

新農村地域廃棄物有効利用システム” ACEⅡ ”
の構築に向けて

2019.7

川口 幸男

はじめに

2013年にJICA関連業務で「中華人民共和国 農村污水处理技術システムおよび管理体系の構築プロジェクト詳細計画策定調査」に携わり、中国の下水道事業の実態に接する機会を得て強く感じたことは、「今の下水道事業は、ある程度以上の所得水準に達しない限り普及は難しい。」ということであった。最大の原因は社会主義国であっても下水道使用料金が思うように徴収できないことであり、「施設建設費は国家予算で確保できたとしても運営費用が確保できないため、業務が成り立たない！」という現実であった。

このような状況は途上国共通の課題であり、もし中国でこの問題が解決できなければ、その他の途上国の下水道の普及拡大もおぼつかないことになる。

このレポートは、このような背景から書き進めたものであり、最大のテーマは「使用料がいらぬ下水道事業とは？」であり、私がたどり着いた答えは「生産型下水道システムの構築」であった。

従来から、下水を含めた生活廃棄物の有効利用は叫ばれているが、根本的な問題は「廃棄物を再利用しよう！」というアプローチに終始していることにあると思う。そして、このアプローチでは決して製造原価を大幅に上回るような商品価値の高い製品は生まれず、独立採算など望む余地もないと思う。

そこで、このレポートでは、下水を含めた生活系廃棄物全体を「原材料」と位置づけ、“生産型下水道システムを構築する！”ことを目標にした。構築のヒントは「江戸時代のし尿のリサイクル」であり、それを現代風にアレンジしてみることにした。原材料を吟味してブランド力の高い農産物を製造し、広範囲な市場で高価に販売することによって、「使用料」を徴収せずに下水道事業の自立経営が可能なシステムの構築である。

結果は、自分の予想を上回るものであったので、以下に紹介する。

なお、このレポートでは極力既存技術でシステム構築を図ったが、既存技術の使用条件が従来と異なる部分も多々あり、実際のシステム構築にあたっては専門企業の協力を求めてプロジェクトチームを編成して推進することが重要であることを付記する。

下水処理場から発生する廃棄物を有効利用しようとする日本で最初の本格的な試みには、日本下水道事業団が実施した「下水汚泥広域処理事業(area-wide sludge disposal project)」があり、その愛称がACE Plan (エースプラン)である。ACE Planは、下水汚泥の再利用法として重要な農業利用 (Agriculture use)、化学材料(資材)利用 (Chemical use)、エネルギー利用 (Energy use)の3つの頭文字をとって命名された。

今回提案する新システムも、人間活動から発生する廃棄物の全てを有効利用しようとするもので、ACE Planと同じ思想・観点を廃棄物全般に拡張し、さらにバージョンアップして構築しようとするものである。最初のACE事業からみれば2番目であること、ごみ処理等も含めて相乗効果が期待できること、日本と途上国等の2国間の協力で実現を目指そうとすることから、システムの愛称を“ACE II”とすることにした。



目 次

1. 途上国農村部における水環境の現状と課題.....	1
1-1. 中国農村地域における水環境の状況.....	1
(1) 上水の供給と安全性.....	1
(2) 汚水処理.....	1
(3) ごみ事情.....	1
1-2. 過年度の対策事例と課題.....	2
(1) 中国国内の対策事例.....	2
(2) 日本の支援.....	2
(3) 課題のまとめ.....	3
2. 生活系廃棄物有効利用の基本条件の検討.....	5
2-1. 有効利用の課題.....	5
(1) 農村地域の汚水とごみ処理の課題とシステムの条件.....	5
(2) 既存有効利用技術の課題と導入システムの基本条件.....	5
(3) 有効利用製品の課題.....	6
2-2. 日本における成功事例.....	8
(1) 家庭系生ごみリサイクル事業の例.....	8
(2) システム成立のための必要条件.....	8
2-3. 生活系廃棄物有効利用の基本条件とシステムの検討手順.....	9
(1) 生活系廃棄物有効利用の基本条件.....	9
(2) 有効利用システムの構築手順.....	10
3. 有効利用システム基本フローの構築.....	11
3-1. 食品系廃棄物の発生源別の特徴.....	11
(1) 食品系廃棄物の総量.....	11
(2) し尿の排出量.....	14
(3) 生ごみ.....	16
(4) 一般家庭汚水.....	21
(5) 食品系廃棄物の性状の推定.....	23
(6) 農業系廃棄物.....	25
3-2. 有効利用システムの機能要件.....	28
(1) 前処理・収集システムの機能要件.....	29
(2) 水処理(資源回収)システムの機能要件.....	30
(3) 資源生産システムの機能要件.....	31
3-3. 各プロセスの技術の選定.....	31

(1) 前処理・収集システム.....	32
(2) 水処理(資源回収)システム.....	36
(3) 資源生産システム.....	41
(4) 選定プロセス技術.....	49
3-4. 基本フローの構築.....	50
4. 有効利用システムの妥当性の検証.....	53
4-1. 物質収支の検討.....	53
(1) 物質収支の算出条件の検討.....	53
(2) 物質収支.....	78
4-2. 最小規模の算定.....	81
4-3. 事業の採算性の検討.....	82
(1) システムの建設・維持管理費.....	82
(2) 生産額.....	83
5. まとめ.....	85

図目次

図 3-1 平成 24 年度食料需給表の記載例.....	12
図 3-2 日本食品標準成分表の記載例.....	12
図 3-3 生ごみの発生量の推移図.....	17
図 3-4 生ごみ組成の公表例.....	19
図 3-5 日本の水道水の硬度の分布図.....	24
図 3-6 コンタクトスタビリゼーション法の概念図.....	40
図 3-7 修正コンタクトスタビリゼーション-MBR 法の概念図.....	41
図 3-8 有効利用システムのイメージ.....	51
図 4-1 沈砂池・微細目スクリーンの主な物質収支.....	55
図 4-2 修正コンタクトスタビリゼーション-MBR 法周りの物質収支.....	56
図 4-4 想定する RO 膜プロセスの処理フローと物質収支.....	58
図 4-6 想定するメタン発酵プロセスの処理フローと物質収支.....	61
図 4-7 想定する脱水プロセスの処理フローと物質収支.....	62
図 4-8 発電施設周りの物質収支.....	64
図 4-9 堆肥化施設周りの物質収支.....	67
図 4-10 農作物栽培時の栄養塩類収支の概念図.....	68
図 4-11 主な農・畜産物と食品系廃棄物の栄養塩類構成比の比較.....	73
図 4-12 農業利用施設周りの物質収支.....	75

図 4-13 システム全体の収支（処理人口 1 千人 1 日当たり）	79
図 有効利用システムのイメージ	87

表目次

表 3-1 食料からの栄養塩類供給量の推定値（2012 年）	13
表 3-2 食料からの栄養塩類等の供給量原単位（2012 年）	13
表 3-3 し尿の発生量原単位の報告例	14
表 3-4 し(糞便)と尿の化学組成例	15
表 3-5 し尿の栄養塩類組成例	15
表 3-6 し尿の栄養塩類組成の存在比の比較	16
表 3-7 し尿の発生量原単位(推定値)	16
表 3-8 生ごみの発生量の推移	17
表 3-9 標準生ゴミの組成	18
表 3-10 生ゴミの成分組成計算例	19
表 3-11 生ごみの組成と食料需給表の品目の対比	20
表 3-12 生ごみの分類別組成(2012 年推定値)	20
表 3-13 生ごみの栄養塩類等含有量(2012 年推定値)	20
表 3-14 生ごみの発生量原単位(推定値)	21
表 3-15 分流式下水処理場の流入水の性状	21
表 3-16 1 人 1 日当たりの汚濁負荷量の流総指針参考値	22
表 3-17 流入汚水の分析例	22
表 3-18 一般家庭汚水の汚濁負荷量原単位(設定値)	23
表 3-19 食品系廃棄物の発生量原単位推定結果一覧	23
表 3-20 浄水場別の水道水中のミネラル成分比例(硬度 = 100)	24
表 3-21 食品系廃棄物の発生量原単位推定結果一覧(調整後)	25
表 3-22 家畜ふん尿の発生量原単位	26
表 3-23 家畜ふん尿の組成	26
表 3-24 家畜ふん尿の栄養塩類等発生量原単位(設定値)	27
表 3-25 農作物残渣の栄養塩類組成	28
表 3-26 前処理プロセスの概要と特徴	32
表 3-27 廃棄物排除技術の機能要件適合度の比較	33
表 3-28 収集プロセスの概要と特徴	34
表 3-29 各収集プロセスの有効利用システムの機能要件適合度	35
表 3-30 汚水処理に使用される分離プロセス(物理学的方法)の概要と特徴	36

表 3-31 各分離プロセスの有効利用システムへの機能要件適合度	37
表 3-32 有効利用システムの分離プロセスと機能	38
表 3-33 汚水処理に使用される調質プロセス(生物化学的方法)の概要と特徴.....	38
表 3-34 各調質プロセスの有効利用システムの機能要件適合度.....	39
表 3-35 膜分離活性汚泥法(MBR)とコンタクトスタビリゼーション法の仕様比較..	41
表 3-36 資源生産システムの概要と特徴.....	42
表 3-37 資源生産システムの機能要件適合度.....	45
表 3-38 選定プロセス一覧.....	49
表 4-1 有効利用システムの流入物質量の算出条件.....	53
表 4-2 有効利用システムの流入物質量(千人 1 日当たり)の算出結果	53
表 4-3 沈砂池・微細目スクリーンの主な性能仕様 ^{※1}	54
表 4-4 コンタクトスタビリゼーション-MBR 法の性能仕様と今回設定値	55
表 4-5 RO 膜の用途別の性能仕様と今回設定値	57
図 4-3 pH 調整 2 段 RO 膜処理法のフロー例	58
表 4-6 浮上濃縮とベルト式ろ過濃縮の一般的な性能仕様と今回設定値.....	59
表 4-7 発酵対象物の発酵状況例と今回設定値	60
表 4-8 汚泥脱水機の主な性能仕様と今回設定値	62
表 4-9 発電施設(コージェネレーション方式)の主な性能仕様と今回設定値.....	63
表 4-10 微生物燃料電池(MFC)の開発報告例.....	65
表 4-11 堆肥化施設の主な性能仕様と今回設定値.....	66
表 4-12 代表的な作物の栄養塩類の施肥量と収穫量の関係	69
表 4-13 代表的な圃場作物の栄養塩類収支(NPK 収量順).....	70
表 4-14 液体肥料と対象作物の栄養塩類組成の関係.....	71
表 4-15 主な畜産出荷物の栄養塩類組成.....	72
表 4-16 畜産系廃棄物の発生量原単位(表 3-24 抜粋再掲).....	72
表 4-17 栽培作物と栄養塩類回収量(例).....	74
表 4-18 選定作物の置き換えが可能な作物	74
表 4-19 物質収支算出条件一覧.....	76
表 4-20 主な物質収支(処理人口 1 千人 1 日当たり).....	81
表 4-21 収集・資源回収システムの建設費と維持管理費(処理人口 1 千人当たり)....	82
表 4-22 主な生産物の生産額(処理人口 1 千人当たり)	83
表 選定プロセス一覧.....	86

1. 途上国農村部における水環境の現状と課題

有効利用システムの構築に入る前段として、着想の契機になった途上国農村部における水環境の現状を紹介する。以下は、2013年のJICA関連業務を通して入手した資料を元に、代表例として中国の農村地域の水環境の現状と国家レベルの課題への取り組み状況を簡単にまとめたものである。

1-1. 中国農村地域における水環境の状況

中国農村地域における水環境の状況については、少し古い資料であるが、2005年に中国建設部村鎮建設司が大規模に実施した「農村地域の生活環境・インフラの状況に関する調査報告書」(方明、部愛雲「新農村建設一村莊治理研究」、中国建築工業出版社、2006)にまとめられている。

これによれば、途上国の農村地域に共通すると思われる水環境に関わる課題には以下のようなものがある。

(1) 上水の供給と安全性

- 気候の変化による河川水量の減少、断流、および地下水の減少によって、飲料水の確保が困難である。
- 人為的な要因により水質が汚染され、飲料水の安全性が維持されない。水道水源の保護基準が守られず、飲料水の安全性が確保できない。
- 人口増加により上水の供給量が追いつかない。
- 浄水設備の老朽化および維持管理の不備により上水の供給能力が低下し、正常な上水供給ができなくなる。
- 浄水設備が不足し、適切な処理および消毒処理が行われていないため、安全な飲料水の確保ができない。

(2) 汚水処理

- 下水路と汚水処理施設が整備されていない。生活雑排水および養殖場排水がその場で放流され、地表水、地下水および土壌を汚染している。
- 古い排水路が損傷や閉塞がひどく、機能していない。トイレの改造が進んでおらず、トイレを改造しても化糞池¹⁾が設置されており、汚水の十分な処理がされていない。
- 生活雑排水が地下浸透により処理されている。敷地内に地下浸透用の井戸を設けていない場合、敷地外の排水溝に放流している。排水溝がない場合は、地面に捨てられ、村の飲料水の安全性を脅かしている。

(3) ごみ事情

- 不適切なごみ処理は、農業の持続的発展に禍根を残すだけでなく、農村および都市の飲料水の安全性を脅かしている。
- 多くの村では、生活ごみを集中的に保管する場所がなく、村が責任を持ってごみの収集をしていな

1) 化糞池；セプティックタンク(腐敗槽)のこと。日本のいわゆる浄化槽とは異なる。

い。農家が適当にごみを捨てたり埋めたりして、環境を汚染している。

- ごみの処理についても、分類もされず、埋め立てに適している地層かどうか調査されていない。
- 多くのごみ埋め立て場は、汚水の浸透を防止するシートや、雨水を場外に排除するまたは貯水池に導入する排水設備を設けていない。
- 生活ごみの収集と処分を支える経済力を持っていない。

このように、2005年時点では、農村地域の生活環境には社会的インフラの整備が根本的に遅れており、多くの分野のインフラ整備を同時並行的に行うことが求められていた。

1-2. 過年度の対策事例と課題

(1) 中国国内の対策事例

以上のような状況に対して、中国では2006年から次のような対策が提唱され、実行に移されている。

- 全国農村飲料水安全プロジェクト“十一・五”計画：農村における飲料水の質と生産効率の向上。
- 農村小康環境保護行動計画：15年間の内に、農村のあらゆる環境問題の解決による生活環境と生産環境を向上。
- 農村メタンガスとクリーンプロジェクト：農村のメタン施設の建設など、農村廃棄物の資源化を目指し、農地、住宅地および水源地の清掃・整備を実施。
- 家畜養殖場の汚染対策：家畜養殖場の廃棄物処理施設の整備の資金支援。農村環境保護の法整備。
- 化学肥料と農薬の適切な施用：農地の現場で施肥の技術指導を実施。毒性の高い農薬の廃止と代替品の使用を推進。
- 水道とトイレの改造：水道の改造と衛生的なトイレの普及率。
- 新農村建設：“農村経済の活性化による農民の生活水準の向上”、“住居などの生活環境の改善”等を目標として、新農村建設の事業メニューから選択、国等が実施を支援。

(2) 日本の支援

1) JICAによる支援

JICAによる水環境分野への支援は1988年以来、長年にわたり継続的に実施されているが、農村部に特化した支援事例の代表的なものには、2011年の「農村部におけるし尿・生活排水処理の最適技術・システムに関する検討」があり、以下のような項目が実施・検討されている。

- し尿・生ごみおよび生活排水処理の現状把握
- し尿処理に関するケーススタディ
- 分散型汚水処理に関するケーススタディ
- し尿・生活排水処理で発生する汚泥の資源化の検討
- 日本のし尿・分散型処理システムの適用条件の検討
- 中国への技術協力の必要性および技術協力の内容の提言

2) 環境省による支援

環境省では、「平成19年 中国における浄化槽等汚水処理技術導入調査業務」をはじめとして、継続的

な支援を行っている。実施されている業務には、以下のようなものがある。

- 中国における浄化槽等污水处理技術導入調査業務(H19)
- し尿処理システム国際普及推進業務(H21～)
- 中国農村地域等における分散型排水処理モデル事業(H20～23)
- 農村地域等におけるアンモニア性窒素等総量削減協力事業(H23～26)

しかし、これらは何れも“日本の浄化槽の導入を目的とした分散型污水处理技術の普及”の観点からのアプローチであり、日本型分散型污水处理技術の実証事業を通して、その普及を図ろうとするものである。

(3) 課題のまとめ

以上のように、中国では 2006 年以降、農村の環境汚染対策として近年様々な調査や提言がなされ、一部は実施されているが、必ずしも決め手となるような有効な対策が打ち出されているとは言い難い。

これは、中国の対策の「新農村建設」に象徴されるように、下水道の普及には「農村経済の活性化」が必須であり、“一定の所得水準に達しないと下水道の普及が難しい？”という「下水道の壁」が存在することが最大の原因と考えられる。

もし、そうだとすれば、経済発展が遅れている他の途上国の農村部の状況は、依然として 2006 年以前の中国農村部に見られるような深刻な水環境汚染状況に置かれていると推測され、従来技術のままでは“経済が発展し、庶民の所得水準が向上する”までは、衛生的・文化的な生活も望めないことになる。

2. 生活系廃棄物有効利用の基本条件の検討

以上のように、従来のアプローチでは“一定の所得水準に達しないと下水道の普及が難しい？”という「下水道の壁」を打ち破るまでには至っていないのが現状である。そこで、代表的な生活系廃棄物処理の対策事例を紹介し、「下水道の壁」の打破のための基本条件を整理してみる。

2-1. 有効利用の課題

(1) 農村地域の汚水とごみ処理の課題とシステムの条件

中国建設部農村汚水処理北方技術センター等が実施した「農村地域における環境汚染等の現状の調査報告」では、農村の環境汚染対策の主な要素である汚水とごみ処理の課題を次のようにまとめている。

<技術的課題>

- 農村の数が多く、広範囲に分布している。農家の住居が点在し、工場も散在しており、汚水とごみを集中的に処理することが困難である。
- 処理対象の汚水とごみの量が少量である。
- 経済発展途上で、経済的な負担能力が低く、処理技術の選択肢が少ない。
- 処理規模が小さいため、建設費および運転維持管理費が割高になる。
- 維持管理と運転の技術者が不足している。

<管理運営体制の課題>

- 法整備と環境管理機構が非常に不十分で、環境保護の責任所在が不明確であり、各種の汚染源対策に対応できない。
- 農村環境全体に対する監視と状況把握の体制ができておらず、農村の環境問題の解決に有効な対策を打ち出せない。
- 農村住宅地域の環境汚染に対する認識が不足している。
- 規模が非常に小さい農村住宅地域と小村鎮の汚染対策施設の建設と運転の市場化が難しい。
- 県・郷政府が財政難のため、生産活動に必要なインフラ整備でさえ十分に行われない状況のなか、農村部の住宅地域の汚染対策の施設を建設し運営することは不可能である。

<導入可能なシステムの条件>

また、上記の課題を踏まえた導入可能なシステムの条件として次を提案している。

- 資源の循環(減量化、資源化、無害化)
- 高い経済性、効率、省エネ、簡易性、
- 対象地域の特徴に応じて、集合処理と分散処理を最適に組み合わせる。

(2) 既存有効利用技術の課題と導入システムの基本条件

農村地域で水汚染対策が進まない最も大きな原因は、経済的理由と考えられるが、これは都市型の処理技術や思想をそのまま適用しようとするところにあると考えられる。すなわち、都市型のごみ処理やし尿処理、汚水処理は“生産”を前提としない負の事業活動でしかないため、ある程度の経済発展がない限り、実現できないことになる。したがって、経済発展が遅い農村地域では、これらの処理技術を生

産性のあるものに変換することが最も有効な手段である。

生活系廃棄物を再利用し、生産性のあるものにする廃棄物の再利用技術には表 2-1 に示すようなものがあり、一部は各地で古くから行われている。

例えば、表に示す利用法のうち、日本の江戸時代にはし尿の農業利用がビジネスとして行われており、中国の農村部では糞便のメタン発酵・燃料利用が一般に行われている。近年では可燃ごみの焼却熱を利用した蒸気発電や、消化ガスを利用したガス発電や温水利用などが行われており、地域冷暖房などをビジネスとして行っている場合もある。

しかし、近年の有効利用技術の導入事例では、処理システム全体として利益が上がっているようなものは少ない。これは、有効利用技術の導入事例が都市域に限られており、しかも個々の処理分野ごとに別々に導入されることに一因がある。すなわち、システム全体で見ると処理が主体であり、“非生産的なプロセス”や“廃棄物が多いプロセス”が大半で、採算性が悪くなっていると考えられる。

そこで、都市域ではなく農業地域をフィールドとすれば、表に示す**大半の生産物と利用方法を地域内で完結でき、生活系廃棄物全体を一括して扱うこと**によりシステムの無駄が省けると思われる。近年の有効利用技術の発展に伴い、効率の良い技術が開発されており、既存の技術を有機的に結合することにより、初期投資は大きくなるものの、十分採算性のあるシステムに変換できると考えられる。

表 2-1 廃棄物の再利用技術

処理分野	処理法	生産物	利用法例
ごみ処理	生ごみ堆肥化	堆肥	農業利用、花卉栽培
	可燃ごみ焼却	温水 (炭酸ガス)	発電、温水利用、 (温室栽培)
し尿処理	嫌気性消化	消化ガス	燃料、ガス発電、温水利用
	貯留熟成(安定化)	液体肥料	農業利用
下水処理	水処理	高度処理水	中水道利用、農業用水、修景用水
	嫌気性消化	消化ガス	ガス発電、温水利用
	汚泥堆肥化	堆肥	農業利用、花卉栽培
	汚泥焼却・溶融	焼却灰・溶融スラグ 温水	建設資材(路盤材、レンガ) 発電、温水利用、

(3) 有効利用製品の課題

以下では、生産工場という視点から、廃棄物の“有効利用原材料”としての課題を考えてみる。

1) 品質管理と調達コストの課題

人間活動から発生する様々な廃棄物を有効利用しようとする試みが始まってから久しいが、ゴミなどの生活系廃棄物を再利用する事業が自立経営できている事例は少ない。例えば、下水汚泥の有効利用についてみると、古くから堆肥化が行われたり、近年では焼却灰を用いた焼成レンガや路盤材の製造などが試みられたりしているが、原材料の調達から製品化までの一連の製品化コストを賄えるほどの販売力を持った再利用方法は見出せていないのが現状である。

例えば、リンの肥料化について考えてみる。リン肥料の製造は、鉱山に大量に埋蔵されているリン鉱石を掘り出し、船で消費地近くまで運搬して、肥料工場で精製・加工して商品化している。国土交通省都市・地域整備局下水道部の「下水道におけるリン資源化の手引き(平成 22 年 3 月)」に示されたく化成

肥料価格設定のための化成肥料成分価(パリティ方式) >によれば、リン含有量 15%の高度化成肥料の想定市場価格は 2,552 円/20-kgで、内訳は製造諸経費が 667 円/20-kg、残りが原材料価格でリンは 985.5 円/20-kg 1 袋となっている。

リン 1 kg 当たりの原材料費に直すと約 330 円/kg になり、もし、廃棄物からの回収リンがリン鉱石と同等の品質であり、同様の製造諸経費で製品化できると仮定すると、回収費用を 330 円/kg 程度以下に抑えないと販売競争に打ち勝てないことになる。リン回収対象の廃棄物を下水とすれば、我が国の下水中のリン濃度は 2~4mg/L であるから、下水中のリンを 100%回収できたとしても処理する下水は 250~500m³ になり、下水 1m³ 当たりの回収コストを最高でも 1.3 円/m³ (0.66~1.3 円/m³) 以内に抑える必要がある。実際のリンの回収率を考えると、下水 1m³ 当たりのリン回収費用は 1 円/m³ 未満にする必要があり、リン回収を下水処理場の維持管理費の補填手段にしようとすることは、全く現実的ではないといえる。

何故、そのような状況にとどまっているのかを考えると、一般的な製造工場と比べて、原材料の質と調達コストが圧倒的に不利な点に最大の原因があると思われる。

例えば、鉱物などの天然資源を利用する生産工場を考えてみよう。

先ず、「品質管理」であるが、材料の品質の違いが製造工程や製品品質に直接影響を与えるので、原材料の均質性をいかに維持するかが最重要課題になる。天然資源を原材料とする場合は産地によって品質が大きく異なり、また、同じ産地でも産出時期によって品質が変動するので、調達先をなるべく多くして材料を均質化するようなことが行われる。ある陶磁器メーカーでは、陶石の調達先を世界 20 か所以上にして原料の均質化を図り、製品化率 90%以上(歩留まり 10%以下)程度を維持しているという。

次に、「調達コスト」であるが、原材料の調達コストは、天然資源の採掘権費用と、採掘や粉碎・選別等の製品化に必要な機材費・人件費を含む製造コストと、輸送コストなどで構成される。原材料が天然資源の場合は、一般に遠隔地にあり輸送コストは高くなるが、純度が高いほど生産効率(製品回収率)が高まり、製造コストは低減する。一方、生活系廃棄物を原材料とする場合は、輸送コストは安いですが、天然資源に比べて純度が非常に低いので製造コストが増大する。したがって、両者を合わせた調達コストを天然資源より安くすることが、再利用が継続できる前提条件になる。

このような視点で従来の生活系廃棄物有効利用システムを評価すると、有効利用の出発点を「処理の結果生じた副生物」としていることに大きな課題があるといえる。つまり、廃棄物の処理工程は処理対象物の無害化あるいは減量化を目的としたものであり、生成物や副生物も原材料を意識して生産されたものではなく、原材料としての良好な品質を保持しているものでもない。したがって、廃棄物処理を前提とし、その生成物を有効利用の出発点とする限り、市場で競争力を持った製品を生み出すことは不可能といってもよい。

2) クローズドシステム化の課題

ところで、一般的な製造工場では、ほぼ 100%近いクローズドシステム化が達成されており、廃棄物をほとんど出さないで済んでいる。その主な原因は、工程に使う原材料にあるといえよう。すなわち、製造工場に入ってくるものは全て製品化に必須の材料であり、製造工程から廃棄される物も製品化されなかった原材料が大半である。したがって、分別さえできれば、原材料としての再利用が比較的容易である。再利用できないとすれば、製造工程で副生する物質であり、これも純度が高ければ別用途の原材料としての再利用が十分可能になる。つまり、再利用の基本は、工程からの廃棄物を混合せず、なるべく短いサイクルで原材料にすることである。

生活系廃棄物の有効利用に立ち戻って考えれば、生活の場そのものが製造工場の生産工程に対応すると想定することにより、新たな展開が見えてくる。生活の場を製造工場とすれば、人間が製造装置であり、糞尿を製品とみるかは別として、原材料は食料品、製造装置のメンテナンス機材は生活用品、廃棄物は食品残渣(生ごみ)や浴槽や洗濯廃水、プラスチックごみその他(メンテナンス廃材)などになる。したがって、製造工場の“再利用の基本”を適用すれば、廃棄物のうち、原材料の性状に最も近いのは食品残渣(生ごみ)であり、これを食料品に再利用することである。生ごみをそのまま食べるわけにはいかないが、し尿も人間が形態を変えただけで食料品の組成を継承しているから、**食品残渣とし尿を併せて農業利用し、食料品の再生産に利用すること**が生活系廃棄物の有効利用システムの基本と考えられる。

2-2. 日本における成功事例

日本の生活系廃棄物の有効利用の成功例として、家庭系生ごみのリサイクル事業が挙げられる。そこで、この成功事例を検証し、システム成立のための必要条件を整理する。

(1) 家庭系生ごみリサイクル事業の例

家庭系生ごみリサイクル事業は、生ごみの減量手段として多くの地域で自治体や市民グループが主体となって行われている。以下に、私の知る戸田市での市民グループの事例を紹介する。

まず市内の協力者を集い、数軒を一つのグループとして生ごみを発酵させる専用のバケツと発酵促進剤^{注)}をグループごとに配布する。専用バケツは、底が二重構造になった蓋付きのプラスチック製である。内底に細かい穴が複数開けてあり、生ごみの発酵液が分離されて底に溜まるようになっている。協力者は、取扱説明書に基づいて生ごみを分別し、みじん切りにして発酵促進剤とともにバケツに投入する。

バケツの底には発酵液が溜まり臭気の原因になるので、随時排出して家庭内で利用あるいは処分し、2週間に1度の頻度で専用バケツをグループの代表者のもとに集荷する。集荷された専用バケツは、回収車でリサイクルフラワーセンターに搬送され、土と発酵促進剤を追加混合して腐葉土化したり、さらに戻し堆肥を加えて堆肥化したりした後、花卉栽培などに利用される。なお、協力者には専用バケツの返却時に新たな発酵促進剤が配布されるほか、年に何回か花などの栽培物が配布され、協力の代償として一部が還元される。

この事業は既に10年以上継続しており、十分軌道に乗っている。しかし、協力者の数は限られており、事業の大幅な拡大には至っていない。

注) EM ボカシと称され、もみ殻にEM菌と呼ばれる発酵菌類を食種したもの。

(2) システム成立のための必要条件

この事業が継続できている理由はいくつか考えられるが、最大のポイントは廃棄物の資源化で最もネックになる前処理作業と収集作業の一部を、各協力者が自宅内で行うボランティア活動に頼っていることである。協力者が行う作業は、講習会や説明書で細かく指示されているが、作業内容には次のようなものがある。

- 生ごみを発酵可能なものとそうでないものに細かく分別する。
- 投入する生ごみはみじん切りにし、投入時にはその都度発酵促進剤をふりかけ、一次発酵が促進されるようにする。

- 一次発酵時に排出される発酵液の処分を各家庭で行う。
- グループごとに集荷場所を決めて、決められた日時に集荷場所に持参する。

生ごみをリサイクルする場合、水分が80～90%と多く腐敗も早いので、なるべく速やかに一次処理を行う必要がある。もし、この作業を公的機関等がまとめて行おうとすると、頻度高くごみを収集し、分別・裁断し、発酵槽に投入しなければならないし、一次発酵時に多量に発生する発酵液の処理や臭気対策を講じる必要もある。もし、これらの前処理作業をボランティアで行い、人件費を節約できたとしても、設備投資に莫大な費用が必要になり、とても事業としては成り立たないことになる。

この事例のように、一次発酵作業を各家庭に分散し、グループ化して収集することによるメリットとしては、次のようなものがあげられる。

- グループに責任を持たせることにより、不純物の混入を抑えられ、かつ前処理作業の確実性が向上し、品質が確保できる。
- 設備と運転管理が煩雑な生ごみの裁断作業が省略できる。
- 一次発酵に付随する発酵液の処理・処分が不要になり、臭気対策が軽減される。
- 生ごみが大幅に減量化・安定化されるので、回収頻度を大幅に少なくできる。
- 収集箇所を少なくでき、集配業務を効率化できる。
- 回収後の処理は、設備能力が小さくて済み、環境対策も緩和できるので、設備投資を大幅に軽減できる。
- 設備が小さく装置が簡単になると、重量作業や特殊作業が少なくなり、作業環境も良好になるため、ボランティアの継続的な協力が得られやすくなる。

この事例から分かることは、リサイクル事業の成功の可否は、生産工程の最も上流側にあたる“原材料の前処理・収集の部分を如何に安価で効率的に行うかにある”ということである。ここに示した「家庭系生ごみリサイクル事業」の事例が成功しているのは、この部分を協力者の無償協力に依存していることに最大の理由といえる。

言い換えれば、参加者が無償協力するメリットを見いだせない場合は協力者が集まらず、事業は失敗することになる。この事例の場合は、栽培した花(ポット栽培)を定期的に配布するほか、環境対策に貢献していることを継続的にPRしているが、協力者の大幅な増加には繋がっていない。また、同様な取り組みを自治体ベースで(半強制的に)実施できている事例も多くないようである。

このように、日本の家庭系生ごみリサイクル事業の場合、リサイクルの最も上流側にあたる前処理・収集段階において、協力者の無償作業部分を軽減すると同時に、協力に見合う代償を還元できるかが事業を成功に導くための課題になっている。これを家庭系廃棄物全体の有効利用システム構築に当てはめれば、家庭系廃棄物を如何に効率よく収集できるかが大きな課題になるといえる。

2-3. 生活系廃棄物有効利用の基本条件とシステムの検討手順

(1) 生活系廃棄物有効利用の基本条件

以上の事例から、生活系廃棄物の有効利用システムを構築するための基本条件を抽出・整理すると以下のようなになる。

- 大半の生産物の生産と利用を地域内で完結できること。
- 生活系廃棄物全体を一括して扱えること。
- 原材料の前処理・収集を安価で効率的に行うこと。
- 食品残渣とし尿を併せて農業利用し、食料品の再生産に利用すること。
- 工程からの廃棄物を混合せず、なるべく短いサイクルで原材料にすること。

(2) 有効利用システムの構築手順

そこで、次章以下では、生活系廃棄物のうち、し尿を含めて人間生活を通して発生する食料品を起源とする液体・個体の排出物を特に食品系廃棄物と定義し、この有効利用システムの構築方法を次の手順で検討する。

食品系廃棄物は、発生源がほぼ共通しており性状も大差がないと考えられるから、最適な有効利用システムも基本的なフローは同様でよいと考えられる。そこで、一般的な食品系廃棄物の量と質を出発点とした最適な有効利用システムを構築し、地域や有効利用先による差異は構築した基本フローの部分修正により対応することとし、基本フローの構築を以下の2段階の手順で行うことにする。

＜基本フローの構築＞食品系廃棄物の発生量と性状の特定と最適なプロセスの選定

- (1) 食品系廃棄物の発生源別の質と量を把握する。
- (2) 有効利用システムの機能要件を整理する。
- (3) 各要素プロセスの技術と能力仕様を把握する。
- (4) 有効利用方法に適した要素プロセス技術を選定し、基本フローを作成する。

＜システムの妥当性の検証＞システムの物質収支の算定と採算性の検証

- (1) 物質収支を計算し、各処理プロセスの必要能力(比)を算定する。
- (2) 各プロセスの最小必要能力から、システム全体の適正最小規模を算定する。
- (3) システム構築・維持に必要な費用と生産量(額)を見積り、システムの事業性を検証する。

3. 有効利用システム基本フローの構築

3-1. 食品系廃棄物の発生源別の特徴

食品系廃棄物の有効利用システムは農業利用を基本にするから、その肥効成分(ここでは「栄養塩類」という。)の3要素である窒素(T-N)、リン(T-P)、カリウム(K)の収支が合うことが、システム構築上、特に重要な要件になる。しかし、栄養塩類(肥効成分)のうち窒素・リンは富栄養化物質として下水や廃棄物で広く測定されているが、カリウムは排水の規制対象物質になっていないため、環境分野ではほとんど測定されていない。

一方、食品分野では日本食品標準成分表²⁾としてあらゆる食品について詳細な成分データが公表されているほか、医療分野ではし尿の化学的組成が調べられており、農業分野では有機系廃棄物の利用の観点からデータ収集が行われている。例えば、農業分野でインターネット検索できる情報としては、中村真人らの各種バイオマス成分のデータベース整備³⁾(以下「バイオマスDB」という。)があり、Appendixに多種類の試料の肥料成分含有率が紹介されている。

そこで、これらインターネット検索できる資料をベースにし、これを個人所有のデータ等で補完して、栄養塩類発生量の発生源別の原単位を推定してみる。

(1) 食品系廃棄物の総量

生活圏に供給される栄養塩類は、洗剤の無リン化が進んだ現在では、そのほとんどが食料として供給されていると考えられる。食料に含まれる栄養塩類は代謝途中で消失することはなく、全て排泄されるので、長いスパンで見れば、そのまま廃棄される食料を含めて栄養塩類供給量=排出量と考えることができる。日本の場合、農林水産省が毎年度の食料需給表⁴⁾(図3-1)を公表しており、このデータと日本食品標準成分表(データ例:図3-2)を用いて、栄養塩類の含有量の総計を計算することができる。

ただし、例に示すように、食料需給表は食品(作物)の種類ごとに供給量が示されているのに対して、日本食品標準成分表では食品として提供される形状ごとにデータが記載されており、食品標準成分表の方がより細かく分類されている。そこで、肉類など部位によって成分構成が異なる食品についてはなるべく総体を表すデータを選択して引用することにした。

2) 文部科学省トップ/政策・審議会/審議会情報/科学技術・学術審議会/資源調査分科会/資源調査分科会報告「日本食品標準成分表2010」について:

http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu3/houkoku/1298713.htm

3) 中村真人, 柚山義人: 各種バイオマス成分のデータベース整備農工研技報 203, p57~80, (2005)

4) イースタット 政府統計の総合窓口: 食料需給表/ 確報/ 平成24年度食料需給表/ 年度次/ 2012年度:

<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001117396>

平成24年度食料需給表									
Ⅱ 食料需給表									
2 項目別累年表									
(8) 供給純食料									
(単位：1,000トン)									
類別・品目別	昭和35年度	平成元年度	2	20	21	22	23	24	
1. 穀類	13,976	12,779	12,791	11,681	11,677	11,962	11,762	11,550	
a. 米	10,738	8,671	8,656	7,536	7,459	7,620	7,390	7,173	
	(10,681)	(8,397)	(8,370)	(7,239)	(7,207)	(7,367)	(7,154)	(6,949)	
b. 小麦	2,406	3,901	3,922	3,973	4,060	4,185	4,189	4,201	
c. 大麦	361	24	24	28	20	22	33	26	
d. 裸麦	397	9	8	2	2	3	3	3	
e. とうもろこし	14	102	112	61	60	56	59	57	
f. とうもろこし	1	0	0	0	0	0	0	0	
g. その他雑穀	59	72	69	81	76	76	88	90	
2. いも類	2,845	2,536	2,544	2,490	2,464	2,376	2,559	2,623	
a. かんしょ	1,373	627	630	539	563	487	530	533	
b. ばれいしょ	1,472	1,909	1,914	1,951	1,901	1,889	2,029	2,090	
3. でんぷん	609	1,941	1,971	2,160	2,086	2,135	2,145	2,088	
4. 豆類	946	1,173	1,139	1,129	1,096	1,082	1,058	1,036	
a. 大豆	519	822	798	861	823	810	789	775	

