



自家発の現状とカーボンニュートラル実現への課題

2023年 6月 13日

JFEスチール株式会社

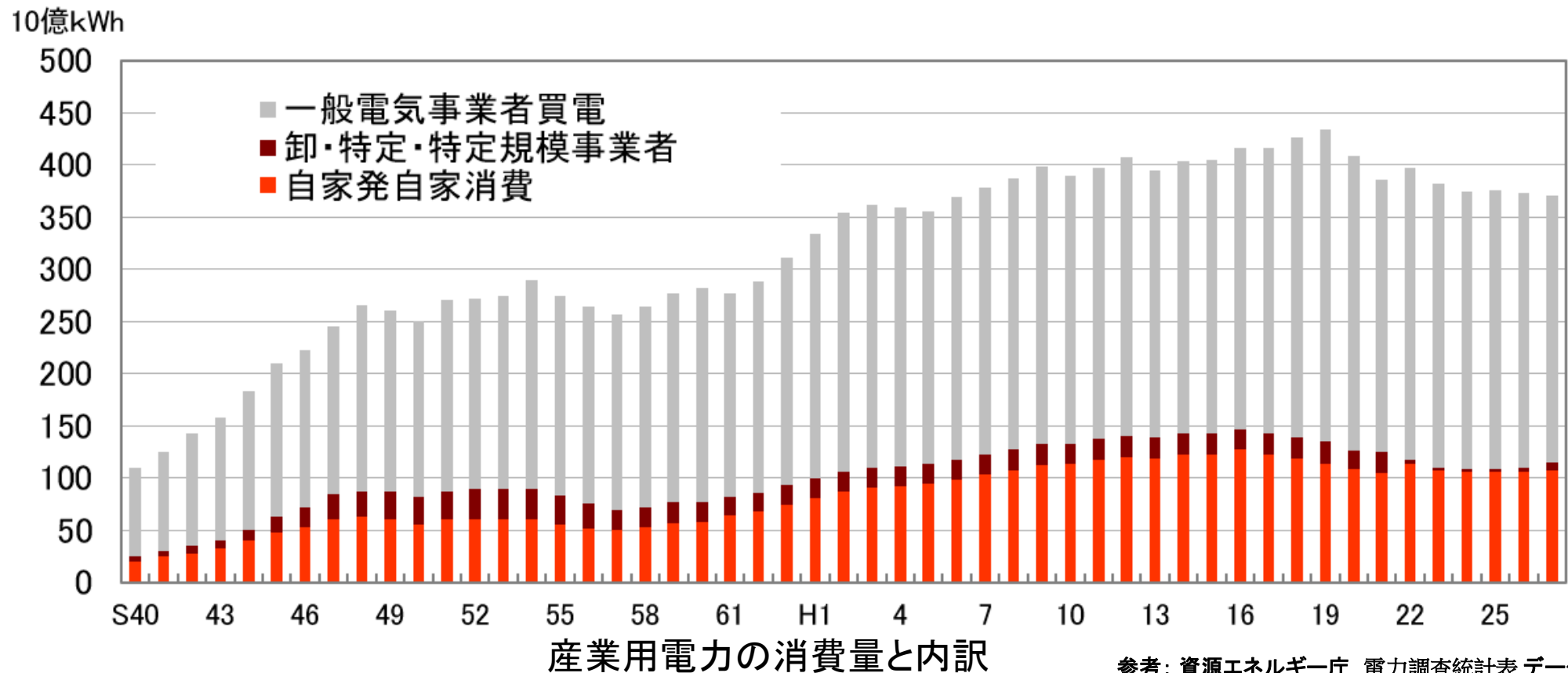
専門主監 藤井良基

Copyright © 2023 JFE Steel Corporation. All Rights Reserved.

本講演の無断録画・本資料の無断複製・転載・webサイトへのアップロード等はおやめ下さい。

我が国の産業電力需要と自家発電量

- 省エネルギーの進展，素材産業の活動量伸び悩みにより産業用電力の消費量は、平成19年以降減少傾向。
- 最近10年間の産業用電力の自家発電比率は、25～30%を推移しており、
共同火力/卸電力事業者，特定電気事業者，特定規模電気事業者からの購入も含めると30～35%で推移。
- 自家発自家消費電力の H27年暦時間平均値は、約12,300MWh



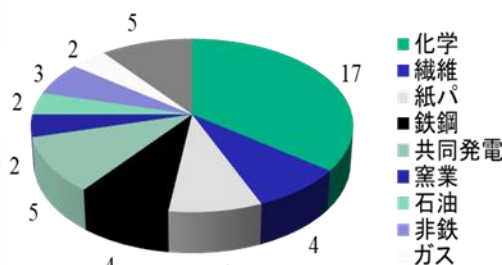
参考：資源エネルギー庁 電力調査統計表 データを元に作成
https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/electric_power/ep002/index.html

大口自家発の規模感

出典：大口自家発電施設者懇話会HPより引用、加工

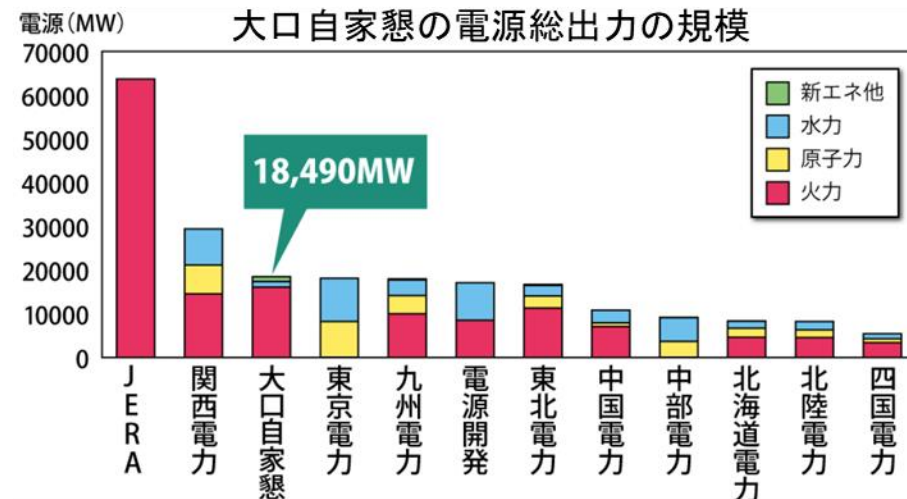
大口自家発電施設者懇話会 概要

設立	昭和48年11月28日
参加者	46社 1団体 （令和5年2月末現在）
設立の目的	発電に係る技術面、管理面からの諸問題につき調査研究すると共に情報共有を図ることにより、大口自家発電の発展改善に寄与する。
事業内容	1. 技術、運用に関する調査研究 2. 情報の交換 3. 政府または関係機関に協力し、情報の伝達、開陳建議 4. 自家発電に関する法税制上、その他の面での優遇措置の獲得 5. 研修会、講演会の開催

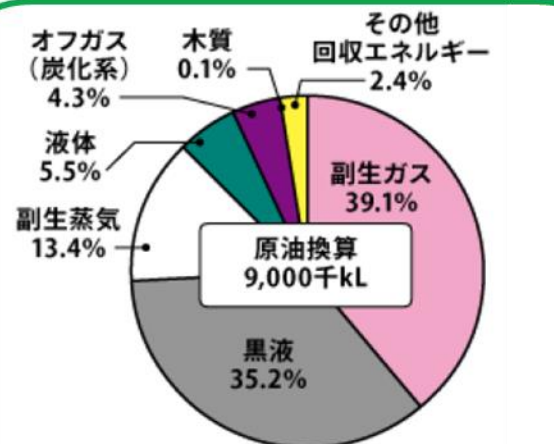


業種別構成企業数

※自家発懇話会HP 会員データを加工

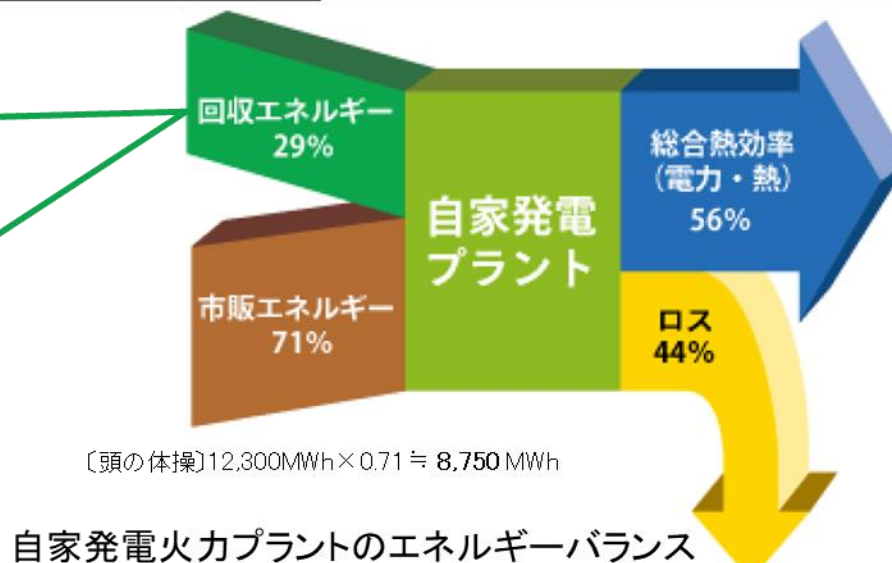


新エネ他は、排熱・風力・太陽光・地熱・バイオマス・廃棄物
旧一般電気事業者の電源総出力は【電力調査統計】資源エネルギー庁：令和4年2月データ（令和4年5月27日公表）のグループ会社合計
大口自家懇の電源総出力は令和4年7月末（IPPを除く）



