

平成 24 年度  
環境研究総合推進費補助金 研究事業  
総合研究報告書

高度省エネ低炭素社会型浄化槽の新技术・  
管理システム開発  
(K2403)

平成 25 年 3 月

福島大学 稲森 悠平

補助事業名 環境研究総合推進費補助金研究事業（平成 22 年度～平成 24 年度）

所管 環境省

国庫補助金 138,749,000 円

研究課題名 高度省エネ低炭素社会型浄化槽の新技术・管理システム開発

研究期間 平成 22 年 4 月 1 日～平成 25 年 3 月 31 日

研究代表者氏名 稲森悠平（福島大学）

研究分担者氏名 徐開欽（独立行政法人国立環境研究所）  
木持謙（埼玉県環境科学国際センター）  
嶋原己八（社団法人福島県浄化槽協会）  
手塚圭治（フジクリーン工業株式会社）  
岡城孝雄（公益財団法人日本環境整備教育センター）

# 目次

総合研究報告書概要	1
本文	
1. 研究背景と目的	15
2. 研究方法	16
2.1 低炭素社会型環境最小負荷省エネルギー方式浄化槽システム構築の開発に関する研究と総括	16
2.2 省エネルギー方式微生物機能向上・汚泥減容化高度処理浄化槽技術開発に関する研究	20
2.3 省エネルギー方式浄化槽の温室効果ガス発生抑制技術の開発	24
2.4 省エネルギー方式浄化槽の処理機能解析に基づく技術の開発に関する研究	26
2.5 省エネルギー方式低動力型対応充填担体技術の開発	28
2.6 地域特性を踏まえた浄化槽の消費エネルギー解析と省エネシステム管理技術	32
3. 結果と考察	34
3.1 低炭素社会型環境最小負荷省エネルギー方式浄化槽システム構築の開発に関する研究と総括	34
3.2 省エネルギー方式微生物機能向上・汚泥減容化高度処理浄化槽技術開発に関する研究	40
3.3 省エネルギー方式浄化槽の温室効果ガス発生抑制技術の開発	46
3.4 省エネルギー方式浄化槽の処理機能解析に基づく技術の開発に関する研究	49
3.5 省エネルギー方式低動力型対応充填担体技術の開発	55
3.6 地域特性を踏まえた浄化槽の消費エネルギー解析と省エネシステム管理技術	59
4. 結論	67
5. 研究発表	68
5.1 論文発表	68
5.2 学会発表	68
6. 知的財産権の取得状況	70
7. 参考文献	70
研究概要図	73
英文概要	74

## 環境研究総合推進費補助金 研究事業 総合研究報告書概要

研究課題名： 高度省エネ低炭素社会型浄化槽の新技术・管理システム開発

研究番号： K2403

国庫補助金清算所要額： 138,749,000 円

研究期間： 平成 22 年 4 月 1 日～平成 25 年 3 月 31 日

研究代表者名： 稲森悠平（福島大学）

研究分担者： 徐開欽（独立行政法人国立環境研究所）  
木持謙（埼玉県環境科学国際センター）  
嶋原己八（社団法人福島県浄化槽協会）  
手塚圭治（フジクリーン工業株式会社）  
岡城孝雄（公益財団法人日本環境整備教育センター）

研究協力者： 稲森隆平・菅原崇聖（福島大学）  
佐野彰（独立行政法人国立環境研究所）  
陶村貴（公益財団法人国際科学振興財団）  
田畑洋輔（フジクリーン工業株式会社）  
濱中俊輔（公益財団法人日本環境整備教育センター）  
大石誠一朗（ニッコー株式会社）

### 研究目的

産業系・民生系・廃棄物系等の幅広い分野で、国際的動向にある地球温暖化対策として、省エネルギー化のきめ細かな対策の取り組みが強化されている。水処理分野でも、下水道ではばっ気風量の適正化、嫌気好気化による亜酸化窒素の発生抑制等省エネ化が進んでいるが、浄化槽でも取り組み強化が必至な状況にある。

本研究では、これらの点を踏まえ、低炭素型社会創りにおいて重要な生活排水対策の要である、浄化槽のばっ気効率・ブロワエネルギー効率向上による消費電力 50%以上削減、電力を要しないリン除去法による必要電力の大幅削減、システム電力源として従来の化石エネルギー利用を再生可能エネルギー活用に転換したゼロエミッション化による、既存・新技术適用型の地球温暖化ポテンシャル削減最大化と、国民の安心性を保持可能な衛生的安全性確保の両立するパラダイムシフト化新技术管理システムの開発・確立化を目的として強化推進することとした。本研究の全体像について図 A に示す。

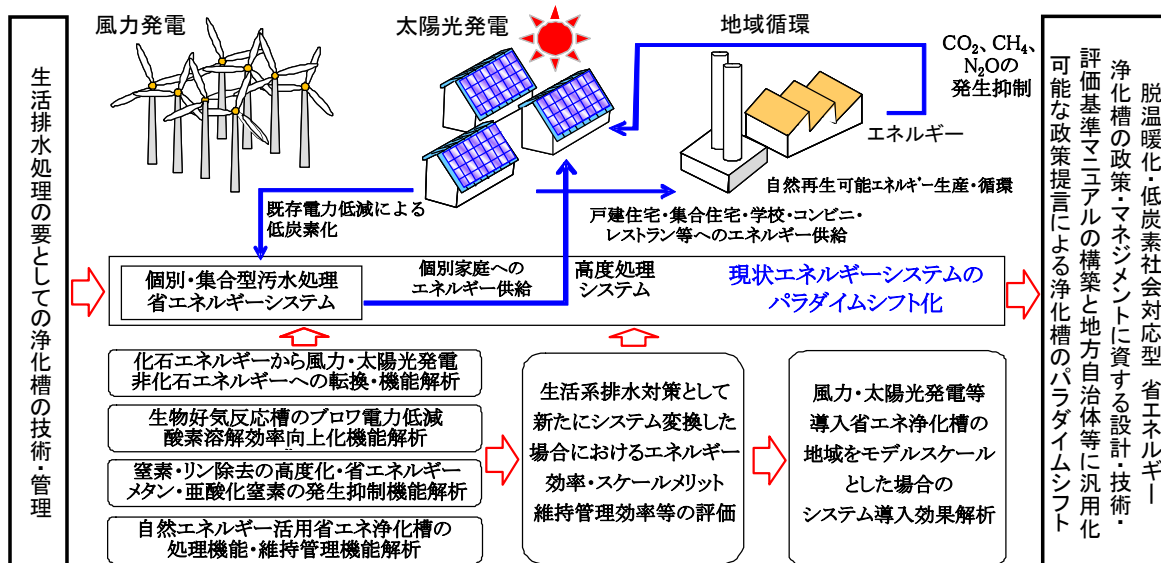


図 A 低炭素社会型対応型省エネルギー高度化新技術・管理システム構築のための本研究の全体像

## 研究方法

本研究では、地球環境研究総合推進費（B-16：地球温暖化抑制のための  $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$  の対策技術開発と評価に関する研究（平成 7-11 年度）、B-51： $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$  のインベントリーの精緻化と開発中核技術の内外への普及（平成 12-14 年度））等において得られた知見<sup>1)-8)</sup>である、温室効果ガス対策に生活排水対策が効果的ということを前提に、国際的に重要視されてきた、太陽光・風力発電の浄化槽への導入、埋立地最終処分場の制約による発生汚泥の減量化、ならびにオンサイトでの汚泥濃縮車による汚泥減容化、BOD・窒素・リン除去システムにおける省エネ・温室効果ガス抑制が重要なことをふまえて、サブテーマ 1~6 を実施することとした。

### サブテーマ 1 低炭素社会型環境最小負荷省エネルギー方式浄化槽システム構築の開発に関する研究と総括（福島大学）

低炭素社会型環境最小負荷省エネルギー方式浄化槽システムの開発と統合化を図る上で、生活排水対策の要である浄化槽を再生可能エネルギーとしての太陽光発電・風力発電を活用して稼働させ、省エネルギー化の可能性および生物処理の根幹をなす微生物特性と酸素濃度との関係を解析評価した。具体的には、日本の代表的な地点として関東地域、東北地域、上越地域、中部地域、九州地域での再生可能エネルギーの発生ポテンシャルについて検討した。

### サブテーマ 2 省エネルギー方式微生物機能向上・汚泥減容化高度処理浄化槽技術開発に関する研究（独立行政法人国立環境研究所）

生活排水の流入原水として  $\text{BOD}200\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{T-N}45\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{T-P}5\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  の標準負荷の実排水を導入可能な、独）国立環境研究所・バイオエコエンジニアリング研究施設での環境制御下において、再生可能エネルギーによるばっ気量の ON・OFF 操作下を想定した実験的検討を行った。恒温室においてミニチュア

リアクターによる基礎試験を行い、排水処理特性および生物特性に及ぼす動力停止の影響を評価し、実機の運転指標となる動力停止条件および操作条件と処理特性との関係を精査した。さらに、マテリアルフローを精査し、動力停止条件と汚泥発生特性の関係性を把握した。さらに、実機浄化槽を用いて、屋外における実証試験を実施した。動力停止条件下における排水処理および汚泥特性を明らかにするとともに、水温等の四季変動下における性能評価を行った。

### サブテーマ3 省エネルギー方式浄化槽の温室効果ガス発生抑制技術の開発 (埼玉県環境科学国際センター)

サブテーマ2と連動し、まず恒温室において、ラボスケールの浄化槽を用いて、常時ばっ気の場合と夜間等のばっ気停止を想定した場合の運転を行った。温室効果ガス( $\text{N}_2\text{O}$ 、 $\text{CH}_4$ )発生特性について、実験系からばっ気等に伴い大気中へと放出されるものおよび処理水中に溶存した形で放出されるものそれぞれのデータの蓄積を図るとともに実規模浄化槽への展開を見据えた運転操作条件の整理を行った。次いで、屋外設置の実機浄化槽による実証試験を用い、動力停止運転条件下におけるGHGs抑制条件等を検討した。

### サブテーマ4 省エネルギー方式浄化槽の処理機能解析に基づく技術の開発に関する研究 (社団法人福島県浄化槽協会)

一般家庭での既設浄化槽(窒素・リン除去型高度処理合併浄化槽)において、既存リン除去手法である鉄電解法と、新技法としてのペレット型リン除去剤との機能比較解析を行った。対象浄化槽は、福島県福島市内に設置したフジクリーン工業(株)CRX型(処理対象人員5人)とした。処理方式は、流量調整型嫌気濾床・担体流動生物濾過循環方式にリン除去装置を加えたものである。また、処理性能はBOD  $10\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下、T-N  $10\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下、T-P  $1\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下、SS  $10\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下である。水質モニタリングシステムとして、センサーを嫌気ろ床槽第1室および処理水槽等に固定し、各流出水を常時計測するとともに、嫌気ろ床槽第1室流出水および処理水槽流出水を採取、分析した。また、ラボスケール試験によるペレット型リン除去剤の効果解析試験においては、人工排水を供試したミニ浄化槽システムを構築し、ペレット型リン除去剤添加系、および対照系の2系列を運転し、これらの比較解析により、ペレット型リン除去剤の効果解析を行った。

### サブテーマ5 省エネルギー方式低動力型対応充填担体技術の開発 (フジクリーン工業株式会社)

本研究では、ヘチマ様ろ材を使用した高効率散気方式(接触ろ床方式)とピークカット方式を家庭用の高度処理型浄化槽に採用し、従来モデル(フジクリーンCRN型)の2/3以下のブロウ風量( $60\text{L}\cdot\text{分}^{-1}$ 以下)でBOD $\leq 10\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、T-N $\leq 10\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、SS $\leq 10\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ の水質を達成することを目的とした。

具体的には、①接触ろ床方式による好気処理性能の評価、②嫌気ろ床の脱窒性能向上に関する検討、③間欠ばっ気運転の導入による省エネルギー化に関する検討を実施した。①では、水温を $13^\circ\text{C}$ または $20^\circ\text{C}$ 、ばっ気風量を $45\text{L}\cdot\text{分}^{-1}$ または $55\text{L}\cdot\text{分}^{-1}$ とし、水温及びばっ気風量が処理性能に及ぼす影響について確認した。②では、嫌気ろ床槽における脱窒性能向上の検討として、嫌気ろ材の充填率および嫌気ろ材種類の違いによる性能比較を行った。③では、さらなる省エネ化を目指し、間欠ばっ気が性能に及

ばす影響を評価した。70分を1サイクルとする間欠ばつ気運転を行い、1サイクルのブロワ停止時間を0分～40分まで変化させ、処理性能に及ぼす影響を解析した。

実大試験槽（5人槽相当）を製作し、国立環境研究所バイオ・エコエンジニアリング研究施設の恒温試験室に設置した。処理フローは、夾雑物除去槽（HRT：25.2時間）、嫌気ろ床槽（HRT：25.2時間）、接触ろ床槽（HRT：11.6時間）、処理水槽（HRT：5.7時間）、消毒槽（HRT：0.4時間）からなる。原水の流入パターンは、（一財）日本建築センターが定める浄化槽の性能評価試験方法（短期負荷試験）にしたがった。15:00の流入水量は浴室等からのピーク排水を想定した $59\text{L}\cdot\text{分}^{-1}$ 、これ以外の時間帯における流入水量は $13\text{L}\cdot\text{分}^{-1}$ に設定した。また、流入水質の設定値は、 $\text{BOD}:200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $\text{T-N}:45\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $\text{SS}:160\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ とした。評価基準となる目標水質は、 $\text{BOD}\leq 10\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $\text{T-N}\leq 10\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $\text{SS}\leq 10\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ とした。

## サブテーマ6 地域特性を踏まえた浄化槽の消費エネルギー解析と省エネシステム管理技術 （公益財団法人日本環境整備教育センター）

調査対象型式として累積設置基数の多い型式を選定した。全国浄化槽推進市町村協議会（以下、全浄協と示す）に登録されている浄化槽を処理方式ごとに分類し、年度ごとの設置基数を型式別に算出してその動向を確認した。次に、登録小型合併処理浄化槽要覧を用いてブロワの定格吐出風量および定格消費電力を型式ごとに確認し、これらの情報をデータベース化した。上述の設置基数の推移と合わせてみることでブロワ消費電力の動向を確認した。開発された濃縮車3社について、同一時期に同様な条件下で現場試験を行うことで、各社の特徴および各作業工程における作業性や作業効率等を検討するため、清掃時期に達した浄化槽の中から次の浄化槽を選定して比較検討を行った。建築物の排水処理施設の前処理設備である油脂分離槽（グリーストラップ）の容量は様々で、200L程度から数 $\text{m}^3$ と幅広い。濃縮車による実験として実施するためには、凝集剤の添加条件等を何段階かに分けて実施する必要があるため、当初比較的容量の大きな施設（魚類の加工工場）で実験を行った。その後、個別の施設ごとに実験を行い凝集剤の添加条件を検討した。濃縮車導入前後におけるし尿および浄化槽汚泥の搬入量、濃縮車の清掃対象汚泥量、し尿処理施設における燃料、電力および薬剤の使用量に関するデータを取得した。次に、燃料、電力、薬剤の使用量に環境負荷原単位を乗じ、 $\text{CO}_2$ 排出量の積算を行い、濃縮車の導入がし尿処理施設における $\text{CO}_2$ 排出量に及ぼす影響について解析した。

## 結果と考察

### サブテーマ1 低炭素社会型環境最小負荷省エネルギー方式浄化槽システム構築の開発に関する研究と総括

太陽光発電・風力発電に関する発生ポテンシャルは、茨城県美浦村に位置する中核機関の独)国立環境研究所バイオ・エコエンジニアリング研究施設で得られたデータを基に解析することとしたが、その事例を表Aに示す。なお、ここでは高度処理窒素/リン除去型5人槽の浄化槽を再生可能エネルギーで稼働させる上での必要な消費電力量を実証試験により明らかにするために太陽光パネル16枚からなるシステムを設置し実行した。この場合の発電能力は $1,360\text{W}\cdot\text{h}^{-1}$ と推定されるが、本研究は試験研究であることから余裕の設計仕様として実施しパラメータを取得して解析した。本実証試験による解析により太陽光パネル16枚で、十二分に高度処理浄化槽を再生可能エネルギーで稼働させることの可能なことがわかつ

た。ここで、太陽光パネルが何枚で高度処理浄化槽を稼働させるかを計算することとした。その結果、本研究で対象とした高度処理浄化槽の消費電力は  $82.5 \text{Wh} \cdot \text{台}^{-1}$  であるが、太陽光パネル1枚の発電能力のポテンシャルは  $85 \text{W} \cdot \text{h}^{-1}$  であり、これを基に実証試験において解析したところ季節的に変化することは当然である日照時間・インバーター変換効率・蓄電池への充電損失等を考慮しても太陽光パネルを2枚設置 ( $160 \text{W} \cdot \text{h}^{-1}$ ) 設置で十分まかなえることが実証試験の解析から判った。また、本プロジェクト研究の大きな目標が震災等における被災地の避難場所である学校等の避難施設・離島など電力線が寸断又は敷設困難な地域に対する電力供給を再生可能エネルギーで担保することであった。このことを踏まえると再生可能エネルギーを導入したシステムでの発電ポテンシャルをパラメータとする整備仕様を可能とする知見が得られたことは重要といえ有用な方法になるといえる。また、余剰電力を使用し外部に電源を有効に活用できるように安価なコンセント電源等を設けることにより、非常時の携帯電話の充電・非常放送を受信するための小型テレビ・ラジオ・パソコンの電量供給も可能となり、震災対応としては衛生環境の確保を図った上でライフラインを整備できるという大きな波及効果が得られるといえる。上記の成果より、本実証試験研究で整備したスペックの仕様により再生可能エネルギーで全電力エネルギーの100%を確保可能になると同時に、太陽光パネルを16枚から2枚にすることで高度処理浄化槽を稼働させることの可能性が明らかとなった。すなわち、再生可能エネルギーとしての太陽光発電・風力発電システムの各地における発電ポテンシャル量の結果から、地域特性に応じて発電量は当然異なるものの再生可能エネルギーシステムを導入して電力確保を図ることの可能なことを特性を考慮した上で対応可能なことを明らかにできた。なお、建設費に対する発電ポテンシャルの解析は更に各種の流動的なパラメータの精緻なる今後の現場のデータ等の情報収集を行った上で評価していきたいと考えている。

表A 太陽光発電・風力発電に関する発生ポテンシャル

項目	電力発生量			商用使用電量 (Wh)
	風力発電量 (Wh)	太陽光発電量 (Wh)	再生可能 エネルギー 合計(Wh)	
2010年12月 ～2011年11月	264	9,354	9,618	1,870
2011年12月 ～2012年2月	25	2,622	2,647	494

発電機スペック

太陽光発電システム  $85 \text{W} \times 16 \text{枚} = 1,360 \text{W} \cdot \text{h}^{-1}$

風力発電システム NWG-K: 最大出力 1.5kW、定格出力 1kw ( $2,700 \text{Wh}$ )、定格風力  $12 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

また、太陽・風力発電による再生可能エネルギー活用浄化槽のシステムにおける処理性能および生物特性の評価については以下のとおりである。生活排水を原水として、高度処理浄化槽として通常型、コンパクト型浄化槽を再生可能エネルギーを活用して稼働させたところ、BOD、T-Nは  $10 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  程度、T-Pは  $1 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  程度の処理性能が得られることがわかった。同時に、生物相についても原生動物有殻アメーバ *Arcella* 属、*Epistyles* 属、*Carchesium* 属、ワムシ類等が豊富に存在し硝化・脱窒反応も適正に行われているこ



とが示された。このように、再生可能エネルギーのみで高度処理浄化槽を稼働させることが可能なこと、コンパクト型で省エネルギー型ブロワを活用することで、省電力対応の可能なことが明らかとなった。

なお、本研究開発で使用したソフトシステムはデータベース（RDBMS）に保存された形式であり、この活用により既存電力と再生可能エネルギーの比率を  $100\text{W}\cdot\text{h}^{-1}$  の形で適正に解析評価可能なことがわかった。今後、データの活用を考えると SQL (Structured Query Language: データの操作や定義を行うためのデータベース言語 (問い合わせ言語)) を使用して解析が容易に出来るようにすることの改良の必要なこともわかった。

本研究において、日本の各地域の再生可能エネルギーの賦存量を実際に発電させてデータを得ることができた。これらのデータによると、地域により様々ではあるが、風力発電においては周辺建物の影響や、実際に設置はしたが風が無いなどから、予想通りの発電が得られないこともあるのは当然のことである。本試験研究を進めるに当たっては、事前に NEDO (風況マップ) および気象庁のデータから、設置場所を検討したが、現在においては、局所的なデータの精密性には限界が有ることからの予想通りの風力が得られなかったと考えられる。小形風力発電の場合、設置する高さは地上から 6m 程度であり、地表面に近くなる。この点が事前に検討した予測値との乖離である考えられる。

小形風力の実用化は進んでおり、風力が得られる環境下においては、平均風速  $5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  において 1kW 風力は  $1,400\text{kWh}\cdot\text{年}^{-1}$  の発電量が得られることから同容量の太陽光の 1.4 倍近い電力出力ポテンシャルを有しているといえる。しかし、設置場所の検討については、現在のところ指標となるデータベースは、気象庁等のデータが唯一である。正確に対応を図る上では、実際に設置される風力発電システムの設置高さおよび発電量ポテンシャルなどを正確に予測するデータベースの蓄積が必要であるといえる。本研究プロジェクトで使用した省エネ型の浄化槽により、世界的な革新的技術を実現するためには、小形風力を含めた再生可能エネルギーのデータベースの整備が必要である。なお、地域ごとの再生可能エネルギーの特徴を理解した上で、この様な再生可能エネルギーを活用したシステム技法の整備するためには、太陽光を主体にすべきか、積雪・強風地域では風力を主体にすべきかの、更なる適正システム構築のための検討を行うことにより、最適実用システムの構築に繋げることができるといえる。再生可能エネルギーの買取制度が法制度化され、スマートグリッドの有用性が明らかにされる等<sup>9),10)</sup>、これらのエネルギーの重要性が位置づけられたことから、さらなる展開が期待される。

## サブテーマ 2 省エネルギー方式微生物機能向上・汚泥減容化高度処理浄化槽技術開発に関する研究 (独立行政法人国立環境研究所)

排水処理過程における省電力手法としては電力利用を伴う機器の停止や間欠運転が有効である。電力由来  $\text{CO}_2$  削減手法としてこれまでにいくつかの検討が行われている。例えば浄化槽に関しては、ブロワの駆動方式をロータリー式から電磁式に変更させることや永久磁石を活用することによって、電磁石との反発を強めるなど、各メーカーが省エネ型ブロワの開発を進めている。また、ブロワ等の機器を間欠で作動させる間欠運転も有効な手段であると考えられる。

活性汚泥法において、ブロワを間欠運転する研究は数多く行われており、これまでに行われてきた間欠ばっ気活性汚泥法に関する知見がまとめられている<sup>11)</sup>。これまでの研究では間欠ばっ気のコントロールを溶存酸素 (DO) や酸化還元電位 (ORP) 等のモニタリングを介して行っている研究が多い<sup>12), 13)</sup>が、それぞれの間欠ばっ気時間は最大でも 60 分程度である。しかし、震災等による電力供給の停止を踏まえ

ると、さらに長時間のばっ気停止が懸念される。また、ばっ気を間欠で行えば、処理操作上のコストを低減させることができるという利点もある。

そこでミニチュアリアクターにより幅広く動力停止条件で運転し、基礎実験を実施したところ、DO が欠乏した状態で流入負荷がかかると、酸化反応が進行しないので、有機成分やアンモニアなどが蓄積する。さらに、アンモニアが蓄積した状態においてばっ気再開などで DO が高くなると、アンモニア酸化に酸素が消費され、亜硝酸酸化が抑制されるので、亜硝酸が蓄積する。このことから、流入負荷がかからない時間帯に動力停止を設定することが有効と考えられる。短時間の間欠条件では、DO が欠乏するまで低下しない程度に維持できるので、BOD や T-N 除去性能に悪化を引き起こさなかった (図 B)。つまり、短時間の間欠運転は、水処理性能を維持しながら運転動力を削減できる手法と判断できた。停止時間が長くなるにつれて、引き抜き汚泥量は多くなった。これは、自己酸化の低下と窒素同化の促進が生じたためと考えられる。よって、間欠運転を導入する場合、汚泥発生量の増加に留意して、動力停止時間を調整する必要性が示唆された。実機浄化槽を用いて、動力停止の実証試験を実施したところ、ブロウ動力を 4 hr 停止した条件下で、水処理性能の維持に成功した。得られた結果は、ばっ気制御の省エネ下で高度処理が得られるという on/off の設定時間の重要性が明らかとなり、今後の活用展開が期待される。

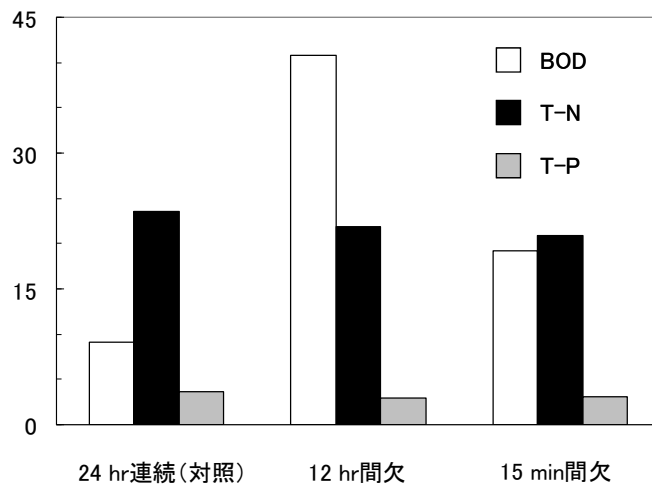


図 B BOD、T-N、T-P の処理特性

### サブテーマ 3 省エネルギー方式浄化槽の温室効果ガス発生抑制技術の開発 (埼玉県環境科学国際センター)

嫌気好気無循環方式のラボスケール装置を 20°C 恒温室内に設置して基礎的検討を行った。BOD 200mg・L<sup>-1</sup>、TN 45mg・L<sup>-1</sup>、TP 5mg・L<sup>-1</sup> に調整した実生活排水を、反応槽 (容積合計 25L) の HRT を 12h に設定して連続流入させた。実験系は 6 系設定し、好気槽のばっ気/非ばっ気時間を 24h/0h (連続ばっ気)、18h/6h、12h/12h、6h/6h、4h/4h、2h/2h とした。

発生ガスに関しては、水質データも併せて考察すると、ばっ気時間即ちブロウの運転時間を 1/2 にしても水質浄化性能的には全く問題はなかった。なお、対照系においては、原水が原水貯留槽を經由して流入することから、貯留槽で生成した CH<sub>4</sub> がばっ気により放散されている可能性が大である。ばっ気量が 1/2 といっても、ばっ気/非ばっ気の間隔が重要であり、on/off が 12h/12h の長い非ばっ気時間の場合と、

2h/2h の短い非ばっ気時間では異なるが、非ばっ気工程を短時間サイクルで組み込むことで、N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub> 放出量、転換率を大幅に低減可能である、といったことが明らかとなった（表 B）。また、後者を実現するためには、蓄電池、タイマー等を組み込むことで十分に対応可能と考えられた。

次いで、2基の実機浄化槽を用いて、屋外実証試験を実施した。浄化槽は鉄電解脱リン方式浄化槽を採用した。BOD：200 mg・L<sup>-1</sup>、T-N：45 mg・L<sup>-1</sup>、SS：160 mg・L<sup>-1</sup>に調整した実生活排水を、13:00～20:00 と 23:00～4:00 に流入させた。両浄化槽とも、散気：70～75 L・min<sup>-1</sup>、循環：12L・min<sup>-1</sup>、電解槽散気：15L・min<sup>-1</sup>にばっ気量を設定してあるが、浄化槽 A は省エネルギー運転として、流入のない 4:00～8:00 に散気用ブロアを停止させた。また、これに続く実験として、各浄化槽のブロワをそれぞれ上記の 3 機能を兼ねるばっ気量 60L・分<sup>-1</sup>の 1 台とした上、浄化槽 A についてはブロワの on/off が 45 分/15 分の間欠ばっ気運転を行った。夾雑物除去槽、嫌気ろ床槽、接触ろ床槽、処理水槽から試料を採取し、各種分析結果を解析した。

春季～秋季の温暖期においてはばっ気停止運転、間欠ばっ気運転等の導入により、ブロワ等の消費電力の削減に加え、汚水処理性能の維持及び N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub> 発生抑制の観点からも、一定の導入効果が期待できると考えられる。今後の課題としては、冬季の低水温時における窒素除去性能の確保と、それに付随しての N<sub>2</sub>O 発生抑制に関する研究開発が、特に挙げられる。本研究成果により、浄化槽の生物膜法での間欠ばっ気の有効性・重要性が明らかとなり、今後の展開が期待される。

表 B ラボスケール実験におけるガス収支

運転条件	N <sub>2</sub> O			CH <sub>4</sub>		
	24h当り 放出量	N <sub>2</sub> O-N 転換率 (流入N 当り)	N <sub>2</sub> O-N 転換率 (除去N 当り)	24h当り 放出量	CH <sub>4</sub> -C /BOD比 (流入 BOD 当り)	CH <sub>4</sub> -C /BOD比 (除去BOD 当り)
	mgN・day <sup>-1</sup>	%	%	mgC・day <sup>-1</sup>	%	%
cont.	20.1	1.2	4.0	338.0	7.8	8.5
18h/6h	58.0	3.3	12.7	196.5	4.5	4.9
12h/12h	297.9	17.1	39.5	173.6	4.0	5.1
6h/6h	6.7	0.3	0.6	51.4	0.9	0.9
4h/4h	4.6	0.2	0.4	8.7	0.2	0.2
2h/2h	4.6	0.2	0.4	5.8	0.1	0.1

#### サブテーマ 4 省エネルギー方式浄化槽の処理機能解析に基づく技術の開発に関する研究 (社団法人福島県浄化槽協会)

閉鎖性水域の水質改善のため、昭和 60 年に湖沼法が施行され、BOD 等の有機物質や窒素・リン等の栄養塩類の流入削減が求められた。湖沼における全リンの環境基準達成率<sup>14)</sup>は、ここ数年 50%代で推移している。特に近年は、湖沼等の閉鎖性水域や水道水源地域において、個別住宅である一般家庭においても窒素及びリン除去型浄化槽の設置が求められている<sup>15)</sup>。既往の小型浄化槽におけるリン除去手法については、吸着法<sup>16)-18)</sup>、鉄材浸漬法<sup>19)-21)</sup>、鉄電解法<sup>22)-25)</sup>等の独自技術の適用を検討したケースがある。

これらの既往研究では、長期に渡ってリン除去効果が持続しないことや、後段に新たに槽や散気装置を設ける必要がある事、要求電力の増加等が指摘されている。その中で、鉄電解脱リン法が小型合併処理浄化槽においては唯一の脱リン法として実用化されている。一般家庭用の窒素及びリン除去型浄化槽は、平成 14 年にフジクリーン工業(株)から CRX 型が製造・販売されたが、全国で現在使用されている合併処理浄化槽 314 万基<sup>26)</sup>に占める割合はごく僅かである。

本研究では、追加電力を要しないペレット型リン除去剤を用い、リン除去効果、および BOD、窒素を含めた栄養塩類の除去能に対する影響解析を行った。また、併せて CO<sub>2</sub> 排出量の低減効果について省エネルギー化、低炭素化の観点から鉄電解脱リン法との比較解析を行った。

一般家庭に設置された浄化槽で、鉄電解法によるリン除去装置の処理機能の解析評価を前試験として行い、併せて、同施設の四季変動による生物相の変化を解析した結果、処理水 BOD については概ね所期の性能を確保できた。T-N 濃度については、全測定時において、目標である 10mg・L<sup>-1</sup> 以下を達成されており、季節変遷を通して所期の性能を充足していることが明らかとなった。T-P 濃度については、鉄電解法によるリン除去効果の季節変遷を通してみた場合、平均 1.4mg・L<sup>-1</sup> と、概ね所期の性能を満足しており、その際、電流値の設定、および鉄電極の交換など維持管理が適正に行われることの重要性が示唆された。また、ベンチスケール試験におけるペレット型リン除去剤の機能解析においては、リン除去効果と併せて、有機物、窒素の同時除去を考えた場合、嫌気槽への酸素持ち込みによる窒素除去不足の生じる可能性が示唆され、循環比の設定が重要であることが示唆された。これにより、BOD、T-N、T-P ともに目標水質を達成可能なことが示された。

次いで、同浄化槽において、鉄電解法に替えて、電力を要しないペレット型リン除去剤を導入し、脱リン効果解析を Phase I~Phase III として行った。その結果、リン除去性能に関しては、添加を開始した夏季の 25℃ 以上と水温の高かった時期に関しては目標水質である T-P 濃度 1mg・L<sup>-1</sup> 以下が達成された。しかし、その後水温が低下するとともにペレット型リン除去剤の溶解量が低下し、溶解量不足となることがわかった。また、ペレット型リン除去剤の添加による BOD 除去性能への影響は無いと考えられた。T-N に関しては、期間を通して概ね 10mg・L<sup>-1</sup> 以下を達成していることがわかり、また、形態別窒素濃度からみた場合、アンモニア態窒素はほぼ変わらず、硝化反応が適正に進行していることが示唆された。また、亜硝酸・硝酸態窒素は冬季に若干の上昇がみられたものの、循環比の引き下げ変更があったことを考慮すると妥当な値であり、総じて硝化脱窒反応による窒素除去は良好であった。

上記の特に低水温期に溶解量不足となる結果を踏まえ、循環装置の循環管を改造し、溶解筒を合計 6 本設置して実験を試みた Phase IV の結果、夏季から冬季にかけてペレット型リン除去剤の溶解量は、80g・day<sup>-1</sup> 以上を確保でき、T-P 濃度は 1mg・L<sup>-1</sup> 以下を達成することができた。この結果より、ペレット型リン除去剤の添加モル比は 1.4 以上で T-P 濃度 1mg・L<sup>-1</sup> 以下を達成できることが明らかとなった。この添加濃度における BOD、窒素除去能は、夏季から冬季にかけて大きな差は認められなかった。以上のことから、ペレット型リン除去剤は、合併処理浄化槽において、水温を指標とした浸漬深さの調整等により溶解量を適性に維持することにより、鉄電解脱リン法と同等のリン除去能を確保し、同時に BOD、窒素除去機能を保持可能なことが示唆された。

なお、サブテーマ 4 では、鉄電解脱リン法が電力を消費するのに対して、この電力消費を必要としない、ペレット型リン除去法を用いた無動力方式でリン除去を行った。これらを CO<sub>2</sub> 排出量で比較すると、鉄電解脱リン法の 9.74 kgCO<sub>2</sub>・年<sup>-1</sup>・人<sup>-1</sup> に対し、ペレット型リン除去法では 1.83kgCO<sub>2</sub>・年<sup>-1</sup>・人<sup>-1</sup> とな

