

Carbon Frontier Journal



2023.12 Vol.2

クリーン・コール・デー特集

▶巻頭言		CCT ワークショップ開催報告	18
各国の事情を踏まえたゼロエミッションへの挑戦	02	CO ₂ ダイレクト利用ジェット燃料合成による カーボンリサイクルの国際共同研究開発	19
▶スペシャルレポート		ケミカルルーピング燃焼（CLC）技術開発の進捗、その4 ーポリジェネレーション技術開発ー	25
クリーン・コール・デー実行委員会広報活動報告	03	豪州、インド、ASEAN 等への 我が国カーボンリサイクル技術の導入可能性調査 （インドネシア、マレーシア、フィリピン編）	31
▶活動レポート		学生海外インターンシップ同行記	37
第 32 回クリーン・コール・デー国際会議開催報告	07	▶編集後記	39
2023「資源の安定供給と脱炭素化シンポジウム」開催報告	13		
環境省委託事業における 米国ワイオミング州実証試験設備「竣工式」開催報告	16		
米国ワイオミング大学とのクリーンコールテクノロジー、 CCUS 分野等研究開発相互協力に関する MOU 締結式開催	17		

各国の事情を踏まえたゼロエミッションへの挑戦



一般財団法人
カーボンフロンティア機構
理事長 塚本 修

去る本年 8 月 25 日、インドネシアバリ島で ASEAN エネルギー大臣会議が開催され、ビジネスセクターも参加する AEBF（アセアンエネルギービジネスフォーラム）も併催されました。私は、そのセッションの一部での基調講演とパネルディスカッションに参加しました。

ASEAN 各国は、再生可能エネルギーの積極的な導入を基本としたエネルギー政策を展開し、カーボンニュートラルのロードマップを策定する等脱炭素化への取り組みを積極的に進めております。そのような状況の中、各国は、それぞれのエネルギー、資源、経済状況等を踏まえ、エネルギーの安定供給と地球環境問題へのバランスある対応を模索しております。既存石炭火力の低炭素化、脱炭素化の現実的なソリューションとしてバイオマスの混焼や Iot を活用したプラント運転の効率化、USC（超超臨界石炭火力発電所）の導入の検討等いわゆる CCT（クリーンコールテクノロジー）への期待は大きいものがあります。CR（カーボンリサイクル）や CCS（二酸化炭素貯留）など新たな革新的取り組みについては、その技術的ハードルの高さ、経済性の観点からまだ情報収集の段階にとどまっております。

このような状況を踏まえ、今後の関係国との協力のあり方を考える際、従来から進めてきているクリーンコールテクノロジーとカーボンリサイクル、CCS などの革新的脱炭素化技術を両輪にした対応の必要性を痛感したところであります。ASEAN 関係機関の有識者からの石炭火力発電所を核にしたカーボンリサイクルの拠点整備の重要性を指摘する声もあり、広島県大崎の IGFC およびカーボンリサイクルの基礎研究拠点やその研究成果に関する積極的な情報発信の重要性を改めて感じました。

また、JCOAL は、去る 9 月 5 日（火）、経済産業省（METI）、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）、独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構（JOGMEC）と共催で、米国をはじめとする在京 11 カ国大使館、カナダ・豪州の 3 州政府、グローバル CCS インスティテュート（GCCSI）、宇部市、釧路市の後援を得、第 32 回クリーン・コール・デー国際会議を大手町プレイスカンファレンスセンターに於いて対面方式を主体にオンライン併用にて開催しました。

会議では、米国、インド、中国、豪州等主要産消国・関係機関・企業、国際エネルギー機関（IEA）付置機関国際炭素センター（ICSC）、世界石炭協会（WCA）、グローバル CCS インスティテュート（GCCSI）、ASEAN エネルギーセンター（ACE）、欧州発電協会（VGBE）等国际機関、日本の経済産業省及び学会等有識者にご参加頂き、合計 25 国の産官学関係者から延 1,500 名の参加者数を得、活発に議論が行われました。会議での議論を踏まえ、JCOAL として本誌 12 ページに記載するステートメントを発信しました。

脱炭素化の取り組みは、国、民間の総力を挙げて取り組まなければならない地球規模の課題であり、本年 4 月から JCOAL は、新たに名称を（一財）カーボンフロンティア機構に変更しカーボンニュートラルにさらに軸足を置き会員皆様のご理解、ご協力のもとこのフロンティアに果敢に取り組んでいく所存であります。

クリーン・コール・デー実行委員会広報活動報告

総務部広報室 鎌田 淳一

クリーン・コール・デー(CCD)実行委員会では、毎年9月5日の「クリーン・コール・デー(石炭の日)」を中心に、児童生徒や一般の方々から専門家の方々までを対象に石炭やその利用について広報活動を実施している。

石炭は重要なエネルギー資源として、また産業用原料として我が国をはじめ多くの国と地域で利用されているが、他のエネルギーに比べて二酸化炭素の排出量が多いことから、温暖化ガス排出削減やカーボンニュートラルを目指す世界の潮流の中でその利用を抑制する動きが顕在化している。

しかし、石炭はアジアの発展途上国を中心に今後も継続的に利用される見通しとなっており、我が国においてもエネルギー安定供給確保の観点から石炭を含めたエネルギーミックスが引き続き重要である。

これらを背景に石炭利用において高効率化やカーボンリサイクル/CCSなどカーボンニュートラルに向けた開発が加速しており、今後もクリーン・コール・テクノロジーを駆使して「石炭利用におけるゼロエミッション化への挑戦」に取り組み、SDGs(持続可能な開発目標)に貢献していくことを国内はもちろん、世界に向けて発信していくことが重要である。

クリーン・コール・デー広報活動は、これら石炭利用についての社会的認知と合意形成を図ることを目的にクリーン・コール・デー実行委員会が主体となって実施するものである。

活動の中心となる実行委員会は、これまで一般社団法人日本鉄鋼連盟、一般社団法人セメント協会、日本製紙連合会、電源開発株式会社、一般財団法人カーボンフロンティア機構の5団体で構成されてきたが、今年度より、日本鉄鋼連盟、セメント協会、日本製紙連合会の3団体が各業界の脱石炭に向けた動きが活発化する中で脱会することとなった。

このため、今年度の実行委員会は電源開発株式会社と一般財団法人カーボンフロンティア機構(当機構)の2団体で構成し、従来に準じた内容で広報活動を実施することとなった。委員長は当機構の塚本理事長が務め、事務局も当機構が担当している。

【令和5年度事業計画】

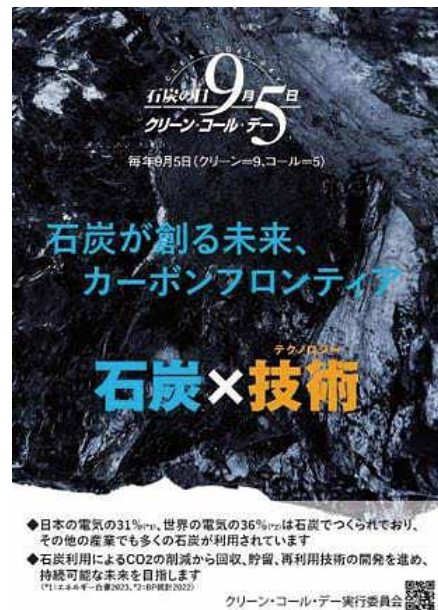
今年度の広報活動の実施計画案については、ポスター作成やメディア広報を中心に従来と同様の取組を、参加者や関係者の健康・安全確保を第一に考慮しつつ実施することとした。

事務局が作成した活動テーマ案やポスター案、メディア広報案、ノベルティ案を6月28日に実行委員会に提示し、最終的に7月4日に承認を得て活動を開始した。

今年の広報活動のテーマは、当機構の名称変更も勘案して「石炭が創る未来、カーボンフロンティア」に決定した。

【ポスター制作】

ポスターは2020年のポスター「石炭×技術」を制作者の許可を得てベースとして使うこととし、クリーン・コール・デーのロゴに今年度のテーマ「石炭が創る未来、カーボンフロンティア」を記載し、ボディコピーには、国内及び世界の発電量や産業での利用などの石炭利用の現状とCCUS技術開発によって持続可能な未来を目指していることを訴える内容とし、協力団体及び共催団体へ配布した。



令和5年度クリーン・コール・デー広報ポスター

【メディア広報～産経ニュースへの広告記事掲載】

今年度利用したメディアについては、過去に実施したメディア広報の中でページビュー(PV)数の最も多かった産経ニュースを昨年に続いて選抜し、広告記事を発信する事とした。

記事のタイトルは、『“石炭”が創る水素社会の未来「石炭の日」に思う復権までのロードマップ』とし、カーボンニュートラルに挑戦する石炭の未来像を強調する内容とした。そのため、クリーンエネルギーとして期待される「水素」を豪州ビクトリア州の褐炭から製造する実証試験を成功裏に完了した電源開発株式会社や、専用船を建造して日本へ輸送する実証試験を完了した川崎重工業

株式会社取材し、事業の概要やクリーン水素製造に欠かせない製造過程で発生するCO₂の分離回収などについて解説した。

このCO₂分離回収については、当機構が川崎重工業株式会社と共同で米国ワイオミング州において実施中の固体吸収剤による高効率な分離・回収技術の実証試験も紹介し、クリーンで安価かつ大量の水素製造に向けて技術開発が進展していることをアピールした。



記事はアーカイブされており、下記 URL より閲覧可能である。

https://www.sankei.com/article/20230830-N66GJTXXS5CHVEFYLSDO_3JSLE/

産経ニュースの報告によれば、8月30日から9月5日までの7日間の誘導（ニュースサイトの記事リストの上部に維持）期間中のページビュー数は9,346PVで、想定5,000PVを上回っているが昨年の28,140PVを大きく下回った。昨年は9日間の誘導であったが、今年は2日短い7日間であったのも原因と考えられる。記事はアーカイブされており、引き続きホームページやメールマガジンで紹介しているので閲覧者はさらに増えるものと期待している。（9月27日時点で1,280PV増えている）

デバイス別ではスマートフォンによる閲覧が70.5%、残りがパソコンやタブレットによるものであった。また、男女別では70.8%が男性で昨年より女性が増えている、年齢構成は35-44歳を中心に幅広い年齢層に読まれたことが分かり、初期の目標を達成したものと評価している。

【メディア広報～電気新聞】

例年、電気新聞社にはグリーン・コール・デーにちなんで、9月5日前後にグリーン・コール・デー特集ページを掲載いただいており、今年も9月5日（火）に掲載された。

当機構も同ページの記事作成のためグリーン・コール・テクノロジー（CCT）関連の情報提供を行っている。今年も、大崎クールジェン併設のカーボンリサイクル実証拠点の進捗、ケミカルルーピング燃焼の進捗、アンモニアマイクロガスタービンによるコジェネ事業の

進捗、早生樹によるバイオマス燃料の高効率生産実証に関する記事を掲載するとともに、当日ハイブリッド方式で開催された国際会議についても紹介された。また、実行委員会の企画として、同ページに今年のポスターを図案化したグリーン・コール・デーの広告を掲載した。

【メディア広報～経産新報】

例年、経産新報社にはグリーン・コール・デー特集号を制作いただき国際会議会場で配布していただいている。

今年も会議当日の9月5日に特集号が発行され、関連記事と共に会議のプログラムや会長の挨拶文が掲載された。今年から国際会議がハイブリッド開催となったため、会場での参加者に配布した。

また、こちらにも実行委員会の企画として、グリーン・コール・デーの広告を掲載した。

【石炭実験教室】

毎夏恒例のグリーン・コール・デー実行委員会と科学技術館との共催行事「夏休み子ども石炭実験教室」は、実行委員会と科学技術館との協議の結果、コロナ感染予防対策は解除されているが引き続き従前に準じた感染対策のもと、夏休み期間中である8月2日（水）、3日（木）の2日間、科学技術館4階スタジアムLにて開催することを決定した。

2日間で計4回の実験教室を開催することとし、各回20名（6テーブル×3～4名）を上限として募集した結果、合計177名の応募があり、抽選で各回24名、合計96名を選抜した。当日は体調不良などにより19名の欠席者があったため、実際の参加者は小中学生77名と保護者66名の合計143名となった。

教室では、石炭についてその性状や生成過程、賦存状況や生産方法、用途等について実物や動画、スライドを使って説明した後、①土砂と石炭を選び分ける「選炭」の実験、②ヤカンの湯を沸騰させて作る蒸気によりプロペラを回して電気を起こす実験、③実際に石炭が燃えるところを見てもらい臭いや煙を感じてもらう実験、を見たり体験したりしてもらった。子どものみならず、保護者も石炭を見るのも触れるのも初めてという方がほとんどで、好評をいただいた。

実験と指導は科学技術館の学芸員にお願いし、グリーン・コール・テクノロジー、地球温暖化、カーボンニュートラルやカーボンリサイクルなどについて当機構職員が解説した。



実験教室の実施状況（実行委員長一塚本理事長が視察）



選炭実験（重液を使って石炭と石を分ける実験）



燃焼実験



当機構職員がクリーン・コール・テクノロジーなどを紹介

【地方での関連イベント】

①北海道庁でのパネル展示

8月22日（火）、23日（水）の両日、石炭資源の有効活用の推進に関する取組として、石炭の概要、石炭産業の取組、火力発電の概要と併せ、石炭をクリーンに利用する「クリーン・コール・テクノロジー」についてパネル展示を行うとともに、道内で取組みが進んでいる、バイオマス混焼発電や地下の石炭層を活用した地下ガス化（H-UCG）の技術開発、石炭灰を活用したCO₂ 鉱物化地下固定坑内埋め戻し技術開発を普及啓発することを目的とするクリーンコールパネル展が、石炭資源有効活用研究会（事務局：北海道 経済部 資源エネルギー局 資源エネルギー課）の主催で、北海道庁 1 階道政広報コーナー特設展示場 B で開催された。期間中の入場者数は 410 名との報告があった。

当実行委員会も、釧路コールマイン株式会社、株式会社釧路火力発電所、（地独）北海道立総合研究機構産業技術環境研究本部エネルギー・環境・地質研究所、旧産炭地域 11 市町、空知総合振興局、釧路総合振興局と共に協力し、クリーン・コール・テクノロジーの紹介パネル 12 枚を展示したほか、広報冊子「カー

ボンニュートラルへの挑戦」、「マンガ・ニャンコール教授と学ぶ石炭のひみつ」、「石炭がわかる本」及びノベルティグッズとして石炭の日のロゴマークの入った「フリクションペン」や「黒い消しゴム」を配布した。



北海道庁でのクリーンコールパネル展



パネル展の様子

②石炭博物館等での無料公開、資料配布

石炭の日であるクリーン・コール・デー（9月5日）を記念して9月3日の日曜日に、大牟田市石炭産業科学館及び直方市石炭記念館、太平洋炭礦炭鉱展示館で施設の無料公開のほか、各種イベントが開催され、ポスター掲示や広報冊子類の配布をお願いした。

直方市石炭記念館では、9月3日に無料公開に加えて「SL 運転室乗車体験」、「石炭燃焼実験」、「火力発電実験」などを実施しており、当日は実行委員会からも当機構職員が出張して情報収集や意見交換を行った。



直方市石炭記念館クリーン・コール・デー無料開放



直方市石炭記念館での石炭燃焼実験

また、大牟田市石炭産業科学館では無料公開に加えて「ダイナミックトンネル真っ暗体験」、「せきたん de ふしぎ体験」、「名誉館長特別講演」などが行われた。

これら3館に加え、赤平市炭鉱遺産ガイダンス施設、いわき市石炭化石館、宇部市石炭記念館、鹿児島県立博物館、釧路市立博物館、田川市石炭・歴史博物館、三笠市立博物館、宮若市石炭記念館、夕張石炭博物館の全国9館・施設にも今年のポスターや広報資冊子類、ノベルティグッズを送付し、一般入場者への配布をお願いした。



大牟田市石炭産業科学館の案内ポスター

【その他の広報活動】

広報冊子の改訂、増刷

昨年度作成した石炭広報用冊子「カーボンニュートラルへの挑戦」のデータのアップデートや機構の名称変更を反映した改訂版を作成したほか、マンガ版石炭教本「ニャンコール教授と学ぶ、石炭のひみつ」を機構の名称変更を反映しつつ増刷した。これらは石炭実験教室に集まった保護者や子どもたちに、また前述のように協力いただいた石炭博物館などへ配布した。

また、石炭実験教室に集まった子どもたちにはグリーン・コール・デーのロゴを印刷した、ポケットステンボルを配布した。

1cm 角程度の石炭のサンプルを入れた石炭カプセルもあわせて配布した。



各所で配布した広報冊子類とポケットボトル

第 32 回クリーン・コール・デー国際会議開催報告

国際事業部 藤田 俊子

1. 会議概要

平成 3 年(1991 年)6 月の石炭鉱業審議会から新石炭政策推進の必要性が答申されたことに併せ、同年 9 月に発表された当時の通商産業省(現経済産業省)資源エネルギー庁石炭部長の私的懇談会「地球を救う新石炭政策研究会」中間報告において、石炭に対する伝統的なイメージの払拭並びに正しい認識と評価を得るための PR 体制の充実・推進の必要性が強調され、その活動の一環として、「石炭の日(クリーン・コール・デー)」の制定が提案され、平成 4 年(1992 年)9 月に、第 1 回「クリーン・コール・デー」記念シンポジウム及び記念式典が開催された。以降、毎年 9 月 5 日の「石炭の日(クリーン・コール・デー)」を中心に、毎年の広報活動のテーマに沿った取組みを続けている。

特にその活動の中でも、長年の実績等から海外にも知名度をあげ、業界の方々にも浸透してきている「クリーン・コール・デー国際会議」は、多くの国内外の皆様からの支援の賜物により、本年度で第 32 回目の開催を迎えることとなった。主催は弊財団、共催は経済産業省(METI)、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)、独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構(JOGMEC)であり、オールジャパンの体制で本会議に臨んだ。また、豪州をはじめとする在京 11 カ国大使館、カナダ・豪州の 3 州政府、グローバル CCS インスティテュート(GCCSI)、2 自治体(宇部市、釧路市)から、本年度は後援名義を頂いた。

ここ 3 年間のコロナ禍でのオンライン中心での開催だった本国際会議も、本年度は来場中心での開催とし、登壇者の方にも来場頂いての開催は参加者の皆様にも大変好評であった。

本年度は、世界で加速している「カーボンニュートラル」のキーのもと、テーマを『ゼロエミッションを目指した脱炭素化技術の取組み』とし、9 月 5 日(火)に大手町プレイスカンファレンスセンターにて開催した。尚、開催後は、アーカイブ配信を 1 か月間実施し、更に多くの方々に視聴頂いた。また、開催後は、例年度同様に JCOAL ステートメントを弊財団サイトに掲載し、国内外に本国際会議での議論の結果を発信した。

本会議では、米国、インド、中国、豪州等主要産消国・関係機関・企業、国際エネルギー機関(IEA)国際持続的炭素センター(ICSC)、グローバル CCS インスティテュート(GCCSI)、ASEAN エネルギーセンター(ACE)、欧州発電協会(VGBE)等国際機関、日本の経済産業省及び学会等有識者にご参加頂き、

対面方式を中心に開催、合計 25 国の産官学関係者から延 1,500 名の参加者数を得、活発に議論を行った。



第 32 回クリーン・コール・デー国際会議専用サイト

2. 第 32 回プログラム等内容

テーマ：ゼロエミッションを目指した脱炭素化技術の取組み

主 催：一般財団法人カーボンフロンティア機構

共 催：経済産業省(METI)

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)

独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構(JOGMEC)

後 援：GCCSI、宇部市、釧路市、豪州大使館、中華人民共和国大使館、コロンビア共和国大使館、チェコ共和国大使館、マレーシア大使館、モザンビーク共和国大使館、フィリピン共和国大使館、ポーランド共和国大使館、セルビア共和国大使館、タイ王国大使館、ウクライナ大使館、カナダ・アルバータ州政府在日事務所、豪州・クイーンズランド州政府日本事務所、豪州・ビクトリア州政府東京事務所



