

日本鉄鋼連盟 長期温暖化対策ビジョン 『カーボンニュートラルへの挑戦』

2018年11月公表

2019年9月修正追記

2020年6月修正追記

2024年2月修正追記

2025年3月修正追記

一般社団法人日本鉄鋼連盟

背景

2014年11月、日本鉄鋼連盟は、2030年を目標年次とした「低炭素社会実行計画フェーズⅡ」を公表した。同計画は、パリ協定に基づく我が国の2030年目標にも反映されており、日本鉄鋼連盟加盟各社は、その達成に向けて不断の努力を行っている。

パリ協定では、締約国に対して、長期目標を達成するための「長期的な温室効果ガスの低排出型の発展のための戦略（長期低排出発展戦略）」の策定と提出が求められ、政府は、我が国の「長期低排出発展戦略」の策定を進めた。このような国内外の動きを受け、日本鉄鋼連盟は2018年に当時の「低炭素社会実行計画フェーズⅡ」達成に向けた取り組みに加え、新たに2030年以降を見据え、最終的な『カーボンニュートラル』の実現を目指した「長期温暖化対策ビジョン」を策定した。

その後、パリ協定の取り組みを強化し2℃目標を1.5℃目標とする議論や、日本政府の2050年カーボンニュートラル方針の策定等が進む中、日本鉄鋼業は2021年2月に「我が国の2050年カーボンニュートラルという野心的な方針に賛同し、これに貢献すべく、日本鉄鋼業としてもカーボンニュートラルの実現に向けて、果敢に挑戦する」ことを表明、低炭素社会実行計画を「カーボンニュートラル行動計画」と改めるとともに、フェーズⅡ目標（2030年度目標）を改訂し「長期温暖化対策ビジョン」の見直しを行った。

鉄連長期温暖化対策ビジョンの策定方針と構成

[策定方針]

- 2030年以降2100年までをスコープとする
- グローバルな対応を前提とする
- パリ協定長期目標を目指すための方向性を示すものとする
- 現行の低炭素社会実行計画(現カーボンニュートラル行動計画)と並立するものとする
- 実行中の国家プロジェクト(グリーンイノベーション基金事業等)と整合するものとする

[構成]

