

ALPS国際シンポジウム 2020年2月13日  
日本鉄鋼連盟 エネルギー技術委員長  
手塚 宏之

# 日本鉄鋼連盟 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』

平成30年11月19日公表  
令和元年9月4日修正追記  
一般社団法人日本鉄鋼連盟

# Part 1: 将来の鉄鋼需給想定

# SDGsとパリ協定

1 貧困をなくそう



2 飢餓をゼロに



3 すべての人に健康と福祉を



4 質の高い教育をみんなに



5 ジェンダー平等を実現しよう



6 安全な水とトイレを世界中に



7 エネルギーをみんなにそしてクリーンに



8 働きがいも経済成長も



9 産業と技術革新の基盤をつくろう



10 人や国の不平等をなくそう



11 住み続けられるまちづくりを



12 つくる責任 つかう責任



13 気候変動に具体的な対策を



14 海の豊かさを守ろう



15 陸の豊かさを守ろう



16 平和と公正をすべての人に



17 パートナーシップで目標を達成しよう



SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

2030年に向けて  
世界が合意した  
「持続可能な開発目標」です

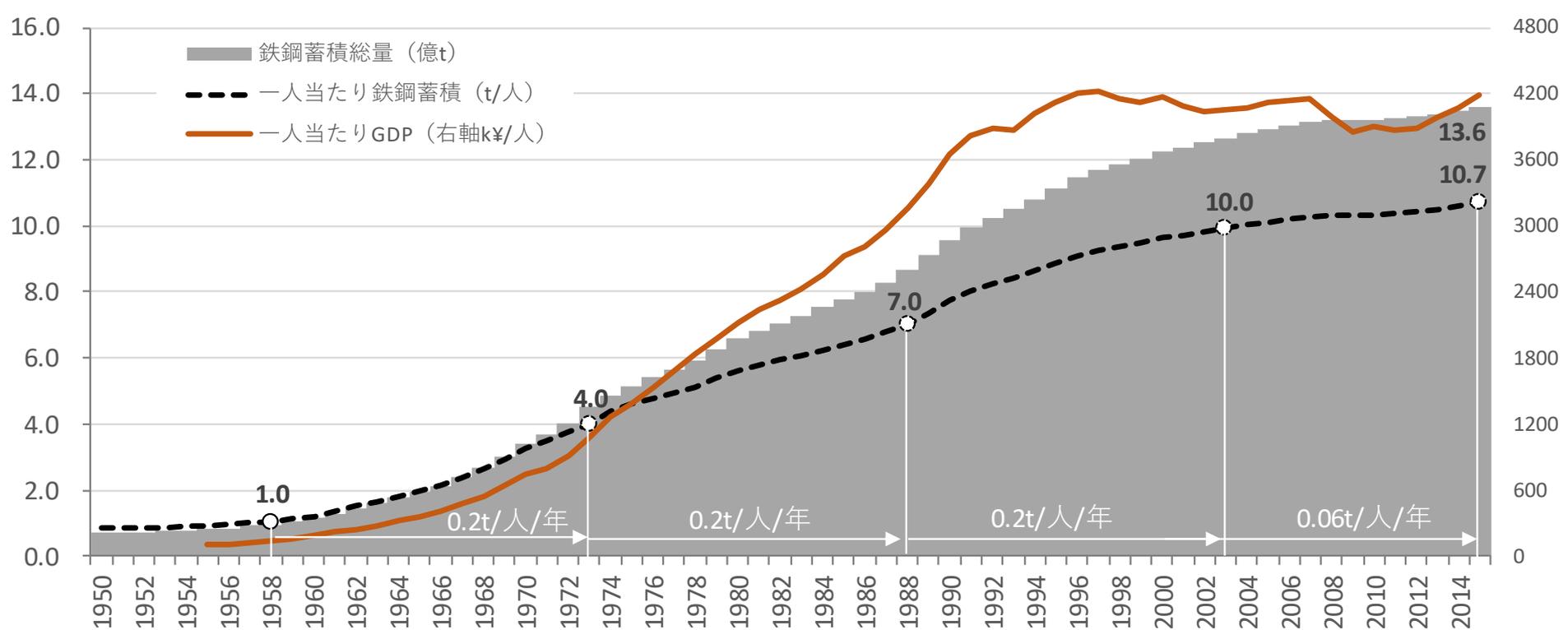
↑  
パリ協定

↑  
鉄鋼需要促進要因

# 日本の鉄鋼蓄積実績推移

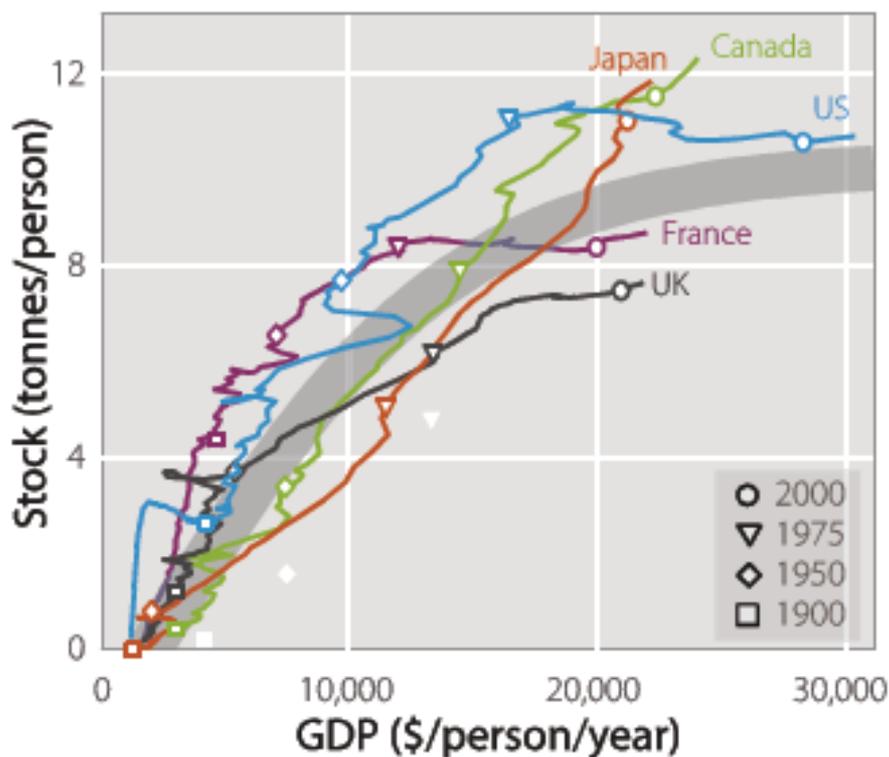
将来の鉄鋼需給は、過去の経済成長と鉄鋼蓄積の関係からマクロに想定することとした。このため信頼の高い日本の過去の実績を分析するとともに、海外の研究結果との整合も図ることとした。

1958年の一人当たりの鉄鋼蓄積は1t/人に過ぎなかったが、1960年代の高度経済成長期を経て1973年には4t/人に達し、15年後の1988年に7t/人、更に15年後の2003年に10t/人に達した。この間の鉄鋼蓄積拡大の速度は+0.2t/人/年となる。その後は、社会の経済的成熟に伴い鉄鋼蓄積は緩やかに推移し(+0.06t/人/年)、現在の鉄鋼蓄積総量は13.6億t(2015年度)、一人あたりでは10.7t/人となっている。



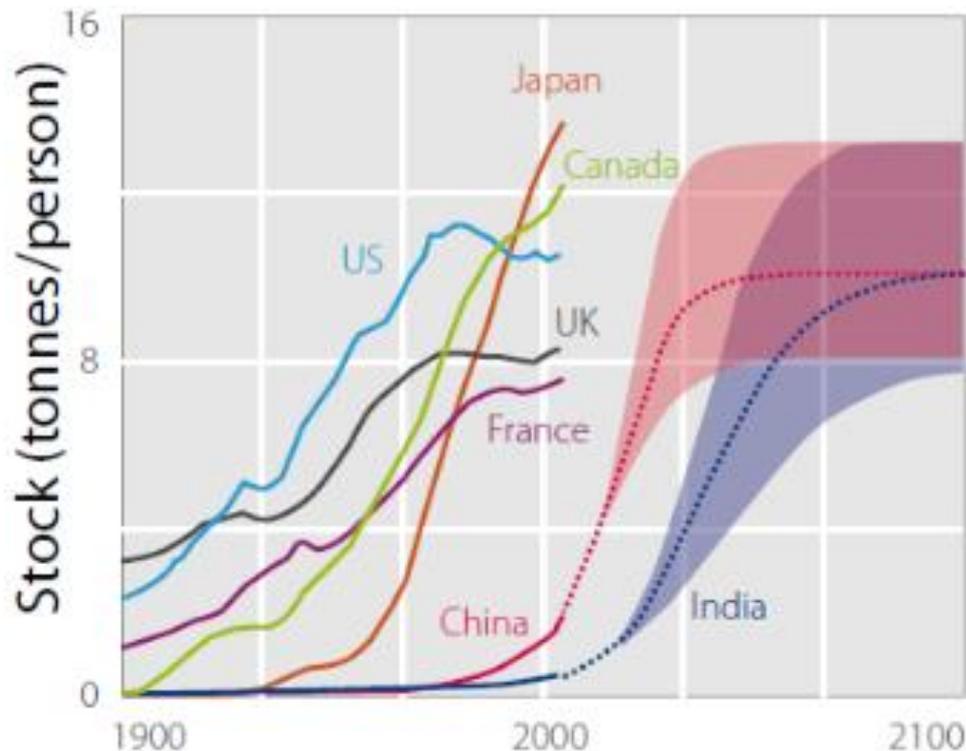
# 世界の鉄鋼蓄積実績推移と将来想定

経済成長と一人当たりの鉄鋼蓄積量には一定の相関があり、また人口が増えれば蓄積総量は拡大する。先進諸国における鉄鋼蓄積量は8～12t/人内外と推計されており、また、今世紀前半には中国において、今世紀中にはインドにおいても、鉄鋼蓄積量が10t/人に到達すると予測されている。



