

E. 下水汚泥焼却灰溶融時のリン回収
及び脱リンスラグ利用

(日本鋼管テクノサービス株式会社)

目 次

	ページ
1. 目的	E - 1
2. 推進体制と実施計画	1
(1) 推進体制	1
(2) 実施計画	3
(3) その他の活動状況	3
3. 下水汚泥焼却灰の黄リン回収技術	3
(1) 下水汚泥焼却灰とリン	3
(2) 下水汚泥焼却灰からのリン回収プロセス	5
(3) 実験	8
(4) 実用化検討	15
(5) 回収黄リンの用途	17
4. 脱リン溶融スラグを原料とするウール試作と経済性評価	18
(1) 農業用に使用されるロックウール	18
(2) 繊維化実験	20
(3) 基本物性試験	21
4. 下水汚泥焼却灰資源化事業の採算性調査	22
(1) フィージビリティースタディー	22
6. 今後の開発計画	26

1. 目的

近年、下水汚泥は、各下水処理場から配管により一ヶ所に集められ、集中処理される傾向にある。集められた下水汚泥には環境ホルモン等有害物質が吸着しており、また、埋立地不足から焼却処理の比率が増大し、今や焼却される下水汚泥量は、100万 t/y を上回っている。この下水汚泥焼却灰には、焼却工程で生成したダイオキシンが含有されている事と、埋立地不足対策として更なる減容化のニーズが高い事から、焼却灰の熔融化の傾向（1995年には、約9万 t dry-sludge/年が熔融されている。）が出始めている。下水汚泥焼却灰を熔融するのであれば、下水汚泥焼却灰中に含まれるリンを回収すべく、焼却灰を還元雰囲気で熔融し、リンを黄リンとして回収するだけでなく、リンを含まない熔融スラグを短繊維状に紡糸し、農材マットを製造するプロセスが、将来の有望な再資源化技術のひとつと思われる。本調査研究の目的は、黄リンを試回収すると共に農材マットの試作を行い、本技術の見極めを行うと共に、今後の開発計画を作成する事であり、本技術の基本フローを下記に示す。

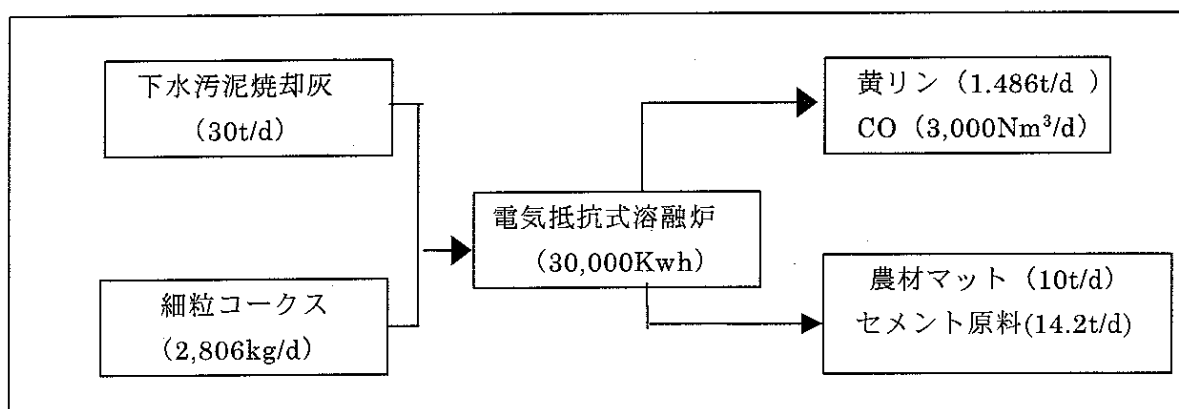


図1 プロセス基本フロー

2. 推進体制と実施計画

(1) 推進体制

1) 組織

本開発の実行組織を図2に示す。

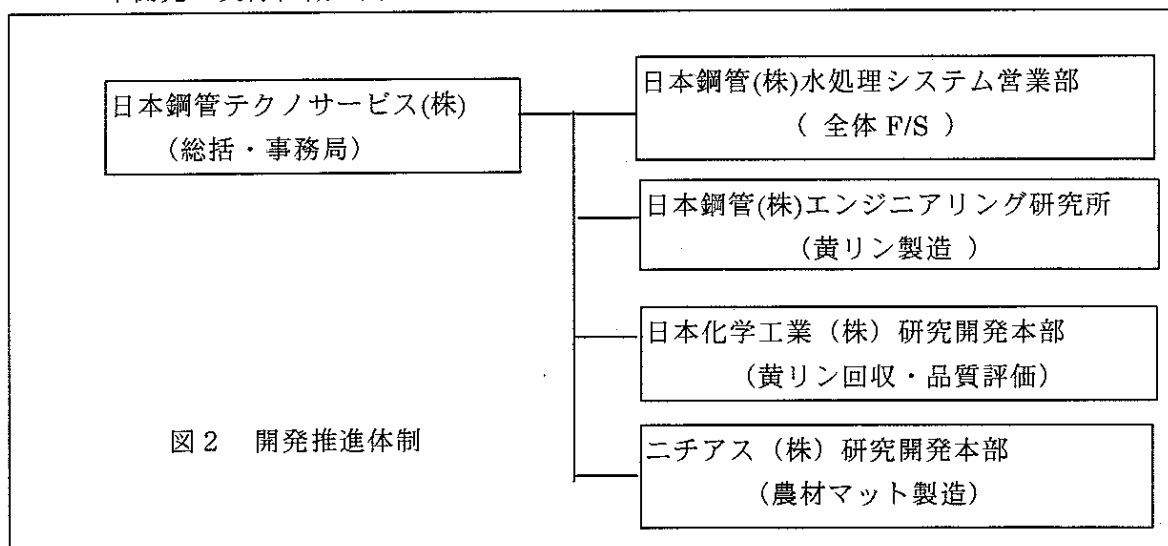


図2 開発推進体制

2) 業務分担

- ①F/S：日本鋼管(株)水処理プラント営業部
 - ・ システム全体の基本設計および溶融炉設計
- ②黄リン製造プロセス：日本鋼管(株)エンジニアリング研究所・燃焼システム研究室
 - ・ 50kg 炉でのリン回収実験
 - ・ 焼却灰予備処理技術の検討および事業化周辺情報収集
- ③リンの回収・リンの品質評価：日本化学工業(株)
 - ・ 回収リンの分析評価
 - ・ リン回収工程の基本設計と設備費算出
- ④農材マット製造とその評価：ニチアス(株)
 - ・ 農材マット（粒状綿）の試作
 - ・ 農材マット製造工程の基本設計と設備費の試算
- ⑤全体調整ほか：日本鋼管テクノサービス(株)
 - ・ 研究会開催および調整企画

3) 研究委員会

下水汚泥焼却灰の資源化に関する研究会「下水汚泥焼却灰の資源化に関する研究会」を設置し、実験結果の検討と今後の対応について検討する場として、下記に示すような産官学の協調体制を構築した。

役 割・氏 名	所 属・役 職
委員長 仲 勇治	東京工業大学フロンティア創造共同研究センター 教授
副委員長 猪川 修郎	日本鋼管(株)水システム本部 計画部長
委員 桃井 清至	長岡科学技術大学環境システム工学科 教授
委員 若倉 正英	神奈川県産業総合技術研究所資源生活工学部/専門研究員
委員 杉山 彰	横浜市経済局 工業振興部 部次長 産学連携推進担当課長
委員 柳沢 剛	(財)横浜産業振興公社 参与
委員 江端 博	(財)クリーン・ジャパン・センター 参与
事務局 奥山 泰男	日本鋼管テクノサービス(株) 調査研究部長

・オブザーバーとして日本化学工業、ニチアス、日本鋼管の関係者(下表)が出席した。

氏 名	所 属・役 職
中原 啓介	日本鋼管(株)エンジニアリング研究所 燃焼システム研究室 准主幹
山本 浩	日本鋼管(株)エンジニアリング研究所 燃焼システム研究室
藪田 和哉	日本鋼管(株)基盤技術研究所 都市工学研究部 チーム主査
南条 行雄	日本鋼管(株)水処理技術部 汚泥処理技術室長
岩崎 克博	日本鋼管(株)エンジニアリング研究所 燃焼システム研究室 主任
田部井 清吉	日本化学工業(株) 顧問
桑山 通郎	日本化学工業(株) 研究開発本部
鈴木 正彦	ニチアス(株) 研究企画部 部長
佐々木 章	ニチアス(株) 研究企画部 主任
田島 治	日本鋼管テクノサービス(株) 調査研究部 顧問

(2) 実施計画

項 目	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
①予備調査				→								
②黄リン製造・評価				→	→	→	→	→	→			
③農材マット試作										→	→	→
④F/S												
⑤まとめ												
研究会開催				○					○			○
CJC 対応							●		●			●
見学会					◎	◎		◎				

- 1) 研究会開催 9/17, 12/20, 3/15
- 2) CJC 対応 現地視察(8/31,11/中旬),中間報告会(10/25)、展示会(12/10,11,12)、
最終報告会(2/28)
- 3) 見学会 8/31, 9/7, 11/9

(3) その他の活動状況(技術成果のPR)

- 研究発表、講演 6回
- 投稿論文 2件

3. 下水汚泥焼却灰からの黄リン回収技術

本技術は、下水汚泥焼却灰がリンを高濃度に含有することに着目して開発した技術であり、下水汚泥焼却灰の熔融処理において、リンを還元揮発させ黄リンとして回収することを特徴とする。また、還元熔融の原理により重金属の少ない安全なスラグを生成し、土木建設資材などに利用できる。

このように、本技術は下水汚泥焼却灰をスラグ、メタル、黄リンとして利材化、資源化できることから、資源循環社会に寄与できる新しい下水汚泥焼却灰の資源化技術として期待される。

(1) 下水汚泥焼却灰とリン

1) 下水汚泥焼却灰の発生と処分

下水処理では、汚濁物質は下水汚泥として分離される。次頁の図3に示すように、下水汚泥の約60%は焼却処理され、全国では約30万t/年、首都圏では約10万t/年の下水汚泥焼却灰が発生している。また、図4に示すように下水汚泥焼却灰の約20%はセメント原料や園芸土などに利用され、残りの約80%は埋立処分されている。

2) 下水汚泥焼却灰へのリンの移行

生活污水に排出されるリン量は1人1日当たり1.2gと報告³⁾されており、100万人当たりのリン排出量は1.2t/日、440t/年と試算され、全国では約5万t/年のリンが排出されていることになる。内湾や湖沼などの閉鎖水域の富栄養化が問題となり、

