

## 2010年時点のエネルギー原単位の推計

### (鉄鋼部門-スクラップ電炉鋼)

平成24年12月18日

RITE システム研究グループ

RITEは、平成24年9月25日に「2010年時点のエネルギー原単位の推計（鉄鋼部門-転炉鋼）」のレポートをweb ([http://www.rite.or.jp/Japanese/lab0/sysken/about-global-warming/download-data/Comparison\\_EnergyEfficiency2010steel.pdf](http://www.rite.or.jp/Japanese/lab0/sysken/about-global-warming/download-data/Comparison_EnergyEfficiency2010steel.pdf)) [1]にて掲載した。

本レポートは、電炉鋼について最近入手可能になった各種データに基づき2010年時点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。電炉は世界全体で見るとその生産規模が鉄スクラップの入手可能性によって制限されることに留意が必要である。ただし、地域別にみると、鉄スクラップを数百万t以上輸入しつつ電炉を活用し、他地域の高炉一貫製鉄所（転炉鋼）と棲み分けを図る産業構造も観測される（例えばトルコ、スペイン、東南アジア諸国）。

高炉一貫製鉄所（転炉鋼）のエネルギー原単位については文献[1]にて詳しく紹介したが、電炉のエネルギー原単位推計を行った本レポートも合わせて参照することで、鉄鋼部門を広く参照考察することが可能となる。

#### 1. 電炉鋼エネルギー原単位の推計方法の概要

電炉鋼は普通鋼から特殊鋼まで幅広い製品構成からなる。高炉一貫製鉄所（転炉鋼）と比較すると相対的に見て、1)炉数や企業数が多く、2)製品によっては下工程へのエネルギー投入比率が高い、という特徴がある。そのためエネルギー原単位の推計は容易ではない。

このような点を認識しつつ、本レポートは2005年時点の電炉鋼エネルギー原単位推計([2],[7])の手法を一部拡張し次の手法を組み合わせて推計を行った。

#### エネルギー原単位絶対値を参照する手法（手法A）

- 米国 Association for Iron and Steel Technology (AIST) 発刊の個別電炉データ[3]を集計・整理する手法（手法A1）
- 地域固有のエネルギー統計値から算定されるエネルギー原単位を参照する手法（手法A2）
- IEA エネルギーバランス表[4]に基づきエネルギー原単位絶対値を算定する手法（手

法 A3)

エネルギー原単位の 2005 年比の変化率を参照する手法 (手法 B)

- IEA エネルギーバランス表[4]に基づき算定されたエネルギー原単位 (手法 A3) の 2005 年比変化率を参照する手法 (手法 B1)
- 地域固有のエネルギー統計値から算定されるエネルギー原単位 (手法 A2) の 2005 年比変化率を参照する手法 (手法 B2)
- 新設電炉比率を参照する手法 (手法 B3)

上記手法 B では、2005 年時点のエネルギー原単位として RITE 推計値 ([2],[7]) を参照する。なお、本推計の主な前提は次の通りであり、これまでの電炉鋼エネルギー原単位推計[2]や、2010 年時点の転炉鋼エネルギー原単位推計[1]と一貫性のあるものとした。

- トン電炉鋼 (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
  - 酸素は係数 ( $6.48\text{MJ}/\text{Nm}^3\text{-O}_2$ ) にて一次エネルギー換算
- 評価対象とするバウンダリーは、電炉製鉄所内のスクラップ余熱工程から、熱間圧延工程に要したエネルギー投入量とする (特殊鋼製造のために要する追加的なエネルギー投入は評価対象から除く) (図 1 参照)

