

日本エネルギー学会機関誌



えねるみくす

Nihon Enerugii Gakkai Kikanshi

Enermix

Volume 99 Number 1
January 2020

特集記事：[リサイクル・バイオマス・ガス化]三部会(RGB)シンポジウム

—持続可能社会構築に向けた資源循環技術, バイオマス利用技術の最新動向—

海洋マイクロプラスチック問題とプラスチック循環経済

プラスチック類の資源循環利用の現状

難リサイクル性プラスチックのリサイクルに向けた研究開発

バイオマス由来多糖誘導体の合成と高性能バイオプラスチック

石油系樹脂を使わないバイオマス三次元成形の取組 ～ウッドストローを例として～

特集記事：アナモックス処理

前書：アナモックス処理

アナモックスプロセスの発展とトレンド

アナモックスを用いた窒素除去のいまとこれから

固定床型アナモックスプロセスによる高効率窒素除去技術

国内初の下水处理場でのアナモックス反応を利用した処理施設の建設

日本エネルギー学会機関誌 えねるみくす

第 99 巻 1 号 2020 年 1 月

目 次

巻頭言

2020 年を迎えて.....牧野 尚夫 1

特集記事：[リサイクル・バイオマス・ガス化] 三部会 (RGB) シンポジウム

—持続可能社会構築に向けた資源循環技術，バイオマス利用技術の最新動向—

海洋マイクロプラスチック問題とプラスチック循環経済

..... 府川伊三郎 2

プラスチック類の資源循環利用の現状

..... 富田 齊 10

難リサイクル性プラスチックのリサイクルに向けた研究開発

..... 熊谷 将吾, 齋藤 優子, 吉岡 敏明 17

バイオマス由来多糖誘導体の合成と高性能バイオプラスチック

..... 榎本有希子, 岩田 忠久 22

石油系樹脂を使わないバイオマス三次元成形の取組 ～ウッドストローを例として～

..... 野中 寛 27

特集記事：アナモックス処理

前書：アナモックス処理

..... 山口東洋司 33

アナモックスプロセスの発展とトレンド

..... 陳 玉潔, 郭 延, 李 玉友 34

アナモックスを用いた窒素除去のいまとこれから

..... 寺田 昭彦 42

固定床型アナモックスプロセスによる高効率窒素除去技術

..... 高木 啓太 48

国内初の下水処理場でのアナモックス反応を利用した処理施設の建設

..... 北田 剛 53

えねるみくす編集方針

エネルギーの分野に携わる人，あるいは，興味を持つ人を対象に
専門外のエネルギー各分野を含めて

幅広い知識を獲得する助けとなるような内容，

親しみやすい内容 とすることを旨とする

連載：石炭の研究・技術開発にとりくんで—わたしの自慢—

魅力尽きぬ物質—石炭—

..... 野村 正勝 ... 59

投稿論文要旨

(98 巻 12 号)

The Coordination Structure and Activity of Hollow Silica-alumina Composite Spheres
for Hydrogen Evolution from Aqueous Ammonia Borane Solution
..... Tetsuo UMEGAKI, Chinatsu HOSHI, Haruka OGAWA, Shinobu OHKI
Masataka TANSO, Tadashi SHIMIZU, Yoshiyuki KOJIMA ... 66

再生可能エネルギー熱技術を対象とした金額・物量ハイブリッド産業連関モデルの開発と
雇用分析への適用
..... 森泉 由恵, 本藤 祐樹, 中野 諭 ... 67

Ring and Rod Media Combination Effects on Continuous Pulverization by Tandem Ring Mill
..... Takehiko TAKAHASHI ... 68

多原料バイオコークスによる一般廃棄物処理施設及び産業用キュボラでの利用実証
..... 角間崎純一, 川畑 秀駿, 太田 慧, 井田 民男 ... 69

(99 巻 1 号)

Oxidative Cleavage of Linoleic and Linolenic Acids
Followed by Decarboxylation for Hydrocarbon Production
..... Kiky Corneliasari SEMBIRING, Eiji MINAMI, Haruo KAWAMOTO, Shiro SAKA ... 70

軽油を溶媒とした木質バイオマスの熱分解反応におけるパラジウム活性炭触媒の水素供与効果
..... 木村健太郎, 新坂 周平, 角田 雄亮, 栗原 清文 ... 71

