

2005年時点のエネルギー効率の推計

(鉄鋼部門-スクラップ電炉鋼)

平成22年11月16日

RITE システム研究グループ

1. はじめに

鉄鋼部門のエネルギー効率国際比較に関して、転炉鋼については2005年時点の評価を行ったが、電炉鋼については2000年時点の評価にとどまっていた。今回、その後入手可能となったデータも参考にしつつ、電炉鋼についても2005年時点の評価を行った。

電炉鋼のエネルギー効率算定により、鉄鋼部門全体でのCO₂削減ポテンシャルの算定などが可能となる。ここで行ったような技術レベルをできる限り正しく反映したエネルギー効率の推計は、機器別・セクター別原単位アプローチの基礎データとして、そして具体的に実効性のある排出削減を促すためにも有用であると考えられる。

2. 推計方法の概要

電炉は炉数や企業数が多く、製品構成が多様で下工程に要するエネルギー消費比率が高いため、エネルギー効率推計は容易ではない。

このような点を認識しつつも、本分析では最新の技術動向[1]を調査しつつ、AIST(2010)[2]に記載されている炉別データの積上げによる方法(手法Aと記載)と、IEA 統計[3]といったマクロ統計値と2000年時点の電炉エネルギー効率 RITE 既存推計値を組み合わせる方法(手法B 1、B 2と記載)の計3種類の推計値を加重平均し算定した。

なお、次のような諸条件の下、本推計を行った。

エネルギーの換算

- 一次エネルギー、低位発熱量(LHV)でカウント(電力については全地域で1MWh=3.6÷0.333GJとして換算、コークスは製造時ロスの世界平均値[3]を考慮し17%増しで換算)
- 酸素については、酸素製造時¹の電力消費([4],[5])を参考に全地域で6.48MJ/Nm³-O₂として一次エネルギーへ換算。

