

2010年時点のエネルギー原単位の推計

(鉄鋼部門-転炉鋼)

平成24年9月25日

RITE システム研究グループ

RITEでは、平成21年10月5日に「2005年時点のエネルギー効率の推計（鉄鋼部門-転炉鋼）」のレポート(http://www.rite.or.jp/Japanese/lab0/sysken/about-global-warming/download-data/Comparison_EnergyEfficiency2005steel.pdf)において、2005年時点における鉄鋼部門の転炉鋼のエネルギー効率の国際比較に関する分析を行った。そしてこの分析については、国際学術誌の査読論文としても採用されるに至っている[1]。

本レポートは、最近入手可能になった各種データに基づき2010年時点の鉄鋼部門-転炉鋼のエネルギー原単位の推計を行い、それについてまとめたものである。実効性のある排出削減を促すためにも、ここで行った技術レベルをできる限り正しく反映した世界各国のエネルギー原単位の推計は、大変重要性の高いものであると考えている。

1. 推計方法の概要

鉄鋼部門は、鉄鉱石を主な鉄源とし製鉄を行う高炉転炉法、鉄スクラップを主な鉄源とする電炉法で特性が異なる[2]。電炉法はCO₂排出量が少ないといった優位性があるものの、世界全体で見ると鉄スクラップの入手可能性に制約がある。転炉鋼でなければ製造が難しいとされていた高級材の一部については、技術改良に伴い電炉鋼での製造が可能になりつつあるが、依然として多くの高級材については転炉鋼からの製造が技術的・経済的に不可欠である。そのため世界全体のCO₂排出抑制という観点からも、高炉転炉法と電炉法のエネルギー原単位を分けて推計することが必要である。しかしながら、IEAエネルギーバランス表([3], [4])では、高炉転炉法と電炉法を分けてエネルギー消費量が計上されていないため、それぞれの消費量を推計するには工夫が必要である。鉄鋼部門は各種エネルギーの受入・外販も盛んである(例えば、コークスの輸出入、副生ガスの外販)。これらを考慮しつつ、バウンダリーの調整を適切に行った上で、エネルギー原単位の推計を行う必要がある。

本レポートでは、以上のような点を踏まえ、次のような複数の手法を相互に比較しながらアプローチすることによって、世界主要国別に2010年の転炉鋼生産のエネルギー原単位の推計を行った。

世界統計に基づく手法

- ・ IEA エネルギーバランス統計 ([3],[4]) と worldsteel 集計の粗鋼生産量 ([5], [6]) に基づく手法

データ積み上げによる手法

- ・ 企業の環境報告書、各国鉄鋼協会報告に基づく手法
- ・ 技術普及率を参照する手法
- ・ IEA[7]が推計した地域別省エネポテンシャルを参照する手法
- ・ 地域別還元材比を基に算定する手法

なお、本推計の主な前提は次の通り。

- ・ トン粗鋼当たりの一次エネルギー投入量 (GJ/t 粗鋼) で提示、低位発熱量ベース (LHV)
- ・ 電力は、IEA 統計の一次エネルギー換算方法に従い全地域で $1\text{MWh}=3.6\text{GJ} \div 0.333=10.8\text{GJ}$ として換算
- ・ 熱 (IEA 統計での “Heat”) は、地域別の効率で一次エネルギーへ換算
- ・ コークス、副生ガス、電力など含め、鉄鋼部門において正味で消費したエネルギー量をカウント
- ・ 転炉鋼生産量当たりの銑鉄生産量をここでは「銑鋼比」と呼び、この銑鋼比の値を 2005 年世界平均値である 1.025 へ補正

銑鋼比の補正係数については、文献[8]に基づき $20.64\text{GJ}/(\text{t 銑鉄}/\text{t 転炉鋼})$ とした。例えば、転炉鋼 1t 当たりの銑鉄生産が 100kg 増加した場合、見かけ上 $2.064(\text{GJ}/\text{t 粗鋼})$ エネルギー原単位が悪化したと考え、 $2.064(\text{GJ}/\text{t 粗鋼})$ を差し引く補正を行う。銑鋼比の補正により、電炉企業や鋳物企業へ外販される銑鉄の影響も適正に評価でき、より妥当な国際比較が可能となる¹。

以下、「世界統計に基づく手法」及び「データ積み上げによる手法」について具体的にそれぞれ述べる。

2. 世界統計に基づく手法

(1) IEA ([3], [4]) に基づくエネルギー投入量とバウンダリーの調整

IEA エネルギーバランス表 ([3], [4]) において、鉄鋼生産のために投入したエネルギー

¹ 高炉一貫製鉄所における溶銑比 (hot metal ratio) について、企業が技術開発を行い溶銑比の低減を図る例も見られる。この溶銑比低減に伴い転炉鋼当たりのエネルギー原単位は大きく改善される[9]。銑鋼比補正の有無によりエネルギー原単位が見かけ上どの程度変化しうるかについては、文献[1]にて示した。

は、表 1 に示す”Iron and Steel”のみならず、エネルギー転換部門の中の”Coke Ovens”や”Blast Furnaces”にも記載されている。また、生産したコークスや副生ガス、電力などは一部、他産業や他地域で使用されており、バウンダリーの調整が必要となる。

そこで本推計では 2005 年推計と同様、バウンダリーについては図 1 の通りとした。図 1 では、鉄鋼製造上流側の工程を図上部に記載し、図下部へ移動するに従い下流工程となるよう記載した。本分析では、鉄鋼製造の各工程に対し次のようにバウンダリーを設定した。

- ・ 上流側については、コークス、焼結鉱、ペレット製造に要したエネルギーからカウント
- ・ 下流側については、加熱炉や熱間圧延工程まで含み、冷延、メッキ類、特殊鋼などに要した追加的なエネルギーは除く

表 1 IEA[4] に記載されている鉄鋼関連部分のエネルギーバランス表
[日本、2010 年] (一部抜粋)

| (PJ/yr) | Coal | Coke Oven Coke | Coke Oven Gas | Blast Furnace Gas | Oxygen Steel Furnace Gas | Electric ity | Total |
|----------------|--------|-------------------|------------------|-------------------------|--------------------------------|-----------------|-------|
| Coke Ovens | -1,600 | 1,241 | 286 | -62 | -4 | -6 | -109 |
| Blast Furnaces | -319 | -917 | | 449 | 73 | | -714 |
| Iron and Steel | 79 | 116 | 150 | 152 | 31 | 229 | 911 |

注1) ここで記載した ”Coke Ovens”、”Blast Furnaces”、 ”Iron and Steel”は、IEA エネルギーバランス表[4]に記載されている項目を指す。この”Iron and Steel”は、本資料で定義した鉄鋼部門のバウンダリーとは全く異なるため注意が必要。

注2) PJ とは 10¹⁵J を意味する

また図 1 ではエネルギーが左から右へ流れるよう記載した。図 1 左側に記載した一次エネルギー投入分とは、製鉄所に持ち込まれた原料炭や、高炉吹き込み用一般炭などを意味する。図 1 左側に記載した二次エネルギー投入分とは、購入した電力、コークスなどを意味する。図 1 右側の製鉄所外へ持ち出したエネルギーとは、外販されたコークス、副生ガス、電力などを意味する。

鉄鋼生産の複雑なエネルギー収支に対し、このように世界の全ての地域で共通のバウンダリーを設定することにより、技術レベルを反映したエネルギー原単位の国際比較を可能にした。