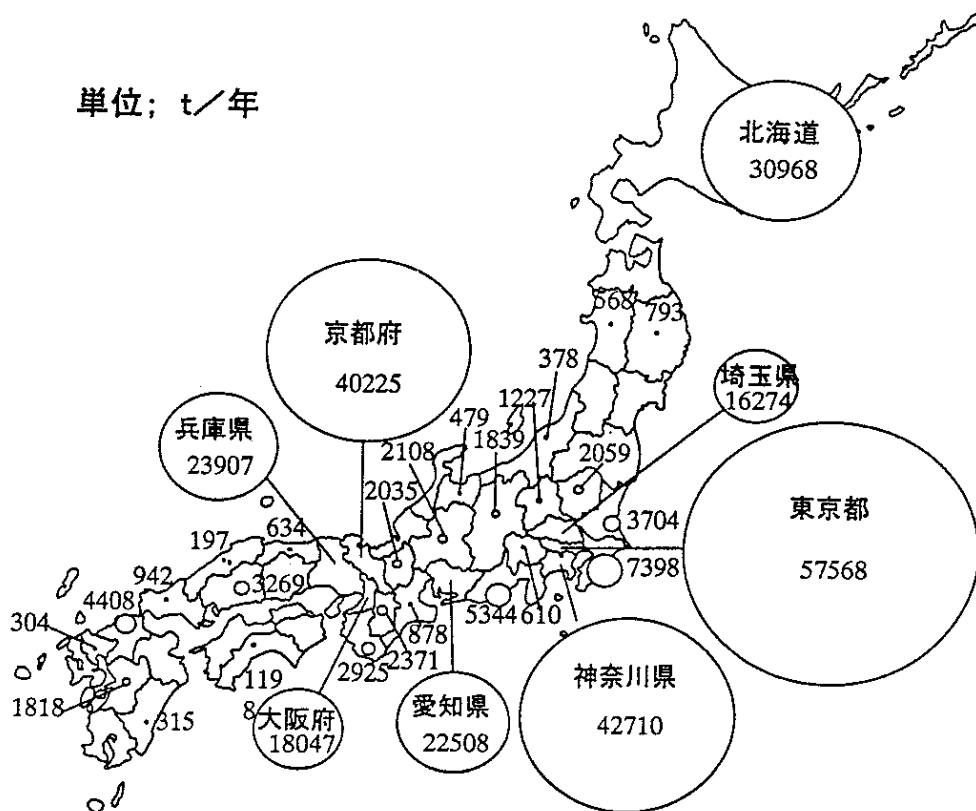


図3 下水汚泥焼却灰の都道府県別発生量〔平成8年度〕²⁾

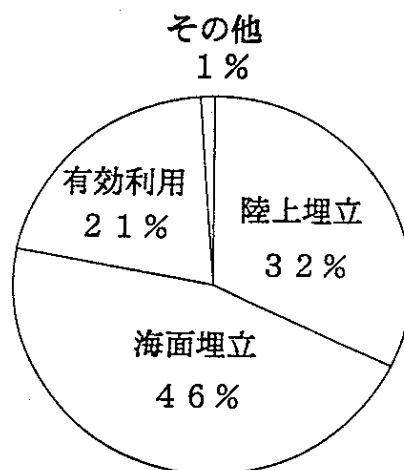


図4 下水汚泥焼却灰の処分状況〔平成7年度〕¹⁾

下水のリン除去が注目されている。下水処理で除去されたリンは下水汚泥から下水汚泥焼却灰に移行、濃縮される。図5に下水処理における汚泥と焼却灰の発生量、およびリンの移行量の試算結果を示す。試算条件は100万人当たりの下水量を35万 m^3 /日とし、下水のリン濃度を3.4 mg/l から0.5 mg/l に低減するとした。汚泥の発生量は、(下水中の汚泥濃度0.22%、汚泥の水分含有率94%の値を用いると)46.2 t 乾/日・100万人になる。従って、汚泥のリン含有率は2.2%になる。焼却灰の発生量は10 t /日・100

万人、リン含有率は P_2O_5 換算 21%（リンベースでは 9.3%）で、焼却灰に移行するリン量は $0.93 \text{ t/日} \cdot 100 \text{ 万人}$ 、約 $340 \text{ t/年} \cdot 100 \text{ 万人}$ と試算され、下水中のリンの 78.2% が焼却灰に移行する。

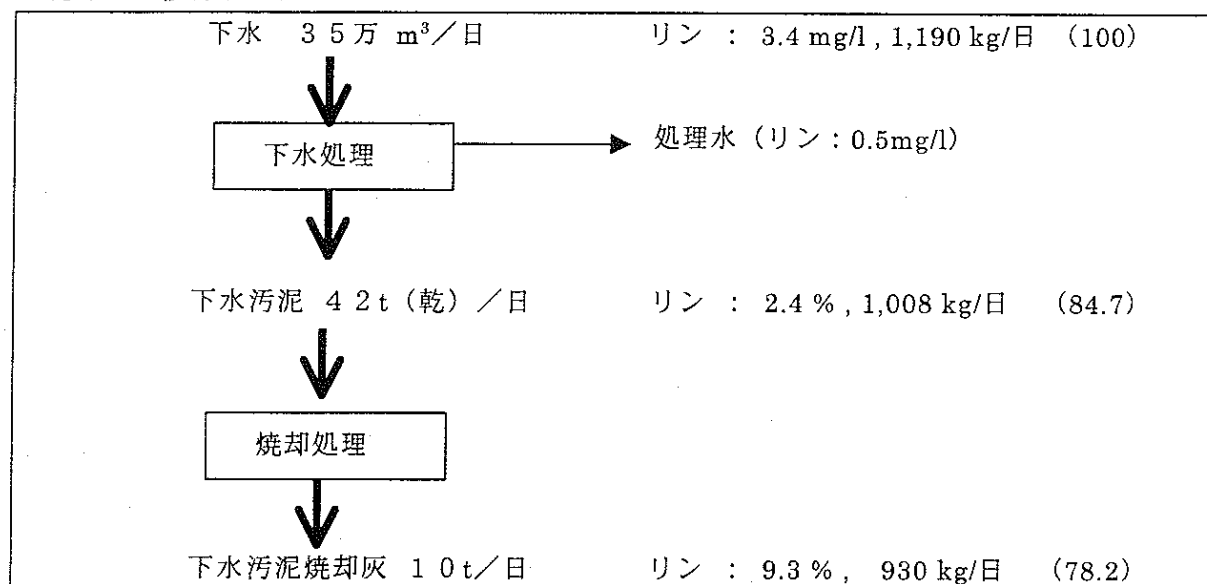


図5 下水汚泥焼却灰へのリンの移行(100万人・1日あたり)

3) 下水汚泥焼却灰の成分

下水汚泥焼却灰は、下水処理に使用される凝集沈降剤の種類により高分子系下水汚泥焼却灰と石灰系下水汚泥焼却灰に区別される。下水汚泥焼却灰と代表的なリン鉱石の成分例^{4),5)}を表1に示す。高分子系下水汚泥焼却灰は、石灰系下水汚泥焼却灰に較べてリンの含有率は高く、 P_2O_5 換算で15~25%のリンを含む。リン鉱石のリン含有率は

表1 下水汚泥焼却灰とリン鉱石の成分例^{4),5)}

	P_2O_5	$CaO+MgO$	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3
下水汚泥焼却灰	%	%	%	%	%
高分子系	21.9	8.6	49.8	12.4	3.8
石灰系	14.7	46.1	13.3	15.4	8.2
リン鉱石	%	%	%	%	%
フロリダ BPL68	31.3	47.4	9.1	0.9	1.4
モロッコ BPL75	34.1	51.7	1.4	0.2	0.2

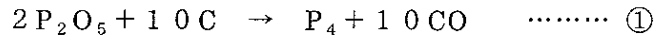
P_2O_5 換算で25~35%であり、高分子系下水汚泥焼却灰はリン鉱石に匹敵するリンを含む。リン鉱石を産出しないわが国では、下水汚泥焼却灰は新たなリン資源として有望である。

(2) 下水汚泥焼却灰のリン回収プロセス

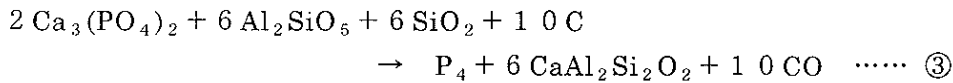
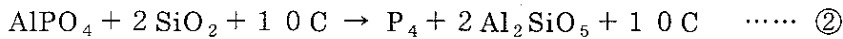
1) プロセス原理

酸化リン(P_2O_5)は数百℃において、①式の反応により炭素で還元され黄リンに変換

される。黄リンの沸点は 281℃であり、数百℃以上では黄リンはガスとして揮発する。



下水汚泥焼却灰に含まれるリンの化学形態はリン酸カルシウム、リン酸アルミニウムなどのリン酸化合物である。下水汚泥焼却灰に含まれるリン化合物の還元加熱におけるリンの化学形態の変化について化学平衡計算により検討⁹⁾した結果を図6に示す。リン酸アルミニウムは 1,000℃以上、リン酸カルシウムは 1,050℃以上で黄リン(P_4 , P_2)に変換されることが予想された。1,200℃以上では、リンの大部分は黄リンガスとなり、数%が Fe_2P 合金として存在することが予想された。黄リンの生成反応は②、③式のように推察される。



このように、1,200℃以上の還元加熱により下水汚泥焼却灰のリンを黄リンガスとして分離できることが理論的に検証できた。黄リンガスの生成を円滑にし、焼却灰を利材化するため、リンを揮発させたあとの焼却灰は、熔融スラグとする。熔融スラグの融点は、推算したスラグ組成から図7に示すように 1,400℃付近にあることが予想された。

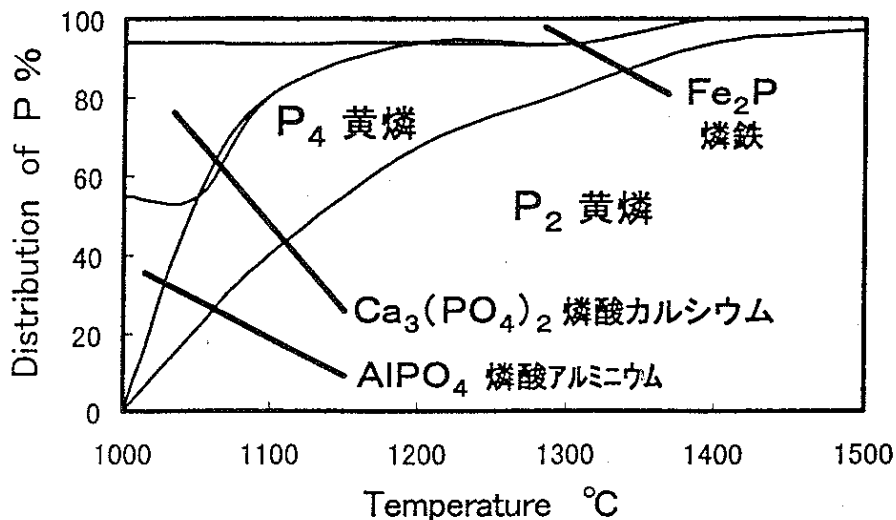
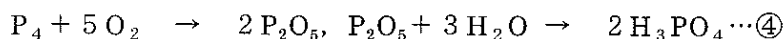


図6 下水汚泥焼却灰の還元加熱におけるリンの形態変化

リン回収プロセスは、下水汚泥焼却灰の 1,300～1,500℃の還元加熱による黄リンガスの揮発分離を基本とする。黄リンガスは、黄リンまたはリン酸として回収することができる。揮発した黄リンを冷却・凝縮することにより黄リンを回収できる。また、揮発した黄リンを空気酸化して P_2O_5 に変換し、 P_2O_5 を水に吸収させることによりリン酸として回収することもできる。黄リンからリン酸への反応は④式で示される。



