

(公社) 日本技術士会北陸本部富山県支部 第29回講演会
(2018年7月27日)

廃石膏ボードのリサイクルの現状と課題 私たちの成果も交えて

富山高等専門学校・物質化学工学科・教授
袋布 昌幹 (たふ まさもと)



富山高等専門学校
Toyama National College of Technology

夢みる力を、つくる力へ。

日本技術士会・富山県支部講演会 (18/07/27富山)

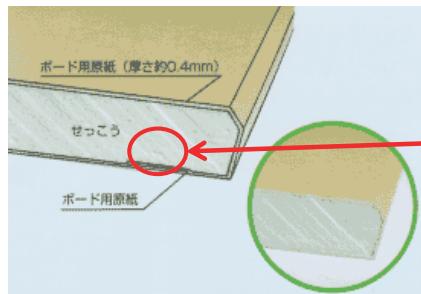
1

コンテンツ

- 自己紹介
- 廃石膏ボードリサイクルの必要性
- 廃石膏ボードリサイクルは土壤環境問題
- フッ素不溶化材の開発
- フッ素不溶化固化材への展開
- 石膏ボードリサイクルから見えてきたもの
- さいごに

石膏ボードの特徴

①セッコウを芯材とし両面をボード用原紙で被覆した内装材料



セッコウと紙は接着剤でくっついているの
ではない！

セッコウの結晶が紙の纖維と絡まり合って
接着している!!

②建築物の壁、天井として広範囲に普及

③3大性能は防火、遮音、断熱性（どこかのCMでおなじみ？）

④施工性が良く、安価（カッターで切断可能、簡単に施工）

⑤ボード原料のセッコウには排煙脱硫セッコウ、紙には新聞紙などを
使用するなど、それ自体もすぐれた再生資材

7

日本技術士会・富山県支部講演会（18/07/27富山）

セッコウボードの原料

- セッコウ
- ボード紙（実は上と下では紙質が異なるらしい！）
- 水
- 添加剤（固まる時間のコントロール）
- 空気： 気泡を入れることにより、密度を下げて製造に
必要な 原料の量を軽減

9

日本技術士会・富山県支部講演会（18/07/27富山）

石膏ボードに使われるセッコウ

- 天然セッコウ
タイ, メキシコ, オーストラリア, エジプト
- 化学セッコウ
排煙脱硫（主に火力発電所の脱硫プラント）→石油, 石炭
リン酸, チタン, フッ酸セッコウ

教科書：天然セッコウと化学セッコウをほぼ同量使用
 最近：原料に化学セッコウを積極的に利用→なぜか？

10

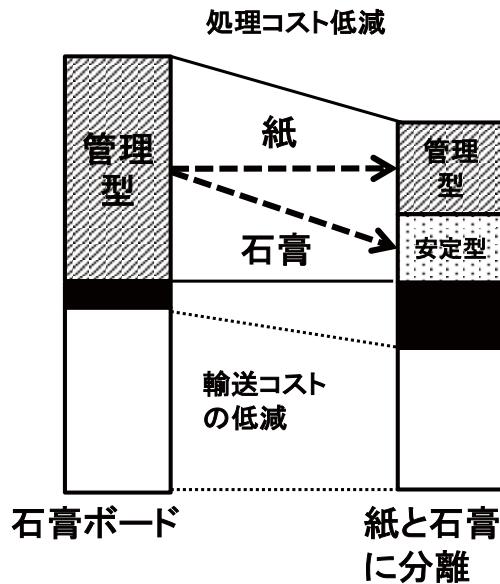
日本技術士会・富山県支部講演会（18/07/27富山）

平成18年にだされた「通達」

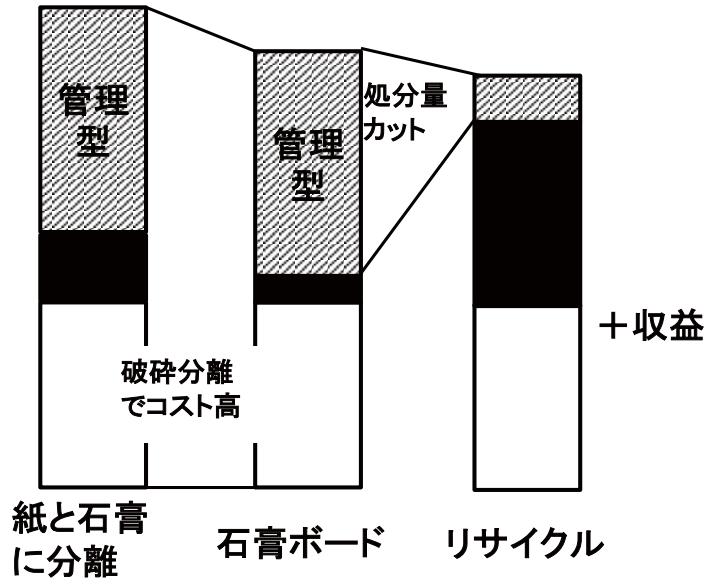
<p>各都道府県知事・各政令市市長 殿</p> <p>環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部長</p> <p>廃石膏ボードから付着している紙を除去したもの 取扱いについて（通知）</p>	<p>環廃産発第060601001号 平成18年6月1日</p> <p>いる紙を取り除いたものについては、平成10年7 9号環境庁水質保全局長通知（以下「平成10年局長 安定型最終処分場に埋め立てることが可能であること が、その後の新たな科学的知見により、紙を除去した 類が硫化水素产生に寄与し、安定型最終処分場への埋 度の硫化水素が発生するおそれがあることが明らかに ボードから紙を除去したものについても、廃棄物の処理 行令（昭和46年政令第300号）第6条第1項第3号 して取り扱うこととしたので、下記事項に留意の上、 その運用に遺漏のないようにされたい。ただし、最終処分場の混乱を避けるため、 周知期間を設け、十分な周知を行った上で当該取扱いを行うこと。 なお、上記知見に関しては、国立環境研究所研究報告第188号「安定型最終 処分場における高濃度硫化水素発生機構の解明ならびにその環境汚染防止対策に 関する研究」（独立行政法人国立環境研究所ホームページ（http://www.nies.go.jp/kanko/kenkyu/pdf/r-188-2005.pdf））を参照されたい。</p> <p style="text-align: right;">記</p> <p>1 平成10年局長通知の一部改正 平成10年局長通知を次のように改正すること。 「第一 安定型産業廃棄物の見直し（廃掃令第6条第1項第三号イ及びロ）1 安定型廃棄物の範囲の見直し」のうち、以下の部分を削る。 「また、石膏ボードについては、紙が付着しているため安定型産業廃棄物か ら除外することとしたものであり、付着している紙を取り除いた後の石膏につ いては、従来どおり安定型最終処分場に埋め立てることが可能であること。」</p>
---	--

平成18年で何が変わったのか

平成18年以前



平成18年以降



日本技術士会・富山県支部講演会（18/07/27富山）

13

廃石膏ボードの扱いの変化

- H18年以前
 - 安定型処分場への処理を容易にする破碎分離
 - ☆石膏ボードをボード原紙と石膏粉末に分離
- H18年以降
 - 管理型処分場への処理を回避するリサイクル
 - ☆石膏ボードから「リサイクルに適した物性の粉末」「リサイクルに適した原紙」を回収
 - ☆回収した石膏粉末と原紙のリサイクル用途の構築
 - 地盤改良、建設汚泥固化といった「土木資材」へのリサイクルに高い関心が集まっている。

