

<研究発表>

安定的リン資源確保のための下水道における資源化モデル

宮本 豊尚¹⁾, 岡本 誠一郎²⁾, 落 修一³⁾

(独)土木研究所 材料地盤研究グループ リサイクルチーム(〒305-0821 つくば市南原 1-6 E-mail: t-miyamo@pwri.go.jp)¹⁾
 (独)土木研究所 材料地盤研究グループ リサイクルチーム(〒305-0821 つくば市南原 1-6 E-mail: s-okamoto@pwri.go.jp)²⁾
 (財)下水道新技術推進機構 資源循環研究部 (〒162-0811 新宿区水道町 3-1 E-mail: s-ochi@jiwet.or.jp)³⁾

概要

世界的にリン鉱石を初め各種資源が高騰している。下水汚泥中にはリン等の無機物資源が含まれており、焼却灰中の含有率はリン鉱石と同等である。本論文では資源化モデルの一例として、焼却灰の備蓄・製品化事業に関して経済性の評価を行った。人口規模が約 300 万人の県域をモデルとして備蓄工に関するケーススタディーを行った結果、現在の汚泥処分より経済的と評価された。また製品化に関しては、一定の焼却灰の量が確保できれば既存の技術で経済的に十分実現可能と判断された。

キーワード: 下水汚泥 資源化 リン資源 備蓄 経済試算

1. はじめに

原油を始め世界的に各種資源が高騰している。肥料原料であるリン鉱石も新興国における食糧の増産やバイオエタノール増産などによるバイオマス生産への注目から高騰している。(fig.1)他方、下水汚泥中には各種の無機資源が含まれており、特に下水汚泥焼却灰のリン酸含有率はリン鉱石と同等といえる。(fig.2)

貴重なリン資源である下水汚泥の資源化のタイミングとしては、直接的利用、一定期間の貯蔵→利用、備蓄→利用の3つのシナリオが考えられる。直接的利用に関してはMAP やリン酸カルシウムとしての回収が実際に行われている^{2),3)}。本論文では、資源化モデルの一例として備蓄(貯蔵)

を考慮した焼却灰の資源化事業に対する経済性評価を行った。

2. 焼却灰資源化事業の概念

一定期間が経過した後にリン等の資源を回収する目的で下水汚泥を蓄える場合には、必然的に焼却灰が対象となる。焼却灰の利点としては、①わが国で発生している下水汚泥の約 7 割が焼却されている②無機質であり成分が安定している③臭気の問題がない④無機物の濃度が高く資源価値が高い⑤備蓄に必要な空間が小さい、といった要素が挙げられる。

資源化事業のうち、備蓄・製品化事業は、石油等の備蓄と同様にリン資源の急激な高騰や枯渇に対応するためにリンを含有する下水汚泥焼却灰を備蓄するものだが、その期間は 50~100 年単位で備蓄するものであり、本格的な資源枯渇等の状況下で製品化を行うものである。

本事業は備蓄フェーズと製品化フェーズに分けられる。(fig.3)備蓄フェーズでは、下水処理場で発生する焼却灰を集積し、溶出や飛散の防止工を施した上で蓄える。この時大量かつ安価に貯めることが前提であるが、備蓄対象のリンはもちろん土壌・水質環境の保全のため重金属類につ

