

神奈川県におけるし尿処理施設の変遷

田所正晴
(調査研究部)

The change of night soil treatment plants in Kanagawa Prefecture

Masaharu TADOKORO
(Research Division)

キーワード：し尿処理施設，し尿，浄化槽汚泥，汚泥再生処理センター，構造指針

1 はじめに

し尿処理施設は、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」(廃棄物処理法)に定める一般廃棄物処理施設であると同時に、「水質汚濁防止法」の特設施設で、市町村(一部事務組合)が設置し維持管理するものである。汲み取り便所や浄化槽などから収集したし尿及び浄化槽汚泥等処理し、i) 衛生的な安全化、ii) 生物化学的な安定化、iii) 最終処分量の減量化を図るための施設で、その技術は日本独自のものである^{1) 2)}。

し尿処理施設は、昭和30年代から日本各地に建設されるようになり、時代とともに変化する社会の要請に技術的に対応することで発展してきた。特に、本県では元々神奈川県衛生研究所(以下「神奈川衛研」という。)の廃棄物部門が、し尿の収集・処理を実施する市町村やプラントメーカーと協力し、その技術向上に全国的にも先進的な役割を果たしてきた³⁾。その後は、環境科学センターの環境工学部(現調査研究部の一業務)として引き継がれ、し尿処理施設に関連した技術開発が行われてきた。

しかし、最盛期には県内に30施設あったし尿処理施設も、下水道の普及によって大幅に減少し、平成22年3月末現在で14施設(1施設は休止中)にすぎない⁴⁾。しかも、このうち下水道放流せずに二次処理以上の処理を行い公共用水域に放流しているのは、6施設だけである。

また、平成9年度には、従来し尿処理施設が担ってきた機能に、汚泥や生ごみ等の有機性廃棄物の再生・資源化設備を加えて循環型社会構築を可能とした「汚泥再生処理センター」の構

想が厚生省(当時)より立ち上げられ、国庫補助対象となり、平成10年度以降はし尿処理施設が補助対象から外された。今後は、本県でも同センターへのリフォームが進展することになるだろう。

そこで、本稿では我が国のし尿処理の歴史的背景を含め、神奈川県におけるし尿処理施設がこれまでどのような変遷を辿ってきたのか、その概要を解説する。

2 我が国におけるし尿処理の歴史的背景

2.1 し尿処理の始まりと行政体系の整備

我が国では、し尿は古くから貴重な有機肥料として農村で利用され、循環型社会を形成してきた。このため、農家がし尿を肥料として引き取っている時代は、し尿の処理を考える必要はなかった。

昭和5年(1930年)に汚物掃除法が改正されて、し尿の汲み取りは市の義務となった。この頃になると、下肥に替わるものとして化学肥料が出回るようになり、汲み取り量と農村の需要の間のバランスが崩れ、し尿の大半は海洋投棄船で房総半島突端の州崎沖へ投棄されるようになった⁵⁾。

しかし、第二次世界大戦が始まる頃には食料の欠乏が甚だしくなり、肥料の不足を補うためにし尿が見直され、各都市に「屎尿農村配給委員会」が設立されている⁶⁾。

第二次世界大戦終戦からしばらく経つと、し尿が赤痢や腸チフスなどの消化器系伝染病や寄生虫病の悪環境の主因とされ社会問題化し^{6) 7)}、

公衆衛生向上の観点から、昭和 22 年（1947 年）に六大都市で「都市清掃協会」が結成され、し尿の衛生的取扱いや適正な農村還元等が図られるようになった⁵⁾。昭和 24 年（1949 年）頃からは、その対策の面からし尿の衛生処理が強く取り上げられるようになった。また、急激な人口集中を受けた当時の大中都市では、農業が化学肥料を主体とした方法に変化してきたことによりし尿が農村還元されなくなり、山林・河川への不法投棄や海洋投棄が急増したことから、排泄し尿の量的処分の行き詰まりを生じ、余剰し尿の処理が必要となってきた^{3) 8)}。こうして、し尿処理問題は農村から都市部へ移行してきた。

このため、昭和 25 年（1950 年）には、都市部の深刻なし尿問題を解決するために当時の経済安定本部資源調査会が「尿尿の資源科学的衛生処理勧告」を国に対して行い、し尿による汚染軽減のための技術的な指針を示した⁹⁾。この中では、し尿収集の機械化や嫌気性消化処理の合理性と可能性を先見的に述べている^{3) 10) 11)}。これによって、今日のし尿処理の基本的方向性が示されたわけである。

これに基づいて、同年に川崎市で真空式吸引車（バキューム車）が開発試作され、厚生省と資源調査会の推薦もあり、実用化が進み全国で急速に普及した。これを契機に収集運搬にも技術導入が図られ、清掃行政の近代化が進むようになった⁵⁾。

また、当時発足間もない「し尿処理対策全国協議会（後の汚物処理対策全国協議会）」では、全国の主要な閉鎖性水域である大阪湾、瀬戸内海、東京湾等へのし尿の投棄に関する実態調査と対策が主課題として取り上げられた。そこで、①衛生的安全化、②化学的安定化、③物理的減量化を図る集約処理の必要性が下水道整備以前の問題としてあがり、国も熱心に取り組んだ。昭和 29 年（1954 年）からは、上記 3 つの目標を達成するための近代的で集約的な処理方式は「し尿消化槽」（現在の嫌気性消化処理）が最も合理的ということで、国庫補助が行われるようになった³⁾。同年には、50 年間続いた「汚物掃除法」が廃止され、清掃法が公布された。これにより、市町村のし尿処理体制も整備されるようになってきた。

昭和 31 年（1956 年）には、国が 5 か年計画「し尿処理基本対策要綱」を発表し、海洋投棄

の原則禁止、し尿の陸上処理切替えを示した⁸⁾。

こうした過程において、同年末には「し尿化学処理」が、その 1～2 年後には「し尿酸化処理」が出現した。これら当時の「新処理方式」の機能を判定するため、昭和 34 年に厚生大臣の諮問機関である「清掃調査会」制度が設けられ、神奈川衛研も調査に参加した。そして同年に平塚市のプラントにおいて、し尿消化処理に二次処理としてそれまでの散水濾床法に代わって活性汚泥法による運転を開始し、全国的に普及する先駆けとなった。これは当時の戸川平塚市長と児玉威衛生研究所所長の英断によるものであった。このし尿処理の二次処理としての活性汚泥法は、昭和 33 年の神奈川衛研の基礎実験に基づくもので、全国で初めて実用化された 1 号機である³⁾。これを契機にこの方式が全国的に普及し、厚生省の汚水汚物処理施設の施設基準により「高級処理を前提とする場合には二次処理として活性汚泥法を適用すべき」ことが義務づけられた。この技術の発展に大きく寄与したのが武藤らの一連の研究で、これらの報文は高く評価された⁹⁾。

昭和 36 年（1961 年）には、大阪、京都、横浜、東京の 4 市が「日本清掃協会」を設立し、し尿処理の効率化と合理化、清掃思想の普及を図るようになる。し尿処理は陸上処理を中心とすることが国の方針であったが、処理施設の建設が排出量に追いつかない都市では、海洋投棄が緊急避難的に行われ、関東地方の沿岸都市でも北緯 34° 50′ 東経 139° 35′ の海域へ投棄していた。しかし、昭和 51 年（1976 年）から「海洋汚染防止法」により、海洋投棄できるのは沿岸から 50 海里以遠の C 海域と定められ、海洋への依存は次第に減ってきた⁵⁾。

2. 2 し尿処理の近代化

昭和 52 年（1977 年）には、国がし尿処理方式の構造を標準化して初めて「し尿処理施設構造指針」が策定された¹²⁾。その後、新たな処理技術の開発が進んだことにより、昭和 62 年（1987 年）には新構造指針が策定された⁵⁾。

