

トピックス

COURSE50 環境調和型製鉄プロセス技術開発 鉄鉱石還元への水素活用技術開発

山口 良祐

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町 1310

1. はじめに

我が国の鉄鋼業は、原料である鉄鉱石を石炭コークスで還元して鉄を製造する高炉法を採用しているためにCO₂排出量が多く、産業・エネルギー転換部門でのCO₂排出量の44%（2006年実績）を占め、我が国全体でも15%を排出していることから、鉄鋼業においてCO₂排出量を削減することは、喫緊の課題である。しかしながら、我が国の鉄鋼業は1970年代のオイルショック以降、省エネルギー化を推進し、廃熱や副生ガスの利用による省エネルギーも極限に達しており、現状技術の延長上では効率向上による大幅なCO₂削減を望めないことから、更なる温室効果ガス削減のためには新たな革新的な技術開発を推進する必要が求められている。

このような背景のもと、石炭コークス製造時に発生する高温の副生ガス（コークス炉ガス（COG））の水素ガスを増量し、鉄鉱石の還元材として利用することでコークス使用量を削減し、高炉からのCO₂排出量を削減する技術開発と、製鉄所内で未利用の廃熱をエネルギー源として利用し、高炉ガス（BFG）からCO₂を分離回収する技術開発により、エネルギー増加を避けつつCO₂発生量の大幅な削減を目指す「環境調和型製鉄プロセス技術開発（COURSE50）」が検討された。2008年3月に全世界の温室効果ガス排出量を現状に比べて2050年までに半減するという長期目標実現に向け、「Cool Earth—エネルギー革新技術計画」が策定され、効率の向上と低炭素化の両面から、CO₂大幅削減を可能とする「21」技術の一つとして選定されており、環境安全イノベーション及びエネルギーイノベーションプログラムの一環として実施するものである。

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下NEDOと略する）では2008年度より本プロジェクトを立ち上げ、現在要素技術開発（Phase I Step1）を実施

中である。ここでは本プロジェクトの概要、及びその中心技術のひとつである水素還元技術開発について紹介する。

2. プロジェクト概要

本プロジェクトは公募により採択した日本の全高炉メーカー5社を中心に、大学、民間企業等が参画している国家プロジェクトであり、水素還元という革新的な技術開発を含むため2030年度までに技術開発を行い、実機1号機を立ち上げる予定で、高炉を使用する製鉄所における現状の全排出レベルに比較して約30%のCO₂削減を目指すものである。

