



地球環境を考慮した  
排出ガス削減への鉄鋼業の取り組み

# 地球環境に貢献する 日本の鉄鋼製造技術



長年にわたり、省エネルギーや環境負荷低減に取り組んできた日本の鉄鋼業。先ごろのパリ協定の取り決めにより、日本の鉄鋼業はこれまでも増して高い排出ガス削減目標に向かって努力を続けている。現在進行している COURSE50 プロジェクトの取り組みや、将来的な展望を紹介する。

## 新たな枠組みであるパリ協定

2015年パリで開かれた、温室効果ガス削減に関する国際的取り決めを話し合う「国連気候変動枠組条約締約国会議(COP)」で、パリ協定が合意された。このパリ協定は、2020年以降の気候変動問題に関する国際的な枠組みであり、2016年11月に発効した。パリ協定では、世界共通の長期目標として「世界の平均気温上昇を産業革命以前に比べ2℃より低く保つこと」を掲げている。

またパリ協定では、世界各国が自主的に温室効果ガス排出削減目標を掲げ、温暖化対策に取り組むことになっている。日本では、2030年度に向けて温室効果ガス排出量を2013年度に比べ26%削減することが目標とされている。

温室効果ガスには、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)、メタン、一酸化二窒

素、フロンガスなどがあるが、このうち地球温暖化に及ぼす影響がもっとも大きいのがCO<sub>2</sub>であり、石炭や石油などの化石燃料を消費すると、大量のCO<sub>2</sub>が大気中に放出される。では、現在世界でどのくらいの量のCO<sub>2</sub>が排出されているのだろうか。

2016年の世界のCO<sub>2</sub>の総排出量は323億t(図1)であり、そのうち日本は3.5%を排出している。日本のCO<sub>2</sub>排出は部門別割合で見ると最も多いのが産業部門の35%であり、鉄鋼業は産業部門の40%、日本全体から見ると14%を占めている。

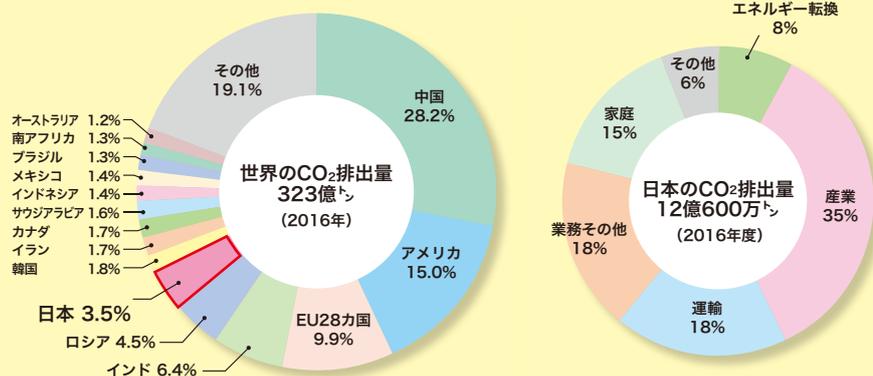
## 鉄鋼製造プロセスで重要な「炭素」

そもそも炭素は、現代の鉄鋼製造プロセスにとって不可欠な存在である。

原料の鉄鉱石において鉄は酸素と結合しているため、酸素を除去(還元)するために還元材が必要になる。還元材として使われているのが、石炭を蒸し焼きにしてできるコークスである。

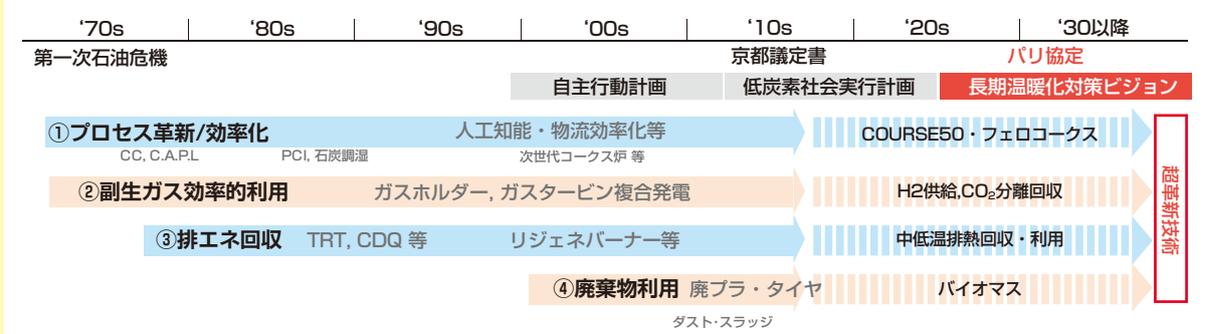
高炉の中では、上部から投入された鉄鉱石とコークスが交互に積み重なっている。このコークスは、炉の下方から吹き込まれる熱風や酸素と反応して高温ガスとなり、鉄鉱石を溶かしながら還元を行う。また溶けた鉄鉱石はコークスの炭素と接触して還元され、溶けたまま炉の下部に溜まり、銑鉄となる。つまり、高炉の中でコークスはエネルギー源と還元材の両方の役割を果たす。

