

再生石膏粉の有効利用ガイドライン (第一版)

令和元年5月

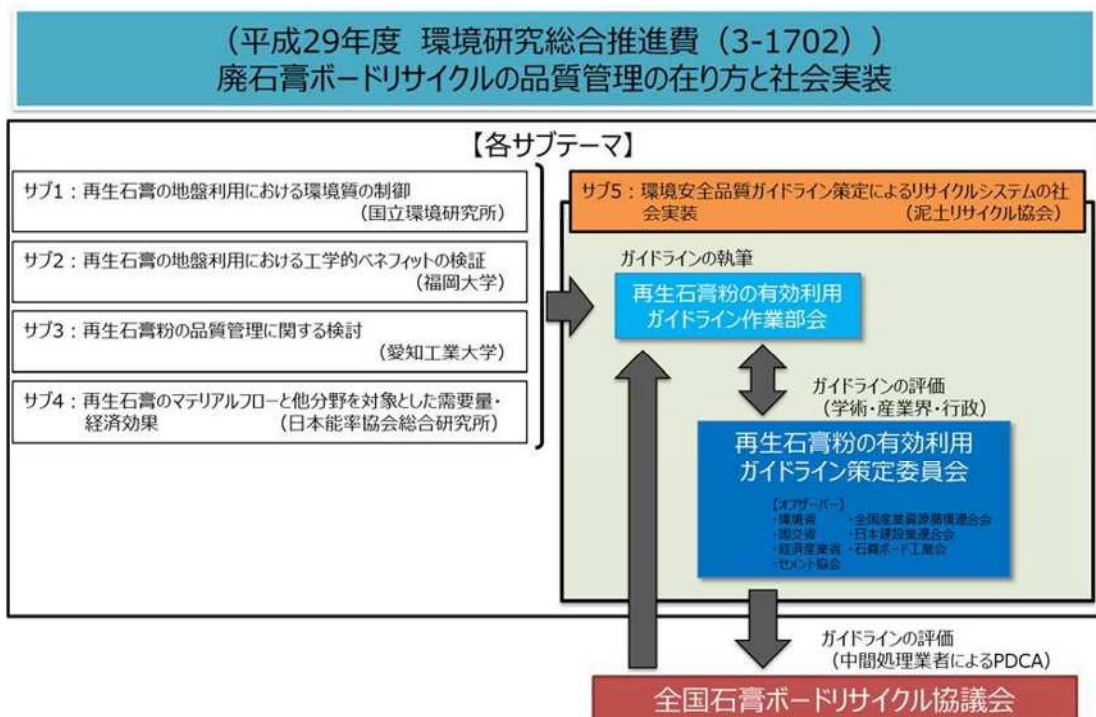
国立研究開発法人国立環境研究所
資源循環・廃棄物研究センター



本ガイドラインは、平成 29～30 年度の 2 カ年にわたって実施された環境研究総合推進費「廃石膏ボードリサイクルの品質管理の在り方と社会実装 (3-1702)」にてとりまとめたものである。

(一社) 泥土リサイクル協会が事務局となり、作業部会でガイドライン原案の執筆を行い、策定委員会にて学術、行政、産業界からガイドラインの評価を、全国石膏ボードリサイクル協議会にて中間処理業者からの評価を頂いて作成した。

