



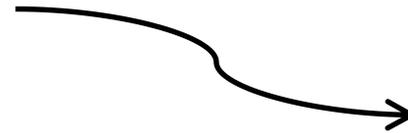
# 鉄鋼業における水素利用

2021年2月9日  
日本製鉄株式会社

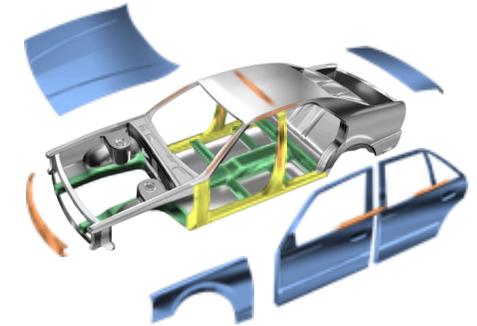


鉄鉱石

自然界に  
酸化された鉄として存在する  
鉄鉱石から



酸素を取り除き(還元)  
成分を調整して  
鉄鋼製品に加工する。  
(鉄鋼プロセス)

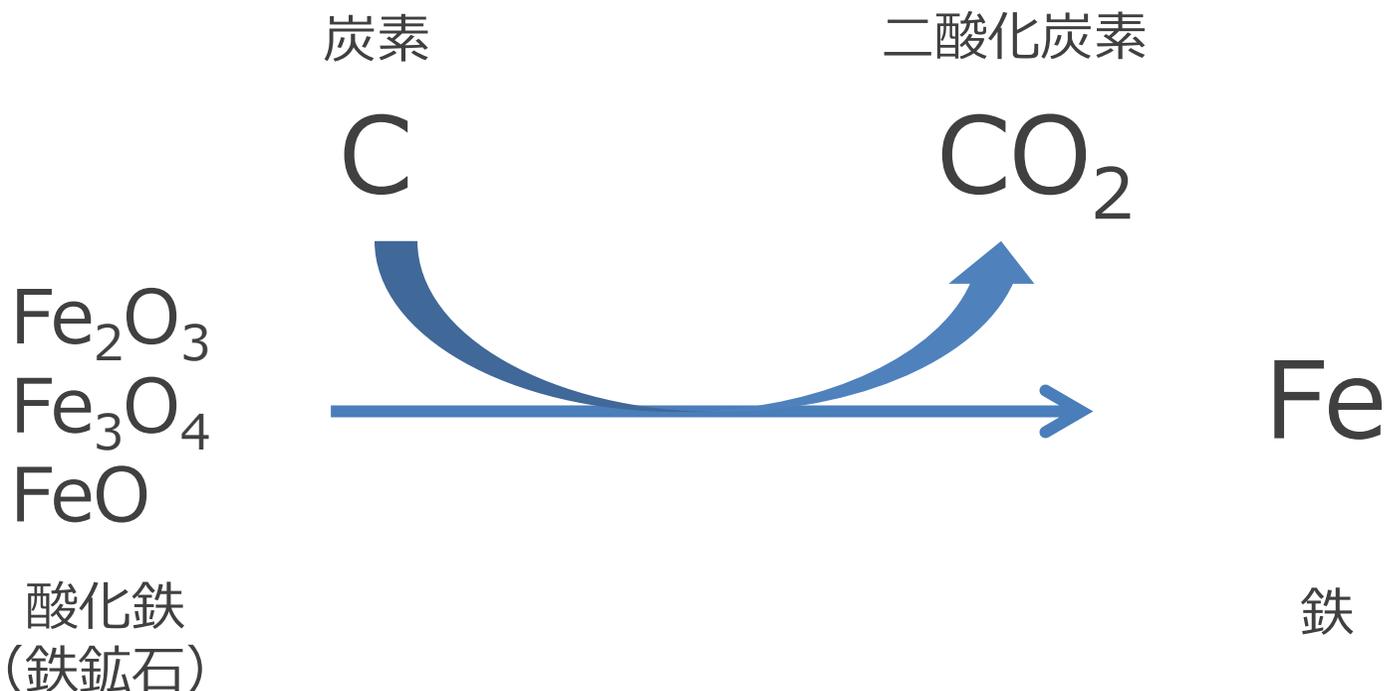


# Fe

# 鉄から酸素を取り除く(還元する)には

鉄(Fe)より酸素(O)と結びつきやすい物質(例えば炭素(C))と反応させて、鉄鉱石(鉄の酸化物である $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 、 $\text{FeO}$ と非鉄成分の混合物)から酸素を奪い取る。