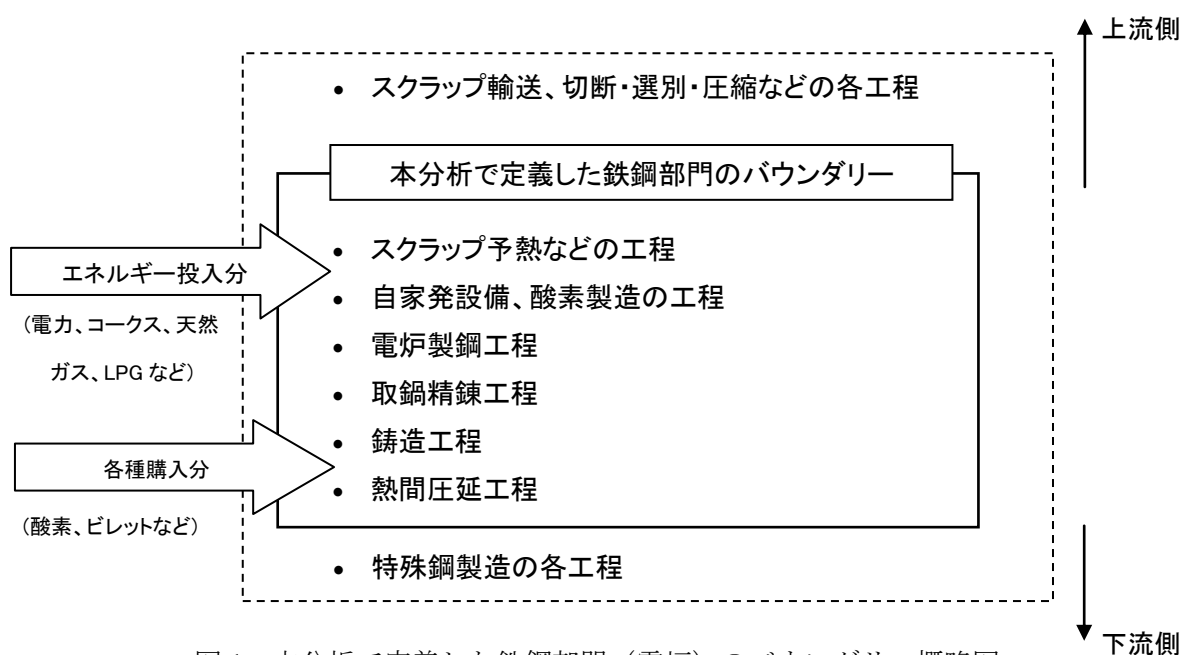


図 1 本分析で定義した鉄鋼部門 (電炉) のバウンダリー概略図

電炉鋼は一般に鉄スクラップを主な鉄源とするものの、世界的に見ると鉄スクラップの他、直接還元鉄(DRI)や銑鉄の鉄源比率が高い地域も存在する。本レポートでは、鉄鋼生産方式を、1)高炉一貫製鉄所による転炉鋼、2)スクラップ電炉鋼、3)DRI 電炉鋼の3方式に集約整理する(図2参照)。「2)スクラップ電炉鋼」とは、鉄源の100%が鉄スクラップ由来の電炉鋼と定義した。

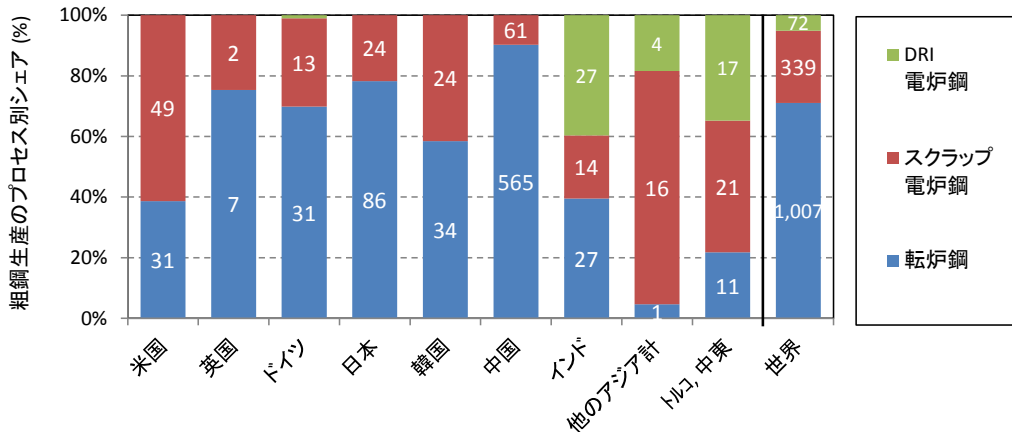


図2 粗鋼生産のプロセス別シェアと粗鋼量(2010年)

