

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

まえがき

近年、中国、インド等の新興国の経済発展や、バイオマス燃料景気による世界的な穀物増産により、肥料の原料価格が高騰している。中でも原産国が限られるリンについては、主要原産国である中国等の輸出規制の影響等もあって、国際取引価格はここ数年間で乱高下しており、リンの全量を輸入に頼るわが国としては、長期的かつ安定的なリン資源の確保が懸念されている。

一方、下水道にはリン鉱石として輸入されるリンの約4～5割に相当するリンが流入しているとの推計があるが、有効利用されている割合は約1割に過ぎず、今後、下水や下水汚泥からのリン資源化について、農業関係者等のユーザー側と連携しつつ積極的に推進していくことが必要な状況となっている。

このような状況の下、国土交通省では平成21年度に、下水道管理者がリン資源化事業の実施について検討するための手引きをとりまとめることを目的として「下水道におけるリン資源化検討会」を設置し、事業化のあり方について検討を行った。

本手引きは検討会での議論を踏まえ、リン資源の現状と課題、リン資源化の視点、リン資源化の検討手順等について、「下水道におけるリン資源化の手引き」としてとりまとめたものである。

本手引きを活用し、多くの自治体でリン資源化の検討が積極的に進められることを期待するものである。

下水道におけるリン資源化検討会

(順不同・敬称略)

(平成 21 年 11 月 4 日現在)

座 長	津野 洋	京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻教授
委 員	後藤 逸男	東京農業大学応用生物科学部生物応用化学科教授
〃	松本 明人	信州大学工学部土木工学科准教授
〃	原田 順平	大阪湾広域臨海環境整備センター参事
〃	小田垣 正則	大阪府都市整備部下水道室事業課長
〃	後藤 幸造	岐阜市上下水道事業部水道事業及び下水道管理者
〃	間瀬 弘幸	社団法人日本下水道協会技術部資源利用促進課長
〃	小林 一朗	社団法人日本下水道施設業協会専務理事
〃	照沼 誠	日本下水道事業団技術開発部総括主任
〃	末原 宗紀	全国農業協同組合連合会肥料農薬部肥料海外原料課長
〃	用山 徳美	日本肥料アンモニア協会

目次

第1章 総則

第1節	目的	
§ 1	目的	1
第2節	手引きの構成	
§ 2	手引きの構成	2
第3節	対象とする資源化技術	
§ 3	対象とする資源化技術	3
第4節	用語の定義	
§ 4	用語の定義	4

第2章 リン資源の現状と課題

第1節	リン資源化の重要性	
§ 5	国内リン資源の現状	5
§ 6	リン鉱石採掘量・埋蔵量	6
§ 7	リン鉱石の輸入量と価格変動	8
§ 8	国内におけるリンのフロー	11
§ 9	今後の動向と課題	12
§ 10	下水中のリン資源化への期待	13
第2節	下水中のリン賦存量	
§ 11	下水中のリン賦存量	15
§ 12	下水道におけるリン資源の分布	17

第3章 リン資源化の検討

第1節	リン資源化の視点	
§ 13	リン資源化の視点	18
第2節	リン資源化検討手順	
§ 14	リン資源化の検討手順	19
第3節	資源化可能性の検討	
§ 15	下水処理場の特性把握	20
§ 16	下水処理場の特性とリン資源化技術とのマッチング調査	22
§ 17	資源化リンの性状等に応じた用途・需要者の洗い出し	35

§ 18	需要者のニーズ把握	39
§ 19	流通形態の検討	41
第4節	事業化の検討	
§ 20	経済性の検討	44
§ 21	事業形態の検討	48

第4章 品質管理

第1節	品質管理	
§ 22	品質管理	51

第5章 検討事例

第1節	広域循環型検討例	
§ 23	広域循環型検討例	53
第2節	地産地消型実施事例	
§ 24	地産地消型実施事例	67

資料編

1.	関連法令等（抜粋）	75
2.	下水中のリン資源化技術の概要	85
3.	肥料の製造工程と流通	95
4.	費用関数	104

第1章 総則

第1節 目的

§1 目的

本手引きは、下水道管理者を対象とし、主として肥料または肥料原料としての下水・下水汚泥中のリン資源化を検討するためのものであり、必要となる技術的事項を整理するとともに、フィージビリティ・スタディや実施事例の分析により検討手法のあり方を示すことを目的とする。

【解説】

下水道には多くのリンが流入していると推計されているが、その有効利用量は1割程度に過ぎない。その原因として、様々なリン資源化技術が開発されているものの、リン資源化施設の建設費や薬剤費、維持管理費等、資源化コストが高むことや製品の流通等が難題となっていることが挙げられる。

世界的なリン資源需給の逼迫や主要産出国の輸出制限が顕在化する中で、リンの全量を輸入に頼る我が国では、下水汚泥をはじめとする国内未利用・低利用資源からのリン資源化が強く求められている。

これを踏まえ、下水道管理者は、下水や下水汚泥からのリン資源化を、農業関係者等の需要者と連携しつつ、積極的に推進していくことが必要な状況となっている。

本手引きは、下水道管理者がリン資源化を検討する際や事業実施に取り組む際の支援となることを目的とする。ここでは、下水道に賦存するリンの量や全国的な分布状況、リン資源化技術の原理と特徴、資源化技術からみた製品品質と適用範囲等を整理するとともに、経済性や流通について示す。また、実施例がない広域循環型の事業形態については、リン資源化技術の適用性や事業化の可能性に関するフィージビリティ・スタディを行うとともに、地産地消型事業の実施例を紹介し、それぞれの流通形態における検討手法のあり方を示す。

第2節 手引きの構成

§ 2 手引きの構成

本手引きは、リン資源の現状と課題，リン資源化の検討，品質管理，検討事例および資料編から構成される。

【解説】

各章の内容は、以下のとおりとする。

- (1) 第1章 総則：目的，手引きの構成，留意事項，用語の定義について記述する。
- (2) 第2章 リン資源の現状と課題：リン資源化の重要性として，国内リン資源の現状，リン鉱石採掘量・埋蔵量，リン鉱石の輸入量と価格変動，国内におけるリンの動き，今後の動向と課題，下水中のリン資源化への期待について記述する。また，下水中のリン賦存量と下水道におけるリン資源の分布について記述する。
- (3) 第3章 リン資源化の検討：リン資源化の視点や検討手順，資源化可能性の検討について記述する。また，リン資源化技術について適用可能技術の選定や製品生産量，生産物の品質と特徴等について記述する。さらに，生産物の利用用途や需要者の洗い出し，流通形態について記述する。事業化の検討では経済性，事業形態について記述する。
- (4) 第4章 品質管理：得られる製品の品質管理の在り方について記述する。
- (5) 第5章 検討事例：事業化の前例がない広域循環型について，事業性の検討事例として「大阪湾フェニックス計画」での事業可能性を取り上げ記述する。また，地産地消型については実施事例の調査結果を記述する。

その他，資料編として，関連法令等（抜粋），下水中リン資源化技術の概要，肥料の製造工程と流通，リン資源化技術の費用関数について示す。

第3節 対象とする資源化技術

§ 3 対象とする資源化技術

本手引きは、下水や下水汚泥からのリン資源化技術のうち、現段階において肥料登録の実績のあるHAP法、MAP法、灰アルカリ抽出法および部分還元溶融法について整理している。

【解説】

本手引きは、現在、実用化が可能と思われる4つの技術、すなわち嫌気性消化脱離液や下水の高度処理に適用されているHAP法とMAP法の技術、ならびに下水汚泥からのリン資源化技術として灰アルカリ抽出法と部分還元溶融法を対象としている。

(1) HAP法

HAP法は、嫌気性消化脱離液または高度処理において、水中に溶解しているリン酸の除去技術として用いられおり、下呂市、北塩原村で稼働している。副生成物としてリン含有率15%以上のカルシウムヒドロキシアパタイトが得られ、これがリン資源となる。資源化リンは、肥料取締法上、副産りん酸肥料として肥料登録されている。

(2) MAP法

MAP法は、嫌気性消化脱離液または高度処理において、水中のりん酸およびアンモニアの除去技術として用いられており、福岡市、島根県ならびに大阪市で稼働中である。副生成物としてリン含有率20%程度のりん酸マグネシウムアンモニウムが得られ、これがリン資源となる。資源化リンは、肥料取締法上、化成肥料として肥料登録されている。

(3) 灰アルカリ抽出法

灰アルカリ抽出法は、焼却灰を原料としたリン資源化技術として用いられていおり、岐阜市で稼働している。焼却灰にNaOH溶液を添加して50~70℃に保持し、リンを溶出、消石灰と反応させ、リン含有率30%程度のリン酸塩として回収できる。資源化リンは、肥料取締法上、副産りん酸肥料として肥料登録されている。

(4) 部分還元溶融法

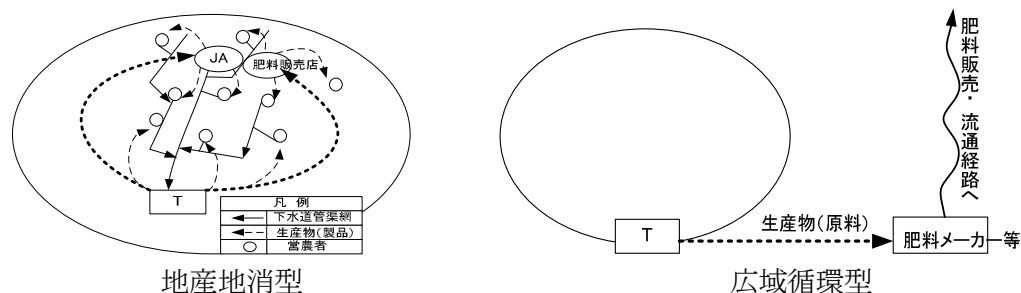
部分還元溶融法は、焼却灰を原料としたリン資源化技術である。電気抵抗式溶融炉にて焼却灰にCa、Mg等を添加し、適度な還元溶融とスラグの水砕処理により、P、Si、Ca、Mgを主成分としたスラグとしてリン含有率15%程度のリンを回収する。資源化リンは、肥料取締法上、熔成汚泥灰複合肥料として肥料登録されている。

第4節 用語の定義

§ 4 用語の定義

本手引きで取り扱う用語は、以下のとおりに定義する。

- (1) リン資源化：下水または下水汚泥中のリンを資源として活用できる状態にすることをいう。資源化のうち、HAP法、MAP法等により、リン化合物を取り出すことを回収という。
- (2) 地産地消型：主に下水処理場の処理区において資源化した生産物を、地元や地域のJAや肥料販売店、営農者等へ製品として流通させることをいう。
- (3) 広域循環型：主に下水処理場で資源化した生産物を、処理区や自治体界を超えて広く広域的に肥料メーカーや商社等を通じて流通させることをいう。



- (4) 「溶融」と「熔融」：汚泥等の固形物を1,300~1,500°Cの高温下で灼熱すると固形物中の無機質が液状化する現象。肥料取締法等では「熔融」が用いられているが、一般に下水道では「溶融」が用いられているため本手引きでは「溶融」とした。
- (5) 灰抽出リン酸カルシウム：灰アルカリ抽出法により資源化されたリン酸カルシウムをいう。
- (6) 処理灰：灰アルカリ抽出法により発生する資源化残渣をいう。
- (7) 熔成汚泥灰複合肥料：部分還元溶融法により資源化された肥料（スラグ）をいい、P, Ca, Mgを含む。
- (8) メタル：部分還元溶融法により分離回収される重金属類をいい、主成分はPと鉄である。
- (9) 肥料成分：溶け方の性質の違いにより水溶性、可溶性、く溶性に分けられる。リンの場合、次のとおり。
 - 水溶性成分：水に溶けるリンのことで、植物は直ぐに吸収できる。。
 - 可溶性成分：水とアルカリ塩溶液に溶けるリンで、比較的早く植物に吸収される。
 - く溶性成分：クエン酸2%液に溶けるリンのことで、根から出る根酸程度の弱い酸にはすぐ溶けないが、徐々に溶け出すため遅効性がある。
- (10) 「りん」と「リン」：肥料分野では肥料取締法に準じて、ひらがな「りん」を使用し、その他はカタカナ「リン」を使用する。

第2章 リン資源の現状と課題

第1節 リン資源化の重要性

§ 5 国内リン資源の現状

わが国は、リン鉱石を 100%輸入に依存しており、またその産出国は限定される。これは、国内のリンの流通が国際的な需給、価格変動に大きく影響されるということであり、食料生産に不可欠な肥料の安定供給を支援していく重要性が強く認識されてきている。

【解説】

我が国には天然資源としてリンを産出する鉱脈は存在せず、生活や社会活動に必要なリンの全量を輸入に依存している。それはリン鉱石やリン化成品によるリン資源としての直接的な輸入をはじめ、大量の食料や穀物に含まれ移入される複合的なもの、或いは金属鉱物等に含有されて製錬副産物として産出されるもの等、その大部分が海外由来である。

近年、新興大国の経済発展や、バイオマス燃料景気による世界的な穀物増産により、肥料の原料価格が高騰している。中でも原産国に限られるリンについては、主要原産国である中国等の輸出規制の影響等もあって、国際取引価格はここ数年間で乱高下しており、リンの全量を輸入に頼るわが国としては、長期的かつ安定的なリン資源の確保に懸念が生じている。

食料の安定生産、増産のために化学肥料を必要とする日本にとって、リンやその化合物は国家戦略上重要な物質であり、自給率の向上や食糧安全保障が議論されている中で、国内に移入、賦存するリン資源を保全、活用していくことが強く求められてきている。

§ 6 リン鉱石採掘量・埋蔵量

現在、リン鉱石を採掘している国は30ヶ国以上あるが、そのうちの上位15ヶ国だけで全世界のリン鉱石採掘量の約95%を占め、中でも、上位3カ国のリン鉱石採掘量は全体の約6割を占める。

一方、経済的に採掘できる埋蔵量は180億トンと推定され、このうちの約半分が、今後60年から70年の間に消費されるであろうとの予測もある。

【解説】

リン鉱石は、工業原料として利用可能なリンを採取できるリン酸塩鉱物を主成分とした鉱石である。リン鉱石中のリンのほとんどはカルシウムアパタイトとして存在し、リン酸成分としては5%~40%の割合である。

現在、30ヶ国以上がリン鉱石を採掘しているが、上位15ヶ国だけで全世界のリン鉱石採掘量の約95%を占める。特に、アメリカ、中国、モロッコの上位3カ国のリン鉱石採掘量は全体の約6割を占めている。

リン鉱石の埋蔵量の試算は、その時の経済情勢を加味した基準に依存してしまうため多少変動する。米国地質調査所 (United States Geological Survey ; USGS) は、リン鉱石の埋蔵量を\$35/トン以下のコストで採掘できるものと定義している。したがって、この基準の変更や採掘技術の改善等により推定埋蔵量も変化する。表6-1にUSGSによるリン鉱石の国別産出量と埋蔵量を示す。各国のリン鉱石の埋蔵量には大きな偏りがあり、埋蔵量の大きい国で採掘量も多くなっているが、アメリカは埋蔵量に対する産出量が多く、南アフリカは埋蔵量の割に産出量が少ない傾向にある。

表6-1のデータに則り、経済的に採掘できるリン鉱石の埋蔵量を単純に現在の採掘量で除すると、リン資源は約130年 ($18,000/142=126.8$) で枯渇すると計算できる。しかし、リン鉱石の採掘量は1950年から1995年にかけて約6倍に増加しており、リン鉱石採掘量の年間のび率は約4%となっている。英国硫黄誌 (British Sulphur Publishing) は、リン枯渇の最悪のシナリオとして過去の消費から年3%の伸びを見込むと消費量は2060年代に現在の約5倍になり、経済的に採掘可能なリン鉱石は枯渇してしまうことになると予測している。

現実的なシナリオとして、21世紀初頭 (2010~2015年) まで年間2.8%ずつ増加し、その後の伸び率はゆっくりになるとも予想され、これによると、60~70年以内には残存しているリン資源の半分が消費され、残存量は50%になると予測されている。

表6-1 リン鉱石の産出量と埋蔵量

	USGS2004年(推定)			USGS2006年		USGS2009年 *3	
	*1 産出量 (百万トン)	埋蔵量 (百万トン)	*2 埋蔵基礎量 (百万トン)	産出量 (百万トン)	埋蔵量 (百万トン)	産出量 (百万トン)	埋蔵量 (百万トン)
USA	33.3	1,000	4,000	30.1	1,200	30.9	1,200
Australia	2.2	77	1,200	2.3	77	2.3	82
Brazil	5.0	260	370	5.8	260	6.0	260
Canada	1.2	25	200	0.6	25	0.8	25
China	24.0	6,600	13,000	30.7	6,600	50.0	4,100
Egypt	1.5	100	760	2.2	100	3.0	100
India	1.3	90	160	-	-	-	-
Israel	4.0	180	800	3.0	180	3.1	180
Jordan	7.2	900	1,700	5.9	900	5.5	900
Morocco	24.0	5,700	21,000	27.0	5,700	28.0	5,700
Russia	11.0	200	1,000	11.0	200	11.0	200
Senegal	1.5	50	160	0.6	50	0.6	50
South Africa	2.5	1,500	2,500	2.6	1,500	2.4	1,500
Syria	2.4	100	800	3.9	100	3.7	100
Togo	2.1	30	60	1.0	30	0.8	30
Tunisia	7.7	100	600	8.0	100	7.8	100
Other countries	7.0	800	2,000	7.7	890	10.8	890
Total	138.0	18,000	50,000	142.0	18,000	167.0	15,000

*1 2003年度の数值

*2 将来技術の進歩があれば採掘可能なリン鉱石の量

*3 USGS Mineral Commodity Summaries, January 2008

出典：米国地質調査所 (United States Geological Survey ; USGS)

§ 7 リン鉱石の輸入量と価格変動

わが国のリン鉱石の輸入は、肥料原料が主目的であり、アメリカのリン鉱石の輸出停止後、中国からの輸入に依存していたが、近年、中国の輸出制限もあり、ここ2、3年の間におけるリン鉱石の取引価格が乱高下している。

【解説】

わが国ではリンの主要な原料であるリン鉱石を産出しないため、100%輸入に依存している。リン鉱石の輸入量と価格の推移を図7-1に、近年のリン鉱石輸入価格の推移を図7-2に、輸入先国別の輸入量内訳の推移を図7-3に示す。

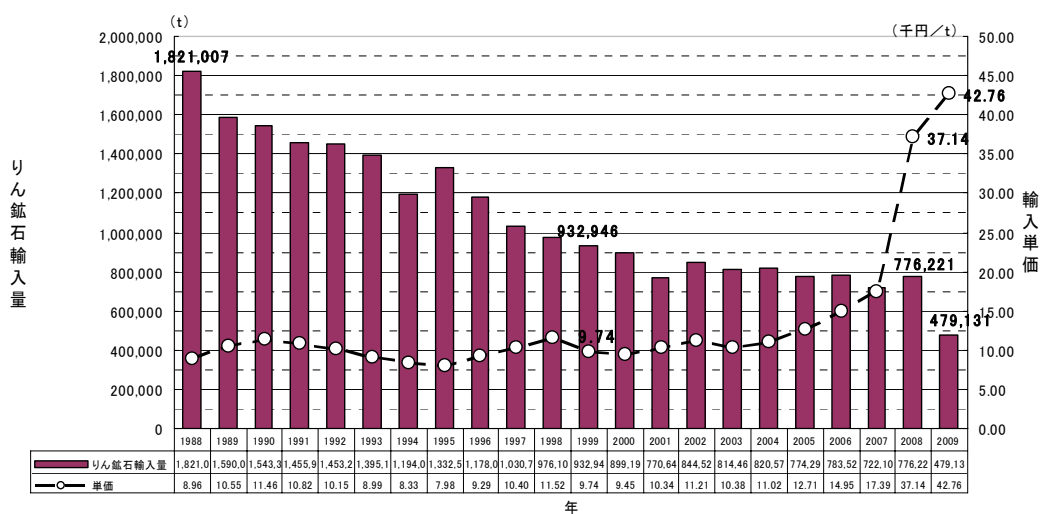
リン鉱石の輸入量は2007年実績で722,000t/年、2009年実績で479,000t/年であり、全世界の産出量(142,000,000 t/年:USGS2006年)の0.3%程度である。輸入量は、年々減少する傾向にあり、20年間で半減、10年間で30%減少している。これはリン鉱石産出国が鉱石の直接輸出を規制し、加工・化成品輸出に転換していったことによるものである。

リン鉱石の輸入価格は、2004年頃までは安定的に推移していたが、近年大きく値上がりしている。特に、2008年の値上がりは大きく、その後は22,000~46,000円/tで変動している(貿易統計)。値上がりの一つの理由として中国の禁輸措置や穀物価格の高騰があり、2009年11月以降は価格が安定する傾向にある。

20年前に輸入量全体の半分を占めていたアメリカからの輸入は、1997年に大きく減り2004年以降行われておらず、2007年は中国、ヨルダン、モロッコ、南アフリカで90%以上を占めていた。ここ数年の間には中国のリン鉱石の輸出制限もあり、国際情勢の変化に応じて輸入先も大きく変化している。

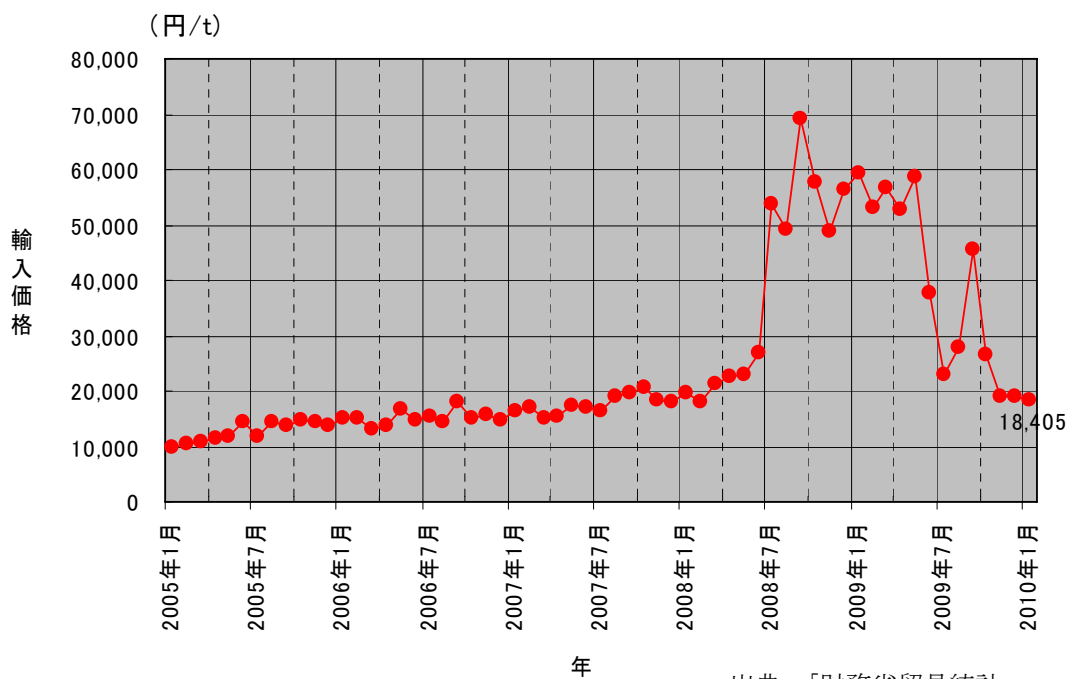
図7-4に肥料の農家購入価格の推移を示す。平成20年に入って肥料原料の国際市場が高騰したことにより、国内の肥料価格も大幅に上昇している。

第1節 リン鉱石の重要性



出典：「財務省貿易統計」

図7-1 リン鉱石の輸入量と価格の推移



出典：「財務省貿易統計」

図7-2 近年のリン鉱石輸入価格の推移

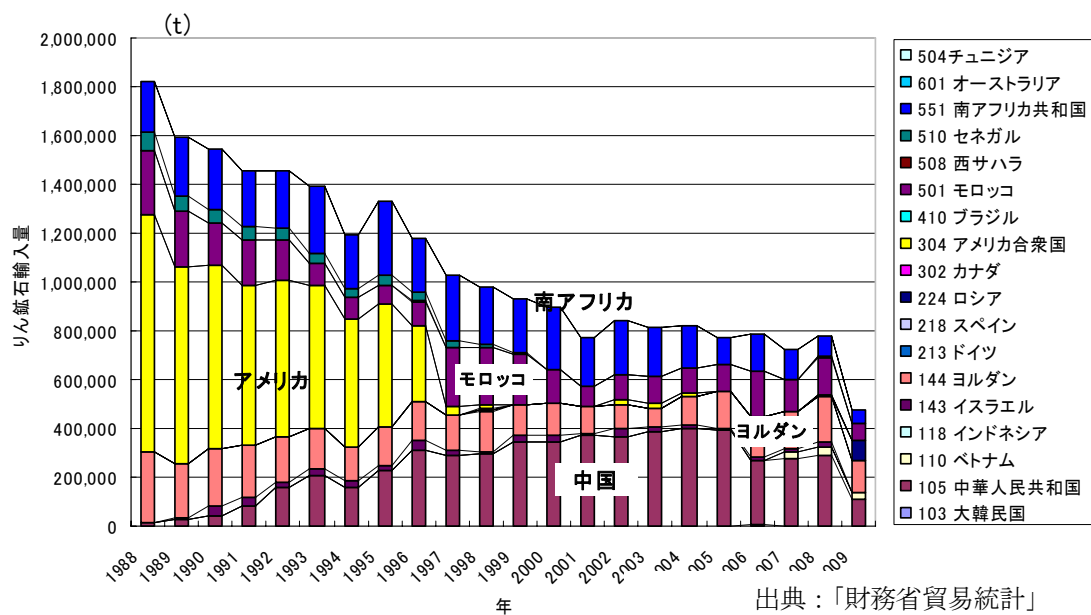


図7-3 リン鉱石の輸入先国別輸入量の推移

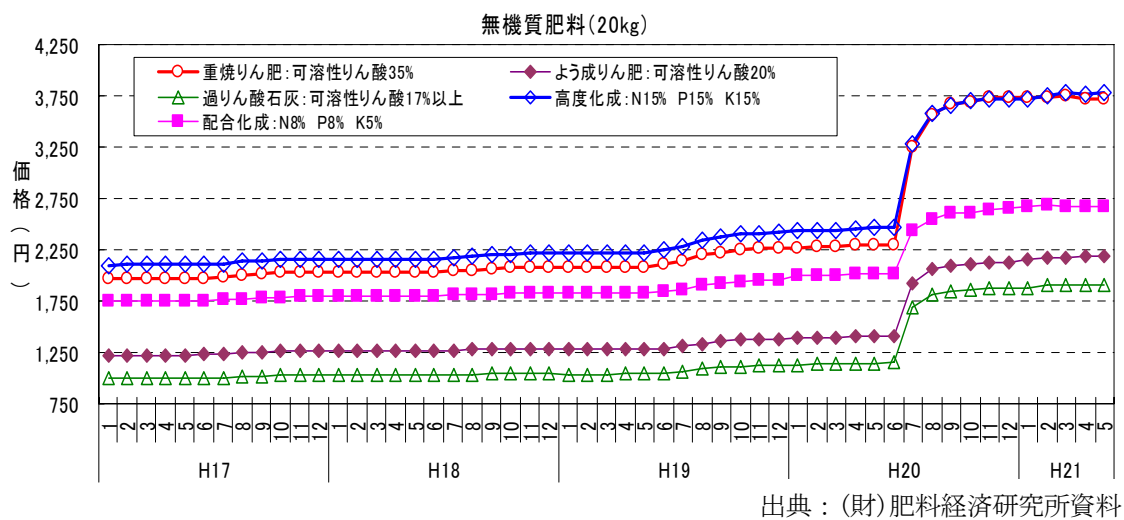


図7-4 肥料の農家購入価格の推移

§ 8 国内におけるリンのフロー

国内には年間約80万t-P/年のリンが輸入されている。その中で、食料・飼料・肥料系が約56万t-P/年と70%を占める。下水道には年間約5.5万t-P/年のリンが流入しているが、そのうち肥料として有効利用されているものは約0.6万t-P/年に過ぎず、残りは埋立等により廃棄されている。

【解説】

国土交通省が「鉱物資源マテリアルフロー2007」（（独）石油天然ガス・金属鉱物資源機構）および下水道統計平成18年度版（（社）日本下水道協会）をもとに国内におけるリンの動きについて分析した結果を図8-1に示す。

我が国に持ち込まれるリンのうち、リン鉱石や肥料、農畜産物や海産物等の食料・飼料として輸入・水揚げされるリンは約56万t-P/年(70%)であり、農耕・家畜・食料を経由し、生活排水系等に排出される。

下水道を経由するリンは約5.5万t-P/年で、公共用水域への流出が1.3万t-P/年、汚泥へ移行し、埋立等の処理処分が3.6万t-P/年である。

ここで重要なことは、農業・食品に関わるリンの輸入量約56万t-P/年のうち、約10%が下水道を経由していることである。下水道を経由するリンの量は、これからも下水道普及率の向上とともない増加すると予想される。また、下水処理場においては高度処理導入の進展により下水汚泥中に回収されるリンの量も増加していくものと考えられ、その資源的価値に注目が集まる。

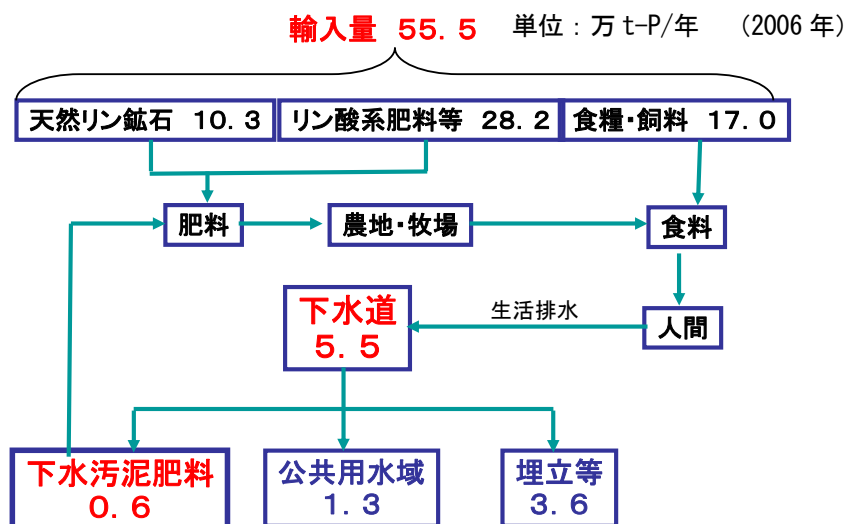


図8-1 農業・食品に係わる我が国へのリン輸入量と排出量

出典：国土交通省「鉱物資源マテリアルフロー2007」（（独）石油天然ガス・金属鉱物資源機構）および下水道統計平成18年度版（（社）日本下水道協会）をもとに農業・食品に係わる国内におけるリンの動きを分析

§ 9 今後の動向と課題

今後の世界的な人口増加・経済発展にともなう消費拡大やバイオマスエネルギーに関連したリン肥料の使用量の増大等により、今後、より需給が逼迫する可能性が指摘されている。

【解説】

わが国のリン利用の問題点を整理すると以下のとおりである。

- ① リン資源の原料産出国で自国資源保護の動きがあり、リン鉱石を国際戦略物質と位置づけアメリカ・中国のように輸出規制をすることが懸念される。
- ② リン鉱石中のリン酸含有量は10年で約1%ずつ低下するといわれており、60～70年後にはリン含量の低下に相反して不純物の含量が上昇し、その除去コストや副産物である石膏の処理コストが増加すると考えられる。
- ③ リンの枯渇に伴い、採掘・処理コストが上昇し、リン酸肥料の高騰を招くと考えられる。
- ④ 水域に流出するリンは富栄養化に直結するため、下水道等の排水処理施設のさらなる整備と処理施設におけるリン除去率の向上が求められる。
- ⑤ 廃棄物中リンの多くは下水汚泥中のリンであるが、リサイクルされていない。汚泥中リンの有効利用が必要である。
- ⑥ 排水中に含まれるリンを減らすための更なる技術開発が求められている。

§ 10 下水中のリン資源化への期待

前§ 5～§ 9で述べたリン資源化の現状や動向に鑑みて、下水道を経由して埋立等により廃棄されているリンは、国内における貴重な未利用資源として循環利用していくことが求められる。

【解説】

下水道により下水処理場に集約されてくるリンは貴重な未利用資源であり、効果的に回収、利用していくことが求められる。これまでの技術開発により実用化された、或いは実用化が期待される主なリン資源化関連技術について、下水処理場に適用する際の処理フロー上の適用箇所を図10-1に、また、各技術の概要を表10-1に示す。

