

エネルギー効率の国際比較（発電、鉄鋼、セメント部門）

平成 20 年 1 月 11 日

RITE システム研究グループ

発電、鉄鋼、セメント部門におけるエネルギー効率の国際比較を行った。

1. 発電部門

(1) エネルギー効率の推定

IEA 統計（IEA, Energy Balances of OECD/Non-OECD Countries, 2007）から、2005 年における各国の化石燃料発電の発電効率（発電端）を推計した結果を図 1-1 に示す。なお、火力平均発電効率は、ガス発電の比率が高ければ、高い傾向を示し、必ずしも技術水準のみによるものではない。参考までに、2005 年における各国の火力発電の燃料種別シェアを図 1-2 に示す。また、IEA 統計では、混焼時の出力を必ずしも入力燃料種別に正しく割り振られていないと見られ、その点には注意が必要である。

石炭火力については、日本は高い効率を達成している。一方、天然ガス火力発電は、1990 年代以降、多くの極めて旧式の石炭火力発電を最新の天然ガス複合発電設備に更新してきた英国が高い効率を示している。2005 年の火力平均の発電効率は、日本が約 44.4%、英国が約 44.3%とほぼ同等となっている。

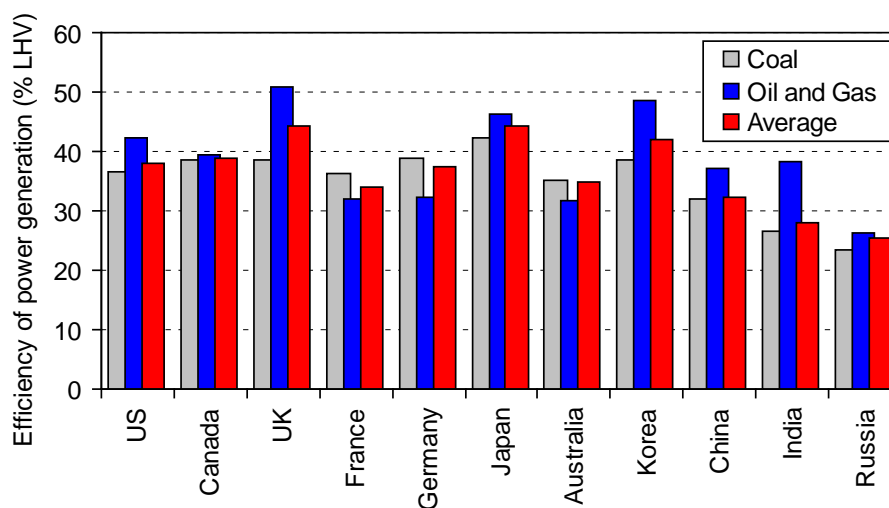


図 1-1 2005 年における各国の発電効率の比較（CHP を含む）

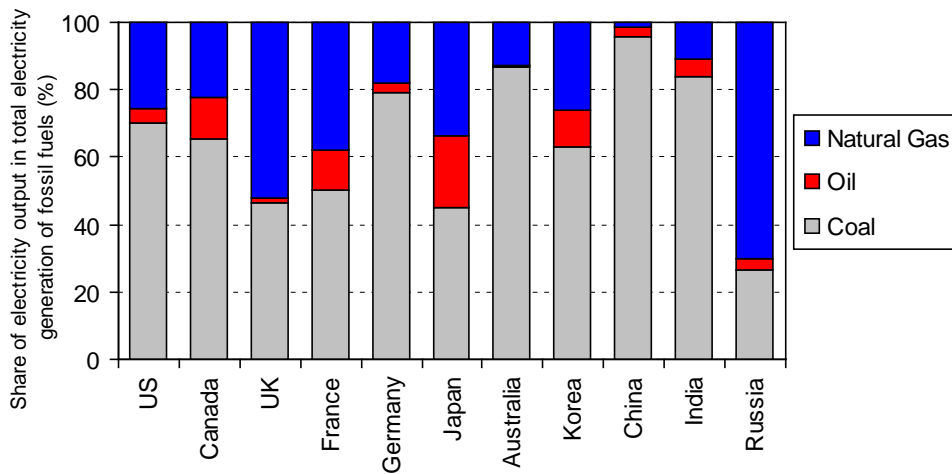


図 1-2 2005 年における各国の火力発電電力量の燃料種別シェア比較 (CHP を含む)

