

戦略的国際科学技術協力推進事業（日本－中国－韓国 研究交流）

1. 研究課題名：「未来型製鉄・製鋼プロセスの最新技術開発」
2. 研究期間：平成22年12月～平成26年3月
3. 支援額： 総額14,850,000円
4. 主な参加研究者名：

日本側（研究代表者を含め6名までを記載）

	氏名	所属	役職
研究代表者	月橋文孝	東京大学	教授
研究者	松浦宏行	東京大学	准教授
参加研究者 のべ2名			

韓国側（研究代表者を含め6名までを記載）

	氏名	所属	役職
研究代表者	Il Sohn	Yonsei University	Associate Professor
研究者	Dong Joon Min	Yonsei University	Professor
参加研究者 のべ2名			

中国側（研究代表者を含め6名までを記載）

	氏名	所属	役職
研究代表者	Wanlin Wang	Central South University	Professor
研究者	Jiang Tao	Central South University	Professor
研究者	Ma Fanjun	Central South University	Associate Professor
研究者	Huang Daoyuan	Central South University	Associate Professor
研究者	Zhou Lejun	Central South University	Research Associate
研究者	Gu Kezhuan	Central South University	Research Associate
参加研究者 のべ7名			

5. 研究・交流の目的

代表的な金属材料である鉄鋼材料は2008年には世界で13億トン超が生産されている。他の金属生産プロセスに比べて、近年の鉄鋼生産プロセスはエネルギー効率や環境負荷抑制の観点において、格段の進歩を遂げているが、それにもかかわらず高炉プロセス、製鋼プロセス、連続鋳造プロセスを経る集約型製鉄所からは粗鋼1トンあたり約2トンのCO₂と他の温室効果ガスが排出されており、典型的な製鉄業は全製造業の約25%のエネルギー消費を占める。鉄鋼業の持続的発展のためにはエネルギー消費や温室効果ガス排出量の削減は避けて通れない課題である。世界の鉄鋼生産の55%強は中国、韓国、日本では行われており、三か国におけるプロセス生産性の向上、エネルギー効率の最適化、温室効果ガスの排出削

減が世界の鉄鋼業の発展において極めて重要になる。

本研究は以上の研究背景を踏まえ、環境・エネルギーの最適化をターゲットとし、高炉製鉄プロセス（韓国）、製鋼プロセス（日本）、連続鋳造プロセス（中国）に渡る製鉄所上工程全体における集約した包括的戦略を見出すことを目標とし、三か国の研究領域で得られた知見を最大限活用することにより、画期的技術の相乗効果による温室効果ガスの排出削減とエネルギー最適化を狙っている。

6. 研究・交流の成果

6-1 研究の成果

従来、日本側研究グループの研究領域は製鋼プロセス、韓国側は高炉製鉄プロセス、中国側は連続鋳造プロセスと細分化しており、各研究グループがそれぞれの専門的知見をもとに各々の研究領域で研究を進めていた。しかし、製鉄プロセスの省エネルギー施策は、1つのプロセスから発生する各種副生物や廃エネルギー等の他プロセスにおける有効活用方法の研究、製精錬プロセスの負荷分散の最適化の研究、後段プロセスの生産効率向上のための前段プロセスの精緻化、など、多くのエネルギーを消費する上記3プロセス全体を俯瞰したうえで検討しなければならない。このように、省エネルギー化は上記の3プロセスを俯瞰し、十分な知見を有したうえで検討しなければならず、各国研究グループのいずれも独立して成し遂げるには困難を伴う作業である。本研究交流課題を通じて、各プロセスにおける利点や問題点を洗い出し、それらを他プロセスと有機的に連携する手法を検討し、そのうえで各プロセスの最適状態を迫及することが可能となった。

韓国側研究グループは高炉製鉄プロセスにおけるエネルギー消費量最適化を研究対象とし、エネルギー収支を考慮するうえで重要課題である高炉スラグ発生量の削減を目指した。スラグ発生量削減を目指す独創的な視点での研究を推進し、特にスラグ量削減において重要な成分設計・組成最適化を目指した。プロセス操業に最も重大な影響を及ぼす観点から、スラグの粘度に及ぼす成分・組成・温度等の因子の影響を解明し、さらにスラグの粘性という巨視的物性を、MNRを用いた原子サイズの微視的融体構造測定結果を基に半定量的に議論し、高炉におけるエネルギー消費量を削減するためのスラグ物性制御の指針を得た。

日本側研究グループは溶銑のりんを集中的に除去する溶銑脱りんプロセスについて、生石灰の高速溶解と、生成 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 固相への効率的 P_2O_5 吸収・固定効果を活かしてスラグのりん除去能を著しく向上させることを目指し、固相-液相スラグ反応、固相-液相間におけるりん濃縮挙動、固相-液相間平衡状態図、を測定し、以上の知見から最適な精錬条件を決定した。本プロセスの適用により、年間約 100 万 t の生石灰消費量・スラグ発生量の低減が可能となることが試算された。