- 1) Part 1: 将来の鉄鋼需給想定
- 2) Part 2: 鉄鋼業の長期温暖化対策シナリオ
- 3) Part 3: 日本鉄鋼連盟の長期温暖化対策

Part 1: 将来の鉄鋼需給想定

SDGsとパリ協定



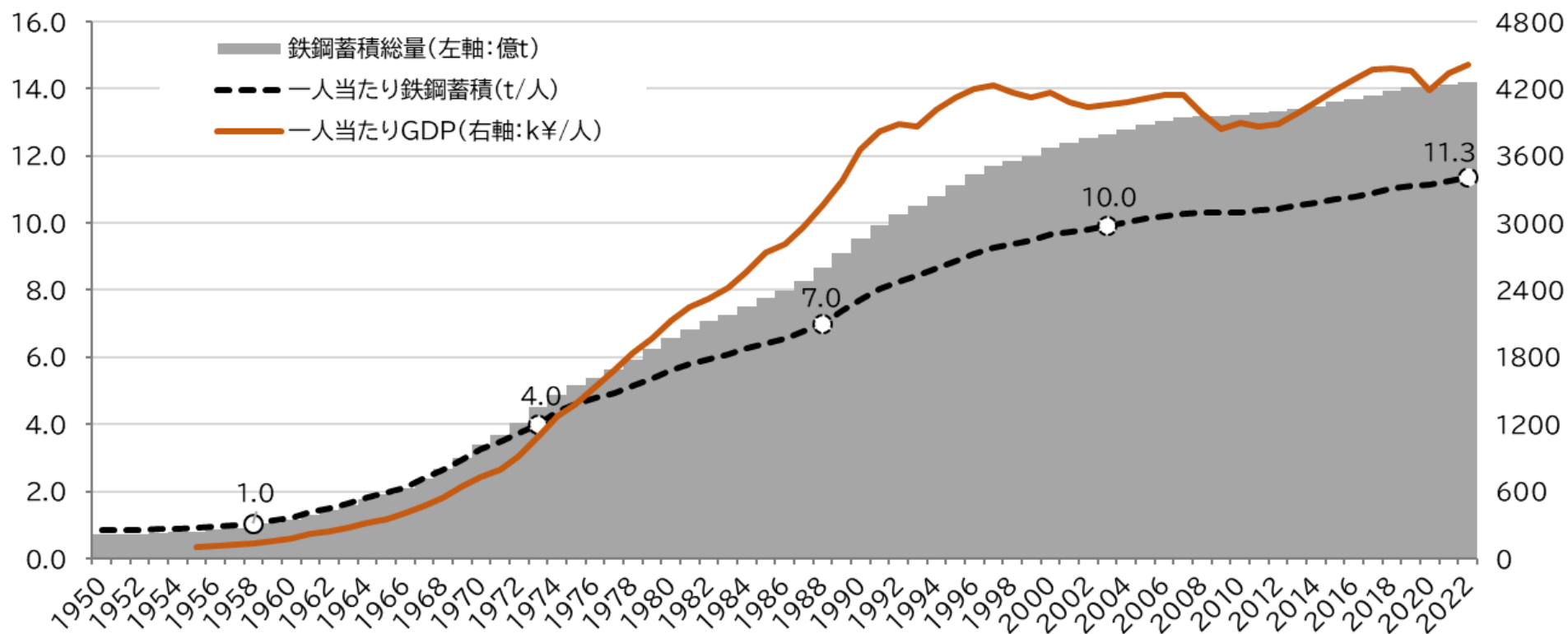
パリ協定

鉄鋼需要促進要因

日本の鉄鋼蓄積実績推移

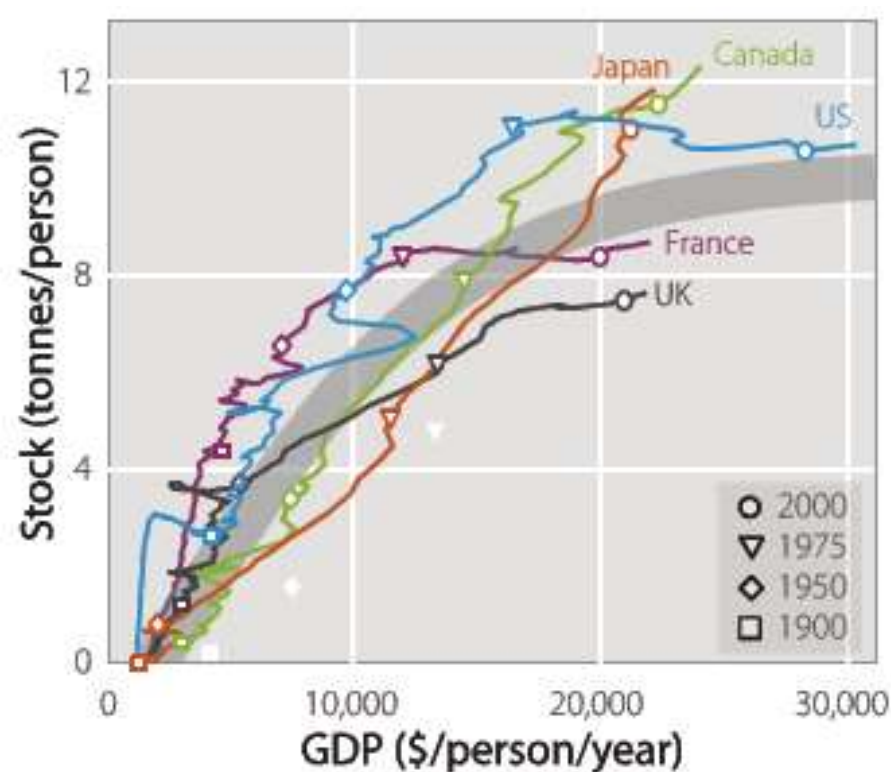
将来の鉄鋼需給は、過去の経済成長と鉄鋼蓄積の関係からマクロに想定することとした。このため信頼の高い日本の過去の実績を分析するとともに、海外の研究結果との整合も図ることとした。

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14.2億t(2022年度)、一人当たりでは11.3t/人となっている。



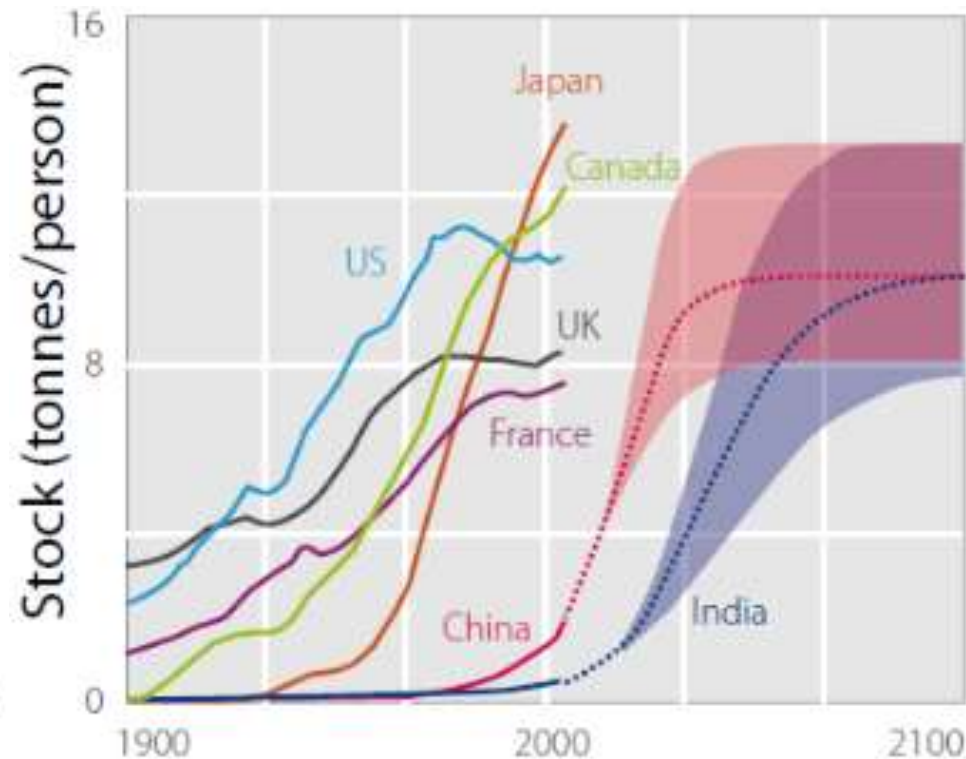
世界の鉄鋼蓄積実績推移と将来想定

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

*上記実績は、いずれも「見掛粗鋼消費ベース」での積算値であるため、間接輸出入による増減が反映されていない

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

UN, world population prospects: The 2024

Revision, Medium variant

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10.2% (2021年実績)

d-2) 加工スクラップ: 鋼材出荷量に対して10.6% (2021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	96.6	101.8
鉄鋼蓄積	一人当たり(t/人)	4.0	7.0	10.0
	蓄積総量(億t)	294	673	1,017

