

平成28年度博士論文

地域資源循環を志向する
し尿・汚泥集約処理システムの
構築に関する研究

宮城大学大学院

食産業学研究科

(NO. 21456003)

松田 圭二

地域資源循環を志向する
し尿・汚泥集約処理システムの
構築に関する研究

松田 圭二

目 次

緒 論	1
第 1 章 し尿・汚泥集約処理システムの史的背景と処理技術の変遷	4
第 1 節 緒 言	4
第 2 節 制度・法令等の史的背景	6
2.1 衛生処理の勃興	
2.2 環境問題への対応	
2.3 循環型社会形成、地球環境問題への対応	
第 3 節 集約処理に係わる技術の概要とその変遷	12
3.1 処理方式の発展と普及	
3.2 衛生処理が目的の処理方式	
3.3 水環境保全に向けた処理方式	
3.4 集約処理を支える周辺技術	
第 4 節 要 約	30
第 2 章 し尿・汚泥集約処理センターにおける維持管理の実態把握と管理指標 の抽出	31
第 1 節 緒 言	31
第 2 節 調査対象並びに方法	32
2.1 調査対象	
2.2 調査内容	
2.3 調査の実施と回収	
第 3 節 調査結果並びに考察	33
3.1 アンケートの回収状況	
3.2 施設概要	
3.3 維持管理実績	
3.4 維持管理費	
3.5 管理体制	
3.6 施設の課題	
第 4 節 要 約	48
第 3 章 し尿・汚泥集約処理センターにおける処理効率の低下要因	49
第 1 節 緒 言	49
第 2 節 調査対象並びに方法	50
2.1 対象データ	
2.2 方法	
第 3 節 調査結果並びに考察	52
3.1 施設経過年数と処理効率	
3.2 搬入率と処理効率	

3.3	BOD 負荷変動率と処理効率	
3.4	前項における検討結果の補完	
3.5	処理効率低下の目安	
第4節	要 約	63
第4章	し尿・浄化槽汚泥における標準的性状の抽出と性状分析の効率化	64
第1節	緒 言	64
第2節	調査対象並びに方法	66
2.1	対象データと検討項目	
2.2	方法	
第3節	調査結果並びに考察	68
3.1	検討項目のデータ分布	
3.2	データ分布の特性とバラツキ	
3.3	非超過確率値	
3.4	検討項目間の相関関係	
第4節	要 約	87
第5章	地域資源循環によるし尿・汚泥集約処理システムの 政策論的評価	88
第1節	緒 言	88
第2節	調査対象並びに方法	89
2.1	調査対象	
2.2	方法	
第3節	調査結果並びに考察	91
3.1	共同処理事業計画	
3.2	単独処理事業との比較	
3.3	移動脱水車の導入効果	
3.4	LCAの観点による比較	
3.5	地域資源循環と環境保全型農業への寄与	
第4節	要 約	106
	総括並びに結論	107
	用語集	110
	補遺	112
	謝辞	138
	参考文献	139
	本論文に関連のある報告	146

緒 論

わが国では、12～19世紀にかけて、し尿を肥料として農業に利用する資源循環システムが構築されたが、20世紀に入ると、急激な人口増加と都市部への人口集中、農業労働力の減少、化学肥料の普及とし尿需要の減少等により、その循環システムが機能不全に陥った。し尿の無秩序な投棄が頻発し、伝染病や寄生虫症等の健康被害と環境汚染が顕在化したことから、衛生改善が喫緊の課題となり、わが国特有の制度・技術であるし尿・汚泥集約処理システムが構築¹⁾されることとなった。し尿・汚泥集約処理システムは、当初、し尿の衛生処理を目的としていたが、その後、浄化槽、集落排水処理施設、コミュニティプラントなどから排出される汚泥も処理の対象とされ、生活排水処理汚泥の集約処理システムとしての役割²⁾が強まっていった。近年では、し尿や汚泥を再び資源やエネルギーとして捉え、衛生処理とリサイクルを行い、併せて省資源・省エネルギー化を図ることで、循環型社会形成や地球環境保全への貢献³⁾が求められている。

し尿・汚泥集約処理システムは、一般廃棄物処理システムであると同時に、生活排水の集合処理や浄化槽による個別処理を補完することで、生活排水処理システムを完結する機能を有している。下水道等の集合処理と個別処理である浄化槽の選択は、人口密度の高低を基本として、効率的な整備手法を採用していく必要がある。また、各々の生活排水処理施設で発生する汚泥についても、それぞれの普及割合や経済合理性などを勘案して、下水道終末処理施設あるいはし尿・汚泥集約処理システムで効率的に処理していく必要がある。現在では、肥大化した下水道事業の健全化と計画の見直しが全国的に進んでいる^{4) 5)}ことから、相対的に浄化槽とし尿・汚泥集約処理システムの重要性が高まりつつあると判断できる。しかしながら、し尿・汚泥集約処理システムでは、施設及び設備装置の老朽化、搬入状況の変化、処理財源の不足などが現状の課題⁶⁾となっており、循環型社会形成、地球温暖化など、社会的な背景も変化してきている。し尿・汚泥集約処理システムを取り巻く様々な状況に対応していくためには、適切な状況把握のもと、より効果的で優位性が高く、実現可能な対応策を採用していく必要がある。

一方、わが国における農業の動向をみると、近年、環境保全型農業への取り組みが推進されており、農業の持続的な発展に向けて、自然循環機能（農業生産活動が自然界における生物を介在する物質の循環に依存し、かつこれを推進する機能）の維持増進が謳われている。自然循環機能の維持増進に関わる施策としては、農薬及び肥料の適正な使用の確保、家畜排せつ物等の有効利用による地力の増進が掲げられている。食への安全・安心から、化学肥料や農薬の使用量を減らした、オーガニック・エコ農業が社会的な要請⁷⁾となってきた。し尿や生活排水の処理に伴い発生する生活排水処理汚泥は、農業で有用な有機質、窒素、リン等の要素が含まれ、有機質肥料の原料となり得るものである。し尿・汚泥を、農業で有効に利用できれば、化学肥料の使用量削減だけでなく、化学肥料の製造に伴う温室効果ガスの排出量削減にも寄与できる。

そこで、本研究は、し尿・汚泥集約処理システムにおける現状の実態を把握し、運転管理、処理機能、整備保全の効率向上と最適化に関する検討を行うとともに、持続可能なし尿・汚泥集約処理システムの構築と地域資源循環への寄与を政策論的に検討・評価したものであり、5章に分けて取りまとめた研究概要は次のとおりである。

第1章では、し尿・汚泥集約処理の制度・法令等に関し、衛生処理の勃興にはじまり、環境問題への対応から循環型社会形成、地球環境問題の貢献へと続く史的背景を概説するとともに、し尿・汚泥集約処理システムにおける技術の概要とその変遷を、基本となる処理方式とその周辺技術に分けて明らかにし、今後のあり方を展望する。

第2章では、し尿・汚泥集約処理システムを対象とした全国的なアンケート調査を実施し、施設概要、搬入実績、運転管理実績、維持管理費、管理体制等のデータを収集・集計・解析することで、維持管理の実態を把握し、現状に即した管理指標を抽出するとともに、代表的な課題を明らかにしてその対応策を検討する。

第3章では、第2章のアンケート調査で得られた生物学的脱窒素処理方式によるし尿・汚泥集約処理システムのデータを集計・解析し、処理効率の低下要因と言われる施設の老朽化（施設経過年数）や搬入状況（搬入率、汚濁負荷変動率）の変化が、電力、燃料、薬品の利用に与える影響ならびに処理効率低下

の目安を検討する。

第4章では、第2章のアンケート調査で得られたし尿・浄化槽汚泥の性状データ（検討項目：BOD、COD、SS、T-N、T-P、塩化物イオン）を集計・解析することで、各性状の実態を把握し、し尿・汚泥集約処理システムの建設や維持管理で有用な標準的性状を抽出するとともに、検討項目間の相関分析から分析作業の効率化について検討する。

第5章では、し尿・汚泥集約処理システムの整備事業を、環境省と農林水産省の共同処理事業として実施した国内初の事例を研究対象として、共同処理事業の事業計画を検討するとともに、単独処理事業（各省による単独施工）との比較検討、移動脱水車の導入効果、環境に与える負荷の低減効果、地域資源循環による環境保全型農業への寄与などについて論じる。

第1章 し尿・汚泥集約処理システムの史的背景と 処理技術の変遷

第1節 緒 言

わが国のし尿処理の歴史は、古代から現代にいたるまで、都市発展の歴史と深く結びついてきた。人の生活に伴って発生するし尿は、初め、廃棄物として捨てられていたが、やがて肥料として農業利用されるようになり、その後、再び廃棄物として扱われ、そしてまた、資源・エネルギーを回収利用する対象へという軌跡を描いている（図1-1）。

古代において、し尿は垂れ流しあるいは投棄され、自然の分解・浄化作用にまかせていた。しかし、中世に入ると、本格的な都市の成立に伴い、都市食料を確保するための近郊農業が発展し、それに対して都市し尿を肥料として農業に利用する資源循環システムが形成されていった。その後、近代に至るまで、し尿は田畑の地力を維持する上で無くてはならない安価な肥料として農業に利用された¹⁾。

ところが、20世紀初頭になると、し尿を肥料として農業に利用する資源循環システムが次第に行き詰まることとなった。その背景としては、急激な人口の増加、工業化に伴う農村から都市への人口流入と農業労働力の減少、郊外農地の減少による需給バランスの崩れ、化学肥料の普及などが挙げられる。

特に第二次世界大戦後の都市部では、し尿が溢れる事態となり、河川、湖沼、海域、山谷などあらゆる場所ではし尿の無秩序な投棄が行われ、水系伝染病、寄生虫罹患の健康被害と環境汚染が顕在化し始めた。し尿の衛生処理が緊急の課題となった我が国では、し尿処理のための法制度や施設整備のための財政支援制度、処理や構造・維持管理に係る基準を整備するとともに、し尿の処理方法、収集運搬方法に関する技術開発を急速に進め、我が国独自の集約処理システムを構築していくこととなった¹⁾。

現在、し尿処理施設では、し尿の他、浄化槽（合併処理浄化槽）、みなし浄化槽（単独処理浄化槽）、集落排水施設、コミュニティプラントなどから排出される汚泥が集約処理されている。我が国の約3千2百万人（総人口の約25%）が、し尿処理施設を生活排水処理システムとして利用しており、し尿よりも汚泥の

搬入が多く、汚泥処理施設としての役割が強まっている²⁾。

また、近年では、循環型社会形成への貢献など社会的な要請から、有機性廃棄物の総合的な処理とリサイクルを行う汚泥再生処理センターに発展して現在に至っている。

そこで本章では、我が国のし尿・汚泥集約処理に関する制度、法令等の史的背景を概説するとともに、集約処理システムにおける技術の概要とその変遷について解説する。

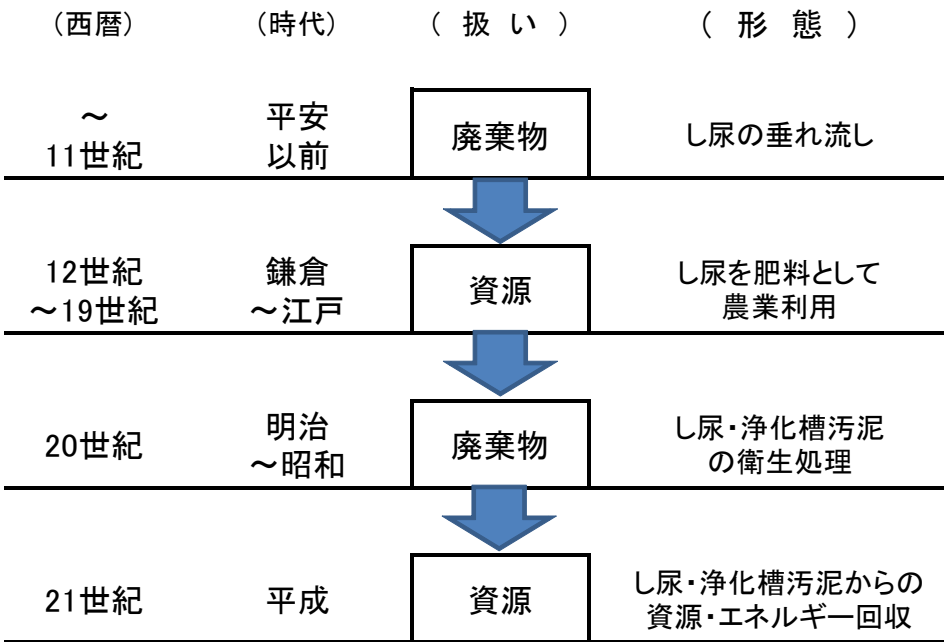


図1-1 し尿処理の歴史¹⁾

第2節 制度・法令等の史的背景

2.1 衛生処理の勃興

我が国のし尿・汚泥集約処理に関する20世紀以降の制度、法令等とその関連事項は、表1-1のように概観できる。

第二次世界大戦終了後の都市部では、食糧や物資が不足し、衛生状態も極めて悪かった。1945～1953年にかけて、赤痢や腸チフスなどの水系伝染病が全国各地で発生し、明治以来の大流行となった。この間、寄生虫症についても、国民の6～7割が何らかの寄生虫疾患を持つ有卵者という状況であった。

1950年にし尿を直ちに施肥することが禁止されたが、経済復興とともに農業で利用するし尿の需要が低下していたことから、し尿の無秩序な投棄があらゆる場所で行われはじめた。

政府の「経済安定本部資源調査会」は、同じ1950年に「し尿の資源科学的衛生処理に関する件」として勧告書を国へ提出した。この勧告は、汲み取りの機械化収集とし尿の科学的処理方法として、嫌気性消化処理方式の合理性と可能性を先見的に述べており、現在に至るし尿・汚泥集約処理システムの方向性を示したものであった。

1954年、日本学術会議は「し尿処理打開策」の勧告を国に提出し、これを契機として大学、公的研究機関、民間において、し尿処理技術の研究開発が始まった。また、同年に制定された「清掃法」により、し尿の処理主体が全国の市町村に拡大され、し尿処理施設（嫌気性消化処理方式）の建設に対する国庫補助が法的に認められ、し尿の海洋投棄禁止海域などが設定された。

1956年、国はし尿処理ではじめての長期計画となる「し尿処理基本対策要綱」を5カ年計画で策定し、し尿の海洋投棄原則廃止と陸上処理への転換を図った。同年には、「し尿消化槽の構造等の基準」も定められ、し尿消化槽の構造やその建設資材に関する技術的な指針が示された。その後、化学処理方式や酸化処理方式（好気性処理方式）等の新処理方式が研究開発され、採用施設が建設され始めたことから、国庫補助対象として追加された。

1963年には「生活環境施設整備緊急措置法」が制定され、1965年に「第1次生活環境施設整備5カ年計画」が閣議決定された。この長期計画は、当時の総人口約1億人の8割、約8千万人から排出されるし尿を緊急に衛生処理すべき

というものであった。

2.2 環境問題への対応

1970年に入ると、公害国会と呼ばれる臨時国会が開かれて、公害問題に関する法令の抜本的な整備が行われた。主な関連事項を次に記す。

水質汚濁防止法では、一定規模以上のし尿処理施設を特定施設に位置づけ、排水基準を適用させた。その後の水質汚濁防止法の改定に伴い、し尿処理施設においても、COD、窒素、リンなどの総量規制に対応するため、高度処理の導入が進められていった。

また、廃棄物処理法（廃棄物の処理及び清掃に関する法律）では、し尿や浄化槽汚泥を一般廃棄物に分類し、収集運搬～中間処理～最終処分が適正に行われるよう基準を定めるとともに、し尿処理施設の機能を担保するために、省令にし尿処理の施設基準ならびに維持管理基準（1966年制定）が取り込まれた。翌1971年には、し尿処理の施設基準ならびに維持管理基準が改定され、従来の3処理方式（嫌気性消化処理方式、化学処理方式、好気性処理方式）に湿式酸化処理方式の技術上の基準が追加された。

1976年には海洋汚染防止法が改定され、し尿の海洋投棄可能海域が、沿岸から50海里以遠のC海域と定められことから、し尿の海洋投棄依存が次第に減少していった。

1977年になると、国がし尿処理施設の構造に関する基準の細目を定めた「し尿処理施設構造指針」を示し、公害防止や環境対策面の改善が進められた。1979年に低希釈二段活性汚泥法処理方式（標準脱窒素処理方式）と高度処理としての凝集分離設備が、1981年に浄化槽汚泥専用処理方式がそれぞれ構造指針に追加され、1988年に、高負荷脱窒素処理方式を追加するとともに、高度処理、汚泥処理、脱臭に関する指針内容の充実が図られた。

2.3 循環型社会形成、地球環境問題への対応

1991年には、廃棄物処理法が大幅改定され、廃棄物の減量化と再生の推進、廃棄物の適正処理の確保に向けた取組が開始された。環境と開発に関する国連会議（地球サミット）が1992年に開催され、地球環境問題や温室効果ガス排出

量削減に向けた対応の要請も高まっていった。

そこで、1997年、し尿・浄化槽汚泥に加え生ごみ等その他有機性廃棄物を受け入れ、汚泥堆肥化技術、メタン発酵技術の導入などにより、総合的な処理とリサイクルを行う汚泥再生処理センターが新たに国庫補助対象となった。翌1998年になると、汚泥再生処理センターのみが国庫補助対象となって、衛生処理と環境保全を主目的とした従来型の集約処理からリサイクルまで考慮した集約処理への転換が図られた。

2000年には、「汚泥再生処理センター性能指針」が策定され、汚泥再生処理センターにおける技術上の基準が示された。これはし尿処理施設構造指針にかわるもので、水処理と資源化に関する新技術の導入がより速やかに行えるよう、汚泥再生処理センターが備えるべき性能とその確認方法が明示されていた。その後、2002年と2003年に続けて性能指針が改定され、処理対象物である生ごみ等有機性廃棄物に下水汚泥と農業集落排水汚泥が追加され、新しい資源化技術として、汚泥の炭化技術、汚水からのリン回収技術及び汚泥の助燃剤化技術が追加された。

また、2002年には、廃棄物処理法施行令の一部が改定され、し尿・浄化槽汚泥等の海洋投入処分を全面禁止（適用猶予期間5年）する決定がなされた。

2005年になると、循環型社会形成推進交付金制度が創設され、これまでの国庫補助金による施設整備支援が廃止された。施設の延命化対策にあわせて温室効果ガス排出量を削減する基幹的設備改良事業も、2010年から循環型社会形成推進交付金のメニューに追加された。

表 1-1 し尿・汚泥集約処理に関する制度，法令等の変遷
(文献 3)～6) により作成)

西暦	元号	社会的背景	制度・法令等	関 連 事 項
1900	明治33	し尿農業利用の減少 余剰し尿の発生	汚物掃除法の制定	し尿, 汚水, 汚泥, 塵芥等を対象に, 土地の所有者, 使用者, 占有者に掃除の義務を課す。 塵芥処理を自治体の義務としているがし尿は対象外
1930	昭和5		汚物掃除法改正	し尿処理を自治体の義務とし, 汲み取り・運搬の手数料徴収を定める
1932	昭和7		し尿の海洋投入処分開始 (東京市)	未処理, 千葉県須崎から東南5海里に投棄, 第2次世界大戦中に一時中断
1941	昭和16		第2次世界大戦に伴うし尿処理の停滞期	し尿の農業利用及び海洋投入処分が主流, 戦況悪化によりし尿処理の停滞が進む
1945	昭和20			
1947	昭和22	戦後における公衆衛生の悪化 水系伝染病と寄生虫症の蔓延	6大都市による都市清掃協会の結成	大都市におけるし尿の衛生的な取扱等を目的に結成される
			公衆衛生列車の出現	公衆衛生の改善, 保健思想の普及
1949	昭和24		回虫病研究委員会の発足 寄生虫予防会の設立	集団駆虫, 殺卵を目的とした薬剤処理, 肥だめの改良, し尿分離式便所等を研究し, 寄生虫予防の対策を実施
1950	昭和25		し尿の直接農地還元禁止	寄生虫症などの問題から, GHQが指導
			し尿の資源科学的衛生処理勧告 (経済安定本部資源調査会)	汲み取りの機械化収集及びし尿の科学的処理方法として嫌気性消化処理方式の合理性と可能性を指摘
1953	昭和28		し尿処理施設建設の国庫補助開始	嫌気性消化処理方式のみが補助対象
1954	昭和29		し尿処理対策全国協議会の発足	し尿の無秩序な投棄と影響が主要なテーマ。し尿の衛生処理が早急の課題とされ, 下水道整備以前の問題として, 集約処理の必要性が浮上
		し尿の衛生処理化	清掃法の制定	汚物掃除法の廃止。し尿処理主体が全国の市町村に拡大。し尿処理施設建設に対する国庫補助が法的に認められ, 海洋投棄禁止海域も設定。し尿消化槽の維持管理の基準を規定
			し尿処理打開策の勧告 (日本学術会議)	大学, 公的研究機関, 民間において, し尿処理技術の研究開発が始まる
1956	昭和31	高度経済成長 生活環境の悪化	し尿処理基本対策要綱	5カ年計画。し尿の海洋投棄原則廃止と陸上処理への転換を呼びかけ。国民の総水洗化を将来的な目標とし, その間に発生するし尿はし尿処理施設で処理をするというもの
			し尿消化槽の構造等の基準	し尿消化槽の構造やその建設に使用する資材に関する技術的な指針
1959	昭和34		清掃調査会し尿処理部会の設置 (旧厚生省)	し尿の新処理方式に関する評価・判定を実施。国庫補助対象の検討, 厚生大臣の諮問機関
1961	昭和36		国庫補助対象の拡大	嫌気性消化処理方式に加え, 化学処理方式, 酸化処理方式が対象
			清掃施設整備10カ年計画の実施	し尿は全てし尿処理施設で処理する方針
1963	昭和38	処理施設の建設ラッシュ	生活環境施設整備緊急措置法の制定	当時の総人口1億人の8割(8千万人)から排出されるし尿の衛生処理を緊急に実施し, このうち, 5千5百万分をし尿処理施設で処理する方針
1965	昭和40	し尿処理技術の模索	生活環境施設整備5カ年計画(第1次: 1963～)閣議決定	し尿処理施設整備5カ年計画が国の重大施策である四大緊急5カ年計画に取り上げられる
1966	昭和41	衛生処理の普及	し尿処理の施設基準ならびに維持管理基準	嫌気性消化処理方式, 化学処理方式, 酸化処理方式の技術上の基準を明確化
1967	昭和42		国庫補助対象の拡大	国庫補助対象に湿式酸化処理方式を追加。同年, 公害対策基本法が制定される
1968	昭和43		清掃施設整備緊急措置法の制定	下水道事業と清掃事業の分離に伴い, 生活環境施設整備緊急措置法を引き継ぐ法律
1969	昭和44		清掃施設整備5カ年計画(第2次: 1967～)閣議決定	し尿の衛生処理率100%が目標, 地方自治体の財源措置拡充, 無秩序なし尿投棄の解消

表 1-1 つづき

西暦	元号	社会的背景	制度・法令等	関 連 事 項	
1970	昭和45	公共用水域の水質汚濁 封鎖性水域の富栄養化 し尿処理技術の確立 高度処理の導入 浄化槽汚泥の増加	水質汚濁防止法の制定	処理対象人口500名を超える場合に特定施設に位置づけ排水基準を適用 COD, 窒素, リン等総量規制の対応から高度処理の普及がはじまる	
			廃棄物処理法の制定	清掃法の廃止 し尿を一般廃棄物に分類, し尿処理施設の構造・維持管理の基準及び技術管理者の配置を規定	
1971	昭和46		し尿処理の施設基準ならびに維持管理基準の改定	従来の3処理方式に湿式酸化処理方式の技術上の基準を追加	
1972	昭和47		廃棄物処理施設整備緊急措置法の制定	清掃施設整備5カ年計画(第2次)を引き継ぐ し尿処理施設の整備拡充と処理能力の向上を目的とした国庫補助制度	
1975	昭和50		廃棄物処理施設整備5カ年計画(第3次:1972～)閣議決定		
1976	昭和51		海洋汚染防止法(1970制定)の改定	し尿の投棄場所を沿岸から50海里以遠のC海域に限定	
			廃棄物処理施設整備緊急措置法改定	廃棄物処理施設整備5カ年計画(第3次)を引き継ぐ し尿処理施設の整備拡充と処理能力の向上を目的とした国庫補助制度	
			廃棄物処理施設整備5カ年計画(第4次:1976～)閣議決定		
1977	昭和52		し尿処理施設構造指針	国庫補助対象となる処理方式を標準化 嫌気性消化処理方式, 好気性処理方式, 湿式酸化処理方式のみ, 新処理方式(指針外技術)の認可に関する例外規定あり	
1979	昭和54			し尿処理施設構造指針の一部改定	低希釈二段活性汚泥法処理方式(標準脱窒素処理方式)及び高度処理としての凝集分離設備を追加
1980	昭和55		海洋汚染防止法の改定	ロンドン条約(廃棄物その他の物の投棄による海洋汚染の防止に関する条約:1972締結)の発効, し尿等海洋投入処分の規制強化	
1981	昭和56		し尿処理施設構造指針の一部改定	浄化槽汚泥専用処理方式の追加	
1988	昭和63		し尿処理施設構造指針の改定	高負荷脱窒素処理方式を追加 高度処理, 汚泥処理, 脱臭に関する内容の充実	
1991	平成 3	循環型社会形成 地球環境問題 収集し尿の減少 浄化槽汚泥の増加 処理技術の最適化 エネルギー効率の向上	廃棄物処理法の大幅改定	廃棄物の減量化・再生の推進, 廃棄物の適正処理の確保に向けた改正 し尿・汚泥集約処理でもリサイクルに向けた対応の要請が高まる	
1992	平成 4		環境と開発に関する国連会議(地球サミット)の開催	気候変動枠組条約等に署名 地球環境問題や温室効果ガス排出量削減に向けた対応の要請が高まる	
1997	平成 9		汚泥再生処理センター整備事業の国庫補助開始ならびに構造指針の策定	処理対象物として, し尿・浄化槽汚泥に加え, その他の有機性廃棄物を追加 処理システムに資源・エネルギー回収設備の取り込みを追加	
1998	平成10		国庫補助対象の限定	従来型のし尿処理施設整備事業を補助対象外とし, 汚泥再生処理センター整備事業のみが国庫補助対象となる	
			地球温暖化対策の推進に関する法律の制定	し尿・汚泥処理を担う自治体等に, 温室効果ガス排出量の削減に向けた責任と取組を明確化	
2000	平成12		循環型社会形成推進基本法の制定	循環型社会形成推進基本計画策定その他循環型社会の形成に関する施策の基本事項を規定 循環型社会形成推進に向けた貢献要請が高まる	
			汚泥再生処理センター性能指針	新技術の導入が速やかに行えるよう, 汚泥再生処理センターが備えるべき性能とその確認方法を明示	
2002	平成14			汚泥再生処理センター性能指針の一部改定	処理対象物の生ごみ等有機性廃棄物に下水汚泥, 農業集落排水汚泥を追加 資源化技術に汚泥の炭化, 汚水からのリン回収を追加

表 1-1 つづき

西暦	元号	社会的背景	制度・法令等	関 連 事 項
2002	平成14	循環型社会 形成推進	し尿・浄化槽汚泥等の海洋投入処分 全面禁止決定(2007)	ロンドン条約に基づき、廃棄物処理法施行令の一部 を改正、適用猶予期間5年
			国庫補助対象の拡大 し尿・浄化槽汚泥高度処理施設の追加	し尿等の海洋投入処分から陸上処理に切り替える自治 体に限り、し尿・浄化槽汚泥高度処理施設(資源 化設備のない施設)を補助対象 併せて性能指針も制定
2003	平成15	地球温暖化 防止	汚泥再生処理センター性能指針の一部改定	汚泥の助燃剤化技術(含水率70%以下)追加
2005	平成17	インフラの 長寿命化	循環型社会形成推進交付金制度の創 設	従来の国庫補助金による施設整備支援を廃止 新たな制度のもと循環型社会の形成に向け廃棄物の 3R(リデュース、リユース、リサイクル)を総合的に推進
2007	平成19	災害対応力 の強化	地方公共団体の財政の健全化に関する 法律の制定	自治体の財政状況に関する統一的な指標を明示 し尿・汚泥集約処理財源の不足
2010	平成22		交付金対象のメニュー追加	地球温暖化の防止、ストックマネジメント導入による 施設長寿命化とライフサイクルコスト低減の観点 から、温室効果ガス排出量を削減する基幹的設備改 良事業を追加
2013	平成25		強くしなやかな国民生活の実現を図 るための防災・減災等に資する国土 強靱化基本法の制定	2011年に発生した東日本大震災等の教訓から、し 尿・汚泥集約処理システムにおいても、震災などに より致命的な被害を負わないねばり強さと、速やか に回復するしなやかさが求められる
2014	平成26		災害廃棄物対策指針	災害廃棄物処理計画策定に関し、災害予防、災害時 の応急対策、復旧復興対策を整理 し尿・汚泥集約処理にも災害対応力の強化を要請

第3節 集約処理に係わる技術の概要とその変遷

3.1 処理方式の発展と普及

し尿・汚泥集約処理システムにおける処理方式（主処理）は、1950年代以降、その時々々の社会情勢に応じて開発・実用化され、普及・発展してきた（図1-2）。

し尿の資源科学的衛生処理勧告（1950年）で推奨された処理方式は、一次処理の消化槽で嫌気性微生物を、二次処理で好気性微生物を利用した「嫌気性消化処理方式」であった⁷⁾。嫌気性消化処理方式は、1950年代前半から1970年代後半にかけて普及したが、一次処理の処理日数（消化日数）が30日程度と非常に時間のかかる処理だった。消化槽等の配置に広い用地が必要で、消化槽等を密閉構造とするための高度な土木施工技術も要求されるなど、建設費が嵩む傾向であった。加えて、施設稼動に伴い発生する硫化水素等のガスは、悪臭となって近隣の住環境に甚大な影響を与え、施設内でも設備装置が腐食する原因となった。

これらの欠点を補うべく登場したのが、当時「新処理方式」と呼ばれた化学処理方式、好気性処理方式及び湿式酸化処理方式であった。

「化学処理方式」は、一次処理でし尿に無機凝集剤を添加して凝集分離するもので、施設のコンパクト性と処理の迅速性が評価され、1950年代中頃から普及し一時ブームとなった。しかし、薬剤を使用するため、嫌気性消化処理方式と比べて維持管理費が高く、運転操作も煩雑で、強アルカリの処理に伴う強烈なアンモニア臭も発生した⁸⁾。

「好気性処理方式」は、一次・二次処理とも好気性微生物のみを利用する生物学的処理で、1960年代前半から1980年代中頃にかけて普及した。嫌気性消化処理方式と比べると、処理速度が格段に速く、施設のコンパクト化が可能で、半分以下の処理日数で嫌気性消化脱離液のBOD濃度と同程度の一次処理水が得られた。その反面、曝気ブロワ等の消費電力が嵩むことで維持管理費が高めとなり、処理汚泥の量が多くなって脱水性も悪かった。

「湿式酸化処理方式」は、し尿を高温・高圧で物理化学的に酸化分解し一次処理するもので、1960年代後半から1970年代後半にかけて普及した。施設のコンパクト性とエネルギーコストが評価されたが、維持管理に高度な技術が要求される上、24時間連続運転が基本となることから、常時、高圧ガス製造保安製

造責任者等の有資格者を配置する必要があった。

しかし、嫌気性消化処理方式とそれに続く新処理方式のいずれも、放流水の窒素濃度が高いために、閉鎖性水域における富栄養化の原因となっており、農業用水の窒素過多により稲の立ち枯れなどの被害も生じた⁹⁾。1970年代に入ると、し尿・汚泥集約処理でも、有機物の除去に加えて窒素除去が求められるようになった。

そこで登場したのが、生物学的脱窒素処理を行う標準脱窒素処理方式であった。「標準脱窒素処理方式」は、好気性微生物と嫌気性微生物を利用した嫌気・好気活性汚泥法で、有機物と窒素を同時に除去できる処理方式として1970年代中頃から普及し始めた。その後も、生物学的脱窒素処理を基本とした研究開発と実用化が進められ、低希釈化、高効率化、省エネ化などが図られていった。1980年代前半には「高負荷脱窒素処理方式」が、1980年代後半には「膜分離高負荷脱窒素処理方式」が、1990年代中頃には「浄化槽汚泥対応型脱窒素処理方式」がそれぞれ登場し普及していった。現在では、生物学的脱窒素処理を行うこれらの4処理方式が主流^{10), 11)}となっている。

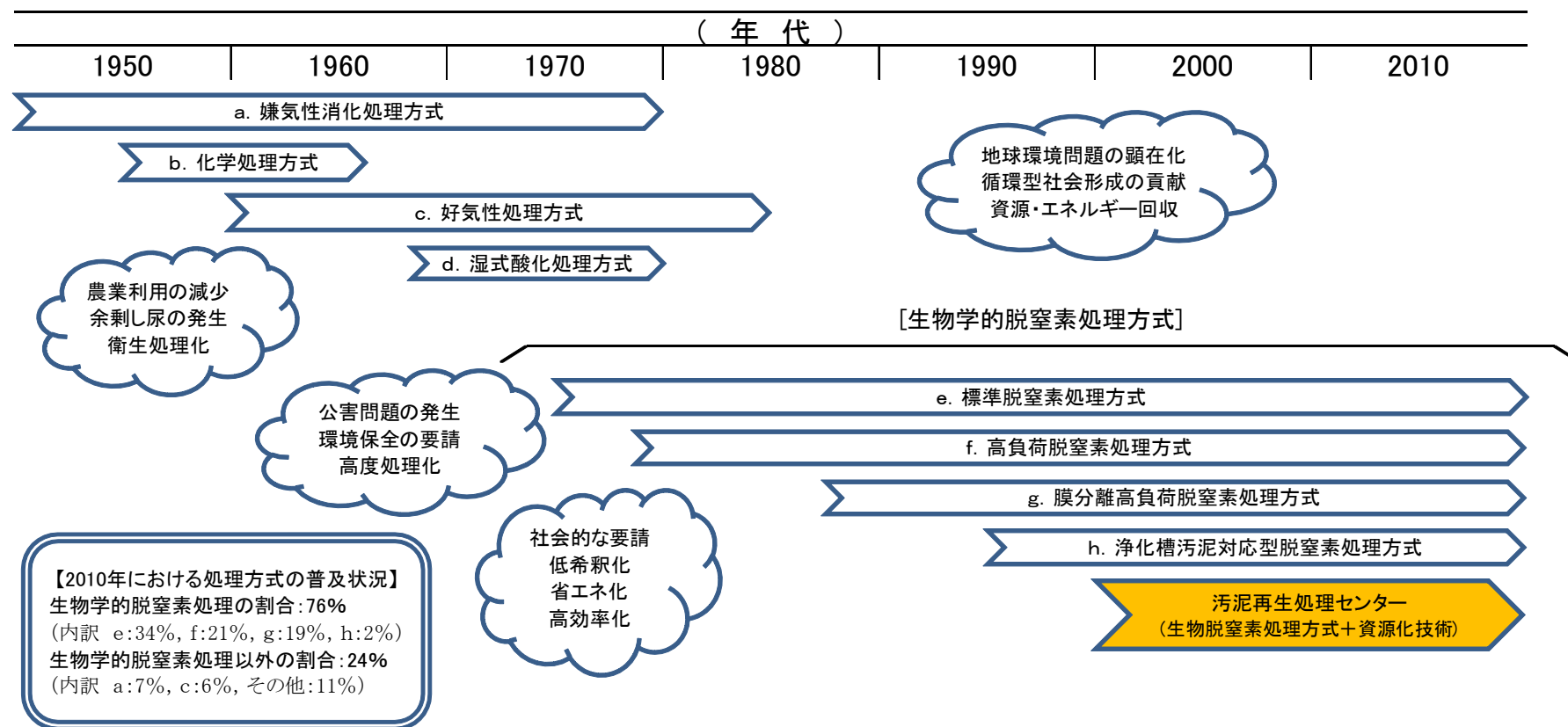


図1-2 処理方式の変遷

3.2 衛生処理が目的の処理方式

3.2.1 嫌気性消化処理方式

し尿の資源科学的衛生処理勧告（1950年）では、嫌気性消化法について、消化日数30日、消化温度25～40℃、消化pH7.0～7.6、消化槽容量100～2,000m³、二重槽式消化槽の二段組など、その設計条件も詳細に記載されていた¹²⁾。

この勧告を受ける形で、1953年、東京都下水道局砂町再生センター（旧 砂町污水処分場）内に、嫌気性消化処理方式（処理能力1,800kL/日）によるし尿処理施設が整備された。ただし、し尿に下水汚泥を20%添加してし尿消化槽へ移送する方式のため、し尿を単独で嫌気性消化処理する場合と条件が異なるものだった。翌1954年以降になると、し尿のみを対象とする嫌気性消化処理方式のし尿処理施設が、神奈川県逗子市などで次々と整備されていった¹³⁾。

二段式し尿消化槽では、第1消化槽でし尿と消化汚泥の混合を行って消化効率を上げ、第2消化槽で消化汚泥の沈降を促進して脱離液の水質を向上させる運転が行われていた。消化槽の攪拌は、機械攪拌とガス攪拌が代表的で、消化反応促進の他、スカムの発生防止も目的としていた。消化槽の加温では、経費のかかる熱交換器による加温に代え、蒸気の直接吹き込みによる方法が開発された。発生した消化ガスは、大部分が消化槽の加温燃料に利用され、余剰分がウェストバーナで焼却処分された。消化汚泥は、脱水後に農業利用あるいは埋立処分されていた^{14), 15)}。

また、当初の二次処理（脱離液処理）は、脱離液を水で20倍程度に希釈した後、散水ろ床法により処理していた。その後、活性汚泥法の方がより有機汚濁成分の除去効果が高い上に、当時問題となっていたハエの発生も少ないことが判明したため、1959年以降は活性汚泥法が二次処理として広く普及していった¹⁶⁾。

嫌気性消化処理方式の普及後期に当たる1977年のし尿処理施設構造指針では、消化日数30日、消化温度37±2℃、脱離液BOD2,500mg/L以下、消化日数に計画処理量を乗じた槽容量、消化段数2段を標準などの基準が示されており、二次処理も活性汚泥法（希釈倍率20倍、BOD容積負荷0.4kg-BOD/m³・日以下、曝気6～8時間、汚泥返送率標準30%、BOD除去率80%以上）に限定¹⁷⁾された。

3.2.2 好気性処理方式

好気性処理方式は、好気性微生物による分解・吸着反応を主体とした方式で、当初、酸化処理方式と呼ばれていたが、廃棄物処理法の制定（1970年）以降、好気性処理方式に名称が変更された。

好気性処理方式の一次処理には、し尿を無希釈で処理する方法と希釈して処理する方法があり、前者の代表が「好気性消化処理方式」と「高速酸化処理方式」で、後者の代表が「活性汚泥法処理方式」である。

好気性消化による一次処理は、し尿に空気を吹き込んで曝気し、微生物の酸化作用を利用して好氣的に消化する方法で、好気性消化槽が4～10槽程度の多段にされ、順次曝気しながら20日間前後消化された。好気性消化処理の脱離液は、水で希釈して当初散水ろ床法、後に活性汚泥法で処理された。好気性消化処理方式によるはじめてのし尿処理施設は、1959年、愛知県西尾市（旧 一色町）に建設され、以来、嫌気性消化処理方式に替わる主流な技術として、その後の四半世紀にかけて全国に普及していった。

高速酸化処理方式によるし尿処理施設は、1963年、埼玉県白岡市（旧 白岡町）に出現した。高速酸化による一次処理は、嫌気性消化処理の安定化日数を短縮する目的で開発され、機械的な強制曝気と好気性消化処理の組み合わせたもので、アトマイザと呼ばれる強制機械式曝気装置によりし尿を好氣的に消化処理するものであった。

し尿を希釈して処理する活性汚泥法処理方式は、し尿を無希釈でまる1日予備曝気し、水で希釈後に活性汚泥処理するもので、1960年代前半に登場した。この技術は、後述する一段活性汚泥法処理方式の礎となった¹⁸⁾。

その後も、様々な好気性処理方式が開発・実用化されていったが、1977年のし尿処理施設構造指針で、一次処理における希釈の有無、滞留時間、汚泥返送の有無などから体系化され、好気性消化処理方式、一段活性汚泥法処理方式、希釈曝気処理方式、二段活性汚泥法処理方式の4方式に分類された¹⁷⁾。

好気性消化処理方式は、し尿等を無希釈で長時間（10～15日）曝気して好気性消化（BOD容積負荷1.0 または $1.5\text{kg-BOD}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ 以下、汚泥返送比30%以上）を行わせ、脱離液のBODを $2,500\text{mg/L}$ 以下とし、水で20倍に希釈後、活性汚泥処理（BOD除去率80%以上）するものであった。

一段活性汚泥法処理方式は、し尿等を無希釈で短時間（48時間以上）予備的に曝気（BOD除去率標準30%）し、水で20倍に希釈後、活性汚泥処理（BOD除去率94%以上）するものだった。

希釈曝気処理方式は、し尿等を水で5～10倍に希釈後、BOD容積負荷 $4.0\text{kg-BOD}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ 以下で8時間曝気し固液分離した流出液（BOD除去率標準50%）を、水で2～4倍に希釈後、活性汚泥処理（BOD除去率92%以上）するものだった。

二段活性汚泥法処理方式では、し尿等を水で5～8倍に希釈して、BOD容積負荷 $1.0\text{kg-BOD}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ 以下、曝気12時間以上、BOD除去率標準80%で活性汚泥処理（一段目）し、この処理水をさらに2.5～4倍に希釈後、二段目の活性汚泥処理（BOD除去率80%以上）が行われた。

なお、活性汚泥法による二次処理は、いずれもBOD容積負荷0.4 または $0.5\text{kg-BOD}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ 以下、曝気6～8時間、汚泥返送率標準30%が基準とされた。

3.2.3 化学・物理化学処理方式

化学処理方式によるはじめてのし尿処理施設は、1956年、静岡県静岡市（旧清水市）に建設されたもので、一次処理に凝集分離法、二次処理に散水ろ床法を採用し、これが原型となって全国へ普及した。

