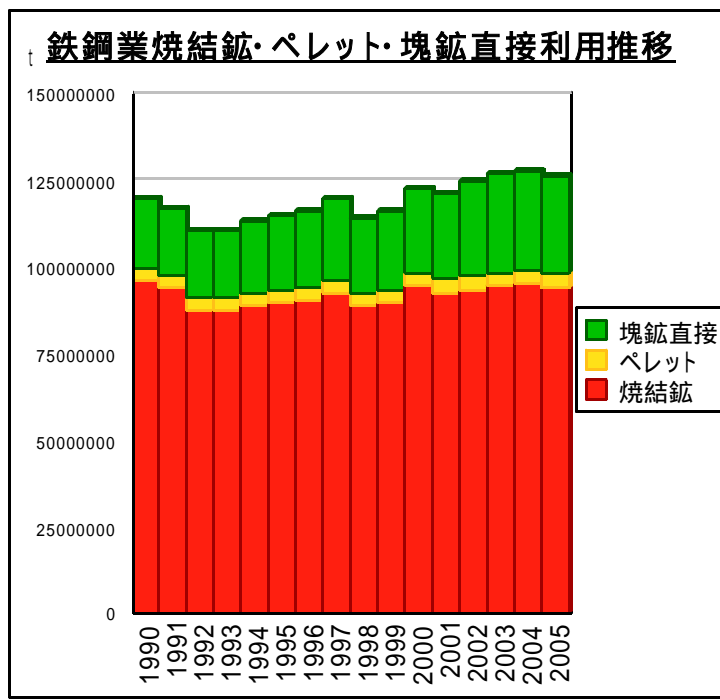


[費用面]

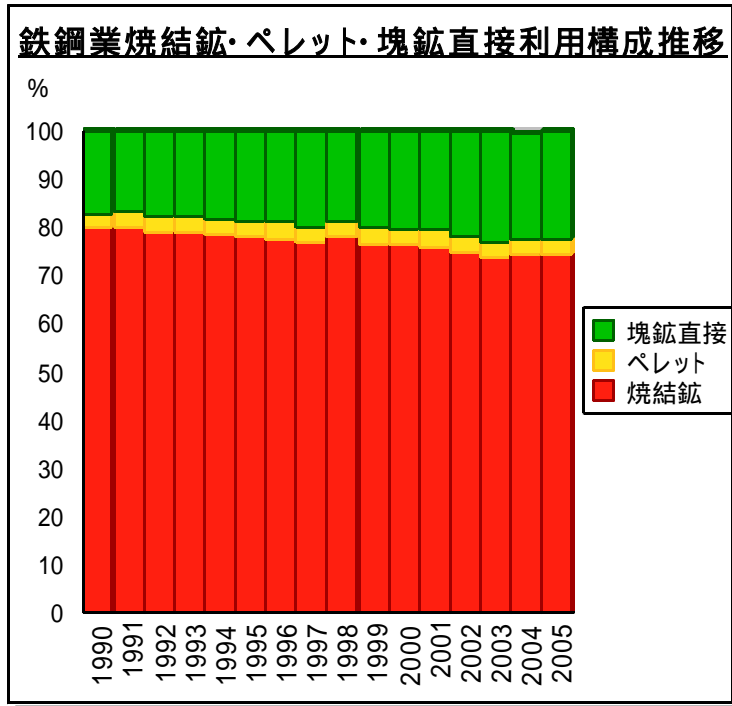


(* 操業費用のうち 鉄鉱石など原材料費用、労務費用などの影響は微小として捨象している。)

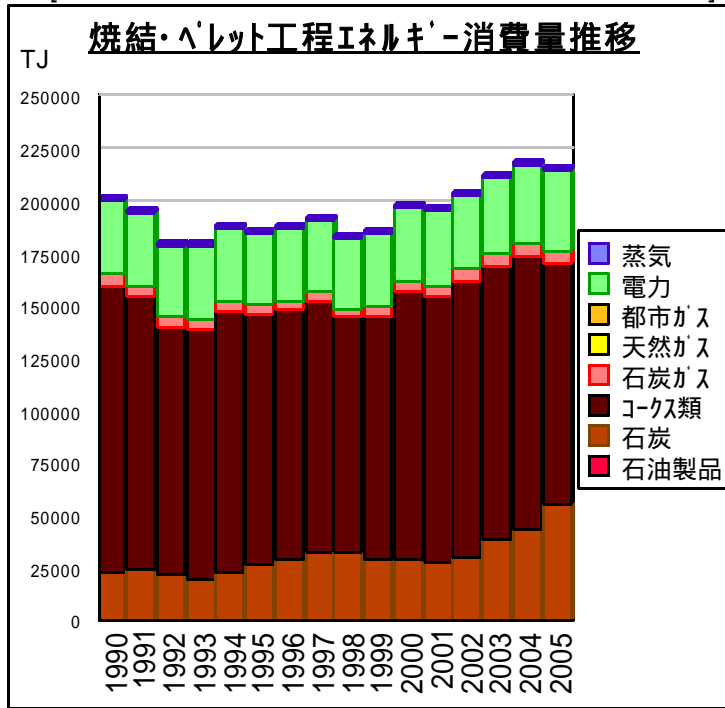
[図 2-1-1-1. 焼結鉱・ペレット・塊鉱直接利用の推移]



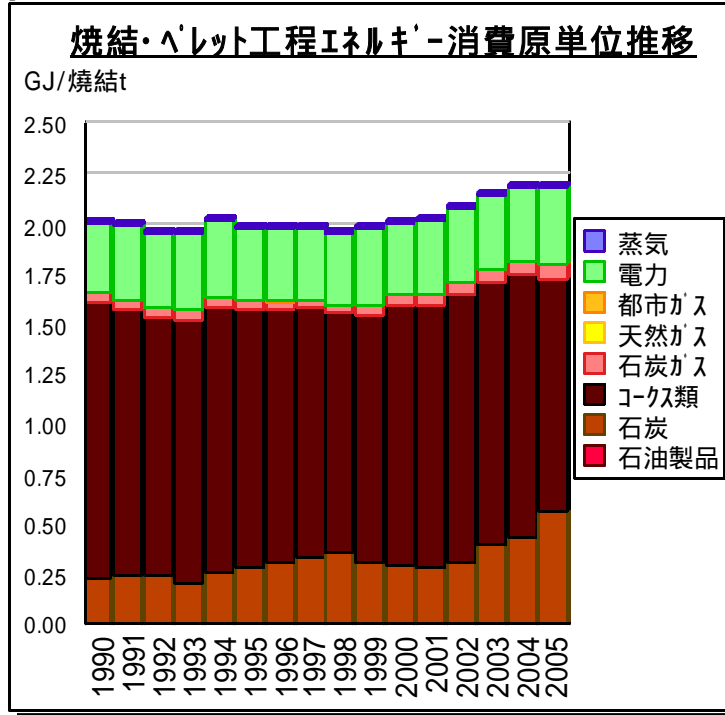
[図 2-1-1-2. 焼結鉱・ペレット・塊鉱直接利用構成比の推移]



[図 2-1-1-3. 焼結・ペレット工程エネルギー消費の推移]

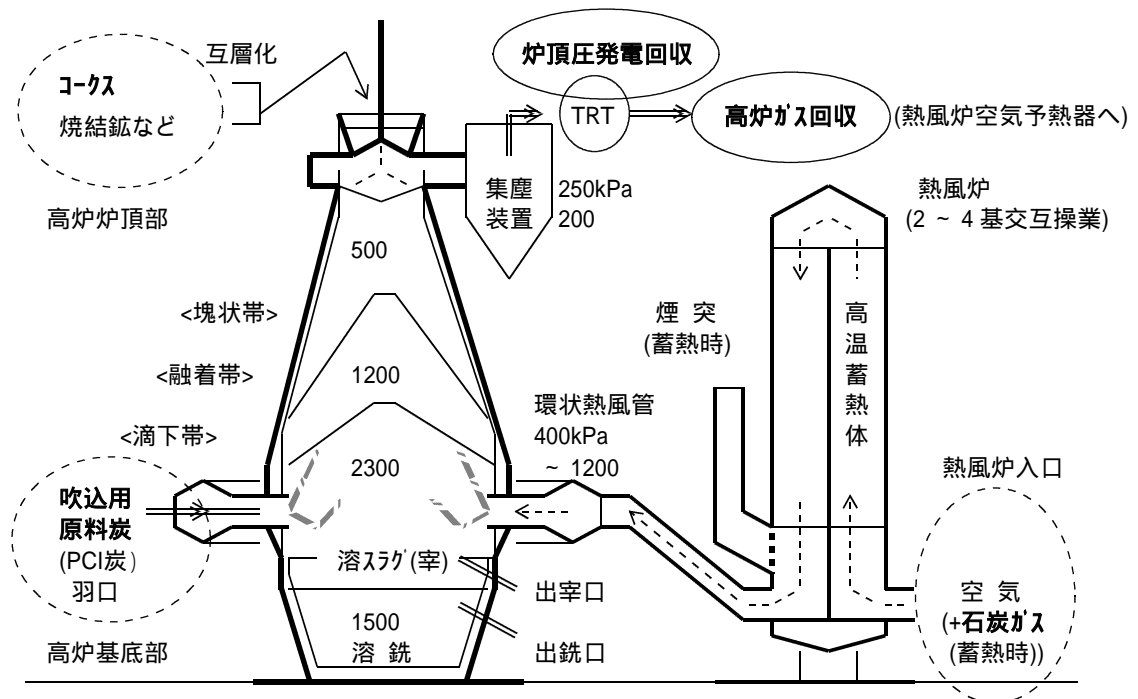


[図 2-1-1-4. 焼結・ペレット工程エネルギー消費原単位の推移]

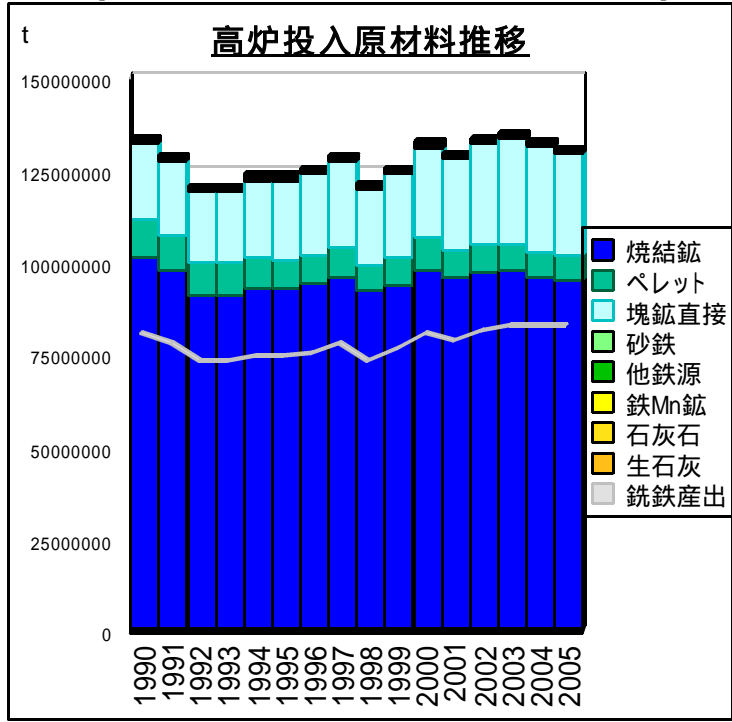


(図注 2003年度以降の焼結鉱・ペレット生産量は、鉄鋼統計年報における調査が2003年に廃止されたため、1990～2002年度の四半期実績からの筆者の推計による。)

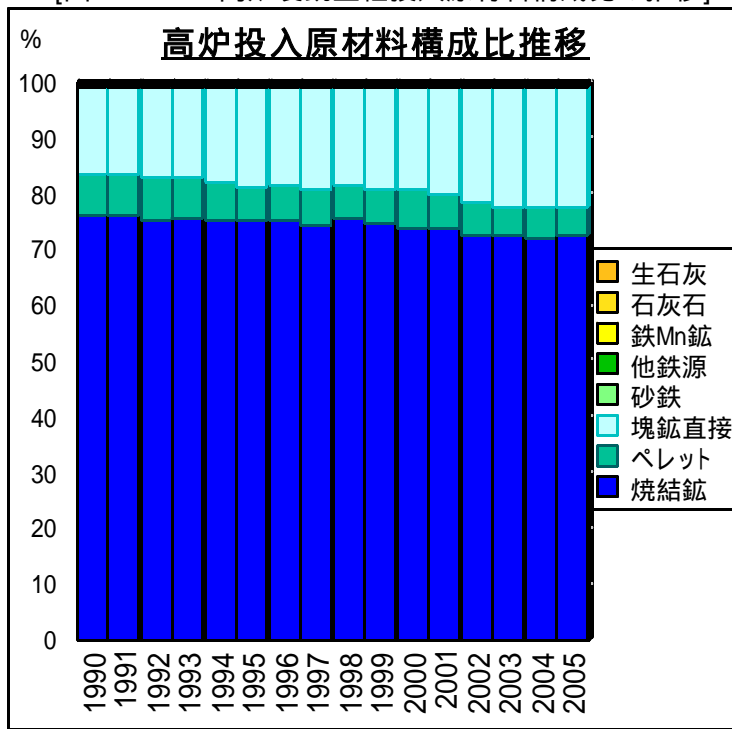
[図 2-1-2-1. 高炉と主要付属設備の構造例(断面図)]



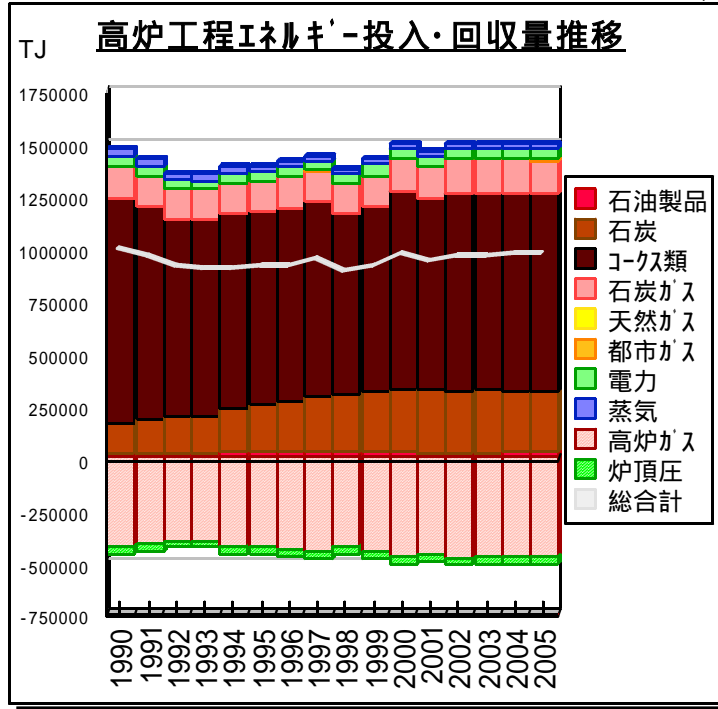
[図 2-1-2-1. 高炉製鉄工程投入原材料の推移]



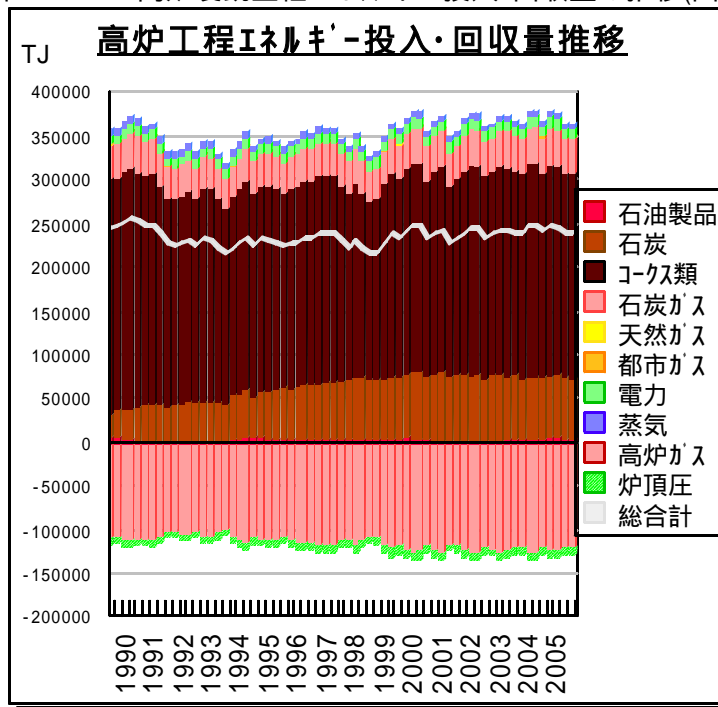
[図 2-1-2-2. 高炉製鉄工程投入原材料構成比の推移]



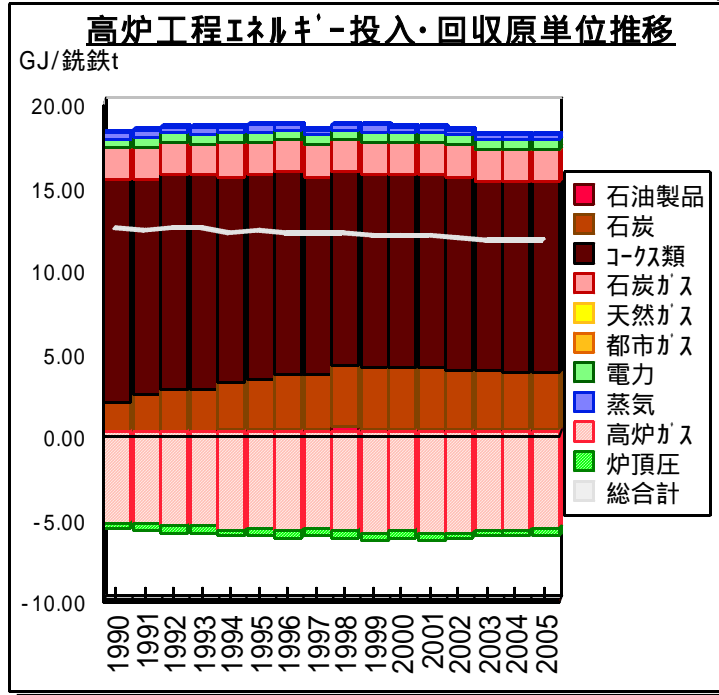
[図 2-1-2-3. 高炉製鉄工程エネルギー投入・回収量の推移(年度)]



