

## 1. 実証研究結果

### 1.1 実証研究概要

#### (1) 実証研究

##### 1) 研究名称

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に関する技術実証研究

##### 2) 実施者

熊本市・地方共同法人日本下水道事業団・株式会社タクマ 共同研究体

##### 3) 実施期間

平成 24 年 6 月 9 日～平成 25 年 3 月 31 日（平成 24 年度 委託研究期間）

平成 25 年 6 月 22 日～平成 26 年 3 月 31 日（平成 25 年度 委託研究期間）

##### 4) 実施場所

###### ①実証施設設置場所

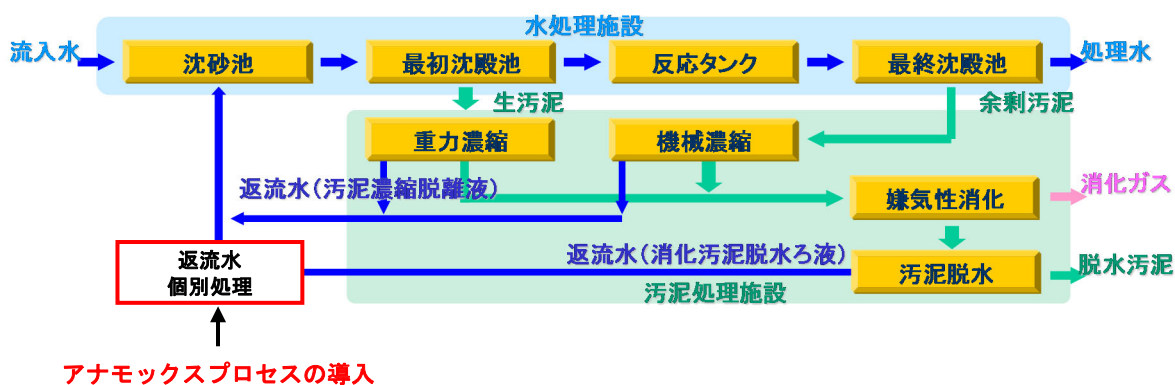
熊本市東部浄化センター（所在地：熊本市東区秋津町秋田 536）

###### ②種汚泥（アナモックス細菌）培養場所

（株）タクマ 播磨工場（所在地：兵庫県高砂市荒井町新浜 1-2-1）

##### 5) 処理対象

本設備の処理対象は嫌気性消化汚泥の脱水ろ液とした（図資 1-1）。



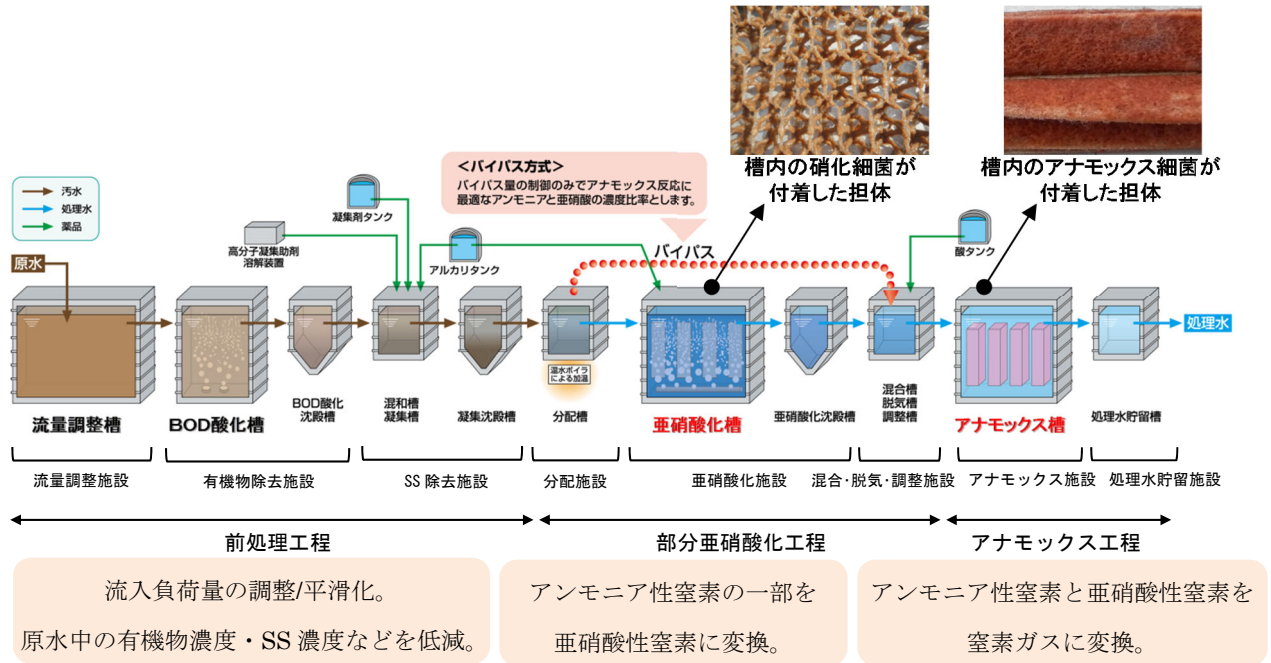
図資 1-1 実証施設処理対象水

##### 6) 処理水量

処理水量は脱水ろ液 50 m<sup>3</sup>/日とした。

7) 実証施設フロー

図資 1-2 に実証施設フローを，図資 1-3 に実証施設の写真を示す。



図資 1-2 実証施設フロー



図資 1-3 実証施設写真

## 8) 実施工程

表資 1-1 に実証研究の全体工程を示す。

表資 1-1 実証研究の全体工程

実証項目	平成 24 年度			平成 25 年度				特記事項
	6-9 月	10-12 月	1-3 月	4-6 月	7-9 月	10-12 月	1-3 月	
準備期間	実証施設の設計・製作	●→						
	アナモックス細菌の培養	●→	→	現地へ移設				タクマ播磨工場で実施
	実証施設設置工事	●→						
試験期間	試運転・馴致・立上げ		●→					
	実証施設連続運転			●→				
	低濃度運転データ収集			●→				
	各種運転条件検討			●→				
	高濃度運転データ収集				●→			
	自動制御運転					●→		
	負荷変動・停止時の対応検討					●→	●→	●→

## (2) 設定目標

表資 1-2 に実証施設の各工程における設定目標を示す。

表資 1-2 実証施設の各工程における設定目標

項目	設定目標
1 実証施設 (全体)	プロセス全体として窒素除去率 70%以上を安定して維持すること
2 前処理工程	部分亜硝酸化工程に流入する BOD 濃度および SS 濃度をそれぞれ 100 mg/L 以下に安定して維持すること
3 部分亜硝酸化工程	亜硝酸化槽における $\text{NO}_2^-$ -N 生成率 80%以上, $\text{NO}_3^-$ -N 生成率 5% 以下を安定して維持すること
4 アナモックス工程	アナモックス槽に流入する $\text{NO}_2^-$ -N / $\text{NH}_4^+$ -N 比および $\text{NO}_2^-$ -N 濃度を適切に維持し, アナモックス槽の運転を安定して維持すること

## (3) 結果まとめ

表資 1-3 に実証研究の結果および目標達成度のまとめを示す。

表資 1-3 実証研究の結果まとめ

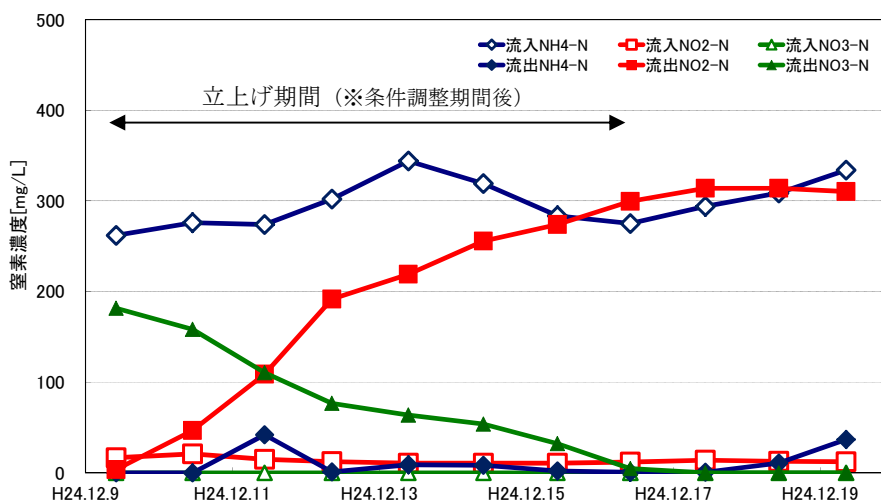
	設定項目	設定目標	結果	達成度
1	実証施設	プロセス全体として窒素除去率 70%以上を安定して維持すること	各季節の詳細調査期間において、T-N 除去率平均 80%以上を維持した。	○
2	前処理工程	部分亜硝酸化工程に流入する BOD 濃度および SS 濃度をそれぞれ 100 mg/L 以下に安定して維持すること	部分亜硝酸化工程に流入する BOD 濃度および SS 濃度をそれぞれ 100 mg/L 以下に安定して維持した。ただし、実証試験では原水の BOD 濃度は概ね 100 mg/L 以下の低濃度での実証試験結果となった。	○
3	部分亜硝酸化工程	亜硝酸化槽における $\text{NO}_2^-$ -N 生成率 80%以上、 $\text{NO}_3^-$ -N 生成率 5%以下を安定して維持すること	一時的に $\text{NO}_2^-$ -N 生成率 80%以下、 $\text{NO}_3^-$ -N 生成率 5%以上になることはあったが、亜硝酸化槽の安定化方法を確立し、概ね安定した運転を継続した。各季節の平均では $\text{NO}_2^-$ -N 生成率 80%以上、 $\text{NO}_3^-$ -N 生成率 5%以下を維持した。	○ △
4	アナモックス工程	アナモックス槽に流入する $\text{NO}_2^-$ -N/ $\text{NH}_4^+$ -N 比および $\text{NO}_2^-$ -N 濃度を適切に維持し、アナモックス槽の運転を安定して維持すること	$\text{NO}_2^-$ -N/ $\text{NH}_4^+$ -N 比および $\text{NO}_2^-$ -N 濃度を適切に維持し、アナモックス槽の窒素変換率 85%以上を維持した。	○

## 1.2 実証研究詳細

### (1) 立上げ

#### 1) 亜硝酸化工程

実証施設における亜硝酸化槽の立上げは、当浄化センターの余剰汚泥を種汚泥として使用し実施した。亜硝酸化槽に種汚泥投入後、槽内の水温や pH などの条件を調整した後に立上げを開始した。図資 1-4 に亜硝酸化工程（亜硝酸化槽）の立上げ開始後の槽内窒素濃度の推移を示す。立上げ開始前は硝酸化が優先しており、槽内  $\text{NO}_3^-$ -N 濃度が高かったが、立上げを開始すると徐々に  $\text{NO}_2^-$ -N 濃度が増加した。立上げ開始後 10 日程度で亜硝酸化が優占化し、 $\text{NO}_2^-$ -N 生成率は 80%以上となった。



図資 1-4 亜硝酸化槽立上げ時の槽内窒素濃度の推移

#### 2) アナモックス工程

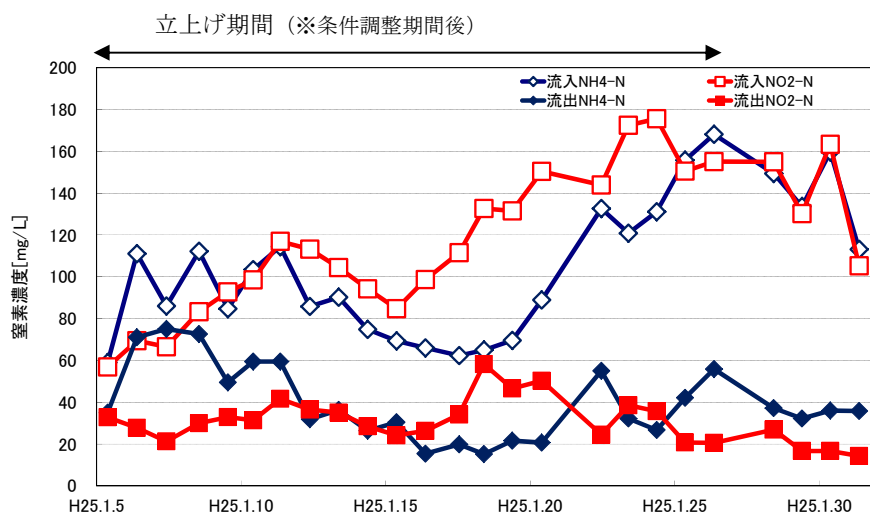
##### ①種汚泥（アナモックス細菌）の事前培養

本実証試験における実証施設の立上げに際し、種汚泥の確保のために(株)タクマ工場内にて合成基質によるアナモックス細菌の事前培養を行った。培養開始時点は窒素除去能 0.1kg-N/日程度の菌体量であった。事前培養は 10kg-N/日以上（実証施設にて想定する窒素除去量の 20%程度）の窒素除去性能を有する菌体量を得るまで、継続した。