鉄鉱石は還元されて鉄(Fe)に、炭素は酸素と結びついて二酸化炭素( $\text{CO}_2$ )に変わる。



## 1. 炭素による鉄鉱石還元（現状プロセス）



発生したCO<sub>2</sub>への対策

(1) 排出CO<sub>2</sub>を分離回収して地中に貯留(CCS) …貯留場所が必要

(2) 排出CO<sub>2</sub>を分離回収して化学品原料に変換し固定(CCU) …水素が必要

(3) バイオマス利用(CO<sub>2</sub>吸収した原料の使用で、ネットゼロ) …植林が必要

## 2. 鉄鉱石の代わりに既に還元された鉄：スクラップの利用

…CO<sub>2</sub>フリーの加熱源(電力、水素)が必要

## 3. 水素による鉄鉱石還元



経路1 炭素(石炭)の利用 …既存技術



↑  
CO<sub>2</sub>の利用(CCU)・地中固定(CCS)が必要

経路2 水素の利用 …革新技術



↑  
CO<sub>2</sub>フリーの加熱が必要  
↑  
水素の大量、安価安定供給が必要

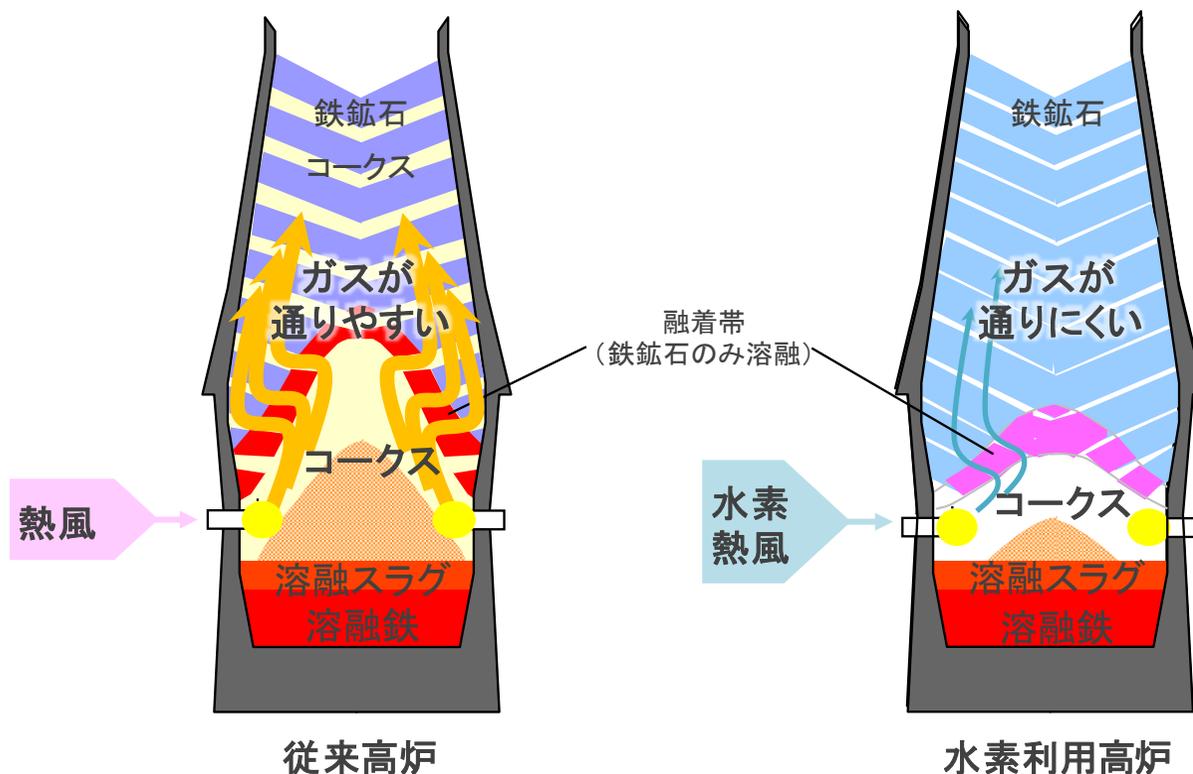
鉄鉱石から鉄を作るには酸素を取り除く必要がある。  
酸素除去には炭素が使われていたが、水素への転換が求められている。