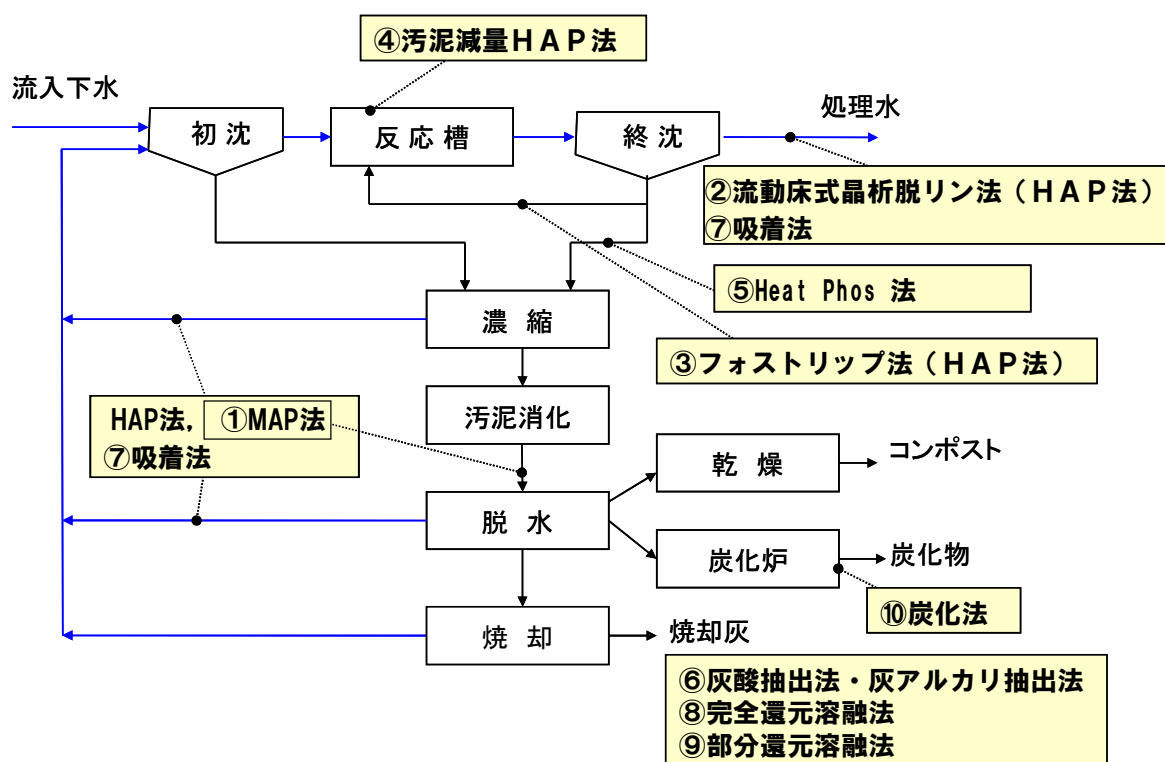


図 10-1 下水処理フローにおけるリン資源化関連技術の適用箇所

表 10-1 リン資源化技術の概要

			技術の概要	取り組み状況
①	晶析法	MAP法	液中に含まれるリンをアンモニウムとマグネシウムの結晶化物とする	<ul style="list-style-type: none"> ・島根県宍道湖流域下水道 (運転中) ・福岡市 和白, 東部, 西部 水処理センター (運転中) ・大阪市 大野下水処理場 (運転中)
②		HAP法	処理水などのpHを上げることにより, リンを析出させる方法	・岐阜県下呂市 (運転中)
③			返送汚泥の一部を嫌気的条件下で, 汚泥からリンを放出させ, 放出したリンを結晶化させて回収する方法	・福島県北塩原村 (運転中)
④			汚泥減量化とA ₂ O法を組み合わせて, 嫌気性槽混合液からリンを結晶化させて回収する方法	・愛知万博 実証実験 (終了)
⑤		Heat Phos 法	余剰汚泥に熱を加えて可溶化し, 可溶化した液からリンを析出させる方法	
⑥		灰酸抽出法・灰アルカリ抽出法	焼却灰からリンを酸やアルカリで溶出させ, 溶出液からリンを析出させる方法	・岐阜市 北部プラント (運転中)
⑦	吸着法		リン吸着能力を持つ吸着剤を用いて, リンを回収(吸着脱離反応の利用)する方法	
⑧	還元溶融法	完全還元溶融法	リンを黄リンとして揮発させ回収する方法	
⑨		部分還元溶融法	焼却灰を部分的に還元して, リン化合物を回収する方法	
⑩	炭化法		脱水汚泥を炭化してそのまま利用する方法	群馬県 県央浄化センター (計画中)

第2節 下水中のリン賦存量

§11 下水中のリン賦存量

下水処理場に流入するリンの量は、平成18年度年間5.5万t-P/年でそのうち約4万t-P/年のリンが下水汚泥中に除去されていたことになる。また、下水汚泥中に除去、移行するリン量は近年増加する傾向にある。

【解説】

下水道統計をもとに、下水汚泥中に含まれるリンの量を下水処理場における流入水中と処理水中の差分量として求めた結果を図11-1に示す。下水汚泥中リンの量は徐々に増加している傾向にある。

下水処理場に流入するリンの量は、平成18年度現在、年間約55,000t-P/年であり、その中で処理水として放流・流出されるリンは年間約13,000t-P/年である。このことから、年間約42,000t-P/年のリンが下水汚泥中に除去されていたことになる。

下水汚泥の処理における汚泥の最終処理形態別のリンの内訳を図11-2に示す。最終の汚泥形態別のリン量のうち、焼却灰が全体の70%を占めている。

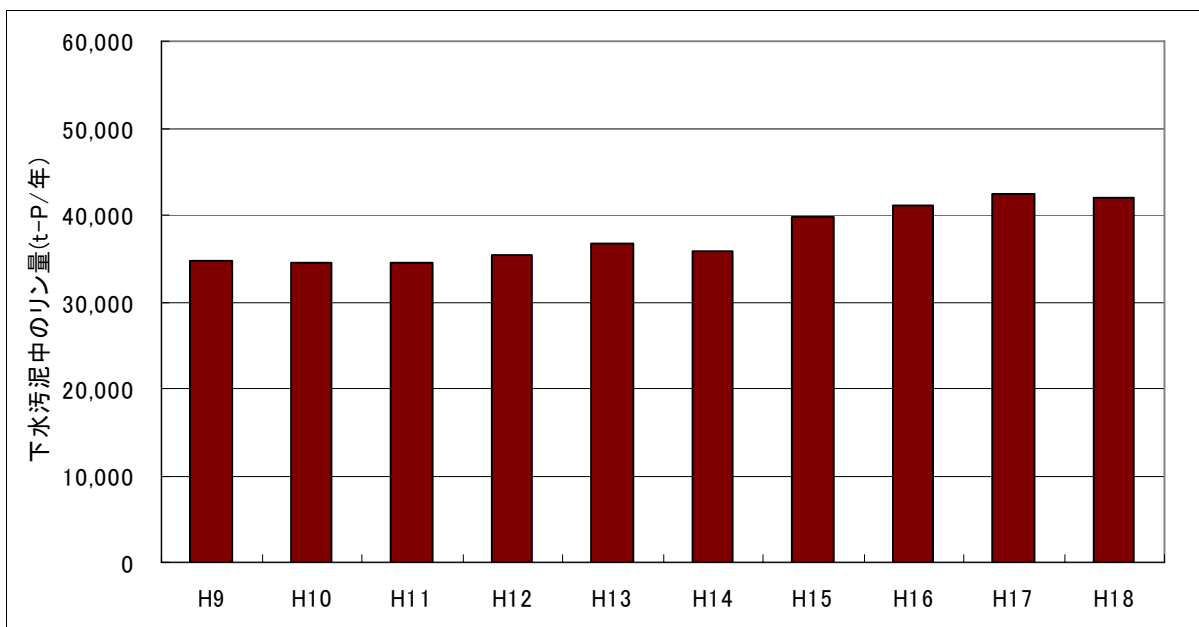


図11-1 下水汚泥中リンの全国集計量の推移

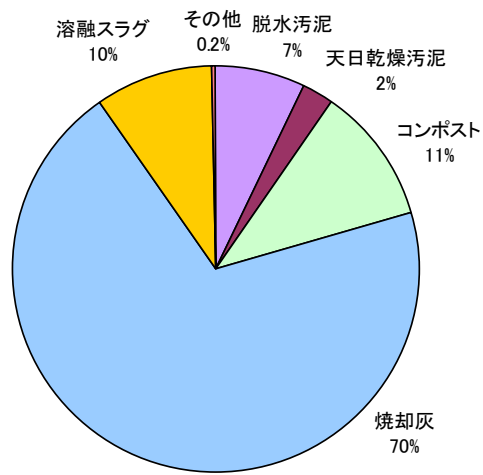


図 11-2 最終の汚泥形態別リン量

§ 12 下水道におけるリン資源の分布

下水汚泥中に含まれるリンの量は下水道利用人口と相関があり、その分布量は人口が集中する都市部を有する都道府県で大きくなっている。

【解説】

図12-1に都道府県別の下水汚泥中リン量の分布を示す。

都道府県別の下水汚泥中リン量は人口に相関があり、指定都市を有する都道府県に集積している様子が伺える。

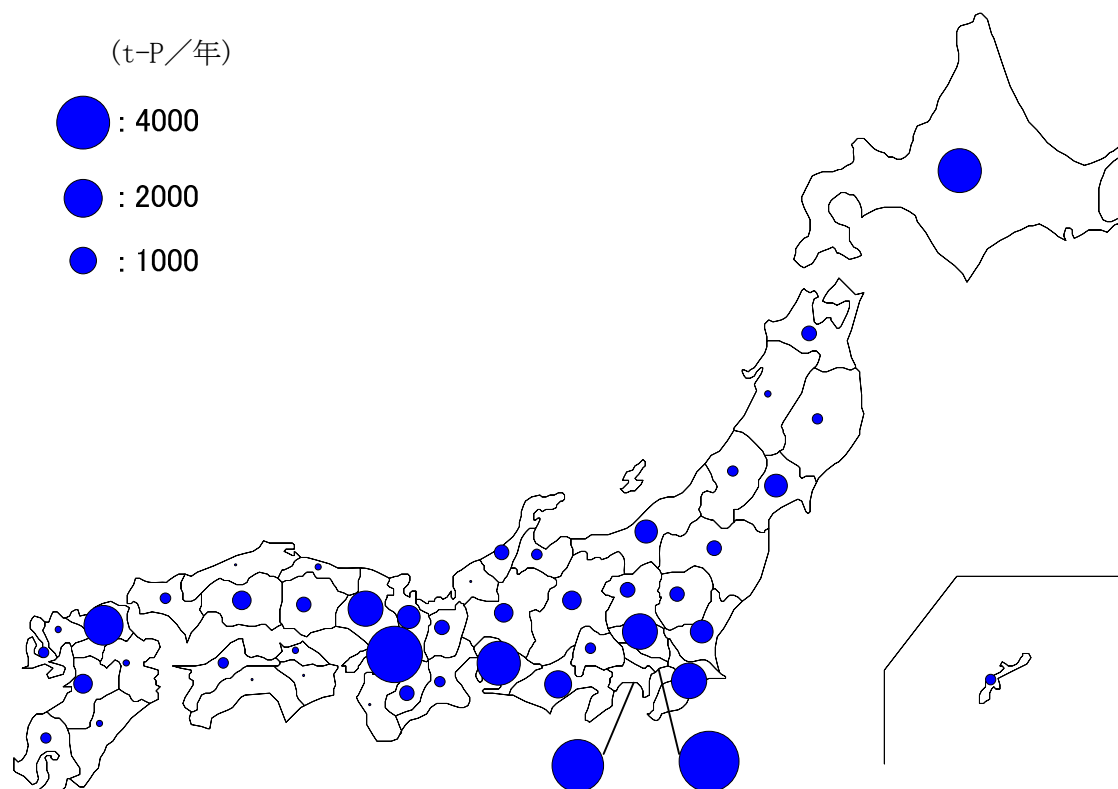


図 12-1 都道府県別の下水汚泥中リン量

出典：平成18年度版下水道統計データをもとに、各処理場の処理水量×リン濃度を算出し、都道府県別に集計した値。

第3章 リン資源化の検討

第1節 リン資源化の視点

§13 リン資源化の視点

リン資源化を検討するに際しては、「下水処理場の特性」、「リン資源化技術」、「需要者のニーズ」の3要素のマッチングが重要との視点に立って検討を進める。

- (1) 「下水処理場の特性」と「リン資源化技術」のマッチング
- (2) 「リン資源化技術」と「需要者のニーズ」のマッチング
- (3) 「需要者のニーズ」と「下水処理場の特性」のマッチング

【解説】

リン資源化を検討する際には主要な3要素、すなわち「下水処理場の特性」、「リン資源化技術」、「需要者のニーズ」のマッチングが重要となる。この主要3要素が効果的に繋がって初めて資源化が進んでいくものであり、この3要素の関係は模式的に図13-1のように示されるとともに、具体的には次の関係が必要となる。

- (1) 「下水処理場の特性」と「リン資源化技術」：対象とする下水処理場の規模（処理水量、発生汚泥量）や下水・下水汚泥の成分（重金属の含有量等）等とリン資源化技術がマッチしていること。
- (2) 「リン資源化技術」と「需要者のニーズ」：資源化されるリンの性状、品質、量および場所が需要者のニーズとマッチしていること。
- (3) 「需要者のニーズ」と「下水処理場の特性」：対象とする下水処理場の立地等や、需要者の事業形態等から、流通形態を検討する。

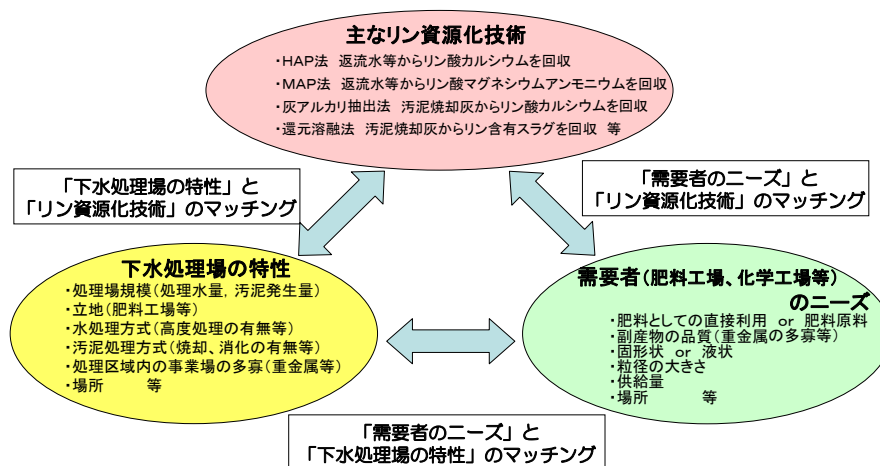


図13-1 リンの資源化に関する現状調査のイメージ

第2節 リン資源化検討手順

§ 14 リン資源化の検討手順

検討フローに基づき、「下水処理場の特性」、「リン資源化技術」、「需要者のニーズ」相互のマッチング調査により資源化可能性の検討を行い、その結果を踏まえて経済性及びおよび事業形態の面から事業として成立可能か検討する。

【解説】

リン資源化検討フローを図 14-1 に示す。

リン資源化の検討は、「下水処理場の特性」、「リン資源化技術」、および「需要者のニーズ」の3つの要素について整理を行う。下水処理場の特性については、対象とする下水処理場の規模（処理水量、発生汚泥量）や下水・下水汚泥の成分（重金属の含有量など）等の下水処理場の特性を把握し、これらとリン資源化技術がマッチしていることを確認するとともに、資源化されるリンの性状、品質、量が需要者のニーズと比較して適した技術を把握する。また、生産物の流通販路が下水処理区域内（地産地消型）、もしくは下水処理区域外（広域循環型）に該当するのかが検討する。事業化については、経済性の検討を行い、事業を進めていく上でのPFIなど等の事業形態について検討を行う。

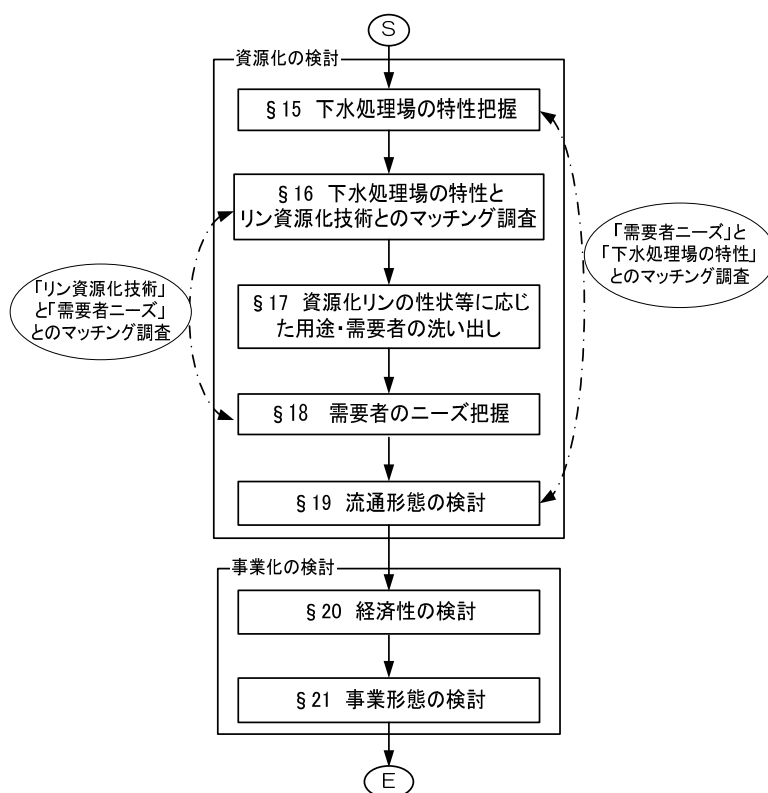


図 14-1 リン資源化検討フロー

第3節 資源化可能性の検討

§ 15 下水処理場の特性把握

対象とする下水処理場の処理水量，発生汚泥量，下水処理方式，汚泥処理方式，下水・下水処理水の水質，下水汚泥の成分等を把握する。

【解説】

リン資源化の可能性を検討するにあたって，資源化リン量を把握するための基本情報として処理水量，汚泥発生量，下水・下水処理水の水質，下水汚泥の成分等が必要である。また，リン資源化技術とマッチさせるため，下水処理場の特性として，下水処理方式における高度処理の有無や汚泥処理方式における焼却・消化の有無，リン資源化対象物のリン濃度等を調査する。その他，生産物の品質に影響を与える重金属等有害物質成分についても，資源化技術の適用に影響することから特性を調査する。

(1) 下水処理場の特性把握

特性把握の内容を表 15-1 に示す。特性把握では，以下の点に着目し，リン資源化の可能性を勘案して実施することが重要である。

- ①HAP法，MAP法の適用可能性を検討するため，高度処理におけるリン除去の必要性を把握する。
- ②HAP法，MAP法の適用可能性を検討するため，現況および将来計画における高度処理におけるリン除去設備の有無を把握する。
- ③焼却灰からの資源化技術の適用性を検討するため，汚泥処理工程のうち焼却の有無等の状況を，またMAP法の適用可能性を検討するため，消化槽からの汚泥処理返流水の処理施設への影響を把握する。
- ④最終処分形態，処分量，処分コスト等汚泥処分状況を把握する。
- ⑤その他：資源化リンは農業利用を前提としているため，特に重金属類のうち肥料取締法に該当する物質について把握しておく。

表 15-1 特性把握の内容

項目	内容	備考
水処理	処理方式（系列別・高度処理対応），日平均処理水量，流入・放流・汚泥処理返流水質（BOD, SS, T-N, T-P） 凝集剤の利用	全体計画，事業計画，現況処理量
汚泥処理	脱水方式（脱水機数，投入汚泥種，投入汚泥量，投入汚泥含水率，添加薬剤名，薬剤種，薬剤濃度，注入率，発生汚泥量，発生汚泥含水率）	〃
焼却灰	焼却灰発生量（湿重，含水率，乾燥重量） 焼却灰主成分（ P_2O_5 , SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , MgO , K_2O ） 肥料取締法基準項目（As, Cd, Pb, Cr, Ni, Hg） その他の有害物質含有量（Zn, Cu, Mn, Fe 等）	〃

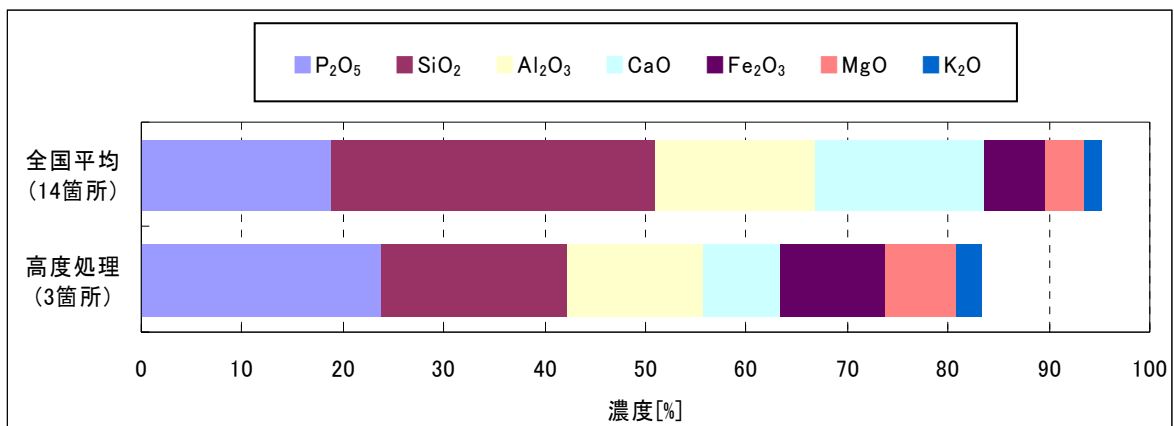
【参考】 リン資源化対象物のリン濃度と重金属等有害成分について

高度処理を行っている場合、汚泥処理返流水からのリン資源化では、リン除去にともなう副産物としてリンが資源化される。また、嫌気性消化された汚泥（液状）からも資源化できる。これらの資源化物はその製造過程（液中のリンを析出させる）から、生産物の性状も比較的安定したものとなる。

リン資源化を目指した下水汚泥・焼却灰からのリン資源化では、処理方式により焼却灰中のリン濃度が異なること、焼却灰に含有する重金属類が利用用途を制限する必要があるため、資源化対象とする焼却灰の性状を把握しておくことが重要である。

また、焼却灰を原料として提供可能か判断するためにも、性状を把握しておく必要がある。

焼却灰中のリン濃度は、下水処理場の水処理方式、汚泥処理方式等によって大きく異なる。P₂O₅としての濃度は全国平均で18.9%であるが、その範囲は9.7~31.2%と大きく、高度処理を実施している処理場（4箇所）では平均24.2%と高くなり、30%以上となることも稀ではない。



図参 15-1 焼却灰の成分比

全国平均：出典 下水汚泥焼却灰を原料とした熔成リン酸質肥料製造における各種成分比と熔融法条件の影響，岩井ら，廃棄物資源循環学会論文誌，vol.20，No.3，2009

高度処理：近畿地区でのアンケート結果

§ 16 下水処理場の特性とリン資源化技術とのマッチング調査

§ 15で把握した下水処理場の特性を踏まえ，HAP法，MAP法，灰アルカリ抽出法および部分還元溶融法のうち，当該処理場に適用できるリン資源化技術を抽出する。さらに，得られる資源化リンの性状，品質，量を想定する。

【解説】

リン資源化技術のうち，現在，実用化可能な技術として，①HAP法，②MAP法，③灰アルカリ抽出法，④部分還元溶融法の4技術がある。ここでは，資源化技術の原理，資源化対象物の適用可能なリン濃度や重金属濃度等を踏まえ，下水処理場への適用可能性を示す。各技術の概要については資料編に示す。

(1) 資源化技術の適用性の検討

当該下水処理場での各技術の適用可能性を検討し，導入を検討する資源化技術の抽出を行うための調査フローを示す。図16-1に示すように，§15下水処理場の特性把握の結果を踏まえ，対象下水処理場における高度処理（リン除去）の有無や嫌気性消化の有無，焼却処理の有無，処理施設の状況，維持管理の状況，リン資源化対象物の性状等をもとに適用できる資源化技術を抽出する。

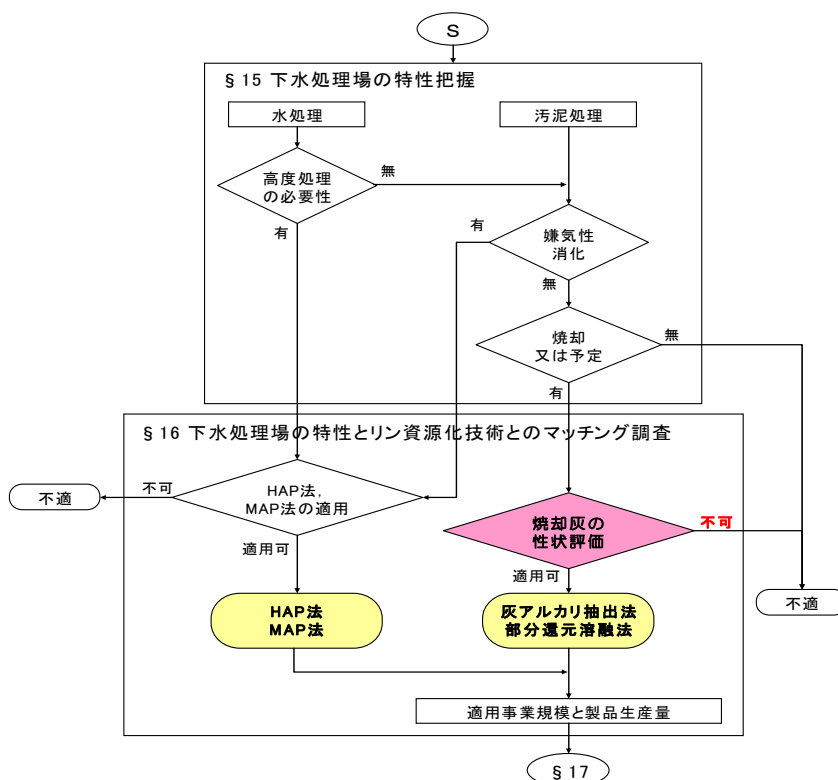


図 16-1 資源化技術適用性調査フロー

(2) 資源化技術の特徴

1) HAP法

①原理等

HAP法は水中に溶解しているリン酸(PO_4^{3-})の除去技術として用いられる。副生成物としてリン含有率15%以上のカルシウムヒドロキシアパタイト $[Ca_{10}(OH)_2(PO_4)_6]$ が得られ、これがリン資源化となる。

②特徴

i) 資源化対象リン濃度

本法で適用される原水中のリン濃度は2~100mg/lと幅広く、回収率は原水 $PO_4\text{-P}$ が50mg/lで約80%となる。

ii) 処理への影響因子等

処理への影響因子は、アパタイトの構成物質である Ca^{2+} 、 PO_4^{3-} の濃度とOH⁻濃度を知るための指標であるpHである。また、温度の低下は晶析反応速度がかなり低下することが明らかとなっている。

妨害物質として、重炭酸イオンは反応速度を低下させる。二次処理水にはMアルカリ度として重炭酸イオンが含まれているため、除去工程が必要となる場合がある。

③適用規模

表16-1に回収対象と設備規模について示す。

表16-1 回収対象と設備規模

回収対象	設備規模	根拠
返流水, 脱水ろ液	500~5,000 m ³ /日	メーカー資料

④生産量

表16-2に製品生産量の算出例を示す。製品生産量は、下水処理場への流入リン量から算出する場合、次式で算出できる。

$$\text{HAP生産量} = \text{処理対象水量中のリン負荷量} \times \text{リン回収率} \div \text{HAPリン濃度}$$

※ 処理対象水量中のリン負荷量：HAP施設に流入するリン量

$$\text{処理対象水量中のリン負荷量 (t/年)} = \text{処理対象水量 (m}^3\text{/年)}$$

$$\times \text{処理対象平均流入水T-P濃度 (mg/l)} / 10^6$$

表 16-2 製品生産量の算出例

条件	処理水量		10,000	50,000	100,000	500,000	流入下水量	備考 (回収率の設定条件)		
	流入リン濃度	m ³ /日								
	流入リン量	mg/ℓ								
			5	5	5	5				
			kg/日	250	500	2,500				
			t/年	91	183	913				
HAP								処理対象	処理方式	污泥消化
ケース1	返流水量	m ³ /日	192	960	1,917	9,593		返流水	高度処理	消化なし
	返流水リン濃度	mg/ℓ	47.9	48.4	48.4	48.4				
	返流水リン負荷	kg/日	9.2	46.5	92.8	464.3				
		t/年	3.4	17.0	33.9	169.5				
	リン回収率	%	40%	40%	40%	40%	返流水リン負荷に対して			
	リン回収量	t/年	1.3	6.8	13.5	67.8	リン負荷量×リン回収率			
	HAPリン濃度	%(P)	15%	15%	15%	15%				
	HAP生産量	t/年	9	45	90	452	リン回収量/HAPリン濃度			
リン回収率	%	7%	7%	7%	7%	処理場流入リン負荷に対して				
ケース2	返流水量	m ³ /日	192	965	1,932	9,656		返流水	高度処理	消化あり
	返流水リン濃度	mg/ℓ	56.8	56.5	56.4	56.4				
	返流水リン負荷	kg/日	10.9	54.5	109.0	544.6				
		t/年	4.0	19.9	39.8	198.8				
	リン回収率	%	50%	50%	50%	50%	返流水リン負荷に対して			
	リン回収量	t/年	2.0	10.0	19.9	99.4	リン負荷量×リン回収率			
	HAPリン濃度	%(P)	15%	15%	15%	15%				
	HAP生産量	t/年	13	66	133	663	リン回収量/HAPリン濃度			
リン回収率	%	11%	11%	11%	11%	処理場流入リン負荷に対して				
ケース3	脱水ろ液量	m ³ /日	45	227	451	2,258		脱水ろ液	高度処理	消化なし
	脱水ろ液リン濃度	mg/ℓ	93.3	93.8	94.2	94.2				
	脱水ろ液リン負荷	kg/日	4.2	21.3	42.5	212.7				
		t/年	1.5	7.8	15.5	77.6				
	リン回収率	%	55%	55%	55%	55%	脱水ろ液リン負荷に対して			
	リン回収量	t/年	0.8	4.3	8.5	42.7	リン負荷量×リン回収率			
	HAPリン濃度	%(P)	15%	15%	15%	15%				
	HAP生産量	t/年	6	28	57	285	リン回収量/HAPリン濃度			
リン回収率	%	5%	5%	5%	5%	処理場流入リン負荷に対して				
ケース4	脱水ろ液量	m ³ /日	48	238	476	2,379		脱水ろ液	高度処理	消化あり
	脱水ろ液リン濃度	mg/ℓ	122.9	123.9	124.2	124.0				
	脱水ろ液リン負荷	kg/日	5.9	29.5	59.1	295.0				
		t/年	2.2	10.8	21.6	107.7				
	リン回収率	%	70%	70%	70%	70%	脱水ろ液リン負荷に対して			
	リン回収量	t/年	1.5	7.5	15.1	75.4	リン負荷量×リン回収率			
	HAPリン濃度	%(P)	15%	15%	15%	15%				
	HAP生産量	t/年	10	50	101	502	リン回収量/HAPリン濃度			
リン回収率	%	8%	8%	8%	8%	処理場流入リン負荷に対して				

注) 処理対象水中のリン負荷量の40% (返流水対象), 55% (脱水ろ液対象), 消化工程がある場合50% (返流水対象), 70% (脱水ろ液対象) を除去できるものとしてモデル計算すると, 原水流入リン量の約5~11%が回収される。

⑤生産物の品質と特徴

1) 生産物の品質

別途, 表 16-11 に示す。

2) 生産物の特徴

HAPは, リン酸イオンをヒドロキシアパタイトとして晶析させた結晶リン酸カルシウムであり不純物を殆ど含まない。製造過程からは白色の5mm以下の粒状で生産され, 粒の大きさや分布は製造時の反応, 攪拌条件により異なる。

2) MAP法

①原理等

MAP法はリン酸(P₀₄³⁻)およびアンモニア(NH₄⁺)の水中からの除去技術, 或いは嫌気性消化液からの回収技術として用いられる。そこからは生成物としてリン酸マグネシウムアンモニウム[MgNH₄P₀₄] (MAP)が得られ, これがリン資源化となる。

②特徴

i)回収対象リン濃度

本法はリンとアンモニアを含む嫌気性消化槽の消化液や脱水ろ液等が対象となり、適用可能なリン濃度は消化液の場合が100mg/ℓ以上、脱水ろ液の場合が約150mg/ℓである。

ii)処理への影響因子等

処理への影響因子は、構成物質である Mg^{2+} 、 PO_4^{3-} 、 NH_4^+ 濃度と OH^- 濃度を知る指標であるpHである。

③適用規模

表 16-3 に回収対象と設備規模について示す。

表 16-3 回収対象と設備規模

回収対象物	設備規模	根拠
返流水, 脱水ろ液	500m ³ /日・基 程度 (最大 1,000m ³ /日・基)	メーカー資料
嫌気性消化液	200m ³ /日・基 程度	メーカー資料

④生産量

表 16-4 に製品生産量の算出例を示す。製品生産量は、下水処理場への流入リン量から算出する場合、次式で算出できる。

$$\text{MAP生産量} = \text{処理対象水量中のリン負荷量} \times \text{リン回収率} \div \text{MAPリン濃度}$$

※ 処理対象水量中のリン負荷量：MAP施設に流入するリン量

$$\begin{aligned} \text{処理対象水量中のリン負荷量 (t/年)} &= \text{処理対象水量 (m}^3\text{/年)} \\ &\quad \times \text{処理対象平均流入水T-P濃度 (mg/ℓ)} / 10^6 \end{aligned}$$