図 3-1 平成 24 年度食料需給表の記載例

食品番号 Item No.	食品名 Food and description	廃棄率 Refuse %	可食部 100g 当																		
			エネルギー Energy kcal kJ	水分 Water g	たんぱく質 Protein g	脂質 Lipid g	炭水化物 Carbohydrate g	灰分 Ash g	無機質 Minerals												
									ナトリウム Sodium mg	カリウム Potassium mg	カルシウム Calcium mg	マグネシウム Magnesium mg	リン Phosphorus mg	鉄 Iron mg	亜鉛 Zinc mg	銅 Copper mg	マンガン Manganese mg	レチノール Retinol μg	カロテン Carotenes		
																			α	β	
01001	アマランサス Amaranth 玄穀 Whole grain, raw	0	358	1498	13.5	12.7	6.0	64.9	2.9	1	600	180	270	540	9.4	5.8	0.92	6.14	(0)	0	2
01002	あわ Foxtail millet 精白粒 Milled grain, raw	0	364	1523	12.5	10.5	2.7	73.1	1.2	1	280	14	110	280	4.8	2.7	0.45	0.89	(0)	-	-
01003	あわもち Glutinous cake	0	211	883	48.0	4.4	0.8	46.5	0.3	1	77	7	26	87	0.4	1.1	0.19	0.48	(0)	0	(0)

図 3-2 日本食品標準成分表の記載例

日本全体の 2012 年度の食料からの栄養塩類供給量を、食料需給表の平成 24 年度の供給純食料のデータと日本食品標準成分表のデータを用いて推定した。結果を表 3-1 に示す。なお、日本食品標準成分表では、窒素量がたんぱく質で表示されているので係数 6.25 で除して窒素量に換算した。また、推定は、両データで品目が一致するものについて各成分ごとの年間供給量を求めた後、表に示した類別ごとに集計したものが該当類別全体の成分組成であるとし、類別の供給総量とした。さらに、品目が不明な類別 16. その他(除きのこ類)については、類別ごとの成分供給総量が推定できた 1~16 の合計と同じ成分割合であるとして、供給量を乗じて算出した。

表 3-1 食料からの栄養塩類供給量の推定値 (2012 年)

類別・品目別	供給量	エネルギー	水分	T-N	T-P	K	Ca	Mg
	千 t/年	Gcal/年	t/年	t/年	t/年	t/年	t/年	t/年
1. 穀類	11,457	39,550,770	1,648,845	150,333	35,688	36,452	1,745	11,300
2. いも類	2,623	2,291,960	2,020,133	6,374	1,081	11,074	276	551
3. でんぷん	2,088	7,071,360	336,168	334	425	299	438	97
4. 豆類	1,036	4,209,295	133,676	52,574	5,444	18,300	2,070	2,053
5. 野菜	11,883	3,432,289	10,512,185	23,961	3,926	28,989	3,308	1,818
6. 果実	4,861	5,183,309	2,768,986	2,660	505	5,685	329	417
7. 肉類	3,825	9,166,745	2,400,200	113,355	5,951	10,504	201	763
8. 鶏卵	2,128	3,213,280	1,619,408	41,879	3,830	2,766	1,085	234
9. 牛乳及び乳製品	11,409	7,644,030	9,971,466	60,240	10,610	17,114	12,550	1,141
10. 魚介類	3,620	5,314,409	2,613,516	109,045	8,387	11,941	1,296	1,455
11. 海藻類	134	216,281	12,151	6,470	739	5,291	436	607
12. 砂糖類	2,398	9,173,400	25,760	82	9	507	155	57
13. 油脂類	1,732	15,972,584	0	11,599	2	0	1	0
14. みそ	436	937,400	171,086	8,483	767	1,770	368	315
15. しょうゆ	783	615,960	506,601	10,524	1,436	3,967	243	561
16. きのこ類	446	207,593	340,785	3,386	550	2,489	152	174
小計	60,859	114,200,666	35,080,966	601,296	79,350	157,150	24,654	21,543
16. その他(除:きのこ類)	142	266,460	81,853	1,403	185	367	58	50
合計	61,001	114,467,126	35,162,819	602,699	79,535	157,517	24,711	21,594

表によれば、平成 24 年度(2012 年度)の食料供給総量は、年間約 6100 万トンであり、それに含まれる栄養塩類は T-N 約 60 万トン、T-P 約 8 万トン、K 約 16 万トンなどとなっている。これらが、いずれし尿や生ごみ、雑排水などの形で生活系廃棄物として排出されることになるから、生活系廃棄物、特に食品系廃棄物を対象とする有効利用システムを構築する場合は、この供給量を出発点として収支を検討することになる。

そこで、表 3-1 のデータを 2012 年の日本の総人口で除して求めた供給量原単位を表 3-2 に示す。なお、農業利用する場合、肥効成分の濃度が原子量を原子価で除したグラム当量(eq/L)で表される場合が多いので、表には水質項目に無機塩類項目の 1 グラム当量をカッコ書きで示すとともに、設定原単位を T-N=100 とした時のグラム当量比も併せて示した。

表 3-2 食料からの栄養塩類等の供給量原単位 (2012 年)

2012(H24)人口:127,593 千人

項目	千人 1 年当たり	1 人 1 日当たり	重量比 (T-N=100)	グラム当量比 (T-N=100)
供給量	478 t/年	1,300 g/日	—	—
エネルギー	897 Gcal/年	2,500 kcal/日	—	—
水分	275.6 t/年	760 g/日	—	—
TS	203 t/年	550 g/日	—	—
T-N	4,724 kg/年	12.9 g/日	100	100
T-P	623 kg/年	1.7 g/日	13	18
K	1,235 kg/年	3.4 g/日	26	9
Ca	194 kg/年	0.53 g/日	4.1	2.9
Mg	169 kg/年	0.46 g/日	3.6	4.1

表より、1人1日当たりの食料からの供給量原単位は、総量1,300g/日、エネルギー2,500kcal/日、T-N 12.9g/日、T-P 1.7g/日、K 3.4g/日、N:P:K=100:13:26などとなり、これらが様々な形の生活(食品)系廃棄物として排出されることになる。

(2) し尿の排出量

1) 発生量

し尿の発生量は、日本工業規格⁵⁾では浄化槽(合併浄化槽)：水量200L/人/日、BOD40g/人/日、みなし浄化槽(単独浄化槽)：水量50L/人/日、BOD13g/人/日としており、みなし浄化槽(単独浄化槽)の水量50L/人/日、BOD13g/人/日が水洗トイレの洗浄水を含む「し尿発生量原単位」に対応している。

し尿単独の発生量は、生活系排水処理ガイドブック⁶⁾に「新鮮し尿の発生量」として各研究者等の調査値が紹介され、浄化槽の維持管理⁷⁾でも値が示されている。し尿単独の発生量の報告例をまとめて表3-3に示す。表の報告例では、し尿をし(糞便)と尿に分けて1日1人当たりの発生量が示されており、し(糞便)はmLまたはgで、尿はmLでそれぞれ表されている。なお、測定対象が示されていないものは、成人の値と考えられる。

表3-3 し尿の発生量原単位の報告例

出典等 ^{※1}	測定対象	し(糞便)		尿	
		提示値	平均値	提示値(mL)	平均値(mL)
Weisberg	—	50~200 mL	125 mL	600~1,600	1,100
Merril	—	100 mL	100 mL	1,200	1,200
Marriot	—	100 mL	100 mL	1,500	1,500
石関	—	100~150 g	125 g	1,000~1,200	1,100
武藤	男成人	135 g	135 g	1,350	1,350
	女成人	41 g	41 g	1,215	1,215
	男児	99 g	— g	513	—
	女児	23 g	— g	405	—
丹羽	老人	93 g	— g	—	—
浄化槽の維持管理 ^{※2}	—	100~180 g	140 g	800~1,500	1,150
成人平均値 (し(糞便)の比重=1.0)	—	—	110 mL	—	1,230

※1)(※2を除く) 中西弘:し尿処理の進展、水質汚濁研究,Vol.14 No.11,“特集 し尿処理”(1991);
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jswe1978/14/11/14_11_766/_pdf

※2) 浄化槽の維持管理;(財)日本環境整備教育センター・厚生省水道環境部監修

表3-3より、成人1人当たりの発生量原単位の平均値は、し(糞便)110mL、尿1,230mLと計算され、洗浄水量を含まない真のし尿総量は1.34L/人/日になる。そこで、今回の試算では、洗浄水量を含まない純粋なし尿の発生量原単位としては1.34L/人/日を用いることにする。

2) 栄養塩組成

前掲の生活系排水処理ガイドブックには、し(糞便)と尿の化学組成(濃度)についても示されているので、これを引用し、し(糞便)と尿の平均発生量を乗じて求めたものを表3-4に示す。

5) 日本工業規格：JISA3302 建築物の用途別による尿尿浄化槽の処理対象人員算定基準(2000)

6) 生活系排水処理ガイドブック：浄化槽・小規模下水道・農業集落排水・生活雑排水；生活系排水処理ガイドブック編集委員会、環境技術研究会、理工新社、1985.6

7) 浄化槽の維持管理；(財)日本環境整備教育センター・厚生省水道環境部監修

表 3-4 し(糞便)と尿の化学組成例

項目	化学成分濃度 ^{※1}			発生量原単位			
	単位	新鮮し	新鮮尿	単位	新鮮し	新鮮尿	し尿計
総量	%	100	100	mL/人/日	110	1,230	1,340
水分	%	80	96	g/人/日	88	1,181	1,269
強熱残留物	%	2	2	g/人/日	2.2	24.6	26.8
油類	ppm	15,000	0	g/人/日	1.7	0.0	1.7
粗繊維	ppm	18,000	0	g/人/日	2.0	0.0	2.0
アンモニア性窒素	ppm	0	460	g/人/日	0.0	0.6	0.6
有機性窒素	ppm	13,000	9,000	g/人/日	1.4	11.1	12.5
還元糖	ppm	3,400	1,200	g/人/日	0.4	1.5	1.9
塩素イオン	ppm	490	9,500	g/人/日	0.1	11.7	11.7
よう素消費量	ppm	9,300	1,400	g/人/日	1.0	1.7	2.7
揮発性有機酸	ppm	13,000	120	g/人/日	1.4	0.1	1.6
COD	ppm	68,000	4,000	g/人/日	7.5	4.9	12.4
BOD	ppm	132,000	6,600	g/人/日	14.5	8.1	22.6
pH	—	6.3	6.6	—	—	—	—

※1) 生活系排水処理ガイドブック:環境技術研究会・理工新社

表より、し(糞便)と尿の合計の主な発生量原単位は、総量 1.34 L/人/日に対して、T-N(アンモニア性窒素+有機性窒素) 13.1g/人/日、BOD 22.6g/人/日、Cl イオン 11.7g/人/日などとなる。BOD の原単位を前掲の日本工業規格のみなし浄化槽(単独浄化槽)設定 BOD 値の 13g/人/日と比較すると、約 10g 大きい値になっている。また、栄養塩類に着目してみると、データが示されているのは窒素だけで、リンやカリウムのデータはない。

そこで、生物化学ハンドブックに加えてインターネット検索等で、し尿の栄養塩類組成が示されているデータを抽出して、上記と併せて表 3-5 に示す。なお、抽出データは範囲で示してあるものはその中央値を採用し、元素単独の発生量に換算して表示した。

表 3-5 し尿の栄養塩類組成例

出典 項目	表3-4し尿計	生物化学ハンド ブック ^{※1}	下水道協会 ^{※2}	稲場・堂々報 告 ^{※2}	生化学データ ブック ^{※3}	平均値 (()を除く。)
単位	g/人/日	g/人/日	g/人/日	g/人/日	g/人/日	g/人/日
BOD	22.6		15.5	11.1		16.4
COD	12.4		8.3			10.3
SS			15.0			15.0
T-N	13.1	13.5	(9.0)	12.1		12.9
T-P		2.0	(0.7)	1.4	2.1	1.8
K		1.8			1.9	1.8
Ca		0.2			0.3	0.2
Mg		0.1			0.1	0.1
Cl	11.7	7.6			14.7	11.9
Na		3.3			7.2	5.2

※1) 生物化学ハンドブック編集委員会編;生物化学ハンドブック,p526~,技報堂,1973

※2) 生活系排水処理ガイドブック:環境技術研究会・理工新社

※3) 日本生化学会編:生化学データブック,東京化学同人,1981

表 3-5 をみると、出典により値に多少のばらつきがあるが、T-N は下水道協会のデータを除けば 12~14 g/人/日(平均 13 g/人/日)程度と考えられる。なお、生活系排水処理ガイドブックに引用されている

下水道協会のデータとは、後述の「流域別下水道整備総合計画調査指針と解説(日本下水道協会)」で一般家庭汚水の内訳として例示された“し尿の組成別負荷量”と考えられ、T-Nについては他のデータに比べて、し(糞便)の量が過少に見積もられている可能性もある。

そこで、各データの組成間の相対的な濃度比は絶対濃度よりばらつきが少ないと考えられるので、T-NおよびT-Pをそれぞれ100とした時の各項目の濃度比を計算して表3-6に示す。

表3-6より、なるべく多くの値の平均をとることにすると、T-N:T-P=100:11.3、T-P:K(:Ca:Mg)=100:89(:11.7:5.5)になり、T-Nを13.1g/人/日とすれば、それぞれの発生量原単位はT-P:1.5g/人/日、K:1.3g/人/日、(Ca:0.17g/人/日、Mg:0.08g/人/日)になる。

表3-6 し尿の栄養塩類組成の存在比の比較

項目	T-N=100						T-P=100					
	表3-7し尿計	生物化学ハンドブック	下水道協会	稲場・堂々報告	生化学データブック	平均	表3-7し尿計	生物化学ハンドブック	下水道協会	稲場・堂々報告	生化学データブック	平均
T-N	100	100	100	100		100		675	1224	893		951
T-P		15	8	11		11.3		100	100	100	100	100
K		13				13.0		88			90	89
Ca		1.5				1.5		10			13	11.7
Mg		0.9				0.9		5.8			5	5.5
Cl	90	69				79		463			698	580
Na		24				24		163			343	253

以上をまとめると、し尿の発生量原単位の設定値は表3-7のとおりになる。前述のとおり、表の値はトイレの水洗排水やトイレトペーパーを含まない原単位であり、実際の収支計算ではこれらも加味する必要がある。

表3-7 し尿の発生量原単位(推定値)

水質項目(グラム当量)	設定原単位	対 T-N 比(T-N=100)	
		重量比	グラム当量比
純し尿量	1.34 L/人/日		
BOD	22.6 g/人/日	173	
COD	12.4 g/人/日	95	
SS	20.7 g/人/日	158	
T-N(14.01)	13.1 g/人/日	100	100
T-P(10.32)	1.5 g/人/日	11.3	15.3
K(39.10)	1.3 g/人/日	10.0	3.6
Ca(20.04)	0.17 g/人/日	1.31	0.92
Mg(12.16)	0.08 g/人/日	0.62	0.71
Cl(35.45)	11.7 g/人/日	89	35
Na(23.00)	5.1 g/人/日	39	24

(3) 生ごみ

1) 発生量

生ごみの発生量の推移を表3-8と図3-3に示す。表は、環境省の“一般廃棄物処理実態調査結果”

および“容器包装廃棄物の使用・排出実態調査”から、生ごみの排出総量及び1人1日当たりの生ごみ排出量(生ごみ排出量原単位)を推定したものである。

表 3-8 生ごみの発生量の推移

年度	生活系ごみ排出量※1	厨芥類比率※2	生ごみ排出量推計値	計画収集人口※1	1人当たり生ごみ排出量
	千t		千t		千人
1999	32,515	38.3	12,463	126,148	271
2000	32,780	36.8	12,063	126,425	261
2001	33,719	33.8	11,404	126,794	246
2002	33,520	33.9	11,357	127,136	245
2003	33,723	31.2	10,511	127,365	226
2004	33,107	30.3	10,031	127,526	216
2005	32,761	32.1	10,516	127,658	226
2006	32,643	31.8	10,381	127,727	223
2007	31,762	30.1	9,560	127,439	206
2008	29,316	40.0	11,726	127,490	252
2009	29,448	31.5	9,276	127,406	199
2010	28,913	36.0	10,409	127,279	224
2011	28,942	34.1	9,869	127,123	213
2012	28,709	34.6	9,933	128,591	212

※1) 環境省：一般廃棄物処理実態調査結果 http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/stats.html 排出量は生活系ごみ収集量から粗大ごみ収集量分を差し引いたもの

※2) 環境省：容器包装廃棄物の使用・排出実態調査(2009(H21)まで6都市平均値、2010(H22)から7都市平均値) http://www.env.go.jp/recycle/yoki/c_2_research/index.html 他

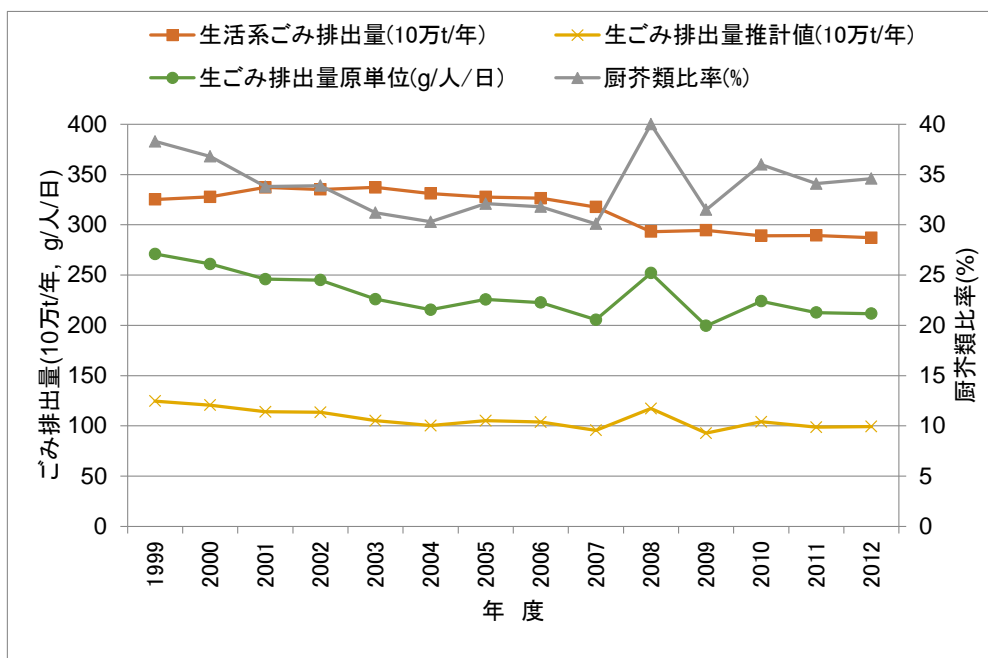


図 3-3 生ごみの発生量の推移図

推移図をみると、生活系のごみ全体の排出量は2002年(平成14年)前後にピークがあり、それ以降は徐々に減少する傾向が見られる。これは、環境問題への国・自治体の取り組みやごみに対する住民意識の高まりなどを契機に、ゴミの分別収集が進むと同時に、ごみの排出量そのものを抑制しようとする社

会的な動きに呼応した現象と考えられる。厨芥類比率は調査都市が6～7箇所と少なく誤差が出やすいが、特異点と考えられる2008年を除けば、1999年(平成11年)から2004年にかけて厨芥比率が急激に減少し、30%程度まで低下している。2010年からは調査都市が7か所に増加したので、傾向としての一貫性に欠けているが、2010年以後の3年間はほぼ35%前後で推移している。これらの傾向を反映した結果、排出量原単位も1999年(平成11年)から2007年にかけて漸減傾向を示し、2008年を除けばそれ以降は200～220g/人/日前後で推移している。

表より生ごみ排出量原単位が最も多かった1999年の値を排出抑制が意識されない通常の状態とすれば、生ごみ発生量原単位は270 g/人/日程度、2011年以後の値を排出抑制が働いた状態とすれば210 g/人/日程度になる。今回の試算では、生ごみ全体の発生量原単位を排出抑制が働いた210 g/人/日とする。

2) 栄養塩組成

生ごみの栄養塩類組成の推定方法には、バイオマスDBが用いている標準生ゴミからの推定と、実際の生ごみの分別調査結果から算出する方法がある。

バイオマスDBでは、生ごみの成分組成が山海らによって1999年に提案されている標準生ゴミ(表3-9)と等しいとし、日本食品標準成分表および独自調査データを元に表3-10の栄養塩組成を提案している。なお、表3-10の栄養塩類等の組成は乾物当たりの%で表されている。また、表3-10には、元表にはないT-N=100としたときの各栄養塩類の重量比を最右欄に参考として追記した。

一方、実際の生ごみ組成の分別調査データから成分組成を計算する場合は、各構成物に対応した各成分の含有率データが必要になる。例えば、生ごみの組成について公表されている事例を図3-4に示すが、野菜類、肉類などの大まかな分類での表示になっており、これと食品の加工形状ごとに記載されている日本食品標準成分表のデータと対応させる必要がある。

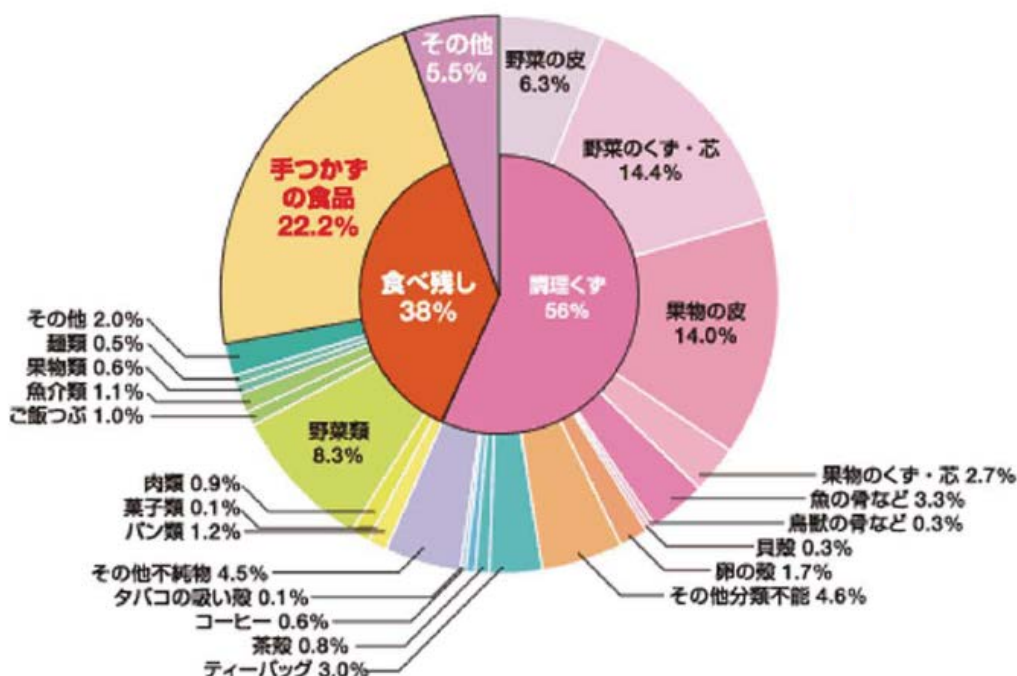
表 3-9 標準生ゴミの組成

組 成		湿潤質量(g)
にんじん		18
キャベツ		18
バナナの皮		10
リンゴ		10
グレープフルーツの皮		10
鶏肉の骨		8
鱈の開き(干物) (廃棄率 35%)	可食部	6.5
	頭部・骨・ひれ等	3.5
卵殻		2
米飯		10
茶殻		4
合計		100

表 3-10 生ゴミの成分組成計算例

組成	にんじん	キャベツ	バナナの皮	リンゴ	グレープフルーツの皮	鶏肉の骨	鱈の干物(廃棄率 35%)		卵殻	米飯	茶殻	標準生ゴミの組成	対 T-N 比(T-N =100)
							可食部	頭部・骨・ひれ等					
含水率(%)	90.1	92.7	90.9	84.9	76.5	55.7	68.4	39.2	9	60	84.2	78	-
C(%)	40.7	36.8	41.8	43.3	42.5	37.9	48.4	42.9	7.3	42.9	52.4	39.3	-
N(%)	1.36	3.83	1.32	0.21	1.25	7.12	11.4	6.01	0.75	1.17	4.42	3.73	100
P(%)	0.24	0.37	0.22	0.066	0.096	5.1	0.7	1.8	0.087	0.085	0.31	1.16	31
K(%)	2.7	2.7	6.6	0.73	1.6	0.24	1	0.13	0.13	0.073	0.42	1.05	28
Ca(%)	0.27	0.59	0.2	0.02	1.1	5.7	0.11	3.5	36	0.0075	0.54	4.44	119
Mg(%)	0.095	0.19	0.28	0.02	0.08	0.1	0.085	0.088	0.33	0.018	0.14	0.11	2.9
Na(%)	0.23	0.068	0.17	0	0.12	0.22	2.1	0.85	0.26	0.0025	0.11	0.38	10
データ源	※1	※1	※2	※1	※2	※2	※1	※2	※2	※1	※2		

データ源※1) 日本食品標準成分表、※2) バイオマス DB 独自分析値



京都市環境局「平成 19 年度家庭ごみ細組成調査報告書」：<http://sukkiri-kyoto.com/gomidata/>

図 3-4 生ごみ組成の公表例

そこで、生ごみの分類項目ごとの食品の構成比が、前掲の生活系廃棄物の総量表 3-1（食料からの栄養塩類供給量の推定値(2012 年)）に示した食料類別の栄養塩類構成比と同じと仮定して計算することにした。

まず、生ごみの組成と食料からの栄養塩類供給量の推定に用いた食料需給表の品目を表 3-11 のように対比・整理した。表では、生ごみの穀類には食糧需給表の穀類のほか、いも類、でんぷん、豆類も含むとした。また、野菜類には野菜、きのこ類、海藻類を含めた。さらに、牛乳及び乳製品、砂糖類、油脂類、みそ、しょうゆなど、液体及び可溶性の食品類は生ごみに含まれないとした。

表 3-11 生ごみの組成と食料需給表の品目の対比

生ごみの分類項目	食料需給表の品目
穀類	穀類、いも類、でんぷん、豆類
野菜類	野菜、きのこ類、海藻類
果物類	果実
肉類	肉類
卵類	鶏卵
魚介類	魚介類
手付かず厨芥	—
その他	—
カウントしないもの(液体類)	牛乳及び乳製品、砂糖類、油脂類、みそ、しょうゆ

食料からの栄養塩類供給量の推定と同じ 2012 年のデータを用いて推定した生ごみの分類別の組成を表 3-12 に、生ごみ全体の組成の推定結果を表 3-13 に示す。なお、推定に当たっては、組成が明らかでない分類の“手付かず厨芥”については、栄養塩の含有量が推定できた生ごみ全体の加重平均含有量と同一として、また、食物以外の“その他”は水分も栄養塩類もない無機物として、生ごみ全体の栄養塩類等の含有量の推定値とした。

表 3-12 生ごみの分類別組成(2012 年推定値)

生ごみの組成	単位	穀類	野菜類	果物類	肉類	魚介類	卵類	手付かず厨芥	その他
水分	%	24	87	57	63	72	76	55	0
TS(重量-水分)	%	76	13	43	37	28	24	45	100
エネルギー	kcal/kg	3,088	309	1,066	2,397	1,468	1,510	1,811	—
T-N	g/kg	12.2	2.7	0.5	29.6	30.1	19.7	11.6	—
T-P	g/kg	2.5	0.4	0.1	1.6	2.3	1.8	1.5	—
K	g/kg	3.8	3.0	1.2	2.7	3.3	1.3	3.0	—
Ca	mg/kg	263	313	68	53	358	510	257	—
Mg	mg/kg	814	208	86	199	402	110	441	—

表 3-13 生ごみの栄養塩類等含有量(2012 年推定値)

組成項目 (グラム当量)	単位	内 訳								生ごみ組成(推定値)	対 T-N 比 (T-N=100)	
		穀類	野菜類	果物類	肉類	魚介類	卵類	手付かず厨芥	その他		重量比	グラム当量比
重量比	%	2.8	29	17.3	1.2	4.7	1.7	37.8	5.5	100	—	—
水分	%	0.7	25.3	9.9	0.8	3.4	1.3	20.9	0	62.2	—	—
TS	%	2.1	3.7	7.4	0.4	1.3	0.4	16.9	5.5	37.8	—	—
エネルギー	kcal/kg	86	90	184	29	69	26	684	—	1,169	—	—
T-N(14.01)	g/kg	0.3	0.8	0.1	0.4	1.4	0.3	4.4	—	7.7	100	100
T-P(10.32)	g/kg	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.6	—	0.9	12	16
K(39.10)	g/kg	0.1	0.9	0.2	0.0	0.2	0.0	1.1	—	2.5	33	14
Ca(20.04)	mg/kg	7.4	90.7	11.7	0.6	16.8	8.7	97.2	—	233	3.0	2.9
Mg(12.16)	mg/kg	22.8	60.5	14.9	2.4	18.9	1.9	166.9	—	288	3.7	3.9

以上より、生ごみ全体の発生量原単位を先に示した 210 g/人/日とすれば、標準生ごみと 2012 年データの組成推定値から計算した各項目の発生量原単位の推定値は表 3-14 のとおりになる。

表 3-14 生ごみの発生量原単位(推定値)

水質項目 (グラム当量)	発生量原単位				対 T-N 比(T-N=100)	
	単位	標準生ごみ	2012 年	設定値	重量比	グラム当量比
重量	g/人/日	210			—	—
水分	g/人/日	164	131	130	—	—
TS(重量-水分)	g/人/日	46	79	80	—	—
エネルギー	Kcal/人/日	—	245	250	—	—
T-N(14.01)	g/人/日	1.7	1.6	1.6	100	100
T-P(10.32)	g/人/日	0.5	0.2	0.2	12	16
K(39.10)	g/人/日	0.5	0.5	0.5	33	14
Ca(20.04)	g/人/日	2.05	0.05	0.05	3.2	2.9
Mg(12.16)	g/人/日	0.05	0.06	0.06	3.8	3.9

両者を比較すると、標準生ごみの T-P と Ca が 2012 年値に比べて有意に高くなっている。これは、標準生ごみでは鶏肉の骨の影響で両成分の値が飛びぬけて高くなっていることが原因である。そこで、今回の試算では、鶏肉の骨のない 2012 年の推定値を発生量原単位の設定値として採用することとし、生ごみの発生量原単位は、総量 210 g/人/日に対して、T-N : 1.6 g/人/日、T-P : 0.2 g/人/日、K : 0.5 g/人/日、(Ca : 0.05 g/人/日、Mg : 0.06 g/人/日)とする。

(4) 一般家庭汚水

1) 発生量

平成 24 年度下水道統計⁸⁾より、表の下欄に示す条件で抽出した分流式処理場 210 箇所の処理人口と流入水量から算出した統計データを表 3-15 に示す。

表 3-15 分流式下水処理場の流入水の性状

項目	単位	中央値	平均値	範囲	負荷量原単位 (g/人/日)	重量比 (T-N=100)
流入水量	L/人/日	310	340	53~3312	—	—
BOD	mg/L	200	217	47~748	62	550
COD _{Mn}	mg/L	106	118	31~651	33	290
SS	mg/L	177	185	22~948	55	490
T-N	mg/L	36	36	7~74	11.2	100
T-P	mg/L	4.5	4.9	1.2~47	1.4	12

出典:平成 24 年度 下水道統計データ

抽出条件:排除方式=分流式、水処理施設・処理人口・現在=1000 人以上、晴天時平均流入水量=年間処理量、水質 5 項目(BOD,COD,SS,T=N,T=P)全てを掲載、平均流入率=40%以上、データ数=210

データの信頼性を高めるために抽出条件を絞って統計処理したが、まだデータの分布範囲が広く、平均値に偏りが生じている可能性もある。そこで、表の統計値のうち代表値を平均値ではなく中央値とすれば、それぞれの項目の負荷量原単位は、流入水量 : 310 L/人/日、BOD : 62 g/人/日、COD_{Mn} : 33 g/人/

8) 平成 24 年度 下水道統計, 日本下水道協会 (2014)

日、SS : 55 g/人/日、T-N : 11 g/人/日、T-P : 1.4 g/人/日になる。

一方、流総指針⁹⁾に参考値として示された1人1日当たり汚濁負荷量は表3-16のとおりである。これと前掲値を比較すると、根拠としたデータや抽出条件が異なるため、BOD、COD、SSの値はやや前後するが、T-NとT-Pの値はほぼ一致している。そこで、栄養塩類以外の負荷量原単位は、先の下水道統計値を採用することにする。

表3-16 1人1日当たりの汚濁負荷量の流総指針参考値

項目	平均値	標準偏差	データ数	平均的な内訳(g/人/日)	
	(g/人/日)	(g/人/日)		し尿	雑排水
BOD	58	17	169	18	40
COD	27	9	153	10	17
SS	45	16	169	20	25
T-N	11	3	29	9	2
T-P	1.3	0.4	25	0.9	0.4

2) 栄養塩組成

水質分析では、ICP等で流入下水の金属類を一括分析した場合、他の金属元素と併せてカリウムが測定される。しかし、通常は報告書として記載されることはほとんどなく、生データとして保存されている場合が多い。カリウムが測定された2つの流入汚水の分析例を、前項(負荷量原単位)で示したデータと併せて表3-17に示す。なお、表の右欄にはT-Nの値を100としたときのそれぞれの濃度比を流総指針値および今回設定値と併せて示した。

表3-17 流入汚水の分析例

分析項目	濃度(mg/L)			濃度比(T-N=100)				(設定値)
	一般汚水(M町) ^{※1}	集落排水(M村A地区) ^{※2}	分流式下水 ^{※3}	一般汚水(M町)	集落排水(M村A地区)	分流式下水	流総指針 ^{※4}	
BOD	104	107	200	360	360	550	530	550
COD _{Mn}	72.7	65.5	106	250	220	290	250	290
COD _{Cr}	238	—	—	820	—	—	—	—
SS	202	—	177	690	—	490	410	490
VSS	92	—	—	320	—	—	—	—
T-N	29.1	29.6	36	100	100	100	100	100
T-P	1.73	3.29	5	6	11	12	12	12
K	13	16.3	—	45	55	—	—	50
Ca	28.3	—	—	97	—	—	—	100
Mg	9	—	—	31	—	—	—	30

※1) JS旧技術開発部保有データ

※2) バイオマスDB/4. 人間の居住空間/農業集落排水原水・処理水

※3) 平成24年度下水道統計 分流式下水処理場210か所の中央値

※4) 流域別下水道整備総合計画調査指針と解説, 日本下水道協会(2008)

2つの分析例を比較すると、T-Pで2倍近い開きがあるが、両方で測定されたその他の項目はほぼ同様の傾向を示している。一方、これらと前掲の分流式下水の中央値を比較すると、BODは約半分、COD_{Mn}は7

9) 流域別下水道整備総合計画調査指針と解説：日本下水道協会(2008)

割前後の値になっており、窒素とリンの濃度も低めの傾向を示している。

一方、T-N=100とした時の濃度比を比較してみると、T-Pは集落排水が分流式下水や流総指針の値とほぼ同じであり、Kは2つの分析例ともにT-Nの半分程度になっている。これより、2つの分析事例は、代表的な分流式下水の水質と比較して濃度は異なるが、栄養塩類の構成比としては相関性があると推定される。

そこで、分流式下水のT-Nに対するT-P以外の栄養塩類の構成比を、Kは2つの分析例の平均値の50、CaおよびMgは一般汚水の分析例を丸めた100および30に設定することにした。原単位の設定値を表3-18に示す。

下水汚泥は一般的にK(カリウム)不足と言われるが、このデータを見ると、Kが水溶性で下水汚泥として回収される量が少ないことが不足の原因であり、流入下水中の栄養塩類をそっくり利用できれば、T-Pより多くのKを肥料として供給することも可能であることがわかる。

表 3-18 一般家庭汚水の汚濁負荷量原単位(設定値)

水質項目 (グラム当量)	設定原単位	対 T-N 比(T-N=100)	
		重量比	グラム当量比
汚水量	310 L/人/日	—	—
BOD	62 g/人/日	550	—
COD _{Mn}	33 g/人/日	290	—
SS	55 g/人/日	490	—
T-N(14.01)	11.2 g/人/日	100	100
T-P(10.32)	1.3 g/人/日	12	16
K(39.10)	5.6 g/人/日	50	18
Ca(20.04)	11.2 g/人/日	100	70
Mg(12.16)	3.4 g/人/日	30	35

(5) 食品系廃棄物の性状の推定

以上では、既存データから個々の食品系廃棄物ごとの発生量原単位を推定してきたが、全ての廃棄物に共通して推定できた栄養塩類に関しては食品系廃棄物の総量と個々の排出量の間を確認する必要がある。そこで、推定した栄養塩類の原単位を表3-19にまとめて示す。なお、表には供給総量と廃棄物総量を比較しやすくするため、参考値として家庭汚水と生ごみの合計量を総排出量として右欄に示した。