プロジェクト全体の開発スケジュールを図1に、事業イメージを図2に、研究開発体制を図3に示す。

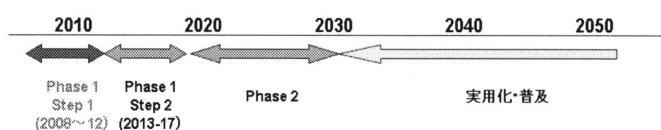


図1. 開発スケジュール

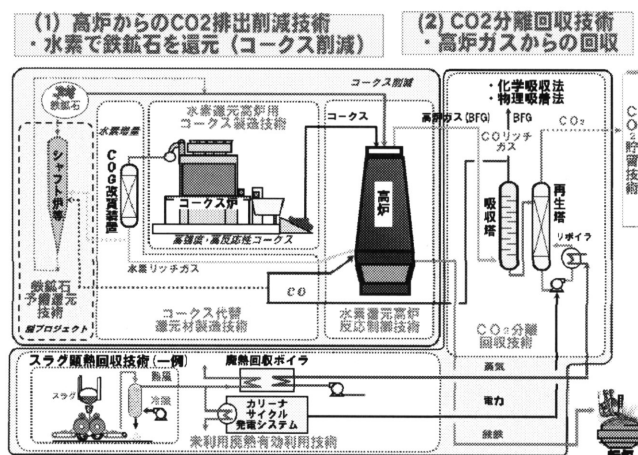


図2. 事業イメージ

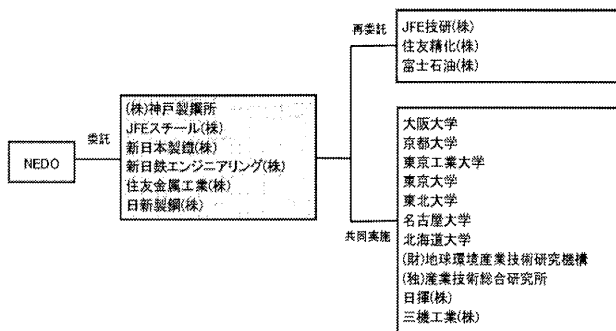


図3. 研究開発体制

プロジェクトは要素技術開発と実証規模開発の大きく2つのフェーズに分け、各要素技術を開発するPhase I Step1 (2008～2012年度 (5年間))、要素技術を組み合わせたミニ試験高炉及びCO₂分離回収技術を開発するPhase I Step2 (2013～2017年度 (5年間))、スケールアップ及び高炉とCO₂分離回収設備の実証規模開発を行うPhase II (2018～2027年度 (10年間))を経て、2030年度までに技術の確立を行い、他プロジェクト成果であるCO₂貯留技術の確立および経済合理性を有する事を前提に2030年度に実機1号機を実用化する予定である。但し、CO₂の貯留技術については、既に他プロジェクトで検討、調査等が進んでおり、法整備等の問題もあることから、継続的に状況把握を行い、Phase I Step2以降、分離・回収設備との組合せ・取り合いについても調査、検討していく予定である。

Phase I Step1では、下記の項目を目標とし、5つの要素技術について研究開発を実施中である。

Phase I Step1 目標 (2012年度)

①高炉からのCO₂排出削減技術開発

- ・水素ガスなどによる鉄鉱石還元メカニズムと反応制御の基礎技術を確立する。
- ・水素ガスの増幅率を2倍とするコークス炉ガス(COG)改質技術を開発する。
- ・水素ガス還元高炉用のコークス強度(ドラム強度)DI ≥ 88を満足する高強度コークス製造技術を確認する。

②高炉ガス(BFG)からのCO₂分離回収技術開発

- ・高炉ガス(BFG)からのCO₂分離回収コスト2,000円/t-CO₂(「分離回収法開発ロードマップ(CCS2020)」に示された目標)を可能とする技術の見通しを得る。

上記目標を達成するために、次の6項目の開発テーマ

を掲げて研究開発を実施中である。

①高炉からのCO₂排出削減技術開発

- ・CO₂削減のため高炉でのコークス使用量削減を目的に水素ガスなどを用いて鉄鉱石を還元する反応制御技術開発。
- ・コークス炉の800℃の未利用廃熱を利用し水素ガス量を増幅するコークス炉ガス(COG)改質技術開発。
- ・水素還元高炉用の高強度・高反応性コークス製造技術開発。

②高炉ガス(BFG)からのCO₂分離回収技術開発

- ・高炉ガス(BFG)からのCO₂分離回収に係る吸収液や物理吸着法の開発。
- ・製鉄所の未利用廃熱活用拡大によるCO₂分離回収エネルギー削減に寄与する技術開発。

③製鉄プロセス全体の評価・検討

- ・「高炉からのCO₂排出技術」及び「高炉ガス(BFG)からのCO₂分離回収技術」が約30%CO₂削減にどの程度寄与するかを明確にし、各要素技術の開発目標との整合性をとり、全体の調整を行い、製鉄所全体で約30%のCO₂削減の可能性を評価。

CO₂の回収比率は、①高炉からのCO₂排出削減技術開発で約10%、②高炉ガス(BFG)からのCO₂分離回収技術開発で約20%削減を目標としている。

これまでの研究開発で東日本大震災の影響も一部受けたが、各要素技術開発ともPhase I Step1目標は達成の見込みであり、最終年度である2012年度に成果を取り纏める段階にある。

これまでの成果概要は次の通りである。

①高炉からのCO₂排出削減技術開発

- ・ラボベースでCOG改質ガスを還元材として水素ガスでCOの一部代替することによりCO₂を10%程度削減の可能性を得た。
- ・コークス炉(COG)ガスを改質する触媒性能は、単体では水素ガスを2倍に増幅できることを確認。2012年度に製鉄所の実COGにより触媒の耐久性、運用方法等の検証試験を実施予定。
- ・石炭から抽出した粘結材を使用することによりコークス強度DI ≥ 88を達成し、鉄鉱石水素還元を使用できる高強度コークス製造の目処を得た。熱間物性評価、経済性を考慮した配合等検討を実施中。

②高炉ガス(BFG)からのCO₂分離回収技術開発

- ・化学吸収法 (30t-CO₂/d 規模) において熱消費原単位 2.5GJ/t-CO₂ まで低減達成 (目標 2.0GJ/t-CO₂)。2012 年度に更なる低減及び経済性評価 (目標 2,000 円/t-CO₂) を予定。
- ・物理吸着法 (PSA 3t-CO₂/d 規模) においても、回収コスト 2,500 円/t-CO₂ (目標 2,000 円/t-CO₂) 達成見込み。更なる検討を実施中。
- ・CO₂化学吸収法、物理吸着法で必要とする 140°C以上の蒸気、電力を製鉄所内の未利用排熱から回収する方法として、熱回収 (ヒートポンプ、PCM (相変化物質) 利用による熱移送、製鋼スラグの顕熱回収) 及び低位熱発電システム (カーリーナサイクル) の開発を実施中。2012 年度に CO₂分離回収技術の開発に合わせ見通しを評価予定。