表 16-4 製品生産量の算出例

条件	処理水量	m ³ /日	10,000	50,000	100,000	500,000	流入下水量	備考 (回収率の設定条件)		
	流入リン濃度	mg/l	5	5	5	5				
	流入リン量	kg/日	50	250	500	2,500				
		t/年	18	91	183	913				
MAP								処理対象	処理方式	汚泥消化
ケース1	脱水ろ液量	m ³ /日	48	236	471	2,358		脱水ろ液	標準法	消化あり
	脱水ろ液リン濃度	mg/l	102.1	103.0	103.2	103.0				
	脱水ろ液リン負荷	kg/日	4.9	24.3	48.6	242.9				
		t/年	1.8	8.9	17.7	88.6				
	リン回収率	%	80%	80%	80%	80%	脱水ろ液リン負荷に対して			
	リン回収量	t/年	1.4	7.1	14.2	70.9	リン負荷量×リン回収率			
	MAPリン濃度	%(P)	12.6%	12.6%	12.6%	12.6%				
	MAP生産量	t/年	11	56	113	563	リン回収量/MAPリン濃度			
リン回収率	%	8%	8%	8%	8%	処理場流入リン負荷に対して				
ケース2	脱水ろ液量	m ³ /日	48	238	476	2,379		脱水ろ液	高度処理	消化あり
	脱水ろ液リン濃度	mg/l	122.9	123.9	124.2	124.0				
	脱水ろ液リン負荷	kg/日	5.9	29.5	59.1	295.0				
		t/年	2.2	10.8	21.6	107.7				
	リン回収率	%	85%	85%	85%	85%	脱水ろ液リン負荷に対して			
	リン回収量	t/年	1.8	9.1	18.3	91.5	リン負荷量×リン回収率			
	MAPリン濃度	%(P)	12.6%	12.6%	12.6%	12.6%				
	MAP生産量	t/年	15	73	146	726	リン回収量/MAPリン濃度			
リン回収率	%	10%	10%	10%	10%	処理場流入リン負荷に対して				
ケース3	消化液量	m ³ /日	52	259	518	2,589		消化液	高度処理	消化あり
	消化液リン濃度	mg/l	326.0	326.0	326.0	326.0				
	消化液リン負荷	kg/日	17.0	84.4	168.9	844.0				
		t/年	6.2	30.8	61.6	308.1				
	リン回収率	%	90%	90%	90%	90%	消化液リン負荷に対して			
	リン回収量	t/年	5.6	27.7	55.5	277.3	リン負荷量×リン回収率			
	MAPリン濃度	%(P)	12.6%	12.6%	12.6%	12.6%				
	MAP生産量	t/年	44	220	440	2,200	リン回収量/MAPリン濃度			
リン回収率	%	31%	30%	30%	30%	処理場流入リン負荷に対して				

注) 処理対象水中のリン負荷量の80% (脱水ろ液対象), 高度処理がある場合 85% (脱水ろ液対象), 90% (消化液) を除去できるものとしてモデル計算すると, 流入リン量の約8~30%が回収される。

⑤生産物の品質と特徴

i) 生産物の品質

別途, 表 16-11 に示す。

ii) 生産物の特徴

MAPは, リン酸マグネシウムアンモニウムの結晶物であり不純物を殆ど含まない。製造過程からは白色の5mm以下の粒状で生産され, 粒の大きさや分布は製造時の反応, 攪拌条件により異なる。肥料としての特徴は, 水には水溶性ではないが, く溶性であるため緩効的な肥効を示す。

3) 灰アルカリ抽出法

①原理等

灰アルカリ抽出法は焼却灰を原料としたリン資源化技術である。焼却灰にNaOH溶液を添加して50~70℃に保持し, リンを溶出させ, リン酸塩として資源化できる。

②特徴

i) 回収対象リン濃度

本法では原料とする焼却灰のリン濃度はP₂O₅として25%以上が望ましいが, 18%~25%でも適用は可能である。

ii) 処理への影響因子等

当該処理場で利用している凝集剤が石灰系の場合には、アルカリ抽出が阻害されるため、本法を適用する場合にはアルカリ抽出に影響がない鉄系凝集剤等への変更が必要となる。

また、灰アルカリ抽出法では反応温度を保持するための加温が必要となるため、焼却炉の廃熱利用を前提とした計画が標準となっている。このため、廃熱利用が不可能な場合は別途熱源を用意する必要がある。

その他、灰抽出りん酸カルシウムにおいては、アルミニウム系凝集剤が焼却灰中に 10%以上含まれる場合、く溶性リン濃度が低下する傾向があるため留意する必要がある。

iii) 焼却灰の性状判断

資源化したりん酸塩は肥料としての利用が有望である。現在、肥料取締法で副酸りん酸肥料に該当するため、重金属類濃度上限値の目安は表 16-5 となる。

表 16-5 副産りん酸肥料基準項目の原料焼却灰の上限濃度の目安
(く溶性 P=15% の場合)

		単位	As	Cd
肥料取締法 基準値		%	0.004	0.00015
		mg/kg	600	22.5
灰アルカリ 抽出法	除去率	%	70	80
	上限濃度の 目安	mg/kg	< 2,000	< 1,125

注) 副産りん酸肥料基準の有害成分の最大量は、一般にく溶性りん酸 1.0% 当たりの含有量が定められており、く溶性りん酸の最小値である 15% 濃度では、例えば As の場合、 $0.004\% \times 15 = 600\text{mg/kg}$ となる。

iv) 留意点

リン資源化後の処理灰には、焼却灰の約 8 割に相当する量の処理灰が発生する。この処理灰は土質改良材等への利用が考えられている。重金属濃度が低いものはそのままの利用が可能であるが、リン資源化工程でアルカリ溶出しない金属は処理灰に残存・濃縮される場合があることに留意しておく。

③適用規模

表 16-6 に回収対象と設備規模について示す。

表 16-6 回収対象と設備規模

回収対象物	設備規模	根拠
焼却灰	400~10,000 t-Ash/年 (1.5t-Ash/日以上)	メーカー資料

④生産量

表 16-7 に製品生産量の算出例を示す。製品生産量は、下水処理場への流入リン量から算出

する場合、次式で算出できる。

$$\text{リン酸塩生産量} = \text{原料灰量} \times \text{リン酸塩回収率}$$

※ 原料灰量：リン回収設備へ投入する原料灰の量

表 16-7 製品生産量の算出例

条件	処理水量	m ³ /日	50,000	100,000	500,000	1,000,000	流入下水量
	流入リン濃度	mg/l	5	5	5	5	
	流入リン量	kg/日 t/年	250 91	500 183	2,500 913	5,000 1,825	
灰アルカリ抽出法							
焼却灰	焼却灰量	t-Ash/日	1.9	3.7	18.5	37.0	処理水量 × 0.000037
		t-Ash/年	540	1,080	5,402	10,804	稼働日数 = 292
リン酸塩	リン酸塩回収率	%	50%	50%	50%	50%	
	リン酸塩生産量	t/年	270	540	2,701	5,402	焼却灰量 × 回収率
	リン酸塩濃度	%(P ₂ O ₅)	30.0	30.0	30.0	30.0	
		%(P)	13.1	13.1	13.1	13.1	P/P ₂ O ₅ = 0.437
	リン回収量	t/年	35.4	70.8	353.8	707.6	生産量 × リン濃度
リン回収率	%	38.8%	38.8%	38.8%	38.8%	リン回収量 / 流入リン量	
脱リン灰	脱リン灰発生率	%	80%	80%	80%	80%	
	脱リン灰量	t/年	432	864	4,322	8,643	焼却灰量 × 発生率

注) 岐阜市の例をもとに生産量は原料灰量 (P₂O₅: 25%) の、①リン酸塩回収率を 50%、②処理灰発生率を 80%収率に設定すると、リン回収率は流入リン量の約 40%となる。

⑤生産物の品質と特徴

i) 生産物の品質

別途、表 16-11 に示す。

ii) 生産物の特徴

灰抽出リン酸カルシウムは、リン酸イオンを消石灰と反応させリン酸カルシウムの白色粉末として産出するものであり不純物を殆ど含まない。用途としては肥料や飼料の原料が考えられるが、肥料としての肥効性は高く、リン酸単肥とする場合には造粒加工が必要となる。

4) 部分還元溶融法

①原理等

部分還元溶融法は焼却灰を原料としたリン資源化技術である。電気抵抗式溶融炉にて焼却灰に Ca, Mg 等を添加し、適度な還元溶融とスラグの水砕処理により、P, Si, Ca, Mg を主成分としたスラグとしてリンを資源化する。

②特徴

i) 回収対象リン濃度

本法では原料とする焼却灰のリン濃度はP₂O₅として 20%以上が望ましく、このときの得られる製品中のく溶性リンは 13%程度となる。

ii) 残渣・飛灰

電気抵抗式溶融炉内では重金属類はメタルとして沈降し、スラグと分離されるため、重金属類の含有量が少なく、市販品の「熔成りん肥」に酷似した製品となる。沈降したメタルも鉄主成分の有価物として資源化される。さらに、溶融時の飛灰はリサイクルが可能である。

iii) 焼却灰の性状判断

現在、肥料取締法で熔成汚泥灰複合肥料に該当するため、重金属類濃度上限値の目安は表16-8となる。

表 16-8 熔成汚泥灰複合肥料基準項目の原料焼却灰の上限濃度の目安
(\lt 溶性 P + K = 13% の場合)

		単位	As	Cd	T-Hg	Ni	T-Cr	Pb
肥料取締法 基準値	%		0.002	0.000075	0.00005	0.005	0.05	0.003
	mg/kg		260	9.75	6.5	650	6500	390
部分還元 溶融法	除去率	%	95	95	95	90	60	90
	上限濃度 の目安	mg/kg	\lt 5,200	\lt 195	\lt 130	\lt 6,500	\lt 16,250	\lt 3,900

注) 熔成汚泥灰複合肥料基準の有害成分の最大量は、一般に \lt 溶性りん酸と \lt 溶性加里 1.0%当たりの含有量が定められており、 \lt 溶性りん酸と \lt 溶性加里の最小合計値である 13%濃度では、例えば As の場合、 $0.002\% \times 13 = 260\text{mg/kg}$ となる。

③適用規模

表 16-9 に回収対象と設備規模について示す。

表 16-9 回収対象と設備規模

回収対象物	設備規模	根拠
焼却灰	1,000~50,000 t-Ash/年 (2.7~137t-Ash/日)	メーカー資料

④生産量

表 16-10 に製品生産量の算出例を示す。製品生産量は、下水処理場への流入リン量から算出する場合、次式で算出できる。

$$\text{熔成汚泥灰複合肥料生産量} = \text{原料灰量} \times \text{熔成汚泥灰複合肥料回収率}$$

※ 原料灰量：リン回収設備へ投入する原料灰の量

表 16-10 製品生産量の算出例

条件	処理水量	m ³ /日	100,000	500,000	1,000,000	5,000,000	流入下水量
	流入リン濃度	mg/l	5	5	5	5	
	流入リン量	kg/日	500	2,500	5,000	25,000	
		t/年	183	913	1,825	9,125	
部分還元溶融法							
焼却灰	焼却灰量	t-Ash/日	3.7	18.5	37.0	185.0	処理水量 × 0.000037
		t-Ash/年	1,110	5,550	11,100	55,500	稼働日数 = 300
熔成汚泥灰 複合肥料	回収率	%	130%	130%	130%	130%	
	生産量	t/年	1,443	7,215	14,430	72,150	焼却灰量 × 回収率
	濃度	%(P ₂ O ₅)	15.0	15.0	15.0	15.0	
		%(P)	6.5	6.5	6.5	6.5	P/P ₂ O ₅ = 0.437
	リン回収量	t/年	94.5	472.5	945.1	4,725.3	生産量 × リン濃度
リン回収率	%	51.8%	51.8%	51.8%	51.8%	リン回収量 / 流入リン量	
メタル	メタル発生率	%	4%	4%	4%	4%	
	メタル量	t/年	44	222	444	2,220	焼却灰量 × 発生率
溶融飛灰	溶融飛灰発生率	%	4%	4%	4%	4%	
	溶融飛灰量	t/年	44	222	444	2,220	焼却灰量 × 発生率

注) 生産量は原料灰量にCa, Mg等が添加されるため, ①熔成汚泥灰複合肥料 1.3倍, ②溶融飛灰約4%, ③メタル約4%となり, 流入リン量の約50%が回収される。

⑤生産物の品質と特徴

i) 生産物の品質

別途, 表 16-11 に示す。

ii) 生産物の特徴

熔成汚泥灰複合肥料は, 1,400°Cの還元雰囲気下でCaOやMgOと混合溶融して得られるものであり, 原料に含まれる密度の重い金属類は溶融状態で分離され, 比較的軽い溶融物を熔リンに類似する資材として産出するものである。産出する時点では乳灰色のスラグであり, 大きさや形状は冷却の仕方異なる。肥料としての特徴は, HAP, MAP, 灰抽出リン酸カルシウムに比べてリン酸含有量は低い。肥料成分としてカリウムの他にケイ酸やマグネシウムを含む。

下水道から回収される生産物の組成分析結果の一例を表 16-11 に示す。

表 16-11 生産物の組成分析結果の一例

	HAP		MAP		灰抽出 リン酸カルシウム		熔成汚泥灰複合肥料	
水分	13.74	%	3.31	%	2.5	%	0.02	%
アンモニア性窒素 (N)			5.46	%				
リン酸全量 (P ₂ O ₅)	26.00	%			33.2	%	18.90	%
＜溶性リン酸 (P ₂ O ₅)	15.75	%	27.63	%	31.1	%	18.63	%
水溶性リン酸 (P ₂ O ₅)	0.07	%	0.38	%	< 0.01	%		
加里全量 (K ₂ O)							1.80	%
石灰全量 (CaO)	24.94	%			50.8	%	28.45	%
苦土全量 (MgO)					0.26	%	16.00	%
＜溶性苦土 (MgO)			15.50	%			15.87	%
水溶性苦土 (MgO)			1.36	%				
＜溶性マンガン (MnO)					< 0.01	%		
けい酸全量 (SiO ₂)					< 0.01	%	23.04	%
硫青酸化物 (NH ₄ SCN)			< 0.02	%				
亜硝酸 (HNO ₂)			< 0.01	%				
ピウレット性窒素 (N)			< 0.02	%				
スルファミン酸 (NH ₂ SO ₃ H)			< 0.01	%				
アルカリ分							49.90	%
酸化鉄 (Fe ₂ O ₃)					0.01	%	0.44	%
酸化アルミニウム (Al ₂ O ₃)					1.33	%	10.00	%
強熱減量					5.5	%	0.08	%
水銀 (Hg)	< 0.000001	%			0.006	mg/kg	< 0.05	mg/kg
ひ素 (As)	0.0008	%	< 0.001	%	5.1	mg/kg	0.4	mg/kg
カドミウム (Cd)	< 0.0001	%	< 0.0001	%	< 1	mg/kg	0.3	mg/kg
銅 (Cu)							110	mg/kg
亜鉛 (Zn)							180	mg/kg
ニッケル (Ni)	< 0.0001	%	< 0.001	%	< 5	mg/kg	2.5	mg/kg
クロム (Cr)	0.0005	%	< 0.005	%	< 20	mg/kg	20	mg/kg
鉛 (Pb)	0.0002	%			< 5	mg/kg	6.7	mg/kg
チタン (Ti)			< 0.01	%	19	mg/kg		

(3) 製品生産量当たりコストの目安

①HAP法, ②MAP法(脱水ろ液, 消化液), ③灰アルカリ抽出法, ④部分還元溶融法の4技術について, 製品生産量当たり建設費・維持管理費の試算を図16-2に示す。ここで, HAP法およびMAP法は高度処理有り・消化有りの場合について示した。高度処理無しや消化無しの場合は, 製品生産量が減少し, コストが割高となることに留意する必要がある。また, 製品生産量が回収対象物の約3割である灰アルカリ抽出法については, 維持管理費が割高となり, 8割を占める処理灰の利活用を含めた検討が必要とされる。その他, 製品品質に対する需要者のニーズとリン資源化技術のマッチング調査が重要となる。

また, 維持管理費は, HAP法やMAP法(脱水ろ液)には人件費が含まれておらず, MAP法(消化液)には人件費と補修費が含まれていない。年価についてはMAP法(消化液)や灰アルカリ抽出法では建屋が含まれていないので留意する必要がある。

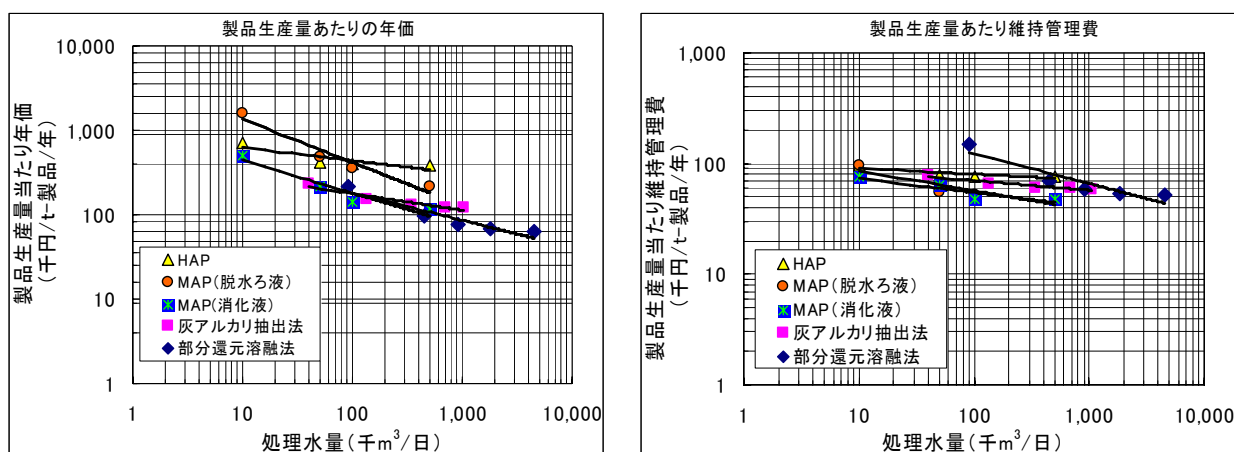


図16-2 処理水量と製品生産量当たり建設費・維持管理費の試算

現在, 実用化可能なリン資源化技術として, ①HAP法, ②MAP法(脱水ろ液, 消化液), ③灰アルカリ抽出法, ④部分還元溶融法の4技術についてその特徴を整理すると, 表16-12のとおりとなる。

なお, 図16-2は, 4技術の各々の製品量当たりのコストが一度で把握できるように処理水量に対して示しているが, 実際には回収対象物に応じてリン資源化技術を選択するため, 資料編「4. 費用関数(参考)」では各技術の回収対象物ごとで示している。

表 16-12 リン資源化技術の特徴一覧（その1/2）

資源化技術	HAP法	MAP法	
回収対象	総合返流水, 脱水ろ液	嫌気性消化法の脱水ろ液 (自治体ヒアリング)	嫌気性消化法の消化液
回収対象リン濃度	PO ₄ -Pで 10~50mg/ℓ程度	PO ₄ -Pで 150mg/ℓ程度	PO ₄ -Pで 100mg/ℓ以上
設備規模	返流水量, 脱水ろ液量として 500~5,000 m ³ /日	500 m ³ /日 程度 (最大 1,000m ³ /日・基)	200 m ³ /日・基 程度
リン回収率	処理対象水PO ₄ -Pに対し 80% (反応槽pH8.5, 水温 25℃)	処理対象水PO ₄ -Pに対し, サイクロン有 70%, 無 50% (反応槽pH8.5, 水温 25℃)	処理対象水PO ₄ -Pに対して 90%
生産物の量	・生産物(HAP) ・処理場流入リン負荷の 返流水: 7%, 消化あり 11% 脱水ろ液: 5%, 消化あり 8%	・生産物(MAP) ・処理場流入リン負荷の 8%, 高度処理あり 10%	・生産物(MAP) ・処理場流入リン負荷の 30%(高度処理あり)
生産物のリン濃度	15%以上 (く溶性リン: 30%以上の例あり)	12.6%~30%以上 (く溶性リン: 30%以上の例あり)	29%-P ₂ O ₅ (く溶性リン: 25% 以上)
生産物の特徴	・含水率 10%程度の乾燥物 ・カルシウムヒドロキシアパタイト(HAP) ・フレコンバックでの保管が可能	・リン酸マグネシウムアンモニウム(MAP) ・島根県: 分離装置後自然乾燥 ・福岡市: 製品化のため乾燥(電力) ・売却価格 H21 島根県 6.5 万円/t, 福岡市 3.1~3.3 万円/t	・リン酸マグネシウムアンモニウム(MAP) ・消化槽で自然発生したMAPも含めて回収
生産物の重金属類	ほとんど含まない	ほとんど含まない	ほとんど含まない
肥料登録例	りん酸質肥料(副産りん酸肥料)	複合肥料(化成肥料)	複合肥料(化成肥料)
肥料メーカー ※1 ヒアリング	・化成肥料原料として: ○ ・副産りん酸肥料の規格に合致すれば, 配合肥料原料として: ○	・化成肥料原料として: ○ ・化成肥料の規格に合致すれば, 配合肥料原料として: ○	・化成肥料原料として: ○ ・化成肥料の規格に合致すれば, 配合肥料原料として: ○
影響因子 阻害物質	カルシウムイオン, リン酸, pH, 温度 重炭酸イオン	マグネシウムイオン, リン酸, アンモニウムイオン, pH, 温度	マグネシウムイオン, リン酸, アンモニウムイオン, pH, 温度
資源化技術上の課題	・原水中のリン酸態リンを晶析, SS 態のリンは回収できない。 ・原水中の SS 濃度が高い場合, 薬品量が多くなる傾向。	・添加剤の Mg の単価が高いため, 最低限の高度処理対応となりやすい。 ・苛性ソーダの凝固点を下げるため, 24%濃度のタンク容量が必要。	・原水中の有機体リンは回収できない。
維持管理等	・実機で HAP を回収できるようになるには半年~1 年程度かかる。	・配管等の閉塞対策として, 配管ロスの増大を流量計により計測。 ・上記のため, 3 か月/回の頻度で 10% のクエン酸溶液で 2 日間洗浄。 ・上記のため, 設備は 2 系列とし, 洗浄用に数 10m ³ の貯留タンクが必要。	・リアクター内 MAP 濃度を適正に保つため, 定期的な濃度測定が必要。
導入実績	下呂市, 北塩原村	島根県, 福岡市, 大阪市	
建設費 維持管理費	・3.3 億円/50,000m ³ /日 ・7.0 百万円/年	・8.3 億円/50,000m ³ /日 ・4.1 百万円/年	・2.2 億円/40,000m ³ /日 ・6.5 百万円/年

※1: 今回ヒアリングメーカーでの意見であり, 全てのメーカーの意見ではないことに留意すること。

表 16-12 リン資源化技術の特徴一覧（その2 / 2）

資源化技術	灰アルカリ抽出法	部分還元溶融法
回収対象	焼却灰	焼却灰
回収対象リン濃度	焼却灰中の P_2O_5 で25%以上 (P_2O_5 で18~25%でも適用は可能)	焼却灰中の P_2O_5 で20%以上が望ましい。 く溶性リン13%程度
設備規模	400~10,000 t-Ash/年 (1.5 t-Ash/日以上)	1,000~50,000 t-Ash/年 (2.7~137 t-Ash/日)
リン回収率	リン抽出率：55%以上 リン酸塩析出率：90%以上	リン回収率：80%以上
生産物の量	・生産物(灰抽出リン酸カルシウム) 原料灰量の5割 ・処理灰 原料灰量の8割	・生産物(熔成汚泥灰複合肥料) 原料灰量の1.3倍 ・溶融飛灰 原料灰量の約4%
生産物のリン濃度	30%程度：岐阜市の例 (く溶性リン：25%以上)	15%程度 (く溶性リン：12%以上)
生産物の特徴	・リン酸カルシウム：500 t/1000t-Ash(P_2O_5 25%) ・処理灰：800 t/1000t-Ash (P_2O_5 25%) ・岐阜市：造粒後含水率20~30%に乾燥が必要 ・t単位でバック詰め搬出の予定	・下水道の終末処理場から生じる汚泥を焼成したものに肥料又は肥料原料を混合し、溶融したもの。 ・重金属類を分離。
生産物の重金属類	ほとんど含まない	ほとんど含まない (重金属類を別途回収可能)
肥料登録例	りん酸質肥料(副産りん酸肥料)	複合肥料(熔成汚泥灰複合肥料)
肥料メーカー※1 ヒアリング	・化成肥料原料として：○ ・副産りん酸肥料の規格に合致すれば、配合肥料原料として：○	・化成肥料原料として：○(化学的操作を加える場合を除く) ・熔成汚泥灰肥料の規格に合致すれば、配合肥料原料として：○
影響因子 阻害物質	カルシウムイオン、アルミニウムイオン	アルミニウムイオン
資源化技術上の課題	・反応温度50~70℃への加温が必要であり、焼却炉の廃熱利用が前提。 ・リン酸塩析出後の乾燥。 ・処理灰の利用方法。	・排ガス対応が必要。 ・通常の電気炉の場合、メタル対応への改良が必要 ・平炉の場合、重金属が残る。
維持管理等	・石灰系凝集剤によりアルカリ抽出が阻害されるため、影響がない鉄系凝集剤の使用が必要。 ・Al系凝集剤が焼却灰中に10%以上含まれる場合、く溶性リン濃度が低下する。	・有害物質のうち%オーダーの鉛がある場合、基準値を超過。 ・副産物のうち、リン鉄は有価物。飛灰もリサイクル可能。
導入実績	岐阜市	
建設費 維持管理費	・7.0億円/5t-Ash/日(廃熱利用可) ・80百万円/年	・69.4億円/54.8t-Ash/日 ・815百万円/年

※1：今回ヒアリングメーカーでの意見であり、全てのメーカーの意見ではないことに留意すること。

§ 17 資源化リンの性状等に応じた用途・需要者の洗い出し

§ 16で想定した資源化リンの性状，品質，量から，資源化リンがどのような用途に利用可能であるか検討し，需要者の洗い出しを行う。

【解説】

(1) 下水道から資源化される生産物の利用用途

表 17-1 に資源化リン製品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，各処理場から資源化リン製品の品質と生産量をもとに，表 17-1 に示すような肥料関係団体を通す等して，需要者と連携していく必要がある。

表 17-1 資源化リン製品の利用用途と特徴等

利用用途 頁 目	肥 料	肥料原料
生産物	HAP, MAP, 灰抽出リン酸カルシウム, 熔成汚泥灰複合肥料	
概 要	①肥料製造者として直接販売可能。 ②全農や肥料製造会社からの受託生産。 ③商社を通して販売。	取引先は肥料製造会社や商社
特 徴	①肥料登録必要。 ②販売価格を市場価格相当に設定可能。	①肥料原料によっては肥料登録必要 ②「肥料」としての直接販売より安価
対象製品	①化成肥料 (MAP) ②副産りん酸肥料 (HAP, 灰抽出リン酸カルシウム) ③熔成汚泥灰複合肥料	①化成肥料原料 ②配合肥料原料
その他	製品が大量の場合は地産地消型を含め 広域循環型の検討が必要	比較的大量の取扱い可能
肥料関係団体	日本肥料アンモニア協会, 熔成磷肥協会, 肥料協会, 全国複合肥料工業協会, 全国肥料商業組合連合会 等	

肥料は，大きく，肥効のための単一の成分供給を目的とする単体肥料（単肥ともいう）と，二つ以上の肥効成分を含有保証する複合肥料に分けられる。

ここで，下水道からの生産物であるMAP，灰抽出リン酸カルシウム，熔成汚泥灰複合肥料の肥効性を他の肥料，資材と合わせて横断的に調べた唯一のデータが後藤逸男(2010)により示されている。後藤らは，リン酸資材の肥効を同一条件によりチンゲンサイと水稻を用いたポット試験により調べ，図 17-1，図 17-2 および図 17-3 に示す結果を得た。MAPと灰抽出リン酸カルシ

ウムは双方の生育に高い効果を示し、熔成汚泥灰複合肥料は水稻に高い効果を示した。また、処理灰も水稻には有効との結果を示した。

一方、HAPを唯一肥料登録している北塩原村によるベニバナインゲン（花豆）を用いた栽培試験からは、収穫豆数比で〔無添加〕：〔市販リン肥料〕：〔HAP〕＝〔100〕：〔108〕：〔137〕と、HAPの肥効性が高い結果を得ている。

これらのことから、本手引きで対象とする生産物は単体肥料（単肥）としての利用価値があり、そのものを“肥料”として用いることができることを示している。すなわち、複合肥料用の“複合肥料原料”になることは勿論のこと、化学・化成肥料用の優良な原料にもなる。

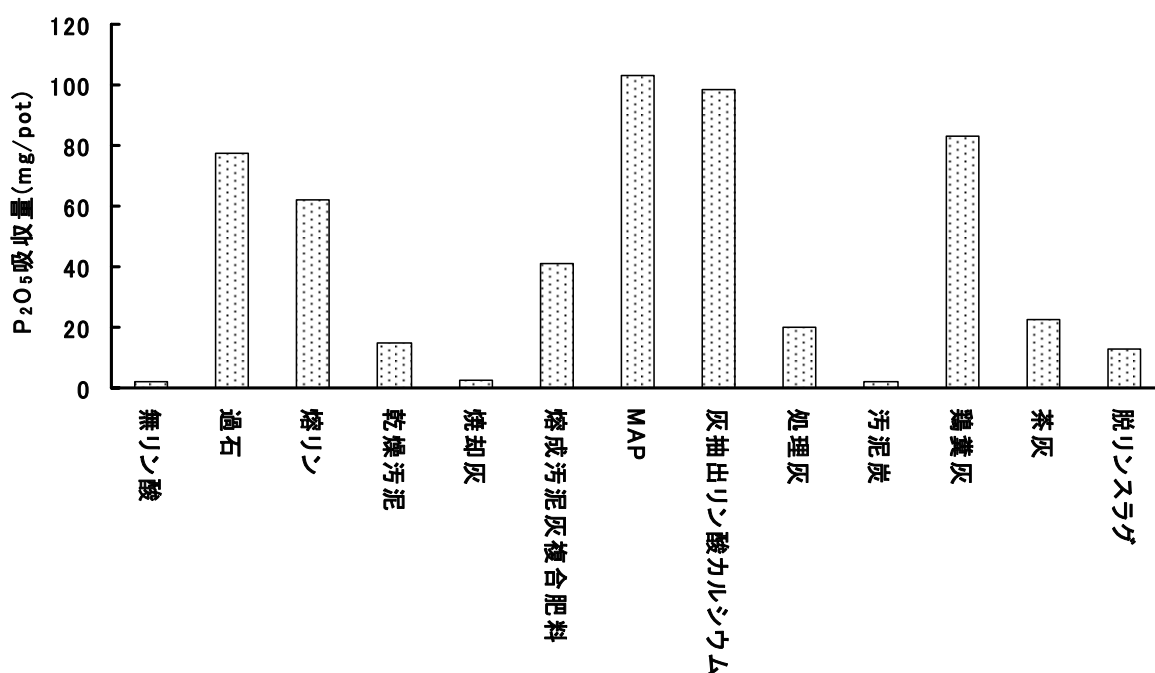


図 17-1 ポット栽培試験におけるチンゲンサイのリン酸吸収量の比較（後藤逸男氏提供）

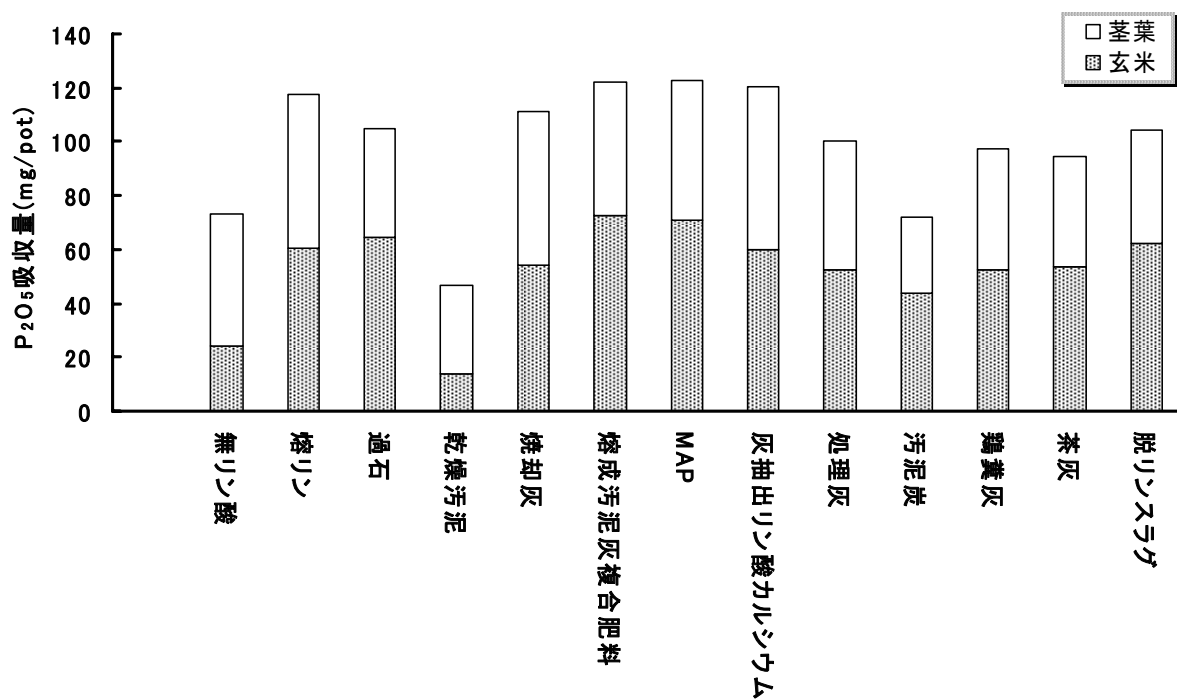


図 17-2 ポット栽培試験における水稻のリン酸吸収量の比較 (後藤逸男氏提供)

