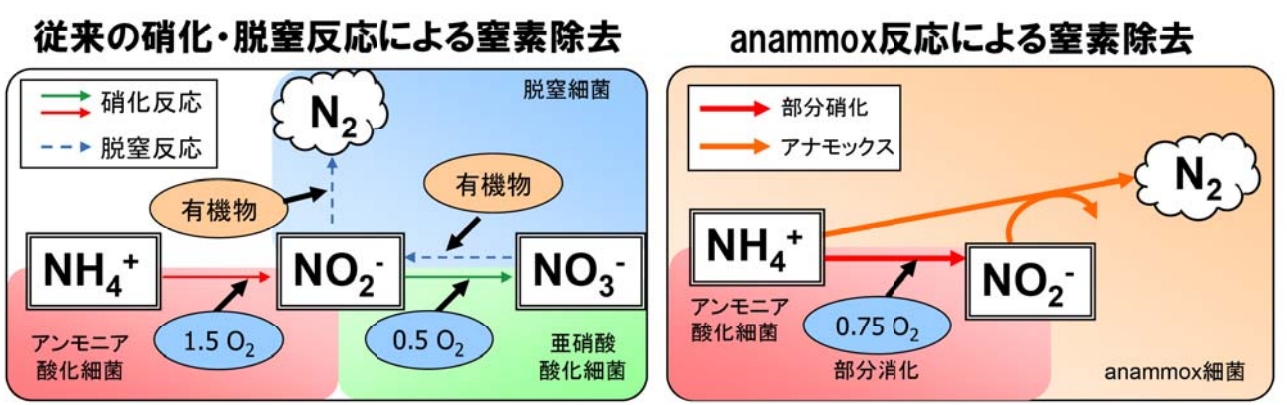


## 研究開発テーマ

# 嫌気性アンモニア酸化(anammox)プロセスを軸とした 高効率・省エネルギー、低コスト型窒素除去システム の開発

北海道大学大学院工学研究院環境創生工学部門  
岡部 聡

## 開発概要(従来の課題と本技術の新規性)



- ◆ anammox反応から温室効果ガス( $\text{N}_2\text{O}$ ガス)は発生しない。
- ◆ 余剰汚泥の発生量も大幅(最大70%)に削減される。

超省エネルギー型の生物学的窒素除去プロセスとして期待

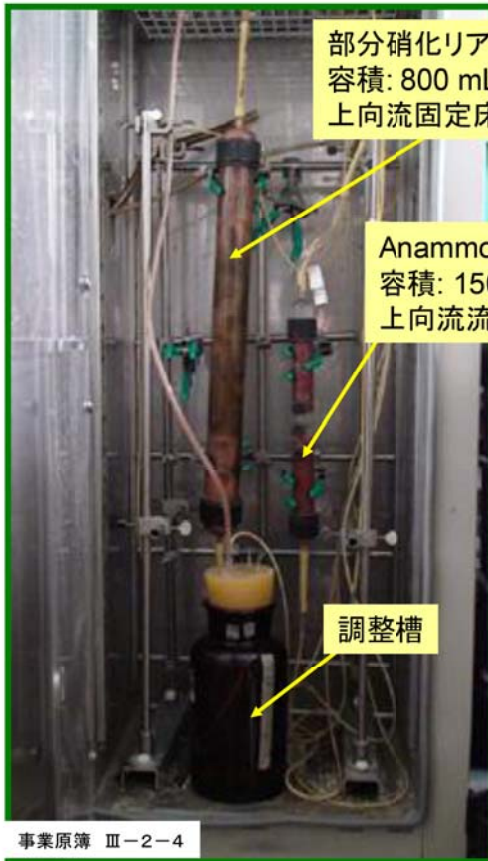
- ①人工廃水を処理する部分硝化－anammox並列リアクターの開発
- ②部分硝化プロセスの最適条件の検討
- ③Anammoxプロセスの最適条件の検討
- ④分子生物学的手法およびマイクロセンサーによる微生物群集解析
- ⑤Anammox細菌のメタゲノム解析(平成20年度の加速予算)
- ⑥実廃水を用いた実証試験(anammoxプロセスのみ)



## ①人工廃水を処理する部分硝化－anammox並列リアクターの開発

# ①人工廃水を処理する部分硝化—anammoxリアクターの開発

公開

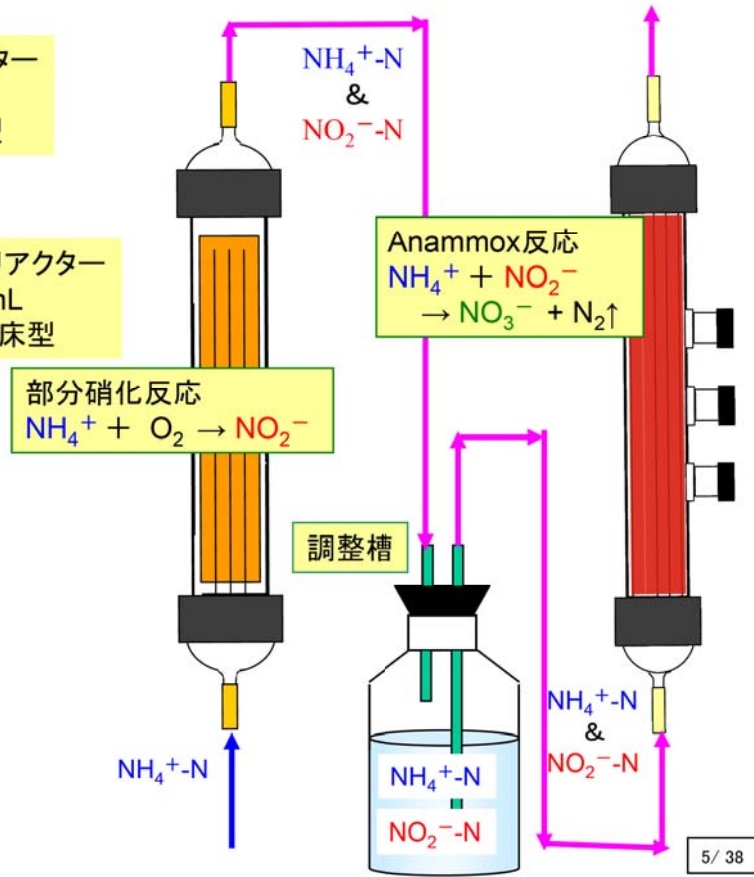


部分硝化リアクター  
容積: 800 mL  
上向流固定床型

Anammoxリアクター  
容積: 150 mL  
上向流流動床型

調整槽

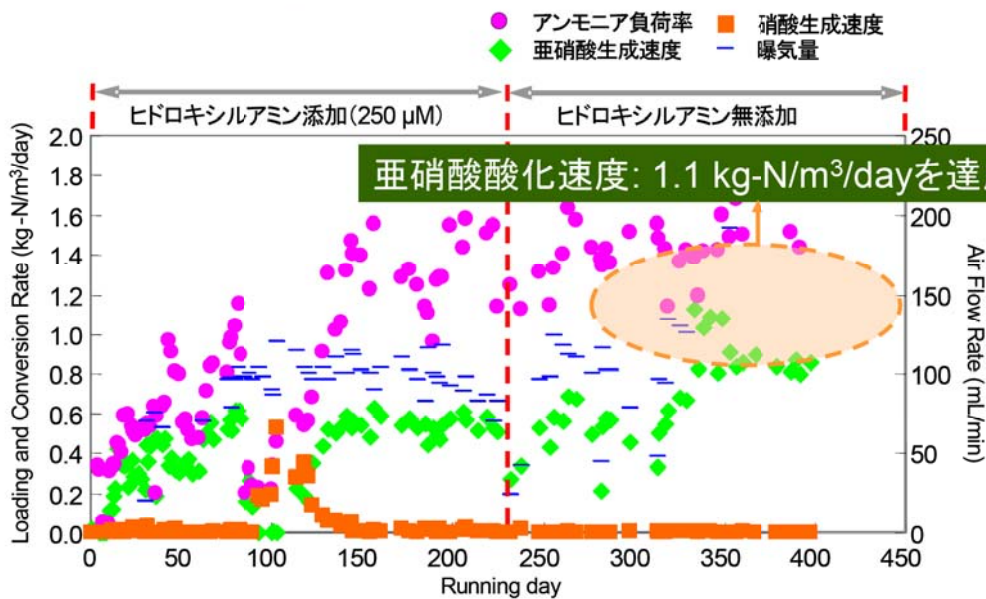
事業原簿 Ⅲ-2-4



# ②部分硝化プロセスの最適条件の検討

公開

## 部分硝化リアクターの開発



既存技術、先行技術に対して同等の効率だが、  
◆ 安定的な部分硝化プロセスの構築に成功

事業原簿 Ⅲ-2-4

6/38

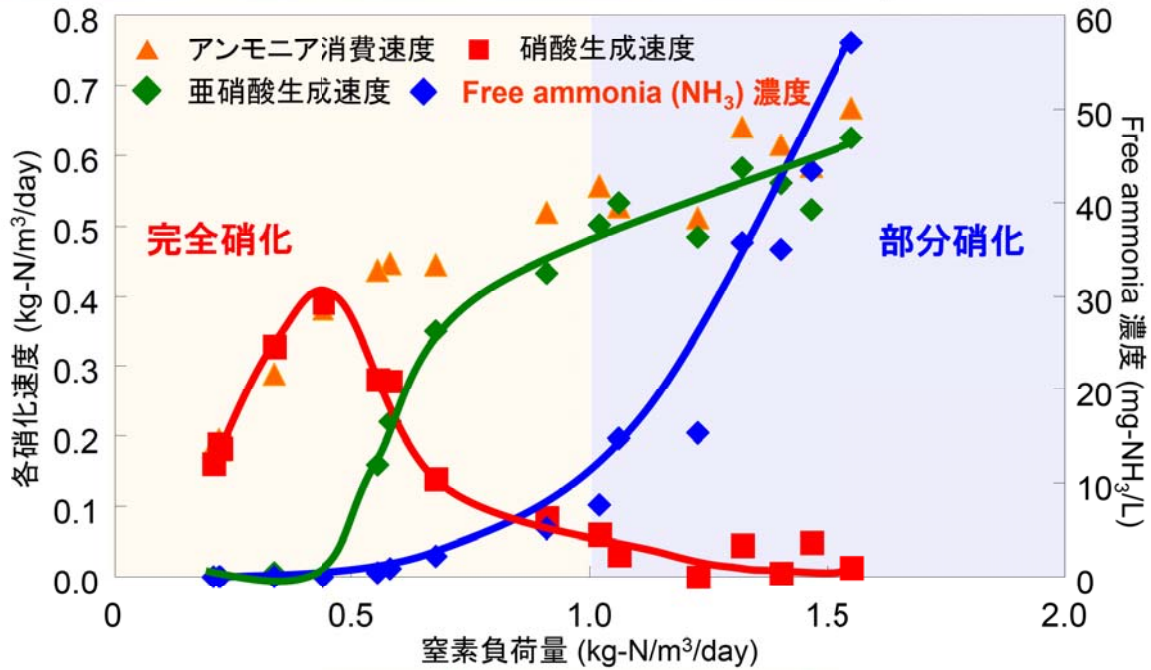


## ②部分硝化プロセスの最適条件の検討

公開

窒素負荷量と部分硝化性能との対応

NH<sub>3</sub>:NOBの活性を抑制  
(Anthonisen et al., 1976)