さらに近年になると、し尿処理施設における資源化が求められるようになった。平成 9 年度（1997 年度）には、循環型社会におけるし尿処理施設の位置づけとして、し尿と浄化槽汚泥の他に生ごみ等の有機性廃棄物を併せて処理し、

資源を回収する「汚泥再生処理センター」が国庫補助対象事業に取ってかわった。この施設では、し尿や浄化槽汚泥の衛生処理機能にメタン発酵などの再生処理機能を付加するとともに、生ごみ等の有機性成分をエネルギー転換して有効利用していること、発生汚泥を有機性資源として積極的に資源化していることなどが特徴になっている。平成 12 年度(2000 年度)には汚泥再生処理センターの性能指針も出た⁵⁾。

平成 14 年(2002 年)には、廃棄物処理法施行令の一部改正により、5 年間の適用猶予期間を経て、平成 19 年(2007 年)からし尿や浄化槽汚泥等の海洋投入処分が全面禁止となった¹³⁾。

これによって、新たに陸上処理施設の整備を行った施設の多くが汚泥再生処理センターの整備を行っており、循環型社会形成に寄与する施設となっている。また、従来の施設では浄化槽汚泥の混入率が益々増加する傾向にあることから、浄化槽汚泥処理施設に移行しつつある¹³⁾。

表 1 には、し尿処理施設が日本で初めて建設された大正時代から、現在までの歴史的変遷をまとめた。

3 我が国におけるし尿処理方式の変遷

し尿処理技術は、社会の情勢やニーズに応じて発展してきており、これまでいろいろな処理方式が実用化されてきた。

初期のし尿処理における主たる除去対象は、BOD と SS で、衛生的観点から始まった嫌気性消化処理の流れから、一次処理を嫌気性消化で行い、二次処理はその一次処理水を 20 倍希釈して下水並みの水質とした上で、散水濾床処理または活性汚泥処理し、BOD30mg/L 以下(現在は 20mg/L 以下)、SS70mg/L 以下、大腸菌群数 3,000 個/mL 以下として放流するものであった。

昭和 30 年代後半には、一次処理を好気性とした酸化処理方式(好気性処理方式)が出現した。好気性処理の発展の実相については、武藤、大野、矢込が総括して報告している^{11) 14)}。嫌気性処理に比べ反応速度が速く、嫌気性処理と同程度の一次処理水を得るのに半分以下の処理日数で済むため、一次処理が小容量で済む利点があった。この方式には、無希釈し尿の好気性消化処理と高速酸化処理、希釈し尿の活性汚泥処理の 3 つに大別される¹¹⁾。好気性消化処理は、無希釈し尿を曝気することで活性汚泥状フロック

が形成され、脱離液の分離が容易に行われる。この方式の施設は三重県桶町に建設された¹¹⁾。高速酸化処理は、高速回転式のアトマイザーによる強制曝気(酸化)と二次処理の接触酸化によって好気性処理を受ける。この施設は昭和 38 年(1963 年)に埼玉県で初号機が建設された¹⁵⁾。希釈し尿の活性汚泥処理は、適度に希釈したし尿を曝気して活性汚泥処理するものである。この施設は福岡県古賀町などに設置された¹¹⁾。

昭和 40 年代中頃になると、公害問題などの社会情勢を反映して高度処理技術の開発が進み、二次処理後に凝集分離や活性炭吸着、オゾン酸化、さらには窒素除去プロセス(生物学的脱窒素法)を三次処理として付加する施設が出てきた。昭和 47 年(1972 年)には、硝化工程後に脱窒工程を組み合わせた脱窒素法を適用した施設が、三重県に初めて建設された¹⁶⁾。しかし、この構成では硝化中和用の NaOH、脱窒還元用の有機炭素源(メタノールなど)が必要で、なかなか普及しなかった¹¹⁾。

昭和 40 年代末から 50 年代になると、BOD 除去と硝化脱窒を同時に行い薬品使用量を大幅に減らした硝化液循環式の硝化脱窒素法が開発され¹¹⁾、昭和 50 年(1975 年)にはし尿凝縮水を用いた施設が、翌年には主工程に適用した施設(島根県)がそれぞれ建設された¹⁵⁾。さらには一次処理水を 10 倍希釈で処理でき、しかも生物脱窒できる低希釈二段活性汚泥法(標準脱窒素処理方式)が出現し、窒素除去技術開発の大きな変換点となった。この処理方式は、嫌気性消化と違って硫化水素やアンモニアの発生も極めて少なく、臭気対策が容易な処理方法として、し尿処理の主流を占めるようになった。

昭和 50 年代には、さらに低希釈化と施設のコンパクト化の要望が高まり、高効率曝気法による無希釈運転が可能な高負荷脱窒素処理方式が開発され、昭和 57 年(1982 年)に最初の施設が群馬県に設置された²⁾。この方式は、処理速度が速く、処理水質も前者と同等のものが得られることから、し尿処理場が希釈水の入手や、新增設での敷地確保が困難なし尿処理場で広く普及するようになった。

さらに昭和 60 年代になると、固液分離手段に限外ろ過膜や精密ろ過膜を用いた膜分離高負荷脱窒素処理方式へと発展した。

現在の一般的な放流水質は、ほとんど無希釈

の状態、BOD10mg/L以下、COD30mg/L以下、SS10mg/L以下、T-N10mg/L以下、T-P1mg/L以下としている場合が多い。

因みに全国のし尿処理施設数は、最盛期には1,400か所あったが、近年は減少傾向にあり、平成10年度(1998年度)には1,150か所、平成21年度(2009年度)では1,031か所となっている¹⁷⁾。その内訳は、嫌気性消化処理方式が52施設、好気性処理方式が108施設、標準脱窒素処理方式が269施設、高負荷脱窒素処理方式が189施設、膜分離高負荷脱窒素処理方式が24施設、そ

の他389施設である¹⁷⁾。

4 神奈川県におけるし尿処理方式の変遷

4.1 し尿処理方式別にみた施設数の変遷

神奈川県における廃棄物処理事業の統計データである「清掃事業の実態」(平成11年度版より「一般廃棄物処理事業の概要」に名称変更)をもとに、処理方式別に見た神奈川県におけるし尿処理施設数(稼働中)の1954～2009年度の変遷を、図1にまとめた。ただし、嫌気性消化処理方式には途中で高速酸化処理方式(相模