一次処理となる凝集分離法は、し尿に鉄塩、石灰等の薬剤を添加して凝集させ、脱水機等により固液分離するプロセスを主体としたものだった。中でも固液分離は、化学処理方式の中核をなすもので、沈殿、浮上分離、真空ろ過、加圧ろ過、遠心分離などの方法が取り入れられた。沈殿、浮上分離では、後段の脱水装置を用いて固液分離後の汚泥を脱水するのに対し、真空ろ過、加圧ろ過、遠心分離は、凝集したし尿を直接機械脱水するのが特徴的で、いずれの場合も含水率50～75%の脱水汚泥が得られた。

一次処理の分離液は、可溶性有機物を多く含み、アンモニア臭がひどかったが、凝集分離に伴い生物分解を受けにくい物質が取り除かれるため、嫌気性消化の脱離液よりも生物処理の効率が良いと言われていた。一般にはBODが $5,000\text{mg}/\text{L}$ 前後となることから、水で15～20倍程度に希釈され、当初散水ろ床法、後に活性汚泥法で処理された¹⁹⁾。

湿式酸化処理方式は、一次処理に湿式酸化法、二次処理に活性汚泥法を採用

した物理化学処理方式で、1967年に国庫補助対象に認められた。

翌1968年には、本方式によるはじめてのし尿処理施設が新潟県上越市(旧 直江津市)に建設され、その後全国の30箇所で導入された。し尿自体の発熱量を利用して170～260℃に加熱し、70～150kg/cm²の高圧で耐圧容器中にし尿と空気を交互に送って酸化分解し、水と灰と燃焼ガスに分離し処理するものであった¹⁹⁾。一次処理水である酸化分離液は、有機物が低級脂肪酸程度までしか分解されず、BODが8,000mg/L程度となることから、水で20倍程度に希釈し、活性汚泥法で処理された。

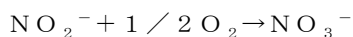
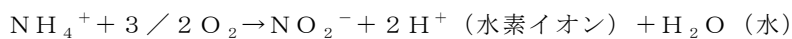
湿式酸化処理方式の普及後期(1977年)に出されたし尿処理施設構造指針¹⁷⁾では、湿式酸化処理の酸化度(COD_{Cr}の減少率)40～60%、反応温度260℃以下、液相を保持するのに必要な反応圧力、反応時間60分以上、酸化分離液標準BOD9,000mg/Lなどの基準に加え、酸化分離液の活性汚泥処理に関する基準(希釈倍率20倍、BOD容積負荷1.2kg-BOD/m³・日以下、曝気6～8時間、汚泥返送率標準100%、BOD除去率94%以上)も示された。

3.3 水環境保全に向けた処理方式

3.3.1 標準脱窒素処理方式

生物学的脱窒素処理は、自然界に広く分布する硝化菌と脱窒菌という2種類の微生物を利用し、し尿等に含まれるBODと窒素を同時に除去し、最終的には窒素化合物を無害な窒素ガスに転換する方法である。生物学的脱窒素処理の処理過程には、硝化工程と脱窒工程があり、それぞれの反応を化学式で示すと次のとおりとなる²⁰⁾。

[硝化工程 (好気ゾーン)]



[脱窒工程 (嫌気ゾーン)]

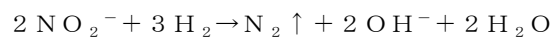


図1-3は、「生物学的脱窒素処理方式」の歩みを、実用化された処理方式ごとに示したものである。

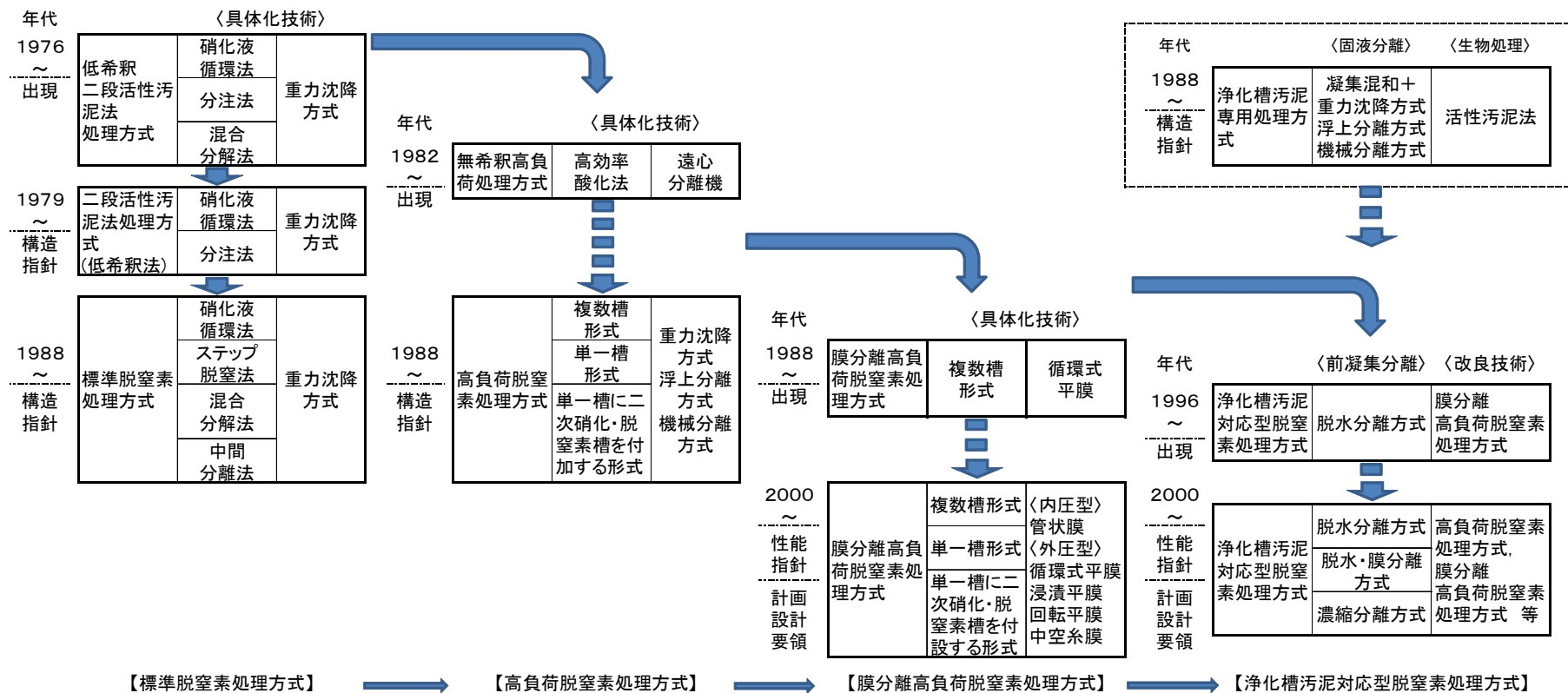


図 1-3 生物学的脱窒素処理方式の歩み

生物学的脱窒素処理方式の中で、はじめに開発・実用化されたのは、硝化液循環法による標準脱窒素処理方式のし尿処理施設で、1976年、島根県松江市（旧松江地区環境衛生組合川向処理場）に建設された。

硝化液循環法は、設備構成が脱窒素槽、硝化槽、二次脱窒素槽、再曝気槽、沈殿槽の順で、嫌気・好気のセットが二段で繰り返されるフローとなっており、硝化槽から脱窒素槽への硝化液循環により、流入するし尿等と循環液を混合・接触させ、流入BODを有機炭素源として脱窒素反応に利用することで、BODと窒素を同時に除去するものである。希釈水量が従来方式の半分程度（10倍希釈）ですむことから、当初、低希釈二段活性汚泥法処理方式と呼ばれていたが、し尿処理施設構造指針改定（1988年）以降、標準脱窒素処理方式に名称が変更された。

1970年代後半からは、硝化液循環法と同等の機能を持つ、分注法（ステップ脱窒法）、混合分解法、中間分離法が、標準脱窒素処理方式の具体化技術として次々と開発・実用化されていった²¹⁾。

分注法（ステップ脱窒法）は、硝化液循環法の脱窒素槽と硝化槽を複数の区画に仕切り、これらを交互に組み合わせて、それぞれの脱窒区画にし尿を分注する方法である。

混合分解法は、脱窒素槽に少量の空気を送り込み、溶存酸素濃度を適切に保ちながら脱窒を行う方法である。

また、中間分離法は、脱窒素槽、硝化槽の後段に固液分離槽を設け、前段と後段で汚泥返送系を分離する方法である。

標準脱窒素処理方式の設計条件²²⁾としては、流入BOD濃度 $\div 1,200\text{mg/L}$ の希釈倍率、脱窒素槽のBOD容積負荷 $2\text{kg-BOD}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ 以下、脱窒素槽・硝化槽合算のBOD-MLSS負荷 $0.1\text{kg-BOD}/\text{kg-MLSS}\cdot\text{日}$ 以下、脱窒素槽・硝化槽合算の総窒素-MLSS負荷 $0.04\text{kg-N}/\text{kg-MLSS}\cdot\text{日}$ 以下、MLSS濃度標準 $6,000\text{mg/L}$ 、反応温度 15°C 以上、二次脱窒素槽の酸化態窒素-MLSS負荷 0.01 または $0.03\text{kg-N}/\text{kg-MLSS}\cdot\text{日}$ 以下が望ましい基準とされる。

3.3.2 高負荷脱窒素処理方式

1970年代後半になると、希釈水の入手困難、建設用地の広さ制限、放流先での量的な規制、搬入に占める浄化槽汚泥の割合増加などの理由から、より節水

型でコンパクトなし尿処理施設の要望が高まっていった。

この要望を満足させるために、用水量を極力少なくし、単位容積当たりの汚濁負荷を増加させ、高濃度の活性汚泥で処理する「無希釈高負荷処理」の技術が開発・実用化されていった。高濃度の活性汚泥濃度を維持するために、従来の散気装置に比べ酸素供給能力が十数倍も高い各種の高効率曝気装置が実用化されたことで、BOD容積負荷を従来の数倍高くして処理することができるようになった。

高負荷脱窒素処理方式は、無希釈高負荷処理の技術を適用して、生物反応槽内の活性汚泥濃度を高濃度に保持し、し尿等を無希釈・高容積負荷で生物脱窒素処理するのが特徴である。1982年、群馬県西吾妻衛生施設組合に高負荷脱窒素処理方式によるはじめてのし尿処理施設が建設され、無希釈性やコンパクト性が評価されたことから、その後、次々と新たな具体化技術が開発・実用化されて全国へ普及していった^{23)～25)}。

高負荷脱窒素処理方式の具体化技術は、複数槽形式、単一槽形式及び単一槽に二次硝化・脱窒素槽を付設する形式の3つに大別される。このうち複数槽形式については、標準脱窒素処理方式の具体化技術と大きな違いがない。

単一槽形式は、生物反応槽内での集中曝気と攪拌により嫌気・好気ゾーンのDO（溶存酸素濃度）分布を作るか、し尿等の流入や曝気操作を間欠的に実施することで時間的なDOの変化を与えて、同一槽内で硝化と脱窒を行わせるものである。

単一槽に二次硝化・脱窒素槽を付設する形式は、単一槽形式と同様な方法で硝化・脱窒を行わせた後、二次硝化・脱窒の仕上げ処理を付加したものである。

いずれの具体化技術でも、重力沈降方式、浮上分離方式、機械分離方式あるいは重力沈降・機械分離方式等により固液分離が行われる。しかし、高濃度の活性汚泥による無希釈処理のため、固液分離が困難で分離液のSSが高くなることから、後段に凝集分離工程を付加しないと良好な生物処理水が得られなかった。また、生物反応槽での発熱や発泡にも注意が必要であった。

高負荷脱窒素処理方式の設計条件²⁶⁾としては、硝化・脱窒素槽のBOD容積負荷 $2.5\text{kg-BOD}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ 以下、硝化・脱窒素槽のBOD-MLSS負荷標準 $0.10\sim 0.15\text{kg-BOD}/\text{kg-MLSS}\cdot\text{日}$ 、硝化槽・脱窒素槽の総窒素-MLSS負荷標準 0.03

～0.05kg-N/kg-MLSS・日、MLSS濃度標準12,000～20,000mg/L、反応温度25～38℃が望ましい基準とされる。

3.3.3 膜分離高負荷脱窒素処理方式

高負荷脱窒素処理方式では、生物処理後の固液分離が困難で活性汚泥も一部流出するため、汚泥返送により生物反応槽の活性汚泥濃度を高濃度で保持するのが難しかった。

これを解消するため、膜分離高負荷脱窒素処理方式では、高負荷脱窒素処理の固液分離工程と凝集分離工程に膜分離装置を採用した。膜分離装置の採用で固液分離が確実に行え、活性汚泥の流出も防げることから、生物反応槽の活性汚泥濃度を高濃度で制御することが容易となった。膜分離高負荷脱窒素処理方式によるはじめてのし尿処理施設は、1988年、秋田県五城目町に建設され、膜分離装置として外圧型液循環式の平膜モジュール(平膜プレートを垂直に配列)が採用されていた²⁷⁾。

同時期の1986年からは、膜を利用したし尿処理技術について、官民共同の研究プロジェクトが立ち上がった。ここでは当初、内圧型の管状膜モジュール(管状膜を円管状カートリッジ内に装着：チューブラ)のような加圧タイプの膜分離装置が採用され、膜分離高負荷脱窒素処理技術の開発が進められた。

しかし、加圧タイプの膜分離装置では、膜のフラックス低下や閉塞防止のために強力なクロスフロー(膜面流速)が必要で、電力消費が大きく、膜破損リスクも増加し異物除去等により維持管理が煩雑となる傾向にあった。これらの課題を解決するため、浸漬・吸引タイプの浸漬平膜(平膜カートリッジを垂直に配列)、回転平膜(平膜ディスクを垂直に積層)、中空糸膜(中空糸膜を垂直方向に配列)などが、単純なクロスフローに代わる外圧型膜分離技術として開発されていった^{28), 29)}。第二世代と呼ばれるこれらの膜分離技術は、クロスフローとろ過圧を独立して操作可能で、低圧ろ過と動力消費の低さが特徴であり、膜洗浄等の頻度も少なくなることから運転管理も容易になった。

第一世代の膜では、分画分子量20,000～100,000程度の限外ろ過膜(UF膜)が採用されていたが、第二世代の登場とともに、維持管理の容易性やコスト面から、孔径0.2～0.4μm程度の精密ろ過膜(MF膜)が用いられるようになっていった。

3.3.4 浄化槽汚泥対応型脱窒素処理方式

生物学的脱窒素処理方式よりも前の従来方式では、1970年代中頃になると、浄化槽汚泥の混入率増加により、生物処理の機能低下が現れはじめた。特に二次処理の沈殿槽においては、低負荷による水質悪化や汚泥浮上等の影響が顕著だった。同時期に普及しはじめた生物学的脱窒素処理方式では、浄化槽汚泥に対してより安定した機能を有しており、受入貯留設備をし尿と浄化槽汚泥の2系統に区分する対策がとられたことで、処理機能への目立った影響が直ぐには現れなかった。それ故、1981年のし尿処理施設構造指針改定において、浄化槽汚泥を前凝集等により固液分離し分離液を活性汚泥処理する「浄化槽汚泥専用処理方式」が追加された際も、もっぱら従来方式の過剰負荷対策として利用され、生物学的脱窒素処理方式に適用される事例は非常に少なかった。

しかし、その後も搬入に占める浄化槽汚泥の比率は上昇を続け、生物学的脱窒素処理方式でも、処理効率の低下や運転管理が煩雑になる等、無視できない影響が現れるようになっていった³⁰⁾。

浄化槽汚泥対応型脱窒素処理方式（浄化槽汚泥の混入比率の高い脱窒素処理方式）は、高負荷脱窒素処理の前段に前凝集分離設備を設け、前凝集分離液の性状安定化と負荷軽減により、生物処理の安定化と効率化を図るもので、結果として施設のコンパクト性にも寄与するものであった。

浄化槽汚泥対応型脱窒素処理方式によるはじめてのし尿処理施設は、1996年、兵庫県北播衛生事務組合に建設されたもので、前凝集分離として造粒濃縮・脱水分離方式を、生物処理に膜分離高負荷処理が採用されていた。

時を同じくして1995年からは、液状廃棄物のエコ処理システムについて、官民共同の研究プロジェクトが立ち上げられ、浄化槽汚泥対応型脱窒素処理方式の開発が進められていった。

現在、前凝集分離設備としては、浄化槽汚泥等を余剰汚泥と一緒に機械脱水する脱水分離方式、脱水によって得た分離液をさらに膜分離する脱水・膜分離方式、あるいは機械濃縮や沈降濃縮により分離液を得る濃縮分離方式が採用されている。また、後段の高負荷脱窒素処理には、高負荷脱窒素処理方式あるいは膜分離高負荷脱窒素処理方式の技術が改良され利用されており、固液分離に膜分離方式、濃縮・膜分離方式、凝集沈殿方式が採用されている³¹⁾。

3.4 集約処理を支える周辺技術

3.4.1 収集・運搬車

バキューム車が開発されるまで、し尿の収集・運搬は、柄杓でし尿を汲み取り、リヤカーで肥桶を運搬するのが一般的であった。都市部では、運搬に荷車、オート三輪、トラックなども利用し、運搬作業の能率化を図っていた。しかし、臭気や衛生面から、し尿の収集・運搬作業が社会問題化し、し尿の資源科学的衛生処理勧告（1950年）でも「し尿汲み取りの機械化」として取り上げられてた。

神奈川県川崎市では、バキューム車による収集・運搬作業の機械化が、し尿の資源科学的衛生処理勧告以前（1949年）から計画され、1952年に実用化された。ここで開発されたバキューム車は、現在のものと構造がほぼ同じで、鋼鉄製タンクと真空ポンプを搭載し、連結された長さ15mの吸引ホースにより、便槽からし尿を衛生的に汲み取ることができた。長い吸引ホースの巻き取りやタンク内排ガスの臭気に難点があったものの、衛生的な収集・運搬作業に向けた取組として全国へ普及していった^{3 2)}。その後、吸引ホースを電動で巻き取る装置（ホースリール）が実用化され徐々に普及したことで、より効率的な収集作業が行えるようになった。タンク内を減圧する時に発生する排ガスの臭気についても、排気口に脱臭装置を設けるなどの改造が行われていった。

1980年代に入ると、浄化槽汚泥の減量化や輸送効率の向上を目的として、浄化槽汚泥濃縮車が開発・実用化された。汚泥濃縮車は、浄化槽の清掃時に浄化槽汚泥を濃縮して収集・運搬する車両で、その後も作業性に関する改良が加えられ、普及が図られていった。汚泥濃縮車の効果としては、単独処理浄化槽で1/6程度、合併処理浄化槽で2/5程度の汚泥減容化が確認されている^{3 3)}。代表的な汚泥濃縮車の構造は、バキューム車のタンクを凝集反応用と汚泥貯留用の2槽構造とし、凝集剤注入装置と汚泥濃縮装置を付加したもので、濃縮装置として、バースクリーンやドラムスクリーン等が用いられている。

3.4.2 前処理設備

1950年代までは、バースクリーンなど固定式スクリーンによる夾雑物除去が主流となっていたが、一度に大きな負荷をかけられず、開放型で放出される臭気が問題となっていた。その上、スクリーンに付着した夾雑物を頻繁に除去す

る必要があり、洗浄水による使用後の清掃が必須であった。

また、この当時は、大型の夾雑物により移送ポンプ、配管、バルブなどが頻繁に閉塞したことから、1960年代に入ると破砕機が採用されるようになっていった。各種の破砕機が実用化されたが、その後、横型破砕機、うず流型破砕機（カタ付汚物ポンプ）に収束されていった。

夾雑物の除去装置については、機械式掻き上げスクリーン、密閉式の粗目ドラムスクリーン（回転型スクリーン）、振動ふるい式除渣装置、遠心分離式除渣装置などが、1960年～1970年にかけて次々と実用化されていった。このうち、ドラムスクリーンと遠心分離機が現在の主流で、前者がバースクリーンを並べて円筒体にしたドラム内にし尿等を入れて回転させながら夾雑物を除去するもの、後者が夾雑物を遠心力により分離するものである。

ドラムスクリーンの目幅に関しては、当初、粗目（4～7mm程度）を採用していたため、細かい夾雑物が流出して、ポンプ、配管、バルブなどの閉塞を招き、後段の水槽等でスカムが異常発生する事態がみられた。生物学的脱窒素処理方式によるし尿処理施設の普及に併せ、1970年代後半から細目（1mm）を採用する施設が増えていき、膜分離技術の登場（1980年代中頃）とともに微細目（0.7mm）を採用する施設も現れる⁶⁾ようになった。

3.4.3 高度処理設備

高度処理設備は、公共用水域における富栄養化対策の一環として導入され、総量規制基準の制定、都道府県による上乘せ条例等により、1970年代前半から中頃かけて急速に普及していった。特に、生物学的脱窒素処理方式によるし尿処理施設では、低希釈・無希釈処理に伴い着色した処理水が問題となったことから、そのほぼ全てで何らかの高度処理設備が設置されていた。

現在、高度処理の主流となっている凝集分離処理、オゾン酸化処理、砂ろ過処理、活性炭吸着処理のいずれも、この頃から採用されはじめた技術である⁶⁾。

凝集分離処理は、アルミ系又は鉄系の無機凝集剤と高分子凝集剤を使った凝集と、固液分離に沈殿法、浮上分離法または膜分離法を用いたもので、COD、リン、色度、BOD、SSの除去が目的である。

オゾン酸化処理は、反応槽でオゾンと処理水を接触させるもので、CODや色度を酸化分解するものである。

砂ろ過は、砂やアンストライト等のろ層で処理水をろ過するもので、S Sの除去が主な目的である。

活性炭吸着処理は、活性炭の吸着作用により処理水を浄化するもので、C O Dや色度の除去に有効である。

これらの高度処理技術を組み合わせることで、より良好で環境保全に寄与する処理水質（B O D 10mg/L以下、C O D 35mg/L以下、S S 20mg/L以下、T - N 20mg/L以下、T - P 1mg/L以下）が達成可能^{3 4)}となっている。

3.4.4 汚泥処理設備

汚泥処理の要素技術としては、濃縮、脱水、乾燥、焼却等があげられる。

1970年代中頃までは、濃縮から脱水までの処理が行われており、濃縮に沈殿法や浮上分離法が、脱水に天日式脱水法、真空脱水機、加圧脱水機、遠心脱水機などが採用されていた。真空脱水機は、ろ過材の片側に汚泥を入れもう片方を真空にして圧力差により脱水するもので、加圧脱水機は、真空脱水機と同様、ろ過材の両面間に圧力差により脱水するが、ろ液側を減圧するのではなく、汚泥に圧力をかけるものである。遠心脱水機は、汚泥中の固形物と液体の比重差を利用して遠心力により脱水するものである。

1960年代になると、活性汚泥法等の好気性処理技術が普及していったが、そこで発生する余剰汚泥は、嫌気性消化処理の消化汚泥と比べ、発生量が多く脱水性も悪かった。1960年代後半には、好気性処理に由来する余剰汚泥の脱水に用いるため、ろ過圧力に毛細管現象を利用する毛細管脱水機が実用化された。また、1970年代に入ると、余剰汚泥に高分子調質剤を添加して凝集処理（汚泥調質）した後に、遠心脱水機で脱水する技術が開発・実用化され、ろ布を使用したろ過型脱水法のベルトプレス脱水機も普及しはじめた。

しかし、脱水された汚泥は、再生利用に当たっての制約が多く、衛生的かつ環境保全上も支障なく最終処分するため、減量化と安定化が必要となっていた。

1970年代中頃以降、乾燥・焼却設備を有するし尿処理施設が増加していき、その後の10年間で、し尿処理施設全体に占める割合が5割を超えることになった⁶⁾。

脱水汚泥の乾燥には、回転式乾燥機（キルンタイプ）を用いるのが一般的であったが、気流式乾燥機やヒートポンプ式乾燥機などを用いる場合もあった。

焼却設備としては、回転式焼却炉（ロータリーキルン：乾燥・焼却兼用）、火格子式焼却炉（階段式ストーカ炉）、単段式焼却炉（単段式円形焼却炉）、多段式焼却炉（乾燥・焼却兼用）、流動床式焼却炉（乾燥不要、脱水汚泥投入）など³⁵⁾が用いられたが、円形一段固定炉である単段式焼却炉の採用が特に多かった。

3.4.5 資源化設備

1950年代中頃から1960年代前半にかけて、し尿中の固形分と家庭ごみを混合して直接堆肥化する廃棄物処理施設が建設された。しかし、し尿と都市ごみ、それぞれ単独の衛生処理化が指向されたことで、いつの間にか下火となり衰退していった。

その後、1973年にオイルショックが起きると、化学肥料の供給に対する危機感から堆肥化技術の研究・開発が再び進められ、1980年代に入ると、汚泥等を最終処分する埋立処分場の有限性や新設の困難性から、汚泥等の積極的な資源化が求められるようになった³⁶⁾。開発・実用化された堆肥化装置としては、円筒式（ロータリーキルン式、リボン攪拌式、半円筒パドル式）、平面式（スクープ式、パドル式）、サイロ式（オーガ式、攪拌羽根式）、円錐式（スクリュース）などがあり、いずれの通気方法も強制通気である³⁷⁾。

1998年からは、循環型社会に対応した有機性廃棄物の再資源化システムの開発が、官民共同研究プロジェクトとして立ち上がり、し尿処理汚泥と生ごみの混合メタン発酵技術に関する技術開発と実証試験が行われた。この研究で基礎となったメタン発酵技術は、いずれもヨーロッパから導入されたもので、発酵温度が30～40℃の中温発酵方式、50～55℃の高温発酵方式、中温発酵と高温発酵を組み合わせた方式の3方式が実用化された。メタン発酵システムとしては、生ごみの前処理設備、メタン発酵設備、発酵汚泥処理設備、メタンガス利用設備などから構成されている³⁸⁾。メタン発酵技術を採用したはじめての汚泥再生処理センターは、2000年、奈良県生駒市の他に3施設が建設された。

続く2000年代には、汚泥炭化技術、リン回収技術、汚泥助燃剤化技術などの新しい資源化技術が次々と開発・実用化されていった³⁸⁾。

汚泥炭化技術は、汚泥等の有機性廃棄物を乾留等により炭化する技術で、2002年に本技術を採用した汚泥再生処理センターが出現した。汚泥等の有機性廃棄

物を温度450～800℃で乾留（空気と遮断する等、適当な条件下で加熱）すると、熱分解を経てガス成分と炭化物が得られる。炭化装置としては、汚泥等と熱風を直接接触させる内熱式のロータリーキルン型や、汚泥等を間接加熱方式で炭化する外熱式のロータリーキルン型及びスクリー型などが実用化されている。

リン回収技術は、晶析法を用いて汚水からリンを回収する技術で、2000年代初頭に開発・実用化されていたが、2009年になって本技術を採用した汚泥再生処理センターが出現した。具体化技術としては、生物学的脱窒素処理水にカルシウムを添加しpHを調整してヒドロキシアパタイトを析出させるHAP法と、前凝集分離液にマグネシウムを添加しアンモニアの存在下でリン酸マグネシウムアンモニウムを析出させるMAP法が代表的である。

汚泥助燃剤化技術は、高効率の脱水機を用いて、含水率70%以下した脱水汚泥をごみ焼却施設で助燃剤として利用することで、圏域における燃料エネルギーの削減に寄与する技術であり、2007年に本技術を採用した汚泥再生処理センターが出現した。助燃剤化に利用する脱水機としては、従来からある加圧脱水機（フィルタープレス）の他、高効率型スクリープレス、高効率型遠心脱水機、電気浸透式脱水機（水が陽極から陰極へ移動する性質利用したろ過型脱水）などが開発され実用化されている。

3.4.6 脱臭設備

し尿・汚泥集約処理システムの臭気対策は、し尿処理施設が普及しはじめた頃からの課題であった。しかし、脱臭設備の整備が国庫補助の対象外だったことから予算上の制約もあり、臭気対策の効果が満足できるレベルに達しなかった。その後、し尿処理施設の建設ラッシュがはじまり、し尿の衛生処理化が進むにつれ、臭気対策が周辺住民の一大関心事となり、作業環境の面からも改善が求められるようになっていった。

1960年代中頃からは、臭気の捕集、処理、排気に関する総合的な改良と技術開発が進められ、その成果が1977年のし尿処理施設構造指針で示された⁶⁾。その臭気対策の基本は、発生源ごとに臭気を捕集し、濃度系統区分（高・中・低濃度等）ごとに処理することであった。区分ごとの臭気成分を、水洗法、吸収法（薬液洗浄）、吸着法（活性炭、イオン交換樹脂等）、直接燃焼法、触媒酸化法（触媒を用いた燃焼脱臭）、オゾン酸化法・塩素酸化法（酸化剤による脱臭）

などの脱臭技術により、単独またはその組み合わせで処理するもので、現在の脱臭対策に繋がるものだった¹⁷⁾。

高濃度臭気に関しては、汚泥等を乾燥・焼却するし尿処理施設がこの頃から増加したことで、焼却炉を使った直接燃焼脱臭を採用する事例が多くなっていった。中濃度や中・低濃度混合系の臭気については、水洗浄または薬液洗浄（酸・アルカリ洗浄または酸・アルカリ次亜塩素酸洗浄）といった湿式洗浄か、湿式洗浄と活性炭吸着の組み合わせが多く採用されていた。また、受入室等から発生する低濃度臭気だけを処理する場合は、水洗浄と活性炭吸着の組み合わせ、あるいは活性炭吸着が単独で採用される場合が多かった。

1980年代中頃になると、生物脱臭方式を取り入れたし尿処理施設が普及しはじめ、臭気を土壌に通過させ土壌中の微生物で分解する土壌脱臭法や臭気を生物反応槽に吹き込んで活性汚泥で分解する活性汚泥処理法が導入された。その後も臭気に活性汚泥液を散布するスクラバ法、充填剤に固定した微生物により臭気を分解する固定床法などが開発・実用化³⁹⁾され、主に高濃度臭気の一次処理として用いられるようになった。

第4節 要 約

し尿・汚泥集約処理システムは、我が国独自の技術開発により1950年代から普及してきた。当初は、し尿の衛生処理が喫緊の課題とされ、目的達成に向けた法制度、長期計画、財政支援策、技術上の基準等が整備され、衛生処理を主目的とする処理方式の開発と実用化が進められていった。

1970年代に入って、産業発展と人口集中に伴う水質汚濁等の環境問題が浮上すると、新たな法整備により環境規制が強化され、公共用水域の富栄養化対策に寄与できる高度処理技術や生物学的脱窒素処理方式が開発・実用化された。その後、浄化槽汚泥等の処理という生活排水処理の適正化を完結する役割も大きくなっていった。

1990年以降は、循環型社会形成への貢献、地球環境問題への対応などが社会的な要請となったことから、廃棄物・リサイクルの関連法令が再整備された。し尿・汚泥集約処理システムでも、2000年代になると、二次廃棄物の発生抑制とリサイクルの推進が本格的に求められようになった。有機性廃棄物の総合的な処理とリサイクルを行う汚泥再生処理センターのみが、国が行う財政支援の対象となり、メタン発酵、汚泥炭化、リン回収、汚泥助燃剤化などの新たな資源化技術も開発・実用化された。また、ストックマネジメントの導入や設備装置の高効率化による温室効果ガス発生量の削減など、循環型社会の形成推進に向けた新たな取り組みもはじめられた。

今後は、処理システムの災害対応力、広域的な集約処理、一元的な生活排水処理、ごみ焼却施設とのコンバインド、リサイクルに係る事業間連携、地域資源循環に向けた地場産業との連携などが求められる。システムの強靱化、効率化、合理化に加え、総合的な資源循環と地球環境保全に貢献する将来の研究開発に期待したい。

第2章 し尿・汚泥集約処理センターにおける維持管理の実態把握と管理指標の抽出

第1節 緒言

近年、多くのし尿処理施設・汚泥再生処理センター（以下、し尿・汚泥集約処理センターと記す。）では、設備装置の老朽化や搬入状況の変化などにより、機能不全のリスク増大と処理効率の低下が懸念され、また汚泥・汚水の資源化利活用やLCCO₂（Life Cycle CO₂）の削減など、循環型社会形成や地球温暖化防止への寄与が社会的な要請となってきた^{1)~3)}。

しかし、し尿・汚泥集約処理を担う自治体では、財政の逼迫により適正処理を継続するための財源が不足し、その対応に苦慮しているのが現状である。このため、し尿・汚泥集約処理センターを適切に管理・運営するためには、適正な管理指標を定め、運転管理の工夫・改善、設備装置の改良・更新等により運転効率や経済性をより一層高めていく必要がある。

し尿・汚泥集約処理センターの1990年代以降における維持管理の既往調査・研究は、個々の施設における事例報告^{4)~15)}が主体で、我が国全体を包括的に捉えた維持管理情報は報告されていない。また、し尿・汚泥集約処理センターは、わが国独特の技術であり、国内の文献データが中心とならざるを得ない。唯一、財団法人日本環境衛生センター（現一般財団法人日本環境衛生センター）が複数のし尿・汚泥集約処理センターを対象に行った調査^{16)~22)}では、運転管理指標の抽出が試みられ、ある程度の維持管理状況を概観できる。これらの調査は3年ごとに実施されたが、集計データ数が限られ、項目によってはデータの偏りやバラツキが認められ、近年のデータ蓄積がないなど、最新のし尿・汚泥集約処理センターにおける維持管理状況を反映した情報とは言い難い。

そこで、本章では、し尿・汚泥集約処理センターにおける維持管理状況の実態把握と、現状に即した運転管理指標の抽出を目的として、維持管理のアンケート調査を行った。調査に先立ち、し尿・汚泥集約処理センターにおける代表的な課題と維持管理実績の集計事例を整理し、①施設概要、②維持管理実績、③維持管理費、④管理体制、⑤施設の課題など、維持管理に関するアンケート内容に反映させ、調査を実施した。

第2節 調査対象並びに方法

2.1 調査対象

環境省が公表している「一般廃棄物処理実態調査結果」(平成20年度調査結果)から、稼動中のし尿・汚泥集約処理センター989ヶ所の施設を抽出し、アンケート調査の対象とした。

2.2 調査内容

調査内容は、施設概要（施設名称、所在地、施設規模、処理方式、汚泥処分方法、竣工年度等）、維持管理実績（搬入実績、放流量、汚泥発生量、電力使用量、燃料使用量、薬品使用量等）、維持管理費（電力費、燃料費、薬品費、補修費等）、管理体制（管理形態、管理人員数等）、施設の課題に関する5つに分類し、それぞれ多岐選択あるいは記入する内容とした。

2.3 調査の実施と回収

アンケート調査は、平成22年10月15日に調査対象施設に協力依頼し、平成22年11月30日を回答期限として集計を行った。調査票の配布は、回答者側で(財)日本環境衛生センターのホームページから調査票を直接ダウンロードしてもらう方法で、また調査票の回収は、原則として電子メールによる方法で行った。なお、回答内容を補完するため、施設パンフレット及び既往の検査報告書も別途収集した。

第3節 調査結果並びに考察

3.1 アンケートの回収状況

アンケートは、し尿処理施設545ヶ所、汚泥再生処理センター72ヶ所の計617ヶ所の施設から回答を得た（回収率62%）。なお、維持管理実績及び維持管理費の集計データについては、標準偏差の2倍を超えるデータの棄却検定により、異常値の確認と棄却を行った。なお、検定方法としては、スミルノフ・グラブス検定、トンプソン棄却検定、増山の棄却検定及びIQR（四分位範囲）を利用した検定も実施し比較検討したが、顕著な違いは見られず、本研究の目的から、代表性の高いデータ群を抽出できる標準偏差の2倍を超えるデータの棄却が妥当と判断した。外れ値に関しては、各検討項目におけるデータの分布状況や当該データの関連資料（処理フロー、設計条件、設備構成、設備仕様、運転方法等）から棄却の妥当性を検証した。

3.2 施設概要

3.2.1 処理方式

処理方式については、617施設全てから回答があり、処理方式別に区分した集計結果を図2-1に示す。回答数の割合が最も多い処理方式は標脱で回答総数の34%、次いで高負荷で21%、膜分離で19%、嫌気消化で7%、好気消化で6%、前処理下水で5%、浄化槽対応で2%の順となっている。生物学的脱窒素処理方式（標脱、高負荷、膜分離、浄化槽対応）の合計（469施設）は全回答の約8割を占めており、現在の主流と考えられる。嫌気消化及び好気消化に関しては、普及年代を考えると、今後、施設の廃止・改造等が予想される。全国的な搬入状況の変化（搬入量減少と浄化槽汚泥混入率増加）²³⁾から判断すると、今後は、浄化槽対応あるいは前処理下水の割合増加が見込まれる。

高度処理の整備状況（高度処理ありの割合）をみると、標脱が97%、高負荷が93%、膜分離が97%、浄化槽対応が100%、嫌気消化が56%、好気消化で65%となっている。高度処理の内訳は、凝集分離で全回答の73%、砂ろ過が58%、活性炭吸着が56%、オゾン酸化が31%の順となっている。

3.2.2 施設規模

施設規模については、617施設全てから回答があった。計画処理能力は、1～

600m³/日までと広範囲にわたり、平均値が103m³/日である。ヒストグラムでみると、50m³/日以上100m³/日未満が192施設と最も多く、次いで50m³/日未満が164施設、100m³/日以上150m³/日未満が122施設、150m³/日以上200m³/日未満が72施設の順となっている。回答総数に対する割合は、100m³/日未満が約6割、150m³/日未満が約8割を占め、200m³/日未満になると約9割に達している。比較的小規模な施設が多く、1系列の処理フローが主流と判断される。全国的な搬入量の減少傾向²³⁾に対応するためには、施設の廃統合、広域処理による集約化、下水道との一元化処理などが考えられる。

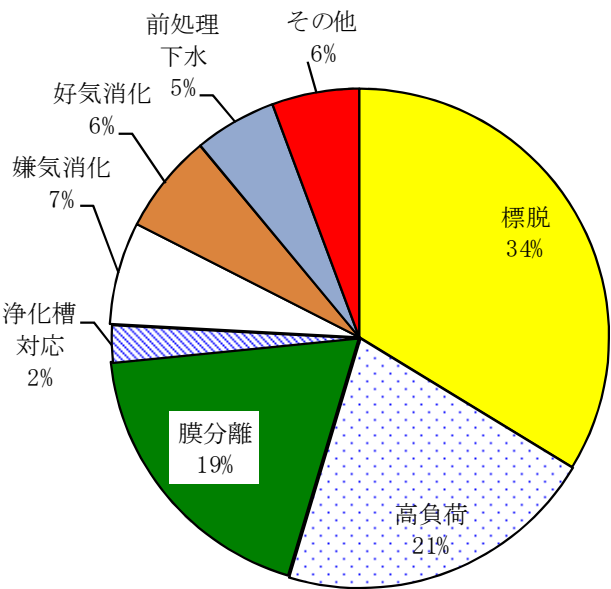
3.2.3 汚泥等の資源化

回答があった615施設の約3割にあたる163施設が資源化を行っていた。その方法の内訳は、コンポスト化が最も多くて、50%を占め、次いで乾燥が32%、メタン発酵が6%、炭化の4%、助燃剤化が2%の順となっている（図2-2）。汚泥の資源化に限定すると、資源化・焼却なしが122施設、資源化・一部焼却が40施設で合わせて162施設となっており、資源化ありと回答した163施設の99%を占めている。また、全回答の約7割にあたる453施設では、汚泥等の資源化が未導入で、主に濃縮、脱水、焼却等の処理が行われている。資源回収（コンポスト化、乾燥等）では、資源化製品の供給先、需給バランス、還元計画などの問題が、エネルギー回収（メタン発酵）では、し尿・汚泥のみだと発酵槽の加温熱量程度しかメタンガスを回収できないことから、ガス発生量を増加させるために不可欠な生ごみ等副原料の問題が、それぞれ全国的な普及の阻害要因と考えられる。なお、比較的新しい助燃剤化技術は、資源化製品の供給先（ごみ焼却施設）が確定していることから、今後の増加が予想される。メタン発酵についても、メタン発酵液の液肥利用が農業振興地域を中心に普及していく動きがある。

3.2.4 施設稼働年数

施設の竣工年度と現在の稼働状況については、616施設から回答があった。施設の経過年数をヒストグラムでみると、20年以上30年未満が210施設と最も多く、次いで10年以上20年未満が194施設、30年以上40年未満が84施設、10年未満が72施設、40年以上が56施設の順となっている。全回答の57%にあたる施設が稼働後20年以上を、23%にあたる施設が稼働後30年以上を経過している。し尿・汚泥集約処理センターの全国的な状況²⁴⁾と同様な傾向を示しており、全体的に施

設の老朽化が進行している。今後は、施設の更新需要等の増加が見込まれるため、施設の廃統合や広域処理の動きが助長されると考えられる。



標準脱窒素処理方式（標脱）、高負荷脱窒素処理方式（高負荷）、膜分離高負荷脱窒素処理方式（膜分離）、浄化槽汚泥対応型脱窒素処理方式（浄化槽対応）、嫌気性消化・活性汚泥法処理方式（嫌気消化）、好気性消化・活性汚泥法処理方式（好気消化）、前処理・下水道放流（前処理下水）