会場：大手町プレイスカンファレンスセンター

言語：日本語・英語（同時通訳）

プログラム：（以下日本時間で計上）（敬称略）

総合司会 一般財団法人カーボンフロンティア機構

参事 国際事業部担当 藤田 俊子

09:00-09:35 開会セッション

09:00-09:05 開会辞 北村 雅良（来場）

一般財団法人カーボンフロンティア機構会長

09:05-09:10 共催辞 1 定光 裕樹（来場）

経済産業省資源エネルギー庁資源・燃料部長

09:10-09:15 共催辞 2 和田 恭（ビデオ）

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構理事

09:15-09:35 特別講演I Dr. Andrew Minchener OBE（来場）

IEA 国際持続的炭素センター代表

「エネルギー移行期における想い」

09:35-11:35 セッションI

カーボンニュートラルを目指した各国におけるゼロエミッションの必要性～政策動向

モデレーター

指定国立大学法人東京大学 公共政策大学院

特任教授 有馬 純（来場）

09:35-09:55 speech-1 Dr. Nuki Agya Utama（ビデオ）

アセアンエネルギーセンター（ACE）所長

「アセアン諸国はカーボンニュートラルに向かいどのように進んでいるのか？」

09:55-10:15 speech-2 Dr. Oliver Then（ビデオ）

欧州発電協会（VGBE Energy e.V.）代表

「欧州発電業界におけるゼロエミッションへ向かうための方策～政策と現状」

10:15-10:35 speech-3 Zhang Shaoqiang（リモート）

中国石炭加工利用協会（CCPUA）理事長

「中国における石炭のクリーンで低炭素化技術への転換とカーボンニュートラルに向けた方策」（中日逐次通訳付）

10:35-10:55 speech-4 Jason Begger（来場）

ワイオミング総合テストセンター（ITC）所長

「米国の CCUS 研究開発資金の概要」

10:55-11:15 speech-5 Dr. Bikas Chandra Mallick（リモート）

インド電力省中央電力庁（CEA）第二局長

「インドにおけるエネルギー移行」

11:15-11:35 Q&A

11:35-11:55 特別講演II 笹津 浩司（来場）

電源開発(株)（J-POWER）取締役副社長執行役員

「エネルギーセキュリティと環境の両立を目指して～ J-POWER の取り組み：J-POWER BLUE MISSION 2050 ～」

（休憩）

13:00-14:20 セッションII パートI

エネルギー移行期の初期段階における技術動向～短期における燃焼技術等を用いた取り組み：バイオマス／アンモニア

モデレーター

国立大学法人東海国立大学機構岐阜大学名誉教授

守富環境工学総合研究所（Meel）所長

守富 寛（来場）

13:00-13:20 speech-1 吉田 有三（来場）

出光興産(株)執行役員 石炭・環境事業部長

「ブラックペレット事業化等の脱炭素取組による出光のエネルギーランジションへの貢献」

13:20-13:40 speech-2 小澤 幸久（来場）

(株) IHI 執行役員資源・エネルギー・環境事業領域副事業領域長

「カーボンニュートラル達成に向けた IHI の取り組み」

13:40-14:00 speech-3 Alan Knight（来場）

Drax 社 Chief Sustainability Officer Sustainability (interim)

「Drax 社による持続性バイオマス燃料に対する挑戦」

14:00-14:20 Q&A

（休憩）

14:40-17:00 セッションII パートII

エネルギー移行期の初期段階における技術動向～中長期における CO₂ 有効利用技術等を用いた取り組み；CR、CCUS/CCS、産業間連携、水素等

モデレーター

指定国立大学法人京都大学名誉教授

深田地質研究所（FGI）顧問 松岡 俊文（来場）

14:40-15:00 speech-1 Prof. Dr. Holly Krutka（ビデオ）

ワイオミング州立大学エネルギー資源学科長 教授

「ワイオミング：CCUS 活動のハブ」

15:00-15:20 speech-2 Jarad Daniels（ビデオ）

グローバル CCS インスティテュート（GCCSI）代表

「世界の CCS 動向～現状の紹介と今後の見通し」

15:20-15:40 speech-3 山本 滋 (来場)

川崎重工業(株) (KHI) 執行役員 水素戦略本部副本部長

「川崎重工業の水素事業と将来展望」

(休憩)

16:00-16:20 speech-4 Jane Burton (来場)

ビクトリア州雇用・技能・産業・地方省

カーボンネットプロジェクト プロジェクトディレクター

「環太平洋間共同事業：豪州カーボンネットプロジェクト」

16:20-16:40 speech-5 辻 佳子 (来場)

指定国立大学法人東京大学

環境安全研究センター長 教授

「産業間連携を通じたカーボンニュートラルへの挑戦」

16:40-17:00 Q&A

17:00-18:00 セッションⅢ シンポジウムラップアップ

モデレーター 橋川 武郎 (来場)

国際大学 (IUJ) 学長 国際経営学研究科教授

パネリスト 1 有馬 純 (来場)

指定国立大学法人東京大学 公共政策大学院特任教授

パネリスト 2 Dr. Andrew Minchener OBE (来場)

IEA 国際持続的炭素センター (ICSC) 代表

パネリスト 3 守富 寛 (来場)

国立大学法人東海国立大学機構岐阜大学名誉教授
守富環境工学総合研究所 (Meel) 所長

パネリスト 4 笹津 浩司 (来場)

電源開発(株) (J-POWER) 取締役副社長執行役員

17:00 閉会辞 塚本 修

一般財団法人カーボンフロンティア機構理事長

じめ、各国大使館や国際機関等の関係者の方々のご支援に厚く御礼を申し上げます。

- 今回のテーマは「ゼロエミッションを目指した脱炭素化技術取組み」、気候変動対策について、私の思うところを申し上げます。
- 「カーボンニュートラル」とは、化石資源を「使うのをやめる」のではなく、化石資源の利用に伴う CO₂ 排出を、森林や海洋などの CO₂ 吸収源とのバランスにおいて世界全体でネットゼロに抑えることである。地球の生態系が持つ吸収能力を超えて排出し続ける状態にブレーキをかけることで、そのバランス均衡を実現する目標年が日本では 2050 年とされている。石炭を始めとする化石資源は、発電、製鉄、セメント、化学工業、移動手段等あらゆる分野で私たちの社会の基盤を支えており、気候変動対策の観点から取組むべき課題は CO₂ の排出量を抑えることであり、CO₂ 排出の多い化石資源利用方法を漫然と続けることが問題である。
- 石油も、天然ガスも、石炭も、全ての化石資源がその利用方法を見直していかなければならない。とりわけ石炭は、その利用に際しての CO₂ 発生量が相対的に大きいことから、排出抑制への要求が最も高いため、高効率化により HELE 技術の適用拡大が必要である。次の段階としては、CCUS 技術を実装していくことが必要である。これらの技術を組合せれば、石炭から CO₂ フリー水素を製造するブルー水素の実現も可能になる。
- 発電用燃料にしても製鉄・化学品の原料にしても、石炭利用に伴う CO₂ 排出の抜本的低減、更にはゼロエミッション化ができれば、石炭は人類を支える資源選択肢の一つであり続ける。化石燃料利用の仕方の新しいフロンティアに私たちは、チャレンジしていかなければならない。
- 国連で採択された SDGs アジェンダの 17 のゴールの内、7 番目に掲げるエネルギーについての目標では、途上国の人々を含め人類全体を支えるエネルギー選択肢の一つとして、石炭を考えなくてはならない。
- 気候変動枠組み条約が掲げる「共通だが差異のある責任」原則の下で、世界全体でカーボンニュートラル社会の実現に向かって進んでいかなければならない。私たちの取組みが、国連 SDGs の「誰も置き去りにしない」持続可能で多様性と包摂性のある社会の実現に繋がることを心から願う。

②共催辞 1

経済産業省資源エネルギー庁
資源・燃料部長 定光 祐樹



- 世界各国からのご参加、開催に尽力されたカーボンフロンティア機構に感謝する。
- クリーン・コール・デー国際会議は今年で 32 回目、足元当時は安定供給と環境に配慮した利用が意識されていたが、現在は我が国を含め世界でカーボンニュートラルを宣言する国や地域が GDP ベースで 9 割以上に達し、世界的に脱炭素の機運が高まっている。ロシアのウクライナ侵略により石油



3. 主な講演概要

①開会辞

一般財団法人カーボンフロンティア機構
会長 北村 雅良



- 登壇する国内外の皆様、Web 参加の皆様
に心から感謝致したい。また、国際会議
の開催にあたり、共催者の METI、NEDO、JOGMEC をは

ショックにも匹敵する国際的なエネルギー危機を受け、エネルギーの安定供給が内外で大きな課題である。

- こうした状況を踏まえ、今年 6 月に GX 推進法が成立、7 月に GX 推進戦略を策定し、今後 10 年間を見据えてエネルギー安定供給、経済成長と脱炭素の 3 つを同時に実現する政策を実行する段階となった。
- 例えば、新たに発行する GX 経済移行債を活用し、水素、アンモニア、カーボンリサイクル、CCS 等を含む脱炭素技術の研究開発や社会実装に 10 年間で 20 兆円規模の先行投資支援を行い、官民で 150 兆円を超える規模の GX 投資を実現していく。
- 石炭火力は当面欠くことができないエネルギーであるが、同時に脱炭素化への取組を進める必要がある。
- 我が国では愛知県の碧南火力発電所でアンモニア混焼の実証を実施しており、また、広島県の大崎上島で次世代の高効率石炭火力発電の実証事業とその事業から分離・回収した CO₂ を利用するカーボンリサイクル技術の研究拠点を整備し技術開発や実証試験を実施している。
- こうした技術を更に磨き上げ海外におけるエネルギー安定供給と脱炭素化の両方に貢献していく。
- 脱炭素やカーボンニュートラルは一国のみならず地球規模で取組むべき課題であり、世界各国の英知の結集による更なるイノベーションとその社会実装の早期実現が必要である。
- 本日の会議で「ゼロエミッションを目指した脱炭素化技術への取組み」というテーマに沿った様々な議論を通じて新たな展望が拓けるるきっかけになることを期待する。
- 会議の成功と出席の皆様の更なるご発展とご活躍を祈念して冒頭の挨拶とさせていただきます。

③共催辞 2

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) 理事 和田 恭



- 今回のテーマは「ゼロエミッションを目指した脱炭素化技術の取組み」であり、日本は 2020 年に、2050 年までにカーボンニュートラル実現達成を表明している。世界中でカーボンニュートラル達成を表明している国は 154 以上に上る。脱炭素化社会に向けた取組みは益々加速している。
- 一方でロシアによるウクライナ侵攻により、エネルギー安定供給の重要性が認識された。エネルギー情勢が逼迫する中、アジアを中心に化石燃料の依存率が高かった国は、エネルギー政策の重要性を再認識した。
- 3 月のアジア・ゼロエミッション共同体 (AZEC) 閣僚会合の共同声明では、「脱炭素」と「エネルギー安全保障」の両立、「経済成長」を実現しつつ、「脱炭素」を進めること、カーボンニュートラルに向けた道筋は、各国の実情に応じた「多様かつ現実的」なものであるべき、という 3 つの原則が述べられた。
- NEDO では、火力発電の脱炭素化の実現に向け、従来から技術開発に取り組んでおり、2030 年までにカーボンニュート

ラルに向けたイノベーションを実現するため、200 億ドル規模のグリーンイノベーション基金が設けられている。これらに基づき、NEDO では様々な研究開発プロジェクトを進めている。

- 燃料アンモニアの火力発電での利用については、燃焼時に CO₂ を排出しないアンモニアを既存の火力発電所で利用するための混焼技術の開発を進めている。2024 年度までに石炭火力発電所における 20% の低混焼の技術実証を行い、更に 50% 以上の高混焼や専焼の技術開発も進める計画である。
- NEDO は火力発電所や工場から排出された CO₂ を回収し、e-Fuel や化学品等の資源としてリサイクルする技術開発にも多く取り組んでいる。広島県大崎上島には、CO₂ の回収及びカーボンリサイクルの研究開発拠点を整備し、昨年 9 月から運営を開始している。国内外におけるカーボンリサイクル事業成果が展開されることを期待している。
- 気候変動は地球規模の課題である。将来のカーボンニュートラル実現は世界各国が協力して取組む必要がある課題である。
- NEDO は脱炭素化に貢献する技術開発や実証を通じ、国際的な取組みに貢献していく。本会議が参加者の有意義なものとなり、イノベーションや国際協力が更に進展することを祈念する。

④特別講演 I

IEA 国際持続的炭素センター
代表 Dr. Andrew Minchener

「エネルギー移行期における想い」



- エネルギー移行期に気候変動対策として取組むべきこと、2050 年における化石燃料のエネルギーとその関連技術の必要性、地域別の対応策について説明する。
- 2015 年パリ協定で設定された目標に向かい、140 の国々が概ね 2050 年のカーボンニュートラルを宣言または検討中である。中国とインドについては合わせて 28 億トンの CO₂ を排出しているが、中国は 2060 年、インドは 2070 年のカーボンニュートラル実現を目標としている。各国は達成できるのか。
- エネルギー業界は「エネルギーのトリレンマ」と呼ばれる 3 つの課題（エネルギー安全保障、エネルギーの公平性、持続可能性）に直面している。
- 将来 OECD 加盟国は変動性再生可能エネルギーとエネルギー貯蔵の技術に向かっていくだろう。これに伴い石炭やガスは手頃な価格で信頼できる電力を供給する非変動発電源として多くの国で、エネルギーミックスの一部を形成することになるであろう。
- 一方、低価格な石炭が豊富なアジア等途上国は、CCUS 付石炭エネルギーという独自路線を歩むことになるであろう。
- 2 年前に中国は 2030 年カーボンピークアウト、2060 年カーボンニュートラルを目指すとして発表した。因みに、2019 年、製造業のエネルギー消費は総エネルギー消費量の 55% に相当し、その内 59.6% が石炭エネルギーの消費であった。

- ・豪州は2050年カーボンニュートラルを目指している。超低コスト太陽光発電に注力し、現在価格の1/3を目標に掲げている。政府は今後10年間で低炭素技術開発に200億豪ドルを投資する計画で、160,000件の雇用機会創出を後押しする。
- ・日本は2050年カーボンニュートラル実現達成のため、グリーン成長戦略を発表した。特に水素が軸となり、天然ガス並みのコスト競争力をつけることを目標に掲げている。
- ・インドは2070年カーボンニュートラル実現を目標としているが、エネルギー需要は大きな伸びが予想され、CO₂排出を極力抑えながら急激な経済発展を遂げる必要がある。
- ・脱炭素化が難しい重工業部門では、需要の低減、燃料転換、CCUSでの対応が必要になるだろう。
- ・鍵となる技術はCCUSである。2022年現在で合計196件あり244MtのCO₂貯留能力を持つ。
- ・新しい試みとして、CCUS付超超臨界石炭火力(2GW)と変動性再生可能エネルギー(8GW)を組み合わせた超大型の低炭素発電所を紹介する。中国の華能東方発電所で2023年に運開予定である。年間1.5MtのCO₂を回収し、EORとして貯留される。CCUS付石炭火力が如何に再生可能エネルギーを支えていくかの好例である。

⑤特別講演II

電源開発(株)(J-POWER)

取締役副社長執行役員 笹津 浩司
「エネルギーセキュリティと環境の両立を目指す～J-POWERの取り組み」



- ・政府公表の2050年カーボンニュートラル実現のイメージは、電力セクターでは、再エネ+原子力促進、CCUS付火力、水素/アンモニア、カーボンリサイクルであり、非電力セクターでは、カーボンニュートラル燃料導入、植林、DACCS/BECCSで対応を予定している。
- ・非電力部門のカーボンニュートラル実現達成にはクリーン電力による電化が必須であり、電化率はOECD諸国で20～30%、日本で現状約30%、2050年でも約46%と、電化促進は容易ではない。
- ・電力部門では、ウクライナ危機等により天然ガス、石炭の価格が大きく変動、エネルギー資源の多様性がエネルギー安全保障の要諦である。
- ・日本の電力需要は2050年で約35%増の14,000億kwhが必要と予測、再エネ、原子力やCCUS付火力と並行して、化石資源の脱炭素化への取り組みが必要である。2050年カーボンニュートラルに向け、様々な資源や技術の組合せによる多様なアプローチが重要である。
- ・2021年2月公表のJ-POWER BLUE MISSION 2050のコンセプトは、再エネと原子力によるCO₂フリー発電の促進、再エネ比率増に対応する電力ネットワークの拡充、自社の強みを生かした石炭ガス化+CCUS/カーボンリサイクル(CO₂フリー水素の製造・供給と発電)である。

- ・電源のゼロエミッション化を達成するJ-POWER GENESISのコア技術は、石炭ガス化、ガス精製、CO₂分離回収貯留であり、石炭やバイオマス等の一次資源からCO₂フリー水素を製造し、そのまま水素発電するとCO₂フリー電力が得られ、また分離したCO₂と水素から化学製品の合成や将来的にはプロテイン等の食品製造も可能となる。
- ・石炭からCO₂フリー水素製造方法は、①国内水素製造(課題はCO₂貯留)、②海外水素製造(課題はサプライチェーン確立)の2タイプあり、どちらも国の支援が必要である。
- ・J-POWER GENESIS 松島計画は、既設石炭火力にガス化システムをトッピングし、GT発電後、排ガスを排熱回収ボイラへ導入しSTにてコンバインド発電する。既設流用したアップサイクル化により工期面・経済面で有効となる。現在、2026年運転開始に向け環境アセスメント手続中である。
- ・ガス化炉では可燃性ガス(CO約57%、H₂約28%)を生成、COシフト反応後、CO₂分離回収により、H₂約85%の水素リッチガスを得られることとなる。
- ・具体的なプロジェクト事例として、日豪水素サプライチェーン実証プロジェクト、国内大規模CCS事業化調査及び豪クイーンズランド州でのCO₂回収・輸送・貯留一貫実証事業がある。また新しい技術・ビジネス事例として、石炭灰や溶融スラグから連続長繊維(BASHFIBER)製造技術への取組みがある。

⑥閉会辞

一般財団法人カーボンフロンティア機構
理事長 塚本 修



- ・本年度は32回目のクリーン・コール・デー国際会議であり、素晴らしい議論が展開された。
 - ・この3年間はコロナの影響でオンラインでの開催だったが、今年度はハイブリッド形式での開催となり、25か国延約1,500人の参加を得た。METI、NEDO、JOGMECをはじめ、講演者、在京大使館、関係機関、参加者まで、本会議の全ての関係者に感謝する。
 - ・今回の会議は、ゼロエミッションを目指した脱炭素への取組みがテーマであり、総括として以下の4点を述べる。
- (1) 石炭は、電力、化学、鉄鋼をはじめとして、社会の基盤を支えている。2022年は過去最高の消費量となり、エネルギーの主たる役割を果たしている。我が国として、2050年カーボンニュートラルの実現に向かって、化石燃料から再生可能エネルギーへシフトを始めたところである。
 - (2) 石炭利用に関しては、高効率化、アンモニアとの混焼技術、省エネルギー化等の様々なCO₂排出量削減のための取組みが進められている。
 - (3) CO₂排出量削減のために、炭素を利活用するCCUや地中に貯留するCCSの役割は大きい。コストが課題であり低コスト化へ向けた更なる取り組みが必要である。水素利活用やカーボンリサイクルの実現が今後の鍵となる。
 - (4) カーボンニュートラルの道筋は一つではない。各国の異なる実情を踏まえて、最適な技術との組合せを模索し、エネルギー

ギー移行を進めていく必要がある。その上で、このような取り組みを支援するトランジションファイナンスが重要となる。

- カーボンニュートラルは地球規模で考える課題であり、国際連携がますます重要となる。
- 本日の熱心な議論を光栄に思う。本日の議論の結果は、後日、JCOAL ステートメントとして国内外に発信していく。

4. JCOAL' s Statement 発信

本会議の議論の成果として、JCOAL' s Statement を以下の通り発信した。

JCOAL' s STATEMENT

- 石炭は、これまで電力、鉄鋼、セメント、化学工業等の分野にて、社会の基盤を支えてきた。世界の石炭の消費量について、各国においてエネルギー事情が様々である中で、2022 年に過去最高となり、世界では依然として石炭が使用されている状況。しかし、日本が 2050 年を目標年と定めていると同様、世界は今カーボンニュートラルの実現に向かい、化石資源から非化石資源の利用へとエネルギー移行を進めている。
- こうした中、ゼロエミッションに向けて、石炭火力の高効率化、石炭火力設備でのバイオマスやアンモニア混焼、専焼火力への転換等の技術の適応拡大等による CO₂ 排出の極小化への挑戦が進められている。また、石炭を利用する産業分野においても省エネや技術革新による CO₂ 抑制が積極的に進められている。
- ゼロエミッションをさらに進めるためには、これらに加え、CO₂ を回収し、再利用する CCU、あるいは地中に貯留する技術である CCS を社会実装していくことが重要であるがコスト面の配慮も必要である。また、既設のコンビナートでのセクター間の連携による水素活用及びカーボンリサイクル技術の実用化検討、水素社会の構築などの実現を検討する必要がある。
- 一方で、カーボンニュートラルの道筋は、国ごとに異なる実情（自然条件、地政学的条件、経済的条件、社会受容性等）があり、それに見合う最適なエネルギー選択と技術の最適な組合せを見出すことで、エネルギー移行期を乗り越えなければならない。また移行期間に必要な技術導入に際してはトランジションファイナンスによる支援は極めて重要と言える。
- カーボンニュートラルは、地球規模で捉えなくてはならない。カーボンニュートラルの実現という目標に向けては、多様なエネルギーを適切に使えるよう技術間・企業間・国際間の連携を進めていくことが重要である。