●世界のCO<sub>2</sub>排出量と日本の部門別排出量(図1)



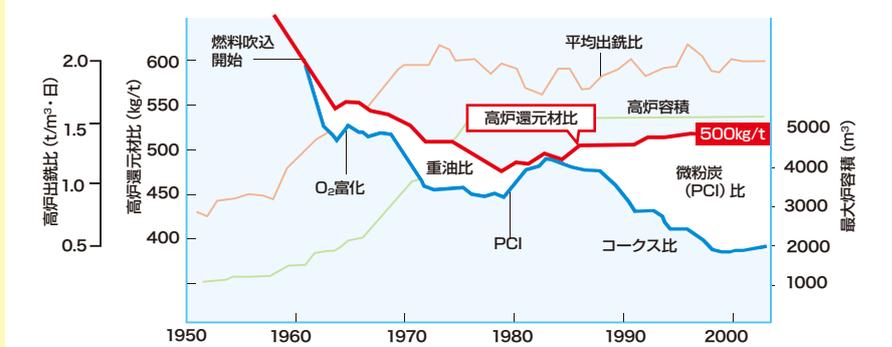
(出典:IEA「CO<sub>2</sub> EMISSIONS FROM FUEL COMBUSTION」2018 EDITIONを元に環境省作成)

●日本の鉄鋼業の温暖化対策の推移(図2)



(出典:日本鉄鋼連盟長期温暖化対策ビジョン(2018.11))

●日本の高炉還元材比の推移(図3)



日本の鉄鋼業は、1970年代のオイルショック以降、さまざまな角度からエネルギー効率の向上を図ってきた。

日本の鉄鋼業は、1970年代の第一次オイルショック後にエネルギー効率の向上に本格的に取り組んだ(図2)。取り組んだ課題は幅広く、鉄鋼製造プロセスの連続化などによる効率化や、工程中で発生する副生ガスの利用、排出エネルギーの回収利用、廃棄物の有効利用などが挙げられる。

具体的な例として、高炉還元材比(図3)を見てみよう。高炉還元材比とは、銑鉄1t生産時に必要な炭素(コークスと微粉炭吹き込みの合計)消費量のことであり、燃料吹き込みが始まった1960年代は約600kg/tだったが、現在では500kg/tまで減っており、特にコークス量を大幅に減らすことができた。より少ないコークス量で多くの銑鉄を製造でき、同時にCO<sub>2</sub>排出量の削減にも寄与してきた。

製鉄所の隅々までを対象としてエネルギー効率向上を図った結果、鉄鋼生産量あたりのエネルギー効率は世界最高水準を維持し、エネルギー効率がきわめて高いプロセスを作り上げてきた。

今日、日本の鉄鋼業のエネルギー効率が世界トップクラスを維持しているのは、このようなさまざまな技術開発が継続的に行われてきたからである。

しかしながら、高炉で還元材としてコークス(炭素)を用いるため、製造時にCO<sub>2</sub>を排出することは避けられない。つまり、鉄鋼業にとってCO<sub>2</sub>排出量削減は、鉄鋼製造プロセスの本質にかか

わる大きな問題だと言える。

しかもパリ協定の発効によって、日本の鉄鋼業は、CO<sub>2</sub>排出削減に向けて、これまでにないスピードで対応を迫られている。しかし、これまで省エネルギーを徹底してきた日本の鉄鋼業にとって、さらなる省エネルギーやCO<sub>2</sub>排出量削減の余力は少ない。

