

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

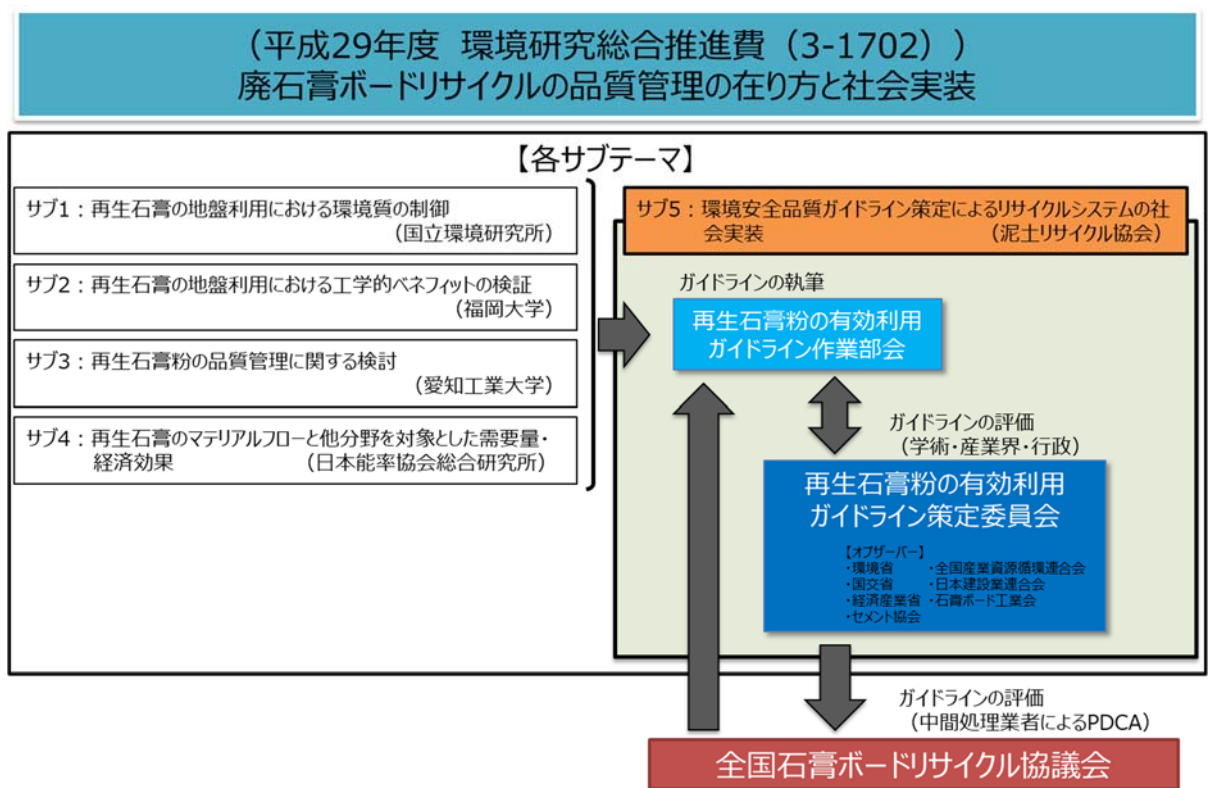
国立研究開発法人国立環境研究所
資源循環・廃棄物研究センター



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。

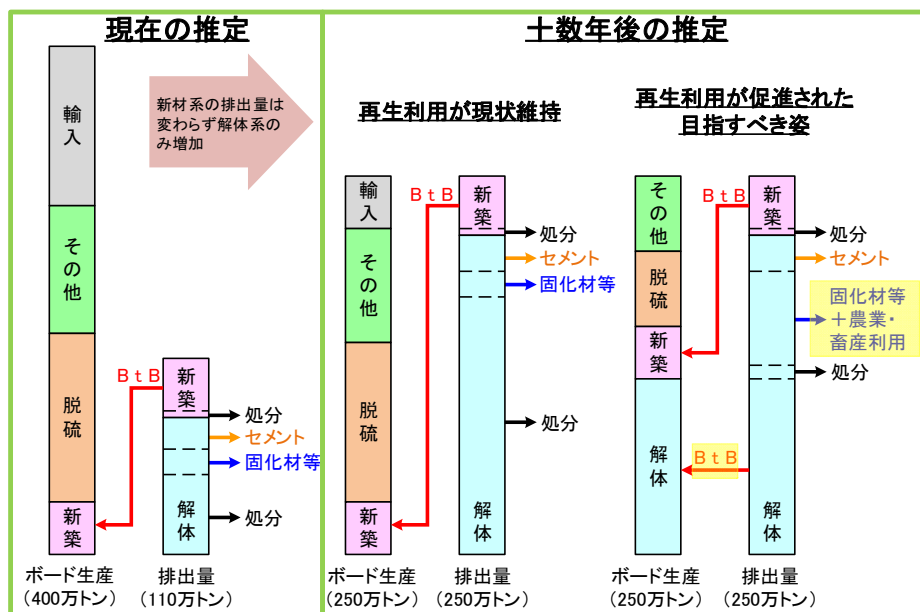
本ガイドラインで想定する廃石膏ボードは、国土交通省が作成した「廃石膏ボード現場分別解体マニュアル (平成 24 年 3 月)」に準じて適正な排出が行われた廃石膏ボードを対象としており、分別解体マニュアルと対になって適正リサイクルを推進しようとするものである。



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としています。

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。



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	パン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・流動化して泥濘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い。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、エトリンタイトの遅延生成や過剰生成が一要因と考えられている。
エトリンタイト	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タイトに依存している。また、エトリンタイトは析出により、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。

[硫酸塩阻害関係]

<p>コンクリート構造物への硫酸塩阻害</p>	<p>ソーマサイト形成によるセメント・コンクリートの劣化（TSA—Thaumasite form of Sulfate Attack）をいう．環境中からの SO_4^{2-} による構造物の脆弱化現象で，15°C 以下の時に発生するといわれている．</p>
<p>ソーマサイト</p>	<p>低温環境および水の存在下において主に土壌中から硫酸イオン，炭酸塩骨材から炭酸イオンが供給されると，これらの物質とケイ酸カルシウム水和物が反応して生成する物質で，セメント組織を軟化させコンクリート表面のひび割れや崩壊を導く．ソーマサイトは $\text{CaSiO}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$ の組成式で表され，低温環境下においては安定な鉱物である．注目すべき特徴は，硫酸塩劣化環境下における代表的な劣化生成物であるエトリンガイト（$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$）と非常に類似した針状の結晶形態と構造を持つことで，鉱物学的には，ソーマサイトはエトリンガイトのグループに属する．</p>

[再生石膏粉の水分関係]

<p>(石膏の) 付着水</p>	<p>石膏粉の表面に付着している水で，試料を加熱したり温風にさらすと乾燥して蒸発する水をいい，慣例的には「自由水」といわれているが，JIS R 9101 では「水分」と定義されている．</p>
<p>(石膏の) 水分</p>	<p>試料を $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$ で恒量となるまで乾燥したときの質量の減量をはかって水分の付着率を求める．水分の付着率は次式で表される．</p> $W_f = \frac{m}{s} \times 100$ <p>W_f : 水分の付着率 [%] m : 減量 [g] s : はかり取った試料の質量 [g]</p>
<p>(石膏の) 結晶水</p>	<p>結晶中に一定の割合で含まれている水．化学結合により結晶中で特定の位置を占め，結晶構造を安定に保つ．結合の仕方によって，構造水・配位水・陰イオン水・格子水に分類される．加熱により段階的にその一部が失われ，結晶構造が変化することが多い．石膏の場合，JIS R 9101 では「化合水」と定義されている．</p>
<p>(石膏の) 化合水</p>	<p>試料を $240 \sim 260^\circ\text{C}$ で恒量となるまで加熱したときの減量をはかって化合水の含有率を求める．化合水の含有率は次式で表される．</p> $W_c = \frac{m}{s} \times 100$ <p>W_c : 化合水の含有率 [%] m : 減量 [g] s : はかり取った試料の質量 [g]</p>

