

2015年時点のエネルギー原単位の推定

(鉄鋼部門-スクラップ電炉鋼)

平成30年10月26日

RITE システム研究グループ

RITE は、平成24年12月18日に、2010年時点におけるスクラップ電炉鋼のエネルギー原単位の国際比較分析結果[1]を掲載した。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2015年時点のスクラップ電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。

スクラップ電炉鋼の生産規模は世界合計のスクラップの入手可能性に帰着する。トルコ・アジア地域などは毎年数百トン以上のスクラップ輸入を行い電炉中心の鉄鋼業となっており、高炉中心の中国・ロシアなどと棲み分けを図る産業構造も観察される。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[2]にて詳しく紹介したが、スクラップ電炉鋼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、鉄鋼業をより幅広く横断的に考察でき、実効性のあるCO₂排出削減の施策に資すると考えている。

1. 推計方法の概要

電炉製鉄所は、高炉一貫製鉄所に比べ一般にロット数が小さく、とりわけ特殊鋼は多様な鉄鋼製品群から構成される。高炉一貫製鉄所と比較すると相対的に、1) 炉数や企業数が多い、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（電炉などの上工程のエネルギー投入量が転炉鋼よりも小さい）、という特徴がある。そのため電炉鋼のエネルギー原単位の推計は転炉鋼の推計とはまた別の困難性も併せ持つ。このような点を認識しつつ、本レポートは最近になって新たに得られた情報を参照しつつ、次に示す複数の手法を組み合わせることにより2015年時点のスクラップ電炉鋼エネルギー原単位の推計を行った。この内の手法A2・B2については、新たに得られた文献に基づき2010年時点の電炉鋼エネルギー原単位推計手法[1][3]を一部拡張した。

エネルギー原単位絶対値を参照する手法（手法A）

A1: 米国 Association for Iron and Steel Technology (AIST) 発刊の個別電炉データ[4]を集計・整理する手法

A2: 各地域の統計を参照する手法

A3: IEA エネルギーバランス表[5]に基づきエネルギー原単位絶対値を算定する手法

エネルギー原単位の 2010 年比変化率を参照する手法 (手法 B)

B1: AIST 発刊の個別電炉データ[4]を集計・整理し、その変化率を参照する手法

B2: 各地域の統計を参照し、その変化率を参照する手法

B3: IEA エネルギーバランス表[5]を参照し、その変化率を参照する手法

B4: 電炉新設比率を参照する手法

上記手法 B では、2010 年時点のエネルギー原単位として RITE 既存推計値[1]を参照する。
なお、本推計の主な前提は次の通りであり、これまで行ってきた電炉鋼エネルギー原単位推計や、転炉鋼エネルギー原単位推計[2]と整合的かつ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消費量(GJ/t 粗鋼)で提示、低位発熱量(LHV)ベース
- ・ 電力は全地域で $1\text{MWh}=3.6/3=10.8\text{GJ}$ にて一次エネルギーへ換算
- ・ 酸素は係数 ($6.48\text{MJ}/\text{Nm}^3\text{-O}_2$) にて一次エネルギーへ換算
- ・ 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予熱工程から、熱間圧延工程に要したエネルギー消費量とする(最終加工や特殊鋼製造さらには DRI 生産のために要するエネルギー消費は評価対象から除く、図 1 を参照)

