

低炭素社会の実現に向けた  
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく  
イノベーション政策立案のための提案書

## 水素直接還元製鉄法の評価と技術課題

令和4年5月

Evaluation of the Hydrogen Direct Reduction Method of Iron Ore

Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action  
toward Low Carbon Societies

国立研究開発法人科学技術振興機構  
低炭素社会戦略センター

LCS-FY2021-PP-13

## 概要

日本の2019年度の二酸化炭素排出量は1,179 Mtである。うち鉄鋼部門は、間接排出量で155 Mt (14.0%)であり、二酸化炭素排出削減のために占める位置づけは非常に大きい。

鉄鋼部門の低炭素化のため、コークスを用いて鉄鉱石を還元する高炉法と、 $H_2$ を用いる水素直接還元法（水素DRI法）を比較検討し、二酸化炭素排出原単位と製造コストおよび課題を検討した。原材料に起因する二酸化炭素の排出原単位は、高炉法1.9 kg- $CO_2$ /kg水素、DRI法0.06 kg- $CO_2$ /kgである。また高炉法の銑鉄コストは46円/kgであり、水素DRI法のコストは70円/kgである。水素DRIコストでは水素コストの価格に占める割合が非常に大きい。

ZC (Zero Carbon) 対応で、排出する二酸化炭素の捕集をアミン法-DAC法で実施すると貯留国内ベースで二酸化炭素捕集コストは8円/kg- $CO_2$ である。高炉法で二酸化炭素を全量捕集するためには、高炉法は15円/kgのコスト増で実質の銑鉄価格は61円/kgとなり、水素DRI法のコストに近づく。

鉄鉱石の還元反応は高炉法では発熱反応、水素DRI法では吸熱反応で外部からエネルギーを供給する必要がある。ただ反応速度は大きい。日本では稼働しておらず、経験の少ない方法である。そのために、炉の最適構造などの技術検討と全製鉄工程の合理化検討などについて精力的に取り組む必要がある。

## Summary

Carbon dioxide emissions in Japan in FY2019 totaled 1,179 Mt. Of this amount, the steel sector accounts for 155 Mt (14.0%) in terms of indirect emissions, which is a very significant rate in terms of reducing total carbon dioxide emissions.

For low-carbonization in the steel sector, the blast furnace method that reduces iron ore using coke and the direct hydrogen reduction method (hydrogen DRI method) that uses  $H_2$  were compared, and carbon dioxide emissions, manufacturing cost, and issues were discussed. The carbon emission intensity attributable to raw materials was 1.9 kg- $CO_2$ /kg for the blast furnace method and 0.06 kg- $CO_2$ /kg for the hydrogen DRI method. The pig iron cost of the blast furnace method was 46 JPY/kg, and that of the hydrogen DRI method was 70 JPY/kg. In the hydrogen DRI method cost, the ratio of hydrogen cost to the price is very large.

If the emitted carbon dioxide is captured for ZC (Zero Carbon) by the amine method-DAC, the carbon dioxide capture cost is 8 JPY/kg- $CO_2$  on a domestic storage basis. When capturing all carbon dioxide by the blast furnace method, the cost of the blast furnace method increases by 15 JPY/kg, and the actual pig iron price becomes 61 JPY/kg, which is close to the cost of the hydrogen DRI method.

The reduction reaction of iron ore is an exothermic reaction in the blast furnace method and an endothermic reaction in the hydrogen DRI method, and it is necessary to supply energy from the outside. However, the reaction speed is high. This method is not in operation in Japan, so that there is little experience. Therefore, it is necessary to study vigorously the technological study on the optimum structure of the furnace and the streamlining of the entire steelmaking process.

## 目次

### 概要

1. はじめに .....	1
2. 鉄鉱石還元法の比較 .....	1
2.1 プロセス、設備費と二酸化炭素排出原単位 .....	2
2.2 製造コスト .....	5
2.3 水素直接還元法の技術課題 .....	6
3. まとめと政策提案 .....	6
4. 政策提案 .....	7
参考文献 .....	7

## 1. はじめに

日本の2019年度の二酸化炭素排出量は、1,179 Mt-CO<sub>2</sub>であり、うち産業部門の間接排出量は、産業部門 385 Mt-CO<sub>2</sub> (34.7%) である。うち鉄鋼は 155 Mt-CO<sub>2</sub> (14.0%) であり産業部門間接排出量の40%を占め、二酸化炭素排出削減のために占める位置づけは非常に大きい。