IEA エネルギーバランス表 ([3], [4]) に記載された数値を、上記図 1 のバウンダリーに基づき、鉄鋼生産のために投入した正味エネルギー量を換算した。その結果を表 2 に示す。なお、表 2 の段階では高炉転炉法に要したエネルギーと電炉法に要したエネルギーの

合計である点に注意が必要である。

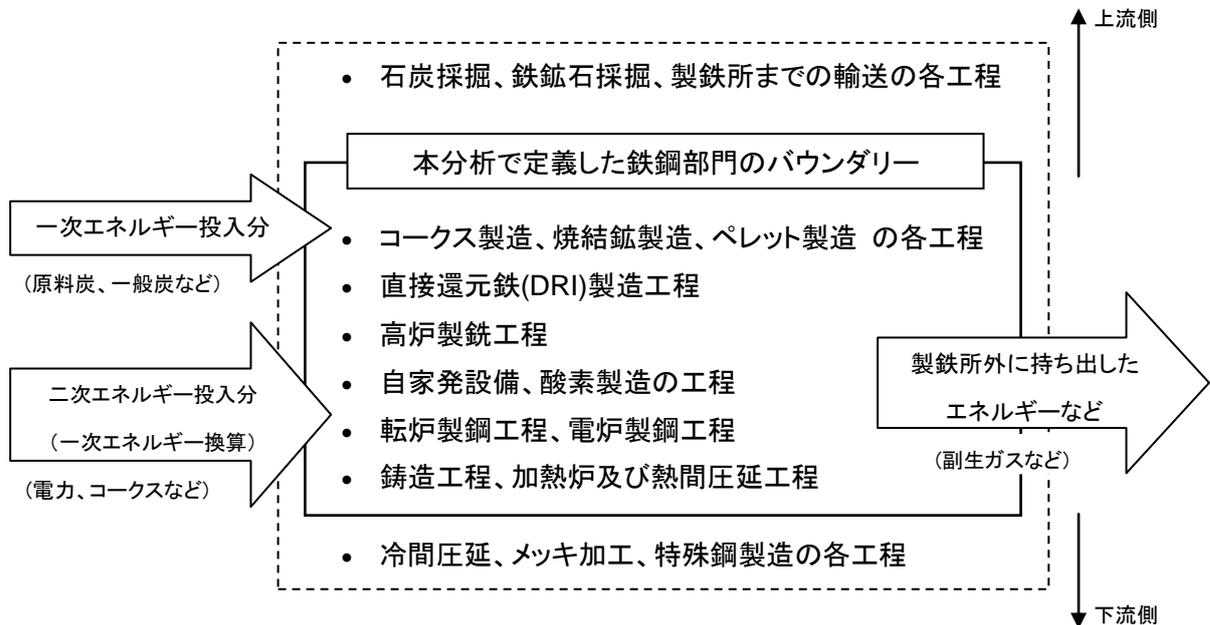


図 1 本分析で定義した鉄鋼部門のバウンダリー概略図

注1) 概略図では分かりやすさを優先し、エネルギーのループ構造を省いて図示している。実際には、副生ガス、蒸気、電力など複雑なループ構造を持つが、本推計ではこれらエネルギーの正味の消費分をカウントしている。

表 2 鉄鋼生産のために投入した一次エネルギー (IEA[4]に基づき RITE 算定) [2010 年]

| (PJ/yr) | 非電力 | 電力 | 合計 |
|---------|--------|--------|--------|
| US | 911 | 828 | 1,739 |
| UK | 184 | 37 | 221 |
| France | 224 | 110 | 335 |
| Germany | 537 | 296 | 833 |
| Japan | 1,370 | 703 | 2,073 |
| Korea | 693 | 532 | 1,226 |
| China | 11,720 | 4,981 | 16,701 |
| India | 1,305 | 0 | 1,305 |
| Russia | 2,351 | 601 | 2,953 |
| World | 24,059 | 10,985 | 35,044 |

注1) 非電力 = 正味で投入した電力を除くエネルギー量 (実際には石炭が多くを占める)

注2) 電力 = 正味で投入した電力量 (一次エネルギーベースへ変換済; $1[\text{kWh}] = 3.6 \div 0.333[\text{MJ}] = 10.8[\text{MJ}]$)

注3) PJ とは 10^{15}J を意味する

注4) 主要地域のみ記載 (以下、同様)

(2) 生産方式別の粗鋼生産量の調整

次に世界鉄鋼協会（[5], [6]）の資料を基に、粗鋼生産量などの物量データを表 3 の通り整理した。転炉鋼は転炉及び平炉による粗鋼量とした。電炉は、スクラップを主な鉄源とする炉が多いが、地域によっては直接還元鉄や銑鉄も幅広く利用される。ここでは、鉄源の 100%がスクラップである電炉鋼と、鉄源の 100%を直接還元鉄と所内屑が占める電炉鋼に区分し整理した。

表 3 生産方式別の粗鋼生産量[2010 年]

| (Mt粗鋼/yr) | 転炉鋼 | スクラップ 電炉鋼 | 直接還元鉄 電炉鋼 | 合計 |
|-----------|-------|--------------|--------------|-------|
| US | 31 | 49 | 0 | 80 |
| UK | 7 | 2 | 0 | 10 |
| France | 10 | 6 | 0 | 15 |
| Germany | 31 | 13 | 0 | 44 |
| Japan | 86 | 24 | 0 | 110 |
| Korea | 34 | 24 | 0 | 58 |
| China | 565 | 61 | 0 | 627 |
| India | 27 | 14 | 27 | 68 |
| Russia | 49 | 13 | 5 | 67 |
| World | 1,007 | 339 | 72 | 1,417 |

注1) 転炉鋼には、平炉(OHF)による粗鋼生産量を含む

注2) 直接還元鉄 (DRI) 生産国において、直接還元鉄電炉鋼を生産したものとみなして計算

(3) 生産方式別の標準的なエネルギー原単位の導入

表 3 に示した通り、地域により生産方式の比率が国により大きく異なる。例えば、米国、インドは電炉率が高い（順に 61%、60%）。その一方、英国、ドイツ、日本、中国などは電炉率が低い（順に 25%、30%、22%、10%）。

このような差異をより適切に考慮するため、生産方式別に標準的なエネルギー原単位を表 4 の通り導入した。

表 4 生産方式別の標準的なエネルギー原単位

| (GJ/t粗鋼) | 非電力 | 電力 | 合計 |
|----------|------|-----|------|
| 転炉鋼 | 22.3 | 4.8 | 27.1 |
| スクラップ電炉鋼 | 2.5 | 6.3 | 8.8 |
| 直接還元鉄電炉鋼 | 15.9 | 7.6 | 23.5 |

注1) 基本的に世界平均のエネルギー原単位（2010 年）を想定（RITE 推計値）

(4) 世界統計に基づく手法のまとめ

表 5 は、表 2 から表 4 を用いて転炉鋼のエネルギー原単位を推計したものである。いくつかの地域では、合理的な説明が困難なエネルギー原単位となっている。例えばインドの電力消費は、IEA[4]にそもそも計上されていないため（表 2）、表 5 の左右の数値に大きな隔たりがある。また、ロシアはかなり大きな数値を示している。このように地域によって統計上の不備が含まれることは、IEA 自身も認めている[2]。