廃石膏ボードは石膏ボードにもどるのか

- 技術的課題
 - 廃石膏ボードから回収したセッコウは粒子が細かく、混水量が多くなってしまう→強度低下
 - セッコウ粒子の大型化でボード原料へのリサイクルは技術的に可能（例：トクヤマチヨダジプサム）
- システム的課題
 - 石膏ボードの原料は他の産業から発生する未利用資源→石膏ボードに転用しないと廃棄物になってしまう。

これらの理由から、他の用途へのカスケードリサイクルが必要となっている。

現段階でのリサイクル用途

用途	現状・課題
石膏ボード原料	新築系(端材)を主体とした受入、リサイクル
セメント原料	凝結調整剤としては排煙脱硫石膏が主体
土質改良材	土壤汚染対策法への適応が必須条件
セメント系	石膏添加量 7~10%・高強度
石灰系	公共工事で利用・高強度
石膏系	土壤pHへの影響低
建材材料	ケイカル版の原材料
ため池堤体遮水材	
アスファルトフィラー	アスファルトフィラーとして実用化実績あり
農業資材	肥料的効果のある土壌改良材、技術協同組合の設置など
その他	白線用粉末 魚礁ブロックの添加材など

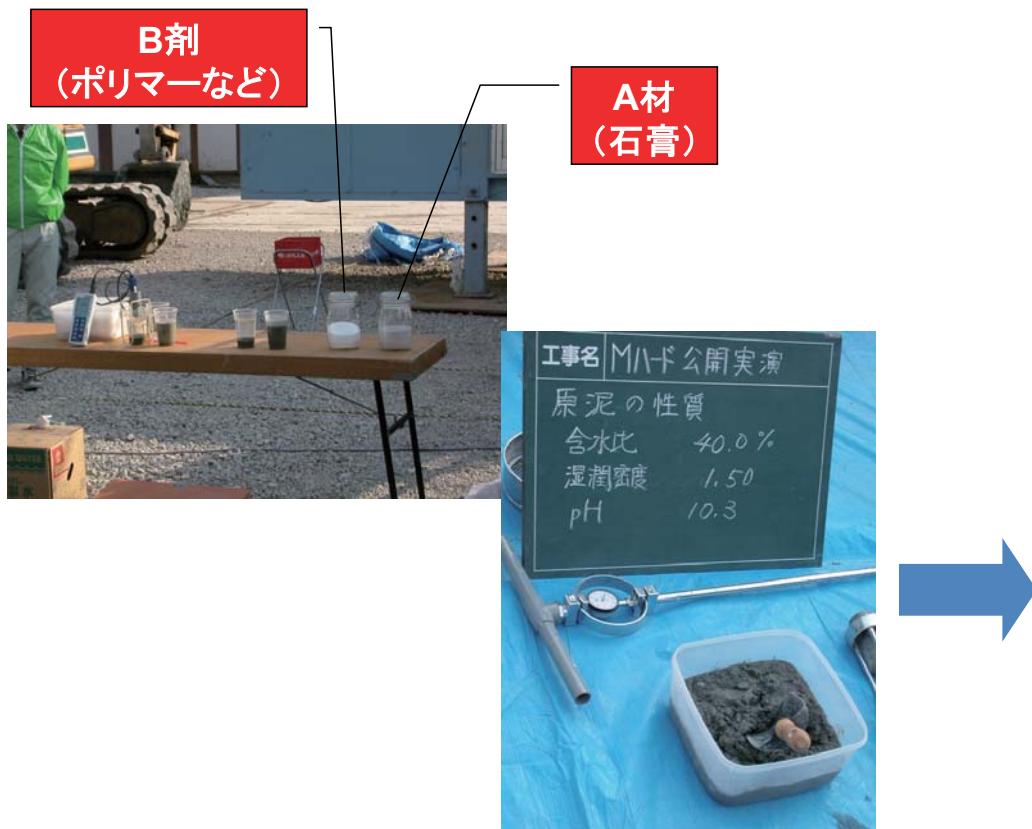
石膏ボードリサイクルの品質規格策定の動き



日本技術士会・富山県支部講演会（18/07/27富山）

19

「固化材」というアプリケーション



日本技術士会・富山県支部講演会（18/07/27富山）

22

固化材へのリサイクルと「フッ素問題」

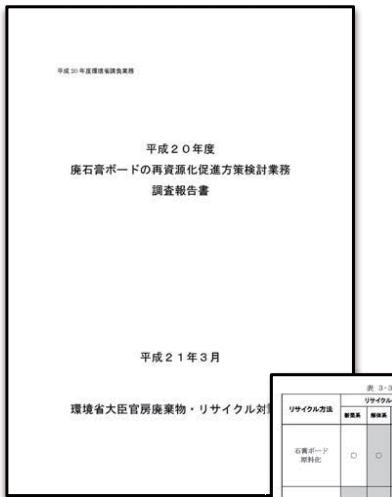


表 3-3 石膏ボードのリサイクルの状況						
リサイクル方法	リサイクル率	資源地	HFA認定からの変化	資源地	理由	参考
石膏ボード 原料化	○ ○	軽石系石膏 セメント系石膏 マグネシウム カルボン酸	○	複数の小型化が進 むことによって、資源地の選択範囲が広がる。	○	また、資源化されたもの は、セメント系石膏やマ グネシウムカルボン酸 などの他の方法で利用 され、他の方法で利用さ れない。
セメント原料化 (硫酸鋼回収)	○ ○	硫酸、マグネシウム カルボン酸	△	ソーダ灰の資源化を進 めるために、硫酸鋼回 収のための硫酸化が進 む。	△	資源地へ向けて資源化 を進めるために、硫酸 鋼回収のための硫酸化 が進む。
製鉄所の 硫酸鋼回収	× ×	硫酸、マグネシウム カルボン酸	△	硫酸、マグネシウム カルボン酸の資源化を 進めるために、硫酸鋼 回収のための硫酸化が 進む。	×	硫酸鋼回収により資源 地は、資源地へ向けて 資源化を進める。
土壤改良材 (セメント系)	○ ○	廃水処理場、廃 棄物処理場	○	廃水処理場で高濃度 の硫酸鋼が発生する。 廃棄物処理場で高濃度 の硫酸鋼が発生する。	○	廃水処理場で高濃度 の硫酸鋼が発生する。 廃棄物処理場で高濃度 の硫酸鋼が発生する。
土壤改良材 (硫酸鋼系)	○ ○	廃水処理場、廃 棄物処理場	△	廃水処理場で高濃度 の硫酸鋼が発生する。 廃棄物処理場で高濃度 の硫酸鋼が発生する。	△	廃水処理場で高濃度 の硫酸鋼が発生する。 廃棄物処理場で高濃度 の硫酸鋼が発生する。
土壤改良材 (セメント系)	○ ○	廃水処理場、廃 棄物処理場	△	廃水処理場で高濃度 の硫酸鋼が発生する。 廃棄物処理場で高濃度 の硫酸鋼が発生する。	△	廃水処理場で高濃度 の硫酸鋼が発生する。 廃棄物処理場で高濃度 の硫酸鋼が発生する。
建材 (セメント カルボン酸)	○ ○	新たなセメント カルボン酸	△	新たなセメント カルボン酸	○	新たなセメント カルボン酸

(4) 石灰系固化材へのリサイクルと販売状況

石灰系固化材は、石灰の補助材として石膏が一定の割合で添加されたものである。石灰系固化剤は固化力（強度）がセメント系固化材に比べると弱く、用途が限定的であることから、国等の公共工事での使用が中心であると言われている。また、施工の際に、**フッ素の不溶化対策が必要となる**ことから、価格がその分割高であると言われている。

