

# 浄水場浄水汚泥の有効利用に関する基礎的研究

田 中 康 司\*<sup>1</sup>河 村 眞 也\*<sup>2</sup>

## [要 旨]

浄水場で発生する浄水汚泥の有効利用を目的とした資材加工法の開発を行うに先立ち、当該技術の実用化に対する不確定要因を除くため、事業環境の検討を行った。具体的には、汚泥供給量と加工資材の需要量のバランスを見通しつつ、利用法（適用対象）を探索し、事業化に必要な基盤を有する（共同研究開発の相手として好適な）府内企業の有無について調べた。

検討の結果、該当する企業（候補）が7社存在することがわかった。

## 1 はじめに

浄水汚泥は、浄水場で河川等の原水を浄化する際、不可避に発生する。これらは一部グラッド改良材として廉価で売買されるが、多くは廃棄物として処分されるのが現状である。

浄水汚泥を高付加価値の資材に加工する方法と新規用途を確立できれば、廃棄物の有効活用だけでなく製品としても環境負荷低減に寄与できる。

資材化を考えるにあたり、浄水汚泥のおよその組成として、京都府営水道乙訓浄水場の浄水汚泥を蛍光X線分析した結果を表1に示す。汚泥には土砂等に由来するケイ酸塩、浄水処理の過程で注入される凝集剤のポリ塩化アルミニウムが含まれている。このケイ酸塩とアルミ化合物の混合物は水熱合成反応させることでポーラスシリカ、ゼオライトを得ることができる。また、汚泥中に含まれる有機物からは、活性炭又はそれに類似する炭素化合物を得ることも可能である。

これらの機能素材は、どちらも微細な空孔を多数有するその構造から、軽量な割に高い機械的強

表1 京都府営水道乙訓浄水場浄水汚泥の組成

元素名	組成値(wt%)
O	54.2
Si	17.2
Al	15.1
C	7.1
Fe	2.9
K	1.2
その他	2.3

度、特定の物質の吸脱着、湿分調整、化学反応促進（触媒）などの機能によって、環境負荷低減型の材料開発につながるものと期待される。

しかし、リサイクル素材技術開発においてまみ見受けられるのは、事業化の見通しを欠いたまま開発を進め、結果、採算問題や、需給バランスが解決できず頓挫してしまうケースである。

浄水汚泥のリサイクル資材を開発する上で整理しておくべき事業環境の諸元について、以下の3点にまとめ調査したので報告する。

- ① 文献調査によるゼオライト等多孔質材料の工業的用途の可能性確認
- ② ゼオライト系リサイクル材の市場規模（出

\* 1 基盤技術課 副主査

\* 2 基盤技術課 主任研究員

荷量、出荷額)の確認

- ③ ②から市場性が伺える適用先(品目)業種の府内企業立地状況の確認

## 2 調査内容

### 2.1 ゼオライト等多孔質材料の工業的用途の可能性確認

文献探索を行い、ゼオライト及びゼオライトに類似した多孔質構造を有するケイ酸化合物であるメソポーラスシリカ並びに浄水汚泥のリサイクル材及び浄水汚泥に類似する窯業系廃棄物のリサイクル材(以下「ゼオライト系リサイクル材」という。)について、それぞれの論文において目論まれ、期待されている用途(機能)を確認した。

### 2.2 ゼオライト系リサイクル材の市場規模(出荷量、出荷額)の確認

2.1の確認から絞り込まれたゼオライト系リサイクル材の用途(機能)を踏まえ、経済産業省が取りまとめ、発表している工業統計調査「平成20年確報 品目編」のデータを用い、ゼオライト系リサイクル材の市場(=ゼオライト系リサイクル材によって既存材を代替し得る)として可能性があると思われる適用先(品目)をピックアップした。

