

I S S N 1 3 4 6 - 7 3 2 8

国総研資料 第 805 号

平 成 2 6 年 8 月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.805

August 2014

B-DASH プロジェクト No.6

消化汚泥からのリン除去・回収技術

導入ガイドライン（案）

B-DASH Project No.6

Guideline for introducing a Technology for High Efficiency Phosphorus Recovery
from Digested Sewage Sludge

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

B-DASHプロジェクト No.6

消化汚泥からのリン除去・回収技術導入ガイドライン

国土技術政策総合研究所 下水道研究部 下水処理研究室

B-DASH Project No.6

Guideline for introducing a Technology for High Efficiency Phosphorus Recovery

from Digested Sewage Sludge

Wastewater and Sludge Management Division, Water Quality Control Department

National Institute for Land and Infrastructure Management

概要

本ガイドラインは、下水道事業におけるコスト縮減や再生可能エネルギー等の創出を目指し、下水道革新的技術の一つである「消化汚泥からのリン除去・回収技術」について、下水道事業者が導入検討する際に参考にできる資料として策定したものである。

キーワード : リン回収、消化汚泥、MAP

Synopsis

This Guideline for introducing a Technology for High Efficiency Phosphorus Recovery from Digested Sewage Sludge, which is one of sewage high technologies, is designed to reduce sewage service costs, create renewable energy and support Japanese enterprises' overseas water business expansion.

Key Words : Phosphorus Recovery, Digested Sewage Sludge, MAP

はじめに

我が国の下水道は、国民生活に不可欠な社会資本として、76%まで普及が進んできており、水洗トイレが普及するとともに川や海の水質の改善につながっている。しかし、その一方で、大量に発生する汚水の浄化には大きな電力を要し、それだけで我が国の総電力消費量の0.7%近くを占めている。これは、下水処理場の維持管理費を押し上げる要因ともなっている。

また、下水や汚泥の処理に伴い温室効果ガスが排出されるため、地方公共団体の公共事業の中でも最大級の温室効果ガス排出源となっている。今後、下水道の未普及地域の解消や高度処理化など、排出を増加させる要因が引き続き見込まれることから、地球温暖化防止に一定の役割を果たそうとする我が国において、その削減が急がれる。

さらに、下水汚泥や下水の持つエネルギー価値やリン等資源のポテンシャルに期待が高まっており、省エネ・省資源のみならず、積極的にエネルギー・資源を創出する取組も始まっている。

下水を排除・処理する一過性のシステムから、集めた物質等を資源・エネルギーとして活用・再生する循環型システムへと転換することが「下水道ビジョン2100」（平成17年）でも打ち出されているが、潜在的なポテンシャルに対して実際に活用されている割合はわずかであり、優れた新技術が開発されても、まだ実績が少ないため導入に慎重な下水道事業者も多い状況である。

このため、国土交通省下水道部では、優れた革新的技術の実証、普及により下水道事業におけるコスト縮減や再生可能エネルギー等の創出を実現し、併せて、本邦企業による水ビジネスの海外展開を支援するため、「下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト※）」を平成23年度から開始し、国土技術政策総合研究所下水道研究部が実証研究の実施機関となっている。

本ガイドライン「消化汚泥からのリン除去・回収技術導入ガイドライン」で示す技術は、汚泥の嫌気性消化プロセスから発生する消化汚泥に含まれる高濃度の溶解性リンと一部の浮遊性リンをMAPとして除去・回収するものであり、従来法より高いリン除去・回収性能を有し、同時に汚泥脱水施設のMAPスケール付着問題を大幅に軽減できるという特徴を有する。また、脱水汚泥固形物量も減少するため、経済性にも優れた方法であることが実証されている。

本ガイドラインは、国土技術政策総合研究所委託研究（栄養塩除去と資源再生（リン）革新的技術実証研究 受託者：水ing・神戸市・三菱商事アグリサービス共同研究体 実施期間：平成24～25年度）において実施した成果を踏まえ、下水道事業者が革新的技術の導入を検討する際に参考にできる資料として策定したものであり、これらの優れた技術が全国そして海外にも普及されることを強く願うものである。

技術選定から実証研究施設の設置、実運転による実証を踏まえたガイドラインの策定までを2年間という短期間でまとめるにあたり、大変なご尽力をいただいた評価委員会および検討会の委員各位をはじめ、実証研究に精力的に取り組まれた研究体各位等全ての関係者に深く感謝申し上げます。

※B-DASH プロジェクト：Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology Project

目 次

第 1 章	総 則	1
第 1 節	目 的	
§ 1	目 的	1
第 2 節	ガイドラインの適用範囲	
§ 2	ガイドラインの適用範囲	3
第 3 節	ガイドラインの構成	
§ 3	ガイドラインの構成	4
第 4 節	用語の定義	
§ 4	用語の定義	6
第 2 章	技術の概要と評価	8
第 1 節	技術の概要	
§ 5	技術の目的	8
§ 6	技術の概要	10
§ 7	技術の特徴	13
§ 8	リン除去・回収装置の概要・特徴	16
§ 9	MAP 洗浄装置、貯留設備の概要・特徴	18
§ 10	MAP 乾燥装置、乾燥 MAP 貯留設備の概要・特徴	19
§ 11	回収 MAP の特徴	20
§ 12	技術の適用条件	21
§ 13	導入シナリオ例	23
第 2 節	実証研究に基づく評価の概要	
§ 14	技術の評価項目	25
§ 15	技術の評価結果	28

第3章 導入検討 40

第1節 導入検討手法

§ 16	導入検討の手順	40
§ 17	基礎調査	43
§ 18	導入効果の検討	45
§ 19	導入判断	54

第2節 導入効果の検討例

§ 20	試算条件	55
§ 21	導入効果の検討結果	58

第4章 計画・設計 68

第1節 導入計画

§ 22	計画の手順	68
§ 23	基礎調査	69
§ 24	施設計画の検討	70
§ 25	計画上の留意点の整理	73
§ 26	導入効果の検証	74
§ 27	導入計画のとりまとめ	75

第2節 リン除去・回収設備の設計

§ 28	設計手順	76
§ 29	リン除去・回収装置	77
§ 30	薬注設備	80
§ 31	MAP 洗浄設備	82
§ 32	MAP 乾燥・貯留設備	84

第5章 維持管理 86

第1節 リン除去・回収技術の維持管理

§ 33	リン除去・回収技術の運転管理	86
§ 34	リン除去・回収技術の保守点検	88

第6章 回収 MAP の資源化

90

第1節 資源化の検討

§ 35	資源化の検討手順	90
§ 36	用途・需要者の検討	91
§ 37	流通形態の検討	94
§ 38	受渡し条件	96

第2節 回収 MAP の流通と品質管理

§ 39	設備建設から肥料流通までの流れ	99
§ 40	品質管理	101

参 考 文 献

参考文献	102
------	-----

資 料 編

1. 実証研究結果	103
2. ケーススタディー	130
3. 回収 MAP 資料	146
4. 問い合わせ先	154

本編

第1章 総 則

第1節 目 的

§1 目 的

本ガイドラインは、下水道事業における大幅なコスト縮減や省エネルギー・創エネルギー効果の増大に寄与するため、下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）の革新的技術の1つである「栄養塩除去と資源再生・革新的技術に関する実証研究」（以下、本技術とする）について、実証研究の成果を踏まえて、技術の概要，導入検討，計画・設計および維持管理等に関する技術的事項について明らかにし，もって導入の促進に資することを目的とする。

【解 説】

下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）は、新技術の研究開発及び実用化を加速することにより、下水道事業における大幅な省エネルギー・創エネルギー効果やコスト縮減を実現し、併せて、本邦企業による水ビジネスの海外展開を支援するため、国土交通省が実施しているものである。

B-DASH プロジェクト全体の概要は、図 1-1 に示すとおりである。各実証事業においては、国土技術政策総合研究所からの委託研究として、実証研究を実施している。

平成 23 年度は、[1] 水処理技術（高度処理を除く）、[2] バイオガス回収技術、[3] バイオガス精製技術、[4] バイオガス発電技術に係る革新的技術を含むシステムについて公募を行い、2 件の実証研究を採択・実施し、平成 25 年 7 月にガイドライン案を策定している。

平成 24 年度は、[5] 下水汚泥固形燃料化技術、[6] 下水熱利用技術（未処理下水の熱利用に限る。）、[7] 栄養塩（窒素）除去技術（水処理に係る技術は除く）、[8] 栄養塩（りん）除去技術（水処理に係る技術は除く。回収技術を含むことは可。）に係る革新的技術について公募を行い、5 件の実証研究を採択・実施している。

平成 25 年度は、[9] 下水汚泥バイオマス発電システム技術（低含水率化技術、エネルギー回収技術、エネルギー変換技術を組み合わせたシステム技術）に係る革新的技術について公募を行い、2 件の実証研究を採択・実施している。

本技術は、[8] に係る革新的技術であり、学識経験者で構成される「下水道革新的技術実証事業評価委員会」（以下、評価委員会とする）において、「栄養塩除去と資源再生・革新的技術に関する実証研究」技術で構成された従来技術よりも高機能な技術であり、実証研究が行われた結果、当初の技術開発目標については一定の成果が得られた」と評価されている。本ガイドラインは、下水道事業における大幅な省エネルギー・創エネルギー効果やコスト縮減を実現するため、評価委員会で評価された本技術の実証研究の成果を踏まえ、本技術の導入の促進に資することを目的として、国土技術政策総合研究所において策定するものである。このため、本ガイドラインでは、地方公共団

等の下水道事業者が本技術の導入を検討する際に参考にできるように、技術の概要と評価、導入検討、計画・設計および維持管理等に関する技術的事項についてとりまとめている。

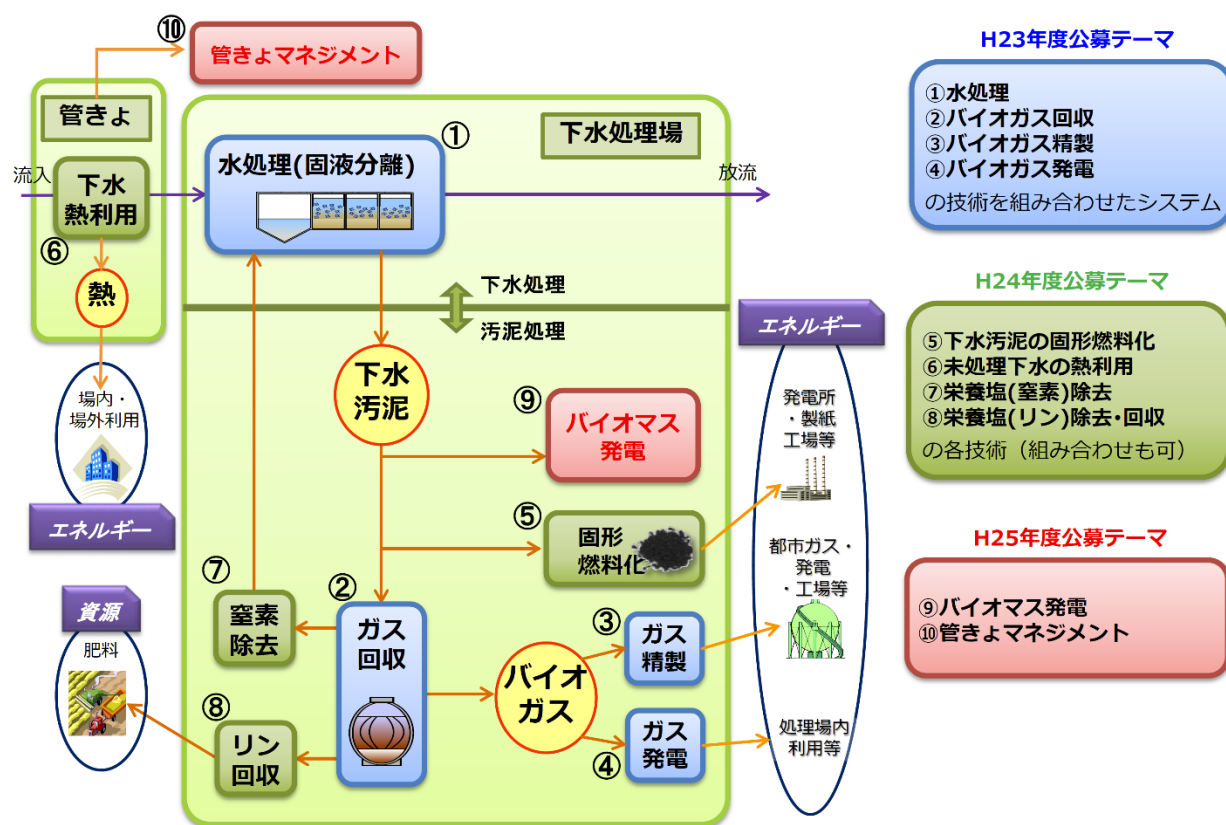


図 1-1 下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）の概要（全体）

第2節 ガイドラインの適用範囲

§2 ガイドラインの適用範囲

本ガイドラインは、本技術についての下水道施設を対象とした導入検討・計画・設計および維持管理に適用する。

【解 説】

本ガイドラインは、下水道施設の新・増設あるいは既設施設・設備の更新に際して、本技術の導入を促進することを目的として、本技術の導入検討、計画・設計、維持管理等の参考となるようにとりまとめたものである。

本ガイドラインは、地方公共団体等の下水道事業者および下水道事業に関連する企業・団体等に利用されることを想定して策定している。

第3節 ガイドラインの構成

§3 ガイドラインの構成

本ガイドラインは、総則、革新的技術の概要と評価、導入検討、計画・設計、維持管理から構成される。

【解 説】

本ガイドラインの構成を図1-2に示す。

各章の概要は、以下のとおりとする。

(1) 第1章 総則

第1章では、目的、ガイドラインの適用範囲、ガイドラインの構成、用語の定義について記述する。

(2) 第2章 技術の概要と評価

第2章では、消化汚泥からのリン除去・回収技術の目的、概要、特徴、適用条件、導入シナリオ例について整理する。また、実証研究で得られた成果に基づく革新的技術の評価結果を示す。

(3) 第3章 導入検討

第3章では、消化汚泥からのリン除去・回収技術の導入を検討する際に必要な手順、手法を整理するとともに、導入効果の検討例を示す。

(4) 第4章 計画・設計

第4章では、導入検討の結果として、消化汚泥からのリン除去・回収技術の導入効果が期待できると判断された場合に、導入に向けてより具体的に計画・設計を進めるための方法について整理する。

(5) 第5章 維持管理

第5章では、消化汚泥からのリン除去・回収技術を導入した場合において、下水道管理者等が実施すべき維持管理の具体的方法について整理する。

(6) 第6章 回収MAPの資源化

第6章では、回収MAPの肥料利用について検討事項、要件について整理する。

その他、資料編として、実証研究結果、ケーススタディー、参考文献、問い合わせ先等に関する資料を示す。

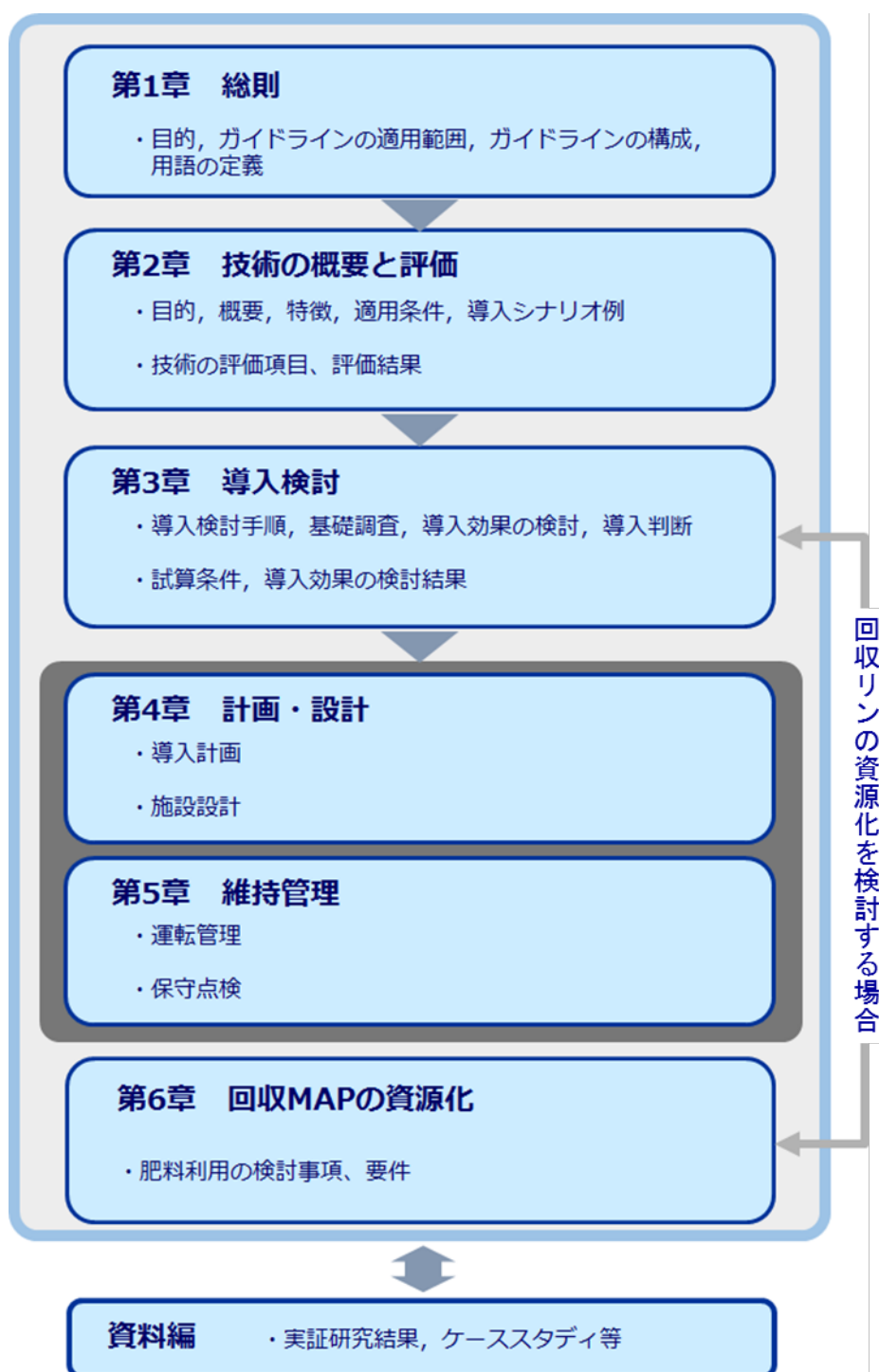


図 1-2 本ガイドラインの構成

第4節 用語の定義

§4 用語の定義

本ガイドラインで取り扱う用語は、以下に示すように定義する。なお下水道施設の基本的な用語に関しては「下水道施設計画・設計指針と解説 2009 年版（以下、設計指針とする）」（社団法人日本下水道協会）、「下水道用語集 2000 年版」（社団法人日本下水道協会）、「合流式下水道改善対策指針と解説 2002 年版」（社団法人日本下水道協会）に準拠する。

(1) 原汚泥

消化汚泥からし渣を除去した消化汚泥をいう

(2) 処理汚泥

リン除去・回収技術により、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 及び原汚泥中の MAP の一部を除去した後の消化汚泥をいう。

(3) MAP

リン酸マグネシウムアンモニウム六水和物 ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) の略称

(4) 自然発生 MAP

下水由来の成分により消化槽内で生成した MAP を示す。

(5) T-P

全リンを示し、概ねリン酸態リン、MAP を構成するリン、有機物由来のリン、その他無機性のリンから構成される。

(6) 自然発生 MAP-P

下水由来の成分により、自然に生成した MAP を構成するリンを示す。

(7) $\text{PO}_4\text{-P}$

溶解性のオルトリン酸態リンを示す。栄養塩として藻類に吸収・利用されることから、閉鎖性水域における富栄養化の原因物質とされる。

(8) $\text{PO}_4\text{-P}$ 除去率

原汚泥 $\text{PO}_4\text{-P}$ ($\text{PO}_4\text{-P}$)_{in} と処理汚泥 $\text{PO}_4\text{-P}$ ($\text{PO}_4\text{-P}$)_{out} との差の比率から算出される。除去された $\text{PO}_4\text{-P}$ は MAP に転換する。

【 $\text{PO}_4\text{-P}$ 除去率の算出式】

$$\text{PO}_4\text{-P 除去率}(\%) = \{(\text{PO}_4\text{-P})_{\text{in}} - (\text{PO}_4\text{-P})_{\text{out}}\} \div (\text{PO}_4\text{-P})_{\text{in}} \times 100$$

(9) Mg 添加率

原汚泥の $\text{PO}_4\text{-P}$ に対して、装置内へ添加する Mg のモル比率を示す。Mg 添加率を高くすれば、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 除去率は高まる傾向となる。

【Mg 添加率の算出式】

$$\text{Mg 添加率}(-) = \text{水酸化マグネシウム液の Mg モル濃度} \times \text{水酸化マグネシウム液の添加量} \div (\text{原汚泥 } \text{PO}_4\text{-P モル濃度} \times \text{原汚泥供給量})$$

(10) 回収 MAP 量

リン除去・回収技術の晶析リアクタ内に回収されたリンを示す。装置内に回収されるリンは、遠心分離が可能な一定粒径以上の粒状のリンであり、これは概ね MAP であるため、ここでは装置に回収されるリンを回収 MAP と定義する。

回収された回収 MAP の量は、原汚泥 T-P ($T-P_{in}$) と処理汚泥 T-P ($T-P_{out}$) との差に原汚泥供給量を乗じることで算出される。

【回収 MAP 量の算出式】

$$\text{回収 MAP 量 (g/d)} = \{(T-P)_{in} - (T-P)_{out}\} \times \text{原汚泥供給量} \times 245/31$$

(11) ろ液 MAP 法

脱水ろ液を処理対象とするリン除去回収法である。脱水ろ液中のリン酸にマグネシウム源を晶析リアクタ内で添加し、MAP として除去回収する。晶析リアクタは流動層式のものが実用化されている。本書では「流動層式のろ液 MAP 法」を比較対象としての従来法と位置づける。

(12) 返流水リン負荷

汚泥処理系から水処理系への返流水に含まれるリンによる水処理系への負荷のことを指す。

第2章 技術の概要と評価

第1節 技術の概要

§5 技術の目的

本技術の目的は、消化槽と汚泥脱水設備の間にリン除去・回収設備を設置し、消化汚泥中のリンを MAP として除去・回収することにより、消化汚泥および返流水のリン負荷を低減するとともに、回収したリンの資源利用を図るものである。

【解 説】

下水処理場では、地球温暖化対策としての省エネルギー対策やエネルギー回収が求められており、汚泥の減量化とエネルギー回収を図ることのできる嫌気性消化が改めて注目されている。しかし嫌気性消化では有機物の分解にともない窒素・リンが液中に溶出し、高濃度のリン酸、アンモニアが汚泥処理系統より水処理系統へ返流され、水処理への負荷が増大するという課題がある。また、条件によっては、消化汚泥系統や脱水設備において、リンに起因するスケールによる配管閉塞や機器トラブル等が発生する課題もある。

一方、肥料・工業原料の一つであるリンは、世界的な枯渇資源でありながら、我国においては、その必要量全量を輸入しているという貴重な資源でもある。

従来法として、資源化可能な形態でリンを回収可能な返流水リン負荷削減技術としては、脱水ろ液から MAP としてリンを除去回収するろ液 MAP 法がある。しかし、従来法では処理対象を脱水ろ液としていることから、脱水設備でのスケールトラブル低減を図れないことや、脱水機の運転状態（使用薬品や SS 回収率）の影響を受けやすいという課題があった。

本技術では、消化汚泥中のリンを直接 MAP として除去・回収するため、上記の課題を解決しつつ返流水のリン負荷を低減することが可能である。また、脱水ろ液に比べてリン濃度の高い消化汚泥から直接回収するため、MAP 回収量の増加を図ることができ、加えて、リン除去による消化汚泥固形物量の削減による汚泥処理処分費の低減も期待できる。

本技術および従来法（ろ液 MAP 法）の適用箇所を図 2-1 に示す。

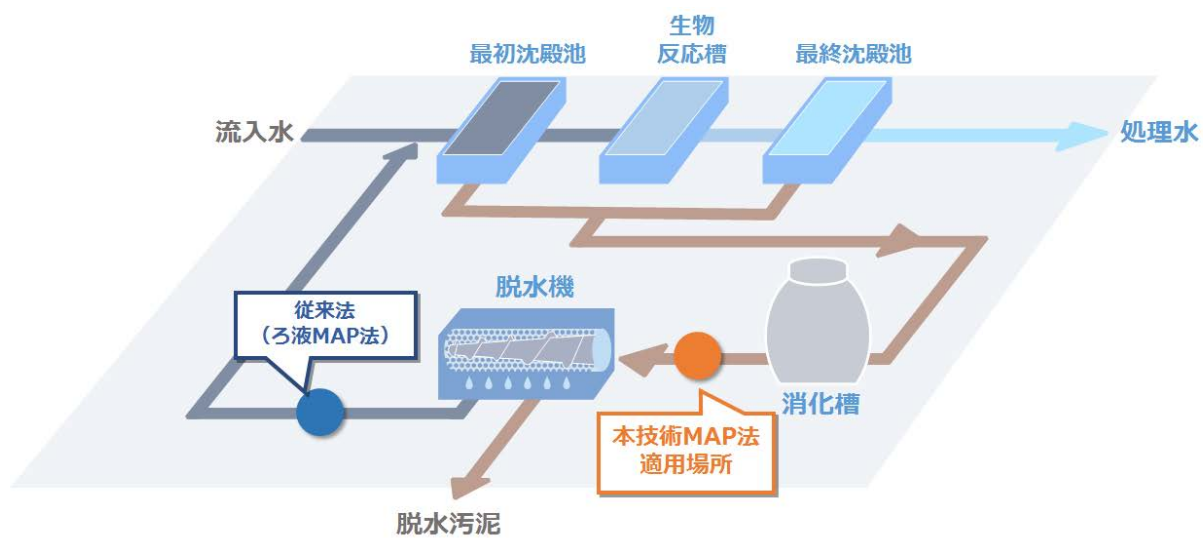


図 2-1 本技術の適用箇所

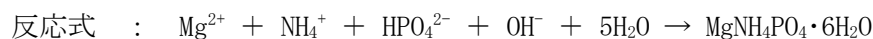
§6 技術の概要

本技術は消化槽からの消化汚泥引抜きラインにリン除去・回収設備を設け、消化汚泥中のリン酸態リン（ $\text{PO}_4\text{-P}$ ）を MAP に晶析させ、除去・回収するとともに、消化槽内で既に MAP となっている粒子の一部を回収するものである。回収 MAP は肥料として利用可能である。

【解 説】

（1）晶析反応

消化汚泥中には $\text{PO}_4\text{-P}$ の他にアンモニウムイオン（ NH_4^+ ）も豊富に含んでいる。MAP はリン酸水素イオン（ HPO_4^{2-} ）、アンモニウムイオン（ NH_4^+ ）、マグネシウムイオン（ Mg^{2+} ）の晶析反応により生成する物質であるため、消化汚泥に適正量のマグネシウムイオンを添加し、晶析に適した環境に制御することで MAP として晶析させる。



（2）自然生成した MAP の回収

図 2-2 に消化汚泥中のリンの形態と回収対象例を示す。消化汚泥中のリンの形態は、実際には処理場毎に異なるため個別の調査が必要であるが、およその内訳としては、T-P のうち約 15～45% 程度が $\text{PO}_4\text{-P}$ であり、5～15% 程度が自然発生 MAP であると推測される（詳細資料編 1 項（3）参照）。

実証施設での自然発生 MAP の参考を写真 2-1 に示す。従来法では、脱水工程により殆どの固形物が除去された脱水ろ液を対象とするため、前述のリン形態のうち、脱水ろ液として流出する $\text{PO}_4\text{-P}$ のみを処理対象とするが、本技術では、自然発生した MAP の一部についても回収対象となるため回収量が大幅に向上する。

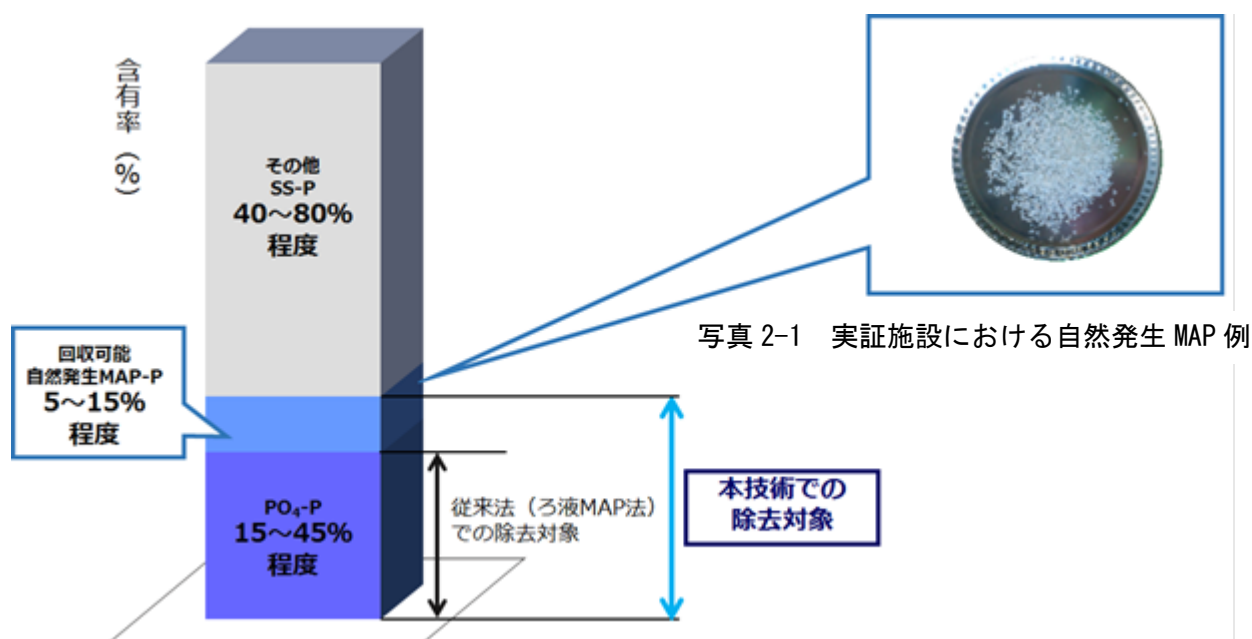


図 2-2 消化汚泥中のリンの形態と回収対象例

(3) プロセス概要

本プロセスは消化汚泥中に MAP を晶析させて汚泥から分離・回収する「リン除去・回収装置」と、分離回収した MAP 中に残留している汚泥分を除去する「MAP 洗浄装置」により構成される。リン除去後の処理汚泥は既存の汚泥脱水機で処理する。また、回収リンの引取り先等の条件に応じて MAP 洗浄装置の後に「MAP 乾燥・貯留設備」を付加する。図 2-3 にプロセス概略フローを、写真 2-2 に実証施設写真を示す。

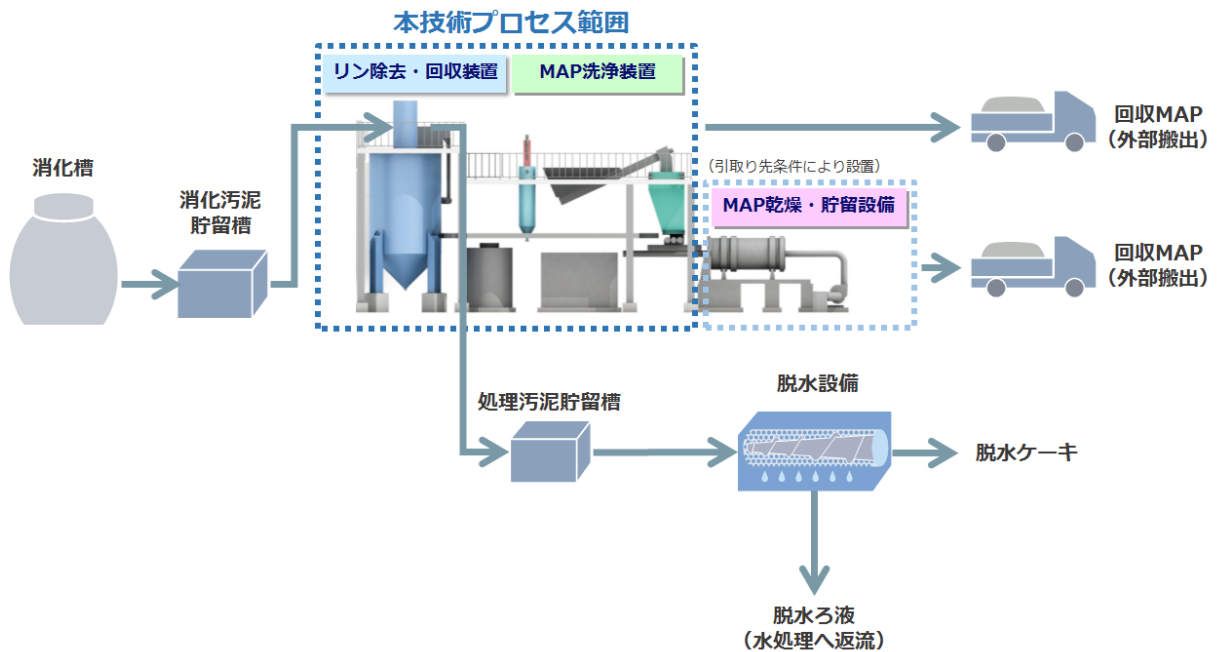


図 2-3 プロセス概略フロー

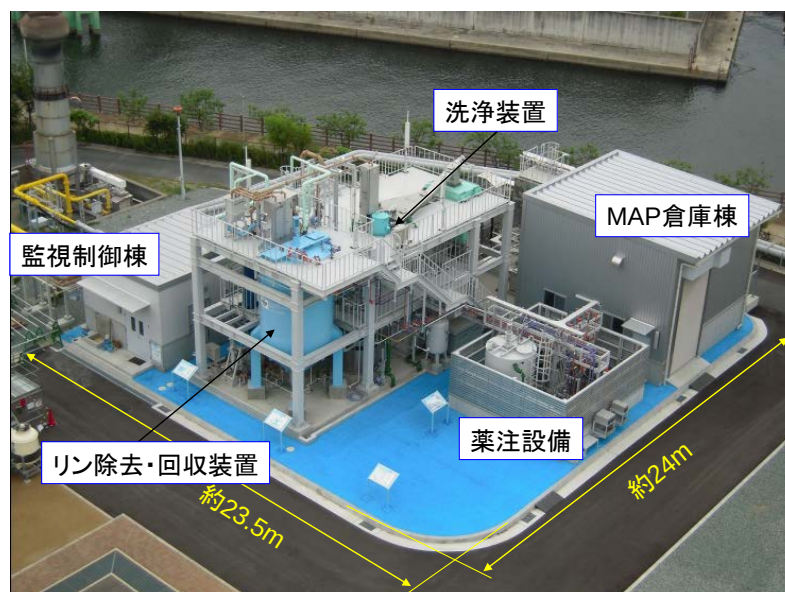


写真 2-2 東灘処理場リン除去回収実証施設

(4) 回収 MAP の肥料原料としての利用

実証施設で回収された MAP とこれを原料にして試作した肥料例を写真 2-3、2-4 に示す。本技術で回収される MAP は $100\sim700\mu\text{m}$ の顆粒状で粒径が安定しており、肥料原料として適している（詳細資料編 1 項（8）参照）。

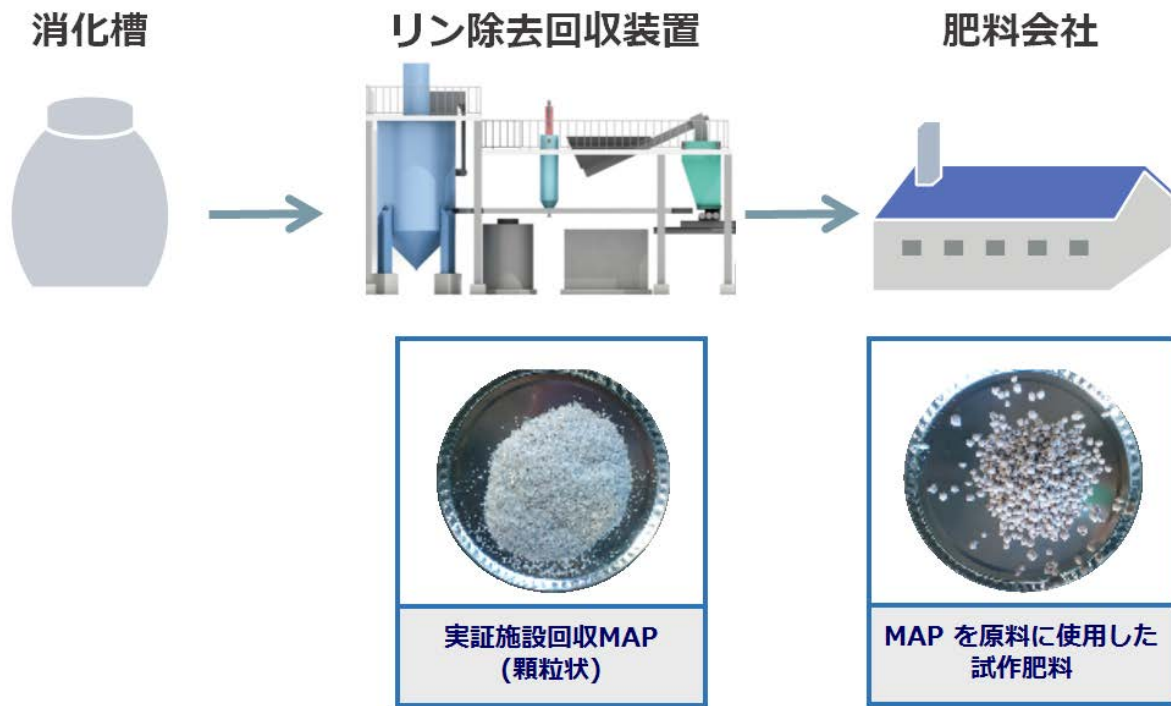


写真 2-3 回収 MAP

写真 2-4 試作肥料

§7 技術の特徴

本技術の特徴は以下のとおりである。

- (1) ろ液 MAP 法よりリン回収量の増加
- (2) ろ液 MAP 法より高いリン除去率により返流水リン負荷を低減
- (3) 脱水処理工程でのリン除去用薬品添加量の削減
- (4) スケールトラブルの低減
- (5) 汚泥発生量の低減
- (6) 肥料または肥料原料として利用可能な MAP の製造

【解 説】

従来のろ液 MAP 法は適用流体が比較的低 SS、低粘度である液体に限定されることから原則として脱水ろ液を対象としている。本技術は、従来の MAP 法では適用が困難であった消化汚泥そのものを処理対象とすることが可能であるため、従来法では得られなかった様々な導入メリットを得ることが可能となる。図 2-4 に本技術導入によるメリットを示す。

(1) ろ液 MAP 法よりリン回収量の増加

本技術は、処理場系内で最も溶解性リンが高濃度となる消化汚泥を対象とするため効率良くリンを除去・回収することが可能である。消化汚泥を対象とすることにより、消化汚泥中の溶解性リン ($\text{PO}_4\text{-P}$) のほかに、自然発生 MAP についても回収することが可能となるため、従来ろ液 MAP 法に比べリン回収量を増加させることができる。回収 MAP を肥料として利用することで、より高いリンの資源循環が可能である。

また、従来のろ液 MAP 法は汚泥脱水処理の後工程であるため、脱水工程で使用する薬品（主に無機凝集剤）によるリン濃度の変動や脱水機の SS 回収率等の影響を受けるが、本技術は汚泥脱水処理工程の前工程となるため脱水処理の影響を受けない。なお、実証研究において本技術導入に伴う汚泥脱水性の変化は認められなかった。

(2) ろ液 MAP 法より高いリン除去率により返流水リン負荷を低減

本技術は、消化汚泥からリンを除去・回収することで、脱水ろ液中のリン濃度を従来ろ液 MAP 法と同等以上に低減することが可能である^{※1}。これにより水処理へのリン負荷を低減することができ、水処理でのリン除去の安定化や、放流水リン濃度の低減にも寄与する。また、水処理で凝集剤を使用してリンを除去している場合はその使用量の削減が期待できる。

※1 従来のろ液からの MAP 法でのリン回収率＝脱水ろ液中の $\text{PO}_4\text{-P}$ の 70%^(*) に対して、本技術での脱水ろ液 T-P 除去（縮減率）は 85% 以上であることが確認されている（§15 参照）。

(*) 出展：下水道におけるリン資源化の手引き（平成 22 年 3 月 国土交通省都市・地域整備局 下水道部）

（３）脱水処理工程でのリン除去用薬品添加量の削減

汚泥脱水機へ投入する消化汚泥に鉄塩等の無機凝集剤を添加し、脱水ろ液リン負荷低減や、脱水ケーキ含水率低減を行っている場合、本技術の導入により、リン除去に消費される無機凝集剤添加分が不要となり、リン由来の汚泥増加、および脱水ケーキ中のリン含有率の増加を防ぐことができる。

参考）高分子凝集剤で凝集・濃縮した後に無機凝集剤を添加し、より低含水率とする脱水技術を適用する場合は、濃縮ろ液のリン濃度の抑制が課題となるが、本技術との組み合わせにより返流水負荷の増大を抑えられる。

（４）スケールトラブルの低減

本技術は従来のろ液 MAP 法と異なり、脱水処理前の消化汚泥から直接リンを除去回収する技術であるため、従来のろ液 MAP 法では解決できなかった脱水設備の配管スケールの抑制や、脱水機でのスケールトラブルの低減にも効果がある。ただし、消化槽からリン除去・回収装置晶析リアクタ間の配管・設備については、リン除去処理前の消化汚泥であるので、従来同様の MAP スケール対策が必要である。

（５）汚泥発生量の削減

一般的な消化汚泥※²には溶解性リン（ $\text{PO}_4\text{-P}$ ）のほか自然発生している MAP が含まれている。本技術はこの自然発生 MAP の一部を回収することが可能である。自然発生 MAP は汚泥固形物の一部であるため、その一部が回収されることによって脱水工程にかかる汚泥固形物量が減少する。本技術によって回収される自然発生 MAP は一般的な消化汚泥固形物量の約 3%程度であり、これに見合う削減効果が脱水、焼却、ならびに埋立等の最終処分で見られることとなる。汚泥処理処分に係る費用、エネルギーは下水処理場の運転費用および消費エネルギーの中で大きな割合を占めるため、その意義は大きい。

※² 一般的な消化汚泥：汚泥濃度：下水道統計中央値、リン濃度：メーカー経験値

（６）肥料または肥料原料として利用可能な回収 MAP の製造

本技術は、消化汚泥中のリンを晶析反応により、リン酸マグネシウムアンモニウムとして除去・回収するものである。通常の下水消化汚泥から得られる MAP は、重金属等の有害物質の含有量が少なく、化成肥料の公定規格値を十分に下回ることが確認されている（詳細資料編 1 項（５）参照）。なお、肥料登録を行う際には、回収 MAP の成分分析を行い、肥効成分含有量および、重金属等の有害物質の含有量が安定的に一定の範囲内に収まっているかについて確認する必要がある。

