

平成24年度

環境研究総合推進費補助金 研究事業

総合研究報告書

いわて発戦略的地産地消型リン資源循環システムの研究

(K2415、K2360、K22029)

平成25年3月

地方独立行政法人岩手県工業技術センター 菅原龍江

補助事業名 環境研究総合推進費補助金研究事業（平成 22 年度～平成 24 年度）
所 管 環 境 省
国庫補助金 82,361,000 円（H22～H24 の総計）
研究課題名 いわて発戦略的地産地消型リン資源循環システムの研究
研究期間 平成 22 年 4 月 1 日～平成 25 年 3 月 31 日

研究代表者

菅原 龍江 地方独立行政法人岩手県工業技術センター ものづくり基盤技術第 2 部
（H22～H23：地方独立行政法人岩手県工業技術センター 企画デザイン部）
（主な執筆担当：第 1 章、第 3 章、第 7 章、第 8 章）

研究分担者

佐々木 昭 仁 地方独立行政法人岩手県工業技術センター ものづくり基盤技術第 2 部
（H22～H23：地方独立行政法人岩手県工業技術センター 環境技術部）
（主な執筆担当：第 2 章、第 5 章）

阿部 貴 志 地方独立行政法人岩手県工業技術センター 電子情報技術部
（H22～H23：地方独立行政法人岩手県工業技術センター 環境技術部）
（主な執筆担当：第 4 章）

佐藤 佳 之 岩手県県土整備部下水環境課（平成 22～23 年度のみ研究分担者）
（H22～H23：地方独立行政法人岩手県工業技術センター 環境技術部）
（主な執筆担当：第 6 章）

目 次

総合研究報告書概要	1
本文	
第1章 研究背景と目的	10
第2章 各種廃棄物等の利用可能性評価試験	11
2-1 はじめに	11
2-2 食品系廃棄物（醤油かす）および農業系廃棄物（鶏糞、豚糞）のリン含有量調査	12
2-3 都市系廃棄物のリン含有量調査	13
2-4 工業系廃棄物のリン含有量調査	14
2-5 廃アルカリ・廃酸の利用可能性調査	15
2-6 下水汚泥焼却灰「都市系廃棄物」を活用したリン酸カルシウムの合成	16
2-7 下水汚泥焼却灰（都市系廃棄物）によるリン酸カルシウムおよびリン抽出残渣中の無機および有機有害物質の含有調査	17
2-8 まとめ	21
第3章 リン回収実証試験およびリン回収プラント稼動コスト等試算	23
3-1 はじめに	23
3-2 廃アルカリ等を用いた最適リン回収条件探索試験	23
3-3 リン回収実証試験およびリン回収プラント稼動コスト試算	25
3-4 実証プラントでのリン回収試験およびシステム経費削減効果試算	27
3-5 まとめ	30
第4章 下水汚泥焼却灰からの回収リン酸等の肥効試験及び植害試験	31
4-1 はじめに	31
4-2 肥効試験	31
4-3 植害試験	33
4-4 まとめ	35
第5章 新たなリン回収法およびリン回収率向上の検討	36
5-1 はじめに	36
5-2 イオン交換技術を用いた下水汚泥焼却灰中の肥料としてのリン回収試験	36
5-3 乾式分離法による下水汚泥焼却灰中の不純物低減除去方法の検討	41
5-4 まとめ	42

第6章	下水汚泥焼却灰脱リン残渣の建設資材および土木資材としての適用性検討	43
6-1	はじめに	43
6-2	実験方法	43
6-3	実験結果	43
6-4	まとめ	47
第7章	岩手県リン資源地産地消研究会	48
7-1	岩手県リン資源地産地消研究会の設立経緯	48
7-2	第1回研究会の開催結果	49
7-3	第2回研究会の開催結果	50
7-4	第3回研究会の開催結果	51
7-5	第4回研究会の開催結果	52
7-6	第5回研究会の開催結果	53
7-7	第6回研究会の開催結果	54
7-8	考察	55
第8章	結論	56
8-1	主要な結論	56
8-2	今後の課題	57
謝辞		58
研究発表		58
知的財産権		58
研究概要図		59
英文概要		59

環境研究総合推進費補助金 研究事業 総合研究報告書概要

- ・ 研究課題名＝いわて発戦略的地産地消型リン資源循環システムの研究
- ・ 研究番号 ＝K 2 4 1 5、K 2 3 6 0、K 2 2 0 2 9
- ・ 国庫補助金精算所用額（円）＝82,361,000（平成 22～24 年度の総計）
- ・ 研究期間（西暦）＝2010～2013
- ・ 代表研究者名＝菅原龍江（地方独立行政法人岩手県工業技術センター）
- ・ 分担研究者名＝佐々木昭仁（地方独立行政法人岩手県工業技術センター）
- ・ 分担研究者名＝阿部貴志（地方独立行政法人岩手県工業技術センター）
- ・ 分担研究者名＝佐藤佳之（岩手県県土整備部、H22～H23 のみ分担研究者）
（H22～H23：地方独立行政法人岩手県工業技術センター）

- ・ 研究目的

日本国内では産出されないリン鉱石は、世界的な需要の高まりから石油と同様に戦略物資化してきており、産出国の資源囲い込み等により、安定的な入手は困難になりつつある。

農業県である岩手県としてはリン肥料の安定的な確保が極めて重要な課題であるが、当県で多量に排出される鶏糞、下水汚泥焼却灰及び塗装廃スラッジ等のリン含有廃棄物（リン資源）の多くは廃棄物のまま処分され、再資源化などのリン資源循環があまり進んでいない。

その原因として、廃棄物からのリン回収事業の経費の高さや回収したリンの利用方法などに課題が有り、採算の取れる持続可能な円滑な事業経営ができていないことが挙げられる。

本研究では、第一にリン回収のコストダウンを図るため、安全確保を前提として廃アルカリを用いたリン回収技術を確立する。第二に産学官連携の研究会を中心に、地域リン資源循環システムを構築し、回収リンの利用促進を図るものである。

- ・ 研究方法

1 各種廃棄物等の利用可能性評価試験

リン含有率が高い廃棄物として下水汚泥焼却灰、金属塗装前処理工程排出スラッジ、鶏糞等に着目し、分析試験等を通じてその利用可能性を調べる。

また、リン回収工程で用いる廃アルカリ及び廃酸の成分分析、それから回収リン及び脱リン残渣の成分分析を行い、利用可能かどうかの評価試験を行う。

2 リン回収実証試験およびリン回収プラント稼働コスト等試算

都南浄化センター及び北上浄化センター、湖南中部浄化センター（滋賀県）から発生する下水汚泥焼却灰を原料とし、試薬アルカリ及び廃アルカリを用いて、実プラントでのリン回収を見据えた灰アルカリ抽出法による 100kg バッチ水準の中規模のリン回収試験（以下、中規模試験という）を行う。

また、この試験により得られたデータ等を用いて、都南浄化センター及び北上浄化センターの下水汚泥焼却灰からのリン回収施設を設置する場合を想定し、その稼働コスト及びシステム経費削減効果を試算する。

3 下水汚泥焼却灰からの回収リン酸等の肥効試験及び植害試験

中規模試験で得た回収リンおよび脱リン残渣の肥効試験及び植害試験を行い、肥料としての有効性及び植物に与える有害性の有無を確認する。

4 新たなリン回収法およびリン回収率向上の検討

イオン交換技術を用いたリン回収試験を試みると共に、リン回収率向上のための下水汚泥焼却灰中の不純物除去方法について検討する。

5 下水汚泥焼却灰脱リン残渣の建設資材および土木資材としての適用性検討

下水汚泥焼却灰からのリン回収後に発生する残渣（以下、脱リン残渣という）を利用するため、中規模試験で得た脱リン残渣を路盤材またはアスファルトフィラーとして利用するための適用性について検討する。

6 岩手県リン資源地産地消研究会

大学、行政機関、各廃棄物の提供元（鶏糞や下水汚泥焼却灰及び廃アルカリなど）、灰アルカリ抽出法のベース技術保有企業、植害試験及び肥効試験実施機関、リン肥料製造企業等を構成員とする岩手県リン資源地産地消研究会を設立し、情報交換を行いながらリン資源循環の機運を高め、研究協力体制の構築を推進する。

・ 結果と考察

1 各種廃棄物等の利用可能性評価試験

産業廃棄物中のリンの再利用に係る有機物有害成分の分析及び有害性の評価では、回収リン、脱リン残渣とも特に問題は発生せず、安全に利用できることを確認できた（表 1）。

2 リン回収実証試験およびリン回収プラント稼働コスト等試算

下水汚泥焼却灰からのリン回収実証試験においては、廃アルカリを用いた場合についてもリン回収を問題なく実施することができ、回収リン酸塩等の生成率データ等を得た（図1）。

また、廃アルカリを用いたプラント稼働コスト試算結果は、通常の試薬アルカリを用いる場合と比べてコストが大幅に減少し、採算面においてリン回収事業が十分成り立つ可能性が高いことが分かった（表2）。さらに、下水汚泥処理工程から出る消化ガスの加熱用燃料への利用により、リン回収システム経費の削減効果があることも分かった。

表1 全量分析結果と環境省告示19号基準との比較

土壤汚染対策法基準(土壤含有量基準)		<試薬アルカリ使用> プラント回収リン			<試薬アルカリ使用> プラント脱リン残渣		
特定有害物質の種類	土壤1kgにつき	都南	北上	湖南(滋賀県)	都南	北上	湖南(滋賀県)
カドミウム及びその化合物	< 150mg	○ (0.36 mg/kg)	○ (< 0.1 mg/kg)	○ (1.1 mg/kg)	○ (0.68 mg/kg)	○ (4.8 mg/kg)	○ (4.6 mg/kg)
六価クロム化合物	< 250mg	○ (Cr比較:1.1 mg/kg)	○ (Cr比較:4.6 mg/kg)	○ (Cr比較:6.7 mg/kg)	○ (Cr比較:9.4 mg/kg)	○ (Cr比較:88 mg/kg)	○ (Cr比較:62 mg/kg)
シアン化合物	< 50mg	○ (< 0.1 mg/kg)	○ (< 0.1 mg/kg)	○ (< 0.1 mg/kg)	○ (< 0.1 mg/kg)	○ (< 0.1 mg/kg)	○ (< 0.1 mg/kg)
水銀及びその化合物	< 15mg	○ (< 0.001 mg/kg)	○ (< 0.001 mg/kg)	○ (0.001 mg/kg)	○ (< 0.001 mg/kg)	○ (< 0.001 mg/kg)	○ (0.018 mg/kg)
セレン及びその化合物	< 150mg	○ (0.67 mg/kg)	○ (< 0.5 mg/kg)	○ (0.85 mg/kg)	○ (< 0.5 mg/kg)	○ (< 0.5 mg/kg)	○ (0.61 mg/kg)
鉛及びその化合物	< 150mg	○ (32 mg/kg)	○ (27 mg/kg)	○ (21 mg/kg)	○ (10 mg/kg)	○ (< 0.1 mg/kg)	○ (53 mg/kg)
ひ素及びその化合物	< 150mg	○ (9.3 mg/kg)	○ (7.5 mg/kg)	○ (11 mg/kg)	○ (8.4 mg/kg)	○ (14 mg/kg)	○ (15 mg/kg)
ふっ素及びその化合物	< 4,000mg	○ (< 0.1 mg/kg)	○ (< 0.1 mg/kg)	○ (< 0.1 mg/kg)	○ (< 0.1 mg/kg)	○ (< 0.1 mg/kg)	○ (< 0.1 mg/kg)
ほう素及びその化合物	< 4,000mg	○ (< 100 mg/kg)	○ (< 100 mg/kg)	○ (< 100 mg/kg)	○ (< 100 mg/kg)	○ (< 100 mg/kg)	○ (< 100 mg/kg)

※項目ごとに溶出方法あり ※全含有分析値 ※六価クロムはCr総量を定量し比較

土壤汚染対策法基準(土壤含有量基準)		<廃アルカリ使用> プラント回収リン			<廃アルカリ使用> プラント脱リン残渣		
特定有害物質の種類	土壤1kgにつき	都南	北上	湖南(滋賀県)	都南	北上	湖南(滋賀県)
カドミウム及びその化合物	< 150mg	○ (0.86 mg/kg)	○ (0.12 mg/kg)	○ (1.1 mg/kg)	○ (2.8 mg/kg)	○ (2.0 mg/kg)	○ (2.4 mg/kg)
六価クロム化合物	< 250mg	○ (Cr比較:4.8 mg/kg)	○ (Cr比較:6.7 mg/kg)	○ (Cr比較:8.6 mg/kg)	○ (Cr比較:100 mg/kg)	○ (Cr比較:83 mg/kg)	○ (Cr比較:79 mg/kg)
シアン化合物	< 50mg	○ (< 0.1 mg/kg)	○ (< 0.1 mg/kg)	○ (< 0.1 mg/kg)			
水銀及びその化合物	< 15mg	○ (< 0.001 mg/kg)	○ (< 0.001 mg/kg)	○ (0.006 mg/kg)	○ (< 0.001 mg/kg)	○ (< 0.001 mg/kg)	○ (0.023 mg/kg)
セレン及びその化合物	< 150mg	○ (< 0.5 mg/kg)	○ (< 0.5 mg/kg)	○ (0.86 mg/kg)	○ (< 0.5 mg/kg)	○ (< 0.5 mg/kg)	○ (0.67 mg/kg)
鉛及びその化合物	< 150mg	○ (33 mg/kg)	○ (18 mg/kg)	○ (30 mg/kg)	○ (15 mg/kg)	○ (8.5 mg/kg)	○ (46 mg/kg)
ひ素及びその化合物	< 150mg	○ (4.5 mg/kg)	○ (5.6 mg/kg)	○ (10 mg/kg)	○ (12 mg/kg)	○ (13 mg/kg)	○ (22 mg/kg)
ふっ素及びその化合物	< 4,000mg	○ (< 0.1 mg/kg)	○ (< 0.1 mg/kg)	○ (< 0.1 mg/kg)			
ほう素及びその化合物	< 4,000mg	○ (< 100 mg/kg)	○ (< 100 mg/kg)	○ (< 100 mg/kg)			

※項目ごとに溶出方法あり ※全含有分析値 ※六価クロムはCr総量を定量し比較

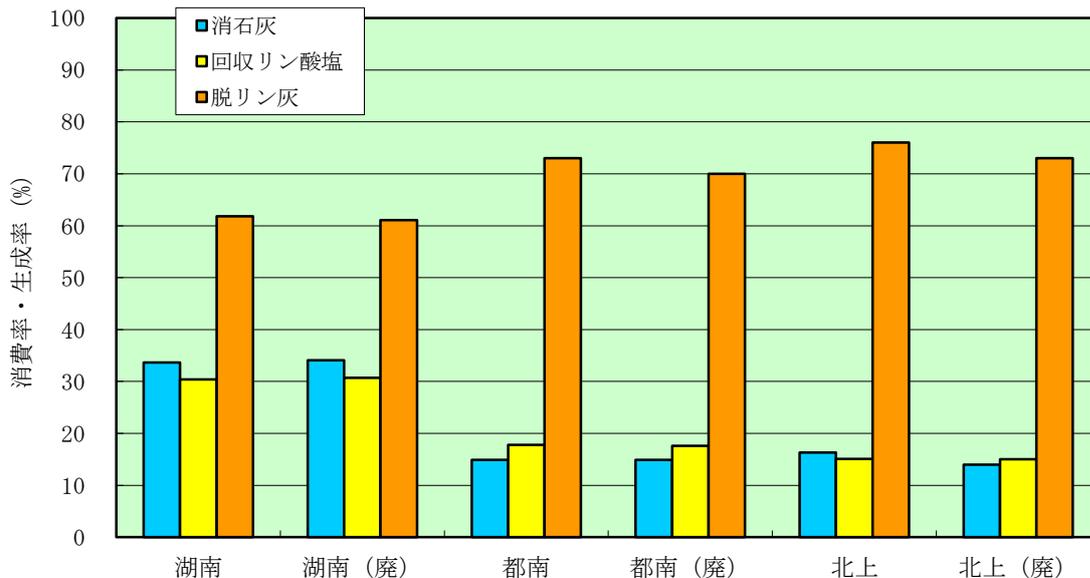


図1 消石灰の消費率と回収リン酸塩、脱リン灰の生成率

表2 リン回収システム導入の有無による効果（単位：万円/年）

	下水汚泥焼却灰の処理方法		年間費用	委託処理との差分
都南単独施設	リン回収システム導入なし（委託処理）		1,671	
	リン回収システム導入あり	薬品 NaOH 利用	2,523	852
		廃アルカリ利用	-21,269	-22,939
北上単独施設	システム導入なし（委託処理）		754	
	リン回収システム導入あり	薬品 NaOH 利用	1,959	1,205
		廃アルカリ利用	-8,792	-9,547
都南への集約施設	システム導入なし（委託処理）		2,425	
	リン回収システム導入あり	薬品 NaOH 利用	3,223	797
		廃アルカリ利用	-31,310	-33,735

3 下水汚泥焼却灰からの回収リン酸等の肥効試験及び植害試験

中規模試験で得た回収リンおよび脱リン残渣を用いて肥効試験を行った。試験ではコマツナおよびハウレンソウを用いたが、どの試験においても十分な肥効が確認できた（図2）。

また、中規模試験で得た回収リンおよび脱リン残渣を用いて植害試験を行った。試験ではコマツナを用いたが、どの試験においても植害が発生することはない、問題なく利用できることが確認できた。



図2 肥効試験作業風景（左図：種まき作業、右図：収穫時の肥効効果確認作業）

4 新たなリン回収法およびリン回収率向上の検討

イオン交換技術を用いた下水汚泥焼却灰中の肥料としてのリン回収試験では、焼却灰に含まれるリンの70-90%が酸処理により溶出可能であった（図3、図4）。また、焼却灰中の有害重金属の多くは陽イオンであり、イオン交換により除去可能であることが分かった。

また、磁気分離により下水汚泥焼却灰から鉄化合物やアルミニウム化合物を除去することができ、これら不純物の除去により、リン酸の品位を高められることが分かった。

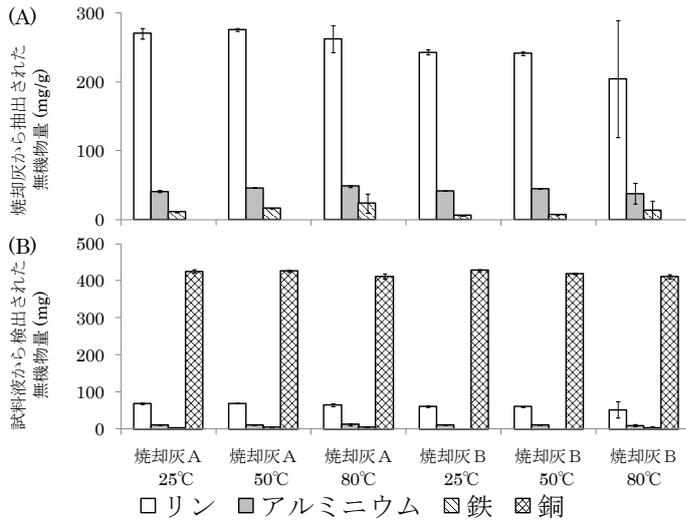


図3 (電気分解前の) 廃酸を用い下水汚泥焼却灰から抽出したリン含有試料液の元素組成

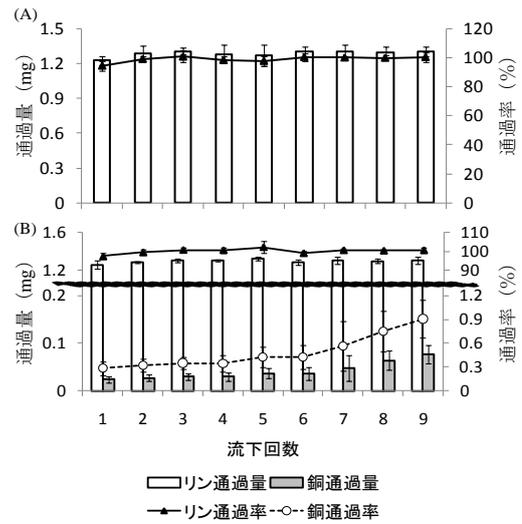


図4 市販硫酸または廃酸で抽出したリン含有試料液の陽イオン交換

5 下水汚泥焼却灰脱リン残渣の建設資材および土木資材としての適用性検討

焼却灰と戻りコンクリートと混合し固化物を路盤材として利用する場合、焼却灰の脱リン処理が極めて有効であり、利用可能性が高いことが分かった(図5)。

下水道汚泥焼却灰の脱リン残渣を利用したアスファルト混合物のマーシャル配合試験では、アスファルトフィラーとして利用する場合、OACの増加、残留安定度の低下により、使用上の懸念事項となることが分かった。

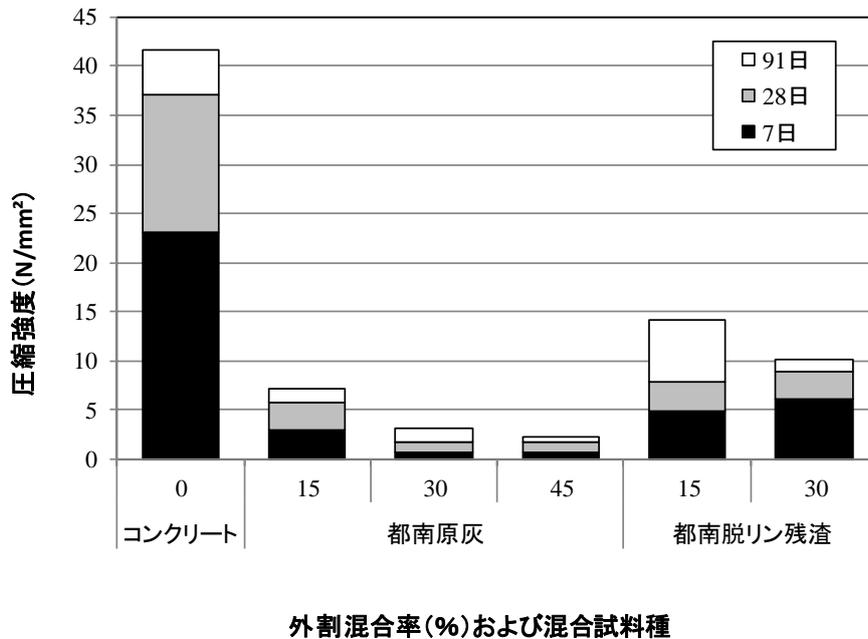


図5 混合固化物の圧縮強度試験結果

6 岩手県リン資源地産地消研究会

岩手県リン資源地産地消研究会を平成 22 年 9 月に設立し、平成 22～24 年度の 3 年間に計 6 回の研究会を開催した（表 3）。これにより、リン回収に関して関係機関等の情報共有が進み、リン回収への取組みの推進について共通認識を高めることができた。

