

令和5年度資源リサイクル等の協力・連携可能性調査実施報告書

資源リサイクル等の協力・連携可能性調査は、本財団の公益目的事業の一つとして継続実施しているものである。

今年度は、大崎クールジェン株式会社（広島県大崎上島町）石炭ガス化複合発電（IGCC）で、分離・回収された二酸化炭素を資源として有効利用するための研究開発が行われている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）カーボンリサイクル実証研究拠点と電源開発株式会社 竹原火力発電所、JFE スチール株式会社 西日本製鉄所を調査した。

1 日 程

- (1) 令和5年12月5日（火）
NEDO カーボンリサイクル実証研究拠点
広島県豊田郡大崎上島町中野6208番地1
（中国電力株式会社 大崎発電所内）
- (2) 令和5年12月5日（火）
電源開発株式会社 竹原火力発電所
広島県竹原市忠海長浜二丁目1番1号
- (3) 令和5年12月6日（水）
JFEスチール株式会社 西日本製鉄所
広島県福山市鋼管町1番地

2 参加者 12名

善 英 喜	三菱マテリアル(株) 秋田製錬所 所長
福 田 健 作	秋田製錬(株) 代表取締役社長
仲 雅 之	小坂製錬(株) 代表取締役社長
齋 藤 涉	DOWAホールディングス(株) 秋田事業所長
鈴 木 一 成	秋田ジンクソリューションズ(株) 代表取締役社長
笹 本 直 人	エコシステム花岡(株) 代表取締役社長
佐 藤 重 樹	(株)日本ピージーエム 代表取締役常務
今 井 浩 之	三菱マテリアル電子化成(株) 取締役
高 橋 行 文	DOWAホールディングス(株) 秋田事業所 顧問
北 原 達	秋田県産業労働部クリーンエネルギー産業振興課 主査
工 藤 陽 太	秋田県産業労働部クリーンエネルギー産業振興課 主任
川 上 伸 作	一般財団法人秋田県鉱業会

3 概 要

<NEDO カーボンリサイクル実証研究拠点>

施設の運営・管理などを行っている一般財団法人カーボンフロンティア機構

(JCOAL) 大崎事業所長 渡辺秀幸氏から、共用棟で実証研究拠点の概要についてパワーポイント及びビデオにより説明を受けた後、「CO₂を炭素源とした産廃由来炭化ケイ素合成の研究開発」、「Gas-to-Lipids バイオプロセスの開発」、「微細藻類由来 SAF の製造に係る研究開発」が行われている施設を視察した。