そこで、この課題を解決するための抜本的な技術開発として、期待されるのがCOURSE50プロジェクトである。

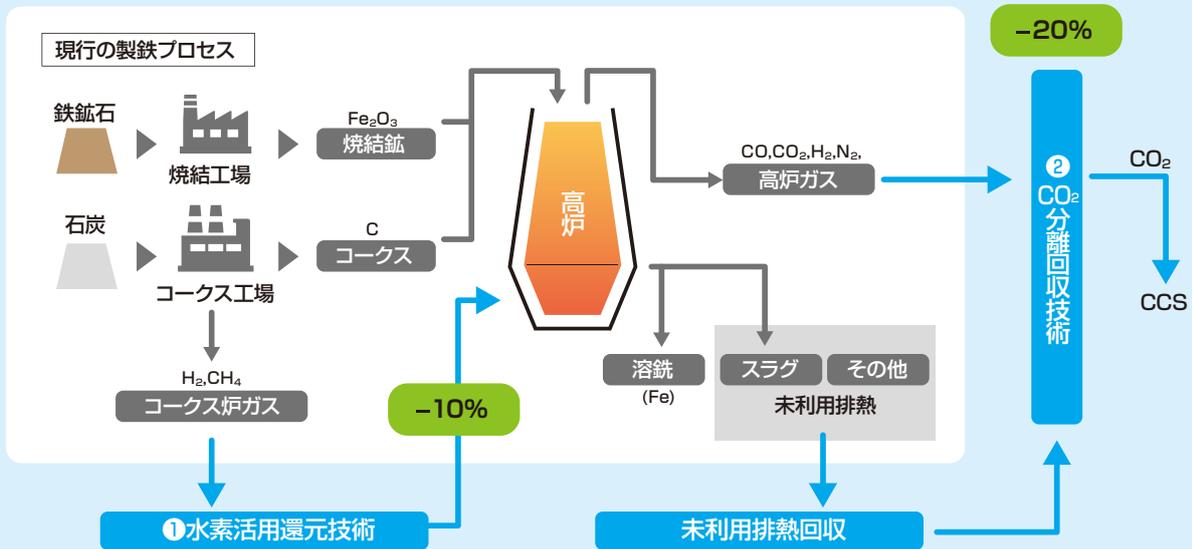
CO<sub>2</sub>排出の大幅削減を目指すCOURSE50

環境調和型プロセス技術開発「COURSE50」は、2008年度より新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託により進められている研究開発プロジェクトである\*。現在稼働している一貫製鉄所の既存インフラを最大限活用することを前提に、製鉄工程におけるCO<sub>2</sub>大幅削減を目標とし、CO<sub>2</sub>排出量を30%削減することが目標とされている(図4)。

2008年度に開始されたプロジェクトは、2008~2017年度のフェーズIを完了し、2018~2022年度のフェーズIIに入っており、試験高炉による実用化開発が進行中である。この後、2030年頃

\*プロジェクト実施者(委託先):日本製鉄(株)、JFEスチール(株)、(株)神戸製鋼所、日鉄日新製鋼(株)、日鉄エンジニアリング(株)

● COURSE50プロセスの概要(図4)



COURSE50 : CO<sub>2</sub> Ultimate Reduction System by Innovative technology for cool Earth 50

の実機1号機、2050年普及を目指している。

開発テーマは大きく分けて、①高炉からのCO<sub>2</sub>排出量を抑制する技術、②高炉ガスからCO<sub>2</sub>を分離・回収する技術、という二つが掲げられている。

①の高炉からのCO<sub>2</sub>排出量を抑制する技術では、CO<sub>2</sub>削減目標を10%とし、水素活用プロセス、コークス炉ガス(COG)改質技術、コークス改良技術などの開発が行われている。

このうちCOGの改質技術は、水素還元を目指した取り組みである。高炉で鉄鉱石を還元するために、これまでのように炭素を

使うのではなく水素を使えば、発生するのは水だけであり、CO<sub>2</sub>排出を抑制できる。製鉄所内のCOGには水素が多く含まれており、これを還元材に使用すればよい。そこで、高温のCOGの熱エネルギーを利用して、COG内のメタンを熱分解し、水素成分が多くなるように改質を行った。

しかし、コークスが熱風と反応して生成したCOガスによる還元反応は発熱反応であるのに対し、水素還元は吸熱反応であり、他から熱を供給しなければならない。そこで、熱のバランスを考慮して最適な水素量が見極められた。

● 試験高炉とCO<sub>2</sub>分離回収装置(図5)

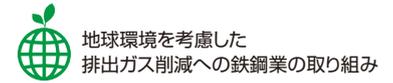


試験高炉とCO<sub>2</sub>分離回収装置を連動運転することにより、CO<sub>2</sub>排出の削減試験を進めている。(日本製鉄(株)君津製鉄所構内)

● 高性能CO<sub>2</sub>回収装置「ESCAP®」(図6)



COURSE50のCO<sub>2</sub>分離・回収技術を元に産業用途に商品化したプロセスがESCAP®(Energy Saving CO<sub>2</sub> Absorption Process)であり、炭酸ガスやドライアイスの製造が行われている。(ESCAP®は日鉄エンジニアリング(株)の登録商標)