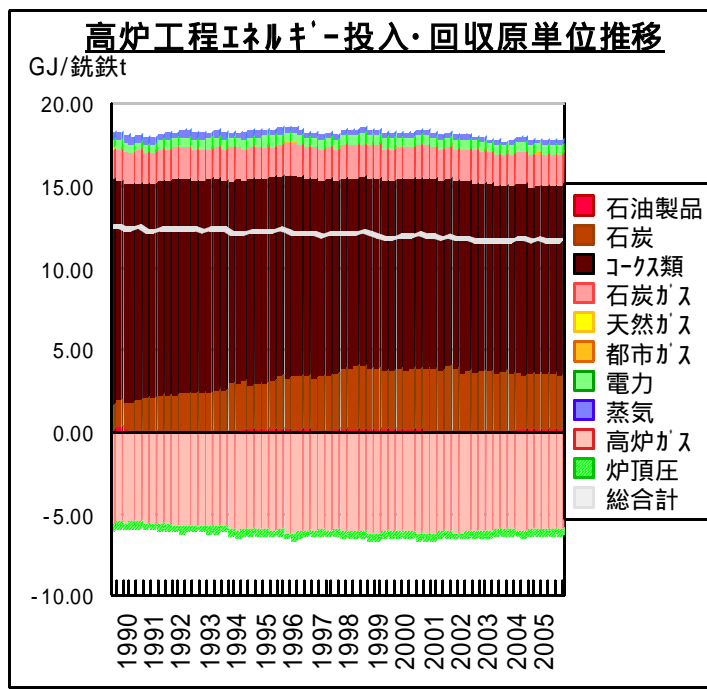
[図 2-1-2-4. 高炉製鉄工程エネルギー投入・回収量の推移(四半期)]



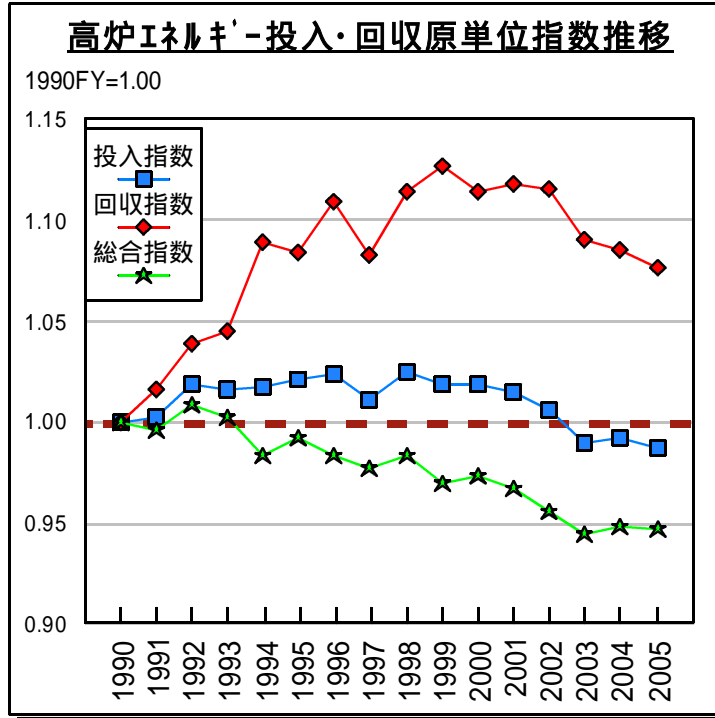
[図 2-1-2-5. 高炉製鉄工程エネルギー投入・回収原単位の推移(年度)]



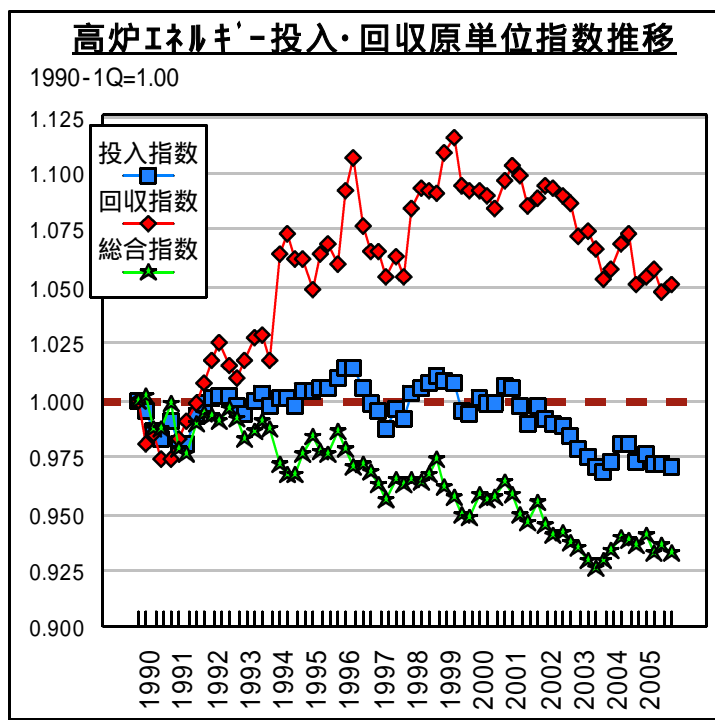
[図 2-1-2-6. 高炉製鉄工程エネルギー投入・回収原単位の推移(四半期)]



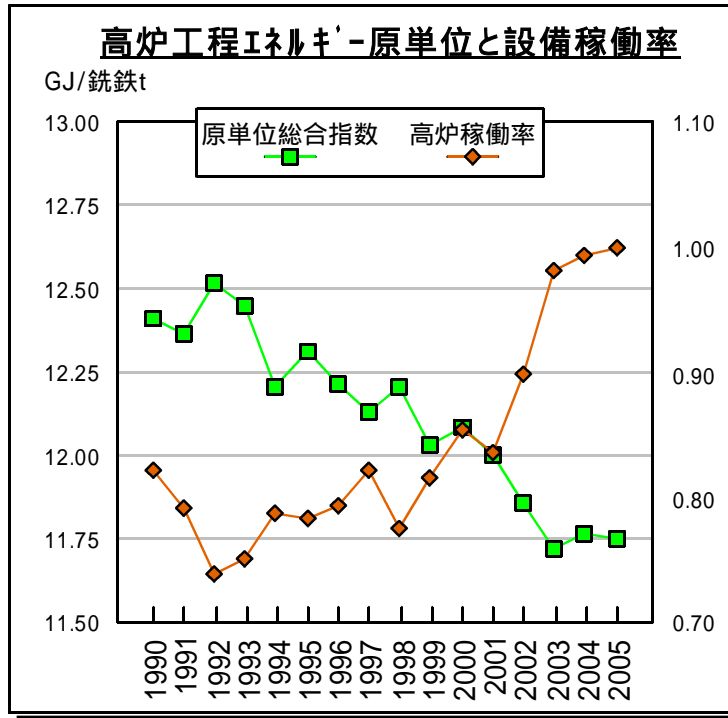
[図 2-1-2-7. 高炉製鉄工程エネルギー投入・回収原単位指数の推移(年度)]



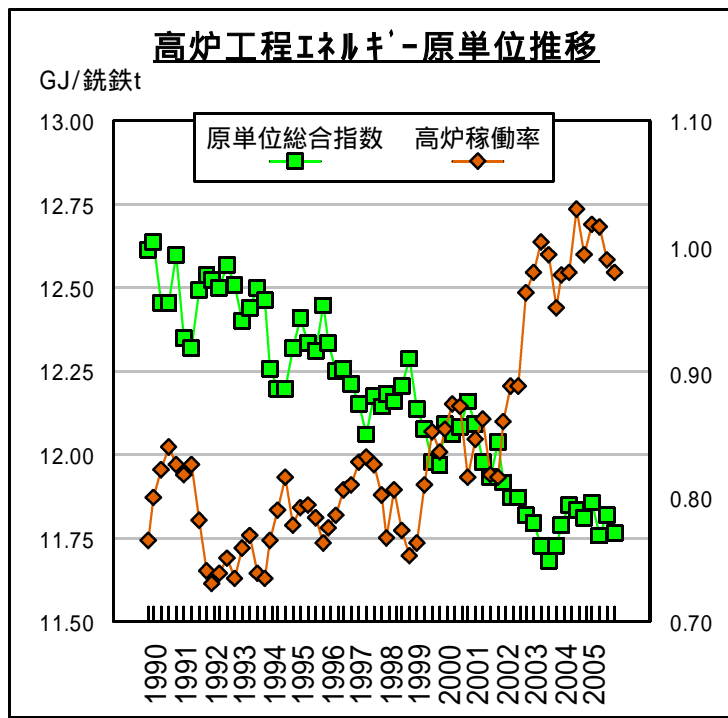
[図 2-1-2-8. 高炉製鉄工程エネルギー投入・回収原単位指数の推移(四半期)]



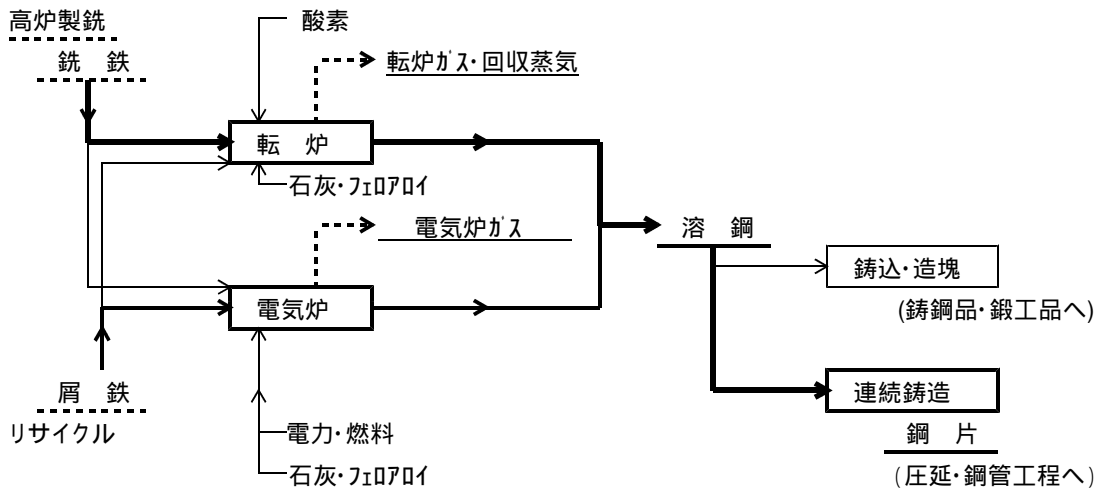
[図 2-1-2-9. 高炉製鉄工程エネルギー消費原単位指数と設備稼働率指数(年度)]



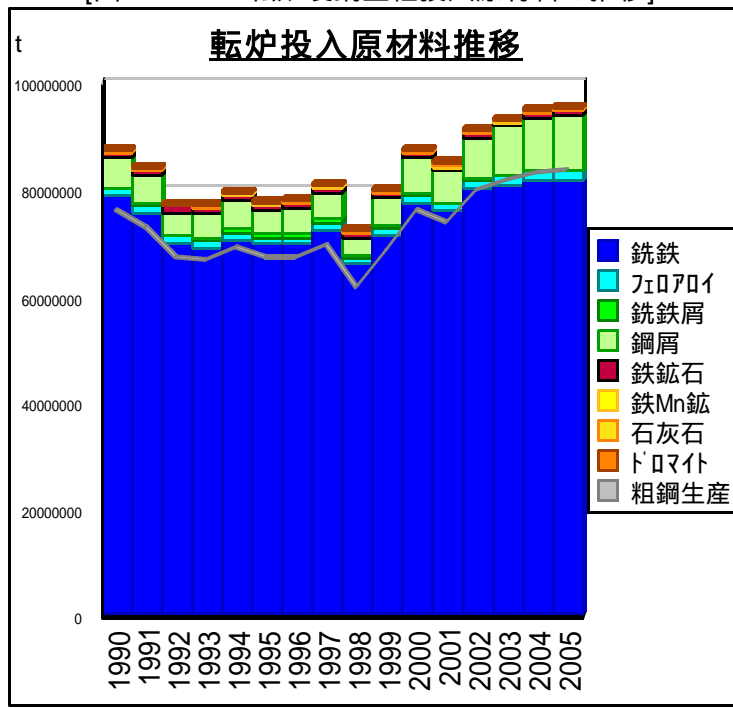
[図 2-1-2-10. 高炉製鉄工程エネルギー消費原単位指数と設備稼働率指数(四半期)]



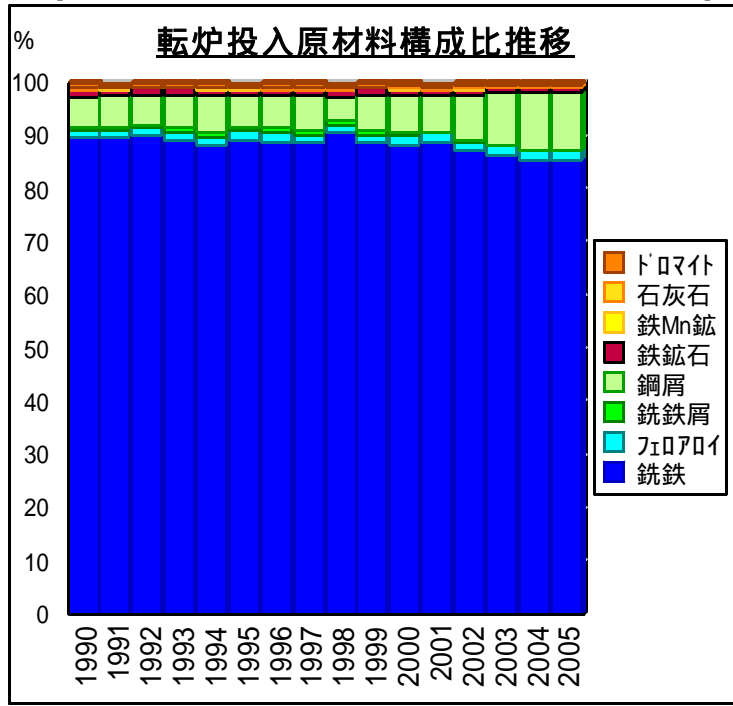
[図 2-1-3-1. 転炉・電気炉製鋼工程の概要]



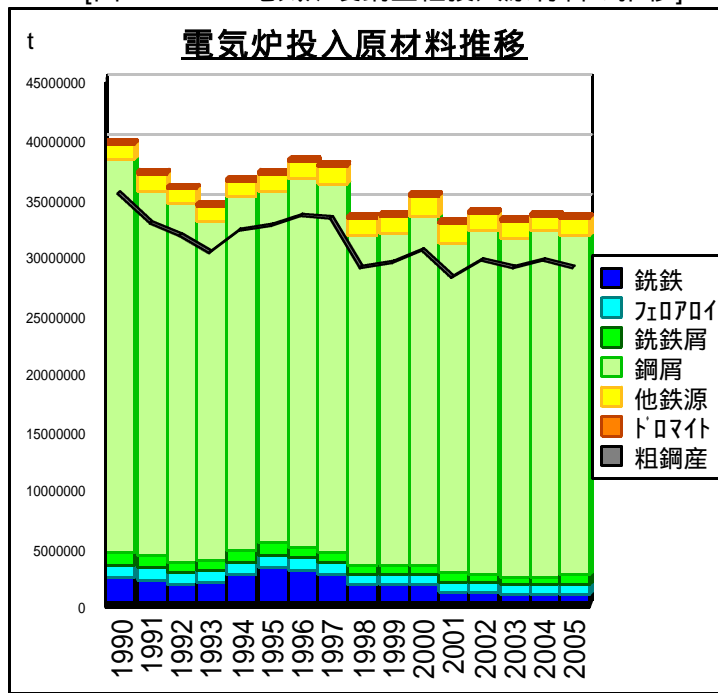
[図 2-1-3-2. 転炉製鋼工程投入原材料の推移]



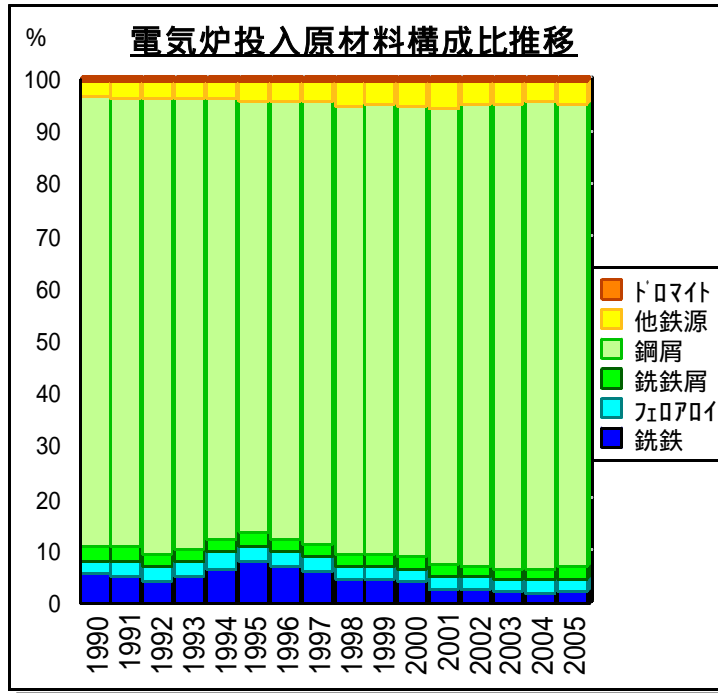
[図 2-1-3-3. 転炉製鋼工程の投入原料構成比の推移]



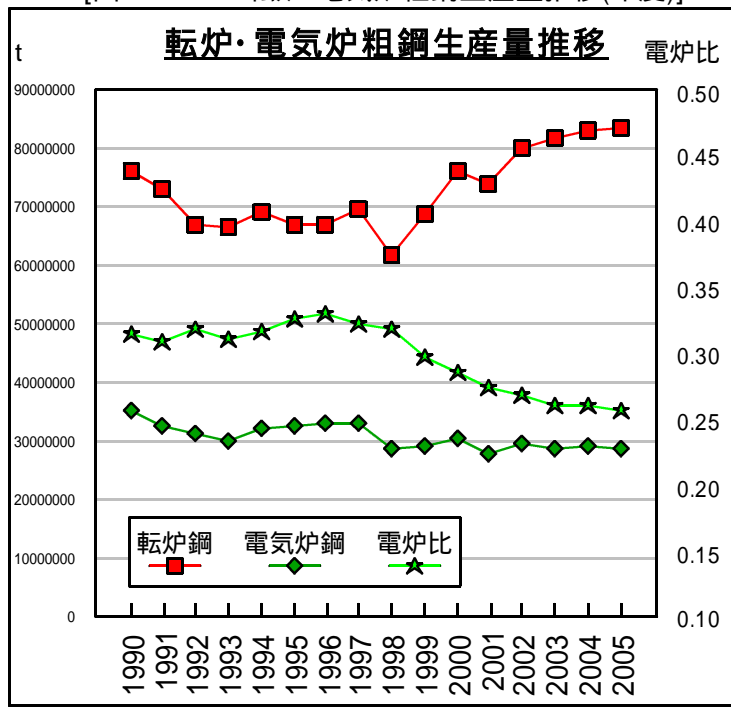
[図 2-1-3-4. 電気炉製鋼工程投入原材料の推移]