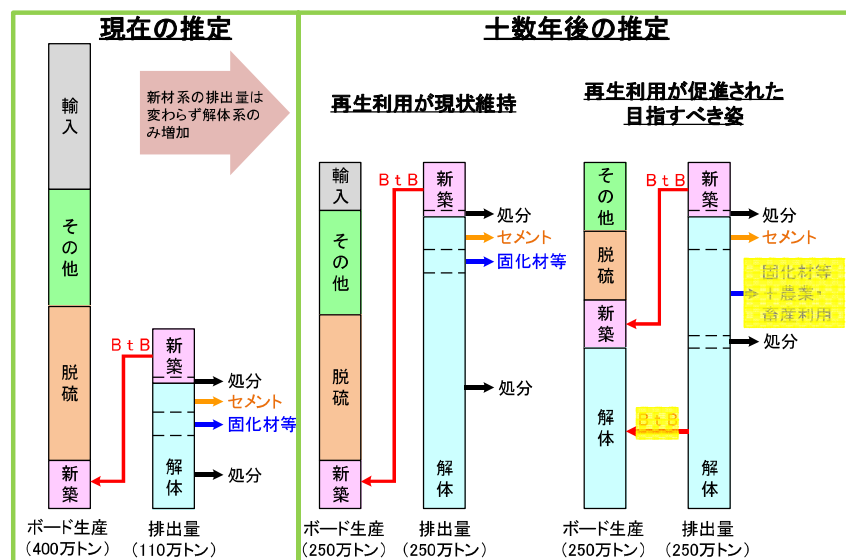
本ガイドラインで想定する廃石膏ボードは、国土交通省が作成した「廃石膏ボード現場分別解体マニュアル (平成 24 年 3 月)」に準じて適正な排出が行われた廃石膏ボードを対象としており、分別解体マニュアルと対になって適正リサイクルを推進しようとするものである。



はじめに

廃石膏ボード由来の再生石膏粉は、各処理業者が市場を開発し、それぞれの自治体に合わせた再生製品としてリサイクルされていますが、地盤改良材や石膏ボードメーカーへの有効利用は思うように進んでいないのが現状です。この一つの原因として、再生石膏粉に対する一定の評価方法が存在しないことが挙げられます。本ガイドラインは、再生石膏粉ならびに、再生石膏粉を用いた固化材や改質剤に対して、ある一定の評価方法を提示するものであり、処理業者が本ガイドラインに従った品質管理をすることで、自治体や施工業者等への説明を容易にすることを目的にしています。

現在、ボード生産量に対して廃石膏ボードの排出量は少ないですが、十数年後には石膏ボード生産量と廃石膏ボード排出量が同等になる時期が訪れると予測されています。現状のリサイクルだけでは、廃石膏ボードの多くを最終処分せざるを得ない状況となりますので、解体系の廃石膏ボード由来の再生石膏粉をボード to ボード (BtB) としてリサイクルすることが必要になります。ただし、石膏ボード原料は脱硫石膏等の副産石膏が利用されているため、それらは原料として利用し続ける必要があります。そのため、解体系の再生石膏粉の全てを BtB としてリサイクルすることはできません。BtB リサイクルを行いつつ、固化材や改質剤利用、農業や畜産利用を促進させなければ、最終処分量を減らすことはできないと考えられます。これらリサイクルを推進するためには、再生石膏粉の品質管理は必須であり、品質管理を行うことで再生石膏粉に対する信頼を醸成していくことが求められます。それは数年間では成し遂げられず、10年近くを要すると想像されるため、今、ガイドラインを策定し、ガイドラインによる品質管理が徐々に浸透していき、十数年後の多量排出時代に備えておくことが重要と考えています。本ガイドラインが、将来の廃石膏ボードの適正リサイクルの一助になれば幸いです。



環境総合推進費 (3-1702) 研究代表
国立研究開発法人国立環境研究所 遠藤和人

再生石膏粉の有効利用ガイドライン策定委員会

委員名簿

委員長	佐藤 研一	福岡大学 工学部
委員	肴倉 宏史	(国研) 国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター
委員	小橋 秀俊	元(国研) 土木研究所 地質・地盤研究グループ
委員	菊池 喜昭	東京理科大学 理工学部
委員	森 啓年	山口大学 工学部
委員	山田 幹雄	福井工業高等専門学校 環境都市工学科
委員	阪本 廣行	(株)フジタ 建設本部
委員	樋口 雄一	大成建設(株) 環境本部
委員	浅田 素之	清水建設(株) 技術研究所
委員	鈴木 弘明	日本工営(株) コンサルタント国内事業本部
委員	門間 聖子	応用地質(株) 技術本部
委員	太田 敏則	全国石膏ボードリサイクル協議会
委員	小野 雄策	建設廃棄物協同組合