中国側研究グループは連続鋳造プロセスにおいて鋳造半製品の歩留まり率、品質を向上するため、モールドフラックスの結晶化挙動を調査した。DHTT 法により鋳型-溶鋼間距離と温度勾配を正確に再現した環境下において、酸化物系融体からの結晶晶出挙動を測定し、冷却速度、組成、温度などの影響を解明した。近年、需要が増えつつある高合金鋼の鋳造にも対応可能な新規フラックス組成を開発し、その結晶化挙動・熱輸送特性を明らかにし、さらにこれら熔融酸化物の特性を原子サイズの融体構造を踏まえて議論した。半製品の表面品質が向上することによって、鋳造直後の高温半製品をそのまま加工プロセスに直送することが可能となるため、中国の場合、1年間に加熱炉でのエネルギー消費に伴う CO_2 発生量約 190 万 t の削減につながると試算された。

6-2 人的交流の成果

日本側研究者が中国・韓国を訪問する機会に、学生を同道させ、先方において、研究会を実施した。双方の学生が各々の研究テーマについて紹介し、議論を行う形式で行い、終日に渡り鉄鋼製造プロセスに関わる様々な研究テーマの研究動向を交換した。交流会を繰り返し実施する過程において、互いに顔見知りとなり、帰国後も電子メール等を交換し合うネットワークが形成されている。同様に、中国側・韓国側研究者も来日の際に可能な

限り学生が同道し、当研究グループのみならず、日本の鉄鋼製造プロセス研究グループの教職員・学生と交流する機会を設けた。以上のように、将来のプロセス研究・開発を担う若手学生・研究者が研究交流する機会を設けることができたことは、将来の日中韓の研究交流・技術発展・文化交流等の様々な観点において極めて有益であった。

日本側研究者が今後の研究対象として考えている溶融スラグの物性測定や融体構造測定に関して、韓国側研究者が長年の研究実績とこれまで蓄積した知見を有しており、今後の共同研究実施を視野に入れて意見交換を続けている。本共同研究計画をより具体化させるため、日本側研究者は来年度に韓国側研究者のサバティカルを利用して、客員准教授として日本に招聘し、共同研究を行うことを準備している。また、日本側研究者と韓国側研究者がそれぞれの専門分野の学識を持ち寄り、共同講義を平成 26 年度より実施している。

中国側研究者と日本側研究者はマルチフェーズフラックスを用いた溶銑脱りんプロセスについて引き続き意見交換を続けており、中国側では DHTT 法を用いてマルチフェーズフラックスの形成機構に関する研究が進んでいる。日本側での先行研究において蓄積された知見と DHTT 法による温度・雰囲気等を精確に制御した条件でのマルチフェーズフラックス形成過程の測定を合わせることにより、これまで明らかにされていない反応機構のより詳細な解明を目指している。中国側研究者が指導する学生に対して日本側研究者が実験上のアドバイスを与えつつ、中国側グループの独自性を発揮した研究を進めており、今後の更なる研究の発展を目指す。また、今後は中国側大学の卒業生を大学院生として日本側に受け入れ、当該学生を橋渡し役として更なる共同研究の強化を目指す。

7. 主な論文発表・特許等（5 件以内）

相手側との共著論文については、その旨を備考欄にご記載ください。

論文 or 特許	・論文の場合： 著者名、タイトル、掲載誌名、巻、号、ページ、発行年 ・特許の場合： 知的財産権の種類、発明等の名称、出願国、出願日、出願番号、出願人、発明者等	備考
論文	Wanlin Wang, Kezhuan Gu, Lejun Zhou, Fanjun Ma, Il Sohn, Dong Joon Min, Hiroyuki Matsuura and Fumitaka Tsukihashi: "Radiative heat transfer behavior of mold fluxes for casting low and medium carbon steels", ISIJ International, 51巻, 11号, 1838-1845ページ, 2011年	共著論文
論文	Il Sohn, Wanlin Wang, Hiroyuki Matsuura, Fumitaka Tsukihashi and Dong Joon Min: "Influence of TiO ₂ on the viscous behavior of calcium silicate melts containing 17 mass% Al ₂ O ₃ and 10 mass% MgO", ISIJ International, 52巻, 1号, 158-160ページ, 2012年	共著論文
論文	Xu Gao, Hiroyuki Matsuura, Il Sohn, Wanlin Wang, Dong Joon Min and Fumitaka Tsukihashi: "Phase relationship of CaO-SiO ₂ -FeO-5mass%P ₂ O ₅ system with low oxygen partial pressure at 1673 K", Metallurgical and Materials Transactions B, 43B巻, 4号, 694-702ページ, 2012年	共著論文
論文	Hyuk Kim, Hiroyuki Matsuura, Fumitaka Tsukihashi, Wanlin Wang, Dong Joon Min and Il Sohn: "Effect of Al ₂ O ₃ and CaO/SiO ₂ on the viscosity of calcium-silicate-based slags containing 10 mass pct MgO", Metallurgical and Materials Transactions B, 44B巻, 2号, 5-12ページ, 2013年	共著論文
論文	Xu Gao, Hiroyuki Matsuura, Il Sohn, Wanlin Wang, Dong Joon Min and Fumitaka Tsukihashi, "Phase relationship for the CaO-SiO ₂ -FeO-5mass%P ₂ O ₅ system with oxygen partial pressure of 10 ⁻⁸ atm at 1673 and 1623 K", Materials Transactions, 54巻, 4号, 544-552ページ, 2013年	共著論文