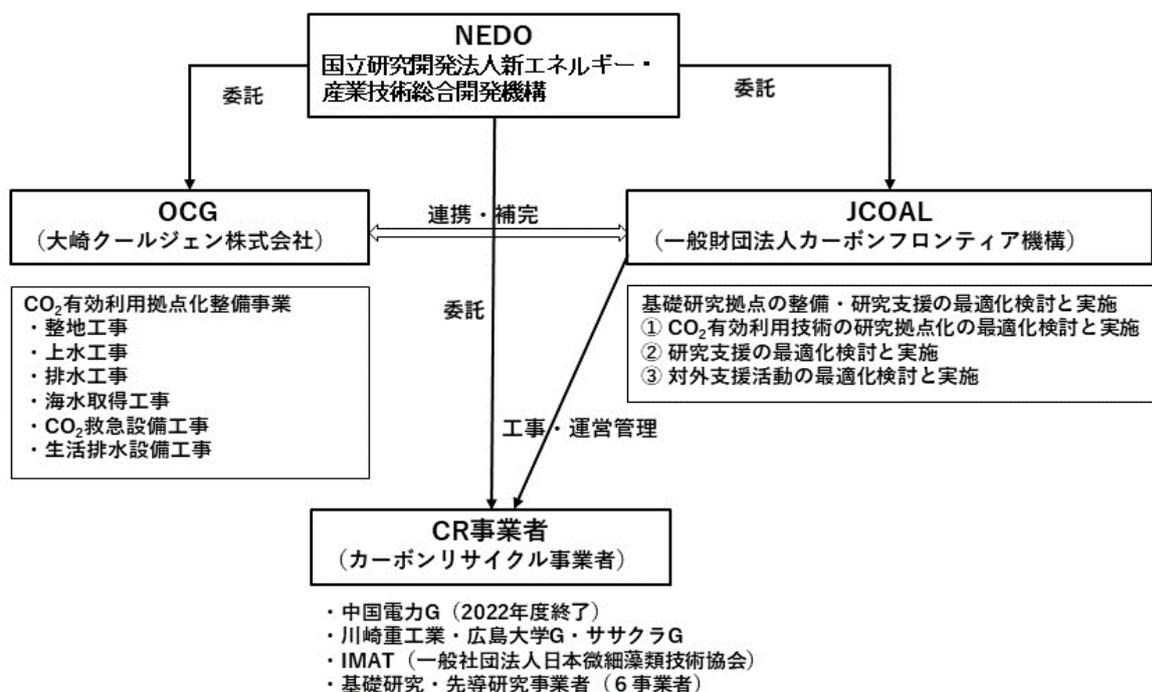
(1) 研究開発の目的等

- 複数の企業や大学等がカーボンリサイクル技術の実証試験等を実施するための活動拠点を整備し、研究支援を行うことでカーボンリサイクル技術の開発を促進する。
- 本拠点でカーボンリサイクル技術の実証試験等を行うことで、当該技術の実用化を加速させる。
- 1件の実証研究が終了し、現在10件のテーマについて研究開発が実施されている。実証研究費用は、100%NEDOが支援する。

(2) 実施体制等

① 事業主体

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)



JCOAL 説明資料に (事業者名) 加筆

② 事業実施者

[JCOAL]

- ・基礎研究・先導研究を効率良く、安全に行うことができるなど利便性に優れた6つの研究施設からなる研究棟の整備・運営を行う。

- ・分析室・会議室などを備えた共用棟の整備・運用を行う。
- ・CR事業者の準備から運用がスムーズに実施できるよう各段階で、必要な支援を行う。

〔CR事業者〕

- ・研究開発、設計、ユーティリティの使用計画策定、工事計画策定、設置工事、電気工事、研究実施を経て研究拠点利用を開始する。

(3) 施設の概要

中国電力株式会社大崎発電所構内に位置し、実証研究エリア、藻類研究エリア、基礎研究エリアの3つの区域で、二酸化炭素を資源として有効活用する技術開発や実証試験を行っている。



広島県豊田郡大崎上島町



大崎発電所



NEDO パンフレットより抜粋



JCOAL パンフレットより抜粋

(4) 研究開発の概要

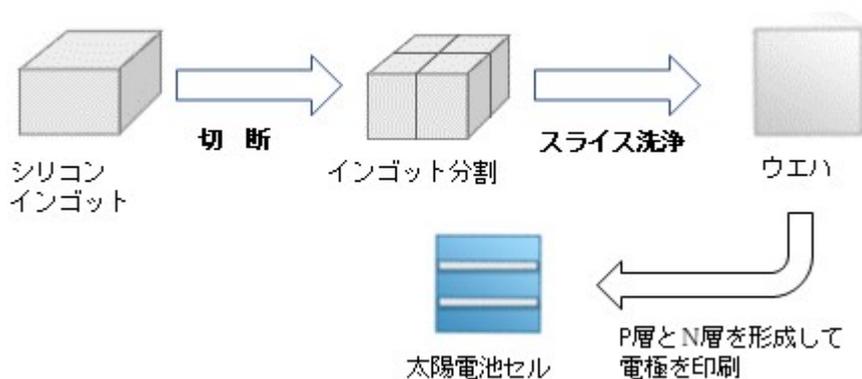
<CO₂を炭素源とした産廃由来炭化ケイ素合成の研究開発>

- ① 実施者 東北大学
- ② 概要

東北大学大学院工学研究科応用化学専攻 助教 福島潤氏が、基礎研究エリア研究棟で、パワーポイント等により概要を説明。

- ・太陽光電池や半導体のウエハ製造工程で発生するシリコンスラッジ（水分などを含む切削粉や研磨粉）は、ほとんどが産業廃棄物として埋め立て処分されている。

<参考> 太陽電池製造プロセス概略



- ・本研究開発は、二酸化炭素の雰囲気中で、シリコンスラッジにマイクロ波を加熱反応させ、炭化ケイ素（SiC）を作り出す技術の確立である。（基本特許出願）
- ・炭化ケイ素は、研磨剤やごみ焼却炉用断熱材に使用されているが、2021年に中国の電力供給不足から価格が高騰した。