Catalytic Activity of Intercalated Montmorillonite Clay
for Glycerol Conversion to Oligomers via Microwave Irradiation
..... Muhammad SAJID, Muhammad AYOUB, Yoshimitsu UEMURA, Suzana YUSUP
Bawadi B ABDULLAH, Sami ULLAH, Aqsha AQSHA ... 72

研究グループ紹介 (北見工業大学工学部 機械電気系 エンジンシステム研究室) 73

令和元年度 2019 年度「バイオマス夏の学校」実施報告 77

日本エネルギー学会天然ガス部会 輸送・貯蔵分科会シンポジウム
「進化する天然ガス/LNG サプライチェーンにおける輸送・貯蔵分野の最新動向」 83

「天然ガス」部会輸送・貯蔵分科会施設見学会
「LNG 受け入れから都市ガス送出まで、及び LNG 冷熱利用」 85

第 56 回石炭科学会議実施報告 87

エントロピー 90 学会カレンダー 91

前月開催会議 91 編集後記 94

索引

特集記事：[リサイクル・バイオマス・ガス化] 三部会 (RGB) シンポジウム
—持続可能社会構築に向けた資源循環技術, バイオマス利用技術の最新動向—

海洋マイクロプラスチック問題とプラスチック循環経済

府川 伊三郎

海洋プラスチックとシングルユースプラスチックが世界的に大きな問題になっている。そして、PE・PPなどのマイクロプラスチックはその生成と行方が解明されておらず、問題の全貌がわかっていない。日本はPETボトルのマテリアルリサイクルは世界トップであるが、PE・PP・PSのリサイクルは進んでおらず、EUに後れを取っている。早急な技術開発と事業拡大が喫緊の課題である。

キーワード

マイクロプラスチック, プラスチックリサイクル

(2019年11月2日受理)

Marine Micro-plastics and Plastic Circular Economy

Isaburo FUKAWA

1. まえがき

海洋プラスチックごみ問題がグローバルな環境問題として注目されている。またこれがトリガーとなって、プラスチック資源循環問題に拡大するとともに重点がそちらにシフトしている。国連のSDGsで言えば、SDG14の海洋環境の保全からSDG12の資源の有効利用(リサイクル)へのシフトである。

海洋プラスチックごみ問題については、マクロプラスチックとマイクロプラスチックの両方の最終的行方がよくわかっておらず、まだ問題の全貌が見えていない。

一方、リサイクル問題については、日本はPETのマテリアルリサイクルでは世界で一番進んでいるが、全

体としてはサーマルリサイクルに依存した体制である。EUはマテリアルリサイクルを中心としたプラスチック戦略を発表し、着々と実行に移している。これについてどう考えるか、どう対応するかが問われている。

2. 海洋プラスチックごみとマイクロプラスチック (MPs)

2.1 ポリマー生産と海洋プラスチックごみの量

世界で3億1,100万トンのプラスチック・合成繊維・合成ゴム・塗料・接着剤が生産され、毎年少なくとも800万トンが海に排出される(ダボス会議, 2016.1)。このうち、中国、インドネシア、フィリピンなどアジアの排出量が過半を占める。

2.2 世界的に問題視され、規制が始まったシングルユースプラスチック製品

容器包装などに短期間の1回使用で捨てられるものをシングルユースプラスチックという。化石資源を消費して、しかも焼却処分すると温室効果ガス(CO₂)を発生するため問題が多い。使われているのは、密度の低いPE・PP・EPS(発泡PS)・PS製品や、空

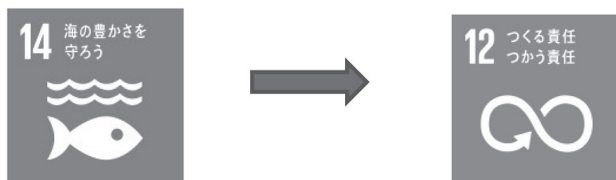


図1 SDG14からSDG12へのシフトと拡大

旭リサーチセンター
〒100-0006 東京都千代田区有楽町 1-1-2
日比谷三井タワー

特集記事：[リサイクル・バイオマス・ガス化] 三部会 (RGB) シンポジウム
—持続可能社会構築に向けた資源循環技術, バイオマス利用技術の最新動向—

プラスチック類の資源循環利用の現状

富田 齊

プラスチックの循環利用として、大きく、マテリアル、ケミカル、サーマルリサイクル（エネルギー回収）があり、廃プラスチックの排出先、性状、形態に応じて種々のリサイクル方法が開発、適用され、2017年国内では廃プラスチック全体の86%が有効利用されている。

