

シンビオ社会研究会令和 4 年度第 1 回シンビオ講演会報告

森下 和功, 八尾 健, 吉川 暹, 吉川 榮和

令和 3 年度に引き続き「カーボンニュートラルに向けての先端エネルギー科学のパブリックアウトリーチ活動」を主旨として京都大学エネルギー理工学研究所ゼロエミッション研究拠点の令和 4 年度共同研究（課題番号 ZE2022D-03, 研究代表者：吉川榮和）実施の一環として以下の要領で令和 4 年度第 1 回シンビオ講演会を開催し、結果を取りまとめたので報告する。

主 催： NPO 法人シンビオ社会研究会

共 催： 京都大学エネルギー理工学研究所 ゼロエミッション研究拠点

日 時： 令和 4(2022)年 5 月 11 日（水）14:45～17:30 (14:45 会場受付の開始と ZOOM 開設)

会 場： 京都大学宇治キャンパス遠隔会議室（宇治キャンパス総合研究実験棟 HW401 及びオンライン会議）

講演会の運営方法と参加者

今回の講演会も、いまだ継続するコロナ感染事態に鑑み、会場への参加者数を限定して ZOOM によるオンライン参加を主体とする方式の講演会であり、会場参加 18 名、WEB 参加 45 名で合計 63 名の参加があった。以下では、講演会の趣旨・概要と、発表された各講演の講師紹介、PPT、当日講演の要旨及び質疑応答を掲載し、最後に研究代表者の感想を述べて締めくくる。

今回の講演会の趣旨・概要

2050 年までのカーボンニュートラルの達成には、バイオマス、水素、太陽光など、ゼロエミッション・ネガティブエミッション技術に関するイノベーションを新たに創出する必要がある。我が国では、例えば、①バイオマス生産と核融合エネルギーによる CO₂ 固定システムの開発、②水素エネルギー技術を利用したカーボンリサイクルシステムの開発、③宇宙太陽光発電の実証実験などの革新的研究が進められている。今回の講演会では、①、②、③のそれぞれの技術開発について、小西哲之氏（京大名誉教授）、塩路昌弘氏（京大名誉教授）、篠原真毅氏（京大生存圏研究所教授）にそれぞれ 45 分講演していただいた。

各講演の要旨及び質疑応答

★講演 1

15:00～15:45 (講演 40 分 質疑 5 分) 司会：森下 和功 理事

講演題目：「歴史的転換期に入ったエネルギー環境問題」

講師：京都大学名誉教授・小西 哲之 (こにし さとし) 氏

略歴：昭 31 生。昭 54 東京大・工・工業化学卒。昭 56 同大大学院工学系研究科修士課程修了後、日本原子力研究所入所。工学博士(東京大学)。平 15 京都大エネルギー理工学研究所教授。令 3 定年退職。令 4 同大名誉教授、生存圏研究所特任教授。平 31 京都フュージョニアリング(株)設立、取締役となり現在に至る。専門は核融合工学、サステナビリティ学。文科省参与(ITER 計画 TBMSC-PT 日本代表)、奈良県エネルギー諮問委員、プラズマ核融合学会理事等



案内時の講演概要：パリ協定により国際合意となった二酸化炭素削減目標は、2040 年台には人類が許容される CO₂ 排出量、つまり「カーボンバジェット」を使い切ることを示す。人類は化石資源消費型の高度成長とは異なる、新しい物質エネルギーシステムへの転換を歴史上はじめて体験している。本講演ではバイオマス生産と先進エネルギーによる CO₂ 固定システムを提案し、産業革命以来の人類と環境の問題を逆転しようとする試みを紹介し、持続可能な社会のあり方を展望する。

発表 PPT は [こちら](#)

当日講演の要点

小西先生は、「歴史的転換期に入ったエネルギー環境問題」との表題の下に、石油資源の確保から石油の爆発的利用による炭酸ガス削減という環境問題に転換したエネルギー問題解決への新たなエネルギー技術による接近という先生自身のこれまでの活動履歴に沿って、全体として次の 3 つの主題の順に講演された。