[固化材・改質剤関係]

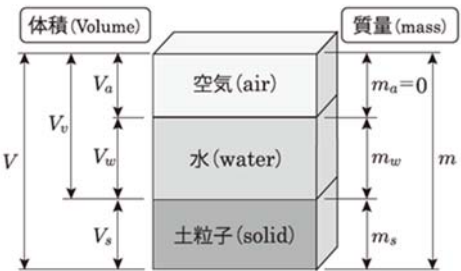
改良材	土と混合し土の性質を改良するものを総称していう。改良材には土を化学的に固化する固化材、吸水あるいは凝集作用等により土質を改良する焼却灰系や高分子系土質改良材等がある。
固化材	改良材のうち、土を化学的に固化するものをいう。本ガイドラインでは、再生石膏粉を用いた固化材を対象としている。
中性固化材	固化後の土の pH が中性域 ($5.8 \leq \text{pH} \leq 8.6$)、或いは早期に中性域に推移するように製造された固化材をいう。ただし、母材となる原土の pH が著しく中性域を逸脱している場合には、この限りでない。
中性域	中性とは、溶液の酸塩基性に関する性質で、酸性 ($\text{pH} < 7$) でもアルカリ性 ($\text{pH} > 7$) でもない状態をいい、pH は 7 である。本ガイドラインでは、 $5.8 \leq \text{pH} \leq 8.6$ を中性域と定義する。
改質剤	泥土などに混ぜることで、流動性の低い土砂に改質してハンドリング性を向上させる材料の総称。本ガイドラインでは、再生石膏粉を用いた改質剤を対象としている。
改良助剤	固化材または改質剤の機能を高めるために、再生石膏粉をセメントや石灰等の助剤として配合した材料をいう。適用に当たって、セメント・石灰等の一部を半水石膏に置き換えるものである。石膏中の硫黄分がエトリンガイトの生成に有効であり、特に高有機質土を改良する場合には、セメント・石灰単独の固化材よりも大きな効果が期待できる。

[環境安全性関係]

環境安全品質	施工先の環境安全性に配慮するためのリサイクル材料の品質。循環資材によって影響を受ける周辺環境が、当該の環境基準やその達成のために適用される環境対策基準等を達成するために循環資材に必要な品質で、重金属等の溶出量や含有量等の具体的数値で示される。
ふっ素の含有・溶出	ふっ素化合物の溶出について、廃石膏ボード中の微量元素組成は、おもに石膏ボードの製造時期によって類型化が可能であり、ふっ素含有量はリンやナトリウムなどとともに経年的に減少する傾向にあるとされている。また、廃石膏ボード溶出液中のふっ素溶出濃度も経年的に減少しており、廃石膏ボード中のふっ素に起因する環境へのインパクトは長期的には低下する傾向にあると報告されている。

[その他の用語]

ボード to ボード (B t B)	廃石膏ボードを中間処理して、石膏ボードの原材料としてリサイクルすること。
ポゾラン反応	シリカ (SiO_2) とアルミナ (Al_2O_3) を主な組成とするポゾラン（それ自体は水硬性をほとんどもたないが、水の存在のもとで水酸化カルシウムと常

	<p>温で反応して不溶性の化合物を作って硬化する鉱物質の微粉末の材料) が、水酸化カルシウム (Ca(OH)₂) と常温でゆっくり反応し、結合能力をもつ化合物を生成する現象.</p>
発生土	<p>建設工事に伴い、副次的に発生する土砂や (掘削工事から生じる) 泥状の掘削物.</p>
建設汚泥	<p>掘削工事から生じる泥状の掘削物 (運搬中に流動性を呈するもの等、容易に泥状に復するものを含む) のうち、廃棄物処理法に規定される産業廃棄物として取り扱われるもの.</p>
建設発生土	<p>発生土のうち、建設汚泥を除くもの.</p>
含水比	<p>土の場合、(110±5) °Cの炉乾燥によって失われる土中水の質量 m_w と、土の乾燥質量 m_s との比を百分率で表したもので、次式で表される.</p> $w = \frac{m_w}{m_s} \times 100$ <p> w : 含水比 [(mass) %] m_s : 土粒子質量 [g] m_w : 水の質量 [g] </p>  <p>The diagram illustrates the composition of soil in terms of volume and mass. On the left, under '体積 (Volume)', the total volume is V, divided into air volume V_a, water volume V_w, and solid particle volume V_s. On the right, under '質量 (mass)', the total mass is m, divided into air mass $m_a=0$, water mass m_w, and solid particle mass m_s. The soil is represented as a rectangular block divided into three horizontal layers: '空気 (air)' at the top, '水 (water)' in the middle, and '土粒子 (solid)' at the bottom.</p>
含水率	<p>土の場合、(110±5) °Cの炉乾燥によって失われる土中水の質量 m_w と、土の湿潤質量 $m (=m_s+m_w)$ との比を百分率で表したもので、次式で表される.</p> $w_m = \frac{m_w}{(m_s+m_w)} \times 100$ <p> w_m : 含水率 [(mass) %] m_s : 土粒子質量 [g] m_w : 水の質量 [g] </p> <p>なお、含水比と含水率の関係は以下のとおりである.</p> $w_m = \frac{w}{(1+w)}$ $w = \frac{w_m}{(1-w_m)}$

第1章 総説

1.1 目的

本ガイドラインは、今後も排出量が右肩上がりが増加することが予測される解体系の廃石膏ボードから、安全で良質な再生石膏粉を製造するためのリサイクルシステムを確立することが目的である。中間処理業者が再生処理をして製造する再生石膏粉、ならびに材料メーカー等が製造する再生石膏粉を用いた固化材・改質剤等（以下、「固化材等」と称す。）を対象とし、リサイクル業者が主導的になって整備・運用するものである。

【解説】

石膏ボードは、その優れた性能から建築物の内装材の主要資材として年間400万トン以上が生産使用されている^{1,2)}。図-1.1に示すように、解体時に発生する廃石膏ボードの排出量は、今後、右肩上がりが増加することが予測されるが、再生利用は低迷している。平成28年度の調査によれば、新築系端材の廃石膏ボードの約6割は石膏ボード原料としてボードからボードへのリサイクル（“ボード to ボード”あるいは“B t B”と呼ばれる。）が展開されているが、解体系の廃石膏ボードの約3分の1は埋立処分されている。廃石膏ボードの再生利用が進まない要因の1つである環境的要素は、過去の硫化水素ガス発生事故や石膏ボード原料である副産石膏由来のふっ素を含有することなどが挙げられるが、これら環境質の制御は技術的にほぼ解決されている。

そこで、本ガイドラインは、解体系の廃石膏ボードのリサイクル率を向上させるために、中間処理業者が再生処理をして製造する再生石膏粉ならびに材料メーカー等が製造する固化材等を対象とし、リサイクル業者が主導的になって整備・運用することとした。特に、再生石膏粉および固化材等の建設業界への普及を図るために、需要側である発注者、設計者および施工業者をはじめ、供給側である中間処理業者および材料メーカーが再生石膏粉および固化材等を取り扱うに際し、品質および環境安全性を担保するための管理方法について示すとともに、具体的な利用用途も記述した。

今後、本ガイドラインに基づいて再生石膏粉および固化材等の製造・品質管理を通じて再資源化技術を確実なものとし、リサイクルシステムを確立させる。そして、リサイクル業者の信頼性を向上させ、安定した品質の再生石膏粉および固化材等の製品の提供により、廃石膏ボードの再生利用が促進されることが期待される。

