

# ゼロカーボン製鉄への途

エネルギー研究会

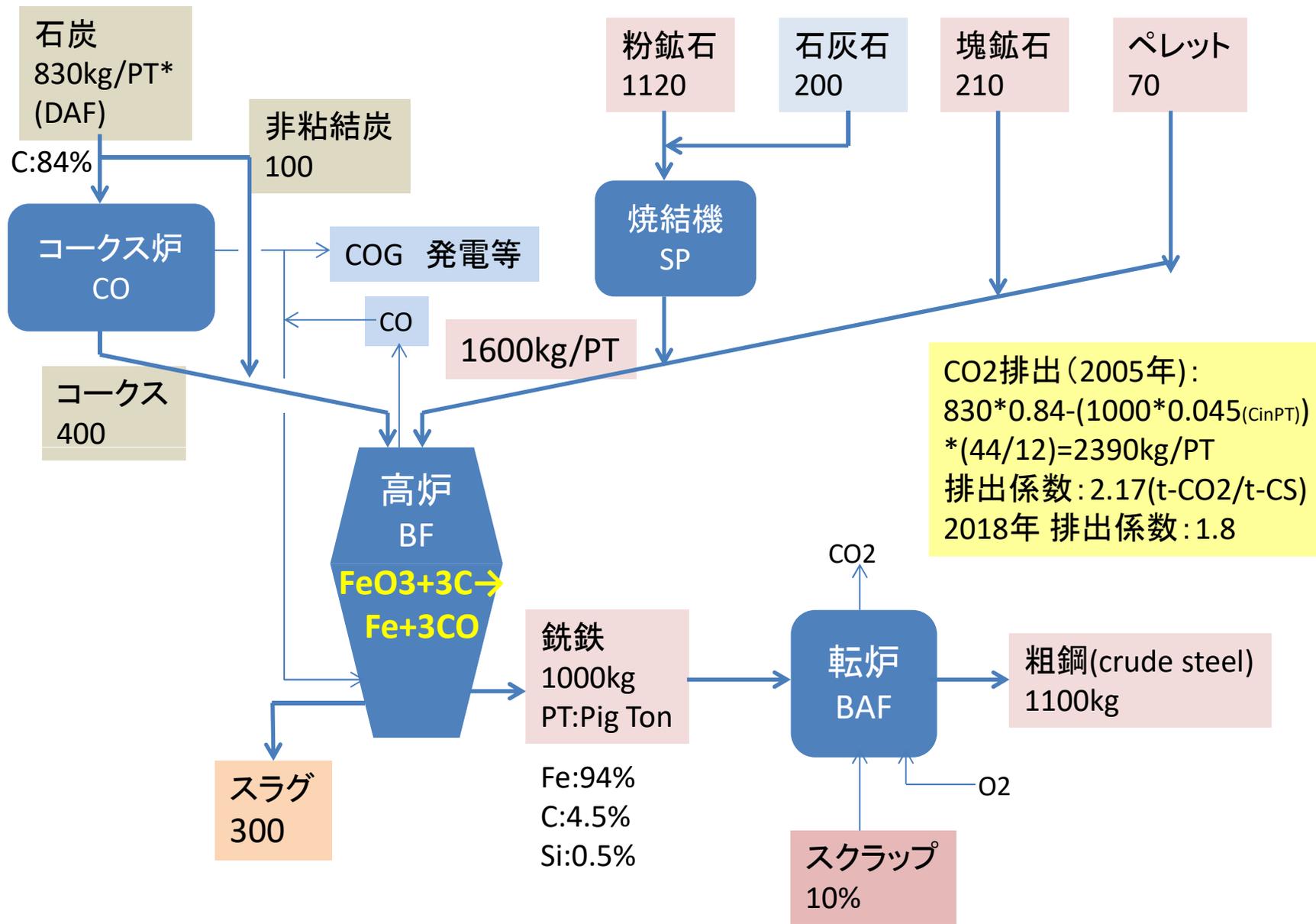
2021年1月18日

原 晋一

# 概要

- 産業部門のマイナスカーボンの実現には、鉄鋼生産の方法を、文明が誕生して以来使われていた、石炭(炭素)を還元剤として使用する方法を、再生エネルギーを源にした還元剤、すなわち**再エネ由来の水素**と**再エネ由来の電気**を利用した電炉による方法に変化することが必要と考えられている。
- この時、鉄鋼品質調整の為使用される石灰石からの炭酸ガスや、一部の化石資源を使用する製鉄プラントから排出される炭酸ガスはCCSに頼る必要がある。しかし、炭酸ガスの貯蔵容量の限られる我が国では炭素による還元は最後の選択肢である。
- 幸い、近年の中国の巨大な鉄鋼需要と生産能力の拡大により、**鉄スクラップの発生が増えて**おり、石炭を使う高炉による鉄鋼生産は頭打ちであり、今後**電炉**による鉄鋼生産が増加すると考えられる。
- 唯、増加する**新たな需要**に対しリサイクルだけでは対応が出来ないので、**小規模・多数の直接還元法により生産される直接還元鉄**が、電炉の原料として使用されると考えられている。
- **現在日本**は**既存高炉**に、水素や一酸化炭素を吹込み、排出を30%削減する技術に方向をそろえて開発中である。
- 低排出の直接還元製鉄法としては、現在**天然ガス改質ガス**による還元を行う方法が急増している。また、再エネ由来の水素のみによる還元法も考えられているが、多量の水素が必要であると考えられ、CCSへの依存は不可避であろう。