(5) 石膏系固化材へのリサイクルと販売状況

石膏系固化材は、廃石膏粉を加熱処理して得た半水石膏や無水石膏と未処理の二水石膏を一定割合で混合させたものである。他の固化材と異なり、施工時に土壤の水素イオン濃度（pH）を変えない（他の固化材はpHを上げる）ことから、固化材使用者からのニーズは高いが、**石灰系固化材と同様、施工時のフッ素不溶化対策が求められる**ことから、セメント系固化材と比較して、製造コストが高い傾向にある。

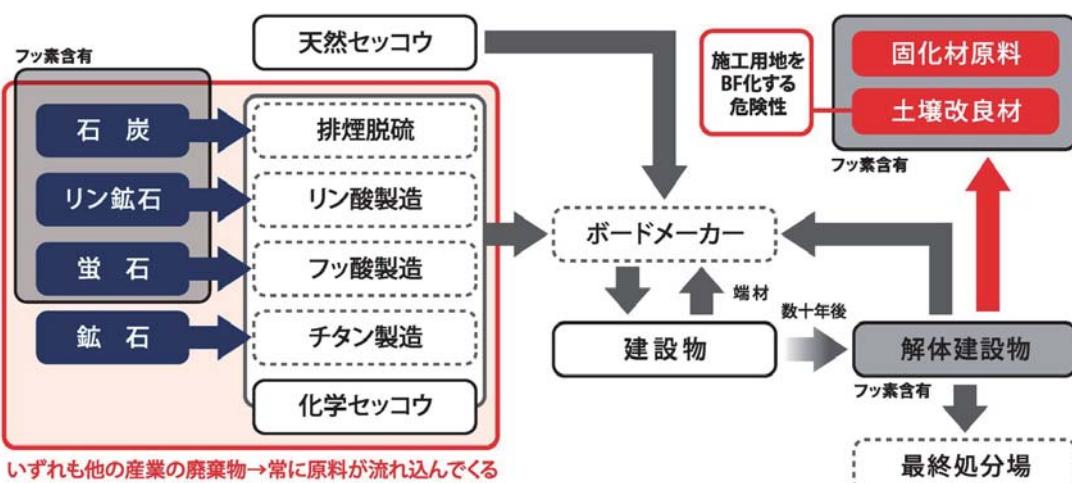
なお、大手建設業者の中には石膏系固化材は「ただ単に土壤を石膏で硬化させる」という原理であり、条件によっては硫化水素の発生など将来的な環境への悪影響も懸念されることから、使用を躊躇しているとの見解もある。

固化材リサイクルの課題は
汚染土壤の原因となるフッ素対策である
…なぜか？

日本技術士会・富山県支部講演会（18/07/27富山）

23

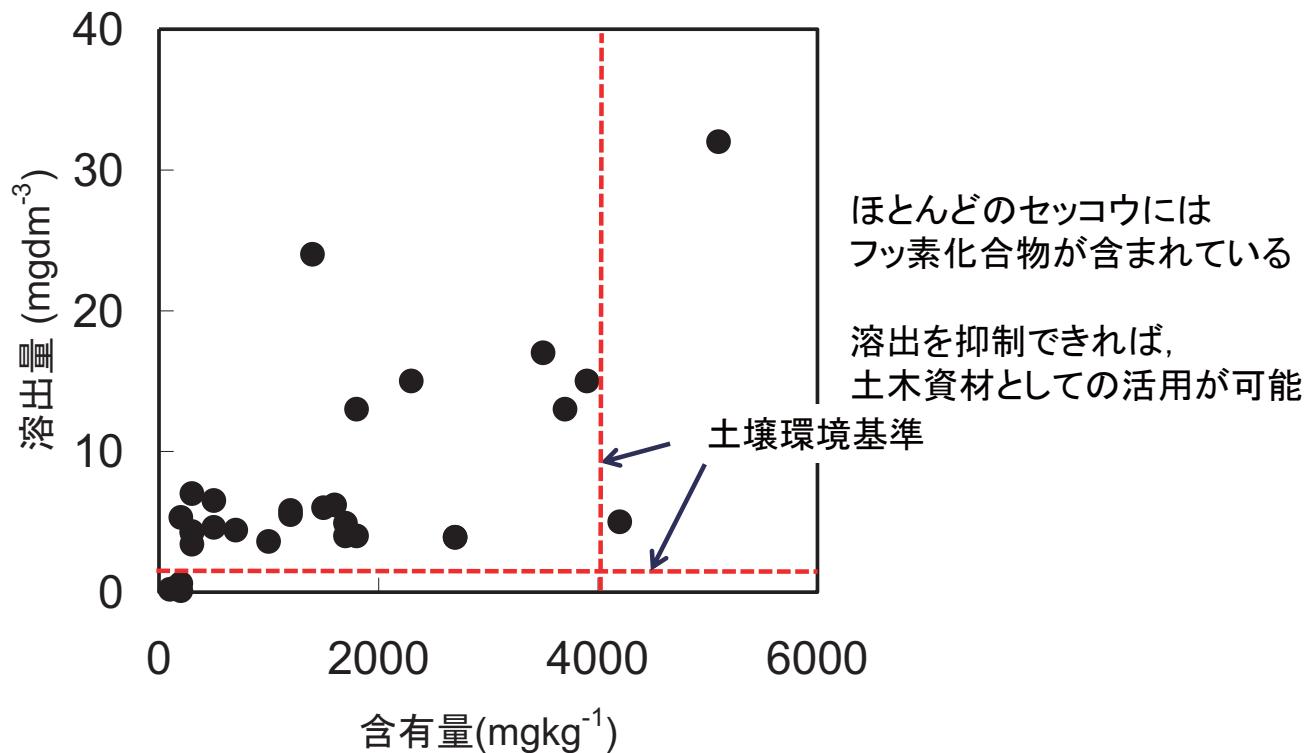
石膏ボードリサイクルとフッ素問題



日本技術士会・富山県支部講演会（18/07/27富山）

24

セッコウ中のフッ素含有量・溶出量



日本技術士会・富山県支部講演会（18/07/27富山）

25

コンテンツ

- 自己紹介
- 廃石膏ボードリサイクルの必要性
- 廃石膏ボードリサイクルは土壤環境問題
- フッ素不溶化材の開発
- フッ素不溶化固化材への展開
- 石膏ボードリサイクルから見えてきたもの
- さいごに

従来のフッ素化合物の不溶化技術

沈殿生成による不溶化

フッ化カルシウム(CaF_2)
→溶解度: 8 mg/L F

フッ素アパタイト(FAp , $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$)
→溶解度: < 0.1 mg/L F