主な回収エネルギーは事業所で発生する鉄鋼・化学プロセスからの副生ガスや黒液、廃熱からの回収蒸気などです。

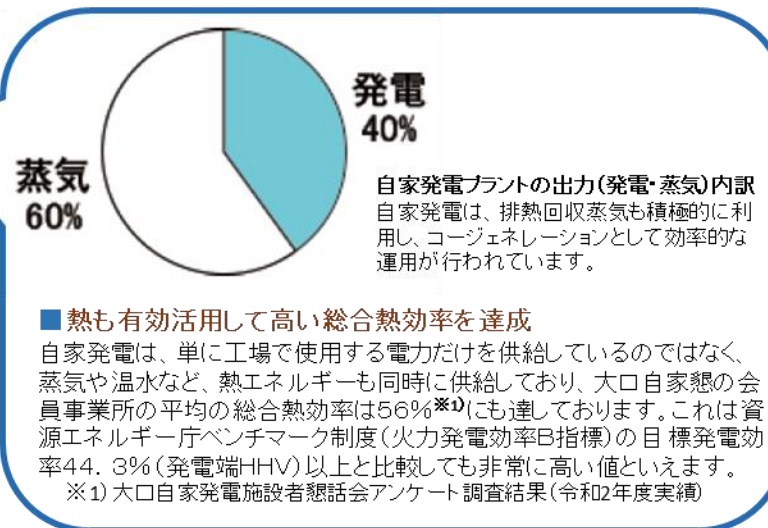
大口自家発電施設者懇話会
アンケート調査結果（令和2年度実績）



〔頭の体操〕 $12,300\text{MWh} \times 0.71 \approx 8,750\text{MWh}$

自家発電火力プラントのエネルギーバランス

会員企業保有発電設備平均エネルギーバランス（令和2年度実績）



自家発電プラントの出力(発電・蒸気)内訳
自家発電は、排熱回収蒸気も積極的に利用し、コージェネレーションとして効率的な運用が行われています。

■ 熱も有効活用して高い総合熱効率を達成

自家発電は、単に工場で使用する電力だけを供給しているのではなく、蒸気や温水など、熱エネルギーも同時に供給しており、大口自家懇の会員事業所の平均の総合熱効率は56%※1にも達しております。これは資源エネルギー庁ベンチマーク制度(火力発電効率B指標)の目標発電効率44.3%(発電端HHV)以上と比較しても非常に高い値といえます。

※1) 大口自家発電施設者懇話会アンケート調査結果(令和2年度実績)

※ <http://jikacon.com/> 掲載の図表を加工

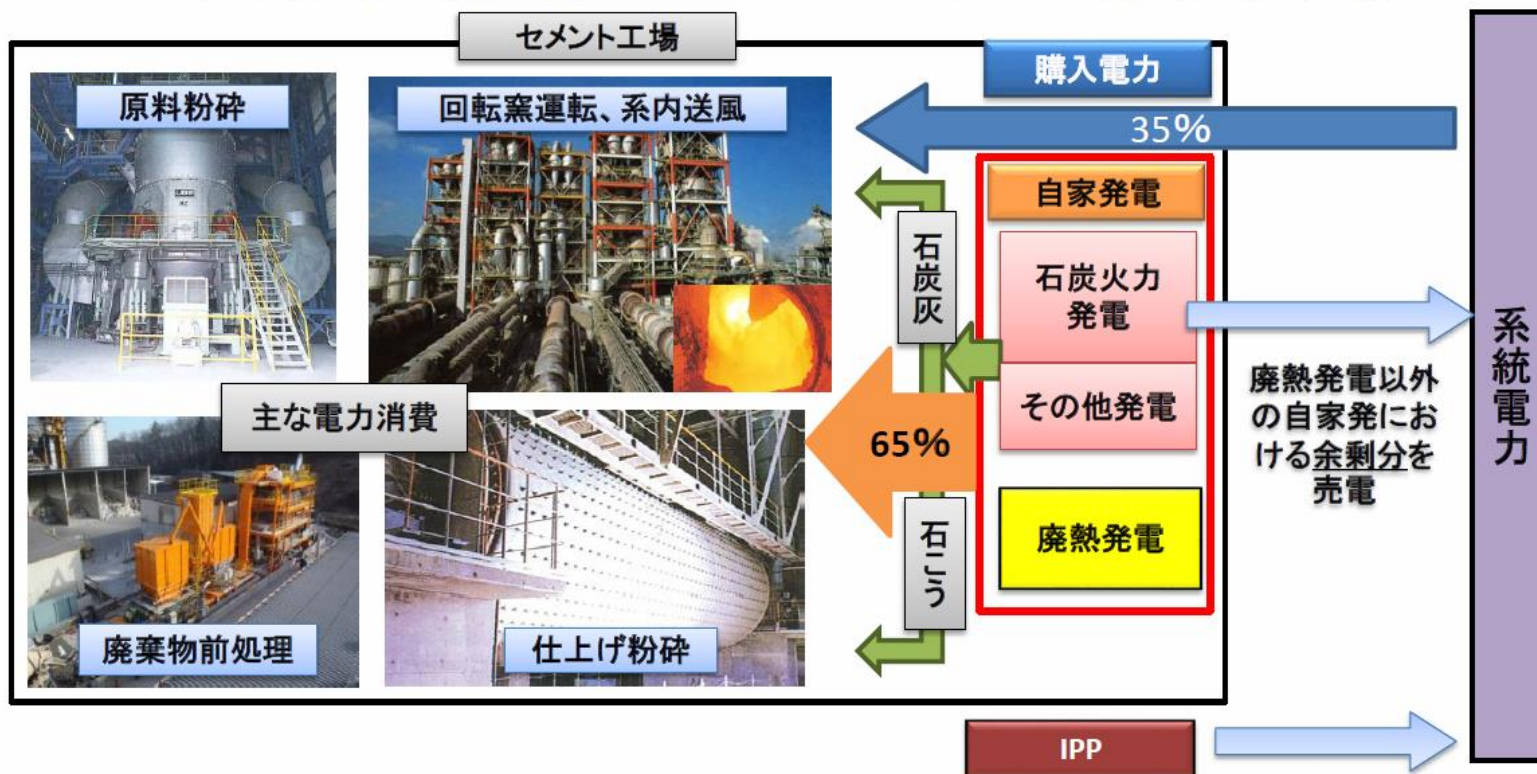
2. セメント産業における自家発電設備



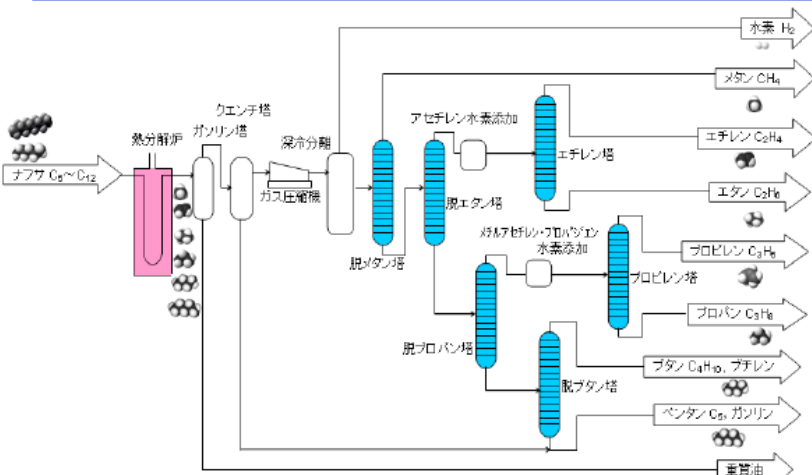
1) 製造プロセスにおける自家発電の役割

- ・自家発電設備は、安定的なセメント生産のために極めて重要な設備であり、廃熱利用・原料確保等の観点から、製造プロセスに組み込まれている。
- ・セメント製造に要する電力のうち約65%を自家発電設備から得ている。