2023「資源の安定供給と脱炭素化シンポジウム」開催報告

国際事業部 藤田 俊子

1. 会議概要

近年の世界のカーボンニュートラル実現に向かう脱炭素化の流れの中、石炭の使用量は2050年に向けて減少していくが、いずれのIEAシナリオにおいても、特にアジア大洋州においては引き続き石炭利用は必要とされている。

気候変動対策を取らざるを得ないエネルギー移行期において必要なことは「脱石炭」ではなく「石炭利用に伴うCO₂ローエミッション化／ゼロエミッション化」を推進していくことである。

世界の潮流からも石炭を中心とした化石燃料資源利用のゼロエミッション化を進める方向を考えることは重要なことである。カーボンニュートラルへ向け、石炭やCO₂を包括的に含む「炭素」の利用等に係る最先端領域のさまざまな事象について議論をする場として、且つ、世界のエネルギーの安定供給を考える場として、本年度初めて独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構(JOGMEC)の協賛を経て、2023「資源の安定供給と脱炭素化シンポジウム」を9月6日に開催した。



2023「資源の安定供給と脱炭素化シンポジウム」専用サイト

主催は弊財団、共催はJOGMECにて開催した。また、豪州をはじめとする在京11カ国大使館、カナダ・豪州の3州政府、グローバルCCSインスティテュート(GCCSI)、2自治体(宇部市、釧路市)から、後援名義を頂いた。

2. プログラム等内容

テーマ：資源の安定供給とコールバリューチェーンにおけるカーボンニュートラルへの道

主催：一般財団法人カーボンフロンティア機構

共催：独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構(JOGMEC)

後援：GCCSI、宇部市、釧路市、豪州大使館、中華人民共和国大使館、コロンビア共和国大使館、チェコ共和国大使館、マレーシア大使館、モザンビーク共和国大使館、フィリピン共和国大使館、ポーランド共和国大使館、セルビア共和国大使館、タイ王国大使館、ウクライナ大使館、カナダ・アルバータ州政府在日事務所、豪州・クイーンズランド州政府日本事務所、豪州・ビクトリア州政府東京事務所



会場：大手町プレイスカンファレンスセンター

言語：日本語・英語(同時通訳)

プログラム：(以下日本時間で計上)(敬称略)

総合司会 一般財団法人カーボンフロンティア機構

参事 国際事業部担当 藤田 俊子

09:00 開会

09:00-09:20 基調講演 五十嵐 吉昭(来場)

独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構(JOGMEC)理事
「カーボンニュートラルを踏まえた石炭安定供給への貢献」

09:20-12:00 セッション

エネルギー安定供給とコールバリューチェーンにおけるカーボン
ニュートラルへの道

モデレーター

指定国立大学法人九州大学 経済学研究院 准教授
堀井 伸浩(来場)

09:20-09:40 speech-1 山下 ゆかり(来場)

一般財団法人日本エネルギー経済研究所 常務理事
「脱炭素化への挑戦とエネルギー安全保障」

09:40-10:10 speech-2 Michelle Manook(ビデオ)

世界石炭協会(WCA)事務局長
「エネルギー安全保障とコールバリューチェーンにおける
カーボンニュートラルへの道」

10:10-10:30 speech-3 Mark McCallum(来場)

豪州低排出技術連盟(LETA)代表
「豪州におけるエネルギー安全保障とグリーン移行に
対するCCSを用いた貢献」

10:30-10:50 speech-4 松本 裕之(来場)

釧路コールマイン(株) 専務取締役
「釧路コールマインにおけるカーボンニュートラルへの
挑戦」

10:50-11:20 speech-5 康 紅普(リモート)

中国工程院 院士、
中国石炭科工集団 科学技術委員会主任
「中国における石炭のグリーンで低炭素有効利用技
術の動向とその見込み」

11:20-11:40 speech-6 A. K. Saxena(来場)

インド・エネルギー資源研究所(TERI)
電力燃料部門 統括主幹兼上級部長
「インドにおけるエネルギー安定供給と脱炭素化への道」

11:40-12:00 Q&A

12:00 モデレーターによる統括・閉会

3. 主な講演概要

①基調講演 五十嵐 吉昭

独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構(JOGMEC)理事
「カーボンニュートラルを踏まえた石炭安定供給への貢献」

- JOGMEC は、日本へのエネルギー資源・金属資源等の安定供給を支援することを目的に金属鉱業事業団と石油公団が合併して2004年に設立された政府系機関であり、来年で設立20周年を迎える。2012年にはNEDOから石炭開発と地熱資源に係る業務が移管され、広くエネルギー資源の上流分野をカバーしており、2022年からは、新たに水素・アンモニア、洋上風力、CCS等についても支援を推進している。
- 日本は2050年におけるカーボンニュートラルの実現を宣言しているが、これに基づき制定された現行の第6次エネルギー基本計画では、2030年の電源構成の19%を石炭火力が担っており、また石炭の自主開発比率60%という目標も維持されている。しかし、一般炭については、カーボンニュートラル化の世界的な潮流から、事業やアセットからのダイベストメントが進んでいるのも事実である。
- JOGMECでは石炭資源の開発に関し、事前調査から生産段階までを複数の制度でカバーしている。
- まず、事前調査から開発初期段階までをカバーする探査関係の支援スキームでは海外地質構造調査と開発可能性調査の2種類があり、いずれも日本企業への裨益の獲得に資する制度となっている。
- 一例として、ベトナムで実施している海外地質構造調査では、同国の政府系企業(VINACOMIN)とJOGMECがMOUを締結して、無煙炭の共同調査を実施している。本共同調査により発見された石炭資源は、開発生産された場合にJOGMECはその生産物の優先引取権を有しているので、それを日本企業に譲渡することで無煙炭の輸入を確保する狙いである。
- また、リスクマネー供給に関する支援として、探鉱段階への出資と、開発段階の債務保証も実施している。昨年度には債務保証を実行した実績もあり、是非リリースをご確認いただきたい。
- さらにJOGMECでは、産炭国に対して働きかける資源外交や、そのツールとして産炭国の技術者に対する研修事業による産炭国との関係強化も行っている。
- 資源外交については、豪州QLD州とNSW州に対して、包括的・戦略的パートナーシップに関するMOUを締結し、石炭政策や日本の石炭需要見込みに関する意見交換を定期的に行い、また日本企業向けの投資促進セミナー共催等を実施している。
- 研修事業については、ベトナム、中国、インドネシア及びコロンビアの各国と研修協力に関するMOUを締結し、各国の炭鉱技術者等を対象に主に坑内掘の技術研修を行っている。過去21年間の実績として、研修生の受入研修では計5千人近く、日本人専門家の派遣研修では延べ20万人以上の各国技術者に対して研修を実施した。
- その他、操業現場の課題に対する日本企業支援として実施する技術支援事業においては、今後ダイベストメントが進む中、GHG排出量削減やAIやドローン等導入等のカーボンニュートラルを意識したテーマなども検討できると考えており、

日本企業と意見交換などをさせて頂き、課題解決のためにどのようにJOGMECが支援できるか共に考えていければ幸いである。

②モデレーターによる統括・閉会辞 堀井 伸浩

指定国立大学法人九州大学 経済学研究院 准教授



- ・非常に良い議論だった。2022年のウクライナ侵攻以降に注目が集まったエネルギー安定供給、安全保障・セキュリティの重要性と、それに対するいろいろな取組みが実はなされているのだということが、このセッションだけでなく、基調講演も含めて、非常にきちんと説明されていた。
- ・特に講演1でも、2021年～2022年にパラダイムシフトがあり、「Trilemma」というキーワードに再注目が集まった。山下常務のスピーチでとりわけ私が面白いと感じたことは、2021年から天然ガス価格の上昇が始まっていた、一般には、どうしてもウクライナ戦争が（原因）と言う話になるが、実は2021年からガス価格はじりじりと高騰していた、これは、やはりエネルギー問題を考える時に、「Trilemma」の視点が重要であることを、世界がこの数十年油断していたということなのかと思う。それともう一つのキーワード「affordability」。手ごろな価格でエネルギーは供給されなければならないと「affordability」が注目された。2021年～2022年を背景に「Trilemma」をクリアに説明して頂いた。
- ・講演2の質疑の中でも強調された「global north」という国々の100%再エネという極端な意見が世界を席卷していたが、再エネを上手く組み合わせることが大事で、100%にすると蓄電池無しでは火力が調整しなければならないという当たり前のことが露呈してきた。その「global north」の偽善に対して「global south」がいろいろと意義を唱えてきていることが、パラダイムシフトの同じ反応としてある。従って、昨日も議論のあったCOP等の場において、特に今年のCOPにおいていろいろな対立が先鋭化するのではないかという流れがある。話題には上らなかったが、個人的に注目すべきは、2022年の石炭価格が市場最高値であったこと、目下のところ段々普通の

価格に落ちてきて安定してきているが「affordability」という点で優れている石炭が、今までの常識が変わるとい事態が2022年の下半期にかけて進んでいった、これは注目すべきであった。「Coal divestment」だけでなく、ロシアが担っていたものを組み替えているので、「halation」（周囲に悪影響を与える）を起こしている。「Coal divestment」のため、石炭だけでなくガスへの投資がいろいろな形で、あえて言えば、妨害されてきているような事態がここ数年生じていた。この点でいうと「Trilemma」「affordability」が重要な一角を占めている点で、ガスも重要であるが、石炭への上流投資も重要であると改めて感じた。

- ・中国、或は釧路のスピーチでは、上流部分でも色々な形で低炭素・脱炭素への取組みが行われていることが良く分かった。個人的には中国の低濃度CBM/CNNの回収技術が実用化されると、それだけでかなり温室効果ガスが減少する。中国は、低濃度をずっと放出しできているので、47億トンくらい掘っている国でこのような技術が入ってくることは結構大きなことであると非常に勉強になった。下流側の石炭の利用部分での低炭素化、或はCCSが実用化されれば脱炭素となり、それも現実的に十分な可能性があるということだと思った。先ほどの話で、イノベーションの目を摘んでしまうような「coal divestment」は、極端な動きと言って良い。我々の未来を「affordable」な石炭を使えないようにすることでかなり制約するものではないかと感じる。
- ・本日の講演者は、まさにアジアの国々から出て頂いた。山下常務のプレゼンにもあったが、石炭の利用がアジアとノン・アジアで全く違って、アジアは石炭利用の中心であることがはっきりしている。アジア、インド、ASEANの国々では、これからもエネルギー需要が増えていく。本日のSaxenaさんの話に、世界最大の民主主義国家であるインドで国民を取り残さないためにも、「affordable」「energy equality」「access」などのキーワードが並んでいた。インドは2070年でのカーボンニュートラル実現が目標であると思うが、最大の民主主義国が誰も取り残さないように経済発展をしていく上で石炭が果たす役割は大きい。だからといって、低炭素、脱炭素を軽視しているわけではなく、低炭素、脱炭素と両立する形で、「affordable」な石炭を使い続けていく技術オプションを準備するのが我々の役割だと思う。WCAが日本を評価してくれていたが、日本がそういった役割を32回のクリーン・コール・デー国際会議で主張してきたように、今後も日本がそこにコミットしていくことの重要性を改めて感じた。
- ・朝早くから長丁場のセッションに参加して頂き感謝する。

環境省委託事業における米国ワイオミング州実証試験設備「竣工式」開催報告

技術開発部 鈴木 名穂子

2023年5月2日に開催した起工式から5か月、米国ワイオミング州ジレット市に位置するDry Fork 石炭火力発電所に隣接するIntegrated Test Center (以下、ITC) にて10月9日、日米関係者約40人が参集するなかITCとの共催で実証試験設備の竣工を迎える運びとなった。起工式時同様澄み渡る青空の下、2塔の吸収塔を備えた実証試験設備の竣工式が開催された。環境省委託事業、環境配慮型CCUS一貫実証拠点・サプライチェーン構築事業委託業務(固体吸収剤による分離回収技術実証)では、Dry Fork 石炭火力発電所からの実排ガスを用い、実証試験設備から出る排気ガスの分析及び実証試験設備周辺地域の環境モニタリングを実施する予定である。



実証試験設備



テープカットの様子

竣工式には、米国側から連邦議会 John Barrasso 上院議員(共和党、ワイオミング州)、ワイオミング大学エネルギー資源学部長 Holly Krutka 教授、Dry Fork 発電所を所有する Basin Electric Power Cooperative 社 Chris Baumgartner 上席副社長、日本側から環境省地球環境局 地球温暖化対策課 地球温暖化対策事業室塚田室長にご列席頂き、事業者側として当機構原田副会長及び川崎重工業エネルギーソリューション&マリンカンパニー執行役員杉本エネルギーディビジョン長が式辞を述べた。以下に、竣工式にてご挨拶頂いた皆様の式辞を記す。

Barrasso 上院議員からは、ワイオミング州及び ITC がエネルギー安定供給、経済発展、環境保護を重視し、150 年に渡り米国の発展を支えてきた同州の石炭産業の継続的發展に取り組んでいることを評価するとともに、本事業の成果が同州の取組みやエネルギー供給の解決策になることを期待する祝辞を賜った。

環境省塚田室長からは、日米協力の下、ITC で実証試験を実施できることは非常に有意義であり、また、石炭火力発電所実排ガスを用いた固体吸収剤による CO₂ 分離回収技術の環境影

響評価モニタリングを世界初の試みとして実施する計画であることから、CCUS 取組の一層の促進を期待する祝辞を賜った。



Barrasso 上院議員挨拶の様子



塚田室長挨拶の様子

ワイオミング大学 Krutka 教授からは、実証試験でのデータ収集はスケールアップや商業化において重要であり、実証試験成果に向け ITC 管轄の立場からも尽力したいとの言葉を頂く一方、Basin Electric Power Cooperative 社 Baumgartner 上席副社長からも、石炭は信頼性、価格安定の面から引き続き重要なエネルギー源であり、ITC での実証試験について奨励の言葉を頂いた。

これを受けて環境影響評価実証試験の開始に向けて当機構原田副会長及び川崎重工業エネルギーソリューション長からは、本環境影響評価事業の意義と本事業を踏まえた商用化への取組み方針などが述べられた。



原田副会長挨拶の様子



杉本ディビジョン長挨拶の様子

原田副会長は、カーボンニュートラルに必要なのは脱石炭ではなく、エネルギー安定供給とゼロエMISSIONの両立に向けた技術開発であり、経済性にも優れたアミン固体吸収剤による CO₂ 分離回収技術を確認する本事業の重要性はますます高まっていると述べた。杉本エネルギーディビジョン長は、川崎重工業独自の吸収プロセス(Kawasaki CO₂ Capture, KCC)を用いた実証試験を通じて、CO₂ 回収技術の有効性と有用性及び環境面での安全性を実証し、カーボンニュートラルに貢献することを述べられた。

米国ワイオミング大学とのクリーンコールテクノロジー、CCUS 分野等 研究開発相互協力に関する MOU 締結式開催

技術開発部 鈴木 名穂子

2023 年 10 月 9 日、米国ワイオミング州ジレット市に位置する Dry Fork 石炭火力発電所に隣接する Integrated Test Center (以下、ITC) にて、当機構とワイオミング大学エネルギー資源学部 (School of Energy Resources、SER) との間で、安定した電力供給に必要な石炭の継続利用のために必要とされるクリーンコールテクノロジー、CCUS、水素、レアアース、及び石炭灰利用等に関する研究開発での相互協力に向けた MOU の締結式を開催し、当機構原田副会長とワイオミング大学エネルギー資源学部長 Krutka 教授により MOU の署名がなされた。



MOU 締結の様子 (原田副会長、Krutka 教授)

日米協力の下、ITC にて環境省委託事業環境配慮型 CCUS 一貫実証拠点・サプライチェーン構築事業委託業務 (固体吸収剤による分離回収技術実証) として実証試験を実施しているが、その礎となっているのが当機構とワイオミング州政府との間で 2016 年に締結した石炭貿易、CCUS 研究開発等での協力に関わる MOU である。ワイオミング州政府との MOU 締結以来、石炭利用、石炭取引、CCUS 研究開発の分野で当機構は石炭の継続利用を目指すワイオミング州と協力関係にあり、今回の MOU 締結式当日には実証試験設備竣工式を迎え、川崎重工業独自の固体吸収剤による CO₂ 分離回収技術の実証試験を実施するに至っている。

本年 4 月より ITC の管轄は、ワイオミング州 Wyoming Energy Authority からワイオミング大学 SER に移管されている。ワイオミング大学 SER は、ワイオミング州政府との石炭研究開発に関わる協力や、米国エネルギー省 (Department of Energy、DOE) の CarbonSAFE プロジェクト実施など、石炭の継続利用と経済発展を両立させるための諸施策実現に向けた研究開発による貢献が

大きく期待されている。ワイオミング大学 SER ではワイオミング州におけるエネルギー事業経済活性化を目指し、多岐に渡るエネルギー関連技術開発に携わっている。当機構とワイオミング大学 SER 双方の事業取組において、とくに CCUS、石炭・石炭灰からの建材・レアアース回収等の分野における研究開発の協働の可能性が検討され今回の MOU 締結となった。今後、当機構との更なる協力関係の構築と協働実施テーマの具体化を進めていく方針である。ワイオミング大学 SER との新たなパートナーシップにより、技術的専門知識とプロジェクト指導をさらに共有し、日米におけるクリーンコールテクノロジーや CCUS 技術の促進に努めて参りたい。

<ワイオミング大学 SER について>

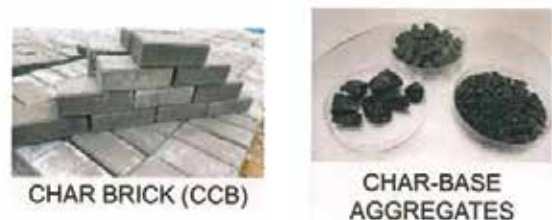
ワイオミング大学 SER ではワイオミング州におけるエネルギー事業経済活性化を目指し、エネルギー関連技術開発、技術革新、エネルギー資源の商業化に重点を置き、“Centers for Excellence” と呼ばれる各専門分野に特化したセンターを複数設置して資金提供を行っている。主要なセンターとその研究内容を下記に記す。

- Center for Economic Geology Research (CEGR)

CCUS やレアアース研究調査を中心とし、DOE の CarbonSAFE プロジェクトや、炭素鉱石、希土類元素、重要鉱物資源調査を実施している。

- Center for Carbon Capture and Conversion (CCCC)

石炭自体の燃料成分よりも高い価値を持つ化学的・高性能のエンジニアリング製品に変換可能な供給原料としての石炭の需要を拡大することにより、ワイオミング炭の既存市場をサポートするとともに新市場を創造することに重点を置いている。



石炭由来の建築資材の例

CCT ワークショップ開催報告

技術開発部 瀬古 一郎

1. はじめに

9月6日、クリーンコールテクノロジー（CCT）ワークショップを開催した。カーボンフロンティア機構では、毎年、会員向けにセミナー等を開催しているが、昨年度はコロナ禍でもありWebのみでの開催であった。今年度、第1回目となるワークショップは、大手町プレイスカンファレンスセンターの会場とWebでのハイブリッドで開催した。基調講演と共に、一般産業の中で特に日本の基幹産業分野でのカーボンニュートラルへの取組みをテーマに、鉄鋼業、セメント産業、コンビナートでの産業間連携についての計4件のご講演をいただいた。

2. 開催状況

- 開催日時：2023年9月6日（木）13:30～17:00
- 開催場所：大手町プレイスカンファレンスセンター
- 開催方法：ハイブリッド開催（会場およびWeb）

3. 講演プログラム

(1) セッションI：基調講演

- 「エネルギーとモノの共創」
名古屋大学未来材料・システム研究所
所長・教授 成瀬 一郎

(2) セッションII：一般産業におけるカーボンニュートラルへの取組み（モデレーター）一般財団法人電力中央研究所

- 研究アドバイザー 白井 裕三
（当機構 CCT 委員会 副委員長・幹事長）
- 「日本鉄鋼業におけるカーボンニュートラルへの挑戦」
日鉄総研株式会社 シニアフェロー 齋藤 公児
- 「太平洋セメントのカーボンニュートラル戦略と革新技術開発」
太平洋セメント株式会社 カーボンニュートラル技術開発
プロジェクトチーム チームリーダー 平尾 宙
- 「川崎カーボンニュートラルコンビナート構想について」
川崎市臨海部国際戦略本部 成長戦略推進部
カーボンニュートラル推進課 担当課長 江崎 哲弘