以上の原理により、下水汚泥焼却灰の還元溶融により黄リンを揮発分離して、黄リ

ンあるいはリン酸を回収することができる。

2) 熔融炉

下水汚泥焼却灰の還元熔融は、密閉構造の熔融炉にコークスなどの炭素源を供給することにより可能で、電気抵抗式灰熔融炉（図8参照）が適用できる。電気抵抗式灰熔融は、熔融状態のスラグに電流を流し、スラグが発生する抵抗熱で熔融スラグ上に浮遊する供給灰を熔融スラグに溶け込ませる方式である。熔融炉は深い熔融スラグ層に電極が設置され、熔融スラグの温度は1,300～1,500℃に保持される。供給灰の鉄分が還元され熔融メタルとして熔融スラグ層の下に沈降し熔融メタル層を形成する。熔融スラグと熔融メタルはヘッド圧を利用してそれぞれの専用口から排出される。熔融スラグは空冷あるいは水砕処理される。空冷処理では碎石状スラグ、水砕処理では砂状スラグが得られる。熔融メタルは空冷処理によりインゴットとして回収される。電気抵抗式灰熔融炉は、ごみ焼却残渣の熔融炉として長期の操業実績を有している⁷⁾。

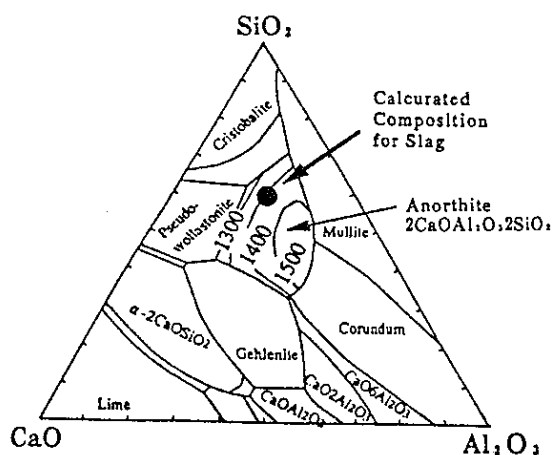


図7 スラグ組成と熔融温度

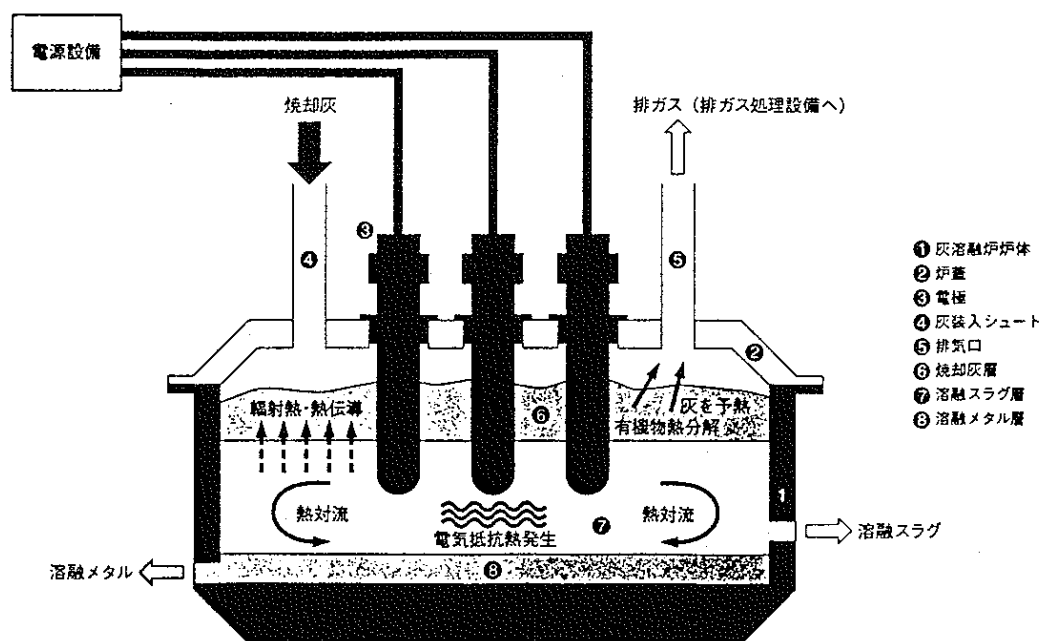


図8 電気抵抗式灰熔融炉の構造

3) 黄リン回収プロセス

黄リン回収プロセスフローを図9に示す。プロセスは焼却灰と炭素源の供給、熔融（黄リン揮発）、黄リン凝縮、ガス燃焼、ガス洗浄、スラグとメタルの排出の各工程から構成される。熔融炉ガス（黄リン、CO）を温水で冷却し、黄リンガスを凝縮し液状黄リンを回収する。冷却温度は黄リンの融点である44℃以上とする。

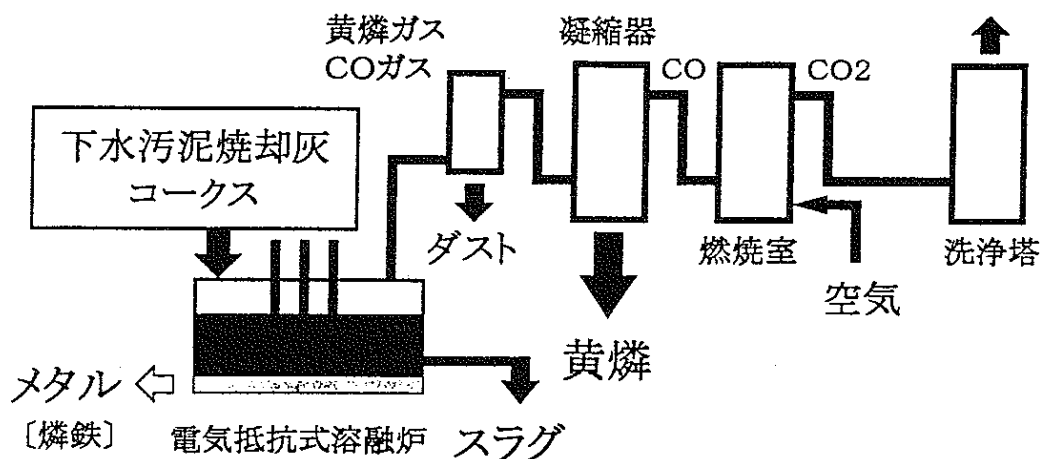


図9 黄リン回収プロセス

(3) 実験

この調査研究では、図9に示した黄リン回収プロセスに準じて設備構成した実験プラントにおいて、下水汚泥焼却灰を原料にしてスラグ、メタル、黄リンを回収するとともに、これらの品質評価を行った。

1) 実験プラント

実験プラントのフローを図10に示す。実験プラントは、焼却灰供給フィーダ、密閉式溶融炉、黄リン凝縮塔、ガス燃焼室、ガス洗浄塔から構成される。実験プラント全景を写真1、密閉式溶融炉を写真2、黄リン凝縮塔を写真3に示す。

溶融炉はカーボン製筒型容器(内径 200mm、高さ 560mm)をカーボンヒータ(32kw)により外側から加熱するパッチ処理構造で、1回約 50kg の焼却灰を溶融できる。

黄リン凝縮塔は 60℃の温水を循環するスクラバー方式とし、凝縮塔下部には電気ヒータにより 60℃に保温できる黄リン滞留部を設けた。ガス燃焼炉は空気を供給すると共に電気ヒータで加熱する構造である。ガス洗浄塔は pH 制御した吸収液を循環するスクラバー方式を採用している。

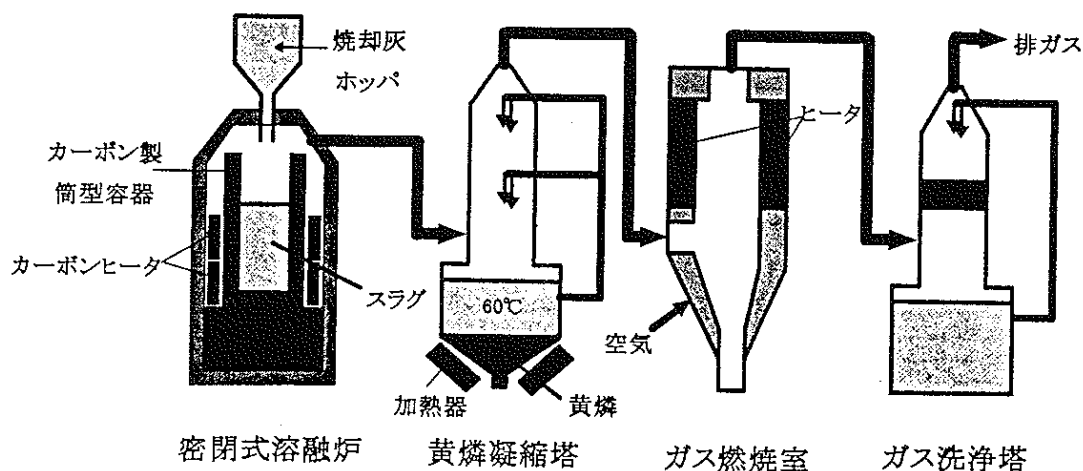


図10 実験プラントのフロー



写真1 実験プラント全景

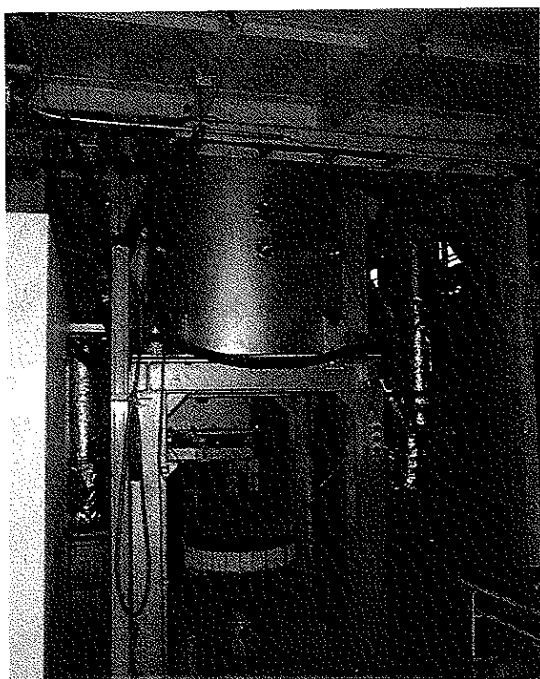


写真2 密閉式溶融炉

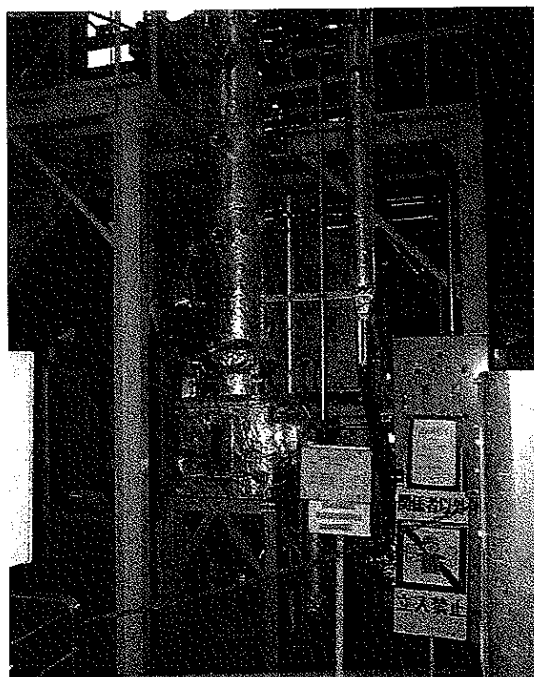


写真3 黄リン凝縮塔

2) 実験プラントの操業

①原料の調製

実験にはF市下水処理場から採取した高分子系下水汚泥焼却灰を供試した。下水汚泥焼却灰とコークス粉末を10:1に混合して、ブリケットマシンによりアーモンド型のブリケット(9mm×6mm)に成型した。供試した下水汚泥焼却灰、ブリケット(下水汚泥焼却灰+コークス粉末)の元素分析例を表2に示す。