表 3-19 食品系廃棄物の発生量原単位推定結果一覧

水質項目 (グラム当量)	単位	原単位推定値				
		食料供給総量	家庭汚水	し尿	生ごみ	総排出量(家庭汚水+生ごみ)
総量 ^{※1}	kg/人/日	1.3	309.8	1.34	0.21	310.0
SS(TS)	g/人/日	550.0	55.0	20.7	80.0	135.0
T-N	g/人/日	12.9	11.2	13.1	1.6	12.8
T-P	g/人/日	1.7	1.3	1.5	0.2	1.5
K	g/人/日	3.4	5.6	1.3	0.5	6.1
Ca	g/人/日	0.53	11.20	0.17	0.05	11.3
Mg	g/人/日	0.46	3.36	0.08	0.06	3.4

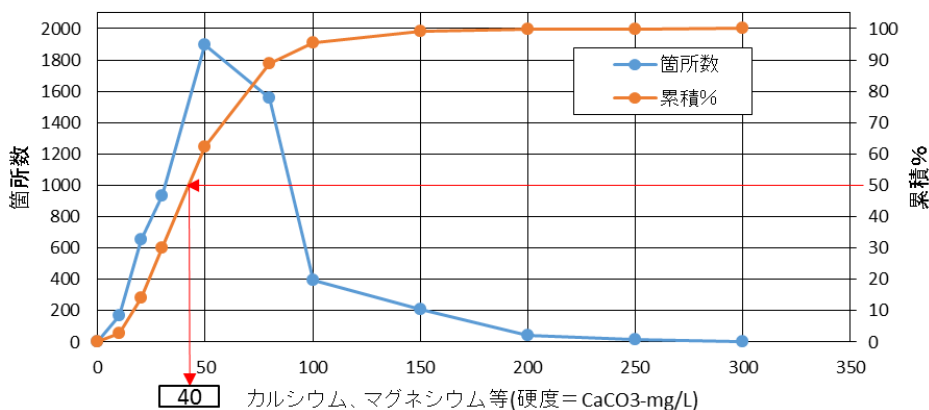
※1) 家庭汚水及びし尿の比重=1.00とする。総排出量が310L/人/日になるように雑排水量を調整した。

表より、SS(TS)は、食料供給総量に比べて廃棄量が明らかに少ないが、これは有機物等が人体等に消化・吸収されて消失したためと考えられ、矛盾はない。

T-N と T-P は、食料供給総量と家庭污水と生ごみの合計量がほぼ一致しているものの、し尿の推定値が家庭污水を上回っている。家庭污水はし尿と雑排水の混合物なので、し尿は家庭污水の内数になるはずだが、T-N に至っては食料品の供給総量を上回った値に推定されている。し尿の推定には医学分野の古い文献値を用いており、近年とは食生活も大きく異なっていると考えられるから、T-N が過大に設定されている可能性も高い。

一方、K、Ca、Mg をみると、家庭污水の推定値が食料供給総量を大幅に上回る結果になっている。この3項目に関しては少ないデータから推定したので誤差が大きいと考えられるが、Ca と Mg は1桁前後の違いがあり、明らかに食品以外の要素があると推測される。

考えられる要因としては、水道水に含まれている硬度があげられるので、この補正を試みる。図3-5に日本の水道水の硬度の分布図を示すが、これによると日本の水道水には中央値として40 mg/L程度のCaCO₃硬度が含まれている。一般家庭污水の水量原単位を前述の310 L/人/日（内し尿1.34 L/人/日）とすれば、CaCO₃硬度として12.3g/人/日が含まれることになる。ITに公表されている水道水のミネラル成分データは少ないので、代表値としては示せないが、表3-20に例示した倉敷市の浄水場のデータより硬度を100とした時のミネラル成分比を求めると、7水系の平均値は、硬度：K：Ca：Mg：Na=100：3：30：6：23になる。これらの値を用いると、一般家庭污水に含まれる水道水起因の栄養塩類は、K=0.4g/人/日、Ca=3.65g/人/日、Mg=0.77g/人/日になり、これを食料供給総量に加算すると、供給総量は、K=3.8g/人/日、Ca=4.18g/人/日、Mg=1.23g/人/日になる。



(水道水質データベース 2014平均値(公益社団法人 日本水道協会)より作図)

図 3-5 日本の水道水の硬度の分布図

表 3-20 浄水場別の水道水中のミネラル成分比例(硬度=100)

項目	A系	B系	C系	D系	E系	F-1系	F-2系	平均値
硬度	100	100	100	100	100	100	100	100
K	7	3	4	3	3	3	2	3
Ca	26	32	26	33	32	28	32	30
Mg	9	5	9	5	5	7	5	6
Na	56	13	39	13	13	15	13	23

倉敷市水道局:浄水場別の水道水中のミネラル成分表(平成 23 年度年間平均値)

<http://www.city.kurashiki.okayama.jp/3101.htm> より計算。

家庭污水と比較するとまだ開きがあるが、この食料供給総量(上水起因の塩類を含む)を前提として発

生量原単位の見直しを行うことにする。すなわち、発生量原単位の設定では、食料供給総量＝家庭汚水＋生ごみとし、し尿は、他の栄養塩類との相対関係が崩れない範囲で、家庭汚水＝し尿＋雑排水となるよう調整することにする。

調整した結果を表3-21に示す。表では、T-N以下の栄養塩類については、上水を含む食料供給総量と生ごみの原単位を先の推定値で固定し、“食料供給総量＝家庭汚水＋生ごみ＝し尿＋雑排水＋生ごみ”の関係が成り立ち、かつ、し尿と雑排水のT-N比が流総指針の内訳比の9:2になるように調整した。なお、以降では、食料供給総量に対応する生活系廃棄物を、特に“食品系廃棄物”ということにする。

調整後の推定値を見ると、家庭汚水のCaとMgが依然として高めの値を示しているが、これは、推定値を調整しなかった生ごみの値が、標準生ごみから推計された骨や卵殻起因のCaやMgの値を反映していないことが原因である。しかし、家庭汚水と生ごみを合わせた食品系廃棄物の総計はほぼ妥当な推定値と考えられるので、今回の試算では表3-21の推定値を食品系廃棄物の発生量原単位としてシステムの試算を行うことにする。

表3-21 食品系廃棄物の発生量原単位推定結果一覧(調整後)

区分	水質項目 (グラム当量)		食料供給 総量※1	食品系廃棄物				参考(雑排水内訳)		
				家庭汚水	(家庭汚水内訳)		生ごみ	総計	上水	その他
					し尿	雑排水				
原単位推定値	総量※2	kg/人/日	1.3	310	1.34	309	0.21	310	309	0.1
	SS(TS)	g/人/日	550	55	15	40	80	135	0.0	40
	T-N	g/人/日	12.9	11.3	9.2	2.1	1.6	12.9	0.0	2.1
	T-P	g/人/日	1.7	1.5	1.0	0.5	0.2	1.7	0.0	0.5
	K	g/人/日	3.8	3.3	0.9	2.4	0.5	3.8	0.4	2.0
	Ca	g/人/日	4.18	4.13	0.12	4.01	0.05	4.18	3.65	0.36
	Mg	g/人/日	1.23	1.17	0.06	1.11	0.06	1.23	0.77	0.34
対T-N比(T-N=100)	重量比	T-N	100	100	100	100	100	100	-	100
		T-P	13	13	11	22	13	13	-	22
		K	29	29	10	116	31	29	-	96
		Ca	32	37	1.3	195	3.1	32	-	17
		Mg	10	10	0.6	54	3.8	10	-	17
	グラム当量比	T-N(14.01)	100	100	100	100	100	100	-	100
		T-P(10.32)	18	18	15	30	17	18	-	30
		K(39.10)	11	10	3.6	41	11	11	-	34
		Ca(20.04)	23	26	0.9	136	2.2	23	-	12
		Mg(12.16)	11	12	0.7	62	4.3	11	-	19

※1) 上水の含有量を含む。※2) 家庭汚水及びし尿の比重=1.00とする。

(6) 農業系廃棄物

農村地域では、食品系廃棄物のほかに家畜糞尿や農作物残渣も廃棄物として有効利用できる可能性が高い。そこで、これらの廃棄物についても文献値を参考に原単位を設定しておくことにする。

1) 畜産系廃棄物

家畜のふん尿の原単位は、「平成29年度事業 産業廃棄物排出・処理状況調査報告書 平成27年度実績(概要版)」に表3-22の値が示されている。これによると排泄物量は畜種や生育状況によってふん尿の量や構成比が異なるので、厳密には畜種の年齢構成比に応じて原単位を計算する必要がある。しかし、ここでは“畜種内の年齢構成比”の年度による変動はないと仮定し、H28推計値をそれぞれの畜種の排泄

量原単位とし、ふんと尿の発生量比は、表末の畜種別の平均値を用いることにした。

表 3-22 家畜ふん尿の発生量原単位

畜種		排せつ物量(kg/頭羽/日) ^{*1,2}				発生量比(%)	
		ふん	尿	合計	(H28 推計値 ^{*3})	ふん	尿
乳牛	搾乳牛	45.5	13.4	58.9	44.8	77	23
	乾・未経産	29.7	6.1	35.8		83	17
	育成牛	17.9	6.7	24.6		73	27
	平均	31	9	40		78	22
肉牛	2歳未満	17.8	6.5	24.3	25.4	73	27
	2歳以上	20	6.7	26.7		75	25
	乳用種	18	7.2	25.2		71	29
	平均	19	7	25		73	27
牛平均		25	8	33	35	75	25
豚	肥育豚	2.1	3.8	5.9	6.2	36	64
	繁殖豚	3.3	7	10.3		32	68
	平均	2.7	5.4	8.1		54	46
採卵鶏	成鶏	0.136	—	0.136	0.125	100	—
	ヒナ	0.059	—	0.059		100	—
ブロイラー		0.130	—	0.130	0.102	100	—

※1) 平成 29 年度事業 産業廃棄物排出・処理状況調査報告書 平成 27 年度実績(概要版) :

file:///C:/Users/kawaguchi/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/h27 産廃排出・処理状況調査(概要版)%20(1).pdf

※2) 築城幹典、原田靖生:我が国における家畜排泄物発生の実態と今後の課題,環境保全と新しい畜産,p15-29, 農林水産技術情報協会(1997)

※3) 平成 28 年 畜産統計などから推計値

一方、栄養塩類等の組成に関しては、前掲のバイオマス成分 DB にまとめられているので、抜粋して表 3-23 に示す。表をみると、尿成分について値が示されていない項目が多く、豚の尿などは N のみが表示され、含有成分の 7 割近くが不明である。また、牛の尿では示されている成分だけで 100%を超えるなど、矛盾点も多い。原因はデータ数が少なく、欠測や各項目の単純平均値をそのまま掲載したためと思われるが、ここでは他に適当なデータがないので、不明分はゼロとし、他の値はそのまま用いることにした。

表 3-23 家畜ふん尿の組成

項目	牛		豚		採卵鶏 ・ふん	ブロイラー・ふ ん	
	ふん	尿	ふん	尿			
データ数	100	6	62	11	50	2	
含水率(%)	80.1	99.3	69.4	98	63.7	40.4	
乾物当たり含有率	C(%)	34.6	—	41.3	—	34.7	—
	N(%)	2.19	27.1	3.61	32.5	6.18	4
	P(%)	0.78	—	2.42	—	2.26	1.94
	P ₂ O ₅ (%)	1.78	—	5.54	—	5.19	4.45
	K(%)	1.46	73.53	1.24	—	2.57	2.46
	K ₂ O(%)	1.76	88.6	1.49	—	3.1	2.97
	Ca(%)	1.22	1.02	2.94	—	7.85	1.14
	Mg(%)	0.5	0.86	0.94	—	0.87	0.46
Na(%)	0.2	—	0.24	—	—	—	

2つの表から家畜ふん尿の栄養塩類等の発生量原単位を計算すると表3-24のようになる。表によれば、畜種によって体重に大きな差があるため発生量原単位も大きく異なるが、栄養塩類のT-Nに対する比を生活排水(T-N : T-P : K=100 : 13 : 29)と比較すると、T-Pの比が31~49とどの畜種でも有意に高くなっている。Kについては畜種によって異なるが、豚の尿が欠測であることを考慮すれば、生活系排水に比べてKの割合も高いと推定される。言い換えれば、家畜の排せつ物に比べて、生活排水のT-Nの割合が高いということにもなり、人間は家畜に比べて窒素の比率が高い食物を摂取していることが原因と推測される。

表 3-24 家畜ふん尿の栄養塩類等発生量原単位(設定値)

区分	水質項目 (グラム当量)		牛			豚			採卵鶏 ・ふん	ブロイラー ・ふん
			ふん	尿	計	ふん	尿	計		
原単位推定値	発生量	kg/頭羽/日	26	9	35	3.4	2.8	6.2	0.125	0.102
	水分	kg/頭羽/日	21	9	30	2.3	2.8	5.1	0.080	0.041
		%	80	99	85	69	98	83	64	40
	C	g/頭羽/日	1,823	0	1,823	424	0	424	16	-
	T-N	g/頭羽/日	115	16	132	37	19	56	2.8	2.4
	T-P	g/頭羽/日	41	0	41	25	0	25	1.0	1.2
	K	g/頭羽/日	77	44	121	13	0	13	1.2	1.5
	Ca	g/頭羽/日	64	0.6	65	30	0	30	3.6	0.7
Mg	g/頭羽/日	26	0.5	27	10	0	10	0.4	0.3	
対 T-N 比(T-N=100)	重量比	T-N	100	100	100	100	100	100	100	100
		T-P	36	0	31	67	0	45	37	49
		K	67	271	92	34	0	23	42	62
		Ca	56	4	49	81	0	54	127	29
		Mg	23	3	20	26	0	17	14	12
	グラム当量比	T-N(14.01)	100	100	100	100	100	100	100	100
		T-P(10.32)	48	0	42	91	0	61	50	66
		K(39.10)	18	72	24	9	0	6	11	16
		Ca(20.04)	109	7	96	159	0	106	248	56
		Mg(12.16)	38	5	34	43	0	29	23	19

2) 農作物残渣

農作物残渣の発生率や栄養塩類組成は作物の種類によって大きく異なるので、平均的な発生量原単位を設定することはあまり意味がない。そこで、既存のデータから、作物の種類ごとの残渣発生率と残渣の栄養塩類組成を抽出して表3-25にまとめる。なお、収穫残渣の栄養塩類組成は前掲のバイオマスDBからの引用であるが、発生率は、単位出荷量当たりの残渣量(残渣量=圃場から回収される総量(例えば根などを除く)から出荷量を除いた量)と定義して算出した。

なお、表の栄養塩類組成は乾燥物当たりの含有率を%で表したものであるから、農作物の収穫量から残渣に含まれる栄養塩類の量を推定する場合は、出荷量(収穫量)に発生率を乗じて残渣量を算出後、含水率を減じて算出した乾燥重量にそれぞれの含有率を乗じて求めることができる。

表 3-25 農作物残渣の栄養塩類組成

項目(部位等)	含水率 (%)	乾物当たり含有率(%)						発生率	出典等
		C	N	P	K	Ca	Mg		
水稻(わら)	11.7	38.0	0.71	0.09	1.38	0.19	0.15	1.11 kg/玄米-kg	養分収支 ^{※1} 他
水稻(米ぬか)	12.2	44.3	1.94	1.62	1.43	0.02	0.84	0.09 kg/玄米-kg	飼料成分表 ^{※2} p72,140 他
水稻(モミ殻)	9.5	34.6	0.41	0.03	0.31	0.01	0.07	1.34 kg/玄米-kg	バイオマス DB
陸稲(わら)	14.3		1.13	0.05	0.10	0.26	0.17		便覧 ^{※3} p42
小麦(わら)	14.2	42.2	0.70	0.08	1.00	0.21	0.11		飼料成分表 p64,138
大麦(わら)	14.7	41.8	0.60	0.08	1.40	0.29	0.10		飼料成分表 p64,138
ソバ(わら)	15.4	40.3	1.10	0.21	3.13	1.35	0.14		飼料成分表 p64,138
大豆(地上部)	14.8	46.5	1.01	0.13	1.35	0.53	0.34		飼料成分表 p64,138 他
黒豆(収穫残渣)	54.1	43.5	2.64	0.26	1.10	0.45	0.36		バイオマス DB
小豆(地上部)	41.4	43.9	0.84	0.21	1.51	0.57	0.14		養分収支他
キャベツ(収穫残渣)	82.3	41.4	2.65	0.33	3.22	3.03	0.69		未利用 ^{※4} p60 他
レタス(地上部)			4.08	0.54	3.04				養分収支
はくさい(地上部)	94.7	40.1	4.12	0.63	8.32				養分収支
きゅうり(地上部)			2.64	0.87	4.72			0.6 kg/果実-kg	養分収支
かぼちゃ(収穫残渣)	75.7		3.15	0.45	4.67	5.14	1.20		未利用 p60 他
パレイショ(茎葉)	85.5	38.6	2.41	0.23	4.97				飼料成分表 p34 他
サツマイモ(つる)	86.9	41.8	2.35	0.22	2.71	1.00	0.17		飼料成分表 p62 他
だいこん(地上部)	87.5		2.44	0.33	3.61	1.31	0.23		未利用 p60 他
カブ(葉)	89.9	39.5	3.35	0.27	4.35	1.70	0.80		飼料成分表 p62 他
たまねぎ(地上部)			1.27	0.17	1.44				養分収支
にんじん(地上部)	85.6	39.7	2.34	0.20	4.64	0.66	0.19		飼料成分表 p32 他
なす(地上部)			1.99	0.24	2.79				養分収支
トマト(地上部)	85.0	36.5	2.36	0.34	3.46			0.19kg/果実-kg	養分収支他
とうもろこし(残渣)	46.5	43.8	1.33	0.26	1.72	0.29	0.18		養分収支他
食用菊(収穫残渣)	12.5	45.8	2.08	0.19	1.80	0.24	0.12		バイオマス DB
すいか(地上部)			1.74	0.25	4.20				養分収支
メロン(収穫残渣)	86.1		2.60	0.41	4.20	3.78	1.07		未利用 p60 他
いちご(地上部)	55.7	41.8	1.99	0.43	3.85				飼料成分表 p34 他
てんさい(地上部)	83.3	39.6	2.26	0.26	3.31	1.20	0.40		飼料成分表 p32 他
サトウキビ(梢頭部(乾))	28.7	46.1	0.99	0.10	1.20	0.37	0.12		バイオマス DB
ショウガ(地上部)	76.3	40.7	1.80	0.15	2.90	1.40	0.23		バイオマス DB
カーネーション(収穫残渣)	92.6		1.79	0.48	3.56	1.56	0.52		未利用 p61

※1) 尾和尚人:わが国の農作物の養分収支, 環境保全型農業研究連絡ニュース No.33. (1996.11)

www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/techdoc/dotoku/news33.html

※2) japanese-standard-feed-ingredient-list (飼料成分表)

※3) 便覧:

※4) 未利用:

3-2. 有効利用システムの機能要件

水を収集媒体とする有効利用システムは、大きく前処理・収集システムと資源回収生産システムに分けて考えることができる。下水道に当てはめれば、排水設備から管きよ・ポンプ場に至るまでが前処理・収集システムであり、水処理と汚泥処理・有効利用施設が資源回収生産システムということになる。

以下に、それぞれの機能要件について整理する。

(1) 前処理・収集システムの機能要件

ここでは、生活系廃棄物を有効利用の原材料とする場合、品質を担保するための前処理・収集システムを考えてみる。

生活系廃棄物を形状で見ると、固形廃棄物と液状廃棄物に分けられる。また、質で見ると、生ごみなどの食品残渣やし尿などの食品系廃棄物と、ビニル袋や新聞・雑誌、洗剤などの人工材料系廃棄物に分けて考えることができる。

日本では通常、液状廃棄物は下水道等の管きょ網を介して収集され、固形廃棄物のごみとして車両運搬されている。また、固形廃棄物は、以前は一括収集して焼却処理されるケースが多かったが、近年は再利用率の向上や環境保全の観点等から、粗大ごみ、可燃ごみ、不燃ごみなどに分別して収集・処理されることが多い。

固形廃棄物のうち、生ごみなどの食品残渣は、今でも不燃ごみとして埋め立て処分される場合も多いが、水分が多く腐敗の進行も早いので埋立地からの腐敗ガスや浸出液の発生など、多くの問題が生じており、収集や処理・処分方法の見直しが求められ定義。

前述のように、食品残渣はし尿などと同様に食品系廃棄物に分類でき、食料品の再生産に一括して再利用を図ることが最も適しているといえる。したがって、これらを一括して収集できるシステムが、後段の処理システムを構築する上でも有利になる。

これに該当するシステムには、ディスポーザを導入し、食品残渣を自動細断して下水道に流下する方法があり、既に欧米の都市部を中心に広く行われている。今回想定するシステムでもディスポーザを導入することにすると、この方式は集水方式に多くの制約条件があり、集水システム全体を一括して考える必要がある。例えば、集水方式が合流式の場合は、生ゴミがそのまま排出されたり、晴天時に管きょ内に滞留した生ゴミから悪臭が発生するなどの環境汚染を引き起こしやすい。また、中国の事例では、排水構造と紙質の問題から紙詰まりが多く、トイレットペーパーはトイレに流さず別途回収して処分するのが通例であり、ディスポーザを導入するとさらに衛生的が拡大する恐れがある。

他の途上国でも類似の状況があると考えられるので、食料品再生産のため前処理・収集システムの機能要件には、以下の事項が考えられる。

1) 前処理プロセス(廃棄物排除技術)

前処理設備は生活系廃棄物を生活空間から排除するための設備であり、生活に直接かかわることから、生活環境改善効果と廃棄物の有効利用性の両面からシステムを選定する必要がある。

生活環境改善効果：システムの導入により生活環境の改善が強く実感できること。

- ・衛生的な排除：廃棄物に直接触れることなく、衛生的に排除できること。
- ・迅速な排除：廃棄物に直接触れることなく、迅速に排除できること。
- ・設備の清潔度：前処理設備を清潔に維持できること。

廃棄物の有効利用性：廃棄物の収集・再利用がしやすいこと。

- ・粒径の均等性：廃棄物の大きさがそろっていること。
- ・性状の均質性：性状の変動が少ないこと。
- ・濃度：廃棄物が大幅に希釈されていないこと。
- ・保持熱量：利用可能な保有エネルギーを大幅に低下させないこと。
- ・流動性：懸濁液の流動性が高く、固形物が分離濃縮しにくいこと。

設備設置・維持費用：設備はあまり高価でなく、管理も簡単で利用者の負担が大幅には増えないこと。

2) 収集プロセス

収集プロセスは、生活系廃棄物を衛生的かつ速やかに再利用施設まで移送できることが重要である。

- ・混入防止：食品系廃棄物以外の廃棄物等、有効利用の障害となる物質の混入を防止できること。
- ・環境保全性：移送過程での収集物漏洩や悪臭発生など、環境を悪化する危険性が少ないこと。
- ・閉塞防止性：固形物が沈殿分離しづらく、速やかに移送・収集できること。
- ・収集規模：より広範囲に少ないエネルギーで収集できること。
- ・維持管理性：点検頻度が少なく、維持管理が容易であること。
- ・維持費用：収集プロセスの維持コストが低く、利用者の負担増にならないこと。

(2) 水処理(資源回収)システムの機能要件

一般的な排水処理システムでは、排水に含まれる汚濁質を衛生的かつ効率よく除去できる機能が最優先され、併せて汚濁質の発生量が少なく処分しやすいことが求められている。例えば、窒素除去を考えてみると、「有機性窒素やアンモニア性窒素を空気酸化した後、今度は逆に有機物で還元して窒素ガスとして空気中に放散する。」というように、操作が複雑でエネルギー消費量も多いが、副生成物はほとんど発生しないプロセスが選択されている。また、小規模処理場で採用されるオキシデーショディッチ法などは、排水中の汚濁質を長時間酸化し、余剰汚泥の発生量を極力少なくするような操作が行われている。

これに対し、有効利用を前提にすると、全く別のアプローチが必要になる。例えば、排水は流体輸送された原材料とみなすことができ、水処理は輸送媒体である水とその他の物質(原材料)を効率よく分離し、原材料を回収するプロセスに位置づけられる。したがって、水処理は、“衛生的に処理する”という従来からの視点に加えて、“原材料を利用しやすい形で効率よく回収できる”という機能も重要になる。

従来の水処理を資源回収システムの視点で分類すると、物理学的方法は水とその他の物質(原材料)の分離プロセス、生物化学的方法は分離を容易にするための調質プロセスとみることができ、両者を組み合わせると効率よく目的を達成することが求められ、これらを考慮すると、有効利用のための各プロセスの機能要件としては、次のようなものが考えられる。

1) 分離プロセス(物理学的方法)

物理学的方法には、水と汚濁質の比重差を利用して分離する沈殿や遠心分離、粒子径の差を利用したろ過、電気的な性質の差を利用したイオン交換や吸着、気化温度の差を利用した汚泥乾燥などがあり、分離する対象によって様々な方法が選択される。これらに共通する機能要件には次のようなものが考えられる。

- ・分離性能：分離対象物の選択性が高く、処理水への流出が少ないこと。
- ・迅速性：分離対象物を速やかに分離回収できること。
- ・閉塞防止性能：分離装置の閉塞が起りにくく、閉塞した場合も速やかに回復できること。
- ・処理の安定性：水質や流量の変動に対して、安定して処理できること。
- ・経済性：エネルギー消費量が少ないこと。
- ・耐久性：機械設備や分離膜等は、十分な耐久性を有すること。

2) 調質プロセス(生物化学的方法)

有効利用システムにおいて生物化学的な方法は、物理学的な分離を容易にするための前処理的な位置付けになるので、これらに共通する機能要件には次のようなものが考えられる。

- ・資源保持能：原材料の保有エネルギーをなるべく低下させないこと。
- ・差別化能：汚濁質の比重や粒径の増加、イオン化の促進など、水から分離し易い性質に変化させること。
- ・経済性：エネルギーや薬剤の消費量が少ないこと。
- ・処理の安定性：水質や流量の変動に対して、安定して処理できること。

(3) 資源生産システムの機能要件

排水処理施設では、処理水から分離される汚濁質を処理する過程を汚泥処理と呼んでいるが、有効利用システムでは水を含めたすべてが原材料であり、これらを利用するすべてのプロセスを資源生産システムと位置付けることにする。

従来の生活廃棄物の有効利用システムは、それぞれ個別に処理していることが主な原因で、市場競争力を持つ製品を生み出せない幾つかの課題があった。例えば、先の家庭系生ごみリサイクル事業の例では、一次、二次の発酵過程を組み込んで堆肥化していたが、通気や攪拌に動力が必要であり、また有機物を酸化する際に発生するエネルギーの回収・利用も行われていないため、製造コストが結果として高くなっていた。また、廃棄物からのエネルギー回収では、人工材料系廃棄物の大部分を占める可燃物は焼却による熱エネルギーを発電や加温に利用しており、水分の多い有機系廃棄物はメタン発酵によりバイオガス化し、やはり発電や加温に利用している。しかし、両者ともに原材料のエネルギー保有量が少ない上に、温水等の利用範囲も限られており、発電だけでは処理コストがあがなえない状況にあった。

それに対して、ここで想定している有効利用システムでは、生活から発生する動植物系廃棄物を一括して液体輸送して収集するので、水を含めてすべての物質が原材料として資源生産システムに回すことが可能である。そこで、各プロセスの選定にあたっては、個々のプロセスでの経済性は求めるが、資源生産システム総体としてすべての資源を有効活用できることを優先することにする。

以上を勘案すると、資源生産システムの機能要件は次のようになる。

- ・品質：不純物が少なく、生産物の品質が安定しており、質も高いこと。
- ・生産効率：原材料の製品化割合が高く、かつ製造時間が短いこと。
- ・省エネ率：エネルギー消費がなるべく少ないこと。
- ・再利用率：副生成物の再利用率が高いこと。
- ・付加価値：生産物の付加価値が高いこと。
- ・経済性：製造コストが商品価値に見合うこと。
- ・連携性：他の資源生産プロセスとの組合せが可能であること。

3-3. 各プロセスの技術の選定

各プロセス技術の選定では、機能要件に示した項目により各プロセスを評価し、最適なプロセスの組合せを検討することにする。

有効利用システムに必要なプロセスごとに既知の技術の概要を整理し、前掲の 3-3 有効利用システム

の機能要件と比較して各技術の得失を整理し、採用技術を選別してみる。

(1) 前処理・収集システム

1) 前処理プロセス(廃棄物排除技術)

生活系廃棄物は、し尿や雑排水のような液状廃棄物とごみのような固形廃棄物に大別され、性状に応じて生活系からの排出方法が異なっている。ここで想定する有効利用システムでは、既存の前処理プロセス(廃棄物排除技術)の概要と有効利用の観点からみた各技術の得失を表 3-26 に、前掲の有効利用システムの機能要件に対する適合度を表 3-27 に示す。

表 3-26 前処理プロセスの概要と特徴

対象	排出形状	該当プロセス	概要	特徴(得失)
し尿	無希釈貯留	汲取り式トイレ	し尿を直接貯留し、バキューム車等で定期的に排出するトイレ方式。	<ul style="list-style-type: none"> ・ふん尿の発生量が少なく、有効利用しやすい。 ・非衛生的であり、ハエや悪臭が発生する。 ・先進国ではほとんど使用されない。 ・生活空間内に廃棄物が長期貯留される。
	希釈無処理	水洗式トイレ	し尿を水流によって排除するトイレ方式。	<ul style="list-style-type: none"> ・衛生的であり、トイレの主流になっている。 ・発生量が多く希薄であり、エネルギー効率が悪い。 ・比較的粗大な固形物が混入する恐れがある。
	分別希釈無処理	し尿分離トイレ	し(糞便)と尿を別途に収集するトイレの方式。	<ul style="list-style-type: none"> ・尿単独で収集できるため、有効利用しやすい。 ・排水ルートが輻輳し、経済的にも集合処理には適さない。 ・生活空間近くに廃棄物が貯留される。
	希釈嫌気処理	セプティックタンク	し尿を水流で貯留槽に導き、沈殿上澄水を排出する方式。沈殿汚泥は嫌気分解される。	<ul style="list-style-type: none"> ・排出水の有機物負荷が削減される。 ・排出水は黒色を呈し、排水基準に適合しない。 ・汚泥引抜が行われないと、汚濁負荷が増加する。 ・生活空間内に廃棄物が長期貯留される。
	希釈好気処理	単独浄化槽	し尿を水流でばっ気槽に導き、好気処理する方式。	<ul style="list-style-type: none"> ・排出水の有機物負荷が削減される。 ・余剰汚泥を定期的に引抜く必要がある。 ・栄養塩類の除去は難しい。
	希釈混合処理	合併浄化槽	し尿を水流でばっ気槽に導き、雑排水と合わせて処理する方式。	<ul style="list-style-type: none"> ・汚濁物が除去され、清澄な処理水が排出される。 ・余剰汚泥を定期的に引抜く必要がある。 ・運転管理が煩雑である。
雑排水	ろ過処理	雑排水口	トイレ以外の排水口で、目皿等により夾雑物を除去して排水する方式。	<ul style="list-style-type: none"> ・水量が多く、汚濁物濃度が希薄である。 ・時間帯により、水量・水質が大きく変動する。 ・構造によっては粗大な固形物が混入する。
固形廃棄物	粉碎処理	ディスポーザ	ディスポーザ等で粉碎し、流水などと共に下水に排除する。	<ul style="list-style-type: none"> ・生ごみを排水と共に下水に流せる。 ・生活圏内に生ごみを滞留させず、衛生的である。 ・管きよの形状によっては、閉塞しやすい。 ・破砕機のメンテナンスが必要。 ・生ごみディスポーザ以外の粉碎機は高価で家庭での導入効果は少ない。
	分別処理	分別収集	ごみの種類に応じて袋詰めして所定の箇所まで運び出す。	<ul style="list-style-type: none"> ・ごみの種類毎に分別され、再利用しやすい。 ・ごみを分け、袋に詰めて持ち出す必要がある。 ・ゴミの収集間隔が長くなる。 ・生ごみは収集までの間に腐敗しやすい。 ・回収まで生活空間近くに廃棄物が貯留される。

	無処理	ごみシュート	ごみシュート等の所定の排出口にそのまま投入する。	<ul style="list-style-type: none"> ・ごみを随時室内から直接排除できる。 ・廃棄できるごみの大きさに制約がある。 ・回収後のごみの分別が煩雑で再利用し難い。 ・通常投入口の開口部が大きく、落下の危険がある。 ・設備の設置費が高い。
--	-----	--------	--------------------------	---

表 3-27 廃棄物排除技術の機能要件適合度の比較

対象	排出形状	該当プロセス	生活環境改善効果 ^{※1}			廃棄物の有効利用性 ^{※2}					前処理設備設置・維持費用 ^{※3}
			衛生的な排除	迅速な排除	設備の清潔度	粒径の均等性	性状の均質性	濃度	保持熱量	流動性	
し尿	無希釈貯留	汲取り式トイレ	×	×	×	○	◎	◎	△	△	○
	希釈無処理	水洗式トイレ	◎	◎	◎	△	○	△	○	◎	○
	分別希釈無処理	し尿分離トイレ	△	△	△	◎	◎	◎	○	◎	×
	希釈嫌気処理	セプティックタンク	◎	○	○	○	○	△	△	◎	△
	希釈好気処理	単独浄化槽	◎	○	◎	△	○	△	×	◎	×
	希釈混合処理	合併浄化槽	◎	◎	◎	△	○	×	×	◎	×
雑排水	ろ過処理	雑排水口	◎	◎	◎	△	×	×	×	○	○
固形廃棄物	粉碎処理	ディスポーザ	◎	◎	○	◎	○	△	○	○	△
	分別処理	分別収集	△	×	×	△	○	◎	◎	×	○
	無処理	ごみシュート	◎	◎	○	×	×	△	◎	△	△

※1) 生活環境改善効果: システムの導入により生活環境の改善が強く実感できること。

- ・衛生的な排除: 廃棄物に直接触れることなく、衛生的に排除できること。
- ・迅速な排除: 廃棄物に直接触れることなく、迅速に排除できること。
- ・設備の清潔度: 前処理設備を清潔に維持できること。

※2) 廃棄物の有効利用性: 廃棄物の収集・再利用がしやすいこと。

- ・粒径の均等性: 廃棄物の大きさがそろっていること。
- ・性状の均質性: 性状の変動が少ないこと。
- ・濃度: 廃棄物が大幅に希釈されていないこと。
- ・保持熱量: 利用可能な保有エネルギーを大幅に低下させないこと。
- ・流動性: 懸濁液の流動性が高く、固形物が分離濃縮しにくいこと。

※3) 設備設置・維持費用: 設備はあまり高価でなく、管理も簡単で利用者の負担が大幅には増えないこと。

表 3-27 の適合度はあくまで主観的な見解であるが、生活環境改善効果の観点からは、し尿では水洗式トイレを採用する諸プロセスの適合度が高く、生ごみではディスポーザ排除とごみシュート("Garbage chute" or "Rubbish chute"¹⁰⁾)の適合度が高い。有効利用性をみると、し尿では汲取り式トイレやし尿分離トイレ、生ごみは分別収集の適合度が高くなっており、全体的には生活環境改善効果と廃棄物の有効利用性とが相反する傾向を示している。

生活と密着している前処理プロセス(廃棄物排除技術)は、生活環境改善効果を最優先し、かつ設備設置・維持のための利用者の費用負担が大幅には増えないことを条件として、有効利用システムを構築すべきと考える。

その場合、トイレの水洗化は必須であり、水洗化のうち保持熱量が高く、エネルギー利用の可能性が

10) フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia)』 <https://ja.wikipedia.org/wiki/ダスト・シュート>

高い無処理で系外に排出する希釈無処理方式が優位である。また、生ごみに関してはディスポーザまたはごみシュートが候補に上るが、有効利用性を考えると排出物の粒径の均等性や性状の均質性で優れているディスポーザが優位といえる。

2) 収集プロセス

生活系廃棄物の移送・収集手段は、大きく液状廃棄物と固形廃棄物に分けて考えることができる。また、発生から廃棄までの生活系内滞留時間も、収集プロセス選定の重要な要素になる。収集プロセスの概要と特徴を表 3-28 に、前掲の有効利用システムの機能要件に対する適合度を表 3-29 に示す。

表 3-28 収集プロセスの概要と特徴

区分	名称	概要	特徴(得失)
液状廃棄物	収集方式	合流式下水道	汚水及び雨水を同一の管路で排除し処理する。 ・管路が合流管 1 本で施工が容易で安価である。 ・降雨時は汚水の一部が未処理や簡易処理のみで放流される。 ・初期降雨由来の汚濁物質を遮集処理できる。 ・管路から臭気や害虫が発生しやすい。
		分流式下水道	汚水と雨水とを別々の管路系統で排除し、汚水のみ処理して放流する。 ・管路が汚水管と雨水管の 2 本必要で施工費が高い。 ・原理上、降水による流量・水質の変動がなく、浄化処理を安定的に行える。
		小規模下水道	集落程度の規模で、ほとんどの場合、汚水排除と浄化のみを行う。 ・管路敷設上の制約が少なく、安価に施工できる。 ・不明水の侵入を少なくできる。 ・雨水排除施設は、別途敷設しなければならない。
		個別処理	浄化槽など、発生源で個別に処理する。 ・管路がないため、処理施設の管理だけで良い。 ・処理施設が多くなるため、管理の効率が悪い。 ・発生汚泥を別途回収処理する必要がある。
	移送動力	自然流下式	重力を利用して下水を自然に流下させる。 ・管構造は比較的単純で、水密性能も高くなくてよい。 ・流速確保と埋設深の増加抑制を同時に満足する経済的な設計・施工が求められる。 ・真空式、圧力式においても部分的に自然流下式を採用する例が多い。
		圧力式	汚水を貯留タンクに溜め、水中ポンプで処理場・自然流下管へ圧送する。 ・小口径管で地形に無関係に浅く埋設できる。 ・個別に貯留タンクと水中ポンプを設置する必要がある。 ・管理点が多く、管理の効率が悪い。
		真空式	管路内を真空にし、汚水を空気と混合して真空の力により搬送収集する。 ・小口径管で浅く埋設でき、汚水が外部に漏れにくい。 ・管路を特殊な密閉構造にする必要がある。 ・圧力式に比べて、動力点が少ない。
固形廃棄物	収集方式	流体輸送	粉碎したごみを汚水と混合して収集する。 ・生ごみを排水と共に下水に流せる。 ・生活圏内に生ごみを滞留させず、衛生的である。 ・均等化・均質化でき、有効利用しやすい。 ・管きょ形状によっては、閉塞しやすい。 ・破碎機のメンテナンスが必要になる。
		自然落下収集(ごみシュート)	投入されたごみを垂直の専用シュートで階下に収集する。 ・ごみを随時室内から直接排除できる。 ・ごみの袋詰めをしなくて済む。 ・廃棄できるごみの大きさに制約がある。 ・回収後のごみの分別が煩雑で再利用し難い。 ・通常開口部が大きく、落下の危険がある。