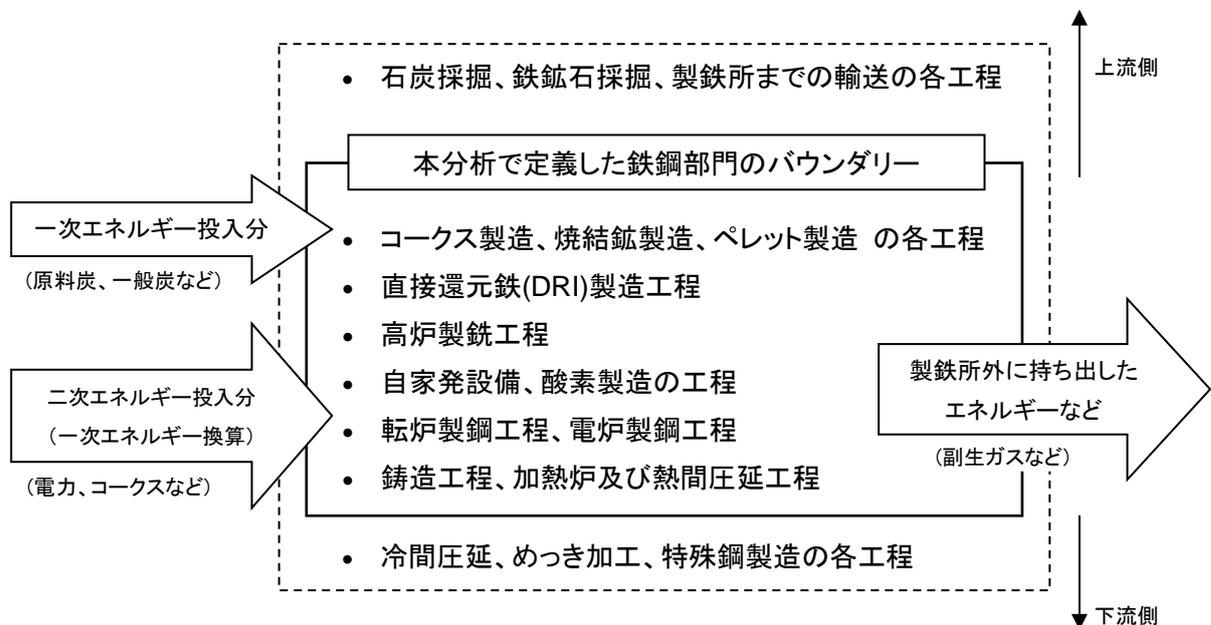


図 1 本分析で定義した鉄鋼部門のバウンダリー概略図

電炉鋼はスクラップを鉄源とする場合が多いが、世界的に見ると 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) 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。「2) スクラップ電炉鋼」とは、鉄源の100%をスクラップとする電炉鋼と定義した。2015年時点の製鉄主要国における鉄鋼生産方式の比率を図2に示す。

このような整理の下、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消費量 (GJ/t 粗鋼)」を評価対象とする。DRI 電炉鋼についてはスクラップ電炉鋼相当に換算することにより評価した。以下、上記の手法 A1 から手法 B4 について具体的に述べる。

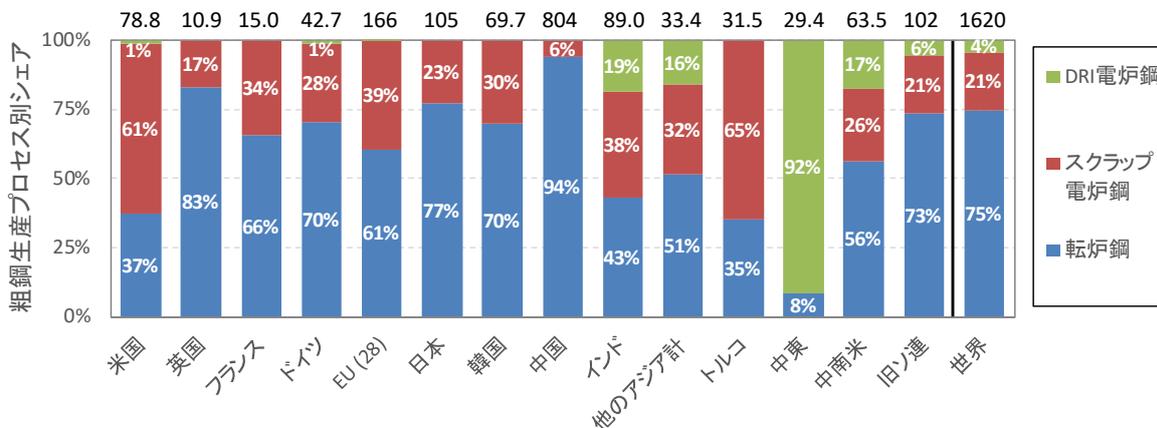


図2 製鉄主要国の粗鋼生産プロセスシェア (2015年)