4. 講演内容

セッションIの基調講演では、各国のエネルギー実態の比較を紹介しつつ、エネルギー・熱供給に伴うCO₂削減と、モノを製造

する材料としての資源の活用の両方に着目する必要があることなどについてご講演をいただいた。

セッションIIでは、鉄鋼業、セメント産業、コンビナート地域でのカーボンニュートラルの取組みについてご講演をいただいた。

日鉄総研様からは、製鉄について動画を交えながらの説明と共に、鉄鋼業は、省エネとエネルギーの回収技術でエネルギー消費を大幅に削減してきたが、さらなるエネルギー効率の向上に挑戦していること、製品使用時におけるCO₂排出量削減への貢献、技術移転や普及で地球規模でのCO₂削減への貢献、廃プラスチックのコークス炉での活用などについて紹介いただいた。また、水素還元技術の開発で環境調和型の製鉄プロセスの開発や、副生するスラグを活用して藻場造成を行うなどの取組みを展開していることについて紹介いただいた。

太平洋セメント様からは、CO₂削減は持続的発展に必要な不可欠な戦略であり、社会実装可能な技術の早期確立が成長の戦略であることについてご講演をいただいた。CO₂回収の技術開発では、化学吸収法やセメント製造工程から効率よくCO₂を回収するCO₂回収型仮焼炉、CO₂利用の技術開発では、炭酸塩化やメタネーションの研究の紹介、CCS事業性評価の検討やカーボンニュートラルモデル工場構想について紹介いただいた。

川崎市様からは、多様な産業が集積する日本最大級のコンビナート地域である川崎市臨海部エリアのカーボンニュートラル化の推進を行う横断的な組織の取組みとして、カーボンニュートラルコンビナート構想についてご講演をいただいた。自治体組織として、企業間連携によるプロジェクトの推進、民間の取組みが進むように地域間連携や国の施策との連携、立地誘導など、産業集積を生かしたエリア全体の面的なカーボンニュートラル化への展開の推進についてご講演をいただいた。

5. おわりに

会場では、参加者の方から多くの質問があり、質疑応答が活発に行われ、会場開催を含めた開催の意義があったものと思っております。今後も、皆様のお役に立てるような講演テーマを選定し、情報の発信を継続してまいります。



塚本理事長挨拶



会場の様子

CO₂ ダイレクト利用ジェット燃料合成による カーボンリサイクルの国際共同研究開発

技術連携戦略センター 半田 雅人

1. はじめに

近年、航空業界の脱炭素化の切り札として、化石燃料由来の従来の航空燃料の利用を控え、藻類やバイオマス由来の原料から製造される SAF (Sustainable Aviation Fuel: 持続可能な航空燃料) を開発し、その利用を拡大しようとする試みが国際的に活発に進められている。SAF の製造方法として、廃油や微細藻類が生成する藻油を水素化処理する HEFA (Hydrogenated Esters and Fatty Acids) プロセスやサトウキビ等糖料作物から得られるエタノールを経由して SAF を製造するアルコール・ジェット (ATJ) プロセスが実用化されている。さらに、2030 年以降の SAF の急速な需要拡大に対応するため、豊富に存在する農業残渣や森林残渣等から CO や水素を主成分とする合成ガスを製造し、フィッシャー・トロプシュ (FT) 合成によって SAF を製造するプロセスも注目を集めている [1]。

カーボンフロンティア機構 (以下、「弊機構」) と富山大学は、タイ・チュラロンコン大学 (以下、「チュラ大」) と連携し、2016 年に採択された SATREPS (Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development) プロジェクト: 環境・エネルギー (低炭素社会) 領域「バイオマス・廃棄物資源のスーパークリーンバイオ燃料への触媒転換技術の開発」を実施し、バイオマス等の有機資源を原料とするガス化技術と FT 合成技術を組み合わせて、LPG や軽油等の燃料を製造する技術を開発した [2-4]。この三者はその成果を活用し、2021 年 12 月から、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (以下、「NEDO」) の支援の下に、「クリーンエネルギー分野における革新的技術の国際共同研究開発事業」の枠組みで、「CO₂ ダイレクト利用ジェット燃料合成によるカーボンリサイクルの国際共同研究開発」(以下、「本プロジェクト」) を開始し、バイオマスだけでなく、廃プラスチック等の有機資源及び CO₂ 等の多様な原料から、水素コストの影響を抑制しつつ、安定かつ安価に SAF を製造する技術開発を推進している。

本稿では、本プロジェクトの概要と現在までの成果の一部を紹介する。

2. プロジェクト概要

図 1 に、本プロジェクトで目指す SAF 製造システムの概念図を示す。バイオマスや廃プラスチック等の有機資源をガス化した CO や水素を主成分とする合成ガスだけでなく、発電所や工場から排出される CO₂ と太陽光や風力等による再生可能エネルギー由来

の電力から製造する水素 (グリーン水素) も受け入れて、FT 合成により SAF を製造するシステムを構築する。こうすることで、電力価格が高騰しているときには有機資源のガス化プロセスを経た水素と CO を利用し、電力価格が非常に低いときにはグリーン水素と CO₂ を利用し、水素価格の変動に耐性のある、安定的でかつ経済的な SAF 製造が可能になる。

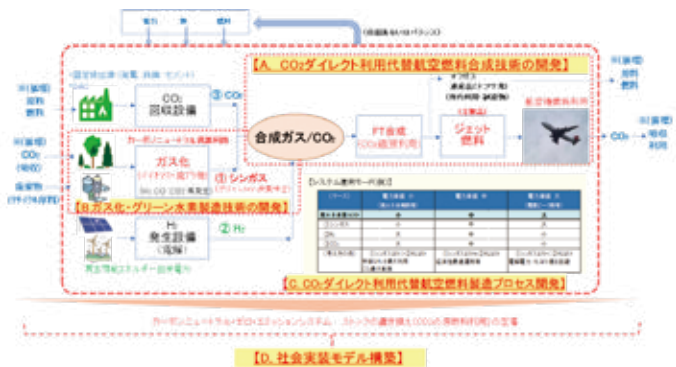


図 1 本プロジェクトで目指す SAF 製造システム

このようなシステムを実現するためには、4 つの研究課題が存在する。以下、研究課題を述べるとともに、本プロジェクトでの実施内容を説明する。

① CO₂ ダイレクト利用代替航空燃料合成技術の開発

CO₂ を直接利用する SAF 製造を可能とするように、CO₂ をダイレクトに代替航空留分 (C8 ~ C16) の高い割合を有する炭化水素に転換する FT 合成触媒を開発する。また、未反応ガスのリサイクルや有機資源由来の低コスト水素利用時に想定されるガス組成 (H₂/CO 系) に対する FT 合成触媒も開発し、高い割合で炭素を高付加価値なジェット燃料としてリサイクル利用可能とする。

② ガス化・グリーン水素製造技術の開発

有機資源から水素リッチガスを製造することにより水素源の多様化と水素コスト低減を目的として、各種有機資源のガス化において最大のボトルネックとなる副生タールの改質 (H₂・CO 等有効ガスへの転換) 技術を開発する。具体的には、弊機構が独自に開発した CaO 触媒利用 [5] による無酸素タール改質試験を実施し、重質タール改質率 99% 以上の条件を確立する。代表的な未利用有機資源であるもみ殻やプラスチックの中でリサイクル率の低いポリプロピレンなどを試験材として想定する。

③ CO₂ ダイレクト利用代替航空燃料製造プロセス開発

合成ガス製造と FT 合成を組み合わせ、水素コストの影響を抑制しつつ CO₂ から高付加価値なジェット燃料を製造するプロセス・システムを具体化する。すなわち、全体プロセスの概念検討・試構築とプロセスシミュレーション試行を行い、生産コストやプロジェクト IRR 等の経済性や CO₂ 排出量等の LCA などの環境性のためのプラント性能の基礎データを確認できるように、プロセスモデルを試構築する。

④ 社会実装モデル構築

原料 (CO₂ 及び有機資源等) からガス化・FT 合成、精製・調製等の全体製造工程、石油由来代替航空燃料混和、SAF 利用を含む全体サプライチェーン構築を検討し、GHG 削減・事業化を可能とする社会実装モデルを策定する。具体的には、SAF 製造プラントの IRR を評価できる事業性評価シートを構築し、経済性を定量的に検討できるようにする。また、LCA シートも併せて構築し、環境適合性を定量的に検討できるようにする。

図 2 に本プロジェクトの実施体制を示す。本プロジェクトは、NEDO 委託先である富山大学及び弊機構、ならびに共同研究先であるチュラ大と、弊機構の再委託先である群馬大学から成る開発体制である。各機関で役割を分担し、2021 年 12 月から 2024 年 11 月までの 3 年間の事業期間で、上記①～④に示した研究課題に取り組んでいる。2021 年 12 月から 2023 年 11 月までの第一段階で基礎研究に取り組む、2023 年 12 月から 2024 年 11 月までの第二段階でチュラ大のベンチ試験施設を活用し、第一段階の基礎研究の成果を検証する予定である。

以下、上記②～④において、弊機構が中心となって現在までに得た成果の概要を説明する。なお、①の触媒開発については富山大学が主に取り組んでおり、世界最先端の 2 種類の触媒開発を進めている。1 つは CO₂ と H₂ から直接ジェット燃料留分の炭化水素を生成する触媒 (以下、「CO₂ 系触媒」)、もう 1 つは CO と H₂ を主成分とする合成ガスから生成する触媒 (以下、「CO 系触媒」) である。①の成果は②③④の研究に活用している。

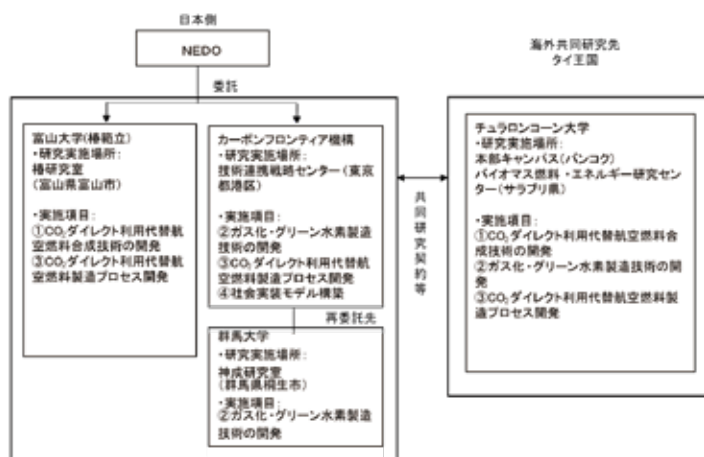


図 2 本プロジェクトの実施体制

3. 成果の概要

3.1. ガス化・グリーン水素製造技術の開発

バイオマスガス化における副生タールを改質する技術として、弊機構は安価な触媒 (CaO) を用いる手法を開発している [5]。この手法を廃プラスチック等の他の有機資源へも展開させるべく、バイオマス等有機資源からタールを連続的には発生させながら、CaO 粒子によるタールを改質する試験装置を開発し、群馬大学に設置した (図 3)。二段方式の石英反応管を用いて、下段に有機資源を連続的に供給してタールを発生させ、上段に CaO 粒子の流動層を設け、CaO 粒子でタールを改質する。上段石英管上部の低温部分に石英ウールを充填し、低温により再び凝集した重質タールをトラップする。目視で重質タール発生を確認できる観察ゾーンを設ける。また、排ガスラインにおいては、氷水で冷却することにより軽質タール (水溶性) をトラップする。回収した重質タール (石英ウールに付着) を空気で燃やし、燃焼ガス中の炭素質ガスを分析して定量する。軽質タール (水溶性) は TOC 分析で炭素を定量する。重質タールの成分については、溶媒 (アセトン) で適宜希釈後、GCMS 測定を行うことで定性分析する。この装置では、モーター駆動の昇降機によりバイオマスを熱分解炉内に連続的に供給し、発生したタールを CaO 流動触媒層内に連続的に導入できる。

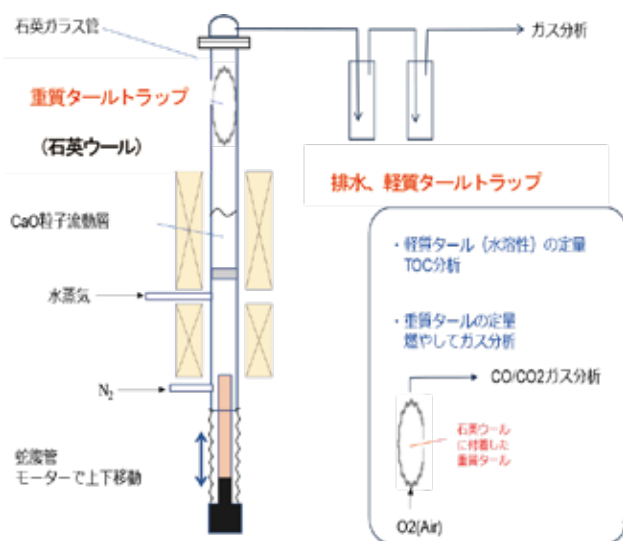


図 3 開発した無酸素タール改質試験装置の概念図

この装置を用いて、表 1 に示す各有機資源由来タールの CaO 流動触媒層による無酸素改質試験を実施した。並行して、無触媒下で得られた各タールに対してガスクロマトグラフ質量分析計を用いることでタールの定性分析を行った。その結果、いずれの有機資源を用いた場合においても、CaO 流動触媒層を用いることにより、無触媒時と比較して、重質タールの付着がほとんど見られないことを確認した。図 4 には粉殻のタール改質の様子を示すが、ユーカリチップ、ポリプロピレンの場合も同様の結果である。CaO によってタールを改質した場合と改質なしの場合のガス組成を表 2 に示す。もみ殻とユーカリでは、改質しない場合、H₂/CO は約 1 であるのに対して、改質すると H₂/CO は 2 以上に増加した。

ポリプロピレンの場合でも改質の結果、H₂/CO は増加した。表 3 に重質タールと軽質タールの各々の改質率を示す。両者とも 90% 以上改質された。

表 1 無酸素タール改質試験で使用した有機資源の組成

1. 粃殻（日本）

工業分析, 気乾, wt%				元素分析, 無水, wt%					
水分	灰分	揮発分	固定炭素	炭素	水素	全硫黄	窒素	灰分	酸素
6.6	22.5	57.9	13.0	37.4	4.58	0.05	0.32	24.1	33.55

2. ユーカリチップ（タイ）

工業分析, 気乾, wt%				元素分析, 無水, wt%					
水分	灰分	揮発分	固定炭素	炭素	水素	全硫黄	窒素	灰分	酸素
7.8	10.1	64.5	17.6	46.6	5.29	0.14	1.29	11.0	35.68

3. ポリプロピレン粒（市販）

PP (C₃H₆) 100% (炭素 85.7wt%, 水素 14.3wt%)

今後の計画として、さらにタイ国産バイオマス 2 種とプラスチック 1 種を追加したタール改質試験を行う。加えて、CaO 触媒種（天然石灰石、ドロマイト等）の影響、改質温度の軽質タールの改質率への影響、CaO 改質メカニズム等を検討する。

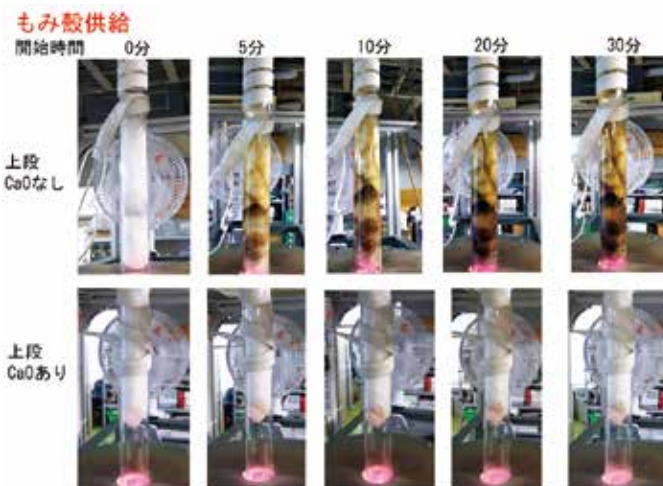


図 4 重質タール改質の観察結果（もみ殻の場合）

表 2 タール改質有無のガス組成比較 (vol %)

	もみ殻		ユーカリ		ポリプロピレン	
	改質なし	CaO改質	改質なし	CaO改質	改質なし	CaO改質
H ₂	6.2	14.8	3.6	13.9	5.6	25.7
CO	6.2	1.24	3.2	2.3	0.72	2.1
CO ₂	3.9	8.8	2.9	8.5	0.015	4.1
CH ₄	3.0	2.7	1.9	2.8	5.7	6.3
C ₂ H ₄	0.94	0.49	0.52	0.34	4.3	1.9
C ₂ H ₆	0.063	0.011	0.017	0.0038	0.24	0.04

表 3 重質タールと軽質タールの各々の改質率 (%)

CaOによる重質タール改質率 $(W_{\text{without CaO}} - W_{\text{with CaO}}) / W_{\text{without CaO}} \times 100$

重質タール生成量 及び改質効率	$W_{\text{without CaO, mg}}$	$W_{\text{with CaO, mg}}$ 炉内温度 344°C/390°C	η_{reform} 炉内温度 344°C/390°C
粃殻	119	3.1/1.8	97/98
ユーカリ	95	/0.45	/99.5
ポリプロピレン	78	/5.3	/93.2

CaOによる軽質タール改質率 $(W_{\text{without CaO}} - W_{\text{with CaO}}) / W_{\text{without CaO}} \times 100$

軽質タール生成量 及び改質効率	$W_{\text{without CaO, mg}}$	$W_{\text{with CaO, mg}}$ 炉内温度 344°C/390°C	η_{reform} 炉内温度 344°C/390°C
粃殻	94	3.8/	94/
ユーカリ	28	0.9/	97/
ポリプロピレン	8.6	1.8/	79/

3.2.CO₂ ダイレクト利用代替航空燃料製造プロセス開発

バイオマス由来の合成ガスと再生可能エネルギー由来電力による水素を原料とする、図 5 に示す燃料製造システムを試構築した。バイオマスからガス化した合成ガスを、CO 系触媒を 1 段目で、CO₂ 系触媒を 2 段目で反応させる二段式 FT 合成装置とすることで、バイオマス中の炭素を有効に燃料へ転換することを狙った。

CO₂ を原料とする場合、合成ガスの場合に比べ、同量の炭素を燃料へ変換するために水素を多く必要とする。他方、バイオマスガス化による合成ガス中の水素、CO、CO₂ の割合は、各々、40 ~ 50%、10 ~ 20%、10 ~ 20% 程度であり、ガス化炉のみで、バイオマス由来の炭素全てを燃料へ変換するための水素を補うことは難しい。そこで、CO 系触媒を通過した合成ガスに、追加的に外部から再生可能エネルギー由来電力の水素を供給して、CO₂ 系触媒を通じて FT 合成を行うこととする。以下、1 段目に CO 系触媒、2 段目に CO₂ 系触媒を用いる運転モードをモード 1 とする。これは、バイオマス由来の水素と再エネ電力由来の水素をバランスよく運用する場合に対応する。水素価格の変動に応じて、FT 合成部分とガス化炉部分との切り離しや触媒の順序を切り替える検討も行った。具体的には、モード 1 のほかに、2 つの運転モードを検討した。モード 1 と触媒の順序を反対にする運転方法をモード 2 とする。これはガス化炉に投入する水蒸気を増やすことでシフト反応を促進させ、触媒に入る合成ガス組成の H₂ と CO₂ の量を増やし、バイオマスガス化による水素を最大限利用する運転モードである。もう 1 つは、ガス化炉部分と FT 合成部分を切り離し、CO₂ と再エネ由来水素を原料として導入し、モード 2 と同じ触媒の順序で運転するモードである（モード 3）。これは、再エネ電力由来の水素が安価で大量に利用できる場合に対応する。

バイオマス（ゴム古木、水分 25%）の原料消費量として 200t/日を想定し、本燃料製造システムのプロセスモデルを ASPEN Plus で試構築した。プロセスモデルの概略を図 6 に示す。ガス化炉部分は、タイ・チュラ大が保有するバイオマスガス化設備とほぼ同様の機器構成を想定し、バイオマスから発生するチャーや FT 合成で発生するメタン等のオフガスをプラントのエネルギー供給源として利用した。FT 合成部分では、富山大学で得た実験データ (CO/CO₂ 転化率、炭素数ごとの炭化水素への選択率等) に