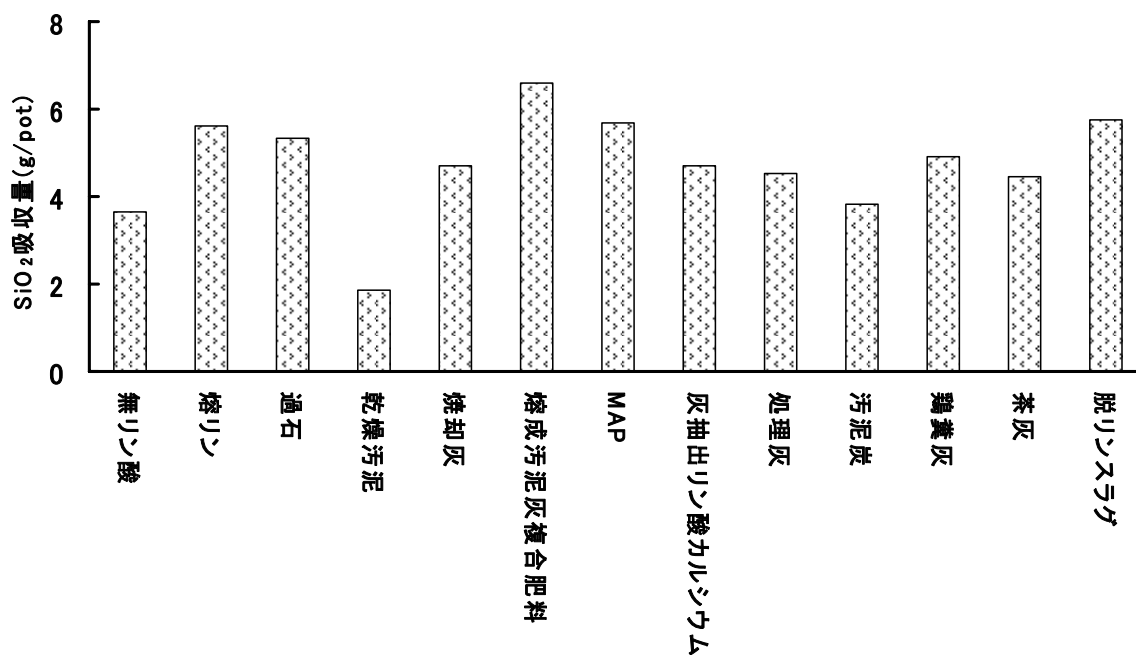


図 17-3 ポット栽培試験における水稻のケイ酸吸収量の比較 (後藤逸男氏提供)

(2) 需要者の洗い出し

§16で想定したHAP, MAP, 灰抽出リン酸カルシウム, 熔成汚泥灰複合肥料の4種類の生産物は, 一般的に肥料および肥料原料としての使用が可能である。そのため, 下水道から資源化される生産物の需要者には,

- 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肥料二次生産会社 (化成肥料製造・配合肥料製造等)
- ⑤肥料一次生産会社 (リン鉱石から肥料原料を製造)

があげられる。

地産地消型における需要者は, 営農者や肥料販売店等が主であり, 広域循環型における需要者としては肥料流通会社, 肥料一次生産会社ならびに肥料二次生産会社がある。

需要者のニーズを適切に把握するためには, リン資源化製品の品質と生産量をもとに, 肥料関係団体を通す等して, 需要者と連携していく必要がある。

§ 18 需要者のニーズ把握

（「リン資源化技術」と「需要者のニーズ」とのマッチング調査）

§ 17 で洗い出しをした需要者に対してヒアリング等を行い，資源化リンの性状，品質，量等に関する具体的ニーズを把握し，§16 で想定した資源化リンの性状，品質，量とマッチするか確認する。

【解説】

需要者からの要求は，良好な品質のものが必要量を安定して利用できることにある。このために生産物の品質と生産体制，量を開示し，需要者と協議していくことが円滑に事業を進めていくうえでの一歩となる。

事業化に当たっては，地産地消型および広域循環型それぞれの需要者が要求する生産物の利用用途が異なることから，需要者に生産物の品質や生産体制，量等の情報を開示するとともに，ヒアリング等を行い具体的なニーズを把握し，資源化リン製品とのマッチングを確認する。

（1）リン資源化生産物に関する情報開示

生産物を広く需要者に開示する内容は次のとおりである。

- * リン資源化事業者名と連絡先
- * リン資源化場所（処理場（工場）名，所在地）
- * リン資源化方法（技術概要）
- * 製品に関する次の事項
〔主要成分〕，〔肥料としての特徴〕，〔生産量〕，〔その他の品質〕

（2）ヒアリング内容

1）地産地消型

地産地消型の場合の需要者は農家等の営農者が身近な対象者となる。そこでは単体肥料として扱える肥料が求められることが多く，そのことも考慮に入れて，次の内容のヒアリングを行う。

- * 必要とする肥料成分と肥料の種類（実績も含む）
- * 必要とする量と時期（実績も含む）
- * 現在の入手価格
- * 希望する製品の梱包形態
- * 希望する取引価格，取引方法

2) 広域循環型

広域循環型の場合には肥料としての他に化成肥料の原料として扱える製品が求められる。ヒアリングの内容は次のとおりである。

① 肥料

- * 必要とする肥料の特徴, 種類
- * 必要とする量と時期
- * 希望する取引方法

② 肥料原料

- * 主な加工・製造製品と生産量 (実績値)
- * 必要とする原料の性状, 品質, 特徴
- * 必要とする量と時期
- * 希望する取引方法

【参考】

(1) 地産地消型の需要者

地産地消型の需要者に関しては、前衛の営農者が従来取ってきた、またはこれからの営農者が目指す施肥栽培は、作物と土壤環境の関係に適した肥効成分の調整、施肥を行うことにある。このために土壤診断に基づく最適な施肥設計が立てられ、必要な肥料が選択されることから単体肥料(単肥)として扱える“肥料”が求められる。

肥料の使用者である営農者と直接的に接することになる肥料販売店の要求もおのずとこれに近づき、肥料流通関係者の要求もそれに近づいていくものと思われる。さらには、地域における個別営農者の要求、要求に応じた配合設計肥料を提供できるシステム(レディーミクストコンクリートプラントのようなシステムを想像するとよい)ができる可能性も高く、事業化の検討に際してはこれらの動向についても調査しておきたい。

(2) 広域循環型の需要者

広域循環型の需要者に関しては、現在主流の化成肥料用としての原料性についての肥料メーカーヒアリングによると、化成肥料原料に向いている順に、[リン酸液] > [HAP, MAP, 灰抽出リン酸カルシウム] > [熔成汚泥灰複合肥料] が得られている。これは、化成肥料としてN, P, Kの肥料三大要素の含有率を任意に設定する際の原料としての使い易さ、加工利用のし易さによるものである。

§ 19 流通形態の検討（「下水処理場の特性」と「需要者のニーズ」とのマッチング調査）

対象とする下水処理場の立地や資源化リンの量等と、需要者の事業形態（業種，利用方法等）や需要地がマッチするか確認し，流通形態（地産地消型または広域循環型）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，規模と，それを支える販売，流通経路が存在する。

（1）流通の概要

生産量と需要量の関係を肥料の需給，流通から地域特性としてみた場合，生産量に対して需要量が多い地域は地産地消型の流通が主体となる。一方，逆の場合はおのずと地域を越えた広域循環型の流通が主となってくる。これらの関係に，販売・流通経路を加味して模式的に表した販売・流通経路体系を図 19-1 に示す。図中のそれぞれ①～④の流通経路の概要は次のとおりである。

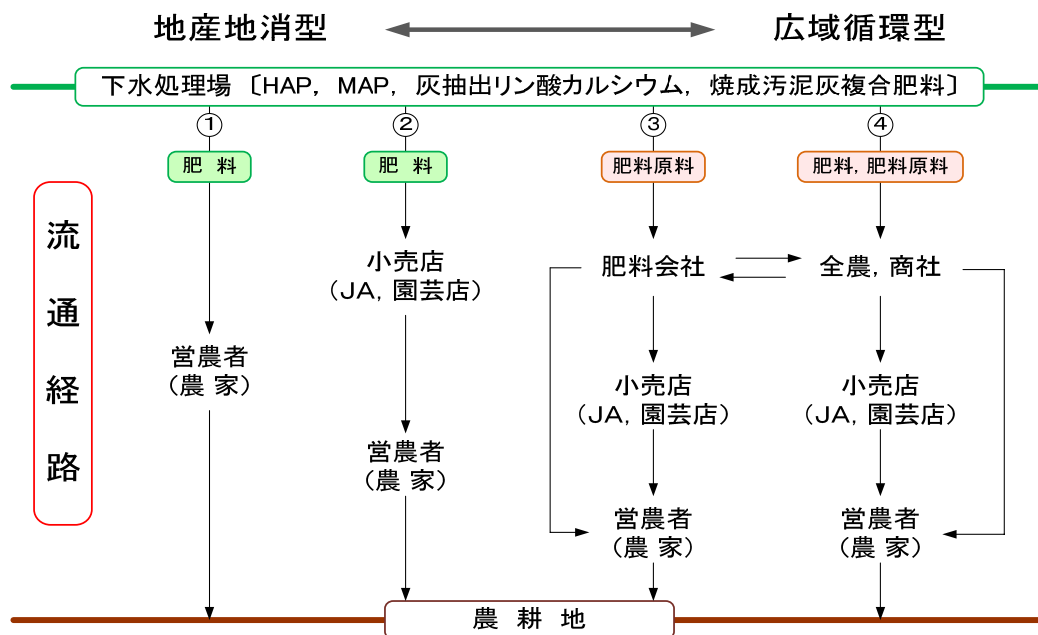


図 19-1 販売・流通経路体系

〔流通経路：①〕 資源化製品を“肥料”として，直接，農家等の営農者に渡す（販売する）ケースである。

〔流通経路：②〕 資源化製品を“肥料”として，地域の J A や園芸店等の小売店を通じて販売，流通させるケースである。

〔流通経路：③〕 資源化製品を“肥料原料”として肥料会社に卸し、その後、“化成肥料”や“配合肥料”として流通していくものである。

肥料会社から、“肥料”となったものが直接に農家等の営農者に流通するケースと、地域のJAや園芸店を通じて営農者に流通していくケース、さらに、全農や商社等を通じて広範囲、大規模に流通していくケースがある。

〔流通経路：④〕 資源化製品を全農や商社等を通じて広範囲、大規模に流通していくケースであり、“肥料”としての流通と“肥料原料”としての流通がある。

“肥料”として流通する場合は、“肥料”を全農や商社等に卸し、そこから直接に農家等の営農者に流通するケースと、地域のJAや園芸店を通じて営農者に流通していくケースがある。

“肥料原料”として流通する場合は、全農や商社等が肥料会社との仲立ちとなり流通していくケースで、その後は〔流通経路：③〕のルートで流通していく。

（2）流通形態の検討

流通の形態は次の3つが考えられる。もっとも相応しい流通形態を図19-1の経路を参考にしながら検討、選定する。

1) 地産地消型

- * 独自の自治体の活動力が及ぶ範囲内の流通と考える。
- * この場合、地産地消型の事業となる。
- * 域内での利用・消費可能量以内の生産量となることが前提となる。
- * 域内に流通事業者がない場合は、次の2つを検討する。
 - 独自に流通に当たる。
 - 流通に当たる事業者を設立する。

2) 地産地消型と広域循環型の併用型

- * 生産量が域内消費量を越える。

3) 広域循環型が主流となる型

- * 生産量が域内消費量を遥かに越える。
- * 域内需要量への対応については、生産量に対して少ない扱い量となることから、前項1)の対応の他に、製造工場の工程管理の一部（一環）に位置付け、取扱っていくことも考えられる。

（3）需要者との流通協議

選定された流通形態に該当する域内の需要者に対して、生産品に関する製造方法や性状、品質、製品量等の情報を開示して、取扱いを希望する需要者を募る。情報開示・公募に際しては、応募者が多数の場合の取り計らい方法についても明示しておく。

応募した取扱い希望の需要者と、流通、取引条件について協議し、取り決める。

なお、域内に肥料販売店等の流通業者が存在していても、これが需要者とならずに協力が得られない場合、特に、これが地産地消型で生じた場合は、独自流通や流通事業者設立を検討するとともに、それでも不可能となった場合は広域循環型の流通を検討する。

【参考】

本セクションの「流通形態の検討」は、前掲の「§ 15 下水処理場の特性把握」、「§ 16 下水処理場の特性とリン資源化技術とのマッチング調査」および「§ 17 資源化リンの性状等に応じた用途・需要者の洗い出し」と密接に関係しており、ここでは流通に関する事項に限定して検討の手順を整理すると、次のようになる。

(1) 需要量分布調査

作付品目別耕作面積、地目別休耕面積、耕作放棄面積および肥料流通量の過去5年間の実績を、独自の都道府県分と、そこに存在する自分の自治体を含めた全市町村の個々の分について調べる。

それぞれへの標準的な肥料の施用量は、地域の農業指導員、または都道府県の農業試験場・研究所や農業関係部署、各自治体の農業関係部署に問い合わせると、地域の土壌特性と作物に応じた値を知ることができる。

(2) 生産品目と生産可能量調査

対象とする下水処理場の特性から、(1)の需要量分布調査の結果を踏まえ、生産する品目と生産量、生産場所等について調査検討する。

(3) 肥料取引、肥料製造業調査

独自の自治体内、都道府県内および地方農政局管内における肥料取引業者と肥料製造業者のリストを整備する。その内容は、事業所在地、事業内容と事業実績等である。

また、全国展開している肥料取引業者や肥料製造業者についても調査しておく。

(4) 流通形態の検討

前項(1)、(2)および(3)の結果を総合的に判断、評価して、もっともふさわしい流通形態を本セクションに基づき検討する。

第4節 事業化の検討

§ 20 経済性の検討

リン資源化に係るコストを計算するとともに、類似の製品の市場調査等により資源化リンの販売価格を想定し、事業採算性を検討する。この際、高度処理を目的として、例えばMAP法導入を検討する場合等においてはリン資源化に係るコストの範囲に留意する必要がある。

【解説】

経済性の検討に必要なリン資源化に係るコストや生産物の販売価格の予測手法例を示す。

リン資源化の経済性の検討に必要な項目を表 20-1 に示す。リン資源化に係わるコストには、施設の建設費や電力、薬剤や保守点検等の施設運用に係わる維持管理費等の支出と資源化リンの売却により得られる収入がある。また、原料汚泥の収集や販売、流通等が発生する場合はその経費を見込む必要がある。一方、販売価格については、製品売却による利益とリン資源化に係わるコストとを比較検討し、設定する必要がある。

表 20-1 リン資源化の経済性に関する検討項目

項 目	備 考
1) 建設費	土木・機械・電気設備, その他必要な付帯設備
2) 維持管理費	
副資材・消耗材	薬剤, 交換部品等
投入エネルギー	電力, 都市ガス, 重油, 灯油
人件費	施設の管理・運転に必要な人数
3) 製品生産量, 副産物量	肥料, 廃棄物等
4) その他	原料等の収集経費, 流通・販売経費, 品質管理(検査, 肥料登録), 包装出荷, 流通(倉庫, 運搬), 販売経費

(1) 建設費と維持管理費

HAP法, MAP法, 灰アルカリ抽出法および部分還元溶融法の建設費と維持管理を次に示す費用関数を用いて求める。

1) HAP法—返流水対応〔適用範囲：10,000～500,000 m³/日—下水処理量〕

① 建設費（日最大水量）

$$\text{建設費(百万円)} = 6.0893 \times \text{下水処理量(千m}^3/\text{日)} + 35.771 \quad [1]$$

② 維持管理費（日平均水量：人件費を含まない）

$$\text{維持管理費(百万円/年)} = 0.1374 \times \text{下水処理量(千m}^3/\text{日)} + 0.1797 \quad [2]$$

2) HAP法—脱水ろ液対応〔適用範囲：10,000～500,000 m³/日—下水処理量〕

- ① 建設費（日最大水量）

$$\text{建設費(百万円)} = 1.4529 \times \text{下水処理量(千m}^3/\text{日)} + 46.877 \quad [3]$$
- ② 維持管理費（日平均水量：人件費を含まない）

$$\text{維持管理費(百万円/年)} = 0.0339 \times \text{下水処理量(千m}^3/\text{日)} + 0.2515 \quad [4]$$
- 3) MAP法—脱水ろ液対応〔適用範囲：10,000～500,000 m³/日—下水処理量〕
- ① 建設費（日最大水量）

$$\text{建設費(百万円)} = 2.2591 \times \text{下水処理量(千m}^3/\text{日)} + 244.00 \quad [5]$$
- ② 維持管理費（日平均水量：人件費を含まない）

$$\text{維持管理費(百万円/年)} = 0.0684 \times \text{下水処理量(千m}^3/\text{日)} + 0.7022 \quad [6]$$
- 4) MAP法—消化液対応〔適用範囲：10,000～500,000 m³/日—下水処理量〕
- ① 建設費（日最大水量）

$$\text{建設費(百万円)} = 1.9888 \times \text{下水処理量(千m}^3/\text{日)} + 107.98 \quad [7]$$
- ② 維持管理費（日平均水量：人件費，補修費を含まない）

$$\text{維持管理費(百万円/年)} = 0.1334 \times \text{下水処理量(千m}^3/\text{日)} + 0.6595 \quad [8]$$
- 5) 灰アルカリ抽出法〔適用範囲：400～10,000 t/年—灰〕
- ① 建設費（日平均量：建屋等を含まない）

$$\text{建設費(百万円)} = 0.2076 \times \text{灰量(t-Ash/年)} + 167.05 \quad [9]$$
- ② 維持管理費（日平均量：点検・修繕費を含む）

$$\text{維持管理費(百万円/年)} = 0.0192 \times \text{灰量(t-Ash/年)} + 3.343 \quad [10]$$
- 6) 部分還元溶融法〔適用範囲：1,000～50,000 t/年—灰〕
- ① 建設費（日平均量）

$$\text{建設費(百万円)} = 0.1420 \times \text{灰量(t-Ash/年)} + 979.24 \quad [11]$$
- ② 維持管理費（日平均量：点検・修繕費を含む）

$$\text{維持管理費(百万円/年)} = 0.0352 \times \text{灰量(t-Ash/年)} + 122.45 \quad [12]$$

(2) 販売価格の設定例

販売価格は需要先が求める品質や形状，荷姿，流通量等により影響される。リン資源化事業を行う中で販売価格を設定するためには生産する製品の一般的な市場価値を知ることが重要である。また，市場価格やリン需要の動向を把握していく必要がある。

生産する資源化リンの一般的な市場価値を知る方法として，化成肥料価格の目安となっている化成肥料成分価（パリティ方式）で予測する方法があるので参考とする。

なお，パリティ方式で求めた価格はあくまでも肥料としての製品価値の参考とするもので，肥料原料としてメーカーに卸す場合には原料価格扱いとなり，通常は求めた価格よりも安価となる。また，肥料価格は一定ではなく，原料価格に応じた生産価格と需給価格のバランスで設定されているものであることにも注意しておく必要がある。

(3) 経済性の評価方法

経済性の評価に際しては、[13] 式を満足することができる販売価格を設定することが望ましい。極端に他の肥料の市場価格との差が大きくなるよう確認すること。

ここで、製品の販売価格の検討には、[14] 式により年価に換算した値（例えば、耐用年数：15年，利率：4.0%より算出される値）を用いる。

$$\frac{\text{製品生産量 (kg/年)} \times \text{販売価格 (円/20 kg)} / 20 \text{ kg} + \text{その他}}{\text{建設年価(百万円/年)} + \text{維持管理費(百万円/年)} + \text{その他}} > 1.0 \quad [13]$$

注) その他：分子はリン資源化による焼却灰処理処分費用軽減分等を，分母は収集経費，流通販売経費等を想定する。

$$\text{建設年価 (百万円/年)} = \frac{\text{建設費(百万円)} \times \text{利率} \times (1 + \text{利率})^{\text{耐用年数}}}{[(1 + \text{利率})^{\text{耐用年数}}] - 1} \quad [14]$$

(4) 高度処理の留意点

リン除去を目的にHAP法やMAP法を高度処理として導入を検討する場合，リン資源化に係るコストに含める費用の範囲に留意する。

リン資源化事業は，下水や下水汚泥からリンを資源化し，“肥料”や“肥料原料”を流通して事業が成立することを前提としている。そのため，リン回収から製品として販売するまでに掛かる費用（支出）および販売により得られる収益（収入）を対象としている。しかし，高度処理は下水処理の一環として取り組まれるため，その建設や維持管理も下水処理の範囲にあると考えられること，また，資源化リンの販売で得られる収益は下水処理場全体の維持管理費の低減に寄与すると考えられることから，HAP法とMAP法の経済性の検討には他の2つの資源化方法と分けた捉え方が必要である。

【参考】

＜化成肥料価格設定のための化成肥料成分価（パリティ方式）＞

化成肥料の価格に関しては、表 20-2 に示す化成肥料成分価（パリティ方式）により N、P、K の成分ごとに含有量 1% 当たりの成分価が設定されており、それを基に肥料価格が算出されている。

成分価を積み上げることで 20 kg 当たりの化成肥料の原料価（円/20 kg）が算出され、それに製造諸経費を加算することになる。この表の成分価や製造諸経費を用いることにより資源化リンの市場価格を想定することが可能となる。なお、市場における実際の販売価格には、表から求めた価格に販売手数料等の中間マージンが上乗せされている。

表 20-2 化成肥料成分価（抜粋）

1. 成分価			
成分	原料	区分	価格（円/%）
N	アンモニア性窒素	高度	25.6
		普通	31.6
P	一般のリン酸	高度	65.7
		普通	70.4
K	塩化加里	—	34.4
2. 製造諸経費			
			価格（円/20 kg 1 袋）
普通化成			543
高度化成	一般	667	
	機能	708	
	微量要素入り	699	
	肥効増進剤入り	708	
	硝酸系	708	
有機化成	基準	557	

出典：日刊実業報知穀肥特報 平成 20 年 7 月 2 日（水）第 15266 号より引用

化成肥料成分価（パリティ方式）の算出例を、高度化成の例を参考に以下に示す。

- 高度化成の成分割合；N：P：K=15%：15%：15%
- 高度化成の原料価=15%×25.6 円/%+15%×65.7 円/%+15%×34.4 円/%
 \doteq 1,885 円/20 kg（表 20-2 の各成分価を参照）
- 製造諸経費=667 円/20 kg（表 20-2 の高度化成（一般）を参照）
- 想定市場価格=1,885 円/20 kg+667 円/20 kg
 \doteq 2,552 円/20 kg

§21 事業形態の検討

リン資源化事業には、資源化リンを下水道管理者が肥料として農家等に販売するケース、肥料原料として肥料メーカー等に販売するケース等、様々なケースが想定される。例えば、大手の肥料メーカーに販売するケースでは、PFI事業者等として当該メーカーが参画することも考えられることから、ケースに応じた適切な事業形態について検討する。

【解説】

現在、リン資源化の事業化手法には、①主に資源化リンを下水道管理者が肥料として農家等に販売するケースの下水道事業者自ら事業化する場合、②肥料原料として肥料メーカー等に販売するケースのDBO (Design Build Operate) 事業、またはPFI (Private Finance Initiative) 事業により肥料メーカー等と協力して事業化する場合が考えられる。

①の場合は、従来型の公共事業方式であり、②の場合は公民による協同事業方式である。PFIおよびDBOの事業における事業形態は次のようになっている。*、**

(1) 資金を民が準備して事業化するPFIの方式

1) BOT (Build Operate Transfer)

事業者が施設を建設、所有、運営し、事業期間終了後、発注者に施設の所有権を移転する。

2) BOO (Build Own Operate)

事業者が施設を建設、所有、運営し、事業期間終了後の施設の所有権の移転を想定しない。

3) BTO (Build Transfer Operate)

事業者が施設を建設した後、所有権を発注者に移転し、当該施設の運営を行う。

(2) 資金を公が準備して事業化するDBOの方式

1) DBO

事業者が施設の設計、建設、運営を一括して受託する。施設の所有権は発注者に帰属する。

2) DBM (Design Build Maintenance)

事業者が施設の設計、建設、維持管理を一括して実施する。施設の運営は発注者が行う。

* 東京下水道PFI研究会；「下水道初のPFI」, 環境新聞社

** 井熊均；「自治体PFIプロジェクトの実務」, 東洋経済新報社

【参考】 —PFI 事業の特徴等について—

<PFI 事業の特徴>

- ・ PFI 事業とは、公共事業を実施するための手法の一つで、民間の資金と経営能力・技術力（ノウハウ）を活用し、公共施設等の設計・建設・改修・更新や維持管理・運営を行う公共事業の手法。
- ・ 設計・建設・維持管理・運営といった業務を一括で発注し、“性能を満たしていれば細かな手法は問わない” 性能発注方式が採用されており、効率的なリスクの管理、良好な競争環境の構築等が期待できる。民間のノウハウを幅広く活かすことができることから、安くて質の良い公共サービスの提供を実現できる。
- ・ 施設の建設や維持管理等、現場での業務をゆだねることにより、行政は、自ら専ら担う必要性の高い分野へと選択的に人的資源を集中することができることとなり、公共部門全体における効率性の向上が期待される。
- ・ これまで行政が行ってきた業務へ民間が幅広く参加することになるため、民間にとっては新たな事業機会が創出され、経済の活性化に貢献できる。
- ・ 民間に幅広い業務を任せることになるので、行政がこれまで以上に民間の業務状況を把握して、管理や指導をしなければ、公共サービスの品質の低下を招く可能性がある。特にニーズがめまぐるしく変わる業務の導入には留意が必要。
- ・ 業務を任せる企業を選ぶ際には、価格だけでなく企業の持つノウハウや事業計画の内容についても評価しなければならないため、これまでと比べて事前の手続きに要する業務が増える。

出典：内閣府 民間資金等活用事業推進室(PFI 推進室) PFI 事業導入の手引き

<http://www8.cao.go.jp/pfi/tebiki/index.html>

<PFI 事業の事業方式>

BTO方式、BOT方式、BOO方式およびRO方式等のいくつかの事業方式がある。例えば、BTO方式の場合、Build（建てて）—Transfer（所有権を移転して）—Operate（管理・運営する）の頭文字をとって図21-1のように呼ばれている。

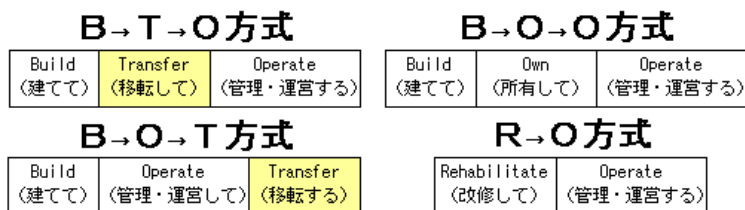


図 21-1 事業方式の種類

RO方式を除いた3つの方式は、供用開始後（工事完成後）の施設の所有者が異なる。BT

○方式では地方公共団体が、BOT方式およびBOO方式では民間事業者が施設の所有者となる。RO方式とは、既存施設の改修を行う方式で、その他の3つの方式は新設施設を対象とした方式である。

PFIの事業方式は、PFI導入可能性調査の中で、法令や制度上の制約や事業の特性等から総合的に判断し、決定されている。

<PFI事業の事業類型>

PFI事業における事業類型の概要を図21-2に示す。

地方公共団体が民間事業者へお金を支払う形態をサービス購入型という。一方、地方公共団体が民間事業者へお金を支払わず、利用者が料金を支払う形態を独立採算型という。これらは事業方式ではなく、事業類型という言葉で示されることが多い。なお、サービス購入型と独立採算型を合わせた形態（ミックス型）もある。

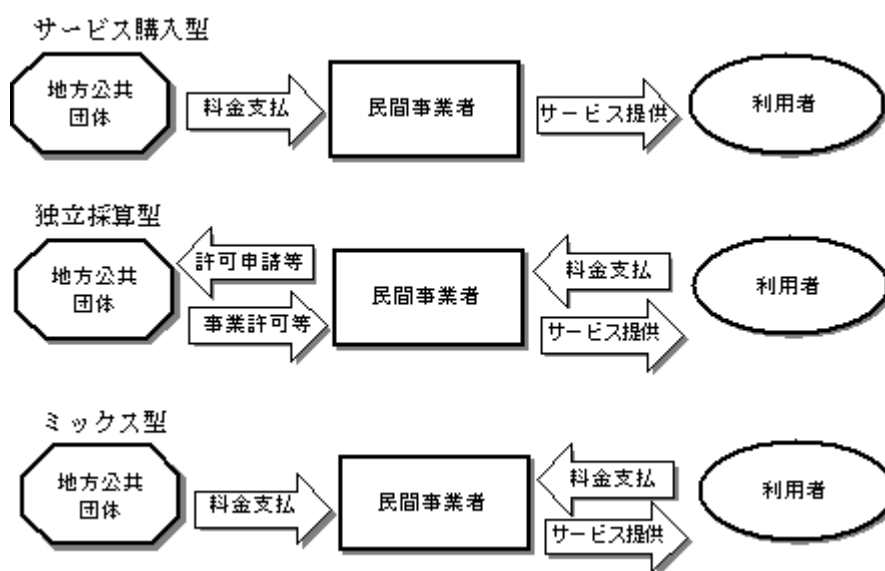


図21-2 PFI事業の事業類型

出典：内閣府 民間資金等活用事業推進室(PFI推進室) PFI事業導入の手引き

<http://www8.cao.go.jp/pfi/tebiki/index.html>

第4章 品質管理

第1節 品質管理

§ 22 品質管理

資源化リン製品の流通を安定的に維持していくためには、リン資源化事業の実施主体と、生産者と直接取引関係にある需要者との間で取り交わされた主要成分の含有率等に関する取り決めが適正に守られていなければならない。また、資源化リンは肥料または肥料原料として流通していく場合、その品質は「肥料取締法」に定める基準に適合していなければならない。

【解説】

資源化するリン製品を安心して利用でき、安定した流通となり、それが維持、継続されていくためには、直接取引関係にある需要者との間で交わされる主要成分の含有率等に関する取り決めが適正に守られていくことが肝要である。また、製品が肥料資材として流通する場合、製品の品質は「肥料取締法」が定める基準に適合していなければならない。

(1) 主要成分の品質管理

1) “肥料原料”としての品質管理

製品を肥料生産会社等に“肥料原料”として提供していく場合、取引上の取り決めとして主要な成分について定められた項目の含有量等が適正に守られていくように、製造過程の管理手法を定めておく必要がある。

2) “肥料”としての品質管理

製品を“肥料”として登録、流通する場合にあっては、肥料取締法での規格により含有すべき最小量や含有を許される最大量が定められている成分について、指定された肥料分析方法に従って成分分析を行い、管理する。

3) 主要成分の簡易測定法の必要性

主要成分の保証が製品流通の基本である。主要成分は製造過程で制御されることから、製造の工程管理や配合設計に迅速に適用できる主要成分の簡易分析法等の開発も肝要と考えられる。

(2) 有害物質の管理

1) リン資源化事業化に際しての重要な視点

下水道管理者が、本手引きに従って検討を進め、このセクションに至るまでをクリアしてきたならば、その検討内容はリン資源化の実現性が高いと評価できる。その場合に重要なことは、検討してきた資源化技術から得られる資源化リン製品は「有害物質の基準・規制値」を十分に満

足していけるものであるということである。

2) 下水道管理者の役割

リン資源化事業化に際しては、肥料取締法の基準を達成することはもとより、下水道管理者として、下水道法やこれまでの独自の維持管理手法・指針に従った、或いは新たな手法・指針を検討して品質の確保に努めていくことが肝要である。

3) 下水道製品の農業利用に係わるその他の基準、法律等

下水道から得られる製品の農業利用に関しては次に示す基準や法律等が関係するが、下水道管理者にとって、これらの基準や条件に対する達成の可否の判定は、製品製造前の原料に対して、或いは事業化そのもの成否の検討に際して行うものである。このため、各基準や法律等は本手引きの「§ 15 下水処理場の特性把握」や「§ 16 下水処理場の特性とリン資源化技術とのマッチング調査」の際に重要となり、詳細を把握して適用する。これらの詳細は「資料編」に示した。

- ① 農用地における土壌中の重金属類等の蓄積防止に関する管理基準
- ② 農用地の土壌の汚染防止等に関する法律
- ③ 土壌汚染対策法の基準

(3) 肥料生産・販売者としての義務事項

1) 肥料取締法上の義務事項と留意点

資源化リン製品を肥料登録し、市場に流通していくに当たり肥料取締法の義務事項を遵守していく必要がある。そこでは、生産業者および販売業者としての保証票の表示や生産・販売を行う事業場ごとの帳簿の備付けが必要であり、場合によっては報告の徴収や立入り検査の実施もあり得る。また、一定期間経過後は肥料登録の更新が必要である。