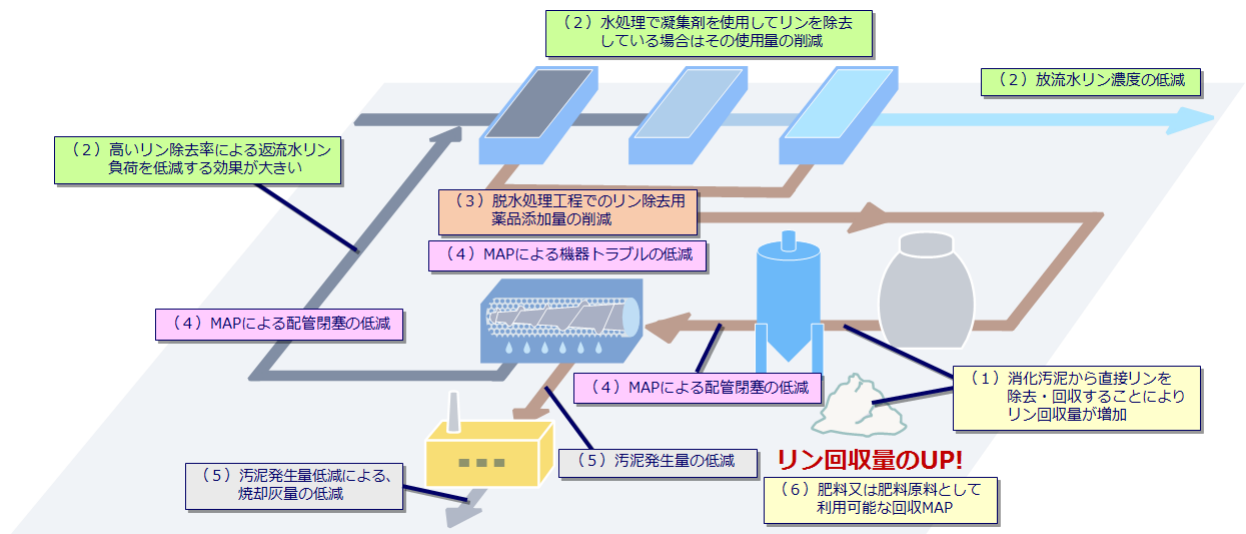


図 2-4 本技術導入によるメリット

§8 リン除去・回収装置の概要・特徴

リン除去・回収装置は、機械攪拌式の完全混合晶析リアクタであり、脱水ろ液に比べ粘性の高い消化汚泥に対しても効率よく MAP 晶析、回収が可能な装置である。その特徴は次のとおりである。

- (1) 機械攪拌式完全混合型反応槽による高い反応効率
- (2) 安定したリン除去・回収性能と容易な運転管理

【解 説】

本装置は、消化汚泥中の $\text{PO}_4\text{-P}$ を MAP として晶析させ、消化汚泥中に自然発生している MAP と共に回収する装置である。本装置は、従来法では適用が困難であった高 SS、高粘度の消化汚泥に対しても効率の良い MAP 晶析反応と晶析 MAP の回収を可能としている。以下に本装置の特徴を示す。

(1) 機械攪拌式完全混合型反応槽による高い反応効率

消化汚泥は、高濃度の $\text{PO}_4\text{-P}$ や自然発生 MAP を含有している一方、高 SS、高粘度であるという性質も持っている。そのため、一般的な流動層型リアクタでは反応効率を高めることが困難であった。本装置は機械攪拌式の完全混合リアクタを採用したため、粘性の高い消化汚泥でも PO_4^{3-} 、 NH_4^+ および Mg^{2+} イオン、ならびに MAP 種晶を均一に接触させて反応効率を高めることができ、リアクタ内のイオン濃度に偏りがある場合に生じる回収困難な微細 MAP（数 μm 程度）の生成が少ないという特徴を有する。また、消化槽内で自然発生した MAP の一部も回収可能であるため MAP 回収量はろ液 MAP 法より増加する。図 2-5 にリン除去・回収装置の概略図を示す。

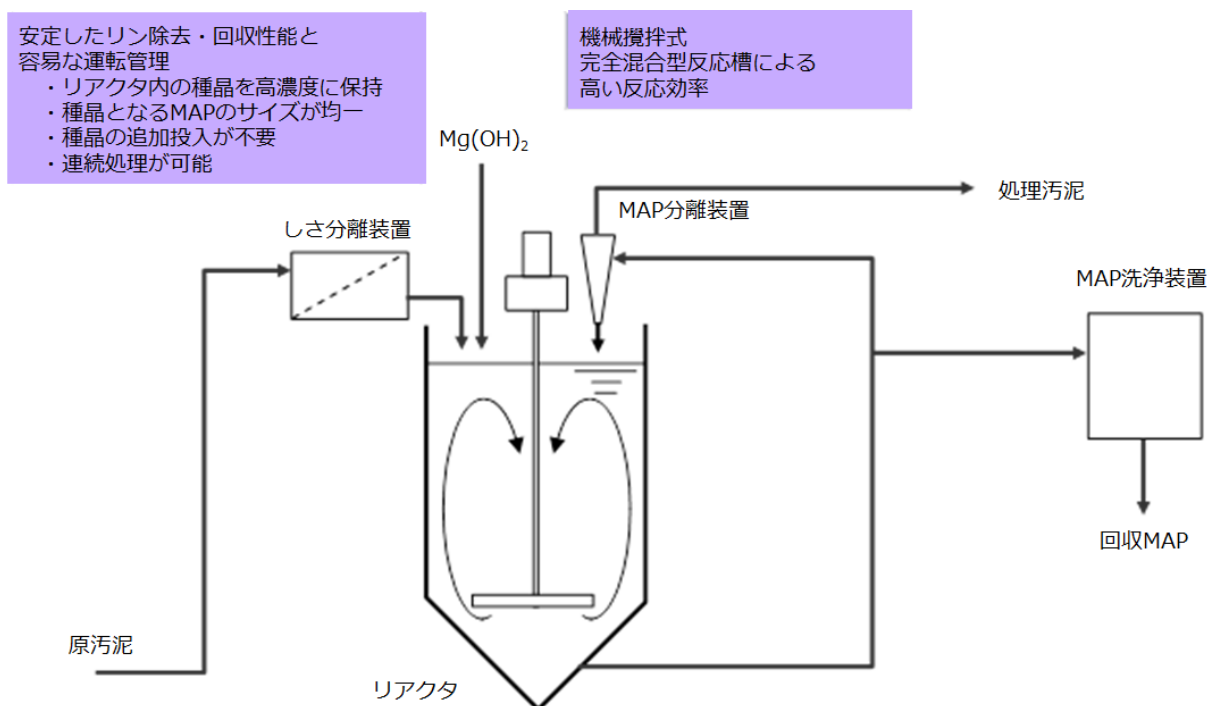


図 2-5 リン除去・回収装置の概略図

本装置の処理原液となる消化汚泥に対するリン除去・回収性能の目安は以下のとおりである。

- ・ $\text{PO}_4\text{-P}$ 除去率は 80%以上
- ・ T-P 除去率（＝リン回収率）は 30%以上（水処理で生物学的リン除去を行っている処理場の場合）

（2）安定したリン除去・回収性能と容易な運転管理

本技術は、リアクタ内に種晶を高濃度に保持することができ、同時に種晶となる MAP のサイズを均一に維持できることから、MAP 晶析反応に必要な種晶表面積が安定的に維持されることとなり、安定したリン除去・回収性能を発揮することが可能である。また、種晶の追加投入等の操作は不要であり、種晶濃度が所定の範囲になるよう、引抜き（回収）回数を設定するだけでよい。なお、引抜き工程においても、装置への流入を停止する必要は無く、常時連続処理が可能である。写真 2-5 にリン除去・回収装置の外観を示す。



写真 2-5 リン除去・回収装置の外観

§9 MAP 洗浄装置、貯留設備の概要・特徴

MAP 洗浄装置は、回収 MAP の資源利用価値向上の為、リン除去・回収装置で晶析・高濃度化された MAP を洗浄する装置である。洗浄・水切りした MAP はホップで一時貯留する。その特徴・概要は以下のとおりである。

- (1) 肥料利用に必要な洗浄機構を有する MAP 洗浄装置
- (2) 洗浄 MAP に適した機構を有するスクリーコンベヤ式水切り装置
- (3) 水切りした MAP を一時貯留する MAP 貯留ホップ

【解 説】

MAP 洗浄装置は、リン除去・回収装置から引き抜かれた MAP を洗浄および水切りする装置である。水切りした MAP は MAP 貯留ホップで一時貯留する。写真 2-6 に MAP 洗浄装置の外観を示す。

- (1) 肥料利用に必要な洗浄機構を有する MAP 洗浄装置

MAP 洗浄装置は、リン除去・回収装置から引き抜かれた MAP 中に残存している汚泥と MAP を高度に分離し、回収 MAP の純度を向上させる。リン除去・回収装置からの均一な粒径の MAP を濃縮する機構と適切な上昇流速と旋回流による水洗浄機能を有しており、MAP と混在している消化汚泥 SS 等を洗浄排除するものである。回収 MAP を肥料として利用するには、本洗浄装置による洗浄が必要である。

- (2) 洗浄 MAP に適した機構を有するスクリーコンベヤ式水切り装置

水切装置はスクリーコンベヤ方式の水切装置であり、洗浄装置底部から引き抜かれた MAP 粒子間の水を切るものである。水切り直後の MAP の含水率は、概ね 15～25%程度となる。

- (3) 水切りした MAP を一時貯留する MAP 貯留ホップ

水切後の MAP を一時貯留するものである。ホップ貯留期間中の自然乾燥により MAP の含水率を 10～15%程度に低減させる。この状態で搬出可能な場合は、本ホップより輸送車へ MAP を搬出する。更に MAP の水分を低減させるために後段に乾燥装置を設ける場合は、本ホップより乾燥装置へ MAP を供給する。

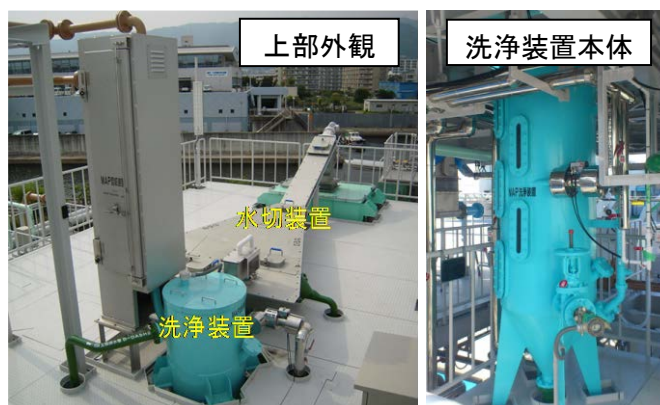


写真 2-6 MAP 洗浄装置の外観

§ 10 MAP 乾燥装置、乾燥 MAP 貯留設備の概要・特徴

回収 MAP の引渡し条件として、乾燥が必要な場合には、MAP 乾燥装置、乾燥 MAP 貯留設備を設ける。

- (1) MAP の性状に適した乾燥装置
- (2) 乾燥 MAP 貯留設備

【解 説】

MAP 乾燥・貯留設備は、洗浄・水切り後の MAP を乾燥し、貯留する設備である。

(1) MAP の性状に適した乾燥装置

洗浄後の回収 MAP を乾燥させる設備である。MAP はアンモニアと水和物を含むため、乾燥時に熱を加えすぎると変質する。約 60℃以下に品温管理が可能な乾燥装置を使用する。

MAP を乾燥することで、MAP のハンドリング性を向上させることができ、MAP の流通を容易にすると共に、肥料価値を向上させることが期待される。乾燥熱源としては、消化ガスの利用が可能である。写真 2-7 に MAP 乾燥装置の例を示す。



写真 2-7 MAP 乾燥装置の例

(2) 乾燥 MAP 貯留設備

乾燥 MAP を貯留する設備である。貯留方法は、ホップ貯留、フレキシブルコンテナバック（以下、フレコンと略記する）による貯留等が考えらる。乾燥 MAP への雨水の浸入を防止するとともに、MAP 回収量と引き取り頻度・量とのバランスを考慮した容量を確保する。写真 2-8 にフレコンに投入した乾燥 MAP の例を、写真 2-9 に乾燥 MAP 保管倉庫の例を示す。



写真 2-8 フレコンに投入した乾燥 MAP の例



写真 2-9 乾燥 MAP 保管倉庫の例

§ 11 回収 MAP の特徴

回収 MAP の特徴は以下のとおりである。

- (1) 回収 MAP の形状は均一な丸みを帯びた顆粒である
- (2) 化成肥料登録が可能な組成である
- (3) 肥料原料に適した性状である

【解 説】

- (1) 回収 MAP の形状は均一な丸みを帯びた顆粒である

リン除去・回収装置での完全混合による均一な晶析反応の進行と連続 MAP 濃縮循環機構による MAP 種晶どうしの衝突磨耗効果により、回収 MAP は粒径が 100～700 μm 程度の丸みを帯びた均一な（乳）白色の（顆粒状）結晶（体）になる。

- (2) 化成肥料登録が可能な組成である

回収 MAP の成分は、化成肥料の公定規格を満足する品質が確保される。また、植物の生育上有害とならないことが植害試験の結果で確認されている。なお、回収した MAP は化成肥料として登録実績がある。

- (3) 肥料原料に適した性状である

回収 MAP は肥料原料として適していることが確認されている。**写真 2-10** に回収 MAP の例を示す。また、化成肥料原料としての利用や（**写真 2-11** 試作肥料例 A（チッ素-リン酸-カリ-マグ＝8-8-8-1））、複合肥料（ペレット）肥料原料としても利用可能（**写真 2-12** 試作肥料例 B（チッ素-リン酸-カリ＝12-3-3））である。



写真 2-10 回収 MAP 例



写真 2-11 試作肥料例 A



写真 2-12 試作肥料例 B

§ 12 技術の適用条件

本技術は下水処理場における嫌気性消化汚泥に含まれるリンの除去・回収に適用する。本技術の適用に際しては、消化汚泥中のリン酸態リン濃度が目安として 50mg/L 以上であることを基本とする。

【解 説】

本技術は、表2-1に示すように、下水処理場における嫌気性消化汚泥に含まれるリンの除去・回収に適用する。本技術の適用に際しては、消化汚泥中のリン酸態リン濃度が50mg/L以上であることを基本とする。リン酸態リン濃度が低い場合はリン除去・回収率が低下し、本技術導入のメリットが小さくなることによる。本技術の導入が効果的である処理場は、消化汚泥中のリン酸態リン濃度が高い処理場、例えば、流入リン濃度の高い傾向にある分流式の処理場、嫌気好気運転等生物学的リン除去を行っている処理場、消化槽の新設や外部からバイオマス等を受入れる、等により返流水リン負荷の増大に対応する必要がある処理場、などである。その他、基本条件に適合する処理場であって、処理水のリン除去が必要な総量規制区域にあり、凝集剤添加によるリン除去を実施しているか、実施する計画となっている場合、本技術の導入により凝集剤使用量や汚泥発生量が減少する効果を期待できる。また、MAPによる機器や配管のスケールトラブルを抱える処理場では、本技術の導入によりMAP由来のスケールトラブルの低減が期待できる。

本技術導入によって対応可能な処理場の課題の例と他の方式による対応との比較を表 2-2 に示す。なお、消化汚泥中に砂分が多い場合には、回収 MAP 中に砂分が混入する可能性があるため、消化汚泥中の砂分の濃度を把握し、必要により汚泥の除砂設備を設けることや、消化汚泥引抜き管位置を選択可能な場合は、砂分の少ない中層以上とすること、などを検討する。

表 2-1 本技術導入の基本適用条件

基本適用条件
消化槽を保有、または新規に設置する。
消化汚泥のリン酸態リン濃度が 50mg/L 以上ある。

表 2-2 本技術によって対応可能な処理場の課題の例と他の方式による対応との比較

課題	本技術による対応	従来法（脱水ろ液からのMAP 法）による対応	返流水への凝集剤添加による対応
資源化可能な形態でリンを除去・回収したい ※流入下水に対する回収率は水処理で生物学的リン除去を適用する場合の目安の値	○	○	×
	流入下水に対する回収率 約 30% (従来法より約 30%向上)	流入下水に対する回収率 約 10~20%	
返流水のリン負荷を低減したい	○	○	○
リン除去用凝集剤の添加量を削減したい	○	○	×
汚泥脱水設備（機器・配管）のスケールトラブルを軽減したい	○	×	×
脱水汚泥処理固形物量を低減したい	○	×	× 凝集剤由来の汚泥が増加
し尿やバイオマスの受入により増大するリン負荷を削減したい	○	○	○
新規に消化設備を導入する	○	○	○

§ 13 導入シナリオ例

本技術の導入目的の例と期待できる導入効果を示す。

- (1) 消化設備を有している処理場において、返流水リン負荷の削減のために導入する。
 - 1) 返流水リン負荷が減少し、水処理でのリン除去が安定化するとともに、回収リンの資源化が可能となる。水処理系でリン除去用凝集剤を使用している場合は凝集剤使用量を削減できる。
 - 2) 消化汚泥中の自然発生 MAP の一部が回収されることにより汚泥固形物処理量が削減される。
 - 3) 汚泥脱水設備のスケールトラブルが軽減されるので、スケール防止等のための維持管理費が減少する。
- (2) 今後新規に消化設備を導入する計画がある処理場や、消化設備へ外部バイオマス受け入れを計画している処理場において、増加する返流水リン負荷を削減するために本技術を導入する。
 - 1) 消化槽からのリン負荷増大に伴う返流水リン負荷の増大等を防止する。
 - 2) 汚泥脱水設備においてスケールトラブル発生等のリスクを軽減する。

【解 説】

本技術の導入目的と期待できる導入効果を以下に解説する。

- (1) 消化設備を有している処理場において、返流水リン負荷削減のために本技術を導入する。
 - 1) 返流水リン負荷を 80%以上低減することによって、水処理でのリン除去が安定化する。除去されたリンはMAP 結晶として回収され、化成肥料等としての資源化利用が可能であるため、リン除去汚泥が発生しない（従来法であるろ液 MAP 法でも同様である）。また、水処理系でリン除去用凝集剤を使用している場合は返流水リン負荷削減によって水処理系の流入リン濃度が低下するため、凝集剤使用量が削減され、相当分の凝集汚泥発生量が減少する。

放流水質確保のため生物学的リン除去等を採用している処理場では、消化によって可溶化したリンが水処理系に戻ることによって水処理系のリン負荷が高まり、処理の不安定化などが懸念される。そのため返流水リン負荷低減の目的で凝集剤を添加している処理場等において、改築更新の際などに消化汚泥からリンを除去・回収する本技術を適用することが考えられる。この場合は、返流水のリン負荷が低減することによる水処理でのリン除去運転の安定化効果は同等であるが、回収 MAP の資源化利用に伴い、リン除去凝集汚泥が発生しないこととなり、次の 2) の効果も加わって、脱水処理以降の汚泥処理固形物量が減少する。

特に、他処理場の汚泥を受け入れている場合は返流水リン負荷が水処理の規模に比べて大きくなるため、本技術適用の効果も大きくなる。

2) 消化汚泥中で自然発生している MAP の一部が除去・回収されることで、消化汚泥固形物の数%に相当する汚泥固形物量が除去される。このことにより、本法ではろ液 MAP 法を適用する場合に比べ脱水処理の低コスト化および脱水ケーキ量の削減が期待される。また、脱水工程において無機凝集剤と高分子凝集剤を併用している場合には、消化汚泥中の溶解性 $\text{PO}_4\text{-P}$ と凝集剤が反応して生成される新たなリン由来の汚泥の発生量も減少すると考えられる。

これらの汚泥量の減少によって、汚泥脱水設備の運転や脱水ケーキの輸送および処分、ならびに汚泥焼却に関するコスト、エネルギー消費量、温室効果ガス排出量の削減が期待できる。

3) 消化汚泥からリンを除去・回収することで、後段の消化汚泥移送管、脱水設備での MAP スケールの生成が抑制されることが実証により確認されている。スケール付着対策として配管や脱水設備の洗浄等を実施している処理場では、本技術の適用によりその頻度が低減するため、維持管理費の低減および運転安定性の向上が期待できる。

(2) 今後新規に消化設備を導入する計画がある処理場や、消化設備へ外部バイオマス受け入れを計画している処理場において、増加する返流水リン負荷を削減するために本技術を導入する。

1) 今後新規に消化設備を導入する場合や、既存の消化設備にリンを含む外部バイオマスを導入する場合、返流水のリン負荷が増大する。本技術を導入することで返流水リン負荷増大を防止することが可能となる。

本技術を導入して対応する場合と、他の方法によって対応する場合を比較すると、凝集剤によって対応する場合は汚泥量の増加に伴う課題が生じ、ろ液 MAP 法によって対応する場合はリン除去効果が多少低めであり、MAP 回収量の点で劣ることから、本技術による対応が優れており、消化工程の導入や外部バイオマス受け入れのメリットをより多く享受できることとなる。

2) 消化工程導入により汚泥処理設備での MAP スケールトラブルが発生するリスクがある。本技術を導入することでリスクを低減することが可能となる。

凝集剤添加で対応する場合、汚泥貯留槽など、添加位置を適切に選択することによって高い MAP スケール防止効果を得ることができると考えられる。本技術はろ液 MAP 法では対応困難であった脱水機の MAP スケール防止が可能であるが、消化槽から本技術までの間はスケールが付着する可能性が残るため、わずかながら、スケール防止のための配管洗浄は必要である。

第2節 実証研究に基づく評価の概要

§ 14 技術の評価項目

本技術の実証研究において評価された項目は以下に示すとおりである。

- (1) コスト、エネルギー消費量および温室効果ガス排出量（施設規模との関係）
- (2) 汚泥固形物量削減効果
- (3) リン除去・回収機能
- (4) その他の効果
- (5) ろ液 MAP 法との対比による LCC、エネルギー消費量および温室効果ガス排出量

【解 説】

新技術の導入促進に際しては、各技術の性能指標を定量的に比較し、性能の優れた技術を選定できるように、技術の目的に応じて、性能指標の評価項目、評価方法並びに評価結果を設定、提示することが重要である。本項では、本技術による返流水中のリン除去・回収における性能指標の評価項目および評価方法について解説する。

(1) 経済性、エネルギー消費量および温室効果ガス排出量（施設規模との関係）

本技術導入に伴うコスト、エネルギー消費量、温室効果ガス排出量について試算を行い、施設規模との関係を示す。算出に用いる各原単位については第3章に記載する。なお、MAP 乾燥装置はこれらの試算には含まれない。

1) コスト（建設費、維持管理費、廃棄費、LCC）

①建設費

本技術の建設に関わる費用として、機械設備・電気設備・土木設備（基礎）について算出。

②維持管理費

本技術の維持管理に関わる費用として、薬品費・動力費・消耗品・オーバーホール等定期点検費および日常の点検に関わる人件費等について算定。

③本技術適用による他設備への効果

i) 汚泥固形物量の低減

本技術では消化汚泥中の自然発生 MAP の一部を除去・回収するため、消化汚泥固形物量が減少する。リン除去回収装置の有無による脱水機への固形物投入負荷量の違いを比較し、脱水ケーキ固形物負荷量の減少量として評価する。評価方法の詳細は資料編1項（4）に示す。

固形物量の減少に伴い汚泥脱水、焼却で固形物量減少分相当の維持管理費が削減されるので、その額を算定し本技術適用による低減効果として加味する。

ii) リン除去凝集汚泥の削減

返流水リン負荷対策として凝集剤を使用している処理場では、本技術適用により返流水リン負荷がカットされるため、リン除去用凝集剤使用量が減少する。これに伴ってリン除去凝集汚泥発生量も減少するので、薬品費の他に脱水・焼却の維持管理コストも減少することになる。

これらの減少額を算定し本技術適用による削減効果として加味する。

④廃棄費

本技術導入に伴う建設費に係数を乗じて、廃棄費を算出する。

⑤LCC

建設費、維持管理費、廃棄費を合算し、LCC とする。

2) エネルギー消費量

本技術の稼働時に使用される動力・薬品等に由来するエネルギー消費量を算出する。

また、前記1) ③ i)、ii) における本技術適用による消化污泥固形物量削減、リン除去用凝集剤使用量減少とこれに伴う凝集污泥量削減を考慮する場合は、これらに起因するエネルギー消費削減量を算定し、本技術適用による削減効果として加味する。

3) 温室効果ガス排出量

本技術の稼働時に使用される動力・薬品等に由来する温室効果ガス発生量、およびリン除去・回収設備の建設・廃棄に伴う温室効果ガス排出量を算出する。

また、前記1) ③ i)、ii) における本技術適用による污泥固形物量削減、リン除去用凝集剤使用量減少とこれに伴う凝集污泥量削減を考慮する場合は、これらに起因する温室効果ガス削減量について算定し、本技術適用による削減効果として加味する。

4) リン除去・回収量当りのコスト、エネルギー消費量、温室効果ガス排出量への換算

本技術と他技術との比較を行うため、1)、2)、3) で試算したコスト（建設費、維持管理費、LCC）、エネルギー消費量、温室効果ガス排出量を除去・回収リンの単位量当りの値に換算する。

(2) 污泥固形物量削減効果

本技術では消化污泥中の自然発生 MAP の一部を除去・回収するため、消化污泥固形物量が減少する。リン除去回収装置の有無による脱水機への固形物投入負荷量の違いを比較し、脱水ケーキ固形物負荷量の減少量として評価する。評価方法の詳細は資料編1項(4)に示す。

(3) リン除去・回収機能

リン除去機能は本技術導入前後での脱水ろ液 T-P による返流負荷量を比較し、返流負荷の縮減効果进行评估する。またリン回収については本技術に流入する消化污泥 T-P 量と本技術処理後の污泥 T-P 量の差から回収効果进行评估する。評価方法の詳細は資料編1項(4)に示す。

(4) その他の効果

1) スケールトラブルの低減

リン除去回収運転を行った場合とリン除去回収しないバイパス運転を行った場合で、テストピースおよびテスト配管を用いて、スケール物質の付着状況の違いを比較し評価する。

2) 肥料原料として適した性状の MAP の回収

第三者機関において、回収 MAP の成分分析、植害試験を実施し、成分が化成肥料公定規格を満

たすことを確認し、植物の生育の害にならないことを確認する。そして、回収 MAP を化成肥料として肥料登録を行う。また、肥料メーカーにて肥料試作を行い、肥料の原料利用として問題無いことを確認する。これらの確認および肥料登録によって回収 MAP が肥料原料として適していることを評価する。

(5) ろ液 MAP 法との対比による LCC、エネルギー消費量および温室効果ガス排出量の縮減効果

(2) で評価された本技術の T-P 除去率と、ろ液 MAP 法の T-P 除去率（脱水ろ液リン負荷量の 70%と仮定^{※3}）に基づき、各々の技術を同一施設に適用した場合の LCC、エネルギー消費量および温室効果ガス排出量を算定して比較し、本技術による縮減率を評価する。評価方法の詳細は第3章第2節を参照。

※3 出典：「下水道におけるリン資源化の手引き」（平成 22 年 3 月 国土交通省都市・地域整備局）

§ 15 技術の評価結果

実証研究に基づく本技術の評価結果は以下のとおりである。

- (1) 本技術導入に伴うコスト（建設費、維持管理費、LCC）、エネルギー消費量、温室効果ガス排出量が算定された。
- (2) 自然発生 MAP の一部を除去・回収することで、汚泥固形物量が平均 3.3%減少する。
- (3) 脱水ろ液として返流する T-P の 85%以上を除去することができ、従来法よりリン回収量が 50%以上増加する。
- (4) その他の効果
 - 1) 本技術で処理後はスケール付着の低減効果が認められる。
 - 2) 本技術で回収された MAP は肥料原料として適した性状であると認められる。
- (5) ろ液 MAP 法に対する縮減率は、LCC で 19.4%、エネルギー消費量で 45.2%、温室効果ガス排出量で 67.4%と推定される。

【解 説】

- (1) コスト（建設費、維持管理費、LCC）、エネルギー消費量、温室効果ガス排出量

1) 算出条件

実証結果等を基に、本技術の施設規模ごとの算出条件を表 2-3 のとおり設定した。

表 2-3 本技術のコスト、エネルギー消費量、温室効果ガス排出量の算出条件

項目	ケース 1	ケース 2	ケース 3
日最大消化汚泥量 (m ³ /日) (建設費算出用)	125	200	250
日平均消化汚泥量 (m ³ /日) (維持管理費算出用)	100	160	200
消化汚泥性状 ・ 汚泥濃度(TS) ・ T-P 濃度 ・ PO ₄ -P 濃度 ・ 自然発生 MAP-P 濃度	・ 1.7% ・ 600mg/L (実証による) ・ 200mg/L (実証による 水処理：生物学的リン除去) ・ 60mg/L (実証による)		
リン除去・回収設備 ・ T-P 除去率 ・ PO ₄ -P 除去率 ・ 返流水 T-P 削減率 ・ Mg 添加率 ・ 固形物削減率	・ 35% (実証による) ・ 90% (実証による) ・ 80% ・ 1.0 (モル比 実証による) ・ 3% (実証による)		
脱水設備 ・ ケーキ含水率 ・ 固形物回収率 ・ 薬注率 ・ 薬品溶解濃度 ・ 洗浄水量	・ 80% ・ 95% ・ 1.5% (高分子凝集剤 1 液調質) ・ 0.2% ・ 15m³/日		
リン除去凝集剤添加設備 ・ 凝集剤 ・ 添加モル比 ・ 添加 Al に対する汚泥発生量	・ PAC ・ 1.5 ・ 5 倍 (平成 6 年 高度処理マニュアル 社団法人日本下水道協会)		

2) LCC、エネルギー消費量、温室効果ガス排出量の試算結果

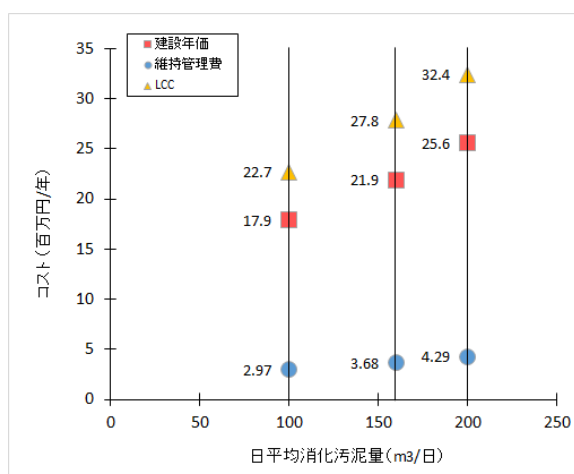
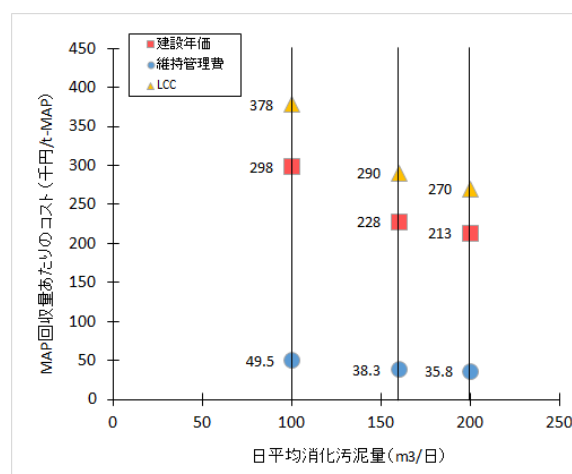
表 2-4 にリン除去・回収技術単独での試算結果を、表 2-5 に汚泥固形物削減効果を見込む場合の試算結果を示す。なお、試算内訳詳細については資料編 2 項に示す。

MAP 回収量あたりの試算結果について、表 2-4（リン除去・回収技術単独）、表 2-5（汚泥固形物削減効果を見込む場合）どちらの場合においても、スケールメリットが得られる結果となった。

表 2-4 LCC、エネルギー消費量、温室効果ガス排出量（リン除去・回収技術単独）

項目	単位	ケース 1	ケース 2	ケース 3
建設年価	百万円/年	17.9	21.9	25.6
維持管理費	百万円/年	2.97	3.68	4.29
LCC	百万円/年	22.7	27.8	32.4
供用段階のエネルギー消費量	GJ/年	1,197	1,284	1,406
温室効果ガス排出量	t-CO ₂ /年	91.2	101.4	112.6
MAP 回収量	t-MAP/年	60	96	120
建設年価／MAP 回収量	千円/t-MAP	298	228	213
維持管理費／MAP 回収量	千円/t-MAP	49.5	38.3	35.8
LCC／MAP 回収量	千円/t-MAP	378	290	270
エネルギー消費量／MAP 回収量	GJ/t-MAP	20.0	13.4	11.7
温室効果ガス排出量／MAP 回収量	t-CO ₂ /t-MAP	1.52	1.06	0.94

以下に各試算結果のグラフを示す。

図 2-6 各ケースのコスト
（リン除去回収技術単独）図 2-7 各ケースの MAP 回収量あたりのコスト
（リン除去回収技術単独）

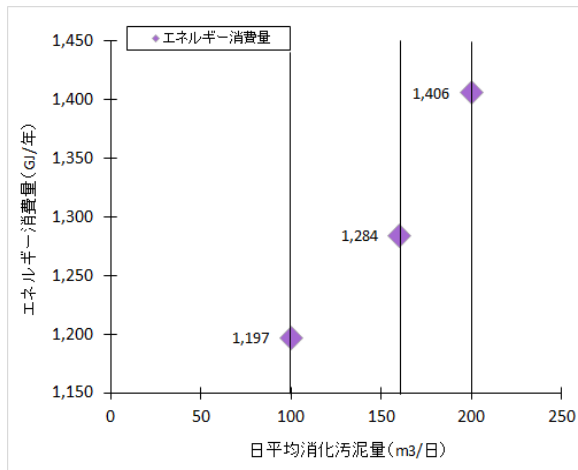


図 2-8 各ケースのエネルギー消費量
(リン除去回収技術単独)

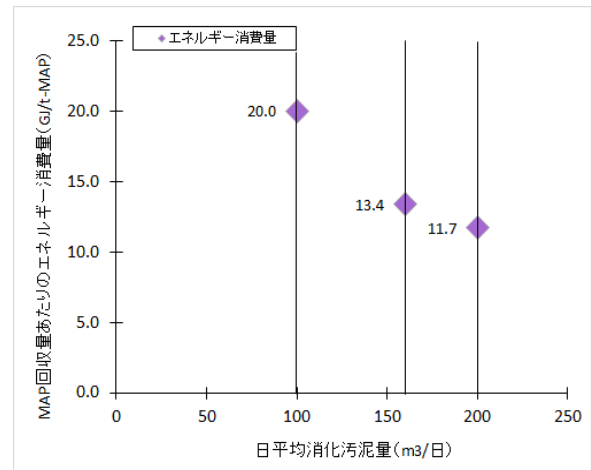


図 2-9 各ケースの MAP 回収量あたりの
エネルギー消費量
(リン除去回収技術単独)

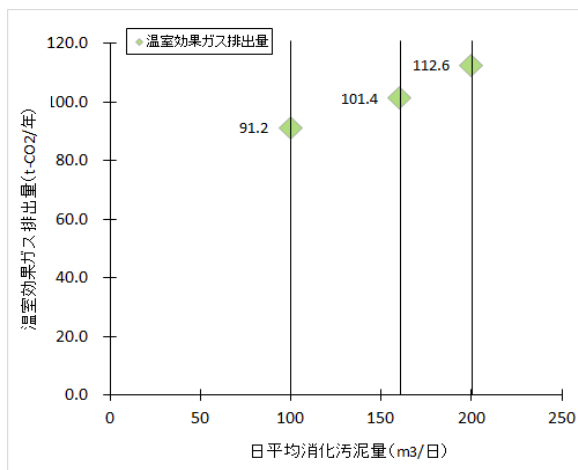


図 2-10 各ケースの温室効果ガス排出量
(リン除去回収技術単独)

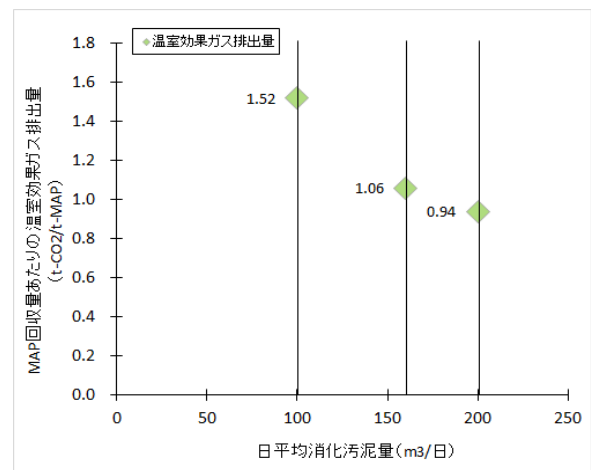


図 2-11 各ケースの MAP 回収量あたりの
温室効果ガス排出量
(リン除去回収技術単独)

表 2-5 LCC、エネルギー消費量、温室効果ガス排出量（汚泥固形物削減効果を見込む場合）

項目	単位	ケース 1	ケース 2	ケース 3
建設費年価	百万円/年	17.9	21.9	25.6
維持管理費年価	百万円/年	0.690	0.590	0.720
LCC 年価	百万円/年	20.4	24.7	28.9
供用段階のエネルギー消費量	GJ/年	843.2	718.1	698.0
温室効果ガス排出量	t-CO ₂ /年	50.2	35.8	30.7
MAP 回収量	t-MAP/年	60	96	120
建設年価／MAP 回収量	千円/t-MAP	298	228	213
維持管理費／MAP 回収量	千円/t-MAP	11.5	6.15	5.80
LCC／MAP 回収量	千円/t-MAP	340	257	240
エネルギー消費量／MAP 回収量	GJ/t-MAP	14.1	7.48	5.82
温室効果ガス排出量／MAP 回収量	t-CO ₂ /t-MAP	0.837	0.373	0.256

以下に各試算結果のグラフを示す。

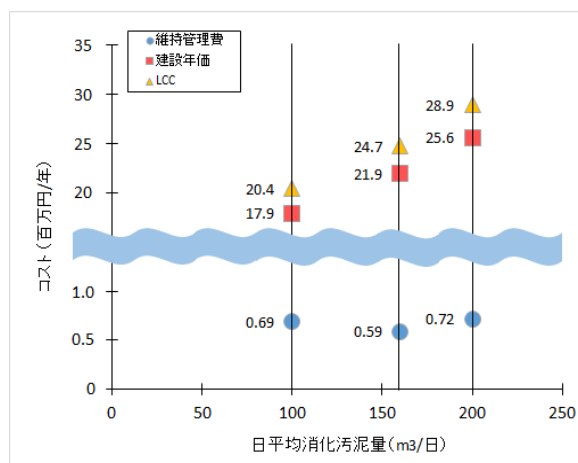


図 2-12 各ケースのコスト
(汚泥固形物量削減効果を見込む)

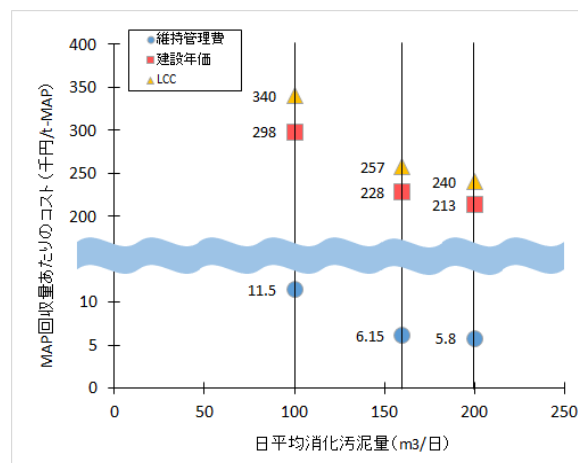


図 2-13 各ケースの MAP 回収量あたりのコスト
(汚泥固形物量削減効果を見込む)

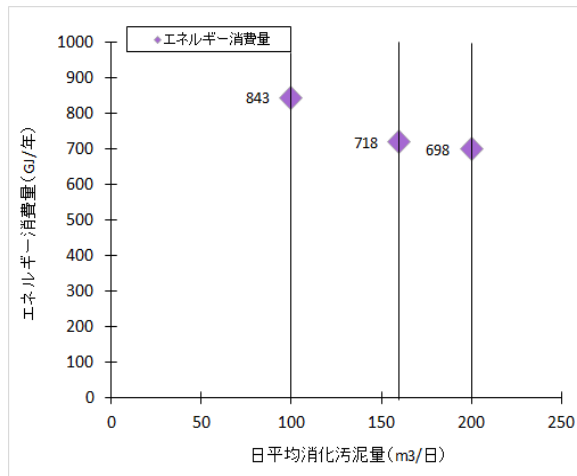


図 2-14 各ケースのエネルギー消費量
(汚泥固形物量削減効果を見込む)

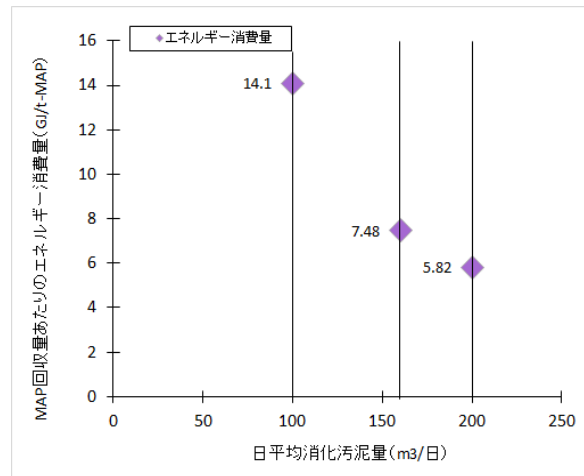


図 2-15 各ケースの MAP 回収量あたりの
エネルギー消費量
(汚泥固形物量削減効果を見込む)

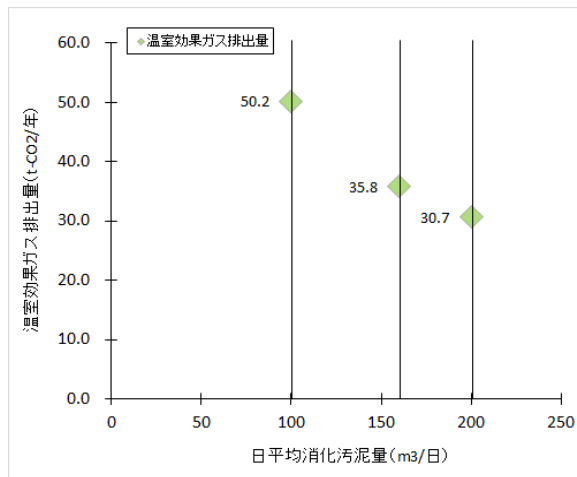


図 2-16 各ケースの温室効果ガス排出量
(汚泥固形物量削減効果を見込む)

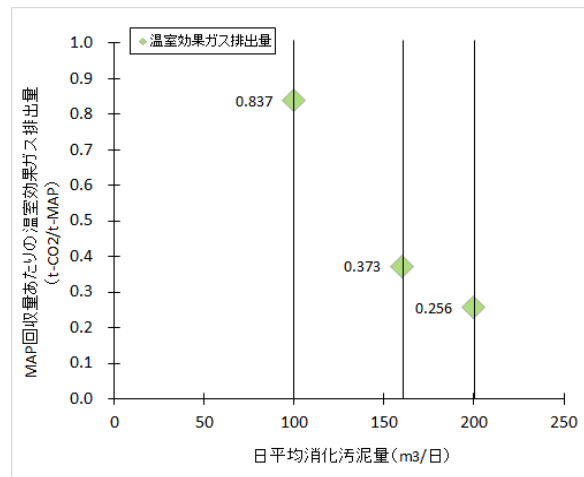


図 2-17 各ケースの MAP 回収量あたりの
温室効果ガス排出量
(汚泥固形物量削減効果を見込む)

(2) 自然発生 MAP の一部を除去・回収することで、汚泥固形物量が平均 3.3%減少する。

図 2-18 に実証試験での固形物削減率の経時変化を示す。

汚泥固形物中の自然発生 MAP (無機性リン) が除去されることにより、汚泥固形物量が平均 3.3%減少することが実証された (詳細資料編 1 項 (5) 参照)。

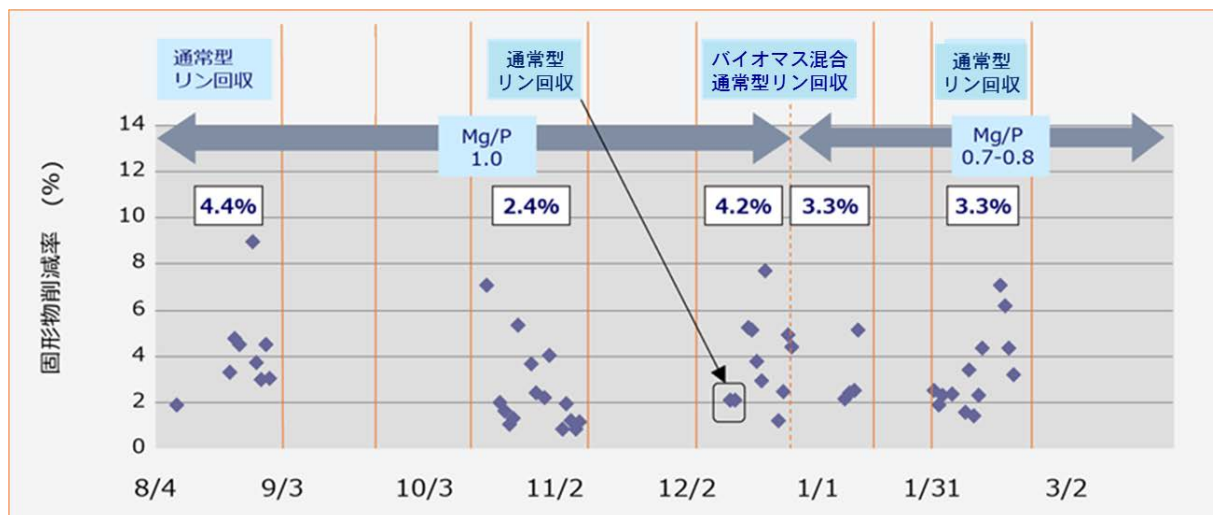


図2-18 固形物削減率

(3) 脱水ろ液として返流する T-P の 85%以上を除去することができ、従来法よりリン回収量が 50%以上増加する。

図 2-19 に実証試験での脱水ろ液の T-P 除去率の経時変化を示す。

Mg/P比が0.7~0.8の場合、脱水ろ液T-P除去率が低下することがあったが、苛性ソーダを使用してpH調整することで、脱水ろ液のT-P除去率が改善された (詳細資料編 1 項 (5) 参照)。