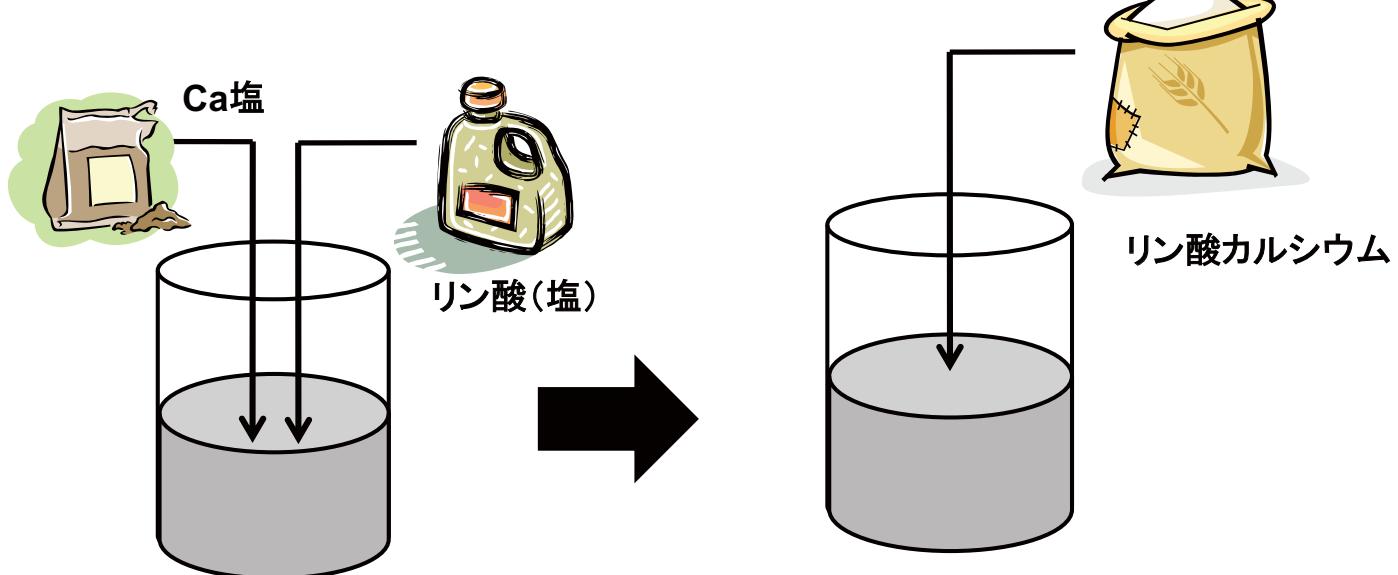
FAp としてフッ素化合物を沈殿分離できれば、高度分離が可能!?

溶解度の極めて低いフッ素アパタイト(FAp)を生成させるためには化学量論比の数倍の過剰な薬剤添加が必要!!

日本技術士会・富山県支部講演会（18/07/27富山）

28

フッ素アパタイトを生成させる方法



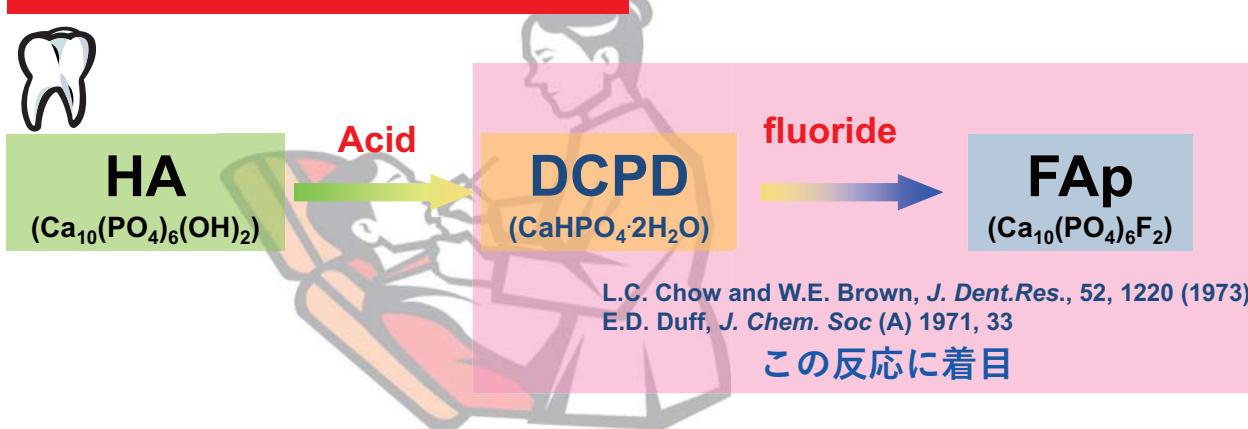
リン酸カルシウムは水溶液中でより安定なリン酸カルシウム塩に転化する性質を利用

日本技術士会・富山県支部講演会（18/07/27富山）

30

参考にしたプロセス：虫歯予防の反応

ヒント：フッ素塗布による虫歯予防



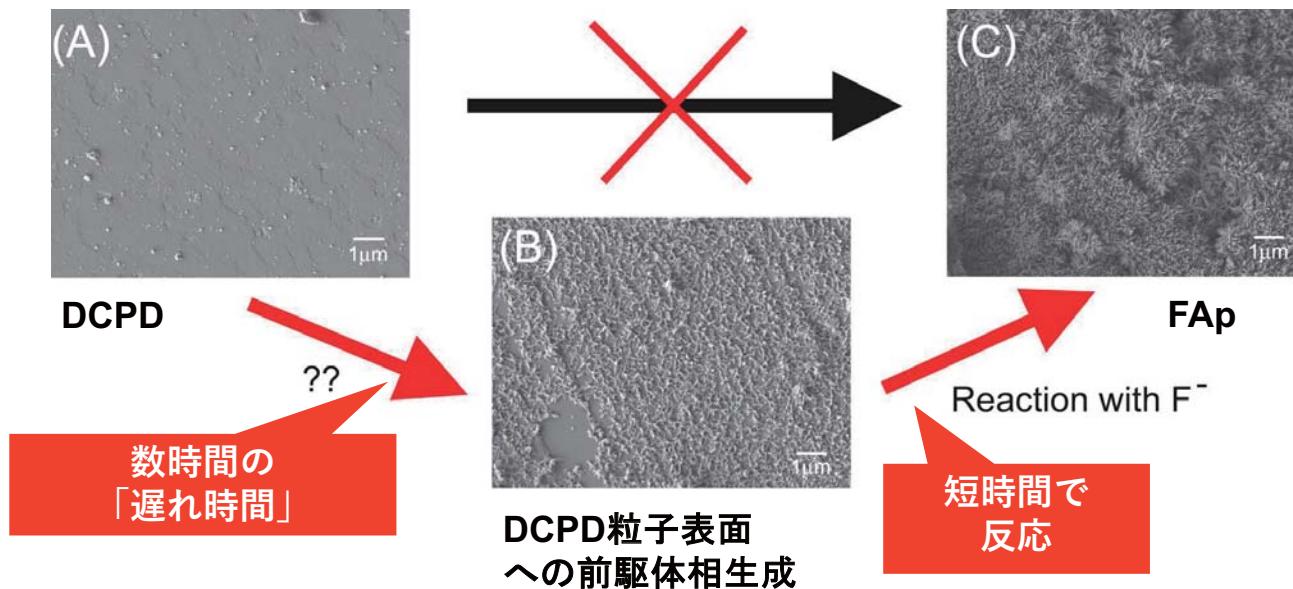
ラボベースでの基礎研究により

- 1) 水溶液中の 数十ppb～数十ppm オーダーのフッ素化合物をDCPDで定量的に不溶化可能
- 2) 反応量論比は化学反応式に従うため、過剰な薬剤添加が不要