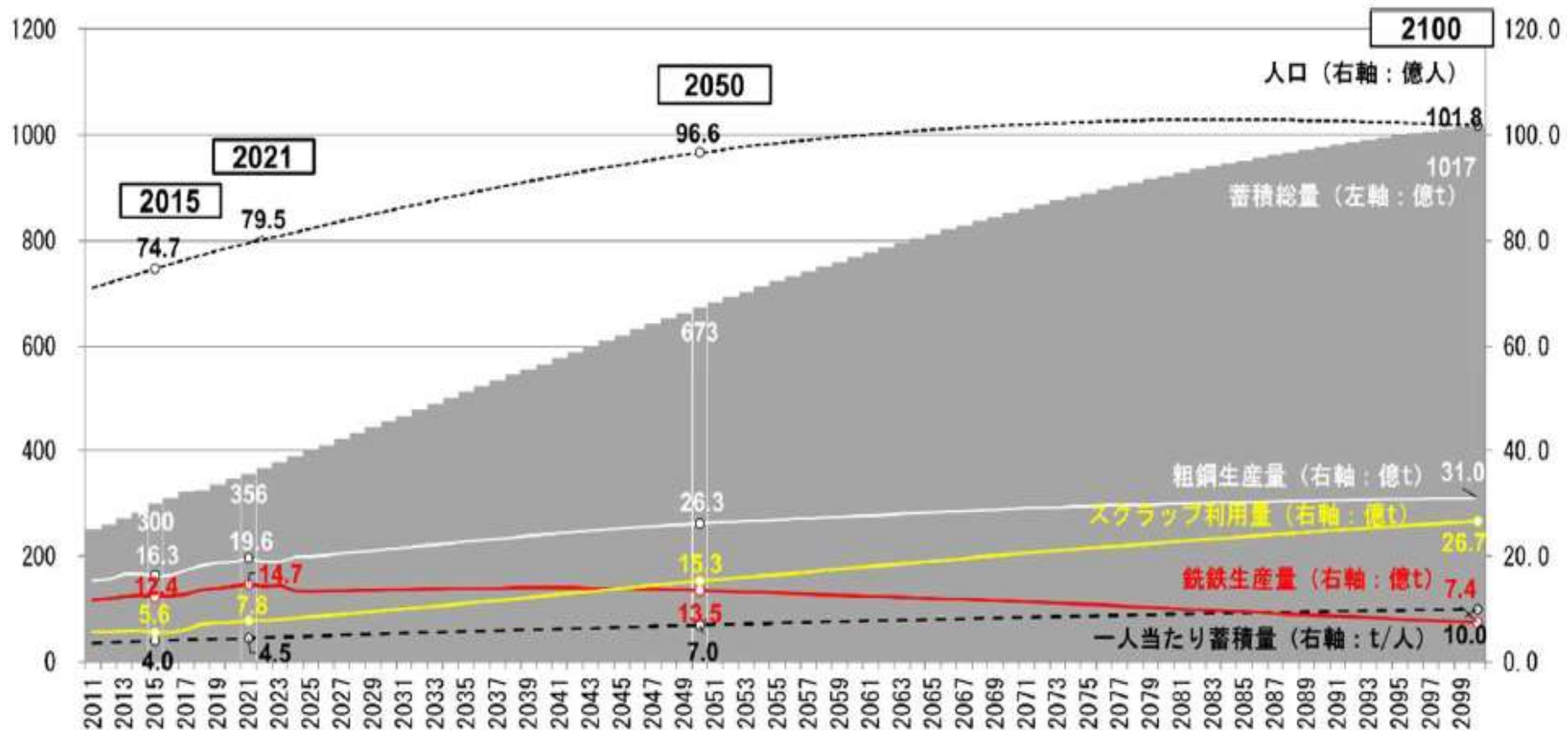
	生産量(億t)		スクラップ発生(億t)				スクラップ発生率(%)			鉄鋼蓄積		ロス率 (%)	世界人口 (億人)
	粗鋼	銑鉄 DRI	合計	内部	加工	老廃	内部/粗鋼	加工/鋼材	老廃/蓄積	総量 (億t)	一人当たり (t/人)		
2015	16.2	12.2	5.6	2	1.3	2.2	12.5	9.3	0.8	294	4	0.1	73.8
2021	18.5	13.5	6.8	2.3	1.5	3	10.2	10.6	1.1	348	4.5	0.1	78
2050	26.3	13.5	15.3	3.2	2.0	10.1	10.2	10.6	1.5	673	7	0.1	96.6
2100	31.0	7.4	26.7	3.2	3.2	20.3	10.2	10.6	2	1017	10	0.1	101.8

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が生産は必須であることから、多くの国々がカーボンニュートラル目標年とする2050年においても、ほぼ現在並みの銑鉄生産が必要



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

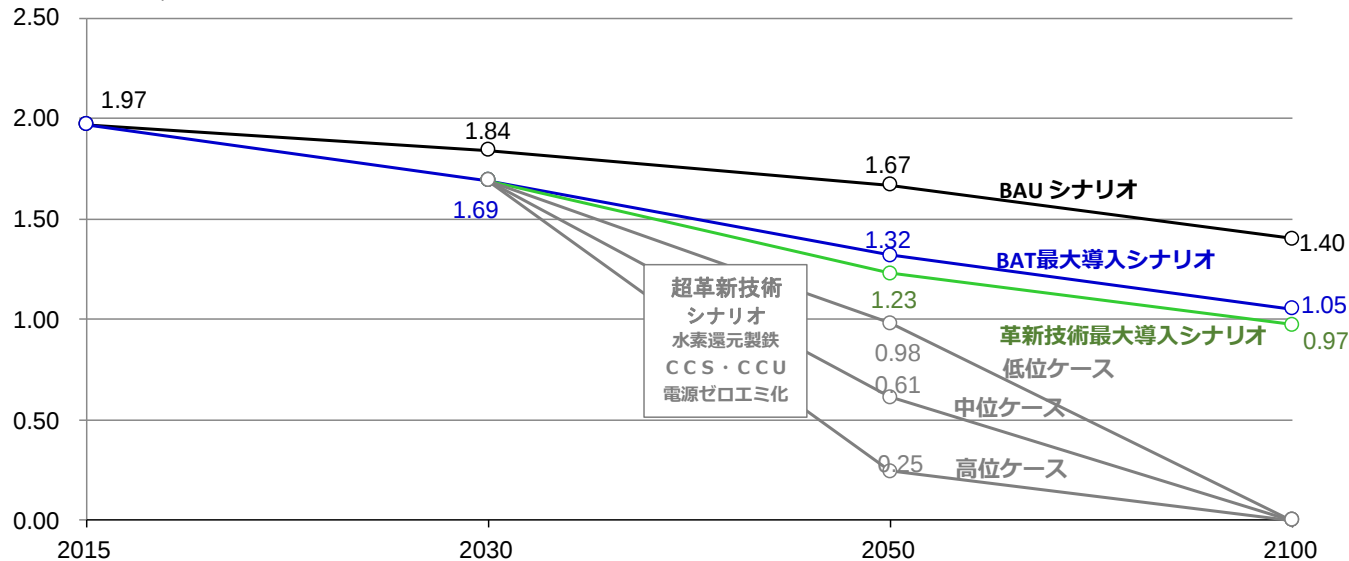
現在開発中の革新技术(COURSE50(水素還元部分)、フェロコックス等)が、2030年以降2050年までに最大導入されるものと想定。