表1 我が国のし尿処理の歴史の変遷

年	事柄
1918年(大正7年)	・東京市で神田衛生同業組合が全国で初めてし尿収集処分のための料金徴収の許可を得る
1922年(大正11年)	・東京市が浅草の3か所に屎尿投入場を設ける
1925年(大正14年)	・日本最初の散水濾床法によるし尿処理施設が名古屋市千種処分場に建設(生し尿(日量3,000人分)を希釈後処理)
1929年(昭和4年)	・日本最初の活性汚泥法によるし尿処理施設が京都市十条処分場(現在の吉祥院水環境保全センター付近)に建設(生し尿を10倍希釈し固液分離した後分離液をさらに30倍希釈して散気式曝気槽で処理、日量4万人分)
1930年(昭和5年)	・汚物掃除法の改正によりし尿の汲み取りが市の義務になる
1932年(昭和7年)	・東京市が海洋投棄を開始
1933年(昭和8年)	・東京市綾瀬作業所(現在の小菅水再生センター)に促進汚泥法(活性汚泥法)によるし尿処理施設を建設(処理量180kL/日:約16万人分)
1938年(昭和13年)	・神戸市鷹取塵芥処理場内に実規模の嫌気性消化処理実験施設が建設(し尿と塵芥の合併処理実験を3年間実施)
昭和10年代	・農村還元と海洋投棄が主流で、一部でのみし尿処理施設の建設が進んだが、戦況悪化により停滞する
昭和20年代	・敗戦による経済疲弊から戦後一時的に肥料としての需要が高まるが復興が進むにつれ次第に衰える
1947年(昭和22年)	・六大都市によりし尿の衛生的取り扱い等を目的とした都市清掃協会が結成される
1950年(昭和25年)	・川崎市で真空式吸引車(バキューム車)が試作される
1953年(昭和28年)	・東京都砂町下水処理場内にし尿消化槽(当時のし尿処理施設のこと。嫌気性消化法で1800kL/日)竣工
1953年(昭和28年)	・し尿処理施設の整備が、国庫補助事業で開始される(当時は嫌気性消化法のみ)
1954年(昭和29年)	・清掃法が制定
1956年(昭和31年)	・国が長期計画「し尿処理基本対策要綱」(5ヶ年計画)を作成し、海洋投入廃止とし尿の陸上処理を呼びかけた。総水洗化による下水道等で達成することを最終目標とし、それまでの間収集し尿はし尿処理施設で処理しようと図った
1957年(昭和32年)	・日本最初の化学処理方式の施設が静岡県で実用化
1957年(昭和32年)	・厚生省によるし尿消化槽の機能調査が行われ、標準型の消化処理方法が公示された
1959年(昭和34年)	・好気性消化処理方式の施設が竣工
昭和40年代	・単独処理浄化槽による水洗化が急速に普及したが、生活排水による水質汚濁が拡大した
1967年(昭和42年)	・し尿処理およびごみ処理施設整備5箇年計画が開始
1968年(昭和43年)	・湿式酸化処理方式の施設が新潟県上越市で竣工
1970年(昭和45年)	・水濁法、廃棄物処理法が制定され、COD総量規制への対応として高度処理の普及がはじまる
1976年(昭和51年)	・海洋汚染防止法によりし尿の投棄場所がC海域に規定される
1976年(昭和51年)	・生物学的脱窒素処理方式の施設が竣工
1977年(昭和52年)	・既に普及している各種処理方式の標準化を策して、し尿処理施設構造指針が策定される
1978年(昭和53年)	・高負荷処理方式の施設が竣工
1979年(昭和54年)	・低希釈二段活性汚泥法(標準脱窒素処理方式)が構造指針に規定
昭和50年代後半	・合併処理浄化槽が普及し始める
1983年(昭和58年)	・浄化槽法が制定(昭和60年施行)
1983年(昭和62年)	・新たなし尿処理施設構造指針が策定される
1984年(昭和63年)	・膜分離高負荷脱窒素処理方式の施設が竣工、高負荷脱窒素処理方式が新しい構造指針に規定
1984年(昭和63年)	・小型合併処理浄化槽が屎尿浄化槽構造基準に追加される
1996年(平成8年)	・浄化槽汚泥対応型膜分離高負荷脱窒素処理方式が実用化
1997年(平成9年)	・有機性廃棄物全体を対象を広げた汚泥再生処理センターが規定され国庫補助が開始される
1997年(平成10年)	・従来型のし尿処理施設の国庫補助を対象外とする
2000年(平成12年)	・汚泥再生処理センターの性能指針ができる
2000年(平成12年)	・メタン発酵を組み込んだ汚泥再生処理センターが稼働
2001年(平成13年)	・単独浄化槽の新設禁止
2007年(平成19年)	・し尿や浄化槽汚泥等の海洋投入が全面禁止となる

原市 1965-1997 年度) と浄化槽汚泥専用処理方式 (藤沢市 1982-1992 年度, 相模原市 1981-1996 年度) を, また高負荷脱窒素処理方式には膜分離高負荷生物脱窒素処理方式 (大磯町 1993 年度～現在) をそれぞれ含めた。

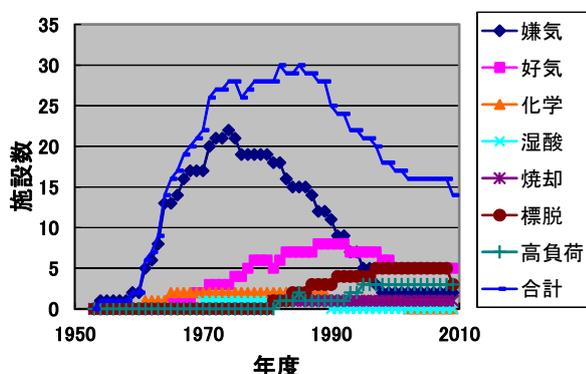


図 1 処理方式別にみた神奈川県内のし尿処理施設数の変遷(1954-2009年度)

注) 嫌気=嫌気性消化処理方式, 好気=好気性処理方式 (浄化槽汚泥専用処理方式含む), 化学=化学処理方式, 湿酸=湿式酸化処理方式, 焼却=焼却処理方式, 標脱=標準脱窒素処理方式, 高負荷=高負荷脱窒素処理方式

本県に初めてし尿処理施設が稼働したのは昭和 29 年 (1954 年) で, 逗子市し尿処理場 (逗子市池子) の消化処理方式 (嫌気性消化処理方式) の施設である (昭和 29 年 10 月稼働開始)¹⁸⁾。処理能力 13kL/日と小規模な施設で, 三機工業 (株) が建設した。処理工程は, 嫌気性消化に散水濾床を組み合わせたものであった¹⁹⁾。

二番目は, 昭和 34 年 (1959 年) 4 月に稼働開始した, 川崎市入江崎清掃作業所の嫌気性消化処理方式の施設である。処理能力 162kL/日の大規模なもので, (株) 荏原製作所が建設した²⁰⁾。

[注: 稼働開始は昭和 33 年 12 月との記録もある²¹⁾。]

昭和 36 年 (1961 年) には県内初の化学処理方式の施設が鎌倉市で稼働したり, 嫌気性消化処理方式の施設が徐々に増えるなどしたため, 昭和 39 年度 (1964 年度) には 14 施設, 昭和 45 年度 (1970 年度) には 22 施設が稼働するようになった。

その後も若干増加し, 昭和 46～56 年度 (1971～1981 年度) までは 26～28 施設で横ばい状態であったが, 昭和 57 年度 (1982 年度) にはさらに好気性消化処理方式 (浄化槽汚泥専用処理方式含む) の施設 (藤沢市) と高負荷処理方式

の施設 (寒川町) 増え, 30 施設となった。この年度と 1985 年度が最大の稼働施設数であった。しかし, 翌年度からは下水道の普及によって減少傾向を示すようになり, 平成 14 年度 (2002 年度) には 16 施設まで減り, その後横ばい状態が平成 20 年度 (2008 年度) まで続いた²²⁾。

平成 21 年度 (2009 年度) 途中にはさらに 2 施設 (秦野市伊勢原市環境衛生組合の標準脱窒素処理方式) が廃止され, 平成 22 年 3 月末現在で 14 施設 (総公称能力 1,517kL/日) になった。正確には焼却処理方式の 1 施設 (葉山町) が休止中なので, 現在は 13 施設が稼働しているにすぎない。その内訳は, 嫌気性消化処理方式が 2 施設, 好気性消化処理方式が 5 施設, 標準脱窒素処理方式が 3 施設, 高負荷脱窒素処理方式が 3 施設である⁴⁾。

このように最盛期には県内に 30 施設あったし尿処理施設も, 近年では下水道の普及によって施設数, し尿等の処理量が大幅に減少している。

図 2 には, 県内のし尿処理施設におけるし尿と浄化槽汚泥の年間処理量 (1970 年代～2009 年度) をまとめた。1980 年代のし尿と浄化槽汚泥の合計処理量は約 90 万 t/年で推移していたが, 1990 年代からは減少の一途をたどり, 平成 21 年度 (2009 年度) には 20 万 t/年近くまで減少した。し尿処理量は, 昭和 52 年度 (1977 年度) の約 59 万 t/年から一貫して減少し, 平成 21 年度 (2009 年度) には約 1/20 (5.4%) の約 3.2 万 t/年に減少している。浄化槽汚泥量は, 昭和 60 年度 (1985 年度) に初めてし尿量を超え, 平成元年度 (1989 年度) には最大値 50.7 万 t/年に達したが, その後は減少傾向を示しながらも, 処理量の大部分を占めるようになっている。