図2-1 処理方式別の区分（括弧内は略称）

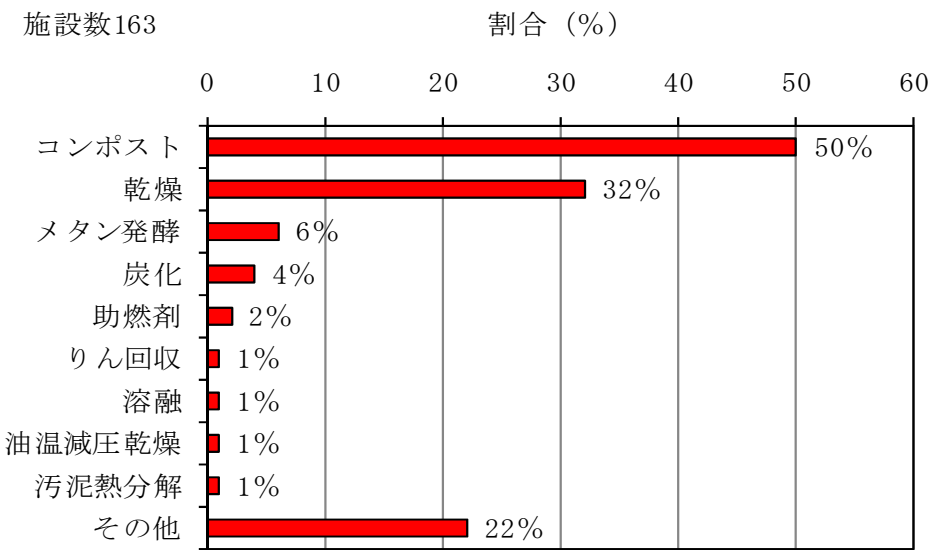


図2-2 汚泥等の資源化方法

3.3 維持管理実績

3.3.1 搬入実績

搬入実績については、611施設から回答があった。日平均搬入量は、平均値が74m³/日であり、50m³/日未満が262施設と最も多く、次いで50m³/日以上100m³/日未満が192施設、100m³/日以上150m³/日未満が97施設、150m³/日以上200m³/日未満が38施設の順である。また、日平均搬入率は、平均値が74%で、60%超80%以下が193施設と最も多く、次いで80%超100%以下が145施設、40%超60%以下が121施設の順となっている。全回答の約1割にあたる61施設が40%以下、1割強にあたる91施設が100%を超えていた。

浄化槽汚泥混入率は、平均値が62%で、60%超80%以下が207施設と最も多く、次いで80%超100%以下が156施設、40%超60%以下が124施設、20%超40%以下が92施設、20%以下が32施設の順となっている。全回答の約6割にあたる363施設で60%を超えていた。

集計結果は、し尿・汚泥集約処理センターの全国的な状況²³⁾を裏付ける結果となっている。日平均搬入率と浄化槽汚泥混入率について、(財)日本環境衛生センターの既往報告(直近過去3回分、以下、日環セ既報と略す)と比較した結果を図2-3に示す。本図では、日平均搬入率が減少傾向を、浄化槽汚泥混入率が増加傾向を示している。

3.3.2 希釈倍率

希釈倍率(放流量m³/搬入量m³)は、有効回答が526施設で、処理方式別に区分した集計結果を表2-1に示す。本表より、標脱が5.8±3.4倍(平均値±標準偏差、以下同様)、高負荷が1.6±0.7倍、膜分離が1.6±0.6倍、浄化槽対応が1.5±0.4倍、嫌気消化が15±11倍、好気消化が11±7倍、前処理下水が9.5±8.3倍である。無希釈型(プロセス用水のみ使用)の高負荷、膜分離、浄化槽対応では、ほぼ同様な値であり、標脱の約1/4、好気消化の約1/7、嫌気消化の約1/10の希釈倍率となっている。過去の事例と比べても、ほぼ同様な結果が得られている。

3.3.3 汚泥発生量

汚泥発生量(汚泥量kg-DS/搬入量m³)については、有効回答が435施設で、処理方式別にみると、標脱が7.6±2.4kg-DS/m³、高負荷が7.7±2.8kg-DS/m³、膜

分離が $7.6 \pm 3.5 \text{ kg-DS/m}^3$ 、浄化槽対応が $12 \pm 5 \text{ kg-DS/m}^3$ 、嫌気消化が $5.8 \pm 3.7 \text{ kg-DS/m}^3$ 、好気消化が $8.1 \pm 3.8 \text{ kg-DS/m}^3$ である。標脱、高負荷及び膜分離では、ほぼ同様な傾向を示している。浄化槽対応の値が高めなのは、前凝集分離の採用で生物処理前に固液分離が行われるため、流入汚泥（SS分）の大半が生物分解を受けずに回収され、生物処理に伴う汚泥減量の割合が低下するためと考えられる。生物学的脱窒素処理方式の平均汚泥発生量について、日環セ既報と比較した結果を図2-4に示す。本図より、標脱及び高負荷は日環セ既報とほぼ同様の値であるが、膜分離は日環セ既報より若干高めの値である。ただし、膜分離の原理、フロー等から判断すれば、今回の調査結果は妥当と考えられる。

3.3.4 電力使用量

電力使用量（電力使用量kWh/搬入量 m^3 ）については、有効回答が549施設で、処理方式別にみると、標脱が $67 \pm 28 \text{ kWh/m}^3$ 、高負荷が $60 \pm 24 \text{ kWh/m}^3$ 、膜分離が $68 \pm 26 \text{ kWh/m}^3$ 、浄化槽対応が $65 \pm 22 \text{ kWh/m}^3$ 、嫌気消化が $39 \pm 29 \text{ kWh/m}^3$ 、好気消化が $56 \pm 26 \text{ kWh/m}^3$ 、前処理下水が $38 \pm 39 \text{ kWh/m}^3$ となっている。過去の事例と比較しても、顕著な違いはみられない。

3.3.5 燃料使用量

燃料使用量（燃料使用量L/搬入量 m^3 ）については、有効回答が275施設で、使用形態別にみると、全量焼却が $7.7 \pm 4.0 \text{ L/m}^3$ 、資源化乾燥・一部焼却が $7.5 \pm 5.5 \text{ L/m}^3$ 、資源化乾燥以外・一部焼却が $8.3 \pm 6.6 \text{ L/m}^3$ 、資源化乾燥・焼却なしが $9.3 \pm 6.0 \text{ L/m}^3$ 、資源化乾燥以外・焼却なしが $4.5 \pm 4.2 \text{ L/m}^3$ である。全量焼却と資源化乾燥・一部焼却でほぼ同等な値に対し、資源化乾燥以外・一部焼却と資源化乾燥・焼却なしが高めの値となっている。これまでの報告とほぼ同様な結果であり、汚泥を乾燥せずに直接焼却する場合や汚泥の乾燥のみを行う場合は、焼却還流熱を有効に利用できないため、使用量が高めになったと考えられる。

3.3.6 薬品使用量

し尿・汚泥集約処理センターでは様々な薬品が利用されているが、ここでは運転管理面での有用性を考慮し、水処理用凝集剤、汚泥調質剤及びメタノールを調査項目とした。

（１）水処理用凝集剤

水処理用凝集剤使用量（水処理用凝集剤使用量g/搬入量 m^3 ）については、有

有効回答が322施設で、凝集剤の種別にみると、アルミ系無機凝集剤の硫酸バンドが $330 \pm 220 \text{ g/m}^3$ 、ポリ塩化アルミニウムが $270 \pm 180 \text{ g/m}^3$ 、塩化アルミニウムが $380 \pm 270 \text{ g/m}^3$ 、鉄系無機凝集剤の塩化第2鉄が $550 \pm 470 \text{ g/m}^3$ 、ポリ硫酸第2鉄が $400 \pm 260 \text{ g/m}^3$ となっており、高分子凝集剤が $8.8 \pm 10 \text{ g/m}^3$ である。実績データが広範囲に分布しているのは、薬品の使用方法、運転条件等の違いが考えられる。特に高分子凝集剤の標準偏差が大きいのは、薬品特性（アニオン、ノニオン等）も影響してバラツキがでたものと考えられる。無機凝集剤の平均使用量について、日環セ既報と比較した結果を図2-5に示す。塩化第二鉄を除く他の凝集剤は、日環セ既報とほぼ同様な値が得られている。塩化第二鉄使用量については、一般的な設計値が $500 \sim 600 \text{ g/m}^3$ であることを考えると、今回の調査結果が妥当と考えられる。

（2）汚泥調質剤

汚泥調質剤使用量（汚泥調質剤使用量 g/搬入量m^3 ）については、有効回答が544施設で、調質剤の種別にみると、①アルミ系無機調質剤と高分子調質剤の組み合わせが、アルミ系で $160 \pm 170 \text{ g/m}^3$ 、高分子で $140 \pm 110 \text{ g/m}^3$ 、②鉄系無機調質剤と高分子調質剤の組み合わせが、鉄系で $300 \pm 230 \text{ g/m}^3$ 、高分子で $150 \pm 130 \text{ g/m}^3$ 、③高分子調質剤の2剤利用が、Ⅰ剤で $150 \pm 160 \text{ g/m}^3$ 、Ⅱ剤で $19 \pm 16 \text{ g/m}^3$ 、④高分子調質剤の1剤利用が $140 \pm 100 \text{ g/m}^3$ である。集計結果は、使用方法、運転条件等の違いにより、実績データの分布にバラツキがみられ、標準偏差の幅が大きくなっている。これまでの事例報告と比較すると、無機系と高分子の組み合わせがやや高めの値、高分子2剤利用と高分子1剤利用が、ほぼ同等な値となっている。無機系と高分子の組み合わせがやや高めなのは、近年増加しているし尿等前凝集分離の影響が考えられる。

（3）メタノール使用量

メタノール使用量（メタノール使用量 g/搬入量m^3 ）は $910 \pm 950 \text{ g/m}^3$ である（有効回答292施設）。集計結果は、生物学的脱窒素処理における運転状況、使用方法、運転条件等の違いにより、実績データが広範囲に分布しており、平均値に比べて標準偏差の幅が大きくなっている。過去の事例と比較すると、今回の調査結果はやや高めの値となっており、搬入状況の変化に伴う流入汚濁負荷の減少が集計値に影響したと考えられる。

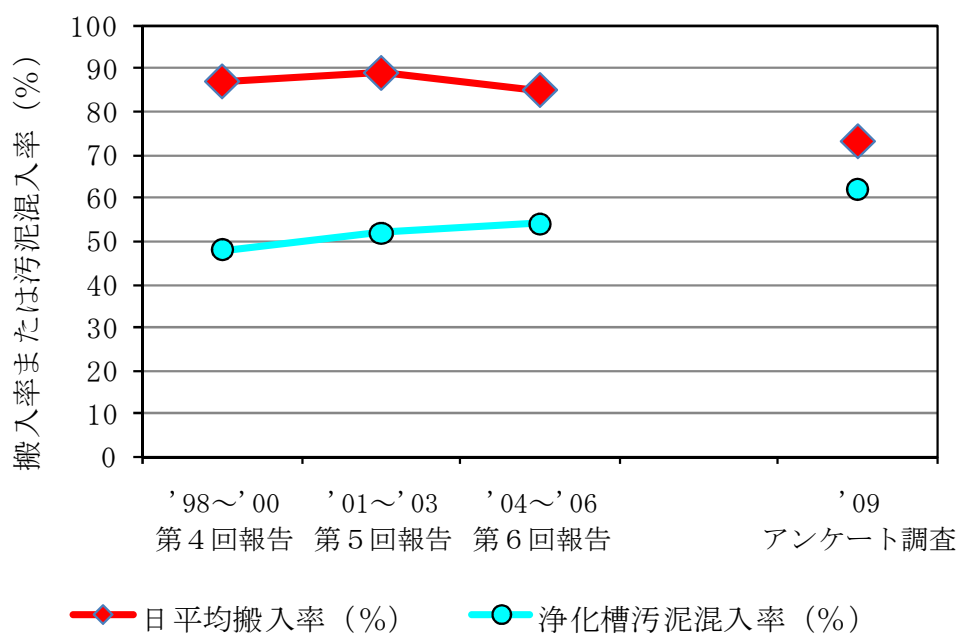


図2-3 搬入率及び浄化槽汚泥混入率の比較

表2-1 処理方式別の希釈倍率

項目	施設数	平均値	最大値	最小値	標準偏差
標脱	197	5.8	15	0.53	3.4
高負荷	114	1.6	5.2	1.0	0.70
膜分離	105	1.6	5.0	0.96	0.63
浄化槽対応	14	1.5	2.7	1.1	0.40
嫌気消化	35	15	46	0.99	11
好気消化	38	11	28	1.8	6.7
前処理下水	23	9.5	24	1.0	8.3

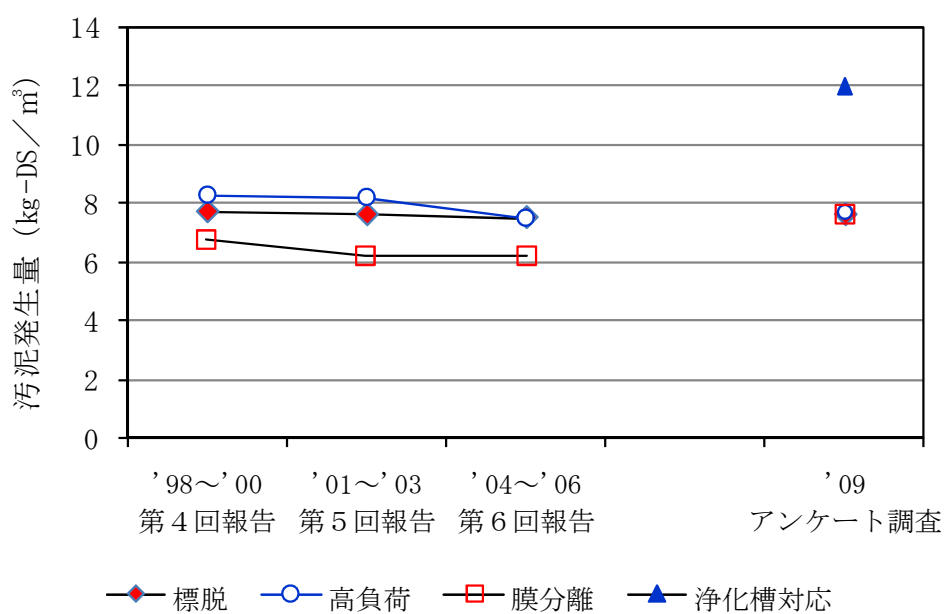


図2-4 汚泥発生量の比較

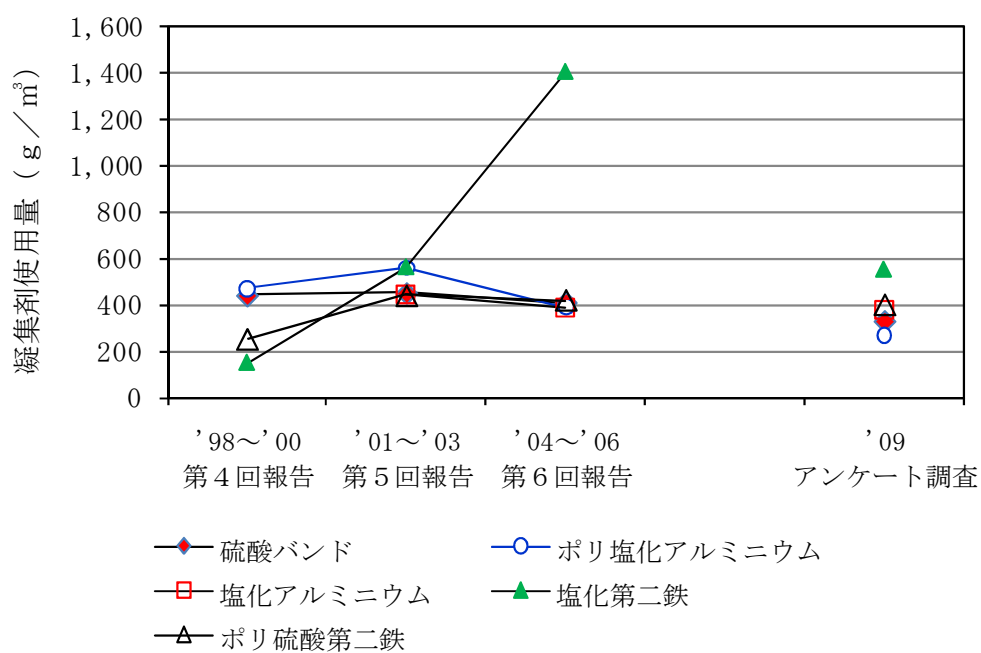


図2-5 無機凝集剤使用量の比較

3.3.7 運転管理の指標

希釈倍率、汚泥発生量、電力使用量、燃料使用量及び薬品使用量で得られたそれぞれの平均値や標準偏差などの集計結果は、一定の n 数が確保されており、妥当性の検討及び過去事例との比較を行った結果、運転管理の目安として利用可能と考えられた。

3.4 維持管理費

し尿・汚泥集約処理センターでは、様々な維持管理費が計上されているが、ここでは運転管理面での有用性を考慮し、電力費、燃料費、薬品費及び補修費を調査項目とした。

3.4.1 電力費

電力費（電力費円/搬入量 m^3 ）については、有効回答が546施設で、処理方式別にみると、標脱が 920 ± 390 円/ m^3 、高負荷が 830 ± 320 円/ m^3 、膜分離が 910 ± 350 円/ m^3 、浄化槽対応が 870 ± 280 円/ m^3 、嫌気消化が 500 ± 340 円/ m^3 、好気消化が 810 ± 380 円/ m^3 、前処理下水が 490 ± 500 円/ m^3 となっている。集計結果が対応する電力使用量に比例していないのは、電力割引料金制度の活用や発電設備の影響が考えられる。

3.4.2 燃料費

燃料費（燃料費円/搬入量 m^3 ）については、使用形態別で区分した有効回答が281施設、処理方式別で区分した有効回答が402施設であり、①使用形態別では、全量焼却が 480 ± 290 円/ m^3 、資源化乾燥・一部焼却が 450 ± 350 円/ m^3 、資源化乾燥以外・一部焼却が 550 ± 470 円/ m^3 、資源化乾燥・焼却なしが 550 ± 370 円/ m^3 、資源化乾燥以外・焼却なしが 250 ± 230 円/ m^3 、②処理方式別では、標脱が 370 ± 270 円/ m^3 、高負荷が 450 ± 370 円/ m^3 、膜分離が 500 ± 370 円/ m^3 、浄化槽対応が 330 ± 260 円/ m^3 、嫌気消化が 260 ± 300 円/ m^3 、好気消化が 310 ± 230 円/ m^3 、前処理下水が 230 ± 340 円/ m^3 である。使用形態別では、全量焼却と資源化乾燥・一部焼却でほぼ同等な値なのに対し、資源化乾燥以外・一部焼却と資源化乾燥・焼却なしが高めの値であり、燃料使用量と同様な傾向を示している。処理形態別にみられるバラツキは、各方式における燃料使用形態の偏り（汚泥乾燥工程を経ない直接焼却や汚泥乾燥のみを行う割合が相対的に多いなど）が主な要因と考え

られる。生物学的脱窒素処理方式の平均燃料費について、日環セ既報と比較した結果を図2-6に示す。本図では、標脱、高負荷及び膜分離において、近年費用が増加する傾向がみられる。

3.4.3 薬品費

薬品費（薬品費円/搬入量 m^3 ）については、有効回答が536施設で、処理方式別にみると、標脱が 520 ± 350 円/ m^3 、高負荷が 710 ± 380 円/ m^3 、膜分離が 800 ± 370 円/ m^3 、浄化槽対応が $1,130 \pm 520$ 円/ m^3 、嫌気消化が 320 ± 240 円/ m^3 、好気消化が 370 ± 260 円/ m^3 、前処理下水が 360 ± 390 円/ m^3 である。生物学的脱窒素処理方式では、標脱<高負荷<膜分離<浄化槽対応の順で高くなっている。高負荷、膜分離、浄化槽対応では脱窒素促進用メタノールや槽内発泡抑制用消泡剤を使用する。膜分離、浄化槽対応では膜洗浄用薬品を使用する。加えて、浄化槽対応では生物処理前の前凝集分離で凝集剤等の使用量が相対的に多くなることなどが、各方式による違いの要因と考えられる。また、嫌気消化、好気消化及び前処理下水が安い理由は、凝集分離等高度処理設備や薬液洗浄塔等脱臭設備の整備率が低いことがあげられる。

3.4.4 補修費

補修費（補修費円/搬入量 m^3 ）については、有効回答が547施設で、処理方式・施設経過年数別で区分した集計結果を表2-2に一括表示する。生物学的脱窒素処理方式では、施設の経過とともに補修費が高くなる傾向がみられる。特に、施設が10年以上を経過すると、補修費が高騰すると考えられる。また、嫌気消化、好気消化及び前処理下水が安い理由としては、生物学的脱窒素処理方式と比較して設備量が少ないことがあげられる。

3.4.5 維持管理費の指標

電力費、燃料費、薬品費及び補修費で得られたそれぞれの平均値や標準偏差などの集計結果は、一定のn数が確保されており、妥当性の検討及び過去事例との比較を行った結果、運転管理の目安として利用可能と考えられた。

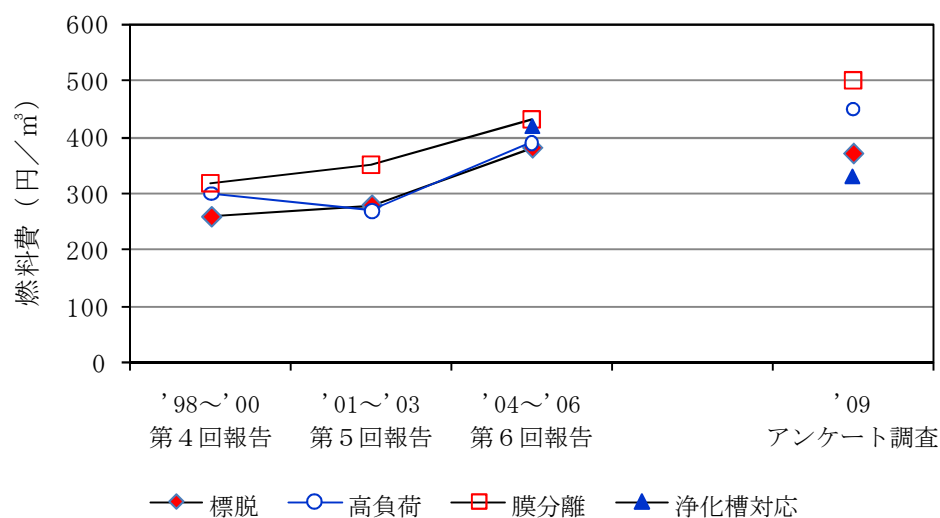


図2-6 燃料費の比較 (処理形態別)

表2-2 補修費

	項目	施設数	平均値	最大値	最小値	標準偏差
標脱	10年未満	8	900	2,008	123	680
	10年以上 20年未満	35	1,320	6,084	60	1,220
	20年以上	158	1,290	6,126	1	1,020
高負荷	10年未満	4	970	2,155	231	860
	10年以上 20年未満	66	1,400	3,690	33	860
	20年以上	51	1,800	5,804	118	1,240
膜分離	10年未満	35	1,340	4,465	6	1,090
	10年以上 20年未満	62	1,990	6,270	176	1,440
	20年以上	10	1,990	5,529	129	2,070
浄化槽 対応	10年未満	9	790	3,444	24	1,110
	10年以上 20年未満	3	3,560	6,308	733	2,790
	20年以上	0	—	—	—	—
嫌気消化		40	600	2,451	55	510
好気消化		38	990	2,725	66	690
前処理下水		28	780	5,058	41	1,010

3.5 管理体制

3.5.1 管理形態

施設の管理形態については、613施設の回答で、直営で全回答の47%を占めており、次いで委託が31%、一部委託が17%、長期包括管理委託が5%、指定管理者が0.3%の順となっている。直営の割合が半分以上となっており、近年の民活事情を反映した結果となっている。管理形態について日環セ既報をみると、直営の割合が減少傾向（59→40%）、委託の割合が増加傾向（8→19%）、一部委託の割合が増加傾向（33→41%）となっている。今回の調査結果では、一部委託の割合が減少し、委託の割合が大幅に増加しており、民活の形態も長期包括管理の導入などバリエーションが多い結果となっている。

3.5.2 管理人員

施設の管理人員については、613施設の回答で、計画処理能力の違いでみると、50m³/日未満が4.4±2.6人、50m³/日以上100m³/日未満が6.6±2.8人、100m³/日以上150m³/日未満が8.5±2.8人、150m³/日以上200m³/日未満が10±4人、200m³/日以上300m³/日未満が12±6人、300m³/日以上が16±6人であり、計画処理能力が増加するに従い、管理人員も増加する傾向が認められる。

3.6 施設の課題

施設の課題については、590施設の回答で、課題毎に区分した集計結果を図2-7～2-10に示す。全回答では、「施設の老朽化」や「浄化槽汚泥比率の増加」を挙げるし尿・汚泥集約処理センターが多い。各処理方式と全回答を比較すると、標脱及び膜分離では、「施設の老朽化」や搬入状況の変化に関連する課題の出現頻度が高い。膜分離や浄化槽対応では、「施設の老朽化」の出現頻度が低く、設備装置の高度化・複雑化により「施設維持管理費の増加」や「技術職員の確保」に困っている施設の比率が高い。普及年代が古い嫌気消化及び好気消化では、「施設の老朽化」の出現頻度が極めて高く、設備装置の経年使用に伴う「施設処理機能の低下・不安定化」を危惧している施設の比率が高い。

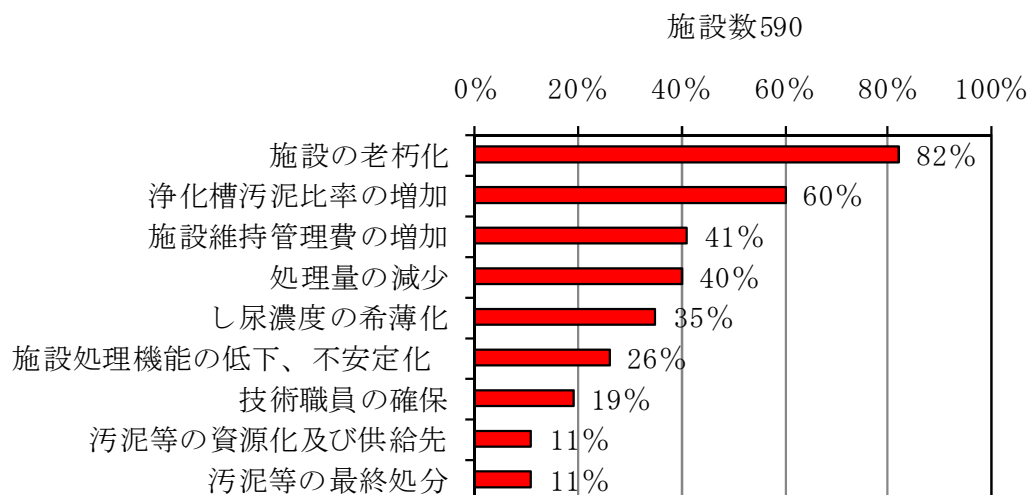


図2-7 施設の課題と出現頻度（全回答）

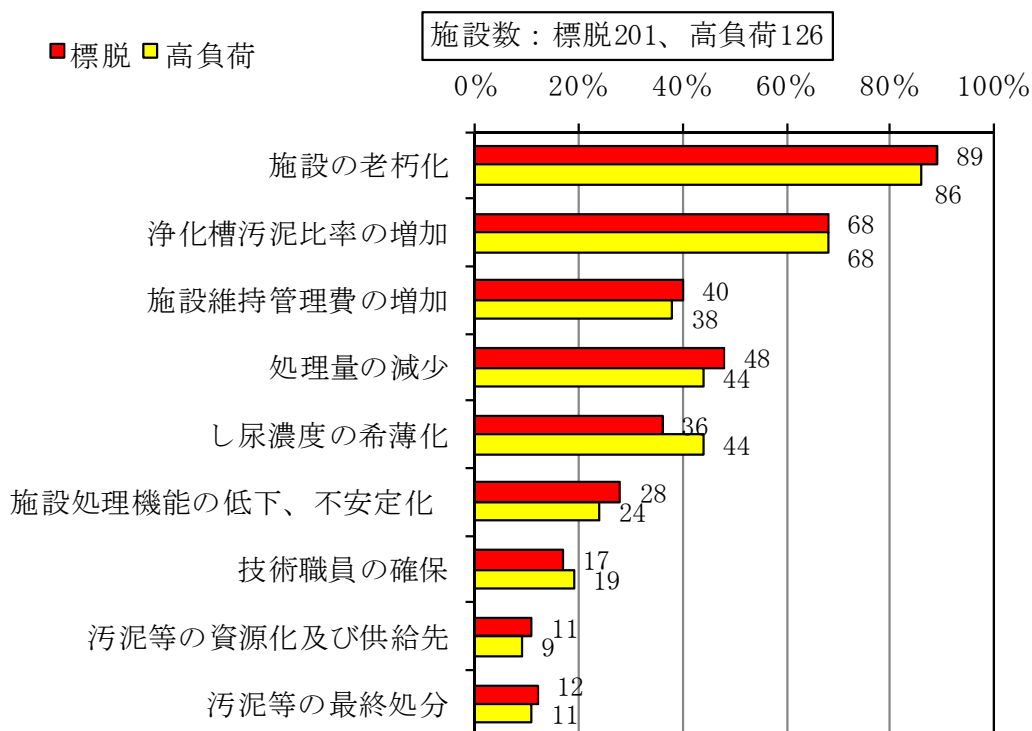


図2-8 施設の課題と出現頻度
（標脱及び高負荷）

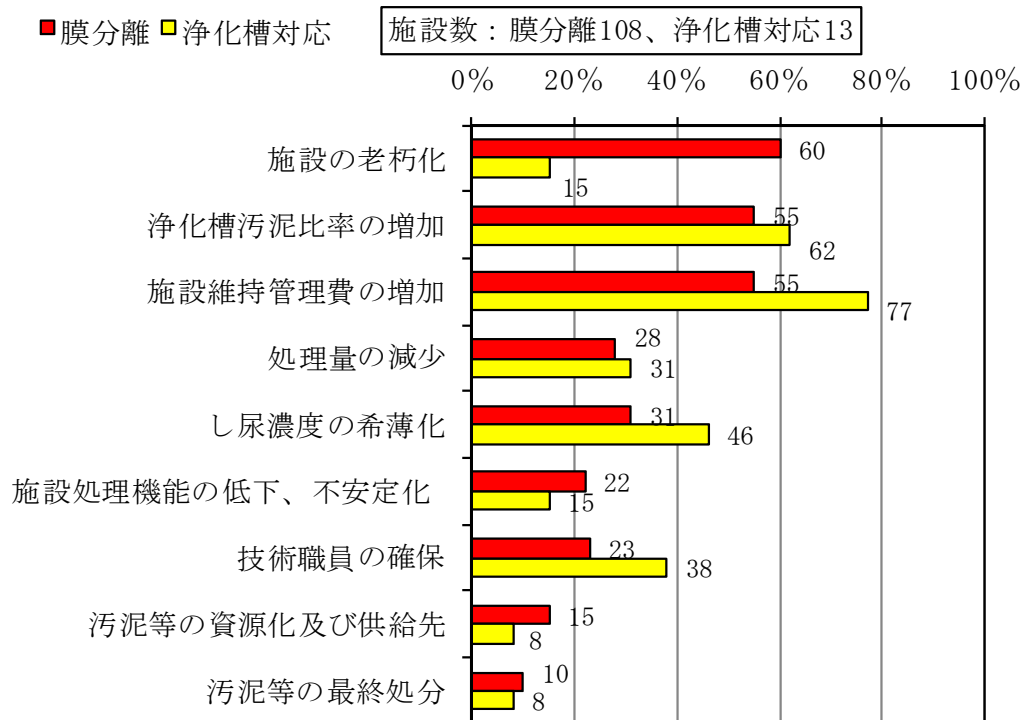


図2-9 施設の課題と出現頻度
(膜分離及び浄化槽対応)

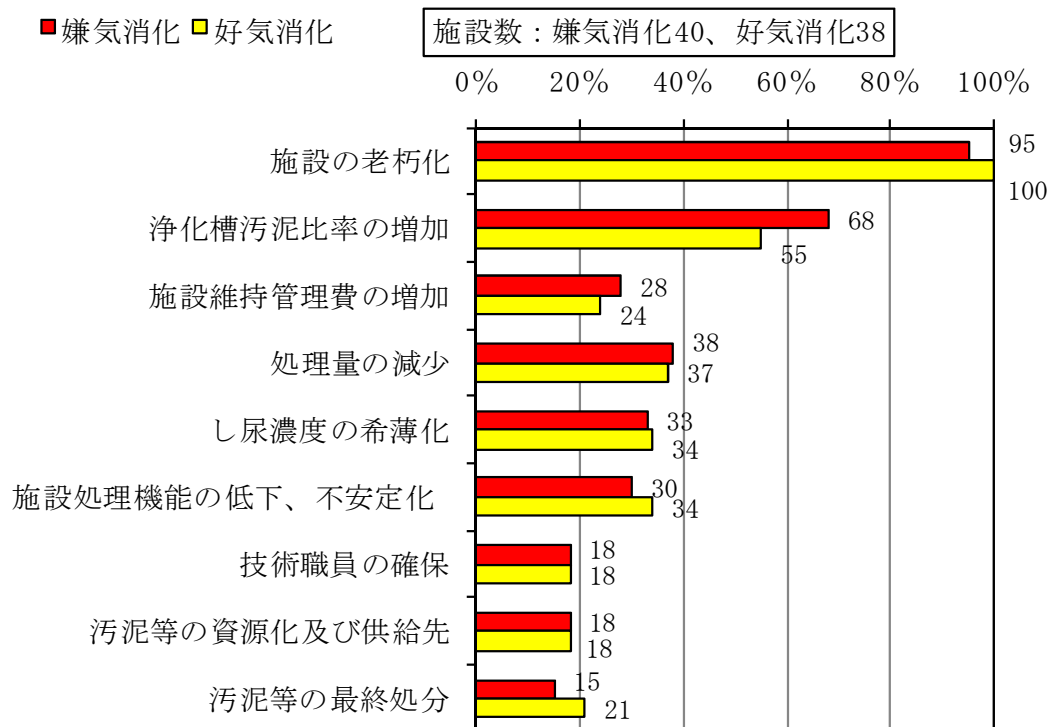


図2-10 施設の課題と出現頻度 (嫌気消化及び好気消化)

なお、運転管理の工夫や改善、設備装置の一部改良などを行っても、課題が解消されない場合には、抜本的な対応が必要となる。施設の老朽化や搬入状況の変化には、施設の全体更新、施設の改造・改良、施設の廃統合、広域処理の実施、下水や集落排水との共同処理、ストックマネジメントの導入などが有効と考えられる。技術職員の不足に対しては、運転管理委託等の民活を導入することが妥当であろう。また、汚泥等の資源化や処分に関連する課題の対応策としては、汚泥助燃剤化システムの採用、民間資源化施設の活用、広域的な汚泥処理の実施などがあげられる。

第4節 要 約

全国のし尿・汚泥集約処理センターを対象とした維持管理に関するアンケート調査を行い、617ヶ所（回収率62%）からの回答を得て、我が国全体の包括的な維持管理情報を得ることができた。

アンケートを回収した施設では、生物学的脱窒素処理方式が主流と考えられた。比較的小規模な施設が多く、施設の老朽化も進行していることから、今後、施設の廃統合、広域処理による集約化、下水道との一元化処理などを検討する必要性が示唆された。

搬入実績をみると、全国的な状況と同様な傾向を示しており、今後も搬入率減少と浄化槽汚泥混入率増加の傾向が見込まれた。その他の維持管理実績は、希釈倍率、汚泥発生量及び電力使用量を処理方式別に、燃料使用量を使用形態別に、薬品使用量を各薬品別にそれぞれ集計を行った。

維持管理費は、電力費、薬品費及び補修費を処理方式別に、燃料費を使用形態別と処理方式別にそれぞれ集計を行った。

いずれの集計結果についても、一定のn数が確保されており、集計結果の検討及び既往報告との比較を行った結果、運転管理の目安として利用可能と判断された。

管理体制では、管理形態において長期包括管理等、委託形態のバリエーションが多くなっていることが判明した。維持管理人員では、計画処理能力別で集計を行い、施設規模に応じた必要人員の大まかな目安を得た。

施設の課題では、回答数の多かった課題を処理方式別で整理した。標脱及び膜分離では、施設の老朽化や搬入状況の変化に関連する課題の出現頻度が高く、膜分離や浄化槽対応では、維持管理費の増加や技術職員の確保に困っている施設の比率が高いのが特徴的であった。各々の課題については、運転管理の工夫や改善、設備装置の一部改良などで解消されなければ、抜本的な対応が必要と考えられた。

第3章 し尿・汚泥集約処理センターにおける処理効率の低下要因

第1節 緒言

多くのし尿・汚泥集約処理センターにおいて、施設の経年的使用と搬入状況の変化は、対応に苦慮する代表的な課題となっている。

し尿・汚泥集約処理センターの稼動年数に関する調査結果¹⁾をみると、全国の施設のうち約8割の施設が稼動後15年以上を、約6割の施設が稼動後20年以上を経過している。し尿・汚泥集約処理センターの一般的な寿命が、稼動後15～30年程度²⁾であることを考えると、施設の経年的使用による老朽化は全国的に進行していると判断できる。

一方、全国的な搬入状況³⁾においては、総搬入量の減少傾向により処理能力に対する搬入率が64%まで低下しており、浄化槽汚泥の割合が年々上昇して浄化槽汚泥混入率が66%に達している。搬入量の減少や浄化槽汚泥混入率の上昇に伴う搬入状況の変化は、全国的にみて顕著な傾向である。

施設の経年的使用や搬入状況の変化が進行すると、一般にし尿・汚泥集約処理効率の低下を招くといわれているが、し尿・汚泥集約処理効率の低下に関する実態は未だ明らかになっていない。過去の文献をみても、し尿・汚泥集約処理センターの経年的使用や搬入状況の変化が処理効率に与える影響について、具体的に検討した報告はほとんどみられない^{4)～7)}。

施設の経年的使用や搬入状況の変化が、し尿・汚泥集約処理に必要なユーティリティの使用量とコストにどのような影響があるかを明らかにできれば、し尿・汚泥集約処理事業の運営計画や施設の維持管理計画に反映でき、より効率的で妥当性の高いし尿・汚泥集約処理が可能となる。また、し尿・汚泥集約処理センターのLCC (Life Cycle Cost)やLCA (Life Cycle Assessment)を検討する上でも、その精度の向上に寄与できる^{8)～10)}。

そこで本章では、し尿・汚泥集約処理センターの維持管理に関するアンケート調査¹¹⁾で得られた生物学的脱窒素処理方式の施設に関する包括的な情報を解析し、施設の経年的使用や搬入状況の変化が処理効率に与える影響について検討を行った。

第2節 調査対象並びに方法

2.1 対象データ

検討対象としたデータは、筆者らが実施したし尿・汚泥集約処理センターの維持管理に関するアンケート調査¹⁾¹⁾から、生物学的脱窒素処理方式を採用している施設の情報を抽出したものである。アンケート調査は、平成22年度に全国で稼働中のし尿・汚泥集約処理センター989ヶ所を対象として実施し、617ヶ所の施設から回答を得ており、内413ヶ所の施設が生物学的脱窒素処理方式となっている。

2.2 方法

施設の経年的使用と処理効率の関係については、施設経過年数とユーティリティ（使用量、費用）の情報をもとに検討を行った。搬入状況の変化と処理効率の関係については、施設の搬入率、搬入汚濁負荷変動率とユーティリティ（使用量、費用）の情報をもとに検討を行った。搬入率及び搬入汚濁負荷変動率は、次式により定義した。

$$\text{搬入率} \quad (A) = X2 / X1$$

$$\text{搬入汚濁濃度変動率} \quad (B) = \frac{[a(1-Y2) + bY2]}{[a(1-Y1) + bY1]} \times \frac{[a - Y2(a-b)]}{[a - Y1(a-b)]}$$

$$\text{搬入汚濁負荷変動率} \quad (C) = (A) \times (B)$$

X1：計画処理量(m³/日)

X2：搬入量(m³/日)

Y1：計画浄化槽汚泥混入率（浄化槽汚泥計画処理量／X1）

Y2：搬入浄化槽汚泥混入率（浄化槽汚泥搬入量／X2）

a：し尿汚濁濃度（BODまたはT-Nの一般値；mg/L）¹²⁾

b：浄化槽汚泥汚濁濃度（BODまたはT-Nの一般値；mg/L）¹²⁾

施設の経年的使用及び搬入状況の変化に対するユーティリティ（使用量、費用）の利用について、相関関係を検討した項目と比較対象を表3-1に示す。

なお、ユーティリティ（使用量、費用）の集計データは、解析項目ごとに標準偏差の2倍を超えるデータの棄却により、外れ値の確認と棄却を行った。その他

の検定方法についても実施し比較検討したが、顕著な違いは見られなかった。外れ値に関しては、各検討項目におけるデータの分布状況や当該データの関連資料（処理フロー、設計条件、設備構成、設備仕様、運転方法等）から棄却の妥当性を検証した。

表3-1 相関関係を検討した項目一覧

項 目	施設の経年的使用 ○施設経過年数(年)	
	搬入状況の変化 ○搬入率 ○搬入汚濁負荷変動率（BOD負荷変動率）	
比 較 対 象	電力使用量(kWh/m ³) メタノール使用量(g/m ³)	処理方式別検討
		全施設（処理方式の区分なし） 標準脱窒素処理方式【標脱】 高負荷脱窒素処理方式【高負荷】 膜分離高負荷脱窒素処理方式【膜分離】 浄化槽汚泥対応型脱窒素処理方式【浄化槽対応】
	薬品費(円/m ³)	
	燃料使用量(L/m ³)	使用形態別検討
		全施設（使用形態の区分なし） 全量焼却 資源化乾燥・一部焼却 資源化乾燥以外・一部焼却 資源化乾燥・焼却なし 資源化乾燥以外・焼却なし
	水処理用凝集剤使用量(g/m ³)	薬品別検討
		硫酸バンド ポリ塩化アルミニウム 塩化アルミニウム 塩化第二鉄 ポリ硫酸第二鉄 高分子凝集剤
	汚泥調質剤使用量(g/m ³)	アルミ系無機調質剤＋高分子調質剤 鉄系無機調質剤＋高分子調質剤 高分子調質剤2剤利用(I剤, II剤) 高分子調質剤1剤利用

*各使用量・費用は搬入量1 m³当たりの値、【 】内は略称。

第3節 調査結果並びに考察

3.1 施設経過年数と処理効率

3.1.1 施設経過年数と電力使用量

施設経過年数と電力使用量との関係では、標脱のみに低い正の相関が認められた。ただしこの結果には、搬入状況の変化に伴う影響が考えられるため、搬入率100%±20%、浄化槽汚泥混入変動率(浄化槽汚泥搬入量/浄化槽汚泥計画処理量×100)±20%となっている施設に限定して再度解析(以下「搬入状況を考慮した再解析」という。)を試みた。その結果、全施設において低い正の相関、標脱において正の相関が認められた(表3-2、図3-1)。

