

研究評価委員会
「二酸化炭素原料化基幹化学品製造プロセス技術開発事業」(事後評価) 分科会
議事録及び書面による質疑応答

日 時 : 2022年11月10日(木) 10:00~17:45

場 所 : NEDO川崎本部 2101~2103 会議室 (オンラインあり)

出席者(敬称略、順不同)

<分科会委員>

分科会長	田中 庸裕	京都大学 大学院工学研究科 分子工学専攻 教授
分科会長代理	石谷 治	東京工業大学 理学院 化学系/広島大学 先進理工系科学研究科 教授/特任教授(兼任)
委員	竹ヶ原 啓介	株式会社日本政策投資銀行 設備投資研究所 エグゼクティブフェロー/副所長
委員	増田 隆夫	北海道大学 理事・副学長
委員	吉田 朋子	大阪公立大学 人工光合成研究センター 教授
委員	四橋 聡史	パナソニックホールディングス株式会社 テクノロジー本部 マテリアル応用技術センター シニアリサーチャー

<推進部署>

林 成和	NEDO 材料・ナノテクノロジー部 部長
日高 博和	NEDO 材料・ナノテクノロジー部 統括主幹
尾畑 英格	NEDO 材料・ナノテクノロジー部 主任研究員
坂下 幸雄	NEDO 材料・ナノテクノロジー部 主査
伊藤 智行	NEDO 材料・ナノテクノロジー部 主査
山田 浩	NEDO 材料・ナノテクノロジー部 主査
田中 隆嗣	NEDO 材料・ナノテクノロジー部 主査
結城 究	NEDO 材料・ナノテクノロジー部 主査
西原 俊一	NEDO 材料・ナノテクノロジー部 専門調査員
関口 貴子	NEDO 材料・ナノテクノロジー部 主査
三井 隆道	NEDO 材料・ナノテクノロジー部 主査
奥 智行	NEDO 材料・ナノテクノロジー部 主査

<実施者>

瀬戸山 亨(PL)	三菱ケミカル株式会社 エグゼクティブフェロー
堂免 一成	東京大学/信州大学 特別教授/特別特任教授
武脇 隆彦	三菱ケミカル株式会社 フェロー
辰巳 敬	東京工業大学 名誉教授
堤内 出	三菱ケミカル株式会社 グループマネージャー
濱田 秀昭	人工光合成化学プロセス技術研究組合 (ARPCHEM) 理事長
佐藤 裕之	人工光合成化学プロセス技術研究組合 (ARPCHEM) 専務理事
西見 大成	人工光合成化学プロセス技術研究組合 (ARPCHEM) 研究知財部長

伊藤 一馬 人工光合成化学プロセス技術研究組合 (ARPCHEM) 管理部長

<オブザーバー>

直井 秀介 経済産業省 製造産業局 素材産業課 課長補佐
團野 克也 経済産業省 製造産業局 素材産業課 課長補佐
藤井 達也 経済産業省 製造産業局 素材産業課 研究開発専門職
金地 隆志 経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 技術評価調整官
村中 祥子 経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 課長補佐
亀山 孝広 経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 課長補佐
浅野 常一 経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 技術評価係長
小林 義昭 経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 評価企画係長
渡辺 智 経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 技術評価専門職員
宝関 義隆 経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 技術評価専門職員

中村勉 NEDO 技術戦略研究センター ユニット長
寒川泰紀 NEDO 技術戦略研究センター 研究員
坂本友樹 NEDO 技術戦略研究センター 職員

<評価事務局>

森嶋 誠治 NEDO 評価部 部長
木村 秀樹 NEDO 評価部 専門調査員
中島 史夫 NEDO 評価部 専門調査員

議事次第

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明
 - 5.1 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント
PJ 紹介動画の上映
 - 5.2 研究開発成果、成果の実用化に向けた取組及び見通し
 - 5.3 質疑応答

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明
 - 6.1 ソーラ水素等製造プロセス技術開発
 - ① 光触媒や助触媒等の研究開発
 - ② 水素分離膜等の研究開発
 - 6.2 二酸化炭素資源化製造プロセス技術開発
 - 6.3 成果の実用化に向けた取組及び見通し
7. 全体を通しての質疑

(公開セッション)

8. まとめ・講評
9. 今後の予定
10. 閉会

議事内容

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
 - ・開会宣言 (評価事務局)
 - ・配布資料確認 (評価事務局)
2. 分科会の設置について
 - ・研究評価委員会分科会の設置について、資料1に基づき事務局より説明。
 - ・出席者の紹介 (評価事務局、推進部署)
3. 分科会の公開について

評価事務局より行われた事前説明及び質問票のとおりとし、議事録に関する公開・非公開部分について説明を行った。
4. 評価の実施方法について

評価の手順を評価事務局より行われた事前説明のとおりとした。

5. プロジェクトの概要説明

5.1 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント

PJ 紹介動画の上映

推進部署より資料5に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

5.2 研究開発成果、成果の実用化に向けた取組及び見通し

引き続き実施者より資料5に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

5.3 質疑応答

【田中分科会長】 ご説明いただきありがとうございます。これから質疑応答に入りますが、技術の詳細については議題6で取り扱うため、ここでは、主に事業の位置づけ、必要性、マネジメントについての議論を行います。

それでは、事前にやり取りをした質疑応答も踏まえまして、何かご意見、ご質問等はございますか。吉田様、お願いします。

【吉田委員】 大阪公立大学の吉田です。詳しいご説明をありがとうございました。概要説明の中にあつたように、今後の後継プロジェクトでは、更に多くの企業を巻き込んだプロジェクトが発達していくと思うのですが、その中では、このプロジェクトにおいてどのようなリーダーシップを取っていかれるのか。特徴を出していかれる上では、今後どのようなことを考えられているか。その方向性としてのご見解を伺えればと思います。