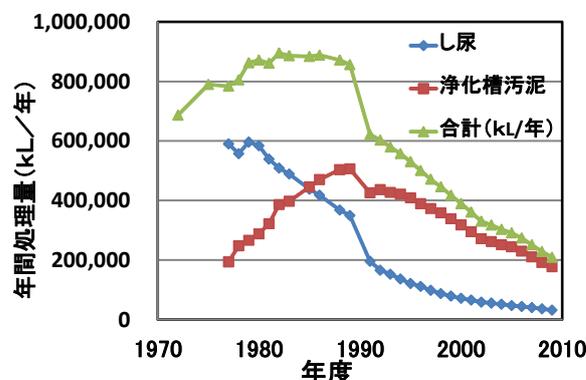


図 2 県内し尿処理施設におけるし尿等の年間処理量の推移 (1970年代～2009年度)

4. 2 嫌気性消化処理方式の変遷

本方式は昭和 28 年（1953 年）に始まり、昭和 30 年代～ 50 年代前半まで多く採用された処理方式である¹¹⁾。嫌気性細菌によりタンパク質、炭水化物、脂肪等を、水、二酸化炭素、アンモニア、メタンなどに分解する。嫌気性細菌は、大腸菌やメタン菌などで、し尿中に普通に存在しているため、これらを活動させるには、pH を適正範囲に保持することと、温度を 30 ～ 37 °C に保持すればよく、装置がシンプルで、消費エネルギーも少ないため、経済性に優れている。メタン菌の作用で、メタンを 60 % 程度含むガスが投入し尿 1 kL 当たり 8 ～ 10m³ 発生するため、消化槽の加温用として使用できる¹⁰⁾。

神奈川県でも、昭和 30 年代～ 50 年代中頃までし尿処理方式の主流であった。まず最初に逗子市に処理能力 13kL/日の施設が昭和 29 年（1954 年）3 月に建設され、同年 10 月より稼働した^{20) 21)}。全国的にも初期に建設されたその嫌気性消化槽は、密閉式ではなく、鍋ぶた式のレトロな施設で昭和 50 年代前半まで残っていた。

その後、昭和 30 年代に次々建設され、昭和 40 年代後半には 3/4 に相当する 21 施設を占め、主流であった。昭和 55 年度（1980 年度）まで 20 施設を維持し、全施設の 2/3 以上と最も多くを占めた。

しかし、都市化が進んでくると、消化槽が広い敷地を要すること、ガス中の硫化水素等による臭気や腐食の対策が必要なこと、窒素分を除去できず高度に浄化された処理水を得にくいこと、などの欠点から次第に採用されなくなり、減少の一途を辿って一つの時代を終えた。平成 10 年度（1998 年度）以降は、三浦市と箱根町の 2 施設のみとなっている²³⁾。これは、昭和 30 年代後半に出現した好気性処理方式が昭和 50 年代中頃から平成初期までに 5 施設から 9 施設に増加したこと、さらに昭和 40 年代末に開発された標準脱窒素処理方式が昭和 55 年（1980 年）頃から徐々に建設されたことによる影響が大きい²⁴⁾。

4. 3 好気性処理方式の変遷

この方式は、初期には酸化処理方式と呼ばれていたが、廃棄物処理法の制定後からは好気性処理方式と呼ばれるようになった。前述したように本方式は、好気性消化処理、高速酸化処理、

活性汚泥処理の 3 つに大別される。

（1）好気性消化処理方式

嫌気性消化処理方式に替わって次第に採用されるようになったのが、無希釈し尿を好気性消化槽で長期間曝気する好気性消化処理方式である。日本で最初の本方式の処理施設は、昭和 34 年（1959 年）に愛知県一色町に建設された。好気性消化法は、好気性細菌の働きで生物化学的にし尿中の有機性汚濁物質を酸化し、安定化する。嫌気性菌より反応速度が速いため、処理水槽の容積が小さく、施設全体をコンパクトにできる^{25) 26) 27)}。また、臭気も少なく、水槽や設備機器を全て建屋内に収納しデザイン的にもし尿処理場らしくない外観の施設を造ることができるようになった²⁷⁾。

好気性消化処理については、武藤が詳細な基礎的研究を行い、これが神奈川衛研の開発した処理技術の主流となり、この技術分野においては他の追従を許さないものがあつた³⁾。この研究は、実用化に大きく貢献したが、その後は大きな進歩が無く、未知な部分が多く残っていた^{25) 26)}。特に、この方式は依然として二次処理に 20 倍の希釈水が必要であるほか、大きな曝気用動力、排ガスの脱臭対策、発泡対策なども必要であつた。さらに 1970 年代中頃からは放流水による富栄養化の問題も出てきて、脱窒素の必要性もいわれるようになり、採用期間はそれほど長くは続かなかつた²⁸⁾。

県内でこの方式の本格的な処理施設は、昭和 51 年（1976 年）に二宮町が、昭和 53 年（1978 年）には大磯町が建設した。

著者らは、昭和 52 年（1977 年）に二宮町の既存施設で、好気性消化槽末端部混合液の流出液（脱離液）を流入部に適量循環させることにより、好気性脱窒が生じることを確認し、運転改善による窒素除去を行った。その後、大磯町でもこの方法を適用し、効果を上げた。これによって脱離液の BOD、COD、T-N の除去率は、改善前がそれぞれ 90 %、65 %、35 %であつたのに対し、改善後は 99 %、90 %、83 %に向上したと報告している^{29) 30) 31) 32)}。

（2）高速酸化処理方式

し尿を噴射して、空気と接触させて処理する方法である。高速回転式のアトマイザーによる強制曝気（酸化）と二次処理の接触酸化によって好気性処理を受ける。消化日数の短縮化を目

指して開発された方法で、両工程で5日程度で完了する。この施設は昭和38年(1963年)に埼玉県蓮田市で建設されたのが初号機で、約20年間に82施設が建設された¹⁵⁾。

県内では、相模原市で昭和40年(1965年)に建設され、これまで4施設が建設された。昭和52年度(1977年度)に建設された200kL/日の施設は、現在でも稼働され、一次処理した後下水道放流している。また、昭和56年度(1981年度)には、浄化槽汚泥専用処理施設として処理能力250kL/日の施設も建設され、平成11年度(1999年度)まで稼働していた⁴⁾。

(3) 活性汚泥処理方式

活性汚泥処理方式は、①し尿を無希釈のまま予備曝気を行った後、希釈(20倍程度)して活性汚泥処理する一段活性汚泥処理方式、②し尿を予めある程度希釈(5～10倍)して予備曝気した後、さらに希釈して活性汚泥処理する希釈曝気方式、③し尿を一度希釈(5～8倍)して活性汚泥処理した後、さらに希釈して活性汚泥処理する二段活性汚泥処理方式がある^{2) 12)}。この方式は、余剰汚泥の発生量が多いのが欠点であった¹¹⁾。このため、県内での実績はない。

4. 4 化学処理方式の変遷

化学処理は、除渣後のし尿に無機系凝集剤を添加して凝集分離する方法で、古くから下水汚泥の処理に用いられてきた。これをし尿処理に取り入れて、化学的に処理しようとする積極的な動きが始まったのが昭和30年頃である。この試みは、昭和30年(1955年)にし尿化学処理方式として初めてプラント化され、注目されるようになった。岩井は、当時の大阪市立衛生研究所による基礎実験や九州でのプラント化実証試験について解説をしている³³⁾。

化学処理方式の特徴は、嫌気性消化処理に比べて処理時間が短く、処理量の変動に対しクッション性が高いこと、敷地が少なくすむことなどだが、薬剤を使用するため他の方式よりも維持管理コストが高くなるといった問題点を抱えていた³⁾。このため、薬剤の経費削減、それに伴う処理の効率化と作業能率の向上化が重要な課題であり、研究テーマであった。当時の文献をみると、内容的には高効率の凝集剤の選定、添加量の検討、分離液の効果的な処理などで、その成果は実際の管理面に生かされたとしてい