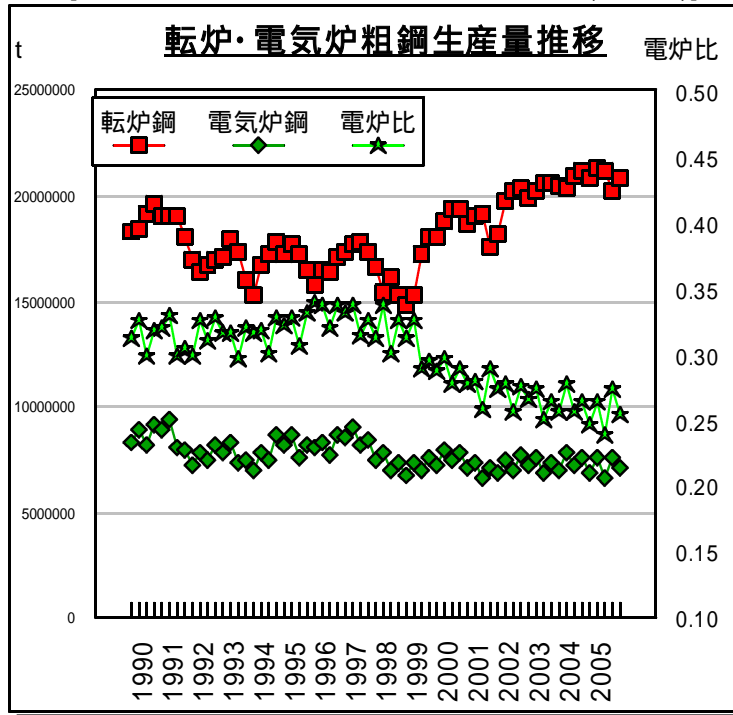
[図 2-1-3-5. 電気炉製鋼工程の投入原料構成比の推移]



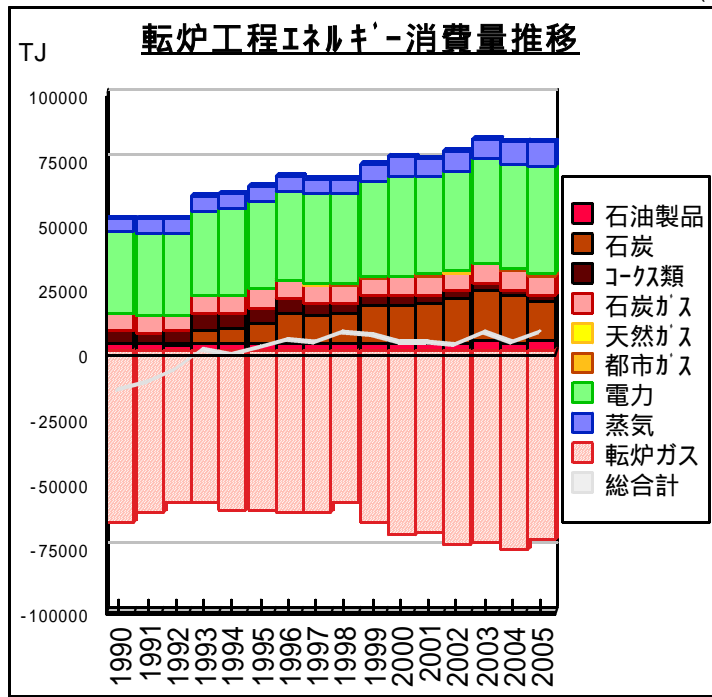
[図 2-1-3-6. 転炉・電気炉粗鋼生産量推移(年度)]



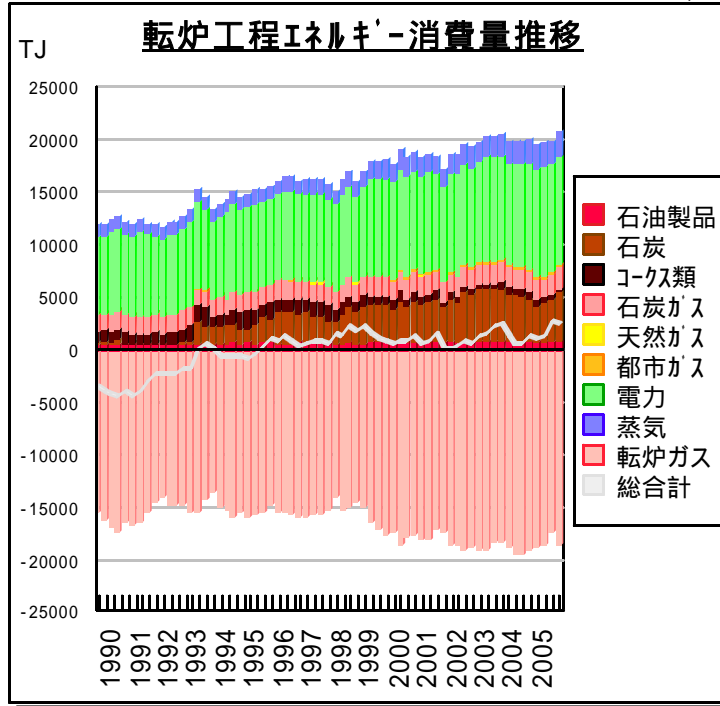
[図 2-1-3-7. 転炉・電気炉粗鋼生産量推移(四半期)]



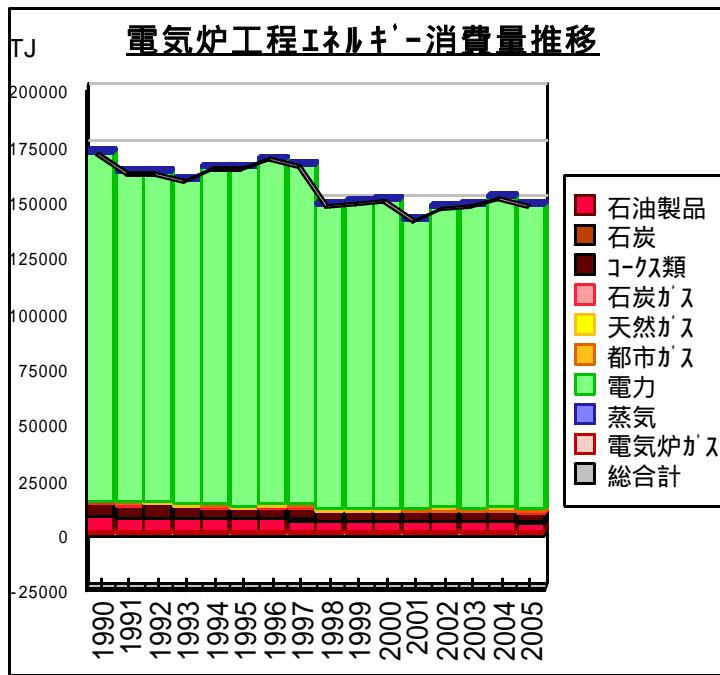
[図 2-1-3-8. 転炉製鋼工程エネルギー投入・回収量の推移(年度)]



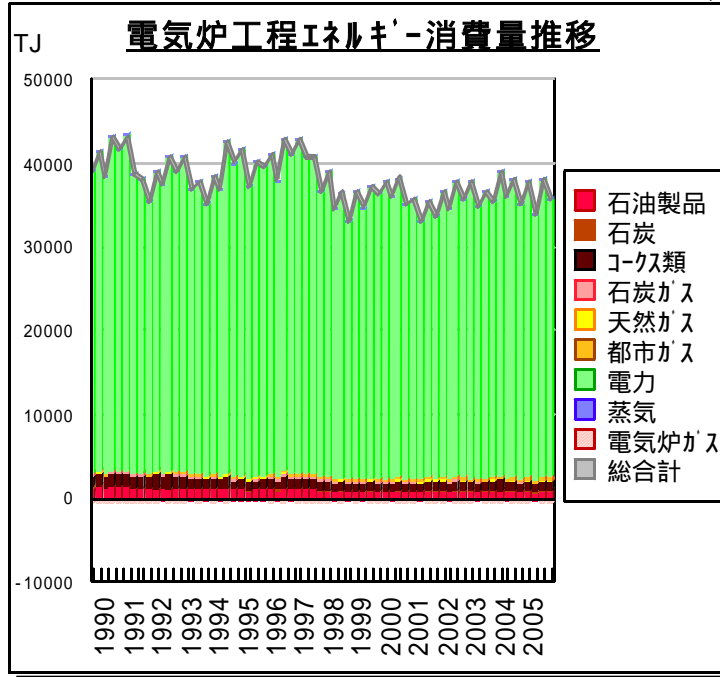
[図 2-1-3-9. 転炉製鋼工程エネルギー投入・回収量の推移(四半期)]



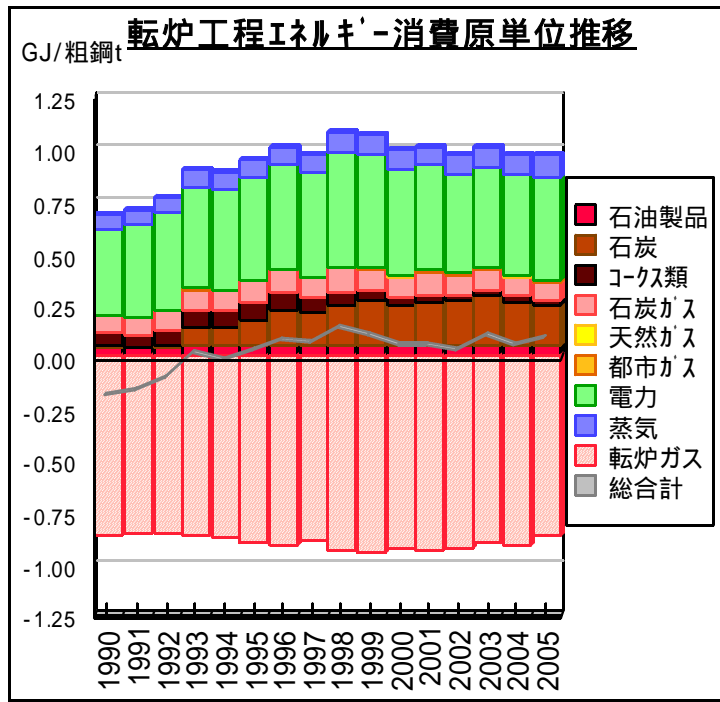
[図 2-1-3-10. 電気炉製鋼工程エネルギー投入・回収量の推移(年度)]



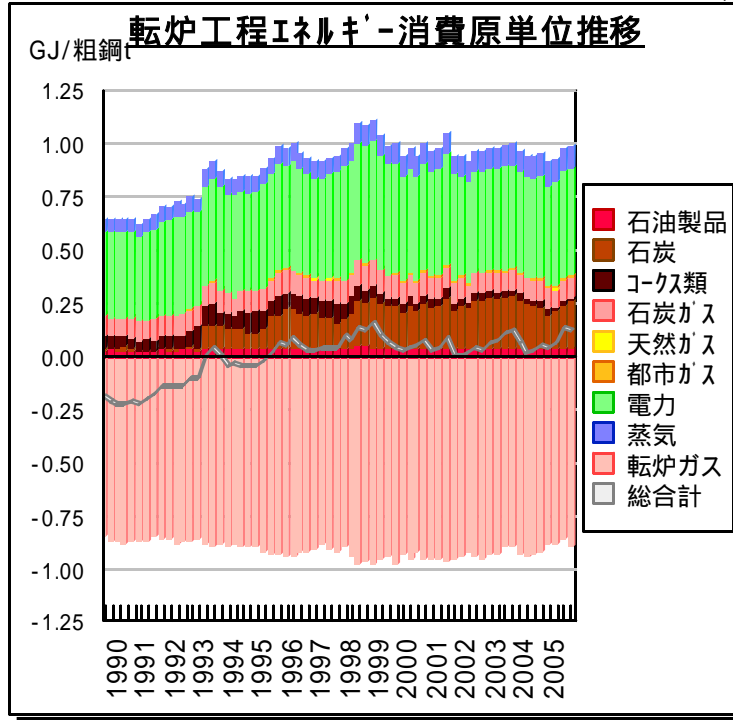
[図 2-1-3-11. 電気炉製鋼工程エネルギー投入・回収量の推移(四半期)]



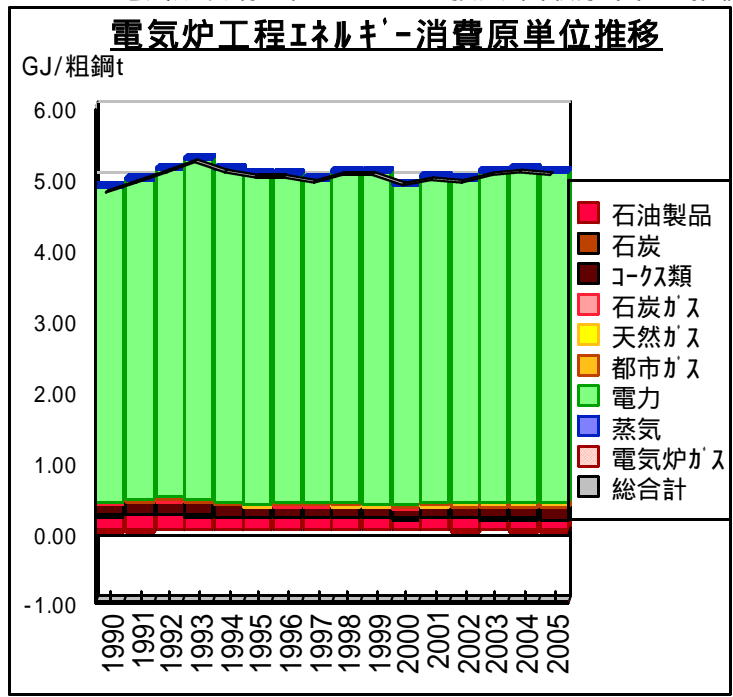
[図 2-1-3-12. 転炉製鋼工程エネルギー投入・回収原単位の推移(年度)]



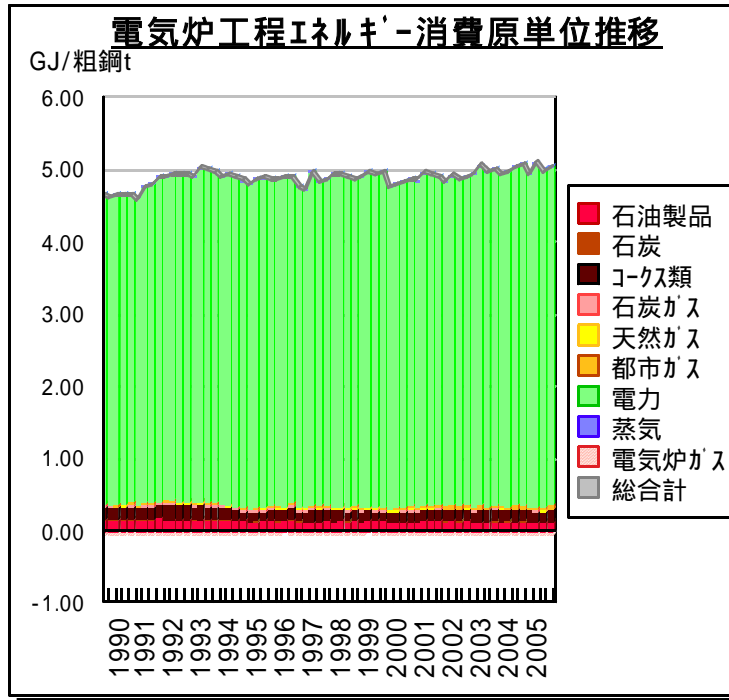
[図 2-1-3-13. 転炉製鋼工程エネルギー投入・回収原単位の推移(四半期)]



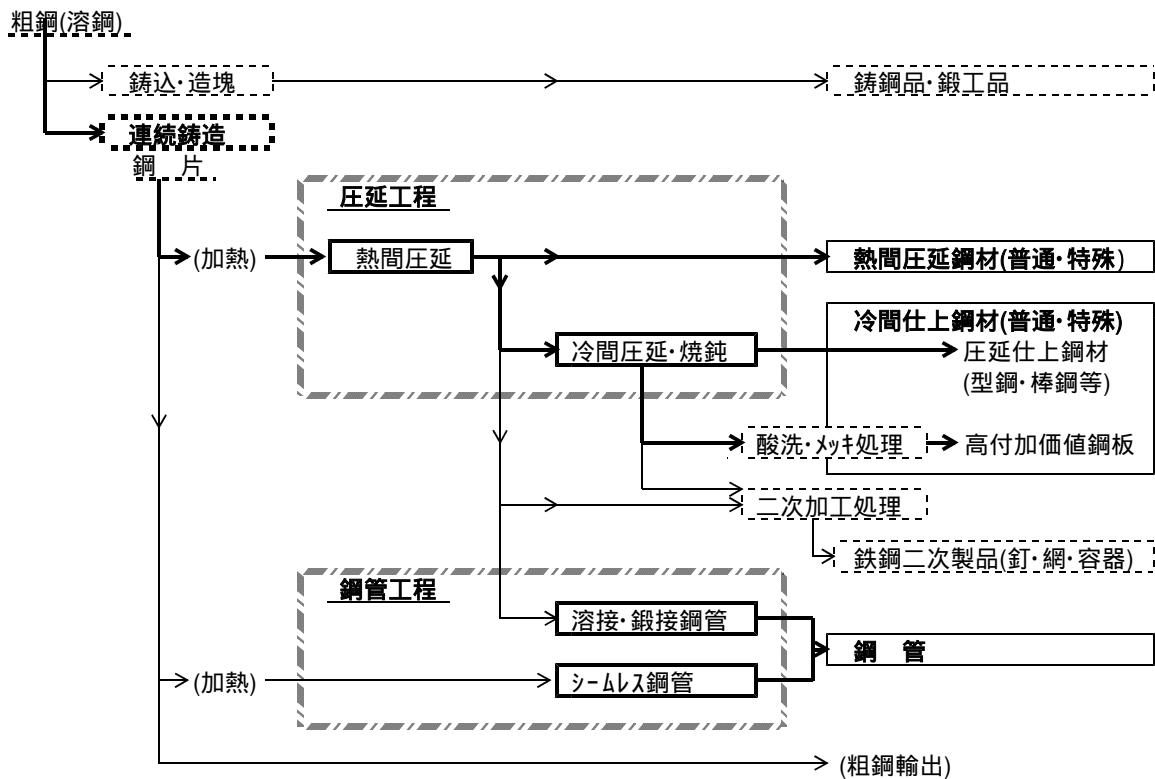
[図 2-1-3-14. 電気炉製鋼工程エネルギー投入・回収原単位の推移(年度)]



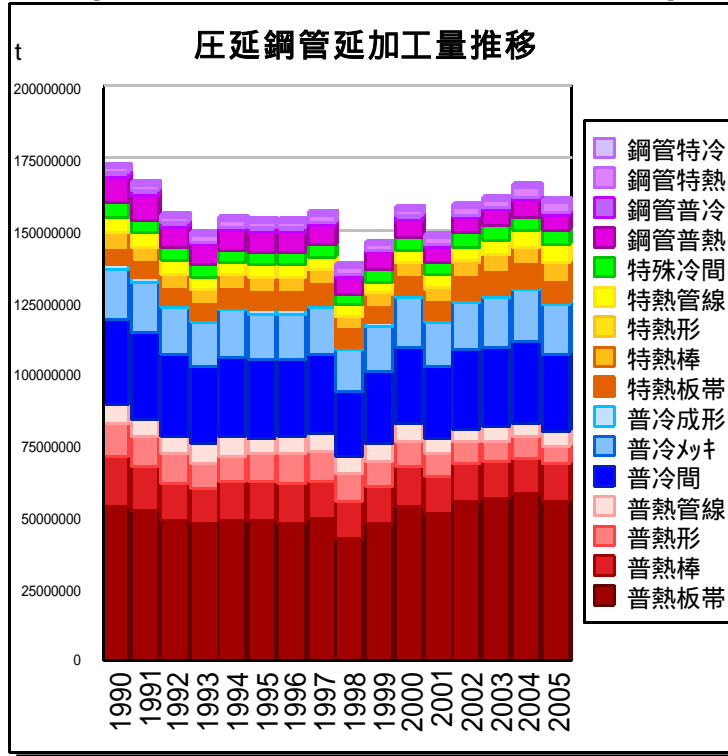
[図 2-1-3-15. 電気炉製鋼工程エネルギー投入・回収原単位の推移(四半期)]