出典) worldsteel[6]を基に整理。

補足) 図の上部の数値は各地域の2015年の粗鋼生産量の合計 (単位: Mt/年)。

2. 各手法の概要

(1) AIST 発刊の個別電炉データを参照【手法 A1 及び B1】

米国 Association for Iron and Steel Technology (AIST)発刊の2016 EAF Roundup[4]を参照した。このAIST[4]は「2015年の第3四半期に提出された情報に基づく」と文献中に記載されており、北米・中南米などの12ヶ国の個別電炉データが記載されている。具体的には1) 設備容量、2) 電力消費原単位、3) 天然ガス消費原単位、4) 酸素消費原単位、5) 鉄源比率などが記載されている。12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。上記2)~5)の4項目の内、N/A項の比率がどの程度を占めるかも併せて表1に示す。

$$\text{酸素・コークス・天然ガス消費(GJ/t)} = 0.19 \times \text{設備容量(Mt/y)} - 3.03 \times \text{電力消費(kWh/t)} + 2.29 \quad (2.3) \quad (-6.3) \quad (2)$$

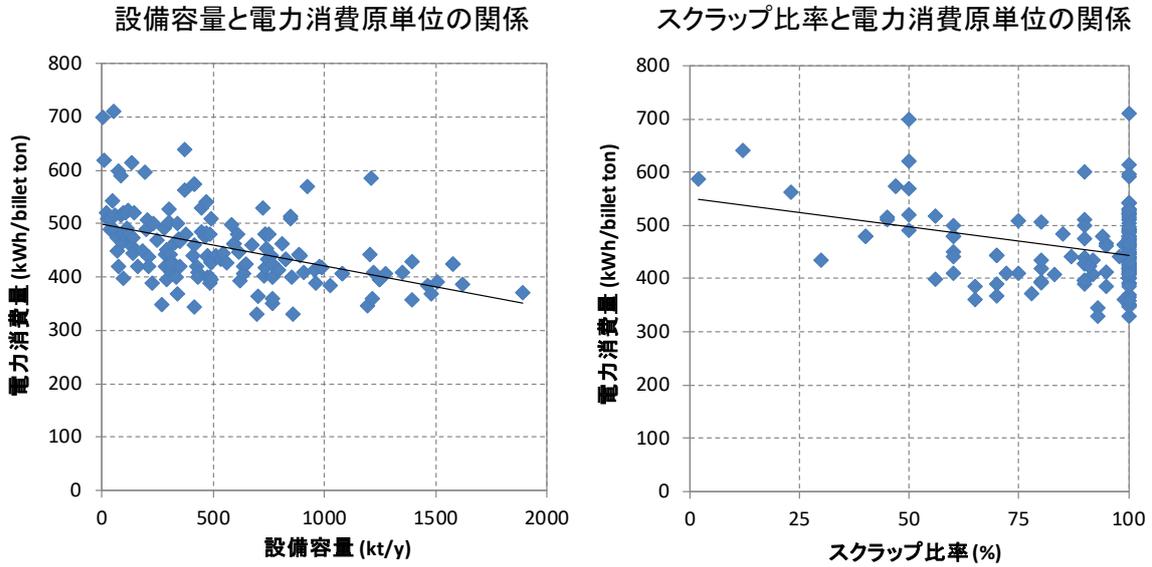


図 3 設備容量及びスクラップ比率と電力消費原単位の関係 (N=155)

