

# 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 CO<sub>2</sub> 排出量の約 48% (2016 年) を占めており、CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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。

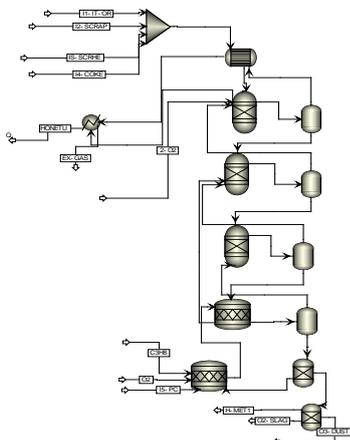


図 1 Aspen Plus 上の PSR 炉モデル

## 3. 研究成果

### 3.1 スクラップおよび還元ガスの CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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。CH<sub>4</sub> 循環プロセスでは炉頂ガスから CO<sub>2</sub> を分離回収し、H<sub>2</sub> との合成により CH<sub>4</sub> を生成した後、分離した純 CH<sub>4</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 削減効果があり、CO 投入量 100 kg/THM および CH<sub>4</sub> 投入量 10 kg/THM の増加により、それぞれ約 3%、約 1.5% の CO<sub>2</sub> 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 CH<sub>4</sub> 循環プロセスの最大 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 還元やガス分離に電力を必要とす

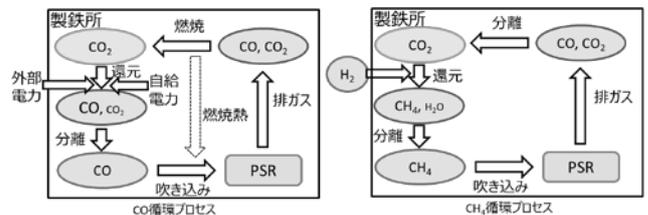


図 2 SMART プロセス評価ケース

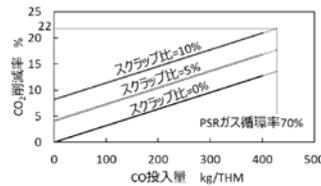


図 3 スクラップ比と CO 投入量増加による CO<sub>2</sub> 削減率変化

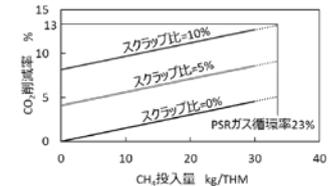


図 4 スクラップ比と CH<sub>4</sub> 投入量増加による CO<sub>2</sub> 削減率変化

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 CO<sub>2</sub> 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。

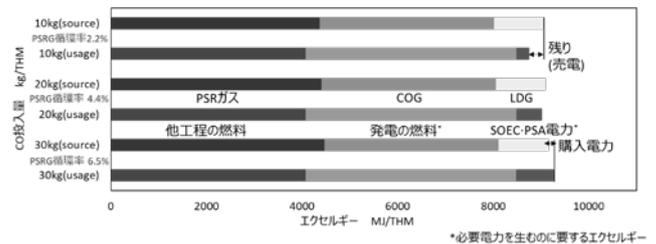


図 5 PSR ガス循環率増加に対するガスエクセルギー収支 (CO 循環プロセス, スクラップ比 10%)

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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 排出量は少なく、大幅な CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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。