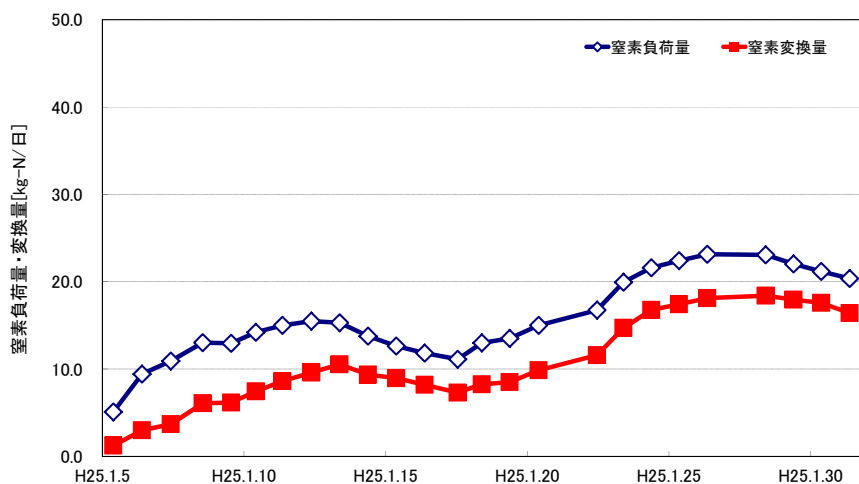
##### ②アナモックス槽の立上げ

実証施設におけるアナモックス槽の立上げは、別途で事前に培養した種汚泥を用いて実施した。アナモックス槽に種汚泥投入後、槽内の水温や pH、および流入する  $\text{NH}_4^+$ -N や  $\text{NO}_2^-$ -N 濃度などの条件を調整した後に立上げを開始した。図資 1-5, 1-6 に立上げ時におけるアナモックス槽の窒素濃度の推移および流入窒素負荷量・変換量の推移をそれぞれ示す。立上げ開始後、

窒素濃度を上昇させて負荷を徐々に上昇させると、窒素変換量はそれに追従して増加した。1月上旬に亜硝酸化槽にて硝酸化が進行したため、1/15～20の期間においてアナモックス槽の流入窒素負荷量・窒素変換量は一時低下したが、亜硝酸化率の回復とともにアナモックス槽の流入窒素負荷量・変換量は再度増加した。平成25年1月下旬には定格水量時において窒素変換率80%を達成し、アナモックス槽の立上げは完了した。



図資 1-5 アナモックス槽立上げ時における槽内窒素濃度の推移

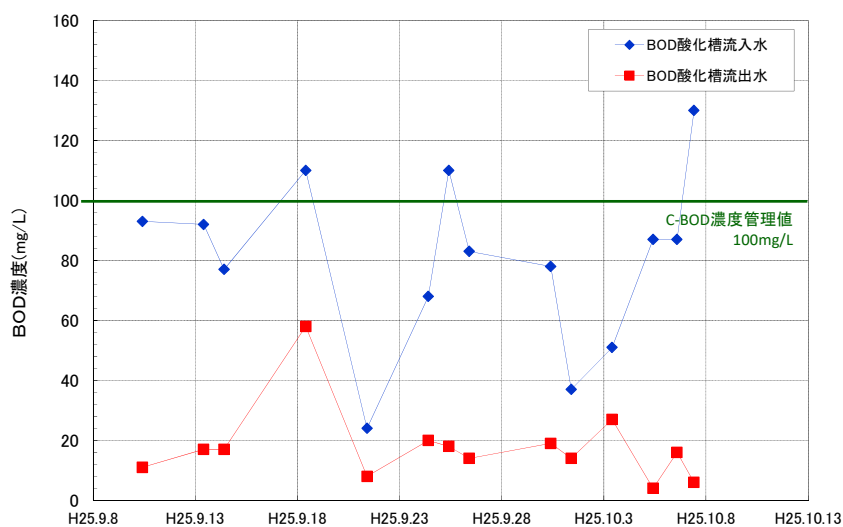


図資 1-6 立上げ時のアナモックス槽の窒素負荷量・除去量の推移

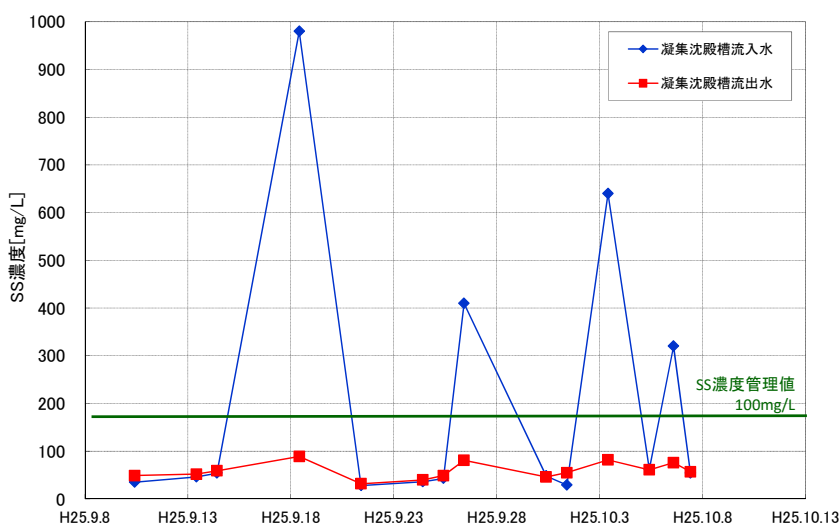
## (2) 質的・量的変動に対する処理の安定性

## 1) 前処理工程の処理性能

図資 1-7, 1-8 に前処理工程の C-BOD<sub>5</sub> および SS 除去性能をそれぞれ示す。BOD 除去は BOD 酸化槽にて行われ、流出水の C-BOD<sub>5</sub> は試験を通して 100 mg/L 以下であった。ただし、図資 1-7 に示すとおり実証試験では原水の BOD 濃度は概ね 100 mg/L 以下の低濃度での実証試験結果となった。SS 除去は BOD 酸化槽後の沈殿槽および凝集沈殿槽にて行われ、凝集沈殿槽流出水の SS 濃度はいずれも 100 mg/L 以下であり、安定して性能を維持することが確認された。



図資 1-7 前処理工程 (BOD 酸化槽) の C-BOD 除去性能



図資 1-8 前処理工程 (凝集沈殿槽) の SS 除去性能

## 2) 窒素除去機能

## ① プロセス全体

表資 1-4, 1-5 に各季節におけるプロセス全体の窒素除去性能を示す。平成 24 年度はベルトプレス脱水ろ液を処理対象とし、H25 年度はスクリーンプレス脱水ろ液を処理対象として運転を行った。平成 24 年度の冬季および平成 25 年度の夏季、秋季、冬季のデータ収集期間におけるプロセス全体の総無機性窒素 (T-IN) 除去率は、それぞれ平均で 82.7%, 81.5%, 80.0%, 81.4% であり、いずれの季節においても 80%以上であった。また、同じ時期のプロセス全体の T-N 除去率は、平成 24 年度の冬季で 82.7%, 平成 25 年度については夏季 82.6%, 冬季 81.4% であり、T-IN 除去率と同等であった。T-IN 除去率、T-N 除去率いずれも、当初の設定目標値である 70%を上回っており、高い窒素除去性能が示された。

なお、春季については脱水機由来の高分子凝集剤への対応を検討中であったため、評価対象外として季節データ収集期間からは除外した。また、季節データ収集期間中に、負荷変動時の運転、プラント停止後の対応・復帰、亜硝酸化処理の安定化方法 (硝酸化抑制など) について調査・確認を行っており、その期間については季節データから除外して評価を行った。

表資 1-4 各季節におけるプロセス全体の T-IN 除去性能

	データ収集期間			
	H24 年度 冬季	H25 年度 夏季	H25 年度 秋季	H25 年度 冬季
	H26.01.25 ~H26.02.21	H25.08.28 ~H25.10.08	H25.10.29 ~H25.12.11	H26.01.25 ~H26.02.21
原水 T-IN 濃度 [mg/L]	327~408 (372)	502~680 (604)	591~719 (673)	680~883 (806)
処理水 T-IN 濃度 [mg/L]	57~67 (63)	84~131 (110)	103~164 (135)	127~166 (147)
T-IN 除去率 [%]	81.9~83.7 (82.7)	76.4~85.4 (81.5)	78.0~83.9 (80.0)	79.8~82.9 (81.4)

※ ( ) 内の数値は期間平均値を示す。

※ T-IN 除去率の算出は、プロセス全体の HRT (2~3 日) を考慮した上で、移動平均を使用して算出した。

※ 秋季運転データの T-IN 濃度については、現場分析 (吸光度法) によるデータを使用して算出した。



表資 1-5 各季節におけるプロセス全体の T-N 除去性能

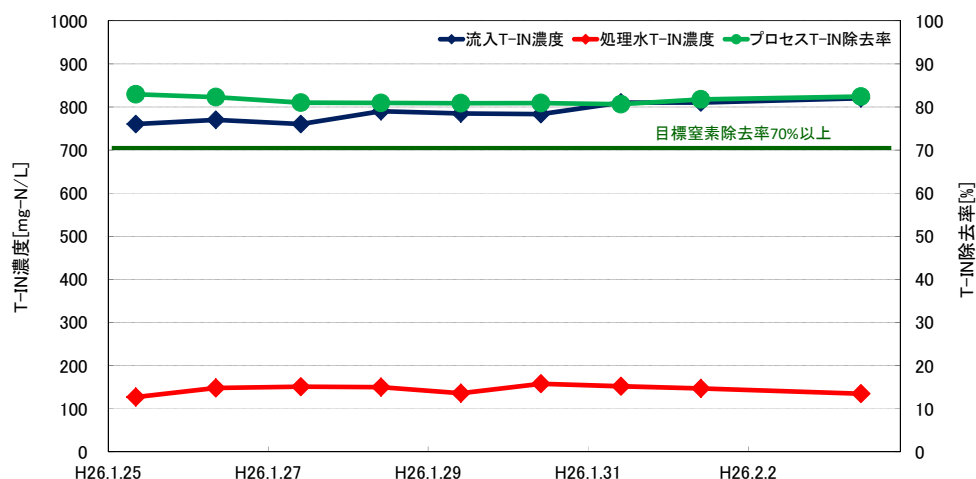
	データ収集期間			
	H24 年度 冬季	H25 年度 夏季	H25 年度 秋季	H25 年度 冬季
	H25. 02. 11 ～H25. 02. 16	H25. 08. 28 ～H25. 10. 08	H25. 10. 29 ～H25. 12. 11	H26. 01. 25 ～H26. 02. 21
原水 T-N 濃度 [mg/L]	360～430 (393)	540～790 (663)	/	760～1,000 (860)
処理水 T-N 濃度 [mg/L]	57～78 (69)	84～130 (114)		130～170 (154)
T-N 除去率 [%]	80.7～82.7 (81.8)	77.3～87.2 (82.6)		80.1～83.2 (81.4)

※ ( ) 内の数値は期間平均値を示す。

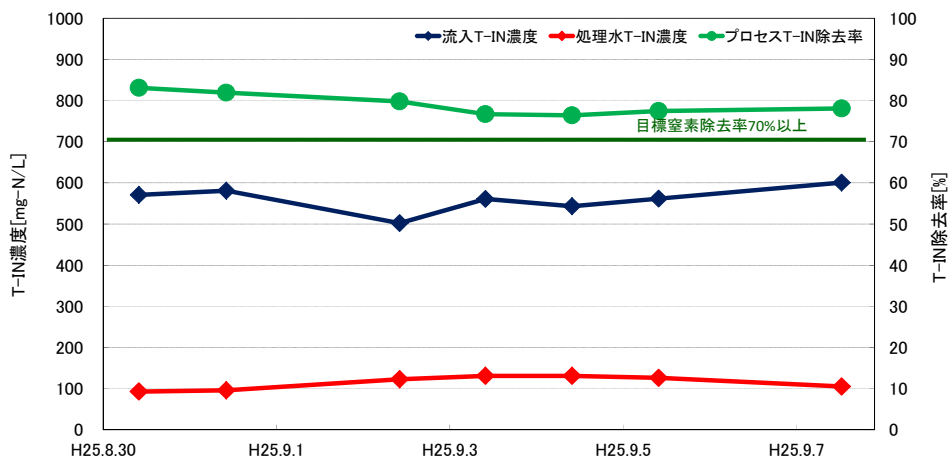
※ T-N 除去率の算出は、プロセス全体の HRT (2～3 日) を考慮した上で、移動平均を使用して算出した。

※ 秋季運転データについては、T-IN 濃度のみの測定であったため、評価対象外とした。

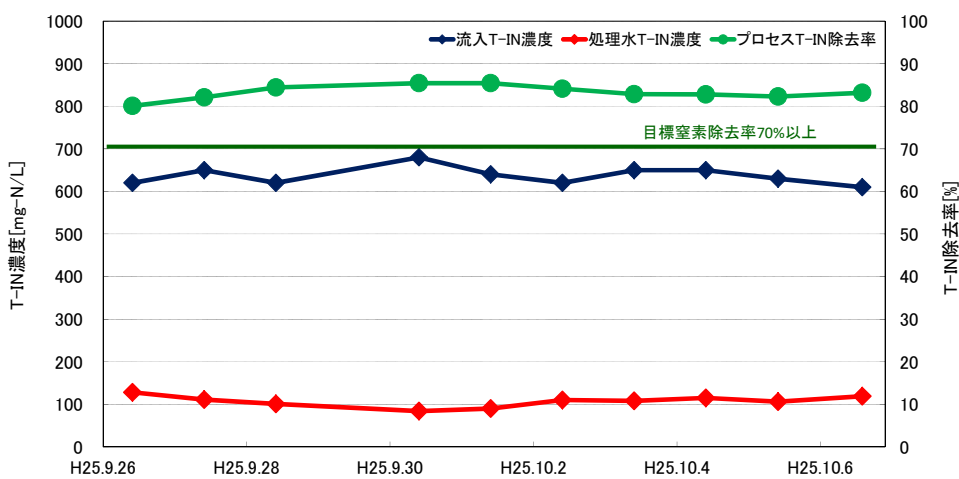
図資 1-9～15 に各季節内におけるプロセスの原水・処理水 T-IN 濃度と T-IN 除去率の推移を示す。季節内で原水 T-IN 濃度に変動はほとんどなく、T-IN 除去率も概ね 80%前後で安定していた。季節によっては部分亜硝酸化工程で  $\text{NO}_3^-$ -N が生成し、その影響で T-IN 除去率が 80%以下となることがあったが、その場合でも実証目標の 70%を下回ることはなかった。アナモックス工程の処理性能は安定しており、部分亜硝酸化工程を安定に運転することがプロセスの窒素除去性能を高水準に維持することにつながると考えられた。