出典) 図中に示した直線は何れも単回帰による。

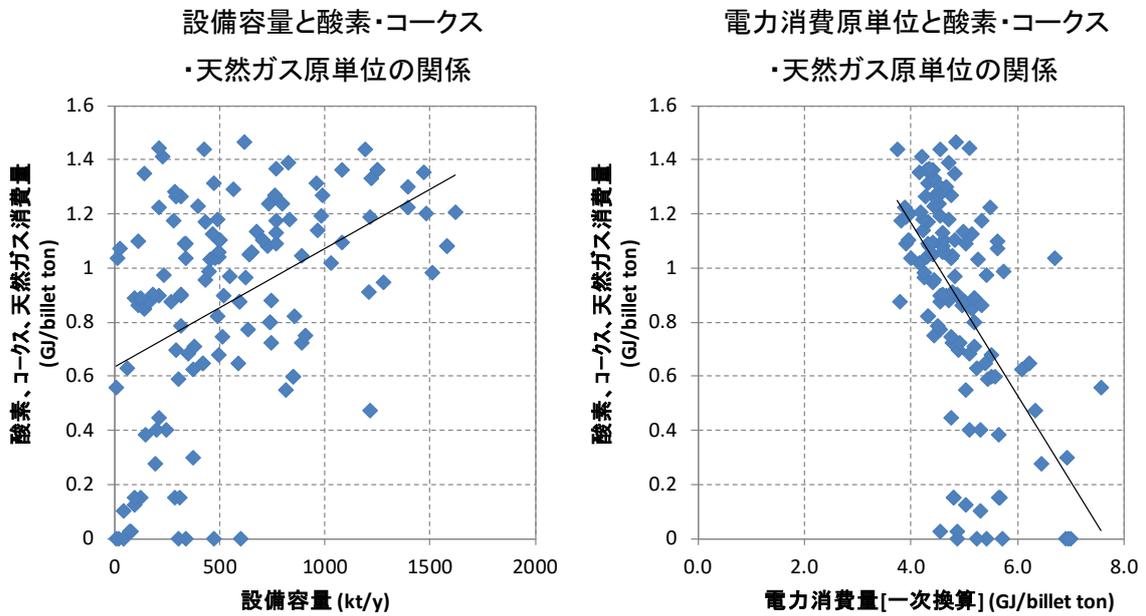


図 4 設備容量及び電力消費原単位と酸素・コークス・天然ガス原単位の関係 (N=138)

出典) 図中に示した直線は何れも単回帰による。

補足) 酸素は $6.48\text{MJ/Nm}^3\text{-O}_2$ にて一次エネルギー換算した。

なお、本レポートは鉄源の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の(1)式にて電力消費原単位を割り引く補正を行った。これらの作業により、AIST[4]から最終的に図5に示す国別のエネルギー原単位を算定した。図5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本レポートではこれ以降、図5の上端を参照することとする。

また図5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、連続鋳造設備、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[8]、2) 2005年実績のRITE推定値[9]、3) 2010年実績のRITE推定結果[1]、4) IEAが示した電炉製鉄所の一般的なエネルギー原単位[10]、5) 本レポートにおける手法A1・B1以外の手法による推計値(例えば日本の電炉データ[11]に基づく推計値)、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、本手法A1は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。

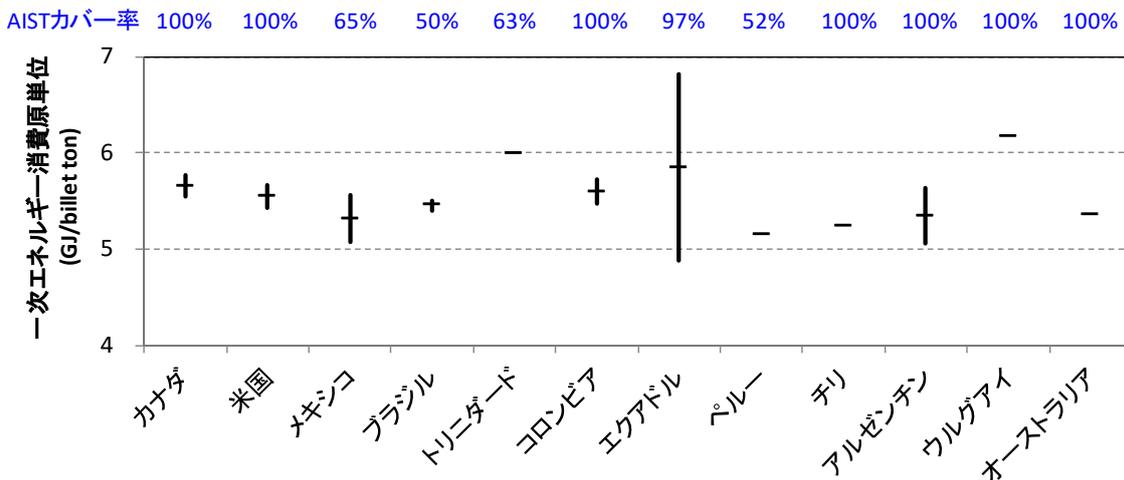


図5 AIST[4]を参照し整理した一次エネルギー消費原単位(電炉プロセス)
[2015年]