# 高炉法における水素利用の課題

高炉は①昇温、②還元、③溶融(非鉄成分分離)を同時に行う。

高炉での炭素(コークス)を減らして水素を増やしていくと、

1. コークス(支え)が減り隙間が減る→水素が通りやすく反応が進みにくなる
2. 発生熱量が減少→溶融しなくなる



# COURSE50プロジェクトの概要

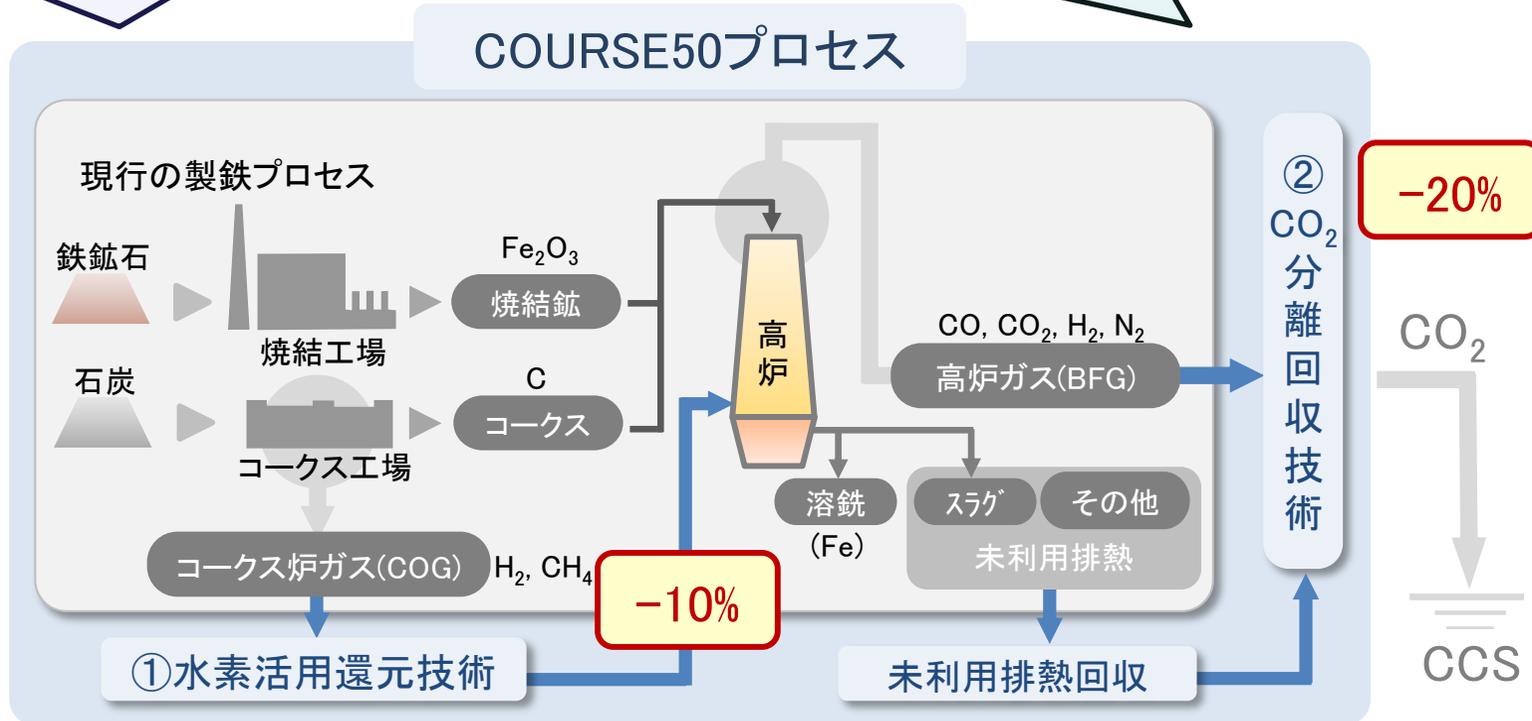
世界初の水素還元活用とCO<sub>2</sub>分離回収によるCO<sub>2</sub>排出量30%削減を目指す。