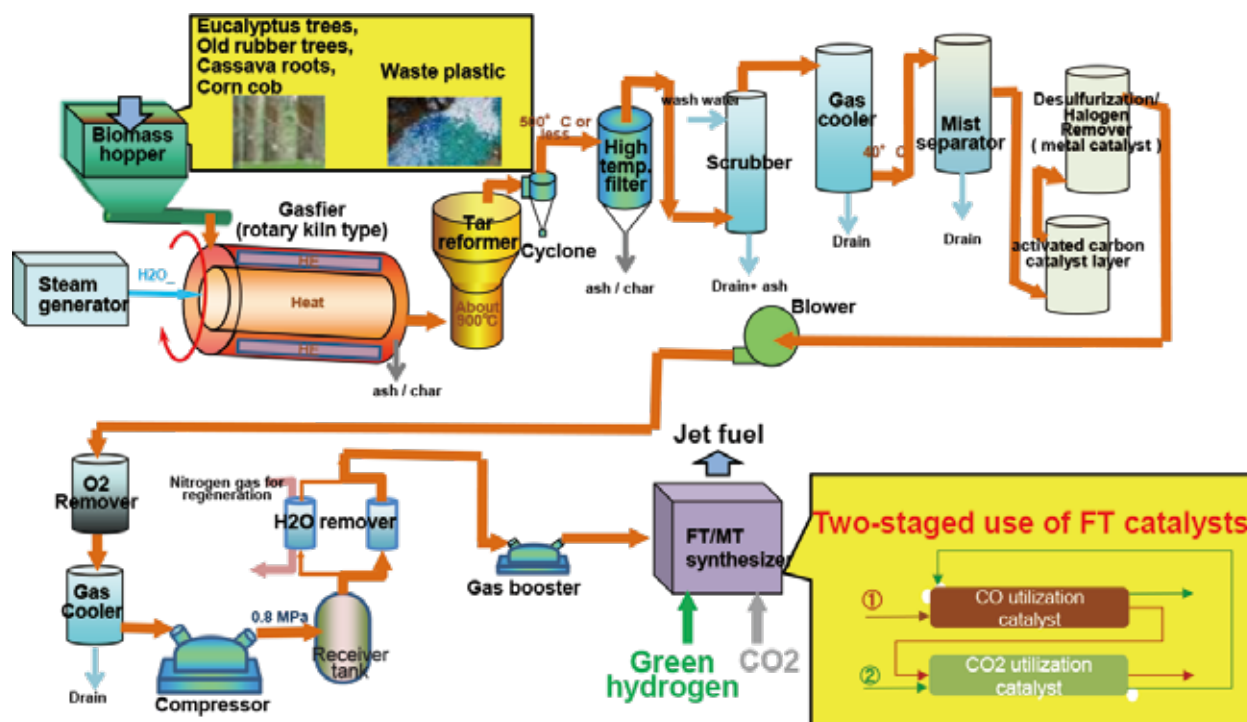


図5 二段式 FT 合成触媒装置を用いた燃料製造システム

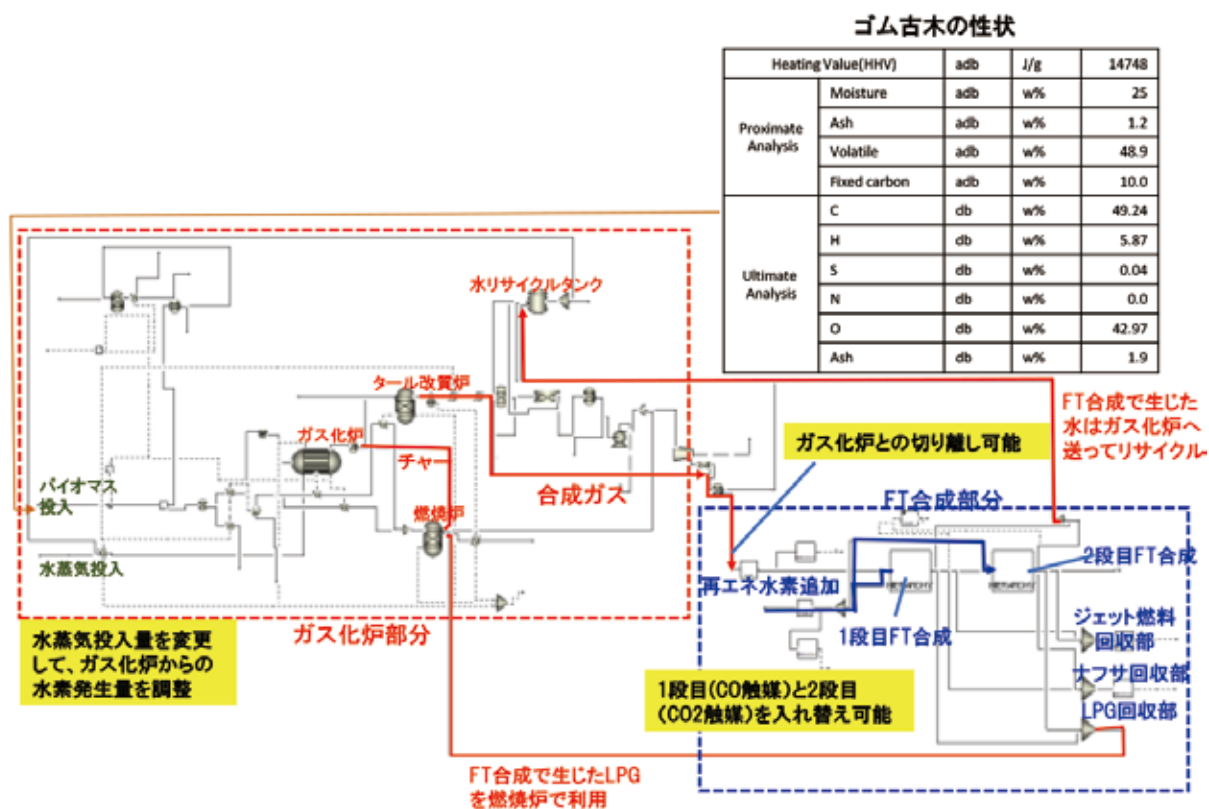


図6 ASPEN Plus で試構築したプロセスモデル

表 4 各モードのプロセス試算結果

項目	モード1	モード2	モード3
運転モードの特徴	再エネ水素とバイオマスバランス運用 1段目：CO触媒 2段目：CO ₂ 触媒	バイオマス由来水素積極利用 1段目：CO ₂ 触媒 2段目：CO触媒	再エネ電力由来水素積極利用 1段目：CO ₂ 触媒 2段目：CO触媒
バイオマス投入量(kg/h)	8333	8333	-
水投入量(kg/h)	577.3	4396.5	-
水素利用量(kg/h) (1段目/1+2段目)	254.2/461.7	432.3/462.0	711.4/754.5
1段目FT合成入口 H ₂ /CO	1.88	7.41	-
1段目FT合成入口 H ₂ /CO ₂	1.99	1.87	1.38
ジェット燃料製造量※1 (上段: kg/h, 下段: l/min)	644.9/1002.6 14.9/33.3	783.7/859.1 18.1/19.8	1140.0/1250.9 26.3/28.8
ナフサ製造量※2 (上段: kg/h, 下段: l/min)	172.3/292.1 4.63/8.01	259.5/277.1 7.33/7.80	373.3/397.5 10.5/11.2
LPG製造量※3 (kg/h)	26.6/38.0	29.6/34.1	45.4/52.3
炭素利用率(%) (1段目/1+2段目)	22.4/35.5	28.5/31.1	45.1/46.7
冷ガス効率(%)	43.2	52.4	-
燃料転換率(%) (ジェット+ナフサ、熱量ベース)	31.6/41.2	40.5/42.8	78.7/80.7
ジェット燃料転換率※4 (質量ベース)	0.103 ※乾燥バイオマスベース	0.125 ※乾燥バイオマスベース	1.60/1.66 ※水素ベース

※1 主成分C8～C16のアルカン。 ※2 主成分C5～C7のアルカン。 ※3 主成分：C₄H₁₀～C₃H₈。モード1とモード2の場合所内動力源として利用。

※4 1段目でのみ計算。2段目での追加水素によって燃料製造量は増えるが、ケース1と2の場合、異なる水素源による製造となるため、転換率としては計算しない。

基づき、混合ガス中のH₂、CO、CO₂から、粗燃料中のジェット燃料留分(C8～C16)等生成される各炭化水素量を計算するモデルを組み込んだ。

表4に各モードのプロセスの試算結果を示す。比較のため、投入する原料中の炭素量を全てのモードで同じとした。モード1～3のいずれの場合でも、各FT合成部分出口では水素濃度がゼロとなるように、各FT合成入口の水素量を調整した。ジェット燃料への転換率(質量ベース)の計算結果は、0.103(モード1)、0.125(モード2)で、1.60(モード3)となった。文献[6]によれば、現在想定されているFT合成によるSAFへの転換率は、バイオマスの場合は0.11、水素・CO₂利用の場合は1.37とされており、本プロジェクトのシステムはそれらと同等以上の水準にある。また、2段目に水素を追加的に投入することによる炭素利用率の改善効果については、モード1の場合が最も効果的であった。したがって、再エネ電力由来の水素価格によっては、収率を改善させる方策として有効である。また、モード1とモード2を比べると、モード2の方がガス化炉での水素生成量が多いために、1段目での燃料転換率が高い結果となった。しかし、実際にはFT合成には最適なガス組成比があり、単純に水素が多いだけで燃料転換率が高いとは限らないため、組成の影響を考慮したモデルの改良も検討していく必要がある。また、本計算は試算の位置づけであり、冷ガス効率等は参考値である。今後、更なるプラント効率の向上策も検討していく。

3.3. 社会実装モデル構築

(1) 環境適合性の検討

タイにおけるジェット粗燃料生産200kl/日の商用プラントを想定して、タイ・チュラ大の協力を得ながら、モード1のCO₂排出量を評価するLCA計算を実施した(図7)。LCA計算では、原料調達から販売までの工程を図のように分解して考え、各工程での排出量原単位を計算した。SAF製造過程では、プロセスシミュレーションの結果で得た燃料転換率を用いた。その結果、製造したSAFの排出原単位は28.2gCO₂/MJであり、従来の石油系航空燃料と比べて、CO₂排出量を65%削減できる見込みを得た。

燃料種	製造時 (gCO ₂ /MJ)	利用時 (gCO ₂ /MJ)	合計 (gCO ₂ /MJ)
SAF (バイオマス由来)	28.2	0	28.2 (▼65%化石由来)
石油由来ジェット燃料	7.0	74.0	81.0



図 7 ジェット燃料製造に関する LCA 計算結果

(2) 事業性の検討

タイを事業拠点とし、バイオマスを原料とする場合と再エネ電力由来の水素を原料とする場合を想定したジェット燃料製造ビジネスの事業性検討を部分的に実施した。

バイオマスを原料とする場合については、事業性の評価指標の1つである IRR を計算する評価シートを試作し、ニート SAF 製造プラントに、ゴム古木のバイオマスを原料として供給して 200kL/日の粗燃料を製造するケースを検討した。その結果、プロジェクト IRR (税引前) が 10.3% となり、十分な事業性を確保できる見通しを得た。材料や運転モードの切り替えによる事業性への影響は今後進めていく予定である。

4. 結言

現在、本プロジェクトは、第一段階の各要素研究と事業性評価を終えて、第二段階が進行中である。第二段階ではタイ・チュラ大でのベンチ試験を中心に技術開発を継続し、CO₂ ダイレクト

利用ジェット燃料製造のスケールアップのための基盤技術を確立していきたい。

謝辞

本稿の成果は、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) の委託業務 (JPNP20005) から得られたものである。

References

1. [Skies for Tomorrow: Sustainable Aviation Fuels as a Pathway to Net-Zero Aviation], World Economic Forum (2020)
2. 山田 敏彦, JCOAL Journal 43: 36-39 (2019)
3. 渡邊 和宏, JCOAL Journal 45: 27-30 (2020)
4. 手打晋二郎, Carbon Frontier Journal 1: 23-29 (2023)
5. 林石英, 柴田邦彦, 守富寛, 隈部和弘, 平田悟史, 宮澤朋久. ABC (Advanced Biomass Co-gasification) 次世代バイオマス液体燃料製造システム技術の開発. NEDO 平成 24 ~ 25 年度成果報告書 (2014)
6. [我が国における SAF の普及促進に向けた課題・解決策], 運輸総合研究所, 2022 年 4 月

ケミカルルーピング燃焼 (CLC) 技術開発の進捗、その 4 —ポリジェネレーション技術開発—

技術連携戦略センター 齊藤 知直・手打 晋二郎・中野 達仁

1. はじめに

ケミカルルーピング燃焼 (Chemical Looping Combustion: CLC) とは媒体の繰り返し酸化・還元反応を介して、石炭やバイオマス等の燃料を空気中の酸素と直接接触させずに、熱あるいは燃料ガス (水素等) に転換し、同時に CO_2 が分離されて得られる技術である。CLC で使用する酸素を運ぶ媒体を酸素キャリアと呼ぶ。

2010 年～2011 年に当時の一般財団法人石炭エネルギーセンター (現在の一般財団法人カーボンフロンティア機構、以下「当機構」) が CLC 技術小委員会を設立し、CLC 技術開発の可能性を検討した。また、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (以下「NEDO」) が 2012 年度から 2014 年度に「 CO_2 分離型化学燃焼石炭利用技術に関する検討」として、国内外の技術開発動向と市場の調査及び酸素キャリア予備選定を行い、以後の開発に酸化鉄ベース酸素キャリアを使用することを決めた [1]。

2015 年度～2017 年度に NEDO「 CO_2 分離型化学燃焼石炭利用技術開発」プロジェクト (以下、「前プロジェクト」) を実施した。また、その成果を生かして 2020 年度から NEDO「ケミカルルーピング燃焼ポリジェネレーション技術開発」プロジェクトをスタートした。これまで当機構発行のジャーナルにおいて 3 度の進捗報告 (Vol.37、Vol.39、Vol.47) を行ってきた。今回、第 4 報として以下に、「ケミカルルーピング燃焼ポリジェネレーション技術開発」プロジェクト (以下、「現プロジェクト」) の開発ロードマップの概要と成果の一部を紹介する。

2. ケミカルルーピング燃焼ポリジェネレーション技術開発プロジェクト実施状況

図 1 は三塔式循環流動層 CLC ポリジェネレーションプロセスの概念図である [2]。燃料反応塔 (FR) で石炭 (褐炭、亜瀝青炭) やバイオマス等の燃料によって部分還元された酸素キャリア (例: FeO) を水素生成反応塔 (HR) に送って水蒸気で酸化反応 (例: $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4$) を行うことで水素を生成することが可能となる。空気反応塔 (AR) に送られ、酸化された酸素キャリア (例: Fe_2O_3) は再び FR へと循環される。前プロジェクトから水素生成反応塔 (HR) を付加した三塔式循環流動層 CLC において、熱 (電力)、水素、 CO_2 等を併産するポリジェネレーションが可能となる。

本 CLC 技術は、前プロジェクトの成果を発展させて、新たな技術課題に注力して取り組んでいる。図 2 は現プロジェクトの技術開発実施体制である [3]。

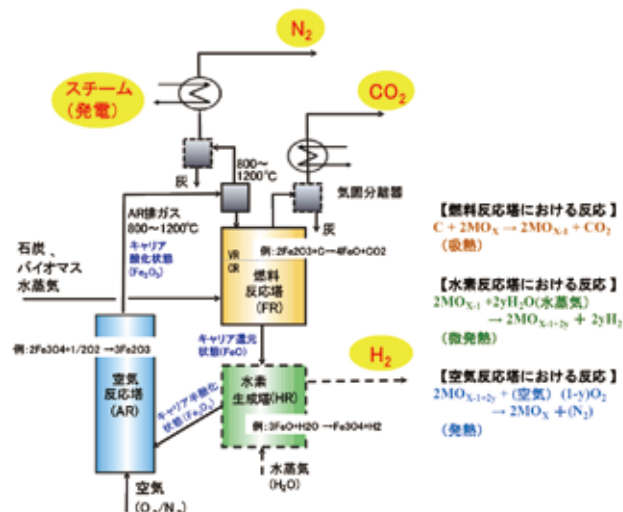


図 1 三塔式循環流動層 CLC ポリジェネレーションプロセスの概念



図 2 現プロジェクト技術開発実施体制

現プロジェクトは、NEDO 委託先である大阪ガス (株)、および当機構、ならびに再委託先の JFE エンジニアリング (株)、および 4 大学から成る開発体制で、各機関で役割分担して、5 年間の事業期間を二段階に分けて、表 1 に示す技術課題に取り込んでいる [3]。また、東海国立大学機構名古屋大学 成瀬 一郎教授を委員長とする産学からの専門家で構成された有識者委員会を設けて、定期的に進捗状況を報告してご指導やご助言を頂いている。

表 1 現プロジェクトの技術開発課題

	技術開発課題
①	国内外 CLC ポリジェネレーション開発状況、技術到達度の把握
②	水素生成反応に用いられるキャリアの繰り返し反応性、物性変化
③	キャリアによる水素生成速度、純度の把握
④	水素生成反応器追加のシステム内キャリア循環流動性、キャリア摩耗率の把握
⑤	バイオマスチャーとキャリアの混合分離条件の把握
⑥	3 塔式 CLC 試験ベンチスケール装置 (5-10 kW _{th} における原理実証及び褐炭、亜瀝青炭、バイオマス CLC 燃焼反応挙動把握
⑦	燃料中灰分等不純物がキャリア循環流動、及び反応へ及ぼす影響
⑧	プラント構成の最適化、プロセス効率アップ
⑨	300kW _{th} CLC ポリジェネレーション技術原理の実証、スケールアップ検討
⑩	ビジネスモデル、実用化課題、市場性の検討

第一段階は要素技術研究開発 (2020 年度～2022 年度) である。300kW_{th} ベンチ試験装置 (以下、「ベンチ」) 設計に必要な反応条件や粒子循環及び流動層データの取得を行う。熱天秤装置と小型バブリング流動層反応装置を用いてキャリア粒子候補の酸化還元特性や水素生成速度、固体燃料との反応性や微量成分の影響等を確認する。また、小型の三塔式 CLC 実験装置を製作して、循環試験や反応性能等の確認試験を行う。また、先行する海外勢の技術開発動向を調査して適宜プロジェクトにフィードバックする。

また、300kW_{th} 三塔式循環コールドモデル装置を用いて粒子循環や反応器内フローパターンのデータを取得する。さらに、ベンチの設計、実証装置の概念設計及び建設コスト評価を行う。

第二段階はスケールアップ課題解決に係る技術開発 (2023 年度～2024 年度) である。ベンチを製作し、石炭、バイオマス等から H₂、CO₂、熱及び N₂ 同時生成の連続評価試験を行う。さらに、ベンチ試験の最終目的である設計技術の確立を目指し様々なパラメータサーベイ試験を行う。その結果に基づき実機レベルにおける CO₂ 回収率 (目標: 1,000 円台前半/t-CO₂) 及び事業性を試算する。

現プロジェクトの第一段階は 2022 年度にステージゲートに相当する有識者らによる中間評価を受けて、第二段階に進むことが承認された。

図 3 に CLC ポリジェネレーション技術開発の開発ロードマップを示す [3]。ベンチ試験後、パイロット試験 (2～3 MW_{th} 規模) を経て、バイオマス燃料の小型機 (20～30 MW_{th} 規模) の実用化を目指す。さらに次フェーズとして 2030 年代には 250 MW_{th} 規模の石炭及びバイオマス混焼の CLC ポリジェネレーションを実用化し、CCUS やカーボンリサイクルに対して低コスト CO₂ (1,000 円台前半/t-CO₂) を、さらに来たる水素社会に向けて水素を供給できることを目指す。

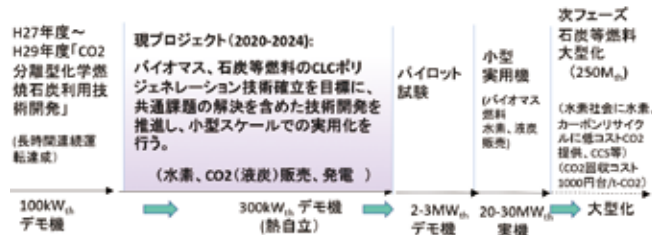


図 3 CLC ポリジェネレーション技術開発ロードマップ

本稿では、現プロジェクト第一段階で取組んだ CLC ポリジェネレーションの技術開発課題のうち、「①国内外 CLC ポリジェネレーション開発状況の把握」、「③キャリアの水素生成反応」、「④キャリア循環・流動性、キャリア摩耗率の把握」に関する成果を紹介する。

2.1. 国内外 CLC ポリジェネレーション開発状況

世界における主な CLC 開発動向の情報収集をしたところ、図 4 に示すプロジェクトの調査結果が得られた。



図 4 世界における主な CLC 技術開発プロジェクト

上図中の米国の Ohio 州立大、中国の清華大、EU の Chalmers 大のプロジェクト概要を以下に紹介する。

米国の Ohio 州立大は B&W 社と共同で、ライザーから飛ばした酸素キャリアを移動層で反応させている。図 5 は水素製造技術装置の概念図である [4]。キャリアは鉄と酸化チタンを混ぜてイルメナイトを人工的に作っており、結晶サイズが小さく反応性が高い。またアルミナをサポート材として入れているので焼結が生じないという特徴を持っている。

