

研究評価委員会

第1回「微生物群のデザイン化による高効率型環境バイオ処理技術開発」 (中間評価) 分科会議事録

日 時：平成21年7月10日(金) 13:00～18:00

場 所：世界貿易センタービル 3階 WTC コンファレンスセンター ルームA

出席者(敬称略、順不同)

(分科会委員)

分科会長	野池 達也	日本大学 大学院総合科学研究科 教授(東北大学名誉教授)
分科会長	池本 良子	金沢大学 理工研究域 環境デザイン学系 教授
代理		
委員	三谷 優	サッポロビール株式会社 生産技術 研究主幹 本部 価値創造フロンティア研究所
委員	茂木 康一郎	株式会社 環境新聞社 編集局・出版 取締役 部長 総括担当
委員	安井 英斉	北九州市立大学 国際環境工学部 教授 エネルギー循環化学科
委員	山口 隆司	長岡技術科学大学 環境・建設系 准教授

(推進者)

古谷 毅	NEDO 技術開発機構 役員(バイオテクノロジー・医療技術開発部 担当)	理事
芝上 基成	NEDO 技術開発機構 バイオテクノロジー・医療技術開発部	主任研究員
長谷川 義基	同上	主査
川井 佳子	同上	職員

(実施者)

藤田 正憲	高知工業高等専門学校 (大阪大学名誉教授)	校長(PL)
角野 立夫	株式会社日立プラントテクノロジー	主管研究長
生田 創	株式会社日立プラントテクノロジー	研究員
原山 重明	中央大学 理工学部生命科学科	教授
諏訪 裕一	中央大学 理工学部生命科学科	教授
堀 克敏	名古屋工業大学 大学院工学研究科	准教授
西田 淑男	愛知県産業技術研究所食品工業技術センター	主任研究員
松本 慎也	名古屋工業大学 大学院工学研究科	特任研究員
李 賢淑	名古屋工業大学 大学院工学研究科	特任研究員

大橋 晶良	広島大学	大学院工学研究科	教授
幡本 将史	広島大学	大学院工学研究科	研究員
岩淵 範之	日本大学	生物資源科学部	専任講師
竹石 英伯	日本大学	生物資源科学部	博士研究員
大村 直也	財団法人電力中央研究所	環境科学研究所	上席研究員
松本 伯夫	財団法人電力中央研究所	環境科学研究所	主任研究員
渡邊 淳	財団法人電力中央研究所	環境科学研究所	主任研究員
森田 仁彦	財団法人電力中央研究所	環境科学研究所	主任研究員
平野 伸一	財団法人電力中央研究所	環境科学研究所	主任研究員
佐々木 建吾	財団法人電力中央研究所	環境科学研究所	特別契約研究員
佐々木 大介	東京大学	大学院農学生命科学研究科	特任研究員
片山 新太	名古屋大学	エコトピア科学研究所	教授、副所長
佐藤 久	北海道大学	大学院工学研究科	准教授
森川 正章	北海道大学	大学院地球環境科学研究院	教授
常田 聡	早稲田大学	先進理工学部生命医科学科	教授
加川 友己	早稲田大学	先進理工学部生命医科学科	客員講師
宋 徳君	基礎地盤コンサルタンツ株式会社		課長

(企画調整者)

水谷 喜弘	NEDO 技術開発機構	企画調整部	課長代理
-------	-------------	-------	------

(事務局)

竹下 満	NEDO 技術開発機構	研究評価広報部	統括主幹
吉崎 真由美	NEDO 技術開発機構	研究評価広報部	主査
森山 英重	NEDO 技術開発機構	研究評価広報部	主査

(一般傍聴者)

1名出席

議事次第

1. 開会、分科会の設置、資料の確認
2. 分科会の公開について
3. 評価の実施方法
4. 評価報告書の構成について
5. プロジェクトの概要説明
6. プロジェクトの詳細説明
 - 6.1 研究開発成果について
 - (1) 好気性処理
 - (2) 好気嫌気処理
 - (3) 嫌気性処理
 - 6.2 実用化の見通しについて
7. 全体を通しての質疑
8. まとめ・講評
9. 今後の予定、その他
10. 閉会

議事録

議題 1. 開会、分科会の設置、資料の確認

事務局より、資料 1-1、資料 1-2 に基づき本分科会設置についての説明があり、予め NEDO 技術開発機構理事長より指名された野池分科会長が紹介された。野池分科会長の挨拶の後、分科会委員、プロジェクトの推進・実施部門、NEDO 技術開発機構企画担当、事務局の出席者が紹介された。事務局より配布資料の確認が行われた。

議題 2. 分科会の公開について

事務局より資料 2-1～2-4 に基づき、研究評価委員会の公開について説明が行われた。本分科会は資料 2-1 の提案通り、公開とすることが了承された。

議題 3. 評価の実施方法、議題 4. 評価報告書の構成について

事務局より資料 3-1～3-5 および資料 4 に基づき、中間評価の実施方法と評価報告書の構成に係る提案について説明が行われた。事務局からの提案通りに本評価を進めることが了承された。

議題 5. プロジェクトの概要説明

推進・実施者より、資料 5-3 に基づき、プロジェクトの概要について説明が行われた後、質疑応答が行われた。

【野池分科会長】ありがとうございました。只今の説明に対して、ご意見、ご質問をお願いします。技術の詳細は議題 6 で議論しますので、ここでは事業の位置付け、必要性、マネジメントについてのご意見ををお願いします。

【山口委員】 技術開発の目標レベルを好気性で既存エネルギーの3分の2、容積が50%減と設定しています。この設定はどのようにして決めたのか、教えてください。生物処理として短時間で行う目標の設定としてはレベルがかなり高いと思われます。この目標が意気込みとしてのものであるのか、どうしてこのような値を設定したのですか。

【藤田P L】 おそらく NEDO 技術開発機構の内部事情もあったと思います。このプロジェクトの開始前に、NEDO 技術開発機構では高効率化という形で環境浄化プロジェクトを立ち上げて5年間研究をしてきました。その成果も本プロジェクトの下敷きの一つになっています。メタン発酵槽容積の50%低減あるいはエネルギー使用量の約3分の2削減という最終目標は非常に高いハードルであることは理解しています。そこまで持つていくことで既存技術の壁をブレイクする。廃水処理技術等が飽和してきたことを我々自身も感じています。高いハードルですが、公募にかける時にこのような目標を設定したというのが本音です。しかし、目標として設定した以上は追いかける必要があります。本プロジェクトに参加した各グループが一生懸命がんばってくれています。「50%や3分の2の根拠は何か」と問われた場合、返答できない部分があります。ただ、高いハードルを設けたということでご理解いただかざるを得ません。

【山口委員】 ありがとうございます。100年ほど前に活性汚泥法が登場し、その後100年ほどかけて2倍から3倍程度にまで機能を向上させてきたことを考えると、3倍という過去100年間の仕事に相当する目標は非常に高いというのが感想です。

【藤田P L】 ここが一番難しいし、また、重要なところですよ。恐らく、活性汚泥を研究されていた方々、メタン発酵について野池先生に申し上げるのは申し訳ありませんが、メタン発酵も、どのような微生物が大きな機能を持っていたか、わかってきたのはここ何十年のことです。それらの機能を持った微生物をいかに強めるかが、今回のデザイン化の一つの流れではないかと思います。先ほど概要を説明したのも、ほとんどは機能を持った微生物に着目した形でのデザイン化という形で来ざるを得なかったためです。

リアクターが2分の1になった時、従来では、活性汚泥のMLSS (Mixed Liquor Suspended Solids: 活性汚泥法における曝気槽内の混合液の浮遊物質濃度)、リアクターの中のMLSSが2,000であったものを4,000にする、6,000にすることによって上がっていく。これは膜でも可能です。すると、今度は、その中身を高濃度化するというデザイン化もあると思います。私は皆さんに期待しているという意味です。

【山口委員】 ありがとうございます。

【安井委員】 私は、NEDO 技術開発機構のマネジメントの展開について、コメントと質問があります。最初の説明で、NEDO 技術開発機構のマネジメント例として、極めて多方面の研究グループと一機通関型で連携してみるという点は、個々の研究が、将来、お互いにアイデアを出し合って、また別の切り口で進めていくという意味で極めて大切だと思います。このことは、この研究開発を高めていく上でとても重要です。研究開発計画は2011年で終了となっています。連携することでもっとよい

アイデアが出てくれば、新たな枠組みとして再スタートしてみることや、研究をさらに加速させるために資金を追加することといった対応が今後可能ですか。

【古谷理事】 NEDO 技術開発機構には、このプロジェクトにかかわらず、すべてのプロジェクトに関して加速制度があります。このプロジェクトの中でも既に加速制度を適用した例があります。プロジェクトの途中で加速すべきものが出てきた場合、NEDO 技術開発機構の中で議論して加速する、新たな予算を追加投資することは可能です。