2019年粗鋼生産量は98.4 Mtであり、転炉鋼は74.9 Mt 電炉鋼は23.5 Mtである。転炉鋼の主原料の銑鉄生産量は75.0 Mt、電炉鋼の原料であるスクラップ消費量は32.6 Mtである。高炉から生産される銑鉄は粗鋼の主原料であり、ZC社会では銑鉄生産の低炭素化は電炉鋼の増産とともに求められる。

高炉の低炭素化のためには現状のコークスを用いた鉄鉱石の還元からH<sub>2</sub>を用いた直接還元法への転換が求められる。本提案書では高炉法と比べて、水素を用いた直接還元法の二酸化炭素排出原単位とコストおよび課題を検討した。

## 2. 鉄鉱石還元法の比較

鉄鋼プロセスは、製銑工程 (Iron-making、コークス炉、高炉など)、製鋼工程 (Steel-making、転炉、電気炉)、連続鋳造、圧延工程 (Steel-manufacturing) で構成される。図1に鉄鋼プロセスを示すが、高炉法は現状で主なるプロセスであり、2019年の全世界銑鉄生産量は1,327 Mtである。一方直接還元法 (DRI) で生産された量は111 Mtで、銑鉄 (Pig iron) が92%である。現状のDRI法は、還元剤として天然ガスや石炭を用いる。ここでは天然ガスを改質処理したCO/H<sub>2</sub>の混合ガスを還元剤としシャフト炉で生産するMIDREX法について検討した。MIDREX法はDRIの60%を占めている。しかし日本では天然ガス、電力ともに高価であり、DRIは製造されていない。MIDREX法はガス源として天然ガスを用いているため、CH<sub>4</sub>に起因する二酸化炭素排出がある。本提案書では、現在開発中の電解水素を還元剤とした水素直接還元法について検討した。実証プラントがドイツ・ArcelorMittal社で計画されている (Hamburg, demonstration plant, cap. 100 kt/y, 2023 スタート)。