(2) CO₂ 排出削減ポテンシャルの推定

推計した 2005 年における各国の化石燃料発電の発電効率を基に、石炭、石油燃料発電は日本の 2005 年の発電効率を、ガス燃料発電は英国の 2005 年の発電効率を達成したとして各国の CO₂ 排出削減ポテンシャルを算出したものを図 1-3 に示す。このときの世界全体の CO₂ 削減ポテンシャルは、約 2.1 GtCO₂/yr と推計される。なお、設備は長期の寿命があるため、この削減ポテンシャルを実際の削減として結びつけるには、相応の時間が必要なことは留意が必要である。

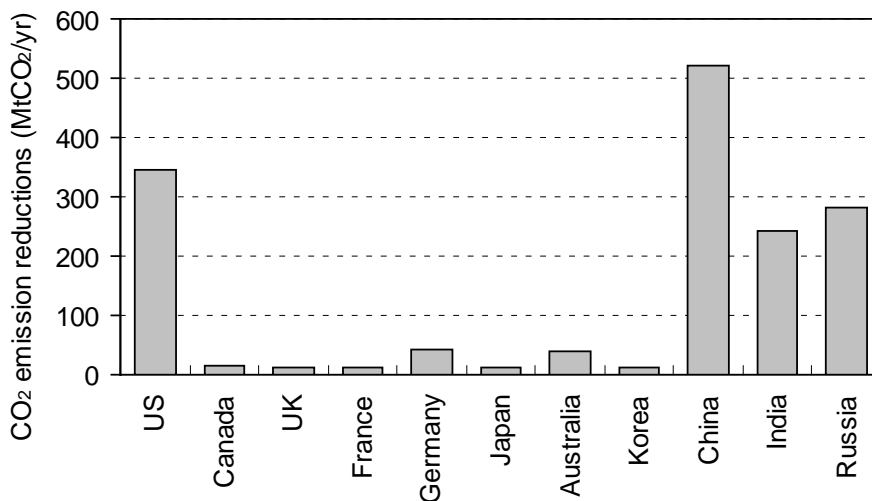


図 1-3 各国の化石燃料発電のエネルギー効率向上による CO₂ 削減ポテンシャル

2. 鉄鋼部門

(1) エネルギー効率の推定

2000年時点の鉄鋼のエネルギー効率推計値を推定した。ここでは、転炉鋼（BF-BOF）、スクラップベース電炉鋼（scrap-EAF）、DRIベース電炉鋼（DRI-EAF）の3種へ区分し、地域別種類別に計算し、この内、BF-BOF、scrap-EAFのエネルギー効率について、それぞれ図2-1、2-2に記載した。基本的な傾向として、高炉転炉法では、副生ガスの回収・有効利用が厳格で、CDQ、TRTなどの省エネ設備の普及率の高い日本、韓国が他地域よりもエネルギー効率に優れている。BF-BOF、scrap-EAF等の区分なく、平均的なエネルギー効率を算定すると、電炉鋼の比率が高い国のエネルギー効率は良く見える。しかし、それでは技術の水準を適切に反映した指標にはならないことに注意が必要である。