自家発電：購入電力 = 65%：35%（セメント協会全社平均）

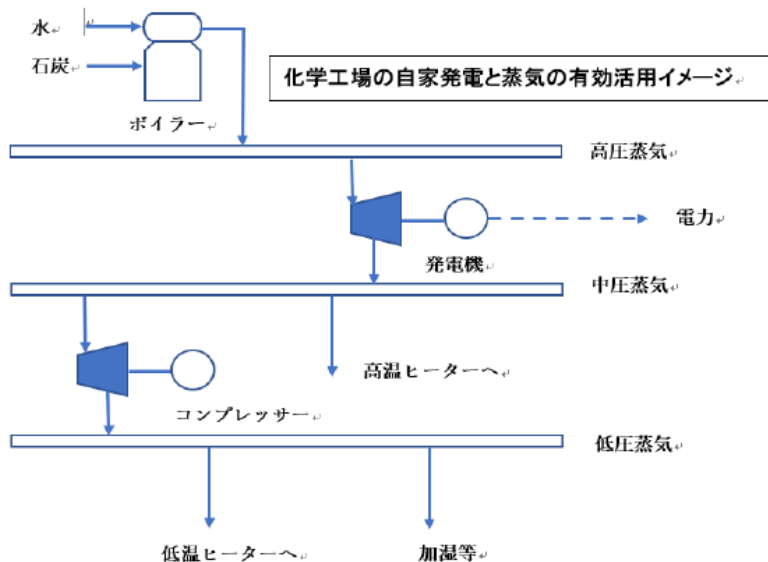


コンビナートの構成



- 化石原料から、効率良く電気と熱エネルギーを取り出し、基礎化学品を製造
- 自家発電設備が供給する電気と熱エネルギーは様々な工程、近隣工場で効率良く活用される

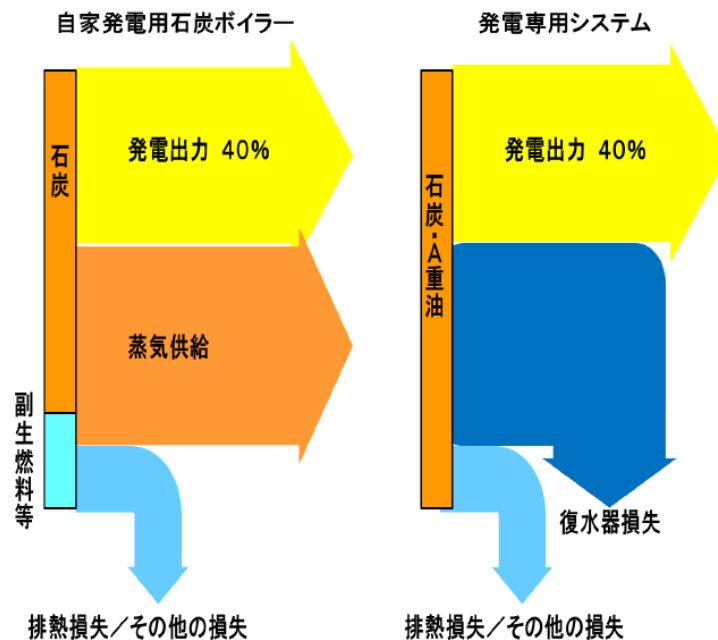
<http://www3.scej.org/education/ethylene.html>



- 自家発電設備が供給する蒸気は、熱源(ヒーター)だけでなく、動力源(コンプレッサー)や加湿源(品質コントロール)として効率良く活用されている

発電効率とコジェネ

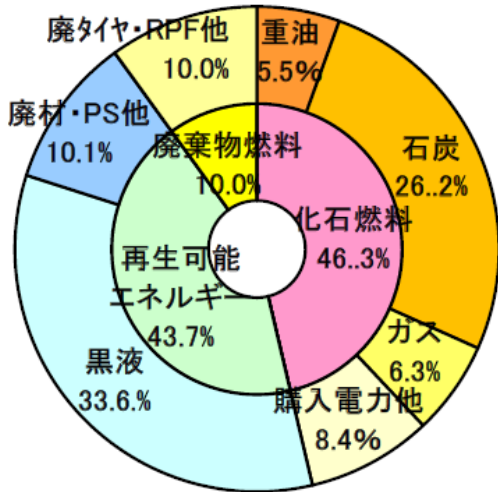
- 電気が必要な理由
 - ・動力源として重要であり、特にソーダ工業では、塩から電気分解によりソーダ (NaOH)、塩素 (Cl₂)、水素などを製造する際、電気が主原料となり電力を消費する。
- 蒸気(熱利用)が必要な理由
 - ・化学製品を製造する上で、材料混合&攪拌時の電気以外に、化学反応時の加熱、生成物の分離&精製の際の蒸留、乾燥にも蒸気を使う。
 - ・危険物を扱う環境下、防爆規制等により電気加熱が認められず蒸気加熱が必須となるプロセスがある。
- コジェネは右図に示すように電気と蒸気の両方を効率良く供給することが可能。



2020 Japan Chemical Industry Association. All rights reserved

自家発電の燃料構成

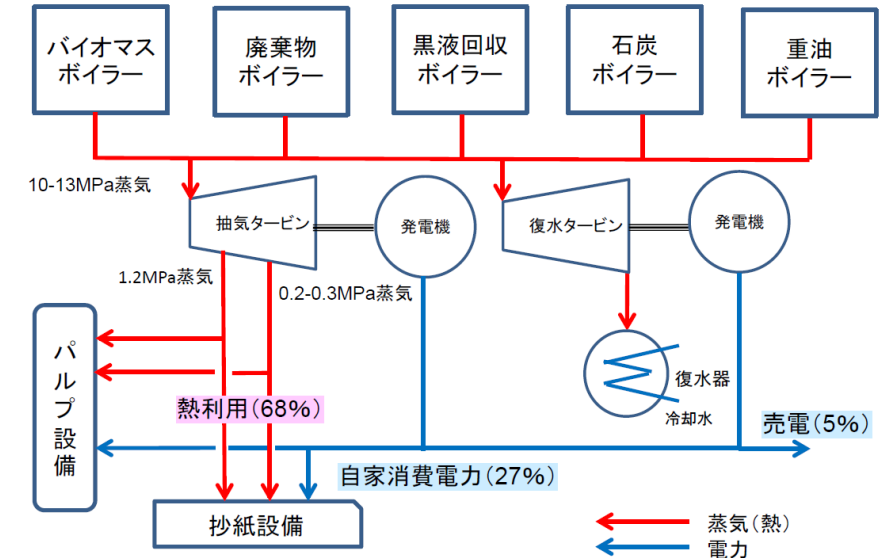
- ・製紙業のエネルギー需要(電力+熱)の93%を担い、工場の安定操業に不可欠(購入電力+購入蒸気=7%)。
- ・エネルギー構成(2018年度)
再生可能エネルギー(43.7%)と廃棄物燃料(10.0%)で半分以上を占めています。
- ・再生可能エネルギーの内、クラフトパルプ生産工程で発生する黒液が33.6%を占めています。



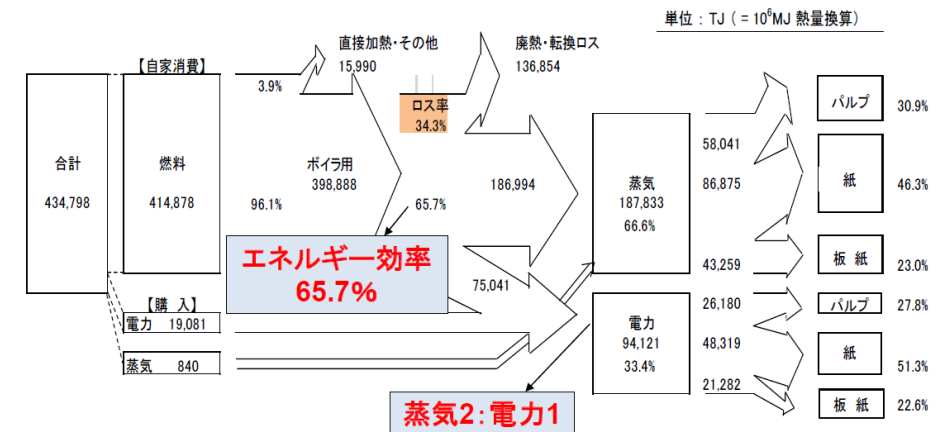
RPF (Refuse derived paper and plastics densified Fuel)
: 産業系廃棄物のうち、マテリアルリサイクルが困難な古紙及び廃プラスチック類を主原料とした高品位の固形燃料
PS (Paper Sludge): 紙の製造工程で発生するセルロースを主体とする廃棄物
黒液: クラフトパルプを作るときに薬品処理で発生する黒ないし褐色の液体。濃縮して回収ボイラーで燃焼することにより、化石燃料の削減が可能なバイオマス燃料となる。