③製鉄プロセス全体の評価・検討

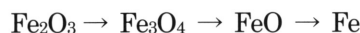
- ・製鉄所全体の総合的なエネルギーバランスを評価するためのツールを作成。CO₂約 30%削減達成の評価を行い、次 Step に向けた研究開発の検討を実施予定。

3. 高炉における水素活用技術開発について

高炉から排出する CO₂ 削減のために本プロジェクトでは炭素の代替として一部水素ガスを用いた鉄鉱石還元プロセスを開発している。

高炉内では上部に投入された鉄鉱石 (Fe₂O₃) が下降しながら下から上昇してくる (または側面から吹き込み) 還元ガス (CO 又は水素ガス) に還元され、次の反応を

経て、還元鉄 (銑鉄) となる。



この時、CO ガスと水素ガスの還元条件を比較すると、水素ガスの方が反応速度は速いが、吸熱反応であるため、高炉内を冷え込ませずに還元を促進させることが重要である。さらに鉄鉱石の還元に伴い粉化が促進され、操業が安定しない懸念があるため、図 4.に示す課題に対し研究開発を実施している。図 5.に CO と水素ガスの還元速度の測定結果を、図 6.に CO と水素ガスの反応熱の違いを示す。

高炉の一部を模擬した小型の還元試験装置を用いて、高炉のシャフト部からの改質 COG 吹き込みの実験を行い、還元率が炉頂水素ガス分析値から計算した還元率以上に向上するという期待の持てる結果が得られた。図 7.に還元率改善効果を示す。