31

日本技術士会・富山県支部講演会（18/07/27富山）

コア技術：DCPDの反応機構

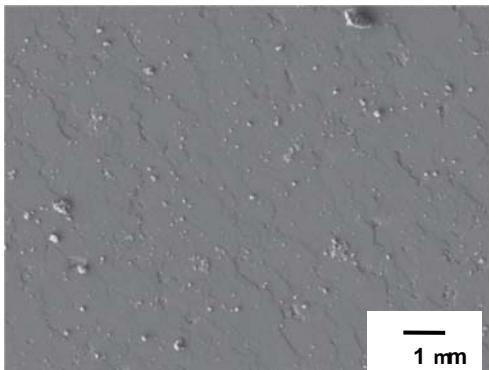


- ナノ表面構造（前駆体を生成したDCPD粒子）の誘起がDCPDの環境分野への応用の鍵となる！

袋布昌幹, 丁子哲治, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, 113, 263-267 (2005)

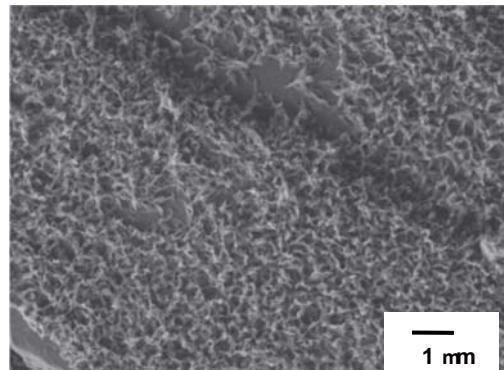
ナノ表面DCPDの試作（プロトタイプ）

(a)



DCPD試薬を純水中で3.75hr懸濁

(b)



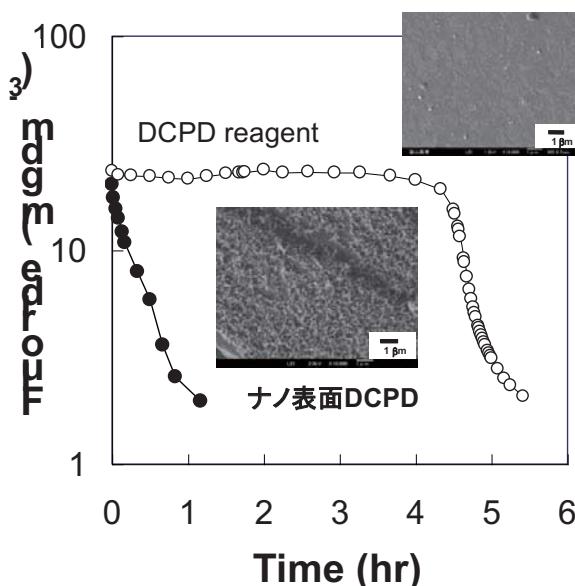
DCPD粒子表面にナノスケールの前駆体相誘起が可能

袋布昌幹, 丁子哲治, 藤田巧, 羽田準一, 特許4434156号

34

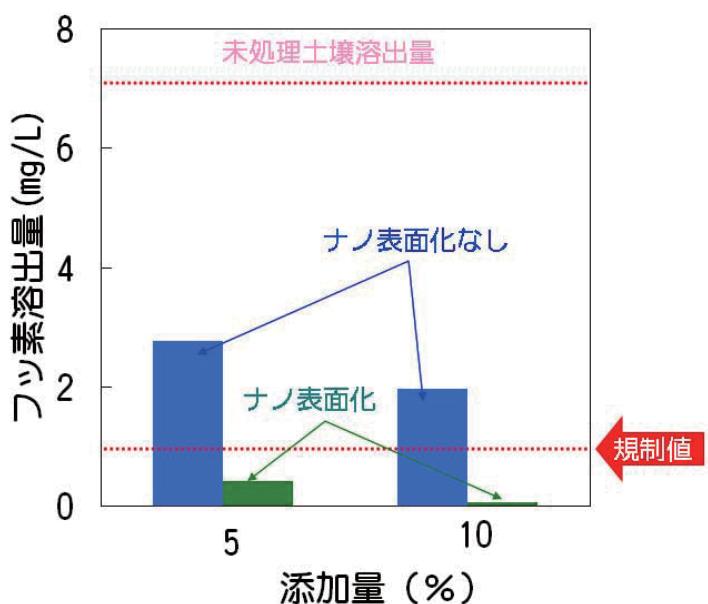
日本技術士会・富山県支部講演会（18/07/27富山）

表面処理したDCPDのフッ素不溶化能力



「遅れ時間」を示さず、速やかにフッ素化合物の不溶化が可能

汚染土壌中のフッ素化合物の不溶化が可能



35

リン酸セッコウ中のフッ素不溶化

セッコウ中のフッ素化合物をDCPDで不溶化可能

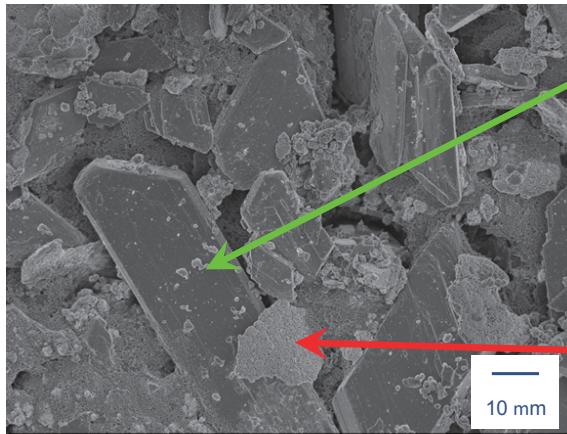
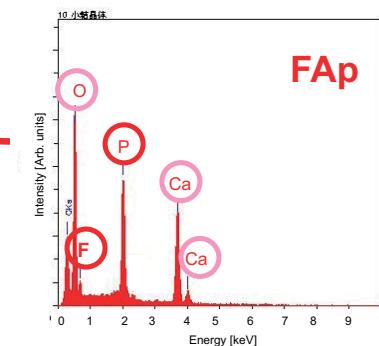
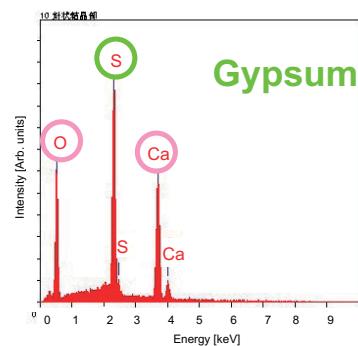


Fig. DCPD混合・フッ素固定後のリン酸セッコウの
FE-SEM像



M. Tafu and T. Chohji, *J. Eur. Ceram. Soc.*, 26, 767-770 (2006)

日本技術士会・富山県支部講演会（18/07/27富山）

37

コンテンツ

- 自己紹介
- 廃石膏ボードリサイクルの必要性
- 廃石膏ボードリサイクルは土壤環境問題
- フッ素不溶化材の開発
- フッ素不溶化固化材への展開
- 石膏ボードリサイクルから見えてきたもの
- さいごに

