

研究評価委員会
「循環社会構築型光触媒産業創成プロジェクト」(事後評価) 分科会
議事録

日 時：平成24年11月1日(木) 10:00~17:50

場 所：大手町サンスカイルームA室(朝日生命大手町ビル27階)

出席者(敬称略、順不同)

＜分科会委員＞

分科会長	和田 雄二	東京工業大学 大学院理工学研究科 応用化学専攻 教授
分科会長代理	魚崎 浩平	独立行政法人物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクトニクス拠点 ナノグリーン分野 コーディネーター・主任研究者
委員	井村 達哉	川重商事株式会社 事業開発部 参与
委員	岡本 誉士夫	ダイキン工業株式会社 空調生産本部 商品開発グループ 主任技師
委員	田中 庸裕	京都大学 大学院工学研究科 分子工学専攻 教授
委員	出川 通	株式会社テクノ・インテグレーション 代表取締役社長
委員	松村 道雄	大阪大学 太陽エネルギー化学研究センター センター長

＜オブザーバー＞

羽部 浩 経済産業省 製造産業局 化学課 機能性化学品室 研究開発専門職

＜推進者＞

相楽 希美	NEDO 環境部 部長
海老根 強	NEDO 環境部 統括主幹
岩田 寛治	NEDO 環境部 主任研究員
石毛 悦子	NEDO 環境部 主査

＜実施者＞

橋本 和仁(PL)	東京大学 大学院工学系研究科 応用化学専攻 教授
山下 秀	東京大学 先端科学技術センター 経営戦略企画室 特任教授
宮内 雅浩	東京工業大学 大学院理工学研究科 材料工学専攻 准教授
小西 由也	産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門 太陽光エネルギー変換グループ 主任研究員
所 裕子	東京大学 大学院理学系研究科 化学専攻 特任助教
箱江 史吉	東京大学 大学院理学系研究科 化学専攻 博士課程2年
黒田 靖	昭和タイタニウム株式会社 光触媒開発プロジェクト リーダー
細木 康弘	昭和タイタニウム株式会社 光触媒開発プロジェクト
水津 宏	三井化学株式会社 研究本部 触媒科学研究所 固体触媒技術ユニット 主席研究員
永井 秀幸	三井化学株式会社 研究本部 触媒科学研究所 固体触媒技術ユニット 主席研究員
井上 二三男	株式会社積水樹脂技術研究所 新技術研究室 室長

柳井 俊輔 株式会社積水樹脂技術研究所 新技術研究室 主任
皆合 哲男 日本板硝子株式会社 グループファンクション部門 研究開発部 日本統括部
薄膜技術領域グループ リーダー
下吹越 光秀 TOTO 株式会社 環境建材事業部 環境建材技術部 部長
三木 慎一郎 パナソニック株式会社 エコソリューションズ社 コア技術開発センター
環境部材開発グループ チームリーダー
佐古 利治 パナソニック株式会社 エコソリューションズ社 コア技術開発センター
環境部材開発グループ グループマネージャー
栗屋野 伸樹 盛和工業(株) 環境機器部 代表取締役 専務
安藤 仁 盛和工業(株) 環境機器部 主任研究員

<企画調整>

増山 和晃 NEDO 総務企画部 課長代理

<事務局>

三上 強 NEDO 評価部 主幹
松下 智子 NEDO 評価部 職員
中村 菜央 NEDO 評価部 職員

一般傍聴者 5名

議事次第

【公開セッション】

1. 開会、分科会の設置について、資料の確認
2. 分科会の公開について
3. 評価の実施方法について
4. 評価報告書の構成について
5. プロジェクトの概要
 - 5-1. 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメントについて
 - 5-2. 研究開発成果、実用化の見通しについて
 - 5-3. 質疑
6. プロジェクトの詳細
 - 6-1. 光触媒共通サイエンスの構築

【非公開セッション】

非公開資料取扱説明

- 6-2. 光触媒基盤技術の研究開発
- 6-3. 高感度可視光応答型光触媒利用内装部材・空気浄化装置の開発
- 6-4. 酸化チタンの新機能創出
- 6-5. 光触媒新産業分野開拓
- 6-6. 今後の展開
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、その他
10. 閉会

議事内容

【公開セッション】

1. 開会、分科会の設置について、資料の確認
 - ・開会宣言（事務局）
 - ・研究評価委員会分科会の設置について、資料1-1、1-2に基づき事務局より説明。
 - ・和田分科会長挨拶
 - ・出席者（委員、推進者、実施者、事務局）の紹介（事務局、推進者）
 - ・配布資料確認（事務局）
2. 分科会の公開について
 - 事務局より資料2-1及び2-2に基づき説明し、議題6-2～議題7を非公開とすることが了承された。
3. 評価の実施方法について
 - 評価の手順を事務局より資料3-1～3-5に基づき説明し、了承された。
4. 評価報告書の構成について

評価報告書の構成を事務局より資料4に基づき説明し、事務局案通り了承された。

5. プロジェクトの概要

5-1. 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメントについて

推進者より資料6-1に基づき説明が行われた。

5-2. 研究開発成果、実用化の見通しについて

実施者より資料6-2に基づき説明が行われた。

5-3. 質疑

【和田分科会長】 ありがとうございます。ただいまの説明に意見、質問等お願いします。技術の詳細は議題6で議論します。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お伺いします。

【魚崎分科会長代理】 もともとはVOC分解が光触媒の応用へのスタートであったと思います。内装材の場合はウイルスや菌が中心ですか。当初の光触媒の応用は、環境浄化や有機物分解が多かったと思います。内装になると菌やウイルスに重点が上がるということですか。

【東京大学：橋本教授(PL)】 光触媒が事業化されている中で、建築材料では、ほとんどが外装材です。外装材は基本的に光触媒反応により汚れを分解し、親水性によって雨水で洗い流すセルフクリーニング効果を持たせています。

内装の場合は汚れもありますが、VOCのほうが直接的な市場として存在しています。加えて菌もあります。生活用品の4%は大体その両方です。私たちは、VOCと菌の両方であろうと思っていました。当初は、分解なのでVOCがメインになると思っていました。しかし、説明したように、社会情勢や、私たち研究開発サイドから見ても、菌やウイルスを主たるターゲットにしたほうが市場拡大戦略上は有効であると考えました。ただし、菌やウイルスは見えません。その点、匂いは感じます。国土交通省経由で、空港で実験を実施したこともあって、公的な施設では空港で展開ができそうです。国土交通省が非常に協力的でした。その時に言われたことは、「ウイルス・菌は極めて重要だが、やはり匂いで効果を示してくれ」ということです。「匂いをこのように取ることができるからウイルス・菌も減っていると言うことができ、導入できる」ということです。

【魚崎分科会長代理】 VOCと、菌やウイルスを対象とするのではメカニズムが違う気がします。いかがでしょうか。

【東京大学：橋本教授(PL)】 その通り、違います。先ほどの説明では同じメカニズムの部分しか話していません。要するに、分解するということについてです。VOC分解は、VOCを表面にできるだけ吸着しやすくして分解させる方がよく、一方、抗菌の場合は、表面に菌を吸着しにくくし、吸着した菌を分解させる方がいいので、VOCを分解するには表面積が大きい方がよいのに対して、菌やウイルスを分解するには表面積が小さい方がよくなり、材料表面の設計が異なってきます。

もう一つは、菌についてはまだお話ししていませんが、光がなくても反応する部分が少しありました。分解ではなくタンパク質の変性作用を見出しました。午後にお話ししますが、非常にクリアな結果が出て、銅一価の化合物が、選択的に変性作用が極めて高い。銅一価の化合物は不安定であるから扱えませんでした。使うことができるようにしました。ウイルス・菌に対して極めて高いものができました。二重の意味でメカニズムが違います。

【出川委員】 5年で50億円プラスアルファの予算を使い、本当にご苦労さまでした。とりあえず2点質問します。まず、私も光触媒は日本の研究が進んでおり、実用化も行っていることはわかっています。

技術、サイエンス、実用の面で大ざっぱでかまいません、海外と比較して日本がどの程度進んでいるでしょうか。海外の研究者もいろいろな研究をしていると思います。その辺、マクロに教えて下さい。

もう一つは、いろいろとご苦労されて、今回も効果的な成果が見つかっています。その内容を見ると、まだ良くなるのではないかという点もあると思います。事業化に対して、もっと良くなるのを待とうという面も逆に出ないでしょうか。その2点について教えて下さい。