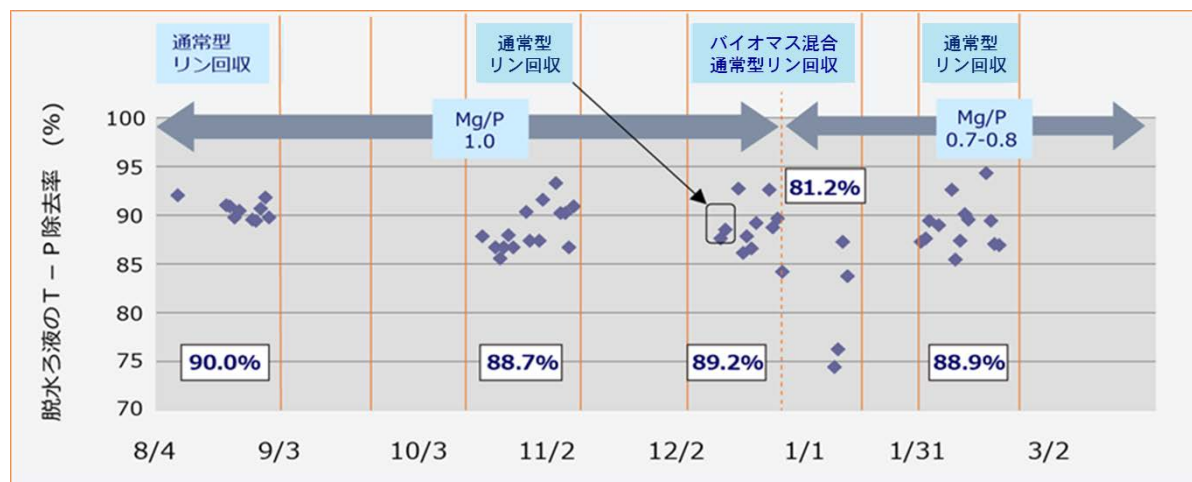


図2-19 脱水ろ液のT-P除去率

図 2-20 に実証試験での MAP 回収量増加率の経時変化を示す。なお、脱水ろ液 MAP 法の回収量は脱水ろ液リン負荷量の 70%※⁴として、本技術での回収量の増加率を実証結果より算出した。

ばらつきは大きいものの、Mg/P 比の増加に伴い概ね MAP 回収量増加率が増加する傾向が見られた。また、Mg/P 比が低い場合でも苛性ソーダにより pH 調整することで MAP 回収量増加率は約 50% 以上増加する結果となった（詳細資料編 1 項（5）参照）。

※4 出展：「下水道におけるリン資源化の手引き」（平成 22 年 3 月 国土交通省都市・地域整備局）

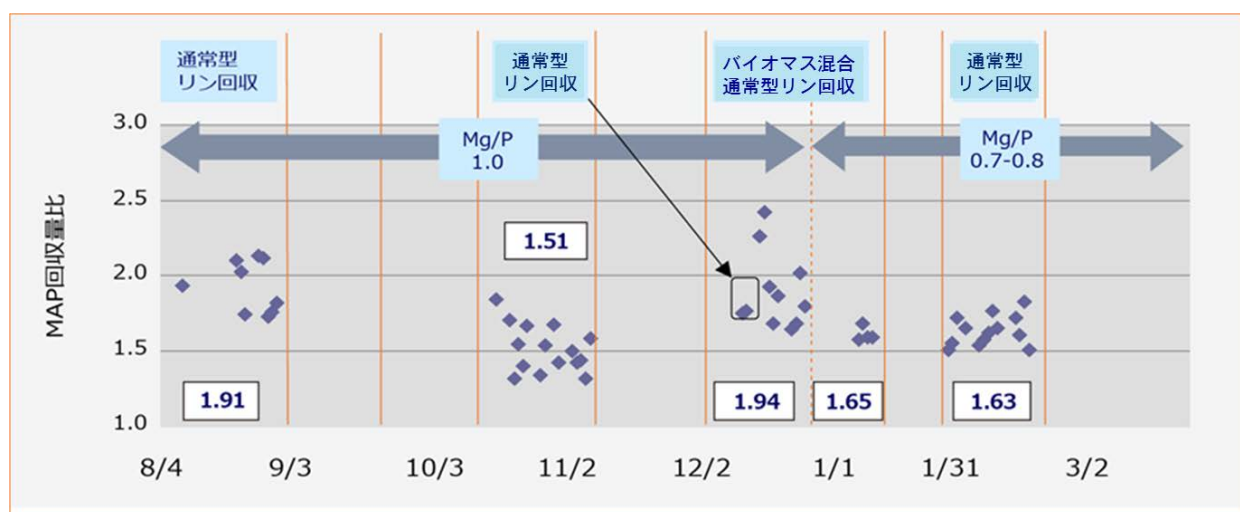


図2-20 MAP回収量増加率

（4）その他の効果

1）スケール付着の低減

実証におけるテスト配管、テストピースを用いたリン除去有無によるスケール付着量比較試験結果の代表例としてテスト配管を用いたスケール付着状況の違いを写真 2-13 に示す。

リン除去・回収装置をバイパスさせた運転で使用したテスト管には延べ 47 日間使用後に約 10mm にスケールが成長した（写真右）のに対し、リン除去・回収運転で使用したテスト配管には、延べ 119 日間使用後もスケール付着は確認されなかった（写真左）。よって、リン除去・回収処理によりスケール生成リスクが大幅に低減されることが確認された。このことから、消化汚泥処理施設（配管・貯留設備、汚泥脱水設備等）および返流水管等のスケール対策に要する作業が必要な処理場では、リン除去・回収装置の後段においては、その頻度、労力等が大幅に低減できる可能性が示唆される。

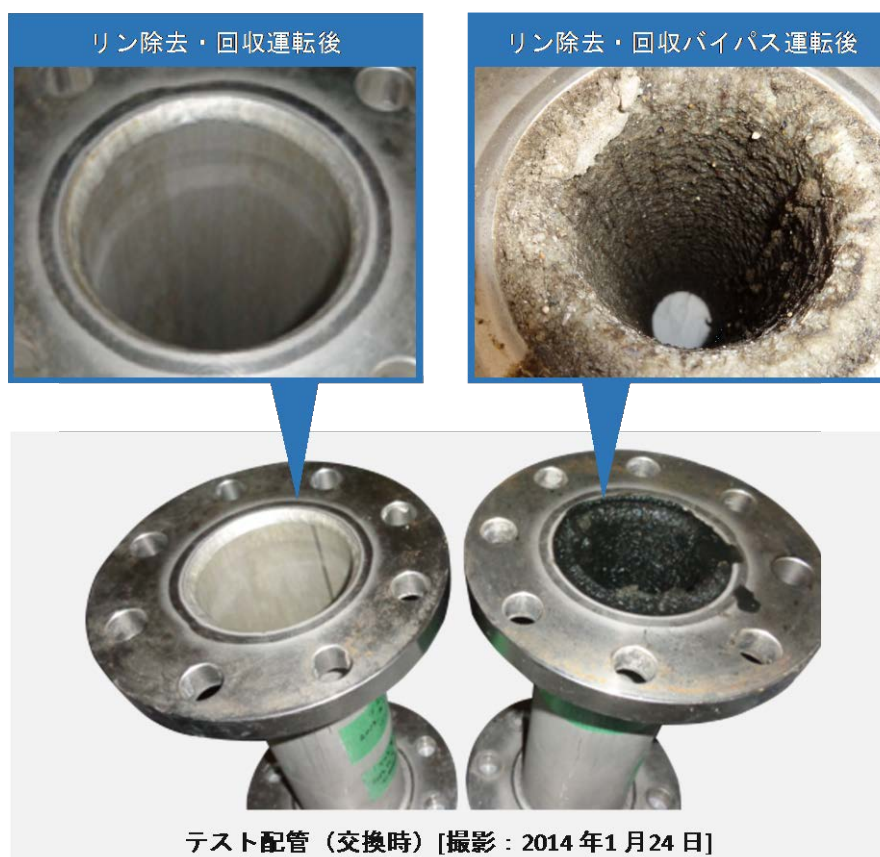


写真 2-13 テスト配管・リン除去有無でのスケール生成状況

2) 肥料原料として適した回収 MAP 性状

①肥効分析および重金属分析結果

分析結果は化成肥料の公定規格を満たした（公益財団法人 日本肥糧検定協会に依頼）。

②植害試験結果

こまつなの発芽と発芽後の生育への支障の有無およびその程度について、幼植物試験を実施した（公益財団法人 日本肥糧検定協会に依頼）。

その結果、有害物によると考えられる植物の生育上の異常症状は認められなかった。

③肥料試作評価

肥料メーカーによる肥料試作の結果、本技術回収 MAP は肥料原料として以下のような適した性状を持つことが確認された。

- i) 不快な臭いはなく、外観はさらさらの粉状で、非常に取り扱いしやすい性状。
- ii) 造粒時に異常は認められず、目的とする肥料が得られた。
- iii) 造粒物の物性は、回収 MAP 使用の場合と従来原料を使用した場合で同等。

④本技術回収 MAP は肥料登録された。

本技術実証施設で登録した肥料登録証を写真 2-14 に示す。

3

230204 1001

登 録 証

氏名又は名称及び住所

東京都港区港南一丁目7番18号

水ing株式会社

登 録 番 号	生第 100063号
登 録 年 月 日	平 成 2 6 年 4 月 2 5 日
登 録 の 有 効 期 限	平 成 2 9 年 4 月 2 4 日
肥 料 の 種 類	化成肥料
肥 料 の 名 称	神戸MAP肥料1号

保 証 成 分 量 (%)	アンモニア性窒素	4.4
	く溶性りん酸	23.0
	く溶性苦土	12.7

そ の 他 の 規 格 普通肥料の公定規格中化成肥料の「含有を許される有害成分の最大量」及び「その他の制限事項」のとおり。

肥料取締法第7条の規定に基づき上記のとおり登録したことを証する。

平 成 2 6 年 4 月 2 5 日

農林水産大臣 林 芳 正



写真 2-14 肥料登録証

(5) ろ液 MAP 法に対する縮減率は、LCC で 19.4%、エネルギー消費量で 45.2%、温室効果ガス排出量で 67.4%と推定される。

汚泥固形物量削減に伴う脱水・焼却における維持管理費の削減効果を加味した場合のろ液 MAP 法との LCC 比較結果を表 2-6 に示す。比較計算方法、算出条件については第 3 章第 2 節を参照されたい（概ね表 2-3 のケース 2 に相当する）。

表 2-6 より、すべての項目において縮減効果が見込まれ、LCC における縮減率は 19.4%となった。特に維持管理費については、汚泥固形物量削減に伴う脱水・焼却における維持管理費の削減効果を加味することで 0.79 百万円/年となり、ろ液 MAP 法（4.75 百万円/年）と比べて 83.4%縮減される結果となった。

表 2-6 ろ液 MAP 法との LCC 比較結果

項目	単位	本技術	ろ液 MAP 法	増減率
建設費年価	百万円/年	22.83	24.91	-8.35%
リン除去回収技術単独の維持管理費年価	百万円/年	3.73	4.75	-10.3%
汚泥固形物量削減に伴う脱水・焼却設備の維持管理費削減分	百万円/年	-2.94	—	—
廃棄費年価	百万円/年	2.28	2.49	-8.35%
合計（LCC）	百万円/年	25.90	32.15	-19.4%

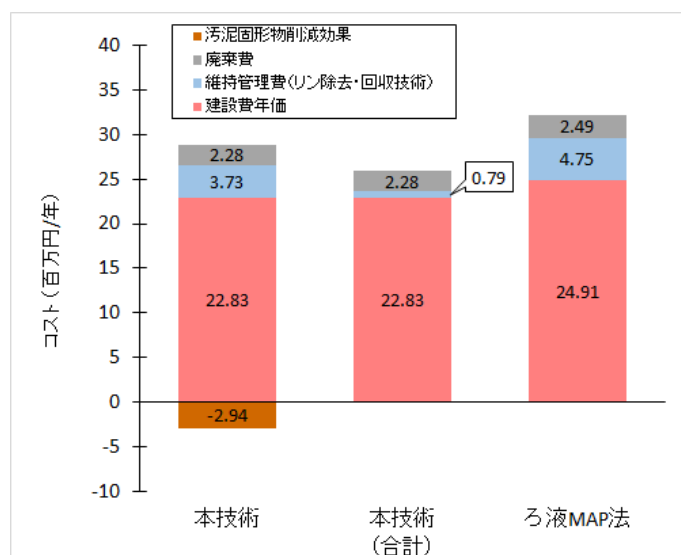


図 2-21 ろ液 MAP 法との比較結果（コスト）

また、本技術とろ液 MAP 法とのエネルギー消費量の比較結果を表 2-7 に、温室効果ガス排出量の比較結果を表 2-8 に示した。

本技術はろ液 MAP 法に比べてエネルギー消費量は 7.71%増大する結果となった。しかし、汚泥固形物量削減に伴う脱水・焼却におけるエネルギー消費量の削減効果を加味することで、ろ液 MAP 法と比べて 45.2%縮減される結果となった。

温室効果ガス排出量についても 5.40%増大する結果となったが、汚泥固形物量削減に伴う脱水・焼却における温室効果ガス排出量の削減効果を加味することで、ろ液 MAP 法と比べて 67.4%縮減される結果となった。

表 2-7 ろ液 MAP 法とのエネルギー消費量比較結果

項目	単位	本技術	ろ液 MAP 法	増減率
リン除去回収技術単独のエネルギー消費量	GJ/年	1,181	1,097	7.71%
汚泥固形物量削減に伴う脱水設備のエネルギー削減分	GJ/年	-206	—	—
汚泥固形物量削減に伴う焼却設備のエネルギー削減分	GJ/年	-374	—	—
合計	GJ/年	601	1,097	-45.2%

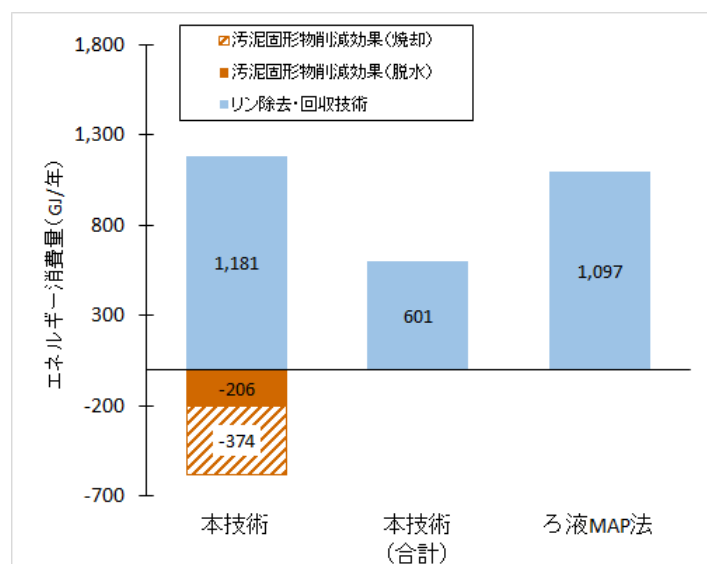


図 2-22 ろ液 MAP 法との比較結果(エネルギー消費量)

表 2-8 ろ液 MAP 法との温室効果ガス排出量の比較

項目	単位	本技術	ろ液 MAP 法	増減率
リン除去回収技術単独の 温室効果ガス排出量	t-CO ₂ /年	79.23	75.17	5.40%
設備の建設に伴う温室効果ガス排出量	t-CO ₂ /年	19.07	18.09	2.75%
設備の廃棄に伴う温室効果ガス排出量	t-CO ₂ /年	0.49	0.47	4.26%
汚泥固形物量削減に伴う脱水設備の 温室効果ガス排出削減分	t-CO ₂ /年	-8.51	—	—
汚泥固形物量削減に伴う焼却設備の 温室効果ガス排出削減分	t-CO ₂ /年	-59.6	—	—
合計	t-CO ₂ /年	30.68	94.2	-67.4%

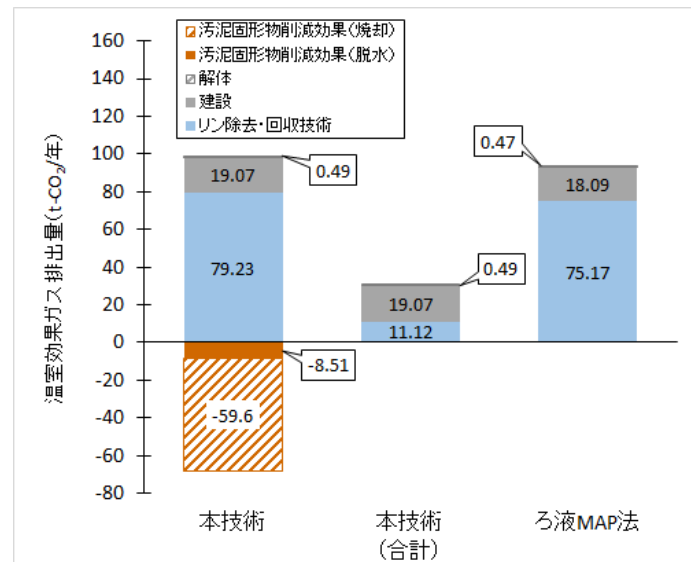


図 2-23 ろ液 MAP 法との比較結果（温室効果ガス排出量）

第3章 導入検討

第1節 導入検討手法

§16 導入検討の手順

本技術の導入の検討に当たっては、下水道施設およびリンの除去・回収の目的および課題等を把握した上で導入効果の評価を行い、適切な導入範囲および事業形態等について判断する。

- (1) 導入検討フロー
- (2) 基礎調査
- (3) 導入効果の検討
- (4) 導入判断

【解 説】

富栄養化対策としてのリン除去、MAPによる維持管理上のトラブル防止および資源回収の観点から、建設および維持管理に関わるコスト、温室効果ガス排出量等を踏まえ導入検討を行う。

(1) 導入検討フロー

導入検討に当たっては、導入の目的を明確にした後、図3-1に示される検討フローに従って、必要な情報の収集、情報整理を行い、課題を抽出したのち、導入の有効性、コスト試算、温暖化ガス排出量、エネルギー消費量の試算を行い、導入効果をまとめ導入判断を行う。

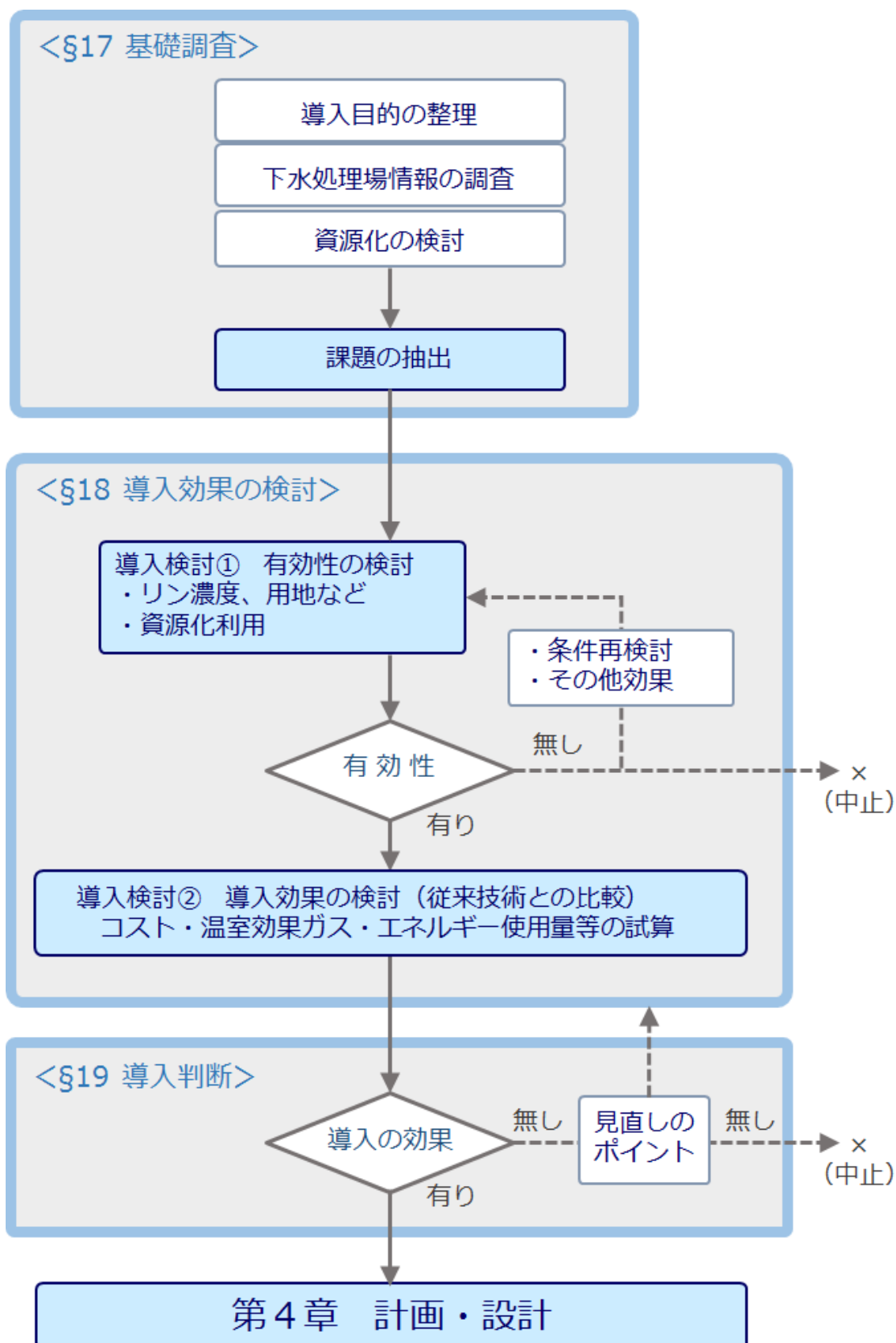


図3-1 導入検討フロー

（２）基礎調査

基礎調査では、処理場の現状・課題・関連計画を整理し、技術導入の目的・必要性を明らかにする。

次に肥料利用の可能性・必要条件の整理を行う。

調査を通して明らかになった課題を抽出し、対応策を検討する。

基礎調査の詳細は、§ 17 を参照のこと。

（３）導入効果の検討

導入検討①（導入の有効性に関する検討）では、対象原水のリン濃度を把握し、§ 12の適用条件を満足するか確認するとともに、設備規模の類推から用地面積を概算し、設置スペースの有無を確認する。リン資源として有望な引取り先が期待出来れば資源化利用を検討する。

導入検討②（導入効果の検討）では、導入検討①で有効性が認められる場合、従来技術との比較を行っていく。

詳細は、§ 18を参照のこと。

（４）導入判断

導入効果が見込まれると判断される場合には、本技術導入に係る意思決定を行い、第4章の計画・設計を行っていく。

導入判断の詳細は § 19を参照のこと。

§ 17 基礎調査

基礎調査では、リンの除去・回収の目的を明確にし、下水道施設の現況および課題等を把握する。

- (1) 導入目的の整理
- (2) 下水処理場情報
- (3) 回収リンの資源化

【解 説】

本技術導入の詳細な計画策定に先立ち、リンの除去・回収の目的を明確にし、下水道施設やバイオマス受け入れの現況ならびに関連計画等を把握する。また、本技術導入検討の基礎となる既存施設の運転データを収集・整理し、運転状況ならびにリンの収支を把握する。

(1) 導入目的の整理

汚泥消化が行われている処理場、又は今後汚泥消化の導入を検討する処理場が、本技術の導入を検討する前提条件となる。

導入に当っては、第2章 § 12技術の適用条件、§ 13導入シナリオ例を参照し、目的を明確にした後、以下の情報を整理し、導入シナリオを策定する。

1) 環境基準への適用

放流基準、総量負荷制限、地域協定等を調査し、リン除去・回収必要量の算定根拠とする。

2) スケールトラブルの状況

発生箇所、発生状況等を把握する。

3) バイオマス受入の場合のリン除去・回収における影響の把握

通常の下汚泥の他に、地域利用バイオマスやし尿汚泥を受入れる場合、消化汚泥のリン・アンモニア等の濃度が変わることが考えられるため、外部バイオマスを受入れる計画がある場合は、外部バイオマスに含まれるリン濃度を検討し、受入れの影響を事前に把握することが望ましい。

(2) 下水処理場情報

計画立案にあたっては、まず処理場の特性・計画および現状について把握することが重要である。各原単位を把握し、試算および設計の資料とする。主な調査項目を以下に示す。

- 1) 消化汚泥発生量（汚泥引抜き量）：容量計算、設備建設費に使用
- 2) 引抜き時間（単位時間当たりの汚泥量）：ポンプ等の装置容量設計に使用
- 3) 汚泥中の溶解性リン濃度：リン除去・回収設備の容量算出に使用
- 4) 水処理方法（凝集剤使用の有無）：固形物量およびリン濃度の把握に使用
- 5) バイオマス受け入れ量（ある場合）または受け入れ計画量：固形物量およびリン濃度の把握に使用
- 6) 設備の設置スペース：建設費の算定に使用

(3) 回収リンの資源化

回収リンした MAP の肥料（原料）利用の可能性、必要条件を調査・整理する。

引き取り可能な施設や業者、想定MAP回収量、販売想定価などを把握する。

引き取り条件等の確認事項は第6章に記載する。

§18 導入効果の検討

導入効果は、基礎調査により得られた情報に基づき、建設費・維持管理費・エネルギー消費量・温室効果ガス排出量等を算出し、従来技術との比較により総合的に評価する。

【解 説】

下水道革新的技術の導入によって見積もられる建設や維持管理に係るコストおよび温室効果ガス排出量・栄養塩類除去効果等を算出し、従来技術との比較結果から総合的に導入効果を評価する。

技術導入のシナリオ設定において既存技術の効果を検討する場合は、「下水道におけるリン資源化の手引き」等の既往指針を参照のこと。

(1) 導入判断フロー

導入効果の検討においては、以下の手順にて行う。

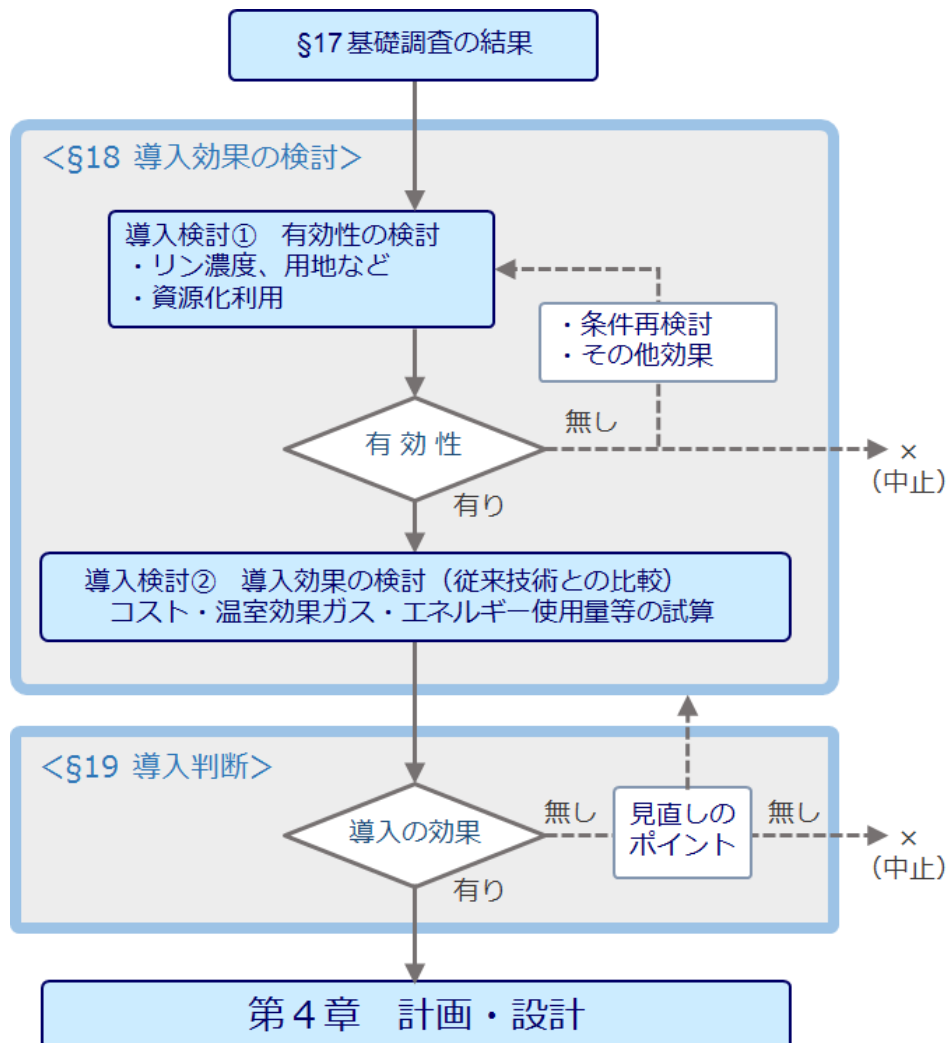


図3-2 導入判断フロー

（２）導入の有効性に関する検討

設定した処理量と流入リン濃度からリン除去・回収量を推定し、適用において、リンの排水基準等の基準・規制の達成維持について定量的に確認する。また、回収リンの資源化の可能性についても検討する。

次に、下記の有効性の判断基準により、導入の有効性を判断する。なお、この段階で導入効果が無いか、または明確でない場合は、日報等過去データを精査し流入リン濃度の設定値を見直す、あるいは運転時間を見直す、などの条件の変更や、スケールトラブル発生に関わる費用といった、その他の効果を追加するなどして、再検討する。

＜有効性の判断基準＞

- ・流入汚泥中のリン濃度： 除去・回収量の指標。採算性を考えると溶解性リンで 50mg/L 以上
- ・用地：機種選定は出来ても配置場所が無い場合、設置場所への汚泥移送や回収リンの搬出が困難な場合、などでは適用は困難となる。設置可能なスペースがあること。

（３）導入効果の検討

導入効果を定量的に把握するため、コスト・温室効果ガス・エネルギー消費量等の試算を行い、従来技術との比較を行う。

比較における算定手法は、以降による。

１）コスト算定

コスト算定は、検討を容易にするため、実証試験から得られたデータに基づき建設費および維持管理費を算定式化した。

また、導入において参考となる資料を以下に示す。

参考：「下水道におけるリン資源化の手引き」（平成 22 年 3 月 国土交通省都市・地域整備局）

算定式は、処理量およびリン酸態リン濃度を変数としている。標準は屋外設置とする。設置予定場所に既に設置に耐えうる基礎がある場合、土木設備は不要である。

①建設費

建設費は、リン除去設備に関わる機械設備工事費・電気設備工事費・土木設備工事費・建築設備工事費を合計したものである。検討においては、用途に応じてMAP乾燥設備の有無を決定する。

建設費の算出に当っては、表 3-2 の耐用年数を使用する。耐用年数は、「標準的耐用年数」（国土交通省通達 国都下事第 77 号 平成 15 年 6.19）による。

建設費の算定式を以下に示す。

表 3-1 建設費の算定式

設備区分	コスト算定方法	備 考
機械設備工事 (主要設備構成) ・ 受泥槽 ・ リン除去回収装置 ・ 薬品注入装置 ・ MAP 洗浄装置	処理消化汚泥量、リン酸態リン濃度による 工事費 Y (百万円) の算定式 $Y = 0.001X_d^2 + 0.4X_d \times (A/200)^{0.5} + 130 \times (A/200)^{0.5}$	X_d : 日最大処理汚泥量 (m ³ /日) (～600※) A : リン酸態リン濃度 (mg/L) (100～300※)
電気設備工事 (主要設備構成) ・ 現場操作盤 ・ 計装設備	処理消化汚泥量、リン酸態リン濃度による 工事費 Y (百万円) の算定式 $Y = 0.2X_d + 7 \times (A/200)$	
土木設備工事	処理消化汚泥量、リン酸態リン濃度による 工事費 Y (百万円) の算定式 $Y = 0.1X_d + 3.8 \times (A/200)$	杭打ち工事は地域条件により大きく異なるので含めず。
建築設備工事	建築設備および MAP 乾燥設備を設ける場合はメーカーヒアリングとする。	第 4 章に記載。

※適用範囲を超える場合はメーカーヒアリングを行う。

建設年価の算出方法は以下のとおり。

「バイオソリッド利活用基本計画策定マニュアル(案)」(平成 15 年 8 月 国土交通省都市・地域整備局下水道部) より、

$$\text{年価} = [i + \{ i / (i+1)^{n-1} \}] \times \text{建設費}$$

i : 利子率 = 2.3%

n : 耐用年数 (標準耐用年数は次表による。)

表 3-2 耐用年数

設備	項目	耐用年数	備考
リン除去・回収設備	機械・電気	15 年	汚泥濃縮設備 濃縮タンク(鋼製) 相当
	土木・建築	45 年	汚泥処理施設 相当
MAP 乾燥設備	機械	10 年	汚泥処理設備コンポスト相当 (低温のため)

②維持管理費

本技術の維持管理に関わるコスト額を算出する。

維持管理費は、電力費、薬品費、日常点検費およびオーバーホール等の定期点検費（消耗品、人工等）について算出する。維持管理費の算出にあたっては、15年間運転を継続した場合の1年当たりの平均値とし、稼働率を見込む。

また、MAPとして固形物が削減されることによる、後段の汚泥処理（脱水、焼却）に伴う維持管理費の削減効果、およびリン除去効果により返流水リン負荷が低減されることで、水処理側の薬品費が削減できる場合はこれも加算する。

本技術の維持管理年価の算定式を以下に示す。

表 3-3 維持管理年価の算定

設備区分	コスト算定方法	備 考
電力 ・ 受泥槽 ・ リン除去回収装置 ・ 薬品注入装置 ・ MAP 洗浄装置	処理消化汚泥量、リン酸態リン濃度による 電力費 Y（百万円/年）の算定式 使用電力 Y_o （kwh/日） $= 0.0045x^2 - 0.87x \times (A/200)^{0.5} + 368 \times (A/200)^{0.5}$ $Y = Y_o \times R/24 \times e \times D/10^6$	X : 日平均処理汚泥量（ m^3 /日） （～600※） A : リン酸態リン濃度（mg/L） （100～300※） R : 稼働時間（時間/日） D : 稼働日数（～365 日） e : 電力単価（円/kwh）
薬品 ①水酸化マグネシウム	処理消化汚泥量、リン酸態リン濃度による 薬品費 Y（百万円/年）の算定式 使用量 Y_m （kg/日） $= X \times A \times M \times (58.3/31) \times (100/C_m)/1000$ $Y = Y_m \times k \times R/24 \times D/10^6$	M : 添加モル比（Mg/P） C_m : 有効水酸化マグネシウム濃度（%） k : 水酸化マグネシウム単価（円/kg）
②クエン酸	使用量 Y_n （kg/年） $= X \times 0.25$ Y （百万円/年） $= Y_n \times L/10^6$	L : クエン酸単価（円/kg）
点検補修費	機械および電気設備建設年価の比率による 点検補修費 Y（百万円/年）の算定式。 $Y = (X_1 + X_2) \times r$	X_1 : 建設年価（機械） X_2 : 建設年価（電気） r : 比率（標準 0.03）
労務費	同上	

※適用範囲を超える場合は、メーカーヒアリングを行う必要がある。

本技術の維持管理費の算出に必要なユーティリティ単価の一例を、表 3-4 に示す。

表 3-4 ユーティリティ単価（例）

項目	設定単価	備 考
電力	12 円/kWh	—
A 重油	91 円/L	—
上水	200 円/m ³	—
苛性ソーダ	55,000 円/t	48%製品として
水酸化マグネシウム	20,000 円/t	35%スラリー製品として
PAC	40,000 円/t	—
クエン酸	400,000 円/t	—
点検修繕費	機械設備＋電気設備費の 3%	—
労務費	機械設備＋電気設備費の 3%	—

③廃棄費

廃棄費は、設備の耐用年数使用後の撤去に関わる費用である。算出方法は、建設費の 10%とした。

2) エネルギー消費量

エネルギー消費量としては、リン除去・回収設備に関わる電力、薬品の使用量に伴うエネルギー消費量を算出する。また、MAP として固形物が削減されることにより、後段の汚泥処理（脱水、焼却）に伴うエネルギー消費量が削減される場合、およびリン除去効果により返流水リン負荷が低減されることで、水処理側の薬品削減に伴うエネルギー消費量が削減される場合はこれも加算する。

エネルギー消費量の算定式を以下に示す。

表 3-5 エネルギー消費量の算定

設備区分	エネルギー消費量算定方法	備 考
電力	電力使用量によるエネルギー消費量 E (GJ/年) の算定式 $E = X_e \times E_e \times R / 24 \times D / 10^3$	X_e : 使用電力 (kWh/日) [$X_e = (3)$ 項の Y_e] R : 稼働時間 (～24 時間/日) D : 稼働日数 (～365 日) E_e : 電力原単位 (MJ/kWh)
薬品	薬品使用量によるエネルギー消費量 E (GJ/年) の算定式 $E = (X_m \times E_m \times R / 24 \times D_m / 10^3) + (X_k \times E_k / 10^3)$	X_m : 水酸化マグネシウム使用量 (kg/日) [$X_m = (3)$ 項の Y_m] X_k : クエン酸使用量 (kg/日) [$X_k = (3)$ 項の Y_k] E_m : 水酸化マグネシウム原単位 (MJ/t) E_k : クエン酸原単位 (MJ/t)

本技術のエネルギー消費量の算出に必要なエネルギー原単位の一例を以下に示す。

表 3-6 エネルギー原単位 (例)

項目		エネルギー	備 考
電力		9.68 MJ/kWh	
A 重油		39.1GJ/kL	
上水		30.7MJ/m ³	
薬品	水酸化マグネシウム	2,853 MJ/t	濃度 100%として
	苛性ソーダ	16,950MJ/t (NaOH 純分として)	濃度 100%として
	PAC	2,871MJ/t	
	クエン酸	97,948MJ/t	濃度 100%として
	高分子凝集剤	220,123 MJ/t	

3) 温室効果ガス排出量

温室効果ガスの試算方法においては、ユーティリティ毎に使用量を把握し、各ユーティリティの温室効果ガス換算係数で変換することで排出量を評価する。

①温室効果ガスの排出源

- i) 電気，燃料（石油，ガス等）のエネルギー消費に伴う排出
- ii) 上水，工業用水，薬品類の消費に伴う排出
- iii) 施設の建設および廃棄に伴う排出

「下水道におけるLCA適用の考え方」（平成22年2月国土交通省 国土技術政策総合研究所）より終末処理場における環境負荷量(LC-CO2)の算定事例【建設段階19.3%、供用段階80.2%、解体・廃棄段階0.5%】の比率で換算

iv) 固形物削減による効果

汚泥処理における後段の脱水工程および焼却にかかる温暖化ガス排出量の削減。
地球温暖化対策の推進に関する法律では6種類の温室効果ガスが規定されているが、このうちフロン系ガスについては、地方公共団体の実行計画によるものとし、下水道温暖化防止計画では『二酸化炭素 (CO₂)』『メタン (CH₄)』『一酸化二窒素 (N₂O)』を対象としている。

温室効果ガスの排出量は、次の計算式により算定する。

$$\begin{aligned} (\text{各温室効果ガスの排出量}) &= \Sigma \{ (\text{活動の種類ごとの排出量}) \} \\ &= \Sigma \{ (\text{活動量}) \times (\text{排出係数}) \} \end{aligned}$$

②算定方法

- i) 「電気，燃料のエネルギー消費に伴う排出」は，期間内（通常1年間）に使用した電力量，燃料使用量に排出係数を乗じて算定する。
- ii) 「上水，工業用水，薬品類の消費に伴う排出」は，期間内に使用した上水等の使用量に排出係数を乗じて算定する。
- iii) 「施設の建設および廃棄に伴う排出」は，①②で求めた供用段階の温室効果ガス排出量に上述の①iii)に記載の比率で換算する。
- iv) 「固形物削減による効果」は，期間内に削減された固形物量に伴う汚泥処理（脱水、焼却）にかかるユーティリティ削減量等に排出係数を乗じて算定する。

上記により算定された対象物質(CO₂, CH₄, N₂O)ごとに地球温暖化係数を乗じて，その合計値である「総排出量」を求める。その式を以下に示す。

温室効果ガス総排出量 (t-CO₂)

$$= \Sigma \{ \text{各温室効果ガスの排出量 (t)} \times \text{各温室効果ガスの地球温暖化係数} \}$$

(地球温暖化係数)

$$\text{二酸化炭素 (t-CO}_2\text{/年)} \times 1 = \text{温室効果ガス排出量 (t-CO}_2\text{/年)}$$

$$\text{メタン (t-CH}_4\text{/年)} \times 21 = \text{温室効果ガス排出量 (t-CO}_2\text{/年)}$$

$$\text{一酸化二窒素 (t-N}_2\text{O/年)} \times 310 = \text{温室効果ガス排出量 (t-CO}_2\text{/年)}$$

温室効果ガス排出量の算定式を以下に示す。

表 3-7 温室効果ガス排出量の算定

設備区分	温室効果ガス排出量算定方法	備 考
電力	電力使用量による温室効果ガス排出量 G (t-CO ₂ /年) の算定式 $G = X_e \times R / 24 \times D \times G_e / 10^3$	X_e : 使用電力 (kwh/日) [$X_e = (3)\text{項の } Y_e$] R : 稼働時間 (～24 時間/日) D : 稼働日数 (～365 日) G_e : 電力排出係数 (t-CO ₂ /kwh)
薬品	薬品使用量による温室効果ガス排出量 G (t-CO ₂ /年) の算定式 $G = (X_m \times R / 24 \times D_m \times G_m / 10^3) + (X_k \times G_k / 10^3)$	X_m : 水酸化マグネシウム使用量 (kg/日) [$X_m = (3)\text{項の } Y_m$] X_k : クエン酸使用量 (kg/日) [$X_k = (3)\text{項の } Y_k$] G_m : 水酸化マグネシウム排出係数 (t-CO ₂ /t) G_k : クエン酸排出係数 (t-CO ₂ /t)

技術の温室効果ガス排出量の算出に必要な温室効果ガス排出係数の一例を表 3-8 に示す。

表 3-8 温室効果ガス排出係数

項目		排出係数
電力		0.000550 t-CO ₂ /kWh
A 重油		2.71 t-CO ₂ /kL
薬品	水酸化マグネシウム	0.547832 t-CO ₂ /t
	クエン酸	14.392t-CO ₂ /t
	苛性ソーダ	0.938t-CO ₂ /t (濃度 100%のとき)
	高分子凝集剤	6.5 t-CO ₂ /t
	PAC	0.17 t-CO ₂ /t
下水污泥焼却に関わる排出係数		原単位 : 0.2001537t-CO ₂ /t-wet(ケーキ) (0.000645t-N ₂ O × 310 + 0.0000097t-CH ₄ × 21/t-wet)

(6) その他導入効果

ここでは、MAP販売やMAP閉塞による修繕といった諸条件により変わる効果を示す。

1) 資源有効利用効果

本技術の処理により回収するMAPは、有価物と扱えるため、リン肥料としての販路が確立することで販売収益を得ることが可能である。この場合にはコストの縮減効果を見込むことができる。

2) MAP 閉塞トラブルの解消

導入前、MAP による配管閉塞等のトラブルにより定期的に清掃を行っている場合、本技術の導入により清掃費用の削減が期待できる。また、汚泥脱水機にスケールトラブルを抱えている場合、メンテナンス費用の削減に加え、処理の安定化・稼働率の向上も期待できる。