日本製紙連合会: 2019年度低炭素社会実行計画フォローアップ調査結果

製紙工場の自家発電の例



製紙産業のエネルギーバランス(全国)

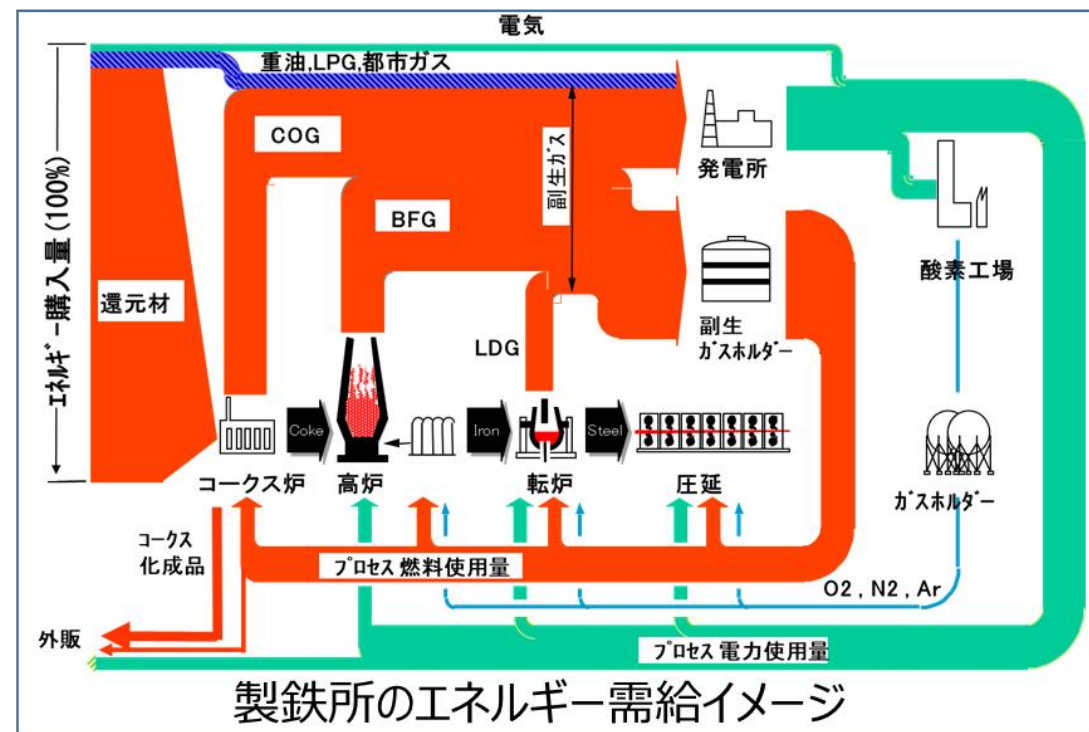
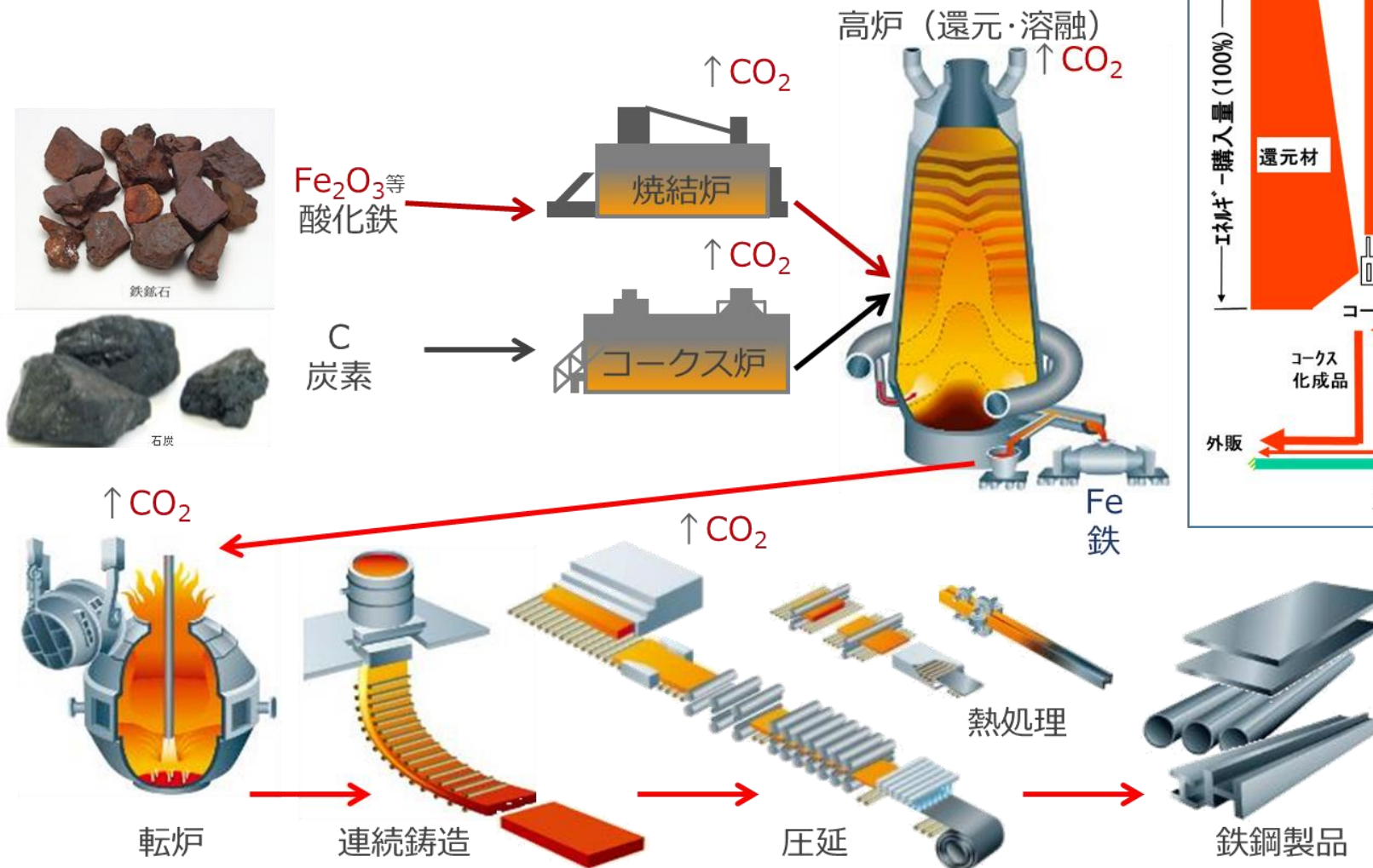


*電力は3.6MJ/kWh(860kcal/kWh)で計算

出典: 「石油等消費動向統計年報」 CY2018(平成30)年、作成: 日本製紙連合会

現在の製鉄プロセスとエネルギー需給 概要

- 鉄鋼は鉄鉱石(酸化鉄)を炭素で還元して作る。



- ①高炉一貫製鉄所では、鉄鉱石の還元材として石炭を利用。その一部は不可避免的に副生ガスとなる。
- ②副生ガス(COG,BFG,LDG)は製鉄所内の燃料として利用され、残りは発電用燃料として無駄なく有効利用。
- ③排熱も蒸気や電力として回収利用。

※製鉄プロセス図 一般社団法人 日本鉄鋼連盟より許諾を得て利用

鉄鋼業の発電設備の種類と特徴（1/2）

1) 発電設備の種類

① 自家発

副生ガスの有効利用・電力自家消費・構内停電防止を目的とした、
自立運転|（単独運転）機能を有する設備

② 排熱回収発電（自家発）

プロセス排熱によって発電を行う省エネ設備で、自律運転機能はなし

③ 共同火力

自家発の代替形態として、製鉄所への特定供給と旧一般電気事業者への
卸供給を行う設備。自律運転機能あり

④ IPP

旧一般電気事業者等への卸供給を行う設備

鉄鋼業の発電設備の種類と特徴 (2/2)

2) 自家発・共同火力の特徴

- ① 製鉄所内の電力供給を担うとともに、**副生ガスの消化設備、省エネルギーの受け皿**としての意義も持つ→**生産活動と密接不可分**
- ② 設備規模は、副生ガスの供給量、および事業所の電力負荷等によって決定される（自家発: 数万～15万kW、共同火力: 10万～35万kW）
- ③ 副生ガスの供給量変動や成分変動を吸収するために、**石炭・重油等の補助燃料を使用**
- ④ 電力需要地に立地するため、**送電ロスがなく**（系統電力に比べて効率換算で5%程度のメリット）、また系統側の設備投資抑制・合理化に寄与している
- ⑤ 系統から切り離された場合でも**適性電圧・周波数維持が可能な設備構成**となっており、**系統側停電時にも製鉄所内の停電を防止する**（所内レジリエンス機能）