バウンダリー

- 上流側については、スクラップ予熱、酸素製造やコークス製造に要したエネルギーからカウント

¹ ここでは圧カスイング吸着法(PSA; Pressure Swing Adsorption)のエネルギー効率実態を想定。

- 下流側については、一般的な熱間圧延までカウントし、特殊鋼製造などの加工に要したエネルギーは除く（図 1 参照）

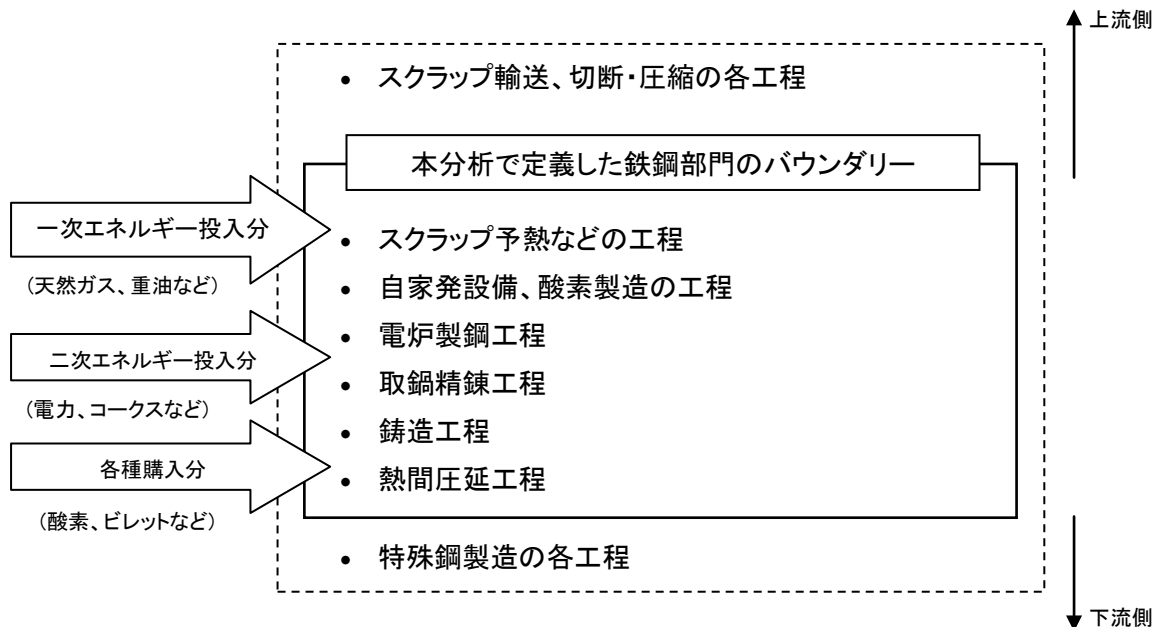


図 1 本分析で定義した鉄鋼部門（電炉）のバウンダリー概略図

生産量など

- worldsteel 統計([6][7])を参照しつつ、スクラップ電炉鋼の生産量を整理（ここで提示するエネルギー効率は、鉄源の 100%がスクラップであった場合として補正/整理）。
- AIST(2010)[2]では一部 DRI を鉄源とした電炉データが含まれるが、これら電炉データについても鉄源の 100%がスクラップであった場合として補正。
- 推定値は 1 トン粗鋼(1 metric ton crude steel)当りの一次エネルギー投入量(GJ)として表示。

3. AIST(2010)[2]に基づく推計（A）

(1) AIST(2010)[2]の概要

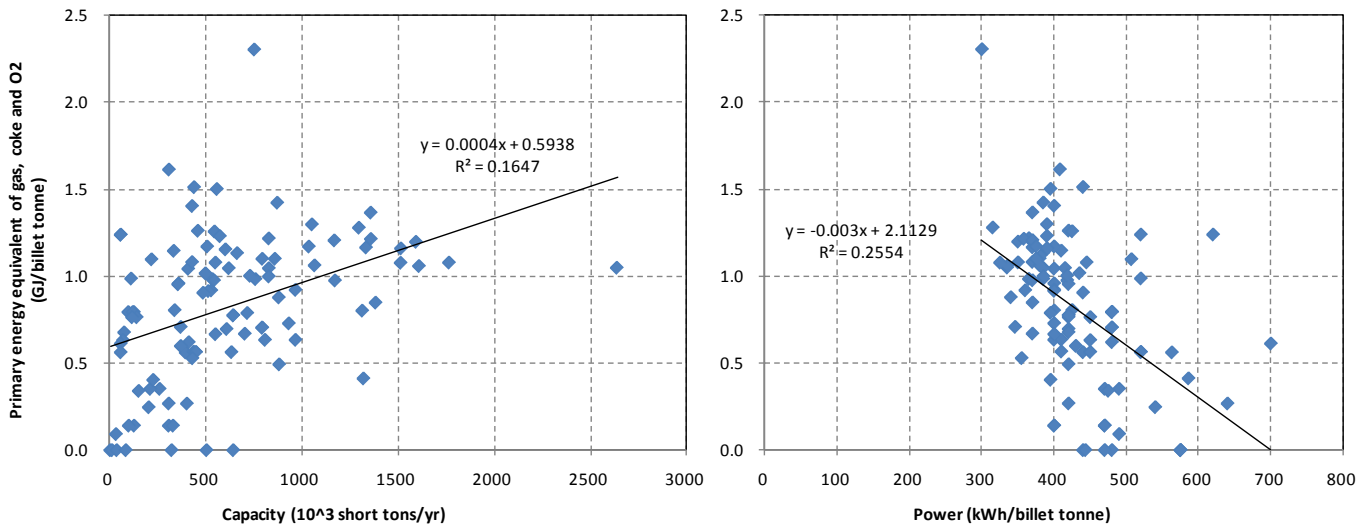
米国 Association for Iron & Steel(AIST)は、EAF Roundup 2010 に各電炉別にデータを記載している。調査対象国は AIST 支部のある次の 7 カ国で、カバー率は比較的高い（表 1）。

(2) AIST(2010)[2]の整理

AIST(2010)[2]は炉別データがリジッドに記載されているという意味で大変有用である一方、N/A の欄も多い。そこで、次のような補完を行った。

- 電力消費の項目が N/A の炉については、生産能力とスクラップ比率を説明変数とし、電力消費を推定（図 2、第 1 式参照）

※ ()内は t 値。



(a) 横軸：設備容量及(10^3 short tons/yr) (b) 横軸：電力消費量(kWh/billet metric ton)