注1) 本図は電炉稼働に要した一次エネルギー消費量のみをカウントしており、本レポートで用いるバウンダリーとは一致していない。

注2) 本図は(1)式に基づき鉄源の100%がスクラップである場合に換算し表示した。

(2) 各地域の統計を参照【手法A2及びB2】

欧州

欧州についてはEurostatが発行しているエネルギーバランス表(2018 edition_2018/5更新)を参照した。その中では、欧州各国の鉄鋼部門のエネルギー消費量が記載されている。鉄鋼部門のエネルギー消費量は、高炉一貫製鉄所と電炉製鉄所のエネルギー消費量の合計値が

記載されているため、その分離が必要である。本レポートでは、これまで転炉鋼及びスクラップ電炉鋼のエネルギー原単位国際比較の際に用いてきた手法、即ち表 2 示した「生産方式別の標準的なエネルギー原単位」により、高炉一貫製鉄所（転炉鋼）及び直接還元鉄電炉鋼のエネルギー消費相当分を差し引くことで、スクラップ電炉鋼のエネルギー原単位を推計した。その結果、例えばフランスの 2015 年時点のエネルギー原単位は 8.7GJ/t と評価された（A2 として参照）。また 2010 年からの 5 年間累積の変化率は+1.0%（1.0%の悪化）、従って 2015 年は 8.6GJ/t と評価された（B2 として参照）。

表 2 生産方式別の標準的な一次エネルギー原単位（RITE 想定）

(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) 転炉鋼の銑鋼比は 1.025 の場合。

注2) 直接還元鉄（DRI）電炉鋼は、天然ガスを燃料とする場合を想定。

日本

総合エネルギー統計において、1990 年度以降、かなり詳細なエネルギーバランス表が「本表」として提示されている[11]。このエネルギーバランス表を基に電炉の 2015 年度一次エネルギー原単位を計算した。さらに、石油等消費動態統計調査[12]を参照し、電炉鋼のエネルギー原単位の推計を行った。前者からは 5.7GJ/t 粗鋼、後者からは 5.9GJ/t 粗鋼とほぼ同様の結果を得た。本レポートでは前者のデータを参照することとする。前者に対し上記の AIST 分析と同様に 2.77GJ/t 粗鋼を追加すると 8.5GJ/t 粗鋼と算定される（手法 A2 として参照）。また 2010 年度と 2015 年度の一次エネルギー原単位を総合エネルギー統計[11]に基づき比較すると-2.9%（2.9%の改善）と評価された。2010 年推計値[1]と組み合わせると 2015 年は 7.9GJ/t と評価できる（B2 として参照）。

(3) IEA エネルギーバランス表に基づく手法【手法 A3 及び B3】

IEA エネルギーバランス表[5]は地域網羅性が高く、時系列的な推移も参照することができ有用である。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う課題もある。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）を基に、スクラップ電炉鋼の一次エネルギー原単位について算定した。このエネルギー原単位の絶対値を手法 A3、2010 年比の改善率を手法 B3 としてそれぞれ参照した。

結果を表 3 に示す。本手法はスクラップ電炉鋼比率が高い地域でより参考となる。表 3 に示した地域の内、イタリア、スペイン・ポルトガル、トルコはとりわけスクラップ電炉鋼の比率が高い。ただし、エネルギー原単位の絶対値を参照した手法 A3 は、本レポートのバ

ウンダリー（図 1）の外と定義している特殊鋼製造に要するエネルギーも内包している影響もあり、絶対値自体は高い値と算定されることに留意が必要である。

表 3 IEA エネルギーバランス表に基づき算定した
スクラップ電炉鋼一次エネルギー原単位（2015 年）

	スクラップ電炉鋼一次エネルギー原単位 (GJ/t 粗鋼)		【参考】 スクラップ 電炉鋼の比率
	絶対値を参照 (A3)	2010 年比の変化率 を参照 (B3)	
イタリア	11.0	8.8	78%
スペイン・ポルトガル	11.1	7.8	72%
ベルギー・デンマーク・ オランダ・ルクセンブルク	9.3	8.1	29%
トルコ	10.0	8.9	65%

(4) 新設電炉比率を参照する手法【手法 B4】

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る。またインド、トルコ、中東、CIS といった地域で 2010 年以降の電炉新設も目立つ。