一人当たりGDPと鉄鋼蓄積との関係

出典: Muller, et.al, "Patterns of Iron Use in Societal Evolution", Environ. Sci. Technol. 2011, 45



一人当たり鉄鋼蓄積の推移

出典: "Sustainable steel: at the core of a green economy", World Steel Association, 2012

# 鉄鋼蓄積想定試算前提

## [計算前提]

### a) 一人あたりの鉄鋼蓄積量想定

2015年実績: 4.0t/人

2050年想定: 7.0t/人

2100年想定: 10.0t/人

### b) 人口想定

World Population Prospects2017, UN

### c) 逸散・ロス

蓄積総量の0.1%が逸散・ロスするものとした

### d) スクラップ発生率

d-1) 内部スクラップ: 粗鋼生産量に対して12.5% (2015年実績)

d-2) 加工スクラップ: 鋼材出荷量に対して9.3% (2015年実績)

d-3) 老廃スクラップ: 蓄積総量に対して2015年実績0.8%→2050年1.5%→2100年2.0%と徐々に上昇するものとした。

### e) 鉄源の対粗鋼歩留

銑鉄、スクラップともに対粗鋼歩留りを91% (2015年実績)とした

		2015	2050	2100
世界人口 (億人)		73.8	97.7	111.8
鉄鋼蓄積	一人当たり (t/人)	4.0	7.0	10.0
	蓄積総量 (億t)	294	682	1118

	生産量(億t)		スクラップ発生(億t)				スクラップ発生率(%)			鉄鋼蓄積		ロス率(%)	世界人口(億人)
	粗鋼	銑鉄DRI	合計	内部	加工	老廃	内部/粗鋼	加工/鋼材	老廃/蓄積	総量(億t)	一人当たり(t/人)		
2015	16.2	12.2	5.6	2.0	1.3	2.2	12.5	9.3	0.8	294	4.0	0.1	73.8
2020	18.5	13.5	6.8	2.3	1.5	3.0	12.5	9.3	0.9	348	4.5	0.1	78.0
2030	21.0	13.8	9.2	2.6	1.7	4.9	12.5	9.3	1.1	462	5.4	0.1	85.5
2050	26.8	14.0	15.5	3.4	2.2	9.9	12.5	9.3	1.5	682	7.0	0.1	97.7
2100	37.9	12.0	29.7	4.7	3.1	21.9	12.5	9.3	2.0	1118	10.0	0.1	111.8

