事例No.	2530
公表年度	R5
団体の属性	町村
団体名	兵庫県神戸市

事例区分	公営企業

タグ	・下水道事業

事例種類	GX

事例内容・タイトル

神戸市における下水汚泥資源の有効利用の取組み―資源循環「こうべ再生リン」プロジェクト―

出典

雑誌「公営企業」先進事例紹介（令和５年１１月号）

先進事例紹介



神戸市における下水汚泥資源の有効利用の取組み
―資源循環「こうべ再生リン」プロジェクト―

神戸市建設局下水道部計画課
清水　武俊

1．はじめに

リンは肥料の３大要素の一つで農作物の栽培には欠かせないが、ほぼ全量を輸入に頼っているのが現状である。近年のリン産出国の輸出制限による輸入価格の高騰を背景に、食料安全保障の観点から、国内資源の有効利用が急務となっており、「食料安全保障強化政策大綱」では、2030年までに下水汚泥資源・堆肥の肥料利用量を倍増し、肥料の使用量（リンベース）に占める国内資源の利用割合を40%まで拡大することが示された[1)]。また、汚泥処理に関する基本的な考え方として、下水汚泥資源を肥料として最大限に利用することが国土交通省から示されている[2)]。神戸市では、下水の消化汚泥からリン成分を「こうべ再生リン」(リン酸マグネシウムアンモニウム六水和物)として回収し、肥料として市内の農家や市民に供給することで「地産地消」として循環利用する取組み（資源循環「こうべ再生リン」プロジェクト）を行っており、その内容について紹介する。

2．神戸市の下水道事業

神戸市の下水道は、1951年から近代下水道事業として開始され、主に分流式での整備を進めてきた。1995年１月17日に発生した兵庫県南部地震により甚大な被害を受けたが、1999年度には災害復旧工事を完了し、現在６か所の処理場および22か所のポンプ場を運用しており、現在の下水道普及率は98.7%である。本市は震災の教訓として災害に強い下水道を目指し、復興過程で様々な取組みを展開してきたが、そのひとつが下水道資源の有効利用である。

3．資源循環「こうべ再生リン」プロジェクト

本市では、「下水処理場の配管閉塞の解消」と「資源の有効利用」を図るため、2011年度より水 ing(株)と共同研究(KOBE ハーベスト(大収穫）プロジェクト）を開始した。さらに2012・2013年度「神戸市東灘処理場　栄養塩除

去と資源再生（リン）革新的技術実証事業」が国土交通省の下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）として水ing（株）、神戸市、三菱商事アグリサービス（株）との共同研究体として採択された。これを機に消化汚泥から直接リンを回収し、肥料として有効かつ循環利用することを目的とした実証事業を国土技術政策総合研究所の委託研究として開始した。回収したリンは2014年に「こうべ再生リン」として肥料登録を完了し、市場への流通を開始した。水ingとの共同研究は2019年度に終了し、2022年度より「資源循環「こうべ再生リン」プロジェクト」と名称を変更し、こうべ再生リンの利用促進を目指すプロジェクトとして進めている（図１）。

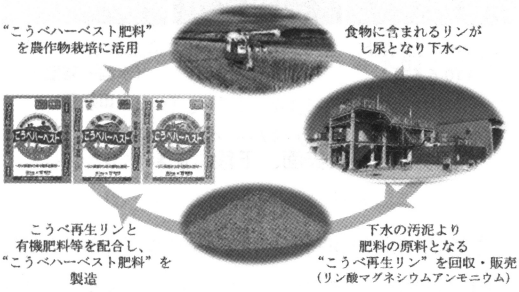


図１　「資源循環「こうべ再生リン」プロジェクト」の概略

４．消化汚泥からのリン回収方法

本市東灘処理場では、消化汚泥を対象としたMAP晶析法を行っている。原理としては、リン回収設備（リアクタ）に水酸化マグネシウムを添加し、消化汚泥もしくは脱水分離液中に含まれる溶解性リン酸およびアンモニアとマグネシウムを反応させて晶析によりリン酸マグネシウムアンモニウム（MAP）の結晶を生成するもので、反応式は式(1)で表される。

$$Mg^{2+} + NH_4^{+} + HPO_4^{2-} + OH^{-} + 5H_2O \rightarrow MgNH_4PO4 \cdot 6H_2O$$

・・・式(1)