## 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

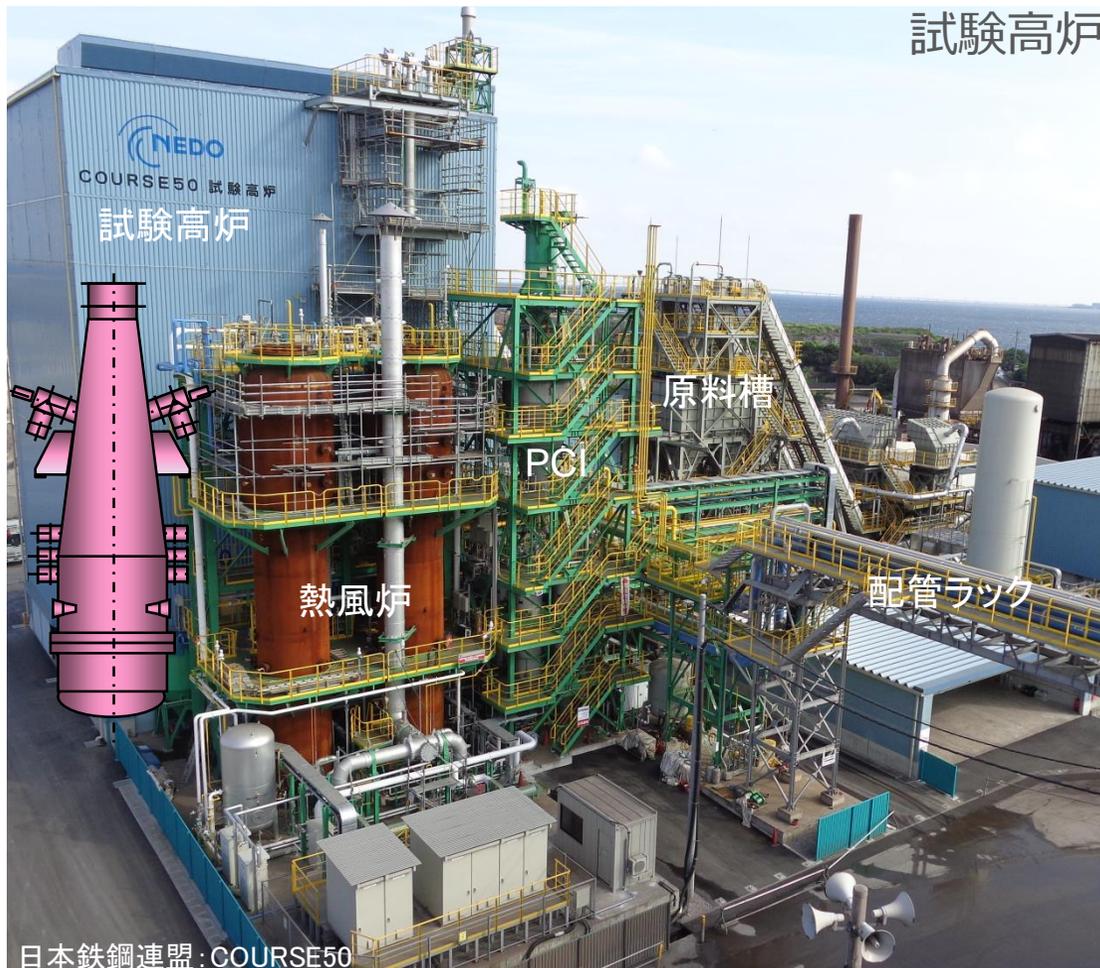
## ② CO<sub>2</sub>分離・回収技術開発

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



NEDO委託事業（実施会社:日本製鉄、JFEスチール、神戸製鋼所、日鉄エンジニアリング）

# COURSE50試験高炉とCO<sub>2</sub>分離回収設備



試験高炉

日本鉄鋼連盟 : COURSE50

34t-銑鉄/日



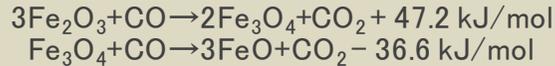
CO<sub>2</sub>分離回収設備

日本鉄鋼連盟 : COURSE50

30t-CO<sub>2</sub>/日

試験高炉とCO<sub>2</sub>分離回収設備の連動操業も実施。

## 現状高炉の主反応



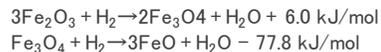
COによる還元: 発熱反応  
 $\text{FeO} + \text{CO} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}_2 + 16.7 \text{ kJ/mol}$ , 60%

水素による還元\*: 吸熱反応  
 $\text{FeO} + \text{H}_2 \rightarrow \text{Fe} + \text{H}_2\text{O} - 24.4 \text{ kJ/mol}$ , 10%

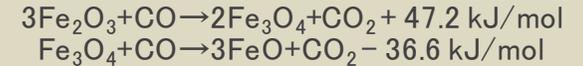
Cによる還元: 大きな吸熱反応  