NEDO パンフレットに加筆

- ・炭化ケイ素の製造は、主にアチソン法により行われているが、1 tあたり 14MW h 以上の電力を使用し、炭化ケイ素の 4 倍重量以上の二酸化炭素を排出し環境負荷が大きい。
- ・大半のカーボンリサイクル技術は、吸熱反応がベースとなっており、エネルギーコストが普及のネックとなっている。本手法は発熱反応によるアルカリ土類金属の炭酸塩化（鉍物化）で、エネルギー消費が少ない。
- ・化学反応のみを考えた場合、処理する炭化ケイ素の 0.8 倍重量の二酸化炭素を吸収する。
- ・今後は連続炉を導入し、炭化ケイ素の製造量増大（2021 年 10 g /day→2022 年 1 kg/day）とエネルギー効率の向上により二酸化炭素のリサイクル率を上げる研究を進める。

<Gas-to-Lipids バイオプロセスの開発>

① **実施者** 広島大学 中国電力株式会社

② **概要**

広島大学研究担当者が、実証研究エリア内の研究施設で概要を説明。

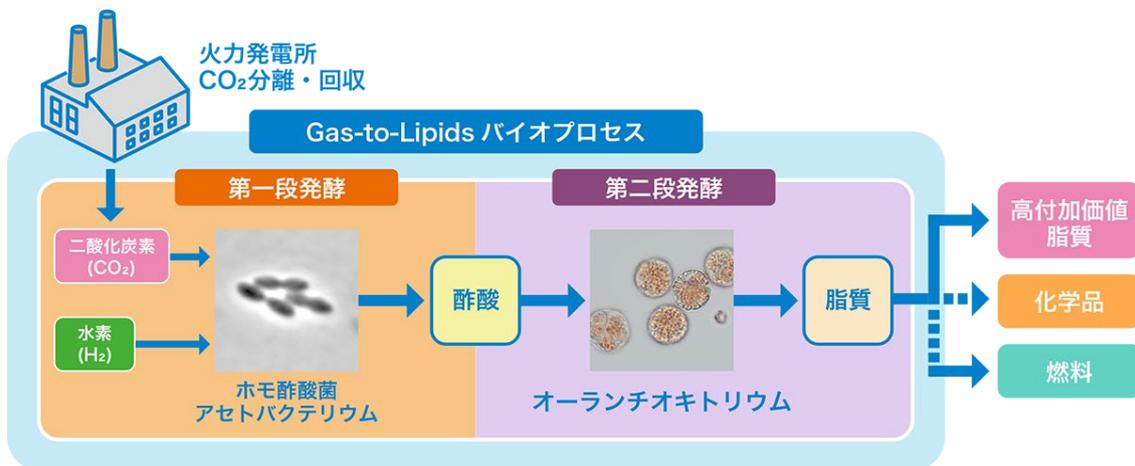
- ・Gas-to-Lipids は、二酸化炭素と水素の 2 つのガスを使用して油を造るプロセスで、微生物を使って酒を造る発酵技術と同様である。
- ・第一段階目で、酢酸生成菌アセトバクテリウムが二酸化炭素と水素を食べ増殖して、お酢の成分である酢酸を体外に分泌する。
- ・第二段階目で、油を造る微生物オーランチオキトリウムに酢酸を与え増殖させると体内に油を溜める。
- ・油は、青魚に多く含まれている DHA や EPA の高度不飽和脂肪酸、カロテノイドは果物や野菜に含まれているオレンジ色や灰色の色素で、紫外線等から肌を守るための化粧品に使用され、非常に高価な油脂である。
- ・長鎖脂肪酸や炭化水素は、バイオ燃料や化成品の原料に使用され、石油代替に適した油旨である。