【東京大学：橋本教授(PL)】 技術的には、私たちが世界で最初に成功したものを海外のいろいろなところが追いかけてきています。まず、外装建材は今回のプロジェクトとは別の話ですが、どんどん追いかけてきています。その市場規模はいろいろな見方がありますが、この前ヨーロッパへ行って、ヨーロッパの光触媒工業会の会長に聞いたところ、「確実な市場は日本の5分の1程度になっている。それがどんどん増えている、今後も増えていくであろう」ということでした。

ヨーロッパでは当然、内装建材も狙っています。窒素ドーブ型の酸化チタンはドイツでも作られています。ただ、その性能は、日本で作られているもののほうが高い。研究者はたくさんいますが、この分野の研究は私たちが圧倒的に強いと自信を持っています。論文でもそうですが、それ以上に産業界と一緒に現場で研究や事業化を進めてきた経験があります。私は1990年から光触媒の研究に携わっています。20年間のノウハウについては、そう簡単に追いつかれません。同じ窒素ドーブ型でも日本のほうが技術は高い。それプラス今回の技術は、窒素ドーブよりさらに効率が高い。最初は、学会で発表しても信じられませんでした。今年、アメリカのロサンゼルスで国際会議があり、私が基調講演をした際に、この研究成果を少し話しました。前回、その大会が2年前にソウルであった際にも、こういう良いものができたと話していました。今回、話した時に、韓国のこの分野の有名な研究者が手を挙げて私に質問しました。「自分は信じなかったが、2年前に言われたことを実験してみると効果があった。本当であった、コングラチュレーション」と言ってくれました。そういう意味では、私たちのものは、新しい原理に基づく本当によいものができたと考えています。

もっと性能が上がるのではないかという質問について、上がらないとは言いません。ただ、私たちはこの研究をかなり続けています。研究資金もたくさんいただきました。プレッシャーも高く、参加した皆さんも一生懸命に研究してくれました。性能がもっと上がるかどうかはわかりません。しかし、量子効率的に言うと、これ以上はほぼ上がらないレベルまで来ています。粉自体がほぼ完成形だと思っています。ただ、それ自体を加工することによって、例えばタイルに焼き付けるとだいぶ落ちるが、塗料だったらよいという状況もあります。その部分ではまだ改良の余地があります。その部分も、日本が今まで進めてきた強い技術を持っています。では、そのままずっと行けるかということ、その様なことはないと思います。これが本当に良いもので、市場展開して市場が広がれば、誰かが必ず追いかけてきて、必ず真似されます。真似されないように多種多様に作っています。いろいろな対象によって実は違うと言っているのは、そういうことです。何種類も作っているのは、こういうところにはこれが要る、こういうところにはあれが要るといったノウハウを今たくさん集めているからです。そういうパッケージで勝負したいと考えています。これは最後にお話ししますが、そういう戦略で追いつかれないようにしようと考えています。

ご質問には、まず、海外に対する我々の優位性は現状極めて高い。効果がこれ以上上がるかという質問に対しては、粉はほぼ完成形であるという自信があります。

【出川委員】 サイエンスから事業化レベルに入る段階という位置付けでよろしいですね。

【東京大学：橋本教授(PL)】 まさに、そうです。NEDOの説明にもありましたが、標準化もあわせて動い

ています。今回、我々が開発したものをベースに、開発段階から可視光の標準化のJIS案を作成して、ISOに提案しています。これも大変でした。できたものではなく、できていないものを提案するには、開発途中のものを各社に出してもらう必要があります。しかし、開発途中のものを第三者が評価するというのでは、各社は出しません。言うのは簡単ですが、行うのは大変でした。いろいろなことがありましたが、案ができ、今、提案しているところです。是非あわせて進めていきたいと考えています。

【出川委員】 ありがとうございます。企業側のこれからの努力次第という話ですね。

【東京大学：橋本教授(PL)】 私たちも同じです。

【岡本委員】 微生物を考えた場合、やはりウイルスと細菌、カビも入ってくると思います。パンデミックの時はウイルスが注目され、多剤耐性菌の場合は細菌、一般家庭を見ると、やはりカビだと思います。ウイルス、菌、カビの順に大変であると考えます。カビに対しての評価はどのような状況でしょうか。

【東京大学：橋本教授(PL)】 今回、カビは余り研究していません。光触媒でカビを対象にするのは厳しいです。カビは孢子の中に入っています。孢子で守られるため、光触媒が外から孢子を分解しても、カビに効かないわけではありませんが、効果は非常に弱い。ただし、ダニには良く効きます。最近、ダニが問題になっているため、効果は大きいと思っています。

【岡本委員】 事業化を考えた場合、ダニもそうですが、アレルゲンにも効果があると考えてよいですか。

【東京大学：橋本教授(PL)】 アレルゲンにも効果があります。孢子のような厚い皮で守られているものには光触媒は弱いです。そうではないものには、ほとんど相手を選ばず効きます。菌でも芽胞菌といって、殻を作って閉じこもる菌はだめです。ただ、そういうものは人間には余り悪さをしません。最初、私たちはそこがわからず、全然効かないと思うことがありました。しかし、よく調べてみると、芽胞菌には効かないが、一般の菌には大変効果があるというデータがありました。

【岡本委員】 ありがとうございました。

【井村委員】 NEDOのプロジェクトマネジメントについて質問します。追加予算の投入について、中間評価の際にも、戦略的に投資するべきであるという意見がありました。そういうことを踏まえて追加予算を投入したのか、また、他のプロジェクトでも同じようなケースがあるのか、教えて下さい。

【東京大学：橋本教授(PL)】 まず私から。基本的に追加予算枠がないと追加予算を投入してもらえませんが、追加予算枠があると私たちはお願いする、あるいは、補正予算が組まれた時に、追加予算が必要なものはないとNEDOから募集があります。それに対して、こういう理由でこれが必要ですと応募する。病院や空港で実験するには評価も含めてお金がかかります。それに対して、補正予算全体が大きな予算枠であったので、ある程度予算を獲得できると考えて応募しました。億というお金ですので、一民間企業では決してできません。普通のプロジェクトの予算内でもほぼできないと思います。補正予算があったからできると思い、我々は応募しました。それに対してNEDOがたくさんのお金の中から選んでくれたと思います。ここから先はNEDOにお願いします。

【NEDO：岩田主研】 今の説明の通りです。こういう実証試験はかなり多くの台数の清浄機等を設置するので、通常の予算額ではなかなか実施は難しい。補正予算のような機会を捉えて行うことがよくあります。普段からそうした形で問題意識を持っていないと、迅速な対応ができません。橋本リーダーも含めて普段からそういう問題意識を持ち、機会を有効に捉えたということです。

【井村委員】 ありがとうございました。あと2点あります。目標として可視光の応答を、いわゆるマーケットの視点から10倍にしたという説明がありました。設定したのが開始の5年前です。現状、実証試験を終えて、その目標数値もほぼ妥当性があつたと先生はお考えになっていますか。

【東京大学：橋本教授(PL)】 前例ではデータを示さなかったのですが、抗菌・抗ウイルスに関しては、窒素ドープに比べると、時間軸で見た効果は 100 倍です。実際には、窒素ドープ光触媒は実際の室内可視光のもとで抗菌・抗ウイルス性はほとんど発揮しないため、100 倍ではなく、無限大かもしれません。そういうものと比較すると、実証実験で示される効果が出ています。それは我々のものが完成したからであると言えます。

あと、もともとのマーケットから出てきたもので、このように展開できるかです。マーケットの興味は変わってきています。当時は抗菌・抗ウイルスより、VOC がメインでした。今はそういう情報も入ってこないため、そのことがわかりません。数値的には達成していますが、それが本当にマーケットサイドから見た時に室内に展開できる能力として 10 倍になっているかはわかりません。ただし、抗菌・抗ウイルスに関しては十分対応できています。そちらのほうがマーケットとして重要であり、前のものではできなかったものができているということです。初期に立てた目標が達成され、かつ、それが実現すると思います。後から出てくると思いますが、各社が、こういうものがあつた時にどの程度販売できるかを営業と相談し、営業戦略の中で対応しています。それが、各社の計画を足すと年間約 200 億円ずつ増えていくということに現れています。そういう意味では数値目標は妥当であったと思っています。