# 将来の鉄鋼需給想定

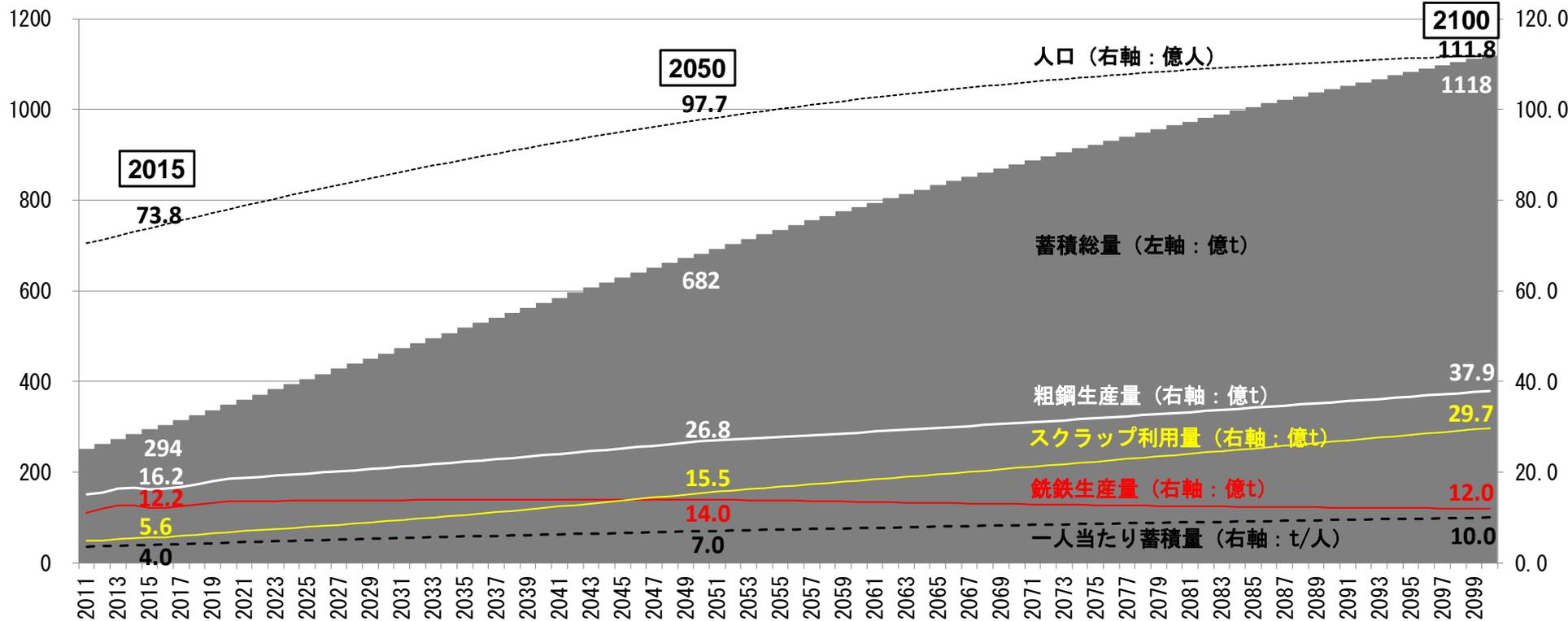
[粗鋼生産量] 鋼材需要拡大に伴い増大

[スクラップ] 主として鉄鋼蓄積拡大による老廃スクラップの発生増加に伴い利用量が増大

[銑鉄生産量] スクラップだけでは鋼材需要を満たすことはできず、また蓄積拡大には天然資源ルートでの生産は必須であることから、今世紀末においても、ほぼ現在並みの銑鉄生産が必要

(億t)

	2015	2050	2100
最終製品中鋼材量	12.9	21.3	30.1
粗鋼生産量	16.2	26.8	37.9
銑鉄生産量	12.2	14.0	12.0
スクラップ利用量	5.6	15.5	29.7



# Part 2: 鉄鋼業の長期温暖化対策シナリオ

# 鉄鋼業の長期温暖化対策シナリオ

## BAU(Business as Usual、成り行き)シナリオ

天然資源ルート、リサイクルルートともに現状の原単位のまま粗鋼生産量が変化。鉄鋼蓄積拡大等に伴いスクラップ回収量(=利用量)が増大。

## BAT(Best Available Technology、先端省エネルギー技術)最大導入シナリオ

既存の先端省エネ技術(CDQ, TRT等の既存技術)を世界に最大限展開。効果はIEA ETP2014のBAT国際展開による削減ポテンシャル(21%)とし、2050年に達成されるものと想定。

## 革新技术最大導入シナリオ

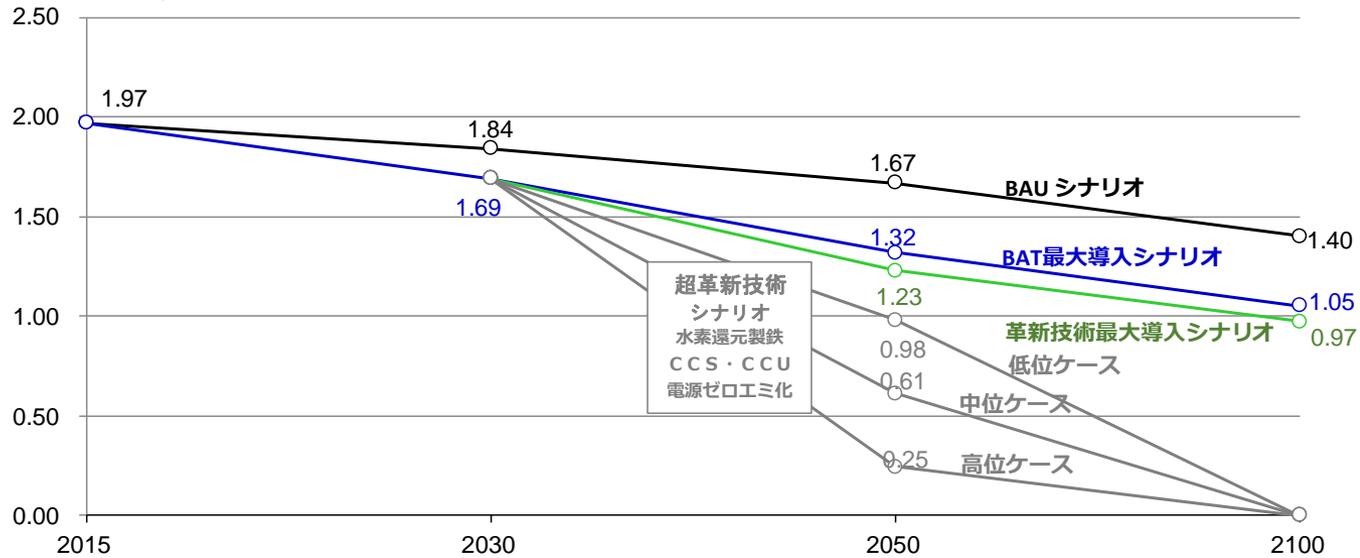
現在開発中の革新技术(COURSE50(水素還元部分)、フェロコークス等)が、2030年以降2050年までに最大導入されるものと想定。