オブザーバー

上野 洋一	環境省 環境再生・資源循環局廃棄物規制課
古賀 文雄	国土交通省 土地・建設産業局建設業課
佐々木 昇平	国土交通省 土地・建設産業局建設業課 (平成30年3月まで)
松田 剛	経済産業省 製造産業局生活製品課
遠藤 和人	(国研) 国立環境研究所 福島支部
香川 智紀	(公社) 全国産業資源循環連合会
伊藤 弘大	(一社) 日本建設業連合会
北坂 昌二	(一社) 石膏ボード工業会
守屋 政彦	(一社) セメント協会

事務局

西川 美穂	(一社) 泥土リサイクル協会
鴫田 稔	(一社) 泥土リサイクル協会
小島 淳一	(株)アイコ

再生石膏粉の有効利用ガイドライン作業部会

部員名簿

部会長	佐藤 研一	福岡大学 工学部
部員	遠藤 和人	(国研) 国立環境研究所 福島支部
部員	肴倉 宏史	(国研) 国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター
部員	小橋 秀俊	元(国研) 土木研究所 地質・地盤研究グループ
部員	中村 吉男	愛知工業大学 工学部
部員	森 啓年	山口大学 工学部
部員	藤川 拓朗	福岡大学 工学部
部員	小竹 望	香川高等専門学校 建設環境工学科
部員	小澤 一喜	鹿島建設(株) 土木管理本部
部員	三浦 俊彦	(株)大林組 技術本部
部員	龍原 毅	パシフィックコンサルタンツ(株) 地盤技術部
部員	鈴木 弘明	日本工営(株) コンサルタント国内事業本部
部員	松橋 宏明	(株)日本能率協会総合研究所 社会環境事業本部
部員	井 真宏	(株)Fe 石灰技術研究所
部員	成田 尚宣	(株)ダイセキ環境ソリューション 環境事業本部

オブザーバー

三浦 真一	(国研) 国立環境研究所 (吉野石膏)
小島 淳一	(株)アイコ

事務局

西川 美穂	(一社) 泥土リサイクル協会
鴫田 稔	(一社) 泥土リサイクル協会

目 次

第1章 総説	1
1.1 目的	1
1.2 適用範囲	4
1.3 マテリアルフロー	5
1.4 再生石膏粉の利用イメージ	8
1.5 再生石膏粉を原料とした固化材・改質剤の利用イメージ	9
第2章 再生石膏粉や再生石膏粉を用いた固化材等の基本的事項	15
2.1 再生石膏粉の基本特性	15
2.2 再生石膏粉の製造方法	17
2.3 再生石膏粉を用いた固化材・改質剤の製造方法	19
2.4 保管時の留意点	20
第3章 再生石膏粉の品質管理	21
3.1 適用範囲	21
3.2 品質管理項目	22
3.3 検査方法	24
3.4 検査の運用方法	29
3.5 利用用途に応じた品質検査	33
第4章 再生石膏粉を用いた固化材・改質剤の地盤改良等への利用	35
4.1 利用用途	35
4.2 固化材・改質剤の品質管理	37
4.3 設計から室内配合試験, 施工までの流れ	38
4.4 力学性能に関する要求品質と検査方法	40
4.5 環境安全性に関する要求品質と検査方法	42
4.6 施工管理における留意点	47
第5章 その他分野等への適用と展望	49
5.1 土木利用	49
5.2 農業利用	50
5.3 畜産利用	52

5.4 濁水対策	54
5.5 除塩	55
第6章 参考資料	57
6.1 関連する法令と指針等	57
6.2 マテリアルフローの算定方法.....	60
6.3 硫化水素ガス発生ポテンシャル試験の方法.....	66

【用語の定義および解説】

本ガイドラインで取り扱う用語のうち主なものについて、以下に解説する。

[石膏関係]