さらなる革新技术の開発シナリオ

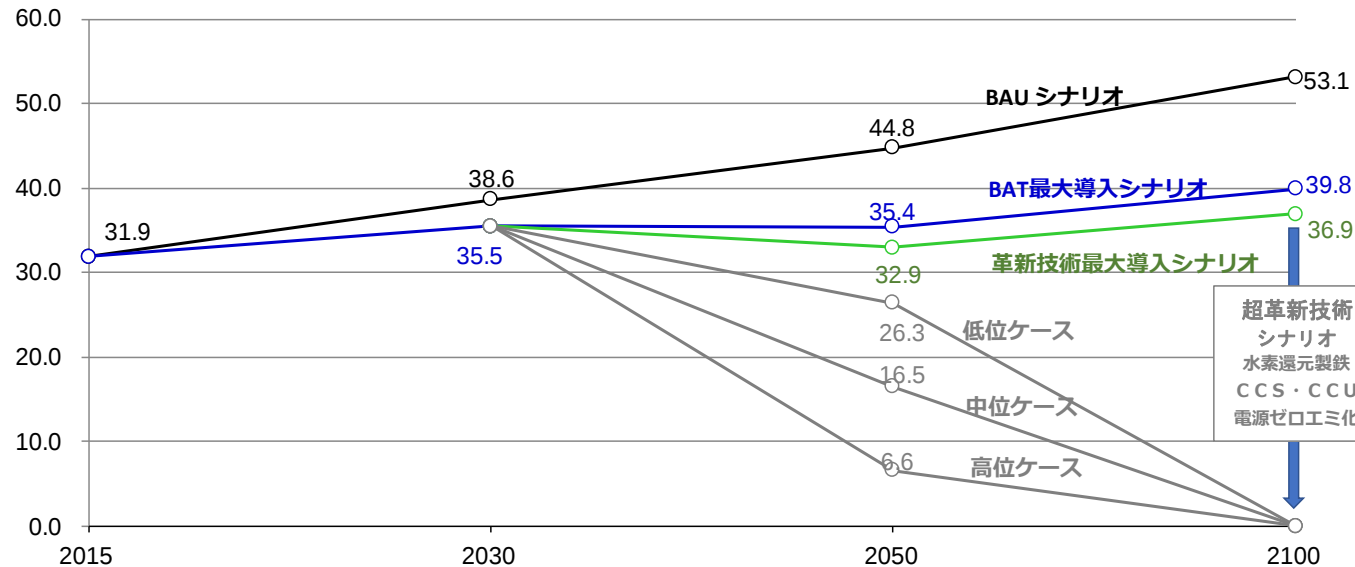
現在挑戦を進めている革新技术(水素還元製鉄、CCSU等)の導入、並びに系統電源のゼロエミッション化により、2100年の鉄鋼プロセスの脱炭素化達成を想定。

CO₂排出量

原単位 (t-CO₂/t-crude steel)



総排出量 (億t-CO₂)



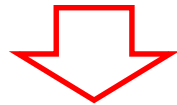
水素還元製鉄試算



・ 銑鉄1t製造に必要な水素量

還元: 601Nm^3 + 吸熱反応補完: $67\text{Nm}^3 + 1,600^\circ\text{C}$ までの溶銑昇熱: 85Nm^3

= $753\text{Nm}^3/\text{ton of}$ (理論値) $\Rightarrow$ 効率75%とすると実質 **$1,000\text{Nm}^3/\text{ton}$ 程度**



* 上記は鉄鉱石還元に対する所用であり、水素還元製鉄の場合、副生ガスの発生がないことから、それを補完するためのさらに数百 $\text{Nm}^3/\text{t-s}$ の水素が必要となる

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 Nm^3**
- ・ 水素製造電力原単位*を $4.5\text{kWh}/\text{Nm}^3$ - H_2 とすると、 5.4 兆 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

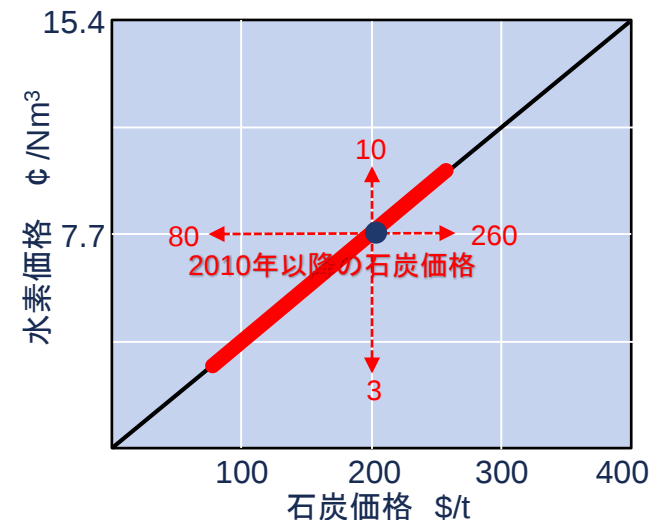
原料炭価格を $200\text{\$/t}$ 、原料炭原単位 $700\text{kg}/\text{t-p}$ とすると、原料炭コストは $140\text{\$/t-p}$