キーワード

リサイクル, 有効利用, フロー図, 廃プラスチック, LCA

(2019年10月30日受理)

Current Status for Plastics Recycling in Japan

Hitoshi TOMITA

1. はじめに

長期目標を掲げ温室効果ガス排出削減目標の提出・更新を5年毎に各国に義務付ける「パリ協定」の採択、より包括的かつ新たな世界共通目標「SDGs」を中核とする「持続可能な開発のための2030アジェンダ」の議決など、2015年は地球環境を巡る歴史的な転換点ともいえる一年となった。

漂流プラスチックやマイクロプラスチックなどの海洋ごみ問題についても、地球規模の脅威になりつつあるとの認識が全世界で共有されるようになり、先進主要各国では、2015年G7エルマウサミットでの「海洋ごみ問題に対処するためのG7行動計画」合意に続き、2016年富山G7環境相会合、2017年イタリア・ポローニャG7環境相会合と、海洋ごみ問題との戦いに積極的に取り組むことが再確認された。2018年G7カナダ・シャルルボアサミットでは、カナダとEU各国が数値目標を含む「G7海洋プラスチック憲章」を承認した。わが国は、米国と共にこの憲章に承認しなかったものの、2018年6月に閣議決定された「第四次循環型社会形成推進基本計画」に基づき、2019年5月にプラ

スチックの資源循環を総合的に推進するための「プラスチック資源循環戦略」が策定された。

また、海洋ごみ問題への対応には、先進国のみならず、アジア各国を含むすべての国が必要な対策をとる必要があるとの認識の下で2017年G20ドイツ・ハンブルグサミットでは「海洋ごみ行動計画」が合意され、2018年11月のASEAN+3（日中韓）首脳会議では、日本が提唱した「海洋プラスチックごみ協力アクション・イニシアティブ」が採択された。このような経過を踏まえ、2019年6月のG20大阪サミットでは、G20大阪首脳宣言の中で2050年までに海洋プラスチックごみによる追加的汚染をゼロにまで削減することを目指す「大阪ブルー・オーシャン・ビジョン」が合意された。

国内の廃プラスチックに目を向けると、年間約150万トンの資源としての廃プラスチックを海外に輸出しており、その多くの輸出先の中国は、2017年12月末の非工業由来に加え2018年12月末からは工業由来についても禁輸措置を実施した。中国に代わるタイ、ベトナムなども同様の禁輸措置を実施、他の東南アジア諸国も導入の動きがみられる。また、2019年5月には、スイス・ジュネーブで開催されたバーゼル条約締約国会議では、2021年から汚れたプラスチックごみを条約の規制対象とし、輸出に当たっては輸出相手国の同

特集記事：[リサイクル・バイオマス・ガス化] 三部会 (RGB) シンポジウム
—持続可能社会構築に向けた資源循環技術, バイオマス利用技術の最新動向—

難リサイクル性プラスチックのリサイクルに向けた研究開発

熊谷将吾, 齋藤優子, 吉岡敏明

近年, 海洋プラスチック問題や中国を始めとするアジア諸国における廃プラスチック受入制限等を契機に, 世界中でプラスチック利用やリサイクルの在り方について大きな関心が寄せられている。今後, リユース・リサイクルが容易なデザインの製品設計や使用済み品の回収方法が検討されていくであろうが, 現状, 既存のリサイクル技術では再資源化が難しい廃プラスチック(本稿では“難リサイクル性プラスチック”と呼ぶ)はまだまだある。本稿では, 著者らがこれまでに取り組んできた研究開発の一例として, プラスチックおよびバイオマスの共熱分解による化学原料化, およびワイヤーハーネス細線から被覆樹脂および銅を分離回収する剥離技術開発, の2テーマを中心に紹介する。

キーワード

プラスチックリサイクル, 金属リサイクル, 熱分解法

(2019年10月28日受理)

Research and Development toward Achievement of Hard-to-recycle Plastic Recycling

Shogo KUMAGAI, Yuko SAITO, and Toshiaki YOSHIOKA

1. はじめに

プラスチックは, 私たちの社会に最も深く広く浸透した経済性に優れる素材の一つである。それらの多様化や高機能化を通じて私たちの生活は豊かになり, あらゆる産業の技術イノベーションにも大きく貢献している。また, 軽量材料として輸送エネルギーやコストの削減にも大きく貢献している。プラスチックは, これからも私たちの社会を支える最も重要な素材として, 適材適所使われ続けていくことだろう。