石膏	石膏（せっこう，gypsum）とは硫酸カルシウム（ CaSO_4 ）を主成分とする鉱物である。石膏には、その結晶水の存在形態により「二水石膏（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）」、「半水石膏（ $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ）」、「無水石膏（ CaSO_4 ）」がある。
二水石膏	硫酸カルシウム・2水和物（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）をいい、軟石膏ともいう。二水石膏は自然界では非常に安定で、化学的には水とほとんど反応しない。二水石膏は150～185℃で加熱することにより、半水石膏（硫酸カルシウム・1/2水和物）に変化する。
半水石膏	硫酸カルシウム・1/2水和物（ $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ）をいい、焼石膏ともいう。半水石膏には α 型と β 型が存在するが、 α 型は緻密な構造で粒子密度が高く、硬化強度が β 型よりも大きいことなどから医療用等に用いられている。一方、 β 型はポーラス状の空隙があることから粒子密度が α 型よりも小さく、石膏ボード等の建築資材として利用されている。これら半水石膏を180℃以上で加熱処理することにより、結晶水が消失した無水石膏（硫酸カルシウム）が生成される。
無水石膏	無水石膏にはIII型、II型、I型が存在し、III型の無水石膏は更に α 型と β 型に分類することができる。III型の無水石膏は、180～215℃の範囲で加熱することにより生成し、空気中の湿気を吸って半水石膏に戻る。II型の無水石膏は、330℃以上で加熱することによって得られ、加水しても半水に戻らないことから、別名不活性無水石膏と呼ばれている。I型の高温無水石膏は、1,180℃以上の加熱により生成される。
副産石膏	石膏には天然石膏と人工的に製造又は副産される化学石膏とがあるが、化学石膏のうち、化学工業等の製造過程で副次的に発生するものを副産石膏といい排煙脱硫石膏、リン酸石膏、チタン石膏、ふっ酸石膏、製錬石膏等がある。
再生石膏粉	廃石膏ボードから中間処理を経て製造された石膏粉。由来として、解体系と新築系がある。脱硫石膏やリン酸石膏等の副産石膏、ならびに新材の石膏粉（例えば、試薬石膏など）は含まない。

[石膏ボード関係]

石膏ボード	石膏ボードは、石膏を芯材としてその両面をボード用原紙で被覆し、板状に成型した内装材で、建築材料として防火、耐火、遮音その他優れた特性を有している。
廃石膏ボード	廃石膏ボードとは、石膏ボードが廃材となったものをいい、排出プロセスと

	排出時の形状などから「製造時廃材（製造系廃石膏ボード）」、「新築時廃材（新築系廃石膏ボード）」、「解体時廃材（解体系廃石膏ボード）」の3つに区分することができる。このうち、製造系廃石膏ボードは、工場内でリサイクルされることから、市場には出回らない。
新築系 廃石膏ボード	新築工事現場等から排出される、石膏ボードの廃材をいう。
解体系 廃石膏ボード	解体工事現場等から排出される石膏ボードの廃材をいう。解体は「廃石膏ボード現場分別解体マニュアル（平成24年3月、国土交通省）」に従って実施されるものとする。

[施工後の現象関係]