1. 世界のエネルギー環境問題の主要関心事は、ここ数年で大きく変貌し、2040 年に世界の二酸化炭素放出の許容余裕量(カーボンバジェット)を使い切るという地球温暖化防止世界的合意(2015 年パリ協定)により、二酸化炭素削減がエネルギー問題の大きな課題となった。すなわちエネルギー問題は、過去のように石油資源の枯渇への対処という供給側の問題でなく、産業革命後石油資源を一挙に大量利用してきた結果として炭酸ガス増大による地球温暖化防止のように利用後の廃棄物の後始末をどうするのか、という環境問題に転換していることについて、多方面にわたる状況についての知見の解説があった。
2. 炭酸ガス削減が主要関心事となり、その対策として炭酸ガス地中貯蔵技術の制約を説明の後、小西先生がこれまで取り組んできた先進エネルギー技術と革新的バイオマス変換技術の組み合わせによる環境問題解決を力説された。ここで、先進エネルギー技術とは在来軽水炉原発から将来の核融合炉までいづれでもよいが、バイオマスを熱分解するための熱源である。このような先進

エネルギーで、バイオマスを炭化することで炭酸ガスを排出せず、それを吸収し、二酸化炭素を恒久的に大気から隔離できることにより、ゼロエミッションからさらにはマイナスエミッションまで可能になるという様々な画期的な化学プロセスのアイデアを提唱された。

3.最後の話題は、1, 2とは若干離れて、最近小西先生が核融合発電炉に関するベンチャービジネスを立ち上げたことの背景について紹介された。我が国の研究開発では、政府系研究所による公的プロジェクトや民間企業の研究所では研究開発投資の失敗が許されない状況であり、どうしても達成目標を保守的に設定しがちである。そこで研究機能に特化した大学での基礎研究の成果という種を実体化させる大学発ベンチャーの立ち上げが、最近我が国政府によって予算化している。小西先生は最近京大の支援の下に核融合発電炉向け主要部品であるブランケットや、核融合炉による高温熱を用いたカーボンフリーな水素製造を設計・開発する我が国初の核融合炉ベンチャーを立ち上げたことの紹介があった。

質疑応答

Q1: バイオマスのお話をすると人は炭酸ガスがあれば樹が育つと言われるが樹を育てるには水もいる、肥料もいる。トータルで考えればそれでうまく循環できるのか疑問である。むしろ微生物の方がよいのでは？

A1: スタートアップ系では微生物でやったこともあったが、ここでは捨ててしまう廃材を集めてきてやっている。これなら安いし世の中のためにもなる。でも本格的に大々的に循環系として実用化となるとご指摘のようなことが問題になる。バイオプラスチックに取り組まれている人も同様な問題に突き当たっている。

Q2: 先生は廃プラスチックについては、何か考えているのですか？

A2: はい、ガス化実験で廃プラスチックはやった。むしろ簡単にポリエチレン、プロチレンはうまく行きました。スチレンはまだやってないし、インフラもやっていません。

Q3: 地球の誕生時は1～2気圧でほとんど炭酸ガスだったが、現在炭酸ガスはほとんどゼロである。植物にとっては炭酸ガスがなければ生育が困難であり、温室栽培では反って加圧して炭酸ガスを増やしている。炭酸ガス放出をゼロにするのは全く意味がないという説があるがどう思うか？

A3: その辺の論点は私の講演では意識的に話を避けている。現在は炭酸ガスを回収することは経済活動として価値があることを私の研究では示したもので、それがこれからのエネルギー産業の一つの行き方だと考えている。地球温暖化で気象の激甚化をもたらし、人命が失われるのは問題だが、それには家を丈夫にする、治山治水をしっかりとすれば済む。

Q4: 講演の後半で大きなプロジェクトをとってこられたという話があったが、どんな核融合装置を作ろうとしているのか？またそれは儲かるのか？

A4:説明が難しいが、核融合が成功する前に、すでに世界中で核融合の装置作りで陣取り合戦が始まっており、核融合が成功したときにはその陣取り合戦はもう終わっているのだ。日本は半導体、太陽光などの研究開発段階では先行していたがそれらが産業化された現在の世界市場ではもう地歩を失っている。そこで私は核融合発電が実用化した時に日本が市場を失わないように、どんな核融合装置であれ、日本でそれを製造できる核融合産業として育成していくためのサプライチェーンを作るベンチャーを立ち上げた。そのようなベンチャーにどこがお金を出すかだが、電気を作りますという電気産業は問題にならない。投資は石油産業やそれをもとにしている投資会社であり、世界の炭酸ガスを減らすということに投資の意味があり、今の投資家には電気を作ることには全然お呼びでないのです。