り、鉄電解法と比較して約 81 %を削減した省エネ運転下で高度処理が可能なことがわかり、本システムの普及展開が期待された。

#### サブテーマ 5 省エネルギー方式低動力型対応充填担体技術の開発 (フジグリーン工業株式会社)

低炭素社会創造のための取り組みが、あらゆる分野において強化されてきている。浄化槽においてもブローの消費電力が基準値以下の製品が低炭素社会対応型浄化槽として認定され、その整備に対して助成制度が設けられている<sup>27)</sup>。一方、閉鎖性水域における富栄養化対策は、依然として重要な課題であることから、生活排水中の窒素やリンを除去可能な高度処理型浄化槽の普及促進が期待されている。つまり、省エネルギー化と高度処理化の両立に対する社会的ニーズが高まりつつあるといえる。

浄化槽のばっ気装置には、処理に必要な酸素要求量を満たすのに十分な空気量を送気する機能に加えて、好気槽内の汚水を均等に攪拌できる機能が求められる<sup>28)</sup>。省エネルギー化を考えた場合、酸素要求量を満たす範囲で空気量を削減するアイデアを最初に思いつくが、空気量を削減すると同時に攪拌強度まで低下して浄化槽の機能に悪影響が出る可能性がある。そこで、一定以上の攪拌強度を維持したまま空気量を削減する技術として、間欠ばっ気運転による省エネルギー化が注目されている。中野らは、家庭用浄化槽の夜間間欠ばっ気運転による省エネルギー化と水質への影響について調査し、流入負荷が比較的低い物件においては1日のうち6時間ばっ気を停止しても処理水質に影響がなかったと報告している<sup>29)</sup>。さらに、夜間だけでなく昼間も含めて1日のうち10時間ばっ気を停止させる間欠運転を行い、実使用人員比が0.4以下であれば水質に影響がなかったとされている<sup>30)</sup>。これらの結果から、間欠運転を導入して省エネルギー化を実現できる可能性がありそうだが、流入負荷が正確に把握されているわけではなく、またばっ気停止時間と処理性能の関係も不明なため、実際の浄化槽の設計に応用できるデータは得られていない。

そこで、本研究では、好気処理槽に接触ろ床方式を採用した5人槽規模の実大試験槽を試作し、構造の最適化と間欠ばっ気運転導入の実現性について検討することにした。接触ろ床槽は、網様ロール状ろ材をランダムに充填することで、微生物を多く集積するとともに、散気装置からの気泡がろ材に衝突し、気泡が微細化されることによる酸素溶解の効率向上を意図した設計とした<sup>31), 32)</sup>。処理性能を評価するにあたっては、流入負荷が完全にコントロールされた原水を、浄化槽性能評価試験方法の流入パターンに従って流入させることで、性能の評価を厳密に行うとともに、実際の浄化槽の設計に応用可能なデータを収集した。

本試験の結果から、接触ろ床方式を採用し、嫌気ろ床槽の構造を最適化することで、水温が13℃と20℃の両条件において、ばっ気風量が45L・分<sup>-1</sup>(連続ばっ気)という少風量であってもBOD、T-N、SS≤10 mg・L<sup>-1</sup>という高度処理型の水質を達成できる可能性が示された。このとき、エアリフトに利用する風量を含めた総風量は約60 L・分<sup>-1</sup>であった。さらに、間欠ばっ気運転の1サイクルを70分に固定し、ばっ気停止時間を10~40分の4段階に変化させることで、ばっ気停止時間が処理性能に及ぼす影響を詳細に把握した結果、ばっ気停止時間を20分以内にすれば処理性能に悪影響を及ぼさないことが分かった。この場合、間欠運転によって最大で29%のばっ気時間(=ブロー運転時間)を削減できることになる。以上の結果を適用すると、従来機種<sup>3)</sup>の110 L・分<sup>-1</sup>に対して、ブロー風量を60L・分<sup>-1</sup>に削減し、さらにブロー運転時間を29%削減できることになり、トータルで消費電力量を約61%削減できる可能性が明らかとなった。

ブロワの消費電力については、本研究で得られた風量  $60\text{L}\cdot\text{分}^{-1}$  を供給するためのブロワの消費電力を見ると、1984年時点では  $105\text{W}$  (50Hz) /  $110\text{W}$  (60Hz) であったのに対し、1990年時点では  $59\text{W}$  (50Hz、60Hz)、2006年時点では  $47\text{W}$  (50Hz、60Hz) まで削減されている<sup>33)</sup>。その後、2010年度から低炭素社会対応型浄化槽整備推進事業が実施され、省エネブロワを用いた浄化槽の設置に対して助成制度が設けられ、省エネ型浄化槽の設置がさらに加速された<sup>34)、35)</sup>。本研究においては、ブロワ風量の削減だけでなく、ブロワ自体の消費電力削減についても研究を重ね、従来のフェライト磁石よりも強力なネオジム磁石を使用することで、 $60\text{L}\cdot\text{分}^{-1}$ ブロワの消費電力を  $33\text{W}$  まで低減することに成功した。これは1990年度比で44%の削減となる。

このように、浄化槽におけるこれまでに開発されてこなかった、低ばっ気動力ブロワ及び好気槽等の担体充填比率等の適正化による硝化脱窒能の向上に基づく省エネ化が達成でき、普及展開が期待される。

## サブテーマ6 地域特性を踏まえた浄化槽の消費エネルギー解析と省エネシステム管理技術 (公益財団法人日本環境整備教育センター)

全国浄化槽推進市町村協議会(全浄協)に回収された管理票の件数から求めた設置基数の推移は、嫌気ろ床接触ばっ気方式の設置が平成9年度をピークに減少に転じており、その後、性能評価型浄化槽の設置が増加している。性能評価型浄化槽のうちBODのみを除去対象とする方式は大部分が小容量型浄化槽に分類されるものであり、これらは、主に二次処理装置の容量が小さいため、一定のばっ気強度を保つために必要な空気量が少なく済む特長を有している。小容量型浄化槽の設置は平成16年度をピークに減少に転じており、その後はBODおよび窒素を除去対象とする性能評価型浄化槽の設置基数が増加している。近年、設置される型式の特長は、槽容量が小さくかつBODおよび窒素を除去対象とすることが挙げられる。

処理方式ごとに平成20年度末における累積設置基数の多い型式を抽出し調査対象とした。さらに、性能評価型浄化槽については、平成20年度末の累積設置基数は多くないものの、その後設置基数が増加している型式を調査対象として追加し、各型式の定格消費電力を用いて処理方式ごとの定格消費電力を算出した結果を表Cに示す。処理方式ごとの消費電力は、調査対象とした型式の設置基数で重み付けした加重平均によって求めた。

嫌気ろ床接触ばっ気方式は人槽の増加に伴って消費電力が段階的に上昇する傾向が認められた。一方、BOD除去タイプの性能評価型では5、7人槽の消費電力に大きな差が認められず、10人槽のみ高い値を示した。BOD除去型の嫌気ろ床接触ばっ気方式と性能評価型を比較すると、5人槽では嫌気ろ床接触ばっ気方式の消費電力が小さく、7、10人槽では性能評価型の消費電力が小さい結果となった。

窒素除去型においては構造例示型よりも性能評価型の設置基数がはるかに多く、この性能評価型の消費電力は他のいずれの方式よりも低いことが明らかとなった。そのため、本研究で検討している再生可能エネルギーを活用した浄化槽にとっては、有利な方向であることが明らかとなった。

一方、窒素・リン除去型および膜分離活性汚泥方式の消費電力はBOD除去型および窒素除去型よりも高い値を示した。これは同一人槽における吐出風量が大きいことが主な原因と考えられた。また、窒素・リン除去型における鉄電解装置の消費電力は消費電力全体の9~14%に相当していた。

表 C 処理方式ごとの定格消費電力の平均値および設置基数

項目	消費電力 (W)			設置基数 (基)
	5人槽	7人槽	10人槽	
BOD 除去型				
分離接触ばっ気方式	101	135	181	4、441
嫌気ろ床接触ばっ気方式	58	74	116	475、698
性能評価型	64	69	91	558、063
窒素除去型				
脱窒ろ床接触ばっ気方式	101	140	—	42
性能評価型	51	59	88	120、594
窒素・リン除去型				
性能評価型	102	105	128	735
膜分離活性汚泥方式				
性能評価型	189	212	245	51

浄化槽汚泥の収集運搬には、通常バキューム車が使用されるが、道幅が狭い住宅地を走行するため、比較的小型な 2t 車や 3t 車を使用するのが一般的である。この場合、10 人槽以下の戸建住宅用浄化槽であっても 1 基あたりの汚泥発生量が多いため<sup>36)</sup>、多くの浄化槽から汚泥を収集し、それらをまとめてし尿処理施設に運搬する形態はとれず、し尿処理施設との間を往復しなければならないため、運搬効率が悪い点が課題となる。また、国全体の整備済みし尿処理施設の処理能力は十分であるといえるが、個別の施設の処理能力と処理量の関係を見ると、全施設の約 13%において本来の処理能力を超過する量を受け入れている<sup>37)</sup>。さらに、現状では浄化槽汚泥の引抜きが徹底されていない<sup>38)</sup>、<sup>39)</sup>ことを考慮すると、汚泥の引抜きが適正に実施された場合には処理能力が不足する施設がさらに増加すると考えられる。つまり、浄化槽汚泥の発生量に対して、その受け皿となるし尿処理施設の処理能力が不足していることが課題となっている。浄化槽汚泥濃縮車（以下、濃縮車と示す）は、本来、これらの課題を解決するための設備として運用されはじめたが、同時に、運搬効率の向上や処理汚泥の減容により、汚泥の運搬および処理の省エネ化、低炭素化にも寄与する技術であると考えられる。

浄化槽からの温室効果ガスの排出は、処理過程での排出量が多く、中でも浄化槽用ブロワの運転に係る電力に由来する CO<sub>2</sub> 排出量、し尿処理施設におけるユーティリティ投入に係る CO<sub>2</sub> 排出量および浄化槽からの CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O の直接排出の 3 項目の占める割合が高いため、これらの削減が重要な課題となっている<sup>40)</sup>。このうち、し尿処理施設における CO<sub>2</sub> 排出量の削減は、高効率ばっ気装置への更新や設備の制御方式の変更等による電力消費量の削減、脱臭方式やリン回収設備の増設による薬剤使用量の削減、汚泥の助燃剤化等による化石燃料使用量の削減などを盛り込んだ基幹的設備改良事業により推進されている<sup>41)</sup>。また、平成 10 年度から従来のし尿処理施設に対する補助事業を地方公共団体の単独事業とし、資源化設備を備えた汚泥再生処理センターに対する国庫補助事業が始まった<sup>42)</sup>ことで、し尿処理施設の更新に伴い、し尿や浄化槽汚泥の循環利用とともに温室効果ガス排出量の削減が促進されるよう政策誘導がなされている。

し尿処理施設のもたらす環境負荷を総合的に評価した研究事例として松井ら<sup>43)</sup>による報告がある。この研究では、複数の処理方式のし尿処理施設および汚泥再生処理センターを対象とした CO<sub>2</sub> 排出量の積算結果から、処理汚泥量 1kL あたりの CO<sub>2</sub> 排出量は、運転時に使用される電力および燃料の寄与が大半を占めることを報告している。さらに、土木工事、建築工事、解体工事、電力に関するエネルギー消費量と

施設規模との間に負の相関が認められ、スケールメリットがあることを指摘している。濃縮車を導入した場合、し尿処理施設内の設備は変更されず、投入される汚泥の減容に伴い薬品使用量が減少する等の一部の設備の運転方法が変化するか、もしくは、し尿処理施設の更新に際して、より小規模な施設に変更され、それらがし尿処理施設のもたらす環境負荷に影響を及ぼすと考えられる。しかし、既往研究においては、処理量の変化が環境負荷に及ぼす影響や施設規模ごとの環境負荷が明確にされておらず、これらを定量的に評価することが課題となる。

浄化槽汚泥の収集運搬に関する既往研究は皆無であり、濃縮車導入による省エネ化、低炭素化の効果は不明確である。また、市場に投入された濃縮車の詳細な性能や、油脂分離槽等の浄化槽以外の設備に対する濃縮車の適用可能性について検討が不十分である。そこで本研究では、バキューム車と濃縮車の燃料消費量の比較、市場に投入された濃縮車の性能比較、油脂分離槽への濃縮車の適用可能性に関する検討を行うとともに、濃縮車の導入がし尿処理施設のもたらす環境負荷に及ぼす影響について検討することとした。

バキューム車と濃縮車の燃料消費量の比較検討から、1件当りの燃料消費量はバキューム車を使用したケースよりも浄化槽汚泥濃縮車を使用したケースの方が小さいことから、濃縮車の使用によって燃費の悪化は認められるものの、車両走行距離の大幅な低下を達成できるため、清掃作業全体に係る燃料消費を削減できることが明らかとなった<sup>44)</sup>。濃縮車が導入されたし尿処理施設への影響については、し尿処理施設への負荷率が低下し、施設の運転に係るCO<sub>2</sub>排出量が低下すること<sup>45)</sup>、し尿処理施設の更新に際し小規模な施設での処理が可能となることから、環境負荷の低減を図れることが示された。現在、市場に投入されている三社の濃縮車に関し、A社が先行して開発され、市場にも数多く投入されており、そのノウハウの蓄積と凝集分離の確実性、効率的な濃縮(搬出率30%程度)が得られた。一方、後発のB社とC社については、凝集剤の選定と操作マニュアル等のソフト面の充実が未だ不十分であり、今後の確立が望まれる。濃縮車の油脂分離槽への適用については、カチオン系の高分子凝集剤の単独使用よりPACを併用することで高分子凝集剤の使用量を大幅に削減することができた。油分の回収率は凝集、分離で95%以上、反応前に吸引したスカムを含めると大部分が除去され、油分を濃縮し回収できることが明らかになった。

## 環境政策への貢献

再生可能エネルギーを活用した新たな生活排水対策の省エネルギー浄化槽を開発する上で、太陽光発電等の有効性、好気時間の短縮の有効性、温室効果ガス発生抑制能の有効性、リン除去新システムの有効性、省エネルギーブロウの有効性、発生汚泥の汚泥濃縮車の有効性等、所期の目標以上の成果が得られ、新技術としての大きな効果が期待できることが明らかとなった。特に、電力供給の不足する例えば離れ島等の地域および地震・津波などの震災における商用電力供給停止時における震災対応型浄化槽として水環境の保全及び公衆衛生を確保する上で再生可能エネルギーの活用が目途が立ったことは環境政策に貢献する大きな成果であったといえる。なお、下水道は震災に対してパイプラインが寸断されると機能が破壊され無防備であること、それに対して浄化槽は長いパイプラインが無く処理機能上影響が最小であることから、再生可能エネルギー活用とハイブリッド化することでの浄化槽の価値は計り知れないものがあるといえる。



## 研究成果の実現可能性

近年注目を浴びている再生可能エネルギーの活用、スマートグリッドにおいて、地域ごとの再生可能エネルギーを効果的に活用するには、地域ごとの確保可能な発電ポテンシャルの程度をより正確に予測する必要があり、これが予測可能になることで、システム整備における安全率を下げ、保険的に大きな設備を導入する必要性を抑えることが可能になると確信される。また、電力供給不足地域および震災対応型の浄化槽整備に対策としての開発成果の活用は実現可能性大である。また、汚泥対策で汚泥濃縮車および電力消費の少ないリン除去法、嫌気・好気の適正運転操作条件を導入することで大きな省エネ効果と処理の高度化が得られるがこれらの技法は、現状の動力費を50%近く削減でき実現可能性は大である。

## 結論

産業系・民生系・廃棄物系等の幅広い分野で、国際的動向にある地球温暖化対策として、省エネルギー化のきめ細かな対策の取り組みが強化されている。水処理分野でも、下水道ではばっ気風量の適正化、嫌気好気化による亜酸化窒素の発生抑制等省エネ化が進んでいるが、浄化槽でも取り組み強化が必至な状況にある。本研究では、これらの点を踏まえ、震災対応型浄化槽・浄化槽汚泥の省動力型処理技法・窒素/リンの省電力型処理技法・太陽光/風力エネルギーの発生ポテンシャル解析等を行い、低炭素型社会創りにおいて重要な生活排水対策の要である、①浄化槽のばっ気効率・ブロワエネルギー効率向上による消費電力50%以上削減、②電力を要しないリン除去法・嫌気/好気サイクルの最適化による有機物・窒素除去法導入による必要電力の大幅削減、③汚泥濃縮車の運用による省エネ化、④システム電力源として従来の化石エネルギー利用を再生可能エネルギー活用に転換したゼロエミッション化による、既存・新技術適用型の地球温暖化ポテンシャル削減最大化と、⑤国民の安心性を保持可能な衛生的安全性確保の両立するパラダイムシフト化新技術管理システムの開発することができた。

## 1. 研究背景と目的

### 1.1 低炭素社会型環境最小負荷省エネルギー方式浄化槽システム構築の開発に関する研究と総括

低炭素社会型浄化槽システムとして風力・太陽光発電等導入技術の四季変化を通じたエネルギー供給・消費量のデータ収集、地域特性を踏まえた既存電力ミニマム化導入手法の解析評価と同時に、個別家庭に設置したシステムの省電力下の水質特性、反応槽の微生物特性等の機能解析を行い、脱温暖化型、防災型の環境最小負荷浄化槽等の総合システムを開発する。

### 1.2 省エネルギー方式微生物機能向上・汚泥減容化高度処理浄化槽技術開発に関する研究

恒温室においてミニチュアリアクターによる基礎試験を行い、排水処理特性および生物特性に及ぼす動力停止の影響を評価し、実機の運転指標となる動力停止条件および操作条件と処理特性との関係性を精査した。さらに、マテリアルフローを精査し、動力停止条件と汚泥発生特性の関係性を把握した。これらの結果を総括し、浄化槽の運転設計指針を確立することを目的とした。

基礎試験における設計指針を基盤に、実機浄化槽を用いて、屋外における実証試験を実施した。動力停止条件下における排水処理および汚泥特性を明らかにした。四季変動の影響を検証することで、実用化に向けた実証試験データの収集を目的とした。

### 1.3 省エネルギー方式浄化槽の温室効果ガス発生抑制技術の開発

サブテーマ 2 と連動し、まず恒温室において、ラボスケールの浄化槽を用いて、常時ばっ気の場合と夜間等のばっ気停止を想定した場合の温室効果ガス ( $\text{N}_2\text{O}$ 、 $\text{CH}_4$ ) 発生特性についてのデータの蓄積を図るとともに実規模浄化槽への展開を見据えた運転操作条件の整理を行う。次いで、屋外設置の実機浄化槽による実証試験を用い、動力停止運転条件下における GHGs 抑制条件等の検討を行うことを目的とした。

### 1.4 省エネルギー方式浄化槽の処理機能解析に基づく技術の開発に関する研究

ペレット型リン除去剤導入脱リン方式システムの BOD、窒素、リン除去機能を解析し、小規模(個別家庭)・中大規模の学校、レストラン、コンビニ等の浄化槽に適用するための省エネルギー型脱リンシステム技術を開発することを目的とした。また、ペレット型リン除去剤の理想の溶解量を得るための対策を確立するとともに、ペレット型リン除去剤と既存方式である鉄電解法とのリン除去機能の比較解析を目的とした。

### 1.5 省エネルギー方式低動力型対応充填担体技術の開発

家庭用の高度処理型浄化槽に必要なエネルギーは、好気処理槽における酸素供給と、硝化液循環エアリフトポンプおよび流量調整用移送エアリフトポンプへの空気供給が挙げられる。好気処理槽では多くの酸素が必要とされる。過去の研究において、好気ろ材としてヘチマ様ろ材を用いることで、散気管から供給された気泡が微細化され、酸素溶解効率が飛躍的に向上することが明らかにされており、処理水  $\text{BOD}$ 、 $\text{T-N} \leq 20\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  の浄化槽に採用されつつある。さらに、ピークカット方式を採用することで、流量調整用移送エアリフトポンプに必要な空気量を大幅に削減できる可能性が示されている。

ヘチマ様ろ材を使用した高効率散気方式(接触ろ床方式)とピークカット方式を、家庭用の高度処理型浄化槽に採用することで、従来モデル(フジクリーン CRN 型)の  $2/3$  以下のブロワ風量 ( $60 \text{ l} \cdot \text{分}^{-1}$  以下)

で  $BOD \leq 10\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $T-N \leq 10\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $SS \leq 10\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  の水質を達成することを目的とし、種々の検討を行った。また、更なる省エネ化を目的とした間欠ばっ気運転の適用について検討した。

## 1.6 地域特性を踏まえた浄化槽の消費エネルギー解析と省エネシステム管理技術

小型浄化槽は分散型汚水処理システムとして必要不可欠であるが、省エネ型浄化槽とするための再生可能エネルギーを活用した対象となるための基礎情報として、現在設置されている浄化槽および新しく開発されつつある性能評価型浄化槽の消費電力量の推移を整理する。

次に、戸別の浄化槽では汚泥処理が完結しないことから、収集運搬およびし尿処理施設を含めた省エネが必要である。そのために浄化槽汚泥濃縮車(以下、濃縮車という)の活用が、汚泥の収集運搬およびし尿処理施設の運転や更新時にどのように影響するかを検討する。

## 2. 研究方法

### 2.1 低炭素社会型環境最小負荷省エネルギー方式浄化槽システム構築の開発に関する研究と総括

#### 2.1.1 再生可能エネルギーの発生ポテンシャル

低炭素社会型環境最小負荷省エネルギー方式浄化槽システムの開発と統合化を図る上で、生活排水対策の要である浄化槽を再生可能エネルギーとしての太陽光発電・風力発電を活用して稼働させ、省エネルギー化の可能性および生物処理の根幹をなす微生物特性と酸素濃度との関係を解析評価することとした。具体的には、日本の代表的な地点として関東地域、東北地域、上越地域、中部地域、九州地域(図1)での発生ポテンシャルについて検討することとした。

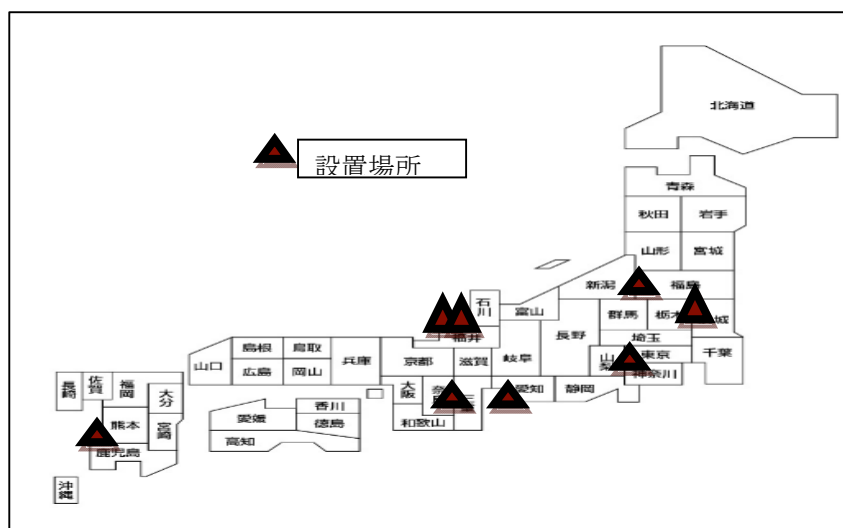


図1 再生可能エネルギーの発生ポテンシャル評価のための現場サイト

## 2.1.2 風力・太陽光発電ハードシステムの概要

風力発電システムは風の力でプロペラを回し、その回転運動を発電機に伝えて電気を起こすものでCO<sub>2</sub>を排出せずに365日、24時間、発電するポテンシャルを有する地球に優しい発電方法である。風車の種類を風車回転軸の方向で分類すると、水平軸型と垂直軸型の2つに大別される。本研究ではプロペラ型風車を採用した。プロペラ型風車とは発電用風車として多く使われている。羽根の枚数は1~5枚と、多くの羽根から構成される多翼型で一般的に3枚翼(写真1)が多くパワーバンドの広い安定した出力が得られるものである。風向きに対する制御が必要となるが、強風時に風を受け流す機構と併用できる特徴を有するものである。なお、風力発電システムにおけるパワー係数と周速比との関係を図2に示す。

代表的な中核研究施設である独)国立環境研究所バイオ・エコエンジニアリング研究施設では、1,000Wの3枚プロペラ型風車を採用設置した。太陽光発電システムは必要な電圧を確保するため、直列にソーラーパネルを接続し、電流を確保するためにそれらを更に並列に接続するものである。ソーラーパネルは太陽からの光エネルギーを用い、光起電力効果を用いて電気を発生させるものである。最大のメリットは、エネルギー源が無尽蔵で、クリーンである点で、石油を燃焼させて電気を起こす火力発電のように、発電時にCO<sub>2</sub>(二酸化炭素)や、SO<sub>x</sub>(硫黄酸化物)、NO<sub>x</sub>(窒素酸化物)などの大気汚染物質を発生させることが無いことである。独)国立環境研究所バイオ・エコエンジニアリング研究施設ではW2,450、D1,600、H2,450(mm)の85W/1枚のソーラーパネルを16枚設置(写真2、発電能力1,360W)し、再生可能エネルギーの発電能力を評価することとしたものである。本方式において代表例として独)国立環境研究所バイオ・エコエンジニアリング研究施設のシステムを図3に示す。

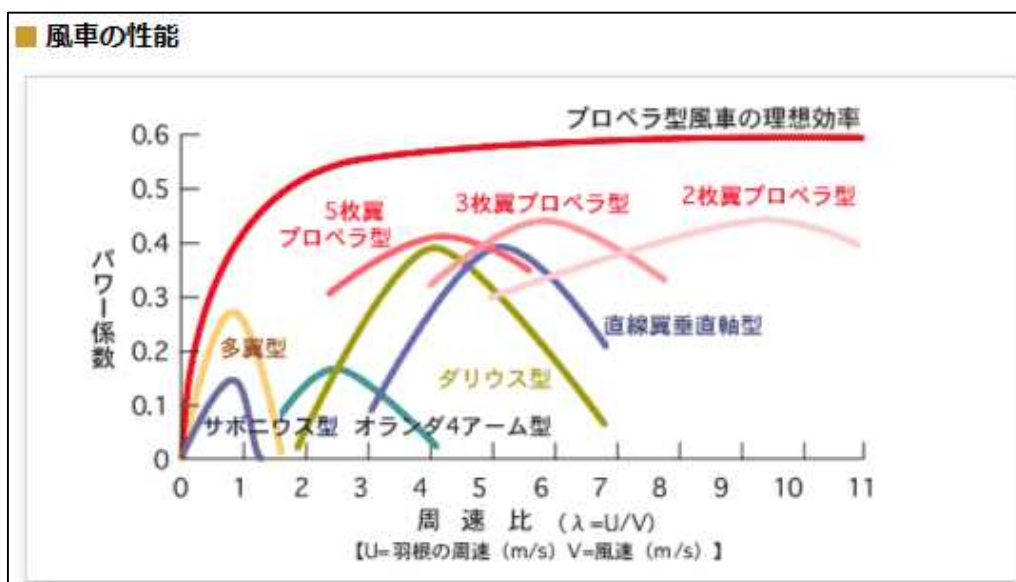


図2 風力発電システムのパワー係数と周速比との関係  
(株式会社ニッコー環境エネルギー機器 風車の性能より)

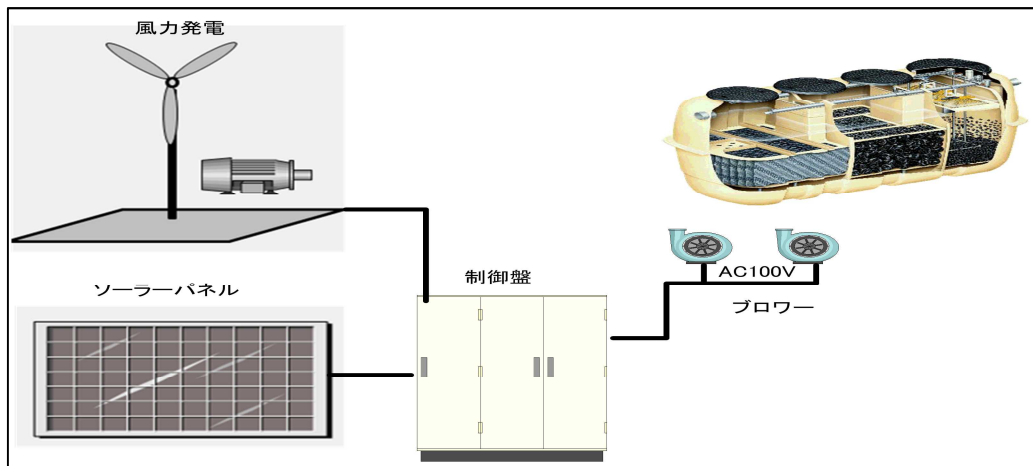


図3 再生可能エネルギーを活用した浄化槽導入ハードシステム



写真1 風車 (3枚翼)



写真2 現場監視端末

### 2.1.3 風力・太陽光発電ソフトシステム概要

本方式において代表例として独)国立環境研究所バイオ・エコエンジニアリング研究施設のシステムを 図4 に示す。風力・太陽光発電の発生ポテンシャルを解析・評価する上での、解析システムは太陽光・風力発電の発生電圧電流を電圧電流変換器にて 4-20mA 変換し PLC(programmable logic controller)の AD 変換器 (アナログ信号をデジタル信号に変換) に取り込みそれをデジタル 6,000 分解し PLC のメモリーに展開(写真3)し、その数値を RS232C によりパソコンに取り込みデータベースシステムに保存する最適システム(写真4)である。データは WIFI 経由インターネットを使用し VPN(Virtual Private Network バーチャル プライベート ネットワーク 公衆回線をあたかも専用回線であるかのように利用できる技術)にて中央監視装置からリアルタイムに設置ポイントの現況を監視 (図5、6、7) できる。

なお、①愛知県愛西市、②福島県福島市、③茨城県美浦村、④熊本県熊本市に設置した太陽光発電システムのパネル数、パネル面積等は、①2枚：1.2㎡：定格170W、②12枚：6㎡：定格1,020W、③16枚：8㎡：定格1,360W、④130枚：160㎡：20kW である。①福島県福島市、②茨城県美浦村、③石川県白山市に設置した風力発電システムの能力は、①定格62W、②定格1,000W、③定格1,000W である。

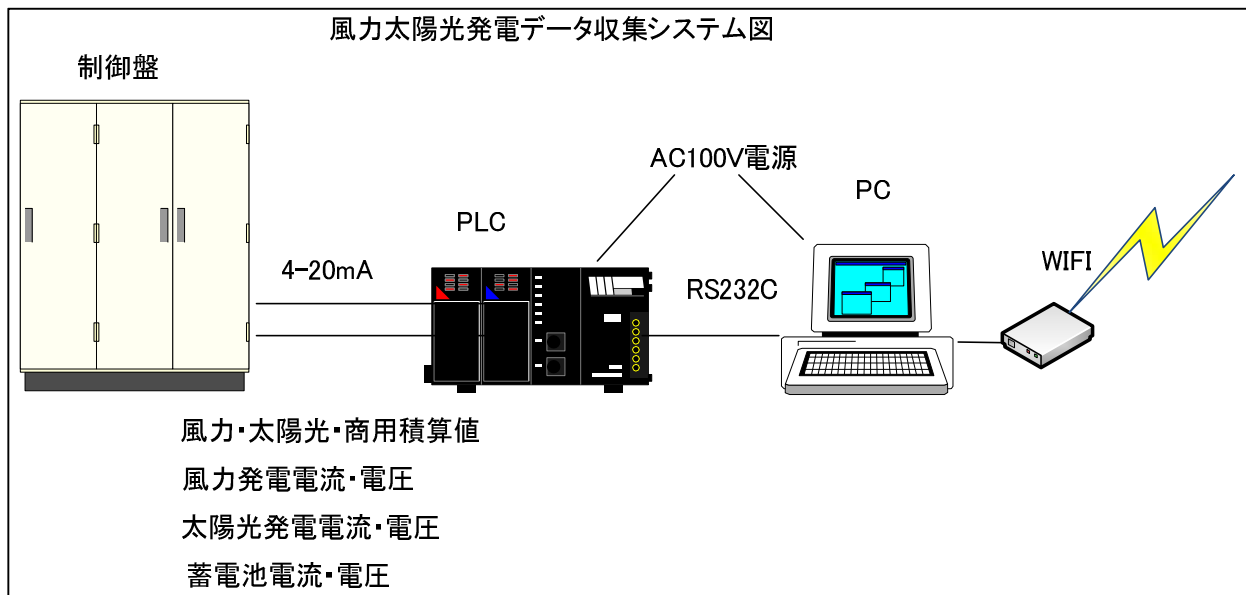


図4 再生可能エネルギーを活用した太陽光・風力発電導入ソフトシステム



写真3 太陽光風力の電力監視盤



写真4 現場監視端末

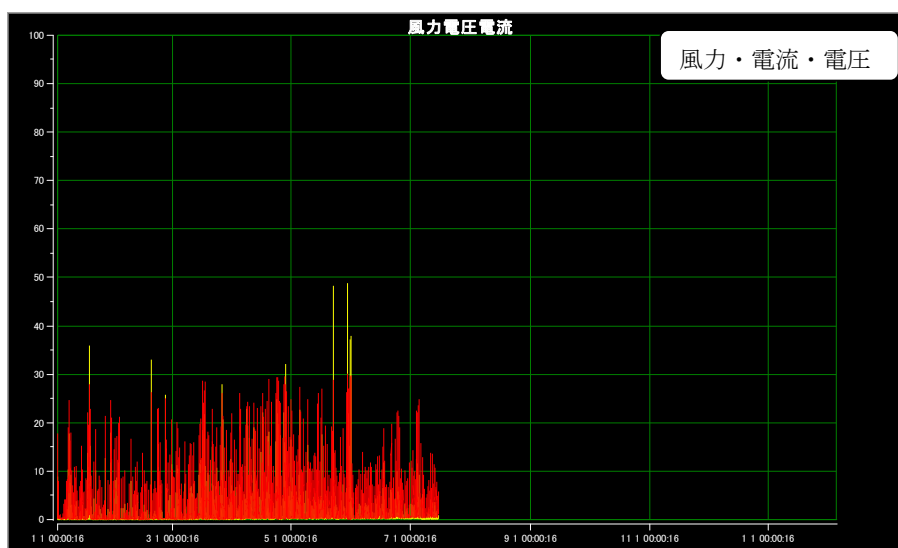


図5 VPNによる監視状況（風力）

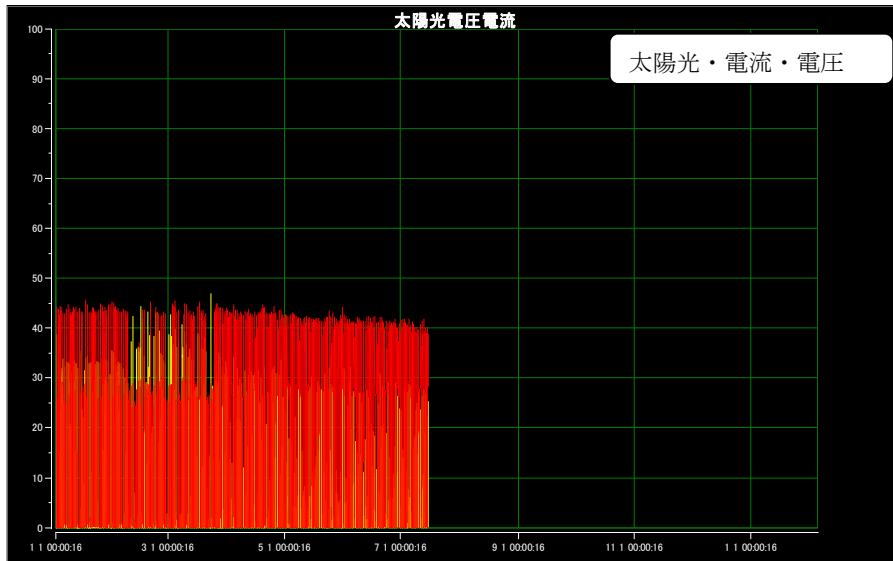


図6 VPNによる監視状況（太陽光）

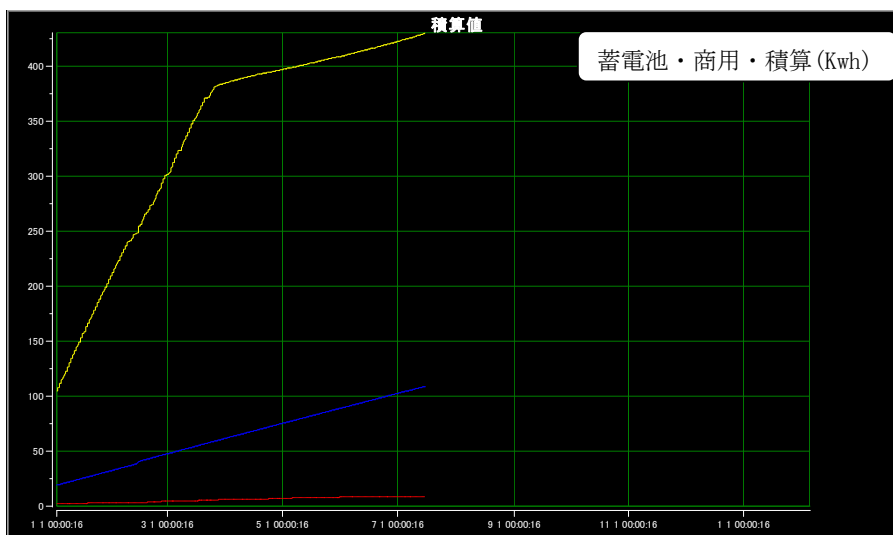


図7 VPNによる監視状況（積算）

#### 2.1.4 風力・太陽光発電システムと商用電力切り替え機構

本実験においては、浄化槽の電源を維持しつつ、できる限り再生可能エネルギーで供給するというシステムを構築している。そのため、発電した電力は全てバッテリーに蓄電され、そこから浄化槽に電力を供給する機構としている。バッテリーからの供給が出来ないほどにバッテリー電圧が低下している場合、電源を商用に切り替えて浄化槽に供給するようなシステム構成になっている。

