

研究評価委員会

「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」

(事後評価) 第1回分科会

議事録

日 時：平成24年4月19日(木) 12:50~18:00

場 所：大手町サンスカイルームA会議室(朝日生命大手町ビル27F)

出席者(敬称略、順不同)

<分科会委員>

| | | |
|--------|-------|--------------------------------|
| 分科会長 | 遠藤 銀朗 | 東北学院大学 工学部 環境建設工学科 教授 |
| 分科会長代理 | 古川 憲治 | 熊本大学 顧問(名誉教授) |
| 委員 | 原田 秀樹 | 東北大学 大学院工学研究科 教授 |
| 委員 | 三谷 優 | サッポロビール株式会社 価値創造フロンティア研究所 研究主幹 |
| 委員 | 村上 孝雄 | 地方共同法人 日本下水道事業団 理事 |
| 委員 | 安井 英斉 | 北九州市立大学 国際環境工学部 エネルギー循環化学科 教授 |

<推進者>

| | | | |
|---------|------|-----------------|-------|
| 森田 弘一 | NEDO | バイオテクノロジー・医療技術部 | 部長 |
| 三代川 洋一郎 | NEDO | バイオテクノロジー・医療技術部 | 主任研究員 |
| 長谷川 義基 | NEDO | バイオテクノロジー・医療技術部 | 主査 |
| 坂本 俊一 | NEDO | バイオテクノロジー・医療技術部 | 主査 |
| 石倉 峻 | NEDO | バイオテクノロジー・医療技術部 | 職員 |

<オブザーバー>

| | | |
|-------|---------------------|------|
| 野田 尚宏 | 経済産業省 製造産業局 生物化学産業課 | 課長補佐 |
|-------|---------------------|------|

<実施者>

| | | |
|-----------|------------------|---------|
| 藤田 正憲(PL) | 大阪大学 | 名誉教授 |
| 生田 創 | 株式会社日立プラントテクノロジー | 研究員 |
| 大橋 晶良 | 広島大学 | 教授 |
| 大村 直也 | 電力中央研究所環境科学研究所 | 上席研究員 |
| 松本 伯夫 | 電力中央研究所環境科学研究所 | 上席研究員 |
| 渡邊 淳 | 電力中央研究所環境科学研究所 | 主任研究員 |
| 森田 仁彦 | 電力中央研究所環境科学研究所 | 主任研究員 |
| 平野 伸一 | 電力中央研究所環境科学研究所 | 主任研究員 |
| 佐々木 建吾 | 東京大学 | 特任研究員 |
| 佐々木 大介 | 電力中央研究所環境科学研究所 | 特別契約研究員 |

森川 正章 北海道大学 教授
岡部 聡 北海道大学 教授
諏訪 裕一 中央大学 理工学部 生命科学科 教授
勝山 千恵 中央大学 理工学部 生命科学科 助教
後藤 正広 株式会社日立プラントテクノロジー 研究開発本部 松戸研究所
水環境システム部 主任研究員

<企画調整>

浅井 美佳 NEDO 総務企画部 職員

<事務局>

竹下 満 NEDO 評価部 部長
三上 強 NEDO 評価部 主幹
松下 智子 NEDO 評価部 職員
梶田 保之 NEDO 評価部 主査

一般傍聴者 2名

議事次第

<公開の部>

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. 評価の実施方法と評価報告書の構成について

4. プロジェクトの概要説明
 - 4.1 「事業の位置付け・必要性」及び「研究開発マネジメント」
 - 4.2 「研究開発成果」及び「実用化の見通しについて」
 - 4.3 質疑
5. プロジェクトの詳細説明
 - 5.1 好気性処理
 - (1) 日立プラントテクノロジー
 - (2) 広島大学
 - (3) 北海道大学（地球環境科学研究院）
 - 5.2 嫌気性処理
 - (1) 北海道大学（工学研究院）
 - (2) 電力中央研究所

6. 全体を通しての質疑
7. まとめ・講評
8. 今後の予定
9. 閉会

議事要旨

<公開の部>

1. 開会、分科会の設置、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。
 - ・遠藤分科会長挨拶
 - ・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 2-1～2-4 に基づき説明し、すべて公開とすることが了承された。
3. 評価の実施方法と評価報告書の構成について
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。
評価報告書の構成を事務局より資料 4 に基づき説明し、事務局案どおり了承された。
4. プロジェクトの概要説明
 4. 1 「事業の位置付け・必要性」及び「研究開発マネジメント」
推進者より資料6に基づき説明が行われた。
 4. 2 「研究開発成果」及び「実用化の見通しについて」
実施者より資料6に基づき説明が行われた。
 4. 3 質疑
4. 1 及び 4. 2 の発表に対し、質疑応答が行われた。

【遠藤分科会長】 ただいまのご説明に対して、これから質疑を行います。技術の詳細につきましては、この後、議題5で議論します。ここでは主に事業の位置づけや必要性、マネジメント、全体の概要、成果の概要でも結構ですが、大きなところを見ていただいてご意見をいただければと思います。

【三谷委員】 NEDO の長谷川さんにお尋ねします。資料に対象となるバイオマスの量が記載されています。今回、これが全部すぐに対応できるということではなく、NEDO は、こういう研究を行うことで、将来的にどういう目論見というか、どの程度の割合が処理の視野に入ってくるか想定していると思います。そのあたりをご紹介いただけませんか。

【NEDO：森田部長】 今のご質問について、ここは、基本的にはバイオマスの戦略ということ

で、日本全体のマクロな数字を掲げています。理想は、こうしたものを全部と言いたいところですが、恐らく、ここで確立した技術を順次使っていくということでしょうか、今の段階は申し上げられません。ただ、プロジェクトのアウトカムとして、こういうものを対象とすると想定しています。申し訳ありませんが、そのような感じでのご回答となります。

【遠藤分科会長】 今の質問に関連して、私から。市場規模は 1.5 兆円という説明がありました。私どもの手元にある資料では約 5,000 億円と書かれており、食い違いがあります。どちらが正しいのですか。

【NEDO：長谷川主査】 私のミスです。事前に評価書を先生方に送っていると思いますが、事業原簿に事前評価書が載っています。こちらの数字をとり間違えました。事業原簿の後ろから 2 枚目の(4)の「研究開発成果」の記載が正しい数字です。

【遠藤分科会長】 では、5,000 億円ではなく、1.5 兆円ということです。ほかにどうぞ。

【古川分科会長代理】 個々の開発テーマは、後ほどコメントしたいと思います。藤田先生が説明されたイメージ図について質問します。メタン発酵があり、硝酸化があり、アナモックスがある。そして、最後にリン回収が来ています。リンを吐き出させる時には有機物が要ります。その有機物はどうされるのですか。

【大阪大学：藤田教授(PL)】 一部は廃水の有機物を使います。詳細な点は、後ほどご質問いただければご説明できると思います。

【古川分科会長代理】 もう 1 点。中間評価の書類を読むと、有用微生物のところで、内生脱窒を、活性が低い菌を使って云々という話があります。それが今回は消えています。これについては何か説明がありますか。

【大阪大学：藤田教授(PL)】 その点につきましては、日立プラントテクノロジーの概要説明で少し触れました。当初、日立プラントテクノロジーは、目標として省エネを掲げていました。省エネですから、当然、酸素消費量をできるだけ減らしたい。内生脱窒は、結局、微生物そのものが、恐らく、BOD を酸化する時に使う酸素と自分の維持に使う酸素のバランスが、どうも内生のほうに行き過ぎているのではないかということ。ここには数値が出ていませんが、例えば内生呼吸で必要な酸素のうちの 30～40%は消費してしまう。それをできるだけ削減することが、トータルとして BOD 処理のための酸素量を減らす方法になるという発想で研究を始めました。実際には、平成 19、20、21 年度の前半の 3 年間で行いました。当初、いわゆる活性汚泥等からの分離も考えましたが、もう一つは、内生呼吸で作っていく代謝をうまく制御した微生物を遺伝子工学的に作っていき、それによる BOD の除去と内生呼吸の低減が研究成果として出てきました。そこまでは中間で出てきたので、ここでは、むしろ、次の平成 22、23 年度の成果を主として、アンモニアの亜硝酸化だけに絞って説明しました。

今回 5 年間全部のプロジェクトの成果をまとめることが一つの方法としてはある

と思いましたが、あまり前からまとめると膨らみすぎるため、このまとめ方にしました。内生呼吸が小さなものをいかに BOD 処理に使うかというユニークな発想ですが、同時に、本当にその様なことが可能かという発想でもありました。ある程度、呼吸系のどこかをたたくことで実際には可能であるという成果が中間で出ています。

【村上委員】 実用化のイメージ図について、はじめに嫌気性消化のメタン発酵があり、その後、一連のシステムが続きます。メタン発酵でも完全に有機物が分解されてしまうわけではなく、残りの汚泥が出ます。それはたぶん、上のほうに矢印が示してある「牧場・農地へ散布または他の廃水系へ」ということだと思います。まず、「他の廃水系へ」というのは、具体的にどの様なイメージですか。