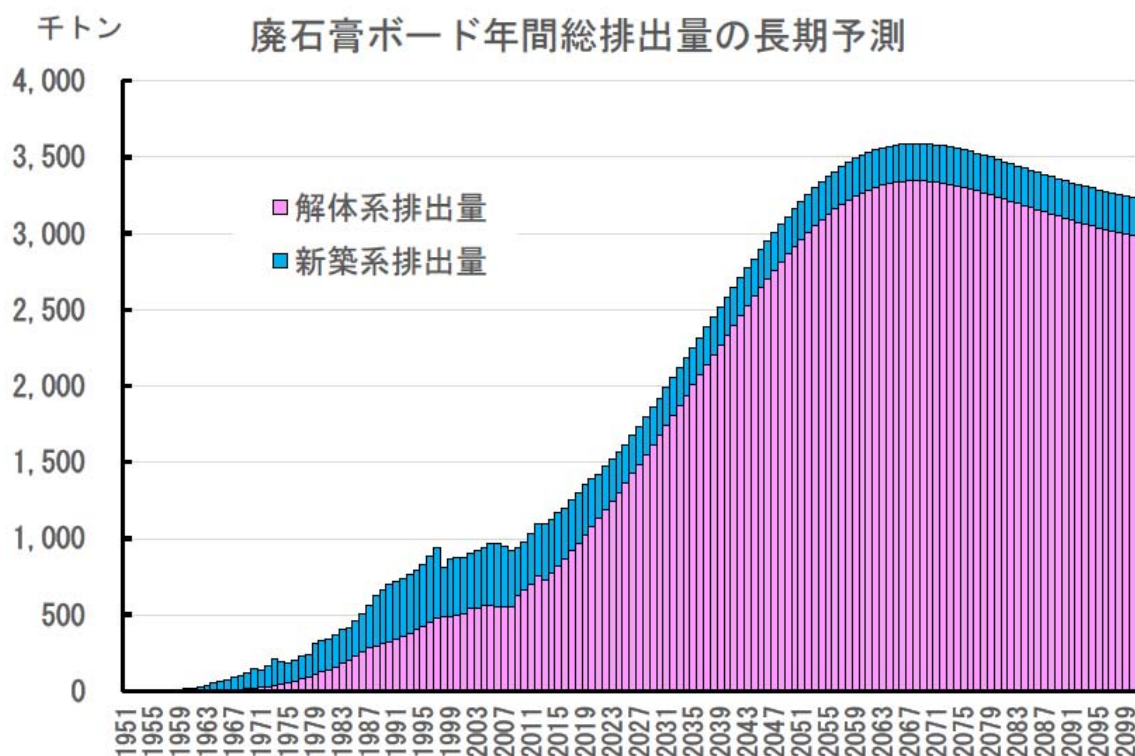


図-1.1 廃石膏ボード排出量予測 ³⁾に加筆

本ガイドラインの構成を図-1.2に示す。本ガイドラインは6章からなり、以下に各章の概要について述べる。

第1章では、社会的背景を踏まえた本ガイドライン策定の目的を述べるとともに、本ガイドラインの適用範囲、廃石膏ボードのマテリアルフロー、ならびに再生石膏粉および固化材等の利用用途イメージを示す。

第2章では、再生石膏粉の基本特性と、再生石膏粉および固化材等の製造方法ならびに保管上の留意点を示す。

第3章では、再生石膏粉の品質管理に関して、目的・項目・方法と検査の運用ならびに利用用途に応じた品質検査について示す。

第4章では、再生石膏粉を用いた固化材等を地盤材料として利用するに際しての利用用途、品質管理、配合試験、強度ならびに環境安全品質に関する要求品質と検査、施工管理時の留意点について示す。

第5章では、再生石膏粉の地盤改良分野以外への適用性と展望を示す。

第6章の参考資料では、廃石膏ボードのリサイクルにあたって、遵守すべき関連法令と指針等、マテリアルフローの算定方法、硫化水素ガス発生ポテンシャル試験方法を示す。

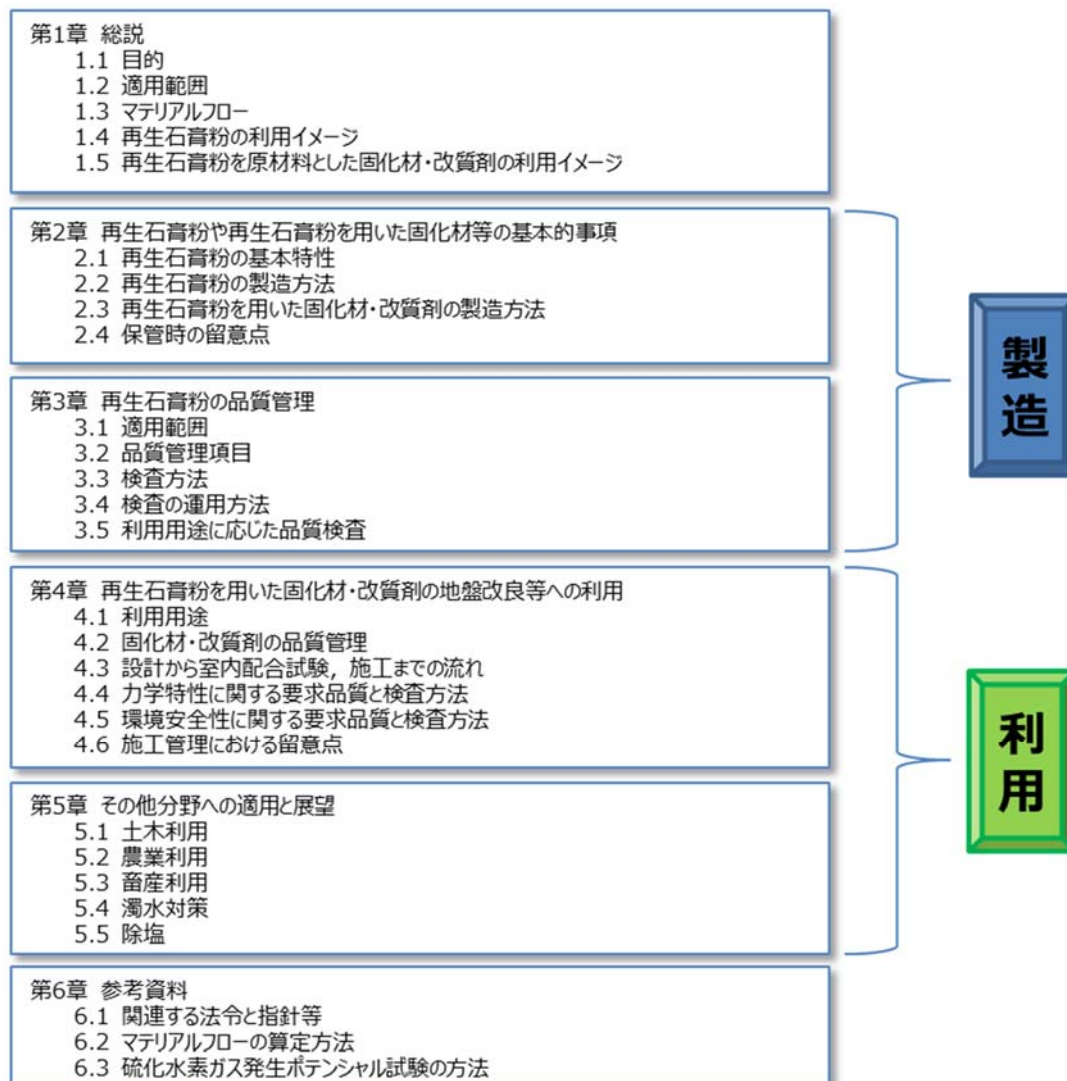


図-1.2 ガイドラインの構成図

1.2 適用範囲

本ガイドラインの適用範囲は、廃石膏ボードから再生石膏粉を製造する中間処理、ならびに、再生石膏粉を使用した固化材等を製造する際の品質管理を対象としている。

【解説】

廃石膏ボードの中間処理は、廃石膏ボードから異物を除去し、紙を剥離して石膏粉を製造する工程である。石膏粉は、様々な用途に用いられるが、用途ごとに品質管理の考え方は異なる。石膏粉および再生石膏粉の品質管理の考え方については、第3章で記す。