表 3 岩手県リン資源地産地消研究会開催一覧

	開 催 日	会 場	参加者数
第 1 回	平成 22 年 9 月 3 日（金）	岩手県工業技術センター	92
第 2 回	平成 23 年 2 月 10 日（木）	盛岡市産学官連携研究センター	80
第 3 回	平成 23 年 9 月 8 日（木）	岩手県工業技術センター	64
第 4 回	平成 24 年 2 月 9 日（木）	岩手県工業技術センター	70
第 5 回	平成 24 年 8 月 31 日（金）	岩手県工業技術センター	60
第 6 回	平成 25 年 1 月 31 日（木）	ホテルルイズ	76

・環境政策への貢献

1 リン資源の地域内循環について

地域内で発生するリン含有廃棄物からリンを回収し、回収したリンを地域内で利用する仕組みを構築する（図6）。

日本ではリン鉱石が産出されないことから、リン鉱石は全量を輸入している。しかし、産出国の資源囲い込み等により、リン資源の安定的確保は困難になっている。

一方、国内には下水汚泥焼却灰を始めとして、リンを高濃度で含む廃棄物が大量に排出されているが、事業化した場合の採算性に課題があるため、その有効活用は進んでいない。

そこで、採算性を改善して、リン回収事業を推進し、回収したリンを地域で利用する仕組みの構築が求められており、本研究はその実現の一助となるものである。



図6 リン資源地域内循環のイメージ

2 収益を生み出せるリン回収技術の開発（リン抽出に廃アルカリを活用）

下水汚泥焼却灰からリンを抽出する際に廃アルカリを利用することにより、リン回収の採算性の向上を図った（図7）。

灰アルカリ抽出法により下水汚泥焼却灰からリンを抽出する際、従来は試薬アルカリを購入して使用していたが、この試薬アルカリの代替として産業廃棄物の廃アルカリを利用する技術を確立した。

これにより、試薬アルカリの購入が不要になると共に、逆に産業廃棄物である廃アルカリの処理費を受け取れるようになることから、リン回収の採算性が大幅に向上した。

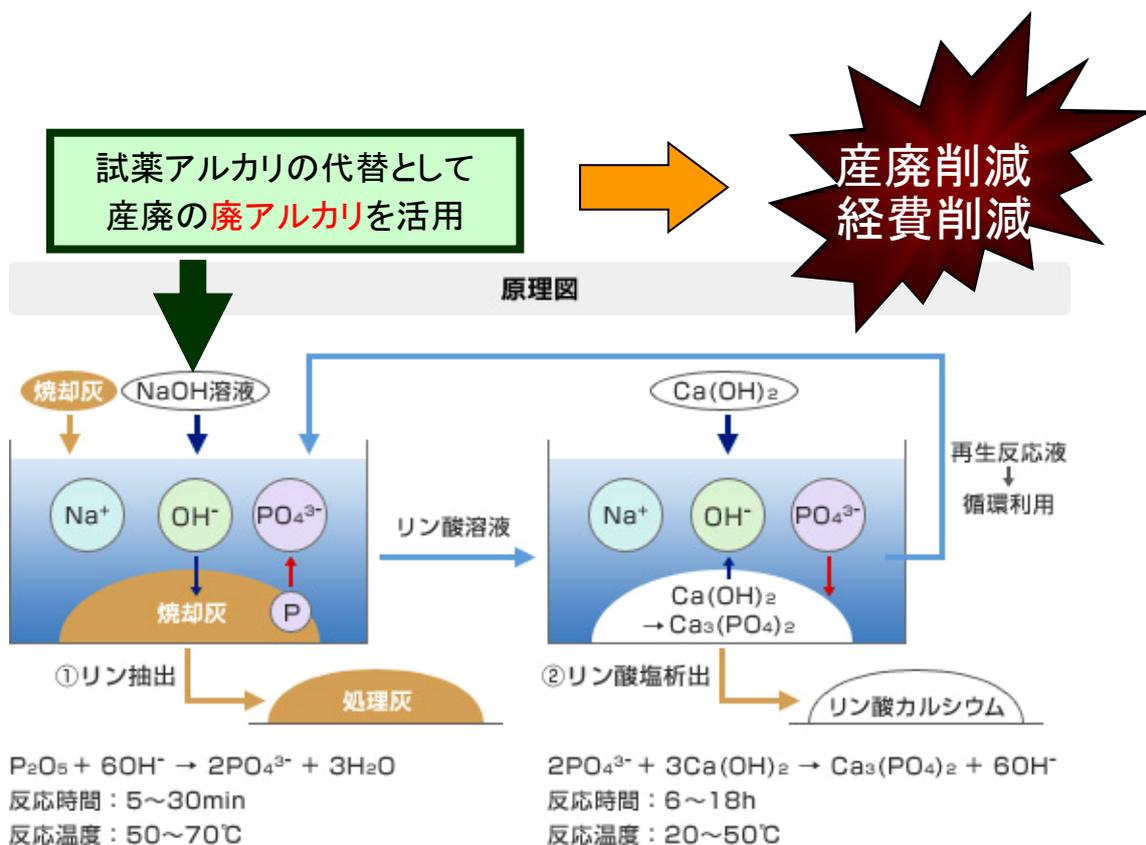


図7 本研究の着眼点

3 リン資源循環のための地域内連携の構築（岩手県リン資源地産地消研究会）

リン資源循環のための地域内連携を図るため、岩手県リン資源地産地消研究会を設置し、関係者を結ぶネットワークを構築した（図8）。

地域内には、肥料関係者だけ、廃棄物関係者だけ、下水関係者だけの分野別ネットワークは存在するが、各分野の関係者を横断的に結び付けるネットワークは存在しないため、リン資源循環について地域連携を進める場がなかった。そこで、関係者を結びつけるネットワークを構築するため「岩手県リン資源地産地消研究会」を設置した。

これにより、岩手県で排出されるリン資源についての情報交換やリン回収技術の情報交換、回収リンの利用や流通のための情報交換、リン資源の再資源化事業のための情報交換等を行うことができるようになった。

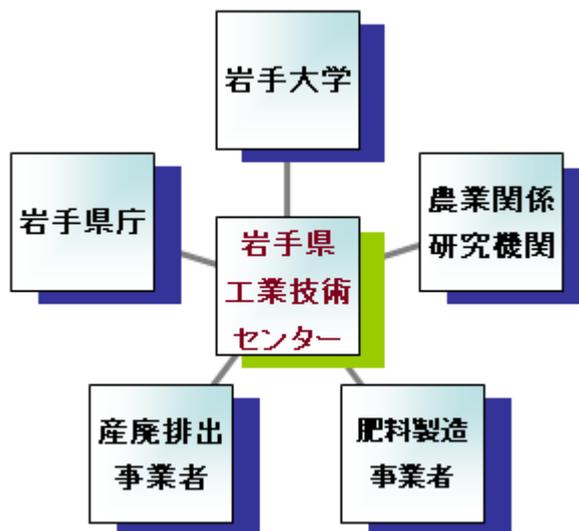


図8 リン研究会によるネットワーク構築

- ・研究成果の実現可能性

岩手県内の2施設で発生する下水汚泥焼却灰から、廃アルカリまたは試薬アルカリを用いてリンを回収するプラントシステムを設置する場合を想定し、下水汚泥焼却灰の性状や排出量に見合うプラント建設費や維持費を計算し、稼働コストを試算した。

その結果、2施設の下水汚泥焼却灰を集約してリン回収する施設の場合、試薬アルカリ利用では約3千万円/年の経費がかかるのに対し、廃アルカリ利用の場合は逆に約3億円/年の収益が得られることが分かった。

したがって、リン回収事業化の最大の課題であった事業費負担（リン回収費用の持ち出し）が解消される見込みとなり、リン回収事業化の動きが促進されると考えられ、研究成果の実現可能性は高い。

- ・結論

地域で発生する高リン含有廃棄物を、地域内で有用なリン資源として利用するため、灰アルカリ抽出法をベースに、それを発展させた新技術開発のための応用的な試験等を実施した。

まず、廃アルカリを用いたリン回収実証試験を行ったが、問題なくリン回収ができると共に、リン回収プラント稼働コスト試算においても、廃アルカリを用いることにより大幅な低コスト化を図れる可能性があることが分かった。

また、回収リン等の安全性評価試験、肥効試験及び植害試験等においても、廃アルカリ利用による問題は全く発生しなかった。

さらに、岩手県リン資源地産地消研究会について、平成22～24年度の3年間で計6回開催したが、毎回60名以上の参加者があり、地域のリン資源の利活用について関係機関等の情報共有が進むと共に、共通認識を高めることができた。

以上のことから、本研究が目指す「地産地消型リン資源循環システムの構築」に向けて、その推進を図ることができた。

本 文

第1章 研究背景と目的

リン鉱石は日本国内では産出されず、全量を輸入に頼っているが、世界的な需要の高まりから石油等と同様に戦略物資化してきており、産出国の資源困り込みの動きもあることから、良質なリン鉱石を安価かつ安定的に入手することは困難になりつつある。

特に、岩手県はいわゆる「黒ぼく土」と呼ばれる火山性土壌のため、大量のリン肥料を必要とする農地が多く、農業が基幹産業となっている岩手県としては、リン資源の入手難は地域にとって大きな問題となっている。

一方、日本国内では下水汚泥焼却灰等の高濃度のリンを含む廃棄物が大量に排出されているが、回収コストが高い等の課題があり、廃棄物からのリン回収によるリン資源の循環はあまり進んでいない。

そこで本研究では、まず対象とする廃棄物の成分分析や安全性評価試験を行い、各種廃棄物の利用可能性を調べ、それを受けてリン回収技術の開発に取り組むこととした。

先行技術による廃棄物からのリン回収では、コスト高や廃棄物のリン含有量が不安定などの課題があり、事業として採算が取れるレベルには達していない。現在、実用化されている優れたリン回収方法の一つに「灰アルカリ抽出法」があるが、リン酸抽出に用いるアルカリ試薬のコスト負担が重いため、広範な事業化推進のネックとなっている。本事業では、灰アルカリ抽出法をベースにしたリン回収手法に、岩手県内企業が排出する産業廃棄物である廃アルカリ等を有効利用し、リン回収経費の削減を図るための技術開発を行うこととした。

そして、実験室レベル及び実証プラントによるリン回収試験を実施し、回収条件の検討や回収リン等の化学分析及び肥効・植害試験を行うと共に、リン回収プラントを設置した場合の稼働コスト等を試算することとした。

さらに、イオン交換技術の利用による新たなリン回収方法や不純物除去などリン回収率向上のための検討も行うなど発展的な研究にも取り組むこととした。加えて、リン回収後に残る残渣の有効活用のため、建設資材や土木資材への利用検討も行うこととした。

回収したリン資源を地域内で循環させようとする場合、廃棄物の排出事業者、リン回収実施機関、回収リンを肥料化する肥料工場、その肥料の流通販売事業者、そしてその肥料の最終利用者というリサイクルの輪を確実に形成することが必要になる。しかし、そのような連携の仕組みは岩手県内にはないため、リン回収の技術開発成果をリン資源循環の構築まで進めていくのは難しい状況にあった。

そこで、「岩手県リン資源地産地消研究会」を設置し、研究会を中心とした産学官連携による取組みを推進することにより、リン資源への関心を高め、地域内のリン資源循環へのシステム構築を図ることとした。

本研究は、地域内で発生する産業廃棄物の処理と、地域が必要としているリン資源の確保を同時に果たすモデルケースを提案し、地産地消型リン資源循環システムの構築に向けて、岩手から発信しようとするものである。

第2章 各種廃棄物等の利用可能性評価試験

2-1 はじめに

リン (P) リサイクルを検討するにあたり、原料となるリン含有廃棄物を「食品系廃棄物」、「農業系廃棄物」、「工業系廃棄物」、および「都市系廃棄物」の4グループに分類し、それぞれグループごとの最適なリン回収方法の検討を行った。さらに、リン抽出に必要な試薬類の代替品を産業廃棄物に求め、「廃酸」および「廃アルカリ」の利用検討を行った。このことにより、効率的な廃棄物の利用と消費を図り、地域の産業廃棄物処理も兼備えた新たなリンリサイクルシステムの検討を行った。なお、産業廃棄物または特別管理産業廃棄物を利用する場合、そのルートへの有害物質の入り込みが発生しない安全管理システムが求められる場合があるが、本研究では得られた現物をサンプルとすることでルートへの有害物質の可能性を付与し、最終生成物に有害物質が混入しているかどうかを確認した。この方法により、これまでの流通経路上に容易に適用できる可能性域を広げた。

リンリサイクル原料の選定にあたり、各種廃棄物のリン含有量、リン以外の成分含有量、固体物質の一部物性を評価した。さらに、化学分析および物理分析の両方のアプローチによるリン抽出率の向上の検討をはじめ、リン抽出残渣成分、リン酸塩回収方法などの検討も行った。

一方、本研究の目的であるリン酸カルシウム合成において、合成材料となる前駆体およびリン酸カルシウム中の無機および有機有害成分を分析し、リン酸化学肥料の安全性評価を行った。特に、工業系廃棄物を利用した肥料合成は世界的にも新規の取組みであり、有機有害成分の評価項目が肥料取締法上では定められていない。このような背景により、有害性評価基準は既存の法律基準を参考に、安全評価項目として定められている基準のうち、厳しい基準を設定し評価した。

以上の取組みにより、効率的かつ安全性の高いリンリサイクルシステムの提案を目的とした。

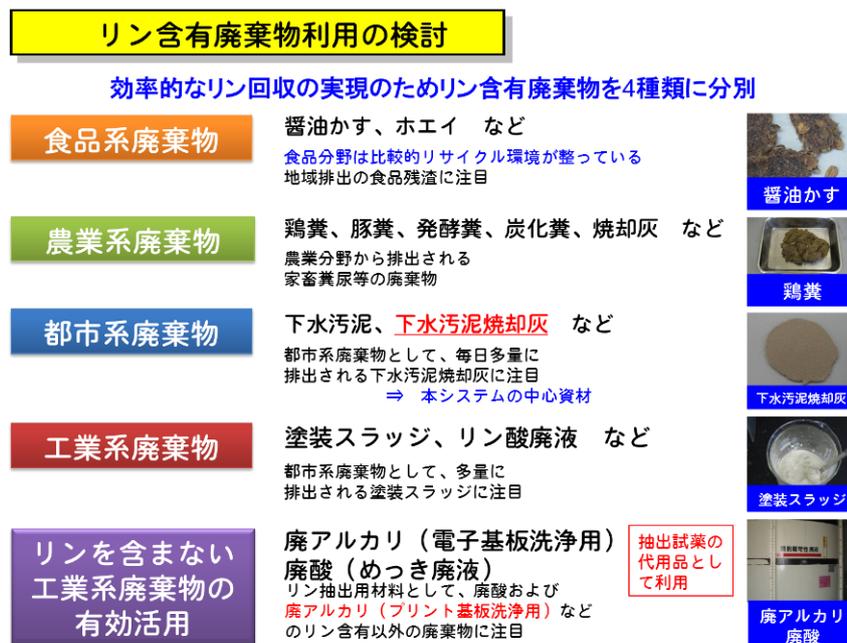


図 2-1 リン含有廃棄物と工業系廃棄物の分類および検討品目

2-2 食品系廃棄物（醤油かす）および農業系廃棄物（鶏糞、豚糞）のリン含有量調査

〔食品系廃棄物〕

乳飲料製品はリン（リン酸カルシウム）を比較的多く含むことから、乳酸飲料、チーズ、牛乳、ホエイなどの消費期限を過ぎた廃棄物の利用を計画したが、これら食品系廃棄物あるいは残渣は、肥料および飼料としてのリサイクル環境が整っており、工業的なリン資源リサイクル原料へ用いる必要が無いことが明らかとなった。そこで本研究では、塩分が多く食品リサイクルが難しいとされる、県内企業排出食品産業廃棄物である「醤油かす」の利用検討を行った。

結果、リン含有量は 0.1 wt % 程度であり、有機物および塩化物を除去する工程を必要とすることから、リンリサイクル原料としては不向きであった。

食品系廃棄物

有害物質等の基準において食品は厳しい ⇒ 肥料として直接利用可
醤油かす ⇒ P（リン） 0.10 wt%前後 【回収効果の期待が低い】

〔農業系廃棄物〕

農業系廃棄物である鶏糞および豚糞を用い、リンリサイクル原料としての可能性を調査した。多くの場合、乾燥あるいは発酵した動物糞（鶏糞など）は、肥料としての流通経路が確立されている。しかし、毎日多量に排出されることから肥料原料以外の多量活用を求める声も多い。

農業系廃棄物

鶏糞：生鶏糞<乾燥物<発酵物<炭化物<焼却灰
の順でリン(P)が濃縮

- 生豚糞 ⇒ P 2 wt%前後
- 豚糞焼却灰 ⇒ P 8 wt%前後
- 鶏糞炭化物 ⇒ P 3 wt%前後
- 鶏糞焼却灰 ⇒ P 6~13 wt%前後

焼却灰はリン含有量が高い 原料として期待

課題 豚糞を焼却…亜鉛濃縮が顕著
鶏糞を焼却…セレン濃縮が顕著

⇒ リサイクル時、事業所によっては対策が必要

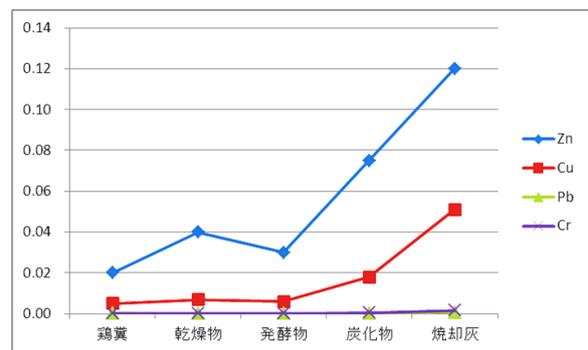


図2-2 鶏糞乾燥状態ごとの銅、鉛、クロム、亜鉛含有量

これまでの調査結果により、鶏糞は生鶏糞をはじめとして、乾燥物、発酵物、炭化物、および焼却灰などの様々な加工形態で存在しており、他の廃棄物に比べリン含有量が高い。また、焼却処理はリン以外の成分濃縮も認められ、飼料（エサ）に含まれる亜鉛（Zn）のほか、銅（Cu）の濃縮が認められた。さらに、養鶏企業によっては採卵効率の向上のため、セレン（Se）を飼料に添加しており、セレンの存在が一部確認されている。リンの含有量調査の結果、鶏糞焼却灰は 10 wt%前後含んでおり、リンリサイクル原料として魅力的な廃棄物の一つである。

一方、豚糞の場合、豚糞炭化物はリンを 8 wt%前後含んでいた。また多くの場合、亜鉛濃縮が認められた。

このように、農業系廃棄物である動物糞焼却灰は多量のリンを含有しており、リン鉱石代替材料の可能性が認められた。また、農業系（家畜系）廃棄物において、亜鉛などの成分を多く含むことから、工業的な処理方法の検討および精製工程の構築が必要である。

2-3 都市系廃棄物のリン含有量調査

リン含有産業廃棄物の代表として、下水汚泥焼却灰が挙げられる。この下水汚泥焼却灰は、全国の自治体から定常的に排出され、排出量のほか成分も比較的安定していることからリン鉱石の代替材料として注目されている。一部の自治体では、アルカリ抽出法（灰アルカリ法）によるリン回収方法を実施し肥料合成を行っている。本研究では、岩手県内 2 事業所（都南、北上）から排出される下水汚泥焼却灰を検討対象とし、ICP 発光分光分析法による詳細な成分分析を行った。

都市系廃棄物

下水汚泥焼却灰 ⇒ P 12 wt%前後 リサイクル原料として有望
年間を通じて発生量およびリン濃度の変動が少ない

表 2-1 ICP 発光分光分析法による下水汚泥焼却灰の定量分析結果

(元素名)	都南H22.7 (単位: wt.%)	北上H22.7 (単位: wt.%)	湖南H24.5 (単位: wt.%)	(元素名)	都南H22.7 (単位: wt.%)	北上H22.7 (単位: wt.%)	湖南H24.5 (単位: wt.%)	(元素名)	都南H22.7 (単位: wt.%)	北上H22.7 (単位: wt.%)	湖南H24.5 (単位: wt.%)
Li	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %	Y	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %	Pb	0.01%	0.01%	<0.01 %
Be	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %	Zr	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %	Bi	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %
B	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %	Nb	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %	La	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %
Na	0.4%	0.5%	0.38%	Mo	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %	Ce	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %
Mg	4.0%	5.2%	0.99%	Ru	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %	Pr	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %
Al	6.6%	7.5%	14%	Rh	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %	Nd	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %
P	13%	11%	13%	Pd	<0.05 %	<0.05 %	<0.05 %	Sm	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %
K	0.72%	0.81%	0.90%	Ag	<0.01 %	<0.01 %	<0.02 %	Eu	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %
Ca	8.2%	7.4%	4.2%	Cd	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %	Gd	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %
Sc	<0.01 %	<0.02 %	<0.01 %	In	<0.05 %	<0.05 %	<0.05 %	Tb	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %
Ti	0.42%	0.38%	0.31%	Sn	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %	Dy	<0.02 %	<0.02 %	<0.02 %
V	0.01%	<0.01 %	<0.01 %	Sb	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %	Ho	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %
Cr	0.01%	<0.01 %	<0.01 %	Te	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %	Er	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %
Mn	0.15%	0.12%	0.01%	Cs	<1 %	<1 %	<1 %	Tm	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %
Fe	6.8%	2.3%	1.4%	Ba	1.3%	1.8%	0.32%	Yb	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %
Co	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %	Hf	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %	Lu	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %
Ni	0.01%	<0.01 %	<0.01 %	Ta	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %	(参考) 別法測定結果			
Cu	0.13%	0.22%	0.11%	W	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %	C	0.23%	0.22%	
Zn	0.31%	0.35%	0.13%	Re	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %	燃焼赤外吸 収法	燃焼赤外吸 収法		
Ga	<0.05 %	<0.05 %	<0.05 %	Os	<0.02 %	<0.02 %	<0.02 %	Si	11.0%	14.4%	12.6%
Ge	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %	Ir	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %	重量法	重量法	重量法	
As	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %	Pt	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %	S	0.25%	0.28%	
Se	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %	Au	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %	燃焼赤外吸 収法	燃焼赤外吸 収法		
Rb	<1 %	<1 %	<1 %	Hg	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %	Ba	1.27%	1.82%	
Sr	0.05%	0.05%	<0.01 %	Tl	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %	重量法	重量法		

※ICP 発光分光分析結果については有効数字 2 桁表示。分析感度によっては有効数字 1 桁表示。
※別法により有効数字が 3 桁保証できる場合は有効数字 3 桁表示。
※定量下限値は 0.01 % に設定し、0.005 % オーダーの分析結果により下限値を保証。元素によっては分析感度上 0.01 % が保証できないため、個々に定量下限値を設定。