【大阪大学：藤田教授(PL)】 これはあくまで想定図です。一つは、活性汚泥処理も処理系として考えています。農地散布は可能なところと不可能なところがあります。不可能な場合には廃水処理系に持っていかざるを得ないと考えて行いました。

ただ、「廃水系へ」と書いていますが、図を見ていただくとわかりますが、電中研と日立プラントテクノロジーの間に「炭素処理水」ということで「炭素」という言葉を書いています。カーボン系をどこかで処理しないと、次の窒素系と必ずしも同じにならないため、このようなイメージにしました。この辺が「他の廃水処理系」につながってくるということです。ここは先ほども言いましたように、様々な処理が既にある程度確立されていることから、単に炭素処理水という形で書きました。

【村上委員】 わかりました。これは感想です。廃水処理系で非常に斬新な新しい技術が並んでいます。しかし、汚泥の処理が昔ながらの牧場・農地散布です。この方法も一つの有力なリサイクル方法ですが、従来どおりという感じがしました。このプロジェクトの中では、ここは守備範囲でないかもしれませんが、このあたりも、得られた知見などでアイデアを少し盛り込むとよいという感想です。

【大阪大学：藤田教授(PL)】 ありがとうございます。この辺は、個々のプロジェクトとしては力を入れていたのですが、これは単に想定されるということで、さらりと流してしまいました。どうもありがとうございました。

【安井委員】 古川委員の質問にも関連しますが、この好気性微生物処理では、従来の標準活性汚泥法の曝気処理プロセスの3倍の高効率化、エネルギー使用量の3分の2の削減ということです。標準活性汚泥法の定義という問題はありますが、曝気処理プロセスの3倍の高効率化、それによるエネルギーの3分の2の削減となると、ご説明いただいたアナモックスの部分硝化だけでは到底達しない数字です。この部分がよくつかみ損なったところだと思います。もしかすると、当初の研究目標に、内生呼吸量を下げることによって必要なエアレーションを下げようという、かなりチャレンジングなものがあったと思います。それが途中で方針転換されたということは、この目標はまた別のものとして新しく設定したという理解でよろしいですか。

【大阪大学：藤田教授(PL)】 いくら酸素量を削減するか、省エネ効果を上げるかに関して、

基準をどうするかは、内部でも微妙に迷いました。硝化を亜硝酸化で終わるということは、少なくとも亜硝酸から硝酸に行く間の酸素量は必要ないであろうということ、それから、アナモックス反応を考えれば、さらに2分の1は酸化する必要はない、そういうことも含めてここでは考えたということです。

【安井委員】 標準活性汚泥法における窒素処理の効率化ということならばわかりますが、この最終目標は、あくまでも標準活性汚泥法での曝気処理プロセスに対してです。その部分は、この目標の達成の評価をどのように考えるか、悩むところです。

もう一つは、嫌気の部分で、従来のメタン発酵法では対応が困難であった性状・組成の有機廃物への処理への適用拡大とあります。これは、どのようなものですか。

【大阪大学：藤田教授(PL)】 必ずしも明確に、こういうものというイメージはありません。一つは、通電により、ある種の電氣的な環境が変わること、もう一つは付着をうまく使うことができるだろうということで、かなり高速になると考えています。

もう1点は、高アンモニア濃度の廃水なども適用できるのではないかと、いうところまでつかみ始めています。特にメタン発酵の場合、アンモニア阻害が起こる可能性が非常に高い。そこも、チャンスとしてはあるかもしれません。我々の単純なイメージとしては、ここは単に、いわゆる廃棄物系の有機バイオマス系のようなものだけを考えていました。しかし、その混合物などもあり得ると思います。村上委員はよくご存じですが、下水汚泥単独ではなく廃棄物が入る、あるいは、し尿と下水汚泥を一緒に行う、そういうことも含めて広がっていくと思います。技術からの発展というより、そういうものに対しても適用可能であろうと書いた、あるいは、筆を滑らせたと言うべきかもしれませんが、書かせていただきました。

【原田委員】 私も安井委員と同じことを考えていました。このプロジェクトの最終目標が、活性汚泥に比べてエネルギーの消費量を3分の2削減するということは、3分の1にすることになります。その目標達成度が、成果として書かれていません。ここはぜひそういう基軸を入れる必要があると思います。

個々の開発技術の質問は後で行いますが、開発した技術を全部インテグレートして、一気通貫のシステムがこういう形で想定できるというイメージが描かれていて、非常によいのですが、やはり最終目標が書かれていて、それに対してどこまで満足できたのか、あらわしてほしいと思います。

【安井委員】 私自身も NEDO のプロジェクトを、過去に実施側から携わったことがあります。これは評価部の方をお願いしたいのですが、最初に最終目標を立てる。その最終目標は極めてチャレンジングです。しかし、実施する過程で、これはやはりとても難しかった、だから方針転換を行う。例えば硝化脱窒のように、より早く実用化でき、かつ、ブレークスルーとなるものに資源を集中した。今回はそういう経緯がありましたので、この部分について、例えば標準活性汚泥法の3倍を最終目標にしたが、この部分は目標未達というネガティブな評価ではなく、中間評価を踏まえて、

合理的な判断によって、窒素除去という、世界でも相当ニーズが高い分野に資源を集中したと考えるほうがよいと思います。

そうしないと、最終目標を立てて、それを見かけで満たさないものは全部ネガティブな評価にせざるを得ません。それはもったいないし、非合理的な評価になります。この部分は、技術を育てるという発想で進めていくことができればと思います。

【NEDO：竹下部長】 評価部ということでしたので、お答えします。評価は、委員の総意としてどう考えるか。このプロジェクトの目標が非常にチャレンジであった、達成したことには大変意義があり、将来的に実用化の可能性もあるということであれば、そのようにまとめてもらえばよいと思います。

そこは評価部が判断するよりも、評価委員の総意としてどう判断するかということだと思います。

【遠藤分科会長】 ありがとうございます。先ほどの原田委員のご質問と、安井委員からあったご質問は、ある意味で反するところがあります。この目標に対してどうであったかを書くことはやはり必要かもしれません。ただし、それが、途中の経過を説明することによって理解できるのであれば、それでよいのではないかと思います。

【安井委員】 原田委員と反しているわけではなく、遠藤分科会長が言われたことと同じです。目標を達成したもの、達成できなかったものというのは、理由を明確に評価書なり、報告書に記述するのがNEDOプロジェクトでは一番大事だと思います。

資料では「高効率型廃水・廃棄物等処理の基盤技術を確立する」と明記されています。この基盤技術は一体どういうものであったのか、成果としてこの基盤技術は具体的に何々であったかは、ぜひリストアップしてほしいと思います。

【遠藤分科会長】 よろしいですか。メタン発酵についても目標を書いています。それも同じように扱ってほしいと思います。

【大阪大学：藤田教授(PL)】 先ほど来、委員の方から、温かいコメントをいただきました。報告書を大きく手直しするというのではなく、NEDOでもコメントがあるということです。目標に対して、我々も一度中間時点で評価を受け、最終年度へ向けて、これは2年間ですが、少し目標を修正しました。これは当然、内部で調整しておくべき問題でした。

【NEDO：長谷川主査】 私の大きなミスですが、当初の基本計画をここに載せたままでした。しかし、平成21年度の終わりの中間評価を受けて、基本計画を見直しています。事業原簿の後ろから6枚目、「基本計画」の2ページに最終目標を書いています。「(2) 研究開発の目標」とあります。上から8行目、「従来の標準活性汚泥法の処理プロセス」と書いてあります。「曝気」を抜いて、基本計画をNEDOでも上のほうまで上げています。曝気プロセスだけではなくて処理プロセスとして、すべての処理プロセスでエネルギーの低減を見ていただこうとして、こうしたことを行っています。スライドが間違っており、「曝気処理」の「曝気」を削除しなければならないところ

が残っているため、おかしいということです。

【村上委員】 電中研の研究についての説明ですが、「世界の技術レベル・開発動向」の欄の③に微生物燃料電池が載っています。その右側の「本プロジェクトの優位性」の欄にも①から③まであり、右側の欄の③は、左側の微生物燃料電池に対応したということですか。これは、別の話という理解でよろしいですか。

【電中研：松本上席研究員】 この微生物燃料電池の研究は、あくまでも「世界の技術レベル・開発動向」ということで書いています。要するに、電位制御でのリアクタというものがないので、比較的類似した技術体系として、開発動向では燃料電池を書いています。本プロジェクトで燃料電池の研究を行ったということではありません。

【遠藤分科会長】 この微生物群のデザイン化は、こういう理解でよいかという確認です。要するに、廃水・廃棄物処理微生物生態系の人工的構成であって、その人工的制御であると理解してよいですか。