さらに、技術開発を行った現場で事業化することを想定し、ピックアップしたデータから、京都府内において出荷数量500トン以上又は出荷金額1億円以上の規模がある適用先(品目)に絞り込んだ。これは、浄水汚泥が相当の規模で排出されることを考慮するものである。例えば、府南部7市3町に水道水を供給している府営水道は1日の実績送水量が約110千 $\text{m}^3$ であるが、年間1,600トンもの浄水汚泥が発生している。

### 2.3 市場性が伺える適用先(品目)業種の府内企業立地状況の確認

2.2において市場性が伺えた適用先(品目)の多くが建設・建築業(建材)と土石・窯業の2業種であった。このうち、研究開発系企業の比率が高いと推測される土石・窯業を市場性が伺える適用先(品目)業種として、当所の企業登録データである「企業情報システム」から検索し、そこから通常の社業と平行して研究開発を行うだけの企業規模の要件として法定の小規模企業者区分である従業員数20人未満の企業を除いた上で、更に、当該企業のHP等による業容確認を踏まえ、可能性のある企業を選出した。

今回は、更に、上記のとおり選出された企業の所在地と、府内の河川表流水を原水とし一定規模を有する浄水場の所在地を地図にプロットし、立地適性についても確認して、浄水汚泥リサイクル材開発の事業化に必要な基盤を有する(共同研究開発の相手として好適な)企業とした。

## 3 調査結果及び考察

### 3.1 ゼオライト等多孔質材料の工業的用途の可能性確認

文献探索の結果は表2のとおり。

対象物質として溶質、ガスを合わせると「吸着」機能に着目したものが7件とほぼ半数を占め、次に「保水・調湿」機能が3件、他は窯業材料、土木資材、電波吸収材となった。

しかし、これらの機能については、概ね従来から、ゼオライトが有するあるいは有する可能性があるものと認められてきた既知の機能といえ、「電波吸収」の機能がわずかに新規性が認められる程度のものであると思われる。