各処理方式の施設経過年数をみると、高負荷が10～25年、膜分離が5～20年、浄化槽対応が10年未満の中にデータが集中している。一方、標脱では、10年未満から40年以上まで、施設経過年数に極端な集中や偏りがないために、顕著な傾向がみられたと判断される。

施設の経年とともに単位当たりの電力使用量が増加した理由は、経年的使用に伴う設備装置の能力低下が主な要因で、電力利用効率に係る技術的な進歩も寄与していると考えられる。

表3-2 施設経過年数と電力使用量の関係

比較対象	施設数 (n)	相関係数 (r)	有意差	相関関係
【搬入状況を考慮しない解析】				
標脱	185	0.2805	**	低い正の相関
【搬入状況を考慮した再解析】 (搬入率100±20%, 浄化槽汚泥混入変動率±20%の施設)				
全施設	92	0.2445	**	低い正の相関
標脱	30	0.5533	**	正の相関

** : $p < 0.01$

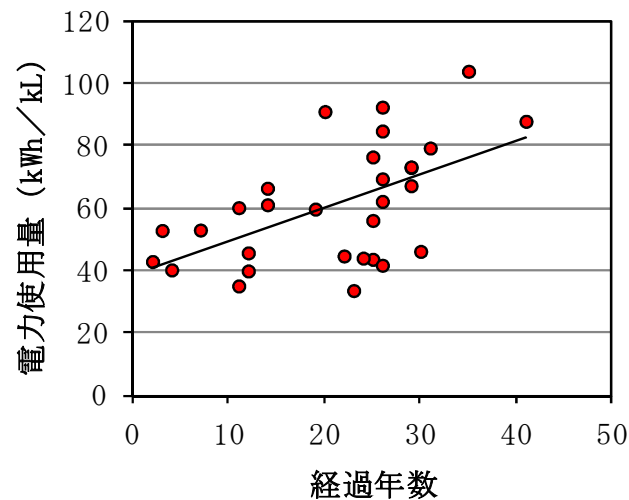


図3-1 施設経過年数と電力使用量
(搬入状況を考慮した再解析－標脱)

3.1.2 施設経過年数と燃料使用量

施設経過年数と燃料使用量との関係では、全施設と使用形態別の全てで有意な相関がみられなかった。搬入状況を考慮した再解析も実施したが、結果に変化はみられなかった。これらの結果から、施設の経年が燃料使用量に与える直接的な影響は小さいと考えられる。

3.1.3 施設経過年数と薬品（使用量、費用）

施設経過年数とメタノール使用量との関係では、膜分離のみ低い負の相関が認められた。搬入状況を考慮した再解析では、膜分離に加えて全施設に低い負の相関が認められ、施設の経年とともに、メタノール使用量が減少する傾向がみられた（表3-3）。メタノールの添加は、生物脱窒素の仕上げに行われるもので、生物学的脱窒素処理の運転管理が適切で窒素分の除去が十分であれば添加が不要となる場合も多い。施設の経年とともに、施設の運転管理も効率的になれば、施設計画時における単位当たりのメタノール使用量を減少させることも可能と判断される。

その他、水処理用凝集剤及び汚泥調質剤については、施設の経年が薬品使用量に与える直接的な影響が小さいと判断された。

施設経過年数と薬品費との関係では、全施設のみに低い負の相関が認められた。搬入状況を考慮した再解析では、全施設において低い負の相関、浄化槽対応において高い負の相関が認められた（表3-4、図3-2）。

生物学的脱窒素処理方式の施設においては、全体としてみれば、施設の経年とともに、単位当たりの薬品費が減少する傾向がみられ、特に浄化槽対応でその傾向が顕著であった。薬品費の経年的な減少は、運転管理技能の蓄積とともに、効率的な薬品利用が徹底されるためと推測され、水処理用凝集剤や汚泥調質剤の影響が小さく、メタノールを含むその他薬品の影響が大きいと考えられる。

また、浄化槽対応では、他の処理方式と比べ、使用する薬品の種類や量が多く薬品費も高くなる傾向を示す¹⁾¹⁾ ために、顕著な傾向がみられたと考えられる。

表3-3 施設経過年数とメタノール使用量の関係

比較対象	施設数 (n)	相関係数 (r)	有意差	相関関係
【搬入状況を考慮しない解析】				
膜分離	83	-0.2440	*	低い負の相関
【搬入状況を考慮した再解析】 (搬入率100±20%, 浄化槽汚泥混入変動率±20%の施設)				
全施設	68	-0.2734	*	低い負の相関
膜分離	30	-0.3687	*	

* : $p < 0.05$

表3-4 施設経過年数と薬品費の関係

比較対象	施設数 (n)	相関係数 (r)	有意差	相関関係
【搬入状況を考慮しない解析】				
全施設	410	-0.2360	**	低い負の相関
【搬入状況を考慮した再解析】 (搬入率100±20%, 浄化槽汚泥混入変動率±20%の施設)				
全施設	82	-0.3725	***	低い負の相関
浄化槽対応	7	-0.9687	***	高い負の相関

** : $p < 0.01$, *** : $p < 0.001$

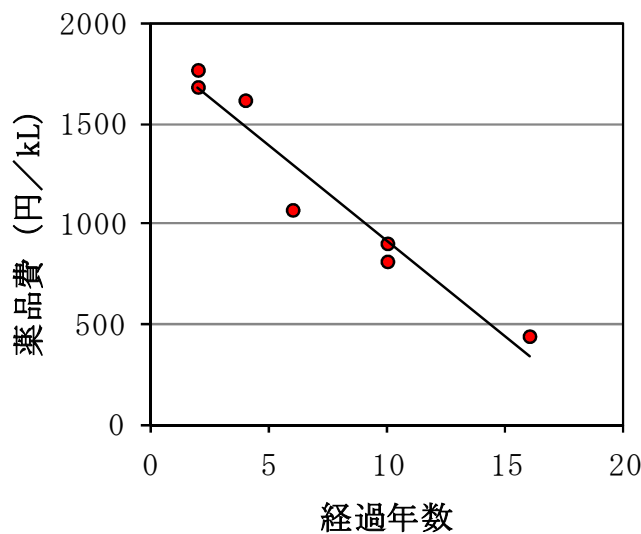


図3-2 施設経過年数と薬品費
(搬入状況を考慮した再解析－浄化槽対応)

3.2 搬入率と処理効率

3.2.1 搬入率と電力使用量

搬入率と電力使用量との関係では、全施設と浄化槽対応以外の処理方式で有意な相関が認められ、搬入率が低下すると単位当たりの電力使用量が増加する傾向がみられた。ただし、この結果には、施設の経年的使用に伴う影響も考えられるため、施設経過年数が10年未満の施設に限定して再度解析（以下「経年的使用を考慮した再解析」という。）したところ、比較的普及年代の古い標脱と高負荷で施設数 n が1桁まで極端に減少した。経年的使用を考慮した再解析では、全施設と膜分離において負の相関が認められ（表3-5、図3-3）、経年的使用を考慮することで、相関係数が高くなる傾向がみられた。

搬入率の低下に伴い、水量負荷と汚濁負荷も減少するため、電力を使用する設備装置の能力は過大となっていく。低負荷対策としては、一般的に水処理設備における水量・空気量の調節、前処理・汚泥処理設備における運転時間の短縮など、運転管理の工夫による対応がとられている。しかし、設備装置の能力が過大な状態では、効率的な運転を行うに限界があるため、低負荷状態が進むにつれ、単位当たりの電力使用量が増加したものと考えられる。

表3-5 搬入率と電力使用量の関係

比較対象	施設数 (n)	相関係数 (r)	有意差	相関関係
【経年的使用を考慮しない解析】				
全施設	410	-0.4304	***	負の相関
標脱	186	-0.4741	***	負の相関
高負荷	112	-0.3936	***	低い負の相関
膜分離	100	-0.5409	***	負の相関
【経年的使用を考慮した再解析】 (施設経過年数10年未満の施設)				
全施設	54	-0.5318	***	負の相関
膜分離	35	-0.6655	***	負の相関

*** : $p < 0.001$

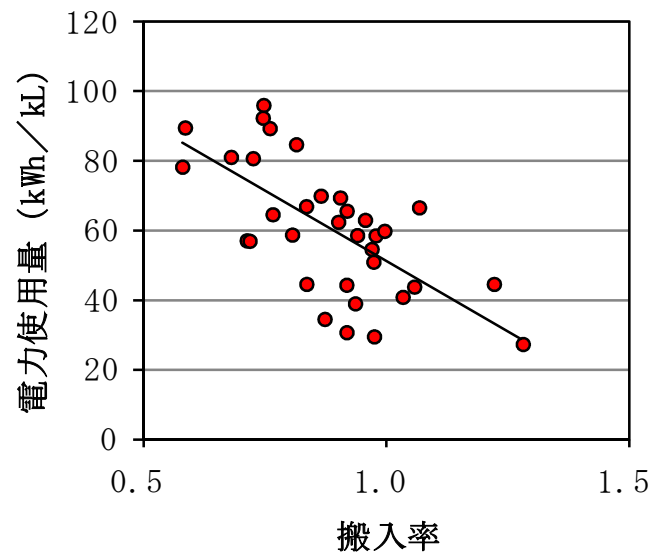


図3-3 搬入率と電力使用量
(経年的使用を考慮した再解析－膜分離)

浄化槽対応については、集計データが搬入率75%以上に集中しているために、有意な相関がみられなかったと判断された。

なお、集計データの散布図をみると、各処理方式の分布状況や傾きは近似しており、電力使用量の平均値が60～68kWh/m³で、その範囲が狭いものとなっている¹¹⁾。搬入率と電力使用量との関係では、処理方式によって大きな違いがないものと推測される。

3.2.2 搬入率と燃料使用量

搬入率と燃料使用量との関係では、全量焼却(n=161施設)のみに低い負の相関(相関係数:-0.3558, p<0.001)が認められ、搬入率の低下とともに単位当たりの燃料使用量が増加する傾向がみられた。経年的使用を考慮した再解析でも、全量焼却(n=5施設)のみに高い負の相関(相関係数:-0.9663, p<0.01)が認められ、経年的使用を考慮しない場合と比べ、相関係数が高くなる傾向がみられた。

その他の使用形態別で有意な相関が得られなかった理由としては、解析に必要な一定のn数を確保できなかったこと、全量焼却と比べ燃料の使用条件が各施設で若干異なることなどが挙げられる。

3.2.3 搬入率と薬品(使用量、費用)

搬入率と水処理用凝集剤使用量との関係では、硫酸バンド、塩化第二鉄及び高分子凝集剤において、低い負の相関が認められた(表3-6)。

表3-6 搬入率と水処理用凝集剤使用量の関係

比較対象	施設数 (n)	相関係数 (r)	有意差	相関関係
【経年的使用を考慮しない解析】				
硫酸バンド	140	-0.2180	**	低い負の相関
塩化第二鉄	27	-0.3915	*	
高分子凝集剤	249	-0.2227	***	

* : p<0.05, ** : p<0.01, *** : p<0.001

経年的使用を考慮した再解析では、相関が認められた水処理用凝集剤全てで施設数 n が激減し、バラツキの度合も大きくなって有意な相関がみられなくなった。

しかし、「3.3」で得られた施設経過年数が水処理用凝集剤の使用量に与える影響が少ないという検討結果から判断すれば、硫酸バンド、塩化第二鉄及び高分子凝集剤については、搬入率の低下とともに、単位当たりの使用量が増加していく可能性があると推測される。

その他、汚泥調質剤及びメタノールについては、搬入率の低下が薬品使用量に与える直接的な影響が小さいと判断された。

薬品費との関係では、全施設及び処理方式の全てで有意な相関がみられず、経年的使用を考慮した再解析でも同様の結果となった。これらの結果より、搬入率が低下すると、一部の薬品使用量が増加する可能性はあるものの、その他の要因に相殺され薬品費に直接影響が出にくいと判断される。

3.3 BOD負荷変動率と処理効率

3.3.1 BOD負荷変動率と電力使用量

BOD負荷変動率と電力使用量との関係では、全施設と浄化槽対応を除く全ての処理方式で有意な相関が認められ、BOD負荷率が低下すると単位当たりの電力使用量が増加する傾向がみられた。各々に経年的使用を考慮した再解析を実施したところ、電力使用量との間には、全施設と膜分離において負の相関が認められ、どちらも経年的使用を考慮することで、相関係数が高くなる傾向がみられた（表3-7、図3-4）。

浄化槽対応については、集計データのBOD負荷変動率が0.8～1.0の範囲に集中しているために、有意な相関がみられなかったと判断された。

BOD負荷変動率と電力使用量の検討結果は、「3.4」で示した搬入率と電力使用量の検討結果と同様な内容となっている。これは、搬入率と浄化槽汚泥混入率が反比例の関係にあり、搬入率が低下すると、その割合に応じて浄化槽汚泥混入率が上昇し、搬入汚濁濃度の希薄化が同時に起きているためと考えられる。全国的な搬入状況³⁾をみても、搬入量の減少割合は、し尿よりも浄化槽汚泥の方が小さくなっており、搬入率の低下と浄化槽汚泥混入率の上昇が同時に起きている。

表3-7 BOD負荷変動率と電力使用量の関係

比較対象	施設数 (n)	相関係数 (r)	有意差	相関関係
【経年的使用を考慮しない解析】				
全施設	400	-0.3265	***	低い負の相関
標脱	178	-0.3543	***	低い負の相関
高負荷	110	-0.3362	***	低い負の相関
膜分離	100	-0.5070	***	負の相関
【経年的使用を考慮した再解析】 (施設経過年数10年未満の施設)				
全施設	54	-0.5687	***	負の相関
膜分離	34	-0.6544	***	負の相関

*** : $p < 0.001$

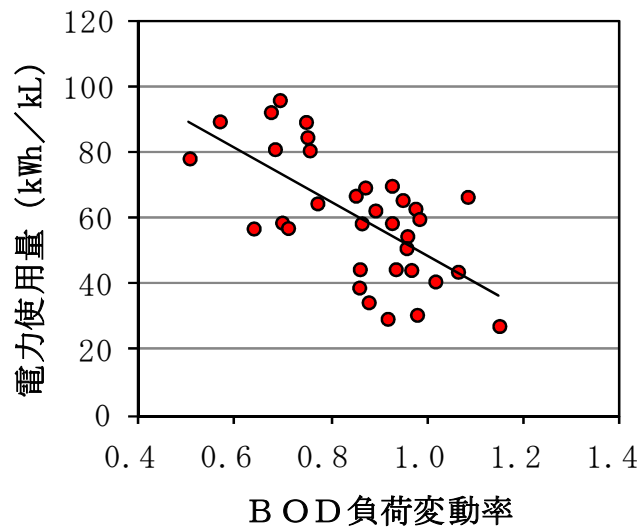


図3-4 BOD負荷変動率と電力使用量
(経年的使用を考慮した再解析－膜分離)

3.3.2 BOD負荷変動率と燃料使用量

BOD負荷変動率と燃料使用量との関係では、全量焼却のみに低い負の相関($n=160$ 施設, 相関係数: -0.3144 , $p<0.001$)が認められた。経年的使用を考慮した再解析を実施したところ、燃料使用量との間では、全施設($n=36$ 施設)において低い負の相関(相関係数: -0.3681 , $p<0.05$)、全量焼却($n=5$ 施設)において高い負の相関(相関係数: -0.9102 , $p<0.05$)が認められた。

生物学的脱窒素処理を行う施設においては、全体としてみれば、BOD負荷変動率の低下とともに、単位当たりの燃料使用量が増加する傾向がみられ、特に全量焼却でその傾向が顕著であった。全量焼却では、一部焼却や焼却なしの場合と比べ、単位当たりの燃料使用量に施設ごとの変動が少ないために、顕著な傾向がみられたと考えられる。

3.3.3 BOD負荷変動率と薬品（使用量、費用）

BOD負荷変動率と水処理用凝集剤使用量との関係では、塩化第二鉄($n=27$ 施設)において負の相関(相関係数: -0.4727 , $p<0.05$)、高分子凝集剤($n=241$ 施設)において低い負の相関(相関係数: -0.2128 , $p<0.001$)が認められた。経年的使用を考慮した再解析では、各水処理用凝集剤の施設数 n が激減し、バラツキの度合も大きくなって、全ての水処理用凝集剤で有意な相関がみられなくなった。

しかし、搬入率と水処理用凝集剤使用量との関係と同様に、塩化第二鉄及び高分子凝集剤については、BOD負荷変動率の低下とともに、単位当たりの使用量が増加していく可能性があると考えられる。

汚泥調質剤及びメタノールについては、BOD負荷変動率の低下が薬品使用量に与える直接的な影響が小さいと判断された。

薬品費との関係では、全施設と全ての処理方式で有意な相関がみられなかった。経年的使用を考慮した再解析も実施したが、結果は同じであった。

これらの結果より、BOD負荷が低下すると、一部の薬品使用量が増加する可能性があるものの、その他の要因に相殺され、薬品費に直接影響が出にくいと判断される。

3.4 前項における検討結果の補完

前項で行ったBOD負荷変動率と処理効率の検討結果を補完するため、T-N(全窒素)負荷変動率と電力・燃料・薬品の関係についても検討を行ったところ、全ての検討対象でBOD負荷変動率と同様な結果が得られた。表3-8に経年的使用を考慮した場合におけるT-N負荷変動率と電力使用量・燃料使用量の検討結果を示す。

また、し尿・汚泥集約処理センターの処理効率に与えるその他の要因として、搬入汚濁濃度変動率(BOD、T-N)とユーティリティ(使用量、費用)の関係も検討し、搬入状況や経年的使用を考慮した再解析も実施したが、全ての検討対象において、妥当性の高い相関はみられなかった。搬入汚濁濃度(BOD, T-N)の変動は、ユーティリティの使用量や費用に与える直接的な影響が小さいと判断される。

表3-8 T-N負荷変動率と電力・燃料使用量の関係
(施設経過年数10年未満の施設)

比較対象		施設数 (n)	相関係数 (r)	有意差	相関関係
電力	全施設	54	-0.5345	***	負の相関
	膜分離	34	-0.6039	***	負の相関
燃料	全施設	36	-0.4109	*	低い負の相関
	全量焼却	5	-0.8807	***	高い負の相関

* : $p < 0.05$, *** : $p < 0.001$

3.5 処理効率低下の目安

ここでは、施設の経年的使用や搬入状況を考慮した再解析において、施設数 n が10以上（全施設の場合は、区分別施設数が各々10以上）、相関係数 r が0.5以上の解析結果を使って、処理効率低下の目安を検討した（図3-5）。施設経過年数との関係では、経過年数5年で14%程度、10年で28%程度、搬入率との関係では、搬入率0.9で16%程度、0.8で32%程度、BOD負荷変動率との関係では、変動率0.9で17%程度、0.8で34%程度、単位当たり電力使用量の増加が見込まれる。施設の経年的使用と搬入状況の変化が同時に進行すると、単位当たりの電力使用量が著しく増加することが分かった。

また、燃料使用量に関する処理効率低下の目安については、搬入率又はBOD負荷変動率との検討に当たって、解析区分ごとに十分な施設数 n を確保する必要性が示唆された。

し尿・汚泥集約処理センターの維持管理において、電力費がユーティリティコストに占める割合は5割近くに達している¹¹⁾。し尿・汚泥集約処理事業の計画に、施設の経年的使用や搬入状況の変化に伴う単位当たり電力使用量の変化を見込むことで、施設のライフサイクルを通して、より効率的で妥当性の高い整備・運営が可能になると判断される。

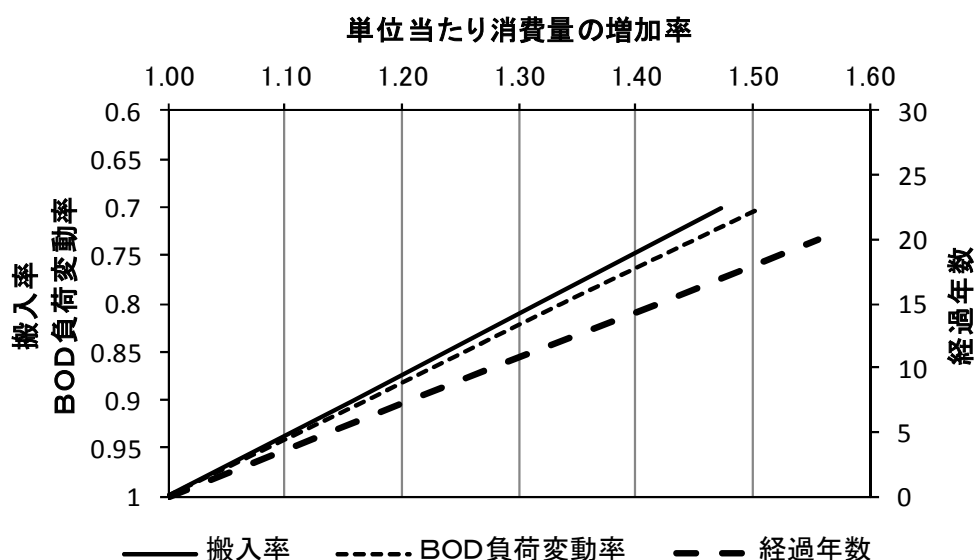


図3-5 処理効率低下の目安

第4節 要 約

本章では、し尿・汚泥集約処理センターの維持管理に関するアンケート調査で得られた生物学的脱窒素処理方式の施設(計413ヶ所)に関する包括的な情報を解析し、施設の経年的使用(施設経過年数)や搬入状況の変化(搬入率、搬入汚濁負荷変動率)が処理効率に与える影響を検討した。

施設の経年的使用と電力使用量に関しては、全施設及び標脱において、施設の経年とともに単位当たり使用量(kWh/m^3)が増加する傾向がみられ、処理効率低下の目安を得ることができた。搬入状況の変化と電力使用量に関しても、全施設と膜分離において、搬入率や搬入汚濁負荷変動率が低下すると単位当たり使用量が増加する傾向がみられ、処理効率低下の目安が得られた。

し尿・汚泥集約処理事業の計画に、施設の経年的使用や搬入状況の変化による単位当たり電力使用量の変化を見込むことで、施設のライフサイクルを通して、より効率的で妥当性の高い整備・運営が可能になると判断された。

一方、施設の経年的使用は、燃料使用量に与える影響が小さいと考えられた。搬入状況の変化と燃料使用量に関しては、全施設において、搬入汚濁負荷変動率の低下とともに単位当たり使用量(L/m^3)が増加する傾向、全量焼却において、搬入率や搬入汚濁負荷変動率の低下とともに単位当たり使用量が増加する傾向がみられた。処理効率低下の目安については、解析区分ごとに十分な施設数 n を確保する必要性が示唆された。

施設の経年的使用とメタノール使用量に関しては、全施設及び膜分離において、施設の経年とともに単位当たり使用量(g/m^3)が減少する傾向がみられた。

施設の経年的使用と薬品費に関しては、全施設及び浄化槽対応において、施設の経年とともに単位当たりの費用($\text{円}/\text{m}^3$)が減少する傾向がみられた。薬品費の経年的な減少は、運転管理技能の蓄積とともに、効率的な薬品利用が徹底されるためと推測された。

搬入状況の変化と水処理用凝集剤使用量に関しては、硫酸バンド、塩化第二鉄及び高分子凝集剤において、搬入率や搬入汚濁負荷変動率の低下とともに単位当たり使用量(g/m^3)が増加する可能性が示唆された。

第4章 し尿・浄化槽汚泥における標準的性状の抽出と性状分析の効率化

第1節 緒言

し尿・浄化槽汚泥の性状は、し尿・汚泥集約処理センターの建設や運転管理における重要なファクターである。

しかし、し尿・汚泥集約処理を担う多くの自治体では、処理の財源や専門技術者の不足が顕著な課題としてあげられており^{1~2)}、し尿・浄化槽汚泥の性状分析を適切な頻度で実施することが困難な状況と推察される。

過去の整備実績をみると、公表されているし尿・浄化槽汚泥の標準性状³⁾が、し尿・汚泥集約処理センターの計画・設計に利用されているのが実情となっている。公表されている標準性状（表4-1）は、し尿・汚泥集約処理センターの精密機能検査結果（平成13～15年度）を収集・解析して抽出されたもの⁴⁾であり、その後10年以上が経過している。

し尿・汚泥集約処理センターに搬入されるし尿・浄化槽汚泥の性状は、生活排水処理体系や人々のライフスタイルにより異なり、我が国固有のものである。

過去の文献では、平成18年度以前の精密機能検査結果を使ったし尿・浄化槽汚泥の性状に関する報告⁵⁾もみられるが、近年の実態を反映したものとは言いがたい。その他の既往文献をみても、個別の事例報告が主体^{6~8)}で、し尿・浄化槽汚泥の性状に関する実態をし尿・汚泥集約処理センターの立場から包括的に捉えた報告^{9~12)}はなく、BODとCODの濃度相関など、分析項目間の相関関係を検討した報告事例もみられない。

近年では、し尿・浄化槽汚泥の排出原単位（1人1日当たりの排出量）が増加の傾向^{13~14)}を示しており、し尿・浄化槽汚泥ともに性状の希薄化が懸念される状況である。

近年の実態に即したし尿・浄化槽汚泥の性状を抽出できれば、施設整備の効率化と施設機能の適正化が可能で、建設コストの削減にも寄与できる。また、し尿・浄化槽汚泥それぞれの性状解析において、各分析項目の濃度間に有意な相関が認められれば、相関式を使った濃度推計などにより、性状分析自体の簡略化が図れ、効率性や迅速性を高めることが可能となろう。

そこで本章では、現状の実態に見合った標準的なし尿・浄化槽汚泥性状の抽出と性状分析自体の効率化を目的として、アンケート調査で得られたデータをもとに、し尿・浄化槽汚泥の性状に関する解析と検討を行った。

表4-1 公表されている標準性状

[非超過確率値]

項目	(単位)	50% 値		75% 値	
		し尿	浄化槽汚泥	し尿	浄化槽汚泥
搬入性状					
p H	—	7. 6	6. 9	7. 9	7. 2
B O D	(mg/L)	7, 300	2, 900	10, 000	5, 400
C O D	(mg/L)	4, 500	3, 200	5, 800	5, 000
S S	(mg/L)	8, 300	7, 600	11, 000	12, 000
T－N	(mg/L)	2, 600	620	3, 300	1, 200
T－P	(mg/L)	310	100	450	190
C l [－]	(mg/L)	2, 100	160	2, 600	640
除渣性状					
p H		7. 6	6. 7	7. 8	7. 1
B O D	(mg/L)	6, 900	3, 100	9, 200	4, 500
C O D	(mg/L)	3, 900	3, 500	4, 800	4, 700
S S	(mg/L)	5, 100	7, 500	9, 000	11, 000
T－N	(mg/L)	2, 300	650	2, 700	1, 000
T－P	(mg/L)	240	120	370	200
C l [－]	(mg/L)	1, 800	190	2, 100	520

第2節 調査対象並びに方法

2.1 対象データと検討項目

検討対象としたデータは、し尿・汚泥集約処理センターの維持管理に関するアンケート調査から、し尿及び浄化槽汚泥の搬入性状と除渣性状（ドラムスクリーン等による夾雑物除去後の性状）に関する分析結果を抽出したものである。アンケート調査は、平成22年度に全国で稼働中のし尿・汚泥集約処理センター989カ所を対象として実施し、617カ所の施設から回答を得ており、内109カ所の施設で、し尿・浄化槽汚泥の性状分析が行われていた。解析及び検討を行う項目としては、し尿・汚泥集約処理センターの整備計画策定時や維持管理の目安で利用される pH、BOD、COD、SS、T-N（全窒素）、T-P（全リン）、塩化物イオンを選定した。

2.2 方法

抽出した性状データは、ヒストグラム及びヘーズンプロット（正規確率プロット、対数正規確率プロット）を用いて、検討項目毎にデータ分布の状況を事前確認した。その上で、各検討項目の分布型を正規分布型と対数正規分布型に区分し、棄却検定を実施した。棄却検定の方法としては、各検討項目それぞれの分布型に応じて、標準偏差の2倍を超えるデータの棄却により、外れ値の確認と棄却を行った。その他の検定方法についても実施し比較検討したが、顕著な違いは見られなかった。外れ値に関しては、各検討項目におけるデータの分布状況や当該データの関連資料（分析方法、採取場所、採取条件、設備構成等）から棄却の妥当性を検証した。表4-2に棄却検定後のデータ数と分布範囲を示す。

し尿及び浄化槽汚泥の性状に関する解析と検討では、再度、非超過確率分布への当てはめを行い、各検討項目におけるデータの分布状況を確認した。分布特性とバラツキの検討、非超過確率値の算定など、各検討項目の分布型（正規分布適合型、対数正規分布適合型）を考慮した統計処理と解析を実施し、公表されている標準性状との比較を行った。

検討項目間の相関関係では、性状分析の簡略化や迅速化を念頭に、利便性を重視した検討、即ち全ての検討項目を正規分布近似型とする解析を実施した。

表4-2 各検討項目におけるデータの数と分布範囲

項目	データ数		データの分布範囲		
	し尿	浄化槽汚泥	し尿	浄化槽汚泥	(単位)
搬入性状					
p H	104	104	5.8～8.5	4.9～8.4	—
B O D	101	100	1,300～13,000	140～5,800	(mg/L)
C O D	102	99	1,000～8,100	220～6,500	(mg/L)
S S	102	100	910～17,000	330～17,000	(mg/L)
T－N	102	100	340～4,800	70～1,400	(mg/L)
T－P	44	44	83～810	27～690	(mg/L)
C l ⁻	97	98	77～3,500	22～710	(mg/L)
除渣性状					
p H	104	107	5.9～8.6	5.2～9.3	—
B O D	102	101	1,900～10,000	320～5,300	(mg/L)
C O D	101	104	820～6,100	350～5,300	(mg/L)
S S	104	106	330～15,000	510～14,000	(mg/L)
T－N	101	102	700～3,200	120～1,500	(mg/L)
T－P	71	75	76～390	23～300	(mg/L)
C l ⁻	92	97	220～2,200	35～1,600	(mg/L)

第3節 調査結果並びに考察

3.1 検討項目のデータ分布

し尿・浄化槽汚泥の性状データ（表4-2）は、各検討項目ともデータが広い範囲に分布している。ヘージンプロットを用いて、非超過確率分布への当てはめを行った結果を図4-1及び図4-2に示す。

し尿の性状では、搬入し尿のT-Pを除く全ての検討項目において、正規確率プロットから求められた回帰近似直線の決定係数（ r^2 ）が0.9以上となっており、得られた非超過確率値と良好な相関関係を有し、正規確率から求められた分布型によく適合している。搬入し尿のT-Pについては、対数正規確率プロットから求められた回帰近似直線の決定係数（ r^2 ）が0.9以上であり、対数正規確率を前提とした分布によく従っている。

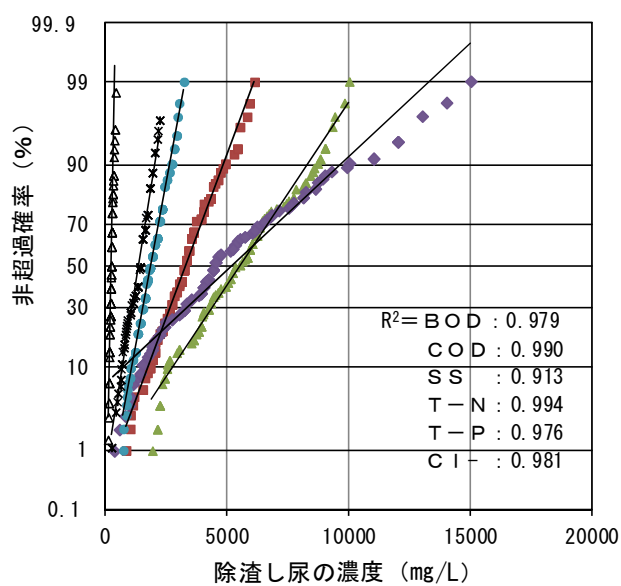
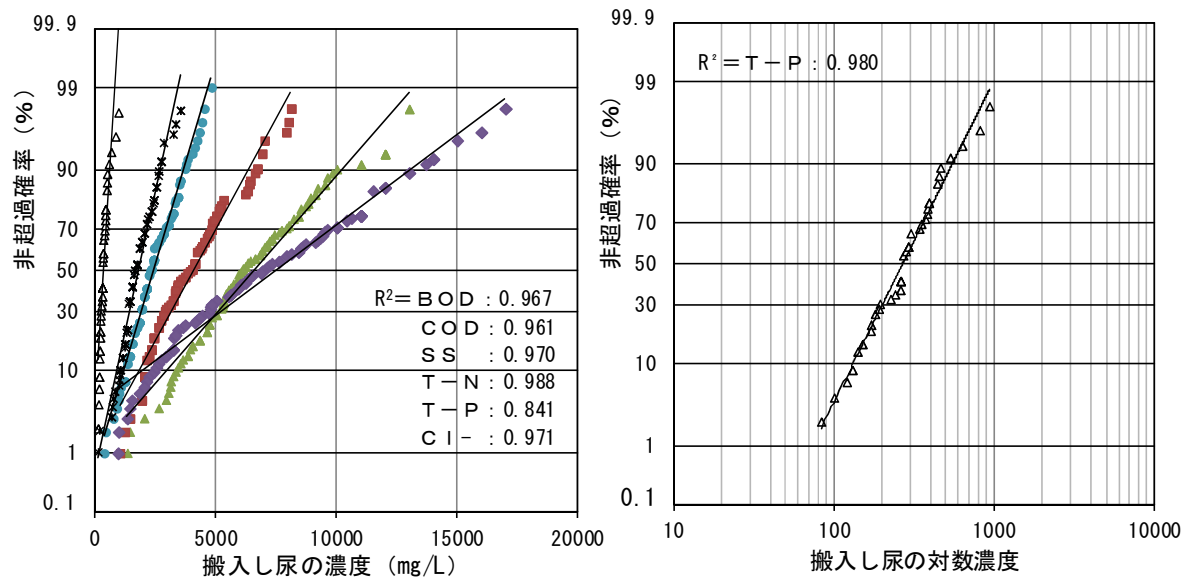
一方、浄化槽汚泥の性状では、搬入浄化槽汚泥のT-Pと塩化物イオン、除渣浄化槽汚泥の塩化物イオンを除く検討項目において、正規確率分布を前提とした分布によく従っている。搬入浄化槽汚泥のT-Pと塩化物イオン、除渣浄化槽汚泥の塩化物イオンについては、対数正規確率を前提とした分布型によく適合している。

以上のことから、し尿及び浄化槽汚泥の性状は、いずれの検討項目も、正規または対数正規による非超過確率分布によく適合していることが確認された。

3.2 データ分布の特性とバラツキ

データ分布の左右対称性を示す歪度の値は、搬入し尿・搬入浄化槽汚泥のT-P及び搬入・除渣浄化槽汚泥の塩化物イオンを除き、0～1の範囲となっており、左右への偏りが少ないと判断された。搬入し尿・搬入浄化槽汚泥のT-P及び搬入・除渣浄化槽汚泥の塩化物イオンは、歪度が1.4～2.0で、やや左に偏った分布となっていた。

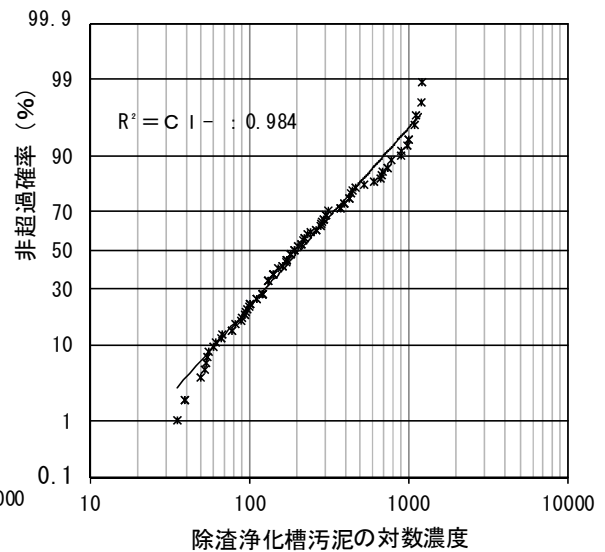
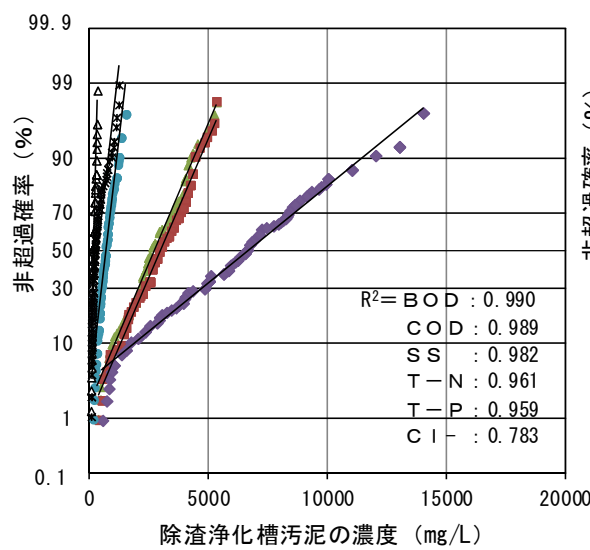
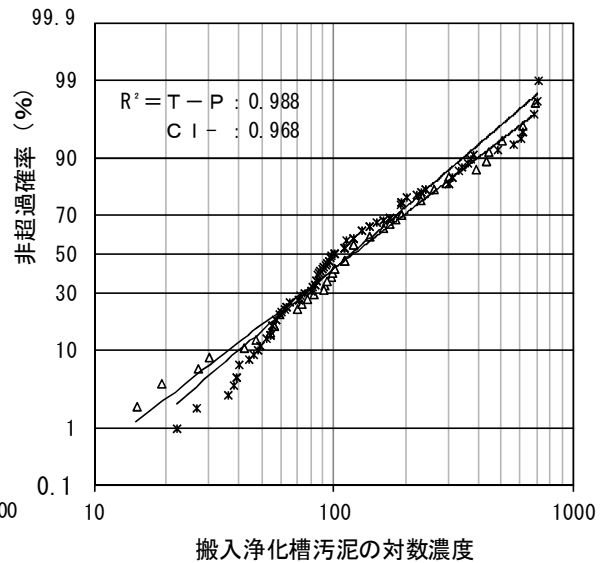
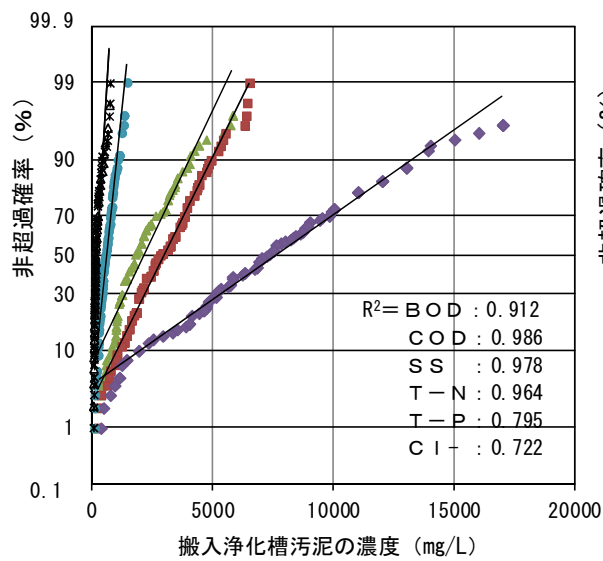
分布の尖り具合を示す尖度の値は、搬入し尿・搬入浄化槽汚泥のT-P及び搬入・除渣浄化槽汚泥の塩化物イオンを除き、0～1の範囲となっており、正規分布に近い尖り具合と考えられた。搬入し尿・搬入浄化槽汚泥のT-P及び搬入・除渣浄化槽汚泥の塩化物イオンは、尖度が2.2～3.6で、データが平均値の周りに集中して尖った状態にあることが確認された。



〈凡例〉

▲ BOD	■ COD	◆ SS
● T-N	△ T-P	* C I ⁻

図4-1 し尿性状の確率分布



〈凡例〉

▲ BOD	■ COD	◆ SS
● T-N	△ T-P	* Cl ⁻

図4-2 浄化槽汚泥性状の確率分布

これらの結果から、搬入し尿のT－P、搬入浄化槽汚泥のT－P及び搬入・除渣浄化槽汚泥の塩化物イオンが対数正規分布型、その他の検討項目は正規分布型の特徴を有していることが確認され、非超過確率分布への当てはめ結果と整合する結果が得られた。

表4-3に示すように、変動係数は、搬入性状、除渣性状ともに、SSを除いた検討項目で浄化槽汚泥が大きくなっており、し尿と比べてデータ分布におけるバラツキの程度が大きいことが確認された。し尿及び浄化槽汚泥の性状設定では、し尿よりも浄化槽汚泥において、より安全側での濃度設定を行う必要性が示唆された。

表4-3 データ分布のバラツキ

項目	(単位)	平均値		標準装備 (SD)		変動係数	
		し尿	浄化槽汚泥	し尿	浄化槽汚泥	し尿	浄化槽汚泥
搬入性状							
p H	—	7.6	6.9	0.39	0.54	0.051	0.077
B O D	(mg/L)	6,500	2,100	2,600	1,300	0.40	0.64
C O D	(mg/L)	4,000	2,900	1,700	1,500	0.42	0.50
S S	(mg/L)	7,400	7,500	4,000	4,100	0.55	0.54
T－N	(mg/L)	2,400	570	940	310	0.40	0.54
T－P	(mg/L)	290	180	140	150	0.50	0.88
C l [－]	(mg/L)	1,700	160	670	160	0.39	0.98
除渣性状							
p H	—	7.5	6.8	0.53	0.66	0.071	0.097
B O D	(mg/L)	5,500	2,700	2,100	1,200	0.38	0.46
C O D	(mg/L)	3,200	2,900	1,200	1,200	0.36	0.43
S S	(mg/L)	5,200	6,500	3,200	3,500	0.63	0.53
T－N	(mg/L)	1,800	680	580	330	0.32	0.48
T－P	(mg/L)	210	140	67	71	0.33	0.52
C l [－]	(mg/L)	1,300	350	480	380	0.37	1.10