出典：20_08_25 第2回石炭火力WG 資料7 日本鉄鋼連盟資料（鉄鋼業における発電設備運用の実態）

自家発のレジリエンス確保機能

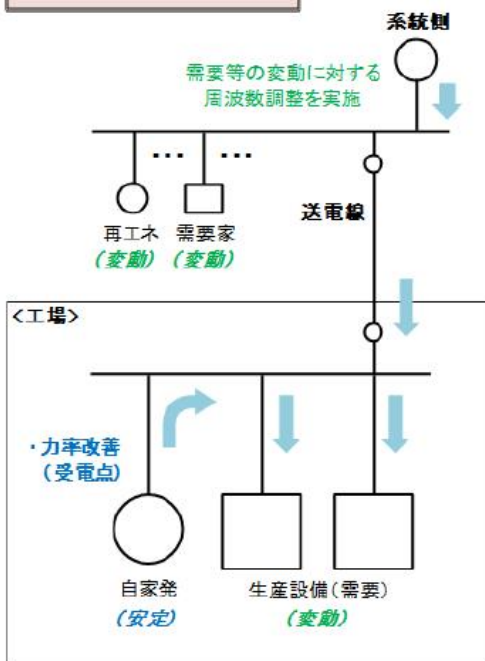
系統連系に際しては「電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン」に準拠しており、電圧を適切に維持できるような受電点の力率調整や、多くの自家発では単独運転時の適性電圧・周波数維持が可能な設備構成となっている。

[系統遮断の事例]

- 送電線事故(ギャロピング, 落雷等)による予定外受電遮断→自家発による周波数制御に移行・停電回避
- 落雷が予想される場合の予防的受電遮断→自家発による周波数制御に移行・需給調整で操業継続

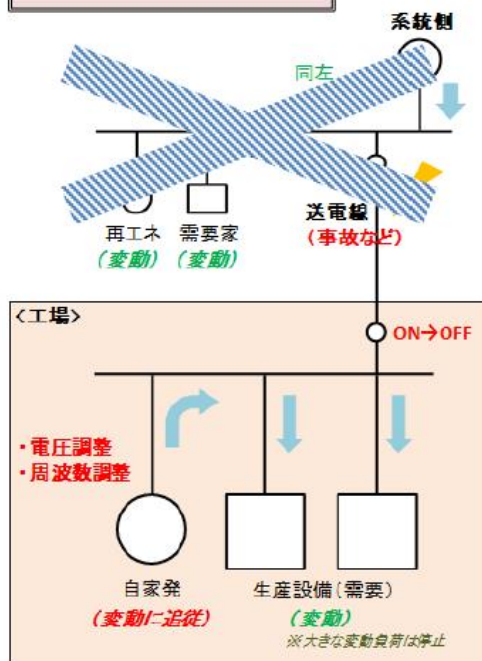
2018年9月の「北海道胆振東部地震」の際、日本製鉄/室蘭製鉄所では、自家発2基+IPP1基による単独運転継続で、製鉄所のブラックアウトを回避するとともに、その後の地域への早期電力供給(※)でも貢献することができた。 ※:製鉄記念室蘭病院には約5時間後に送電開始→市内でいち早く外来受付を開始へ

系統に連系している状態



系統連系時は工場内需要への電力供給を行うとともに受電点の力率改善などに貢献

(事故等による)単独運転時



単独運転時は工場内の需要に合わせて電圧と周波数調整を実施

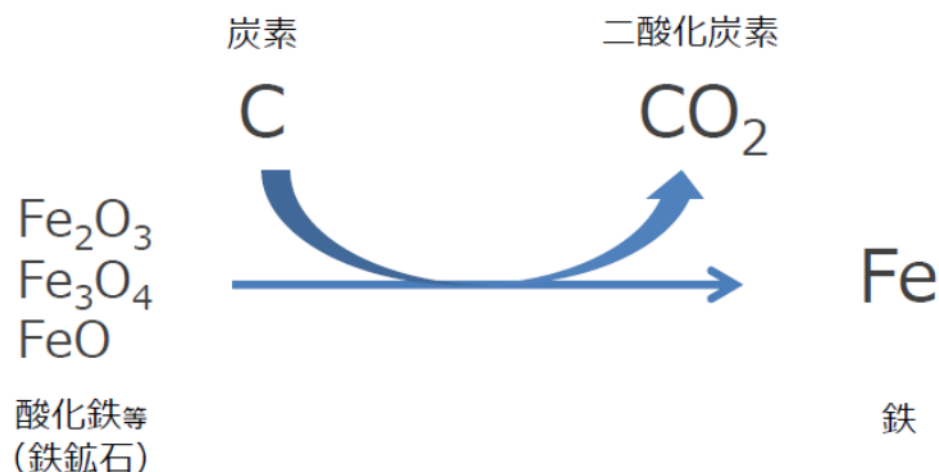


出典：20_08_25 第2回石炭火力WG
資料7 日本鉄鋼連盟資料
(鉄鋼業における発電設備運用の実態)

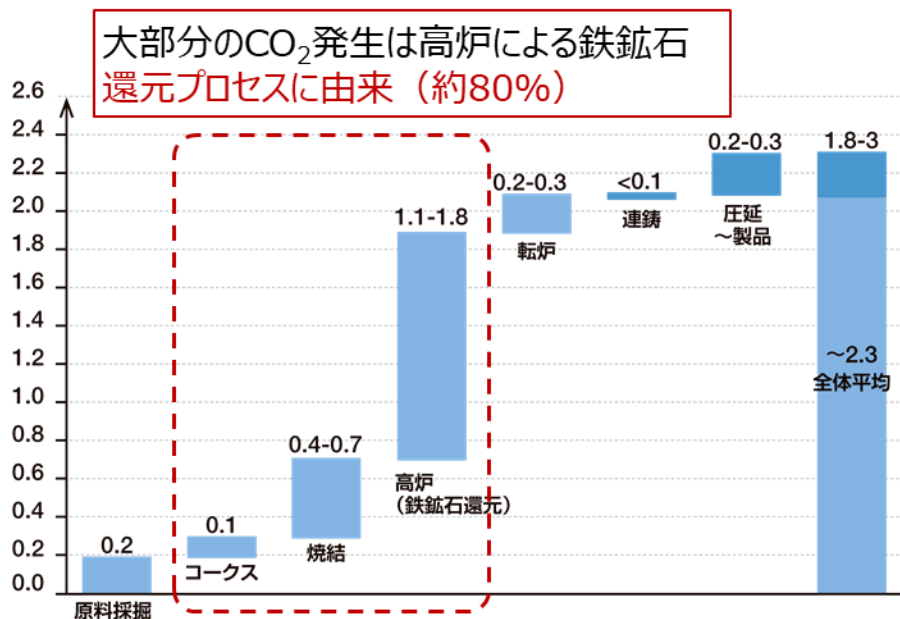
鉄鉱石の還元でCO₂排出は不可避

- 鉄 [Fe] より酸素 [O] と結びつきやすい物質（例えば [C] ）と反応させ、鉄鉱石（鉄酸化物Fe₂O₃, Fe₃O₄, FeO + 非鉄成分）から酸素をとる → 『還元』
- 鉄鉱石は還元されて鉄 [Fe] に、炭素は酸素と結びついて酸化炭素 [CO₂] に変わる。

■ 還元プロセスとは



■ 鉄鋼製造プロセスからのCO₂発生比率 (t-CO₂/t-粗鋼)