#### 2.2 省エネルギー方式微生物機能向上・汚泥減容化高度処理浄化槽技術開発に関する研究

実生活排水を濃度・流入調整して試験できる環境が整備された独) 国立環境研究所・バイオエコエンジニアリング研究施設で実施した。

## 2.2.1 ミニチュアリアクター試験における動力停止条件に関する検討

### 2.2.1.1 実験装置と運転条件

試験装置は、5槽からなる反応槽の全体有効容積は29 L、沈殿槽の有効容積は6 Lとした（図8、写真5）。AO法（嫌気好気活性汚泥法）を採用し、第1槽は嫌気槽、第2槽から第4槽は好気槽とした。供試排水は、農業集落排水処理施設の実生活排水をBOD:200 mg・L<sup>-1</sup>、TN:45 mg・L<sup>-1</sup>、TP:5 mg・L<sup>-1</sup>、SS:120 mg・L<sup>-1</sup>に調整して用いた。排水は24時間定量流入とし、BOD容積負荷は0.34 kg・m<sup>-3</sup>・day<sup>-1</sup>とした。沈殿槽に貯留した汚泥は循環ポンプにより反応槽へ返送するとともに、MLSSが2,000 mg・L<sup>-1</sup>になるよう汚泥引き抜きを行った。電力制御として、すべての電気機器（ブロワ、嫌気槽攪拌機、汚泥返送ポンプ）の稼働時間をタイマー制御した。間欠運転条件は1日当たりの電力供給を12hrで一定とし、12hr間欠、6hr間欠、4hr間欠、2hr間欠と変化させた。なお、電力制御を行わない24hr連続運転を対照系とした。また、流入水量に対する汚泥返送比は、対照系および12hr間欠運転においては標準法に準じた0.4に、6hr、4hr、2hr間欠運転においては2に設定した。実験条件について表1にまとめて示す。

### 2.2.1.2 試料の採取と分析

本実験では、沈殿槽において沈殿分離した後の流出水を処理水とした。経日サンプリングについては、1日分の処理水を実験系ごとに貯蔵し、良く攪拌した後に、処理水としてサンプリングを行った。なお、経日サンプリングは週1回の頻度で行った。また、本実験ではPhaseごとに処理水の終日サンプリングも実施した。2hrごとの処理水を貯蔵し、良く攪拌した後にサンプリングした。なお終日サンプリングは各Phaseの安定期である最終週に行った。測定項目は、処理水および反応槽のBOD、T-N、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、T-P、DOとした。

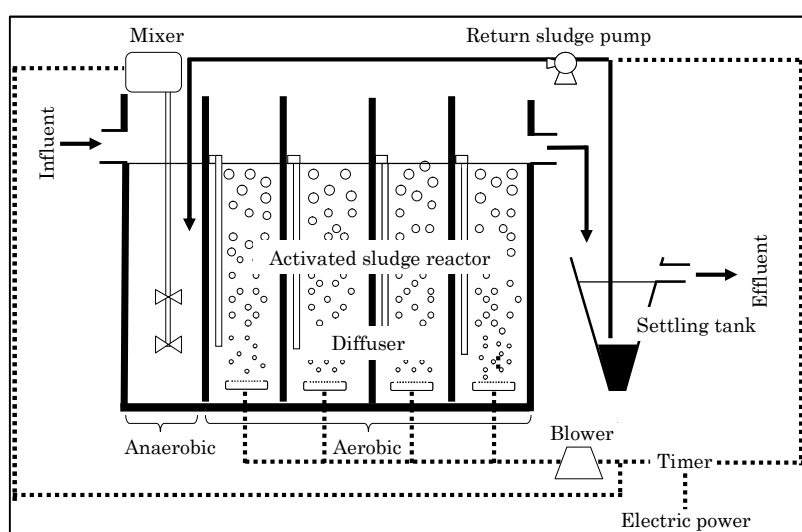


図8 試験装置の概略





写真5 ミニチュアリアクター試験装置

表1 実験条件

	汚泥返送比	0	6	12	18	24
原水流入	-	24 hr連続流入				
対照系	0.4 <sup>※1</sup>	[電力供給]				
実験系 (電力50%停止)						
12 hr間欠運転	0.4	[電力供給]	[電力停止]	[電力供給]	[電力停止]	[電力供給]
6 hr間欠運転	4 <sup>※2</sup>	[電力供給]	[電力供給]	[電力停止]	[電力供給]	[電力供給]
4 hr間欠運転	4	[電力供給]	[電力供給]	[電力供給]	[電力停止]	[電力供給]
2 hr間欠運転	4	[電力供給]	[電力供給]	[電力供給]	[電力供給]	[電力供給]

[電力供給] : 電力供給    [電力停止] : 電力停止

## 2.2.2 ミニチュアリアクター試験における汚泥発生に関する検討

### 2.2.2.1 実験装置と運転条件

ミニチュアリアクターによる実験を行い、排水処理特性および生物特性に及ぼすばつ気停止の影響を評価した。また、物質収支の算定による解析も行った。実験装置は、2槽からなる反応槽の有効容積は29L、沈殿槽の有効容積は6Lとした(図9)。反応槽に攪拌機を設置することで完全混合の実験系とした。A0法(嫌気好気活性汚泥法)を採用し、第1槽は嫌気槽、第2槽は好気槽とした。供試排水は、農業集落排水処理施設の実生活排水をBOD:200mg・L<sup>-1</sup>、TN:45mg・L<sup>-1</sup>、TP:5mg・L<sup>-1</sup>、SS:120mg・L<sup>-1</sup>に調整して用いた。排水は24時間定量流入とし、BOD容積負荷は0.4kg・m<sup>-3</sup>・day<sup>-1</sup>とした。沈殿槽に貯留した汚泥は循環ポンプにより反応槽へ返送するとともに、MLSSが3,000mg・L<sup>-1</sup>になるように常時、汚泥引き抜きを行う構造とした。

電力制御として、ブロワの稼働時間をタイマー制御した。間欠運転条件は1日当たりの電力供給を12hrで一定とし、12hr 間欠、0.25hr (15min) 間欠と変化させた。なお、電力制御を行わない24hr 連続運転を対照系とした。また、流入水量に対する汚泥返送比は、すべての条件で2に設定した。

### 2.2.2.2 試料の採取と分析

試料の採取と分析は、2.2.1.2と同様に実施した。加えて、終日サンプリングでは、反応槽内の汚泥を採取するとともに発生するガスもサンプリングした。測定項目は、CHN コーダ (アムコ製 EA1112) を用いた汚泥サンプルの成分分析と N<sub>2</sub>O モニタ (日本サーモ製 46C) を用いたガスサンプルの N<sub>2</sub>O 分析を追加した。また、活性汚泥の検鏡を行い、生物相を確認した。

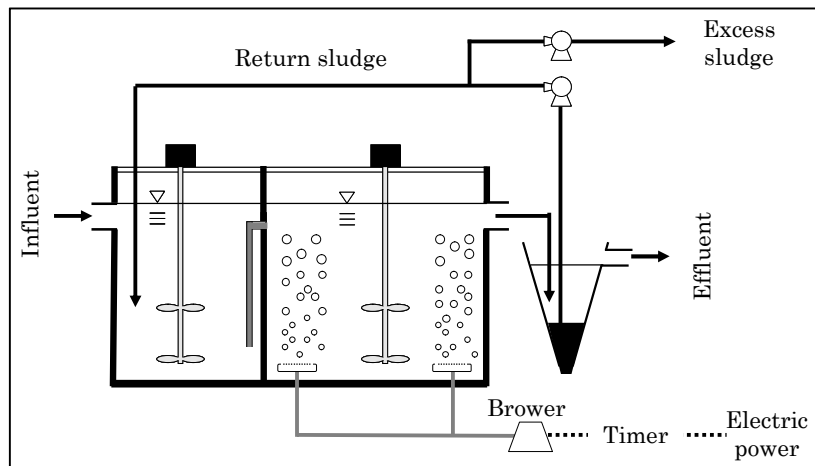


図9 試験装置の概略

### 2.2.3 鉄電解脱リン方式浄化槽による実証試験に関する検討

A および B と称する 2 基の実機浄化槽 (5 人槽) を用いて、屋外実証試験を実施した。浄化槽は鉄電解脱リン方式浄化槽 (CRX 型、フジクリーン工業 (株) 製) を採用した。BOD : 200 mg · L<sup>-1</sup>、T-N : 45 mg · L<sup>-1</sup>、SS : 160 mg · L<sup>-1</sup> に調整した実生活排水を、(財) 日本建築センターが定める浄化槽の性能評価試験方法 (現場評価試験 1) に従い、13:00~20:00 と 23:00~4:00 に流入させた。両浄化槽とも、散気 : 70~75L · min<sup>-1</sup>、循環 : 12L · min<sup>-1</sup>、電解槽散気 : 15L · min<sup>-1</sup> にばっ気量を設定してあるが、浄化槽 A は省エネルギー運転として、流入のない 4:00~8:00 に散気用ブローアを停止させた (実証試験 1)。また、これに続く実験として、各浄化槽のブロワをそれぞれ上記の 3 機能を兼ねるばっ気量 60L · 分<sup>-1</sup> の 1 台とした上、浄化槽 A についてはブロワの on/off が 45 分/15 分の間欠ばっ気運転を行った (実証試験 2)。夾雑物除去槽、嫌気ろ床槽、接触ろ床槽、処理水槽から試料を採取し、各種分析結果を解析した。水質分析項目は、BOD、ATU-BOD、S-BOD、TOC、SS、T-N、T-P、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、PO<sub>4</sub>-P とした。また、槽内の分析項目である DO、pH、ORP や SS、VSS、汚泥厚、スカム厚も測定した。

## 2.3 省エネルギー方式浄化槽の温室効果ガス発生抑制技術の開発

### 2.3.1 実験装置

#### 2.3.1.1 ラボスケール実験装置

ミニチュアリアクターによる基礎試験を行い、排水処理特性および生物特性に及ぼす動力停止の影響を解析評価した。さらに、排水処理性能を維持できる動力停止条件および操作条件を検討した。

試験装置は、5槽からなる反応槽の全体有効容積は29L、沈殿槽の有効容積は6Lとした(図10)。AO法(嫌気好気活性汚泥法)を採用し、第1槽は嫌気槽、第2槽から第4槽は好気槽とした。供試排水は、農業集落排水処理施設の実生活排水を $BOD:200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $TN:45\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $TP:5\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $SS:120\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ に調整して用いた。排水は24時間定量流入とし、 $BOD$ 容積負荷は $0.34\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{day}^{-1}$ とした。沈殿槽に貯留した汚泥は循環ポンプにより反応槽へ返送するとともに、 $MLSS$ が $2,000\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ になるよう汚泥引き抜きを行った。

電力制御として、すべての電気機器(ブロワ、嫌気槽攪拌機、汚泥返送ポンプ)の稼働時間をタイマー制御した。実験系は6系設定し、好気槽のばっ気/非ばっ気時間を24h/0h(連続ばっ気)、18h/6h、12h/12h、6h/6h、4h/4h、2h/2hとした。

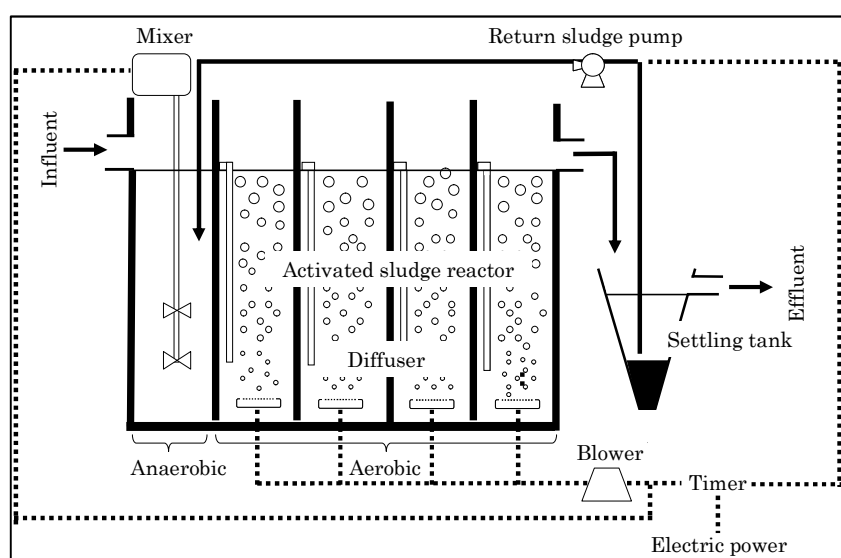


図10 ラボスケール試験装置の概略

#### 2.3.1.2 屋外実機浄化槽

AおよびBと称する2基の実機浄化槽(5人槽:フジクリーン(株)製)を用いて検討した。実機浄化槽の概略を図11に、また各槽の滞留時間を図12に示す(図11、12はフジクリーン(株)作成)。 $BOD:200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $T-N:45\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $SS:160\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ に調整した実生活排水を、(財)日本建築センターが定める浄化槽の性能評価試験方法(現場評価試験1)に従い、13:00~20:00と23:00~4:00に流入させた。両浄化槽とも、3台のブロワを用い、散気: $70\sim75\text{L}\cdot\text{分}^{-1}$ 、循環: $12\text{L}\cdot\text{分}^{-1}$ 、電解槽散気: $15\text{L}\cdot\text{分}^{-1}$ にばっ気量を設定してあるが、浄化槽Aは省エネルギー運転として、流入のない4:00~8:00に散気用ブロワを停止させた(実証試験1)。また、これに続く実験として、各浄化槽のブロワをそれぞれ上記の3機能を兼ね

るばっ気量  $60\text{L}\cdot\text{分}^{-1}$  の 1 台とした上、浄化槽 A についてはブロワの on/off が 45 分/15 分の間欠ばっ気運転を行った（実証試験 2）。

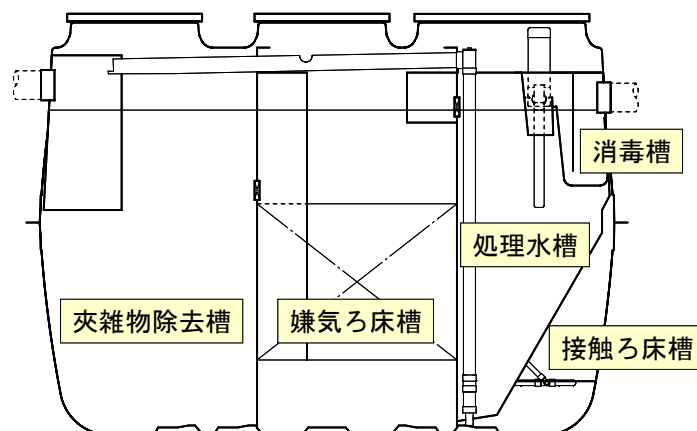


図 11 屋外実機浄化槽の概略

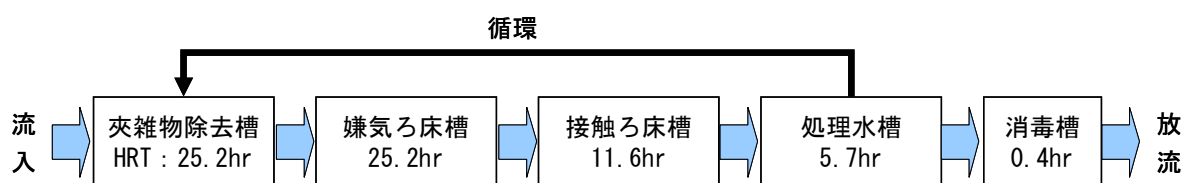


図 12 実機浄化槽の各槽の滞留時間

### 2.3.2 試料の採取および分析方法

#### 2.3.2.1 大気中への放出ガス採取方法

ラボスケール実験では、図 10 に示した装置の生物処理反応槽（嫌気槽および好気槽）の上部全体を覆うようにカバーを取り付け、生物処理工程から大気中に放出されるガスを採取した。また、実機浄化槽では、浄化槽からのばっ気ガス排出口を 1ヶ所になるように改造し、そこから採取したガスを連続モニタリング装置に導入・測定した。

#### 2.3.2.2 溶存態のガス試料採取方法

ラボスケール、屋外実機浄化槽ともに、嫌気槽、好気槽、沈殿槽（＝処理水に相当）から水試料を採取し、ヘッドスペース法により試料中の溶存ガスを採取した。

#### 2.3.2.3 ガス分析方法

採取したガスの分析は、手作業にて採取したガス（大気中へのものおよび溶存態のもの）については、ECD-GC を用いて  $\text{N}_2\text{O}$  を、FID-GC を用いて  $\text{CH}_4$  をそれぞれ分析した。また、 $\text{N}_2\text{O}$  連続モニタリング装置を用いて、屋外実機浄化槽から大気中に放出される  $\text{N}_2\text{O}$  を連続分析した。

#### 2.3.2.4 水試料の採取と分析

各実験において、流入水・生物処理反応槽内水・処理水について適宜採取・分析した。分析項目は、BOD、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、T-N、T-P、DO 等とした。

## 2.4 省エネルギー方式浄化槽の処理機能解析に基づく技術の開発に関する研究

### 2.4.1 ベンチスケール浄化槽システムにおけるペレット型リン除去剤の効果解析

ベンチスケール浄化槽におけるペレット型リン除去剤の効果解析においては、福島大学構内にベンチスケール浄化槽を構築し、人工排水を供試し、ペレット型リン除去剤の適用を試みた。ベンチスケール浄化槽システムは、ペレット型リン除去剤添加系（以下「添加系」という。）、ペレット型リン除去剤を添加しない系（以下「対照系」という。）の2系列を運転した。本実験に用いたベンチスケール浄化槽の概略は図13に示す通りである。本ベンチスケール浄化槽は、嫌気・好気循環方式の高度処理合併処理浄化槽を模したものであり、嫌気ろ床槽第1室、嫌気ろ床槽第2室、好気担体流動槽、沈殿槽から構成した。それぞれの容積は10L、10L、7.2L、6Lとし、階段状に設置した。嫌気ろ床槽第1室にはポリエチレン製の網目状中空担体（ $\phi 28\text{mm} \times 28\text{mm}$ 、比表面積  $330\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$ 、HP-60、タキロン）を約5L、嫌気ろ床槽第2室には約8L充填させた。また、好気担体流動槽には流動担体としてポリエチレン製中空担体（ $\phi 14\text{mm} \times 15\text{mm}$ 、比表面積  $456\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$ 、ゼビオチューブ、ゼビオプラス）を約2.5L投入した。担体流動好気槽底部からは散気を行った。散気は、担体が十分に攪拌される程度の風量とした。沈殿槽から嫌気ろ床槽第1室へは電磁定量ポンプを用いて汚泥返送および好気処理水（硝化液）を常時循環させ、嫌気・好気循環による硝化脱窒プロセスを設けた。また、本ベンチスケール浄化槽においては、実機浄化槽で用いられる溶解筒の代わりに、円筒形のプラスチック製シリンジを用意し、穴を数カ所空けたものを溶解容器として使い、この中にペレット型リン除去剤を充填させた。本試験において供試したペレット型リン除去剤は、直径20mm、高さ10mmの円柱型ペレットに成形し、1錠あたりの質量は約5gとした。なお、基礎実験結果を基に、添加濃度は、原水中のP濃度に対する凝集剤中のAl濃度モル比を1程度とした。また、添加系好気槽には必要に応じてpHコントローラーを設置し、リン除去剤添加によるpHが中性となるよう制御した。分析項目としては、TOC、T-N、T-P、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_{2+3}\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、pH、ORP、DO等をJIS K0102および下水試験法に準じて測定した。微生物相の観察には光学顕微鏡を用いて検鏡を行った。

ペレット型リン除去剤は、硫酸カリウムアルミニウム ( $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ) を主剤としており、これに微量の副原料を加え、ペレット様に加圧成形したものである。硫酸カリウムアルミニウムは、古くから凝集剤として使用されており、漬物や海産物加工等に食品添加物としての使用されていることから、人体に対して比較的安全性の高い物質といえる。この加圧成形したペレット型リン除去剤は、水溶液中ではアルミニウムイオン、硫酸イオン、カリウムイオンに電離する特徴を有しており、また、同時に、浄化槽の消毒剤と同様に水に触れた部分から緩やかに溶解する特徴も有している。これにより徐放性を確保することで、一定期間のリン除去効果を狙ったものであり、リン凝集剤としては従来に無い固形タイプである。このペレット型リン除去剤は図14に示す通りである。すなわち、適用にあつては、浄化槽の消毒剤を充填する薬剤筒と同様の機能がある溶解筒に入れ、処理水と接触させることで、ペレット型リン除去剤から電離されたアルミニウムイオンと排水中に存在するリン酸イオンを反応させ、リン酸アルミニウムの沈殿物を生じさせる。

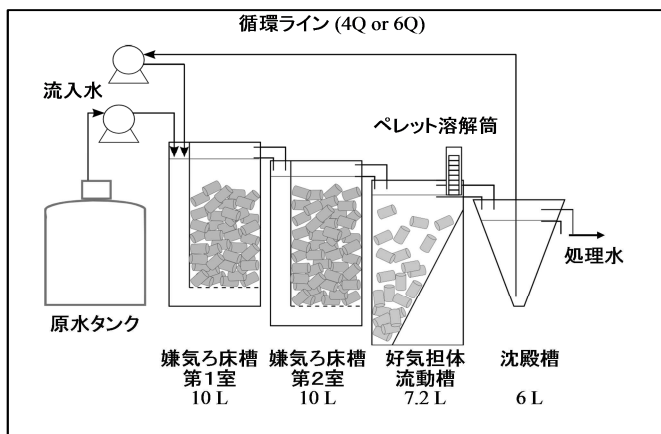


図 13 ベンチスケール浄化槽の概要

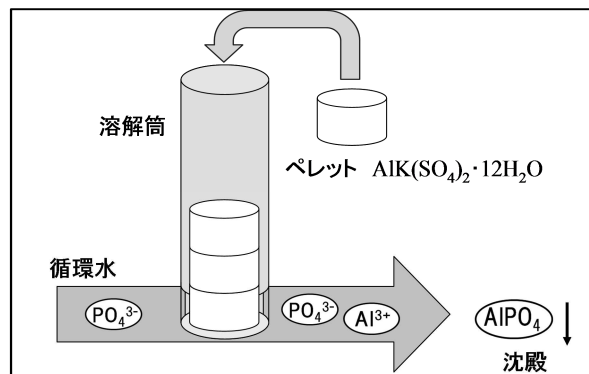


図 14 ペレット型リン除去剤の溶解方法

### 2.4.2 既設実機浄化槽におけるペレット型リン除去剤の効果解析

研究対象浄化槽として、福島県内の一般家庭に設置された浄化槽を用いた（図 15）。この浄化槽は、流量調整型嫌気濾床・担体流動生物濾過循環方式による窒素・リン除去型高度処理合併処理浄化槽の 5 人槽タイプで、実使用人員は 4 人であった。嫌気ろ床槽は第 1 室、第 2 室と区分され、それぞれにろ材が充填されており、汚泥貯留と脱窒反応が行われている。嫌気ろ床槽第 2 室流出口には、移送用エアリフトポンプが設けられており、流量調整が行われている。担体流動生物ろ過槽は、上層の好気部と下層のろ過部に分かれており、上層の好気部では、微生物の好気反応による BOD 除去反応と硝化反応が行われ、下層のろ過部では、中空円筒状担体により、SS のろ過が行われている。担体流動生物ろ過槽で処理された水は、処理水槽に移送され、処理水槽底部から循環用エアリフトポンプにより、嫌気ろ床槽第 1 室に汚泥と硝化液を循環する構造となっている。この循環水ラインを分岐した箇所に、ペレット型リン除去剤の溶解ボックスを設け、そこに、ペレット型リン除去剤を充填した溶解筒を立てて供試した。溶解筒内には、直径 60mm、高さ 50mm、質量 200g のペレット型リン除去剤を充填した。また、この溶解ボックス内には、バルブにより全循環水量を 0～100%の範囲で溶解ボックス内への導水量を調節可能とする機能を設けた。また、ペレット型リン除去剤の溶解量を調整するための浸漬深さのコントロールは、溶解ボックス内の水位調整や溶解筒底部のねじ込み式足の高さ調節により適宜行った。なお、鉄電解法に関しては、ペレット型リン除去剤と入れ替えるかたちで撤去し、試験を行った。

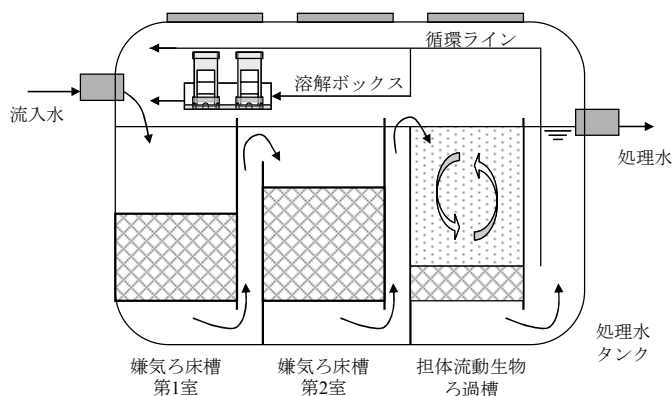


図 15 実機浄化槽の概略

本実験における浄化槽の運転条件は表 2 に示す通りである。ペレット型リン除去剤を設置しなかった Phase I (6月23日～8月11日)、溶解筒を1本設置した Phase II (8月11日～10月30日)、同様に、溶解筒を1本設置した低水温期間の Phase III (10月30日～11月30日)、そして次年度、Phase II～IIIでの処理水 T-P およびペレット型リン除去剤の溶解量を基に、溶解筒を6本設置した Phase IV (6月8日～11月16日)に分けて実施した。また、表 2 には、各期間中における流入水量と循環量および溶解ボックス内の通過水量を示した。調査対象浄化槽への流入生活排水量は、水道使用量とみなし、水道メーター値を毎週1回記録し、それを1日あたりの浄化槽流入量に換算した。本研究期間における1日あたりの流入水量は Phase I～IIIを通じて、平均  $0.75\text{m}^3 \cdot \text{day}^{-1}$  で、Phase IVでは  $0.84\text{m}^3 \cdot \text{day}^{-1}$  であった。これを使用人員1人当たりとすると、それぞれ  $0.19\text{m}^3 \cdot \text{day}^{-1}$ 、および  $0.22\text{m}^3 \cdot \text{day}^{-1}$  であり、既往の統計データと比較して標準的な水量であった。また、循環水量に関して、ペレット型リン除去剤設置前の Phase I においては、調査時に循環水量を特に調節しなかったことから、循環水量は  $5.63\text{m}^3 \cdot \text{day}^{-1}$  となっており、これは、流入水量の6.9倍に相当し、浄化槽の維持管理要領書に記載されている循環水量である、流入水量の3～4倍と比較して多く循環されていた。本研究ではペレット型リン除去剤を溶解させる必要があるため、溶解ボックス内への導水量を確保する必要があると考え、Phase II以降の循環水量はペレット型リン除去剤の溶解を加味して表 2 の様に運転した。循環水量は Phase II、IIIで流入水量の6倍相当となるよう調整し、溶解量確保のため、そのうちの60～100%の範囲で溶解ボックスへと導水した。また、Phase IVでは、6本の溶解筒を設置したことから、Phase II、IIIと比較して少ない導水量で溶解量を確保できるため、循環水量は4倍相当とし、その30%程度を溶解ボックスへと導水した。ペレット型リン除去剤の添加濃度は、ベンチスケール試験での結果を踏まえ、Al/Pモル比で1～2となるように溶解させ、 $80\text{g} \cdot \text{day}^{-1}$ 以上の溶解量を目標とした。この溶解量は、浄化槽流入水のリン濃度を  $5.0\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、流入水量を  $0.71\text{m}^3 \cdot \text{day}^{-1}$ と仮定して計算すると、Al/Pモル比1.4となり、1週間当たり2.8個のペレット型リン除去剤が必要となる。同様にモル比1.4で、Phase IVにおいては、3.3個のペレット型リン除去剤が必要となる。

表 2 本実験における浄化槽の運転条件

Phase	期間	流入水量 ( $\text{m}^3 \cdot \text{day}^{-1}$ )	循環水量 ( $\text{m}^3 \cdot \text{day}^{-1}$ )	ボックス内流量 ( $\text{m}^3 \cdot \text{day}^{-1}$ )
Phase I	6/23～8/11	0.82	5.63	-
Phase II	8/11～10/30	0.71	4.10	2.73
Phase III	10/30～11/30	0.72	4.61	3.94
Phase IV	6/8～11/16	0.84	3.42	1.06

## 2.5 省エネルギー方式低動力型対応充填担体技術の開発

### 2.5.1 接触ろ床方式による好気処理性能の評価

以下の要領で接触ろ床方式の処理性能の評価をおこなった。

#### 2.5.1.1 実験場所

5人槽相当の実大試験槽を製作し、国立環境研究所バイオ・エコエンジニアリング研究施設の恒温試験室に設置した。水温が  $13^\circ\text{C}$  または  $20^\circ\text{C}$  で一定の条件下における厳密な比較試験を実施した。

### 2.5.1.2 流入条件

原水の流入パターンは、(一財)日本建築センターが定める浄化槽の性能評価試験方法（短期負荷試験）にしたがった（図16）。15:00の流入水量は浴室等からのピーク排水を想定した59L・分<sup>-1</sup>、これ以外の時間帯における流入水量は13L・分<sup>-1</sup>に設定した。また、流入水質の設定値は、BOD：200mg・L<sup>-1</sup>、T-N：45mg・L<sup>-1</sup>、SS：160mg・L<sup>-1</sup>とした。

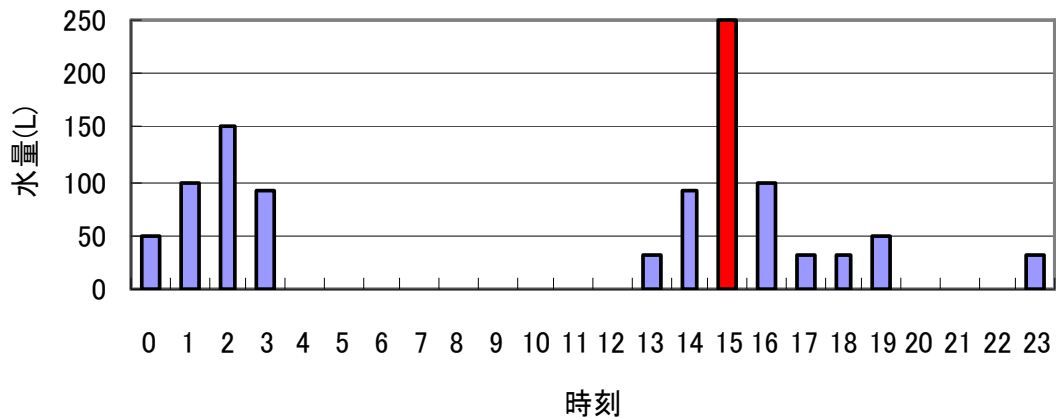


図16 1日の原水流入パターン

### 2.5.1.3 試験槽の処理方式

試験槽はFRP製の5人槽相当とし、実製品と同等の形状とした。試験槽は、夾雑物除去槽、嫌気ろ床槽、接触ろ床槽、処理水槽、消毒槽からなる。試験槽の処理フローならびに各槽の滞留時間を図17に示す。また、試験槽の構造図を図18に、接触ろ床槽の模式図について図19に示す。