また、このプロジェクトの終了後、さらに進展が望まれるものは予算を要求して、新しいプロジェクトを立てるかどうか議論することになります。

【安井委員】 このプロジェクトは 2011 年までですか。皆さんが集中して研究していく中で、AグループとBグループが連携することでもっとよいことが出てくることもあると思います。そういった成果は 11 年以降に新たな枠組みとして、NEDO 技術開発機構が予算を新たに獲得してプロジェクトとして進めてほしいと思います。今、マネジメントで、Aグループ、Bグループの足し算と言いましたが、好気性、嫌気性という技術ごとの連携もあると思います。例えば、好気で、内生呼吸の量を減らすものは必然的に、汚泥がたくさん出てきます。その汚泥は嫌気性消化しやすいはずで、好気性でエネルギーを減らし、出てきた活性汚泥を嫌気性で消化することでメタンを多く出すといった技術同士の連携も考えられます。ぜひご検討下さい。

【野池分科会長】 ありがとうございます。

私から 1 点だけお伺いします。先ほど長谷川主査が 13/32 のスライドで最終目標、中間目標を説明されました。しかし、必ずしもこの目的に添わないテーマが半分程度あります。そうしたものは、藤田先生がお話しになられた、環境浄化分野にとどまらない波及効果という面から評価していくことになるのですか。その点はいかがですか。

【藤田 P L】 本来は長谷川主査に返答してもらいたいと思いますが、これは内部でもいろいろ議論しています。特に中間評価の場合、実用化まで行かなくてよい、どこまで達成したかを報告すればよいということでした。本日はそこまでしかご報告できないと思います。しかし、5 年後に、そういう形で公的にも約束していますので、どのような形でリファレンスとして、目標に掲げた 50%削減、あるいは、3分の2のエネルギー削減を達成したと説明するのか、もう少し内部で詰めたと思います。

例えば、あのような形で、好気と嫌気の分野、どちらかで評価する必要があります。やはりリアクターが小さくなった、あるいは、リアクターのエネルギー消費が少なくなったということをしっかり見せたい。もう一つはCO₂削減です。エアレーションやエネルギーに換算できないか、何かそういう形で目的を達していきたいと考えています。

【野池分科会長】 それでは、ほかにご質問をどうぞ。

【茂木委員】 野池先生のご質問と関連しますが、最終目標は個別の2テーマである好気性微生物処理と嫌気性微生物処理について設定しています。冒頭に、好気嫌気処

理を追加したことが説明され、その後、マネジメントを説明する時に、好気嫌気微生物処理を紹介しています。最終目標は、①、②ということで、好気嫌気は記述していません。好気嫌気微生物処理が追加されたことで、この最終目標との兼ね合いではどういう形になりますか。この後に行われた具体的な説明の中で、藤田先生から中間目標の達成度として好気・嫌気処理についても説明がありました。この好気・嫌気処理の達成度合いは最終の実用化見通しでも触れています。最終目標では、好気嫌気処理はどのようになっているのですか。

【藤田 P L】 我々も、説明は好気と嫌気で分けようと思っていました。例えば Anamox 反応は、前半は嫌気で、後半は好気です。では、どちらかと言われると、あえて好気に入れるという方法論があります。好気にすれば、従来の窒素を硝化して脱窒する方法に対してこれだけの省エネ効果があったということができると思います。最終年度に関しては、そういうことを踏まえて、好気と嫌気に分けて、省エネ効果なのか、リアクターが小さくなるという効果なのかということで報告していきたいと考えています。

しかし、これは非常に微妙なところですが、広島大学の D H S、スポンジを吊るしたような形のリアクターになってくると、中で 3 つ走っています。一つは明らかにメタン脱窒ですから嫌気です。これは、小さくなることによるとか、少しテクニカルに説明しなければいけないと思います。少しトリッキーな説明になるかもわかりません。あるいは、2 つの大きな好気の部分を評価するということで省エネ効果を出していくか。この評価で相応の評価をいただければ継続になると思いますが、その時には、最終的にはそういったことも含めてお出ししようと思っています。

【野池分科会長】 三谷委員、いかがですか。

【三谷委員】 NEDO 技術開発機構の政策を質問します。今回、基盤技術開発ということで実施しています。今回のプロジェクトの中では事業化は入っていません。事業化は、事業を行うセクターがすればよいと思いますが、政策的には、いつごろ社会にアプライされて効果が上がってくるのか、見通しをどの辺に置いていますか。その上で、先ほども質問がありましたが、この後のプロジェクトにどう活用していくかをお伺いします。

【長谷川主査】 答えがはっきりするかどうかわかりませんが、私も、この 9 つのテーマを見て、実用化の手前まで来ている名工大の堀先生の研究、北海道大学の森川先生のようにやや基盤技術に近いところがあります。一概には言いにくい部分がありますが、各先生の研究について、大体この辺かなと。まだ私も自信はありませんが、今話しましたように、先生によってということは感じつつあるところです。

【三谷委員】 ゆくゆくは、循環型社会の構築ということが最大の課題です。先ほど来お話がありました地球温暖化の低減に資する、温暖化防止に効果を上げるというために、日本政府は何年度を目標にして何%の温暖化ガスを削減すると課題を挙げています。この課題と並行していく必要があります。温暖化等に関してはそういうことだと思います。温暖化対策と歩調を合わせて進めることができると思っているので、質問した次第です。

【藤田 P L】 プロジェクトリーダーですので、NEDO 技術開発機構の立場とは異なる

かもしれませんが、温暖化や循環型社会などのキーワードでは従来の方法論に対して、現在行われているプロセスをどう省エネ化するかという話があります。これも新技術を開発しようと取り組んでいますので、何らかの形で成果を社会に出していく。それらがうまく既存技術とすりあわせができれば、現在のプロセスが省エネ化していくと考えています。概要説明の際に説明しましたように、基本的には、このプロジェクトは、特定の、ある機能を持った微生物をいかに我々自身がコントロールするかということです。ケース・バイ・ケースだと思いますが、場合によっては利用できる可能性が高いと考えています。そういう形での実用化、あるいは、実用化を何らかの形で支える基本技術になると考えています。

企業や、電中研のように企業に近い組織で行われているプロジェクトは、すぐに実用化につながることも考えられます。基盤的な研究、基礎的なモデルの問題などは、何らかの形で継続していかない限り、技術には直接結びつかないと思いますが、応用はできると考えています。

【池本分科会長代理】各先生のご質問で大体理解できましたが、1点だけお聞きします。中間目標ですが、「①及び②について、技術面での見通しが確実に得られていること」とあります。これは、ややあいまいな目標になっていると思います。22/32ページ以降に、それぞれのテーマに対して中間目標が具体的に書かれています。この具体的に書かれているものをまとめて、「見通しが確実に得られていること」と理解すればよろしいですか。

【長谷川主査】はい、その通りです。この質疑応答の間に出てきましたように、特に、好気性の3分の1という数字とはまだ若干乖離しているところがあるかもしれませんが、今後2年間で、マネジメントの部分で、できるだけそうした方向でお応えできるようにしたいと考えています。

【野池分科会長】大変有益なご意見をいただきまして、ありがとうございます。また、ご発表をありがとうございました。

議題6. プロジェクトの詳細説明

推進・実施者から個別テーマの説明が行われた後、質疑応答が行われた。主な質疑応答内容は以下の通りであった。

6.1 研究開発成果について

(1) 好気性処理

【野池分科会長】ありがとうございました。それでは、ご議論をお願いします。

【山口委員】日立プラントテクノロジーの技術について、今後の展開で、亜硝酸で反応を止めることを検討し、今後、三十何%までの効率化を図るということでした。亜硝酸を作ることについて、何か具体的に、今後はこのようなことをしていくというものがあれば教えて下さい。

【藤田PL】一つは、単独でニトロスモナス等をうまくコントロールしていくことが出てきます。日立プラントテクノロジーでその技術を開発すると思います。もう一つ。北大のグループが取り組んでいるヒドロキシルアミンが一つのキーワー

ドになります。長谷川さんからも説明がありましたが、これは今後の連携になると思います。この物質をうまく使うと、アンモニアを酸化する時に出てくる部分硝化が非常に効率よく、しかも安定して起こることがわかっています。この部分で連携も可能と思っています。残念ながら、今のところ、連携して何かを始めたということではありませんが、今まで行った3回の発表会から、個々にプロジェクトリーダー等が現地で打ち合わせをした段階で、これはなかなか行けそうではないかということも出てきました。一つ考えていきたいと思っています。

【山口委員】 ありがとうございます。

【森山主査】 藤田先生お一人が質問に対応されるのは気の毒な気がします。日立プラントテクノロジーの皆さん、いかがですか。

【角野主管研究長】 日立プラントテクノロジーの角野です。最初の質問の亜硝酸にするテクニックは、ここに書いてあるアルカリ処理によってニトロバクター系統の菌を阻害させ、弱めて、ニトロスピラや亜硝酸生成菌だけを活性化させ、亜硝酸型にとめる方法を今回の実験で長期間運転しました。これはかなり実用に近いと思うところまで、亜硝酸型でとめる反応を進めています。