表2 供試原料の元素分析例

成分	単位	下水汚泥焼却灰	ブリケット (下水汚泥焼却灰+コークス粉末)
P	%	7.7	6.7
Si	%	16.2	14.5
Al	%	9.2	8.2
Ca	%	8.5	7.3
Mg	%	1.5	1.6
Fe	%	3.5	3.3
Mn	%	0.10	0.11
Cu	%	0.13	0.12
Sn	%	0.01未満	0.01未満
Ti	%	0.47	0.52
Na	%	0.89	0.82
K	%	1.5	1.4
S	%	0.37	0.35
Cl	%	0.05未満	0.05未満
Cd	mg/kg	6.0	5.0
As	mg/kg	12	14
Se	mg/kg	5未満	5未満
Hg	mg/kg	0.05未満	0.05未満
Cr	mg/kg	180	200
Pb	mg/kg	150	140
Zn	mg/kg	2,000	1,900
Ni	mg/kg	140	130
F	mg/kg	220	230

②黄リン回収(還元溶融)実験

ブリケットを溶融炉に10kg充填し、1,400℃に昇温した。1,400℃に維持しながらブリケットを2~2.5kg/hで5時間連続して供給した。ブリケット供給量の合計は19kgであった。溶融炉を冷却したのち、スラグと黄リンを採取した。溶融炉の昇温(常温→1,400℃)には約24時間を要し、降温(1,400℃→常温)には約3日を要した。実験期間における溶融炉内温度の経過を図11に示す。黄リン滞留部は60℃に保温した。

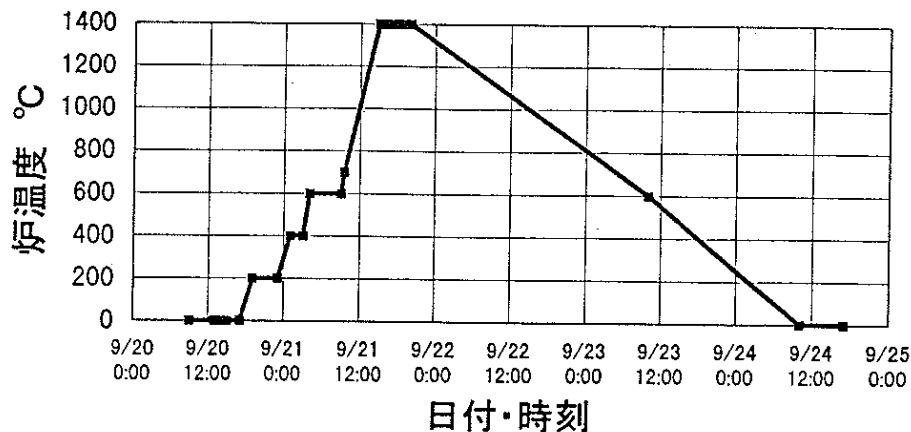


図11 実験期間中の溶融炉内温度

3) スラグ、メタル、黄リンの採取

①スラグ、メタルの採取

溶融炉から取出したカーボン製筒型容器の内部に未溶融の灰は認められず、供給灰の完全な溶融を確認した。カーボン製筒型容器を破壊してスラグを採取した際、容器の底部から数個のメタル粒を採取した。

②黄リンの採取・回収

黄リン滞留部の底部に設けたノズルから、予め温水を張ったステンレス製容器にスラッジを含む黄リン(黄リンスラッジ)を排出した。採取した黄リンスラッジは、濾過によりスラッジ分を分離して黄リンを回収した。濾過はガラス濾過器 11GP5.5 を使用して吸引濾過した。濾過器は、60℃の温水を通過させて予め加温したのちに、保温しておいた黄リンスラッジを注いだ。スラグ：約 15 k g、粒状メタル：約 82 g、黄リン：200 g（回収率 15.7%）を回収した。実験プラントは集塵機を装備しないため、ダストが黄リン滞留部に移行して黄リンスラッジが多量生成した。中途半端な規模で、セミバッチ処理設備なので、発生した黄リンが黄リン凝集塔に到達する前のダクト等に付着・凝縮したり、発生したリンの一部が燃焼し五酸化リンになったり、黄リンスラッジの多量生成などの黄リン回収率を大巾に低下させる要因を取り除く手段が見いだせなかった。また、溶融時間が短いため、溶融スラグと溶融メタルの比重分離が十分でなく、スラグには微粒メタルが混在しているものと思われた。

4) スラグ、メタル、黄リンの成分

①スラグ、粒状メタル成分

採取したスラグ及びメタルの分析例を表3に示す。

表3 スラグおよび粒状メタルの分析例

成分	単位	スラグ	粒状メタル
P	%	0.79	23.5
Cu	%	---	1.2
Si	%	20.6	0.70
Al	%	9.9	0.01
Ca	%	9.9	0.02
Mg	%	2.2	---
Fe	%	0.57	68.6
Ni	%	---	0.18
Mn	%	0.08	0.23
Na	%	1.1	0.01
K	%	1.92	0.01未満
S	%	0.06	0.1
Cd	mg/kg	1未満	5未満
As	mg/kg	5未満	5未満
Se	mg/kg	5未満	5未満
Hg	mg/kg	0.05未満	0.05未満
Cr	mg/kg	210	72
Pb	mg/kg	14	5未満
Zn	mg/kg	451	11
C	%	---	0.93

②黄リンの成分

a) 分析方法

回収黄リンの分析は、輸入品などの工業黄リンの受入れの際に適用される分析方法に準じて実施した。分析項目とその分析方法をつぎに示す。

- ・黄リン純分：ベンゼン不溶分差分法
- ・ベンゼン不溶分：ベンゼン溶解重量法
- ・酸不溶分：硝酸溶解重量法
- ・重金属類：I C P 法
- ・ケイ酸：I C P 法により Si 濃度を計量し、SiO₂ 濃度に換算

b) 分析結果

分析には、黄リンスラッジの濾過により回収した黄リンを供した。回収黄リンの分析例を表4に示す。表4には、同実験プラントにおいて1998年度に実施した実験の回収黄リンの分析例、工業用黄リン（輸入黄リン）、化学便覧掲載の分析例を示す。

回収黄リンの重金属の含有濃度は、Asを除いて工業品と同等のレベルにあった。しかし、As含有濃度は、工業用一般品に比べて高かった。下水汚泥焼却灰は若干量のAsを含有するが、このAsが還元溶融において、リンと同じように挙動して回収黄リンに濃縮されたと考えられる。供試した下水汚泥焼却灰はAsを12mg/kg含有しており、AsとPの存在比は $As/P=12/77,000=0.0002$ であり、回収黄リンでは $As/P=390/997,500=0.0004$ であった。このように焼却灰と黄リンのAs/Pは大きく違わず、AsとPは同様な挙動を示すことが推察された。

表4 回収黄リンの分析例

成分	単位	回収黄リン	1998年実験 回収黄リン	工業品分析例	化学便覧 記載例
黄リン純分	%	99.75	99.94	99.91	99.94
ベンゼン不溶分	%	0.25	0.06	0.09	0.06
酸不溶分	%	0.10	0.01	0.01	0.01
As	mg/kg	390	230	低As品 31 一般品 170	72
Cd	mg/kg	1未満	2		
Zn	mg/kg	10未満	10未満		
Pb	mg/kg	50未満	50未満		
Cu	mg/kg	10未満	10未満		
Fe	mg/kg	0.6	110	2	2.9
Mn	mg/kg	10未満	10未満		
Cr	mg/kg	10未満	10未満		
Sn	mg/kg	5未満	19		
Sb	mg/kg	5.4	1.0	6	
Ca	mg/kg	5.7	17.0	7	
SiO ₂	mg/kg	32.0	10.0		20

5) プロセスの有効性の検証

①黄リンの品質

表4に示したように回収黄リンの純度は99.75%であり、工業品相当の品質であった。ただし、Asの含有濃度が工業品よりもやや高く、黄リンの用途が制約される可能性があった。黄リンの用途の50%を占める乾式リン酸の製造では、As除去工程(硫化水素吹込み)が組込まれており、Asは分離除去できるため、Asを含む黄リンであっても、乾式リン酸の製造原料に使用可能である。Asの含有濃度が高い場合には、回収黄リンの評価が下がる可能性が予想された。

②リンの揮発率

スラグのリン含有率は P_2O_5 換算1.8%であり、供試灰の P_2O_5 換算15.3%に比べて著しく低い。1,400℃の還元溶融においてSiは揮発しないと考えられることから、リンの揮発率は、つぎの⑤式に示す供試灰とスラグにおける SiO_2 と P_2O_5 の含有比から92%と推定できた。

$$[1 - (1.81/44.7)/(15.3/31.0)] \times 100 = 92 [\%] \quad \cdots \cdots \text{⑤}$$

今回のベンチ実験では、リン回収率は15.7%と低かったが、連続操業で完全密閉型炉で行えば、装入した焼却灰中のリンの92%が揮散し、その大部分を回収出来るものと考えられる。

③スラグの安全性

a) 有害金属の含有特性

スラグのCd, As, Se, Hg, Pbの含有濃度は、表3に示したように極めて低い。注目のPbは焼却灰の含有量が150mg/kgであったのに対し、スラグでは14mg/kgまで低下した。スラグと焼却灰のCr含有量はほぼ同じであるが、スラグには還元溶融により3価クロムとして存在していると考えられる。このようにスラグの有害金属含有量は極めて少なく安全性は高い。

b) 有害金属の溶出特性

溶出試験により、スラグの有害金属の安全性を調査した。溶出試験は、土壤環境基準の溶出試験(環境庁告示46号)とAvailability testを実施した(表5、6参照)。

土壤環境基準の溶出試験は、廃棄物の再生品を土木建設資材に利用する場合の安全評価の判定方法として実施される。一方、Availability testは、環境において対象物から放出される最大の有害物量(最大溶出可能量)を評価する試験法として実施される。

土壤環境基準の溶出試験が溶出液のpHを制御しないのに対し、Availability testでは、環境におけるpH変動を考慮して、段階的にpH7、pH4の溶出試験を実施し、これらの溶出量を統合して最大溶出可能量を算出した。土壤環境基準の溶出試験において、規制の有害金属の溶出濃度は検出下限を下回り、土壤環境基準を十分に満足した。また、Availability testの結果においても、有害金属の溶出濃度は検出下限を下回り、最大溶出可能量は極めて少なかった。pH4に維持した溶出条件においても有害金属の溶出濃度は検出下限未満であり、スラグの安全性は極めて高いと評価される。

表5 土壤環境基準の溶出試験（環境庁告示46号）

成分	溶出濃度 mg/l	土壤環境基準 mg/l
Pb	0.005未満	0.01以下
Cd	0.005未満	0.01以下
Cr ⁶⁺	0.05未満	0.05以下
Se	0.005未満	0.01以下
As	0.005未満	0.01以下
Hg	0.0005未満	0.0005以下
Na	0.32	—
K	0.40	—
Ca	0.40	—
Cl	0.10	—
Si	0.60	—
Al	0.40	—
Mn	0.05	—
Fe	0.05未満	—
Cu	0.05未満	—
Zn	0.01	—