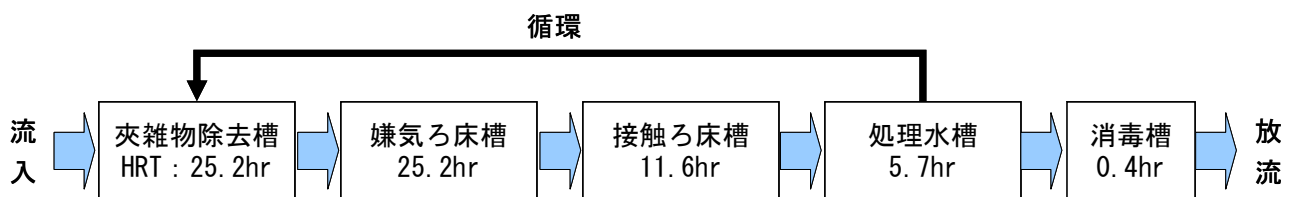


図17 試験槽の処理フローと各槽の滞留時間



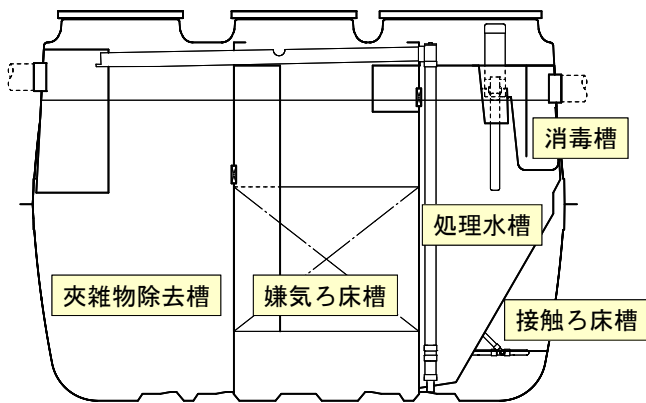


図 18 試験槽の構造図

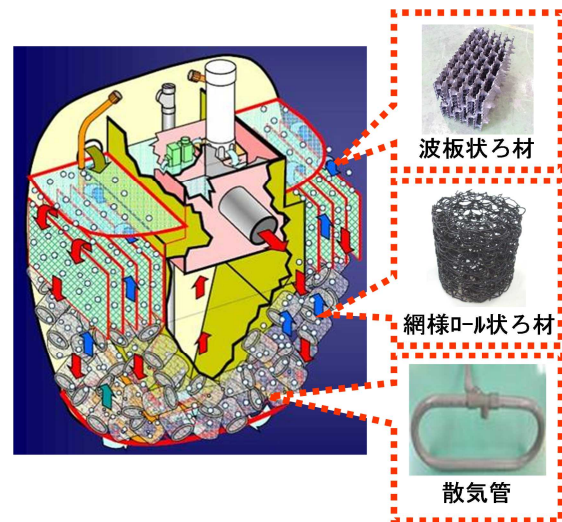


図 19 接触ろ床槽の模式図

#### 2.5.1.4 運転条件

水温を 13℃または 20℃、ばっ気風量を 45 L・分<sup>-1</sup>または 55 L・分<sup>-1</sup>とし、水温及びばっ気風量が処理性能に及ぼす影響について確認した。表 3 に各 RUN の運転条件、仕様を示す。

表 3 運転条件、試験槽仕様

項目	水温(℃)	ばっ気風量 (L・分 <sup>-1</sup> )	嫌気ろ材充填率	嫌気ろ材種類
RUN1	20	45	46%	骨格様球状
RUN2	20	55	46%	骨格様球状
RUN3	13	45	46%	骨格様球状

#### 2.5.1.5 採水、分析項目

試験槽からの流出水（処理水）について、週 1 回の頻度でコンポジットサンプラーを使用して採水した。分析項目は、pH、アルカリ度、BOD、d-BOD、ATU-BOD、SS、T-N、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N とした。また、点検は概ね 1 ヶ月に 1 回の頻度とし、必要に応じて循環水量、風量調整等を行った。

#### 2.5.1.6 目標水質

評価基準となる目標水質は、BOD ≤ 10 mg・L<sup>-1</sup>、T-N ≤ 10 mg・L<sup>-1</sup>、SS ≤ 10 mg・L<sup>-1</sup> とした。

#### 2.5.2 嫌気ろ床の脱窒性能向上に関する検討

嫌気ろ床における脱窒性能向上のための検討として、嫌気ろ材の充填率および嫌気ろ材種類の違いによる性能比較をおこなった。表 4 に各 RUN の仕様を示す。また写真 6 に各嫌気ろ材を示す。水温条件は 20℃、ばっ気風量は 55 L・分<sup>-1</sup>とした。その他の試験方法については 2.5.1 で示した方法と同じとした。

表 4 各試験における運転条件、試験槽仕様

① 嫌気ろ材充填率の影響

	嫌気ろ材充填率	嫌気ろ材種類
RUN4	46%	骨格様球状
RUN5	55%	骨格様球状

② 嫌気ろ材種類の影響

	嫌気ろ材充填率	嫌気ろ材種類
RUN6	46%	骨格様球状
RUN7	46%	網様円筒状

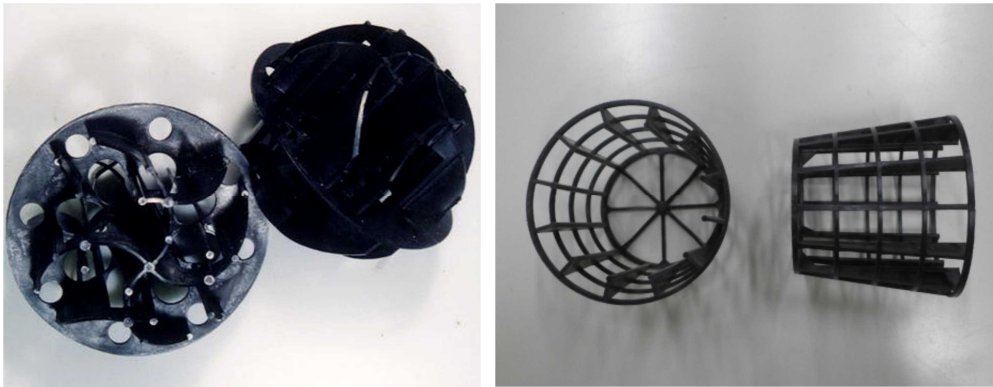


写真 6 嫌気ろ材（左：RUN6 骨格様球状ろ材、右：RUN7 網様円筒状ろ材）

### 2.5.3 間欠ばっ気運転の導入による省エネルギー化に関する検討

間欠ばっ気運転導入が性能に及ぼす影響を確認するため、70分を1サイクルとする間欠ばっ気運転を行い、1サイクルのブロワ停止時間を0分から40分まで変化させた。表5に運転パターンと水温条件を示す。実験槽の処理フローは2.5.1で示したフローと同一で、嫌気ろ床槽の仕様は2.5.2のRUN7と同一とした。ばっ気風量は $48\text{L}\cdot\text{分}^{-1}$ とした。

表 5 間欠ばっ気運転パターンと水温条件

RUN	運転パターン	ブロワ稼動 時間削減率	水温
RUN①	常時ばっ気	—	20℃
RUN②	60分 ON / 10分 OFF	14%	20℃
RUN③	50分 ON / 20分 OFF	29%	20℃
RUN④	40分 ON / 30分 OFF	43%	20℃
RUN⑤	30分 ON / 40分 OFF	57%	20℃
RUN③-2	50分 ON / 20分 OFF	29%	13℃

## 2.6 地域特性を踏まえた浄化槽の消費エネルギー解析と省エネシステム管理技術

### 2.6.1 小型浄化槽の設置状況とプロワ消費電力に関する検討

調査対象型式として累積設置基数の多い型式を選定した。全国浄化槽推進市町村協議会（以下、全浄協と示す）に登録されている浄化槽を処理方式ごとに分類し、年度ごとの設置基数を型式別に算出してその動向を確認した。

なお、ここで示した設置基数は、平成5年度から平成20年度までの間、全浄協に回収された登録浄化槽管理票の件数を集計したものである。登録浄化槽管理票は国庫補助の対象浄化槽についてのみ発行されるため、補助対象外の浄化槽はここでの集計から除外されている。さらに、登録浄化槽管理票の回収率が100%に達していないこともあり、集計結果は大まかな設置の傾向を示したものとなる。

次に、登録小型合併処理浄化槽要覧を用いてプロワの定格吐出風量および定格消費電力を型式ごとに確認し、これらの情報をデータベース化した。上述の設置基数の推移と合わせてみることでプロワ消費電力の動向を確認した。

### 2.6.2 濃縮車の導入状況とその応用およびCO<sub>2</sub>排出量に及ぼす影響に関する検討

#### 2.6.2.1 バキューム車と濃縮車の燃料消費量の比較

濃縮車がすでに稼働している地域において、浄化槽の清掃をバキューム車で行った場合と濃縮車で行った場合の燃料消費量を比較検討した。本ケーススタディは2地域を対象として行い、各地域においてバキューム車を用いた清掃と濃縮車を用いた清掃を実施した（表6）。

表6 ケーススタディに用いた2地域

地域A	ケース1：バキューム車単独（汚泥、張り水の輸送） ケース2：濃縮車単独
地域B	ケース3：バキューム車＋給水車 ⇒ 汚泥は大型車に積替え輸送 ケース4：濃縮車＋高濃度汚泥搬送車

清掃を行った浄化槽の人槽、処理方式、清掃対象汚泥量、搬出汚泥量を1件ごとに記録し、さらに1日ごとの車輛の走行距離、燃料消費量を調査・集計した。

#### 2.6.2.2 市場に投入された濃縮車の比較検討

濃縮車が対象とする浄化槽は小型浄化槽が中心となる。開発された濃縮車3社について、同一時期に同様な条件下で現場試験を行うことで、各社の特徴および各作業工程における作業性や作業効率等を検討するため、清掃時期に達した浄化槽の中から次の浄化槽を選定して比較検討を行った。

- ①処理方式 嫌気ろ床・接触ばっ気方式  
性能評価1型（一次処理が嫌気ろ床槽）  
性能評価2型（一次処理が夾雑物除去槽）  
みなし全ばっ気方式、みなし分離接触ばっ気方式
- ②人槽 7人槽以下
- ③負荷の程度 人員比0.7以上（負荷高）、人員比0.45以上0.7未満（負荷中）

### 2.6.2.3 濃縮車の油脂分離槽への適用

建築物の排水処理施設の前処理設備である油脂分離槽（グリーストラップ）の容量は様々で、200L 程度から数 m<sup>3</sup> と幅広い。濃縮車による実験として実施するためには、凝集剤の添加条件等を何段階かに分けて実施する必要があるため、当初比較的容量の大きな施設（魚類の加工工場）で実験を行った。その後、個別の施設ごとに実験を行い凝集剤の添加条件を検討した。

実験に際しては、濃縮された浮上物および堆積物は貯留タンクに移送し、中間水や洗浄排水等の比較的希薄な汚泥は反応タンクにおいて凝集処理を行い、スクリーンによる分離操作を行った。

なお、凝集剤の選定においては、従来から用いている高分子凝集剤に加え、PAC の併用についても検討を行った。

### 2.6.2.4 濃縮車が導入されたし尿処理施設への影響

調査は、福島県伊達郡にある伊達地方衛生処理組合処理施設（現在は衛生センター）を対象として実施した。当センターへは近隣の 2 市 3 町からし尿および浄化槽汚泥が搬入されている。過去には、日最大受入量を超過しないよう受入制限を行っていたが、浄化槽の清掃実施率の向上と汚泥発生量の抑制を図るため平成 13 年度に濃縮車を本格導入した。また、平成 21 年度には施設の更新に伴い、嫌気性消化・標準活性汚泥方式（処理能力 200kL・日<sup>-1</sup>）から膜分離高負荷脱窒素処理方式（処理能力 85kL・日<sup>-1</sup>）へ処理方式が変更された。更新後の施設は、電気浸透式脱水機を導入しており、脱水汚泥を助燃剤化する方式の資源化設備を有している。

濃縮車導入前後におけるし尿および浄化槽汚泥の搬入量、濃縮車の清掃対象汚泥量、し尿処理施設における燃料、電力および薬剤の使用量に関するデータを取得した。次に、燃料、電力、薬剤の使用量に環境負荷原単位を乗じ、CO<sub>2</sub> 排出量の積算を行い、濃縮車の導入がし尿処理施設における CO<sub>2</sub> 排出量に及ぼす影響について解析した。

### 2.6.2.5 濃縮車の導入によるし尿処理施設への負荷およびに CO<sub>2</sub> 排出量の予測

#### 1) 検討対象区域の設定

処理能力 100kL・日<sup>-1</sup> のし尿処理施設の処理区域を想定し、施設の運転に係る CO<sub>2</sub> 排出量について検討した。解析に先立ち、処理区域の下水道人口以外の人口（以下、処理対象人口とする）、すなわち非水洗化人口、単独処理浄化槽人口、合併処理浄化槽人口の合計を 100% とした場合の非水洗化人口、単独および合併処理浄化槽人口のそれぞれの割合を設定した。全国の処理形態別人口の推移を参考に、下水道の伸展や少子化等に起因する人口減少により処理対象人口が減少することを前提とし、その前年に対する比が一定となるように減少していくと仮定した。非水洗化人口および単独処理浄化槽人口については、人口割合の前年比が一定となるよう変化すると仮定した。し尿処理施設更新時の非水洗化人口、合併処理浄化槽人口および単独処理浄化槽人口の割合をそれぞれ 30%、35%、35% とした。処理対象人口は前年比 96.4% で減少し、非水洗化人口の割合および単独処理浄化槽人口の割合は、それぞれ前年比 96.5%、98.6% で減少することとして将来処理形態別人口を試算した。

#### 2) CO<sub>2</sub> 排出量予測モデル

将来汚泥発生量は、将来人口の予測値に対し、これまでに得られている処理形態別の汚泥発生量原単位を乗じて算出した。廃棄物処理施設の基幹的設備改良マニュアルのケーススタディに示されている運転事例のうち、負荷率 100% での運転事例を抽出し、施設規模を変数とした近似式により処理量あたりの

CO<sub>2</sub>排出量を表す。なお、運転事例として示されている CO<sub>2</sub>排出量は燃料、電力、薬剤の消費に伴う排出量であるため、本研究においては、これらのユーティリティ投入に係る CO<sub>2</sub>排出量を検討対象とした。

濃縮車を導入しないケースでは、汚泥の乾燥・焼却設備（以下、汚泥焼却設備とする）の運転に係る CO<sub>2</sub>排出量は近似式より算出した全 CO<sub>2</sub>排出量のうち一定の割合を占めると仮定し、汚泥焼却設備とその他の設備（以下、水処理設備等とする）の CO<sub>2</sub>排出量の算定式をそれぞれ求める。濃縮車の導入により施設規模を縮小する場合、搬入される固形物量は濃縮車未導入の場合とほぼ同量となり、施設で乾燥・焼却される脱水汚泥量も濃縮車未導入の場合とほぼ同量となると考えられる。そのため、濃縮車導入により水処理設備等の規模を縮小できても汚泥焼却設備の規模は縮小できないと推測される。水処理設備等の規模は処理対象となるし尿と浄化槽汚泥の合計容量を用い、汚泥焼却設備の規模は搬入 SS 量により決定する。検討対象施設の更新時における搬入 SS 量は 794kg・日<sup>-1</sup>であることから、搬入 SS 量 794kg・日<sup>-1</sup>に対応する汚泥焼却設備の処理能力を 100kL・日<sup>-1</sup>と仮定し、将来汚泥発生量から求めた搬入 SS 量より汚泥焼却設備の規模（kL・日<sup>-1</sup>）を決定する。

施設更新後、処理対象人口の減少や処理形態別人口割合の変化によって処理汚泥量が減少すると負荷率の低下が起こる。既往の調査結果より、負荷率が 2 分の 1 になると処理汚泥量あたりの CO<sub>2</sub>排出量が 1.52 倍になることを踏まえて解析することとした。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 低炭素社会型環境最小負荷省エネルギー方式浄化槽システム構築の開発に関する研究と総括

##### 3.1.1 太陽光発電・風力発電に関する発生ポテンシャルの解析

太陽光発電・風力発電に関する発生ポテンシャルは、(独)国立環境研究所バイオ・エコエンジニアリング研究施設で得られたデータを基に解析することとしたが、その事例を表 7 に示す。本表はパネル枚数を 16 枚とした場合の試算である。表 7 より、再生可能エネルギーと既存電力エネルギーとの関係をみると 2010 年 12 月から 2012 年 12 月では風力発電 30,800Wh、太陽光発電 1,467,400Wh、再生可能エネルギー全体では 1498,200Wh、商用使用電力は 215,800Wh で、総使用電力は 1,714,000Wh であり、風力発電 1.8%、太陽光発電 86%、商用使用電力 12.5%であった。2013 年 1 月から 2 月では風力発電 200Wh、太陽光発電 7,300Wh、再生可能エネルギー全体では 7,500Wh、商用使用電力は 3,500Wh で、総使用電力は 11,000Wh であり風力発電 1.8%、太陽光発電 66.4%、商用使用電力 31.8%であった。ブロワ並びにリン除去装置の使用電力はブロワ 105W、リン除去装置 10W 総計 115W であり、浄化槽は現状 12 時間ばっ気 12 時間停止 758 日×12 時間=9,096 時間、9,090 時間×115W=1,046.04kWh の電力を使用している。再生可能エネルギー発生量は現在まで 1,475kWh で浄化槽使用電力は 1,046kWh である。これより、再生可能エネルギーで全電力エネルギーの 100%を確保可能ながわかった。また、再生可能エネルギーでは設置場所によっても異なると考えられるが、太陽光発電の能力が著しく高いことがわかった。微小動物は 12 時間無ばっ気でも生存増殖可能であったことから、風力・太陽光発電を 50%近く低減しても対応可能と考えられることが示唆された。なお、ソフトシステムはデータベース (RDBMS) に保存された形式である。このように、既存電力と再生可能エネルギー比率を 100Wh の形で適正に解析評価可能ながわかった。今後、データの活用を考えると SQL (Structured Query Language: データの操作や定義を行うためのデータベース言語 (問い合わせ言語)) を使用した解析が容易に出来るための改良が必要ながわかった。

太陽光発電・風力発電システムの各地における、発電量は図 20、21 に示すとおりである。太陽光発電は愛知県、福島県、茨城県に設置したが各々の発電量は 93.4 kWh、49.5 kWh、14754 kWh であった。また、風力発電システムは石川県、福島県、茨城県に設置したが各々の発電量は 122kWh、4.12 kWh、58.6kWh であった。なお、各地域における解析より、発電量には地域特性季節特性のあることがわかった。すなわち、太陽光発電は茨城県において最も高いことまた、6月～8月が高いことがわかった。風力発電は石川県において最も高いこと、10月～2月が高いことがわかった。これらの解析より地域特性に応じて発電量は当然異なり再生可能エネルギーシステムの導入についてはこれらの特性を考慮することの必要なことがわかった。

また、太陽・風力発電による自然再生可能エネルギー活用浄化槽のシステムの処理性能および生物特性評価については以下のとおりである。生活排水を原水として、高度処理浄化槽として通常型、コンパクト型浄化槽（写真 7、8）を再生可能エネルギーを活用して稼働させた。その結果、BOD、T-N、T-P の水質特性は図 22、23、24 に示すとおりである。いずれにしても BOD、T-N は  $10\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  程度、T-P は  $1\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  程度の得られることがわかった。なお、生物相についても原生動物有殻アメーバ *Arcella* 属、*Epistyles* 属、*Carchesium* 属、ワムシ類等が豊富に存在し硝化・脱窒反応も適正に行われていることが示された。なお、BOD 除去方式における活性汚泥の溶存酸素と微小動物の現存量の関係<sup>46)</sup>と同様に BOD・窒素・リン除去方式のシステムでも嫌気時間と好気時間比が 2 : 1 程度でも活性が高いことが裏付けられた。

すなわち、上記の研究開発については、茨城県美浦村に位置する中核機関の独) 国立環境研究所バイオ・エコエンジニアリング研究施設で高度処理窒素/リン除去型 5 人槽の浄化槽を再生可能エネルギーで稼働させる上での必要な消費電力量を実証試験により明らかにするために、太陽光パネル 16 枚からなるシステムを設置し実行した。この場合の発電能力は  $1,360\text{W}\cdot\text{h}^{-1}$  と推定されるが、本研究は試験研究であることから余裕の設計仕様として実施しパラメータを取得して解析した。本実証試験による解析により太陽光パネル 16 枚で、十二分に高度処理浄化槽を再生可能エネルギーで稼働させることの可能なことがわかった。ここで、太陽光パネルが何枚で高度処理浄化槽を稼働させうるかを計算することとした。その結果、本研究で対象とした高度処理浄化槽の消費電力は  $82.5\text{wh}\cdot\text{台}^{-1}$  であるが、太陽光パネル 1 枚の発電能力のポテンシャルは  $85\text{W}\cdot\text{h}^{-1}$  であり、これを基に実証試験において解析したところ季節的に変化することは当然である日照時間・インバーター変換効率・蓄電池への充電損失等を考慮しても太陽光パネルを 2 枚設置 ( $160\text{W}\cdot\text{h}^{-1}$ ) 設置で十分まかなえることが実証試験の解析から判った。また、本プロジェクト研究の大きな目標が震災等における被災地の避難場所である学校等の避難施設・離島など電力線が寸断又は敷設困難な地域に対する電力供給を再生可能エネルギーで担保することであった。このことを踏まえると再生可能エネルギーを導入したシステムでの発電ポテンシャルをパラメータとする整備仕様が可能とする知見が得られたことは重要といえ有用な方法になるといえる。また、余剰電力を使用し外部に電源を有効に活用できるように安価なコンセント電源等を設けることにより、非常時の携帯電話の充電・非常放送を受信するための小型テレビ・ラジオ・パソコンの電量供給も可能となり、震災対応としては衛生環境の確保を図った上でライフラインを整備できるという大きな波及効果が得られるといえる。上記の成果より、本実証試験研究で整備したスペックの仕様により再生可能エネルギーで全電力エネルギーの 100%を確保可能なことがわかると同時に、太陽光パネルを 16 枚から 2 枚にすることで高度処理浄化槽を稼働させることの可能性が明らかとなった。すなわち、再生可能エネルギーとしての太陽光発電・風力発電システムの各地における発電ポテンシャル量の結果から、地域特性に応じて発電量は

当然異なるものの再生可能エネルギーシステムを導入して電力確保を図ることの可能なことを特性を考慮した上で対応可能なことを明らかにできた。なお、建設費に対する発電ポテンシャルの解析は更に各種の流動的なパラメータの精緻なる今後の現場のデータ等の情報収集を行った上で評価していきたい。

表7 再生可能エネルギーと商用電力の利用割合の比較

項目	電力発生量			
	風力発電量 (Wh)	太陽光発電量 (Wh)	再生可能 エネルギー 合計(Wh)	商用使用電量 (Wh)
2010年12月～2011 年11月	264	9,354	9,618	1,870
12月から2月	25	2,622	2,647	494



写真7 通常型浄化槽



写真8 窒素／リン除去型浄化槽

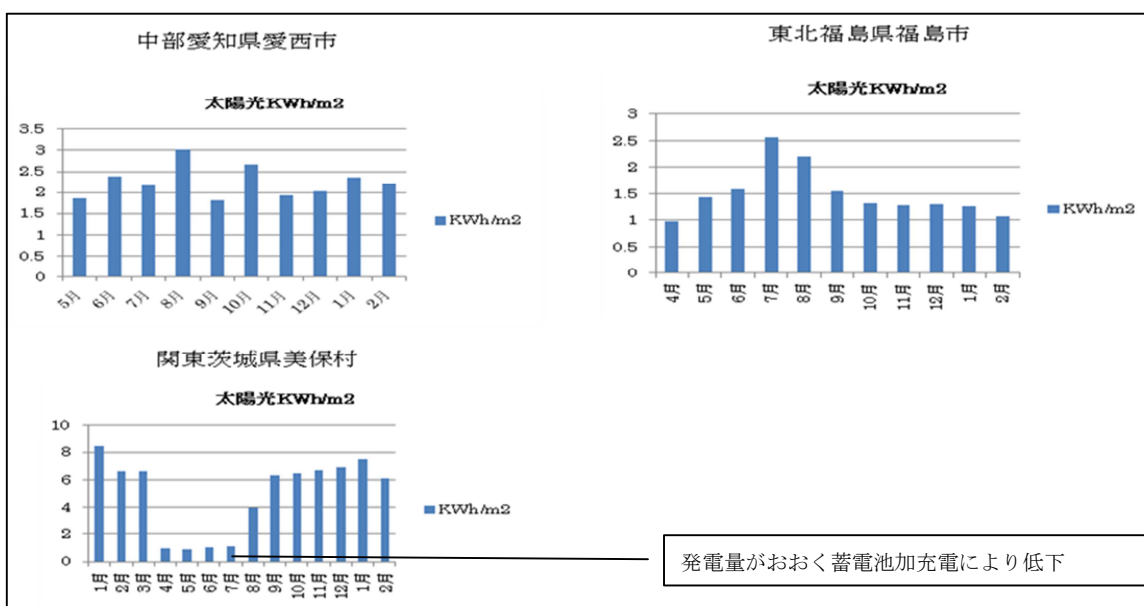


図20 太陽光発電・風力発電システムの各地域における発電ポテンシャル(1)

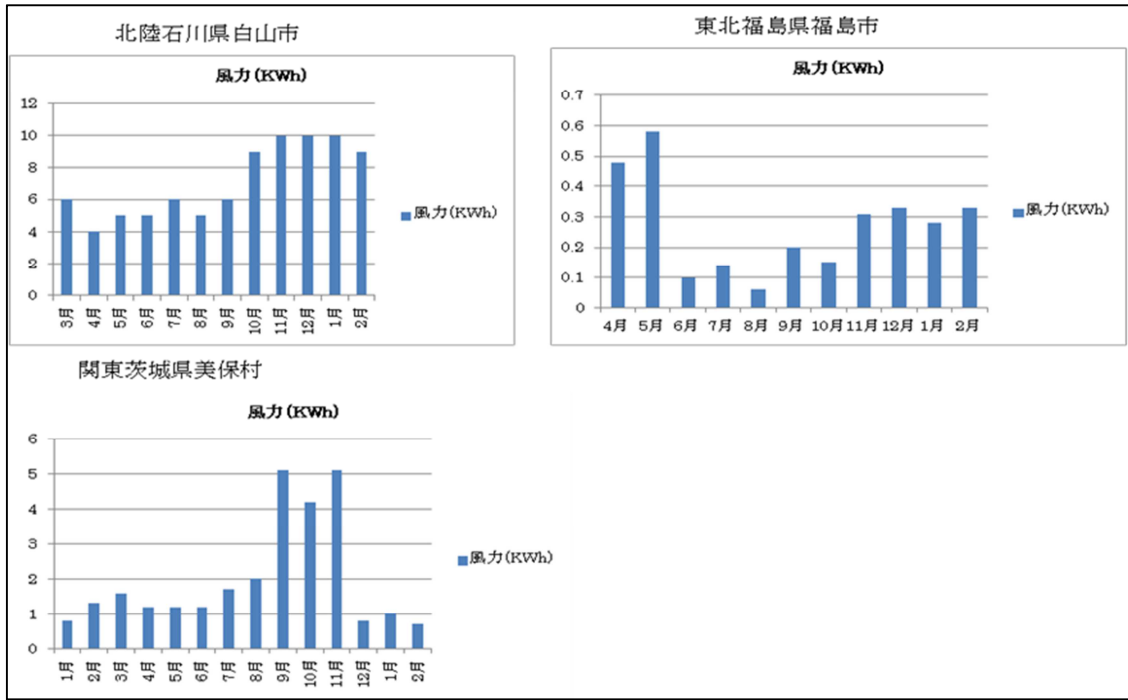


図 21 太陽光発電・風力発電システムの各地域における発電ポテンシャル(2)

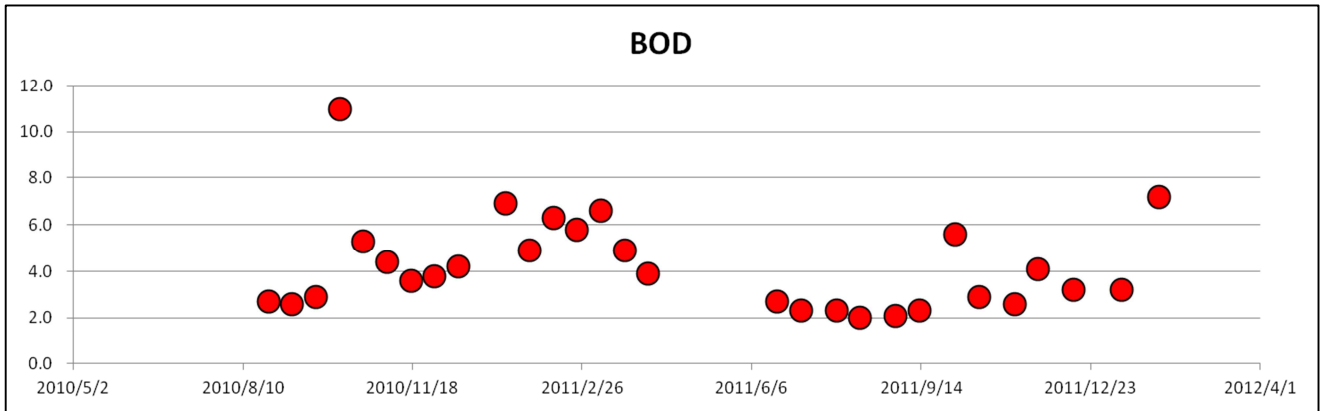


図 22 処理水の BOD 値 (単位 : mg · L<sup>-1</sup>)

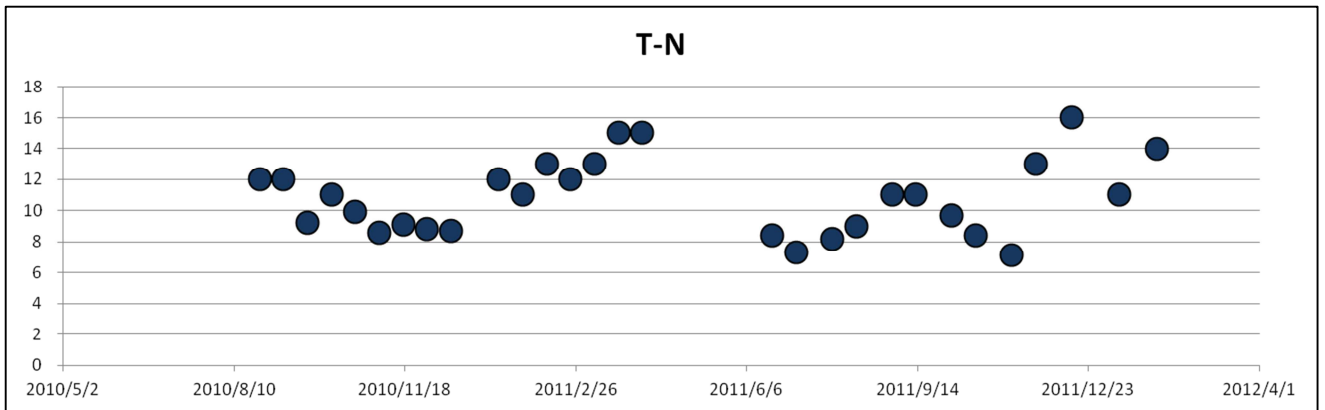


図 23 処理水の T-N 濃度 (単位 : mg · L<sup>-1</sup>)



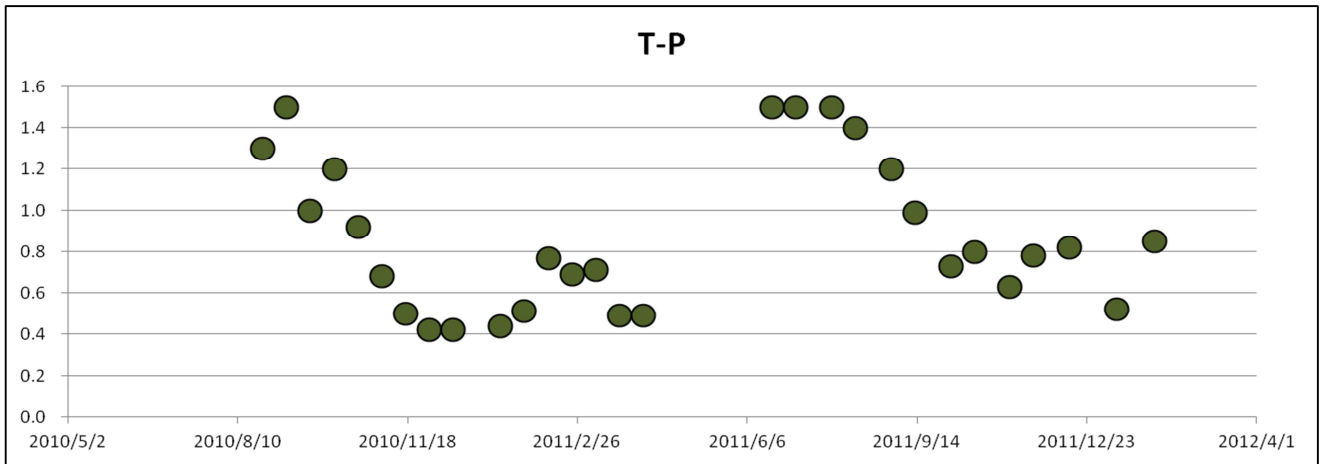


図 24 処理水の T-P 濃度 (単位 :  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )

### 3.1.2 太陽光発電・風力発電システムの我国における設置普及整備のあり方

日本においては、全国どこにでも電力があり、簡単に使うことができる。しかし、世界的にはそのような地域は特殊であり、未だ多くの地域では電力が無い無電地域となっている。更に、無電地域においてこそ、衛生面での水処理の需要が高いといえ、再生可能エネルギーを使った電力供給により、世界的にどのような地域でも設置することが可能となる。

本研究において、日本の各地域の再生可能エネルギーの賦存量を実際に発電させてデータを得ることができた。これらのデータによると、地域により様々ではあるが、風力発電においては周辺建物の影響や、実際に設置はしたが風が無いなどから、予想通りの発電が得られないこともあるのは当然のことである。本試験研究を進めるに当たっては、事前に NEDO (風況マップ) および気象庁のデータから、設置場所を検討したが、現在においては、局所的なデータの精密性には限界が有ることからの予想通りの風力が得られなかったと考えられる。小形風力発電の場合、設置する高さは地上から 6m 程度であり、地表面に近くなる。この点が事前に検討した予測値との乖離である考えられる。

小形風力の実用化は進んでおり、風力が得られる環境下においては、平均風速  $5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  において 1kW 風力は  $1,400\text{kWh} \cdot \text{年}^{-1}$  の発電量が得られることから同容量の太陽光の 1.4 倍近い電力出力ポテンシャルを有しているといえる。しかし、設置場所の検討については、現在のところ指標となるデータベースは、気象庁等のデータが唯一である。正確に対応を図る上では、実際に設置される風力発電システムの設置高さおよび発電量ポテンシャルなどを正確に予測するデータベースの蓄積が必要であるといえる。本研究プロジェクトで使用した省エネ型の浄化槽により、世界的な革新的技術を実現するためには、小形風力を含めた再生可能エネルギーのデータベースの整備が必要である。なお、地域ごとの再生可能エネルギーの特徴を理解した上で、この様な再生可能エネルギーを活用したシステム技法の整備するためには、太陽光を主体にすべきか、積雪・強風地域では風力を主体にすべきかの、更なる適正システム構築のための検討を行うことにより、最適実用システムの構築に繋げることができるといえる。