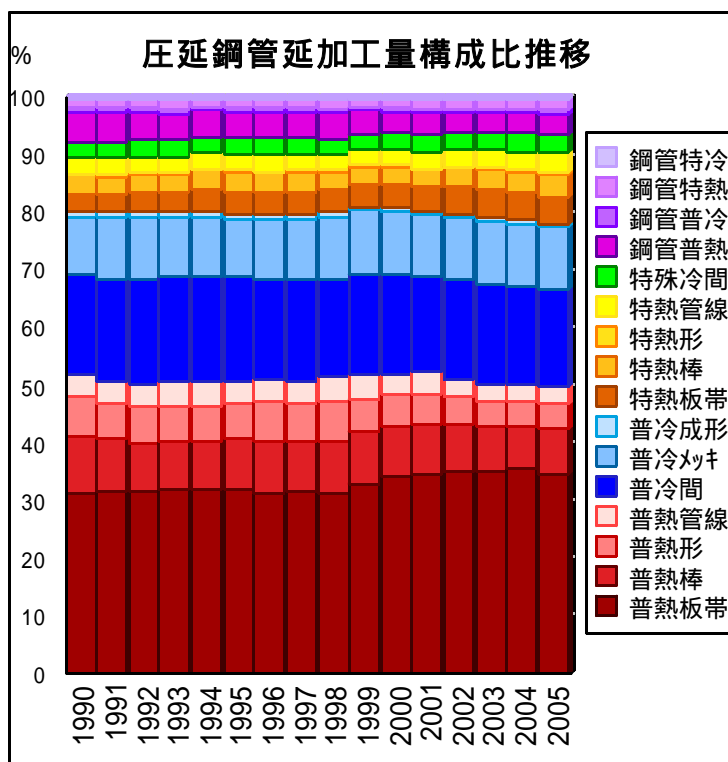
[図 2-1-4-1. 圧延・鋼管工程の概要と各鋼材分類]



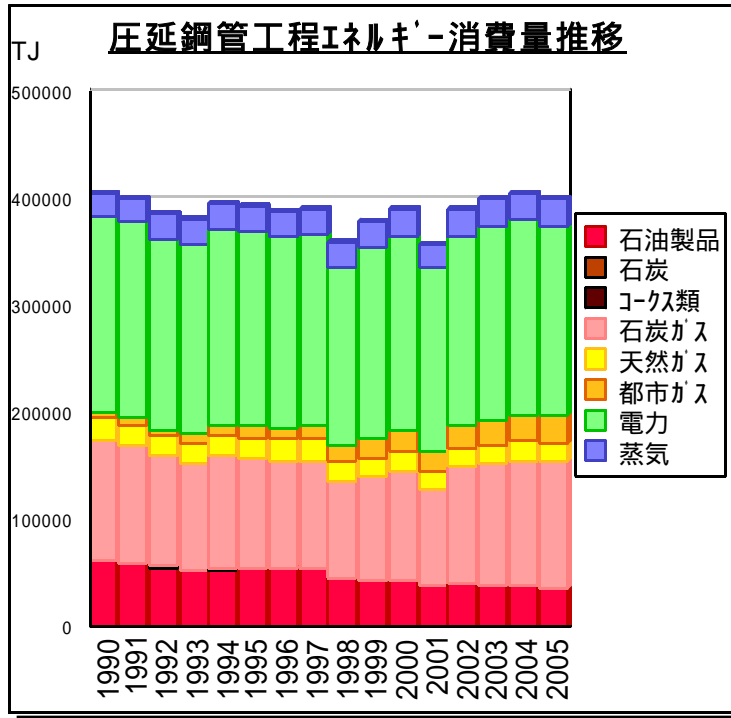
[図 2-1-4-2. 圧延・鋼管製品の延加工量の推移]



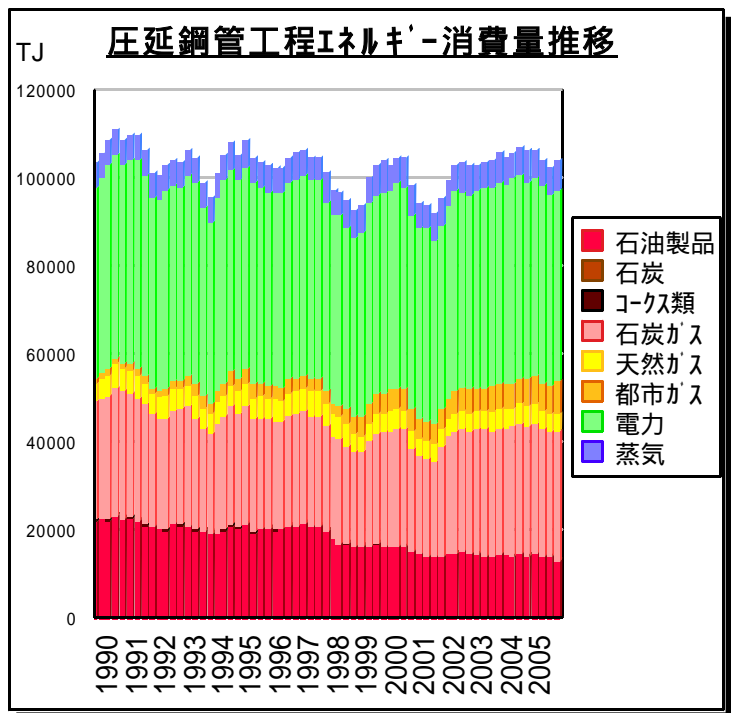
[図 2-1-4-3. 圧延・鋼管製品の延加工量構成比の推移]



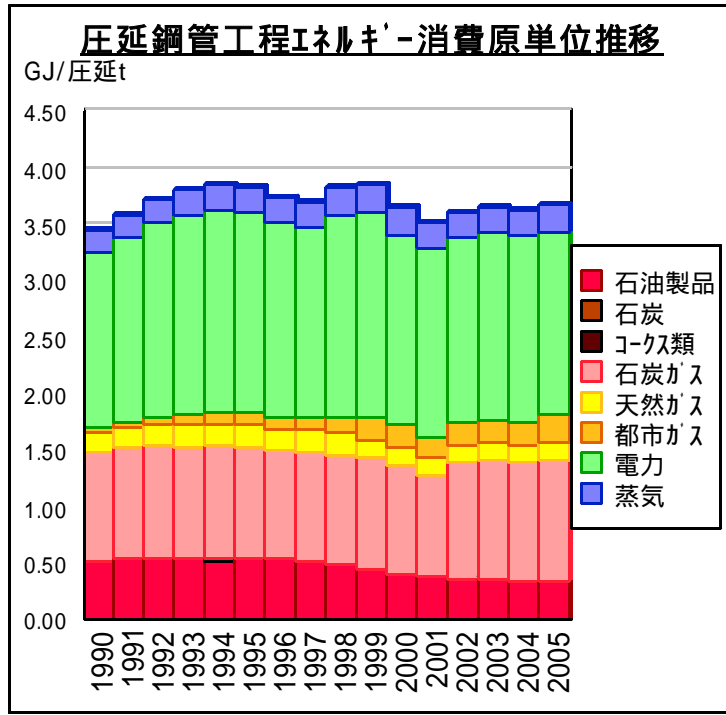
[図 2-1-4-4. 圧延・鋼管製造工程のエネルギー消費量の推移(年度)]



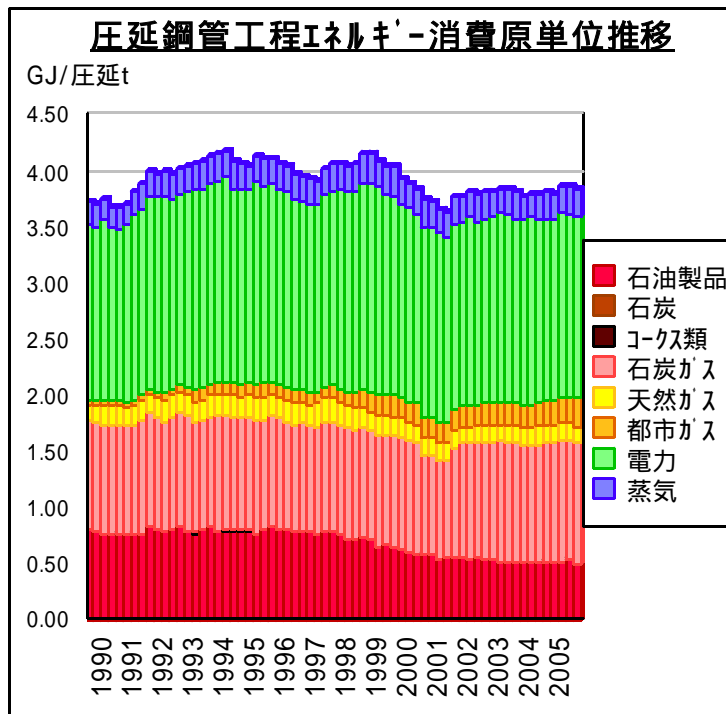
[図 2-1-4-5. 圧延・鋼管製造工程のエネルギー消費量の推移(四半期)]



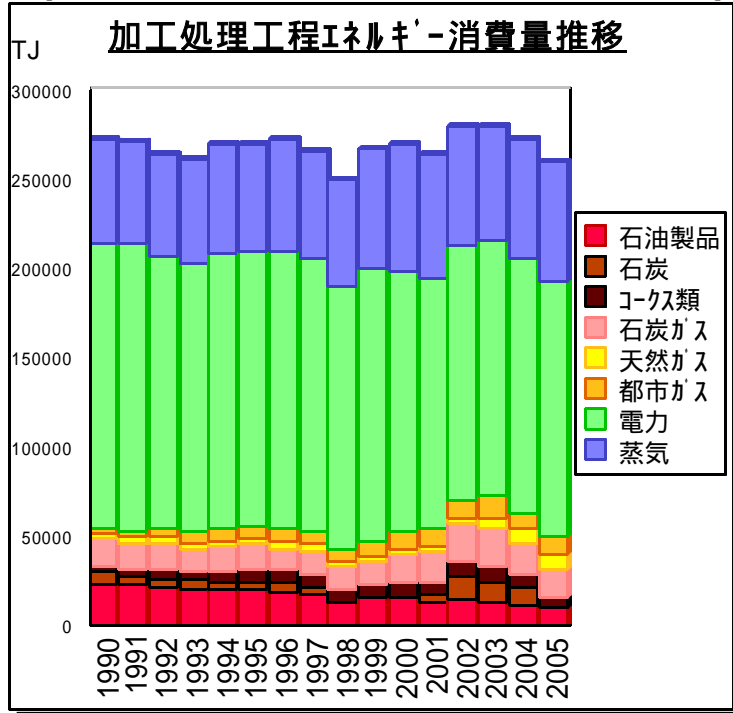
[図 2-1-4-6. 圧延・鋼管製造工程のエネルギー消費原単位の推移(年度)]



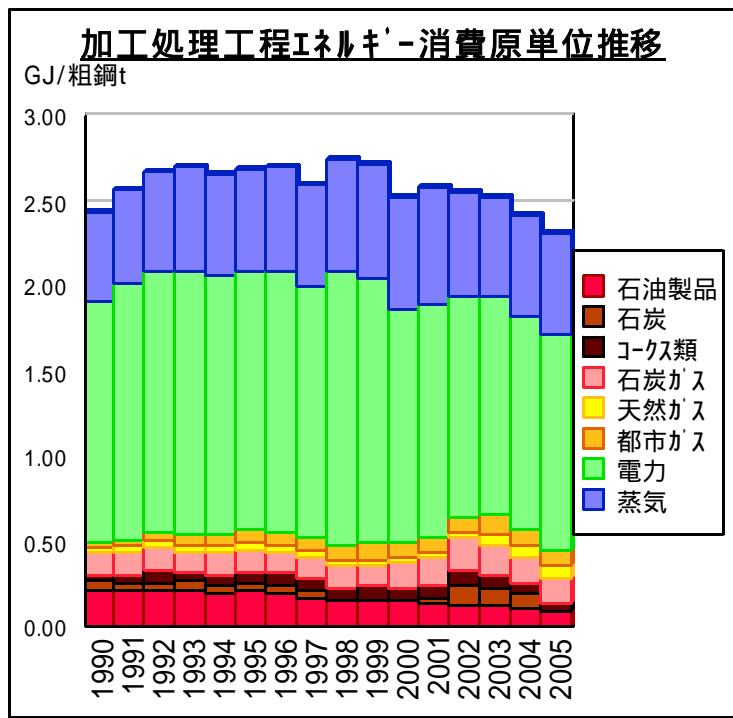
[図 2-1-4-7. 圧延・鋼管製造工程のエネルギー消費原単位の推移(四半期)]



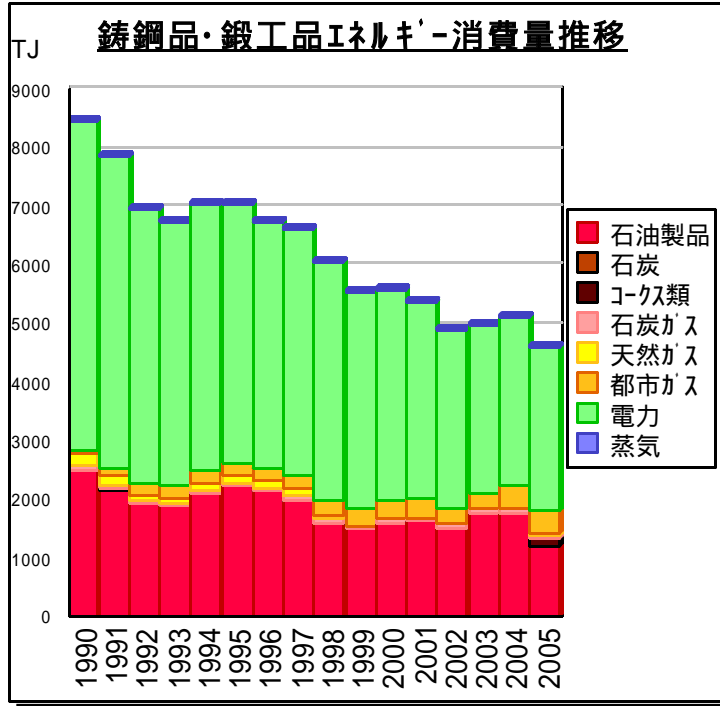
[図 2-1-5-1. 加工処理工程のエネルギー消費量の推移]



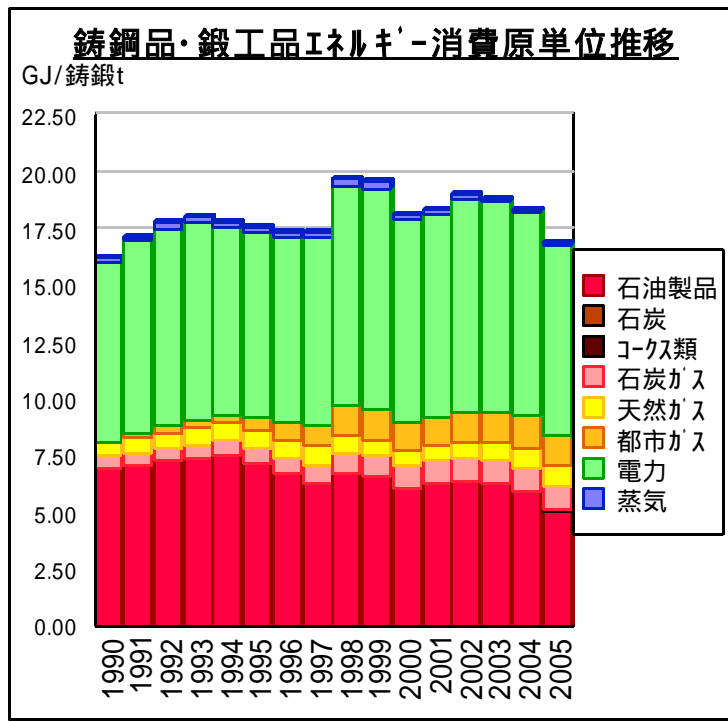
[図 2-1-5-2. 加工処理工程のエネルギー消費原単位の推移]



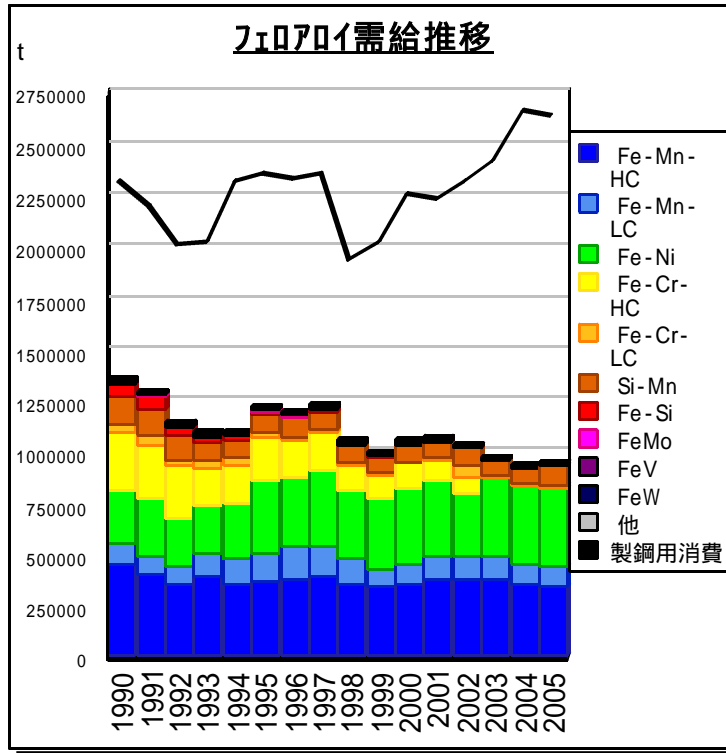
[図 2-1-6-1. 鋳鋼品・鍛工品製造工程のエネルギー消費量の推移]