【大阪大学：藤田教授(PL)】 我々の内部では、今、委員長が言われた理解で進めています。その中には、手法の問題や様々なものが含まれていますので、それらを含めてすべて実験したというわけではありません。もっとほかに様々な手法があると思いますが、このグループ内では、通電などの手法で制御しようと考えました。

【遠藤分科会長】 わかりました。ありがとうございます。それでは、議題4はほぼ予定の時間ですので、この辺で質疑を打ち切ります。

5. プロジェクトの詳細説明

5.1 好気性処理

(1) 日立プラントテクノロジー

実施者より資料7-1-1に基づき説明が行われた後、以下の質疑応答が行われた。

【古川分科会長代理】 部分亜硝酸化についてお聞きします。実証試験ということで、大規模なプラントで、安定的にアナモックスに適した部分亜硝酸化を達成していることは非常に評価できます。嫌気性硝化脱窒液のように窒素濃度が高い場合、私たちの実験などでも、こういう pH 処理をしなくても、フリーのアンモニアの阻害を利用して、温度をあまり上げなくても部分亜硝酸化が起こります。pH ショックを与えることによって、それ以上の大きなメリットがありますか。

【日立PT：生田研究員】 質問ありがとうございます。pH ショック、加熱ショック等々を行わなくても、遊離アンモニアが十分に存在していれば、亜硝酸型硝化は達成できます。つまり、硝酸の生成を抑制できます。今回わかったことですが、亜硝酸型硝化になるとどうしても、アンモニアからの N_2O 発生量が非常に高くなります。我々の転換率という評価方法では、8%程度に達します。非常に高いというデメリットがわかってきました。この方法では、今、 N_2O の規制はありませんが、地球温暖化

等を考慮すると、これも削減できたほうがよいと考えました。pH ショックを行うと、これを2%未満に抑えることがわかっています。この方法は、その点からは有効と考えています。

【古川分科会長代理】 代謝経路はどうなるのですか。

【日立PT：生田研究員】 これは非常に興味深いところですが、今回は現象論しかわかりませんでした。今言われているヒドロキシルアミンからなのか、NO₂からの反応なのか、もしくは、脱窒菌が働いているのか、別の菌が働いているのか、亜硝酸酸化細菌が働いているのか、これはわかりません。今後の課題になります。

【古川分科会長代理】 それが明らかになると面白いと思います。この方法をもっと濃度が低い100以下で安定的に行おうとすると、フリーのアンモニアの阻害だけでは難しい。pHショックで安定的に行うことができるのであれば、非常に評価できる方法です。

【日立PT：生田研究員】 ありがとうございます。

【村上委員】 もし、データをお持ちならば教えてほしいのですが、pH ショックの代わりにヒートショックを与えても同じようにN₂Oへの転換率が減る現象が起きますか。

【日立PT：生田研究員】 加熱処理はまだ確認できていませんが、恐らく、同じような現象が起こるであろうと予測しています。

【安井委員】 また亜硝酸型硝化の話になりますが、今回の研究を担当しているのはメーカーです。ほかの会社の研究開発との競争になります。今回の研究の成果の目玉として、pH ショックによって、より低濃度のアンモニアまで亜硝酸型硝化ができたと理解しています。既往の研究では、どの程度濃度の低いアンモニアまで適用でき、それはどの方法を使う、そういう情報の整理はありますか。それをもとに、この技術に対しては勝てる、ここでは競合する、そういうものが必要と思いますが。

【日立PT：生田研究員】 ありがとうございます。他社動向ですが、どこまでできるのか、論文ベースでの報告をいろいろ見えています。その報告の中から、それが実機ベースでデータが適用できるかどうかは我々ではわかりませんので、実際にどの辺が下限値かは、明確な値は確認できていません。ただし、遊離アンモニア濃度から見ると、恐らく、遊離アンモニア態窒素から見ると、1～2 mg/Lであろうと言われてます。ただ、これも微生物の菌量によって変わると言われています。そこから勘案して、対象とするアンモニア濃度の限界値は200～400程度と考えています。

【安井委員】 NEDOのこの研究が始まった2007年の少し前くらいから、亜硝酸型硝化アナモックスという研究が進み、この時点でも幾つか実際の装置が立ち上がっています。それに対して、もう少し性能を上げよう、あるいは、低濃度なアンモニアの廃水まで適用対象を広げようというアプローチですね。

【日立PT：生田研究員】 はい。

【安井委員】 最後に、担体添加型バーデンフォ法と比べて、この様に安い、下がっているとしても、実際にそういう適用対象の部分で担体添加型バーデンフォ法を使っている

ものがどれくらいあるのか、いささか疑問です。比べる対象はもっと別のものになると思いました。これはコメントです。

【日立PT：生田研究員】 ありがとうございます。

【原田委員】 内生呼吸の部分の酸素消費を少なくすることがもともとの研究の狙いでした。曝気した酸素のうち生物に利用される酸素は何%程度ですか。

【日立PT：生田研究員】 曝気してDOに消費される部分と、抜けていく部分と、この2つに対して酸素が実際に微生物に利用される、その消費速度にいく割合ですね。

【原田委員】 はい。

【日立PT：生田研究員】 対象の水のBOD/N比により変わります。申し訳ありませんが、今数字が出てきません。もちろん、すべてではありません。そのうちの何割かです。

【原田委員】 何割程度ですか。

【日立PT：生田研究員】 すみません。例としてこの水であればということでお答えできればよいのですが。

【原田委員】 村上委員にお聞きしたほうが早いですか。

【村上委員】 溶解効率は10%ぐらいです。

【原田委員】 その系を改善する、リアクタの物理的な改善は技術の開発余地がないと。それで、内生呼吸の低減菌を探そうということですね。10%しか使われていないのであれば、酸素を入れる効率を上げるほうが、伸び代が大きいのではないかと。そういうことが技術開発の一つのポイントだと思います。

それから、内生呼吸と外生呼吸の比が、大きく分けて3つのグループに分かれます。20以上のところ、10前後、ワンオーダー下しかないものと。これは、それぞれのグループで、何か遺伝子的な特徴や生理学的な特徴などがありますか。

【日立PT：生田研究員】 ディフューザーを開発すればまだ余地があるのではないかと。最初のご質問について、我々も、可能性がゼロとは考えていません。やり方はまだあると思います。ただ、投入するエネルギーもそれだけ増えます。そこも加味しながら検討する必要があります。手法はいくつもあって構わないと思います。微生物のところを下げるという検討があまりにもないと考え、今回、このような研究を行いました。

この3つにグループに分けたことについて、遺伝的なデータとして特徴的なものは、この中からは見えていません。

【三谷委員】 pHショックについてお尋ねします。亜硝酸酸化菌が、pH13あるいはもう少し低いpHでも処理できることについて、これはたまたまですか。あらかじめ意図してpHショックを行うことで除くことができるという目論見があったのですか。

【日立PT：生田研究員】 内生呼吸低減菌のお話ですか。

【三谷委員】 違います。アルカリショックです。ゲルを亜硝酸型にする場合であったと思います。

【日立PT：生田研究員】 低いアンモニア濃度でも、pH ショックで、不要な亜硝酸酸化細菌が消えるという期待は、遊離アンモニアに頼らなくてもできるという予測がありました。流入水中にも亜硝酸酸化細菌はいますが、定期的に引き抜き pH ショックという形で担体を処理しているため、入ってきても、殺すことができるという考えもありました。ただし、対象アンモニア濃度がさらに薄くなった時のことは、まだ確認できていません。

【三谷委員】 デザイン化という最初の定義で始めた研究であるため、仮説があり、それを実証する段取りだと思います。その辺りの移動をわかりやすくお話いただければ、このとおりにデザイン化できたことがわかるという意味でお尋ねしています。

【日立PT：生田研究員】 わかりました。デザイン化の中で、この2種類のバクテリアに着目した時の、そうした現象が起こるであろうことは、今回の研究を行う前から大体予想していました。外部から入ってきた菌が付着して、それが増えていくことがどの程度寄与するか、わかりませんでした。実廃水を用いて処理することが、重要でした。今回、それを達成できることが確認できました。

【三谷委員】 ありがとうございます。実用化でお話があると思いますが、現実にアルカリ処理を採用するとして、かなり大きなスケールの設備をアルカリ処理しなければいけません。担体だけ取り出して行えばよいということもあると思いますが、何かイメージがありますか。

【日立PT：生田研究員】 はい。反応槽に充填している担体の約2%です。2%という小さく聞こえますが、処理槽の規模が大きくなると2%でも膨大な量になります。それを縮小していくことも今後は検討しなければと考えています。やり方としては、担体を引き抜いた時に一緒についてくる随伴水がありますので、その水をはじく、あとは、担体を引き抜く頻度をあげて、引き抜く量をさげる方法があります。これは確率統計的なシミュレーションになりますが、そちらを検討して、もっと低い量で、より頻繁に処理する等の検討は必要と考えています。しかし、今、最も効率がよいものが2%であると我々は計算しており、現在はこの方向で進めていこうと考えています。