区分	名称	概要	特徴(得失)
			<ul style="list-style-type: none"> ・高層ビル等、適用箇所が限定される。 ・設備の設置費が高い。
	真空輸送装置	チューブ内に投入されたごみを掃除機のように吸引して収集する。	<ul style="list-style-type: none"> ・ごみを随時室内から直接排除できる。 ・ごみの袋詰めをしなくて済む。 ・廃棄できるごみの大きさに制約がある。 ・回収後のごみの分別が煩雑で再利用し難い。 ・開口部が小さく、落下の危険が少ない。 ・設備の設置費や維持費が高い。
	分別収集	専用の車でごみの種類毎に定期的に回収する。	<ul style="list-style-type: none"> ・ごみの種類毎に分別され、再利用しやすい。 ・ごみを分け、袋に詰めて持ち出す必要がある。 ・ゴミの収集間隔が長くなる。 ・生ごみは収集までの間に腐敗しやすい。 ・回収まで生活空間近くに廃棄物が貯留される。
	一括収集	専用の車で頻度高く(毎日)回収する。	<ul style="list-style-type: none"> ・分別収集に比べて、収集頻度を高くできる。 ・回収後のごみの分別が煩雑で再利用し難い。 ・ごみを袋に詰めて人の手で持ち出す必要がある。 ・回収まで生活空間近くに廃棄物が貯留される。

表 3-29 各収集プロセスの有効利用システムの機能要件適合度

区分	名称	混入防止	環境保全性	閉塞防止性	収集規模	維持管理性	維持費用	
液状廃棄物	収集方式	合流式下水道	×	×	△	◎	△	○
		分流式下水道	○	○	○	◎	○	◎
		小規模下水道	◎	◎	◎	○	○	◎
		個別処理	◎	◎	◎	△	◎	△
	移送動	自然流下式	△	○	○	○	○	○
		圧力式	◎	○	◎	△	△	×
		真空式	◎	◎	◎	△	△	△
固形廃棄物	収集方式	流体輸送	○	◎	△	○	△	○
		ごみシュート	△	○	○	×	△	○
		真空輸送装置	△	◎	◎	△	△	△
		分別収集	◎	△	◎	○	○	△
		一括収集	△	○	◎	○	○	○

- ・混入防止: 動植物系廃棄物以外の廃棄物等、有効利用の障害となる物質の混入を防止できること。
- ・環境保全性: 移送過程での収集物漏洩や悪臭発生など、環境を悪化する危険性が少ないこと。
- ・閉塞防止性: 固形廃棄物が滞留しづらく、速やかに移送・収集できること。
- ・収集規模: より広範囲に少ないエネルギーで収集できること。
- ・維持管理性: 点検頻度が少なく、維持管理が容易であること。
- ・維持費用: 収集システムの維持コストが低く、利用者の負担増にならないこと。

有効利用システムへの導入を前提にすると、利用対象物以外のものの混入を極力排除し、対象物を効率よく収集できるプロセスが望ましい。また、有効利用方法にもよるが、効率性を考えると一定量以上を収集して処理することが前提になるから、規模としては小規模下水道程度以上のプロセスを基本にすることが適当である。また、固形廃棄物のうち生ごみは、し尿等と合せて有効利用することが可能なので、ディスポーザで破碎して污水に混入し、一括して収集することが効率的である。

前述のように、生ごみの発生量は210 g/人/日程度であり、一般家庭汚水の310 L/人/日と比較すると、重量では1%未満である。水分を除けば80 g/人/日程度であるから、ディスポーザを導入した場合のSS

増加量は260mg/L程度と見込まれ、一般的な下水の2倍強程度の濃度になると考えられる。

したがって、ディスポーザを導入する污水収集システムとしては、発生源でのディスポーザによる廃棄物の粉碎を十分に行うとともに、流下管きょは曲管の採用や必要に応じて圧送管を組み合わせるなど、SS分の堆積を極力防止できる構造にすることが重要である。

なお、生ごみ以外の固形廃棄物は腐敗して悪臭を発生するリスクが少ないので、発生量に応じた収集頻度で良くなり、従来通りの収集システムでも効率よく収集することが可能になる。

(2) 水処理(資源回収)システム

想定する有効利用システムは農業利用を前提にするから、水処理(資源回収)システムは、污水を媒体として収集された窒素(T-N)、リン(T-P)、カリウム(K)などの栄養塩類をいかに効率よく分離収集できるかが、プロセス選択の基本条件になる。そこで、最初に栄養塩類の分離方法を選定し、次に分離を容易にするための前処理技術として最適な生物化学的な処理方法を選定することにする。

1) 分離プロセス(物理学的な方法)

污水処理に使用される物理学的な分離プロセスの概要と特徴を表3-30に、前掲の有効利用システムの機能要件に対する適合度を表3-31に示す。なお、表では汚泥濃縮以降の汚泥処理に係る分離方法は、後述の資源生産プロセスに付随するものとして除いている。

想定する有効利用システムの水処理では栄養塩類が最も重要な分離対象物になるから、これらの物質を污水中から農業利用しやすい形態で効率的に分離回収できることが選定の基本になる。

栄養塩類のうちカリウム(K)は水溶性であり、表に示した分離方法の中でこれを回収できる方法は逆浸透膜(RO膜)のみである。前表の得失に示したように、RO膜は海水淡水化や海水からの食塩製造などで多くの実績があり、また、カリウム(K)のほか、窒素(T-N)やリン(T-P)などの他の塩類も精製水にはほとんど含まれないレベルまで同時に回収できる。しかも、分離に必要なエネルギーが浸透圧に比例するので、海水に比べて塩分濃度ははるかに低い污水ではエネルギー消費量も大幅に少なくすむと思われる。

そこで、想定する有効利用システムではRO膜を栄養塩類の最終的な分離回収手段と位置づけ、その欠点を補完する形でシステムを構築することにする。

表3-30 污水処理に使用される分離プロセス(物理学的な方法)の概要と特徴

原理	回収対象	名称	概要	特徴(得失)
比重差	砂分	沈砂池	一般に、ポンプ場のポンプ前段に設け下水流速を緩めて砂等を沈降させる池。	<ul style="list-style-type: none"> 消費エネルギーが少ない。 ポンプの摩耗、処理施設内での砂の堆積を防止できる。 防臭設備が必要である。 使用環境が過酷で腐食しやすい。
	浮遊汚泥・活性汚泥	沈殿池	粒子等を含む排水を重力によって沈殿分離し、除去する設備。	<ul style="list-style-type: none"> 消費エネルギーが少ない。 設備が単純で、故障しづらい。 分離に時間がかかり、広い面積が必要。 分離能が懸濁物の性状に影響されやすい。
粒径差	し渣	スクリーン	通常、流入部に設置し、流入する排水に含まれる粗大浮遊物を除去する装置。	<ul style="list-style-type: none"> ポンプの閉塞を防止できる。 ディスポーザから発生するし渣を効率よく回収できる。 除去対象物に応じて、目幅を選択できる。 防臭設備が必要である。 使用環境が過酷で腐食しやすい。

原理	回収対象	名称	概要	特徴(得失)
	処理水浮遊物	急速ろ過	砂、アンスラサイトなどのろ材で構成されるろ層に比較的高速で水を流し、主としてろ材への付着やろ過作用によって水中から低濃度の浮遊物を分離除去する設備。	<ul style="list-style-type: none"> ・浮遊物濃度を低下できる。 ・生物学的窒素・りん除去法と併用することで、りんの除去が安定化する。 ・消毒前に浮遊物を除去し、消毒の効果を増大させる。 ・ろ層を再生するために「洗浄」が必要になる。
		膜分離法(MBRを除く)	ろ過膜(精密ろ過膜、限外ろ過膜など)を浸漬して、直接ろ過水を得る方法。	<ul style="list-style-type: none"> ・清浄度の高い処理水が得られる。 ・細菌も除去でき、消毒が省略できる。 ・ろ過抵抗が大きく、損失水頭が大きい。 ・膜面の洗浄のためのエネルギー消費が大きい。 ・定期的な薬液洗浄が必要になる。
		活性汚泥膜分離法(MBR)	反応タンクにろ過膜(精密ろ過膜)を浸漬して、活性汚泥混合液から直接ろ過水を得る方法。	<ul style="list-style-type: none"> ・清浄度の高い処理水が得られる。 ・最初沈殿池、最終沈殿池、消毒施設が省略できる。 ・濃縮設備が省略でき、直接脱水できる。 ・必要敷地面積が小さい。 ・流量調整が必要になる。 ・膜面の洗浄のためのエネルギー消費が大きい。 ・定期的な薬液洗浄が必要になる。 ・膜の破損防止用に1mm程度の微細目スクリーンによる前処理が必要になる。
電氣的な性質の差	イオン・塩類	逆浸透膜(RO膜)	RO膜を隔てて濃厚溶液と希薄溶液を配し、濃厚溶液側に浸透圧以上の圧力をかけて、溶媒(水)だけを透過させる装置。	<ul style="list-style-type: none"> ・イオンなど水以外の不純物を分離回収できる。 ・海水淡水化、食塩製造などで大規模な実績がある。 ・連続運転できる。 ・ろ過抵抗が大きく、損失水頭が大きい。 ・膜面の洗浄のためのエネルギー消費が大きい。 ・定期的な薬液洗浄が必要になる。
		溶解性物質吸着法	排水中の主として溶解性物質を固体の吸着材と接触させて、その表面に吸着して除去する方法の総称。	<ul style="list-style-type: none"> ・吸着剤の種類で、対象物質の選択性が調整できる。 ・処理水を通過させるだけで、操作が簡単である。 ・再生が必要で、間欠運転になる。 ・吸着剤が高価であるので再生利用が前提。 ・再生回数に限りがあり、定期的な更新が必要。
		リン酸イオン晶析脱りん法	原水にCaまたはMgを添加してリンをHAPまたはMAPの結晶として種晶の表面に析出させて除去する方法。	<ul style="list-style-type: none"> ・純度の高いリンが回収でき、肥料として利用できる。 ・MAP法ではアンモニアも同時に回収できる。 ・重金属等不純物が少ないリンが回収できる。 ・薬剤の添加が必要になる。

表 3-31 各分離プロセスの有効利用システムへの機能要件適合度

原理	回収対象	名称	分離性能	迅速性	閉塞防止性能	処理の安定性	耐久性	経済性
差比重	砂分	沈砂池	○	○	○	△	△	○
	浮遊物・活性汚泥	沈殿池	○	△	○	△	○	◎
粒径差	し渣	スクリーン	○	○	△	○	○	◎
	処理水浮遊物	急速ろ過	○	○	△	○	◎	○
		膜分離法	○	○	△	△	△	△
活性汚泥	膜分離活性汚泥法(MBR)	◎	◎	△	△	△	△	
電氣的な性質の差	イオン・塩類	逆浸透膜(RO膜)	◎	◎	△	○	△	△
	溶解性物質	吸着法	◎	◎	○	○	△	△
	リン酸イオン	晶析脱りん法	◎	◎	○	○	○	△

- ・分離性能:分離対象物の選択性が高く、処理水への流出が少ないこと。
- ・迅速性:分離対象物を速やかに分離回収できること。
- ・閉塞防止性能:分離装置の閉塞が起こりにくく、閉塞した場合も速やかに回復できること。
- ・処理の安定性:水質や流量の変動に対して、安定して処理できること。
- ・経済性:エネルギー消費量が少ないこと。
- ・耐久性:機械設備や分離膜等は、十分な耐久性を有すること。

RO 膜などの膜分離法に共通する最も大きな課題は、膜の閉塞を防止するための膜面の洗浄に要するエネルギー消費が大きいことであり、分離装置内に膜の閉塞因子を極力導入しないようにすることが前処理の基本要件になる。

RO 膜は、水分子だけが膜を透過し、それ以外の物質は膜の内側に濃縮するので、これらの物質を円滑に排除する必要がある。特に微粒子状物質は、濃度が高くなると凝集して膜面の閉塞を促進する要因になるので、前処理により事前に除去することが望ましい。

微粒子状物質をほぼ完全に除去できる方法として実績のあるのは、膜分離活性汚泥法である。これは、表に示すとおり、反応タンクにろ過膜（精密ろ過膜）を浸漬して、活性汚泥混合液から直接ろ過水を得る方法である。ろ過水中には微生物やウイルスも含まれないため、RO 膜面に生物膜が形成されて閉塞する心配も少ない。しかし、この方法は微粒子物質の分離に膜を使用しているため、膜の閉塞防止対策が必要である。そのため、膜面の洗浄流速の確保や定期的な洗浄のほか、活性汚泥濃度を 1%程度以上に増加し、微粒子物質の粗大化処理が行われている。また、膜面の物理的な保護を目的として、目幅 1mm 程度の微細目スクリーンの設置が推奨されている。

以上をまとめると、有効利用システムの水処理の分離フローは、次表のようになる。

表 3-32 有効利用システムの分離プロセスと機能

順番	分離方法	機能
1	沈砂池(スクリーン)	砂分・し渣を除去し、後段のポンプや設備を保護する。
2	微細目スクリーン	微細な固形物を除去し、ろ過膜(精密ろ過膜)を保護する。
3	膜分離法(MBRを含む。)	微粒子物質を粗大化・除去し、RO 膜の閉塞を防止する。
4	逆浸透膜(RO 膜)	水を分離し、栄養塩類を回収する。

2) 調質プロセス(生物化学的方法)

主な汚水の生物化学的処理法について、資源回収の前処理と位置付けたときの得失を、処理法の概要と併せて表 3-33 に、前掲の有効利用システムの機能要件に対する各処理法の適合度を表 3-34 に示す。

表 3-33 汚水処理に使用される調質プロセス(生物化学的方法)の概要と特徴

原理	区分	名称	概要	特徴(得失)
粒子径の変換	浮遊微生物法	標準活性汚泥法	主に有機物の除去を目的とする最も一般的な活性汚泥法。	<ul style="list-style-type: none"> ・流入 SS の多くを分解せずに回収できる。 ・窒素の除去率が低い。 ・リンの余剰汚泥含有率が低い。 ・負荷変動をある程度吸収できる。
		回分式活性汚泥法	活性汚泥による下水の浄化と、汚泥の沈殿、処理水の放流を同一の槽内で行う処理方法。	<ul style="list-style-type: none"> ・処理フローが自在に変更でき、対応範囲が広い。 ・流入負荷変動を吸収するのが難しい。
		酸素活性汚泥法	空気を送る代わりに、純酸素あるいは高濃度酸素を用いてエアレーションする活性汚泥法。	<ul style="list-style-type: none"> ・高濃度排水を比較的短時間で処理できる。 ・窒素の除去率が低い。 ・リンの余剰汚泥含有率が低い。 ・酸素発生のためにエネルギー消費量が増加する。

原理	区分	名称	概要	特徴(得失)
	薬品添加	その他高負荷活性汚泥法	活性汚泥の初期吸着作用を利用して、有機性汚濁質を短時間で除去回収する方法。	<ul style="list-style-type: none"> 汚水との接触時間(HRT)を短縮できる。 活性汚泥を安定化する必要がある。 余剰汚泥の発生量が多い。 溶解性の栄養塩類は除去できない
		凝集反応□□	凝集剤、凝集助剤を添加してフロックを大きく成長させる設備。	<ul style="list-style-type: none"> 汚濁質の粒径が拡大し、分離し易くなる。 薬剤によっては、溶解性物質も凝集できる。 処理時間が短い。 凝集剤の費用が発生する。
		pH調整□□	排水に薬品を添加して一定のpH領域に調整する設備。	<ul style="list-style-type: none"> 塩類のイオン化状況を調整できる。 調整に要する時間が短い。 pH調整に薬剤が必要になる。
分解・除去	生物膜法	好気性ろ床法	ろ床下部から曝気を行い、ろ材によるSSの捕捉とろ材表面に付着した好気性生物による有機物の分解を行う処理。	<ul style="list-style-type: none"> 流入SSの多くを初沈から回収できる。 余剰汚泥の発生量が少ない。 ろ床を定期的に洗浄する必要がある。 窒素の除去率が低い。 リンの余剰汚泥含有率が低い。 流入負荷変動を吸収するのが難しい。
		接触酸化法	接触ろ材の表面に生物膜を生成させ、曝気して汚水を処理する方法。	<ul style="list-style-type: none"> 流入SSの多くを初沈から回収できる。 余剰汚泥の発生量が少ない。 余剰汚泥の沈降性が悪い。 窒素の除去率が低い。 リンの余剰汚泥含有率が低い。
	浮遊微生物法	長時間エアレーション法	好気槽内の滞留時間を長くし、活性汚泥の酸化分解を促進する活性汚泥法。	<ul style="list-style-type: none"> 余剰汚泥の発生量が少ない。 窒素の多くは硝酸イオンの形で排出される。 活性汚泥が処理水に残りやすい。 多くの酸素を消費し、エネルギー消費が多い。
		高度処理活性汚泥法	酸素条件の異なる反応槽の組合せにより、有機物除去の他、窒素やリンの除去も行う活性汚泥法。	<ul style="list-style-type: none"> 余剰汚泥のリン含率を高くできる。 処理水中の窒素・リン濃度が低い。 窒素は窒素ガス化し、肥料として回収できない。 処理時間が長く、エネルギー消費も多い。
	複合法	担体添加活性汚泥法	微生物が生息できる担体を反応タンクに添加し、活性汚泥濃度を高めて有機物や窒素の除去を促進する活性汚泥法。	<ul style="list-style-type: none"> 反応タンクの微生物濃度を高くできる。 処理時間を短縮できる。 目的に応じて担体の種類を選択できる。 担体の購入費用が発生する。

表 3-34 各調質プロセスの有効利用システムの機能要件適合度

原理	区分	名称	資源保持能	差別化能	経済性	処理の安定性
粒子径の変換	浮遊生物法等	標準活性汚泥法	○	○	○	○
		回分式活性汚泥法	○	○	○	△
		酸素活性汚泥法	○	△	△	○
		その他高負荷活性汚泥法	◎	○	○	△
	薬品添加	凝集反応槽	◎	◎	△	○
		pH調整槽	◎	◎	△	○
分解・除去	生物膜法	好気性ろ床法	○	△	○	△
		接触酸化法	△	△	△	△
	浮遊生物法等	長時間エアレーション法	△	△	△	○
		高度処理活性汚泥法	△	○	△	○
		担体添加活性汚泥法	△	○	△	○

・資源保持能: 原材料の保有エネルギーをなるべく低下させないこと。

・差別化能: 汚濁質の比重や粒径の増加、イオン化の促進など、水から分離し易い性質に変化させること。

- ・経済性: エネルギーや薬剤の消費量が少ないこと。
- ・処理の安定性: 水質や流量の変動に対して、安定して処理できること。

従来の下水処理法を、有効利用システムの資源回収のための調質方法という観点から評価すると、処理レベルが高度になるほど適合度が低くなる傾向になる。すなわち、汚水処理システムでは汚濁物をなるべく分解・除去し、かつ余剰汚泥等の副生物が極力出ない処理法の適合度が高くなるのに対して、有効利用システムでは汚濁物は資源であるため、汚濁物をなるべく分解せずに効率よく分離回収できる方法の適合度が高くなる。

表の適合度を比較すると、既存技術ではその他高負荷活性汚泥法の適合度が最も高くなっている。その他高負荷活性汚泥法とは、酸素活性汚泥法を除く高負荷活性汚泥法であり、代表的な処理法にコンタクトスタビリゼーション法(「バイオソープション法」ともいう。)がある。この処理法は、図3-6のように、活性汚泥と汚水を短時間混合接触させ、汚濁質を活性汚泥に吸着させて分離除去する方法であり、活性汚泥を用いた凝集・吸着反応処理と考えてよい。ただし、活性汚泥の吸着能を回復させるための安定化槽として分離汚泥の再曝気槽を設ける必要がある。そのため、処理に適用しようとする、反応槽の大きさや曝気空気量も削減できず、窒素やリンも除去できないなどの問題点もあり、高度処理化の方向にあった近年の下水処理場では採用事例がほとんどなくなった。日本の設計指針においても、処理法として掲載されたのは1984年版¹¹⁾が最後であった。

しかし、もし活性汚泥の分離方法として、近年開発された膜分離活性汚泥法(MBR)が応用できれば、溶解性有機物を含めた微細な有機物を効率よく回収でき、有機汚濁物質のエネルギー価値の低下を最小限に止めることができる最も有効な方法になると考えられる。

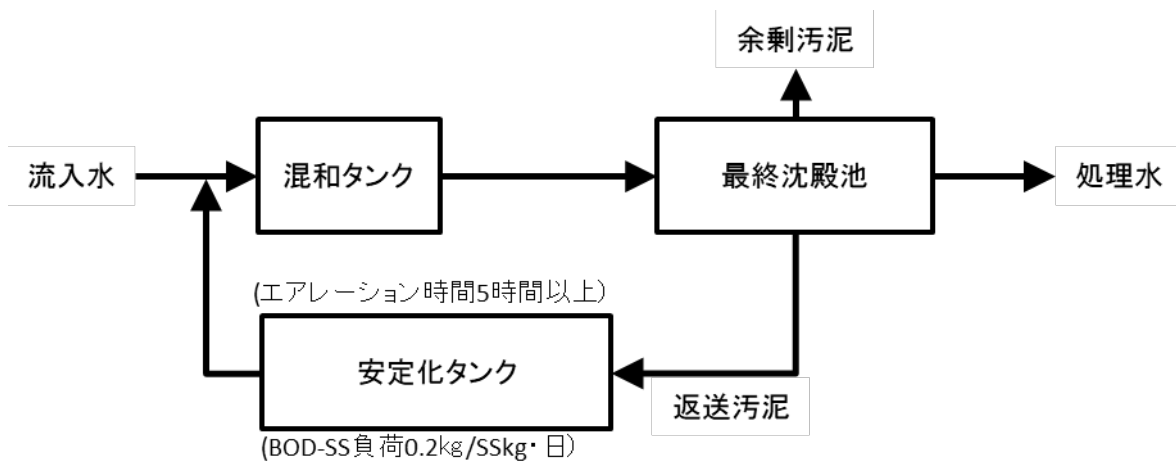


図 3-6 コンタクトスタビリゼーション法の概念図

表 3-35 に膜分離活性汚泥法(MBR)とコンタクトスタビリゼーション法の仕様を比較して示す。MBR の最大の特徴は、沈降分離に依存しないため、MLSS を高く維持できる(8,000~12,000mg/L 程度) ことである。一方、コンタクトスタビリゼーション法では汚水との接触効率を上げるために MLSS をなるべく高く維持することが求められており、安定化タンクを含めて反応タンクと位置付ければ、多くの指標項目で MBR と類似していることが分かる。

日本の下水道事業で、2017 年までに評価が定まっている MBR 法は高度処理を目的とした「循環式硝化

11) 建設省都市局下水道部監修: 下水道施設設計指針と解説-1984 年版-, 社団法人日本下水道協会, p326

脱窒型膜分離活性汚泥法」だけであるが、浄化槽分野ではBOD除去を目的とした膜分離活性汚泥法も多くの実績があり、技術も確立している。したがって、コンタクトスタビリゼーション法へMBRを適用することも十分可能と考えられる。沈殿池の代わりに膜分離を導入した修正コンタクトスタビリゼーション法を適用することにより、高負荷運転を安定して維持できるようになり、高い有機物回収率の実現が可能になると期待される。

表 3-35 膜分離活性汚泥法(MBR)とコンタクトスタビリゼーション法の仕様比較

項目	膜分離活性汚泥法(MBR)※ ¹	コンタクトスタビリゼーション法※ ²
BOD-SS 負荷(kg/SSkg・日)	0.07~0.18※ ³	0.2(安定化タンクを含む)
BOD-容積負荷(kg/m ³ ・日)	0.8~1.4※ ³	0.8~1.4(安定化タンクを含む)
MLSS(mg/L)	8,000~15,000	2,000~8,000
送気量(倍/下水量)	14~23(JS 技術評価)	12 以上
エアレーション時間(時間)	3.0(循環法)	5 以上(安定化タンク)
滞留時間(時間)	6.0(循環法) (EUにおける事例 3~8.5)	5.5~6.0 以上(安定化タンクを含む) (混和タンク:0.5~1.0)
汚泥返送比(%)	—	50~100

※1) ※3 以外は、下水道維持管理指針 実務編 -2014 年版-(日本下水道協会)による。

※2) 下水道施設設計指針と解説-1984 年版-(日本下水道協会)による。

※3) コンタクトスタビリゼーション法の BOD-容積負荷から設定流入水 BOD を逆算(200-350mg/L)して算出。

資源回収を目的とした修正コンタクトスタビリゼーション法の想定プロセスフローを図 3-7 に示す。図のフローでは、余剰汚泥のエネルギー価値をなるべく損なわない観点から、余剰汚泥を混和タンクの出口から引抜くフローとしている。また、好気槽は混和槽での吸着能が回復でき、かつ微生物膜による分離膜のハウリングが抑制できる程度まで活性汚泥が安定化できれば良い。したがって、それぞれの滞留時間は混和槽(嫌気)はコンタクトスタビリゼーション法と同程度の 0.5 時間程度、安定化槽(好気)は MBR と同じ 3 時間程度としたが、実績がないので実証的に確認する必要がある。

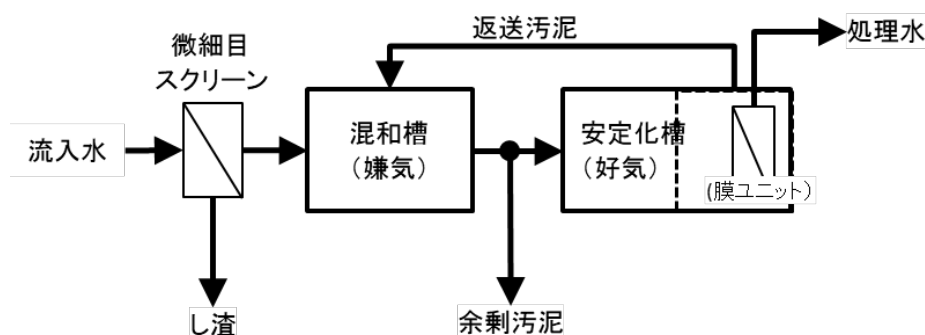


図 3-7 修正コンタクトスタビリゼーション-MBR 法の概念図

(3) 資源生産システム

ここで想定している有効利用システムでは、生活から発生する食品系廃棄物を一括して液体輸送して収集するので、処理水の有効利用はもとより、水以外のすべての廃棄物も原材料として資源生産システムに回される。

水処理(資源回収)システムの回収物を原材料とする資源生産システムの概要と特徴を表 3-36 に示す。なお、表に示すように、汚泥の濃縮や脱水プロセスも原材料の精製技術の一つとして資源生産システムに含めて扱うことにしている。

なお、表に示した特徴(得失)は、下水道施設計画・設計指針(2009年版)に示された処理施設としての特徴を基本とし、資源生産システムの視点から主観的に評価したものであるため、おおよその目安としてみて頂きたい。

表 3-36 資源生産システムの概要と特徴

用途等	原材料	生産物	名称	概要	特徴(得失)
前処理(精製技術)	引抜き汚泥(余剰汚泥)	濃縮汚泥	重力濃縮槽	タンク内に汚泥を滞留させ、自然の重力を利用して沈降濃縮し、回収する装置。	<ul style="list-style-type: none"> エネルギー消費が少ない。 高水温時は汚泥が腐敗しやすい。 有機分が高いほど沈降分離、濃縮性が悪化する。 分離液にSSが流出しやすい。
			浮上濃縮機	汚泥の粒子に微細気泡を付着させて汚泥の水に対する見かけ比重を小さくして、浮上分離させる装置。	<ul style="list-style-type: none"> 重力では濃縮しにくい汚泥を効率的に濃縮できる。 固形物回収率95%以上で濃度4~5%程度に濃縮できる。 高速回転部分がなく、省エネである。 高分子凝集剤を使用する。 補機が多く、複雑である。
			遠心濃縮機	高い遠心力を用いて汚泥と水の固液分離を促進し、濃縮する装置。	<ul style="list-style-type: none"> 重力では濃縮しにくい汚泥を効率的に濃縮できる。 短時間で余剰汚泥濃度を4%程度に濃縮できる。 原則として薬液注入設備が不要である。 消費電力が他の濃縮法に比べて大きい。
			ベルト式ろ過濃縮機	走行するベルト上に凝集汚泥を投入し、重力ろ過濃縮を行う装置。	<ul style="list-style-type: none"> 重力では濃縮しにくい汚泥を効率的に濃縮できる。 固形物回収率95%以上で濃度4~5%程度に濃縮できる。 高速回転部分がなく、省エネである。 24時間連続運転ができる。 汚泥性状により濃縮汚泥濃度が変動する。 高分子凝集剤を使用する。
	濃縮汚泥	脱水汚泥	遠心脱水機	薬品を注入して調質した汚泥に重力加速度の1,500~3,000倍の遠心効果を与え、微粒子を短時間で分離する装置。	<ul style="list-style-type: none"> 補機数が少ないため設置面積も小さい。 大処理量になるほど省スペース化が図れる。 汚泥性状と運転条件により脱水性能が左右される。 性能指標は脱水汚泥含水率・処理量・SS回収率である。 他の脱水機より消費電力が大きくなる。 有機系凝集剤と無機系凝集剤を併用する場合もある。
			圧入式スクリープレス脱水機	凝集汚泥を連続回転する円筒状のスクリーンと円錐状スクリー軸との間に投入し圧搾脱水する装置。	<ul style="list-style-type: none"> 構造が簡単で維持管理は容易である。 脱水機本体がコンパクトであるため設置面積も小さい。 汚泥性状と運転条件により脱水性能が左右される。 性能指標は脱水汚泥含水率・ろ過速度・SS回収率である。 有機系凝集剤と無機系凝集剤を併用する場合もある。

用途等	原材料	生産物	名称	概要	特徴(得失)
			回転加圧脱水機	凝集汚泥を連続回転する円盤フィルタ2枚とスペースの間に投入し圧搾脱水する装置。	<ul style="list-style-type: none"> ・構造が簡単で維持管理は容易である。 ・脱水機本体がコンパクトであるため設置面積も小さい。 ・汚泥性状と運転条件により脱水性能が左右される。 ・性能指標は脱水汚泥含水率・ろ過速度・SS回収率である。 ・有機系凝集剤と無機系凝集剤を併用する場合もある。
			ベルトプレス脱水機	凝集汚泥を連続走行するろ布で重ろ過後、2本のロール間に挟み込み転圧脱水する装置。	<ul style="list-style-type: none"> ・補機数が少なくシンプルで維持管理は容易である。 ・補機数が少ないため設置面積も小さい。 ・汚泥性状と運転条件により脱水性能が左右される。 ・性能指標は脱水汚泥含水率・ろ過速度・SS回収率である。 ・有機系凝集剤と無機系凝集剤を併用する場合もある。
エネルギー生産	濃縮汚泥	消化ガス	メタン発酵(バイオガス化)施設	嫌気性状態に保たれた汚泥消化タンク内で、微生物の働きで有機物を低分子化、液化・ガス化する設備。	<ul style="list-style-type: none"> ・メタンの含有率は60%程度、残りの大半が炭酸ガス。 ・気体であり、取扱い性が良い。 ・反応を促進させるため、加温が必要である。 ・有機物分解時に栄養塩類が溶出する。 ・メタン濃度が低いいため、発熱量が多くない。 ・原料によっては硫化水素やシロキサンが含まれる。
		電力	微生物燃料電池(MFC)	酵素の働きを利用し、食物(糖分)を分解してエネルギーを取り出すという、生体システムを応用した燃料電池。	<ul style="list-style-type: none"> ・有機物から直接発電できる。 ・微生物が利用する前にエネルギーが取り出せる。 ・有機物が持つエネルギーを最大限に利用できる。 ・小型装置が開発段階で、大型開発は未着手である。 ・環境の変化に影響されやすい。
	消化ガス	電力	発電設備	消化ガスにより発電する設備。ガスエンジン、燃料電池、マイクロガスタービン発電、自動車燃料ガスなどへの適用が実用化されている。	<ul style="list-style-type: none"> ・自動車エンジン程度の小型のものもある。 ・ガスエンジン方式では、電力転換率30%程度である。 ・廃熱を温水に利用すれば、熱利用率70%程度になる。 ・消化ガス中の硫化水素を事前に除去する必要がある。 ・ガスエンジン方式では、シロキサン対策が必要。 ・自動車用燃料などには、メタンの高濃度化が必要。
			バイオガス燃料電池	天然ガスなどを水蒸気改質処理して燃料化し、動作温度700~1000℃で発電する固体酸化物形燃料電池(SOFC, Solid Oxide Fuel Cell)。	<ul style="list-style-type: none"> ・発電効率は高く、60%以上を達成している例もある。 ・燃料利用効率を90%程度まで高くできる。 ・燃焼排ガスをガスタービン発電や蒸気発電に利用可能。 ・動作温度が高く、高耐熱性の材料が必要になる。 ・起動・停止にかかる時間が長い。

用途等	原材料	生産物	名称	概要	特徴(得失)
	脱水汚泥	乾燥汚泥	機械乾燥	機械により強制的に熱エネルギーを加えて、汚泥中の水分を蒸発させる設備。	<ul style="list-style-type: none"> ・目的に応じた汚泥の水分調整ができる。 ・燃料として利用できる。 ・汚泥の取り扱い性が向上する。 ・乾燥方式によらず多量のエネルギーを必要とする。 ・脱臭設備が必要になる。 ・自己発熱特性があり、消防法の適用を受ける。
	乾燥汚泥・脱水汚泥	炭化汚泥	炭化設備	下水汚泥を低酸素または無酸素状態で加熱して熱分解させ、炭素を主体とする炭化物を製造する設備。	<ul style="list-style-type: none"> ・製品は無臭で通気性・透水性に富む。 ・りんを含み、植物などに供給しやすい。 ・土壌改良材や肥料にも利用できる。 ・石炭代替燃料としての固形燃料利用が多い。 ・乾燥炭化システムは補助燃料を低減できる。 ・自己発熱特性があり、消防法の適用を受ける。
農業利用	脱水汚泥	乾燥汚泥	天日乾燥	自然エネルギーを利用して、汚泥中の水分を蒸発させる施設。	<ul style="list-style-type: none"> ・自然エネルギーだけで乾燥できる。 ・土壌改良剤として農業利用できる。 ・汚泥の取り扱い性が向上する。 ・乾燥に長時間を要する。 ・天候に左右されやすい。
	脱水汚泥	堆肥	堆肥化施設	微生物による分解・発酵作用を利用して、脱水汚泥中の有機物を安定化・無害化して肥料化する施設。	<ul style="list-style-type: none"> ・肥厚成分が多い。 ・製品が取扱いしやすい。 ・病原菌や寄生虫卵を死滅でき、衛生的である。 ・発酵性の改善等に副資材の添加が必要になる。 ・定期的な切り返しが必要である。 ・微生物を利用するため、処理時間が長い。 ・脱臭設備が必要になる。
	堆肥	農作物	圃場(堆肥利用)施設	堆肥や有機資材を肥料や土壌改良剤として圃場に添加して農作物を栽培する有機農法施設。	<ul style="list-style-type: none"> ・地力が増し、農薬の使用量を低減できる。 ・農薬使用量が少ないので、安全性が高い。 ・有機栽培の野菜は栄養価が高い。 ・面積当たりの収量が少なく、高価である。 ・作物に応じた塩類構成比に調整する必要がある。 ・重金属等を含む場合は、利用できない。
	CO ₂ 膜濃縮液	農作物	植物工場施設	主に液体肥料を用いて、グリーンハウスや室内で野菜等を半自動で生産する施設。	<ul style="list-style-type: none"> ・汚水から直接回収した液にはカリウムが豊富に含まれる。 ・汚泥系の濃縮液には、N,P が豊富に含まれている。 ・栄養塩類が水溶性であり、植物の吸収が速い。 ・液状であるため、濃度調整が容易である。 ・作物に応じた塩類構成比に調整する必要がある。 ・重金属等を含む場合は、精製が必要になる。
	農作物・残渣	畜産物	畜産施設	家畜、家禽を飼育、増殖させて、肉、卵、乳などの畜産食品物を生産したり、皮革、毛などを得る施設。	<ul style="list-style-type: none"> ・農作物残渣を家畜の飼料に利用できる。 ・家畜のふん尿等が圃場の肥料に利用できる。 ・付加価値の高い商品を生産できる。 ・臭気対策が必要になる。
建設資材	脱水汚泥・焼却灰	溶融スラグ	汚泥を 1200 度以上の高温に熱して溶融し、汚泥の灰分をスラグ化する施設。	<ul style="list-style-type: none"> ・焼却灰に比べて減容化、安定化が優れている。 ・資材としての対応範囲が広い。 ・重金属等の溶出が少ない。 ・汚泥の性状により溶融温度が異なる。 ・定期点検が必要であり、稼働率は 80%程度に留まる。 ・ある程度の規模以上でないと採用できない。 ・多量の熱エネルギーが必要になる。 	