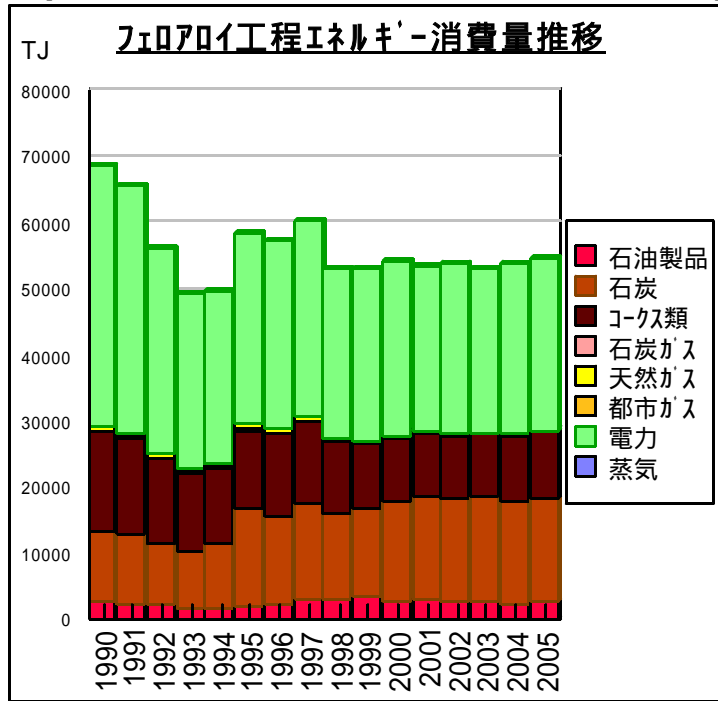
[図 2-1-6-2. 鋳鋼品・鍛工品製造工程のエネルギー消費原単位の推移]



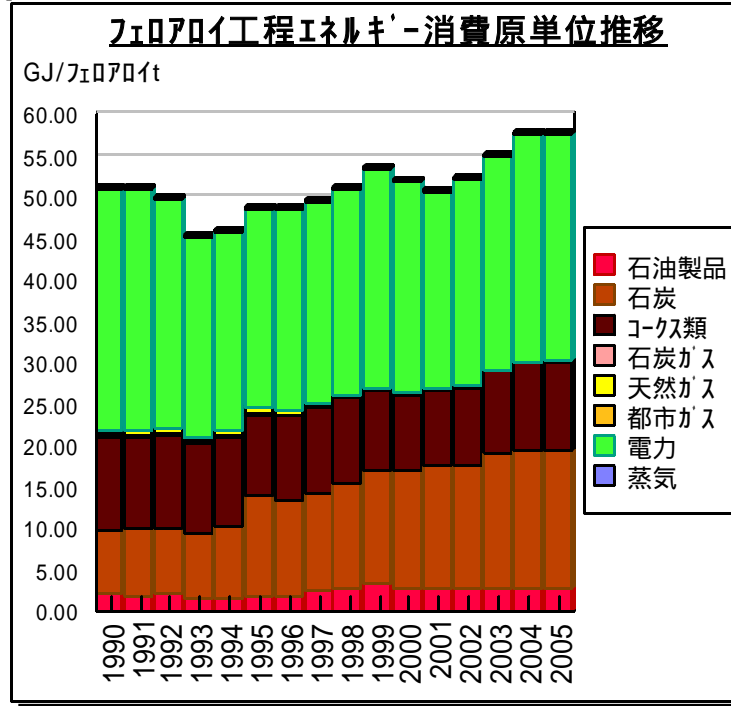
[図 2-1-7-1. フェロアロイの需給推移]



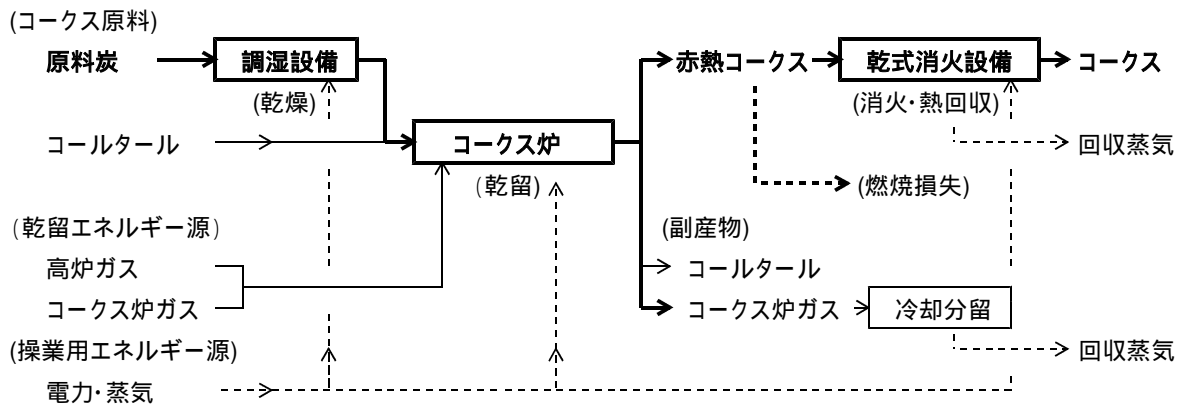
[図 2-1-7-2. フェロアロイ工程のエネルギー消費量推移]



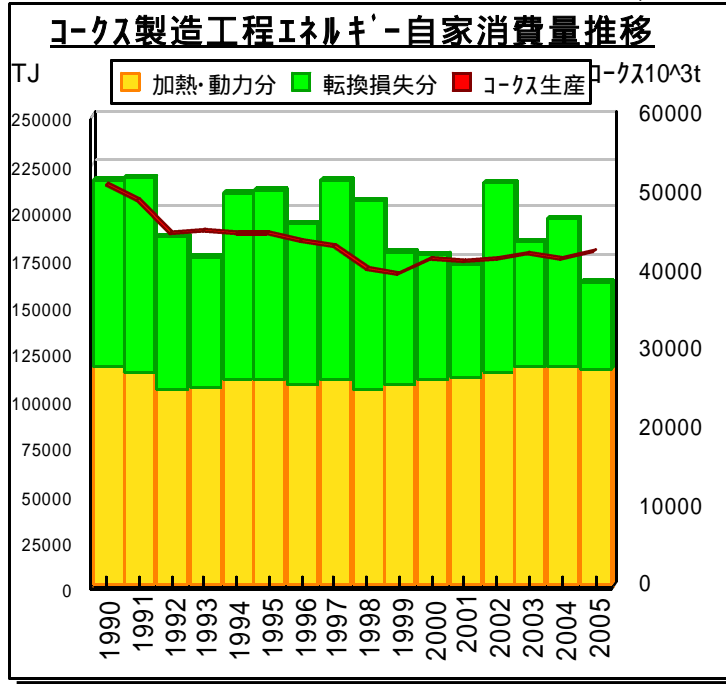
[図 2-1-7-3. フェロアロイ工程のエネルギー消費原単位の推移]



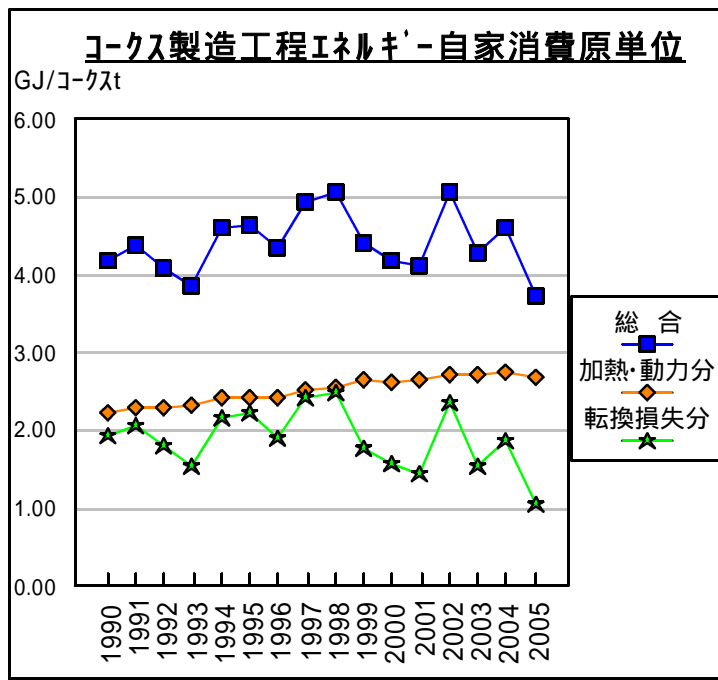
[図 2-2-1-1. コークス製造工程の概要]



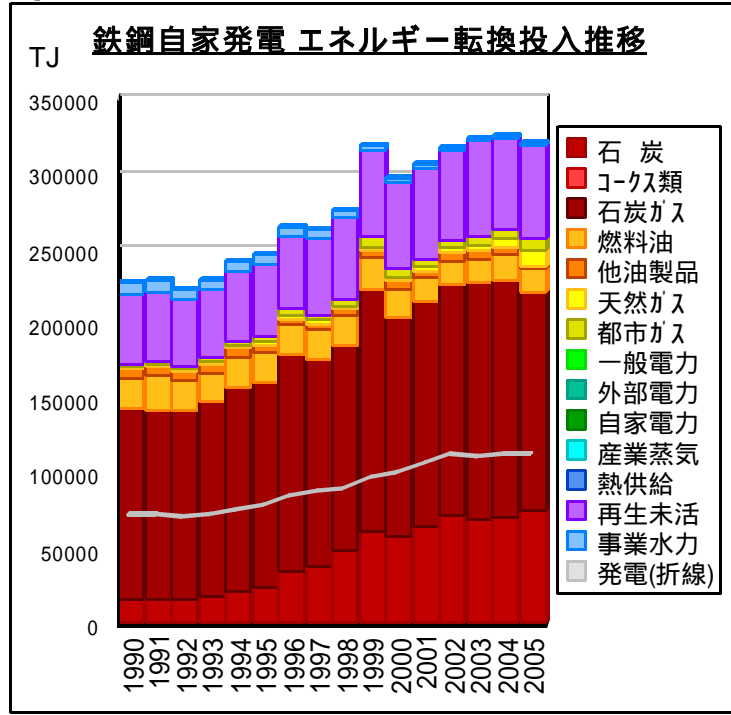
[図 2-2-1-1. コークス製造工程のエネルギー自家消費量推移(含コークス生産量)]



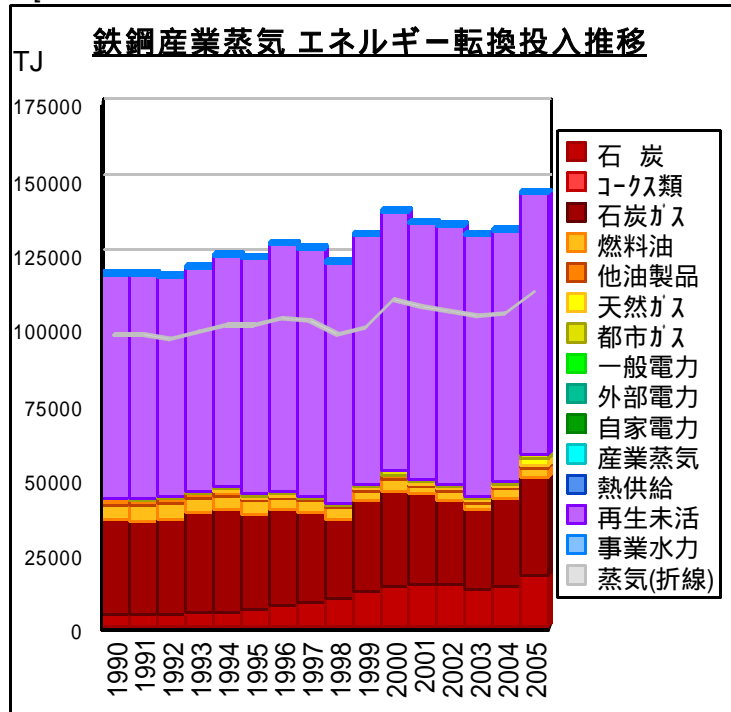
[図 2-2-1-2. コークス製造工程のエネルギー消費原単位の推移]



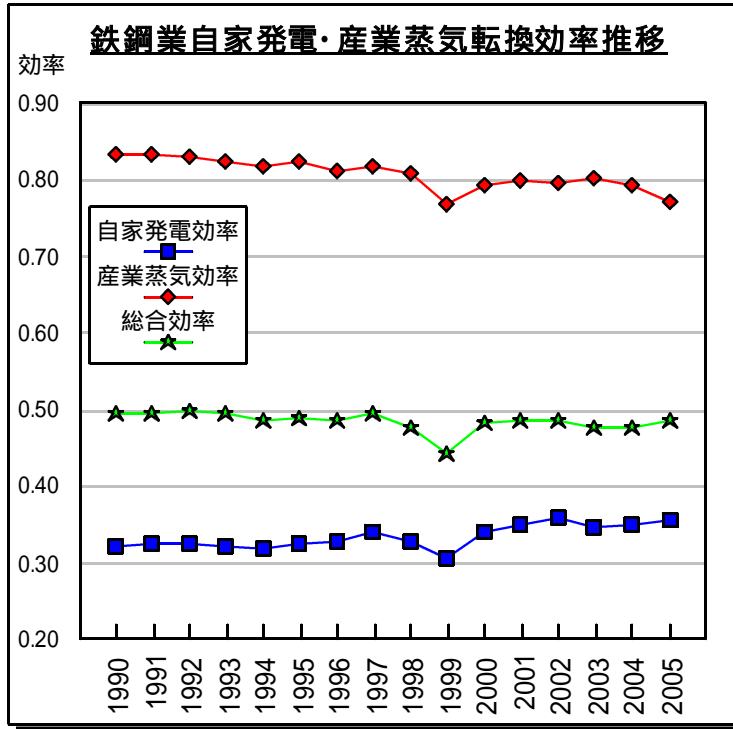
[図 2-2-2-1. 鉄鋼業自家発電のエネルギー転換投入推移]



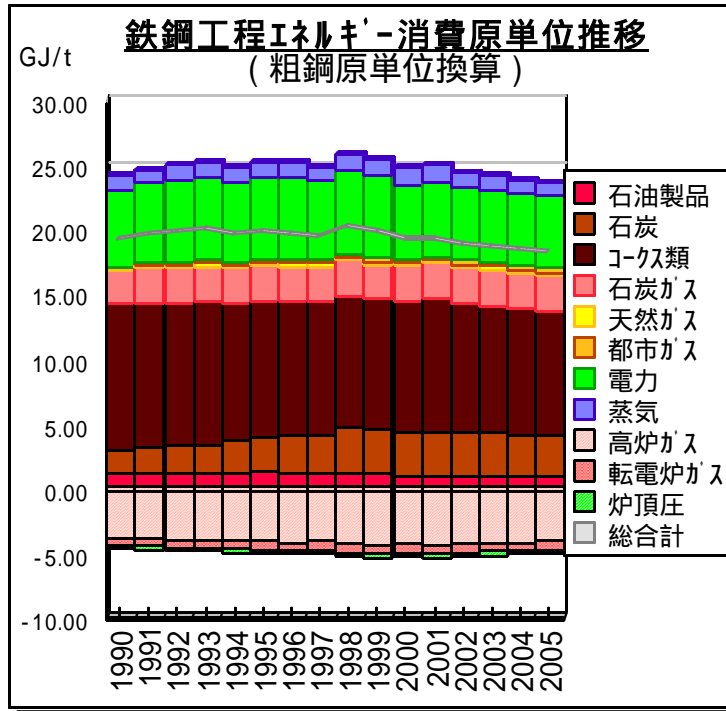
[図 2-2-2-2. 鉄鋼業産業蒸気のエネルギー転換投入推移]



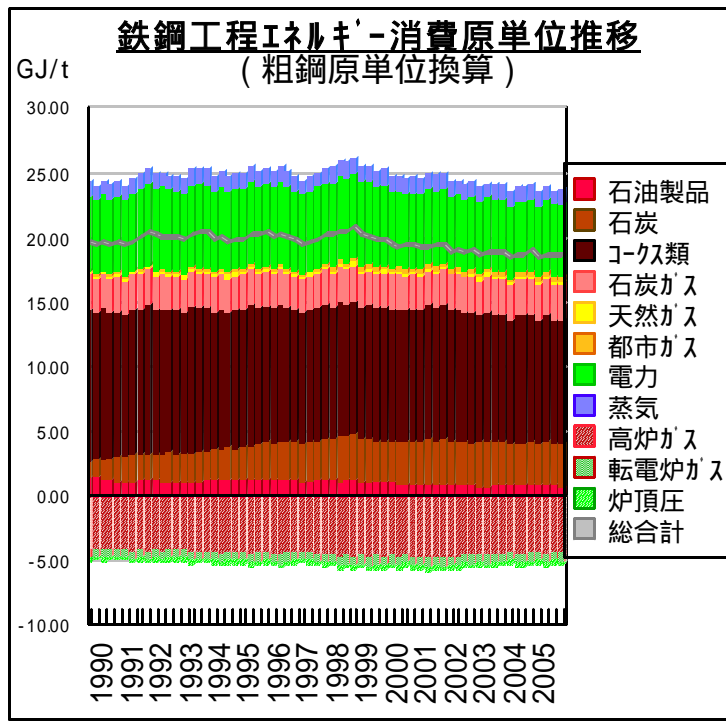
[図 2-2-2-3. 鉄鋼業自家発電・産業蒸気のエネルギー転換効率推移]



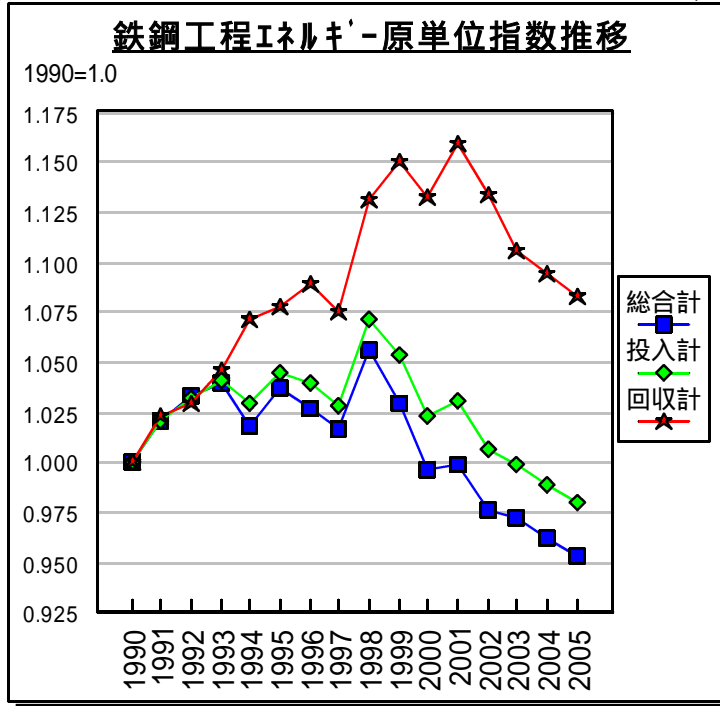
[図 2-3-2-1. 鉄鋼工程のエネルギー消費原単位推移(年度)]