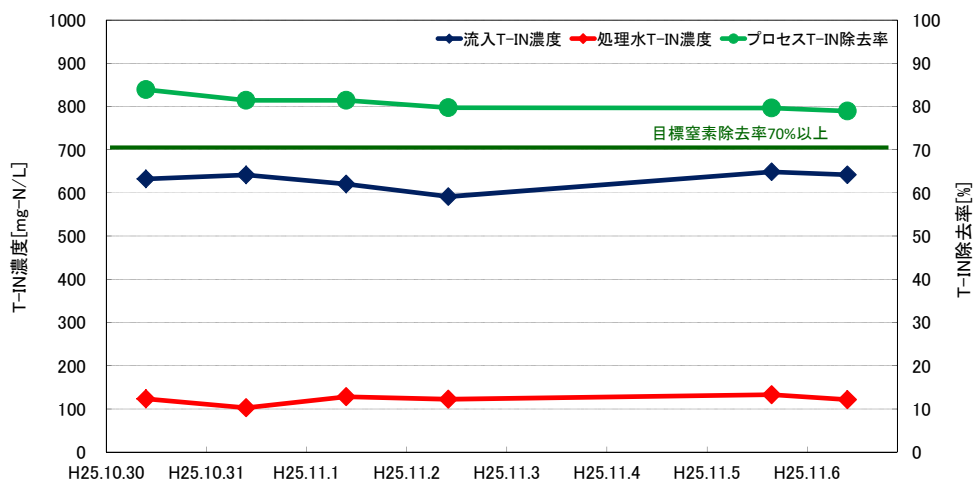
図資 1-9 H24 年度冬季におけるプロセス全体の T-IN 除去性能



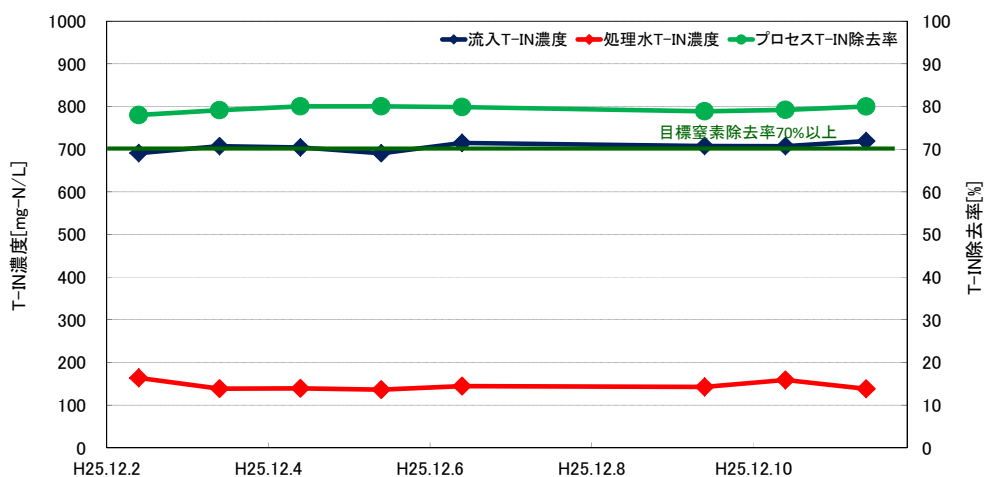
図資 1-10 H25 年度夏季（前半）におけるプロセス全体の T-IN 除去性能



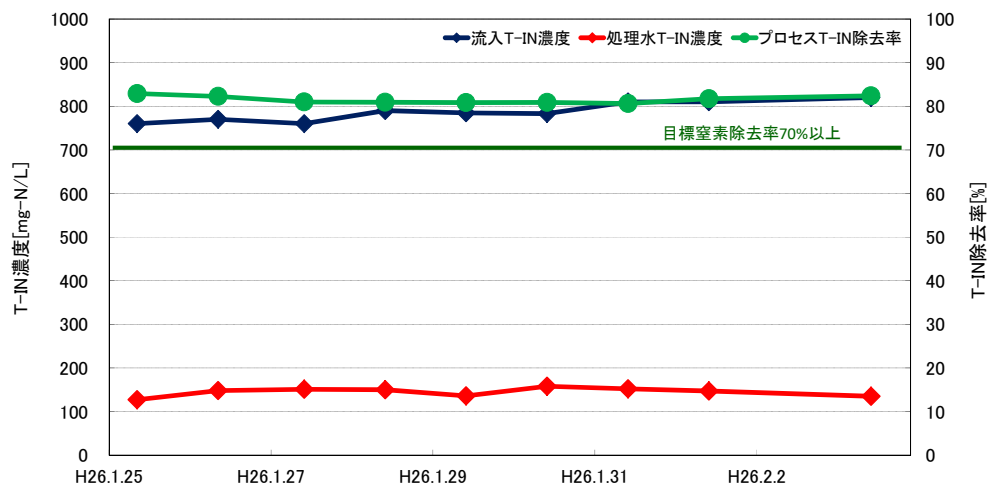
図資 1-11 H25 年度夏季（後半）におけるプロセス全体の T-IN 除去性能



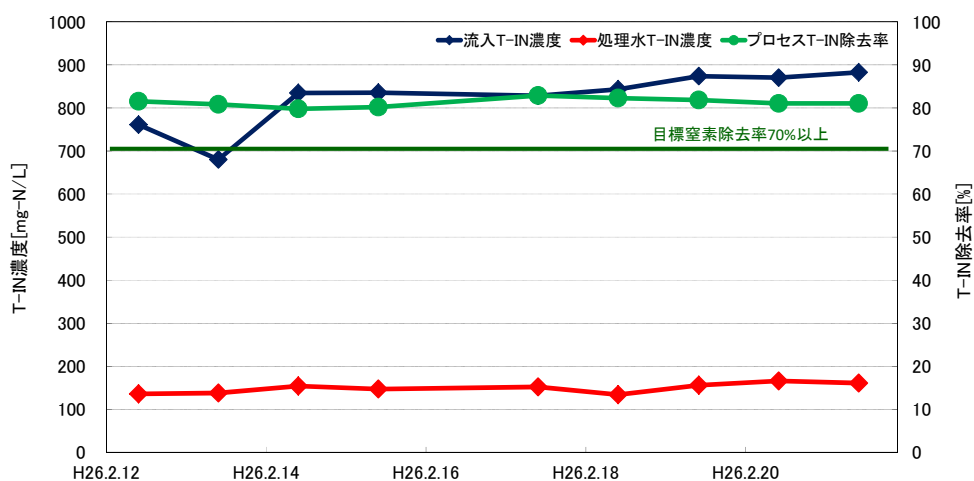
図資 1-12 H25 年度秋季（前半）におけるプロセス全体の T-IN 除去性能



図資 1-13 H25 年度秋季（後半）におけるプロセス全体の T-IN 除去性能

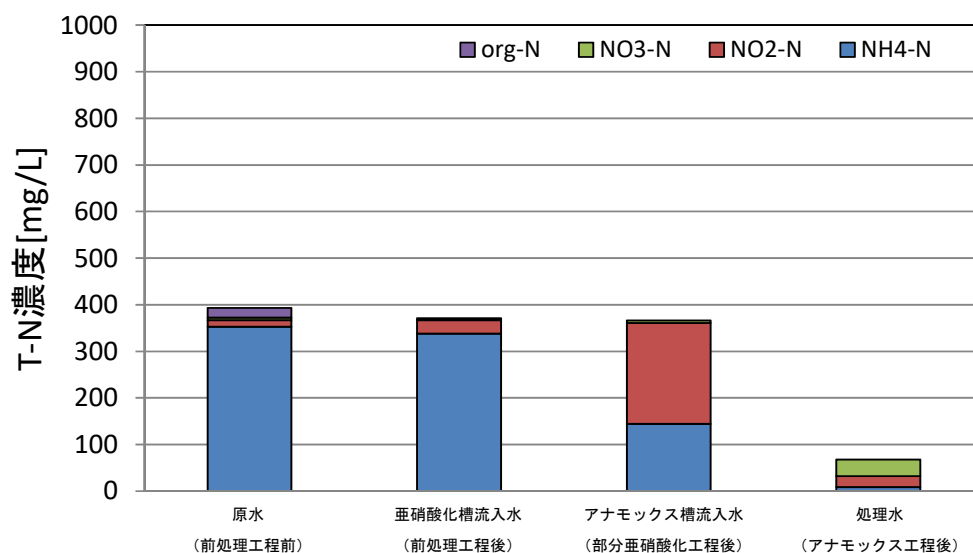


図資 1-14 H25 年度冬季（前半）におけるプロセス全体の T-IN 除去性能

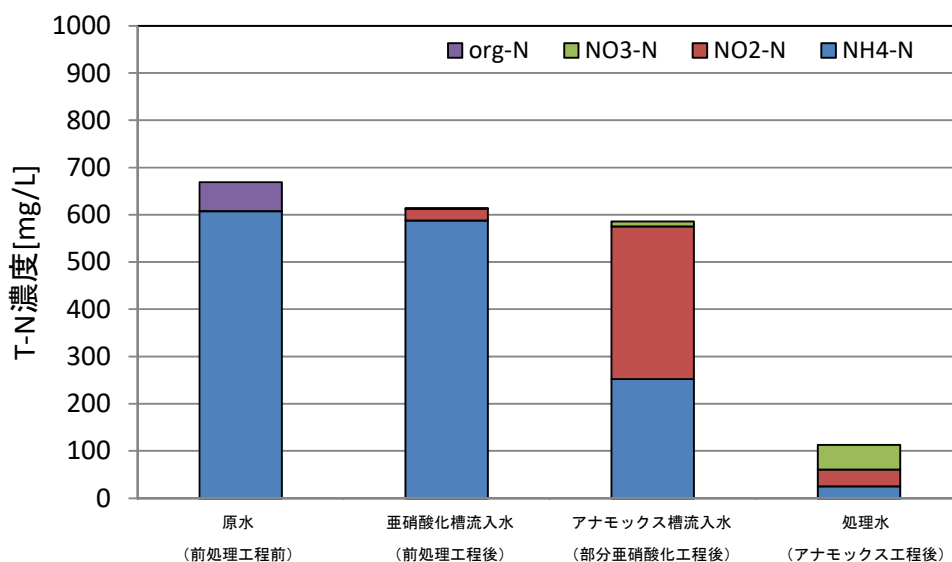


図資 1-15 H25 年度冬季（後半）におけるプロセス全体の T-IN 除去性能

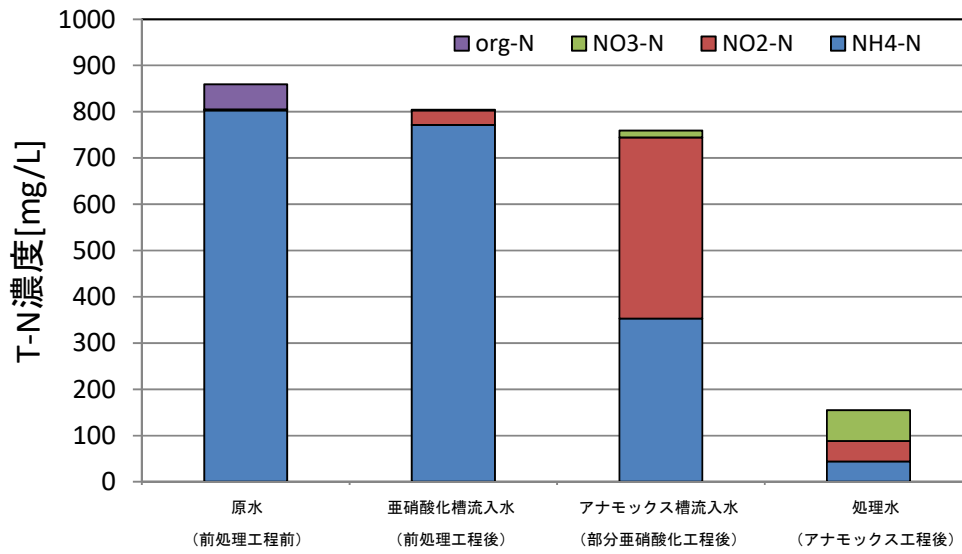
図資 1-16～18 に各季節におけるプロセスの窒素の挙動を示す。計量槽（原水）の有機態窒素は全窒素中の5～9%程度であり、そのほとんどは分配槽までに低減された。分配槽以降では、脱気槽までに2～5%程度の窒素の低減があったが、ほとんどはアナモックス槽にて除去されていることが確認された。