高炉法、水素直接還元法について、炭酸ガス排出原単位コストおよびコストにつき概略検討した。検討した範囲は、図1の赤線内である。

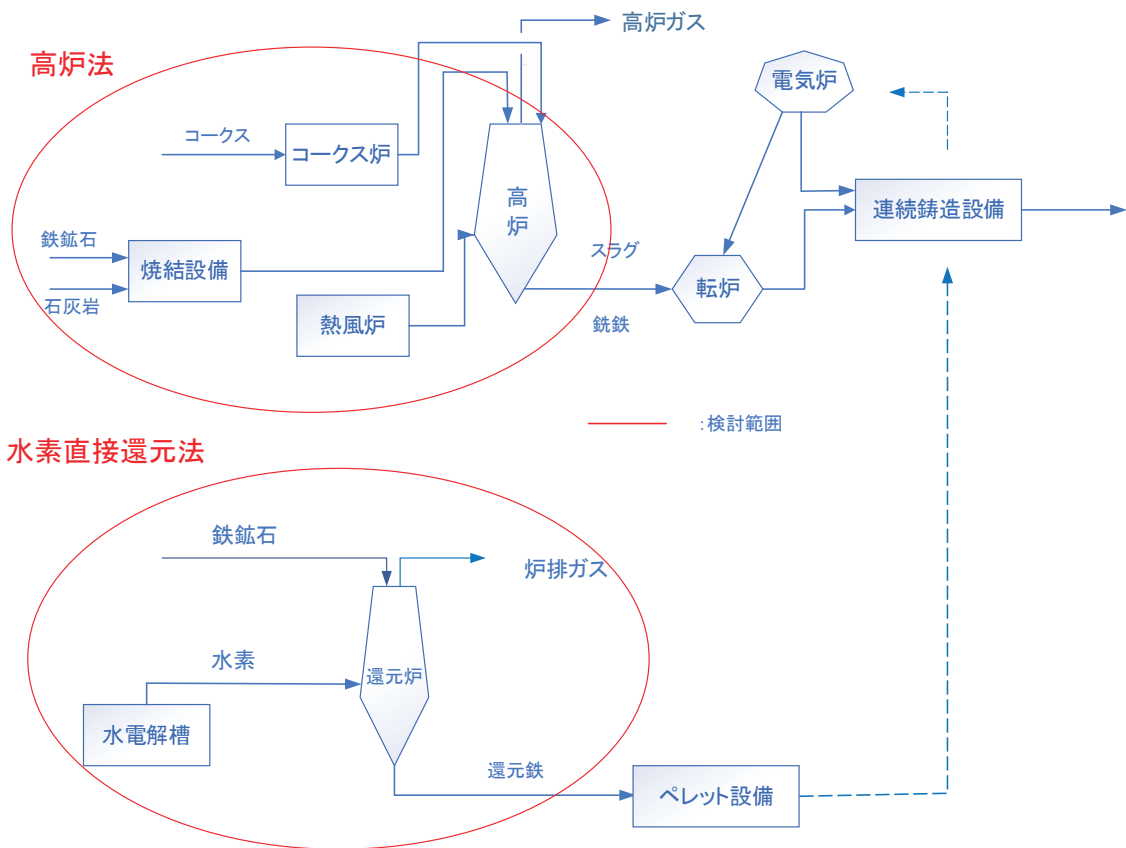


図1 鉄鋼プロセス

## 2.1 プロセス、設備費と二酸化炭素排出原単位

検討した設備能力は、2.5 Mt/y(7,500 t/日)である。高炉法の場合 内径12.5 m、3,500 m<sup>3</sup>の高炉、MIDREX-H<sub>2</sub>法の場合、内径7.15 m、1,300 m<sup>3</sup>の大型 Shaft 炉である。

### 1) 高炉法

高炉の上部から鉄鉱石とコークス、下部から1,200℃程度の加熱した空気を吹き込み、生成したCOガスにより鉄鉱石を還元する。高炉の最高温度は2,300℃程度であるが、銑鉄は熔融状態で1,500～1,600℃で取り出す。銑鉄には炭素を4 wt%程度含有する。転炉で酸素ガスを吹き込み銑鉄中の炭素を脱炭する。

プロセス構成は、標準ケース [1] で検討し、表1に主要機器の物質収支を示す。

表1 高炉法 主要設備の物資収支 (Standard process [1]) 鉄鋼生産量 1,000 kg 当たり

	焼結設備		コークス炉		コークス急冷炉		熱風炉		高炉		備考(組成など)	高炉法Cバランス	
	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT		C input	C output
鉄鉱石	1,238 kg										Fe 65%		
石灰石	118 kg										C 12%	14 kg	
CaO	44.6 kg												
石炭	9.7 kg		760 kg								C 65%	500 kg	
コークス炉ガス	1.6 Nm <sup>3</sup>		44.0 Nm <sup>3</sup>	739 Nm <sup>3</sup>							H <sub>2</sub> /56%,CO/6%,CH <sub>4</sub> /29%		
Air	2,361 Nm <sup>3</sup>		443 Nm <sup>3</sup>		65.6 Nm <sup>3</sup>		1,567 Nm <sup>3</sup>						
fine コークス						38.7 kg							
焼結鉄鉱石		1,317 kg							1,317 kg		Fe 57%		
高炉ガス			297 Nm <sup>3</sup>				416 Nm <sup>3</sup>		1,749 Nm <sup>3</sup>		H <sub>2</sub> /4%,CO/23%		
排ガス		2,796 Nm <sup>3</sup>					78.1 Nm <sup>3</sup>		886 Nm <sup>3</sup>				
コークス				503 kg	503 kg	446 kg			446 kg		Fe 97%		
O <sub>2</sub>							19.2 Nm <sup>3</sup>						
steam							49.3 Nm <sup>3</sup>						
転炉ガス							58.3 Nm <sup>3</sup>				H <sub>2</sub> /1%, CO/23%		
LPG							5.3 Nm <sup>3</sup>				7.86kg-CO <sub>2</sub> /Nm <sup>3</sup>	11.3 kg	
熱風(blast)							1,169 Nm <sup>3</sup>	1,169 Nm <sup>3</sup>					
微粉炭								56.7 kg				36.9 kg	
pellets								356 kg					
<b>銑鉄</b>										<b>1,000 kg</b>	<b>Fe 95.5% C 4.5%</b>		45 kg
スラグ									287 kg				
												Σ 562kg	Σ 45 kg
C 排出量													517 kg
CO <sub>2</sub> 排出量													<b>1.90 t</b>