DCPDを環境分野で実用化するために

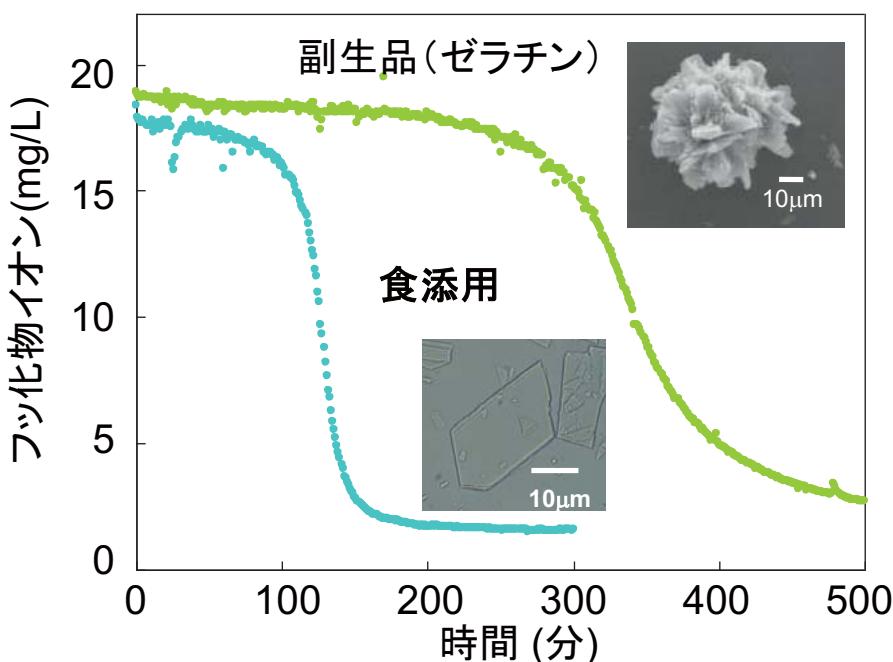
- コスト問題
 - 従来のDCPDは食品・歯科用途のため高価
 - 安価なDCPDを製造、供給する技術・スキームの確立
- 應用技術
 - DCPDは直接フッ素化合物と反応しているのではない
 - DCPDをあらかじめナノ表面化させた不溶化剤の大量生産技術の確立
- パッケージング
 - DCPDだけなら単なる「粉」
 - DCPDを用いたフッ素不溶化セッコウ、汚染土壤不溶化技術など、技術としての商品化・デファクト化

上記の課題をクリアするため、平成19年度から3年間計画で、
三重県のチヨダワーをアンカー企業とした国内外の種々の民間企業等との連携
NEDOマッチングファンドを活用した展開
→受け皿としての環境事業部の立ち上げ(H19)、環境事業本部への格上げ(H22)
→一つの学校、一つの企業ではできないオープンイノベーションを意識 !!

40

日本技術士会・富山県支部講演会（18/07/27富山）

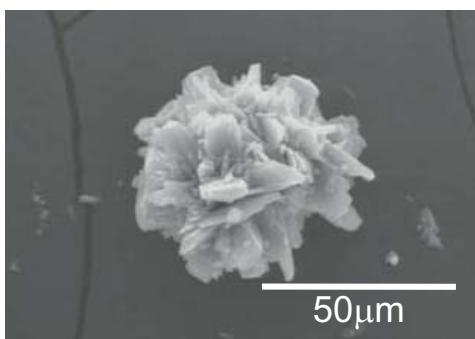
市場で流通している「DCPD」の反応性



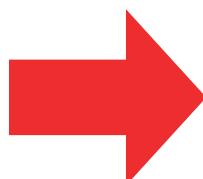
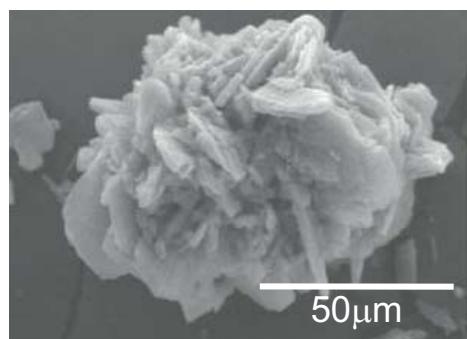
○反応速度
○反応開始までの遅れ時間
に大きな差違
→市販/流通している
大半のDCPDは
フッ化物イオンとの
反応性がない!?

DCPD表面への「ナノ表面構造」の誘起（量産版）

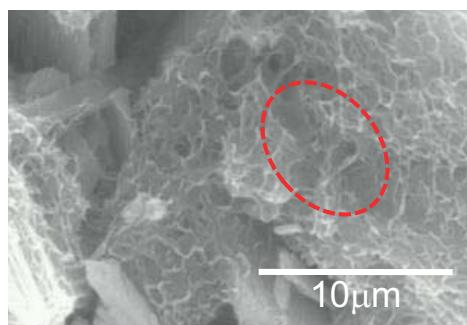
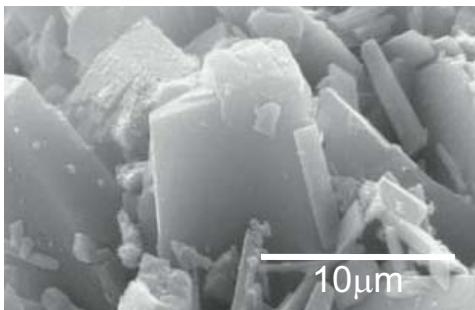
Before