近年注目を浴びている再生可能エネルギー活用、スマートグリッドにおいて、地域ごとの再生可能エネルギーを効果的に活用するには、地域ごとに確保可能な発電ポテンシャルをより正確に予測する必要があり、これが可能になることで、システム整備における安全率を下げ、保険的に大きな設備を導入する必要性を抑制可能になると確信される。本技術開発のポイントと活用方策案を図 25、26 に示す。

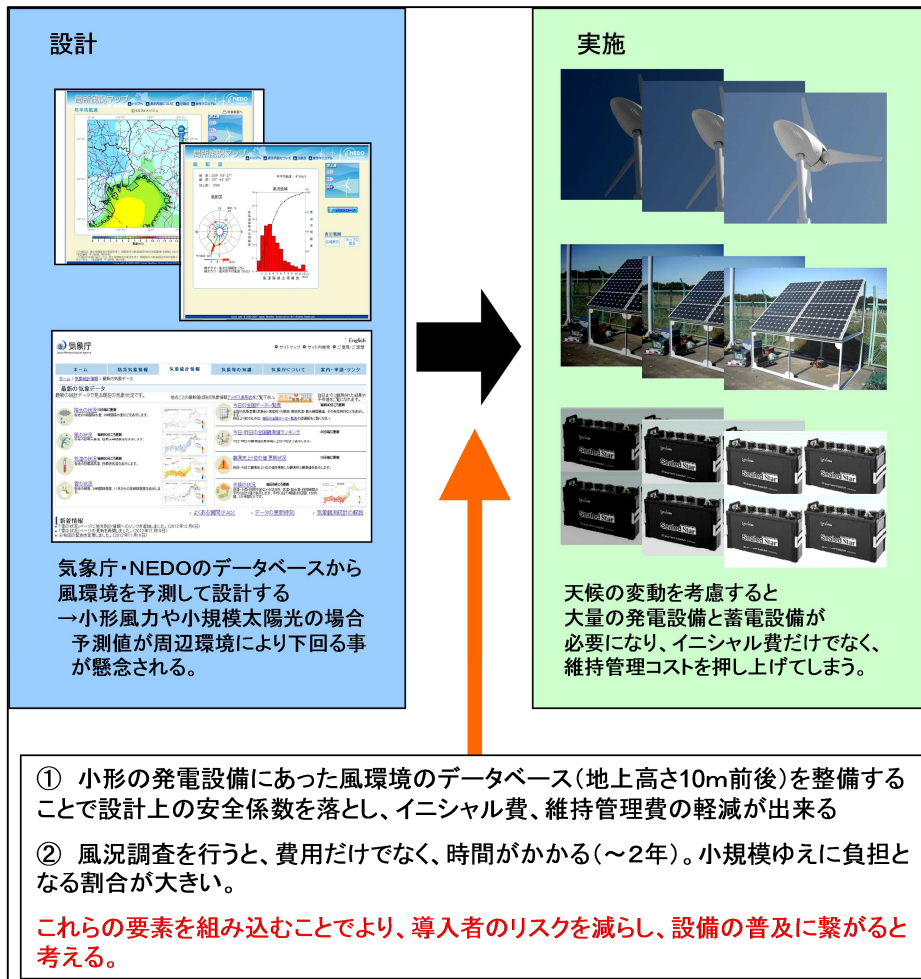


図 25 本技術開発のポイント

## 本研究開発を基盤とした自然再生可能エネルギー拡充電力活用方策 ～「下水道に優る新浄化槽システム / 温室効果ガス削減システム」を用いた将来～



図 26 本技術開発の活用方策案

## 3.2 省エネルギー方式微生物機能向上・汚泥減容化高度処理浄化槽技術開発に関する研究

### 3.2.1 ミニチュアリアクター試験における動力停止条件に関する検討

12 hr 間欠、6 hr 間欠、4 hr 間欠の各系における好気槽の DO 濃度の経時変化について図 27 に示す。ここで、グラフ中の網掛けの部分には電力停止すなわち非ばっ気工程を示す。最終的な DO 濃度は  $8\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  程度まで上昇するが、1 サイクル当たりの時間が長い系ほど、DO が低い（ほぼ  $0\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ）時間も長くなる結果となった。

次に、12hr 間欠、6hr 間欠の各系における好気槽の窒素形態の変化について図 28、29 に示す。12hr 間欠の系では、非ばっ気工程後半に  $\text{NH}_4\text{-N}$  が、またばっ気開始後に  $\text{NO}_2\text{-N}$  がそれぞれ高濃度で蓄積した。これに対し、6hr 間欠の系では、好気槽内の窒素は、時間帯にかかわらず大部分が  $\text{NO}_3\text{-N}$  であり、 $\text{NH}_4\text{-N}$  は非ばっ気工程終盤でも  $5\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  程度、 $\text{NO}_2\text{-N}$  に至ってはほとんど検出されなかった。これらのことから、ばっ気停止 6 hr くらいまでは DO 値が低下していても、硝化反応が進む程度の DO は存在するが、6hr 以降は DO が欠乏し、アンモニア酸化反応が停止すなわち硝化反応が阻害されたと考えられた。

図 30 に全ての系の BOD、T-N、T-P の処理特性を示す。処理水中の BOD は、対照系と比較して、12hr 間欠の系のみ顕著な悪化が確認された。また、処理水 T-N および T-P は、いずれの間欠運転条件においても、対照系と同等もしくはそれ以下であった。また、図 31 に全ての系の窒素形態の処理特性を示す。T-N としては、それぞれの間欠運転の系で大きな差はなかったものの、上述のように 12hr 間欠の系では、 $\text{NH}_4\text{-N}$  と  $\text{NO}_2\text{-N}$  の残存が確認されたこと、加えて BOD の処理水質が悪化したことも併せれば、ばっ気時間即ちブローの運転時間を 1/2 にしても、間欠ばっ気時間の短縮（ばっ気/非ばっ気のサイクルは 6hr/6hr 程度以下）により水質浄化性能に影響しないことが明らかとなった。

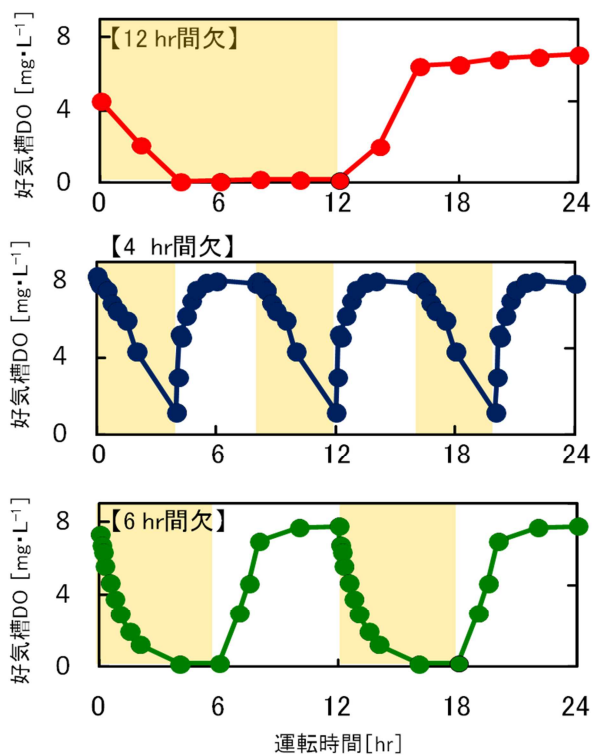


図 27 12hr 間欠、6hr 間欠、4hr 間欠の各系における好気槽の DO 濃度の経時変化

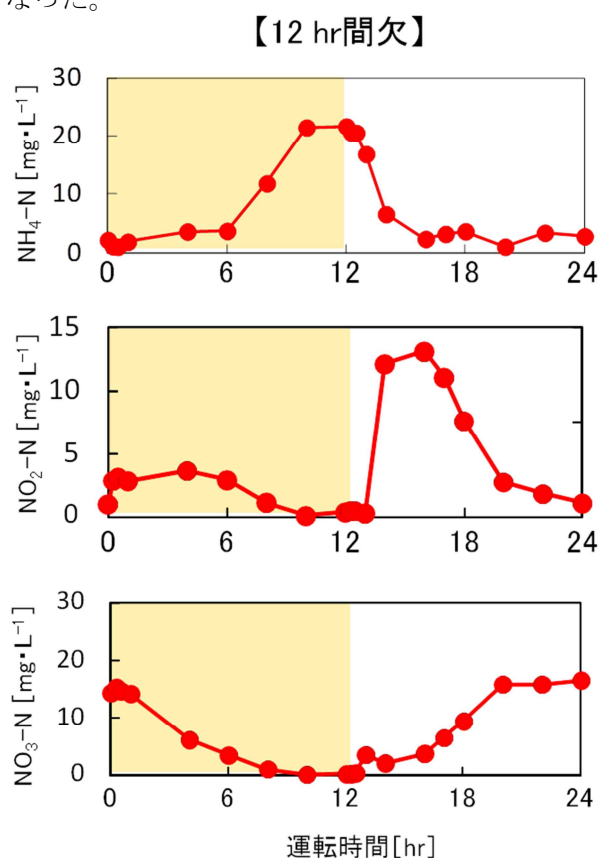


図 28 12hr 間欠における好気槽の窒素形態の変化

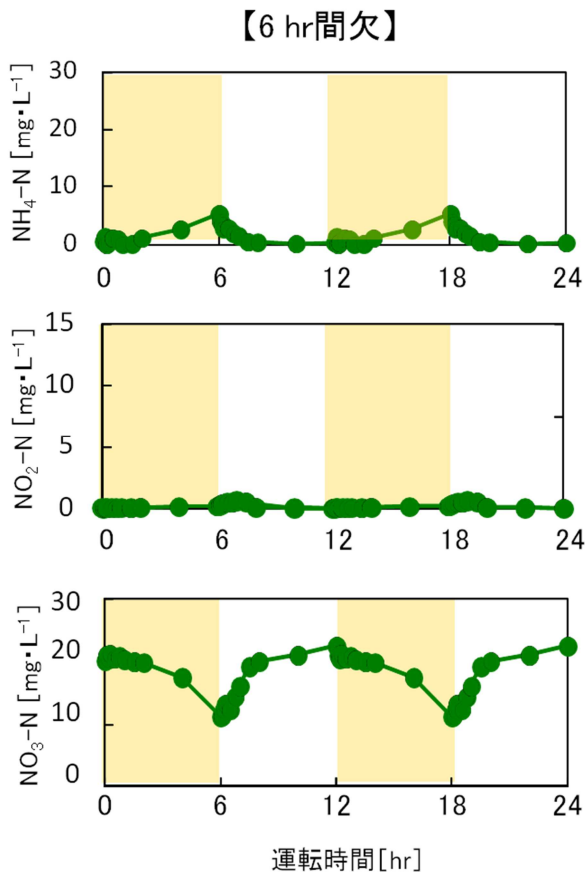


図 29 6hr 間欠における好気槽の窒素形態の変化

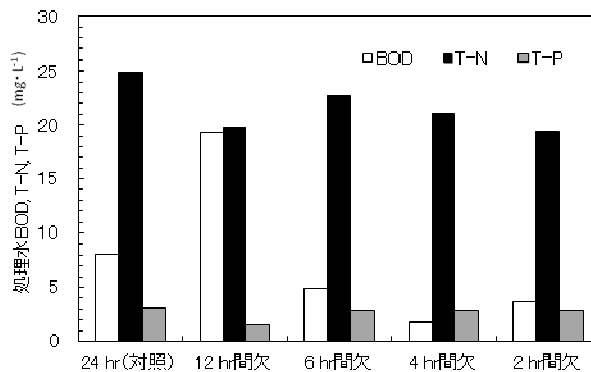


図 30 BOD、T-N、T-P の処理特性

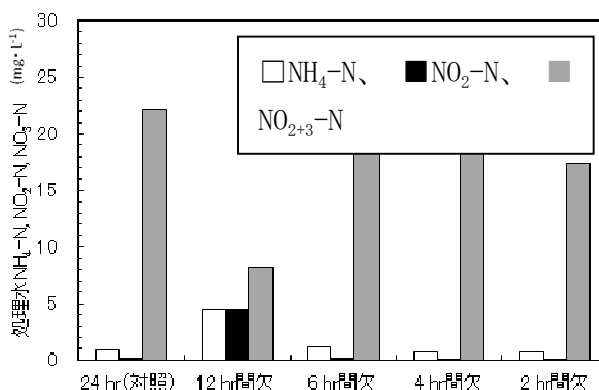


図 31 窒素形態の処理特性

### 3.2.2 ミニチュアリアクター試験における汚泥発生に関する検討

図 32 に BOD、T-N、T-P の処理特性を示す。処理水 BOD は対照系と比較し、12 hr 間欠運転で、顕著な悪化が確認された。また、処理水 T-N および T-P は、いずれの間欠運転条件においても、対照系と同等もしくはそれ以下であった。このことから、ばっ気時間即ちブロワの運転時間を 1/2 にしても、間欠ばっ気時間の短縮により排水処理性能にあまり影響しないことが確認された。

表 8 に各条件における活性汚泥中の微生物特性を示す。対照系である 24 hr 連続運転では、*Epistylis. sp* や *Vorticella. sp* が確認され、良好な生物相が形成されていた。また、12 hr 間欠、15 min 間欠の条件においても、*Vorticella. sp* は観察された他、*Carchesium sp.* も観察された。さらに、ばっ気の ON/OFF 条件において微生物相に顕著な相違は見られなかったことから、ばっ気停止による生物相への悪影響はないと考えられた。

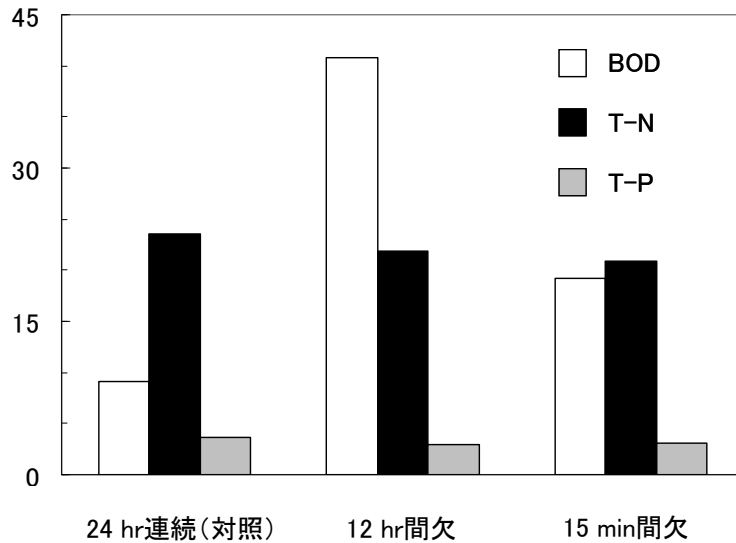


図 32 BOD、T-N、T-P の処理特性

表 8 活性汚泥中の微生物相

	連続曝気	12 hr間欠		15 min間欠	
		曝気OFF	曝気ON	曝気OFF	曝気ON
<i>Arcella</i> sp.	30	10		10	30
<i>Centropyxis</i> sp.	30	80	70		
<i>Cryptodifflugia</i> sp.			10	990	1,200
<i>Euglypha</i> sp.	10				
アメーバ類	10	30	80	310	240
<i>Acineta</i> sp.				10	
<i>Aspidisca</i> sp.	50	100	190	240	290
<i>Carchesium</i> sp.	1,500	3,900	3,900	550	280
<i>Coleps</i> sp.				290	390
<i>Epistylis</i> sp.	2,100	2,600	3,200	5,500	5,200
<i>Litonotus</i> sp.		10			
<i>Oxytricha</i> sp.					
<i>Trithigmotoma</i> sp.				10	
<i>Vorticella</i> sp.	3,300	160	220	170	210
<i>Lecane</i> sp.		10	20	280	230
<i>Rotaria</i> sp.	10	30	70	110	130

生物相 (N/mL)

図 33 に窒素成分に関する物質収支の算定結果を示す。ガス転換に着目すると、ガス転換率はあまり間欠運転の影響を受けないが、間欠ばつ気時間が長いほど、 $N_2O$  ガスへの転換率が高くなる傾向が見られた。一方、汚泥転換に着目すると、間欠運転によって汚泥転換率が非常に高くなることが分かった。よって、間欠運転によって窒素処理性能が向上する要因は、脱窒反応の促進による  $N_2$  ガスへの転換よりも汚泥への転換による影響が大きいことが明らかとなった。つまり、間欠運転を導入する場合、汚泥発生量の増加に留意して、動力停止時間を調整する必要性が示唆された。

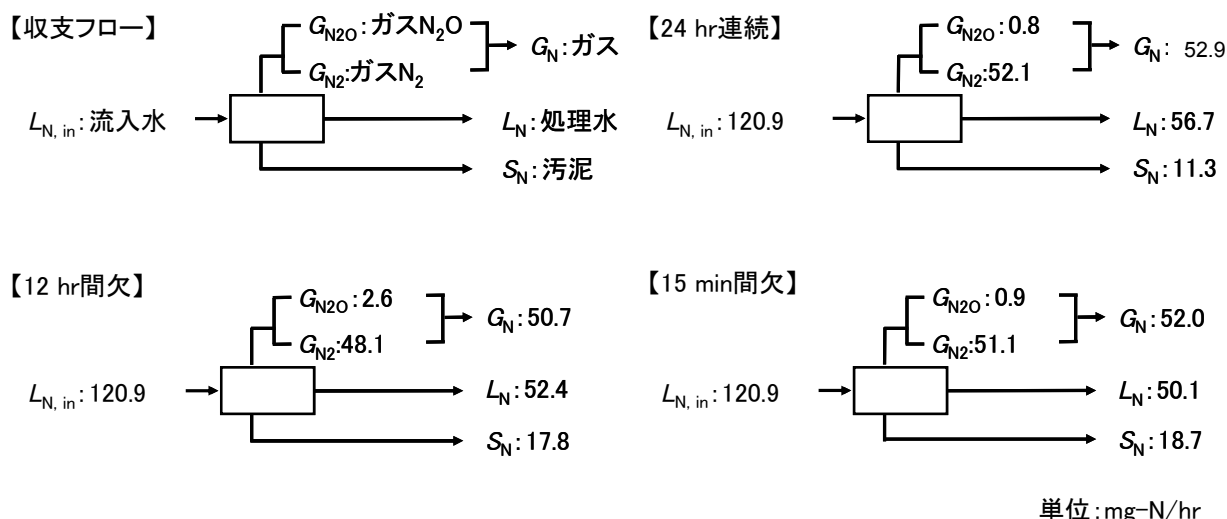


図 33 物質収支の算定結果

### 3. 2. 3 鉄電解脱リン方式浄化槽による実証試験に関する検討

実証試験 1 における処理水の BOD 及び窒素の季節変動を図 34 に示す。BOD 除去性能については、季節変化すなわち水温変動に伴い両系とも変動が見られたが、ばっ気停止運転そのものの及ぼす影響はほとんどないことが明らかとなった。これは、リン除去性能についても同様であった。窒素除去性能に関しては、ばっ気停止運転により硝化活性に若干の影響を及ぼす可能性が示唆されたものの、全体的な処理性能上はばっ気停止運転の影響はほとんどなかった。また、接触ろ床槽の平均 DO は、浄化槽 A で 6.14、浄化槽 B で 6.53 となっており、電力制御しても処理水質に影響を及ぼさないレベルに保持でき、鉄電解脱リン方式を採用しても、電力制御は有効であるといえた。

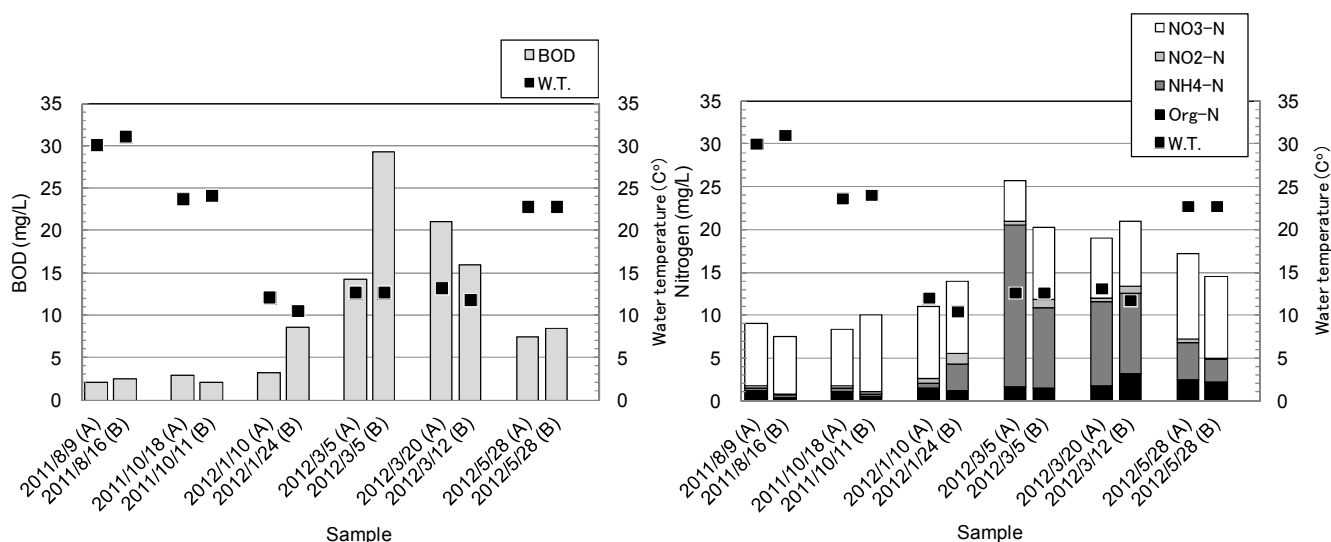


図 34 実浄化槽における処理水質の季節変動

実証試験 1 により、水温が処理性能に及ぼす影響が大きいことが確認されたことから、ばっ気を含む電源供給の on/off を 45 分/15 分の間欠運転とした実証試験 2 における、水温と処理水の BOD 及び T-N の各除去率との関係について図 35 に示す。BOD 除去率については、水温が 11°C 近くまで低下した条件下でも両系ともほぼ 90% 以上が確保されたのに対し、T-N 除去率は、水温が 13~15°C 程度で低下が見られはじめたとともに、ばっ気停止運転で低下幅が大きい結果となった。水温と処理水の NH<sub>4</sub>-N 及び NO<sub>3</sub>-N 濃度との関係について図 36 に示す。特に浄化槽 A において水温低下に伴う NH<sub>4</sub>-N の蓄積が際立っている。その一方で、浄化槽 B では NH<sub>4</sub>-N 濃度は低く、ある程度は硝化活性が維持されていると考えられる。これらのことと実証試験 1 の結果も併せると、低水温時の硝化活性の維持のためには、冬季には連続ばっ気運転に切り替える等、運転方法のさらなる検討が必要と考えられた。水温と処理水の T-P 除去率との関係を図 37 に示す。リン除去性能については、水温約 15°C 以下の条件下を除けば、両系のリン除去性能にほとんど差は見られなかった。

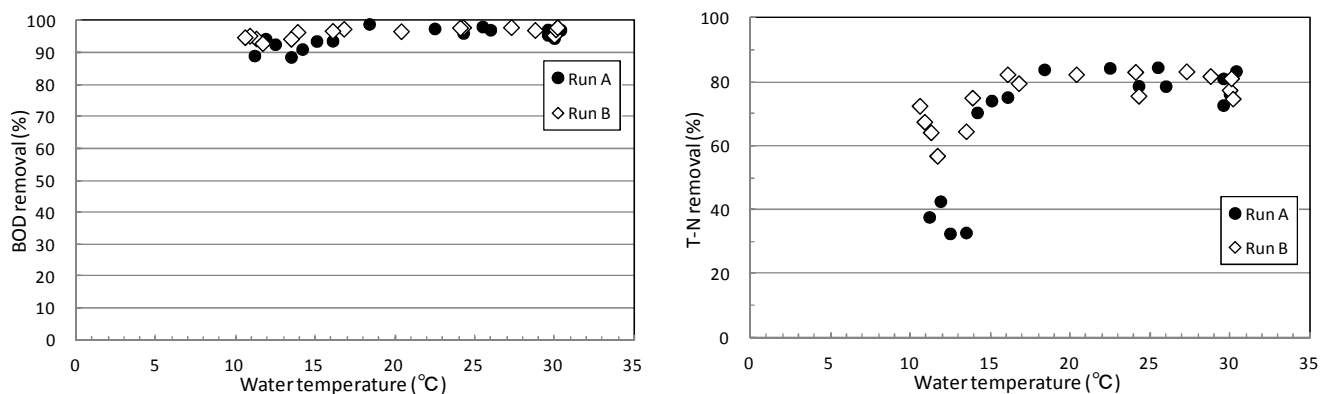


図 35 水温と処理水の BOD 及び T-N の各除去率との関係

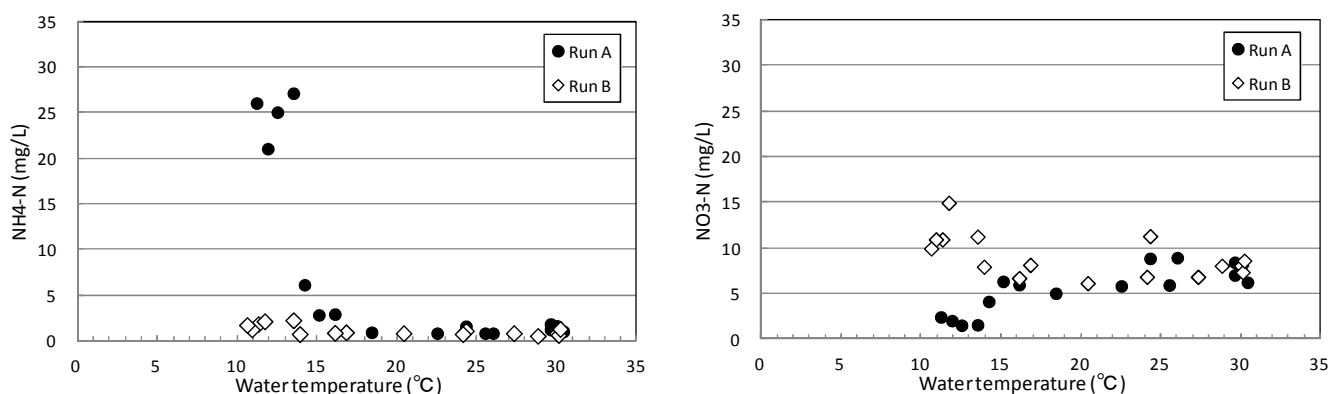


図 36 水温と処理水の NH<sub>4</sub>-N 及び NO<sub>3</sub>-N 濃度との関係

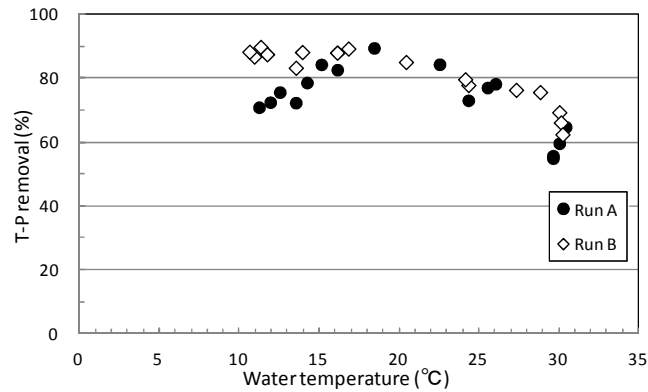


図 37 水温と処理水の T-P 除去率との関係

ラボスケール試験において、動力停止による汚泥量の増大が懸念されたので、実機において確認した。図 38 に嫌気ろ床槽における SS、VSS およびスカム厚の季節変動を示す。排水処理性能が安定した 7 月以降、SS や VSS はある程度一定に推移し、動力停止による汚泥に増加は確認できなかった。実浄化槽の試験では動力停止は 4 時間であり、この停止条件では、汚泥発生量に影響を及ぼさないことが分かった。汚泥厚は冬季の方が増加しない傾向が見られたが、動力停止の影響は見られなかった。実証試験において、動力制御の有用性が確認できた。得られた結果は、ばっ気制御の省エネ下で高度処理が得られるという on/off の設定時間の重要性が明らかとなり、今後の活用展開が期待される。

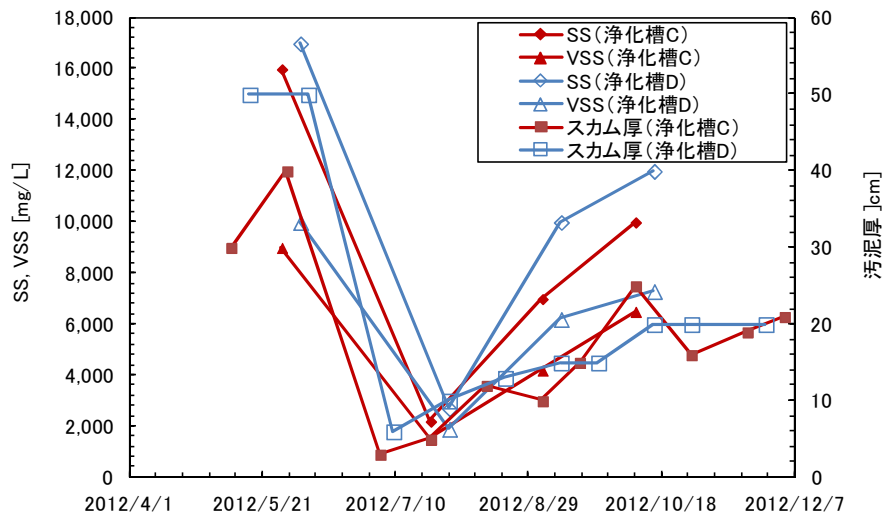


図 38 嫌気ろ床槽における SS、VSS およびスカム厚の季節変動



### 3.3 省エネルギー方式浄化槽の温室効果ガス発生抑制技術の開発

#### 3.3.1 ラボスケール実験装置による検討

各系における大気中への  $N_2O$  放出速度の経時変化について図 39 に示す。なお、6h/6h、4h/4h、2h/2h の各系については、1 サイクルがそれぞれ 12、8、4h となるため、時間軸を 24h として表現するためにグラフ中に繰り返して表示してある。 $N_2O$  の放出は、ばっ気に伴う大気中へのものがほとんどの割合を占めるとともに、非ばっ気工程が長くなるほど放出速度も大きくなる結果となった。また、ばっ気工程の間、継続的な放出が観察された。

各系における大気中への  $CH_4$  放出速度の経時変化について図 40 に示す。 $N_2O$  と同様に連続ばっ気系でも発生が確認された。この理由としては、嫌気槽で生成した  $CH_4$  を含む排水・活性汚泥混合液が好気槽に移送され、好気槽でのばっ気攪拌効果により大気中に放出されている可能性が考えられた。また、ばっ気/非ばっ気運転では、 $N_2O$  の挙動とは異なり、ばっ気開始直後に急激に上昇・減少する傾向がみられた。

なお、ばっ気/非ばっ気の on/off については、太陽光・風力エネルギーの太陽照射時間帯等を考慮したサイクル運転も重要といえるが、それでも、ばっ気風量の設定により変化するものの、6h/6h 程度が最適であるといえる。

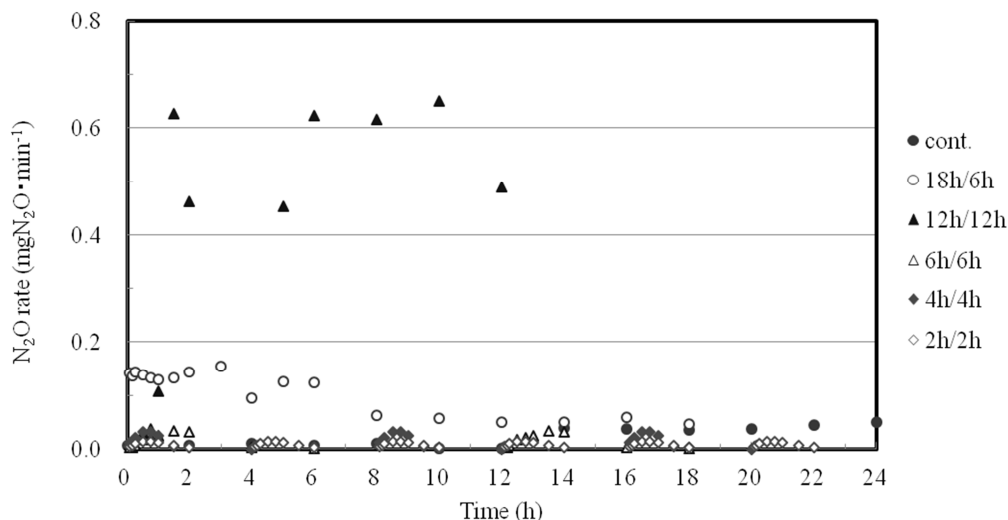


図 39 ラボスケール浄化槽における大気中への  $N_2O$  放出速度

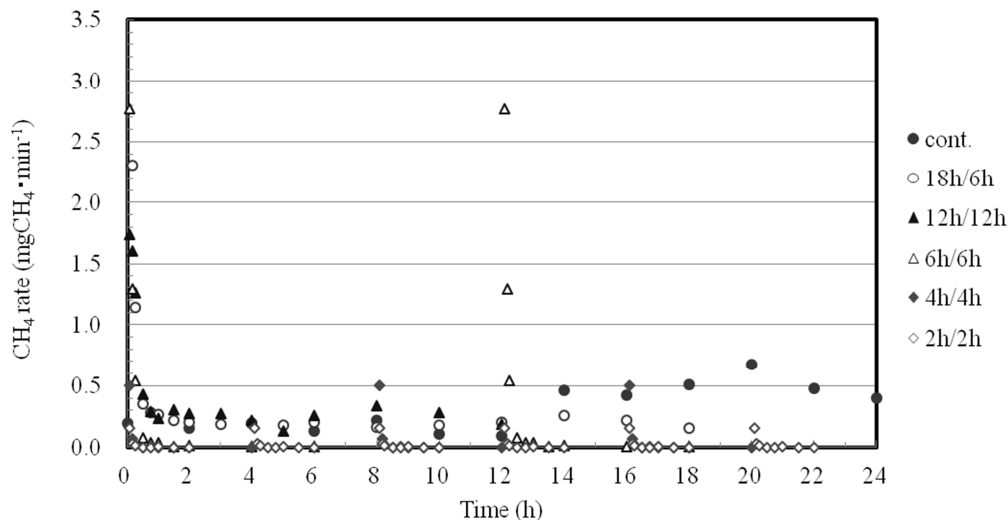


図 40 ラボスケール浄化槽における大気中への  $CH_4$  放出速度

CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O の放出特性から、ばっ気/非ばっ気運転では、好気槽においても嫌気工程時に CH<sub>4</sub> が生成し、好気工程のばっ気に伴い大気中へと放出されることが考えられた。特に、1 サイクルが 24 時間といった長時間運転条件下では、非ばっ気工程時には好気槽内も部分的に絶対嫌気的環境になっていると想定される。このことは、ばっ気開始直後の N<sub>2</sub>O 発生速度が非常に小さいことから支持される。好気工程のばっ気が開始されてから、CH<sub>4</sub> の減少と対照的に N<sub>2</sub>O が放出され、発生速度も増大するが、これは、硝化活性は徐々に回復してくるものの、不完全な硝化反応 (NH<sub>4</sub>-N→N<sub>2</sub>O-N) が進行している可能性が示唆された。