表6 Availability test

成分	溶出濃度 mg/l		最大溶出可能量 mg/kg
	pH7溶出	pH4溶出	
Pb	0.005未満	0.005未満	0.5未満
Cd	0.005未満	0.005未満	0.5未満
Cr ⁶⁺	0.05未満	0.05未満	0.05未満
Se	0.005未満	0.005未満	0.5未満
As	0.005未満	0.005未満	0.5未満
Hg	0.0005未満	0.0005未満	0.05未満
Na	0.92	0.034	48
K	3.0	1.9	24
Ca	3.4	2.2	279
Cl	1.5	2.0	176
Si	2.7	2.1	241
Al	3.4	0.19	180
Mn	0.58	0.74	66
Fe	0.05未満	0.26	16未満
Cu	0.05未満	0.05未満	5未満
Zn	0.03	0.14	8.5

6) 農材マット試作用スラグの調製

黄リン回収実験をさらに3回実施し、農材マット試作用スラグを調製した。実験により採取したスラグは、実験毎にジョークラッシャで粒径0.5～1mmに破碎した。リンの含有量が比較的多いスラグAと少ないスラグBの2種類の農材マット試作用スラグを各25kg調製した。スラグAのリン含有濃度は0.92%であり、スラグBのリン含有濃度は0.62%であった。その他の成分には、大きな差異は認められなかった。

(4) 実用化検討

1) プラントの物質収支、エネルギー収支

実験結果をもとに、下水汚泥焼却灰処理量 30 t / 日 (9,900t / 年, 稼動 330 日 / 年) の黄リン回収プラントの物質収支、エネルギー収支を試算した。熔融炉の放散熱量は、ごみ焼却灰の電気抵抗式灰熔融炉のデーターを利用した。下水汚泥焼却灰 30 t / 日は、300 万人の排出量に相当する。下水汚泥は、一般廃棄物であり、その性状は一定でなく、常に大きく変動するため、今回の実験だけでなく、過去の実験結果をもとに、表 7 に示す試算条件を設定した。例えば、スラグ中のリン含有量を、今回の測定値 (0.79%) よりも高い値 1.5% を用いたために、リン回収率は、67.9% ($=1,488/30,000 \times 0.073$) と比較的低い値での実用化検討である。

表 7 黄リン回収プラントの収支の試算条件

①供給物の組成 単位：%			②焼却灰とコークスの配合比	
項 目	焼却灰	コークス	焼却灰：コークス = 100：8.5	
P ₂ O ₅	16.7	0.00	* 灰中の P ₂ O ₅ , Fe ₂ O ₃ の全量還元相当量	
SiO ₂	36.4	6.82		
CaO	12.0	0.10		
Al ₂ O ₃	17.1	3.44		
Na ₂ O	1.42	0.01		
K ₂ O	1.87	0.01		
Cl	0.00	0.01		
C	0.50	86.6		

③熔融生成物の燐含有量の設定		
	P	P ₂ O ₅
黄 燐	100%	—
スラグ	1.5%	3.5%
メタル	28%	—

*ベンチスケール実験の結果より設定

下水汚泥焼却灰 30 t 当たりのコークスの供給量とスラグ、メタル、黄リンの生成量とこれらの成分濃度について試算した結果を表 8 に示す。

表 8 焼却灰、コークスの供給量とスラグ、メタル、黄リンの生成量と成分濃度

		焼却灰	コークス	スラグ	メタル	黄リン
P	%	7.3	0.0	1.5	28	100
Ca	%	8.6	0.1	10	0.0	0.0
Si	%	17	3.2	21	1.6	0.0
Al	%	9.1	1.8	11	1.2	0.0
Fe	%	3.8	0.13	1.5	64	0.0
C	%	0.5	87	0.0	1.3	0.0
供給量	kg/日	30,000	2,864	—	—	—
生成量	kg/日	—	—	24,426	1,207	1,488

熔融過程におけるエネルギー収支例を図 12 に示す。入熱側の発熱反応は、投入した粉コークスが CO ガスになる燃焼熱で、出熱側の吸熱反応は、リン化合物の還元反応を考慮したものである。エンジニアリング的には、副生した CO を燃焼ガスとして活用したり、37% もあるスラグ顕熱の利用を装入物の事前予熱に利用する事などにより、更なる電力原単位の低減が期待されよう。

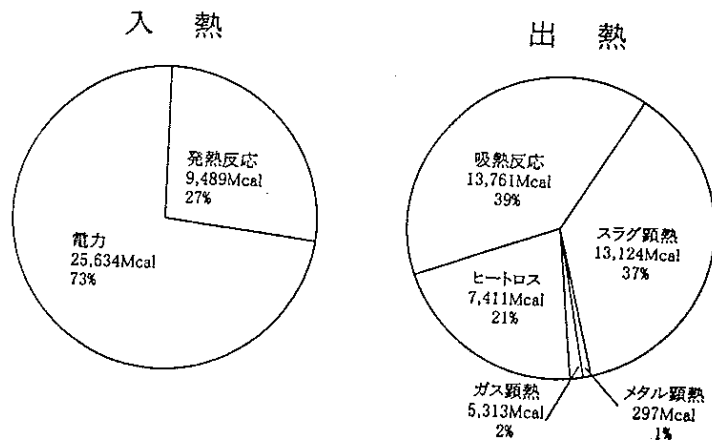


図12 溶融過程におけるエネルギー収支例（焼却灰 30t 当たり）

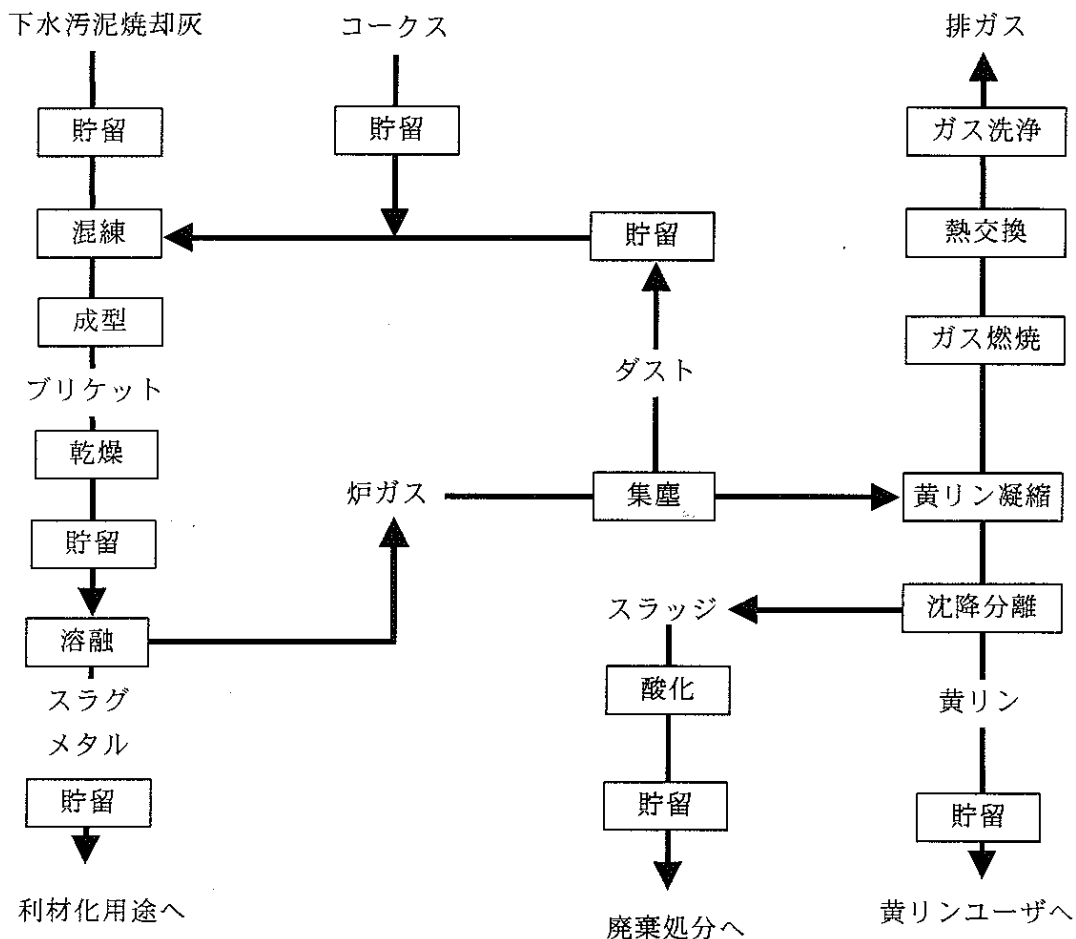
2) 実用プラントの試設計

乾式リン酸製造プラントおよび灰溶融プラントに関する技術情報をもとに、下水汚泥焼却灰処理量 30t/日の黄リン回収プラントの設備構成、設備仕様、配置を検討し、フローシート、配置計画図、配置計画 断面図を作成した（紙面の都合で掲載を割愛）。

①プラント能力の設定

- ・焼却灰の年間処理量 : 9,900 t / 年
- ・焼却灰の1日の処理量: 30 t / 年(330 日/年稼動)、24 時間連続操業
- ・物質収支: 表7に示した通り

②物質フローの設定



(5) 回収黄リンの用途

1) 黄リンの生産と輸入

日本では、黄リンの製造は昭和 50 年代に打ち切られ、現在は全需要量である 20～25 千 t/年が中国などから輸入されている。日本の黄リンの生産量と輸入量の推移を図 1 3 に示す。

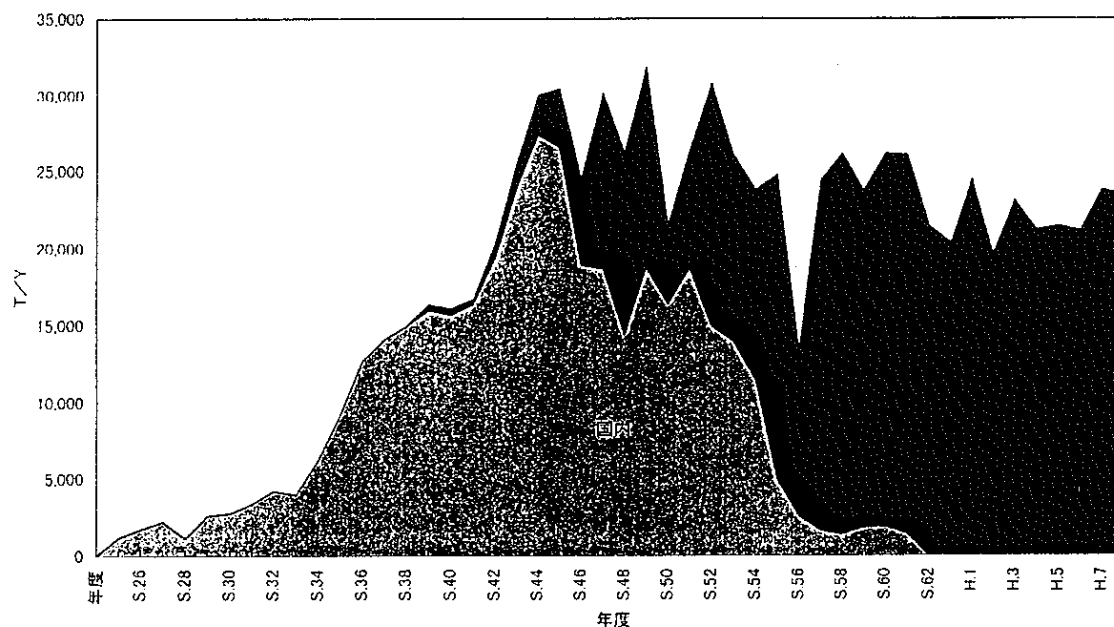


図 1 3 日本の黄リンの生産量と輸入量の推移

2) 黄リンの商品展開

日本において黄リンから製造されるリン化合物を図 1 4 に示す。黄リンの約 50%は乾式リン酸の製造原料になり、残りの 50%は無水リン酸、塩化リン、次亜リン酸ソーダ、赤リンなどの製造原料となる。