【遠藤分科会長】 私から一つだけ、技術的な点で質問します。微生物の種の比率の円グラフについて。要するに、クローニング解析の結果をパーセントで示していると理解してよいですか。

【日立PT：生田研究員】 そうです。

【遠藤分科会長】 長い時間が経過すると、ほとんどアンカルチャードになってくるということのようです。通常ではない微生物がそこに増えてくると理解してよいですか。

【日立PT：生田研究員】 いえ、アンカルチャードのバクテリアはまだまだ多く存在します。特殊な菌がいるというよりも、カルチャーされている菌が少ないと理解しています。

【遠藤分科会長】 ただ、ニトロソモナスなど、従来よく知られていない細菌が多くなってき

ていることは間違いないと理解してよいですか。

【日立PT：生田研究員】 ここではむしろ、ニトロソモナスユーロピアが全体に対して非常に少ない量しか存在していません。今回クローニングしたものが 96 穴プレート・1プレートです。96 クローンを見ました。その中に入っていない、つまり、1%よりも低い量しか存在していないことでも、これだけ硝化反応が活性化していることがわかったことと、ほかの菌が大量に存在していて、pH ショックによって、わからない菌が増えることがあるのか、結論が出せません。微生物でカルチャブルな研究が全体の何%かということを見ると、わずか数%と言われていしますので、その中でこのアンカルチャードが特殊な菌なのか、今のところ、私では判断できません。

【遠藤分科会長】 ありがとうございます。それでは、ほかにもあるかもしれませんが、おおよそ予定の時間が参りましたので、何か特にとということがなければ次に移ります。

(2) 広島大学

実施者より資料7-1-2に基づき説明が行われた後、以下の質疑応答が行われた。

【村上委員】 リンの回収で教えて下さい。P-DHS リアクタの回りの、長期のリンの収支がどうなっているのか、イメージが湧きません。活性汚泥を使う場合と違い、スポンジの中に含まれているリンの量はコンスタントで、特に増加などはしないという理解でよいですか。

【広島大学：大橋教授】 これを1年間運転したのですが、その1年間、汚泥は全く引き抜いていません。入ってくるリン濃度も低くて、2mg/L以下、1.5程度のリン濃度です。リン濃度は、まだ除去率が悪いですが、1程度になっています。

除去されたものは濃縮液に行きます。濃縮された液は 60mg/L になっていて、収支的には合致しています。除去されたものは濃縮液槽に行きます。汚泥にもたくさん付いていますが、汚泥に行くよりも回収のほうに回っているという状況です。

【三谷委員】 ベーシックな質問です。ポリリン酸として体内に一時的に蓄積して、それを吐き出させるという検証は理解できました。微生物的に、ポリリン酸の状態に出ているのですか。かなり、高分子ですね。

【広島大学：大橋教授】 嫌気状態でポリリン酸からリン酸を体外に出します。それを普通の PO_4 で……。

【三谷委員】 では、ポリではないですね。

【広島大学：大橋教授】 ポリではありません。体内ではポリになっていますが、出されたものは普通のリン酸塩になっています。このままでは使えないので、MAP など様々な方法で回収する必要があります。高濃度になっていますので、そういう技術を組み合わせれば可能になります。

【原田委員】 ポリウレタンのスポンジの微生物保持性を利用して新たなアプリケーションの

場として、溶存メタン、亜酸化窒素の酸化、リンの回収と、多様で膨大な実験を行い、すばらしい成果が出ていることに、まず敬意を表します。

一つ伺いたいのは、溶存メタンの酸化について、実廃水に近いものを使って研究すると、アンモニアも、メタンも、硫黄も酸化できる。有機物もそうです。その反応の優位性が、まず有機物が酸化され、硫黄が酸化され、メタンが酸化される。その次にアンモニアが酸化されるという順位があるというお話でした。これは、酸素を電子アクセプタとして、電子ドナーがそれぞれ有機物であり、硫黄であり、アンモニアであり、メタンですね。

【広島大学：大橋教授】 はい。

【原田委員】 それぞれの電子ドナーと、酸素が電子ドナーの時、電子1個当たりの ΔG の順位もその順番になっていますか。

【広島大学：大橋教授】 メタンとアンモニアについては忘れましたが、たぶん、なっています。熱力学的に、亜硝酸化が一番 ΔG が小さいです。

【原田委員】 亜酸化窒素の酸化とメタンもカップリングできる、うまく利用して両方とも除去できるのですね。その時の ΔG は、電子1個当たりどの程度ですか。

【広島大学：大橋教授】 大変高いです。数値は書いていませんが、酸化だけですと 21 ですが、これの 10 倍以上です。

【原田委員】 この一番下の式ですね。この電子1個当たり 10 倍以上ですか。

【広島大学：大橋教授】 これは非常に高いです。本当に高いです。有機物酸化以上です。

【原田委員】 これは一つの菌が働くのですね。

【広島大学：大橋教授】 まだ明確なことは言えません。

【原田委員】 これは非常に面白いですね。

【広島大学：大橋教授】 これは誰も報告していないので、我々も半信半疑でした。

【原田委員】 これが見つければ、アナモックスと同じくらいのインパクトがあります。

【広島大学：大橋教授】 ただ、まだ反応が起きることを我々はコントロールできていません。現象はわかりましたが、コントロールできていません。これも 2 年で終わってしまったので、我々の研究としては続けていますが、このプロジェクト自体は、ここでストップしています。

【原田委員】 広島大学の研究全体として、さきほどプロジェクトリーダーから、リンの回収部分の研究に対しては特許が取得できたという報告がありました。この溶存メタンの酸化の部分は、特許を取得していますか。

【広島大学：大橋教授】 取得していません。わかりませんが、公知の事実ですが、酸化するということがあるので。

【原田委員】 でも、こういうプロセスで取れるというのは、特に、下水のような低濃度の有機物性の廃水でメタン発酵を利用して下水処理を行うことは、途上国では世界的な潮流になりつつあるため、この技術は必ず必要になってきます。膨大な量の下水を

嫌気性で処理すれば、必ずメタンが大気中に放散されます。この技術をかませることで意義が大きくなります。リン回収の部分は国内の特許だけです。広島大学だけではなく NEDO にもお願いします。ぜひ国際特許取得に向けて尽力して下さい。

【広島大学：大橋教授】 ありがとうございます。

【古川分科会長代理】 下水処理場に置かれたフローのスライドを見せて下さい。あまり時間がなく詳細な説明が行われませんでした。UASB-DHS は、上部に DHS を置いて、下部が UASB になっているのですか。

【広島大学：大橋教授】 私の書き方が間違っており、UASB が最初です。嫌気性処理でメタンを取ろうと。その後段処理で、先ほど言った溶存メタンを取って。

【古川分科会長代理】 次の写真では UASB 槽と DHS と別個ですね。

【広島大学：大橋教授】 これは、生下水が入ります。沈殿池に行った後で UASB に入ります。UASB はアップローですので、一旦、パイプで下まで落とし、そこからアップローで上がります。アップローで上げているのでポンプが必要です。その後は自然に流下させる、ポンプを使わないでそのまま自然落下させるだけです。エネルギーとしては、最初にここにポンプがありますが、ポンプアップするだけで処理ができます。

【古川分科会長代理】 そのスポンジは、吊るすのではなく積んでいるだけですか。

【広島大学：大橋教授】 実験室用では、簡単であることと、体積が少なくて済むので吊るしてありますが、実際の処理では、ランダムパッキングのほうが楽なので、スポンジをランダムに入れてあります。

【古川分科会長代理】 リンの回収用には、中が働いていないので外側だけでよいだろうということで、目詰まり防止も兼ねているのですね。

【広島大学：大橋教授】 はい。P-DHS 用担体を使っています。

【古川分科会長代理】 有機物を入れて吐かせる段階の時には、水を満たしてそのままですか。

【広島大学：大橋教授】 はい。3時間放置するだけです。

【古川分科会長代理】 3時間漬けて出すだけということで、攪拌は行っていないのですか。

【広島大学：大橋教授】 はい、行っていません。

【古川分科会長代理】 その時に、3時間後に水を抜いた時に、SS や剥離などはあまり起こらないですか。

【広島大学：大橋教授】 ご説明できませんでしたが、この東広島の下水は特別で、硫酸塩が通常の下水の 10 倍、400mg/L ありますので、真っ黒になりました。普通は、黒くなる程度で、実験室ではきれいな処理液ができます。真っ黒になった理由は、おそらく硫酸還元菌が繁殖したからです。どこで繁殖するかというと、有機物が少し残っているため、P-DHS でリンを回収していますが、これを貯めます。これは濃縮された液ですが、有機物が残っているので、硫酸還元菌が入って、硫化水素を出しています。硫化水素が出ていることは確かめています。それでポリリン酸菌に悪さをしていることから、硫酸塩濃度が高い場合には適用できないと思いました。しか