近年, 海洋プラスチック問題に端を発して, 社会全体がプラスチック利用やリサイクルの在り方について大きな関心を寄せ, ムーブメントにまで発展している。海洋プラスチック問題も含め廃棄物問題への対応はSDGsでも求められており, 世界全体の共通課題となっている。アジア各国の輸入規制本格化, パーゼル条約への汚れた廃プラスチックの追加, RoHS2.0におけ

るフタル酸エステル類の追加等, 廃プラスチックの国境移動が一層制限され, 我が国にとって, 国内資源循環体制の早期構築が喫緊の課題となっている。我が国では, プラスチックに関連する幅広い課題に対応するため, 2019年3月に「プラスチック資源循環戦略」として環境省が策定したものが2019年5月に国の戦略として認められた。「3R+Renewable(持続可能な資源)」という基本原則の下, 3R(リユース・リデュース・リサイクル) および適切なバイオマスプラスチックの導入を強力に推進することを打ち出している。これらを強力に推進する上で, 社会システムを整備していくことが重要であることは然ることながら, リサイクル技術の研究開発が担う役割は実に大きいと著者らは考える。

これからは, リユース・リサイクル可能なデザインの製品設計や使用済み品の回収方法が検討されていくであろうが, 現状, 既存のリサイクル技術では再資源化が難しい廃プラスチック(本稿では“難リサイクル性プラスチック”と呼ぶ)がまだまだある。本稿では, 著

特集記事：[リサイクル・バイオマス・ガス化] 三部会 (RGB) シンポジウム
—持続可能社会構築に向けた資源循環技術, バイオマス利用技術の最新動向—

バイオマス由来多糖誘導体の合成と高性能バイオプラスチック

榎本有希子, 岩田忠久

ヘミセルロースや微生物産生の多糖を原料とする様々な多糖のエステル誘導体を合成した。さらに、その熱的性質や半結晶化時間などの基礎特性解析、フィルムやナノファイバーの作製と機械強度の測定を行った。多糖誘導体が、原料多糖やエステル基の化学構造などに依存して、結晶性、耐熱性、強度・靱性、添加剤効果、光学特性、接着性などで、特異な性質を示すと明らかにし、高性能バイオプラスチックとしての利用可能性を提案した。

キーワード

多糖, エステル化, バイオマスプラスチック

(2019年9月30日受理)

Syntheses of Ester Derivatives from Natural Polysaccharides
and Their Application as Bio-based Plastic Material

Yukiko ENOMOTO and Tadahisa IWATA

1. まえがき

近年、石油資源の枯渇問題や二酸化炭素排出削減などの社会的要請から、再生産可能なバイオマス資源の材料としての有効利用の重要性が高まっている。木質資源は、非可食性バイオマスとして豊富に存在し、デンプンなどの可食性バイオマスとは異なり、食糧と競合しない点でも、非常に重要である。

木質材料の細胞壁を構成する主要成分に、セルロースや、キシランやグルコマンナンなどのヘミセルロースといった多糖類が存在する(図1)。最も豊富に存在するセルロースは、グルコース単位が $\beta(1 \rightarrow 4)$ 結合した多糖である。古くからその水酸基をエーテル化やエステル化などにより誘導体化することで熱可塑性化合物へと変換され、フィルムや繊維などのプラスチック材料として利用されてきた。ヘミセルロースは、木材などからアルカリ抽出により得られる低分子量の多糖の総称であり、異なる構成糖により成るヘテロ多糖であり、様々な種類が存在する。主要骨格としてキシラン

やグルコマンナンなどが挙げられるが、この主要骨格に対して種々の糖単位が異なる組成や分岐構造で結合し、アセチル基などの置換基を有するなど、複雑な構造を有している。その化学構造は、樹種によっても異なるため、プラスチックのように均質な材料特性を発現させることが難しい。また、ヘミセルロースは、その分子量が数万程度と、セルロースに比べて低く、材料として利用するには不十分と考えられてきた。ヘミセルロースは、大部分がパルプ生産過程などで除去され、廃棄されてきており、プラスチックなどの材料としての利用はされてこなかった。

また、天然には微生物が産生するプルラン、カードラン、デキストランなどの多糖も存在し、それぞれグルコースが異なる様式でグリコシド結合して構成される。緑藻(ミドリムシ)からもパラミロンとよばれる多糖が産生されている。これらは、食品添加剤や化粧品などとしての利用はされているが、プラスチック材料として利用された例はない。