§ 19 導入判断

導入効果を検討し評価結果を踏まえて、導入について判断する。

【解 説】

技術の適用性および回収したMAPの取り扱い方法を検討し、総合的な導入効果の評価を網羅的に行うことにより、導入の判断を行う。

導入判断フローに従って評価を行った結果、十分な導入効果が見込まれなかった場合は、原因を把握し表 3-9 に示されるポイントに従って導入シナリオを見直した上で、再評価を行う。

表3-9 導入シナリオ見直しのポイント

評価項目	目標不達の原因	対応策
設計要件	原汚泥中のリン酸態リン濃度が低い (他設備での水処理への返流負荷が高い)	汚泥濃縮槽の滞留時間が長い場合、リン放出量を下げる運用を検討 一例として、2槽使用している場合は1槽のみとし滞留時間の短縮を試みる。
費用対効果	費用以外の必要性	スケール除去費用などの維持管理費が発生する場合、施設運用の安定性や事故リスクを検討に追加する。
MAP 販売	事前調査では、MAP の利用先が想定できない場合	・探索範囲を広げ再度ヒアリング ・他部門への問い合わせ ・地理的条件などの見直し

第2節 導入効果の検討例

§ 20 試算条件

本技術の導入効果を総合的に評価するため、従来技術との比較を行う。比較に当たっての項目と試算条件を定める。

【解 説】

以下に本技術と従来技術の適用箇所および設備構成の比較を示す。(図 3-3、図 3-4)

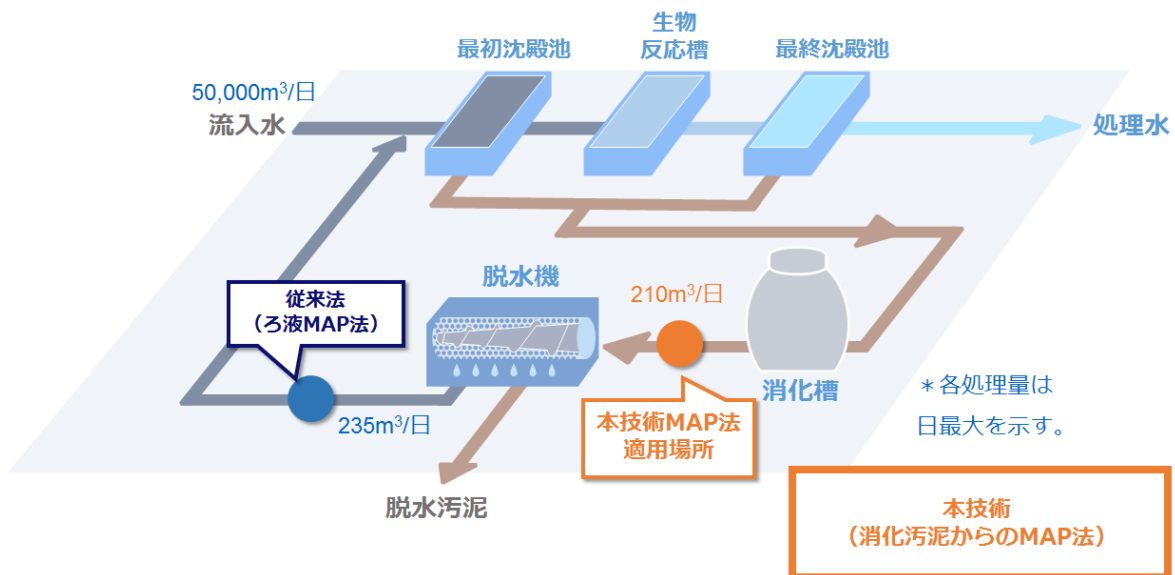


図 3-3 従来技術と革新的技術の比較

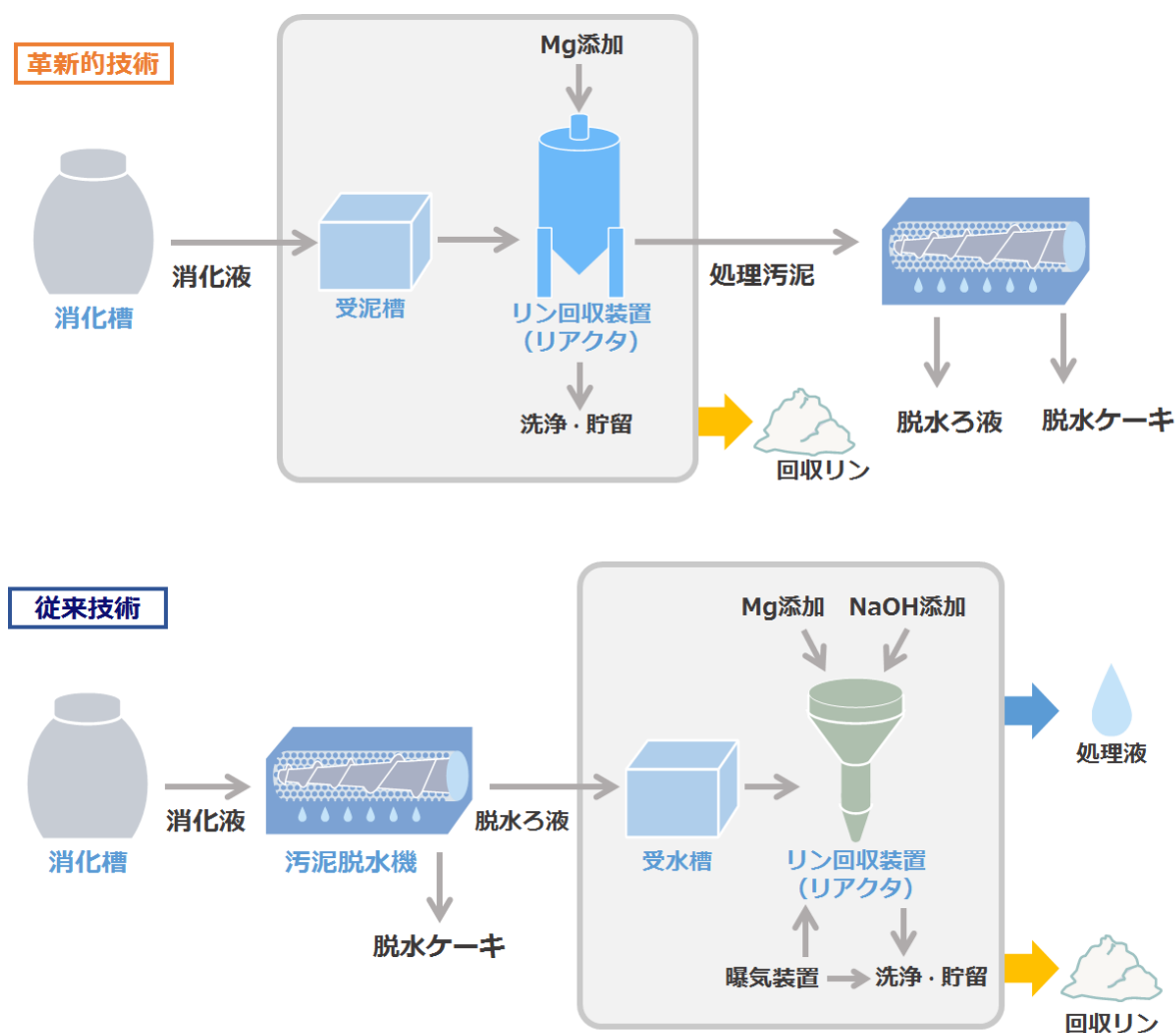


図 3-4 設備構成の比較

従来法との比較にあたっては、表 3-10 に示す検討条件例を参考に、導入予定施設における検討条件を設定する。表 3-10 にはコスト（建設費、維持管理費、LCC）、エネルギー消費量、温室効果ガス排出量、返流水リン負荷量削減量、リン資源回収量の比較に必要な項目とその代表的な数値を示した。なお、凝集剤添加によるリン除去等を行っている場合は、本技術ならびに従来法の導入に伴って削減される凝集剤の使用量と凝集汚泥発生量の削減による効果を加味することが必要である（資料編 2 項参照）。

表 3-10 検討条件例

検討項目	検討条件
①汚水処理量（参考）	50,000m ³ /日（日最大汚水量）
②混合汚泥 ・汚泥濃度（TS） ・強熱減量（VS） ・汚泥固形物量	・ 3.33% ・ 80% ・ 7t-DS/日
③嫌気性消化汚泥 ・消化率 ・T-P 濃度 ・PO ₄ -P 濃度 ・自然発生 MAP-P 濃度	・ 50% ・ 650 mg/L（メーカ経験値平均） ・ 150 mg/L（日平均；メーカ経験値平均） ・ 65 mg/L（メーカ経験値平均）
④脱水設備 ・ケーキ含水率 ・固形物回収率 ・薬注率 ・薬品溶解濃度 ・洗浄水量	・ 80% ・ 95% ・ 1.5%（高分子凝集剤 1 液調質） ・ 0.2% ・ 15 m ³ /日
⑤従来技術 ・主要設備 ・脱水ろ液量	・ リン除去回収設備〔従来 MAP 法（脱水ろ液より）〕 ・ 235 m ³ /日（日最大汚泥量時の脱水ろ液量） ・ 188 m ³ /日（日平均汚泥量時の脱水ろ液量） ・（脱水ろ液での T-P 除去率：70%※）
⑥革新的技術 ・主要設備 ・消化汚泥量	・ リン除去・回収設備〔MAP 法（消化液より）〕 ・ 210 m ³ /日（日最大汚泥量時） ・ 168 m ³ /日（日平均汚泥量時） ・ 脱水ろ液での T-P 除去率 80%（実証による）
⑦リン除去・回収設備稼働率 ・稼働率 ・稼働時間 ・稼働日数	・ 1.0（日平均消化汚泥量を年間平均で処理する条件として試算） ・ 24 時間 ・ 365 日/年 （革新的技術、従来技術とも同様の稼働率として試算）
備考	脱水設備を試算条件に加える場合は、形式、処理能力、建設コスト、および単位処理量当りの維持管理コストは等しいものとして検討を行う。

※ 出展：「下水道におけるリン資源化の手引き」（平成 22 年 3 月 国土交通省都市・地域整備局下水道部）P33 表

§ 21 導入効果の検討結果

革新的技術と従来技術とを比較した試算結果をまとめたものである。

- (1) 建設費、維持管理費、廃棄費、LCC の試算結果
- (2) エネルギー消費量の試算結果
- (3) 温室効果ガス排出量の試算結果
- (4) その他効果の試算結果

【解 説】

- (1) 建設費、維持管理費、廃棄費、LCCの試算結果

建設費、維持管理費、廃棄費、LCCについて、コスト縮減効果のケーススタディを行った。

1) 建設費

建設費は土木・建築・機械・電気設備から構成される。

試算にあたって、従来技術は「下水道におけるリン資源化の手引き」(平成 22 年 3 月 国土交通省都市・地域整備局)に記載されている算定式を、革新的技術については § 18 に記載している算定式を使用して算出を行った。

建設費の試算結果を次表に示す。従来技術と比較した場合、建設費(総価)で 15.8%、建設費(年価)で 8.4%の縮減効果が得られる試算結果となった。

表 3-11 建設費の試算結果

	単位	革新的技術	従来技術	縮減率
総価				
土木・建築	百万円	23.90	76.51	68.7%
機械	百万円	229.4	203.02	-13.0%
電気	百万円	47.3	77.42	38.9%
合計	百万円	300.5	357.0	15.8%
年価				
土木・建築	百万円/年	0.81	2.59	68.7%
機械	百万円/年	18.26	16.16	-12.9%
電気	百万円/年	3.76	6.16	38.9%
合計	百万円/年	22.83	24.91	8.4%

2) 維持管理費

維持管理費は、電力費、薬品費、日常点検費およびオーバーホール等の定期点検費（消耗品、人工等）および汚泥発生量削減の影響を受ける汚泥脱水、焼却設備の維持管理費増減分の合計で示す。算出においては、ユーティリティ使用量に原単位をかけて試算とした。

ユーティリティ使用量試算結果を次表に示す。

表 3-12 ユーティリティ使用量の試算結果

	単位	革新的技術	従来技術	備考
リン除去・回収設備				
電力	kWh/日	319.1	240.4	
水酸化マグネシウム	kg/日	136	161	35%製品として
苛性ソーダ	kg/日	0	47.8	48%製品として
クエン酸	kg/年	42	345	洗浄時に使用
脱水設備				
電力	kWh/日	774	798	50kWh/t-wet（ケーキ）
高分子凝集剤	kg/日	48.9	50.4	薬注率 1.5%
焼却設備				
電力	kWh/日	1,548	1,596	100kWh/t-wet（ケーキ）
A 重油	L/日	464	479	30L/t-wet（ケーキ）

維持管理費の試算結果を次表に示す。従来技術と比較した場合、リン除去・回収技術単独では21.6%の縮減効果が得られる結果となり、汚泥削減による脱水・焼却における維持管理費の削減効果を加味することで、83.4%の縮減効果が得られる結果となった。

表 3-13 維持管理費の試算結果

	単位	革新的技術	従来技術	縮減率
リン除去・回収技術単独				
電力	百万円/年	1.40	1.05	－32.7%
薬品	百万円/年	1.01	2.28	55.8%
上水	百万円/年	0	0.08	100%
定期点検修繕	百万円/年	0.66	0.67	1.3%
労務費	百万円/年	0.66	0.67	1.3%
小計①	百万円/年	3.73	4.75	21.6%
汚泥固形物削減による効果				
汚泥脱水設備※1	百万円/年	－0.81	0.00	—
焼却設備※2	百万円/年	－2.13	0.00	—
小計②	百万円/年	－2.94	0.00	—
合計（①＋②）	百万円/年	0.79	4.75	83.4%

※1 「バイオソリッド利活用基本計画策定マニュアル（案）」（平成15年8月 国土交通省都市・地域整備局下水道部）の費用関数より

$$Y = 0.039Q_y^{0.596} \times (104.4/97.6)$$

Q_y ：年間処理汚泥量（1%換算）（ m^3 /年）

デフレター：H15＝97.6、H21＝104.4

※2 上記同費用関数より

$$Y = 0.287Q_y^{0.673} \times (104.4/97.6)$$

Q_y ：年間処理汚泥量（ t /年）

デフレター：H15＝97.6、H21＝104.4

3) ライフサイクルコスト (LCC)

LCCは建設費と維持管理費に廃棄費を足し合わせるによって算出する。

LCCの試算結果を次表に示す。従来技術と比較した場合、19.4%の縮減効果が得られる結果となった。

表 3-14 LCC の試算結果

	単位	革新的技術	従来技術	縮減率
建設年価	百万円/年	22.83	24.91	8.35%
維持管理費	百万円/年	0.79	4.75	83.4%
廃棄費	百万円/年	2.28	2.49	8.35%
合計	百万円/年	25.90	32.15	19.4%

(2) エネルギー消費量の試算結果

エネルギー消費量は、リン除去設備に関わる電力、薬品等の使用量および汚泥固形物量削減の影響を受ける汚泥脱水、焼却設備のユーティリティ使用量増減分の合計で示す。

エネルギー消費量の試算結果を次表に示す。従来技術と比較した場合、リン除去・回収技術単独では7.7%増加する結果となったが、汚泥固形物量削減に伴う脱水・焼却におけるエネルギー消費量の削減効果を加味することで45.2%縮減される結果となった。

表 3-15 エネルギー消費量比較

	単位	革新的技術	従来技術	縮減率
リン除去・回収技術単独				
電力	GJ/年	1,127.5	849.4	−32.7%
薬品	GJ/年	53.5	234.6	77.2%
上水	GJ/年	0	12.6	100%
小計①	GJ/年	1,181.1	1,096.6	−7.7%
汚泥固形物量削減による効果				
汚泥脱水設備	GJ/年	−205.9	—	—
焼却設備	GJ/年	−373.8	—	—
小計②	GJ/年	−579.7	—	—
合計 (①+②)	GJ/年	601.4	1,096.6	45.2%

(3) 温室効果ガス排出量の試算結果

温室効果ガス排出量は各ユーティリティ使用量等から算出した。

温室効果ガス排出量の試算結果を次表に示す。従来技術と比較した場合、リン除去・回収技術単独では 5.4%増加する結果となったが、汚泥固形物量削減に伴う脱水・焼却におけるエネルギー消費量の削減効果を加味することで 67.3%縮減される結果となった。

表 3-16 温室効果ガスの試算結果

		単位	革新的技術	従来技術	縮減率
リン除去・回収技術単独					
供用段階	電力	t-CO ₂ /年	69.17	48.26	－43.3%
	薬品	t-CO ₂ /年	10.06	26.08	61.4%
	上水	t-CO ₂ /年	0	0.82	100%
	小計①	t-CO ₂ /年	79.23	75.17	－5.4%
建設・廃棄に伴う 温室効果ガス排出量	建設	t-CO ₂ /年	19.07	18.09	－5.4%
	廃棄	t-CO ₂ /年	0.49	0.47	－5.4%
	小計②	t-CO ₂ /年	19.56	18.56	－5.1%
合計（①＋②）		t-CO ₂ /年	98.79	93.73	－5.4%
汚泥固形物量削減による効果					
汚泥脱水設備		t-CO ₂ /年	－8.51	0.00	—
焼却設備		t-CO ₂ /年	－59.60	0.00	—
小合計③		t-CO ₂ /年	－68.11	0.00	—
合計（①＋②＋③）		t-CO ₂ /年	30.69	93.72	67.3%

以下に（１）～（３）における試算結果を以下に示す。

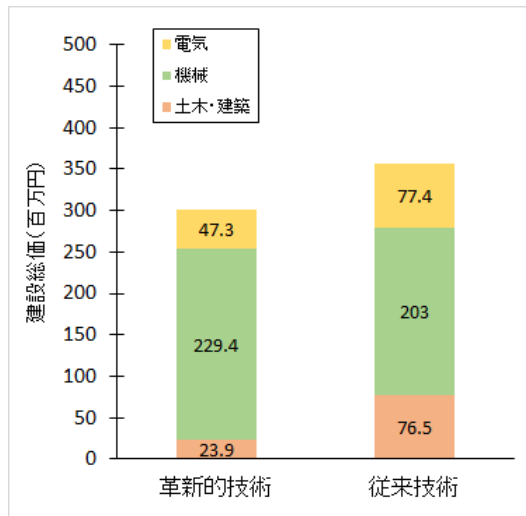


図 3-5 建設費（総価）の試算結果

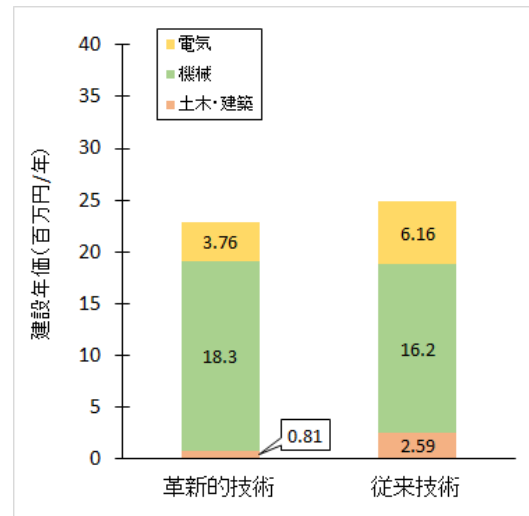


図 3-6 建設費（年価）の試算結果

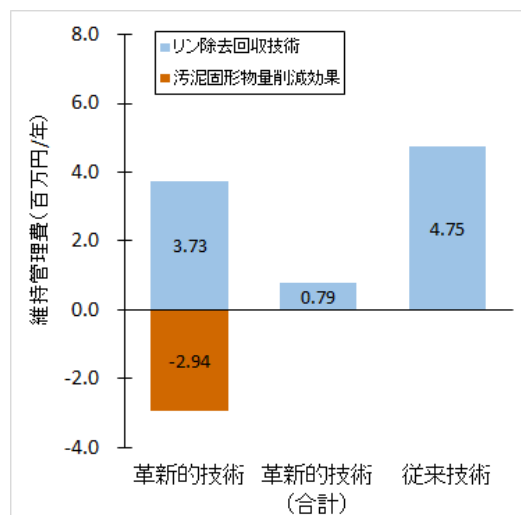


図 3-7 維持管理費の試算結果

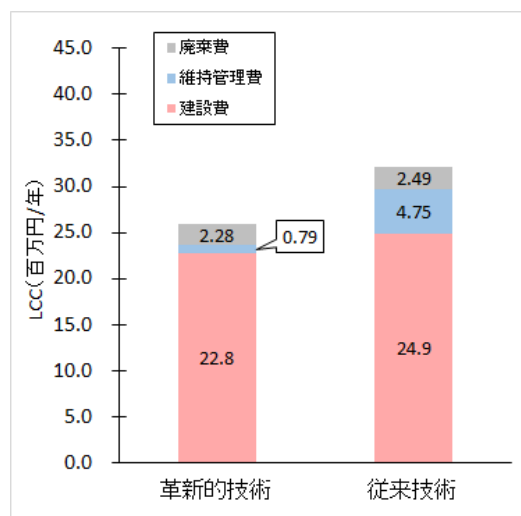


図 3-8 LCC の試算結果

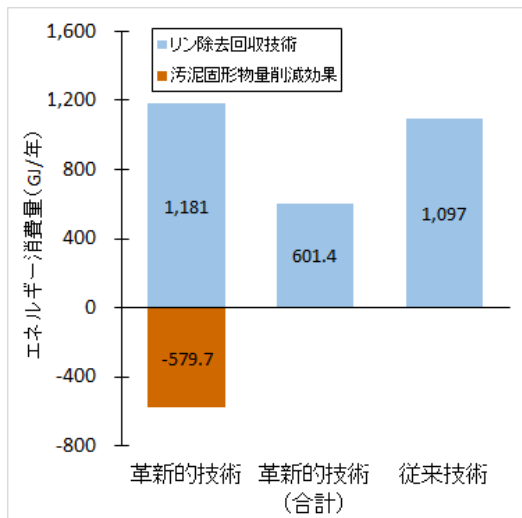


図 3-9 エネルギー消費量の試算結果

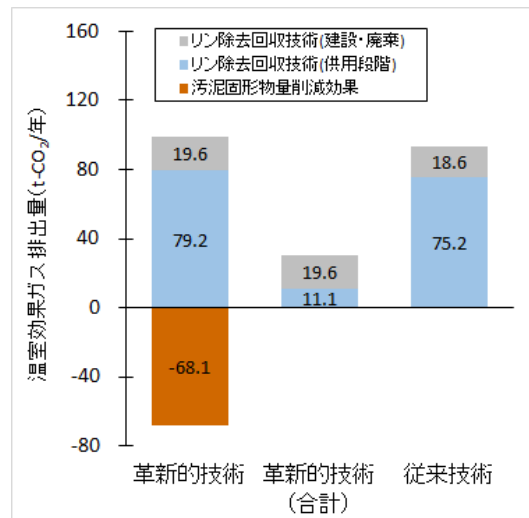


図 3-10 温室効果ガス排出量の試算結果

(4) その他効果の試算結果

革新的技術は消化汚泥からのリン除去・回収であり、従来技術は脱水ろ液からのリン除去であることから、適用箇所の違いがあり単純に比較してみることは課題も多い。そのため、リン除去・回収量あたりに換算して比較評価を行った。

1) MAP としてのリン除去・回収量の試算

本技術の導入による MAP としてのリン除去・回収量は、消化槽から引き抜く汚泥中の溶解性リンと自然発生 MAP の回収率から算定する。

MAP としての回収リン量は以下の式で算出する。なお、詳細な算出方法は第4章に記載する。

$$W_{\text{MAP}} = Q \times (PO_4\text{-P} \times r_{p1} + \text{自然発生 MAP-P} \times r_{p2}) \times 245/31 \times 10^{-3}$$

W_p (kg-MAP/日) : 回収 MAP 量

Q (m³/日) : 日最大処理汚泥量

$PO_4\text{-P}$ (g-P/m³) : リン酸態リン濃度 (不明の場合は T-P の 20~35%)

自然発生 MAP-P (g-P/m³) : 自然発生 MAP 態リン濃度 (不明の場合は T-P の 10~20%)

r_{p1} : $PO_4\text{-P}$ 除去・回収率 (0.8)

r_{p2} : 自然発生 MAP-P 回収率 (0.8)

MAP としてのリン除去・回収量の試算結果を次表に示す。従来技術と比較した場合、MAP 回収倍率は 1.84 倍となった。

表 3-17 MAP としてのリン除去・回収量

	革新的技術	従来技術
対象水量 (m ³ /日)	168 (日平均消化汚泥)	188 (日平均脱水ろ液)
PO ₄ -P (mg/L)	150	125
自然発生 MAP-P (mg/L)	65	0
MAP 回収量 (t-MAP/年)	87.3	47.5
MAP 回収倍率 (対従来技術)	1.84	1.0

2) リン除去・回収量あたりの試算結果

リン除去・回収量あたりの比較は、リン除去・回収設備および他設備への影響に関わる費用削減効果 (脱水ケーキ発生量削減による使用量) の合計で示す。

リン除去・回収量あたりの試算結果を次表に示す。従来技術と比較した場合、リン除去・回収技術単独ではすべての項目において縮減効果が得られる結果となり、特に②MAP 回収量あたりの維持管理費では縮減率 57.7%となった。また、汚泥固形物量削減による効果を加味した場合には更に大きな縮減効果が得られる結果となり、特に⑨MAP 回収量あたりのエネルギー消費量では縮減率 100.7%となった。

表 3-18 リン除去・回収量あたりの試算結果

	単位	革新的技術	従来技術	縮減率
リン除去・回収技術単独				
①建設年価／MAP 回収量	千円/t-MAP	208.5	419.3	50.3%
②維持管理費／MAP 回収量	千円/t-MAP	34.9	82.5	57.7%
③LCC／MAP 回収量	千円/t-MAP	264.2	543.7	51.4%
④エネルギー消費量／MAP 回収量	GJ/t-MAP	4.93	10.3	52.3%
⑤温室効果ガス排出量／MAP 回収量	t-CO ₂ /t-MAP	0.97	1.64	40.9%
汚泥固形物量削減による効果を加味				
⑦維持管理費／MAP 回収量	千円/t-MAP	2.56	82.5	96.9%
⑧LCC／MAP 回収量	千円/t-MAP	231.9	543.7	57.4%
⑨エネルギー消費量／MAP 回収量	GJ/t-MAP	-0.07	10.3	100.7%
⑩温室効果ガス排出量／MAP 回収量	t-CO ₂ /t-MAP	0.169	1.64	89.7%

※維持管理費（供用段階）の汚泥脱水設備・焼却設備の削減をマイナスとして試算結果

リン除去・回収量あたりの試算結果のグラフを以下に示す。

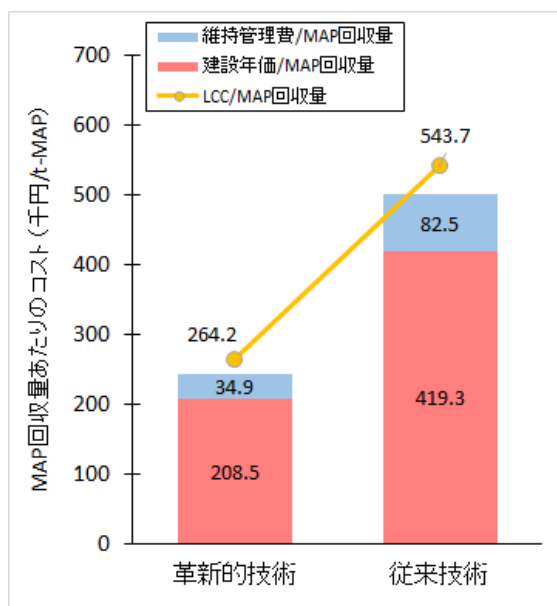


図 3-11 MAP 回収量あたりのコスト
(リン除去回収技術単独)

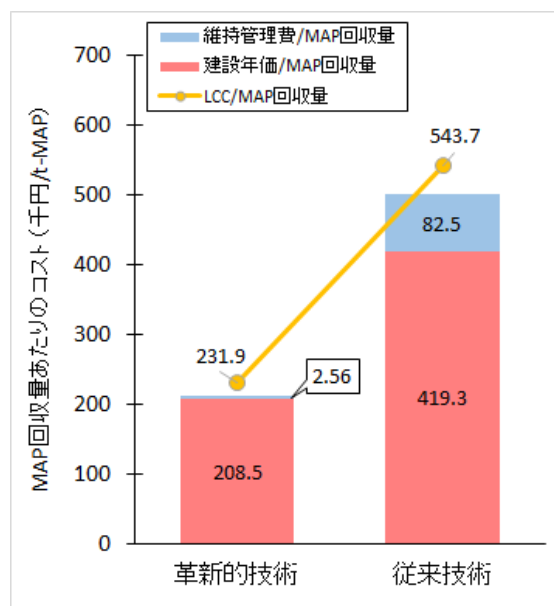


図 3-12 MAP 回収量あたりのコスト
(汚泥固形物量削減による効果を加味)

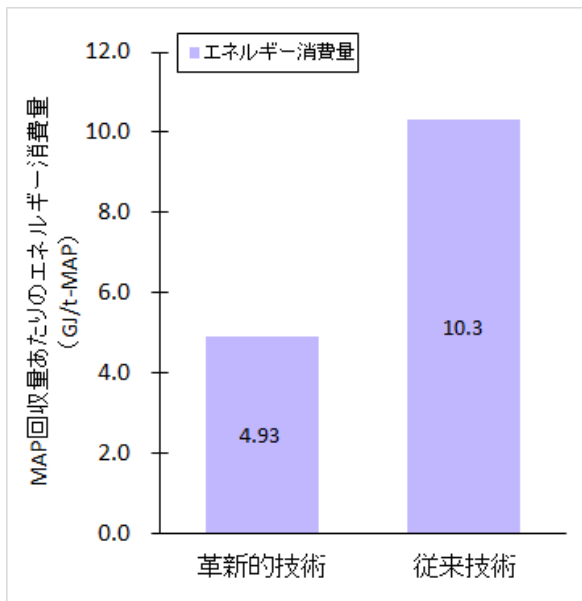


図 3-13 MAP 回収量あたりのエネルギー消費量
(リン除去回収技術単独)

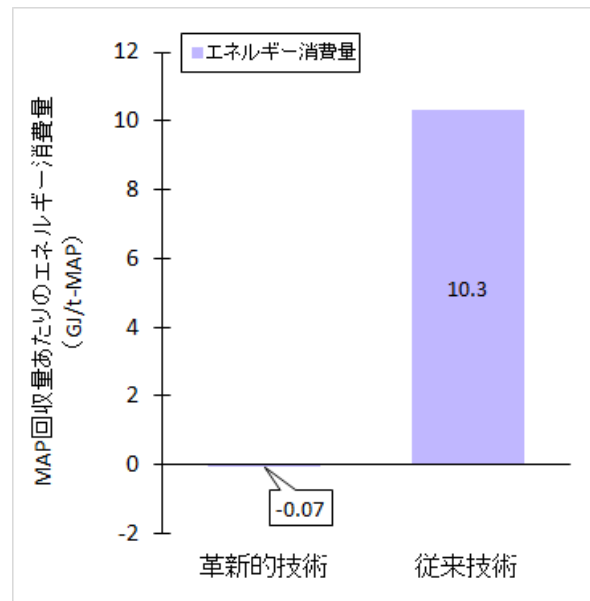


図 3-14 MAP 回収量あたりのエネルギー消費量
(汚泥固形物量削減による効果を加味)

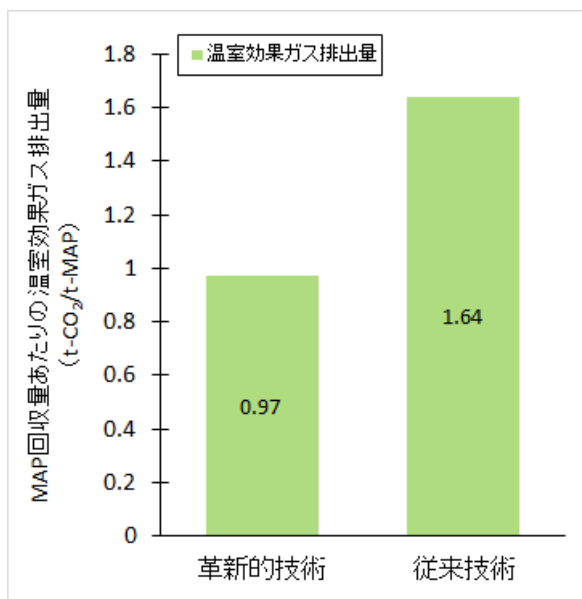


図 3-15 MAP 回収量あたりの温室効果ガス排出量
(リン除去回収技術単独)

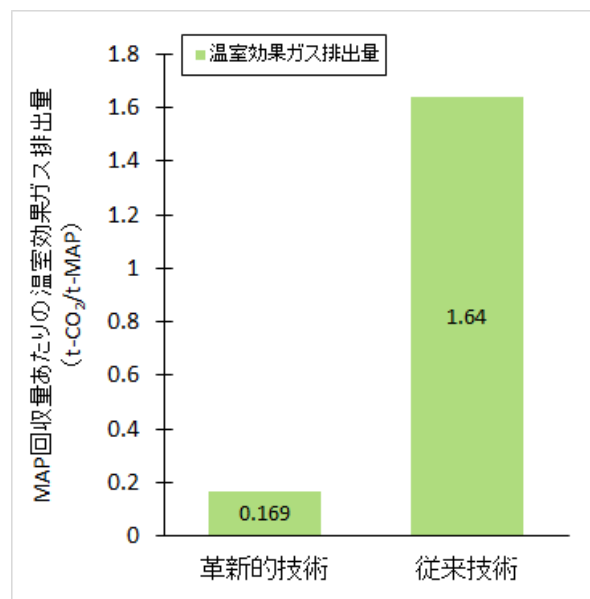


図 3-16 MAP 回収量あたりの温室効果ガス排出量
(汚泥固形物量削減による効果を加味)

第4章 計画・設計

第1節 導入計画

§22 計画の手順

設備計画の要素である規模・処理水準・環境水準・資源回収・施設配置・維持管理・財務等に関わる主要な事項を定める。策定手順は以下のとおりである。

- (1) 基礎調査
- (2) 施設計画の検討
- (3) 計画上の留意点の整理
- (4) 導入計画のとりまとめ

【解 説】

計画の策定にあたっては、第3章第1節 導入検討にて設定した導入目的に対する目標設定を再確認して、設備計画の策定に必要な項目のうち、未確認の事項に関する情報収集とその整理のための基礎調査から開始する。

計画手順のフローを図4-1に示す。

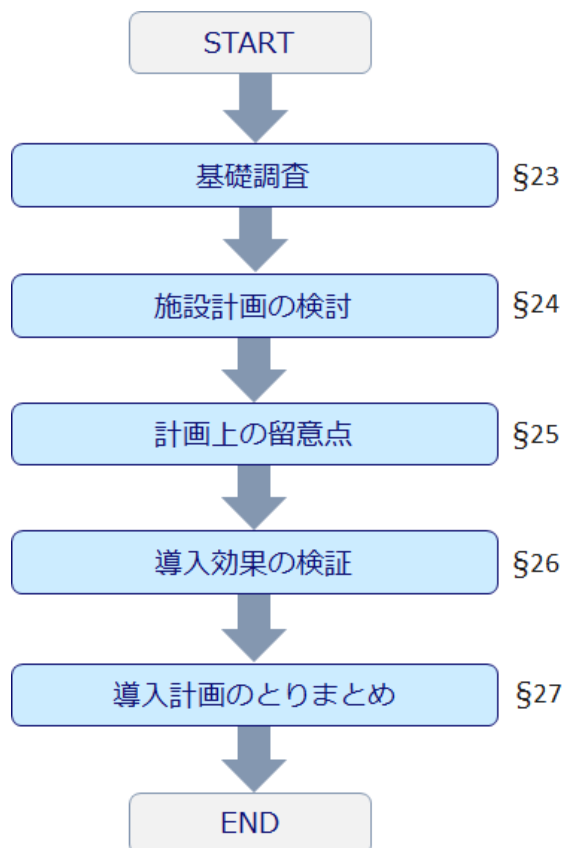


図4-1 計画の手順

§ 23 基礎調査

設備計画の策定に必要な要素のうち、未策定の環境水準・資源回収・施設配置・維持管理・財務等に関する情報の収集・整理を行う。

【解 説】

設備の計画設計を実施するに当たり、第3章第1節にて行った基礎調査を踏まえ、未策定の項目について情報収集・整理を行い、計画設計の資料とする。

また導入検討時から期間が開いた場合は、状況の変化や関連計画の見直し等の確認を行い、調査の見直しを行う。

(1) 調査すべき未策定の要素

1) 資源回収

回収したリンの用途を調査する。第3章で行った可能性および必要条件の調査・整理から販売（販売先、取引価格、引受可能量）又は配布方法等の精査を行う。

2) 施設配置

配置予定場所の地質、埋設物、配管敷設ルート、道路使用上の制限など。

3) 維持管理

管理範囲、緊急連絡体制等。

4) 財務等

アセットマネジメント、長寿命化計画等との整合。

§ 24 施設計画の検討

本技術の導入にあたり、施設計画の検討を行う。

- (1) 計画諸元の設定
- (2) 容量計算
- (3) 配置計画の検討
- (4) 維持管理計画
- (5) 回収資源利用計画

【解 説】

(1) 計画諸元の設定

基礎調査に基づき、以下に示す計画諸元の設定を行う。

1) 環境水準の設定

放流基準、流総計画、合流改善計画等の設定値に照らし合わせ、流入負荷に対する返流負荷の割合から本技術で除去されるリンを考慮し、水処理におけるリン除去率等の設定を検討する。

2) 計画汚泥量

リン除去・回収設備への計画投入汚泥量は、日最大投入量、日平均投入量その他、消化槽および後段の脱水設備の運用も考慮して設定する。

3) 設備計画の条件一覧

リン除去・回収技術の設計条件として、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 T-P および自然発生 MAP-P の濃度や量を設定する。

設備の計画・設計に関連して、本技術の導入にあたり、設備容量の算定に用いる計画要項を表4-1に整理する。

表4-1 施設容量算定に必要な要項

設備分類	要 項	備 考
汚泥消化設備	消化槽への投入および引抜汚泥量	消化槽引抜量とのバランスを検討
	消化槽引抜汚泥の T-P 濃度	リン収支の把握
	消化槽引抜汚泥の SS 濃度	汚泥発生量の把握
リン除去・回収設備	消化槽引抜汚泥の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度	装置容量、薬注量の設計

(2) 施設・設備の設計検討

計画諸元の設定値に基づき、施設・設備の容量等の設計を行う。詳細は本章第2節に記述する。

1) リン除去・回収装置（晶析リアクタ）

原汚泥に含まれる $\text{PO}_4\text{-P}$ を結晶化させるリアクタ。微細な MAP を生成させずに、概ね $100\ \mu\text{m}$ 以上の MAP 粒子表面で晶析させる。

晶析リアクタのサイズは、流入リン濃度とリン負荷等から § 29 に記載の標準型式表より選定する。

2) 薬注設備（マグネシウム）

PO₄-P を MAP の形態で析出させるために添加する。

標準は安価な水酸化マグネシウム (Mg(OH)₂) スラリーを用いる。

反応に必要な Mg は、Mg/P モル比が 0.7～1.0 となるよう添加する。

理論上 Mg/P モル比は 1 であり、リン 1kg に対しマグネシウム 0.77kg の重量比である。

3) 薬注設備（pH 調整剤）

適切な pH (pH7.8～8.5) を維持するために添加する。

Mg(OH)₂ を添加すると、pH が上昇する。流入リン酸濃度に対して必要な Mg(OH)₂ を添加することで適切な pH となる場合は pH 調整は不要である。

pH 調整が必要となる場合として、流入リン酸濃度が比較的高く Mg(OH)₂ 添加量が多くなるため酸を用いて適切な pH を維持する場合や、流入リン酸濃度が比較的低く Mg(OH)₂ 添加量が少なくなるため苛性ソーダを用いて適切な pH を維持する場合などが考えられる。

4) MAP 洗浄装置

MAP 洗浄装置は、効率的に洗浄を行なえるものとする。

洗浄・水切り後の含水率 25%程度の MAP を貯留ホッパに一時貯留する。

1 日の回収量を数回（1～4 回）に分けて回収し、洗浄を行う。

5) MAP 乾燥設備

MAP 肥料等に使用する場合、運搬などの取扱いを容易にするため洗浄工程後に乾燥を行う。

洗浄・水切り後の含水率 25%程度の MAP を含水率 5%以下に乾燥する。

乾燥は熱風により行うが、MAP の熱分解を防止するため、乾燥温度は約 60℃以下とする。

6) MAP 貯留設備

乾燥 MAP を一時貯留および搬出するための設備で、乾燥工程を経た MAP を貯留する乾燥 MAP ホッパと、フレコンバッグに投入する装置および MAP 倉庫（一時保管庫）からなる。

貯留日数は、引き取り間隔や設置スペースを考慮し決定する。

MAP 倉庫は建屋方式または屋内設置とし、多湿状態をさける。

（3）配置計画の検討

容量計算結果に基づき、配置計画の検討を行う。

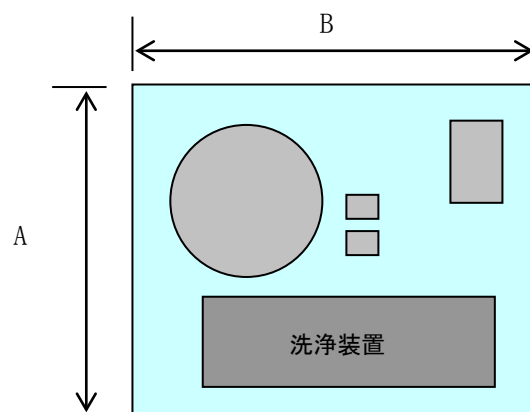
検討においては、リン除去・回収設備の他、必要により汚泥受入設備、洗浄排水設備等の配置を検討する。また、回収MAPを有効利用する場合は一時保管庫等スペースを検討する。

設備は、施工性を考慮し、消化槽の近くでかつMAPや薬品の搬出入の動線が確保できる場所に設置する。主要設備の概略面積を以下の表に示す。なお、表中の型式はリン除去・回収装置の処理規模により番号分けされている（詳細は後述する表4-3を参照）。

表 4-2 設備の概略必要面積

リン除去・回収装置 型 式	必要面積 m ² (A×B)
I 型	180m ² (12×15m)
II 型	224m ² (14×16m)
III 型	272m ² (16×17m)
IV 型	336m ² (16×21m)

表は基本構成（晶析リアクタ・洗浄装置・汚泥ポンプなどの付帯機器）の設備を下図の配置とした場合の概略必要面積。



（４）維持管理計画

維持管理の項目および範囲を設定する。

リン除去・回収設備は、汚泥管や排水管など既設との取り合いがあるため、新規設置設備以外の部分についても管理項目を設定しておく必要がある。

薬品の補給や回収リンの搬送などについても検討する。

維持管理項目の詳細は第5章による。

（５）回収資源利用計画

回収リンを有価物として取引する場合、取引量・保管・受け渡し・搬出入方法等について検討する必要がある。

回収リン資源化の詳細は第6章による。

§ 25 計画上の留意点の整理

本技術の導入にあたっては、以下の点に留意する。

- (1) 設計上の留意点
- (2) 既設設備等への影響等

【解 説】

(1) 設計上の留意点

- 1) 既存の消化設備、脱水設備の運用状況を確認し、必要に応じてバッファとしての、リン除去前の原汚泥槽、処理汚泥槽等の貯留設備とそれらの容量について検討を行う。
- 2) 2 段消化処理をしている処理場では、2 段目の消化汚泥でなく沈降分離していない 1 段目の消化汚泥を処理対象とする。沈降分離された 2 段目消化汚泥は、分離液とともにリン酸(イオン)が分離・除去されているため、処理対象となる消化汚泥中のリン酸(イオン)が減少しリン除去回収量も低減する。
- 3) 設備の点検・整備に伴う運転停止期間は、リン除去・回収システムをバイパスする運転を実施することが望ましい。バイパスのための汚泥移送配管を設置する必要がある。