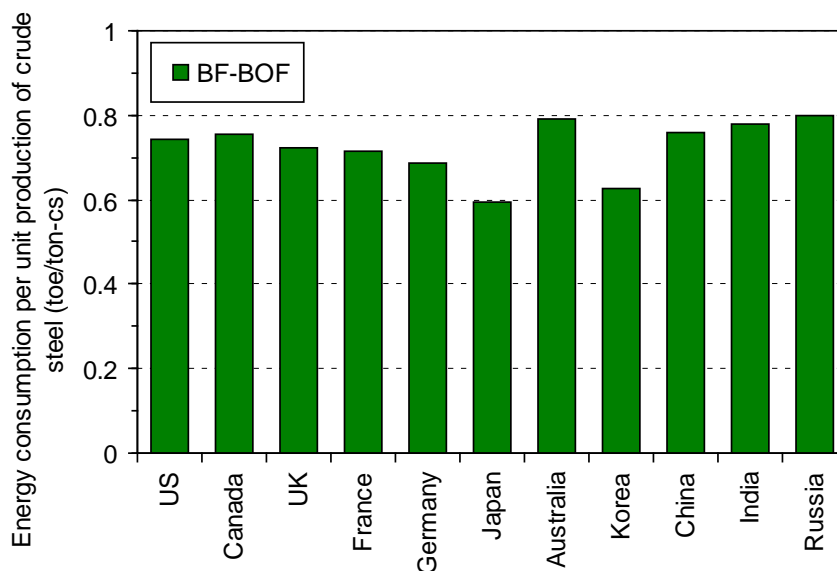


図 2-1 地域別の転炉鋼（BF-BOF）のエネルギー効率推計値
（電力については 1MWh=0.086/0.33toe にて換算）

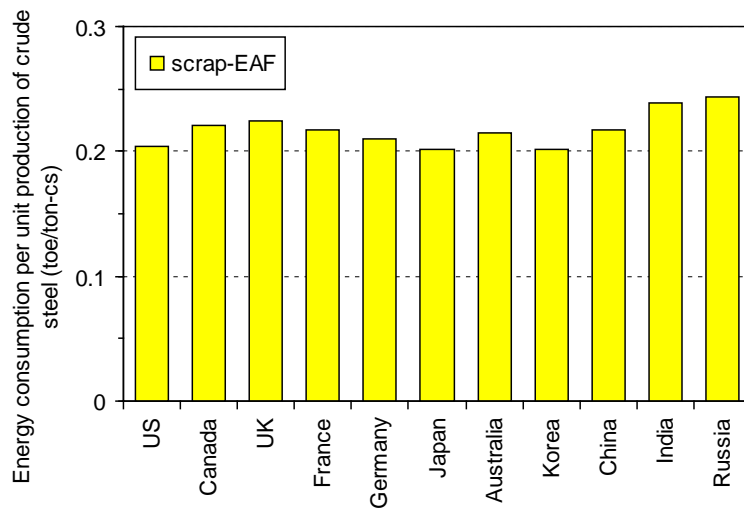


図 2-2 地域別のスクラップベース電炉鋼 (scrap-EAF) のエネルギー効率推計値
(電力については 1MWh=0.086/0.33toe にて換算)

なお、エネルギー効率推計に関する詳細については次の通り。

鉄鋼部門は、IEA エネルギー統計 (Energy Balances of OECD/Non-OECD Countries, 2007) において、エネルギー転換部門と、エネルギー需要部門に分けて記載されている。他の部門 (あるいは他の地域と) とコークス、焼結鉱、銑鉄などの授受、副生ガス、蒸気、自家発電力の授受がなされている場合があるが、IEA 統計においてこれらをどのように扱ったかを読み解くことが必要となる。また、粗鋼生産方式として大きくは、転炉鋼 (BF-BOF)、スクラップベース電炉鋼 (scrap-EAF)、DRI ベース電炉鋼 (DRI-EAF) の 3 種に区分されるが、これらの合計が IEA 統計に区別なく記載されている。そのため、ここでは IEA 統計や、国際鉄鋼協会 (IISI) の粗鋼生産量の統計だけではなく、設備普及率([1][2])、技術別のエネルギー効率([3][4])、個別プラントの実態([5]-[16])などを相互に比較しつつ、RITE にて独自に推計を行った。

また、図 2-1 のエネルギー効率は、次のバウンダリーを前提として算出したものである。

バウンダリーに含む工程、エネルギー

- ・ コークス製造工程での投入原料炭、消費したエネルギー (ただし、製造したコークスを他産業で用いたり、輸出したりした場合は、その分を除く。)
- ・ 焼結鉱、ペレット製造工程に要したエネルギー
- ・ 高炉へ投入する微粉炭
- ・ 高炉吹き込み用の酸素製造による電力エネルギー
- ・ 熱間圧延工程

- ・ 所内で利用した副生ガス(COG、BFG、LDG)
- ・ 発電用に副生ガスを利用し、発電した電力を所内で利用する場合
- ・ 系統から購入した電力

バウンダリーに含まない行程、エネルギー

- ・ バイオマス、廃プラ・廃タイヤの投入熱量
- ・ 原材料を鉱床から採掘するために要したエネルギー
- ・ 原材料の純度を上げるための各種工程(洗炭など)に要したエネルギー
- ・ 冷間圧延工程、メッキ加工工程
- ・ 特殊鋼製造工程、金属加工メーカーにおけるエネルギー消費
- ・ 所外へ持ち出した副生ガス(COG、BFG、LDG)、蒸気
- ・ 系統へ持ち出した電力