【三菱ケミカル_瀬戸山PL】 お答えいたします。まず、次のGI基金のステージゲートが2024年頃になりますが、その段階で光触媒の活性を太陽光変換効率4%から5%ぐらいに達成するのが一つの大きな目標になります。先ほど経済性の話をしましたが、安い水素を明らかにしてくれるベースができたということです。現在は「鶏が先か、卵が先か」という状況ではあり、実際に光触媒プロセスをスケールアップをするのは非常に大変だと考えられてきましたが4%、5%の変換効率の光触媒シートが実現できれば、安価な製造コストでのグリーン水素製造が可能になるという大きな可能性が見えたということであり、企業の皆様の目が違ってくると思っています。これが一番のポイントだと考えます。

また、カーボンニュートラルのロードマップにおいて2050年にニュートラルということですから、その前の段階においてはまだニュートラルまでは行き着いていないものの、その間でいろいろな技術・製品をベースにCO₂排出量を下げていかななくてはなりません。これは、昨日別なところで講演で話したことでもあります。例えばブルー水素の場合、今CO₂排出量はグレー水素の大体3分の1くらいになります。1kgの水素をつくったときにCO₂を天然ガスから製造すると大体9kgのCO₂が発生し、CCSを使うと大体3kgのCO₂排出量となるということで、相当大きな削減ができる。あるいは、バイオマスをベースにしたケミカルをつくる等々もできます。ですので、それに見合う技術となったときには、後ろのほうのメタノール合成やオレフィン合成がそこにはまりますし、全体でのCO₂排出削減にもつながります。そういったベースができたということですので、化石資源を利用するといった省エネ技術を限りなく駆使しながら、カーボンポジティブの分量を減らしつつ、それが2030年以降にだんだん削減規模が大きくなり最後のとどめとしてカーボンネガティブの人工光合成、グリーン水素によりニュートラルを目指す。このように、2050年までの時間軸に対して導入できる技術をなるべく早い段階で導入していく方針の下、それに見合うようなGI基金プロジェクトの構成になっている次第です。

【吉田委員】 ご説明ありがとうございました。

【田中分科会長】 それでは、石谷委員お願いします。

【石谷分科会長代理】 東工大の石谷です。まず少し私の感想を述べさせていただきます。私自身、石油シ

ヨックのときからずっと光触媒の研究を見てまいりました。ほぼ同時期にアメリカや韓国にライバルがいたのですが、そちらがあまりうまくいかないのにもかかわらず、産官学が共同をして日本はこれほどすばらしい成果をどんどん上げてこられたということで、すばらしいというのが正直な思いです。

その上で、例えば、まだ光触媒に関しては基礎研究が相当必要だということで、これが次の段階に進むところでは組織化をどのように考えてやられていくのか。説明の中では、あまりどういう連携が取られていたかを詳しくは伺えなかったので、基礎技術から実用化までどのようにやられたからうまくいったのかといった部分も含めまして、教えていただきたく思います。

【三菱ケミカル_瀬戸山 PL】 お答えいたします。まず、どうしてうまく進行できたかという点ですが、こういったことを NEDO を前にして言うのは失礼に当たってしまうかもしれませんが、2年や3年という短期目標でゴールに向かって真つすぐ進むというものでなく、10年プロジェクトであったということがすごく大きいのではないかと思います。例えば、先ほどの光電極型について言えば、「これは使えないな」と思ったため、基盤技術としては相応のモノができたものの、これは最終開発目標にはしないということを説明し、それを納得いただいた上で光触媒シートのほうに注力していきました。そういうことが10年プロジェクトの中では行えましたし、軸をぶらさずに多少新しい方向性を見つけていくということを実際にできたことが大きかったのではないかと考えます。また、光触媒については堂免先生のリーダーシップに尽きるとも言えるでしょうか。東大の集中研と信州大のほうで、コロナ禍においても人が少ないほうに移動して、しばらく隔離期間をおいて実験をできるようにするであるとか、外国の研究者を上手に使うであるとか、そういったことをやっていくことに加え、ネットワークつまり web.meeting を非常に利用しておりました。これを短期間で使えるようにしたという点も大きかったと思います。

また、これから実際の工業化に向けてはどのようになっていくかというところで、GI 基金に関して言えば、10社が光触媒の開発に関わろうとしています。4月以降、月報を出していただいているのですが、やっと少し形になってきたでしょうかという段階です。これからシナジーがいっぱい出てくるのではないかと考えています。また、その中身として、幾つかの会社は特に光触媒をシート化していく技術のところにごく特徴を持っておりますし、あるいは工業技術として二次電池の正極材料のスケールアップをやってきた会社であるとか、貴金属の扱いになれている会社であるとか、分離膜について長い実績があり実際に商品も持っているような会社等々が入っていますので、その中でどのようにやるかというのは徐々に詰めていけるのではないかと考えている次第です。

また、これは国内だけでやる話ではないとも思っています。それというのは、例えばオレフィンなし水素を最も安くつくろうと思えば、やはり赤道直下がよいわけですね。ですので、そういうところと交渉しながらやっていくことも一応スコープの中に入れてながら進めています。そして、これは堂免先生のほうで特に進められているのですが、今回のプロジェクトは、ベースは化学産業になっていますが、光触媒、グリーン水素に関して言うとエネルギーの視点が強くなっていきますから、そういう視点も含めて、エネルギーについてはどう扱うかということについてももう少し枠を広げていくことも考慮すべきかと思っています。化学産業という付加価値が一番出しやすいところで答えを出していき、さらに技術発展としてエネルギーのほうに入っていけるような戦略をつくり、次のプロジェクトの将来像として考え始めているところです。

【石谷分科会長代理】 今の、最後のところで触れられていたエネルギーと化学とでは本質的には何が違うのでしょうか。

【三菱ケミカル_瀬戸山 PL】 スケールの問題になります。やはりエネルギー産業は、はるかに大きいですから。先ほど少しだけ紹介をしましたが、世の中で今エネルギーとして着目されているのはアンモニアですが、今回の我々の人工光合成のスコープとしてアンモニアはありませんでした。しかし、この技術