そこで、電炉鋼の生産量推移[6]を基に、電炉の耐用年数を 40 年と仮定しつつ 2010 年から 2015 年の間の新規電炉設備容量を推計した。インド、トルコ、中東の電炉新設比率（2010 年以降建設分を新設と見なす）は、2015 年時点の電炉設備容量比で 26%、33%、44%と推定された（何れも DRI 電炉込みの数値）。また新規電炉のエネルギー原単位として、OECD 諸国は文献[4][7][10]に基づき 7.90GJ/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 8.15GJ/t 粗鋼、インドは小型の誘導炉シェア¹が高いため 8.90GJ/t 粗鋼[14]とそれぞれ設定した。

本手法 B4 において、インド、トルコ、中東は 2015 年時点でそれぞれ 9.3 GJ/t 粗鋼、8.5 GJ/t 粗鋼、8.5 GJ/t 粗鋼と算定された。

3. まとめ

以上の手法 A1 から B4 までのエネルギー原単位（暫定値）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・手法別のウェイトを設定し最終推計を行った。主要地域の

¹ 本レポートにおいて、インドの誘導炉はこのように明示的に扱った。他方、中国の地条鋼（誘導炉タイプの電炉を利用）については、中国の公式統計上、存在しないこととなっている。本レポートにおいて中国の地条鋼を分析対象外とした。

2015 年最終推計結果を図 6 に示す。また既存推計値も含めた各年の結果を図 7 に示す。

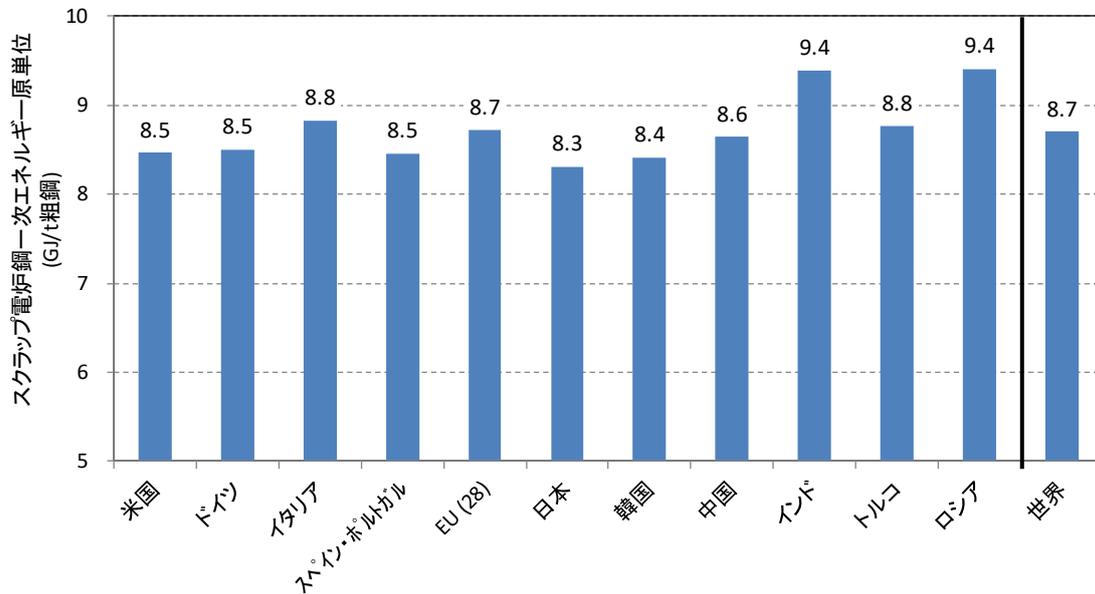


図 6 スクラップ電炉鋼一次エネルギー原単位最終推計値 (2015 年)