(2) 既設設備等への影響等

- 1) リン除去・回収処理した後の処理消化汚泥は、晶析時のpH調整により、消化汚泥よりpHが高くなる。リン除去・回収の有無での汚泥脱水性は同等であることが実証により明らかとなっているが、脱水工程で使用する凝集剤について必要により再選定する。
- 2) 消化汚泥の一部にリン除去・回収システムを適用する場合は、残存マグネシウムの存在する処理汚泥と、リン除去していない高いリン濃度の汚泥とが混合した時に MAP 生成のリスクが高まる可能性がある。この場合には、リン除去・回収装置での添加マグネシウム量を下げること、処理汚泥中のマグネシウム濃度上昇を抑えることができる。リン酸除去率は 80%程度となるが、リン除去処理汚泥とリン除去をしていない汚泥とを混合した場合、混合前よりリン濃度が低下することによって MAP 生成リスクは減少することが期待できる。

§ 26 導入効果の検証

施設計画の検討に基づいて導入効果について再検討を行い、第3章で試算した導入効果（コスト、温室効果ガス排出量、エネルギー使用量等）が得られるか検証する。

【解 説】

第3章第1節 § 18 の導入検討時に導入効果の検討を実施しているが、その際は費用関数を用いる簡易な方法により本技術の導入効果を検証しているため、ここではより精度の高い条件設定による施設計画に基づいて導入効果の再検討を行う。本技術の導入におけるコスト、温室効果ガス排出量、エネルギー使用量等を算出し、従来技術を導入する場合と比較して優れた導入効果が得られるか検証する。

§ 27 導入計画のとりまとめ

本技術の導入についての検討結果として、基礎調査に基づく施設計画の検討、計画上の留意点の整理および導入効果の検証結果を導入計画書にとりまとめる。

【解 説】

本技術の導入についての検討結果をとりまとめるとともに、認可設計図書など必要な資料および図書の作成を行う。

導入計画書としては、検討段階において、基礎調査（施設・設備の計画・現状等の把握）に基づいて施設計画の検討（計画諸元の設定、容量計算、配置計画）を行った結果に加え、計画上の留意点や導入効果の検証結果を含めてとりまとめるものとする。

第2節 リン除去・回収技術の設計

§ 28 設計手順

基本計画および留意事項を元に、設備機器の容量設計を以下の手順にて行う。

- (1) リン除去・回収設備の設計
- (2) 薬注設備の設計
- (3) MAP 洗浄設備の設計
- (4) MAP 乾燥・貯留設備の設計

【解 説】

リン除去・回収技術は、リン除去・回収装置、薬注設備、MAP 洗浄設備、MAP 乾燥・貯留設備から構成されている。本技術導入における基本設計手順フローを図 4-2 に示す。なお、各設備間の一般的な機器・配管等の設計は、設計指針に基づき実施する。

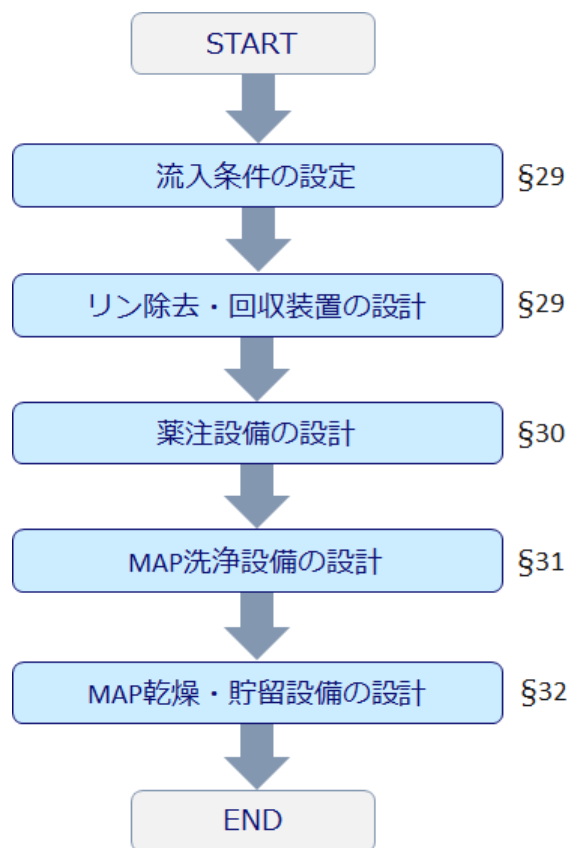


図 4-2 リン除去・回収技術の設計手順

§ 29 リン除去・回収装置

リン除去・回収装置は、次の項目を考慮して定める。

- (1) 流入条件の設定
- (2) 計画稼働日数の設定
- (3) 装置型式の選定
- (4) 装置台数の決定
- (5) 設備仕様
- (6) MAP 回収量

【解 説】

リン除去・回収装置は、次の項目を考慮して決定する。

(1) 流入条件の設定

1) 計画汚泥量

リン除去・回収設備への計画投入汚泥量は、日最大投入量、日平均投入量の他、消化槽および後段の脱水設備の運用も考慮し、受入量調整用の調整槽容量の設定も必要である。

また、脱水設備の運用も考慮し、汚泥貯槽への投入などを検討する。

①日最大汚泥量

施設計画・設計の基本となる諸元として設定が必要である。

②日平均汚泥量

平均的ユーティリティ使用量、回収リン量などに必要な諸元として設定が必要である。

2) 設備計画の条件

リン除去・回収技術の設計条件として、 $PO_4\text{-P}$ 、 $T\text{-P}$ および自然発生MAP-Pの濃度や量を設定する。

リン除去・回収装置で回収対象となるリンは、 $PO_4\text{-P}$ と $SS\text{-P}$ のうち比較的粒径の大きいMAP（自然発生 MAP）である。 $PO_4\text{-P}$ については、既存消化汚泥を実測した統計から平均値、最大値を求めることが望ましい。自然発生 MAP については、 $SS\text{-P}$ ($T\text{-P} - PO_4\text{-P}$) の 20～30%程度を想定する。

(2) 計画稼働日数

リン除去・回収装置の計画稼働日数は、汚泥貯留設備、汚泥脱水設備等の関連施設の設置状況や運転状況などから適切に判断する必要がある。

リン除去・回収装置は 24 時間連続運転を基本とすべき装置であり、日単位の運転においても連続運転とした方が装置の小型化が可能となる点などで有利である。

ただし、汚泥脱水設備を休日停止するが汚泥貯留施設に余裕が無い場合は、汚泥脱水設備の運用に合わせた稼働日数にする、などの検討を行なう必要がある。

(3) 装置型式の選定

リン除去・回収装置は、処理量および流入 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度などに見合った規模の選定を行なう必要がある。リン除去・回収装置の標準型式表を表 4-3 に示す。

リン除去・回収装置の容量は、本装置の特性上、単純に処理量や水質または処理リン負荷に比例しないため、計画の流入量、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度から表 4-3 を用いて標準的な型式を選定する。

詳細な設計段階にあつては、別途詳細設計による選定を実施する。

表 4-3 リン除去・回収装置 標準型式表

		型 番			
		I 型	II 型	III 型	IV 型
槽容量（呼称容量）（ m^3 ）		5	10	20	30
		$\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度毎の適用流量目安（計画日最大汚泥量（ $\text{m}^3/\text{日}$ ））			
流入 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度	150 mg/L	50～90	90～145	145～220	220～280
	200 mg/L	50～75	75～125	125～180	180～240
	250 mg/L	50～65	65～105	105～160	160～210

(4) 設置台数の決定

リン除去・回収装置の設置台数についての考え方は、計画処理量に対して 1 系列を基本とし、リン除去・回収装置のメンテナンスや、故障時には装置をバイパスさせる。

ただし、処理量と水質により 1 系列の処理能力を超えた処理計画となる場合や、段階的な増設を計画する場合等は、その基本計画に沿った合理的な台数を検討する。

(5) 設備仕様

- 1) MAP を移送する配管や機器では、磨耗を考慮した材質を選定する。
- 2) 消化汚泥を処理する装置（リン除去・回収装置および貯留槽類）の開放部には臭気ノズルを設置し、脱臭設備へ移送する。

(6) MAP 回収量

資源化量を把握するため MAP 回収量を算定し、貯留・輸送および販売価格設定に係る資料とする。

リン除去・回収装置で回収される MAP 量は、流入 $\text{PO}_4\text{-P}$ と消化汚泥中に自然発生している粗粒径 MAP である。MAP 回収量の算定は、各々の回収率等を考慮し以下の式を用いて算出する。

$$W_{\text{MAP}} (\text{kg-MAP/日}) = Q \times (\text{PO}_4\text{-P} \times r_{\text{PO}_4\text{-P}} + \text{自然発生 MAP-P} \times r_{\text{自然発生 MAP-P}}) \times 245/31 \times 10^{-3}$$

W_{MAP} (kg-MAP/日)	: 回収 MAP 量
Q (m ³ /日)	: 処理汚泥量 (日平均)
$\text{PO}_4\text{-P}$ (g-P/m ³)	: リン酸濃度 (不明の場合: T-P の 20~30%)
$r_{\text{PO}_4\text{-P}}$	: リン酸回収率 (計画値: 81% = リン酸除去率 90% × 回収率 90%)
自然発生 MAP-P (g-P/m ³)	: 自然発生 MAP 濃度 (不明の場合: $\text{SS-P} (= \text{T-P} - \text{PO}_4\text{-P})$ の 20~30%)
$r_{\text{自然発生 MAP-P}}$	: 自然発生 MAP 回収率 (計画値: 80%)
245	: MAP の分子量
31	: P 原子量

§ 30 薬注設備

設備は以下の機器類より構成される。

(1) マグネシウム注入設備

薬品貯留タンクおよび供給ポンプから構成される。貯留容量は日平均使用量の2週間分を目安とする。

(2) pH 調整剤注入設備

事前試験により pH 調整の必要性が予想された場合に設置する。

薬品貯留タンクおよび供給ポンプから構成される。連続使用ではない場合が多いため、貯留容量は日平均使用量の1週間分を目安とする。

【解 説】

消化汚泥中のリン酸とアンモニアを MAP として晶析させるために、薬注設備としてマグネシウム注入設備と pH 調整剤注入設備が必要となる。

(1) マグネシウム注入設備

MAP 晶析に必要なマグネシウム源を供給するための設備であり、設計の考え方は以下のとおりである。

1) 薬品の種類

使用する薬品は水酸化マグネシウム ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) を基本とする。

ハンドリングなどを考慮し、35%程度のスラリーを基本とする。

2) 薬注率・注入量

実証結果（資料編1項（5）参照）より、流入 $\text{PO}_4\text{-P}$ に対し、マグネシウム添加モル比が 0.7～1.0 となる注入率を基本とする。

MAP 晶析に必要なマグネシウムの理論量は、 $\text{PO}_4\text{-P}$ に対し当量（モル比＝1.0）であるので、余裕を見込み設計モル比として 1.1～1.2 を基本とする。

マグネシウム注入率 $\text{R}_{\text{Mg}} = \text{PO}_4\text{-P} \times 24.3/31$

水酸化マグネシウムスラリー注入量 ($\text{m}^3/\text{日}$) : $q_{\text{Mg}} = Q \times \text{R}_{\text{Mg}} \times 100/C \times 1/\rho$

Q ($\text{m}^3/\text{日}$) : 処理汚泥量（日最大）

C (%) : 薬品濃度

ρ (-) : 比重

3) 貯留槽

水酸化マグネシウム貯留槽は、鋼製または樹脂製とし、沈降防止用の攪拌装置を具備するものとする。

貯留容量については、計画処理量に対し2週間程度以上を基本とする。水酸化マグネシウムスラリーは保管による成分劣化はほとんど無いと考えられるため、より大きな貯留容量とすることも可能である。

4) 注入ポンプ

水酸化マグネシウムスラリーの搬送に適したものを選定し、吐出能力は計画注入量に対し 0.5～1.5 倍程度に可変可能なものとする。

(2) pH 調整剤注入設備

MAP 晶析の因子として pH は重要な因子である。本技術での適正 pH は 7.8～8.5 程度であり、その範囲から外れる場合には、硫酸や水酸化ナトリウム等を用いて pH 調整する必要がある。

ただし、水酸化マグネシウムを適正量添加した後の pH を理論から予測し、pH 調整剤の種類（酸かアルカリか）および必要量を推定するのは困難である。

従って、pH 調整剤については、事前にビーカー試験などを行ない、変動を考慮のうえ適正な計画とすることが望ましい。

§ 31 MAP 洗浄設備

設備は以下の装置類より構成される。

(1) MAP 洗浄装置

リアクタ内で造粒された MAP を水洗浄し、付着汚泥を除去するためのものである。

(2) MAP 水切装置

MAP 洗浄装置で洗浄された MAP の水切りをするためのものである。

(3) 給水装置

MAP 洗浄に用いる洗浄用水を供給するためのものである。既設の雑用水が利用できる場合は、配管にて供給する。

(4) 洗浄排水設備

洗浄排水設備は、MAP 洗浄装置、MAP 水切装置から排出される洗浄排水などを一時貯留し、水処理系統へ返流するためのものである。排水槽と移送ポンプから構成される。

【解 説】

MAP 洗浄設備は MAP 洗浄装置と MAP 水切り装置で構成され、必要に応じて給水装置・洗浄排水設備を設ける。なお、MAP 洗浄設備は、複数のリン除去・回収装置に対し共通で 1 系列だけ設けることが可能であるので、全体容量および配置計画等を考慮し計画する。

(1) MAP 洗浄装置

MAP 洗浄装置は、リン除去・回収装置で成長した MAP を定期的に引抜き、場内雑用水（砂ろ過水相当）などを利用して洗浄し、後段の MAP 水切装置へ移送するものである。

標準的には、リン除去・回収装置 1 台当たり、1～4 回/日の洗浄回数とする。

(2) MAP 水切装置

MAP 水切装置は、MAP 洗浄装置で洗浄された MAP の水切りを目的とした装置である。

造粒槽からの引き抜き MAP 1 回の回収量を、2 時間程度で水きりを行いながら搬送する。

搬送先のホoppa は、水切りと一時貯留を兼ねるものとし、貯留期間は系外への搬出間隔に合わせて設定する。

(3) 給水装置

MAP 洗浄に用いる洗浄用水は場内雑用水（砂ろ過水相当）を基本とする。前項（1）で選定した MAP 洗浄装置に対応した洗浄流量を踏まえ、場内雑用水などの給水がある場合はそれを利用し、無い場合は給水装置を新設する。

MAP 洗浄必要水量に対して場内雑用水が十分確保できる場合は、場内雑用水管から枝管を分岐し直接 MAP 洗浄装置等に接続しても良い。なお、MAP 洗浄必要水量に対して場内雑用水が十分確保できない場合は、MAP 洗浄に必要な洗浄用水タンク、洗浄用水ポンプを計画する。

洗浄用水タンクは、MAP 洗浄頻度、日当り洗浄用水量、などを勘案して十分な容量を有するものとし、洗浄用水ポンプは、選定した MAP 洗浄装置に適した吐出量、揚程を有するポンプとする。

（４）洗浄排水設備

洗浄排水設備は、MAP 洗浄装置、MAP 水切装置から排出される洗浄排水などを一時貯留し、水処理系統へ返流するための設備である。

既存の返流設備に直結可能な場合などは必ずしも必要な設備ではないので、既存施設の返流設備との関係を考慮して、適切な計画を行う。

§ 32 MAP 乾燥・貯留設備

設備は以下の機器類より構成される。

(1) MAP 乾燥装置

洗浄後の MAP を乾燥させ、長期間の貯留および搬送しやすいように乾燥させるものである。

(2) MAP 貯留装置

乾燥後の MAP を一時的に貯留・保管するもので、貯留ホッパ・搬送装置・計量装置で構成される。

【解 説】

第3章の回収 MAP の導入検討において、MAP の乾燥処理が妥当であると判断された場合に設置する。MAP 乾燥・貯留設備は、MAP 乾燥装置および MAP 貯留装置から構成され、各々以下の点に留意して設計する。

(1) MAP 乾燥装置

引取り条件の検討において、MAP の乾燥が必要な場合には導入する。乾燥の要求水準が低い場合や、乾燥が必要でも MAP の回収量が比較的少量である場合等は、水切り機構を付帯した貯留ホッパでも対応可能な場合がある。

MAP は、過度な加温によるアンモニア脱離（磷酸マグネシウム化）や物理的応力等による破碎といった変質を起こしやすいため、乾燥装置には MAP の乾燥に適した乾燥機構と品温管理機能とを有するものを選定する必要がある。

以下に MAP の乾燥が必要となった場合の設計上の留意点について示す。

表 4-4 MAP 乾燥装置の設計条件・留意事項

項 目	設計条件	備考・留意事項
原料 MAP 水分	20～25%程度	含水率は MAP 水切装置出口の値
乾燥 MAP 水分	3～5%以下	
乾燥機運転時間	日中 6 時間運転	運用計画による
処理能力	計画 MAP 回収量	
水切 MAP 貯留ホッパ容量	計画 MAP 回収の 2 日分以上	
乾燥装置型式	熱風式回転ドラム型乾燥機 等	乾燥温度は、炉内の MAP 品温 60℃以下とする。 品温 60℃となる吹込熱温にて調整。
乾燥熱源	消化ガスの利用が可能な場合は、消化ガスを利用する。	

(2) MAP 貯留装置

貯留方法は、ホッパ貯留、フレコン貯留等が考えられ、引取り条件に適した方法を選定する必要がある。また、回収 MAP を肥料または肥料原料として流通させる場合には、回収 MAP の出荷量管理を行う必要があるため、MAP 貯留装置には重量計測装置などを付帯する必要もある。

1) ホッパでの自然乾燥状態（水分 10～15%程度）の場合
カットゲート式ホッパに貯留し、適宜搬出する。

2) 乾燥設備で乾燥させる場合

乾燥 MAP 貯留の代表的な例として、ホッパによる一時貯留後、ストックヤードでのフレコン保管が考えられる。その場合の設計上の留意点について以下に示す。

表 4-5 MAP 性状

項 目	設計条件	備 考
乾燥 MAP 性状	水分：1～3% 形態：粒径 0.2mm 程度の粒状 嵩比重：0.8 程度	

表 4-6 MAP 貯留装置の設計条件と留意事項

項目	設計条件	留意事項
乾燥 MAP ホッパ	貯留容量：2 日分程度 切出機構付：スクリューフィーダ等	1 ヶ月以上の長期間の保管はブリッジの原因となるので避ける
フレコン投入装置	フレコン容量：1m ³ 等 秤量装置：ロードセル（投入自動停止）	
フレコン移動装置	電動ホイスト又はフォークリフト	

第5章 維持管理

第1節 リン除去・回収技術の維持管理

§ 33 リン除去・回収技術の運転管理

リン除去・回収技術の運転管理は、以下の2項目に分けられる。

以下に示す項目に対し、必要な測定、分析または管理を行い、適正な運転、運用を行う。

- (1) 装置の運転管理
- (2) 回収 MAP の管理

【解 説】

本技術の効果は、消化汚泥中の回収可能なリンを効率良く回収することで発揮されるため、消化汚泥成分の変動にあわせた運転管理を行うことが重要である。処理前後の汚泥の分析などにより汚泥成分の変動やリンの収支を把握し、回収可能なリンが適正に回収できる運転条件を設定する。

また、回収した MAP を肥料または肥料原料として流通するための管理として、回収 MAP の成分を分析して記録することや、在庫、出荷数の管理・記録等も必要となる。

装置の運転管理項目、回収 MAP の管理項目を以下に示す。

(1) 装置の運転管理

各装置において、測定、分析、解析を行い、適正な運転が行われていることを確認する。

各装置ごとの管理項目を以下の3つの項目1)～3)に分けて、表5-1～表5-3にまとめる。

1) リン除去・回収装置

リン除去・回収装置は、立上げ、停止、MAP の引抜きなどの各工程は自動化されている。MAP の引抜きは24時間タイマにより1日当たり1～4回程度に設定する。

運転管理項目は以下の2点である。詳細は表5-1参照。

- ①流入、流出汚泥中のリン酸、マグネシウム濃度把握による水酸化マグネシウム添加量の管理
- ②リアクタ内 MAP 濃度把握による MAP 引抜き頻度設定

2) MAP 洗浄装置

MAP 洗浄装置はリアクタからの MAP 引抜きに連動して、洗浄を行う。

運転管理項目の詳細は表5-2参照。

3) MAP 乾燥貯留装置

乾燥装置の運転管理としては、MAP は高温にさらすと変質するため、約60℃以下の品温に管理する必要がある。また、生産物としての MAP の品質（水分量）を安定させる為、装置の運転状態、乾燥 MAP の水分測定などを行う。詳細は表5-3参照。

表 5-1 リン除去・回収装置の管理項目

測定対象	測定・分析項目	頻度	管理基準
消化汚泥	処理量	1 回／日	—
	T-P, PO ₄ -P, S-Mg, TS, pH	1 回／週	添加 Mg 量を決定
処理汚泥	処理量	1 回／日	—
	T-P, PO ₄ -P, S-Mg, TS, pH	1 回／週	—
リアクタ	pH, MAP 濃度	2 回／週	pH : 7.8~8.5 (目安)

表 5-2 MAP 洗浄装置の管理項目

測定対象	測定・分析項目	頻度	管理基準
洗浄排水	TS, T-P	1 回／2 週	—
洗浄装置	洗浄装置内部状況	1 回／週	—
洗浄 MAP	外観確認	2 回／週	—

表 5-3 MAP 乾燥貯留装置の管理項目

測定対象	測定・分析項目	頻度	管理基準
乾燥 MAP	含水率	1 回／運転日	3%以下
回収 MAP	在庫量	1 回／都度	フレコン投入時
乾燥機内温度	乾燥機内温度	運転時	60℃以下
乾燥機内圧力	乾燥機内圧力	運転時	0 kPa 以下

(2) 回収 MAP の管理項目

回収 MAP の管理項目を表 5-4 に示す。

詳細は第 6 章を参照のこと。

表 5-4 回収 MAP の管理項目

測定対象	測定・分析項目	頻度	管理基準
回収MAP	含水率	1 回／週	3%以下 (MAP乾燥装置を使用する場合)
	肥料成分保証項目 (P ₂ O ₅ , N, Mg)	1 ~ 2 回／年	保証値
	有害成分項目 (重金属等)	1 ~ 2 回／年	化成肥料公定基準

§ 34 リン除去・回収技術の保守点検

リン除去・回収技術の保守点検は、各装置ごとに、定期的に異常の有無の確認、油脂類の補充や交換などを行う。

【解 説】

各装置ごとに、定期的に、異常の有無の確認、油脂類の補充や交換などを行い、各装置が正常に運転できるようにする。

定期点検項目および点検頻度を表 5-5 に示す。

本設備の構成機器の内、留意すべき事項を以下に示す。

(1) リン除去・回収装置流入前の設備

リン除去・回収装置流入前の消化汚泥はリンが除去されていないため、MAP が生成するリスクがある。消化槽からリン除去・回収装置間の消化汚泥系統については、スケール生成有無の確認を行い、必要により定期的に清掃を行うことが望ましい。

リン除去・回収装置流入部のしきスクリーンも同様に MAP が付着する可能性があるので点検を行う。MAP の付着が認められる場合には、定期的に化学洗浄（クエン酸や市販の MAP 除去剤）を行う。

(2) 乾燥装置を設置している場合は、1 年毎に装置の点検が必要である。

表 5-5 点検項目と頻度

装置名称	機器名称	点検項目	点検頻度			
			日	週	半年	1年
リン除去回収装置	し渣分離機	異音・振動・スクリーン面閉塞の有無	○			
		スクリーン面 MAP 付着の有無		○		
		給脂・給油			○	
		ボルト・ナットの緩みの有無			○	
	攪拌機	異音・振動・油量の有無	○			
		電流値	○			
		給脂・給油			○	
	ポンプ	異音・振動・油量・漏れの有無	○			
		吐出圧力・電流値	○			
		給脂・給油			○	
	MAP 分離装置	異音・振動・漏れ	○			
	タンク	異音・振動・漏れ	○			
MAP 洗浄装置	コンベヤ	異音・振動・漏れの有無	○			
		搬送状況・電流値		○		
		給脂・給油			○	
	ポンプ	異音・振動・油量・漏れ	○			
		吐出圧力・電流値	○			
		給脂・給油			○	
	空気源装置	異音・振動・漏れ	○			
	タンク	異音・振動・漏れ	○			
	洗浄 MAP 貯留 ホッパ	異音・振動・漏れの有無	○			
		搬送状況・電流値		○		
		給脂・給油			○	
MAP 乾燥貯留装置	コンベヤ	異音・振動・漏れの有無	○			
		搬送状況・電流値		○		
		チェーン伸びの有無・軸受け確認			○	
		給脂・給油			○	
	乾燥 MAP 貯留 ホッパ	異音・振動・漏れの有無	○			
		搬送状況・電流値		○		
		給脂・給油			○	
	乾燥装置	異音・振動・油量・漏れ	○			○
		電流値	○			○
		装置内部磨耗・腐食・堆積の有無			○	○
		ベルト・チェーンの伸び			○	○
		給脂・給油			○	○

第6章 回収 MAP の資源化

第1節 資源化の検討

§ 35 資源化の検討手順

図 6-1 に示す MAP 資源化検討フローに基づき、回収 MAP の「用途・需要者の検討」「流通形態の検討」を行い、回収リン資源化による便益を踏まえて本技術導入効果判断の一助とする。

【解説】

回収 MAP の資源化検討フローを図 6-1 に示す。

本技術による回収 MAP の資源化の検討は、「資源化の便益」および回収 MAP の「用途・需要者」「流通形態」の3つの要素について行う。回収リン資源化の便益は、本技術導入による効果として評価する。

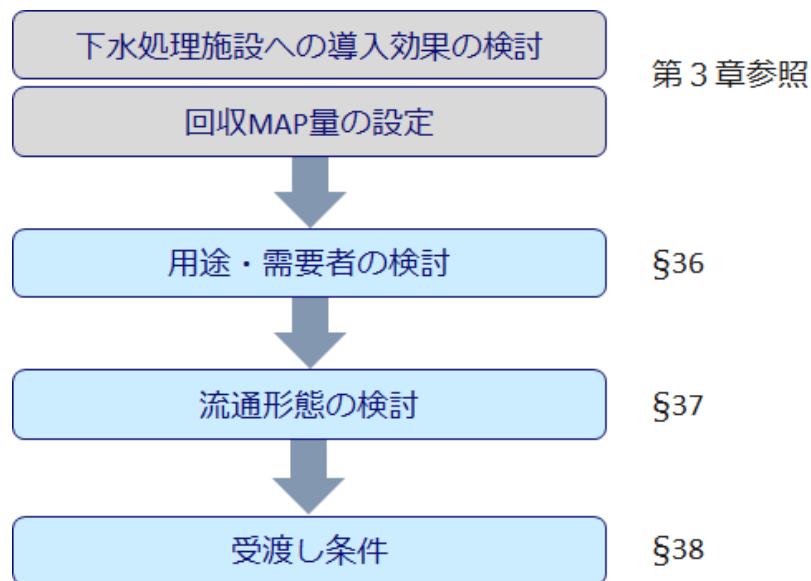


図 6-1 回収 MAP の資源化検討フロー

§ 36 用途・需要者の検討

本技術回収 MAP の特徴（第2章）および回収 MAP 量（第3章、第4章）を把握し、回収 MAP がどのような用途に利用可能であるか、また、想定される需要者の検討を行う。

【解説】

（1）回収 MAP の用途

表 6-1 に回収 MAP の利用用途と特徴等について示す。需要者のニーズを適切に把握するためには、回収 MAP の想定される品質と生産量をもとに、肥料流通会社、又は、近隣に肥料メーカーが存在する場合はその肥料メーカーにヒアリングする等して、需要者と連携していく必要がある。

回収 MAP はリン、窒素、マグネシウムの肥効成分を含有している特徴がある。マグネシウムはミネラル成分であり、また、MAP 中のリン酸はク溶性※のため緩効性の肥料効果があることを特徴とする。

※：ク溶性…クエン酸で溶解する性質を有すること

表 6-1 回収 MAP の利用用途と特徴

利用用途 項目	肥料	肥料原料
生産物	MAP(リン酸マグネシウムアンモニウム)	
概要	MAP を肥料としてそのまま利用する。	肥料の原料として利用する。肥料メーカーではリン、窒素、カリウム、などの肥効バランスを調整したメーカー独自の肥料を生産する。
肥料登録	化成肥料としての登録が必要	化成肥料としての登録が必要
流通	①肥料製造販売者として流通経路を構築して直接販売する。	①肥料メーカーへ原料として販売 ②商社等を通して肥料製造会社へ販売

（2）需要者の検討

回収 MAP は、肥料および肥料原料として使用が可能である。そのため、生産される MAP の需要者としては以下が挙げられる。

- 1）営農者
- 2）肥料販売店（JA、園芸店）
- 3）肥料流通会社（商社、JA 全農）
- 4）肥料メーカー（化成肥料生産、配合肥料生産等）

図 6-2 に国内の化成肥料メーカー工場所在地の例を、表 6-2 に化成肥料メーカーの名称と工場の例を示す。MAP の肥料原料としての流通を検討する際には、これらの情報等を参考に近隣の肥料メーカー等への問合せを行うことが望ましい。

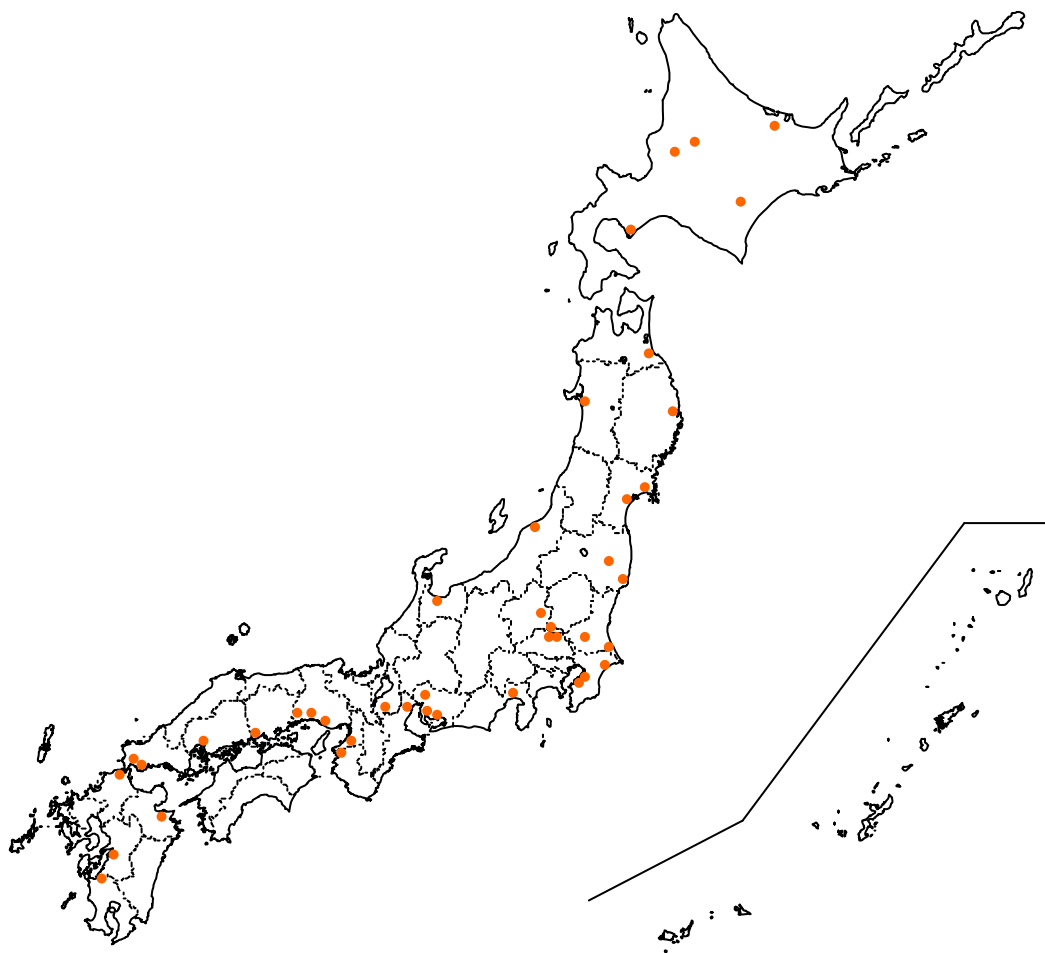


図 6-2 日本国内の化成肥料メーカー工場所在地の例

(表 6-2 日本肥料アンモニア協会調べ (2013 年 6 月) より作成)

表 6-2 化成肥料メーカーと工場

メーカー名	工場名	メーカー名	工場名
朝日工業	関東 千葉 関西	ジャエカムアグリ	小名浜 つくば 富士 黒崎 水俣 大分
朝日肥糧	本社	昭光通商アグリ	千葉 西
エムシー・ファーティコム	いわき 神島 宇部	住友化学	宮城 兵庫 愛媛
小野田化学	小野田	セイブサンエー	石巻
片倉チッカリン	旭川 塩釜 大越 千葉 名古屋 姫路 日出	清和肥料	和歌山 九州
兼松アグリテック	茨城	セントラル化成	秋田 宇部
関東電工	倉賀野	大成肥料	兵庫
協同肥料	名古屋	太平物産	秋田
九鬼肥料	四日市	太陽肥料	鹿島
コープケミカル	八戸 宮古 秋田 つくば 新潟	多木化学	本社 姫路 播磨
サンアグロ	北海道 北日本 宮城 鹿島 関東 川越 銚子 市原 速星 富山 大阪 岡山 鏡 大分	東西肥料	本社
三興	山陽	東菱肥料	鹿島
JA東日本くみあい飼料	大間々	日新化成	本社
		日東エフシー	千葉 名古屋
		日本ダイホスカ	第一
		日本肥糧	新町 半田
		日本肥料	和泉
		広島県製肥	広島
		福栄肥料	石巻 高砂
		ホクレン肥料	北見 帯広
		北海道サンアグロ	砂川
		北海道肥料	室蘭
		菱東肥料	大分

日本肥料アンモニア協会調べ（2013年6月）

§ 37 流通形態の検討

下水処理場の立地や回収 MAP 量と、§ 2 で検討した需要者の事業形態（業種、利用方法）や需要地について確認し、流通経路の安定性と市場の適合性に基づき事業性を検討する。

【解説】

事業化の成立には、安定需給を担保する生産量とそれを支える販売・流通経路が必要である。

(1) 流通の概要

図 6-3 に販売・流通経路体系を示す。

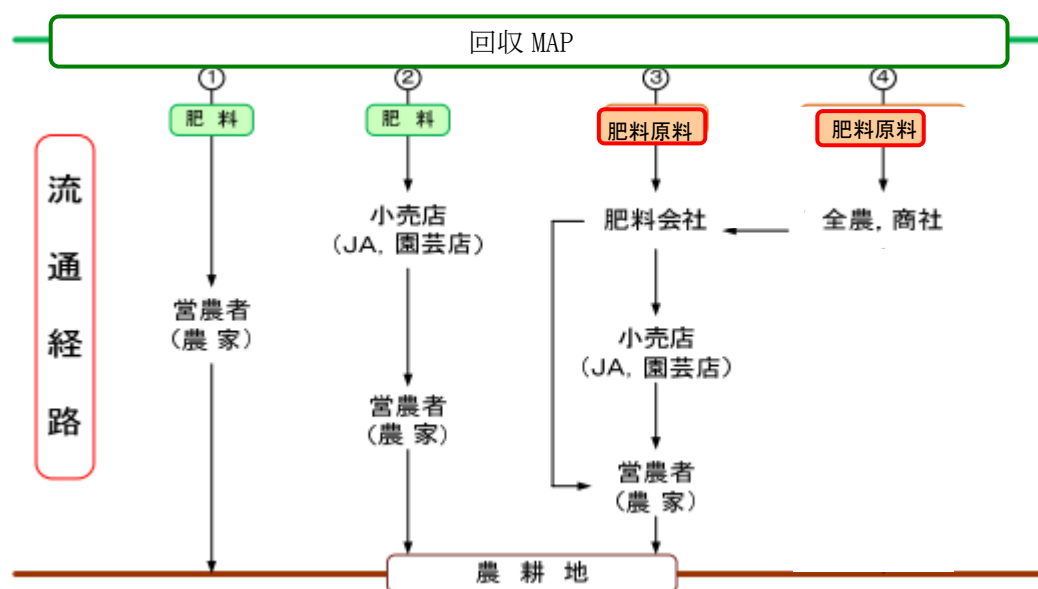


図 6-3 販売・流通経路体系の概要

（出展：「下水道におけるリン資源化の手引き」P41 より改変）

流通経路①：回収 MAP を肥料として直接農家などの営農者に販売するケース。

流通経路②：回収 MAP を肥料として地域の JA や園芸店などの小売店を通じて流通させるケース。

流通経路③：回収 MAP を肥料原料として直接肥料メーカーに販売し、肥料メーカーにて化成肥料や配合肥料として製造し流通させるケース。

流通経路④：回収 MAP を肥料原料として全農や商社などを通じて肥料メーカーに販売し、肥料メーカーにて化成肥料や配合肥料として製造し流通させるケースがある。

（２）流通形態の検討

流通形態は地域の農家や小売店に販売する前記（１）①②の比較的小規模な流通と、より大規模な肥料会社や商社に販売する（１）③④の流通がある。地域の特性を考慮し、また、流通先（販売先）へのヒアリングなどを通じて、総合的に検討する。

（３）需要者との流通協議

候補となる流通形態に該当する需要者に対して、生産品（回収 MAP）に関する情報（製造方法の概要や性状、品質、生産量など）を開示して、取扱いに関心のある需要者を募る。

関心を表明した需要者と、流通、取引条件について協議し、取りまとめる。

§ 38 受渡し条件

回収 MAP の需要者に対して、生産品（回収 MAP）に関する製造方法の概要や性状、品質、生産量などの情報を開示するとともに、流通に必要な受渡し条件について需要者に確認する。

【解説】

生産品（回収 MAP）に関する製造方法の概要や性状、品質、生産量などの情報を開示するとともに、流通に必要な要件について需要者に確認を行い、具体的に流通に必要な受渡し条件についての確認を行う。また、回収 MAP の貯留設備や乾燥設備の要否などについて検討し、必要により設計に反映させる。表 6-3 に開示する情報および需要者への確認事項（例）を示す。表 6-4、表 6-5 を参考に地域の特性を考慮して需要者と協議する。

表 6-3 回収 MAP 需要者との協議時に開示する情報（例）

項 目	説明・参考資料等
下水処理施設からの リン除去回収技術の概要	本ガイドライン記載の技術の概要（第 2 章）より必要箇所を抜粋する。
回収 MAP の性状（例）・品質	本ガイドライン資料編に記載の回収 MAP の性状（例）を一例として示す。 なお、回収 MAP の性状の詳細は処理施設により異なるのであくまでも参考として取り扱う。
回収 MAP 量	第 4 章で設定した回収量を想定値として開示する。

表 6-4 回収 MAP 需要者との協議時に確認する事項 1（例）

＜営農者や小売店に供給する場合＞

項 目	説明・参考資料等
回収 MAP の水分	回収 MAP の水分は貯留ホッパでの自然乾燥により 10～15%程度の水分量となる。 更に、乾燥設備を設置すると水分量 5%以下に乾燥させることができる。 回収 MAP を袋詰めして販売する等の場合には、水分の影響について検討・協議する。 乾燥設備の設置はイニシャル・ランニングコストの増加に直結するので、需要者と乾燥設備の要否について協議を行う。
回収 MAP を自然乾燥させる場合の貯留形態および輸送形態 （水分量 10～15%） （小規模～大規模）	回収 MAP をホッパでの自然乾燥とする場合、貯留形態はホッパでの貯留となる。 処理場内に営農者が引き取りに来るケースの場合、回収 MAP の受渡し方法について検討を行う。
回収 MAP を乾燥させる場合の貯留形態および輸送形態 （水分量 5%以下） （大規模）	大規模な施設で MAP の乾燥を行い、肥料会社に主に出荷しているケースにおいて、その一部を営農者や小売店に直接供給する場合を想定した場合、受渡しヤードの整備・受渡し方法について検討を行う。

表 6-5 回収 MAP 需要者との協議時に確認する事項 2（例）

＜肥料メーカーへ供給する場合＞

項 目	説明・参考資料等
回収 MAP の水分	回収 MAP の水分は貯留ホッパでの自然乾燥により 10～15%程度の水分量となる。 更に、乾燥設備を設置すると水分量 5%以下に乾燥させることができる。乾燥設備の設置はイニシャル・ランニングコストの増加に直結するので、需要者と乾燥設備の要否について協議を行う。
回収 MAP を自然乾燥させる場合の貯留形態および輸送形態 （水分量 10～15%） （小規模～大規模）	回収 MAP をホッパでの自然乾燥とする場合、貯留形態はホッパでの貯留。輸送形態はダンプトラック、アームロール車などのバラ積での輸送（受渡し）が考えられる。 MAP 回収量、ホッパの貯留容量などを勘案し、受渡し（出荷）頻度、受渡し条件、計量方法・計量場所などについて協議を行う。
回収 MAP を乾燥させる場合の貯留形態および輸送形態 （水分量 5%以下） （大規模）	乾燥設備を設置し、回収 MAP を乾燥させる場合、貯留形態はフレコンバックなどへ充填後に屋内倉庫保管が基本となる。倉庫内のフレコン移動・輸送車への積載方法により、クレーン設備またはフォークリフトの使用を検討する。 倉庫容量により受渡し頻度について需要者と協議する。 その他、受渡し条件、計量方法、計量場所などについて協議を行う。

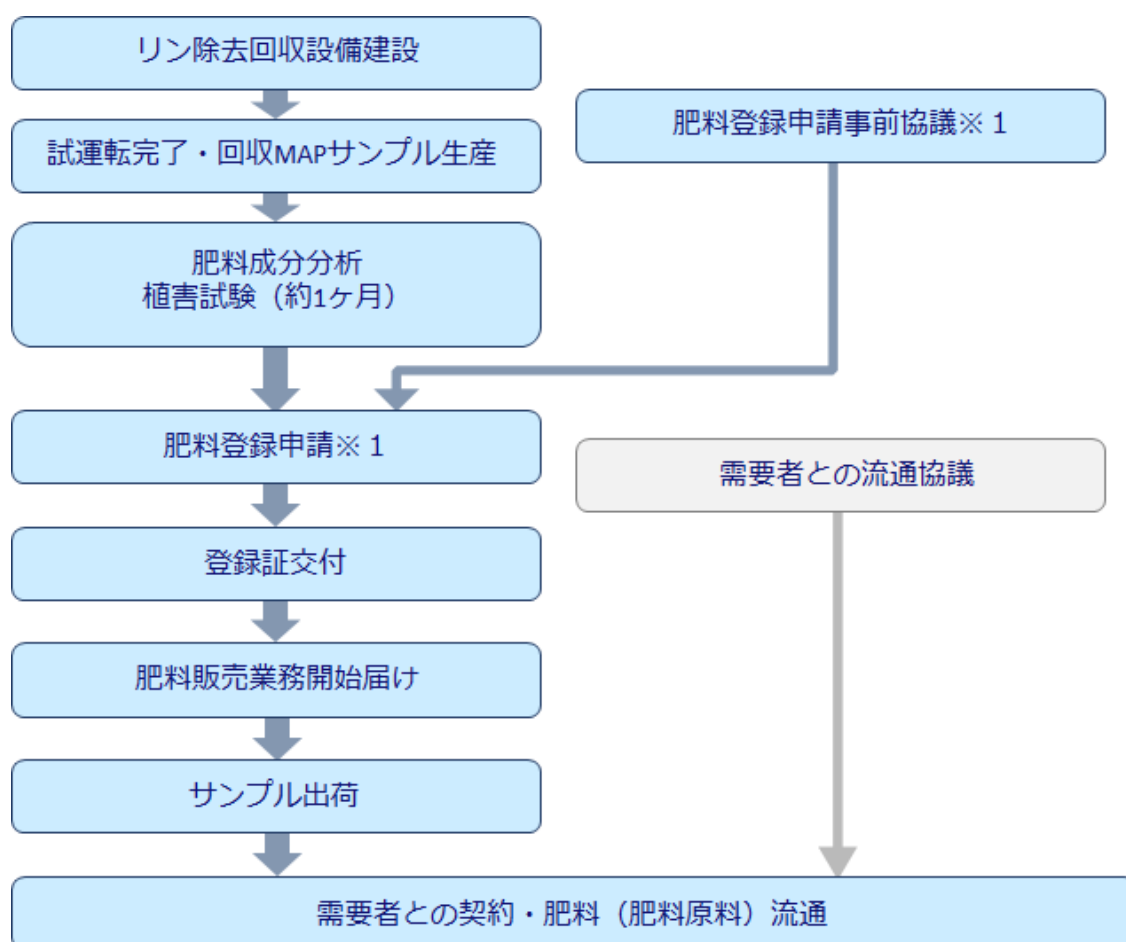
第2節 回収 MAP の流通と品質管理

§ 39 設備建設から肥料流通までの流れ

リン除去回収設備建設・試運転完了後、肥料流通の要件として、回収 MAP の肥料登録申請を行う。肥料登録に当たっては、当該回収技術により生産された MAP の肥料主成分および有害成分の含有量が安定的に一定の範囲内に収まっているかについて確認できるデータの提出が求められる。登録完了後、肥料販売に必要な肥料販売業務開始届などを行う。その後、需要者へのサンプル出荷、広報活動など実際の流通に向けた検討および活動を行い、需要者との流通に関する条件確認・契約を行い流通させる。