し、好気状態にすると硫酸還元菌が抑えられ、硫酸塩濃度が高くても適用できることの説明をしたかったのです。こうなると、SSはあまり出ません。

【遠藤分科会長】 先ほどの原田委員のご質問に関連して、メタン酸化と亜酸化窒素の還元がカップリングしているとする、メタン酸化系の酵素と $\text{N}_2\text{O-R}$ が両方あるのか、それぞれを持つ菌が一緒にいるのか、そういう遺伝子や酵素レベルでの解析は行っていないのですか。

【広島大学：大橋教授】 行わなければと思いついていません。炭素と窒素でラベリングして確認しなければと思いついていますが、まだそこまで行き着いていません。現象論しかないということと、どの様な微生物がいるかということで、今後は少し研究しなければならぬと考えています。

【遠藤分科会長】 今後行うということですね。ありがとうございます。ほかにどうしても聞いておきたいことがありますか。ないようですね。では、次に進みます。

(3) 北海道大学（地球環境研究院）

実施者より資料7-1-3に基づき説明が行われた後、以下の質疑応答が行われた。

【三谷委員】 先ほどの説明で、未知なる共生細菌を単離したということでした。その活性成分は未同定かもしれませんが、見つかりつつあるというお話であったと思います。その前段で、インタクトといいますか、サスペンションした系と、フィルム化したところでは差があるということでした。菌体量ではなくてタンパク量当たりで換算していますが、1個当たりの菌の活性が上がっていると思います。それは共生している微生物であるという理解でよいですか。

【北海道大学：森川教授】 こちらの実験は、単独でアンモニア酸化細菌だけをバイオフィルム化させた時と、浮遊細胞の状態を比較した結果です。未知なる共生細菌と共存している時の遺伝子の発現解析はまだできていません。今わかっているのは、レインヘイメラ属、共生する新しい微生物が低分子の分泌性の物質をアンモニア酸化細菌に供給しており、それが新規の物質であろうということです。こちらの遺伝子の発現量は、まだ確認できていません。

【三谷委員】 わかりました。すると、フィルムの場合は共生系ですが、サスペンションな状態でも同じ微生物を共存させた場合は、同じ処理活性が出るのですね、きっと。

【北海道大学：森川教授】 はい。添加効果は認められます。バイオフィルムになっていない場合でも、浮遊状態のアンモニア酸化細菌に対しても、共存させることで活性が上がることを確認しています。

【原田委員】 その共生細菌は何をしているのですか。

【北海道大学：森川教授】 この物質が何か、まだわからないため、それ以上はわかりません。

【安井委員】 確認ですが、共生細菌と言うからには、このMR3も、AOBと存在することに

よって何かメリットを得て増殖しているという意味ですか。

【北海道大学：森川教授】 それについては「共生」は適切な表現ではなかったかもしれません。「共存細菌」というレベルです。

【古川分科会長代理】 アナモックスのバイオフィルムについて、新しい知見で非常に面白いと思います。私の理解では、アナモックス菌と共生するフロック形成菌であるようなグラニュールを形成していると思います。先生の研究結果では、アナモックス細菌が持つヒドラジン・ハイドロレースがバイオフィルムの生成に関与しているということですか。

【北海道大学：森川教授】 まだ間接的な証明ですが、少なくとも、このヒドラジン・ハイドロレースの遺伝子群を大腸菌に発現させると、大腸菌同士が付着したり、固体表面でのバイオフィルム形成が上がります。類推ですが、これらのタンパク質群も細胞の付着に何らかの影響を及ぼしているということです。古川先生がご指摘のとおり、グラニュールを SEM などで見ますと、糸状性の菌をたくさんとりまとめているので、必ずしもこれだけでグラニュール化しているとは考えていません。

【古川分科会長代理】 非常に面白い結果です。HH がグラニュールに関係しているのは、純粋分離できていないので証明は難しいと思いますが、非常に新しい知見です。研究を進めてほしいと思います。

【北海道大学：森川教授】 ありがとうございます。証拠としては弱いのですが、少し光が見えてきたというところです。

【古川分科会長代理】 それと、硝化菌の場合でもグラニュールを作るのですね。その場合に、先生が見つけられた共生菌、レインヘイメラという菌は今までに報告されていないのですか。

【北海道大学：森川教授】 活性汚泥からの報告も一部はありますが、主要なものは海洋性細菌としての報告例です。海洋性細菌なので、比較的塩分に対しても強い特性が知られています。

【古川分科会長代理】 海洋性細菌で、これも非常に面白いですね。

【北海道大学：森川教授】 はい。これもまだスピーシーズの段階で、新種の可能性があるため、もう少し研究を続けたいと思っています。

【遠藤分科会長】 ほかにありますか。では、私から2点質問します。アナモックス細菌のグラニュールの形成の全体的なメカニズムはわかっているのですか。

【北海道大学：森川教授】 不勉強かもしれませんが、わかっていないと理解しています。

【遠藤分科会長】 グラニュールを形成するという事実はあるが、どうして形成するのか、どういう過程を経て形成されてくるのか、それらはまだわかっていないのですね。

【北海道大学：森川教授】 はい。

【遠藤分科会長】 もう一つは、浮草の根圏細菌の話です。これを実際に水処理や廃棄物処理に適用するとすると、どういう形をとるのか。実際の最終的な利用形態というか、

その辺を教えてください。

【北海道大学：森川教授】 あくまでも試算ですが、従来の嫌気・好気の二槽式の水処理の後段のところを、50%の負荷を残したまま後半に植生浄化を、浮草を浮かべた系で処理した場合を試算しました。曝気のコストがいらない、光のエネルギーを使うことによってエネルギーの消費量が、もともと $810\text{Wh}/\text{m}^3$ であったものが、 $315\text{Wh}/\text{m}^3$ ぐらいまで低減できます。あくまでも試算ですが、ここからバイオマスを作ることができるため、そこからエタノール等のエネルギーを生産するということで $60\text{Wh}/\text{m}^3$ 程度は回収できます。かなり効果が期待できるという試算をしています。

【遠藤分科会長】 浮草の増殖も一方では考えているのですね。

【北海道大学：森川教授】 はい。バイオマス生産も考えています。

【遠藤分科会長】 要するに、水を処理した後のポリシング、あるいは、難分解性でさらに残ってしまう物質の高度な浄化としての利用を考えているのですね。

【北海道大学：森川教授】 はい、そうです。いわゆる高度処理の場合は、オゾン酸化等が使われます。それに代わる根圏から様々なライブラリを作っていますが、難分解性の、POPs まではまだ行っていません。ただ、ビスフェノールAやエストロゲンなど、環境ホルモンを分解するような菌も根っこから採れています。そうしたものをうまくデザイン化というか、集積させることで、これまで高価でコストがかかっていたものを、より安価なシステムにできると考えています。

【古川分科会長代理】 先生の研究は、学問的には新規性があるって非常に面白いと思います。しかし、目的として、例えばこのバイオフィルムの工学的な手法を適用して、アナモックスプロセスをより安定なものにする、そのことについて先生は80%と書かれています。これが実用化に少しでも適用できればおもしろいと思います。

【北海道大学：森川教授】 ご指摘のとおりです。まだ、メカニズムを明らかにする段階で、実際にどう使うことができるか、方針というか、アイデアがありません。

【古川分科会長代理】 今、アナモックスを活性汚泥から集積すると1年ほどかかります。その時の知見を利用してバイオフィルムを作る、そういう遺伝子を導入する、何かヘルパーのようなものを入れると、1カ月でアナモックス菌ができるようになると、大変大きな影響があります。ぜひともそういうところを目指して下さい。