以上の調査結果より、岩手県内の下水汚泥焼却灰中には P がおよそ 12 wt%前後 (P_2O_5 換算で 27.5 wt%前後) 含まれていることが分かった。リンの化合形態として、リン酸カルシウム (HAP) およびリン酸マグネシウム (MAP) のほか、リン酸アルミニウムおよびリン酸鉄などの金属リン酸塩の形で、複数種のリン酸化合形態を有していた。アルカリ土類金属のリン酸塩は、アルカリ抽出法ではリンを溶出しないことから、このアルカリ土類金属塩の割合が高い硬水が得られる地域（ヨーロッパ諸国）では、酸溶解によるリン抽出法が報告されている。検討の結果、岩手県内下水汚泥焼却灰を活用したアルカリ抽出法の場合、HAP および MAP 成分含有により、リンの抽出は完全には起こらず、残渣にリンが残存することが明らかとなった。

一方、滋賀県（湖南中部浄化センター）の下水汚泥焼却灰は、P を約 13 wt%含んでおり、都南の下水汚泥焼却灰と同じ傾向を示していたが、Al の含有量が 14 wt%と岩手県の下水汚泥焼却灰に比べ 2 倍程度含有量が多かった。これは、処理工程上のアルミ系凝集剤の利用によるものと考えられる。また、Mg や Ca などの含有率は岩手県に比べ低い傾向が観察された。下水汚泥焼却灰

は施設により違いが見られることから、リンのリサイクルプロセスには、原料組成を確認の上、適正なプロセス選定が求められる。

2-4 工業系廃棄物のリン含有量調査

工業系高リン含有廃棄物として、リン酸廃液および塗装スラッジなどが挙げられる。岩手県内企業のうち、リン酸廃液を排出する企業の中でリンを 85g/L を含む廃液を廃棄する企業も見られる。当該廃液は、リン抽出用の酸あるいはアルカリと混ぜ、リン回収を行うことが可能である。

本研究では、リン酸亜鉛化成処理（パーカー処理）工程から排出された、塗装スラッジ中に含まれるリンの活用を検討した。尚、供試した塗装スラッジはリンを約 20 wt% 含んでいた。

工業系廃棄物

塗装スラッジ ⇒ P 16~21 wt%前後 高リン含有廃棄物
年間排出量が少ない 広域収集経路の確立が必要

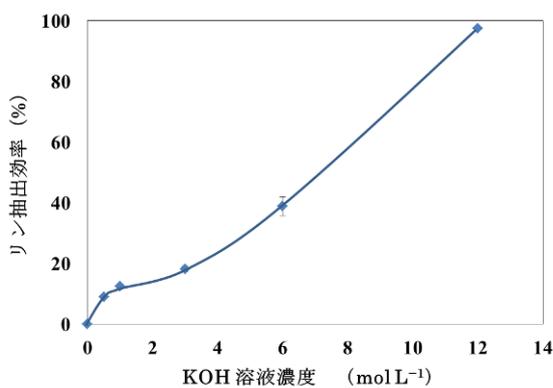


図 2-3 アルカリ (KOH) 濃度とリンの抽出効率の変化

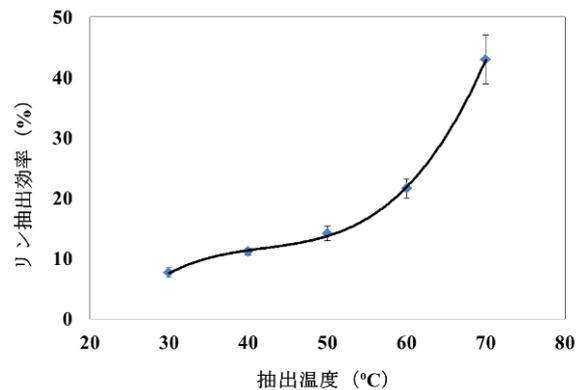


図 2-4 抽出温度とリン抽出効率の変化

※試料は 5 g 採取しアルカリ溶液 50 mL へ分散、30 分間抽出を実施

※850°C 焼成塗装スラッジ供試体（塗装スラッジに含まれる油分を除去するため焼成を実施）中のリン全量に対し、抽出液中のリン含有量を定量し、リン抽出効率 (%) を算出

塗装スラッジからリンを抽出する際、肥料成分のカリウム (K) を含む水酸化カリウム (KOH) 溶液を用いた。その結果、アルカリ濃度の増加 (図 2-3) と抽出温度の上昇 (図 2-4) に伴い、リンの抽出効率が大幅に改善された。この理由として、塗装スラッジ中のリンは鉄および亜鉛など、両性元素の傾向が強い塩と化合しているためと考えられる。抽出最適条件として、70°C 前後で加熱した 2~3 mol/L アルカリ溶液を用いた抽出条件が最も効率的であった。

一方、塗装スラッジには薬剤成分である亜鉛が含まれており、亜鉛除去の検討が必要である。上述の最適条件でリンを抽出した場合、スラッジに含まれる亜鉛のうち、およそ 10 wt% 前後の濃度に相当する亜鉛の溶出が認められた (図 2-5)。また、リン抽出率の向上と共に、亜鉛の溶出が増加した。

中和法によるリン酸亜鉛の析出、および電解析出法によるリン抽出液中の亜鉛濃度の低減を検討したところ、中和法の場合は溶液中の亜鉛濃度を 0.1 wt% 前後まで低減が可能であった。さらに電解析出法を応用することで、リン抽出液中の亜鉛濃度を 0.01 wt% 以下まで低減化可能であ

った。亜鉛低減を行ったリン抽出液へ溶解炭酸カルシウムを加え、リン酸カルシウムを合成したところ、高純度のリン酸カルシウムが得られた（図 2-6）。尚、用いた塗装スラッジは、ローズ規制関連物質を含んでいなかった（基準値以下）。

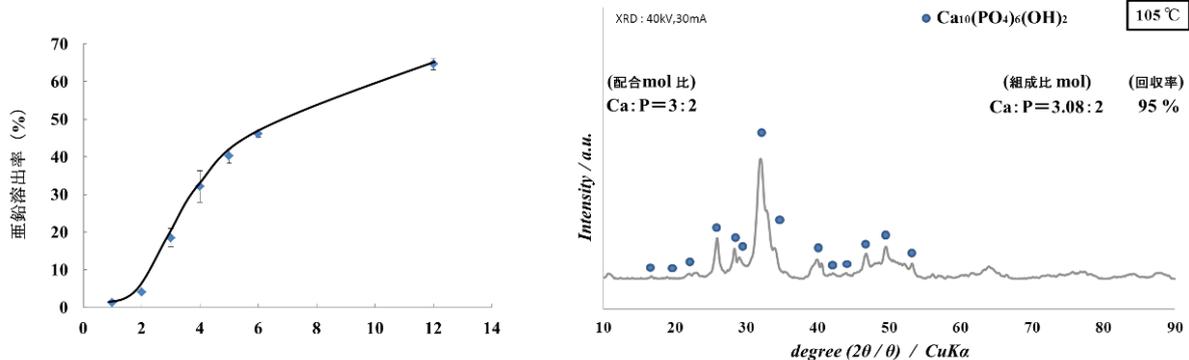


図 2-5 アルカリ濃度変化による亜鉛溶出率（70℃） 図 2-6 得られたリン酸カルシウム結晶構造の回折パターン図

このように、塗装スラッジには高リン含有廃棄物であり、リン酸カルシウム（肥料）合成原料として利用の可能性が示された。ただし、塗装成分由来の油分が含まれている場合が多く、下水汚泥の焼却処理（後述）時に混合処理することで、リン濃度の向上および焼成処理時の助燃剤効果による重油使用量の低減効果が期待される。

2-5 廃アルカリ・廃酸の利用可能性調査

リンの大量抽出を行う際、相当の酸およびアルカリを用いる必要があり、抽出試薬のコストはリサイクルを果たす上で課題となりうる。そこで本研究の特徴として、湿式法によるリン酸化学肥料合成の際に、地域企業が排出する廃酸および廃アルカリの活用を検討した。

リンを含まない
工業系廃棄物の有効活用

廃アルカリ ⇒ 無機成分をほとんど含まない廃液が存在
廃酸 ⇒ 高純度の硫酸廃液が存在
銅を含む廃硝酸が多量に存在
鉄を含む廃塩酸が多量に存在

岩手県内企業排出の廃棄物を調査したところ、大手電子基板メーカーが基板洗浄後のアルカリ廃液（NaOH）を排出しており、また県内にある大手鉄鋼メーカーのワイヤー加工関連企業がワイヤー洗浄後の酸廃液（鉄含有廃塩酸）を多量に排出していた。そのほか、めっき関連企業より廃めっき液（硝酸、塩酸）やレンズ加工業から廃硫酸が排出されており、最終製品洗浄工程で使用された廃液は比較的高純度（清澄）なものが多く見られた。岩手県内企業排出廃酸総量は年およそ2万トン、廃アルカリ総量は年およそ1万トンにも達し、アルカリ総量においてはほとんど大手電子基板メーカー排出が占めている。また、多くが再利用されず最終処理が行われている。

本研究では、下水汚泥焼却灰と廃アルカリを活用したリン抽出を第一目的としている。アルカリ廃液について、海洋投棄処分を参考に含有量試験（環境庁告示第13号）を行った結果、銅の含有量以外（Cu : 21.9 mg/L（基準値 Cu <10 mg/L））、すべて基準値以下であった。尚、本研究に用いる廃酸はイオン交換法（後述）により、有害金属成分を低減または除去を行い用いた。

表 2-2 廃アルカリ中の主な重金属成分

種類	濃度	Cd	Pb	Cr(VI)	Cr	As	Se
廃アルカリ A社提供	(単位)	mol/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	(結果)	0.57	< 0.01	0.14	< 0.05	< 0.10	0.01
	(基準値)		< 0.1	< 1	< 0.5	< 2	< 0.15
		Cu	Zn	Be	Ni	V	Hg
	(単位)	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	(結果)	21.9	0.03	< 0.01	< 0.10	< 0.20	< 0.001
(基準値)	< 10	< 20	< 2.5	< 1.2	< 1.5	< 0.025	

2-6 下水汚泥焼却灰「都市系廃棄物」を活用したリン酸カルシウムの合成

下水汚泥焼却灰を利用したリン回収法は、既に岐阜市などがアルカリ抽出法（灰アルカリ法：図 2-7）事業化に成功しているが、多くの場合、採算性の低さが指摘されている。

【参考文献】岐阜保健環境研報，2010，18，13－17.

本研究では、岩手県内下水処理施設から排出された下水汚泥焼却灰を用い、県内において事業活動が可能な採算レベル（実用化）まで高める方策を検討した。尚、リン抽出方法は灰アルカリ抽出法をベースとしている。

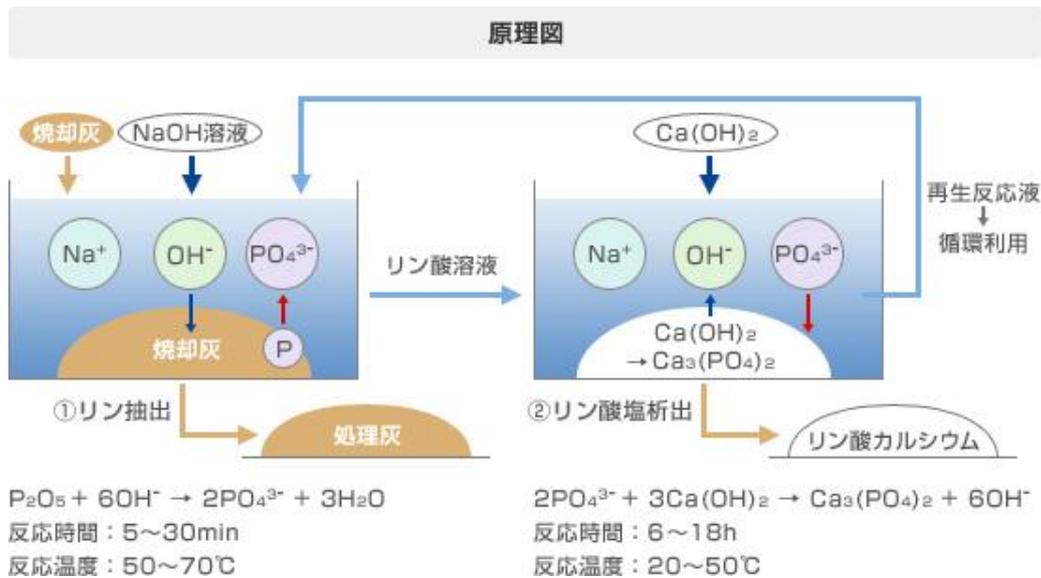


図 2-7 灰アルカリ抽出法原理図

（出展：メタウォーター（株）ホームページ、リン回収システム

http://www.metawater.co.jp/product/sewer/rin_collection/index.html

本研究の特徴として、リンリサイクルシステムの採算性の向上およびシステムによる地域企業の廃液処理負担の軽減を目的とし、リン抽出試薬液の代替材料として岩手県内企業排出の廃アルカリ（基板洗浄アルカリ廃液[NaOH]）の利用を検討した。

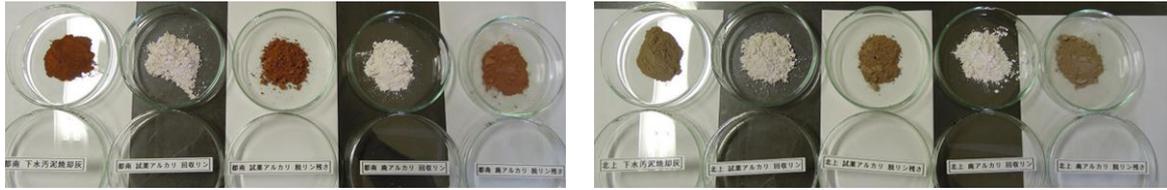


図 2-8 下水汚泥焼却灰および合成物（左：都南灰、右：北上灰）

（それぞれ、左から 元灰、試薬アルカリ回収リン、試薬アルカリ脱リン残渣、廃アルカリ回収リン、廃アルカリ脱リン残渣）

この方法により得られた、リン酸カルシウム肥料およびリン抽出残渣のリン酸化学肥料としての有効性、さらに有害性などを調査し、抽出残渣の活用を含めた幅広い研究を展開した。尚、結果として、実証プラントによる下水汚泥焼却灰および廃アルカリを活用した、リン酸カルシウムの合成に成功した（後述）。

2-7 下水汚泥焼却灰（都市系廃棄物）によるリン酸カルシウムおよびリン抽出残渣中の無機および有機有害物質の含有調査

【無機有害物質調査】

実証プラント試験（後述 3-1）による、回収リンおよびリン抽出残渣の分析結果を表 2-3 に示す。

表 2-3 実証プラント試験による回収リンおよび抽出残渣の無機成分分析結果

種類	灰種	溶媒	濃度	N	SiO ₂	Fe	Fe ₂ O ₃	Al	Al ₂ O ₃	P	P ₂ O ₅	K
単位				wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%
回収リン (プラント抽出物)	都南	NaOH	0.5mol/L	<0.01	1.82	0.25	0.36	1.0	1.9	11.2	26	0.03
		廃アルカリ	0.57mol/L	<0.01	1.55	0.15	0.21	0.56	1.1	11.5	26	0.02
	北上	NaOH	0.5mol/L	<0.01	1.67	0.16	0.23	1.3	2.4	11.1	26	0.03
		廃アルカリ	0.57mol/L	<0.01	1.63	0.10	0.14	0.66	1.3	11.3	26	0.01
	湖南(滋賀)	NaOH	0.5mol/L		1.16	0.22	0.31	1.0	2.0	18.0	41	0.10
		廃アルカリ	0.57mol/L		1.73	0.42	0.60	1.1	2.0	17.1	39	0.16
脱リン残渣 (プラント抽出物)	都南	NaOH	0.5mol/L	0.02	24.6	7.7	11	1.4	2.7	1.68	3.9	0.31
		廃アルカリ	0.57mol/L	0.02	26.2	5.4	7.7	3.3	6.3	9.12	21	0.29
	北上	NaOH	0.5mol/L	0.02	25.0	2.7	3.8	3.7	7.1	9.01	21	0.39
		廃アルカリ	0.57mol/L	0.02	23.2	2.1	3.0	3.1	5.9	9.05	21	0.34
	湖南(滋賀)	NaOH	0.5mol/L		34.2	3.0	4.3	10	19	9.22	21	0.66
		廃アルカリ	0.57mol/L		32.5	3.5	5.1	9.6	18	9.19	21	0.68
種類	灰種	溶媒	濃度	Na	Ca	Mg	Mn	Be	Hg	Cd	Pb	Cu
単位				wt%	wt%	wt%	wt%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
回収リン (プラント抽出物)	都南	NaOH	0.5mol/L	1.4	34	0.47	<0.01	<0.1	<0.001	0.36	32	64
		廃アルカリ	0.57mol/L	2.4	32	0.37	<0.01	<0.1	<0.001	0.86	33	120
	北上	NaOH	0.5mol/L	2.4	29	0.35	<0.01	<0.1	<0.001	<0.1	27	72
		廃アルカリ	0.57mol/L	1.8	27	0.31	<0.01	0.36	<0.001	0.12	18	92
	湖南(滋賀)	NaOH	0.5mol/L	1.9	31	0.34	<0.01	<0.5	0.001	1.00	21	79
		廃アルカリ	0.57mol/L	2.6	32	0.38	<0.01	<0.5	0.006	1.00	30	160
脱リン残渣 (プラント抽出物)	都南	NaOH	0.5mol/L	0.47	9.9	1.3	0.04	<0.1	<0.001	0.68	10	69.0
		廃アルカリ	0.57mol/L	1.2	9.0	2.9	0.11	<0.1	<0.001	2.8	15	2100
	北上	NaOH	0.5mol/L	1.0	9.6	3.8	0.10	0.36	<0.001	4.8	<0.1	2200
		廃アルカリ	0.57mol/L	1.0	8.4	3.8	0.09	0.22	<0.001	2.0	8.5	2500
	湖南(滋賀)	NaOH	0.5mol/L	1.1	5.2	1.2	0.02	<0.5	0.018	2.4	53	1500
		廃アルカリ	0.57mol/L	0.85	5.0	1.3	0.02	<0.5	0.023	4.6	46	2100
種類	灰種	溶媒	濃度	Zn	Ni	Cr	V	As	Se	※元素分析：試料採取は105℃ 恒量乾燥後採取		
単位				mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg			
回収リン (プラント抽出物)	都南	NaOH	0.5mol/L	460	3.0	11	<20	9.3	0.67			
		廃アルカリ	0.57mol/L	830	9.3	4.8	<20	4.5	<0.5			
	北上	NaOH	0.5mol/L	610	7.1	4.6	<20	7.5	<0.5			
		廃アルカリ	0.57mol/L	710	5.6	6.7	<20	5.6	<0.5			
	湖南(滋賀)	NaOH	0.5mol/L	400	5.7	6.7	<20	11	0.84			
		廃アルカリ	0.57mol/L	780	8.5	8.6	<20	10	0.86			
脱リン残渣 (プラント抽出物)	都南	NaOH	0.5mol/L	1700	72	94	<20	8.4	<0.5			
		廃アルカリ	0.57mol/L	2900	90	100	<20	12	<0.5			
	北上	NaOH	0.5mol/L	3000	91	88	20	14	<0.5			
		廃アルカリ	0.57mol/L	2700	83	83	<20	13	<0.5			
	湖南(滋賀)	NaOH	0.5mol/L	1700	82	62	20	14	0.61			
		廃アルカリ	0.57mol/L	1900	88	79	22	22	0.67			

残念なことに、都南灰を用いた脱リン残渣を洗浄する工程において震災の影響を受け（プラント停電ほか）、本来得られるものが得られなかった。再試験を試みたが、東日本大震災後の福島第一原発事故に伴う放射能の影響により、試験サンプルが準備できず試験を断念した。したがって、表 2-3 中の都南下水汚泥焼却灰を用いた試験アルカリ試験のうち、脱リン残渣（実証プラント抽出物）中のリンを始めとする成分が低くなっている。実験室レベルの追加試験結果においては、北上灰を用いた試験傾向と同等であることが明らかとなっている。

今回の実証プラント試験において、県内 2 か所の下水汚泥焼却灰から約 50 %程度のリン抽出に留まっており、半分以上のリンが残渣に残る結果となった。また、回収リン中のナトリウム含有量がおよそ 2 %程度であり、塩害予防のため、生成物洗浄工程または配合比調整の検討が必要であった。その他、肥料取締法上に規制されている重金属の含有量については、肥料として十分使用が可能であった。また、脱リン残渣中のリン含有量が高いため、リンの含有を嫌うコンクリート資材等への活用の場合、リン抽出量を増加させ、脱リン残渣中のリン濃度の低減が望ましいことも明らかとなった。

一方、滋賀県（湖南）の下水汚泥焼却灰を適用した場合、岩手県に比べリン含有量が高く、県外の下水汚泥焼却灰も本システムが適用できることが示された。

施肥肥料の土壌への影響調査上の目安として、全量分析結果を土壌含有量規制値と比較した。実際の土壌含有量規制値評価は、溶出等により作製した検液を用いることから、全含有量の値よりも緩い。表 2-4 に全分解分析による分析結果と環境省告示第 19 号基準の比較を示す。○は基準を満たした場合に付記している。

比較の結果、回収リン中の水銀、カドミウム、鉛などの有害性金属元素は土壌基準値以内ではあるが、鉛含有量が 30 mg/kg 程度（19 号基準：土壌 1 kg 中 150 mg 以下、肥料取締法：土壌 1 kg 中 100 mg 以下）と基準を満たすが、やや高めであり、施肥および肥料配合の際に検討が必要である。鉛の低減は焼却灰のほか、産廃処理上の様々な研究で課題として取り上げられており、産業廃棄物の農業資材化の課題としてハードルが高い。