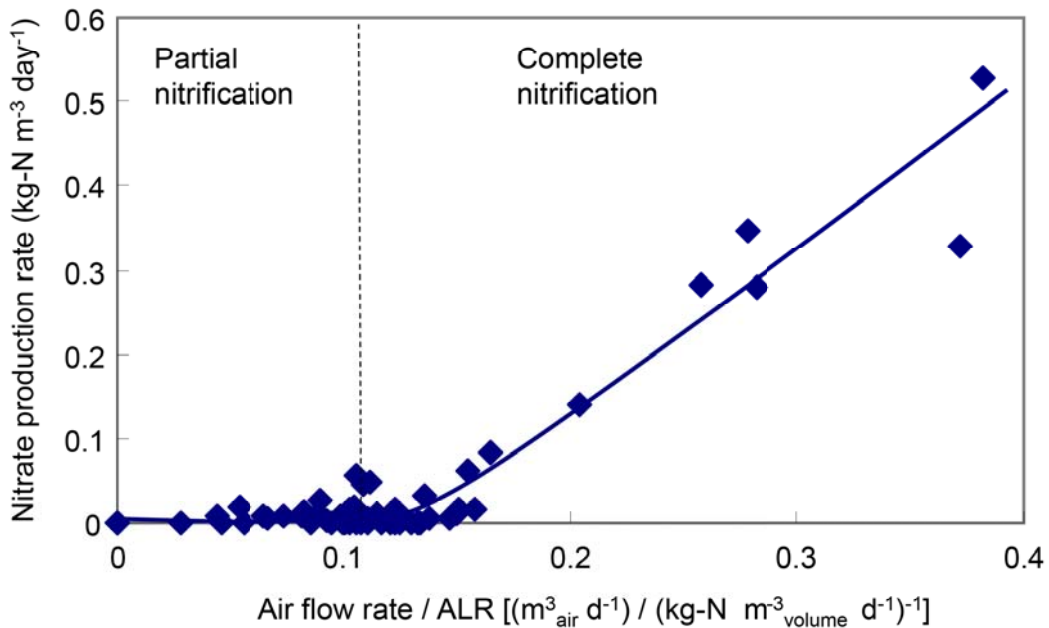
窒素負荷量を高負荷に設定 → NH<sub>3</sub>濃度の上昇 → 部分硝化の安定化

事業原簿 Ⅲ-2-4

7 / 38

## ②部分硝化プロセスの最適条件の検討

公開



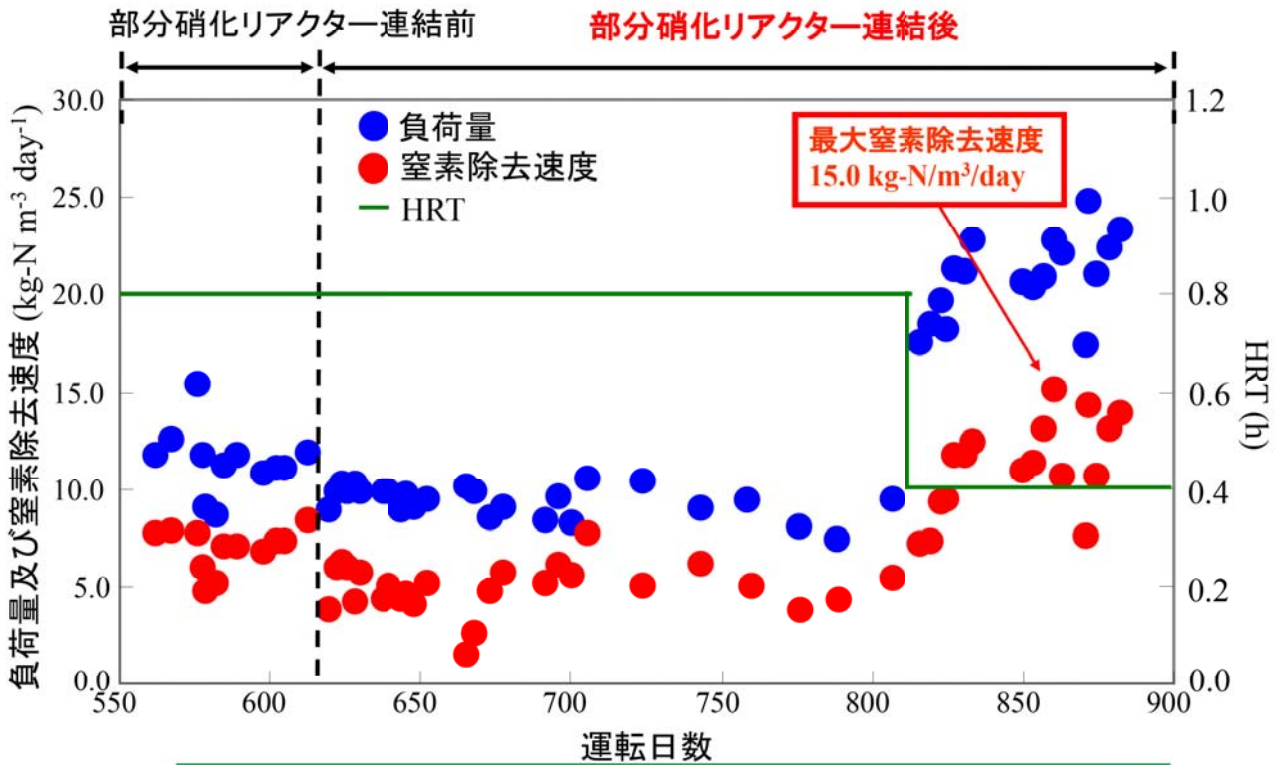
Okabe *et al.*, (2011) Bioresource Tech.

事業原簿 Ⅲ-2-4

8 / 38

### ③ Anammoxプロセスの最適条件の検討

公開



部分硝化-anammoxプロセスにおいて  
最大窒素除去速度  $15.0 \text{ kg-N/m}^3_{\text{anammox reactor}}/\text{day}$  を達成

事業原簿 Ⅲ-2-4

9/38

### ① 人工廃水を処理する部分硝化-anammoxリアクターの開発

公開

Process type	Reactor	Substrate	Removal rate ( $\text{kg-N/m}^3/\text{day}$ )	References
二槽型 部分硝化 -anammox	CSTR-FBR	Anaerobic digester supernatant	0.71	Jetten et al. 1997
	CSTR-FBR	Anaerobic digester liquor	0.75	Van Dongen et al. 2001
	CSTR-FBR	Anaerobic digester supernatant	2.4	Fux et al. 2002
	Gas-lift	Anaerobic digester supernatant	9.5	Wouter et al. 2007
単一槽型 部分硝化 -anammox	RDC	-	0.6	Hippen et al. 1997
	RDC	-	0.4	Siegrist et al. 1998
	SBR	Synthetic	0.11	Third et al. 2001
	Gas-lift	Synthetic	0.064	Sliekers et al. 2002
	Gas-lift	Synthetic	1.5	Sliekers et al. 2003
	RDC	-	1.7	Schmid et al. 2003
	Moving bed	-	1.0	Thole et al. 2005
	UASB	Anaerobic digester liquor	0.08	Ahn et al. 2006
	SBR	-	0.6	Wett et al. 2006
	SBR	-	0.4	Nyhuis et al. 2006
Moving bed	-	0.5	Szatkowska et al. 2007	

CSTR; continuously stirred tank reactor, FBR; fluidized bed reactor  
RDC; rotating disk contactor, SBR; sequencing batch reactor  
UASB; upflow anaerobic sludge blanket reactor

本研究における最大窒素除去速度  
 $15.0 \text{ kg-N/m}^3/\text{day}$



既往の報告 ( $9.5 \text{ kg-N/m}^3/\text{day}$ )  
を上回る窒素除去速度を達成

事業原簿 Ⅲ-2-4

10/38



# ②部分硝化プロセスの最適条件の検討

事業原簿 Ⅲ-2-4

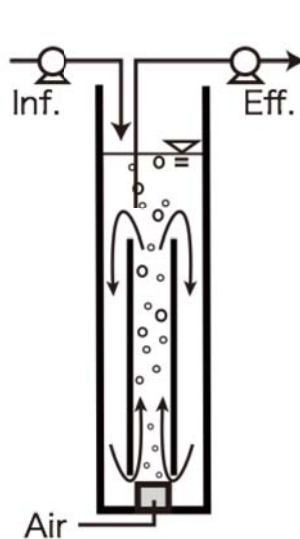
11 / 38

## ②部分硝化プロセスの最適条件の検討

公開

### 部分硝化SBR

### 運転条件



- ◆ 容積: 2.5L
- ◆ 温度: 水温 (8-20°C)
- ◆ HRT: 8時間, 汚泥引き抜き無し
- ◆ 合成培地:
- ◆  $\text{NH}_4^+$ : 200 or 450mgN L<sup>-1</sup>
- ◆  $\text{CH}_3\text{COOH}$ : 180 mgC L<sup>-1</sup>
- ◆ 窒素負荷: 1.25-2.5 kgN m<sup>-3</sup> day<sup>-1</sup>
- ◆ 種汚泥: MBR余剰汚泥
- ◆ DO: < 2mgO L<sup>-1</sup>
- ◆ pH: 制御無し

基質供給: 2 min  
 好気処理: 231 min  
 汚泥沈降: 5 min  
 放流: 2 min

### タイムシーケンス



事業原簿 Ⅲ-2-4

12 / 38

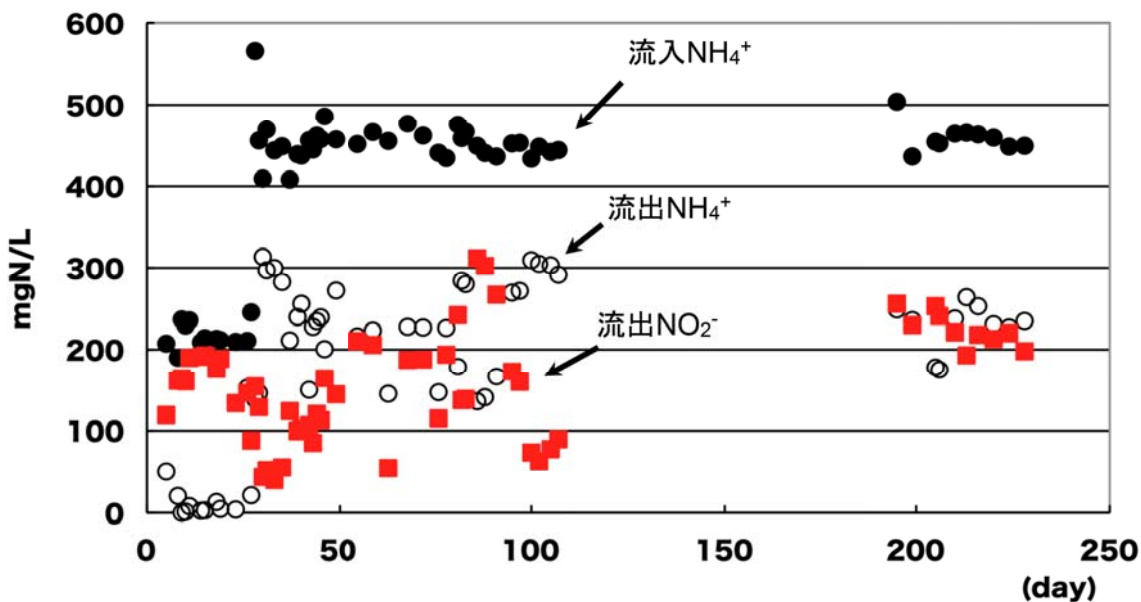


## ②部分硝化プロセスの最適条件の検討

公開

### 部分硝化リアクタの運転性能: 各態窒素

pH:7.8~8.2、DO: <2 mgO/L



- グラニュールバイオマスが優占化した。
- 迅速な部分硝化反応の立ち上げに成功した。
- 部分硝化速度:  $1.25 \text{ kgN m}^{-3} \text{ day}^{-1}$ 、亜硝酸転換率: 約50%