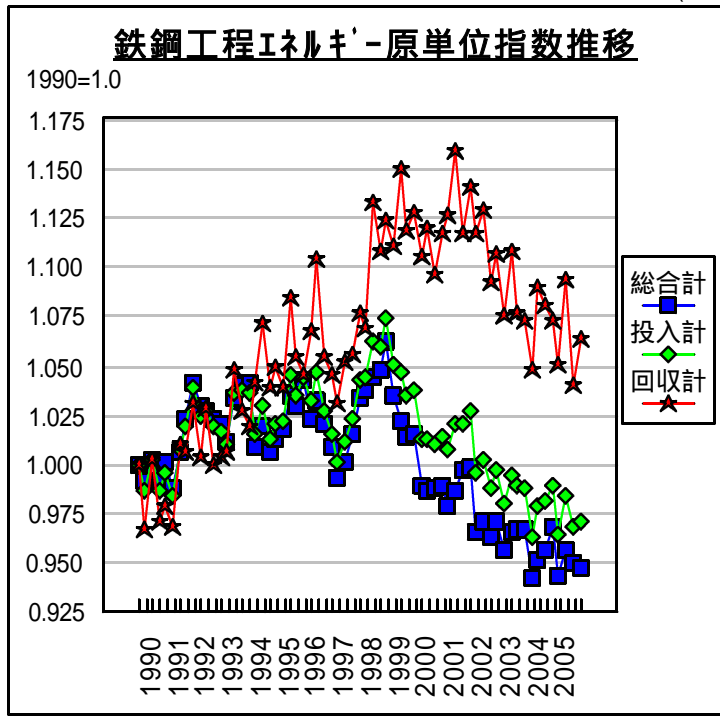
[図 2-3-2-2. 鉄鋼工程のエネルギー消費原単位推移(四半期)]



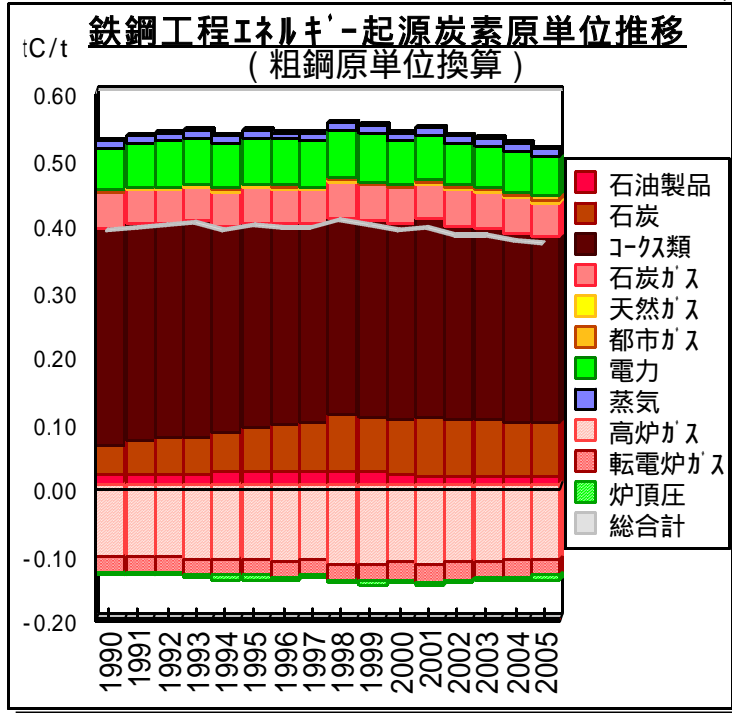
[図 2-3-2-3. 鉄鋼工程のエネルギー消費原単位指数推移(年度)]



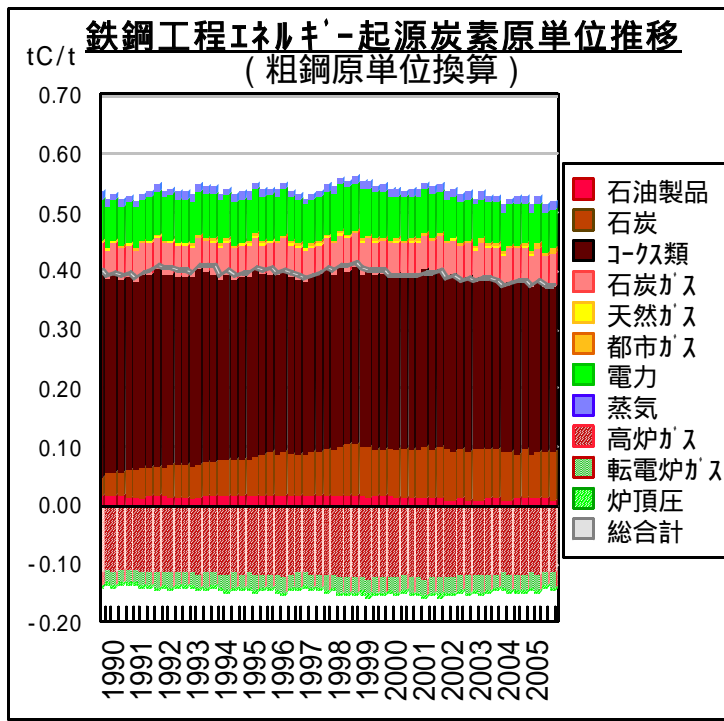
[図 2-3-2-4. 鉄鋼工程のエネルギー消費原単位指数推移(四半期)]



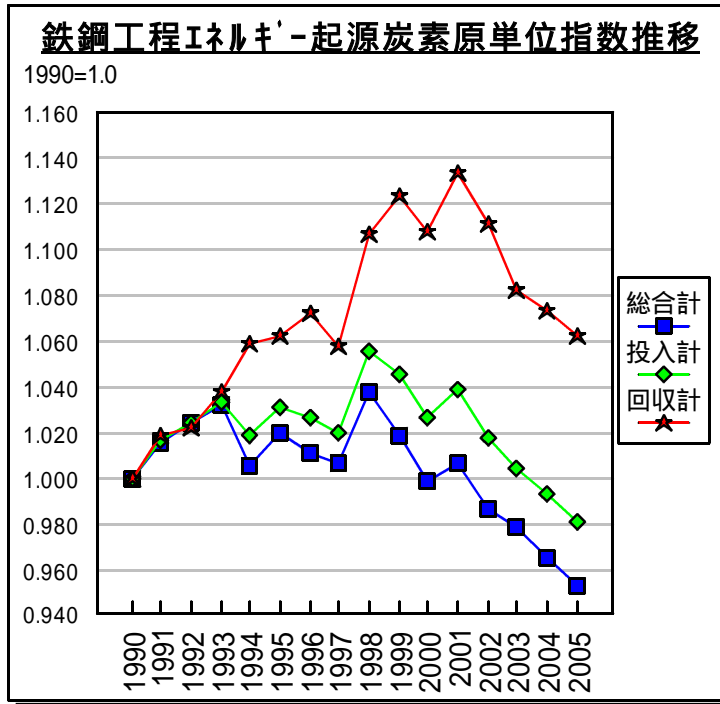
[図 2-3-2-5. 鉄鋼工程のエネルギー起源炭素排出原単位推移(年度)]



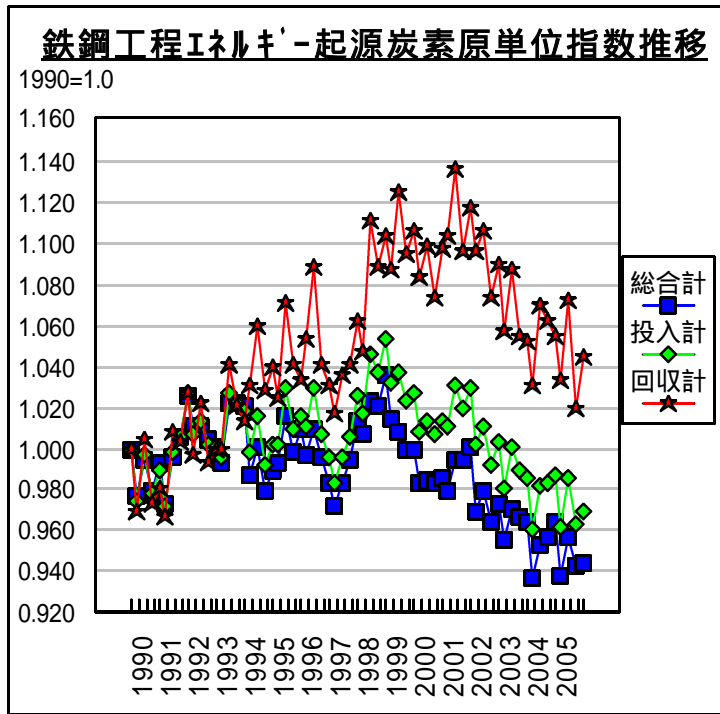
[図 2-3-2-6. 鉄鋼工程のエネルギー起源炭素排出原単位推移(四半期)]



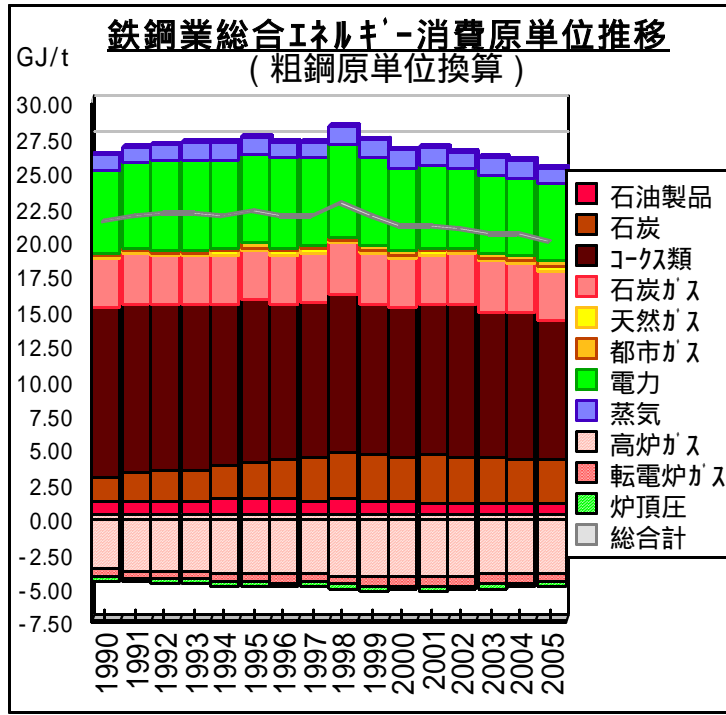
[図 2-3-2-7. 鉄鋼工程のエネルギー起源炭素排出原単位指数推移(年度)]



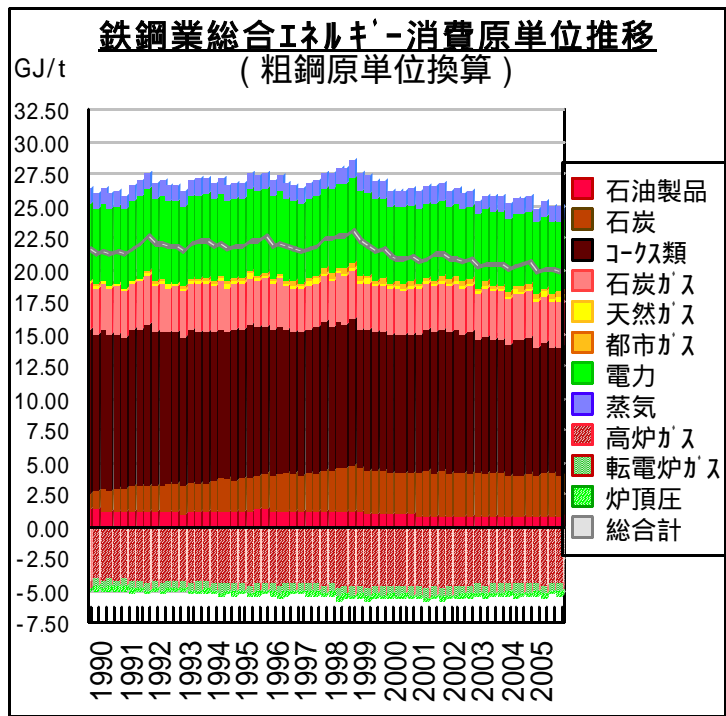
[図 2-3-2-8. 鉄鋼工程のエネルギー起源炭素排出原単位指数推移(四半期)]



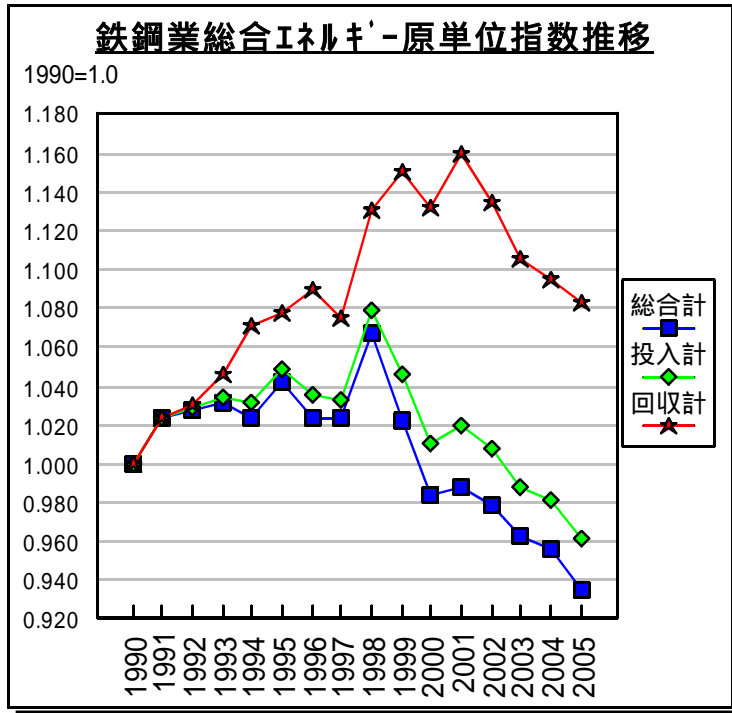
[図 2-3-3-1. 鉄鋼業の総合エネルギー消費原単位推移(年度)]



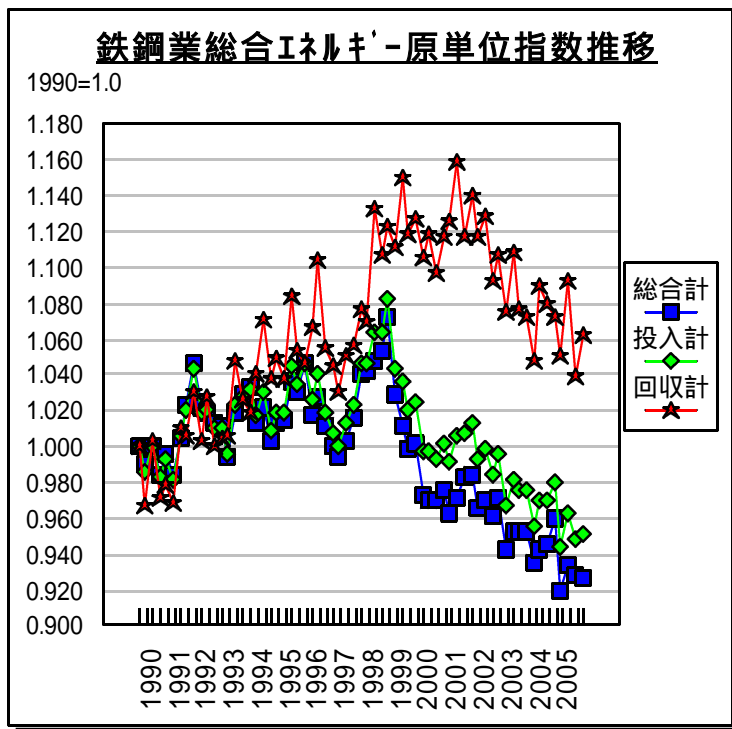
[図 2-3-3-2. 鉄鋼業の総合エネルギー消費原単位推移(四半期)]



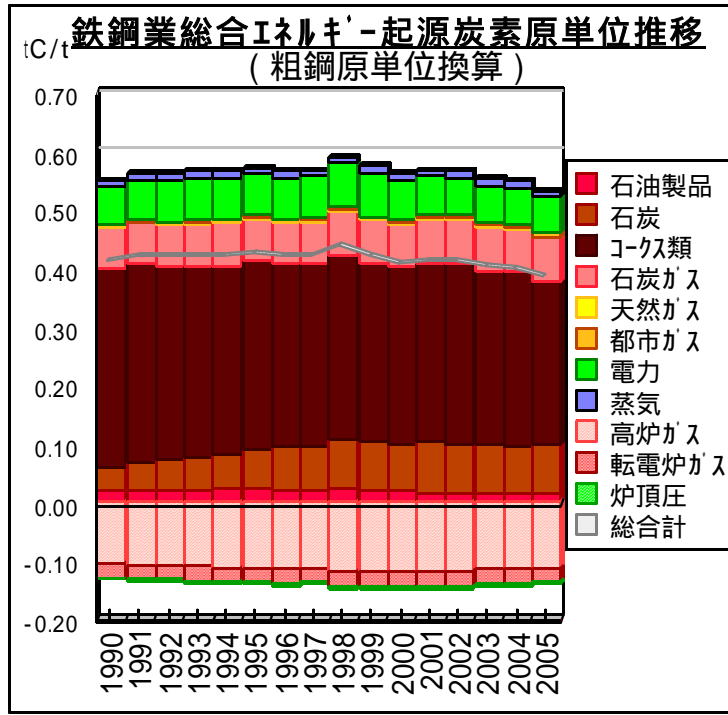
[図 2-3-3-3. 鉄鋼業の総合エネルギー消費原単位指数推移(年度)]



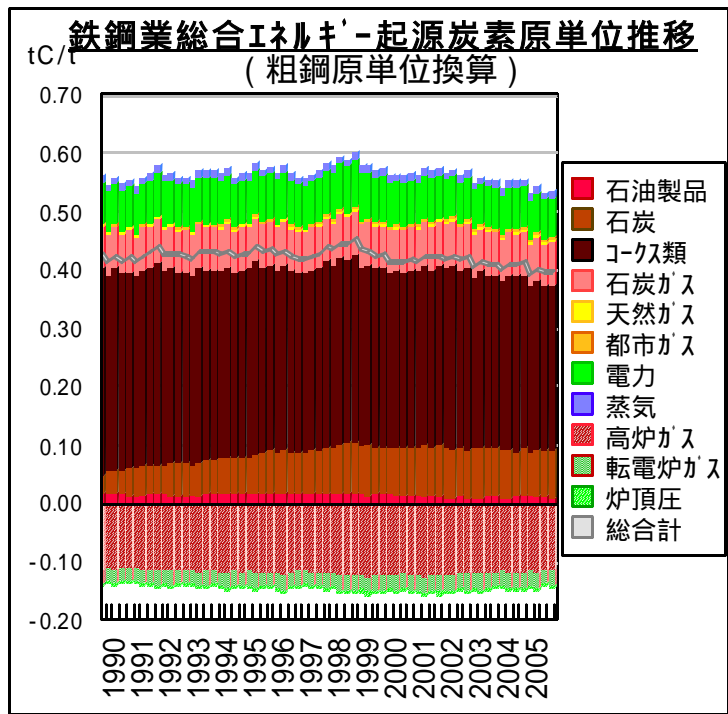
[図 2-3-3-4. 鉄鋼業の総合エネルギー消費原単位指数推移(四半期)]