Q5:先生のお話では核融合閉じ込め装置そのものを作っているようでなさそうだがどういう装置を商売のターゲットにしているのか？

A5:現在の世界には核融合関係でベンチャー企業が30~40社あるが、これらはプラズマ閉じ込め実現ばかりに注力し、核融合が成功したら生じるトリチウムの処理や照射損傷した装置の取り換えには取り組んでいない。わが社は核融合プラズマ閉じ込めにどこが成功するにせよ、プラズマが燃えたらそのあとどうするのか、核融合装置で必須な周辺装置の生産を商売にしている。こういう形で核融合レースの馬券を買っている。ちなみにこういうやり方をリーバイ戦略という。カリフォルニアの金鉱探しでだれが成功したかその名は残らない。だが金鉱探しの連中がみんなはいていたジーパンを作ったメーカーの名前は残っている。

★講演2

15:50~16:35 (講演40分 質疑5分) 司会:八尾 健 顧問

講演題目「脱炭素社会における水素エネルギーの役割」

講師:京都大学名誉教授・塩路 昌宏 (しおじ まさひろ) 氏

略歴:昭27生。昭50 京都大・工・機械卒。昭55 同大学院工学研究科博士後期課程単位取得認定退学後、同大工学部助手・助教授等をへて、平8 同大学院エネルギー科学研究科教授、平29 定年退職・名誉教授となり現在に至る。専門は燃焼工学、内燃機関、動力システム、熱流体工学。現在 環境省・国土交通省・経済産業省・京都市における審議会委員、NEDO 技術評価委員、JST・JAXA 研究評価委員、同志社大客員教授、等を務める。



案内時の講演概要:パリ協定後のエネルギー脱炭素化の潮流および気候中立を目指す各国の脱炭素戦略を概観するとともに、それらの動向を見据えたカーボンリサイクルに基づく将来のエネルギーシステム、およびその成立の鍵となる水素エネルギーの役割について論じる。さらに、国内外の水素戦略・普及シナリオや水素社会構築のための取り組みについて、NEDO 事業を中心に具体的に紹介し、利用拡大に向けた可能性と課題を示す。

発表PPTは [こちら](#)

当日講演の要点

1.2015 年 12 月に COP21 においてパリ協定が採択されて以降、脱炭素の流れが明確になった。日本では、2018 年の第 5 次エネルギー基本計画、2020 年の革新的環境イノベーション戦略公表、グリーンイノベーション戦略推進会議発足、2050 年カーボンニュートラル宣言等を経て、水素に大きく舵が切られてきた。2021 年には、第 6 次エネルギー基本計画が閣議決定された。

2.第 6 次エネルギー基本計画では、1 次エネルギー供給並びに電源構成の中に、水素・アンモニアが書き入れられた。また、化石エネルギーの使用の合理化から、すべてのエネルギーの使用の合理化へ、方向が変更された。さらに、CO₂を資源として捉え、これを分離・回収し、鉱物化や人工光合成、メタネーションによる素材や燃料への利用等とともに、大気中への CO₂排出を抑制する、カーボンリサイクル(CCUS)が重要視されるようになった。

3.水素は、カーボンリサイクルを機能させる基本物質となる。水素製造、水素輸送、並びに水素利活用における種々の技術開発が進められている。NEDO において、水素サプライチェーン構築事業をなされている。種々のプロジェクトが実施されている。水素は、エネルギー貯蔵においても、大きなポテンシャルを有しており、福島県や山梨県で実証試験がなされている。

塩路氏は、国際的なエネルギー脱炭素化の潮流から説き起こし、脱炭素社会における水素の重要な役割を説明しながら、水素の具体的な技術開発について、幅広く解説された。本講演により、水素社会構築に向けた、わが国の大きな方針を理解することができた。