しかし、亜硝酸型だけで曝気量を3分の1にはできません。この後、他のグループ、Anammox グループ、前段でのBOD処理、嫌気処理のグループの皆さんと連携し、日立プラントテクノロジーの内生呼吸低減と窒素とBOD処理をあわせて初めて3分の1になると考えています。

【山口委員】 ありがとうございます。

【安井委員】 日立プラントテクノロジー、名古屋工業大学、日本大学の順に、幾つかコメントと質問があります。

まず、日立プラントテクノロジーの研究は、できる限り内生呼吸の量を低くしたシステムを開発しようというものです。このバクテリアにとっては、グリコーゲンを廃水有機物から作るための転換効率と、微生物そのものが死ぬ自己消化速度、廃水を浄化するために必要な最大反応速度、バクテリアの最大増殖速度、それらの化学量論、動力学とバクテリアの常態変性、以上がすべてミックスして初めてプロセスの評価が可能になります。

この活性汚泥のようなミクスドカルチャーでは大体の数字は世の中で押さえられています。200株ものバクテリアを単離して研究しているということです。それぞれのバクテリアで動力学定数あるいは化学量論のパラメータがどの程度になっているか、お互いのイールドと自己消化速度あるいは最大増殖速度がどのような関係になっているか、今後の研究の進め方や新しい微生物のデザイン化は極めて貴重な情報になります。研究資金に余力が出てくるようであれば、ぜひ検討して下さい。

もう一つは、中間目標最終成果の絵姿です。ゲルを使って廃水処理を行うと、最終的には、増殖した汚泥と処理水との固液分離が大事になります。今回の研究では、そこはスコープに入っていません。しかし、いずれ何らかの形で研究開発を促進させる必要があります。出てきた余剰汚泥は、また別個の嫌気性処理でメタン発酵する、そういう展開が幾つも考えられます。ぜひ、NEDO 技術開発機構のご担当は前

向きな検討をお願いします。

次に、名古屋工業大学のリパーゼです。私は以前、このテーマに関係している研究をしたことがあります。リパーゼ分泌細菌とグリセロール分解酵母を使い油を分解するというのですが、最初のスライドの「生成物が消費されると反応が促進する」という説明がとても興味深く、なぜそういうことが進むのか、何らかの形で調べることができないかと思いながら聞いていました。リパーゼ分泌細菌、活性を相当長時間維持させる必要があると思います。グリーストラップの中には必ずしも好気条件ではありません。このリパーゼ分泌細菌は嫌気条件でリパーゼを結構分泌するものですか。

【堀准教授】 名工大の堀です。これは好気条件で分泌するタイプで、必要に応じて多少の曝気も必要です。このグリーストラップは夜間に曝気しているので、主に夜間に働かせています。規制上、昼間は固液分離を働かせる必要があるため、曝気攪拌されるほど曝気できません。曝気したとしても、攪拌を乱さない程度の曝気しかできないので主力は夜になります。そういう条件でも、昼間も分解は続いているようです。その辺の部分がどうしてうまくいっているのか、メカニズムを解明したいと思います。

【安井委員】 なぜこの生成物が消費されると反応が促進するかはとても興味深いところです。

日本大学の研究については、私自身がよくわからなかったのですが、ロドコッカスのEPSによって鉄が栄養塩として行き渡りやすいということになるのですか。それとも、EPSそのものが界面活性剤の効果で細菌が生物分解されやすい成分になるのですか。その辺のメカニズムがよくわかりませんでしたので、教えていただけますか。仮説でも結構です。

【岩淵専任講師】 日本大学の岩淵です。まず、サイクロクラスティカスは鉄の取り込みに関して絶対に不利な環境なので、EPSの化学構造からいって、鉄の取り込みとオイルの分散、あとは住み処を作ることを、同時に成し得るような化学構造をしています。それぞれが部分的にかかわっており、それが総合して結果としてよくなるという解釈をしています。

【安井委員】 ありがとうございます。

【三谷委員】 堀先生、プリミティブな質問ですが、フィルムを形成させてスカムを分解するというイメージでよろしいですか。今、曝気のお話がありましたが、気相から空気あるいは酸素を取り込むということはできませんか。

【堀准教授】 もちろん、それもあります。ただ、表面からだと空気が不足するので、夜間は曝気したほうが効率がよいということがあります。

【三谷委員】 私が関係している研究で、嫌気槽だが脂質がたまってくるという系があります。嫌気発酵槽の場合はエアレーションできないため、どういう工夫をしないとそういうニーズに応えられる系ができるのか、という出口イメージの一つになると思って質問しました。

【堀准教授】 これからの発言は非公開にさせていただければ、お答えできますが。

【森山主査】 わかりました。一般傍聴者だけ退席していただければよろしいですか。

【堀准教授】 はい。

【森山主査】 野池先生、いかがですか。一般傍聴者がおられないということですので、このまま非公開セッションに移りますが、よろしいですか。

【野池分科会長】 はい。

【森山主査】 野池先生のご承諾も得られましたので、ご回答をお願いします。

【堀准教授】 (非公開)

【三谷委員】 ありがとうございます。

【森山主査】 今のご発言の部分は、NEDO 技術開発機構ホームページで公開する議事録からは削除します。続けて下さい。

【池本分科会長代理】 まず、日立プラントテクノロジーのハイブリッド担体は面白い考えだと思います。様々な菌を固定化して中に一緒にまとめておくというと、ゲルとゲルの間のそれぞれ違う微生物の間の相互作用がありそうな気がします。その配置はどのように考えているのですか。

【角野主管研究長】 我々が受託しているものは内生呼吸低減菌です。最終的なイメージは、Anammox 菌がいて、硝化菌の菌叢があり、内生呼吸低減菌がいて、二重構造、三重構造、四重構造になるように、一つの担体の内部で構成させようとしています。その手法は、本日のスライドには出てきませんでしたが、まず Anammox 菌をゲル化固定し、分散させて、それと硝化菌を混ぜてもう一度固定化すると二重固定になります。その後、また分散させてまた固定化すると三重固定ができます。そういうものを作っていこうとしています。ただ、位置関係として、どこの層にすればよいか、Anammox 菌は表層に近い部分でよいか、内生呼吸低減菌は一番外側の層でよいか、その配置をどうするかは、まだまだ考えていくという状況です。

【池本分科会長代理】 そういうところまでデザイン化していくのは、今後の展開として非常に面白いと思います。

もう一つ。名古屋工業大学の扱っているグリーストラップの問題は、私も勤務する大学でグリーストラップの問題への対応を担当しており、非常に困っています。様々な製剤が売られていますが、ほとんどはグリーストラップの中の pH が大変高い、滞留時間が短いという理由からあまり役立っていません。少し試してみると、夜に曝気すると、朝は濃度が高くなるという結果でした。そういう中で固定化されて、微生物を外からたくさん添加するのはあまりよいことではないので、最低限の微生物を添加し、中で固定化できるシステムができればよい対策になると思って聞いていました。そのためには複合の微生物を固定化するという、何か工夫がないと、担体を入れただけではだめと思って聞いていました。固定化する時の技術というか、工夫は何かされていますか。

【堀准教授】 中間評価までの現状としては、中心的には微生物をほとんど毎日のように添加しています。この添加する微生物は比較的付着性の高い菌をスクリーニングの段階で採ってきて、積極的に入れている状況です。少しずつこうしたものの添加の量を減らしていきたいと考えています。これは今後の課題になりますが、やはり付着性をコントロールして、より付着性があるものにしていきたいと思っています。もともと私の専門は微生物の付着メカニズムの解明です。例えば、ナノファイバー

と言われるものを作ると微生物がつくことがわかっています。そういう細胞の表面の構造が微生物の付着にかかわっていることがわかってきました。開放系なので遺伝子工学は使いにくいと思いますので、その細胞の表層をうまく変えるミューテーションがかかるような仕組みを考えています。

(非公開) 後々の特許のこともありますので、今の部分は非公開にしてほしいと思います。

【森山主査】 そうしましたら、今の部分は議事録から削除します。

今のように、その都度、ここの部分は非公開であるというご指摘をお願いします。というのは、その後はすぐに公開ということで議事録を公開しますので、細かくて申し訳ありませんが、ご指摘をよろしくをお願いします。

【池本分科会長代理】 ぜひ、そういう方向で今後も続けていただければと思います。ありがとうございました。

【野池分科会長】 ほかにありませんか。

【茂木委員】 日立プラントテクノロジーの技術について、この有用菌は具体的に内生呼吸低減菌やアンモニア酸化細菌ということで挙げられています。現時点では、亜硝酸型の担体で、曝気量を74%まで減らすことができ、最終的には32%まで減らすことをハイブリッド担体で目指すということです。これは、菌自体を見つけていくのですか。あるいは、担体内部の菌の配置濃度、密度が一番のポイントになるのか、よくわかりませんでした。