- ・分離回収した二酸化炭素を固定化して、高付加価値品から高価値品まで、幅広い分野に利用できる油脂に変換できるプロセスである。

[発酵プロセス]

- ・酢酸発酵槽に下部から二酸化炭素と水素を送り循環させ、酢酸生成菌にガスを食べさせ、ガス圧が下がると検知しフレッシュなガスを供給する。
- ・槽内には、細胞、酢酸が混在しており、培地調製槽の中空被膜のフィルターでろ過して酢酸を中間貯留槽に送る。濾しとられた細胞は発酵槽に戻し、リサイクルしている。
- ・製造する油脂は、オーランチオキトリウムの種類によって決めるが、欲しい油脂を選択し抽出も可能である。
- ・油脂発酵槽は2基あり、オーランチオキトリウムが増殖しやすい環境とストレスで油を留やすい環境に設定している。
- ・油を留めたオーランチオキトリウムは、タンクに送られ有機溶媒を使って油脂を抽出する。

- ・省スペース、暗所、常温常圧で高密度培養
- ・酢酸発酵はCO₂利用効率90%以上
- ・油脂発酵は酢酸発酵液をそのまま利用可能
- ・多様な産業分野で活用可能な多彩な生産物



製造設備



NEDO パンフレットより抜粋

酢酸発酵槽

培地調製槽



< 微細藻類由来 SAF の製造に係る研究開発 >

① **実施者** 一般社団法人日本微細藻類技術協会 (IMAT)

② **概要**

日本微細藻類技術協会岩崎研究員が、IMAT 基盤技術研究所で概要を説明。



IMAT 基盤技術研究所

- ・ IMAT は、SAF (Sustainable Aviation Fuel [持続可能な航空燃料]) の原料となる油脂を微細藻類から抽出する研究を行っている。
- ・ 微細藻類は、培養過程で光合成により二酸化炭素を吸収し、油脂などを蓄積する。
- ・ 9 種類の微細藻類を培養している。微細藻類は光合成を行う微生物で、水の中に栄養を入れ二酸化炭素と混ぜ合わせ培養する。
- ・ 淡水性や海水性の微細藻類は、何十万種類もあるが、研究、論文ベースで研究されている藻類を培養している。
- ・ 世界中で微細藻類の研究が行われているが、小規模で、微細藻類を抽出、乾燥、油にする工程ごとの研究である。培養から収穫・抽出・分析に関する技術検証が可能な施設が強みである。
- ・ 微細藻類は、胃酸と同じ PH2.5 で育つものから PH11 のアルカリ性の高い環境で育つ多種多様な種類がある。
- ・ 微細藻類の特性を生かして屋内外で大量に培養し、SAF の原料となる微細藻類の選択や油の抽出試験を行っている。
- ・ 微細藻類は、無菌状態で小さいフラスコで、その後 30L の容器で培養し、さらに大型培養施設で増やす。



微細藻類の培養 (30L 容器)

- ・ 微細藻類は南極等にもあり、光がなくともタンパク源で育つものもある。大きさはミクロンサイズで、大型のものは10~30ミクロン。ミクロンを超えると海藻になる。
- ・ 3種類のバイオリアクターで、微細藻類の種類、水温や日照条件を変えて培養を行っている。

マレーシアの夏の環境で培養

次の2条件で試験中

①水温 38℃、日照 3,800 時間

②水温 28℃、日照 2,500 時間

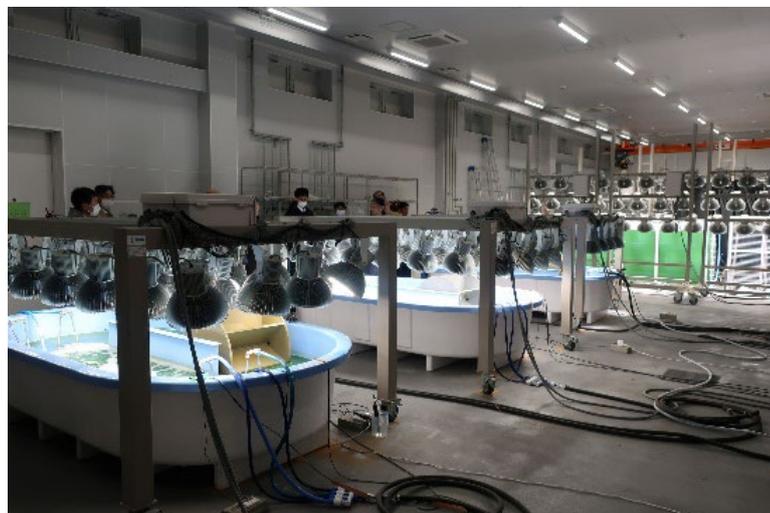
チューブ型はコスト高であるが、外気と接している面積が少ないので、他の生物の侵入リスクが小さく、品質が求められる食品や化粧品の原料となる藻類培養に適している。