本法は消化槽から脱水機へ送泥する過程でリン回収を行うため、リン回収設備から脱水機までの配管閉塞および脱水機でのスケールトラブルの低減に効果がある。

５．こうべ再生リンの組成および安全性の確認

こうべ再生リンは2014年４月に「化成肥料」として登録されたが、現在は2019年に新設された公定規格の「りん酸マグネシウムアンモニウム」に分類される[3)]。回収した「こうべ再生リン」の組成は、アンモニア性窒素（N）5.21%、く溶性りん酸（P_2O_5）27.69%、く溶性苦土（MgO）14.61%（2022年11月採取試料分析値）で、リンが「く溶性」であることが特徴である。く溶性とは２％クエン酸溶液に溶解する特性のことである。本市および水ing（株）共同研究体では、こうべ再生リンの「肥料成分」および「重金属含有量」についてこれまで自主的に継続して分析を行っている。これまでの調査の結果、成分量が年間を通して安定しており、有害成分の含有量も非常に少なく、許容値を超過することはないことが確認されている。また、これらの分析結果については、本市ホームページで公表しており、こうべ再生リンの肥料としての有効性や安全性について広報を行っている（表１）[4)]。

６．こうべ再生リンの肥料への活用

こうべ再生リンは、植物の生育に必要となるリンや窒素、マグネシウムを含み、そのままでも肥料として使用できるが、広く普及する上で

表１　こうべ再生リンの主成分および有害成分の分析結果（2022年11月採取試料）

項目			基準値	分析結果	単位
主成分の最低保証量	アンモニア性窒素	(N)	4.0	5.21	%（wt/wt現物）
	く溶性りん酸	(P_2O_5)	20.0	27.69	
	く溶性苦土	(MgO)	11.5	14.61	
有害成分の最大許容量	ひ　素	(As)	0.048	0.0001	
	カドミウム	(Cd)	0.0018	0.00005未満	
	水　銀	(Hg)	0.0012	0.000006	
	ニッケル	(Ni)	0.12	0.0003未満	
	クロム	(Cr)	1.2	0.0005	
	鉛	(Pb)	0.072	0.0003未満	

作物ごとに適した配合が必要である。本市では、市域の西北部を中心に農地が広がり、米や野菜・花卉・果物等、多様な作物が生産されている。取組み開始当時、こうべ再生リンをこれらの作物に適用し、地元の農家の方々に使っていただくため、ニーズの把握や農業関係者との信頼関係の構築が不可欠であった。このため、農業事情に詳しいJA兵庫六甲や兵庫県神戸農業改良普及センター、市内の農業関係者、肥料協会等と「こうべ再生リン」の利用方法について協議を重ねるとともに、JA 全農兵庫や大手の肥料生産会社から情報を収集し、肥料の流通状況を調査した。なお、これらの協議や調査の過程では、「都市と農村をつなぐこうべ再生リン」のキャッチフレーズがJAや地元農家等、農業関係者に大きな共感を生み、「こうべ再生リン」の活用に向けて積極的に取組みを進めることができた[5)]。

関係者の協力の下、「野菜・花用」、「水稲用」および「山田錦用」の３種類の肥料が開発され、現在「こうべハーベスト」という名前で市内の農家に流通している（図２参照）。肥料の形状は「ペレット状」とし、施肥時の飛散を防ぐと同時に、機械による散布を行いやすいように設計されている（図２）。

また、肥料袋のデザインは、農家の方々に愛着を持って頂けるよう、「リン資源の循環」をコンセプトとし、パッケージの表面には、「リン資源が農村と都市を循環しているイメージ」を表し、裏面には「リン資源の貴重性」や「本プロジェクトの取組み」を描いている。



図２　こうべハーベスト肥料
（上段：肥料袋表面、下段：肥料ペレット）

このように①消化汚泥からリンを回収して、②肥料登録し、農家が使用しやすい肥料に配合することで市場への流通を可能にし、③通常の流通ルートで販売するといった一連の取組みを行ったのは国内では初めての事例であった。この資源循環に関する取組みについて、2020年に国土交通大臣賞（循環のみち下水道賞）の「イノベーション部門」をJA兵庫六甲、水ingエンジニアリング（株）および本市の共同で受賞した。

・野菜、花用肥料：こうべハーベスト10-6-6-2

こうべ再生リン20％に窒素やカリウム、有機肥料等を加え、窒素：リン酸：カリウム：マグ

ネシウムの配合比を10：６：６：２（重量比）とした野菜・花用の肥料である。2015年からJA兵庫六甲を通じて市内の農家へ販売を開始した。なお、肥料の公定規格では、「複合肥料」のうち「化成肥料」に位置付けられる。