図資 1-16 H24 年度冬季データ (平均値) におけるプロセスの窒素の挙動



図資 1-17 H25 年度夏季データ (平均値) におけるプロセスの窒素の挙動



図資 1-18 H25 年度冬季データ (平均値) におけるプロセスの窒素の挙動

## ②部分亜硝酸化工程

表資 1-6, 図資 19~24 に各季節における部分亜硝酸化工程（亜硝酸化槽）の処理性能を示す。平成 24 年度の冬季および平成 25 年度の夏季, 秋季, 冬季のデータ収集期間における  $\text{NO}_2^-$ -N 生成率は平均でそれぞれ 95.5%, 92.6%, 82.1%, 89.7%であり,  $\text{NO}_3^-$ -N 生成率は平均でそれぞれ 0.4%, 3.5%, 2.9%, 2.8%であった。秋季において一時的に  $\text{NH}_4^+$ -N 残留率が増加し,  $\text{NO}_2^-$ -N 生成率が低下することはあった。また, 夏季において一時的に  $\text{NO}_3^-$ -N 生成率の増加があったが, 亜硝酸化処理の安定化の実施により, 季節を通して概ね安定して運転することができた。

また, 自動でのバイパス水量自動制御を実施することで, アナモックス工程に流入する  $\text{NO}_2^-$ -N/ $\text{NH}_4^+$ -N 比は概ね一定に維持できた (後述)。

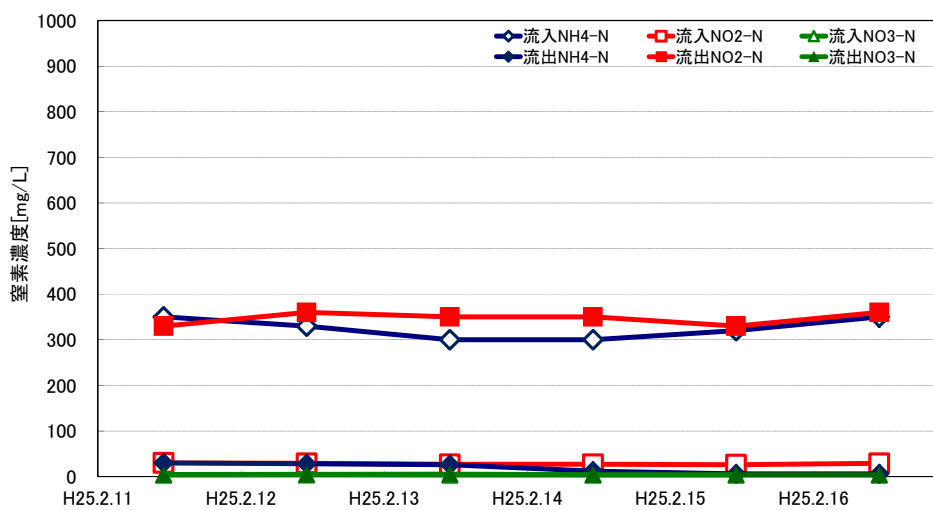
表資 1-6 各季節における部分亜硝酸化工程の処理性能

	データ収集期間			
	H24 年度 冬季	H25 年度 夏季	H25 年度 秋季	H25 年度 冬季
	H25. 02. 11 ~H25. 02. 16	H25. 08. 28 ~H25. 10. 08	H25. 10. 29 ~H25. 12. 11	H26. 01. 25 ~H26. 02. 21
$\text{NO}_2^-$ -N 生成率[%]	90.2~100 (95.5)	82.7~100 (92.6)	66.4~95.6 (82.1)	78.3~100 (89.7)
$\text{NO}_3^-$ -N 生成率[%]	0.2~0.7 (0.4)	0.3~8.5 (3.5)	1.4~4.5 (2.9)	2.0~3.5 (2.8)

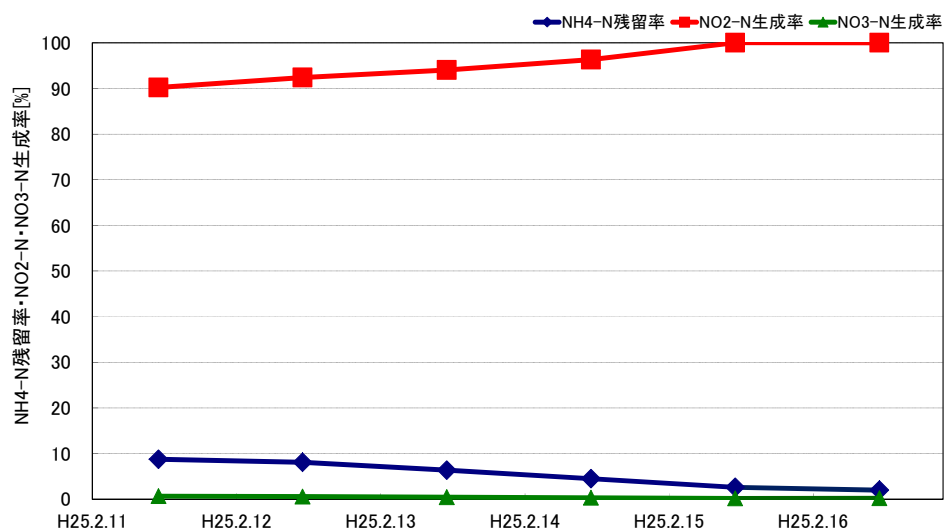
※ ( ) 内の数値は期間平均値を示す。

※  $\text{NO}_2^-$ -N および  $\text{NO}_3^-$ -N 生成率は, 部分亜硝酸化工程の HRT (1~2 日) を考慮した上で, 移動平均を使用して算出した。

※ 秋季運転データの  $\text{NO}_2^-$ -N,  $\text{NO}_3^-$ -N 生成率については, 現場分析 (吸光度法) によるデータを使用して算出した。

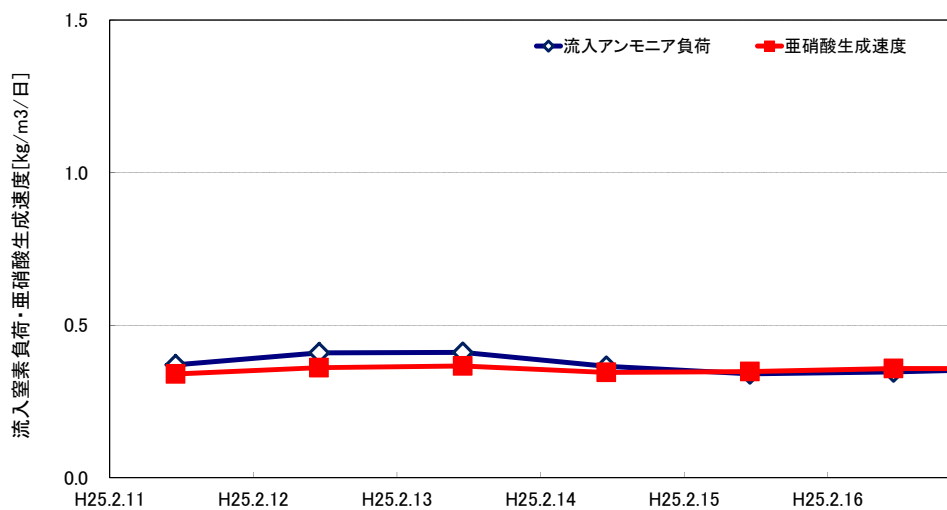


図資 1-19 H24 年度冬季における亜硝酸化槽の窒素濃度

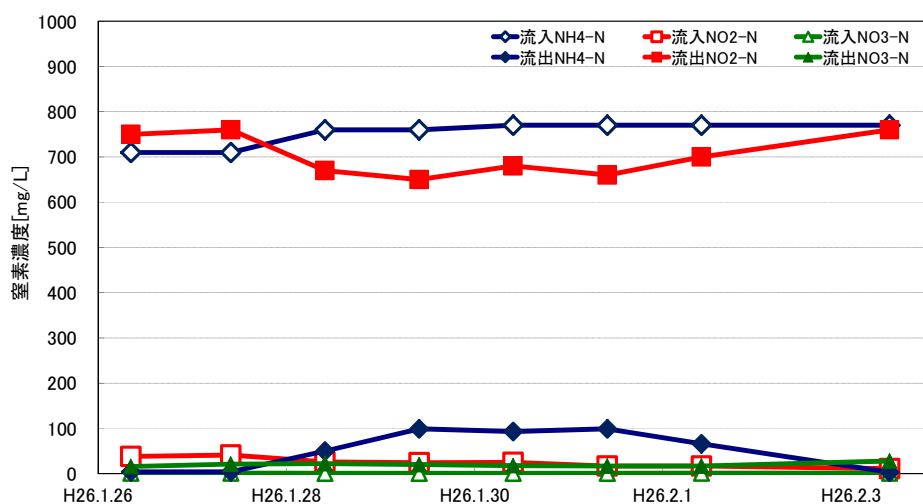


図資 1-20 H24 年度冬季における亜硝酸化槽の窒素変換率





図資 1-21 H24 年度冬季における亜硝酸化槽の流入窒素負荷および亜硝酸生成速度



図資 1-22 H25 年度冬季（前半）における亜硝酸化槽の窒素濃度

## ※亜硝酸生成速度について

亜硝酸生成速度は下式による。

$$R_{NO_2} = Q_{in,d} \times (C_{NO_2,out} - C_{NO_2,in}) \div V_s \times 10^{-3}$$

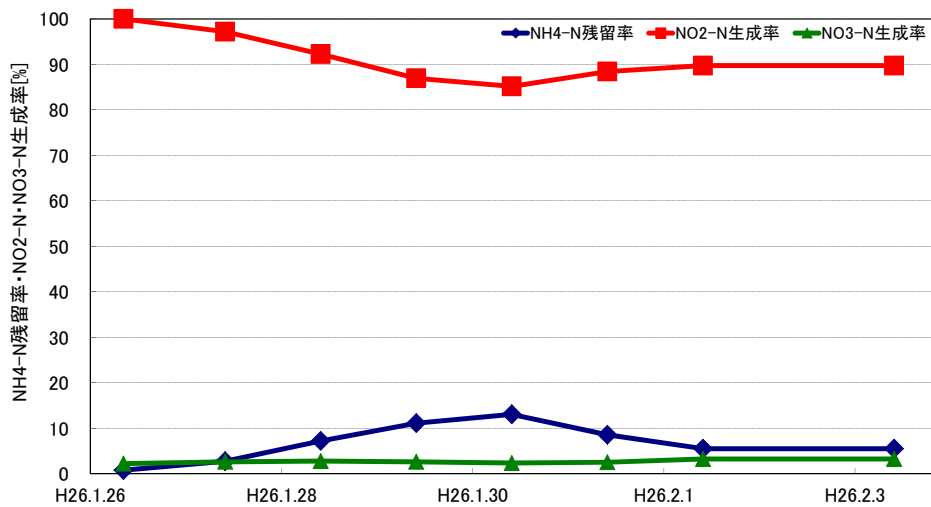
$R_{NO_2}$  亜硝酸生成速度 [kg/m<sup>3</sup>/d]

$Q_{in,d}$  : 亜硝酸化槽への流入水量 [m<sup>3</sup>/d]

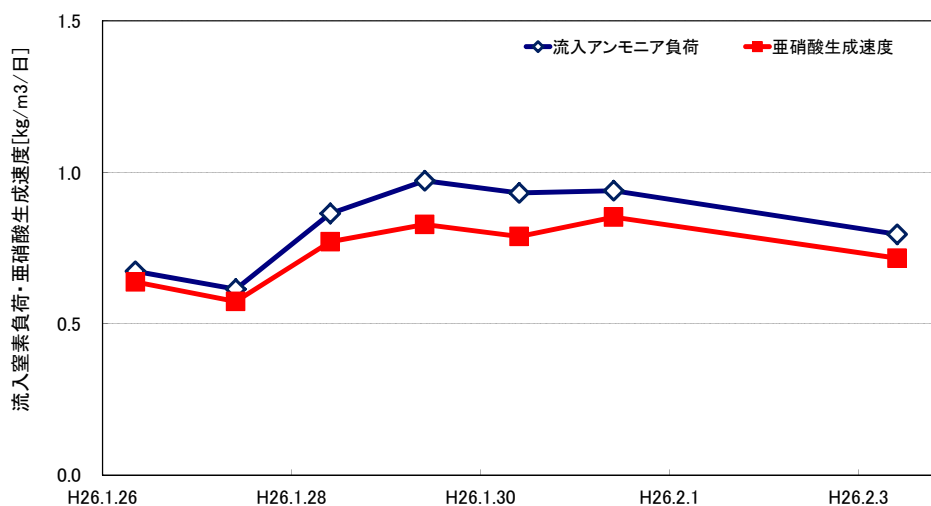
$C_{NO_2,out}$  : 流出亜硝酸性窒素濃度 [mg/L]

$C_{NO_2,in}$  : 流入亜硝酸性窒素濃度 [mg/L]

$V_s$  : 担体ユニット容量 [m<sup>3</sup>]



図資 1-23 H25 年度冬季（前半）における亜硝酸化槽の窒素変換率



図資 1-24 H25 年度冬季（前半）における亜硝酸化槽の流入窒素負荷および亜硝酸生成速度

## ③アナモックス工程

表資 1-7, 図資 25~30 に各季節におけるアナモックス工程（アナモックス槽）の処理性能を示す。平成 24 年度の冬季および平成 25 年度の夏季, 秋季, 冬季のデータ収集期間における窒素変換率はそれぞれ 91.5%, 89.4%, 86.1%, 88.3%であった。夏季・秋季において窒素除去率が一時的に低下することがあったが, これは部分亜硝酸化工程にて  $\text{NO}_3^-$ -N が生成していたことが主要因であった。なお, H25 年度の運転においてはスクリーンプレス脱水ろ液を処理対象としたためアナモックス槽への流入濃度の上昇が懸念されたが, 調整槽への流入水量に対して 1:0.5~2 の比で処理水を循環させて希釈する運転を行うことで, アナモックス槽流入水の  $\text{NO}_2^-$ -N 濃度は 250 mg/L 以下に維持された。