2) 消費者との信頼関係

資源化リン製品の有用性と消費者との信頼関係を構築、維持していくために、品質の安全性や保証成分、肥効性等の維持、確認と情報提供をはじめ、商品の安定供給に努めていく必要がある。

第5章 検討事例

第1節 広域循環型検討例

§ 23 広域循環型検討例

近畿圏の多くの自治体が下水汚泥焼却灰を搬入している大阪湾広域臨海環境整備センター（通称：大阪湾フェニックス計画）を対象に、§ 14のリン資源化検討フローに基づき広域循環型の事業化可能性調査を行う。§ 14のリン資源化検討フローの検討項目に該当する大阪湾フェニックス計画における調査内容は以下の通りである。

- (1) 大阪湾フェニックス計画の現状把握（§ 15下水処理場の特性把握）
- (2) 大阪湾フェニックス計画とリン資源化技術とのマッチング調査（§ 16下水処理場の特性とリン資源化技術とのマッチング調査）
- (3) 資源化リンの用途と需要者について（§ 17資源化リンの性状等に応じた用途・需要者の洗い出し）
- (4) 肥料メーカーへのヒアリング調査（§ 18需要者のニーズ把握）
- (5) 大阪湾フェニックス計画における流通形態（§ 19流通形態の検討）
- (6) 大阪湾フェニックス計画における事業採算性調査（§ 20経済性の検討）
- (7) 大阪湾フェニックス計画における事業形態の検討（§ 21事業形態調査）

【検討事例】

1. 大阪湾フェニックス計画におけるリン資源化検討フロー

大阪湾広域臨海環境整備センター（通称；大阪湾フェニックス計画）は、近畿圏の多くの自治体から搬入されている下水汚泥焼却灰を、他の産業廃棄物とともに埋め立て処分している。

ここでは、大阪湾フェニックス計画を対象に、大量に搬入される下水汚泥焼却灰からリンを資源化して広域的に流通する広域循環型を想定した事業性の検討を行う。

大阪湾フェニックス計画におけるリン資源化検討フローを図 23-1 に示す。リン資源化の検討では、下水汚泥焼却灰の成分等の大阪湾フェニックス計画の現況を整理するとともに、下水汚泥焼却灰からリン資源化する技術と製品の生産量や品質等を想定して流通可能性、事業形態、事業採算性の各項目について調査する。また、資源化技術の製品について行った肥料メーカーへのヒアリング結果を示す。

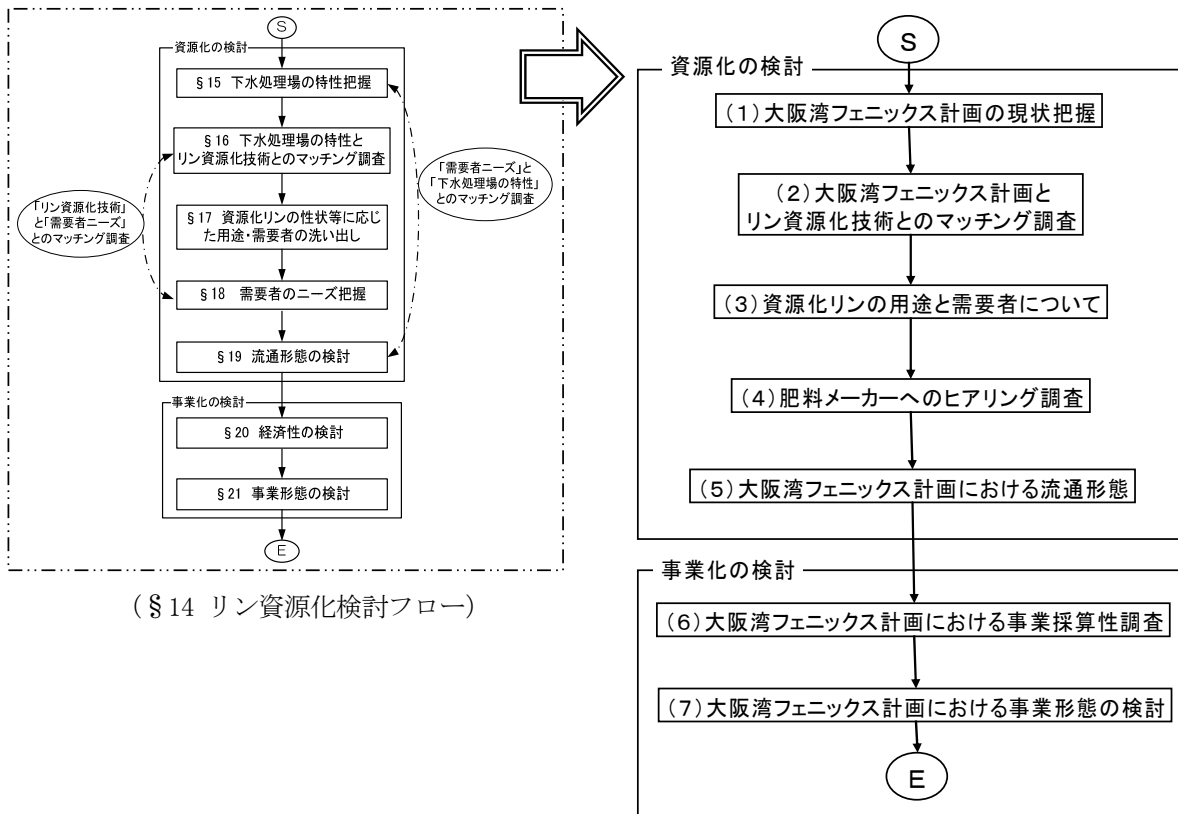


図 23-1 大阪湾フェニックス計画のリン資源化検討フロー

2. 大阪湾フェニックス計画の現状把握

2.1 検討対象と区域

図 23-2 に大阪湾フェニックス計画関連自治体 (2 府 4 県 168 市町村) の区域を, また陸上受入れ基地の概要を表 23-1 に示す。この区域から搬入される焼却灰を対象に検討を行う。



図 23-2 大阪湾フェニックス計画関連自治体の区域

表 23-1 大阪湾フェニックス計画における陸上受入れ基地の概要

基地名	受入開始日	埋立処分場	ゲート数	ストックヤード ² (m ³)	土運船	運搬回数	処理能力 (t/日)
大阪基地	H4. 1. 22	大阪沖 (管理型)	3	11,700	1,600m ³ :2隻	1日2隻	12,000
堺基地	H4. 3. 27	大阪沖 (管理型)	2	10,600	850m ³ :3隻	1日3隻	9,900
泉大津基地	H4. 3. 27	泉大津沖 (安定型)	2	無	無	無	5,000
神戸基地	H10. 11. 1	神戸沖 (管理型)	2	7,400	1,200m ³ :1隻	2日1隻	6,700
尼崎基地	H2. 1. 16	神戸沖 (管理型)	2	7,500	850m ³ :2隻	1日1.5隻	12,000
播磨基地	H2. 7. 27	神戸沖 (管理型)	1	1,800	600t(199型自航船)3隻 (津名基地と兼用)	1日1.5隻	1,700
姫路基地	H13. 12. 21	神戸沖 (管理型)	1	2,625	900t(299型自航船)1隻	2日1隻	600
津名基地	H3. 1. 30	神戸沖 (管理型)	1	643	900t(199型自航船)3隻 (播磨基地と兼用)	1月2隻	110
和歌山基地	H8. 9. 2	大阪沖 (管理型)	2	3,571	1,600m ³ :1隻	2日1隻	2,100

2.2 資源化可能汚泥量

(1) 資源化可能汚泥量

平成18年度の関連自治体における下水汚泥発生量は濃縮汚泥ベースで41万～44万t-DS/年と予測され、それは灰分に換算すると約85,000t-Ash/年の発生があったものとなる。この灰分換算の下水汚泥発生量を国土交通省調べに基づき汚泥の最終処分形態別で表したものを図23-2に示す。これよりフェニックス計画には域内で発生した汚泥のうちの37%に当たる約31,000t-Ash/年が搬入されていたものとなり、これをフェニックス計画における資源化可能汚泥量とする。図23-2には汚泥の最終処分形態別のリン酸量についても表した。

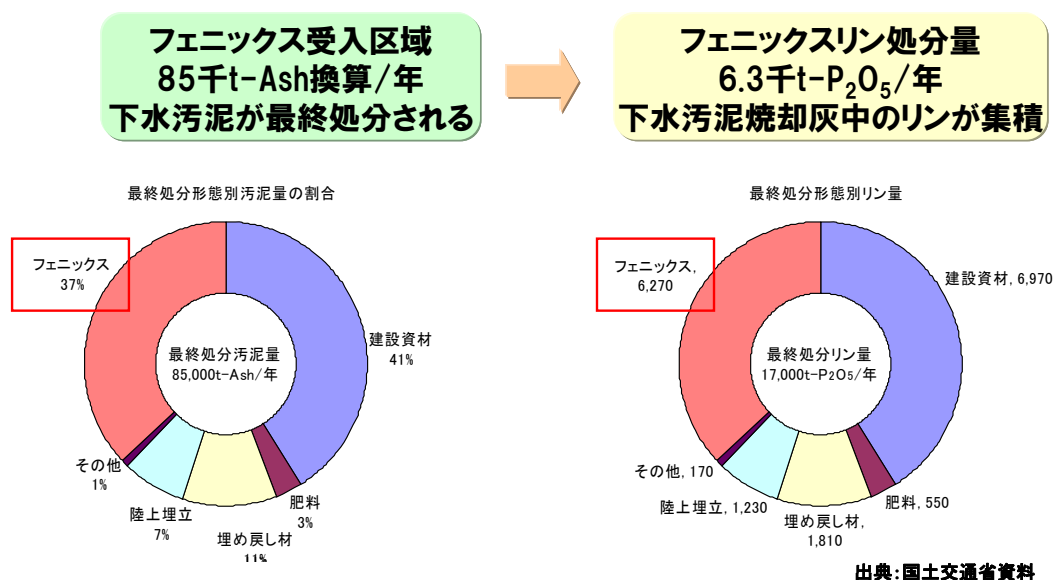
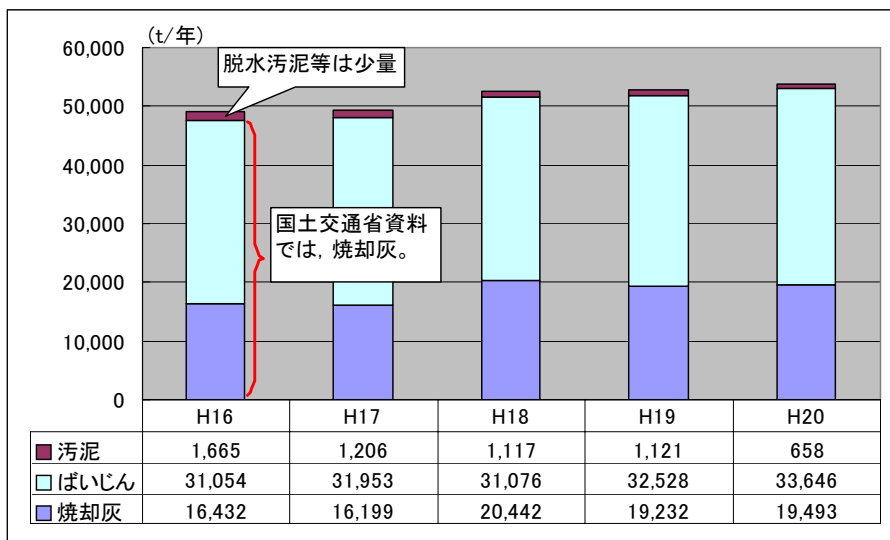


図23-2 関連自治体2府4県168市町村合計での最終処分形態と最終処分リン量

本検討においてフェニックス計画へのアンケート調査より得られた下水汚泥搬入量の推移を図23-3に示す。ヒアリング調査や国土交通省調べからはフェニックス計画に搬入される下水汚泥は殆どが灰であり、図中の“ばいじん”に分類されているものも通常の焼却灰にばいじんが混入して搬入されていることにあるものと考えられる。また、搬入に際しては防塵のために灰に加水してあることから国土交通省調べの値よりも大きくなっている。



出典：フェニックス計画による調査

図 23-3 下水汚泥焼却灰のフェニックス計画への搬入量

(2) 焼却灰の性状等

フェニックス計画に焼却灰を搬入している自治体に灰の成分についてアンケート調査した結果を図 23-4 に示す。DとGの自治体の灰は石灰系脱水汚泥の焼却灰と考えられ、 P_2O_5 が他よりも低い含有率となっているが、近年では石灰系脱水汚泥は非常に少なくなってきておりフェニックス計画圏においても少ないケースとなっている。このことを考慮すると、フェニックス計画に集められた際の灰のリン含有率は、 P_2O_5 で 20%を超えるものと推察される。また、この含有率は今後の高度処理の進展にともない、さらに高まっていくものと思われる。

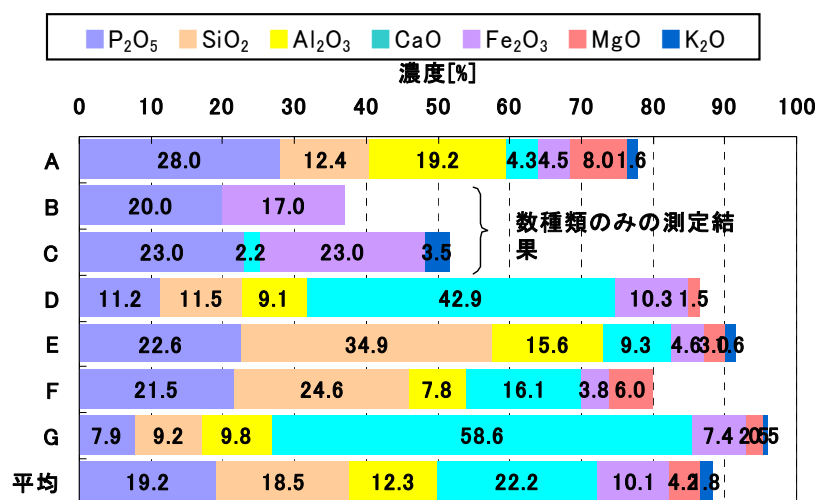


図 23-4 関連自治体の焼却灰成分

出典：近畿圏におけるアンケート調査結果（15 処理場中 7 処理場より回答）、事務局

3. 大阪湾フェニックス計画とリン資源化技術とのマッチング調査

3.1 資源化技術の適用性の検討

資源化の原料となる下水汚泥は焼却灰である。その場合の適用可能な技術は灰アルカリ抽出法と部分還元溶融法である。

前者は本章第2節で事例として取り上げ検討することもあり、ここでは後者を事例として取り上げ検討をする。

部分還元溶融法の焼却灰の性状からみた適用性を検討すると以下のようなになる。

1) 主要成分について

焼却灰のリン含有率は前 2.2 (2) 項から P_2O_5 で 20%を越えるものであり、部分還元溶融法には支障ない十分なリン含有量である。

2) 有害重金属類について

部分還元溶融法は、溶融炉の構造・形式が密度差によって金属類を分離できるようになっていることから重金属類の高い除去率を示す。一方、部分還元溶融法から得られる製品は肥料取締法上の熔成汚泥灰複合肥料に該当し、その基準値が適用される。肥料取締法の基準値と部分還元溶融法の除去率からくる原料中濃度の上限の目安の関係を表 23-2 に示す。規制の重金属類の灰中の上限濃度の目安は、下水汚泥焼却灰の一般的な含有濃度を遥かに上回るものであり、部分還元溶融法は下水汚泥焼却灰に対して十分に適用可能と判断される。

表 23-2 熔成汚泥灰複合肥料基準項目の原料焼却灰の上限濃度の目安
(\lt 溶性P = 13%の場合)

		単位	As	Cd	T-Hg	Ni	T-Cr	Pb
肥料取締法 基準値		%	0.002	0.000075	0.00005	0.005	0.05	0.003
		mg/kg	260	9.75	6.5	650	6500	390
部分溶融 還元法	除去率	%	95	95	95	90	60	90
	上限濃度 の目安	mg/kg	\lt 5,200	\lt 195	\lt 130	\lt 6,500	\lt 16,250	\lt 3,900

注) 熔成汚泥灰複合肥料基準の有害成分の最大量は、一般に \lt 溶性りん酸と \lt 溶性加里 1.0%当たりの含有量が定められており、 \lt 溶性りん酸と \lt 溶性加里の最小合計値である 13%濃度では、例えば As の場合、 $0.002\% \times 13 = 260\text{mg/kg}$ となる。

3.2 製品生産量と事業規模

現在の焼却灰回収量 (31,000t-Ash/年) より、施設数を想定し、生産場所と収集方法について、ケース設定を行う。

(1) 生産場所と収集方法

生産場所と収集方法については、フェニックス計画の特徴である各搬入基地への廃棄物の収集と最終処分場から以下のとおりとする。これらの概要を図 23-5、写真1、写真2および表 23-3に示す。

① 尼崎沖または泉大津沖埋立地で生産

現在、竣工している上記の埋立地の安定型区画跡地で生産。埋立地まで搬入基地等から陸送可能である。

② 神戸沖埋立処分場または大阪沖埋立処分場で生産

現在稼動している管理型処分場において生産。処分場までは海上輸送となるが、残渣処分が容易である。

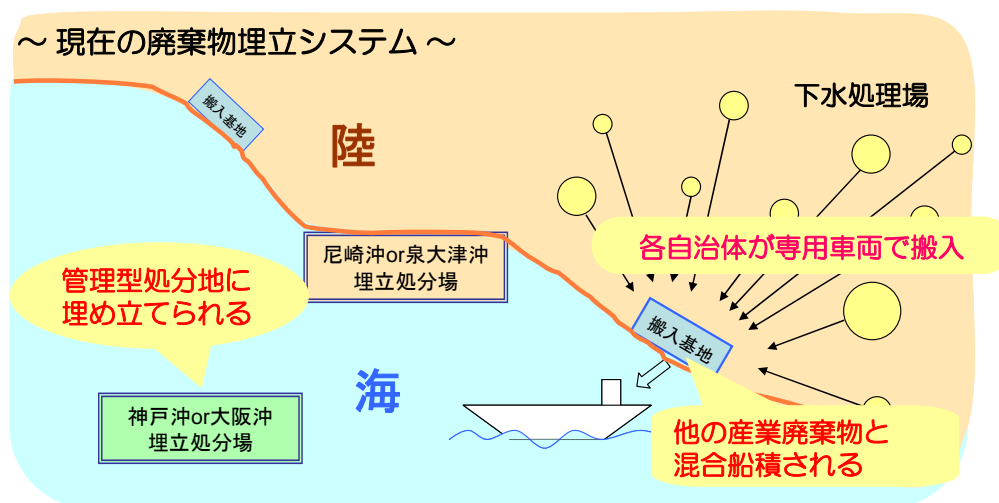


図 23-5 生産場所と収集方法のイメージ



写真1 尼崎沖埋立処分場



写真2 神戸沖埋立処分場

(大阪湾広域臨海環境整備センターHP)

表 23-3 生産場所と収集方法の比較

	尼崎または泉大津沖埋立地で生産	神戸沖埋立処分場または大阪沖埋立処分場で生産
用地	安定型処分地跡地	管理型処分地
資源化施設	<ul style="list-style-type: none"> ・用地を確保し、本 23 節の資源化施設を建設する。 ・下水汚泥焼却灰受入のためのストックヤードを設ける。 ・陸上輸送が可能であり、作業環境が良い。 ・下水汚泥焼却灰の搬入量が多い、大阪、神戸、尼崎に近いことから、尼崎沖の条件が良い。 <p style="text-align: center;">○</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・管理型処分地のため、廃掃法上暫定施設でなければ困難とみられるが、施設建設には杭等の基礎が必要。 ・水、電力等を淡水化・自家発施設で行う必要がある。 ・海上基地であり、作業環境が悪い。 <p style="text-align: center;">×</p>
搬入方法	<ul style="list-style-type: none"> ・個々の搬入基地のストックヤードを使用し、小型トラックから大型トラックへの積み替えを行う場合と、各処理場から直接搬入する場合は考えられる。 ・搬入基地を利用する場合、ストックヤードの専用仕切りが必要とみられる。 <p style="text-align: center;">○</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・搬入基地から海上輸送となる。 ・下水汚泥焼却灰だけをバースト船に積込むため、搬入基地への下水汚泥焼却灰持ち込みを曜日指定とするか、ストックヤードに専用仕切りを設ける必要がある。 <p style="text-align: center;">△</p>
資源化技術	<ul style="list-style-type: none"> ・焼却灰からのリン資源化 ・部分還元溶融法を採用した場合、残渣としての産業廃棄物がないものとみられる。 <p style="text-align: center;">○</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・焼却灰からのリン資源化 ・部分還元溶融法に比べて、電力使用量が少ない灰アルカリ抽出法の採用が考えられる。 <p style="text-align: center;">○</p>
搬出方法	<ul style="list-style-type: none"> ・用地内のストックヤードから、トラック輸送で製品の搬出が可能である。 <p style="text-align: center;">○</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・資源化リンを搬入基地経由で海上輸送する必要がある。 <p style="text-align: center;">△</p>
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・搬入方法については、別途周辺交通の事情を考慮した検討が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・処分地での備蓄について、均一に埋め立てなければ、地滑り等が生じるため、処分地では困難とみられる。
評価	<p style="text-align: center;">事業化の可能性有り</p> <p style="text-align: center;">○</p>	<p style="text-align: center;">現実的ではない</p> <p style="text-align: center;">×</p>

(2) 適用可能技術の生産規模単位

資源化施設の規模は、部分還元溶融法の施設規模：1,000, 5,000, 10,000, 20,000, 50,000 t-Ash/年を考慮して設定する。

4. 資源化リンの用途と需要者について

大阪湾フェニックス計画に適用する部分還元溶融法は単独の肥料として利用できる熔成汚泥灰複合肥料として登録されている。

資源化リンの用途は、単独の肥料としての地産地消型、または広域循環型としての流通形態が考えられるが、独立行政法人農林水産消費安全技術センターでのヒアリングにおいて肥料原料としての用途が可能と示された。

それにより、比較的大量の資源化リンを利用することが可能と思われる肥料原料について、取引先となる肥料メーカーを需要者として着目した。

5. 肥料メーカーへのヒアリング調査（業種：化成肥料メーカー）

前4. 項の結果から、肥料原料の需要者として想定される肥料メーカーへのヒアリングを、大阪湾フェニックス計画の地理的条件を考慮して近畿圏の化成肥料メーカーに行った。その結果、肥料原料として利用する場合、流通形態としては、肥料原料となるリン肥料を生産場所で各メーカーへトラック積み込みで引き渡す方法が適当とされた。

化成肥料メーカーでのヒアリングでは、肥料原料として加工する際の容易さや、類似品の使用経験の観点から①リン酸液、②MAP、リン酸カルシウム、③熔成汚泥灰複合肥料の順に選好され、以下のような意見が示された。

(ア)リン酸液：直ぐに原料として使える。

ただし、大量生産しなければ設備投資にコスト高となり、下水汚泥からの資源化量では事業化困難。

(イ)MAP、副産りん酸肥料：化成肥料原料として問題ない。

(ウ)熔成汚泥灰複合肥料：1社のみによる試行であるが、化成肥料原料として他の原料と混合造粒した結果、良好な造粒が得られた。そのとき、造粒・乾燥時に硫黄臭がしたため、臭気対策が必要となる可能性がある。

6. 大阪湾フェニックス計画における流通形態

表 23-4 に大阪湾フェニックス計画の焼却灰から製造されるリン肥料の利用用途について示す。製造されるリン肥料の利用用途は、①単独の肥料、②配合肥料原料の2つに分けられる。

製造されるリン肥料は、生産量が多いため、それぞれ配合肥料等原料として肥料メーカーが需要者となり広域循環させることを想定する。

表 23-4 製造されるリン肥料の利用用途

項 目	単独の肥料	配合肥料等原料
概 要	①メーカーとして直接販売。 ②全農や肥料メーカーからの受託生産，販売ルート活用。 ③商社系問屋を通し販売。	・取引先は肥料メーカー
特 徴	販売価格を高く設定できる ハイリスク・ハイリターン型。	直接販売より安価，ローリスク・ローリターン型。
対象製品	①熔成汚泥灰複合肥料	①化成肥料 ②配合肥料
その他	製品量多の場合，利用者拡大に時間を要す可能性有。	比較的大量の製品納入可，安定需要先確保可。

需要者の生産物利用への条件等は，以下のとおりとする。

- ・ 需要量，出荷量：複数業者へ共通価格で販売する。
- ・ 受け渡し形態：トラック積み込み
- ・ 品質（リン含有量，含有リン形態等）
 部分還元溶融：く溶性リン 13% を仮定する。

7. 事業採算性調査

各項目について、集計し事業採算性を調査する。

7.1 条件設定

(1) 事業規模と施設整備

事業規模は焼却灰の処理量で表すこととし、現在の焼却灰回収量である31,000t-Ash/年から、本調査では30,000t-Ash/年を最大事業規模とする。また、施設整備は、部分還元溶融法の1基当たりの施設規模：1,000, 5,000, 10,000, 20,000, 30,000 t-Ash/年の組み合わせとする。

(2) 収入

収入は製品売却費とする。製品売却費には部分還元溶融法で生産される熔成汚泥灰複合肥料の売却を見込み、その価格は表 23-5 に示す化成肥料成分価（パリティ方式）から得られる原料価を適用する。

なお、部分還元溶融法から得られる副生産品については、ここでは収入の対象としない。

表 23-5 化成肥料成分価（パリティ方式）

原料	①成分価 (円)	②保証値 (%)	③原料価 ①×② (円)
ようりん (部分還元溶融法)	60	13	≒800

注) 成分価は、H20 と H19 期中価格高騰前後の平均値を使用した。
部分還元溶融法においては、類似物として「ようりん」成分価を用いた。

(3) 支出

1) 建設費

建設費は費用関数から求める。また、建設費の年価換算には、耐用年数：15年、利率：4%を適用する。

$$[\text{建設費(百万円)}] = 0.1420 \times [\text{灰処理量(t-Ash/年)}] + 979.24$$

$$[\text{建設年価(百万円/年)}] = \frac{\text{建設費(百万円)} \times \text{利率} \times (1 + \text{利率})^{\text{耐用年数}}}{[(1 + \text{利率})^{\text{耐用年数}}] - 1}$$

2) 維持管理費

維持管理費は費用関数から求める。

$$[\text{維持管理費(百万円/年)}] = 0.0352 \times [\text{灰処理量(t-Ash/年)}] + 122.45$$

3) 出荷費

本検討では、運搬費については肥料原料とする場合には生産場所で各メーカーへトラック積込みで引き渡す方法が適当とされたことから計上しない。

なお、製品を肥料として出荷する場合には、袋詰め経費を計上する必要がある。その場合は、前掲の化成肥料成分価 (p47 表 20-2 参照) から得られる袋詰め経費を参考とする方法もある。

7.2 コスト算出結果

コスト算出は、灰処理量を 1,000t-Ash/年から 30,000t-Ash/年まで変化させ、灰処理量が 30,000 t-Ash/年まで同じ施設規模のものを 1 基整備するケースと、灰処理量が 30,000t-Ash/年については施設規模を [10,000t-Ash/年・3基の整備]、[10,000t-Ash/年・1基と 20,000t-Ash/年・1基の整備]、および [20,000t-Ash/年・2基の整備] の 3 パターンを付加するケースを設定して行った。また、建設費については国庫補助がある場合についても検討した。このときの補助率は 55%とした。

コスト算出の結果を表 23-6 に示す。

ここで、収入割合と必要単価を次のように定義して事業性を評価する。

$$\begin{aligned} \text{〔収入割合(\%)〕} &= 100 \times \text{〔収入の売却費〕} / \text{〔支出の合計〕} \\ \text{〔必要単価(円/20kg)〕} &: \text{〔支出の合計〕と同額となるための単価} \end{aligned}$$

収入割合や必要単価のパリティ価との比較から、灰処理量が 10,000t-Ash/年以上であれば事業性はあるものと思われ、中でも灰処理量が 20,000t-Ash/年以上で設備数が少なく、かつ設備規模と灰処理量が近いものであれば事業性は高いと思われる。これらの傾向は、建設費に国庫補助が導入されるケースで顕著となり、特に、灰処理量が 20,000t-Ash/年以上（ただし、灰処理量が 30,000t-Ash/年で設備規模 20,000t-Ash/年・2基のケースを除く。）では明らかに事業性があると判断される。

表 23-6 コスト算出の結果

区分	事業規模		リン資源化設備		生産量		必要単価 (円/20kg)	収入割合 (%)	収入		支出					
	灰処理量 (t/年)	設備規模 (t/年)	設備数	主生産量 (t/年)	副生産量 (t/年)	パリティー価 (円/20kg)			売却費 (百万円/年)	合計		建設費			維持管理費	
										(百万円/年)	計 (百万円)	1施設あたり (百万円)	耐用年数 (年)	年価換算 (百万円/年)	計 (百万円/年)	1施設あたり (百万円/年)
(国庫補助) 無	1,000	1,000	1	1,300	41	3,977	20	800	52	258	1,121	1,121	15	101	158	158
	5,000	5,000	1	6,500	205	1,386	58		260	450	1,689	1,689		152	298	298
	10,000	10,000	1	13,000	410	1,062	75		520	690	2,399	2,399		216	474	474
	20,000	20,000	1	26,000	820	900	89		1,040	1,170	3,819	3,819		344	826	826
	30,000	30,000	1	39,000	1,230	846	95		1,560	1,650	5,239	5,239		471	1,178	1,178
	30,000	10,000	3	39,000	1,230	1,062	75		1,560	2,071	7,198	2,399		647	1,423	474
	30,000	10,000	1	39,000	1,230	954	84		1,560	1,860	6,218	2,399		559	1,301	474
	30,000	20,000	1	39,000	1,230	1,200	67		1,560	2,340	7,638	3,819		826	826	826
	30,000	20,000	2	39,000	1,230	1,200	67		1,560	2,340	7,638	3,819		687	1,653	826
(国庫補助) 有	1,000	1,000	1	1,300	41	3,124	26	800	52	203	505	1,121	15	45	158	158
	5,000	5,000	1	6,500	205	1,129	71		260	367	760	1,689		68	298	298
	10,000	10,000	1	13,000	410	879	91		520	572	1,080	2,399		97	474	474
	20,000	20,000	1	26,000	820	755	106		1,040	981	1,719	3,819		155	826	826
	30,000	30,000	1	39,000	1,230	713	112		1,560	1,391	2,358	5,239		212	1,178	1,178
	30,000	10,000	3	39,000	1,230	879	91		1,560	1,715	3,239	2,399		291	1,423	474
	30,000	10,000	1	39,000	1,230	796	100		1,560	1,553	2,798	2,399		252	1,301	474
	30,000	20,000	1	39,000	1,230	1,006	80		1,560	1,962	3,437	3,819		826	826	826
	30,000	20,000	2	39,000	1,230	1,006	80		1,560	1,962	3,437	3,819		309	1,653	826

主生産率: 1.3
副生産率: 0.041

収入割合(%) = 収入売却費 / 支出合計
必要単価: 支出合計と同額になる単価

建設費: $y = 0.1420x + 979.24$
維持管理費 $y = 0.0352x + 122.45$

利子率: 4.0%
補助率: 55%

8. 大阪湾フェニックス計画における事業形態調査

フェニックス計画を活用して行う場合には、フェニックス法におけるセンターの位置付け等を法的に整理する必要がある。下記に、その概要を示す。

(1) センター業務の観点からの検討

フェニックスセンター業務は、センター法第19条において、①港湾管理者からの委託を受けて行う海面埋立による土地の造成。②地方公共団体からの委託を受けて行う一般廃棄物および（公共事業の）産業廃棄物による海面埋立。③センター独自で行う（民間事業の）産業廃棄物による海面埋立となっている。

このようにセンターは、特別の目的を達成するために、センター法において明確にその業務が規定されているため、センターにおいて再生利用するための業務を行う場合には、法令上の位置付けの明確化等が必要である。

(2) 地方公共団体からの委託契約(海面埋立による最終処分)との観点からの検討

フェニックスセンターは、地方公共団体から下水汚泥の焼却灰の海面埋立による最終処分の委託を受けて、処分料金を徴収して事業を実施しているところであり、各基地に搬入されたこれらの焼却灰を再生利用する場合、委託契約上の問題が発生する。

(3) 公有水面埋立法との観点からの検討

公有水面埋立法に基づく埋立免許の取得にあたって、港湾管理者は土地利用計画に沿って土地利用を図る義務があり、リン資源化の土地利用が埋立免許に合致しているか、土地利用計画の変更を必要とするものか検討が必要となる。

(4) 都市計画法との観点からの検討

都市計画法におけるリン資源化に係る再生施設立地の可能性について、竣工地の臨港地区、分区等の検討の必要がある。

第2節 地産地消型実施事例

§ 24 地産地消型実施事例

ここでは、焼却灰からのリン資源回収を事例として考えることとし、岐阜市において事業化が進んでいる灰アルカリ抽出法を用いた副産りん酸肥料について紹介する。

【検討事例】

1. はじめに

岐阜市は、リン酸カルシウムを主成分とする混合物（ここでは、「灰抽出リン酸カルシウム」。）と、土壤環境基準および土壤含有量基準を満足する混合物（ここでは、「処理灰」。）の2種類を同時製造する施設を建設し、平成22年3月2日に供用開始したものである。岐阜市が製造する灰抽出リン酸カルシウムは、副産りん酸肥料として平成21年3月に肥料登録されている。岐阜市の取組を以下に示す。