表 5 世界統計に基づく転炉鋼のエネルギー原単位[2010 年]

| (GJ/t粗鋼) | 「非電力」エネルギー消費を参照 | 「合計」エネルギー消費を参照 |
|----------|-----------------|----------------|
| US | 34.7 | 40.2 |
| UK | 30.5 | 28.1 |
| France | 25.9 | 28.6 |
| Germany | 22.0 | 25.2 |
| Japan | 20.0 | 23.2 |
| Korea | 22.8 | 29.1 |
| China | 24.5 | 28.1 |
| India | 27.5 | 20.7 |
| Russia | 55.4 | 53.1 |
| World | 26.8 | 29.8 |

仮に統計上の不備が存在しないということを前提に考えると、電炉率の低い地域では非電力を基に推計した転炉鋼の原単位（表 5 左項）及びエネルギー合計を基に推計した転炉鋼の原単位（表 5 右項）の両者が共に参考になる。

電炉率の高い地域では、電力消費量が電炉鋼のエネルギー原単位に左右されるため、非電力を基に推計した表 5 左項がより参考になる。

なお、多くの地域で表 5 の左項よりも右項の方が大きな数値になっているが、これはバウダンリー（図 1）外の下工程での電力消費の影響による。

これまでエネルギー原単位の絶対値について見てきたが、IEA エネルギーバランス表 ([3], [4]) から時系列的な変化についても情報を得ることができる。主要地域の時系列的推移を図 2 に示す。鉄鋼需要が急激に変化した 2008 年、2009 年においてエネルギー原単位の悪化が観察されるが、これは製鉄所の稼働率低下による影響によるものと考察される。

ここで 2010 年までの 5 年間の変化率を、RITE2005 年推計値[1]に適用し求めたエネルギー原単位を表 6 に示す。IEA エネルギーバランス表 ([3], [4]) は、国によって固有の傾向も観察され、この傾向が実態を反映したものであるのか、あるいは統計の不備によるものか判断は容易でないため、その絶対値だけではなく表 6 に示した時系列的変化率に着目する手法も有効な手段の一つである。

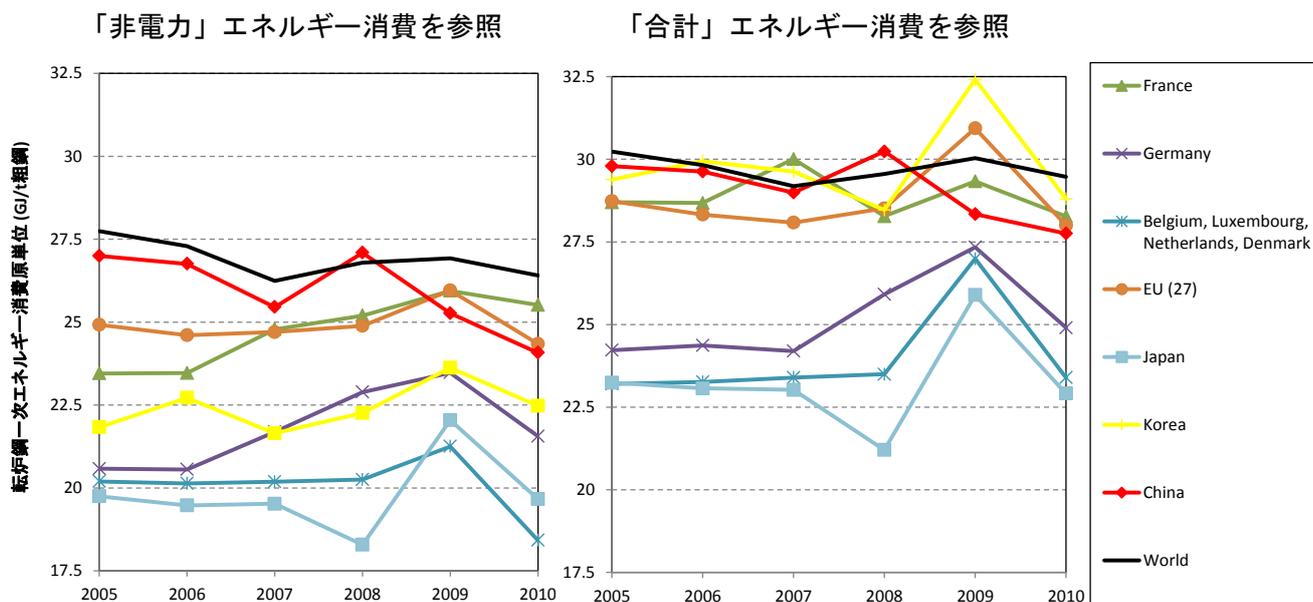


図 2 世界統計に基づく転炉鋼エネルギー原単位の推移

表 6 IEA エネルギーバランス表([3],[4])の 5 年間の
変化率に基づく転炉鋼のエネルギー原単位[2010 年]

| (GJ/t粗鋼) | IEAエネバラ5年間の 変化率を参照 |
|----------|-----------------------|
| US | 30.8 |
| UK | 28.8 |
| France | 28.4 |
| Germany | 26.6 |
| Japan | 22.9 |
| Korea | 23.8 |
| China | 26.2 |
| India | 26.1 |
| Russia | 34.0 |
| World | 27.0 |

3. データ積み上げによる手法

世界統計に基づく手法は、地域網羅的であり時系列的変遷についても情報を得ることができるという優位性がある。一方、高炉転炉法、電炉法で消費したエネルギーの合計値が示されており、これら区分が必要である、地域別のエネルギー原単位の実態を反映しているのか統計上の不備によるものかの見分けが容易でない、といった課題がある。

そのため、IEA エネルギーバランス表 ([3], [4]) に頼らないデータ積み上げによる手法も合わせて整理・参照する必要がある。本推計にあたっては、次のような幅広い複数の手法を参照した。

(1) 企業の環境報告書、協会報告に基づく手法

この手法では、企業や各国の鉄鋼協会が報告したエネルギー原単位などを参照する。企業別のデータとしては、日本の高炉五社、韓国 POSCO、インド大手企業のデータが特に参考となる。各国の鉄鋼協会が発表した数値としては、American Iron and Steel Institute、ドイツ鉄鋼協会、及び中国鋼鉄工業協会 (CISA) 発表のデータが特に参考になる(詳細は後述)。

ただし、提示されるエネルギー原単位や CO₂ 原単位は、企業別・国別にそれぞれ独自のバウンダリーや計算方法に基づいて算定されているため、相互に比較可能なエネルギー原単位を算定するためには補正が必要となる。例えば、電力を二次エネルギーベースでカウントしている場合は一次エネルギーへの換算を行う必要がある。また転炉鋼生産当たりの銑鉄生産量(ここでは銑鋼比と記載)についても補正が必要である。バウンダリーに関しては、中間生成物(例えばコークス、副生ガス、蒸気など)の購入・外販について調整が必要である。

入手整理したデータは多岐に渡るが、参照した主要データを地域別に見ると次の通りである。

[I] 日本

図 3 に、日本の高炉五社が環境報告書などで示しているエネルギー原単位、及び高炉五社の粗鋼生産量により加重平均したエネルギー原単位を示す。加重平均値は 2005 年度から 2010 年度にかけて若干改善した数値となる。