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 $14,000 \times 0.55 = 77\text{\$/t-p}$

これと等価の水素価格は

$77\text{\$/t-p} \div 1,000\text{Nm}^3\text{-H}_2/\text{t-p} =$ **$7.7 \text{ \$/Nm}^3\text{-H}_2$**



IEA-ETP2017 2DSとの整合性

IEA-ETP 2017 2DS:

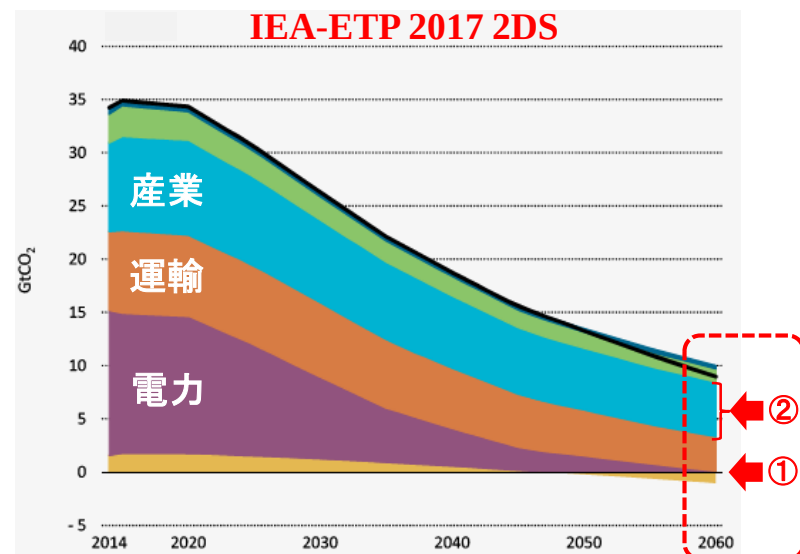
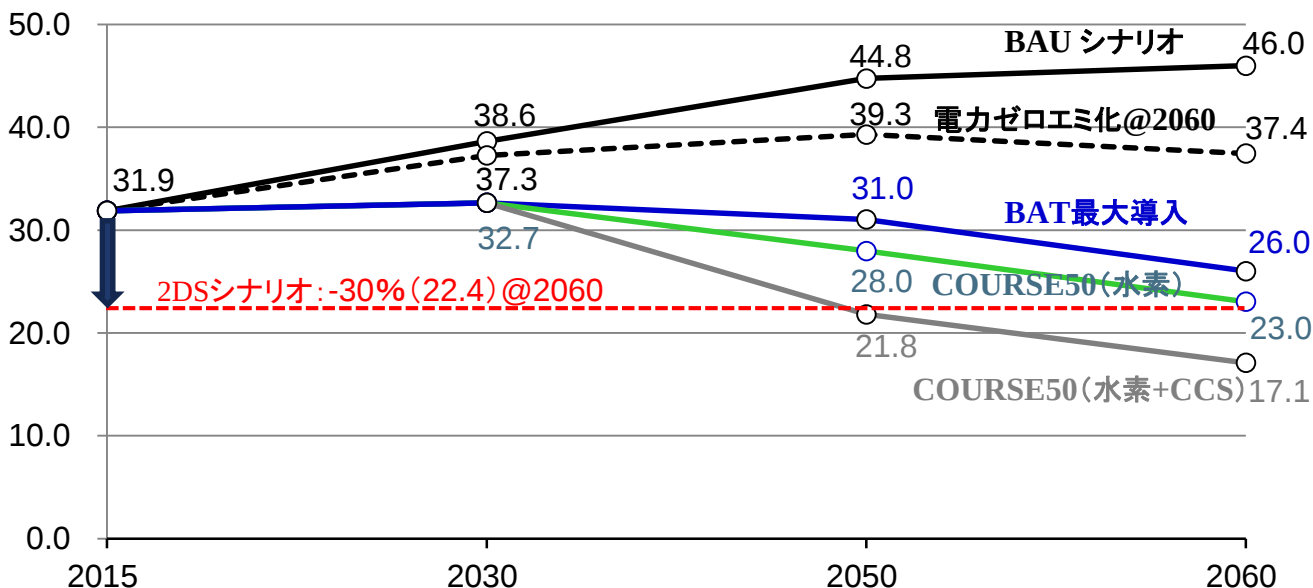
2060年までに、

- 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
- 高炉ルートの系統電力原単位: 140kWh/t-s (日本の2016平均)
- 電炉ルートの系統電力原単位: 872kWh/t-s (日本の2016平均)
- 高炉ルートのCO₂排出係数: 2.4t-CO₂/t-s
- 電炉ルートのCO₂排出係数: 1.0t-CO₂/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-CO₂)



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。

Part 3: 日本鉄鋼連盟の長期温暖化対策

日本鉄鋼連盟の長期温暖化対策

- 3つのエコと革新技术開発を2030年以降の長期温暖化対策においても基本とする
- さらに、パリ協定に基づく長期目標(1.5℃目標)を念頭に置けば、現在の製鉄技術を超える超革新的技術開発が必要