2. リン資源化方法

2.1 焼却灰からのアルカリ抽出方法

リン資源化の流れを図24-1に示す。このリン資源化技術は、国土交通省が平成17年から19年にかけて推進した「下水汚泥資源化・先端技術誘導プロジェクト (LOTUS Project)」で評価を受けたものである。以下、概要を示す。

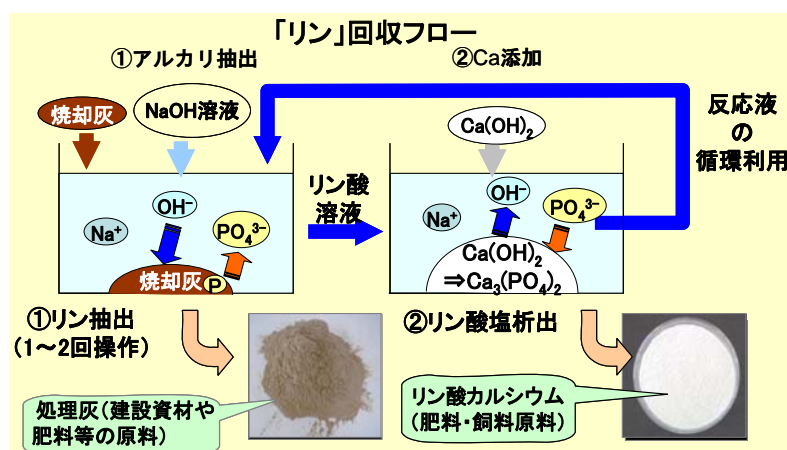


図24-1 灰アルカリ抽出法

焼却灰にNaOH溶液を添加して50~70℃に保持し、リンを溶出させリン酸塩として資源化する。この溶液を固液分離することで、リン含有量の少ない灰とリン酸イオンを多く含む溶液とに分離する。リン含有量が少ない灰は、「水洗浄→酸洗浄→濃縮→乾燥」の後、処理灰となる。抽出したリン酸イオンを多く含む溶液に、Ca(OH)₂ (消石灰)を加え反応させ固液分離することで、リン酸カルシウムを主成分とする回収リン酸塩と、アルカリ溶液(水酸化ナトリウム)が得られる。アルカリ溶液は最初の反応液に戻すことで、再使用することができる。灰抽出リン酸カルシウムは、「水洗浄→濃縮→乾燥→造粒(→乾燥)」の後、「副産りん酸肥料」として出荷される。

2.2 製品生産量（リン回収量）

実験値からリン回収量を推定する。岐阜市の平成19年度単独公共下水道の利用者は、246千人、その汚水を処理して引き抜かれる脱水汚泥とスクリーンかすを全量焼却し、発生する焼却灰は1,087t-Ash/年となる。

この焼却灰約1,000t-Ash/年に消石灰約300tを使用して製造できるく溶性りん酸肥料は、約500t/年（約30%-P₂O₅）、処理灰で約800t/年（約10%-P₂O₅）製造できる。

$$\boxed{\text{焼却灰 約1,000t/年}} + \boxed{\text{消石灰 約300t/年}} \rightleftharpoons \boxed{\text{く溶性りん酸肥料 約500t/年}} + \boxed{\text{処理灰 約800t/年}}$$

3. 生産物の品質

3.1 資源化したリン酸カルシウムの特徴

資源化したリン酸塩は、リン酸カルシウムで遅効性である「く溶性」の肥料となる。

表24-1に、資源化したリン酸カルシウムの特徴を示す。

表24-1 資源化したリン酸カルシウム

項目	内容
性状	無機質
色・匂い	白色，無臭
吸水性	低吸水性，速乾性
肥料性	く溶性，有害成分について副産りん酸肥料規格以下
その他	副産りん酸肥料登録済み，肥料製造が可能

3.2 肥料としての品質

灰抽出リン酸カルシウムの成分含有量を表24-2に示す。副産りん酸肥料規格は、く溶性リン酸含有量が15%以上であるが、灰抽出リン酸カルシウムは25%以上であり満足する。

有害成分は、「副産りん酸肥料」規格以下（）は基準値）を満足するだけでなく、より厳しい「焼成汚泥肥料」規格も十分下まわる肥料である。

表24-2 灰抽出リン酸カルシウムの成分含有量

項目	単位	1	2	3	4	最大 (最小)	副産りん酸肥料 規格
く溶性 リン酸	%	31.8	29.2	28.3	26.9	26.9	く溶性含有率 15以上
ヒ素	mg/kg	4.1 (<1272)	21.4 (<1168)	8.2 (<1132)	19.6 (<1076)	21.4 (<1076)	く溶性含有率1% につき0.004%
カドミウム	mg/kg	1.0 (<47.7)	1.4 (<43.8)	2.2 (<42.4)	1.9 (<40.3)	2.2 (<40.3)	く溶性含有率1% につき0.00015%
水銀	mg/kg	<0.005	0.014	<0.005	0.035	0.035	
ニッケル	mg/kg	13	9	6	7	13	
クロム	mg/kg	34	35	20	29	35	
鉛	mg/kg	14	12	12	17	17	

出典：「第1回下水・下水汚泥からのリン回収・活用に関する検討会資料」平成20年度に加筆修正

4. 処理灰の品質と利用

リン資源化工程からの灰の回収量は、無処理灰量に比べて減量されているものの、リン酸肥料の約1.6倍の量になるため、同時に処理灰の利用が必要とされる。

そのため、灰利用促進のため、土壤環境基準と土壤汚染基準に目を向け、当該基準以下に適合させることにより、利用する上で安全・安心を確保する「処理灰」としている。処理灰を商品化することは、コスト面に大きく影響し、「リン資源化事業」の普及を左右する。

また、下水処理場によっては有害物質が多く、基準値近くになることも考えられるため、導入の際は、事前に調査検討を必要とする。

4.1 処理灰の品質

図24-2に処理灰の成分分析結果を示す。処理灰の成分分析では、SiO₂を主成分として、Al₂O₃とCaOを含めて6割を占めており、茶色で中性であることから、土壤と類似しており、建設資材や土壤改良材としての利用が期待されている。

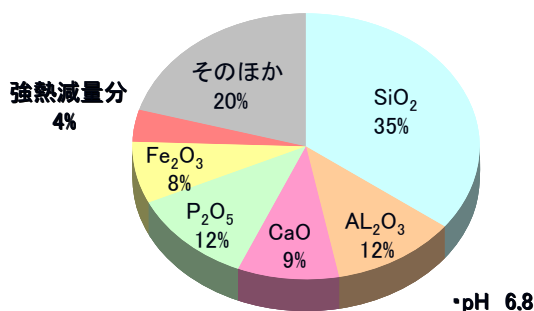


図24-2 処理灰の成分分析結果

出典：「第1回下水・下水汚泥からのリン回収・活用に関する検討会資料」平成20年度

表24-3に処理灰の溶出試験結果と処理灰の含有量試験結果を示す。いずれも、基準値以下である。

表24-3 処理灰の試験結果（重金属類）

項目	測定値 (mg/l)	土壤環境基準 ^{※1} (mg/l)	項目	測定値 (mg/kg)	土壤含有量基準 ^{※2} (mg/kg)
ヒ素	<0.005	0.01 以下	ヒ素およびその化合物	7.4	150 以下
セレン	<0.002	0.01 以下	セレンおよびその化合物	<0.1	150 以下
フッ素	<0.1	0.8 以下	フッ素およびその化合物	118	4,000 以下
ホウ素	<0.05	1 以下	ホウ素およびその化合物	8	4,000 以下
カドミウム	<0.001	0.01 以下	カドミウムおよびその化合物	5	150 以下
全シアン	ND	ND	シアン化合物	<1	50 以下（遊離シアン）
鉛	<0.005	0.01 以下	鉛およびその化合物	107	150 以下
六価クロム	<0.01	0.05 以下	六価クロム化合物	<2	250 以下
総水銀	<0.0005	0.0005 以下	水銀およびその化合物	0.19	15 以下
アルキル水銀	ND	ND			

※1 土壤環境基準：「土壤の汚染に係る環境基準」

※2 土壤含有量基準：「土壤汚染対策法」における土壤含有量基準

4.2 処理灰の利用

処理灰の建設資材としての利用方法について示す。処理灰は、リン酸を10%程度含有したもので、乾燥しやすく、粒度は焼却灰より細かい反面、乾燥の度合いにより、飛散しやすい。

1) 下層路盤材RC40の修正CBR改良材利用

道路の下層路盤として利用されるRC材に処理灰を添加すると修正CBR値が向上する。

表 24-4 下層路盤材RC40の修正CBR改良材

試験項目	単位	処理灰添加率 (%)			基準値
		RC40	5	10	
修正CBR	%	65.5	94.7	80.9	20%以上
最適含水比	%	9.5	13.4	16.0	—
最大乾燥密度	g/cm ³	1.845	1.787	1.711	—

2) 土質改良材利用

処理灰単体で利用するもので、リン抽出率55%以上の灰において、コーン指数は800kN/m²以上（第2種建設発生度相当）と良好である。

表 24-5 土質改良材

試験データ	コーン指数kN/m ²	リン抽出率%
1	1,219	60.6
2	907	56.2
3	765	22.2
4	4,728	72.6
5	3,157	66.1
6	2,830	65.6
7	2,139	66.7
第2種建設発生土	800以上	

3) アスファルトフィラー利用

通常、使用されている石粉の一部代替えとして利用するもので、代替え率25%、45%と比較されている。試験結果は、残留安定度と水浸ホイールトラッキング剥離率で数値はやや低下する。ただし、10年以上の試験施工において差異は認められない。

表 24-6 下層路盤材RC40の修正CBR改良材

試験項目	単位	処理灰添加率 (%)			基準値
		石粉	25	45	
マーシャル安定度	kN	9.82	9.68	8.89	4.9kN以上
残留安定度	%	91.9	89.0	75.7	75%以上
水浸ホイールトラッキング剥離率	%	5.7	12.4	17.5	—

4.3 洗浄除去物質の処理

洗浄除去された有害物質は、洗浄液として酸により中和後、沈殿池で除去される。沈殿過程で白濁する場合、凝集剤の添加により沈殿・除去させる必要がある。

5. 流通ルート

5.1 リン酸肥料の流れ

肥料の流通ルートは、全農系と商社系に大きく分けられている。輸入リン鉱石は、一次肥料メーカーでリン酸液と石膏が生産される。リン酸液は、二次肥料メーカーで肥料目的にあった製品に生産される。生産された肥料は、全国農業協同組合連合会（JA 全農）の場合、県本部や地区農協を通じ、農家へ販売される。商社の場合、肥料卸売業者やホームセンターを通じ、農家や一般家庭へ販売される。

下水道から生産されるリン酸は、図 24-3 に示す通り、流通先に応じて単肥、複合肥料原料およびリン鉱石代替品があるが、需要先に近い所ほど引取価格は高くなる。

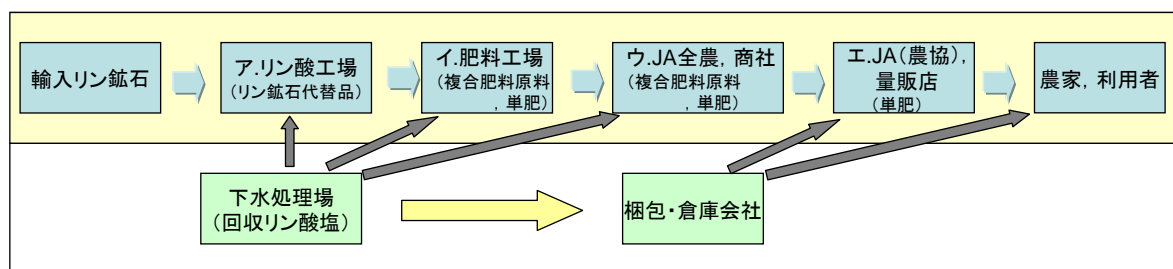


図 24-3 リン酸肥料の流れ

下水からのリン流通モデルは、リン資源化施設の近くにア～ウが少ない場合、例えば、表 24-7 に示す設備と管理を担う梱包・倉庫会社を通して、エや利用者に販売するルートが考えられる。

表 24-7 梱包・倉庫会社

項目	内容
設備投資	<ul style="list-style-type: none"> ・ 梱包装置 ・ 貯留装置 (ホッパー等) ・ 荷役機械 (フォークリフト, ユニック等) ・ 原料倉庫, 製品倉庫
維持管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ 人件費 ・ 梱包袋, 電力費, 燃料費, 通信・微消耗費 ・ その他 (分析機器)

上記の場合、例えば、下水処理場から肥料として、梱包・倉庫会社に売却、梱包した肥料を流通団体や量販店、農家や消費者へ流通するいわゆる「リンの地産地消」となる。

生産されるリン酸肥料の買取価格についてのヒアリング調査では、図 24-3 に示すア.リン酸工場とウ. JA 全農・商社では2万円前後、イ.肥料工場では3～5万円となっている。

5.2 生産物の販売価格

JA（農協）から農家に販売される 20kg 袋詰めリン酸肥料価格例を表 24-8 に示す。例えば、過リン酸石灰は「く溶性」ではないが、価格はリン酸換算 1kg 当たり約 520 円となり、造粒した製品はやや高価となる。

表 24-8 リン酸肥料価格例

商品名	肥効	りん酸含有率	リン酸 1kg 当たりの換算価格 (円/kg-P ₂ O ₅)		
			H20 冬春	H21 秋	H21 冬春
過リン酸石灰 (粉)	速効性	17%	522.4		
過リン酸石灰 (粒)	速効性	17.5%	552.3		
ようりん	遅効性	20%	516.3		
BMようりん	遅効性	20%	555.5	538.8	443.3
平均*			536.6	520.5	428.2

※H21 秋, 冬春値は, H20 冬春換算値

出典:「第1回下水道におけるリン資源化検討会後藤委員資料」平成21年度

5.3 リン酸肥料の単肥利用

農産物の生産には、肥料の三要素である窒素・リン・カリウムが必要とされる。灰抽出リン酸カルシウムは、水に溶けにくい（く溶性）リン酸肥料であるため土壌に固定されにくい。そこで、リン酸吸収されにくい水田等で灰抽出リン酸カルシウムのような遅効性肥料を単肥として利用できれば、施肥の減肥が可能と期待される。その結果として、表 24-9 に示すような肥料費の節約にもつながるものと思われる。

表 24-9 農家・利用者の肥料費の節約

	肥料の種類	施肥量 ^{※1}	価格
灰抽出リン酸カルシウムを施用	灰抽出リン酸カルシウム (25%)	1 袋/年	約 1,600 円 ^{※2}
	N, K 肥料	2 袋/年	約 4,000 円
	計		約 5,600 円
慣行肥料を施用	基肥一発肥料	2 袋/年	約 8,600 円
差分			約 3,000 円

※1: 1 反当たりの施肥量であり、1 袋は 20kg 入りである。

※2: 灰抽出リン酸カルシウム肥料の単価は、中間マージンを想定した仮単価
出典:「第1回下水道におけるリン資源化検討会 後藤委員資料」平成21年度

6. 事業の社会性

リン資源化施設の建設費と維持管理費を表 24-10 に示す。

表 24-10 建設費と維持管理費

項 目	細 目	単 位	金 額
建設事業費	焼却灰処理能力	5t-DS (Ash)/日	
	(機械、電気、既設撤去含)	一式	7.00 億円
	うち単独事業費	45%	3.15 億円
維持管理費	薬品費等+エネルギー+人件費		80 百万円/年

表 24-10 の建設費と維持管理費に基づき、表 24-11 に、灰抽出リン酸カルシウムの末端価格 1,600 円/20kg とし、処理灰が有価物として採算が見込める場合の事業の社会性について示す。建設費を含めた総事業費で見た補助無しの場合、1,450 円/20kg で設定した収入割合は 101%であり、補助を考慮した場合 800 円/20kg を設定した収入割合は 100%程度となり、灰抽出リン酸カルシウム 1,600/20kg、処理灰 800 円/20kg で売却すれば、埋立をするより経済的である。

現在、岐阜市の処理灰については、品質が良好であることから、生産物に対する問い合わせ等がきており、有価物としての活用が期待されている。

表 24-11 処理灰が有価物とした場合の採算性

国庫補助なし

回収技術	灰処理量 (t/y)	灰処理量 (t/y) 日平均	リン回収設備		生産量 (t/y)	副生産量 (t/y)	処理灰量 (t/y)
			設備規模 (t/y)	設備数			
アルカリ抽出	1,700	1,360	600	3	680	0	1,088
			1700	1			
			5000	0			
			7500	0			
			10000	0			
日平均比		0.8	アルカリ抽出		生産率	生産率	生成率
				0.5	0	0.8	

売却費
必要単価 (円/20kg)
2,116
1,617

処理灰を含む
総量単価

収入				支出		設備						
売却単価 (円/20kg)	売却費 (百万円/年)	処分委託費 (百万円/年)	合計 (百万円/年)	収入割合	合計 (百万円/年)	合計 (百万円/年)	建設費合計 (百万円)	1施設あたり (百万円)	耐用年数 (年)	年価換算 (百万円/年)	維持管理費 (百万円/年)	1施設あたり (百万円/年)
回収リン 1,600	133	11	144	77%	187	187	1,190	420	15	107	80	51
処理灰 1,450				101%	143	143	700	700	15	63	80	86

出荷費含まず アルカリ抽出 $y = 0.2961x + 242.45$ 利率 $4.0\% \quad y = 0.0325x + 31.108$

国庫補助あり(下水道高率補助55%の場合)

回収技術	灰処理量 (t/y)	灰処理量 (t/y) 日平均	リン回収設備		生産量 (t/y)	副生産量 (t/y)	処理灰量 (t/y)
			設備規模 (t/y)	設備数			
アルカリ抽出	1,700	1,360	600	3	680	0	1,088
			1700	1			
			5000	0			
			7500	0			
			10000	0			
日平均比		0.8	アルカリ抽出		生産率	生産率	生成率
				0.5	0	0.8	

売却費
必要単価 (円/20kg)
1,450
1,225

処理灰を含む
総量単価

収入				支出		設備						
売却単価 (円/20kg)	売却費 (百万円/年)	処分委託費 (百万円/年)	合計 (百万円/年)	収入割合	合計 (百万円/年)	合計 (百万円/年)	建設費合計 (百万円)	1施設あたり (百万円)	耐用年数 (年)	年価換算 (百万円/年)	維持管理費 (百万円/年)	1施設あたり (百万円/年)
回収リン 1,600	98	11	109	85%	128	128	536	189	15	48	80	51
処理灰 800				100%	108	108	315	315	15	28	80	86

アルカリ抽出 $y = 0.2961x + 242.45$ $y = 0.0325x + 31.108$

資料編

1. 関連法令等（抜粋）

1. 1 肥料取締法

(1) 法の概要

肥料の品質等を保全し、その公正な取引と安全な施用を確保するため、肥料の規格及び施用基準の公定、登録、検査等を行い、もって農業生産力の維持増進に寄与するとともに、国民の健康の保護に資することを目的として、昭和25年に制定された法律であり、その後、時代の要請に応じ順次改正され、現在に至っている。

(2) 肥料の区分（法 第二条）

法の肥料の定義は、「植物の栄養に供すること又は植物の栽培に資するため土壌に化学的变化をもたらすことを目的として土地にほどこされる物及び植物の栄養に供することを目的として植物にほどこされる物」であり、肥料を「普通肥料」と「特殊肥料」の2つに大別していて、このうち「特殊肥料」とは農林水産大臣が指定した米ぬか、魚かす等、農家等の経験によって識別が容易で、組成が簡単な肥料を差し、それ以外のものを「普通肥料」としている。

①特殊肥料（農林水産大臣の指定する米ぬか、たい肥、その他の肥料）

生産、輸入する前に都道府県知事にその旨を届出

②普通肥料（特殊肥料以外の肥料）

生産、輸入する前に農林水産大臣又は都道府県知事に銘柄ごとに登録

(3) 公定規格（法 第三条）

公定規格とは、肥料の公正な取引と安全な施用を確保するため、また品質が一定水準から低下せず、銘柄ごとの品質差を少なくするように定められたもので、含有すべき主成分の最小量や含有を許される有害成分の最大量、その他の制限事項（植物に害のないことを証明すること等）が肥料の種類ごとに決められており、肥料登録の最低基準となっている。資源化リンの肥料取締法上の位置づけを表資1-1に示す。普通肥料の種類は表資1-2に示すとおり数多くあり、それぞれに細かく公定規格（副産リン酸肥料は表資1-3、化成肥料は表資1-4、溶性汚泥灰複合肥料は表資1-5）が定まっている。

副産リン酸肥料は、リン酸資源の有効活用を図るために平成15年に設定された規格であり下水道の終末処理場その他の排水の脱リン処理に伴い汚泥から分離されたリン酸含有液とけい酸カルシウムを反応させリン酸カルシウムを資源化し、肥料として再利用するものである。

表資 1-1 資源化リンの肥料取締法上の位置づけ

MAP 法によるリン酸マグネシウムアンモニウム	複合肥料(化成肥料)
晶析脱リン法によるヒドロキシアパタイト	リン酸質肥料(副産リン酸肥料)
HeatPhos 法による人工リン鉱石	
吸着法による回収リン	
灰アルカリ抽出法による回収リン	リン酸質肥料(副産リン酸肥料)
P-ACE 法(部分還元溶融法)による肥料	熔成汚泥灰複合肥料
炭化物	焼成汚泥肥料

下水・下水汚泥からのリン回収・活用に関する検討会 資料修正

表資 1-2 普通肥料の種類

区分	登録有効期間	肥料の種類
窒素質肥料	6年	硫酸アンモニア、塩化アンモニア、硝酸アンモニア、硝酸アンモニソーダ肥料、硝酸アンモニア石灰肥料、硝酸ソーダ、硝酸石灰、硝酸苦土肥料、腐植酸アンモニア肥料、尿素、アセトアルデヒド縮合尿素、イソブチルアルデヒド縮合尿素、硫酸グアニル尿素、オキサミド、石灰窒素
	3年	被覆窒素肥料、グリオキサール縮合尿素、ホルムアルデヒド加工尿素肥料、メチロール尿素重合肥料、副産窒素肥料、液体副産窒素肥料、液状窒素肥料、混合窒素肥料
りん酸質肥料	6年	過りん酸石灰、重過りん酸石灰、りん酸苦土肥料、熔成りん肥、焼成りん肥、腐植酸りん肥
	3年	被覆りん酸肥料、液体りん酸肥料、熔成けい酸りん肥、鉱さいりん酸肥料、加工りん酸肥料、加工鉱さいりん酸肥料、 副産りん酸肥料 、混合りん酸肥料
加里肥料	6年	硫酸加里、塩化加里、硫酸加里苦土、重炭酸加里、腐植酸加里肥料、けい酸加里肥料
	3年	粗製加里塩、加工苦汁加里肥料、被覆加里肥料、液体けい酸加里肥料、熔成けい酸加里肥料、副産加里肥料、混合加里肥料
有機質肥料	6年	魚かす粉末、干魚肥料粉末、魚節煮かす、甲殻類質肥料粉末、蒸製魚鱗及びその粉末、肉かす粉末、肉骨粉、蒸製てい角粉、蒸製てい角骨粉、蒸製毛粉、乾血及びその粉末、生骨粉、蒸製骨粉、蒸製鶏骨粉、蒸製皮革粉、干蚕蛹粉末、蚕蛹油かす及びその粉末、紡績蚕蛹くず、とうもろこしはい芽及びその粉末、大豆油かす及びその粉末、なたね油かす及びその粉末、わたみ油かす及びその粉末、落花生油かす及びその粉末、あまに油かす及びその粉末、ごま油かす及びその粉末、ひまし油かす及びその粉末、米ぬか油かす及びその粉末、その他の草本性植物油かす及びその粉末、カボック油かす及びその粉末、とうもろこしはい芽油かす及びその粉末、たばこくず肥料粉末、甘草かす粉末、豆腐かす乾燥肥料、えんじゆかす粉末、窒素質グアノ
	3年	加工家さんふん肥料、とうもろこし浸漬液肥料、魚廃物加工肥料、乾燥菌体肥料、副産動物質肥料、副産植物質肥料、混合有機質肥料
複合肥料	6年	熔成複合肥料
	3年又は6年	化成肥料 、配合肥料
	3年	成形複合肥料、吸着複合肥料、被覆複合肥料、副産複合肥料、液状複合肥料、 熔成汚泥灰複合肥料 、混合汚泥複合肥料、家庭園芸用複合肥料
石灰質肥料	6年	生石灰、消石灰、炭酸カルシウム肥料、貝化石肥料
	3年	副産石灰肥料、混合石灰肥料
けい酸質肥料	6年	けい石灰肥料
	3年	鉱さいけい酸質肥料、軽量気泡コンクリート粉末肥料、シリカゲル肥料、シリカヒドロゲル肥料
苦土肥料	6年	硫酸苦土肥料、水酸化苦土肥料、酢酸苦土肥料、加工苦土肥料、腐植酸苦土肥料
	3年	炭酸苦土肥料、リグニン苦土肥料、被覆苦土肥料、副産苦土肥料、混合苦土肥料
マンガン質肥料	6年	硫酸マンガン肥料、炭酸マンガン肥料、加工マンガン肥料
	3年	鉱さいマンガン肥料、副産マンガン肥料、液体マンガン肥料、混合マンガン肥料
ほう素質肥料	6年	ほう酸塩肥料、ほう酸肥料、熔成ほう素肥料、加工ほう素肥料
微量元素複合肥料	6年	熔成微量元素複合肥料
	3年	液体微量元素複合肥料、混合微量元素肥料
汚泥肥料等	3年	下水汚泥肥料 、し尿汚泥肥料、 工業汚泥肥料 、混合汚泥肥料、 焼成汚泥肥料 、汚泥発酵肥料、水産副産物発酵肥料、硫黄及びその化合物
農薬その他の物が混入される肥料	3年	化成肥料、配合肥料、被覆複合肥料、家庭園芸用複合肥料

表資 1-3 公定規格(副産りん酸肥料)

肥料の種類	含有すべき主成分の最小量(%)	含有を許される有害成分の最大量(%)	その他の制限事項
副産りん酸肥料 (次に掲げる肥料をいう) 一 食品工業又は化学工業において副産されたもの 二 下水道の終末処理場その他の排水の脱りん処理に伴い副産されたもの)	一 <溶性りん酸を保証するものにあつては <溶性りん酸 15.0 二 <溶性りん酸のほか水溶性りん酸又は<溶性苦土を保証するものにあつては <溶性りん酸 15.0 水溶性りん酸については 2.0 <溶性苦土については 3.0	<溶性りん酸の含有率 1.0%につき ひ素 0.004 カドミウム 0.00015	一 植害試験の調査を受け害が認められないものであること。 二 牛の部位を原料とする場合にあっては、せき柱等が混合しないものとして農林水産大臣の確認を受けた工程において製造されたものであること。

表資 1-4 公定規格(化成肥料)

肥料の種類	含有すべき主成分の最小量(%)	含有を許される有害成分の最大量(%)	その他の制限事項
化成肥料 (次に掲げる肥料をいう) 一 窒素質肥料、りん酸質肥料、加里質肥料、有機質肥料、複合肥料、石灰質肥料、けい酸質肥料(シリカゲル肥料に限る。)、苦土肥料、マンガン質肥料、ほう素質肥料又は微量元素複合肥料のいずれか二以上を配合し、造粒又は成形したもの 二 一に掲げる化成肥料の原料となる肥料に米ぬか、発酵米ぬか、乾燥藻及びその粉末、発酵乾ぶん肥料、よもぎかす、骨灰、動物の排せつ物(鶏ふんの炭化物に限る。)又は動物の排せつ物の燃焼灰(鶏ふん燃焼灰に限る。)のいずれか一以上を配合し、造粒又は成形したもの 三 肥料(熔成汚泥灰複合肥料、混合汚泥複合肥料及び規則第1条の2各号に掲げる普通肥料を除く。)又は肥料原料(汚泥及び魚介類の臓器を除く。)を使用し、これに化学的操作を加えたもの ※ 四 三に掲げる化成肥料を配合し、造粒又は成形したもの 五 一若しくは二に掲げる化成肥料又はその原料となる肥料若しくはその原料となる肥料を配合したものに三に掲げる化成肥料、その化成肥料を配合したもの又は四に掲げる化成肥料を配合し、造粒又は成形したもの)	一 窒素、りん酸又は加里のいずれか二以上についてそれぞれの最も大きい主成分の量の合計量 10.0 二1 窒素全量を保証するものにあつては 窒素全量 1.0 2 アンモニア性窒素を保証するものにあつては アンモニア性窒素 1.0 3 硝酸性窒素を保証するものにあつては 硝酸性窒素 1.0 三1 りん酸全量を保証するものにあつては りん酸全量 1.0 2 <溶性りん酸を保証するものにあつては <溶性りん酸 1.0 3 可溶性りん酸を保証するものにあつては 可溶性りん酸 1.0 4 水溶性りん酸を保証するものにあつては 水溶性りん酸 1.0 四1 加里全量を保証するものにあつては 加里全量 1.0 2 <溶性加里を保証するものにあつては <溶性加里 1.0 3 水溶性加里を保証するものにあつては 水溶性加里 1.0 五 可溶性けい酸を保証するものにあつては 可溶性けい酸 10.0 六1 <溶性苦土を保証するものにあつては <溶性苦土 1.0 2 水溶性苦土を保証するものにあつては 水溶性苦土 1.0 七1 可溶性マンガンを保証するものにあつては 可溶性マンガン 0.10 2 <溶性マンガンを保証するものにあつては <溶性マンガン 0.10 3 水溶性マンガンを保証するものにあつては 水溶性マンガン 0.10 八1 <溶性ほう素を保証するものにあつては <溶性ほう素 0.05 2 水溶性ほう素を保証するものにあつては 水溶性ほう素 0.05	窒素、りん酸又は加里のそれぞれの最も大きい主成分の量の合計量の含有率1.0%につき 硫青酸化物 0.005 ひ素 0.002 亜硝酸 0.02 ビウレット性窒素 0.01 スルファミン酸 0.005 カドミウム 0.000075 ニッケル 0.005 クロム 0.05 チタン 0.02 水銀 0.00005 鉛 0.003	一 窒素全量を保証する肥料は、アンモニア性窒素又は硝酸性窒素以外の成分形態の窒素を含有するもの並びにアンモニア性窒素及び硝酸性窒素を併せて含有するものであること。 二 りん酸全量又は加里全量を保証する肥料は、原料として動植物質のものを使用したものであること。 三 原料として<溶性りん酸を含有する肥料及び可溶性りん酸を含有する肥料を併せて使用する普通肥料にあつては、<溶性りん酸又は可溶性りん酸のいずれか一を保証するものであること。 四 可溶性マンガンを保証する肥料は、原料として可溶性マンガンを保証する肥料を使用したものであること。 五 牛の部位を原料とする場合にあっては、せき柱等が混合しないものとして農林水産大臣の確認を受けた工程において製造されたものであること。 六 規則第7条の6第5号の農林水産大臣が指定する化成肥料以外のものであること。

※ 現行では、化成肥料の原料として利用できない熔成汚泥灰複合肥料について、その製造方法や含有する有害物質の検証を行い、化成肥料に関する安全性が確認されれば、化成肥料の原料として熔成汚泥灰複合肥料の利用を認める。

表資 1-5 公定規格 (熔成汚泥灰複合肥料)

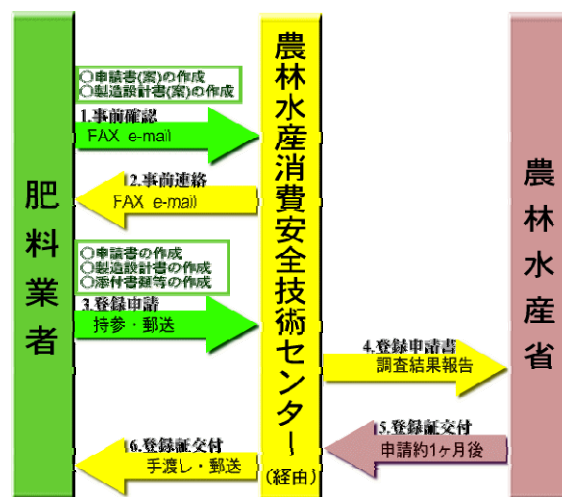
肥料の種類	含有すべき主成分の 最小量(%)	含有を許される有害成分の 最大量(%)	その他の制限事項
熔成汚泥灰複合肥料 (下水道の終末処理場から生じる汚泥を焼成したものに肥料又は肥料原料を混合し、熔融したものをいう。)	一 く溶性りん酸 12.0 く溶性加里 1.0 二 く溶性りん酸及びく溶性加里のほかアルカリ分、可溶性けい酸又はく溶性苦土を保証するものにあつては、一に掲げるもののほか アルカリ分については 40.0 可溶性けい酸については 10.0 く溶性苦土については 12.0	りん酸及び加里の主成分の量の合計量の含有率1.0%につき ヒ素 0.002 カドミウム 0.000075 ニッケル 0.005 クロム 0.05 水銀 0.00005 鉛 0.003	一 2ミリメートルの網ふるいを全通すること。 二 植害試験の調査を受け害が認められないものであること。 三 牛の部位を原料とする場合にあつては、せき柱等が混合しないものとして農林水産大臣の確認を受けた工程において製造されたものであること。