る³⁴⁾。特に、今では凝集処理で当たり前になっているが、鎌倉市の野田頭³⁵⁾が凝集助剤としての高分子凝集剤の効果を検討した「し尿化学処理における有機高分子凝集助剤の効果」は高く評価された。また、松崎らによる「し尿化学処理分離液のアンモニア性窒素除去に関する研究」も注目された³⁶⁾。

昭和31年(1956年)末に静岡県清水市で実用化されたものが、本方式の最初の本格的な施設といわれている^{37) 38)}。この施設は、化学処理に二次処理として散水濾床を組み合わせた方式で、これが原型になって各地にこの方式が建設されるようになった。昭和37年(1962年)には活性汚泥法を組み合わせた施設が出現し³⁹⁾、最盛期には年間10施設程度が建設された²⁾。

神奈川県内では、昭和35年(1960年)に鎌倉市が、昭和40年(1965年)には小田原市がこの方式を採用し、それぞれ平成13年度(2001年度)、平成元年度(1989年度)まで運転されていた。しかし、前述した問題点により、その後新たに建設された施設はない^{40) 41)}。

4. 5 湿式酸化処理方式の変遷

湿式酸化処理は、物理化学的処理の代表的な方式で、1920年頃エルンストフィッシャー(スウェーデン)によって開発された。ジンメルマン Zimmerman(米国)は、この湿式酸化によりパルプ廃液中のリグニンからバニラ香料製造の工業化に成功し、その後1954年に下水汚泥の処理に応用した。昭和39年(1964年)には、有機性汚泥を処理する技術として米国から日本に導入され、し尿処理に適用され、昭和42年(1967年)に国庫補助が認められた¹¹⁾。技術を実用化した Zimmerman の名前からジンメルマン・プロセス(略称ジンプロ)とも呼ばれる¹¹⁾。

わが国最初の湿式酸化処理方式のし尿処理施設は、昭和42年(1967年)に新潟県で稼働し、その後10年余りの間に32施設が建設された²⁾⁴²⁾。しかし、昭和50年代以降はあまり普及しなかった。近年では新設されなくなり、平成6年度(1994年度)での稼働施設は全国で15か所となっている⁴³⁾。

神奈川県では、川崎市清掃局が昭和42年(1967年)に加瀬清掃作業所で本方式を採用、着工し、昭和44年(1969年)に竣工された⁴¹⁾。処理能力は300kL/日で、平成元年(1989年)まで運転

されていた⁴⁴⁾。

本方式は、生し尿のような水中に溶解または懸濁している有機物を含む液体をそのままの状態ですく酸化するもので、この酸化で発生する熱を利用して反応塔内を高温、高压に保ち、連続的に反応を継続させる方法である。エネルギーコストの点で優れており、施設が小さいなどのメリットがあるが、維持管理には高度な技術が必要である⁴⁵⁾。

具体的には、し尿中の夾雑物を破碎後、し尿自体の発熱量を利用して170～260℃に加熱し、50～150kgf/cm² (4.9～14.7MPa) の高压で、耐圧容器中にし尿と空気を交互に送って約1時間反応させ、有機物を液中燃焼(酸化)することによって、低級脂肪酸やギ酸、酢酸程度まで分解する。酸化液のBODは高いが、生物分解しやすいので、希釈してから活性汚泥法で二次処理される。酸化反応時に発生する熱は投入し尿の加温に使用される。このため、連続の運転が効率良く、し尿のCOD_{Cr}値を一定範囲以上に保てば、加温燃料を使用せずに連続運転が可能である¹⁾。

4. 6 焼却処理方式の変遷

焼却処理方式は、し尿を重油などの補助燃料を用いて焼却炉で直接焼却する。燃焼によってし尿中の水分を蒸発させ、有機性物質を二酸化炭素と水に変換し、灰分のみを少量の焼却灰として取り出すため、放流水が排出されないという特徴がある。このため、放流先水域が確保できないなどの制約がある地域で採用されている。しかし、水分の蒸発に多量の燃料を必要とするため処理経費が高い。昭和52～60年(1977～1985年)頃に多く建設され、平成6年度(1994年度)には全国で28施設が稼働していた²⁾。

神奈川県内では、葉山町が昭和56年(1981年)に本方式を竣工し、同年8月より稼働した。処理能力は32kL/日で、平成20年度(2008年度)まで運転されていたが、現在は休止中である⁴⁾。

4. 7 標準脱窒素処理方式の変遷

既出した処理方式のし尿二次処理水中には、窒素が平均で120mg/L程度含まれていたため、これが稲の立ち枯れなどの農業被害や湖沼の富栄養化の大きな原因になっていたことから、1970年代にはし尿処理水の窒素除去が求められるよ

うになった⁴⁶⁾。

そこで昭和40年代後半に登場したのが、標準脱窒素処理方式である。これは、従来の生物学的脱窒素法とは逆に、脱窒素槽を前に、硝化槽を後にして、硝化した混合液を硝化槽から脱窒素槽に大量循環し、ここで流入原水であるし尿と混合することにより、し尿中のBODを有機炭素源として脱窒素反応を行わせて窒素を除去するものである。この方法では、し尿中のBODが脱窒素反応に利用されるため、BODによる酸素消費が無く、経済的で、悪臭もほとんど発生しない。また、希釈水量が従来の半分の10倍希釈以下でよいとため、当初旧構造指針では「低希釈二段活性汚泥処理方式(低二法)」と呼ばれ、十分普及した頃の昭和63年(1988年)の構造指針改定で「標準脱窒素処理方式」とされた⁴⁵⁾。

神奈川県内のし尿処理場や神奈川衛研では、この方式の開発のために大きな貢献をしている。昭和49年(1974年)には、神奈川衛研が三菱重工横浜製作所と共同して脱窒素法の研究を行った。この研究では、ベンチスケールテストによって標準脱窒素法を確立し、その後の実用化に大きく貢献した¹⁵⁾。昭和54年(1979年)には、秦野市伊勢原市環境衛生組合の秦野衛生センターし尿処理場内で、(株)タクマによる実証試験が行われ、1年後に技術が確立された²⁸⁾。昭和55年(1980年)には、茅ヶ崎市衛生処理センター内において、二段活性汚泥法による低希釈処理実証プラント(処理能力10kL/日)で昭和電工(株)と共同実験を行い、酸素曝気による低二法(希釈倍率5～7倍)を開発した⁴⁷⁾。酸素を曝気ガス源として使用すると、酸素分圧が高いため溶解過程におけるエネルギー効率が良く、消費電力当たりでは空気曝気より大きな溶解速度が得られる¹¹⁾。また、同年には寒川町美化センターのし尿処理場内でも、二段活性汚泥法を基本とした栗田工業(株)の実証プラント(処理能力10kL/日)で共同実験を行い、希釈倍率2～2.5倍の低二法の処理技術を開発した⁴⁷⁾。これらの成果をもとに、翌年度には無希釈から2倍希釈で処理実験を行った結果、低二法(10倍希釈)の処理水に相当する良好な水質が得られ(最終処理水平均値: BOD5mg/L, COD18mg/L, T-N15mg/L)、後述する高負荷脱窒素処理方式の確立に繋がった⁴⁸⁾。

神奈川県内における標準脱窒素処理方式は、

昭和 56 年（1981 年）に足柄上衛生組合の足柄衛生センターが初めて建設し、現在も稼働している。昭和 59 年（1984 年）には、前述の実証試験に協力した秦野市伊勢原市環境衛生組合の秦野衛生センターがこの方式を 2 番目に採用し、平成 3 年度（1991 年度）にはさらに 1 施設を増設した。このほか、津久井広域行政組合（現相模原市津久井クリーンセンター）と厚木市の衛生プラントが建設しており、平成 21 年度（2009 年度）途中に秦野衛生センターの 2 施設が廃止されるまで最大で 5 施設があった⁴⁾。