【解説】

図 6-4 に設備建設から肥料流通までのフローを示す。



※ 1 肥料登録手続きの概要は図 6-5 参照（出典：農林水産消費安全技術センターHP）

図 6-4 設備建設から肥料流通までのフロー

肥料登録は農林水産消費安全技術センターを介して農林水産大臣より登録証が交付される。肥料の登録申請の概要を図 6-5 に示す。

肥料登録申請の事前準備として、技術概要、申請書（案）などを作成し、農林水産消費安全技術センターと事前に協議しておく。試運転完了後、回収 MAP サンプルの成分分析、植害試験を第三者分析機関（日本肥糧検定協会、民間分析会社）で行う。植害試験では植物の生育に害が無いことを実際にコマツナ等を用いた試験区に施肥・確認するもので約 1 ヶ月の期間を有する。登録申請時には、これら分析結果および回収 MAP のサンプルを添付する。また、登録申請時には肥料の名称、保証成分量（％）を決定し、申請する。登録申請後、問題無ければ約 1 ヶ月で登録証が交付される。登録完了後、販売に際しては、都道府県毎に肥料販売業務開始届を届ける必要がある。詳細は、農林水産消費安全技術センター（<https://www.famic.go.jp/>）を確認を行う。

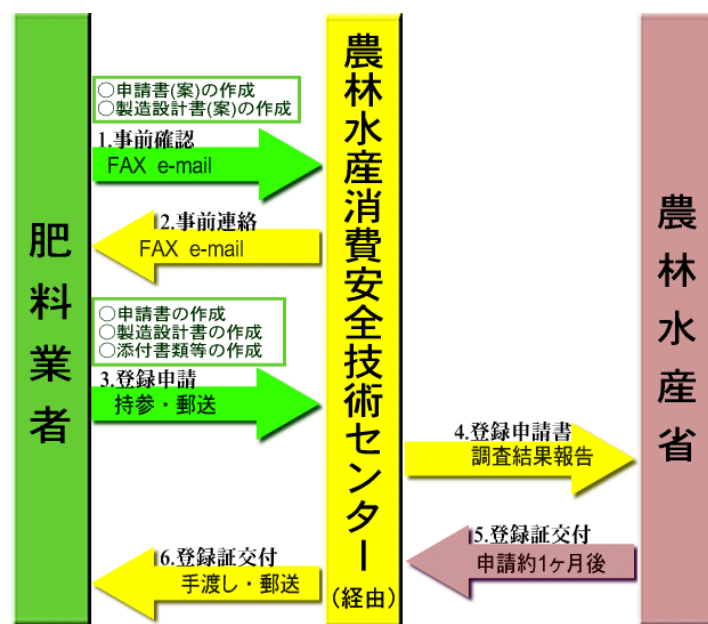


図 6-5 肥料登録手続きの概要（出典：農林水産消費安全技術センターHP）

§ 40 品質管理

回収 MAP の流通を安定的に維持していくためには、肥料取締法で規定される基準に適合し、肥料登録した保証成分量が担保されなければならない。また、MAP 生産販売事業の実施主体と需要者との間で取り交わされたその他の取り決めが適正に守られなければならない。

【解説】

(1) 主要成分、有害成分の品質管理

登録した成分保証量が確保されていること。有害成分が肥料取締法で規定される規制値以下であることを製品に保証する。生産業者は出荷単位毎に保証票を添付する義務がある^{※2}。主要成分量、有害成分が規定値以下であることを定期的に分析を行い、問題無いことを確認する。また、設備を肥料生産設備として適正に維持管理を行う。

※2：肥料取締法 第十七条

(2) 水分量の管理

受渡し先との協議で決めた水分量が適正に維持されるよう出荷単位毎に水分量の測定を行う。

(3) 台帳の整備

原料・製品の受払台帳、生産・販売日報の整備は肥料生産業者の義務とされており^{※3}、整備しておく。また、上記(1)、(2)の品質管理記録も合わせて整理しておく。

肥料登録・生産に際しての、留意事項、義務事項を図 6-6 に示す。詳細は、農林水産消費安全技術センター (<https://www.famic.go.jp/>) に確認を行う。

※3：肥料取締法 第二十七条

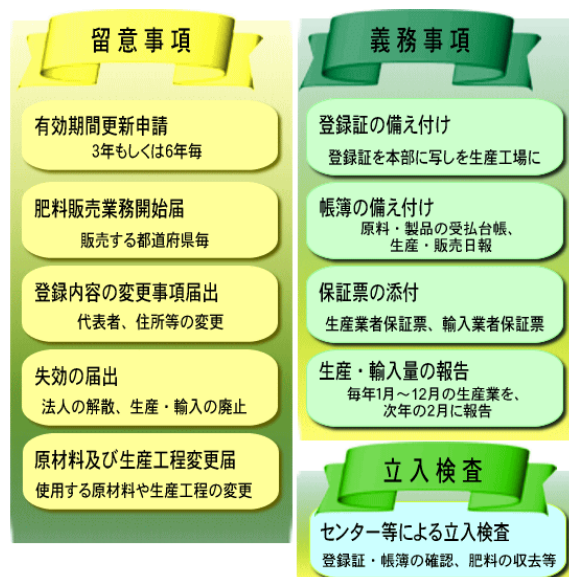


図 6-6 肥料登録の留意事項（出典：農林水産消費安全技術センターHP）

参 考 文 献

- 下水道施設計画・設計指針と解説 後編 2009 年版（平成 21 年 10 月，公益社団法人日本下水道協会）
- 下水道におけるリン資源化の手引き（平成 22 年 3 月，国土交通省都市・地域整備局下水道部）
- バイオソリッド利活用基本計画（下水汚泥処理総合計画）策定マニュアル
（平成 16 年 3 月，国土交通省都市・地域整備局下水道部，公益社団法人日本下水道協会）
- 島村、萩野、他，汚泥からのリン資源回収プロセス（環境浄化技術 2009. 1 Vol. 8 No. 1 pp40-43）
- 古賀、萩野，消化汚泥からの高効率リン除去回収技術（再生と利用 Vol. 38 No. 143 2014/4 pp104-107）

資料編

1. 実証研究結果

(1) 実証研究結果のまとめ

実証項目	成果
回収ならびに 除去効果の 実証	・ 脱水ろ液として返流する T-P の除去率として 85%以上の除去が可能であり、目標の平均 80%以上を達成した。 ・ 脱水ろ液からの MAP 法に比べて、50～90%のリン回収量の増加が可能であり目標の平均 40%以上を達成した。 ・ リン除去後の消化汚泥固形物量は、原汚泥に対し平均 3.3%削減され目標の平均 3%以上を達成した。
既存施設へ 与える影響	・ 既存施設（脱水設備等）への悪影響は無く、脱水性は同等であった。 ・ 汚泥固形物低減による運転負荷の低減が期待できる。 ・ 汚泥脱水機、リン除去回収装置後段の貯槽、配管でのスケール生成リスクが低減されることが期待できる。
肥料原料検討	・ 回収 MAP の成分分析の結果、化成肥料公定規格を満足する結果であった。 ・ 回収 MAP の組成分析の結果、回収 MAP の P、Mg、N の組成割合は標準 MAP（市販品）のものと近似しており、組成からも回収 MAP が MAP であることが確認された。 ・ 回収 MAP の構造解析分析（X 線解析）の結果、標準 MAP（市販品）と回収 MAP が示すピークの位置が概ね同位置にくることを確認した。 ・ 回収 MAP の粒度分布について、100～700 μm の範囲内にほぼ 9 割の分布率があり、MAP 粒径分布が安定していることを確認した。 ・ 植害試験の結果、有害物によると考えられる植物の生育上の異常症状は認められなかった。 ・ 肥料メーカーでの肥料試作（ラボスケール）を行った結果、性状面、製造面ともに従来原料と比べて問題無いことが確認された。 ・ 本技術回収 MAP は化成肥料として登録された。

(2) 実証概要

1) 実施期間

平成 24 年 6 月 18 日 ～ 平成 26 年 3 月 31 日

2) 実証場所

①自治体名：兵庫県 神戸市

②処理場名：東灘処理場（実証サイト全体配置を図 1-9 に示す）

③処理法：標準活性汚泥法（嫌気好気運転）

④処理量：処理水量 165,128m³/日（平成 22 年度実績）

消化汚泥量 954m³/日（消化汚泥量 939m³/日（平成 22 年度平均）＋バイオマス
投入量 15t/日（平成 24 年度計画値））

3) 実証施設

①実証施設の緒元

導入箇所：消化汚泥から直接リンを除去・回収し、リン除去汚泥は専用脱水機で脱水する。

設置箇所：東灘処理場内

処理量：4.125t-DS/日（消化汚泥消化汚泥量 239m³/日）

処理能力：脱水ろ液中の T-P 削減率 80%以上（消化汚泥中の PO₄-P 除去率 88%）

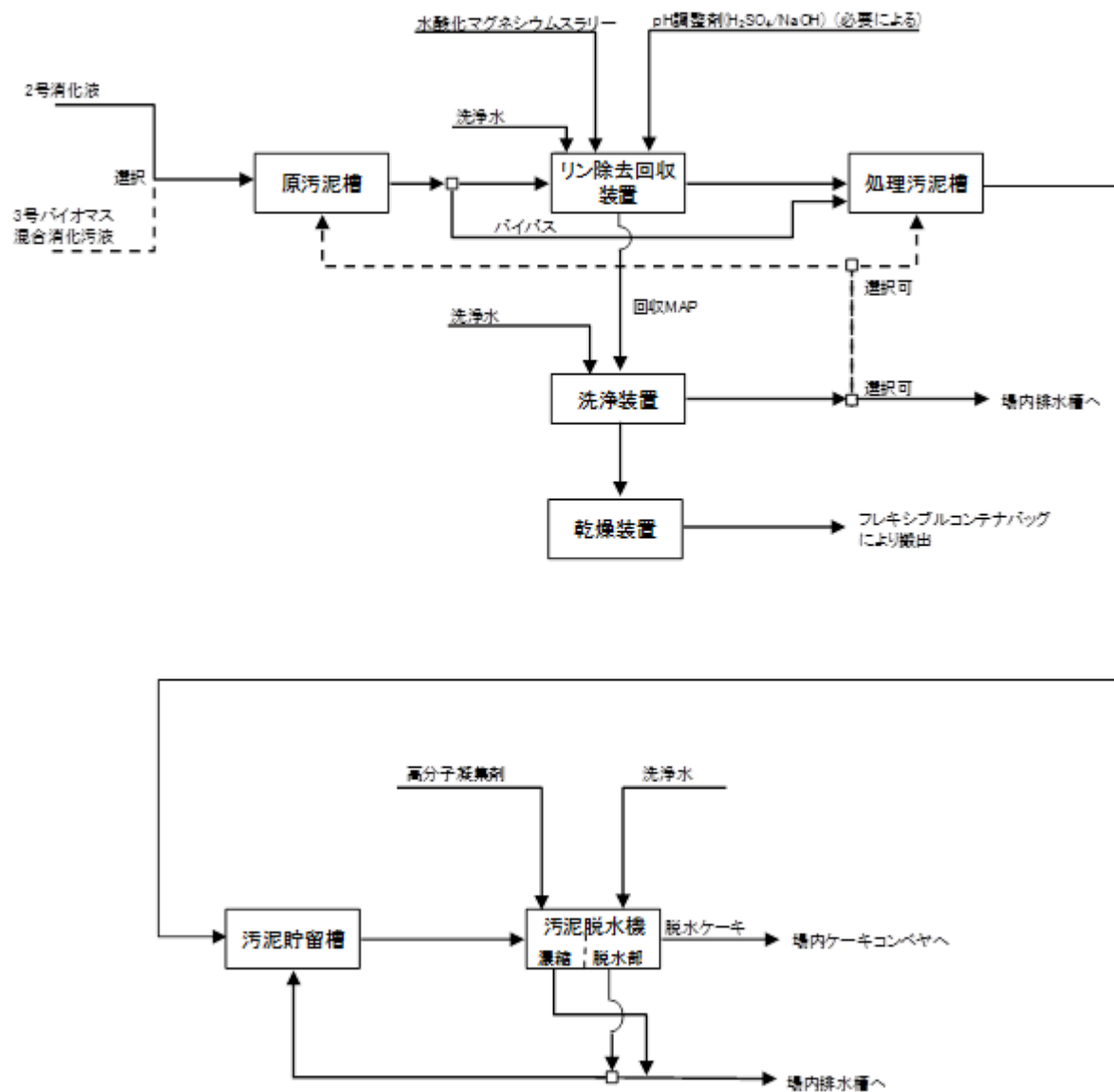
MAP 回収量：360kg-MAP/日（試算値）

②設備の概要

図資 1-1 に本実証設備（基本プロセス）のブロックフローを、図資 1-2 に実証施設配置図を、示す。また、表資 1-1 に設備概要一覧を示す。原汚泥（消化汚泥）は、既設 2 号消化タンク（通常消化汚泥）又は既設 3 号消化タンク（バイオマス混合消化汚泥）より選択して引抜き可能としている。リン除去回収施設内原汚泥タンクで一時受けした原汚泥は、リン除去回収装置でリンを除去した後、処理汚泥槽へ流下する。リン除去回収装置の付帯設備として、マグネシウム源、pH 調整剤の薬注設備がある。一方、回収 MAP は洗浄設備で洗浄した後、乾燥設備で乾燥の後、MAP 倉庫内で計量、一時保管される。

リン処理汚泥は脱水棟へ送泥され、汚泥脱水機で脱水処理し、既設ケーキコンベヤへ脱水ケーキを排出する。脱水ろ液は既設脱水ろ液管へ排水する。

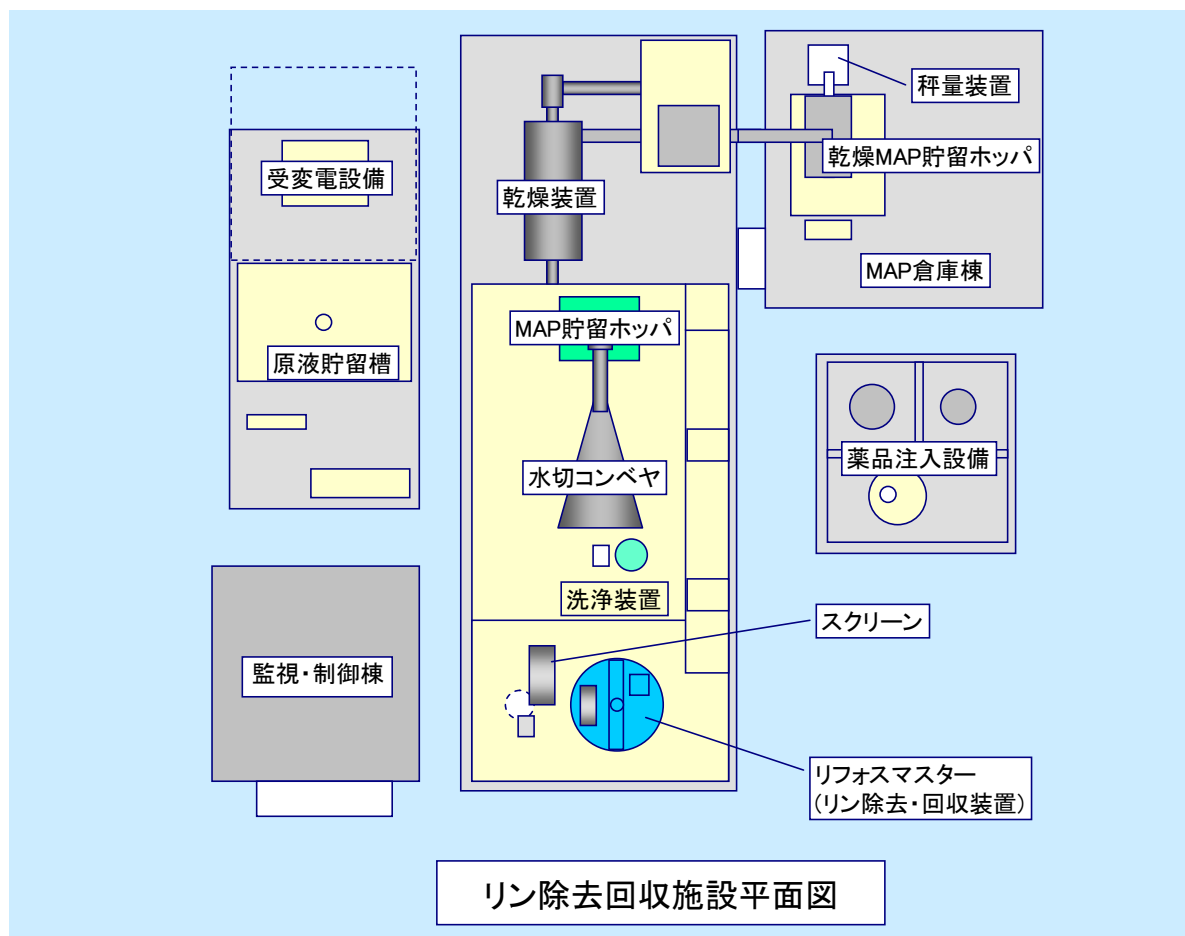
電気設備は、リン除去回収施設は処理場とは別受電となっており、受電設備および動力・制御・監視設備より構成される。監視設備は監視制御棟内に設置される。脱水設備については汚泥脱水棟内電気室で受電し、動力制御盤および各機器機側制御盤により構成される。



図資 1-1 実証設備ブロックフロー

表資 1-1 設備概要一覧

設備名称	概要
<機械設備>	
1) リン除去・回収設備	消化汚泥よりリンを除去・回収する。
2) 洗浄設備	除去・回収したリン(MAP)の水洗浄を行う。
3) 送泥設備	消化汚泥をリン除去回収設備へ送る。また、リン除去汚泥を汚泥脱水設備へ移送する。
4) 薬注設備	リン除去に必要な薬品（マグネシウム源、pH調整剤）を供給する。
5) 乾燥設備	洗浄した MAP を乾燥させ、肥料原料に適したハンドリング性を確保する。
6) 脱水設備	リン除去した汚泥の脱水を行う。
<電気設備>	
1) 受変電設備	処理場外より受電し、リン除去・回収施設への電源供給を行う。
2) リン除去・回収電気設備	リン除去・回収、洗浄、乾燥設備の動力供給・制御を行う。
3) 汚泥脱水電気設備	汚泥脱水機棟内で受電し、実証脱水設備の動力供給・制御を行う。
4) 監視・制御設備	実証・監視制御棟内に中央監視設備を置き、リン除去・回収施設および汚泥脱水設備の監視・管理、運転データ出力等を行う。また、処理場中央にリン除去施設の監視端末を、汚泥棟中央に実証脱水設備の監視端末を設置し、基本運転状態の表示・監視および警報表示を行う。
<土木建築設備>	
1) 監視制御棟	リン除去・回収実証エリアに設置し、上記電気設備 4) の監視・制御機能を置く。また、実証研究に必要な分析等を行う。
2) MAP 倉庫	回収・洗浄・乾燥した MAP をフレキシブルコンテナバッグに投入し、本倉庫で一時保管する。搬出入の為のクレーンを設置する。
3) リン除去回収設備基礎	リン除去・回収、洗浄、乾燥、薬注設備用の基礎を設置する。
4) 施設内外構	リン除去回収施設内・基礎間の舗装整備、施設取付道路、施工箇所の雨水排水、プラント排水の污水管への接続等を行う。



図資 1-2 実証施設配置図

③実証工程

実証工程を以下に示す。

下記の実証を行った。リン除去回収実証性能の評価は対象系（リン除去回収バイパス）試験結果と比較することで行った。

- i) 基本プロセス・リン除去回収実証運転
- ii) 対照系・リン除去回収バイパス運転
- iii) バイオマス混合消化汚泥

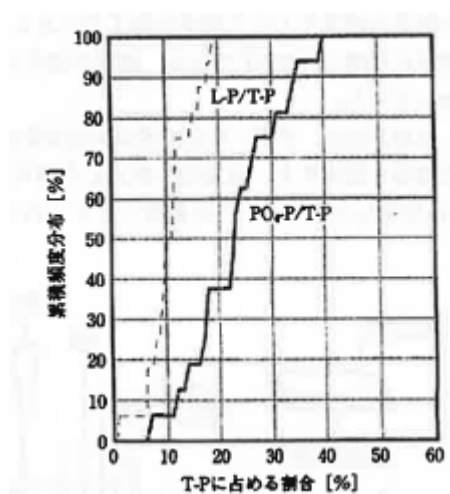
表資 1-2 実施工程表

項目	2013年度								
	7	8	9	10	11	12	1	2	3
〔1〕実証運転・データ採取									
1) 運転条件調整	—								
2) リン除去回収 基本プロセス連続実証	←→	→	←	→	←	→	←	→	予備
・実験系(リン除去回収有り)	—	—		—	—	—	—	—	—
・対象系(リン除去無し)			—		—		—		
3) バイオマス混合消化液での実証						—	—		
4) 回収MAPの肥料化検討	肥料登録検討、肥料工場での試験・試作								

(3) 消化汚泥中のリンの形態

下水処理の過程で生成する消化汚泥には、さまざまな形態のリンが存在している。図資 1-3 に全国 16 箇所の下水処理場の消化汚泥を対象に、全リンに占める溶解性リンと、粗粒子性のリンの割合を示した。なお、粗粒子性のリンは、X 線回折分析より MAP であることが分かっている^{※1)}。粗粒子性のリンは本技術により回収可能な自然発生 MAP と定義している。

本調査結果より、累積頻度分布 10～90% の範囲で $PO_4\text{-P}$ は T-P のおよそ 10～35% で存在しており、粗粒子由来のリン (L-P) はおよそ 5～15% 程度存在している。本技術は、消化汚泥中の $PO_4\text{-P}$ および粗粒子由来のリン (MAP) を回収対象としている。



図資 1-3 下水消化汚泥中のリンの形態^{※1)}

※1) 出典：汚泥からのリン資源回収プロセス 環境浄化技術 2009. 1vol.8 No.1 島村ら

(4) リン除去・回収性能実証方法

1) 処理性能目標値

本実証研究において設定した目標処理性能は、以下の 3 項目である。以下の処理性能を満足することで、水処理系への返流水リン負荷軽減、従来方式よりも効率の良い消化汚泥からのリン回収、および汚泥固形物量 (乾燥重量 (以下 DS) ベース) の削減を可能にすることを実証した。

- ①脱水ろ液として水処理系に返流する T-P を平均 80% 以上削減する
- ②「脱水ろ液からの MAP 回収法」に比べて、MAP 回収量を平均 40% 以上増加させる
- ③脱水ケーキとして系外に排出する汚泥固形物量 (DS ベース) を平均 3% 以上削減する

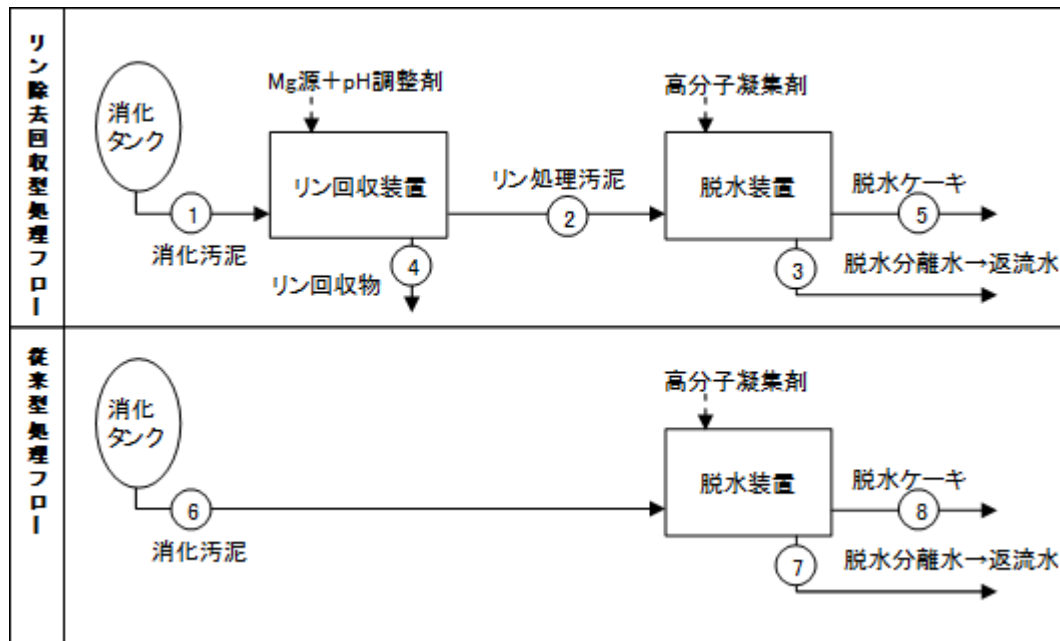
2) 処理性能の評価方法

- ①脱水ろ液の T-P を平均 80% 削減

図資 1-4 に実験フローにおけるサンプリング位置(1)を示す。「脱水ろ液の T-P を平均 80% 削減」の評価方法としては、図資 1-4 のリン回収型処理フローにおける脱水ろ液中の T-P 負荷量 (サンプル位置③) が通常型脱水処理フローにおける脱水ろ液中の T-P 負荷量 (サンプル位置⑦)

の 20%以下となることを採取データの平均値として実証するために以下の式 (1・1) を計算し評価する。

$$1 - \left(\frac{[\textcircled{3} : \text{T-P}] \times [\textcircled{3} : \text{流量}]}{[\textcircled{7} : \text{T-P}] \times [\textcircled{7} : \text{流量}]} \right) \geq 0.8 \quad \dots\dots\dots (1 \cdot 1)$$



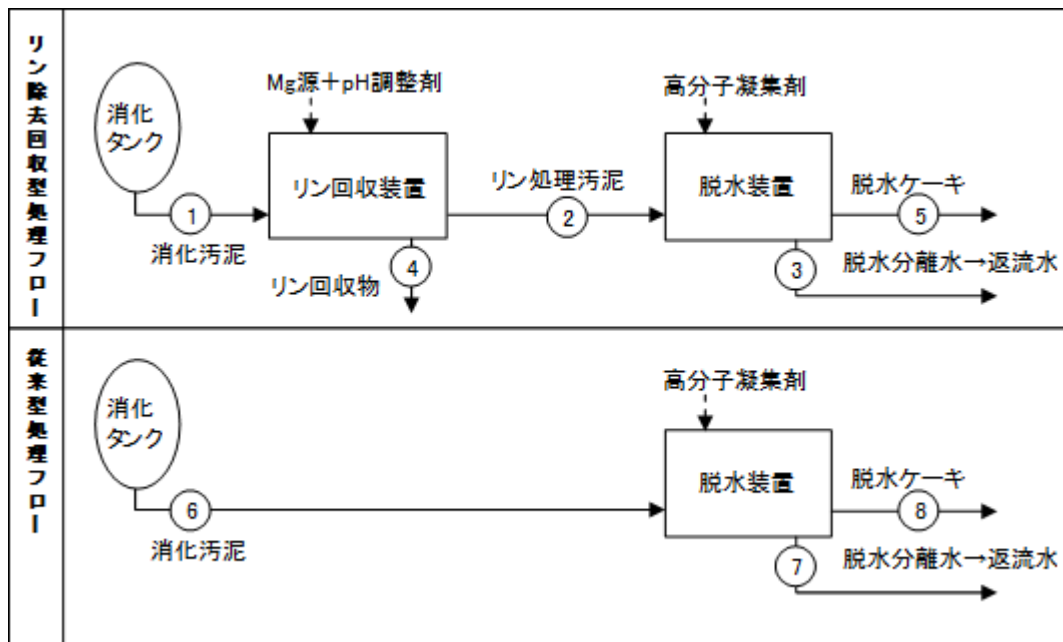
図資 1-4 実験フローにおけるサンプリング位置(1)

②MAP 回収量平均 40%増加

図資 1-5 に実験フローにおけるサンプリング位置(2)を示す。本実証プロセスが従来方式よりも MAP 回収量が平均 40%増加することを実証するためには従来方式による MAP 回収量を想定する必要がある。従来方式の MAP 回収量は脱水ろ液 $\text{PO}_4\text{-P}$ 負荷量の 70%※2) とし、 $[\textcircled{7} : \text{T-P}] \times [\textcircled{7} : \text{流量}]$ に 0.7 を乗じた値を従来方式 MAP 回収量とした。その従来方式の MAP 回収量に対して本実験フローのリン回収量である $([\textcircled{1} : \text{T-P}] \times [\textcircled{1} : \text{流量}] - [\textcircled{2} : \text{T-P}] \times [\textcircled{2} : \text{流量}])$ が 1.4 倍以上であることは以下の式(1・2)が成立することで確認できると考えた。なお、この従来方式の MAP 回収量に対する本革新的リン回収方式の回収量の比率を「MAP 回収率比」とする。

※2) 出典：「下水道におけるリン資源化の手引き」（平成 22 年 3 月 国土交通省都市・地域整備局下水道部）

$$\frac{[\textcircled{1} : \text{T-P}] \times [\textcircled{1} : \text{流量}] - [\textcircled{2} : \text{T-P}] \times [\textcircled{2} : \text{流量}]}{[\textcircled{7} : \text{PO}_4 - \text{P}] \times [\textcircled{7} : \text{流量}] \times 0.7} \geq 1.4 \quad \dots\dots\dots (1 \cdot 2)$$



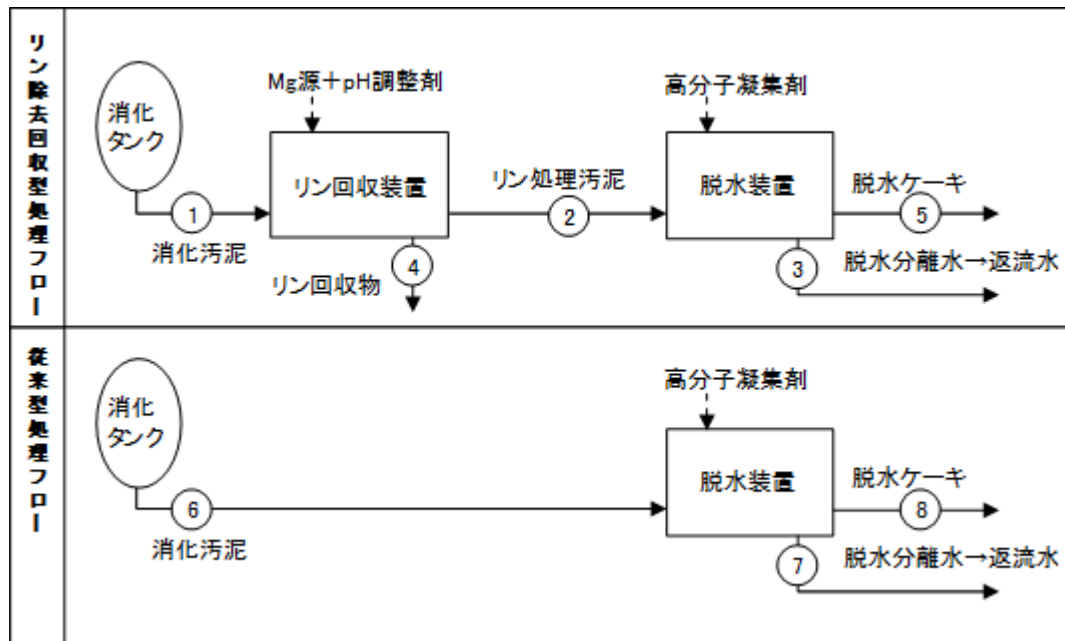
図資 1-5 実験フローにおけるサンプリング位置 (2)

③汚泥固形物量 (DS ベース) 平均 3%削減

図資 1-6 に実験フローにおけるサンプリング位置 (3) を示す。「汚泥固形物量平均 3%削減」の評価方法としては、図資 1-6 のリン除去回収型処理フローにおけるリン処理汚泥の SS 負荷量 (サンプル位置②) を消化汚泥の SS 負荷量 (サンプル位置①) で除した値を 1 から減じた値が 0.03 以上となることを採取データの平均値として実証するために以下の式 (1・3) が成立することを確認する。なお、リン除去回収型フローの②：リン処理汚泥と従来型フローの⑥：消化汚泥を直接比較しない理由は、実験系列が 1 系列しか存在しないため、同時並行でサンプル②とサンプル⑥を採取することができず、汚泥濃度の日変動として ±10% 程度あることからこの比較方法は採用しなかった。また、脱水装置から返流水として流出する脱水ろ液中の SS を考慮するために、リン除去回収型処理フローでは①消化汚泥と③脱水ろ液から算出される脱水装置の SS 回収率を、従来型処理フローでは⑥消化汚泥と⑦脱水ろ液から算出される脱水装置の SS 回収率をそれぞれ考慮した上で 汚泥固形物量を算出した。

式 (1・3) で示される値を「汚泥固形物量削減率」とする。

$$1 - \frac{([\text{②:SS}] \times [\text{②:流量}]) \times \left(1 - \frac{[\text{③:SS}] \times [\text{③:流量}]}{[\text{②:SS}] \times [\text{②:流量}]}\right)}{([\text{①:SS}] \times [\text{①:流量}]) \times \left(1 - \frac{[\text{⑦:SS}] \times [\text{⑦:流量}]}{[\text{⑥:SS}] \times [\text{⑥:流量}]}\right)} \geq 0.03 \dots \dots \dots (1 \cdot 3)$$



図資 1-6 実験フローにおけるサンプリング位置(3)

3) 試験条件

表資 1-3 試験条件

項目	仕様
運転時間	24 時間連続
汚泥処理量	239m ³ /d

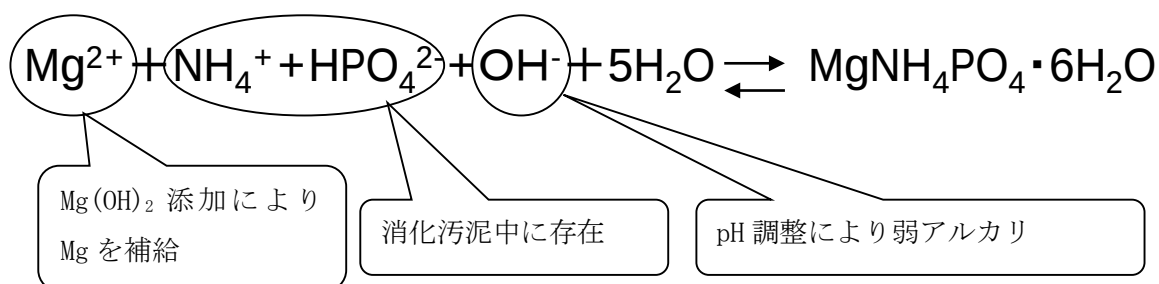
4) 最適運転条件

本実証研究において上述した処理性能を得るために実証施設の運転条件を最適化する必要がある。実証施設全体を構成する個々の単位装置の運転条件は幾通りも考えられるが、これまでのパイロット試験等での知見により最適な運転条件は既に把握しており、本実証研究により最適化を検討する具体的な運転操作項目としては Mg/P 比（モル比）、および pH の 2 項目である。図資 1-7 に MAP 反応式を、図資 1-8 に Mg/P 比と pH の操作に関する模式図を示す。

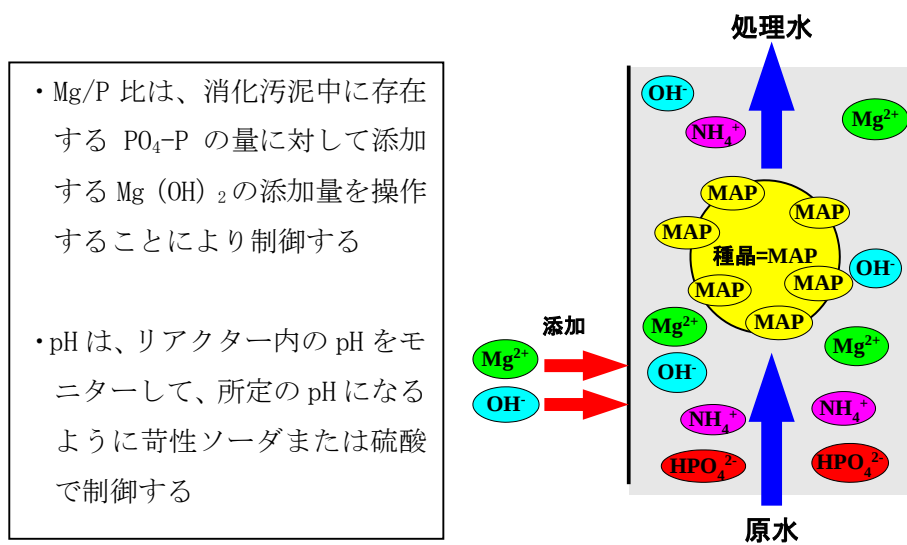
表資 1-4 に示すように Mg/P 比は、MAP 反応槽に供給される消化汚泥中の PO₄-P に対して該反応槽に供給する水酸化マグネシウム由来の Mg⁺により決定されることから、運転操作上は PO₄-P の値をほぼ一定と想定した上で実質的には水酸化マグネシウム供給量を変化させ、所定の操作範囲内に入るよう操作する。また、pH は所定量供給される水酸化マグネシウムによりアルカリ側に変化する汚泥に対して希硫酸または苛性ソーダを添加して表資 4-2 に示す操作範囲内に入るように操作する。

表資 1-4 運転条件の検討項目

運転操作項目	操作範囲
Mg/P 比	0.7～1.5
pH	7.8～8.2



図資 1-7 MAP 反応式



図資 1-8 Mg/P 比と pH の操作に関する模式図

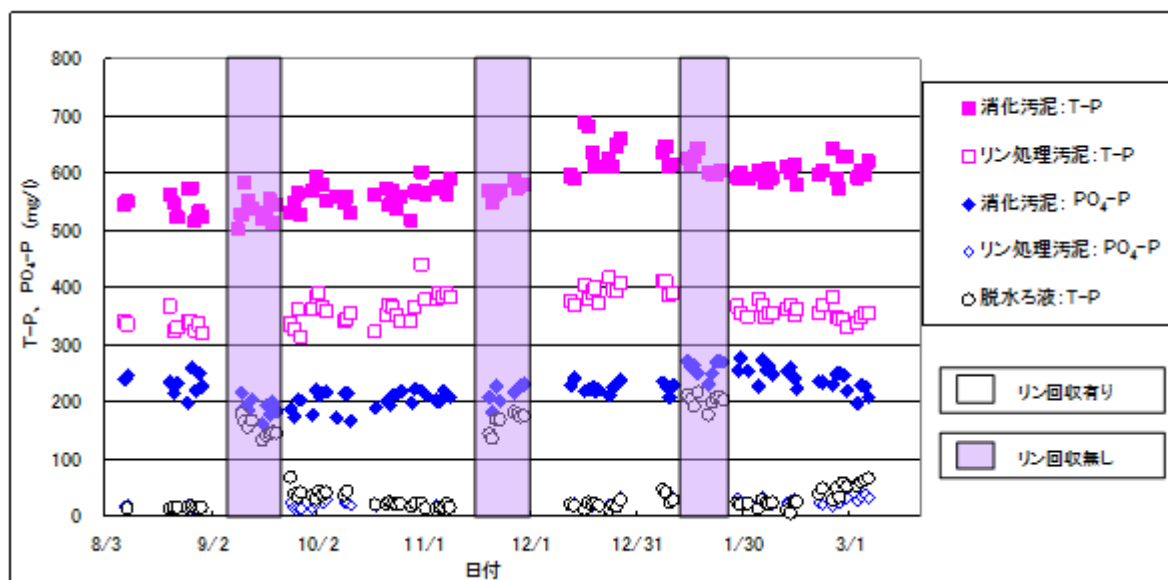
(5) リン除去・回収性能実証結果

1) 質的・量的変動に対する処理の安定性

①処理状況の推移

図資 1-9 に消化汚泥 T-P、リン処理汚泥 T-P、消化汚泥 PO_4 -P、リン処理汚泥 PO_4 -P、および汚泥脱水ろ液 T-P の経時変化を示す。

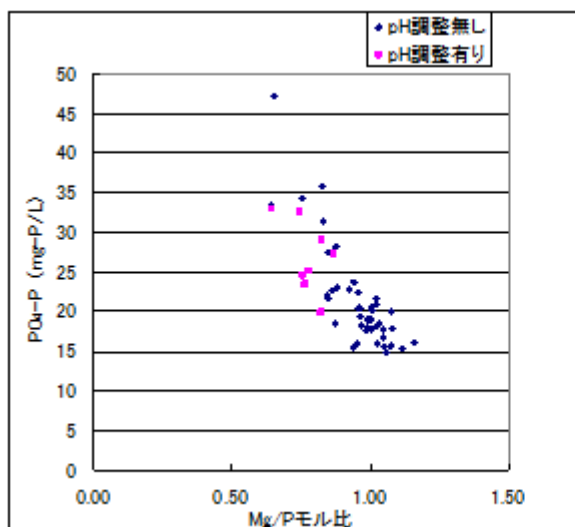
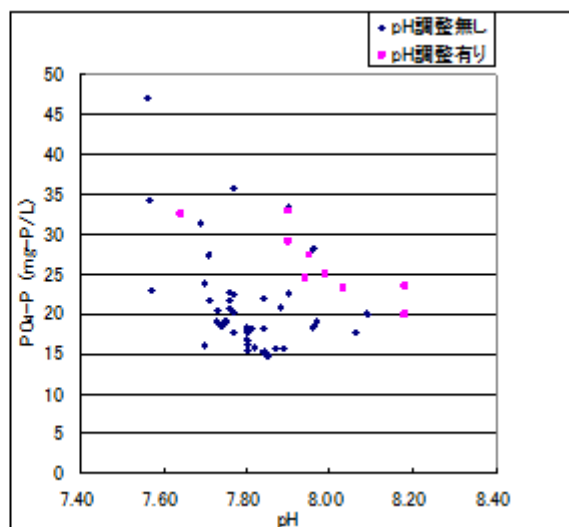
8 月-3 月の試験期間において、消化汚泥 T-P は季節変動としては大きくなく比較的低濃度の 8 月-9 月の平均値 542mg/L と比較的高濃度の 1-2 月の平均値 605mg/L の差は 63mg/L と 10%程度であった。試験期間中の処理汚泥 T-P、 PO_4 -P も大きな変化が無く安定運転した。T-P 除去率は平均 37.3%、 PO_4 -P 除去率は平均 90.0%であった。



