

修士論文概要書

Summary of Master's Thesis

Date of submission: 01/15/2021

専攻名 (専門分野) Department	総合機械工学専攻	氏名 Name	中村 健人	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 5219B077-1		
研究題目 Title	酸素高炉による炭素循環を適用した一貫製鉄所の熱物質収支評価				

1. 緒言

日本鉄鋼連盟は2030年を目標年次とした低炭素社会実行計画に加え、パリ協定に基づく長期戦略を受けて長期温暖化対策ビジョンを2018年11月に策定した。同シナリオでは、2100年までに粗鋼生産に伴うCO₂排出をゼロにする目標を掲げており、その手段として、CO₂フリーの水素を還元材に用いる水素還元製鉄の開発が計画されている。また、この過渡的技術として、高炉-転炉法を基盤に脱炭素化を図るCarbon Recycle高炉(CR高炉)の開発も計画されている。CR高炉は、羽口から吹き込む還元材の選択幅とその流量を拡大できる酸素高炉操作をベースに、所内で発生する高炉ガスを炭素キャリアとしてカーボンリサイクルシステムを構築して製鉄所トータルの低炭素化を図る技術である。このコンセプトを踏まえ、図1に示すように、①現行高炉をベースに②酸素高炉を適用する。さらに③メタン合成プロセスを適用した炭素循環システムを構築した3ケースのそれぞれのシステムモデルにおいてエクセルギー有効率とCO₂排出原単位を指標とする製鉄所の全体評価を実施した。

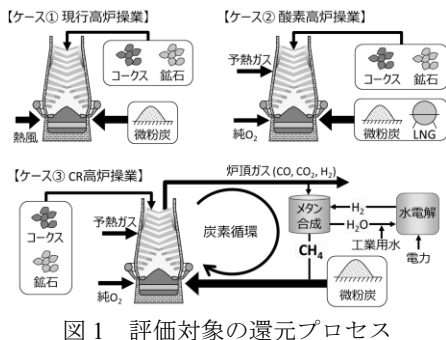


図1 評価対象の還元プロセス

2. 酸素高炉の操業条件設定

商用化されていない未知の酸素高炉の操業条件を推定すべく、プロセスシミュレータのAspen Plus®を用いて高炉プロセスをモデル化した。そのProcess Flow Diagram (PFD)を図2に示す。気体は炉下部から炉上部へ、固体は炉上部から炉下部へと移動する向流接触によって酸化鉄の還元が進行する構造を模擬している。本モデルを用いることで、炉内で向流接触している還元ガスと炉頂装入物の成分比、および炉頂からレースウェイ部までの温度分布を解析できる。そこで、熱バランス的に安定操作を維持する高炉還元材比の必要条件として、現行高炉操作におけるレースウェイ部の酸素過剰率(Excess O₂ Rate: ExO₂)と羽口先温度(Theoretical Flame Temperature: TFT)の操業実績値を基準に、高炉羽口部へ吹き込み可能な還元材流量の範囲を図3のように推定した。

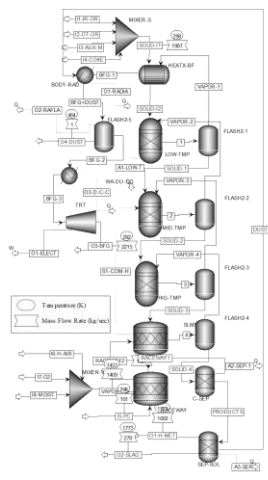


図2 高炉モデルのPFD

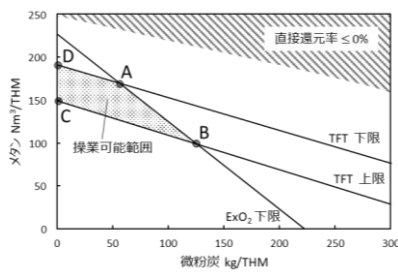


図3 酸素高炉の操業可能範囲

3. 操業ケース①～③の全体評価

図3の操業可能範囲の中でコークス比が最小となるB点の酸素高炉諸元をケース②、③に採用し、ケース①～③において製鉄所の評価バウンダリーを跨ぐエクセルギー収支と炭素収支をそれぞれ図4と図5のように整理した。同図に評価指標のエクセルギー有効率とCO₂排出原単位の定義、およびその算出値も記載した。

3.1 エクセルギー収支の分析結果

ケース①に対してケース②では、微粉炭と天然ガスの吹き込み量の拡大により、高炉プロセスのコークス比が低減する。すなわち、投入エクセルギーとしては、羽口吹き込み材は増加、コークスの原料炭は減少し、結果的に総量は764 MJ/THM少なくて済む。一方、コークス炉の副産物として回収する化学エクセルギーは537 MJ/THM減少する。ケース③では、ケース②の天然ガスを置換するCRメタン用の水素生成に自家発の余剰電力を全て充当し、不足する1029 kWh/THMを購入電力で補っている。よって、ケース②と③の投入エクセルギーの総量は28 MJ/THMの僅差だが、ケース③の回収エクセルギーの総量はケース②の外販電力分に相当する1893 MJ/THM少ない。これらを総括したエクセルギー有効率による評価では、高い順にケース①>②>③となった。

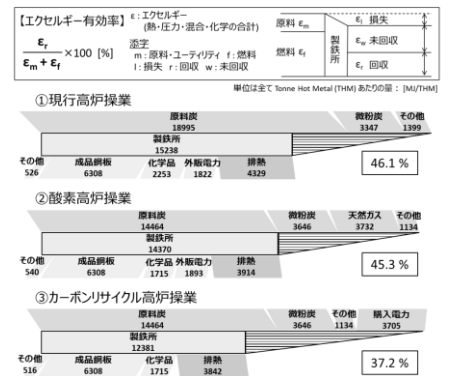


図4 エクセルギー収支の分析結果

3.2 炭素収支の分析結果

酸素高炉の特性を活かして低コークス比で操業するケース②、③では、ケース①の111 kg-C/THMに相当する原料炭を削減できる。さらに、ケース③では、CRメタンの還元材利用によって、ケース②の54 kg-C/THMに相当する天然ガスを削減できる。したがって、CO₂排出原単位による評価では、低い順にケース③<②<①となった。ケース③において、購入電力のCO₂排出係数をパラメータとしてケース①の1.95 t-CO₂/THMを超える値を求めたところ、0.313 kg-CO₂/kWh以下の電源が調達されなければ、酸素高炉操作への切り替えと炭素循環の適用によって正味のCO₂排出量の削減とはならないことが分かった。

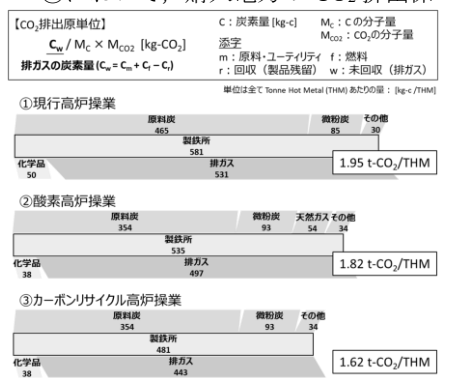


図5 炭素収支の分析結果