注) 図中の数値はプロセス別の粗鋼量(Mt 粗鋼/yr)。

出典) worldsteel 統計[5]に基づき RITE 整理

このような整理の上で、本レポートでは「スクラップ電炉鋼当たりの一次エネルギー投入量 (GJ/t 粗鋼)」を評価対象とする。以下、上記の手法 A1 から手法 B3 について具体的に述べる。

## 2. 各手法の概要

### (1) AIST 発刊の個別電炉データ[3]を参照 (手法 A1)

米国 Association for Iron and Steel Technology (AIST)発刊の 2011 EAF Roundup[3]を参照した。この AIST 資料[3]は、北米を中心とした 10ヶ国の個別電炉データが記載されている。具体的には、1)各電炉の設備容量、2)電力消費量、3)天然ガス消費量、4)酸素消費量、5)鉄源比率などが記載されている。10ヶ国それぞれの電炉カバー率は比較的高いものの、例えば電力消費量などが“N/A”と記載されている電炉もある。電力消費量以下の4項目(上記2)から5))の内、N/A項の比率がどの程度を占めるかも合わせて表1に示す。

表 1 AIST 資料データ記載国と”N/A”比率

	電炉鋼設備容量 カバー率	N/A 項の比率
カナダ	100%	4%
米国	100%	17%
メキシコ	81%	36%
トリニダード・トバゴ	65%	0%
ブラジル	46%	27%
ペルー	64%	0%
チリ	100%	0%
アルゼンチン	100%	21%
ウルグアイ	100%	0%
オーストラリア	100%	31%

注 1) 電炉鋼生産容量カバー率は worldsteel 統計[5]に基づき RITE 推計。

注 2) N/A 項の比率は、各電炉の設備容量にて加重平均し算定。

AIST 資料[3]は個々の電炉データが記載されており大変有用である。その一方、表 1 に示した通り N/A 項もある。そこで、例えば電力消費量の項目が N/A となっている電炉については、電力消費量が明記されている電炉データ (図 3) に基づきごく簡易的な重回帰を行い補間した。重回帰の結果を式 1 に示す。式 1 から、「設備容量が大きい程、電力消費が小さい」「スクラップ比率が高い程 (DRI 比率が低い程) 電力消費が小さい」という経験的に妥当で、かつ統計的にも有意である結果を得た。

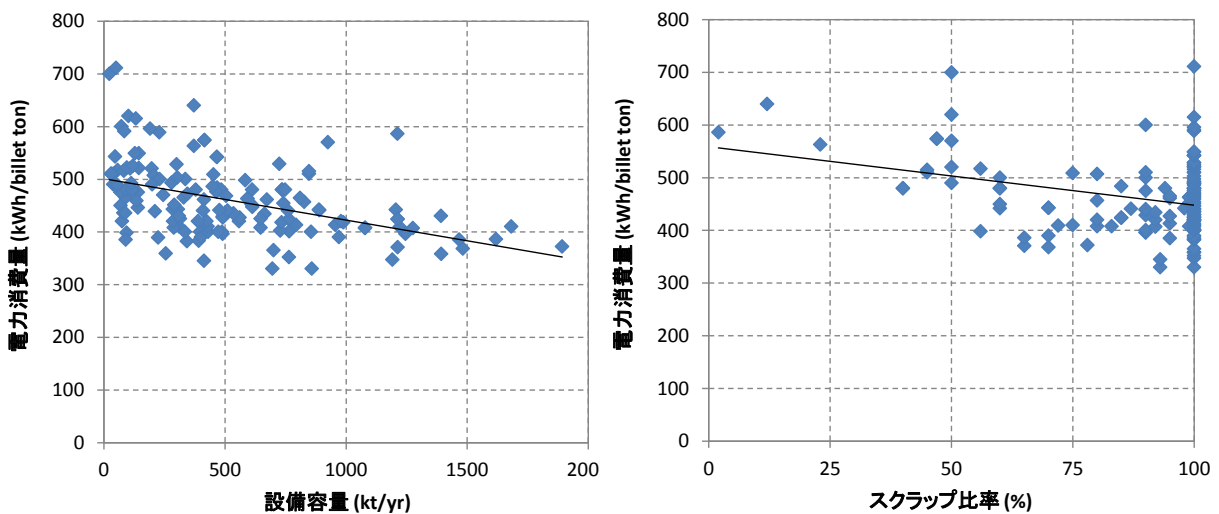


図 3 設備容量及びスクラップ比率と電力消費量の関係

注) 図中に示した直線は何れも単回帰による。

電力消費量(kWh/billet ton)

$$= -0.088 \times \text{設備容量(kt/yr)} - 1.36 \times \text{スクラップ比率(\%)} + 626 \quad (\text{式 1})$$