CO <sub>2</sub> 排出原単位	1.90 t-CO <sub>2</sub> /t-銑鉄
-----------------------	------------------------------

表1より、高炉法(図1 赤線内)の二酸化炭素排出原単位は1.9 t-CO<sub>2</sub>/t-銑鉄である。

生産量2.5 Mt/y 設備の建設費用は、住友金属工業のホームページ[2]から、コークス炉290億円 高炉(3,500m<sup>3</sup>)510億円、計800億円とした。

2) 水素直接還元法 (MIDREX-H<sub>2</sub>法)

従来の天然ガスによる直接還元法(MIDREX法)は、天然ガスをH<sub>2</sub>/CO=1.6に改質した還元ガスで塊鉄を還元しDRI(直接還元鉄)を製造する。シャフト炉の温度は900℃程度で、DRIは溶融していない。還元率は95%、炭素含有量は2.5%程度である。当初、スポンジ状のDRIは酸化しやすく発火の危険性があり取り扱いや輸送に困難があった。その後、成形して比表面積を減らすホットブリケット装置が工業化され、電気炉でのスクラップの代替やCu等の不純元素の少ない良質の鉄源として高級鋼の原料に使用されている。還元ガスを電解水素ガスとすると、還元ガスに起因する二酸化炭素の排出はない。ただ炭素含有率も0%となる。しかし鉄中の炭素は鉄の融点を下げる効果やDRI中に残存する酸化鉄を還元するなどの効果があり、DRI中の炭素含有率0%では製鋼工程の効率が低下する。最適なDRI中炭素濃度とするために少量の天然ガスを添加してDRI中炭素含有率を高める。

直接水素還元法の物質収支を表2に示す[3-5]。DRI中の炭素含有率について、実績を参考にして1.4%とした。参考までにLNG還元法の収支も示す。

表 2 MIDREX Process

		水素直接還元法			LNG還元法 (従来法)	
		品質など	原単位(/t-DRI)	C バランス	原単位(/t-DRI)	C バランス
原材料	焼結鉄鉱石	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 95.8%(Fe分67%) 脈石 4.2% loss 1%	1,417 kg		1,417 kg	
	H <sub>2</sub>	還元用650 Nm <sup>3</sup> /DRI-t 加熱用150 Nm <sup>3</sup> /DRI-t	800 Nm <sup>3</sup> (71 kg, 8.64 GJ)			
	LNG	C 添加用(50 Nm <sup>3</sup> /DRI-tのLNG添加で Fe中にCが1.4%C添加)	50 Nm <sup>3</sup> (1.79 GJ)	108 kg-CO <sub>2</sub>	279 Nm <sup>3</sup> (10.0 GJ)	602 kg-CO <sub>2</sub>
製品	還元鉄	Fe total 94.0% C1.4%, 脈石 4.6% (Fe metallic 89.4%)	1,000 kg (metallc Fe 890kg)	51 kg-CO <sub>2</sub>	1,000 kg	128 kg-CO <sub>2</sub> (C 3.5%)
<b>CO<sub>2</sub> 排出原単位 (/t-DRI)</b>			<b>57 kg-CO<sub>2</sub></b>		<b>474 kg-CO<sub>2</sub></b>	

製鉄工程の二酸化炭素の排出原単位は、高炉法 1.9 t-CO<sub>2</sub>/t-Fe、MIDREX-H<sub>2</sub> 法は 0.06 t-CO<sub>2</sub>/t-Fe、MIDREX-LNG 法 (従来法) は 0.5 t-CO<sub>2</sub>/t-Fe である。

さらに、水素還元法では水素を製造するための水電気分解設備が必要である。

所要建設費：主なる設備は Shaft 炉および水素製造用の水電解槽である。

- Shaft 炉 能力 954 kt/y の炉の主要寸法は、5.5 m Φ × 15.1 mH + (5.5 m Φ → 2.6 m Φ) × 11 mH であり、容積は 508 m<sup>3</sup> である [6]。2,500 kt/y では、1,330 m<sup>3</sup> 必要である。3,500 m<sup>3</sup> 炉の建設費用は 510 億円とすると、0.6 乗則より (1,330/3,500)<sup>0.6</sup> × 510 億円 = 285 億円となる。

- 電解水素設備 必要水素量は 250 千 Nm<sup>3</sup>/h (2,700 GJ/h, 179kt/y) であり 750 MW である。10MW の水素設備が 75 基必要である。