 $\text{FeO} + \text{C} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO} - 155.8 \text{ kJ/mol}$ , 30%

Cの酸化: 大きな発熱反応  
 $\text{C} + 0.5 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO} + 110.5 \text{ kJ/mol}$

\*以下の反応も含む。



## COURSE50高炉の主反応

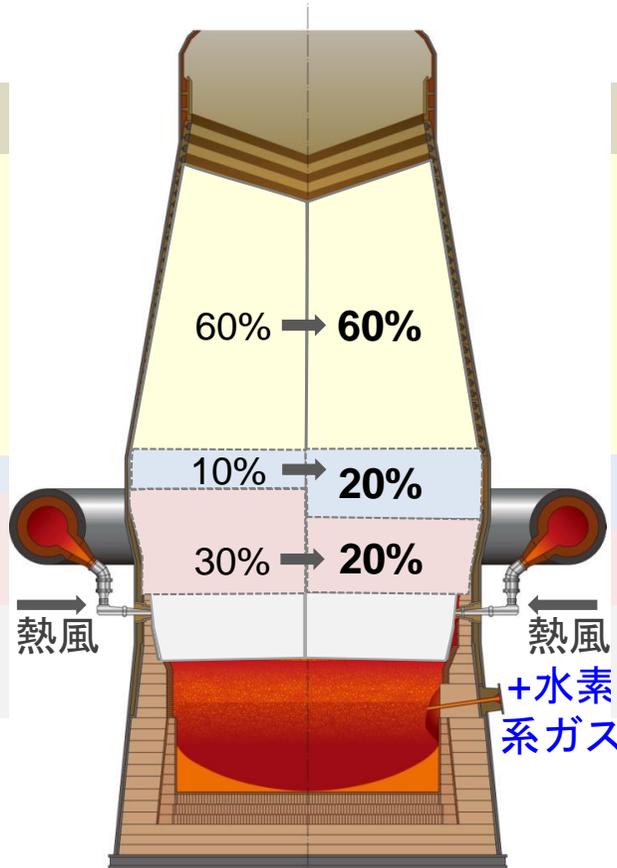


COによる還元: 発熱反応  
 $\text{FeO} + \text{CO} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}_2 + 16.7 \text{ kJ/mol}$ , 60%

水素による還元\*: 吸熱反応  
 $\text{FeO} + \text{H}_2 \rightarrow \text{Fe} + \text{H}_2\text{O} - 24.4 \text{ kJ/mol}$ , 20%

Cによる還元: 大きな吸熱反応  
 $\text{FeO} + \text{C} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO} - 155.8 \text{ kJ/mol}$ , 20%

Cの酸化: 大きな発熱反応  
 $\text{C} + 0.5 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO} + 110.5 \text{ kJ/mol}$



NEDO・日本鉄鋼連盟: COURSE50

CO<sub>2</sub>削減目標  
 -30% (水素: -10% + CCS: -20%)