## 超革新技术開発シナリオ

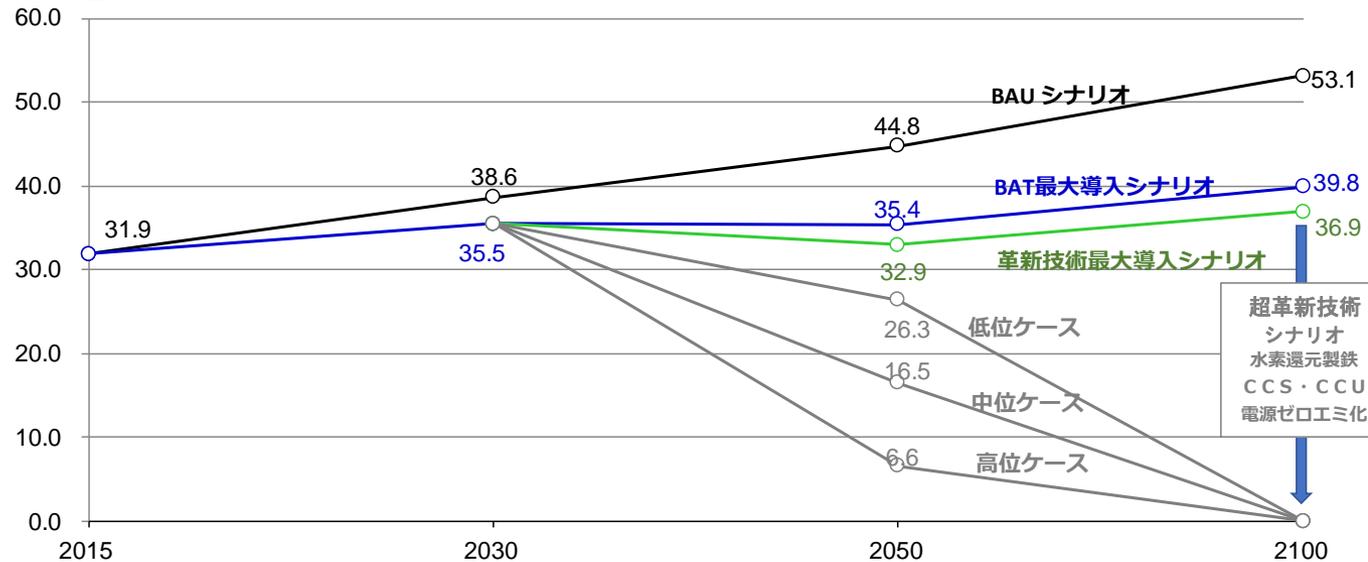
現在まだ緒についていない超革新技术(水素還元製鉄、CCSU等)の導入、並びに系統電源のゼロエミッション化により、2100年の鉄鋼プロセスの脱炭素化達成を想定。

# CO<sub>2</sub>排出量

原単位 (t-CO<sub>2</sub>/t-crude steel)



総排出量 (億t-CO<sub>2</sub>)



超革新技術  
シナリオ  
水素還元製鉄  
CCS・CCU  
電源ゼロエミ化

超革新技術  
シナリオ  
水素還元製鉄  
CCS・CCU  
電源ゼロエミ化

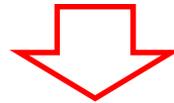
# 水素還元製鉄試算



## • 銑鉄1t製造に必要な水素量

還元:  $601\text{Nm}^3$  + 吸熱反応補完:  $67\text{Nm}^3$  +  $1600^\circ\text{C}$ までの溶銑昇熱:  $85\text{Nm}^3$

=  $753\text{Nm}^3/\text{ton of}$  (理論値)  $\Rightarrow$  効率75%とすると実質 **$1000\text{Nm}^3/\text{ton}$**  程度



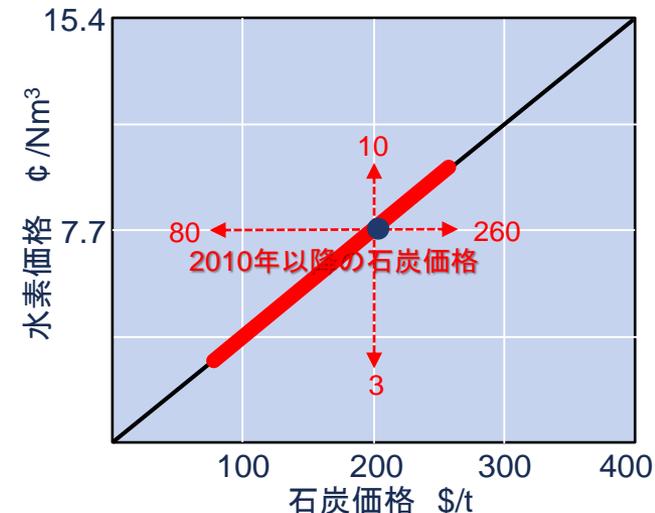
## 量的課題

- 2100年の世界銑鉄生産量12億tの生産に必要な水素量は約 **$1.2$ 兆 $\text{Nm}^3$**
- 水素製造電力原単位\*を $4.5\text{kWh}/\text{Nm}^3$  - $\text{H}_2$ とすると、 $5.4$ 兆 $\text{kWh}$ の電力(日本の消費電力量は約1兆 $\text{kWh}/\text{年}$ )が必要(製造に必要な電力以外に輸送・液化・貯蔵などのために追加の電力が必要)

\*阿部勲夫、「水電解法による水素製造とそのコスト」、水素エネルギーシステム Vol.33, No.1 (2008)