チューブ型フォトバイオリアクター（容量 400L）



フラットパネル型
フォトバイオリアクター（容量 400L）



オープンレースウェイポンド（容量 1000L）

- ・各培養システムには、イニシャルコストやランニングコスト、光合成効率、不純物や他生物の混入による品質低下等のメリット、デメリットがある。
- ・培養した微細藻類は、遠心分離機や金属スクリーンを振動により濃縮し、スラリー状の濃縮物として抽出する。
- ・遠心分離機は、1200rpm で回転するので消費電力が高く、スクリーンは、小さいサイズの微細藻類は網目を通過し濃縮できない。

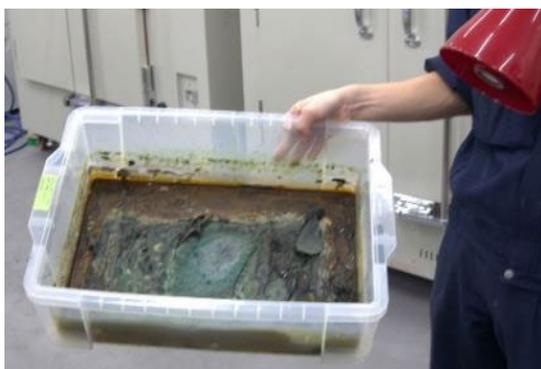


藻類を濃縮する遠心分離機



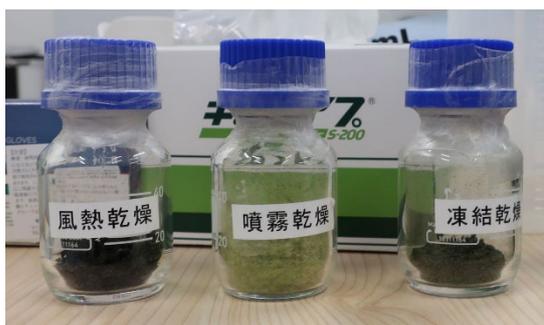
藻類を濃縮する振動濾過機

- ・濃縮された微細藻類は、60℃で乾燥する。
- ・風熱乾燥、噴霧乾燥、凍結乾燥等様々な方法でのデータを収集している。



乾燥した藻類

- ・脱水により細胞が死んで青緑色の色素が上に浮く
- ・乾燥後の微細藻類は黒色



風熱乾燥 噴霧乾燥 凍結乾燥



バイオクルード (バイオ原油)

- ・油は超臨界流体抽出や溶媒抽出により行う。
- ・様々の方法で培養、収穫・濃縮、乾燥、油の抽出データを収集比較する。データを公開し微細藻類産業界の躍進につなげたい。



集合写真（共用棟前）

（５） 所 感

- ・本財団の会員企業は、非鉄製錬や金属リサイクル、金属加工などエネルギー多消費型の企業が多く、カーボンニュートラルの実現に向けた対応が強く求められている。
- ・発電所や工場から分離・回収された二酸化炭素を利用しケイ素等の鉱物、化学品の原料、バイオ燃料などを製造する技術の確立により、会員企業の二酸化炭素の排出削減や事業拡大が期待される。
- ・北海道では、分離回収した二酸化炭素を地中に貯留する大規模実証試験が行われている。本県能代沖では、国の調査で二酸化炭素の貯留に適した地層が確認されている他、近くには油ガス田が稼働している。
- ・二酸化炭素の分離・回収、貯留（CCS：Carbon dioxide Capture and Storage）からリサイクルまでの技術が確立されることにより、本県がカーボンニュートラル社会の実現に大きく貢献することが期待される。