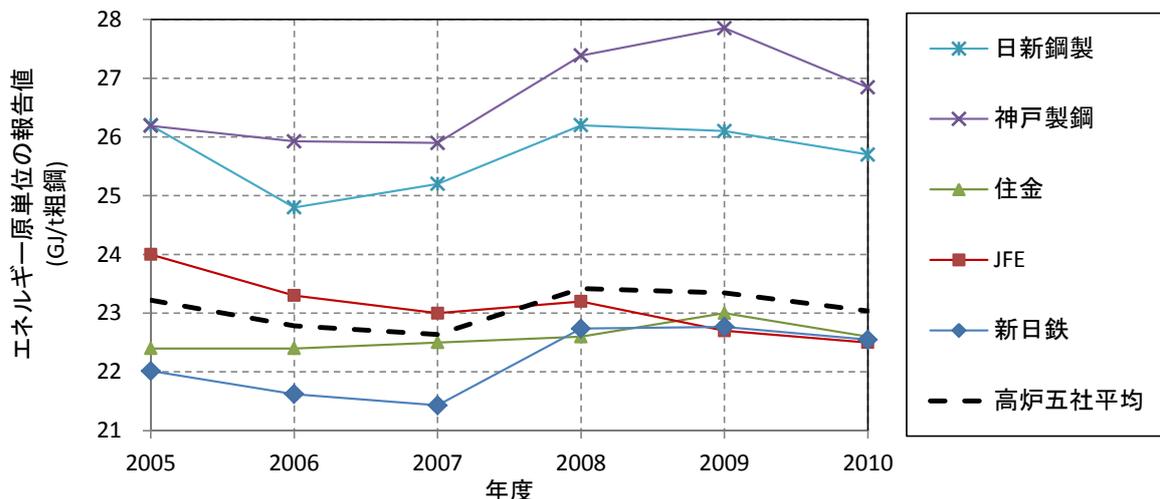


図 3 日本高炉五社のエネルギー原単位報告値、及び加重平均値

注1) 単位は、高炉五社の粗鋼 1 トン生産当たりのエネルギー消費量[GJ/t 粗鋼]

注2) 企業間の製品差異に加え、企業によっては関連電炉会社生産分も含むため、企業間の単純比較はできない

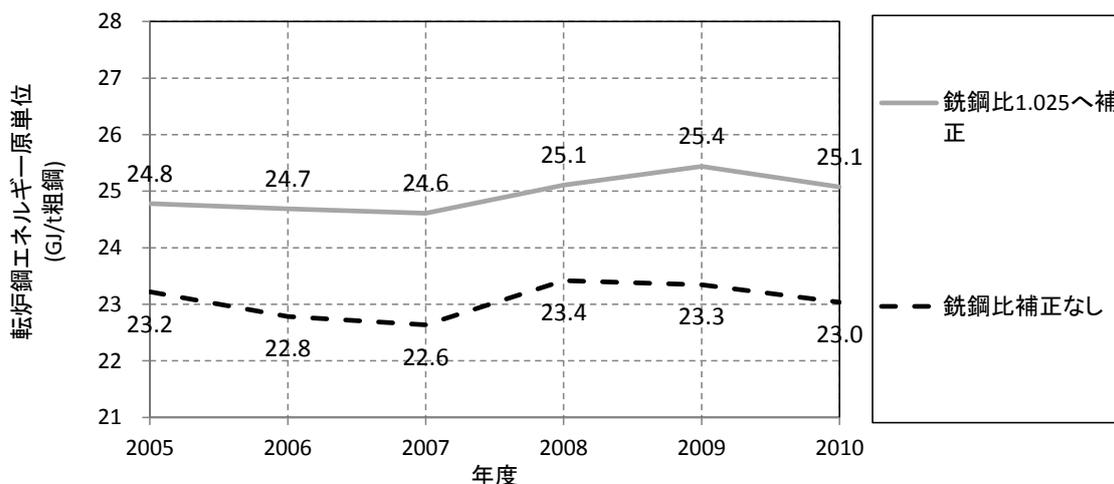


図 4 日本高炉五社のエネルギー原単位加重平均値、及び鉄鋼比補正後の原単位

一方、これら高炉五社の「鉄鉄生産量に対する粗鋼生産量」はこの5年間でやや低下の傾向にある。図4はこのような鉄鋼比の補正を実施した場合のエネルギー原単位についても示した。鉄鋼比補正により、5年間で1.2%のエネルギー原単位の悪化とのデータを得た。

以上から、5年間で省エネ設備普及、さらなる高炉集約化などが進んだが、結果的に稼働率低下などの影響の方がより卓越した可能性が図4からは示唆される。

[II] 韓国

POSCOは、2008年までSustainability Report[10]を、2009年からはCarbon Report[11]を毎年発表している。2010年までの5年間でCO₂原単位は2.06tCO₂/t粗鋼から2.13 tCO₂/t粗鋼へ3.4%悪化との数値が記載されている。この数値に対し、鉄鋼比補正0.6%相当、系統電力CO₂原単位悪化の影響0.4%相当を差し引き、結果2.4%の悪化とのデータを得た。

現代製鉄は、第一高炉、第二高炉の火入れを2010年1月及び10月にそれぞれ行っている。しかし、今回、現代製鉄のエネルギー原単位について十分な情報を入手できなかったため²、上記2.4%の悪化を韓国全体の数値として採用した。

[III] インド

インドについては、国営のSAIL、RINLに加え、民営のTATA、JSWなどのエネルギー原単位が従来から示されている。これらデータ([12]-[16])を年度別、企業別に整理したのが図5である。インドでは従来から単位(Gcal/t粗鋼)を用いて示しており、図5では元文献との対比を容易にするため、同じく(Gcal/t粗鋼)にて図示した(1Gcal=4.1868GJ)。

² 現代製鉄の高炉一貫製鉄所については、CDQ導入を回避しているといった情報に基づく、POSCOよりもエネルギー原単位に劣る可能性があるが、これ以上の情報については入手できていない。そのため、今回、明示的なデータ反映には至っていない。

インドでは、粗鋼生産の40%が直接還元鉄由来であり（表3参照）、図5提示の内、一部企業は直接還元鉄生産のエネルギー原単位が反映されている。高炉一貫製鉄所が主軸の4社（SAIL、RINL、TATA、JSW）のエネルギー原単位を粗鋼生産量で加重平均し、2010年までの5年間で6.5%の改善とのデータを得た。