## コスト課題

- 炭素還元製鉄と等価にする場合の水素価格の試算  
**原料炭価格を $200\$/\text{t}$** 、原料炭原単位 $700\text{kg}/\text{t-p}$ とすると、原料炭コストは $140\$/\text{t-p}$   
原料炭のうち、「還元機能」に消費される割合は55%(45%は副生ガス化)であることから、還元剤コストは $14000 \times 0.55 = 77\$/\text{t-p}$   
これと等価の水素価格は  
 $77\$/\text{t-p} \div 1000\text{Nm}^3\text{-H}_2/\text{t-p} =$  **$7.7\ \text{¢}/\text{Nm}^3\text{-H}_2$**



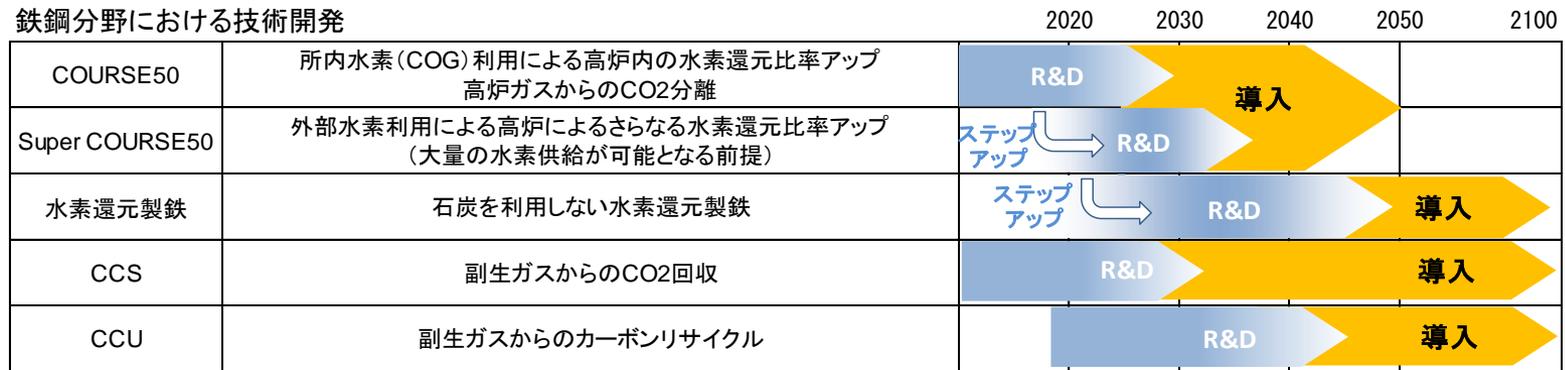
# 日本鉄鋼連盟の長期温暖化対策：超革新技術開発

日本鉄鋼業は、2030年時点での実用化に向けて、COURSE50やフェロコークスなどの革新的製鉄技術の開発を鋭意続けている。これらの技術が実用化された場合、天然資源ルートでのCO<sub>2</sub>排出量の10%削減が期待される（CCS効果を除く）。当面は高炉法が、技術的にも経済的にも鉄鋼製造法の主流と考えられるため、高炉を前提とした低炭素化技術の確立を進める必要がある。

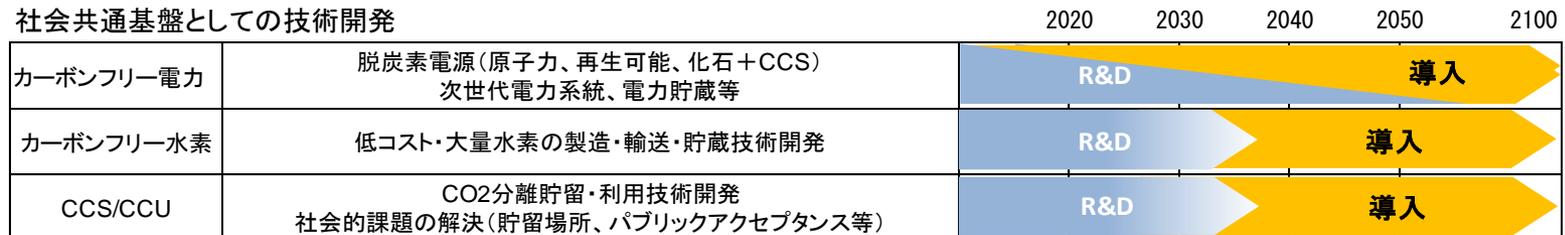
しかし、これらの取り組みだけではパリ協定が目指す長期目標レベルに到達することはできず、それらを超えた「超革新技術」が必要となる。日本鉄鋼業は、COURSE50・フェロコークスの開発によって得られる知見を足掛かりとして、最終的には製鉄プロセスからのゼロエミッションを可能とする水素還元製鉄技術、CCS、CCUの開発に挑戦する。