<電源開発株式会社（J-POWER） 竹原火力発電所>

竹原火力運営事業所 佐藤 柊氏 から発電所の概要について、4Kプロジェクトンマッピングビデオ及びパワーポイント等により説明を受けた後、新1号機の施設を視察した。

(1) 発電所の概要

- ① 所在地 広島県竹原市忠海長浜二丁目1番1号
- ② 設立 1964年開設、1967年7月 旧1号機運転開始
- ③ 出力及び運転開始
 - 新1号機 60万kW 2020年6月
 - 3号機 70万kW 1983年3月
- ④ 発電方式及び発電端効率（低位発熱量基準）

新1号機	超々臨界圧微粉炭火力（木質バイオマス10wt%混焼）	約48%
3号機	超臨界圧微粉炭火力	約43%



竹原火力発電所全景（写真提供：J-POWER[電源開発株]）



竹原火力発電所新1号機（写真提供：J-POWER[電源開発株]）

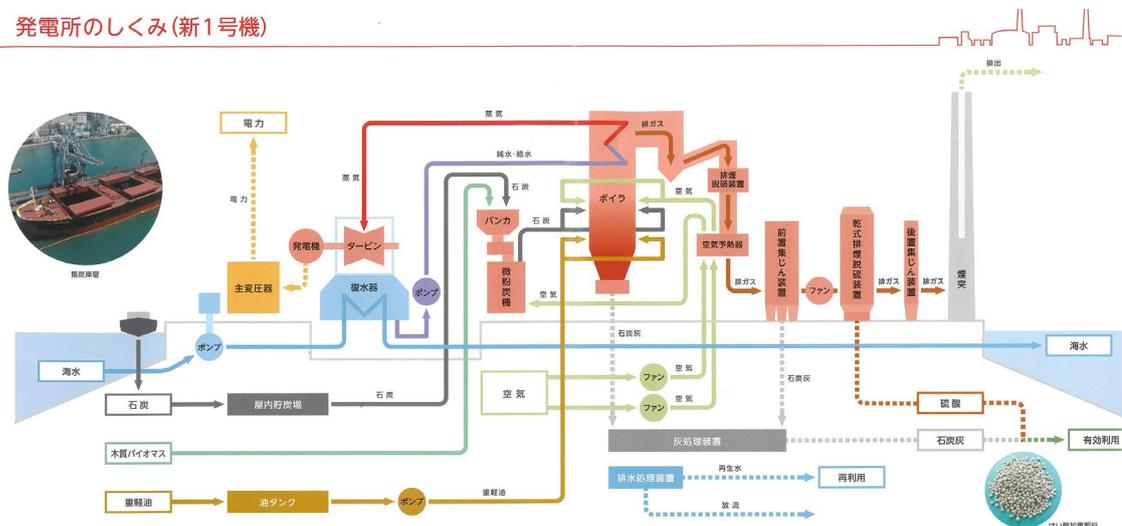
(2) 新1号機の特徴

旧1号機（出力25万kW）及び旧2号機（出力35万kW）を更新し、2020年6月に運転開始した。

① 発電所のしくみ

室内貯炭場→バンカー→ミル（粉碎）→微粉炭をボイラに吹付→蒸気発生→タービンを回し発電

発電所のしくみ(新1号機)



新1号機発電所のしくみ(写真提供: J-POWER[電源開発株])

② ボイラ

瀝青炭42種類、亜瀝青炭11種類の炭種を燃料にできる。調達先が多様化でき石炭の安定供給に寄与する。(産炭地により、発熱量、粘結性、水分や灰分、硫黄含有量など成分が異なるため、品質がバラつくと運転管理が難しくなる。)

③ タービン

蒸気圧力27.0MPa、主蒸気温度600℃、再熱蒸気温度630℃の世界最高レベルの蒸気条件で高圧、中圧、第一低圧、第二低圧の4基のタービンを回す。発電効率は、約48%と世界最高水準である。