【井村委員】 千歳空港の実証試験は非常に面白い成果が出ています。これをもう少し大きな日本の空港に適用しようとする場合、問題なく適用できると考えてよいですか。

【東京大学：橋本教授(PL)】 はい。国土交通省空港局と極めて良い関係を持っています。先月、JICA 主催のアジア地区で空港を作る責任者が集まる会で私は講演を行いました。12 月には、日本国内の各空港の設備を担当する人たちの研修会があり、国土交通省からぜひ宣伝して下さいと言われていました。国土交通省も、この様な良いデータを得たので、ぜひ各空港に広めてほしい、応援しますと言っています。我が国では、空港はもう新設されないそうですが、改装があります。改装の際に導入してはどうですかと言われており、応援してくれています。

もう一つ、某社が、この NEDO の成果を用いて国土交通省のある部署の予算で展開している事業もあります。そういうところに展開していこうという動きがあります。

空港の次は港です。空港の入管施設で実施すると必ず港も行うので、事業範囲が大きくなります。さらに日本が行うと、今度は必ずアジアで展開していくことが考えられます。我々の良いアプリケーション先です。そうした関係が、今はうまくいっているので、ぜひ有効に使っていきたいと思います。

【田中委員】 要領を得たすばらしい説明でした。行われたことは非常に面白いと感じました。

科学的な質問は午後からと思いますので、運営についてお聞きします。定期討論会を月に 2 回開催していたと説明がありました。これは、単純に言うとエフォート 10%です。かなりの労働だと思えます。討論会への出席率をお聞きします。

【東京大学：橋本教授(PL)】 出席しないと、研究資金は出せませんと説明しました。資金配賦はプロジェクトリーダーである私の専権事項であるため、出席率はほぼ 100%です。北は北海道から南は九州まで、大学の方も、産業界の方も、ほぼ 100%の出席率です。むろん、出席率が悪かった人もいます。60%、70%の人が所属する組織への資金は減らしました。実質的には 9 割は確実に超えていると思います。

しかし、出席することに意味がないと来ないものです。出席しないと資金がもらえないこと以外に、もう一つは、出席して発言することによりプライオリティを得る、あるいは、いろいろなコラボレーションができる形を作る努力を行い、それが成功したと思っています。

【田中委員】 先生は、最初のころは嫌々出てきたと言われましたが、そういうことですね。わかりました。

もう一つは、機能を向上させることについてです。可視光で10倍。あと、紫外光感度2倍という説明がありました。こちらに関してはいかがでしょうか。

【東京大学：橋本教授(PL)】 それについては、午後、お話しします。目標を達成しています。

【田中委員】 わかりました。全然関係のない話ですが、銅一価があれば光がなくても抗菌されるというのは、銀ゼオライトで実験したものとほぼ同じ考え方ですか。

【東京大学：橋本教授(PL)】 午後に説明します。

【田中委員】 わかりました。どうもありがとうございます。

【岡本委員】 1点教えてください。技術成果の第三者への供与について、プロジェクト終了後、自由に第三者へ供与可能にすることに関して、例えば基本特許を無償で公開するということですか。

【東京大学：橋本教授(PL)】 そうではありません。特許料は払ってもらいます。特許は、これは各社が持ち帰りで進めています。特許は私たちも含めて大学と企業が一緒に保有しています。その特許の使用は、原則として有償で全てに認めるという意味です。無償ではありません。

【和田分科会長】 松村委員、どうぞ。

【松村委員】 私も紫外光について聞きたいと思いました。技術的なことは午後だと思いますが、目的としてあげている紫外光はどのような位置付けになるのですか。可視光に感度を持たせると紫外光の活性が落ちることはよくあります。そういう意味なのか、全く別途に紫外光を狙っているのですか。

【東京大学：橋本教授(PL)】 これは別です。我々の材料は、可視光を10倍にしても紫外光感度は落ちません。これがポイントです。普通は、可視光感度を上げると紫外光は落ちますが、私たちのものは全く落ちません。紫外光活性を落とすと、トータルでいくら可視光が上がってもオーバーオールで下がってしまいます。それではだめなので、下がらないようにしています。

ここで言う紫外光感度2倍は、一度学問まで遡って研究するので紫外光として一番良いと言われているP-25もさらに上げようと考えました。上げることによって、例えば空気清浄機は紫外光型のものが使われていますが、その光量を半分にできます。そういうアプリケーションのために紫外光感度を2倍に上げることに挑戦しています。

【和田分科会長】 VOCと抗菌について、魚崎先生も言われましたが、徐々に重心が抗菌に移っているように見えます。これは私見なのでそれが正しいかどうかということで聞きたいのですが、その理由は、応用研究の中で、費用がかかるということで、病院や公共のものであれば入りやすいということで、まず抗菌が動くという理解は正しいですか。コスト面から考えると、病院などのコストが強い決定因子になりにくいところから入っているということですか。

【東京大学：橋本教授(PL)】 いえ、違います。病院であれ、空港であれ、コストは徹底的に考えます。要するに、どれだけ必要とされているかです。必要がないところは、ただなら入れるかもしれませんが、一円でもかかると入れません。しかし、必要なところは、いくらお金がかかっても入れます。こういうものは必ず付加価値を付ける必要があります。買い手がどこに興味を持っているかで自動的に決まってくる。その時に、VOCよりも抗菌・抗ウイルスのほうが、買い手がお金を出す。これは別に公共機関だけではなく、一般企業も同じです。市場主導で出てきました。

【和田分科会長】 わかりました。それから、評価の際に、VOCでは完全分解に必要な時間を使い判断することを強調していました。実用化から言うと、量子効率よりも現実的な値という意味で重要です。量子効率を、論文や我々アカデミズムの中で扱うデータとすると、そこから時間に結びつけるためには、

濃度、拡散、物質移動など、いろいろな因子が入ってきます。その部分を、今回は解析して最終的な時間まで進んだと考えてよいか。それとも、結果論だけを扱っているのでしょうか。

【東京大学：橋本教授(PL)】 光反応の量子収率を決める時に、反応物質量が十分にあって拡散の影響がないところで決めないと、本当の意味での量子収率は出てきません。光触媒反応における量子収率の議論は論文上あいまいです。ある条件下で量子収率がどのようになっていると言う話です。理解不十分なまま行われています。例えば減っていく速度で見るとはほとんど意味がありません。なぜかという、吸着が強ければ減っていくためです。表面積が違えば変わります。ただ、現実的にはその物質が二酸化炭素に分解されることが重要です。光触媒の特徴は、強い酸化力で、中間体が出ないことです。それが本質的なことです。中間体が出ない、例えば某社が最初に出していた窒素ドープ型のは完全分解を行わず、中間生成物をたくさん出していました。それを私が指摘すると、彼らはすぐに変えました。そのため、かなり活性を落としました。

光触媒は中間体を出さずに CO₂ まで持っていくことがポイントです。完全分解に達する時間がそれを一番よく現しています。例えば官能試験で、ある匂いガスなどを試した時に、完全分解速度と非常に対応します。あとは、何倍という判断は、実験的にできるある条件をプロジェクトの中で決めて、みな同じ条件で実験を行う中で得られた非常に経験値的なことであって学術的なものではありません。逆に言うと、学術的にこういうものはきちんと定義されていないので、それは余り意味がないと思っています。実用的には、私たちは自信を持って、良い評価ができたと思っています。

【和田分科会長】 もう1点は、加速財源投入のところで、可視光型光触媒の高感度化のために、文言として、「界面電荷移動」と「多電子還元反応」というキーワードが使われています。この2つは、光触媒の研究者にとっては一般的な言葉に見えませんか。

【東京大学：橋本教授(PL)】 一般的ですか。違うと思います。界面電荷移動は光触媒の世界では言われていませんでした。多電子還元触媒も私たちが言い出したので、皆さんは初めて認識したと思います。みんな酸素一電子還元しか対応していませんでした。二電子や四電子にすることでこうなると我々が提唱したのです。

【和田分科会長】 わかりました。

【東京大学：橋本教授(PL)】 誤解があるようですので強調しますが、光触媒の世界に限らず、半導体電気化学の中でもこれを提唱しているところはありませんでした。今、もし、和田先生がこれを一般的だと思えば、私たちが言ってきたことがそれだけ広まったということだと思います。

【和田分科会長】 光触媒ではなく、もう少し広くとった光化学で考えた時に、このキーワードが光触媒に入ってきた時の特徴は何かということを行っているのですか。

【東京大学：橋本教授(PL)】 違います。酸素の多電子還元触媒は、プラチナが四電子還元触媒ですからそういう概念はあります。そういう触媒を入れることによって、還元力がなくても、それは光触媒と言ってよいかもわかりません。水分解にしても、酸素の四電子酸化触媒も、あの四電子酸化触媒の意味をきちんと理解している人はまだ余りいません。熱力学的な何電子反応、多電子反応は当たり前のことですが、こういう触媒開発に意識されていません。左側は光触媒に限定してもよいかもかもしれません。別にそれで我々の価値が下がることはないと思います。少なくとも光触媒の世界で、こういうコンダクションバンドの多電子還元でこうなるといえることは、我々が初めて提唱したことです。