表 2-4 全量分析結果と環境省告示 19 号基準との比較

土壌汚染対策法基準(土壌含有量基準)		＜試験アルカリ使用＞ プラント回収リン			＜試験アルカリ使用＞ プラント脱リン残渣		
特定有害物質の種類	土壌1kgにつき	都南	北上	湖南(滋賀県)	都南	北上	湖南(滋賀県)
カドミウム及びその化合物	< 150mg	○ (0.36 mg/kg)	○ (< 0.1mg/kg)	○ (1.1 mg/kg)	○ (0.68 mg/kg)	○ (4.8 mg/kg)	○ (4.6 mg/kg)
六価クロム化合物	< 250mg	○ (Cr比較:11 mg/kg)	○ (Cr比較:4.6 mg/kg)	○ (Cr比較:6.7 mg/kg)	○ (Cr比較:94 mg/kg)	○ (Cr比較:88 mg/kg)	○ (Cr比較:62 mg/kg)
シアン化合物	< 50mg	○ (< 0.1 mg/kg)	○ (< 0.1mg/kg)	○ (< 0.1mg/kg)	○ (< 0.1mg/kg)	○ (< 0.1 mg/kg)	○ (< 0.1mg/kg)
水銀及びその化合物	< 15mg	○ (< 0.001 mg/kg)	○ (< 0.001 mg/kg)	○ (0.001 mg/kg)	○ (< 0.001 mg/kg)	○ (< 0.001 mg/kg)	○ (0.018 mg/kg)
セレン及びその化合物	< 150mg	○ (0.67 mg/kg)	○ (< 0.5 mg/kg)	○ (0.85 mg/kg)	○ (< 0.5 mg/kg)	○ (< 0.5mg/kg)	○ (0.61 mg/kg)
鉛及びその化合物	< 150mg	○ (32 mg/kg)	○ (27 mg/kg)	○ (21 mg/kg)	○ (10 mg/kg)	○ (< 0.1 mg/kg)	○ (53 mg/kg)
ひ素及びその化合物	< 150mg	○ (9.3 mg/kg)	○ (7.5 mg/kg)	○ (11 mg/kg)	○ (8.4 mg/kg)	○ (14 mg/kg)	○ (15 mg/kg)
ふっ素及びその化合物	< 4,000mg	○ (< 0.1mg/kg)	○ (< 0.1 mg/kg)	○ (< 0.1 mg/kg)	○ (< 0.1 mg/kg)	○ (< 0.1 mg/kg)	○ (< 0.1 mg/kg)
ほう素及びその化合物	< 4,000mg	○ (< 100 mg/kg)	○ (< 100 mg/kg)	○ (< 100 mg/kg)	○ (< 100 mg/kg)	○ (< 100 mg/kg)	○ (< 100 mg/kg)
※項目ごとに溶出方法あり		※全含有分析値		※六価クロムはCr総量を定量し比較			
土壌汚染対策法基準(土壌含有量基準)		＜廃アルカリ使用＞ プラント回収リン			＜廃アルカリ使用＞ プラント脱リン残渣		
特定有害物質の種類	土壌1kgにつき	都南	北上	湖南(滋賀県)	都南	北上	湖南(滋賀県)
カドミウム及びその化合物	< 150mg	○ (0.86 mg/kg)	○ (0.12 mg/kg)	○ (1.1 mg/kg)	○ (2.8 mg/kg)	○ (2.0 mg/kg)	○ (2.4 mg/kg)
六価クロム化合物	< 250mg	○ (Cr比較:4.8 mg/kg)	○ (Cr比較:6.7 mg/kg)	○ (Cr比較:8.6 mg/kg)	○ (Cr比較:100 mg/kg)	○ (Cr比較:83 mg/kg)	○ (Cr比較:79 mg/kg)
シアン化合物	< 50mg	○ (< 0.1 mg/kg)	○ (< 0.1 mg/kg)	○ (< 0.1mg/kg)	○ (< 0.1 mg/kg)	○ (< 0.1 mg/kg)	○ (< 0.1mg/kg)
水銀及びその化合物	< 15mg	○ (< 0.001 mg/kg)	○ (< 0.001 mg/kg)	○ (0.006 mg/kg)	○ (< 0.001 mg/kg)	○ (< 0.001 mg/kg)	○ (0.023 mg/kg)
セレン及びその化合物	< 150mg	○ (< 0.5 mg/kg)	○ (< 0.5 mg/kg)	○ (0.86 mg/kg)	○ (< 0.5 mg/kg)	○ (< 0.5 mg/kg)	○ (0.67 mg/kg)
鉛及びその化合物	< 150mg	○ (33 mg/kg)	○ (18 mg/kg)	○ (30 mg/kg)	○ (15 mg/kg)	○ (8.5 mg/kg)	○ (46 mg/kg)
ひ素及びその化合物	< 150mg	○ (4.5 mg/kg)	○ (5.8 mg/kg)	○ (10 mg/kg)	○ (12 mg/kg)	○ (13 mg/kg)	○ (22 mg/kg)
ふっ素及びその化合物	< 4,000mg	○ (< 0.1 mg/kg)	○ (< 0.1 mg/kg)	○ (< 0.1 mg/kg)	○ (< 0.1 mg/kg)	○ (< 0.1 mg/kg)	○ (< 0.1 mg/kg)
ほう素及びその化合物	< 4,000mg	○ (< 100 mg/kg)	○ (< 100 mg/kg)	○ (< 100 mg/kg)	○ (< 100 mg/kg)	○ (< 100 mg/kg)	○ (< 100 mg/kg)
※項目ごとに溶出方法あり		※全含有分析値		※六価クロムはCr総量を定量し比較			

原材料の下水汚泥焼却灰は廃棄物処理法上で特定有害産業廃棄物に該当するため、脱リン残渣等の建設資材および土木資材利用を想定し、土壌の汚染に係る環境基準（環境庁告示第46号）による抽出試験を実施した。この方法により、一部肥料成分等の溶出について参考とし、評価した。

試験の結果、総水銀（Hg）、カドミウム（Cd）、鉛（Pb）、銅（Cu）、六価クロム（Cr(VI)）、ほう素（B）、セレン（Se）については、溶出基準を満たしていた。尚、砒素（As）のみ、基準値を超えているが、残渣は資材の原材料の一部として利用するため、加工により砒素の低減を図ることが可能である。したがって、脱リン残渣の活用が十分に期待される。

表 2-5 環境省告示 49 号による溶出試験結果

（肥料成分および主な重金属も参考として評価）

種類	灰種	溶媒	濃度	水分	pH	Fe	Al	P	K	Ca	Mg	Mn	Hg	Cd	
単位															
回収リン (プラント 抽出物)	都南	NaOH	0.5mol/L	7.74	10.1	<0.10	100	0.55	6.5	2.4	<0.10	<0.10	<0.0005	<0.01	
		廃アルカリ	0.57mol/L	17.4	11.6	<0.10	150	0.16	16	3.0	<0.10	<0.10	<0.0005	<0.01	
	北上	NaOH	0.5mol/L	11.5	10.7	0.19	120	1.7	20	2.3	<0.10	<0.10	<0.0005	<0.01	
		廃アルカリ	0.57mol/L	19.3	11.1	<0.10	100	0.39	12	3.6	<0.10	<0.10	<0.0005	<0.01	
脱リン残渣 (プラント 抽出物)	都南	NaOH	0.5mol/L	-	3.6	0.36	5.4	26	56	470	83	11.0	<0.0005	0.02	
		廃アルカリ	0.57mol/L	5.87	7.0	<0.10	<0.10	21	15	31	33	<0.10	<0.0005	<0.01	
	北上	NaOH	0.5mol/L	8.94	7.4	<0.10	0.47	19	18	29	31	<0.10	<0.0005	<0.01	
		廃アルカリ	0.57mol/L	14.5	7.0	0.14	0.12	26	16	31	47	<0.10	<0.0005	<0.01	
＜参考＞ 定量下限値(基準値)															
種類	灰種	溶媒	濃度		Pb	Cu	Zn	Ni	Cr	Cr(VI)	V	Be	B	As	Se
単位															
回収リン (プラント 抽出物)	都南	NaOH	0.5mol/L	<0.01	<0.10	0.02	<0.10	<0.10	<0.05	<0.20	<0.01	<0.15	0.030	<0.003	
		廃アルカリ	0.57mol/L	<0.01	0.12	<0.01	<0.10	<0.10	<0.05	<0.20	<0.01	<0.15	0.013	<0.003	
	北上	NaOH	0.5mol/L	<0.10	<0.10	0.05	<0.10	<0.10	<0.05	<0.20	<0.01	<0.15	0.053	<0.003	
		廃アルカリ	0.57mol/L	<0.01	<0.10	<0.01	<0.10	<0.10	<0.05	<0.20	<0.01	<0.15	0.025	<0.003	
脱リン残渣 (プラント 抽出物)	都南	NaOH	0.5mol/L	<0.01	6.1	14.5	0.27	<0.10	<0.05	<0.20	<0.01	<0.15	0.013	<0.003	
		廃アルカリ	0.57mol/L	<0.01	<0.10	<0.01	<0.10	<0.10	<0.05	<0.20	<0.01	<0.15	0.035	<0.003	
	北上	NaOH	0.5mol/L	<0.10	<0.10	0.30	<0.10	<0.10	<0.05	<0.20	<0.01	<0.15	0.030	<0.003	
		廃アルカリ	0.57mol/L	<0.01	<0.10	0.32	<0.10	<0.10	<0.05	<0.20	<0.01	<0.15	0.008	<0.003	
＜参考＞ 定量下限値(基準値)															
				<0.01	125mg/kg				<0.05			<1	<0.01	<0.01	

【有機有害物質調査】

本研究では、新たに有機性有害成分について環境影響上安全かどうか、または人の健康及び生活環境に係る被害を生ずる恐れがある性状を有するかどうかについて、廃棄物の判定基準と比較して判定することにより供試試料の有害性について評価した。

判定基準は、「金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準を定める省令（昭和48年2月17日総理府令第5号）」（以下「判定基準省令」という。）を用いて判定した。また、特別管理産業廃棄物の判定は、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行規則（昭和46年9月23日厚生省令代35号）」（以下「廃掃法施行規則」という。）を用いて判定した。

検定方法は、「判定基準省令」及び「特別管理一般廃棄物及び特別管理産業廃棄物に係る基準の検定方法（平成4年7月3日厚生省告示第192号）」を準用しているが、詳細は分析方法に示した。

【調査項目】 アルキル水銀化合物、シアン化合物、PCB、ふっ化物、揮発性物質（トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、ジクロロメタン、四塩化炭素、1,2-ジクロロエタン、1,1-ジクロロエチレン、*trans*-1,2-ジクロロエチレン、1,1,1-トリクロロエタン、1,1,2-トリクロロエタン、1,3-ジクロロプロペン、ベンゼンの11成分）、ダイオキシン類、チウラム、シマジン、チオベンカルブ、フェノール類、有機リン化合物（4類化合物）、計11項目とした。

【分析方法】 溶出試験および含有量試験の検液の調整は、ともに「産業廃棄物に含まれる金属等の検定法（昭和 48.2.17 環境庁告示 13 号）」に従った。

【分析結果と安全性評価】 「判定基準省令」の判定基準に適合しない有害な産業廃棄物は、特別な基準により処分することが義務づけられている。また、これを利用して生産されるリサイクル品についてもこの判定基準に適合することが環境影響上必要と思われる。判定基準は「判定基準省令」によると、埋立処分基準と海洋投入処分基準に分けられ、埋立処分基準は汚泥等に対して溶出量基準が定められている。海洋投入処分は、ロンドン条約の改正で原則禁止となっているが、一部処分が認められる廃酸・廃アルカリ廃棄物等に対して処分基準が定められている。

一方、「廃掃法施行規則」の中に特別管理産業廃棄物の規定があり、これらは、収集・運搬及び処分にあたり特別の扱いを要する廃棄物としての規定されている。特別管理産業廃棄物とは、爆発性、毒性、感染性その他の人の健康または生活環境に係る被害を生ずる恐れがある性状を有するものとして政令で定める廃棄物である。

今回、安全性を評価するにあたり、上記に示した産業廃棄物の処分基準に係る判定基準と特別管理産業廃棄物の分類に係る判定基準を用いて安全性を評価した。下水汚泥焼却灰、各種回収リン、残渣については、汚泥等の埋立処分基準（溶出量）、埋立処分基準の無いふっ素化合物及びフェノール類は海洋投入処分基準の非水溶性汚泥の処分基準（溶出量）を用いて評価した。さらに、ダイオキシン類については、特別管理産業廃棄物の判定基準（含有量）を用いて評価した。廃アルカリ液については、海洋投入処分基準（含有量）を用い、ダイオキシン類は特別管理産業廃棄物の判定基準（含有量）を用いて評価した。

すべての検体（都南、北上、および湖南の下水汚泥焼却灰による回収リンおよび脱リン残渣）で、アルカリ水銀化合物は不検出、シアン化合物、PCB、ふっ化物は定量限界以下であった。定量限界値は、アルカリ水銀化合物が 0.0005mg/L、シアン化合物が 0.1mg/L、PCB が 0.0005mg/L 及びふっ化物が 0.1mg/L である。判定基準値と分析値を比較すると、すべての焼却灰、回収リン及び脱リン残渣で基準値を超えるものはなかった。

揮発性物質の基準には 11 成分の揮発性有機物質の規定があり、分析結果は 11 成分とも定量限界以下であった。定量限界値はトリクロロエチレンが 0.002mg/L、テトラクロロエチレンが 0.0005mg/L、ジクロロメタンが 0.02mg/L、四塩化炭素が 0.0002mg/L、1,2-ジクロロエタンが 0.0004mg/L、1,1-ジクロロエチレンが 0.002mg/L、シス-1,2-ジクロロエチレンが 0.002mg/L、1,1,1-トリクロロエタンが 0.0005mg/L、1,1,2-トリクロロエタンが 0.0006mg/L、1,3-ジクロロプロペンが 0.0002mg/L、ベンゼンが 0.01mg/L である。判定基準値と分析値を比較すると、すべての焼却灰、回収リン及び脱リン残渣のすべての成分で基準値を超えるものはなかった。

6 検体でダイオキシン類の分析を行ったが、実施した検体すべてで分析結果は定量限界以下であった。定量限界値は 0.003ng-TEQ/g である。判定基準値と分析値を比較すると、回収リン及び脱リン残渣で基準値を超えるものはなかった。

すべての検体で、チウラム、シマジン、チオベンカルブ、フェノール類及び有機リン化合物は

定量限界以下であった。定量限界値は廃アルカリ液以外の検体では、チウラムが 0.0006mg/L、シマジンが 0.003mg/L、チオベンカルブが 0.02mg/L、フェノール類が 0.1mg/L 及び有機リン化合物が 0.1mg/L である。廃アルカリ液では、それぞれ 0.06mg/L、0.03mg/L、0.2mg/L、0.1mg/L、0.1mg/L である。判定基準値と分析値を比較すると、すべての回収リン及び廃アルカリ液で基準値を超えるものはなかった。

分析結果と判定基準値を比較した結果、供試した供試した検体すべてで「判定基準省令」の判定基準値を越える検体はなく、また、「廃掃法施行規則」の特別管理産業廃棄物に該当する検体はなかった。このことから、今回供試した焼却灰、回収リン、脱リン残渣及び廃アルカリ液は、廃棄物としてとらえた場合、有機性有害成分については有害性を有していなかった。

2-9 まとめ

リンリサイクルシステム上、活用できるリン含有廃棄物は以下の通りであった。

[食品系廃棄物] 直接施肥が可能な廃棄物が多く、該当なし。

[農業系廃棄物] 鶏糞および豚糞などの動物糞炭化物（リンを約 10wt%前後含む）

[都市系廃棄物] 下水汚泥焼却灰（リンを約 12wt%前後含む）

[工業系廃棄物] リン酸亜鉛化成処理工程排出スラッジ（リンを約 15wt%前後含む）

そのほか、下記のことが明らかとなった。

- ・リン抽出試薬代替材料として、廃酸および廃アルカリが活用できる。
- ・リンの抽出条件として、アルカリ濃度のほか、抽出温度条件を調整することで、効率的なリン抽出が可能である。
- ・岩手県内排出の下水汚泥焼却灰は、HAP および MAP 系のリン酸化合物と、アルミニウム、鉄、および亜鉛などの金属塩（リン酸塩）形態で存在しており、酸抽出法では 90wt%以上のリンが回収できるが、アルカリ抽出法では約 50wt%以下であった。アルカリ抽出法においては、リン抽出液中への重金属類溶出を抑制することが可能であるが、HAP および MAP の割合が多い場合、効率的なリン抽出が難しい。
- ・国内製造の自動車や家電製品製造由来の廃棄物は、ヨーロッパ等への輸出対応（ローズ規制ほか）により、カドミウムおよび水銀といった有害金属を含まないものが多い。高い安全性が求められる、肥料原料（リン鉱石）として優れたリン含有廃棄物が存在する。
- ・廃酸および廃アルカリについては、多くの産廃処理事業所では中和処理による最終処分を行っているが、中には高純度に近い酸やアルカリの廃棄物も存在しており、分別回収による再利用が可能な場合が多く見受けられた。
- ・灰アルカリ法はリン抽出法として優れており、回収リン酸塩中に無機性有害成分を含まない。
- ・下水汚泥焼却灰は 850℃焼成処理が行われていることから、この焼却灰を利用したリン回収物より有機有害成分が検出されなかった。

本研究の取組みにより、リンリサイクルシステム上の原料に成りうる一部のリン含有廃棄物の性状が明らかとなった。さらにリサイクル研究の展開により、工業系廃棄物の農業資材への新

たな展開の可能性も示されたことから、肥料取締法上の有機性有害物質の項目が早期に検討されることを期待する。

第3章 リン回収実証試験およびリン回収プラント稼動コスト等試算

3-1 はじめに

灰アルカリ抽出法（図 2-7）による下水汚泥焼却灰からのリン回収実証試験を行うため、平成 22 年度は都南浄化センターおよび北上浄化センターの下水汚泥焼却灰を用い、リン回収条件を変化させながら実験室試験による最適リン回収条件を探索した。

これを受けて、平成 23 年度はこの最適なリン回収条件において、100 kg/バッチ スケール級の中規模リン回収実証試験を実施し、平成 22 年度の実験室試験で確認された各種特性値を確認すると共に、実規模スケールを想定したリン回収プラント稼動コストを試算した。

平成 24 年度は、滋賀県の湖南中部浄化センターの下水汚泥焼却灰を用い、100 kg/バッチ スケール級の中規模リン回収実証試験を実施すると共に、様々なシステム経費削減方法についてその効果の試算を行った。

3-2 廃アルカリ等を利用した最適リン回収条件探索試験

3-2-1 最適リン回収条件探索のための設定条件

灰アルカリ抽出法では、リン抽出に用いるアルカリ液の濃度、抽出回数、抽出温度、さらにリン抽出液からリン酸塩を回収する際の析出剤添加率、析出温度、析出時間がリン回収コストの大小を決めるための大きな要素となる。

そこで、これらの各要素の値を変化させながらリン回収を試み、最適リン回収条件を探索した。本試験における各要素の設定条件一覧を表 3-1 に示す。

表 3-1 リン回収試験の設定条件一覧

対象とする灰	都南灰 北上灰 都南粉碎灰
抽出液	薬品 (0.5、0.75、1.0N)、廃アルカリ
抽出回数	1回 2回
抽出条件	温度 (50, 60, 70℃)
析出剤	消石灰 (リン濃度当量の) 1, 1.3, 1.5 倍
析出条件	温度 (常温, 40℃) 時間 (3, 6, 12 時間)

3-2-2 最適リン回収条件

表 3-1 に示す設定条件により、各要素条件を変化させた 45 通りの組合せについて、実験室試験によるリン回収試験を行い、最も効果的なリン回収条件を探った（図 3-1）。

その結果、45 通りの組合せの中から最も良好な数値（回収リン酸塩）を示した条件と結果を得た（表 3-2 数値からのみ判断した最適リン回収条件）。しかし、これらの条件は、運転費用の軽減という観点からは、必ずしも最適とは言えない条件も含まれている。

そこで、実際の運転時の状況を踏まえ、抽出液（アルカリ液）濃度や析出温度、消石灰添加率の条件を再検討した結果、実機の運転条件を踏まえた場合の最適なリン回収条件を得た（表 3-2 実機の運転条件を踏まえた最適リン回収条件）。



①焼却灰からリン抽出 ②残渣(脱リン灰)分離 ③抽出液→消石灰添加 ④析出リンの分離

図 3-1 リン回収試験

表 3-2 最適なリン回収条件（焼却灰 1kg 当り）

	数値からのみ判断した 最適リン回収条件	実機の運転条件を踏まえた 最適リン回収条件
対象とする灰	北上灰	北上灰
抽出液(アルカリ液)	1mol/L × 10L	0.5mol/L × 10L
抽出回数	2回	2回
抽出温度	70°C	70°C
抽出後のリン酸溶液濃度	2,470mg/L ~ 2,600mg/L	2,370mg/L
抽出率(A)	37%	34%
析出剤添加量	消石灰 0.224kg	消石灰 0.204kg
析出温度	40°C	常温(25°C)
析出時間	3 時間	6 時間
析出率(B)	87%	82%
リン回収率(A × B)	32%	28%
回収リン酸塩	0.29kg	0.27kg

注1) 抽出率=アルカリ抽出後に溶液中に存在する溶解性リン量÷抽出前に溶液中に存在した全リン量

注2) 析出率=1-消石灰投入後に溶液中に存在する溶解性リン量÷消石灰投入前に溶液中に存在した全リン量

3-3 リン回収実証試験およびリン回収プラント稼動コスト試算

3-3-1 リン回収実証試験（平成 23 年度実施）

都南及び北上の 2 種類の下水汚焼却灰を用いて、100kg/バッチ規模のリン回収実証プラント（千葉県市原市、図 3-2、表 3-3）により、薬品 NaOH 及び廃アルカリによるリン回収実証試験を計 4 回実施した。結果を表 3-3 及び表 3-4 に示す。LOTUS プロジェクト（国土交通省 下水汚泥資源化・先端技術誘導プロジェクト）においては、脱リン灰は元灰の 76%程度であり、ほぼ同等となった。薬品試験と廃アルカリを使用した試験では、回収物量と消費量はほとんど変わらなかった。廃アルカリ使用の試験では、灰使用量を薬品試験時の半分としたため、脱リン灰のプロセス内での滞留が大きく、みかけの回収率が低下した。

回収リン酸塩の回収率は都南で 18%程度、北上で 15%程度となった。LOTUS プロジェクトにおける、回収率と比較して大幅に低くなっているが、今回用いた焼却灰ではリンがアルカリ難溶性の Ca 塩、Mg 塩として存在している比率が高いことや、回収リン酸塩のリン濃度が高く、相対的に発生量が低下していることが影響していると考えられる。また、元灰から回収リン酸塩へのリンの移行率は、薬品 NaOH による試験は都南、北上それぞれで 17.8%、15.1%であり、廃アルカリによる試験では 17.6%、15.0%であった。よって、廃アルカリを使用しても薬品 NaOH を使用した場合と遜色なくリン回収が可能であることがわかった。



図 3-2 実証プラント（左からプラント入口、リン抽出槽、リン析出槽）

表 3-3 実証プラントにおける試験条件

使用灰量	100 kg or 50 kg
抽出液量	2 回抽出合計 2m ³ or 1m ³
抽出液濃度	0.5M NaOH, 廃アルカリ
抽出温度時間	70℃ × 30min(投入後)
消石灰量	リン濃度当量の 1.3 倍
析出条件	常温 (15~25 °C程度) 12h

表 3-4 元灰等の消費量と回収物量一覧（都南）

	薬品 NaOH		廃アルカリ	
	回収物量 kg-dry	消費/発生率 %-元灰比	回収物量 kg-dry	消費/発生率 %-元灰比
元 灰	100	-	50	-
消石灰	14.9	14.9	7.5	14.9
回収リン酸塩	17.8	17.8	8.8	17.6
脱リン灰	73.0	73.0	35.0	70.0