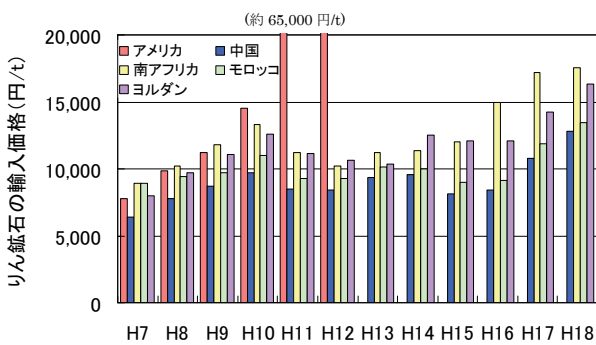


Fig.1: リン鉱石の輸入価格の推移¹⁾

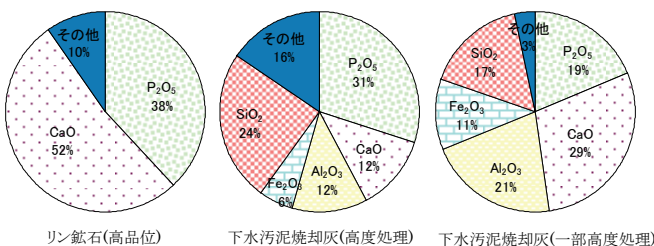


Fig.2: リン鉱石と下水汚泥焼却灰の金属類含有量

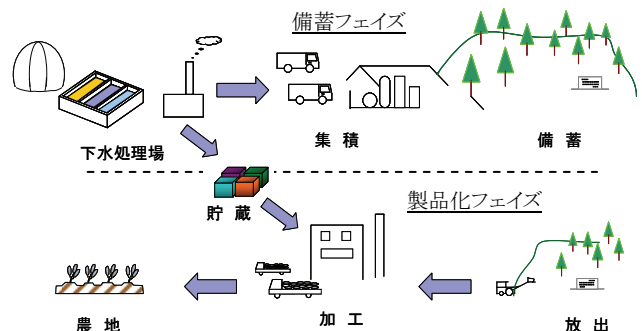


Fig.3: 焼却灰資源化事業の概念図

いても溶出を防止しなければならない。さらに製品化の段階で利用しやすいように、あらかじめ質・量ともに把握しておく必要がある。製品化フェイズでは貯えた焼却灰を肥料等に加工し、利用する。その際高品位な製品を作ること、発生する残渣を最小限にすることが肝要である。

貯蔵・製品化事業は、発生した焼却灰を貯蔵基地に一時的に集め、経済ベースに乗ると判断されたときから製品化していくものである。備蓄ほど長期保管する必要がないので、焼却灰を何らかの容器に保管する方法が考えられる。容器については輸送のしやすさや耐久性の検討が、また貯蔵基地の立地についても検討が必要となる。

3. 試算結果

2.に示した焼却灰資源化事業について、行った試算結果を、フェイズ(備蓄、貯蔵、製品化)ごとに示す。

3.1 備蓄

(1) 吹付け圧密工法

Fig.4に示すイメージ図のように、焼却灰を高速で吹き付けることで、高密度の焼却灰の山を形成し備蓄を行うものである。

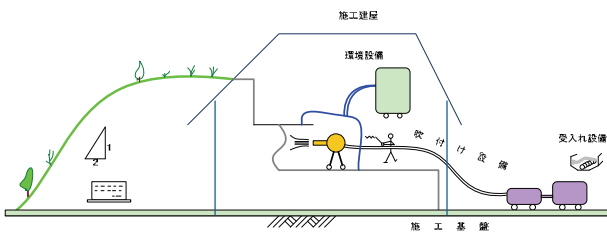


Fig.4: 吹き付け圧密工法のイメージ

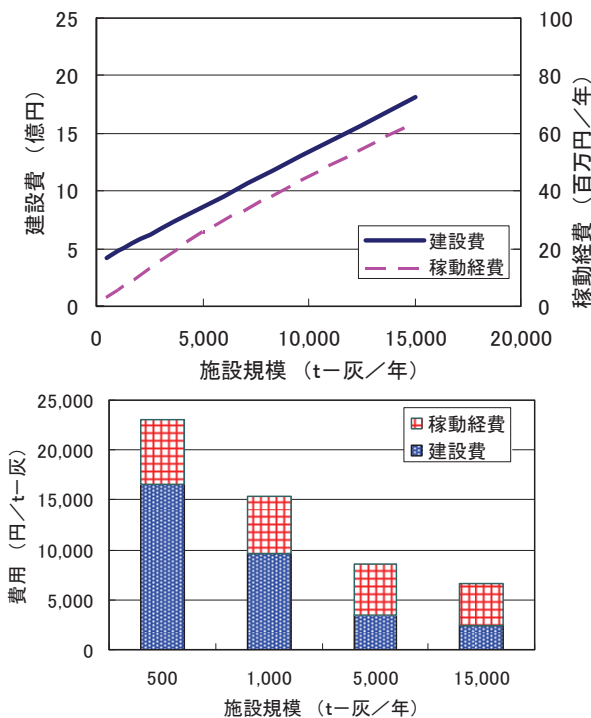


Fig.5: 吹き付け圧密工法による備蓄工の経済試算

備蓄年数 50 年、傾斜 1:2 の斜面を持つ三角形断面構造で備蓄を行うことを想定し、建設費は基盤の施工・建屋の施工・受け入れ設備・電気設備・備蓄施工設備・仕上げ緑化について試算し、稼働経費は動力費・人件費・副資材費・施工補助材費・設備補修費について試算を行った。土地代や輸送費のほか、補助金及び発生する利子については考慮していない。試算結果を Fig.5 に示す。