インターフェイシャルチャージトランスファーの話は理論的な論文はあります。半導体で、表面に付いたこういうものに行くという理論的な論文や、実験的にそれを証明した論文はあったかもし

れませんが、メインではありませんでした。少なくとも半導体電気化学の分野でこれを提唱したのは我々が初めてだと思います。

【和田分科会長】 私が申し上げたかったのは、このキーワードがもし一般的なものに見えてしまうと、そこに財源が、現実的なものなのでつながらなくなるのではないかと、ということで申し上げました。

【東京大学：橋本教授(PL)】 意味がわかりませんが、どういうことでしょうか。

【和田分科会長】 つまり、学術用語の一般的な言葉に見えないように使わないといけないのではないかと、ということです。

【東京大学：橋本教授(PL)】 学術的な2つの概念を入れたことで実用触媒ができました。もともと学術まで遡らないとできない。2つの新しい学術的な概念を入れたことで実際のものができる、というストーリーになっています。

【和田分科会長】 了解しました。

【魚崎分科会長代理】 コメントです。電気化学の分野では多電子移動触媒の必要性はよく知られています。橋本先生が、多電子還元触媒が必要だと初めて言われた時に、それは当然だと思いました。ただ、多電子還元触媒の利用によって光触媒表面での酸素還元が加速され、その結果 VOC 分解などの光触媒活性が向上することは新しい知見であると思います。例えば、シリコン電極での光電気化学的水素発生は遅いが、白金を付ければ加速される。そういう意味では、多電子移動触媒のコンセプトはあったと思います。

【東京大学：橋本教授(PL)】 それはそうです。だから、白金を付けて四電子で酸素還元するという意味で。

【魚崎分科会長代理】 言いたいことは、光触媒で、この概念を入れたことに注目したということです。

【東京大学：橋本教授(PL)】 では、もう一つ言うと、ユビキタス元素で多電子還元触媒を達成した。そうすると、ジェネラルに我々の新しい点だと思います。

【魚崎分科会長代理】 もう一点界面電荷移動型についてです。科学的にはまさに正しいと思いますが、誤解されるかもしれません。界面電荷移動型光励起を普通の人が聞いた時に、言っている意味がわからないのではありませんか。

【東京大学：橋本教授(PL)】 学会でも、この分野の専門家でもわからない人がいます。その度に何度も説明しています。このポイントはドーピングしないで外にいます。表面にいます。その表面にいるものが中の酸化チタンとハイブリズするのです。

【和田分科会長】 それはよくわかります。そうでなければ、そこに遷移が起こりません。

【東京大学：橋本教授(PL)】 そうです。これを付けたことによって初めて吸収されるのです。単独では吸収されませんが、両方を付けると初めて四百数十 nm のところに新たな吸収が起きるのです。

【和田分科会長】 それが新しい発見であることはよくわかります。ただ、言葉が少し、プロジェクトの話と、大丈夫かと思いました。

【東京大学：橋本教授(PL)】 そのことが、サイエンスに基づかないとできないことが一番大事です。サイエンスに基づいていることをなぜ強調しているか。だから大学の人があのようにたくさんメンバーとして入ってきている。必要がなければ、大学の人はメンバーに入れません。アカデミックな人たちを入れたことによって、サイエンスに戻ったことによってできたというストーリーです。

【和田分科会長】 よくわかります。新しい光触媒の概念まで発展していますね。了解しました。

【出川委員】 実用化・事業化の話に戻させて下さい。私などは、常日ごろ、企業で良い技術があっても事業化できないことを経験しています。一つの理由は、マーケット規模が見えないことです。担当者が一

生懸命に開発しても、経営側が、このような小さなマーケットではとても無理だと言います。少しいじわるな質問かもしれませんが、5年後に200億円程度のマーケットとなると、例えば10社で行うと1社当たり20億円になります。これは先生に質問してよいかどうか分かりませんが、会社として本気で取り扱ってくれるのでしょうか。いろいろな仕掛けをしていることはわかりますが、先生のコメントというか、お考えが何かありますか。

【東京大学：橋本教授(PL)】 まず、これを開始時に、なぜここをターゲットの中心にしたかという点、内装部材について光触媒がうまくいけば国内に2兆円強の市場があるというマーケット調査があがってきました。したがってターゲットは2兆円です。しかし、一挙に2兆円産業にはなりません。成長していく過程を現実的に見たものとして206億円/年としています。200億円ずつ増えていくということです。このメンバーだけでその成長が達成できませんので、広がっていく仕掛けをしています。

パナソニックもTOTOも、このプロジェクトは極めて重要な位置付けと考えてくれています。例えばTOTOは先月、ドイツで行われたヨーロッパ向けの会議で張本社長が話をしました。私も同席して、ヨーロッパ向けに、話してよいところまで宣伝してきました。パナ電工時代から研究を始めているパナソニックは、全社の中で環境事業を極めて高い位置付けとして、これからの新しいものとして取り組んでいます。パナソニックのパナ技報という社内広報紙の巻頭の文章を私は書きました。それはパナソニックから、これから環境事業に力を入れていきたい、ここで言う技術を大きく展開しているので、その魅力を語ってほしいと言われて書いたものです。

【出川委員】 もう一つだけ。今後の展開の中で、コンソーシアムにつなげるのは良い考えだと思います。

このコンソーシアムが、ファンディングがなく終わってしまうパターンもあります。その目途や、企業主体で行う中で、先生がリーダーシップを引き続き持つのか、差し支えない範囲で教えて下さい。

【東京大学：橋本教授(PL)】 コンソーシアムは各社の資金で運営しています。集中研を持続するために資金を出して下さいというのが最初のきっかけです。集中研を動かすための装置はありますが、それを動かす人が必要です。大学も、無料で部屋を貸してくれません。専属で、人が今3人入っています。その人たちは今日も、ある社の評価を行っています。集中研にはこの資金でたくさんの装置が入り、評価できるようになっているので使ってほしい、使いたいという希望がありました。使いたいといっても、資金がないとできないので、各社に資金を出してもらい、組織を立ち上げ、運営費も各社が出してくれています。基盤は、もともとNEDOのプロジェクトで入ったものです。その装置が今大学に帰属しているので、その維持費や人件費を各社が出すことによってコンソーシアムを作っています。

【出川委員】 企業側にやる気と、お金も出してもらおうということですね。

【東京大学：橋本教授(PL)】 全社が参加しているわけではありません。逆に、新しく入ってきたところがあります。

【出川委員】 わかりました。

【和田分科会長】 ほかによろしいですか。そろそろ予定の時間です。ほかにもご意見、ご質問等があるかと思いますが、本プロジェクトの詳細内容については、この後で詳しく説明していただきます。その際に質問をお願いします。

6. プロジェクトの詳細説明

6-1. 光触媒共通サイエンスの構築

実施者より資料7-1に基づき説明が行われた後、以下の質疑応答が行われた。

【和田分科会長】 それでは、質疑応答をお願いします。どうぞ、井村さん。

【井村委員】 酸化チタンの上に銅の二価のナノクラスター、2 ナノから3 ナノのアモルファスが良いと言われましたが、そのアモルファスが良いということについて、もう少し説明してもらえませんか。

【東京大学：橋本教授(PL)】 まず現象論的に言うと、アモルファスのものが付いています。私が「天才トリブチ」と呼んでいる、ずっと昔から多電子触媒を提唱しているドイツ人と議論した時、私が次の理由からアモルファスが重要だと言うと、彼もそうであろうと言いました。なぜかという、電子を溜めこまないといけないからです。多電子移動触媒は、電子を溜めこみ、同時に持っていく必要があります。リジットなものであれば、アモルファスは、構造に対するフレキシビリティをある程度持っていることが本質的なのではないかと思います。さきほど示したように、ここに電子を溜め込みます。2 個以上溜め込むことが重要であると思っています。それは極めてリーズナブルだということを考えている専門家もいるので、そうではないかと思っています。しかし、詳しいことはわかりません。