なお、本方式は全国的にみると平成 13 ～ 16 年度まで 306 ～ 307 施設あったが、近年若干減少傾向にある。しかし、平成 21 年度（1994 年度）でも 269 施設が稼働しており、最多の方式である¹⁷⁾。このように標準脱窒素処理方式は、処理の容易さや安定性から、現在でも支持者が多い不朽の名作といわれている。

4. 8 高負荷脱窒素処理方式の変遷

標準脱窒素処理方式が構造指針に採用されて以降、次第に低希釈・高負荷処理の方向に発展するようになった。これは、し尿よりも浄化槽汚泥の占める割合が増大して施設への投入濃度が低下したこと、希釈水の入手が困難になり節水型の処理法が望まれるようになったこと、増改設の際に敷地の確保が困難な場合も多くなりコンパクトな施設の要望が高まったことなど、社会的情勢を反映した結果である。

高負荷脱窒素処理方式は、標準脱窒素処理方式と同様の原理に基づいて処理する方式だが、生物反応槽内の MLSS を高濃度に保持し、し尿等をほぼ無希釈で高濃度のまま、高容積負荷で処理するのが特徴である²⁾。また単一槽の中で硝化と脱窒が生じ窒素が除去されていることが確認され、昭和 50 年代後半には、標準脱窒素法に代わる方式となってきた。昭和 60 年（1985 年）頃には一般的な方式として認められ、1988 年版の構造指針改訂時には厚生省の認める方式として記載された。指針の基準値では、MLSS を 12,000 ～ 20,000mg/L に保持し、BOD 容積負荷を 2.5kg/m³・日以下で運転することになっている。また、高負荷による発生熱が多いため水温は 25℃以上 38℃以下で処理し、希釈倍率は洗浄水などを含め 3 倍以下とされている。38℃を超えると亜硝酸菌の最大増殖率が低下し、NH₃

のガス化率が高くなることもあって、硝化が不安定になることから、反応液温の上限を 38℃に設定している⁴⁵⁾。

高負荷処理は、施設をコンパクト化できるため狭い敷地でも設置可能なこと、放流量が少ないため使用水量や汚濁負荷量、維持管理コストを削減できること、などの利点がある。ただし、無希釈処理のため、汚泥濃度が非常に高く、通常の沈殿では固液分離が困難であること、生物反応槽内には流入有機物質負荷量に見合った微生物量と酸素供給が必要で、系外に流出した微生物は固液分離して反応槽に返す必要がある。このため、曝気装置としてはエジェクターなどの高率曝気装置を用いること、固液分離工程に重力沈降、浮上分離、遠心分離、またはこれらを組み合わせた方式などの固液分離装置を用いて汚泥を回収し反応槽に返送すること、固液分離装置からの流出水は SS が高く沈殿槽だけでは不十分なためさらに凝集分離すること、反応槽内の水温が 38℃を超えないように冷却装置を設けることなど、施設の特徴がある^{2) 3)}。

本方式は、平成 21 年度（2009 年度）で全国に 189 施設あり、標準脱窒素処理方式に次いで 2 番目に多いが¹⁷⁾、こうした問題点を解決するため、後述する膜分離技術を導入した膜分離高負荷生物脱窒素処理方式へと発展した。

神奈川県内における高負荷脱窒素処理方式は、前述したように昭和 57 年度（1982 年度）に栗田工業(株)が建設した実証プラント（処理能力 10kL/日）を、寒川町の美化センターで高負荷処理の実働施設としても活用していたため、これが本県最初の施設である。本施設は、実験期間の最終年度である昭和 60 年度（1985 年度）までの 4 年間稼働した後廃止された⁴⁸⁾。同年度には、愛川町の衛生プラントが 2 番目の施設（処理能力 37kL/日）を稼働した。さらに、平成 7 年度（1995 年度）には、茅ヶ崎市のし尿等も併せて処理する寒川町美化センターの施設（70kL/日）が稼働を始めたことにより、現在 2 施設がある⁴⁾。

4. 9 膜分離高負荷生物脱窒素処理方式の変遷

膜分離高負荷生物脱窒素処理方式は、生物処理を高負荷脱窒素処理方式によって処理し、その処理液の分離に従来の沈降分離法に代えて膜

分離装置を用いるものである。高 MLSS の維持、酸素供給効率の向上、高温化対策が必要である点は高負荷脱窒素処理方式と同じだが、膜分離装置を使用することで高濃度汚泥の固液分離が容易に行え、硝化・脱窒素槽の MLSS 制御が容易となる。膜としては、精密ろ過膜 (MF 膜)、限外ろ過膜 (UF 膜) が多く採用されている。処理設備は、沈殿槽に代えて膜分離原水槽と生物処理膜分離装置を置き、そのろ液を凝集処理し、凝集処理膜分離装置で処理する。膜分離により安定した処理が可能で、病原微生物をほぼ完全に除去できるため、処理水の安全性は極めて高い⁴⁹⁾ (ただし、沈殿槽などに比べると膜分離装置は管理にコストを要する。)

このようなことから、し尿処理施設は、膜分離技術の導入でコンパクト化も極限に達し、今や化学プラント化して高度な運転技術が要求されるようになった¹⁵⁾。昔の嫌気性消化と違い、膜分離では膜で通過する処理水質が決定されるため、一定量ずつの処理をする。大量のし尿搬入があったときには、貯留槽で処理量を調整することになる。すなわち、貯留槽と処理槽を併せた槽容量は膜分離技術により検討し尽くされ、既に究極のし尿処理装置に達しているものと考えられる。

神奈川県では、昭和 62 年度 (1987 年度) に寒川町美化センター内に三機工業 (株) の実証施設 (UF 膜モジュール 6 組直列の膜処理装置、処理能力 10kL/日) が設置された後、昭和 63 ~ 平成元年度 (1988 ~ 1989 年度) にかけて機能調査を行い処理特性を評価した⁵⁰⁾。また、昭和 63 年度 (1988 年度) に足柄衛生センター内に設置された荏原インフィルコ (株) の実証施設 (管状モジュール、処理能力 10kL/日) について、翌年度に処理特性を調査し、処理水質及び経済的な評価を行った⁵¹⁾。

本方式の施設は、平成 21 年度 (2009 年度) 現在で全国に 24 施設あるが¹⁷⁾、県内における実施設としては、大磯町美化センターが平成 5 年度 (1993 年度) に稼働開始した 1 施設 (平成 3 ~ 4 年度建設、処理能力 50kL/日) のみで、現在も運転されている^{4) 52)}。

4. 10 汚泥再生処理センターの変遷

汚泥再生処理センターは、従来し尿処理施設で処理していたし尿、浄化槽汚泥のほかに、生

ごみ等の有機性廃棄物を受入対象物として併せて処理するとともに、資源を回収する資源化工程が組み込まれた施設である。水処理設備、資源化設備及び脱臭設備等の附属設備で構成されている。資源化設備としては、①メタン回収設備、②堆肥化設備、③乾燥設備、④炭化設備、⑤その他設備 (溶融設備、油温限活乾燥設備、汚泥熱分解設備、リン回収設備) の技術が示されており、新たな技術も積極的に取り入れられている⁵³⁾。

平成 9 年 (1997 年) に、旧厚生省は、従来の「し尿及び浄化槽汚泥処理施設整備事業」の国庫補助に替えて新たに汚泥再生処理センターを国庫補助対象とする方針を打ち出した。これは、従来のし尿処理にも資源循環型技術の適用を促進させるための方策としたもので、平成 10 年度 (1998 年度) 以降は従来型のし尿処理施設は補助対象とせず、汚泥再生処理センターのみが補助対象となり、新時代の処理施設として期待された。当初はし尿処理施設へ生ごみの搬入とメタン発酵か堆肥化設備の設置が必須条件であった⁵⁾。しかし、当時の自治体はごみ焼却炉のダイオキシン対策が最優先課題で、生ごみを搬入するハードルの高さから期待されたほど普及が進まず、さらに自治体の財政難がこの傾向に拍車をかけた。