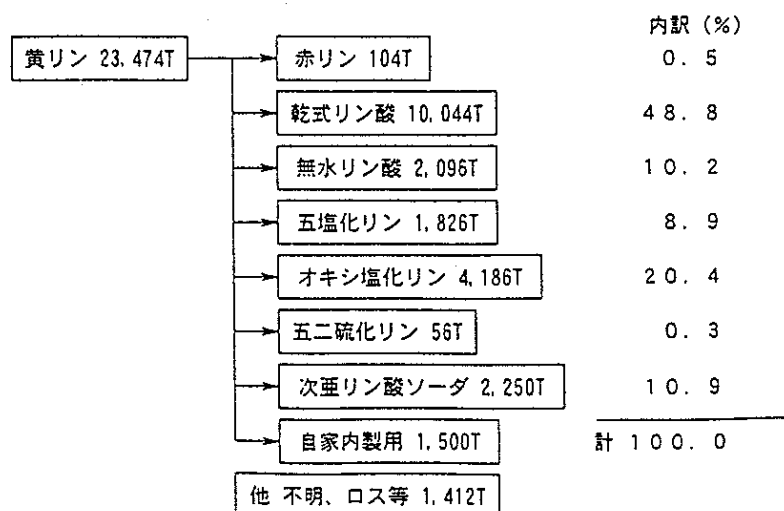


図 1 4 黄リンの商品展開(平成 8 年度推計)

4. 脱リン溶融スラグを原料とするウールの試作と経済性評価

(1) 農業用に使用されるロックウール

1) ロックウールの原料

表9にロックウールの代表的な原料の成分組成の一例を示す。

表9 ロックウール原料とその成分 (wt%)

成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃
玄武岩	49.1	15.7	9.0	6.2	11.8
高炉スラグ	33.7	13.9	41.5	6.5	0.3

2) 熔解方法

ロックウールは原料を高温で熔解して作られ、その熔解には大別して2種類の方法がある。一つはキューボラ熔解と呼ばれる原料をコークスの燃焼熱により熔解する方法であり、もう一つは、電気炉熔解と呼ばれる原料の抵抗熱を利用して熔解する方法である。

3) 繊維化方法

熔解された原料は、様々な方法で引き延ばされて、(繊維化)ロックウールとなるが、その繊維化の代表的な方法が3種類ある。ローター法と呼ばれる垂直に回転するロータの上に熔解した原料を流し込み繊維化する方法、スピナー法と呼ばれる水平に回転する円板(スピナー)上に熔解した原料を流し込み、遠心力により繊維化する方法があり、今回は、ブローイング法と呼ばれる熔解した原料を圧縮空気により吹き飛ばし繊維化する方法で試験をした。

4) ロックウール製品の特徴

- ① 繊細な繊維の隙間に空気を含んでいるので優れた断熱性能を発揮する。
 - ② 優れた吸音性能も持っているので防音材料としても有効。
 - ③ 加工性に優れ、用途や使用場所に合わせてボード状、フェルト状、ペルト状、パイプ状等種々の形態の製品が可能。
 - ④ 耐熱性の高い鉱物が原料なので、耐熱温度が高く、不燃材料として建設省の認定を受けている製品が多数ある。
 - ⑤ 酸化カルシウムの含有量が比較的多く、アルカリには溶けにくい酸には弱い。
- また、酸化ナトリウムや酸化カリウムを殆ど含まないので、耐久性が優れている。

5) ロックウールの生産量

表10に1985年から98年までの、ロックウールの国内における出荷量の推移を示す。1990～93年は40万tを超えていたが、ここ数年は35万t前後の出荷量となっている。

表10 ロックウール出荷量の推移(単位: 万t) ⁸⁾

年 度	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
出荷量	24.7	25.3	28.9	31.8	36.6	40.6	41.1	43.8	40.7	35.6	36.6	37.2	37.8	34.5

6) 農業用ロックウールの使用場所

ロックウールは、主として養液栽培用に用いられ、育苗用のマットやポット、栽培用

培地のベッド、播種用培地のブロック等の形状で使用する。

7) 農業用ロックウールに要求される物性

農業用ロックウールの物性としては保水性・通気性・化学的安定性等が要求される。

参考までに農業用ロックウール製品の一般物性を表11に示す。

表11 農業用ロックウール製品の一般物性

項目	単位	成形品	粒状綿	細粒綿	微粒綿	撥水ウール
かさ密度	kg/m ³	85	120	160	220	130
気孔率	% (V/V)	96	94	93	92	94
最大容水量	% (W/V)	92	90	88	90	0
保水力	% (W/V)	18	25	48	55	0
pH		7.5	8.5	8.5	8.5	
平均粒径	mm		6～15	3～6	1～2	3～5

8) 農業用ロックウールの使用量

平成9年の養液栽培の設置実面積は916haであり、その内ロックウール耕による栽培は野菜用が194.5ha(45.5%)、花木用が232.6ha(54.5%)で、合計427.1haであり、全体の46.6%を占めている。

農業用ロックウールの国内需要は、おおよそ6,000～7,000t/年程度と推定される。平成9年度の農業用途以外の用途も含めたロックウールの出荷量は37万8千t(表10参照)であり、農業用ロックウールは全体に対し2%弱の使用量となっている。

9) 農業用ロックウールの製造フロー

基本的にはロックウールと同様な方法で製造する。製造フロー概念図を図15に示す。

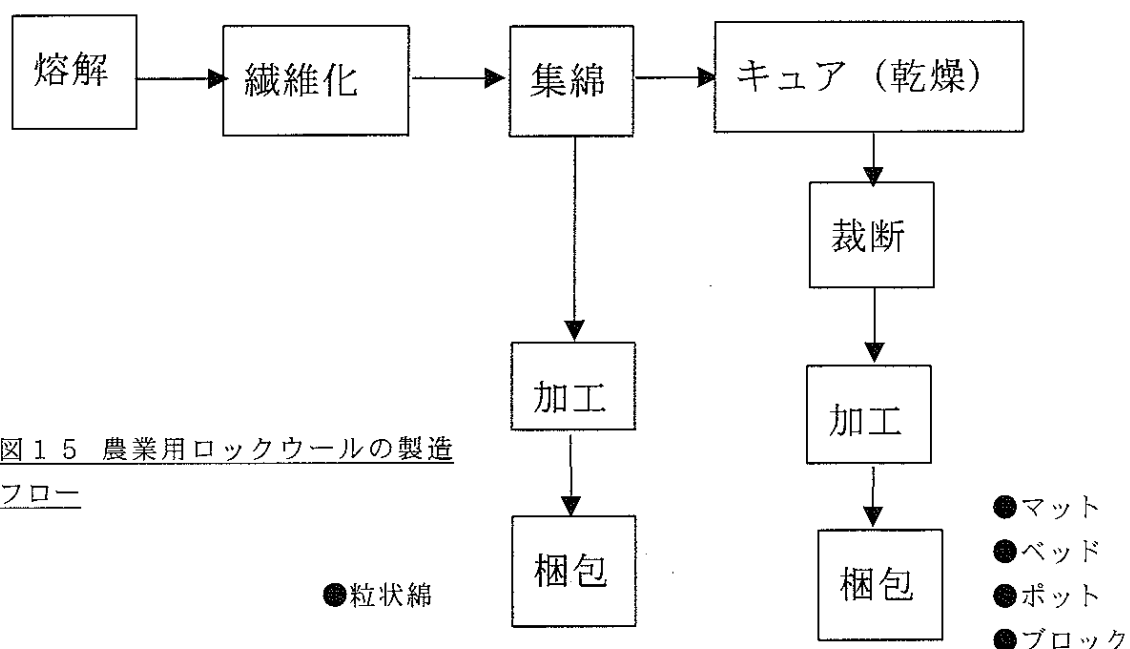


図15 農業用ロックウールの製造フロー

農業用ロックウールは親水性を付与するために、繊維化工程で親水材を添加する。また、マット、ベッド等の形状にするために、繊維化工程でレジン添加する。キュア（乾燥）工程は約 250℃で行い、マット、ベッド、ポット、ブロックの形状に合わせて裁断・加工を行う。粒状綿はキュア工程を経ずに粒状加工を行う。

（２）繊維化実験

１）実験概要

本実験は、下水汚泥焼却脱リン灰溶融スラグが、農業用資材（マット・ポット等）の原料として適用出来るかどうか見極めるために行った。具体的には、実験用の 3 相電極溶解炉（以下小型電炉と称す）を用いて、下水汚泥焼却脱リン灰溶融スラグを繊維化した。

２）原料

リン濃度の異なる下水汚泥焼却脱リン灰溶融スラグ 2 種類（粒径 0.5～1 mm：各約 25kg）の化学組成を表 1 2 に示す。尚、測定は蛍光 X 線分析装置（RIGAKU 製：RIX2000）を用いて、粉碎した試料をペレット状

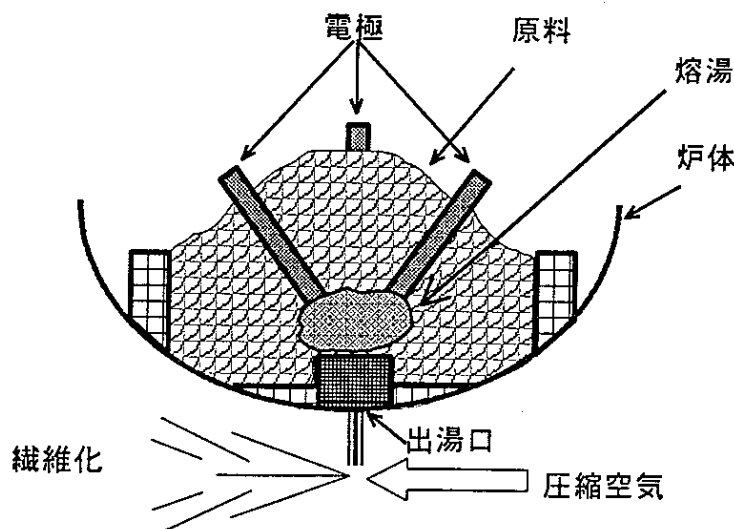
にして測定を行った。化学組成はすべて酸化物換算した値で示す。なお、リン成分の多い原料（ P_2O_5 ：3.3%）をスラグ A、リン成分の少ない原料をスラグ B（ P_2O_5 ：1.7%）と表記する。

３）実験装置

実験に用いた小型電気抵抗加熱炉の概要図及び仕様を図 1 6 に示す。

表 1 2 スラグ組成分析結果(単位：wt%)

化学組成	スラグ A	スラグ B
SiO_2	45.9	47.8
Al_2O_3	22.8	22.8
CaO	15.2	15.0
MgO	2.8	2.7
Fe_2O_3	3.0	3.4
P_2O_5	3.3	1.7
Na_2O	2.7	2.7
K_2O	1.8	1.8
MnO	0.3	0.2
TiO_2	1.3	1.1
SO_3	0.6	0.6
CaO/SiO_2	0.33	0.31