【和田分科会長】 田中委員、どうぞ。

【田中委員】 今の話に関連して、酸化チタンについている銅や鉄のアモルファスをスペクトルで見ると面白いと思うことは、きれいな6 配位の酸化物であることです。先ほど説明された銅が結晶化されていけばもっと違う形になります。先生が言っていることは正しいと確信しています。

【東京大学：橋本教授(PL)】 ありがとうございます。先生にそう言っただけだと助かります。私、これは少し自信がありませんでした。

【田中委員】 我々もほかのもので、銅ナノ粒子を作っています。銅ナノ粒子は、簡単なことで一価が起こります。光を当てなくても起こります。意味はよくわかりませんが、一価ができるのです。

【東京大学：橋本教授(PL)】 一価はできますが、酸素のもとで元に戻って二価になります。

【田中委員】 戻りますが、ものによっては酸素濃度にディペンドします。

【東京大学：橋本教授(PL)】 そうですね。

【田中委員】 これは非常にうまくできた例であると思います。理由はわかりません。私が聞きたいのは、銅をチタニアの上、酸化タングステンの上に乗せていますが、バレンスバンドからエレクトロンを飛ばす時に、なぜ酸化チタンと酸化タングステンなのか。ほかの金属酸化物は考慮していますか。

【東京大学：橋本教授(PL)】 酸化チタンと酸化タングステンでなくてもよいのです。ストロンチウムチタネイトでも同じことが起きます。ストロンチウムチタネイトのコンダクションバンドの位置からずっと低い位置で酸素多電子還元ができるようになります。では、なぜ我々が酸化チタン、酸化タングステンを使っているか。まず、コスト的に考えると酸化チタンのほうがよいですし、酸化タングステンは、バレンスバンドの位置が非常に深くて安定だからです。酸化タングステンは昔から光触媒としてアクセプター存在のもとで使われることは有名な話です。なぜかという、バレンスバンドの位置が非常に深いからです。ポイントは、強い酸化力を持つホールを作ることで、それにはバレンスバンドが深いことが必要なので、酸化チタンと酸化タングステンで行いました。この話は一般論で成立します。別に酸化チタン、酸化タングステンではなく、ほかのものでも同じような吸収が出てくると思います。ストロンチウムチタネイトでは確認しましたが、ほかは見えていません。ジルコニウムオキシサイドで実験しても同じことが起きると思います。

【田中委員】 表面積や構造などいろいろなことを考慮されて、これがベストであろうと思います。

【東京大学：橋本教授(PL)】 ホールが強い酸化力を持ち、実用で使うことのできるのは、やはり酸化チタン、

酸化タンゲステンです。それを可視光化しようと取り組んでいます。光触媒に携わっている人間から見ると、必然的にここに帰着します。

【田中委員】 もう一つは、量子効率が高いレベルまで達しており、これ以上というお話でした。あれは基本的には、今回出てきたバンドギャップの少し裾のところのピーク、恐らく 420nm あたりで見ているのですか。

【東京大学：橋本教授(PL)】 そうです。

【田中委員】 逆に、これが蛍光灯に合うということですね。

【東京大学：橋本教授(PL)】 いえ、それは難しいことと、蛍光灯に合うと色がついて使いものになりません。

【田中委員】 420nm 程度ならば、目がよい人でないと見えないのではないのですか。

【東京大学：橋本教授(PL)】 いえ、420nm を吸収するようになると、明らかに黄色になります。黄色になって、窒素ドーピング酸化チタンとほぼ同じ位置です。あれもドーピングをしていくと吸収が増えていきます。ドーピング型のは、ドーピング量を増やしていくとリコンビネーションセンターになるので量子効率は下がります。我々の材料での銅や鉄のナノクラスターはリコンビネーションセンターとして働かないので、できるだけ分散性高く濃度を上げることができれば、そのほうが吸収を増やすことができます。しかし、そうすると、数 nm アモルファス状態で分散性が高く、できるだけたくさん表面にできるのが一番よい。作り方の工夫でもっと伸びる可能性があると思っています。今日は電顕を持ってきていませんが、数 nm と数 nm の間が 10nm か 20nm です。その程度の状態で表面に付いている構造になっています。

【田中委員】 なるほど。逆に言うと、載せる量も、ある程度微妙なバランスがあるのですね。

【東京大学：橋本教授(PL)】 ものすごくあります。

【田中委員】 今回、その量は説明されていません。キーポイントで出すことができない部分があるのですか。

【東京大学：橋本教授(PL)】 これは今 0.2wt%程度です。作り方にもよります。数 nm の形で、しかも分散しないといけないため、絶対量より載った形が重要です。本当は、数 nm ごとに付くのが一番よいと思いますが、残念ながらできていません。数 nm のものが 10nm おきに付いている状態を作ろうと私たちは作り方を研究しています。今は、0.2wt%程度の仕込み量にするのが一番良いものできています。

【田中委員】 ここで言っている量子効率では、入ってきた光子に対して、それがどれだけ反応するかを考えているのですね。

【東京大学：橋本教授(PL)】 そうです。

【田中委員】 例えば表面積がもっと広いものを作って、間隔を同じにすると担持量を増やすことができます。そうすると光量子が増えてくるので、量子効率が変わらなければ、トータルで反応は大きくなります。見かけの量子収率はどうなりますか。

【東京大学：橋本教授(PL)】 この図をご覧ください。Rp(quantas/s)が吸収量で、 $\text{RCO}_2(\mu \text{ mol/h})$ が反応速度、QE(%)が量子効率です。反応速度を増やすと同時に吸収量を増やそうとした結果です。その結果、吸収を増やすことはできましたが、分散が進まず、量子効率が下がりました。それをオプショナライズしました。その時に、今は説明していませんが、酸化チタンの表面を第三のもので修飾するなどの工夫をしました。それは分散性を上げる効果をもたらしていると思います。そのような工夫を行った結果が、今のベストの状態です。

【田中委員】 どうもありがとうございます。

【和田分科会長】 魚崎委員、どうぞ。

【魚崎分科会長代理】 説明資料の 8 ページの吸収スペクトルの図を見ると、可視光領域での吸収は裾を引い

ている程度ですが、そこが効いているというわけですね。

【東京大学：橋本教授(PL)】 そうです。

【魚崎分科会長代理】 さき程の可視光で10倍という話は、これくらいのところで10倍ですか。

【東京大学：橋本教授(PL)】 そうです。量子効率で言うと10倍は実現が容易ですが、そうではなく、オーバーオール速度、単なる吸収×量子効率で決まる速度で言うと、5倍か6倍です。しかし、CO₂が発生するまでにかかる時間で言うと、10倍とか数十倍という意味です。

【魚崎分科会長代理】 より長波長の部分を使っていないとすれば、可視光全体で見るとまだ少量しか使っていないことになります。今までがもっと使われていなかったという意味ですか。

【東京大学：橋本教授(PL)】 窒素ドープであれば、使われていても効率が低かったのです。

【魚崎分科会長代理】 吸収スペクトル的には見えていても、実際の反応には余り使われていなかったということですか。

【東京大学：橋本教授(PL)】 使われていませんでした。吸収が少ないからです。メリットは色がついていないことです。このメリットは、応用上は利用価値が大きいのです。しかし、速度を上げるには吸収を増やしたほうがよい。光吸収をもっと増やしたいので、ドーピングしたものを作りました。すると色がつきます。先ほど述べたチタンドープのものがそうです。これは、インターフェイシャルだけでは吸収が足りないため、チタンの三価をドープしてみました。銅を付けないとドープしたチタン三価がリコンビネーションセンターとなってしまいますが、銅を付けたものでは、うまくいきます。色がついて光吸収量は上がりますが、色がつくことによって、内装材で展開するには限界が出てくるという意味です。

今いろいろな意味でオプティマイズしています。例えば、空気清浄機に入れるのであれば、黄色の色がついていてもかまいません。

【和田分科会長】 リコンビネーションはかなり抑制されていることになりますね。

【東京大学：橋本教授(PL)】 はい。これで見るとわかるように、左側のグラフは、紫外光でも全然反応していません。右側は、この可視光を照射しているものですが、紫外光でもほとんど同じ効率です。

ストロンチウムチタネイトでも同じことを行っています。ストロンチウムチタネイトでも、ドーピングしてコンダクションバンドを下げていくと、紫外光照射下では量子効率は大きく低下します。しかし、この方法で銅イオンを付けると、量子効率は何もドーピングしない場合とほとんど変わりません。