その後、環境省は普及促進のために、生ごみの代わりに下水汚泥や農業集落排水汚泥の搬入も可能とし、資源化設備に対しても炭化や助燃料化、リン回収などメニューを増やした。平成 16 年度 (2004 年度) 末現在、全国で 93 施設の実績があるが、生ごみの受入や前処理、堆肥化製品の需要先の安定確保、自治体の財政難等により、更新は思うように進展していない。

ところで、本県では平成 9 年 (1997 年) にプラントメーカー 7 社が集まり、し尿汚泥と生ごみを混合したメタン発酵装置の実機化に備え、足柄上衛生組合足柄衛生センターのし尿処理場内に実証プラントを設置し、約 1 年間実証試験を実施した経過がある¹⁵⁾。環境科学センターや神奈川衛研の指導やサポートもあり、翌年には廃棄物研究財団から「汚泥再生処理センター」対応技術として技術評価を取得し、メビウスシステムとして実用化された。本システムは、生ごみを破砕後、し尿汚泥と混合し、高温発酵により有機物を分解してバイオガス化するもので、

発酵槽内の汚泥濃度を高濃度に維持し、早い反応速度で処理する点が従来の嫌気性消化処理と異なる。このため、発酵槽はサイテック社（フィンランド）より技術導入した独自の縦型形状であり、特殊なスクリー型攪拌機を用いている。この技術は、その後全国に設置された汚泥再生処理センターに活かされている。

なお、同様に同財団から技術評価を取得したシステムとして、本県ではないが、同年に別のプラントメーカー5社が栃木県栃木市の栃木地区広域行政事務組合・衛生センター内で共同開発したREMシステムがある⁵⁴⁾。

県内には、汚泥再生処理センターはまだ建設されていないが、三浦市の衛生センターではし尿処理施設の老朽化に伴い、平成22年（2010年）10月に施設を廃止し、農水省の「バイオマスタウン構想」に基づく「三浦バイオマスセンター」に建て替えた。施設の計画や選定の評価には、著者も参加し協力した。施設の着工は平成21年（2009年）4月で、翌年5月に完成し、同年11月から本格稼働している。同センターは第三セクターが運営し、し尿と浄化槽汚泥だけでなく農産物・水産物残渣と一緒に処理するとともに、処理過程で発生するメタンガスを施設を稼働させるためのエネルギーとして再利用し、堆肥化設備で堆肥を生産し、農家に利用してもらう資源循環型の施設になっている⁵⁵⁾。

4. 1 1 し尿等の海洋投入処分の全廃

し尿等の海洋投入処分量をゼロにすることにより、海洋への環境負荷低減を図るため、前述したように廃棄物処理法施行令の一部を改正する政令が平成14年（2002年）2月1日に施行され、5年間の適用猶予期間を経て、平成19年（2007年）からし尿や浄化槽汚泥等の海洋投入処分が全面禁止となった¹³⁾。このため、全国におけるし尿等の海洋投入量は、改正前の平成12年度（2000年度）には149.8万kL/年（し尿等総処理量の4.8%）もあったが、改正後の平成14年度（2002年度）には108.2万kL/年（同3.7%）、平成18年度（2006年度）には39.3万kL/年（同1.5%）に減り、翌年度にはゼロとなった^{4) 22) 24)}。

松田による平成17年（2005年）の調査によれば¹³⁾、この改正による海洋投入全廃に向けた全国市町村の対応策では、全廃した市町村の場合、陸上処理施設の整備を行った市町村が38.0%

と最も多く、このうちの約9割が汚泥再生処理センターの整備を行っており、循環型社会の形成に寄与する形となっている。一方この時点で全廃計画が確定した市町村の場合も、陸上処理施設整備を行う市町村が68.7%と高いが、このうち汚泥再生処理センターを計画したのは5割弱で、代わりに資源化を行わないし尿・浄化槽汚泥高度処理施設が4割近くを占めており、さまざまな効率的移行計画が示されている。

神奈川県の場合、建設用地の取得難や公共下水道の優先整備等により、まだ海洋投入を余儀なくされていた頃の昭和47～50年度（1972～1975年度）における市町村のし尿処理処分量の内訳をみると、昭和47年度（1972年度）は海洋投入（一部埋立処分）が47.1%で、し尿処理施設や下水道終末処理施設による処理は52.9%、昭和50年度（1975年度）ではそれぞれ51.0%に49.0%と、ほぼ半分を海洋投入に依存していた。昭和47年度（1972年度）にし尿等の海洋投入を行っていたのは、横浜市、川崎市、横須賀市、三浦市、葉山町、真鶴町、湯河原町（真鶴町へ投入を委託）の7市町であった。昭和50年代になると、横浜市、川崎市、横須賀市、真鶴町、湯河原町（真鶴町へ投入を委託）の5市町に減り、それぞれ神奈川区出田町、川崎区夜光町、日ノ出町、真鶴から海洋投入船が出航し、15海里以遠の海域である房総半島突端の州崎沖に投入処分していた。[注：し尿の海洋投入については、昭和47年6月の海洋汚染防止法施行令の改正により、昭和48年4月1日以降は領海の基線から50海里以遠に投棄することを原則とし、暫定措置として昭和48年4月1日以降昭和51年3月31日までは15海里以遠の海域に投入することが認められていた。]^{20) 21)}。その後、横浜市と川崎市の2市は全量下水道投入となり、平成12年度（2000年度）まではし尿処理施設をもたない残りの3市町となった。施行令の改正が行われる前年には横須賀市も下水道投入となり、改正が施行された平成14年度（2002年度）からは2町が足柄衛生センターへ処理を委託したため、海洋投入処分は全廃された^{22) 24)}。

4. 1 2 し尿処理における二次処理・高度処理技術の歴史的発展

これまでし尿処理の一次処理技術を中心にその変遷を述べてきたが、二次・三次処理技術についても、神奈川県では試験研究機関をはじめ、

市町（一部事務組合）のし尿処理場，さらにはプラントメーカーが協力して，さまざまな新技術の開発や実用化に貢献し，多くの実績を残してきた。し尿の二次・三次処理技術の変遷については，別の機会に報告したい。

5 おわりに

し尿処理施設は，し尿の衛生的処理に始まり，厳しい性能要求に追われながら，生活環境の保全と公衆衛生の向上を図りつつ，技術を進展させてきた。近年では，循環型社会の形成も推進するように転換が図られ，この結果，水質汚濁防止，設備の自動化，資源化等の技術が進み，維持管理にも高度な知識と経験が要求されるようになった。また，下水処理場と違い，その多くが中小河川に放流するため，流水を涵養し，同時に自浄作用を活用することが可能で，水量水質両面で水環境を改善する役割も有している。

一方，県内のし尿処理施設は，下水道の普及により，し尿の搬入量が年間 20 万 t 余りと最大時の 1/4 以下に減少し，その結果浄化槽の汚泥混入率が約 85 % に達している。浄化槽汚泥の性状は一般にし尿よりも低濃度だが，浄化槽が単独処理の時代から，様々な用途の建築物に設置される合併処理の時代になり，性状が変化に富むようになった。また，稼働中の 14 施設のうち 10 施設が昭和時代に建設されたもので，老朽化が進んでおり，今後更新計画が増加するものと予測される。

このため，今後は，浄化槽汚泥の特性に見合った処理技術を有する浄化槽汚泥専用処理施設としての役割が求められるだろう。そのための技術としては，膜分離高負荷生物脱窒素処理方式をベースにした，さらに効率的，経済的で，しかも資源循環的な「究極のし尿処理方式」が想定される。将来の研究開発に期待したい。