筆者らは、これまでプラスチックとしては未利用であったヘミセルロースやその他の非セルロース系多糖

特集記事：[リサイクル・バイオマス・ガス化] 三部会 (RGB) シンポジウム
—持続可能社会構築に向けた資源循環技術, バイオマス利用技術の最新動向—

石油系樹脂を使わないバイオマス三次元成形の取組 ～ウッドストローを例として～

野中 寛

近年海洋プラスチックごみ等が問題視され、プラ製品をバイオプラや紙製品へ置き換える動きが加速している。バイオマス資源そのものは、太古より地球上に存在し、究極の環境調和性材料ともいえるが、熱可塑性がないため、自由な成形が難しくプラスチック代替には限界がある。本稿では、バイオマスを粉末・繊維化し、天然系増粘剤を混練するアプローチにより、バイオマスに成形性を付与し、三次元成形を実現する取組について紹介する。

キーワード

バイオマス, 木, 紙, 押出成形, ストロー, プラスチック代替, バイオプラスチック, 生分解性プラ

(2019年11月1日受理)

3D Biomass Molding without Using Oil-based Plastics

-Wood Straw as an Example-

Hiroshi NONAKA

1. はじめに

2015年10月29日NHKクローズアップ現代にて、「海に漂う“見えないゴミ”～マイクロプラスチックの脅威～」が放送された。世界中の石油系プラスチックが紫外線等で分解され、大きさ5 mm以下の「マイクロプラスチック」となって大量に海中に漂い、高濃度に油性物質を吸着し生物濃縮が懸念されるなど、状況は深刻化しつつあるという¹⁾。鼻にプラスチックストローがささったウミガメの動画²⁾が拡散、マクドナルドやスターバックスがプラストローの廃止を打ち出し³⁾、さらには海鳥やクジラの胃に大量のプラスチックが詰まっているなどショッキングな報道も増えている⁴⁾。海洋ゴミ問題やマイクロプラスチック問題の解決には、世界各国でゴミ収集やプラスチック回収を徹底し、ポイ捨てや不法投棄が起こらない社会システムの構築することが最重要であろう。しかし、意図せず海洋に流れ着くケースがある限り、海洋中で分解するなどして生

態系の攪乱を引き起こさないことは必須であり、また同時にパリ協定にも対応する必要があるため、「生分解性に富み、天然資源を原料とするプラスチック代替品」を開発し、石油依存から脱却を図ることが急がれる。

筆者は、リグノセルロース系バイオマス(木材、竹、稲わらなど)の主成分であるセルロース、ヘミセルロース、リグニンのすべてを活用することを目指し、新規成分分離プロセスの開発を行っているが、それらに加えて「バイオマスをわざわざ成分分離せず、三次元成形する研究」を本格的に開始している⁵⁾。近年、木粉や竹粉、コーヒーかすを、パイプ状に押出成形してストローを製作し、様々な媒体でご報道いただいたので、コンセプトや技術的なエッセンスを紹介する。

2. 様々なバイオプラスチック

日本では、廃棄物問題(再資源化の難しさ、嵩高く埋立地不足を招くなど)の解決から生分解性プラスチックが、地球温暖化問題や化石資源枯渇への懸念よりバイオマスを原料とするプラスチックの研究開発が行わ

特集記事：アナモックス処理

前書：アナモックス処理

山口東洋司

(2019年12月13日受理)

Preface: Anammox (Anaerobic Ammonium Oxidation) Process

Toyoji YAMAGUCHI

水域の富栄養化対策として実施されている、アンモニア性窒素等の窒素を含有する廃水の処理は、従来、微生物の働きを利用した硝化・脱窒素処理が主流であった。有機体窒素等はアンモニアに変換され、曝気により酸素が十分に供給された好氣的条件下で亜硝酸、硝酸へと酸化される。その後、無酸素条件下で還元され、窒素ガスとして大気中に放散されることで廃水から窒素を除去している。この処理は、下水や各種工業廃水処理に対して広く適用されているが、窒素の処理に多量の酸素が必要であるため、反応に必要な酸素を供給するための曝気動力が多くなる。消費する電力は、廃水処理施設全体の電力消費量の多くの部分を占める。近年、このような課題を解決する処理法として、アナモックス菌という特殊な細菌を用いた窒素除去法が注目されている。この細菌は、アンモニアと亜硝酸から窒素ガスを生成することが可能であるため、窒素を硝酸まで酸化する必要がなくなり、反応に必要な酸素が大きく低減される。結果として廃水処理施設に必要な投入エネルギーが大幅に削減されるため、新しい窒素含有廃水処理法として期待されている。アナモックス菌は、増殖速度が低い、反応阻害物質に対する感受性が強い等の課題があったが、発見から25年程度経過し、開発が進み、実用化事例も見られるようになってきた。