も反応分離の概念や触媒性能を向上させていくことで、グリーン水素と空気からアンモニアをつくるというように大きな展開がえられるようになっていきます。そういう一桁大きいグリーン水素の消費を見込むのであればエネルギーのほうにやっていって世界全体で貢献することもできると考えます。また、これは堂免先生が使われる例で、「世界全体のエネルギーを全てグリーン水素、太陽光で賄う場合にはサハラ砂漠の面積の3%、30万km²あれば十分だ」という話をされるのですが、この量というのは、化学産業にとっては「too much」になります。しかしエネルギーとして見たときにはその程度の面積が必要になってくるので、それに拡張できる技術をつくっていくという意味で言うと、エネルギーということのスコープに入れてCO₂の世界全体での削減の寄与につながるのではないかと考えています。

【石谷分科会長代理】 ありがとうございます。

【田中分科会長】 要するに、火力は当然として、再生エネルギーを要するので電気をつくるといったところでの水素・電気というものが全く同じにも思えるところに対して、そこに全く違う方向から風穴を開けられたというところで、私としては非常に心強いような気がいたしました。

それでは、竹ヶ原委員お願いします。

【竹ヶ原委員】 ご説明どうもありがとうございました。マネジメントの観点について伺います。今回、本当に未曾有の開発をされていながらも、コスト意識、実用化の意識を非常に強く持っておられるという印象です。先ほどの説明にあったタンデム2段型で10%まで到達できたところを、コスト的にこれは持たないということでシート型に転換されたというところの判断であるとか、こういった方向転換というのはチームの中でどのようにご判断されて、そこに至ることができたのでしょうか。

【三菱ケミカル_瀬戸山PL】 これは、堂免先生から答えてもらったほうがいいかもしれませんが、私からも少しお答えいたします。まず堂免先生の中では、本来は光触媒電極はあまりなかったというのが一番正しいかと思います。研究当初に関して言うと、そもそも光触媒の性能を出せるような材料があまりなかったのですが、そのときに、10%を出すにはどのような光触媒材料が必要かということで、GaN-ZnOというガリウムナイトライドの固溶体というものが一つあったところに加え、プロジェクト当初、タンタルオキシナイトライド、タンタルの酸化化合物と、タンタルナイトライドという材料を堂免先生の周辺で開発をされて、これは可視光で使える触媒になりそうだとということがベースにありました。ですので、それをベースにいろいろと進めていき、既存の太陽電池の材料と組み合わせれば一応10%を達成できるのではないかと。当時は、まだこれがどれだけコストがかかるかが分からなかったので、いろいろとやって作り込んで、曲がりなりにも作ってみると、やはり「なんじゃこりゃ」となったわけです。光触媒電極でのサファイアシートだけで数万円をしますし、それにスパッタの技術で全部積層していく。ここはドライプロセスです。そして、その上に助触媒を担持することは完全にウェットプロセスに、溶液系のプロセスになりますから、こんなに工程数の多いプロセスで安いものをつくることはできないと。普通に考えると、これで突っ走るの駄目ですよということなので納得に至ったと思います。

もし、堂免先生からも何かご意見があればお願いいたします。

【東京大学/信州大学_堂免】 今、瀬戸山様がお話しされたことと大体同じですが、もともと光電気化学的な水分解というのは日本のお家芸といえますか、本多・藤嶋効果を使うということだったのですが、どうしても大面積化が難しい。それと比べますと、例えば太陽電池を使って、電気分解というシステムは、これはもう両方の技術が実用化されていますので大面積化をできる。光電気化学的な水分解に関しては、例えばアメリカなどで「JCAP」というプロジェクトが我々のプロジェクトよりも2年ぐらい先に始まっていたのですが、彼らは太陽電池電気分解よりも安くできると言っていたところが、実際にいろいろなことを検討してみると、それがなかなか難しいということで頓挫しています。それから

ヨーロッパにおいても似たようなことをずっと続けているのですが、目いっぱいつくって今 50 cm 角程度の大きさのものがやっとなんて出来ていて、でも効率はそれほど上がっていないというぐらいの状況です。我々のほうも、最初から何となくそんな予感があったのですが、取りあえず 10% という約束がありましたので、そこは一応クリアすべきだろうということで、光電気化学的な水分解の検討も行いました。ですが、本当に安くつくるのであれば、粉末系を使うのがよいだろうというのは最初からある程度の予測を持っていたというところです。

【竹ヶ原委員】 ありがとうございます。先ほど 10 年だからといったお話しがりましたが、むしろ時間の制約がなく、ステージゲートもあまりうるさくなければ、どんどんそこを突き詰めたいくなるような気もするのですが、そこできちんと方向転換をされている。かつ、先ほどの膜を使うことによる省エネのポテンシャルであるとか、いろいろなそういった要素をきちんと、純粋な技術開発ではなく、実装化を最初からしっかりとらんだ技術マネジメントとして組み込まれていることが非常に印象的です。どうもありがとうございました。

【三菱ケミカル_瀬戸山 PL】 ちょっと加えて申しますと、これは NEDO の事業だからよいと言えるかとも思います。私は JST のプロジェクトも経験があるのですが、向こうは、やはりサイエンスを追求していくので、あまり経済性がどうかといったことには主体を置かない傾向が強いです。最近結構、社会実装をうるさく言うようになったかとも思うところですが、こちらは「最後に実用化をしてくれ」といったことを言われるため、それをやる上では金勘定をやらないと何も言えません。ですので、そこは徹底してやったつもりです。またもう一つは、そういうお金が幾らかかるかということになるべく多くの機会を外に発信するようにしており、そういうことでも皆の理解を得やすくなったように思います。

【田中分科会長】 どうもありがとうございました。それでは、増田委員お願いします。

【増田委員】 北海道大学の増田です。ご説明ありがとうございました。今日のお話を聞きまして、ここまで来たのかと感動をしております。どうもお疲れさまです。やはり、いろいろなプロジェクトがあると、太陽光を使う場所をどこにするのかという部分であるとか、また、前は東京湾のところできいろいろとやられるという形での構想を取られていたかと思います。一番展開しやすいのは地産地消の形でやるのがシンプルといったところでしょうか。そうしたときに、今回開発された中で、例えば光触媒のところだけを切り出してやることもできると以前お聞きしていたように記憶しています。また、土地のことを考えると、先ほど砂漠など言われていましたが、例えば日本国内でやる場合には、地方で設置して光触媒の部分を活用する。そうしたときに、地産地消で消費するという意味では、生成した水素や低圧の水素をアンモニアに持っていくというのは合理的かと思うものの、例えば、つくられた水素を地産地消という観点からはどのような可能性がほかにもあるのだろうかというところで、一つご見解を伺えればと思います。