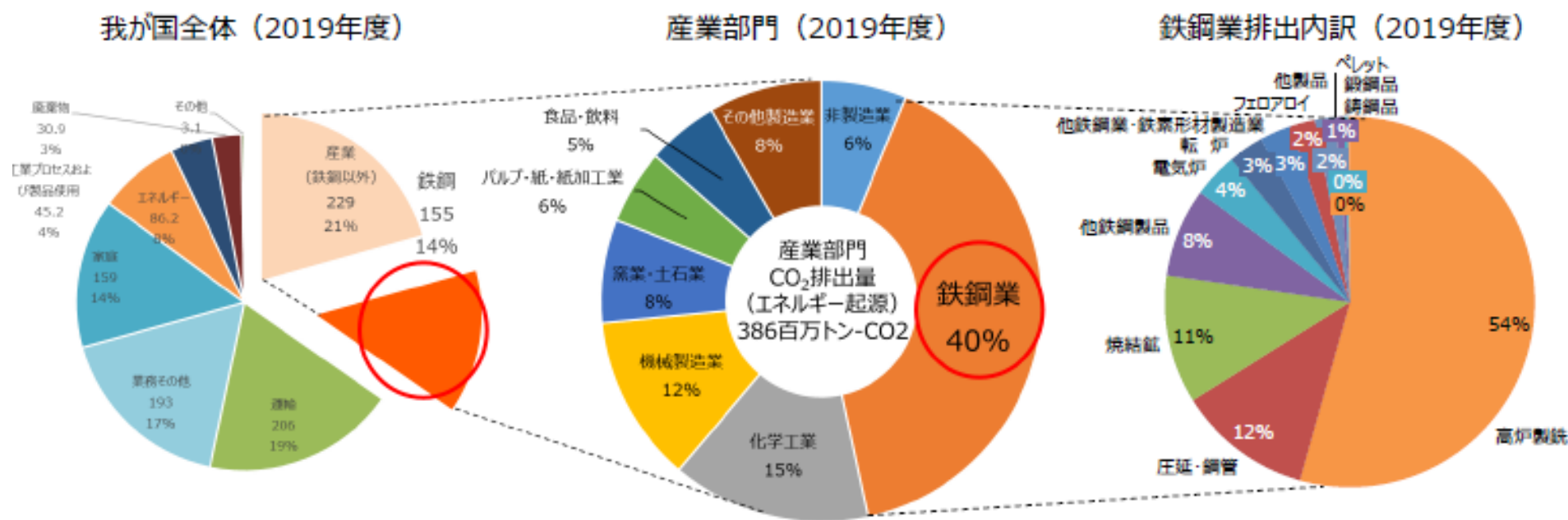


※一般社団法人 日本鉄鋼連盟より許諾を得て利用

日本のCO₂排出量

- 鉄鋼業は、日本のCO₂排出の約14%、産業部門の40%を占める多排出産業。

国内CO₂排出量の内訳



※中段の数値は二酸化炭素排出量 (百万トン)

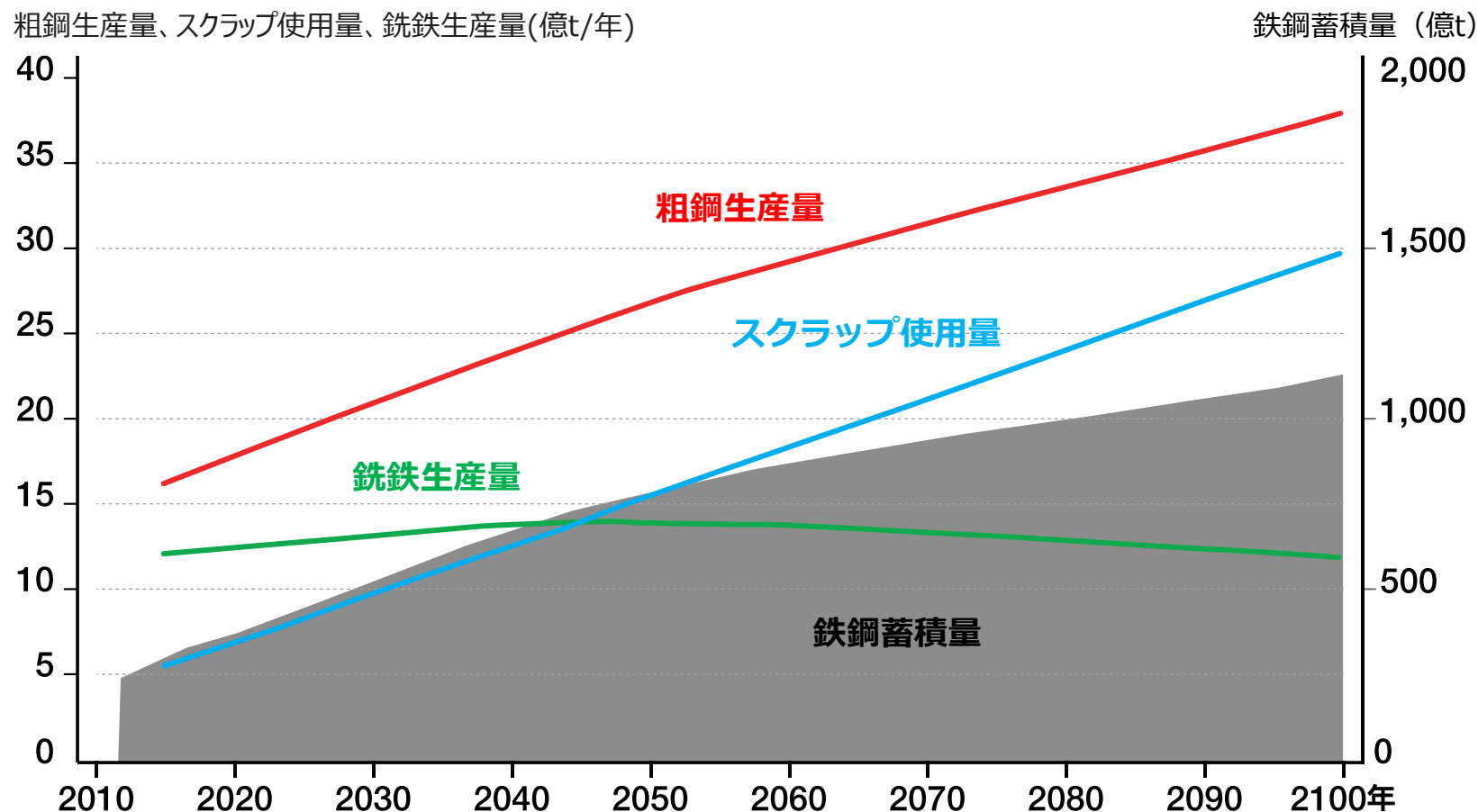
(出典) 国立研究開発法人国立環境研究所「日本の温室効果ガス排出量データ」(2019年度確報値)

(出典) 経済産業省「総合エネルギー統計」(2019年度確報値)