本特集では、アナモックス菌を用いた窒素含有廃水処理について、最先端でご活躍の4名の専門家の方にご執筆いただいた。

東北大学の陳先生らには、アナモックス反応の詳細、反応条件等を概観いただくとともに、最新の研究動向として、アンモニアの部分硝化を行う菌とアナモックス菌を共生させる研究等についてご紹介いただいた。

東京農工大学の寺田先生には、アナモックス菌の特性や、生活排水処理の嫌気性硝化槽の脱離液にアナモックスプロセスを適用した実用化の状況等をご紹介いただき、部分亜硝酸化など、アナモックスプロセス実用化の課題についても執筆いただいた。

タクマの高木様には、国土交通省 B-DASH プロジェクトで実施されている、嫌気性消化汚泥脱水ろ液からの窒素除去に関する実規模実証実験の概要、実験結果等についてご紹介いただいた。

メタウォーターの北田様には、実下水処理場に納入した消化汚泥脱水分離液の処理施設について、開発経緯、設備仕様、ユーティリティ使用実績まで含めた運転状況をご紹介いただいている。

最新の研究、開発動向のよくわかる内容となっている。エネルギー学会員の皆様のアナモックス反応を用いた廃水処理に対する理解の一助になれば幸甚です。

特集記事：アナモックス処理

アナモックスプロセスの発展とトレンド

陳 玉潔, 郭 延, 李 玉友

アナモックス法は省エネルギー的、低炭素型窒素処理技術として注目を集めている一方、菌体培養が難しく、運転が不安定などの問題があり、また普及に至っていない。本稿では、アナモックス反応、細菌および培養条件に関する新しい知見をまとめたとともに、プロセス開発の成果を総説しつつ、今後の研究方向性を展望した。

キーワード

アナモックス, 窒素除去, AOB, リン回収, HAP

(2019年11月18日受理)

Development and Trend of Anammox Process

Yujie CHEN, Yan GUO, and Yu-you LI

1. はじめに

近年、独立栄養性細菌であるアナモックス菌を用いた窒素含有排水の生物学的処理法は省エネルギー的で低炭素型新技術として世界的に注目されている。アナモックスに関する基礎的・応用的研究が盛んに行われてきており、様々応用プロセスも提案している。しかし、アナモックス法の実用化は徐々に進展しているものの、スタートアップの問題やプロセス安定性の課題があり、依然として大幅な応用拡大や普及に至っていない。一方、最近の研究では低濃度アンモニア排水への応用を初めて、アナモックスとリン回収を組み合わせた新技術の開発など、新しい知見が報告されている。

本論文では近年の研究を踏まえ、アナモックス菌とアナモックスプロセスの特徴、最近の成果およびトレンドを総説し、将来の研究開発と応用を展望した。

2. 新規の窒素除去技術であるアナモックス

2.1 アナモックスの発現および化学量論式

図1に主な窒素反応を示している。従来の知見ではアンモニアを窒素ガスに変換するためにはAOB(アン

モニア酸化細菌)による亜硝化作用、NOB(亜硝酸酸化細菌)による硝化作用の後に、脱窒菌が有機炭素源を利用して硝酸を窒素ガスに還元する。1977年にBrodaは熱力学計算に基づいて亜硝酸塩を用いてアンモニアを窒素に酸化するアナモックス反応を触媒できる化学合成細菌の存在を予測した。1990年代に流動床反応器に従来の脱窒反応と異なるアナモックス(Anaerobic Ammonium Oxidation, Anammox)という新規の窒素代謝経路である「嫌気性アンモニア酸化」反応(図1)が発見された。