3.3 非超過確率値

非超過確率値の解析結果は、表4-4に示すとおりである。し尿に係る検討項目の非超過確率値は、搬入性状に比べ除渣性状の値が低くなる傾向がみられ、夾雑物除去装置で使用する洗浄水等の影響が考えられた。浄化槽汚泥に係る検討項目では、逆に除渣性状の方が、搬入性状よりも値が高くなる傾向がみられ、特にBOD、T-N、塩化物イオンで顕著であった。

表4-4 非超過確率値の解析結果

項目 (単位)	50%値		75%値		84%値	
	し尿	浄化槽汚泥	し尿	浄化槽汚泥	し尿	浄化槽汚泥
搬入性状						
pH	—	7.6	7.0	7.9	7.4	8.0
BOD (mg/L)	6,100	1,700	7,800	2,600	8,700	3,100
COD (mg/L)	4,000	2,800	5,100	3,800	5,600	4,300
SS (mg/L)	6,900	7,300	9,600	10,000	11,000	11,000
T-N (mg/L)	2,300	540	2,900	740	3,200	850
T-P (mg/L)	260	110	360	210	400	260
Cl ⁻ (mg/L)	1,600	99	2,000	210	2,300	260
除渣性状						
pH		7.5	6.8	7.9	7.2	8.0
BOD (mg/L)		5,400	2,500	6,800	3,300	7,500
COD (mg/L)		3,200	2,900	4,000	3,700	4,400
SS (mg/L)		4,400	6,600	6,600	8,900	7,600
T-N (mg/L)		1,800	630	2,200	850	2,400
T-P (mg/L)		210	130	260	180	280
Cl ⁻ (mg/L)		1,400	190	1,700	440	1,900

これには、いくつかの要因が考えられる。まず、し尿・汚泥集約処理センターには、単独処理浄化槽汚泥、合併処理浄化槽汚泥及び集落排水施設汚泥が区分なく浄化槽汚泥として搬入される。搬入浄化槽汚泥の場合は、バキューム車の排出口付近で採取されるため、単独処理浄化槽汚泥と合併処理浄化槽汚泥のいずれか一方、あるいはその混合物を対象とするのがほとんどで、最も性状が高濃度な集落排水施設汚泥の混合がないものと推測される。また、塩化物イオン濃度に着目すると、搬入浄化槽汚泥の値は、除渣浄化槽汚泥の 1/2 程度となっているが、どちらも文献値^{1 5)} と比べて高めの値がみられ、し尿と浄化槽汚泥のバキューム車混載による影響が推測される。バキューム車の混載では、一般に浄化槽汚泥の混入比率が高いと想定されるため、浄化槽汚泥系列への搬入が見込まれる。搬入浄化槽汚泥の採取では、収集業者の協力を得て行われており、し尿を混載したものが採取対象から外される割合が高いと考える方が妥当であろう。除渣浄化槽汚泥の場合は、性状均質化のために十分な容量を確保した貯留槽またはその出口付近で採取されるため、集落排水汚泥及び混載し尿の影響が反映されたものと判断できる。

し尿・浄化槽汚泥の性状設定において、標準性状を用いる場合には、集計データのバラツキを考慮して、し尿が非超過確率50%値、浄化槽汚泥が非超過確率75%値の採用が推奨されている。³⁾ 故にし尿の非超過確率50%値及び浄化槽汚泥の非超過確率75%値に関して、レーダーチャートを用いて標準性状と解析結果の比較を試みた(図4-3)。検討項目別で標準性状と比較してみると、し尿の搬入濃度と除渣濃度は、各検討項目とも、概ね10~20%程度の減少率であり、検討項目間の濃度変動割合に極端な違いやチャートパターンに大きな変化はみられない。従って、各検討項目の濃度が低下した原因としては、水等による希釈、すなわち、簡易水洗便所の普及と、便器や便槽の洗浄水量等が増加した影響が考えられる。

浄化槽汚泥に係る標準性状と解析結果の比較をみると、搬入性状では、各検討項目の濃度変動割合に明らかな違いがみられ、チャートパターンも大きく変化している。一方、浄化槽汚泥の除渣性状では、各検討項目とも標準性状と比べ概ね10~30%程度の減少率となっている。搬入浄化槽汚泥において、標準性状からの変化が大きな理由は、採取対象に偏りがあることが要因の1つと考えられる。

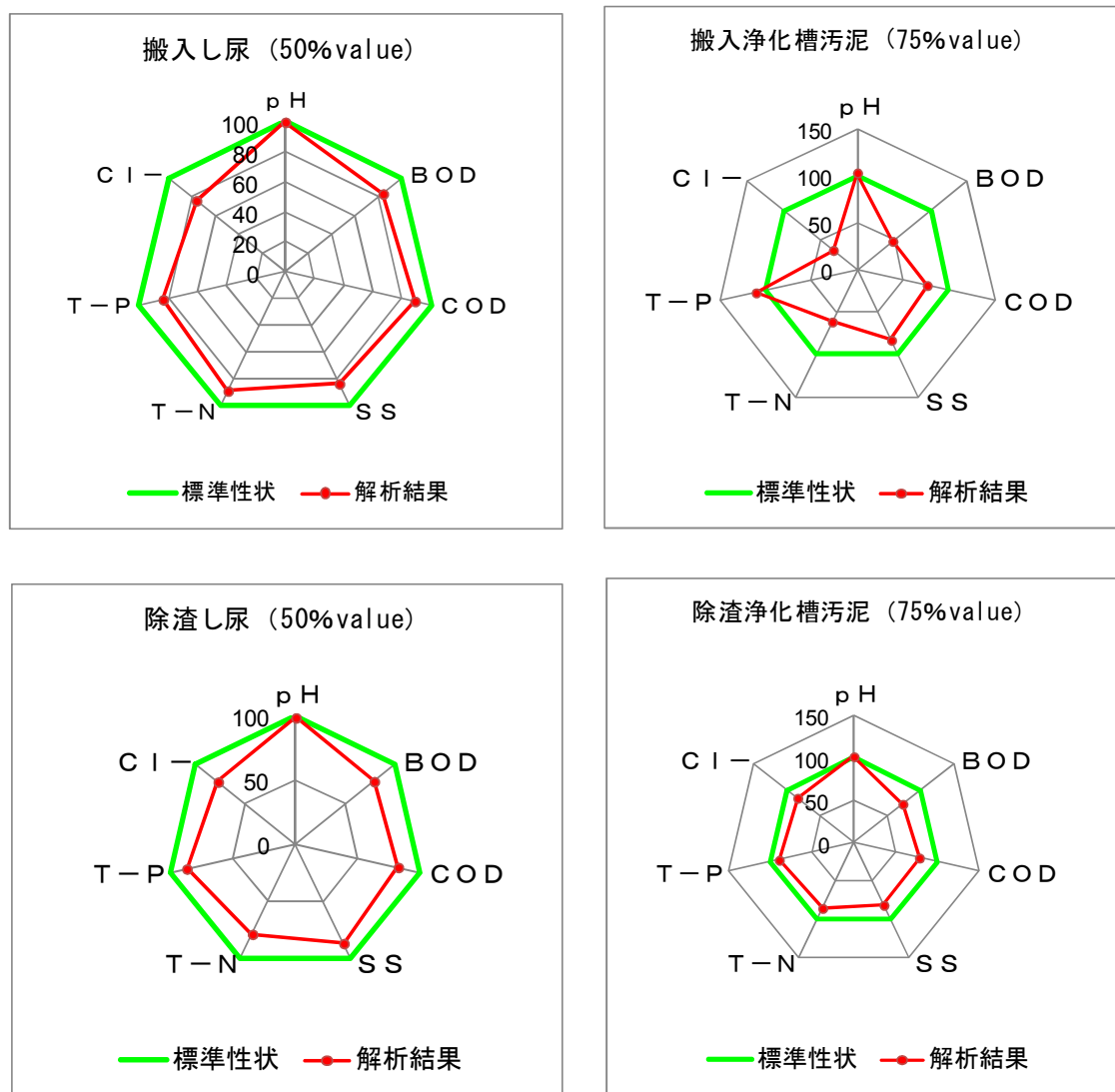


図4-3 標準性状と解析結果の比較

ただし、除渣浄化槽汚泥でも、BODの減少割合が他の検討項目と比べて大きくなっており、標準性状の設定時から浄化槽汚泥の性状が徐々に変化してきていると判断される。この理由としては、①浄化槽（特に小型合併処理）の普及、②みなし浄化槽（単独処理）の減少、③浄化槽の適正な管理と清掃の実施、等に伴い、合併処理由来の汚泥割合が相対的に増加し、長く放置された汚泥の搬入も少なくなってきたことが原因と考えられる。

し尿・汚泥集約処理センターの整備では、汚濁負荷量（汚濁濃度×汚水量）という概念で、BODやT-Nの濃度が生物学的脱窒素処理システムの計画・設計に、T-P濃度が高度処理システムの計画・設計に用いられている。標準性状と解析結果を除渣性状の汚濁負荷ベース（濃度×汚水量）として比較してみると、BOD負荷で22～27%、T-N負荷で15～22%、T-P負荷で10～13%程度の減少が考えられる。近年、標準性状を基に設計・建設されたし尿・汚泥集約処理センターでは、建設当初からし尿・汚泥集約処理能力が過大になっていることが示唆された。

表4-4の解析結果は、標準性状（表4-1）と比べると全般的に低めの値となっている。搬入・除渣し尿及び除渣浄化槽汚泥の解析結果については、分布特性の検討や標準性状との比較から、より現状の実態に近い性状と考えられ、し尿・浄化槽汚泥の性状設定において利用可能と判断された。

搬入浄化槽汚泥の非超過確率値についても、集落排水汚泥の搬入やバキューム車でのし尿混載がない地域であれば、性状設定の目安になると考えられた。

表4-4を用いる場合には、比較的把握しやすいCODやSSなどの実績データが相応にあれば、その統計処理数値（平均値、中央値、標準偏差等）を表4-3、4-4と比較し、近似性の高い非超過確率値における各検討項目の数値を採用することで、より妥当性の高い性状設定が可能になる。

3.4 検討項目間の相関関係

し尿・汚泥集約処理センターにおいては、し尿及び浄化槽汚泥の性状分析を適切な頻度で実施し、性状変化を速やかに把握して運転管理に反映させる必要がある。しかし、性状分析に係る技術者、設備装置及び財源の不足から、頻度的にも、迅速性においても、性状分析を満足に行えない施設が多いと推察された。検討項目間の相関関係では、性状分析の簡略化や迅速化を念頭に、利便性や使い勝手の良い解析結果が要求される。そこで、図4-1及び図4-2において、正規確率プロットから求められた決定係数（ r^2 ）が各検討項とも0.7以上と高めの相関が得られていることに着目し、検討項目全てを正規分布近似型とする解析を実施した。なお、搬入浄化槽汚泥の性状データについては、採取対象の偏りに起因する影響が考えられることから、以降の解析において参考値（図表に#表示）として扱う。

対数正規分布適合型に分類した搬入し尿のT-Pと搬入浄化槽汚泥の塩化物イオンに関するヒストグラムは、図4-4に示すとおりである。搬入浄化槽汚泥のT-P及び除渣浄化槽汚泥の塩化物イオンについても、図4-4に類似する度数分布の傾向が得られている。

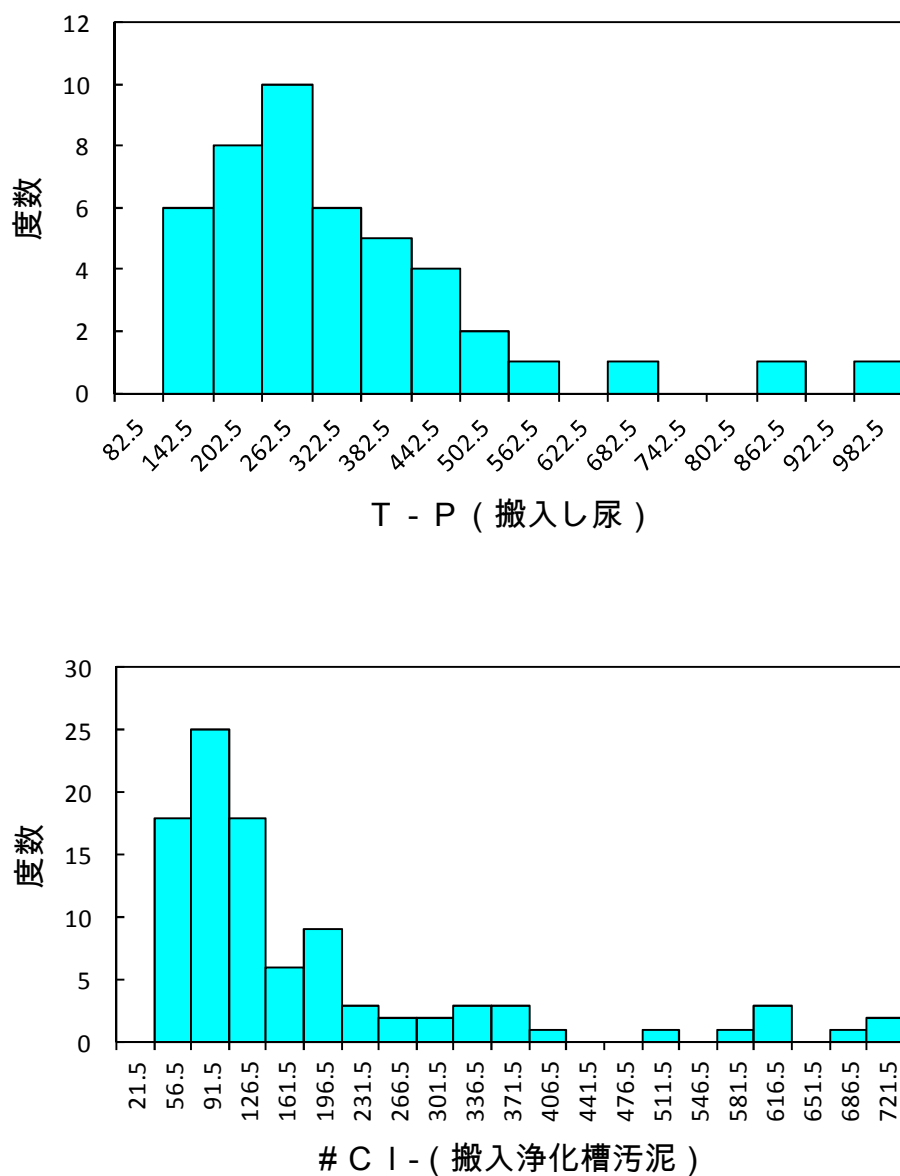


図4-4 対数正規分布適合型のヒストグラム

検討項目間における相関係数の解析では、表 4-5 に示すように、検討対象とした項目間の約 8 割で有意な相関がみられた。JIS K0102、下水試験方法、環境省告示第 59 号などで規定される各検討項目の測定方法を比較すると、比較的簡単な操作で分析可能な COD、SS、塩化物イオンに比べ、BOD、T-N、T-P は、分析作業が繁雑となっている。COD、SS、塩化物イオンの既知濃度を使って、BOD、T-N、T-P の濃度が予測できれば、性状把握の簡略化が図れ、効率性や迅速性を高めることができる。

このような観点から、表4-5を検討すると、搬入性状では、搬入し尿の COD、SS、塩化物イオンが、BOD、T-N、T-P との間でそれぞれ有意な相関が認められる。

搬入浄化槽汚泥では、COD、SS が、BOD、T-N、T-P との間で、塩化物イオンが BOD、T-N との間でそれぞれ有意な相関が認められる。

COD、SS、塩化物イオンの相互関係では、搬入性状のし尿、浄化槽汚泥とも、COD と SS の間に高い正の相関（図4-5）が認められるが、COD と塩化物イオンあるいは SS と塩化物イオンの間で相関係数が低めの値となっている。

除渣性状では、除渣し尿の COD、SS が、BOD、T-P との間で、塩化物イオンが BOD、T-N、T-P との間でそれぞれ有意な相関が認められる。

除渣浄化槽汚泥の COD、SS、塩化物イオンは、BOD、T-N、T-P との間でそれぞれ有意な相関が認められる。

COD、SS、塩化物イオンの相互関係では、除渣性状のし尿、浄化槽汚泥とも、COD と SS の間に高い正の相関（図4-6）が認められるが、COD と塩化物イオンあるいは SS と塩化物イオンの間に有意な相関はみられない。

これらのことから、BOD、T-N、T-P の各々を目的変数、COD、SS、塩化物イオンを説明変数とし、COD と SS の多重共線性（マルチコ）も考慮して重回帰分析を行い、検討項目間における相関関係の重回帰式を求めた（表4-6）。

重回帰分析では、BOD、T-N、T-P を目的変数とした場合に、いずれも単回帰分析を行ったときと比べて相関係数(r)がより 1 に近づいており、高い正の相関 ($r \geq 0.7$) あるいは高い正の相関に近い値 ($0.7 > r \geq 0.6$) が得られた。

表4-5 検討項目間の相関関係

搬入し尿		BOD	COD	SS	T-N	T-P	C l ⁻	
	BOD		0.547 ***	0.566 ***	0.529 ***	0.163	0.261 *	BOD
	COD	0.731 ***		0.841 ***	0.710 ***	0.571 ***	0.184	COD
	SS	0.670 ***	0.796 ***		0.622 ***	0.596 ***	0.173	SS
	T-N	0.497 ***	0.426 ***	0.358 ***		0.661 ***	0.363 ***	T-N
	T-P	0.356 *	0.583 ***	0.646 ***	0.269		0.228	T-P
	C l ⁻	0.386 ***	0.356 ***	0.384 ***	0.672 ***	0.373 *		C l ⁻
		BOD	COD	SS	T-N	T-P	C l ⁻	
除渣し尿		BOD	COD	SS	T-N	T-P	C l ⁻	
	BOD		0.586 ***	0.504 ***	0.589 ***	0.345 **	0.197 **	BOD
	COD	0.562 ***		0.877 ***	0.472 ***	0.601 ***	-0.068	COD
	SS	0.310 **	0.784 ***		0.426 ***	0.617 ***	-0.150	SS
	T-N	0.520 ***	0.160 ***	-0.045		0.625 ***	0.431 ***	T-N
	T-P	0.592 ***	0.525 ***	0.305 **	0.732 ***		0.285 *	T-P
	C l ⁻	0.443 ***	-0.128	-0.274 **	0.824 ***	0.540 ***		C l ⁻
		BOD	COD	SS	T-N	T-P	C l ⁻	

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$, *** : $p < 0.001$

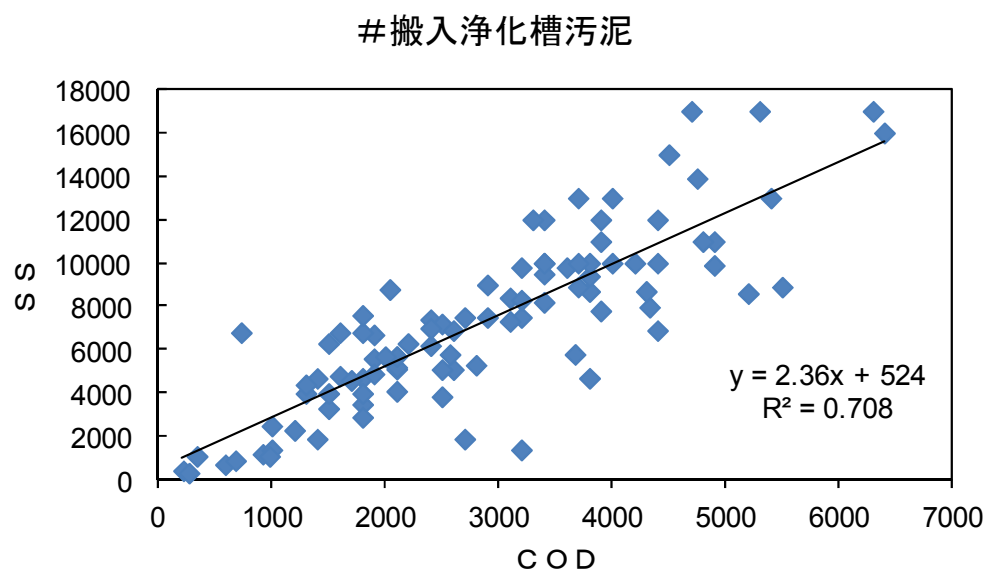
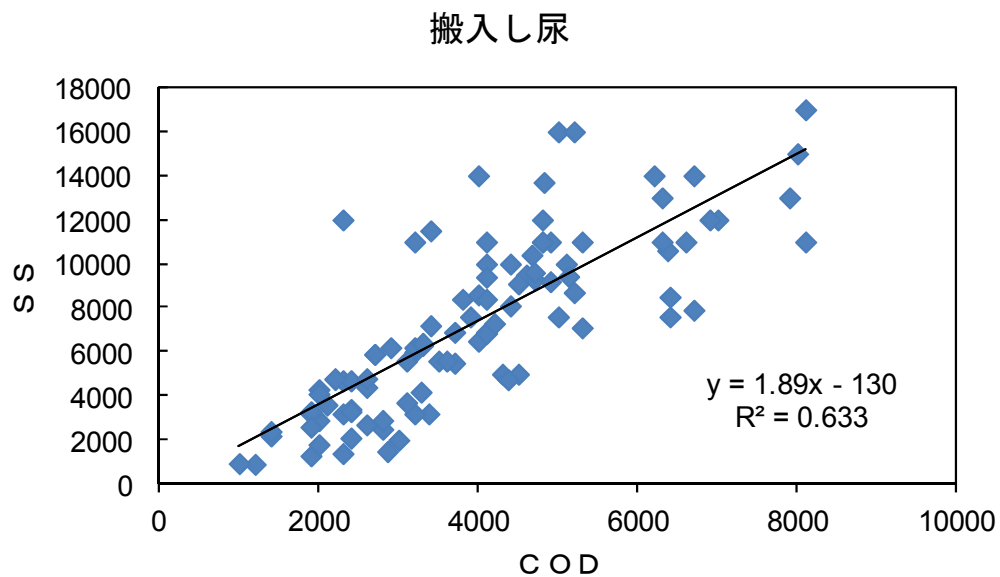
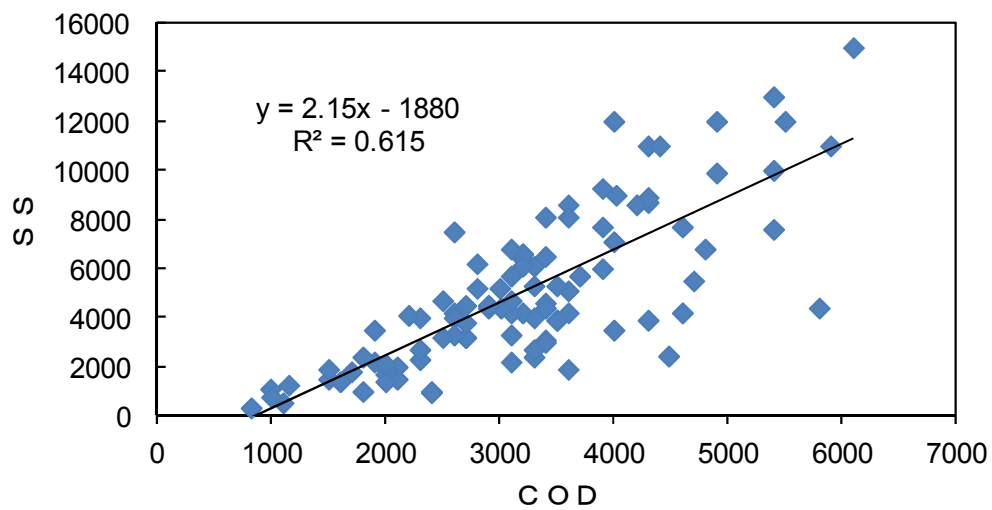


図4-5 搬入性状の相関関係

除渣し尿



除渣浄化槽汚泥

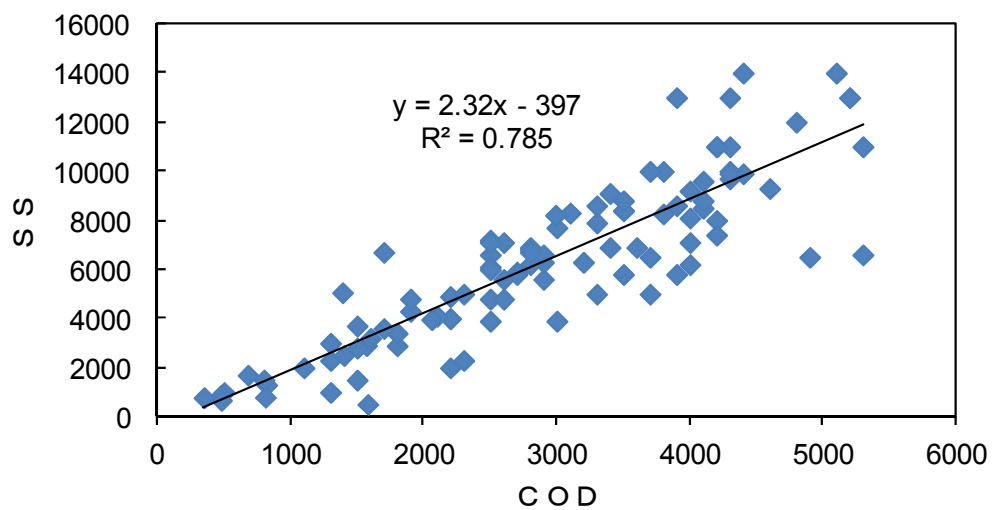


図4-6 除渣性状の相関関係

表4-6 検討項目間の重回帰式

目的 変数 (X)	説明 変数 (Y)	重回帰式 ($Y=b_1X_1+b_2X_2+b_0$)	重相関 係数 (R)	決定 係数 (R^2)
搬入し尿	BOD	$Y=0.964X_1+0.867X_2+1,120$	0.741	0.549
	X_1 :COD	$Y=0.114X_1+0.866X_2+439$	0.706	0.498
	X_2 : Cl^-	$Y=0.0476X_1+0.0359X_2+35.6$	0.637	0.406
	SS	$Y=1.80X_1+0.472X_2-613$	0.793	0.628
	BOD	$Y=0.357X_1+0.892X_2+2,320$	0.685	0.470
	X_1 :SS	$Y=0.0239X_1+0.931X_2+592$	0.689	0.475
	X_2 : Cl^-	$Y=0.0148X_1+0.0600X_2+65.5$	0.752	0.565
	COD	$Y=0.313X_1+0.294X_2+1,120$	0.797	0.635
#搬入浄化槽汚泥	BOD	$Y=0.547X_1+1.24X_2+213$	0.658	0.433
	X_1 :COD	$Y=0.148X_1+0.494X_2+29.6$	0.833	0.694
	X_2 : Cl^-	$Y=0.0539X_1+0.212X_2-64.1$	0.661	0.437
	SS	$Y=2.43X_1-0.434X_2+444$	0.861	0.742
	BOD	$Y=0.200X_1+1.63X_2+298$	0.643	0.413
	X_1 :SS	$Y=0.0464X_1+0.602X_2+99.5$	0.765	0.585
	X_2 : Cl^-	$Y=0.0217X_1+0.185X_2-58.4$	0.698	0.487
	COD	$Y=0.302X_1+0.660X_2+555$	0.864	0.747
目的 変数 (X)	説明 変数 (Y)	重回帰式 ($Y=b_1X_1+b_2X_2+b_0$)	重相関 係数 (R)	決定 係数 (R^2)
除渣し尿	BOD	$Y=1.09X_1+2.32X_2-1,120$	0.777	0.604
	X_1 :COD	$Y=0.144X_1+1.03X_2+16.5$	0.875	0.766
	X_2 : Cl^-	$Y=0.0349X_1+0.0800X_2-9.44$	0.799	0.639
	SS	$Y=2.02X_1-1.09X_2+18.2$	0.814	0.663
	BOD	$Y=0.302X_1+2.34X_2+804$	0.612	0.374
	X_1 :SS	$Y=0.0284X_1+1.02X_2+332$	0.853	0.728
	X_2 : Cl^-	$Y=0.0112X_1+0.0904X_2+36.6$	0.716	0.513
	COD	$Y=0.314X_1+0.226X_2+1,290$	0.800	0.641
除渣浄化槽汚泥	BOD	$Y=0.578X_1+1.03X_2+682$	0.619	0.383
	X_1 :COD	$Y=0.133X_1+0.536X_2+99.2$	0.709	0.504
	X_2 : Cl^-	$Y=0.0336X_1+0.0590X_2+7.02$	0.711	0.506
	SS	$Y=2.24X_1-1.23X_2+195$	0.876	0.768
	BOD	$Y=0.197X_1+1.22X_2+1,060$	0.568	0.322
	X_1 :SS	$Y=0.0512X_1+0.608X_2+147$	0.696	0.484
	X_2 : Cl^-	$Y=0.0144X_1+0.0595X_2+14.9$	0.762	0.581
	COD	$Y=0.339X_1+0.349X_2+645$	0.872	0.762

CODと塩化物イオンあるいはSSと塩化物イオンの濃度は、BOD、T-N、T-Pの各々の濃度と密接に関連している。説明変数の違いによる傾向をみると、CODと塩化物イオンからBOD、T-Nの各々を推計した場合が、SSと塩化物イオンの組み合わせよりも相関係数が高めとなっている。逆にT-Pの予測では、SSと塩化物イオンから推計した方が、CODと塩化物イオンの組み合わせよりも相対的にみて相関性が良くなっている。

図4-7～4-10に示すとおり、表4-6の重回帰式から得られたし尿・浄化槽汚泥性状の予測値と実測値は概ね一致していると判断できる。

検討項目間の相関関係については、表4-6の結果を補完するため、各検討項目の分布型（正規分布適合型、対数正規分布適合型）を考慮した解析も実施した。

最終的な重回帰分析の解析結果を表4-6と比較してみると、搬入性状では、搬入し尿のT-Pを、CODと塩化物イオンを説明変数として推計する場合に、相関係数が0.1ポイント程度上昇したが、それ以外の項目は、相関係数が同等か僅かに上昇したのみであった。また、除渣性状では、全ての項目で同等な結果が得られた。

以上のことより、表4-6の重回帰式を用いて、CODと塩化物イオンあるいはSSと塩化物イオンの既知濃度から、BOD、T-N、T-Pの濃度推定が可能と考えられた。

また、CODとSSの濃度は、搬入・除渣性状の全てで高い正の相関($r \geq 0.7$)となっていることから、単回帰式あるいは重回帰式により相互に濃度推定が可能であろう。

各重回帰式における決定係数の値から精度的には十分でないものの、し尿・汚泥集約処理センターの運転管理に必要なレベルであれば、し尿・浄化槽汚泥の性状を簡易かつ迅速に把握できることが示唆された。

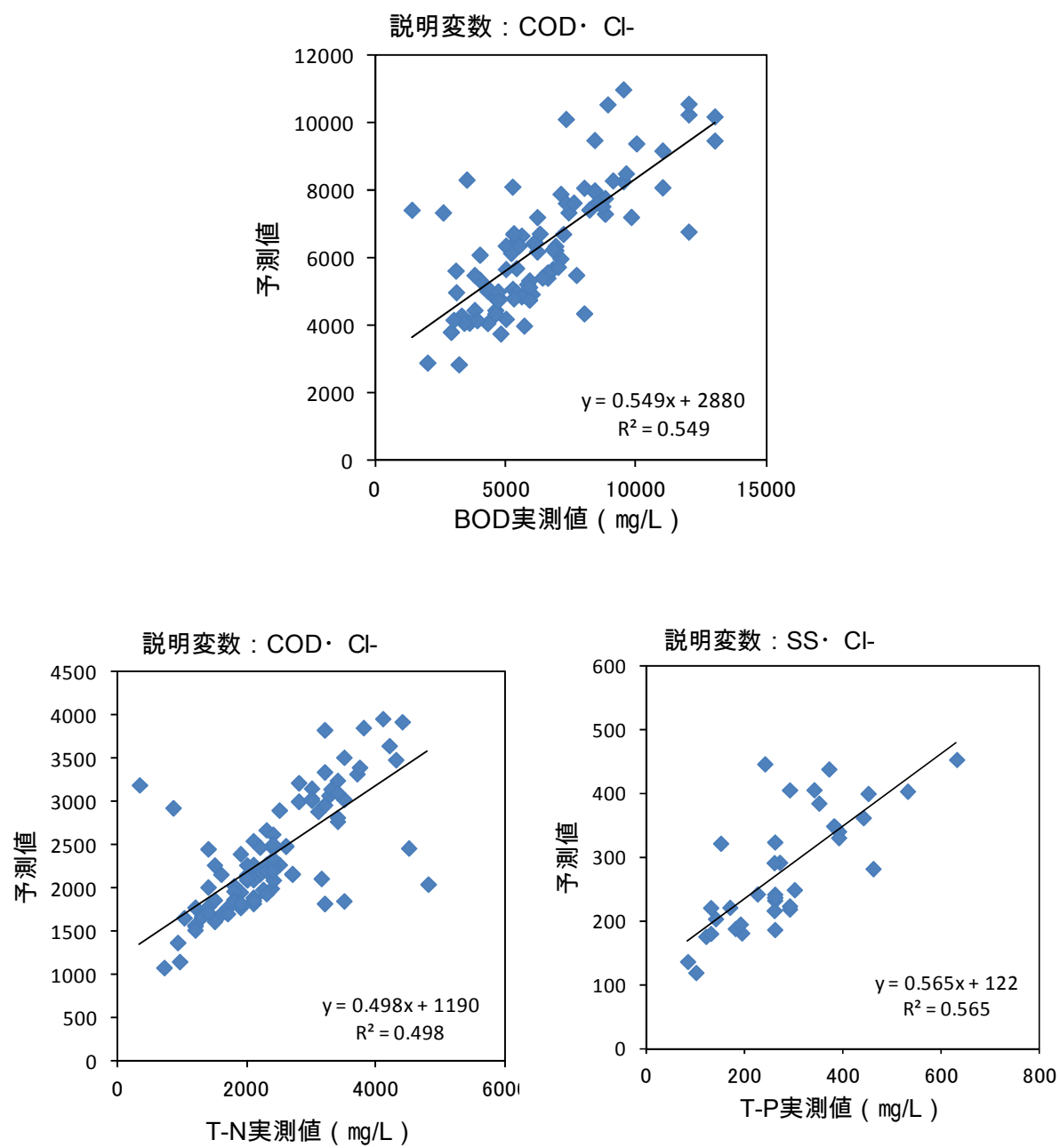


図4-7 搬入し尿の性状予測

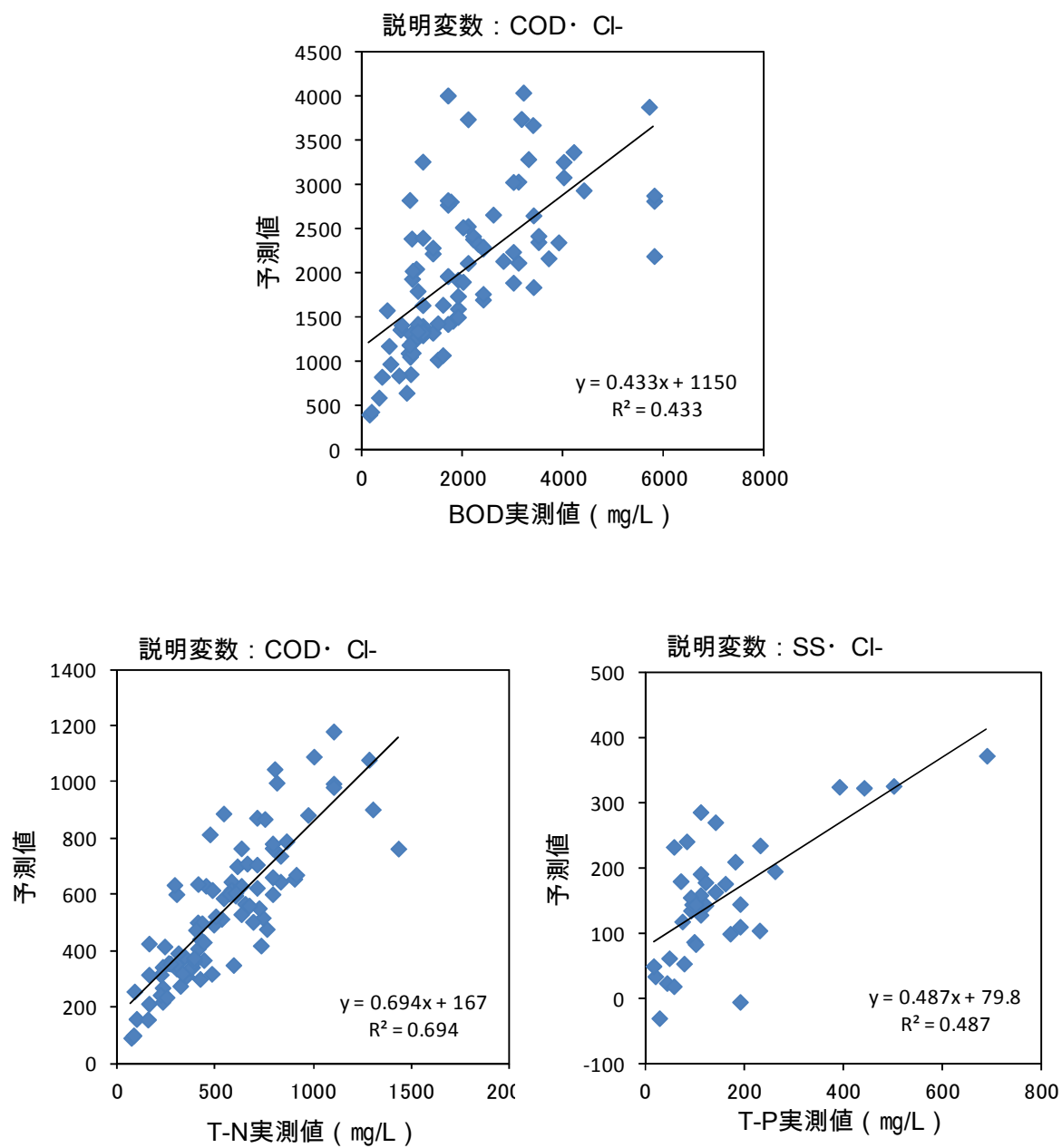


図4-8 搬入浄化槽汚泥の性状予測

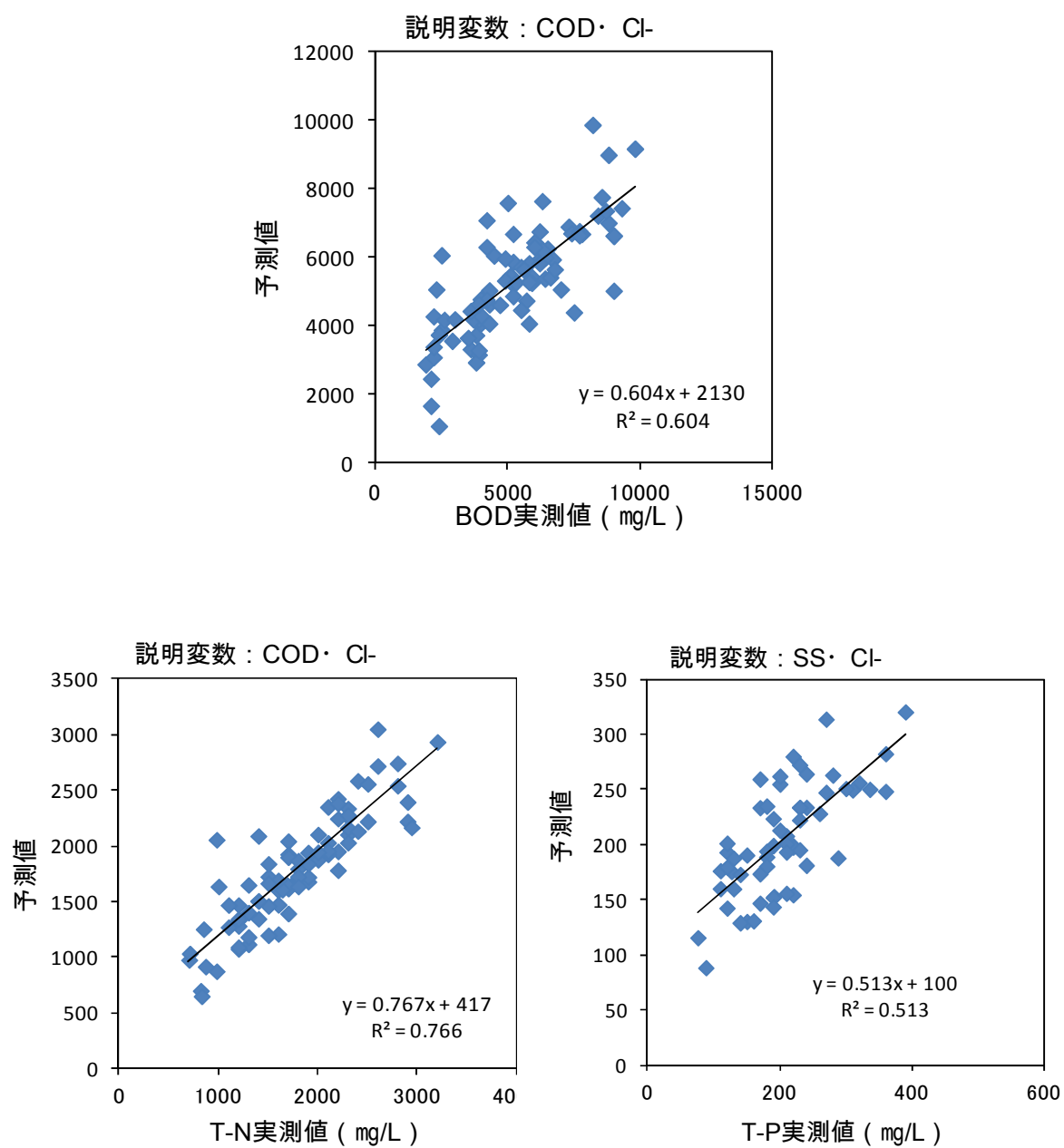


図4-9 除渣し尿の性状予測

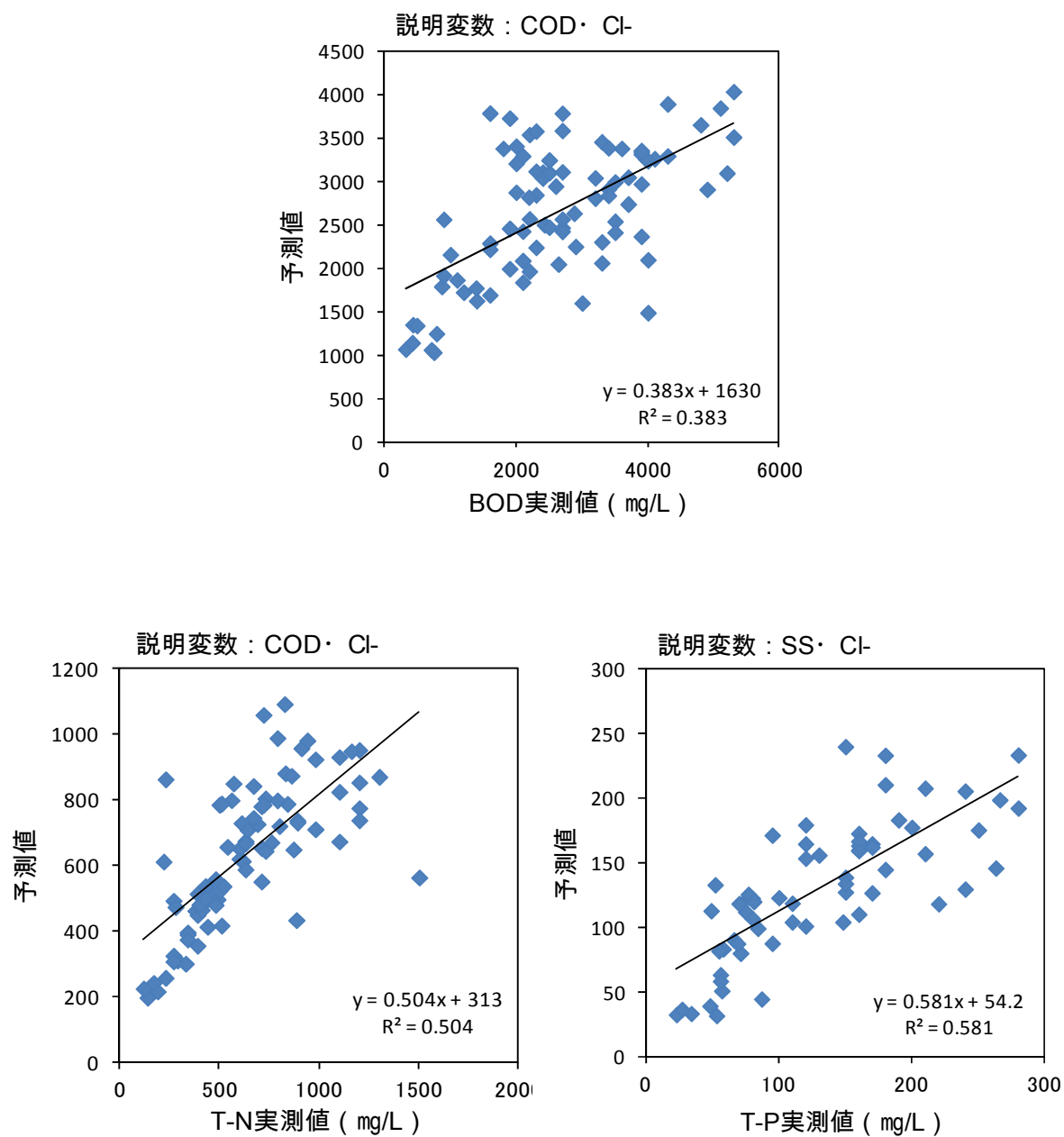


図4-10 除渣浄化槽汚泥の性状予測

第4節 要 約

本章では、し尿・汚泥集約処理センターの維持管理に関するアンケート調査で得られたし尿・浄化槽汚泥の性状（検討項目：BOD、COD、SS、T-N、T-P、塩化物イオン）に関するデータを解析し、性状の実態把握と標準的性状の抽出、検討項目間の相関関係と性状分析の効率化に関する検討を行った。