この肥料は人と環境に配慮して栽培されたキャベツやスイートコーン等の「こうべ旬菜」というブランド野菜にも使われている。現在は、JA兵庫六甲西営農センター管轄内において以下10品目の作物の栽培に活用されている（キャベツ、ダイコン、レタス、ブロッコリー、スイートコーン、モロヘイヤ、ジャガイモ、ニンジン、サラダカブ、朝どりナス）（図３）。またハーベスト肥料で栽培した同市伊川谷町産の「寄せ植え鉢花」は本市のふるさと納税の返礼品として使われている。

・水稲用肥料：こうべハーベスト水稲一発型

こうべ再生リンを15％使用した水稲用肥料で、窒素：リン酸：カリウム：マグネシウム＝18：13：13：1.5（重量比）の肥料設計である。被覆尿素を配合しており、肥効が長期間持続する緩効性の肥料である。2016年から試験栽培を開始した。公定規格では、「複合肥料」のうち、「配合肥料」に位置付けられている。学校給食用米の「きぬむすめ」の栽培に使用され、作られた米は2020年１月より市内の学校給食に供されている。

・酒米用肥料:こうべハーベスト（水稲一発型・山田錦用）

こうべ再生リンを15％使用した酒米の山田錦を対象とした水稲用肥料である。窒素:リン酸:カリウム：マグネシウム＝18：12：12：1.5（重量比）の 肥料設計である。また、被覆尿素を配合しており、緩効性である。2020年から試験栽培を開始し、2023年から販売を開始した。公定規格では、「複合肥料」のうち、「配合肥料」に位置付けられている。

資源循環の取組みに協賛する神戸・灘の銘酒「福寿」の蔵元である神戸酒心館では、この肥料で栽培された山田錦を原料とした日本酒の開発を行い、醸造した日本酒は「福寿 純米吟醸 山田錦 環和 -KANNA-」として販売されている（図４）。この事例は2023年３月に国土交通省から発行されたBISTRO下水道パンフレットに掲載された[6)]。



図３　野菜、花用肥料（こうべハーベスト10-6-6-2）を使用する農家

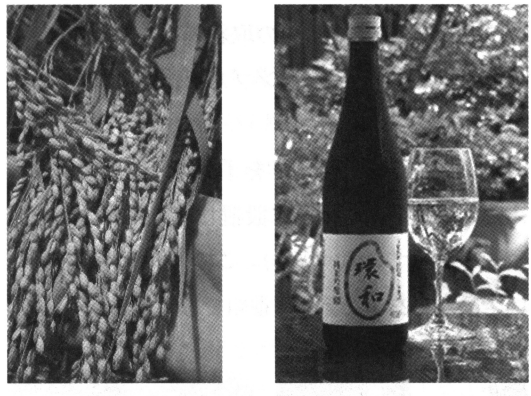


図４　こうべハーベストで栽培した山田錦（左）と山田錦を原料に醸造した「福寿 純米吟醸 山田錦 環和 -KANNA-」

7．広報活動

こうべ再生リンによる「地産地消」の取組みを進めるには、農家だけでなく多くの市民に広報を行い、理解いただく必要がある。

本市では、市内の小学４年生を対象に、地域循環型社会を食育・環境教育として学ぶ機会を提供する「出前授業」と、こうべハーベスト10-6-6-2で育てた「スイートコーンの収穫体験」をセットで提供する神戸っ子SDGsプログラムを実施している（図５）。なお、2022年度のプログラムの開催時、SDGs活動に協働する本市のラグビーチーム「コベルコ神戸スティーラーズ」の選手や農家、小学生にも協力を頂き、「ラグビーボールのパス回し」を「リン資源の循環」になぞらえた動画を作成し、You Tubeで公開した[7)]。

また2022年度より、市民向けにこうべハーベスト10-6-6-2を１kgの小分け包装した「こうべSDGs肥料」をJA兵庫六甲の直売所やホームセンター等で販売している。この肥料は市内小学校（164校）に配布され、環境教育の一翼を担っている。また、市開催のイベント等においてブースを出展して資源循環の取組みについて紹介するとともに、肥料のサンプルを配布して広報を行っている（図６）。

さらにこうべ再生リンを「カプセルトイ」に詰めたものを東灘処理場に設置し、市民向けの小口販売を行っている（図7）。このカプセルトイについては、2023年にテレビ番組でも取り上げられた。