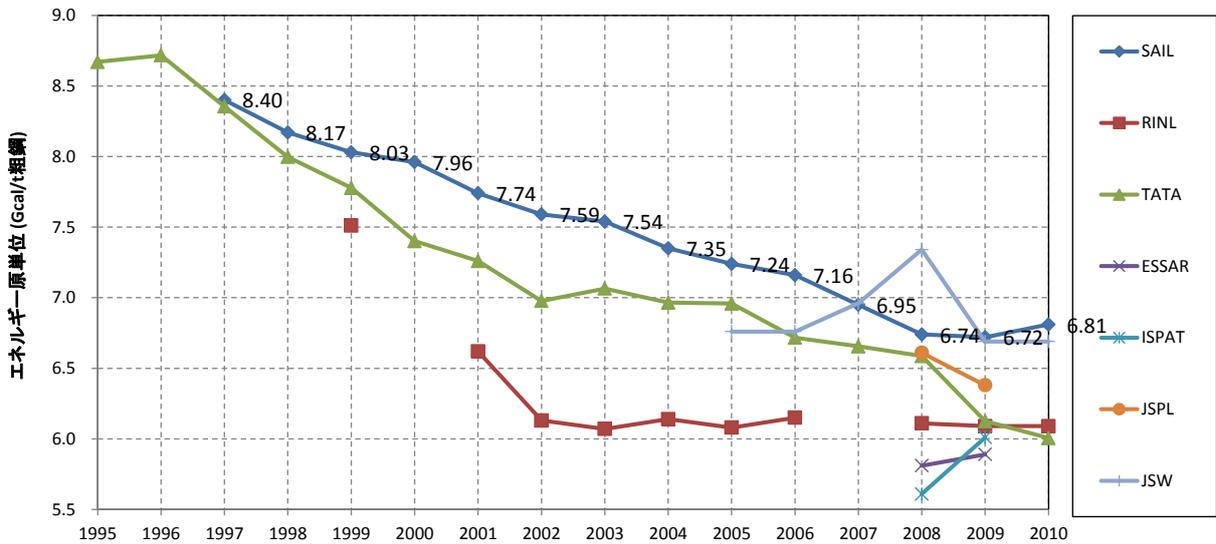


図5 インドの大手製鉄企業のエネルギー原単位報告値

注1) 参考のため、SAILのみ数値を記載。

[IV] 米国

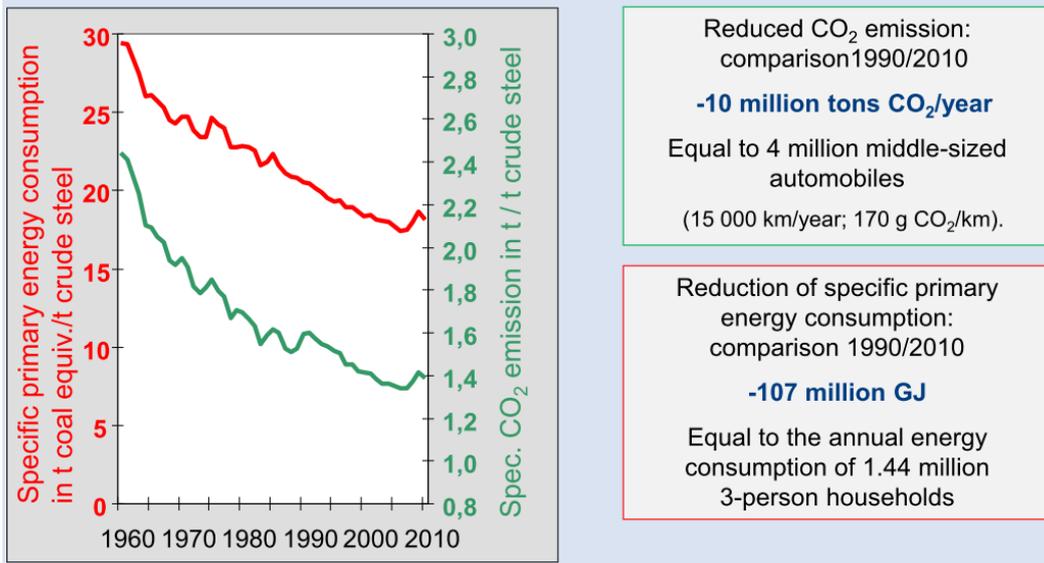
米国 American Iron and Steel Institute は、全粗鋼（電炉鋼含む）当たりのエネルギー原単位を示している（[17], [18]）。示された原単位をそのまま単純計算すると2010年までの5年間で2.8%の改善となる。ただし、これは全粗鋼当たりの銑鉄生産量の減少を考慮していない数値である。銑鋼比補正などにより1.6%の悪化とのデータを得た。

[V] ドイツ

ドイツ鉄鋼協会は、従来からエネルギー原単位、CO₂原単位を示している[19]。エネルギー原単位の報告値をそのまま単純計算すると2010年までの5年間で3.0%の悪化となる。ただし、銑鉄生産量の比率が上昇しており、銑鋼比補正により1.7%の悪化とのデータを得た。



Energy efficiency and CO₂-emissions of the steel industry in Germany



Reduced CO₂ emission: comparison 1990/2010
-10 million tons CO₂/year
 Equal to 4 million middle-sized automobiles
 (15 000 km/year; 170 g CO₂/km).

Reduction of specific primary energy consumption: comparison 1990/2010
-107 million GJ
 Equal to the annual energy consumption of 1.44 million 3-person households

18 | 04 June 2012 | Hans Jürgen Kerckhoff © Stahlinstitut VDEh | Wirtschaftsvereinigung Stahl

Stahl-Zentrum

図 6 ドイツ鉄鋼協会による報告

引用：文献[19]

[VI] 中国

中国鉄鋼業は、重点企業とその他企業の 2 区分がなされてきた経緯がある。重点企業のほとんどは中国鋼鉄工業協会（CISA）に加盟しており、エネルギー消費量などのデータを CISA へ報告している。

文献 ([20],[21]) には、CISA がまとめた重点企業のエネルギー原単位が記載されている。ただし、エネルギー原単位の計算方法が 2005 年に変更され、2005 年データと 2006 年データは連続しない。その他企業については情報が極めて限られるものの、2005 年時点については Oda et al の推計[1]、2010 年については CISA 提示の数値が得られている[22]。

以上を基に、2005 年、2010 年の重点企業・その他企業別の比較可能なエネルギー原単位を整理したのが図 7 である（銑鋼比補正前）。図 7 において中国平均値は 5 年間で 12.6% の改善となる。この期間、中国は銑鋼比が低下しており、銑鋼比補正により 8.9% の改善と評価できる。

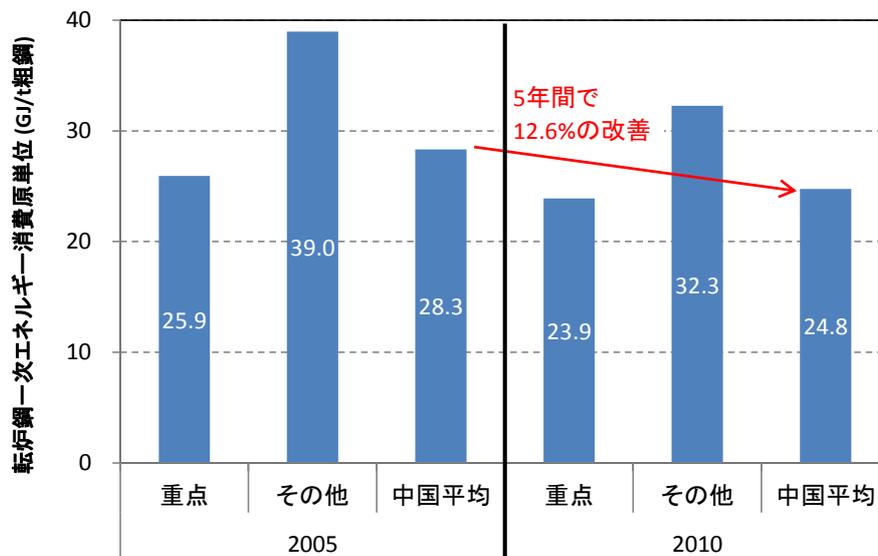


図 7 中国のエネルギー原単位の推計（銑鋼比補正前）

出典：中国鋼鉄工業協会（CISA）発表のデータや Oda et al の推計[1]などを基に RITE 整理

(2) 技術普及率を参照する手法

技術普及率を参照することにより、地域間でエネルギー原単位差異が生じている理由を本質的に説明することができる。ここでは、技術の特性に注目し次の 3 区分別にそれぞれ積み上げ的に推計を行った。