【角野主管研究長】 内生呼吸低減菌に関しては、今年度まで探索します。その他の菌に関しては、現状の亜硝酸型の硝化は現状の硝化菌でいこうと考えています。あと、Anammox その他の技術に関しても、本プロジェクトのメンバーと連携して、先生方の菌を使おうと考えています。

【茂木委員】 一番のポイントは、ここでも挙げている菌の配置や空間云々であると説明されました。特定有用微生物の人為的な安定的導入技術あるいは空間配置、この辺が大きなポイントになる。そこを押さえて初めて32%という最終目標が達成できるということですか。

【角野主管研究長】 最終的にはシステムの構築です。個々にはいろいろあります。その一つに担体の空間的位置の構築があります。ただ、それだけでは達成できません。どこに何を置くか、まだ具体的に決まっていません。基本的なフローでいくと、メタン発酵、亜硝酸型、Anammox であろうと考えています。

【茂木委員】 わかりました。ありがとうございます。

【野池分科会長】 ありがとうございます。

(2) 好気嫌気処理

【野池分科会長】 ありがとうございます。それでは、ただいまの好気嫌気処理に対してのご質問をお願いします。

【山口委員】 早稲田大学のモデルの達成度についてです。ほかの研究はエネルギーや容量の減少であるのに対して、モデルの場合の達成評価は、どのようにしたらよいですか。

【藤田 P L】 全体説明でも説明しましたように、この研究は基盤的な研究です。当然、これのできたのでリアクターが半分になった、エアレーションを3分の1に減らすということに直接結びつけることは難しいと考えています。ただ、我々は、最終的に、これを提案して評価してもらおう段階では、ご指摘された部分ともリンクして説明しないとイケないと考えています。

我々が考えている一つの方向は、このような形で一つのリアクターが説明できると、今度は逆に、このリアクターをいかに効率化するかということで、実験を行わずにシミュレーションで効率化を達成することです。これは実験的に早稲田大学が行っている方法ですが、窒素とリンの同時除去のリアクターで、従来動かした場合はこの程度の効率になります、それに対してシミュレーションによってパラメータがこうなり、このような形で運転すれば、少なくとも、速度はこれまで落ちた。あるいは、リンの蓄積速度がこれだけ早くなった。そういった答えが出てきます。それを「効率化」という形で評価してもらうことができるのではないかと考えています。おそらく、そういうことで提案しない限り、このままで省力化などということは現実問題としては難しいと思います。これは私の説明ですが、常田先生、いかがですか。

【常田教授】 おっしゃる通りです。

【山口委員】 窒素・リンの同時除去プロセスは、プロセス自体も面白いと思います。あと、広島大学の研究についての説明でも出てきましたが、温室効果ガスの削減への配慮は、プロジェクト全体の中で扱うのですか。

【藤田 P L】 少なくとも広島大学ではリファレンスとなるリアクターを見つけることができませんでした。何をどのような形で進めていけばよいか、わからないところが多々ありました。懸濁型をリファレンスにするのか、それに対して2分の1になった、30%になったということで、いろいろと議論しました。我々自身もまだ一部迷っているところもあります。やはり従来法に比べてと考えれば、懸濁型に対してということ提案せざるを得ないと思います。従来法で、懸濁型の方法で、高度処理をする。極端に言えば、U A S B で出てきた処理水をさらにこのD H S リアクターで処理するのか、あるいは、懸濁型にするのか、それによってどう違うのかということリファレンスにしながら効率化を示していく必要があると思います。もう一方で、付加的に考えるべきだと思いますが、溶存メタンをそのまま放流すると、やはり温暖化ガス、いわゆる温室効果ガスということでの評価があつてよいと思います。そこに強い思い入れを持っておられる大橋先生にお答えしていただいたほうがよいのですが、その部分はやはり出していきたくて考えています。大橋先生、いかがですか。

【大橋教授】 目標①、②は、CO₂の排出量の3分の1以下への削減を掲げています。これはCO₂でなくても、エネルギー換算でも同じように換算できます。嫌気性処理にはいろいろあります。そのまま放流するとCO₂が出ますが、その後段に装置を付ければ、トータルとしてCO₂が3分の1に削減できます。従来のものに付加することで逆に削減できます。メタンもそうですが、亜酸化窒素もそうです。Anammoxや亜硝酸化の話がありますが、本当にたくさん出ており、5%から

10%くらいは硝化の過程で出ています。よいプロセスで、計算するとコストが削減できる、設置面積が小さくなると言われていますが、そのまま放流するとよくない。少し装置を加えて分解してやると、トータルとして3分の1以下になります。このプロジェクトには全体を補うものとして必要ではないかということで参加させてもらっています。

【山口委員】 北海道大学の亜硝酸生成で、エネルギーがどうしても62%しか下がらないということについて、好気の技術はコンパクト化には非常によいのですが、エネルギーの部分で62%をさらに30%にするという時に別の新しい何かが必要ではないかと思いました。

【藤田P L】 ありがとうございます。日立プラントテクノロジーの角野さんも同じ答えだと思います。なかなか計算では、あるいは、本当に3分の1というのはどうか、となってきた時に、よく言われるように、トータルとしてどうなのかということをお我々ももう一度考え直さないといけません。安井先生からも非常によいサゼスションをいただいたので、そういう方向は一つ考えたいと思います。

【山口委員】 ありがとうございます。

【安井委員】 順番に、質問とコメントをします。最初に、DHSリアクターについての質問です。溶存メタンの酸化分解では、流入のメタンが生物分解されて液側に流出する量が減ります。リアクターは通気しているので、ストリッピングされて出ていくメタンの量はどのくらいですか。

【大橋教授】 それも入れて98%除去していますから、密閉は、ストリッピングで出てしまっは全く意味がありません。従来法だと、活性汚泥にしてもそのままストリッピングで出てしまうので、DHSであれば保持された状態でメタン酸化ができ、密閉型で空気の調整を行うなどの制御方法があつて初めて、90%という除去ができます。その辺りは説明不足でした。ストリッピングもない。そのため、1%以下に抑えているということです。

【安井委員】 わかりました。これは委員ではなく、ただの技術屋としてのコメントです。DHSのよいところは、リアクターの中に通気する空気の量が活性汚泥の場合よりも少ないことです。このDHSの出口にバイオフィルターをかぶせれば、DHSよりフィルターのほうが細かいので、表面積が高く、ガス状のものを効率的に取ることができると思いました。

【大橋教授】 実際にはステップがあります。今は溶存メタンだけですが、嫌気性処理水では有機物も、硫化水素も含まれています。それを全部処理する必要があるため、今はメタンの話だけですが、実際には硫化水素が先に分解されるという一連の有機物分解も考えると、このようなタイプでないとなかなか難しい。メタンだけを取るのではなく、トータルに考えてこのようなシステムになっています。

【安井委員】 なかなかすばらしいと思います。ありがとうございます。

次に、北海道大学のAnammoxのリアクターについて質問します。アナモックスリアクターで $34.2\text{kg-N}/\text{m}^3/\text{day}$ の最大窒素除去速度が得られたことについて、何がどうなって今までよりも上がっているのですか。

【佐藤准教授】 北海道大学の佐藤です。圧倒的に違うところは、HRTが短いところで

す。それが 39 番のスライドです。1 時間のものが 6 分で、これが実験上どこまで行くのか試して、ポテンシャルではということです。

【安井委員】 リアクターそのものの運転条件で反応速度が変わりますか。例えば、今まで実用化されているグラニュール型の Anammox リアクターに対して、指標として、容積ではなくてグラニュール当たりの最大速度が高まった技術が確立されたというように、微生物あたりに換算するともう少し分かりやすいと思いました。今の説明にもありましたように、運転条件で除去速度はかなり変わる可能性があります。これは感想です。コメントではありません。

北海道大学のバイオフィルムは、私にはとても新しい知見で、感心しながら聞いていました。現象面だけではなく、なぜこのようなことが起きるのかというメカニズムに踏み込んだ研究が発展するとすばらしくなると思いました。これは感想です。早稲田大学の研究も大変すばらしいと思います。もともとの始まりは生物反応の最適化を図ることでしたが、この研究を展開すると生物以外にも応用が進んでいくと思います。例えば、ある溶解性の物質が固形物に変わって、水の剪断力ではがれると固形物も様々なものができます。応用は、熱交換器のスライムやスケール化合物、産業全般に知見が応用できると思います。今回は、微生物群のデザイン化によるバイオ処理技術開発ということですが、このような基盤技術は、バイオ技術に限らず、ありとあらゆるところに使うことができるはずで研究の発展を強く期待しています。

【野池分科会長】大変恐縮ですが、発表の時間が限られています。コメントよりもご指摘、質問をお願いします。

【安井委員】 早稲田の研究について指摘は特にありません。シミュレーションでこのように進んでいますから、実際のデータとシミュレーション結果とのキャリブレーションを予定されているという理解でよろしいですか。

【常田教授】 はい。微生物群の生体構造と水質のデータを両方実験的に取り、シミュレーション結果と比較しながら、合わない部分がある場合は、モデルをブラッシュアップしていくという形で進めています。モデルはほぼ構築していますが、最終的にモデルを構築すれば最適な性能を得る条件、その時の微生物のコミュニティ構造を出していきたいと考えています。