あと、60%の酸素というのが併産されますので、それを何かうまく商品として使えないものか。例えば地方では陸上養殖とかいろいろな養殖関係がどんどん出てきてますので。エアレーションをして、酸素を水の中にどんどん供給する。それに、例えば 21%の空気を 25%や 30%にするだけで一気に効率がどんと上がるということもあります。そうした意味で、60%の酸素に関しても何か別の活用方法はないのかというのが気になったところです。そのあたりについても、お考えを伺えましたら幸いです。

【三菱ケミカル_瀬戸山 PL】 お答えいたします。まず水素の地産地消という部分では、一つは国内であり得るのは水素ステーションでしょうか。大体 10% 出た場合に 2ha の面積があれば、経産省のつくろうとしている水素ステーションの 1 ステーション当たりの製造能力の大体 3 割から 5 割をつくることができます。現在、岩谷産業様などがグレー水素、ブルー水素で水素をやろうとしています。それに対して実際にその 3 分の 1 ぐらいはそういうものからできると。また、都市部の場合は各種の法的規制律がありますから、それを都市のビル壁、屋上等を使って光触媒で水素をつくるかどうかというところ少し

疑問があるのですが、地方に行けばそれぐらいの土地は幾らでもありますので、そういうところをベースに水素をつくるというのは考えられると思います。

もう一つは、水素の場合には、100% CO₂と反応をさせなくともよくて、例えばバイオマス系の材料、バイオマスからつくった水素からオレフィンをつくる。オレフィンを水添すると、これはLPGになってしまう、プロパンになると。エチレン、プロピレン、ブテンをつくれれば、水素ガスを入れれば、それはイコールLPGになります。この場合、使う量は例えばプロピレンは分子量が42で、水素は2ですから42,000tのブテンに対して2,000tの水素があれば、見かけカーボンニュートラルに近いようなLPGが作られるわけです。そのように部分的に利用するというやり方もできるはずですが、これが水素の利用として国内で考えられる有力なアイデアだと思います。

また、酸素については、増田先生から指摘ありましたように、これは酸素の濃度が上がると途端に燃焼効率が上がります。現在で言えば、特に火力発電を日本はやっていかなければいけないということで、これを天然ガスでやろうとしています。純酸素でこれをやると効率が相当上がるのです。今は空気で焚いてコンバインドサイクルを回そうとしています。あれを完全に純酸素で火力発電をやっていくと効率が全然違っていきます。なので、こういったところにも適用ができる。あるいは、都市ガスの中に酸素の濃度を空気の20%から28%に上げていくと、これも3割ぐらい省エネになるはずですので、このような部分的な展開もできると考えます。また、現地においては、大量の酸素を取って化学プラントに応用するといったこともできますし、いろいろな使い道があるでしょうか。ただし、このプロジェクトで酸素とあまり言わなかったのは実際にプラントを建設するときに酸素の分離工程まで絵にしてみると結構そこもまた負担になってしまうと。ですので、しばらくは水素だけを取って酸素のことはちょっと置いておいて安くプラントを仕上げようといったベースで進んでいるところでした。

【増田委員】 今の構想を伺いまして安心いたしました。どうもありがとうございました。

【田中分科会長】 それでは、四橋委員お願いします。

【四橋委員】 パナソニックの四橋です。よろしくお願いします。私もこの10年におけるプロジェクトを拝聴し、非常にインパクトのある大きな成果を上げられていることに関心いたしました。その肝となる光触媒を東大の集中研を中心にした堂免先生のリーダーシップの下での開発であったという理解です。お聞きしたい点としては、この10年間、つまり10年が経って見たときに、その研究開発のプロセスであるとか、どういう部分が新しくなったとか、あるいは今後GI基金を含めて研究開発が進んでいくと思うのですが、その新しくなった部分がどのように今後の展開につながりそうかなど、そのあたりでのご見解を伺えたらと思います。

【三菱ケミカル_瀬戸山PL】 これは堂免先生から答えてもらったほうがよいとも思うのですが、私からも少しお答えいたします。この10年で、最初は窒化ガリウムとの固溶体しか触媒がなかったのが、一部の窒化物や酸窒化物で結構水分解ができそうだとということが分かってきたのですが、そのあたりの材料というのは、半反応しかできなかつたのです。犠牲試薬を使って酸素を出すこと、水素を出すことについてはできたものの、水を用いた全反応は進行しなかつたところがありました。その材料が3種類、4種類ぐらいに絞られてきて、これであれば全分解ができる可能性がある、2段型触媒を使える可能性が見えてきたというのが現在の話だと思っています。ですので、最終候補になるようなものが数種類に絞られてきたので、この中から間違いなく次の答えが出るだろうというのが次のGI基金の前半4年間ぐらいでやっていく仕事になるのではないかと。それが全体の大きな流れかと思いますが、堂免先生から何か追加でコメントはあるでしょうか。

【東京大学/信州大学_堂免】 まず、東京大学のほうに集中研をつくったというところですが、それというのは東京大学のグループと5社の企業が入っております。我々のプロジェクトが始まる前、大学に集中研をつくったのでは各企業様は各企業様で研究をやってしまってお互い同士が壁をつくる傾向があ

ると思い、今回は月に1回全体会議を行いながら、どういう研究開発をしているのかをお互い同士が分かるような形でやりました。そうすることで、大学と企業だけでなく、企業同士の間の横のつながりにおいてもスムーズに進んでいったと思いますし、非常に大事なポイントでありました。また、先ほど瀬戸山様から少し説明があったように外国人のポスドクの方がかなり入っています。しかし、これは経産省かつNEDOのプロジェクトですから、知財については非常に大事です。そのため、個々の光触媒開発は信州大学のほうに途中から移しまして、トータルシステムの開発を東京大学のほうで行うということとし、東京大学においてはほぼ日本人だけにするという形の組織に変えておりました。私からは以上です。