水素還元製鉄に利用される水素は、製鉄のみならず自動車や民生など様々なセクターで広く利用されることから、社会共通基盤のエネルギーキャリアとして開発、整備されていることが前提となる。特に基礎素材である鉄鋼の製造に利用される水素は、カーボンフリーであることはもとより、安価安定供給も重要な要件となる。また、CCS実施に当たっては、大量のCO<sub>2</sub>の安価輸送・貯留技術の開発に加え、CO<sub>2</sub>貯留場所の確保や社会受容性、実施主体や経済的負担の在り方など、技術面を超えた課題の解決に当たる必要がある。

鉄鋼分野における技術開発



社会共通基盤としての技術開発



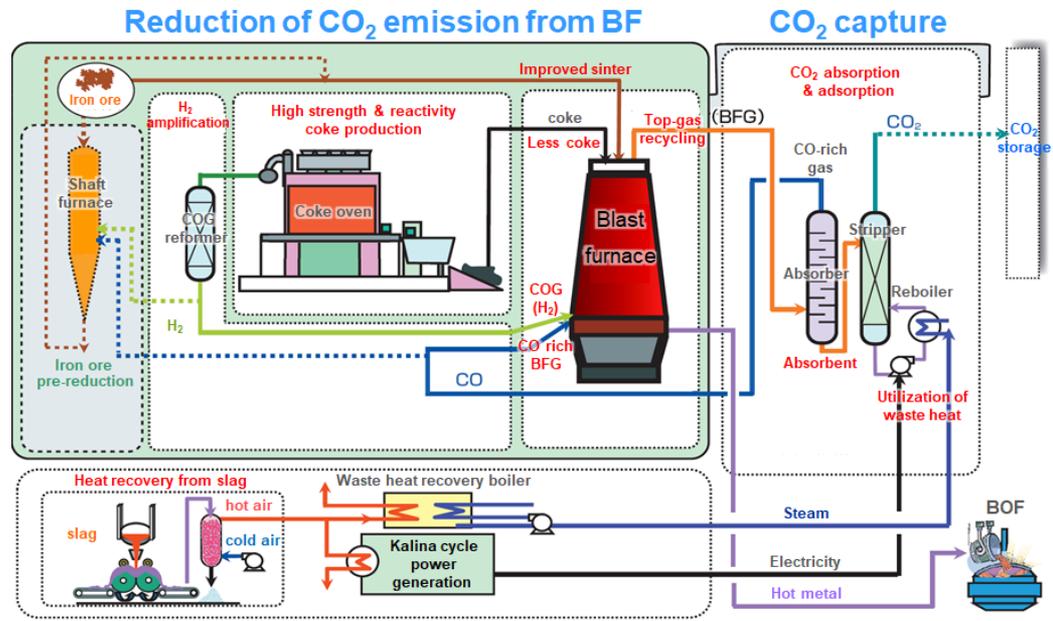
# COURSE50: 水素還元製鉄に向けた技術開発

日本鉄鋼連盟では、COURSE50プロジェクトと温暖化対策長期ビジョンにおいて、水素利用を含む製鉄技術開発を行い、鉄鋼業におけるCO<sub>2</sub>削減を進めます。

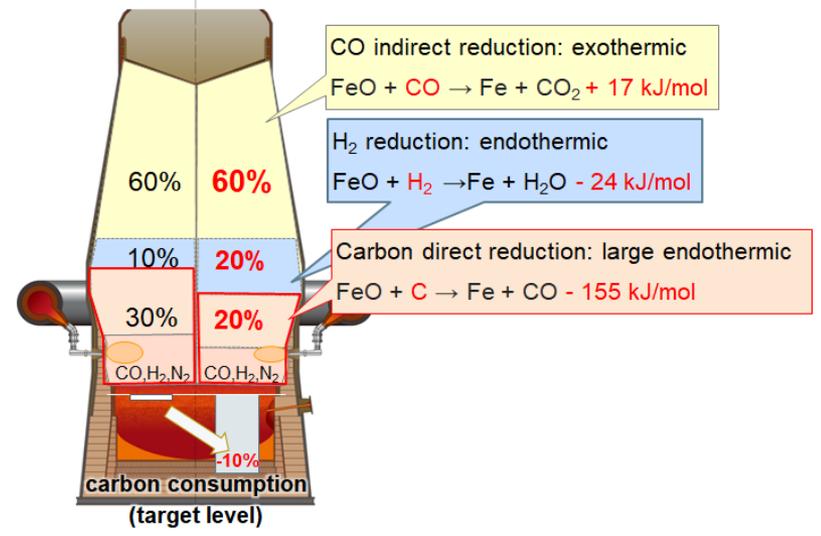
COURSE50プロジェクト  
製鉄所内の水素を利用、増幅して水素による鉄鉱石還元の割合を増すとともに、発生CO<sub>2</sub>を分離回収することにより、高炉から発生するCO<sub>2</sub>の削減を目指します。