出典：経済産業省「経済産業分野におけるトランジション・ファイナンス推進のためのロードマップ策定検討会」 第二回 (21年8月24日) 資料 4

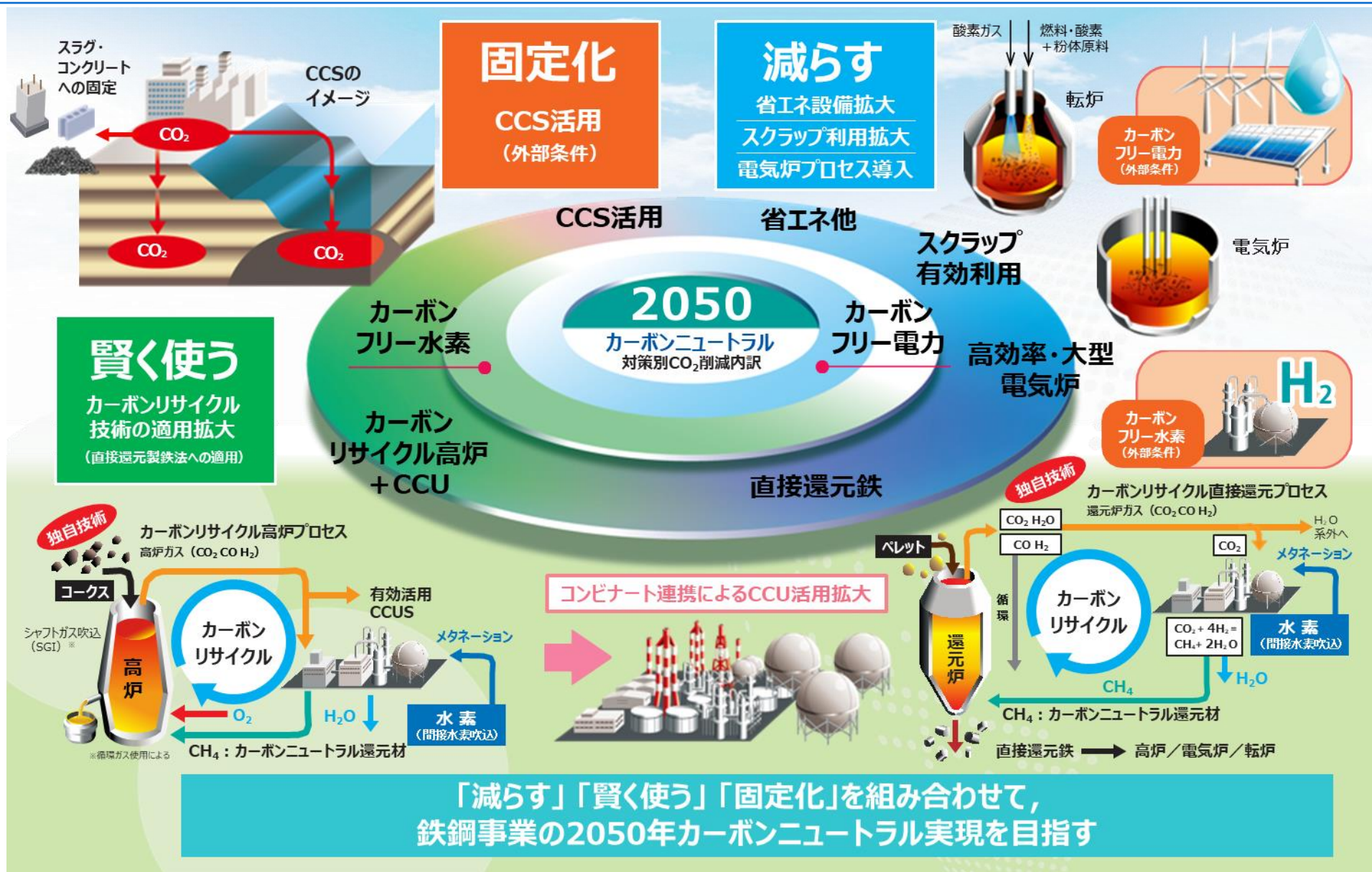
世界の鉄鋼生産・鉄鋼蓄積量の将来見通し

- 将来にわたって、鋼材需要量は増大していく
- 老廃スクラップも増加するが鋼材需要を満たすことはできない
- 高級鋼を供給するためにも、一定量の銑鉄供給は不可欠



出典：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』説明資料（2018年11月）より

JFEスチール 2050年 カーボンニュートラルビジョン



出典:
JFEスチール
カーボンニュートラル戦略
説明会資料(2022年9月1日)

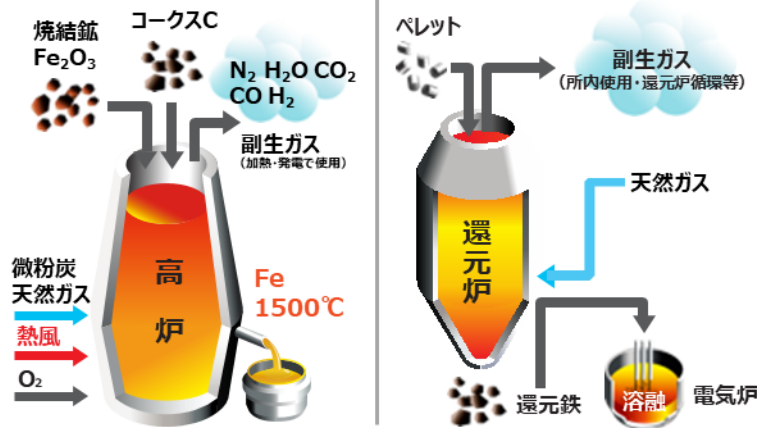
製鉄プロセスにおけるCO₂削減技術開発の課題

課題1：水素還元時の熱供給

炭素還元



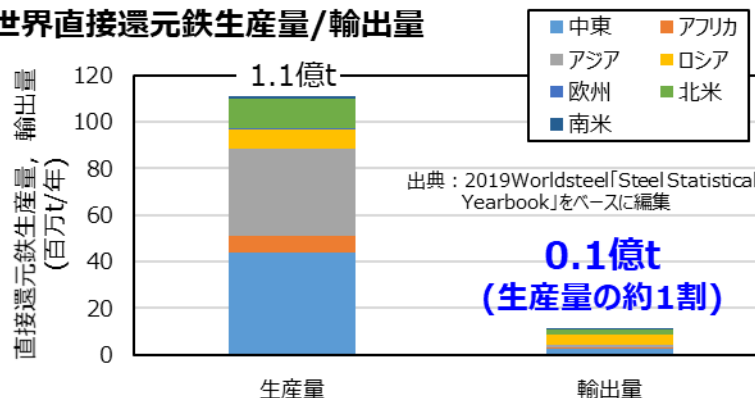
水素還元



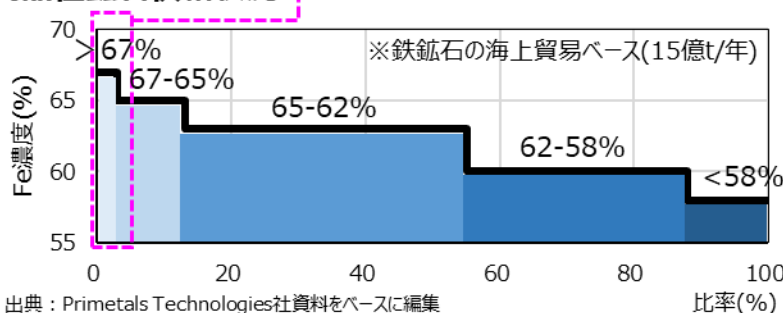
- ▶ 製鉄には鉄鉱石から酸素を取り除く還元反応が必須
- ▶ 水素還元は吸熱反応であり、高炉・還元炉ともに熱の供給が不可欠

課題2：冷鉄源確保

世界直接還元鉄生産量/輸出量



高品位鉱石供給状況



- ▶ 電気炉での高品質鋼材製造に必要な高品位直接還元鉄の輸出量は0.1億t程度
- ▶ 原料ソースは高品位原料に限られるため、低品位原料の使用技術開発が必須

出典：
JFEスチール
カーボンニュートラル戦略
説明会資料(2022年9月1日)

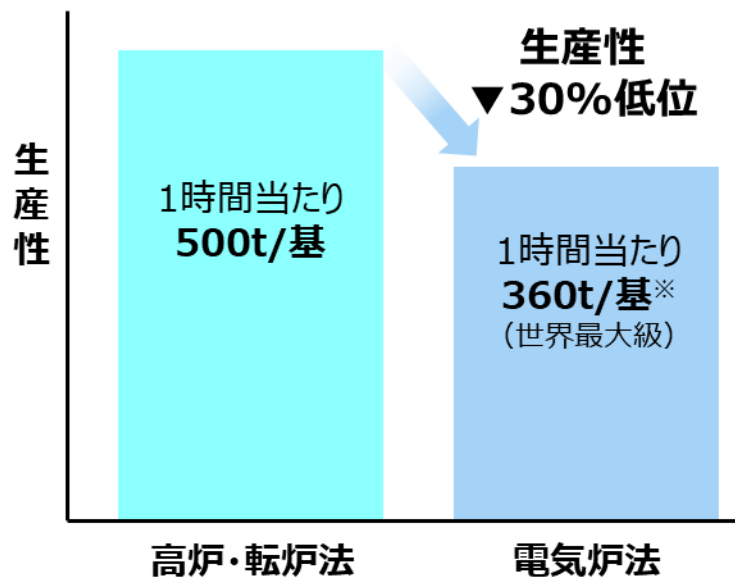
製鉄プロセスにおけるCO₂削減技術開発の課題

課題3：スクラップの不純物



- ▶ スクラップは銅・錫など、直接還元鉄はスラグ分などの不純物を多く含む
- ▶ 不純物が多い鉄からは高効率に高品質の鋼材を作りにくい

課題4：電気炉の生産性



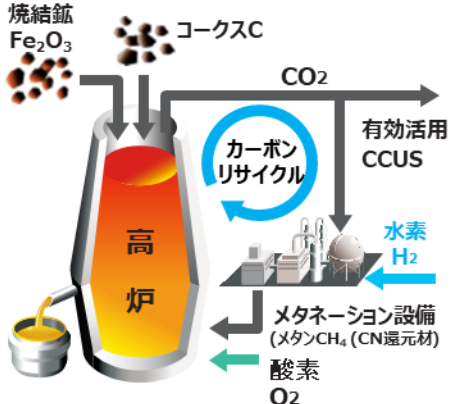
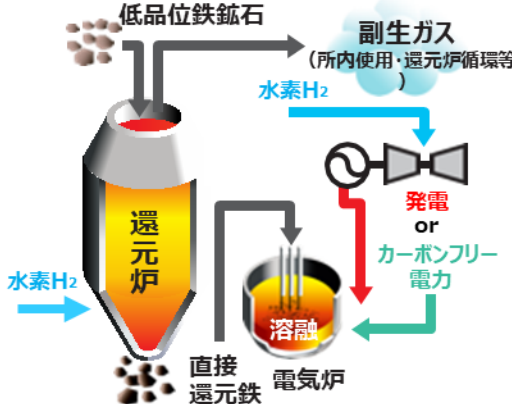
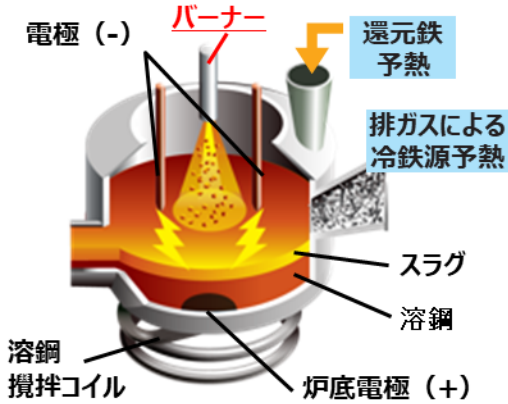
※出典：Millennium Steel,
Jumbo size 420t twin DC FastArc®EAF (2011)

