

## 参議院常任委員会調査室・特別調査室

論題	我が国の石炭の主要用途における脱炭素技術の紹介 －持続可能な社会との調和を目指して－
著者 / 所属	平金里櫻野 / 第三特別調査室
雑誌名 / ISSN	立法と調査 / 0915-1338
編集・発行	参議院事務局企画調整室
通号	470号
刊行日	2024-11-1
頁	83-99
URL	<a href="https://www.sangiin.go.jp/japanese/annai/chousa/rip_pou_chousa/backnumber/20241101.html">https://www.sangiin.go.jp/japanese/annai/chousa/rip_pou_chousa/backnumber/20241101.html</a>

※ 本文中の意見にわたる部分は、執筆者個人の見解です。

※ 本稿を転載する場合には、事前に参議院事務局企画調整室までご連絡ください (TEL 03-3581-3111 (内線 75020) / 03-5521-7686 (直通))。

# 我が国の石炭の主要用途における脱炭素技術の紹介

## — 持続可能な社会との調和を目指して —

平金 里櫻野

(第三特別調査室)

1. はじめに
2. 石炭をめぐる状況
  - (1) 石炭の基本情報
  - (2) 生産と消費の現状及び将来の見通し
  - (3) 世界における脱石炭の動き
3. 石炭の主要用途における脱炭素の取組
  - (1) 石炭火力発電の概要
  - (2) 石炭火力発電における主な脱炭素技術
  - (3) 鉄鋼業の概要
  - (4) 鉄鋼業における主な脱炭素技術
4. おわりに

### 1. はじめに

石炭は、かつては「黒いダイヤモンド」とも言われるほど重要なエネルギー源として我が国の経済成長を支え、現在でも主に石炭火力発電と製鉄（鉄鋼業）において利用されている。しかしCO<sub>2</sub>排出原単位（熱量1単位におけるCO<sub>2</sub>排出量）が高いというデメリットがある。そのため、とりわけ石炭火力発電については、世界で「脱石炭連盟（PPCA）<sup>1</sup>」が発足する等、今や同じ化石燃料である石油やLNGと比べても厳しい目が向けられている。

一方で、この数年は、エネルギー安定供給の面から石炭を含む化石燃料の価値が見直されてきている。国内では、2020年冬期に寒さや燃料制約等を背景に電力の卸市場価格の高騰が生じ、2022年3月には制度の整備以来初となる電力需給ひっ迫警報が発出された。こ

<sup>1</sup> Powering Past Coal Alliance の略で、英国とカナダが主導し、2017年に発足した。排出削減対策を講じていない石炭火力発電からクリーンエネルギーへの移行促進に取り組む各国や地方政府等による連合で、150を超える国や都市、地域、企業で構成される。

うした中で、石炭火力を含む火力発電の持つ供給力・調整力・慣性力の重要性が再認識された。さらに、世界ではロシアのウクライナ侵略を受け天然ガス需給のひっ迫・エネルギー価格の高騰が生じ、一時的に石炭火力発電所を再稼働・稼働拡大することで対応した国もあった。

また、鉄鋼業は日本のCO<sub>2</sub>排出量の約14%（2022年度）を占め、そのインパクトは大きい。排出削減が困難な産業の一つともされており<sup>2</sup>、脱炭素社会の実現に当たっては、その産業での取組が大きな鍵となる。

本稿では、石炭をめぐる状況を整理した上で、その主な用途である石炭火力発電と鉄鋼業における脱炭素に向けた取組を紹介したい。

## 2. 石炭をめぐる状況

### （1）石炭の基本情報

石炭とは、植物が堆積して地中に埋没し、長期間にわたる自然の作用（地圧や地熱）によって、炭素分の豊富な可燃性の岩石状の物質となったものである<sup>3</sup>。エネルギー需給においては、用途に応じ一般炭と原料炭に分類され、一般炭は発電用燃料、セメント燃料等に、原料炭は主に製鉄用のコークス製造に使用される。

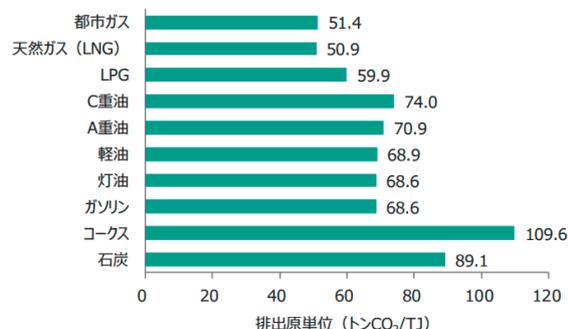
#### ア 石炭の特徴

石炭には、埋蔵量の多さ・賦存地域の分散・価格の安定性というエネルギー安全保障上の利点がある。可採年数は139年で、石油の53.5年、天然ガスの48.8年より長い<sup>4</sup>。価格は、石油や天然ガスと比較すると低廉で、近年上昇傾向にはあるものの、その価格安定性は顕著である。また、石炭は常温で固体であり、他の燃料と比較して爆発等の危険性も低いことから、野積みでの保管が可能であり、国内の操業在庫は約1か月分ある。なお、LNGは性質上長期保管ができないため、電力会社の在庫は2週間分程度である。一方で、石炭の欠点は、CO<sub>2</sub>排出原単位が高いことであり、LNGと比較して約1.8倍である（図1）。

#### イ 石炭によるCO<sub>2</sub>排出量

2022年度の日本の温室効果ガス<sup>5</sup>排出量は、約11億3,500万トン（CO<sub>2</sub>換算）であ

図1 化石燃料のCO<sub>2</sub>排出原単位（2022年度）



出典：総合エネルギー統計（資源エネルギー庁）を基に作成（出所）環境省「2022年度の温室効果ガス排出・吸収量（詳細）」

<sup>2</sup> 経済産業省「排出削減が困難な産業におけるエネルギー・製造プロセス転換支援事業」においては、鉄鋼、化学、紙パルプ、セメント等が事業対象となっている。

<sup>3</sup> 資源エネルギー庁ウェブサイト「石炭とは」〈[https://www.enecho.meti.go.jp/category/resources\\_and\\_fuel/coal/about.html](https://www.enecho.meti.go.jp/category/resources_and_fuel/coal/about.html)〉（本稿におけるインターネット情報の最終アクセス日は2024.10.17である。）

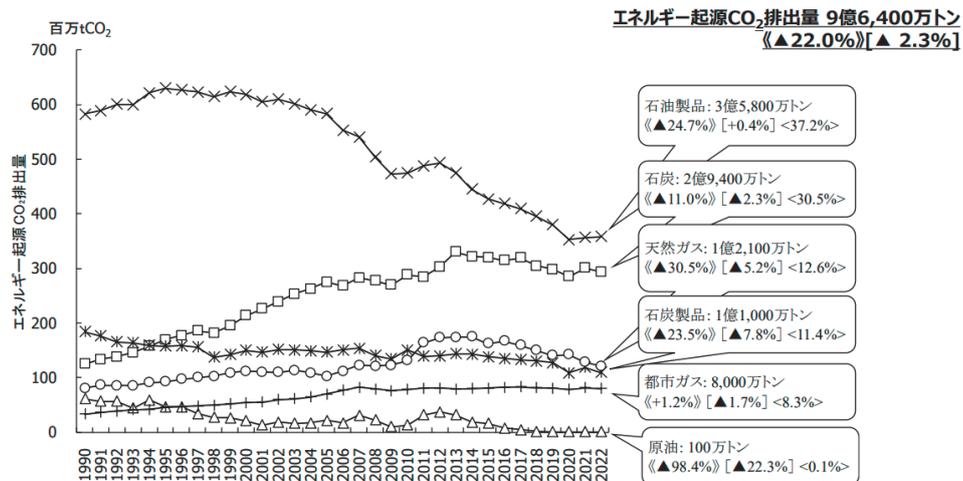
<sup>4</sup> 2020年末時点の確認埋蔵量を、2020年の生産量で除したもの。資源エネルギー庁「令和5年度エネルギーに関する年次報告」128頁、132頁、137頁。

<sup>5</sup> 日本は、温室効果ガスとして、CO<sub>2</sub>、メタン、一酸化二窒素、代替フロン等4ガスを計上している。

り、そのうち、CO<sub>2</sub>が10億3,700万トンで91.3%を占める。また、CO<sub>2</sub>排出量のうち、エネルギー起源<sup>6</sup>は9億6,400万トンである<sup>7</sup>。これを燃料種別に見ると、石炭2億9,400万トン(30.5%)、石炭製品<sup>8</sup>1億1,000万トン(11.4%)となり、合わせて41.9%を占める(図2)。