再生石膏粉の用途として、地盤改良等に用いられる固化材や、ハンドリング性の確保等を目的とした改質剤が挙げられる。本ガイドラインでは、再生石膏粉を主材とした固化材（中性固化材の主材）のみならず、セメント系固化材などの助剤として用いられる再生石膏粉も対象にしている。改質剤についても同様であり、再生石膏粉を主材としたものと助剤としたものの双方を対象とする。固化材等の品質管理の考え方については第4章に記す。

本ガイドラインは、品質管理を規制するためにあるのではなく、再生石膏粉および固化材等の製造における品質管理を、製造者自らが実践する際の指標とすることが狙いである。そのため、上記適用範囲以外においても、本ガイドラインが使用できる製造工程があれば、適宜、自由に参照し、廃石膏ボード由来の再生製品の品質と信頼性向上に役立てて頂きたい。

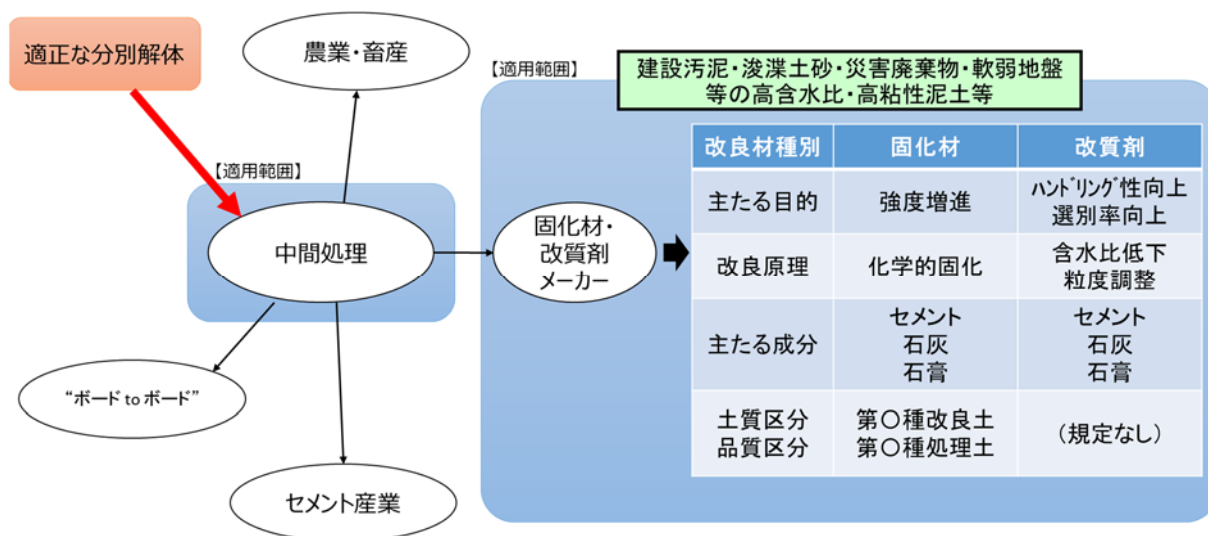


図-1.3 本ガイドラインの適用範囲

1.3 マテリアルフロー

我が国では、廃石膏ボードが新築工事、解体工事の合計で1年間に約119万トン発生しているものと推測され、そのうちの4分の3が何らかの用途で再利用あるいは再生利用（以下、“再利用等”とする。）されているものと考えられる。

【解説】

平成18年に推計された廃石膏ボード（新築系、解体系）のマテリアルフロー⁴⁾を更新して最新版とするため、全国の廃石膏ボードの動きについてアンケートやヒアリング調査を実施した（マテリアルフローの算定方法の詳細については第6.2節に示す）。また、副産石膏である脱硫石膏やリン酸石膏等のフローおよび畜産や農業系で利用可能な再生石膏市場規模を明らかにした。

なお、本調査は、平成28年度の実績であり、第1章で示した石膏ボード排出量予測（図-1.1）とは異なる。

（1） 廃石膏ボードの処理・リサイクルの流れ

（1）-1 新築系廃石膏ボードのマテリアルフロー

今回の調査によれば、新築系廃石膏ボードは、年間で約54万トン程度が排出され、そのうちの約6割が石膏ボードメーカーによりボード原料などとして再利用等されていると推測される（図-1.4参照）。その他の用途としても再利用等されており、排出量全体の約9割が何らかの用途に再生利用等されているものと推測される。

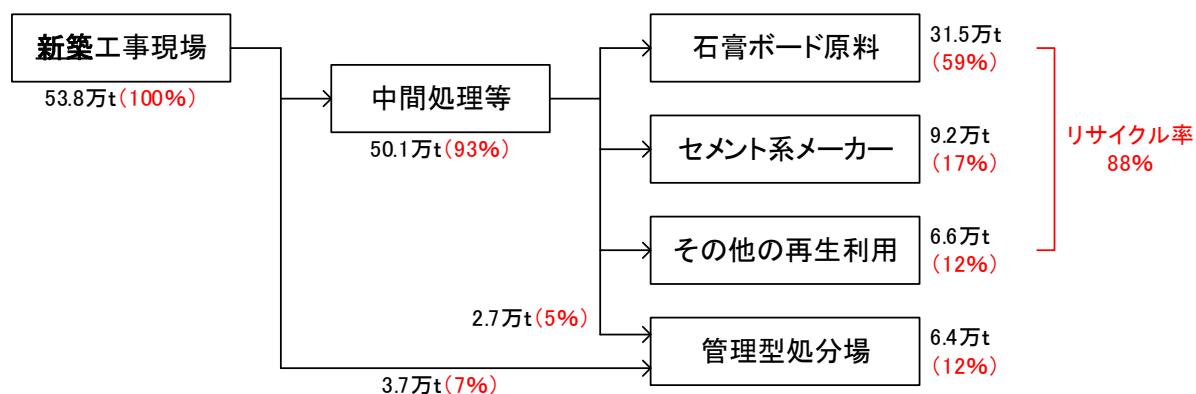


図-1.4 新築系廃石膏ボードのマテリアルフロー（平成28年度）

(1)-2 解体系廃石膏ボードのマテリアルフロー

同様に、解体系廃石膏ボードは、年間で約65万トン発生していると推測される（図-1.5 参照）。これらのうち、一部のものは石膏ボードメーカーで再利用等されているものと推測されるが、セメント系メーカーでの再利用等、地盤改良材や農業用資材（土壌改良材）などのその他の用途での再利用等がされている一方で、発生量の4割が管理型処分場で最終処分されていると推測される。