データ分布の解析では、し尿及び浄化槽汚泥の性状に関するデータを、ヘージンプロットを用いて非超過確率分布へ当てはめを行ったところ、いずれの検討項目も、正規または対数正規による非超過確率分布によく適合していることが確認された。

データ分布のバラツキに関する検討では、変動係数が大きな検討項目がし尿よりも浄化槽汚泥で多く、性状設定において、より安全側での濃度設定を行う必要性が示唆された。

非超過確率値の解析では、標準性状の値と比べ全般的に低めの値が得られた。搬入・除渣し尿及び除渣浄化槽汚泥の解析結果については、分布特性の検討や標準性状との比較から、より現状の実態に近い性状と考えられ、し尿・浄化槽汚泥の性状設定で利用可能と判断された。採取対象に偏りが想定される搬入浄化槽汚泥の解析結果も、集落排水汚泥の搬入やバキューム車でのし尿混載がない地域であれば、性状設定の目安になると考えられた。

検討項目間の相関関係に関する検討では、BOD、T-N、T-Pの各々を目的変数、COD、SS、塩化物イオンを説明変数として重回帰分析を行った。高い正の相関あるいは高い正の相関に近い相関係数の重回帰式（搬入浄化槽汚泥は参考値）が得られ、CODあるいはSSのいずれかと塩化物イオンの濃度を測定することで、BOD、T-N、T-Pの各濃度が予測可能と考えられた。比較的簡単に分析できる検討項目から、し尿・汚泥集約処理センターの運転管理で必要な性状を、簡易かつ迅速に把握できることが示唆された。

第5章 地域資源循環によるし尿・汚泥集約処理 システムの政策論的評価

第1節 緒言

し尿・汚泥集約処理事業及び農業集落排水処理事業において、従来からの主な目的は、それぞれの対象区域で発生するし尿や生活雑排水を衛生的に処理するとともに、地域の水環境を保全することであった。

近年では、各事業ともに、資源循環型社会の形成に寄与することや地球規模での温暖化防止対策に貢献することが社会的な要求事項となっている。

しかし、慢性的な財政危機に陥っている地方自治体にとっては、各事業の目的を安定継続して達成するための費用負担が重荷となっており、各事業の効率性を向上させることが喫緊の課題となっている。

各事業の経済性や効率性を向上させるためには、それぞれの事業の垣根を越えて、処理システムの統合・合理化を図っていくことが有効と考えられる。

宮城県T市の共同処理事業は、し尿及び浄化槽汚泥と農業集落排水汚泥を併せて処理・資源化する施設の整備事業を、環境省と農林水産省の共同事業とし、両省の財源措置を活用して実施したものである。

本章では、国内初の事例であるT市の共同処理事業を研究対象として、計画段階における検討内容とその成果を報告するとともに、持続可能なし尿・汚泥集約処理システムの構築と地域資源循環による環境保全型農業への寄与などについて、政策論的に検討・評価した。

第2節 調査対象並びに方法

2.1 調査対象

2.1.1 共同処理事業の背景

T市では、もともと管内で発生するし尿、浄化槽汚泥及び農業集落排水汚泥を市が所管するし尿処理施設で処理し、処理に伴い発生する汚泥を乾燥後、肥料として販売し緑農地還元していた。

委託収集による計画収集体制も既に確立しており、市内清掃業者のバキューム車によりし尿、浄化槽汚泥及び農業集落排水汚泥をし尿処理施設へ搬入していた。ただし、農業集落排水汚泥については、大規模な汚泥発生源を想定していなかったため暫定的な対処方法での施設受入となっていた。

既存のし尿処理施設は、昭和41年度に稼動を開始したもので、施設稼動後約40年を経過し、設備装置の老朽化が著しい状況にあった。市内の人口減少、下水道の普及、農業集落排水施設及び浄化槽の整備率増加等に伴い、搬入量の減少や搬入性状の変化で、施設の運転管理にも苦慮していた。効率的な運転が困難となっており、処理機能の低下や突発的な事故等の発生が危惧されていた。

T市では、このような施設的な課題に対し早急な対応を迫られていた。

一方で、処理汚泥を有効な資源として利活用し、地域内資源循環の推進により環境負荷を最小限に止めることは、地域としての政策的な課題であった。

2.1.2 共同処理事業の目的

T市では、し尿・汚泥集約処理事業と農業集落排水処理事業に係る施設の課題と政策的課題に対処するとともに、各事業の経済性と効率性を向上させるため、し尿及び浄化槽汚泥と農業集落排水汚泥の共同処理事業を検討するものとした。

共同処理事業の主な目的は、次のとおりである。

- 1) 一般廃棄物行政を機軸としたし尿・汚泥処理行政の一元化
- 2) し尿・汚泥の効率的かつ効果的な処理と資源化
- 3) エネルギー使用量及び処理コストの削減
- 4) 処理事業の経営基盤の安定化
- 5) 高品質汚泥肥料の製造及び低価格・安定供給
- 6) 地域資源循環による環境保全型農業の推進

共同処理事業として行えば、処理施設の集約化と大規模化が実現できるため、現状課題の解消と事業効率の向上が併せて可能となる。

2.2 方法

2.2.1 共同処理事業計画

生活排水処理に関するT市の実績や将来計画等から共同処理事業の基本諸元を設定した。設定した基本諸元に基づき、現状課題の解消と事業効率の向上が可能となる事業計画を策定し、概算事業費、事業費アロケーションの手法及び財源計画に関する検討を行った。

2.2.2 単独処理事業との比較

単独処理事業（し尿・汚泥集約処理事業、農業集落排水処理事業）とした場合の事業計画と概算事業費について、効率的な単独処理事業の形態を含めて検討し、共同処理事業の場合と比較検討して、経済効率の優位性を検証した。

2.2.3 移動脱水車の導入効果

共同処理事業に移動脱水車を導入した場合の事業計画と概算事業費について、移動脱水車を導入しない場合と比較検討し、移動脱水車の導入効果を検証した。

2.2.4 環境に与える負荷の低減効果

LCA (Life Cycle Assessment) の観点から、共同処理事業と単独処理事業における処理施設の建設時・運転時に投入される資材・ユーティリティに係るエネルギー消費量及び二酸化炭素発生量について比較検討し、環境に与える負荷の低減効果を検証した。

2.2.5 地域資源循環と環境保全型農業への寄与

地域資源循環と環境保全型農業への寄与については、実施設の稼動後に、資源化製品の生産量、品質、需給状況、消費者の評価等に関する事後評価を行い、共同処理事業の実施における効果を検証した。

第3節 調査結果並びに考察

3.1 共同処理事業計画

3.1.1 基本諸元

共同処理事業の基本諸元を設定するにあたり、表5-1～表5-2に示す基本的事項の整理を行った。全体計画、し尿及び浄化槽汚泥の計画処理量は、T市における処理形態別人口の推移、処理形態別発生原単位の実績、収集時の月最大変動等を考慮して設定¹⁾した。農業集落排水汚泥の計画処理量については、(社)日本農業集落排水協会（現(一社)地域環境資源センター）のJARUS型設計指針²⁾に基づき、処理方式別の汚濁負荷量、汚泥転換率、汚泥含水率などより算定した。

全体計画、し尿、浄化槽汚泥及び農業集落排水汚泥の計画汚泥量は、し尿・汚泥集約処理センターにおける一般的な発生原単位¹⁾を採用して設定した(表5-3)。

表5-1 共同処理事業の計画処理量（全体計画）

①目標年次	a. 計画目標年次	平成26年度	ピーク年の処理を可能とする。
	b. 中間目標年次(ピーク年)	平成22年度	
②計画人口 (ピーク年)	a. し尿収集人口	26,632 人	T市生活排水処理計画における計画人口、浄化槽等人口には、農業集落排水施設人口を含む。
	b. みなし浄化槽人口	2,737 人	
	c. 浄化槽等人口	24,675 人	
	d. 計画人口合計	54,044 人	
③発生原単位	a. し尿	2.20 L/人・d	過去3年間の実績平均値、浄化槽等汚泥には農業集落排水施設汚泥を含む。
	b. みなし浄化槽汚泥	1.41 L/人・d	
	c. 浄化槽等汚泥	2.27 L/人・d	
④排出量 (②×③)	a. し尿	58.6 m ³ /d	浄化槽等汚泥には、農業集落排水施設汚泥を含む。
	b. みなし浄化槽汚泥	3.9 m ³ /d	
	c. 浄化槽等汚泥	56.0 m ³ /d	
	d. 排出量合計	118.5 m ³ /d	
⑤計画月最大変動係数		1.08	過去3年間の実績平均値。
⑥計画処理量 (④×⑤)	a. し尿	63 m ³ /d	農業集落排水汚泥の計画処理量は、処理方式別の汚濁負荷量と汚泥転換率等より別途算定した値。
	b. 浄化槽汚泥(みなしを含む)	34 m ³ /d	
	c. 農業集落排水汚泥	31 m ³ /d	
	d. 全体計画	128 m ³ /d	

表5-2 農業集落排水汚泥の計画処理量

①計画目標年次	平成26年度			備 考
②処理方式	生物膜法	浮遊生物法	合計	—
③計画処理人口	7,500 人	17,720 人	—	計画目標年次の人口
④BOD負荷量原単位	60 g/人・d	60 g/人・d	—	J A R U S 設計指針 ²⁾
⑤BOD除去率	90 %	90 %	—	J A R U S 設計指針 ²⁾
⑥除去BOD量	405 kg/d	957 kg/d	1,362 kg/d	①×②×③/100/1,000
⑦汚泥転換率	25 %	40 %	—	J A R U S 設計指針 ²⁾
⑧発生汚泥量(乾物)	101 kg-DS/d	383 kg-DS/d	484 kg-DS/d	⑥×⑦/100
⑨汚泥含水率	98.0 %	98.5 %	—	J A R U S 設計指針 ²⁾
⑩計画処理量	5 m ³ /d	26 m ³ /d	31 m ³ /d	⑧×100/(100-⑨)/1,000

表5-3 共同処理事業の計画汚泥量

項 目	し尿	浄化槽汚泥	農業集落排水汚泥	合 計	備 考
①計画処理量	63 m ³ /d	34 m ³ /d	31 m ³ /d	128 m ³ /d	—
②発生原単位	10 kg-DS/m ³	8 kg-DS/m ³	8 kg-DS/m ³	—	汚泥再生処理センター等施設整備の計画・設計要領 ¹⁾
③計画汚泥量	630 kg-DS/d	272 kg-DS/d	248 kg-DS/d	1,150 kg-DS/d	①×②

なお、汚泥の資源化（汚泥炭化を計画）に伴う固形分の分解率及び資源化製品の含水率については、プラントメーカーからの情報収集により、各社設計値の平均値（炭化による固形分分解率：60%、資源化製品の含水率：5%）を採用した。

3.1.2 計画概要

T市における共同処理事業の計画概要は、表5-4及び図5-1に示すとおりである。

共同処理事業は、し尿及び浄化槽汚泥等を処理・資源化する汚泥再生処理センター整備事業（環境省所管）と農業集落排水汚泥を処理・資源化する農業集落排水施設整備事業（農林水産省所管）を併せて実施し、一体的な施設として整備・運営するものである。

表5-4 共同処理事業の計画概要

地域名	宮城県T地域		
事業名	T市汚泥再生共同処理センター整備事業		
概算事業費	3,348,000千円		
工期	平成18年～21年度（平成22年度竣工）		
項 目	環境省分	農水省分	
補助事業等	循環型社会形成 推進交付金事業	農業集落排水 資源循環統合補助事業	
処理対象	し尿 浄化槽汚泥	農業集落排水汚泥	
対象区域	T市内	T市内22地区	
項 目	全体計画	環境省分	農水省分
計画人口	54,044人	28,824人	25,220人
計画処理量	128m ³ /d	97m ³ /d	31m ³ /d
計画汚泥量	1,150kg-DS/d	902kg-DS/d	248kg-DS/d
資源生産量	0.5t/d (水分5%)	0.4t/d (水分5%)	0.1t/d (水分5%)

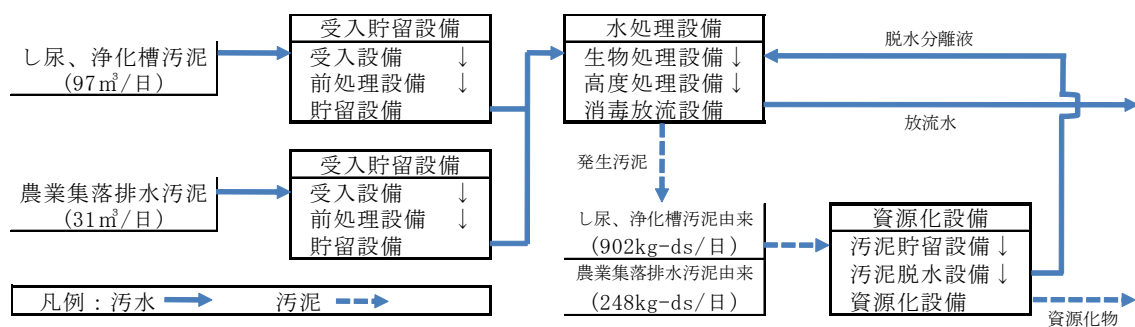


図5-1 汚泥再生共同処理センターの基本処理工程

施設の水処理方式は、生物学的脱窒素処理方式（標準脱窒素処理方式）＋高度処理（凝集沈殿＋オゾン酸化＋砂ろ過）の組み合わせとし、水処理に伴い発生する汚泥から汚泥炭化物を製造して、地域内資源循環を目的とした緑農地還元を行うものである。

3.1.3 概算事業費

概算事業費に関しては、過去の同規模・類似施設における建設実績を調査して建設単価を設定し、複数プラントメーカーの提案金額も参考として工事費等を設定した。

設定した概算事業費は、共同処理事業の基本諸元をもとに設備ごとのアロケーションを行い、環境省事業と農林水産省事業に振り分けを行った。共同処理事業の概算事業費とアロケーションの結果は、表5-5に示すとおりである。

3.1.4 財源計画

共同処理事業の財源計画は、表5-6に示すとおりである。

共同処理事業は4カ年の継続事業とし、進捗率を初年度10%、2年度で30%、3年度40%、4年度20%として財源内訳を算定した。

環境省分は、交付金の交付率が交付対象事業費の1/3であり、起債の充当率が交付金裏及び重点化等分（建屋、付帯工事等）で90%、その他単独分（下水道整備区域内から収集されるし尿・汚泥処理分）で75%となっている³⁾。

農林水産省分は、補助金の補助率が交付対象事業費の1/2であり、起債の充当率が補助金裏で90%となっている⁴⁾。

また、T市では、市町村合併に伴う特例債⁵⁾を共同処理事業に適用する計画があったため、通常の財源措置に併記した。

全体計画の概算事業費に占める補助金・交付金の割合は、約28%となっている。起債及び一般財源が占める割合は、通常時で起債が57%、一般財源が15%であり、特例債利用時で起債が62%、一般財源が10%となっている。

なお、起債については、年間利率を2%として、環境省分が3年据置の15年償還、農林水産省分が5年据置の30年償還で元利償還金を算定し、交付税基準財政需要額算入率を考慮して、実質的な返済額も想定した。

表5-5 共同処理事業の概算事業費

項 目	全体計画	環境省分	農水省分	備 考
概算事業費	3,348,000 千円	2,575,000 千円	773,000 千円	—
工事費	3,160,000 千円	2,430,000 千円	730,000 千円	—
事業費内訳				
受入貯留設備	366,000 千円	277,000 千円 75.8 %	89,000 千円 24.2 %	計画処理量の比率
水処理設備	695,000 千円	527,000 千円 75.8 %	168,000 千円 24.2 %	計画処理量の比率
資源化設備	1,331,000 千円	1,044,000 千円 78.4 %	287,000 千円 21.6 %	計画汚泥量の比率
その他設備	768,000 千円	582,000 千円 75.8 %	186,000 千円 24.2 %	計画処理量の比率
その他費用	188,000 千円	145,000 千円 76.9 %	43,000 千円 23.1 %	工事費の比率

表5-6 共同処理事業の財源計画

項 目	全体計画	環境省分	農水省分
事業内訳			
概算事業費	3,348,000 千円	2,575,000 千円	773,000 千円
交付対象事業費	2,406,600 千円	1,677,600 千円	729,000 千円
交付対象外事業費	941,400 千円	897,400 千円	44,000 千円
財源内訳			
交付金・補助金	923,700 千円	559,200 千円	364,500 千円
起債(通常時)	1,922,900 千円	1,594,900 千円	328,000 千円
(合併特例債利用時)	2,079,100 千円	1,732,900 千円	346,200 千円
一般財源(通常時)	501,400 千円	420,900 千円	80,500 千円
(合併特例債利用時)	345,200 千円	282,900 千円	62,300 千円

3.2 単独処理事業との比較

3.2.1 単独処理事業の概算事業費

単独処理事業の概算事業費は、表5-7のとおりである。

環境省事業であるし尿及び浄化槽汚泥の単独処理事業は、基本処理工程が共同処理事業と同様となり、規模が縮小するのみである（図5-2）。従って、共同処理事業の概算工事費と計画処理量の比率により工事費単価を定め、環境省分単独施工の概算事業費を算定した。環境省分単独施工の工事費内訳については、共同処理事業の工事費内訳で得られた割合を用いて設定した。

農林水産省事業である農業集落排水汚泥の単独処理事業は、基本処理工程が共同処理事業と同じ場合と、移動脱水車を導入して基本処理工程から水処理設備を削減する場合の2通りが考えられた。

2通りの単独処理事業について、共同処理事業と同様の手法で概算事業費を設定した結果、基本処理工程が共同処理事業と同じ場合が1333百万円、移動脱水車を導入する場合が1088百万円となった。整備コストの差は245百万円となり、移動脱水車を導入する場合のコストメリットが大きいと判断された。

なお、移動脱水車については、農業集落排水施設の施設数（19箇所）、各施設の汚泥貯留日数（平均1週間）、脱水時間（週5日、1日当たり5時間程度）、各施設間の移動時間（30分～1時間）から、1日当たり3.8施設の脱水・移動・搬入作業で、かつ1施設1日が平均的な作業形態である。各施設の規模や発生汚泥量を考慮すれば、大型車2台、4t車2台の計4台の移動脱水車が必要と考えられた（図5-3）。

3.2.2 単独処理事業と共同処理事業の経済性比較

単独処理事業と共同処理事業の概算事業費を比較した結果は、表5-8に示すとおりである。

単独処理事業とした場合には、環境省分の事業費算定において規模縮小に伴うコストアップ分を加味していないが、それでも共同処理事業に比べ323百万円の割高となった。

表5-7 単独処理事業の概算事業費

項 目	合 計	環境省分 単独施工	農水省分 単独施工
概算事業費	3,671,000 千円	2,583,000 千円	1,088,000 千円
事 工事費	3,155,000 千円	2,395,000 千円	760,000 千円
業 工 受入貯留設備	435,000 千円	277,000 千円	158,000 千円
事 水処理設備	527,000 千円	527,000 千円	0 千円
費 内 資源化設備	1,455,000 千円	1,009,000 千円	446,000 千円
内 訳 その他設備	738,000 千円	582,000 千円	156,000 千円
内 移動脱水車	290,000 千円	0 千円	290,000 千円
訳 その他費用	226,000 千円	188,000 千円	38,000 千円

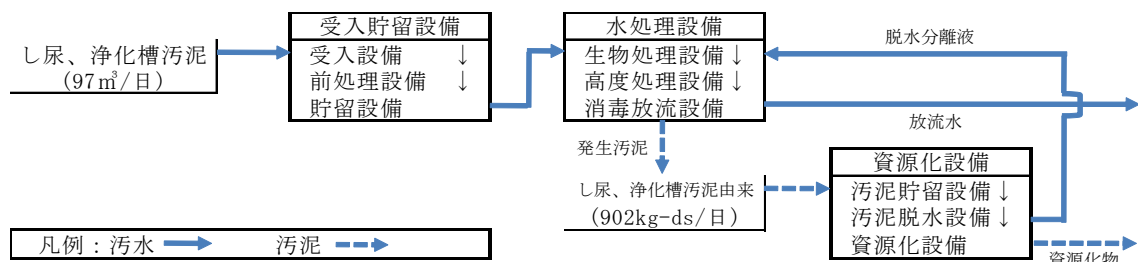


図5-2 環境省分単独施工の基本処理工程図

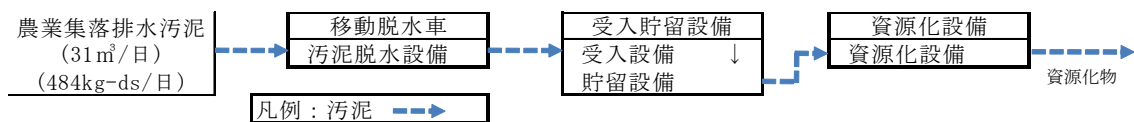


図5-3 農林水産省分単独施工の基本処理工程図

表5-8 単独処理事業と共同処理事業の概算事業費

項目		単独処理事業	共同処理事業	差 額
概算 事業費	工事費	3,155 百万円	3,160 百万円	-5 百万円
	移動脱水車	290 百万円	0 百万円	290 百万円
	その他費用	226 百万円	188 百万円	38 百万円
	事業費計	3,671 百万円	3,348 百万円	323 百万円

施設の維持管理コストについては、スケールアップによる効果が想定されるものの、類似施設での事例等が確認できなかった。このためコスト比較の前提として、施設の維持管理コストに関し、単独処理事業と共同処理事業を同等とした。

従って、処理・資源化施設のライフサイクルコストを考慮しても、共同処理事業による施設の集約及び大規模化がより望ましい選択肢であると判断された。

また、共同処理事業により、T市における短期、長期の財政負担を軽減できるだけでなく、資源化原料である汚泥の一元管理、効率的かつ効果的な処理・資源化施設の管理・運営が可能になると示唆された。

3.3 移動脱水車の導入効果

3.3.1 移動脱水車の導入

共同処理事業による処理・資源化施設へ搬入する農業集落排水汚泥について、移動脱水車の導入による効果の検討を行った。

共同処理事業による処理・資源化施設の仕様中、大幅な変更となるのは、脱水された農業集落排水汚泥の搬入に適したものとなる受入貯留設備、農業集落排水汚泥の処理が不要となる水処理設備及び農業集落排水汚泥の直接脱水で処理能力が増加する資源化設備である（図5-4）。その他設備やその他費用は、共同処理事業の概算事業費で設定した工事費に与える影響が少ないと想定した。

3.3.2 移動脱水車対応の概算事業費

移動脱水車対応の概算事業費は、表5-9のとおりである。

移動脱水車及び受入貯留設備については、環境省分、農林水産省分とも単独処理事業と同等の設備費になると考えられた。

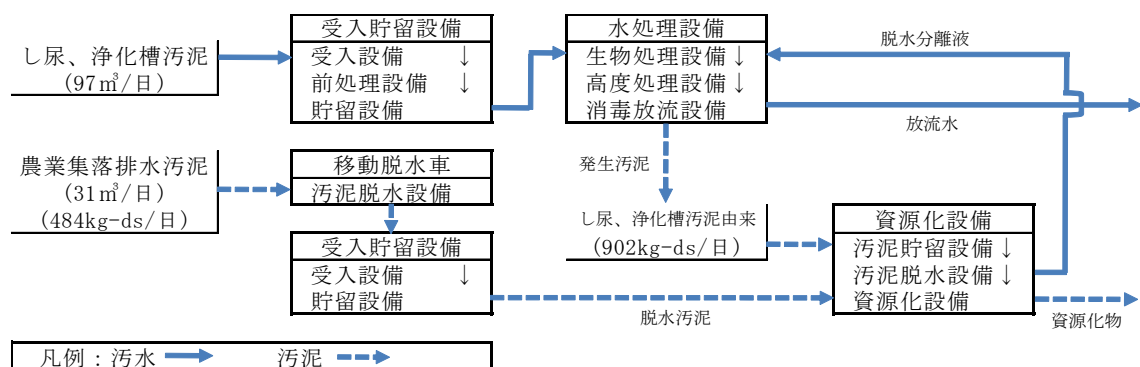


図5-4 移動脱水車対応による共同処理事業の基本処理工程図

表5-9 移動脱水車対応による共同処理事業の概算事業費

項 目	合 計	環境省分	農水省分
概算事業費	3,812,000 千円	2,480,000 千円	1,332,000 千円
事 工事費	3,334,000 千円	2,348,000 千円	986,000 千円
業 工 受入貯留設備	435,000 千円	277,000 千円	158,000 千円
費 事 水処理設備	527,000 千円	527,000 千円	0 千円
内 費 資源化設備	1,604,000 千円	1,044,000 千円	560,000 千円
訳 その他設備	768,000 千円	500,000 千円	268,000 千円
内 移動脱水車	290,000 千円	0 千円	290,000 千円
訳 その他費用	188,000 千円	132,000 千円	56,000 千円

水処理設備及び資源化設備については、農業集落排水汚泥を脱水せずにそのまま処理・資源化施設へ搬入する場合（濃縮汚泥搬入）の事業費内訳と設備能力から各設備費単価を設定し、脱水汚泥搬入時の必要能力に換算して各設備費を設定した。

水処理設備の費用按分に関しては 100%環境省分とし、資源化設備の費用按分については、発生汚泥量（環境省分902kg-DS/日、農林水産省分484 kg-DS/日）の比率を用いて割り振りを行った。

3.3.3 濃縮汚泥搬入と移動脱水車対応の経済性比較

濃縮汚泥搬入と移動脱水車対応の概算事業費を比較した結果は、表5-10に示すとおりである。共同処理事業による処理・資源化施設を移動脱水車対応とした場合には、464百万円のコストアップが見込まれることが分かった。

移動脱水車対応における施設の維持管理コストに関しては、水処理設備の能力縮小と資源化設備の能力増加に伴う増減があり、その他の費用は濃縮汚泥搬入時と同様と考えられることから、施設全体の維持管理費に与える影響は相殺されるものと判断された。

その他の課題としては、移動脱水車の導入に当たり、農業集落排水汚泥の収集体制を抜本的に見直す必要があった。濃縮汚泥の搬入であれば、現状の許可業者による収集体制を大きく変更する必要はないが、移動脱水車を導入すると、現状の許可業者での対応が困難になる可能性があった。既存の許可業者に依存せずにT市側で対応する場合には、移動脱水車に係る運転要員として6名程度が必要となるため、人件費のコストアップは免れない状況であった。

表5-10 共同処理事業における濃縮汚泥搬入と移動脱水車対応の比較

項目		移動脱水車対応 共同処理事業	濃縮汚泥搬入 共同処理事業	差 額
概算 事業費	工事費	3,334 百万円	3,160 百万円	174 百万円
	移動脱水車	290 百万円	0 百万円	290 百万円
	その他費用	188 百万円	188 百万円	0 百万円
	事業費計	3,812 百万円	3,348 百万円	464 百万円

3.4 LCAの観点による比較

3.4.1 施設規模と環境負荷の関係

LCAによるし尿・浄化槽汚泥処理システムの評価事例としては、20施設、6処理方式のし尿・汚泥集約処理センターを対象にエネルギー消費量と二酸化炭素発生量を定量的に評価した松井らの報告⁶⁾がある。松井らの報告では、処理量1 m³当たりの建設・運転エネルギー消費量と施設規模（計画処理量）との間に有意な相関（相関係数：-0.654、 $p < 0.01$ ）が認められており、二酸化炭素発生量についてもほぼ同様の傾向が認められていた。

LCAの観点から共同処理事業を検討するため、松井らが検討対象とした20施設の内、生物学的脱窒素処理方式（標準脱窒、高負荷、膜分離高負荷、浄化槽汚泥対応型）の18施設について、建設・運転エネルギー消費量と施設規模との相関を追検討した結果は、図5-5に示すとおりである。累乗曲線を近似した場合に最も高い相関を示したもので、施設規模が大きくなるに従い処理量1 m³当たりの建設・運転エネルギー消費量が小さくなる傾向がより明確になった。

また、二酸化炭素発生量についても、同様の相関が得られるものと考えられた。

3.4.2 LCAの観点による事業比較

建設・運転エネルギー消費量の処理工程別内訳の比率を、松井らが別途報告しているし尿・浄化槽汚泥処理システムの評価事例⁷⁻⁸⁾から設定し、図5-5に示した相関式を用いて単独処理事業と共同処理事業の建設・運転エネルギー消費量を検討した結果は、表5-11のとおりである。

なお、単独処理事業及び移動脱水車対応共同処理事業では、水処理と資源化について、必要処理能力に相当する施設規模から建設・運転エネルギー消費量を算定し、収集運搬について、関係車両の台数削減に伴う建設・運転エネルギー消費量の削減分を寄与率で考慮した。

建設・運転エネルギー消費量の合計は、単独処理事業よりも共同処理事業が少ない結果となった。二酸化炭素排出量も同様の傾向を示すと考えられることから、共同処理事業とすることで、環境に与える負荷がより軽減されると判断された。

また、共同処理事業における移動脱水車の導入は、エネルギー消費量や二酸化炭素排出量が収集運搬と水処理で軽減されるが資源化で増加するために、環境負荷の削減効果があまり期待できないと考えられた。

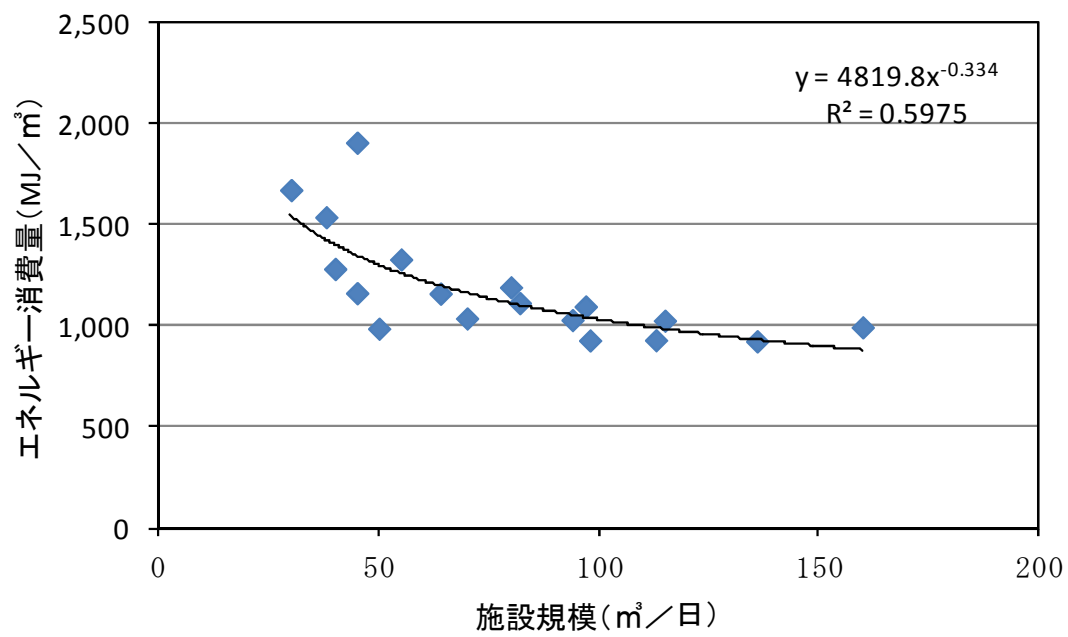


図5-5 施設規模と建設・運転エネルギー消費量

表5-11 単独処理事業と共同処理事業の建設・運転エネルギー消費量

項	目	規模 (m³/日)	内訳 (%)	消費量 (MJ/m³)	寄与率	消費量 (MJ/日)	
単 独 処 理 事 業	環境省分	収集運搬	97.0	13	13,595	1.00	13,187
	環境省分	受入貯留	97.0	5	5,229	1.00	5,072
		水処理	97.0	37	38,694	1.00	37,534
		資源化	97.0	40	41,832	1.00	40,577
		その他	97.0	5	5,229	1.00	5,072
		農水省分	収集運搬	31.0	13	19,900	0.50
	農水省分	受入貯留	31.0	5	7,654	1.00	2,373
		水処理	0.0	37	0	1.00	0
		資源化	60.5	40	48,976	1.00	29,630
		その他	31.0	5	7,654	1.00	2,373
施設全体		128.0		1,085		138,903	
共 同 処 理 事 業	濃縮汚泥搬入	収集運搬	128.0	13	12,393	1.00	15,863
		受入貯留	128.0	5	4,766	1.00	6,101
		水処理	128.0	37	35,271	1.00	45,147
		資源化	128.0	40	38,131	1.00	48,808
		その他	128.0	5	4,766	1.00	6,101
		施設全体	128.0		953		122,020
	移動脱水車対応	収集運搬	128.0	13	12,393	0.91	14,375
		受入貯留	128.0	5	4,766	1.00	6,101
		水処理	97.0	37	38,694	1.00	37,534
		資源化	157.5	40	35,579	1.00	56,037
		その他	128.0	5	4,766	1.00	6,101
		施設全体	128.0		939		120,148

注) 規模で考慮できていない部分を寄与率で示す。

3.5 地域資源循環と環境保全型農業への寄与

地域資源循環と環境保全型農業への寄与について、実施設稼動後における事後評価の結果は次のとおりである。

資源化物（汚泥炭化物）は、炭化肥料「タンピ（炭肥）くん」として、1袋当たり15kgの製品が、毎月1,000袋程度、継続的に生産されている。

タンピ（炭肥）くんの肥料成分は、窒素全量が2～3%、りん酸全量が13～15%、加里全量が0.8～1.0%、炭素窒素比が（C／N）14～19%であり、高品質な状態が維持されている。また、汚泥炭化物に少量（2.5%）のゼオライトを混入することで、土壌改良効果を高めるとともに、処理汚泥特有の臭気をさらに低減させる取り組みが行われている。図5-6に示すように、製品形状としては、一粒の直径が3mm、長さが5mmのペレット状に成形されているため、施肥がし易く微生物の繁殖も助けることから、地力の改善にも効果的と考えられる。

T市においては、炭化肥料「タンピ（炭肥）くん」販売要綱を定めて、販売対象、販売方法、販売価格等を定めているほか、以下の2つの事項について、購入者に周知するものとしている。

炭化肥料の特徴：高温で汚泥を炭化しているため、ほとんど臭いがなく、遅効性で肥料持ちが良いこと。

使用上の注意：土壌とよく混合して使用し、作物の種類及び土壌条件により使用量を調整すること。

タンピ（炭肥）くんは、T市内で収集されるし尿、汚泥の水処理に伴い発生する汚泥（水処理汚泥）を原料としており、起源が不明確な他の廃棄物等が混じることなく、消費者の安心感は高いと考えられる。製品価格も1袋160円と低価格であり、肥料品質の表示とともに、炭化肥料の施肥方法に関するアドバイスが、包装袋に分かり易く印刷されている。生産された製品は、農家等消費者の評価が高いことから需要が多く、全て捌けている状況である。

高品質肥料の製造と低価格安定供給が可能となり、農家等消費者需要と製品供給の需給バランスも良好なことから、地域資源循環による環境保全型農業の推進にも寄与できたと判断される。



図5-6 炭化肥料「タンピ（炭肥）くん」の形状

第4節 要 約

T市では、生活排水処理事業の効率性や経済性を高め、処理汚泥の資源化による地域内資源循環を推進するために、し尿及び浄化槽汚泥と農業集落排水汚泥を併せて処理・資源化する共同処理事業を計画し実施している（移動脱水車を導入しないシステム；現在、処理・資源化施設稼動中）。

環境省、農林水産省それぞれの単独処理事業を一元化することにより、処理・資源化施設の集約と大規模化が可能となり、し尿、浄化槽汚泥及び農業集落排水汚泥の効率的かつ効果的な処理が安定継続して行えるようになった。

環境省と農林水産省の生活排水処理事業に係る財源措置を有効に活用することで、T市の財政負担を軽減できたことは、共同処理事業の実施による大きな効果であった。

また、LCAの観点からみても、環境に与える負荷はより軽減することが想定された。

資源化製品（汚泥炭化物）は、窒素全量1～2%、りん酸全量13～15%、加里全量0.8～1.0%、炭素窒素比（C／N）14～19%を含み、毎月1,000袋（15kg／袋）程度が継続的に生産されている。資源化製品の品質確保と安定供給が可能となり、消費者の評価も高いことから需要が多く、地域資源循環による環境保全型農業の推進にも寄与できた。

今後も、より適正な生活排水処理事業を進めていくためには、個々に実施されている処理事業の垣根を越えた対応が必要である。特にし尿・汚泥集約処理事業や農業集落排水処理事業など、下水道事業と比べ比較的小規模な生活排水処理事業に関しては、T市のような事業手法が極めて有効と考えられるものである。

なお、地域における生活排水処理の実状と歴史的背景、地域の特性（都市部、農村部等）、生活圏、経済圏、地域の相互関係等の社会的条件、地理・地形、交通事情等の地理的条件等も勘案した上で、生活排水や生活排水汚泥の共同処理事業を実施していくことが重要であることを付記しておきたい。

総括並びに結論

わが国特有の制度・技術であるし尿・汚泥集約処理システムは、し尿の衛生処理を目的としてはじまり、その後、浄化槽などから排出される汚泥も処理することで、生活排水処理システムを補完し完結する役割が加わった。人口減少社会に転じたわが国にとっては、人口の分散地域に適している浄化槽の普及促進と併せ、し尿・汚泥集約処理システムの効果的な活用が、生活排水処理の効率化・最適化に必須と判断される。人口減少によりし尿排出量が減少しても、人口分散地域における浄化槽の普及で、浄化槽汚泥は今後も相応な排出量が見込まれる。今後も、し尿・汚泥集約処理システムの役割は重要である。