また、石炭火力発電のCO<sub>2</sub>排出量は2億5,900万トンで、発電に伴うCO<sub>2</sub>排出量の60.9%を占める<sup>9</sup>。鉄鋼業のCO<sub>2</sub>排出量は1億3,400万トンで、産業部門<sup>10</sup>で最多の38%を占める<sup>11</sup>。

図2 燃料種別のエネルギー起源CO<sub>2</sub>排出量の推移



※四捨五入の関係で、合計値が一致しない場合がある。

<出典> 温室効果ガスインベントリを基に作成

《2013年度比》《2021年度比》<全体に占める割合(最新年度)>

(出所) 環境省「2022年度(令和4年度)温室効果ガス排出・吸収量について」

## (2) 生産と消費の現状及び将来の見通し

### ア 生産と消費の現状

石炭は米国、ロシア、豪州、中国、インド等に多く埋蔵されており、地域的な偏りが少ない。世界の石炭生産量は、2000年代に入ると発電用燃料となる一般炭を中心に増加しており、2022年は中国が50.8%と世界の石炭生産量の半分を占める。また、次いで、インド11.0%、インドネシア8.0%となっており、アジアの比率が拡大している<sup>12</sup>。一方で、消費は、2013年まで中国やインドを中心に増加し、その後は増減を繰り返しつつ、2022年には過去最高の約84億トンとなった。国別に見ると、中国だけで世界全体の半分

<sup>6</sup> 残りの非エネルギー起源のCO<sub>2</sub>排出量としては、セメント製造等の工業プロセスや廃棄物の焼却に伴うものなどがある。環境省「2022年度(令和4年度)温室効果ガス排出・吸収量について」<<https://www.env.go.jp/content/000234564.pdf>>12頁。

<sup>7</sup> 前掲脚注6、5～6頁

<sup>8</sup> 鉄鋼業で使用されるコークス、高炉ガス等。

<sup>9</sup> 前掲脚注6、40頁

<sup>10</sup> エネルギー起源CO<sub>2</sub>排出量(電気・熱配分後)を部門別に見ると、産業37%、運輸20%、業務その他19%、家庭16%、エネルギー転換9%である。前掲脚注6、7頁。

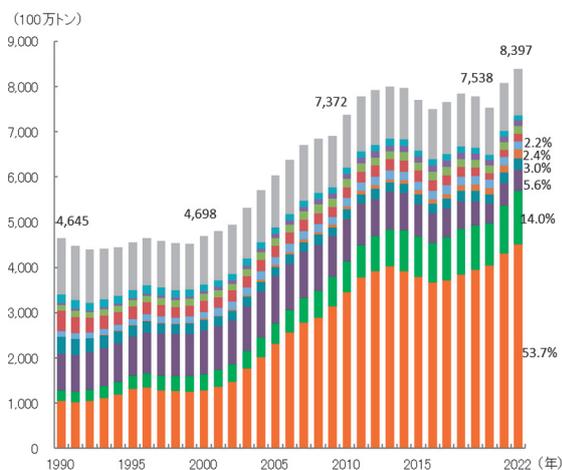
<sup>11</sup> 前掲脚注6、8頁

<sup>12</sup> 資源エネルギー庁「令和5年度エネルギーに関する年次報告」137頁

以上を消費している（図3）。

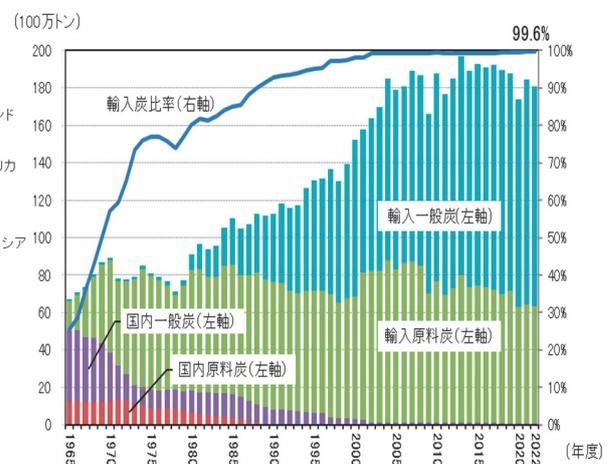
日本における石炭の国内供給量は約1.8億トン（2022年度）で、2000年代以降ほぼ全量を海外から輸入している（図4）。輸入先は一般炭と原料炭共に豪州が過半を占め、これにインドネシアが続き、この2か国で75%を超える。さらにロシア、米国、カナダからも輸入している。一方、消費用途は、電気業約1.1億トン、鉄鋼業約5,500万トン、次いで窯業・土石製品製造業となっている。電気業は、石炭火力発電所の新設及び増設に伴い消費が増加し、2003年度から最大の石炭消費部門となった。鉄鋼業における消費は、6,000万～7,000万トン前後で推移し、近年は減少傾向にある<sup>13</sup>。

図3 世界の石炭消費の推移（国別）



注) 2022年のデータは推計値。  
資料：IEA「Coal Information 2023」を基に作成

図4 国内炭・輸入炭の供給の推移



(注)「国内一般炭」には国内無煙炭を、「輸入一般炭」には輸入無煙炭をそれぞれ含む。  
出典：2000年度までは経済産業省「エネルギー生産・需給統計年報」、2001年度以降のデータは財務省「日本貿易統計」、カーボンフロンティア機構「コールデータバンク」を基に作成

(出所) 図3、図4共に資源エネルギー庁「令和5年度エネルギーに関する年次報告」

## イ 将来の見通し

世界の石炭需要見通しについて、世界エネルギー機関（IEA）の予測では、どのシナリオ<sup>14</sup>でも需要量は減少していくものの（図5）、2050年においても、IEA STEPSでは2022年比約60%の需要が残るとされる（図6）。

日本の石炭需要見通しは、IEA及び日本エネルギー経済研究所（IEEJ）<sup>15</sup>のどちらの予測においても、2030年にかけて順調に減少するものの、その後は緩やかに減少し

<sup>13</sup> 資源エネルギー庁「令和5年度エネルギーに関する年次報告」103頁

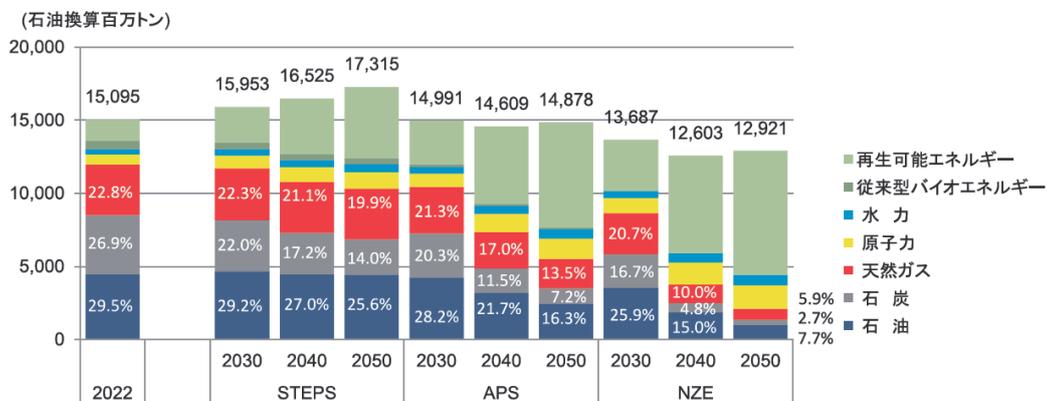
<sup>14</sup> IEAの2050年ネットゼロに向けたエネルギー転換経路のシナリオは三つである。STEPS（公表政策シナリオ）：現行政策に基づいたもの、APS（表明公約シナリオ）：政府の公約に基づいたもの、NZE（ネットゼロシナリオ）：排出量ネットゼロ達成を目標としたもの。

<sup>15</sup> IEEJのシナリオは二つである。レファレンスシナリオ：「現在までのエネルギー・環境政策等を背景とし、これまでの趨勢的な変化が継続」したもの。技術進展シナリオ：「エネルギー安定供給の確保や気候変動対策の強化に向けた政策等が強力に実施され、適用機会や受容性を踏まえ最大限に導入」されたもの。

ていく（図7）。I E E Jによる一般炭と原料炭に分けた予測では、2050年の一般炭輸入量は2021年の41%（レファレンス）～15%（技術進展）と大きく減少すると見込まれるものの幅があり、原料炭は83%（レファレンス）～74%（技術進展）と減少幅は小幅にとどまるとされている<sup>16</sup>。