表2 ゼオライト、メソポーラスシリカ及びゼオライト系リサイクル材についての文献検索結果

発表年度	発表者	所属	表題	材料	加工条件	想定用途	概要又はkey word	
1	1997	藤田 仁四郎	日立造船	浄水汚泥からのゼオライト化土の製造法	浄水汚泥	水熱合成	多用途	乾燥剤、吸着剤、触媒、モレキュラーシーブ(分子篩)、イオン交換材、肥料、土壌改良剤、水処理剤、農業用資材の増量材、脱臭剤を想定。
2	1998	松本 豊	静岡工業技術センター	排水中のリンを除去する無機系吸着剤の開発	浄水汚泥・アルミナ粉末・鹿沼土・カキ殻・ガラス粉	混練焼成	溶質吸着材	水産加工排水処理の処理水、リン吸着、3、4回再生(850°C 1hr焼成)、クエン酸水溶液でも再生可能
3	1998	中村 静夫	石川県工業試験場	浄水場発生汚泥の窯業原料への有効利用	浄水汚泥	成型助剤添加(可塑性向上目的)	窯業材料	浄水汚泥は粘土鉱物の含有量少、粒径1~20µm
4	1998	川井 隆夫	神戸製鋼所	ゼオライトの合成方法	石炭灰、下水汚泥焼却物、製紙スラッジ焼却物、FRP燃焼残渣、製鉄スラッグ等	Na2CO3添加焼成+酸洗浄+水熱合成	不明	
5	1999	小川 仁一	島根県立工業技術センター	天然ゼオライトによる鉛の吸着特性について	Na型ゼオライト(モルデナイト、クリノプチロライト)	天然ゼオライトを10%NaCl溶液で調整	溶質吸着材	鉛吸着剤
6	2003	星 幸二	愛知県常滑窯業技術センター	炭酸カルシウムスラッジを活用した保水煉瓦の開発	食品工場系炭酸カルシウムスラッジ	配合土添加+焼成	多孔質材(構造材)	保水によるヒートアイランド対策効果
7	2004	星 幸二	愛知県常滑窯業技術センター	不焼成によるヒートアイランド化防止対策用保水不燃建材の開発	粘土瓦不良品粉砕廃棄物	水酸化カルシウム添加+天日乾燥	多孔質材(構造材)	保水によるヒートアイランド対策効果
8	2004	前浪 洋輝	INAX	メソ細孔を有する浄水汚泥の水熱固化体	浄水汚泥	消石灰添加水熱合成	ガス吸着材(調湿)	窒素吸着細孔径分布測定からメソ細孔を測定。調湿材料として可能性あり。
	2005	福垣内 暁	愛媛県産産業研究センター	プラントレベルにおける各種人工ゼオライトの製造試験	製紙スラッジ(汚泥)	水ガラス添加+水熱合成	不明	製紙スラッジ焼却灰の有効利用
9	2005	鈴木 昌資	埼玉県産産業技術総合センター	鋳物廃砂からの高性能型ゼオライトによる酸素濃縮供給装置の開発	鋳物廃砂、アルミスラッジ	水熱合成、イオン交換、造粒、焼成	ガス吸着材	気体分離
10	2006	勝木 宏昭	佐賀県窯業技術センター	窯業系廃棄物の再利用化と特性評価	陶磁器製品の廃棄物粉末、廃棄石膏型粉末	磁石研磨粉添加+水熱合成	電磁波吸収材	マグネタイト添加によりマイクロ波吸収性が增加
11	2007	笹木 哲也	石川県工業試験場	メソポーラスシリカの合成と鉛吸着特性	有機基を含むシリカ化合物		溶質吸着材	骨格構造の異なるメソポーラスシリカを合成、鉛吸着能を比較。
12	2008	中山 能久	宮崎県工業技術センター	工業用水浄水汚泥の有効利用	工業用水浄水汚泥	単純焼成	窯業材料	窯業材料検討
13	2009	村上 和美	三重県工業研究所	浄水汚泥を用いた緑化吹付け用資材および工法の開発	浄水汚泥	植生基材+保水材+曝砕竹+化成肥料の混練	土木資材	コンクリート積みのみ面への緑化吹付け工法について有効性を確認。
14	2010	鈴木 正哉	産業技術総合研究所	二酸化炭素を効率的に回収する無機多孔質材	不明(ハスクレイ)	水熱合成	ガス吸着材	アルミニウムケイ酸塩、PSAシステムによるCO2吸着
15	2011	木持 謙	埼玉県環境化学国際センター	ゼオライトろ床と植栽を組み合わせた里川再生技術の美河川への適用と維持管理	天然クリノプチロライト	ミクリ(Sparganium erectum)と組み合わせ植栽	溶質吸着材	植生モジュールに窒素、リンの除去効果あり。

### 3.2 ゼオライト系リサイクル材の市場規模 (出荷量、出荷額) の確認

3.1の結果を踏まえ、工業統計データからのピックアップにあたってはコンクリート関連製品、窯業(セラミックス)製品のほか、ゼオライトが使用される無機工業品として、合成洗剤(ビルダー)、研削・研磨材、触媒、調湿機材等を抽出した。今回の作業でピックアップした品目(全国データ)を表3に示す。

また、京都府内の出荷量、出荷額データを表4に示す。表4は、出荷数量500トン以上又は出荷金額1億円以上の規模要件で絞り込みを行ったため、全国データでは38品目であったものが13品目に限定されることとなった。

13品目の内容を見ると、コンクリート関連製品5品目、それ以外の無機工業製品6品目、装置・

機器2品目となった。

### 3.3 市場性が伺える適用先(品目)業種の府内企業立地状況の確認

2.3に示した手順により条件に該当する企業を抽出したところ、10社が該当した。各社の企業規模、業種、主要製品の一覧を表5に示す。表中のS社については、歯科材料を中心とした製品の製造を行っており、製品化において薬事法の許認可等の要件が厳しく、リサイクル材の適用分野としては明らかに不相当であるため、除外することとした。