(-7.7)
(-5.8)

※ ()内は t 値、目安として t 値の絶対値が 2 以上で統計的に有意

なお、本分析は鉄源の 100% がスクラップである場合を想定している。DRI 投入を行っている電炉については上記式 1 にて消費電力を割り引く補正を行った。

これらの作業により、AIST 資料[3]から最終的に図 4 に示す国別のエネルギー原単位を算定した。図 4 では N/A 項に応じて推定に幅を持たせたが、保守的な推計とするべく図の上端を参照することとする。

また図 4 は本レポートで想定したバウンダリー (図 1) とは異なり、取鍋精錬、連続 casting 設備、加熱炉、熱間圧延装置の稼働に要したエネルギーを含んでいない。そこで、1) 米国鉄鋼協会が発表した北米のエネルギー原単位[6]、2) 2005 年時点で RITE が推定した数値 (3.2GJ/t 粗鋼) [7]、3) IEA が示した電炉製鉄所の一般的なエネルギー原単位[8]、4) 本 A1 以外の手法による推計値などを基に、エネルギー消費 2.77GJ/t 粗鋼を追加する。以上の作業により、本 A1 以外の手法による試算値と比較可能なエネルギー原単位となる。

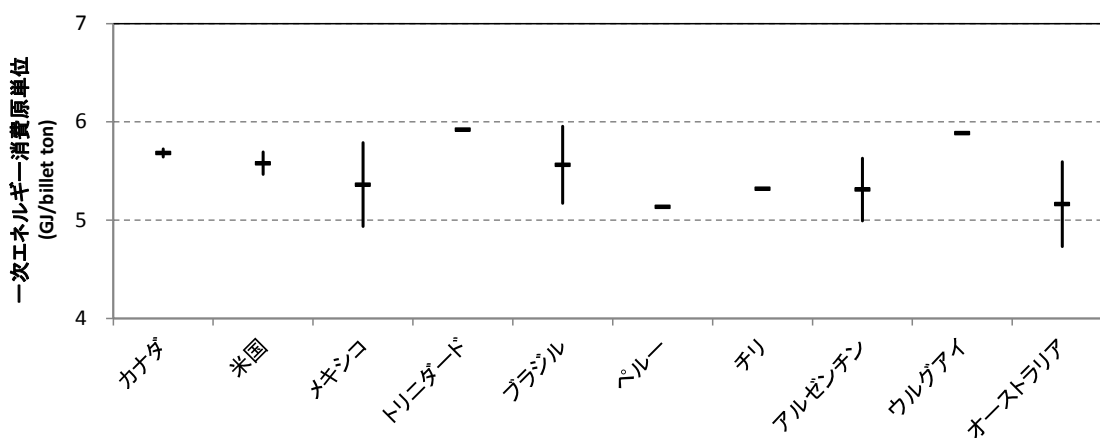


図 4 AIST 資料を参照し整理した一次エネルギー消費原単位

注 1) 本図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) 本図は式 1 に基づき鉄源がスクラップ 100% である場合に換算し表示。

(2) 地域固有のエネルギー統計値に基づくエネルギー原単位を参照 (手法 A2 及び B2)  
欧州

欧州環境機関 (European Environment Agency) [9]は、ODYSSEE database を基に、欧州各国の鉄鋼部門最終エネルギー消費量を提示している (図 5)。