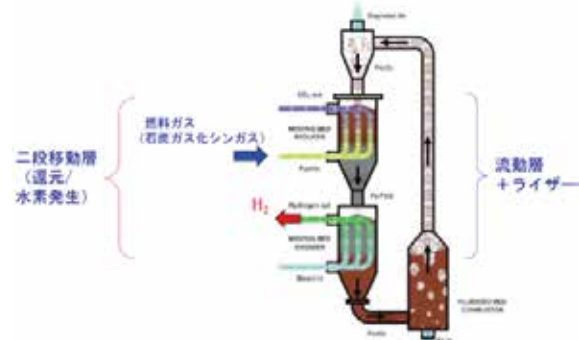


図 5 米国 Ohio 州立大、B&W 社の CLC 技術概念

250kWth パイロット装置をアラバマ州に建設し、隣接した KBR ガス化実験炉の循環流動層で発生させたガス化ガスを利用して水素製造試験を行った。2018 年をもって完了したが、2023 年 8 月に B&W 社より、本技術を継承してルイジアナ州で約 70MWth 規模のプラントを建設し、1 日 15 トンの水素を製造するプロジェクトを発表している。

中国の清華大は東方ボイラ社と共同で、2023 年 3 月に 3MWth の実験炉を 4MWth の CLC パイロット装置に改造した。特徴としては、CR 内にカーボンストリッパーを設置しており、比重差を利用してチャーとキャリアを分離し、VR/CR に戻している。図 6 に概念図を示す [5]。

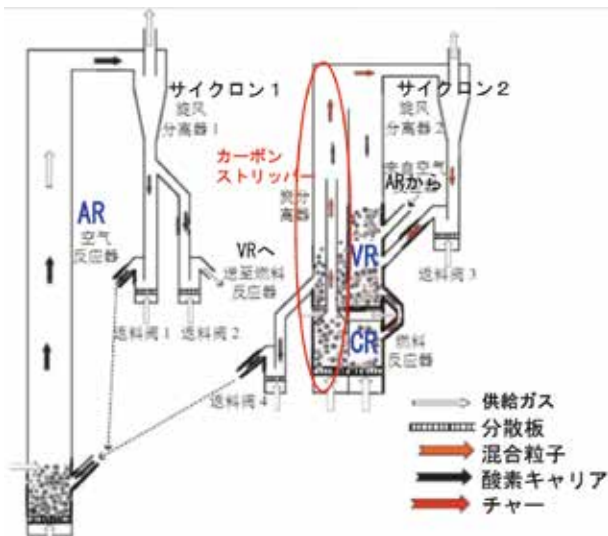


図 6 中国清華大、東方ボイラ社の CLC 技術概念

EU の Chalmers 大は E.ON 社と共同で、75MWth の CFB ボイラ及び固体廃棄物燃料を用いて、4000 時間のイルメナイトの循環流動、伝熱効果を試験した。このプロジェクトは CLC 技術ではないが、日本の現プロジェクトと同類のイルメナイトを用いて長時間循環流動させたため、本稿で紹介する。大きな支障は無く、実用規模にスケールアップ可能との結論であった。図 7 に開発経緯を示す [6]。また、表 2 に循環流動試験結果を示す [6]。

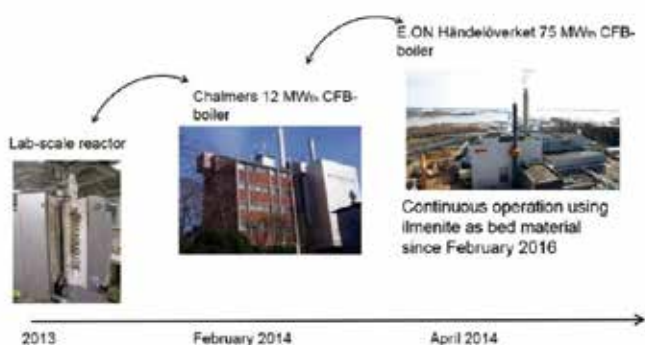


図 7 Chalmers 大、E.ON 社の開発経緯

表 2 イルメナイト、シリカの 75MWth 循環流動試験結果

Parameters:	Notations:
Silica-sand operation	
Measurement campaign duration (h)	168
Boiler load (MW)	70 – 75
Oxygen concentration in the flue gas (vol.%, dry gas)	7.5 – 8.0
Fuel	MSW
Ilmenite operation	
Total operating time (h)	4000
Measurement campaign duration (h)	192
Boiler load (MW)	75 – 80
Oxygen concentration in flue gas (vol.%, dry gas)	5.0 – 6.0
Fuel	MSW

以上のように、海外においても政府支援あるいは企業連携の元で積極的にケミカルルーピング技術開発が進められている。現在、大型ベンチ試験 (数十 MWth) やパイロット試験 (1 ~ 4MWth) による開発段階まで進んでおり、熱自立連続運転の実証、反応性、キャリア耐久性、および循環プロセスの検証等が行われている。今後も動きがあり次第、調査を行っていく。

2.2. キャリアの水素生成反応性

現プロジェクトにおいて、はじめにキャリアの基礎反応特性を把握するため、熱重量分析装置 (TG) を用いた酸化 / 還元反応の繰返しによる反応性を確認した。図 8 はキャリアの還元実験において繰返し回数が増えるほど還元速度が大きくなっていることを示している。天然イルメナイト粒子の初期サイクルの反応性は低いですが、繰返しサイクルに伴い反応性の向上が観察された。図 9 に 300 回繰返し前後の SEM 写真を示す。フレッシュなイルメナイト粒子は非多孔質であり、反応性は低いですが、繰返しサイクルに伴い、亀裂や細孔径の拡大等により比表面積が増加し反応性が向上したと考えられる [7]。

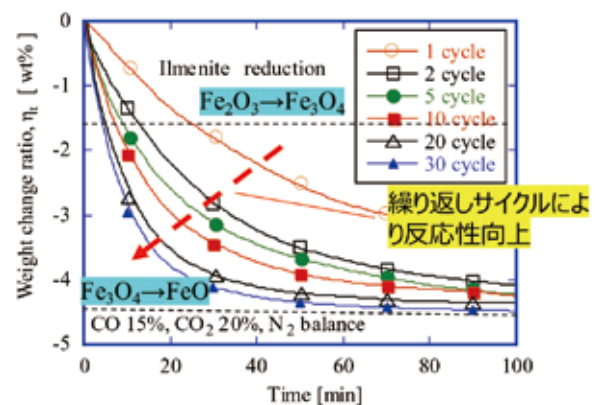


図 8 イルメナイトキャリアの繰返し反応性

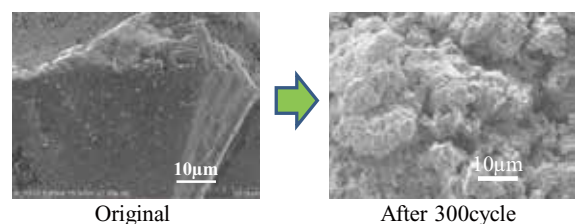


図 9 イルメナイトキャリアの繰返し前後の表面 SEM 写真

次に、小型流動層反応装置を用いてイルメナイトキャリアの還元反応／水蒸気酸化反応による水素生成反応性を確認した。実験装置は、石英ガラス製反応管を用い（図 10）、反応管内の分散板（厚さ 5mm）に酸素キャリアを充填した。静止層高は 150mm とし、反応管の加熱は外熱式電気炉で行った。流動化ガスは分散板を通し層内に導いた。反応管の下流には気液分離装置、フィルターを設置した。生成ガスの組成分析には高速マイクロ GC と赤外線ガス分析計を用いた。

実験手順は、始めにキャリアを反応管内に投入し、所定流速の空気ガスを流しつつ、所定の温度（900℃）まで昇温した。系内の温度安定後、N₂ 置換後に還元ガスを 15%CH₄/10%steam/3%H₂/bal. N₂ で 80 分反応させた後、一旦 N₂ で層内をパージ後、水蒸気（100%steam、ガス流速 26cm/s）を 900℃で 60 分反応させた。供試キャリアとしては、組成と比表面積が異なる天然鉱石イルメナイト①、②（組成 IL ① :Fe₂O₃ 48.3wt%,TiO₂ 47.9wt%、IL ② :Fe₂O₃ 32wt%, TiO₂ 65.0wt%、比表面積 IL ① :1.8m²/g、IL ② :7m²/g）と各 300 回酸化還元サイクル後のイルメナイト粒子を使用した。

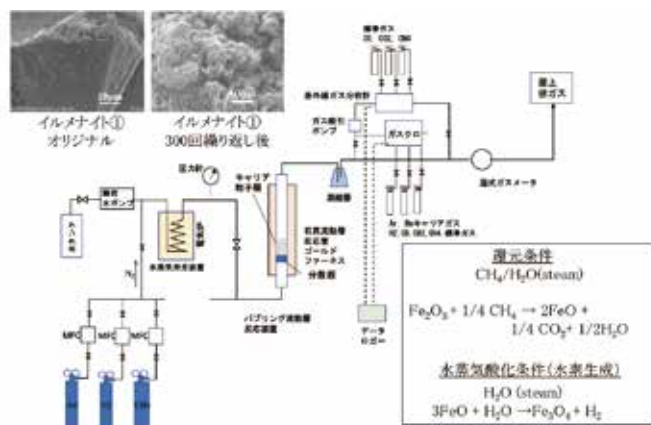


図 10 小型流動層実験装置の概念、供試キャリアの SEM 画像及び実験条件

実験結果を図 11 に示すが、IL ①と IL ②を比較すると、IL ②の水素生成量が多かった [8]。IL ②は元々比表面積が高い粒子であることが反応性に影響を与えたと考えている。一方、300 回繰り返し後の IL ①と IL ②を比較すると、IL ①の水素生成量が多くなった。酸化還元を繰り返すとイルメナイトは物理的の偏析を起こし、鉄が粒子表面側に移動することにより、反応性が向上するとの報告がある [9]。IL ①は鉄の含有量が IL ②より多く、粒子表面での水蒸気との接触面積（反応場）が増えたことが、水素生成量の増加に繋がったと考えられる。

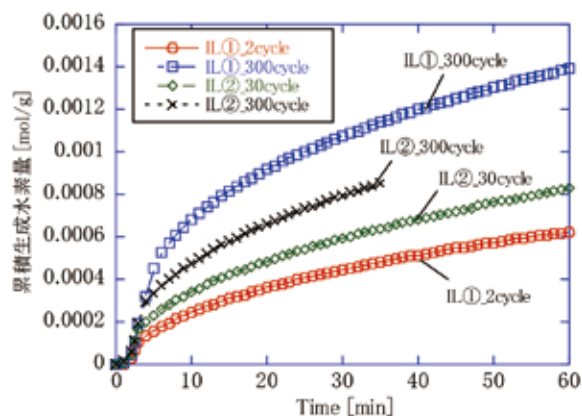


図 11 各種イルメナイトキャリアの生成水素量

今後、水蒸気との反応温度、粒子構造変化などを踏まえ、水素生成速度に与える影響を評価し、実プロセスへ展開するための基礎特性の解明を行っていく。

2.3. キャリア循環 / 流動性、キャリア摩耗率の把握

本事業では 300kWth 規模のホット装置であるベンチによるケミカルループ燃焼 (CLC) ポリジェネレーション技術の試験評価を行う予定であり、その前に、大型コールドモデル装置を建設して三塔式循環流動層の循環流動制御及び酸素キャリア媒体の循環流動挙動を検討した。

(1) 三塔式コールドモデル装置

図 12 は大型三塔式循環流動層コールドモデルのフロー図と全景写真である。装置の高さは約 10m である。AR、FR (CR+VR)、HR 及びライザーと 4 つのループシールで構成され、アクリル等の透明なプラスチック材質で製造されている [9]。酸素キャリアが各反応塔とループシール内で循環流動する様子を可視化できる。酸素キャリアの流動パターン、圧力バランス、粒子循環速度、摩耗率の計測等を行い、最適な反応塔仕様や運転制御方法の開発に活用していく。

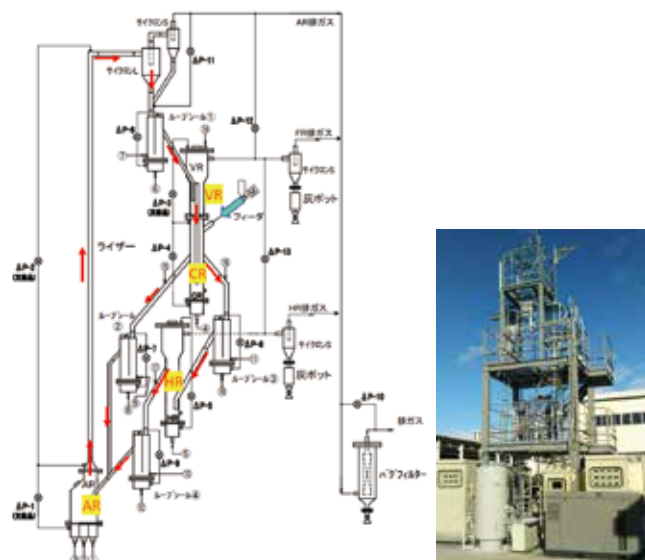


図 12 大型三塔式循環流動層コールドモデルのフロー図と全景写真

本装置は3か所の排ガス口 (AR 排ガス、FR 排ガス、HR 排ガス) があり、それぞれのサイクロンを通じ、フィルター集塵を行ってからガスが排出される。また、媒体粒子が循環流動する際に生じる圧力変動を連続的に記録するため、装置に計 13 個の差圧計を設けた。流動ガスの空気はコンプレッサーから供給され、各機器へのガス量はマスフローコントローラーで調整できる。計測した流量や差圧データはデータログされる。

(2) 循環媒体としてのイルメナイト粒子

ケミカルルーピング燃焼に使用される酸素キャリアの一つは天然イルメナイト (チタン鉄鉱石) である。天然イルメナイトは砂浜の砂であり、平均粒子径は約 $116 \mu\text{m}$ 、ゆるみ嵩密度は 2.5g/cm^3 である。表 3 はイルメナイトの化学組成と物性値、図 13 には SEM 写真と粒度分布を示す [9]。

表 3 イルメナイトの化学組成と物性値

Chemical composition	Unit	value
Fe_2O_3	wt%	32
TiO_2	wt%	65
Al_2O_3	wt%	1.5
SiO_2	wt%	0.9
MgO	wt%	0.8
Physical characters	Unit	value
Specific gravity	g/cm^3	4.4
Bulk density	g/cm^3	2.5
Specific surface area	m^2/g	7

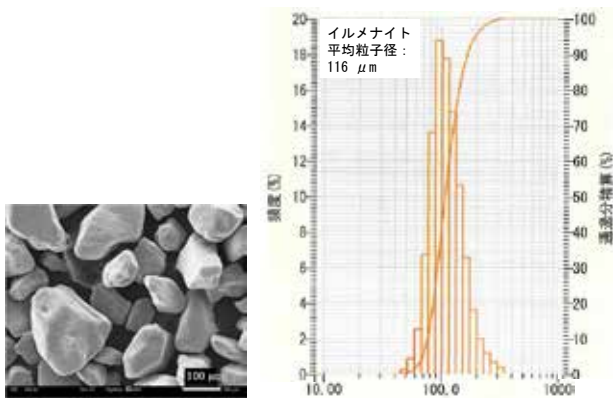


図 13 イルメナイトの SEM 写真と粒度分布

(3) 循環媒体の充填

各反応器及びループシールに所定ガス量 (空気) を供給してから CR にイルメナイトを投入しながら、循環流動によって HR、AR、VR 及びループシールに粒子充填を行った。系内には合計約 640kg のイルメナイトが充填された。

(4) イルメナイトの三塔循環流動試験

天然イルメナイトの三塔循環流動試験を行った。図 14 は連続的に記録した各反応塔、ループシール及びライザーの差圧変化である。各反応塔及びループシールにガスを供給してから粒子の

流動が開始 (差圧上昇変動) し、循環量が徐々にアップ (ライザー差圧上昇) した。所定の循環量に到達後、各反応塔及びループシールの差圧変動は一定幅に維持されたままであり、三塔間の安定した循環流動が確認された [9]。

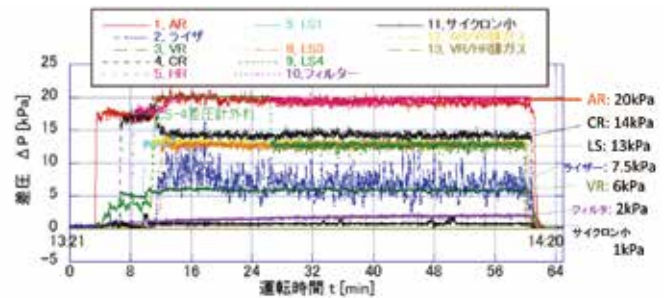


図 14 各反応塔、ループシール及びライザーの差圧変化

表 4 各 AR ガス量とライザー輸送能力及び粒子循環速度の関係

AR gas supply [L/min]	Gas superficial velocity of riser [m/s]	Particle circulating value [kg/s]	Gs, riser [kg/m ² /s]
1000	4.6	0.297	83
1300	6.0	0.414	115
1400	6.4	0.575	159
1500	6.9	0.595	165

(5) 粒子循環速度の測定

ループシール 1 の制御ガスを一定時間瞬間的に止めることによってループシール上流側のサイクロンスタンドパイプ内に一時的に粒子が溜まっていく速度を測定し、そこから粒子循環速度を算出測定した。AR ガスが 1,000 L/min から 1,500 L/min に増加すると、粒子循環速度が 0.3 kg/s から 0.6 kg/s に、ライザーの輸送能力 Gs が $83 \text{ kg/m}^2/\text{s}$ から $165 \text{ kg/m}^2/\text{s}$ に増加した。AR への空気量を変えることによって粒子循環量の制御が可能と分かった [9]。

(6) 粒子摩耗率測定

ガスフィルターに付着した粒子を試験後に回収定量し、以下の式を用いて三塔式循環流動層のイルメナイト摩耗率を算出した。摩耗率は 0.029 wt%/d と僅かであり、常温では運転による摩耗への影響度は軽微であることを確認した [9]。

$$\begin{aligned}
 \text{摩耗率 (wt\%/d)} &= (\text{粉塵量 kg} / \text{運転時間 h}) / \text{系内充填 kg} \\
 &\quad \times 24 \text{ h} \times 100 \text{ wt\%} \\
 &= (0.011 / 1.5) / 600 \times 24 \times 100 \\
 &= 0.029 \text{ wt\%/d (2021.12.21 運転例)}
 \end{aligned}$$

(7) 模擬燃料供給試験

大型コールドモデル装置において、新たな技術課題として模擬燃料供給試験を実施した。模擬燃料供給試験では、CR 内に仕切り板を設置及び模擬燃料を投入し、CR 内の模擬燃料滞留時

間を算出することで、CR 内の仕切り板による燃料とキャリアの混合効果を定量化することを目的とした。図 15 に模擬燃料供給試験における CR の模式図を示す。

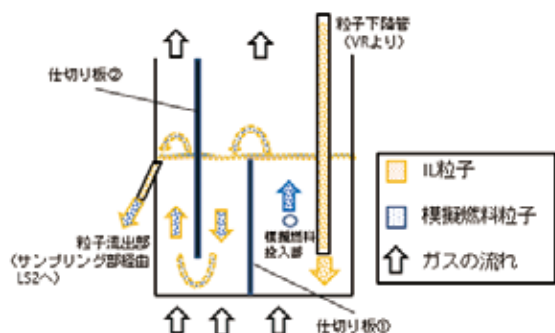


図 15 模擬燃料供給試験における CR の模式図

使用した模擬燃料は直径約 4mm のアクリル製球であり、嵩比重はバイオマスペレットを想定して 0.7117 のものとした。模擬燃料の全量は 584g で、10 秒以下の時間で全て CR 上部の模擬燃料投入部から投入した。図 16 に模擬燃料供給試験におけるフロー図を示す。

模擬燃料供給試験における大型コールドモデル装置の運転時間は延べ 16 分間であり、模擬燃料投入から運転完了まで、図 16 の CR- ループシール 2 間のサンプリング部から、イルメナイト及び模擬燃料の回収を 6 回 (1 分、4 分、7 分、10 分、13 分、16 分) 行った。運転時には模擬燃料が LS3、HR、LS4 を経由せずバイパス運転となるよう風量を調整した。