参考文献

- 1) 大野茂監修：し尿処理施設の機能と管理，産業用水調査会，pp.7-10, 66 (1975)
- 2) 金子光美，河村清史，中島淳：生活排水処理システム，技報堂出版，pp.212-238 (1998)
- 3) 児玉威先生記念出版グループ：私たちの記録－児玉威先生とともに 20 年 (1970)
- 4) 神奈川県環境農政局環境部資源循環課：平成 21 年度一般廃棄物処理事業の概要 (2011)

- 5) (財)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課程「し尿・汚泥再生処理施設」'01, pp.15-21 (2001)
- 6) 田辺弘：わが国の公共水汚濁とその防止対策，日本衛生学雑誌，10(1)，pp.8-9 (1955)
- 7) 三浦運一：我が国の尿尿処理の現状とその対策，日本衛生学雑誌，13(1)，pp.1-4 (1958)
- 8) 武藤暢夫：し尿海洋投棄の問題点，生活と環境，Vol.2, No.2, p.28 (1958)
- 9) 武藤暢夫：尿尿好気性処理の研究，日本衛生学雑誌，13(3)，pp.1-24 (1958)
- 10) タクマ環境技術研究会編：水処理技術絵とき基本用語，オーム社，pp.164-165 (2001)
- 11) 児玉威：日本におけるし尿処理の歴史，用水と廃水，23(12)，pp.3-13 (1981)
- 12) 厚生省水道環境部監修：廃棄物処理施設構造指針解説－し尿処理施設構造指針篇，(社)全国都市清掃会議 (1979)
- 13) 松田圭二：し尿等の海洋投入全廃に向けて，環境技術会誌，No.122, pp.30-36 (2005)
- 14) 全国市長会編(武藤暢夫，大野茂，矢込堅太郎ほか)：都市におけるし尿塵芥処理の新研究，全国市長会 (1965)
- 15) 三菱重工環境エンジニアリング(株)：三菱重工横製環境装置事業の軌跡，pp.45-55 (2009)
- 16) 宮地有正，関川泰弘：窒素除去装置の運転経験，下水道協会誌，11 (120)，pp.30-38 (1974)
- 17) 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 21 年度版，p.58 (2011)
- 18) 武藤暢夫，原田文雄，吉田正，石井襄二，宮崎久子，遠矢泰典，小野芳夫：逗子市し尿消化そう試験報告(第 1 報)理化学試験関係，神奈川県衛研年報，5，p.75 (1955)
- 19) 武藤暢夫，小野芳夫，遠矢泰典：逗子市し尿消化槽の構造・機能について，神奈川県公衆衛生学会誌，3(8) (1955)
- 20) 神奈川県衛生部生活環境課：昭和 47 年度清掃事業の実態－昭和 49 年 3 月 (1974)
- 21) 神奈川県衛生部生活環境課：昭和 50 年度清掃事業の実態－昭和 52 年 3 月 (1977)
- 22) 神奈川県環境農政部廃棄物対策課：平成 20 年度一般廃棄物処理事業の概要－平成 22 年 3 月 (2010)
- 23) 神奈川県環境部環境整備課：昭和 55 年度清掃事業の実態－昭和 57 年 3 月 (1982)

- 24) 神奈川県環境農政部廃棄物対策課：平成 13 年度一般廃棄物処理事業の概要－平成 15 年 3 月 (2003)
- 25) 武藤暢夫：し尿好気性消化の研究 (第 1 報), 神奈川衛研年報, 4, pp.98-102 (1955)
- 26) 武藤暢夫：し尿好気性消化の研究 (1), 日本衛生学雑誌, 11 (1), p.59 (1956)
- 27) 西田茂雄, 岩尾充, 池治宏和, 石丸勇：し尿処理技術の歴史, KUBOTA TECHNICAL REPORT, 24, pp.134-152 (1992)
- 28) 村山壊治：下廃水処理およびし尿処理の変遷と課題, タクマ技報, 2 (1), pp.56-69 (1994)
- 29) 田所正晴ほか：し尿の好気性消化における一考察, 第 23 回全国環境衛生大会講演集, pp.128-129 (1978)
- 30) 田所正晴ほか：し尿の好気性消化処理の改善, 第 1 回全国都市清掃研究発表会講演論文集, pp.93-95 (1980)
- 31) 田所正晴ほか：し尿の好気性消化における運転管理の改善, 用水と廃水, 22 (7), pp.16-23 (1980)
- 32) うんすい会記念出版会：私たちの記録－あれから 10 年－, pp.35-37 (1981)
- 33) 全国市長会編：都市におけるし尿じん茶処理の新研究 (1960)
- 34) 大野茂, 高橋一三：し尿化学処理分離液の処理抄録, 神奈川衛研年報, 13, pp.71-73 (1963)
- 35) 野田頭佑：し尿化学処理における有機高分子凝集助剤の効果, 都市清掃, 59, pp.23-33 (1964)
- 36) 松崎秀夫, 水野紀夫：し尿化学処理分離液のアンモニア性窒素除去に関する研究, 用水と廃水, 8 (7), pp.36-42 (1966)
- 37) 産業用水調査会：し尿処理施設ハンドブック (岩井重久：化学処理施設の現状と動向), pp.109-130 (1964)
- 38) 関東学院大学工学部建築設備工学科武藤研究室記念誌編集グループ：わたしたちの歩み－武藤暢夫教授とともに 35 年－, p.3 (1996)
- 39) 児玉威：し尿処理技術の歴史的展望, 用水と廃水, 10 (4), pp.54-60 (1968)
- 40) 神奈川県環境農政部廃棄物対策課：平成 13 年度一般廃棄物処理事業の概要 (2003)
- 41) 神奈川県：平成元年度清掃事業の実態－平成 2 年 12 月 (1990)
- 42) 新潟鐵工所：湿式酸化方式の近況について, 水, 22 (9), pp.66-67 (1980)
- 43) 産業タイムズ社：環境設備計画レポート (平成 7 年版) (1995)
- 44) 川崎市清掃局：川崎市加瀬清掃作業所パンフレット (1975)
- 45) 厚生省水道環境部監修：し尿処理施設構造指針解説 1988 年版, (社) 全国都市清掃会議 (1988)
- 46) 桜井敏郎：し尿の高度処理と資源化 (16), 水, 22 (4), pp.5-19 (1980)
- 47) 桜井敏郎, 田所正晴, 小川雄比古, 高橋一三：し尿の低希釈処理に関する研究 (第 1 報), 神奈川県衛生研究所年報 (昭和 55 年度), 30, p.82 (1981)
- 48) 桜井敏郎, 小川雄比古, 田所正晴, 高橋一三：し尿の低希釈処理に関する研究 (第 2 報), 神奈川県衛生研究所年報 (昭和 56 年度), 31, p.84 (1982)
- 49) (社) 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, (社) 全国都市清掃会議 (2001)
- 50) 桜井敏郎, 小川雄比古, 田所正晴, 淡路宣男：し尿の膜分離処理システムに関する研究 (第 1 報), 神奈川県衛生研究所年報 (昭和 63 年度), 38, p.101 (1988)
- 51) 桜井敏郎, 小川雄比古, 田所正晴, 淡路宣男：し尿の膜分離処理システムに関する研究 (第 2 報), 神奈川県衛生研究所年報 (平成元年度), 39, p.86 (1989)
- 52) 大磯町：大磯町美化センターし尿処理施設パンフレット (1993)
- 53) 厚生省生活衛生局水道環境部長 (通知)：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等の性能に関する指針について (別添 1)－平成 12 年 10 月 6 日付生衛発第 1517 号 (2000)
- 54) 浅野工事(株), 三機工業(株), (株) 新潟鐵工所, 三井鉦山(株), 三菱化工機(株)：技術評価申請書技術資料－し尿処理汚泥等の廃水処理汚泥及びその他有機性廃棄物の混合メタン発酵処理技術 (1999)
- 55) 三浦地域資源ユーズ (株)：三浦バイオマスセンター事業 (施設) の紹介 (2011)