用途等	原材料	生産物	名称	概要	特徴(得失)
その他有効利用	温排水等	熱	熱交換設備	焼却炉・溶融炉等の排ガス、あるいは下水が持つ熱エネルギーを利用して、プールの加温や冷暖房に利用する設備。	<ul style="list-style-type: none"> ・廃棄物の持つ熱エネルギーを有効に利用できる。 ・発電の熱利用効率を高くできる(コージェネレーション)。 ・熱密度が低いため、熱交換効率が良い設備が必要である。 ・得られる熱密度も低いため、利用方法が限定される。
	処理水	雑用水	中水道施設	下水等の処理水を地域に供給して、雑用水などとして再利用する施設。	<ul style="list-style-type: none"> ・消毒されており、安全性が高い。 ・RO 膜を利用した場合は、純水並みの水質が確保できる。 ・製造コストが高い。 ・水質の割にイメージが悪い。

資源生産システムの機能要件の適合度を表 3-37 に示す。システムは用途範囲が広いので、用途区分に応じて先の機能要件項目ごとの適合度を検討してみる。

表 3-37 資源生産システムの機能要件適合度

用途等	原材料	生産物	名称	適合度							
				品質	生産効率	省エネルギー	再利用率	付加価値	経済性	連携性	特記事項
前処理(精製技術)	引抜き汚泥(余剰汚泥)	濃縮汚泥	重力濃縮	△	△	◎	×	△	○	△	季節変動大。
			浮上濃縮	○	◎	△	△	○	△	○	
			遠心濃縮	○	○	×	△	○	△	○	耐久性?
			ベルト式ろ過濃縮	◎	○	△	△	○	△	○	
	濃縮汚泥	脱水汚泥	遠心脱水	○	○	△	△	△	△	○	耐久性?
			圧入式スクリュウプレス脱水機	○	○	○	○	△	△	○	
回転加圧脱水機			○	○	○	○	△	△	○		
エネルギー生産	濃縮汚泥	消化ガス	メタン発酵(バイオガス化)施設	○	○	○	△	○	○	○	
		電力	微生物燃料電池(MFC)	△	◎	◎	△	◎	◎	○	未開発
	消化ガス	電力	発電設備	○	○	○	○	◎	○	○	温水利用前提。
			バイオガス燃料電池	○	◎	◎	○	◎	○	○	開発段階
	脱水汚泥	乾燥汚泥	機械乾燥	○	△	△	△	△	△	○	
	脱水汚泥・乾燥汚泥	炭化汚泥	炭化設備	○	△	△	△	△	△	○	
農業利用	脱水汚泥	乾燥汚泥	天日乾燥	△	△	○	○	○	○	○	
	脱水汚泥	堆肥	堆肥化施設	○	△	○	○	○	○	○	
	堆肥	農作物	圃場(堆肥利用)施設	○	○	○	○	◎	○	○	有機農法
	RO 膜濃縮液	農作物	植物工場施設	○	◎	△	○	◎	○	○	未実証
	農作物・残渣	畜産物	畜産施設	○	○	○	○	◎	○	○	有機農法

用途等	原材料	生産物	名称	適合度							
				品質	生産効率	省エネ率	再利用率	付加価値	経済性	連携性	特記事項
材建設資	脱水汚泥・焼却灰	溶融スラグ	汚泥溶融施設	△	○	△	△	△	△	△	
他その	温排水等	熱	熱交換設備	○	○	○	○	△	○	○	
	処理水	雑用水	中水道施設	○	○	○	○	△	○	○	

- ・品質:不純物が少なく、生産物の品質が安定しており、質も高いこと。
- ・生産効率:原材料の製品化割合が高く、かつ製造時間が短いこと。
- ・省エネ率:エネルギー消費がなるべく少ないこと。
- ・再利用率:副生成物の再利用率が高いこと。
- ・付加価値:生産物の付加価値が高いこと。
- ・経済性:製造コストが商品価値に見合うこと。
- ・連携性:他の資源生産プロセスとの組合せが可能であること。

1) 前処理(精製)プロセス

下水汚泥の濃縮・脱水プロセスは、生産システムの中の前処理(精製)プロセスとして位置付けた。前処理プロセスは後続の基幹プロセスに供給する原材料の調質プロセスであり、機能としては高純度で安定した品質のものを定量的に供給できることが求められる。

前処理(精製)の対象となる原材料は、水処理から発生する引抜き汚泥(余剰汚泥)であり、固形物の品質は流入水質に左右されるので、各プロセスの性能としては原材料の水分調整能力の安定性が重要になる。

濃縮プロセスのうち重力濃縮は、他のプロセスに比べて圧倒的に省エネルギーであるが、品質が安定せず生産効率も悪いので生産システムには採用できない。有力なのは、任意の含水率の濃縮汚泥を安定して生産でき、エネルギー消費量も比較的少ない浮上濃縮あるいはベルト式ろ過濃縮である。

濃縮汚泥を原料とする脱水プロセスでは、いずれのプロセスも品質面では優劣がない。生産効率や省エネ率で評価すると、設備に高速回転部分がなく省エネで耐久性が高い圧入式スクリーンプレス脱水機、回転加圧脱水機、あるいはベルトプレス脱水機などが適していると思われる。

なお、これらのプロセスを含めた機械式濃縮・脱水プロセスはいずれも凝集剤を使用するが、凝集剤の種類等は後続のプロセスへの影響も勘案して選定する必要がある。

2) エネルギー生産プロセス

食品系廃棄物を用いて生産が可能なエネルギーには燃料と電力があり、燃料には消化ガス、乾燥汚泥、炭化汚泥などがある。このうち電力には、消化ガスを用いるガス発電の他、開発段階ではあるが濃縮汚泥をそのまま用いる微生物燃料電池が知られている。微生物燃料電池(Microbial fuel cell)は、バイオ燃料電池とも呼ばれMFCと略される。

エネルギー生産は、流入汚水から回収される有機物が原材料の出発点であるから、生産効率の観点からは有機物の保有エネルギーを如何に効率的に転換利用できるかが重要である。例えば、消化ガスを原料にすることは、消化ガスの生成過程で微生物によって多くのエネルギーが消費されてしまうことになり、利用できるエネルギーが少なくなるので得策ではない。この観点から見れば乾燥汚泥が最も保有エネルギーが高いが、製造コストが高く燃料としての用途も限られているので現実的でない。

また、燃料としてのエネルギー生産は、生産物を商品として外部に販売することが前提であり、他の燃料との競合を考えると、品質面・コスト面ともに大きな壁があるといえる。

したがって、エネルギー生産はシステム内利用を前提とし、利用価値の高い電力生産を軸にして、電力に展開できないエネルギーを熱として利用すること(コージェネレーション方式)を想定する。

電力生産プロセスとしては、濃縮汚泥から直接電力を生産できる微生物燃料電池(MFC)が原理的にも最も有効と考えられるが、開発途上であり、現時点では実現性に不安が残る。早期の実用化が期待されるが、当面は技術的に確立しているメタン発酵-消化ガス発電方式を選定することにする。

各工程には次のような条件が求められる。

i) メタン発酵(バイオガス化)施設

- 発酵性能：固液分離装置にもよるが、ディスパーザで裁断された食品残渣が流入し、通常の下水より高濃度の原料が得られるので、高濃度メタン発酵に適した装置であること。
- 発生量の安定性：コージェネレーション方式の発電を行うため、発電設備を連続運転できるバイオガス発生量を安定して確保できること。
- 貯留能力：発電設備が休止した時に、一時的にバイオガスを貯留できる貯留タンクを有すること。

ii) 発電施設

- 持続性：例えば炭酸ガスや微量のシロキサンを含むバイオガスを用いて、継続的に発電ができること。
- 排熱排ガス利用：コージェネレーション方式であり、発電のほか温水も利用できること。また、発電時の排ガスが炭酸ガス源として、植物栽培に供給できる構造であること。
- 適用範囲：発電能力は、中小規模の有効利用システムにも適用できる装置であること。

3) 農業利用プロセス

農業利用の候補プロセスには、汚泥固形物を有機肥料化して販売する方法と、製造した有機肥料を自家消費して農作物を生産する方法、汚水から直接回収した液体肥料を用いて農作物を生産する方法、農作物またはその残渣を飼料として家畜を生産する方法などが考えられる。

肥料として販売する方法は、市場性のある品質を安定的に確保することが必要になり、経済的に課題が残ると考えられる。ここでは、農作物生産を農業利用プロセスの中核に位置付け、付加価値をより高くすることを目指すことにする。

農作物生産プロセスに用いることができる原材料にはRO膜濃縮液と脱水汚泥があるので、それぞれの特性を生かした2種類の生産プロセスを想定する。

RO膜濃縮液を原料とする場合、液体肥料としてそのまま用いることができる水耕栽培などの植物工場施設が最適と考えられる。ただし、作物によって最適な肥料成分組成や濃度に違いがあるので、RO膜濃縮液組成や作物の市場性、生産効率などを総合的に考えて、生産する作物の種類や量を検討する必要がある。また、液体肥料の供給方法についても、水耕栽培の他、滴下方式や散水方式、噴霧方式などがあり、作物の種類や肥料の調質・管理方法の違いを勘案して、栽培方法の詳細を検討する必要がある。

脱水汚泥の場合は、汚泥に含まれる有機物を熟成・安定化(堆肥化)してあることが前提なので、一旦エネルギー生産に利用した後の汚泥を再利用することが合理的である。エネルギー生産に利用した後の汚泥は有機物のほとんどが既に安定化されており、脱水-天日乾燥程度の前処理(堆肥化施設)により肥料として十分利用できると考えられる。堆肥のような固形肥料の場合、液体肥料のような即効性は期待できないので、温室栽培を含めた通常の圃場施設を用いた作物栽培が適当と考えられる。ただし、圃場の

場合、堆肥の成分構成の他、圃場条件や季節によって最適な栽培作物や施肥期間が異なるので、休止期間の堆肥貯留ヤードを設置する必要がある。また、堆肥中の栄養塩類をそのまま肥効成分として評価できない場合もあるので、留意が必要である。

作物を生産する場合、必ず商品化できない残渣が発生する。一部は自家消費したり、有機肥料として圃場に残されたりするが、それ以上に発生する農作物残渣の再利用方法として畜産利用が考えられる。しかし、飼育する家畜の種類にもよるが、農作物残渣だけを飼料として家畜を飼育することは品質的にも課題があり、補完的に飼料作物の栽培を圃場栽培のメニューに加えることも考えられる。なお、畜産廃棄物も当然リサイクルの対象になるから、その再利用を含めて有効利用システムを構築する必要がある。

各工程に求められる具体的な条件には、次のような事項が考えられる。

i) 堆肥化施設

- 対応範囲：嫌気性消化－脱水汚泥を効率的に堆肥化できること。
- 貯蔵能力：堆肥の貯蔵施設を有すること。
- 安定性：製造した堆肥は比較的長期間貯蔵できる品質であること。

ii) 圃場(堆肥利用)施設

- 独立性：システムで生産された堆肥で栽培が可能であること。
- 施用期間：年間を通じてなるべく長期間、堆肥を施用できること。

iii) 植物工場施設

- 品質：商品価値の高い野菜類等を栽培できること。
- 収率：多くの作物を効率的に生産できること。
- 肥料管理：液体肥料を利用するなど、栽培が自動化できること。
- 有効利用性：発電時に発生する温水および炭酸ガスを利用できること。
- 独立性：システムで生産された液体肥料で栽培が可能であること。

iv) 畜産施設

- 独立性：システムで生産された飼料で飼育が可能であること。
- 再利用性：畜産廃棄物を全て再利用できるシステムであること。
- 品質：商品価値の高い家畜を生産できること。

4) 建設資材製造プロセス

食品系廃棄物の場合、建築資材としての利用は他への利用価値がない無機物の最終処分的な利用方法と考えられるので、この有効利用システムでは選定の対象としない。有害物質等を含み、その除去が困難な汚泥の場合など、ここで想定する有効利用システムの構築が不可能な場合のオプションとして位置付けておくのが適切と考えられる。

5) その他有効利用プロセス

その他の有効利用としては、温排水等を利用した熱交換設備と処理水を再利用する水道施設などがある。温排水の利用先としては消化槽の加温、植物工場への熱供給などが考えられる。一方、R0 処理水は

上水基準も満足しているため、処理水の利用先としては農業用水利用のほか上水利用などが考えられる。何れにしても需要と経済性を勘案して採否を検討すべき項目であり、これもオプションとして位置付けておくのが適当と考えられる。

(4) 選定プロセス技術

以上の検討で選定されたプロセス技術を表 3-38 にまとめる。一般的な污水处理場との最も大きな違いは、汚水の生物処理法として汚濁質の性状を極力変化させない「修正コンタクトスタビリゼーション-MBR 法」を採用し、栄養塩類を後段の逆浸透膜 (RO 膜) で一括して回収する点である。

表 3-38 選定プロセス一覧

プロセス区分		対象物	選定プロセス
前処理・収集システム	前処理プロセス (廃棄物排除技術)	し尿	水洗式トイレ(希釈無処理方式)
		固形廃棄物(生ごみ)	ディスプレイ
		雑排水	ろ過処理
	収集プロセス	液状廃棄物	小規模下水道(自然流下)
		固形廃棄物(生ごみ以外)	(分別収集)
水処理(資源回収)システム	分離プロセス (物理学的な方法)	砂分・し渣	沈砂池(スクリーン)
		微細な固形物	微細目スクリーン
		栄養塩類	逆浸透膜(RO 膜)
	調質プロセス (生物化学的方法)	微粒子物質・溶解性物質	コンタクトスタビリゼーション-MBR 法
資源生産システム	前処理プロセス (精製技術)	引抜き汚泥(余剰汚泥)	浮上濃縮/ベルト式ろ過濃縮
		濃縮汚泥	圧入式スクリーブレス脱水機/回転加圧脱水機/ベルトプレス脱水機
	エネルギー生産プロセス	濃縮汚泥/作物残渣/畜産廃棄物	メタン発酵(バイオガス化)施設
		消化ガス	発電施設(コージェネレーション方式)
		(濃縮汚泥)	微生物燃料電池(MFC)
	農業利用プロセス	脱水汚泥/作物残渣	堆肥化施設
		堆肥	圃場(堆肥利用)施設
		RO 膜濃縮液/発電排ガス/温排水	植物工場施設
		農作物残渣	畜産施設
	その他有効利用プロセス	処理水	中水道施設
温排水		熱交換設備	

3-4. 基本フローの構築

以上が、有効利用システムの全体像であり、イメージを図3-8に示す。なお、図は人工材料系廃棄物を可燃物として別途収集することを前提にしているので、この焼却施設は含まれていない。この施設も併設する場合は、さらに発電・温熱回収量の増加が期待できる。

図では、まず固液分離して固形廃棄物を回収後、残った液状廃棄物は高負荷型の活性汚泥処理により、溶解性有機物を微生物体に変換して汚泥として回収し、両方の固形物を合わせて発酵してエネルギー生産することを基本にしている。

バイオガス化等エネルギー回収後に得られる残存物には未分解有機物と窒素・リンなどの塩類が高濃度に含まれるが、固形物は脱水して堆肥化し、残りの脱水ろ液はRO膜により栄養塩類を回収し、汚水のRO膜濃縮液と共に液体肥料の原料として利用することを想定している。なお、脱水ろ液に含まれる栄養塩類は、汚水に比べて濃度が高いほか、汚水に多く含まれるカリウムの含有濃度が低く、組成も異なると考えられる。そこで、汚水とは別のプロセスで個別に回収し、液体肥料として用いる時に混合するプロセスとするのが合理的である。同様の理由で、畜産施設からの発生が想定される家畜ふん尿についても、し渣分離後のし尿を単独でRO膜分離を行い、栄養塩類を回収することを想定する。

回収固形物からのエネルギー回収は、このフローではバイオガスを用いたコージェネレーション方式の発電を想定しているが、前述のとおり、開発が進めば濃縮汚泥を用いた微生物燃料電池(MFC)に置換えることを前提とする。この場合、農作物残渣も併せて原材料にするから、前処理・調質設備を原料の性状に応じた最適な方法に変更することも想定される。

なお、プロセス技術の選定では詳述しなかったが、植物栽培の場合、空気中の二酸化炭素濃度を高くすることにより光合成が促進されることが報告されている。エネルギー生産に付随して発生する二酸化炭素を植物工場に供給することにより、地球温暖化ガスの削減と併せて作物の成長促進を図ることとする。

以上のフローが実用化できれば、食品系廃棄物を含めた生活系廃棄物の大半を再利用・再生産することが可能になり、排気ガスを含めて廃棄物をほぼゼロにすることが可能になると考えられる。

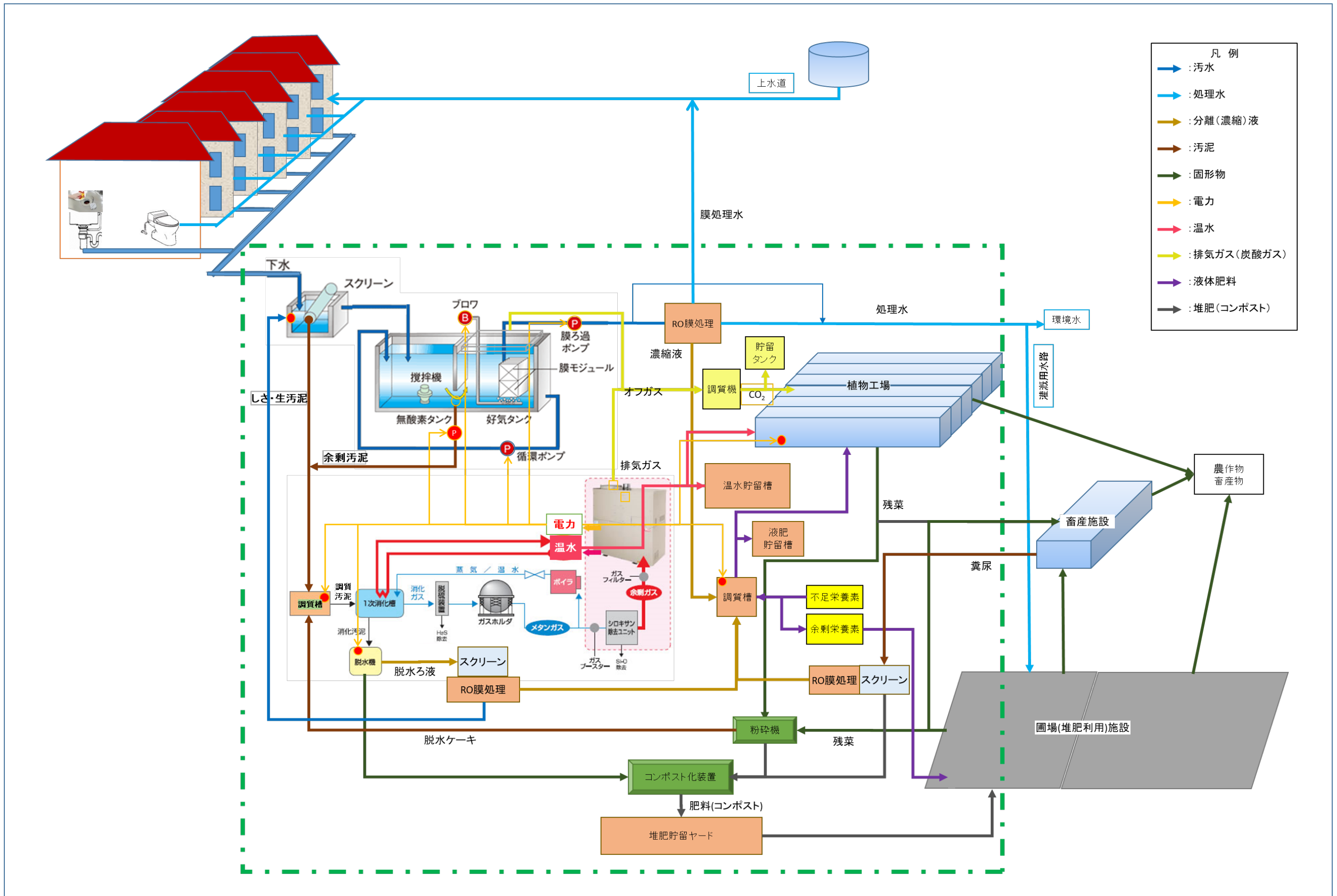


図 3-8 有効利用システムのイメージ

4. 有効利用システムの妥当性の検証

4-1. 物質収支の検討

廃棄物の発生をゼロとするシステムを構築する上で最も重要になるのは、各プロセス相互の物質収支が合っていることである。今回想定した有効利用システムでは、システム全体を循環している栄養塩類の物質収支をバランスさせることが必要になる。

栄養塩類の物質収支を考えると、このシステムの栄養塩類の流出口は農産物と畜産物のみであるから、最終的には流入汚水の栄養塩類含有量と農畜産物の含有量が等しくならなければならない、農畜産物の構成と生産量は流入栄養塩量に制約されることになる。

(1) 物質収支の算出条件の検討

物質収支の算定に当たっては、システムに流入する物質と物質ごとの各プロセスの分離性能を設定する必要がある。以下に各プロセスの算出条件を整理する。

1) 流入物質

有効利用システムに流入する物質は、前処理・収集システムを介して集められた物質であり、液状廃棄物と生ごみ以外の固形廃棄物に大別できる。“3-1. 食品系廃棄物の発生源別の特徴”で設定した各物質の発生量を基にした流入物質の算出条件を表4-1に、算出結果を表4-2に示す。

表 4-1 有効利用システムの流入物質の算出条件

プロセス区分	対象物	収支算出条件
前処理プロセス (廃棄物排除技術)	し尿	トイレ洗浄水を除く。溶解成分＝尿含有量：T-N＝89.3%、T-N以外＝88.8%
	雑排水(トイレ洗浄水含む)	溶解性成分比：K＝100%、その他＝上水含有量
	固形廃棄物(生ごみ)	溶解性成分＝0%、生ごみ含水率＝62%
収集プロセス	液状廃棄物	前処理設備排出物の合計
	固形廃棄物(生ごみ以外)	全量 SS(T-S)とし、厨芥(生ごみ)比率＝35%より逆算。栄養塩類＝0

表 4-2 有効利用システムの流入物質(千人1日当たり)の算出結果

プロセス区分	対象物	全体							溶解性成分				
		総量 t(m ³)	SS(TS)	T-N	T-P	K	Ca	Mg	T-N	T-P	K	Ca	Mg
(食料供給総量)		1.3	550	12.9	1.7	3.8	4.18	1.23	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00
前処理プロセス	し尿	1.3	15	9.2	1.0	0.9	0.12	0.06	8.2	0.9	0.8	0.11	0.05
	雑排水	308.5	40	2.1	0.5	2.4	4.01	1.11	0.0	0.0	2.4	3.65	0.77
	固形廃棄物(生ごみ)	0.21	80	1.6	0.2	0.5	0.05	0.06	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00
収集プロセス	液状廃棄物	310	135	12.9	1.7	3.8	4.18	1.23	8.2	0.9	3.2	3.76	0.82
	固形廃棄物(生ごみ以外)	0.6	0.6	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00

なお、算出条件のうち栄養塩類の溶解性成分量に関しては、前掲“3-1. 食品系廃棄物の発生源別の特徴”では明確な推定はしていないが、推定根拠とした発生源を勘案して、収支算出条件に示したように設定した。

例えば、雑排水に含まれる固形分の大半はトイレ排水起因の紙類で、その他に風呂場排水起因の毛髪、洗濯排水起因の土粒子などが若干含まれる程度と考えられる。そこで、毛髪の量が無視できるとすれば、固形分には栄養塩類がほとんど含まれないので、雑排水中の栄養塩類は全て溶解性成分と仮定した。

なお、算出結果には参考値として、食料供給総量(上水起源の栄養塩類を除く)と、別途に回収される生ごみ以外の固形物廃棄物量を併せて示した。表のうち、今回の物質収支で計算対象とするのは汚水で移送される廃棄物であり、前述のとおり、流入汚水にはし尿と雑排水のほか、ディスポーザを介して生ごみの全量が含まれることを想定している。

2) 主要プロセスの性能設定

有効利用システムの各プロセスのうち、排出形態が複数に分かれる水処理(資源回収)システム以降の性能仕様を設定する。なお、設定した各プロセス仕様に基づいて計算した物質収支を併せて図示する。

i) 沈砂池・微細目スクリーン

設定した性能仕様を表4-3に、流入水量を100(m³/日)とした時の主な物質のプロセス周りの収支を図4-1に示す。

表4-3 沈砂池・微細目スクリーンの主な性能仕様^{※1}

プロセス名		沈砂池		微細目スクリーン		
		指針値 ^{※1}	今回設定値	指針値	今回設定値	
主な仕様	水面積負荷(m ³ /(m ² ・日))	1800(汚水)	1800	-	-	
	平均流速:(m/秒)	0.30	0.3	-	-	
	滞留時間(秒)	30~60	30	-	-	
	スクリーン目幅(mm)	15~25	20	1.0	1.0	
設定値	発生量(L/100 m ³ -下水)	砂分	0.05~5(分流)	0.5	-	-
		スクリーンかす	0.05~5(分流)	0	-	-
	除去率(%)	砂分(比重:2.65,粒径:0.2mm以上)	-	100	-	-
		ディスポーザ固形廃棄物	-	0	-	100(水分90%)
		し尿や雑排水中のし渣	-	0	-	0
	溶解性成分	-	0	-	0	

※1) 下水道施設計画・設計指針と解説 前編 2009年版,p354~, ※2) 同 後編,p282~

沈砂池は、流入する土砂成分の量は設定していないので除去率をゼロとし、計算対象の流入物質は除去されず、そのまま流下するとした。

微細目スクリーンは、後段にMBRを設置するため、その仕様に従い目幅1mmのスクリーンを設置するものとする。この目幅ではし尿や雑排水中のし渣の一部も捕捉されると思われるが、計算上はディスポーザ処理された生ごみのみがスクリーンで全量捕捉・回収されると仮定した。なお、表3-19 食品系廃棄物の発生量原単位推定結果一覧より、生ごみの含水率は62%と設定されているが、回収物は湿潤状態

にあるので、付着水を含めて含水率を90%とし、付着水には流入水と同じ濃度の溶解性成分が含まれると仮定した。

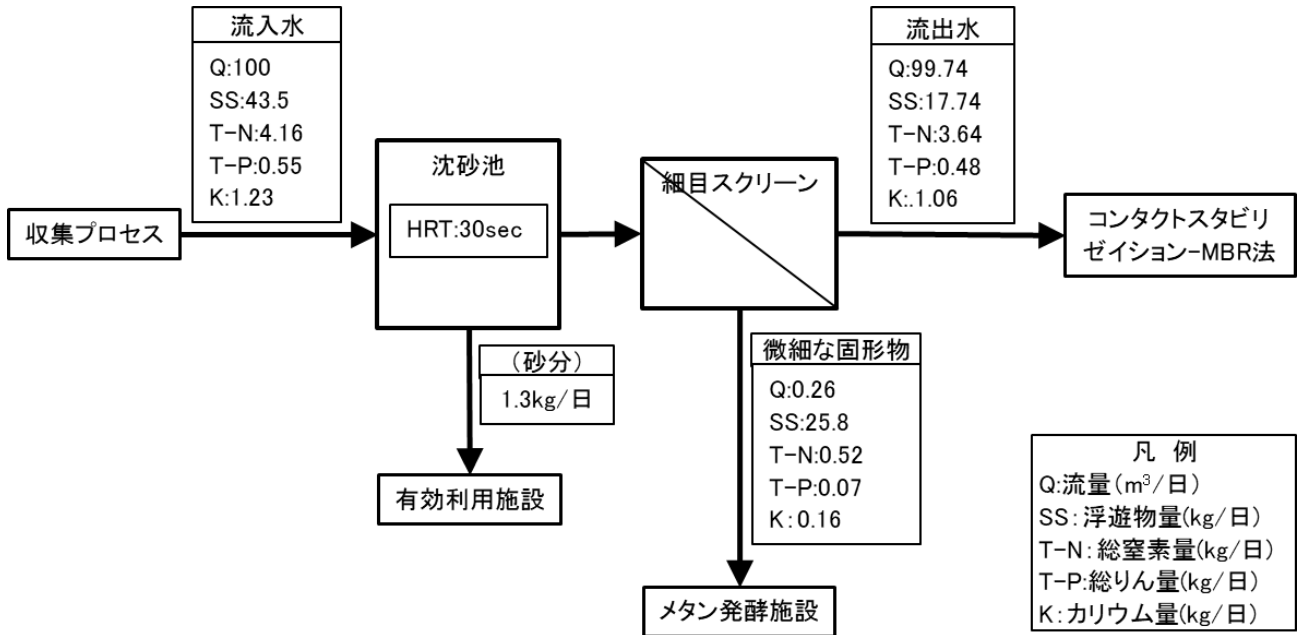


図 4-1 沈砂池・微細目スクリーンの主な物質収支

ii) 修正コンタクトスタビリゼーション-MBR 法

膜分離活性汚泥法(MBR) とコンタクトスタビリゼーション法の一般的な仕様と併せて、設定した修正コンタクトスタビリゼーション-MBR 法の性能仕様を表 4-4 に示す。

表 4-4 コンタクトスタビリゼーション-MBR 法の性能仕様と今回設定値

項目	設定値	参考	
BOD-SS 負荷(kg/SSkg・日)	0.13	計算値(MBR ^{※1} :0.07~0.18、CSP ^{※2} :0.2)	
BOD-容積負荷(kg/m ³ ・日)	1.4	計算値(MBR=CSP:0.8~1.4)	
MBR 槽 MLSS(mg/L)	15,000	MBR: 8,000~15,000、CSP: 2,000~8,000	
送気量(倍/下水量)	14	MBR: 14~23、CSP: 12 以上	
滞留時間(hr)	嫌気槽	0.5	MBR: 3.0、CSP: 0.5~1.0(混和タンク)
	好気槽	3.0	MBR: 3.0、CSP: 5 以上
	計	3.5	MBR: 3~8.5、CSP: 5.5~6.0 以上
汚泥返送比(%)	100	MBR: 50~200、CSP: 50~100	
余剰汚泥発生率(g/g-流入 SS)	1.0	汚泥処理設計概算値	
MBR-SS 除去率(%)	100	—	
余剰汚泥 T-N 含有率(%)	4.0	タンパク質含有量 25%	
余剰汚泥 T-P 含有率(%)	1.0	一般的な余剰汚泥 T-P 含有率(%): 1~2	
流入濃度(mg/L)	SS	178	家庭污水設定値(SS/T-N=4.9)
	BOD	200	家庭污水設定値(BOD/T-N=5.5)
	T-N	36.5	設定値(T-N=11.3kg/千人/日=36.5mg/L)
	T-P	4.9	設定値(T-P=1.5kg/千人/日=4.9mg/L)

※1) MBR(膜分離活性汚泥法): 下水道維持管理指針 実務編 -2014 年版-(日本下水道協会)

※2) CSP(コンタクトスタビリゼーション法): 建設省都市局下水道部監修: 下水道施設設計指針と解説-1984 年版 -、社団法人日本下水道協会, p326

修正コンタクトスタビリゼーション-MBR 法は、前掲のとおり資源回収のために新たに設定した処理法であり、稼働実績はない。そこで、先の表 3-35 に示した膜分離活性汚泥法 (MBR) とコンタクトスタビリゼーション法の一般的な仕様を参考にして、妥当と思われる性能値を設定することにした。

主な設定値は、MBR 槽 MLSS 15,000mg/L、滞留時間：嫌気槽 0.5hr/好気槽 3.0hr(計 3.5hr)、汚泥返送比 100%などである。なお、資源の回収率を高めるため、両者の既存設計値の許容範囲内でより高負荷運転になるように滞留時間を設定した。

流入水量を 100m³/日としたときの水量、SS、T-N、T-P の収支を図 4-2 に示す。なお、図の SS、T-N、T-P、K の単位は kg/日であり、MLSS 中の含有率は、T-N=4%、T-P=1%、K=流入固形物中の濃度とし、MBR の SS 除去率を 100%として収支を計算した。

また、処理フローは、好気槽とは別に膜ユニットを設置する膜分離槽を設けることとし、収支計算では膜分離槽の滞留時間を無視することにした。この場合、MLSS を 1.5%に設定すると、返送率 100%では返送汚泥濃度は約 3%になる。また、嫌気槽と好気槽に保持されている MLSS は 220kg 程度になり、SRT は 12 日程度になる。活性汚泥の処理水質は理論的に SRT の影響を受けることが知られているが、この程度の SRT が確保できれば処理も十分進行し、さらに膜分離装置の導入でさらに良好な処理水質が確保できると推測される。

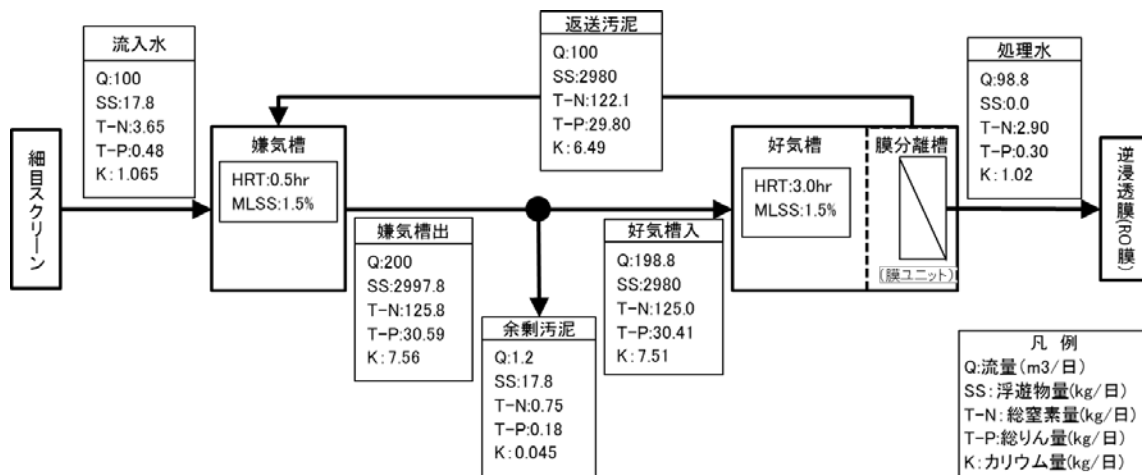


図 4-2 修正コンタクトスタビリゼーション-MBR 法周りの物質収支

iii) 逆浸透膜 (RO 膜)

逆浸透膜 (RO 膜) の用途別の主な仕様を表 3-43 に示すが、RO 膜の仕様は用途によって様々である。最も異なるのは原水に対する精製水の抽出率であり、例えば海水淡水化や水道水の精製では精製水：濃縮液水が 1 : 0.67~1.5、1 : 0.5~4 と、高性能な RO 膜でも精製水より濃縮水の割合が多い場合があり、塩類濃度が高い場合や除去 (阻止) 率を高めようとする場合は精製水の抽出率が低下する。

今回の RO 膜導入の目的は、栄養塩類の回収に主眼を置いており、精製水の水質に関しては最低限の基準が守れば良いと想定している。したがって、処理水質からみれば、表の中では下廃水再生水程度の除去 (阻止) 率で十分であり、回収した栄養塩類の利用しやすさを考えれば、なるべく濃縮倍率が高いほうが有利である。そこで、表に示した仕様のうち、下廃水再生水の pH 調整 2 段 RO 膜処理 (精製水回

収率 97%)を基本フローとし、右欄に示した設定値を用いて物質収支を計算することにする。

表 4-5 RO 膜の用途別の性能仕様と今回設定値

用途区分		海水淡水化 ^{※2,3,4}	水道水の精製 ^{※5,6}	下廃水再生水 ^{※3,7}	今回設定値
入口圧力(Mpa)		5.5~6.5	0.4~1.2	-	-
精製水回収率(%)		40~60	25~67	80(単段)~97(pH調整 2 段)	80×2 段
濃縮液の濃縮倍率		1.7~2.5	1.3~3.0	5~33	25
流入	イオン量(μS/cm) ^{※1}	50,000	100~200	(70) ^{※8}	-
	塩分濃度(mg/L)	35,000	-	-	-
処理水	イオン量(μS/cm)	150~300	3~9	-	-
	塩分濃度(mg/L)	80~150	-	-	-
濃縮液	イオン量(μS/cm)	85,000~12,500	130~600	-	-
	塩分濃度(mg/L)	60,000~88,000	-	-	-
除去 (阻止率 (単段))	イオン(%)	99.4~99.7	97~98	-	-
	全溶解性固形物 TDS(%)	-	98.6	>97	97(=T-P)
	塩化ナトリウム(%)	99.8	98	>95	95(=K)
	アンモニア(%)	-	-	>90	90(=T-N)
	硝酸イオン(%)	-	95.9	>80	-

※1) 水温 25°Cの導電率

※2) 食用塩公正取引協議会 用語解説; <http://www.salt-fair.jp/term/>

※3) 岩堀博; 逆浸透膜の世界市場展開と技術開発の歩みおよび都市域水循環圏での新規水資源開発, <http://www.rite.or.jp/Japanese/lab0/kagaku/111104sympo/pdf/No6.pdf>