【四橋委員】 ありがとうございます。

【田中分科会長】 どうもありがとうございました。まだほかにもご意見、ご質問等はあるかと思いますが、予定の時間になりましたので、以上で議題5を終了といたします。

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明

省略

7. 全体を通しての質疑

省略

(公開セッション)

8. まとめ・講評

【田中分科会長】 ここから議題8に移ります。これから講評を行いますが、その発言順序につきましては、最初に四橋委員から始まりまして、最後に私ということで進めてまいります。

それでは、四橋委員よろしくお願ひします。

【四橋委員】 パナソニックの四橋です。本日はどうもありがとうございました。ご発表を聞かさせていただきましたが、10年前にはもちろん本日の成果は何もなかったわけで、それを考えると、10年間という大変壮大なプログラムであったと思いますし、10年後の成果というのがここまで形になって見えるものなのかと非常にインパクトを持って伺った次第です。特に、光触媒シートの大面積化、今日の前にございますが、こういったものをつくられることによって、日本の様々な大学でなされている光触媒の研究がこういったプラットフォームに乗っていく。そういう道をつくられたという意味でも大変意義深いプロジェクトであったと思います。一方、企業の目線としては、率直に申せば環境というものをビジネスにするのは非常に難しい。そこに対する投資は大変難しく、何をやるにしても大規模なお金が必要になります。そういったところで、なかなか難しい側面を感じるというところでしょうか。今後もまだ実用化に向けて進まれるということで、その道のりは平たんではないかもしれませんが、引き続き期待を持って拝見させていただきたいと思ひます。

【田中分科会長】 ありがとうございます。それでは、吉田委員よろしくお願ひします。

【吉田委員】 大阪公立大学の吉田です。本日はどうもありがとうございました。聞かせていただいた発表は大変すばらしい研究開発内容で、その成果は本当に高く評価されるものと思います。また、非常に興味深く思うとともに、楽しく聞かせていただきました。先ほど四橋委員もおっしゃっていましたが、この10年間で科学技術や実用化が明確な形で進んだことを強く感じた次第です。このような成果が得られたのは、やはり産学官の連携とNEDOのサポートが大きいと思います。特に、タンデム型の反応系を目標とする変換効率を達成しているにもかかわらず、コスト面や実用化の面を考慮して方向転換をされるなどフレキシブルな研究開発ができたということは、非常にその連携がうまくできていたという例の一つではないでしょうか。また、ほかにもマネジメントの工夫がよくなされていて、例えば企業の方々と大学の先生方との連携として東大の集中研を設けるなど工夫されていました。

また、これは私の推測になりますが、企業の方々と大学の先生とでは、最初は言語もなかなか違うのであとか、反応や実験スケールも違うのではないかと思います。そのあたりをまめにいろいろとディスカッションをされたことにより、お互いがどこを目指していかるところを明確にできたのではないかと考えます。また、特許化にしても非常に工夫をされていて、光触媒のような技術はオープンにする。大事な技術はクローズにしながらも、たくさん特許を出されている。さらに大学での発表数、論文数も非常に多い。このあたりの工夫が本当によくなされていることに感銘を受けました。今後は、グリーン水素とブルー水素を二酸化炭素の資源化に向けて実用化を進めていかれる一方、アンモニアの合成なども考えられているということで、ますます世界を牽引するような研究開発を続けていただきたいと思ひますし、楽しみにしております。

【田中分科会長】 ありがとうございました。それでは、増田委員よろしくお願ひします。

【増田委員】 北海道大学の増田です。このプロセス研究開発というものは、光触媒を用いて一次エネルギーの一つである太陽光を直接利活用する。つまり電気分解をするわけではなく直接利活用するプロセス開発であり、その一つの出口生成物としてオンデマンドでオレフィンを一気通貫で生産する研究開発が行われました。幾つかの工程から構成されていますが、それぞれ単独でも現行のプロセスの改良にも十分適用できる成果を得ているものと理解しています。ある意味、一次エネルギー革命の一つとも言えるでしょうか。そして、PLの瀬戸山様の強い指導力の下、全体プロセスの目標値を示しながら、そのプロセスの中に含まれている各工程のKPIをしっかり出され、それを各工程の担当者が十分に情報の共有化をし、着実に出口に向かわれたことで今回の成果が得られたものと思います。これらのことから、NEDOとして十分かつ着実に将来の夢を持てるテーマの一つであったという印象です。今後も実用化を含めて期待をしております。

【田中分科会長】 ありがとうございました。それでは、竹ヶ原委員よろしくお願ひします。

【竹ヶ原委員】 DBJの竹ヶ原です。本日はどうもありがとうございました。やはり金融におりますと、2050年カーボンニュートラルという目標に向けて膨大な投資が世界中で必要になってくるということで、その資金の奪い合いとして「サステナブルファイナンス」という言葉がよく出てきます。結局その資金の奪い合いのためにタクソノミーみたいな制度をつかってヨーロッパは旗を振っているわけです。そして日本は何となく遅れを取っているような印象もある中で、個別の企業がリスクと機会をきちんと語って投資家と切り結びながら何とか海外の投資家からも評価されるような努力をされているという認識でございました。その際に、よく「非連続なイノベーション」という言葉で語られる要素が多々あるわけで、本日はその一端であるような人工光合成の話をついた次第です。特に、光触媒であれ分離膜で

あれ選択的なオレフィンの合成であれ、具体的なパスに分解されてこの10年間の努力がきちんと形になっている。そして、ある意味コスト比較までもが見える形にまで進んでいるという話を間近でお聞きすることができ、非連続なイノベーションが全く非連続ではないということをお聞きしました。先ほど吉田様もおっしゃったように、NEDOがやられて10年、経済合理性をちゃんと重視されながらイノベーションを進めていかれたという官民挙げた取組の効果であると感じた次第です。本日の内容というのは、いずれ金融界にきちんと披露をいただけるようなものと思っておりますので、ぜひ日本初のまさにイノベーションの典型例として金融界としても応援ができるように、私自身としてもまた勉強をしていきたいと思っておりました。