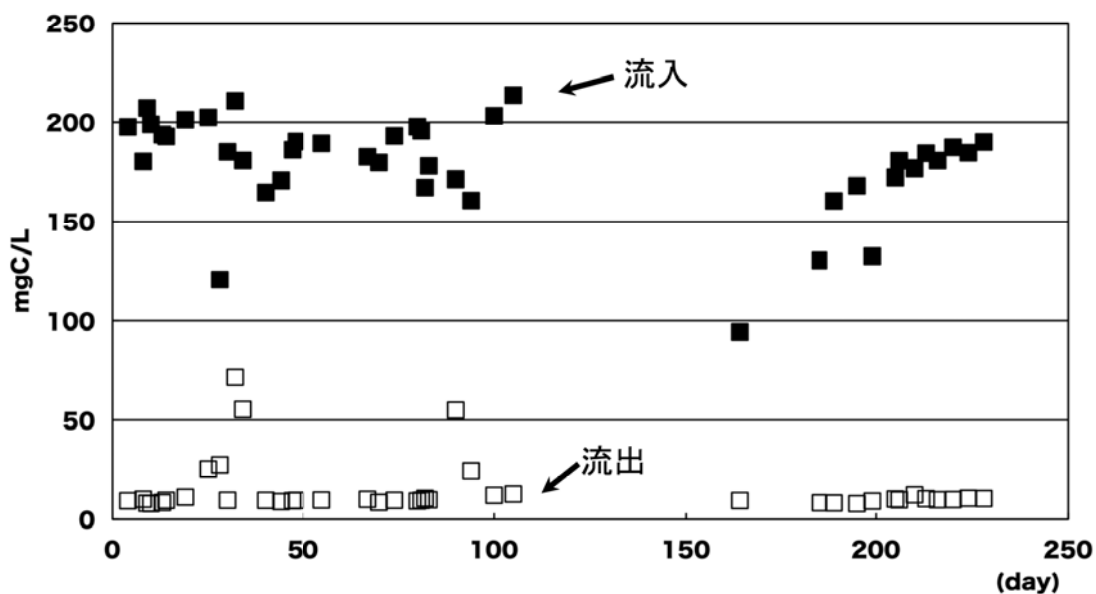
事業原簿 Ⅲ-2-4

13/38

## ②部分硝化プロセスの最適条件の検討

公開

### 部分硝化リアクタの運転性能: 有機物除去

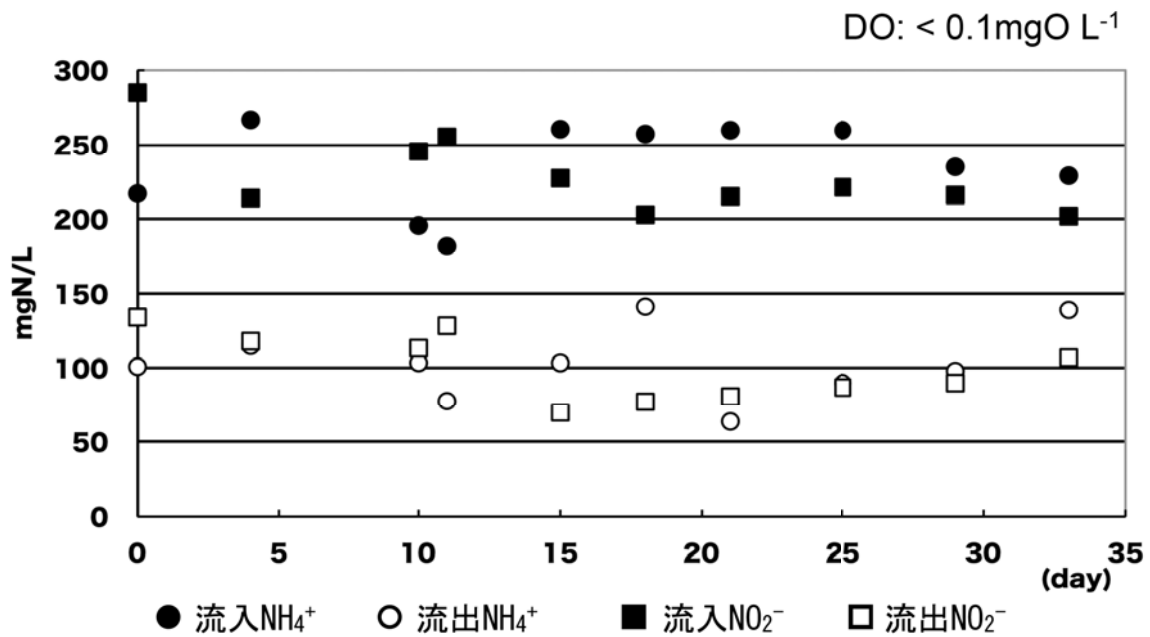


- 部分硝化反応と同時に有機物を除去することができた。  
TOC除去率: >90% (水温  $8^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ )
- Anammoxプロセスへ供することができる処理水を得た。

事業原簿 Ⅲ-2-4

14/38

#### Anammoxプロセスとの連結



- ▶ 窒素除去率: 4~5割 (高NO<sub>2</sub><sup>-</sup>流入による活性阻害?)
- ▶ Anammoxリアクタにおいて逐次処理が可能であった。

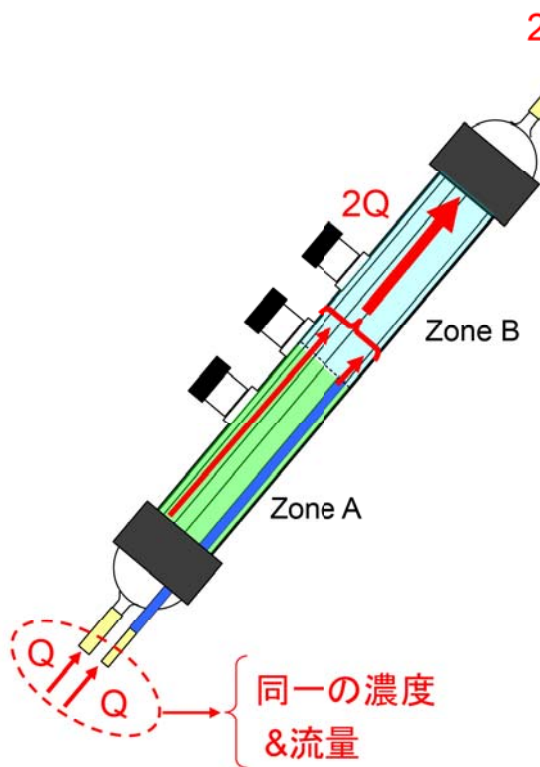


## ③Anammoxプロセスの最適条件の検討



### ③Anammoxプロセスの最適条件の検討

公開



運転条件

HRT (hour)		
Phase 1	0.8	Normal
Phase 2	1.6	Normal
Phase 3	Zone A 1.6 Zone B 0.8	Step
Phase 4	Zone A 0.8 Zone B 0.4	Step
Phase 5	Zone A 0.4 Zone B 0.2	Step
Phase 6	Zone A 0.2 Zone B 0.1	Step
Flow rate ratio	Main: 50% Step: 50%	
Influent pH	7.2±0.1	

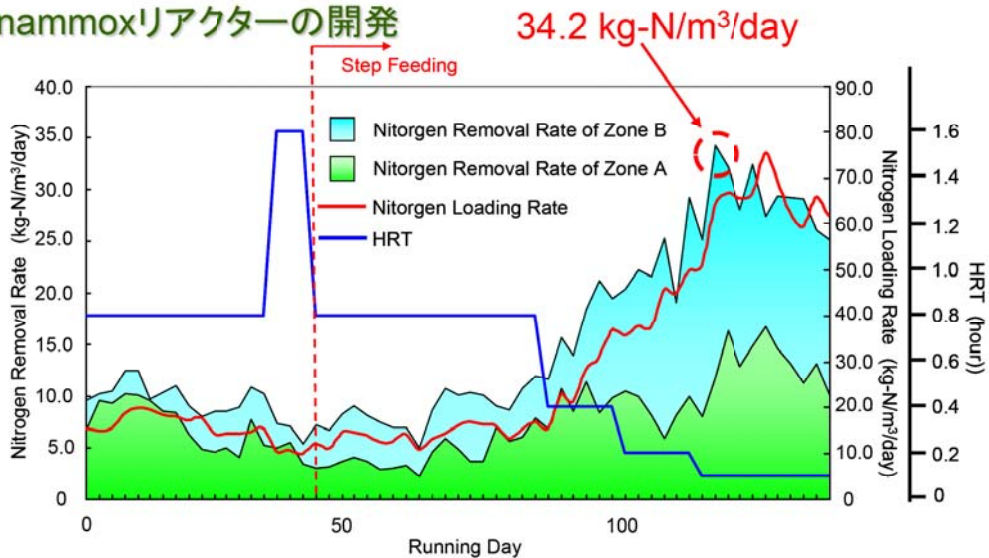
事業原簿 Ⅲ-2-4

17/ 38

### ③Anammoxプロセスの最適条件の検討

公開

#### 高効率anammoxリアクターの開発



- ◆ 最大窒素除去速度  $34.2 \text{ [kg-N m}^{-3} \text{ day}^{-1}]$  を達成 (世界最高)
  - 既往の研究      Lab-scale (人工基質)      :  $9.8 \text{ kg-N/m}^3/\text{day}$
  - Pilot-scale reactor      :  $4\text{-}5 \text{ kg-N/m}^3/\text{day}$
- ◆ 従来の硝化-脱窒法      都市下水      :  $1\text{-}2 \text{ kg-N/m}^3/\text{day}$