(2) CO₂ 排出削減ポテンシャルの推定

推計した 2000 年における鉄鋼部門における世界各国のエネルギー効率を基に、高炉転炉法 (BF-BOF)、スクラップ-電炉法 (scrap-EAF) 共に、それぞれ日本の 2000 年のエネルギー効率を達成したとして各国の CO₂ 排出削減ポテンシャルを算出したものを図 2-3 に示す。また、このときの世界全体の CO₂ 削減ポテンシャルは、約 0.36 GtCO₂/yr と推計される。なお、電力の CO₂ 排出原単位は、各国の 2000 年における値を用いた。

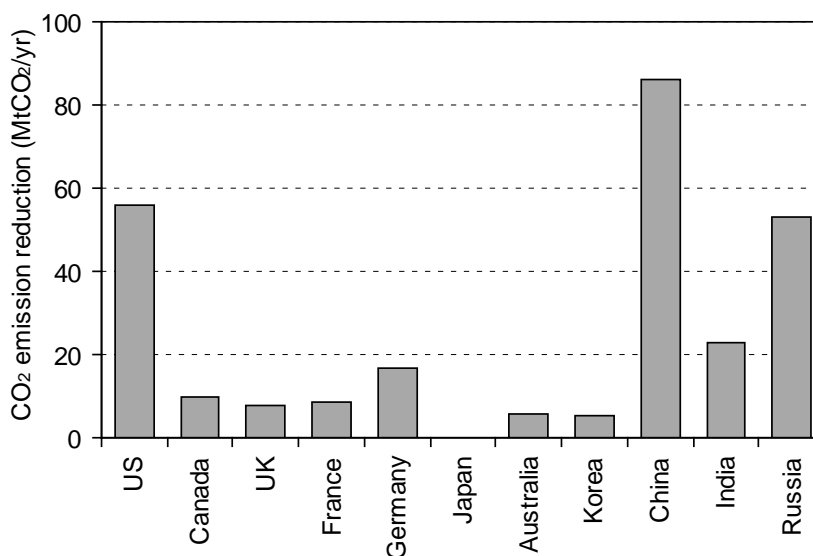


図 2-3 各国の鉄鋼部門におけるエネルギー効率向上による CO₂ 削減ポテンシャル

鉄鋼部門に関する参考文献

- [1] JFE テクノリサーチ (旧: 川鉄テクノリサーチ)、アジア鉄鋼業の現状と最近の設備投資動向、一中国・韓国・インド・台湾・アセアン4カ国一、2002
- [2] 日本鉄鋼連盟、一貫製鉄所のエネルギー原単位の国際比較 - 韓国鉄鋼協会、中国鉄鋼工業協会、個別ヒアリング等の情報により作成 -、<http://www.jisf.or.jp/kankyo/> (最終アクセス日: 2005年7月9日)
- [3] 日本プラント協会、国内の省エネルギー技術に関する調査、NEDO 委託、2001
- [4] Worrell E, Martin N, Price L., Energy efficiency and carbon dioxide emissions reduction opportunities in the U.S. iron and steel sector, LBNL-41724, 1999
- [5] 川崎製鐵: 共同実施等推進基礎調査 中国攀枝花鉄鋼公司 高炉炉圧発電設備(TRT)プロジェクト, 010015832. NEDO 委託,2000
- [6] 日本鉄鋼連盟: 中国における高炉炉頂圧有効利用モデル事業実施可能性調査, 010016756. NEDO 委託,2000
- [7] 川崎製鐵、中国南昌鉄鋼におけるコークス炉環境改善、省エネルギー対策、NEDO 委託、2002
- [8] 新日本製鐵: インド/コークス乾式消化設備(CDQ) モデル事業実施可能性調査, 010006151. NEDO 委託,2002 及び 2003
- [9] 新日本製鐵株式会社: 共同実施等推進基礎調査 インド共和国インド鉄鋼公社 ビライ製鉄所省エネルギー基本調査, 01000613020. NEDO 委託,2002
- [10] 住友金属工業株式会社: 共同実施等推進基礎調査 インド国 RINL 社 Visak 製鉄所における省エネルギー調査, 01000615577. NEDO 委託,2002
- [11] 新日本製鐵: ロシア・マグントゴルスク製鉄所 省エネ調査, 010013562. NEDO 委託,1999
- [12] 日商岩井: 共同実施等推進基礎調査 ロシア・ノボリペツク製鉄所省エネルギー基本調査, 010015809. NEDO 委託,2000
- [13] 川崎製鐵: ウクライナ・ザポロージェ製鉄所 省エネルギー調査, 010013547,1999
- [14] 住友金属工業: 共同実施等推進基礎調査 スロバキア・VSZ 製鉄所 省エネ調査, 010015828. NEDO 委託,2000
- [15] 日本プラント協会: 共同実施等推進基礎調査 ベネズエラ国における還元鉄プラントの省エネ計画, 01000612395. NEDO 委託,2002
- [16] 日本プラント協会:、共同実施等推進基礎調査 イラン国モバラケ製鉄所製鋼工場のエネルギー削減プロジェクト、NEDO 委託、2003