また、H社については、所在地が京丹波町であり、今回想定しているリサイクル材の原料供給が規模と浄水工程の面で可能と考えられる浄水場が付近にないため、除外とした。

表3 ゼオライト系リサイクル材の活用可能性が見込まれる品目の工業統計データ(全国)

品目コード	品目名称	県コード	県名	出荷数量	1社あたり 出荷数量	出荷金額 (百万円)	1社あたり 出荷金額 (百万円)	出荷金額 / 出荷数量	産出 事業所数	出荷数量単位 【“-”は数量調査なし】
252111	ボルトランドセメント	0	全国	52,877,528	1,510,787	317,020	9,058	0.01	35	トン
252211	生コンクリート	0	全国	104,442,441	32,166	1,230,187	379	11.78	3,247	立方メートル
252318	プレストレストコンクリート製品	0	全国	1,257,971	17,000	42,372	573	33.68	74	トン
205221	洗濯用合成洗剤	0	全国	756,388	14,546	188,549	3,626	249.28	52	トン
255921	人造耐火材	0	全国	355,764	10,165	27,073	774	76.10	35	トン
252317	道路用コンクリート製品	0	全国	10,518,047	9,623	221,504	203	21.06	1,093	トン
252316	土木用コンクリートブロック	0	全国	5,805,651	8,652	97,083	145	16.72	671	トン
252321	テラゾー製品	0	全国	186,783	7,783	1,208	50	6.47	24	平方メートル
255111	粘土質耐火れんが	0	全国	199,462	6,044	35,873	1,087	179.85	33	トン
252315	空洞コンクリートブロック	0	全国	266,885	1,247	33,446	156	125.32	214	千個
255911	耐火モルタル	0	全国	56,797	1,208	4,254	91	74.90	47	トン
205611	クレンザー	0	全国	27,902	1,163	6,314	263	226.29	24	トン
257211	ビトリファイド研削と石(シリケート研削と石を含む)	0	全国	13,367	334	16,740	419	1,252.34	40	トン
202922	触媒	0	全国		0	361,292	10,323		35	-
254511	理化学用・工業用陶磁器	0	全国		0	111,995	4,869		23	-
254111	衛生陶器(附属品を含む)	0	全国		0	87,186	1,895		46	-
255119	その他の耐火れんが	0	全国		0	84,968	1,888		45	-
202939	その他の無機化学工業製品	0	全国		0	741,346	1,647		450	-
257111	天然研磨材, 人造研削材	0	全国		0	66,153	1,538		43	-
201212	配合肥料	0	全国		0	118,996	1,178		101	-
254419	その他の電気用陶磁器	0	全国		0	53,489	922		58	-
297811	ろ過機器	0	全国		0	128,708	830		155	-
254611	モザイクタイル	0	全国		0	19,672	703		28	-
257219	その他の研削と石	0	全国		0	35,409	590		60	-
254619	その他のタイル	0	全国		0	41,548	540		77	-
257919	その他の研磨材, 同製品	0	全国		0	47,227	513		92	-
162212	特殊合板	0	全国		0	144,799	451		321	-
254612	内装タイル	0	全国		0	8,410	443		19	-
297822	環境装置(化学的処理を行うもの)	0	全国		0	71,596	431		166	-
255929	その他の耐火物(粘土質をつほを含む)	0	全国		0	29,548	422		70	-
297817	乾燥機器	0	全国		0	37,139	413		90	-
259919	その他の窯業・土石製品	0	全国		0	142,971	410		349	-
258511	鉱物・土石粉碎・その他の処理品	0	全国		0	136,579	394		347	-
258211	人工骨材	0	全国		0	13,871	338		41	-
254412	電気用特殊陶磁器	0	全国		0	8,823	327		27	-
201919	その他の化学肥料	0	全国		0	23,550	294		80	-
252319	その他のコンクリート製品	0	全国		0	171,691	291		591	-
253919	その他の建設用粘土製品	0	全国		0	8,261	92		90	-