図 3 電力以外のエネルギー投入量[一次エネルギー換算](GJ/billet metric ton)[2]

注) 図に示した直線は何れも単回帰による

電力以外のエネルギー投入量[一次エネルギー換算](GJ/billet metric ton)

$$= 0.00018 \times \text{設備容量}(10^3 \text{ short tons/yr}) - 0.189 \times \text{電力消費量}(GJ/billet \text{ metric ton}) + 1.40 \quad (\text{式 2})$$

(3.0)

(-5.1)

※ ()内は t 値。

(3) AIST(2010)[2]に基づく国別エネルギー効率

炉別の一次エネルギー投入量を生産能力で加重平均し、AIST(2010)[2]に基づく国別のエネルギー効率を試算した。結果を図 4 に示す。図 4 の横線部分が回帰分析の結果をそのまま利用した場合である。国により幅があるのは、回帰分析の結果(第 1 式、第 2 式)に幅を持たせた場合であり、傾向としては N/A の項目が多いほど幅が広がる。

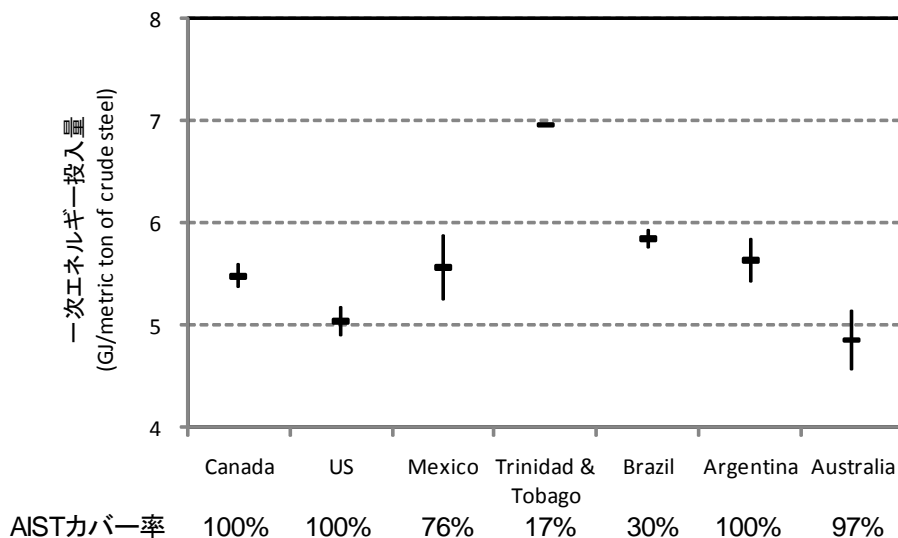


図 4 AIST(2010)[2]を参照し整理したエネルギー効率 (A)

- 注1) 図 4 は電炉稼働に要した一次エネルギー投入量のみをカウントしており、本分析で用いるバウンダリーとは一致していない
- 注2) 鉄源はスクラップ 100%である場合に換算

(4) AIST(2010)[2]に基づく推計 (A) のまとめ

AIST(2010)[2]に基づく電炉鋼のエネルギー効率推計を行った(図 4)。ただし図 4 は用いるバウンダリー(図 1)とは異なり、取鍋精錬に加え、連続铸造設備、加熱炉、熱間圧延装置の稼働に要したエネルギーをカウントしていない。

そこでここでは資料([8],[9])などを基に、図 4 のエネルギー効率(保守的な推計とするべく図の上端を参照)に対し 3.23GJ/tcs を加えて図 1 に示したバウンダリーと整合的な数値とした。

4. マクロ統計値と 2000 年 RITE 推計値に基づく推計 (B)

(1) IEA エネバラ[3]の変化率に基づく手法 (B 1)