既存技術、先行技術に対して“約15倍”の効率化

事業原簿 Ⅲ-2-4

18/ 38



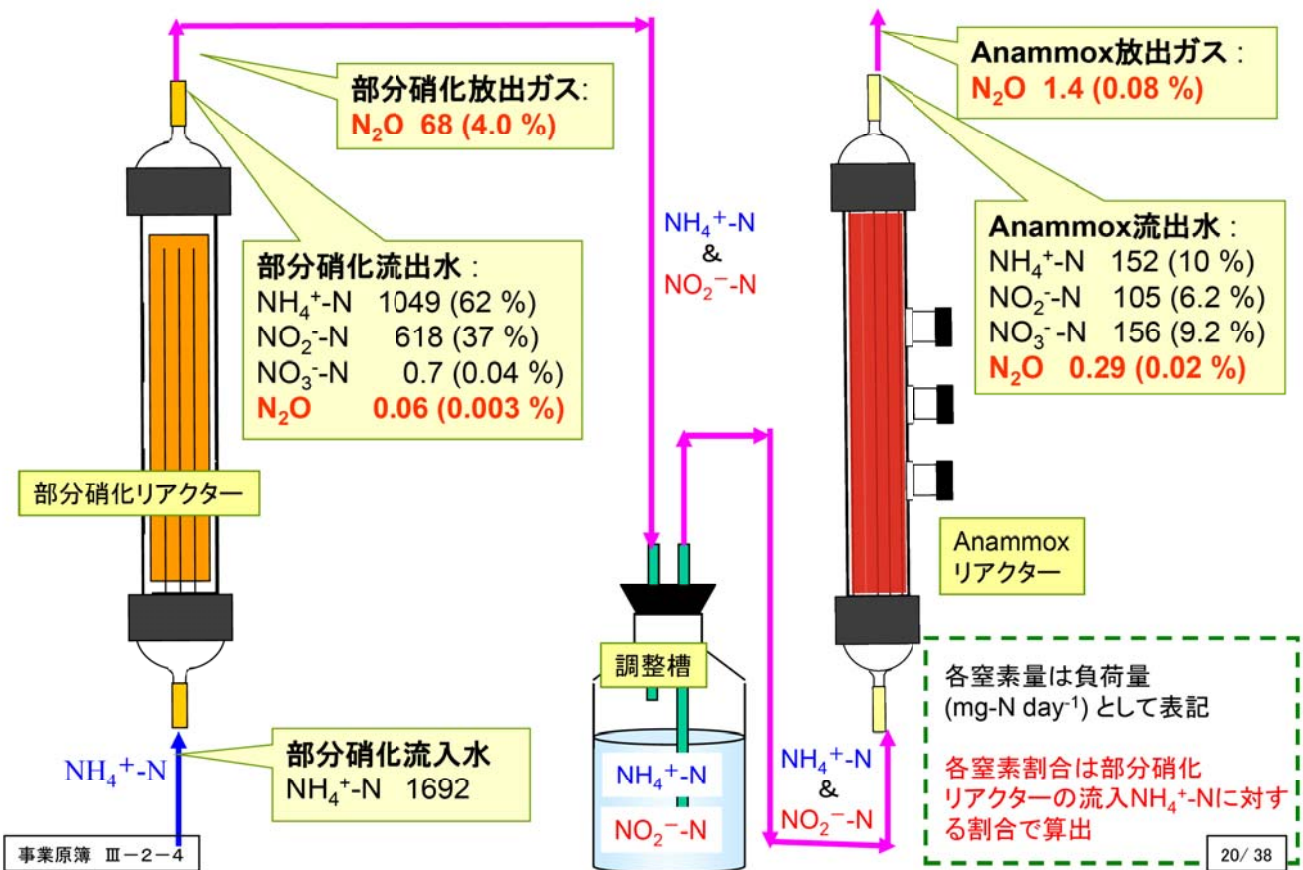
# ④分子生物学的手法およびマイクロセンサーによる微生物群集解析

事業原簿 Ⅲ-2-4

19/ 38

## ①部分硝化－anammoxプロセスからのN<sub>2</sub>O生成

公開

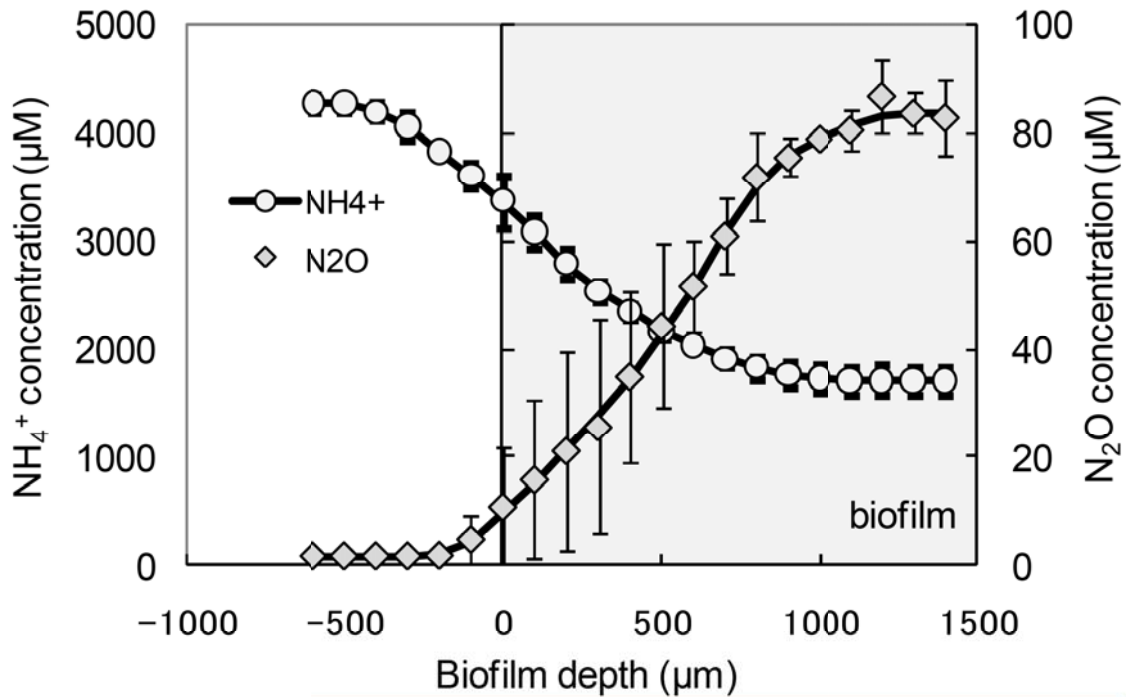


事業原簿 Ⅲ-2-4

20/ 38

#### ④ Anammox グラニューール内の $\text{NH}_4^+$ と $\text{N}_2\text{O}$ 濃度プロファイル

公開

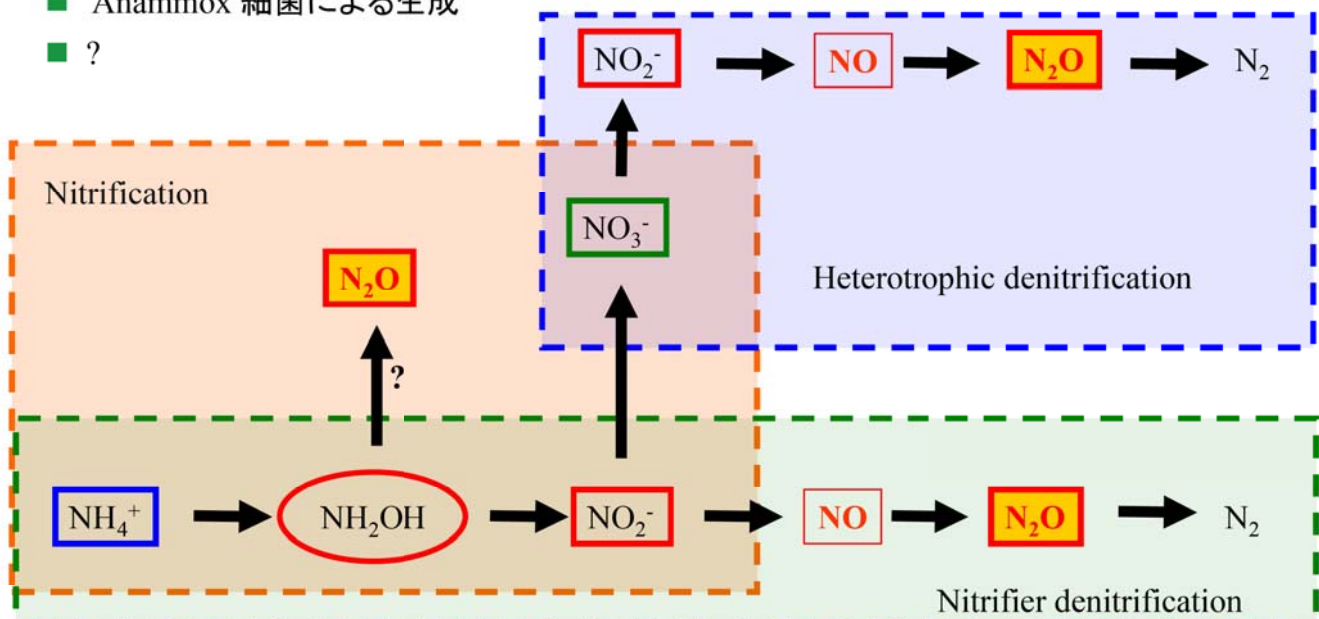


Anammox グラニューール内での  $\text{NH}_4^+$  消費及び  $\text{N}_2\text{O}$  生成を確認

#### ④ Anammox グラニューール内の $\text{NH}_4^+$ と $\text{N}_2\text{O}$ 濃度プロファイル

公開

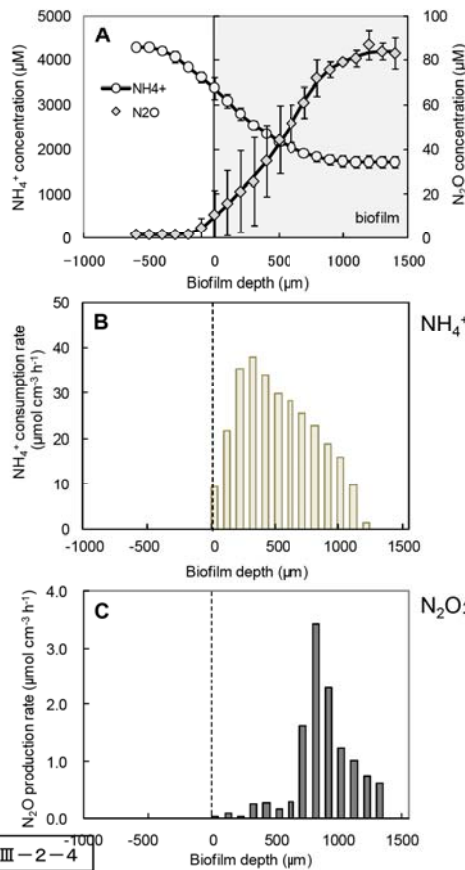
- AOBによる生成 (硝化細菌による脱窒)
- 脱窒細菌による生産
- $\text{NH}_2\text{OH}$  酸化過程における  $\text{NOH}$  の化学的分解
- Anammox 細菌による生成
- ?