<小型電炉の仕様>

- ・ 3 相 70～120V200A
- ・ 空気圧 4.9×10^5 Pa
- ・ 熔解温度 約 1,500℃

図 1 6 実験用小型電炉概要図及び仕様

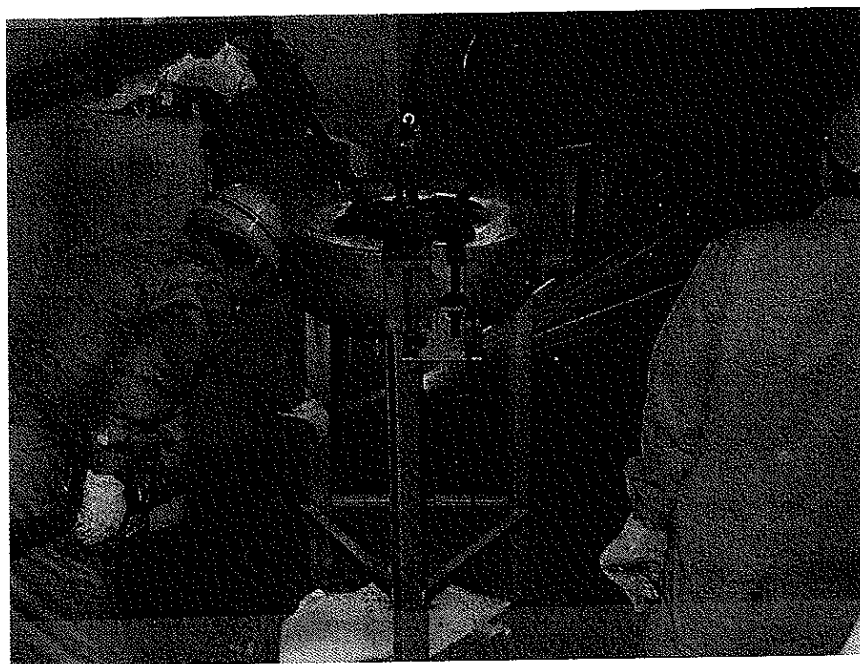


写真4 熔解した脱リンスラグを繊維化している状況

4) 実験手順

写真4に熔解原料を吹き飛ばし繊維化している状態を示す。実験手順を以下に示す。

イ) 図17に示すように、小型電炉に原料を入れ、1時間程度通電を行い原料を約1500℃で熔解した。

ロ) 原料を熔解した後、炉体下部に設置した出湯口より熔解した原料を流し出した。

ハ) 圧縮空気により熔解原料を吹き飛ばして繊維化した(写真4参照)。

ニ) 金属メッシュで覆った捕集装置で吹き飛ばした繊維を受け、繊維を採取した。

5) 実験状況

原料は、両配合とも実験用の小型電炉を使用して繊維化することができた。スラグA、Bから得られた繊維をそれぞれウールA、ウールBと呼称する。

原料の熔解性については、スラグBは比較的容易に熔解したが、スラグAは可燃性の気体(刺激性のある褐色の煙)が発生し、その気体が原料の熔解を阻害したため熔解性が悪かった。そのため、熔解温度が低く熔解原料の粘度が高くなり、十分な出湯量が得られず、スラグAの試作繊維量はスラグBに比べて約1/3程度であった。

6) 繊維化実験のまとめ

i) 下水汚泥焼却灰脱リン溶融スラグを原料として、小型電炉を使用して繊維化実験を行った結果、両配合とも繊維化することができた。

ii) リン成分の高いスラグBは、可燃性の気体が発生することにより、熔解性が阻害され、熔解性は悪かった。

(3) 基本物性試験

1) 化学組成測定結果

得られた繊維のリン含有量を表13に示す。

・リン (P_2O_5) 濃度は、ウールA、Bとも原料と比較して、約 60%の減少が見られた。

表 1 3 原料と繊維のリン成分の比較

項 目	ウールA	ウールB
原料スラグのリン含有量 (wt%)	3. 3	1. 7
繊維のリン含有量 (wt%)	1. 2	0. 7
P_2O_5 の減少率 (%)	63. 6	58. 8

2) 基本物性試験のまとめ

- i) 下水汚泥焼却灰脱リン溶融スラグを熔解し試作した繊維の化学組成は、原料組成に比べリン成分が約 60%減少していた。繊維化前後でリン成分が減少したこと及び熔解時に発生した気体が可燃性で炎を出しながら燃焼していたことから、下水汚泥焼却灰脱リン溶融スラグを熔解する場合、スラグ中のリンが還元されて揮発していることが分かった。
- ii) 試作したウールAは、JIS で規格されている ($7\mu m$ 以下) 繊維径より太く、また $500\mu m$ 以上の粒子含有率も規格値である 4 %より大きく、ロックウールの規格からははずれていた。試作したウールBは、繊維径は JIS 規格を満足していたが、粒子含有率は規格からははずれていた。繊維径については、今回試作した繊維は、触感で痛く感じる $10\mu m$ 以上の繊維が多く見られ、粒子含有率の分布も市販のロックウールとは違っていた。これは、今回は実験用の小型装置による試作につきものの(繊維の急冷)現象によるもので、通常のロックウール製造時のように大規模で繊維化すると、繊維径は大巾に減少することが予想される。
- iii) 溶融粘度の測定結果等から、この原料は $1,450^{\circ}C$ 程度から凝固し始める事が分かった。その温度は、市販されているロックウールに比べ高く、この原料のみでは繊維化が困難なことがわかった。ロックウールでも表 9 に示すように配合し、塩基度調整を行っているように、この原料を使用して繊維化する場合も、塩基度の高い成分添加 (ex. CaO) による成分調整が必要である。例えば、塩基度 0.6 で操業を行う場合には、本実験で扱った溶融スラグは SiO_2 成分が多かったので、生石灰を約 30% 添加する事が必要となる。
- iv) 従って、下水汚泥焼却灰脱リン溶融スラグを、溶融した状態でそのまま原料として使用する場合、成分調整・保温設備などが必要で、溶融スラグ中の残留リンが揮発する可能性もあるため、それに対する対策を講じる必要がある。
- v) 試作した繊維について、環境庁告示 46 号の環境基準に基づく重金属等の溶出試験を行った結果、基準値以下であった。

5. 下水汚泥焼却灰の資源化事業の採算性調査

(1) フィージビリティスタディ (以下 F/S と記す)

1) F/S の方法

- ① 下水汚泥焼却灰の資源化処理事業を、[A] 溶融処理(黄リン回収)事業とする場合 (スラグは土木建設資材として売却)と [B] 溶融処理(黄リン回収)+農材マット製造事業とする場合の 2 方式の事業における経済収支を試算する。

②下水汚泥焼却灰の処理量を 30 t / 日とし、発生するスラグのうち、地域の需要に見合う量を繊維化、成形加工して、農材マットを製造することを想定して試算する。

2) F/Sのための試算条件

試算条件を以下に示す。

下水汚泥焼却灰の処理能力	30 t / 日
	9,900 t / 年(330日 / 年稼動)
農材マット製造	13 t / 日
	3,110 t / 年(240日 / 年稼動)

●原材料と電力、上水消費量

コークス		926 t / 年	2.81 t / 日
農材補助材料		3,110 t / 年	13 t / 日
電 力	黄リン回収/溶融用	9,900,000kwh / 年	30,000kwh / 日
	黄リン回収/動力用	2,376,000kwh / 年	7,200kwh / 日
	農材マット製造	7,464,960kwh / 年	—
	合計	19,740,960kwh / 年	—
上 水	黄リン回収	15,840m ³ / 年	48m ³ / 日
	農材マット製造	9,792m ³ / 年	—
	合計	25,632m ³ / 年	—

●資源化物の製造量

黄リン製造量	491 t / 年	1.49 t / 日
スラグ製造量	79,86 t / 年	24.2 t / 日
メタル製造量	396 t / 年	1.2 t / 日
農材マット製造量	31,10 t / 年	13 t / 日

●原材料と電力、上水消費量、資源化物の単価

原材料など	コークス	8,000円 / t
	電力	9.64円 / kwh
	上水	230円 / m ³
	農材補助材料	50千円 / t
資源化物	黄リン	160千円 / t
	スラグ	500円 / t
	メタル	500円 / t
	農材マット	200千円 / t

●設備費

プラント建設費	黄リン回収	40億円
	農材マット製造	9億円

●その他

人件費		7,000千円／人・年
下水汚泥焼却灰の引取り費		17千円／t
プラント耐用年数		15年
残存簿価		10%
金利		4%
資材費		8,000千円
作業者数	黄リン回収	12人(3人×4直)
	農材マット製造	30人(10人×3直)
管理費	黄リン回収	18,000千円
	農材マット製造	30%

3) F/Sの結果

①溶融処理(黄リン回収)事業の経済評価

溶融処理(黄リン回収)事業の場合の経済評価を表14に示す。年間の収入は、黄リン、スラグ、メタルの売却費と下水汚泥焼却灰の引取り費を合せて251百万円、一方、年間の支出は、コークス、電力、資材費、人件費、管理費の合計が239百万円であり、これに減価償却費324百万円が加わり、総支出額は563百万円と試算された。つまり、減価償却費を含む場合は312百万円の赤字となり、減価償却費を除く場合は12百万円の黒字になる。

収入の大部分は、焼却灰引取り費(67%)と黄リン売却費(31%)が占める。一方、支出の多くは、電力(21%)と労務費(15%)が占める。収益を改善するには、電力コストの低減と、57%を占める減価償却費(設備費)低減が大きな課題で、パイロット実験が終わった段階での検討課題となろう。

表 1 4 溶融処理(黄リン回収)事業の経済評価

項 目			算 定 根 拠	金 額	
				千円／年	円／t－灰
収 入	製 品 売 上	黄リン	4 9 1 t／年×1 6 0 千円／ t	78,560	7,935
		スラグ	7, 9 8 6 t／年×5 0 0 円／ t	3,993	403
		メタル	3 9 6 t／年×5 0 0 円／ t	198	20
		小 計		82,751	8,358
	焼却灰引取り費		9, 9 0 0 t／年×1 7 千円／ t	168,300	17,000
	収入合計			251,051	25,359
支 出	減 価 償 却 費 以 外	コークス	9 2 6 t／年×8 千円／ t	7,408	748
		電力	12,276,000kwh／ 年×9 . 6 4 円／	118,341	11,954
		上水	15,840m ³ ／年×2 3 0 円／m ³	3,643	368
		資材費	8,0 0 0 千円／年	8,000	808
		労務費	1 2 人×7, 0 0 0 千円／年	84,000	8,485
		管理費	1 8, 0 0 0 千円／年	18,000	1,818
		小計		239,392	24,181
	減価償却費		4 0 億円, 利率 4 %, 1 5 年償却	323,798	32,706
	支出合計			563,190	56,887
利益 ＝収入－支出			減価償却費を含む場合	△312,139	△31,528
			減価償却費を除く場合	11,659	1,178

②溶融処理(黄リン回収)+農材マット製造事業の経済評価

溶融処理(黄リン回収)と農材マット製造事業を実施した場合の経済評価を表 1 6 に示す。年間の収入は、黄リン、スラグ、メタル、農材マットの売却費と下水汚泥焼却灰の引取り費を合せて 871 百万円と試算された。一方、年間の支出は、コークス、電力、資材費、人件費、管理費などの合計が 811 百万円であり、これに減価償却費 397 百万円が加わり、総支出額は 1,208 百万円と試算された。つまり、減価償却費を含む場合は 336 百万円の赤字となり、減価償却費を除く場合は 60 百万円の黒字になる。