3. セメント

(1) エネルギー効率の推定

主要地域における 2000 年時点のエネルギー効率推計値を図 3-1 に示す。ここでは、バイオマス、廃プラ・廃タイヤなどの非化石燃料の投入分（熱量）を除く数値を示している。鉄鋼部門と同様、電力は、 $1\text{MWh}=0.086/0.33\text{toe}$ として換算した。ところで、とりわけ日本などは、 CO_2 削減等のために、積極的にバイオマス、廃プラ・廃タイヤを含め廃棄物・副産物の利用を行ってきたが、これら利用にあたり前処理が必要なため、これらの投入エネルギーを単純に合計すると、化石燃料のみ利用していた時よりもエネルギー効率が悪くなる傾向を示す。よって、このような背景下では、バイオマス、廃プラ・廃タイヤなどの非化石燃料の投入分は除いてエネルギー効率の比較を行う方が適切な評価であると考えられる。

推定結果を見ると、基本的には、乾式ロータリーキルンの中でも、サスペンション・プレヒータを持つ設備（SP）、サスペンション・プレヒータに加え仮焼炉を持つ設備（NSP）が普及している日本や韓国はエネルギー効率に優れている。一方、湿式ロータリーキルンに依存している旧ソ連、堅窯のシェアが高い中国は相対的にエネルギー効率が劣っている。
*中国に関しては、近年、エネルギー効率に優れた大規模設備（10,000t-clinker/day）が多数導入されつつあり、従って小型の堅窯（～300 t-clinker/day）とこのような高効率の設備が併存する状況にある。

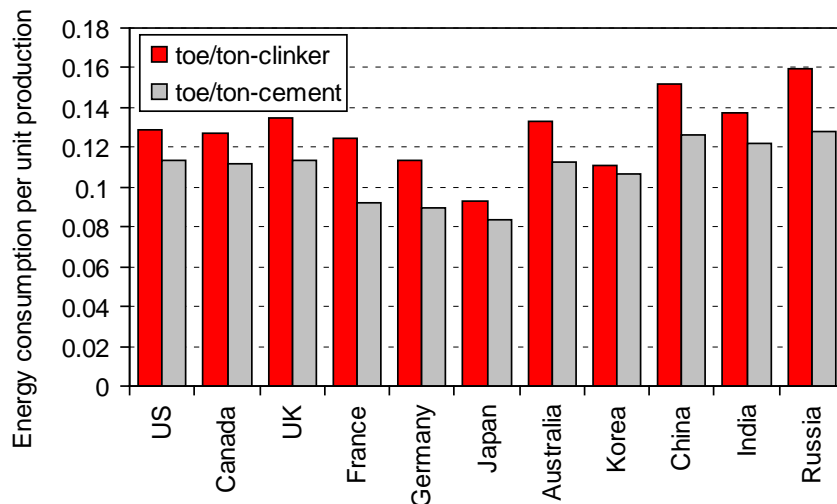


図 3-1 地域別のエネルギー効率推計値
（電力については $1\text{MWh}=0.086/0.33\text{toe}$ にて換算）

なお、エネルギー効率推計に関する詳細については次の通り。

IEA エネルギー統計 (Energy Balances of OECD/Non-OECD Countries, 2007) において、セメント部門は明に区別されておらず、「Non-Metallic Minerals」として記載されている。そこで、個別技術別のエネルギー効率や特性([1][5][6][8]-[10])、生産規模、生産量の推移([2][3])、地域別の生産様式[10]、地域別のエネルギー効率([6][10])、ヒアリングに基づくセメント工場の実態調査結果([11][12])など、多様なデータからエネルギー効率を推計することが必要である。そこで、特に地域別のセメント生産様式、プラント規模の差異を明示的に考慮しつつ、地域別のエネルギー効率を推定した結果が図 3-1 である。