- ▶ スクラップ等の冷鉄源からの電気溶解は、転炉に対して生産性が大きく劣る
- ▶ 還元鉄活用においては、更なる生産性低下や電力原単位が悪化

出典：
JFEスチール
カーボンニュートラル戦略
説明会資料(2022年9月1日)

グリーンイノベーション基金事業の開発内容

- ▶ 2021年12月にNEDO※¹の委託・補助事業であるグリーンイノベーション基金事業（GI基金事業）/製鉄プロセスにおける水素活用プロジェクトに採択
- ▶ 本基金を活用して、カーボンニュートラルの実現に向けた技術開発を加速
- ▶ 鉄鋼3社とJRCM※²でコンソーシアムを組み、第1回水素製鉄委員会開催（2022年6月）

	①カーボンリサイクル高炉法	②直接還元製鉄法	③高効率・大型電気炉
開発項目			
開発内容	千葉地区に150m³規模の小規模試験高炉を建設，25年4月から26年度に試験実施予定。 発生するCO₂をメタンに変換，還元材として繰り返し利用するプロセスを開発。50%以上のCO₂削減を目標。	千葉地区に小規模試験還元炉を建設，25-26年度に試験実施予定。 水素で低品位鉄鉱石から酸素を取り除き，還元鉄(Fe)を製造する直接還元製鉄法の開発。高炉に比べて50%以上のCO₂削減を目標。	千葉地区に小規模試験電気炉を建設，24-25年度に試験実施予定。 スクラップや還元鉄の高効率溶解，不純物低減などによる高品質鋼材製造方法を開発。

出典：
JFEスチール
カーボンニュートラル戦略
説明会資料(2022年9月1日)

※1：国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 ※2：一般財団法人金属系材料研究開発センター

JFEスチール プロセス転換概要

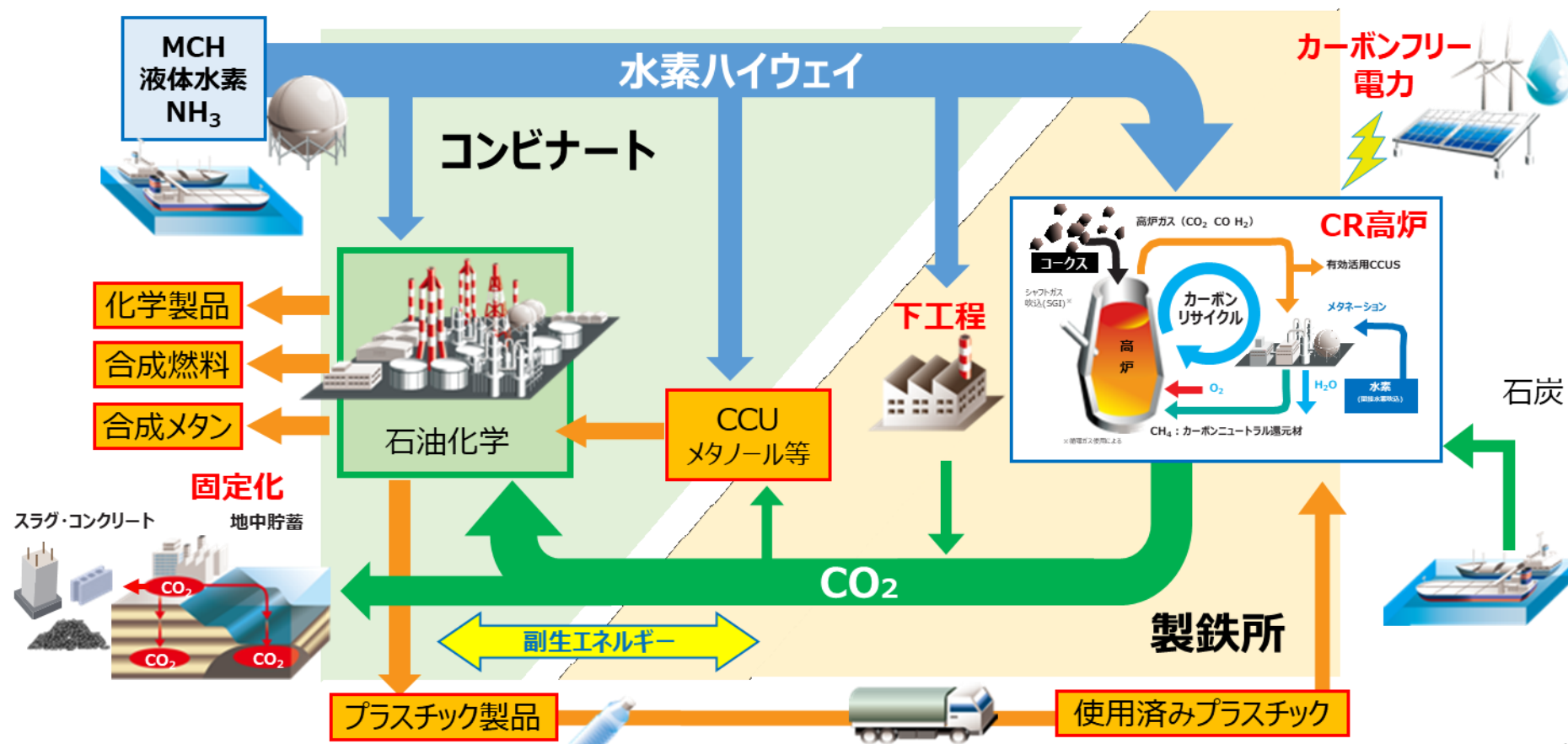


出典:
JFEスチール
カーボンニュートラル戦略
説明会資料(2022年9月1日)

GI基金事業等を活用した複線的な技術開発を推進し、実証された技術を順次導入
最適なプロセス構成で製鉄所に展開、カーボンニュートラル実現を目指す

CCUS・グリーンインフラへの取り組み

- ▶ CO₂を新たな炭素資源とする炭素循環型社会構築には、大量のカーボンフリー水素・電力を供給する大規模なインフラ構築・増強が必須
- ▶ CCUメタノール合成技術開発やCO₂固定化技術開発の推進に加え、コンビナート連携も含めたCCUS※、カーボンフリー水素・電力の調達に関する検討を開始



出典:
JFEスチール
カーボンニュートラル戦略
説明会資料(2022年9月1日)

※CCUS: Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage

カーボンニュートラル実現に向けた自家発の課題と可能性

➤ **カーボンニュートラル/脱化石に向けた各産業のプロセス転換で 水素利用、電化が進展するなら...**

☆化石燃料による自家発自家消費体制がフェードアウトする場合

A)自家発燃料の非化石化 or **B)系統再エネ電力利用(電源転換)** or **A) & B)**

※非化石エネの価格、供給インフラ構築/整備計画、資金計画は不透明

■ A) 自家発燃料非化石化への課題

①OPEX/値差支援を活用するとしても、CAPEX/長期低炭素電源オークション相当の支援必要

※鉄鋼は還元材(原料炭)代替ですので、副生ガス発電への非化石化/燃転は、H2でもNH3でも 原料炭との値差支援をお願いしたい

②水素、NH3の供給網構築 又は 個別拠点・インフラ整備に必要な資金、新設/追設となる関連設備用地の確保

■ B) 系統再エネ電力(電源転換)への課題

①自家発減分の需要増に加え、新たな電力需要(プロセスの電化・CCUS)増 ⇒ 送電インフラ/送電網の増強要

②コンビナート/産業需要地の電力需要を支えた自家発(火力/同期電源)減少により電力品質低下(力率、慣性力等)

③自家発自家消費(需要地隣接)から遠地からの供給により生ずる送電ロス分(約5%)の電源容量増要

□ CNでの自家発自家消費電源/大口産業電力消費設備の社会貢献の可能性

①**非化石燃料使用調整**により上/下DR対応が可能(送電容量・運用の制約有/送電ロス分送電線増強はB)より小)

②大型同期電動機、タービン発電機による力率調整、慣性力供給



Copyright © 2023 JFE Steel Corporation. All Rights Reserved.

本講演の無断録画・本資料の無断複製・転載・webサイトへのアップロード等はおやめ下さい。