After



温水処理

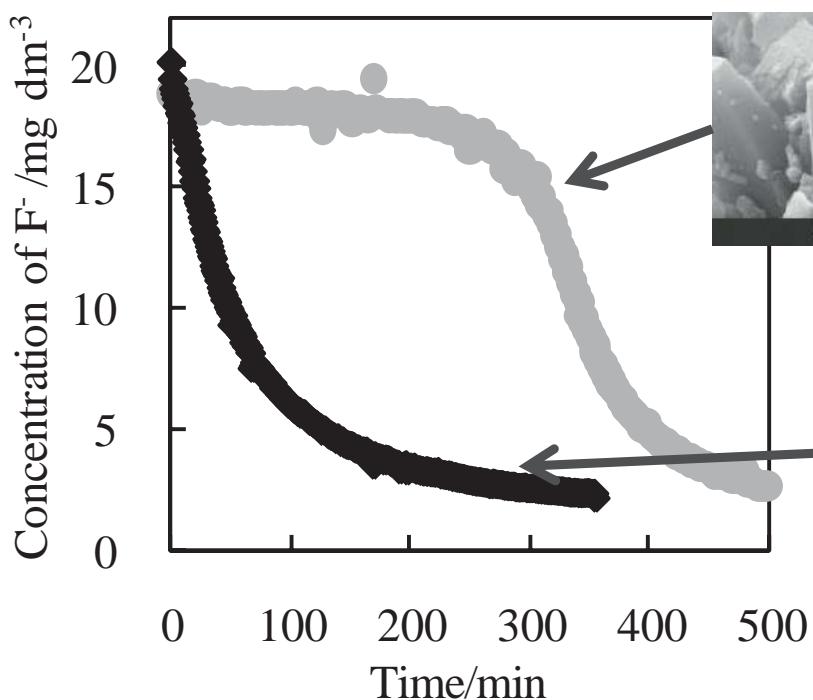


WO2010/041330

45

日本技術士会・富山県支部講演会（18/07/27富山）

ナノエッチングDCPDのフッ素不溶化能力



「遅れ時間」を示さず、速やかに
フッ素化合物の不溶化が可能

フッ素化合物のみならず、
カドミウム、鉛等の重金属も不溶化

M. Tafu, T. Chohji, I. Morioka, et al., *Trans. MRS-J*, 35(2), 377-380 (2010)

日本技術士会・富山県支部講演会（18/07/27富山）

46

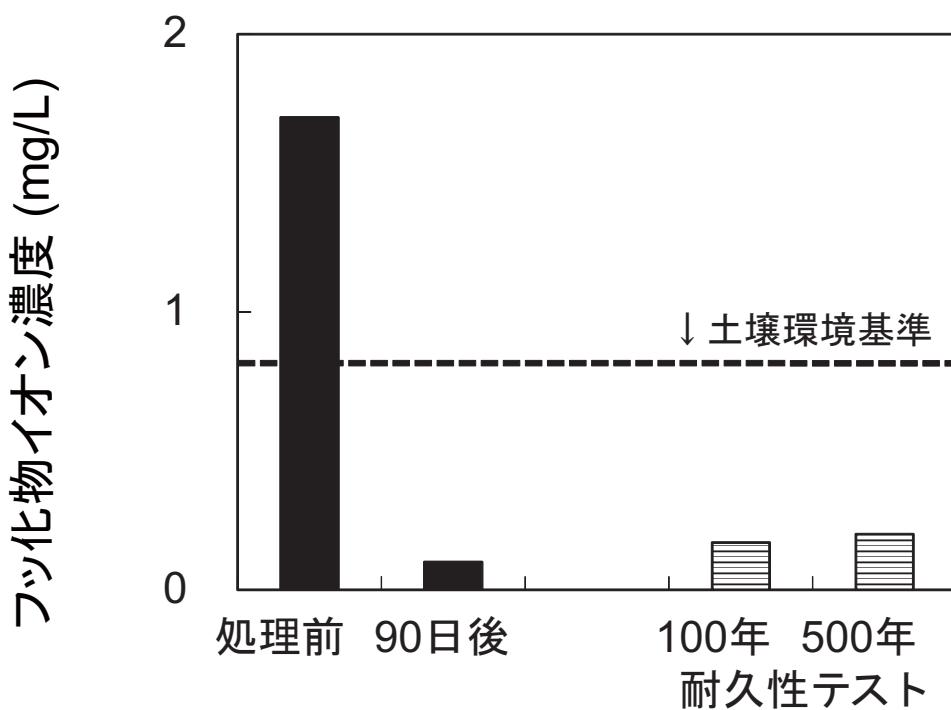
DCPD含有セッコウを用いた建設汚泥リサイクル



47

日本技術士会・富山県支部講演会（18/07/27富山）

DCPD添加セッコウを用いた建設汚泥リサイクル



袋布昌幹, 丁子哲治, 藤田巧, 日和佐雅哉, 中野宏一, 特許4748608号
袋布昌幹, 丁子哲治, 藤田巧, 日和佐雅哉, 特許4752038号,

日本技術士会・富山県支部講演会（18/07/27富山）

48

商品化：Fクレスト（チヨダワー（株））



日本技術士会・富山県支部講演会（18/07/27富山）

49

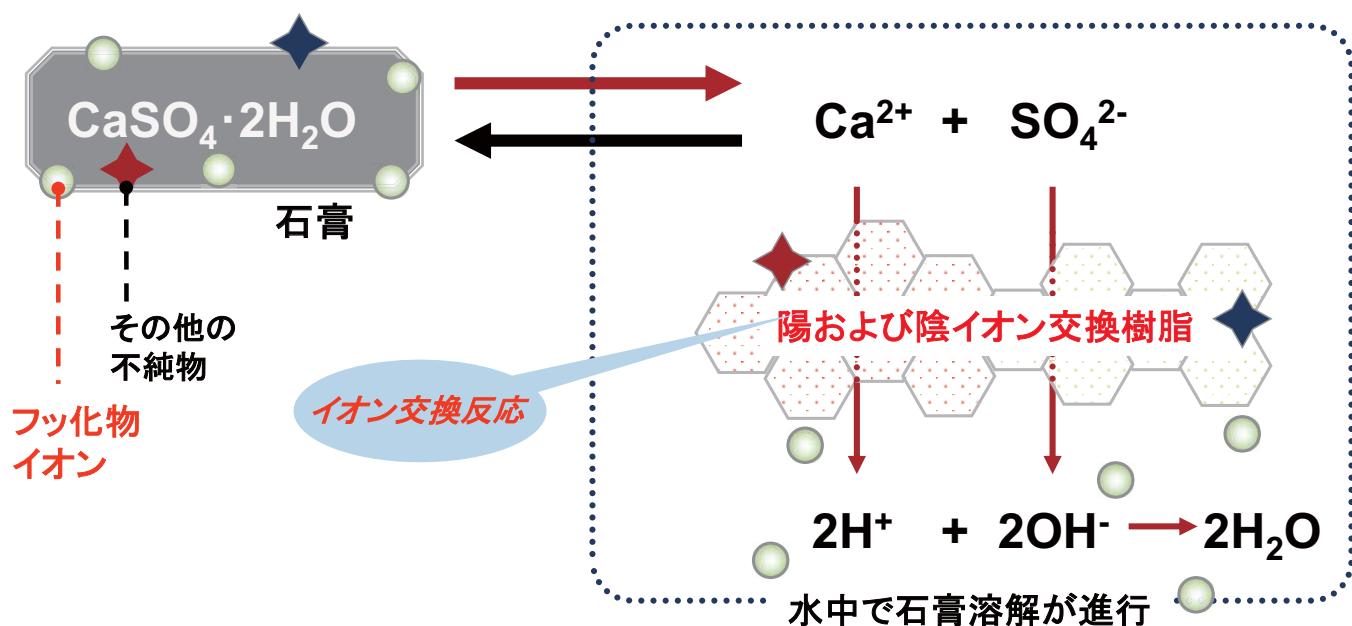
石膏の分析への展開

- セッコウ中のフッ素量、フッ素溶出量の分析には、特殊な技法・外部委託が行われている事実に着目

→ルーチン分析で使える簡易分析法を現場に提供
(これが環境省のプロジェクトのコア課題だった)

環境省で行った「アウトリーチ」において、
全国で廃石膏ボードリサイクルに取り組むプレーヤーとのコネクションが得られた。

石膏中不純物のオンサイト分析



イオン交換樹脂の選定により、フッ化物イオンを溶液中に残存させながら、試薬を含まない水中で石膏を短時間で溶解、溶解に伴うpH変動も抑制することが可能 !!

イオン交換樹脂は再生可能なので、繰り返し溶解に利用可能!!

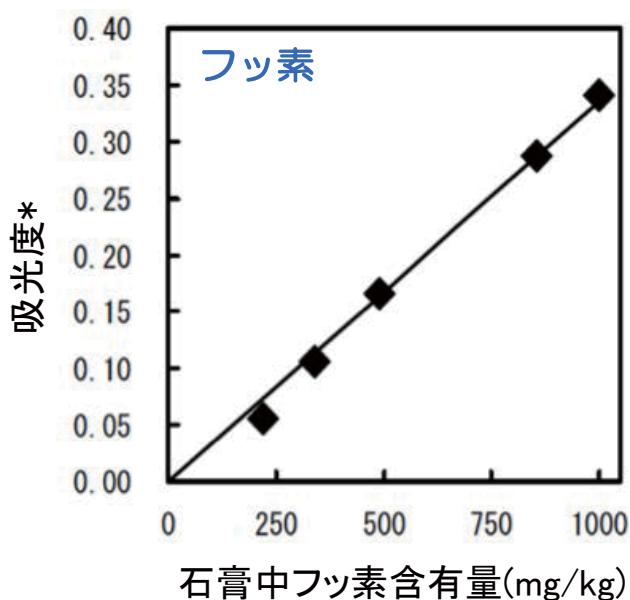
石膏中不純物のオンサイト分析



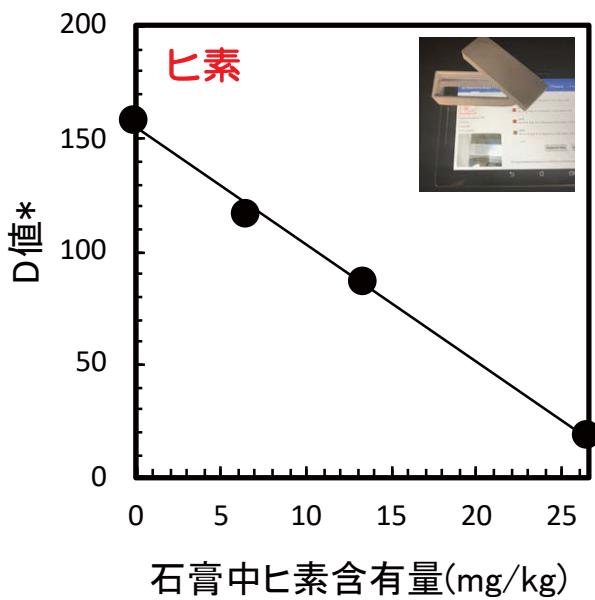
左: イオン交換樹脂を封入したティーバックを添加した水中で溶解
右: 水中で懸濁

イオン交換樹脂を用いることにより、わずか5分間で石膏を均一に溶解させることが可能!!