質疑応答

Q1：水素は何から作るのがよいのか一番有望なところを教えてください。

A1：安価な水素をどうやって手に入れるかという所が根本にある。一方、水素の使い道は、本当に、たくさんある。この講演で紹介したそれぞれに水素の使い道がある。現在ある産業に、新たに水素を使うことにより、脱炭素を図る。

Q2：ローカル水素のエネルギー貯蔵への利用というのは、いかがでしょうか。

A2：すごく大事なことだと思っているし、もちろんポテンシャルも大きい。現時点では、福島の 10MW の太陽光発電から水素を取り出すプロジェクトを始める。しかし、もう少ししたら 1GW のプロジェクトが世界で出来てくる。だから、日本は遅れているような気がする。ただ、もっとやらないといけないことがあり、例えば、電力供給網ができると、ものすごく可能性出てくる。水電解の効率も上がってきている。大規模な水電解ができるようになっている。日本は、遅れていたけれども、今は、挽回しつつある。

Q3：基本的に水素は爆発しやすい。安全性上の取り扱いは確立されているかどうか。

A3：もちろん危険はあるが、取り扱いを間違わなければ、安全性は問題ない。危険性から言えば、ガソリンも危険といえるし、アンモニアはさらに危険である。守るべきところを守れば、大丈夫である。

★講演 3

16:40～17:25 (講演 40 分 質疑 5 分) 司会：吉川 暹 顧問

講演題目「宇宙太陽光発電 SPS の日本と世界の研究開発現状」

講師：京都大学生存圏研究所・教授 篠原 真毅（しのはら なおき）氏

略歴：昭 43 生。平 3 京都大・工・電子卒。平 8 同大大学院工学研究科博士課程修了後、同大超高層電波研究センター助手等をへて、平 22 同研究所教授となり現在に至る。専門は無線電力伝送、宇宙太陽発電所、マイクロ波プロセッシング。現在 IEEE MTTTS AdCom Member Union of Radio Science International (URSI) Commission D Chair, ワイヤレス電力伝送実用化コンソーシアム代表等を務める。



案内時の講演概要：宇宙太陽光発電 SPS は長年に渡り世界中で研究開発が行われてきたが、いまだ実現への道筋が明確にはなっていない。しかし、近年日本では宇宙開発の基本政策である宇宙基本計画に衛星実証実験の実施が明記され、米国では 1 億ドルともいわれる予算で空軍研究所が衛星実証に着手し、中国では重慶と西安で大きな SPS プロジェクトが進行しており、世界中でその実現に向けた動きが加速している。本講演では現在の世界の SPS 研究開発プロジェクトの現状について紹介する。

発表 PPT は [こちら](#)

当日講演の要点

宇宙太陽光発電 SPS は米グレーザー博士の提案で 60 年代後半にアメリカでスタートしたプロジェクトである。我が国では 80 年代初頭から、京大松本紘先生を中心にスタートしたが、現在わが国ではそのお弟子さんである講演者の篠原先生を中心に研究が進められている。

SPS は最も二酸化炭素排出量の少ない太陽光発電として高い可能性をもつ取り組みではあるが、省庁間の壁もありわが国では SPS は「エネルギー基本計画」には入っておらず、内閣府宇宙政策あるいは、文科省の宇宙航空研究開発機構に関する事業が中心となっている。

その意味では次世代エネルギー技術の中での位置づけは十分には確定していないが、カーボンニュートラル社会実現に向けた有力な再生可能エネルギーのターゲットとして今後の取り組みが期待されている。

この分野での宇宙先進国は米中で有り先行しているが、そのコア技術となるロケット、衛星、SPS のうち、最後の SPS ではまだ日本に強みが有り、今ならまだ手遅れにならない強みがある。

これまで開発を行ってきた比較優位技術としてはフェーズアレイアンテナ技術、宇宙発電デザイン、ロケット技術で、我が国の独自技術が進んでおり、つい最近宇宙実験が決まった。しかし、実用化技術ではワイヤレス給電が先行しており、その法制化が総務省により進められており、5 月中に、省令改正の告知が官報に出る運びである。