本手法は転炉鋼のエネルギー効率推計に用いた手法と同様に、次のような手順により推計を行う手法である。

1. IEA エネバラ[3]から読み解くことが可能な範囲でバウンダリーを調整し、鉄鋼生産に要したエネルギーを一次エネルギーにて換算
2. 高炉転炉法、スクラップ電炉鋼、DRI 電炉鋼による各生産量を worldsteel 統計([6][7])から整理
3. 各生産方式に対し典型的なエネルギー効率を与え、地域別に IEA エネバラ[3]のエネルギー消費量が典型的効率からどの程度の比となっているかを評価

表 2 想定した典型的なエネルギー効率

(GJ/tcs)	Non-Elec	Elec	Total
BF-BOF	26.2	6.7	32.9
scrap-EAF	2.9	7.3	10.2
DRI-EAF	18.1	8.6	26.7

以上の方式により評価したスクラップ電炉鋼のエネルギー効率は表 3 の通りである。ただしエネルギー効率の推計値自体は、そもそもスクラップ電炉鋼比率が小さい、下工程の影響が無視できない（あるいは統計的不備）などのため合理的な説明が困難である地域も散見される。

そこで、ここでは算定したエネルギー効率値の「信頼性指標」も合わせて計算を行った。「信頼性指標」は次のような考えに基づき計算を行った。

「信頼性指標」＝「鉄鋼部門に占めるスクラップ電炉鋼のエネルギー消費シェア」

×「典型的なエネルギー効率との差異に基づく指標[統計的不備などを反映] (図 5)」

(式 3)

第 3 式第一項は、スクラップ電炉鋼が 100%であれば 1 となるが、転炉鋼とスクラップ電炉鋼の粗鋼シェアが 50%ずつであれば後者のエネルギー消費の寄与度が低いため 0.39 とシェア率以上に低下する。

第 3 式第二項は、図 5 に示した関数（対数正規分布と類似のもの）とした。典型的効率と比較し 0.5 倍あるいは 2 倍となると第 3 式第二項は 0.2 未満となる関数である。

以上の計算により、表 3 の地域区分で見ると例えば「Turkey」の信頼性指標が 0.49 と比較的高い。ただし、他地域を含めエネルギー効率の絶対値については合理的説明が困難で、かつ信頼性指標が低いため、ここでは 2000 年のエネルギー効率推計値(RITE 推計)に対し、表 3 で示した 5 年間の改善率（ただしエネルギー効率が悪化したと試算された地域でも、一律に効率は同水準を維持(改善率 0%)と設定）を利用することとする（表 4）。

表 3 IEA エネバラ[3]に基づき推計したスクラップ電炉鋼のエネルギー効率（絶対値）

エネルギー効率推計値 (GJ/tcs)	IEAエネバラ参照 絶対値		5年間の 改善率 (%)	信頼性指標
	2000	2005		
United States	11.5	12.5	-8%	0.32
Canada	9.3	10.5	-12%	0.25
United Kingdom	8.1	7.0	13%	0.10
France	11.7	11.7	0%	0.25
Germany	8.3	9.6	-16%	0.19
Italy	11.4	10.5	8%	0.45
Spain, Portugal	12.1	14.2	-18%	0.45
Japan	9.8	9.4	4%	0.19
Australia, New Zealand	11.2	12.6	-12%	0.06
Korea	12.1	12.8	-6%	0.26
China	13.1	11.1	15%	0.09
India	9.9	9.3	6%	0.03
Turkey	9.4	8.6	9%	0.49
Mexico	10.1	7.7	24%	0.18
Brazil	11.4	11.3	1%	0.13
Russia	16.3	20.9	-28%	0.02
Ukraine	13.6	12.9	5%	0.03
EU (15)	10.2	10.3	-2%	
EU (27)	10.4	10.6	-1%	
World Average	11.4	11.8	-3%	

- 注1) 5年間の改善率(%)において、マイナスの値は増エネ（エネルギー効率悪化）を意味し、プラスの値はエネルギー効率改善を意味する。
- 注2) 「信頼性指標」は、1に近いほどエネルギー効率推計値の信憑性が高く、逆に0に近いほど信憑性が低いことを意味する。2000年と2005年の平均値。