(4) 登録

肥料を生産、輸入、販売する際には、表資 1-6 に示すように、その種類に応じて、農林水産大臣または都道府県知事に登録や届出をしなければならない。汚泥原料とする肥料の農林水産大臣への登録の流れを図資 1-1 に示す。

表資 1-6 肥料の種類と登録、届出

肥料の 生産	普通肥料 (指定配合肥料を除く)	①化学的方法によって生産されるもの。 ②化学的方法以外によって生産され、けい酸、マンガ ン、ほう素を保証するもの。 ③汚泥を原料として生産されるもの。 ④①又は②を原料とした配合肥料。 ⑤輸入または外国で生産する普通肥料。 ⑥特定普通肥料。	農林水産大臣へ登録
		①化学的方法以外の方法で生産され、窒素、りん酸、 加里、石灰、苦土を主成分として保証するもの(有機 質肥料など)。 ②石灰質肥料。 ③都道府県を越えない区域を地区とする農協等が生 産する配合肥料。	都道府県知事へ登録
	普通肥料 (指定配合肥料)	省令で定めた都道府県知事登録の肥料のみで配合さ れた肥料	都道府県知事へ届出
		上記以外の指定配合肥料	農林水産大臣へ届出
	特殊肥料	生産及び輸入	都道府県知事へ届出
肥料の 販売	販売する肥料の種類は問わない。販売所が同一県内に数ヶ所ある場合は 届出書1通にすべてを列記し、販売所が数県にある場合はそれぞれの都道 府県に届け出る。		都道府県知事へ届出



http://www.famic.go.jp/ffis/fert/sub2_gaiyo.html

図資 1-1 登録申請手続きの流れ

1. 2 農用地土壌の保全のための管理基準

出典:「下水汚泥の緑農地利用マニュアル」

耕作あるいは家畜の放牧，さらには養畜のための採草の目的に供される土地である農用地は，土壌の特定有害物質による汚染の防止や汚染に伴う合理的な利用を図る必要がある。

1) 農用地における土壌中の重金属等の蓄積防止に係る管理基準

この農用地土壌の保全のための管理基準として，昭和 59 年環境庁水質保全局長通達として出された「農用地における土壌中の重金属等の蓄積防止に係る管理基準」（表資 1-7）がある。

表資 1-7 農用地における土壌中の重金属等の蓄積防止に係る管理基準
(昭和 59 年 11 月 8 日環境庁水質保全局長通達より)

項目	管理基準値
亜鉛	土壌（乾土）1kg につき亜鉛 120mg とする。

この基準は，環境庁によって，人為的な重金属等の負荷が認められないわが国の農地等の土壌における自然賦存量が調査され，全測定値の 95% 値(相対累積度数の 95% 値)に相当する，土壌乾土 1kg 当たり亜鉛 120mg を農用地土壌等への重金属等の蓄積を防止するために暫定的な基準として定められたものである。つまり，この基準は土壌中の亜鉛の自然賦存量を考慮して定められたものであり，必ずしも作物への影響や障害から定められたものではない。

亜鉛が定められた理由は，亜鉛が土壌に蓄積されやすいこと，亜鉛が作物に比較的吸収されやすく作物の生育障害が現れる可能性が他の元素より高いこと，亜鉛を指標とすることで他の重金属の蓄積が防止できること，亜鉛の分析が比較的簡単にできること等の理由によっている。

しかし，土壌に含まれる亜鉛は植物の生育にとって必要な微量元素であり，その量は植物によって異なるが，これらが不足すると作物は欠乏症を起こす。また，過剰に存在すると種々の生育障害を起こす原因になる。土壌中の亜鉛の自然賦存量は土壌母材の種類によって違っており，玄武岩に由来する九州地域の土壌では 120～140mg，花崗岩由来の土壌で 80～100mg で，砂岩系土壌では 7mg と低く，また富士火山灰系の土壌は概して高く，120mg 以上のものがある。

また，土壌への亜鉛の蓄積は土壌の CEC や腐植質の多少等によって，また，作物の吸収は作物によって異なるが，一般的には，土壌や下水汚泥肥料の pH が低い場合に吸収量が大きくなる。

土壌の種類でみると黒ボク土は最も被害が少なく，洪積土壌，沖積土壌では比較的被

害が出やすく、その範囲は 150～500mg 程度と環境庁の調査で推定されている。

したがって、下水汚泥を原料とする肥料の施用に当っては、土壌や作物によって亜鉛の吸収や影響が異なってくるので、管理基準を指標として、それ以上の土壌では土壌診断を行い、モニタリング等で安全性を確認しながら施用していく必要がある。

2) 農用地の土壌の汚染防止等に関する法律

「農用地の土壌の汚染防止等に関する法律」(昭和 45 年法律第 139 号)により、人の健康を損なうおそれのある農畜産物が生産され、若しくは農作物等の生育の障害が広く認められる地域を「農用地土壌汚染対策地域」として指定するため、農用地の土壌または当該農用地で生育する農作物等に含まれる特定有害物質の要件が定められている。この農用地土壌汚染対策地域の指定要件として、カドミウム、銅およびヒ素の 3 項目について、それぞれ含有量等の定め(表資 1-8)がある。

この要件は、土壌や生産物に対するものであり下水汚泥を原料とする肥料の含有量を規定するものではないが、農用地土壌汚染対策地域に指定され、その農用地に下水汚泥肥料等を施用していた場合には、その因果関係が問われることになり、指定要件であるカドミウム、銅およびヒ素について、下水汚泥を原料とする肥料の含有量および施用した農用地のモニタリング等の対応が必要となる。

表資 1-8 農用地土壌汚染対策地域の指定要件

項目	要件
カドミウムおよびその化合物	その地域内等の農用地において生産される米に含まれるカドミウムの量が米 1kg につき 1mg 以上
銅およびその化合物	その地域内の農用地(田に限る。)の土壌に含まれる銅の量が土壌 1kg につき 125mg 以上
ヒ素およびその化合物	その地域内の農用地(田に限る。)の土壌に含まれるヒ素の量が土壌 1kg につき 15mg (または、特別な事情により都道府県知事が定める 10～20mg の範囲内で定める値) 以上

(測定方法)

カドミウムおよびその化合物：昭和 46 年 6 月農林省令第 47 号に定める方法による

銅およびその化合物：昭和 47 年 10 月総理府令第 66 号に定める方法による

ヒ素およびその化合物：昭和 50 年 4 月総理府令第 31 号に定める方法による

3) 土壤汚染対策法に係る諸基準

全般の土壤汚染防止し土壤環境を保全するために、環境基本法第 16 条の規定に基づく「土壤汚染対策法」における「土壤に水を加えた場合に溶出する特定有害物質の量に関する基準」(表資 1-9) および「土壤に含まれる特定有害物質の量に関する基準」(表資 1-10) について充分留意する必要がある。

表資 1-9 土壤に水を加えた場合に溶出する特定有害物質の量に関する基準
(平成 14 年 12 月 26 日環境省令第 29 号別表第 2)

特定有害物質の種類	要件
カドミウム及びその化合物	検液 1 リットルにつきカドミウム 0.01 ミリグラム以下であること
六価クロム化合物	検液 1 リットルにつき六価クロム 0.05 ミリグラム以下であること
シマジン	検液 1 リットルにつき 0.003 ミリグラム以下であること
シアン化合物	検液中にシアンが検出されないこと
チオベンカルブ	検液 1 リットルにつき 0.02 ミリグラム以下であること
四塩化炭素	検液 1 リットルにつき 0.002 ミリグラム以下であること
1・2-ジクロロエタン	検液 1 リットルにつき 0.004 ミリグラム以下であること
1・1-ジクロロエチレン	検液 1 リットルにつき 0.02 ミリグラム以下であること
シス-1・2-ジクロロエチレン	検液 1 リットルにつき 0.04 ミリグラム以下であること
1・3-ジクロロプロペン	検液 1 リットルにつき 0.002 ミリグラム以下であること
ジクロロメタン	検液 1 リットルにつき 0.02 ミリグラム以下であること
水銀及びその化合物	検液 1 リットルにつき水銀 0.0005 ミリグラム以下であり、かつ、検液中にアルキル水銀が検出されないこと
セレン及びその化合物	検液 1 リットルにつきセレン 0.01 ミリグラム以下であること
テトラクロロエチレン	検液 1 リットルにつき 0.01 ミリグラム以下であること
チウラム	検液 1 リットルにつき 0.006 ミリグラム以下であること
1・1・1-トリクロロエタン	検液 1 リットルにつき 1 ミリグラム以下であること
1・1・2-トリクロロエタン	検液 1 リットルにつき 0.006 ミリグラム以下であること
トリクロロエチレン	検液 1 リットルにつき 0.03 ミリグラム以下であること
鉛及びその化合物	検液 1 リットルにつき鉛 0.01 ミリグラム以下であること
砒素及びその化合物	検液 1 リットルにつき砒素 0.01 ミリグラム以下であること
ふっ素及びその化合物	検液 1 リットルにつきふっ素 0.8 ミリグラム以下であること
ベンゼン	検液 1 リットルにつき 0.01 ミリグラム以下であること
ほう素及びその化合物	検液 1 リットルにつきほう素 1 ミリグラム以下であること
ポリ塩化ビフェニル	検液中に検出されないこと
有機りん化合物	検液中に検出されないこと

表資 1-10 土壤に含まれる特定有害物質の量に関する基準

(平成 14 年 12 月 26 日環境省令第 29 号別表第 3)

特定有害物質の種類	要件
カドミウム及びその化合物	土壤 1 キログラムにつきカドミウム 150 ミリグラム以下であること
六価クロム化合物	土壤 1 キログラムにつき六価クロム 250 ミリグラム以下であること
シアン化合物	土壤 1 キログラムにつき遊離シアン 50 ミリグラム以下であること
水銀及びその化合物	土壤 1 キログラムにつき水銀 15 ミリグラム以下であること
セレン及びその化合物	土壤 1 キログラムにつきセレン 150 ミリグラム以下であること
鉛及びその化合物	土壤 1 キログラムにつき鉛 150 ミリグラム以下であること
砒素及びその化合物	土壤 1 キログラムにつき砒素 150 ミリグラム以下であること
ふっ素及びその化合物	土壤 1 キログラムにつきふっ素 4000 ミリグラム以下であること
ほう素及びその化合物	土壤 1 キログラムにつきほう素 4000 ミリグラム以下であること

2. 下水中のリン資源化技術の概要

2. 1 リン資源化技術の整理・体系化

下水処理におけるリン資源化技術は、処理水、余剰汚泥、消化汚泥、脱離水、炭化、焼却灰等の各工程から資源化する技術の研究開発が進められている。

リン資源化技術を整理・体系化すると図資 2-1 に示すとおりである。リン資源化に係るプロセスは、①リン溶出促進、②リン資源化の大きく2つに分類される。リン溶出促進技術の概要を表資 2-1 に示す。

表資 2-1 リン溶出促進技術の概要

汚泥減量化技術	概要	リン溶出	
オゾン	オゾンの酸化力を利用	○	アルカリの併用で効果大
熱溶出（好熱細菌）	好熱細菌の酵素を利用	○	70℃で1時間程度加熱
超音波可溶化	超音波を利用	△	溶解性リンは余剰汚泥対象で1.3倍程度
水熱	亜臨界（374℃、22Paより低い領域）の高温高压水を利用	○	80～100%の可溶化率の報告有り
溶菌剤	微生物を化学的に可溶化する溶菌剤を利用	—	報告なし
ミル破砕（ビーズミル）	充填したビーズの剪断力を利用	○	30分間でS-T-P:92→300mg/L
電解	活性の高い次亜塩素酸と感電を利用	—	報告なし

2. 2 資源化技術の原理と特徴

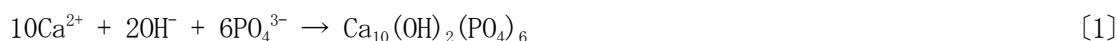
現在実用化可能なリン資源化技術として、以下の技術についてその特徴を整理する。

- (1) H A P 法
- (2) M A P 法
- (3) 灰アルカリ抽出法
- (4) 部分還元溶融法

(1) H A P 法（フォストリップ法を含む）

1) 原理

液中の PO_4^{3-} と Ca^{2+} および OH^- の反応によって生成する“ヒドロキシアパタイト $\text{Ca}_{10}(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_6$ ”の晶析現象を利用したものであり、生成反応を〔1〕式に示す。本方式では、リンを含む液に Ca^{2+} および OH^- を添加し、過飽和状態（準安定領域）にした後、脱リン槽に導き、槽内の脱リン材と接触させることにより、ろ材表面にヒドロキシアパタイト結晶を析出させ液中のリンを除去する。H A P 法では処理水のリン濃度を $1\text{mg}/\ell$ 以下にすることが可能である。リン濃度が低い場合には脱炭酸等の前処理が必要である。脱リン材には、リン鉱石、骨炭、珪酸カルシウム水和物等が利用されている。



2) 影響因子

①主要因子

晶析反応は、一般的に溶質が種結晶の周囲に形成されている停滞水層を通過して種結晶表面に達するまでの拡散段階と、結晶表面に達してから結晶化して析出するまでの晶出段階との2つの段階に分けることができる。晶析脱リン反応では拡散速度 \gg 晶出速度で、晶出速度 \approx 晶析脱リン反応速度と考えられている。晶析反応の速度は過飽和度が高いほど大きく、また、種結晶と溶液の接触する面積が広いほど大きい。

したがって、晶析脱リン反応においても過飽和度を左右する因子と、種結晶と溶液の接触する面積を左右する因子が反応速度に影響を与える。前者は、アパタイトの構成物質である Ca^{2+} 、 PO_4^{3-} の濃度と OH^- 濃度が分かる指標であるpHであり、後者は種結晶の量、粒度、比表面積等である。反応速度定数 k は一般的に温度の関数であり、過飽和度も温度によって変化すると考えられる。実験結果から、実際の晶析脱リン反応では温度が下がると晶析反応速度もかなり低下することがあきらかであり、温度の影響は無視できない。

②その他因子

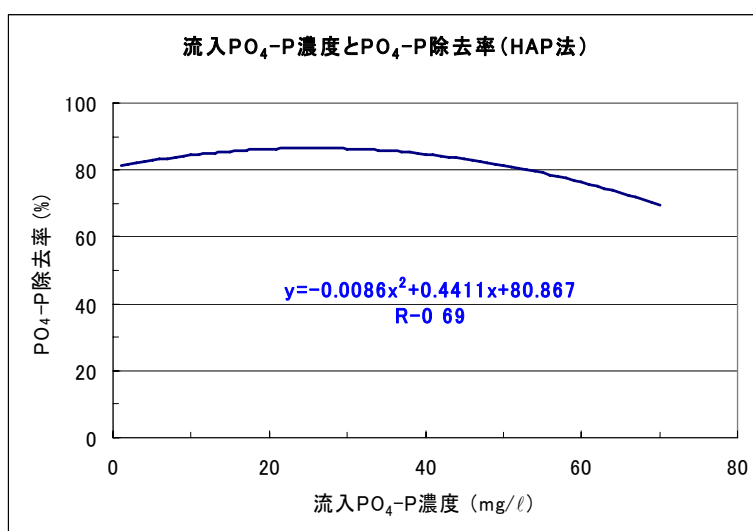
ヒドロキシアパタイトの生成反応と競合・妨害する物質がいくつか知られている。重炭酸イオンは反応速度を低下させ、高濃度では炭酸カルシウムを生成し、これが種結晶に付着する。種結晶に付着した炭酸カルシウムは晶析反応に有効な種結晶の表面積を減少させ、反応速度を低下せるともいわれている。二次処理水にはMアルカリ度として重炭酸イオンが含まれており、これ

を除去しない限りその影響は避けられない。

マグネシウムイオンも晶析脱リン反応を妨害するが、他方、炭酸カルシウムの生成を防止する作用があるともいわれている。また、硫酸イオンやある種の有機物も反応を妨害する。

有機物の影響についてはまだよくわかっていないが、フミン系の着色物質は低濃度で妨害するようである。硫酸イオンは高い濃度で阻害があらわれるので通常の濃度で問題となることはほとんどない。

HAP装置への流入水と流出水の $\text{PO}_4\text{-P}$ の関係を文献から整理した結果を図資 2-2 に示す。HAP法の場合、流入水濃度が高くなると、除去率が低下する傾向にあった。除去率と影響因子との関係を基にリン資源化技術の適用性を検討した結果、HAP法については、「最初沈殿池流入水」のように低濃度の水に適しているとする報告がある。



図資 2-2 除去率と影響因子

3) 肥料としての利用

HAP法により作られた製品のヒドロキシアパタイトは、リン酸質肥料(副産リン酸肥料)としての登録がなされている。

4) 適用事例

HAP法を応用した方式として、フォストリップ法がある。フォストリップ法は、AO法(嫌気-好気法)を改良し、生物学的リン除去と結晶反応を利用した化学的リン固定法を組み合わせた方式である。

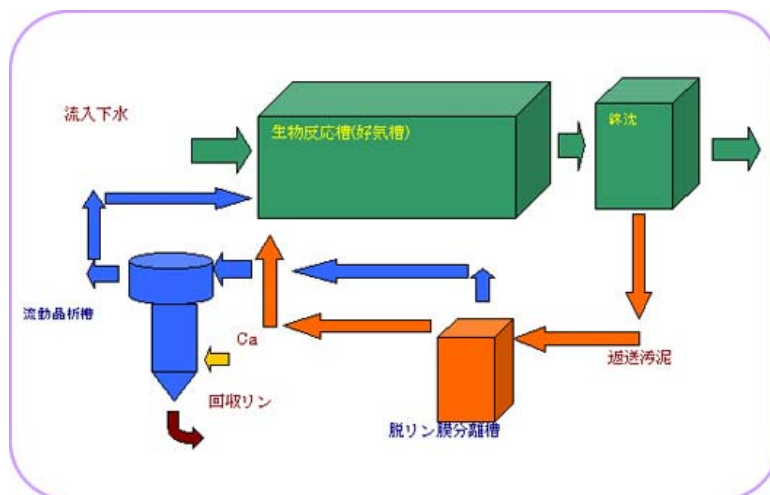
北塩原村裏磐梯浄化センター(オキシデーションディッチ法)に導入した事例(日本下水道事業団と昭和エンジニアリング(株)の共同研究)を以下に示す。本システムは、改良型フォストリップ法とされ、次の工夫がなされている。図資 2-3 にシステムの概要を示す。

①脱リン・膜分離槽での工夫

従来法では沈降分離法によりリンの汚泥からの放出ならびに汚泥からの高濃度のリン溶液の取り出しを行っていた→中空糸MF膜による膜分離方式を採用

②流動晶析法での工夫

従来法では消石灰によりリンの固定化を行っていた→ヒドロキシアパタイトとして資源化。膜分離された濃縮リン溶液は重金属やコロイド等を分離できるため、晶析リンの表面に付着することなく純度の高い資源化リンが期待される。



図資 2-3 北塩原村裏磐梯浄化センターリン資源化システム
(計画日最大汚水量：3,400m³/日)

(2) MAP法

1) 原理

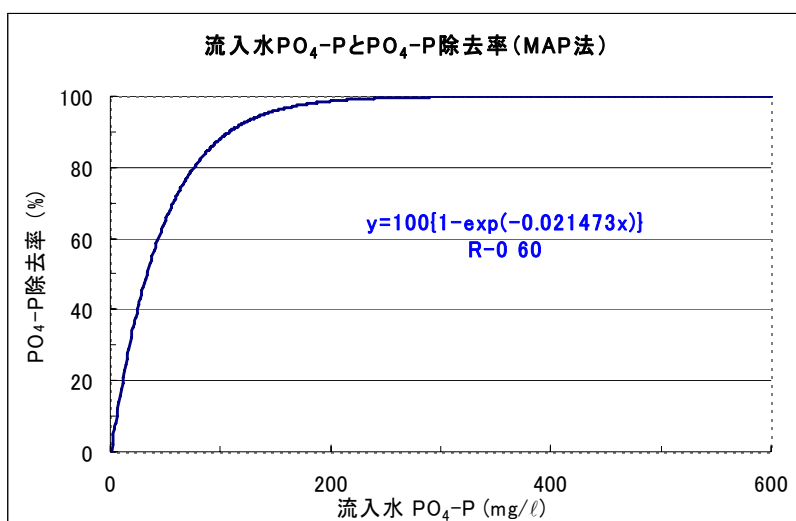
MAP法は嫌気性汚泥消化槽からの返流水中のリン酸とアンモニアの資源化技術として開発され、液中の PO_4^{3-} と NH_4^+ および Mg^{2+} の反応によって生成する“リン酸マグネシウムアンモニウム； MgNH_4PO_4 (MAP)”の晶析現象を利用したものであり、生成反応を〔2〕式に示す。本方式はリンとアンモニウムを含む液が対象となる。嫌気性消化槽の脱水分離液に Mg^{2+} を添加し弱アルカリ領域でMAPを生成させる。一般的に、MAP法は結晶生成速度が速いため、脱リン槽には脱リン材を充填せずに運転される。



2) 影響因子

MAPの生成過程には温度が影響すると考えられるが、実際は嫌気性消化汚泥の脱水ろ液等が原液となる場合が多く、その場合は嫌気性消化槽の加温の効果が維持され原液温度も安定していることから、温度の影響は大きくない。むしろ反応にはpHが大きく影響することが分かっており、原水中のリン濃度に応じた最適なpH制御値を見出す必要がある。

MAP装置への流入水と流出水の $\text{PO}_4\text{-P}$ の関係を文献から整理した結果をを図資 2-4に示す。MAP法の場合、流入水濃度が高いほど、除去率が高い傾向にあった。除去率と影響因子との関係を基に、リン資源化技術の適用性を検討した結果、MAP法については、「消化脱離液」のように流量が少なく、高濃度であるポイントに適しているとされている。



図資 2-4 除去率と影響因子

3) 肥料としての利用

MAP法により作られた製品は、複合肥料（化成肥料）としての登録がなされている。

4) 適用事例

MAP法は実施設へ適用可能なレベルであり、表資 2-2 に示す 5 処理場での導入事例がある。導入処理場の処理水量は、晴天時日平均下水量で 30,000～150,000m³/日であった。

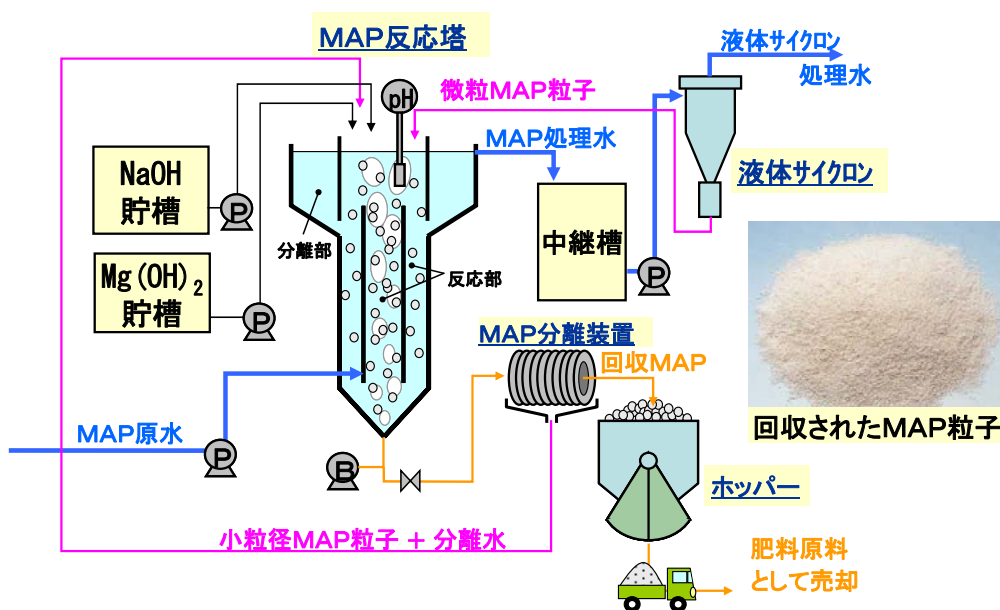
表資 2-2 MAP法導入事例

自治体	処理場	排除方式	H18処理実績		MAP処理対象	導入の背景
			晴天時 日平均下水量 (m ³ /日)	流入水質 年平均値・全リン (mg/l)		
福岡市	和白	分流	32,958	5.24	脱水ろ液	博多湾の富栄養化 対策
	東部	分流(一部合流)	84,609	5.27		
	西部	分流(一部合流)	133,754	3.67		
大阪市 (建設中)	大野	合流(一部分流)	148,370	3.40	消化汚泥 (高温高濃度)	消化汚泥送泥管の MAPによる閉塞防 止
島根県 (宍道湖流域下水道)	宍道湖 東部	分流	48,431	4.35	脱水ろ液	高度処理導入によ る返流水リン負荷 増加

1. 福岡市MAP実施処理場名：福岡市ホームページ
2. 排除方式：公共投資ジャーナル社；下水処理場2003
3. H18処理実績：下水道統計（2008）
4. MAP処理対象，導入の背景：再生と利用No. 98、112、117

①島根県事例

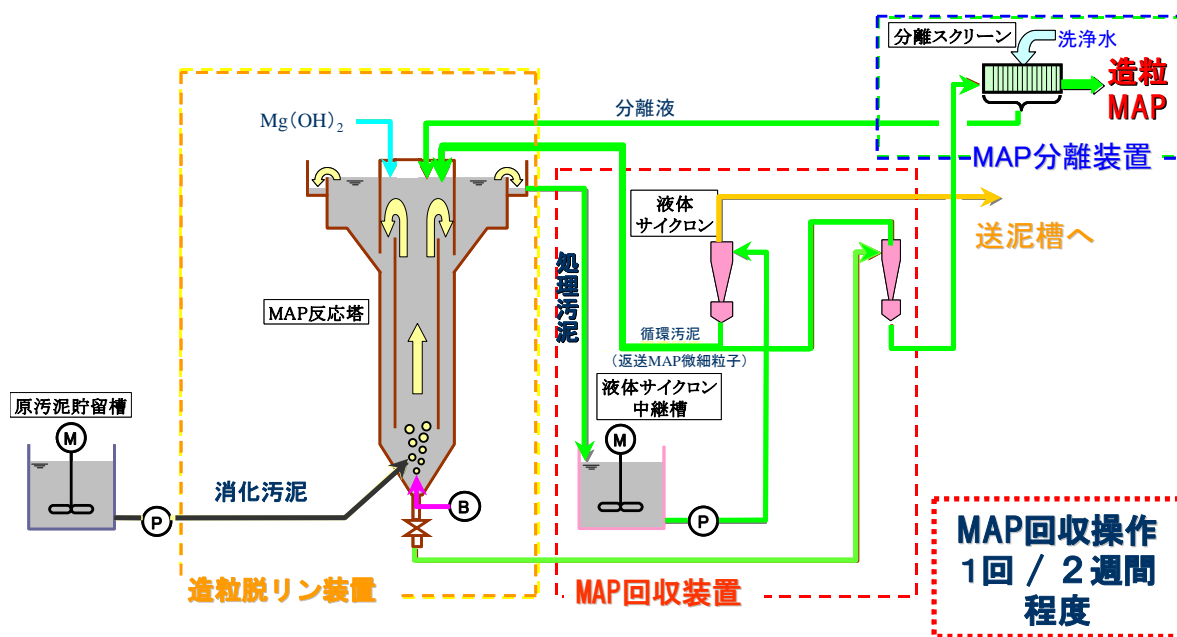
島根県宍道湖東部浄化センターでは、平成 10 年 9 月から返流水リン負荷削減，リン処理の安定化およびリンの再資源化を図るために脱水分離液を処理する MAP 設備を導入した。処理フローを図資 2-5 に示す。



図資 2-5 島根県 MAP処理の全体フロー

②大阪市事例

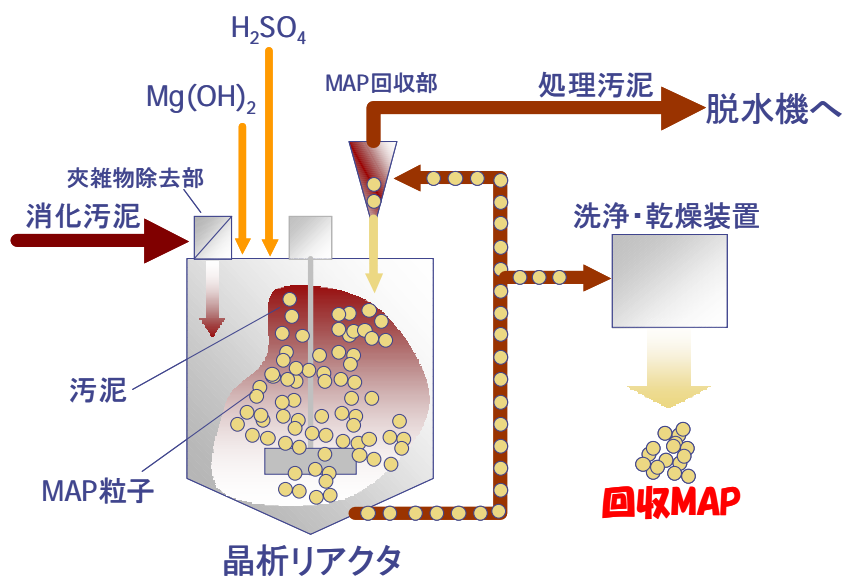
大阪市の下水汚泥処理計画は、基本的に嫌気性消化までを各処理場で行い、それをスラッジセンターへ送泥、脱水・溶融は集中処理することとしており、本システムは消化槽以降の配管や汚泥貯留槽等でMAPスケールが生成し、障害を引き起こす懸念がある。このために、鉄塩添加によるリンの不溶化対策が取られてきたが、経済性等の面から、リンの資源化も図れるMAP法が検討され、導入に至っている。MAP処理のフローは図資 2-6 のとおりであり、脱水ろ液ではなく、消化汚泥（消化液）を処理するシステムとなっている。



図資 2-6 大阪市 MAP処理のフロー

②完全混合型の例

消化液中からリンを資源化する目的で、**図資 2-7**に示すような完全混合型のリアクターが開発され、得られるMAPは化成肥料として登録されている。本マニュアルに記載の消化液対象のMAPの費用関数はこの完全混合型についてのものである。



図資 2-7 完全混合型MAP処理のフロー

(3) 灰アルカリ抽出法

1) 原理

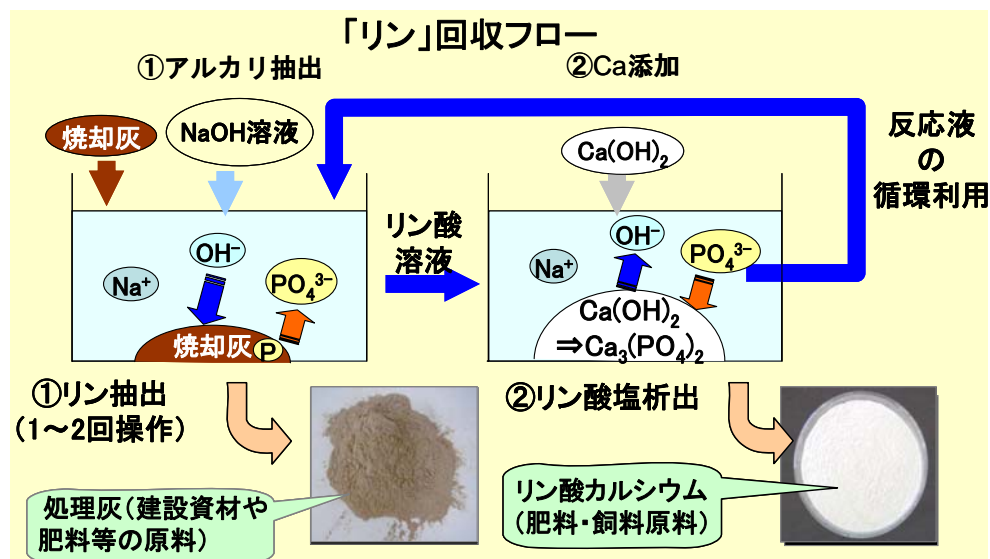
本法は国土交通省 LOTUS Project（下水汚泥資源化・先端技術誘導プロジェクト）において「スラッジ・ゼロ・ディスチャージ技術（汚泥を処分するよりも安くリサイクルする技術）」の1つとして、開発された技術であり、**図資 2-8**に示した①リン抽出と②リン酸塩析出の2つの工程より成り立っている。