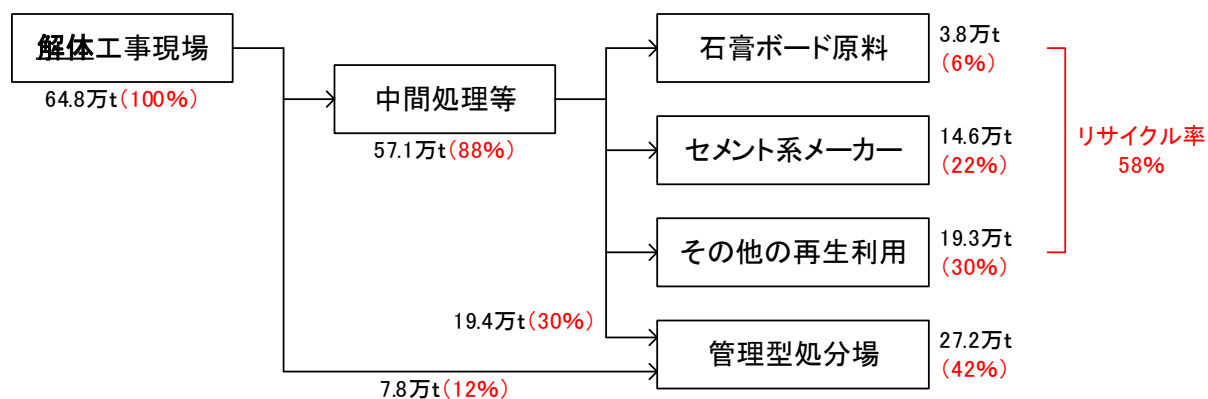


図-1.5 解体系廃石膏ボードのマテリアルフロー（平成28年度）

(1)-3 廃石膏ボード全量のマテリアルフロー

新築系、解体系を合計した廃石膏ボード全量のマテリアルフローを図-1.6に示す。平成28年度のアンケート調査等による廃石膏ボード全量の排出量は119万トンとなり、中間処理等に107万トン、直接最終処分が約11万トンとなっている。中間処理された廃石膏ボードのうち、石膏ボード原料やセメント系メーカー等で再利用等されている量は約85万トンであり、排出量に対して7割程度を占める。中間処理後に最終処分される量と直接最終処分を合わせると約34万トンであり排出量の3割程度が最終処分されていることになる。

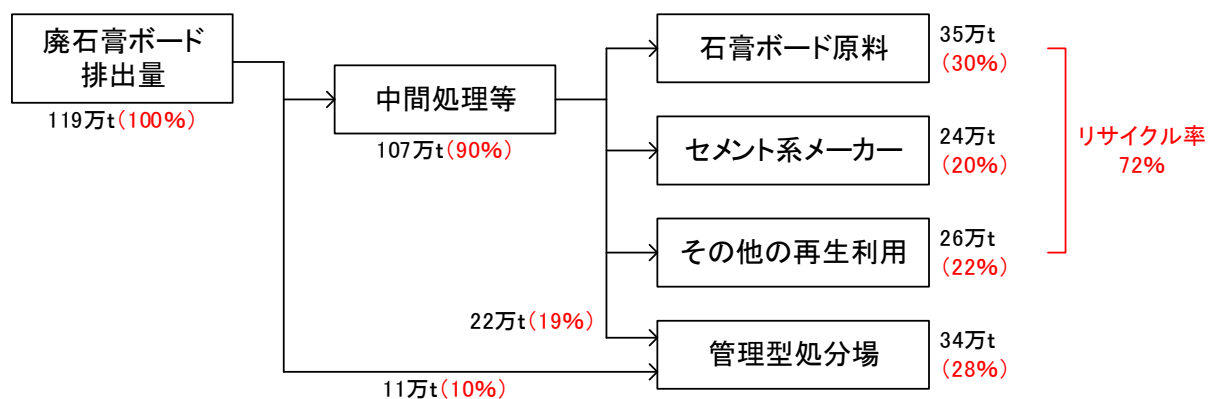
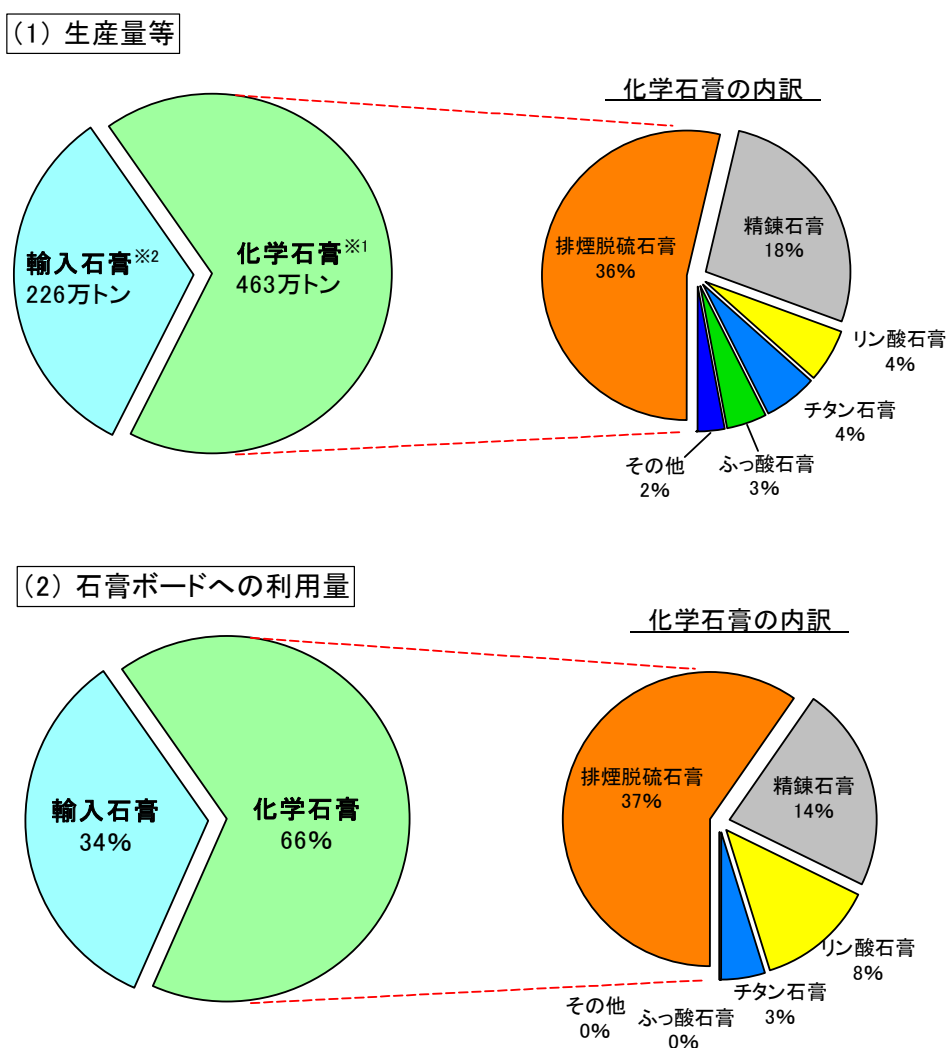


図-1.6 廃石膏ボード全量のマテリアルフロー（平成28年度）

（2）我が国の副産石膏，輸入石膏等の生産動向および活用動向

我が国における副産石膏と輸入石膏の生産量とその内訳を図-1.7(1)に示す。「経済産業省生産動態統計」によると，我が国の化学石膏（副産石膏）の生産量は，約460万トンである。また，「財務省通関統計」によると，海外から輸入される天然石膏（輸入石膏）の輸入量は，約230万トンである。

これらの石膏は，一部は医療用などでの活用が見られるが，ほとんどが石膏ボード原料とセメント原料として再利用等されている。石膏ボード原料としての利用量は，約355万トンであり，その内訳は図-1.7(2)に示すとおりである。