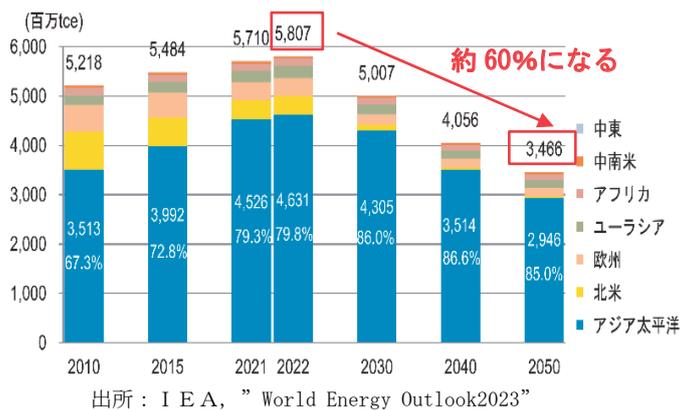
このように見通しに幅がある中で、実際の需要減少を上回る供給減少が生じる可能性が指摘されている。日本企業による石炭の自主開発比率は、特に一般炭において金融機関の融資方針や商社による権益売却によって低下しており、政府の審議会で対応の必要性について言及されている<sup>17</sup>。原料炭においては、鉄鋼会社において、炭鉱の権益獲得により自社調達比率を高める取組が見られる<sup>18</sup>。

図5 シナリオ別一次エネルギー需要見通し（IEA）



注： 2022年の数値は暫定値。  
出所：IEA, "World Energy Outlook 2023"

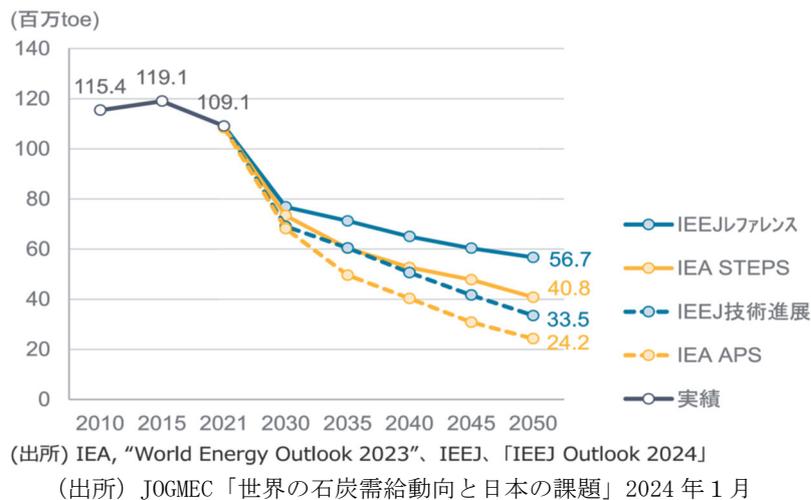
図6 石炭需要見通し（IEA STEPS）



（出所）図5、図6共に、独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構（JOGMEC）「世界の石炭需給動向と日本の課題」2024年1月、赤色部分は筆者加筆

<sup>16</sup> JOGMEC 令和5年度第2回石炭ブリーフィング（2024.1）資料「世界の石炭需給動向と日本の課題」〈<https://www.jogmec.go.jp/content/300387654.pdf>〉20頁  
<sup>17</sup> 総合資源エネルギー調査会基本政策分科会（第59回会合）（2024.7.23）資料1「安定供給の現状と課題と火力の脱炭素化の在り方について」68頁  
<sup>18</sup> 『日本経済新聞』（2024.8.23）

図7 我が国の石炭需要見通し



### (3) 世界における脱石炭の動き

世界では、主に電力部門において脱石炭の動きが活発化している。2021年の国連気候変動枠組条約第26回締約国会議（COP26）におけるグラスゴー気候合意では、排出削減対策が講じられていない石炭火力発電の「段階的削減（phase down）」及び非効率な化石燃料補助金の「段階的廃止（phase out）」が合意された<sup>19</sup>。2022年のCOP27はこれを踏襲し、2023年のCOP28においては、「化石燃料からの移行（transition away）」に合意した。なお、COP28では、岸田首相（当時）が「排出削減対策が講じられていない新規の国内石炭火力発電所の建設を終了」すると表明した。

2024年4月のG7気候・エネルギー・環境大臣会合では、「各国のネット・ゼロの道筋に沿って、2030年代前半、または、気温上昇を1.5度に抑えることを射程に入れ続けることと整合的なタイムラインで、排出削減対策が講じられていない既存の石炭火力発電をフェーズアウトする<sup>20</sup>」ことなどで合意し、G7の共同声明において初めて（おおよそではあるものの）廃止年限が示された。

石炭火力発電に関する各国の状況を見ると（図8）、石炭火力発電の割合が元々低い国は全廃の年限を表明する傾向にあり<sup>21</sup>、割合が高い国は、段階的な脱炭素化を目指す傾向があるなど、各国の実態に応じた措置が取られている。ただし、民間では、気候変動に対応すべく石炭事業向けの財務支援を回避・除外するダイベストメントが加速する中、日本においても、商社等が石炭事業向けの投融資を回避する動きが加速していることも指摘されている<sup>22</sup>。

<sup>19</sup> 資源エネルギー庁ウェブサイト「あらためて振り返る、「COP26」（前編）～「COP」ってそもそもどんな会議？」〈[https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyocop26\\_01.html](https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyocop26_01.html)〉

<sup>20</sup> 前掲脚注17、40頁

<sup>21</sup> ドイツは、2022年の電源構成において石炭が33.0%を占めるが、石炭火力全廃の年限を表明している。2023年には、同国内の電源別発電比率で石炭（褐炭を含む）が26%となる一方、再エネが初めて50%を超え、約53%となった。資源エネルギー庁「エネルギーをめぐる状況について」（2024.5）〈[https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic\\_policy\\_subcommittee/2024/055/055\\_004.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2024/055/055_004.pdf)〉31頁。

<sup>22</sup> JOGMEC 令和4年度第3回石炭ブリーフィング（2023.2）資料「我が国の石炭調達と主要石炭会社の動き」

図8 石炭火力発電に関する各国の状況

国名	石炭火力全廃の年限を表明					火力発電の段階的な脱炭素化					
	フランス	イギリス	カナダ	イタリア	ドイツ	アメリカ	日本	韓国	オーストラリア	中国	インド
発電量 (億kWh)	4,692	3,221	6,512	2,821	5,743	44,729	10,106	6,102	2,708	88,892	18,194
石炭火力の割合	1.3%	2.0%	4.0%	8.6%	33.0%	20.4%	30.8%	33.9%	49.3%	61.8%	71.8%
今後の見通し	2027年1月1日までに石炭火力を退出。	2024年10月1日までに、排出削減対策が講じられていない石炭火力をフェーズアウト(残る容量は約2GW)	2030年までに排出削減対策が講じられていない石炭火力をフェーズアウト。 CCUS付きであれば2030年以降も稼働可能。	2025年までに石炭火力をフェーズアウト(サルディーニャを除く)。	遅くとも2038年までに(理想的には2030年までに)石炭火力をフェーズアウト。	2035年までに発電部門のネットゼロを、2050年までに排出量のネットゼロを達成。	2030年ミックスで19%。非効率な石炭火力のフェードアウト、水素・アンモニアやCCUS等を活用。	石炭火力の発電電力量比率を2030年に約20%まで引き下げる方針。	2035年に再生エネ82%とするも、石炭火力については言及なし。	国全体の排出量を2030年にピークアウトさせる方針だが、石炭火力に関する明確な言及なし。	容量シフトは23年から2029-30年に32%に減少も、容量そのものは40GW増える見込み。

(出典) 電力需要及び石炭火力の割合についてはIEA World Energy Balances (各国2022年の発電量)、総合エネルギー統計(2022年度概報)をもとに、各国の政策方針については各国政府HP、各種報道をもとに経産省作成

(出所) 資源エネルギー庁「安定供給の現状と課題と火力の脱炭素化の在り方について」2024年7月

一方、鉄鋼、セメント（窯業）等の産業部門については、電力とは異なり、現時点で脱石炭を実現するための十分な代替手段がないため、「排出削減が困難な産業（hard-to-abate）」とされており、当面の取組として、エネルギーの効率的な使用や燃料の一部置換えが進められている。G7においては、2021年に、G7政府のハイレベルな調整を通じ市場の潜在能力を引き出すための「G7産業脱炭素化アジェンダ（IDA）」が開始された。IDAは、2023年のG7気候・エネルギー・環境大臣会合において、鉄鋼分野の「ニア・ゼロ・エミッション」<sup>23</sup>を定義する際の土台となるCO<sub>2</sub>排出量の測定方法に関する議論と、そのために必要な基礎データの収集を開始することで合意した。その作業は、IEA産業脱炭素化作業部会等で進められている<sup>24</sup>。なお、IEAは、これら排出削減が困難な産業部門における2050年ネットゼロ（カーボンニュートラル）の実現に向けては、革新的技術の開発・普及や、低炭素水素やCO<sub>2</sub>の輸送等のインフラ整備のため、ネットゼロ公約済みの国々で約6兆米ドルの投資が必要としている<sup>25</sup>。