## ④ Anammoxグラニューール内のNH<sub>4</sub><sup>+</sup>消費およびN<sub>2</sub>O生成速度

公開



反応速度の算出

- 濃度プロファイルより近似曲線を作成
- Fickの第2法則より算出

NH<sub>4</sub><sup>+</sup>消費反応

生物膜表層 (0 ~ 1000 μm)  
付近において確認



N<sub>2</sub>O生成反応

生物膜深層 (600 ~ 1300 μm)  
付近において確認

NH<sub>4</sub><sup>+</sup>酸化及びanammox反応に  
伴うN<sub>2</sub>O発生の可能性が否定

➔ 脱窒反応による発生の可能性

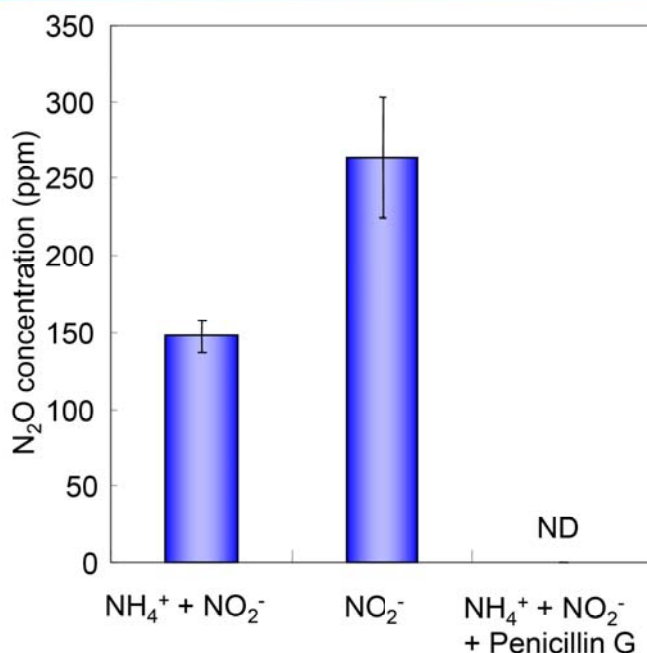
事業原簿 Ⅲ-2-4

23/ 38

## ④ Anammoxグラニューール内でのN<sub>2</sub>O発生源の特定

公開

回分培養試験によるN<sub>2</sub>O発生状況の比較



NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + NO<sub>2</sub><sup>-</sup>添加系

活性細菌

- AOB
- Anammox細菌
- 従属栄養性脱窒細菌

NO<sub>2</sub><sup>-</sup>添加系

活性細菌

- 従属栄養性脱窒細菌

NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + NO<sub>2</sub><sup>-</sup> + Penicillin G添加系

活性細菌

- AOB
- Anammox細菌

Anammoxグラニューール内におけるN<sub>2</sub>O生成は  
従属栄養性脱窒細菌由来の可能性

事業原簿 Ⅲ-2-4

24/ 38

## ⑤Anammox細菌のメタゲノム解析

事業原簿 Ⅲ-2-4

25/ 38

### ⑤Anammox細菌のメタゲノム解析(平成20年度の加速予算)

公開

#### Ca. 'B. sinica'の生理学的特性

	<i>B. sinica</i>	<i>B. anammooxidans</i> **	<i>K. stuttgartiensis</i> ***
Temperature (° C)	25-45	20-43	25-37
pH	7.0-8.8	6.7-8.3	6.5-9.0
Growth rate (h <sup>-1</sup> )	0.0041	0.0027	0.0026-0.0035
Biomass yield (mmol-C mmol-N <sup>-1</sup> )	0.063	0.07	ND
Affinity for ammonium (mmol)	28 ± 4	<5	ND
Affinity for nitrite (mmol)	86 ± 4	<5	0.2-3
Activation energy (kJ mol <sup>-1</sup> )	56 ± 3	70	ND
Protein contents of biomass (g-protein g-VSS <sup>-1</sup> )	0.61	0.6	ND
Tolerance			
Nitrite (mmol)	<16	7	13, 25
Dissolved oxygen (mmol)	<63	<1	0-200
Phosphate (mmol)	<20	ND	20, 21

\*\* References; Jetten *et al.* (2005); Strous *et al.* (1998, 1999)\*\*\* References; Dapena-Mora *et al.* (2007); Egli *et al.* (2001); van der Star *et al.* (2008)

- 増殖速度が速く、高負荷運転に適している
  - ⇒ Anammoxプロセスの立ち上げの早期化に有望
  - ⇒ 生理学知見をもとに高効率な運転培養技術へ応用

事業原簿 Ⅲ-2-4

26/ 38

## ⑤Anammox細菌のメタゲノム解析(平成20年度の加速予算)

公開

### ◆高純度・高活性のanammoxリアクタの構築



容積60mL

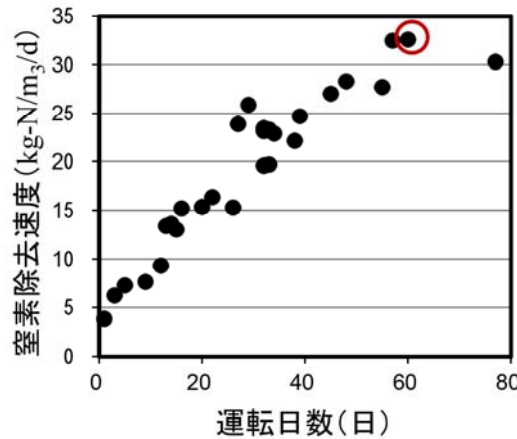
上向流カラム型

NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 50-200 mg-N/L

NO<sub>2</sub><sup>-</sup> 50-200 mg-N/L

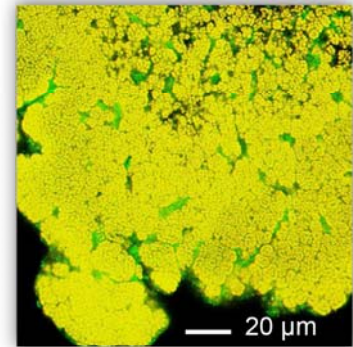
温度 37°C

HRT 0.5-0.2 h



最大窒素除去速度**33kg-/m<sup>3</sup>/d**  
(世界第**3**位)

使用プローブ  
(AMX820-EUB338 mix)



黄: *B. sinica* (94%)  
緑: 他の細菌

メタゲノム解析、プロテオーム解析に適した  
集積度の高いバイオマスを得ることができた

## ⑤Anammox細菌のメタゲノム解析(平成20年度の加速予算)

公開

### DNA 抽出



DNA blood tissue kit (Qiagen)  
細胞壁をビーズで破碎  
酵素混合溶液を使用  
(achromopeptidase, proteinase K,  
lysozyme)

### シーケンス



GS FLX Titanium (Roche)

### アSEMBル



GS De Novo Assembler  
version 2.3

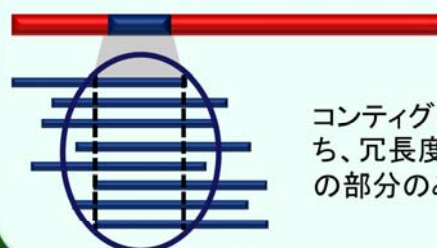
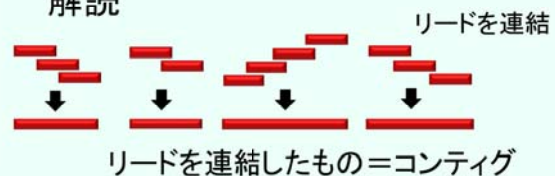
### アノテーション

CRITICA、glimmer2

- *K. stuttgartiensis*のゲノム長: 約4Mbp
- *B. sinica*のゲノム長も約4Mbpと仮定

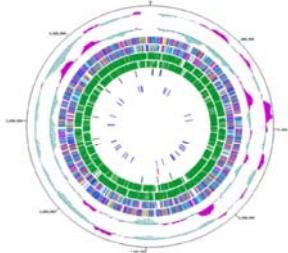
他菌の配列の混入をできるだけ防ぐ

- 総解析塩基数404,863,167 pb  
(総リード数1,204,328 bp)
- ゲノム長の約**100**倍の塩基配列を  
解読



コンティグの配列のうち、冗長度が**40**以上の部分のみを採用



	<i>B. sinica</i>	<i>B. sinica</i> genome map	<i>K. stuttgartiensis</i>
総塩基数 (bp)	4,001,127		4,218,325
シーケンス冗長度	100		22
Contigs	1		5
G+C 含有率 (%)	41		41
予測遺伝子数	3,900		4,664
rRNA	1 × 16S-23S-5S		1 × 16S-23S-5S
完成度	>98%		>98%

窒素代謝関連遺伝子	<i>B. sinica</i>	<i>K. stuttgartiensis</i>
<i>amo</i> (ammonia monooxygenase)	0	0
<i>hao</i> (hydroxylamine oxidoreductase)	12 遺伝子	10 遺伝子
<i>nir</i> (nitrite reductase)	0	5 遺伝子
<i>nar</i> (nitrate reductase)	15 遺伝子	15 遺伝子
<i>nor</i> (nitric oxide reductase)	2 遺伝子	3 遺伝子
<i>nos</i> (nitrous oxide reductase)	0	0

完全長に近いゲノム配列の再構築に成功した。  
Anammox反応に関与するNIR遺伝子の有無に差が見いだされた。



## ⑥実廃水を用いた実証試験

## ⑥実廃水を用いた実証試験 (anammoxプロセスのみ) (平成23年度)

公開

### 実験装置と運転条件

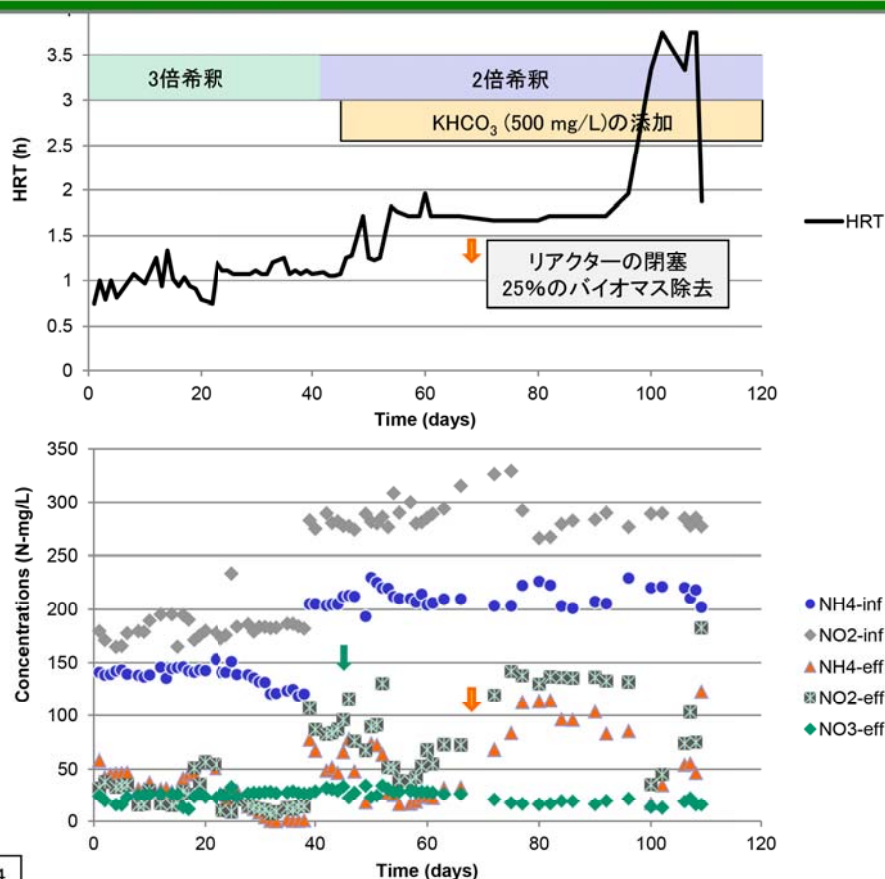
- 上向流カラムリアクター(流動床)、体積 150 mL  
(高さ 28 cm, 直径 2.6 cm)
- 温度 38°C
- 使用廃水: Y市汚泥資源化センターの嫌気性消化汚泥脱離液