*1：「経済産業省生産動態統計年報」

*2：「財務省通関統計」石膏ボード，セメント以外は，地盤改良材（セメント系固化材）として活用が主体

○ 排煙脱硫石膏：石炭火力発電所などの排ガスから硫黄酸化物（SOx）を除去する際に副生するもの

○ 製錬石膏：銅精錬で発生する亜硫酸ガスから石膏を回収する際に副生するもの

○ リン酸石膏：リン酸製造のため，リン鉱石に硫酸を反応させる際に副生するもの

○ チタン石膏：酸化チタンを製造する際に副生するもの

○ ふっ酸石膏：ふっ酸を製造する際に副生するもの

図-1.7 我が国における副産石膏・輸入石膏の生産量等（平成28年度）

1.4 再生石膏粉の利用イメージ

再生石膏粉の利用分野および用途は、目的物の要求品質と再生石膏粉の優位性や留意点等を踏まえて選定する。

【解説】

廃石膏ボードを中間処理して製造された再生石膏粉（再生二水石膏・再生半水石膏・再生無水石膏）はさまざまな分野での活用が期待される。再生石膏粉の特性を踏まえた上で、再生石膏粉単味、もしくは他の材料と混合するなどして、目的物の要求品質を満足する活用方法が重要となる。表-1.1 に利用用途例を示す。

表-1.1 再生石膏粉の利用用途例

分野	工種・利用区分	用途	摘要
土木建築	地盤改良および土の安定処理(改質含)	固化材	地盤材料としての機能が期待できない高含水比泥土等に対し、再生石膏粉単味もしくはセメントまたは石灰等と混合した固化材を添加して、土を化学的に固めて工学的に安定させる
		改質剤	含水比や流動性の高い泥土等を対象に、再生石膏粉単味もしくはセメントまたは石灰等と混合した改質剤を添加して、土の含水比や流動性を低下させて取り扱いを容易に(ハンドリング性を向上)する
		改良助剤	地盤改良材の適用に当たって、セメント・石灰の一部を半水石膏に置き換えるものである 石膏中の硫黄(S)分がエトリンガイトの生成に有効であり、特に高有機質土を改良する場合は、セメント・石灰単独の改良材よりも大きな改良効果が期待できる
		ため池堤体遮水材	経年劣化により漏水や浸食が懸念されるため池の堤体改修に際し、再生石膏粉単味もしくはセメントまたは石灰等と混合した遮水材を堤体材料に添加することで、遮水性の回復および改善を図る
		廃棄物混入土の分別・分級 泥濁土のハンドリング向上	含水比調整により廃棄物混じり土の篩分け性能の向上を図る。または一泥濁土のコーン指数を増加させ、車両運搬性の向上を図る
土木建築	アスファルト舗装工	アスファルト・フィラー	石粉の代替品として再生石膏粉をアスファルト混合物に添加することで、アスファルト混合物の見掛けの粘度を高め、骨材として混合物の隙間を充填する
	建設資材原材料	セメント原料	セメント製造時の仕上げ工程において再生石膏粉を添加することで、セメント中のクリンカー鉱物であるアルミネート相と反応させてセメントの急結を抑制する(現在は排煙脱硫石膏が主流)
石膏ボード		新築系を主体とし、解体系も含めて廃石膏ボードを回収して再生した石膏粉を、混入率10%程度としてボード原料石膏として利用	
農業		土壌改良材	土壌改良用として農地へ施用し、土の理化学特性改善
その他		白線用	グラウンド用ライン引き粉として利用
		濁水処理剤	濁水の凝集処理あるいは、水質改善の薬剤として利用
		除塩	農地への海水の流入により土壌に残留した塩分除去に利用

※農業、その他利用の詳細については「第5章 その他分野への適用と展望」を参照

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

再生石膏粉を原材料とした固化材等は、改良対象である地盤や土の特性と改良目的を踏まえ、適切な材料を選定して活用する。なお、ここで固化や改質の対象とする土は土壌汚染対策法の溶出量基準と含有量基準に適合した非汚染土とする。

【解説】

固化材は大別するとセメント系、石灰系、石膏系に分類され、さらに廃石膏ボードを利用した固化材も開発されている。

石膏系固化材は半水石膏が二水石膏に変化して中性領域で固化するため、対象土が中性であれば処理土も中性である。また、固化反応が早く数10分で反応が終了するため泥土を短時間で処理することができる。その特性から処理土は、土地造成などの埋め戻しとして再利用されるほか、植生土壌として使用することができる。図-1.8、図-1.9に再生石膏粉を用いた固化材ならびに改質剤のそれぞれの利用事例を示す。

(1) 利用用途

(1)-1 固化材

泥土の材料特性を第1種～4種処理土の品質区分基準⁵⁾を満足するように改良することが目的。



固化材処理施工ヤード全景



道路盛土工事

図-1.8 再生石膏粉を原料として用いた固化材の利用事例

(1)-2 改質剤

泥土の含水比や流動性を低下させて取扱いを容易にするのが目的であり、強度を必要としない。



港 湾



河 川

図-1.9 再生石膏粉を原料として用いた改質剤の利用事例

(2) 施工法 (例)

再生石膏粉を用いた固化材・改質剤の地盤利用において、従来のセメント等の固化材を用いる地盤固化改良・土質安定処理と基本的に同様な施工法が適用でき、その施工管理・出来形管理等も従来技術と同様であると考えられる。従って、施工の基本的な考え方は、施工対象に応じて施設別に定められた指針・基準類^{6,7)}に基づくこと、施工管理の詳細は各種工法マニュアル等⁸⁻¹⁰⁾を参照することとする。ここでは、再生石膏粉の固化材、改質剤としての地盤利用において、適用可能な普及工法を取り上げ、施工と施工管理において配慮すべき事項を中心に述べる。

(2)-1 軟弱地盤の原位置固化改良

原位置固化改良は、軟弱地盤に固化材を添加・混合して、原位置で改良体を造成する地盤改良技術である。各種工法が実用化されているが、石膏粉を適用した場合の原位置固化改良工法として、表層混合処理工法、深層混合処理工法（機械攪拌工法）が挙げられる。

① 浅層混合処理工法

浅層混合処理工法は、地表から2～3 mまでを改良対象として、構造物基礎地盤や路床・路盤の改良、トラフィカビリティー（建設機械走行性）の確保などを目的として適用される。バックホウやスタビライザーを用いて、固化材を粉体混合方式で添加・混合して、改良層を地盤表層に造成する施工方法が経済的であり、広く普及している。施工手順は、固化材散布、攪拌混合、整正・転圧、養生となる。

② 深層混合処理工法

深層混合処理工法は、固化材を地中に供給して強制的に攪拌混合することによって、原位置で深層に至る強固な柱体状、ブロック状または壁状の安定処理土を形成する工法であり、すべり抵抗の増加、変形の抑止、沈下の低減および液状化防止等の目的で用いられる。深層混合処理工法（機械攪拌式）は、固化材を地中に供給して、原位置の軟弱土と攪拌翼を用いて機械的に攪拌混合することによって、原位置に改良体を造成する。

(2)-2 盛土材等の改良・安定処理

盛土材として用いる現地発生土が低品質な場合、盛土材に固化材を混合する安定処理により、施工性を改善するとともに盛土の強度増加を図ることができる。道路土工では基礎地盤や路床・路盤の改良や、高含水比粘性土地盤のトラフィカビリティー確保のための改良に利用されている^{11,12)}。施工手順としては、現場に設置したプラントあるいはヤードで土と固化材を混合・攪拌し、改良土を施工位置で撒き出し、転圧して盛土を構築するものである。

(2)-3 建設汚泥をはじめとする高含水比泥土の改良・安定処理

建設汚泥や高含水比の建設発生土、浚渫土に固化材を攪拌混合して、再生利用用途に応じた材料特性（品質区分基準⁵⁾）を有する土砂に改良し、転圧・締固めをすることで目標とする強度・地耐力を有する地盤を形成することができる。固化材の添加量を変えることで、強度等発現までの材齢（養生日数）や強度等そのものをコントロールすることが可能となる。攪拌混合に用いる処理機は、数量が少ない場合はバックホウでも可能だが、ある程度の数量規模になると、可搬式の専用混合プラントを使用した方が、処理土の品質や作業効率がよい。