演者らの進めてきた、ワイドビームタイプ WPT についても、42 社がコンソを作り、京大発のワイヤレスベンチャー企業「スペースパワーテクノロジーズ」を立ち上げてみている。

SPS 先進国中国では、西安、重慶、精都に研究開発拠点が有り、年間 100 億円規模の投資が進められており、重慶の SPS 基地は 22 年 6 月にも完成する運びとなっている。中国発のスマホ会社のシャオミがワイヤレス充電を標準とするスマホの発売を開始する予定となっている。このような状況で、我が国 SPS は開発スピードにおいて危機的状況にあると言える。

質疑応答

Q1 の①:どのようなマイクロ波を使うのか？

A1 の①:産業利用可能な周波数帯としては、2.8GHz と 5.8GHz があるが、効率等の理由で、後者を使っている。

Q1 の②:健康被害は？

A1 の②:地上で一番強度の強いビーム中心であってもマイクロ波強度は太陽光よりは低く、短時間であれば生物に照射されても問題はない。受電サイトの外は電波の安全基準以下の強度であるので、健康に害は無いと考えている。

Q1 の③:環境被害は？

A1 の③: 現在、ワイヤレス給電のビジネスを既存通信網に影響なく実現し始めるために、3 年以上にわたり評価検討を行ってきた。その結果、日本では世界初の電波干渉がないようなビジネス用ワイヤレス給電システムが近く承認される。これ経験をスタートとして、SPS でも同様の検討を今後積み重ね、既存通信網に影響がないようなシステムの実現を目指したい。

Q2:スライド 27 で WPT による月面での将来の持続可能生存圏は地球上とどう違うのか？

A2:宇宙発電は最終的には地上へのワイヤレス給電を考えているが、その途中で、先に述べたビジネスや、月面でのワイヤレス給電応用も可能だと考えている。様々なスピノフ技術を積み重ねつつ、宇宙発電の実現を目指したい。また宇宙発電の先には、持続可能な生存圏を実現するために、宇宙移民等も夢に描いているため、月面での人類の活動のサポートもぜひ行いたい。

結 語

最後に今回の 3 つの講演を振り返り、カーボンニュートラルに向けての先端エネルギー科学のブリックアウトリーチ活動への示唆について、課題番号 ZE2022D-03 の研究代表者吉川榮和氏の感想を以下に記して、本報告を締めくくる。

我が国では 2050 年までのカーボンニュートラル (CN50) の達成を、エネルギー基本計画策定に結び付けて現実的な努力目標として、国全体としての達成すべき省エネ目標と、CN50 達成のために化石資源由来のエネルギー供給をどのように削減し、地球温暖化ガスを放出しない再生可能エネルギーと原子力エネルギーをどのように調整するのか、エ

エネルギー基本計画の個々の数字をどのように設定するべきかに社会の関心と議論が集中している。

今回の講演会ではそのような政府審議会での有識者的な議論とは離れて、先端エネルギー技術の研究領域で取り組まれている、バイオマス、水素、太陽光など、ゼロエミッションさらにはネガティブエミッション技術に関するイノベーションを新たに創出する研究に焦点を当てて、①バイオマス生産と核融合エネルギーによる CO₂ 固定システムの開発、②水素エネルギー技術を利用したカーボンリサイクルシステムの開発、③宇宙太陽光発電の実証実験などの革新的研究を取り上げて、それぞれの一線の研究者にその状況を講演いただいた。

本課題番号 ZE2022D-03 の研究代表者の視点としては、世界全体や我が国の CN50 達成にそれぞれの取り組みがどの程度役立つのかといったピアレビュー的な見方を離れて、それぞれの講師の先生方の発表ぶりとその内容から、それぞれの研究の意義や関連技術開発で新たな知見の発見、知識の創出がされている現場の状況を理解し、ひいては次代を担う後進の育成につながるアウトリーチ活動をどのように進めるのかという点で大変参考になった。多忙な時間を割いて講演をしていただいた先生方に感謝し、今後のご研究の発展に期待している。

講演 1 小西先生の講演風景



講演 2 塩路先生の講演風景



講演3 篠原先生の ZOOM 講演画面



講演会場風景