表 3-5 元灰等の消費量と回収物量一覧（北上）

	薬品 NaOH		廃アルカリ	
	回収物量 kg-dry	消費/発生率 %-元灰比	回収物量 kg-dry	消費/発生率 %-元灰比
元 灰	100	-	50	-
消石灰	16.3	16.3	7.0	14.0
回収リン酸塩	15.1	15.1	7.5	15.0
脱リン灰	76.0	76.0	36.5	73.0

3-3-2 リン回収プラント稼働コスト試算結果

岩手県内の下水汚泥焼却灰を対象とするリン回収プラント設置を想定し、今回実施した試験結果等に基づいて試算した。

以下にリン回収プラント稼働コスト試算における試算条件を挙げる。なお、コスト試算の前提として、都南・北上の両施設から発生する全焼却灰をリン回収プラントに用いることとし、リン回収方法は灰アルカリ抽出法を用いることとする。

- ・ 焼却灰発生量：都南、北上の年間の焼却灰発生量である、696t/年、314t/年とする。
- ・ 建設費：機電・土木基礎（10 万円/m²）・建屋（20 万円/m²）を含む概算費用とする。
- ・ 維持管理費：薬品 NaOH、消石灰、希硫酸、電力、管理人員費、輸送費を含み、それぞれ 2 万円/t、2 万円/t、2 万円/t、12 円/kWh、1,000 万円/人・年、0.6 万円/t とする。
- ・ 収入単価：回収リン酸塩売却益、脱リン灰売却益、廃アルカリ処理受託費を含み、それぞれ 4 万円/t、0.1 万円/t、5 万円/m³ とする。

各ケース及び費目毎に消費原単位/価格原単位を設定し、それぞれの年価/年間費用を試算した。算出した年価を年間処理灰量で割ることで、焼却灰 1 トンあたりの費用を算出した。また、北上

の焼却灰を都南に集約するケースも想定したが、その際の消費原単位は、支配的な灰である都南灰の値を用いて算出した。なお、以下の検討では「排液の処分に関わる費用」（リン回収システムから排出される洗浄水等の排液）と「抽出液加温に関わる費用」は試算に含めなかった。

本試算の結果、都南・北上でリン回収を行う場合、薬品 NaOH を使用すると、焼却灰の産廃委託処理時に比較して 1.5 倍から 2.7 倍に膨らむ。一方で、廃アルカリを使用すれば、試薬を使用する通常の処理法と比較して、稼動コストの大幅な改善が見込めることが分かった（表 3-6）。

表 3-6 リン回収システム導入の有無による効果（単位：万円/年）

	下水汚泥焼却灰の処理方法		年間費用	委託処理との差分
都南単独施設	リン回収システム導入なし（委託処理）		1,671	
	リン回収システム導入あり	薬品 NaOH 利用	2,523	852
		廃アルカリ利用	-21,269	-22,939
北上単独施設	システム導入なし（委託処理）		754	
	リン回収システム導入あり	薬品 NaOH 利用	1,959	1,205
		廃アルカリ利用	-8,792	-9,547
集約施設	システム導入なし（委託処理）		2,425	
	リン回収システム導入あり	薬品 NaOH 利用	3,223	797
		廃アルカリ利用	-31,310	-33,735

注）年間費用がマイナスの場合は収益が出ることを意味する。

3-4 実証プラントでのリン回収試験およびシステム経費削減効果試算

3-4-1 実証プラントでのリン回収試験（平成 24 年度実施）

福島第一原子力発電所の事故により、岩手県内の下水汚泥焼却灰は、都南及び北上のいずれも放射性セシウム濃度が、クリアランスレベルである 100Bq/kg を大きく超過する状態が続いており、研究に用いることができないことから、クリアランスレベル内にある滋賀県の湖南中部浄化センターから下水汚泥焼却灰をご提供頂き、薬品 NaOH 及び廃アルカリにより 50 kg/バッチスケール級のリン回収実証試験を 2 回行った。

図 3-3 に、湖南灰と都南灰、北上灰で薬品 NaOH 及び廃アルカリによりリン回収試験を実施した場合の、消石灰の消費率と回収リン酸塩、脱リン灰の発生率を示した。なお、廃アルカリ試験の結果は図中で（廃）と記した。湖南灰からの脱リン灰の発生率は、薬品 NaOH 試験で 61.8%、廃アルカリ試験では 61.1%となった。都南・北上の脱リン灰発生率が約 70%程度であったことに対して、やや低めの値となった理由は、アルミニウム等のアルカリ溶液に溶けやすい成分が多く含まれ、溶けにくい鉄やカルシウムが少ないことと、装置内でパイプに残る等のロスがあったことが考えられた。

薬品試験と廃アルカリ試験では、回収物量と消費量はほとんど変わらなかった。湖南灰からの回収リン酸塩の回収率は約 30%であり、都南・北上灰からの発生率（15～18%）の約2倍であった。この原因として、焼却灰中のリンとアルミニウム含有率が高く、アルカリ溶液に溶けにくい鉄とカルシウムの含有率が低いため抽出液中のリン濃度が高くなったことが考えられた。配管ロスがあることを考慮に入ると、実際に実機で運転した場合の発生率はもっと高くなると想定された。

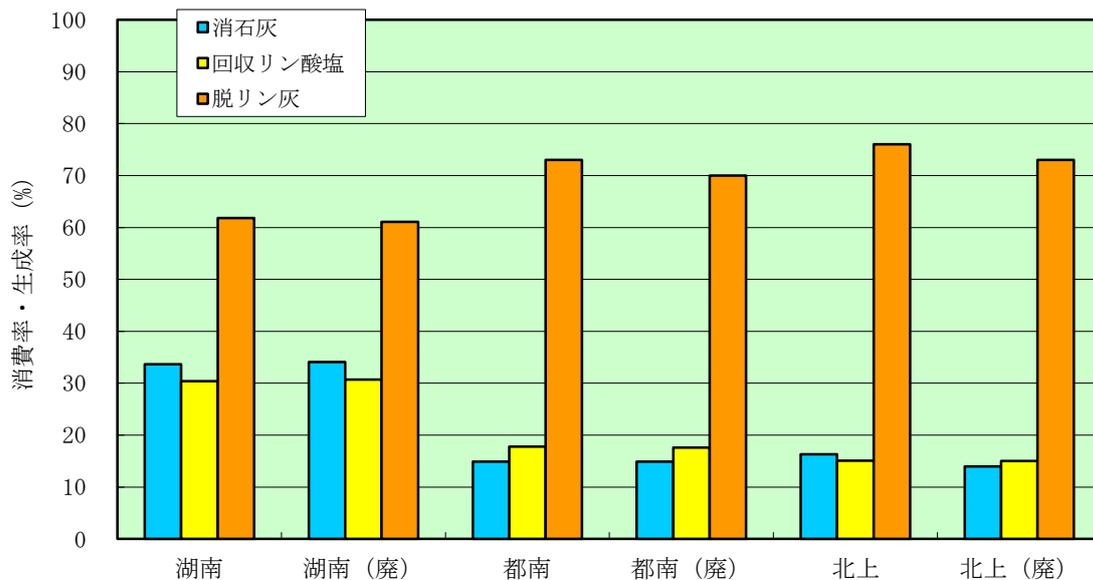


図 3-3 消石灰の消費率と回収リン酸塩，脱リン灰の生成率

3-4-2 システム経費削減効果試算

リン回収設備は抽出液の加温に焼却炉の余剰熱を利用するという性質から、本来は処理場内の焼却炉付近に設置することが想定されるが、設置スペースの問題によっては焼却炉から遠く離れた場所、若しくは処理場の外に設置するケースも考えられる。こうしたケースでは、システムの熱源にA重油等、なんらかの外部燃料を用いる必要がある。

そこで、ここでは岩手県で大量に発生する鶏糞炭、そして下水処理場の消化槽から発生する余剰消化ガス（発電分を除く）を安価な熱源として期待できることから、それらを熱源として利用した場合のシステム経費を、必要な熱量、価格等について焼却炉の余剰熱やA重油利用と対比させることにより、リン回収プラント運用時のシステム経費削減にどのような効果があるか試算した（表3-7）。

その結果、余剰熱利用が最も経費削減効果が高いことが分かった。

また、遠隔地にリン回収プラントを設置する場合の熱源として、鶏糞炭、A重油、消化ガスを比較したところ、消化ガスが最も経費削減に効果があることが分かった。

表3-7 リン回収システム導入の有無による効果（単位：万円/年）

	下水汚泥焼却灰の処理方法			年間費用	委託処理との差分
都南単独施設	リン回収システム導入なし（委託処理）			1,671	
	リン回収システム導入あり	薬品 NaOH	余剰熱	2,523	852
		廃アルカリ	余剰熱	-21,269	22,939
北上単独施設	システム導入なし（委託処理）			754	
	リン回収システム導入あり	薬品 NaOH	余剰熱	1,959	1,205
		廃アルカリ	余剰熱	-8,792	9,547
都南北上集約施設 (都南施設集約)	システム導入なし（委託処理）			2,425	
	リン回収システム導入あり（余剰熱や消化ガスは都南施設発生分を利用）	薬品 NaOH	余剰熱	3,223	797
		薬品 NaOH	鶏糞炭	3,927	1,502
		薬品 NaOH	A重油	3,942	1,517
		薬品 NaOH	消化ガス	3,255	830
		廃アルカリ	余剰熱	-31,310	33,735
		廃アルカリ	鶏糞炭	-30,620	33,046
		廃アルカリ	A重油	-30,598	33,023
廃アルカリ	消化ガス	-31,149	33,574		

注) 年間費用がマイナスの場合は収益が出ることを意味する。

3-5 まとめ

実験室試験による最適リン回収条件探索試験では、岩手県内で発生する下水汚泥焼却灰を用いた場合について、数値から得た最適リン回収条件と実機の運転条件を踏まえた最適リン回収条件とを得ることができ、廃アルカリを用いた場合でもリン回収が十分可能となるデータを得ることができた。

リン回収実証試験では平成 22 年度に実施した最適リン回収条件探索試験のデータを用い、都南、北上、滋賀県湖南中部の各浄化センターの下水汚泥焼却灰を用いて実証レベルのリン回収試験を行った。

その結果、滋賀県湖南中部の焼却灰は、リンの含有率は都南・北上の焼却灰よりもやや低いが、アルミニウムの含有率が約 26% と高いことや、鉄やカルシウム等のリンと結びつきアルカリに溶けにくい元素の含有率が低いといった、リン抽出に適する特徴を有していた。岩手県内の焼却灰との違いは、汚泥処理工程の差（消化工程を含まない）に起因する可能性が強く推察された。

さらに、リン回収プラント稼動コスト試算では、リン回収実証試験のデータを受けて、岩手県内で発生する下水汚泥焼却灰を用いて回収プラントを設置した場合の稼動コストを試算した。その結果、廃アルカリを使用すれば、試薬を使用する通常の処理法と比較して、稼動コストの大幅な改善が見込めることが分かった。

加えて、システム経費削減効果の試算では、A 重油や鶏糞炭に比べ、消化ガスをリン抽出の熱源に用いることにより、経費削減が効果的に行えることが分かったが、焼却炉余熱を利用する場合が、最も追加的な経費が少なくなった。したがって、熱輸送の効率の関係で、リン回収プラントを下水処理場内に設置することがポイントになることが分かった。

第4章 下水汚泥焼却灰からの回収リン酸等の肥効試験及び植害試験

4-1 はじめに

下水汚泥焼却灰からの回収リン酸等の肥効を確認するため、葉菜類（こまつな及びほうれんそう）を用いた肥効試験を実施した。

また、肥料取締法に基づき、「59 農蚕第 1943 号農林水産省農産園芸局通知」に準じた方法で、こまつなを用いた植害試験を実施し、植物の生育を阻害しないか、確認を行った。

試験実施にあたり、岩手県工業技術センターは農学的試験設備を有していないため、肥効試験については岩手県農業研究センター（図 4-1）で、植害試験についてはコープケミカル株式会社農材開発研究所において実施した。



図 4-1 肥効試験の作業風景（平成 23 年度実施分）

（左図：肥料配合作業、中図：プランターへの種まき作業、右図：肥効効果の確認作業）

4-2 肥効試験

肥効試験試料として、平成 23 年度は都南及び北上浄化センター系列（試薬アルカリ回収リン、試薬アルカリ脱リン残渣、廃アルカリ回収リン、廃アルカリ脱リン残渣、下水汚泥焼却灰）を用い、さらに対照区として重過リン酸石灰、参考として無リン酸を設けて実施した。

また、平成 24 年度は都南及び北上、滋賀県の湖南中部の各浄化センター系列（試薬アルカリ回収リン、廃アルカリ回収リン）を用い、さらに対照区として重過リン酸石灰、参考として無リン酸を設けて実施した。

肥効調査のための植物は、一般的な評価に用いられる こまつな 及び 岩手県内で栽培が盛んなほうれんそう の 2 種類を選定した。

試験は岩手県農業研究センター敷地内にある自動温調ガラス温室にて、プランター栽培試験を行った。栽培は温調管理が容易な秋期間に実施した（図 4-2）。

肥効試験の結果は以下のとおり。

- ①収穫時草丈は対照区並～やや優り、各資材区間で比較するとアルカリ回収リン酸区＞脱リン酸残渣区≒汚泥焼却灰区の順に大きくなる傾向が見られた。原料産地間では、都南と北上で特に差は見られなかったが、湖南は有意に低かった。
- ②地上部乾物重は無リン酸区が最も小さく、リン酸施用区は対照区と同程度であった。アルカリ回収リン酸区およびアルカリ脱リン酸区は対照区並みからやや優った。原料産地間では、

都南と北上で特に差は見られなかったが、滋賀県湖南は有意に低かった。

- ③地上部リン酸含量は、都南廃アルカリ区および湖南試薬アルカリ区が対照区より低いものがあり、抽出処理間では試薬アルカリ区で高いものがあった。
- ④地上部リン酸吸収量はリン酸施用効果がみられ、湖南で対照区より低いものがあったがそのほかは回収リン酸施用区とも対照区並～やや優った。原料産地間で比較した場合、湖南のリン酸吸収量が有意に少なく、都南と北上の間では差は見られなかった。抽出処理間で差は認められなかった。
- ⑤跡地土壌の化学性はトルオーグリン酸含量に多少の差は見られたが、生育に影響を及ぼす差ではなかった。また、硝酸態窒素含量および交換性カリウム含量は地上部乾物重の大きい区ほど減少する傾向が見られた。
- ⑥栽培試験中における生理障害および病虫害の発生は認められなかった。

表 4-1 ほうれんそうの地上部養分濃度および吸収量（平成 24 年度実施分）

No.	区名	地上部養分含量(%)					地上部養分吸収量(mg/株)				
		N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
1	重過石 (対照)	5.5 a	0.6 bc	8.0 b	4.1 c	0.7 ab	99.8 a	11.0 c	145.6 bc	75.1 bcd	13.0 a
2	無リン酸 (参考)	5.4 ab	0.6 c	8.2 ab	4.6 ab	0.7 ab	74.6 d	7.8 d	113.4 d	63.2 d	9.8 b
3	都南試薬アルカリ 回収リン酸	5.1 ab	0.7 abc	8.1 ab	4.4 abc	0.7 bc	98.1 abc	12.7 bc	157.2 abc	85.3 abc	13.0 a
4	都南廃アルカリ 回収リン酸	5.1 ab	0.8 a	8.5 ab	4.7 a	0.6 c	102.9 a	15.3 a	170.9 a	94.3 a	13.0 a
5	北上試薬アルカリ 回収リン酸	5.0 b	0.7 ab	8.1 ab	4.4 abc	0.7 abc	99.2 ab	13.4 ab	161.9 ab	87.7 ab	13.5 a
6	北上廃アルカリ 回収リン酸	5.1 ab	0.7 ab	8.1 ab	4.4 abc	0.7 abc	97.5 abc	13.3 ab	156.3 abc	85.2 abc	13.4 a
7	湖南試薬アルカリ 回収リン酸	5.3 ab	0.7 a	8.6 a	4.3 bc	0.7 a	87.9 bc	11.8 bc	143.4 bc	71.1 cd	12.2 a
8	湖南廃アルカリ 回収リン酸	5.4 ab	0.7 ab	8.7 a	4.3 bc	0.7 ab	86.8 c	11.0 c	139.8 c	68.4 d	11.6 ab



図 4-2 ほうれんそう収穫時(播種後 86 日目)

4-3 植害試験

岩手県内の都南浄化センター、北上浄化センターの2事業所、および滋賀県湖南中部浄化センターから排出された下水汚泥焼却灰を用い、灰アルカリ抽出法によりリン抽出を行った。



写真16. 都南浄化センター下水汚泥焼却灰



写真17. 都南浄化センター下水汚泥焼却灰
回収リン酸(試薬アルカリ抽出物)



写真18. 都南浄化センター下水汚泥焼却灰
回収リン酸(廃アルカリ抽出物)



写真19. 都南浄化センター下水汚泥焼却灰
脱リン残渣試薬アルカリ抽出物



写真20. 都南浄化センター下水汚泥焼却灰
脱リン残渣(廃アルカリ抽出物)

撮影日2011年10月13日(播種後21日目)

※いずれの写真も上から試験区、対照区、標準区
左から標準施用区、2倍施用区、3倍施用区

図 4-3 こまつな生育写真 (平成 23 年度実施分)

表 4-2 都南焼却灰系統の発芽調査成績および生育調査結果（平成 23 年度実施分）

供試 資材	試験区	反復	発芽調査成績			生育調査成績				
			9/24	9/25	9/26	9/29	10/13			
			発芽率 (%)			葉長 (cm)	葉長 (cm)	全重 (g/鉢)	生体重 指数	
	都南浄化センター下水汚泥焼却灰	標準施用区	①	88	96	96	2.5	14.9	32.3	104
			②	92	96	96	2.4	14.5	30.3	98
			③	84	96	96	2.5	14.6	31.7	102
			平均	88	96	96	2.5	14.7	31.4	101
		2倍施用区	①	96	100	100	2.7	14.6	31.7	102
			②	88	100	100	2.6	14.4	33.5	108
			③	84	96	96	2.5	13.9	30.1	97
			平均	89	99	99	2.6	14.3	31.7	102
		3倍施用区	①	88	96	96	2.4	14.4	32.6	105
			②	88	96	96	2.6	15.1	30.9	100
			③	88	96	96	2.5	14.9	29.9	97
			平均	88	96	96	2.5	14.8	31.2	101
	都南浄化センター下水汚泥焼却灰からの 回収リン酸(試薬アルカリ抽出物)	標準施用区	①	92	100	100	2.7	14.4	33.2	107
			②	88	100	100	2.8	14.3	34.0	110
			③	76	88	92	2.4	14.8	30.9	100
			平均	85	96	97	2.6	14.5	32.7	106
		2倍施用区	①	96	96	96	2.7	14.6	33.4	108
			②	104	100	100	3.1	14.3	31.8	103
			③	96	96	96	2.6	14.9	33.6	109
			平均	99	97	97	2.8	14.6	32.9	106
		3倍施用区	①	88	100	100	2.5	14.2	33.5	108
			②	92	96	96	2.5	15.0	33.6	108
			③	84	92	92	2.6	15.6	32.7	105
			平均	88	96	96	2.5	14.9	33.2	107
都南浄化センター下水汚泥焼却灰からの 回収リン酸(廃アルカリ抽出物)	標準施用区	①	80	96	100	2.5	14.0	31.6	102	
		②	92	92	92	2.5	15.2	30.5	99	
		③	92	100	100	2.3	14.0	30.3	98	
		平均	88	96	97	2.4	14.4	30.8	100	
	2倍施用区	①	88	88	88	2.5	14.1	32.8	106	
		②	100	100	100	2.5	14.6	31.4	101	
		③	92	92	92	2.1	14.4	29.1	94	
		平均	93	93	93	2.4	14.4	31.1	100	
	3倍施用区	①	88	92	88	2.8	15.2	33.9	109	
		②	96	96	100	2.4	15.0	34.9	113	
		③	92	92	96	2.4	13.7	31.2	101	
		平均	92	93	95	2.6	14.6	33.3	108	
都南浄化センター下水汚泥焼却灰からの 脱リン残渣(試薬アルカリ抽出物)	標準施用区	①	92	100	100	2.6	14.1	33.4	108	
		②	92	100	100	2.6	14.4	34.0	110	
		③	88	96	96	2.7	14.5	32.5	105	
		平均	91	99	99	2.6	14.3	33.3	108	
	2倍施用区	①	92	96	96	2.4	13.9	33.0	107	
		②	88	88	88	2.5	15.1	33.1	107	
		③	96	96	96	2.9	13.7	31.8	103	
		平均	92	93	93	2.6	14.3	32.6	105	
	3倍施用区	①	92	96	96	2.7	14.1	30.6	99	
		②	80	96	96	2.3	14.3	32.6	105	
		③	64	96	96	2.2	13.6	29.8	96	
		平均	79	96	96	2.4	14.0	31.0	100	
都南浄化センター下水汚泥焼却灰からの 脱リン残渣(廃アルカリ抽出物)	標準施用区	①	96	100	100	2.6	14.6	31.1	100	
		②	84	100	100	2.7	14.2	31.3	101	
		③	92	100	100	2.8	14.5	31.1	101	
		平均	91	100	100	2.7	14.4	31.1	101	
	2倍施用区	①	92	96	96	2.5	14.4	31.9	103	
		②	88	96	96	2.7	14.5	32.3	104	
		③	68	92	92	2.5	14.1	30.9	100	
		平均	83	95	95	2.5	14.3	31.7	102	
	3倍施用区	①	84	96	96	2.7	14.0	32.1	104	
		②	92	96	96	2.0	13.8	28.2	91	
		③	88	96	96	2.7	15.2	32.6	105	
		平均	88	96	96	2.5	14.3	30.9	100	

この抽出リンを水酸化カルシウム（消石灰）と反応させ、リン酸カルシウムとして析出し肥料成分とした。このリン酸カルシウムを「回収リン酸」、リン抽出残渣を「脱リン残渣」とし、植害試験を実施した（平成 23 年度は都南（図 4-3）及び北上、平成 24 年度はこれらに加え滋賀県湖南中部の各浄化センターからの排出系列に係る植害試験を実施）。

なお、この回収リン酸および脱リン残渣は、試薬アルカリおよび岩手県内企業から排出された特別管理産業廃棄物である廃アルカリを用いて合成したもので、第 3 章で述べた中規模プラント試験により得られたものである。

本項では、下水汚泥焼却灰および回収リン酸、脱リン残渣の試料について、肥料取締法に基づき、「59 農蚕第 1943 号農林水産省農産園芸局通知」に準じた方法で植害試験を実施し、植物（こまつな）の生育を阻害しないか、確認を行った。

その結果、発芽率は、対照資材区と供試資材区に差は認められなかった。播種 1 週後は生育に差は認められなかった。栽培 3 週後の生体重は、概ね以下の順に大きくなる傾向を示した。