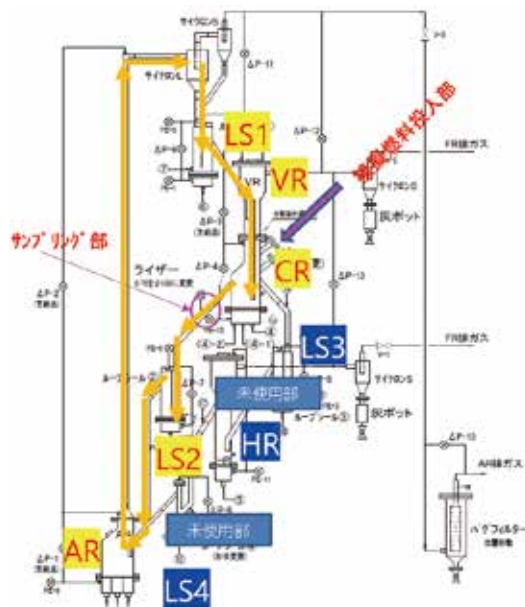


図 16 模擬燃料供給試験のフロー図

試験中にサンプリング部から回収したイルメナイト及び模擬燃料を計量し、重量比率から CR 内模擬燃料残存率の経時変化を算出したところ、図 17 となった。運転時間が 16 分の時点では CR 内の模擬燃料残存率は 64% と推定した (図 17 グラフの青色の点参照)。試験終了後、各機器からイルメナイト及び模擬燃料

を全て回収及び計量したところ、CR 内で残留していた模擬燃料はコールドモデル全体の中で 75% を占めていた (図 17 グラフの赤色の点参照)。この差異については、CR 内のイルメナイトと模擬燃料の不均一な混合状態の箇所が存在して、CR 内に一部高濃度の模擬燃料が偏析して、CR 内に推定値よりも多くの模擬燃料が残留していたためと考えられる。よって、仕切り板を 2 枚入れても比重差の大きな燃料とキャリアの混合は理想には届いていないと言える。従って、今後の模擬燃料供給試験では、仕切り板を増やすなどして、混合具合にどの程度の影響が出るかを検証したい。

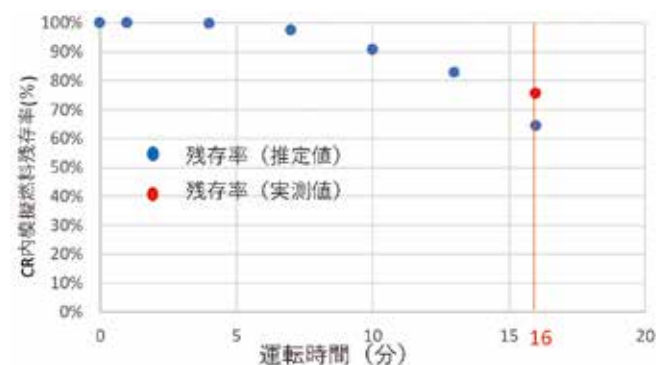


図 17 CR 内模擬燃料残存率の経時変化

3. 結言

現在、第一段階の各要素研究と事業性評価を終えて、第二段階が進行中である。第二段階ではベンチ試験を中心に技術開発を継続し、CLC ポリジェネレーションシステムの基盤技術を確立していきたい。

謝辞

本報告の成果は、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) の委託業務 (JPNP10016、JPNP16002) から得られたものである。

References

- 「CO₂ 分離型化学燃焼石炭利用技術開発」成果報告書 (H₂-H₂9)、NEDO(2017)
- T. Saito, S.Y. Lin, S. Atul, A. Matsumura, T. Hatanaka, 14th Greenhouse Gas Control Technologies Conference (2018).
- 林石英、齊藤知直、JCOAL Journal 47: 18-20 (2021)
- [250 kWth high pressure pilot demonstration of the syngas chemical looping system for high purity H₂ production with CO₂ capture], Tien-Lin Hsieh et al., Applied Energy, Volume 230, 15 November (2018) を基に JCOAL 作成
- [Coal-fired chemical looping combustion coupled with a high-efficiency annular carbon stripper], Hu Chen et al., Int. J. of Greenhouse Gas Control, 93 (2020) を基に JCOAL 作成
- [4000 Hours of Operation with Oxygen-Carriers in Industrial Relevant Scale (75 MWth)], Bengt-Ake Andersson, et al., 4th Int. Conf. on Chemical Looping, Nanjing (2016)
- T. Saito and S.Y. Lin, Journal of Chemical Engineering of Japan, 51, No.10 (2018)
- 齊藤知直、林石英、橋本敬一郎、第 54 回化学工学会秋季大会講演要旨集: C106(2023)
- A. Cuadrat, A. Abad, J. Adanez, L.F. de Diego, F.Garcia-Labiano, P. Gayan, Fuel Processing Technology 94, 101-112 (2012)
- 林石英、齊藤知直、植田健太郎、柴谷徹也、第 31 回日本エネルギー学会大会講演要旨集: 62-63(2022)

豪州、インド、ASEAN 等への我が国カーボンリサイクル技術の導入可能性調査 (インドネシア、マレーシア、フィリピン編)

技術連携戦略センター 齊藤 知直、橋本 敬一郎

1. カーボンリサイクル技術動向調査の背景、目的

カーボンリサイクルとは、CO₂を資源として捉え、これを分離・回収し、化学品、燃料、鉱物、素材等を製造する際に再利用することで、大気中へのCO₂排出を抑制していく取組である。CO₂を大量、かつ、効率的に利用するために、人工光合成、CO₂メタネーション、あるいはCO₂吸収コンクリート等の新しい技術へのパラダイムシフトを起こす必要がある。これまで人工的な変換利用が遅れてきたCO₂を使用するカーボンリサイクルの社会実装には、産学官連携の下で革新的な技術開発を加速し、非連続なイノベーションを早期実現することが鍵とされている。

経済産業省は、2019年にカーボンリサイクル推進室を設置し、カーボンリサイクルのコンセプトや対象分野、ロードマップを策定し、国際的にG20やカーボンリサイクル産学官国際会議で発表している。当機構は、資源エネルギー庁やNEDOの支援を得て、我が国でのカーボンリサイクル実現に向けた研究開発の推進や国際連携に資する調査を実施しており、特に、火力発電設備から排出されるCO₂を利用するカーボンリサイクルシステムの検討や、海外の大学、研究機関等との国際協力案件創出につなげていくことを目的とし、カーボンリサイクル海外技術動向調査を実施している。

本稿では、日本企業が建設に関わった火力設備を導入している海外発電所（豪州、インド、ASEAN等）向けに我が国カーボンリサイクル技術の導入促進の足掛かりとなる情報の収集と分析調査を行った。その結果概要について報告する。

2. カーボンリサイクル技術の抽出と分析

2.1. カーボンリサイクル物質の定義

本調査でのカーボンリサイクル物質は、基幹物質、化学品、液体燃料、ガス燃料、鉱物化、炭酸塩化の6種類とし、それぞれ以下の通り定義する。

1) 基幹物質の定義

メタノール：COと水素の合成ガスからではなく、CO₂と水素から直接合成されたメタノール。

2) 化学品の定義

ポリカーボネート：ホスゲンを用いず、エチレンオキシドと、その副生物であるCO₂で代替して製造されるもの。
パラキシレン：原油の精製ではなく、CO₂からメタノール合成し、触媒によってパラキシレンを選択的に合成して製造されるもの。

3) 液体燃料の定義

SAF：微細藻類を原料とし、ASTM:D7566 規格 Annex7（変換プロセス：HC-HEFA SPK）に適合 / 相当するSAF（持続可能航空燃料 / バイオジェット燃料）。

4) ガス燃料の定義

e-メタン（e-methane）：グリーン水素等の非化石エネルギー源を用いて、メタネーション（CO₂をリサイクルして都市ガスの主成分であるメタンを作る技術）により合成されたメタン。

5) 鉱物化の定義

CO₂吸収コンクリート：製造時の原料の特殊混和材にCO₂を固定化するもの。コンクリート製造原料であるセメント利用量を削減することで、製造時のCO₂を低減するもの。

6) 炭酸塩化の定義

炭酸マグネシウム：海水淡水化プラントの廃かん水のマグネシウムと発電所などのCO₂から合成された炭酸マグネシウム（MgCO₃）。

炭酸ナトリウム：既存の炭酸ナトリウムの製造工程では、石灰石焼成により生成するCO₂を使っているが、その代わりに発電所から回収したCO₂を用いる。

2.2. 現在開発されているカーボンリサイクル製品と日本の開発企業の選定例

上記1)～6)のカテゴリにおいて、最も社会実装に向けて有望な物質と開発企業の組み合わせを、選定理由と共に表1に示す。

表 1 開発中のカーボンリサイクル製品の物質と開発企業の選定例

CR物質		開発企業	選定理由
基幹物質	メタノール	三菱ガス化学	三菱ガス化学は、「環境循環型メタノール構想」のもとCR技術を開発。現在、国内最大のメタノール輸入会社(40%)であり、海外に自社技術のメタノールプラントを保有する総合メーカ。JFEスチールは鉄鋼分野でCR技術を先行させている。
化学品	ポリカーボネート	旭化成	現状の市場規模はポリカーボネートが125億米ドル、パラキシレンは471億米ドルとパラキシレンの方が大きい。CRの技術開発についてははまだ実証事業中であるため、すでに商業化段階のポリカーボネート(開発企業 旭化成)を選定する。
	パラキシレン	川崎重工業、大阪大学 or 日本製鉄、富山大、 三菱商事、千代田化工	
液体燃料	SAF	IHI	新規液体燃料のうち現在最も開発が活発でCNへの貢献が期待されているSAFを選定。SAFの製造プロセスのうち、発電所のCO ₂ 回収を目的に我が国で開発が行われている微細濾過由来プロセスを選定。開発企業のうちASTM国際規格への適合認証を受け、実フライトで採用されたIHIを選定。なお微細濾過由来プロセスは、COを経由せずCO ₂ から直接合成可能で、水素は使用しない。
ガス燃料	e-メタン	日立造船、大阪ガス	新規ガス燃料のうち現在最も開発が活発でCNへの貢献が期待されているe-メタンを選定。開発企業として、発電所や清掃工場の排ガス中CO ₂ の活用を念頭に自社開発触媒によるメタン合成の開発・実用化に取り組んでいる日立造船、及び水を原料に(水素が不要)SOECを活用して85~90%という世界最高レベルの変換効率を目指す大阪ガスを補足的に選定。いずれもCO ₂ から直接合成可能で、日立造船は水素を使用、大阪ガスは水素を不使用。
鉱物化	CO ₂ 吸収コンクリート	鹿島建設、中国電力、 デンカ	コンクリートへのCO ₂ 固定化は各社が実施しているが、CR技術としては開発完了後2014年に実証を実施している本企業体の取組を選定する。
炭酸塩化	炭酸マグネシウム	ササクラ、早稲田大学	炭酸ナトリウムは、CO ₂ 削減量が年間何万トンと、炭酸マグネシウムに比べて大量に見込めるが、国内の製造工場で実施する技術であるため、本調査のCR技術のアジアへの展開の観点に外れることから、本章以降の調査では、炭酸マグネシウムのみについて評価検討を行う。
	炭酸ナトリウム	トクヤマ、双日	

(出典：各種公開情報を基に当機構作成)

3. カーボンリサイクル技術・製品受入可能性評価

3.1. 調査対象国

当調査では、ASEAN 諸国及びエネルギー大国への我が国カーボンリサイクル技術の導入促進の足掛かりとなる情報の収集と分析を行うため、以下 7 か国を調査対象国とした。なお、今回は (1) ~ (3) までについて述べ、(4) ~ (7) については続編で報告させていただきます。

- (1) インドネシア、(2) マレーシア、(3) フィリピン、(4) タイ、
(5) ベトナム、(6) インド、(7) 豪州

3.2. 調査対象国の日本製火力発電所事例

1. インドネシア

1) パイトン石炭火力発電所

発電所名：パイトン発電所

オーナー：パイトン・エナジー社 (PT Paiton Energy)

発電方式：超々臨界圧 (USC) 石炭火力

発電出力：81.5 万 kW (40.75 万 kW × 2 ユニット)

建設メーカー：(ボイラー) 三菱重工、(蒸気タービン) 三菱重工

運転開始年：2012 年 6 月

日本資本注入の有無：(有り) 三井物産、JERA

各 CR 製品導入の動き：特になし。USC を採用することで、発電効率が 15% 向上、CO₂ 排出量を 15% 低減。

2) ジャワ 7 石炭火力発電所

発電所名：PLTU ジャワ 7 発電所

オーナー：バリ発電会社 (PT. Pembangunan Jawa Bali: PJB)

発電方式：超々臨界圧 (USC) 石炭火力

発電出力：100 万 kW (50 万 kW × 2 ユニット)

建設メーカー：(ボイラー) 三菱重工、(蒸気タービン) 三菱重工

運転開始年：2019 年 12 月

日本資本注入の有無：(不明)

各 CR 製品導入の動き：特になし。USC を採用することで、発電効率が 15% 向上、CO₂ 排出量を 15% 低減。

3) ムアラ・カランガス火力発電所

発電所名：ムアラ・カラン発電所

オーナー：国営電力会社 PLN

発電方式：天然ガス GTCC (ガスタービンコンバインドサイクル)

発電出力：25 万 kW × 2 系列

建設メーカー：(ボイラー) 三菱重工、(蒸気タービン) 三菱重工
(ガスタービン) 三菱重工

運転開始年：2021 年 9 月

日本資本注入の有無：(不明)

各 CR 製品導入の動き：特になし。天然ガス GTCC を採用することで、発電効率が向上し、CO₂ 排出量が低減。



図 1 インドネシアの火力発電所の位置 (ジャワ島)

2. マレーシア

1) タンジュン・ビン石炭火力発電所

発電所名: タンジュン・ビン発電所

オーナー: テナガ・ナショナル社 (Tenaga Nasional Berhad/ TNB)

発電方式: 超々臨界圧 (USC) 石炭火力

発電出力: 100 万 kW

建設メーカー: (ボイラー) バブコック日立 (現: 三菱重工)、(蒸気タービン) 日立 (現: 三菱重工)

運転開始年: 2017 年 7 月

日本資本注入の有無: (有り) 住友商事と韓国のデリン・インダストリアル社とのコンソーシアム

各 CR 製品導入の動き: 現在はその動きはないが、同発電所はシンガポール近隣に位置するので、将来的には CR 製品の導入が予想される。

2) ジマ石炭火力発電所

発電所名: ジマ発電所

オーナー: ジマイーストパワー社 (Jimah East Power Sdn Bhd) (三井物産とマレーシア開発社 (Malaysia Development Berhad) の共同出資会社)

発電方式: 超々臨界圧 (USC) 石炭火力

発電出力: 100 万 kW × 2 ユニット

建設メーカー: (ボイラー) IHI、(蒸気タービン) 東芝 (補器他) 現代建設 (韓国)

運転開始年: 2018 年 1 月 (1 号)、2019 年 2 月 (2 号)

日本資本注入の有無: (有り) 三井物産

各 CR 製品導入の動き: 現在はその動きはないが、ジマ火力は首都クアラルンプール近郊に位置するため、将来的には様々な CR 製品の導入が期待される。

3) プライガス火力発電所

発電所名: プライ発電所

オーナー: SKS ベンチャー Sdn 社 (SKS Venture Sdn. Bh)

発電方式: GTCC (ガスタービンコンバインドサイクル)

発電出力 35 万 kW

建設メーカー: (ガスタービン) 三菱重工、(排ガス回収ボイラー) 三菱重工、(蒸気タービン) 三菱重工 (発電機は三菱電機)

運転開始年: 2003 年 3 月

日本資本注入の有無: (有り) 住友商事

各 CR 製品導入の動き: 現在はその動きはないが、マレーシア政府の計画では水素の導入が考えられる。



図2 マレーシアの火力発電所の位置

3. フィリピン

1) サン・ブエナベンチュラ石炭火力発電所

発電所名: サン・ブエナベンチュラ発電所

オーナー: サン・ブエナベンチュラ・パワー社 (SBPL)

発電方式: 超々臨界圧 (USC) 石炭火力

発電出力: 50 万 kW

建設メーカー: (ボイラー) 三菱重工、(蒸気タービン) 三菱重工

運転開始年: 2019 年 2 月

日本資本注入の有無: (有り) 三菱商事

各 CR 製品導入の動き: 電源の不足するフィリピンでの CO₂ 回収利用は難しいと思われる。



図3 フィリピンの火力発電所の位置

3.3. 火力発電設備への CR 製品の導入による影響評価

対象とする個別火力設備と回収 CO₂ をする化学工場

火力発電所の排ガスには、USC 石炭火力で約 14 ~ 15vol%、GTCC で約 7 ~ 8vol% の CO₂ が含まれる。このため、CO₂ 回収装置としては、CO₂ 濃度の高い石炭火力は、アミン吸収液を用いた化学吸収法、CO₂ 濃度の低い GTCC は、ゼオライトを用いた物理吸着材が適ると言われている。ただし、火力発電所の排ガス中には、除去できなかった SO_x (石炭火力のみ) や NO_x が微量含まれているため、アミン吸収液や、

ゼオライト吸着剤は劣化するため、定期的に交換する必要がある。

ここでは、CO₂ 回収装置については検討しないが、CO₂ を回収することにより、発電出力が 15 ～ 20% 減少すること（これは主に吸収液の加熱や吸着材の加圧に使われる）、CO₂ 回収装置の減価償却（日本では環境装置の償却年数は 7 年）、運転にともなうユーティリティコスト、保守コストが必要となる。この全コストから、CO₂ クレジットを差し引いた金額が CO₂ の原価となる。

本調査を行った各種 CR 化学物質を生産する化学工場の有無、SAF に関しては、空港までの距離等の立地条件より、3.2 節において選択した個別の発電所について、評価を行うこととした。

なお、本評価は、発電所と化学工場との距離、化学工場と空港までの距離で評価し、化学工場の CO₂ 受け入れ可能性等については考慮しないものとする。なお、評価には調査担当者の主観が関わってくることを予め断っておく。

1. インドネシア

1) 選択した火力発電所の立地

インドネシアで選択した発電所は、USC 石炭火力はパイトン USC 発電所、ジャワ 7USC 発電所、天然ガス GTCC は、ムアラ・カラン GTCC 発電所の 3 か所であり、その所在地を下図に示す。



図 4 インドネシアの火力発電所の所在地（ジャワ島）

ジャワ 7USC 発電所とムアラ・カラン GTCC 発電所は首都ジャカルタ近郊に位置するが、パイトン USC 発電所はバリ島に電気を供給する系統を充足するため、ジャワ島東の過疎地に位置する。

以上のことから、パイトン USC 発電所は候補より外し、ジャカルタに近接する「ジャワ 7USC 発電所」と「ムアラ・カラン GTCC 発電所」を CR 技術導入先の発電所候補とした。

2) インドネシアの化学産業

同国には複数の財閥が存在するが、今回の CR に関係する財閥であるバリト・パシフィックが株主である、チャンドラ・アスリ社 (PT Chandra Asri Petrochemical/CAP) とその化学コンビナートの所在地と主要製品について調査を行った。

チャンドラ・アスリ社は同国最大の総合石油化学企業であり、ポリプロピレン、およびオレフィンとポリエチレンのメーカーがある。また、ジャワ島西部のチレゴンに巨大な石油コンビナートを建設中で、ナフサクラッカー、ブタジエン、高密度ポリエチレン、ポリ

プロピレン、低密度ポリエチレン、芳香族化合物を生産予定である。

この化学コンビナートとジャワ 7USC 発電所との距離は 11km と非常に近い。ムアラ・カラン GTCC 発電所からは 85km 程度の距離にある。

インドネシアは、ジャワ 7USC 発電所から出る CO₂ をチャンドラ・アスリ社チレゴン化学コンビナートに輸送出来れば、メタノール、ポリカーボネート、SAF、e-メタン及びプラスチックコンクリート (CO₂ 吸収コンクリート) の生産が可能と思われる。

また、SAFを生産する場合、ジャカルタのスカルノハッタ国際空港まで約 75km とそう遠くない。

以上より、インドネシアは、「ジャワ 7USC 発電所」を CR 技術導入先の第一候補とする。



図 5 インドネシアの火力発電所、化学工場及び国際空港位置関係

2. マレーシア

1) 選択した火力発電所の立地

マレーシアで選択した発電所は、石炭 USC 火力はタンジュン・ビン USC、ジマ USC、マンジュン USC、天然ガス GTCC は、プライ GTCC、ポート・ディクソン GTCC の 5 か所であり、その所在地は下図に示す。



図 6 マレーシアの火力発電所の所在地

2) マレーシアの化学産業

マレーシアには、自国の化学メーカーもあるが、海外資本のメーカーが多数乗り込んでおり、日本からも複数の会社が進出している。

その中で、マレーシアの ENRA 社 (Ethical Noble Reliable Accountable) を紹介する。

(1) ENRA パワーシステムズ社 (EPS)