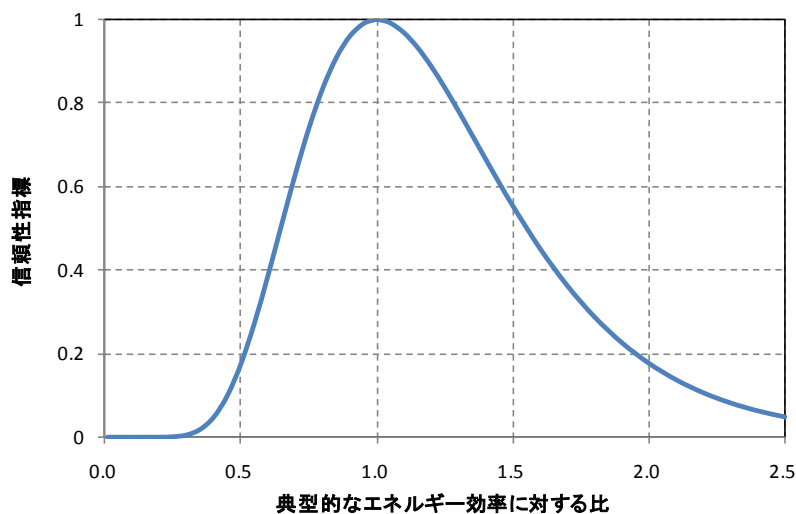


図 5 統計的不備などを反映させるための指標（第3式の第二項）

表 4 IEA エネバラ[3]の変化率を参照したエネルギー効率 (B 1)

エネルギー効率推計値 (GJ/tcs)	RITE	改善率利用	5年間の	信頼性指標
	既存推計 2000	B1採用値 2005	改善率 (%)	
United States	8.6	8.6	0%	0.32
Canada	9.2	9.2	0%	0.25
United Kingdom	9.4	8.2	13%	0.10
France	9.1	9.1	0%	0.25
Germany	8.8	8.8	0%	0.19
Italy	9.3	8.6	8%	0.45
Spain, Portugal	9.0	9.0	0%	0.45
Japan	8.4	8.1	4%	0.19
Australia, New Zealand	9.0	9.0	0%	0.06
Korea	8.4	8.4	0%	0.26
China	9.1	7.7	15%	0.09
India	10.0	9.4	6%	0.03
Turkey	9.9	9.0	9%	0.49
Mexico	9.9	7.5	24%	0.18
Brazil	9.1	9.0	1%	0.13
Russia	10.2	10.2	0%	0.02
Ukraine	10.2	9.7	5%	0.03
EU (15)	9.1	8.7	4%	
EU (27)	9.2	8.8	4%	
World Average	9.0	8.6	5%	

(2) スクラップ電炉の新規設備比率と RITE 既存推計値(2000 年)に基づく手法 (B 2)

以上の推定方法を持ってしても、なお十分なデータが得られない地域もあり、また中印といった地域では 2000 年以降の電炉新設比率も高い。

そこで、スクラップ電炉鋼の生産量推移を基に 2000 年から 2005 年間の新規電炉設備容量を推計し、2000 年時点の RITE 既存推計に組み合わせる方法を表 5 の通り行った。

この B2 の手法における主要な設定は次の通りである。

- 新設比率は、次の第 4 式に基づき計算 (設備の耐用年数を 40 年と設定)²

$$\text{新設比率} = (\text{2005 年生産量} - \text{2000 年生産量} \times (\text{5 年} / \text{40 年})) / \text{2005 年生産量}$$

(式 4)

- 新規設備のエネルギー効率に関して、OECD 諸国は資料([1],[2],[8])に基づき 8.0GJ/tcs と設定
- Non-OECD 諸国の新規設備は NEDO 委託調査[10]などに基づき 8.5 GJ/tcs と設定
- インドは、小型の誘導炉シェア[11]が高いため 9.5GJ/tcs と設定

² ただし「Russia」「Ukraine」については 2000 年時点での遊休設備が無視できないと判断し、1992 年の生産量 (それぞれ 10.4Mt/yr、3.2Mt/yr) を参照し新設比率を計算。