### 3. 石炭の主要用途における脱炭素の取組

石炭の主要用途である石炭火力発電と鉄鋼業について、その概要と主な脱炭素の取組を

<<https://www.jogmec.go.jp/content/300382481.pdf>>24～25 頁

<sup>23</sup> 「ニア・ゼロ・エミッション」は、2022年のG7議長国であるドイツの要請に基づき、IEAが同年5月に公表した報告書（「Achieving Net Zero Heavy Industry Sectors in G7 Members」<<https://www.iea.org/reports/achieving-net-zero-heavy-industry-sectors-in-g7-members>>）で提案した概念であり、鉄鋼を生産する際に使う原材料に応じて基準（しきい値）となるCO<sub>2</sub>排出量を決め、支援策などの政策決定に役立てようとするもの。今後、「グリーンスチール」を定義する際の議論の出発点になると考えられている。資源エネルギー庁ウェブサイト「鉄鋼業の脱炭素化に向けた世界の取り組み（前編）～「グリーンスチール」とは何か？」（2023.8.10）<[https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyogreen\\_steel\\_01.html](https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyogreen_steel_01.html)>。

<sup>24</sup> 第18回産業構造審議会グリーンイノベーションプロジェクト部会エネルギー構造転換分野ワーキンググループ（2023.9.15）資料4「鉄鋼業のカーボンニュートラルに向けた国内外の動向等について」8頁

<sup>25</sup> IEA「Coal in Net Zero Transitions」（2022.11）<<https://iea.blob.core.windows.net/assets/4192696b-6518-4cfc-bb34-acc9312bf4b2/CoalInNetZeroTransitions.pdf>>16～17 頁

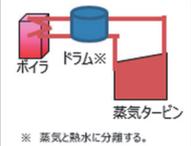
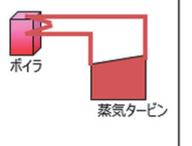
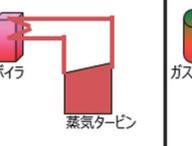
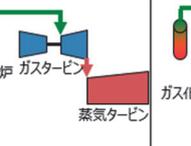
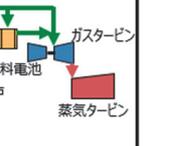
紹介する。

(1) 石炭火力発電の概要

ア 石炭火力発電の現状

2020年7月時点で、日本の石炭火力発電所は150基（約4,800万kW）、そのうち大手電力の保有が70基（約3,900万kW）である<sup>26</sup>。

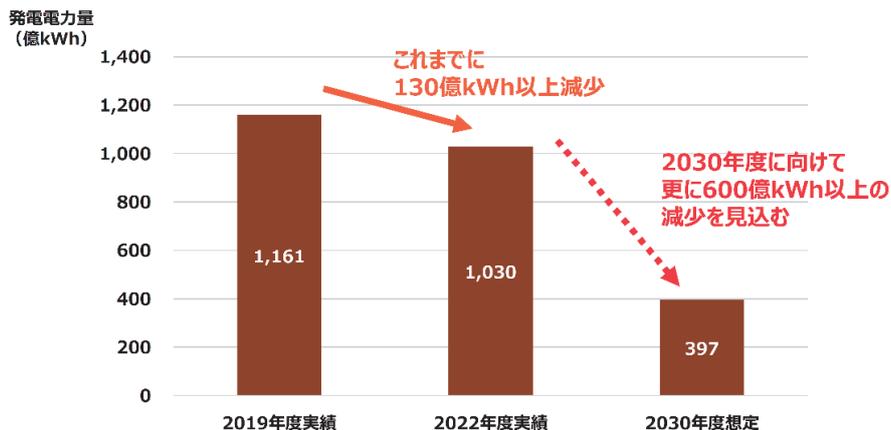
図9 石炭火力発電の種類

発電方式	亜臨界圧 (SUB-C)	超臨界圧 (SC)	超々臨界圧 (USC)	石炭ガス化複合発電 (IGCC)	石炭ガス化燃料電池複合発電 (IGFC)
概要	蒸気タービンのみで発電する方式。旧式であり、安価で運転管理も容易。	蒸気タービンのみで発電する方式。途上国では現在導入が進む主流の技術。	蒸気タービンのみで発電する方式。現在の石炭火力の主流。蒸気の温度・圧力を上げることで効率向上。	石炭をガス化した上で燃焼させて発電する技術。ガスタービン発電と、そこから排熱で発生させた蒸気を利用する蒸気タービン発電の2つを複合させることで高効率化が可能となる。	IGCCにさらに燃料電池を組み合わせたトリプル複合発電方式。更に高効率化が可能。現在広島県の大崎上島で2022年度の実証試験開始に向けて準備中。
構造	 ※ 蒸気と熱水に分離する。				
発電効率	38%以下	38%~40%程度	41%~43%程度	46~50%程度	55%程度
蒸気圧力 蒸気温度	221bar以下 (1bar≒1気圧)	221barを超えるもの	221barを超えるもの 593℃以上	ガス温度：1300℃~	ガス温度：1300℃~

(出所) 資源エネルギー庁「非効率石炭火力発電をどうする？フェードアウトへ向けた取り組み」(2020.11.6) <[https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/hikouritu\\_sekitankaryoku.html](https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/hikouritu_sekitankaryoku.html)>

(筆者注) IGFCの大崎上島での実証試験は終了している。3.(2)アを参照。

図10 非効率石炭火力の発電電力量推移・見通し



(出典) 火力脱炭素化計画 (旧・フェードアウト計画) から資源エネルギー庁作成

(注) 火力脱炭素化計画の作成対象である大手発電事業者 (旧一般電気事業者、JERA、電源開発、日本製鉄、神戸製鋼) のみの発電電力量を積み上げたもの。集計対象はSC・Sub-C・PFBC。

(出所) 資源エネルギー庁「今後の火力政策について」2024年5月8日

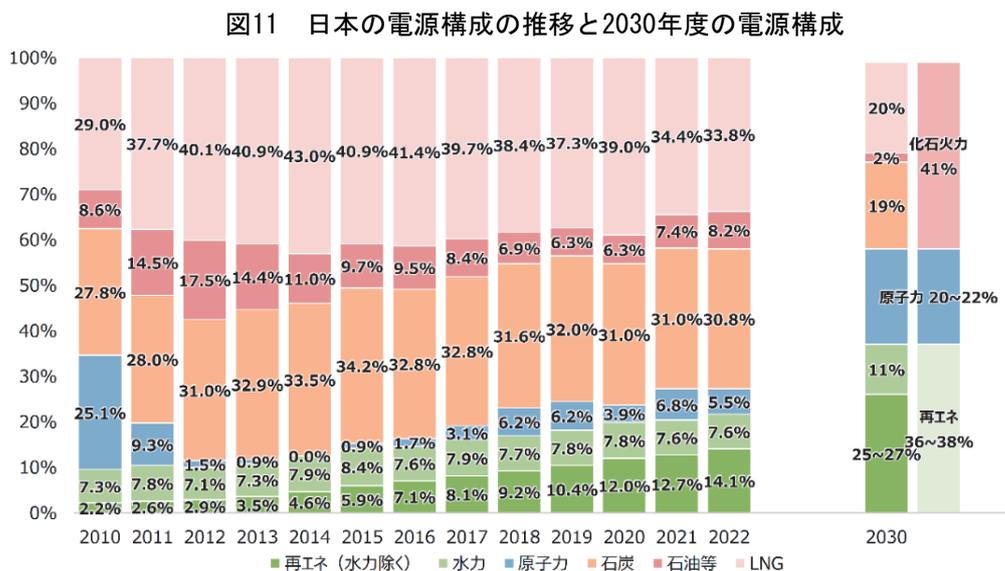
<sup>26</sup> 資源エネルギー庁「石炭火力検討ワーキンググループ中間取りまとめ概要」(2021.4.23) <[https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku\\_gas/denryoku\\_gas/sekitan\\_karyoku\\_wg/pdf/20210423\\_1.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/denryoku_gas/sekitan_karyoku_wg/pdf/20210423_1.pdf)> 7頁