【北海道大学：森川教授】 ありがとうございます。

【遠藤分科会長】 今後、研究を続けるということですね。ほかにもございますか。それでは、ここで質疑を一旦打ち切ります。

5.2 嫌気性処理

(1) 北海道大学（工学研究院）

実施者より資料7-2-1に基づき説明が行われた後、以下の質疑応答が行われた。

- 【古川分科会長代理】 これは提案ですが、アナモックスをすべて大文字で表記したり、最初のAだけ大文字で表記しています。記述が様々なので統一してほしいと思います。統一する際に、意匠登録されているものがあるので、注意するとよいと思います。
- 【北海道大学：岡部教授】 ありがとうございます。気をつけます。
- 【古川分科会長代理】 代謝経路を明らかにした非常に面白い結果だと思います。それと、部分亜硝酸化をするのに、グラニュールを作るという目的で酢酸を入れています。グラニュールができた後で酢酸を抜くとグラニュールが壊れませんか。
- 【北海道大学：岡部教授】 いえ、もっと強固なグラニュールができます。グラニュールの大きさは、直径が1 mm程度の小さなものになりますが、より強固になります。
- 【古川分科会長代理】 グラニュールを使ってアナモックスで途中から入れるところを工夫して行くと、高い負荷がとれるということでした。これは非常によいと思います。配付資料では、グラニュールだけで30何キロという高い負荷になる。大量の窒素が出て、相当量のGSSをつけないといけないと思います。GSSのことは何も書いていませんが、固液分離はどうしていますか。
- 【北海道大学：岡部教授】 全く何もしなくてよい状態です。
- 【古川分科会長代理】 ガスがもの大量に出るはずですが、30何キロであれば、ガスで激しく攪拌されると思いますが。
- 【北海道大学：岡部教授】 このような形のリアクタになっています。斜めにしているのはなぜかとよく質問されます。ガスが若干たまりますが、排水とともにガスが常に流れていくので、ガス抜きは全く設けていません。
- 【古川分科会長代理】 グラニュールが処理水に出ていきませんか。
- 【北海道大学：岡部教授】 説明を忘れましたが、ここにメッシュをはめてあります。それでブロックしています。先ほど、実廃水を投入した時に詰まったと説明しました。ここが詰まりました。そのような欠点があります。
- 【古川分科会長代理】 確かに、30何キロというのはすごい速度です。我々の実験でも、10キロ程度になるとグラニュールだけで大変です。GSSを付けないと、縦型では無理ですが、斜めにした利点かもしれません。ぜひとも、もう少しスケールアップした状態で30キロ程度を出してもらおうと、大変インパクトがあります。
- 【原田委員】 それを斜めにしているのがみそですね。上だけにガスが流れていきます。
- 【北海道大学：岡部教授】 そうですね。よく観察すると、この部分でこれだけガスがたまっています。水がたまっていない部分があります。その部分から、流入孔といいますか、そこからガスが常時流れる形になっています。どうしてかということ、そのまま縦にしてしまうとエアをかんでしまいますので、水がなかなか流れにくくなると思います。
- 【原田委員】 ベットがどんどん攪拌されてしまうから、ガスだけ逃がすということですか。
- 【北海道大学：岡部教授】 はい。

- 【村上委員】 実廃水による試験について、消化汚泥脱離液の平均数値の表が出ています。亜硝酸になるとずいぶん高い。これは脱離液そのものではなくて、部分硝化をかけた後ということですか。
- 【北海道大学：岡部教授】 そうです。説明が足りませんでした。もともとの廃水は、Y市の消化汚泥をいただき、日立プラントが部分硝化を行いました。その後の廃液です。
- 【村上委員】 それから、実験の継続に伴って、赤い色が薄くなり、活性が落ちたということでした。これはシニカですか、アナモックスの菌叢自体も変わっているのですか。
- 【北海道大学：岡部教授】 いえ、それは確認されていません。同じ種類だと思います。
- 【古川分科会長代理】 今の質疑応答に関係しますが、廃水で2倍希釈までしか行けていないことについて、グラニュールを使ってプラグフローをかけても、かなりガスの攪拌で混ざっていると思います。プラグフローになっているのでその程度しか採れないということですか。
- 【北海道大学：岡部教授】 ご指摘のとおりです。我々がプラグフロー型にした理由は、いくら濃度が高くて、後段に行くにしたがって処理が起きるだろうと考えたためです。これを完全混合にしまうと、たぶん濃度が高すぎて処理がうまくいかないと考えてプラグフロー型にしました。初めの3倍希釈では、相応の処理は得られますが、2倍希釈に戻すと、活性が落ちます。たぶん、亜硝酸の濃度が高すぎて亜硝酸阻害がかかっている可能性があると思います。
- 【古川分科会長代理】 内部循環をかけたことがありますか。
- 【北海道大学：岡部教授】 いえ、ありません。我々の場合は、先生が言われたとおり、ガスが相当出るので、内部がミクシングされると考えられます。バイオマスが多量に蓄積していますので、ほんの少ししかバイオマスは動かない状態です。本当のプラグフロー型のリアクタになっています。
- 【古川分科会長代理】 30キロの速度が出た時は、もっと薄い濃度で滞留時間も短くして30キロになったということですか。
- 【北海道大学：岡部教授】 そういうことです。
- 【三谷委員】 例えばリアクタの最適化を考えねばならないと思います。レイノルズ数的には本当はプラグフローではないという気がします。また、グラニュールをぎっしり詰めることが本当によいのか。そういうことも踏まえると、成果全般を通して、ある数字を達成したことを報告されていますが、その値が本当に最適化の結果なのか、チャンピオンデータだ、と言われると受け止め方が変わってくる気がします。いかがお考えですか。
- 【北海道大学：岡部教授】 エンジニアリングの問題だと思います。リアクタの形式については、若干ですが、エアリフト型といいますか、内部で汚泥が循環する形のものや、膨張床型のものも試行しています。高速というか、30キロ程度まで負荷をかけると、窒素ガスが発生します。グラニュールに窒素ガスがついて、ほとんどが上に浮きま

す。これが、こうした循環型のリアクタだと問題になると考えました。我々にはできるだけ、汚泥が流動しない形のパックドベッドにしました。これは基本的にプラグフローなので、濃度プロファイルができ、上部はなかなか有効に使うことができませんが、それでも速度的には、こちらのほうが高く出ると考えています。

報告されている論文等で、このようなパックド型もしくはバイオフィーム型のリアクタで高い速度が得られています。速度を出すにはこのほうがよいと思います。

【三谷委員】 局所的な分解速度と、トータルの速度はまた違います。スケールアップしていった時に、局所的なところを全てラージスケールまで持っていくことができるかが、課題になると思います。先々を考えてどうすれば一番よいのか、そういうことを研究していますか。

【北海道大学：岡部教授】 そこまで答えることのできる知見を持っていません。エアリフト型のリアクタで実用化されていますので、実用化レベルではそれで十分と思います。

【遠藤分科会長】 マイナーな質問ですが、亜酸化窒素の発生について、どうしても部分硝化をしないとアナモックスが成り立たないと思います。そこで、アナモックスの段階では、亜酸化窒素が出ないということによいわけですが、その前の段階で、どうやってそれを発生しないようにするか、何か方法がありますか。

【北海道大学：岡部教授】 我々がグラニュール型の部分硝化リアクタを立ち上げた理由の一つは、 N_2O の生成が、我々が前に使っていたバイオフィームリアクタではやはり高かったです。4%と言いましたが、これは負荷に対して4%であって、酸化された窒素に対しては10%近く出ます。やはり曝気が居所的なところがデッドエンドになってしまって嫌気化することが見られました。これを解消するためには、グラニュールで動かしたほうが N_2O の生成は少ないと考えて、このような形にしました。今日は示しませんでしたが、実際に N_2O の生成は、このグラニュール型のリアクタでは少ない割合になります。完全に N_2O の生成を止めることはできませんが、曝気や、 NO_2 の濃度を制御することによって低くすることは可能と思います。

【古川分科会長代理】 実廃水の処理で、温度を38度にしてしています。先生が集積された汚泥は38度が最適なのか。少し高い気がします。重炭酸カリウムを加えてpHの調整も兼ねていると思いますが、pHはいくつで運転しましたか。

【北海道大学：岡部教授】 38度という温度は少し高いと思います。35~36度程度がこのバクテリアの至適温度ですが、少し高めで運転しました。重炭酸を加えた理由は、廃水の組成といますか、水質から見て少し足りないと考えて加えました。しかし、加えた効果は疑問だと思います。pHは7.5程度で入り、最終的には非常に高いアナモックス活性がありますので、8程度で推移していると思います。

【遠藤分科会長】 またマイナーな質問で申し訳ありませんが、ペニシリンGを使って脱窒菌を除菌したと説明されました。アナモックス菌は、ペニシリンGの影響を受けないということによいですか。

【北海道大学：岡部教授】 はい、我々が検証したわけではありませんが、文献等によりますと、他の細菌とは違う膜構造を持っていますので、ペニシリンGが効きにくいという知見があります。そのため、ペニシリンGを使いました。

【遠藤分科会長】 わかりました。ありがとうございます。大体時間が来ましたが、よろしいですか。それでは、次のご説明に移ります。

(2) 電力中央研究所

実施者より資料7-2-2に基づき説明が行われた後、以下の質疑応答が行われた。

【原田委員】 メタン発酵槽の酸化還元電位がマイナス 0.8 ボルトですか、これは電極の近傍ですか。

【電中研：松本上席研究員】 電極の近傍です。

【原田委員】 液はどの程度ですか。

【電中研：松本上席研究員】 液は、測定しますと、通常メタン発酵と大差ない値でした。マイナス 0.4 ボルト付近です。有用な微生物を保持している、担体の近傍でベストな環境が構築されている、そこから有用な菌が常時提供されているという仕上がりになっていると考えています。