【和田分科会長】 銅一価になっている状態を作れば、ホールとの再結合は抑制できるということですね。

【東京大学：橋本教授(PL)】 その通りです。最初に付ける時は銅二価で付ける必要があります。そこに電子が移動してきて銅一価になると、銅一価は、ある意味ではそんなに良い触媒ではないためある程度その状態が保てる。余り効率がよくなく、ただ電子が溜まっている状態であると思います。そのためにうまくいっていると思います。

【和田分科会長】 例えば、銅とチタンの組み合わせは3dになります。計算化学的に何かありますか。つまり、一種の電荷移動錯体というか、そのようなイメージでよいですか。

【東京大学：橋本教授(PL)】 そういうイメージです。だから、下が酸素の2pです。バレンスバンドは、酸化チタンの場合には酸素の2pで、これと銅のd軌道がハイブリッドして、それで電荷移動錯体を作っているというイメージです。それが固体の表面で起きていて、吸収となって見えています。鉄を付けた場合も、吸収となって見えています。こちらの場合にはdd遷移がないので見やすいと思います。鉄自体には吸収がありませんが、鉄を付けると、ここに新たな吸収が出てきます。

【和田分科会長】 酸化チタンに白金を載せた時の多電子移動とは違くと主張する意味はそこにあるのですね。

【東京大学：橋本教授(PL)】　そうです。あれは多電子移動触媒として働いています。これは、多電子移動触媒として働くこと、もう一つ、この吸収のところで働きます。

【和田分科会長】　理解しました。

【岡本委員】　銅の一価と二価でのウイルスあるいは菌に対する効果の違いが面白いと思いました。例えば、銅一価で、通常はラジカルで表面の酸化分解というイメージがありました。一価で、タンパク質を変性させるとなると、いろいろな種類によっても違ってくると思います。その辺はどう考えればよいですか。

【東京大学：橋本教授(PL)】　ポイントは、銅の一価の固体であることです。固体の一価の状態でもこのような効果があります。普通は銅のイオンとして溶けだすことを狙います。これはそうではなく、一価の銅の固体がこのような効果があること、しかも、非常にスペシフィックに一価です。二価はほとんどこの時間スケールではいかになくて、一価がスペシフィックに効果を発揮します。これは電気泳動で見えていますが、それ以外にもいろいろなデータで検証しました。一価にスペシフィックになぜかタンパク質が変性されてしまう。なぜかという、おそらくタンパク質を構成するアミノ酸の硫黄や窒素が、この一価に強く吸着して変性を受けていると思います。ただ、なぜ一価なのか、なぜ固体なのかについては、我々はわかりません。ずいぶん考えていますが、説明する道がなくて、事実としてこれが起きているということです。

この図もインフルエンザウイルスのヘマグルチニン、ノイラミニダーゼが、この時間を長くしても銅の二価の固体と接触させても変わりません。ところが、一価だとこのように変わります。溶け出ているものではありません。溶け出していないことを確認しています。固体と接触した結果です。

銅一価に対して、タンパク質は非常にセレクトティブに吸着します。銅一価の化合物は、タンパク質を強く吸着します。吸着が強いから変性されるわけですが。

【和田分科会長】　松村委員、どうぞ。

【松村委員】　銅一価の酸化物の付いた酸化チタンの話に混乱しました。最初、チタン三価をドーブした話がありましたね。

【東京大学：橋本教授(PL)】　今、2つのことを言っています。チタン三価をドーブしたもの、これは吸収を増やすためにチタン三価をドーブしました。光吸収後、電子は銅二価に移動し、銅一価となる話をしました。もとは銅二価を付けている話で、今話していたのは、ウイルスや菌に対する銅一価の作用の話です。

【松村委員】　でも、銅を付けているのではないですか。

【東京大学：橋本教授(PL)】　チタン三価をドーブするだけでは反応しないのですが、ここに銅二価のクラスターを表面に付けると反応が進むようになりました。

【松村委員】　後の話は、チタン三価は入れていなかったのですか。

【東京大学：橋本教授(PL)】　いろいろなものがあるものですから、こういうものもあるということです。今日お話したことのほとんどはこチタン三価をドーブしていないものです。

【松村委員】　可視光応答という意味では、チタン三価を入れないほうがよいですか。

【東京大学：橋本教授(PL)】　いえ、このほうが可視光照射下での反応はよいのです。吸収が増えるからです。量子効率ほとんど落ちなくて吸収が増えますが、色が付くため、使用できる範囲が限定されます。

【松村委員】　色が付いていてもよいならば、こちらのほうがよいということですか。

【東京大学：橋本教授(PL)】　よいです。

【松村委員】　2電子還元で酸素を過酸化水素にするのはよいと思いますが、後の過酸化水素の処理は何かあ

りますか。過酸化水素と酸化チタンとのインターアクションが強くて、吸着して着色したとか。

【東京大学：橋本教授(PL)】 そのようなことはありません。紫外光励起でも過酸化水素はできています。過酸化水素は光触媒上、酸化チタンで酸化分解されていきます。これが悪さをすることも、何かポジティブな効果を発揮することもないと思います。

酸化チタンの紫外光励起で、溶液系で行っても過酸化水素が還元反応で溜まってきます。O₂ができ、さらに逐次反応で過酸化水素ができるようです。しかし、あるところで一定値になります。過酸化水素が酸化分解されていくので定常状態になっていきます。これも同じようなことであろうと思います。

【松村委員】 もう一つ。完全分解の重要性を強調するのは、その通りだと思います。ただ、その完全分解の仕方は、反応装置の条件というか、設計によって違うと思います。例えば、プロパノールの濃度が高い時は、まずアセトンが出てきます。プロパノールが吸着しやすくて、反応装置がフローであれば、長くすれば最後は完全分解します。分解しようとするもののガス濃度や装置設計などが影響しますね。

【東京大学：橋本教授(PL)】 その通りです。私が言っているのは、可視光型光触媒でバレンスバンドを上げると、どのように時間をかけても、完全分解まではなかなかかからない、あるいは、全然かかないものもあります。例えばイソプロパノールで行くとアセトンが出ます。アセトンを酸化するのは結構厳しい。バレンスバンドを上げると、アセトンを酸化できません。したがって、第1段階として、アセトンも酸化できるものでなければいけません。次に、濃度が高いとどうか。ご指摘の通りです。この場合は、アセトン経由と、直接二酸化炭素にいく2つパスがあります。イソプロパノールが酸化チタンのホールによって分解されるのは、単純にアセトン経由だけではなく、直接、二酸化炭素にいくルートもあります。これは論文も出ていますし、私たちが調べています。濃度が高くてCO₂は最初から出ますが、アセトンは簡単には反応せず、増えていく時間があるというのは事実です。

高濃度の反応ガスのもとではそうなります。しかし、我々が光触媒で相手にしているのは空気中の低濃度の物質です。酸化チタンのバレンスバンドの酸化力の強いホールがある状態を保っておけば、もちろん条件によりますが、今、私たちが行おうとしている、使おうとしている条件においては有効です。

ちなみに空気清浄機は少し違います。今日お話をする盛和工業は、ごみ焼却場に紫外光の空気清浄機を持っていけば、脱臭の効果が得られるであろうと思っていました。しかし、アセトアルデヒドが出てきました。ごみ焼却場では腐敗しているのでアルコール分があります。高濃度のアルコールがあるのでアセトアルデヒドが溜まり、かえって公害を作ってしまいました。そのように、うまくいかないこともありました。

【松村委員】 人間が住んでいる環境を想定しているということですか。

【東京大学：橋本教授(PL)】 はい。それから、空気清浄機の場合には、光強度を調整できます。もしそういう付加価値の高いところで行うには、たくさんの紫外光を入れればよいと思います。

【松村委員】 わかりました。

【魚崎分科会長代理】 抗菌・抗ウイルス、その前にはタンパク質の分解の話もありました。例えば細菌について聞きたいと思います。細菌は細胞膜で保護されていますが、その細胞膜はどのように分解するのですか。

【東京大学：橋本教授(PL)】 細胞膜の膜タンパク質が分解されます。

【魚崎分科会長代理】 その膜に取り込まれている、タンパク質がつぶれるということですか。

【東京大学：橋本教授(PL)】 はい。細胞膜の膜タンパク質が変性されることで失活していきます。

【魚崎分科会長代理】 サイズの問題を考えると、例えば、今、Cu₂Oの大きさは5nmとか数nmの大きさ

ですが、都合よく細菌の細胞膜に行くのでしょうか。サイズも大きいですね。

【東京大学：橋本教授(PL)】 菌は1 μ です。私たちが相手にしているのは、数 nm のものが10nm おきにいるので、接触すれば必ずどこかに当たります。

【和田分科会長】 思いつきですが、Cu の一価だと、例えば過酸化水素が存在すれば、いわゆるフェントン反応で、OH ラジカル発生ですか。

【東京大学：橋本教授(PL)】 そうだと考えて調べましたが、違いました。フェントン反応ではありませんでした。あくまでも Cu₂O の固体が接触することによって起こります。これはフェントン反応とは関係ありません。鉄と銅なのでフェントン反応ではないかと言われますが、違います。