- ここでは、現在開発中の低排出製鉄法につき、各方法の特徴とゼロカーボン状態におけるコストをCCSも含めて検討・比較し、今後の製鉄法の方向を考察する。

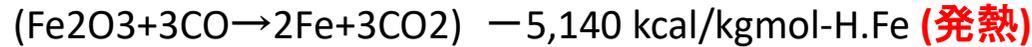
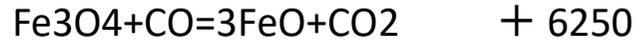
# 高炉(BF:Blast Furnace)の鉄・炭素のバランス(2005年)



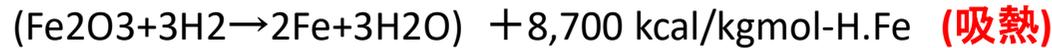
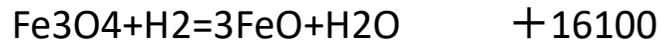
富士石(ユリカピッチ(加炭材)販売)関係者から、原が聞き取り(2007年)

# 高炉での反応

## ①COによる直接還元(コークス、微粉炭からのガス)



## ②H2による直接還元(湿分、微粉炭中の水素分)



## ③炭素による間接還元(コークス、微粉炭中の炭素)



## ④カーボンソリューション反応 (Boudoir反応)



## ⑤水素ガス化反応



## ⑥カーボンの燃焼(コークス、微粉炭中の炭素)



全体「では吸熱

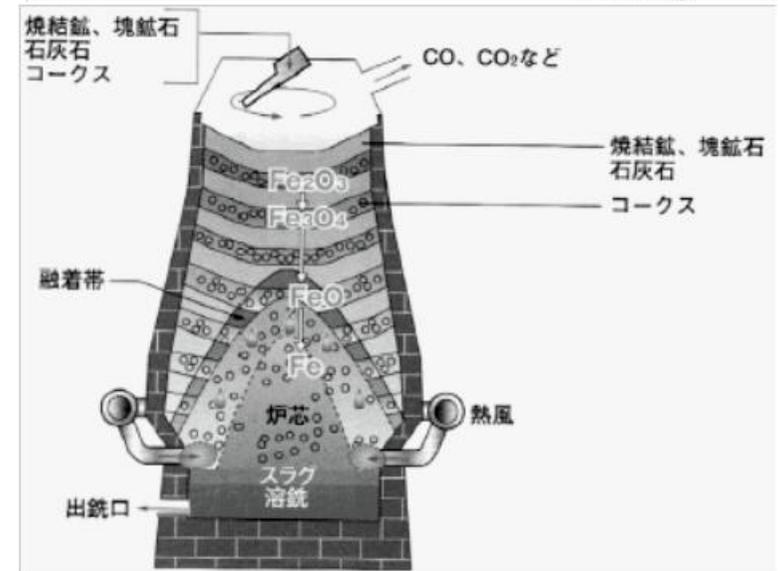
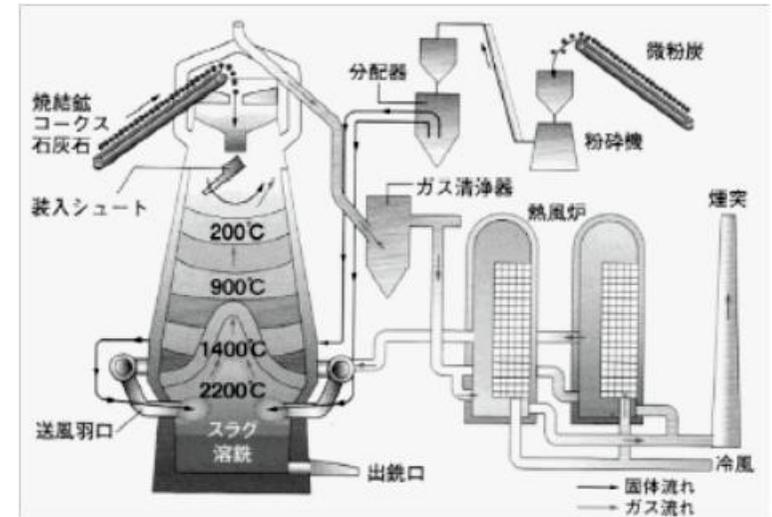
<https://www.nipponsteel.com/company/nssmc/science/pdf/V9.pdf>