- ①対照資材（過磷酸石灰、可溶性りん酸で施肥設計した）区
 - ②施肥りん酸（全 P_2O_5 ）に対するく溶性りん酸の割合が高い試薬アルカリ抽出物と廃アルカリ抽出物区
 - ③施肥りん酸（全 P_2O_5 ）に対するく溶性りん酸の割合が低い汚泥焼却灰と脱りん残渣区
- すなわち、地上部生体重は土壌中りん酸の可給難易に従っていた。

なお、本試験の期間中にコマツナに対する生育阻害等は認められず、供試資材中に植害作用を示す物はなかった。

したがって、下水汚泥焼却灰および廃アルカリを活用した回収リンおよび脱リン残渣は、土壤へ施肥できることが明らかとなった。

4-4 まとめ

肥効試験については、都南浄化センターおよび北上浄化センターの試薬アルカリ回収リン酸区、及び廃アルカリ回収リン酸区について、対照区と同等以上の肥効が認められ、既存のリン酸肥料の代替として活用できることが示めされた。

なお、両浄化センターの下水汚泥焼却灰区、及びアルカリ脱リン酸残渣区については、対照区より肥効は低めであったが、無リン酸区以上の肥効は認められた。これは、下水汚泥焼却灰中の肥効成分以外の元素が成長を阻害し、一方、脱リン残渣はリンが完全には抽出していないため、ある程度肥効効果を示したものと考えられる。

第 2 章の無機成分および有機成分評価と併せ、回収リンは安全性の高い肥料であることが明らかとなった。

次に植害試験について、発芽率は対照資材区と供試資材区に差は認められず、播種 1 週後は生育に差は認められなかった。また、本試験の期間中にコマツナに対する生育阻害等は認められず、供試資材中に植害作用を示す物はなかった。

したがって、下水汚泥焼却灰および廃アルカリを活用した回収リンおよび脱リン残渣は、土壤へ施肥できることが明らかとなった。

第5章 新たなリン回収法およびリン回収率向上の検討

5-1 はじめに

本研究ではリンを抽出する方法として、アルカリ抽出法（灰アルカリ法）のほか、酸および廃酸利用による酸抽出法の検討を行った。酸抽出法により期待される効果として、下水汚泥焼却灰中に含まれるリンのほとんどを抽出できる可能性がある。しかしながら、リン以外の有害金属元素の溶出も想定されることから、イオン交換法による抽出リン酸の精製を検討した。

一方、イオン交換におけるイオン交換樹脂への負荷軽減を目的とし、乾式法による下水汚泥焼却灰中の不純物低減除去の検討を行った。この方法はアルカリ抽出法への応用も期待され、さらに下水汚泥焼却灰中のリン濃縮を果たすことで、輸送コストの低減にも繋がることと期待される。

5-2 イオン交換技術を用いた下水汚泥焼却灰中の肥料としてのリン回収試験

5-2-1 はじめに

本研究では、イオン交換技術を用いた下水汚泥焼却灰中の肥料としてのリン回収試験を実施した。当課題では、地域で排出される廃酸の利活用を前提に、酸抽出法によるリン抽出工程、抽出リンの精製および晶析工程、晶析した回収リンの安全性評価（肥効および植害試験）を行なった。

5-2-2 材料と方法

・ 供試材料

平成 22 年 6 月に、岩手県内の 2 事業所より下水汚泥焼却灰を採取した。以降、焼却灰 A および焼却灰 B と呼称する。岩手県内の企業より、電子部品製造工程で排出される廃酸（硫酸および過酸化水素の混合廃液）を採取した。試作リン肥料の肥効試験において、コマツナ（品種：わかみ、サカタのタネ）を栽培した。肥効試験の培土は、岩手県北部の山林地表から数メートル下まで切り崩して得られた土壌を用いた（三研ソイル(株) 様より提供）。

・ 下水汚泥焼却灰のリン含有量の測定

肥料分析法に準じ、熱王水抽出法により焼却灰 A および B のリン含有量を測定した。

・ 下水汚泥焼却灰からのリン抽出

下水汚泥焼却灰を一定量分取し、所定濃度に希釈した市販硫酸（関東化学社）または廃酸を加え、所定温度で一定時間置いた。これを無灰ろ紙（ADVANTEC No. 5C または Whatman グレード 42）でろ過し、ろ液を試料とした。

・ 陽イオン交換法によるリン抽出液の精製および回収リンの晶析

アンバーライト IR120B（オルガノ社）を一定量湿潤してガラスカラムに充填し、陽イオン交換カラムとした。ここに 4 mol L^{-1} 塩酸、脱イオン水、 1 mol L^{-1} 塩酸、脱イオン水の順に流下し、イオン交換樹脂を活性化した。リン抽出試料液を陽イオン交換カラムに流下し、続けて脱イオン水を流下し、カラムの通過液を採取した。なお、カラムに流下した塩酸および脱イオン水の液量は、湿潤した陽イオン交換樹脂の体積のおよそ 10 倍量を目安とした。

陽イオン交換法により精製した回収リン試料液を一定量分取し、メチルレッドまたは BTB 液を

指示薬として、水酸化ナトリウムによる中和滴定法で酸度を測定した。求められた酸度をわずかに上回るように水酸化カルシウムを添加し、一定時間攪拌した。これを無灰ろ紙(ADVANTEC No. 5CまたはWhatman グレード42)でろ過し、得られた粉末を試作リン肥料とした。試作リン肥料について、肥料分析法に準じ、リン含有量(全量)およびク溶性リン含有量を測定した。

・試作リン肥料の肥効試験

培土を風乾し、1/5000 a サイズのワグネルポットに充填した。リンの施肥量が P_2O_5 換算で 0、5、および 10 kg/10 a になるように、試作リン肥料または市販の過リン酸石灰を施用した。また、窒素の施肥量が N 換算で 10 kg/10 a になるように尿素を施肥した。コマツナ種子を 1 ポット当たり 10-15 粒ずつ播種し、土を軽く被せた。ポットに水道水を毎日散水し、播種後 30 日でコマツナを収穫した。収穫したコマツナは新鮮重を測定後、70°C に設定した通風乾燥機で 1 昼夜以上乾燥し、乾物重量を測定した。乾燥した植物体を一定量採取し、硝酸・過塩素酸法で湿式灰化した。

・元素組成の定量

リン抽出液または植物体を湿式灰化した試料液を希釈し、マルチ型 ICP 発光分光分析装置(ICPE-9000、島津製作所)およびシーケンシャル型 ICP 発光分光分析装置(SPS3520UV、SII ナノテクノロジー社)を用い元素組成を測定した。



図 5-1 下水汚泥焼却灰

5-2-3 結果と考察

供試した焼却灰 A および B の外観を図 5-1 に、主要な熱王水可溶性元素を図 5-2 にそれぞれ示した。焼却灰 A および B の両方で、リンが 10% 程度含まれ、次いでカルシウムが多く含まれた。なお、熱王水可溶性元素の量を、当課題では便宜的に全量とし、各元素の抽出(溶出)率を算出した。

供試した廃酸について、外観を図 5-3 に、元素組成を表 5-1 にそれぞれ示した。供試した廃酸は硫酸と過酸化水素の混合廃液で、 40 g L^{-1} を上回る高濃度の銅を含有し青色を呈した。これを用い下水汚泥焼却灰からリン抽出を実施したところ、 0.5 mol L^{-1} 硫酸と同等のリン抽出効果を示したが、抽出されたリン試料液中へ多量の銅が混入した(図 5-4)。陽イオン交換法により廃酸由来の銅も除去可能であったが(図 5-5)、イオン交換樹脂への負荷が大きかった。そこで、電気分解法により廃酸中の銅を除去し(表 5-1)、リン抽出剤とした。

電気分解した廃酸を用い下水汚泥焼却灰から抽出したリン含有試料液を、陽イオン交換法により精製し、水酸化カルシウム添加により中和晶析した(試作リン肥料の作成)。試作リン肥料の元素

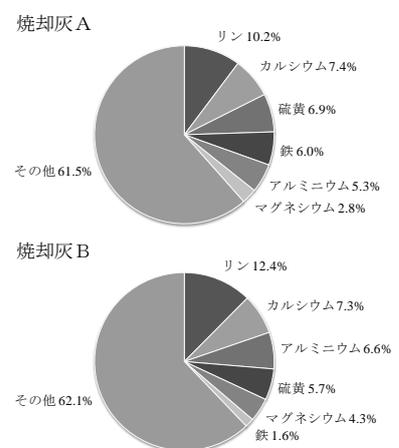


図 5-2 下水汚泥焼却灰の主な熱王水可溶性元素組成



図 5-3 廃酸の外観

組成を表 5-2 に示す。試作リン肥料に含まれるリンの全量が可溶性であったことから、良好な肥効が期待された。これを施用してコマツナを栽培した結果、市販の過リン酸石灰と同等の肥効を示したが、試作リン肥料連用した場合、2 作目に下位葉の黄白化症状が認められた (図 5-6)。これは試作リン肥料中のリン含有量に対してカルシウム含有量が高く、カルシウム過剰誘導マグネシウム欠乏が発生したと考えられる。試作リン肥料中のカルシウム含有量が高い原因は、回収リンの中和晶析工程において、廃酸由来の硫酸により硫酸カルシウムが生成したためであると考えられる。

表 5-1 廃酸の元素組成

	電気分解前	電気分解後
	元素濃度 (mg L ⁻¹)	
銅	$46.5 \times 10^3 \pm 0.2 \times 10^3$	49.3 ± 0.58
硫黄	$46.4 \times 10^3 \pm 0.4 \times 10^3$	$47.5 \times 10^3 \pm 0.5 \times 10^3$
亜鉛	14.7 ± 0.1	25.8 ± 0.33
カリウム	2.65 ± 0.02	0.1 mg L ⁻¹ 未満
カルシウム	1.69 ± 0.08	0.1 mg L ⁻¹ 未満
マグネシウム	$1.35 \times 10^{-1} \pm 0.05 \times 10^{-1}$	0.1 mg L ⁻¹ 未満
	酸度 (mg L ⁻¹)	
	1.93 ± 0.13	3.02 ± 0.15

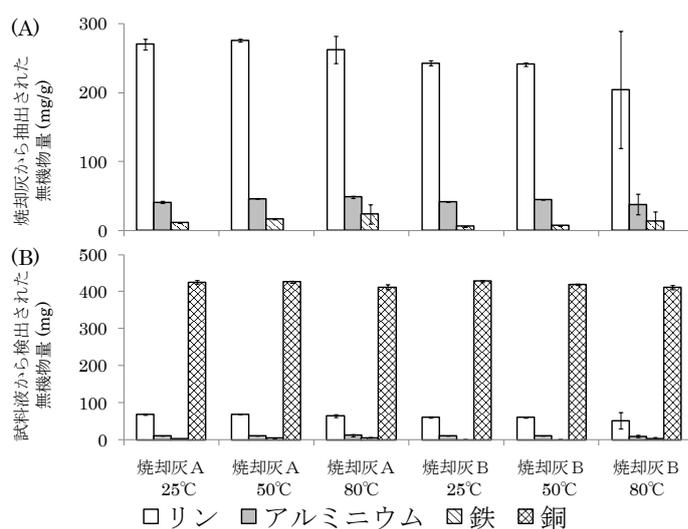


図 5-4 (電気分解前の) 廃酸を用い下水汚泥焼却灰から抽出したリン含有試料液の元素組成

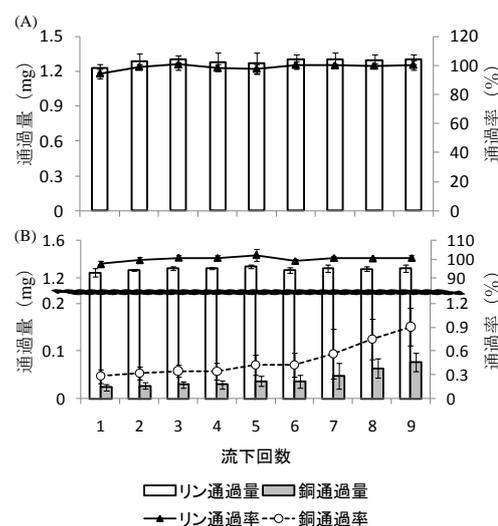


図 5-5 市販硫酸または廃酸で抽出したリン含有試料液の陽イオン交換

表 5-2 試作リン肥料のリン、カルシウム、および硫黄の含有量

	晶析物中含有量 (mg g^{-1} 晶析物)					
	焼却灰 A			焼却灰 B		
	リン	カルシウム	硫黄	リン	カルシウム	硫黄
王水抽出	24.5 ± 0.5 (2.45%)	332 ± 4 (33.2%)	102 ± 1 (10.2%)	30.6 ± 0.5 (3.06%)	316 ± 1 (31.6%)	107 ± 2 (10.7%)
ク溶性	24.2 ± 1.0 (2.42%)	328 ± 7 (32.8%)	90.2 ± 2.0 (9.02%)	31.5 ± 1.2 (3.15%)	311 ± 5 (31.1%)	93.6 ± 2.4 (9.36%)
水溶性	LD	LD	47.6 ± 0.3 (4.76%)	LD	LD	47.4 ± 0.6 (4.74%)

※ LD = 検出下限未満。括弧内の値は重量パーセント表示。

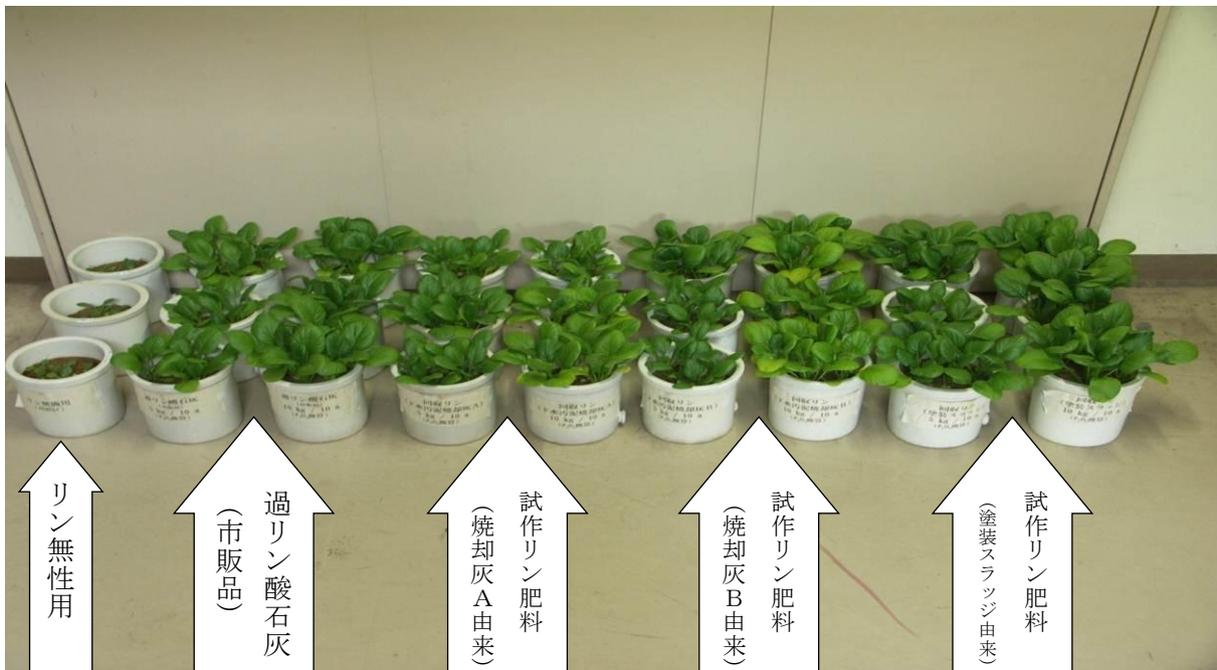


図 5-6 試作リン肥料を施用して栽培したコマツナ (2 作目収穫時)

試作リン肥料のカルシウム含有量を軽減するため、リン抽出工程に用いる廃酸を希釈し、上記と同じ手順により改良型試作リン肥料を得た。酸度が 0.6 mol L^{-1} で下水污泥焼却灰からのリン抽出率がほぼ 100%に達したことから (図 5-7)、廃酸の希釈倍率は 5 倍とした。作成した改良型試作リン肥料のリン含有量を図 8 に示す。改良型試作リン肥料のリン含有量は市販の過リン酸石灰を上回った。このとき、カルシウムの含有量は約 17%であった。これを施用してコマツナを栽培したところ、下位葉の黄白化は認められず、希釈廃酸を用いたリン抽出により、狙い通りの成績を得たと判断する。

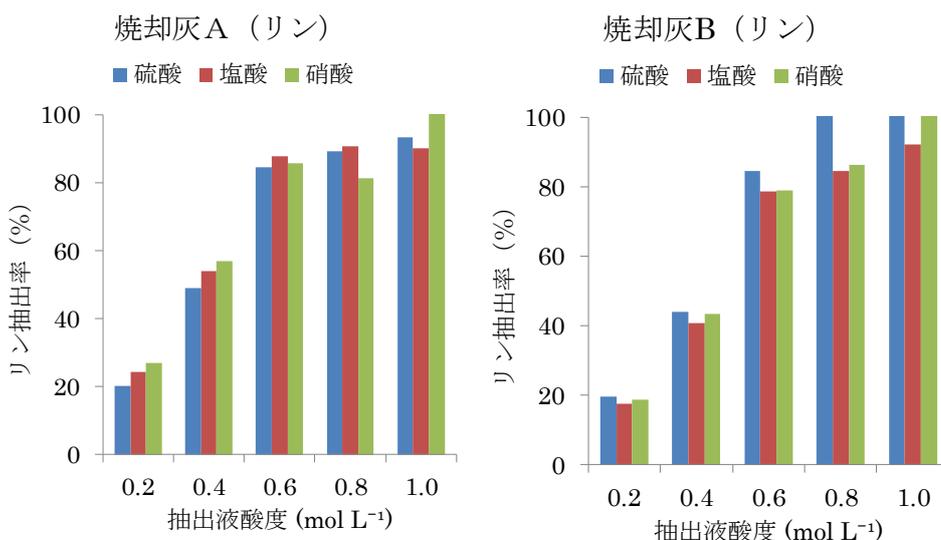


図 5-7 下水汚泥焼却灰のリン抽出率に対する酸濃度の影響

5-2-4 本項のまとめ

高効率でリンを抽出し、かつ回収リン資材への有害重金属等の混入を確実に排除するリン回収工程として、酸抽出法と陽イオン交換法による組合せ手法を検討した。

下水汚泥焼却灰にはリンが P 換算で十数%含まれ、排出量およびリン含有量の変動が小さい。下水汚泥にはカドミウムなどの有害元素が含まれることが多く、農業利用の妨げとなるが、下水汚泥から抽出したリンについて精製工程を経て加工する場合、有害元素の問題は解決される。よって、下水汚泥焼却灰からのリン回収は、リン鉱石に替わるリン資源確保の手段として有望である。

本研究では酸抽出法によるリン抽出を採用した。酸抽出法は抽出温度に関わらず高効率でリンを抽出可能であり、リン回収工程の省力化という点で有利である。酸抽出法は有害元素の溶出抑制が困難であることから敬遠される場合が多いが、抽出したリンの精製工程を経由することで解決できる。また、アルカリ抽出法では抽出用アルカリに由来するナトリウムやカリウムにより陽イオン交換法が適用できない一方で、酸抽出法により得た抽出リンは陽イオン交換法への展開が容易である。ゆえに、回収リンの簡便かつ確実な精製工程を組み合わせたリン回収工程という観点からも、酸抽出法は優れている。

当課題においては、酸抽出法に廃酸の利用を検討した。廃酸は特別管理産業廃棄物であり、これの有効利用が果たされれば、リン回収工程における経費（試薬代）と地域の産業廃棄物処理経費を同時に低減できると期待される。また、下水汚泥焼却灰には様々な元素が含まれるため、リ

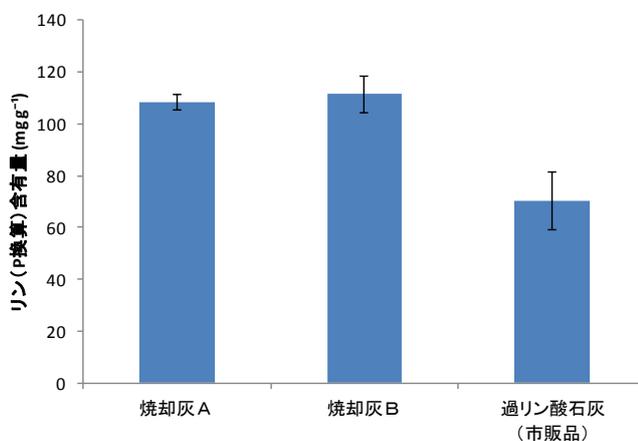


図 5-8 改良型試作リン肥料のリン含有量

ン抽出のために高純度の酸を用いる必要性は低く、廃酸の有効利用は利点が多い。実際に、本研究では廃酸を利用して下水汚泥焼却灰から抽出したリンの肥料化に成功した。技術的にはシンプルな手法の組み合わせであり、下水汚泥焼却灰以外のリン含有廃棄物からのリン回収への応用も容易であると期待される。

5-3 乾式分離法による下水汚泥焼却灰中の不純物低減除去方法の検討

5-3-1 はじめに

焼却灰にアルミニウム化合物が含まれていると、リン酸アルミニウムが形成され易く、前処理工程が極めて煩雑になる。下水汚泥焼却灰を灰アルカリ抽出法で処理する前工程において、アルミニウム化合物を効率よく除去できれば NaOH 濃度を増加することが可能となり、リン抽出効率を向上させることが可能である。

本研究は、灰アルカリ抽出法の前処理として、磁気分離をとりあげ、下水焼却灰からのアルミニウム化合物等の不純物を分離するとともに、リン酸の品位の向上について検討を行った。

5-3-2 磁気分分離装置

磁気分離は、試料を構成する粒子の磁気特性の違いを利用して分離をおこなうものである。磁気分離装置には湿式および乾式があり、乾式は空气中で分離を行い、湿式は試料を溶媒（ほとんど水）に懸濁させて、懸濁液を磁気分離装置に供給して分離を実施する。

本研究では、乾式の磁気分離装置を用いて磁気分離実験を行った。乾式磁気分離機として日本磁力選鉱（株）製乾式対磁極磁選機を用いた。装置の構造を図 5-9 に示した。2 個 1 対の電磁石ドラムは矢印の方向に回転する。振動フィーダーから対極部の間隙の上方から試料が供給される。非磁性粒子は電磁石ドラムの間隙を落下し非磁着物として回収される。選別板の角度 θ を変化させることにより、非磁着物として回収される落下範囲を調整することができる。磁性粒子は電磁石ドラム面に磁着し、左右に運ばれ、粒子の磁性の強さにより落下する位置が異なる。磁性の強い粒子は電磁石ドラムの両端に設置された磁気払い落とし装置により強制的に払い落とされる。これを磁着物として回収した。図 5-9 に示したように電磁石ドラムの下部においた 5 個の回収ボックス（40 × 300 × 50 mm）に落下した試料をそれぞれ非磁着物、片刃、磁着物として分類した。