- ・ 副生ガスの回収有効利用率
- ・ 省エネ技術（主要 5 種）普及率
- ・ 旧技術（平炉、造塊分塊）利用率

[I] 副生ガスの回収有効利用率

副生ガス（コークス炉ガス COG、高炉ガス BFG、転炉ガス LDG）は発生量が大きく、どの程度回収されるか、回収されたガスがどの程度有効利用されるかは、転炉鋼のエネルギー原単位を大きく左右する。

典型的な発生量は、t コークス当たり COG 7.45GJ、t 銑鉄当たり BFG 5.45GJ、t 転炉鋼当たり LDG 0.85 GJ である。t 銑鉄当たり 398kg のコークス投入（2010 年世界平均 RITE 推計値）、t 転炉鋼当たり 1.025t の銑鉄生産（本分析の基準値）とすると、t 転炉鋼当たりで COG3.0GJ、BFG5.6GJ、LDG0.9GJ、合計 9.5GJ となる。

IEA エネルギーバランス表（[3], [4]）に副生ガスの利用量が記されており、本推計では主にこのデータを参照しつつも、IEA[7]による副生ガス回収による省エネポテンシャルにて確認を行い、国別の副生ガス回収による省エネポテンシャルを図 8 の通り算定した。なお、

中国については文献[20]記載の回収率や有効利用率も参照した。

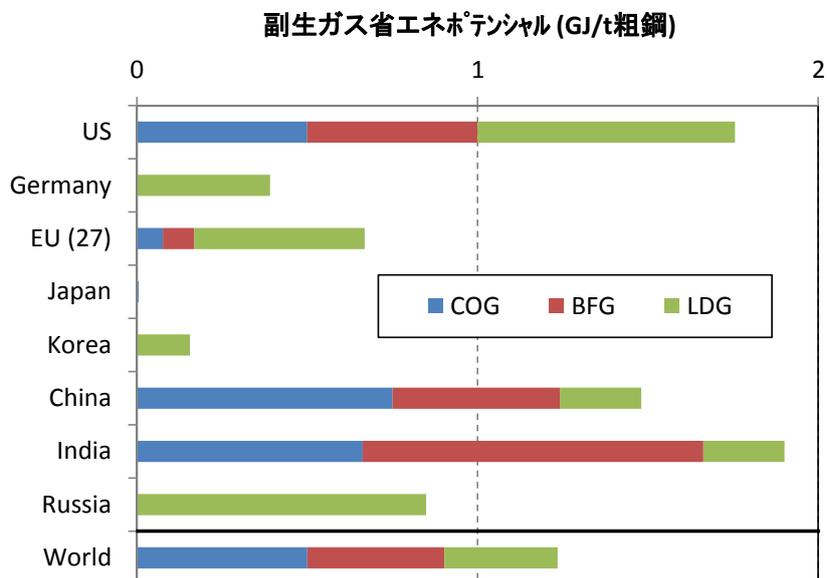


図 8 副生ガスの回収有効利用による省エネポテンシャル

III] 省エネ技術（主要 5 種）普及率

ここでは、省エネ効果が一定以上あり、かつ普及率データが相対的に入手しやすい技術として、CDQ、TRT、焼結機⁴排熱回収、熱風炉排熱回収、微粉炭吹込みの 5 技術を参照する。

これら技術普及率について、例えば中国は文献 ([24], [25]) を、インドは文献[26]を、韓国は文献 ([8], [10], [11]) をそれぞれ参照した。また、微粉炭吹込みについて、吹き込み量が少ない範囲ではコークスを熱量ベースで見て 1 対 1 で追い出すことができコークス生産段階でのエネルギーロスを削減できる[2]と想定し、ここでは微粉炭吹込みによる省エネポテンシャルを策定した³。

III] 旧技術（平炉、造塊分塊）利用率

ロシア、ウクライナ及びインドなどでは、平炉や造塊分塊技術が 2010 年時点でも広く利用されている。これらは 2005 年以降、それぞれ転炉、連続鑄造へ転換されつつあるが、2010 年時点でも一定量利用されている[5]。これら旧技術削減による省エネポテンシャルを図 10 に示す。

³ 微粉炭吹込みは、180kg/thm (t 溶銜当たりの石炭吹込み kg 重量) を超える水準になると、追加的なコークス追い出し効果が観測されない[2]。ここでは単純化を行い、韓国データ 174kg/thm まではコークス追い出し効果が熱量ベース 1 対 1 で維持されるとの前提により算定を行った。

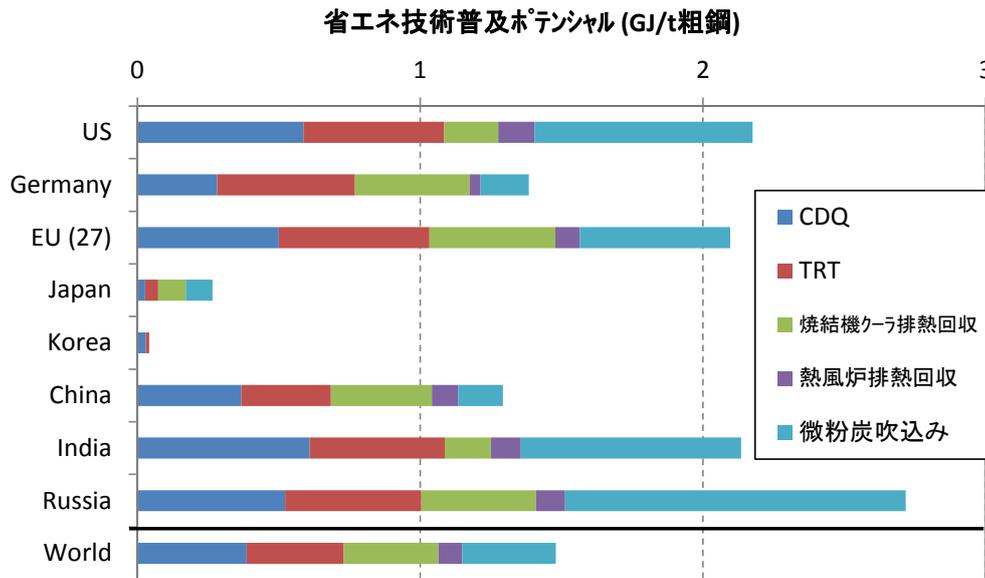


図 9 省エネ技術（主要 5 種）普及による省エネポテンシャル

注1) ドイツで CDQ の普及はごく一部にとどまるものの、advanced coke wet quenching 普及により還元材比の低減が図られていること[2]を前提に、その省エネ効果を差し引き図示した。