※ 経済産業省経済産業政策局調査統計部「工業統計調査 平成20年度確報 品目編」より作成

表4 ゼオライト系リサイクル材の活用可能性が見込まれる品目の工業統計データ(京都府)

品目コード	品目名称	県コード	県名	出荷数量	出荷金額 (百万円)	出荷金額/ 出荷数量 (千円)	産出 事業所数	出荷数量単位 【“-”は数量調査なし】
252211	生コンクリート	26	京都	1,139,200	17,533	15.39	48	立方メートル
252317	道路用コンクリート製品	26	京都	79,363	1,555	19.59	9	トン
252316	土木用コンクリートブロック	26	京都	71,510	1,184	16.56	8	トン
252315	空洞コンクリートブロック	26	京都	6,645	605	91.05	4	千個
257211	ビトリファイド研削と石(シリケート研削と石を含む)	26	京都	975	1,752	1,796.92	4	トン
202939	その他の無機化学工業製品	26	京都		12,341		14	-
257919	その他の研磨材, 同製品	26	京都		8,267		4	-
162212	特殊合板	26	京都		6,797		6	-
257219	その他の研削と石	26	京都		2,836		5	-
297811	ろ過機器	26	京都		2,451		4	-
252319	その他のコンクリート製品	26	京都		820		4	-
259919	その他の窯業・土石製品	26	京都		606		3	-
297817	乾燥機器	26	京都		499		3	-

※ 経済産業省経済産業政策局調査統計部「工業統計調査 平成20年度確報 品目編」より作成

上記2社を除き、残る8社について、各企業の所在地と浄水場の位置関係を地図上にプロットしたものを図1に示す。

図からも明らかなおおり、亀岡市内にあるS社(プロット番号2)が最寄りの浄水場(府営水道乙訓浄水場)から10km以上の距離にあるものの、他の7社については全て最寄りの浄水場から概ね5km以内と近接した立地となることがわかった。

### 3.4 考察

今回、最終的に抽出された7社を、各社の主要製品から見ると、研磨材メーカー等が4社、ファインセラミックスメーカー3社となった。企業データを「土石・窯業」で絞り込んだため当然の結果といえる。本来であれば、市場性が確認された適用先(品目)として挙がっていた建設・建築業(建材)についても確認できればよかったが、施工のみを行う企業と建材の開発・製造を行う企業が、

表5 「土石・窯業」企業（小規模企業者を除く）一覧表

番号	企業名	所在地	資本金 (百万円)	従業員 (人)	業種1	業種2	主な製品	備考
1	N陶業	京都市山科区	49	33	窯業・土石		・ジルコン、ムライト、アルミナ、窒化アルミニウム、ベタライト等 ・機械、電子、半導体、触媒、誘電体等	
2	S産業	亀岡市	30	132	窯業・土石	建設業	・建築工事、土木工事、造園工事 ・生コンクリート製造	
3	S工業	宇治市	75	118	精密機械	窯業・土石	ダイヤモンド砥石・工具、合成樹脂系微粒子研磨製品、セラミック系微粒子砥石、特殊パフ製品、研磨装置	
4	K	京都市伏見区	115,703	1,374	窯業・土石	精密機械	ファインセラミックス、電子部品、電子デバイス、半導体等	
5	S	京都市東山区	4,475	420	窯業・土石	精密機械	歯科診療機器・材料、技工機器・材料等	不適切分類と考えられるため、対象外とする。
6	Eテック	久世郡久御山町	520	100	窯業・土石	精密機械	・ラインエンジニアリング、精密機械、研磨装置等 ・研磨材料	
7	E	京都市伏見区	38	110	窯業・土石		半導体関連製品、ファインセラミックス製品、高温・熱処理関連製品、光学関連製品、分析機器、耐熱ガラス	
8	H	京丹波町	98	不明	建設業	窯業・土石	木造用軽量セメントモルタル、下地調整塗材、仕上材、漆喰、セルフレベルング材、吸水調整材	想定する性状の浄水汚泥(河川表流水を原水とするもの)を排出する浄水場が付近に認められないため、対象外とする。
9	M	城陽市	45	250	窯業・土石		研削・超仕上げ・ホーニング砥石	
10	N研砥	京都市南区	90	164	窯業・土石	一般機械	砥石	