## BFでの各還元物質による還元割合:

CO : 60%

H2 : 10%

C : 30%



## 現在の製鉄における炭酸ガス排出

- 日本における2018年の鉄鋼生産量は99.0百万トン/年であり、CO2排出量は176.4百万トン/年であった。
- これは日本のGHG総排出量(1244百万トン/年の14.6%)であり、産業部門(284.8百万トン/年)の61.9%である。
- 日本の鉄鋼は3/4が高炉法で生産(他は鉄リサイクルにおける電炉法)されており、製造エネルギーは石炭で賄われている。
- 高炉法では製造エネルギーの約70%が高炉における鉄鉱石の還元消費(他は加熱・動力に消費)されており、高炉法における還元法の改善や、高炉法に代わって、水素や一酸化炭素で直接鉄鉱石を還元する方法への転換や、開発が進められている。

# 世界の鉄鋼生産構造の将来予測

- これまで、世界の鉄鋼需要は、中国の消費増により3%/年強の伸びであり、中国における高炉設備の増強による鉄鉱石から鉄鋼を生産することにより、賄ってきた。
- しかし、今後中国の消費増が一段落すると、スクラップの蓄積が多くなり(2010年**230億t**)、高炉による鉄鉱石からの鉄の生産は低下し、**電炉による鉄鋼のリサイクル生産**が伸びてくると考えられている。
- すなわち、鉄鉱石からの新しい鉄需要対応には、高炉による鉄鋼生産ではなく、規模が小さく炭酸ガス排出の少ない、鉄鉱石の**直接還元法**により行われると考えられている。
- 因みに下図の予測から推算される2050年の日本の鉄鉱石からの**製鉄量**と**炭酸ガス排出量**は：

$(99(2018\text{全鉄鋼生産}) * 0.75) * (1 - 0.05(\text{年減少率}))^{32} = 14.4\text{百万トン/年}$ 、GHG排出量:  $34\text{百万トン/年}$