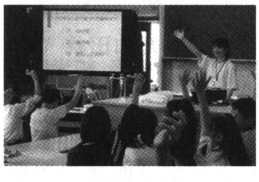




図５　神戸っ子SDGsプログラム
（出前授業：左、スイートコーン収穫体験：右）



図６　イベントで肥料サンプルを配布する神戸市長

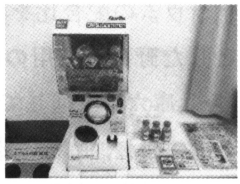


図７　こうべ再生リンのカプセルトイ

8．肥料の出荷量の動向

こうした取組みの中で、こうべ再生リンの供給量は近年増加しており、2022年度には年間約80tと例年の３倍程度に増加した（図８）。また、こうべ再生リンを原料としたこうべハーベスト肥料についても同様に大幅な増加を示しており、特に野菜・花用のこうべハーベスト10-6-6-2の出荷量の増加が著しかった。この背景として、①世界情勢等による肥料価格高騰と②農業経営の安定化と環境保全型農業への転換を図ることを目的として、価格高騰の影響を受ける農家を支援する本市経済観光局の「農業生産資材高騰緊急対策支援事業」により、こうべハーベスト肥料の購入費が補助されたことが大きく影響しているものと考えられる。なお、肥料を使用した農家からは、従来の肥料と比較して効果に遜色ないと評価をいただいており、今後もさらなる需要が見込まれている。

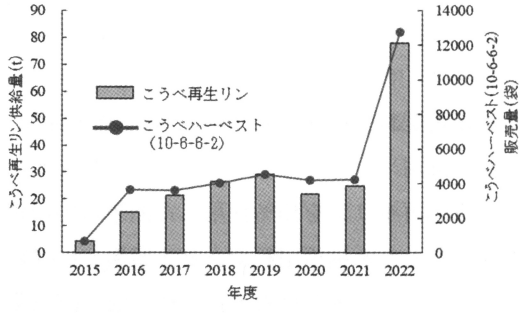


図８　こうべ再生リン供給量およびこうべハーベスト（10-6-6-2）の販売量の推移

9．今後の展開

こうべ再生リンの需要は増加しており、今後も資源循環の取組みを継続する上で、安定した生産体制の確保が必要である。本市玉津処理場にリン回収設備を新設する事業が国土交通省の2022年度補正予算にかかるB-DASHプロジェクトに新たに採択された[8)]。玉津処理場では既存施設より効率的なリン回収の実証を通じてこうべ再生リンの生産拡大を行い、更なるリンの国産化と安定供給への貢献を図る。

また、こうべハーベストを多くの農業者に使っていただくためには、より多様な作物を対象とした肥料を開発すると同時に流通経路の確保が必要である。本市では、2023年度に農林水産省の実証プロジェクト（下水汚泥資源の活用促進モデル実証）[9)]および国土交通省の支援事業（下水汚泥資源の肥料利用を促進するための大規模案件形成支援事業）[10)]に採択された。これらの事業の中で、新たな肥料の開発や栽培体系の構築、農業者や消費者とのマーケティング構築等、下水処理場 - 肥料製造現場 - 農場 - 消費者に至るまでの一連のプロセスについて実証を行う。

今後もこのような下水からリン資源を回収し、地域循環する「地産地消」の取組みを一層進めることにより、SDGsに貢献していきたいと考えている。

参考文献

1）農林水産省 食料安定供給・農林水産業基盤強化本部：食料安全保障強化政策大綱（2022年12月27日）、2022.

2）国土交通省：発生汚泥等の処理に関する基本的考え方について（2023年３月17日 国水下企第99号）、2023.

3）農林水産省：肥料の品質の確保等に関する法律に基づき普通肥料の公定規格を定める等の件（2019年５月27日施行［最終改正2020年２月28日］）、29, 2020.

4）神戸市建設局下水道部：資源循環「こうべ再生リン」プロジェクト、https://www.city.kobe.lg.jp/a78445/kurashi/sumai/sewage/projects/phosphorus01.html（2023年８月時点）

5）神戸市：続・神戸市下水道史―阪神・淡路大震災からの復興 そして平成から令和に向けて―, 343-348, 2019.

6）国土交通省：BISTRO下水道～食と下水道の連携～、https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/content/001624586.pdf（2023年８月時点）

7）神戸市建設局下水道部:こうべ知ってQ紹介動画, https://www.youtube.com/watch?v=EwiycS35jnY&list=PLYLG4KN19GSt6e6vvOypo5wO9u3BMBDYs&index=5（2023年８月時点）.

8）国土交通省:令和４年度補正B-DASHプロジェクト実証技術の概要等について, https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/content/001587755.pdf（2023年８月時点）

9）国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構：「下水汚泥資源の活用促進モデル実証」の公募における審査結果について, https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/files/press20230425_naro_betten01.pdf（2023年８月時点）

10）国土交通省：「下水汚泥資源の肥料利用を促進するための大規模案件形成支援事業」における支援団体が決定しました！ https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/mizukokudo_sewerage_tk_000823.html（2023年８月時点）