各系における水質浄化特性、ガスに関する物質収支について表 9、10 に示す。これらの結果から、  
 ①ばっ気時間即ちブロワの運転時間を 1/2 にしても水質浄化性能的には全く問題なし  
 ②非ばっ気工程を短時間サイクルで組み込むことで、N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub> 放出量、転換率を大幅に低減可能  
 といったことが明らかとなった。②を実現するためには、蓄電池、タイマー等を組み込むことで十分に  
 対応可能と考えられるが、スケールアップ実験の結果等と併せて考察することが必要である。なお、対  
 照系においては、原水が原水貯留槽を経由して流入することから、貯留槽で生成した CH<sub>4</sub> がばっ気により  
 放散されている可能性が大である。ばっ気量が 1/2 といっても、ばっ気/非ばっ気の間隔が重要であり、  
 on/off が 12h/12h の長い非ばっ気時間の場合と、2h/2h の短い非ばっ気時間では異なるが、非ばっ気  
 工程を短時間サイクルで組み込むことで、N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub> 放出量、転換率を大幅に低減可能である等の知見が得  
 られた。

表 9 ラボスケール浄化槽における水質浄化特性

項目	項目	原水	処理水				TN 除去率	原水	処理水	BOD 除去率
			TN	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N				
実験系	運転条件	TN	TN	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	%	BOD	BOD	%
		mg・L <sup>-1</sup>	mg・L <sup>-1</sup>	mg・L <sup>-1</sup>	mg・L <sup>-1</sup>	mg・L <sup>-1</sup>	%	mg・L <sup>-1</sup>	mg・L <sup>-1</sup>	%
cont.	cont.	34.8	24.9	0.9	0.2	22.3	28.6	87.2	8.0	90.8
18h/6h	18h/6h		25.7	1.0	1.0	22.8	26.2		7.2	91.7
12h/12h	12h/12h		19.7	4.8	4.6	12.1	43.4		19.3	77.9
6h/6h	6h/6h	44.2	22.7	1.2	0.2	20.1	48.6	114.8	4.9	95.8
4h/4h	4h/4h		21.1	0.7	0.1	19.8	52.3		1.8	98.4
2h/2h	2h/2h		19.4	0.7	0.1	17.4	56.2		3.7	96.8

表 10 ラボスケール浄化槽におけるガスに関する物質収支

項目	N <sub>2</sub> O			CH <sub>4</sub>		
	24h当り 放出量	N <sub>2</sub> O-N 転換率 (流入N 当り)	N <sub>2</sub> O-N 転換率 (除去N 当り)	24h当り 放出量	CH <sub>4</sub> -C /BOD比 (流入 BOD 当り)	CH <sub>4</sub> -C /BOD比 (除去BOD 当り)
		mgN・day <sup>-1</sup>	%		%	mgC・day <sup>-1</sup>
cont.	20.1	1.2	4.0	338.0	7.8	8.5
18h/6h	58.0	3.3	12.7	196.5	4.5	4.9
12h/12h	297.9	17.1	39.5	173.6	4.0	5.1
6h/6h	6.7	0.3	0.6	51.4	0.9	0.9
4h/4h	4.6	0.2	0.4	8.7	0.2	0.2
2h/2h	4.6	0.2	0.4	5.8	0.1	0.1

### 3.3.2 実機浄化槽による検討

#### 3.3.2.1 実証試験 1

実証試験 1 における N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub> に関するガス収支を表 11 に示す。冬季を除いては、ばっ気停止運転の導入による窒素除去性能及び N<sub>2</sub>O 発生抑制に対する差は見られなかった。また、BOD 除去性能及び CH<sub>4</sub> 発生抑制の観点からは、季節によらずばっ気停止運転の影響は見られなかった。これらのことから、流入がほとんどないと見込まれる時間帯に好気槽ばっ気用のブロワを停止することは、温暖期においては水質浄化性能や N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub> 発生抑制に何ら影響を及ぼす可能性は低いと考えられた。

表 11 実証試験 1 におけるガス収支

Season	Run	N <sub>2</sub> O					CH <sub>4</sub>				
		Emission rate (into the air)	Emission rate (into the effluent)	Total emission rate	N <sub>2</sub> O-N conversion (per influent nitrogen)	N <sub>2</sub> O-N conversion (per removed nitrogen)	Emission rate (into the air)	Emission rate (into the effluent)	Total emission rate	CH <sub>4</sub> -C /BOD (per influent BOD)	CH <sub>4</sub> -C /BOD (per removed BOD)
		mgN/day	mgN/day	mgN/day	%	%	mgC/day	mgC/day	mgC/day	%	%
Winter	A	187.6	2.4	189.9	0.3	0.7	7,812	31	7,843	3.9	4.5
	B	521.9	4.8	526.7	1.0	1.5	10,187	24	10,211	5.1	5.9
Spring	A	677.6	5.1	682.8	1.4	1.9	19,581	17	19,599	10.2	10.5
	B	706.9	3.9	710.8	1.4	1.8	16,852	11	16,863	8.8	9.1

#### 3.3.2.2 実証試験 2

実証試験 2 における N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub> に関するガス収支を表 12 に示す。流入窒素あたりの N<sub>2</sub>O 転換率では、夏季には両系でほとんど差がなかったものの、秋季には浄化槽 A は浄化槽 B の 2.5 倍以上となった一方で、冬季には 10 分の 1 以下となった。これは、サブテーマ 2 の実機浄化槽の水質浄化性能で考察したとおり、浄化槽 A では冬季には硝化活性の著しい低下が見られ、その結果、N<sub>2</sub>O 発生量・転換率も減少したものと考えられる。CH<sub>4</sub> については、放出速度・転換率とも、季節を問わず浄化槽 A の方が高い結果となった。

総合的に考察すると、春季～秋季の温暖期においてはばっ気停止運転、間欠ばっ気運転等の導入により、ブロワ等の消費電力の削減に加え、汚水処理性能の維持及び N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub> 発生抑制の観点からも、一定

の導入効果が期待できると考えられる。今後の課題としては、冬季の低水温時における窒素除去性能の確保と、それに付随しての N<sub>2</sub>O 発生抑制に関する研究開発が、特に挙げられる。

表 12 実証試験 2 におけるガス収支

Season	Run	N <sub>2</sub> O					CH <sub>4</sub>				
		Emission rate (into the air)	Emission rate (into the effluent)	Total emission rate	N <sub>2</sub> O-N conversion (per influent nitrogen)	N <sub>2</sub> O-N conversion (per removed nitrogen)	Emission rate (into the air)	Emission rate (into the effluent)	Total emission rate	CH <sub>4</sub> -C /BOD (per influent BOD)	CH <sub>4</sub> -C /BOD (per removed BOD)
		mgN/day	mgN/day	mgN/day	%	%	mgC/day	mgC/day	mgC/day	%	%
Start (7/2-3)	A	823	6	829	1.3	1.6	4,562	13	4,575	2.5	2.6
	B	372	3	374	0.6	0.7	2,961	8	2,969	1.6	1.6
Summer (9/19-20)	A	403	4	408	0.9	1.1	24,919	28	24,947	13.5	13.9
	B	314	3	317	0.7	0.9	14,014	7	14,021	7.6	7.7
Autumn (12/5-6)	A	562	7	569	1.2	1.6	7,353	21	7,373	4.3	4.5
	B	239	3	242	0.5	0.6	4,597	7	4,604	2.7	2.8
Winter (3/4-5)	A	82	7	89	0.2	0.4	13,637	21	13,657	6.9	7.7
	B	1,186	3	1,189	2.3	3.5	10,640	7	10,648	5.4	5.7

### 3.4 省エネルギー方式浄化槽の処理機能解析に基づく技術の開発に関する研究

#### 3.4.1 ベンチスケール浄化槽システムにおけるペレット型リン除去剤の効果解析

ベンチスケール試験での処理水 T-P 濃度の経日変化を図 41 に示す。ペレット型リン除去剤添加系と、対照系を比較した結果、添加系においては、平均 T-P 濃度は 1mg・L<sup>-1</sup>、対照系では 5mg・L<sup>-1</sup>であり、リン除去剤による有意な除去効果が示唆された。実験期間中、ペレット型リン除去剤の溶解特性に応じて、目標水質である T-P 濃度 1mg・L<sup>-1</sup>は若干変動した。また、有機物除去特性は、添加系・対照系ともに TOC 濃度は 5 mg・L<sup>-1</sup>以下、BOD 濃度は概ね 10 mg・L<sup>-1</sup>以下となり、添加の有無にかかわらず良好な有機物除去特性を得られることがわかった。ベンチスケール試験での処理水 T-N 濃度の経日変化を図 42 に示す。窒素除去特性は、添加系・対照系で T-N 濃度 10mg・L<sup>-1</sup>となった。

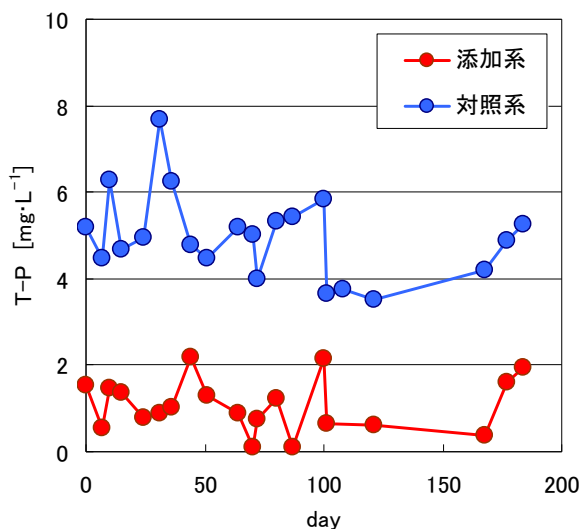


図 41 T-P 濃度の経日変化

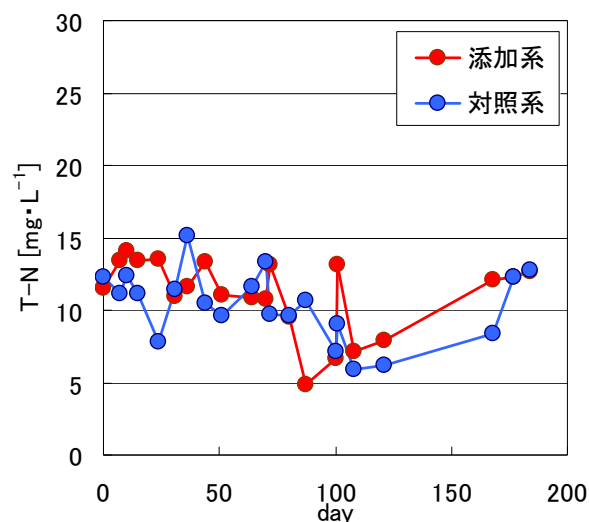


図 42 T-N 濃度の経日変化

### 3.4.2 既設実機浄化槽におけるペレット型リン除去剤の効果解析

#### 3.4.2.1 ペレット型リン除去剤の導入によるリン除去特性に及ぼす影響

実験期間中における処理水 T-P 濃度、一日あたりのペレット型リン除去剤の溶解量および水温の経日変化は図 43 に示す通りである。ペレット型リン除去剤設置開始前の Phase I における処理水 T-P 濃度は平均  $4.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  であった。その後、ペレット型リン除去剤の添加を開始した Phase II に入ると、添加を開始した直後 8 月 11 日～9 月 21 日では、処理水平均 T-P 濃度  $0.9 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  の処理水質が得られ、本研究の目標水質である処理水 T-P  $1.0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  以下を達成した。また、この時のペレット型リン除去剤の溶解量は、平均  $84.4 \text{ g}\cdot\text{day}^{-1}$  であり、流入原水 T-P を  $5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  と仮定した場合、ペレット型リン除去剤添加 A1/P モル比は 1.4 となる計算である。しかし、Phase II 後半 (9 月 30 日～10 月 30 日) には、水温の低下とともに、ペレット型リン除去剤の溶解量が  $30.0 \text{ g}\cdot\text{day}^{-1}$  まで低下し、それに伴い、処理水 T-P 濃度は、 $3.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  まで増加した。また、これらの結果、Phase II を通じて、平均処理水 T-P 濃度  $2.4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  と増加し、Phase II 平均では、処理水 T-P 濃度  $1.0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  以下を達成できなかった。これらの結果を元に、ペレット型リン除去剤の溶解量と水温変化に着目すると、目標としている  $80 \text{ g}\cdot\text{day}^{-1}$  の良好な溶解量が確保されていたのは水温  $25^\circ\text{C}$  以上の場合で、水温  $20^\circ\text{C}$  では、ペレット型リン除去剤の溶解量は  $25^\circ\text{C}$  時と比較して 40% 程度まで減少することがわかった。また、さらに水温が低下した Phase III では、ペレット型リン除去剤の溶解量はさらに低下し、それに伴い、処理水 T-P 濃度は増加する傾向が認められた。

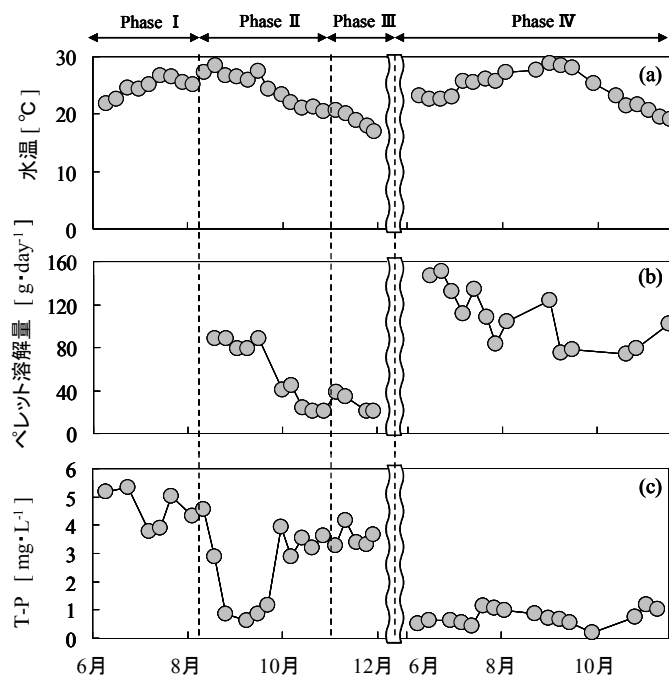


図 43 (a) 水温の経日変化  
(b) 一日あたりペレット型リン除去剤の溶解量  
(c) 処理水 T-P 濃度

上記の結果から、水温の低下により、ペレット型リン除去剤の溶解量が低下し、また、これに伴い、処理水 T-P 濃度が増加したことから、Phase IV では、水温が低下した場合でもペレット型リン除去剤の溶解量を適正に確保するために、溶解筒を 6 本設置して、同様の試験を行った。また、溶解筒を 6 本設置した場合、高水温期 (25~30℃) では、ペレット型リン除去剤が過剰に溶解することが予想されたため、これを抑制するために浸漬深さを減少させ、一方、通常水温期 (20~25℃) では、溶解量確保のため浸漬深さを増加させる維持管理を適宜実施した。その結果、Phase II に対応する翌年の Phase IV の期間において、ペレット型リン除去剤の平均溶解量は、107.1g・day<sup>-1</sup>にまで増加し、それに伴い、平均処理水 T-P 濃度は 0.75mg・L<sup>-1</sup>となり、Phase IV 平均として、目標水質である処理水 T-P1.0mg・L<sup>-1</sup>以下を達成することができた。また、この時の Al/P モル比は 1.6 であった。特に、Phase II 中、目標としている 80g・day<sup>-1</sup>の適正な溶解量が得られなかった水温低下期間においても、翌年の対応する Phase IV 期間においては、溶解筒を 6 本設置した結果、目標としている 80g・day<sup>-1</sup>以上の適正な溶解量を得られることが確認できた。

### 3.4.2.2 ペレット型リン除去剤の溶解量に及ぼす水温の影響

処理水 T-P 濃度は、ペレット型リン除去剤の溶解量に依存し、また、ペレット型リン除去剤の溶解量は、水温の影響を受けて変動していることが明らかとなった。そのため、溶解筒 1 本を設置した Phase II、III 期間中の処理水 T-P 濃度に及ぼすペレット型リン除去剤の溶解量およびペレット型リン除去剤の溶解量に及ぼす水温の影響について検討を行った。それぞれの結果は、図 44、45 に示す。

図 44 から、処理水 T-P1.0mg・L<sup>-1</sup>以下を達成するためには、ペレット型リン除去剤が、80g・day<sup>-1</sup> (Al/P モル比 1.4) 以上必要であることが明らかとなり、本研究で当初目標値としていた 80g・day<sup>-1</sup>以上は、妥当であったと考えられた。また、ペレット型リン除去剤の浸漬深さを 10mm とした場合のペレット型リン除去剤の溶解量と担体流動槽内の水温との関係を示した図 45 から、浸漬深さを 10mm としたとき、ペレット型リン除去剤が目標値である 80g・day<sup>-1</sup>以上溶解したときの水温は 27℃以上であり、水温の低下とともにペレット型リン除去剤の溶解量は減少することも明らかとなった。

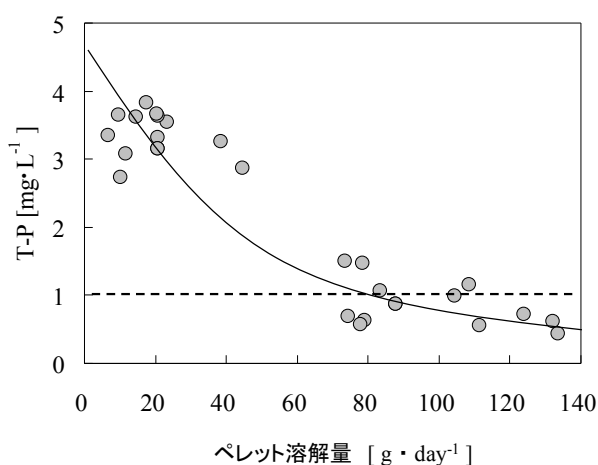


図 44 溶解量と処理水 T-P 濃度の関係

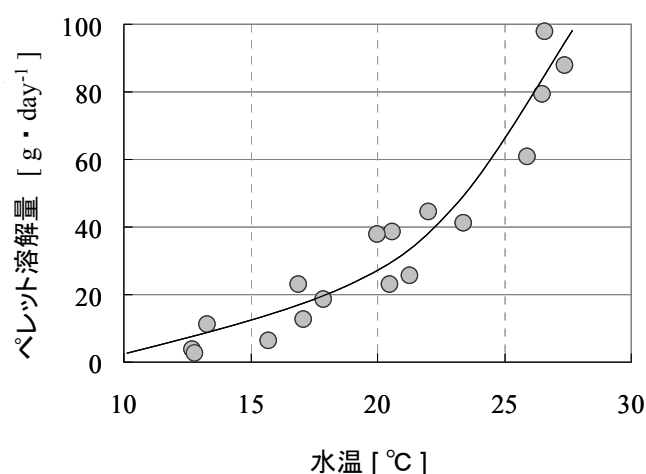


図 45 溶解量と水温の関係 (浸漬深 10mm)

### 3.4.2.3 ペレット型リン除去剤の導入による BOD 処理特性に及ぼす影響

本研究で用いたペレット型リン除去剤は、排水中ではアルミニウムイオン、硫酸イオンおよびカリウムイオンに電離する特徴を有しているため、その溶解に伴い、排水中の pH が低下することが考えられた。そこで、ペレット型リン除去剤の溶解に伴う pH の低下による、BOD 処理特性への影響も検討を行った。実験期間中における処理水 BOD 濃度の経日変化は図 46 に示す通りである。ペレット型リン除去剤設置前の Phase I では、一時期、サカマキガイの発生が確認されたため、6 月に処理水 BOD 濃度の悪化が認められたが、このサカマキガイを消石灰、硫酸アンモニウムにより駆除した後、処理水 BOD 濃度は低下し、Phase I の後半である 7 月 21 日～8 月 11 日までの平均処理水 BOD 濃度は  $8.8\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  となった。溶解筒を 1 本設置した Phase II における平均処理水 BOD 濃度は  $8.3\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  であり、溶解筒の設置前と比較して処理水 BOD 濃度に顕著な差は認められず、ペレット型リン除去剤の設置により、BOD 除去性能へは影響を及ぼさないことが明かとなった。また、低水温期である Phase III においては、平均処理水 BOD 濃度は  $17.4\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  と、水温の低下とともに増加した。しかし、溶解筒を 6 本設置した Phase IV においては、平均処理水 BOD 濃度は  $10.9\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  であり、Phase II および Phase III 平均  $12.2\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  と比較しても、同等以上の BOD 除去性能が得られた。

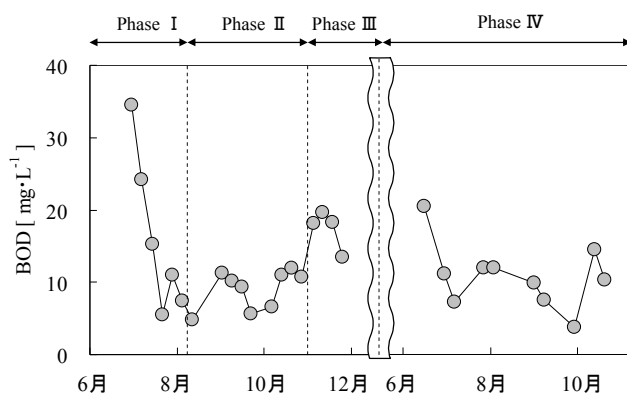


図 46 処理水 BOD 濃度の経日変化

### 3.4.2.4 ペレット型リン除去剤の導入による窒素処理特性に及ぼす影響

処理水 T-N、 $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度の経日変化を図 47、48 に示す。Phase I における平均処理水 T-N は  $7.3\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  であり、また、ペレット型リン除去剤を設置した Phase II の平均処理水 T-N 濃度は  $8.9\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  であった。特に、Phase II の前半 (8 月 11 日～9 月 21 日) におけるペレット型リン除去剤が適正量溶解していた場合においても、処理水 T-N 濃度の平均値は  $8.8\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  となっており、このことから、ペレット型リン除去剤の設置による処理水 T-N 濃度に顕著な差は認められず、ペレット型リン除去剤の設置による窒素除去性能に及ぼす影響は認められなかった。また、同様にペレット型リン除去剤が適正量溶解した Phase IV においても、平均処理水 T-N 濃度は  $7.4\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  と低く維持されていた。また、全実験期間を通じて、平均処理水  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度は  $1.0\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  以下で推移しており、ペレット型リン除去剤の設置後においても、硝化反応は良好に進行していることが推察された。

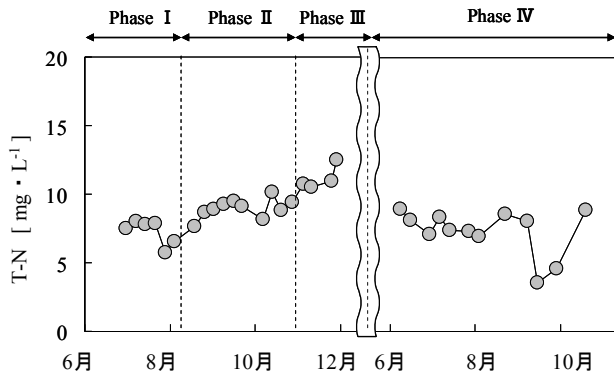


図 47 T-N の経日変化

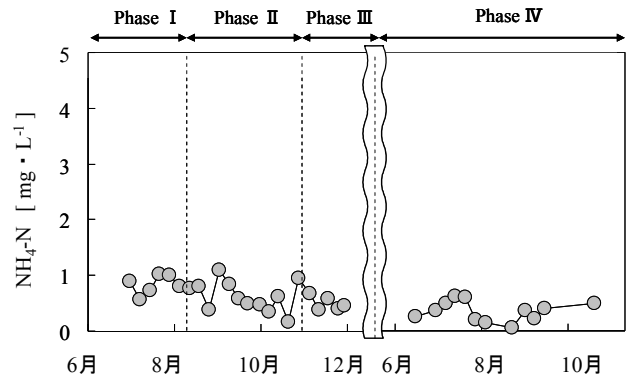


図 48 NH<sub>4</sub>-N の経日変化

### 3. 4. 3 ベンチスケール浄化槽システムにおけるペレット型リン除去剤の効果解析

これまでの実験結果より、ベンチスケール試験ではモル比 1 程度の添加濃度で効果的なリン除去の得られることがわかった。しかし、実機浄化槽での場合、モル比 1.4 以上が必要であることが明らかとなり、また、凝集剤を用いた既往の研究報告をもとに、処理性能の安定性等を考慮すると、実使用にはモル比 1.4 以上の添加が望ましいと考えられる。ベンチスケール試験においては人工排水であり、固形分を含有しないことが有利に働いたと考えられたが、過去の文献より良好な効果が得られた要因までは今回明らかにすることができなかった。また、窒素除去能に関しては、NH<sub>4</sub>-N 濃度、NO<sub>2+3</sub>-N 濃度から、系内では硝化・脱窒反応が良好に進行していることが推察された。また、循環比は 4 程度とすることで、嫌気槽への酸素持ち込みをコントロールするためのばっ気量の調整が極めて重要であり、総じてペレット型リン除去剤の窒素除去への影響の認められないことがわかった。

### 3. 4. 4 既設実機浄化槽におけるペレット型リン除去剤の効果解析

#### 3. 4. 4. 1 ペレット型リン除去剤の導入によるリン除去特性に及ぼす影響

試験結果より、処理水 T-P1.0 mg·L<sup>-1</sup> 以下を達成するためには、ペレット型リン除去剤の溶解量が 80 g·day<sup>-1</sup> (Al/P モル比 1.4) 以上が必要であり、溶解筒の複数設置、浸漬深さ等の調整により適正な溶解量を確保できることが明らかとなった。また、本試験では、極低水温期間 (13℃以下) においても処理水 T-P1.0 mg·L<sup>-1</sup> 以下を達成するかまでは確認できなかったが、これまでの試験において、処理水 T-P 濃度は、ペレット型リン除去剤の溶解量に依存することを確認できたため、極低水温期間においてもペレット型リン除去剤の溶解量を適切に維持することができれば、処理水 T-P1.0 mg·L<sup>-1</sup> 以下を達成できると考えられた。また、これらの結果は、アルミニウム塩凝集剤を活性汚泥法に用いた場合、モル比 2 以上の添加で処理水 T-P0.5 mg·L<sup>-1</sup> 以下が得られたとする既往の研究結果とほぼ一致していた。一方、本研究において行った人工排水を用いたベンチスケール実験では、モル比 1.0 程度で処理水 T-P1.0 mg·L<sup>-1</sup> 以下の水質が得られており、これと比較すると、本研究におけるペレット型リン除去剤による T-P 処理の効率は低下した。この原因について、本研究では、詳細な原因追究までは出来なかったが、ベンチスケール実験に用いた人工排水には固形物が含まれないことを鑑みると、実生活排水には、固形物 (SS) が含まれるために、排水中の固形物 (SS) とアルミニウムイオンが結合することも考えられ、ペレット型リン除去剤の必要添加量が増大したと考えられた。



#### 3.4.4.2 ペレット型リン除去剤の溶解量に及ぼす水温の影響

試験結果より、溶解筒を6本設置したPhase IVにおいては、従来の約6倍の溶解量が得られることになり、水温が27℃を下回る20℃においても目標の溶解量を確保できた。また、図43の結果と併せて考察すると、水温15℃では、溶解筒1本あたり13 g・day<sup>-1</sup>の溶解量が得られ、溶解筒を6本設置した場合は、計算上78g・day<sup>-1</sup>となることから、浸漬深さ10mmで概ねT-P濃度1.0mg・L<sup>-1</sup>以下が達成されると考えられ、浄化槽性能評価試験の下限値である13℃においても、浸漬深さの調整により同様に達成可能出ると考えられた。本研究では、ペレット型リン除去剤からの溶解量を確保するために、①複数の溶解筒の設置、②溶解筒の浸漬深さの調整により対応した。また、逆に、複数の溶解筒を用いる場合には、過剰なペレット型リン除去剤の溶解を避けるために、水温を指標として、浸漬深さを調整する等、ペレット型リン除去剤の溶解量を一定に制御する、維持管理等を実施することが重要であることがわかった。

#### 3.4.4.3 ペレット型リン除去剤の導入によるBOD処理特性に及ぼす影響

試験結果より、ペレット型リン除去剤添加前のPhase I、添加後のPhase IIを比較すると、BOD濃度に変化はなく、ここでペレット型リン除去剤のBODに対する影響は認められないと考えられた。さらに、ペレット型リン除去剤が平均的に80g・day<sup>-1</sup>以上溶解したPhase IVにおいても、BOD濃度はPhase I、IIと同等の値となり、長期に渡ってBOD除去能に影響のないことが裏付けられた。ただし、Phase III、Phase IVに共通して、水温の低下につれてBOD濃度の上昇がみられた。浄化槽は生物処理反応を利用した排水処理プロセスであるため、水温に影響されるが、既往の研究結果と比較しても同等のBOD除去性能を発揮したことから、ペレット型リン除去剤の設置によるBOD処理性能に及ぼす影響は、本試験における添加濃度範囲では特に認められないことが明らかとなった。

#### 3.4.4.4 ペレット型リン除去剤の導入による窒素処理特性に及ぼす影響

試験結果より、ペレット型リン除去剤の添加前、添加後を含め、全PhaseにおいてT-N濃度は概ね10mg・L<sup>-1</sup>以下の結果が得られたことから、ペレット型リン除去剤の設置による窒素除去性能に及ぼす影響は、本試験における添加濃度範囲では認められないことが明らかとなった。一方で、ペレット型リン除去剤は、水溶液は弱酸性に傾く特性を有しており、過剰溶解の場合にはpHの低下に繋がることが考えられ、特にアルカリ度を消費する硝化反応阻害となる可能性が考えられた。本試験において、T-P1.0mg・L<sup>-1</sup>以下となる添加濃度は、ベンチスケール試験のモル比1.0と比較して、1.4以上と、Al/Pモル比として高いペレット型リン除去剤の添加濃度となった、Phase IIおよびPhase IVの運転においてもpHの顕著な低下等の生物処理に障害となる現象は観測されず、このとき、NH<sub>4</sub>-N濃度は全Phaseを通して大きな差異は認められなかった。このことから、総じて硝化反応、および脱窒反応を含めた、窒素除去反応への影響のないことが示唆された。また、上記の試験研究において生物相解析を行ったが、ペレット型リン除去剤は適正モル比条件では、原生動物、ワムシ類・水生ミミズ類の後生動物に対しては、影響を及ぼすことなく健全な生態系が保持されることが明らかとなった。

#### 3.4.4.5 ペレット型リン除去剤と鉄電解脱リン法におけるCO<sub>2</sub>排出量の比較解析

CO<sub>2</sub>排出量に対して、これまでサブテーマ4で比較検討した鉄電解脱リン法とペレット型リン除去剤の比較を行った。鉄電解脱リン法では、消耗品となる鉄板電極の製造に係るCO<sub>2</sub>排出量として、成形加工等を除いた粗鋼製造時のCO<sub>2</sub>排出量と、実際の使用時に通電する電力量の発電に係るCO<sub>2</sub>排出量を用いた。一方、ペレット型リン除去剤では、使用時に電力を要しないことから、成形加工等を除いた、主剤となる硫酸カリウムアルミニウム製造時に係るCO<sub>2</sub>排出量のみを用いた。その結果、鉄電解脱リン法では、粗

鋼 2.28kg・年<sup>-1</sup>・人<sup>-1</sup>、電力量 12.48kWh・年<sup>-1</sup>・人<sup>-1</sup>を要し、CO<sub>2</sub>排出量としては、9.74kgCO<sub>2</sub>・年<sup>-1</sup>・人<sup>-1</sup>であった。これに対しペレット型リン除去法では、主剤の硫酸カリウムアルミニウム 7.3kg・年<sup>-1</sup>・人<sup>-1</sup>を要し、CO<sub>2</sub>排出量としては、1.83kgCO<sub>2</sub>・年<sup>-1</sup>・人<sup>-1</sup>であった。この結果から、鉄電解法と比較して CO<sub>2</sub>排出量を約 81 %を削減した省エネ運転下で、かつ、鉄電解脱リン法と同等の高度処理が可能となり、本システムの普及展開が期待される。

### 3.5 省エネルギー方式低動力型対応充填担体技術の開発

#### 3.5.1 接触ろ床方式による好気処理性能の評価

BOD、T-N、SS の処理水の各 RUN における処理水の BOD、T-N、SS の平均値、標準偏差を図 49 に示す。BOD の平均値は RUN1 : 7.4mg・L<sup>-1</sup>、RUN2 : 4.9mg・L<sup>-1</sup>、RUN3 : 4.4mg・L<sup>-1</sup>といずれも目標水質の 10mg・L<sup>-1</sup>を下回り良好な水質を得られた。T-N の平均値は RUN1 : 10mg・L<sup>-1</sup>、RUN2 : 9.2mg・L<sup>-1</sup>、RUN3 : 9.9mg・L<sup>-1</sup>で、目標水質を確保できた。SS の平均値は RUN1 : 1.6 mg・L<sup>-1</sup>、RUN2 : 0.8 mg・L<sup>-1</sup>、RUN3 : 1.8 mg・L<sup>-1</sup>といずれも目標水質を大きく下回り良好な水質を得られた。また図 50 に示した各イオン態窒素濃度の結果から、いずれの RUN でも硝化は十分に進行しており、接触ろ床方式における好気処理性能の高さが示された。これらの結果より、水温が 13℃でも 20℃でも、またばっ気風量が 45L・分<sup>-1</sup>という少風量であっても BOD、T-N、SS ≤ 10 mg・L<sup>-1</sup>という高度処理型の水質を達成できる可能性が示唆された。このとき、エアリフトに利用する風量を含めても総風量で 60 L・分<sup>-1</sup>以下となり、風量を従来型の 110 L・分<sup>-1</sup>から 45%削減できる。

本実験では、処理水 T-N が目標水質を上回ることもあったことから、さらに安定した窒素除去性能を得るための方策を検討した。硝化は十分に進行しており、脱窒性能の向上が課題であることが示唆された。脱窒性能の向上のためには、嫌気ろ床槽の性能を向上させる必要がある。そこで、①嫌気ろ床槽のろ材充填率の増加、②嫌気ろ材の変更、の 2 案が向上策として考えられた。