再泥化	固化材により改良された土に水が浸透したり、浸漬状態になると強度低下を起し、軟化或いは泥状を呈することがあるが、このような現象を再泥化と呼んでいる。また、水の供給がなくても、ダンプトラック等に積み込む際には塑性状態であった処理土が、運搬中の振動により軟化・流動化して泥濁化する現象も再泥化を含む。
硫化水素ガスの発生	廃石膏ボードからの硫化水素ガスの発生は、石膏ボードから溶出してくる有機物と硫酸イオンが原因である。ただし、多量の硫化水素ガスの発生は、①pHが中性域であること、②無酸素状態であること、③温度が30℃前後の範囲であること、④水分が多いこと、⑤有機物があること、⑥硫黄分があることの6条件の“全て”が揃ったときである。従って、セメントや生石灰を用いた地盤改良ではpHがアルカリ性となって発生条件が満足しないことや、地表面の浅層改良の場合には無酸素とならないために発生条件が満足しないなど、一般的な利用方法の環境下では硫化水素ガスが発生しないことの方が多し。最終処分場や水没した地下ピットなどの特殊な条件では、多量の硫化水素ガスが発生する事例がある。また、数十ppmの硫化水素ガスであれば、一般的な土壌の培養試験を実施しても発生する。
遅延膨張	半水石膏は凝結の初期に僅かに収縮するが、その後膨張する。石膏粉を使用した過去の事例において、柱状改良体での遅延膨張の報告はあるが、地盤改良においてはほとんど無い。遅延膨張の原因としては、エトリンガイトの遅延生成や過剰生成が一要因と考えられている。
エトリンガイト	セメント水和物の一つ。化学式 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ で表される化合物の鉱物名。セメントが水和する時、セメント中のアルミネート相と石膏との反応で水和初期に針状結晶として析出する。初期強度の発現はエトリンガイトに依存している。また、エトリンガイトは析出により、セメント硬化体を膨張させる性質がある。
ハンドリング	取り扱いやすさ、処理・対応の容易さをいう。

(2) pH 検査

以下の pH 検査を実施する。

(2)-1 試料調製

室内配合試験に供した試料を使用する。室内配合試験で養生が行われる場合、養生の日数は目安として7日以上28日以内とする。

(2)-2 試験方法

「土懸濁液の pH 試験方法」(JGS 0211-2009)に従う。ただし、重金属等の溶出試験によって得られた検液を用いて pH を測定しても良い。

(2)-3 判定値

中性固化材の場合、pH は 5.8 以上 8.6 以下でなければならない。

また、あらゆる固化材または改質剤において、pH が 9.5 未満の場合は、硫化水素ガス発生ポテンシャル試験を実施しなければならない。

(3) 硫化水素ガス発生ポテンシャル試験

再生石膏粉は、嫌気性環境、中性域の pH などの環境条件が揃うと硫化水素ガスが発生する。ただし、一般に、再生無水石膏のように熱処理を加えたものは試薬石膏と同様の性質であり、地盤改良や改質に用いても、硫化水素ガスが発生するリスクはほとんど無い。また、再生半水石膏も、硫化水素ガス発生リスクは軽減されている⁴⁾。

改良土や改質土の懸濁液 pH が 9.5 以上になるような場合についても硫化水素ガスの発生リスクは無視し得るので、本試験を実施する必要は無い。また、改質土を植生基盤として用いる際、使用条件の pH が 9.5 未満であっても、約 50 cm 以浅（根圏を想定）の使用であれば酸素が供給され、嫌気状態にならないことから本試験の対象とはならない。以上より、硫化水素ガス発生ポテンシャル試験実施の判断基準を表-4.4 に総括する。

表-4.4 硫化水素ガス発生ポテンシャル試験実施の判断

		試験実施の判断
懸濁液pHが9.5以上		不要
懸濁液pHが9.5未満	改質土を植生基盤として 50 cm以浅に用いる場合	不要
	上記以外の場合	必要

硫化水素ガス発生ポテンシャル試験は、嫌気性培養試験であることから、嫌気性培養バイアル瓶等を用いて実施し、対象試料（母材、改質土（もしくは改良土）、および再生二水石膏粉の3種類を試験対象とする。母材は、母材自体からの硫化水素ガス発生量を、再生二水石膏粉は、必ず硫化水素ガスが数千 ppmv 以上発生するため、各試験系が嫌気状態になっているかを確認するために実施する。）に対して液固比が2となるように脱気水（窒素ガスパ

ージが望ましい)を添加し、その後、バイアル瓶の中の酸素を除去することが必要である。嫌気性条件を保ったまま 35～45℃の恒温槽にて 1 週間養生し、バイアル瓶内の硫化水素ガス濃度を測定することによって判定する。