・出力調整

火力発電は、電力需要を支えるベースロード電源の一つとしてフル稼働していたが、脱二酸化炭素から太陽光や風力などの再生可能エネルギーが優先されるようになり、電力の需要に応じて発電出力を下げるのが求められている。最低負荷を石炭専焼で30%まで引き下げることができ、再生可能エネルギーの電力変動に柔軟に対応できる。

④ 排ガス対策

- ・排ガスに含まれる窒素酸化物は、排煙脱硝装置でアンモニアと化学反応させ無害な窒素ガスと水に分解し除去する。
- ・ばいじんは、電気集塵器で電気を通した電極の間に排ガスをとおして取り除く。静電気を帯びた下敷きにごみが付着するのと同じ原理である。
- ・排ガス中の硫黄酸化物は、乾式排煙脱硫装置で活性炭に吸着させ取り除く。

吸着した活性炭は、再生塔で加熱し硫黄酸化物を分離し濃硫酸となり、薬品の原料として有効利用される。

- ・硫黄酸化物を取り除いた排ガスは、集塵器をとおし高さ 200mの煙突から排出する。
- ・最新鋭の環境対策設備導入により、旧 1・2 号機と比べ硫黄酸化物（86%減）、窒素酸化物（71%減）、ばいじん（67%減）を大幅に低減した。

⑤ 二酸化炭素削減に向けた取り組み

- ・5 台の微粉炭機 1 台を木質バイオマス専用に変更し、2022 年 8 月より混焼率 10wt%で運転している。
- ・混焼量は年間最大 150,000 t で、石炭専焼と比較して二酸化炭素の削減率は約 8%である。
- ・木質ペレットは、宮崎森林組合と J-POWER が共同で設立した宮崎ウッドペレットから調達し、不足分は東南アジアから輸入している。



概要説明（写真提供：J-POWER[電源開発㈱]）



給炭機（写真提供：J-POWER[電源開発㈱]）



タービン及び発電機

（写真提供：J-POWER[電源開発㈱]）



集合写真（写真提供：J-POWER[電源開発㈱]）

(3) 所 感

- ・電力系統に再生可能エネルギーの電力を優先して受け入れるため、最低出力の引き下げや変動に柔軟に対応しつつ、国民生活に不可欠な電力の安定供給をするため、ハード・ソフト面の技術開発に取り組んでいた。
- ・また、二酸化炭素の排出量削減のため、発電効率やバイオマス燃料の混焼率を上げるため、最新鋭の技術や設備を取り入れていた。

< J F E スチール株式会社 西日本製鉄所 >

福山地区見学センター担当者より、西日本製鉄所福山地区等の概要について車中で説明を受けるとともに高炉（車中）、熱延工場、製品ヤード（車中）等の施設を視察した。

(1) 西日本製鉄所福山地区の概要

- ① 所在地 広島県福山市鋼管町1番地（海を埋め立て造成）
敷地面積 1420万㎡、東京ドームが約300個分
- ② 設 立 1964年1月開設
- ③ 従業員数 JFE4,300名、協力会社100社10,000名
- ④ 生產品目
UOE鋼管、厚鋼板、熱延鋼板、冷延鋼板、電磁鋼板、表面処理鋼板、レール、H型鋼、鋼矢板、棒鋼、線材