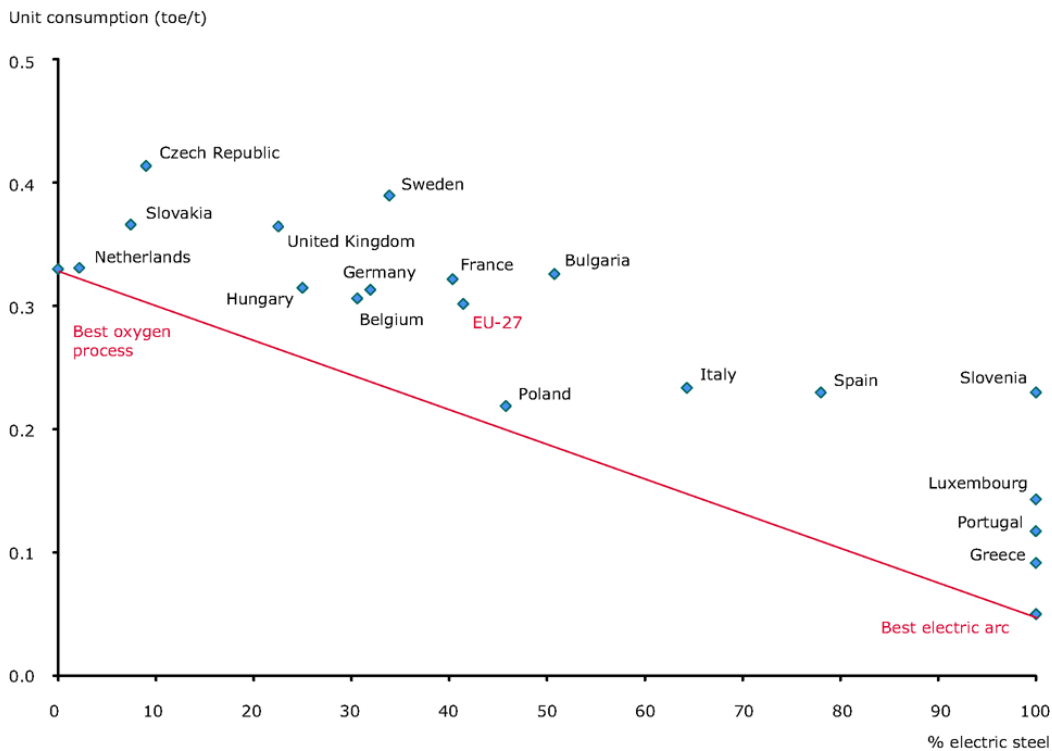


図5 欧州各国の鉄鋼部門最終エネルギー消費量（2010年）

注1) 縦軸はトン粗鋼当たりの石油換算トン[toe/t]（1toe = 41.868GJ）

注2) 銑鋼比の補正なし（銑鋼比を RITE 設定の基準値 1.025 へ補正すると、オランダなど 1 割程度図の上方へ移行するため注意が必要）

引用) 欧州環境機関（European Environment Agency）資料[9]

図5は基本的に2010年時点の値である。同資料[9]は2000年以降の各年の国別データも提示しており大変有用である。ただし、1)転炉鋼と電炉鋼別にエネルギー消費量が区分されていない、2)最終エネルギー消費量ベースであり、本レポートで参照する一次エネルギーベースではない、など課題もある。そこで表2及び各国の銑鋼比を基に欧州各国のスクラップ電炉鋼の一次エネルギー原単位を算定した。具体的には、イタリアは2005年9.2GJ/t粗鋼、2010年8.9GJ/t粗鋼と算定された。算定したエネルギー原単位の絶対値を「手法A2」、2005年比の改善率を「手法B2」としてそれぞれ参照した。

表2 標準的なエネルギー原単位（RITE 想定）

一次エネルギー消費量			(GJ/t 粗鋼)	最終エネルギー消費量		
非電力	電力	合計		非電力	電力	合計
22.3 <sup>(注2)</sup>	4.8	27.1	高炉転炉法 <sup>(注1)</sup>	20.1 <sup>(注2)</sup>	1.6	21.7
2.5	6.3	8.8	スクラップ電炉法	2.5	2.1	4.6
15.9	7.6	23.5	DR1電炉法	15.9	2.5	18.4

注 1) 銑鋼比が 1.025 の場合。

注 2) 1 単位のコークス（最終エネ扱い）製造のために、世界平均で 1.17 単位の一次エネ投入がなされている。このため、高炉転炉法の非電力は一次エネと最終エネの間に 1 割程度差異がある。