表 5 スクラップ電炉鋼の新設比率を参照したエネルギー効率 (B 2)

	スクラップ電炉鋼 生産量			エネルギー効率	
	2000	2005	新規比率 (%)	RITE既存推計	B2採用値
	(Mt/yr)	(Mt/yr)		2000 (GJ/tcs)	2005 (GJ/tcs)
United States	46.2	52.0	22%	8.6	8.4
Canada	5.8	5.8	12%	9.2	9.1
United Kingdom	3.6	2.7	0%	9.4	9.4
France	8.4	7.3	0%	9.1	9.1
Germany	12.9	13.2	15%	8.8	8.7
Italy	16.1	17.7	20%	9.3	9.0
Spain, Portugal	12.3	14.9	27%	9.0	8.7
Japan	30.7	28.8	7%	8.4	8.4
Australia, New Zealand	0.8	1.4	41%	9.0	8.6
Korea	18.4	21.1	23%	8.4	8.3
China	20.9	41.5	56%	9.1	8.8
India	4.0	12.4	70%	10.0	9.6
Turkey	9.1	14.8	46%	9.9	9.0
Mexico	4.6	5.4	23%	9.9	9.5
Brazil	5.3	6.5	29%	9.1	8.9
Russia	6.6	7.4	5%	10.2	10.1
Ukraine	1.0	3.8	43%	10.2	9.5
EU (15)	64.5	66.8		9.1	8.9
EU (27)	71.2	74.5		9.2	9.0
World Average	244.1	309.1		9.0	8.8

5. まとめ

以上、効率推計のためにA、B 1、B 2の計3通りの方法を試みた。ただし、最終的にはこれら推定値を何らかの方法で統合する必要がある。ここでは、次の表 6 に示す重み係数を設定した。

重み係数の設定にあたっては次の考えに基づき設定を行った。

- AIST(2010)[2]を参照した推計 (A) は炉別データ実態を反映している可能性が高く、該当地域のカバー率をそのまま優先的に重み係数として採用した。
- IEA エネバラ[3]の変化率を参照する推計 (B 1) は、地域別の下工程の影響、統計的不備をある一定程度打ち消していると考えられる。そこで、手法B 1は手法Aの次に優先的に重み係数を配分した (ただし上限は信頼性指標)。
- 以上の重み係数でも説明が十分でない地域は、手法B 2を参照した。

主要地域のエネルギー効率を図 6 に示す。本推計から次のことが言える。

- 新規比率の高い地域やアジア太平洋地域 (米国、オーストラリア、日本、韓国など) で、比較的優れたエネルギー効率となっている。
- これに対し、インドや旧ソ連地域では、相対的に劣るエネルギー効率となっている。

表 6 エネルギー効率推計のまとめ (A+B1+B2)

	エネルギー効率(GJ/tcs) 各種法による推定値 2005			重み係数			エネルギー効率 (GJ/tcs) 2005 本推計
	A	B1	B2	A	B1	B2	
United States	8.41	8.56	8.44	100%	0%	0%	8.41
Canada	8.82	9.23	9.08	100%	0%	0%	8.82
United Kingdom		8.19	9.39		10%	90%	9.27
France		9.12	9.12		25%	75%	9.12
Germany		8.77	8.66		19%	81%	8.68
Italy		8.58	9.03		45%	55%	8.83
Spain, Portugal		8.98	8.71		45%	55%	8.83
Japan		8.12	8.41		19%	81%	8.36
Australia, New Zealand	8.38	8.96	8.56	91%	6%	3%	8.42
Korea		8.43	8.33		26%	74%	8.36
China		7.68	8.75		9%	91%	8.66
India		9.37	9.64		3%	97%	9.64
Turkey		9.03	9.01		49%	51%	9.02
Mexico	9.11	7.54	9.47	76%	18%	6%	8.85
Brazil	9.16	9.00	8.91	30%	13%	57%	9.00
Russia		10.21	10.13		2%	98%	10.14
Ukraine		9.70	9.47		3%	97%	9.48
EU (15)		8.73	8.90		32%	68%	8.85
EU (27)		8.84	8.97		30%	70%	8.93
World Average	8.51	8.56	8.83	21%	18%	61%	8.78