【田中分科会長】 ありがとうございます。それでは、石谷委員よろしくお願ひします。

【石谷分科会長代理】 東工大の石谷です。今日はどうもありがとうございました。私も非常に楽しませていただいた次第です。こういう人工光合成にはじまり、それから出てきた水素をさらに活用してCO₂有効利用につなげることを実際にどこで、それをどこまでやるべきか、そしてその先には何があるのかというのを正確にきちんと最初から最後まで説明できるプロジェクトというものはこれまでございませんでした。それを言えるかどうかは、ものすごく重要なことであり、「光エネルギー、太陽光のエネルギーを水素に変換する。そして、それを活用しCO₂を固定化・資源化する。さらにそれをどういう場所でどのようにやった上でどこに持って行って最後は使っていくのか」ということをトータルで示されたこのプロジェクトはすごい価値を持っています。実際の成果としても、すばらしい成果を出されていますから、産官学の協働が非常にうまくいったすばらしいプロジェクトであったと受け止めておるところです。それらを可能にした瀬戸山様をはじめとする、堂免様、辰巳様といった皆様方がタッグを組まれた非常によい運営、及び新しいシステムを活用して、今後も世代を継いで続けていくことに大いに期待をいたします。

【田中分科会長】 ありがとうございます。それでは最後に、本日の分科会長を務めました京都大学の田中より講評をいたします。既に委員の皆様がおっしゃっているように、私も今日は非常にエンジョイさせていただきました。この10年間にわたり、人工光合成プロジェクトの実施期間では紆余曲折もあったとは思いますが、比較的早い段階で研究開発の骨子をきちんと定められ、非常に機敏な実施体制であり、そして研究グループを充実させることを図っておられました。また、タイムラインに沿った分かりやすい目標を設定され、それらをほぼ全て達成かつクリアをされたということです。これは非常に瀬戸山リーダーの牽引力が高いということで、評価させていただきたく思います。

それから、本事業というのは、皆様もおっしゃられていたように、光触媒を利用した水の全分解、それから水素と酸素を分離してグリーン水素を製造する。私は「ソーラ水素」のほうが言葉としては好きなので、そちらを使わせていただきますが、ソーラ水素と二酸化炭素からのオレフィン製造という3つのパーツからなっています。これらそれぞれ異なった技術を当然含むものでありますが、これはそれぞれが単一の事業としても十分に成り立つ。そういう内容となっています。また、これら技術を高める上で、実用的な面だけでなく学術的にも大きな進展がありました。こちらは極めて時間を遅れることなく論文化もなされているという理解ですし、アカデミックな研究にも非常に大きく寄与したものであるという印象です。もし、この目論見どおり、3つの技術がシームレスにつながれて統合されたのなら、恐らく世界でも例を見ない画期的なプロジェクトになるだろうと思ひ期待をいたします。また、水素をめぐるエネルギー業界に対しても多分大きなインパクトを与えるのではないのでしょうか。改めまして、本事業を、次の社会実装段階に進むために必要かつ重要な成果を十分に引き出したものとして高く評価をい

たします。そして今後の発展を期待しております。今日は一日どうもありがとうございました。

【中島専門調査員】 委員の皆様、ご講評を賜りまして誠にありがとうございました。ただいまの講評に対しまして、まず経済産業省 製造産業局 素材産業課の直井様より一言賜りたく存じます。

【経済産業省_直井】 経済産業省の素材課 革新素材室の直井と申します。本日は、長時間のご議論をしていただきまして、大変お疲れさまでした。冒頭の説明であったように、このプロジェクトは最初の2年間、我々経産省の直接執行ということでスタートをいたしました。当時、未来開拓研究という形で長期的な視点を持った革新的な研究開発というものを、文科省等、省庁の枠を越えて行っていくにはきちんと経産省自らが行うということでスタートしたと記憶しています。私も、確か光エレクトロニクスだったかと思いますが、当時担当として大変な思いをして立ち上げておりました。この未来開拓研究でスタートした事業は、人工光合成のほかにも光エレクトロニクス等々ありましたが、こういったプロジェクトがNEDOのほうに引き継がれ、同じタイミングでスタートをしていますので、今年全ての事後評価が行われていることと思います。本日、人工光合成のプロジェクト成果を伺い、非常に産学官が10年間かみ合って成果を出したという非常に意義のある、かつ歴史に残るような成功事例になったのではないかと感じました。その成果もありまして、今年2月からはGI基金プロジェクトの一部として引き継がれています。さらにこれから10年間社会実装に向けて取り組んでまいります。その上では、先ほどまでの説明を伺っていると、まだまだコストダウンに向けては相当チャレンジングな取組だということも理解しておるところであり、引き続きこの分野で世界をリードできるように皆様方の取組に期待を持っています。最後になりますが、実施者の皆様、NEDOの皆様、10年間のプロジェクトの実施を本当にお疲れさまでした。ありがとうございました。また、本日お集まりの評価委員の皆様におかれましては、膨大な資料の読み込みであるとか、長時間のご審議を賜りまして誠にありがとうございました。私からは以上です。

【中島専門調査員】 直井様ありがとうございました。続きまして、推進部の林部長からも一言賜りたく存じます。

【NEDO 材ナノ部_林部長】 材料・ナノテクノロジー部の林です。委員の先生方、長時間のご審議、そしてこれだけ膨大な資料に目を通していただきましたこと誠にありがとうございました。私は、この4月から部長を務めており、プロジェクト自体を深く見させていただいたのは今回の評価プロセスが始まってからになりますが、実施者の方々がとてもよい成果を残してくださったこと、そして私の先人にはなりますが、よい判断の下、目標値を適切に変えながらよい運用をされてきたことと受け止めております。NEDOも役所も人の異動が伴うことは致し方ないのですが、しっかり引き継いでここまでやれたことは、私自身の話となってしまう恐縮でございますが、このプロジェクトを誇りに思っている次第です。また、今回のプロジェクトにおける様々なご苦労、あるいは様々な取組について先生方にご理解をいただくことができ、先ほどまでの講評を伺う限り、ご評価を賜れそうなコメントを多々頂戴したものと捉えております。「この評価において良い点を勝ち取る」というのが、ある意味ミッションにもなっていて、それが達成できそうだと大変期待を持っているところでもあります。また、今回GI基金という新しい事業として私どもの中でもこのプロジェクトを引き継いでいくことになりました。ですので、次のステップとして、この成果をしっかり活用しながら、社会実装につなげていくための支援を引き続き行ってまいりたい所存です。先生方には、またGI基金についてもご覧になっていただく機会があるやも知れずということで、ぜひ今後ともご協力をお願いできればと思っております。改めまし