世界の鉄鋼需要と生産予測

電炉比率の推移

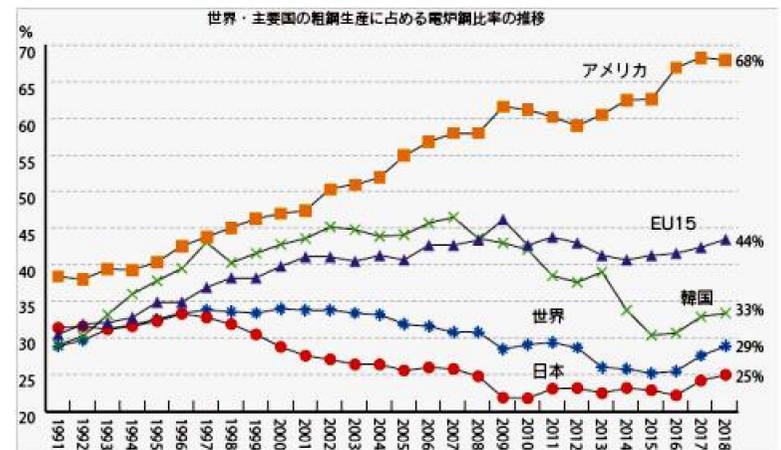
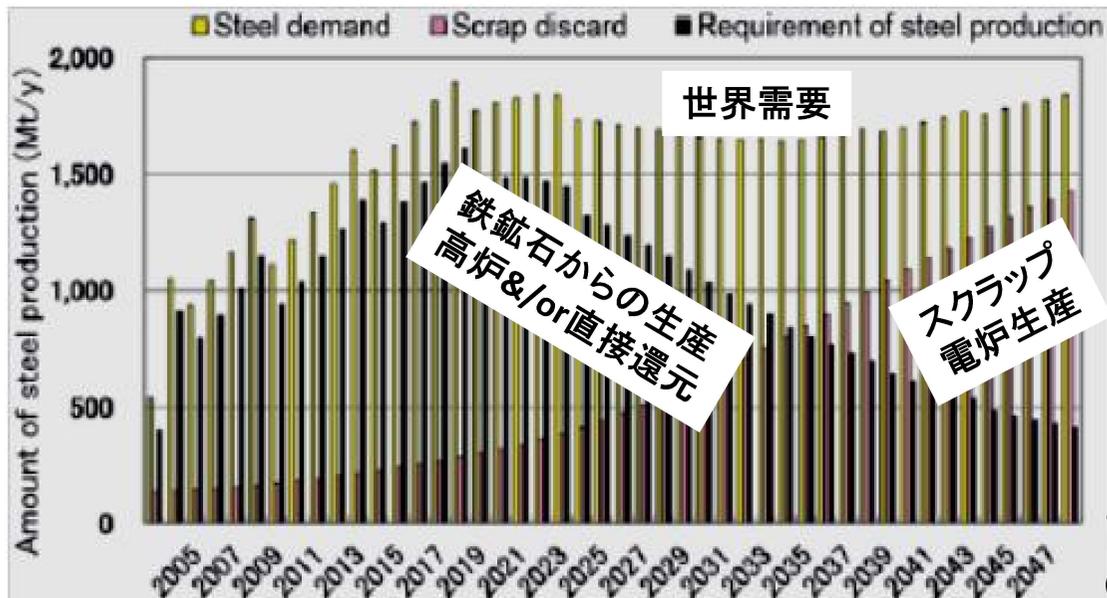
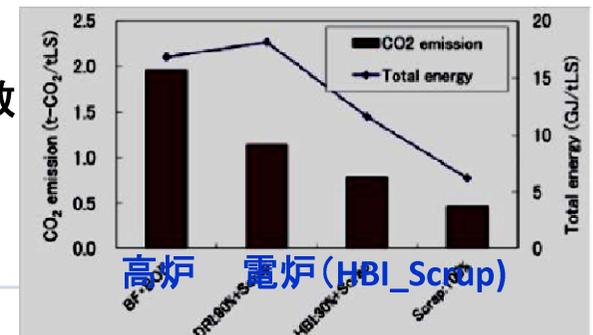


図12 鉄鋼需要とスクラップ発生量から予測した必要鉄鋼生産量<sup>18)</sup>  
 Fig.12 Necessary steel amount of production estimated from steel demand and scrap discard<sup>18)</sup>

高炉・電炉  
CO2排出係数



# ゼロ及び低カーボン製鉄技術

- 間接還元製鉄
  - ★高炉へのH<sub>2</sub>/CO吹込み(COURSE50) [日本鉄鋼連盟開発]
- 直接還元製鉄(DRI)
  - ★シャフト炉天然ガス改質ガス吹込み(Midrex、HYL等)
  - ★シャフト炉等再エネ水素吹込み(HDRI)
- その他(省エネ技術)
  - ★直接還元溶解製鉄(Fastmet、ITkm3等)

尚、直接還元法には電炉(Electric Arc Furnace:EAF)が付随され、シャフト炉等からのHBI(Hot Buriqueted Iron)を溶解し鉄鋼製品に加工している。