注) 参考のため、エネルギー効率推計値について小数第二位まで記載した(本推計は利用可能なデータが限られている状況下で行ったものであり、小数第二位は有意ではない)。

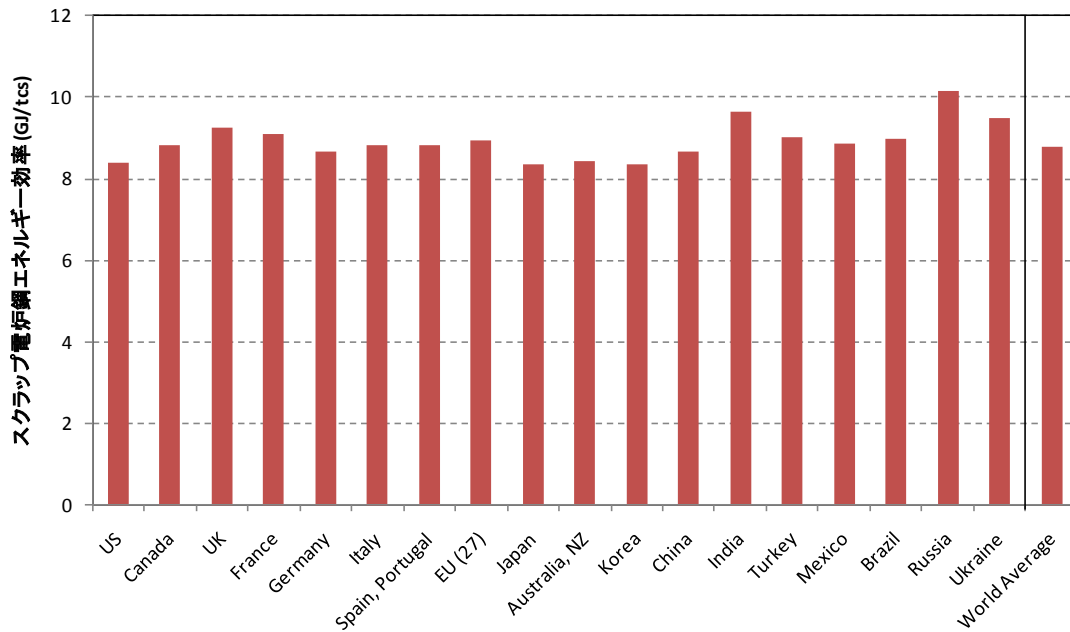


図 6 エネルギー効率の推計結果

参考文献

- [1] Y.N. Toulouevski and I.Y. Zinurov, Innovation in Electric Arc Furnaces: Scientific Basis for Selection, Springer, PA, USA, 2010.
- [2] Association for Iron & Steel (AIST), 2010 AIST Industry Roundups, EAF Roundup, 2010.
- [3] IEA, Energy Balances of OECD/Non-OECD Countries 2008, CD-ROM, 2008.
- [4] 三宅正訓, 吸着分離による酸素製造方法, 日本エネルギー学会誌, 39(9), 特集: 酸素分離・製造技術の最新動向, pp.868-870, 2010.
- [5] 中川二彦, ガス分離を利用したエネルギー利用の高効率化, 化学工業会第 75 回講演会, O113, 2010. <http://www3.scej.org/meeting/75a/abst/O113.pdf>
- [6] World Steel association, Steel Statistical Yearbook, 2001-2009.
- [7] World Steel association, World Steel in Figures, 2002- 2010.
- [8] IEA, Tracking Industrial energy efficiency and CO₂ emissions, In support of the G8 Plan of Action, 2007.
- [9] American Iron and Steel Institute, <http://www.steel.org/>
- [10] (財)省エネルギーセンター, 「ASEAN 諸国主要産業における省エネルギー診断調査」, 国際エネルギー使用合理化基盤整備事業, NEDO 委託, 平成 14 年度調査報告書, 2003.
- [11] 川鉄テクノリサーチ (現 JFE テクノリサーチ) , アジア鉄鋼業の現状と最近の設備投資動向, 2002.