### 嫌気性消化汚泥脱離液の水質

	濃度		濃度
NH <sub>4</sub> -N	434 mg/L	SS	24 mg/L
NO <sub>2</sub> -N	578 mg/L	COD <sub>Mn</sub>	740 mg/L
NO <sub>3</sub> -N	1 mg/L	BOD	64 mg/L
TOC	78 mg/L	PO <sub>4</sub> -P	42 mg/L
IC	65 mg/L	T-P	41 mg/L

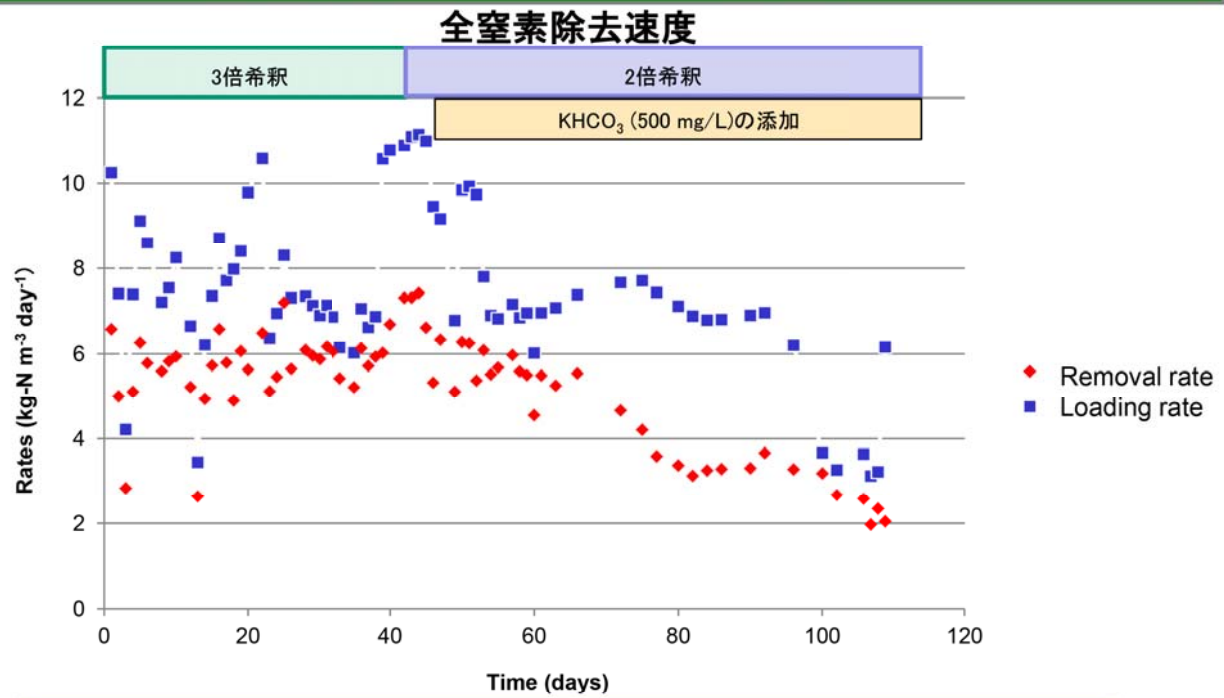
## ⑥実廃水を用いた実証試験 (anammoxプロセスのみ) (平成23年度)

公開



⑥実廃水を用いた実証試験 (anammoxプロセスのみ) (平成23年度)

公開



嫌気性消化汚泥脱離液をanammoxプロセスで処理し、窒素除去速度約6.0 kg-TN m<sup>-3</sup> day<sup>-1</sup>を達成した。

⑥実廃水を用いた実証試験 (anammoxプロセスのみ) (平成23年度)

公開



運転開始13日目



運転開始111日目





## 最終目標(基本計画の値)の達成度

公開

研究項目	概要(最終目標の達成度)
①人工廃水を処理する部分硝化-anammox並列リアクターの開発	部分硝化-anammox並列型リアクターを作成した。この時のanammoxリアクターの最大窒素除去速度15.0 Kg-TN/m <sup>3</sup> /dを達成した。(達成率100%)
②部分硝化プロセスの最適条件の検討	②NH <sub>2</sub> OH(濃度250 μM)を添加することで、迅速かつ安定的な部分硝化反応を立ち上げることに成功した。(達成率100%)
③Anammoxプロセスの最適条件の検討	③二段ステップ流入式上向流バイオフィルムリアクターを構築した。最大窒素除去速度34.2 Kg-TN/m <sup>3</sup> /dを達成した。この値は、従来の硝化-脱窒法と比較して約30倍高い速度である。(達成率120%)
④分子生物学的手法およびマイクロセンサーによる微生物群集解析	④部分硝化リアクターおよびanammoxリアクター内に存在する微生物群集構造を16S rRNA遺伝子解析およびFISH法により解析した。In Situ anammox活性を微小電極で測定した。(達成率100%)
⑤Anammox細菌のメタゲノム解析	⑤Ca. B. sinicaの完全長に近いゲノム配列の再構築に成功した。プロテオーム解析を行い、新規窒素代謝経路を発見した。(達成率150%)
⑥実廃水を用いた実証試験(anammoxプロセスのみ)	⑥消化汚泥脱離液をanammoxプロセスで処理した。窒素除去速度約6.0 kg-TN m <sup>-3</sup> day <sup>-1</sup> を達成した。(達成率100%)

37/38

## 5年間の研究成果の公表

公開

### I. 学術論文5編+2編(投稿準備中)

1. Oshiki, M., et al., Metagenomic analysis of *Candidatus Brocadia sinica*. in preparation
2. Okabe, S., et al., Cell density dependent anammox activity of *Candidatus Brocadia sinica*. in preparation
3. Okabe, S., Oshiki, M., Takahashi, Y., and Satoh, H. (2011) N<sub>2</sub>O emission from a partial nitrification-anammox process and identification of a key biological process of N<sub>2</sub>O emission from anammox granules. *Water Research*, 2011, **45**(19), 6461-6470.
4. Oshiki, M., Shimokawa, M., Fujii, N., Satoh, H., and Okabe, S. (2011) Physiological characteristics of the anaerobic ammonium-oxidizing bacterium '*Candidatus Brocadia sinica*'. *Microbiology*, 2011, **157**, 1706-1713.
5. Okabe, S., Oshiki, M., Takahashi, K., and Satoh, H. (2011) Development of long-term stable partial nitrification and subsequent anammox process. *Bioresource Technology*, 2011, **102**(13), 6801-6807.
6. Cho, S., Fujii, N., Lee, T., and Okabe, S. (2011) Development of a simultaneous partial nitrification and anaerobic ammonia oxidation process in a single reactor. *Bioresource Technology*, **102**(2), 652-659.
7. Cho, S., Takahashi, Y., Fujii, N., Yamada, Y., Satoh, H., and Okabe, S. (2010) Nitrogen removal performance and microbial community analysis of an anaerobic up-flow granular bed anammox reactor. *Chemosphere*, **78**, 1129-1135.
8. 高橋 慶考、對馬 育夫、下川 正貴、岡部 聡 (2007) 二段ステップ流入式上向流型anammoxリアクターにおける処理性の評価、環境工学論文集, 44, 201-206

### II. 国際学会発表7編

1. Okabe, S., Supper high-rate nitrogen removal by a partial nitrification and anammox process. The 8<sup>th</sup> JST, NSFC Japan-China workshop on "Technology for water pollution prevention" Kyoto Japan, Nov. 14-16, 2011. (**Invited speaker**)
2. Oshiki, M., Satoh, H., and Okabe, S., Long-term operation of anaerobic ammonium oxidation (anammox) process in a membrane bioreactor equipped with hollow fibred membranes. The 4th IWA-ASPIRE. Tokyo International Forum, Tokyo, Japan. Oct. 2-6, 2011. 13.
3. Okabe, S., N<sub>2</sub>O emission from a partial nitrification-anammox process. The 2nd International Conference on Nitrification and the 16th European Nitrogen Cycle Meeting. Berg en Dal, The Netherlands. July 3-7, 2011. (**Invited speaker**)
4. Oshiki, M., Shinyako, K., Satoh, H., and Okabe, S., Physiological characteristics of the anaerobic ammonium-oxidizing bacterium '*Candidatus Brocadia sinica*', responsible for high-rate nitrogen removal. The 2nd International Conference on Nitrification and the 16th European Nitrogen Cycle Meeting. Berg en Dal, The Netherlands. July 3-7, 2011. (**優秀発表賞**)
5. Oshiki, M., Shinyako, K., Satoh, H., and Okabe, S., Comparative genomics and functional analysis for anammox bacteria, *Candidatus Brocadia sinica* and *Candidatus Kuenenia stuttgartiensis*. First International anammox Symposium 2011 (IANAS2011). Kumamoto, Japan. May 20th, 2011. (**優秀発表賞**)
6. Okabe, S. In situ activity and spatial organization of anaerobic ammonium-oxidizing bacteria (anammox) in biofilms. IWA Biofilm Technologies Conference, Singapore. January 8-10, 2008
7. Okabe, S., Ogasawara, Y., and Kindaichi, Y. In situ activity and spatial organization of anaerobic ammonium-oxidizing (anammox) bacteria in biofilms. The 4th American Society for Microbiology Conference on Biofilms, Quebec, Canada. March 25-29, 2007 (**Invited lecture**)

# デザイン化微生物群を用いた高効率固定床式 メタン発酵の研究開発

(2007年度～2011年度 5年間)

## プロジェクトの詳細 (公開)

NEDO バイオテクノロジー・医療技術部

委託先 財団法人電力中央研究所(共同実施先 東京大学)

事業原簿 Ⅲ-2-5

1/11

### 3. 成果の詳細

公開

#### 開発目標(最終目標)

廃棄物系バイオマス

食品残渣:2200万トン  
(未利用分食品残渣:1760万トン)

バイオマス・ニッポン総合戦略(2006.3)