※4) 日覺昭廣; 水処理事業の拡大戦略, http://www.toray.co.jp/ir/pdf/lib/lib_a270.pdf

※5) 中島博志; 地下水 RO(逆浸透)膜処理水と腐食, 腐食センターニュース No. 057, <http://www.corrosion-center.jp/pdf/news/No.057/No.057.pdf>

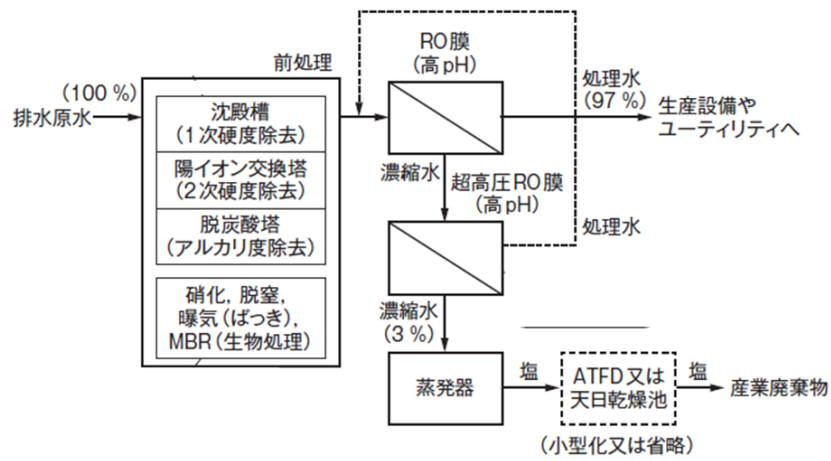
※6) メルクミリポア; 逆浸透膜(RO), <https://www.merckmillipore.com/JP/ja/lw/learning/water-techniques/ro/akib.qB.gCsAAAFI6KgXcz52.nav>

※7) 古藤慶彦外; 排水を最大限再利用し液体廃棄物を排出しない ZLD システム 図 2(部分) https://www.toshiba.co.jp/tech/review/2016/04/71_04pdf/b08.pdf

※8) バイオマス DB/4. 人間の居住空間/農業集落排水原水・処理水

pH 調整 2 段 RO 膜処理法のフロー例を図 4-3 に示す。この処理フロー例は、古藤慶彦外が「排水を最大限再利用し液体廃棄物を排出しない ZLD システム」と題して紹介している東芝グループのソリューションの処理フローの一部である。なお、このフローでは、RO 膜から排出された濃縮水(全体の 3%)は蒸発乾固して産業廃棄物として処分することになっている。これは、原水として工場排水を想定しており、重金属等の有害物質を含む可能性がある濃縮水を排出しないフローとしているためである。

今回のフローでは、排水中に有害物質は含まれず、RO 膜で回収される濃縮水は液体肥料として農業利用するので蒸発乾固は不要である。また、下水処理水の硬度やアルカリ度も 1 段目の膜のハウリングを助長するほど高くないと考えられるので、前処理についても 1 段目の pH 調整は省略し、前掲の修正コンタクトスタビリゼーション-MBR 法の処理水をそのまま 1 段目に導入する通常の RO 膜処理とし、2 段目をこのシステムに準拠した高 pH の超高压 RO 膜とするフローにした。



出典：古藤慶彦外：排水を最大限再利用し液体廃棄物を排出しないZLDシステム 図2(部分)
https://www.toshiba.co.jp/tech/review/2016/04/71_04pdf/b08.pdf

図 4-3 pH調整 2 段 RO 膜処理法のフロー例

想定する RO 膜プロセスの処理フローと物質収支を図 4-4 に示す。

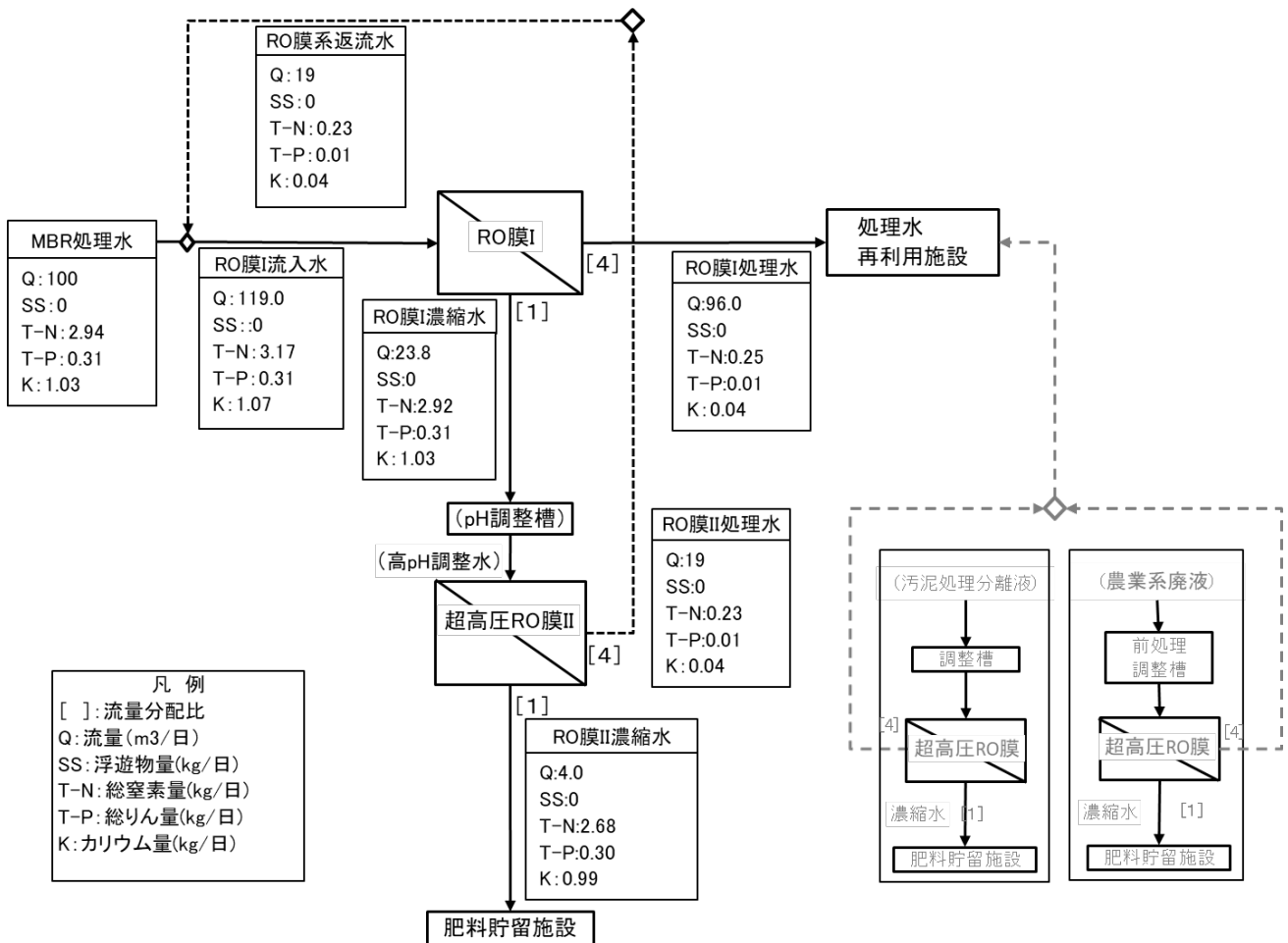


図 4-4 想定する RO 膜プロセスの処理フローと物質収支

なお、本有効利用システムでは、流入水その他、汚泥処理分離液と家畜し尿からも個別に液体肥料を回収することになっている。ただし、汚泥処理分離液および畜産し尿由来の排水は、下水処理水より塩類濃度が大幅に高いと考えられるので、図に示すように、前処理（SS 除去）後の排水を直接高 pH の超高压 RO 膜プロセスに導入するフローを適用することにした。また、処理フローの収支は、汚泥処理分離液と家畜し尿の RO 膜処理水の返流量が不明なため、この量を除いて計算した。

全体の収支を計算する時には、これらを加味して再計算することにするが、RO 膜での各物質の分配比は汚泥処理分離液と家畜し尿の RO 膜処理を含めて、図の処理フローと同一とする。

iv) 浮上濃縮/ベルト式ろ過濃縮

前掲のプロセス技術の選定で採用した浮上濃縮とベルト式ろ過濃縮の一般的な仕様を表 4-6 に、引抜き汚泥の投入量を 100m³/日とした時の濃縮プロセス周りの物質収支を図 4-5 に示す。

表 4-6 浮上濃縮とベルト式ろ過濃縮の一般的な性能仕様と今回設定値

機種	常圧浮上濃縮 ^{※1}	ベルト式ろ過機 ^{※1}	今回設定値
処理能力	25ds-kg/m ² /h	10~100m ³ /h(20m ³ /h/m ^{※4})	—
濃縮時間	0.5~1.0hr ^{※2}	20 秒 ^{※4}	20 秒
固形物回収率(%)	95 以上	95 以上	98
濃縮汚泥濃度(%)	4~5	4~5	5
薬品添加率(%対 ds)	0.2~0.3 ^{※3}	0.3	0.3
注入薬品濃度(%)	0.2~0.3 ^{※3}		0.3

※1) 下水道施設計画・設計指針と解説 後編 2009 年版,p334~

※2) 発明の名称;常圧浮上濃縮装置、公開番号;特開 2002-166298(P2002-166298A)、出願日;2000.12.1

※3) 下水道維持管理指針 実務編 2014 年版,p806~

※4) ベルト型下水汚泥ろ過濃縮機(株式会社クボタ), 一般社団法人 日本産業機械工業会,

<http://www.jsim.or.jp/newsPDF/kankyo01.pdf>

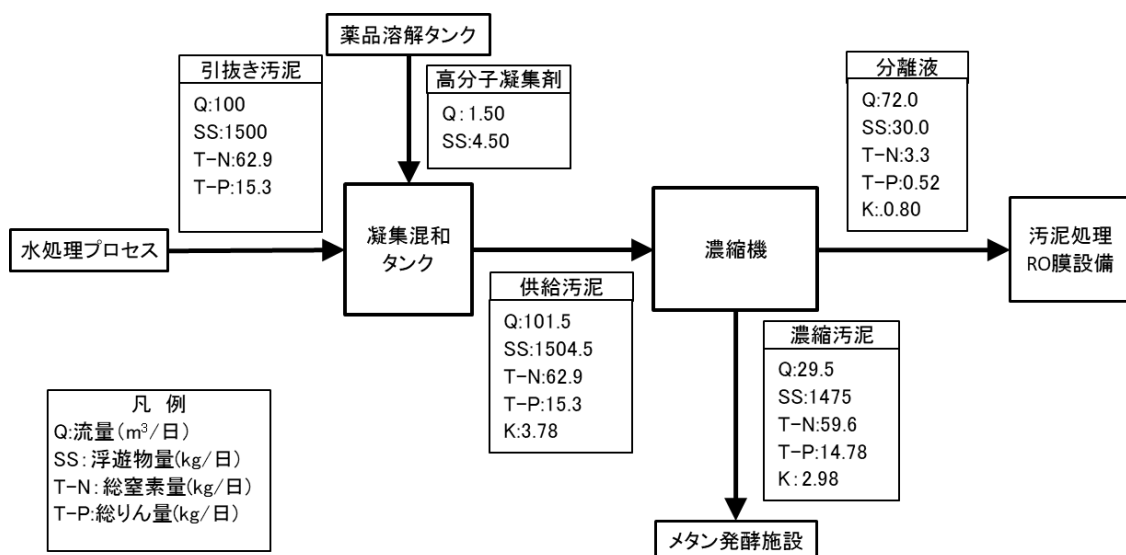


図 4-5 想定する濃縮プロセスの処理フローと物質収支

水処理(資源回収)プロセスから引抜かれた汚泥(余剰汚泥)は、メタン発酵(バイオガス化)施設に送られる。メタン発酵は高濃度発酵を想定しているため、余剰汚泥の濃度を 4%程度まで濃縮する必要がある。

る。しかし、余剰汚泥はコンタクトスタビリゼーション法の嫌気槽(接触槽)出口の汚泥で腐敗の進行が非常に速いと考えられるので、濃縮プロセスは短時間で濃縮ができる機械濃縮が適している。

浮上濃縮とベルト式ろ過濃縮の一般的な仕様を比較すると、濃縮時間以外はほぼ同じ性能仕様を示しているため、今回の設定値は固形物回収率、濃縮汚泥濃度ともに仕様範囲内のより高い値とした。なお、物質収支計算には直接影響しないが、長時間滞留による汚泥の変質を極力避けることを考えて、処理プロセスとしてはベルト式ろ過機を採用し、プロセス内での溶解性成分濃度の変化はないものとした。

v) メタン発酵(バイオガス化)施設

本有効利用システムでは、メタン発酵槽の投入対象物には、水処理から回収される微細な固形物と濃縮汚泥の他、後述の圃場の作物残渣や畜産廃棄物の粉碎物も想定している。

文献値より、発酵対象物の発酵状況を比較して表 4-7 に示す。

表 4-7 発酵対象物の発酵状況例と今回設定値

材料区分		下水汚泥 ^{※1}	バイオマス 混合消化 ^{※3}			植物工場植物 残渣 ^{※4}	畜産廃棄物 ^{※5}	今回設定値
投入物	種類	混合汚泥 (分流式)	下水 汚泥	生ご み	混合 物	トマト栽培の 植物残渣	乳牛,豚ふん 尿+オカラ	
	固形物濃度(TS-%)	4~6	4	20	9.3	10	~10	5
	有機物含有率 (VTS/TS-%)	80~90 ^{※2}	77	90	86		80	90
運転条件	形式	2相式	2相式			固定床型発酵槽		
	負荷量(VTS-kg/m ³ ・日)		5.4				1~10(1.6)	
	消化日数(日)		25(14+11)			14		14
	消化温度(°C)	35~55	55+35			55	35~55	55
消化汚泥	TS(計算値)(%)	—	(3.2)					(1.6)
	有機物含有率(計算値) (VTS/TS-%)		(60)					(68)
	有機物減少率(VTS-%)	40~60	76			48.5	44	76
	炭素除去率(%)					42.4		
	全アルカリ度 (CaCO ₃ -mg/L)	2,500~2,700 (消化後 VS=2%)						
	アンモニア濃度(N-mg/L)		2,300					
	pH	6.4~7.2	7.7					7.0
消化ガス	発生量(Nm ³ /VSin-kg)	0.5~0.6	0.7			0.31	0.07	0.6
	発熱量(kJ/m ³ N)	21,000~23,000					21,000	21,200
	メタン濃度(V/V-%)	60~65	59			49.6	52~60	60
	二酸化炭素濃度 (V/V-%)	33~35				51.4		38
	硫化水素濃度(V/V-%)	0.01~0.02 ^{※2}						0.02
	窒素他(V/V-%)	0~5						1.98

※1) 下水道施設計画・設計指針と解説 後編 2009年版,p341~

※2) 下水道維持管理指針 後編 2003年版,p338~

※3) 下水汚泥の高効率発酵システムの開発に関する共同研究報告書, 共同研究報告書 整理番号第 410 号, 独立行政法人土木研究所,(2010), <https://www.pwri.go.jp/team/recycling/kyuken410.pdf>

※4) 渡邊淳;メタン発酵処理による植物工場の農業廃棄物からのエネルギー回収 -処理規模とエネルギー収支の評価-, 電力中央研究所研究報告 V12011,(2013).

<http://criepi.denken.or.jp/jp/kenkikaku/report/download/Fq7jIXr3uRs2X0h5HFG7ttUvytWJnEHR/V12011.pdf>
 ※5) 羽賀清典;畜産廃棄物バイオマスとしての家畜ふん尿のメタン発酵, 廃棄物学会誌, Vol.19, No.6, pp.257-263, 2008,
<http://criepi.denken.or.jp/jp/kenkikaku/report/download/Fq7jIXr3uRs2X0h5HFG7ttUvytWJnEHR/V12012.pdf>
 参考) 低位発熱量: 消化ガス(CH₄:65%, CO₂:35%)=23.0MJ/Nm³(5.5Mcal/Nm³)、都市ガス 13A(天然ガス)=40.6MJ/Nm³(9.7Mcal/Nm³)、プロパンガス=91MJ/Nm³(21.8Mcal/Nm³) (ガスエンジンコージェネレーション; JFE エンジニアリング(株)カタログ <http://www.jfe-eng.co.jp/products/energy/pdf/CA2021.pdf>)

表によれば、何れも発酵温度は中温(35℃)～高温(55℃)の範囲であるが、投入物の種類により有機物の分解率や消化ガスの発生率に違いが生じている。下水汚泥と生ごみを混合したバイオマス混合消化や畜産廃棄物等の報告によれば、対象物を混合した方が有機物の分解率や消化ガス発生率を向上できたという。今回は下水汚泥の他、生ごみや農作物残渣、畜産廃棄物も併せて消化することを想定しているので、収支計算は下水汚泥の高温消化を基本とし、消化ガス発生率は下水汚泥の上限値、有機物減少率はバイオマス混合消化の上限値を用いることにした。なお、消化ガスの発熱量は、含有するメタン濃度で異なる。ここでは表下欄の参考に示したメタン濃度 65%の消化ガスの低位発熱量を用い、発熱量がメタン濃度に比例するとした。

物質収支の計算結果を図 4-6 に示す。

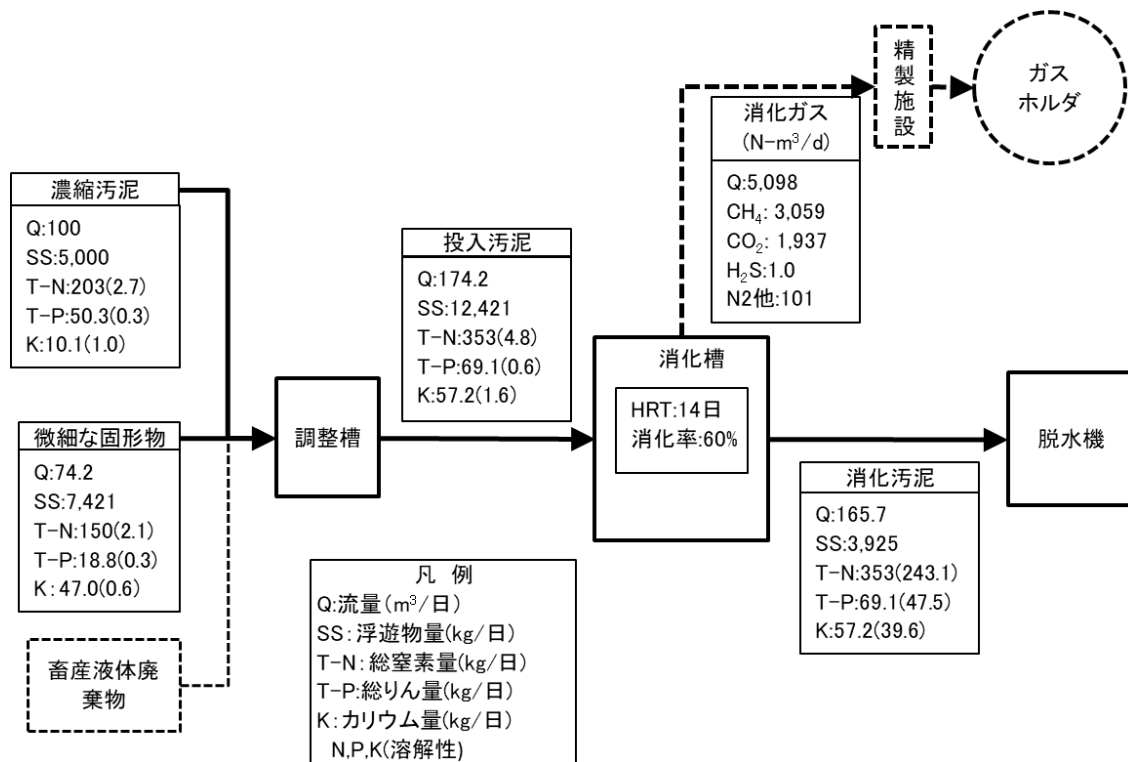


図 4-6 想定するメタン発酵プロセスの処理フローと物質収支

図では、濃縮汚泥の投入量を 100m³/日としたときの各収支を表示し、投入量が確定しない農作物残渣と畜産廃棄物については全体の物質収支をまとめるときに改めて計算することにした。なお、栄養塩類の可溶化率は、それが含まれる有機物の分解率によって異なるが、ここでは消化汚泥全体の有機物(VTS)減少率と同じとして計算し、結果を各項目にカッコ書きで示した。また、メタン発酵工程では、タンバ

ク質の分解に伴いアンモニア性窒素も生成し、一部は消化ガスにも混入するが、収支計算では消化汚泥のpHを中性付近と仮定しており、揮散量はあまり多くないと考え、すべて消化汚泥中に溶け込んでいるとした。

vi) 汚泥脱水機

候補とした汚泥脱水機の主な性能仕様を表4-8に、投入汚泥量を100m³/日としたときの脱水機周りの物質収支を図4-7に示す。

表4-8 汚泥脱水機の主な性能仕様と今回設定値

機種	圧入式スクリーブレス脱水機 ^{※1}	回転加圧脱水機 ^{※1}	ベルトプレス脱水機 ^{※1}	今回設定値
処理実績がある汚泥種 ^{※2}	重-混生,機-混生,重-消化	重-混生,機-混生	重-混生,機-混生,重-消化	—
性能表示機種仕様	スクリーブ径 Φ100mm	フィルター直径 Φ600,1200mm	標準型	—
性能表示汚泥種	重-消化	重-混生	重-消化	消化汚泥
投入汚泥性状	TS(%)	2.0~2.5	2.0~2.5	1.6
	VTS(%)	57~64	75~83	68
薬品添加率(%対ds)	1.2~1.4	1.0~1.3(1液法)	1.1~1.3	1.3
注入薬品濃度(%)	0.2~0.3 ^{※3}			0.3
ろ過速度(kg-ds/h/(単位サイズ))	2.6~3.1(/Φ100)	50~150(/m ²)	70~90(/m)	—
SS回収率(%)	95%以上	95%以上	90%以上	98
脱水汚泥含水率(%)	79~81%以上	76~81%以上	81~83%以上	80

※1) 下水道施設計画・設計指針と解説 後編 2009年版,p366~

※2) 重-混生;重力濃縮混合生汚泥、機-混生;機械濃縮混合生汚泥、重-消化;重力濃縮嫌気性消化汚泥

※3) 下水道維持管理指針 実務編 2014年版,p806~

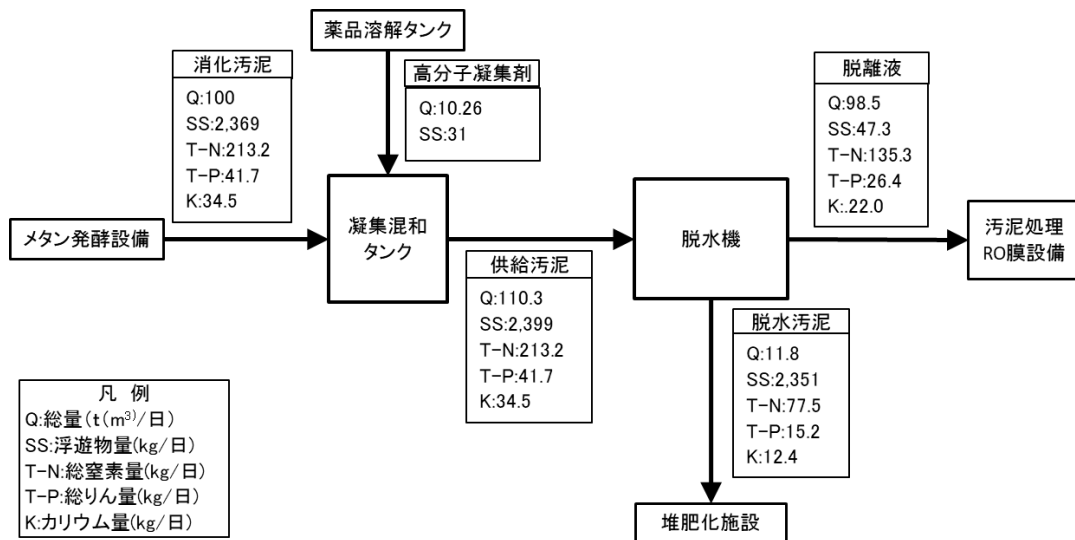


図4-7 想定する脱水プロセスの処理フローと物質収支

表の設定値のうち、投入汚泥性状は前掲のメタン発酵の物質収支計算で算出されたものであり、薬品

添加率以下は圧入式スクリーブレス脱水機を参考にした。また、物質収支では、機械濃縮時に添加した凝集剤は消化過程で効力が消失しており薬品添加率には反映しないものとし、濃縮プロセスと同様にプロセス内での溶解性成分濃度の変化はないものとした。

vii) 発電施設(コージェネレーション方式)

バイオガス(消化ガス)を燃料とする発電施設(コージェネレーション方式)の主な仕様を表 4-9 に示す。初期の発電施設は高出力のガスエンジンが一般的であったが、バイオガスを利用した発電需要の高まりを受けて小出力のマイクロガスタービンが開発され、なかにはコージェネレーション方式によりガスエンジンを上回る総合効率を発揮するものも供給されている。また、近年は天然ガスを燃料とした固体酸化物形燃料電池(SOFC)とマイクロガスタービンを組み合わせて、より発電効率を高めたシステムも開発されている。

表 4-9 発電施設(コージェネレーション方式)の主な性能仕様と今回設定値

項目	ガスエンジン ^{※1}	マイクロガスタービン(MGT) ^{※2}	SOFC+MGT ^{※4}	今回設定値
使用範囲 CH ₄ 濃度 (%)	-	55~75	90~100(天然ガス ^{※5})	60
発電効率(%) ^{※3}	25~35	32(15~30 ^{※1})	45~65 ^{※5}	32
熱回収率(%) ^{※3}	40~55	52	-	52
総合効率(%) ^{※3}	80	84(80~90 ^{※1})	~90 ^{※6}	84
温水取出し温度(°C)	~83	~85	-	85
出力(kW)	100~1,000	25~100 ^{※1}	~200 ^{※7}	25
ガス消費量(CH ₄ 濃度 60%) (Nm ³ /h)	-	13(25kW)	-	13

※1) エネルギーリサイクルのススメ事例紹介、p70~(東京都 消化ガス発電)、日本下水道協会;

<http://www.jswa.jp/energy/pdf/jirei/03.pdf>

※2) バイオガスマイクロコージェネレーションシステム(ヤンマー);

<http://www.yanmar.co.jp/energy/products/bioMicroCogeneration/index.html>

※3) メタン濃度 65%時の性能

※4) SOFC+MGT,固体酸化物形燃料電池(SOFC)+マイクロガスタービン(MGT)のハイブリッド発電システム

※5) 固体酸化物形燃料電池; フリー百科事典『ウィキペディア(Wikipedia)』, <https://ja.wikipedia.org/wiki/固体酸化物形燃料電池>

※6) 蓄電・発電機器: 総合効率 90%の固体酸化物形燃料電池、市場投入へ; IT 総合情報ポータル「Itmedia」,

<http://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1708/09/news022.html>

※7) 特集論文「200kW 級固体酸化物形燃料電池(SOFC)発電システムの開発と展望; ミス微視重工技報 VOL.45 NO.1, 2008, <https://www.mhi.com/company/technology/review/pdf/451/451027.pdf>

今回の物質収支算出の目的は、有効利用システムの導入が可能な最小規模の検討であるため、発電施設はマイクロガスタービンを用いたコージェネレーション方式を採用することにした。

なお、表の SOFC+MGT(固体酸化物形燃料電池(SOFC)+マイクロガスタービン(MGT)のハイブリッド発電システム)は、発電効率は高いが消化ガスのメタン濃度を 90%以上に高める必要があり、総合的には必ずしも高効率とはいえないと判断し、消化ガス(メタン濃度 60%)で直接発電できるマイクロガスタービン単独のコージェネレーションシステムとした。この場合、出力 25 kW では毎時 13Nm³の消化ガスが消費され、発電効率は 32%になる。前掲(メタン発酵)のとおり、メタン濃度 65%の消化ガスの低位発熱量は 23.0 MJ/Nm³(5.5 Mcal/Nm³)であり、低位発熱量がメタン濃度に比例するとすれば、メタン濃度 60%

の時の低位発熱量は 21.2 MJ/Nm³(5.08 Mcal/Nm³)になる。

投入消化ガス量を 100Nm³/日としたときの発電施設周りの物質収支を図 4-8 に示す。図によれば、投入消化ガス量 100Nm³/日あたり、発電量は 192kW、85℃の温水は 4m³が得られる計算になる。また、排ガス中の CO₂量は 159 Nm³/日で、空気希釈して酸素濃度を 16%に調整するとすれば、希釈空気中の CO₂濃度は 6.1%になる。

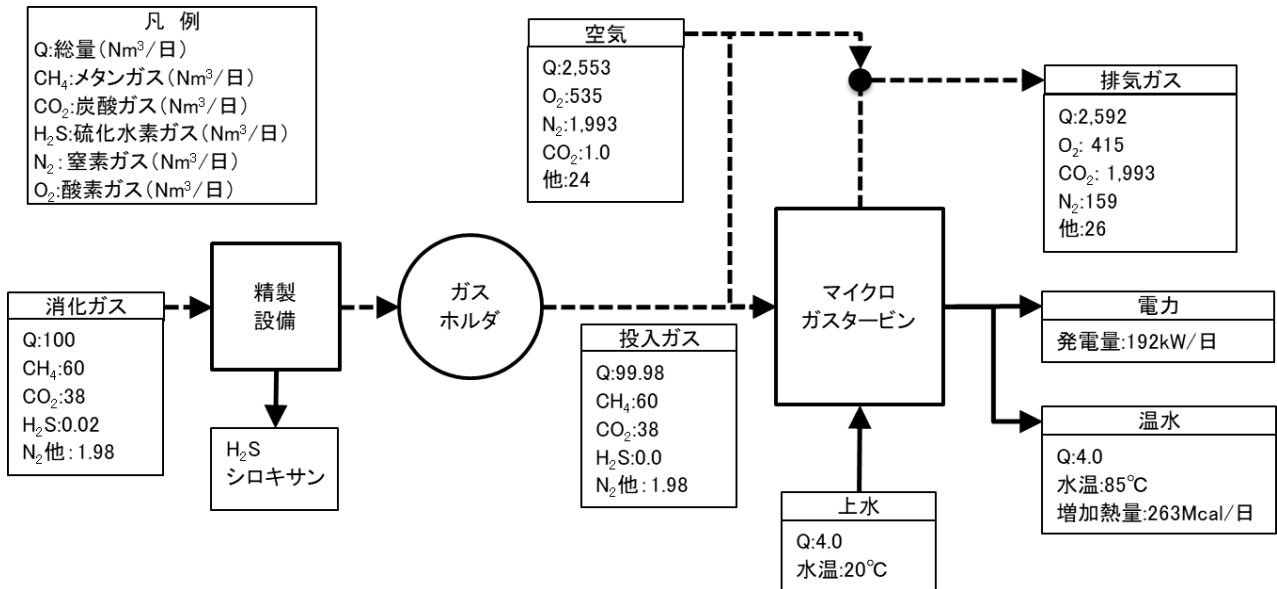


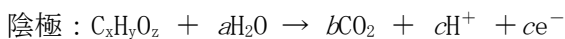
図 4-8 発電施設周りの物質収支

viii) 微生物燃料電池(MFC)

微生物燃料電池(MFC)は、理想的な回収が実現すれば有機物からのエネルギー回収効率はバイオエタノール生産よりも高くなる。また、廃水中の有機物を原料にできれば、発電時に有機物の分解が進むため、有機性廃棄物の減容にも繋がる¹²⁾。

表 4-10 に示すように、ここ数年、廃水中の有機物を原料にした微生物燃料電池(MFC)の開発が盛んに行われ、基礎的な知見が明らかになりつつある。

微生物燃料電池(MFC)は、発電に用いる有機物材料や酵素・微生物の種類は様々であるが、電気化学的な反応は次のように記述できる。



ただし、 a, b, c は任意定数。

特徴は、温和な条件下で有機物から直接電気エネルギーを取り出せ、理論的には非常に効率を高くできることである。しかし、有機物の分解速度が直接出力に影響するので、材料にできる有機物は生物易

12) 東 雅之:微生物を触媒にしたバイオ燃料電池, 生産と技術 第 65 巻 第 4 号(2013), <http://seisan.server-shared.com/654/654-81.pdf>

分解性の溶解性物質に限られると考えられる。このため、現段階では、固形物が主体である「修正コンタクトスタビリゼーション-MBR法の余剰汚泥」に適用しても、ここで採用した発電施設より大幅な出力や有機物利用効率の増加は期待できないと考えられる。

微生物燃料電池(MFC)は、今後技術開発が進み、余剰汚泥から大容量で効率よく電気エネルギーが取り出せるシステムが供給される時には、本有効利用システムへの組込みが期待されるが、今回の収支試算には含めないことにした。

表 4-10 微生物燃料電池(MFC)の開発報告例

	1槽式 MFC ^{※1}	膜-電極接合体型 MFC ^{※2}	スラローム型流式カセット電極型 MFC ^{※3}
材料	養豚廃水	グルコース	有機廃水
発電微生物種	シュワネラ菌	酵素	シュワネラ菌
HRT(-)	7~10日	—	9hr
有機物処理速度(kg-COD/m ³ /日)	—	—	1.3
COD除去率(%)	76~91	—	—
リン回収率(%)	27	—	—
最大出力(mW/cm ²)	0.23	1.3 ^{※4}	—

※1) 廣岡佳弥子, 市橋修; 省エネ技術: 微生物「燃料電池」が1台3役、きれいな水+電力+リン, 岐阜大学流域圏科学研究センター, 2014年12月, <http://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1412/03/news072.html>

※2) 田巻孝敬, 山口猛央; グルコースを用いた酵素型バイオ燃料電池, 水素エネルギーシステム Vo 1. 36, No.2 (2011), <http://www.hess.jp/Search/data/36-02-032.pdf>

※3) 渡邊一哉; 微生物燃料電池の廃水処理性能向上、実用レベルに — 活性汚泥法と同等の廃水処理性能を実現 —, 東京薬科大学 生命科学部 生命エネルギー工学研究室, 2013.5, http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100197.html

※4) S Cosnier; High power glucose biofuel cells, Nature Communications, 2011.6, <http://www.natureasia.com/ja-jp/ncomms/pr-highlights/1483>

ix) 堆肥化施設

本有効利用システムでは、堆肥化施設の投入対象物には、メタン発酵(バイオガス化)施設から発生する消化汚泥の脱水物の他、メタン発酵に投入されない圃場の作物残渣の粉碎物も想定している。

堆肥化(コンポスト化)とは、対象物中の易分解性有機物を好気性雰囲気下で微生物によって分解(発酵)し、緑農地に利用可能な形態・性状までに安定化することをいう。好気性微生物は、有機物の一部(炭水化物、たんぱく質、脂質等)をグルコース、アミノ酸、脂肪酸等に低分子化し、最終的には炭酸ガス、アンモニア、水、無機塩類までに分解する。このとき、発生した炭酸ガスやアンモニアのほとんどは排ガス中に揮散し、水分も分解に伴う発熱(発酵熱)により蒸発するので、アンモニアなどの臭気成分の多くは脱臭装置により排ガスから除去・回収される。

堆肥化施設には、機械化の程度等により様々な種類がある。下水汚泥の堆肥化では投入対象物の調整方式により、無添加方式と添加方式に大別される。それぞれの主な性能仕様と今回設定値を表 4-11 に示す。

今回の試算では、消化汚泥の脱水物(含水率 80%)のみを堆肥化することとし、堆肥の含水率を 35%まで低下することにした。また、投入対象物が消化汚泥の脱水物であり易分解性有機物をほとんど含ま

ないため、有機物の分解率はもみ殻の一般的な分解率と同じ10%とし、1次発酵槽では通気量50 L_N/分・m³で10日間発酵することとした。なお、排気ガスは全量脱臭し、大気に放出する排ガス中の絶対湿度は供給空気量と変わらず、アンモニア成分は0.1%炭酸水素アンモニウム(HN₄HCO₃)水溶液として回収することにした。

表4-11 堆肥化施設の主な性能仕様と今回設定値

堆肥化方式		無添加方式	添加方式	今回設定値
脱水汚泥性状	含水率(%)	—		80
	有機物(%)	—		69
混合比 ^{※1}	添加物(%)	—	10~30	0
	返送堆肥(%)	100~200	50程度	150
投入汚泥性状 ^{※1}	pH	8前後(6~9)		8
	含水率(%)	50程度	60~65	(53)
	C/N比	8~11	12~19	—
	見かけ比重(t/m ³) ^{※4}	—		0.7
堆肥性状 ^{※1}	pH	7~8		7
	含水率(%)	30~40		35
	C/N比 ^{※3}	11.4		—
分解(揮発)率	有機物(%) ^{※4}	—		10
	タンパク質(T-N%)	—		10
通気量 ^{※1} (L _N /分・m ³)	一次発酵槽 ^{※5}	30~250		50
	二次発酵槽	10~20		10
発酵日数(日) ^{※2}	一次発酵槽	10~14		10
	二次発酵槽 ^{※6}	20~60		40
脱臭設備	NH ₃ 除去率(%)	—		100

※1) 下水道維持管理指針 実務編 -2014年版-, 日本下水道協会(2014)

