

修士論文概要書

Summary of Master's Thesis

Date of submission: 01 / 20 /2017

専攻名（専門分野） Department	環境・エネルギー	氏 名 Name	片山 順平	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 54150006-1		
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 ～操業条件に対する炭素循環効果の感度解析～				

1. 研究目的

国内産業部門の全 CO₂ 排出量のうち鉄鋼業は約 45 % (2015 年) を占めており、日本の鉄鋼業界では製鉄プロセスの改良研究を進め、さらなる CO₂ 排出量の削減に注力している。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る。鉄スクラップは既にエネルギー変換されており、鉄鉱石を還元する場合より少ない CO₂ 排出量で鉄鋼へと再生することができる有用な資源である。スクラップの再生利用として、高炉／転炉法の技術を軸とした鉄鉱石とスクラップを混合・還元する充填層型溶融還元プロセス(Packed bed type Partial Smelting Reduction process : PSR 法)が有望な炉形態の一つである。本研究ではこの PSR 法に、排ガス中の CO₂ を還元後に循環・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 and Recycling Technologies : SMART)の Feasibility Study を目的とし、汎用シミュレータ AspenPlus®により SMART プロセスをモデル化した。その上で、スクラップ比や CO 吹き込み量などの操業条件の CO₂ 削減量やエクセルギーに対する感度を解析することで炭素循環効果を調査し、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、PSR 炉モデルが AspenPlus 上で構築されている。図 1 に PSR 炉モデルを示す。本年度は、この PSR 炉モデルに対して、熱力学関数の補完や炉壁近傍のガス流れの影響の考慮したモデルへと改良した。この PSR モデルにガス分離プロセス、CO₂ 還元プロセスを組み込み、SMART プロセス全体を構築した。評価の境界条件は製鉄所全体、所内発生ガスは燃料として必要な分以外を所内発電に用いるものとした。

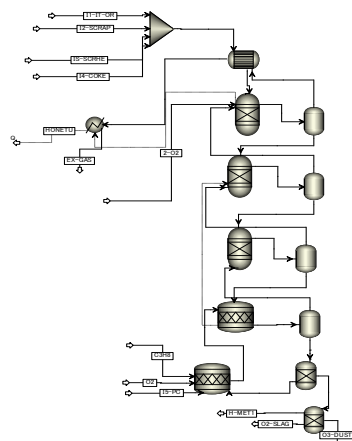


図 1 AspenPlus 上の PSR 炉モデル

3. 研究成果

3.1 CO 投入条件の影響

図 2 に CO 吹き込み量 50kg/THM における吹き込み温度に対する所要炭素量と炉内温度の影響を示す。CO を熱風炉と同程度の 1450K まで昇温させることで、PSR 炉の所要炭素量は約 3%削減され、炉内温度は維持できる。図 3 に 1500K 一定の CO 投入量に対する所要炭素量と炉内温度の影響を示す。CO 投入量を増加させることで、所要炭素量は削減されるが、炉内温度はほぼ一定であり、吹き込み温度のみで決定されることがわかった。CO 投入量の増加に対し、所要炭素量は線形的に減少することから、CO は還元剤として一定の効果があると考えられる。近似線から見積もると、CO を 1kg/THM 投入することで

所要炭素量は約 0.24kg/THM 削減される。

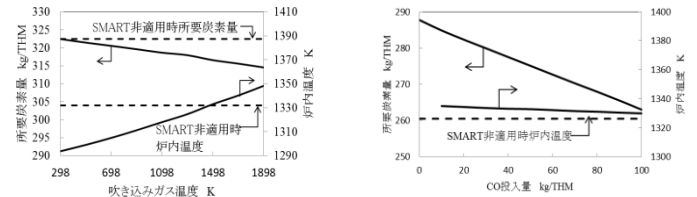


図 2 CO 吹き込み温度に対する所要炭素量および炉内温度の変化

図 3 CO 投入量に対する所要炭素量および炉内温度の変化

3.2 スクラップ比の影響

図 4 および図 5 に SMART プロセスにおけるスクラップ比に対する炭素投入量およびエクセルギーの変化をそれぞれ示す。スクラップ比が大きくなり、鉄鉱石の投入量が増加したこと起因して、炭素投入量は増加した。また、スクラップ比が大きくなるにつれて、input エクセルギーと output エクセルギーはともに増加した。スクラップ比が小さくなるにつれて発生ガス量が減少し、発電によるエクセルギーロスも減少するために、エクセルギー有効率は増大した。一方で、CO を 50kg/THM 一定で循環させており、発生ガス量が減少すると循環に必要なガス割合が増加するため、スクラップ比が小さくなるにつれて所内製造電力量は減少した。

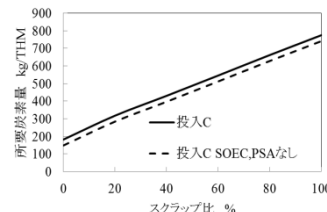


図 4 スクラップ比に対する炭素投入量の感度解析

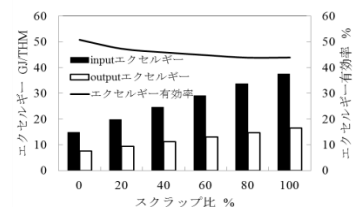


図 5 スクラップ比に対するエクセルギーの感度解析

本年度の研究において、SMART プロセスは昨年度検討された CO 循環・外部燃焼プロセスの他、CO 循環・酸素富化プロセスとメタン還元プロセスを検討した。各プロセスを評価するうえで、鉄鉱石の還元において C 直接、CO および水素の還元剤の寄与度を合計が 100%となるように内訳を示す三元図で評価した。図 6 に各ケースにおける結果を示す。外部燃焼および CO 循環・酸素富化プロセスは、CO 還元の割合が増加し、C による直接還元の割合を減少させる。一方、メタン還元プロセスは水素の割合が増加することで、C による直接還元の割合を減少させることがわかった。

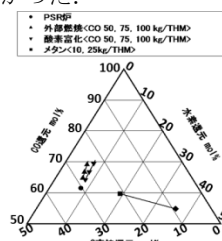


図 6 PSR 炉に様々なプロセスを適用した場合の還元割合