# COURSE-50(高炉法の改良) [日本鉄鋼連盟]

4千トン/年Pilot Plant、2016年～ 実行中、2030年～2050年実証化予定

世界初の水素還元活用とCO<sub>2</sub>分離回収によるCO<sub>2</sub>排出量30%削減を目指す

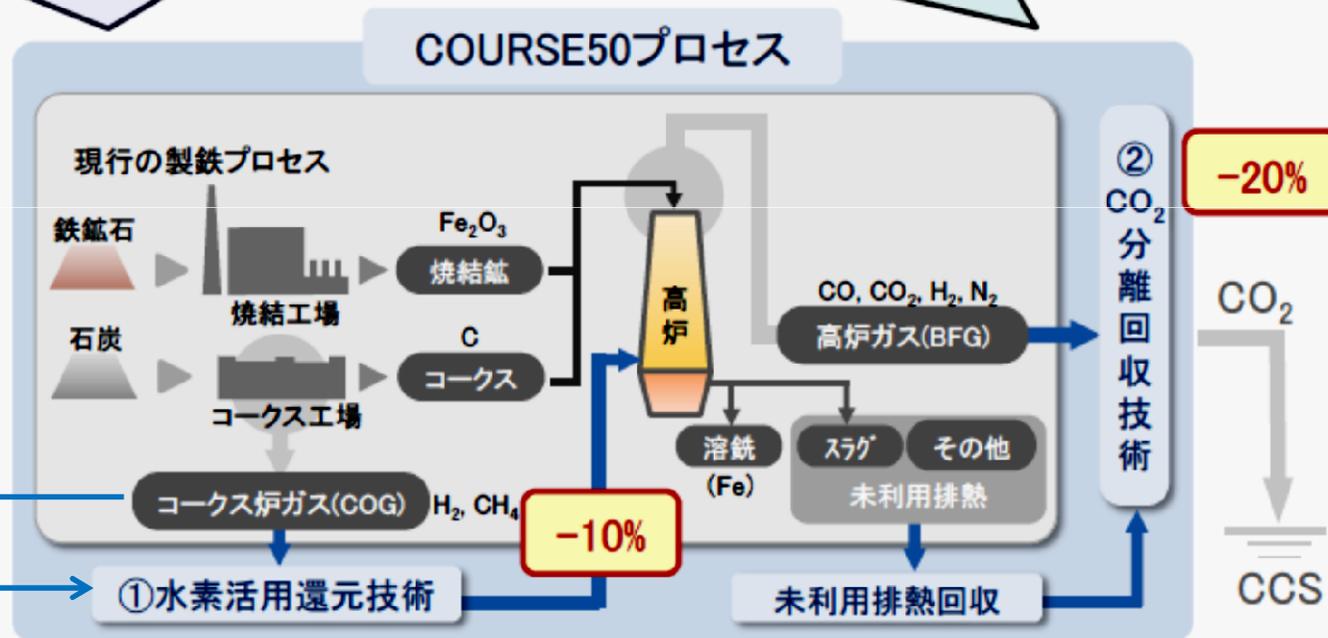
## ① CO<sub>2</sub>排出量削減技術開発

水素をコークスの一部代替として鉄鉱石を還元し、CO<sub>2</sub>を10%削減

## ② CO<sub>2</sub>分離・回収技術開発

高炉ガスからCO<sub>2</sub>を分離・回収し、CO<sub>2</sub>を20%削減

COG組成:  
CH<sub>4</sub>: 30%  
CO: 60%  
このCH<sub>4</sub>からSMRによりH<sub>2</sub>とCOを製造