主流の処理法(焼却)からメタン発酵処理適用による省エネ効果

従来課題

- ・固形廃棄物の処理では、高負荷条件でのメタン発酵の安定性に難
- ・メタン発酵に関与する微生物群を制御する技術(手法)が少ない

技術開発

固定床(担体)メタン発酵による安定化と電気による微生物群の制御技術の  
開発、およびこれらの組合せによる効率的なメタン発酵処理技術の開発

研究開発目標:

- ・生ごみなど固形廃棄物処理へのメタン発酵の適用
- ・従来のメタン発酵槽に比べて、約3倍の容積効率(負荷量:25.5gCOD/L/日)、  
設置面積を約50%にコンパクト化することによるシステム効率の向上

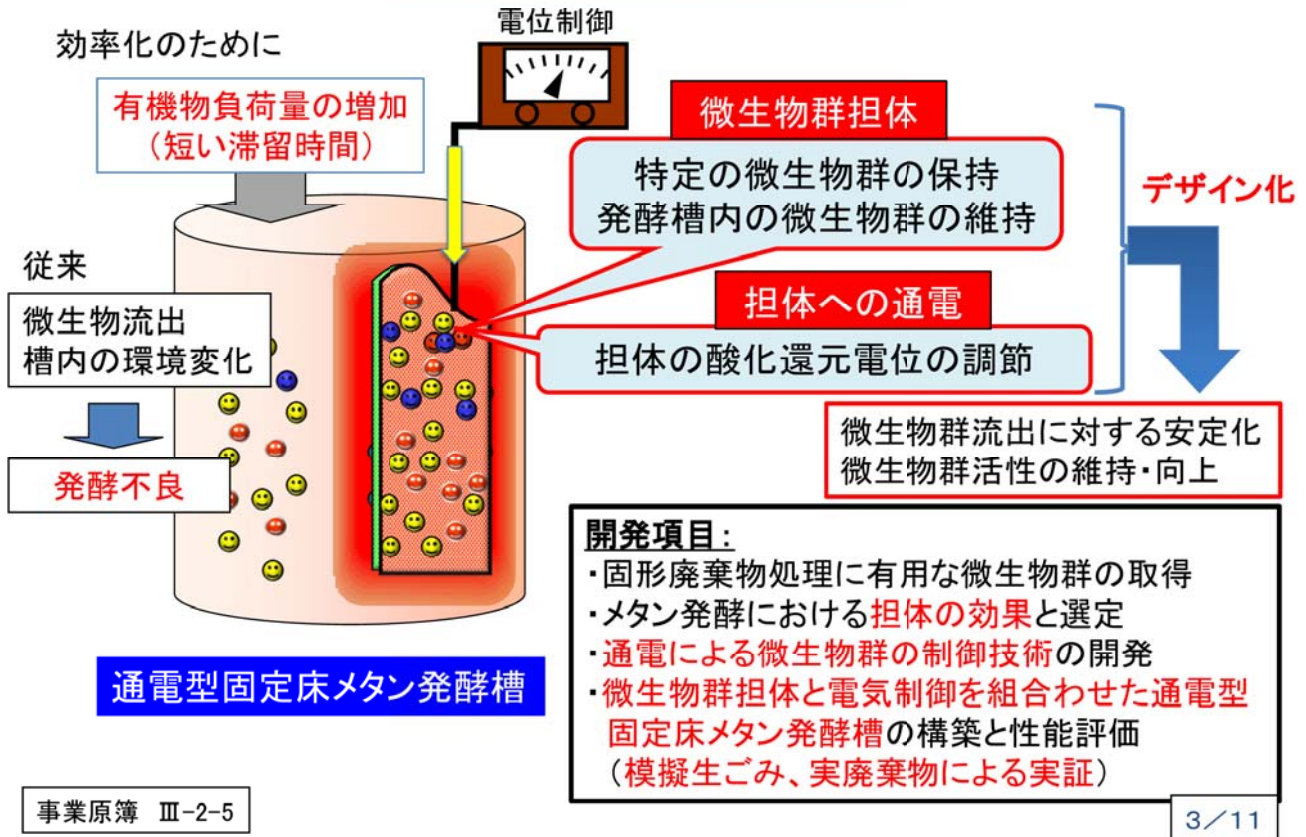
事業原簿 Ⅲ-2-5

2/11



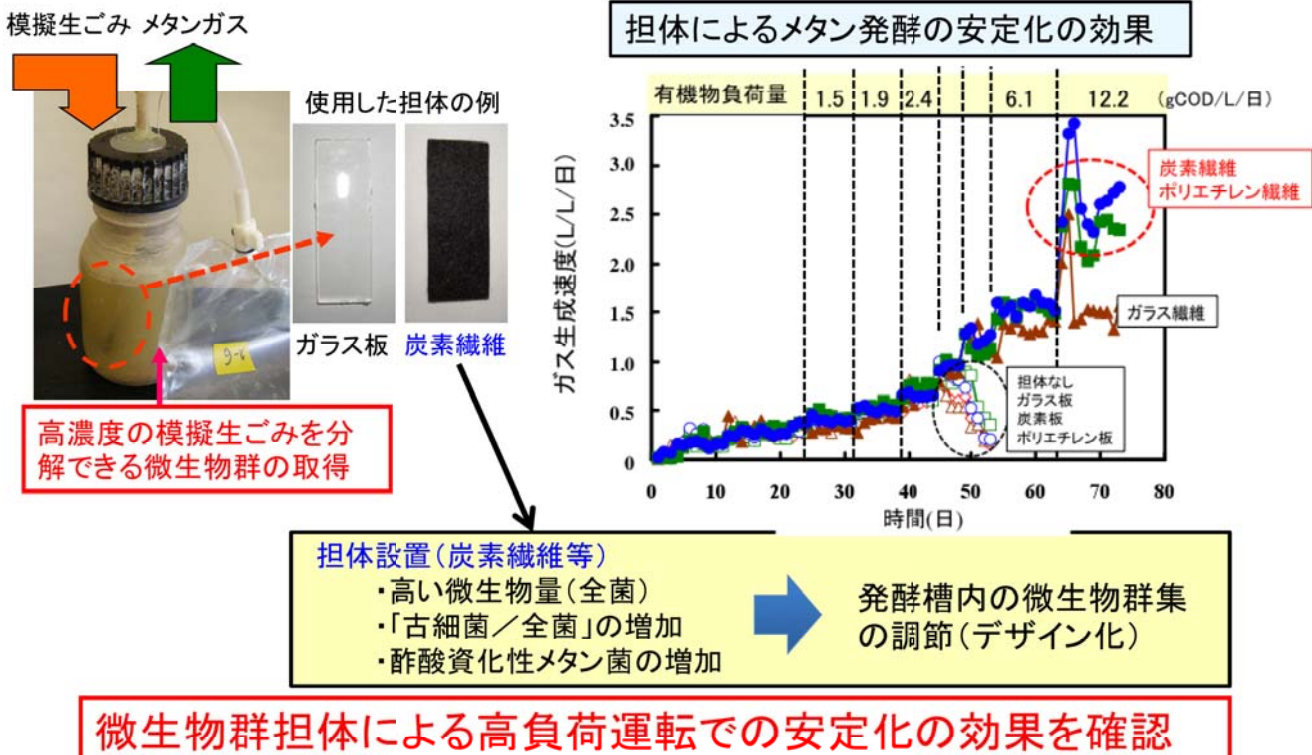
3. 成果の詳細

### アプローチと開発項目



3. 成果の詳細

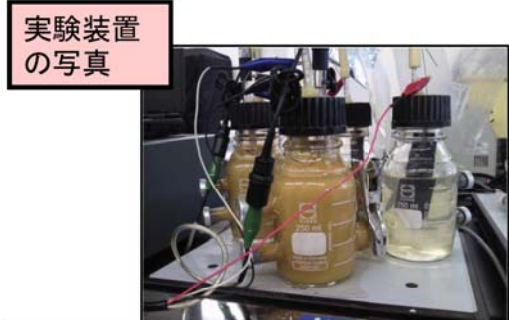
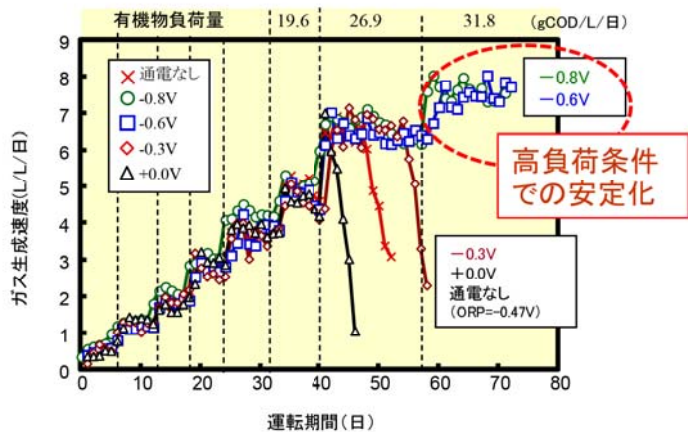
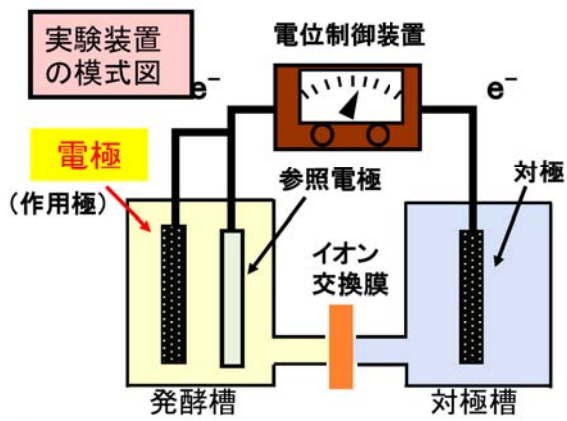
### 有用微生物群取得と微生物群担体による高負荷条件での安定化