【和田分科会長】 なるほど。

【田中委員】 タンパク質の変性の多くは熱か、酸塩基です。CuO と Cu₂O だと、Cu₂O のみが塩基ということではないのですか。

【東京大学：橋本教授(PL)】 こんなに効きますか。Cu₂O については、私はわかりません。

【田中委員】 そんなに強いことはありませんが、どちらかという塩基触媒です。

【東京大学：橋本教授(PL)】 では、ほかにもどのようなものがありますか。Cu₂O よりも強い塩基触媒でやったものは、

【田中委員】 それはいくらかでもありますが、それらは使えないですね。

【東京大学：橋本教授(PL)】 それで使えるかどうかですが、そうかもわかりません。だからわかりません。これは吸着特性が大変高いです。

【田中委員】 逆に、タンパク質が塩基に吸着しやすいのではないかと考えました。

【東京大学：橋本教授(PL)】 そうかもわかりません。

【田中委員】 可能性があるのではないかと、思いました。

【東京大学：橋本教授(PL)】 どうもありがとうございました。検討してみます。我々はまだこれについてはわかりません。現象しかわかっていません。

【田中委員】 先ほどの界面エレクトロントランスファーについて、我々も半導体光触媒に吸着した分子がドナーやアクセプターになるものを見つけて、研究しています。それは1電子還元や1電子酸化なので非常にわかりやすい。しかも、量子力学的な手法で何が起きているか、解析できます。

こちらの場合、複数の電子が一つのナノ粒子の中に放り込まれていきます。これの量子力学的な解析はしていますか。

【東京大学：橋本教授(PL)】 我々はしていませんが、このような半導体の上に分子性のものを付けて、吸収が出てどうなったという理論的な論文はあります。

【田中委員】 スペクトルの形までも。振動子強度も計算しているのですか。

【東京大学：橋本教授(PL)】 計算上はしています。ただ、それはあくまでも具体例ではありません。

【田中委員】 それはたぶん1電子励起ですね。

【東京大学：橋本教授(PL)】 1電子励起です。

【田中委員】 ここでは、1つの粒子の中に複数の電子が入っています。

【東京大学：橋本教授(PL)】 これは光強度の弱いところで行っているのだから溜まっていますが、多電子励起といえましょうが、銅の電子状態が変わるからという意味で、電子を受けた銅の電子状態がどれくらいで変わるかで決まります。ホールは1個1個消去されていってもよい。こちらに溜まったほうが1電子から2電子になった時に、励起状態の形が変わるということになるのかもしれない。理論計算に

あるのは1電子励起の話です。

ちなみに、バレンスエレクトロンがこうなっていると書きましたが、クロムを付けると、クロムからコンダクションバンドへの励起が起きます。実は、我々は最初にそちらを見つけて、クロムからコンダクションバンドへ電子移動して、そして光励起されて反応がいくことがわかりました。それができるなら逆もできるだろうと思い、これらの材料を探していきました。

【田中委員】 わかりました。ありがとうございます。

【魚崎分科会長代理】 溜まるということですが、1電子が励起された時に、電子だけが溜まるのでしょうか。

例えば酸素と反応して、次の中間体まで作るものでないと、電子だけがそのまま数nmに1個入るとエネルギーは大きく上がると思います。

【東京大学：橋本教授(PL)】 純粹にそこに溜まっているのではなくて、酸素と反応しながら溜まります。

【魚崎分科会長代理】 中間体を作りながら次の段階へ行くということですか。

【東京大学：橋本教授(PL)】 生体触媒と同じようなイメージで考えています。なぜ銅や鉄に気がついたかという、生体触媒からです。生体の酸素還元触媒は銅と鉄です。銅や鉄で、そういうタンパク質を持ってこなくても、こういう構造を持ってきたら行くのではないかという信念を持って実施しました。

【和田分科会長】 どうぞ。

【出川委員】 後で説明があるかもしれませんが、安全性の話です。ここでは全く問題がないように書いてありますが、やはり何か問題があるのではないかと思います。これで十分なのか、教えて下さい。

【東京大学：橋本教授(PL)】 安全性の問題は極めて重要であるため、私たちも慎重に考えています。我々にとって難しいのは、危険の証明は簡単ですが、安全の証明ができないことです。どうすれば安全と証明できるか。我々は、こういう材料が出た時に調べる典型的な調査を行い大丈夫であると確認しました。

これとは別にもう一つ、ナノ粒子としての安全性試験があります。これは、酸化チタンや酸化タンゲステンなどが既にチェックされています。酸化チタンに対してはナノ粒子が危険であるという説もあります。しかし、酸化チタンは化粧品に使われており、まだ規制がかかっていません。製造元では酸化チタンのナノ粒子の危険性に対して、今たくさん引っかかっていますが、実際にお化粧品として酸化チタンのナノ粒子を塗っています。ナノ粒子の危険性の一つとして酸化チタンの発がん性が指摘されることもありますが、分類で言うと、醤油と同程度の発現性率です。このように安全性の問題は非常に難しいのです。これで絶対に大丈夫と言ってよいかというと、そういうことはありません。何か一つでも出てきたらわかりませんが、調べようもありません。ただ、こういう新しいものを作った時に調べる基本的なものは全部見ております。

【出川委員】 わかりました。

【和田分科会長】 それでは、予定の時間が参りましたので、ここで休憩を取ります。

【非公開セッション】

非公開資料取扱説明

事務局より資料2-3及び2-4に基づき、非公開資料の取り扱いについて説明が行われた。

6-2. 光触媒基盤技術の研究開発

6-3. 高感度可視光応答型光触媒利用内装部材・空気浄化装置の開発

6-4. 酸化チタンの新機能創出

6-5. 光触媒新産業分野開拓

6-6. 今後の展開

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

【和田分科会長】 審議も終了しましたので、各委員の皆様から講評をいただきます。松村委員から始めて、最後に私、分科会長という順序で講評したいと思います。まず松村委員からお願いします。

【松村委員】 非常に幅広い内容を取り上げ、実際の産業につながる可能性を追求した研究でした。プロジェクトリーダーのもと、企業の協力も大きかったと思います。産学連携の良い連携の見本であると思います。個別に見るとまだ問題がある部分もあるかもしれないと思いますが、全体的にはそういう印象を持ちました。可視光応答型光触媒が中心でしたが、光記録媒体への展開の可能性という新しい面も出てきたという話もありました。学術的にも、新しい方向を示したという点でも非常に面白いと思いました。

【出川委員】 プロジェクトに参加された皆さん、ご苦労さまでした。50億円という国の資金を使ってどこまでできるのか。大変なことだと思いましたが、橋本先生のリーダーシップと、大学という場をうまく使用した一つの事例ではないか、と思います。

私は開発・事業化のマネジメントが専門です。その観点から言いますと、研究（サイエンス）、開発・事業化とうまく切り分けて、事業化につながる出口、これは企業がどのくらいやる気を出すかにかかっていますが、その出口につながる良いプロジェクトであったと思っています。

今後、もしいろいろあるとすると、大企業の場合、売上という問題点ではないかと思います。立ち上げのところ、最初はニッチからしか始まりません。今日も中小企業という話が出ていました。その辺もうまくコンソーシアムに引き入れてほしいと思います。そして、うまくマーケットが見えてきたら、大企業が行わないとできません。その辺を切り分けたビジネスモデル展開をすれば、日本発のすばらしいものになると大いに期待します。

【田中委員】 橋本先生のリーダーシップで、非常にシステムティックに事業を展開したと思います。また、参加している企業や、アカデミアの先生方が、それに応える素晴らしいシステムを作ったと思います。今後のコンソーシアムも非常に楽しみです。

ラボラトリーワーク、こういう言い方があるのかどうか知りませんが、ファクトリーワーク、それからフィールドワーク、さらにはマーケティングと、バランスのとれた展開が行われたと感心しました。

私は大学の者ですから、その中でも特にうれしかったことは、ファンダメンタルな部分を解き、調べて、その成果を応用につなげていることです。これは非常に重要だと思います。