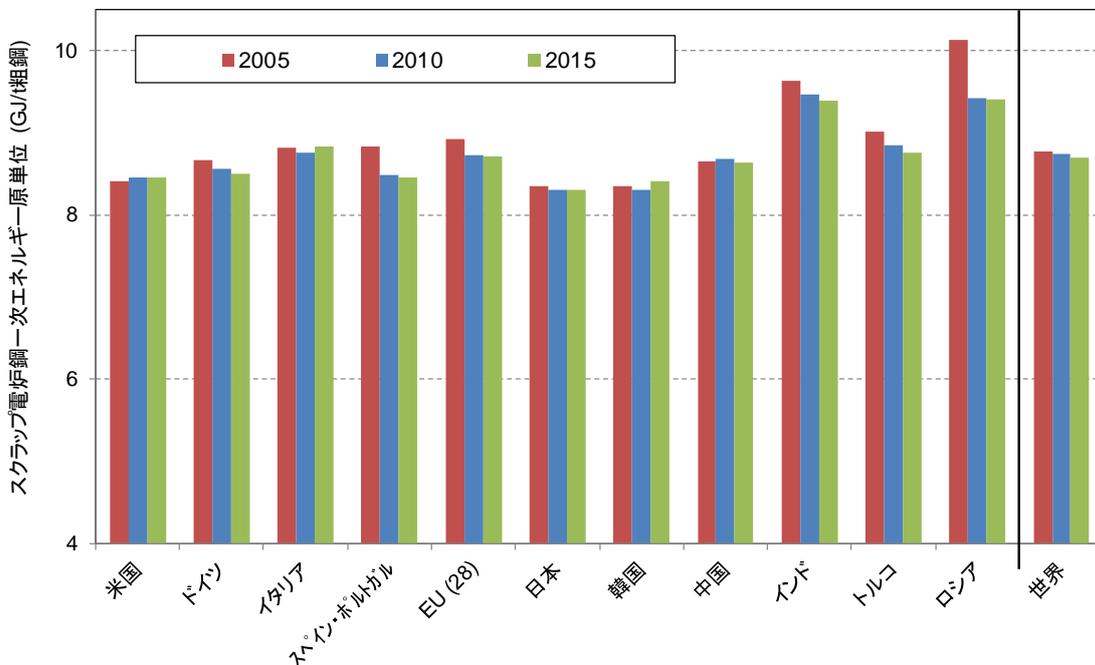


図 7 スクラップ電炉鋼一次エネルギー原単位推計値の推移 (2005 年・2010 年・2015 年)

日本、韓国に加え、北米や一部の欧州などで比較的良好なエネルギー原単位を維持している。日本は既存設備の保守・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と考察される。一方、インド及びロシアは依然として相対的に劣るエネルギー原単位となっている。

本レポートでは電炉に関する公開データを可能な限り幅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[4]のような個別電炉データ、日本の総合エネルギー統計[11]、石油等消費動態統計調査[12]のように電炉を明示的に切り分けて提示している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-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. http://www.rite.or.jp/system/global-warming-ouyou/download-data/Comparison_EnergyEfficiency2010steelEAF.pdf (アクセス日 2018.9.28)
- [2] RITE : 「2015 年時点のエネルギー原単位の推計 (鉄鋼部門-転炉鋼)」,平成 30 年 10 月 26 日, RITE システム研究グループ. <http://www.rite.or.jp/system/global-warming-ouyou/download-data/EnergyEfficiency2015.pdf> (アクセス日 2018.10.26)
- [3] 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.
- [4] Association for Iron and Steel Technology (AIST): 2016 EAF Roundup, 2016 AIST Industry Roundups, 2017.
- [5] IEA: World Energy Balances 2017, CD-ROM, 2017.
- [6] worldsteel, Steel Statistical Yearbook, 2011-2016.
- [7] Yuri N. Toulouevski, Ilyaz Y. Zinurov: Innovation in Electric Arc Furnaces: Scientific Basis for Selection, Springer, PA, USA, 2010.
- [8] American Iron and Steel Institute: The North American Steel Industry Reduces Energy Intensity, <http://www.steel.org/Sustainability/Energy%20Reduction.aspx> (アクセス日 2012.12.21)
- [9] 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, RITE システム研究グループ. http://www.rite.or.jp/system/global-warming-ouyou/download-data/Comparison_EnergyEfficiency2005steelEAF.pdf (アクセス日 2018.10.2)
- [10] IEA: Tracking Industrial Energy Efficiency and CO2 Emissions, 2007.
- [11] 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 2015 年度までの各年度, 2017. http://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/ (アクセ

ス日 2018.3.28)

- [12] 資源エネルギー庁：「石油等消費動態統計調査」，2005 年から 2015 年までの各年.
http://www.enecho.meti.go.jp/statistics/energy_consumption/ec003/ (アクセス日 2018.10.5)
- [13] 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.