アナモックスプロセスは従来の硝化脱窒法と比較して、外部有機炭素源の添加が不要であり、酸素の供

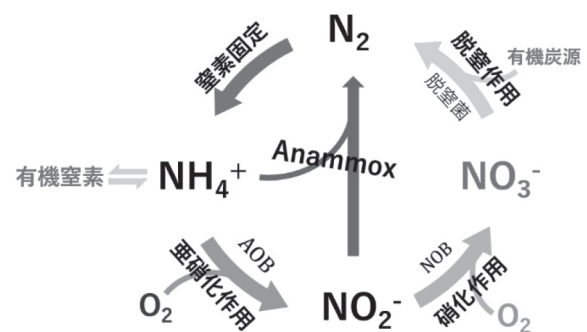


図1 主な窒素の循環

東北大学大学院工学研究科
〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06

特集記事：アナモックス処理

アナモックスを用いた窒素除去のいまとこれから

寺田 昭彦

嫌気性アンモニア酸化 (Anammox) 反応が発見されて 25 年が経過した。Anammox 細菌の生き様が次々と明らかになり、排水の省エネ型窒素除去プロセスの世界的な普及が期待されている。

キーワード

Anammox, 排水処理プロセス, 窒素除去, 省エネ化, 部分亜硝酸化

(2019 年 11 月 28 日受理)

Current Status and Perspectives of Anaerobic Ammonium Oxidation (Anammox) as a Cost-effective Nitrogen Removal from Wastewaters

Akihiko TERADA

1. はじめに

オランダのデルフト工科大学の研究グループは、嫌気状態でアンモニアが窒素ガスに変換される嫌気性アンモニア酸化 (Anaerobic ammonium oxidation, Anammox) と呼ばれる画期的な発見を 1994 年に *FEMS Microbial Ecology* 誌に投稿した。論文が掲載可になったのがこの解説を執筆している今からちょうど 25 年前のことである (実際に掲載されたのは 1995 年の 3 月)¹⁾。彼らは嫌気条件で窒素ガスに変換する脱窒のための流動床リアクターを開発し、有機物やアンモニアを含むイースト製造工場からの廃水に硝酸イオンを混合させた溶液を通水した。14 ヶ月後にアンモニアが無酸素条件で“消失する”というユニークな現象を発見し、この反応が Anammox によるものであることを報告した。その後、Anammox 反応を担う細菌の高集積化に成功し、硝酸イオンではなく亜硝酸イオンを電子受容体として、アンモニアを酸化する Planctomycetes 門の Anammox 細菌の存在を証明した²⁾。これが引き金となり、Anammox 細菌を用いた窒素除去プロセスの開発が進められ、現在では全世界

で Anammox プロセスの実用化が進んでいる状況である。本稿では、Anammox 細菌の生理学的特性、プロセスの特徴、実用化の状況、更なる普及に向けた課題について紹介する。

2. Anammox 細菌の生理学的特性

Anammox 細菌の系統学的研究により、Anammox 細菌は Planctomycetes 門に属することが知られている。いまだに、完全に分離された Anammox が存在していないため、暫定的な地位 (*Candidatus*) として 5 つの属 (*Ca. Brocadia*, *Ca. Kuenenia*, *Ca. Anammoxoglobus*, *Ca. Jettenia*, *Ca. Anammoximicrobium*, *Ca. Scalindua*) に分類されている。最初に見つかった Anammox 細菌は *Ca. Kuenenia* の 1 種であるが、様々な環境で異なる種類の Anammox 細菌が検出されている。*Ca. Scalindua* に関しては、高い塩濃度のみで棲息が見られる種類であり、海洋性の Anammox として着目されている。

Anammox 細菌は化学合成独立栄養性の嫌気性細菌である。有機物ではなく、炭酸などの無機炭素源を用いて細胞合成を行う。酸素の無い条件で電子受容体として亜硝酸イオンを、電子供与体としてアンモニアを用いて窒素ガスおよび硝酸イオンを以下の化学量論で

特集記事：アナモックス処理

固定床型アナモックスプロセスによる高効率窒素除去技術

高木 啓太

固定床型アナモックスプロセスは、国土交通省 B-DASH プロジェクトの平成 24 年度採択技術の一つである。下水道施設における本技術の導入推進を目的として、熊本市東部浄化センター内に実規模実証施設を建設し、返流水（嫌気性消化汚泥脱水ろ液）からの窒素除去に係る各種データ採取を行なった。本研究成果を基に、国土交通省国土技術政策総合研究所（国総研）にて技術導入に係るガイドラインが策定され、国総研 HP 上でも一般公開されている。なお、B-DASH（平成 24、25 年度の 2 ヶ年）終了後も実証施設の運転は継続しており、本技術の低コスト化や安定化のためのデータ採取を行なっている。