石炭火力発電の種類は図9のとおりである。亜臨界圧（SUB-C）、超臨界圧（SC）がいわゆる非効率石炭火力発電で、石炭火力全体の約半数を占めるが、大手発電事業者はフェードアウトを予定しており、その見通しは図10のとおりである。2000年以降に大手電力会社が設置した石炭火力発電は基本的に超々臨界圧（USC）<sup>27</sup>で、直近では2023年に株式会社JERA横須賀火力発電所の2基が稼働を開始した。日本では石炭ガス化複合発電（IGCC）までが商用化されており、日本の石炭火力発電の発電効率は世界最高水準である。

### イ 石炭火力発電に係る政府方針

第6次エネルギー基本計画（2021年10月閣議決定）では、石炭は「調達に係る地政学リスクが最も低く、熱量当たりの単価も低廉であることに加え、保管が容易であることから、現状において安定供給性や経済性に優れた重要なエネルギー源」であり、「今後、石炭火力は、再生可能エネルギーを最大限導入する中で、調整電源としての役割が期待されるが、電源構成における比率は、安定供給の確保を大前提に低減させる」とした。特に、非効率な石炭火力は、省エネ法の規制強化により、最新鋭のUSC並みの発電効率を目標に設定し、発電効率の算定時にアンモニア等の混焼分の控除を認めることで、脱炭素化技術導入の促進につなげていくとしている。また、次世代高効率石炭火力発電技術であるIGCCや石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）等の技術開発を推進するとしている。

これらを踏まえ、同基本計画では、2030年の電源構成において、石炭の割合は19%とした（図11）。そして2050年に向けては、電力の安定供給の確保を大前提に、電源構成に占める比率をできる限り引き下げていくこととした。



（出典）総合エネルギー統計（2022年度確報）、2030年度におけるエネルギー需給の見通しをもとに資源エネルギー庁作成

（出所）資源エネルギー庁「安定供給の現状と課題と火力の脱炭素化の在り方について」2024年7月

<sup>27</sup> USCは、微粉炭機で粉状に粉砕した石炭をボイラーで燃やし、ボイラー内に張り巡らされたパイプを通る水を高温・高圧の蒸気にしてタービンを回し、発電するもので、現在も改良が行われている。

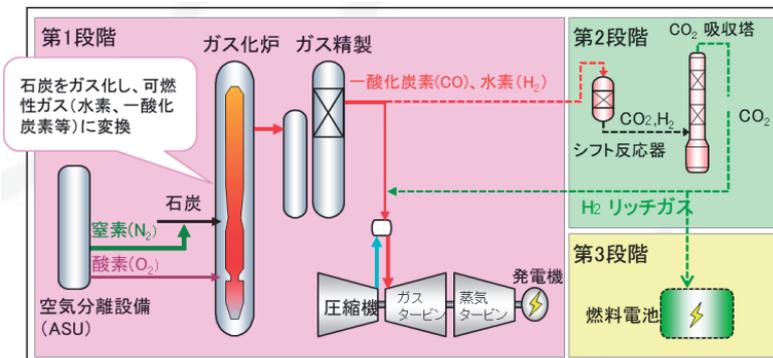
## (2) 石炭火力発電における主な脱炭素技術

今後の石炭火力発電の脱炭素を左右する主な技術としては、石炭のガス化とアンモニア混焼・専焼がある。前者は、石炭火力発電の発電効率を高める試みであるが、CO<sub>2</sub>排出は残るため、脱炭素に向けてはCCS<sup>28</sup>等と組み合わせる必要がある。一方、後者は、燃料の石炭を脱炭素燃料に置き換えていくものであり、100%アンモニア専焼が実現すれば脱石炭となる。以下、それぞれ紹介する。

### ア 石炭ガス化による複合発電（IGCC・IGFC）

IGCCは石炭をガス化して熱回収し、ガスタービンと蒸気タービンで複合発電することにより、従来のUSCを上回る発電効率を実現するものである。IGFCは、さらに燃料電池（FC）を用いて3種類の発電形態を用いることで、究極の高効率発電を目指すものである。

図12 大崎クールジェンプロジェクト概要図



(出所) NEDO「「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／①石炭ガス化燃料電池符号発電実証事業」(中間評価)2016年度～2025年度10年間プロジェクトの概要(公開版)」(2023年11月6日)

これらの技術の実証として、大崎クールジェンプロジェクトが立ち上げられ、「石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業」が進められた<sup>29</sup>(図12)。実証試験は2016年度に第一段階を開始し、2022年度末に第三段階まで終了した。2026年度に事後評価が行われる。

石炭のガス化技術は、従来の石炭火力発電には不向きな低品位炭を利用することから、資源の有効活用につながるほか、経済的なメリットも期待できる。また、処理するガスの性状が、高圧・少量・高CO<sub>2</sub>濃度であることから、CO<sub>2</sub>の効率的な分離回収が可能である<sup>30</sup>。これらの技術によるCO<sub>2</sub>排出量は、USCが820g/kWhであるのに対し、IGCCが650g/kWh、IGFCが590g/kWhの見通しである<sup>31</sup>。したがって、脱炭素に向けては、CO<sub>2</sub>分離・回収技術との組み合わせが重要となる。

大崎クールジェンプロジェクトは、更なる脱炭素化に向けバイオマス燃料の混合に取り組んでおり、実証試験が2024年9月から開始された。IGCCへのバイオマス混合は

<sup>28</sup> CCS (Carbon dioxide Capture and Storage) : CO<sub>2</sub>を分離回収し、貯留する技術

<sup>29</sup> 中国電力株式会社と電源開発株式会社(J-POWER)の出資により、2009年7月に設立された「大崎クールジェン株式会社」によって、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)事業として実証事業が行われている。

<sup>30</sup> 大崎クールジェン株式会社ウェブサイト「石炭ガス化技術の特徴」<<https://www.osaki-coolgen.jp/technology/feature.html>>

<sup>31</sup> 総合資源エネルギー調査会基本政策分科会発電コスト検証ワーキンググループ(第1回会合)(2024.7.22)参考資料1-1「基本政策分科会に対する発電コスト検証に関する報告」78頁

世界初であり、混合率 10%を超える技術が確立すれば、回収率 90%以上のCO<sub>2</sub>分離・回収技術とCO<sub>2</sub>貯留・利用技術(CCS・CCUS<sup>32</sup>)との組合せにより、カーボンニュートラルを実現することが可能となるとされる。

また、IGCC技術の商用化として、2021年から福島県の広野IGCC、<sup>なこそ</sup>勿来IGCCが運転を開始している(CO<sub>2</sub>分離・回収設備はない)。さらに、電源開発株式会社松島火力発電所では、既存の石炭火力発電所に石炭ガス化設備を付加して複合発電化するGENESIS松島計画が進められており、2028年度に運転開始予定である。既存施設への新技術適用により、電力安定供給を維持しながら経済的な排出削減が可能となる。将来的にはCCUSを組み合わせて、高濃度水素ガスによるCO<sub>2</sub>フリー水素発電及びCO<sub>2</sub>フリー水素の製造・供給を目指すとしている。

### イ アンモニア混焼・専焼

アンモニア(NH<sub>3</sub>)は燃焼してもCO<sub>2</sub>を排出しないゼロエミッション燃料であり、水素とともに脱炭素化において重要かつ有効な手段とされている。アンモニアは燃焼速度が石炭と近いため、まずは石炭火力発電への混焼を目指し、設備面の開発が進められてきた。燃料としてのアンモニアには、輸送・貯蔵技術が確立済みという利点がある一方で、現状、その大半が天然ガス等の化石燃料の改質によって製造されており(グレーアンモニア)、製造時に発生するCO<sub>2</sub>の処理が必要となる。また、現在は主に肥料用途で国内年間利用量は約100万トンであるが、燃料アンモニア需要は2030年に年間300万トン、2050年には3,000万トンと、大幅な増加が想定されている<sup>33</sup>。そのため、政府は海外から大量かつ安価に調達することを想定し、大規模な燃料アンモニアサプライチェーン構築を目指している。脱炭素のためには、クリーンで安価・安定的な製造方法の確立が求められるが、当面は製造時のCO<sub>2</sub>をCCS等により大気中に放出しないで製造するブルーアンモニアの活用が検討されている。

JERA碧南火力発電所は、100万kW級大型商用石炭火力発電機を用いて、2024年4月から6月にかけて、燃料をアンモニアに20%転換する世界で初めての大規模実証試験を実施し、順調に終了した。JERAは、早ければ2027年度には20%転換の商用運転を開始し、2028年度には転換率50%以上の実証試験、2030年代前半の商用運転の開始を見込んでいる。また、アンモニア100%の専焼は技術的な課題が多く想定されているものの、2040年代の移行が計画されている。