国土交通省では下水汚泥の資源化を推進するため、コストダウンを目標として掲げた技術開発プロジェクト(下水汚泥資源化・先端技術誘導プロジェクト Lotus Project)を平成 17 年度から実施してきた⁴⁾。下水汚泥を処分するコストよりも安いコストでリサイクルできる技術開発の目標値として、8,000 円/t-灰と定められている。

本目標値と比較すると、一年あたりの建設費と維持管理費の合計値が Lotus Project で示された開発目標値を満足するのは、流域人口が約 100 万人の規模の下水汚泥焼却灰を集積し備蓄した場合(5000t-灰/年)であることが推測された。

(2) ブルドーザ敷き均しローラ締固工法

ブルドーザを使って焼却灰を締め固めて灰の層を作成し、大規模な焼却灰の山を形成し備蓄するものである。吹付け圧密工法と同じ仮定のもと試算を行った結果、約 20 万人の流域人口で開発目標値に達している(Fig.6)。しかしながら、約 300 万人の流域人口で試算しても大阪湾圏域広域処理場整備基本計画(フェニックス計画)の受け入れ価格(4830 円/t)を上回っている⁵⁾。施設規模が 1000t-灰/年から 5000t-灰/年となる際に稼働経費が増加するのは、主としてスタッフの常駐化による人件費の高騰によるものである。

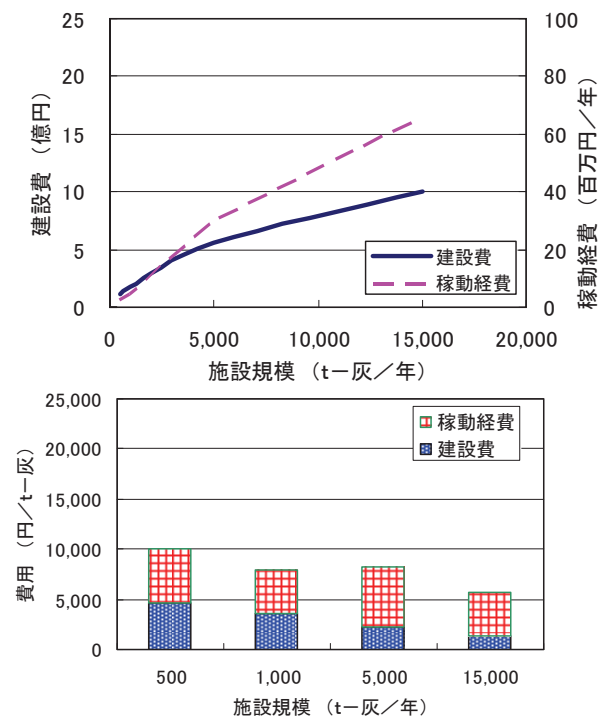
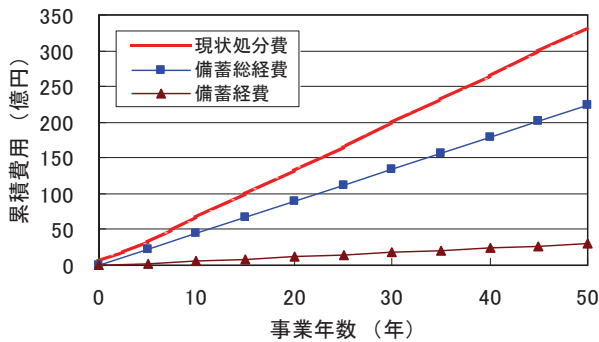