【安井委員】 ありがとうございます。

【野池分科会長】ほかの先生方、どうぞ。

【三谷委員】 今の安井先生の質問にも関係しますが、シミュレーションのモデルの要素式を教えてください。

【常田教授】 簡単に申しますと、物質の移動、つまり拡散の方程式と微生物の反応式、増殖の速度式を組み合わせています。それぞれの物質についての拡散係数があり、それぞれの微生物についての増殖のパラメータがあります。そういうものをマトリックス的にとらえたモデルを構築しています。

【三谷委員】 安井先生から先ほどお話がありました、シェアストレスでフィルムがはがれる、オーバーフローする、そういうものも入っていますか。

【常田教授】 まだ単純なモデルを作っている段階ですので、そうしたことを入れてい

ません。最終的なモデルには、そういう流体力学的な式やシアーストレスも入れたいと思います。例えば、グラニューールがどんどん大きくなっていく、増殖とシアアではがれていくバランスがとれているということになります。そうした現象に対応したモデルを考えたいと思います。

【三谷委員】 今回、境界条件は、ラボで使われた実験データをもとにされたのですか。

【常田教授】 はい、そうです。

【三谷委員】 わかりました。ありがとうございました。大橋先生のお話にありましたが、これは NEDO 技術開発機構への質問です。嫌気処理の研究は、NEDO 技術開発機構のプログラムでもたくさん動かしています。先ほどの山口先生のお話にもありましたが、エフリュウメントの水の中から放散する地球温暖化ガスのとらえ方というか、意味は、今回の結果を踏まえて、地球温暖化ガスがたくさん出てくるといふ提起だけで終わるのですか。

【芝上主任研究員】 私も専門ではないので、答える内容が適切かをどうかわかりませんが、先生がご質問された内容は今後、考慮する範囲内にあると思います。しかし、このプロジェクト本来の目的を若干出ていると今のところは考えています。大橋先生の研究を例に挙げられましたが、今後、ご指摘の部分は、本来の目的の範囲内でなくても検討すべき内容であると考えています。

【三谷委員】 ありがとうございます。技術論的にはすばらしいご研究で、成果も上がっていると思います。これをどう調理していくのかが、我々一般人としても非常に興味があるところです。

【芝上主任研究員】 実質的にはまだ2年間たっていない段階での中間評価を本日は迎えています。私が見る限り、まだ1年くらいですが、着実に成果を上げています。大橋先生のご研究に限らず、当初想定していたよりも進んでいるものもあります。先般、長谷川が説明しましたように、当初は必ずしも想定していなかった実施者間のコラボレーションによって、新しい視点あるいは産業の種が出てきていると、個人的にも感じています。先生が言われたように、現在は各社のプロジェクトの目的の中に、必ずしも明言化されているものではないものであっても、NEDO 技術開発機構として、あるいは、国として取り組むべき課題であると考えた場合は適宜改訂していく形で進めていきたいと思います。実際、先ほどの一機通関型のコラボレーションに関してもその一環であるのご理解いただければと思います。

【三谷委員】 ありがとうございます。

【野池分科会長】 後で全体を通しての議論がありますので、そこでまた今のような本質的なお話をお願いします。

【池本分科会長代理】 大橋先生の研究で、リン回収は面白いアイデアだと思います。最終的に、水の中に濃縮されたリン酸が出てくるということでした。その後、そのリン酸をどう回収するかがセットになっていると思いますが、何かよいアイデアがありますか。

【大橋教授】 すみません、私の研究ではそこまでは考えていません。目標を 100ppm というリン酸濃度にしていきます。MAP が使うことができる程度にまでしたいということの設定をしています。今、計算したコストも、MAP を使った場合、薄い濃度

の場合はこの程度のコストになるが、濃縮すれば、6分の1程度になるということで、後段はMAPを考えています。

【池本分科会長代理】ありがとうございます。北大の研究の最終目標として、システム全体の高効率安定化の達成を設定しています。この研究では、ゲノム情報を最後にどう使うのかということが重要になると思います。ここに結び付ける何かよいアイデアがありますか。

【佐藤准教授】 確固たるものではありません。私の理解では、遺伝子レベルのこととその処理は、現在では乖離が大きくて、皆さんが困っているところだと思います。といっても、せつかくの重要な情報ですので、宝の持ち腐れにならないように、処理に有用であると思われる遺伝子をまず見つけ、極力それが働くように、その因子を見つめることに挑戦したいと思っておりますが、具体的の方策は持っていません。

【森川教授】 北大地球環境の森川です。ゲノム解析以降は、我々も関係する予定になっています。今日の説明では詳細を入れてありませんが、Anammoxの立ち上がり非常に重要な要素としてグラニュール形成があり、Anammox菌の表層には特異的なタンパク質があります。そのアミノ酸配列から当該遺伝子を同定しましたが、今回ゲノム情報が利用できたためこの作業が非常に効率よくできました。

さらに、オランダのグループが取り組んでいる別の属のゲノムと比較しても、明らかに違う特徴があります。詳細についてはご説明できませんが、いろいろわかっています。確実にグラニュール形成あるいはAnammox菌の効率化につながる遺伝的な情報が得られると考えています。これは今後2年間で取り組みたいと思っております。

【池本分科会長代理】ありがとうございます。最後に、北大地球環境の研究について質問します。私は、バイオフィルム工学は詳しくありませんが、バイオフィルムにして反応が効率的になるとのことでした。①のバイオフィルム工学による微生物群デザイン化技術は、何か工夫をするということですか。

【森川教授】 活性汚泥も一つのバイオフィルムと我々は解釈しています。狭い意味では固定表面上に付着した微生物の群集ですが、フロックを形成する時の遺伝子とバイオフィルムを形成する遺伝子は恐らく共通していると思います。今、我々の取り組みは、プロジェクトリーダーの藤田先生が説明されたように、単純な系から組み立て、現実の諸活動の中の機能として重要なものをデザイン化することを考えています。そのため、今回、私どもが成果として出しているものは、すべてピュアカルチャーでのバイオフィルム形成です。ニトロソモナスのピュアカルチャーは非常に難しいのですが、これもバイオフィルム化することでアンモニアの代謝活性が2倍に上がることを確認しました。先ほどは省略しましたが、ヘルパー微生物を活性汚泥から単離して、組み合わせることによっても効率が上がります。そうした技術を後半で組み合わせることによって、単純な系で硝化活動の効率化を図っていくというポリシーです。よろしいですか。

【池本分科会長代理】 そのバイオフィルム化する時に、何かをしているのですか。担体を投入することでバイオフィルム化するということですか。

【森川教授】 そうですね。そこは、今のところは単純な方法をとっています。ただ、

共生系でバイオフィルムを促進する細胞を別途発見しつつあります。日大の岩淵先生の多糖類もそれに近いところがあると思います。そうしたものを外部から添加するというアイデアも当然あります。

【池本分科会長代理】わかりました。ありがとうございます。

【野池分科会長】ご熱心なご質問をありがとうございました。大橋先生のメタンの除去と対象物がUASBといった、そういう薄いものに限られるようです。実際、メタン発酵から出てくるものは液肥利用されて、田畑やフィールドにまかれるものが多いと思います。その場合、有機物などたくさん入っています。他の影響があって、このDHSの方法は難しいでしょうか。

【大橋教授】確かに、有機物が入ってくると難しくなると思います。ただ、実験を行うと、硫化水素を先に分解して、その後、有機物とメタン分解が同時に起こるのですが、メタン酸化が結構速いため、有機物が残ってもそのまま放流、液肥としても使うことができると思っています。

溶存メタンを分解させるか、分解させないかといった時に、計算や文献によると、流入のCODが700くらいを境にして、高い時には活性汚泥よりも効果がありますが、700よりも少ない濃度が入ってくると、嫌気で処理するよりは活性汚泥で処理したほうがよい。その場合には、溶存メタンを取れば研究を行う価値があります。そのクリティカルなところが700です。下水処理は、途上国では嫌気性処理がされています。300や400程度のCODが入る場合は、このような施設を取り入れることで、CO₂やエネルギーを3分の1以下に抑えることができます。液肥の高濃度のことはあまり考えていません。高濃度は、ビール会社などでも廃液がありますが、UASB反応槽で処理されています。その場合には、高濃度ですので、溶けたものを回収しなくてもそう効果はないのですが、低濃度になればなるほど回収する必要が出てくるため、低濃度を対象にしています。

【野池分科会長】ありがとうございました。よくわかりました。北大のAnammoxの研究ですが、レポートを読むと、数は少ないですが、外国や我が国でもこのプロセスは実現しています。実際のAnammoxではこの程度の除去率ですが、これを行うと効率が高まるという記述がありません。北大で初めてAnammoxを行ったように受け取れるレポートになっていますが、既にオランダなどで実現しています。ここには企業の方もおられます。安井先生は昔、栗田工業に勤務され、Anammoxの研究で賞をもらっています。そういう既に動いているAnammoxに対して、岡部先生の研究はどの程度飛躍したと書いてもらおうとありがたいと思います。これはコメントです。