今回の実証では、アンモニアを海外から常圧で-33℃の液体にして船で運び、約3～4万トン使用した。20%転換の商用運転時のアンモニア使用量は1基につき50万トン/年と見込まれており<sup>34</sup>、JERAは、アンモニアの製造・調達、輸送、貯蓄等のバリューチェーン構築に向け、海外を含む多くの事業者と協業を進めている。

なお、アンモニア混焼については、グレーまたはブルーアンモニア製造時等のCO<sub>2</sub>排

<sup>32</sup> CCUS (Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage) : 分離・貯留したCO<sub>2</sub>を利用する技術

<sup>33</sup> 経済産業省・資源エネルギー庁「グリーンイノベーション基金事業「燃料アンモニアサプライチェーンの構築」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画」(2024.7.11) 4頁

<sup>34</sup> JERAウェブサイト「-今知っておきたい-電力の話#4」<<https://www.jera.co.jp/action/discover/004>>

出量を考慮すると、CO<sub>2</sub>排出量削減効果は限定的となるなどの懸念も示されている<sup>35</sup>。

### (3) 鉄鋼業の概要

鉄鋼は基礎素材産業として幅広い製品の材料となっており、サプライチェーンの川上に位置することから、日本産業の競争力を下支えしている。また、工場が立地する地域経済の牽引役としても重要な役割を果たしている。日本の鉄鋼業の生産プロセスにおけるエネルギー効率の世界最高水準で、高機能鋼材を利用する代表的な5品種<sup>36</sup>による国内外でのCO<sub>2</sub>削減効果は、3,479万t-CO<sub>2</sub>（2022年度断面）に達する<sup>37</sup>。こうした高機能鋼材は高く評価されており、粗鋼輸出1位の中国でも、日本からの輸入超過が続いている<sup>38</sup>。EVのほか、洋上風力、CCS関連インフラ等にも使用されることから、脱炭素化に向けて不可欠な素材であり、他産業への経済波及効果も高い。

新興国等が発展していく中で、将来にわたって鋼材需要量は増大するとみられており、IEAでは、製造工程のCO<sub>2</sub>排出量が実質ゼロであるグリーンスチールの市場を、2050年時点で世界で約5億トンと予測している<sup>39</sup>。GX実現に向けた基本方針（2023年2月閣議決定）においては、グリーンスチールの2030年1,000万トン供給を目標としている<sup>40</sup>。

### (4) 鉄鋼業における主な脱炭素技術

#### ア 鉄鋼の基本的な製造方法

鉄鋼の製造には、鉄鉱石（酸化鉄であるFeO、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等が含まれる）から酸素除去（還元）が必要である。大量かつ安定的・安価に還元を行うには、石炭が最適であるが、その還元の際に炭素（C）と酸素（O<sub>2</sub>）が結びついてCO<sub>2</sub>が発生する。日本では主に石炭化度の高い高品位炭を使用している。

鉄鋼の製造方法は主に3種類あり（図13）、日本における製鉄の主流は、高炉法（生産量比率75%）と電炉法（同25%）である<sup>41</sup>。

高炉法では、原料炭を蒸し焼きにしたコークスで還元を行って銑鉄を作り、それを転炉で精錬する。運用に高度な技術力を要するが、高品質・経済性を両立させる極めて効率的な生産手段である。しかし、大量のCO<sub>2</sub>を排出し、鉄鋼製造プロセスからのCO<sub>2</sub>排出量の約80%は、高炉による還元プロセスに由来する<sup>42</sup>。一方、電炉法は、市中から

<sup>35</sup> 一般財団法人自然エネルギー財団「なぜ石炭火力アンモニア混焼への投資が1.5°Cに整合しないのか」（2023.11.29）〈<https://www.renewable-ei.org/activities/column/REupdate/20231129.php>〉、第一生命経済研究所ビジネス環境レポート「アンモニア混焼を巡る日本と欧米の温度差」（2023.6）〈<https://www.dlri.co.jp/files/ld/253392.pdf>〉

<sup>36</sup> 船舶、ボイラー、自動車、電車、トランス（変圧器）

<sup>37</sup> 2023年度第1回産業構造審議会産業技術環境分科会地球環境小委員会鉄鋼ワーキンググループ（2024.2.14）資料4-1（一般社団法人日本鉄鋼連盟提出）「カーボンニュートラル行動計画報告」25頁

<sup>38</sup> 同上、71頁

<sup>39</sup> 第10回産業構造審議会グリーンイノベーションプロジェクト部会エネルギー構造転換分野ワーキンググループ（2022.9.12）資料4「鉄鋼業のカーボンニュートラルに向けた国内外の動向等について」14頁

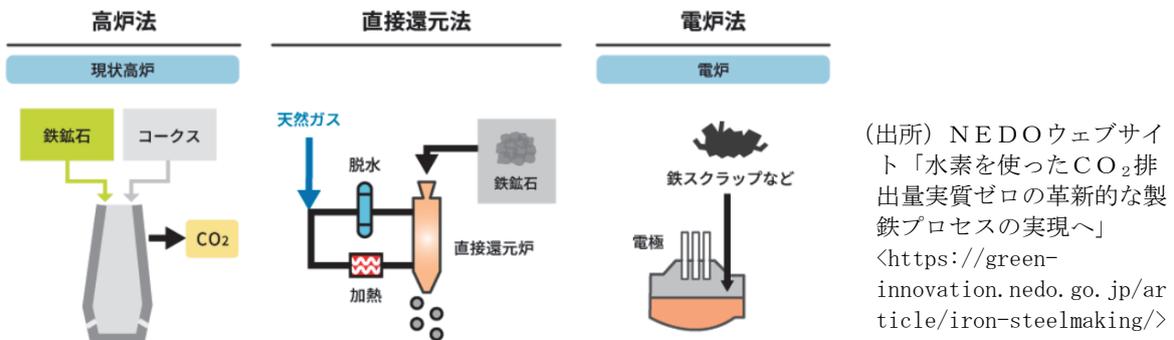
<sup>40</sup> 「GX実現に向けた基本方針参考資料」〈[https://www.meti.go.jp/press/2022/02/20230210002/2023021002\\_3.pdf](https://www.meti.go.jp/press/2022/02/20230210002/2023021002_3.pdf)〉5頁

<sup>41</sup> 前掲脚注39、32頁

<sup>42</sup> JFEグループ環境経営ビジョン2050説明会（2021.5.25）資料〈<https://www.jfe-holdings.co.jp/inves>〉

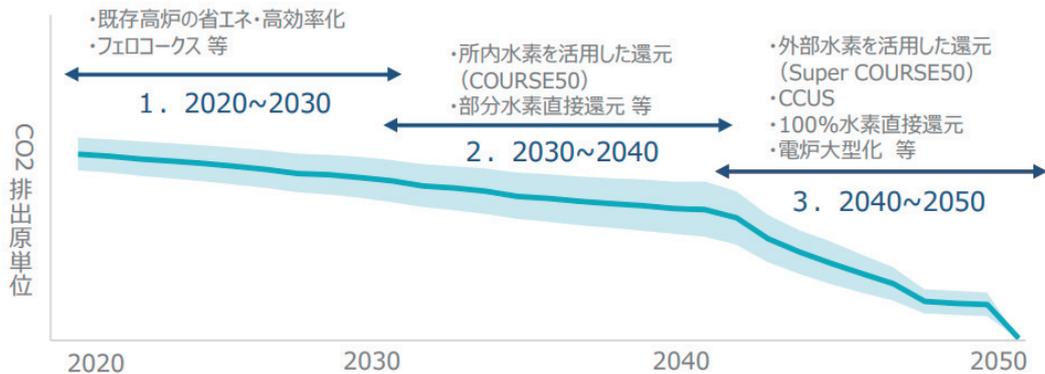
回収した鉄スクラップ等を原料とし、電気を用いて電炉で溶かし鉄鉱を生産する。一般的に高炉は大型で電炉は小型である。

図13 鉄鋼の製造方法



一般社団法人日本鉄鋼連盟は、「我が国の2050年カーボンニュートラルに関する日本鉄鋼業の基本方針」(2021年2月)において、ゼロカーボン・スチールの実現に挑戦することを表明した。また、経済産業省が「「トランジションファイナンス」に関する鉄鋼分野における技術ロードマップ」(2021年10月)を策定している。これは鉄鋼各社がトランジションファイナンスを活用した気候変動対策を検討するにあたり参照できるものとして策定されたもので、2050年までに実用化が想定される低炭素・脱炭素技術や、それらの実用化のタイミングについて、イメージを示したものである(図14)。