※2) 下水汚泥の農業利用に関する調査(第2分冊)コンポスト化設備の計画及び設計の手引き,建設省都市局下水道部(1985)

※3) 下水汚泥の農地・緑地利用マニュアル 2005年版

※4) 家畜ふん尿処理施設・機械選定ガイドブック(堆肥化処理施設編)P31,34,財団法人畜産環境整備機構, H17.3

※5) 発酵槽形式による(堆積形・横形:50~150、立形単段式:30~100、立形多段式:100~150など)

※6) 通気方式による(自然通気:30~60、強制通気:20~30)

投入脱水汚泥量を1,000kg/日としたときの堆肥化施設周りの物質収支を図4-9に示す。

今回の試算では、無添加方式を採用し、含水率80%の脱水汚泥を返送汚泥で含水率50%程度に調整して堆肥化することにしたため、堆肥の生産量に比べて装置内を循環する堆肥量が多くなっている。もし、農作物残渣や畜産廃棄物などの添加により発酵対象物の含水率が低下できる場合は、返送堆肥量を削減でき、施設当たりの堆肥生産量を増加することができる。

なお、排ガスから炭酸水素アンモニウム(HN₄HCO₃)水溶液として回収されたアンモニア性窒素は、RO膜設備で回収される液体肥料と合わせて植物工場に供給して使用することを想定している。

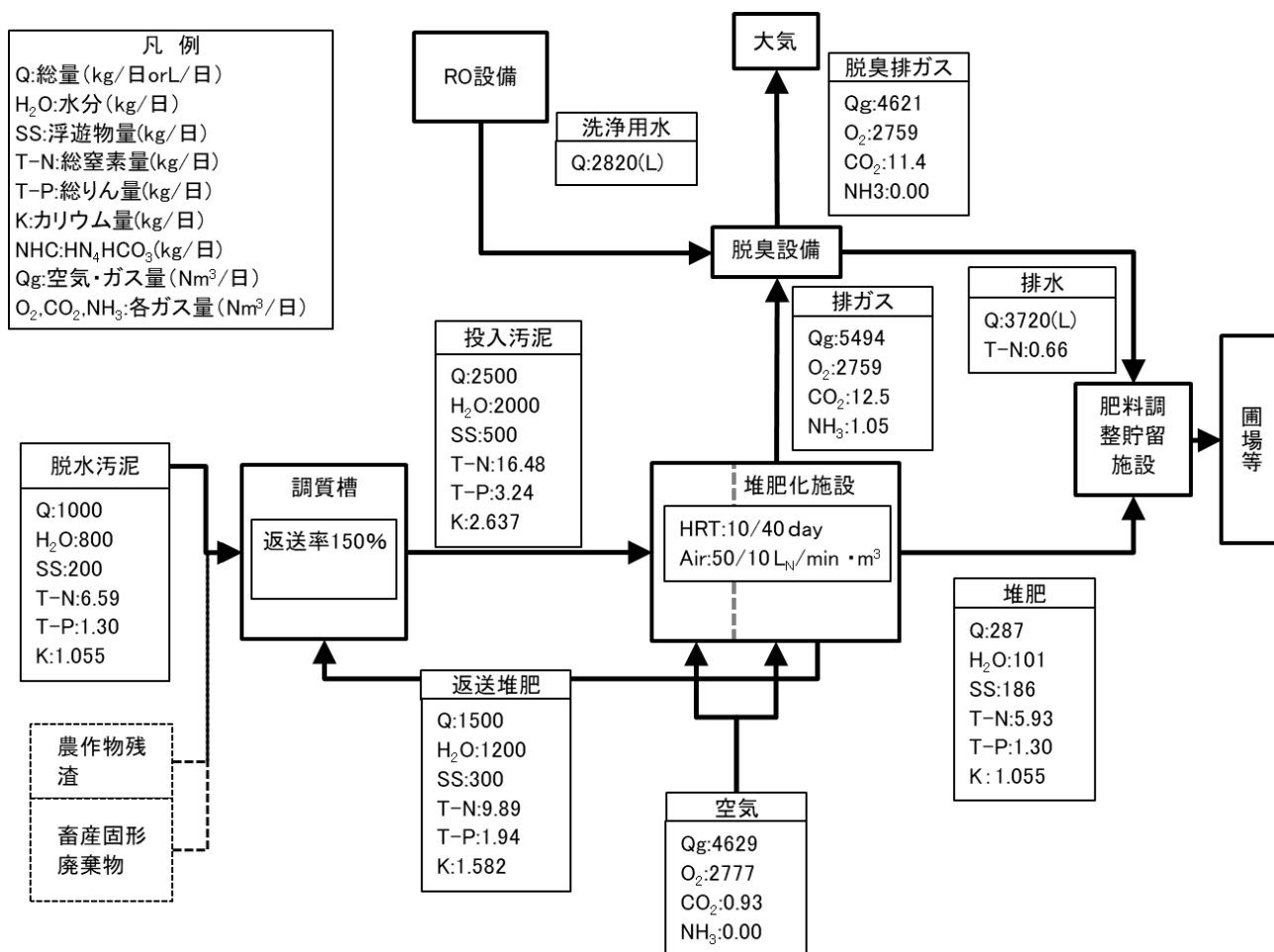


図 4-9 堆肥化施設周りの物質収支

x) 農業利用施設

農作物を栽培する場合の栄養塩類収支は、図 4-10 に示すように、大きく施肥量と作物摂取量、出荷量に分けて考えることができ、肥料の最適な塩類構成比やその後の収支は栽培する作物によって異なってくる。

例えば、トマトなど商品として果実を出荷する作物を考えると、施肥され、作物に摂取された栄養塩類は果実の他、葉や茎・根に分布し、果実以外に含まれる大半の栄養塩類は圃場に残留するか、畜産飼料や農作物残渣として有効利用システム内で再循環されることになる。

したがって、生産できる作物の種類や生産量は、循環量も含めた供給栄養塩類の構成比と量によって制約されることになる。特に、本有効利用システムでは、システムから回収できる栄養塩類だけで農作物を栽培するので、供給可能な栄養塩類と栽培作物の種類と量の間で最適な組合せがあり、それらを勘案しながら計画的に栽培することが重要になる。

なお、栄養塩類のうち窒素は、豆類のように根粒菌の作用により空気中から固定されたり、細菌の作用で肥料中から窒素ガスに還元されたりして、圃場の中で増減する。また、無機性の窒素やカリウムは、大半が水溶性化合物で降雨等の影響により流出するものもあり、実際の収支は圃場条件などによっても

異なってくる。

また、排せつ物の栄養塩類は食物の構成比を反映したものと考えられ、人間の食生活は肉類などのタンパク質の摂取量も多いので、農作物だけでは収支バランスをとるのが難しく、畜産施設もシステムに取込むことも想定する必要がある。

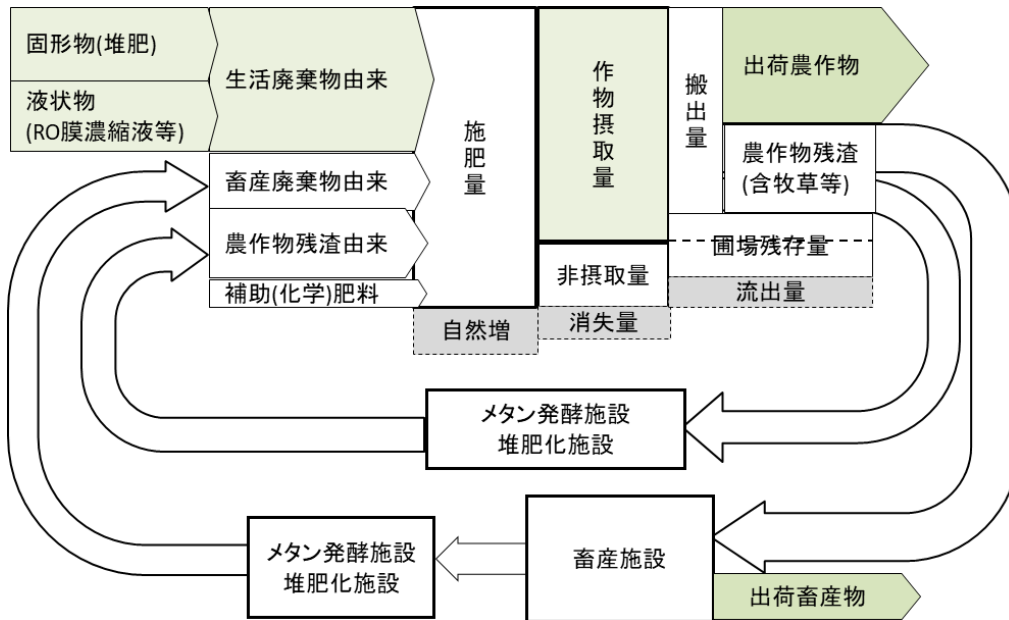


図 4-10 農作物栽培時の栄養塩類収支の概念図

a) 施肥量と出荷作物量の関係

物質収支の前提条件として、最初に文献値から施肥量と出荷作物量の関係を整理してみる。

<圃場(堆肥利用)施設>

公表資料から、日本の圃場で栽培されている代表的な作物の施肥量と収穫量の関係を抽出して、表 4-12 に示す。施肥基準は、「都道府県が作物の種類、土壌、作型等の別に標準的な施肥量等の指導上の基準を元肥と追肥に分けて示したもの(栽培指針等の名で作成されているものもある)」であり、同じ作物でも地域や育成する土壌の質によって大きく異なっている。

そこで、表の施肥量は、原則として農林省データ¹³⁾の中央値を用い、それに掲載のない作物は同じデータベースの関東地方の都県の施肥量を用いることとした。また、農作物(全地上部)の栄養塩類含有量は、尾和尚人の「わが国の農作物の養分収支¹⁴⁾」の「(付表)作物の収穫物1トン当たりの全地上部養分吸収量および収穫物吸収量」から、“全地上部養分吸収量”と“収穫物吸収量”の含有比を乗じて算出した。出荷作物の栄養塩類含有量は、尾和の付表が「文部科学省の日本食品標準成分表¹⁵⁾」と「農業関

13) 都道府県施肥基準等 農作物施肥基準：

http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyohozen_type/h_sehi_kizyun/

14) 尾和尚人：わが国の農作物の養分収支，環境保全型農業研究連絡ニュース No.33. (1996.11)

www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/techdoc/dotoku/news33.html

15) 第 2 章 五訂増補日本食品標準成分表(本表)，

http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu3/toushin/05031802/002.htm

連試験研究機関の調査した実測値」をもとに作成されたものであるので、日本食品標準成分表の値をそのまま引用することにした。なお、4-12表には農作物の調理時の廃棄率の他、参考として圃場10a当たりの平均的な基準収量と生育期間(圃場占有期間)を併せて示した。

表4-12 代表的な作物の栄養塩類の施肥量と収穫量の関係

区分	作物	施肥量 ^{※1}						農作物含有量									参考 ^{※1}	
		全施肥量			農作物(全地上部) ^{※2}			出荷作物 ^{※3}									基準収量	生育期間
		T-N	T-P	K	T-N	T-P	K	形状	廃棄率%	水分	T-N	T-P	K	Ca	Mg			
		g/kg 収量			g/kg 作物						g/kg 可食部						kg/10a	月
穀類	水稻	20	17	19	17.5	4.4	14.0	玄米	0	155	10.9	2.9	2.3	0.09	1.10	400	5	
	小麦	31	26	28	22.5	4.3	28.9	普通(生)	0	125	17.0	3.5	4.7	0.26	0.80	400	8	
豆類	大豆	23	37	36	61.3	6.4	28.1	全粒,国産乾	0	125	56.5	5.8	19.0	2.40	2.20	300	5	
	小豆	40	57	56	38.1	6.0	29.2	全粒,乾	0	155	32.5	3.5	15.0	0.75	1.20	200	3	
	落花生	60	77	77	63.0	3.2	22.2	乾	30	60	40.6	3.8	7.4	0.50	1.70	200	5	
種実	くり	17	12	14	6.2	0.7	3.7	日本ぐり,生	30	588	4.5	0.7	4.2	0.23	0.40	1,500		
	イモ類	さつまいも	3	4	7	3.8	0.7	9.3	根塊,生	10	661	1.9	0.5	4.7	0.40	0.25	2,800	8
野菜	じゃがいも	6	3	5	3.6	0.5	5.9	塊茎,生	10	798	2.6	0.4	4.1	0.03	0.20	2,900	5	
	だいこん	3	1	2	1.6	0.3	3.7	根,皮付,生	10	946	0.8	0.2	2.3	0.24	0.10	4,700	4	
	にんじん	4	2	3	1.6	0.3	4.4	根,皮付,生	3	895	1.0	0.3	2.8	0.28	0.10	4,200	4	
	はくさい	6	5	6	1.9	0.5	3.7	結球葉,生	6	952	1.3	0.3	2.2	0.43	0.10	4,500	4	
	キャベツ	7	5	6	4.0	0.5	3.7	結球葉,生	15	927	2.1	0.3	2.0	0.43	0.14	5,000	5	
	ほうれんそう	22	19	20	3.5	0.5	6.9	葉,生	10	924	3.5	0.5	6.9	0.49	0.69	1,200	3	
	ねぎ	11	8	9	1.2	0.5	3.1	根深ねぎ,葉,生	40	917	0.8	0.3	1.8	0.31	0.11	2,500	14	
	たまねぎ	6	3	5	1.8	0.4	1.7	りん茎,生	6	897	1.6	0.3	1.5	0.21	0.09	4,700	10	
	きゅうり	5	3	4	2.7	0.7	3.5	果実,生	2	954	1.6	0.4	2.0	0.26	0.15	6,000	5	
	なす	6	3	5	2.9	0.4	4.1	果実,生	10	932	1.8	0.3	2.2	0.18	0.17	7,600	9	
	トマト	3	2	3	1.9	0.4	3.0	果実,生	3	940	1.1	0.3	2.1	0.07	0.09	9,200	8	
	ピーマン	15	9	14	6.0	0.5	5.8	青果実・生	15	934	1.4	0.2	1.9	0.11	0.11	3,000	9	
	果実類	うめ	17	12	14	1.1	0.1	2.4	生	15	904	1.1	0.1	2.4	0.12	0.08	1,500	—
		かき	73	45	62	0.6	0.1	1.7	甘がき,生	9	831	0.6	0.1	1.7	0.09	0.06	275	—
		日本なし	10	8	9	4.3	0.1	3.3	生	15	880	0.5	0.1	1.4	0.02	0.05	3,000	—
ぶどう		13	14	13	4.7	1.4	5.5	生	15	835	0.6	0.2	1.3	0.06	0.06	1,500	—	
みかん		11	7	9	7.9	0.3	3.4	温州普通,生	20	869	1.1	0.2	1.5	0.21	0.11	3,000	—	
もも		11	8	10	5.2	1.3	6.9	生	15	887	1.0	0.2	1.8	0.04	0.07	2,250	—	
りんご		8	7	7	3.3	0.4	2.7	生	15	849	0.3	0.1	1.1	0.03	0.03	2,750	—	

※1) 都道府県施肥基準等 農作物施肥基準: http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_sehi_kizyun/

※2) 尾和尚人:わが国の農作物の養分収支, 環境保全型農業研究連絡ニュース No.33. (1996.11)

www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/techdoc/dotoku/news33.html

※3) 第2章 五訂増補日本食品標準成分表(本

表), http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu3/toushin/05031802/002.htm

作物の含有量と施肥量の関係をみると、施肥量と農作物含有量の関係が栄養塩類の種類によって異なるように見える。特にT-Nは、施肥量に比べて農作物の含有量が多いケースも多くみられる。これは、①異なる文献値を比較したことに加え、②施肥基準等に示されている施肥量は、堆肥等の有機肥料を別途に扱っている場合が多く、その肥料成分量の評価が不十分であること、③圃場に残置された前作の収

穫物残渣を含む元の土壤に含まれている肥料成分が評価されていないこと、などにも原因があるように思われる。

どの作物の栽培を優先するかを考えると、圃場の生産効率を指標とすれば、基準収量が多く生育期間が短い作物ほど優先されることになる。また、栄養塩類の利用量を考えると、年換算収量当たりの栄養塩類の含有量が多いほど、利用効率が高く優先されるといえる。

そこで、基準収量と生育期間から、年間を通じて栽培した場合に収穫できる作物の量を“年換算収量”と定義し、これにそれぞれの栄養塩類含有量を乗じたものを圃場の作物別の栄養塩類回収量として求めた。主に基肥として施用し、圃場内での増減が少ない出荷作物量の T-P (網掛け太字) の多い順に並べ替えた結果を表 4-13 に示す。なお、表末には各栄養塩類の全施肥量に対する農作物(全地上部)収量への回収率を併せて示した。

表 4-13 代表的な圃場作物の栄養塩類収支(NPK 収量順)

収量順位	作物	区分	年換算収量 kg/10a	農作物(全地上部)収量 kg/10a/年			出荷作物量 kg/10a/年			全施肥量 kg/10a/年			農作物 塩類回収率※1 %		
				T-N	T-P	K	T-N	T-P	K	T-N	T-P	K	T-N	T-P	K
1	きゅうり	野菜	14,400	38.3	10.3	50.4	23.0	5.18	28.8	74.9	40.9	64.4	51	25	78
2	はくさい	野菜	13,500	25.7	6.4	49.8	17.3	4.46	29.7	85.7	63.3	75.6	30	10	66
3	大豆	豆類	720	44.2	4.6	20.2	40.7	4.18	13.7	16.8	26.5	25.9	263	17	78
4	トマト	野菜	13,800	25.5	5.2	41.9	15.5	3.59	29.0	46.2	29.2	40.4	55	18	104
5	キャベツ	野菜	12,000	47.8	5.5	44.9	25.0	3.24	24.0	79.9	56.3	72.7	60	10	62
6	にんじん	野菜	12,600	19.8	3.8	56.1	12.1	3.15	35.3	50.9	26.2	40.0	39	15	140
7	なす	野菜	10,130	29.6	4.5	41.9	17.8	3.04	22.3	60.8	33.7	50.0	49	13	84
8	小豆	豆類	800	30.4	4.8	23.4	26.0	2.80	12.0	32.0	46.0	44.6	95	10	52
9	水稻	穀類	960	16.8	4.2	13.5	10.4	2.78	2.2	19.2	15.9	18.4	87	27	73
9	じゃがいも	芋類	6,960	25.0	3.4	40.8	17.8	2.78	28.5	38.5	19.9	34.0	65	17	120
11	だいこん	野菜	14,100	23.1	4.1	52.4	11.3	2.54	32.4	38.5	19.6	28.0	60	21	187
12	ほうれんそう	野菜	4,800	16.9	2.3	33.1	16.9	2.26	33.1	104.0	90.2	95.8	16	3	35
13	小麦	穀類	600	13.5	2.6	17.4	10.2	2.10	2.8	18.8	15.5	16.6	72	17	105
14	さつまいも	芋類	4,200	16.2	3.1	38.9	8.1	1.93	19.7	13.5	17.9	27.9	120	18	139
15	たまねぎ	野菜	5,640	10.0	2.0	9.6	9.0	1.86	8.5	32.1	19.7	27.6	31	10	35
16	落花生	豆類	480	30.2	1.6	10.7	19.5	1.82	3.6	28.8	37.2	37.1	105	4	29
17	くり	果実類	1,500	9.3	1.1	5.5	6.7	1.05	6.3	26.1	17.7	20.4	36	6	27
18	ピーマン	野菜	4,000	24.0	2.0	23.2	5.8	0.88	7.6	61.5	35.8	54.5	39	6	43
19	ねぎ	野菜	2,140	2.6	1.0	6.7	1.7	0.56	3.9	23.1	16.6	19.4	11	6	34
20	みかん	果実類	3,000	23.6	1.0	10.2	3.4	0.45	4.5	31.9	22.1	27.3	74	5	38
21	もも	果実類	2,250	11.6	2.9	15.5	2.2	0.41	4.1	24.1	18.6	22.2	48	16	70
22	日本なし	果実類	3,000	14.1	2.5	10.5	1.4	0.33	4.2	31.0	23.8	27.4	45	11	38
23	りんご	果実類	2,750	9.1	1.1	7.4	0.9	0.28	3.0	22.0	19.1	19.8	41	6	38
24	うめ	果実類	1,500	1.7	0.2	3.6	1.4	0.24	2.6	26.1	17.7	20.4	6	1	18
25	ぶどう	果実類	1,500	7.0	2.1	8.3	1.0	0.23	2.0	19.0	21.2	19.8	37	10	42
26	かき	果実類	275	1.6	0.2	1.2	0.2	0.04	0.5	20.0	12.4	17.0	8	1	7

※1) 農作物回収率(%)=農作物(全地上部)収量(kg/10a/年)÷全施肥量(kg/10a/年)×100

収量順位(出荷作物量の T-P 順位)をみると、子実を収穫する豆類や穀物が比較的上位に来る他は、全

体の年換算収量の多い野菜類が上位を占める傾向が伺われる。野菜類は比較的短期間で収穫でき、植物体全体に対する集荷物の割合が高いことが理由に考えられる。

表末の各栄養塩類の農作物回収率をみると、T-N、T-P、K共に100%を超えるものがある。窒素固定能を有する豆類でT-Nが100%を超えるのは理解できるが、その他の農作物や栄養素で100%を超えるのは物質収支としては矛盾する。また、個々の作物を見ても栄養塩類の種類によって回収率が大幅に異なっており、栄養塩類の農作物回収率は、ほとんどの作物で施肥量と作物吸収量の間に相関関係が成り立っていないことになる。

以上を考えると、圃場の施肥基準は、各地域の土壌に合わせて経験的に求めたものであり、耕作地に含まれる有機物や肥効成分の影響を受けることを前提にしているため、年単位で物質収支をとる指標として不適切といえる。

<植物工場施設>

植物工場で用いられる液体肥料は、栽培植物に合わせて栄養塩類組成が調合されるが、市販品は詳細な処方を公開していない製品が多いという。IT上に公表されているデータも発信元によって処方にばらつきがみられ、また、施用量と収穫量の関係が把握できる資料も少ない。

IT上に公表されている対象作物別の栄養塩類成分濃度と、対応する作物の可食部の栄養塩類含有量を表4-14に示す。表には液体肥料と作物の栄養塩類構成比を比較するため、P=1.0としたときのN、Pの濃度比を併せて示してある。なお、液体肥料中の塩類濃度は一般にイオン当量濃度(me/L)で示されるが、作物含有量との比較を容易にするため、表では重量濃度(mg/L)に換算して表示している。また、参考に示した同じ栄養塩類の成分比の差が±30%以内の作物の該当数値を網掛け太字で示した。

表4-14 液体肥料と対象作物の栄養塩類組成の関係

対象作物	出荷形状	農作物※2							液体肥料成分濃度(mg/L)※1			参考)N,K成分比(P=1.0)			
		廃棄率(%)	可食部含有量(g/kg)						N	P	K	N(T-N)		K(K)	
			水分	T-N	T-P	K	Ca	Mg				肥料	作物	肥料	作物
クレソン	莖葉,生	15	941	2.9	0.5	0.0	1.10	0.13	104	38	199	2.7	5.9	5.2	5.8
サラダナ	葉,生	10	949	2.4	0.4	0.0	0.56	0.14	224	47	359	4.8	5.6	7.6	8.4
しゅんぎく	葉,生	1	918	3.7	0.4	4.6	1.20	0.26	168	45	277	3.7	8.4	6.2	10.5
ねぎ	葉,軟白,生	40	917	0.8	0.3	1.8	0.31	0.11	185	59	269	3.1	3.1	4.6	6.9
ほうれんそう	葉,生	10	924	3.5	0.5	6.9	0.49	0.69	203	42	332	4.8	7.5	7.9	14.7
みつば	根,葉,生	35	927	3.0	0.6	5.0	0.52	0.21	172	39	238	4.4	4.8	6.1	7.8
レタス	結球葉,生	2	959	0.9	0.2	0.0	0.19	0.08	84	21	156	4.0	4.4	7.4	9.1
こまつな	葉,生	15	941	2.0	0.4	0.0	1.70	0.12	88	16	133	5.5	5.3	8.3	11.1
かぶ	根,皮つき,生	30	923	3.7	0.4	3.3	2.50	0.25	98	31	195	3.2	4.0	6.3	10.0
きゅうり	果実,生	2	954	1.6	0.4	2.0	0.26	0.15	182	37	222	4.9	4.4	6.0	5.6
トマト	果実,生	3	940	1.1	0.3	2.1	0.07	0.09	143	33	226	4.3	4.3	6.8	8.1
なす	果実,生	10	932	1.8	0.3	2.2	0.18	0.17	153	35	269	4.4	5.9	7.7	7.3
ピーマン	青果実・生	15	934	1.4	0.2	1.9	0.11	0.11	129	32	230	4.0	6.5	7.2	8.6
いちご	生	2	900	1.4	0.3	0.0	0.17	0.13	101	24	156	4.2	4.6	6.5	5.5
メロン	温室メロン,生	50	878	0.9	0.1	0.0	0.08	0.13	185	36	215	5.1	8.4	6.0	16.2

※1) 伊達修一; 培養液について,<http://www.w-works.jp/youeki/series/02.html>、(掲載平均値)

※2) 第2章 五訂増補日本食品標準成分表(本表),

http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu3/toushin/05031802/002.htm

IT データからは肥料供給量と作物収量の関係は不明だが、参考に示した P=1.0 としたときの N と K の比は、肥料と作物の間で比較的良好に一致しており、液体肥料はほぼ対象作物の栄養塩類摂取量に応じた成分構成比に調整されていると考えられる。

b) 畜産施設

畜産施設に関しては、家畜のふん尿等の飼育舎廃棄物と生産物の栄養塩類含有率は公表データがあるが、飼料についてはデータがほとんどない。そこで、飼料に含まれる栄養塩類は全量出荷物とし尿など廃棄物になるとして、収支を推定することにした。

表 4-15 に、主な畜産出荷物の栄養塩類組成を示す。また、表 4-16 に、畜産系廃棄物の発生量原単位(表 3-24)を抜粋して再掲する。

表より栄養塩類の収支を推定する場合は、出荷物と畜産系廃棄物を合わせた量が飼料として供給され、系外には出荷物に含まれる量のみが出ていき、畜産系廃棄物に含まれる全量が系内にリサイクルされると仮定して、収支を計算する。

表 4-15 主な畜産出荷物の栄養塩類組成

品名	区分	生産量	生育日数 (日)	可食部含有量(g/kg)					
				水分	T-N	T-P	K	Ca	Mg
牛肉	和牛肉(部位別加重平均)	690 kg/頭	900	480	22.4	1.20	2.21	0.04	0.15
豚肉	大型種肉(部位別加重平均)	110 kg/頭	195	621	29.2	1.77	3.11	0.04	0.21
鶏肉	にわとり(全肉種単純平均)	2.7 kg/羽	56	682	32.3	1.41	2.43	0.08	0.20
鶏卵	鶏卵類	62.5 g/個	1.26	761	19.7	1.80	1.30	0.51	0.11
牛乳	普通牛乳	20 kg/頭・日	1	874	5.3	0.93	1.50	1.10	0.10

表 4-16 畜産系廃棄物の発生量原単位(表 3-24 抜粋再掲)

区分		原単位推定値(kg/頭羽/日)							
		発生量	水分(%)	C	T-N	T-P	K	Ca	Mg
牛	ふん	26	21 (80)	1,823	115	41	77	64	26
	尿	9	9 (99)	0	16	0	44	0.6	0.5
	計	35	30 (85)	1,823	132	41	121	65	27
豚	ふん	3.4	2.3 (69)	424	37	25	13	30	10
	尿	2.8	2.8 (98)	0	19	0	0	0	0
	計	6.2	5.1 (83)	424	56	25	13	30	10
採卵鶏・ふん		0.125	0.080 (64)	16	2.8	1.0	1.2	3.6	0.4
ブロイラー・ふん		0.102	0.041 (40)	-	2.4	1.2	1.5	0.7	0.3

c) 生産物の選定

栽培される作物は、回収された栄養塩類を無駄なく利用できることが前提になるので、回収物と肥料の栄養塩類組成が一致することが理想である。前述のとおり、圃場作物の施肥成分は必ずしも収穫物の栄養塩類組成を反映したものでもなく、また、植物工場の液体肥料成分も収穫物との関係が定かでない。

そこで、施肥された肥料成分のうち、出荷農作物に含まれるもの以外は全てシステム内を循環し、再

び肥料として供給されると仮定して、栽培作物を選定することにする。これを前提にすると、施肥量に関係なく“生活系排水から回収される栄養塩類量”＝“出荷作物の栄養塩類量”の関係が成り立てばよいことになる。

そこで、“主な作物の可食部”と、前項までの物質収支で試算された“食品系廃棄物”の栄養塩構成比を比較して図4-11に示す。なお、図には、“食品系廃棄物”を赤丸で示した他、農作物に加えて畜産物の栄養塩構成比も示した。

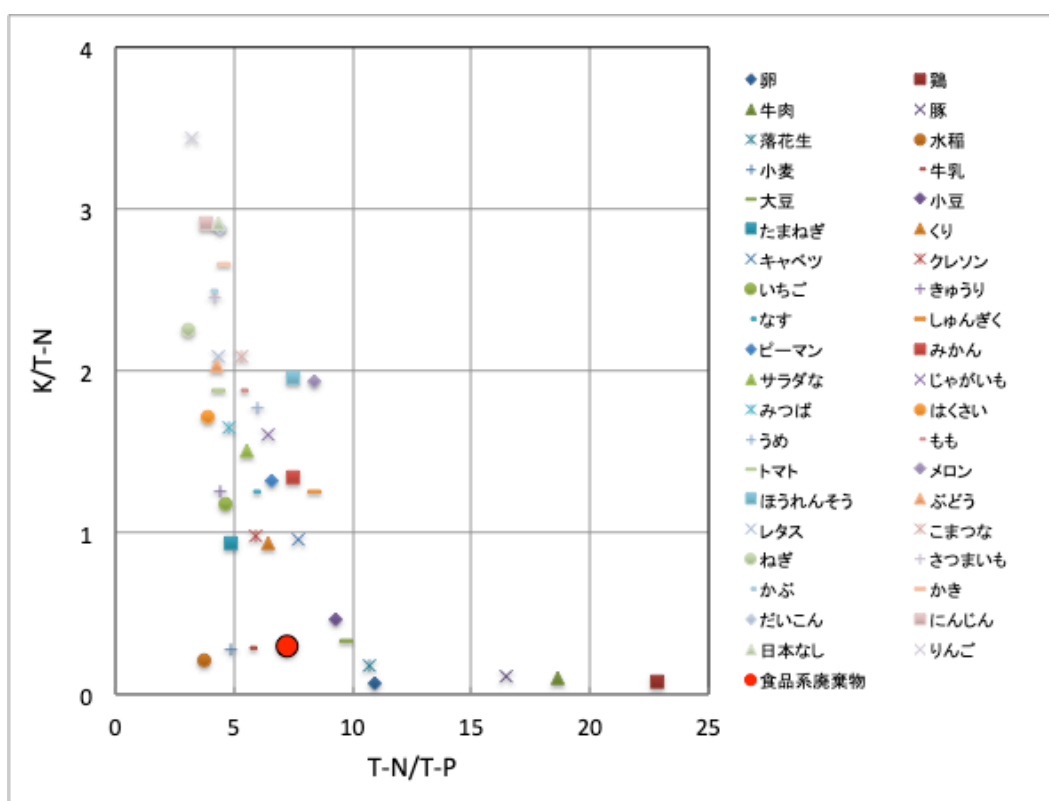


図4-11 主な農・畜産物と食品系廃棄物の栄養塩類構成比の比較

図に赤丸で示した食品系廃棄物と、主な農・畜産物の栄養塩類構成比を比較すると、食品系廃棄物と構成比が比較的近いのは牛乳の他、大豆、小豆、小麦などの穀類であり、牛乳以外の畜産物は“T-N/T-P”比が大きく、反対に果物や野菜類などの農作物は“K/T-N”比が大きい傾向にある。

したがって、穀類を含めたとしても農作物だけで栄養塩類の収支バランスをとることは難しく、畜産物も含めて栽培作物を選定する方が、最適な作物の組合せの自由度が上昇すると思われる。なお、前掲のように、汚水処理では生物学的窒素除去を導入すれば肥料に含まれる窒素量を一定の範囲で削減することもできる。窒素除去を行った場合、図の赤丸の位置は左上方にずれ、より農作物の比率を高くできる方向に移行するので、畜産を組み込まないシステムの構築も可能かもしれない。しかし、生物学的窒素除去を導入した場合は、生物処理に必要な酸素量が増加し、余剰汚泥から回収できるエネルギー量も減少するので、システム全体としてはあまり好ましい選択ではないといえる。

そこで、汚水処理で生物学的窒素除去を導入せず、食品系廃棄物の栄養塩類の全量を出荷作物に移行できるとした時の、畜産を含めた最適な農業生産物の構成比と栄養塩類回収量の例を表4-17に示す。

最適な栽培作物の組合せは、各作物の収量を任意に設定した時の各栄養塩類の量と“食品系廃棄物から回収される栄養塩類量”を比較し、なるべく少ない作物の種類でその差が最小になる組合せを栄養塩類総計の収量の多い順に絞り込みながら収束計算して、見出したものである。

表によれば、穀類や野菜、畜産物をバランス良く組み合わせることが必要であり、食品系廃棄物の栄養塩類構成が食生活を反映したものであることを考えると、当然の結果とも言える。

表 4-17 栽培作物と栄養塩類回収量(例)

作物	区分	農作物			農作物収穫量				必要圃場面積 × 10a
		可食部含有率(kg/t)			T-P 基準 収量(t)	可食部含有量(kg)			
		T-N	T-P	K		T-N	T-P	K	
水稲	穀類	10.9	2.9	2.3	62.4	679	181	144	65
小麦	穀類	17.0	3.5	4.7	44.9	762	157	211	75
大豆	豆類	56.5	5.8	19.0	10.2	576	59	194	14
落花生	豆類	40.6	3.8	7.4	5.6	228	21	41	12
じゃがいも	芋類	2.6	0.4	4.1	58.3	149	23	239	8
キャベツ	野菜	2.1	0.3	2.0	28.5	59	8	57	2
サラダな	野菜	2.4	0.4	3.7	37.4	92	16	138	-
みつば	野菜	2.0	0.4	3.3	28.0	55	12	91	-
メロン	野菜	0.9	0.1	1.7	54.4	48	6	92	-
農作物小計					329.7	2,647	483	1,207	176
牛肉	畜産	22.4	1.2	2.2	10.3	231	12	23	-
豚肉	畜産	29.2	1.8	3.1	2.9	85	5	9	-
鶏肉	畜産	32.3	1.4	2.4	14.5	468	20	35	-
鶏卵	畜産	19.7	1.8	1.3	50.6	996	91	66	-
畜産小計					78.3	1,779	129	133	
計					408.0	4,427	612	1,340	176
収支計算目標値(kg/千人/年)					-	4,426	612	1,339	-
残存量					-	-1	-0	-1	-

表 4-18 選定作物の置き換えが可能な作物

選定作物	区分	置換え可能な作物(栄養塩類構成比の相関係数 0.9995 以上)
水稲	穀類	-
小麦	穀類	落花生(豆類)
大豆	豆類	-
落花生	豆類	小麦(穀類)
じゃがいも	芋類	-
キャベツ	野菜	クレソン(野菜), くり(果物)
サラダな	野菜	-
みつば	野菜	-
メロン	野菜	トマト、はくさい、ほうれんそう(野菜), もも(果物)
牛肉	畜産	豚肉(畜産)
豚肉	畜産	牛肉(畜産)
鶏肉	畜産	牛肉、豚肉(畜産)
鶏卵	畜産	-

なお、今回の収支計算目標値では最適な生産物の組合せは表に示した 1 条件であったが、栄養塩類構

成比が類似していれば、生産物を置き換えることも可能である。今回試算したケースで選定作物と栄養塩類構成比の相関が高く（相関係数 0.9995 以上）置換え可能な作物は表 4-18 に示すようになった。表によれば、置換えが可能なのはキャベツ、メロン、肉類などであり、その他の作物は置換えによって栄養塩類の系内の残存量が増加することになる。

d) 物質収支の推定

農業利用施設の物質収支の推定は、前述のように圃場への施肥量と収穫物の栄養塩類の回収量の関係等を的確に推定することが困難なことから、表 4-17 に示した農畜産物を生産することを前提に、分かる範囲で農作物残渣量等を設定し、内部循環量を含めて計算することにした。