(3) 嫌気性処理

【野池分科会長】どうもありがとうございました。それでは、ご質問をお願いします。

【水谷課長代理】質問に入る前に、この項目の説明が始まる前の質疑応答の中の北海道大学のAnammoxのリアクターについて、従来のものとの違いが見えないというお話がありました。コメントがありませんでしたが、私が資料を見た限りでは、既存のものや従来のものよりも活性効率が高いという記載がありました。これが質問の答

えではないかと思いますが、違いますか。

【藤田 P L】 岡部先生がお見えではないので私がお答えします。野池分科会長がご指摘されたように、Anammox 反応は欧米ほか世界各国で注目されている技術であるため、研究報告例が多いことは我々も承知しています。この Anammox が、岡部先生のオリジナルな研究でないこともわかっています。文献の引用という形で先行研究を述べる必要があると思います。

もう一つ重要な点ですが、この技術が実用化された時、50%や3分の1という NEDO 技術開発機構の目標に対してどうかという時に、我々は現在行われている方法での窒素除去に対してどの程度効率化するかということで考えています。したがって、Anammox に対して、現在の我々のグループが研究している Anammox が3分の1の酸素消費や、リアクターを2分の1にするという目標をまだ達成していません。したがって、従来法とは、現在、広く普及している方法という意味であり、それと比較していこうと考えています。

【水谷課長代理】 委員長が指摘されたように、これは宿題として承るということですね。

【藤田 P L】 そういうことです。おそらく、最終年度で評価を受けることになれば、我々は、従来法ということで比較させていただきたいと考えています。

野池委員長も言われたように、まだ Anammox のリアクターそのものが、世界各地で動いているという状況ではないとすれば、比較する対象は従来法が比較の方法になると考えています。おそらく、その従来法と比較した効率アップということになります。ただ、この研究の中で、世界最高という話をしています。この世界最高という場合には、当然ながら、Anammox の他の研究との比較という意味での数値を出しています。

【水谷課長代理】 ありがとうございます。

【野池分科会長】 安井先生、いかがですか。栗田工業で携わられたことがありましたが。

【安井委員】 難しいところだと思います。確かに、藤田先生のご指定の通り、Anammox のリアクターは、日本で1カ所が既に稼働し、もう1カ所はもうすぐ建設されるという状況です。オランダに何カ所かありますが、世界でも10カ所あるかないかというレベルです。この Anammox が、普通の方法と比べてどの程度かというところは、十分に意義があると思います。

しかし、Anammox 自体は、プロセスが報告されてから10年になります。普及技術か新技術かという点はかなりマージナルです。私自身は、この34.2kgということあまり強調すると後々苦しくなってくるので、どこか別の視点で、北海道大学の研究がデザイン化に貢献するという部分で、多少、ニュアンスを調整したほうがよいという気がします。

【藤田 P L】 ありがとうございます。滞留時間をどんどん短くするから立米当たりいくらになるという、それは考えていく必要があります。やはり微生物当たりといいですか、そういう一つの評価方法を持っていなければならないということと、もう1点は、最終的に実用化を考えた時に、より安定している操作方法も当然必要になってくると思います。

【安井委員】 藤田先生がおっしゃられた通りだと思います。速度のことばかりでは、

世の中にはこのようなものがあるからどうか、ということになります。新しい技術の信頼性を高めるから普及がもっと促進されるという形で、デザイン化について、大学としての研究の意義を強くアピールしていただきたいと思います。

【野池分科会長】 それでは、嫌気性処理について、ご質問があればお願いします。

【山口委員】 電力中央研究所の研究は面白い技術だと思います。原簿にも書いてありますが、この効率化がどのようなメカニズムで行われていくかを今後は検討する必要があります。今、何ボルトかけてという条件でされていますが、どのようなことを検討しようとしているのか、教えて下さい。

【大村上席研究員】 電中研の大村です。メタン発酵は、特に資金的な制限もあるため、メカニズムの追究は難しいと考えています。ただ、NEDO 技術開発機構の目標をクリアすることだけに取り組んでいこうと思っています。しかし、自主的な研究として、メカニズムの追究は進めたいと考えています。

これまでの知見を若干ご紹介しますと、ほかの菌ではありますが、電解により遺伝子の転写活性や呼吸活性が上がります。さらに、細胞内のATPやNAD等の含有量が上がることはつかんでいます。間接的なメカニズムはわかっていますが、直接的なメカニズムはまだ踏み込んでいません。

【山口委員】 今回、メタン発酵を対象にしています。そういうことは検討されますか。

【大村上席研究員】 はい、1点だけ、確かに電気の効果があることを確かめる必要があります。お手元の資料の「研究開発の成果③」の右側で、メタン菌の単菌を用いて、電気で活性が上がることは確かめています。ただ、遺伝子解析などは行っていません。ぜひ、ご要望いただければ、人的、資金的な限界の中で検討していきたいと考えています。

【野池分科会長】 メタン発酵の効率が上がるという指標ですが、メタン発酵は、ただメタン生成細菌だけの効率アップではなくて、その前段階、加水分解したり、酸を生成したりするバクテリアも同時に活性化しなければなりません。そのことの状態を把握するための内部機構、例えば揮発性脂肪酸や加水分解速度のデータはどうですか。

【大村上席研究員】 限られた時間の中では、ご紹介する時間もなくて申し訳なかったのですが、委員の先生方には、お手元の事業原簿の129ページなどに、先ほどご指摘いただいたものについてのデータが載っています。

【野池分科会長】 酸化還元電位で制御するのですね。我々も、酸化還元電位で自然にメタン発酵が正常になると。そうならない時に酸化還元電位を下げるのですか。

【大村上席研究員】 そうです。実際の内部の酸化還元電位自体はなかなか測定しづらいところがありますが、電位という単位であらわしています。単純に酸化還元電位を下げた場合と電解した場合の比較という意味では、先ほど紹介した「研究開発の成果③」で、還元剤を入れた場合と電気で下げた場合の違いとして、電気をかけた場合のほうが活性は高いという結果を得ています。

【野池分科会長】 ほかにいかがですか。

【三谷委員】 引き続きメタン発酵の件で質問します。この先、バイオエンジニアリング技術や技術立証に取り組むということですが、メタン発酵は既に広く普及している技術です。今回の研究はどういう方向、例えば装置や廃水の処理、廃棄物の処

理はどちらの方向をイメージしていますか。

【大村 上席研究員】 出口のイメージと理解しますと、先ほどお話があった一機通関型のリアクターの中で、メタン発酵ということもターゲットに入ってくると思います。その中にこの電解の技術を入れることも考えています。

【三谷 委員】 微生物の制御、デザインということが今回のテーマに入っていると思います。メタン発酵は、逆に微生物の増殖が多すぎてリアクターが動かなくなるなど、様々な課題があります。単に増殖すればよいわけではなく、適度な量、多くもなく、少なくもない、そういう制御が必要になってきます。一方的に加電の状態を増やすだけなのか、どこかで制御できるのか、そういうことについて検討はされていますか。

【大村 上席研究員】 微生物の量は、担体の量で制御することが考えられます。質は、「研究開発の成果③」で、全体の微生物の中でメタン菌の割合が高くなっています。こうした面での制御が効いていると考えています。

【三谷 委員】 どうもありがとうございます。

【安井 委員】 これは非公開にしてほしいと思います。(非公開)

【森山 主査】 今の部分は議事録から削除します。

【安井 委員】 はい。

【大村 上席研究員】 非公開のコメントということで。(非公開)

【安井 委員】 わかりました。商用プロセスは、速度として普通のものもあれば高速のものもあります。高速だが、お金は高いなど、いろいろあります。平均としての取り方をどう考えるか、技術開発の目標値として悩ましいところです。私は、通電して速度がかなり変わるところでのデザイン性はかなり新規性があると思いました。

例えば、通電して速度が上がるということですが、最大増殖速度が促進されるのか、親和性が下がるのか、あるいは、微生物のイールドが下がることで分解速度が上がるのか、チェックすべき項目がいくつも出てきます。そういうアプローチで、基礎研究を深めて実用化した時には、かくかくしかじかの結果になるであろうということになると思います。

メタン菌の活性の電気制御はぜひ、動力的、化学量論的な検討まで進めてほしいと思います。そういう予定になっていますか。

【森山 主査】 安井先生、今のご発言も非公開ですか。

【安井 委員】 いえ、今のことは公開でかまいません。

【森山 主査】 そうしましたら、先ほどの電力中央研究所様のご回答の部分まで非公開ということで削除します。

【大村 上席研究員】 了解しました。

【野池 分科会長】 メタン発酵の効率化は、熱処理、オゾン処理、いろいろ行われてきました。電気さえ通じれば、45%も小さくなるというのはすばらしい効率だと思います。ではなぜ、電気を通じればこうなるかという理由を解明してほしい。せっかくの機会ですから、マイクロバイオロジー的にも、電気を通じたり、酸化還元電位を保てばこうなるということをぜひ解明してほしいと思います。たまたま電気を通じたら