Fig.6: ブルドーザ敷き均しローラ締固め工法による備蓄工の経済試算

Table 1:A 県における備蓄事業の概況試算

広域	現状処分費 (百万円/年)	備蓄可能 焼却灰量 (t-灰/年)	備蓄経費				面積 (m ²)
			燃焼追加経費 建設 (億円)	維持管理 (百万円/年)	備蓄工 建設 (億円)	稼働経費 (百万円/年)	
I 域	71.67	2532	0	19.9	3.8	15.7	15,600
II 域	78.6	227	11.61	72.1			
III 域	27.49	977	0	0			
IV 域	223.47	1735	0	8.8	4.1	17.8	
V 域	162.81	342	16.57	117.6			
VI 域	74.06	(VI域はほぼ農業利用されているため、備蓄対象外とした)					
特定	25.35	1268	0	0	2.08	6.05	8,700
合計	663.25	7081	28.18	218.4	9.98	39.55	41,200



注1 「現状処分費」には炉の更新・維持管理費を含まない場外搬出処分経費
 注2 「備蓄総経費」と「備蓄経費」には輸送費を計上せず
 注3 「備蓄総経費」中の新設炉については、耐用年数:50/3として建設費計上
 注4 「備蓄経費」は直接備蓄に係る経費(炉経費を考慮しない)のみ

Fig.7:A 県における備蓄事業の経済試算

(3) ケーススタディー

人口規模が約300万人のA 県をモデルとして備蓄工に関するケーススタディーを行った。現状の汚泥処分は、セメント等建設資材利用(85%)と肥料原料利用(14%)であった(2004年度)⁶⁾。

地勢を考慮して県域を7つに分け、農業利用をしている一地域を除いた全域で焼却を行い、焼却灰を50年間備蓄すると仮定した。また備蓄工は敷き均しローラ締固工法を採用し、県内3箇所にて備蓄することとした。各処理場から備蓄基地までの輸送費については計上していない。

結果をTable 1とFig.7に示す。焼却炉を2基新設する必要があるが、備蓄工は既存の処分よりも経済的であると試算された。また備蓄に必要な土地は2ha程度であるが、A 県の大きな処理場の面積は35ha程度あるため、場所を選べば処理場内にて備蓄を行うことが十分可能であることが示唆された。処理場内における備蓄は、新規土地の取得や輸送費、法律等の問題を解決する上で実現性の高い方法であるといえる。また、下水処理場は河川や海岸線に沿って分布していることから、複数の県にまたがって備蓄事業を行うことにより効率的な備蓄が可能となる。

3.2 製品化

下水汚泥焼却灰からリン肥料を製造する方法としては、岐阜市で行われているリン酸カルシウム³⁾や桑子らによる熔成リン肥⁷⁾を製造する方法などがある。ここでは製品化の一例として、熔成リン肥による製品化についての経済試

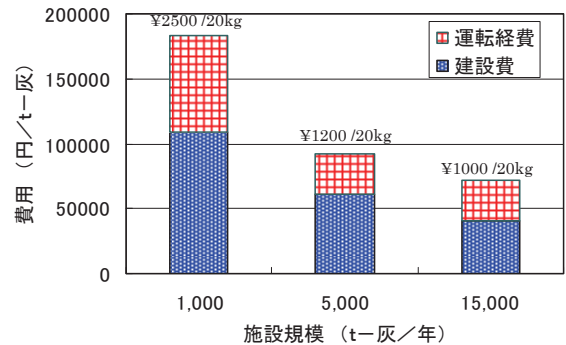
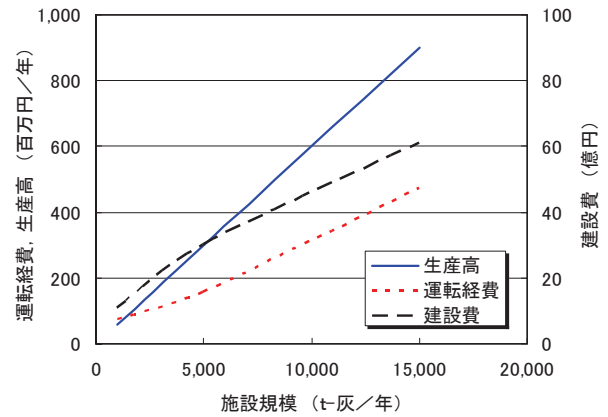