て、本日非常に長時間のご審議、ご議論をありがとうございました。

【中島専門調査員】 林部長ありがとうございました。それでは最後に、本プロジェクトのPLであられる瀬戸山様より一言賜りたく存じます。

【三菱ケミカル_瀬戸山PL】 今日は、終日誠にありがとうございました。最後に、私が今思っていることをお話しさせていただければと思います。「2030年に社会実装につながるような技術をつくりましょう」ということでしたが、遡れば、堂免先生が博士課程の研究課題として光触媒を取り上げられて研究を始められたときからは、何十年も経つような気がいたします。私が堂免先生の光触媒を面白いと思い共同研究を始めたのは2002年からで、その10年後に、このARPCHEM、経産省所轄のプロジェクトが出てきました。堂免先生は2030年までいくと50年仕事で、私は30年仕事になるでしょうか。それぐらい長い時間をかけてやっていく中においては、もちろんいろいろな苦労がありました。今回の結果に至った一つとしては、大学と企業の垣根を限りなく低くしてきたということがその要素として考えられます。また、これというのは光触媒に限ったものでなく、実はこの話はあまりしたことがないのですが、私は辰巳先生との共同研究を35年やっており、光触媒よりももっと長くなるのです。今は、辰巳先生の後任の横井先生とうちの若い者たちが共同研究を続けていますし、やはりそういう企業と大学がどうやって長いこといろいろとやっていくかというのはすごく重要なことだと思います。質問の中で、例えば「ゼオライトはどのように探索するのですか」等々といったことがありましたが、そういう蓄積がずっとありまして、そういうことを通じてこうしたことができるようになったと考える次第です。

また、光触媒に関して言いますと、先ほど堂免先生が、珍しく少しペシミスティックなことを言われたような気もいたします。少し話が反れるのですが、皆様、東京都に新しい美術館ができたのをご存じでしょうか。静嘉堂記念館というのがその中に入のですが、そこに「曜変天目茶碗」という、きれいな器で青地の星がきらめくような美しい国宝茶碗が展示されています。この例えば相応しいかどうかは分かりませんが、私はそれと似ていると思っています。あの下地に当たるのが光半導体で、中にある星模様が助触媒のようなイメージとして、使っている金属の成分もほとんど一緒なのです。私たちは、大体この研究の中で使う粘土も釉薬もやり方もおおよそ分かったのですが、これが曜変天目になるのか、普通の油滴天目になるのかというところで、まだ今は、どうやって焼いても油滴天目になってしまう。ですが、あとちょっとの工夫で、塗り方を変えるなり焼き方をちょっと工夫するなりで曜変天目になると思っています。曜変天目は国宝なので、もし売ったとすれば1個数億円と言われるぐらいのものになりますので、それをつくるのは決して容易ではありません。しかし、私はグリーンイノベーションというものに対し、日本が革新的に非連続を実現し、そして世界でユニコーンになることと、この唯一無二な曜変天目茶碗と同様に思い描くところです。ユニコーンになるためには、誰もまねができないことをつくる必要がある。そして、これをこの数年間のなるべく早い段階でめどをつけて、世界に出せる技術にしたい。そういった思いはずっと持ち続けています。これからまだ2030年までまだ時間がありますが、その思いを切らさず、諦めずにこの研究を続けていきたいと思っていますので、皆様ご協力のほどどうぞよろしく願いいたします。私からは以上です。ありがとうございました。

【田中分科会長】 ありがとうございました。それでは、以上で議題8を終了といたします。

9. 今後の予定

10. 閉会

配布資料

- 資料1 研究評価委員会分科会の設置について
- 資料2 研究評価委員会分科会の公開について
- 資料3 研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘と非公開資料の取り扱いについて
- 資料4-1 NEDOにおける研究評価について
- 資料4-2 評価項目・評価基準
- 資料4-3 評点法の実施について
- 資料4-4 評価コメント及び評点票
- 資料4-5 評価報告書の構成について
- 資料5 プロジェクトの概要説明資料（公開）
- 資料8 評価スケジュール

以上

「二酸化炭素原料化基幹化学品製造プロセス技術開発」
(事後評価)分科会

質問票

資料番号 ・ご質問箇所	ご質問の内容	回答		委員氏名
		公開可/非公開	説明	
資料 5-2 P.10	Al-SrTiO ₃ 光触媒シートを用いた Field Test は、期待を抱かせる結果となっています。 Al-STO シートの Durability は高いのでしょうか。	公開可	本プロジェクトで実施した Al-STO 光触媒シートの安定性は実験室の安定した温度領域では、連続照射条件下で 1500 時間程度あります。しかし、屋外試験の温度変化が激しい条件になると寿命が短くなることがわかっています。特に氷点下まで温度が下がってリアクターの中の水が凍結すると、光触媒が剥離します。本プロジェクトではここまでしか研究が進みませんでした。その後の検討により耐久性の高い光触媒の保持方法を開発中です。なお、光触媒自体は剥離しても性能にはほとんど変化はありません。	田中分科会長
資料 5-2 P.17	オレフィン／パラフィン分離について、	公開可	ご記載いただいた通り、蒸留のみでオレフィンを精製した際に必要なエネルギー消費量に対して、膜分離を併用することでエネルギー	田中分科会長