COURSE50はCによる還元(大きな吸熱反応)を減らし、  
 水素還元(小さな吸熱反応)を増やすことにより熱補償しつつCO<sub>2</sub>を削減

## ①高炉の水素還元技術(炭素還元の低減技術)

- ・副生ガスの循環利用技術でCO<sub>2</sub>削減10%を実証 (2017年、世界初)
- ・高炉への水素吹込技術でCO<sub>2</sub>削減10%超を実証 (2020年、世界初)

## ②高炉ガスからのCO<sub>2</sub>分離回収技術

- ・CO<sub>2</sub>分離・回収に必要なエネルギーを半減(4GJ⇒2GJ/t-CO<sub>2</sub>)するアミン吸収液・プロセスを開発
- ・開発した吸収液・プロセスの早期実用化を実現 (実用化2基: 120t&143t-CO<sub>2</sub>/日)

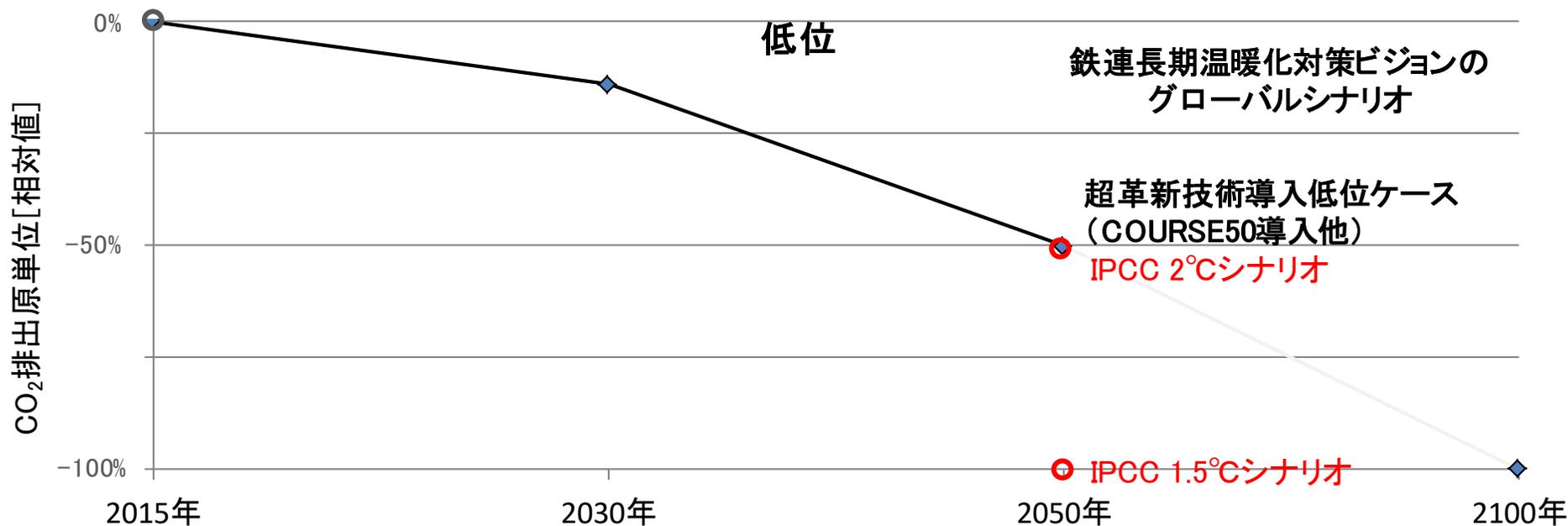


これからが正念場

- I. 大型生産設備へスケールアップ(500倍)の高い技術ハードル  
+ 実用化に向けたインフラ環境整備
- II. 当初にはなかった高いCO<sub>2</sub>削減目標値(1.5°Cシナリオ)の出現  
(ゼロベースからの研究開発スタート)