Fig.8: 熔成リン肥製造事業の経済試算

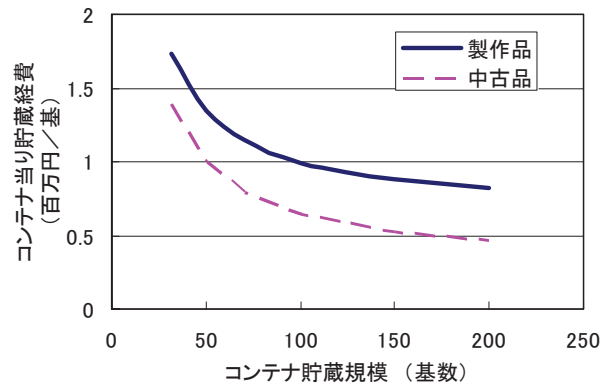


Fig.9: コンテナによる備蓄工の経済試算

算を行った。施設の耐用年数は10年とし、輸送費は考慮していない。

Fig.8に示すように、例えば5000t-灰/年の施設規模では、肥料を1200円/20kgで売却すると収支が均衡すると試算された。2008年8月現在のA 県内における熔成リン肥価格は輸入品で1780円/20kg(粒状)、1290円/20kg(砂状)であり、国産のものでは2000円/20kgであった。下水汚泥から製造した熔成リン肥は価格競争力を持っていることが明らかとなった。

3.3 貯蔵

貯蔵・製品化事業における貯蔵プロセスの一例として、コンテナの中に焼却灰を貯える方法について検討を行った。

一般的なコンテナである12ftコンテナは容量が約

18m³、積載量 5t であり、流域人口が 5 万人規模の処理場でちょうど 1 週間に 1 基必要となる。

吹付け圧密工法やブルドーザ敷き均しローラ締固め工法による備蓄工と異なり、コンテナの製造費・購入費にコストがかかるため長期の備蓄には向かない。一方で比較的規模の小さな施設から焼却灰の運搬・収集にコンテナ輸送を想定し、灰を加工・製品化するまでの間搬送したコンテナの状態で一時的に貯蔵し、備蓄基地や製品化工場から回収後再度収集を行うような利用が想定される。コンテナの耐用年数は 10 年以上であり、繰り返し使うことで経済性は向上する。

4. まとめ

下水汚泥に含有するリンの資源化モデルの一例として、下水汚泥焼却灰の備蓄・製品化事業に関して経済性の評価を行った。人口規模が約 300 万人の県域をモデルとして備蓄工に関するケーススタディーを行った結果、現在の汚泥処分より経済的と評価された。

また製品化に関しては、一定の焼却灰の量が確保できれば既存の技術で経済的に十分実現可能と判断された。リン資源はこの数年で急騰を続けており、この動向により資源化の経済性や、備蓄や貯蔵のシナリオ選択は大きく影響される。

今後もリンの価格が高値圏を維持していくとは必ずしも断言できないが、リン資源が枯渇の方向にある状況において、少なくとも貴重な資源を散逸させるのは社会的に大きな損失であると考えられることから、備蓄や製品化を円滑に促進していくための環境整備を早急に行っていくことが望まれる。

[参考文献]

- 1) 農林水産省消費・安全局農産安全管理課監修:ポケット肥料要覧,農林統計協会
- 2) 飯島宏:リンの回収と資源化利用への道-MAP の肥料化-,月刊下水道,Vol.26,No.12,pp. 24-27 (2003)
- 3) 後藤幸造:下水汚泥焼却灰の有効利用:りん回収と無機質資材の実用化に向けて,下水道協会誌,Vol.45.No.544 , pp.23-25 (2008)
- 4) 国土交通省 HP
http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha04/04/040917_.html
- 5) 大阪湾広域臨界環境整備センターHP
<http://www.osakawan-center.or.jp/disposal/ryoukin.html>
- 6) 日本下水道協会:平成 16 年度版下水道統計行政編
- 7) 桑子松司,小松貴司,岩井良博,定塚徹治,高木禎史:下水汚泥焼却灰の熔融処理によるリン肥料化技術,廃棄物学会研究発表会講演論文集,Vol.12,No.1, pp. 286-288 (2001)