図14 CO<sub>2</sub>排出の削減イメージ



(出所) 経済産業省「「トランジションファイナンス」に関する鉄鋼分野における技術ロードマップ」(2021.10)

## イ 高炉における脱炭素技術

### (ア) 水素還元技術 (COURSE50<sup>43</sup>・Super COURSE50)

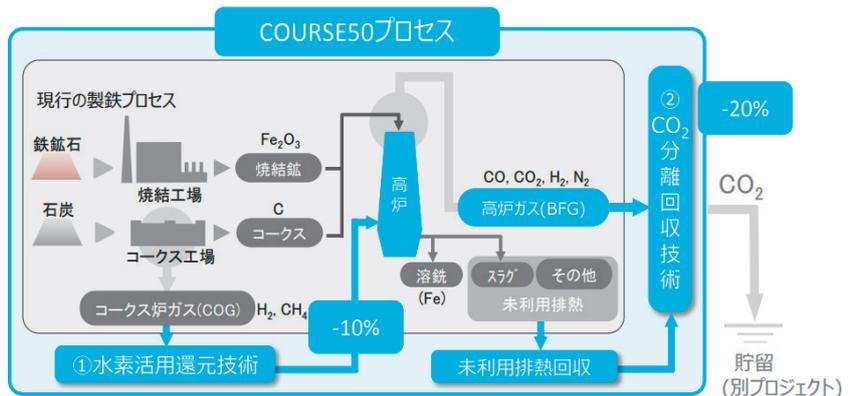
グリーンスチールを生み出す技術として、コークスの代わりに水素で鉄鉱石を還元す

tor/zaimu/g-data/jfe/2020/2020-environmental-management-vision210525-01.pdf>10頁

<sup>43</sup> CO<sub>2</sub> Ultimate Reduction System for Cool Earth 50 Project の略

る水素還元技術の開発が行われており、日本は世界に先駆けて取り組んできた。高炉においては、COURSE50という技術開発が行われている（図15）。コークス炉ガスを改質した水素系ガス等の製鉄所内水素を吹き込むなどして、CO<sub>2</sub>排出量を削減させ、さらにCO<sub>2</sub>分離回収技術等を組み

図 15 COURSE50 の概要



（出所）NEDO 「環境調和型プロセス技術の開発／①水素還元等プロセス技術の開発（フェーズⅡ－STEPⅠ）」（中間評価）（2018年度～2022年度5年間）プロジェクトの概要（公開）（2020年8月）

合わせる。2030年までに製鉄プロセスからのCO<sub>2</sub>排出量を30%以上（水素還元技術10%、CCS20%）削減する技術の実装を目指している。2013年度から試験高炉を用いた試験を開始し、還元工程におけるCO<sub>2</sub>排出量10%減が達成可能であることを世界で初めて検証した。

また、Super COURSE50の技術開発も進んでいる。これは、製鉄所外から購入する水素も活用し、さらに大量の水素を高炉に吹き込むなどして、高炉からのCO<sub>2</sub>排出量を極限まで下げる技術の実装を目指すものである。日本製鉄株式会社東日本製鉄所君津地区の高炉水素還元技術Super COURSE50の試験炉においては、2023年に世界最高水準となる高炉CO<sub>2</sub>排出量削減33%を確認した<sup>44</sup>。

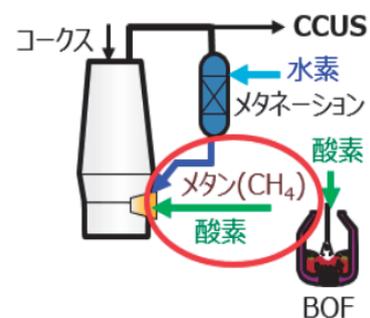
高炉における水素還元の課題は二つある。一つは、コークスを減らして水素を増やしていくと、コークスによる支えが減って還元ガスの通気が悪くなり、鉄鉱石を溶融しづらくなることで、もう一つは、水素による還元は吸熱反応であるため、発生熱量が減少し溶融しづらくなることである。また、製造上、コークスをゼロにすることはできないため、完全なカーボンゼロにはならない。

（イ）カーボンリサイクル

CO<sub>2</sub>と水素でメタンを合成することをメタネーションという。高炉から発生するCO<sub>2</sub>をメタネーションによりメタンに変換し、還元剤として繰り返し利用する方法が検討されており、JFEスチール株式会社

（出所）資源エネルギー庁ホームページ「水素を活用した製鉄技術、今どこまで進んでる？」（2021.10.29）  
 <[https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyosui/so\\_seitetu.html](https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyosui/so_seitetu.html)>

図 16 高炉におけるカーボンリサイクル



<sup>44</sup> 日本製鉄ニュースリリース「高炉水素還元技術 Super COURSE50 の試験炉において加熱水素吹込みにより、世界最高水準となる高炉CO<sub>2</sub>排出量 33%削減を確認」（2024.2.6）<[https://www.nipponsteel.com/news/20240206\\_100.html](https://www.nipponsteel.com/news/20240206_100.html)>

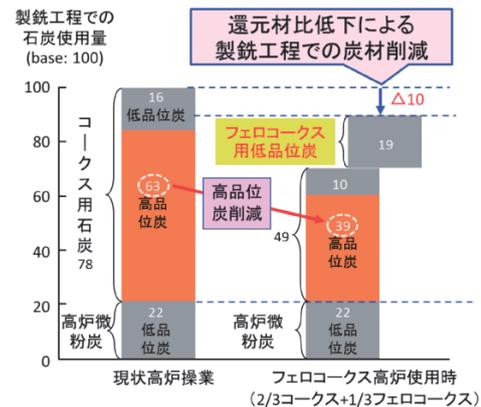
東日本製鉄所千葉地区において、2025年4月から試験操業を実施する。現行高炉法と比較してCO<sub>2</sub>排出量50%以上削減の実証を目指している<sup>45</sup>。

### (ウ) フェロコークス

フェロコークスは、従来使用しない低品位の石炭と鉄鉱石を加工して製造される革新的な高炉用原料である。高炉法でコークスや鉄鉱石と共に投入すると、フェロコークスが触媒として働いて還元が高速化し、結果としてCO<sub>2</sub>排出量を抑えられる。高炉の改修が不要であり、水素還元製鉄等が普及するまでのトランジションとして活用が期待されている。

製鉄プロセスにおけるCO<sub>2</sub>排出量とエネルギー消費量を約10%削減する技術の確立を目指し、JFEスチール西日本製鉄所福山地区において、2020年から2022年度まで中規模フェロコークス製造設備と既存高炉を用いた実証試験が行われた。また、NEDO事業において、2030年頃までに最大5基の高炉への導入を目指している<sup>46</sup>。

図17 フェロコークスによる省エネ効果量



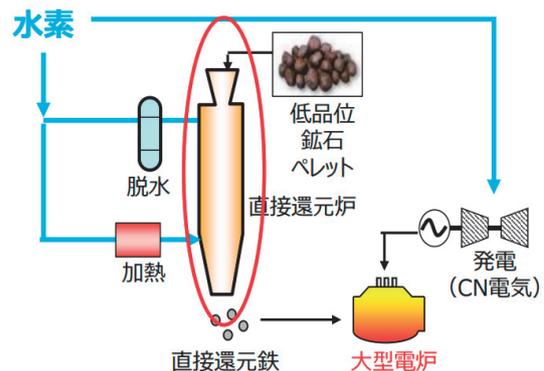
(出所) NEDO「高炉用革新原料(フェロコークス)の開発で製鉄工程でのエネルギー消費量10%削減へ」  
<https://www.nedo.go.jp/content/100957608.pdf>

### ウ 直接水素還元製鉄(直接還元炉における脱炭素技術)

天然ガス(メタン)を使用した直接還元製鉄法は、中南米、中東などの天然ガスが安価な地域で実施されており<sup>47</sup>、日本では還元剤をガスから水素へ置き換えることが検討されている。その場合、直接還元炉において直接還元鉄を製造するだけでは終わらずに、次項エで紹介する電炉での直接還元鉄の溶解工程が不可欠となる。

水素だけで還元するためカーボンフリーとなるが、吸熱反応により温度が低下するため水素を加熱する必要があり、爆発リスクがある。また、試験機から実機への大型化には様々な技術の高度化も必要となる<sup>48</sup>。さらに、豪州産等の低品位炭を使用することから、資源の有効活用及び安定供給に資するが、高級鋼を