乾式磁気分離実験は以下のように行った。振動フィルターの振動数、電磁石の磁場、回転数を所定の条件に設定した後、試料 10 g を振動フィルターから供給して磁気分離を行う。各回収ボックスの産物を回収して秤量する。磁着率を算出する場合、片刃は磁着物として扱った。各産物の主な成分を蛍光 X 線分析装置で分析した。

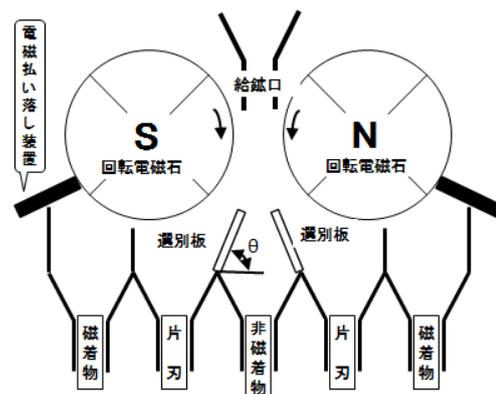


図 5-9 乾式対磁極磁選機

5-3-3 実験結果および考察

磁場を 1350 gauss から 4960 gauss まで変化させて行った磁気分離実験の結果、1350 gauss では非磁着物のリン酸品位は 45.6 %、リン酸回収率は 49.5 %であった。磁場が高くなるにしたがい、非磁着物のリン酸品位は増加するが、リン酸回収率は低下し、4960 gauss での分離実験の非磁着物のリン酸品位は 51.5 % で、リン酸回収率は 33.8 %であった。これは、磁場が高くなるにしたがい、磁性の弱い粒子 (Fe の品位が低い粒子) が磁着するため、リン酸品位が比較的高い粒子が非磁着物として回収されたためと考えられる。

磁場を 4960 gauss として電磁石ドラムの回転速度を 25 rpm と 55 rpm に変化させて分離実験を行った。その結果、電磁石ドラム回転数を変化させても非磁着物のリン酸品位とリン酸回収率は変わらなかった。電磁石ドラム回転速度を速くすると片刃の割合が減少した。これは、磁性回転速度が速いため、磁性の弱い粒子が片刃区域で落下せずに磁着物区域まで運ばれるためと考えられる。

選別板の角度を 90° あるいは 70° に変えて磁選分離を行った。角度が小さいほど、非磁着物として回収する空間範囲が狭くなり、電磁石の磁場に影響を受けずに鉛直落下した粒子 (Fe 含有量が少ない) を回収できると考えられる。その結果、90° と 70° で行った実験の非磁着物のリン酸品位は 49.8 % と 49.2 % でほとんど同じであるが、リン酸回収率はそれぞれ 39.8 % と 34.1 % であった。90° で行った分離実験 (非磁着物として回収する空間範囲が広い) のほうが効率よい分離が行われる。

4960 gauss で行った磁気分離の磁着物、片刃、非磁着物の主要成分の品位は、磁着率 (片刃を含む) は 75 %、非磁着物のリン酸品位 (試料品位 37.2 %) は 51.5 %、リン酸回収率は 33.8 % であった。非磁着物の Fe_2O_3 品位は 3.7 % (同 7.3 %)、 Al_2O_3 品位は 4.3 % (同 11.8 %) であり、これらの品位を試料の半分程度に低下させることができた。

5-3-4 本項のまとめ

乾式磁気分離装置を用いた磁気分離では、75 μm 以上の粒子群では Fe と Al を含む粒子を磁着物として除去することができた。-212 μm + 150 μm の粒子群では、非磁着物のリン酸品位は 51.5 %、リン酸回収率は 33.8 % であった。非磁着物の Fe_2O_3 品位は 3.7 % (試料品位 7.3 %)、 Al_2O_3 品位は 4.3 % (同 11.8 %) であり、磁気分離により Fe 化合物とアルミニウム化合物を除去し、リン酸品位を高めることができた。しかし、-75 μm の粒子群では磁気分離によりリン酸品位を高めることができなかった。これは、各粒子に P、Fe、Al が含まれている、いわゆる複合状態になっているためと考えられる。

5-4 まとめ

イオン交換法はコストが課題とされているが、前処理として磁気分離法を用いることでリン濃縮の可能性がある、さらに下水処理場で発生する電力を活用し、電気分解法によりリン酸液中の不純物を低減させ、最終精製工程でイオン交換樹脂に負荷をかけずイオン交換を行うことで、コスト低減が果たされたリン酸精製システムの可能性が認められた。

第6章 下水汚泥焼却灰脱リン残渣の建設資材および土木資材としての適用性検討

6-1 はじめに

下水汚泥焼却灰からリンを回収する場合、リンを回収した後の処理残渣が発生するが、この処理残渣（以後、脱リン残渣と呼ぶ）の活用検討例はほとんどない。

そこで、本検討では下水汚泥焼却灰の脱リン残渣を活用すべく、アスファルト用フィラー及び戻りコンクリート（使われずに戻ってきた生コン）と混合固化後破碎して作成した路盤材（以下、「灰利用再生路盤材」と呼ぶ）への適用を試みた。

6-2 実験方法

6-2-1 脱リン残渣の性状

焼却灰からのリン回収工程では、水酸化ナトリウムを使用してリンを抽出する。この際、リン以外のアルミニウム等の両性元素も溶出して化学組成が変動する。攪拌や脱水工程などの物理的な要因で焼却灰粒子の物性も変化する可能性がある。したがって、まず脱リン残渣の化学性状、物理性状を明らかとすることにした。

6-2-2 アスファルト混合物用フィラーへの適用性

資源の有効利用や下水汚泥の利用の観点からは、フィラーの全量を焼却灰とできれば良いが、焼却灰原灰の場合と同様、単体での使用は不適格とも成り得ると判断し、石粉を脱リン残渣で置換できる割合を検討することとした。

また、脱リン残渣を粉碎処理して改質した残渣を用いてアスファルト混合物の供試体を作成し、耐水性評価試験を行うこととした。

6-2-3 灰利用再生路盤材への適用性

既往の研究によれば、焼却灰の混合割合を増加させた際に支持力が低下することが明らかとなっている。通常の焼却灰粒子にはリンが多量に含まれるが、リンはその形態によってはセメントの凝結を阻害する。しかし、脱リン残渣の場合は脱リン効果により凝結阻害が低減され、支持力が改善することを期待して検討することとした。

焼却灰の有効利用の観点からは、戻りコンクリートに対する配合割合が高いほど良い。そこで脱リン残渣の配合割合と路盤材としての品質の関係把握を検討の主たる対象とした。また、原灰を配合した場合と脱リン残渣を比較した。

6-3 実験結果

6-3-1 脱リン残渣の性状

焼却灰および脱リン残渣の溶出試験結果を表 6-1 に示す。脱リン残渣では、原灰と比較し、ヒ素、セレン、ホウ素の溶出量が低減する。一方で都南灰でのみ、鉛、カドミウムの溶出量増加が起こった。また、各試料の化学組成計算値を表 6-2 に示す。都南灰よりも北上灰でリンの含有量

が多く、また都南灰は鉄の含有量が多いことが分かる。都南浄化センターでは下水処理工程でポリ硫酸第2鉄を添加しているため、これが組成比に反映されていると推測される。

表 6-1 溶出量試験結果 (単位 mg/L)

	都南灰		北上灰		JLT46 基準値
	原灰	脱リン	原灰	脱リン	
pH	6.4	3.6	6.3	7.4	-
As	0.47	0.013	0.25	0.030	0.01
Se	0.048	<0.003	0.018	<0.003	0.01
F	<0.20	0.21	<0.20	<0.2	0.8
B	0.72	0.33	0.74	<0.15	1.0
Pb	<0.002	0.003	<0.002	<0.002	0.01
Cd	0.003	0.042	0.003	<0.003	0.01
Hg	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	0.0005
Cr(VI)	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	0.05

表 6-2 化学組成計算値 (wt%)

	都南灰		北上灰	
	原灰	脱リン	原灰	脱リン
P ₂ O ₅	26.4	5.5	29.6	25.4
SiO ₂	20.6	24.7	22.6	25.9
CaO	15.3	17.9	15.8	17.3
Al ₂ O ₃	12.6	6.12	13.4	11.5
Fe ₂ O ₃	13.0	12.2	4.0	4.7
MgO	4.2	1.9	6.2	6.3
K ₂ O	1.4	0.9	1.7	1.3
SO ₃	0.8	27.2	1.4	1.6
Na ₂ O	0.5	0.3	0.5	0.4

次に石粉物理試験結果を表 6-3 に示す。アスファルトフィラーとして通常用いられる石粉も比較のため測定した。都南原灰、北上原灰ともに粗粒分が多く、アスファルトフィラー用石粉の目標範囲を外れる。脱リン処理後は、若干細粒分が増加しており、抽出、固液分離操作時の粒子相互の物理的な接触により、粒子破壊が起こったものと思われる。

表 6-3 石粉物理試験結果

	石粉	都南灰		北上灰		JISA5008 目標値	
		原灰	脱リン	原灰	脱リン		
質量百分率 ふるい通過	600μm	100.0	99.7	100	100.0	100	
	300μm	100.0	99.5	99.3	99.7	-	
	150μm	99.5	97.4	93.9	88.7	91.4	90 以上
	75μm	93.3	38.1	81.7	61.1	66.7	70 以上
含水比 (%)	0.20	50.6	141.4	57.7	134.0	1.0 以下	
密度(g/cm ³)	2.710	2.742	3.004	2.672	2.880	2.6 以上	
フロー値 (%)	31.8	110.2	142.5	117.6	139.4	50 以下	

6-3-2 アスファルト混合物用フィラーへの適用性

脱リン残渣をフィラーとして利用した各アスファルト混合物の最適アスファルト量 (OAC) を決定した。最適アスファルト量およびマーシャル特性値を表 6-4 に示す。脱リン残渣を置換した場合、原灰を置換する場合に比べてマーシャル安定度が高まる傾向にある点は有利であるが、残

留安定度は著しく低下し、置換量が15%を超えた場合には、基準値を下回る。脱リン残渣をフィラーとして利用したアスファルト混合物は耐水性に問題がある。脱リン残渣はリン回収工程で水酸化ナトリウムに浸漬させられ、中和のため硫酸が加えられる。残留安定度の低下はこのいずれかの工程が原因であると推測し、試料を0.5mol/Lの水酸化ナトリウムと硫酸にそれぞれ浸漬させた試料を用いて確認を行うことにした。作成した試料を用いて簡易的なアスファルト混合物供試体を作成し、これを7日間にわたって60°Cの湯に浸漬し、混合物の劣化状況を確認した。

結果を表6-5に示す。水酸化ナトリウム、硫酸への浸漬処理は、両者とも混合物の耐水性に決定的に悪影響を及ぼす。特に硫酸処理は供試体が膨張して自己崩壊を起こす点が脱リン残渣の劣化形態と類似していた。これに消石灰を加えたところ、水酸化ナトリウム処理の場合は変化がないが、硫酸処理の場合には膨張が抑制された。硫酸塩が水中で硫酸イオンとなり、これがアスファルトに作用して膨張劣化を引き起こすと推察されるが、これが消石灰により中和され、改善したものと考えられる。脱リン残渣に消石灰を加えた場合にはアスファルトの浸み出しや分離も見られなくなる。脱リン灰の残留安定度の低下は硫酸塩に起因することが疑われ、消石灰の添加は対策として有効であることがわかった。

表 6-4 最適アスファルト量およびマーシャル特性値

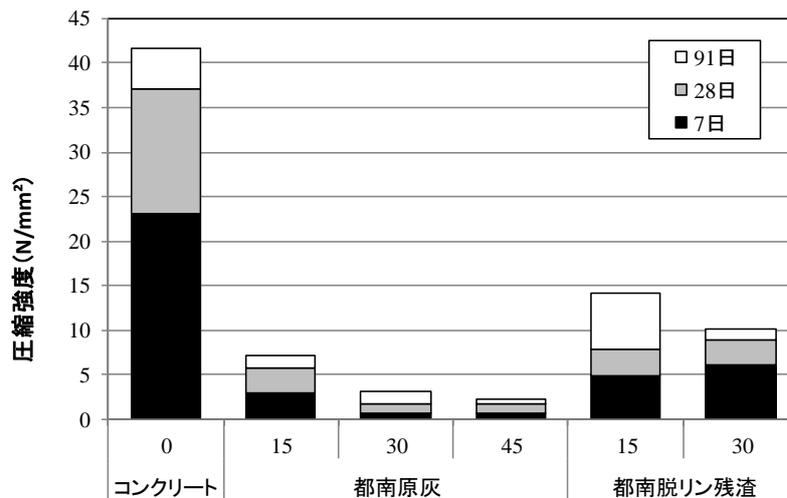
No.	石粉利用量 (wt%)	置換フィラー量 (wt%)	最適As量 (%)	密度 (g/cm ³)	空隙率 (%)	飽和度 (%)	標準安定度 (kN)	フロー値 (l/100cm)	残留安定度 (%)	圧裂強度 (Mpa)	圧裂係数 (Mpa/mm)
1	100	なし	5.5	2.476	3.5	79.4	10.6	33	96.5	1.33	0.70
2	85	都南脱リン:15	5.8	2.470	3.5	79.8	13.2	30	79.5	1.33	0.65
3	70	都南脱リン:30	6.5	2.449	3.4	81.9	0.5	28	測定不能	1.01	0.46
4	55	都南脱リン:45	7.0	2.428	3.6	82.0	9.9	31	測定不能	0.93	0.40
5	70	都南原灰:30	6.3	2.441	3.8	79.6	9.6	30	98	1.21	0.53
6	85	都南原灰:15 (H21)	6.1	2.448	4.1	77.0	10.5	37	94.6	1.13	0.45
7	70	都南原灰:30 (H21)	6.6	2.422	4.2	80.0	8.8	35	91.7	1.03	0.37
8	55	都南原灰:45 (H21)	7.0	2.405	4.7	76.0	7.3	40	86.4	0.96	0.34
基準値			5.5~7.5	---	3~5	75~85	4.90以上	20~40	75%以上	---	---

表 6-5 耐水性評価試験結果一覧

フィラー種		置換量 (wt%)	結果			
			浸み出し	分離	ひび割れ	膨張
都南灰	原灰	15	-	-	-	-
		30	-	-	-	-
		45	-	●	●	-
	原灰+消石灰	45	-	-	-	-
	NaOH処理原灰	45	●	●	-	-
	NaOH処理原灰+消石灰	45	●	●	-	-
	H ₂ SO ₄ 処理原灰	45	●	●	-	●
	H ₂ SO ₄ 処理原灰+消石灰	45	●	●	-	-
	脱リン残渣	15	-	-	-	-
		30	●	●	-	-
45		●	●	-	●	
脱リン残渣+消石灰	45	-	-	-	-	
石粉類	通常石粉	-	-	-	-	
	アルカリ処理石粉	-	●	-	-	
	アルカリ処理石粉+消石灰	-	●	-	-	

6-3-3 灰利用再生路盤材への適用性

まず、コンクリートと焼却灰、脱リン残渣の混合固化物の圧縮強度を測定した。結果を図 6-1 に示す。焼却灰を混合した場合には圧縮強度が低下するが、脱リン残渣の場合は強度低下が抑制される。これらを使用した路盤材の修正 CBR を図 6-2 に示す。原灰を 30%以上用いた場合には、突き固め操作時に粒子が破碎し、内部に吸水された水が脱水されてオーバーコンパクションが起こった。この時には修正 CBR は著しく低下する。しかし、脱リン残渣の場合は強度が改善するので、焼却灰を 30%以上用いた場合でもオーバーコンパクションは発生せず、修正 CBR を確保できる。この利用手法に対しては、脱リン残渣を好適に用いることができることがわかった。



外割混合率(%)および混合試料種

図 6-1 混合固化物の圧縮強度試験結果

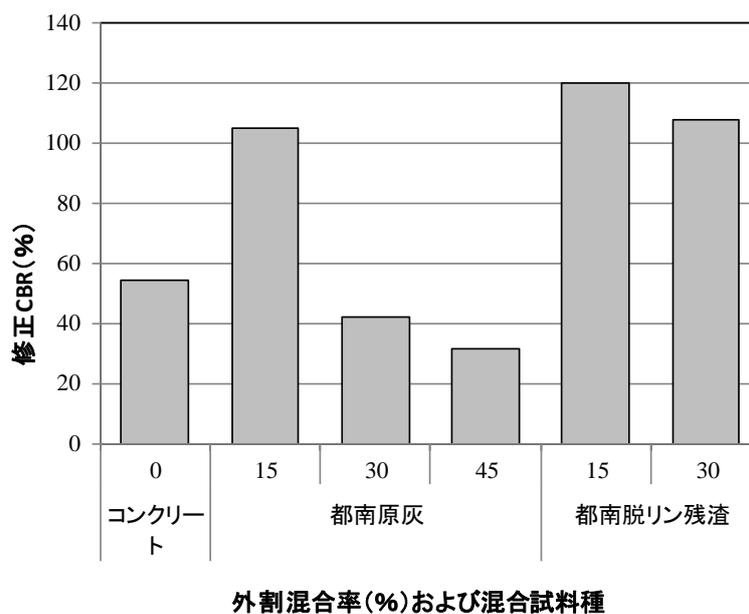


図 6-2 混合固化物の修正 CBR 試験結果

6-4 まとめ

6-4-1 焼却灰、脱リン残渣の安全性

原灰を脱リン処理すると、ヒ素、セレン、ホウ素の溶出量は低下する。しかし、ヒ素は脱リン処理、酸洗浄処理によっても土壤環境基準を下回ることはできなかった。

6-4-2 脱リン残渣のアスファルトフィラーとしての適用性

脱リン残渣を利用した場合、原灰と同様に最適アスファルト量は増加する。また、脱リン残渣を使用すると、原灰と異なりマーシャル安定度の低下は起こらないが、残留安定度は極端に低下する。残留安定度の基準値から判断すれば、脱リン残渣の最大置換量は石粉に対して 15% までである。追加試験より残留安定度の低下原因は、硫酸塩の残存によるアスファルトの劣化であることが推察され、消石灰の結果はこの対策として有効であることが分かった。

6-4-3 脱リン残渣の灰利用再生路盤材への適用性

原灰および脱リン残渣をコンクリートと混合した場合はいずれも圧縮強度の低下が起こるが、脱リン残渣の場合圧縮強度の低下割合が小さい。このため、脱リン残渣を灰利用再生路盤材の原料に用いると、原灰を用いた場合と比較して突き固め時に粒子が破碎されにくく、オーバーコンパクションの発生が抑制される。コンクリートに対しての混合量は原灰の場合 15% までが適正量であるが、脱リン残渣は 30% 混合しても修正 CBR を高値で保持でき、多量に利用することができる。

第7章 岩手県リン資源地産地消研究会

7-1 岩手県リン資源地産地消研究会の設立経緯

7-1-1 設立の趣旨

肥料等に用いられるリン資源は、世界的な需要の高まりから石油と同様に戦略物資化してきており、産出国の資源囲い込み等により、安定的な入手が困難になりつつあることから、農業を基幹産業とする岩手県にとって、リン資源を安定的に確保することは緊急の課題になっている。

一方、岩手県内では、鶏糞、下水汚泥焼却灰及び塗装廃スラッジ等、リンを高濃度に含む廃棄物が排出されているが、その多くは廃棄物のまま処分され、再資源化などの資源循環は進んでいない。

そこで、地域にある廃棄物排出事業者、行政機関、研究機関、肥料製造事業者等が連携し、地域が一体となってリン資源の地産地消システムの構築を推進するため、平成22年9月3日に岩手県リン資源地産地消研究会を設立したものである。

7-1-2 活動の目的

岩手県内で排出されるリン資源を地域内で利用するため、必要な再資源化技術および再資源化リンの利用方法の確立を推進し、リン資源の地産地消を図ることを目的とする。

7-1-3 主な活動内容

- (1) 岩手県内で排出されるリン資源についての情報交換
 - ・都市系の高リン含有廃棄物（下水汚泥焼却灰等）の排出状況と資源化の動向把握
 - ・農業系の高リン含有廃棄物（鶏糞、鶏ふん焼却灰等）の排出状況と資源化の動向把握
 - ・工業系の高リン含有廃棄物（金属塗装の前処理工程排出スラッジ、醤油かす等）の排出状況と資源化の動向把握
- (2) リン資源の再資源化に関する技術情報の交換、技術開発への協力
 - ・高リン含有廃棄物からのリン再資源化の各種手法と技術開発の動向
 - ・リン資源の再資源化技術開発のための資材（廃棄物等）提供等の協力
- (3) 再資源化リンの利用および流通のための情報交換
 - ・再資源化リンの利用（肥料化等）に関する課題等の調査・検討
 - ・再資源化リンを流通（販売）させるための課題等の調査・検討
- (4) リン資源の再資源化事業のための情報交換
 - ・リン再資源化に関する事業化事例紹介
 - ・リン再資源化事業を進めるに当たっての課題等の調査、問題解決の検討

7-2 第1回研究会の開催結果

■日時：平成22年9月3日（金） 13:10～16:00

■会場：岩手県工業技術センター（盛岡市飯岡新田3-35-2）大ホール

■主催：岩手県工業技術センター

■次第

1 開会（13:10）

2 挨拶（13:10～13:15）

岩手県工業技術センター 副理事長 齊藤 博之

3 研究事業および研究会の概要について（13:15～13:30）

説明：（地独）岩手県工業技術センター

企画デザイン部 特命部長兼上席専門研究員 菅原 龍江

4 講演（13:50～16:00）

(1) バイオソリッドの利活用とリン回収について（13:30～14:15）

講師：（社）日本下水道協会 技術部資源利用促進課長 大谷 佳史 様

(2) 肥料原料としての回収リン酸への期待（14:15～15:00）

講師：コープケミカル（株）農材開発部 部長代理 森國 博全 様

休憩（15:00～15:15）

(3) 岩手県におけるリン酸施肥の実態と鶏ふんを活用したリン酸肥料の代替利用について（15:15～16:00）

講師：岩手県農林水産部農業普及技術課 主任主査 小林 卓史 様

5 閉会（16:00）

■対象者：下水処理事業所、廃棄物処理業、肥料製造・販売事業所、県市町村の環境担当者・農業担当者等

■参加費：無料

■参加者：92名



図7-1 第1回岩手県リン資源地産地消研究会

7-3 第2回研究会の開催結果

- 日 時：平成23年2月10日（木） 13:10～16:15
- 会 場：盛岡市産学官連携研究センター（盛岡市上田4丁目3-5）大会議室
- 主 催：地方独立行政法人 岩手県工業技術センター
- 共 催：INS環境リサイクル研究会、盛岡市産学官連携研究センター
- 次 第
 - 1 開会（13:10）
 - 2 挨拶（13:10～13:15）