キーワード

窒素除去, 嫌気性消化, 返流水対策

(2019 年 11 月 11 日受理)

High-efficiency Nitrogen Removal Technology by Fixed-bed Anammox Process

Keita TAKAKI

1. はじめに

下水道施設では処理の高度化や低コスト化に加え、地球温暖化対策として省エネルギー・創エネルギーが求められている。下水汚泥減容化の目的で行なわれてきた嫌気性消化（メタン発酵）は、下水汚泥をバイオマスとして活用しエネルギーを回収する技術として改めて見直されているが、同技術の普及を難しくしている課題の一つに、高濃度の窒素・りんを含む返流水（嫌気性消化汚泥脱水ろ液）の問題がある。消化反応の過程で有機物に含まれる窒素・りんが液中に溶出し、これが返流水として水処理施設へ返送され、その結果、水処理施設への窒素・りんの流入負荷量が増加し、処理水濃度の上昇を引き起こす要因となる。場合によっては、流入負荷量を低減するために、曝気設備などの消費電力の増加やさらには高度処理施設の増設を伴うこともある。

アナモックスプロセスはアナモックス細菌を利用し

株式会社タクマ
〒660-0806 兵庫県尼崎市金楽寺町 2-2-33

た新しい生物学的窒素除去技術で、有機物を必要とせずに低コスト・省エネルギーで廃水からの窒素除去を行なうことができる。本技術を C/N 比（窒素量に対する有機物量の比）が小さい返流水の個別処理に導入することで、低コストで省エネルギーな返流水対策が可能となる（図 1）。当社は、熊本市、日本下水道事業団と共同で、平成 24 年度国土交通省下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）¹⁾ に参画し、下水道施設における本技術の導入推進を目的として実証研究を実施した。

本稿では、新しい窒素除去技術「アナモックスプロセス」について概説するとともに、B-DASH 実証事業の概要を紹介し今後の展開について述べる。

2. アナモックスプロセス

2.1 特徴

アナモックス反応（anaerobic ammonium oxidation; 嫌気性アンモニア酸化）は 1990 年代にオランダで見られた微生物による窒素変換反応である²⁾。従来の

特集記事：アナモックス処理

国内初の下水処理場でのアナモックス反応を利用した処理施設の建設

北田 剛

メタウォーター株式会社は 2019 年 3 月にアナモックス反応を利用した消化汚泥脱水分離液の処理施設を大阪市平野下水処理場に納入した。本報では施設仕様及び運転状況について概説するとともに、メタウォーターが実施納入に至るまでの開発経緯について紹介する。

キーワード

嫌気性消化, アナモックス処理

(2019 年 11 月 11 日受理)

The First Construction of Anammox Treatment Plant at the Wastewater Treatment Plant in Japan

Go KITADA

1. はじめに

2019 年 3 月 31 日、大阪市建設局による約 5 年間に及ぶ「平野下水処理場脱水分離液処理施設整備事業」が完了し、4 月 1 日からは大阪市から委託を受けたクリアウォーター OSAKA 株式会社が施設の運転管理を行い、現在まで順調に運転を継続している。

本施設は、日本国内の下水処理場の実施設としては初のアナモックス反応を利用した窒素除去技術による高濃度窒素排水処理施設である。図 1 に施設全景を示す。

メタウォーター株式会社（以降メタウォーター）は、基礎調査及び研究を継続してきた。そして、2007 年度には中浜下水処理場にて実廃水における適用について大阪市と共同研究を実施し、下水分野における課題や対処方法に関する知見を収集した。

本報では、メタウォーターにおけるアナモックス処理技術の開発経緯、平野下水処理場における脱水分離液処理施設の設備概要とその運転成績について紹介する。



図 1 脱水分離液処理施設 全景

2. 下水処理場におけるアナモックス処理導入の背景

一般的に下水処理場では、流入する下水を活性汚泥法という生物処理により下水中に含まれる有機物を分解し、清澄な処理水に転換して公共水域に放流している。この生物反応において、活性汚泥という微生物群が有機物を基質として、自身の増殖と代謝物として二酸化炭素を排出することで、水中の有機物を除去する。図 2 は下水処理場の一般的なフローである。

下水の処理を担う活性汚泥は下水の流入に応じて増殖し続けるため、定期的に増殖した汚泥を引き抜き（余

メタウォーター株式会社
エンジニアリング事業本部水再生技術部
〒530-0018 大阪市北区小松原町 2 番 4 号