反応の量子効率と光の吸収量の掛け算がもっと大きくなっていないかと期待していましたが、それは少し難しいかもしれないということでした。それは、少し残念です。

いずれにしても、今後商品展開していくと思います。まだまだブレークスルーがあると思います。そのために、基礎的な研究も加えて、コンソーシアムで研究開発や実用化への取り組みを続けてほしいと思います。

【岡本委員】 本日はどうもありがとうございました。私は中間評価にも参加しました。実証実験は、こうしたプロジェクトでないとできないものがあります。いろいろな成果が出ており、感心しています。

今後、プロジェクトが終了しても、コンソーシアムで新しいことを進めていこうとしています。メーカーと先生方で取り組む範囲を広げて、新産業を創出していく必要があります。我々、光触媒工業会もあわせて、日本発の技術として、グローバルにも展開していく大きな産業になると信じています。

もう1点、今日余り出てこなかった標準化のためには、しっかりした評価基準を作る必要があります。今はいろいろなことが起こります。評価基準を作り、ISOに提案して、日本がリードしていることを示す。日本発でイニシアティブを取っていく、産業界をバックアップしながら産業を起こしていく、日本だけではなくグローバルに展開していく、大きな成果になっていくと思いますし、期待しています。

【井村委員】 総括してみますと、非常に優れた成果があがったプロジェクトであると思います。特に事業の位置付けや研究開発マネジメント、成果、今後の見通しが評価できると思います。

まず、事業の位置付けについて、光触媒は日本が先導する技術です。その中でも将来が期待される可視光応答型光触媒について、複数の企業の方が一堂に会して研究する。これはNEDOのプロジェクトがあつてこそのことと思います。有意義なプロジェクトであると改めて感じています。集中研方式も、中間評価の際に私は高く評価しました。出席率が90%以上と、活発な交流があつた。社会の動向や開発の進捗状況に合わせて適宜予算追加も行き、有意義な実証試験につなぐことができたと思います。

研究成果を見ると、タングステン酸の銅、酸化チタンルチル系の白色系の鉄や銅の開発も画期的なことです。中間評価で指摘された、コーティング剤をどうするのかという点に対して、各社が工夫して性能の高いものを実現して製品化の見通しも立てたことも評価します。酸化チタンを製造したメーカーは、各メーカーにカスタマイズして提供したと聞きました。そういった面でもご苦労されたと思います。

中間評価で指摘された安全性についても、各社が、現在の安全性を十分に捉えて、内装材としての安全性にも十分留意されたと思います。

新しい機能として、超はっ水性や入型の五酸化チタンなどの、今回の可視光型とは少し違った機能ができたことは、新しい光触媒、酸化チタン関係でも将来があると感じました。

最後に、マネジメントを行うNEDOへのお願いです。こうした新しい、機能の創出も行われています。数年後になるかと思いますが、NEDOのもとで新しいプロジェクトが立ち上がることを要望します。

【魚崎分科会長代理】 非常にすばらしいと思います。ただ、最初の市場規模を2兆8,000億円へ拡大することと、このプロジェクトがどうつながるのかが、今日の説明だけではまだよく分かりませんでした。室内に向かう新市場開発ということはありますが、先ほどのウイルスの計算なども、どう積み上げていくか、さらに大きくしていくにはどうするかが今後の課題という気がしました。そのこととも関係しますが、特に素晴らしいと思ったのは、標準化も同時に進めていることです。これを今までしてこなかったために、ガラパゴス化とかいう話がでできます。せっかくリードし、市場を捉えていこうということなので、これを行うことは大事であると思います。

先ほどの安全性はきちんと固めているということでしたが、安全と安心とはまた違うことだと言います。安全性を確認していても、先ほどの千歳空港の話ではありませんが、変なものが置いてあると言われることも出てきます。関連して、光触媒は最初のこと、まがいものなどうさんくさいものがたくさん出てきました。それらをどのようにして排除していくか。このプロジェクトとは直接の関係はないと思いますが、今後の展開の中では重要ではないかと思いました。

最後に、今後の展開のためにコンソーシアムまで作っていることはすばらしいと思います。今のこの成果を作り出すのに関与したけれどコンソーシアムに入らない企業、今度新しくコンソーシアム入ってくる企業など、いろいろな企業がある中で、その運用は難しいと思います。その中で、コンソーシアム

を率いていくことはリーダーの重要なミッションになると思いました。

【和田分科会長】 私も、中間評価の説明を聞いています。あの時もいろいろな部分で提案内容が達成されていたという印象を持っていたため、今回の内容に関しては安心して聞くことができると思っていました。今回は、何が加わったのかを聞くことが中心になると考えていました。

このプロジェクトは一番大事な部分を備えています。筋のよい橋本プロジェクトリーダーの提案から始まり、そこに関連企業の方々が集まりました。今回、特に印象を受けたのは3つの部分です。

サイエンスの部分はしっかりと研究基盤が出来上がっています。そこから応用に入る時に何でも行うのではなく、今回は抗菌あるいはウイルスに絞り込み、その部分だけは達成する。そこからまた広がる形に作り込まれています。あと、組織作りがそれに合わせた形でしっかりできています。しかも事後の取り組みのためのコンソーシアムまで作っています。

さらに、3年前の中間評価の時にある程度出来上がっていたものがその後どうなったかという見方をすると、失速するよりも、むしろ加速する形で組織まで次の段階が提案されています。非常に良い例を見せてもらったとあの時も思いましたが、今回も、同じ印象を受けています。

もう一つは、先ほども出ていた、土壌浄化の際にぶつかっている、技術とは別の意味の壁です。これをどう考え、解決するか。この問題も、プロジェクトリーダーがいろいろな形で対応しようとしているのがよくわかります。問題を少なくとも把握し、解決策を何らかの形で、個人的な部分もあると言われましたが、それだけでは無理なので、いろいろな形で解決しようとしている。そういう意味で、非常に幅広い解決の仕方も見せていただきました。

参加企業の方々は、所属している企業の中でも、このプロジェクトの価値を主張しなければ継続が難しいはずですが、そういうことも含めて努力した結果としてここまで来たということがよくわかりました。

橋本プロジェクトリーダー、実施者の方々には、非常によい形を作っていただきました。お礼申し上げます。ありがとうございます。

9. 今後の予定、その他

10. 閉会

配布資料

- 資料 1-1 研究評価委員会分科会の設置について
- 資料 1-2 NEDO 技術委員・技術委員会等規程
- 資料 2-1 研究評価委員会分科会の公開について (案)
- 資料 2-2 研究評価委員会関係の公開について
- 資料 2-3 研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘について
- 資料 2-4 研究評価委員会分科会における非公開資料の取り扱いについて
- 資料 3-1 NEDO における研究評価について
- 資料 3-2 技術評価実施規程
- 資料 3-3 評価項目・評価基準
- 資料 3-4 評点法の実施について (案)
- 資料 3-5 評価コメント及び評点票 (案)
- 資料 4 評価報告書の構成について (案)
- 資料 5-1 事業原簿 (公開)
- 資料 5-2 事業原簿 (非公開)

プロジェクトの概要説明資料 (公開資料)

- 資料 6-1 「事業の位置付け・必要性について」、
「研究開発マネジメントについて」
- 資料 6-2 「研究開発成果について」、
「実用化、事業化の見通しについて」

プロジェクトの詳細説明資料

- 資料 7-1 光触媒共通サイエンスの構築 (公開)
- 資料 7-2-1 高感度光触媒材料の開発および光触媒材料の適用技術開発 (昭和タイタニウム) (非公開)
- 資料 7-2-2 高感度光触媒材料の研究開発および部材への適用化技術開発 (三井化学) (非公開)
- 資料 7-3-1 可視光応答型光触媒利用室内環境浄化建材の開発 (積水樹脂) (非公開)
- 資料 7-3-2 可視光光触媒を利用したガラス内装建材の開発 (日本板硝子) (非公開)
- 資料 7-3-3 可視光光触媒を用いた屋内空間浄化技術の開発 (パナソニック) (非公開)
- 資料 7-3-4 高感度光触媒コート材及び部材の開発 (TOTO) (非公開)
- 資料 7-3-5 光触媒を用いた高性能空気浄化システムの開発 (盛和興業) (非公開)
- 資料 7-4 酸化チタンの新機能創出 (非公開)
- 資料 7-5 光触媒新産業分野開拓 (非公開)
- 資料 7-6 今後の展開 (非公開)
- 資料 8 今後の予定

以上