(2) CO₂ 排出削減ポテンシャルの推定

推計した 2000 年におけるセメント部門における世界各国のエネルギー効率を基に、日本の 2000 年におけるクリンカ生産のエネルギー効率を達成したとして各国の CO₂ 排出削減ポテンシャルを算出したものを図 3-2 に示す。このときの世界全体の CO₂ 削減ポテンシャルは、約 0.22 GtCO₂/yr と推計される。なお、電力の CO₂ 排出原単位は、各国の 2000 年における値を用いた。ただし、中国などでは、小規模な設備が多く分散しており、それらをすべて大規模設備へ集約することは現実的ではなく、この削減ポテンシャルすべてを実現することは難しいと考えられる。

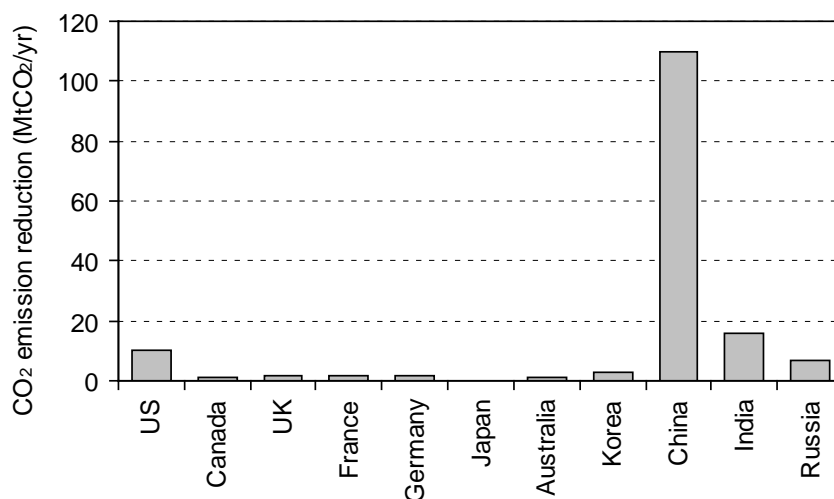


図 3-2 各国のセメント部門におけるエネルギー効率向上による CO₂ 削減ポテンシャル

セメント部門に関する参考文献

- [1] Humphreys, K. and M. Mahasenan with contributions from Placet, M. and K. Fowler: “Toward a Sustainable Cement Industry”: Substudy 8: Climate Change, commissioned by the World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), Battelle, 2002. http://www.wbcdcement.org/pdf/final_report8.pdf. (最終アクセス日: 2007年12月19日)
- [2] United Nation: United Nations Statistics Division, Industrial Commodities Production Yearbook and Database, CD-ROM, 2002
- [3] CEMBUREAU, Activity Report 2004, 2005, 2006. <http://www.cembureau.be/> (最終アクセス日: 2004年12月19日)
- [4] セメント新聞社編集部編, セメント年鑑, 第57巻, 2005.
- [5] セメント協会, セメントハンドブック 2005年度版,及び2007年度版, 2005, 2007.
- [6] Worrell, E., Price, L., Martin, N. Hendriks, C., and Meida L. O., Carbon dioxide emissions from the global cement industry, 26, pp.303-329, Annual Review of Energy and the Environment, 2001.
- [7] EU, Energy consumption and CO₂ emissions from the world cement industry, Technical Report Series, Institute for Prospective Technological Studies (IPTS), EU Joint Research Centre, EUR20769EN, 2003.
- [8] CEMBUREAU, “Best available techniques” for the cement industry, BAT Reference Document, 2000.
- [9] 日本プラント協会: 国内の省エネルギー技術に関する調査, 010019229. NEDO 委託, 2001
- [10] OECD, Can transnational sectoral agreements help reduce greenhouse gas emissions? Round Table on Sustainable Development, SG/SD/RT(2005)1, 2005.
- [11] 日本プラント協会: 中国の窯業における省エネルギー技術普及可能性調査, 010018707, NEDO 委託, 2001.
- [12] 日本鋼管: 共同実施等推進基礎調査 中国本溪市鉄鋼業とセメント業の省エネルギー化, 01000169298, NEDO 委託, 2002.
- [13] J. Oda, K. Akimoto, F. Sano, T. Homma, and T. Tomoda, Evaluation of Energy Saving and CO₂ Emission Reduction Technologies in Energy Supply and End-use Sectors Using a Global Energy Model, IEEJ Trans, 1(2), pp.72-83, 2007.