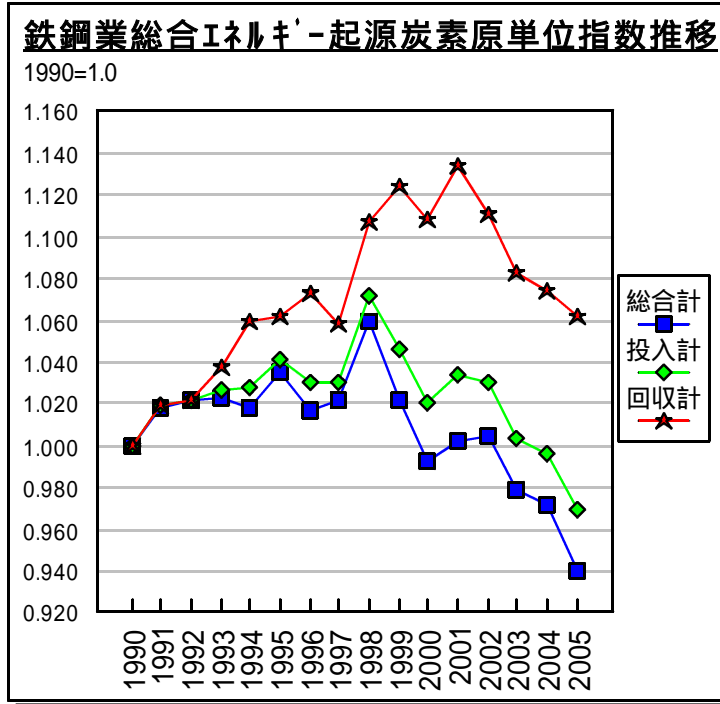
[図 2-3-3-5. 鉄鋼業の総合エネルギー起源炭素排出原単位推移(年度)]



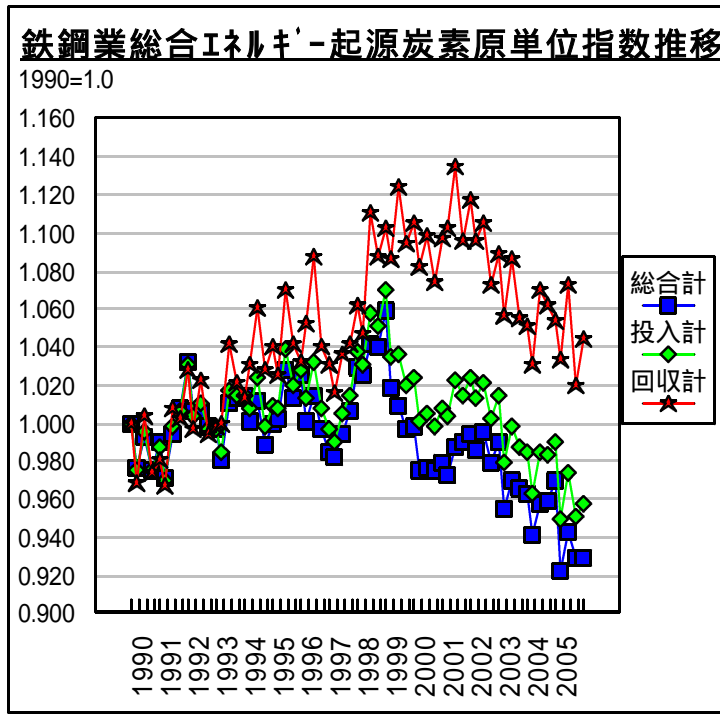
[図 2-3-3-6. 鉄鋼業の総合エネルギー起源炭素排出原単位推移(四半期)]



[図 2-3-3-7. 鉄鋼業の総合エネルギー起源炭素排出原単位指数推移(年度)]



[図 2-3-2-8. 鉄鋼工程のエネルギー起源炭素排出原単位指数推移(四半期)]



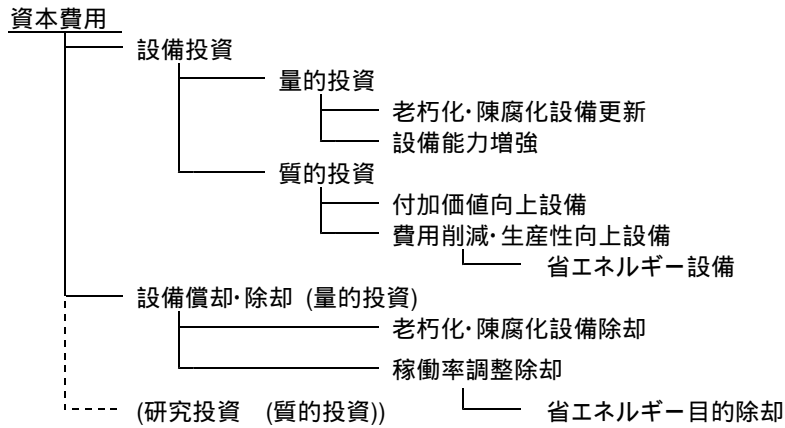
[表 2-3-4-1. 鉄鋼業の総合エネルギー消費原単位の変化要因分析]

| 工程 / 対策・効果 | 工程別原単位 | 粗鋼原単位 | 対策内容・設備*1 |
|-------------------|--------------|------------|---|
| 鉄鋼業 | --- | -1.4GJ/粗鋼t | |
| 鉄鋼工程 | --- | -0.9GJ/粗鋼t | |
| 焼結・ペレット工程 | +0.2GJ/焼結 | -0.0GJ/粗鋼t | (塊鉱直接投入) (転炉高屑鉄比操業) 廃熱・顕熱回収 |
| 高炉製鉄 | -0.7GJ/銑鉄t | -0.4GJ/粗鋼t | 塊鉱直接投入 (焼結予備還元処理) 微粉炭吹込操業(PCI) 炉頂圧発電(乾式・低圧損) 設備除却による稼働率向上 |
| 転炉・電気炉製鋼 (転 炉) | --- | -0.0GJ/粗鋼t | |
| | +0.3GJ/粗鋼t | | 転炉高屑鉄比操業 転炉ガス熱回収 設備除却による稼働率向上 |
| (電気炉) | +0.2GJ/粗鋼t | | (転炉/電気炉比率向上) 直流電炉 スクラップ予熱 設備除却による稼働率向上 |
| 圧延・鋼管製造 | +0.2GJ/圧延t | -0.1GJ/粗鋼t | 直接圧延・投入(HDR/HCR) 連続焼鈍設備 高性能加熱炉 |
| 加工処理 | -1.1GJ/加工t | -0.2GJ/粗鋼t | (操業管理強化) (製品構成変化) |
| 鋳鋼品・鍛工品 | +0.6GJ/鋳鍛t | -0.0GJ/粗鋼t | (製品構成変化) |
| フェロアロイ | +6.6GJ/アロイt | -0.1GJ/粗鋼t | (製品構成変化) |
| エネルギー転換工程 | --- | -0.5GJ/粗鋼t | |
| コークス製造 | +0.4GJ/コークst | -0.5GJ/粗鋼t | (微粉炭吹込操業(PCI)) |
| 自家発電・蒸気 | --- *2 | --- *2 | 高効率発電設備 各種電力・廃熱回収設備 |

(注 *1 対策内容・設備欄の ()書は、当該工程以外の工程での間接的対策などを示す。

*2 自家発電・産業蒸気工程の省エネルギー効果は各工程の内数)

[図 3-1-1-1. 追加的省エネルギー資本費用の内訳整理]

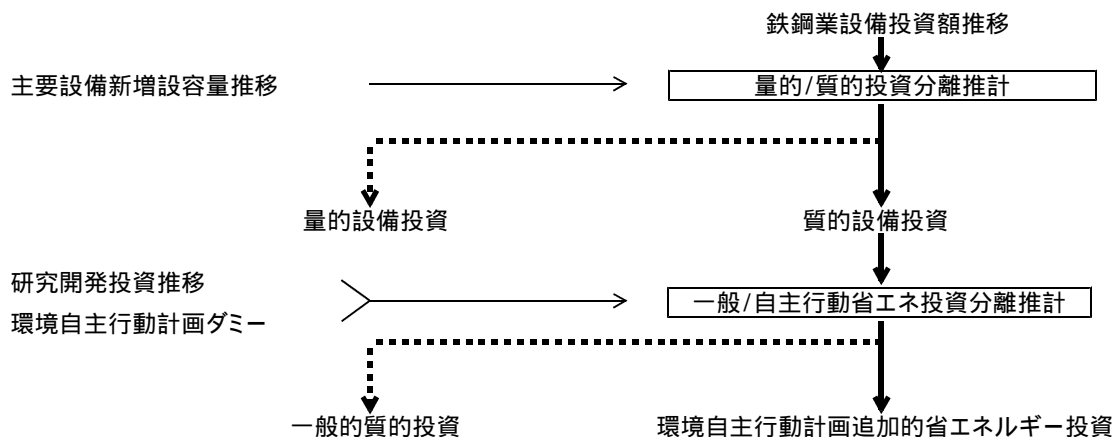


[式 3-1-2-1. 鉄鋼業の環境自主行動計画による追加的省エネルギー投資の推計・識別]

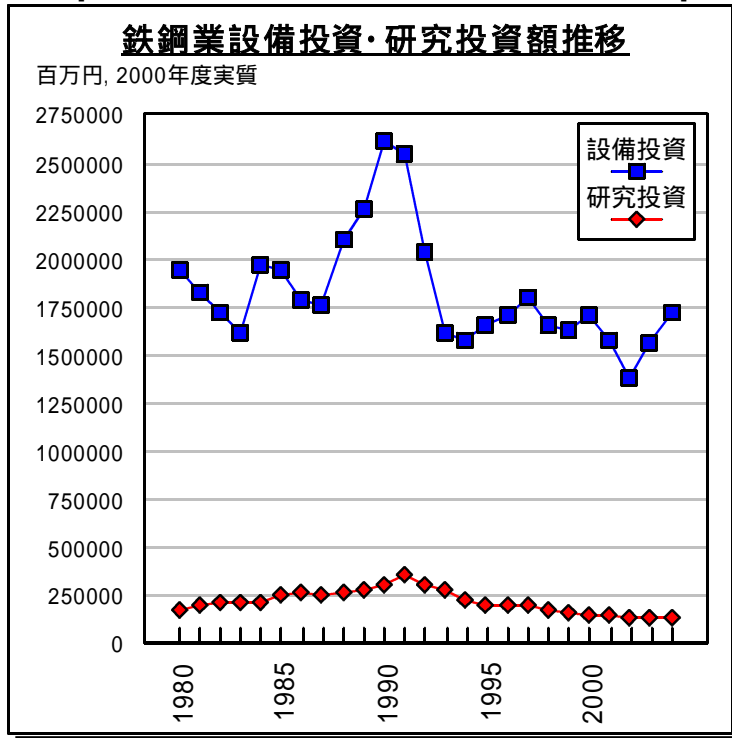
$$\begin{aligned}
 Is(t) &= Isc(t) + Isq(t) \\
 Is(t) &= (ISCi * Cpi(t)) + Isq(t) + u1(t) \\
 Isq(t) &= Isqg(t) + Isqe(t) \\
 Isq(t) &= ISQG * Isr(t) + ISQE * DM(1998+) + ISQO * DM(1980-1985) + u2(t)
 \end{aligned}$$

| | |
|--------------|-------------------------------------|
| Is(t) | t年度の実質設備投資額 (1980 < t < 2004) |
| Isc(t) | t年度の量的設備投資額 |
| Isq(t) | t年度の質的設備投資額 |
| Isqg(t) | t年度の省エネルギー対策以外の質的設備投資額 |
| Isqe(t) | t年度の環境自主行動計画による追加的省エネルギー対策投資額 |
| ISCi | 平均的i設備の増設容量当設備投資額 |
| Cpi(t) | t年度のi設備の新增設容量 (i 高炉、転炉、電気炉) |
| ISQG | 平均的な質的投資における設備投資/研究投資構成比 |
| Isr(t) | t年度の実質研究投資額 |
| ISQE | 平均的な環境自主行動計画による追加的省エネルギー設備投資額 |
| DM(1998+) | 環境自主行動計画ダミー(1997年度以前 0, 1998年度以降 1) |
| ISQO | 平均的な第二次石油危機時の追加的省エネルギー設備投資額 |
| DM(80-85) | 第二次石油危機ダミー(1980-1985年 1, 以降 0) |
| u1(t), u2(t) | 誤差 |

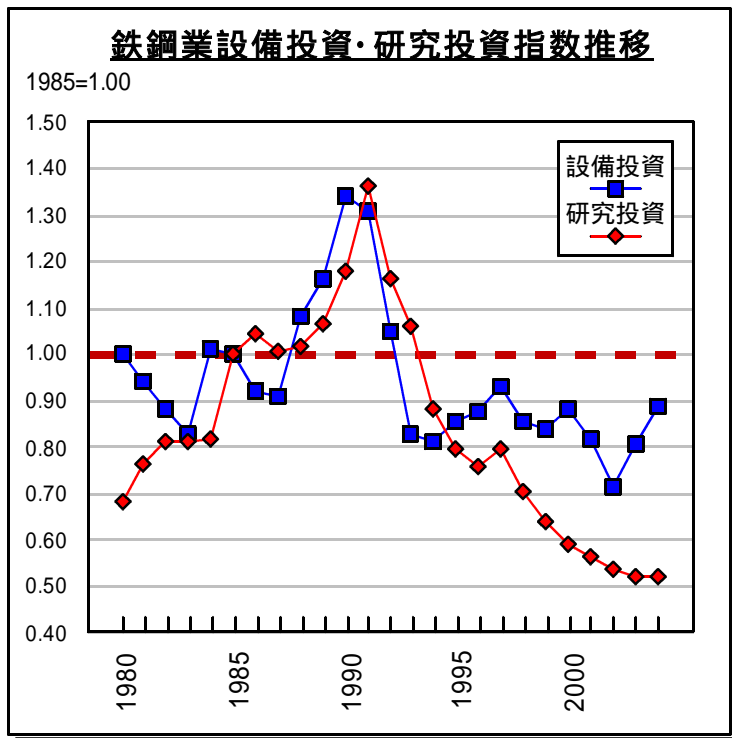
[図 3-1-2-1. 鉄鋼業の環境自主行動計画による追加的省エネルギー投資の推計の考え方]



[図 3-1-2-2. 鉄鋼業の設備投資・研究投資額推移]



[図 3-1-2-3. 鉄鋼業の設備投資・研究投資指数推移]



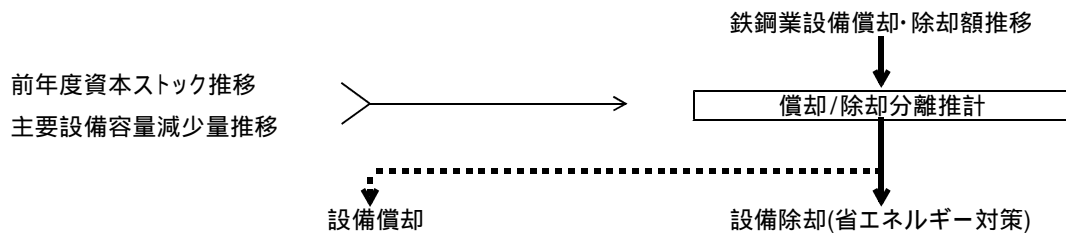
[式 3-1-3-1. 鉄鋼業の環境自主行動計画による追加的省エネルギー対策設備除却の推計・識別]

$$I_d(t) = I_{dd}(t) + I_{de}(t)$$

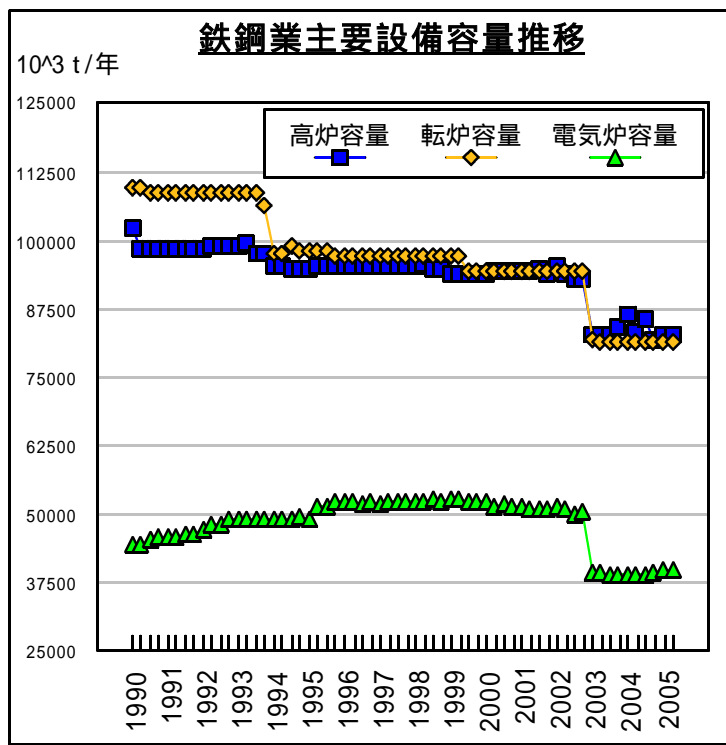
$$I_s(t) = DEPR * K(t-1) + IDQE_i * Cdl(t) + u_3(t)$$

$I_d(t)$ t年度の実質設備償却・除却額 (1980 < t < 2004)
 $I_{dd}(t)$ t年度の設備償却額
 $I_{de}(t)$ t年度の設備除却額 (追加的省エネルギー対策除却額と推定)
 DEPR 平均通常償却率
 $K(t-1)$ t-1年度の実質資本ストック
 $IDQE_i$ 平均的設備i容量当設備i除却額
 $Cdl(t)$ t年度の設備容量指数の減少容量(1998年度以降に限る)
 [設備容量指数] = ([高炉容量] * ([転炉・電気炉算術加重平均容量]))^{0.5}
 $u_3(t)$ 誤差

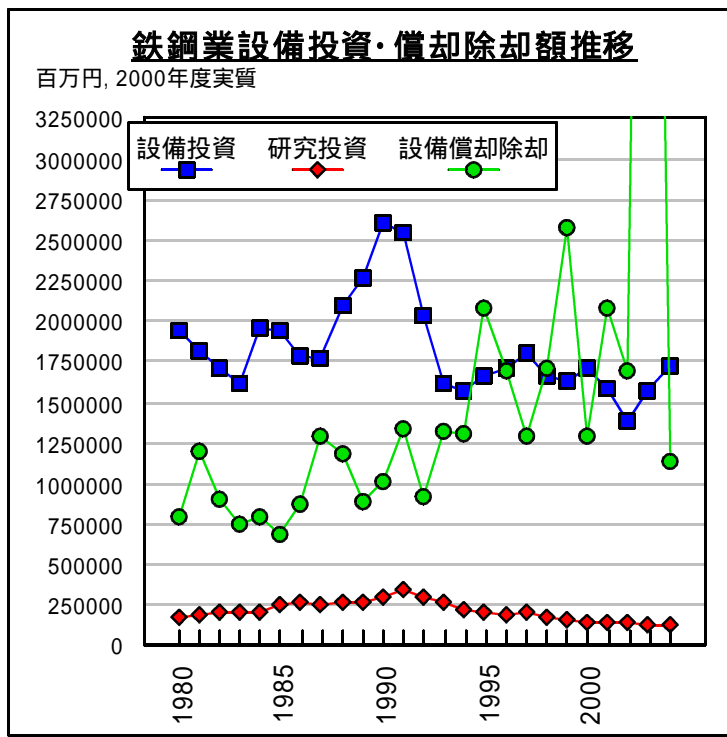
[図 3-1-3-1. 鉄鋼業の環境自主行動計画による追加的省エネルギー対策設備除却の推計の考え方]