表 3 に International Renewable Energy Agency が予測している将来 (2050 年) の電解水素技術をもとに水素コストを示す。このコストを DRI コストに採用した。10 MW 設備の設備費用を 220 M 円 / 基とすると、75 基で 165 億円となる。

建設費用計 Shaft 炉 285 億円 + 水電解設備 165 億円 計 450 億円である。

表3 水素コスト (2050)

能力	10 MW (2.384 t-H <sub>2</sub> /y)	
システム価格	200 \$ /kW (22 M¥/MW)	
電力原単位	42 kWh/kg-H <sub>2</sub>	
<b>水素コスト (2050)</b>		
設備規模	10 MW	
システム価格	220 M¥	
固定費	14 ¥/kg	年経費率15%
変動費	630 ¥/kg	電力単価 15 ¥/kWh
計	644 ¥/kg-H <sub>2</sub>	(58 ¥/Nm <sup>3</sup> , 5.3 ¥/MJ)

## 2.2 製造コスト

表4に高炉法での銑鉄および水素直接還元法 (MIDREX 法) での直接還元鉄 (DRI) のコスト推定を示す。

表4 高炉法・直接水素還元法の製造コスト (生産量 2.5 Mt/y)

高炉法				直接水素還元法				備考
固定費			コスト(¥/kg-Fe)	固定費			コスト(¥/kg-DRI)	
設備対応	建設費 80 B¥	12,000 M¥/y	4.8	設備対応	建設費 23.5B¥	3,525 M¥/y	1.4	年経費率 15% (水素設備は除く)
人対応	100人	500 M¥/y	0.2	人対応	100人	500 M¥/y	0.2	労務費 5M¥/人
<b>固定費計</b>			<b>5</b>	<b>固定費計</b>			<b>2*</b>	
<b>変動費</b>				<b>変動費</b>				
原材料	原単位(/t-銑鉄)	単価	コスト(¥/kg-Fe)	原材料	原単位(/t-DRI)	単価	コスト(¥/kg-DRI)	
鉄鉱石	1,594 kg	12,000 ¥/t	19.1	鉄鉱石	1,417 kg	12,000 ¥/t	17	
石灰石	118 kg	1,030 ¥/t	0.1	H <sub>2</sub>	800 Nm <sup>3</sup>	75¥/Nm <sup>3</sup>	60*	水素価格 FC : 5 ¥/Nm <sup>3</sup> VC : 70 ¥/Nm <sup>3</sup> である。
CaO	44.6 kg	14,000 ¥/t	0.6	LNG	54.5 Nm <sup>3</sup> (1.79 GJ)	1.5 ¥/MJ	2.7	
石炭	827 kg	10,000 ¥/t	8.3	動力	135 kWh	15 ¥/kWh	2.0	
O <sub>2</sub>	19.2 Nm <sup>3</sup>	500 ¥/Nm <sup>3</sup>	9.6					
LPG	5.3 Nm <sup>3</sup> (469 MJ)	1.5 ¥/MJ	0.7	(H <sub>2</sub> )	800Nm <sup>3</sup>	58¥/Nm <sup>3</sup>	(46)	2050年コスト (200\$/kWh)
動力	139 kWh	15 ¥/kWh	2.1					
<b>変動費計</b>			<b>41</b>				<b>82*(68)</b>	( ) : 2050 コスト 電力単価 15 ¥/kWh
<b>合計 (¥/kg-Fe)</b>			<b>46</b>				<b>84*(70)</b>	

\* : 水素コスト 60 ¥/kg-DRI を変動費で表示しているが、固定費分 4¥/kg-DRI、変動費分 56¥/kg-DRI である。水素コストを固定費・変動費に分ける場合、DRI コストの 84 ¥/kg-DRI の内訳は固定費計 6 ¥/kg-DRI、変動費計 78 ¥/kg-DRI となる。また IRENA によると、2050 年コストは \$200/kW、電力原単位 42kWh/kg-H<sub>2</sub>。

高炉法では銑鉄コストは 46 円 /kg-Fe であり、MIDREX 法の DRI コストは 70 円 /kg-DRI (2050 年) である。DRI コストの中で、水素コストが 46 円 /kg-DRI であり価格に占める割合が 66% と非常