試験方法の詳細は、国立環境研究所や、埼玉県、福岡大学などの方法がある⁵⁻⁷⁾。いずれの手法を用いても良いが、確実に嫌気的な条件となっていることを確認するため、例えば、再生二水石膏粉のみの硫化水素ガス発生ポテンシャル検査を実施し、硫化水素ガスが発生することを確認する。この確認作業によって、硫化水素ガス発生試験方法が確実に実施されていることを証明することが必要である。なぜなら、嫌気的な条件が再現されない試験系で実施すると、硫化水素ガスが発生しない、という判定となり、リスクを正しく評価できないためである。

ここでは、国立環境研究所の 100 mL バイアル瓶を用いた手法を紹介する。試験方法の詳細は第 6.3 節に記した。

100 mL 容量のねじ口バイアル瓶（ブチルゴム栓付き）に試料を乾燥質量で 20 g 入れ、液固比が 2 になるように窒素曝気蒸留水を 40 mL 入れる。試料中に含まれる気泡を除去するため、軽く数回、2～3 cm の高さから落下させて衝撃を与える。次に、ブチルゴム栓をバイアル口に軽く置き、ブチルゴム栓とバイアル口の隙間にステンレス製の細管をバイアル内に差し込んで純窒素ガスを約 2 分間吹き込むことにより、バイアル瓶中の大気（特に酸素）を窒素に置換し、嫌気性の条件で培養できるようにする。培養実験は 1 ケースにつき 3 本のバイアル瓶を 1 セットとして用意し、40℃の恒温槽に静置養生する。培養試験に関する実験手順を図-4.2 に示す。養生期間 1 週間後にバイアル内のヘッドスペースガスをシリンジで抜き取り、ガスクロマトグラフ（検出器：FPD）にて硫化水素ガス濃度を測定する⁵⁾。

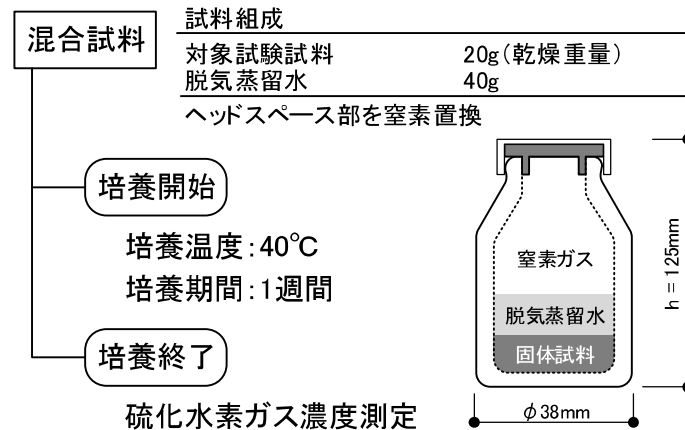


図-4.2 バイアル瓶を用いた硫化水素ガス発生ポテンシャル試験⁴⁾

なお、本手法によって検査を行うと、土壌のみでも 10 ppmv 程度の硫化水素ガスが発生する。そのため、バックグラウンドとして 10 ppmv までは許容でき、本試験結果の硫化水素ガスが 0 ppmv である必要はない。なお、本検査で評価した結果、20 ppmv 以下であれば基本的には一般土壌と同等と考えられる。表-4.5 に示したこの数値は温泉利用基準⁸⁾における、

湯面から 10 cm の位置の許容濃度であり、この濃度が土壤中で発生したとしても、硫化水素ガスは周辺土壤に吸着および吸収され、大気濃度としては無臭のレベルまで低下すると考えて差し支え無い。なお、硫化水素ガスは嫌気性環境下で発生するガスであることから、酸素濃度が数%以上存在する環境下では発生しない。

表-4.5 温泉利用施設の硫化水素ガスの基準⁷⁾

利用施設の構造	換気構造(換気口または換気装置)の開 口部を2カ所以上設ける。そのうち1 カ所は浴室床面と同じ水準に設ける
浴槽湯面から上位 10cm の位置の濃度	20 ppmv
浴室床面から上位 70cm の位置の濃度	10 ppmv