他の不純物分析への展開



*フッ素用パックテストを使用



**ヒ素検出キットを使用し、発色した試験紙をタブレットにてイメージセンサー出力を測定

日本技術士会・富山県支部講演会（18/07/27富山）

55

コンテンツ

- 自己紹介
- 廃石膏ボーダリサイクルの必要性
- 廃石膏ボーダリサイクルは土壤環境問題
- フッ素不溶化材の開発
- フッ素不溶化固化材への展開
- 石膏ボーダリサイクルから見えてきたもの
- さいごに

地域におけるネットワーク構築のヒント

1. 廃石膏ボードリサイクルにおいては、地域の複数の中小企業による「異業種連携」ネットワークづくりが鍵
2. 異業種を結びつけるキーワードは企業内の「企業倫理（環境貢献を命題とした倫理的活動の構築）」

宮重徹也, 袋布昌幹,
日本経営倫理学会誌, 19巻,
pp.187-196 (2012)



日本技術士会・富山県支部講演会（18/07/27富山）

60

地域産業・大企業

地域の中小企業

濃厚なヒューマンリレーション, 現場の機動力
技術力, 情報量の不足（経験と勘に頼る危険性）

大企業

確かなバックボーン, 情報量
「現場」の機動力の弱さ

大学等

学問的な知見
ビジネス, 現場に疎い環境

これらの特性を連携させることができれば、

大企業との連携で技術を構築し, 中小企業の機動力によって実証, フィードバックを行う

ことにより, 現場と研究室がシームレスに連携することができるのでは?

「廃石膏ボード」に関する課題と解決策

問題点を抽出するプロセス

化学物質の健康影響

事故・トラブルの発生

中国のフッ素問題（地下水）,
埋め立て処分場からの硫化水素発生



トラブル発生のメカニズム解明

セッコウからのフッ素流出など
硫酸還元菌の働き



問題点の指摘、規制強化

これだけでは根本的な解決には
つながらない!?

問題点を解決するプロセス

化学物質としてのセッコウ



マテリアルとしてのセッコウ

粒子形状・不純物

プロダクトとしての「石膏」

固化材・石膏に添加する薬剤

マーケット対象としての「石膏」

**企業の価値創造・社会への還元
単なる利益を産む「金の卵」ではない**

それぞれのフェーズで技術開発
しきみ作りが必要

環境技術は「技術群」である

- 建設汚泥リサイクル, 廃石膏ボーダリサイクルに限らず, 環境技術は, 種々の技術を複合化させ, 「ベストエフォート」で事業を進めることを目指す必要がある。
- 技術そのものがTEAM化している
- 一部の技術が「最先端」であっても, 最も遅れた技術が全体の技術レベルを制限してしまう（桶モデル）

→私たちが対応できない部分についてはどうしても
「偽物」っぽくなってしまう危険性
(パクリ技術の氾濫, 利益に走る企業の反乱)

廃石膏ボードリサイクルの技術課題（例）

例1：廃石膏ボードを建設汚泥固化材に利用する

- 1) 石膏ボードから石膏と紙を分離する装置(機械工学)
- 2) 石膏を焼成し、焼石膏とする技術(品質工学)
- 3) 固化材の原料組成決定(セメント工学・材料工学)
- 4) 施工地の地盤強度(地盤工学)
- 5) 施工地の安全性評価(環境工学)

例2：廃石膏ボードを土壤改良(除塩・植物生育)に利用する

- 1) 石膏ボードから石膏と紙を分離する装置(機械工学)
- 2) 除塩効果の評価(化学工学、土壤工学)
- 3) 施工地の植生への影響(農業工学)
- 4) 施工地の安全性評価(環境工学)



いずれの技術においても、「要素技術の組み合わせ」で実用化が可能。

☆中小企業一社で要素技術の組み合わせは困難

☆異業種連携においても、地域内でそのような技術を見いだすことは容易ではない

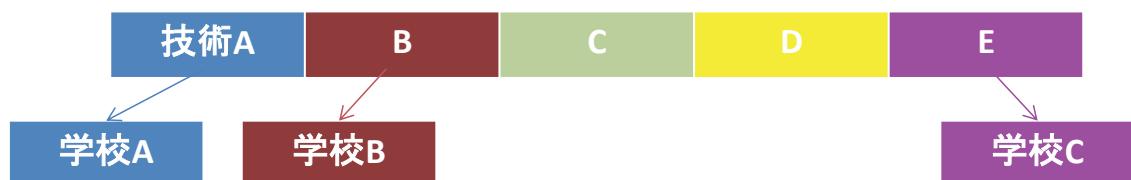
→地域を越えた、「中小企業の異業種連携」が重要!!

68

日本技術士会・富山県支部講演会（18/07/27富山）

技術群に挑む学術群の対応を

- 通常の产学連携



ぶつ切りの技術課題での产学連携では、全体像をつかむことは困難
企業サイドで技術が異業種横断型になると...!?

- 複合化された「技術群」への対応



→この「学学」連携をKOSENの組織力で実現できないか？

70

日本技術士会・富山県支部講演会（18/07/27富山）

薄くてもコアの技術を

- 通常の产学連携



一連の技術の中で「急所」となる技術（コア技術）を保有していることにより、

- 1) 全国のオンリーワンとしての存在
- 2) 競合技術を開発する際にも、避けては通れない「比較検討先」となりうる

→我々の場合、「石膏ボーダリサイクル」の急所の一つであった、「フッ素溶出対策」にソリューションを構築できたことが大きかった。

コンテンツ

- 自己紹介
- 廃石膏ボーダリサイクルの必要性
- 廃石膏ボーダリサイクルは土壤環境問題
- フッ素不溶化材の開発
- フッ素不溶化固化材への展開
- 石膏ボーダリサイクルから見えてきたもの
- さいごに

まとめ

廃石膏ボードリサイクルの障壁となっている「フッ素問題」の対策技術として、

- 1) 我々が進めてきた「リン酸カルシウム塩を用いたフッ素不溶化材の応用」のご紹介
- 2) 廃石膏ボードリサイクルの成功事例から考える異業種連携の成功シナリオの検討事例のご紹介
- 3) 技術群であるリサイクル技術を具現化するしくみについての検討
- 4) コア技術を持つキャスト間の異業種連携が（リサイクルにおける）産学連携の成功シナリオなのか？

日本技術士会・富山県支部講演会（18/07/27富山）

75



ありがとうございました。

富山高等専門学校
袋布 昌幹