に大きい。電力価格が高く、安価な水素が作れない立地では DRI のコストは高く不利である。電解水素単価が例えば 31 円 /Nm<sup>3</sup> (電力価格 8 円 /kWh) の時、DRI コストは 47 円 /kg-DRI となり高炉法の銑鉄と同程度となる。

原材料に基づく二酸化炭素の排出原単位は高炉法 1.9 kg-CO<sub>2</sub>/kg、DRI 法 0.06 kg-CO<sub>2</sub>/kg であり、高炉法は二酸化炭素原単位が 1.84 kg-CO<sub>2</sub>/kg 大きい。ZC 対応で排出する二酸化炭素の捕集をアミン法 -DAC で実施すると、貯留国内ベースで炭酸ガス捕集コストは 8 円 /kg-CO<sub>2</sub> 必要である。高炉法で排出する二酸化炭素を全量捕集するためには、15 円 /kg のコスト増となり、実質の銑鉄価格は 61 円 /kg となり、DRI のコストに近づく。二酸化炭素の貯留を海外に依頼すると二酸化炭素捕集コストは 14 円 /kg-CO<sub>2</sub> となり高炉法は 27 円 /kg の負担増となり、銑鉄価格は 73 円 /kg となり、DRI と同等となる。

### 2.3 水素直接還元法の技術課題

高炉法では、鉄鉱石 (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) を主として一酸化炭素で還元し、水素直接還元法では水素で還元する。反応を簡略化すると主反応は (1) 式 (2) 式である。



鉄鉱石の還元反応は高炉法では発熱反応、水素 DRI 法では吸熱反応で外部からエネルギーを供給する必要がある。

反応温度 900°C の時、外部から供給を必要とする熱量は、1.69 MJ/kg-DRI である。

$$\begin{aligned} \text{反応熱 } 0.88\text{MJ/kg} + 900^\circ\text{C まで加熱に必要な熱量 } 0.81\text{ MJ/kg} (=1.43\text{ kg-Fe}_2\text{O}_3 \times 0.65\text{kJ/} \\ \text{kg-Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{K} \times 875\text{ K}) \quad \text{計 } 1.69\text{ MJ/kg-DRI} \end{aligned}$$

表 2 では、加熱用に 150 Nm<sup>3</sup>-H<sub>2</sub> (1.62 MJ/kg-DRI) を見込んでいるが、ほぼ等量の供給である。課題として、加えるエネルギーを削減するために、反応温度をどの程度まで下げる事ができるか、製品の DRI の顕熱の利用法の検討、加熱用水素の供給・安全な燃焼法などがある。水素による還元速度は CO や H<sub>2</sub>/CO による還元速度より早い [7, 8]、赤鉄鉱 (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) を用いて、850°C で H<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>/CO (混合ガス) での還元率を比較した結果 [8] では、H<sub>2</sub> の場合 15 分で還元率は 100% に達するが、CO の場合 30 分でも還元率は 70% である。H<sub>2</sub> 56% CO 34% CO<sub>2</sub> 6.3% CH<sub>4</sub> 4% の混合ガスでは 30 分で還元率は 95% であった。このように H<sub>2</sub> 還元法は還元速度が CO (高炉法) に比べて大きい。

還元反応は反応律速と内部拡散律速の二つの律速過程がある。H<sub>2</sub> 還元反応では初めの 5 分間 (還元率 60%) は二つの律速過程が競合するが、還元の最終過程では内部拡散が律速となる。CO 還元反応では初めの 20 分間 (還元率 50%) は二つの律速過程が競合するが、還元の最終過程では内部拡散が律速となる。

水素直接還元法では、天然ガスを改質した従来法 (H<sub>2</sub> 55%, CO 36%) のシャフト炉より生産性を高めることができる。課題として、水素還元法でのシャフト炉内の温度分布・還元率などの解析 [9] を進め、効率を高める必要がある。

## 3. まとめと政策提案

高炉法では銑鉄コストは 46 円 /kg-Fe であり、MIDREX 法の DRI コストは 70 円 /kg-DRI である。DRI コストでは水素コストが 46 円 /kg-H<sub>2</sub> であり価格に占める割合が 66% であり非常に大きい。電力価格が高く、安価な水素が作れない立地では DRI のコストは高く不利である。しかし原材料に起因する二酸化炭素の排出原単位は、高炉法 1.9 kg-CO<sub>2</sub>/kg-Fe、水素直接還元法 DRI では