しかし、し尿・汚泥集約処理システムでは、施設及び設備装置の老朽化、搬入状況の変化、及び処理財源の逼迫が代表的な現状課題となっている。有機性廃棄物の総合的な処理とリサイクル、資源・エネルギー回収を通じた循環型社会形成への貢献、省資源・省エネルギー化による地球環境問題への対応なども社会的な要請となって久しい。し尿・汚泥集約処理システムを取り巻く様々な状況に対応していくためには、適切な状況把握のもと、より効果的で優位性が高く、実現可能な対応策を採用していく必要がある。

一方、食産業との連携という観点で見れば、し尿や生活排水処理汚泥には、農業で有用な有機質、窒素、リン等の要素が含まれており、有機質肥料の原料となり得るものである。し尿・汚泥等の有機性廃棄物を、リサイクルにより農業で有効活用できれば、環境保全型農業への取り組みを推進するだけでなく、化学肥料の製造に伴う温室効果ガスの排出量削減にも寄与できる。

そこで本研究では、し尿・汚泥集約処理システムにおける現状の実態を把握し、運転管理、処理機能、整備保全の効率向上と最適化に関する検討を行うとともに、持続可能なし尿・汚泥集約処理システムの構築と地域資源循環への寄与を政策論的に評価した。

第1章では、我が国のし尿・汚泥集約処理に関する制度、法令等の史的背景を概説するとともに、集約処理システムにおける技術の概要とその変遷について解説した。し尿・汚泥集約処理システムは、我が国独自の技術開発により1950年代から普及し、法制度、長期計画、財政支援策、技術上の基準等が整備され、

処理方式の開発と実用化が進められてきた。近年では、有機性廃棄物の総合的な処理とリサイクルを行い循環型社会形成へ貢献する役割が加わった。今後は、処理システムの災害対応力、広域的な集約処理、一元的な生活排水処理、ごみ焼却施設とのコンバインド、リサイクルに係る事業間連携、地域資源循環に向けた地場産業との連携などが求められる。処理システムの強靱化と効率化に加え、総合的な資源循環と地球環境保全に貢献する将来の研究開発に期待した。

第2章では、全国のし尿・汚泥集約処理センターを対象として、維持管理に関するアンケート調査を行った。アンケートは、施設概要、維持管理実績、維持管理費、管理体制、施設の課題に関する設問に分類されており、617ヶ所の施設から回答を得た（回収率62%）。施設概要と管理体制に関する情報からは、生物学的脱窒素処理方式が主流で、比較的小規模な施設が多く、全般に施設老朽化、搬入率減少、浄化槽汚泥混入率増加の傾向が見込まれ、施設委託管理への移行が進んでいる実態が明らかとなった。維持管理実績と維持管理費に関するデータからは、集計・解析で得られた平均値や標準偏差などが、運転管理の目安として利用可能と判断され、現状に即した運転管理指標を抽出することができた。施設の課題に関する情報では、処理方式別の主要課題が明らかとなり、適正な維持管理で解消されない場合、抜本的な対応が必要となることが示唆された。

第3章では、第2章のアンケート調査で得られた生物学的脱窒素処理方式の施設に関する結果を解析し、施設の老朽化や搬入状況の変化が処理効率（ユーティリティの利用）に与える影響を検討した。電力の利用では、施設の経年、搬入量の減少、または搬入汚濁負荷の減少に応じて、単位当たりの使用量が増加する傾向が確認され、処理効率低下の目安を得ることができた。燃料の利用では、搬入量の減少、または搬入汚濁負荷の減少に応じて、単位当たりの使用量が増加する傾向が確認された。薬品の利用では、薬品の種類により影響が異なり、単位当たりの薬品費が経年的に減少する可能性も示唆された。

第4章では、し尿、浄化槽汚泥に関する標準的な性状の抽出と分析作業の効率化を目的として、第2章のアンケート調査で得られた性状データ（検討項目：BOD、COD、SS、T-N、T-P、塩化物イオン）をもとに、し尿・浄化槽汚泥の性状に関する解析と検討を行った。性状データの分布は、いずれの

検討項目も、正規または対数正規による非超過確率分布によく適合しており、解析で得られた非超過確率値が、し尿、浄化槽汚泥の性状設定で利用可能と判断された。また、検討項目間の相関関係から、比較的簡単に分析できるCODあるいはSSのいずれかと塩化物イオンの濃度を測定することで、他の検討項目の濃度も把握できることが示唆された。

第5章では、し尿及び浄化槽汚泥と農業集落排水汚泥を併せて処理・資源化するし尿・汚泥集約処理センターの整備事業を、環境省と農林水産省の共同処理事業として実施した国内初の事例を研究対象とした。共同処理事業の事業計画では、し尿・汚泥集約処理事業と農業集落排水処理事業、各々の観点と両省事業の整合を図りながら、共同処理事業の基本諸元、事業計画、概算事業費、事業費アロケーション及び財源計画に関する検討を行った。共同処理事業と単独処理事業（各省による施設単独施工）の比較、共同処理事業における移動脱水車の導入効果なども検討し、策定した事業計画の優位性を検証した。共同処理事業とすることで、衛生処理の安定継続とLCAの観点からみた環境負荷の軽減、資源化製品の品質確保と安定供給、地域資源循環による環境保全型農業の推進、施設整備運営に伴う財政負担の軽減等が可能になることが分かった。し尿・汚泥集約処理事業や農業集落排水処理事業など、下水道事業と比べ比較的小規模な生活排水処理事業に関しては、共同処理事業が極めて有効な事業手法であることが示唆された。

以上、本研究で得られた知見から、し尿・汚泥集約処理を取り巻く様々な状況に対応しつつ、持続可能なシステムを構築していくためには、処理技術や維持管理に係わる知識・ノウハウの保有に加え、広範囲にわたる知見の集積と総合的な判断が必要と考えられる。より効果的で優位性が高く、実現可能な対応策を採用していくには、現状の実態を遡及的解析を含めて正確に評価し、客観的かつ合理的な尺度で将来像を描くことが重要である。今後、し尿・汚泥集約処理システムにおける運転管理、処理機能、及び整備保全の効率向上と、システム自体の最適化モデルを検討する際に、本論文から示唆を受け取って頂けるものと判断する。また、本成果は、し尿・汚泥集約処理システムを通じた地域資源循環や地球温暖化防止の対応策に活用され得るとともに、生活排水処理の最適化と公共用水域の水質保全にも貢献できると考えられる。

用語集

pH : Potential Hydrogen 水素イオン指数

BOD : Biochemical Oxygen Demand 生物化学的酸素要求量

COD : Chemical Oxygen Demand 過マンガン酸カリウムによる化学的酸素
要求量、 COD_{Mn} の一般的表記

COD_{Cr} : Chemical Oxygen Demand 重クロム酸カリウムによる化学的酸素
要求量

SS : Suspended Solids 浮遊物質

T-N : Total Nitrogen 総窒素

T-P : Total Phosphorus 全リン

Cl^- : Chloride Ion 塩化物イオン

MLSS : Mixed Liquor Suspended Solids 活性汚泥法における生物反応槽
の液中浮遊物質濃度、微生物量の指標

DO : Dissolved Oxygen 溶存酸素、水中に溶解している分子状酸素

BOD容積負荷 : BOD Volumetric Loading 生物反応槽の単位容積に負荷さ
れる1日当たりのBOD量、生物反応槽の容量算出や運転管理の指標

BOD-MLSS負荷 : BOD-MLSS Loading 1日当たりの投入BOD負荷量
をMLSS量で除した値、生物学的脱窒素処理における主反応槽の容
量算出や運転管理の指標

総窒素-MLSS負荷 : T-N-MLSS Loading 1日当たりの投入T-N負荷量
をMLSS量で除した値、生物学的脱窒素処理における主反応槽の容
量算出や運転管理の指標

酸化態窒素-MLSS負荷 : NO_x -MLSS Loading 生物学的脱窒素処理の仕上
げ工程において、1日当たりの流入酸化態窒素負荷量をMLSS量で
除した値、二次脱窒素槽の容量算出や運転管理の指標

返送汚泥 : Return Sludge 好気性微生物によりBOD等の除去を行わせる曝
気槽(Aeration Tank)の汚泥濃度を一定に保つために、後段の固液分離
設備から返送される汚泥

汚泥返送比 : Return Sludge Ratio 流入量に対する返送汚泥量の割合

膜モジュール：Membrane Module 膜分離装置の基本構成

フラックス：Flux 透過流速、単位時間に膜の単位面積を透過する液量

分画分子量：Cutoff Molecular Weight 限外ろ過膜（UF膜）において、膜が阻止できる最小の分子量

H A P：Hydroxyapatite ヒドロキシアパタイト、リン酸カルシウム化合物の一種で、最も溶解度が小さく結晶化し易い物質

M A P：Magnesium Ammonium Phosphate リン酸マグネシウムアンモニウム

L C A：Life Cycle Assessment 資源の採取から製造、使用、廃棄、輸送など全ての段階を通して環境影響を定量的、客観的に評価する手法

L C C：Life Cycle Cost 製品や構造物などの費用を、調達・製造～使用～廃棄の段階をトータルして考えたもの、生涯費用

L C C O₂：Life Cycle CO₂ 建築物などの建設から運用、解体までのライフサイクルを通して排出するCO₂排出量を削減するために、建物寿命1年あたりのCO₂排出量を算出して評価する手法

補 遺

〈資料－１〉

し尿・汚泥集約処理システムの現況に関する資料集

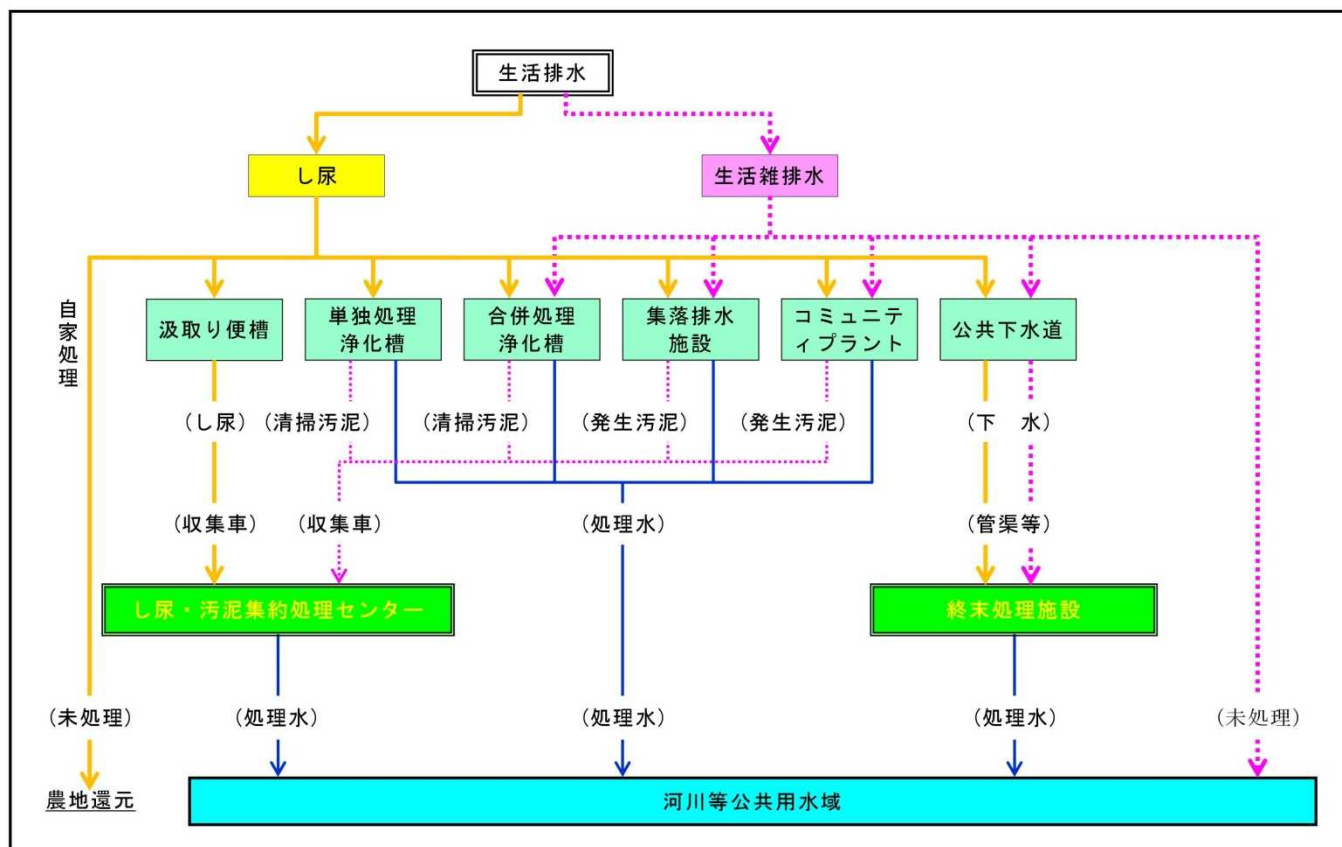
〈資料－２〉

し尿・汚泥集約処理センターの維持管理に関するアンケート調査票

〈資料－１〉

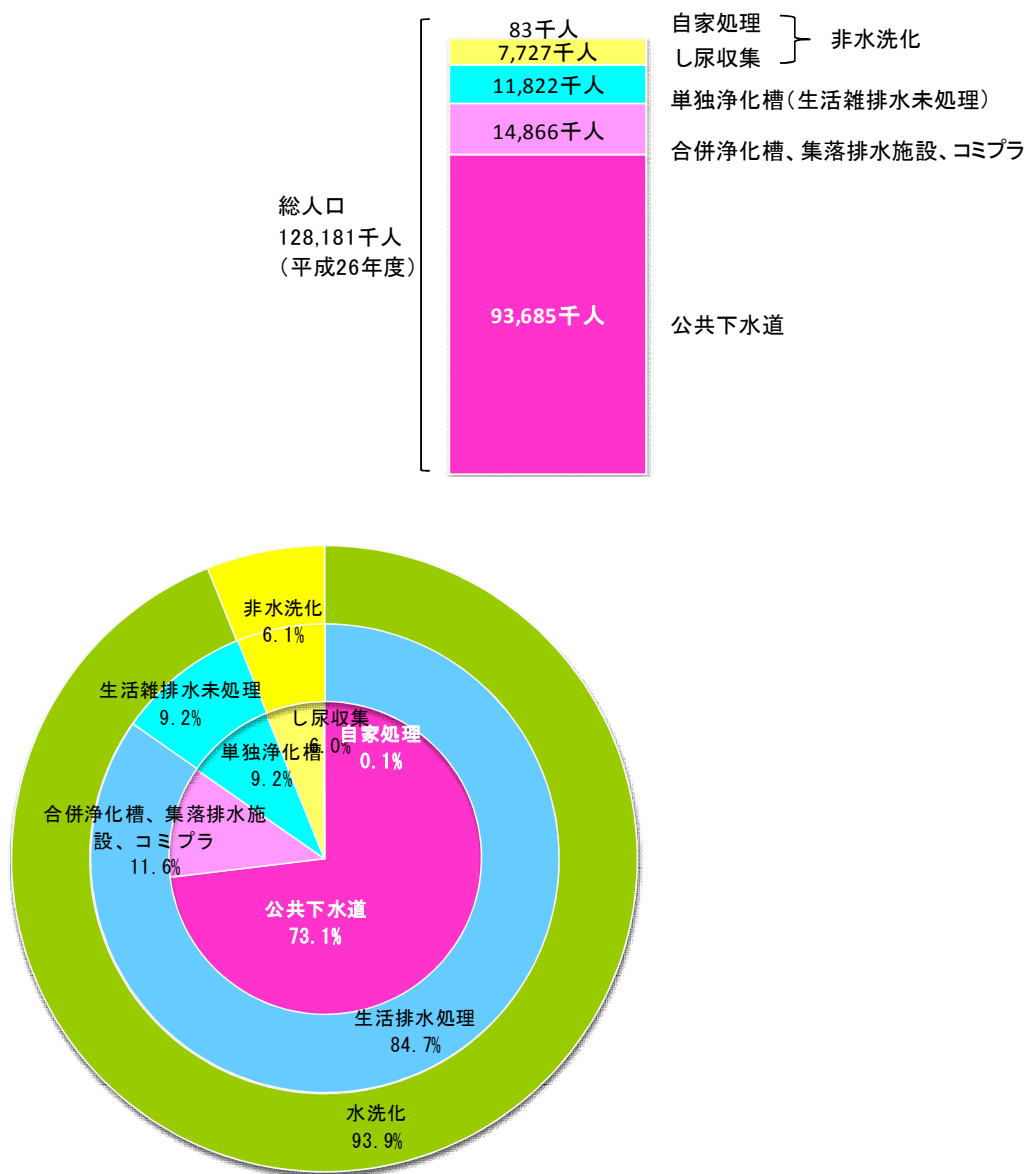
し尿・汚泥集約処理システムの現況に関する資料集

【わが国の生活排水処理体系】



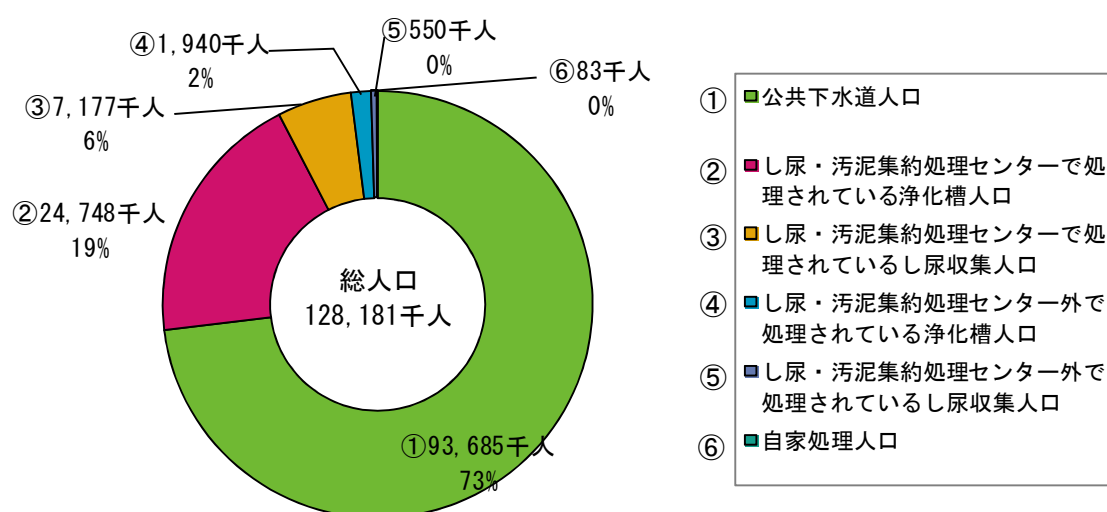
※し尿・汚泥集約処理センター：し尿処理施設、汚泥再生処理センター

【生活排水処理の現状】



参考文献「環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課：日本の廃棄物処理
(平成26年度版)、p. 36～44 (2016)」より作成

【処理形態別人口の現状】



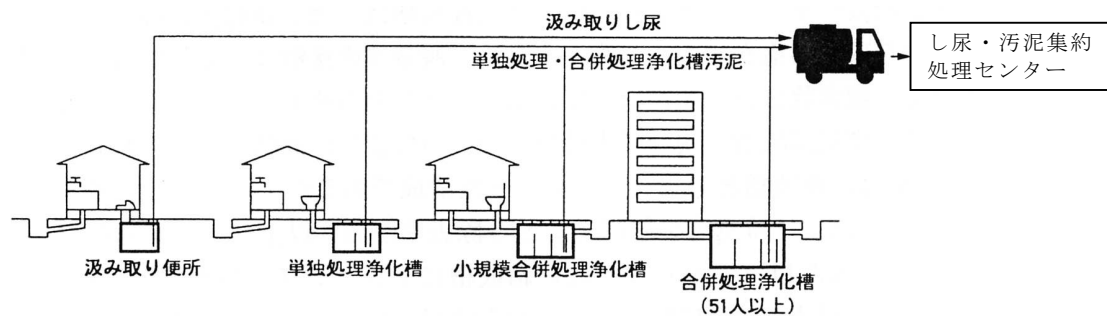
参考文献「環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課：日本の廃棄物処理（平成26年度版）、p. 36～44 (2016)」より作成

【処理形態別人口の推移】

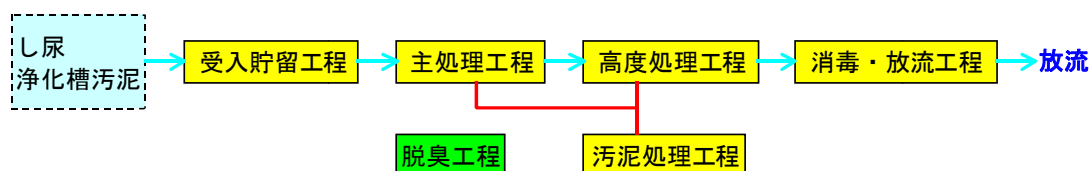
年度	22年度	23年度	24年度	25年度	26年度
総人口 (千人)	127,302	127,146	128,622	128,394	128,181
公共下水道人口 (千人)	88,865	89,810	91,984	92,886	93,685
(%)	69.8	70.6	71.5	72.3	73.1
し尿・汚泥集約処理センター (千人)	35,758	34,237	33,751	33,219	31,925
処理対象人口 (%)	28.1	26.9	26.2	25.9	24.9
浄化槽人口 (千人)	26,367	25,614	25,527	25,498	24,748
し尿収集人口 (千人)	9,391	8,623	8,224	7,721	7,177
し尿・汚泥集約処理センター (千人)	2,549	2,988	2,779	2,202	2,490
以外の処理対象人口 (%)	2.0	2.4	2.2	1.7	1.9
浄化槽人口 (千人)	1,956	2,263	2,154	1,681	1,940
し尿収集人口 (千人)	593	725	625	521	550
自家処理人口 (千人)	130	112	107	87	83

参考文献「環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課：日本の廃棄物処理（平成26年度版）、p. 36～44 (2016)」より作成

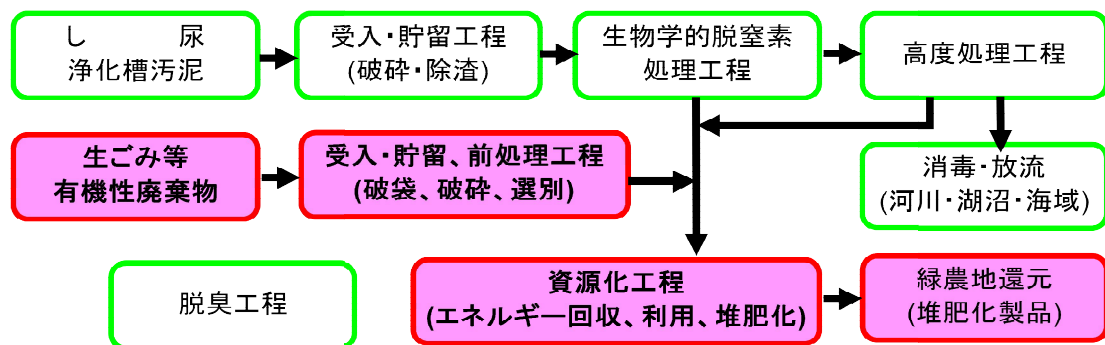
【汲み取りし尿・浄化槽汚泥の収集システム】



【し尿処理施設の基本フローシート】

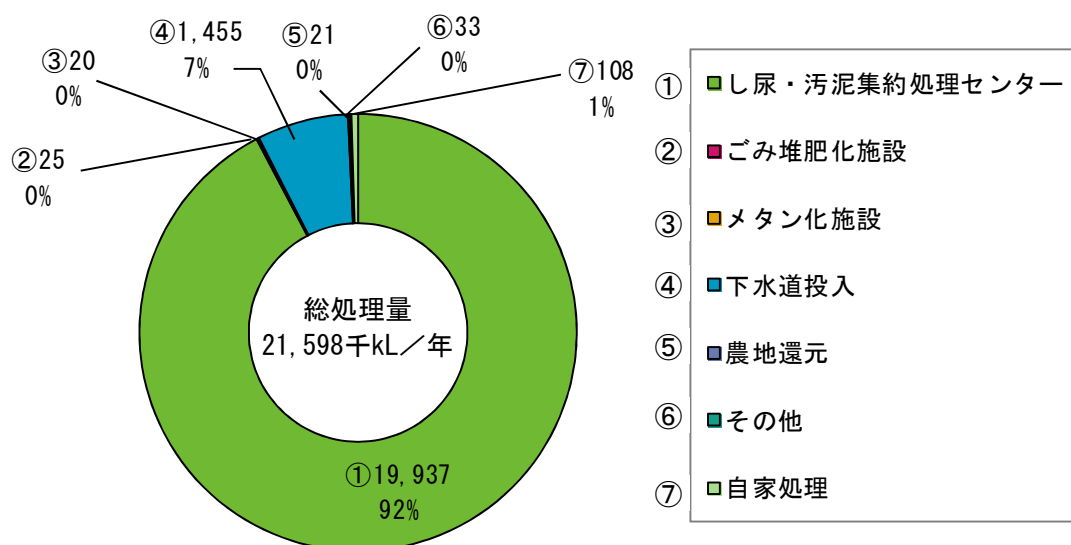


【汚泥再生処理センターの基本フローシート】



位置づけ	地域内で発生するし尿、生活排水処理汚泥の衛生的な処理機能と、生ゴミ等の有機性廃棄物の資源化処理機能を併せ持つ施設
処理対象物	くみ取りし尿、浄化槽汚泥、農業集落排水処理汚泥などの汚泥、生ゴミ、家畜・ペットふん尿、飲食店の残飯、魚屋のあらなどの有機性廃棄物
設備構成	水処理：生物処理に高度処理などを付加した安定化、安全化処理 資源化処理：高速メタン発酵によるエネルギー回収、コンポスト化による資源回収などの再生処理

【処理形態別処理量の現状】



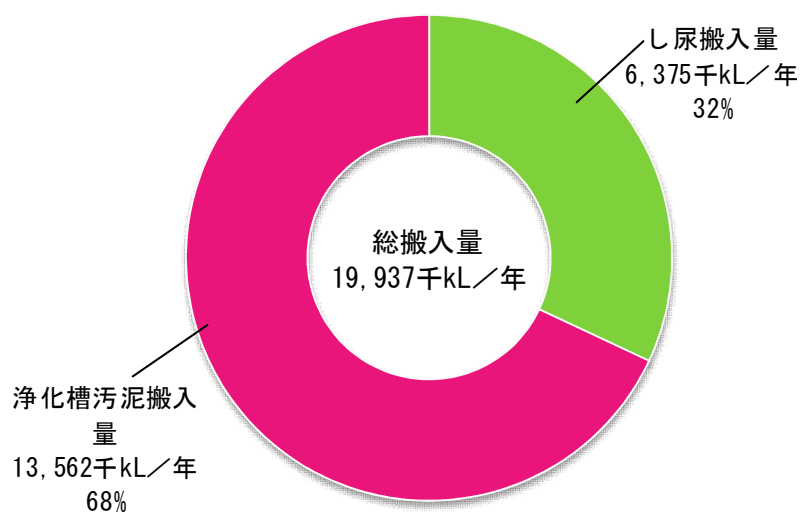
参考文献「環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課：日本の廃棄物処理
(平成26年度版)、p. 36～44(2016)」より作成

【処理形態別処理量の推移】

		単位：千kL/年				
年度		22年度	23年度	24年度	25年度	26年度
総処理量	総処理量	23,280	22,827	22,289	21,935	21,598
	くみ取りし尿量	8,493	8,077	7,313	7,289	6,934
	浄化槽汚泥量	14,788	14,750	14,676	14,646	14,663
計画処理量	し尿・汚泥集約処理センター	21,678	20,912	20,538	20,497	19,937
	ごみ堆肥化施設	17	15	21	19	25
	メタン化施設	16	16	15	21	20
	下水道投入	1,346	1,654	1,544	1,265	1,455
	農地還元	72	69	23	18	21
	その他	69	61	71	39	33
	小計	23,198	22,728	22,211	21,859	21,490
自家処理量		83	99	78	76	108

参考文献「環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課：日本の廃棄物処理
(平成26年度版)、p. 36～44(2016)」より作成

【し尿・汚泥集約処理センターにおける搬入量の現状】



参考文献「環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課：日本の廃棄物処理
(平成26年度版)、p. 36～44(2016)」より作成

【し尿・汚泥集約処理センターにおける搬入量の推移】

年度		22年度	23年度	24年度	25年度	26年度
総搬入量	千kL／年	21,678	20,912	20,538	20,497	19,937
し尿搬入量	千kL／年	7,917	7,365	7,018	6,771	6,375
浄化槽汚泥	搬入量 千kL／年	13,760	13,547	13,519	13,726	13,562
	混入率 %	63.5	64.8	65.8	67.0	68.0
搬入率	%	65.1	64.0	64.0	64.7	64.4

参考文献「環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課：日本の廃棄物処理
(平成26年度版)、p. 36～44(2016)」より作成

【1人1日平均排出量の現状】

単位：L／人・日

し尿	2. 4 3
浄化槽汚泥	1. 5 1
合併処理浄化槽汚泥	2. 0 0
単独処理浄化槽汚泥	0. 8 8

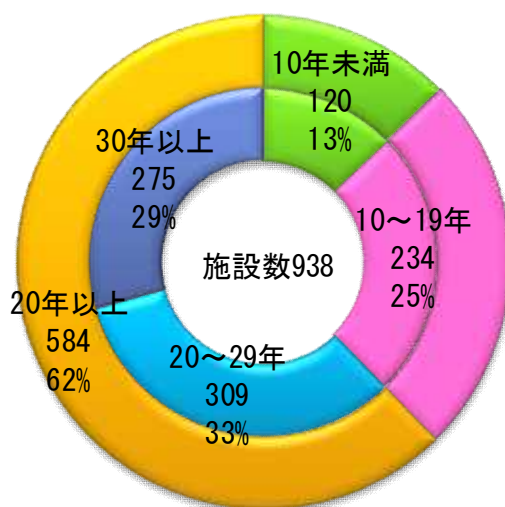
参考文献「環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課：日本の廃棄物処理
（平成26年度版）、p. 36～44(2016)」及び
「社団法人全国都市清掃会議：社団法人全国都市清掃会議：汚泥再生処理センター等
施設整備の計画・設計要領2006改訂版」より作成

【1人1日平均排出量の推移】

年度		22年度	23年度	24年度	25年度	26年度
し尿	収集人口 千人	9, 984	9, 348	8, 849	8, 242	7, 727
	収集量 kL/日	23, 060	21, 814	20, 687	19, 802	18, 807
	原単位 L/人・日	2. 31	2. 33	2. 34	2. 4	2. 43
浄化槽汚泥	収集人口 千人	28, 323	27, 877	27, 681	27, 179	26, 688
	収集量 kL/日	40, 495	40, 300	40, 209	40, 126	40, 174
	原単位 L/人・日	1. 43	1. 45	1. 45	1. 48	1. 51

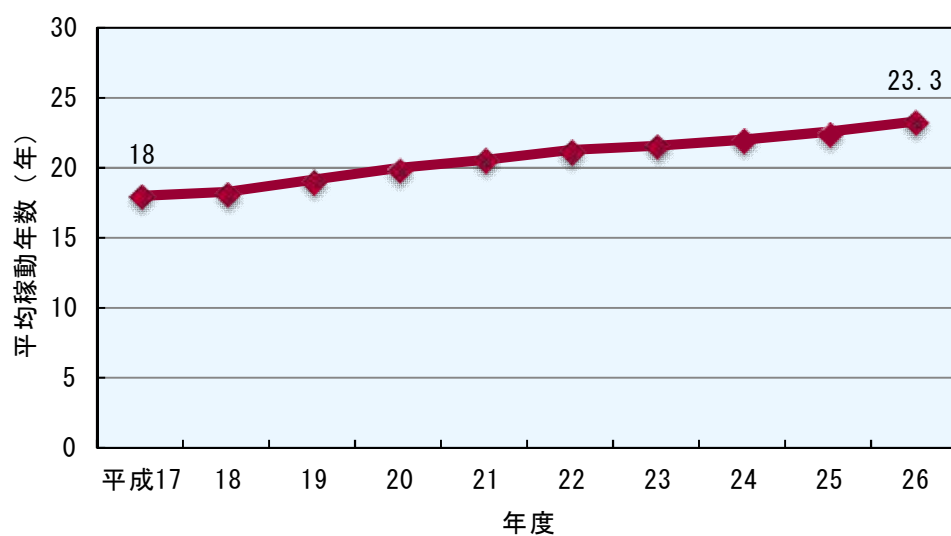
参考文献「環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課：日本の廃棄物処理
（平成26年度版）、p. 36～44(2016)」より作成

【全国的な施設老朽化の実態】



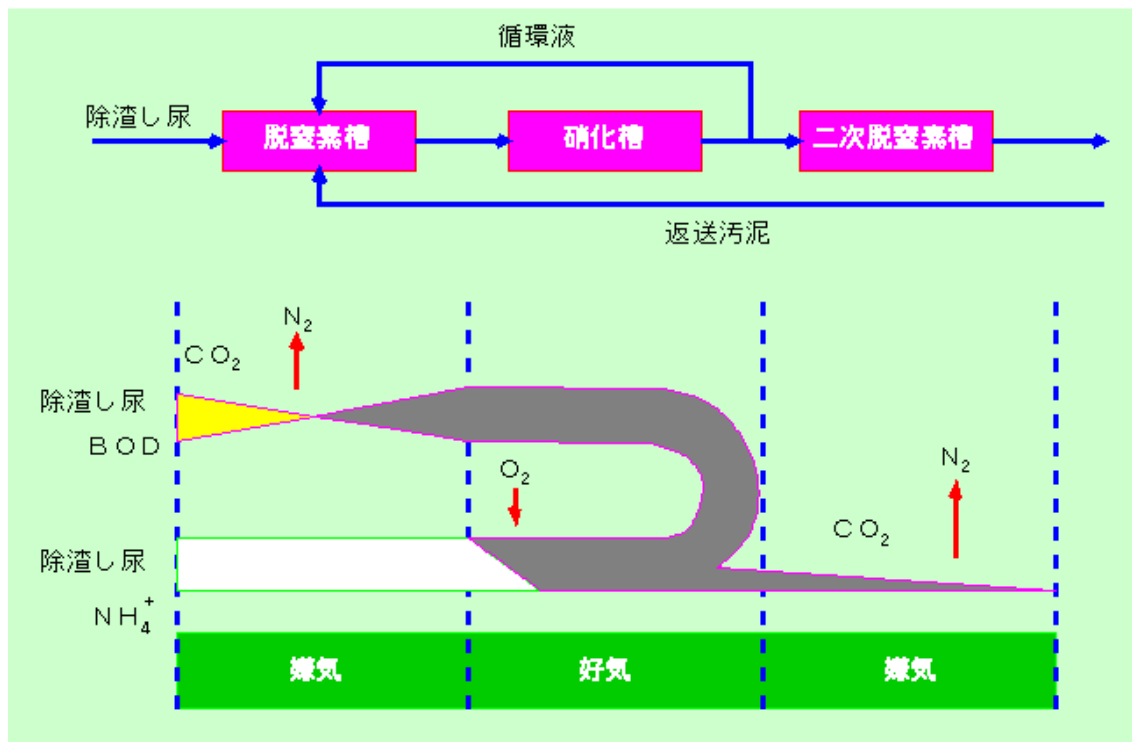
参考文献「環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課：一般廃棄物処理事業実態調査結果、平成26年度調査結果(2016)」より作成

【施設平均稼働年数の年度別推移】

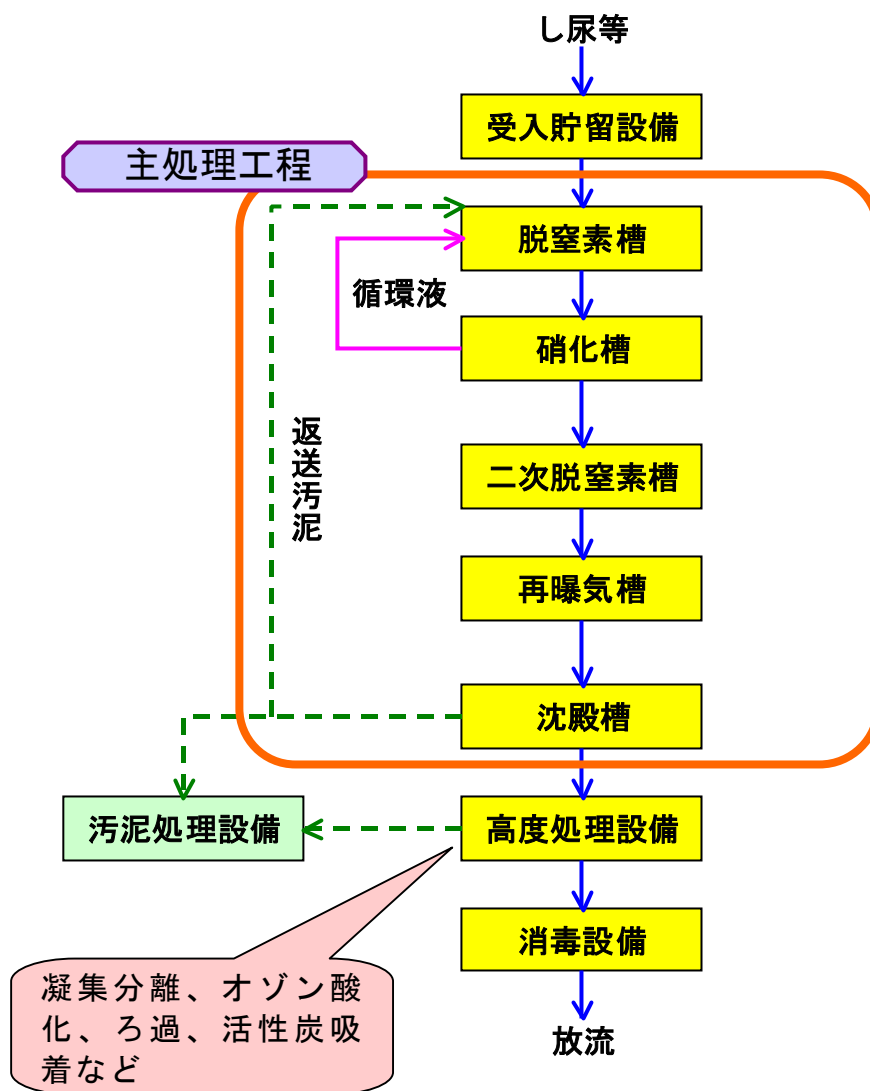


参考文献「環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課：一般廃棄物処理事業実態調査結果、平成17～26年度調査結果（2007～2016）」過去10年間の調査結果より算出

【生物学的脱窒素処理の仕組み】
 (硝化液循環法におけるBODと窒素の挙動)



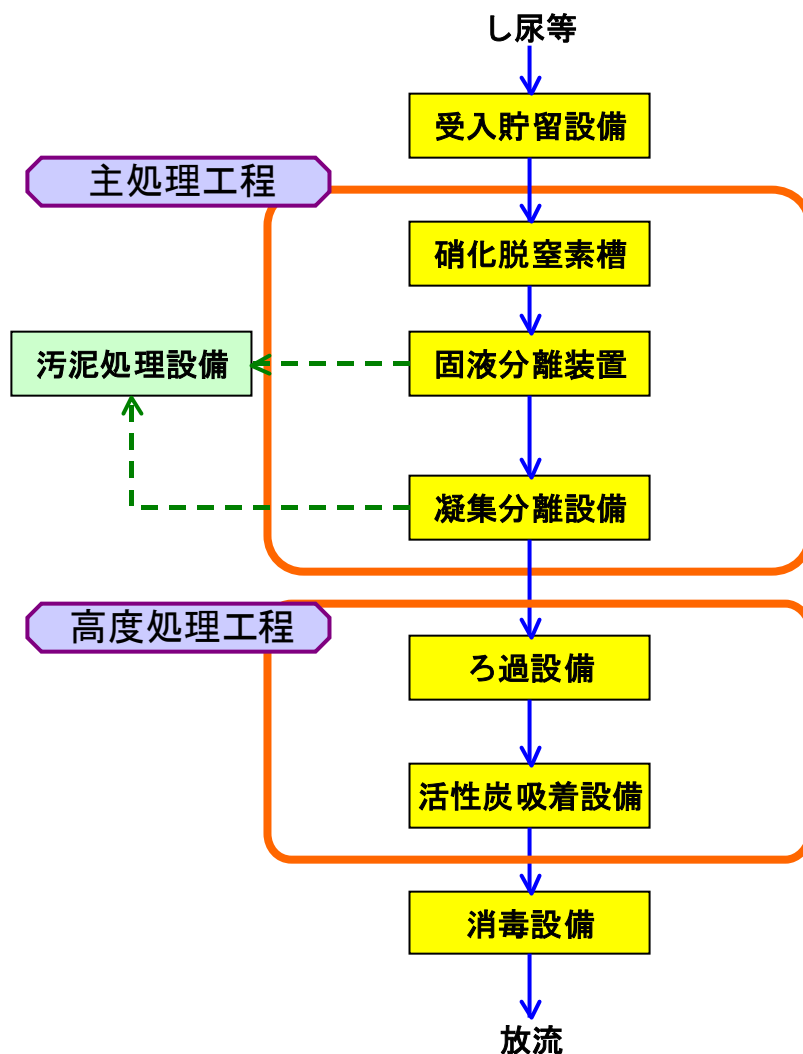
【標準脱窒素処理方式】



【特徴】

- ① BODと窒素の除去効果が高い
- ② 希釈水量が少ない（10倍希釈以下）
- ③ 維持管理が嫌気性処理より複雑
- ④ 維持管理費が嫌気性処理よりやや高い
- ⑤ 設備容量が他の生物学的脱窒素処理より大きい
- ⑥ 臭気の発生量が比較的多い

