

修士論文概要書

Summary of Master's Thesis

Date of submission: 01/15/2019

専攻名 (専門分野) Department	総合機械工学専攻	氏名 Name	久繁 進之介	指導 教員 Advisor	中垣 隆雄 印 Seal
研究指導名 Research guidance	エクセルギー工学	学籍番号 Student ID number	CD 5217B096-2		
研究題目 Title	充填層型部分熔融還元による SMART 製鉄システムの研究 ～フルスケール SMART 炉を適用した一貫製鉄所の総合評価～				

1. 研究目的

日本の鉄鋼業は産業部門における CO₂ 排出量の約 48%(2016 年)を占めており、CO₂ 排出量を低減するために多くの研究開発プロジェクトが進行している。一方で、これまでに製鉄・製鋼を経て存在する膨大な量の鉄鋼製品のストックは、今後スクラップとして増加すると予想されている。鉄スクラップは既に還元された鉄であり、鉄鉱石を還元する場合より少ないエネルギーおよび CO₂ 排出量で鉄鋼に再生できる有用な資源である。高炉/転炉法の技術を軸として、鉄鉱石とスクラップを混合し溶融・還元する充填層型部分熔融還元プロセス(Packed bed type Partial Smelting Reduction process: PSR 法)が有望なスクラップ利用法の 1 つである。本研究では PSR 法に、排ガス中の CO₂ を還元して循環・再利用するプロセスを適用したスマート製鉄システム(Sustainable Iron and Steel Making System based on Material Recycling Technologies)の鉄鋼業への適用を目的とし、汎用シミュレータ Aspen Plus®によりモデル化した。また、Rist モデルに基づき、産業スケールの大型 SMART 炉への展開を実施し、得られた熱物質収支の計算結果を基に、SMART プロセスの有用性について検討した。

2. 研究方法

昨年度までの研究成果として、図 1 に示す PSR 炉モデルが Aspen Plus 上で構築されている。これに炭素循環を適用した SMART プロセスにおいて、スクラップ投入および炭素循環の CO₂ 削減効果を、Rist モデルに基づき解析した。また一貫製鉄所全体のエクセルギー収支や各工程の省エネ技術の検討を加え、SMART プロセスを適用した一貫製鉄所全体を総合的に評価した。

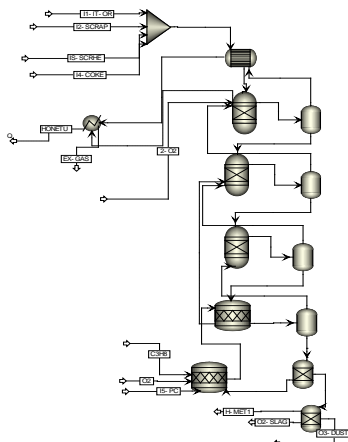


図 1 Aspen Plus 上の PSR 炉モデル

3. 研究成果

3.1 スクラップおよび還元ガスの CO₂ 削減効果

本研究では主に、図 2 に示す 2 ケースの SMART プロセスを想定した。CO 循環プロセスでは炉頂ガスを完全燃焼させ、全て CO₂ とした上で電気分解により CO へ還元し、分離した純 CO を炉に再投入する。CH₄ 循環プロセスでは炉頂ガスから CO₂ を分離回収し、H₂ との合成により CH₄ を生成した後、分離した純 CH₄ を炉に再投入する。それぞれのプロセスにおけるスクラップ比と還元ガス投入量の増加に対する CO₂ 削減率を図 3 および図 4 に示す。スクラップ比 5% の増加により約 4% の CO₂ 削減効果があり、CO 投入量 100 kg/THM および CH₄ 投入量 10 kg/THM の増加により、それぞれ約 3%、約 1.5% の CO₂ 削減効果があった。それぞれのプロセスにはエクセルギー収支の制約や炉内の熱的制約により適用限界があり、CO 循環プロ

セスと CH₄ 循環プロセスの最大 CO₂ 削減率はそれぞれ約 22%、約 13%であった。

3.2 一貫製鉄所のエクセルギー収支

炭素循環プロセスは CO₂ 還元やガス分離に電力を必要とす

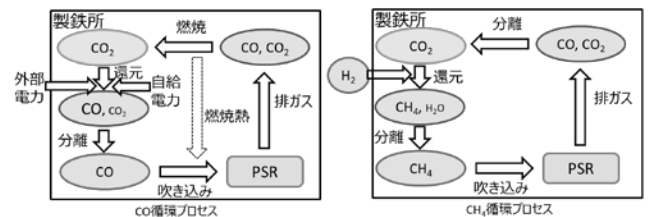


図 2 SMART プロセス評価ケース

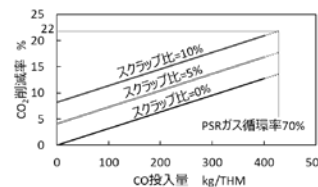


図 3 スクラップ比と CO 投入量増加による CO₂ 削減率変化

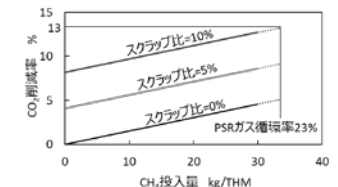


図 4 スクラップ比と CH₄ 投入量増加による CO₂ 削減率変化

る。これを一貫製鉄所内の余剰電力優先で運転した場合の CO₂ 削減量を検討した。製鉄所副生ガスである PSR ガス、COG、LDG は所内各工程の燃料や発電に利用され、余剰分を炭素循環プロセスに用いる。図 5 にスクラップ比 10% の CO 循環プロセスにおける、PSR ガス循環率に対する一貫製鉄所ガスエクセルギー収支の変化を示す。

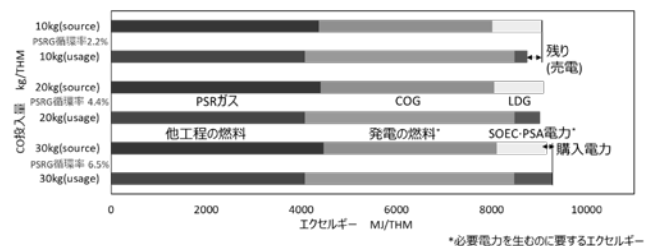


図 5 PSR ガス循環率増加に対するガスエクセルギー収支 (CO 循環プロセス, スクラップ比 10%)

CO 投入量 30 kg/THM ほどでエクセルギー消費量が供給量を超え、所内エクセルギー自給操作が不可能になった。この場合、PSR 炉の CO₂ 削減率は約 1%であった。エクセルギー自給操作で削減できる CO₂ 排出量は少なく、大幅な CO₂ 排出削減には外部の原子力や再生可能エネルギーなどの CO₂ フリーの一次エネルギー源由来のエクセルギー投入が不可欠であると言える。また、SMART プロセスのような革新的製鉄システムに加え、一貫製鉄所各工程で省エネ技術が検討されている。これらを適用した場合、一貫製鉄所の CO₂ 排出量は約 2% の削減に相当した。鉄鋼業は消費エネルギーおよび CO₂ 排出量が多い産業であるため、小さな改善であっても積算すれば大きな効果を持つと言える。