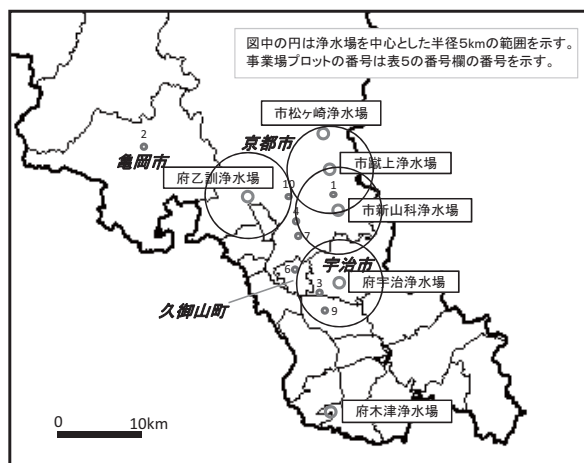


図1 浄水汚泥再生材の想定供給先候補企業の所在図

システム上、分類されていないデータベースをもとに作業したために、今回は対象から外さざるを得なかった。

浄水汚泥は、ゼオライトに加工して付加価値を高める場合でも、重量あたりの単価には一定の限度がある。単価が相対的に低くなるおそれがあること(表2の「出荷金額/出荷数量」データで数値が出た品目の平均値は158,000円/トン)を想定すると、加工・販売にあたっては運搬距離を可能な限り抑制しなければならない。この点で今回の

調査結果からは、距離の要因が輸送経費に大きな影響を及ぼす可能性が低いことが伺えた。

#### 4 今後の課題とまとめ

今回は初めての検討ということもあり、考察でも触れたとおり、建材関連の企業探索には踏み込めなかった。しかし、「土石・窯業」からの探索の結果絞り込まれた企業数が10社程度であることを考えれば、規模要件等で絞り込んだ後に、個別企業の業容を確認する手順で探索できると見込まれる。来年度以降の課題としたい。

また、今回、抽出された企業については、アンケートなどを用いたアプローチで、より具体的に共同開発を行うための条件を整理し、リサイクル材開発を行う大学研究者との仲介等関係づくりを行っていくべきものとする。

当初の計画で予定していたゼオライト系リサイクル材の物性データ取得等、未達項目についても、引き続き課題として、実用的な材料を開発する必要があると考える。

いずれにせよ、大学や公設試験機関だけでは、浄水汚泥のリサイクル材開発は困難であり、排出者（水道事業者）、リサイクル材の需要者（企業）との協力が欠かせないことから、今回、リサイクル事業化に必要な基盤を有する（共同研究開発の相手として好適な）府内企業のイメージを臆気ながらも描く作業ができたのは成果といえるのではないかと考える。

### 謝辞

本小論をとりまとめるにあたり、京都学園大学准教授 石本弘治氏には、適時適切なるご助言・ご

指導を賜りましたこと、厚く御礼申し上げます。

### (参考資料)

- 1) 京都府文化環境部,京都府営水道環境レポート（平成21年度決算版）,  
<http://www.pref.kyoto.jp/koei/resources/1297738200336.pdf>
- 2) 経済産業省経済産業政策局調査統計部, 工業統計調査 平成20年確報 品目編,  
<http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/kougyo/result-2/h20/kakuho/hinmoku/index.html>