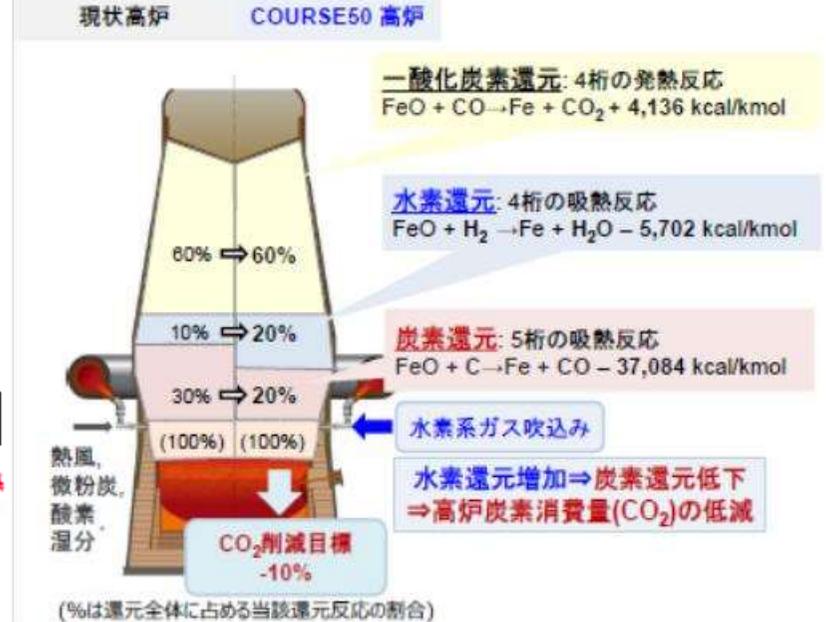
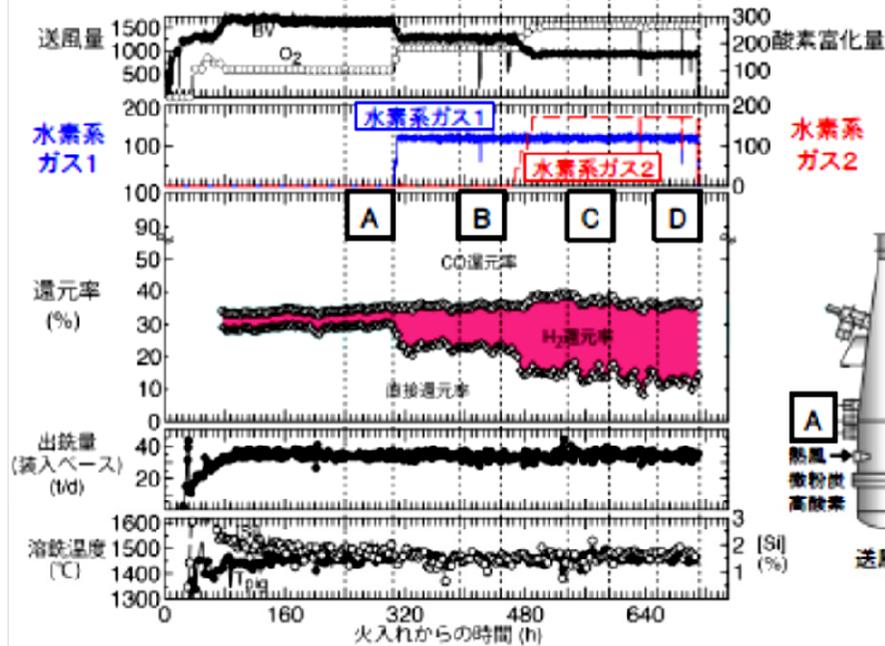
COURSE50 : CO<sub>2</sub> Ultimate Reduction System for Cool Earth 50 Project ; 本事業の略称

2050年までに、COGのシフト反応による水素化による吹込みガスの水素濃度上昇とCCSにより、CO<sub>2</sub>の排出を30%削減

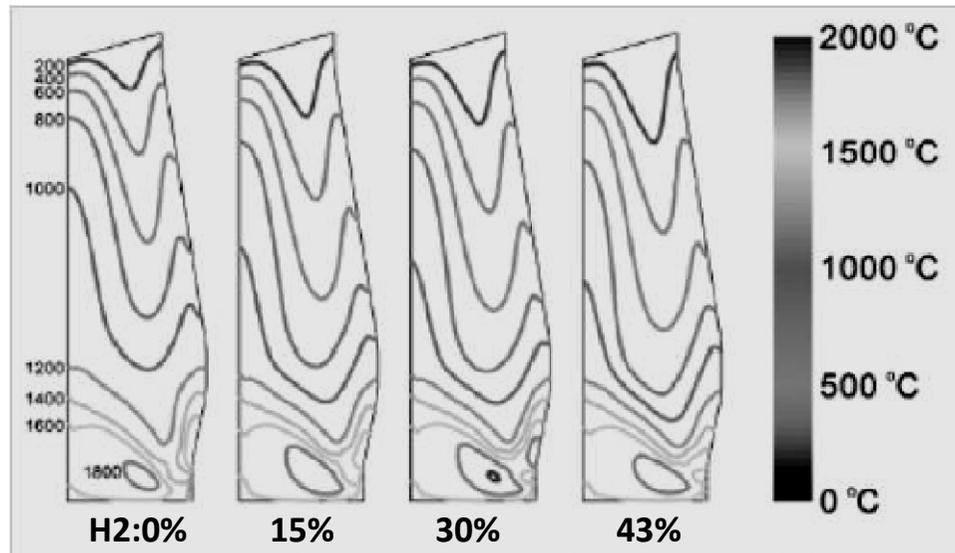
# COURSE 50 開発

4千トン/年Pilot Plant、2016年～ 富津で実行中、(2030年～2050年実証化予定)

「環境調和型プロセス技術の開発/水素還元等プロセス技術の開発」 NEDO, 2020, Aug. 20th



水素吹込み増:  
 吸熱反応増により  
 1000°C~1400°Cの  
 Fe/FeO平衡域降下



還元割合  
 CO:60%(不変)  
 H<sub>2</sub>:20%(10%up)  
 C:20%(10%down)

「多相対高炉シミュレーターによる水素吹込み操作の解析」  
 柏谷等、2014、鉄と鋼、Vol.100、No2