表資 1-7 各季節におけるアナモックス工程の処理性能

	データ収集期間			
	H24 年度 冬季	H25 年度 夏季	H25 年度 秋季	H25 年度 冬季
	H25.02.11 ~H25.02.16	H25.08.28 ~H25.10.08	H25.10.29 ~H25.12.11	H26.01.25 ~H26.02.21
$\text{NH}_4^+$ -N 除去率[%]	87.6~96.8 (94.3)	87.7~93.7 (90.9)	80.9~87.4 (83.0)	78.2~90.1 (86.6)
窒素変換率[%]	90.1~92.4 (91.5)	86.2~92.4 (89.4)	82.5~90.6 (86.1)	86.8~89.6 (88.3)
窒素除去率[%]	81.7~83.2 (82.4)	75.3~85.2 (80.9)	76.8~83.1 (79.3)	78.2~80.7 (79.9)

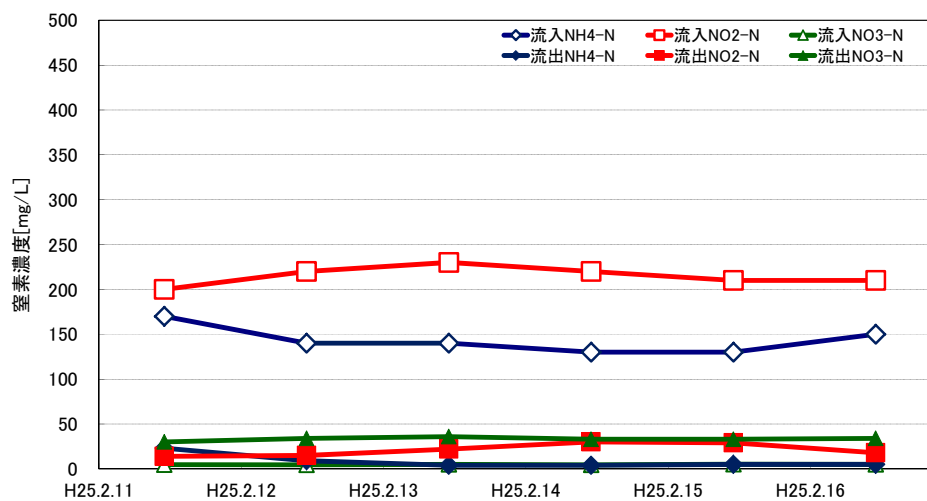
※ ( ) 内の数値は期間平均値を示す。

※ 窒素変換率・除去率については, 下式によるものとした。なお, 窒素変換率・除去率は, アナモックス工程の HRT (1 日程度) を考慮した上で, 移動平均を使用して算出した。

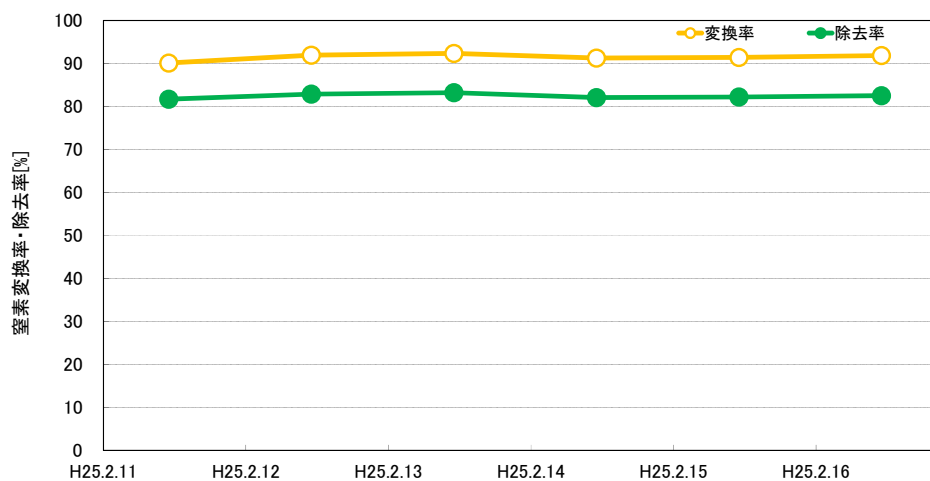
※ 秋季運転データの窒素変換率・除去率については, 現場分析 (吸光度法) によるデータを使用して算出している。

$$\text{窒素変換率}[\%] = \left( 1 - \frac{\text{流出 } \text{NH}_4^+\text{-N 濃度} + \text{流出 } \text{NO}_2^-\text{-N 濃度}}{\text{流入 } \text{NH}_4^+\text{-N 濃度} + \text{流入 } \text{NO}_2^-\text{-N 濃度}} \right) \times 100$$

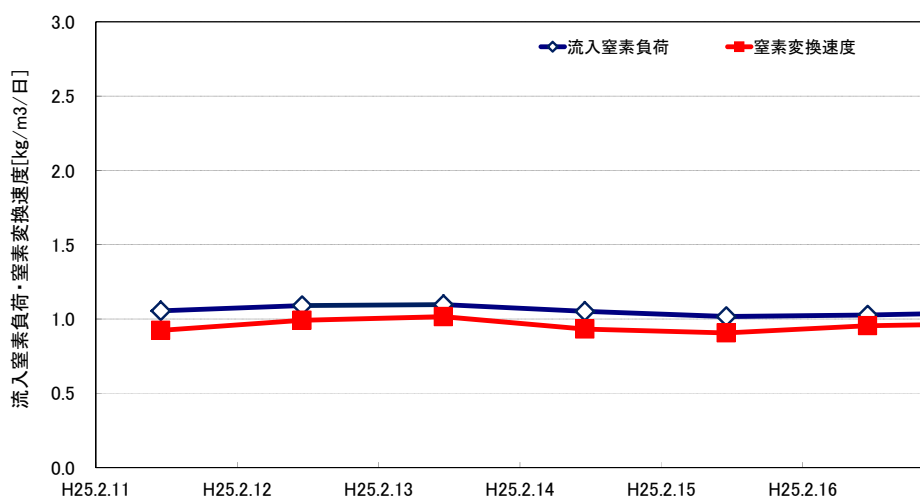
$$\text{窒素除去率}[\%] = \left( 1 - \frac{\text{流出 T-IN 濃度}}{\text{流入 T-IN 濃度}} \right) \times 100$$



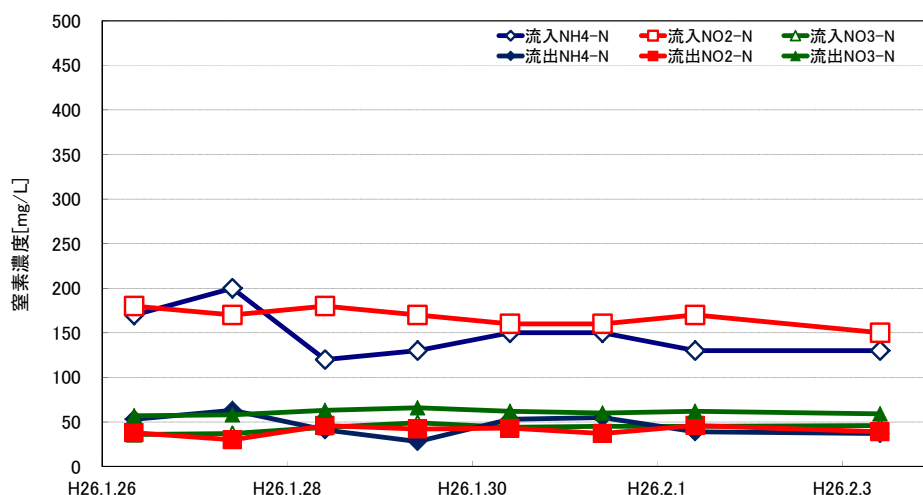
図資 1-25 H24 年度冬季におけるアナモックス槽の窒素濃度



図資 1-26 H24 年度冬季におけるアナモックス槽の窒素変換率



図資 1-27 H24 年度冬季におけるアナモックス槽の流入窒素負荷および窒素変換速度



図資 1-28 H25 年度冬季（前半）におけるアナモックス槽の窒素濃度

## ※窒素変換速度について

窒素変換速度は下式による。

$$R_{ANA} = Q_{in,d} \times (C_{TN,in} - C_{TN,out}) \div V_S \times 10^{-3}$$

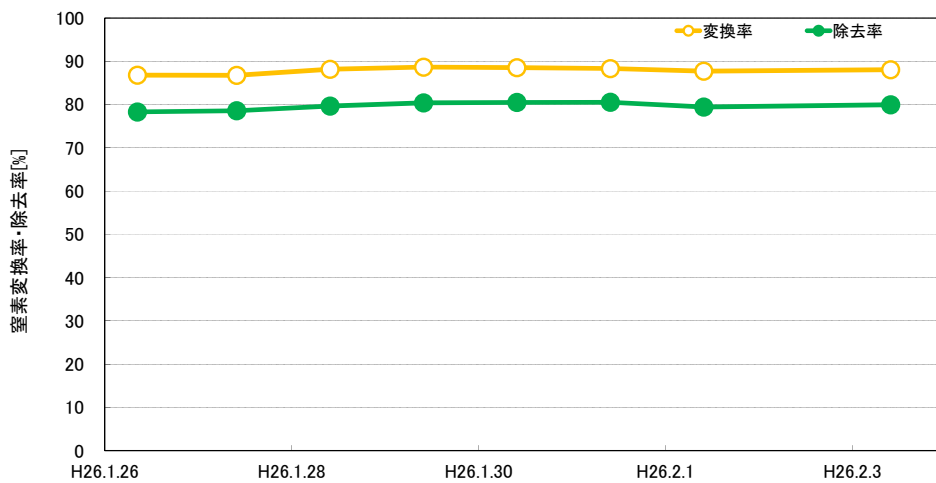
$R_{ANA}$  : 窒素変換速度 [kg/m<sup>3</sup>/d]

$Q_{in,d}$  : アナモックス装置への流入水量 [m<sup>3</sup>/d]

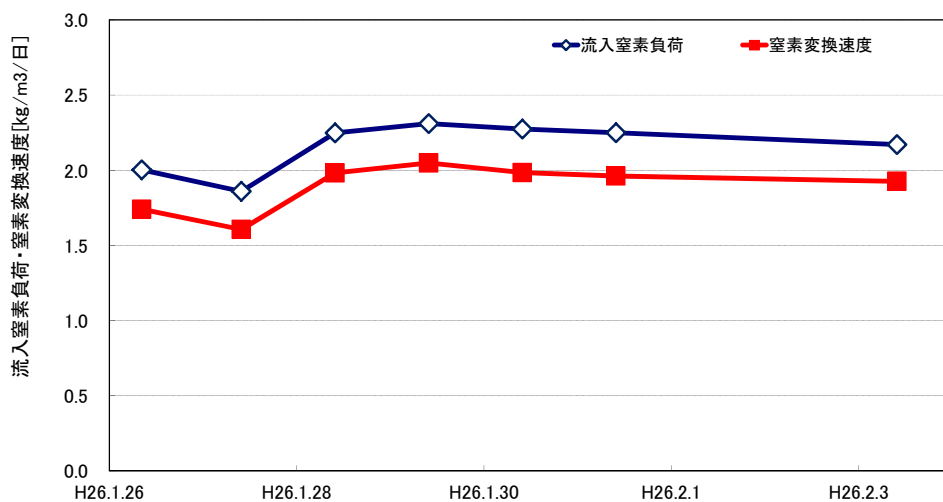
$C_{TN,in}$  : 流入アンモニア性窒素濃度 + 流入亜硝酸性窒素濃度 [mg/L]

$C_{TN,out}$  : 流出アンモニア性窒素濃度 + 流出亜硝酸性窒素濃度 [mg/L]

$V_S$  : 担体ユニット容量 [m<sup>3</sup>]



図資 1-29 H25 年度冬季（前半）におけるアナモックス槽の窒素変換率



図資 1-30 H25 年度冬季（前半）におけるアナモックス槽の流入窒素負荷および窒素変換速度

### 3) ユーティリティ使用量

データ収集期間におけるプロセス全体の主要ユーティリティ使用量を以下に示す。

#### ①電力使用量

表資 1-8 に実証施設のプロセス全体における電力使用量を示す。季節間で窒素負荷の変動があったが、曝気風量の調整は放風弁の開度にて行っていたため、実証試験期間を通しての電力使用量はほぼ同程度であった。窒素除去量あたりの電力使用量で比較すると、H25 年度の電力使用量は H24 年度と比較して低かった。この理由として、H24 年度ではベルトプレス脱水ろ液（T-N 濃度が 300~400 mg/L）を処理対象としたのに対し、H25 年度ではより高濃度であるスクリープレス脱水ろ液（T-N 濃度が 600~800 mg/L）を処理対象としたためと考えられた。

表資 1-8 プロセス全体における電力使用量

電力使用量	データ収集期間			
	H24 年度 冬季	H25 年度 夏季	H25 年度 秋季	H25 年度 冬季
	H25. 02. 11 ~H25. 02. 16	H25. 08. 28 ~H25. 10. 08	H25. 10. 29 ~H25. 12. 11	H26. 01. 25 ~H26. 02. 21
1 日あたりの 使用量[kWh/日]	280	300	290	280
窒素除去量あたりの 使用量[kWh/kg-N]	16	10	13	9