## 日本

資源エネルギー庁は過去長期に渡り日本のエネルギー統計を取りまとめている。さらに 1990 年度以降については、かなり詳細なエネルギーバランス表を総合エネルギー統計の中の「本表」として公開している[10]。この中で、鉄鋼部門はエネルギー転換部門の一つである「コークス製造」部門の他、最終需要部門として「焼結鉱」、「高炉製銑」、「転炉」、「電気炉」、「圧延・鋼管」部門などに分けられており、それぞれのエネルギー消費量が記載されている。

このエネルギーバランス表を基に電炉の 2010 年度一次エネルギー原単位を計算すると 5.8GJ/t 粗鋼となる。これに AIST 分析と同様 2.77GJ/t 粗鋼を追加すると 8.6 GJ/t 粗鋼と算定される（手法 A2 として参照）。また 2005 年度と 2010 年度の一次エネルギー原単位を比較すると 3.1%の悪化と算定された（手法 B2 として参照）。この 5 年間で蓄熱式バーナーなどの省エネ技術普及が着実に進展しているものの、2008 年以降鋼材需要の急激な変化が起きており稼働率低下を余儀なくされた結果、このようなエネルギー原単位となったと考察される。

一方、一般社団法人日本鉄鋼連盟は、2008 年度以降の「良塊トン当りの電力原単位(kWh/t)」を毎年度報告している[11]。2008 年度以降の各年の電炉エネルギー原単位の推移は総合エネルギー統計から算定される各年データとほぼ整合的であることを別途確認した。

### (3) IEA エネルギーバランス表を参照（手法 A3 及び B1）

IEA エネルギーバランス表[4]は地域網羅性も高く、また時系列的な推移を参照することができるため有用である。ただし、転炉鋼と電炉鋼別にエネルギー消費量が区分されていない、といった課題もある。そこで転炉鋼のエネルギー原単位推計で用いた手法（表 2 及び各国の銑鋼比を基に算定する手法）を基に、スクラップ電炉鋼エネルギー原単位についても算定した。このエネルギー原単位の絶対値を「手法 A3」、2005 年比の改善率を「手法 B1」としてそれぞれ参照した。

このような作業により、例えばトルコの場合手法 A3 として 8.8GJ/t 粗鋼、B1 として 9.0GJ/t 粗鋼との試算値が得られた。IEA エネルギーバランス表[4]を参照する手法の詳細については、文献（[1],[7]）を参照のこと。

### (4) 新設電炉比率を参照する手法（手法 B3）

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、また中国、インド、トルコといった地域では 2005 年以降の電炉新設も目立つ。

そこで、電炉鋼の生産量推移[5]を基に、電炉の耐用年数を40年と仮定しつつ2005年から2010年間の新規電炉設備容量を推計した。中国、インド、トルコの電炉新設比率は、2010年時点の電炉設備容量比で40%、48%、38%と推定された。

また新規電炉のエネルギー効率として、OECD諸国は資料([3],[8],[12])に基づき8.0GJ/t粗鋼、Non-OECD諸国の新規設備はNEDO委託調査[13]などに基づき8.5GJ/t粗鋼、インドは小型の誘導炉シェアが高いため9.5GJ/t粗鋼[14]とそれぞれ設定した。

この手法B3により、中国、インド、トルコは2010年時点でそれぞれ8.6GJ/t粗鋼、9.6GJ/t粗鋼、8.6GJ/t粗鋼と算定された。

### 3. 結果とまとめ

以上の手法A1からB3までのエネルギー原単位の試算値を相互に比較し、整合性や相対的な信頼性に基づき地域別の推計を行った。主要地域の最終推計結果を図6に示す。日本、韓国に加え、北米や一部の欧州地域などで比較的良好なエネルギー原単位を維持している。日本は既存設備の検査や改修を継続的に行っていること、韓国や米国は大型電炉の新規追加やリプレースが行われていることなどが良好なエネルギー原単位につながっている要因と考察される。一方、インド及びロシアは相対的に劣るエネルギー原単位となっている。