図資 1-9 消化汚泥 T-P、リン処理汚泥 T-P、消化汚泥 PO_4 -P、リン処理汚泥 PO_4 -P、および汚泥脱水ろ液 T-P の経時変化

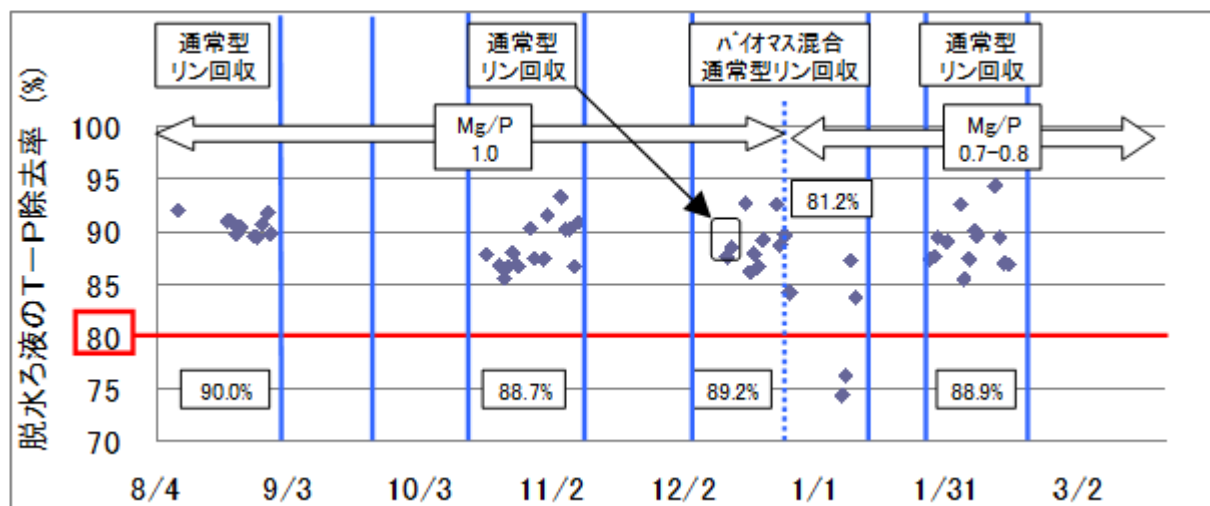
②リン処理汚泥 PO_4 -P

図資 1-10 に Mg/P 比とリン処理汚泥 PO_4 -P、図資 1-11 にリアクター pH とリン処理汚泥 PO_4 -P の関係をそれぞれ示す。図資 1-10 より Mg/P 比とリン処理汚泥 PO_4 -P は負の相関関係があり、Mg/P 比 0.9 以上においてリン処理汚泥 PO_4 -P は約 25mg/L 以下となり、Mg/P 比 1.0 以上においてリン処理汚泥 PO_4 -P は約 20mg/L 以下となった。図資 1-11 より全体的にはばらつきが大きかったが、運転条件ごとに見れば pH の上昇にともなってリン処理汚泥 PO_4 -P が低下する傾向があった。Mg/P 比が 1.0 程度に十分存在する条件においては pH7.6 程度においてもリン処理汚泥 PO_4 -P を 20mg/L 以下程度まで低下させることが可能であった。これより本リアクターの MAP 晶析反性は pH7.6 程度の弱アルカリ領域においても高く維持されていることが伺える。

図資 1-10 Mg/P 比と PO_4-P 除去率図資 1-11 リアクター pH と PO_4-P 除去率

2) 脱水ろ液の T-P を平均 80%削減

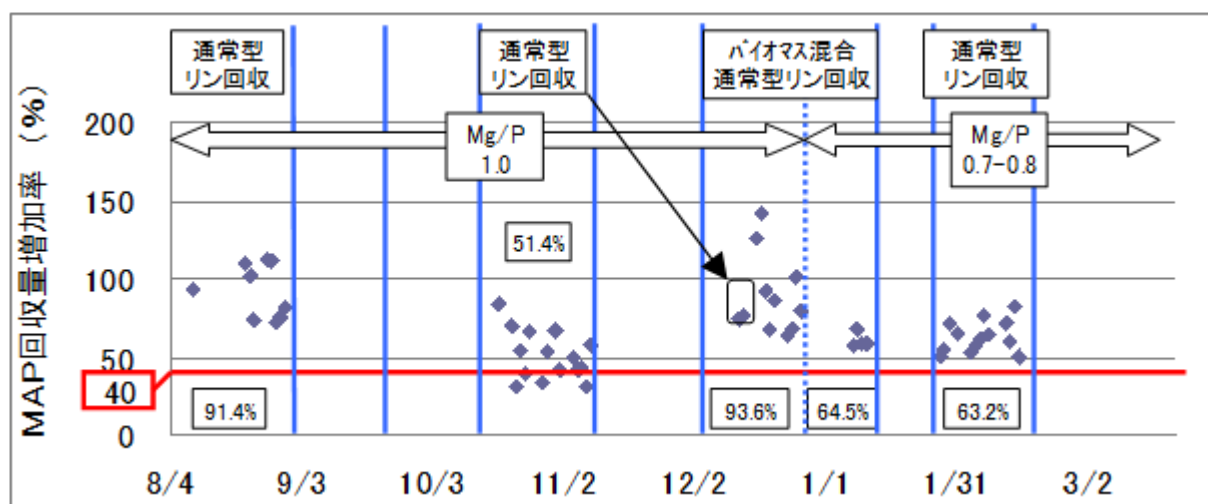
図資 1-12 に脱水ろ液 T-P 除去率の経時変化を示す。Mg/P 比 1.0 とした 8 月-12 月の運転では脱水ろ液 T-P 除去率は約 85%以上となった。Mg/P 比 0.7-0.8 とした 1 月-2 月の運転においても、目標の平均 80%以上を満足する結果となった。



図資 1-12 脱水ろ液 T-P 除去率の経時変化

3) MAP 回収量平均 40%増加

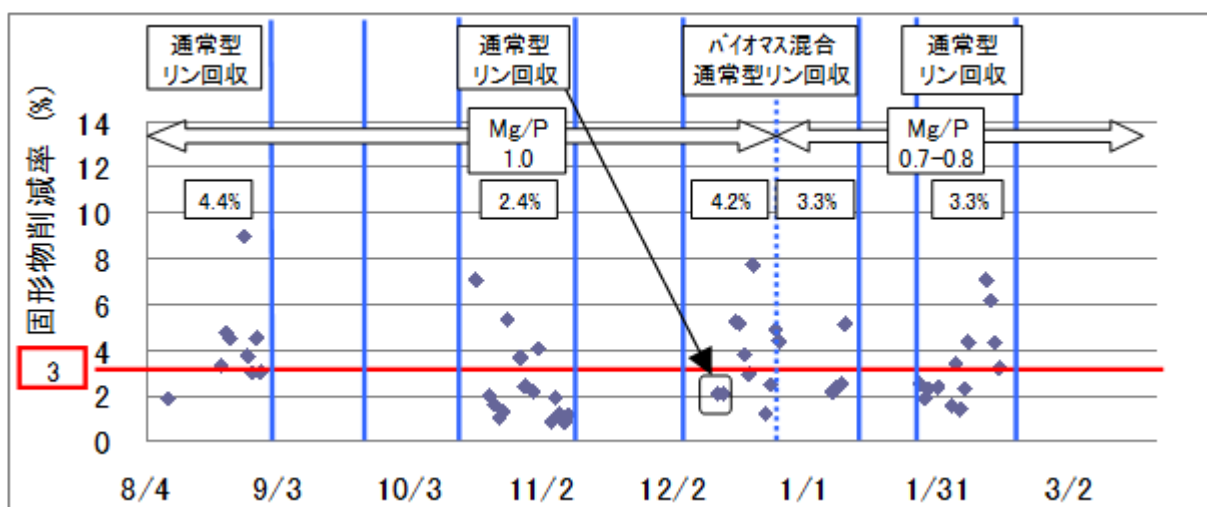
図資 1-13 に従来法に対する MAP 回収量増加率の経時変化を示す。MAP 回収量増加率は消化汚泥中の粗粒子性 MAP の濃度変動に影響を受け、比較的大きな変動を示したが実証期間中最も回収率増加率の低かった 10-11 月にかけても期間平均 51.4%と、目標性能の平均 40%以上を安定して達成した。



図資 1-13 MAP 回収量増加率の経時変化

4) 汚泥固形物量削減率 3%

図資 1-14 に汚泥固形物量削減率（以下、固形物削減率と略記）の経時変化を示す。固形物削減率は消化汚泥中の粗粒子性 MAP の濃度変動に影響を受け、比較的大きな変動を示したが実証期間中最も固形物削減率の低かった 10-11 月にかけては期間平均として低い削減率となる場合もあったが、実証期間全体を通しては 3.3%であり目標性能の平均 3%以上を達成した。



図資 1-14 固形物削減率の経時変化

(6) バイオマス混合消化汚泥への適用例

12月16日から1月10日の約3週間の期間は、下水の消化汚泥に食品残渣系有機物（以下、スイーツと略記）と間伐材剪定枝系有機物（以下、グリーンと略記）を混合消化する3号消化汚泥を原汚泥として、リン回収および脱水試験を行った。

表資 1-5 にバイオマス混合消化タンクの運用状況、表資 1-6 にバイオマス混合消化に投入される4種類の有機物の性状分析結果（1/13 採取）、および、表資 1-7 にバイオマス混合消化汚泥を処理した結果と直近の通常型消化汚泥を処理した結果とを、それぞれ示した。

表資 1-6 の性状分析結果から、スイーツは T-P、 $\text{PO}_4\text{-P}$ が比較的多くリン回収量の増加に寄与し、グリーンは 200 # 粗浮遊物が比較的多く汚泥脱水性向上に寄与すると推測された。

先に示した図資 1-9～1-14、および表資 1-7 より、バイオマス混合消化汚泥は直前の2日間の通常型消化汚泥の場合と比較して TS、SS、T-P が高く、とりわけ消化汚泥中に存在する粗 MAP 粒子の量が通常型の2倍以上に多いことが特徴的であり、それが MAP 回収量増加率や固形物削減率の向上に反映されていると考えられる。したがって混合消化プロセスに投入するバイオマスによっては、通常の消化プロセスに適用した場合と較べて、より高いリン回収性能を発揮する可能性があると推測される。

表資 1-5 バイオマス混合消化タンクの運用状況

月	項目	投入量	平均濃度(TS)	固形物量	バイオマス投入量
		m3	%	t-DS	t-湿ベース
11月	初沈汚泥	5614	2.89	162	
	濃縮余剰汚泥	3351	3.85	129	
	グリーン	101	7.30	7	1.2
	スイーツ				32.0
	合計	9066	—	299	
	日平均	302		10.0	
12月	初沈汚泥	5887	2.72	160	
	濃縮余剰汚泥	4274	3.76	161	
	グリーン	79	9.97	8	1.0
	スイーツ				36.7
	合計	10240	—	329	
	日平均	330		10.6	
備考	投入バイオマス グリーン: 間伐材、剪定枝 スウィーツ: 食品排水汚泥、廃酸(液状有機性廃棄物)、食品残渣 グリーン・スイーツの投入量、濃度、固形物量は余剰汚泥と混合・調整後のもの				

表資 1-6 バイオマス混合消化に投入される 4 種類の有機物の性状分析結果 (1/13 採取)

	単位	初沈汚泥	余剰汚泥	スウィーツ	グリーン
pH	—	5.5	6.5	5.4	7.7
TS	g/L	26.3	31.8	96.1	48.1
VTSS	%	87.5	83.6	84.9	91.5
SS	g/L	25.6	35.9	87.7	43.4
VSS	%	89.8	84.5	86.1	93.8
200# 粗浮遊物	%	31.1	2.1	7.3	36.9
Mアルカリ度	mg/L	50	100	1150	1150
T-P	mg/L	273	1179	1235	40
PO ₄ -P	mg/L	16	33	72	7

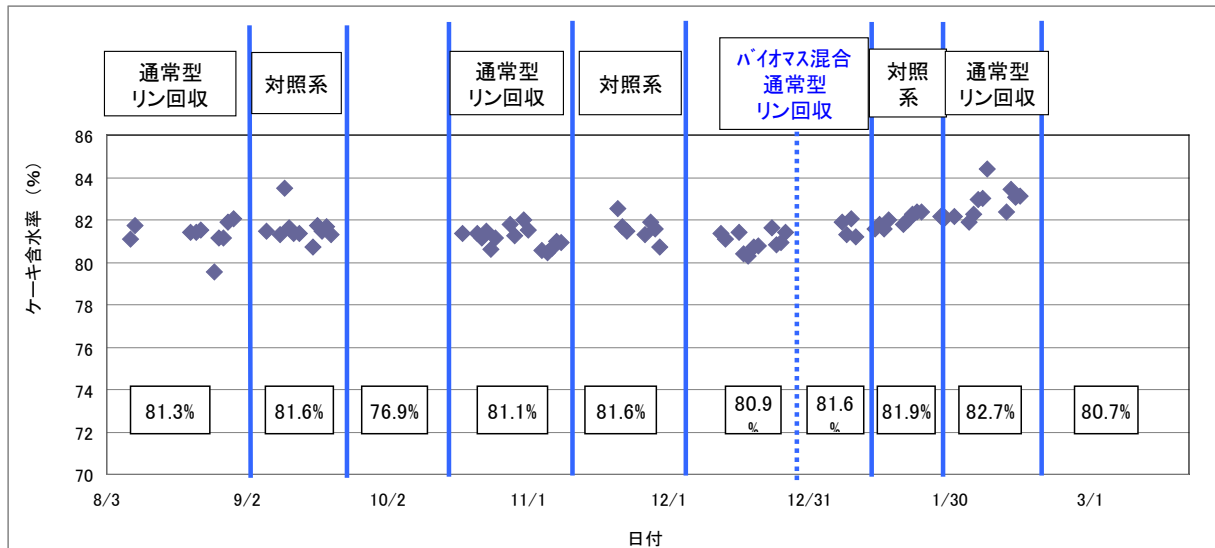
表資 1-7 バイオマス混合消化汚泥と直近の通常型消化汚泥の処理 比較表

項目	単位	通常型 消化汚泥	バイオマス 混合消化汚泥	目標値
pH	—	7.3	7.3	
TS	mg/L	15.0	15.7	
VTSS	mg/L	70.6	71.1	
SS	mg/L	14.4	15.0	
VSS	mg/L	75.8	74.8	
M アルカリ度	mg/L	2750	2780	
コロイド荷電量	mg/L	-1.00	-0.65	
T-P	mg/L	592	639	
PO ₄ -P	mg/L	234	222	
NH ₄ -N	mg/L	798	824	
Mg イオン	mg/L	48	57	
粗 MAP 濃度	mg/L	142	387	
ケーキ含水率	%	81.2	80.9	82%以下
消化汚泥 T-P 除去率	%	37.1	38.9	—
消化汚泥 PO ₄ -P 除去率	%	90.9	91.5	
脱水ろ液 T-P 縮減率	%	87.4	89.2	
MAP 回収率増加率	%	84.4	93.6	(対従来) 40%以上
固形物削減率	%	2.1	4.2	(対従来) 3%以上

(7) 汚泥処理設備フローへの影響確認

1) 汚泥の脱水性

図資 1-15 にケーキ含水率の経時変化を示す。ケーキ含水率は実証期間を通して概ね 81-82%で推移した。1 月下旬から 2 月にかけて、一時脱水性の悪化傾向が見られたが、この傾向は本下水処理場の実機でも同様であったことから、原汚泥に共通の変化があったものと考えられる。何れの期間においても、リン除去有無での脱水性は同等もしくは、やや良好な結果であった。



図資 1-15 ケーキ含水率の経時変化

2) スケール生成リスク低減調査

実証施設においてリン除去有無によるスケール付着量を比較した結果、リン除去無しの場合に比べ、リン除去を行った場合はスケール付着量が大幅に削減されることを確認した。また、スケールを酸溶解し分析した結果、P と Mg のモル比が 1 に近いことより、付着したスケールは主に MAP であると考えられた。

① リン除去・回収前後での貯留槽内でのスケール生成リスクの低減効果

リン除去・回収処理前後の貯留槽に設置したテストピースによりリン除去回収によりスケール生成リスクが大幅に低減されることを確認した。図資 1-16 に概略フロー、表資 1-8 に試験条件を、表資 1-9 および図資 1-17 に付着したスケールを酸で溶解した結果を写真資 1-1, 2 にテストピースの設置前と回収後の写真を示す。

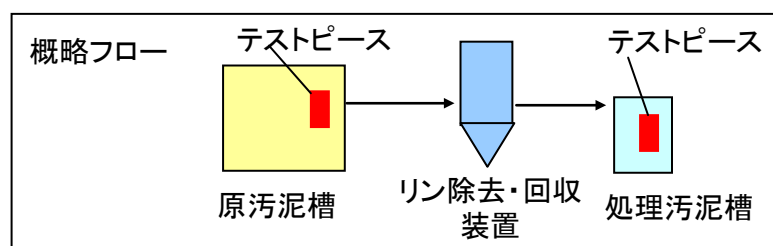


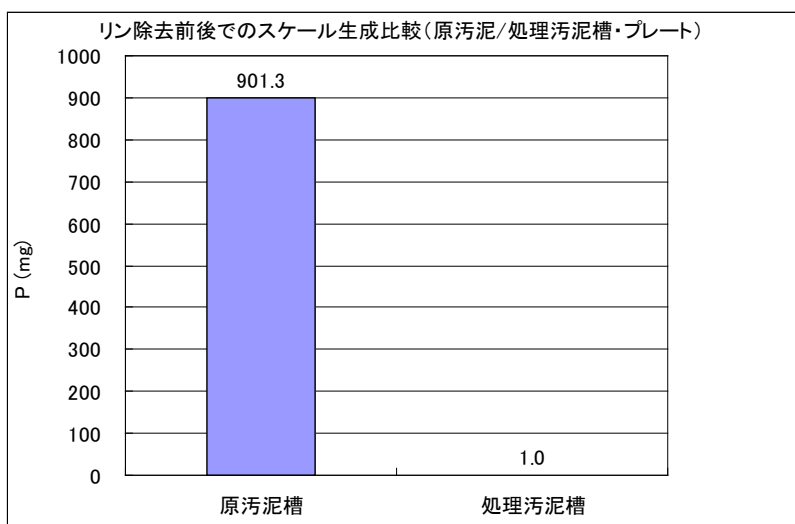
図 1-16 貯留槽内スケール生成調査概略フロー

表資 1-8 貯留槽内スケール生成調査試験条件

運転区分	リン除去回収運転
設置箇所	原汚泥貯留槽/処理汚泥貯留槽
テストピース	SUS304 PLATE 50mm×100mm×t2
設置期間	2013 年 10 月 21 日～11 月 8 日(19 日間)

表資 1-9 付着スケール分析結果

No	タイプ	溶解液量	PO ₄ -P		S-Mg		モル比	備考
		mL	mg/L	mg	mg/L	mg	Mg/P	
2	PLATE	470	1917.6	901.3	1600.0	752.0	1.06	原汚泥槽(リン除去前)
12	PLATE	405	2.5	1.0	2.5	1.0	1.29	処理汚泥槽(リン除去後)



図資 1-17 リン除去前後でのスケール生成比較



写真資 1-1 テストピース設置前



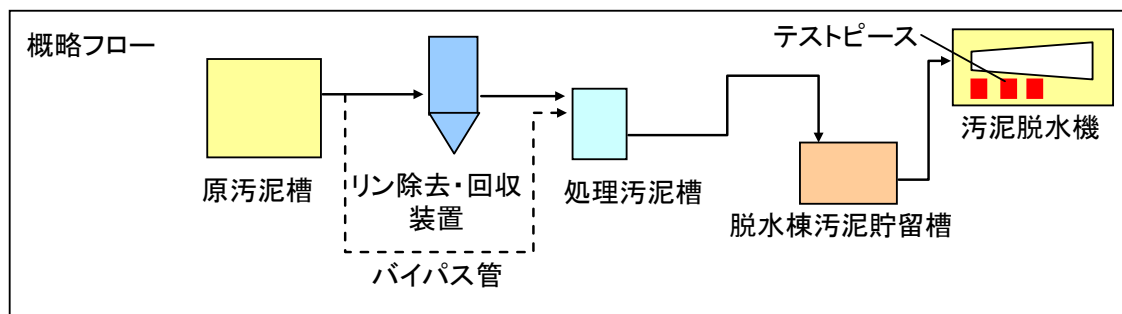
写真資 1-2 テストピース設置後

(サンプル No. 2 : 原汚泥槽に設置、サンプル No. 12 : 処理汚泥槽に設置したもの)

②汚泥脱水機でのスケール生成リスク低減効果

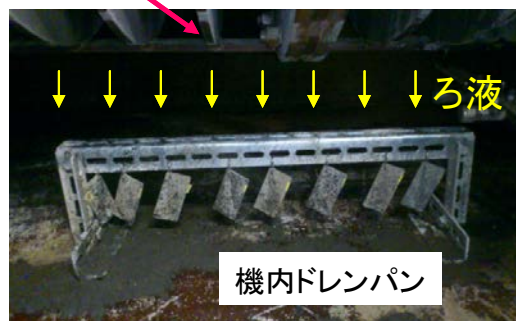
汚泥脱水機へのスケール付着リスクを確認する為に、汚泥脱水機ろ過面下方にテストピースを設置し、リン除去・回収処理の有無でのスケールの付着特性を確認した。

結果、リン除去・回収によりスケール生成リスクが大幅に低減されることを確認した。図資料 1-18 に概略フロー、表資料 1-10 に試験条件を、写真資 1-3 にテストピース設置状況を示す。また、表資 1-11 および図資 1-19 に付着したスケールを酸で溶解した結果を示す。



図資 1-18 汚泥脱水機スケール付着調査概略フロー

脱水機ろ過面(スクリーン)



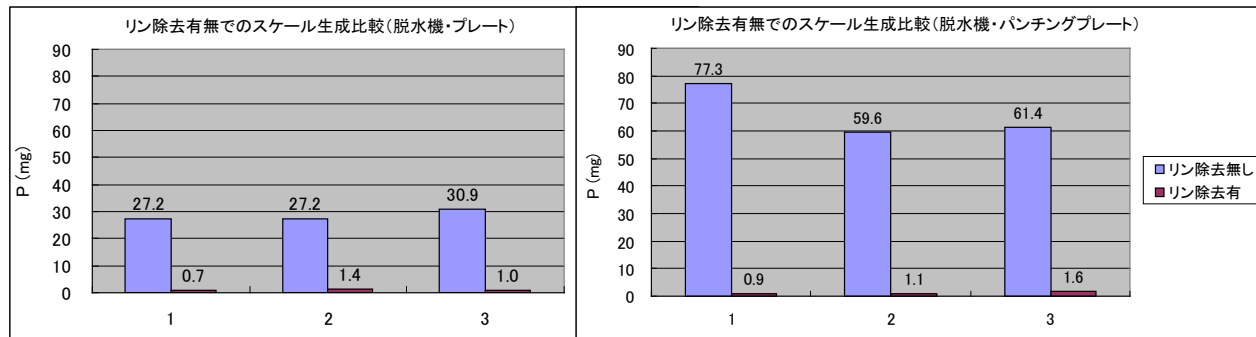
写真資 1-3 汚泥脱水機テストピース設置状況

表資 1-10 貯留槽内スケール生成調査試験条件

運転区分	リン除去・回収運転	リン除去・回収バイパス運転
設置箇所	汚泥脱水機ろ過面下方	汚泥脱水機ろ過面下方
テスト ピース	SUS304 PLATE 50mm×100mm×t2 SUS304 φ2PUNCHING 50mm×100mm×t2	SUS304 PLATE 50mm×100mm×t2 SUS304 φ2PUNCHING 50mm×100mm×t2
設置期間	2013 年 10 月 21 日～11 月 8 日 (上記期間の 15 日間運転)	2013 年 9 月 9 日～9 月 20 日 (上記期間の 10 日間運転)

表資 1-11 付着スケール分析結果

No	タイプ	溶解液量	PO ₄ -P		S-Mg		モル比	備考
		mL	mg/L	mg	mg/L	mg	Mg/P	
3	PLATE	403	67.5	27.2	64.5	26.0	1.22	リン除去・回収バイパス運転
4	PLATE	403	67.5	27.2	60.5	24.4	1.14	
5	PLATE	403	76.7	30.9	60.5	24.4	1.01	
14	PUNCHING	405	190.9	77.3	178.2	72.2	1.19	
15	PUNCHING	405	147.1	59.6	145.8	59.0	1.26	
16	PUNCHING	405	151.7	61.4	137.7	55.8	1.16	
1	PLATE	405	1.8	0.7	1.5	0.6	1.05	リン除去・回収運転
3	PLATE	405	3.5	1.4	3.0	1.2	1.09	
5	PLATE	405	2.5	1.0	2.5	1.0	1.12	
13	PUNCHING	405	2.1	0.9	2.5	1.0	1.50	
14	PUNCHING	405	2.6	1.1	3.5	1.4	1.69	
15	PUNCHING	405	4.0	1.6	4.0	1.6	1.26	

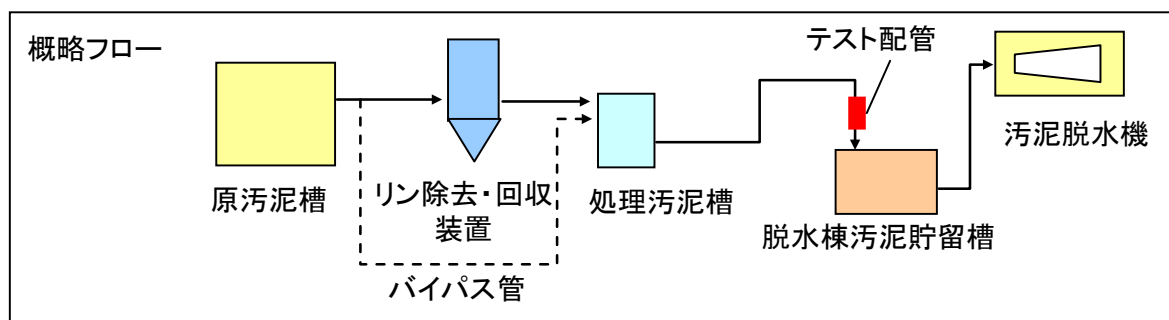


図資 1-19 リン除去有無での脱水機ろ過面下方でのスケール生成比較

③消化汚泥配管でのスケール生成低減効果

消化汚泥配管へのスケール付着リスクを確認する為に、実証プラント内の実配管の一部にテスト配管（80A SUS304）を組み込み、リン除去・回収運転とリン除去バイパス運転で交互にテスト配管を交換して、スケール付着状態を確認した。なお、設置箇所はリン処理汚泥ラインの比較的 MAP スケールが成長し易い箇所を選定した（鉛直部で汚泥の間欠投入により乾湿交互となる箇所）。リン除去バイパス運転時にはリン除去処理していない消化汚泥が流下する。

結果、リン除去バイパス運転で使用したテスト管には約 10mm にスケールが成長したのに対し、リン除去・回収運転で使用したテスト配管には、スケールは付着せず、触感上もスケール付着は確認されなかった。よって、リン除去・回収処理によりスケール生成リスクが大幅に低減されることが確認された。図資 1-20 に概略フロー、表資 1-12 に試験条件を、写真資 1-4 にテスト配管設置状況写真を示す。また、写真資 1-5 にテスト配管スケール付着状況を示す。



図資 1-20 配管スケール付着調査概略フロー



写真資 1-4 80A テスト配管設置状況

表資 1-12 貯留槽内スケール生成調査試験条件

運転区分	リン除去・回収運転	リン除去・回収バイパス運転
設置箇所	処理汚泥管（同一箇所試験区分毎で交互に設置）	
テスト配管	テスト配管 A 80A SUS304TP Sch20S ×L=300	テスト配管 B 80A SUS304TP Sch20S ×L=300
設置期間	2013 年 9 月 24 日～11 月 8 日 2013 年 12 月 9 日～2014 年 1 月 10 日 2014 年 1 月 24 日～2014 年 3 月 7 日 使用期間延べ：119 日	2013 年 9 月 9 日～9 月 20 日 2013 年 11 月 14 日～12 月 6 日 2014 年 1 月 13 日～1 月 24 日 使用期間延べ：47 日



写真資 1-5 テスト配管、リン除去有無でのスケール生成状況写真

(8) 回収 MAP の評価

1) 回収 MAP 性状

①肥効分析および重金属分析結果

回収 MAP の肥効分析結果と重金属分析結果を表資 1-13 に示す。分析結果は化成肥料の公定規格を満たした。詳細は資料編 3 項参照。

表資 1-13 回収 MAP 分析結果 (平均値 N=5)

項目	濃度	主要成分 1%当りの含有量	判定	化成肥料公定規格
主要成分				
アンモニア性窒素 (%)	4.65	4.65	>	1 以上
く溶性りん酸 (%)	24.56	24.56	>	1 以上
く溶性苦土 (%)	13.68	13.68	>	1 以上
水溶性苦土 (%)	0.79	0.79		
				合計 10 以上
有害成分				
ひ素 (%)	0.0001 未満	0.0000035 未満	<	0.002
カドミウム (%)	0.0001 未満	0.0000035 未満	<	0.000075
水銀 (%)	0.000002	0.0000001	<	0.00005
ニッケル (%)	0.0009	0.0000319	<	0.005
クロム (%)	0.0016	0.0000567	<	0.05
鉛 (%)	0.0011	0.0000390	<	0.003
硫青酸化物(NH_4SCN) (%)	0.05 未満	0.0017 未満	<	0.005
亜硝酸 (%)	0.01 未満	0.00034 未満	<	0.02
ビウレット性窒素 (%)	0.05 未満	0.0017 未満	<	0.01
スルファミン酸($\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$) (%)	0.05 未満	0.0017 未満	<	0.005
チタン (%)	0.028	0.0011	<	0.02

②組成分析結果（蛍光X線分析（XRF））

以下に、回収MAPの蛍光X線による組成分析結果を示す。回収MAPと標準MAP（市販品）とを同じ蛍光X線分析装置で組成分析を行い、主にP元素、Mg元素等の存在比を測定し純度確認を行った。結果を表資1-14に示す。

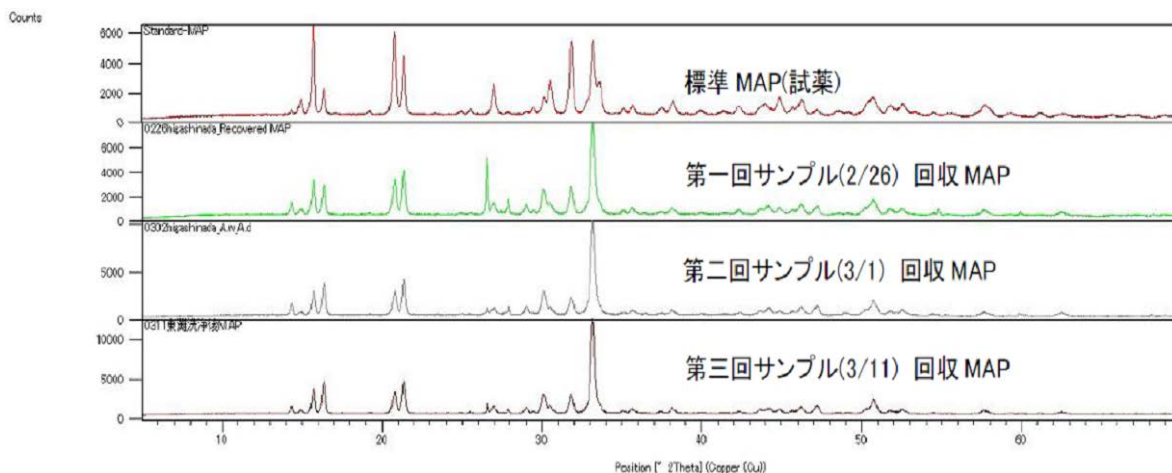
表資1-14 回収MAP組成分析結果（蛍光X線分析）

	標準MAP	回収MAP
P wt%	18.8	17.3
Mg wt%	17.3	14.6
N wt%	5.7	5.6
O wt%	52.0	52.1
Mg/Pモル比(-)	1.2	1.1
純度(%) Pベース	100	92.0

回収MAPのP、Mg、Nの組成割合は標準MAPのものと近似しており組成からも回収MAPがMAPであることが確認された。また、Pベースで純度を試算したところ、回収MAPは90%以上となった。

③構造解析分析結果（X線回折（XRD））

回収MAPについてX線回折による構造解析の結果を図資1-21に示す。回収MAPと標準MAP（市販品）とを同じX線回折装置で分析を行い、標準MAPが示すピーク位置と回収MAPが示すピーク位置が概ね同位置にくることを確認した。



図資1-21 回収MAP構造解析分析結果（X線回折（XRD））

2) 植害試験結果

こまつなの発芽と発芽後の生育への支障の有無およびその程度について、幼植物試験を実施して次の結果が得られた。(財団法人 日本肥糧検定協会に依頼) 結果を図資 1-22 に示す。

試験の結果、有害物によると考えられる植物の生育上の異常症状は認められなかった。詳細は資料編 3 項参照。



発芽状態の写真 (10 月 19 日撮影)

生育状態の写真 (11 月 1 日撮影)

水 in g 株式会社の依頼により「回収 MAP」の施用による、こまつなの発芽と発芽後の生育への支障の有無及びその程度について、幼植物試験を実施して、次の結果を得た。

試験の結果

有害物によると考えられる植物の生育上の異常症状は認められなかった。

供試肥料区の発芽率 (10 月 19 日) は、対照肥料区ならびに無機基礎量区と同等の成績を示した。

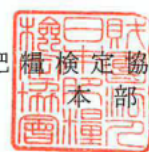
供試肥料区の草丈 (11 月 1 日) は、対照肥料区ならびに無機基礎量区と比較して同等または同等以上の成績を示した。

供試肥料区の生体重は、施用量を増すことによる増加が認められ、対照肥料区ならびに無機基礎量区と比較して同等または同等以上の成績を示した。

以上は、依頼により本協会が行った試験の結果であることを証明する。

平成 25 年 11 月 8 日

財団法人 日本肥糧検定協会 本部 抜



図資 1-22 植害試験結果

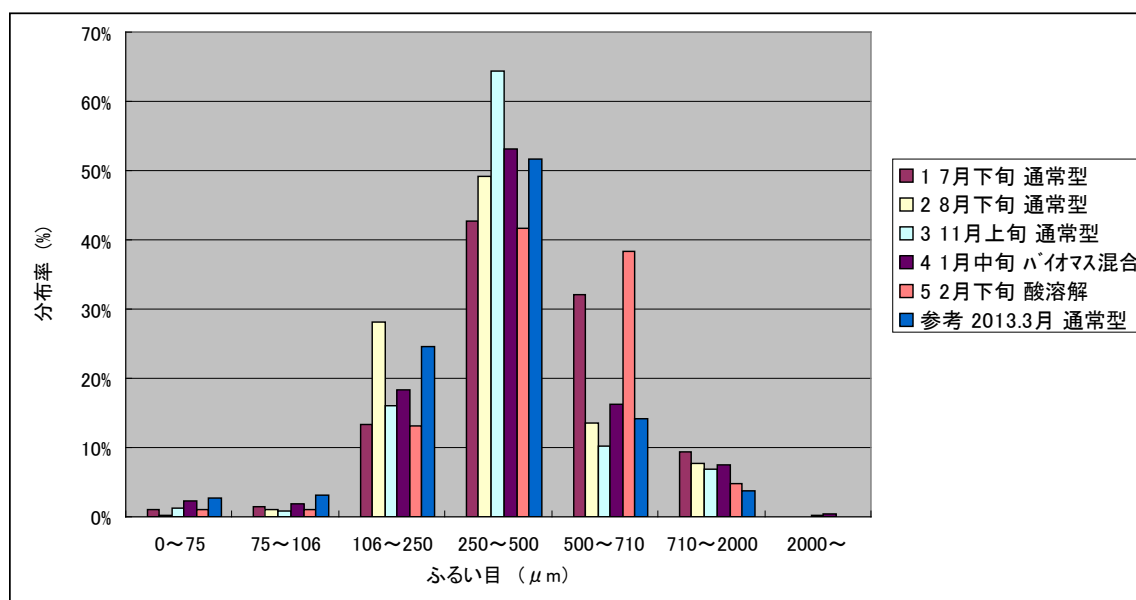
3) 回収 MAP の粒径分布

本システムにより回収する MAP 粒子が粗大化、または微細化すると肥料原料としてのハンドリングに支障をきたす場合やリン除去性能に悪影響を及ぼす可能性がある。表資 1-15 に回収 MAP の粒径分布比較表、図資 1-23 に回収 MAP の粒径分布図をそれぞれ示す。

表に示すようにいずれの時期および処理方式で回収した MAP サンプルも 100～700 μm の範囲内にほぼ 9 割の分布率があり大きな変化は見られなかった。2013 年度に回収した MAP の粒径分布と比較しても大きな変化は見られず、MAP 粒径分布としては安定的と判断できる。

表資 1-15 回収 MAP の粒径分布比較表

サンプルNo.	1	2	3	4	5	参考
採取時期	7月下旬	8月下旬	11月上旬	1月中旬	2月下旬	2013.3月
処理方式	通常型	通常型	通常型	バイオマス混合	酸溶解	通常型
ふるい目 (μm)						
0～75	1%	0%	1%	2%	1%	3%
75～106	2%	1%	1%	2%	1%	3%
106～250	13%	28%	16%	18%	13%	25%
250～500	43%	49%	64%	53%	42%	52%
500～710	32%	13%	10%	16%	38%	14%
710～2000	9%	8%	7%	7%	5%	4%
2000～	0%	0%	0%	1%	0%	0%



図資 1-23 回収 MAP の粒径分布比較図

4) 回収 MAP の肥料への適用

回収 MAP を肥料へ適用できるかどうか判断するため、回収 MAP と他の肥料原料を配合したもので造粒処理試験および成分分析を実施した。

- ①物性は、不快な臭いはなく、外観はさらさらの粉状で、非常に取り扱いしやすい性状であった。
- ②造粒時に異常は認められず、ほぼ目的とするものが得られた。造粒時の物性は、回収 MAP を配合したものと、そうでないものに差は無かった。
- ③回収 MAP は、成分分析、造粒試験の結果、問題が認められず、肥料原料として使用可能であった。写真資 1-6 に試作肥料例を示す。



写真資 1-6 回収 MAP を使用した試作肥料例

5) 回収 MAP は化成肥料として登録された。

登録証は資料編 3 項参照。

2. ケーススタディ

本編第2章 § 15 の試算の詳細について、以下に示す。

(1) 算出条件

表資 2-1 算出条件

項目	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
日最大消化汚泥量 (m ³ /日) (建設費算出用)	125	200	250	500
日平均消化汚泥量 (m ³ /日) (維持管理費算出用)	100	160	200	400
消化汚泥性状 ・ 汚泥濃度(TS) ・ T-P 濃度 ・ PO ₄ -P 濃度 ・ 自然発生 MAP-P 濃度	・ 1.7% ・ 600mg/L ・ 200mg/L (水処理：生物学的リン除去) ・ 60mg/L (T-P の 10%として※¹)			
リン除去・回収設備 ・ T-P 除去率 ・ PO ₄ -P 除去率 ・ 返流水 T-P 削減率 ・ Mg 添加率 ・ 固形物削減率	・ 35% (実証による※²) ・ 90% (実証による※²) ・ 80% (実証による※³) ・ 1.0 (モル比 実証による※²) ・ 3% (実証による※⁴)			
脱水設備 ・ ケーキ含水率 ・ 固形物回収率 ・ 薬注率 ・ 薬品溶解濃度 ・ 洗浄水量	・ 80% ・ 95% ・ 1.5% (高分子凝集剤 1 液調質) ・ 0.2% ・ 15 m³/日			
リン除去凝集剤添加設備 ・ 凝集剤 ・ 添加モル比 ・ 添加 Al に対する汚泥発生量	・ PAC ・ 1.5 ・ 5 倍 (平成 6 年 高度処理マニュアル 社団法人日本下水道協会)			

※1 資料編 1 (3) 消化汚泥中のリンの形態

※2 資料編 1 (5) リン除去・回収性能実証結果 1) ①処理状況の推移

※3 本編第2章 § 15 評価項目 (2) による

※4 本編第2章 § 15 評価項目 (4) による

(2) 試算結果

耐用年数、年価算定式、ユーティリティ単価、エネルギー原単位、温室効果ガス排出係数は、**本編第3章 § 18 導入効果の検討**で用いた値を使用した。

1) 建設費、維持管理費、廃棄費、LCC の試算結果

①建設費

各ケースの積算値を**表資 2-2**に示す。

表資 2-2 建設費の試算結果

	単位	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
総 価					
土 木	百万円	15	20	25	46
機 械	百万円	190	229	263	470
電 気	百万円	28	38	47	88
合 計	百万円	233	287	335	604
年 価					
土 木	百万円/年	0.51	0.67	0.84	1.56
機 械	百万円/年	15.12	18.24	20.96	37.41
電 気	百万円/年	2.26	3.01	3.77	6.97
合 計	百万円/年	17.89	21.92	25.57	45.94

②維持管理費

ユーティリティ使用量の試算結果を**表資 2-3**に示す。また、ユーティリティ使用量に原単位を乗じて、維持管理費を試算した結果を**表資 2-4**に示す。

表資 2-3 ユーティリティ使用量の試算結果

	単位	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4	備 考
リン除去・回収設備						
電 力	kWh/日	327	345	375	742	
水酸化マグネシウム	kg/日	108	172	215	430	35%製品として
クエン酸	kg/年	40	40	40	80	洗浄時に使用
汚泥固形物削減効果						
脱水設備						
電 力	kWh/日	389	623	778	1,557	50kWh/t-wet(ケーキ)
高分子凝集剤	kg/日	24.6	39.3	49.2	98.3	薬注率 1.5%
焼却設備						
電 力	kWh/日	778	1,245	1,557	3,113	100kWh/t-wet(ケーキ)
A 重油	L/日	233	374	467	934	30L/t-wet(ケーキ)
リン除去用凝集剤削減効果＋汚泥固形物削減効果						
リン除去用凝集剤設備						
PAC	kg/日	105	168	209	419	Al ₂ O ₃ 10.5%
脱水設備※ ¹						
電 力	kWh/日	376	602	752	1,504	50kWh/t-wet(ケーキ)
高分子凝集剤	kg/日	23.8	38.0	47.5	95.0	薬注率 1.5%
焼却設備※ ¹						
電 力	kWh/日	752	1,203	1,504	3,009	100kWh/t-wet(ケーキ)
A 重油	L/日	226	361	451	903	30L/t-wet(ケーキ)

※¹ リン除去用凝集剤削減効果における脱水設備、焼却設備試算には、凝集剤添加による汚泥量増加分をマイナスとして見込む

表資 2-4 維持管理費の試算結果

	単位	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
リン除去・回収設備					
電 力	百万円	1.43	1.51	1.64	3.25
薬 品	百万円	0.80	1.27	1.59	3.17
定期点検修繕※1	百万円	0.37	0.45	0.53	0.95
労務費※1	百万円	0.37	0.45	0.53	0.95
小合計①	百万円	2.97	3.68	4.29	8.32
汚泥固形物削減効果					
汚泥脱水設備※2	百万円/年	－0.65	－0.86	－0.98	－1.49
焼却設備※3	百万円/年	－1.62	－2.23	－2.59	－4.13
小合計②	百万円/年	－2.28	－3.09	－3.57	－5.62
合計①＋②	百万円/年	0.69	0.59	0.72	2.70
リン除去用凝集剤削減効果＋汚泥固形物削減効果					
リン除去用凝集剤	百万円/年	－1.53	－2.45	－3.06	－6.12
汚泥脱水設備※2	百万円/年	－1.24	－1.64	－1.88	－2.84
焼却設備※3	百万円/年	－3.10	－4.25	－4.94	－7.87
小合計③	百万円/年	－5.87	－8.34	－9.88	－16.83
合計①＋③	百万円/年	－2.88	－4.66	－5.59	－8.51

※1 点検補修費、労務費は機械、電気設備建設年価の3%として算出した

※2 「バイオソリッド利活用基本計画策定マニュアル（案）」 費用関数より

$$Y = 0.039Q_y^{0.596} \times (104.4/97.6)$$

※ Q_y ：年間処理汚泥量（1%換算）（ m^3 /年）

※デフレター：H15＝97.6、H21＝104.4

※3 上記同費用関数より

$$Y = 0.287Q_y^{0.673} \times (104.4/97.6)$$

※ Q_y ：年間処理汚泥量（ t /年）

※デフレター：H15＝97.6、H21＝104.4

③LCC

汚泥固形物削減効果を見込む場合の LCC の試算結果を表資 2-5 に示す。また、さらに凝集剤削減効果を見込む場合の LCC の試算結果を表資 2-6 に示す。

表資 2-5 汚泥固形物削減効果を見込む場合の LCC 試算結果

	単位	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
建設年価	百万円/年	17.89	21.92	25.57	45.94
維持管理費	百万円/年	0.69	0.59	0.72	2.70
廃棄費※1	百万円/年	1.79	2.19	2.56	4.59
合 計	百万円/年	20.37	24.70	28.85	53.23

※1 廃棄費は、建設費の 10%とした。

表資 2-6 凝集剤削減効果および汚泥固形物削減効果を見込む場合の LCC 試算結果

	単位	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
建設年価	百万円/年	17.89	21.92	25.57	45.94
維持管理費	百万円/年	-2.88	-4.66	-5.59	-8.51
廃棄費※1	百万円/年	1.79	2.19	2.56	4.59
合 計	百万円/年	16.80	19.45	22.54	42.02