(2)-4 発生土ならびに建設汚泥等の改質

高含水比の建設発生土、浚渫土、建設汚泥等に改質剤を混合して土砂の性状を改質することにより、運搬、撒き出し、転圧等におけるハンドリング性が向上できる¹³⁻¹⁵⁾。また、発生土、汚泥等の高品質化によって、その用途の拡大が図られるので、利用目的に応じた要求品質の確保を目的として改質が行われる。

(3) 環境安全性（重金属等）に対する試験方法設定の考え方

再生石膏粉を原材料とした固化材等の環境安全性（重金属等）に対する試験方法（第4.5節）の設定の考え方は、土壤環境基準ならびに土壤汚染対策法の各通知に示される再利用物の考え方（参考1、参考2）に従うものとする。

ここで、再生石膏粉を用いた固化材・改質剤の用途の多くは土と混合して地盤改良を行うものであるため、参考1の類型は（Ⅲ）に該当する。その場合は、当該通知に述べられているように、再生石膏粉を用いた固化材・改質剤を混合させた土に対して、土壤環境基準への適合性を判定するための試験（環境庁告示第46号（平成3年8月23日）（以下、H3環告46号とする））を適用することとする。

一方、再生石膏粉を用いた固化材・改質剤のうち、盛土等の構造物を構成するセメント固化体へ用いられるセメント等の助剤として使用される場合は、参考1の類型は（Ⅰ）もしくは（Ⅱ）に該当する。その場合は、日本工業標準調査会「コンクリート用骨材又は道路用等のスラグ類に化学物質評価方法を導入する指針に関する検討会総合報告書」の第2章に示される「循環資材の環境安全品質及び検査方法に関する基本的考え方」に基づき、再利用物の想定されるライフサイクルの中で最も配慮すべき暴露環境に着目して試験方法を規定し実施することとする。ここで、セメント固化体の再利用は基本的に想定されないことから、セメント固化体のままの状態でも評価が可能なJIS K 0058-1「スラグ類の化学物質試験方法—第1

部：溶出量試験」の5.有姿攪拌試験を行うこととする。

また、直ちに最終処分される用途の場合は、管理型産業廃棄物処分場への受け入れのための判定試験「産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法」（環境庁告示第13号（昭和48年2月17日）（以下、S48環告13号とする））を行うこととする。直ちに最終処分される用途としては、処分場運搬時の前処理としての改質が挙げられる。

参考1. 平成13年3月28日環水土第44号通知「土壌の汚染に係る環境基準についての一部改正について」（発出：環境省環境管理局水環境部長，都道府県知事・指定都市市長宛）

第2 土壌環境基準の項目追加等の内容

(3) 再利用物の取扱い

② 再利用物への適用

再利用物への土壌環境基準の適用については、

(I) セメントや石膏ボード等の原材料として利用され、構造物の一部となっている場合には、これらには適用しない。

(II) 道路用等の路盤材や土木用地盤改良材等として利用される場合には、再利用物自体は周辺の土壌と区別できることから、これらには適用しない。

(III) 肥料のように土壌に混ぜ合わせて使用する場合には、肥料を混合させた土壌には適用する。

と解される。また、いずれの場合にも、再利用物の周辺の土壌に対しては土壌環境基準を適用するものとする。

なお、ふっ素及びほう素については、当該物質を含む再利用物が長年にわたり利用され、これまで当該再利用物による地下水汚染の事例は報告されていない等の実状にかんがみ、(II)の道路用等の路盤材や土木用地盤改良材等として利用される再利用物については、その利用形態として、例えば、道路用の路盤材での利用については舗装部分（路盤等）と路床部分（しゃ断層等）を、また、通常、海域に隣接した地域で施工されている土木用地盤改良材の利用については軟弱地盤に施工されているスラグのサンドパイル（杭）全体を囲む改良地盤部分を、それぞれ一体としてとらえ、周辺土壌とは区別して土壌環境基準を適用しないものとする。

第4 その他

(中略)

路盤材、土木用地盤改良材等の再利用物の安全性の評価については、土壌環境基準及びその測定方法の援用が行われているが、現状有姿や利用形態に応じた適切な評価が行われる必要があると考えており、貴都道府県等においてこのような援用が行われている場合には、現状有姿や利用形態に応じた適切な評価につき十分留意されるようお願いしたい。

また、再利用物の利用の促進と安全性の確保の観点から、再利用物の利用実態に即したりサイクルガイドライン等が関係省庁により早急に策定される必要があると考えている。策定された際には活用されたい。

参考 2. 平成 22 年 3 月 5 日環水大土発第 100305002 号「土壤汚染対策法の一部を改正する法律による改正後の土壤汚染対策法の施行について」（最終改正平成 29 年 3 月 31 日環水大土発第 170 3313 号，発出：環境省水・大気環境局長，都道府県知事・政令市長宛）

3. 土壤汚染による健康被害が生ずるおそれがある土地の調査

(2) 調査の対象となる土地の基準

- ① 土壤汚染の蓋然性が高く，かつ，人の暴露の可能性があること

（中略）

なお，非鉄製錬業や鉄鋼業の製錬・製鋼プロセスで副生成物として得られるスラグ等や石炭火力発電に伴い排出される石炭灰等が土木用・道路用資材等として用いられ，かつ，周辺土壤と区別して用いられている場合は，そもそも土壤とはみなされない。

【参考文献】

- 1) (一社) 石膏ボード工業会 HP，原料統計（最終閲覧日：2018 年 3 月 8 日）。
<http://www.gypsumboard-a.or.jp/statistics/material.html>
- 2) 経済産業省：平成 28 年 経済産業省生産動態統計年報 化学工業統計編，p. 79.
- 3) (一社) 石膏ボード工業会：石膏ボードハンドブック，p.202，平成 28 年 4 月
- 4) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部：平成 20 年度廃石膏ボードの再資源化促進方策検討業務調査報告書，p.12，p.29，平成 21 年 3 月。
- 5) 国土交通省：通達「建設発生土利用基準について」国官技第 112 号，国官総大 309 号，国営計 59 第 59 号，平成 18 年 8 月 10 日
- 6) (社) 日本道路協会：道路土工軟弱地盤対策工指針（平成 24 年度版）
- 7) (財) 日本建築センター：[改訂版]建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針－セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法－.2002
- 8) (財) 土木研究センター：陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル改訂版，平成 16 年 3 月，2004.
- 9) (財) 沿岸技術研究センター：海上工事における深層混合処理工法技術マニュアル（改訂版），平成 20 年 7 月。
- 10) (社) セメント協会：セメント系固化材による地盤改良マニュアル第 4 版，2012/10.
- 11) (社) 日本道路協会：道路土工盛土工指針（平成 22 年度版），pp. 251-257.
- 12) (社) 日本道路協会：道路土工軟弱地盤対策工指針（平成 24 年度版），pp. 297-314.
- 13) (独) 土木研究所編著：建設発生土利用技術マニュアル（第 4 版），2013 年 12 月。
- 14) (独) 土木研究所編著：建設汚泥再生利用マニュアル（第 1 版），2008 年 12 月。
- 15) (一社) 泥土リサイクル協会：泥土を適正に処理するための手引書（新規改訂版），pp. 54-55，2003.