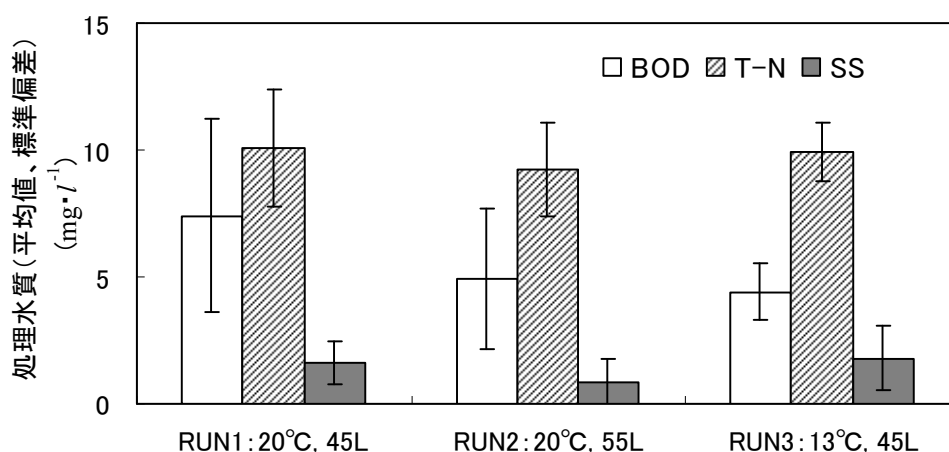


図 49 処理水の BOD、T-N、SS (RUN1~3)

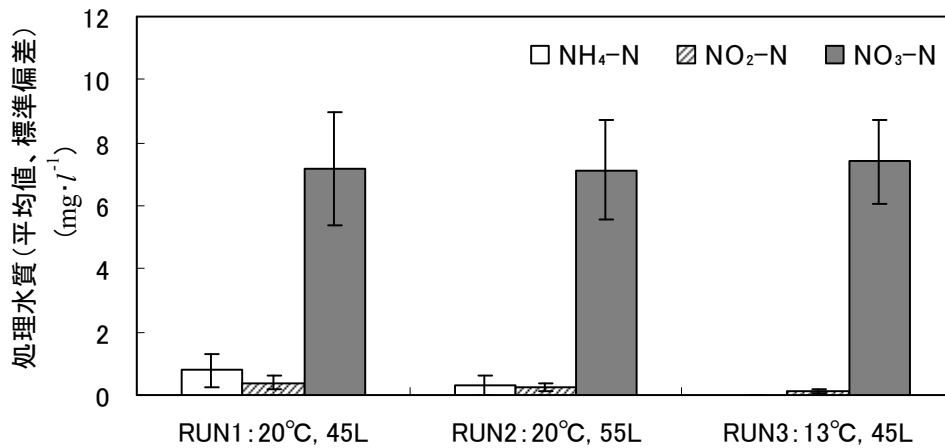


図 50 処理水の各イオン態窒素 (RUN1~3)

### 3.5.2 嫌気ろ床の脱窒性能向上に関する検討

嫌気ろ材充填率増加の効果を見るため、ろ材充填率を RUN1~3 と同じ 46%とした RUN4 と、55%に増加させた RUN5 の比較をおこなった。処理水の BOD、T-N、SS の平均値、標準偏差を図 51 に示す。ろ材充填率を増加させた RUN5 の方が RUN4 よりも処理水 BOD がやや高くなったが、原因として、嫌気ろ床槽上部から移流開口までの距離が短くなり、短絡流が発生した可能性が考えられる。このことから、嫌気ろ材は多ければ良いというわけではなく、槽内の水の流れ等の影響を考慮した上で最適に設計する必要があるといえる。T-N については、系列による差は見られなかった。処理水の各イオン態窒素の結果を図 52 に示す。硝化は両系列とも十分に進行しており差はなく、NO<sub>3</sub>-N についても差は見られなかった。ろ材追加による脱窒の向上が目的であったが、本試験槽の構造では増加させたろ材が十分脱窒に利用されていないことが示唆された。

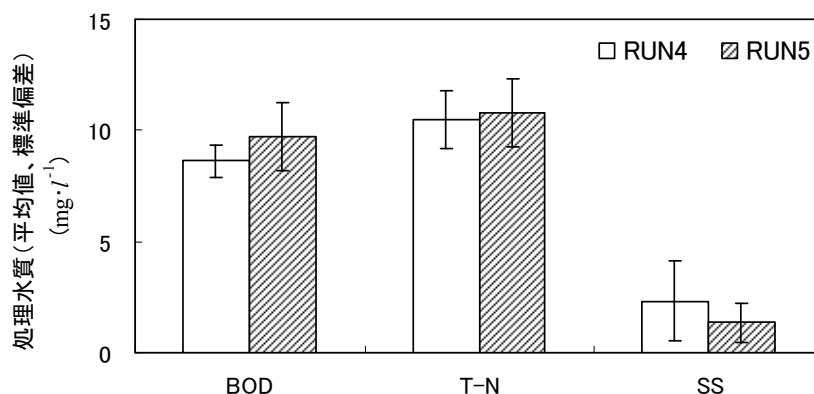


図 51 処理水の BOD、T-N、SS (RUN4、5)

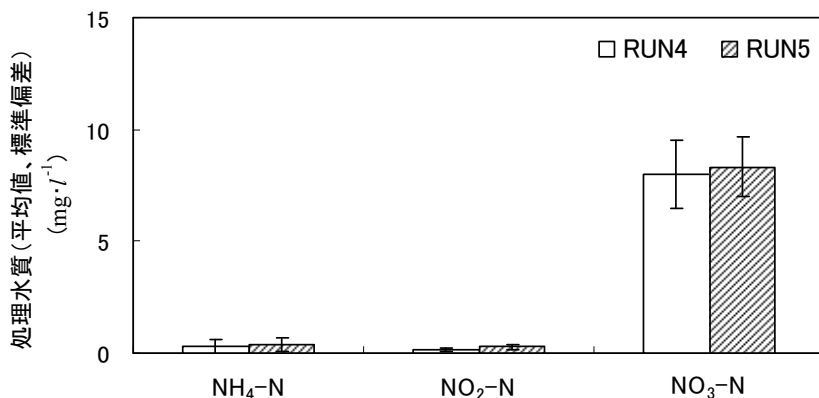


図 52 処理水の各イオン態窒素 (RUN4、5)

次に、嫌気ろ材の種類が処理性能に及ぼす影響を調べるため、嫌気ろ材を RUN1~5 と同じ骨格様球状ろ材とした RUN6 と、網様円筒状ろ材とした RUN7 の比較をおこなった。処理水 BOD の経日変化を図 53 に示す。試験期間を通じてどちらの系列においても目標水質を満足した。試験開始後は、RUN7 よりも RUN6 の BOD が低かったが、RUN6 は RUN4 の試験槽を清掃して使用したため、処理性能の立ち上がりが早かったと考えられる。RUN7 は日数の経過とともに BOD 除去性能が向上し、169 日目以降は、RUN6 よりも低い濃度で推移した。

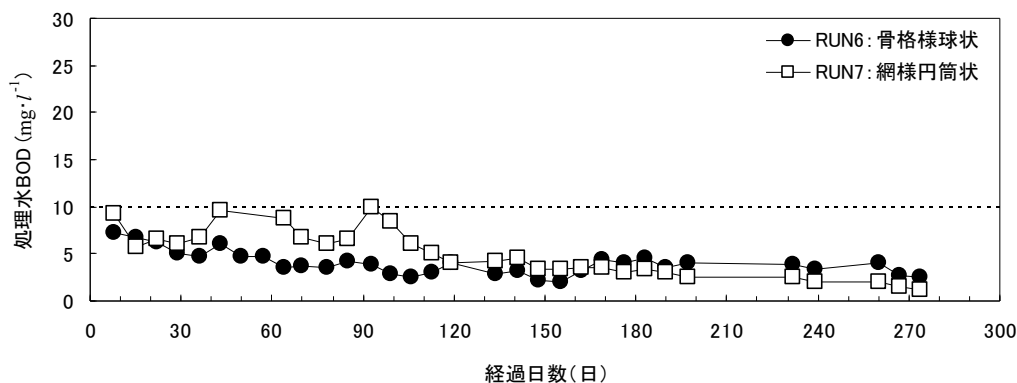


図 53 処理水 BOD の経日変化 (RUN6、7)

処理水 T-N の経日変化を図 54 に示す。RUN4 の試験槽を清掃して用いた RUN6 については、試験開始直後から  $T-N \leq 10\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  を満足した。85~141 日目にかけて T-N が悪化し、一時  $20\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  まで上昇した。これは循環水量が大幅に低下したためであるが、実験施設が一時的に停電した時期と一致していることから、何らかの影響があったと考えられる。148~197 日目にかけては、安定して  $T-N \leq 10\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  を達成したが、その後 T-N の上昇が認められた。一方、新規に設置した RUN7 については、試験開始 1 ヶ月後には  $T-N \leq 10\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  となっており、立ち上がりに問題は認められなかった。また、その後も安定して  $T-N \leq 10\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  を達成しており、RUN6 よりも良好な窒素除去性能が得られた。とくに、実験の後半に T-N 除去性能が向上する傾向が認められた。骨格様球状ろ材に比べて網様円筒状ろ材の方が、汚泥が蓄積した状態においても、ろ床内の水の流れが均一化されやすく、高い窒素除去性能を得られる可能性が示された。

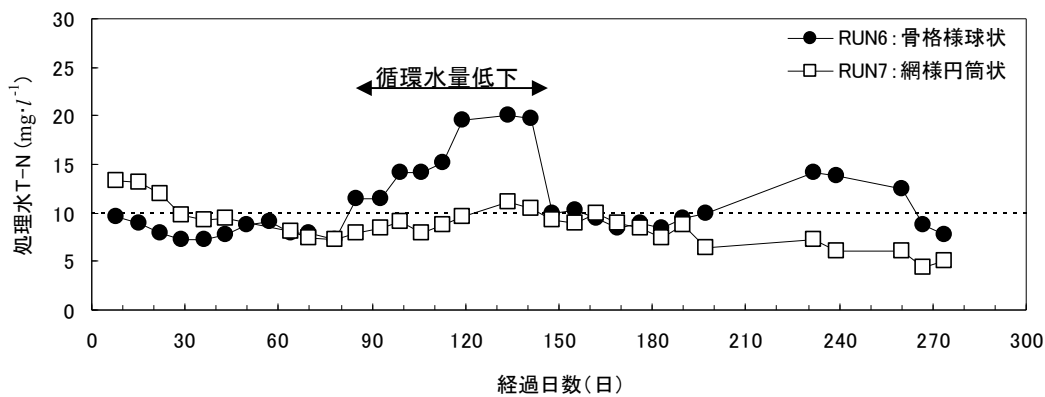


図 54 処理水 T-N の経日変化 (RUN6、7)

処理水 SS の経日変化を図 55 に示す。RUN6、RUN7 共に試験期間を通して  $SS \leq 5 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  を達成した。いずれも SS の流出は極めて少なく、嫌気ろ材の種類による SS 除去性能に差はないといえる。

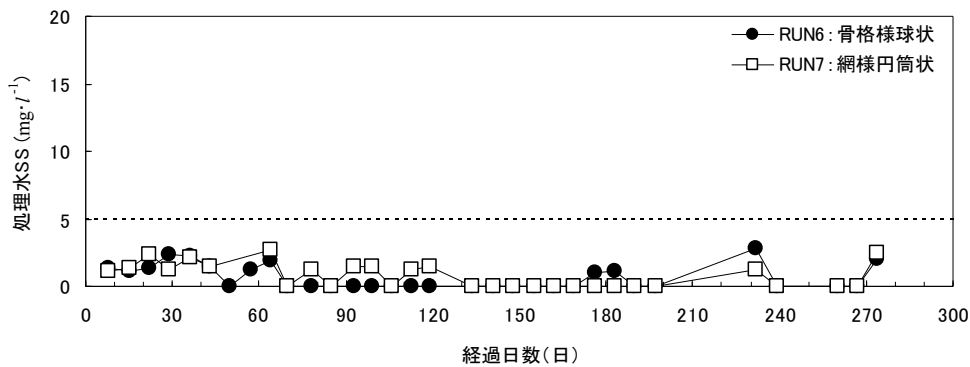


図 55 処理水 SS の経日変化 (RUN6、7)

以上の結果から、嫌気ろ材として網様円筒ろ材を用いることで、特に脱窒性能の向上と安定化に効果があることが示された。

### 3.5.3 間欠ばっ気運転の導入による省エネルギー化に関する検討

間欠ばっ気運転の導入の効果解析のために、上記 RUN7 の仕様を基に、更なる省エネ化を目指した間欠ばっ気運転の検討をおこなった。1 サイクルあたりのブロワ停止時間が異なる各 RUN における BOD、T-N、SS の平均値 (±標準偏差) を図 56 に示す。本実験の結果、RUN①～③の条件では目標水質をほぼ達成でき、ブロワ稼働時間を最大 29%削減できる可能性が示された。また、RUN③の運転条件では 13°C の低水温でも目標水質を満足できることが分かった (RUN③-2)。RUN④、RUN⑤では特に硝化性能が悪化し、目標水質を満足できない結果となった。RUN④、RUN⑤は酸素供給量が有機物酸化および硝化に必要な理論的酸素量を充足しない運転条件であり、理論通り酸素供給能力が律速となり性能が悪化したと考えられる。

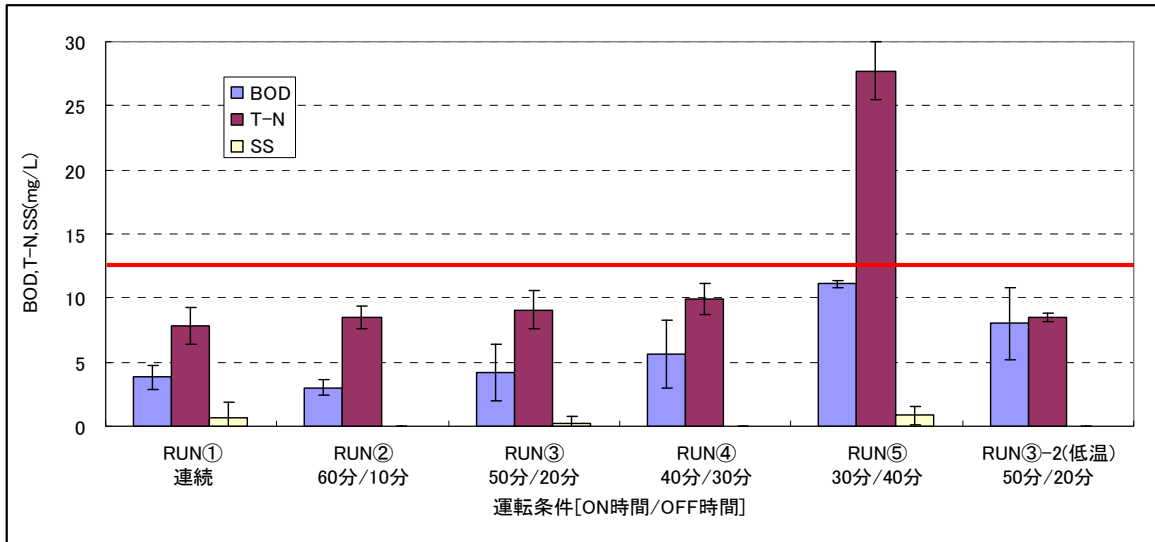


図 56 間欠運転パターンによる BOD、T-N、SS の平均値の比較

このように、浄化槽におけるこれまでに開発されてこなかった、低ばっ気動力ブロウ及び好気槽等の担体充填比率等の適正化による硝化脱窒能の向上に基づく省エネ化が達成でき、普及展開が期待される。

### 3.6 地域特性を踏まえた浄化槽の消費エネルギー解析と省エネシステム管理技術

#### 3.6.1 小型浄化槽の設置状況とブロウ消費電力に関する検討

全浄協に回収された管理票の件数から求めた設置基数の推移は、嫌気ろ床接触ばっ気方式の設置が平成 9 年度をピークに減少に転じており、その後、性能評価型浄化槽の設置が増加している。性能評価型浄化槽のうち BOD のみを除去対象とする方式は大部分が小容量型浄化槽に分類されるものであり、これらは、主に二次処理装置の容量が小さいため、一定のばっ気強度を保つために必要な空気量が少なくて済む特長を有している。小容量型浄化槽の設置は平成 16 年度をピークに減少に転じており、その後は BOD および窒素を除去対象とする性能評価型浄化槽の設置基数が増加している。近年、設置される型式の特長は、槽容量が小さくかつ BOD および窒素を除去対象とすることが挙げられる。

処理方式ごとに平成 20 年度末の累積設置基数の多い型式を抽出し調査対象とした。さらに性能評価型浄化槽については、平成 20 年度末の累積設置基数は多くないがその後設置基数が増加している型式を調査対象として追加し、各型式の定格消費電力を用いて処理方式ごとの定格消費電力を算出した結果を表 13 に示す。処理方式ごとの消費電力は調査対象とした型式の設置基数で重み付けした加重平均で求めた。

嫌気ろ床接触ばっ気方式は人槽の増加に伴って消費電力が段階的に上昇する傾向が認められた。一方、BOD 除去タイプの性能評価型では 5、7 人槽の消費電力に大きな差が認められず、10 人槽のみ高い値を示した。BOD 除去型の嫌気ろ床接触ばっ気方式と性能評価型を比較すると、5 人槽では嫌気ろ床接触ばっ気方式の消費電力が小さく、7、10 人槽では性能評価型の消費電力が小さい結果となった。

窒素除去型においては構造例示型よりも性能評価型の設置基数はるかに多く、この性能評価型の消費電力は他のいずれの方式よりも低いことが明らかとなった。そのため、本研究で検討している再生可能エネルギーを活用した浄化槽にとっては、有利な方向であることが明らかとなった。

一方、窒素・リン除去型および膜分離活性汚泥方式の消費電力は BOD 除去型および窒素除去型よりも高い値を示した。これは同一人槽における吐出風量が多いことが主な原因と考えられた。また、窒素・リン除去型における鉄電解装置の消費電力は消費電力全体の 9~14%に相当していた。

表 13 処理方式ごとの定格消費電力の平均値および設置基数

項目	消費電力 (W)			設置基数 (基)
	5 人槽	7 人槽	10 人槽	
BOD 除去型				
分離接触ばっ気方式	101	135	181	4、441
嫌気ろ床接触ばっ気方式	58	74	116	475、698
性能評価型	64	69	91	558、063
窒素除去型				
脱窒ろ床接触ばっ気方式	101	140	—	42
性能評価型	51	59	88	120、594
窒素・リン除去型				
性能評価型	102	105	128	735
膜分離活性汚泥方式				
性能評価型	189	212	245	51

### 3.6.2 濃縮車の導入状況とその応用および CO<sub>2</sub> 排出量に及ぼす影響に関する検討

#### 3.6.2.1 バキューム車と濃縮車の燃料消費量の比較

濃縮車の導入状況とその応用および CO<sub>2</sub> 排出量に及ぼす影響に対して、ケーススタディから得られた基礎データを表 14 に示す。バキューム車を用いて清掃を実施したケース 1 およびケース 3 では 1 件当りの車輻走行距離が 13.38km および 16.28km であったのに対し、濃縮車を使用したケース 2 およびケース 4 では 6.16km および 7.20km と大幅な低下が認められた。濃縮車の使用により汚泥を減容化できることから、汚泥をし尿処理施設に搬出する回数が減少し、さらに濃縮分離液を張り水として用いることで張り水の輸送が削減されたために車輻の走行距離が大幅に低下したと考えられる。

一方、濃縮車を使用しているケース 2 およびケース 4 はバキューム車を使用しているケース 1 およびケース 3 よりも燃費が小さくなっている。濃縮車による清掃作業はバキューム車による清掃作業と比較して、濃縮作業を行う分だけ時間を要するため、その間の燃料消費量が燃費に反映されている。

1 件当りの燃料消費量はバキューム車を使用したケースよりも浄化槽汚泥濃縮車を使用したケースの方が小さいことから、濃縮車の使用によって燃費の悪化は認められるものの、車輻走行距離の大幅な低下を達成できるため、清掃作業全体に係る燃料消費を削減できることが明らかとなった。

清掃対象汚泥 1kL 当りの燃料消費量については、地域 A では濃縮車を使用することでわずかに減少し、地域 B では濃縮車の使用により約 50%低減する結果が得られた。濃縮車の導入効果が地域によって大幅に異なる原因は、各地域の地域特性および清掃方法の差に起因すると推測され、今後はこれらの条件が濃縮車の導入効果にどのように影響するか解析する必要がある。

表 14 各ケースにおける燃料消費量等の基礎データ

項目	単位	地域 A		地域 B	
		ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
清掃対象汚泥量	kL	348	420	9,307	9,244
清掃件数	件	218	373	5,660	5,102
走行距離	km	2,917	2,298	92,120	36,749
燃料消費量	L	754	892	25,783	13,048
1 件当りの走行距離	km/件	13.38	6.16	16.28	7.20
燃費	km/L	3.87	2.58	3.57	2.82
1 件当りの燃料消費量	L/件	3.46	2.39	4.56	2.56
汚泥 1kL 当りの燃料消費量	L/kL-汚泥	2.16	2.12	2.77	1.41

### 3.6.2.2 市場に投入された濃縮車の比較検討

#### 1) 実車による清掃作業を行った浄化槽の基数

A 社、B 社、C 社が 4 日間の現場試験において清掃を実施した基数を表 15 に示す。A 社 19 基、B 社 18 基、C 社 17 基の清掃を実施して解析した。

表 15 各社の清掃を実施した浄化槽の基数

項目	A 社	B 社	C 社
合併処理浄化槽			
5 人槽	8 基	7 基	7 基
6 人槽	2 基	3 基	1 基
7 人槽	5 基	4 基	5 基
合併計	15 基	14 基	13 基
単独処理浄化槽			
5 人槽	4 基	4 基	4 基
合計	19 基	18 基	17 基

#### 2) 処理方式別の搬出率の解析

濃縮操作を行った結果を処理方式別に清掃対象汚泥量、引抜汚泥量を積算して搬出率を整理し表 16 に示す。なお、清掃軒数が異なることから、それぞれの搬出率で比較することで評価した。

搬出率は小さい順に A 社 30.6%、B 社 36.4%、C 社 49.9%という結果が得られた。



表 16 清掃対象浄化槽の汚泥容量と実際に搬出された汚泥の割合

項目	A 社	B 社	C 社
処理方式	清掃対象の槽容量の合計 (L)		
嫌気	15,963	15,163	13,663
性能 1	11,467	9,486	9,016
性能 2	9,204	9,101	9,496
全ばっ気	1,500	1,500	1,500
分接	2,300	2,300	2,300
計	40,434	37,550	35,975
処理方式	搬出汚泥量の合計 (L)		
嫌気	3,920	4,880	6,770
性能 1	3,570	3,216	4,840
性能 2	3,360	3,500	4,290
全ばっ気	370	870	220
分接	1,160	1,190	1,840
計	12,380	13,656	17,960
処理方式	搬出率 (%)		
嫌気	24.6	32.2	49.5
性能 1	31.1	33.9	53.7
性能 2	36.5	38.5	45.2
全ばっ気	24.7	58.0	14.7
分接	50.4	51.7	80.0
全体平均	30.6	36.4	49.9

### 3) 返送分離液の水質および凝集剤の選定評価

返送分離液の SS 濃度の平均値を処理方式別に、また全体の平均値を表 17 に示す。浄化槽の現場ごとに異なる結果が得られたが、凝集状態の見極め、凝集剤とのマッチング等の影響によるものと考えられる。平均水質で良い順は、C 社、A 社、B 社であった。ただし、C 社の場合、スクリーンに汚泥がかかり始めると分離操作は終了し、残存汚泥は汚泥タンクへ移送した結果であることがわかった。

表 17 各社の返送分離液の SS 濃度

処理方式	A 社 mg・L <sup>-1</sup>	B 社 mg・L <sup>-1</sup>	C 社 mg・L <sup>-1</sup>
嫌気	9.5	45.5	23.6
性能 1	12.6	18.0	14.8
性能 2	12.2	35.9	11.9
全ばっ気	50.0/104.0	128.0/15.0	16.0/18.0
分接	41.0/8.5	21.7/22.0	39.0/13.5
全体	18.6	38.3	16.7

注) 「嫌気」、「性能 1」、「性能 2」および「全体」は算術平均を記載し、「全ばっ気」および「分接」は生データを記載している。

なお、凝集剤の選定や pH 調整は、凝集反応を促進するためのノウハウであり、凝集状態を見極めるためには相当な訓練を要する。凝集剤および助剤に多くの種類を併用することは、凝集促進のために必要

な場合もあるが、バキューム車により清掃を実施する作業員にとっては、かなりの訓練が必要であることを認識しておく必要がある。

### 3.6.2.3 濃縮車の油脂分離槽への適用

#### 1) 種々の油脂分離槽に関する予備試験

対象施設としての結婚式場の排水処理施設は、油脂分離槽、原水槽、流量調整槽、ばっ気槽、沈殿槽、汚泥濃縮貯留槽から構成されている。本調査では油脂分離槽を対象に濃縮試験を行った。

反応槽に吸引した汚泥量は約 700L で、pH は 5.0 を示した。本高分子凝集剤の特性から弱アルカリ性雰囲気の方が、フロックが粗大化しやすいことから、ソーダ灰により pH を 9 程度まで上昇させて試験を行った。0.3%高分子凝集剤の添加量は 150L となり、粗大フロック化したものの添加量が極めて多く必要であることが明らかとなった。

#### 2) ラーメン店の油脂分離槽に関する試験

油脂分離槽から引き出した反応タンク内汚泥の pH は 4.9 と弱酸性を示し、槽内で酸発酵の進行が推察された。ビーカー内の状況からも高濃度であることが確認された。

汚泥濃度が比較的高濃度であったことから、PAC の添加量を従来よりも多く添加するとともに、高分子凝集剤の添加量についても表 18 のように添加条件を変えてビーカーテストを行った。その結果、10 倍希釈 PAC20mL、高分子凝集剤 5mL の添加条件を基礎に実車試験を行った。

表 18 ビーカーテストにおける凝集剤の添加条件(容器 500mL に対して)

10 倍希釈 PAC 添加量 mL	20	20	20	30
高分子凝集剤 mL	1	3	5	5
凝集の状態	×	△	○	×

反応前の反応タンク内の汚泥および分離液の水質分析結果を表 19 に示す。スカムおよび堆積汚泥の一部は濃縮車の貯留タンクへ吸引し、その後反応タンクへ吸引したものであるが、BOD は  $17,200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、ヘキサン抽出物質は  $10,100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  とこれまでで最も高濃度であった。浮上後の状況からも固形物量が非常に多いことが推察された。反応タンク内における浮上分離後の下部に見られる分離液は比較的清澄であり、また、返送した分離液も比較的清澄であったが、分離液の BOD は  $1,540\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  を示したことから、溶解性物質の影響であることが推察された。結果として油分の除去率は 95%以上を示し、先に汚泥タンクへ吸引したスカムの分を含めると大部分の油分を回収できることが明らかとなった。単に濃縮することによる減容化に加え、油分の回収という観点からも評価できるものと考えられた。

表 19 ラーメン店の油脂分離槽に関する試験結果

項目 試料	BOD ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	COD ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	ヘキサン抽出物質 ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )
反応前	17,200	3,220	10,100
分離液	1,540	447	12.7
除去率 (%)	91.0	86.1	99.9

### 3.6.2.4 濃縮車が導入されたし尿処理施設への影響

#### 1) 汚泥搬入量とCO<sub>2</sub>排出量の積算期間

図57にし尿処理施設への搬入汚泥量の推移を示す。図中の汚泥量は各月の搬入量を示しており、し尿と浄化槽汚泥の合計搬入量を表している。濃縮車の導入により搬入量が大幅に低下し、その後は、生し尿およびバキューム車で清掃を行った浄化槽汚泥の搬入量が徐々に減少したことから、全体の搬入量がわずかずつ減少する傾向が認められた。搬入量の推移を考慮し、図57に示す4期間をCO<sub>2</sub>排出量の積算期間と定めた。濃縮車導入前の期間1における負荷率を100%とすると、濃縮車導入後の期間2、期間3および期間4における汚泥量負荷率はそれぞれ73.6%、65.3%、57.4%であった。さらに施設更新後の1年間を期間5としてCO<sub>2</sub>排出量を試算した。

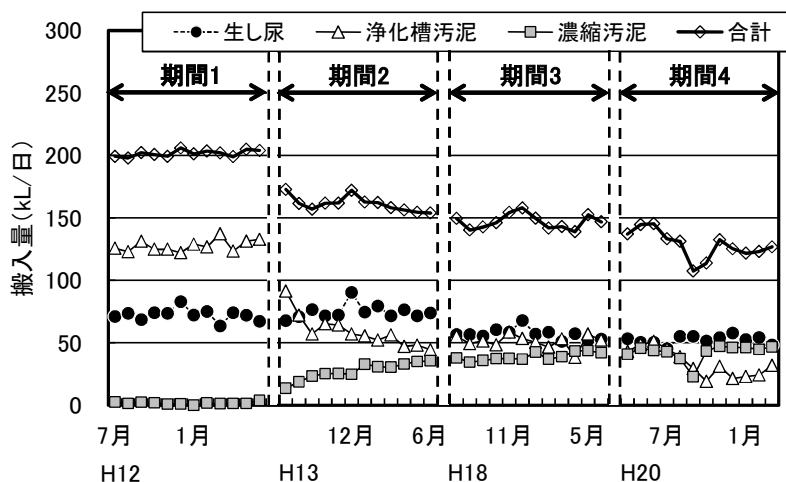


図57 搬入汚泥量の推移

#### 2) 搬入汚泥量とCO<sub>2</sub>排出量の関係

図58に各期間のCO<sub>2</sub>排出量とし尿処理施設への搬入汚泥量を示す。期間1から期間3にかけての搬入量の減少に伴い、運転に係るCO<sub>2</sub>排出量の合計値が減少する傾向が認められた。また、期間4については期間3と比較してCO<sub>2</sub>排出量が増加しているが、これは燃料消費に係るCO<sub>2</sub>排出量が増加したためであり、薬剤の使用および電力消費に係るCO<sub>2</sub>排出量は期間3と比較してさらに減少している。

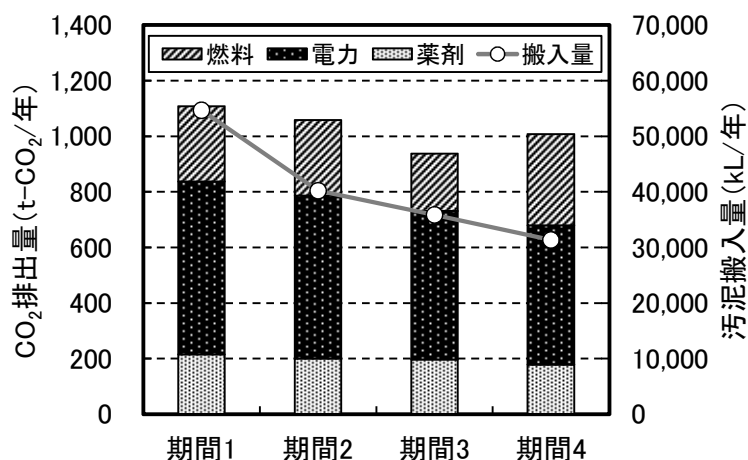


図58 各期間のCO<sub>2</sub>排出量積算値

次に、期間ごとに燃料、電力、薬剤に由来する CO<sub>2</sub> 排出量を搬入量で除し、負荷率との相関を確認した。解析結果を図 59 に示す。なお、燃料消費に係る CO<sub>2</sub> 排出量については、灯油使用量が大幅に増加した期間 4 の値を除いて解析を行った。負荷率が低くなるほど、搬入量あたりの CO<sub>2</sub> 排出量が高くなる傾向が認められた。

さらに、近似式から算出した搬入量あたりの CO<sub>2</sub> 排出量に搬入量を乗じ、年間の CO<sub>2</sub> 排出量の試算を行った。試算結果を図 60 に示す。負荷率が低下するほど CO<sub>2</sub> 排出量が削減される傾向が認められ、負荷率が 20% 低下すると CO<sub>2</sub> 排出量削減率は 5.6%、負荷率が 40% 低下すると CO<sub>2</sub> 排出量削減率は 18.4% に達するという試算結果となり適正な評価が可能であった。

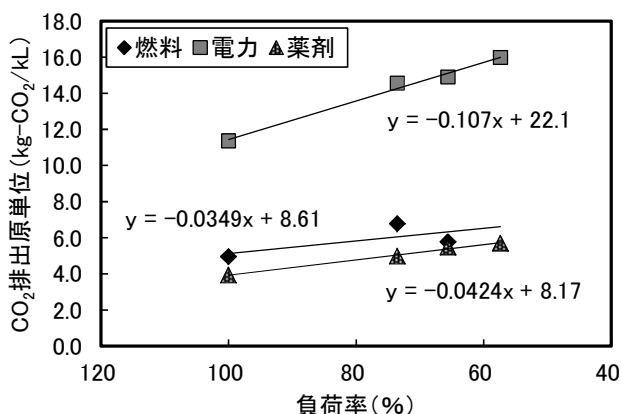


図 59 負荷率と CO<sub>2</sub> 排出原単位の関係

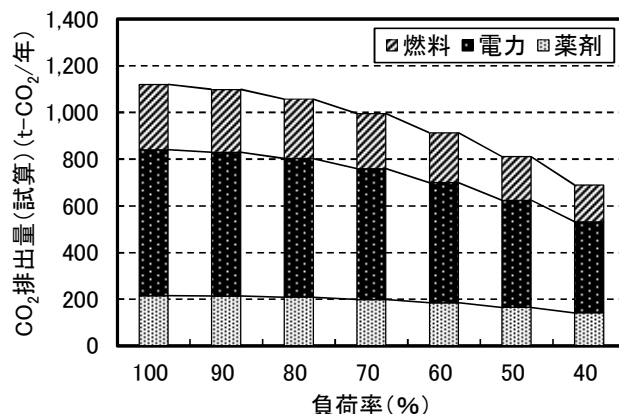


図 60 負荷率の低下に伴う CO<sub>2</sub> 排出量の削減

### 3.6.2.5 濃縮車の導入によるし尿処理施設への負荷および CO<sub>2</sub> 排出量の予測

濃縮車の導入によるし尿処理施設への負荷および CO<sub>2</sub> 排出量の予測解析として、図 61 に示した施設規模と処理汚泥量あたりの CO<sub>2</sub> 排出量の関係から、施設規模が 2 分の 1 に縮小された場合、処理汚泥量あたりの CO<sub>2</sub> 排出量は 1.23 倍になることが明らかとなった。運転に係る全 CO<sub>2</sub> 排出量のうち燃料消費に係る CO<sub>2</sub> 排出量は平均 33.1% であり、これらは汚泥の乾燥・焼却工程で排出されたものである。さらに、汚泥の乾燥・焼却設備での電力消費に係る CO<sub>2</sub> 排出量を燃料消費に係る CO<sub>2</sub> 排出量の 15.7% とし、乾燥・焼却工程での CO<sub>2</sub> 排出量を試算すると、施設の運転に係る全 CO<sub>2</sub> 排出量の 38.3% が乾燥・焼却工程から排出されることとなる。