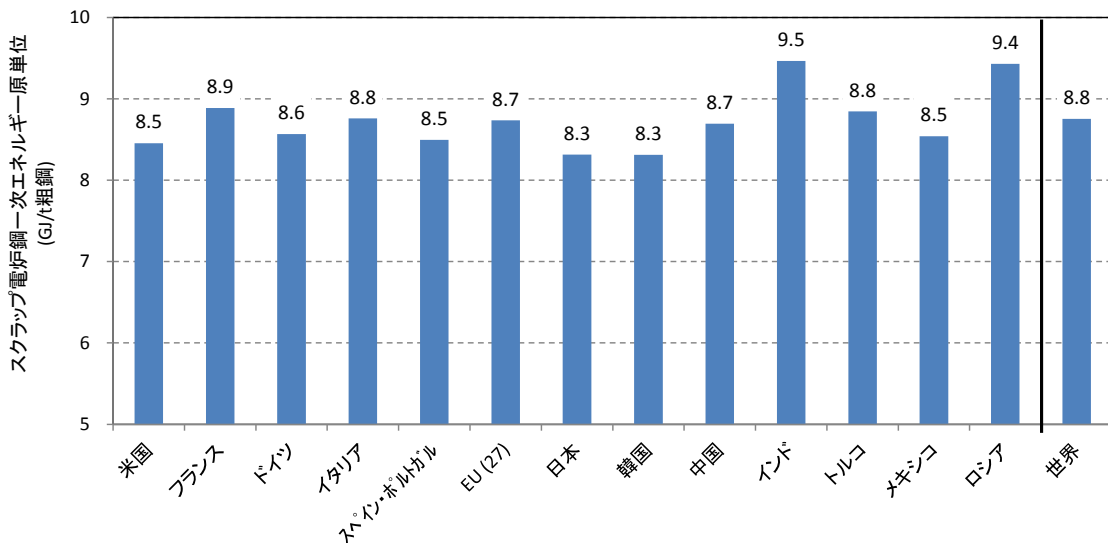


図6 スクラップ電炉鋼一次エネルギー消費原単位推計結果 (2010年)

本レポートでは可能な限り、電炉に関する公開データを広く収集整理したが、世界の広い地域でより直接的な推計を行うには至らなかった。本レポートで参照したAIST資料[3]のような個別電炉データ、日本の総合エネルギー統計[10]や一般社団法人日本鉄鋼連盟[11]などのような電炉に特化した統計データは極めて有用である。世界の広い地域でこのような統計データの拡充が引き続き求められる。



参考文献

- [1] RITE, 「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. [http://www.rite.or.jp/Japanese/lab/sysken/about-global-warming/download-data/Comparison\\_EnergyEfficiency2010steel.pdf](http://www.rite.or.jp/Japanese/lab/sysken/about-global-warming/download-data/Comparison_EnergyEfficiency2010steel.pdf)
- [2] RITE, 「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. [http://www.rite.or.jp/Japanese/lab/sysken/about-global-warming/download-data/Comparison\\_EnergyEfficiency2005steelEAF.pdf](http://www.rite.or.jp/Japanese/lab/sysken/about-global-warming/download-data/Comparison_EnergyEfficiency2005steelEAF.pdf)
- [3] Association for Iron and Steel (AIST), 2011 EAF Roundup, 2011 AIST Industry Roundups, 2011.
- [4] IEA, Energy Balances of OECD/Non-OECD Countries 2012, CD-ROM, 2012.
- [5] worldsteel, Steel Statistical Yearbook, 2011.
- [6] American Iron and Steel Institute. The North American Steel Industry Reduces Energy Intensity, <http://www.steel.org/Sustainability/Energy%20Reduction.aspx>
- [7] 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.
- [8] IEA, Tracking Industrial Energy Efficiency and CO<sub>2</sub> Emissions, 2007.
- [9] European Environment Agency, 2012. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/benchmarking-in-the-steel-industry>
- [10] 資源エネルギー庁, 総合エネルギー統計, エネルギーバランス表 (本表), 2005 年度から 2010 年度までの各年度. <http://www.enecho.meti.go.jp/info/statistics/jukyu/index.htm>
- [11] 一般社団法人日本鉄鋼連盟, 日本の鉄鋼業, 2008-2012.
- [12] Yuri N. Toulouevski, Ilyaz Y. Zinurov, Innovation in Electric Arc Furnaces: Scientific Basis for Selection, Springer, PA, USA, 2010.
- [13] (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.
- [14] JFE テクノリサーチ株式会社, 「アジア鉄鋼業の現状と最新の設備投資動向」, 2012.