エコプロセス

鉄鋼製造プロセスで世界最高水準の
エネルギー効率のさらなる向上

エコプロダクト

低炭素社会の構築に不可欠な高機能鋼材
の供給を通じて、最終製品として使用される
段階において排出削減に貢献

エコソリューション

世界最高水準の省エネ技術を
途上国を中心に移転・普及し、
地球規模での削減に貢献

革新技术開発

COURSE50、フェロコックス
SuperCOURSE50、カーボンリサイクル高炉
水素還元製鉄・大型電炉

エコプロセス

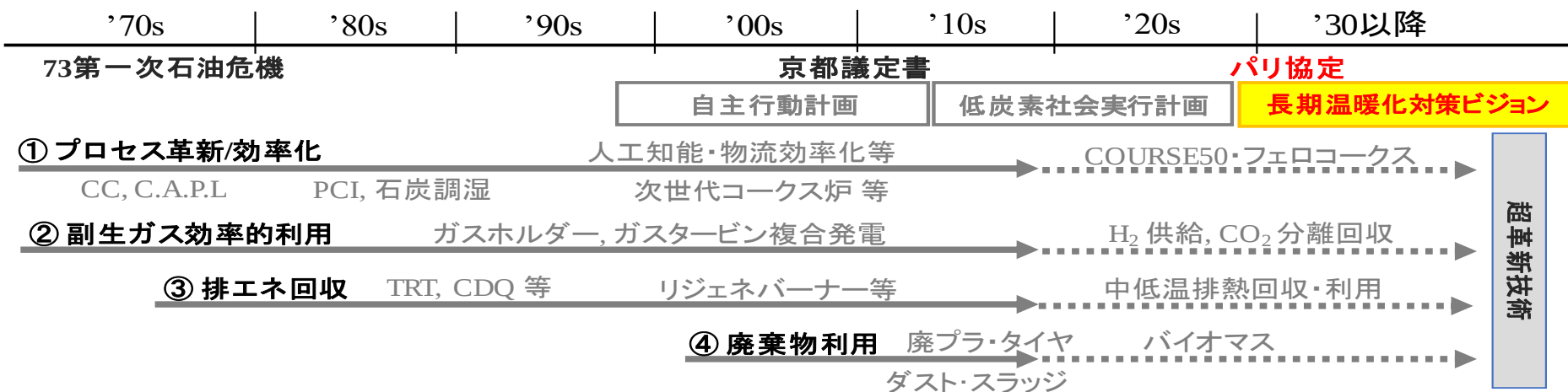
1970年代のオイルショックを契機に、日本鉄鋼業は、

- ①プロセスの連続化などを中心としたプロセス革新、
- ②製鉄・製鋼工程で発生する副生ガスの効率的利用、
- ③排エネルギーの回収・有効利用、
- ④廃棄物資源の有効利用を基本とする省エネルギー技術の開発・導入に取り組んできた。

その結果、世界で最高のエネルギー効率のプロセスを実現してきた。

長期温暖化対策においても引き続き「エコプロセス」の開発・導入に取り組んでいく。

参考：カーボンニュートラル行動計画におけるエコプロセス目標は、2030年度のエネルギー起源CO₂排出量を2013年度比30%削減*



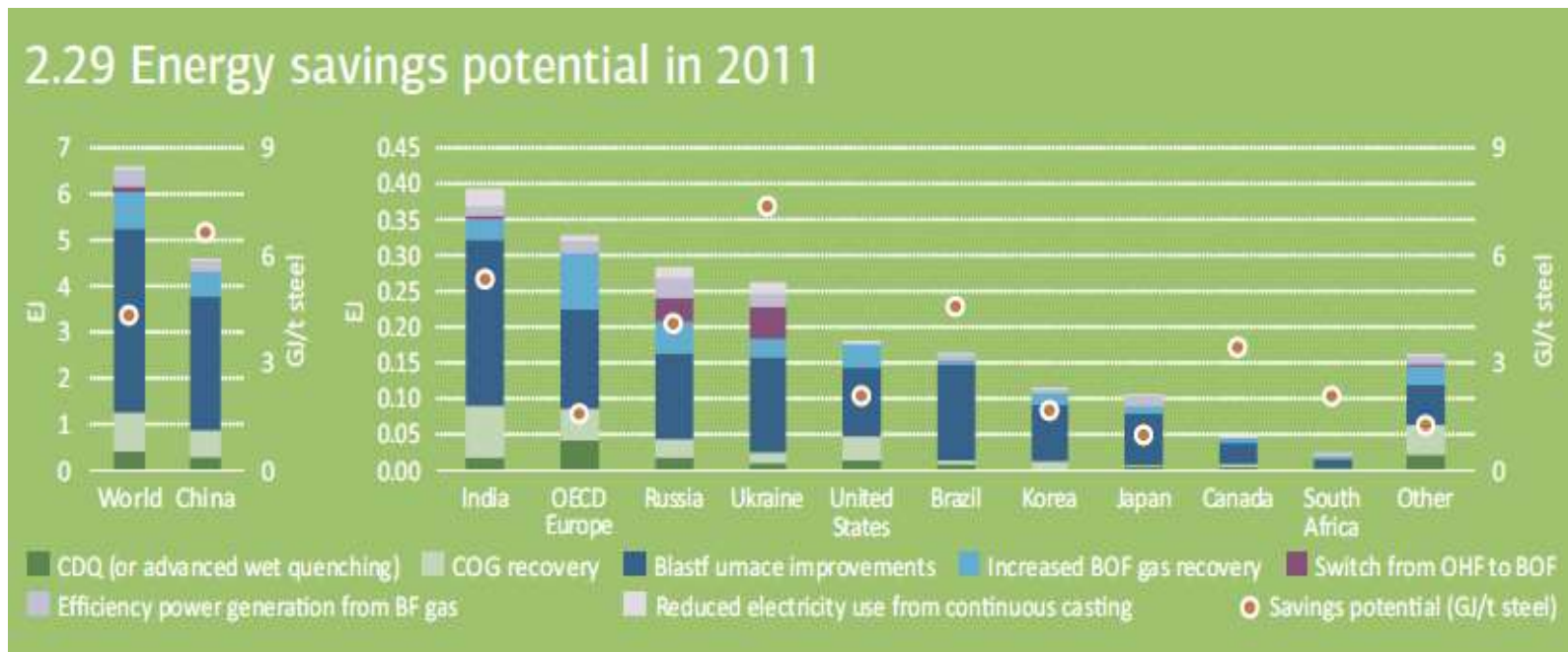
* 政府エネルギー基本計画のマクロ想定や各種対策の実施のための必要条件が整うことを前提とする目標。