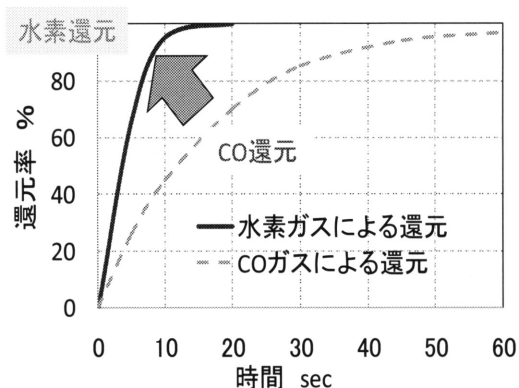


図 5. 還元速度の測定結果

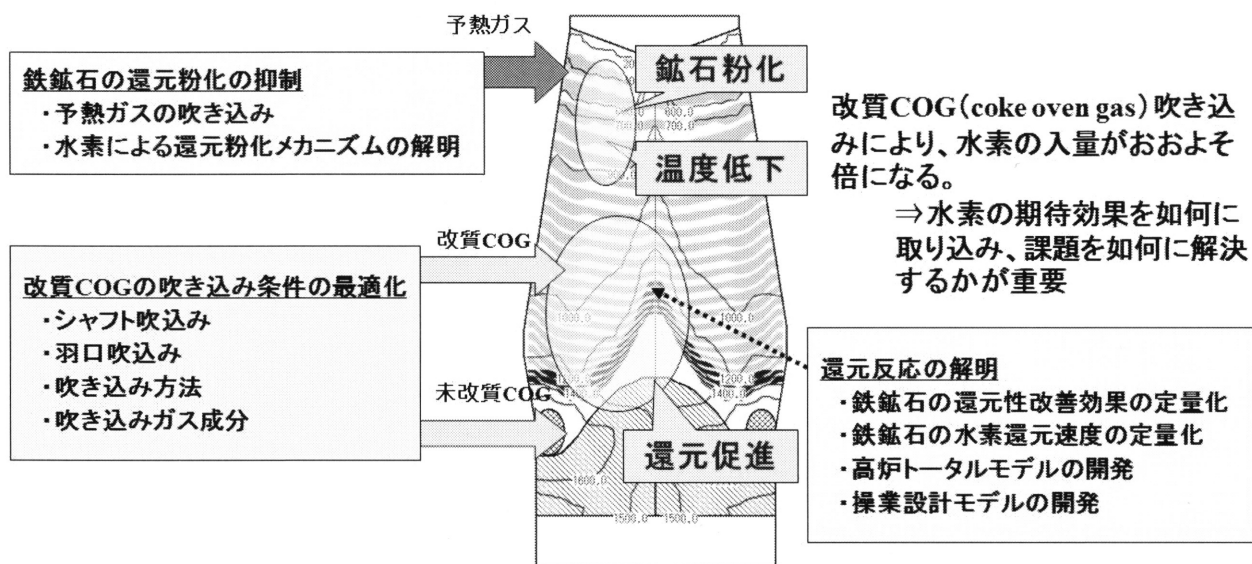


図 4. 鉄鉱石還元への水素ガス活用技術の開発の全体観

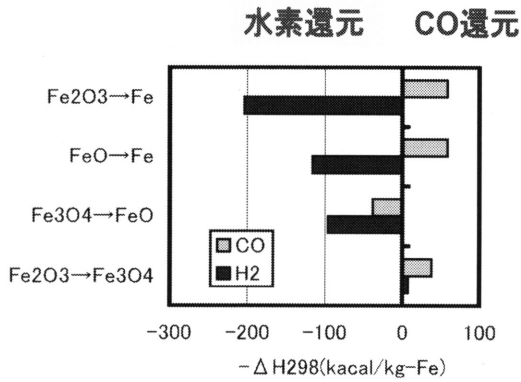


図6. 還元材による反応熱の比較

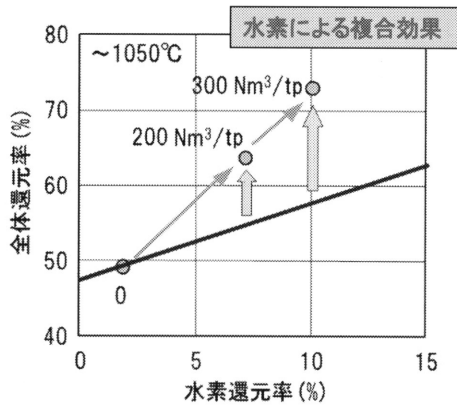


図7. 高炉の還元率改善効果

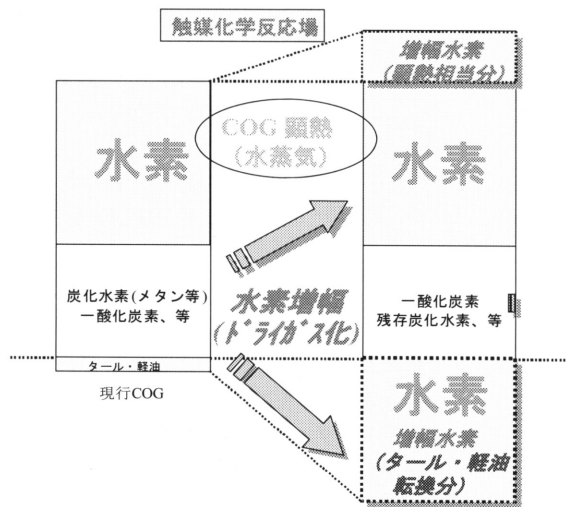
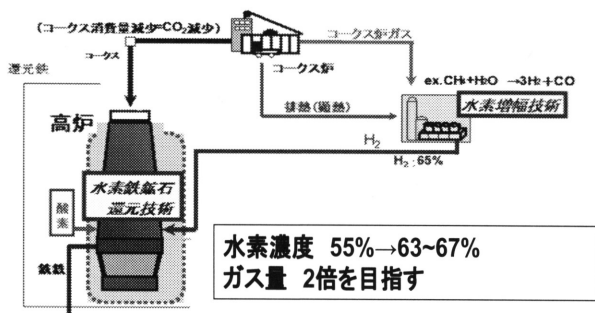


図8. 改質COGにおける水素増幅の考え方

このような結果を踏まえ、シミュレーションモデルにて検証を行うとともに、2012年度に炉全体の効果を検証するため、スウェーデン国営の鉱山メーカーであるLKAB社が所有する小型試験高炉で初めての水素還元実証試験を実施する予定である。

高炉へ供給する水素ガスは製鉄所内で調達可能なコークス炉ガス(COG)を使用する。コークス炉から出た直後の800℃程度の顕熱を利用し、ガス中に含まれる炭化水素ガス及びタールを触媒で改質して、鉄鉱石の還元にも有効な水素ガスを元の2倍以上の体積に高め使用することで計画している。図8.に水素増幅の考え方を示す。

タールによる炭素析出・閉塞を抑制、触媒の活性低下の再生等の開発課題もあり、2012年度に実際のコークス炉ガスによる改質試験を実施予定である。

4. まとめ

CO₂削減が本プロジェクトの目標であるが、水素還元を適用することによりコークス削減が見込まれること、及び製鉄所内の未利用排熱をエネルギー源として高炉ガス(BFG)からCO₂を削減することによりCO₂分離回収エネルギー増加を防げる可能性があることから、省エネ効果も期待できるプロジェクトであり、成果を出せるよう推進していく予定である。

記号

COURSE50:CO₂ Ultimate Reduction in Steelmaking process by Innovative Technology for Cool Earth 50の英文名の略称。