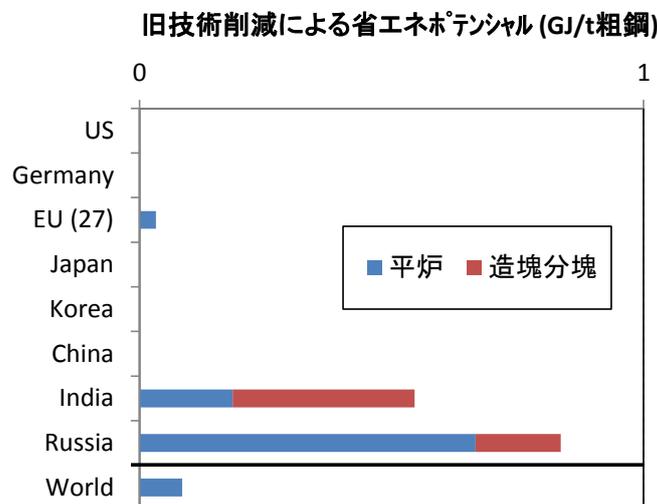


図 10 旧技術削減による省エネポテンシャル

(3) IEA[7]が推計した地域別省エネポテンシャルを参照する手法

IEA[7]は高炉転炉法の BAT 技術普及による省エネポテンシャルを図 11 の通り示している。この省エネポテンシャル(GJ/t steel)は、電炉鋼含めた全粗鋼を分母としている点、欧州など地域集約し表示している点などに注意が必要であるが、重要な情報の一つであり本推

計においても参照した。

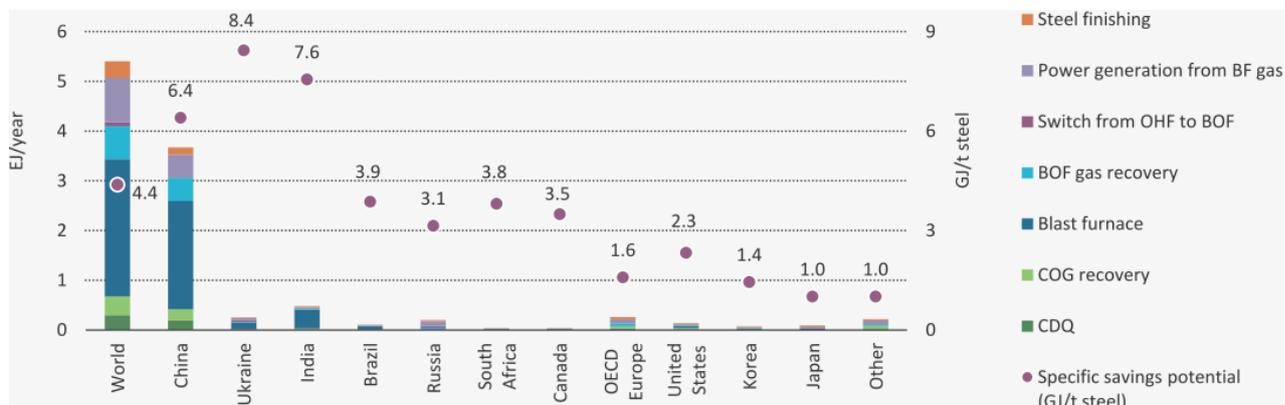


図 11 IEA[7]が示した高炉転炉法の BAT 技術普及による省エネポテンシャル

引用：文献[7]

(4) 地域別還元材比を基に算定する手法

還元材比 (t 溶銑当たりのコークス、微粉炭吹込み(PCI)、天然ガスなど) のデータについて、基本的にドイツ鉄鋼協会が推計したデータ[27]を参照した。ただし、米国については文献[28]を、中国については文献[20]をそれぞれ参照した。

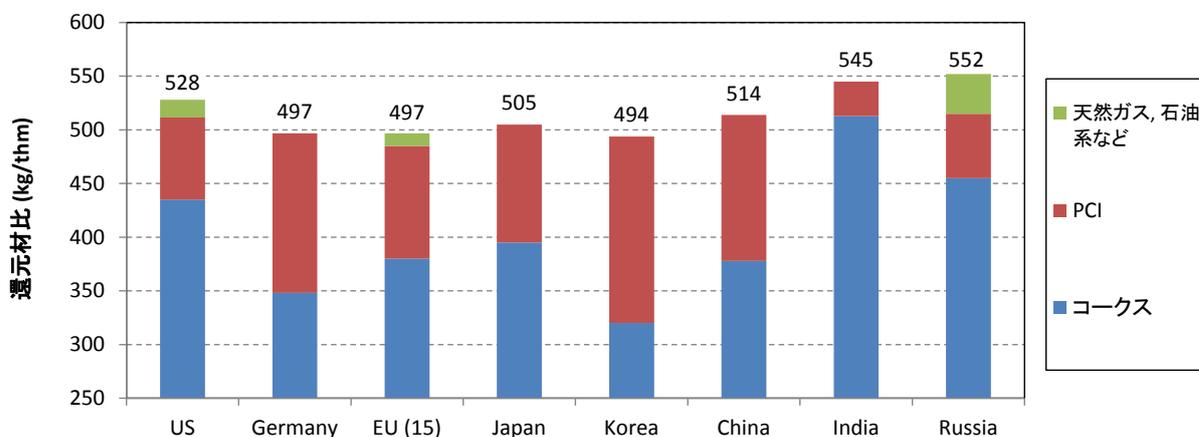


図 12 還元材比の推計値

注1) 単位は、トン溶銑(thm)あたりの還元材投入量(kg)

4. まとめ

以上の各手法によって推計されるエネルギー原単位を相互に比較しつつ、整合性や相対的な信頼性に基づき地域別の転炉鋼エネルギー原単位の推計を行った。結果を図 13 に示す。