[図 3-1-3-2. 鉄鋼業の主要設備容量推移]



[図 3-1-3-3. 鉄鋼業の設備投資、設備償却・除却額推移]



[表 3-1-4-1. 設備投資推移からの量的投資・質的投資の分離結果]

| | 高炉新增設 | 転炉新增設 | 電気炉新增設 | 定数項 | R ² |
|------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------|
| 実質設備投資額 (1980-2005, N=25) | -382.67 (-1.314)x | -69.94 (-0.402)x | +117.89 (+1.214) | 1850809 (+6.208) | 0.113 |

[表 3-1-4-2. 質的設備投資推移からの省エネルギー投資の分離結果]

| | 研究投資 | 1998-05DM(省エネ投資) | 1980-85DM | 定数項 | R ² |
|--------------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|----------------|
| 実質質的設備投資額 (1980-2005, N=25) | +5.223 (+3.828) | +302114 (+1.693) | +243362 (+1.662) | 499159 (+2.278) | 0.507 |

[表 3-1-4-3. 設備償却・除却額推移からの省エネルギー目的設備除却の分離結果]

| | 前年度資本ストック | 1998-05 容量減(省エネ除却) | 定数項 | R ² |
|---------------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|----------------|
| 実質設備償却・除却額 (1980-2005, N=25) | +0.068 (+4.854) | +734.74 (+24.42) | -837611 (-2.468) | 0.969 |

[表 3-1-4-4. 鉄鋼業の環境自主行動計画省エネルギー投資に関する資本費用推計]

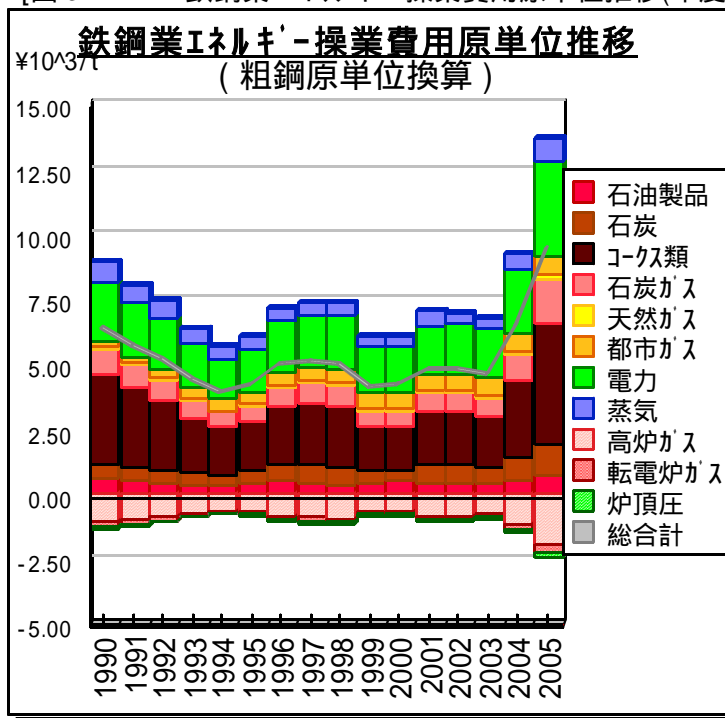
| (百万円, 2000年度実質価格) | 長期金利・割引率 2% | 3% | 4% |
|-------------------|-------------|---------|---------|
| 設備投資分 | 174,186 | 181,933 | 189,680 |
| 平均減価償却費 | 147,845 | 147,845 | 147,845 |
| 平均帰属利払費 | 15,494 | 23,242 | 30,989 |
| 平均公租公課 | 10,846 | 10,846 | 10,846 |
| 設備除却分 | | | |
| 平均除却費用 | 621,599 | 621,599 | 621,599 |

(表注: 設備除却分は、必ずしも全部が環境自主行動計画に伴う省エネルギー対策ではないことに注意)

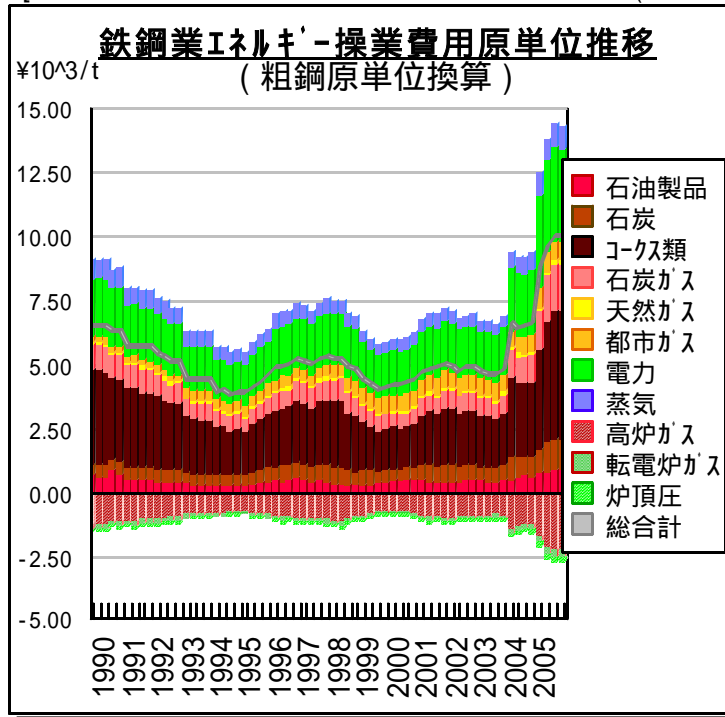
[表 3-2-1-1. 鉄鋼業のエネルギー操業費用の推計に用いたエネルギー源別価格資料]

| エネルギー源 | 資料出典・推計手法 |
|----------|---|
| 石 炭 | |
| 原料炭 | 日本貿易統計 コークス原料炭月次輸入価格 |
| 一般炭 | 日本貿易統計 一般炭月次輸入価格 |
| 石炭製品 | |
| コークス | 日本貿易統計 コークス原料炭月次輸入価格を適用 |
| 石炭ガス | 日本貿易統計 コークス原料炭月次輸入価格を適用 |
| 原 油 | |
| 原 油 | 日本貿易統計 原油月次輸入価格 |
| 石油製品 | |
| ナフサ～LPG | 日本貿易統計 各石油製品月次輸入価格 |
| 天然ガス | |
| 輸入LNG・国産 | 日本貿易統計 LNG月次輸入価格 |
| 都市ガス | |
| 都市ガス | ガス事業便覧 産業用ガス平均料金(総売上単価と認可料金単価から推計) 日本銀行 企業物価指数推移 |
| 電 力 | |
| 一般用電力 | 電気事業便覧 平均産業用電力料金 日本銀行 企業物価指数推移 |
| 自家用電力 | (発電用に投入されたエネルギー源の費用から限界費用を推計) |
| 熱 | |
| 産業用蒸気 | (発熱用に投入されたエネルギー源の費用から限界費用を推計) |

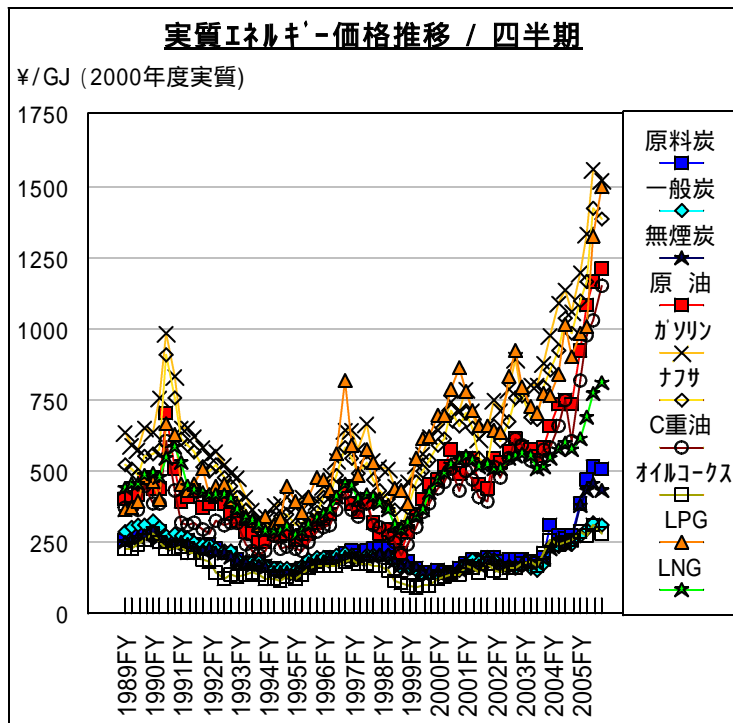
[図 3-2-2-1. 鉄鋼業エネルギー操業費用原単位推移(年度)]



[図 3-2-2-2. 鉄鋼業エネルギー操業費用推計結果(四半期)]



[図 3-2-2-3. 実質エネルギー価格推移(日本貿易統計輸入価格を実質化,四半期)]



[表 3-2-3-1. 鉄鋼業の省エネルギー対策によるエネルギー操業費用低減の評価結果]

| (2000年実質価格) | 各時点での評価 | 1998年度単価固定 | 2005年度直近固定 |
|-------------------------------|---------|------------|------------|
| 原単位 (¥10 ³ /粗鋼t) | | | |
| 1990FY | 6.393 | 4.708 | 10.307 |
| 1998FY | 5.083 | 5.083 | 10.613 |
| 2005FY | 9.478 | 4.750 | 9.478 |
| 原単位低減 (¥10 ³ /粗鋼t) | | | |
| 90 05FY | +3.085 | +0.009 | 0.829 |
| 98 05FY | +4.395 | 0.066 | 1.135 |

(= 粗鋼 1 億t時のエネルギー操業費用(1,000 億円))

[表 3-3-1-1. 鉄鋼業の追加的省エネルギー対策費用のまとめ]

(1998 年度基準, 長期割引率 3 %, 粗鋼生産高 1 億t, 単位: 2000 年価格 10 億円)

| 算定対象範囲 / エネルギー-価格前提 | 1998 年度固定価格 | 2005 年度直近価格 |
|---------------------|-------------|-------------|
| 対策費用 (設備投資のみ) | +175.3 | + 68.4 |
| 資本費用(経費) | +181.9 | +181.9 |
| 操業費用(便益) | 6.6 | 113.5 |
| (長期割引率 2 %) | +167.6 | + 60.7 |
| (長期割引率 4 %) | +183.1 | + 76.2 |
| (参考) 設備投資+除却損失全部 | +796.9 | +690.0 |
| 資本金費用(経費) | +803.5 | +803.5 |
| 操業費用(便益) | 6.6 | 113.5 |

[表 4-1-1-1. 鉄鋼業の省エネルギー対策の費用対効果推計結果]

(1998 ~ 2030 年度平均, 長期割引率 3 %, 粗鋼生産高 1 億t, 単位: 2000 年価格 ¥/MJ)

| 算定対象範囲 / エネルギー-価格前提 | 1998 年度固定価格 | 2005 年度直近価格 |
|---------------------|-------------|-------------|
| 対策費用 (設備投資のみ) | +0.587 | +0.302 |
| (長期割引率 2 %) | +0.557 | +0.272 |
| (長期割引率 4 %) | +0.617 | +0.332 |
| (参考) 設備投資+除却損失全部 | +3.009 | +2.724 |
| (参考) 鉄鋼業平均エネルギー費用 | +0.125 | +0.412 |

[表 4-1-3-1. 鉄鋼業のエネルギー起源二酸化炭素排出削減の費用対効果の比較]

| | |
|---|---|
| - 鉄鋼業のエネルギー起源二酸化炭素排出削減の費用対効果 | 63,997 ~ 124,264 円/t-CO ₂ |
| - IPCC-TARのモデルによる日本国限界削減費用 ^{*20} | |
| 国内削減措置のみ | 150,054 円/t-CO ₂ |
| 先進国間取引あり | 34,017 円/t-CO ₂ |
| 京都メカニズム完全活用 | 15,437 円/t-CO ₂ |
| - EU-ETS の排出権価格(2006年11月時点 ^{*21}) | |
| 最高価格(30.0 ユーロ/tCO ₂) | 4,500 円/t-CO ₂ |
| 直近価格(8.9 ユーロ/tCO ₂) | 1,335 円/t-CO ₂ |
| - 環境省提案の炭素税額(2005年度) | |
| 2,400 円/t-C | 655 円/t-CO ₂ |

[表 4-2-1-1. 主要省エネルギー設備の普及率の国際比較(1996年日本鉄鋼連盟調査)]

| (普及率 %) | 日 本 | 韓 国 | アメリカ | イギリス | ドイツ |
|-----------------|-----|-----|------|------|-----|
| 炉頂圧発電設備(TRT) | 100 | 100 | 2 | 0 | 24 |
| 転炉ガス回収設備(LDG) | 100 | 25 | 11 | 18 | 0 |
| コークス乾式消火設備(CDQ) | 85 | 50 | 0 | 0 | 33 |

[表 4-2-4-1. 鉄鋼業の主要な省エネルギー対策関連新技術(日本鉄鋼連盟による)]

焼結鉱製造工程 新焼結プロセス

現在の焼結鉱製造工程における造塊焼結を、さらに高温・長時間で行うことにより鉄鉱石の部分還元を促進させ、高炉でのコークス・吹込原料炭などの還元剤を大幅に削減する技術。焼結用消費は増加するが、焼結-高炉製鉄工程を通算してエネルギー消費が10%程度削減される。

高炉製鉄工程 直接還元プロセス

焼結鉱とコークス等から一旦鉄を作って製鋼する現在の製鉄プロセスを改め、粉鉱石・微粉炭・副原料などの原材料を造粒し還元焼成することにより、直接粒鉄や海綿状鉄などの製鋼鉄源を製造する技術。粉体反応を利用することにより20%を超える省エネルギーが見込まれる。

コークス製造工程 SCOPE21プロセス

今後寿命を迎えるコークス炉の代替として、予備処理の高度化による非微粘結炭利用拡大、高密閉炉体によるコークス製造エネルギーの20%以上低減や燃焼損失の低減、予熱・中低温乾留による生産性の向上などを目標とした次世代型コークス炉(SCOPE21)を開発導入する。

*20 参考文献 #7 の平均値を 1990年実質価格1ドル = 110円で邦貨換算。

*21 1ユーロ = 150円で邦貨換算。

補 論

補論. 電力・蒸気のエネルギー量の評価について

電力・蒸気のエネルギー量の評価については、以下の3通りの方法が考えられる。

本稿では鉄鋼業の省エネルギー対策の効果を評価する目的から、敢えて総合エネルギー統計の手法を離れ、一般用電力・外部用電力・外部供給蒸気については1990～2005年度の平均値で固定して算定するc.の方法を用いる。

- a. 二次側法：一般用電力～産業用蒸気の全部について、一次換算せず二次エネルギー(電力1kWh=3.6MJ、蒸気1kg=2.65MJ)のみ算定する方法。

電力・蒸気の発熱量が固定されているので容易に算定できる。

しかし、発電・発熱損失を考慮しないので電力・蒸気以外の他のエネルギー源との代替を評価できない、発電・発熱段階でのエネルギー効率改善を評価できないなどの問題点がある。

- b. 総合エネルギー統計法：一般用電力～産業用蒸気の全部について、毎年度の発電・発熱時の損失を考慮して一次換算したエネルギーを算定する方法。

実際に発電・発熱に使われた合計でのエネルギー量を示すので、電力・蒸気以外のエネルギー源との代替を評価でき最も正確である。

しかし、鉄鋼業の省エネルギー努力と関係のない一般電気事業者や卸電気事業者(共同火力発電など)のエネルギー効率改善努力の効果が混在してしまうという問題点がある。

- c. 外部固定法(本稿での手法)：一般用電力・外部用電力・外部供給蒸気については、1990～2005年度の発電・発熱効率の平均値で固定した一次エネルギー換算値を用い、自家発電・自家蒸気についてのみ毎年度の発電・発熱時の損失を考慮して一次換算したエネルギー換算値を用いて算定する方法。

一次エネルギー換算値を用いているので電力・蒸気以外のエネルギー源との代替を評価でき、かつ一般電気事業者や卸電気事業者のエネルギー効率改善努力の影響を受けない利点がある。

しかし、発電・発熱に使われた合計でのエネルギー量は一般用電力などの一次エネルギー換算値を固定した分「概数」となっている点に注意が必要である。

[表補 1-1. 電力・蒸気のエネルギー量の評価方法]

| | 電力評価値 | 蒸気評価値 | 利 点 | 問題点 |
|------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------|-----------------|
| 二次側法 | 3.6MJ/kWh (固定) | 2.65MJ/kg (固定) | 計算容易 | 損失を無視 比較が困難 |
| 総合エネルギー統計法 | 9～10MJ/kWh (毎年度算定) | ～3MJ/kg (毎年度算定) | 損失を考慮 最も正確 | 外部の省エネ 影響が混在 |
| 外部固定法 | 9～10MJ/kWh (自家分は毎年度, 外部分は固定) | ～3MJ/kg (自家分は毎年度, 外部分は固定) | 損失を考慮 評価に適 | 数値精度は b. に劣る |

参考文献・数値出典

参考文献(敬称略)

- # 1 社団法人日本鉄鋼連盟(1998)「鉄鋼業環境自主行動計画」
- # 2 社団法人日本鉄鋼連盟(2006)「地球温暖化対策-自主行動計画の取組み状況」
- # 3 経済産業省資源エネルギー庁(1997)「省エネルギー法の逐条解説」
- # 4 環境省中央環境審議会地球環境部会議事録(各年度)
- # 5 財団法人JFE21世紀財団(2003)「鉄鋼プロセス工学入門」
- # 6 内閣府経済社会総合研究所(2006)「民間企業資本ストックの解説」
- # 7 Intergovernmental Panel on Climate Change, WG-3 the "Third Assessment Report" Chapter8. "Energy Modeling Forum" (2002)
- # 8 戒能(2005)「総合エネルギー統計の解説 / 2004年度版」
- # 9 戒能(2005)「電気事業・都市ガス事業における政策制度変更の定量的影響分析」
RIETI Discussion Paper Series 05-J-034

数値出典(順不同)

- 経済産業省 企業活動基本調査報告 各年度版
 - 鉄鋼統計年報(鉄鋼・非鉄金属・金属製品統計年報) 各月版
 - 石油等消費動態統計 各月版
 - 総合エネルギー統計 各年度版
- 財務省 日本貿易統計 各月版
- 内閣府経済社会総合研究所 民間企業資本ストック・設備投資調査 各四半期版
- 総務省 科学技術研究調査報告 各年度版
- 社団法人日本鉄鋼連盟 主要鉄鋼指標
- 電気事業連合会 電気事業便覧
- 社団法人日本ガス協会 ガス事業便覧