0.06 kg-CO<sub>2</sub>/kg-DRI であり、二酸化炭素排出量は飛躍的に低減可能である。

Zero carbon 対応で排出する二酸化炭素をアミン法 -DAC で捕集する場合、二酸化炭素の貯留を国内でできるとき二酸化炭素の捕集コストは 8 円 /kg-CO<sub>2</sub> である。高炉法で排出する二酸化炭素を全量捕集するとき、高炉法では 15 円 /kg のコスト増となり実質の銑鉄価格は 61 円 /kg 相当となり、DRI のコストに近づき、DRI 法は存在価値がある。

DRI は日本のゼロカーボン社会に必要な技術であるが、水素製造コストや、電力コストが大きいため製造コストは高炉よりも高くなる。ゼロカーボン水素の安価な供給（水蒸気電解システムなどの活用）、再生可能エネルギーの普及、余剰電力の活用などによる電力コストの低価格化が必須である。

このテーマは今回でひとまず終了する。

技術課題として、シャフト炉の効率化、鉄鉱石加工法の工夫で内部拡散抵抗を小さくできないかなどの課題がある。また DRI を主たる粗鋼としたとき、品質・コストから電気炉を含めて全鉄鋼工程の合理化検討が必要であり、特に高品質の鋼材を生産する時の生産対応の検討など必要である。

#### 4. 政策提案

将来の ZC 社会にとって水素直接還元製鉄法は大きな位置を占めるが、日本では稼働しておらず、経験の少ない方法である。そのために、炉の最適構造などの技術検討と高品質な鋼材生産するための全製鉄工程の合理化検討など精力的に取り組む必要がある。

#### 参考文献

- [1] H.Nogami, et al., ISIJ International, vol.46(2006), No.12, pp.17596.
- [2] 住友金属工業ホームページ,  
[https://www.nipponsteel.com/news/old\\_smi/2009/news2009-07-16.html](https://www.nipponsteel.com/news/old_smi/2009/news2009-07-16.html),  
[https://www.nipponsteel.com/news/old\\_smi/2007/news2007-09-11.html](https://www.nipponsteel.com/news/old_smi/2007/news2007-09-11.html),  
(アクセス日 2022 年 2 月 14 日).
- [3] V.Chevrier, et al., 神戸製鋼技報, Vol.70 No.1, (Jul. 2020).
- [4] Direct from midrex 1st Quarter 2020 & 2nd Quarter 2020, <https://www.midrex.com>, (アクセス日 2022 年 2 月 14 日).
- [5] John Linklater, “Adapting to Raw Materials Challenges: Part 1-Operating MIDREX Plants With Lower Grade Pellets & Lump Ores”, <https://www.midrex.com/tech-article/adapting-to-raw-materials-challenges-part-1-operating-midrex-plants-with-lower-grade-pellets-lump-ores/>, (アクセス日 2022 年 2 月 14 日).
- [6] H.Hamadeh, et al., Materials, 2018. 11, 1865.
- [7] D.Spreitzer, et al., Steel research int. 2019, 90, 1900108.
- [8] 和田, et al., “鉄と鋼”, 47, 11, 1617 (1961).
- [9] A.Bondalde, et al., ISIJ int. (2005), 45, 1255.

---

---

低炭素社会の実現に向けた  
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく  
イノベーション政策立案のための提案書

## 水素直接還元製鉄法の評価と技術課題

令和4年5月

### Evaluation of the Hydrogen Direct Reduction Method of Iron Ore

Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action  
toward Low Carbon Societies,  
Center for Low Carbon Society Strategy,  
Japan Science and Technology Agency,  
2022.5

国立研究開発法人科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター

---

#### 本提案書に関するお問い合わせ先

- 提案内容について・・・低炭素社会戦略センター 上席研究員 岩崎 博 (IWASAKI Hiroshi)  
上席研究員 三森 輝夫 (MITSUMORI Teruo)
- 低炭素社会戦略センターの取り組みについて・・・低炭素社会戦略センター 企画運営室

〒102-8666 東京都千代田区四番町5-3 サイエンスプラザ 8階

TEL : 03-6272-9270 FAX : 03-6272-9273

<https://www.jst.go.jp/lcs/>

© 2022 JST/LCS

許可無く複写・複製することを禁じます。  
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。