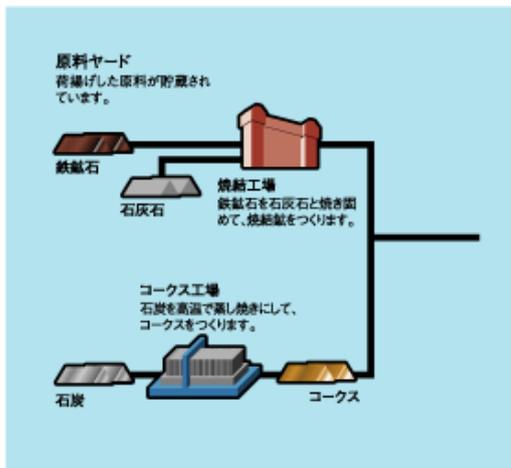
福山地区配置図（JFE ホームページより）

(2) 操業の概要

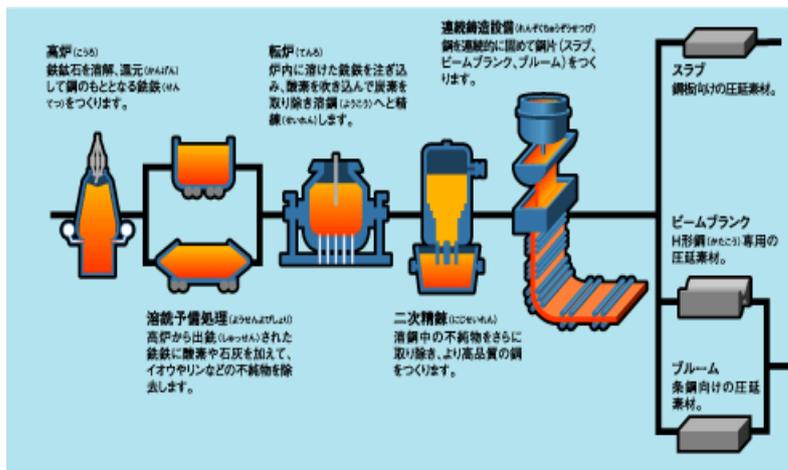
JFE の国内粗鋼（加工前の鋼）生産量は、日本製鉄に次いで第 2 位であるが、福山地区は、製鉄所としては第 1 位の生産規模である。高炉は 4 基あり日本一の規模で、西日本製鉄所の粗鋼生産量は、倉敷地区の高炉 3 基を合せ世界最大級である。

① 原料～鋼片の製造工程

- ・ 第 5 高炉は高さが 100m あり、コンピューター制御により 3 名で操業し、11,000 t/日の銑鉄をつくっている。
- ・ 鉄鉱石と石灰石を焼き固めた焼結鉱と石炭を 20 時間蒸し焼きにしたコークスを高炉に交互に入れ、下部の羽口から 1,200℃の熱風を吹き込み、鉄鉱石を溶かす。炉内の温度は約 2,200℃の高温になる。
- ・ 高炉の底部から高温液体状の銑鉄と銑鉄上部の不純物を含むスラグを取り出す。銑鉄が 2/3、鉄鋼スラグが 1/3 の割合である。
- ・ 取り出した銑鉄は、トリベ（溶銑鍋：200 t、1,500℃）で製鋼工場に運ばれ（溶銑予備処理工程や転炉で）不純物を取り除き、合金鉄などの添加物を加え成分調整し、ねばりやしなやかな加工しやすい鉄、鋼（はがね）をつくる。
- ・ 鋼は連続鑄造設備に運ばれ型にに入れて水で冷やし、圧延しやすいスラブ等の鋼片にする。スラブ（鋼板向け）は、250mm（厚さ）×1.2m（幅）×7m～9m（長さ）。



高炉（JFE ホームページより）



主要設備と製造工程（JFE ホームページより）

③ 環 境

- ・ 高炉で鉄鉱石を溶かす際に多くのガスが発生する。可燃性ガス（一酸化炭素）は、パイプにより瀬戸内共同火力発電所（中国電力と JEF が出資）に発電用の燃料として供給され、発電された電気は製鉄所で使用している。
- ・ 鉄鋼スラグは、セメントや断熱材の原料、魚やサンゴの産卵用のマリブロック等々にリサイクルされている。
- ・ 構内に 85 万本の樹木を植栽し、鉄粉の粉塵防止等環境改善している。

④ その他

- ・ 石灰石は岡山や四国から、鉄鉱石はオーストラリア、ブラジル、カナダ、石炭は 6 割以上をオーストラリア、カナダ、ロシアから輸入している。
- ・ 工業用水は、福山市から 21 万 t / 日、岡山県から 3 万 t / 日購入し、95%は冷却ろ過してリサイクルしている。
- ・ 福山地区で製造された製品の 70%は、東南アジア、中国、韓国、アメリカに輸出している。



集合写真

(3) 所 感

産業に必要不可欠な高品質な鉄鋼製品を安価に安定供給するため、高炉等から発生する可燃性ガスによる発電、製品ごと異なる専用運搬車の導入、コンピューター制御による最適な操業などによるエネルギーコストの削減や高度な技術を実感することができた。