①リン抽出工程

焼却灰中のリンを4%程度の水酸化ナトリウム溶液により抽出して、「リン酸イオンを多く含む抽出液」と、「重金属等が低減された処理灰」に分離する工程

②リン酸塩析出工程

分離した抽出液と消石灰を反応させ、リン酸カルシウムを主成分とするリン酸塩を回収する工程



図資 2-8 灰アルカリ抽出法

2) 特徴

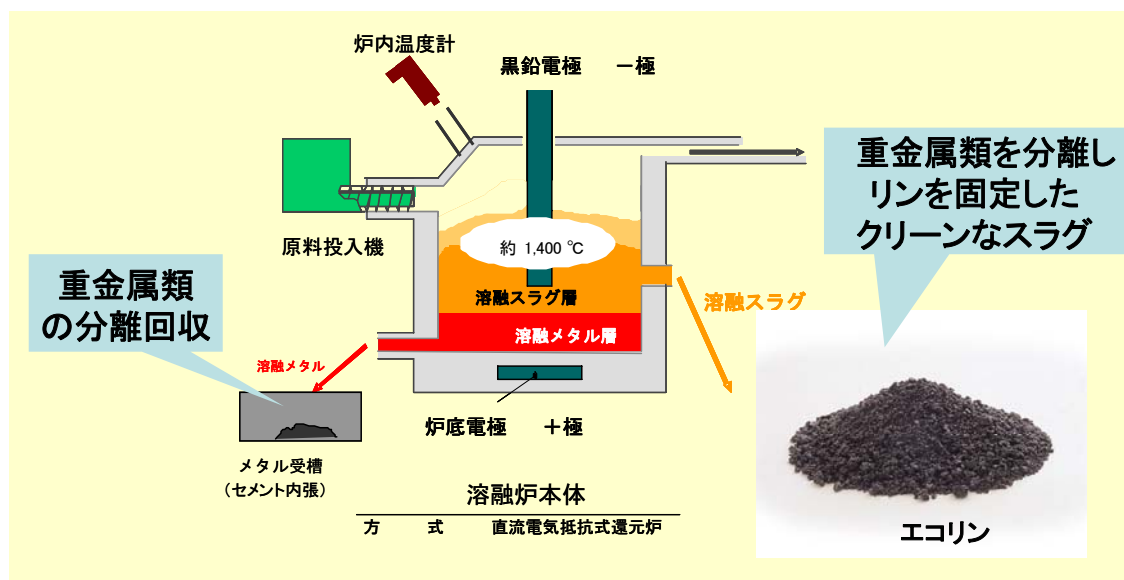
- ① 抽出に用いる反応液の循環利用によって運転に必要な薬剤費の低減を図っている。
- ② 一連の工程に要する温度が 50~70°C 程度の低温であるため、焼却炉の余剰熱で必要熱量を十分に確保できる。
- ③ 分離された処理灰の有効利用が採算性確保の鍵となる。

(4) 部分還元溶融法

1) 原理

部分還元溶融法は、電気抵抗式溶融炉にて焼却灰に Ca, Mg 等を添加し、適度な還元溶融とスラグの水砕処理により、Si, Ca, Mg, P を主成分としたスラグをリン肥料とする技術である。概要を図資 2-9 に示す。市販品の「熔成リン肥」に酷似した製品（熔成汚泥灰複合肥料）を製造可能である。

電気抵抗式溶融炉内では重金属類はメタルとして沈降し、スラグと分離するため、重金属類の含有量が少ない肥料、鉄主成分のメタルが製造される。



図資 2-9 部分還元溶融法

2) 特徴

エネルギーコストが高い。

生産物のリン肥料としての性質は原料となる焼却灰の性状（リン含有量等）に依存する。

沈降分離したメタルはリン鉄としての利用が見込まれるため、最終的な処分量はごくわずかとなる。

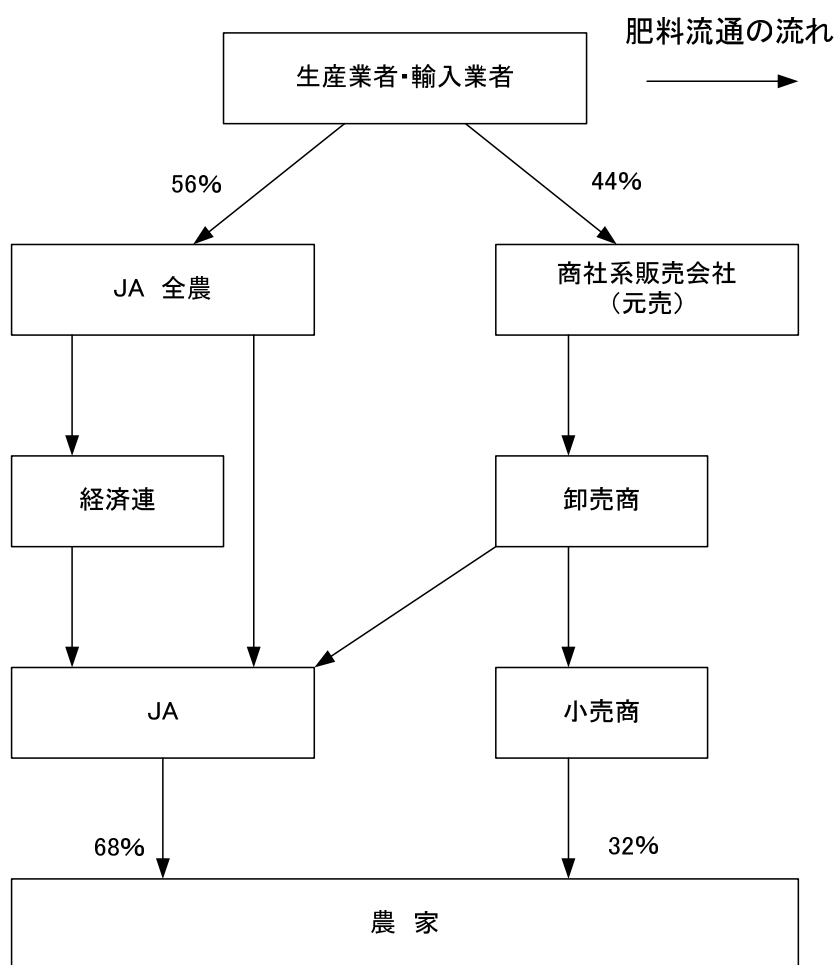
3. 肥料の製造工程と流通

(1) 肥料の流通ルート

肥料の流通ルートは大きく分けて、全農系と商社系に分けられている。

図資 3-1 に示すように、全農系は経済連から単位農協を通じて各農家へと供給されている。全農の化成肥料をはじめとする主要肥料の取扱量は、国内流通の 70% 程度を占めている。一方、商社系は肥料系の元売を通してホームセンター等へ販売しており、一般消費者を主な供給先としている。

肥料の流通における系統のシェアを平成 17 年の主要 15 品目の実績から推計すると、JA 全農のシェアは 56% となっている。



図資 3-1 肥料流通の概要

各りん酸質肥料の生産量と輸入量を表資 3-1 に示す。

表資 3-1 りん酸質肥料の生産量と輸入量

		H20年	
		生産量 [t]	輸入量 [t]
りん酸質肥料		529,583	102,325
1	過りん酸石灰	175,042	7,687
2	重過りん酸石灰	36,958	45,969
3	りん酸苦土肥料	32	0
4	熔成りん肥	51,826	42,756
5	焼成りん肥	15,111	0
6	腐植酸りん肥	6,407	72
7	液体りん酸肥料	218	0
8	熔成けい酸りん肥	17,174	0
9	加工りん酸肥料	131,737	945
10	加工鉱さいりん酸肥料	1,308	0
11	副産りん酸肥料	5,654	3,612
12	混合りん酸肥料	88,116	1,284
13	鉱さいりん酸肥料	0	0

(2) 肥料製造工場

全国の肥料製造メーカーの名称と工場のリストをりん酸質肥料メーカーに関して表資 3-2 に、化成肥料メーカーに関して表資 3-3 に示す。肥料製造は、肥料の種類別に数社が製造している状況にあり、限定された地域に集中している場合もある。

したがって、焼却灰等を肥料原料として製造工場に出荷する場合には、輸送距離を考慮して輸送手段を選択する必要がある。

表資 3-2 りん酸質肥料メーカーと工場

	メーカー名	工場名
過リン酸石灰	朝日工業	関東
	エムシー・ファーティコム	いわき 神島
	協同肥料	名古屋
	コープケミカル	宮古
	北海道サンアグロ	砂川
	サンアグロ	大阪
	太陽肥料	鹿島
	多木化学	別府
	日東エフシー	千葉 名古屋
	菱東肥料	大分
重過リン酸石灰	エムシー・ファーティコム	いわき 神島
	コープケミカル	宮古
重焼燐	小野田化学	新潟
熔成燐肥	朝日工業	関東
	東北トソー	宮古
	日之出化学	舞鶴
	南九州化学	高鍋
混合燐肥	エムシー・ファーティコム	小名浜
	関東電工	倉賀野
	多木化学	別府
	北海道肥料	室蘭

日本肥料アンモニア協会調べ(2010.3)

表資 3-3 化成肥料メーカーと工場

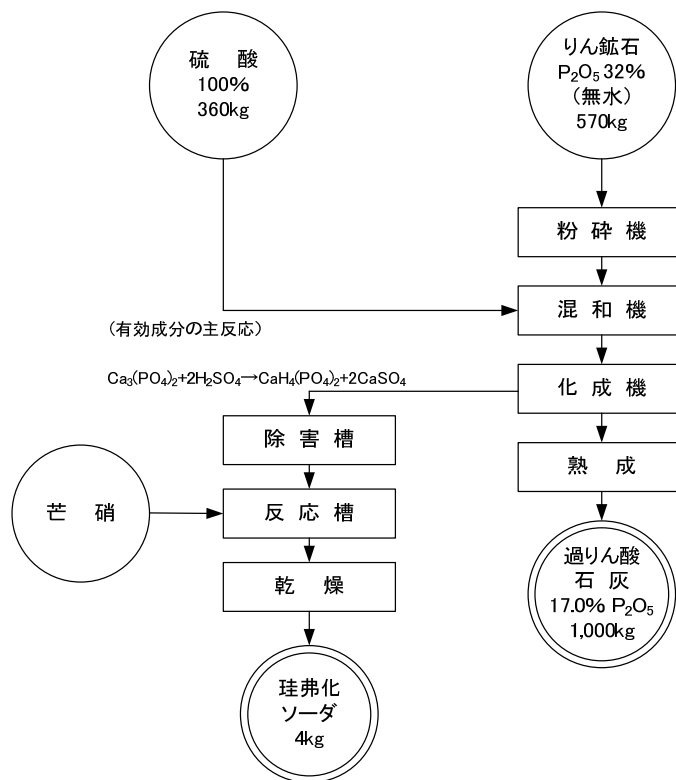
メーカー名	工場名	メーカー名	工場名		
朝日工業	関東 千葉 関西	JA東日本くみあい飼料	大間々		
		昭光通商あぐり	千葉 西		
朝日肥糧	本社	住友化学	宮城 泉州 兵庫 愛媛		
エムシー・ファーティコム	いわき 茨城 山陽 播州 神島 宇部		セイブサンエー	石巻	
			清和肥料	和歌山 九州	
小野田化学	小野田	セントラル合同肥料	宇部		
片倉チッカリン	旭川 青森 塩釜 大越 千葉 名古屋 姫路 日出	太平物産	秋田		
		太陽肥料	鹿島		
		多木化学	関東 別府 姫路 播磨		
				ジェイカムアグリ	小名浜 関東 埼玉 千葉 北陸 富士 滋賀 黒崎 水俣 大分
		協同肥料	名古屋		
		九鬼肥料	四日市		
		コープケミカル	八戸 宮古 秋田 つくば 新潟		
サンアグロ	北日本 北海道 宮城 福島第一 関東 久喜 袖ヶ浦 市原 銚子 速星 富山 東海 中京 滋賀 大阪 岡山 西日本 鏡 九州 北九州 九州第二	中央化成	播州		
		東菱肥料	鹿島 関西		
		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 第二		
				日本肥糧	新町 半田
		日本肥料	和泉		
		広島県製肥	半田 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	函館 砂川		
		北海道肥料	室蘭		
		三菱商事アグリサービス	関西		
		三菱	山陽	菱東肥料	大分

日本肥料アンモニア協会調べ(2010.3)

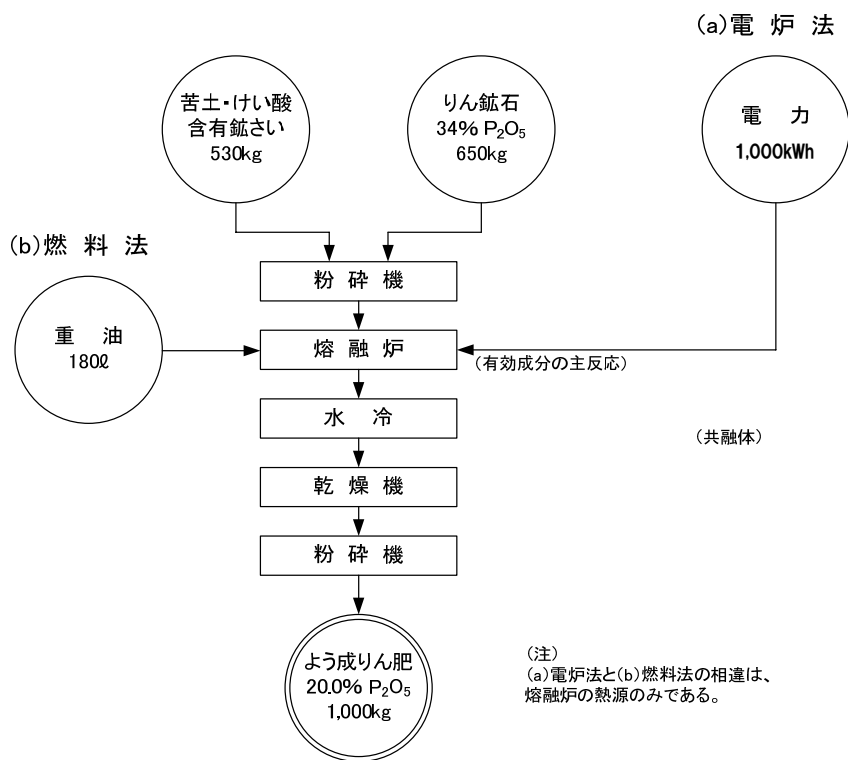
(3) 肥料原料の製造工程と原単位

主なりん系肥料の製造工程を以下に示す。

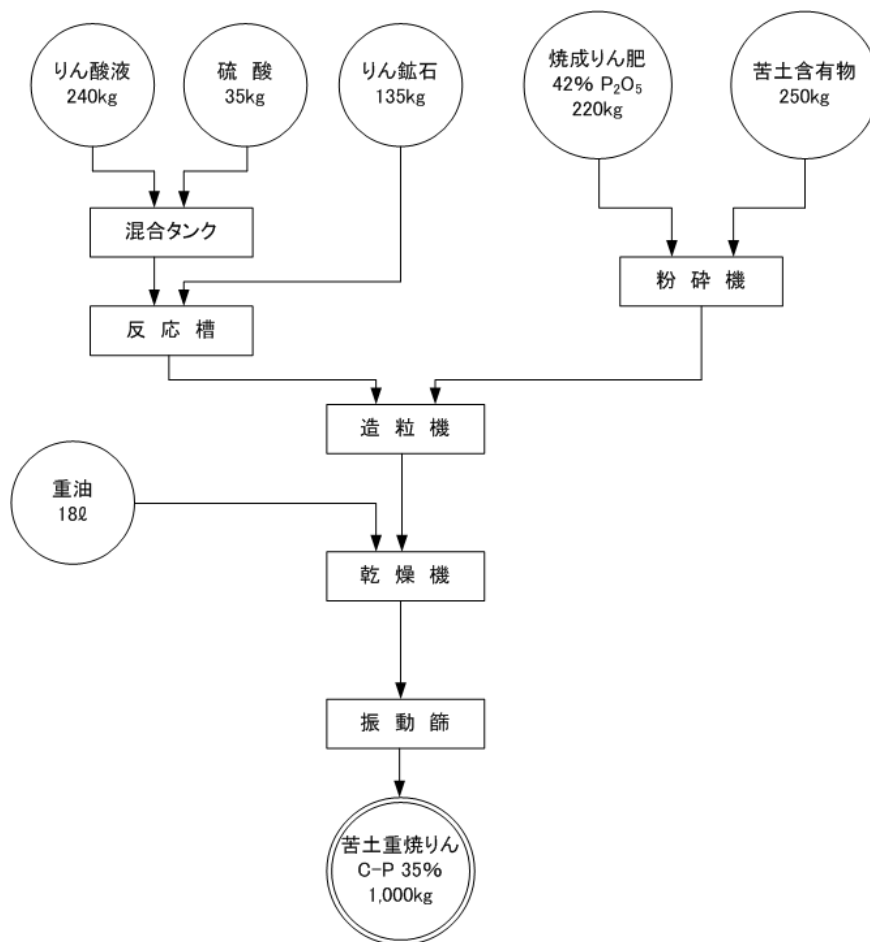
① 過りん酸石灰



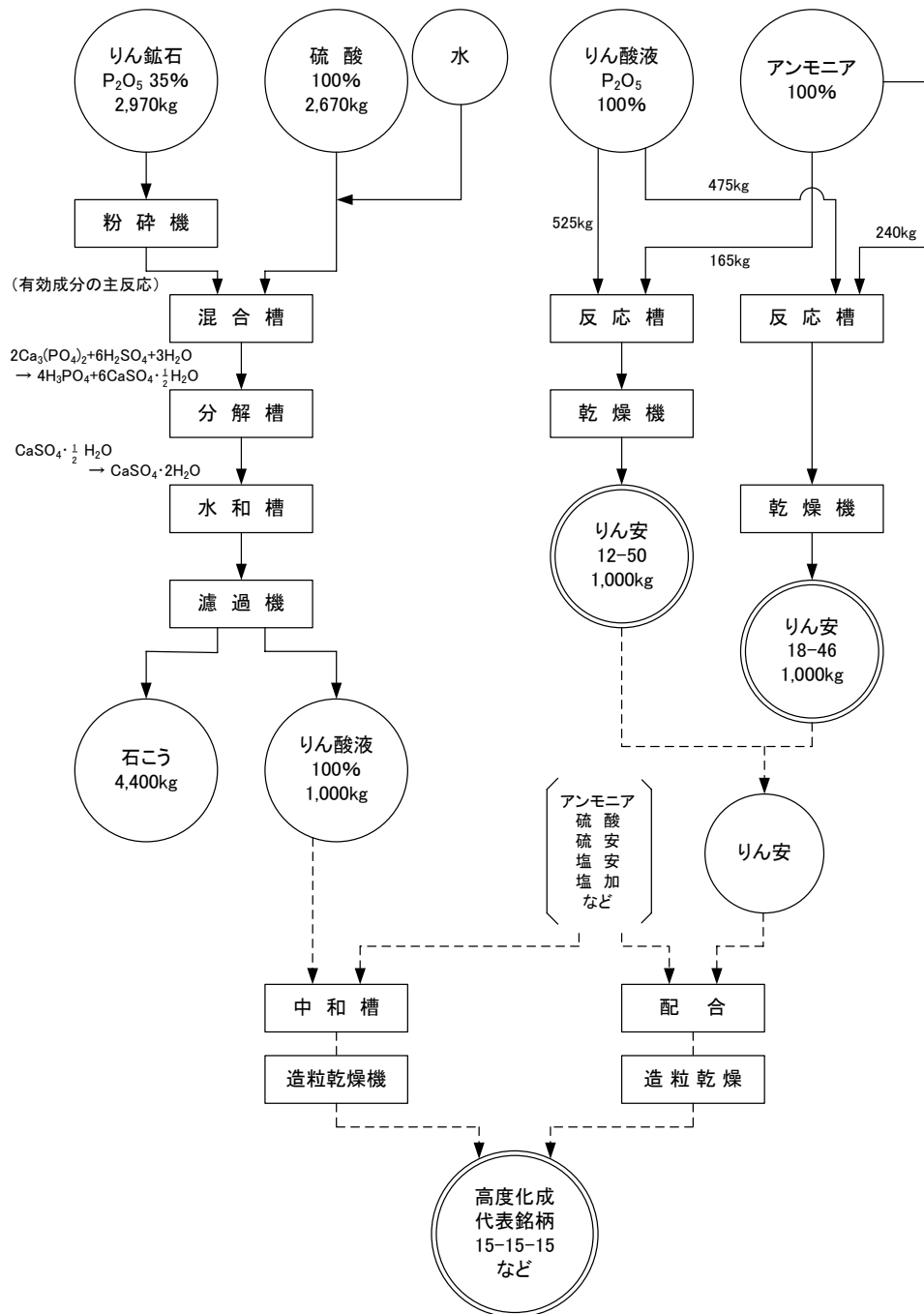
② 熔成りん肥



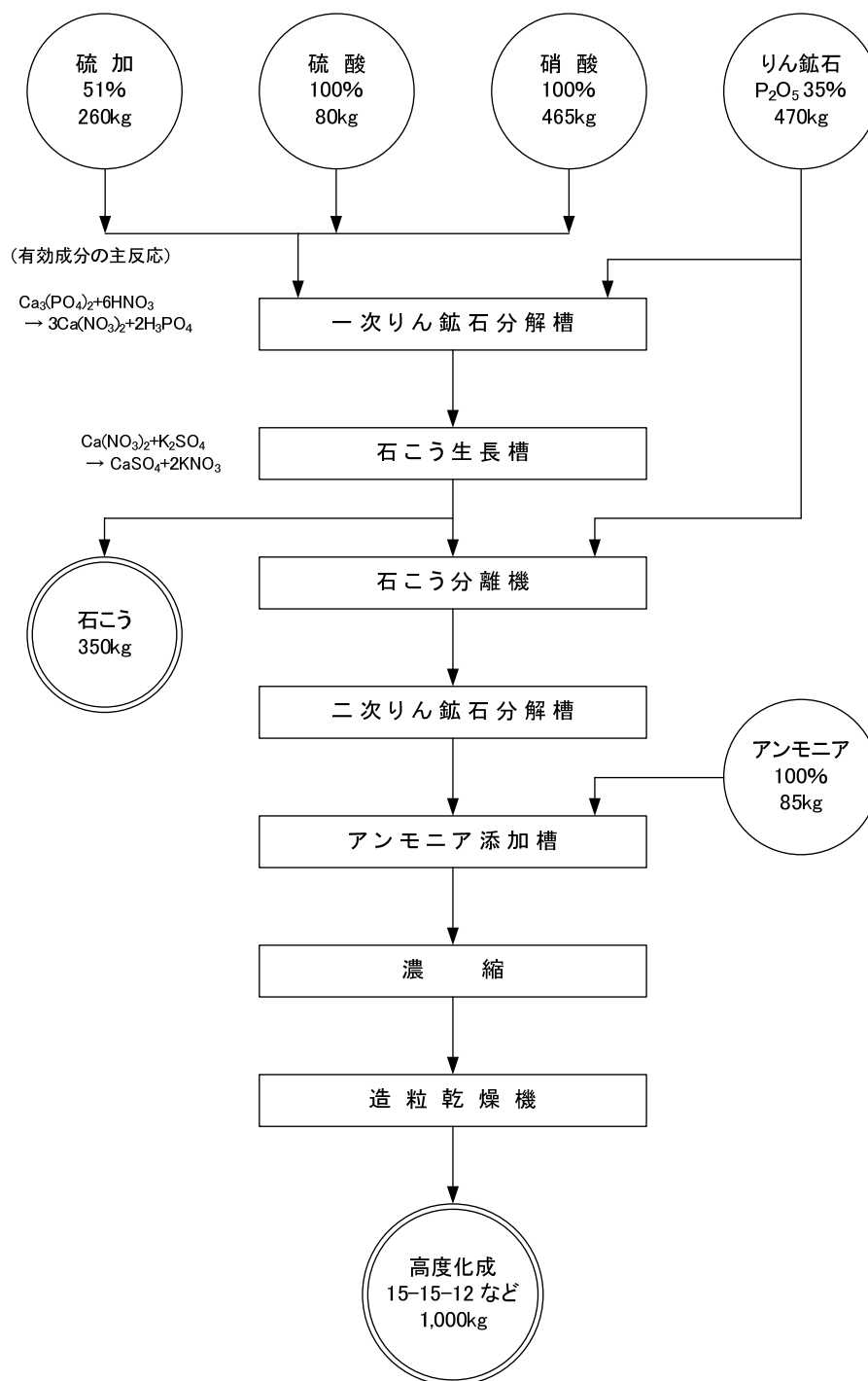
③ 苦土重焼りん



④ 高度化成（りん安系）



⑤ 高度化成（りん硝安系）



4. 費用関数（参考）

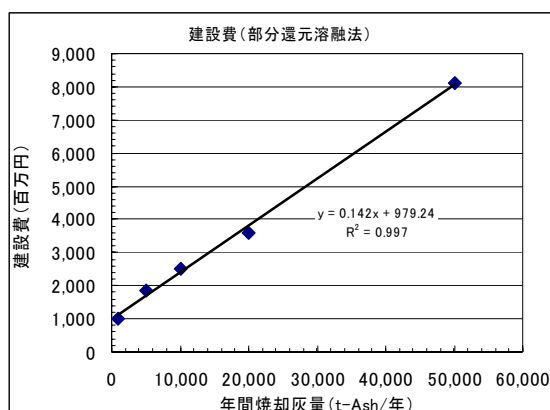
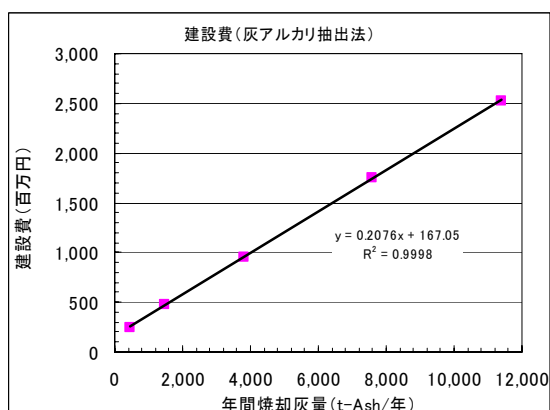
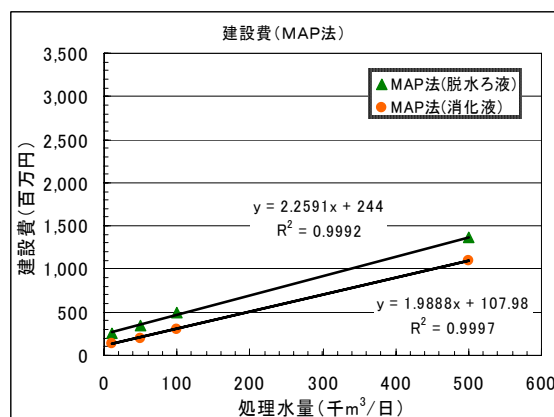
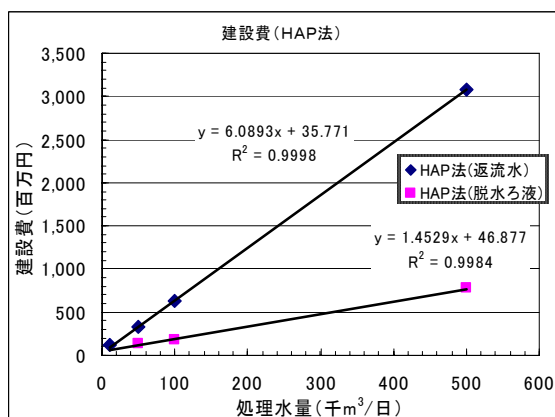
リン資源化技術の適用性を検討において、事業費算定の際の参考とする。
各メーカーのモデル設計により積み上げた費用をもとに導いたものである。

(1) 建設費

建設費は、土木、建築、機械、電気の各費用を積み上げている。ただし、灰アルカリ抽出法では建屋等の土木・建築は含んでいない。

〔建設費〕 y ：建設費（百万円）

リン資源化技術	費用関数	適用範囲
HAP法(返流水)	$y = 6.0893x + 35.771$	$10 < x < 500$ (千 m^3 /日) x ：日最大下水処理量 (千 m^3 /日)
HAP法(脱水ろ液)	$y = 1.4529x + 46.877$	$10 < x < 500$ (千 m^3 /日) x ：日最大下水処理量 (千 m^3 /日)
MAP法(脱水ろ液)	$y = 2.2591x + 244.00$	$10 < x < 500$ (千 m^3 /日) x ：日最大下水処理量 (千 m^3 /日)
MAP法(消化液)	$y = 1.9888x + 107.98$	$10 < x < 500$ (千 m^3 /日) x ：日最大下水処理量 (千 m^3 /日)
灰アルカリ抽出法	$y = 0.2076x + 167.05$ (建屋等を含まない)	$400 < x < 10,000$ (t-Ash/年) x ：年間焼却灰量 (t-Ash/年)
部分還元溶融法	$y = 0.1420x + 979.24$	$1,000 < x < 50,000$ (t-Ash/年) x ：年間焼却灰量 (t-Ash/年)

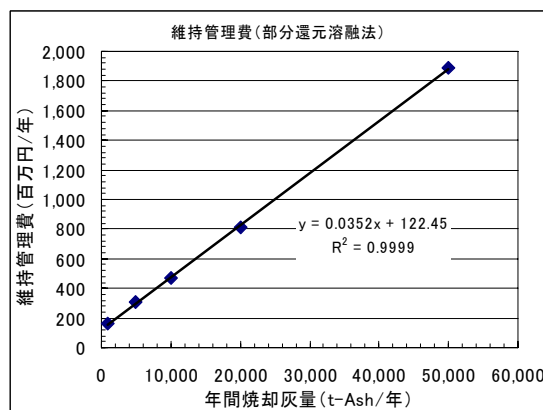
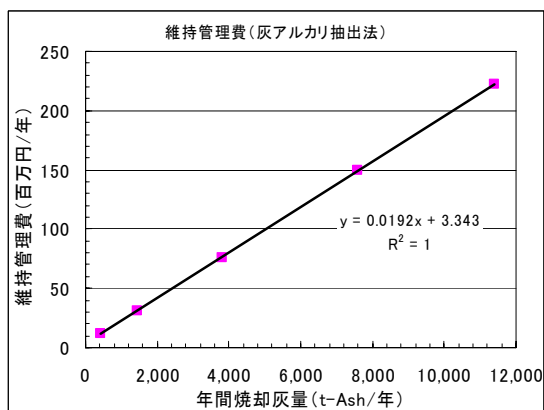
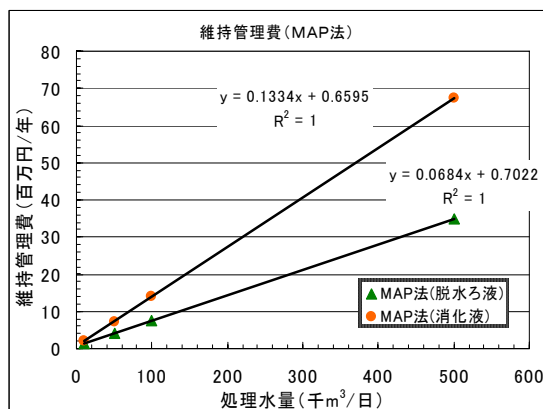
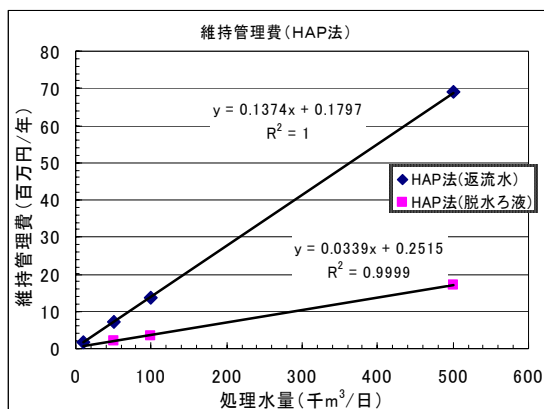


(2) 維持管理費

維持管理費は、電力、燃料、薬品、水道の各ユーティリティ費用、定期点検費・修繕費を積み上げている。ただし、部分還元溶融法では人件費を含む。

〔維持管理費〕 y : 維持管理費 (百万円/年)

リン資源化技術	費用関数	適用範囲
HAP法(返流水)	$y = 0.1374x + 0.1797$	$10 < x < 500$ (千 m^3 /日) x : 日平均下水処理量 (千 m^3 /日)
HAP法(脱水ろ液)	$y = 0.0339x + 0.2515$	$10 < x < 500$ (千 m^3 /日) x : 日平均下水処理量 (千 m^3 /日)
MAP法(脱水ろ液)	$y = 0.0684x + 0.7022$	$10 < x < 500$ (千 m^3 /日) x : 日平均下水処理量 (千 m^3 /日)
MAP法(消化液)	$y = 0.1334x + 0.6595$	$10 < x < 500$ (千 m^3 /日) x : 日平均下水処理量 (千 m^3 /日)
灰アルカリ抽出法	$y = 0.0192x + 3.343$	$400 < x < 10,000$ (t-Ash/年) x : 年間焼却灰量 (t-Ash/年)
部分還元溶融法	$y = 0.0352x + 122.45$ (人件費を含む)	$1,000 < x < 50,000$ (t-Ash/年) x : 年間焼却灰量 (t-Ash/年)



(3) 用地面積

灰アルカリ抽出法は、リン回収装置・製品ホッパを対象とした面積である。

部分還元溶融法は、リン肥料化設備・副原料ヤード・エネルギーヤード・製品ヤードを対象とした面積である。

用地面積 x : 焼却灰量 (t-Ash/日), y : 用地面積 (m²)

リン資源化技術	費用関数	適用範囲
灰アルカリ抽出法	$y = 59.739x + 390.41$	$1.5 < x < 39$ (t-Ash/日)
部分還元溶融法	$y = 46.927x + 765.51$	$3.3 < x < 167$ (t-Ash/日)