※ 上表の電力使用量は実証設備の機器の動力によるものであり、外灯などの建築設備電力使用量は除外している。

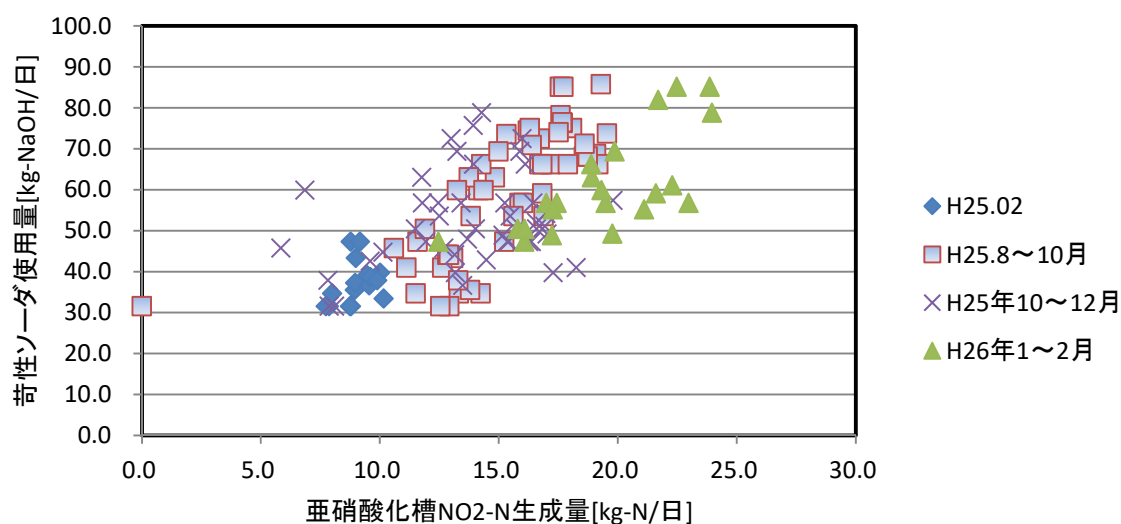
#### ②薬品使用量

表資 1-9 に実証施設のプロセス全体における苛性ソーダ（濃度 25% (w/w)，比重 1.26）の使用量を、図資 1-31 に苛性ソーダ添加量と亜硝酸生成量の関係を示す。凝集沈殿設備における薬品添加を停止していたため、苛性ソーダ使用量は亜硝酸化槽 pH 調整用によるものである。季節間での窒素負荷が変動したため、1 日あたりの苛性ソーダ使用量についても変動があったが、窒素除去量あたりの使用量はほぼ一定であった。

表資 1-10 に実証施設のプロセス全体における硫酸（濃度 50% (w/w) 比重 1.40）の使用量を示す。各季節とも脱臭装置の運転を停止していたため、硫酸使用量は調整槽における pH 調整用によるものである。平成 24 年度では窒素除去量あたりの硫酸使用量は 0.12 kg 程度であり、平成 25 年度では 0.25~0.35 kg であった。このことは処理対象とするベルトプレス脱水ろ液とスクリープレス脱水ろ液の濃度による違いが影響しているものと推察された。

表資 1-9 プロセス全体における苛性ソーダ使用量

苛性ソーダ使用量	データ収集期間			
	H24 年度 冬季	H25 年度 夏季	H25 年度 秋季	H25 年度 冬季
	H25. 02. 11 ～H25. 02. 16	H25. 08. 28 ～H25. 10. 08	H25. 10. 29 ～H25. 12. 11	H26. 01. 25 ～H26. 02. 21
1 日あたりの使用量 [kg/日]	35.9	67.8	43.4	62.5
窒素除去量あたりの 使用量[kg/kg-N]	2.0	2.2	1.9	1.9



図資 1-31 実証施設における亜硝酸化槽の苛性ソーダ添加量と亜硝酸生成量の関係

表資 1-10 プロセス全体における硫酸使用量

硫酸使用量	データ収集期間			
	H24 年度 冬季	H25 年度 夏季	H25 年度 秋季	H25 年度 冬季
	H25. 02. 11 ～H25. 02. 16	H25. 08. 28 ～H25. 10. 08	H25. 10. 29 ～H25. 12. 11	H26. 01. 25 ～H26. 02. 21
1 日あたりの使用量 [kg/日]	2.1	7.7	7.0	11.2
窒素除去量あたりの 使用量[kg/kg-N]	0.12	0.25	0.31	0.34



## ③LPG 使用量

本プロセスでは、加温が必要となる場合に分配槽の加温用にLPGを使用した。表資 1-11 にLPG 使用量を示す。外気温が低くなるほど、放熱量が多くなるため、LPG 使用量は増加する傾向にあった。

表資 1-11 プロセス全体におけるLPG 使用量

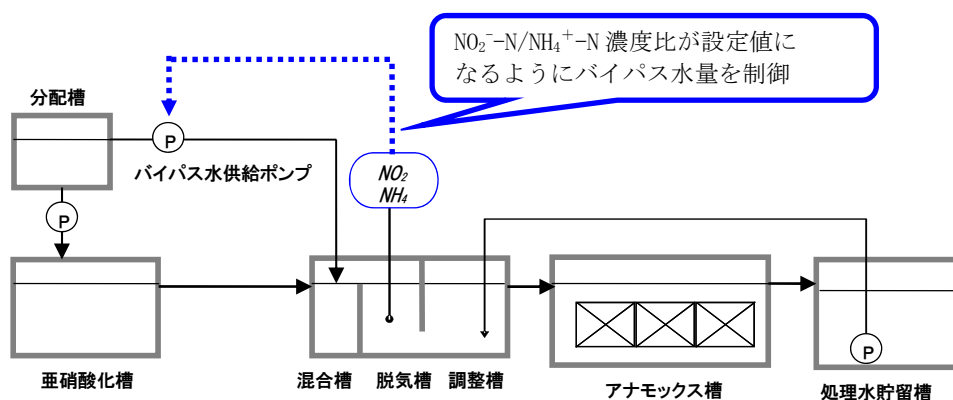
LPG 使用量	データ収集期間			
	H24 年度 冬季	H25 年度 夏季	H25 年度 秋季	H25 年度 冬季
	H25. 02. 11 ～H25. 02. 16	H25. 08. 28 ～H25. 10. 08	H25. 10. 29 ～H25. 12. 11	H26. 01. 25 ～H26. 02. 21
1 日あたりの使用量 [Nm <sup>3</sup> /日]	65. 5	6. 1	38. 6	62. 5
外気温[°C]	5. 5	24. 2	11. 6	7. 1

## (3) 各種性能評価結果

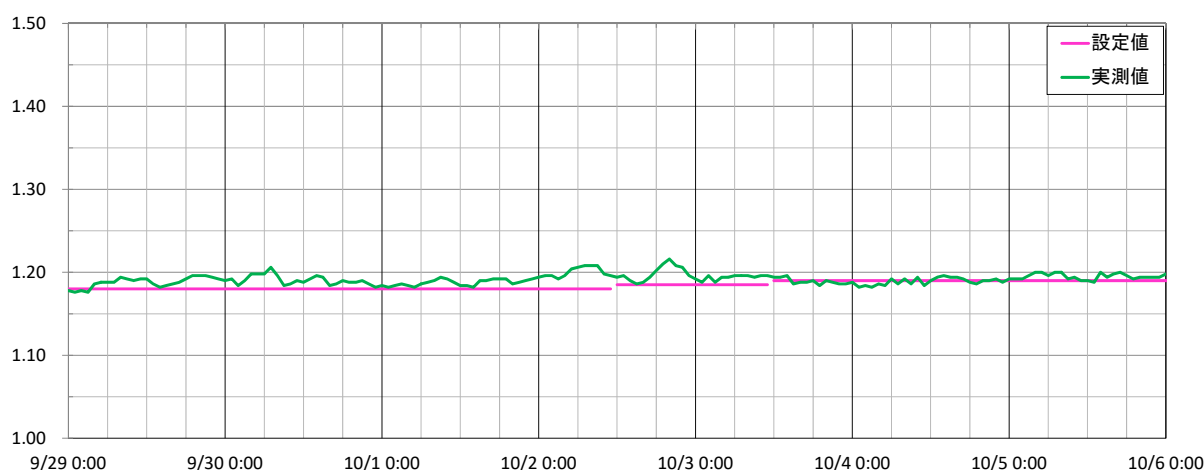
## 1) バイパス水量制御

図資 1-32 に実証施設の部分亜硝酸化工程におけるバイパス水量制御の概要を示す。バイパス水量制御においてはバイパス水量と亜硝酸化槽通水量の和を一定に制御した上で、脱気槽に設置した  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  濃度計と  $\text{NO}_2^-\text{-N}$  濃度計によりそれぞれの濃度を連続計測して  $\text{NO}_2^-\text{-N}/\text{NH}_4^+\text{-N}$  濃度比を算出し、その値が設定範囲なるようにバイパス水量を自動調整した。

図資 1-33 にバイパス水量制御を実施した際の、脱気槽の  $\text{NO}_2^-\text{-N}/\text{NH}_4^+\text{-N}$  の経時変化を示す。バイパス水量が自動調整された結果、脱気槽  $\text{NO}_2^-\text{-N}/\text{NH}_4^+\text{-N}$  比は設定値（約 1.2）付近で安定して維持されていた。この期間におけるアナモックス槽の窒素変換率は 89%、プロセス全体の T-IN 除去率は 82%であった。



図資 1-32 バイパス水量制御概略図

図資 1-33 バイパス水量制御時の脱気槽  $\text{NO}_2\text{-N}/\text{NH}_4\text{-N}$  濃度比の経時変化

## 2) 負荷変動時の運転

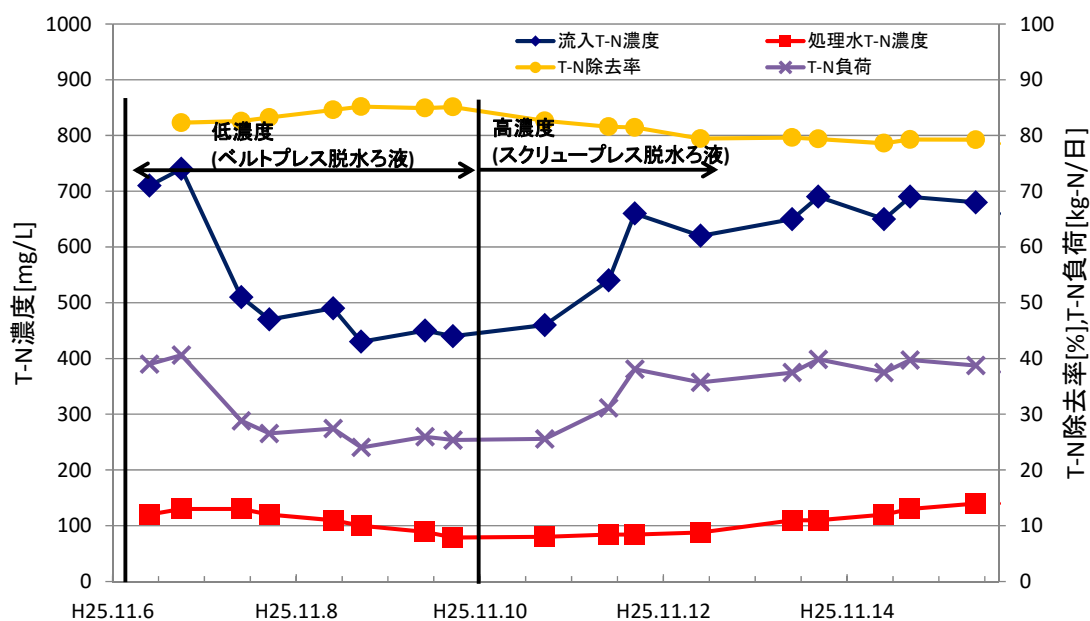
負荷変動時も安定して窒素除去性能が維持されることを確認する目的で、負荷変動運転を実施した。負荷変動運転は、実証研究期間中に2回実施し（H25年度秋季・H25年度冬季）、取水対象の脱水機をスクリーンプレスからベルトプレスへ、またベルトプレスからスクリーンプレスへと変更し、原水濃度を変化させることで行った。

### ①負荷変動試験（H25年度秋季）

表資 1-12 に秋季における負荷変動運転条件を示す。また、図資 1-34 に負荷変動運転時のプロセス全体の窒素除去性能を示す。流入原水を切り替えた後、HRTに相当する遅れ時間をもって原水 T-N 濃度は変動したが、プロセス全体の T-N 除去率は、概ね 80%程度に維持された。

表資 1-12 負荷変動運転条件

実施時期	運転条件	脱水機形式	原水 T-N 濃度
～H25. 11. 06	高負荷運転	スクリーンプレス	700 mg/L 程度
H26. 11. 06 ～H26. 11. 10	低負荷運転	ベルトプレス	450 mg/L 程度
H26. 11. 10 ～H26. 11. 15	高負荷運転	スクリーンプレス	650 mg/L 程度