COURSE50試験高炉



Conventional COURSE50



# IEA-ETP2017 2DSとの整合性

## IEA-ETP 2017 2DS:

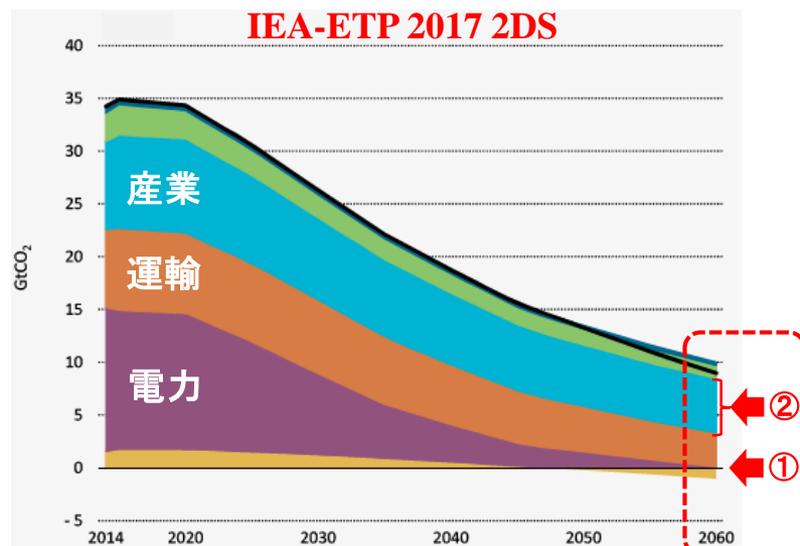
2060年までに、

- ①電力セクターのゼロエミ化、
- ②産業セクターの現状からの30%削減 を想定

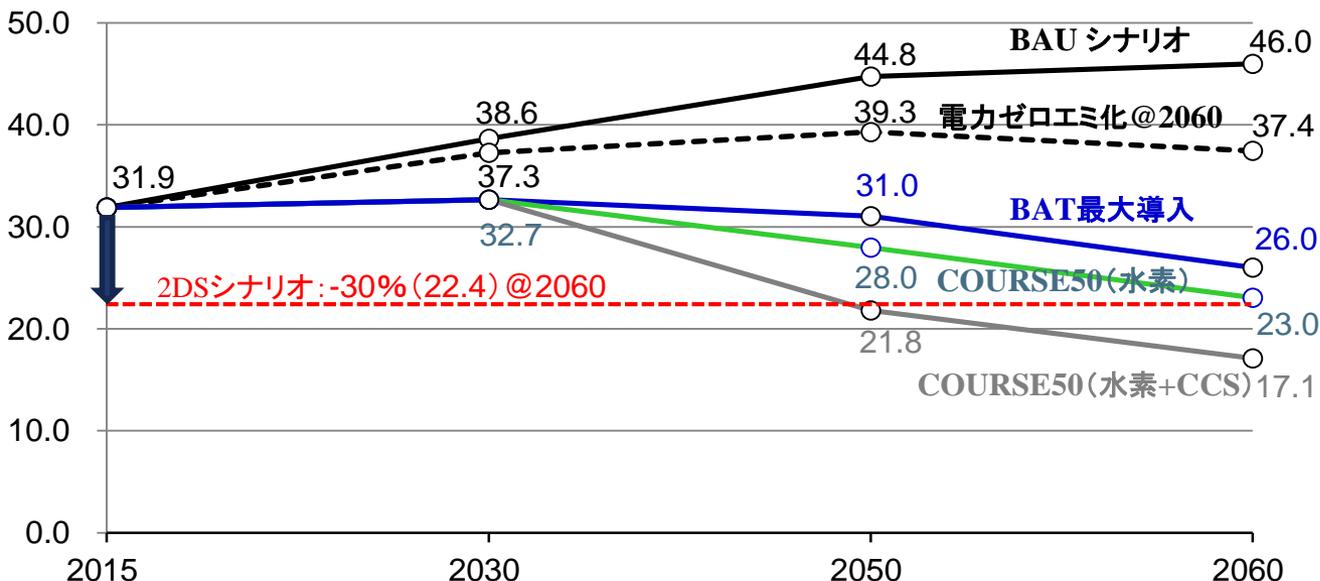


### 試算前提

- 系統電力排出係数: IGES GRID EF v10.2のCombined Averageを使用
- 高炉ルート of 系統電力原単位: 140kWh/t-s (日本の2016平均)
- 電炉ルート of 系統電力原単位: 872kWh/t-s (日本の2016平均)
- 高炉ルート of CO<sub>2</sub>排出係数: 2.4t-CO<sub>2</sub>/t-s
- 電炉ルート of CO<sub>2</sub>排出係数: 1.0t-CO<sub>2</sub>/t-s
- 鉄源の対粗鋼歩留: 0.91 (天然資源ルート、スクラップルートとも)



### 総排出量(億t-CO<sub>2</sub>)



電力セクターのゼロエミ化が達成され場合、製鉄プロセスで消費する系統由来電力がゼロエミとなる。

これに長期温暖化シナリオで示したBAT最大導入効果と、革新技術最大導入シナリオの COURSE50 (水素還元部分) 効果を加えると、2060年段階で、IEA-ETP 2017 2DS における産業部門の削減率-30% にほぼ匹敵するレベルとなる。

さらに COURSE50 の CCS 効果を加えると、2060年においてほぼ半減のシナリオとなる。