図18 直接水素還元製鉄



(出所) 経済産業省「製鉄プロセスにおける水素活用プロジェクトの研究開発・社会実装の方向性」(2021年8月)

<sup>45</sup> 前掲脚注37、45頁

<sup>46</sup> NEDO研究評価委員会「環境調和型プロセス技術の開発/②フェロコークス技術の開発」終了時評価報告書(2024.3) <<https://www.nedo.go.jp/content/100977449.pdf>>24頁

<sup>47</sup> GREINSウェブサイト「水素を使って鉄鉱石を直接還元する技術」 <<https://www.greins.jp/technology/technology04/>>

<sup>48</sup> 日本製鉄株式会社「日本製鉄カーボンニュートラルビジョン2050」(2021.3.30) <[https://www.nipponsteel.com/ir/library/pdf/20210330\\_ZC.pdf](https://www.nipponsteel.com/ir/library/pdf/20210330_ZC.pdf)>26~28頁

生産するためには電炉における不純物除去の技術の開発も課題である。

現行の高炉法と比較してCO<sub>2</sub>排出量50%以上削減を目指し、2030年までに、小規模試験炉を経て、中規模直接還元炉での試験を行う。2025年度に日本製鉄波崎研究開発センターでの試験開始が予定されている<sup>49</sup>。

なお、従来型の天然ガスを利用した直接還元製鉄法においては、イ（イ）と同様に、メタネーションによるカーボンリサイクル直接還元の技術開発が行われている。JFEスチール東日本製鉄所千葉地区において、2024年11月に試験開始予定である<sup>50</sup>。

## エ 電炉における脱炭素に資する技術（大型電炉での高級鋼製造）

電炉法は石炭を使用しないため、グリーン電力を使用することで、脱炭素が実現する。電炉では、従来の鉄スクラップに加えて、前述の直接水素還元製鉄法で作った直接還元鉄を扱う。従来の高炉法から直接水素還元製鉄法に置き換えることで脱炭素を実現し、かつ日本鉄鋼業の国際競争力を維持するためには、電炉で高炉に匹敵する高級鋼製造ができなければならない。そこで、高炉並みの生産性を有する大型電炉での高級鋼製造に取り組んでいる。

電炉法には、生産性が高炉法より30%程度低い、また鉄スクラップに含まれる不純物が鋼材を低品位化させるという課題がある<sup>51</sup>。高炉法からの置換えを進めるためには、高級鋼を生産するための不純物除去技術、社会実装のための電炉の大型化が必要である。そのため、電炉での高速・高効率溶解技術や不純物除去技術の開発、電炉の大型化（一般的な電炉の約2倍）に取り組んでいる。

なお、電力を大量消費することから、グリーン電力を十分に調達できなければグリーンスチールとはならない。

日本製鉄の瀬戸内製鉄所広畑地区では、2022年10月から世界初の電炉一貫での最高級電磁鋼板の商業生産を行っている。新設された電炉は小型のものであるが、今後の大型化に向けて知見を蓄積するとしている。また、JFEスチールは2027年に西日本製鉄所倉敷地区で、日本製鉄は2030年までに九州製鉄所八幡地区と瀬戸内製鉄所広畑地区で、高炉から電炉への転換を目指すこととしている。

## オ 共通する課題

上記において鉄鋼の脱炭素化に向けた主な技術を見てきたが、高炉法における脱炭素技術の取組は、いずれもコークスの使用を伴うため、CCS等と組み合わせない限りは過渡的なものとなる。CO<sub>2</sub>排出削減効果も電炉法の方が高いため、カーボンニュートラル実現に向けては、大型電炉の技術が有望とされる。一方、いずれの方法にも共通する課題として、カーボンニュートラルの達成のためには、技術開発に加え、CCS技術の

<sup>49</sup> 前掲脚注 37、46 頁

<sup>50</sup> JFEスチールカーボンニュートラル戦略説明会「Environmental Vision2050」（2022.9）〈[https://www.jfe-steel.co.jp/company/pdf/carbon-neutral-strategy\\_220901\\_1.pdf](https://www.jfe-steel.co.jp/company/pdf/carbon-neutral-strategy_220901_1.pdf)〉21 頁、「JFEグループインベスターズ・ミーティング」（2024.5.7）〈<https://www.jfe-holdings.co.jp/investor/zaimu/g-data/jfe/2023/2023-setumei240507-01.pdf>〉15 頁

<sup>51</sup> 前掲脚注 42、30～31 頁

確立・普及、グリーン水素<sup>52</sup>・電力の安価かつ安定的な調達が必要となる。国内鉄鉄生産量の全量が革新技術に転換された場合には大量の水素と電力を必要とし、そのインパクトは大きい<sup>53</sup>。また、日本鉄鋼連盟は、輸出比率の高い日本の鉄鋼業がアジア諸国と渡り合っているよう、価格競争力を維持し、継続的な収益性を担保することが、今後莫大な原資を必要とする革新的技術の開発・実装を行うための必須条件としている<sup>54</sup>。

#### 4. おわりに

2024年9月30日、英国がG7初の脱石炭火力を実現した国となった。英国は英領北海油田がありエネルギー自給率が高く（2021年63%）<sup>55</sup>、その電源構成も日本とは大きく異なる<sup>56</sup>。日本はエネルギー自給率が低く（2022年度12.6%）<sup>57</sup>、再エネ主力電源化は一足飛びには実現できないことから、日本にとって適切な電源ポートフォリオを描きながら、脱炭素を着実に実現していくことが重要となる。

また、近年の日本の温室効果ガス排出削減には、鉄鋼業等のエネルギー多消費製造業の生産減退も影響しており、産業競争力の確保・強化にとって大きな懸念であると指摘されている<sup>58</sup>。世界のグリーンスチール市場は今後拡大が見込まれており、各国で様々な脱炭素技術が開発されている。日本が世界に先駆けて高性能なグリーンスチールを適切なコストで商用化できれば、脱炭素のみならず産業競争力の強化にも資するであろう。

現在政府では、GX2040ビジョン、第7次エネルギー基本計画、NDC（パリ協定に基づき国連に提出する温室効果ガス削減目標）という、エネルギーに関する三つの大きな計画策定に向け、検討が行われている。また、グリーンスチールの市場拡大を通じた鉄鋼業のGX推進を図るための研究会が設置され、2024年10月から議論を開始したところである。持続可能な社会と調和の取れた進むべき道や条件が示され、企業が予見性を持って思い切った研究開発・投資を行える環境が整えられていくことを期待したい。

（ひらかね りさの）

---

<sup>52</sup> 水素はつくる方法によって、「グレー水素」「ブルー水素」「グリーン水素」などと分類され、「グリーン水素」は水を再エネ由来の電力で分解して製造される水素を指す。一方、この分類では実際にどのくらいCO<sub>2</sub>を排出しているのかは不明であるため、現在、2023年のG7気候・エネルギー・環境大臣会合等の合意に基づき、炭素集約度（単位当たりの水素製造時等に発生するCO<sub>2</sub>排出量）によって水素の環境負荷を評価しようという国際的な議論が進められている。また、2024年5月に成立した「脱炭素成長型経済構造への円滑な移行のための低炭素水素等の供給及び利用の促進に関する法律」は、製造に伴って排出されるCO<sub>2</sub>の量が一定の値以下等の要件に該当するものを低炭素水素等として、その利活用を支援することとしている。

<sup>53</sup> 日本鉄鋼連盟「カーボンニュートラルに向けた日本鉄鋼業の取り組みと課題」（2023.11.22）〈<https://www.env.go.jp/content/000173547.pdf>〉10頁

<sup>54</sup> 第1回GX実現に向けたカーボンプライシング専門ワーキンググループ（2024.9.3）資料4（日本鉄鋼連盟提出資料）「カーボンニュートラルに向けた日本鉄鋼業の取り組みとGX-ETSへの意見について」15頁

<sup>55</sup> 総合資源エネルギー調査会基本政策分科会（第53回会合）（2023.6.28）資料1「今後のエネルギー政策について」34頁

<sup>56</sup> 英国の電源構成は、天然ガス40.4%、再エネ等39.8%、原子力15.0%で、この3種類で95.2%を占める（2021年）。資源エネルギー庁「令和5年度エネルギーに関する年次報告」153頁。

<sup>57</sup> 資源エネルギー庁「令和5年度エネルギーに関する年次報告」91頁

<sup>58</sup> 第12回GX実行会議（2024.8.27）GX実行推進担当大臣兼経済産業大臣提出資料「我が国のグリーントランスフォーメーションの加速に向けて」54頁