エコソリューション

日本鉄鋼業は、日本で開発・実用化した省エネ技術(BAT技術)の中国・インド・ASEANをはじめとする鉄鋼業の成長が著しい国への移転や、GSEP「エネルギー効率向上に関する国際パートナーシップ」等の多国間協力の枠組みでの省エネルギー推進を通じて地球規模でのCO₂削減に貢献してきた。

国際エネルギー機関(IEA)の研究では、省エネルギー先進技術(その多くが日本で開発された)の導入による海外での削減ポテンシャルが極めて大きいことが示されており、引き続き「エコソリューション」に取り組んでいく。

参考:カーボンニュートラル行動計画におけるエコソリューション効果(2030)は8,000万t-CO₂



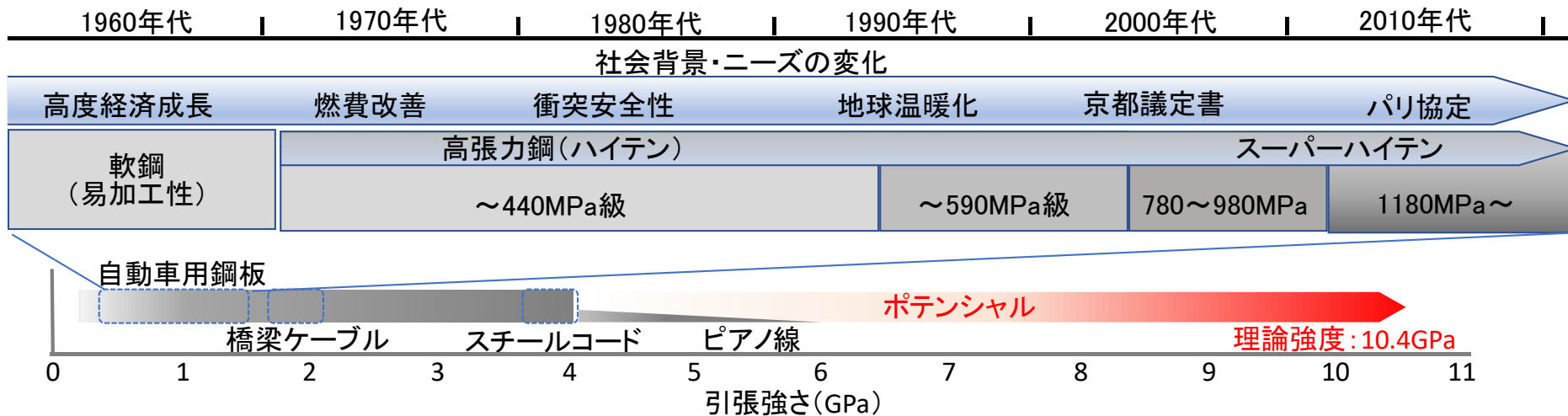
出典:IEA「Energy Technology Perspective 2014」

エコプロダクト

鉄鋼材料はその機械的特性や電磁的特性を大きく向上させてきた。例えば自動車用鋼板の場合、1970年代から現在に至るまで、様々な社会背景やニーズに応じて高強度化が進められ、自動車軽量化による燃費の改善などによって、CO₂削減に大きく貢献してきた。

しかし我々が実用化した特性レベルは理論限界値に対して、1/10～1/3(強度の場合)に過ぎない。日本鉄鋼業は、鉄鋼製品のさらなる高強度化のみならず、将来の水素インフラのための次世代鉄鋼製品の開発などを通して、未来社会の基盤を支えるとともに、ライフサイクル全体を通じたCO₂削減に貢献していく。

参考:カーボンニュートラル行動計画におけるエコプロダクト効果(2030)は4,200万t-CO₂



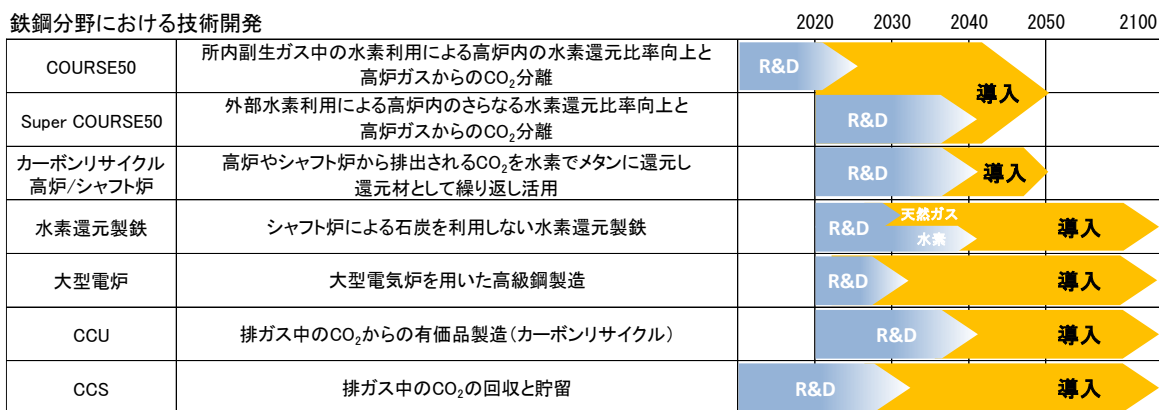
日本鉄鋼連盟の長期温暖化対策：超革新技術開発

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CO₂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。