### ●長期温暖化対策となる超革新技術開発(図7)

日本の鉄鋼業がパリ協定が目指す長期目標レベルに到達するために現在考えられている超革新技術開発の例(鉄鋼セクター固有技術開発のみ)。

		2020	2030	2040	2050	2100
COURSE50	所内水素(COG)利用による高炉内の水素還元比率アップ 高炉ガスからのCO <sub>2</sub> 分離	R&D	導入			
Super COURSE50	外部水素利用による高炉によるさらなる水素還元比率アップ (大量の水素供給が可能となる前提)	ステップアップ R&D				
水素還元製鉄	石炭を利用しない水素還元製鉄	ステップアップ R&D			導入	
CCS	副生ガスからのCO <sub>2</sub> 回収	R&D			導入	
CCU	副生ガスからのカーボンリサイクル		R&D		導入	

(出典:日本鉄鋼連盟長期温暖化対策ビジョン2018年11月より)

改質したCOGを用いると、高炉へのコークス投入量は減少し、これまでコークスが担ってきた通気性の確保や温度維持を高める必要が出てくる。そのため、コークスについても、これまでより高強度で反応性が高くなるような製造技術が開発された。

フェーズIでは12m<sup>3</sup>規模試験高炉を活用してプロセス操作技術、プロセス設計技術の確立を目指し、高炉からのCO<sub>2</sub>10%低減操業の実証が行われ、計画どおり完了した(図5)。2018年度からの実用化開発フェーズIIでは、水素還元の効果を見極める試験が実施されている。

現在までに大きな成果を上げた取り組みの一つに、シミュレーション技術の精度向上がある。しばしば、高炉はブラックボックスと言われる。巨大な連続反応容器である高炉の中で、鉄鉱石やコークスなどの固体やガス、溶銑などの液体が混在し、還元反応と熱交換が進行している。高炉内の状態を詳細にシミュレーションすることにより、新たなプロセスの検証の精度が向上した。これにより、試験高炉の建設、さらに実用化の検討が大きく前進したと言えるだろう。

### CO<sub>2</sub>を分離・回収し、利用する時代へ

もう一つの開発目標である②高炉ガスからCO<sub>2</sub>を分離・回収する技術では、CO<sub>2</sub>削減目標は20%としている。

CO<sub>2</sub>の分離・回収技術では、化学吸収技術と物理吸着技術の二つが検討されている。化学吸収技術は、吸収塔で吸収液とCO<sub>2</sub>含有ガスを接触させ、吸収液にCO<sub>2</sub>を選択的に吸収させた後、高純度のCO<sub>2</sub>を分離回収する。すでにフェーズIでは、高炉ガスからCO<sub>2</sub>を吸収する世界トップレベルの高性能吸収液の開発に成功している。

物理吸着技術は、吸着剤にCO<sub>2</sub>を選択的に吸着させ、減圧操作により、吸着させたCO<sub>2</sub>を高純度・高回収率で分離回収する技術である。比較的簡易なシステムで低エネルギーで分離回

収が可能な特徴があり、フェーズIでは、省電力で低コストな物理吸着技術が開発された。

COURSE50プロジェクトは、2050年までも見据えた壮大なプロジェクトであるが、その成果の一部はすでに実用化されている。その例が、省エネ型CO<sub>2</sub>回収設備(日鉄エンジニアリング(株)のESCAP<sup>®</sup>)であり、CO<sub>2</sub>分離・回収技術の化学吸収技術を元に商品化された(図6)。すでに、製鉄所の高炉熱風炉排ガスからCO<sub>2</sub>を回収し、炭酸ガスやドライアイス製造などに実用化されている。

### 水素を活用した製鉄技術への挑戦

COURSE50プロジェクトは、まさに革新的な製鉄技術の実現を目指したものであるが、前提として高炉による鉄鋼製造プロセスがある。高炉法は、技術的にも経済的にも優れた鉄鋼製造プロセスであり、今後も主流であると考えられている。しかしそれだけでは、パリ協定が目指す長期目標を達成することはできないため、新たな「超革新技術開発」が必要となる(図7)。

2018年に日本鉄鋼連盟が発表した「長期温暖化対策ビジョン ゼロカーボン・スチールへの挑戦」では、2100年までに鉄鋼業のCO<sub>2</sub>排出量をゼロにするための方向性を示している。ここではCOURSE50の開発知見を足掛かりに、これに続く超革新技術の例として、製鉄所外からの水素で還元を行う「Super COURSE50」や、高炉を用いない「水素還元製鉄」、CO<sub>2</sub>貯留技術である「CCS」、CO<sub>2</sub>利用技術の「CCU」などの技術の可能性が挙げられている。

もちろん水素利用を拡大するためには、鉄鋼業だけでなく他産業や社会全体における水素供給の仕組みやインフラの整備、経済合理性の確保などの課題を、継続的に検討することになる。

高品質の製品を供給すると同時に、地球の持続可能な開発に貢献する日本の鉄鋼業。今後の取り組みに期待したい。

●文 杉山香里