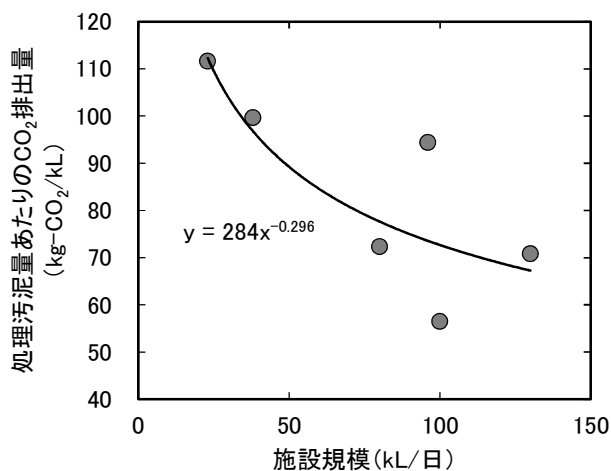


図 61 施設規模と処理量あたりの CO<sub>2</sub> 排出量の関係

水処理設備等の施設規模を  $x$  (kL/日)、水処理設備等の運転に係る処理汚泥量あたりの  $\text{CO}_2$  排出量を  $f(x)$  (kg- $\text{CO}_2$ /kL)、搬入 SS 量から算出した汚泥焼却設備における処理汚泥量換算値を  $y$  (kL/日)、汚泥焼却設備の運転に係る処理汚泥量あたりの  $\text{CO}_2$  排出量を  $g(y)$  (kg- $\text{CO}_2$ /kL) とすると、 $f(x)$  および  $g(y)$  は以下の式(1)および式(2)で表わされる。

$$f(x) = 175 x^{-0.296} \quad \text{式(1)}$$

$$g(y) = 78.6 y^{-0.296} \quad \text{式(2)}$$

さらに、日平均処理汚泥量を  $s$  (kL/日)、汚泥焼却設備における処理汚泥量換算値を  $t$  (kL/日) とすると、水処理設備、汚泥焼却設備のそれぞれにおける処理汚泥量あたりの  $\text{CO}_2$  排出量  $f(x, s)$  (kg- $\text{CO}_2$ /kL) および  $g(y, t)$  (kg- $\text{CO}_2$ /kL) は以下の式(3)および式(4)で表される。

$$f(x, s) = 175 (s/x)^{-0.606} x^{-0.296} = 175 s^{-0.606} x^{0.310} \quad \text{式(3)}$$

$$g(y, t) = 78.6 (t/y)^{-0.606} y^{-0.296} = 78.6 t^{-0.606} y^{0.310} \quad \text{式(4)}$$

濃縮車の導入によって施設規模を縮小した汚泥再生処理センターの 1 年間の運転状況について調査した結果、処理能力 85kL/日に対して処理汚泥量が 80.7kL・日<sup>-1</sup>であり、負荷率は 95%であった。この施設における電力および薬剤の使用量から求めた年間は 1,403t- $\text{CO}_2$ /年と積算された。一方、 $\text{CO}_2$  排出量予測モデルを用いて施設規模 85kL/日、負荷率 95%のし尿処理施設から排出される年間  $\text{CO}_2$  量を算出した結果、水処理設備等の  $\text{CO}_2$  排出量は 1,432 t- $\text{CO}_2$ /年となり、実施設における積算値との誤差は 2.0%であった。濃縮車の導入により施設規模を縮小した場合、施設に搬入される BOD 負荷量は濃縮車を導入しない場合と同程度であることから、本来は、濃縮汚泥を小規模の水処理設備で処理することは困難である。しかし、前凝集分離設備を有した方式を採用した場合は、それらの工程で発生した分離液のみが後段の水処理設備で処理されるため、BOD 負荷の観点からみると小規模の水処理設備での処理が可能となる。本研究で  $\text{CO}_2$  排出量の積算対象とした実施設は前凝集分離方式であり、その  $\text{CO}_2$  排出量積算値とモデルの試算値がほぼ一致したことから、前凝集分離方式への更新を前提とした場合、このモデルを適用することが妥当と判断された。

将来の処理汚泥量の推移に対し濃縮車を導入することにより、処理汚泥量は 50%前後まで減少する。さらに、施設更新後 20 年間で、濃縮車を導入しない場合は処理汚泥量が 46%減少し、濃縮車を導入する場合は 59%減少すると試算された。その結果、し尿処理施設における  $\text{CO}_2$  排出量と濃縮車導入による  $\text{CO}_2$  排出量は、濃縮車を導入し施設規模を縮小することによって、 $\text{CO}_2$  排出量を 20%以上削減できることが示された。

以上のように、本研究により、高度処理方式の展開における消費電力および汚泥減容化のための汚泥濃縮車導入の必要性が明らかになり、今後の普及展開が期待される。

#### 4. 結論

- ①太陽光発電・風力発電を活用して稼働させ、省エネルギー化の可能性および生物処理の根幹をなす微生物特性と酸素濃度との関係を解析評価した。その結果、再生可能エネルギーで全電力エネルギーの100%を確保可能なることがわかると同時に、太陽光パネルを本試験研究で使用した16枚から2枚(85W/1枚)にすることで高度処理浄化槽を稼働させることの可能性が明らかとなった。また、再生可能エネルギーでは設置場所によっても異なると考えられるが、太陽光発電の能力が著しく高いことがわかった。微小動物は12時間無ばつ気でも生存増殖可能であったことから、風力・太陽光発電を50%近く低減しても対応可能と考えられることが示唆された。発電ポテンシャルを明らかにすることで、安全率を落とすことが出来るため、バッテリーも減らすこともできるようになる。更に、維持管理コストの高いバッテリー容量を極力減らすことで、使用者としても採用しやすい設備にすることが可能となるといえる。
- ②ミニチュアリアクターによる基礎実験を行い、排水処理特性および生物特性に及ぼす動力停止の影響を解析評価した。さらに、排水処理性能を維持できる動力停止条件および操作条件を検討した。その結果、排水処理性能については、ばつ気時間即ちブロワの運転時間を1/2にしても、間欠ばつき時間の短縮により水質浄化性能に影響しないことが明らかとなった。バッテリーでの供給システムの場合、1W単位で消費電力を減らすことは極めて重要であり、ブロワについても排水処理性能を落とさずに消費電力を減らすことが出来たことは非常に有意義な結果が得られたといえる。
- ③浄化槽のばつ気停止運転時の温室効果ガス発生特性について、ラボスケール浄化槽を用いて検討した結果、非ばつ気工程を短時間サイクルで組み込むことで、 $N_2O$ ・ $CH_4$ 放出量、転換率を大幅に低減可能であること、またこの運転は、蓄電池、タイマー等を組み込むことで十分に対応可能である等がわかった。実使用条件下では、春季～秋季の温暖期においてはばつ気停止運転、間欠ばつ気運転等の導入により、ブロワ等の消費電力の削減に加え、汚水処理性能の維持及び $N_2O$ 、 $CH_4$ 発生抑制の観点からも、一定の導入効果が期待できると考えられる。今後さらに、冬季の低水温時における窒素除去性能の確保と、それに付随しての $N_2O$ 発生抑制に関する研究開発が必要である。
- ④ペレット型緩溶解性凝集剤導入脱リン方式システムを備えた窒素・リン同時除去型高度処理浄化槽における処理機能の解析結果、ペレット型凝集剤の使用は窒素除去能に影響を与えないことが示唆された。T-Pに関しては、ペレット型凝集剤によって高度なリン除去能が得られることがわかったものの、冬季の凝集剤の溶解方法の改善が望まれた。今後、薬筒を2本設置する、もしくは担体流動生物ろ過槽好気部に薬筒を設置する等により、効果的なリン除去の検討を行う。
- ⑤好気処理方式として網様ロール状ろ材を用いて全面ばつ気を行う「接触ろ床方式」を導入した実大スケールの実証試験槽を試作し、性能試験を実施した。その結果、 $20^{\circ}C$ と $13^{\circ}C$ の両条件において、ばつ気風量 $45L \cdot \text{分}^{-1}$ の少風量でBOD、T-N、 $SS \leq 10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ を達成可能なることが示された。エアリフト利用分を含めた総風量でも $60 \text{ L} \cdot \text{分}^{-1}$ 以下に抑えることができ、従来型より45%の風量削減が可能であることが示された。また、嫌気ろ材として網様円筒状ろ材を用いることで、骨格様球状ろ材を用いた場合に比べ長期間安定的に窒素を除去できることが示された。
- ⑥濃縮車が導入されたし尿処理施設への影響については、し尿処理施設への負荷率が低下し施設の運転に係る $CO_2$ 排出量が低下すること、し尿処理施設の更新に際し小規模な施設での処理が可能となることから、環境負荷の低減を図れることが示された。現在、市場に投入されている三社の濃縮車に関し、A社が先行して開発され、市場にも数多く投入されており、そのノウハウの蓄積と凝集分離の確実性、効

率的な濃縮(搬出率 30%程度)が得られた。一方、後発の B 社と C 社については、凝集剤の選定と操作マニュアル等のソフト面の充実が未だ不十分であり、今後の確立が望まれる。濃縮車の油脂分離槽への適用については、カチオン系の高分子凝集剤の単独使用より PAC を併用することで高分子凝集剤の使用量を大幅に削減することができた。油分の回収率は凝集、分離で 95%以上、反応前に吸引したスカムを含めると大部分が除去され、油分を濃縮し回収できることが明らかになった。

上記に示した如く、再生可能エネルギーを活用した新たな生活排水対策の省エネルギー浄化槽を開発する上で、太陽光発電等の有効性、好気時間の短縮の有効性、温室効果ガス発生抑制能の有効性、リン除去新システムの有効性、省エネルギーブロワの有効性、発生汚泥の汚泥濃縮車の有効性等、所期の目標以上の成果が得られ、新技術としての大きな効果が期待できることが明らかとなった。

## 5. 研究発表

### 5.1 論文発表

- 1) Yuhei Inamori, Kaiqin Xu, Ryuhei Inamori, Takashi Suemura, Yoshimori Kato, Ryuichi Sudo : International Prospects for Low Carbon Society Oriented Wastewater Treatment in Solving Global Environmental Problems, GLOBAL WARMING COUNTERMEASURE TRAINING COURSE, JICA, (2011).
- 2) Koji Jono, Hiroshi Yamazaki, Akira Sano, Kai-Qin Xu, Ryuhei Inaomri, Yuhei Inamori, Norio Sugiura : Effects of Power Saving on Treatment Water Quality and Biota Characteristics in an Activated Sludge Process, Japanese Journal of Water treatment Biology, 47(4), 1-12, (2011).
- 3) 岡城孝雄、櫛田陽明 : 浄化槽技術の特徴と維持管理の重要性、環境技術、41、722-727、(2012) .
- 4) 岡城孝雄:分散型汚水処理施設である浄化槽の特長と今後への期待、空気調和衛生工学、86(12)、20-22、(2012).
- 5) 井村正博、田畑洋輔 : 省エネ型高度処理浄化槽 フジクリーン CEN 型、強化プラスチック、58、5、159-161、(2012).
- 6) 井村正博、田畑洋輔 : 省エネ型浄化槽の開発、建築設備と配管工事、8、54-57、(2012).
- 7) Yuzuru Kimochi, Munosato Sugawara, Yosuke Tabata, Keiji Tezuka, Kai-Qin Xu, Ryuhei Inamori, Yuhei Inamori : Seasonal characteristics of N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emission from a domestic wastewater treatment process with biofilm under energy-saving operation, *Journal of Bioindustrial Sciences* (Accepted).
- 8) 菅原崇聖、木持謙、田畑洋輔、手塚圭治、稲森隆平、徐開欽、稲森悠平 : 鉄電解リン除去方式生活排水処理浄化槽システムにおける省エネルギー運転と浄化性能、日本水処理生物学会誌、49(1)、31-36、(2013).

### 5.2 学会発表

- 1) 稲森悠平、城野晃志、稲森隆平、山崎宏史、佐野彰、徐開欽 : 日本水処理生物学会第 47 回大会、2010 年 11 月。  
“活性汚泥法における水質・生物特性に及ぼすばっ気停止条件の影響”
- 2) 稲森悠平、城野晃志、稲森隆平、山崎宏史、井上廣輝、佐野彰、徐開欽 : 第 45 回日本水環境学会年会、札幌、2011 年 3 月。  
“活性汚泥法における電力制御下の処理特性と温室効果ガス削減効果”

- 3) 稲森悠平、陶村貴、稲森隆平、徐開欽、大石誠一郎：第 14 回日本水環境学会シンポジウム、2011.9.10.  
“低炭素社会型水処理システム構築における自然再生エネルギー導入効果解析”
- 4) 徐開欽、城野晃志、佐野彰、山崎宏史、杉浦則夫：第 14 回日本水環境学会シンポジウム、2011.9.10.  
“省エネルギー方式曝気時間制御汚水処理システムの生物機能・浄化特性評価”
- 5) 木持謙、城野晃志、山崎宏史、徐開欽、稲森悠平：第 14 回日本水環境学会シンポジウム、2011.9.10.  
“省エネルギー方式浄化槽の温室効果ガス発生抑制技術の開発と評価”
- 6) 嶋原己八、菅原崇聖、近藤宗浩、稲森悠平、稲森隆平：第 14 回日本水環境学会シンポジウム、2011.9.10.  
“省エネルギー方式浄化槽の脱リン技術と適用化機能評価”
- 7) 手塚圭治、田畑洋輔、岩間俊之：第 14 回日本水環境学会シンポジウム、2011.9.10.  
“省エネルギー方式高度処理型浄化槽の開発と評価”
- 8) 濱中俊輔、岡城孝雄、根本正：第 14 回日本水環境学会シンポジウム、2011.9.10.  
“浄化槽の消費エネルギー解析と汚泥対策を踏まえた省エネシステム管理技術の開発”
- 9) Munesatao Sugawara, Munehiro Kondo, Jieming Li, Zhijiang LU, Ryuhei Inamori, Yuhei Inamori : The 4th China-Japan Graduate Student Forum, 2011.9.24-27.  
“Evaluation of Phosphorus Removal Method on Advanced Wastewater Treatment System using a Pellet Flocculant”
- 10) Munesato Sugawara, Ryuhei Inamori, Munehiro Kondo, Masaki Tomiyasu, Kaiqin Xu, Hiroshi Nishimura, Yuhei Inamori : 14th World Lake Conference, 2011.10.31-11.4.  
“Effect of Pellet Type Flocculant on Phosphorus Removal and Micro Animals in Johkasou System”
- 11) 城野晃志、山崎宏史、佐野彰、徐開欽、木持謙、稲森隆平、稲森悠平、杉浦則夫：日本水処理生物学会第 48 回大会、2011.11.17.  
“活性汚泥法における温室効果ガス排出量の削減”
- 12) 濱中俊輔、加藤裕之、岡城孝雄、根本正：第 33 回全国都市清掃研究・事例発表会、函館、2012.1.26.  
“浄化槽汚泥濃縮車の導入による環境負荷の低減効果”
- 13) 田畑洋輔、手塚圭治、岩間俊之、徐開欽、稲森悠平：第 46 回日本水環境学会年会、2012.3.14.  
“生物膜法を用いた省エネルギー方式高度処理型浄化槽の処理特性”
- 14) 城野晃志、杉浦則夫、木持謙、山崎宏史、佐野彰、徐開欽、稲森隆平、稲森悠平：第 46 回日本水環境学会年会、2012.3.16.  
“活性汚泥法における電力制御下の処理特性と温室効果ガス削減効果”
- 15) 城野晃志、木持謙、佐野彰、山崎宏史、稲森隆平、徐開欽、稲森悠平、第 46 回日本水環境学会年会、東京、2012.3.  
“活性汚泥法における電力制御下の処理特性と温室効果ガス削減効果”
- 16) Yuzuru Kimochi, Koji Jono, Hiroshi Yamazaki, Akira Sano, Kaiqin XU, Yuhei Inamori: IWA Nutrient Removal and Recovery 2012, 23-25, Sep. 2012, Harbin, China.  
“N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> Control in a Johkasou System by Energy-saving Operation”
- 17) 廣本真治郎、大木智子、岡城孝雄、濱中俊輔、堀尾明宏、梶川正勝、牧野好晃、早崎正明、木村俊哉、福田創一：全国都市清掃研究・事例発表会、第 34 回、平成 24 年 2 月、北九州国際会議場。  
“バチルス属細菌等の優占化による汚泥の改質と臭気抑制効果の確認”



- 18) 堀尾明宏、梶川正勝、廣本真治郎、岡城孝雄、濱中俊輔、牧野好晃、早崎正明、木村俊哉、福田創一：  
第47回日本水環境学会、平成25年3月、大阪工業大学。  
“浄化槽汚泥再利用のための汚泥無臭化の基礎的検討”
- 19) 菅原崇聖、山崎宏史、近藤宗浩、嶋原己八、徐開欽、稲森隆平、高祖将明、稲森悠平：第47回日本  
水環境学会、平成25年3月、大阪工業大学。  
“浄化槽高度化のためのペレット型リン除去剤の評価”

## 6. 知的財産権の取得状況

特になし

## 7. 参考文献

- 1) Yuzuru Kimochi, Yuhei Inamori, Noboru Furuya, Toichi Ebisuno and Masatoshi Matsumura : Characteristics of N<sub>2</sub>O Emission and Nitrogen Removal at A DO Controlled Intermittent Aeration Activated Sludge Process, Japanese Journal of Water Treatment Biology, 34(2), pp.1-14, (1998).
- 2) Yuzuru Kimochi, Yuhei Inamori, Motoyuki Mizuochi, Kai-Qin Xu and Masatoshi Matsumura : Nitrogen Removal and N<sub>2</sub>O Emission in a Full-Scale Domestic Wastewater Treatment Plant with Intermittent Aeration, Journal of Fermentation and Bioengineering, 86(2), pp.202-206, (1998).
- 3) 木持謙、稲森悠平、松村正利：間欠ばつ気活性汚泥法における流入窒素負荷の N<sub>2</sub>O 放出および窒素除去に及ぼす影響、水環境学会誌、21(3)、pp.163-169, (1998).
- 4) 水落元之、稲石高雄、市川雅英、大石亮、木持謙、稲森悠平：生物学的嫌気好気活性汚泥法における N<sub>2</sub>O 発生に及ぼす SRT、DO の影響、水環境学会誌、22(2)、pp.145-151, (1999).
- 5) 稲森悠平、呉曉磊、木持謙：*Alcaligenes faecalis* の従属栄養性硝化・脱窒特性と N<sub>2</sub>O 抑制型高度窒素除去プロセスへの適用の評価、水環境学会誌、22(11)、pp.904-909, (1999).
- 6) 稲森悠平、富永和樹、木持謙、水落元之、戒野棟一、松村正利：生物学的排水処理における N<sub>2</sub>O 生成速度に及ぼす水温および窒素負荷の影響、水環境学会誌、24(2)、pp.97-102, (2001).
- 7) Hai-Nan Kong, Yuzuru Kimochi, Motoyuki Mizuochi, Ryuhei Inamori and Yuhei Inamori : Study of the Characteristics of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O Emission and Methods of Controlling their Emission in the Soil-trench Wastewater Treatment Process, Science of the Total Environment, 290, pp.59-67, (2001).
- 8) N. Noda, N. Kaneko, M. Mikami, Y. Kimochi, S. Tsuneda, A. Hirata, M. Mizuochi, Y. Inamori : Effects of SRT and DO on N<sub>2</sub>O Reductase Activity in Anoxic-Oxic Activated Sludge System, Water Science and Technology, 48(11-12), pp.363-370, (2003).
- 9) 北村清之：スマートグリッドの技術動向と当社の取り組み、明電時報、339(2)、pp.2-9, (2013).
- 10) 小野寺晃宏：農業農村整備事業における再生可能エネルギー導入推進の取組について、JARUS 集落排水・バイオマス・農業環境、110, pp.16-19, (2013).

- 11) Dotro, G., B. Jefferson, M. Jones, P. Vale, E. Cartmell and T. Stephenson: A review of the impact and potential of intermittent aeration on continuous flow nitrifying activated sludge. *Environmental Technology*. 32(15), pp.1685-1697, (2011).
- 12) Chotokowski, W., M. A. Brdys and K. Konaczak : Dissolved oxygen control for activated sludge processes. *International Journal of System Science*. 36, pp.727-736, (2005).
- 13) Lo, C. K., C. W. Yu, N. F. Y. Tam and S. Traynor : Enhanced nutrient removal by oxidation reduction potential (ORP) controlled aeration in a laboratory scale extended aeration treatment system. *Water research*. 28(10), 2087-2094, (1994).
- 14) 環境省：水・大気環境局平成 23 年度公共用水域水質測定結果、(2012).
- 15) 福島県：猪苗代湖及び裏磐梯湖沼群の水環境の保全に関する条例、(2011).
- 16) 川本有洋、大久保彰、佐藤利夫、鈴木喬：リン酸イオン高選択制無機層状イオン交換体を用いた排水からのリン除去、*日本水環境学会誌*、22(11), pp.875-881, (1999).
- 17) 大島久満、桑原智之、佐藤利夫、川本有洋：ハイドロタルサイトのリン吸着能力再生に使用した脱離液・再生液からの高収率なリン回収、*日本水環境学会誌*、30(4), pp.191-196, (2007)
- 18) Y. Ebie, T. Kondo, N. Kadoya, M. Mouri, O. Maruyama, S. Noritake, Y. Inamori, K. Xu, K : Recovery oriented phosphorus adsorption process in decentralized advanced Johkasou. *Water Science and Technology*. 57(12), pp.1977-1981, (2008).
- 19) 治多伸介：鉄ろ材接触曝気方式による生活排水からのリン除去の実験的研究、*京都大学博士論文* (1994).
- 20) 大野茂、小川雄比古、田所正晴：浄化槽の機能診断と対策、(財)日本環境整備教育センター、pp.356, (2001).
- 21) 小川雄比古、高橋直子、大塚江理、堀切保彦、大野茂、立本英機：嫌気槽に鉄材を浸漬する簡易なリン除去、*日本水環境学会誌*、20(2), pp.89-94, (1997).
- 22) 森泉雅貴、福本明広、藤本恵一、山本康次、奥村早代子：リン除去技術における鉄電解法の最適電解条件の検討、*日本水環境学会誌*、23(5), pp.279-284, (2000).
- 23) 森泉雅貴、廣瀬潤、奥野公信、辻裕伸、中島淳：鉄電解法による既設合併処理浄化槽のリン除去性能の向上、*日本水環境学会誌*、28(2), pp.125-129 (2005).
- 24) 森泉雅貴、福本明広、小田謙治、山本康次、奥村早代子：高度処理技術における鉄電解法の応用、*日本水環境学会誌*、24(9), pp.607-612, (2001).
- 25) 井村正博、鈴木栄一、手塚圭治、水野真一：窒素・リン除去型家庭用浄化槽、*環境技術*、30(9), pp.682-689 (2001).
- 26) 環境省：平成 23 年度浄化槽行政組織等調査 (2011).
- 27) 浄化槽普及促進ハンドブック平成 23 年度版、社団法人浄化槽システム協会
- 28) 浄化槽の構造基準・同解説 2006 年版、日本建築センター
- 29) 中野仁、奥村早代子、百合竜三、井上俊行：使用人員の少ない家庭用浄化槽の夜間間欠ばっ気運転による省電力化と水質への影響、第 24 回全国浄化槽技術研究集会要旨集、pp.103-108、(2010).
- 30) 中野仁、奥村早代子、井上俊行、近藤伊知朗：低負荷家庭用浄化槽の間欠ばっ気運転による省電力化と水質への影響、第 26 回全国浄化槽技術研究集会要旨集、pp.50-54、(2012).

- 31) 井村正博、田畑洋輔：省エネ型浄化槽の開発、建築設備と配管工事、8、pp.54-57、(2012).
- 32) 井村正博、田畑洋輔：省エネ型高度処理浄化槽フジクリーン CEN 型、強化プラスチック、58(5)、pp.159-161、(2012).
- 33) 井村正博、水野雄次：浄化槽およびブロワの省資源化、省エネ化、浄化槽、380、pp.23-29、(2007).
- 34) 古市昌浩：浄化槽分野における低炭素化の検討事例、浄化槽、421、pp.14-19、(2011).
- 35) 中西法文：省エネ・エコ浄化槽の技術開発、浄化槽、439、pp.32-34、(2012).
- 36) 国安克彦、小川浩、楊新泌、仁木圭三、大森英昭：小型合併処理浄化槽の清掃汚泥量に影響を及ぼす因子、浄化槽研究、9(2)、pp.11-20、(1997).
- 37) 環境省ホームページ：廃棄物処理技術情報、[http://www.env.go.jp/recycle/waste\\_tech/index.html](http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/index.html)
- 38) 濱中俊輔、渡辺孝雄、加藤裕之：浄化槽の清掃の実施状況を考慮した浄化槽汚泥量の原単位に関する調査、都市清掃、58(265)、pp.245-249、(2005).
- 39) (財) 日本環境整備教育センター、平成 21 年度 浄化槽の維持管理の実態に関する調査検討業務報告書、(2010).
- 40) (社) 浄化槽システム協会、平成 21 年度 浄化槽の低炭素化に向けた調査検討業務報告書、(2010).
- 41) 環境省、廃棄物処理施設の基幹的設備改良マニュアル、(2010).
- 42) (財) 廃棄物研究財団、汚泥再生処理センター等の基盤整備促進に関する研究報告書、(2004).
- 43) 松井康弘、山田正人、井上雄三、河村清史、田中勝：し尿・浄化槽汚泥等の液状廃棄物処理施設のライフサイクルインベントリー分析、土木学会論文、706/VII-23、pp.19-29、(2005).
- 44) 濱中俊輔、岡城孝雄、根本正：14 回日本水環境学会シンポジウム、2011.9.10. “浄化槽の消費エネルギー解析と汚泥対策を踏まえた省エネシステム管理技術の開発” (2011).
- 45) 濱中俊輔、加藤裕之、岡城孝雄、根本正：第 33 回全国都市清掃研究・事例発表会、函館、2012.1.26. “浄化槽汚泥濃縮車の導入による環境負荷の低減効果” (2012).
- 46) 半田隆、古屋昇、富士元英二、稲森悠平：活性汚泥生物に及ぼす DO の影響、日本水処理生物学会誌、16(1・2)、pp.1-10、(1980).

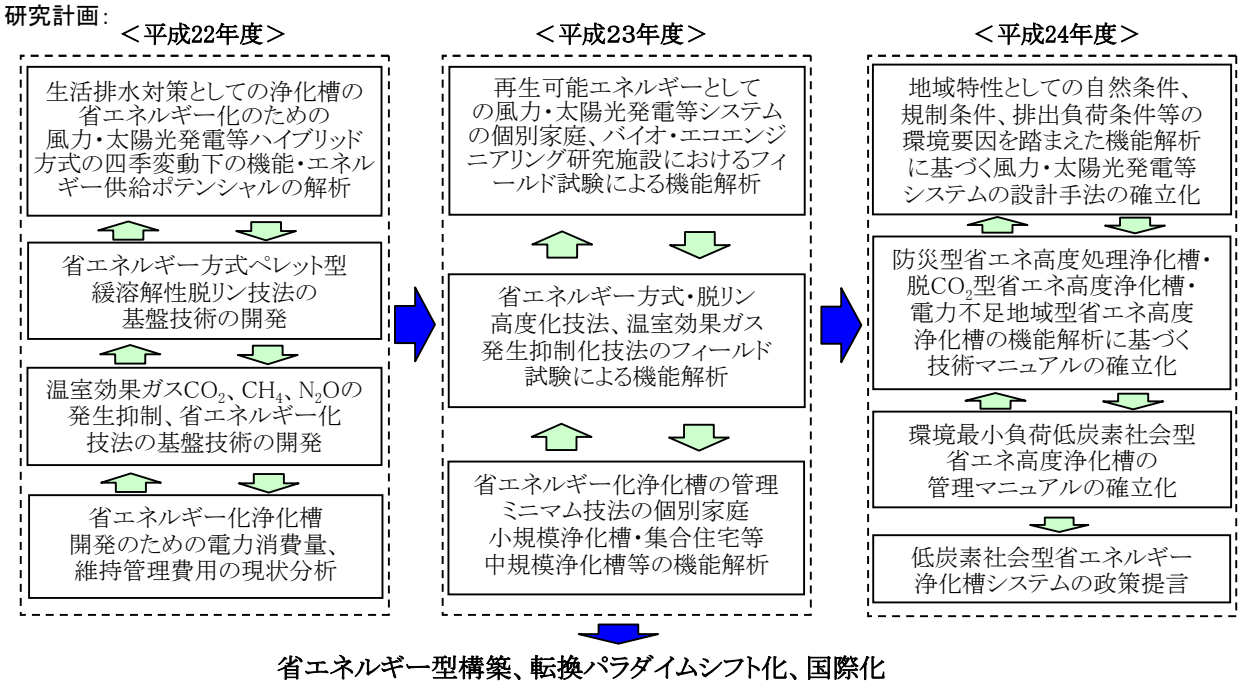
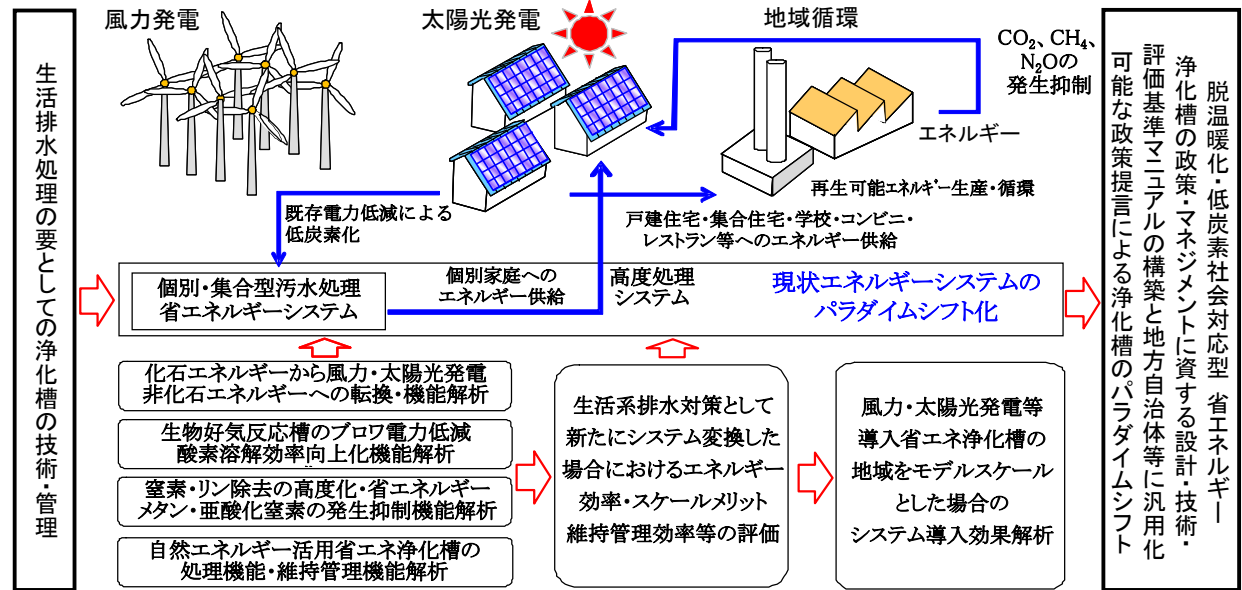
研究概要図

高度省エネ低炭素社会型浄化槽の新技术・管理システム開発

目的・目標：○生活系排水対策の要である恒久化施設としての浄化槽の低炭素社会型汎用化技術の確立  
○風力・太陽光発電等を導入脱温暖化・富栄養化抑制高度化省エネ技術・管理システム構築

サブテーマ 1 低炭素社会型環境最小負荷省エネルギー方式浄化槽システム構築の開発と総括（福島大学）

<p>サブテーマ 2</p> <p>省エネルギー方式微生物機能向上・汚泥減容化高度処理浄化槽技術の開発 (独)国立環境研究所</p>	<p>サブテーマ 3</p> <p>省エネルギー方式浄化槽の温室効果ガス発生抑制技術の開発 埼玉県環境科学国際センター</p>	<p>サブテーマ 4</p> <p>省エネルギー方式浄化槽の処理機能解析に基づく技術の開発 (社)福島県浄化槽協会</p>	<p>サブテーマ 5</p> <p>省エネルギー方式低動力型充填担体技術の開発 フジクリーン工業(株)</p>	<p>サブテーマ 6</p> <p>地域特性を踏まえた浄化槽の消費エネルギー解析と省エネシステム管理技術の開発 財)日本環境教育整備センター</p>
--	---	---	---	--



## 英文概要

K2403 Development of Advanced Technology and Management System of Highly Energy-saving and Low-carbon Society Johkasou

Contact person Yuhei Inamori (Fukushima University)  
Co-researcher Kaiqin Xu (National Institute for Environmental Studies)  
Yuzuru Kimochi (Center for Environmental Science in Saitama)  
Mihachi Shigihara (Association of Johkaso in Fukushima Prefecture)  
Keiji Tezuka (Fuji Clean Co., Ltd.)  
Takao Okashiro (Japan Education Center of Environmental Sanitation)

Keywords Johkasou, Wastewater treatment, Renewable energy, Energy-saving, Low-carbon society

### Abstract

Development and evaluation for the maintenance of Johkasou systems and sludge withdrawal with energy-saving technologies in deferent regional areas were investigated. 100% of the total power in Johkasou system can be ensured by the natural renewable energy. A lab-scale continuous activated sludge reactor fed with domestic wastewater was used to study the treatment performance under several power off/on conditions. There was no influence on the treatment performance to reduce the blower operation time from 24-hour to 12-hour per day, and the emissions of  $N_2O$  and  $CH_4$  and the conversion ratio could be significantly decreased by incorporating cyclic anaerobic-aerobic processes. Actual Johkasou testing was also used based on the lab-scale results. Johkasou under power saving conditions with 20-hour/4-hour of the on/off time had good performed well in wastewater treatment and sludge production. For control of GHGs emission, introduction of the blower-off operation in warm season had no bad influence on reduction of  $N_2O$  and  $CH_4$  emission. In the phosphorus removal capability of pellet-type agglutination soluble phosphorus removal system, 80% of the power reduction was possible as compared to conventional methods. Results of advanced treatment type Johkasou with simultaneous removal of nitrogen and phosphorus by introducing pellet-type soluble coagulant dephosphorization method showed that the ability for removing nitrogen was not affected. Energy saving type advanced treatment Johkasou was developed, using randomly-shaped net media in aerobic chamber and coarse grid cylindrical media in the anaerobic filtration chamber. High treatment performance of BOD and T-N removal was successfully achieved. Optimization of media and intermittent aeration techniques could reduce power consumption by 60% from current model. Decrease in the amount of human waste transported to the processing facility was confirmed by the introduction of concentrated sludge car. It was suggested that in the update of treatment facilities, this concentrated sludge car could be converted into a small sludge treatment center and also led to reduction of negative environmental impact. Optimum operating conditions and operation manual for concentrated sludge cars currently commercially available was proposed. The concentrated sludge cars were also expected to be used as a recovery unit for oils and fats.