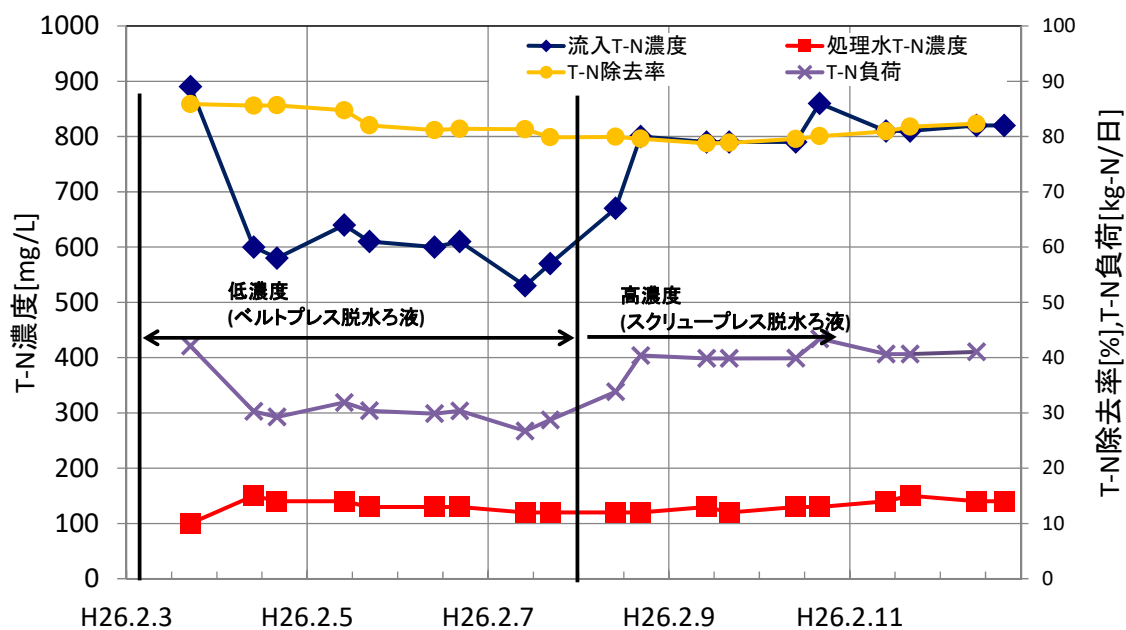
図資 1-34 負荷変動運転（秋季実施）の結果

## ②負荷変動試験（H25 年度冬季）

表資 1-13 に冬季における負荷変動運転条件を示す。また、図資 1-35 に負荷変動運転時のプロセス全体の窒素除去性能を示す。秋季の場合と同様に流入原水を切り替えにより原水 T-N 濃度は変動したが、プロセス全体の T-N 除去率は、概ね 80%程度に維持された。

表資 1-13 負荷変動（冬季）運転条件

実施時期	運転条件	脱水機形式	原水 T-N 濃度
～H26.02.03	高負荷運転	スクリープレス	900 mg/L 程度
H26.02.03 ～H26.02.07	低負荷運転	ベルトプレス	550 mg/L 程度
H26.02.07 ～H26.02.12	高負荷運転	スクリープレス	800 mg/L 程度



図資 1-35 負荷変動運転時のプロセス全体の窒素除去処理性能

### 3) 流入停止時の対応・復帰

原水の流入が停止した場合の施設における対応と復帰方法を確認するため、数日間原水の流入を停止させ、その後の復旧について検討した。原水の流入が停止する事例として、脱水機の運転パターンにより週末の2～3日間、原水の流入の停止が想定される短期停止時の場合と、年末・年始休暇などで最長1週間程度、原水の流入の停止が想定される中期停止時の場合がある。(長期停止については別途後述)

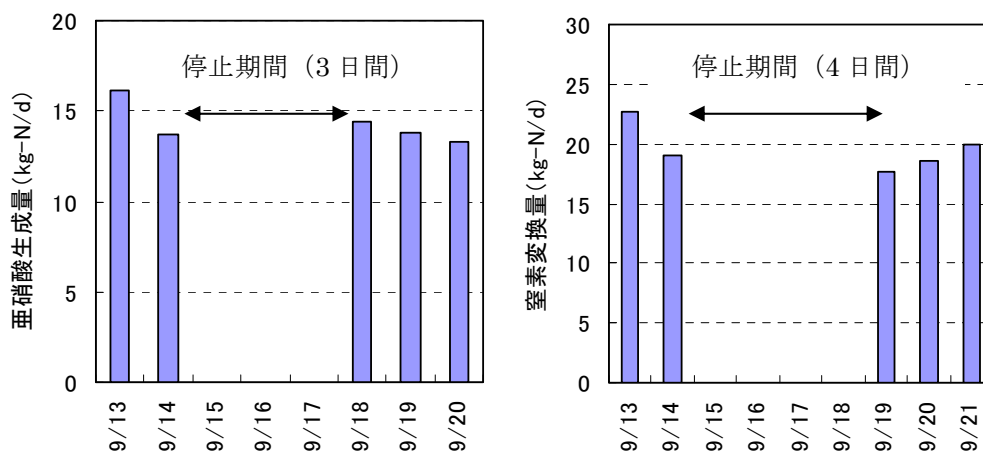
#### ①短期停止

平成25年9月14～17日の期間において脱水機が停止し、実証施設への通水を停止した。この期間においては、微生物の活性を維持するための運転を行った(表資1-14)。通水再開後は通水停止前と同等の負荷で運転を再開した。

図資1-36に通水停止前後の亜硝酸化槽・アナモックス槽の処理性能を示す。亜硝酸化槽・アナモックス槽ともに、通水停止前と同等の処理性能を有していた。

表資1-14 短期停止における維持運転条件

	運転条件		備考
亜硝酸化槽	原水供給	3日間停止	H25.09.14～H25.09.17
	曝気	間欠曝気	
	温度調整	停止	
	pH調整	停止	
アナモックス槽	原水供給	4日間停止	H25.09.14～H25.09.18 (亜硝酸化槽再立上げ後、通水再開)
	処理水循環	継続	
	温度調整	停止	
	pH調整	継続	



図資1-36 短期停止前後における処理性能  
(左：亜硝酸化槽，右：アナモックス槽)

## ②中期停止

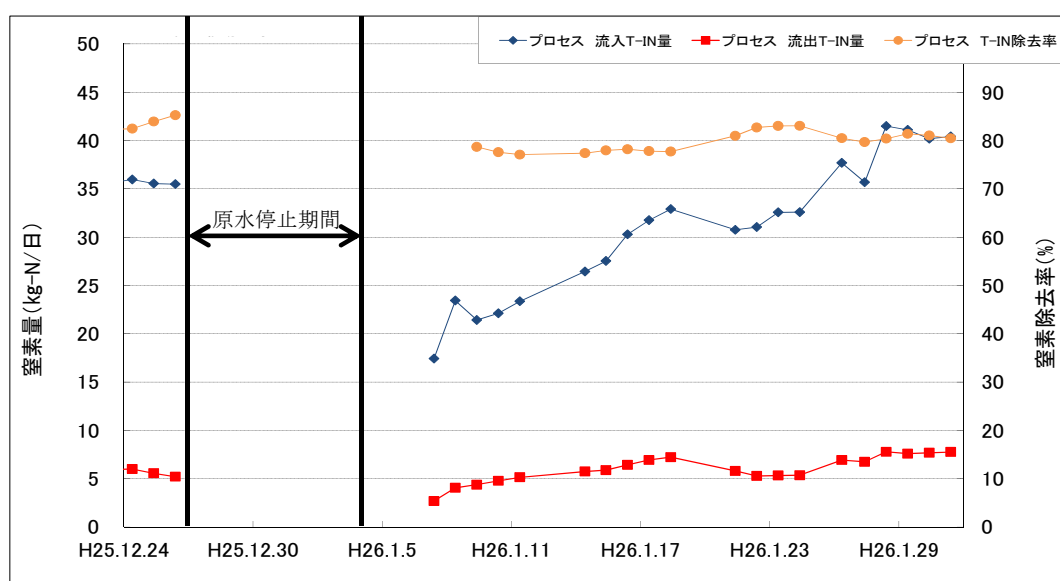
年末年始の脱水機停止にともない、実証施設の中期停止試験を行った。中期停止試験期間においては短期停止と同様に維持運転を行った（表資 1-15）。

通水再開後の再立上げは亜硝酸化槽から開始した。再立上げ開始時はほぼ無負荷の状態であったため、 $\text{NO}_3^-$ -N 生成がみられたが、負荷上昇とともに  $\text{NO}_3^-$ -N 生成は抑制傾向となった。

図資 1-37 に再立上げにおけるプロセス全体の窒素除去性能を示す。アナモックス槽への通水およびバイパス水量制御は、亜硝酸化槽において亜硝酸化が優占化した後に再開した。アナモックス槽は長期停止後も活性は速やかに回復し、負荷量の上昇に伴い除去量は追従した。再立上げ後約 2 週間でプロセスに流入する負荷を停止前と同等に戻し、それ以降も約 80% の T-N 除去率を維持した。

表資 1-15 中期停止試験における維持運転条件

	運転条件		備考
亜硝酸化槽	原水供給	8 日間停止	H25. 12. 27～H26. 01. 03
	曝気	間欠曝気	
	温度調整	継続	
	pH 調整	停止	
アナモックス槽	原水供給	11 日間停止	H25. 12. 27～H26. 01. 06 (亜硝酸化槽再立上げ後、通水再開)
	処理水循環	継続	
	温度調整	継続	
	pH 調整	継続	



図資 1-37 中期停止前後におけるプロセスの窒素除去性能

4) N<sub>2</sub>O 排出量の調査

本プロセスでは、BOD 酸化槽および亜硝酸化槽、アナモックス槽において亜酸化窒素 (N<sub>2</sub>O) が発生する可能性があるため、それぞれの N<sub>2</sub>O 排出量を調査した。N<sub>2</sub>O 濃度は、スポットで採取したオフガスをヘッドスペース法にて測定した。

表資 1-16~17 にそれぞれ各季節における N<sub>2</sub>O 排出量、N<sub>2</sub>O 転換率、N<sub>2</sub>O 測定時の運転状況を示す。本プロセスにおける流入窒素量あたりの N<sub>2</sub>O 転換率は 0.99~3.42%の範囲であり、そのほとんどは亜硝酸化槽に起因するものであった。これは、日本下水道事業団の「アナモックス反応を利用した窒素除去技術の評価に関する報告書」に記載のアナモックスプロセスにおける流入窒素量あたりの N<sub>2</sub>O 転換率 0.27~2.8%と同等程度の結果となった。

H25 年度の実証研究における N<sub>2</sub>O 変換率は、H24 年度の運転データと比較すると高かった。これは N<sub>2</sub>O の主要排出源である亜硝酸化槽において、窒素負荷量あたりの曝気量を少なくしていたことによると推測された。しかし、H25 年度の秋季・冬季については季節内において一定の条件で運転していたにも関わらず、N<sub>2</sub>O 排出量・変換率とも大きく変動しており、運転条件と N<sub>2</sub>O 排出量・変換率との明確な相関はみられなかった。

表資 1-16 各季節におけるプロセス全体の N<sub>2</sub>O 排出量

N <sub>2</sub> O 排出量[g-N <sub>2</sub> O/日]	データ収集期間			
	H24 年度 冬季	H25 年度 夏季	H25 年度 秋季	H25 年度 冬季
	H25. 02. 11 ~H25. 02. 16	H25. 08. 28 ~H25. 10. 08	H25. 10. 29 ~H25. 12. 11	H26. 01. 25 ~H26. 02. 21
BOD 酸化槽	253	33~59	15~113	42
亜硝酸化槽	325	447~915	729~1,341	74
アナモックス槽	6	11~23	6~24	4
処理水持ち出し	19	73~82	146~155	55
計	603	564~1,079	896~1,634	175

※ H25 年度夏季・秋季は N<sub>2</sub>O 排出量の変動が大きかったため、範囲表記としている。

※ 処理水持ち出し分は、処理水に溶解している N<sub>2</sub>O 量を示す。

表資 1-17 各季節におけるプロセス全体の N<sub>2</sub>O 転換率

N <sub>2</sub> O 変換率[%]	データ収集時期			
	H24 年度 冬季	H25 年度 夏季	H25 年度 秋季	H25 年度 冬季
	H25. 02. 11 ~H25. 02. 16	H25. 08. 28 ~H25. 10. 08	H25. 10. 29 ~H25. 12. 11	H26. 01. 25 ~H26. 02. 21
N <sub>2</sub> O 変換率[%]	1.62	1.49~2.81	2.00~3.42	0.99

※ N<sub>2</sub>O 変換率は窒素負荷量あたりの N<sub>2</sub>O 排出量とする。

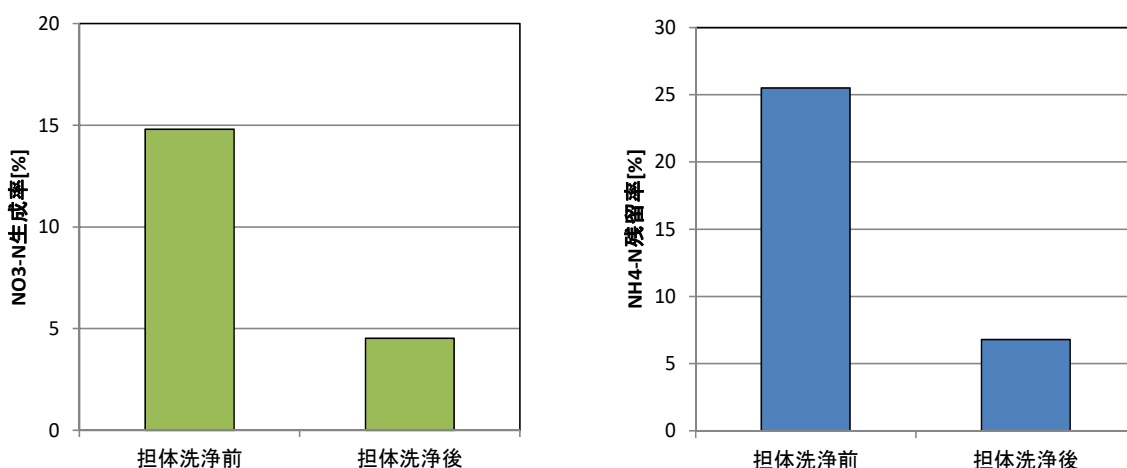
#### (4) 安定運転に関する方策

##### 1) 亜硝酸化処理の安定化

部分亜硝酸化工程は、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  を  $\text{NO}_2^-\text{-N}$  に変換する工程であり、その処理の安定性はプロセス全体の処理性能に大きく影響する。長期的な運転の中で亜硝酸化槽において  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  が生成するなどして  $\text{NO}_2^-\text{-N}$  生成率が低下した場合は、以下の対策を実施して亜硝酸化槽の安定化を行った。