よくなったということではなく、理由を知らなければ将来の技術開発の基礎にならないので、お願いします。

【大村上席研究員】 はい、ありがとうございます。

【池本分科会長代理】 名古屋大学の研究に対する質問です。後段の分解を嫌氣的に行うということについて、その嫌氣的な酸化の電子受容体は硫酸と酸化型の鉄ということですね。そうすると、原位置浄化の時に、電子受容体が必要になるとと思いますが、それはどのようにお考えですか。

【片山教授】 これは非公開でお願いします。(非公開)

【池本分科会長代理】 (非公開)

【片山教授】 (非公開) 今の答えも非公開でお願いします。

【池本分科会長代理】 ありがとうございます。

【野池分科会長】 それでは、藤田先生、長時間のご発表をありがとうございました。大変ご熱心なご質疑をありがとうございました。それでは、予定の時間が参りましたので、ここに休憩に入りたいと思います。

6.2 実用化の見通しについて

【野池分科会長】 どうもありがとうございました。それでは、ご質問をお願いします。

【山口委員】 Anammox 関係では、高速であり、ポテンシャルが高いことはわかります。今後、嫌気性硝化などのところで脱離液等を通水したりされますか。

【藤田 P L】 安井先生のほうがよくご存じですが、純粋にアンモニアを高濃度に含んでいる廃水で、BODがあまり入っていない廃水のほうが本来、Anammox 反応しやすいと思います。現在、多くの技術者や研究者が注目しているのは、BODを高濃度に含んだアンモニアの除去です。それは、Anammox 反応プラスアルファのプロセスが必要だと思いますが、そういう部分に波及していかない限り、残念ながら、Anammox 反応を広く普及させるという点では限界があります。私よりも安井先生の答えのほうがよいかもしれません。

【山口委員】 名古屋大学の嫌気性の脱塩素の部分について、これはプレゼンの中でよいと思ったのですが、最後に試算がしてあります。CO₂の削減効果の計算や省エネルギーの試算もしてあります。これは、今度開発する様々な技術があると、そういう試算が加わる形で実用化を目指すという形によろしいのですか。このような試算は結構難しいと思いますが。

【片山教授】 ご指摘のように、大胆に計算している部分があります。先ほどの成果の説明の最後のページになりますが、想定場面をペンタクロロフェノールが表層から地下7mまで充滿している時としています。微生物除去技術ですと、嫌気にした後で好気にするというのが現状の技術で、そういうものは非現実的で誰もしません。お金の計算やCO₂の計算ができなかったのも、従来技術としてある遮水してから掘削するという技術と比較しています。この方法は、ある程度平均的な立米当たりの量が出ていますので、ここであげました。私たちの組み合わせ、デザイン化技術は、候補を想定して、それを積み上げ、おそらくこの程度ではないかというものを計算しています。そういう数字です。

【山口委員】 実用化を検討する時に、このようなことは大事だと思います。ぜひお願いいたします。

【片山教授】 ありがとうございます。精度を上げて計算して、開発目標として掲げて取り組みたいと思います。

【野池分科会長】 ほかにどうぞ。

【茂木委員】 日立プラントテクノロジーの研究で、実用化の見通しの中でも、担体引き抜きという文言が出ています。目標としている効果を持続させるとなると、ハイブリッド担体の寿命はどのくらいですか。

【角野主管研究長】 寿命ですが、活性的な寿命、担体の物性の寿命、両面あります。この内生呼吸低減菌、この中に入れる硝化菌、この寿命は、内生呼吸低減菌はまだわかっていません。現状、実験中で何とも言えないところがあります。硝化菌の寿命は平成3年ころから運転している実装置がありますので、硝化菌の寿命は現状、17年くらいもっていますので、活性的な寿命はかなり長いと思います。内生呼吸低減菌も、今、原山先生に見つけていただいている菌も、おそらく、活性的には十分に持ちこたえられると思います。コンタミ（コンタミネーション、汚染）によってどうなるか心配なところがありますが、10年以上は持ちこたえられるものと期待しています。

あと、物性的な寿命を考えると、今までの運転方法に加えてアルカリ処理が入ってくるので、その時に物性がかなり劣化するという心配があります。ただ、目標は、年間の加水分解率2%以下にしないと実用化はできないと考えています。

実用化のためには、その2面を今後は検討していく必要があると考えています。

【茂木委員】 わかりました。ありがとうございます。

【野池分科会長】 ほかにありませんか。それでは、「実用化の見通しについて」の発表及び質疑応答は、これで終わります。どうもありがとうございました。

議題7. 全体を通しての質疑

全体を通しての質疑応答が行われた。

【野池分科会長】 議題7に進みます。「全体を通しての質疑」ということで、プロジェクト全般について、ご意見、ご質問をお願いします。

【三谷委員】 要素技術的には、素晴らしい成果を上げています。水処理的な仕事は、いかにプラクティカルなところにアプリケーションしていくかです。プロセス設計が重要になります。既に実用化されているプロセスにアプライしている例もあるが、ラボスケールのものもあるということです。出口イメージの設備、操作と連動して、次につなげていくための課題が出てきます。このあたりは、今後どう処理していくのかと、今日お話を伺いながら思いました。コメントでも、質問でもありませんが、そう感じました。

【藤田PL】 本来であれば、今のご質問に答える必要があるのかもしれませんが、コメントとしてお伺いして、今後のプロジェクトの向上につなげていきたいと思えます。最初のターゲットに向かってどのようにアプローチしていくのかということに

もつなげていきたいと思っています。

この研究プロジェクトの中の各研究テーマは、NEDO 技術開発機構が大きなプロジェクトを立て、一般公募で選ばれたものです。個々の先生方は各自の思いを持って研究を行われてきたということ、それが「デザイン化」という傘の中に入っているということで、当初はまとまりなく取り組んでいた部分もありました。しかし、議論を何回も重ねるうちに、一つの方向にまとまり始めています。

そうは言いましても、実用に近い部分から、基礎の部分を研究されている先生までいます。出口をどう持っていくのか、総括的に言うのは難しいと思います。できるだけ、基礎を研究されている先生方には基礎の特色を生かしながら、基礎研究の部分を明らかにしていただくことが必要だと思います。同時に、プラスアルファとして、この研究が完成した時に、その先の、例えば反応速度はこれだけ上がる、操作がこれだけ簡便になり省エネ化をはかることができる、そういうことは責任をもって提示する必要があります。この点については、容易に書くことのできる部分と、何らかの仮説を入れて提示する部分が出てくると思います。

【三谷委員】 ありがとうございます。

【野池分科会長】 ほかにいかがですか。

【山口委員】 今回の質疑応答に関連することかもしれません。ある程度実用化に近いものについては、エネルギー評価や、もう少しプラントをスケールアップして実施してみる必要があります。あるいは、より近い状態でのデータを取得する、精度を上げてデータを取得するために、もう少し大がかりな装置も必要になってくると思います。そういう部分のバックアップを、今後行われますか。今までの3年間は基本部分で、残り2年間は、実用化ということでは今指摘した対応が必要であると思います。幾つかそういう段階のものがあると思いました。

【芝上主任研究員】 おっしゃる通りです。本日の説明で何回か出てきましたが、具体的には日立プラントテクノロジー、電力中央研究所、北海道大学の2つの研究室の4者の技術を組み合わせて一機通関型のプラントを作ろうという計画があります。NEDO 技術開発機構のマネジメントの説明を行ったスライドの中に、加速的資金の説明がありました。この中間評価分科会の終了後、直ちに、長谷川主査が事務手続を始めようとしています。ご存じのように、テストプラントといえども1,000万円単位の資金が必要になります。通常の年度当初に配賦した研究資金だけでは到底対応できません。我々も精査して、実際に研究・開発現場等に出向き、何度も担当者と話をして、十分に追加的な資金を投入するに値すると判断しました。当然、基本計画にもその記述があります。先生のご指摘通り、基礎研究はもちろん重要ですが、NEDO 技術開発機構は国プロという側面もあります。微生物群のデザイン化を具現化し、その有効性を世間に訴えるためには、実験室レベルではなく、最低、テストプラントのレベルで実用化が可能であると訴えかけるのが我々の使命であると考えています。繰り返しになりますが、今月中にその追加的な資金を要求する事務手続を開始したいと考えています。

私の回答は、そうした面で実施者の方たちの資金面をサポートすることになります。

【山口委員】 ハードを並べることもありますが、もう一つは、システムの安定化を図

ることです。より細かい部分のメカニズムを調べる作業も必要です。システムの安定化につながる研究などにもサポートがあつてよいと思います。

【芝上主任研究員】 必ずしも基本計画では明言していませんが、先生のご指摘通り、デザイン化の有効性を示す一貫として、そうした側面も必要不可欠になってくることは念頭に置いています。そうした面も、できる限り、NEDO 技術開発機構はサポートしていきたいと考えています。