	省エネ率の定義は何ですか。蒸留のみと蒸留／膜分離併用とで同じ精製度に達するのに要するエネルギー比率でしょうか。		一消費量を何%削減できたかを示す値を省エネ率として記載しております。	
	水素発生の量子収率と吸収波長の長波長化を両立させるための戦略をお聞きしたい。	公開可	600nm 付近、あるいはそれ以上の波長で 1 段階および 2 段階 (Z-スキーム) で水を分解する光触媒あるいは光触媒系は既にいくつか見つかっています。今後はこれらの光触媒のクオリティをいかに上げていくかが最大のポイントです。	石谷分科会長代理
	水素発生と CO ₂ の水添、オレフィン合成を総合的に組み合わせたシステム (セミプラント等) の構築は現状で可能でしょうか。可能であれば、それを行う予定はあるかをお聞きしたい。	公開可	後継の GI 基金プロジェクトではメタノール反応分離、オレフィン合成プロセスをパイロット規模での実証を計画しています。本プロジェクトで得られた膜性能、触媒性能をベースにどのような反応器構造、膜モジュール構造、プロセスフローが最も高い経済性を得ることが出来るかを決定後、プラント設計する予定になっています。	石谷分科会長代理
資料 5-2 P.9 光触媒開発②	右下の図「内部電場の二次元モデル Simulation」の見方を教えてください。	公開可	このシミュレーションは、我々の定義した (100) 面と (110) 面での仕事関数の差が 0.2eV(文献値から妥当と考えられます)を仮定して、SrTiO ₃ の既知の物性値を仮定して計算したものです。右下の図は左上のモデル構造をベースにして、色の濃いところは励起	上宮委員

			電子と励起正孔の濃度の高いところを示しています。	
資料 7-1 75 ページ	光触媒について、使用する水の純度（カチオンやアニオン）の影響はありますか？また、蒸留水に限定されますか？	公開可	水の純度は電気分解ほど高純度の水の必要はありません。通常の蒸留水でも海水淡水化した水でも効率は全く変わりません。海水を直接用いる方式は、塩素イオンの影響で水分解の効率が落ちる点と、種々のシステムに悪影響を与えるので望ましくありません。海水淡水化水は現状 1m ³ の水で 1 ドル未満ですので、生成する水素のコストが 20 円/m ³ 水素ならば、価格への影響は 1%未満です。	増田委員
資料 7-1・p19 資料 5-1・p9	他機関が「高コストで、その製造にも大量のエネルギー投入が必要な結晶基板を用いる技術」であるのに対して本事業は「安価で大型化が容易な光触媒シート化技術を開発している」とコスト削減における優位性が書かれていますが、資料においては太陽光エネルギー変換効率に関する比較はされていますが、コストに関して具体的な（数値的な）比較はできるでしょうか？	公開可	光触媒法の競合との定量的なコスト比較は出来ませんが、他機関は光電極型の開発が殆どであり、この形式は構造が複雑でスケールアップしても高価になると考えられます。ゆえに、光電極型 vs 光触媒シート型の定性的対比により本研究開発のコスト優位性を議論しております。	吉田委員
資料 7-1・p32 資料 5-1・p16	研究開発マネジメントに関する目的を幾つか掲げてあります。光触媒に関しては「光触媒システムの方式は問わな	公開可	光触媒については材料探索研究の側面が強かったため、研究当初は簡易評価可能な粉末懸濁系で着手しタンデム型での検討に移行しました。タンデム型は水素用、酸素用それ	吉田委員

	い」となっていますが、当初どのようなシステムを対象に研究が進められ、最終的にどのシステムに焦点を当てるようになったのかについては、研究成果の項目に詳細が書かれてはいますが、その概要を示すことはできないでしょうか。		ぞれの候補材料を個別に評価できる点でも有意ですが、事業中間年度より実用化を見据えてシート型の検討も並行して取り組みました。最終年度の屋外実証は実用化に有利なシート型で実施しております。	
資料 7-1 p111	Al ドープ SrTiO ₃ 触媒粉末の塗布により作成した光触媒シートは、今後どの程度までスケールや量子収率の向上が期待できますか？またこの光触媒は近紫外光応答型ですが、今後可視光応答化の可能性はあるのでしょうか？	公開可	Al ドープ SrTiO ₃ は紫外光応答型なので、STH の上限は 1%です。ただしこの材料は今後の光触媒シートの検討には有用です。現在検討している、1 段階および 2 段階水分解システム構築のためには大事なシステムです。	吉田委員
資料 5-1 P17, P20	10 年前と比較して、研究開発プロセスとして進展した箇所はどこになりますでしょうか。	公開可	10 年前というより一般的な産学連携での企業からの大学への委託研究よりも、共同研究としての垣根が低くなり、情報交換・意見交換が自由にできるという環境が整備されたことを大学の集中研、企業の分担研で実証してきたことが大きいと考えています。特に特許出願完了後の論文発表の際の基準を ARPCHEM できっちり作り運営したので、アカデミアの本来の最重要課題である学術的貢献を妨げずに研究できるという安心感を持って研究できた点は意味があると思いま	四橋委員

			<p>す。また NEDO プロジェクトとしては 10 年間という長期にわたったため、固定された目標に向かってひたすら邁進するというよりも、懸念点やより良い方向性が見いだされそうな場合には、ある程度の自由度をもって取り組んだことで、軸はぶらさずに柔軟に研究の中身を微修正する運用ができたので、現実的な解に繋がったということ、またアカデミアの皆さんに scientific な成果の経済的な価値（製造コスト）、LCA 的な価値（CO₂ 排出量）に表現して見えやすくしたことで研究の位置づけをよく理解できるようにしたことは大きいと思います。</p>	
資料 5-2 P12	水素-酸素分離膜の課題・開発ポイント・残課題を簡潔に整理してください	公開可	<p>水素酸素分離膜の課題は、安全に高効率の分離をすることです。最適な消炎素子と、高効率なゼオライト膜を開発することにより、透過ガスの爆発範囲をはずす事ができました。今後の課題は、さらなる高性能化によるコスト低減と、安全分離のためのスケールアップに向けた最適な消炎素子の配置位置などによる圧損低下、コスト低下などになります。</p>	四橋委員