【原田委員】 わかりました。電極は汚れませんか。これは固形物のメタン発酵を対象にしていますが、いかがですか。

【電中研：松本上席研究員】 バイオフィームができる、フロックが付着することはありますが、それによって電気が流れなくなることはありません。

【原田委員】 何時間連続運転をしたのですか。その間、電極を洗う操作は全くありませんか。

【電中研：松本上席研究員】 洗いません。容量 250ml の通電型メタン発酵槽では 80 日ほどかけて運転します。

【原田委員】 それから、電極から微生物に電子を供給するという効果はないですか。

【電中研：松本上席研究員】 そのような効果を否定はできません。ただ、電子が微生物の呼吸に必要なであるといったファクターはメインではないと思います。流れる電流値から換算しても、それが微生物の呼吸を賄うに十分とは到底思えません。

【原田委員】 そうすると、効果は、酸化還元電位をより還元側にする、電極で微生物の保持をよくするというその2つがメインであるということですか。

【電中研：松本上席研究員】 その2つがメインだと考えています。

【原田委員】 わかりました。

【安井委員】 電気化学のことはわからないため、おかしな質問かもしれませんが、通電してないほうのガス生成速度が下がったということでした。これはVFAが蓄積したうえでガス発生が低下ですか。プロピオン酸や吉草酸、酪酸、そういうものがたまって。

- 【電中研：松本上席研究員】　そうです。そういうことになります。
- 【安井委員】　メタン発酵の手前のところで、例えばプロピオン酸の分解反応において、生成の水素分子が電気分解されることで反応が進むということではないのですか。
- 【電中研：松本上席研究員】　そうです。そういう現象も起こる可能性はあるとは思いますが、電流値から見て、それほど大きな電流が流れていないことから、積極的にそうした反応が系を安定化させたというよりも、むしろ別のファクターであると考えています。
- 【古川分科会長代理】　使われたリアクタについて質問します。これは連続で行ったのですね。
- 【電中研：松本上席研究員】　はい、連続で行っています。
- 【古川分科会長代理】　流入水と処理水をポンプで引っ張っています。そのところは膜が入っていますか。
- 【電中研：松本上席研究員】　ここは、膜は入っていません。
- 【古川分科会長代理】　では、ケモスタットで運転しているということですか。
- 【電中研：松本上席研究員】　はい。
- 【古川分科会長代理】　定量的な PCR の結果で、高負荷時でも同様の微生物濃度を維持という結果は、ケモスタットであれば、負荷が高まれば、普通は菌の数が変わってよいはずです。変わっていないのは、通電した影響ですか。
- 【電中研：松本上席研究員】　ここは少し説明不足でした。担体上の微生物濃度です。
- 【古川分科会長代理】　発酵液中というものもありますね。
- 【電中研：松本上席研究員】　はい。失礼しました。
- 【古川分科会長代理】　発酵液中と担体中で両方とも、全菌も古細菌もあまり変わらないというのは。
- 【電中研：松本上席研究員】　ケモスタットで流入・排出が早くなったといっても、1.5 日程度です。
- 【古川分科会長代理】　1.5 日と、水理学的な滞留時間が 10 日とでは、負荷が 7 倍程度違いますね。
- 【電中研：松本上席研究員】　そうです。
- 【古川分科会長代理】　そうすると、普通のケモスタットでは、少なくとも 5 倍くらい菌の量が変わっていなければいけないと思います。それが変わらないのはどういう理由かということ。通電することによってそうなり、汚泥が減って、活性が高まるということであれば非常に面白いと思います。
- 【電中研：松本上席研究員】　その辺は、詳細なシミュレーションが必要かもしれません。今のところは、こうした結果が出ているという状況です。流入・排出が早くなった時、それに合わせて担体から効果的な菌の供給が行われている可能性があるのかどうか、今は何とも言えません。
- 【古川分科会長代理】　このリアクタですと、下はスターラーで攪拌しているのですね。

- 【電中研：松本上席研究員】　そうです。ここで攪拌しています。
- 【古川分科会長代理】　スケールアップした時にどういう攪拌にするか、このリアクタでは、それで済みますが、スケールアップが少し難しいと思います。
- 【電中研：松本上席研究員】　そこは検討の余地があります。ただ、この部分、この外枠を除いた部分が一つのモジュールのような形で、既存のリアクタに投げ込む形で、電気をかけたリアクタが成立するイメージに仕上がっています。その辺から、どう最適化していくかという検討が必要だと思います。
- 【村上委員】　大変面白い成果です。容積当たりの電力も、この数字で見るとそう大きくないですが、これが実際に 2,000m³や 3,000m³にスケールアップすると大きな数字になります。これは継続的に通電しています。例えば間欠で通電した場合はどうか、担体がいくつかありましたが、それを順番に通電して同じ効果があるかなど、消費電力の最適化を行うための検討は何か行いましたか。
- 【電中研：松本上席研究員】　非常に有益なご指摘をありがとうございます。ご指摘された内容の検討はもちろんあり得ると思います。その前段階としてですが、2,000m³、3,000m³にした時にどの程度か、試算してみました。単純に電力が比例的にかかると想定しますと、この下水をいただいたところでの 2,000m³、3,000m³に適用した場合、そちらでメタン発酵を、今、ガスとして採っていますが、そのうちの一部で発電しているようです。その発電量の 3%程度の電力で賄える値です。
- そうであっても電力は抑えたほうがよいと思います。ご指摘のように、間欠式にできないか、あるいは、単位体積当たりもっと少ない面積のユニットでも成立するのではないかと、そうした条件も変えることができます。そうしたベストのリアクタのデザインが計算できると思います。まだそこまでは踏み込めていませんが、そうしたことは検討項目として考えられます。
- 【三谷委員】　最初のお話しは、固定床を使って、電気を使って、生ゴミを想定した仕事をするというものであったと思います。今回実験に用いた材料は生ゴミとして想定されるようなものですか。
- 【電中研：松本上席研究員】　ここでは、実験条件のばらつきを極力なくするため、ドッグフードを生ゴミと見立てて、スラリー状にして実験しています。
- 【三谷委員】　中間評価の際にもどなたか先生が言われたと思いますが、生ゴミの成分は幾つかあります。例えばセルロース系もありますし、油脂系のものも入っています。そういう組成とよく似ているという前提ですか。
- 【電中研：松本上席研究員】　そうです。
- 【三谷委員】　メタンの生成はメタン生成反応部分だけではなくて、前段の糖質等の分解が進んで起こります。反応速度的に言うと、生ゴミ、即ち、「対象としているどの基質分解の一番の律速段階は何処になるので、だからこのメタン生成速度は短縮できる。よってメタン生成速度の向上は合理的です。」という説明の仕方ではいかがですか。

- 【電中研：松本上席研究員】 基本的には、高速での処理を考えると、後段が律速になると考えています。基本的にはメタン発酵のメタン菌濃度です。そちらについて、今回、特に安定化し、酸化還元電位等が安定化に効いたということで、そこが活性化されたというよりは、活性が落ちずに維持できたということになると思います。そうした効果が今回のデザイン化として見えたのではないかと思います。
- 【三谷委員】 固形分の溶解の部分はあまり考えなくてもよいということですか。どっちにしてもメタン発酵で、供給した基質が全部分解できるわけではなく、いくらか沈殿物や残渣が出てくると思います。その部分は処理しないといけません。ただ、可溶化された部分に関しては高速でメタン化できるというような、概略的な尋ね方で恐縮ですが、そういうイメージですか。
- 【電中研：松本上席研究員】 時間的、予算的制約から検討項目を厳選したためリアルの生ゴミとしての検討が、この5年間では不十分だったと言わざるを得ません。生ゴミといっても様々な種類があります。そうした場合、場合についての最適化の検討がこの先は必要になってきます。
- 【三谷委員】 もう1点お尋ねします。実廃棄物を使い、いくつかの条件を付した試験をしています。一つ一つの実験条件の期間、試験期間はどの程度ですか。
- 【電中研：松本上席研究員】 基本的には、200日ほどです。
- 【三谷委員】 例えば右上の図にHRTが20というものがあります。これを200日程度ということですか。
- 【電中研：松本上席研究員】 通常、HRTの3倍期間安定であれば、メタン発酵が成立していると見なすことができるという考えから、基本的に同じ負荷量では、少なくともHRTの3倍程度の期間を目安に維持して次のステップに移っています。事業原簿のⅢ-2-5-25ページを見ていただくと、どの段階でどの程度かけているか、わかります。大体、20日前後、同じ負荷量で運転しています。それで、トータルの実験として200日程度実施したということです。
- 【遠藤分科会長】 実廃水あるいは下水汚泥で固定床を適用するメタン発酵は、通常はあまりないかもしれませんが、高濃度の廃水のメタン発酵はあり得ます。その時に、この通電型のリアクタは固定床のようですので、その固定床にした場合との比較はどうですか。既存設備とは、要するに通常の汚泥消化タンクのことですね。
- 【電中研：松本上席研究員】 そうです。
- 【遠藤分科会長】 それと比較して、廃水処理ではないため、汚泥処理ということですが、廃水処理などを想定した場合、固定床の場合、高いCOD負荷が通常ではないかという気がします。例えば、5とか6g/L・日ぐらいが普通ではないかと思います。同じ固定床で比べる必要があると思いますが、いかがですか。
- 【電中研：松本上席研究員】 その辺はご議論があるかもしれませんが。プロジェクト開始当初の考え方は、担体を使う効果プラス通電の効果、これで既存のものから3倍、50%