【山口委員】 ありがとうございます。

【水谷課長代理】 少し補足します。加速制度を NEDO 技術開発機構は設けています。かなりよい成果があがる、限られた資金ですので、ほかとの競争が働くため、必ず獲得できるとは限りませんが、ぜひとも努力してほしいと思います。

【芝上主任研究員】 我々のチームは、私の頭の中だけかもしれませんが、このデザイン化へのサポートを優先順位 1 位ということで努力したいと考えています。

【野池分科会長】 それでは、予定の時間が参りましたので、このあたりで審議を終了したいと思います。さらにお気づきの点がありましたら、後日でも結構です。ご意見を質問票に記載し、事務局までお寄せ下さい。

議題 8. まとめ・講評

本分科会全体を通しての講評が各委員より述べられた。

【野池分科会長】 審議も終了しましたので、各委員の皆様、講評をお願いします。山口委員から始めて私が最後ということでお願いします。山口委員、ご発言をたくさんいただきましたが、講評は 1 人 2 分程度でお願いします。

【山口委員】 今日はありがとうございます。どの技術開発も日本で一番進んだものであるため、とても勉強になります。システム化や高速化、効率化も図られていますが、単にそれだけではなく、中身の解析等をかなり行われている。そういう微生物の情報が集まっています。システムの安定化など、今回、特に微生物の内容を把握してデザインされていると思います。あと、幾つかオリジナル技術もありました。最初に説明があつたように、次の技術につながる部分があつてよいと思いました。以上です。

【安井委員】 多くの研究についての発表を伺い、大変感銘を受けました。まず、実用化に向かってデザイン化の研究を進めていくことですが、先ほど NEDO 技術開発機構からご指摘がありましたように、デモンストレーションなどで、うまく進めることが可能なものであれば、そのことを示す形で新しいプロジェクトを検討していくというお話でした。私自身は、実用化が見える形でのデモンストレーションの研究はとてもわかりやすくよいと思います。しかし、一方で、このプロジェクトは大学の研究者が主体でかかわっているものです。うまくいっているものについて、なぜそれがうまくいっているのかを突き詰めるアプローチもこれからは大切になると思います。

このような条件で反応速度が上がった、このような条件ではこのようなよいことがあつたと報告する。民間企業が大学の知見を使用する上では、すぐにスケールアップ

プしてデモンストレーションすれば商売になるのでぜひ一緒に行きたいということです。しかし、なぜうまくいくのか、その理由はこうであると分かることはとても大切です。そのような理由であれば、これとこれを組み合わせれば、あるアイデアが出てくるといったことが検討できます。今回の微生物群のデザイン化では、従来よりも何倍も効率を上げることを強調していましたが、私は同時に、デザイン化の言葉そのものに注目して、なぜそのようにするのがよいか、具体的な数字とは別に、審理探求にも軸足を置いてほしいと思いました。以上です。

【茂木委員】 今日に参加させていただき、ありがとうございました。私も「月刊下水道」という下水道の専門雑誌の編集にかかわっていたため、ある程度は理解できるのではないかと、思い臨みました。しかし、やはりかなり難しいといえますか、最初のころはまだよかったです。だんだんとオーバーヒートぎみになり、整理がつかなくなった部分がありました。本日は、非常に面白く、すばらしい研究が行われていると感銘を受けました。

そうした中で思ったことは、三谷先生も言われたように、この研究の目標、もともとの共通目標はエネルギーの削減と容積のコンパクト化になっています。さらに装置を付加するとCO₂削減効果も大きいという話も出ていました。この研究の社会的背景や時代背景の説明も先ほどの資料にありました。地球温暖化対策はもちろん、3Rという循環型社会の構築が叫ばれる中で、この辺りの部分も、最終目標に付け加えることでマスコミ関係にも注目されて、取り上げられる機会も多くなるのではないかと思います。NEDO技術開発機構はもともと旧通産省の外郭団体で、プロジェクトのネーミングも上手です。ぜひ上手にアピールする形で進めていくとよいという感想を持ちました。以上です。

【三谷委員】 本日は、たくさん勉強させていただきました。ありがとうございました。水処理で表面的に見えることは、例えばBODを下げよう、窒素を軽減しようということですが、微生物の側から見ると、微生物の代謝の中で起こっていることが大変たくさんある、かつ、デザイン化で微生物を複合的に使って初めて起こるプロセスであるということだと思います。

すると、どこまで因数分解して微生物のプロセスの中を、一つ一つの微生物あるいは複合微生物を解析するかが、微生物を専門とする側あるいは反応解析を専門とする側からは重要だと思います。因数分解の仕方が難しいと思いますが、メタボローム的な解析をする、これから先の研究開発に含まれているのか、既にそういうアプローチの仕方をしている方もおられるかもしれませんが、そういう仕事の仕方、先ほど来お話がありました、なぜこれが進むのかがはっきりしてくると思います。それをさらにデザイン化するためには、単なる外圧によるデザイン化ではなく、だからこの微生物化がよいと。なおかつ、共生系はこれがよいという理論付けができるのではないかと、アイデアですが、そのように感じました。

【池本分科会長代理】 生物処理は、有用な微生物をいかに処理装置の中にとどめておくかが一番重要だと常々思っています。今回のプロジェクトは、その点に関して様々なアイデアを出しており、興味深くお聞きしました。アプローチの仕方として、装置から微生物を見るという方向と、微生物からボトムアップで装置につなげていく、

2つの方法が合体しつつあると感じました。それらが結びついて、新しい技術が今後登場してくると思います。

NEDO 技術開発機構は、実用化や事業化に重点を置いていると私は今まで思っていました。今回のプロジェクトは、もちろん実用化を目指していますが、基礎をかなり丁寧に研究しています。この基礎の部分を中心に研究にすることによって、先ほど安井先生が言われたように、なぜかはわからないが処理しているというのではなく、その中身、本質を正確に理解した上で新しい技術につなげていくことが非常に重要だと思いました。そういう意味で、このプロジェクトには非常に期待しています。

【野池分科会長】 どうもありがとうございました。最後になりましたが、一言、感想を申し上げます。当初、この分科会のために、事務局の森山さんから厚い資料をいただき、一生懸命に勉強したのですが、非常にわかりにくく、難しいものでした。しかし、本日、藤田先生のプロジェクトリーダーとしての説明を聞いて、よくわかりました。なぜわからなかったかといいますと、この資料の最初にも書いてありましたが、中間目標や最終目標として、かなり高い目標を掲げています。しかし、個々のレポートを読むと、それらはあまり気にせず、それぞれが前段階を進めてきたようです。それが、藤田先生が中間目標までまとめて下さり、9つのチームが最善の方向で取り組んでいることがよくわかりました。最後のスライドの中に、NEDO 技術開発機構が掲げた目標そのものではなく、それぞれが環境保全のために大きな役割を果たしているという図がありました。まさにそれに向かって目標を果たしていくプロジェクトではないかと思いました。

私も、NEDO 技術開発機構の潤沢な資金を基に研究を行ったことがありました。NEDO 技術開発機構の委員会にもかかわらせていただきました。NEDO の正式名称は新エネルギー産業技術総合開発機構ですから、どうしても研究はエネルギーを生産する、エネルギーを生み出すということを第一目的にしなければいけません。それから、1年前の洞爺湖サミットで、50%削減に向かわなければいけないということでCO₂削減、この2つが一番大切であるということで、これまで、NEDO 技術開発機構から託された案件、委員会活動にもかかわってきました。

藤田先生がまとめて下さっていますが、国費による NEDO 技術開発機構の研究として目指すものは実用化です。このプロジェクトが目指す目標はエネルギーの生産と省エネを含めた二酸化炭素削減だと思います。残された期間は3年もあります。NEDO 技術開発機構の研究には研究期間が3年のものと5年のものがありますが、このプロジェクトは5年も与えられた恵まれたものです。単なる基礎研究、遺伝子工学を使ってメカニズムを解明した、新しいバクテリアを発見したということだけではなく、是非、完成に向かって、実現に向かって進めていただければと願う次第です。先ほど少し申し上げましたが、こうなるとこうだということではなく、安井先生や池本先生がご指摘されたように、背景の理論を実験的にも正確に把握しなければいけません。その原因を突き詰める余裕も、5年間あれば十分だと思います。なぜこうなったかを確認しないと、本当によいものができません。そうした点で、5年間という長い期間で、基礎理論と実現、ぜひそれに向かってこれからも発展してほしい

いと思われました。大変すばらしい研究テーマですので、これからも期待したいと思います。

議題 9. 今後の予定、その他

事務局より、資料 8 に基づき今後の予定について説明がなされた。

議題 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)	
資料 5-3	プロジェクトの概要説明資料 (公開)	
資料 6-1	プロジェクトの詳細説明資料 (公開)	研究開発成果
資料 6-2	プロジェクトの詳細説明資料 (公開)	実用化の見通し
資料 7	質問票	
資料 8	今後の予定	

以上