岩手県工業技術センター 副理事長 齊藤 博之
INS環境リサイクル研究会 会長 荒谷克己（岩手県環境保健研究センター副所長）
 - 3 講演（13:15～16:15）
 - (1) 回収リン化合物のりん酸肥料への応用について（13:15～14:00）

講師：小野田化学工業株式会社 生産技術部 顧問 橋本 光史 様
 - (2) 岩手県における黒ボク土のリン酸改良と有機循環（14:00～14:45）

講師：岩手県立農業大学校 顧問教授 小野 剛志 様

休憩（14:45～15:00）
 - (3) 岩手県における下水処理の現状と課題について（15:00～15:45）

講師：岩手県県土整備部下水環境課 計画担当総括主任主査 佐々木 健 様
 - (4) リン回収施設の視察報告（15:45～16:15）

～岐阜市北部プラント、大阪市大野下水処理場～
報告：企画デザイン部 特命部長兼首席専門研究員 菅原 龍江
 - 4 閉会（16:15）
- 対象者：下水処理事業所、廃棄物処理業、肥料製造・販売事業所、県市町村の環境担当者・農業担当者等
- 参加費：無料
- 参加者：80名



図7-2 第2回岩手県リン資源地産地消研究会

7-4 第3回研究会の開催結果

■日時：平成23年9月8日（木） 13:30～16:05

■会場：岩手県工業技術センター（盛岡市飯岡新田3-35-2）大ホール

■主催：岩手県工業技術センター ■共催：INS環境リサイクル研究会

■次第

1 開会（13:30）

2 挨拶（13:30～13:35）

地方独立行政法人岩手県工業技術センター 副理事長 齊藤 博之

3 講演（13:35～16:05）

(1) 宮崎県における鶏ふん焼却灰からのリン回収について（13:35～14:20）

講師：国立大学法人 宮崎大学 工学部土木環境工学科 助教 関戸 知雄 様

(2) いわて発戦略的地産地消型リン資源循環システムの研究（14:20～15:05）

～平成22年度研究成果及び平成23年度研究計画～

地方独立行政法人岩手県工業技術センター

企画デザイン部 特命部長兼首席専門研究員 菅原 龍江

環境技術部 専門研究員 阿部 貴志

環境技術部 専門研究員 佐藤 佳之

休憩（15:05～15:20）

(3) 廃棄物リサイクルのための放射能測定（15:20～16:05）

講師：地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター

環境安全管理室・バイオ応用技術グループ 上席研究員 武藤 利雄 様

5 閉会（16:05）

■対象者：下水処理事業所、廃棄物処理業、肥料製造・販売事業所、県市町村の環境担当者・農業担当者等

■参加費：無料

■参加者：64名



図7-3 第3回岩手県リン資源地産地消研究会

7-5 第4回研究会の開催結果

■日時：平成24年2月9日（木） 13:10～16:15

■会場：岩手県工業技術センター（盛岡市飯岡新田3-35-2）大ホール

■主催：岩手県工業技術センター

■共催：INS環境リサイクル研究会

■次第

開会（13:10）

挨拶（13:10～13:15）

講演（13:15～16:15）

(1) 肥料用リン酸製造に下水焼却灰を利用する場合の技術的課題（13:15～14:00）

講師：日本磷酸株式会社技術室 室長 用山 徳美 様

(2) 鶏ふん資源の地産地消による活用について（14:00～14:45）

講師：東日本機電開発株式会社 代表取締役 水戸谷 剛 様

休憩（14:45～15:00）

(3) リン酸亜鉛化成処理工程排出スラッジ肥料化検討（15:00～15:30）

～平成22年度環境省補助による研究成果より～

（地独）岩手県工業技術センター環境技術部 専門研究員 佐々木 昭仁

(4) 廃棄物のリサイクルにおける法規制について（15:30～16:15）

講師：岩手県環境生活部資源循環推進課 技師 鎌田 憲光 様

閉会（16:15）

■対象者：下水処理事業所、廃棄物処理業、肥料製造・販売事業所、県市町村の環境担当者・農業担当者等

■参加費：無料

■参加者：70名



図7-4 第4回岩手県リン資源地産地消研究会

7-6 第5回研究会の開催結果

■日 時：平成24年8月31日（金） 13:10～16:30

■会 場：岩手県工業技術センター（盛岡市飯岡新田3-35-2）大ホール

■主 催：岩手県工業技術センター ■共 催：INS環境リサイクル研究会

■次 第

1 開会（13:10）

2 挨拶（13:10～13:15）

地方独立行政法人岩手県工業技術センター 理事兼技術統括部長 佐々木 英幸

3 講演（13:15～16:30）

(1) イオン交換技術を用いた下水汚泥焼却灰からのリン回収（13:15～14:00）

講師：岩手大学 三陸復興推進機構 特任研究員 工藤 洋晃 様

(2) いわて発戦略的地産地消型リン資源循環システムの研究（14:00～14:45）

～平成23年度研究成果及び平成24年度研究計画～

（地独）岩手県工業技術センター

ものづくり基盤技術第2部 特命部長 菅原 龍江

～ 休 憩（14:45～15:00）～

(3) 回収リン資源の流通（地産地消のリサイクル）における課題について（15:00～15:45）

講師：（元）岐阜市水道事業及び下水道管理者 後藤 幸造 様

(4) 岩手県における農産物生産とリン酸施肥および地域リン酸資源の活用（15:45～16:30）

講師：全国農業協同組合連合会岩手県本部 営農対策部担い手対策課

技術主管 武藤 和夫 様

4 閉会（16:30）

■対象者：下水処理事業所、廃棄物処理業、肥料製造・販売事業所、県市町村の環境担当者・農業担当者等（定員100名）

■参加費：無料

■参加者：60名



図7-5 第5回岩手県リン資源地産地消研究会

7-7 第6回研究会の開催結果

■日時：平成25年1月31日（木）13:30～16:50

■会場：ホテルルイズ2階松の間（盛岡市盛岡駅前通7-15、電話019-625-2611）

■主催：岩手県工業技術センター ■共催：岩手県、INS環境リサイクル研究会

■次第

1 開会（13:30）

2 挨拶（13:30～13:40）

3 研究概況紹介（13:40～14:00）「いわて発戦略的地産地消型リン資源循環システムの研究」
（地独）岩手県工業技術センター

ものづくり基盤技術第2部 専門研究員 佐々木 昭仁

4 基調講演（14:00～15:00）「持続的なリン資源利用－活発化する世界の動きと日本の課題」
講師：リン資源リサイクル推進協議会会長（大阪大学教授） 大竹 久夫 様

～ 休憩（15:00～15:15）～

5 パネルディスカッション（15:15～16:50）「リン資源地産地消の実現に向けて」
コーディネーター

（地独）岩手県工業技術センター 技術経営アドバイザー（前副理事長） 齊藤 博之
パネラー

リン資源リサイクル推進協議会会長（大阪大学教授） 大竹 久夫 様

（公財）岩手県下水道公社 県南支社都南出張所 所長 佐藤 卓 様

コープケミカル（株）宮古工場 製造課長 須田 勝夫 様

J A全農いわて 資材部 肥料資材課長 武蔵 康雄 様

（地独）岩手県工業技術センター ものづくり基盤技術第2部 特命部長 菅原 龍江

6 閉会（16:50）

■対象者：下水処理事業所、廃棄物処理業、肥料製造・販売事業所、県市町村の環境担当者・農業担当者等（定員80名）

■参加費：無料

■参加者：76名



図7-6 第6回岩手県リン資源地産地消研究会

7-8 考 察

平成 22 年 9 月 3 日に岩手県リン資源地産地消研究会を設立し、平成 22～24 年度の 3 年間で、計 6 回の研究会を開催した（表 7-1）。

表 7-1 岩手県リン資源地産地消研究会開催一覧

	開 催 日	会 場	参加者数
第 1 回	平成 22 年 9 月 3 日（金）	岩手県工業技術センター	92
第 2 回	平成 23 年 2 月 10 日（木）	盛岡市産学官連携研究センター	80
第 3 回	平成 23 年 9 月 8 日（木）	岩手県工業技術センター	64
第 4 回	平成 24 年 2 月 9 日（木）	岩手県工業技術センター	70
第 5 回	平成 24 年 8 月 31 日（金）	岩手県工業技術センター	60
第 6 回	平成 25 年 1 月 31 日（木）	ホテルルイズ	76

第 1 回研究会は、初回ということでマスコミからも注目され、当初目標の 40 名を大きく上回る参加者があり、関心の高さが感じられた。

その後は、若干の参加者数の減少が見られたが、毎回 60 名以上の参加者を確保できる状況であった。

特に、第 3 回以降は、開催案内を出すと直ちに申し込みされるリピーター参加者が多くなり、研究会が定着してきたと感じられるのもこのころからであった。

第 4 回からは、リン資源リサイクル推進協議会（会長：大竹久夫大阪大学教授、事務局：社団法人日本有機資源協会内 東京都中央区新川 2-6-16 馬事畜産会館 401）のメーリングリストでもご紹介頂き、全国に向けて情報発信したところ、岩手県内の関係者のみならず、筑波の研究者や関東地区の国の関係機関のからの参加もあり、参加者が以前に比べかなり幅広くなった。

なお、第 5 回以降は研究会終了後に交流会も開催し、第 5 回・第 6 回とも 20 名以上の出席があり、参加者相互の交流を深めることができた。

さらに、第 5 回までは全て講演会形式で開催したが、第 6 回はパネルディスカッション形式も導入し、意見交換できる場を設けたが、会場からも多くの質問や意見が寄せられ盛会となった。

本事業による研究会は 6 回開催されたが、岩手県内ばかりでなく全国各地から多数の参加があった。これまで、自治体の公設試主導によるリン資源の検討会は開催されておらず、リン資源問題が地域の課題として共有化され、全国に先駆けて産学官連携による研究の枠組みが構築された点は大変意義深いものと言える。

これまで紹介してきた研究内容は、当該研究会により育まれてきた成果であり、リン回収への廃アルカリ利用の可能性を実用プラント試験上で示された点は先進例として評価に値する。

また、参加者からは継続して欲しい旨の要望が多かったことから、何らかの方法で研究会を継続させ、「いわて発」のリン資源地産地消に関する情報を、全国に向けて発信できるよう取り組みたい。

第8章 結論

8-1 主要な結論

第2章 各種廃棄物等の利用可能性を評価するため、県内外3ヵ所の下水汚泥焼却灰、金属塗装前処理工程排出スラッジ、鶏糞、さらには廃酸、廃アルカリについて検討を行った。また、下水汚泥焼却灰からの抽出リン（回収リン）および残渣（脱リン残渣）について、安全確認のため重金属及び有機性有害成分の分析を行った。

その結果、下水汚泥焼却灰、金属塗装前処理工程排出スラッジ、鶏糞の詳細な成分が明らかとなり、下水汚泥焼却灰及び塗装スラッジについてリン回収の対象として利用可能であることが分かった。また鶏糞については成分のばらつきが多く、安定した成分が求められるリン回収には難点があることが分かった。また、廃酸、廃アルカリについては、その特徴をよく理解すれば利用可能なことが分かった。

さらに、実証プラントで得られた回収リンおよび脱リン残渣においては、無機有害金属および有機性有害物質は認められず、安全であることが立証された。

第3章 岩手県内の浄化センターおよび滋賀県の浄化センターから発生する下水汚泥焼却灰について、試薬アルカリ及び廃アルカリを用い、リン回収実証プラント試験を実施した。

その結果、廃アルカリを用いた場合でも問題なくリン回収可能なことが判明した。また、廃アルカリを用いたプラント稼働コスト試算を行ったところ、通常の試薬アルカリを用いる場合と比べてコストが大幅に減少し、採算面においてリン回収事業が十分成り立つ可能性が高いことが明らかとなった。さらに、岩手県内の浄化センターについては、消化ガスを利用することによりシステム経費削減効果が高いことが分かった。

第4章 下水汚泥焼却灰から得られた回収リン酸および脱リン残渣を用いた肥効試験では、リン回収実証プラント試験で得られた回収リン酸および脱リン残渣のほか、元灰の下水汚泥焼却灰を試料として用い、コマツナおよびホウレンソウを供試作物として試験を行った。その結果、回収リン酸については対照区と同等以上の肥効が認められ、既存のリン酸肥料と代替できる可能性が示唆された。

また、回収リン酸および脱リン残渣を用いた植害試験では、コマツナを供試作物として試験を行ったが、いずれも植害作用は認められなかった。

第5章 新たなリン回収法およびリン回収率向上の検討では、酸抽出法と陽イオン交換法との組合せについて検討した結果、酸処理により焼却灰に含まれるリンの70～90%が容易に溶出可能であることが明らかとなった。また、焼却灰中の有害重金属の多くは陽イオンであり、イオン交換により除去可能であり、高純度リン酸の精製が可能であることが明らかとなった。

次に、高リン含有廃棄物中のリン回収工程におけるアルカリ処理の前段階として、リン以外の不純物や廃アルカリ中の有害成分を除去する方法を検討した結果、「磁気分離」により下水汚泥焼却灰からリン酸マグネシウム、リン酸カルシウム、鉄およびアルミニウム化合物に大別することが出来ることが明らかとなった。

第6章 下水汚泥焼却灰脱リン残渣の建設資材および土木資材としての適用性検討では、リ

ン回収実証プラント試験で得られた脱リン残渣を路盤材やアスファルトフィラーとして利用するための適用性について検討を行った。その結果、焼却灰と戻りコンクリートと混合し、固化物を路盤材として利用する場合、焼却灰を脱リン残渣に置き換えると CBR が大幅に高まり、原灰と比較して配合可能量を増加できることが明らかとなった。

一方、脱リン残渣をアスファルト混合物用フィラーとして利用した場合、原灰と比較して OAC は増加し、残留安定度は低下して、使用上は不利となることが分かった。

第7章 岩手県リン資源地産地消研究会については、研究会を平成 22 年 9 月に設立し、平成 22 年度～平成 24 年度の 3 年間に 6 回の研究会を開催した。その結果、いずれも当初目標の 40 名を大きく上回る 60 名以上の参加があり、関係者の関心が非常に高いことが分かった。

この研究会を通じ、積極的な意見交換が果たされ、リン資源の地産地消システム構築に向けて関係機関等の情報共有が進み、共通認識を高めることができた。さらに、企業間および大学との研究協力・連携も進み、研究会を通じて当該肥料研究以外の研究も展開され、新たな回収リンの利用方法の検討および電池材料への活用の提案がされており、研究会活動の波及効果も生まれてきていることから、今後の展開が期待される。

8-2 今後の課題

東京電力福島第一原子力発電所の事故による放射性物質の影響により、岩手県内から発生する下水汚泥焼却灰において、クリアランスレベル (100Bq/kg) を超過する放射性セシウムが検出 (平成 25 年 1 月 14 日現在で都南灰 237Bq/kg、北上灰 480Bq/kg) されており、当該焼却灰をそのまま再利用することは困難な状況にある。また、放射性セシウムを含む下水汚泥焼却灰から灰アルカリ抽出法によりリンを回収した場合に、放射性セシウムがどのような挙動をするか (回収リンに移行するのか、脱リン灰に残るか、抽出液中にとどまるのか) は確認されていない。

さらに、産業廃棄物を利用する場合、特に特別管理産業廃棄物を利用する場合は、そのルートへの有害物質の入り込みが発生しない、安全管理システムの構築が最重点課題となる。

一方、回収リン等が利用可能であると判明した場合には、次の段階としてどのような形でリン回収を事業化するか決める必要がある。どこが運営主体になるのか、どこにリン回収システムを設置するのか、建設資金の調達をどうするのか、維持管理費をどうするのか、産廃である下水汚泥焼却灰及び廃アルカリをどのような方法で集め、それらの受託処理単価をいくりにするのか、またできた回収リンや脱リン灰をどこにいくらで売却するのか等、そのスキームを作ることが次の課題として挙げられる。

岩手県内から発生する下水汚泥焼却灰を用いてこれら課題に取り組み、リン回収システムにおいてクリアランスレベル以下の回収リンが得られれば、肥料等への利用は可能になると考えられる。また、回収リン等の放射線量をきめ細かに測定し、リン回収時の放射性セシウムの挙動を調べるのが、リン資源地産地消に向けて最初に行うべき課題である。リン資源地産地消の実現のためには、地域の産学官連携を一層深め、リン回収システムの構築へ向けて取組むと共に、研究課題名にもある「いわて発」を鋭意実践し、全国に向けて研究成果等を積極的に情報発信していくことが重要となる。

謝辞

本研究の実施にあたりましては、岩手大学農学部様、岩手大学工学部様、岩手県環境保健研究センター様、岩手県農業研究センター様、コープケミカル株式会社様、メタウォーター株式会社様、株式会社NIPPONコーポレーション様には大変お世話になりました。この場を借りまして厚く御礼申し上げます。

また、岩手県北上川上流流域下水道事務所様、株式会社大昌電子岩手工場様、三研ソイル株式会社様からは、貴重な研究用試料をご提供頂きました。ここに深く感謝申し上げます。

研究発表

(1) 論文発表 (○印は第一著者、下線は本研究事業の研究担当者)

- ・○工藤洋晃、佐々木昭仁、河合成直、佐藤佳之、阿部貴志、菅原龍江：岩手県内で排出される下水汚泥焼却灰および廃酸を用いたリン回収プロセスの検討、日本土壤肥科学雑誌ノート, 2012, 82(3)
- ・○佐藤佳之、小山田哲也、羽原俊祐、佐々木昭仁：岩手県の下水汚泥焼却灰の基礎性状およびアスファルト混合物用フィラーとしての適用性、資源素材学会誌 2012, 128 (8, 9)
- ・○佐藤佳之、小山田哲也、羽原俊祐、今雄希：下水汚泥焼却灰および戻りコンクリートを利用した路盤材の開発、セメントコンクリート論文集, 2013, 66
- ・○佐々木昭仁、工藤洋晃、河合成直、佐藤佳之、阿部貴志、菅原龍江：工業系産業廃棄物（塗装スラッジ）からの回収工程によるリン酸化学肥料の合成、日本土壤肥科学会誌（投稿中）

(2) 口頭発表及びポスター発表

日本土壤肥科学会、廃棄物資源循環学会等の研究発表会において、口頭発表 8 件、ポスター発表 3 件の計 11 件の発表を行った。

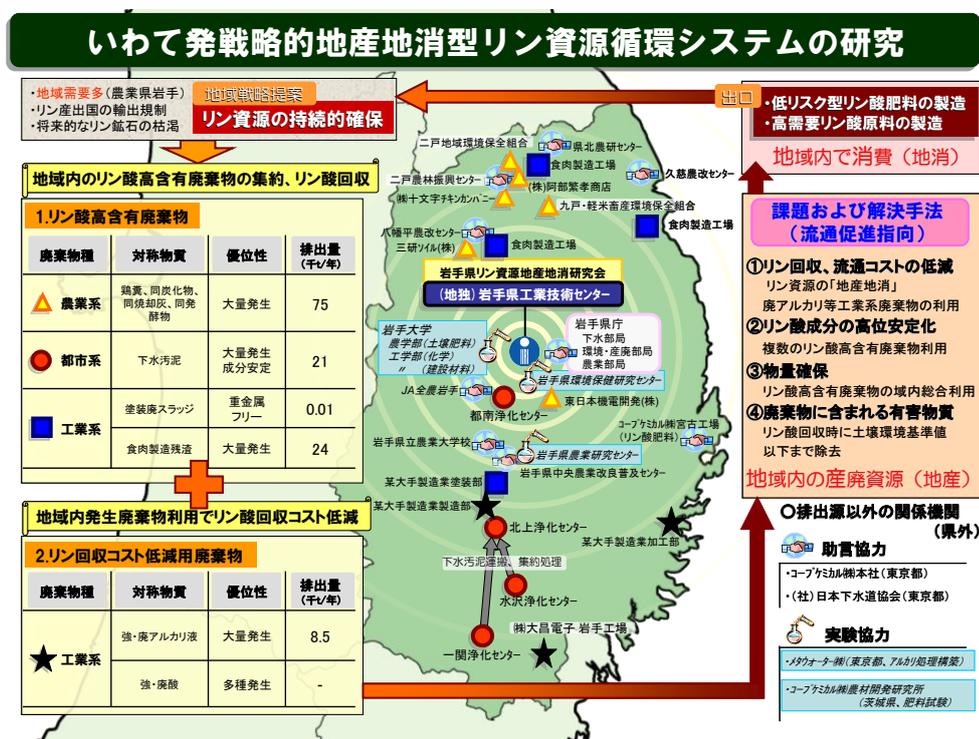
なお、第 23 回廃棄物資源循環学会研究発表会のポスター発表において、佐々木昭仁が優秀ポスター賞を受賞した。

知的財産権

特許出願 1 件 (下線は本研究事業の研究担当者)

名 称	廃棄物処理方法
出 願 日	平成 22 年 8 月 10 日 (出願番号 特願 2010-179455)
公 開 日	平成 24 年 2 月 23 日 (公開番号 特開 2012-35220)
出 願 人	地方独立行政法人 岩手県工業技術センター
発 明 者	<u>佐々木昭仁</u> 、 <u>菅原龍江</u> 、 <u>佐藤佳之</u> 、 <u>齋藤博之</u> 、 <u>浪崎安治</u> 、 <u>阿部貴志</u>

研究概要図



英文概要

・ Research Topic

Research for phosphorous recycling system with local production for local consumption in Iwate by local production for local consumption from Iwate

・ Research representative (Belonging)

SUGAWARA Ryukou (Local Independent Administrative Agency Iwate Industrial Research Institute)

・ Those who allot research (Belonging)

SASAKI Teruhito (Local Independent Administrative Agency Iwate Industrial Research Institute)

SATO Yoshiyuki (IWATE PREFECTURAL GOVERNMENT, Department of Prefectural Land Development)

ABE Takashi (Local Independent Administrative Agency Iwate Industrial Research Institute)

- Abstract

We conducted a series of experiments of phosphorus recovery based on the practical “ash alkali extraction method” in order to develop a new strategy to retrieve phosphorus from phosphorus-rich wastes which are generated in Iwate Prefecture. Our aim was to utilize them as one of the phosphorus resource in our region.

First of all, we succeeded to retrieve phosphorus from sewage sludge ash by using waste alkali solution, and obtained prototype of phosphorus fertilizer. We also found a possibility that the cost might be drastically decreased by using waste alkali solution in phosphorus extraction procedure.

Next, we applied the prototype of phosphorus fertilizer to soil culture, and conducted bioassay with spinach. Then, we confirmed that the use of waste alkali solution in the phosphorus extraction procedure did not lower the quality of the fertilizer because plants grown well without any bad effect such as toxic effect of some elements.

In addition, we held “Scientific Meeting of Iwate Prefecture for Improving Local Production and Local Consumption of Phosphorus Resources” for six times in three years. More than 60 participants had joined in every meeting. In the meeting, we successfully shared information and cultivated common understanding about phosphorus resources.

Finally, we proposed the “Phosphorus Resource Recycling Strategies of the Local Production and Local Consumption”.

- Key word

Phosphorus, Recycling, Waste, Fertilizer, Iwate