# 鉄鋼における1.5°Cシナリオに向けた脱炭素化

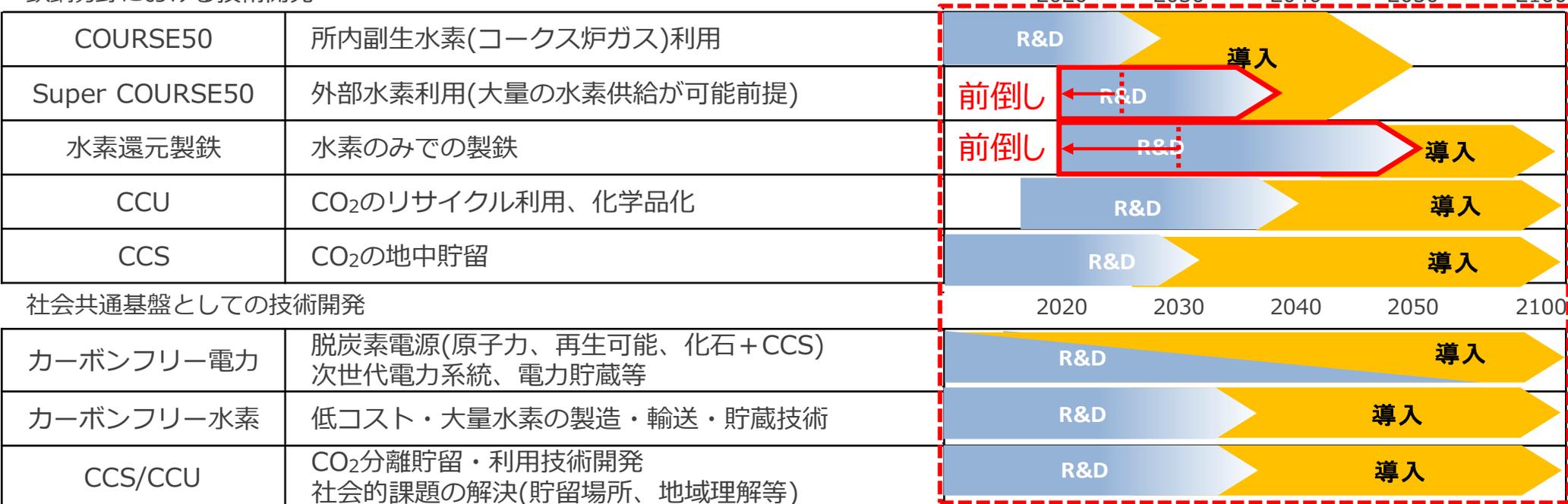


日本鉄鋼連盟, 長期温暖化対策ビジョン (2018)を修正

鉄鋼各社は1.5°Cシナリオを意識した目標を設定しつつある。

- ✓ 日本鉄鋼連盟はゼロカーボン・スチールに向けた革新技术開発に取り組む。
- ✓ COURSE50はその第1ステップ。
- ✓ そのためには、カーボンフリー電力、安価大量なカーボンフリー水素の供給、CCUSの基盤整備等の社会基盤としての技術開発も必要。