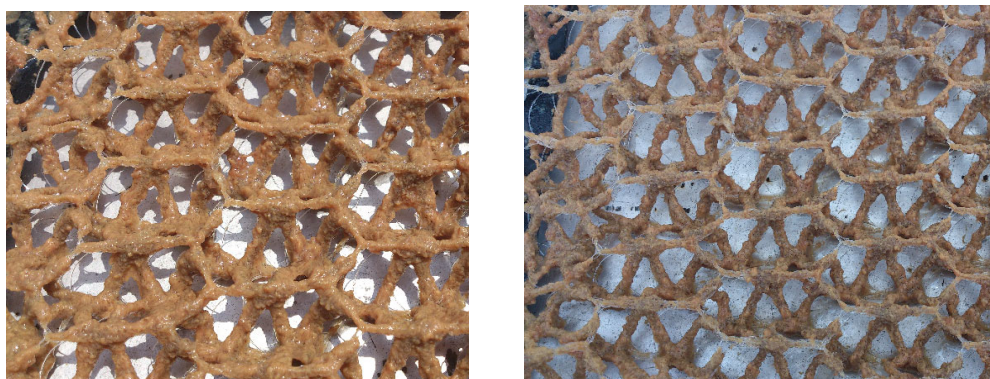
##### ①担体洗浄

長期的な運転の中で流入した SS が担体の表面に堆積するなどして亜硝酸化槽の処理性能が低下した際は、担体下部に設置した曝気洗浄装置より担体洗浄を行った。図資 1-38 に担体洗浄前後における  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  生成率、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  残留率の一例を示す。担体洗浄後は  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  生成率、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  残留率のいずれも低減された。また、図資 1-39 に洗浄前後の担体の外観を示す。担体洗浄後には、担体表面に付着した余分な汚泥が剥離された。以上のことから担体洗浄は亜硝酸化槽の安定化に有効であると考えられ、ガイドラインにおいて性能低下を予防するための対処法として提示した（本編第 4 章 § 30 亜硝酸化施設）。



図資 1-38 担体洗浄前後の亜硝酸化槽性能の変化

(左： $\text{NO}_3^-\text{-N}$  生成が優占した場合，右： $\text{NH}_4^+\text{-N}$  残留が顕著な場合)

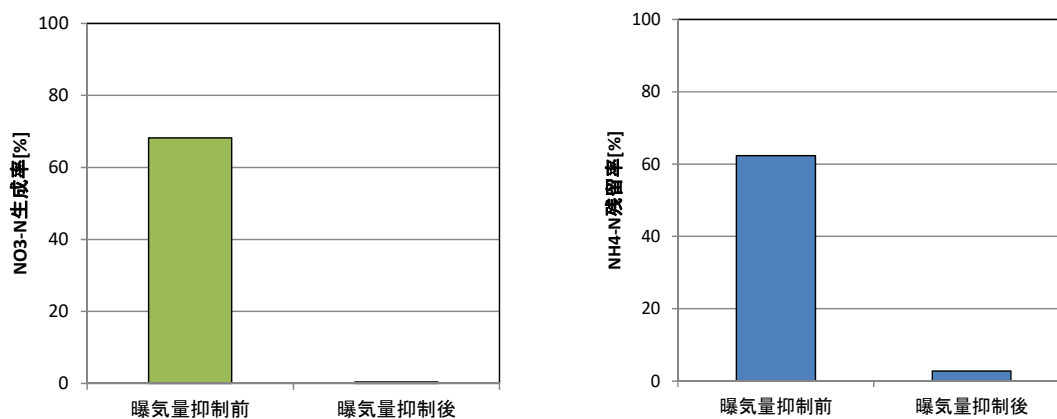


図資 1-39 洗浄前後の亜硝酸化槽担体状況（左：洗浄前，右：洗浄後）



## ②曝気量抑制運転

担体洗浄後も亜硝酸化槽の処理性能が回復しなかった際は、曝気風量を平時において必要と考えられるより少なくする曝気量抑制運転を実施した。図資 1-40 に曝気量抑制運転前後の  $\text{NO}_3^-$ -N 生成率,  $\text{NH}_4^+$ -N 残留率を示す。 $\text{NO}_3^-$ -N 生成率,  $\text{NH}_4^+$ -N 残留率のいずれも低減されており、曝気量抑制運転が亜硝酸化槽の処理性能安定化に有効であると考えられた。

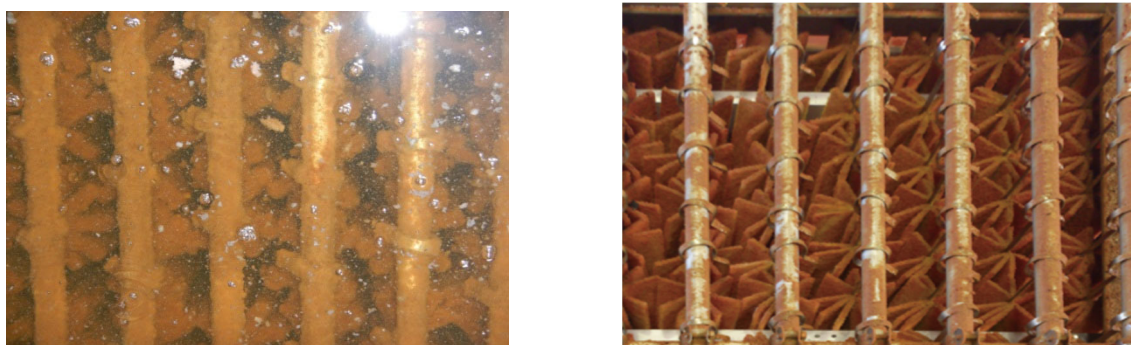


図資 1-40 曝気量抑制運転前後の亜硝酸化性能の変化

## 2) その他の方策

### 2-1) 脱水機由来の高分子凝集剤への対応

平成 25 年 5 月以降、原水の高濃度化するためにベルトプレス脱水ろ液からスクリープレス脱水ろ液に切り替えて運転したところ、アナモックス槽で処理性能の低下が確認された。槽内を確認すると、担体表面に付着物がつき肥大していることが確認された（図資 1-41）。原水を採取して性状を調べたところ汚泥凝集性が確認され、原水（スクリープレス脱水ろ液）中に高濃度に残留した高分子凝集剤が原因であると推察された。



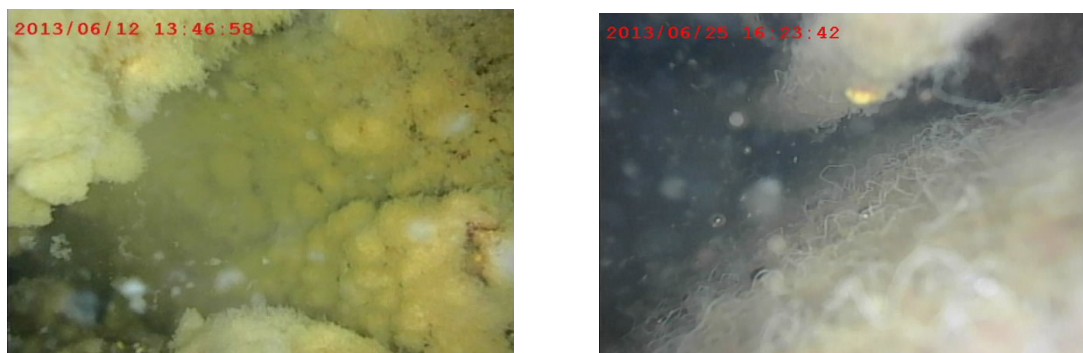
図資 1-41 アナモックス担体状況（左：性能低下時，右：担体移設当初）

#### ①N<sub>2</sub> ガスによる担体洗浄

高分子凝集剤の影響を思われる処理性能の低下が見られた後、平成 25 年 6 月 13-14 日に N<sub>2</sub> ガスによる担体洗浄を行った。この操作は、担体下部より N<sub>2</sub> ガスを吹き込むことで担体表面の過剰な付着物を剥離させ、処理性能を回復させることを目的として行った（図資 1-42～43）。洗浄実施前には窒素変換量は 10kg-N/日以下に低下していたが、洗浄実施後は性能が回復し、6/28 の時点で高分子凝集剤の影響が出る以前と同等の性能（窒素変換量 20 kg-N/日程度）に回復した（図資 1-44）。以上のことから処理性能の低下に対応するための応急対策として、応急時に N<sub>2</sub> ガス洗浄できる機構を備えることをガイドラインに提示した（本編第 4 章 § 33 アナモックス施設）。

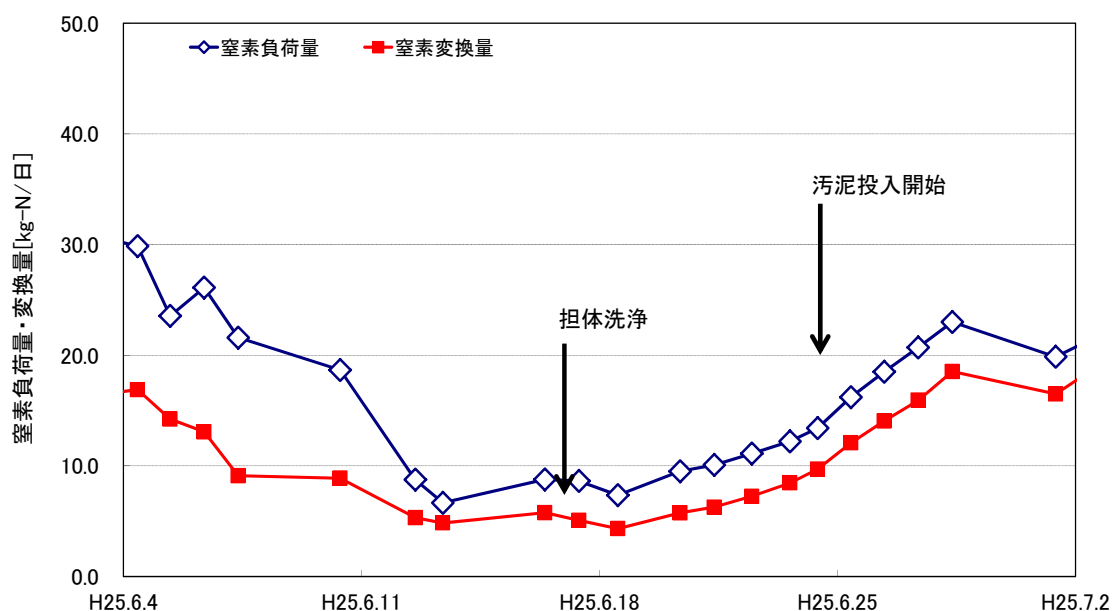


図資 1-42 N<sub>2</sub> ガス洗浄作業状況



図資 1-43 N<sub>2</sub> ガス洗浄前後の担体表面の状況（左：洗浄前，右：洗浄後）

※ファイバースコープにて撮影。白く見えるのは光源の関係で実際は赤色



図資 1-44 高分子凝集剤対策前後におけるアナモックス槽の処理性能推移

## ②高分子凝集剤の低減

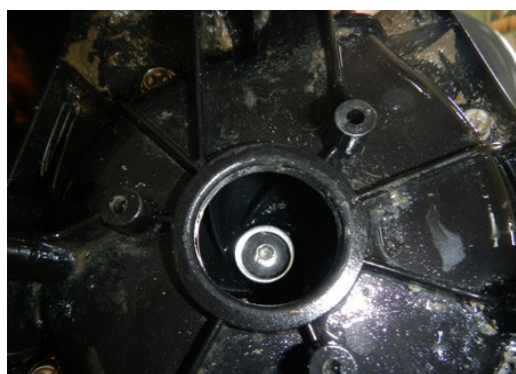
流入側での予防処置として、平成 25 年 7 月上旬より処理場内で発生した汚泥を流量調整槽に投入し、脱水機由来の高分子凝集剤と汚泥を反応させることで高分子凝集剤の影響を低減する運転を開始した。汚泥の投入量は、原水量に対して 5～10% (v/v) 程度とした。汚泥投入後の原水の性状を確認すると、汚泥凝集性が低くなった。また、汚泥投入後の運転経過をみると、アナモックス槽での処理性能低下はなく、脱水機由来の高分子凝集剤が低減されたと考えられ、以上のことから前処理工程における高分子凝集剤の対策についてガイドラインに提示した(本編第 4 章 § 24 前処理工程の設計概要)。

## 2-2) MAP 対策

平成 25 年 5 月以降，スクリーンプレス脱水ろ液を処理対象としており，**図資 1-45** に示すとおり取水設備の一部（脱水ろ液移送ポンプなど）において MAP の析出が確認された。一方で，流量調整槽以降の実証施設においては，ほとんど見られなかった。MAP の主な析出箇所が取水設備であることから，ランニングコスト削減のためにポリ鉄などの薬品の常時添加はせず，ポンプなどの定期点検や，必要に応じて薬液洗浄を実施すること（目安として 2 ヶ月に 1 回程度）で，MAP 析出による不具合を解消した（**図資 1-46**）。以上のことから設計に係る留意事項としての MAP 対策についてガイドラインに提示した（**本編第 4 章 § 35 各処理工程の設計に係る留意事項**）。



図資 1-45 取水設備 MAP 析出状況（左：脱水ろ液取水ポンプ，右：吐出配管）



図資 1-46 薬液洗浄実施後の取水設備状況（左：脱水ろ液取水ポンプ，右：吐出配管）