3. 成果の詳細

電気による微生物群の制御による高負荷条件での安定化



発酵槽内に設置した電極への通電による制御

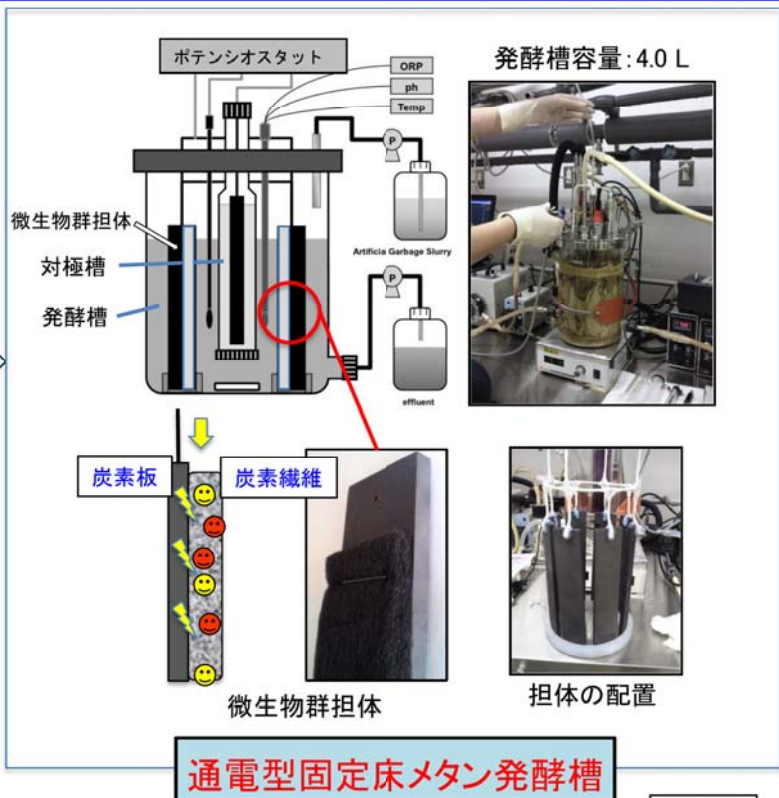
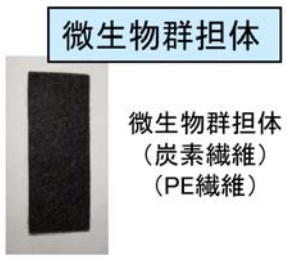
通電による効果 (-0.6V ~ -0.8V)

- ・メタンガス生成能力の維持
- ・有機物除去能力の維持

高負荷条件での安定化に効果を確認

3. 成果の詳細

微生物群担体と通電による制御を組み合わせた発酵槽の構築



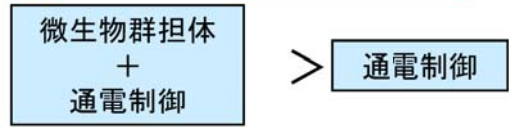
通電型メタン発酵槽

通電型固定床メタン発酵槽

3. 成果の詳細

通電型固定床メタン発酵槽の評価(模擬生ごみ)

有機物負荷に対する安定性

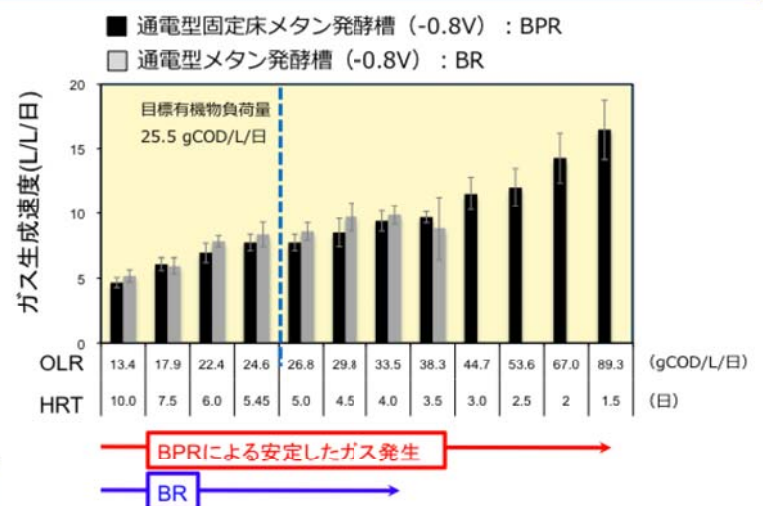


研究目標  
既設の3倍の負荷量  
有機物負荷量: 25.5gCOD/L/日

通電型固定床メタン発酵槽  
最大有機物負荷量: 約89gCOD/L/日  
(水理的滞留時間: 1.5日)

目標有機物負荷量以上の処理に成功

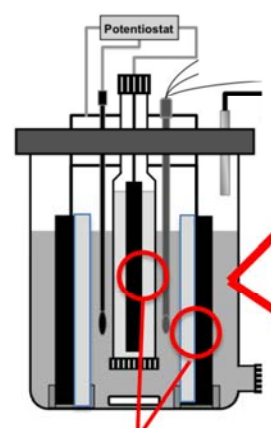
事業原簿 III-2-5



	最短滞留時間 (日)	最大許容負荷量 (gCOD/L/日)	ガス生成速度 (L/L/日)	COD除去率 (%)	SS除去率 (%)
通電型固定床メタン発酵槽 (-0.8V)	1.5	89.3	16.5	62.5	52.5
通電型メタン発酵槽 (-0.8V)	4.0	33.5	9.9	65.6	55.6
250mL通電型メタン発酵槽 (-0.8V)	4.5	31.8	7.6	58.2	40.0
250mLメタン発酵槽 (通電なし)	6.3	19.6	5.0	68.1	35.3

3. 成果の詳細

通電型固定床メタン発酵槽内の微生物群集評価(模擬生ごみ)

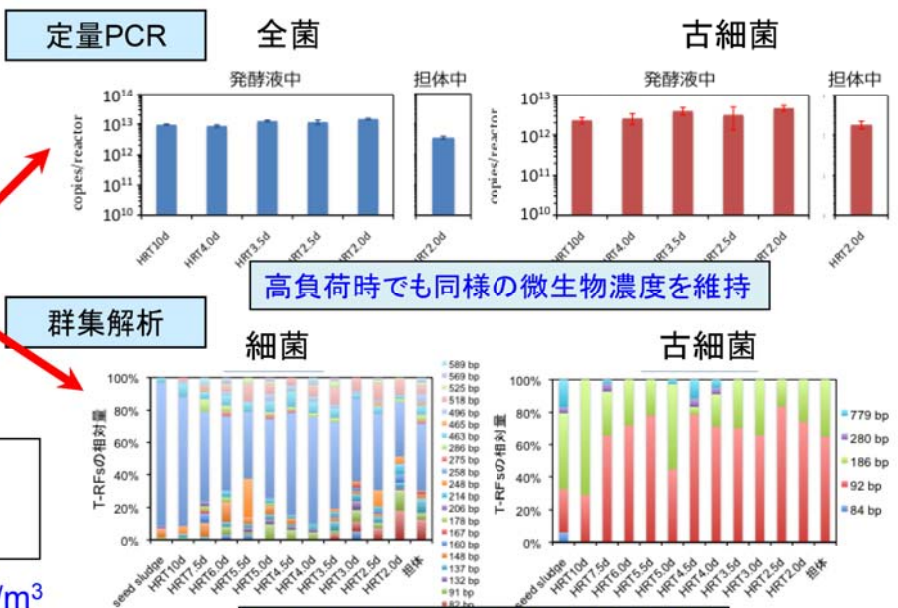


電極間  
電流値: 約6.3 mA/reactor  
電圧: 約1.8 V (1.7~1.9V)

容積当たりの電力: 約6.2W/m<sup>3</sup>

小さい電力で担体上の酸化還元電位を調節

事業原簿 III-2-5



高負荷時でも同様の微生物濃度を維持

高負荷時でも同様の微生物種を維持

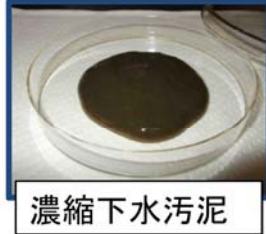
高負荷時において発酵槽内の微生物維持を確認



3. 成果の詳細

通電型固定床メタン発酵槽の評価(実廃棄物)

実廃棄物



SS濃度  
(53.2 g/L)  
COD濃度  
(70.7 g/L)

濃縮下水汚泥

通電型固定床メタン発酵槽

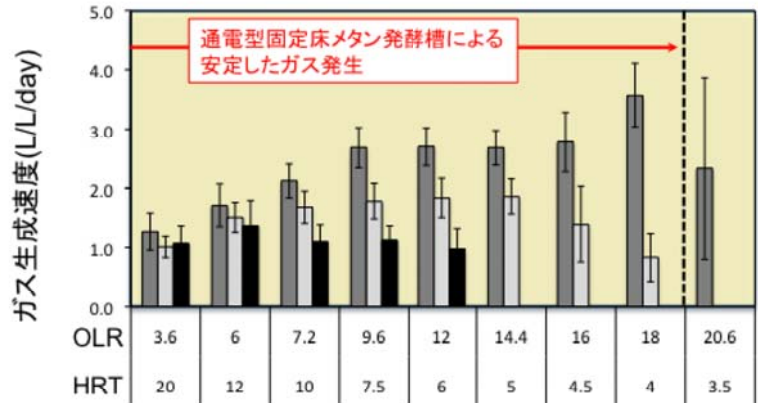
既設設備に対して  
有機物負荷量:4.5倍  
(水理的滞留時間:1/4に短縮)

発酵槽の設置面積:  
36.3%にコンパクト化

50%にコンパクト化を達成

事業原簿 Ⅲ-2-5

■ 通電型固定床メタン発酵槽 □ 固定床型 ■ 完全攪拌混合型



	運転条件			処理性能		
	発酵温度 (°C)	滞留時間 (日)	有機物負荷量 (gCOD/L/日)	ガス発生倍率 (L/L)	COD除去率 (%)	SS除去率 (%)
通電型固定床	55	7.5	9.6	20.1	75.2	72.9
混合攪拌型	55	20	3.6	21.4	64.6	52.8
既設設備 (年平均)	36	30	2.1	23.3	60	42.7

既設設備より約4.5倍の高負荷での処理

9/11

3. 成果の詳細

開発目標と達成状況

従来

目標

達成状況

【現状の能力】

(1) 生ごみ等を対象とした既設のメタン発酵処理施設

有機物負荷量  
(日平均容積効率):  
8.5 gCOD/L/日

(2) 下水汚泥提供元施設

有機物負荷量:  
2.1 gCOD/L/日

【目標値】

生ごみ等を対象としたメタン発酵処理

既設の3倍の有機物負荷量での安定化  
(25.5 gCOD/L/日)



従来の設備を50%にコンパクト化

【成果】

微生物群担体と通電による制御を組み合わせた通電型固定床メタン発酵槽(デザイン化)

・模擬生ごみを対象:  
最大有機物負荷量89.3gCOD/L/日 ◎  
(約21%にコンパクト化)

・下水汚泥を対象:  
最大有機物負荷量9.6gCOD/L/日 ◎  
(約36%にコンパクト化)

目標を達成

事業原簿 Ⅲ-2-5

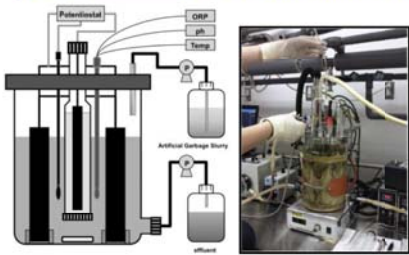
10/11



### 実用化への見通し

微生物群集担体

担体への電気制御技術



通電型固定床メタン発酵槽

### 本プロジェクト

生ごみ等の廃棄物に対するメタン発酵処理の効率化の見通しを得た

本プロジェクト終了後5年

プラントメーカーとの共同開発

- ・段階的なスケールアップの検討
- ・コスト、エネルギー収支の評価

~10年

・実適用

### 波及効果

微生物群担体 電気制御技術

汎用的にバイオプロセスに適用できる微生物制御技術

波及先



廃水処理



食品



医薬品

バイオプロセスに関わる分野