## 鉄鋼分野における技術開発

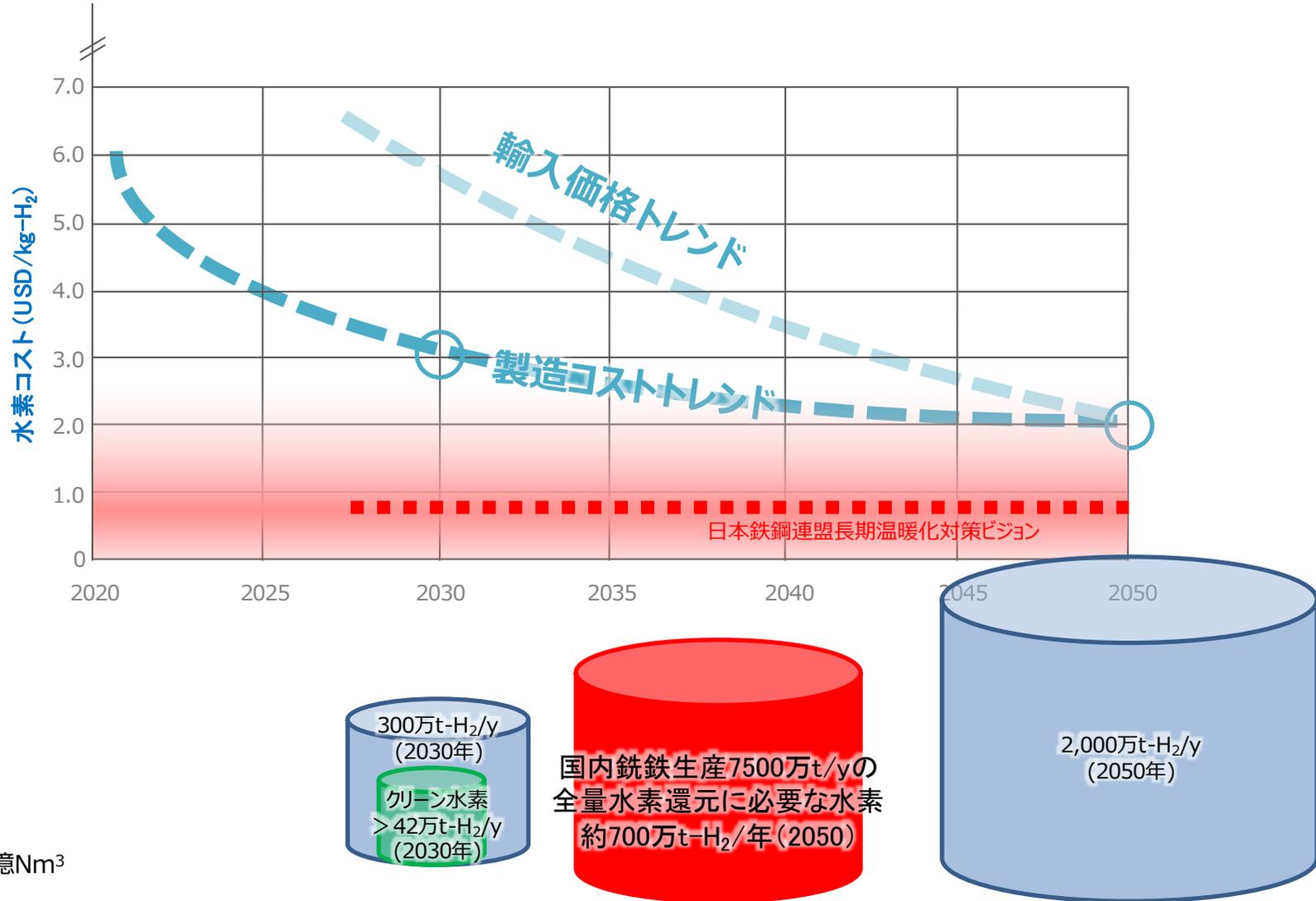


日本鉄鋼連盟: 長期温暖化対策ビジョン(2018)を一部修正

ゼロカーボン・スチールに向けて前倒し着手。

# クリーン水素コストと量

2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略(2020)の目標



日本鉄鋼業は上記実現にむけ、高炉のCO<sub>2</sub>削減+CCUSや水素還元製鉄など複線的アプローチで超革新的技術開発にチャレンジします。

## 水素還元製鉄の実用化に向けた課題；

- ・水素還元製鉄は、前人未踏の技術であり、極めてハードルの高いイノベーションが必要であり、長期にわたる研究開発投資に加え、実装する際の新たな設備投資、既存技術の転換費用等の多額の資金が必要となる。
- ・鉄鋼業のイノベーションと並行して、大量<sup>1)</sup>で安価<sup>2)</sup>なゼロエミ水素やゼロエミ電力等の安定供給等、社会インフラの整備が欠かせない。

1) 大量→鉄鉱石から現在の国内生産量7500万t/年の鉄を生産するのに、750億Nm<sup>3</sup>(約700万t)の水素が必要(東京ドーム6万個分の容積)

2) 安価→製鉄用コークスと等価な水素コスト≒8円/Nm<sup>3</sup>



## 政府への要望；

- ①長期かつ大規模な研究・設備資金投入や社会インフラ整備を可能とする国家戦略
- ②コスト上昇\*を社会全体で負担する仕組みと、産業競争力上の国際的イコールフットィング確保

\*コスト増加は欧州鉄鋼連盟の試算で+35~100%