また、図 14 にこれまでの推計値も合わせて示す（2010 年の値は再掲）。

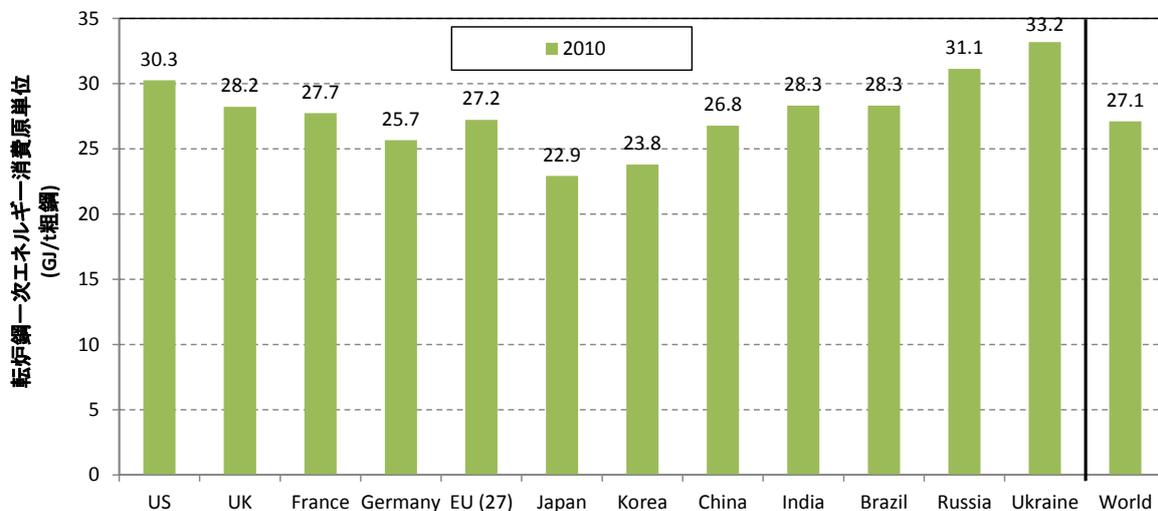


図 13 今回推計した転炉鋼エネルギー原単位（2010 年）

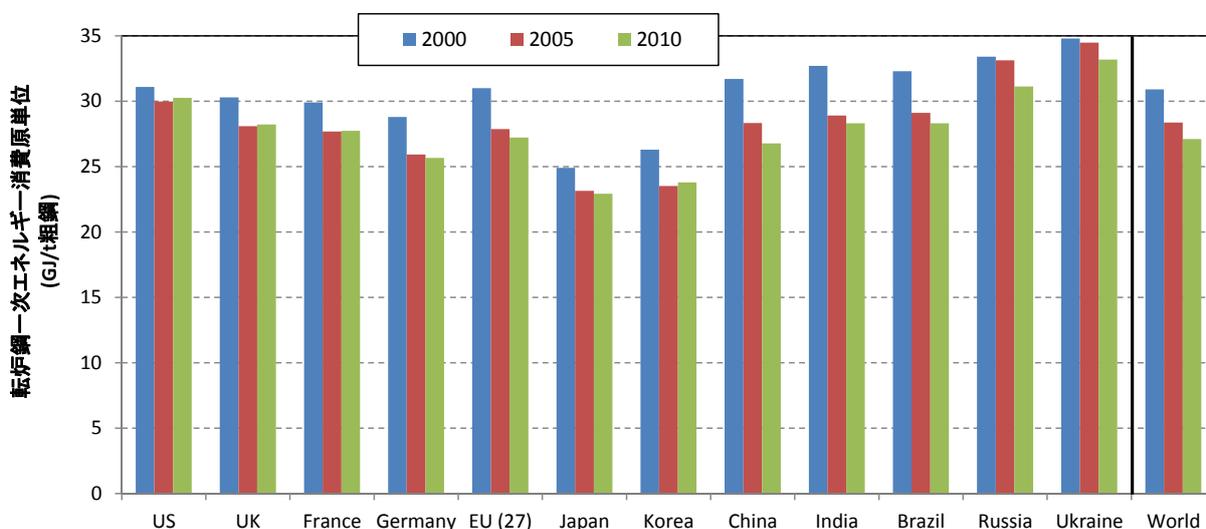


図 14 転炉鋼エネルギー原単位（2000 年、2005 年、2010 年）

図 13 及び図 14 から（また以上の全分析を基に考察すると）転炉鋼のエネルギー原単位について次のことが示唆される。

- ・ 世界平均を見ると、エネルギー原単位がゆるやかに改善している
- ・ 日本、韓国がとりわけ優れたエネルギー原単位となっている

- ・ これは、副生ガスの回収有効利用率、各種省エネ設備の普及率の差異などに起因する
- ・ 2008年から2009年にかけて稼働率低下を余儀なくされた地域もあり、一時的なエネルギー原単位の悪化要因の一つと考えられる（2005年比で見て2010年のエネルギー原単位が悪化した地域も観察されるが、このような稼働率低下による影響が考えられる）
- ・ 中国などの Non-OECD 諸国は、新規設備導入や省エネ技術普及に伴いエネルギー原単位の改善がみられる
- ・ ロシア、ウクライナは、2000年から2005年にかけてエネルギー原単位の改善があまり見られなかったが、2005年以降、エネルギー原単位の大幅な改善がみられる（これは2005年以降の旧技術削減による影響が大きいと考えられる）

参考文献

- [1] Junichiro Oda, Keigo Akimoto, Toshimasa Tomoda, Miyuki Nagashima, Kenichi Wada, Fuminori Sano, International comparisons of energy efficiency in power, steel, and cement industries, Energy Policy, 44, pp.118-129, 2012.
- [2] IEA, Tracking Industrial Energy Efficiency and CO2 Emissions, 2007.
- [3] IEA, Energy Balances of OECD/Non-OECD Countries 2011, CD-ROM, 2011.
- [4] IEA, Energy Balances of OECD/Non-OECD Countries 2012, CD-ROM, 2012.
- [5] worldsteel, Steel Statistical Yearbook, 2006-2011.
- [6] worldsteel, World Steel in Figures, 2002- 2012.
- [7] IEA, Energy Technology Perspectives 2012, 2012.
- [8] 新日本製鐵株式会社, J F E スチール株式会社, 住友金属工業株式会社, 株式会社神戸製鋼所, 社団法人日本鉄鋼連盟, 「中華人民共和国における鉄鋼産業に係る省エネルギー・環境対策に関する基礎調査」, NEDO 委託, 管理番号 100011639, 2008年3月.
- [9] Alliance for American Manufacturing (AAM), An Assessment of Environmental Regulation of the Steel Industry in China, 2009.
- [10] POSCO, Sustainability Report 2005-2008 (2005-2008).
- [11] POSCO, Carbon Report 2009-2012 (2009-2012).
- [12] Supreme Audit Institution of India, Report no-27 of 2010-11 for the period ended March 2010. Annexures. http://saiindia.gov.in/english/home/Our_Products/Audit_Report/Government_Wise/union_audit/recent_reports/union_performance/2010_2011/Commercial/Report_no_27/Report_no_27.html
- [13] SAIL, Environmental Performance Report 2010-2011, 2011.
- [14] TATA. <http://www.tatasteelindia.com/sustainability/2011/>

- [15] TATA. <http://ecocitizen.tatasteelindia.com/eco-management/energy.asp>
- [16] JSW. http://www.jsw.in/companies/JSWSteel_Sustainability_Report0911.pdf
- [17] American Iron and Steel Institute. <http://www.steel.org/Sustainability/Energy%20Reduction.aspx>
- [18] American Iron and Steel Institute. <http://www.steel.org/en/Making%20Steel/Technology/Energy%20Intensity.aspx>
- [19] Steel Institute VDEh, http://www.icrf2012.com/files/0900_hans_juergen_kerkhoff.pdf
- [20] 中国鋼鉄工業年鑑編集部編, 「中国鋼鉄工業年鑑」中国鋼鉄工業年鑑編集部, 2005-2011.
- [21] 中国鋼鉄統工業協会編, 「中国鋼鉄統計」中国鋼鉄統計編集部, 2005-2011.
- [22] Huang Dao, Energy Efficiency in China Iron and Steel Industry, International Workshop on Industrial Energy Efficiency, China Iron & Steel Association, New Delhi, January. 27-28, 2010. http://www.iea.org/work/2010/india_bee/dao.pdf
- [23] Junichiro Oda, Keigo Akimoto, Fuminori Sano, Toshimasa Tomoda, Diffusion of energy efficient technologies and CO2 emission reductions in iron and steel sector, Energy Economics, Volume 29, Issue 4, pp.868–888, 2007.
- [24] 王維興, 「2010年重点鉄鋼企業能耗述評」, 世界金属導報, 3月8日, 2011.
- [25] 王維興, 「鉄鋼工業能耗現状和節能潛力分析」, 中国鉄鋼業, 4月, 2011.
- [26] 新日本製鐵株式會社, J F E スチール株式会社, 住友金属工業株式会社, 株式会社神戸製鋼所, 社団法人日本鉄鋼連盟, 「インド共和国における鉄鋼産業に係る省エネルギー・環境対策に関する基礎調査」, NEDO 委託, 管理番号 20090000000887, 2009年3月.
- [27] Steel Institute VDEh, http://www.stahl-online.de/english/documents/Increased_Efficiency_eng.pdf
- [28] Association for Iron & Steel, 2011 AIST Industry Roundups, North American Blast Furnace Roundup, 2011.