①項に示した溶融処理(黄リン回収)事業における収入／支出(減価償却費を除く)は、1.05 であり、②項のそれは 1.07 である。溶融処理(黄リン回収)事業に農材マット製造事業を組入れても、収益性に大差はない結果となった。農材マット製造では、稼働日が 240 日／年と少ないにも拘わらず、要員は 30 名と多い。生産規模が小さいために自動化が出来ない。溶融作業者が、農材マット製造業務を兼業作業として行うものであろう。合理的な要員運用による収益改善の可能性のあるものと思われる。

表 1 5 溶融処理(黄リン回収)+農材マット製造事業の経済評価

項 目			算 定 根 拠	金 額	
				千円／年	円／t－灰
収 入	製 品 売 上	黄リン	4 9 1 t／年×1 6 0 千円／t	78,560	7,935
		スラグ	4, 8 7 6 t／年×5 0 0 円／t	2,438	246
		メタル	3 9 6 t／年×5 0 0 円／t	198	20
		農材マット	3, 1 1 0 t／年×2 0 0 千円／t	622,000	62,828
		小 計		703,196	71,030
	焼却灰引取り費		9, 9 0 0 t／年×1 7 千円／t	168,300	17,000
	収入合計			871,496	88,030
支 出	減 価 償 却 費 以 外	コークス	9 2 6 t／年×8 千円／t	7,408	748
		電力	19,740,960kwh／年×9. 6 4 円／	189,513	19,143
		上水	25,632m ³ ／年×2 3 0 円／m ³	5,895	595
		黄リン資材	8, 0 0 0 千円／年	8,000	808
		農材補助材	3, 1 1 0 t／年×2 0 0 千円／t	155,500	15,707
		労務費	4 2 人×7, 0 0 0 千円／年	294,000	29,697
		管理費	18,000 千円+132,727 千円／年	150,727	15,225
		小計		811,043	81,923
	減価償却費		4 0 億円, 利率4%, 15年償却	396,642	40,065
	支出合計			1,207,685	121,988
利益 ＝収入－支出			減価償却費を含む場合	△336,189	△33,958
			減価償却費を除く場合	60,453	6,106

6. 今後の開発計画

1) 本研究の成果

本研究において試作した黄リン、スラグの評価により、これらの利用の可能性が確認され、黄リン回収技術の有効性が検証できた。黄リンは工業原料として利用できる品質にあり、スラグは高い安全性から土木建設資材やスラグウール原料などに利用できる品質にあった。

2) 技術課題の抽出

a) 技術評価の視点

本技術は、高純度な黄リンを回収することを特徴とする。ベンチプラント実験の知見から、高純度黄リンを高率に回収するには、ダストの黄リン混入を防止することが重要であることが判っている。また、炉ガスは黄リンガス、COガスを高濃度に含み、爆発危険がある。黄リンの品質確保と安全確保の視点からつぎの技術課題が上げられる。

- ・溶融炉ダストの発生防止技術、および ダストの黄リンへの混入防止技術の開発
- ・黄リン、COガスに関わる安全対策技術の開発

b) 経済評価の視点

本技術による下水汚泥焼却灰の処理事業の経済評価では、黄リンなどの売却費と焼却灰引取り費を合わせた収入が、減価償却費を除く支出を若干上回ると結果となった。コスト要因は減価償却費、人件費、電力費であることから、プラント建設費、プラント操業の省力化、電力コストの低減などが課題になる。

3) パイロットプラント実験計画策定

①パイロットプラントの仕様

計画したパイロットプラントは、実用プラントと同じ設備構成(図17参照)とした。パイロットプラントの焼却灰処理能力は 100kg/h (2.4t/日)とし、実用プラントの $1/10$ の規模とした。このプラントは連続操業し、黄リンを 5kg/h (120kg/日)回収(回収率68%)できる。スラグウールの製造技術は、従来技術がそのまま適用できることからパイロットプラント実験は必要ないと判断した。

②パイロットプラント実験における研究項目

a) 実用プラント技術の確立

- ・プロセス条件の最適化
- ・設計諸元の確定(焼却灰処理能力 30t/日 のプラント設計技術の獲得)
- ・安全対策技術の確立

b) プラント操業技術の確立

- ・安全・安定操業技術の確立
- ・操業の省力化技術の確立

c) 高品質黄リンの回収技術

- ・ダストの混入防止技術の確立

d) スラグの高付加価値利用技術の確立

- ・高付加価値な利用先の確定

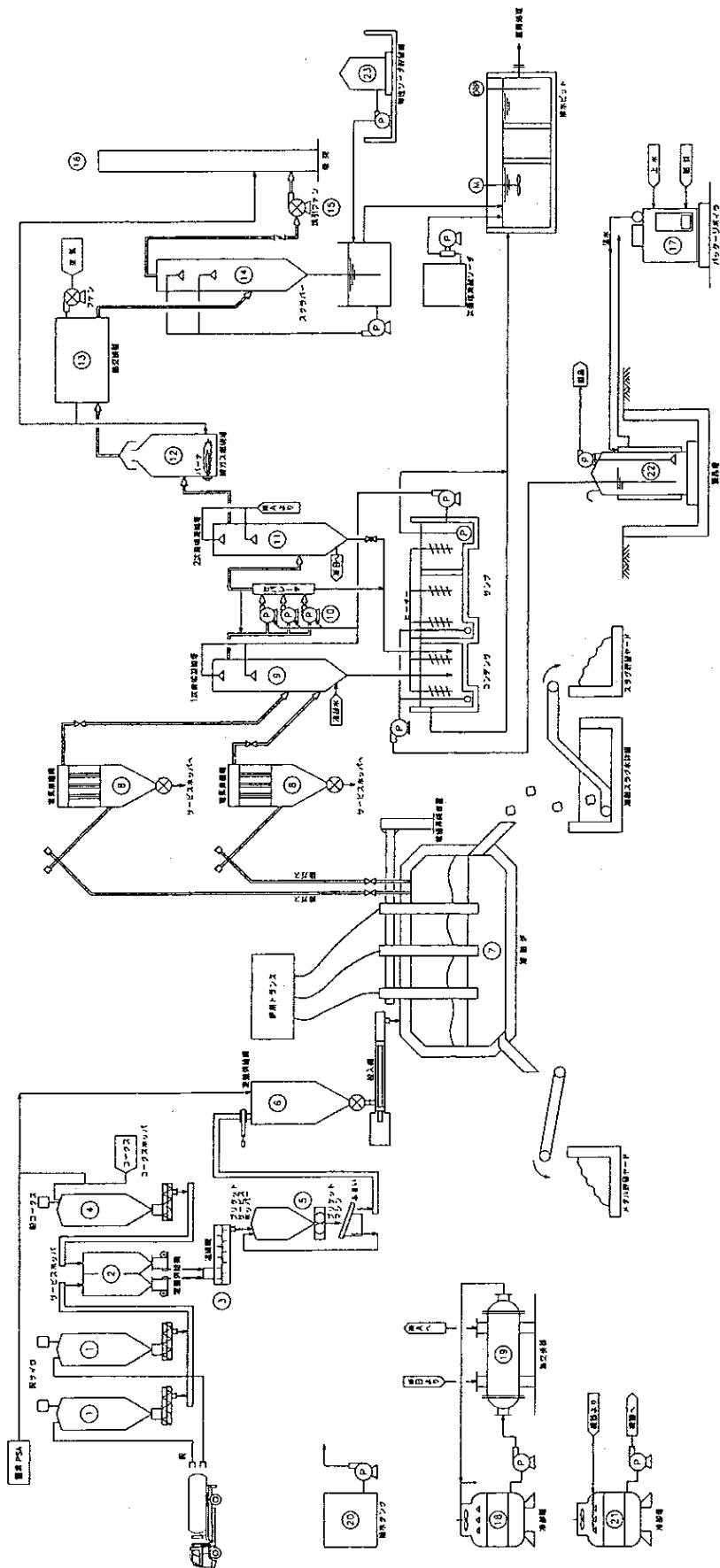
e) 収益性、有効性の向上

- ・プラントのコスト低減、省エネルギー対策、CO利用

(参考文献)

- 1) 環境新聞. 1998.2.25
- 2) 下水道統計(平成8年度版)
- 3) 下水道施設計画・設計指針と解説(前編). 日本下水道協会. p.45(1994)
- 4) 堀省一朗. リン酸塩の化学と利用. 化学工業社. p.10(1968)
- 5) 田野崎隆雄ほか. “日本の焼却灰の性状”. 無機マテリアル. Vol.5, No.3, p.149-158(1998)
- 6) 中原啓介ほか. “下水汚泥焼却灰のリン回収溶融プロセス” NKK 技報. No.166, p.1-6 (1999)
- 7) 藤澤能成ほか. “ごみ焼却残渣の電気抵抗式灰溶融プロセス” NKK 技報. No.159, p.26-30 (1997)
- 8) ロックウール工業会資料
- 9) ロックウールの性質と取り扱い ロックウール工業会
- 10) 養液栽培の新技术 “農業及び園芸” 61, No.1 別冊 養賢堂
- 11) 園芸用ガラス室・ハウス等の設置状況 平成10年8月 社団法人 日本施設園芸協会

図 1 7 下水汚泥焼却能力 30 t / 日の実用プラント設備フロー



設備番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
設備名	原料ホッパー	サイロ	サイロ	サイロ	サイロ	サイロ	サイロ	サイロ	サイロ	サイロ	サイロ	サイロ	サイロ	サイロ	サイロ
仕様	容量: 100t	容量: 100t	容量: 100t	容量: 100t	容量: 100t	容量: 100t	容量: 100t	容量: 100t	容量: 100t	容量: 100t	容量: 100t	容量: 100t	容量: 100t	容量: 100t	容量: 100t
材質	ステンレス	ステンレス	ステンレス	ステンレス	ステンレス	ステンレス	ステンレス	ステンレス	ステンレス	ステンレス	ステンレス	ステンレス	ステンレス	ステンレス	ステンレス
メーカー	三菱	三菱	三菱	三菱	三菱	三菱	三菱	三菱	三菱	三菱	三菱	三菱	三菱	三菱	三菱
設置場所	原料倉庫	原料倉庫	原料倉庫	原料倉庫	原料倉庫	原料倉庫	原料倉庫	原料倉庫	原料倉庫	原料倉庫	原料倉庫	原料倉庫	原料倉庫	原料倉庫	原料倉庫
設置時期	1980年	1980年	1980年	1980年	1980年	1980年	1980年	1980年	1980年	1980年	1980年	1980年	1980年	1980年	1980年
更新時期	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
備考															

設計者: 〇〇〇
 校核者: 〇〇〇
 承認者: 〇〇〇
 日付: 〇〇/〇〇/〇〇
 図名: 下水汚泥焼却能力 30 t / 日の実用プラント設備フロー
 図号: 〇〇〇
 版数: 〇
 単位: 〇〇〇
 場所: 〇〇〇
 設備: 〇〇〇
 設備名: 下水汚泥焼却能力 30 t / 日の実用プラント設備
 フローシート
 設計者: 〇〇〇
 校核者: 〇〇〇
 承認者: 〇〇〇
 日付: 〇〇/〇〇/〇〇
 図名: 下水汚泥焼却能力 30 t / 日の実用プラント設備
 図号: 〇〇〇
 版数: 〇
 単位: 〇〇〇
 場所: 〇〇〇
 設備: 〇〇〇
 設備名: 下水汚泥焼却能力 30 t / 日の実用プラント設備
 フローシート