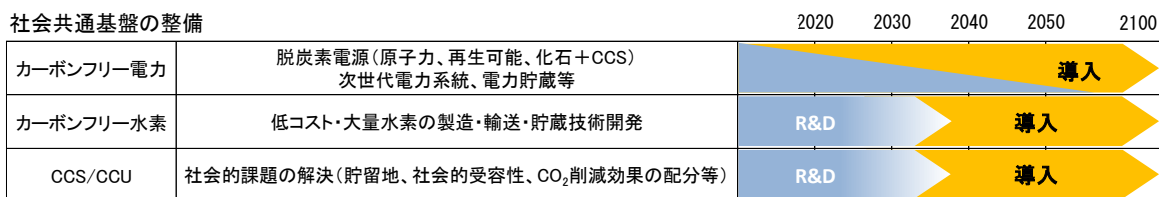
しかし、これらの取り組みだけではパリ協定が目指す長期目標レベルに到達することはできず、それらを超えた「超革新技術」が必要となる。日本鉄鋼業は、COURSE50・フェロコークスの開発によって得られる知見を足掛かりとして、最終的には製鉄プロセスからのカーボンニュートラルを可能とする水素還元製鉄技術、CCS、CCUの開発に挑戦する。また、還元鉄等から不純物を除去し高級鋼を得る大型電炉技術にも挑戦する。

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CO₂の安価輸送・貯留技術の開発に加え、CO₂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



社会共通基盤の整備



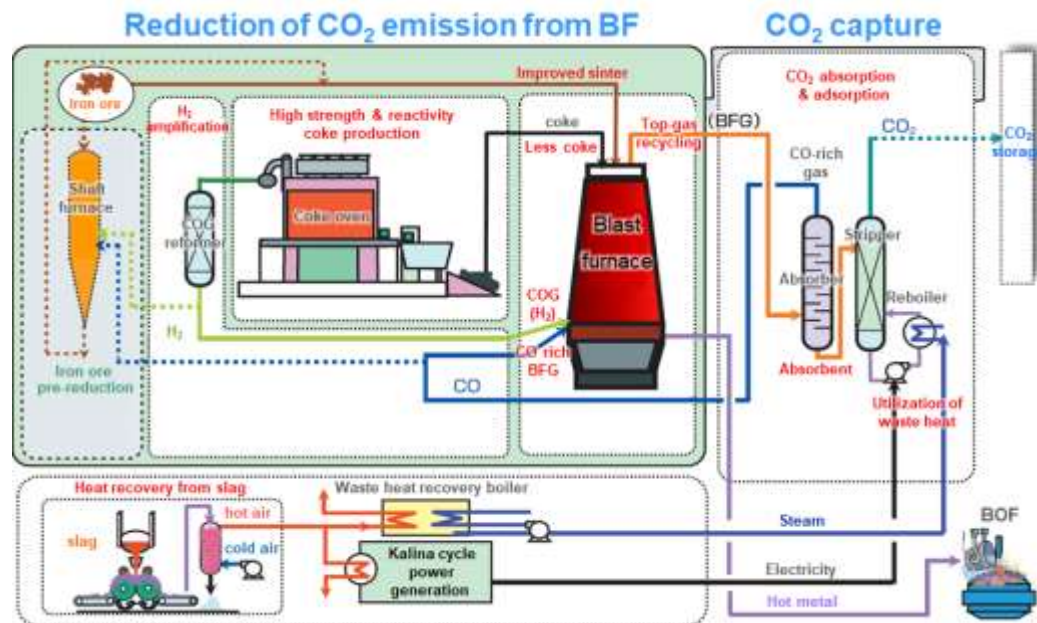
COURSE50: 水素還元製鉄に向けた技術開発

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CO₂削減を進めます。

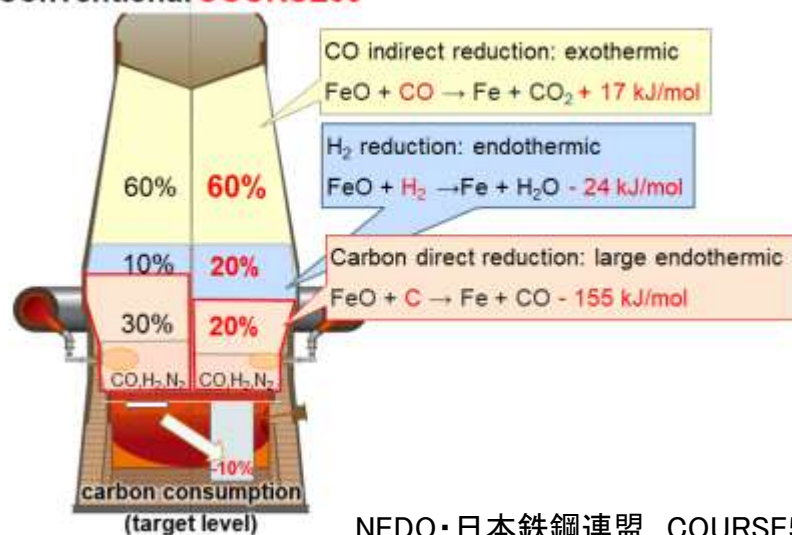
COURSE50プロジェクト
製鉄所内の水素を利用、増幅して水素による鉄鉱石還元の割合を増すとともに、発生CO₂を分離回収することにより、高炉から発生するCO₂の削減を目指します。



COURSE50試験高炉



Conventional COURSE50



NEDO・日本鉄鋼連盟 COURSE50

おわりに

2030年以降の超長期に関しては、社会の状況や技術の動向など、現時点では想定しえない不確実性を含んでいる。そのような不確実な状況の中での「長期温暖化対策ビジョン」は、パリ協定長期目標を目指すための方向性を示すものであり、『カーボンニュートラル』に向けた挑戦を意味するものである。

日本鉄鋼連盟加盟各社は、我が国のパリ協定中期目標(2030)達成に向けて、低炭素社会実行計画を着実に進めていくとともに、2030年以降の長期目標についても、3つのエコと革新技術の開発を基本とした温暖化対策に取り組んでいく。