物質収支の計算結果を図 4-12 に示す。

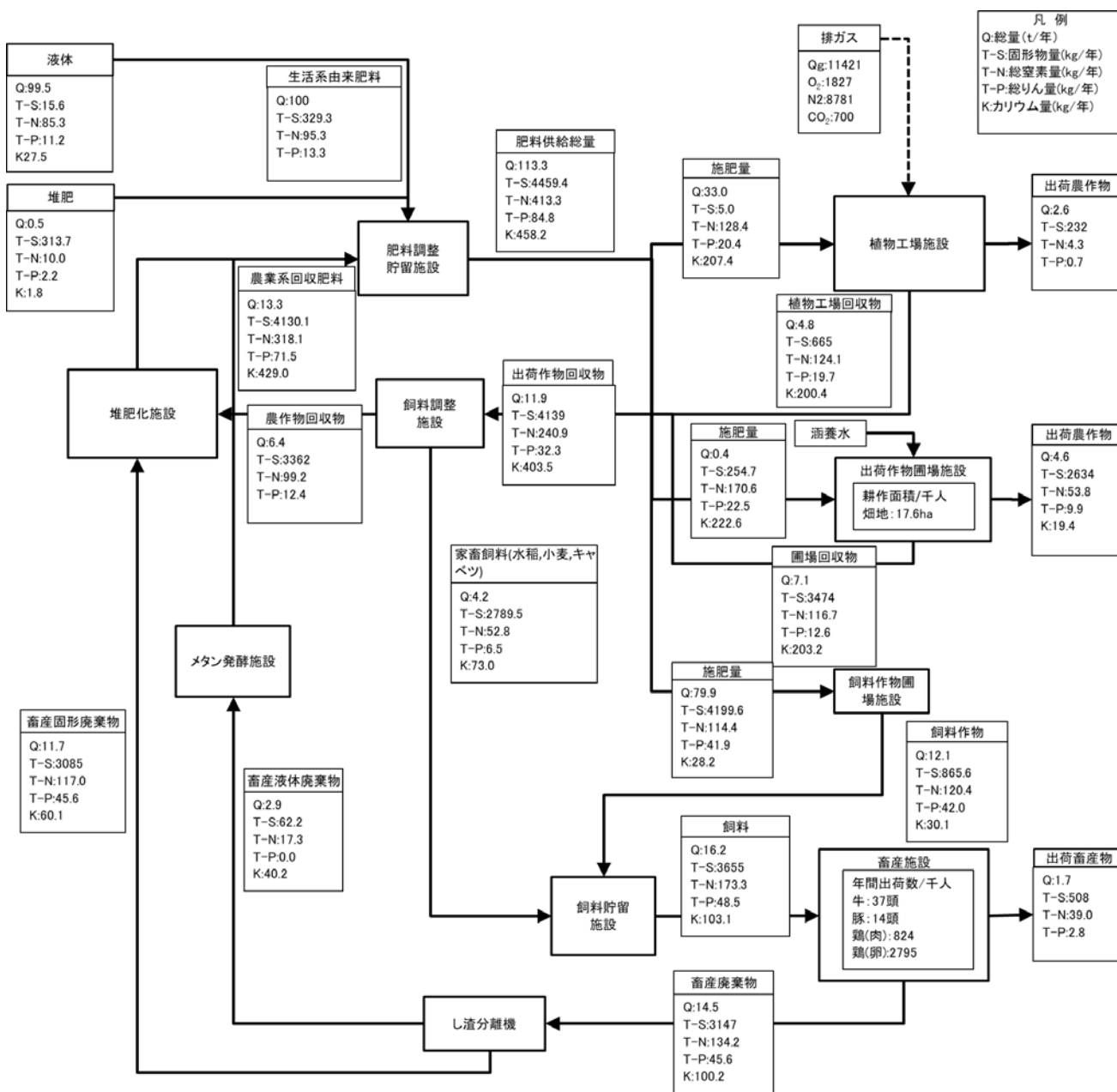


図 4-12 農業利用施設周りの物質収支

図には生活排水系から発生するRO濃縮液と堆肥を単純に合計した肥料の総量を100(t/年)としたときの収支を示した。また、出荷農産物のうち、畜産物は農作物残渣および飼料作物を家畜飼料として飼育・出荷することを想定している。

このため、畜産物として出荷されない多くの栄養塩類は排泄物等として排出されるので、これも循環使用する必要がある。収支計算では出荷作物として系外に持ち出される以外の栄養塩類の全量がリサイクルされ、最終的には畜産物として系外に持ち出される収支フローとした。なお、図に示した圃場面積および出荷頭(羽)数は、1千人分の污水から回収される栄養塩類で生産できる農畜産物の年間必要圃場面積と出荷頭(羽)数をわかる範囲で示した。植物工場および水稲の必要面積に関しては、ネット上で必要な情報が得られなかったので不明であるが、水稲の年間出荷量は62t/千人と算出されており、10a当り収量を500kg/年とすれば必要水田面積は12.4ha/千人となる。

図の肥料供給総量の内訳をみると、農畜産系からのリサイクル量は総量では生活排水系由来の10%強であるが、T-N:330%、T-P:540%、K:1470%など、栄養塩類のリサイクル率が非常に大きくなっている。

前述のように、圃場栽培の場合は、圃場に保持されている栄養塩類量が作物収量に大きな影響を与えていることや、栄養塩類のうち水溶性のカリウムは圃場からの流出率が高いことも推察される。したがって、実際の圃場栽培では再利用できる栄養塩類を如何に多くできるかが重要な課題になると考えられる。

xi) 算出条件

以上の各プロセスの収支計算に用いた算出条件の主なものを表4-19にまとめて示す。次項の物質収支の計算では、この表の条件を用いてシステム全体の収支を検討する。

表4-19 物質収支算出条件一覧

プロセス区分	対象物	選定プロセス	収支算出条件	根拠等	
(食料供給総量)		(人間消費量)	残存SS=液状廃棄物SS、栄養塩類:摂取量=排出量(∴消費量=0)、溶解性成分残存量=液状廃棄物溶解成分量-上水含有量	表3-21 生活系廃棄物の発生量原単位推定結果一覧(調整後)	
前処理・収集プロセス	前処理設備(廃棄物排除技術)	し尿	水洗式トイレ(希釈無処理方式)	除去率=0、溶解成分=尿含有量、T-N=89.3%、T-N以外=88.8%(=有機性窒素比)、水洗用水は雑排水に含む。	表3-4 し(糞便)と尿の化学組成例、表3-19 生活系廃棄物の発生量原単位推定結果一覧
		雑排水	ろ過処理	除去率=0、溶解性成分比=100%	表3-21 生活系廃棄物の発生量原単位推定結果一覧(調整後)、表3-19 生活系廃棄物の発生量原単位推定結果一覧
		固形廃棄物(生ごみ)	ディスプレイ	除去率=0、溶解性成分=0%	表3-21 生活系廃棄物の発生量原単位推定結果一覧(調整後)
	収集プロセス	液状廃棄物	小規模下水道(自然流下)	前処理設備排出物の合計	表3-21 生活系廃棄物の発生量原単位推定結果一覧(調整後)
		固形廃棄物(生ごみ以外)	(分別収集)	全量SS(T-S)とし、厨芥(生ごみ)比率=35%より逆算。栄養塩類=0	図3-3 生ごみの発生量の推移図
水	分離方法	砂分・し渣	沈砂池(スクリー)	除去率=0	-

プロセス区分	対象物	選定プロセス	収支算出条件	根拠等	
(物理学的方法)	微細な固形物	細目スクリーン	ディスポーザ固形廃棄物を回収、生ごみ含水率=62%、総含水率=90%	表3-21 生活系廃棄物の発生量原単位推定結果一覧(調整後)	
	調質方法(生物化学的方法)	コンタクトスタビリゼーション-MBR法	MBRのMLSS=1.5%、余剰汚泥含有率(ds%):T-N=4%、T-P=1%、K~Mg=流入固形物濃度に同じ、揮散消失量=0	表3-42 コンタクトスタビリゼーション-MBR法の仕様と今回設定値	
	分離方法(物理学的的方法)	栄養塩類	逆浸透膜(RO膜)	精製水回収率:80%×2段、濃縮液の濃縮倍率:25倍、除去(阻止)率:T-N=90%、T-P=97%、K,Ca,Mg=95%	表3-43 RO膜の用途別の仕様と今回設定値
資源生産プロセス	前処理(精製技術)	引抜き汚泥(余剰汚泥)	浮上濃縮/ベルト式ろ過濃縮	SS回収率98%、濃縮汚泥SS=5%、溶解性塩類の吸着なし。凝集剤(0.3%溶液)添加率0.3%-SS	表3-44 浮上濃縮とベルト式ろ過濃縮の一般的な仕様と今回設定値
	エネルギー生産	濃縮汚泥	メタン発酵(バイオガス化)施設	有機物含有率=90VTS/TS-%、有機物減少率=76VTS-%、消化ガス発生量=0.6Nm ³ /kg投入VS、濃度(V/V-%):CH ₄ =60、CO ₂ =38、H ₂ S=0.02、発熱量=22,000kJ/m ³ N	表3-45 発酵対象物の発酵状況例と今回設定値
		微細な固形物			
		作物残渣 畜産廃棄物			
	前処理(精製技術)	濃縮汚泥(消化汚泥)	圧入式スクリープレス脱水機/回転加圧脱水機/ベルトプレス脱水機	SS回収率98%、脱水汚泥含水率=80%、薬品添加率=1.3ds-%	表3-46 汚泥脱水機の主な仕様と今回設定値
	エネルギー生産	消化ガス	発電施設(コージェネレーション方式)	消化ガスメタン濃度=60%、発電効率=32%、熱回収率=52%、出力=1.92Kw/Nm ³ 、排気ガスO ₂ 濃度=16%	表3-47 発電施設(コージェネレーション方式)の主な仕様と今回設定値
		(濃縮汚泥+)	(バイオ燃料電池)	今回は収支計算条件から除く。	-
	農業利用	脱水汚泥	堆肥化(天日乾燥)施設	堆肥含水率=35%、分解率(有機物)=10%、タンパク質(T-N)=10%、堆肥返送率=150%、運転(No.1/2):HRT(10/40 day)、空気量(50/10 LN/min・m ³)	下水道維持管理指針 実務編-2014年版一、日本下水道協会(2014) 家畜ふん尿処理施設・機械選定ガイドブック(堆肥化処理施設編)P31,34.財団法人畜産環境整備機構、H17.3 都道府県施肥基準等 農作物施肥基準、第2章 五訂増補日本食品標準成分表(本表)、青森県健康な土づくり技術マニュアル、尾和尚人:わが国の農作物の養分収支、環境保全型農業研究連絡ニュース No.33.(1996.11)、伊達修一;培養液について
		作物残渣			
		計			
RO膜濃縮液		植物工場施設	生活排水系栄養塩類量≒出荷農作物栄養塩類量となるように、構成農作物と出荷量を最適化計算で算出。出荷物以外の栄養塩類は全量回収し、肥料として完全リサイクルとして、収支計算。ただし、収支が整合しない分は家畜飼料栽培作物の施肥量と収穫量の差として圃場残渣として調整。		
発電排ガス					
温排水		圃場施設			
堆肥	畜産施設				
RO膜濃縮液					
農作物残渣					
飼料作物					
その他有効利用	処理水	中水道施設	今回は収支計算条件から除く。	-	
	温排水	熱交換設備	今回は収支計算条件から除く。	-	

(2) 物質収支

以上では、プロセスごとの物質収支の計算方法を検討し、その計算結果を整理したが、以下では本書のまとめとしてシステム全体の収支を算出することにする。

算出条件は前掲表 3-57 のとおりとし、処理人口 1 千人 1 日当たりの生活系廃棄物を出発点とした時のシステム全体の収支を計算した。計算結果を図 4-13 に示す。なお、農作物残渣を再利用するので、収支計算は循環式になってしまうので、飼料作物圃場施設で計算を区切り、ここで収支調整することにした。そのため、飼料作物圃場施設の前後では収支にわずかなずれが生じている。

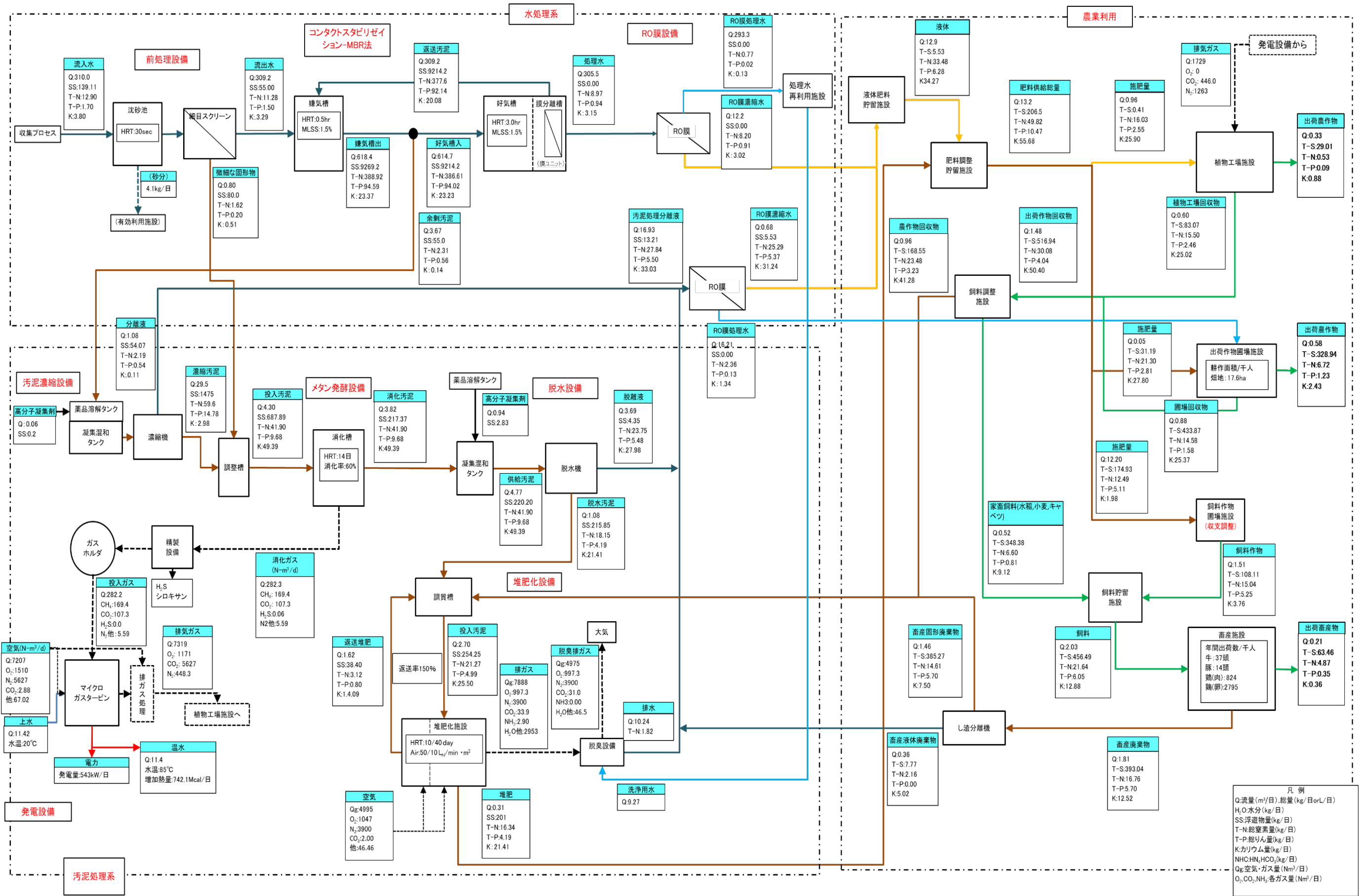


図 4-13 システム全体の収支（処理人口 1 千人 1 日当たり）

4-2. 最小規模の算定

収支計算結果から、処理人口1千人1日当たりの主な物質収支をまとめて表3-58に示す。なお、備考欄には想定に用いたプロセスと設備容量をわかる範囲で記入した。

表4-20 主な物質収支(処理人口1千人1日当たり)

プロセス区分	対象物	総量	SS(TS)	T-N	T-P	K	備考(設備容量等)
		t(m ³)	kg				
	(食料供給総量)	1.3	550.0	12.9	1.7	3.4	—
生活系水 処理(資源 回収)	流入汚水	310.0	135.0	12.9	1.7	3.8	—
	反応タンク流入水	309.2	55.0	11.3	1.5	3.3	コンタクトスタビリゼーション- MBR:3.5時間(45m ³)
	処理水(RO膜)	293.3	0.0	0.8	0.0	0.1	pH調整2段RO膜処理法
汚泥処理	メタン発酵投入汚泥 ※	4.3	687.9	41.9	9.7	49.4	バイオマス混合消化:25日 (125m ³)
	脱水汚泥※	1.1	215.9	18.2	4.2	21.4	回転加圧脱水 機:100kg-DS/h/m ² (0.09m ²)
農業利用	液体肥料※	12.9	5.5	33.5	6.3	34.3	—
	堆肥※	0.3	201.0	16.3	4.2	21.4	50日(1+2次発酵)(54m ³)
	圃場生産物	0.6	328.9	6.7	1.2	2.4	農地(18ha)
	植物工場生産物	0.3	29.0	0.5	0.1	0.9	—
	畜産生産物	0.2	63.5	4.9	0.4	0.4	—
エネルギー 生産等	消化ガス (Nm ³ /日)	総量	CH ₄	CO ₂	H ₂ S	N ₂ 他	—
		282.3	169.4	107.3	0.0	5.6	—
	発電量	543 kW/日(1.75kW/m ³)					マイクロガスタービン:
温水	11.4 m ³ /日(85°C,熱量 742Mcal/日)					13Nm ³ /h/25kW(22.7kW)	

※) 農業利用リサイクル分を含む。

表によれば、処理人口1千人当たりの流入汚水量310m³/日に対して、農作物が日量1.1t(約400t/年)、発電量が543kW/日(流入水1m³当たり1.75kW)が見込まれることになる。表の備考の設備容量をみると、反応タンクが処理人口1千人1日当たり50m³程度で済むのに比べて、消化タンク125m³、農地18ha(1.8a/人)など、農産物をリサイクル利用する施設で設備容量が大きくなる傾向がある。

設備容量を比較すると、システムが成り立つための最小規模の制約になるのはマイクロガスタービンと考えられる。発電は24時間連続で行う必要があり、現在市販されているマイクロガスタービンの最小のものは発電能力25kWである。人口1千人1日当たりの必要設備容量は22.7kWであるから、稼働率を勘案すれば、処理人口1千人を最小単位としてシステムを構築することが可能と考えられる。

なお、数値では示せなかったが、物質収支のフロー図をみると、牧草などの飼料作物の生産に必要な圃場も出荷用農作物の圃場以上に広く必要になると考えられる。仮に、施肥量と必要圃場面積が比例すると考えれば、飼料作物用圃場は出荷作物用圃場のT-P比で1.8倍必要になる。したがって、植物工場分を合わせれば、処理人口1千人当たりに必要な農地は50ha程度以上になると見積もられる。

以上のように、ここに想定した“食品系廃棄物に含まれる栄養塩類を全て生産物として系外に出荷するシステム”では、居住人口に対して相当広大な圃場面積を確保する必要があると推測される。したがって、このシステムを実現できるのは、隣接して広い農地を確保できる農村近郊都市に限定される。ま

た、施設規模も処理人口1千人程度から適用が可能と推定されることから、新たに建設される農村集落等への導入が理想的であると考えられる。

4-3. 事業の採算性の検討

(1) システムの建設・維持管理費

小規模下水道施設の平均的な費用関数等を用いて、今回設定した処理人口1千人当たり(310m³/日)の建設費と維持管理費を求めて表4-21に示す。表には、費用関数が入手できた収集・資源回収システムに対応する管きよ、汚水処理施設およびRO膜について、各費用総額その他、処理水1m³当たりの費用(処理単価)を併記した。

表4-21 収集・資源回収システムの建設費と維持管理費(処理人口1千人当たり)

種別	施設	総額	処理単価	根拠等
建設費	管きよ	391 百万円	0.7 円/m ³	小規模下水道費用関数※1 自然流下管:6.3 万円/m(開削),標準耐用年数:50 年 污水管必要長:20m/m ³ ※2
	汚水処理施設	244 百万円	94 円/m ³	小規模下水道費用関数※1 C=1468×Qd ^{0.49} C:処理場建設費(万円), Qd:日最大汚水量(m ³ /日) 標準耐用年数:23 年
	RO 膜設備	39 百万円	23 円/m ³	海水淡水化装置※3 建設コスト=1643ドル/m ³ /日(能力1 万 m ³ /日) 污水/海水換算係数=0.7,換算レート:110 円/ドル
	小 計	674 百万円	118 円/m ³	—
維持管理費	管きよ	37 万円/年	3 円/m ³	小規模下水道費用関数※1 管理費=57 円/m/年
	汚水処理施設	732 万円/年	65 円/m ³	小規模下水道費用関数※1 M=16.6×Qa ^{0.66} M:処理場維持管理費(万円/年), Qa:日平均汚水量(m ³ /日)
	RO 膜設備	356 万円/年	32 円/m ³	海水淡水化装置※4 消費電力:3kWh/m ³ , 污水/海水換算係数=0.7 単価:15 円/kWh※5
	小 計	1125 万円/年	99 円/m ³	—
処理単価総計			217 円/m ³	—

※1) 国土交通省外課長通達:汚水処理施設の建設費等の修正について;

http://www.maff.go.jp/j/nousin/sekkei/nn/n_nouson/syuhai/130130shiryu/pdf/3shiryu_2.pdf

※2) by Hitachi, Ltd. Water Business Unit

※3) 2013 年下水道統計:特定環境単独公共下水道の計画日最大汚水量当たりの污水管路延長の平均値

※4) 栗原優:海水淡水化各階層の課題とモデルについて,第3回システム構築戦略研究事例検討会,2011

※5) 全国の電気料金単価(高圧)<https://pps-net.org/unit>

表によれば、標準耐用年数を用いて算出した建設費の減価償却分の処理単価は118円/m³、維持管理費は99円/m³、処理単価の総額は合せて217円/m³になった。表には農業利用その他の有効利用設備が含まれていないので、建設費、維持管理費ともに更に高額になると考えられる。例えば、その費用が表に示した収集・資源回収システムと同程度と仮定すれば、システム全体の運営コストは500円/m³程度と見込

まれる。

(2) 生産額

物質収支で想定した生産物の処理人口1千人当たりの年売上高を算出して、表4-22に示す。表に示した設定単価はIT検索で得られた日本の一般的な価格である。

表4-22 主な生産物の生産額(処理人口1千人当たり)

農産物生産量						売上高占 有率(%)
区分	作物	区分	収量(t/年)	設定単価(千円/t)	売上高(千円/年)	
圃場	水稲 ^{※1}	穀類	62.4	47	2,958	2.1
	小麦 ^{※1}	穀類	44.9	20	916	0.6
	大豆 ^{※1}	豆類	10.2	35	353	0.2
	落花生 ^{※2}	豆類	5.6	711	3,983	2.8
	じゃがいも ^{※2}	任類	58.3	149	8,687	6.0
	キャベツ ^{※2}	野菜	28.5	95	2,708	1.9
	小計		209.9	—	19,604	13.6
植物工場	サラダな ^{※2}	野菜	37.4	193	7,218	5.0
	みつば ^{※2}	野菜	28	666	18,648	13.0
	メロン ^{※2}	野菜	54.4	771	41,942	29.2
	小計		119.8	—	67,809	47.1
畜産物	牛肉 ^{※3}	畜産	10.3	1,971	20,301	14.1
	豚 ^{※3}	畜産	2.9	531	1,540	1.1
	鶏 ^{※4}	畜産	14.5	481	6,975	4.8
	卵 ^{※5}	畜産	50.6	205	10,373	7.2
	小計		78.3	—	39,189	27.2
計		408	—	126,601	88.0	
その他生産量						—
項目	年間生産量	設定単価	売上高(千円/年)		—	
電力 ^{※6}	198千kWh/年	15円/kWh	2,973		2.1	
温水 ^{※7}	271Gcal/年	2.2円/MJ	596		0.4	
RO膜処理水 ^{※8}	107千m ³ /年	128円/m ³	13,703		9.5	
その他生産量 計					17,272	12.0
総生産額					143,873	100.0
流入水1m ³ 当たりの生産額(円/m ³)					1,272	—

※1) http://www.maff.go.jp/j/zyukyu/jki/j_zyukyu_kakaku/attach/pdf/index-135.pdf

※2) 卸売数量・価額・価格 2017

※3) 畜産物流通統計

<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00500227&tstat=000001044816&cycle=0&year=20170&month=0&tclass1=000001034718>

※4) 東京の卸売価格 2017 https://www.alic.go.jp/joho-c/joho05_000073.html

※5) JA 全農たまご株式会社 <http://www.jz-tamago.co.jp/souba/quote/find>

※6) 全国の電気料金単価(高圧) <https://pps-net.org/unit>

※7) 熱供給料金 <http://www.marinavi.com/images/プレスリリース/2006/20060925■熱供給料金の改定.pdf>

※8) 水道料金(東京都)

表によれば、処理人口1千人当たりの年間の総生産額は約1億4千万円になり、流入水量当たりでは1,272円/m³になる。前掲の試算からシステムの運営費用を500円/m³程度とすれば、生産原価は売上の約40%と計算され、採算性が十分見込める事業といえることができる。

生産額の内訳をみると、農産物が9割近くを占め、その中でも植物工場の農産物が半分近くに達している。植物工場は天候に影響されにくく、年間を通じて安定して生産できることを考えればシステムの維持には欠かせないプロセスということができる。

農畜産物以外の生産物では、RO膜処理水が生産額の大半を占め、総生産額に対しても1割近くになっている。これは、生産量の多さに加えて設定単価を上水道並みとしたことが原因である。従来のように処理水を中水道として再利用しようとする、単価も低く設定し、その上、上水道とは別途に給水設備を整備する必要が生じるので、とても採算ベースに乗らないことになる。もし、上水道以外にRO膜処理水を利用するとすれば、圃場の灌漑用水など新たな設備投資がほとんど不要な用途に限定すべきであり、試算値をそのまま収入に見込むのには無理がある。

また、電力は、処理水1/m³当たりの発電量が1.75kWh/m³であり、前掲のRO膜設備の消費電力が約2.1 kWh/m³と見込まれることから、発電量だけではシステム全体の消費電力を賄えないことになる。したがって、電力についても発電分を全量自家消費に回しても不足分を売電で賄う必要があり、システムの省エネルギー化を進めない限り、収入は見込めない状況にある。

以上のように、食品系廃棄物を出発点として構築した本有効利用システムの採算性を、物質収支から試算したところ、栄養塩類を利用する農業生産を組み込むことにより、運営方法次第では十分採算性のある事業になると推察された。

5. まとめ

「新農村地域廃棄物有効利用システム”ACEⅡ”の構築に向けて」と題して、生活系廃棄物を原料とする生産型下水道システムの構築について検討してきた。

以下に結果を要約する。

第1章では、2013年のJICA関連業務を通して入手した資料を元に、中国の農村地域を代表例として途上国農村部の水環境の現状と課題をまとめた。

中国では「農村経済の活性化による農民の生活水準の向上」を目指して、2006年から様々な対策が提唱され、実行に移されている。また、日本からも様々な支援が実施されているが、“日本の浄化槽の導入を目的とした分散型污水处理技術の普及”の観点からのアプローチに終始している。そのため、両者ともに、従来から言われている“一定の所得水準に達しないと下水道の普及が難しい?”という「下水道の壁」を打ち破ることができるものではなかった。

第2章では、代表的な生活系廃棄物処理の対策事例を解析し、生活系廃棄物有効利用の基本条件を以下の5点に整理し、有効利用システムの構築手順を定めた。

- 大半の生産物の生産と利用を地域内で完結できること。
- 生活系廃棄物全体を一括して扱えること。
- 原材料の前処理・収集を安価で効率的に行うこと。
- 食品残渣とし尿を併せて農業利用し、食料品の再生産に利用すること。
- 工程からの廃棄物を混合せず、なるべく短いサイクルで原材料にすること。

第3章では、最初に食品系廃棄物の発生量原単位を推定し、次に有効利用システムの機能要件を整理と各プロセス技術の選定を行い、有効利用システムの基本フローを構築した。

食品系廃棄物の発生量原単位の推定は、日本の政府系機関が公表している資料を中心に、食品系廃棄物総量と、し尿・一般家庭汚水の排出量、生ゴミの発生量、上水水質を整理して、食品系廃棄物の発生量原単位を推定したほか、農業系廃棄物の性状も整理した。食品系廃棄物の発生量原単位は、総量310L(kg)/人/日、SS(TS)135g/人/日、T-N12.9 g/人/日、T-P1.7 g/人/日、K3.8 g/人/日などと推定された。

有効利用システムの機能要件では、前処理・収集システム、水処理(資源回収)システム、資源生産(≡汚泥処理)システムに区分し、食品系廃棄物の資源価値を最大限に引き出すための各技術プロセスの機能要件を整理した。

各プロセスの技術の選定では、有効利用システムに必要なプロセスごとに既知の技術の概要を整理し、各技術プロセスの機能要件を基準にして各技術を評価し、次表のように採用技術を決定するとともに有

効利用システムを構築した。

表 選定プロセス一覧

プロセス区分		対象物	選定プロセス
前処理・収集システム	前処理設備 (廃棄物排除技術)	し尿	水洗式トイレ(希釈無処理方式)
		固形廃棄物(生ごみ)	ディスプレイ
		雑排水	ろ過処理
	収集プロセス	液状廃棄物	小規模下水道(自然流下)
		固形廃棄物(生ごみ以外)	(分別収集)
水処理(資源回収)システム	分離方法 (物理学的的方法)	砂分・し渣	沈砂池(スクリーン)
		微細な固形物	微細目スクリーン
		栄養塩類	逆浸透膜(RO膜)
	調質方法 (生物化学的方法)	微粒子物質・溶解性物質	コンタクトスタビリゼーション-MBR法
資源生産システム	前処理 (精製技術)	引抜き汚泥(余剰汚泥)	浮上濃縮/ベルト式ろ過濃縮
		濃縮汚泥	圧入式スクリーンプレス脱水機/回転加圧脱水機/ベルトプレス脱水機
	エネルギー生産	濃縮汚泥/作物残渣 /畜産廃棄物	メタン発酵(バイオガス化)施設
		消化ガス	発電施設(コージェネレーション方式)
		(濃縮汚泥)	微生物燃料電池(MFC)
	農業利用	脱水汚泥/作物残渣	堆肥化施設
		堆肥	圃場(堆肥利用)施設
		RO膜濃縮液/発電排ガス /温排水	植物工場施設
		農作物残渣	畜産施設
	その他有効利用	処理水	中水道施設
		温排水	熱交換設備

第4章では、プロセスごとの物質収支を検討した後、再利用システム全体の物質収支を計算し、最小規模における事業の採算性を試算し、有効利用システムの妥当性を検証した。

プロセスの最小ユニットに制約されるシステムの最小規模は処理人口1千人と見込まれた。汚水の収集処理施設の費用関数から推定したシステム全体の運営費用は、汚水1当たり m^3 約500円になった。

一方、日本の一般的な卸価格から試算した汚水1 m^3 当たりの生産額は最大で1,272円/ m^3 と見込まれ、生産原価は売上の約40%になった。

以上から、食品系廃棄物の有効利用を目的とした本有効利用システムは、採算性を十分見込める事業であると結論された。なお、試算された生産額の内訳をみると、約9割が圃場や植物工場、畜産を組み合わせた農産物であり、食品系廃棄物の有効利用システムの事業化には、農作物生産を組み込むことが必須条件であることが明らかになった。

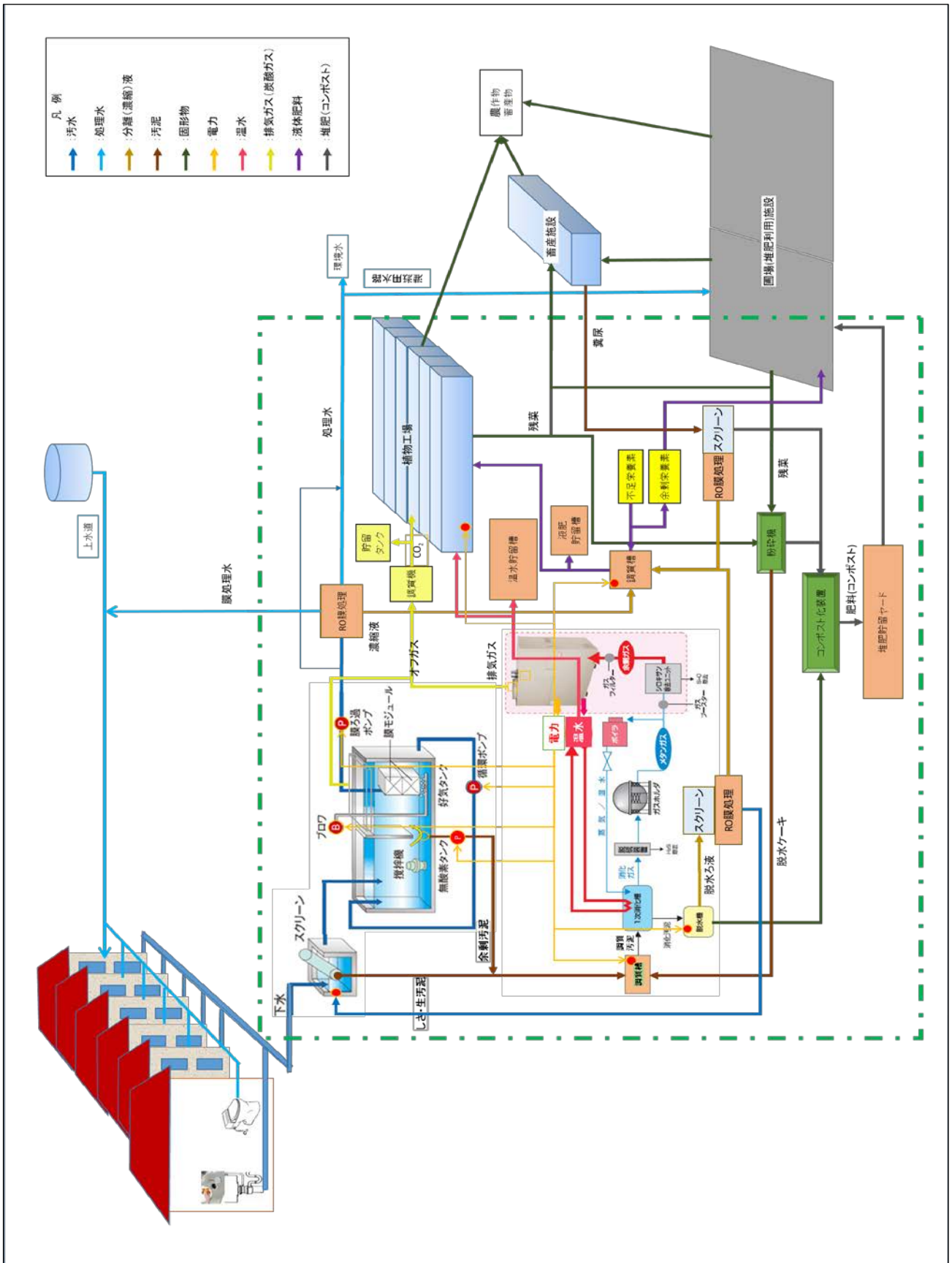


図 有効利用システムのイメージ

あとがき

“生産型下水道システム(ACEⅡ)”は、2013年6月に着想してから6年余を要して漸く校了に至った。その間、中国やベトナムの下水道事業に関与する機会を得て、途上国の下水道事情を垣間見ることができたが、“一定の所得水準に達しないと下水道は普及しない”という「下水道事業の壁」を越えられるプロジェクトに出会うことはなかった。

冒頭でも紹介したが、日本下水道事業団のエースプランに従事したことがあり、その卒業レポートとして「広域汚泥処理事業の明日に」と題して、下水汚泥有効利用の将来像を描いたことがあった。しかし、このエースプランは下水道から発生する汚泥を有効利用しようとするものであり、必ずしも下水道事業全体の運営体制を変革できるものではなかった。

そこで、今回のレポートでは、江戸の昔をヒントに有効利用システムを一から構築してみることにした。すなわち、人間生活の根幹を成す廃棄物はし尿を含めた食品系廃棄物であり、現代社会では生ゴミを含めた食品系廃棄物全体を一括して「原材料」とする“生産型下水道システム”を構築することにし、これを「ACEⅡ」と命名した。

試算によれば、エネルギー生産は、生ゴミを加えることにより発電量が大幅に増加し、システム全体のエネルギー自立の可能性も膨らんだ。また、農産利用は、発電等も含めた生産額全体の約9割を占め、システム全体の自立経営に大きく寄与するという結果が得られた。

システムを構築する上で最も悩んだのは、農業利用における施肥量と収穫量の関係であった。公表データだけでは収支が取れず、流入栄養塩類＝農産物出荷量という大胆な仮定で物質収支を計算した。そのため、試算した農産物出荷量は理論最大値と考えてよいものであり、実際のシステムの構築では栄養塩類のリサイクル率を考慮するなどの検証が必要である。

余談であるが、食品系廃棄物に含まれる栄養塩類を余すことなく再利用するためには、畜産業を組み入れることが必須条件であったことは予想外であった。人間の食生活を考えると当然の結果であったが、廃棄物が人間生活をそのまま反映したものであることを改めて感じた。

なお、食品価格は知名度によって大幅に異なり、ブランド商品になれば平均価格の何倍もの高値で販売することが可能であり、事業収益の改善に寄与できる。例えば、「長寿で有名な地域にこのシステムを導入し、“健康長寿のお裾分け農産物”としてブランド化して高品質の物だけ売り出す。」などが考えられる。この場合は、「農産物の自家消費により地域の健康を促進することが、そのまま商品価値を高めることになる。」というような相乗効果も期待できる。システムの普及には導入技術の開発に加えて、このような経営戦略的な工夫も重要だと考える。

将来、人類が地球以外の宇宙空間で生活するようになると、生活廃棄物の完全リサイクルは最大の課題になると思われる。リサイクルの夢は大きく広がっている。

書籍名 新農村地域廃棄物有効利用システム”ACEⅡ”の構築に向けて

(自家本)

2019年7月30日 発行

著者 川口 幸男

E-mail:kawaguchi@sbmc.or.jp

照会先 一般財団法人 下水道事業支援センター

事業部 技術課

〒113-0034 東京都文京区湯島3-26-9 インテリジエントビル湯島イサカ

TEL 03 (6803) 2685

FAX 03 (6803) 2539

本誌掲載内容等に関するお問合せは、上記照会先をお願いします。