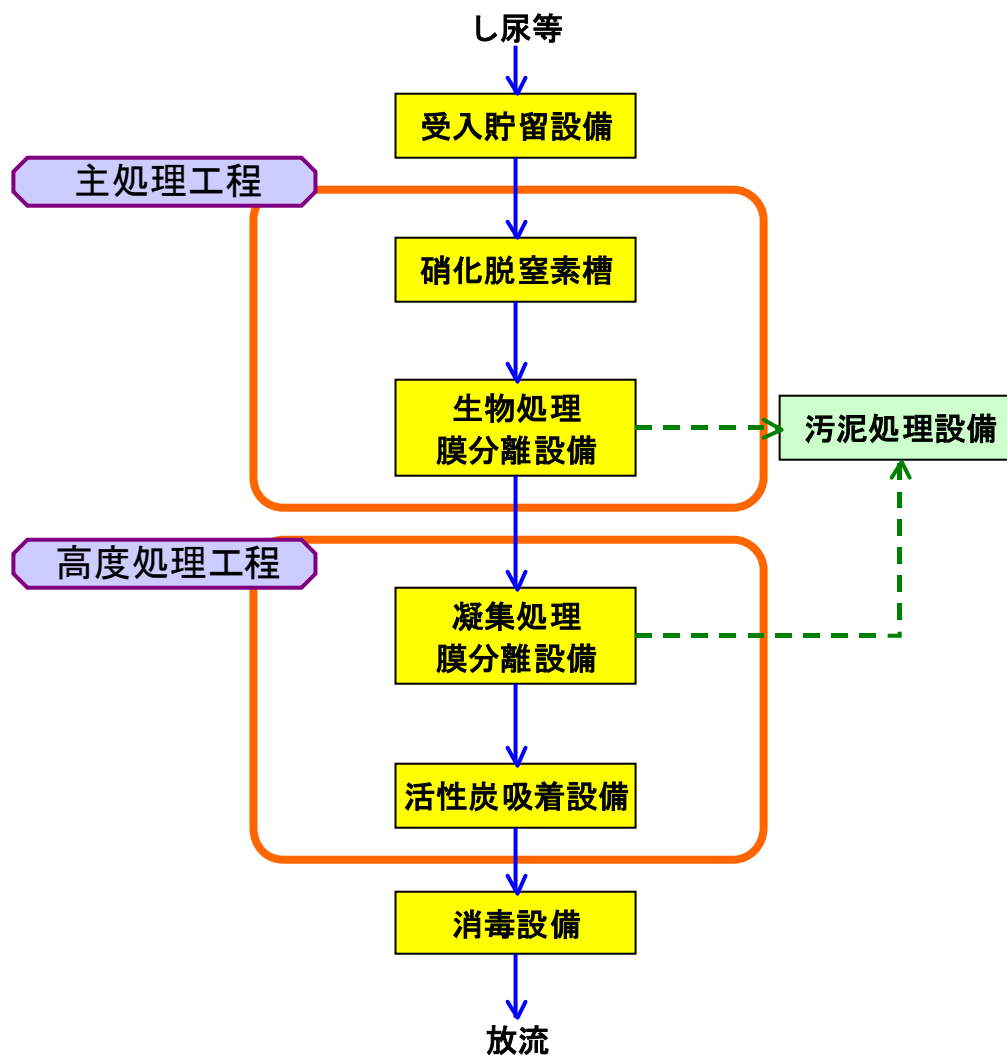
【高負荷脱窒素処理方式】



【特徴】

- ① BODと窒素の除去効果が高い
- ② 希釈水量が標準脱窒素処理より少ない
(3倍希釈以下)
- ③ 維持管理が嫌気性処理より複雑
- ④ 維持管理費が嫌気性処理よりやや高い
- ⑤ 施設のコンパクト化が可能
- ⑥ 臭気の発生量が標準脱窒素処理より少ない

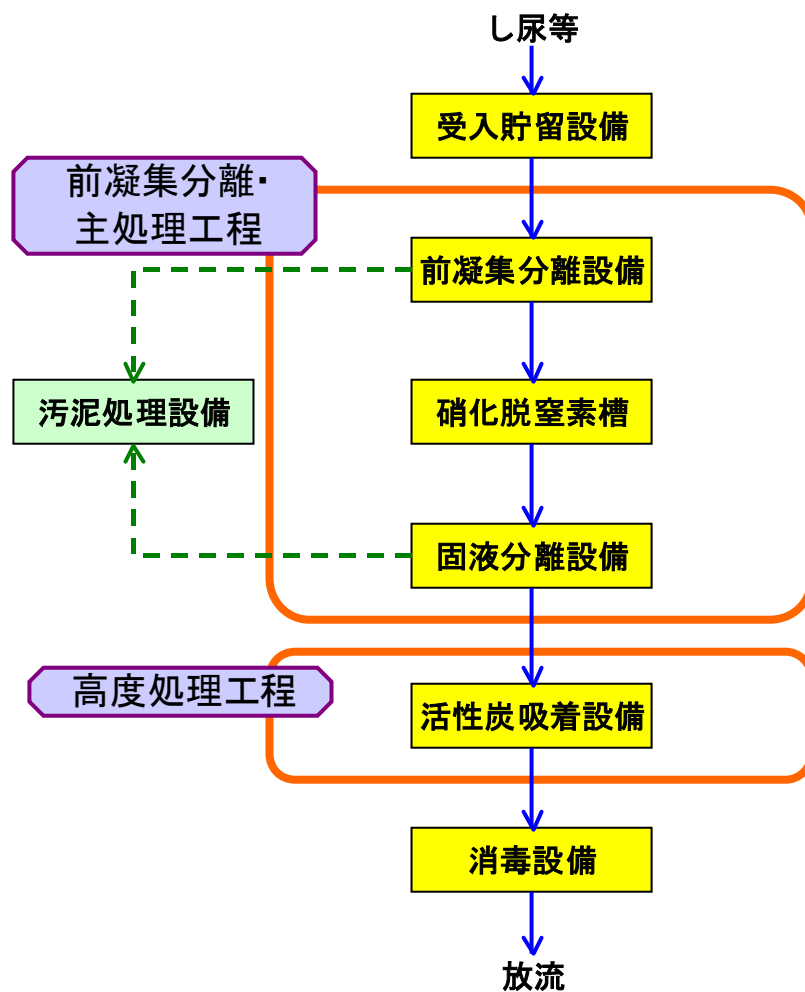
【膜分離高負荷脱窒素処理方式】



【特徴】

- ① BODと窒素の除去効果が高い
- ② 希釈水量が標準脱窒素処理より少ない
(1.5倍希釈以下)
- ③ 維持管理が嫌気性処理より複雑
- ④ 維持管理費が嫌気性処理よりやや高い
- ⑤ 施設のコンパクト化がより可能
- ⑥ 臭気の発生量が標準脱窒素処理より少ない

【浄化槽汚泥対応型脱窒素処理方式】



【特徴】

- ① BODと窒素の除去効果が高い
- ② 希釈水量が標準法より少ない（1.5倍希釈以下）
- ③ 維持管理が複雑
- ④ 維持管理費がやや高い（膜の交換費用など）
- ⑤ 施設のコンパクト化が最も可能
- ⑥ 臭気の発生量が比較的少ない

〈資料－２〉

し尿・汚泥集約処理センターの維持管理に関するアンケート調査票

し尿処理施設・汚泥再生処理センター
維持管理に係るアンケート

アンケート調査票の入手方法

本アンケート調査票は、（財）日本環境衛生センターのホームページからダウンロードできます。

財団法人日本環境衛生センターホームページ

URL : <http://www.jesc.or.jp/info/sise/download.html>

ダウンロードしたアンケート調査票にご回答いただき、電子メールにて送信してください。

電子メール : e-shisetsu@jesc.or.jp

敷地内に複数の施設が設置されている場合は、施設ごとに別個のアンケート調査票にてご回答ください。

（同一施設内に処理系統が複数ある場合には、同一のアンケート調査票にてご回答ください。）

【調査票記入担当者の連絡先】※必ずご記入ください

自治体名	
担当部局	
担当者名	
住所	
電話番号	
FAX番号	
メールアドレス	

1. 施設概要

①施設名称	
-------	--

施設の名称をご記入ください。
記入例：〇〇〇衛生センター

②施設所管	
-------	--

施設を所管する自治体名をご記入ください。
記入例：〇〇市、〇〇広域連合、△△組合

③構成市町村	
--------	--

施設所管が、広域連合又は一部事務組合の場合は、構成市町村名を記入してください。市町村単独で施設を所管している場合は、空欄のままで結構です。

④処理対象区域	<div></div> <p>(構成市町村以外からの搬入の有無) <input type="radio"/> 有 <input type="radio"/> 無</p> <p>(有の場合：自治体名) <div></div></p>
---------	---

処理対象の区域をご記入ください。
記入例：〇〇市(◇◇区域)、〇〇市(△△地域を除く)、■●町、●●村
構成市町村以外から処理を委託されている場合には「有」にチェックし、該当自治体名(区域名も記入)をご記入ください。

⑤所在地	<p>〒 <div></div> 都道府県名 <div></div></p> <p>住所 <div></div></p> <p>TEL <div></div> FAX <div></div></p>
------	---

施設の所在地を記入してください。また、電話番号及びFAX番号もご記入ください。

⑥計画処理能力	<p>計画処理能力 <div></div> kL/日</p> <p>内訳： し尿 <div></div> kL/日</p> <p>浄化槽汚泥 <div></div> kL/日</p> <p>その他 <div></div> : <div></div> /日</p> <p><div></div> : <div></div> /日</p> <p><div></div> : <div></div> /日</p>
---------	---

施設の計画処理能力について、し尿、浄化槽汚泥ごとに記入してください。
また、生ごみ等の有機性廃棄物を搬入している場合には、種類及び計画処理量についても記入してください。なお、生ごみ等の有機性廃棄物の単位は発注仕様書を参考に記入してください。

記入例：し尿 〇〇kL/日
浄化槽汚泥△△kL/日
その他 (農業集落排水施設汚泥：□□m³/日)、
(農業集落排水施設汚泥(浄化槽汚泥に含む)：〇〇kL/日)
その他 (生ごみ：□□kg/日)
その他 (下水汚泥：□□t/日)

各処理工程の処理方式について、記入・選択してください。

⑦処理方式

主処理

下記処理方式を参考に記入してください。処理系統が複数でかつ処理方式が異なる場合は、併記してください。その際は、系列数も記入してください。

標準脱窒素処理方式
高負荷脱窒素処理方式
膜分離高負荷脱窒素処理方式
浄化槽汚泥の混入率の高い脱窒素処理方式
嫌気性消化処理方式
好気性消化処理方式
湿式酸化処理方式
浄化槽専用処理方式

記入例①：高負荷脱窒素処理方式

記入例②：標準脱窒素処理方式(1系列)、好気性消化処理方式(1系列)

高度処理 ☐ 凝集分離 ☐ オゾン酸化 ☐ 砂ろ過 ☐ 活性炭吸着
☐ その他()

高度処理の方式を選択してください。複数の設備を組み合わせている場合は、該当する項目を全て選択してください。

汚泥処理 ☐ 濃縮 ☐ 脱水 ☐ 乾燥 ☐ 焼却
☐ その他()

汚泥処理の方式を選択してください。複数の設備を組み合わせている場合は、該当する項目を全て選択してください。汚泥を全量資源化している場合は、汚泥処理の欄は空欄とし、資源化の欄に記入してください。汚泥の一部を資源化している場合は、汚泥処理及び資源化の両欄に記入してください。

臭気処理 高濃度：☐ 燃焼 ☐ 生物脱臭 ☐ その他()
中濃度：☐ 薬液洗浄 ☐ 活性炭 ☐ その他()
低濃度：☐ 活性炭 ☐ その他()

臭気処理の方式について、各臭気濃度ごとに処理方式を選択してください。複数の方式を組み合わせている場合は、該当する項目を全て記入してください。

資源化 ☐ メタン回収 ☐ 汚泥助燃剤化 ☐ リン回収 ☐ 堆肥化
☐ 乾燥 ☐ 炭化 ☐ 熔融 ☐ 油温減圧乾燥
☐ 汚泥熱分解 ☐ その他()

資源化方式を選択してください。複数の設備を組み合わせている場合は、該当する項目を全て選択してください。

⑧希釈水（プラント用水）の種類	<input type="radio"/> 地下水 <input type="radio"/> 上水 <input type="radio"/> 中水 <input type="radio"/> 河川表流水 <input type="radio"/> 海水 <input type="radio"/> その他(<input type="text"/>)
-----------------	---

希釈水又はプラント用水として利用している水の種類を選択ください。
 複数の種類を利用している場合は、主に利用しているものを選択してください。
 緊急的に利用するものに関しては、選択不要です。

⑨放流水質	p H	<input type="text"/>	～	<input type="text"/>
	B O D	<input type="text"/>	mg / L 以下	
	S S	<input type="text"/>	mg / L 以下	
	C O D	<input type="text"/>	mg / L 以下	
	T - N	<input type="text"/>	mg / L 以下	
	T - P	<input type="text"/>	mg / L 以下	
	大腸菌群数	<input type="text"/>	個 / cm ³ 以下	

放流水質について、性能保証値を各項目ごとに記入してください。

⑩放流先	<input type="checkbox"/> 河川 <input type="checkbox"/> 海洋 <input type="checkbox"/> 下水道(単独公共) <input type="checkbox"/> 下水道(流域関連) <input type="checkbox"/> その他(<input type="text"/>)
------	---

放流先として該当する項目を選択してください。

⑪し渣処分方法	<input type="text"/>
---------	----------------------

し渣の処分方法について、下記を参考に記入してください。
 記入例①：施設内で脱水・焼却処理し、焼却灰を最終処分場で埋立処分
 記入例②：施設内で脱水処理し、ごみ焼却施設で焼却

⑫汚泥処分方法	<input type="text"/>
---------	----------------------

汚泥の処分方法について、下記を参考に記入してください。なお、汚泥を全量資源化している場合は、空欄のままで結構です。
 記入例①：施設内で脱水、乾燥後、し渣とともに焼却処理し、焼却灰を最終処分場で埋立処分
 記入例②：施設内で脱水し、ごみ焼却施設で焼却
 記入例③：施設内で脱水後、別施設で資源化

⑬沈砂処分方法	<input type="text"/>
---------	----------------------

沈砂の処分方法について、下記を参考に記入してください。
 記入例①：沈砂除去装置で分離・洗浄後、最終処分場で埋立処分
 記入例②：沈砂除去装置で分離・洗浄後、施設内焼却設備で焼却し、灰とともに最終処分場で埋立処分

⑭竣工年度	<input type="radio"/> 昭和 <input type="radio"/> 平成 <input type="text"/> 年 <input type="text"/> 月
-------	---

施設の竣工年月を記入してください。
 処理系統が複数でかつ処理方式が異なる場合の竣工年度は、⑯施設整備経過の欄にご記入ください。

⑮設計・施工業者	
----------	--

施設の設計・施工業者名を記入してください。

記入例①：設計・施工一括発注の場合 「設計・施工：〇〇株式会社」

記入例②：図面発注の場合 「設計：□□株式会社、施工：△△株式会社」

⑯施設整備経過	<input type="radio"/> 改造等の実績なし <input type="radio"/> 改造等の実績あり	
	年度	
	年度	
	年度	
	年度	
	年度	
	年度	
	年度	
	年度	
	年度	
	年度	
	年度	
	年度	
	年度	
	年度	
	年度	

改造等（改造、増設、大規模な基幹的整備等）の実績がない場合は、「改造等の実績なし」を選択してください。

改造等（改造、増設、大規模な基幹的整備等）の実績がある場合、「改造等の実績あり」を選択し、内容を実施年度とともに記入してください。

記入例：〇〇年度 主処理設備を標準脱窒素処理方式に変更
 （処理規模□□kL/日から△△kL/日に変更）

□□年度 基幹的整備（前処理設備、乾燥・焼却設備、脱臭設備）

また、施設を休止、廃止している場合は、下欄に年度を記入してください。

<input type="radio"/> 休止、廃止	<input type="text"/> 年度
-----------------------------	-------------------------

2. 維持管理実績

2.1 搬入実績

平成21年度の搬入実績を記入してください。

	平成21年度		
し尿搬入量 kL / 年			
浄化槽汚泥搬入量 kL / 年			
その他 <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td></td><td></td></tr></table> / 年			
その他 <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td></td><td></td></tr></table> / 年			
その他 <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td></td><td></td></tr></table> / 年			
合計 kL / 年			

平成21年度の搬入実績について、し尿、浄化槽汚泥ごとに記入してください。
また、生ごみ等の有機性廃棄物を搬入している場合には、種類及び搬入実績についても記入してください。なお、生ごみ等の有機性廃棄物の単位は発注仕様書等を参考に記入してください。

記入例： し尿 ○○kL/年
 浄化槽汚泥 △△kL/年
 その他（農業集落排水施設汚泥：□□m³/年）
 その他（生ごみ：□□kg/年）
 その他（下水汚泥：□□t/年）

2.2 放流量

平成21年度の放流量の実績値を記入してください。

	平成21年度
放流量 m ³ /年	

2.3 電力使用量

平成21年度の電力使用量の実績値を記入してください。

	平成21年度
電力使用量 kWh/年	

2.4 燃料使用量

平成21年度の燃料使用量の実績値を記入してください。

	平成21年度
燃料使用量 L/年	

2.5 薬品使用量

平成21年度の薬品使用量について、各項目の薬品名、単位、濃度及び実績値を記入してください。

項目	薬品名	単位	濃度 (%)	平成21年度
脱水用 無機凝集剤		／年		
		／年		
脱水助剤 (Ⅰ 剤)		／年		
		／年		
脱水助剤 (Ⅱ 剤)		／年		
		／年		
水処理用 無機凝集剤		／年		
		／年		
凝集助剤		／年		
		／年		
メタノール			kg／年	

※脱水助剤及び凝集助剤が粉体の場合は、濃度(%)の記入は不要です。

記入例 ① 脱水用無機凝集剤 ポリ鉄 L／年 11 (%)
 ② 脱水助剤(Ⅰ 剤) カチオン系高分子凝集剤 kg／年 － (%)
 ③ 脱水助剤(Ⅱ 剤) アニオン系高分子凝集剤 kg／年 － (%)

2.6 脱水機供給汚泥量・汚泥濃度

脱水機に供給している汚泥量の実績値及び汚泥濃度を記入してください。
 また、汚泥濃度の分析種別について該当する項目を選択してください。

	平成21年度
脱水機供給汚泥量	m ³ ／年
脱水機供給汚泥濃度	mg／L
	<input type="radio"/> 外注分析 <input type="radio"/> 施設内分析 <input type="radio"/> その他
その他	

外注分析 : 分析業者及び精密機能検査業務等で外部の分析機関で測定した汚泥濃度
 施設内分析 : 施設内で分析担当者が、日常運転管理のために測定した汚泥濃度
 その他 : 汚泥界面計等により簡易的に測定した汚泥濃度など

※ 汚泥濃度分析を同一年度内で複数回実施している場合は、平均値を記入してください。

3. 維持管理体制

3.1 維持管理体制

平成22年度の維持管理体制について、該当する項目を全て選択してください。

- ☐ 直営
☐ 委託
☐ 長期包括管理委託
☐ PFI（DBO方式）
☐ その他（ ）

平成22年4月1日現在の維持管理体制について、該当する項目を選択してください。

- 直営 : 自治体職員が維持管理している場合
 委託 : 施設の運転管理を業者等に委託している場合
 長期包括管理委託 : 施設の運転管理、薬品・消耗品等の調達、設備機器のオーバーホール等の施設維持管理業務を包括的に長期間にわたって、業者等に委託している場合
 PFI（DBO方式） : 施設の設計、施工、維持管理・運営業務をPFI事業として発注し、民間業者が施設の維持管理を行っている場合
 その他 : 上記以外の場合は、どのような体制で施設の維持管理を行っているか、記載してください

3.2 管理人員数

施設の維持管理人員数を記入してください。

管理区分	直営	委託	計
事務人員数	人	人	人
技術人員数	人	人	人
合計	人	人	人

平成22年4月1日現在の施設の維持管理人員を、事務職に係る人員と運転管理に係る技術人員にわけて記入してください。また、合計人数も記入してください。事務職及び技術職を兼務している場合は、技術人員として計上してください。

一部運転管理を業者等に委託している場合は、専属で施設の管理業務に携わる自治体職員についても計上してください。

直営の人員数については、アルバイト職員、嘱託職員、派遣職員を含めて計上してください。

※維持管理体制が、「直営」以外の場合は、3. 3及び3. 4の質問にご回答ください。

3. 3 主な委託業務内容

維持管理業者に委託している主な業務内容について、該当する項目を全て選択してください。

- ☐ 運転管理
☐ 検査測定業務
☐ 設備機器の定期点検及び保守
☐ 物品・用役調達
☐ 法定点検、検査
☐ その他（）

委託している主な業務内容について、該当する項目全てを選択してください。維持管理業者に委託している業務についての設問ですので、自治体が別途業務として委託しているものは含みません。

- 運転管理 : し尿・浄化槽汚泥等の搬入受入業務、各種設備機器の運転操作、巡視点検、調整及び交換、運転日報等の作成などの業務。
 検査測定業務 : 日常の運転管理に必要な工程ごとの水質分析等や流量・薬品使用量の計測、臭気測定などの業務。
 設備機器の定期点検及び保守 : 各設備機器等の定期点検、保守及び点検記録や報告書等の作成業務
 物品・用役調達 : 施設の運転に必要な消耗品類や薬品等の管理及び調達（注文、購入、搬入管理等）業務
 法定点検、検査 : 法令等で定められた、放流水の水質分析、焼却炉等の排ガス分析、肥料試験、電気設備点検、危険物貯蔵所点検等を、維持管理業者の業務範囲として委託している場合
 その他 : 上記以外に維持管理業者への委託業務がある場合は、記入してください

3. 4 業務委託契約について

業務の委託期間、業務を委託している業者名及び業者の選定方法を記入してください。

委託契約期間	ヶ年
委託業者名	
委託業者の選定方法	

- 委託契約期間 : 業務の委託契約期間（年数）を記入してください。
 委託業者名 : 業務を委託している業者名を記入してください。
 委託業者の選定方法 : 下記を参考に記入してください。

一般競争入札
 条件付き一般競争入札
 公募型指名競争入札
 指名競争入札
 随意契約
 プロポーザル方式
 総合評価方式

4. 維持管理費

平成21年度の維持管理費を記入してください。

	平成21年度
電力費	千円
燃料費	千円
薬品費	千円
補修費	千円
委託費等	千円
下水道料金	千円
上水料金	千円

維持管理費の各項目は、千円未満は百円の位で四捨五入して記入してください。

電力費 : 基本料金と使用量に応じた電力料金の合計額を記入してください。

燃料費 : 焼却設備、乾燥設備、加温設備等の処理に必要な燃料費について記入してください。室内等の暖房に必要な燃料は含みません。

薬品費 : 処理に必要な薬品費（水処理、汚泥処理、臭気処理に係る薬品等）の合計額を記入してください（活性炭交換費含む）。

補修費 : 主要機器のオーバーホール代、部品交換等の消耗品費、汎用ポンプ等の更新費、汚泥焼却炉等の耐火レンガ交換費、配管の閉塞等に伴う更新費等の合計金額を記入してください。

委託費等 : し渣、脱水汚泥、焼却灰等の処分費、沈砂槽・貯留槽の清掃費等の委託費、水質分析等法定検査・法定点検の委託費の合計金額を記入してください。維持管理業務の委託費は含みません。ただし、長期包括管理委託をしている場合は、電力費等該当項目に実績額を記入してください。

下水道料金 : 放流先が下水道の場合にのみ記入してください。

上水料金 : 希釈水、プロセス用水に上水または中水を使用している場合のみ記入してください。

5. 施設の課題

施設の課題として、該当する項目を全て選択してください。

- ☐ 施設の老朽化
- ☐ 施設処理機能の低下、不安定化
- ☐ 処理量の減少
- ☐ 浄化槽汚泥比率の増加
- ☐ し尿濃度の希薄化
- ☐ 汚泥等の資源化及び供給先
- ☐ 汚泥等の最終処分
- ☐ 施設維持管理費の増加
- ☐ 技術職員の確保
- ☐ その他 ()

6. その他

6.1 し尿及び浄化槽汚泥の収集・運搬
し尿及び浄化槽汚泥の収集・運搬について、該当する項目を全て選択してください。

し尿	浄化槽汚泥
<input type="checkbox"/> 直営	<input type="checkbox"/> 直営
<input type="checkbox"/> 委託	<input type="checkbox"/> 委託
<input type="checkbox"/> 許可	<input type="checkbox"/> 許可

6.2 資源化物等の販売
施設において資源化物等の販売を行っている場合は、資源化物等の種類及び料金を記入してください。

種類	単位
<input type="text"/>	円／ <input type="text"/>
<input type="text"/>	円／ <input type="text"/>
<input type="text"/>	円／ <input type="text"/>

記入例 ① 堆肥 200円/kg
② 乾燥汚泥 350円/kg

※ 袋代等として徴収している場合も記入してください。

6.3 清掃残渣の処理・処分方法
一般廃棄物の海洋投入処分の禁止以来、貯留槽等の槽内清掃残渣の処理・処分に
関する問い合わせが多数寄せられています。
現在行っている清掃残渣の処理・処分方法及び処分先についてご記入ください。

6.4 その他
その他、し尿処理施設・汚泥再生処理センターの維持管理に関して、ご意見等が
ございましたら、ご記入ください。

ご協力ありがとうございました。

ご回答頂いたアンケート調査票は、下記宛ご提出願います。

また、施設のパンフレット及び直近の精密機能検査報告書（写しでも可）をご提出ください。

提出先・問い合わせ先：

財団法人 日本環境衛生センター
環境工学部 環境施設課

〒210-0828

神奈川県川崎市川崎区四谷上町11-15

TEL 044-287-3251

FAX 044-287-3255

電子メール：e-shisetsu@jesc.or.jp

提出方法：

〔アンケート調査票〕 原則として上記電子メールアドレスにデータを送信してください。

【ファイル名の付け方】

- ①ファイル名について：自治体名＋施設名
- ②保存ファイル形式：Excel 2003 以下

〔パンフレット・精密機能検査報告書〕
同封の返信用封筒（クロネコメール便着払い）にて発送してください。

謝 辞

本論文は、宮城大学大学院食産業学研究科博士後期課程における学位論文として、これまでの研究成果をまとめたものである。

同研究科教授の岩堀恵祐博士には、本研究の実施の機会を与えて戴き、指導教員として、その遂行に当たり終始、ご指導ご助言を戴いた。ここに深謝の意を表する。

副査としてご助言を戴くとともに、本論文の細部にわたりご指導を戴いた同研究科教授の原田茂樹博士、東北大学大学院農学研究科教授の中井裕博士、並びに常葉大学社会環境学部教授の小川浩博士に対しても、深謝の意を表する。

本研究におけるアンケート調査のデータ解析では、一般財団法人日本環境衛生センター環境工学部の小林剛氏、山田由美子氏にご協力を戴き、本研究の第5章では、宮城県T市市民生活部環境事業所の方々にご理解とご協力を戴いた。ご協力戴いた各位に対し、ここに感謝の意を表する。

また、学位取得の端緒とご助言を戴いた一般社団法人環境衛生施設維持管理業協会専務理事の石黒智彦博士、並びに日頃より有益なご助言を戴いた一般財団法人日本環境衛生センター環境工学部の各位に対しても、感謝の意を表する。

最後に、陰ながら応援してくれた妻薫に、深く感謝する次第である。

参考文献

緒 論

- 1) 財団法人日本環境衛生センター:平成19年度環境省請負業務 我が国におけるし尿処理システムの発達史に関する調査業務報告書【概要版】、p. 1～3(2008)
- 2) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課:日本の廃棄物処理(平成26年度版)、p. 36～44(2016)
- 3) 環境省:廃棄物処理施設整備計画 平成25年5月31日閣議決定(2013)
- 4) 公益社団法人 日本下水道協会:人口減少下における下水道計画手法のあり方について(案)(2009)
- 5) 会計検査院:下水道事業における終末処理場の水処理施設の整備等について、平成23年度決算検査報告(2012)
- 6) 松田圭二:し尿・汚泥再生処理に関する課題、展望、環境技術会誌、No. 143、49～52(2011)
- 7) 農林水産省生産局農業環境対策課:環境保全型農業の推進について(2016)

第1章

- 1) 緒論 1)と同じ文献
- 2) 緒論 2)と同じ文献
- 3) 財団法人日本環境衛生センター:平成19年度環境省請負業務 我が国におけるし尿処理システムの発達史に関する調査業務報告書 巻末資料(2008)
- 4) 田所正晴:神奈川県におけるし尿処理施設の変遷、平成23年度版 神奈川県環境科学センター業務報告、1～13(2011)
- 5) 岩堀恵祐、小川浩、石原光倫:浄化槽の史的背景と処理技術の変遷、用水と廃水、56(10)、689～698(2014)
- 6) 一般財団法人日本環境衛生センター:廃棄物処理施設技術管理者講習 管理過程 し尿・汚泥再生処理施設、p. 87～103(2015)
- 7) 井上雄三:わが国のし尿処理技術の歴史(第6回)－第4章、月刊浄化槽、No. 394、28～35(2009)

- 8) 井上雄三：わが国のし尿処理技術の歴史(第8回)－第5章、月刊浄化槽、No. 397、31～34(2009)
- 9) 田所正晴：日本のし尿処理－その歴史と技術-(第10回)、一般社団法人廃棄物処理施設技術管理協会メールマガジン、第79号(2015)
- 10) 社団法人日本環境衛生工業会：日環工30年の歩み(1992)
- 11) 松田圭二、小林 剛、岩堀恵祐：し尿処理施設・汚泥再生処理センターにおける維持管理の実態把握と管理指標の抽出、環境技術会誌、No. 146、89～97(2012)
- 12) 資源調査会衛生部会：論説 尿尿の資源科学的衛生処理勧告 第二部報告書、都市清掃、No. 5、1～29(1949)
- 13) 田所正晴：日本のし尿処理－その歴史と技術-(第9回)、一般社団法人廃棄物処理施設技術管理協会メールマガジン、第78号、(2015)
- 14) 石田多聞、西脇仁一編：公害衛生工学大系 I、日本評論社、161～168(1966)
- 15) 桜井敏郎、松本利通、宮之原隆、白井正明：し尿処理施設の機能と管理(大野茂監修)、産業用水調査会、97～114(1975)
- 16) 児玉 威：日本におけるし尿処理の歴史、用水と廃水、23(12)、1397～1407(1981)
- 17) 厚生省環境衛生局水道環境部長：し尿処理施設構造指針(1977)
- 18) 井上雄三：わが国のし尿処理技術の歴史(第9回)－第5章、月刊浄化槽、No. 398、31～35(2009)
- 19) 財団法人日本環境衛生センター：平成19年度環境省請負業務 我が国におけるし尿処理システムの発達史に関する調査業務報告書、p. 34～39(2008)
- 20) 社団法人全国都市清掃会議：し尿処理施設構造指針解説追補、p. 46～47(1982)
- 21) 石田宏司：し尿処理今昔－第5回、環境浄化技術、6(8)、62～66(2007)
- 22) 社団法人全国都市清掃会議：し尿処理施設構造指針解説、p. 107～129、全国都市清掃会議、東京(1988)
- 23) 井上雄三：わが国のし尿処理技術の歴史(第12回)－第7章、月刊浄化槽、No. 401、28～33(2009)

- 24) 田所正晴：日本のし尿処理－その歴史と技術－(第11回)、一般社団法人廃棄物処理施設技術管理協会メールマガジン、第80号(2015)
- 25) 石田宏司：し尿処理今昔－第6回、環境浄化技術、6(9)、65～69(2007)
- 26) 社団法人全国都市清掃会議：し尿処理施設構造指針解説、p. 157～159、全国都市清掃会議、東京(1988)
- 27) 井上雄三：わが国のし尿処理技術の歴史(第13回)－第7・8章、月刊浄化槽、No. 402、27～34(2009)
- 28) 井上雄三：わが国のし尿処理技術の歴史(第14回)－第8章、月刊浄化槽、No. 403、28～34(2009)
- 29) 石田宏司：し尿処理今昔－第8回、環境浄化技術、6(11)、62～66(2007)
- 30) 財団法人日本環境衛生センター：平成9年度 廃棄物処理施設技術管理者等地方ブロック別研修会 一般廃棄物関係テキスト、p. 253～272(1997)
- 31) 社団法人全国都市清掃会議：汚泥再生処理センター等施設整備の計画・設計要領、p. 220～227、全国都市清掃会議、東京(2001)
- 32) NPO日本下水文化研究会尿尿研究分科会：トイレ考・屎尿考、p. 17～32、技報堂出版、東京(2003)
- 33) 岡城孝雄：汚泥再生処理センターと浄化槽汚泥濃縮車、都市清掃、61(285)、431～437(2008)
- 34) 厚生省生活衛生局水道環境部長：廃棄物処理施設整備国庫補助事業に係る汚泥再生処理センター性能指針(2000)
- 35) 社団法人全国都市清掃会議：廃棄物処理施設構造指針解説(し尿処理施設構造指針編)、p. 154～157、全国都市清掃会議、東京(1979)
- 36) 田所正晴：日本のし尿処理－その歴史と技術－(第12回)、一般社団法人廃棄物処理施設技術管理協会メールマガジン、第81号(2015)
- 37) 社団法人全国都市清掃会議：汚泥再生処理センター等施設整備の計画・設計要領、p. 291～292、全国都市清掃会議、東京(2001)
- 38) 井上雄三：わが国のし尿処理技術の歴史(最終回)－第9章、月刊浄化槽、No. 404、34～41(2009)
- 39) 社団法人全国都市清掃会議：汚泥再生処理センター等施設整備の計画・設計要領2006改訂版、p. 379～381、全国都市清掃会議、東京(2007)

第2章

- 1) 小玉義隆:秋田県仙北市におけるリン回収型汚泥再生処理センターの概要と運転実績、資源環境対策、46(5)、72～77(2010)
- 2) さいたま市:運転維持管理の周辺　さいたま市大宮南部浄化センター(平成13年竣工、179kL/日)政令市の汚泥再生処理センター、都市と廃棄物、36(3)、16～52(2006)
- 3) 岩尾　充:汚泥再生処理センターの現状と今後の展望(2)下板郡西部衛生施設組合の運転事例を通して、生活と環境、47(2)、68～72(2002)
- 4) 片山芳明、石田　武、中村謙治、水谷　洋、池　卓、小林勝彦、大友友章:汚泥再生処理センターにおけるメタン発酵装置運転事例、第11回環境工学総合シンポジウム、講演論文集、320～323(2001)
- 5) 山下豊二:標脱処理方式における運転管理状況、生活と環境、43(7)、36～39(1998)
- 6) 養方日出海:串間市し尿処理施設の維持管理及び今後の施設整備への取り組み、生活と環境、43(7)、29～35(1998)
- 7) 安部山康夫:投入量調整による維持管理、生活と環境、43(7)、24～28(1998)
- 8) 大泉　勉:秋田市におけるし尿処理施設建設と維持管理について、生活と環境、43(7)、15～23(1998)
- 9) 藤井順一:八戸環境クリーンセンターの維持管理事例、生活と環境、43(7)、10～14(1998)
- 10) 石原　篤、松井一重:高負荷膜処理し尿処理施設運転実績、タクマ技法、6(2)、123～132(1998)
- 11) 藤瀬和彦、田井中知幸、石田　武、橋爪隆夫:膜分離し尿処理施設の運転事例、第11回全国都市清掃研究・事例発表会、講演論文集、35～37(1990)
- 12) 藤瀬和彦、田井中知幸、石田　武、橋爪隆夫:膜分離し尿処理施設の運転事例(その2)、第12回全国都市清掃研究・事例発表会、講演論文集、34～36(1991)
- 13) 松井謙介、山口英雄:浄化槽汚泥に対応したし尿処理施設の運転例、第19回全国都市清掃研究・事例発表会、講演論文集、305(1998)

- 14) 三浦光志、し尿処理施設運転状況－栗原郡衛生センター、生活と環境、36(5)、44～55(1991)
- 15) 三宅直登：し尿処理施設を中心とした安全管理体制について、都市清掃、51(222)、65～67(1998)
- 16) 篠原 功、古賀博昭、弥永和由、豊福裕邦、中村昭彦：し尿処理施設の精密機能検査に見る運転実績の現状について、日本環境衛生センター所報、第19号、56～59(1992)
- 17) 清水敏秀、吉野好太郎：し尿処理施設の精密機能検査に見る運転実績の現状について（第2報）、日本環境衛生センター所報、第23号、60～66(1996)
- 18) 古賀博昭、篠原 功、西田 剛、印藤 彰：し尿処理施設の精密機能検査に見る運転実績の現状について（第3報）、日本環境衛生センター所報、第26号、90～103(1999)
- 19) 岡崎貴之、清水敏秀、森田 昭：し尿処理施設の精密機能検査に見る運転実績の現状について（第4報）、日本環境衛生センター所報、第28号、81～97(2001)
- 20) 財団法人日本環境衛生センター：精密機能検査結果から見えた現状と課題、平成16年度廃棄物処理施設技術管理者等地方ブロック別研修会し尿処理施設関係テキスト、p. 53～78(2004)
- 21) 財団法人日本環境衛生センター：精密機能検査結果に見るし尿処理施設の現状と課題、平成19年度技術管理者等ブロック別研修会し尿処理施設関係テキスト、p. 69～91(2007)
- 22) 西田 剛、印藤 昭：精密機能検査結果から見た汚泥再生処理センターの維持管理状況について、第31回全国都市清掃研究・事例発表会、講演論文集、257～259(2010)
- 23) 緒論 2)と同じ文献
- 24) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課：一般廃棄物処理事業実態調査結果、平成26年度調査結果(2016)

第3章

- 1) 第2章 24)と同じ文献

- 2) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課：し尿処理広域化マニュアル、p. 62(2010)
- 3) 緒論 2)と同じ文献
- 4) 狩郷将弘、山下唯喜、玉木信也：し尿処理施設への浄化槽汚泥収集投入率の増加対策について、都市清掃、49(212)、323～328(1996)
- 5) 小川 浩、久川和彦、大森英昭：し尿処理施設のし尿・浄化槽汚泥搬入量に関する実態と課題、水、44(7)、25～31(2002)
- 6) 大久保登：し尿処理量の減少対策と老朽化に対応した改造事例、生活と環境、48(4)、25～27(2003)
- 7) 森田 昭、し尿処理施設の現状と課題、月刊浄化槽、No. 332、25～30(2003)
- 8) 河村 清：一般廃棄物処理計画からみたし尿処理施設整備と浄化槽汚泥搬入の現状、浄化槽、(398)、21～24(2009)
- 9) 根本 正：浄化槽汚泥濃縮車導入による施設改善、月刊浄化槽、No. 398、21～24(2009)
- 10) 緒論 6)と同じ文献
- 11) 第1章 11)と同じ文献
- 12) 社団法人全国都市清掃会議：汚泥再生処理センター等施設整備の計画・設計要領2006改訂版、p. 47～48、全国都市清掃会議、東京(2007)

第4章

- 1) 第1章 11)と同じ文献
- 2) 緒論 6)と同じ文献
- 3) 第3章 12)と同じ文献
- 4) 第2章 20)と同じ文献
- 5) 第2章 21)と同じ文献
- 6) 濱中俊輔、加藤裕之、岡城孝雄：清掃間隔が浄化槽汚泥の性状に及ぼす影響、用水と廃水、51(8)、668～675(2009)
- 7) 加藤裕之、濱中俊輔、岡城孝雄、蛭江美孝、河村清史：資源化を考慮したし尿及び浄化槽汚泥の性状についての検討、第31回全国都市清掃研究・事例発表会、講演論文集、269～271(2010)

- 8) 濱中俊輔、加藤裕之、岡城孝雄、蛭江美孝、河村清史：し尿処理施設へ搬入される浄化槽汚泥の性状に関する考察、第30回全国都市清掃研究・事例発表会、講演論文集、256～258(2009)
- 9) 第2章 16)と同じ文献
- 10) 第2章 17)と同じ文献
- 11) 第2章 18)と同じ文献
- 12) 第2章 19)と同じ文献
- 13) 第2章 24)と同じ文献
- 14) 緒論 2)と同じ文献
- 15) 社団法人全国都市清掃会議：し尿処理施設構造指針解説(1988年版)、p. 24～25、全国都市清掃会議、東京(1988)

第5章

- 1) 第2章 39)と同じ文献
- 2) 社団法人日本農業集落排水協会：日本農業集落排水協会型設計指針、日本農業集落排水協会、東京(1998)
- 3) 社団法人全国都市清掃会議：廃棄物処理施設整備実務必携(平成16年度版)、全国都市清掃会議、東京(2004)
- 4) 社団法人日本農業集落排水協会：農業集落排水便覧(平成16年度版)、社団法人地域資源循環技術センター、東京(2004)
- 5) 地方債制度研究会編：平成16年度地方債の手引き、財団法人地方財務協会、東京(2004)
- 6) 松井康弘、山田正人、井上雄三、河村清史、田中 勝：し尿処理施設のLCAによる評価、第11回廃棄物学会研究発表会講演論文集Ⅰ、153～155(2000)
- 7) 松井康弘、山田正人、井上雄三、河村清史、田中 勝、御地合博、河窪義男：し尿の高負荷脱窒素処理方式のLCAによる評価事例、第9回廃棄物学会研究発表会講演論文集Ⅰ、84～86(1998)
- 8) 吉田修司、松井康弘、山田正人、井上雄三、河村清史、田中勝、河窪義男：し尿処理施設のLCAによる評価事例、第10回廃棄物学会研究発表会講演論文集Ⅰ、141～143(1999)

本論文に関連のある報告

- 1) 松田圭二：事業統合と合理化による持続可能なし尿・浄化槽汚泥処理システム、用水と廃水、53(5)、397～405(2011)
- 2) 松田圭二、小林 剛、岩堀恵祐：し尿処理施設・汚泥再生処理センターにおける維持管理の実態把握と管理指標の抽出、環境技術会誌、No.146、89～97(2012)
- 3) Matsuda K, Yamada Y, Iwahori K: Factors Affecting the Deterioration of Treatment Efficiency in Night Soil Treatment Facilities, Japanese Journal of Water Treatment Biology, 50(4), 151～159(2014)
- 4) 松田圭二、岩堀恵祐：し尿・浄化槽汚泥に関する標準性状の抽出と性状分析の効率化、日本水処理生物学会誌、51(1)、19～29(2016)
- 5) 松田圭二、岩堀恵祐：し尿・汚泥集約処理システムの史的背景と処理技術の変遷、用水と廃水、58(6)、437～452(2016)