※1 廃棄費は、建設費の 10%とした。

2) エネルギー使用量の試算結果

ユーティリティ使用量に原単位を乗じてエネルギー使用量を試算した結果を表資 2-7 に示す。

表資 2-7 使用エネルギー量

	単位	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
リン除去・回収設備					
電 力	GJ/年	1, 153. 8	1, 217. 4	1, 323. 3	2, 623. 2
薬 品	GJ/年	43. 1	66. 7	82. 3	164. 7
小合計①	GJ/年	1, 196. 9	1, 284. 1	1, 405. 6	2, 787. 9
汚泥固形物削減効果					
汚泥脱水設備	GJ/年	－125. 6	－201. 0	－251. 3	－502. 6
焼却設備	GJ/年	－228. 1	－365. 0	－456. 3	－912. 6
小合計②	GJ/年	－353. 7	－566. 0	－707. 6	－1, 415. 2
合計①＋②	GJ/年	843. 2	718. 1	698. 0	1, 372. 7
リン除去用凝集剤削減効果＋汚泥固形物削減効果					
リン除去用凝集剤	GJ/年	－109. 8	－175. 6	－219. 5	－439. 0
汚泥脱水設備	GJ/年	－238. 1	－380. 9	－476. 1	－952. 3
焼却設備	GJ/年	－432. 3	－691. 6	－864. 5	－1, 729. 1
小合計③	GJ/年	－780. 2	－1, 248. 1	－1, 560. 1	－3, 120. 4
合計①＋③	GJ/年	416. 7	36. 0	－154. 5	－332. 5

3) 温室効果ガス排出量の試算結果

ユーティリティ使用量に原単位を乗じて温室効果ガス排出量（供用段階）を試算した結果を表資 2-8 に示す。

表資 2-8 温室効果ガス排出量（供用段階）

	単位	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
リン除去・回収設備					
電 力	t-CO ₂ /年	65.55	69.17	75.19	149.05
薬 品	t-CO ₂ /年	7.59	12.11	15.12	30.24
小合計①	t-CO ₂ /年	73.14	81.28	90.31	179.29
汚泥固形物削減効果					
汚泥脱水設備	t-CO ₂ /年	－5.12	－8.19	－10.24	－20.47
焼却設備	t-CO ₂ /年	－35.85	－57.36	－71.70	－143.41
小合計②	t-CO ₂ /年	－40.97	－65.55	－81.94	－163.88
小合計①＋②	t-CO ₂ /年	32.17	15.73	8.37	15.41
リン除去用凝集剤削減効果＋汚泥固形物削減効果					
リン除去用凝集剤	t-CO ₂ /年	－6.50	－10.40	－13.00	－26.00
汚泥脱水設備	t-CO ₂ /年	－9.70	－15.51	－19.39	－38.79
焼却設備	t-CO ₂ /年	－67.93	－108.69	－135.86	－271.72
小合計③	t-CO ₂ /年	－84.13	－134.60	－168.25	－336.50
小合計①＋③	t-CO ₂ /年	－10.99	－53.32	－77.94	－157.21

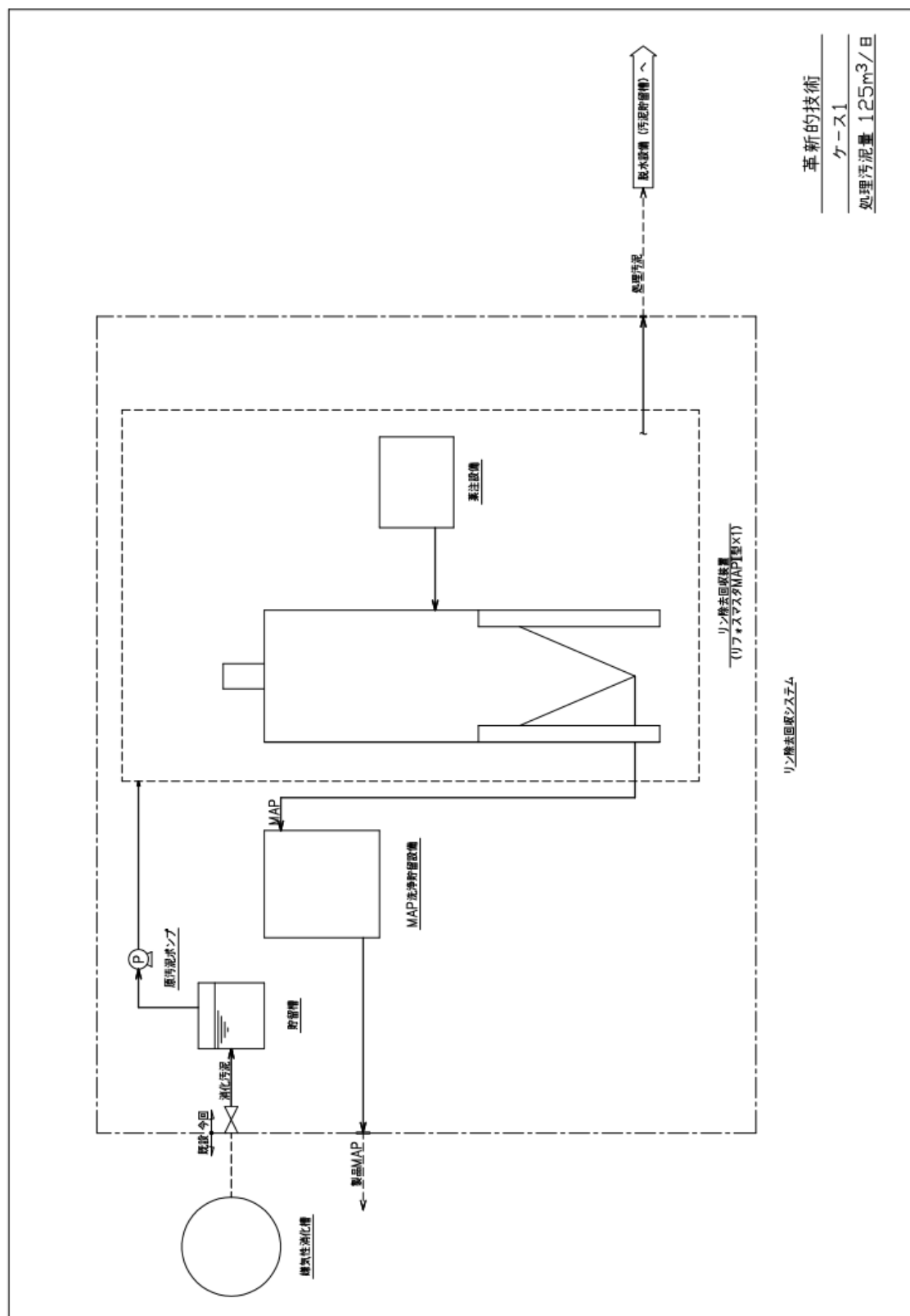
表資 2-9 温室効果ガス排出量

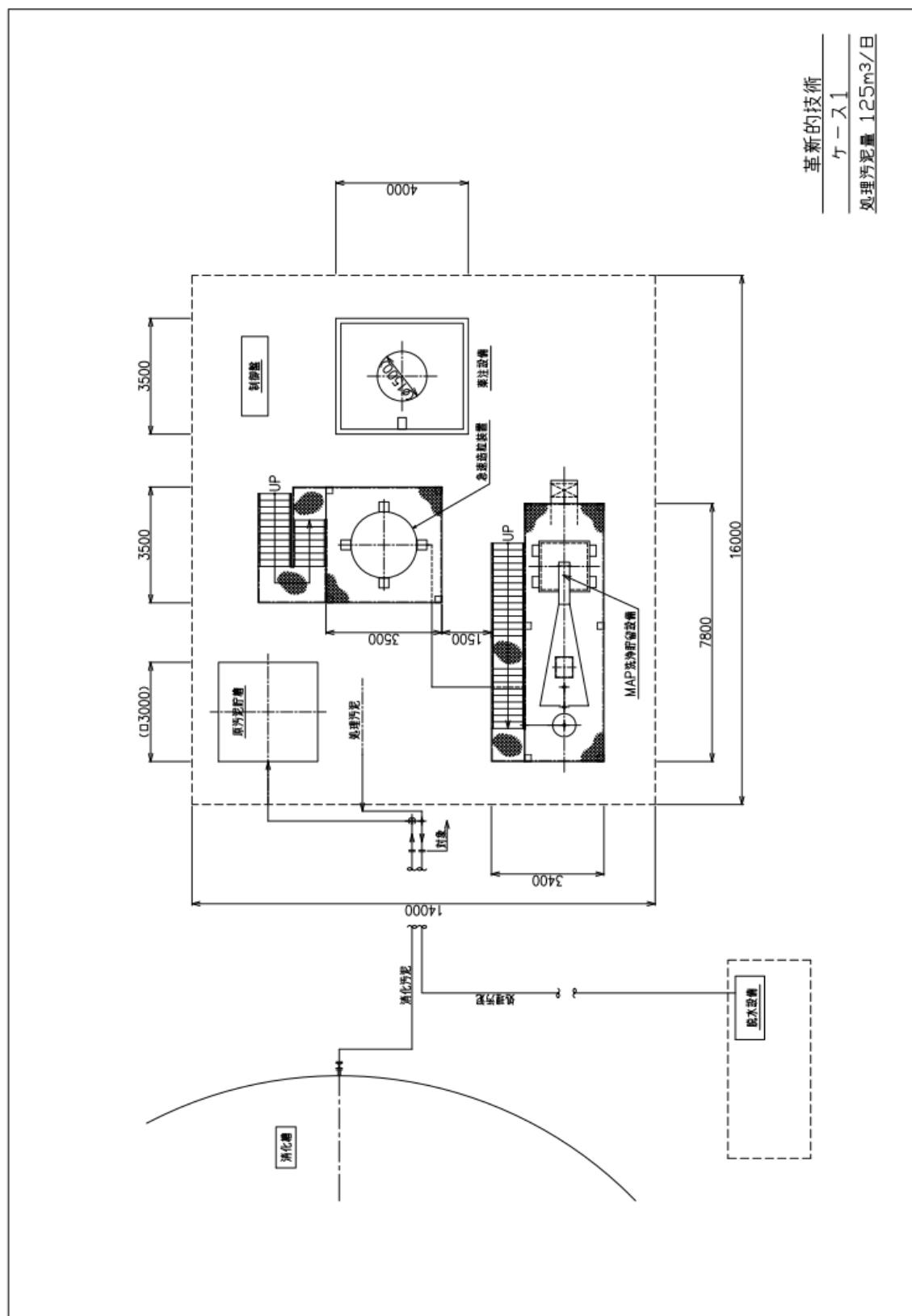
	単位	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
リン除去・回収設備					
建設時 ^{※1}	t-CO ₂ /年	17.60	19.56	21.73	43.14
廃棄時 ^{※1}	t-CO ₂ /年	0.46	0.51	0.56	1.12
供用段階	t-CO ₂ /年	73.14	81.28	90.31	179.29
合計①	t-CO ₂ /年	91.20	101.35	112.60	223.55
污泥固形物削減効果					
供用段階 ②	t-CO ₂ /年	-40.97	-65.55	-81.94	-163.88
合計①+②	t-CO ₂ /年	50.23	35.80	30.66	59.67
リン除去用凝集剤削減効果＋污泥固形物削減効果					
供用段階 ③	t-CO ₂ /年	-84.13	-134.60	-168.25	-336.50
合計①+③	t-CO ₂ /年	7.07	-33.25	-55.65	-112.95

※1 建設時、廃棄時の温室効果ガス排出量は、以下の比率計算により算出した。

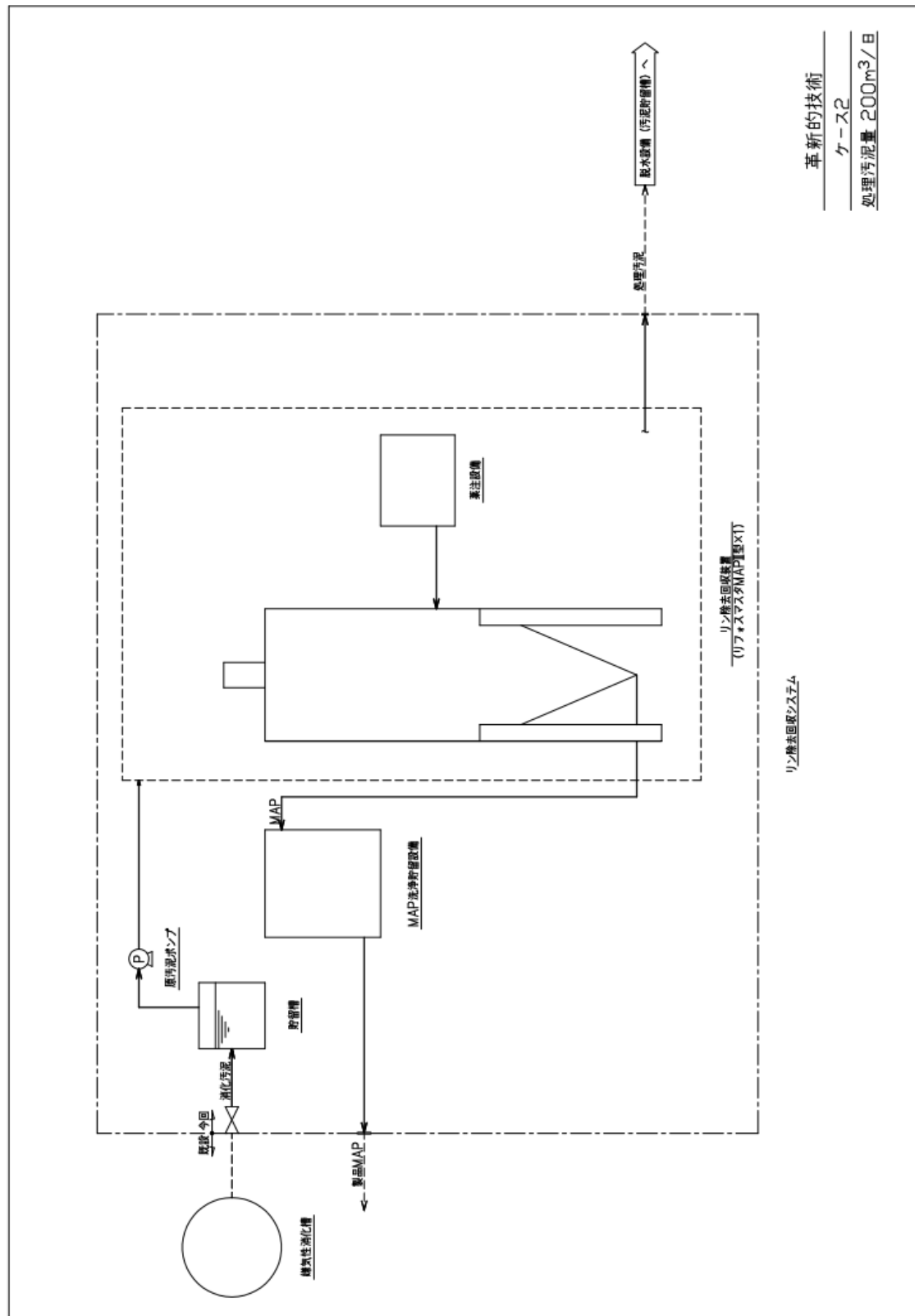
建設時：供用段階：廃棄時 ＝ 19.3%：80.2%：0.5%

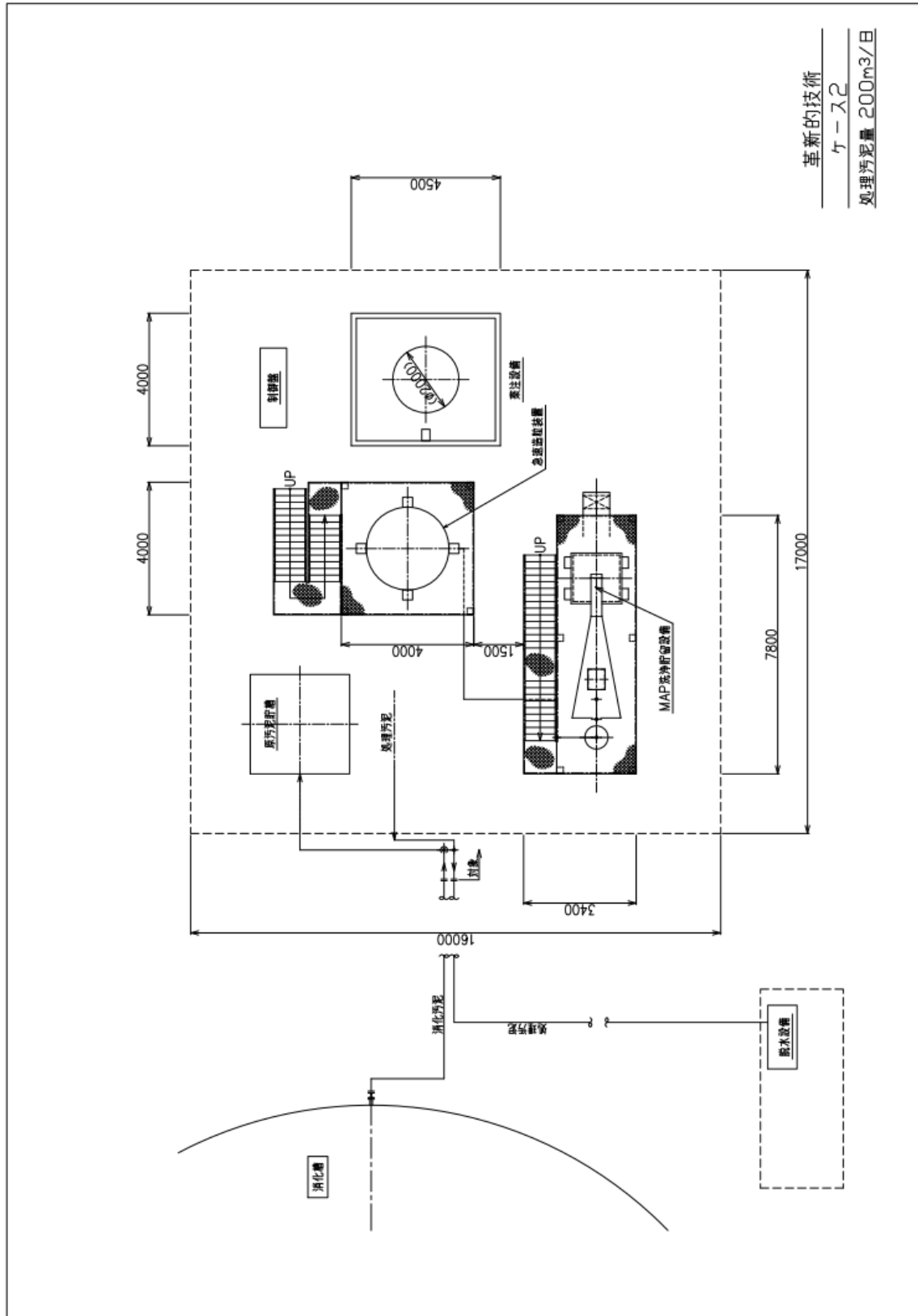
(3) フローシート・配置図

1) ケース 1 日最大汚泥量 125m³/日

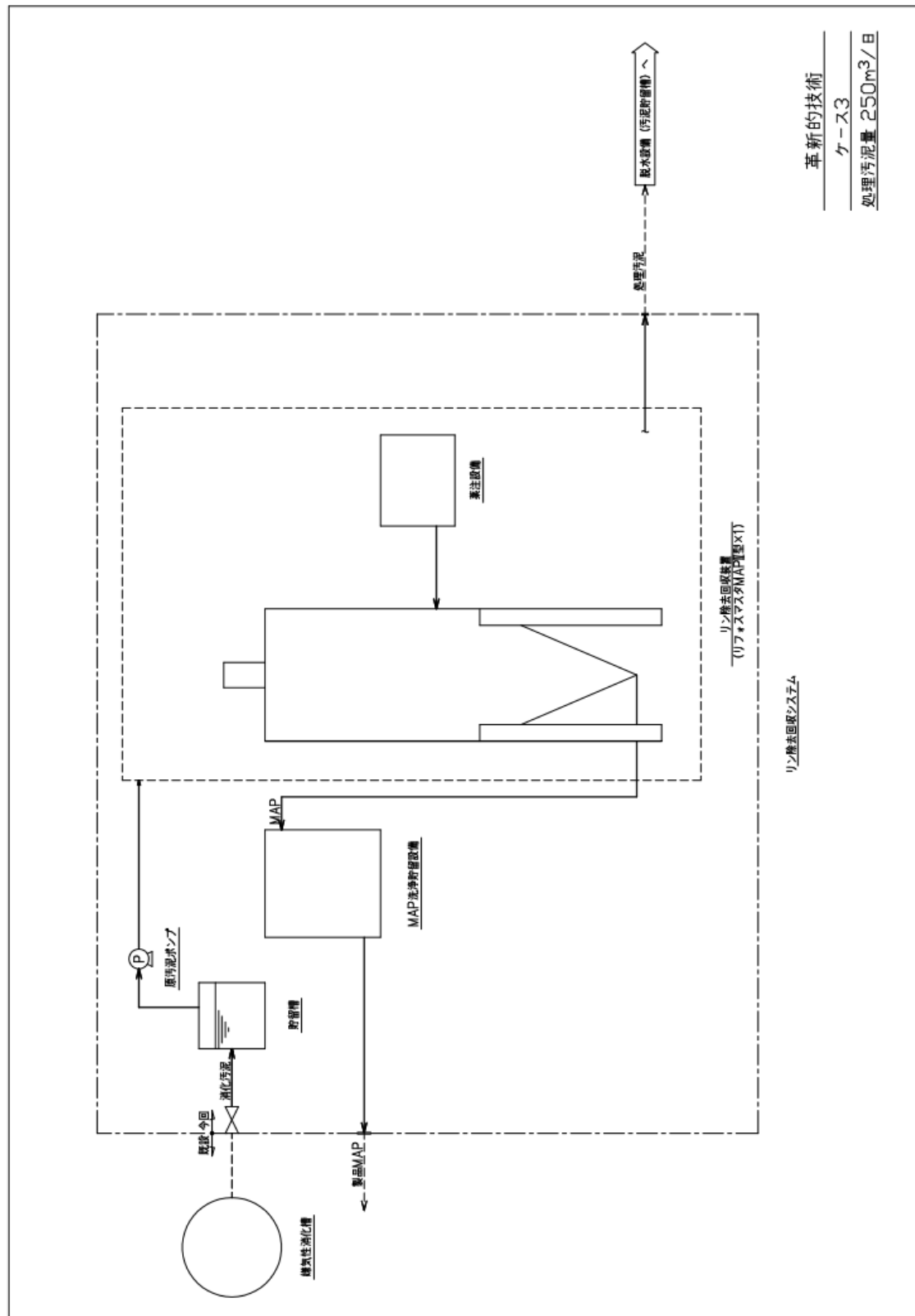


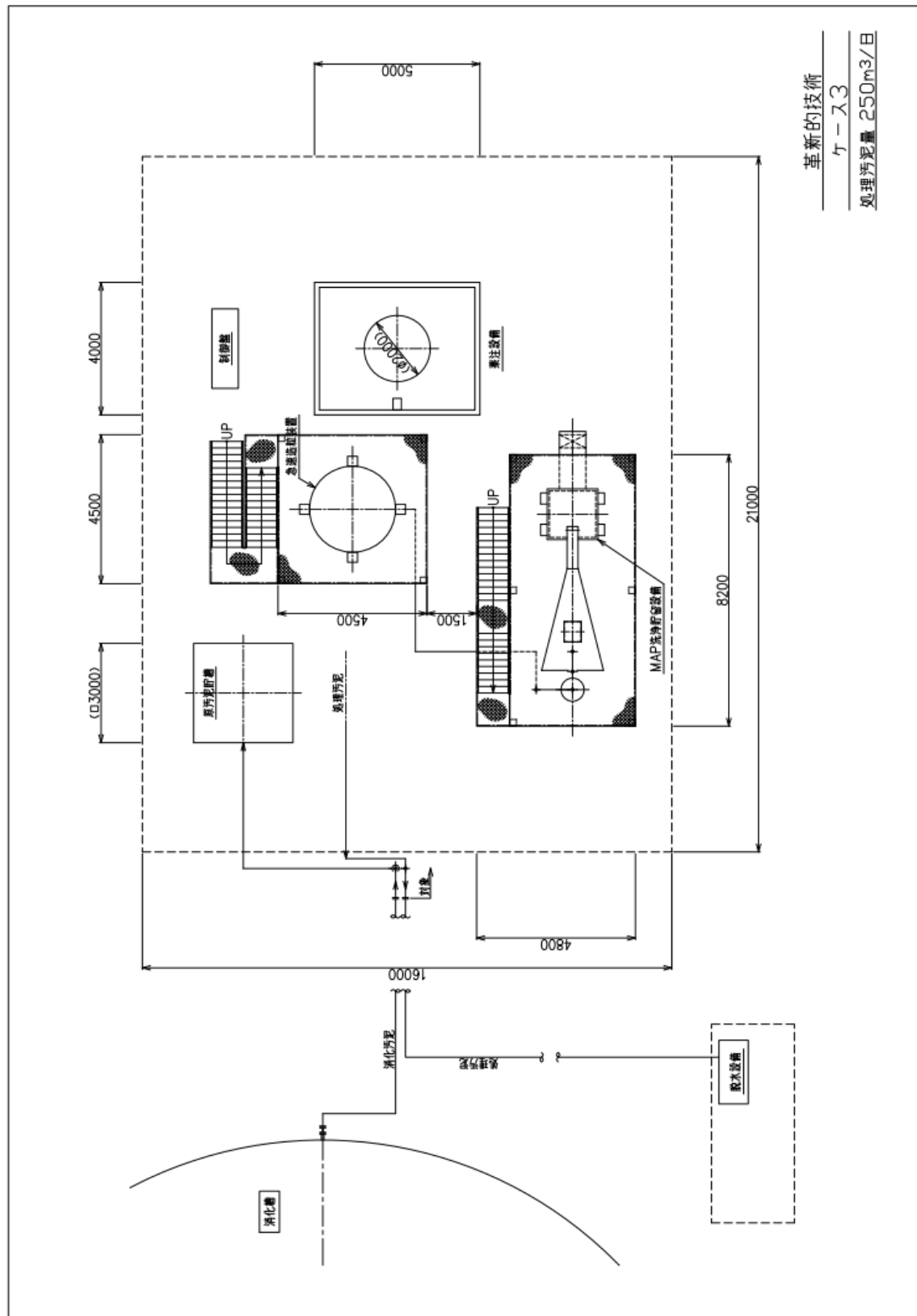
図資 2-2 配置図 (ケース 1 125m³/日)

2) ケース2 日最大汚泥量 200m³/日図資 2-3 フローシート (ケース2 200m³/日)

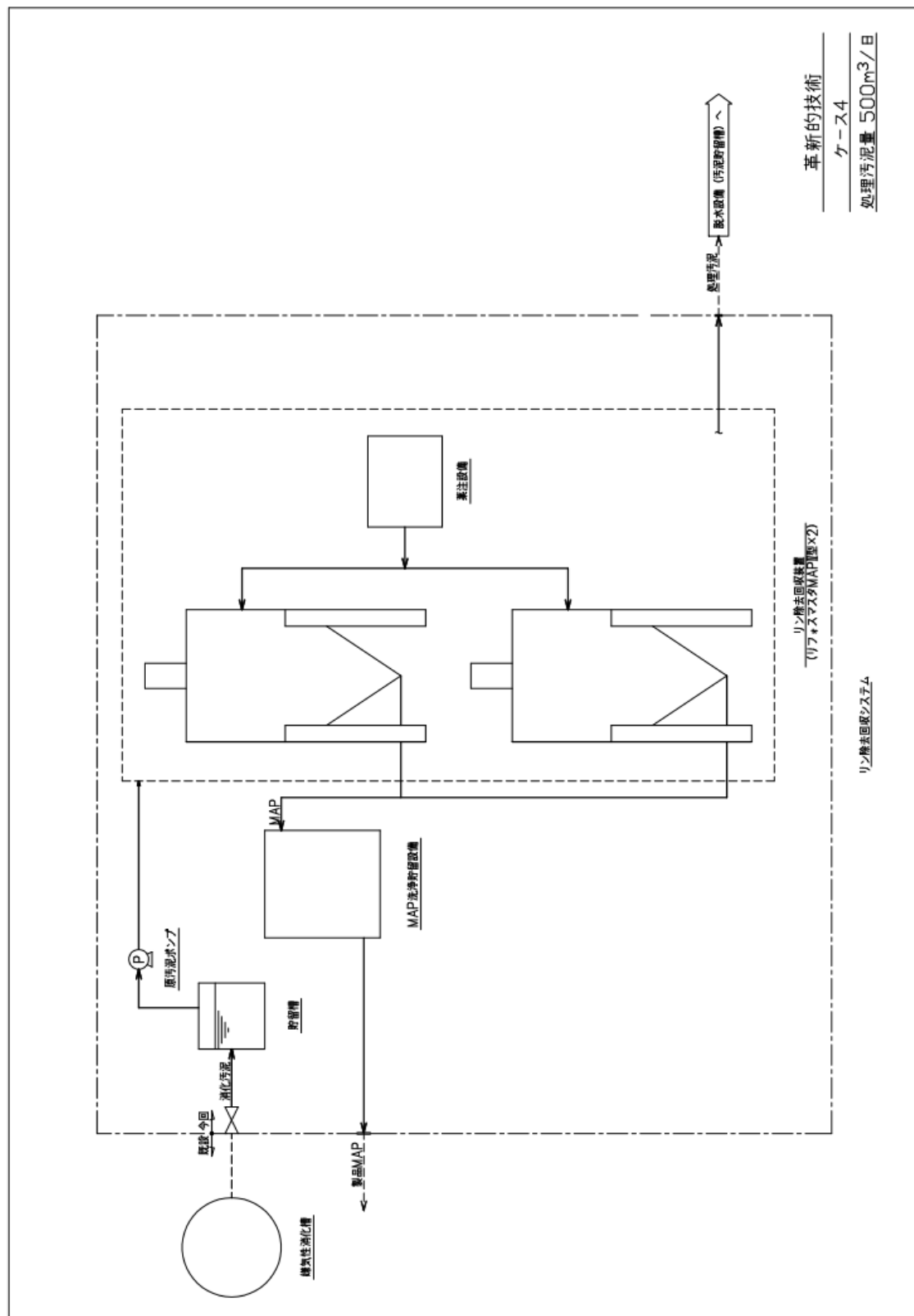


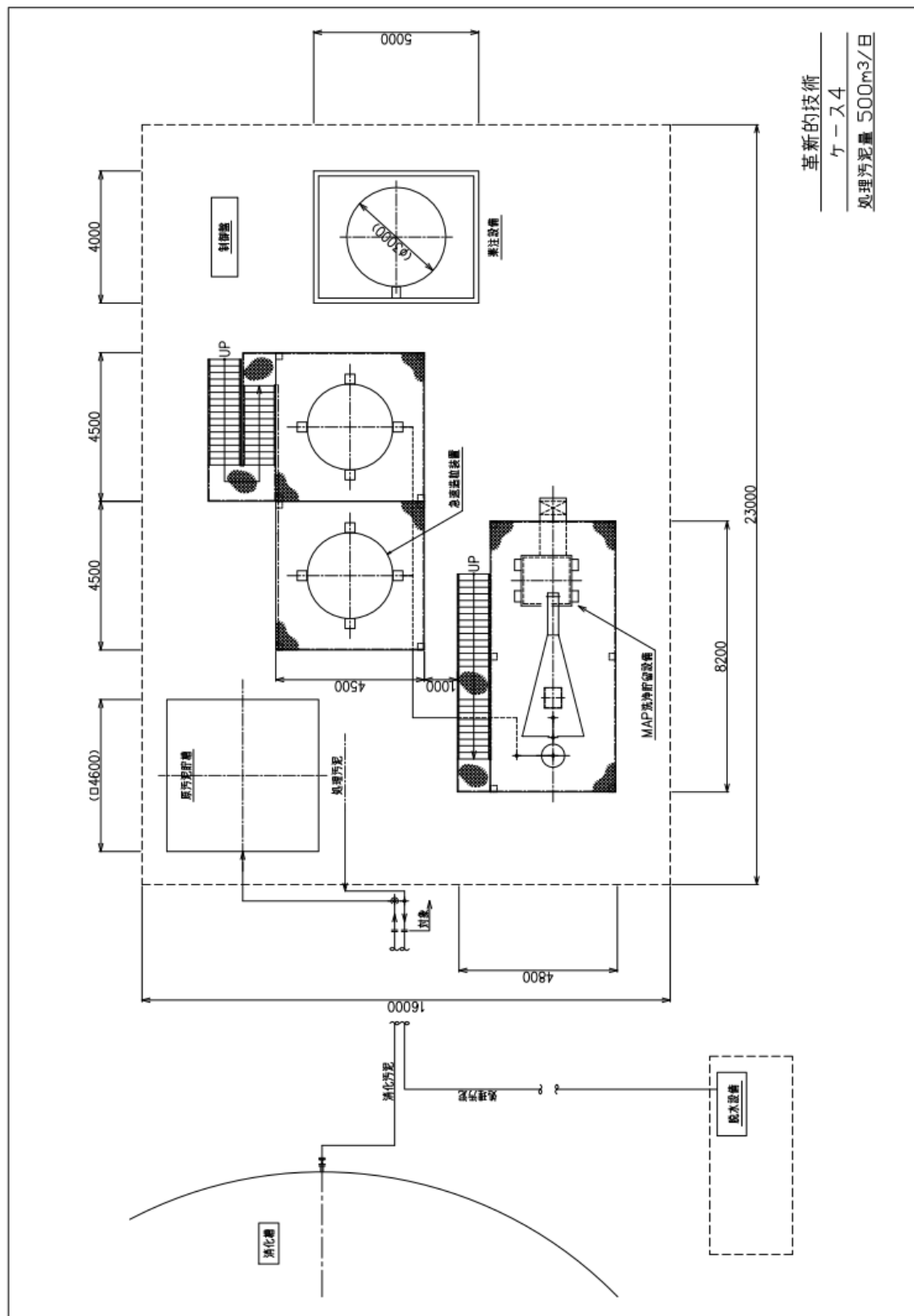
図資 2-4 配置図 (ケース 2 200m³/日)

3) ケース3 日最大汚泥量 250m³/日図資 2-5 フローシート (ケース3 250m³/日)



図資 2-6 配置図(ケース 3 250m³/日)

4) ケース 4 日最大汚泥量 500m³/図資 2-7 フローシート (ケース 4 500m³/日)



図資 2-8 配置図(ケース 4 500m³/日)

3. 回収 MAP 資料

(1) 肥料登録証例

3

230204 1001

登 録 証

氏名又は名称及び住所
東京都港区港南一丁目7番18号
水ing株式会社

登 録 番 号	生第 100063号	
登 録 年 月 日	平 成 2 6 年 4 月 2 5 日	
登 録 の 有 効 期 限	平 成 2 9 年 4 月 2 4 日	
肥 料 の 種 類	化成肥料	
肥 料 の 名 称	神戸MAP肥料1号	

保 証 成 分 量 (%)	アンモニア性窒素	4.4
	＜溶性りん酸	23.0
	＜溶性苦土	12.7

そ の 他 の 規 格 普通肥料の公定規格中化成肥料の「含有を許される有害成分の最大量」及び「その他の制限事項」のとおり。

肥料取締法第7条の規定に基づき上記のとおり登録したことを証する。

平 成 2 6 年 4 月 2 5 日

農林水産大臣 林 芳 正



(2) 成分・試験結果例



分析・試験証明 第 試 25・046b 号

平成 25 年 11 月 8 日

証 明 書



財団法人日本肥糧検定協会
本部 扱

下記成績は、依頼者から提出された試料について行った分析・試験結果であることを証明します。

依頼者名 水 ing 株式会社

試料名 回収 MAP
(依頼者指定の名称)

記

分析・試験結果

アンモニア性窒素 (N)	4.79	%
く溶性りん酸 (P ₂ O ₅)	24.96	%
水溶性りん酸 (P ₂ O ₅)	0.62	%
く溶性苦土 (MgO)	14.06	%
水溶性苦土 (MgO)	0.87	%
硫青酸化物 (NH ₄ SCN)	0.05	%未満
ひ素 (As)	0.0001	%未満
亜硝酸 (HNO ₂)	0.01	%未満
ビウレット性窒素 (N)	0.05	%未満
スルファミン酸 (NH ₂ SO ₃ H)	0.05	%未満
カドミウム (Cd)	0.0001	%未満
ニッケル (Ni)	0.0007	%
クロム (Cr)	0.0011	%
チタン (Ti)	0.028	%
水銀 (Hg)	0.000005	%
鉛 (Pb)	0.0006	%

分析・試験担当者 篠 村 善 徳

(本 部)
〒174-0054 東京都板橋区宮本町 39-14
Tel. 03(5916)3833 Fax 03(5916)3828

(関西支部)
〒650-0041 兵庫県神戸市中央区新港町 14-1
Tel. 078(332)6491 Fax 078(332)6545

(3) 植害試験結果例



試験研究第25-46号

平成25年11月8日

「回収 MAP」の植物に対する害に関する栽培試験

財団法人 日本肥糧検定協会

(本部) 〒174-0054 東京都板橋区宮本町 39-14
電話 03 (5916) 3833 Fax 03 (5916) 3828

(関西支部) 〒650-0041 兵庫県神戸市中央区新港町 14-1
電話 078 (332) 6491 Fax 078 (332) 6545

「回収 MAP」の植物に対する害に関する栽培試験

依頼者 水 i n g 株式会社

1. 試験機関の名称及び所在地

財団法人 日本肥糧検定協会
東京都板橋区宮本町39番14号

2. 試験担当者の氏名

篠村 善徳

3. 試験の目的

「回収 MAP」の施用による、こまつなの発芽と発芽後の生育への支障の有無及びその程度を知るため、幼植物試験を実施する。

4. 試験設計

(1) 供試肥料の種類及び名称並びに分析成績

	肥料の種類	肥料の名称	分析成績 (%)		
			C-P ₂ O ₅	A-N	C-MgO
供試肥料		回収 MAP	24.96	4.79	14.06
対照肥料		リン酸マグネシウムアンモニウム六水和物	28.92	5.71	16.43

注) 対照肥料には、試薬を用いた。

(2) 供試土壌の土性及び沖積土又は洪積土の別等

採取地	土壌の種類	土性	沖積土又は 洪積土の別	pH (H ₂ O)	交換(置換) 酸度 y_t	電気伝導率 (EC) dS/m	陽イオン交換容量 (CEC) meq/乾土100g	容積重 g/mL	最大含水量 乾土当り 重量%
千葉市	黒ボク土	L	洪積土	6.9	0.1未満	0.14	37.3	0.63	103

(3) 供試作物の種類及び品種

こまつな

(4) 試験区及び施肥の設計

試 験 区		施 用 量 (g/ポット)	成 分 量 (mg/ポット)			
			C-P ₂ O ₅	A-N	C-MgO	K ₂ O
供試肥料	基 準 量 区	0.40	100	19+31	56	50
	2 倍 量 区	0.80	200	38+12	113	50
	3 倍 量 区	1.20	300	58+ 2	169	50
	4 倍 量 区	1.60	400	77+ 2	225	50
対照肥料	基 準 量 区	0.35	100	20+30	57	50
	2 倍 量 区	0.69	200	39+11	114	50
	3 倍 量 区	1.04	300	59	170	50
	4 倍 量 区	1.38	400	79	227	50
無 機 基 礎 量 区		-	※100	50	-	50

注) 1. 試験区の施用量は、それぞれの肥料のC-P₂O₅を基準に設定した。

2. 供試肥料区および対照肥料区においてANが50 mgに満たない試験区は、不足分に相当する量を硫酸アンモニアで施用した。

3. 供試肥料区のANを対照肥料の各試験区のANに合わせるため、不足分に相当する量を硫酸アンモニアで施用した。

4. 供試肥料区と対照肥料区には、K₂Oとして50 mgに相当する量の塩化加里を施用した。

5. 無施用区として設けた無機基礎量区には、N、K₂Oとして50 mgに相当する量の硫酸アンモニア及び塩化加里を、S-P₂O₅ (※)として100 mgに相当する量の過りん酸石灰を施用した。

(5) 栽培方法及び管理の状況

作 業 項 目	土 壌 充 て ん	施 肥	は 種	収 穫
平成・年・月・日	25. 10. 15	25. 10. 15	25. 10. 15	25. 11. 01

5. 試験結果

発芽及び生育調査成績

試 験 区		ポ ツ ト No.	発 芽 調 査 成 績			生 育 調 査 成 績				異 常 症 状
			10月17日	10月18日	10月19日	10月22日	11月1日			
			発芽率 (%)	発芽率 (%)	発芽率 (%)	草 丈 (cm)	草 丈 (cm)	生体重 (g/株)	生体重 指数	
供 試 肥 料	基準量区	1	75	100	100	3.6	9.2	17.8		無
		2	75	100	100	4.0	9.3	18.3		
		平均	75	100	100	3.8	9.3	18.1	104	
	2倍量区	1	85	100	100	4.0	10.3	19.2		無
		2	85	100	100	3.7	10.2	19.1		
		平均	85	100	100	3.9	10.3	19.2	110	
	3倍量区	1	75	90	95	3.7	10.6	19.9		無
		2	75	95	100	3.6	10.6	20.3		
		平均	75	93	98	3.7	10.6	20.1	116	
	4倍量区	1	75	90	95	3.9	11.5	24.5		無
		2	90	100	100	3.7	11.3	24.3		
		平均	83	95	98	3.8	11.4	24.4	140	
対 照 肥 料	基準量区	1	65	100	100	3.8	9.5	17.6		
		2	65	100	100	3.5	9.5	17.2		
		平均	65	100	100	3.7	9.5	17.4	(100)	
	2倍量区	1	75	100	100	3.7	9.8	18.4		
		2	70	100	100	3.9	9.8	19.0		
		平均	73	100	100	3.8	9.8	18.7	107	
	3倍量区	1	85	100	100	3.6	10.6	20.7		
		2	70	95	95	3.8	10.7	21.0		
		平均	78	98	98	3.7	10.7	20.9	120	
	4倍量区	1	80	90	95	3.9	11.0	23.6		
		2	75	100	100	3.8	11.1	24.0		
		平均	78	95	98	3.9	11.1	23.8	137	
無機基礎量区		1	80	100	100	3.8	9.3	18.4		
		2	80	95	95	3.8	9.3	18.3		
		平均	80	98	98	3.8	9.3	18.4	106	

注) 生体重指数は対照肥料の基準量区を100とした指数

発芽状態の写真
(10月19日撮影)



生育状態の写真
(11月1日撮影)



6. ま と め

水ing株式会社の依頼により「回収MAP」の施用による、こまつなの発芽と発芽後の生育への支障の有無及びその程度について、幼植物試験を実施して、次の結果を得た。

試験の結果

有害物によると考えられる植物の生育上の異常症状は認められなかった。

供試肥料区の発芽率（10月19日）は、対照肥料区ならびに無機基礎量区と同等の成績を示した。

供試肥料区の草丈（11月1日）は、対照肥料区ならびに無機基礎量区と比較して同等または同等以上の成績を示した。

供試肥料区の生体重は、施用量を増すことによる増加が認められ、対照肥料区ならびに無機基礎量区と比較して同等または同等以上の成績を示した。

以上は、依頼により本協会が行った試験の結果であることを証明する。

平成25年11月8日

財団法人日本肥料検査協会 本部 抜



4. 問い合わせ先

本技術ガイドラインに関する問い合わせは、下記をお願いします。

国土交通省 国土技術政策総合研究所	国土交通省 国土技術政策総合研究所 下水道研究部 下水処理研究室 〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地 TEL 029-864-3933 FAX 029-864-2817 URL http://www.nilim.go.jp
----------------------	--

本書は、下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）により国土交通省国土技術政策総合研究所が下記の企業・団体に研究委託を行い、その成果をとりまとめたものです。

<実証研究者 連絡先>

swing 株式会社	営業本部 プラント営業統括 上下水営業室 〒108-8470 東京都港区港南1丁目7番18号 TEL 03-6830-9072 FAX 03-5479-8592 URL http://www.swing-w.com
神戸市	神戸市 建設局 下水道河川部 保全課 〒650-8570 神戸市中央区加納町6丁目5番1号 TEL 078-322-5462 FAX 078-322-6091 URL http://www.city.kobe.lg.jp
三菱商事アグリサービス株式会社	三菱商事アグリサービス株式会社 原料部 〒102-0083 東京都千代田区麹町1丁目10番地 TEL 03-5275-5512 FAX 03-5275-5558 URL http://www.mcagri.jp

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of N I L I M

N o . 805

August 2014

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地

企画部研究評価・推進課 TEL 029-864-2675