ENRA の完全子会社であり、国際的なコングロマリット(ガスタービンの組立て、メンテナンス、修理、オーバーホール) サービスを提供し、協力会社のガスタービンの販売、流通、アフターサービスを行うために設立。

(2) ENRA エナジーソリューション社 (EES)

ENRA の完全子会社であり、石油・ガス分野の国際的なサービスを代理し、圧縮機、発電システムとそのパッケージを含む幅広い製品とアフターサービスを行う販売会社として設立。本社及び化学工場は、クアラルンプール市内のドタマス地区にある。

上図に示したこれらの5つの発電所の立地条件について考察を行うと、ジマ USC 発電所とポート・ディクソン 2GTCC 発電所は、互いに隣接しており、首都クアラルンプールの南 70km に位置する。また、両発電所は、ENRA 社の化学工場から 70km、クアラルンプール国際空港へも 15km と近い。両発電所の立地条件は同じである。大きな違いは、ジマ発電所は石炭火力、ポート・ディクソン 2GTCC は天然ガス火力である。よって、燃料の違いによる CO₂ 回収コストの安価な方から CR 技術導入先の発電所候補としていけば良い。

タンジュン・ビン USC 発電所は、シンガポールとの国境付近にあり、化学工場があるとしても、シンガポール国内か、その東側となる。発電所から回収した CO₂ を国外に輸送することが法的に認められているとは思われないため、同発電所は CR 技術導入先の候補から外す。

その他の発電所は都市郊外に立地するので、近隣に CR 製品を生産できる化学工場がない。よって、CR 技術導入先の発電所候補から外す。

以上の考察より、最適な CR 技術導入先の発電所候補を「ジマ USC」と「ポート・ディクソン 2GTCC」の両発電所とする。さらに選別するには CO₂ 回収コスト試算等が必要となる。



図 7 マレーシアの火力発電所、化学工場及び国際空港位置関係

3. フィリピン

1) 選択した火力発電所の立地

発電所候補として、サン・ブエナベンチュラ USC 発電所を候補としたが、3つの設備(発電所、化学工場、国際空港)がほぼ一辺が 50km の三角形の頂点に位置している。

2) フィリピンの化学産業

フィリピンには、日本の化学企業が多数進出しており、自国の化学会社を見つけるのが難しい状況である。ここでは、日揮(株)が資金参加している次のプロジェクトに注目して紹介するに留める。

(1) 日揮連合石油化学プラント

日揮(株)のフィリピン現地法人である JGC フィリピン社(JGC PHILIPPINES, INC.)は、2018 年 3 月、ゴゴンウェイ財閥の石油化学メーカーである JG サミットペトロケミカル(JGSPC)からバタンガス州における JGSPC のコンビナートの建設を受注した。同プロジェクトは、JGSPC のコンビナートにおける高密度ポリエチレンプラント新設事業とポリプロピレン既存プラントの拡張事業である。新設の高密度ポリエチレンプラントは年産能力 25 万トン有する。また、既存ポリプロピレンプラントの年産能力は 30 万トンに増強される。本化学コンビナートの建設場所は、首都マニラから南に 120km のバタンガス州である。フィリピンの火力発電所、化学工場、およびマニラ国際空港の位置関係を下図に示す。

3つの設備はほぼ一辺が 50km の三角形の頂点に位置している。また、CO₂ パイプラインを引くとしても、途中に主要都市があり難しい。よって、このサン・ブエナベンチュラ USC は、CR 技術導入先の発電所として適当でないと評価できる。

フィリピンには、この発電所以外にも、発電所、化学工場、国内空港があるため、他に好立地の地点があるかもしれないが、本報告では、このスタディにとどめる。



図 8 フィリピンの火力発電所、化学工場及び国際空港の位置関係

4. カーボンリサイクル製品別、設備別適性評価

評価をする上で、それぞれの発電所に対して適用の可否は実際の発電所とのヒアリング調査や立地状況等の現地確認等が必要となってくるため、当報告では、それぞれの国の気候や場所、脱炭素への取り組み状況や国内情勢を参考にし、評価を行っている。

そのため、発電所に対する評価ではなく、それぞれの国に対しての日本からの事業参入状況やその国の事情に基づき評価を行っていることにご留意いただきたい。

また、実際の発電所への適用については、発電所への訪問等による調査は実施していないことから対象外とした。

(1) メタノール

MGC（三菱ガス化学）等のメタノール製造拠点（サプライチェーン）がない国については、製造拠点の建設等から行う必要があり、ハードルが高いものと考ええる。

(2) ポリカーボネート

非ホスゲン法で使用する CO₂ は基本的にエチレンオキシド製造時に副生されるものであるため、CCU としての効果は少ないことから、DRC 法などのさらなる技術発展を待ちたい。

(3) SAF

SAF については多くの研究機関や企業が取り組んでいる事業である。また、微細藻類の培養には熱帯が適していることから、今回の調査対象国（アジア圏）に適した CR 製品であると考ええる。

(4) e-メタン

インドネシアやマレーシアでは日本企業が事業性評価を、米国では東京ガスが製造拠点を選定する等の動きがあるため、その国に対する働きかけがよいのではと感じた。その他の国については特に目立った動きは見られないため、さらなる調査が必要である。

(5) CO₂ 吸収コンクリート

コンクリートの製造量が多い中国やインド等へ導入することで大きく普及する可能性はあるが、立地条件や技術漏洩が懸念される。アメリカやカナダでは CO₂ 吸収コンクリートの実用化等が進んでいるが、その他の国については特に目立った動きは見られないため、さらなる調査が必要である。

(6) 炭酸マグネシウム

添加剤としてのニーズで国内外含めて市場が小さく価格競争力もないので既存市場に割り込むのは厳しい。また、発電所に逆浸透式の海水淡水装置が無ければ適用できない。通常、砂漠の国以外では、河川、湖沼、井水を利用するので、逆浸透式の海水淡水化設備を設置している発電所は無く、発電所の設備との相性は良いとは言えない。

5. 総合評価

最も有望な相性となった火力発電設備に、カーボンリサイクル製品を早期社会実装するための市場参入方法、戦略、アプローチ、課題克服等についての見解を述べる。

代表的な 6 つのカーボンリサイクル技術の調査対象国（インドネシア、マレーシア、フィリピン）の火力発電設備への適用可能性を検討した（タイ、ベトナム、インド、豪州については続編で報告する）。

日本国内においても、カーボンリサイクル技術の研究開発・実証・商用化に向けた動きは活発であるが、いまだ研究開発段階の技術も多く、日本国内のみならず、海外への技術の導入促進においても時間を要すると予想される。

また、海外の火力発電所においてカーボンリサイクル技術を導入するためには、まずは発電所の立地や受入れ可否、立地国の情勢等、さらに細密な現地調査を要する。また、今回候補として選択した我が国が建設した火力発電所の近辺に化学工場があることはカーボンリサイクル技術の導入にとって好立地であり、特に SAF に関しては、発電所の近辺に国際空港等の大型空港があることが、立地上必要条件となる。これらの発電所周辺の工業、産業に関する条件がカーボンリサイクル技術導入を左右すると言える。

以上の観点から、今回 CR 技術導入先の候補とした発電所のそれぞれについて、発電所周辺 200km 以内の化学プラント、空港について調査を行った。

- インドネシアのジャワ 7USC の近くにはチャンドラ・アスリ化学コンビナートがあり、プラスチックコンクリートを生産しているので、候補となる。
- マレーシアのジマ USC とポートディクソン 2GTCC は、70km 北に ENRA 社の化学工場があり、高密度ポリエチレンを生産しているので、候補となる。
- フィリピンのマニラの東 60km にあるサン・ブエナチュラ USC は、近くに JGSPC のコンビナートがあり、エチレンとプロピレンを生産しているが、首都周辺であるため、CO₂ の輸送、CR 製品の輸送が困難と考えられ、候補から外れる。

以上、今回調査を行った地域では、すでに日本企業が FS 調査を行った事例があることから、それらの取り組みを活用し、関係企業との共同開発等を行うことで早期の CR 技術導入が促進できると考える。

【謝辞】

本調査結果は国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務から得られたものである。

学生海外インターンシップ同行記

JCOAL 資源開発部 山下 栄二

1. はじめに

2023年9月2日～11日に実施した学生海外インターンシップ(一般社団法人資源・素材学会「資源・素材塾」海外研修)に同行したので以下報告する。

2. これまでの経緯

学生海外インターンシップは、弊財団の自主事業として2000年からスタートし、その後、経済産業省の補助事業「国際資源開発人材育成事業(石炭分野)」で実施してきた。2013年からは資源・素材関係等の企業・団体から支援を得て、一般社団法人資源・素材学会(MMIJ)が主催する「資源・素材塾」のプログラムの一つとして実施しており、JCOALが協力している。途中、Covid-19の影響で中止したが、本年は4年ぶりの開催となった。

3. 学生海外インターンシップ概要

(1) 全体スケジュール

海外インターンシップに応募した学生からMMIJの選考を経て、7名の学生が参加した。Covid-19の影響で海外に行く機会が減少しているのか、今回の海外インターンシップのためにパスポートを新たに申請する学生が多いことが印象に残った。学生たちには、事前に訪問箇所について学習するための資料を送付し、事前学習するよう指導した。

(2) インターンシップ参加者構成

インターンシップに参加した学生の出身校は、北は北海道大学から南は九州大学まで幅広い。この中には女子学生2名が含まれている。参加者概要を表-1に示す。

表1 参加者概要

	学部4年生	大学院1年生
北海道大学		1
秋田大学		2
東京海洋大学		1
早稲田大学		1
京都大学	1	
九州大学	1	
合計	2	5

(3) インターンシップ日程

研修先は、金属鉱山、炭鉱、港等で、帰国の翌日の午後に成果発表会・交流会を行った。表-2に日程表を示す。

表2 日程表

月日	概要	宿泊
9月2日(土)	移動 東京 →	機中泊
9月3日(日)	→ シドニー → ブローケンヒル	ブローケンヒル
9月4日(月)	訪問 Rasp Mine(金属鉱山(坑内掘))	ブローケンヒル
9月5日(火)	移動 ブローケンヒル → ニューキャッスル	ニューキャッスル
9月6日(水)	訪問 Newcastle port (PWCS) (石炭積出港) 移動 ニューキャッスル → シングルトン	シングルトン
9月7日(木)	訪問 Bulga Mine (炭鉱(露天掘)) 訪問 Coal Industry Centre	シングルトン
9月8日(金)	移動 シングルトン → シドニー 訪問 JOGMEC シドニー事務所	シドニー
9月9日(土)	資料整理・発表資料作成	シドニー
9月10日(日)	移動 シドニー → 東京	都内
9月11日(月)	発表資料作成、成果発表会・交流会	

4. 訪問概要

(1) Rasp 鉱山

Rasp 鉱山は、NSW 州のブローケンヒルに位置している、主に亜鉛、鉛、銀を生産する鉱山である。シドニーからプロペラ機での所要時間は約2時間である。世界的に有名な資源会社であるブローケン・ヒル・プロプライエタリー・カンパニー(BHP)の発祥の地でもある。学生たちにとって、坑内掘の金属鉱山への初めての訪問であった。保安教育、自己救命器の装着説明を受けた後、坑内用車2台に分かれて入坑した。坑内では採掘後の鉱石を一時集積させる坑道と救急センターを見学した。学生にとっては、大学で見た映像よりも実際の現場を見ることで、大きな経験となったようである。



写真1 坑内での研修



写真2 選鉱工場での研修

(2) Port Waratah Coal Services (PWCS)

PWCS は、40 年以上にわたり、豪州最大の石炭開発地域である Hunter Valley と港を結ぶ 450km 以上にも及ぶコールチェーンにおいて重要な役割を担っており、ニューキャッスルに位置する Kooragang と Carrington の 2 つの石炭港を運営・管理している。両施設の総石炭取扱能力は年間 1.45 億トン、2022 年の実績は 9,190 万トンであった。PWCS は 1 日 24 時間、週 7 日稼働し、1 年を通じて止まることがない。2022 年の実績によれば、PWCS から海外への輸出先は、全体量の 60% が日本、13% が台湾、韓国が 13% である。学生たちの印象としては、「人間が操作するより、GPS 位置検知システムを用いた全自動運転の方が信頼でき、従業員の安全性が改善される」とのことであった。



写真 3 メンテナンス中のリクレーマ

(3) Bulga 炭鉱

Bulga 炭鉱は、NSW 州に位置しており、年間原炭で約 1,000 万トン（精炭：610 万トン）の生産規模を誇る、豪州でも有数の大規模炭鉱である。これまで露天掘りと坑内掘りの両方が行われていたが、2018 年 5 月に坑内掘りが停止した後、現在は露天採掘のみで石炭が生産されている。生産された石炭のうち、日本の電力向けのものが半数以上を占めている。学生たちは、大規模な露天掘り鉱山に驚き、また、「地域社会との関わりを重要視している」「操業による騒音や粉塵をリアルタイムで監視することで、環境への影響を積極的に緩和している」といった印象を持っていた。



写真 4 露天掘炭鉱での研修

(4) Coal Industry Centre (ハンターバレー・マイニングツアー)

Coal Industry Centre は、NSW 州シングルトンに位置している、石炭産業に関連するツアーや研修を行っている会社である。ここでは、石炭の生成や種類などの基礎的な説明から始まり、NSW 州にとって石炭は重要な輸出品として貴重な収入をもたらしていること、炭鉱の安全管理、安定操業への課題などについて、学生たちはプレゼンを受けた。その後、車で、鉱山車両や発破関係の火薬、タイヤを製造するメーカーの整備工場が集まる工業団地を見学した。中には鉱山用タイヤが集積されている整備工場もあ

り、タイヤの中で高いものは 1 億円近くするとのこと、学生たちは驚いていた。



写真 5 プレゼンによる講義

(5) JOGMEC シドニー事務所

JOGMEC シドニー事務所は、旧石油公団の事務所が前身で、2004 年から JOGMEC として活動を開始している。JOGMEC は石油公団と金属鉱業事業団が 2004 年に統合されて設立された。学生たちは、豪州の資源情報についてのプレゼンを熱心に聞き入れており、滞在予定時間を過ぎても、さまざまな分野での質問を続けていた。

5. インターンシップの学生感想、同行者の所感

学生たちが最も印象に残っていたのは鉱山の規模や重機の大きさで、そのオペレーションの迫力に圧倒されていたようである。テキストだけでは得られない現場感やリアリティを強く感じていた。今回の海外インターンシップ終了後、アンケートを実施した。参加した学生たち全員が「満足度は期待以上」と回答していた。今後もインターンシップの継続を望む声も多かった。

豪州滞在中の食事については渡航前に学生たちには、物価が高いのでスーパー等で食料品を購入することを進めたが、みんなレストランに行っていたようである。筆者は、円安のため少ないお小遣いから、サンドイッチ、ビール、つまみとしてハムを買うのが精一杯で、これで日本円で 3 千円もするとは思わなかった。

6. 終わりに

40 数年前、自分が日本の炭鉱で現場実習に滞在した際は、滞在期間中、毎晩歓待を受け、諸先輩方に変にお世話になった。今度は学生たちに筆者から歓待する番になったと思い、少ないお小遣いを全部つぎ込んだが（それだけでは不足気味であったが）、レストランでのコース料理をご馳走した。その反動で、その後、毎晩、コンビニのサンドイッチで過ごすことになった。

豪州の賃金事情であるが、鉱山関係者、同行ドライバーからの情報によると、シングルトンの平均年収は日本円で 700 万円、これは事務の新入社員から鉱山長までの平均とのこと。鉱山従業員の平均年収となると 2,500 万円で、日本では中小企業の社長さん以上であろう。最後に年金の話になるが、豪州での最適年金額は、週で 10 万円、月 40 万円とのこと、日本とは違い、老後まで安泰のようである。

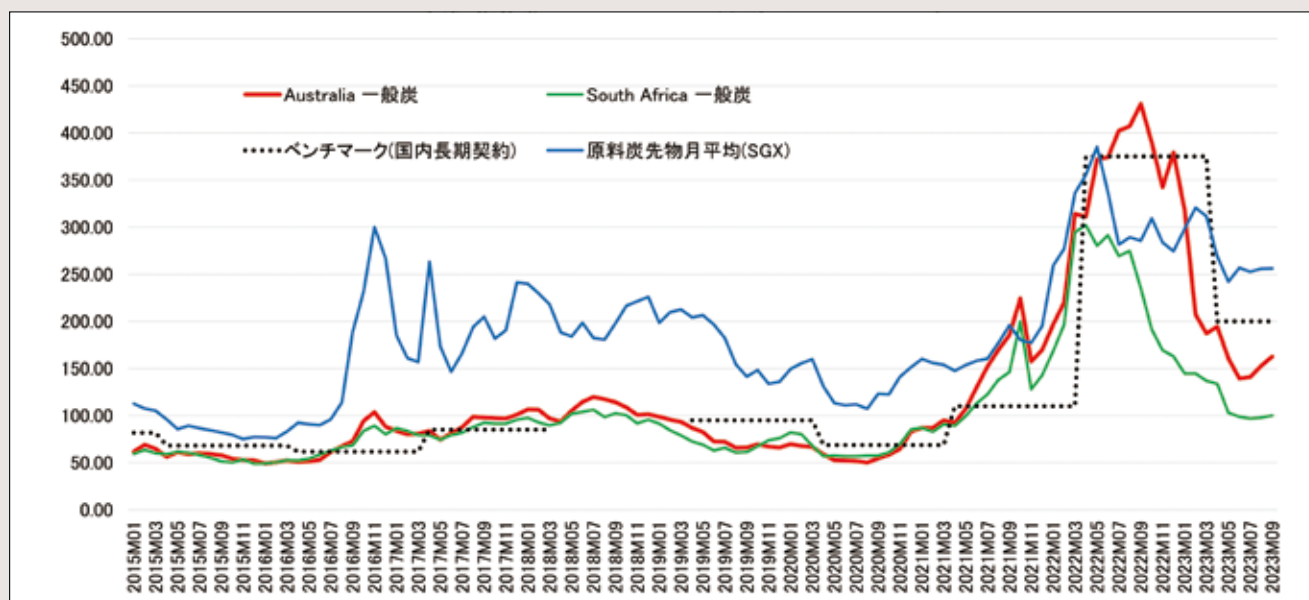
編集後記

平素より弊機構の事業活動へのご支援をいただき厚く御礼申し上げます。

CFジャーナル第2号をお送りいたします。令和5年4月より団体名をカーボンフロンティア機構に変更いたしまして、半年以上が経ちました。最初のころは団体名を名乗る場面でつい「石炭」という単語を発してしまい、慌てて訂正する場面が多かったのですが、もう大丈夫！慣れました。最近では講演会など人の集まる機会が少しずつ増えており、コロナ明けをひしひしと実感いたしております。少しずつ経済が回り出し、外国からの観光客などで街中の活気が戻りつつあるように感じています。けれど、目線を遠方に拡大して地球全体を眺めてみると、紛争などによるエネルギーの供給問題や震災・天災による被害で苦しむ人々が増え続けています。地球で今生きている私たちが何とかしなくては!?と、手の届かぬ遠い国への想いを馳せ、思案に暮れています。さて小職の小さな力で一体何が出来るのでしょうか。日々生命の不安に晒されている子供たちを助けるのは私たち大人の役目。超微力ながら出来ることをしたいです。最後に、来年が皆さまにとって良い年になりますようにお祈り申し上げます。

(岡本)

石炭価格推移 2015～2023/9月 (\$/t) World Bank 他



最寄りの交通機関：虎ノ門ヒルズ駅より徒歩5分、虎ノ門駅より徒歩7分、内幸町駅より徒歩7分、神谷町駅より徒歩8分、御成門駅より徒歩8分、新橋駅より徒歩9分、豊ヶ岡より徒歩9分



CF Journal Vol. 2 (2023年12月1日発行)

発行所：一般財団法人 カーボンフロンティア機構
〒105-0003 東京都港区西新橋3-2-1 Daiwa西新橋ビル3F
Tel: 03-6402-6100 (総務部)
03-6402-6101 (技術連携戦略センター)
03-6402-6106 (カーボンニュートラル推進部)
03-6402-6102 (資源開発部)
03-6402-6103 (技術開発部)
03-6402-6104 (国際事業部)
Fax: 03-6402-6110 E-Mail: jcoal-qa_hp@jcoal.or.jp
URL: <http://www.jcoal.or.jp/>

本冊子についてのお問い合わせは…

一般財団法人 カーボンフロンティア機構 総務部
〒105-0003 東京都港区西新橋3-2-1 Daiwa西新橋ビル3F
Tel: 03-6402-6100 Fax: 03-6402-6110

編集・印刷：株式会社十印

Carbon Frontier Journal

「CF Journal」は、ゼロエミッションに向けた技術革新を目指す（一財）カーボンフロンティア機構が発行する情報誌です。

【禁無断転載】