の面積低減を目標にスタートした経緯があります。スタート当初の約束に基づいて計算しています。

【遠藤分科会長】 そうですか。固定床にした場合にインシャルコストが相当かかると思います。そうなった時に、4.5 倍の負荷になったということは、同じ固定床である従来の固定床プロセスと比較すれば、4 倍にはならないかもしれないと思い、質問しました。当初のプロジェクトの提案がこうであったということですね。

【電中研：松本上席研究員】 はい。

【遠藤分科会長】 わかりました。時間が少しオーバーしましたが、ほかにご質問がなければ、第5議題に関してはここまでとさせていただきます。

6. 全体を通しての質疑

全体を通しての質問がなかったため、質疑は行われなかった。

7. まとめ・講評

【遠藤分科会長】 では、議題7「まとめ・講評」です。各委員の皆様、講評を安井委員から順番にお願いします。

【安井委員】 全体を通した感想も含めて講評させていただきます。当初の NEDO プロジェクトの目標は、好気処理においては性能向上、省エネ、高効率。嫌気においては適用拡大、高負荷がキーワードでした。5年の中でご研究されて、今日お話を伺うと、例えば活性汚泥法の中での亜硝酸型硝化あるいは N_2O 。嫌気の中ではゴミ処理といったところに、問題点が多少絞り込まれた形で進められたと理解しています。

技術的、学術的にチャレンジングなトピックを各担当者が選び、実用化も同時に目指しています。基礎研究も踏まえたものは文科省の科研費ベースの研究になると思いますが、NEDO プロジェクトの場合は実用化も要請されます。バランスよく折り合いをつけて、チャレンジングな目標設定をされたと思います。ただ、性能の試算が、どうしてもラボスケールでの研究ベースになっています。アカデミックな部分は非常に迫力がありますが、速度としてどの程度とれているかとなると、発表を伺うと、若干、自信がなさそうな印象を受けました。しかしながら、この部分は世界初の性能である、この部分は世界初の知見であると、自信を持って説明していただいたことはとても良いと思います。以上です。

【村上委員】 今日は、熱心なご説明をありがとうございました。このプロジェクトの目標は、初めにご説明があったように、省エネ効果、廃棄物の大幅削減、基盤技術の確立ということです。必ずしもすぐに実用化ということではないかもしれませんが、私は下水道の実務に携わっている関係で、実用化の可否に一番興味があります。

非常に先端的なプロジェクトで、様々なことができているという印象を受けました。しかし、実用化という観点から見ると、実用化に相当近いテーマと、もう少し

かかると思うテーマ、いろいろあったと思います。実用化から少し遠いと思われるテーマも、非常に先端的な技術ですので、これからも研究を継続して、実用化に持っていくレベルまでぜひ高めてほしいと思います。

昨年の大震災以来、下水道を取り巻くエネルギー事情が激変しました。これまでも省エネに取り組んできましたが、念仏のように省エネと言っていればよいということではなく、積極的に対応していく必要が出てきました。ぜひ、ここまで来たすばらしい技術を実用化に結びつけるよう、お願いします。

【三谷委員】 本日は、先端的な話から始まり、幅広いご研究、ありがとうございました。若干、感じたことを申し上げます。

今、2人の先生からお話がありましたように、良い研究をされています。実用化といっても、恐らく、全部の研究を何にでも適用できるというのではなく、あるところにこれは非常に絞り込めますとか、ここに適用すると非常に優位性がありますということだと思います。恐らく、皆さん感じられていると思います。できれば、そういう部分を強くアピールしてほしいと思います。NEDOとして、費用を使って仕事をしていく以上、最終的には国民にわかりやすい説明が必要だと思いますので、ぜひ、そういうアピールをしていただければと思います。

冒頭のNEDOからの説明で、市場のさらなる発展と書いてありました。恐らく、国内だけではなくて海外を目指す、また途中で、先生方からも、途上国では非常にニーズが高いという話がありました。そういうことも含めてアピールポイントをぜひ主張してもらおうとよいと感じました。以上です。

【原田委員】 いずれも意欲的な研究課題に取り組み、すばらしい成果が出ています。この結果から新しいイノベーションがいくつか出てくると期待しています。廃水や廃棄物処理はコストとのトレードオフです。新しい何かを、今までの単純なプロセスに入れると、どうしてもコストがかかります。その部分は、実用化の大きなハードルになるので、もう少し取り組んでいただくことも大事だと思います。

藤田 PL が示した一気通貫型のシステムはイメージとしてわかりやすいのですが、それぞれの研究が違った目的で進められており、つながるものもあれば、つながらないものもあって、難しい課題があると思います。この研究から出てきたいくつかのすばらしい成果は、世界に誇ってもよいと思います。先ほども申し上げましたが、日本の特許だけではなく、国際的に戦うことのできる技術のイノベーションが出てきていると思うので、ぜひ、そちらも積極的に考えてほしいと思います。

【古川分科会長代理】 今までの委員の先生方が言われたこととほとんど同意見ですが、タイトルからすると、微生物群をデザイン化して高効率なリアクタを開発することが本来の目的であると思います。学問的には非常に面白く、論文をいくつも書くことができそうなテーマが多いのですが、実用化をにらんだ場合、固定化の部分は亜硝酸化のところと DHS 以外は、実用化までには越えなければならない大きなデスバレ

ーがまだあるように思います。シーズとしては非常に良いものがあるので、プロジェクト終了後も、実用化に結びつけるべく研究を継続して、日本発の新しい技術として情報発信されることを希望します。以上です。

【遠藤分科会長】 ありがとうございます。では、最後に私から一言申し上げます。本日は、研究事業の内容を詳細に、わかりやすく説明していただき、ありがとうございました。全体的には、数多くの成果をおさめたプロジェクトであると評価します。

ただ、微生物群のデザイン化という全体目標に対して、廃水や廃棄物処理、微生物生態系の人工的構築、人工的制御を課題にしてきたということで、そういう観点を重視してもう一度整理して取りまとめると、より理解しやすくなると思います。せっかく良い成果があがっていると思いますので、理解しやすくなることによって、得られた成果が、より広く、そして、より有効に利用されるようになると思います。

以上ですが、推進部長あるいはプロジェクトリーダーの藤田先生から何か最後に一言ございましたら承ります。

【大阪大学：藤田教授(PL)】 推進してきた側の代表ということではありませんが、まとめ役として一言述べさせていただきます。単にお礼ということで申し上げてよいのかもしれませんが、非常に厳しいご意見もいただきましたし、温かいご意見もいただきました。また、個々の推進する研究者にとっても、今後の研究に資するコメントもいただき、非常にありがたく思います。

私も、個人的に考えることは、各委員の先生方が述べられたように、現在、日本の水処理も含めて環境バイオ型の処理会社が非常に元気を失っている部分があることです。我々の技術を外に持って打って出ないといけない環境が来ていると思います。従来の技術に様々な付加的なもの、あるいは、本日発表した微生物のデザイン化という先端的な知見も加えて、途上国でも戦うことのできるコスト意識がある実用的な技術に磨きをかけていき、できれば打って出たいと思います。

それは、我々推進者側が単独でできることではありません。先ほどもご指摘がありましたように、NEDO がいかに我々の成果を上手に知らせていって、1社でも2社でも、関心がある企業が共同研究を希望し、成果をさらに進めていってほしいと思います。必ずこういう技術が世界に打って出ていくことができると思います。コストについても、技術についても戦うことのできるものに仕上がっていくと思います。

本日は、委員の先生方、素晴らしいご意見をいただき、ありがとうございました。

8. 今後の予定
9. 閉会

配布資料

| 資料番号 | 資料名 |
|----------|--|
| 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 | 事業原簿 (公開) |
| 資料 6 | プロジェクトの概要説明資料 (公開) 4.1 事業の位置付け・必要性及び研究開発マネジメント 4.2 研究開発成果及び実用化の見通し |
| 資料 7-1-1 | プロジェクトの詳細説明資料 (公開) 5.1.1 好気性処理 (1) 日立プラントテクノロジー |
| 資料 7-1-2 | プロジェクトの詳細説明資料 (公開) 5.1.1 好気性処理 (2) 広島大学 |
| 資料 7-1-3 | プロジェクトの詳細説明資料 (公開) 5.1.1 好気性処理 (3) 北海道大学 (地球環境科学研究院) |
| 資料 7-2-1 | プロジェクトの詳細説明資料 (公開) 5.1.2 嫌気性処理 (1) 北海道大学 (工学研究院) |
| 資料 7-2-2 | プロジェクトの詳細説明資料 (公開) 5.1.2 嫌気性処理 (2) 電力中央研究所 |
| 資料 8 | 今後の予定 |

以上