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

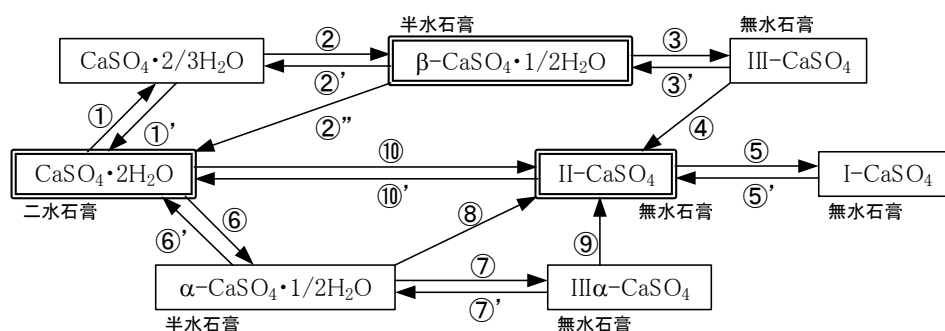
2.1 再生石膏粉の基本特性

再生石膏粉は、結晶水の状態により特性が異なる。廃石膏ボードを破碎したのみでは再生二水石膏であるが、焼成処理することによって再生半水石膏や再生無水石膏となり、水との反応性が異なる再生石膏粉となる。そのため、再生石膏粉を保管する際、水（湿気を含む）との接触を防止するように配慮する必要がある。

石膏ボード製造時に微量の添加剤として有機系材料が使用されるため、再生二水石膏では有機物が残っているが、再生半水石膏では有機物が減少し、さらに再生無水石膏の場合には完全に消失する。

【解説】

再生石膏粉とは、新築工事や解体工事現場等で排出された廃石膏ボードを石膏粉とボード用原紙に破碎・分離するなどの中間処理を経て製造された石膏粉のことであり、新築工事現場から搬出される新築系端材と、解体工事現場から搬出される解体系廃石膏ボードから再生された石膏粉の双方を指す。図-2.1は石膏の結晶相（結晶水）の転移プロセスを示したものであり、再生石膏粉の場合には、図中の二重線で囲った二水石膏（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）、半水石膏（ $\beta\text{-CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ）、無水石膏（ II-CaSO_4 ）が相当する。再生半水石膏となる経路は①と②、そこから再生無水石膏となる経路は③と④である。



①	気相 >50°C, DTA ピーク温度 140~160°C	⑥	液相 >97°C
①'	気相吸湿, 液相水和	⑥'	液相水和
②	気相 >76°C, DTA ピーク温度 150~185°C	⑦	気相 >130°C, DTA ピーク温度 180~215°C
②'	気相吸湿	⑦'	気相吸湿, 液相水和
②''	液相水和	⑧	液相 >97°C
③	気相 >130°C, DTA ピーク温度 180~215°C	⑨	気相 >180°C, DTA ピーク温度 190~220°C
③'	気相吸湿, 液相水和	⑩	液相 >41°C
④	気相 >250°C, DTA ピーク温度約 330°C	⑩'	液相水和
⑤	気相 1180°C		
⑤'			

図-2.1 石膏の結晶相転移¹⁾（二重線が再生石膏粉に該当）

再生石膏粉だけに着目して図-2.1を書き直すと、図-2.2のようになる。再生された石膏粉は、そのままであれば再生二水石膏であり、150～185℃で加熱、焼成処理すると「再生半水石膏（β型）」に、330℃以上で加熱、焼成処理すると「再生無水石膏（Ⅱ型）」になる。再生無水石膏は、吸湿による影響は少なく、水滴や水濡れ等の液相による水和反応で再生二水石膏となる。再生半水石膏は、気相の吸湿でも再生二水石膏への変化する。この吸湿、吸水の際、硬化反応を伴う。

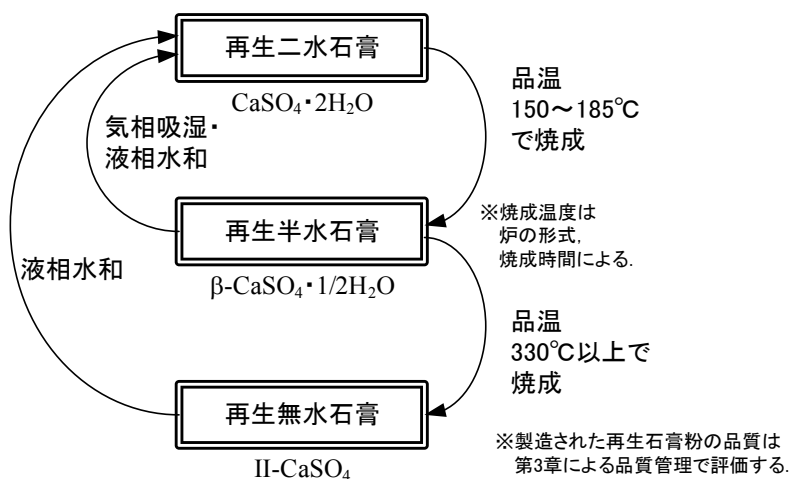


図-2.2 再生石膏粉の結晶相の変化

再生石膏粉の主な利用用途について表-2.1にまとめる。なお、再生石膏粉の適正なりサイクルにおいて、特に解体系廃石膏ボード由来のものについては適正な解体・分別がされていることが前提である。

表-2.1 再生石膏粉の主な利用用途

再生石膏粉の種類	主な利用用途
再生二水石膏	“ボード to ボード” リサイクルとして石膏ボードの原料，セメントの凝結遅延剤，Ca 補給剤としての農業用途など
再生半水石膏	浚渫土や建設汚泥，災害廃棄物等の固化材および改質剤，地盤改良用の中性固化材，セメント系固化材の助剤など（なお，ギプス等に利用される焼石膏は半水石膏であり，水と混練することによって硬化する特性を有している。）
再生無水石膏	セメント製品の凝結遅延剤（三酸化硫黄分として混和），化学部門における樹脂や塗料の充填剤・脱水剤・乾燥剤のほか，セメント産業における特殊セメントの添加剤など

2.2 再生石膏粉の製造方法

廃石膏ボードを受入管理した後、金属等の異物除去を行い、廃石膏ボード片に付着しているボード用原紙を除去した後、もしくは同時に粉砕する。剥離したボード用原紙は再生紙としてリサイクルされる。粉砕した廃石膏は篩分けして規定の粒度に調整される。篩下の一定粒度以下の石膏粉は再生二水石膏となる。篩分け後に焼成処理を施すと、温度によって再生半水石膏や再生無水石膏が製造される。なお、篩分け前に焼成処理を施し、その後に篩分けして粒度調整される場合もある。再生石膏粉の基本的な製造方法を示す。

【解説】

再生石膏粉の基本的な製造方法を図-2.3に示す。廃石膏ボードは新築および解体工事現場等で分別解体マニュアル²⁾に準じて分別された石膏ボードのみを受け入れる。受入管理の留意点としてアスベスト等有害物質混入の石膏ボードやケイカル板は搬入前に選別し除去することが重要である。また、受入管理として、水に濡れた廃石膏ボードを再生石膏粉の製造ラインから除外する場合もある。

再生石膏粉の製造において受入管理は重要であり、そのためには、分別解体マニュアルに準じた適正解体が原則であることから、解体業者への教育等も必要である。

廃石膏ボードは中間処理施設へ搬入後、破砕し石膏粉とボード用原紙に分離される。このとき剥離したボード用原紙（以下、「剥離紙」と称す。）はRPF（廃棄物固形燃料）原料や製紙原料に再生利用される。石膏粉は粒度を調整するために篩分けを行う。篩分けは用途によって篩い目が異なる。通過した石膏粉は再生二水石膏として用いられるほか、さらに焼成処理を行うことにより、再生半水石膏および再生無水石膏を製造できる。熱処理の方法には、バーナーを用いた直接燃焼方式や間接燃焼方式とバーナーを使わない電気方式（IH焼成方法など）がある。図-2.4に、再生石膏粉の製造工程の一例を示す。

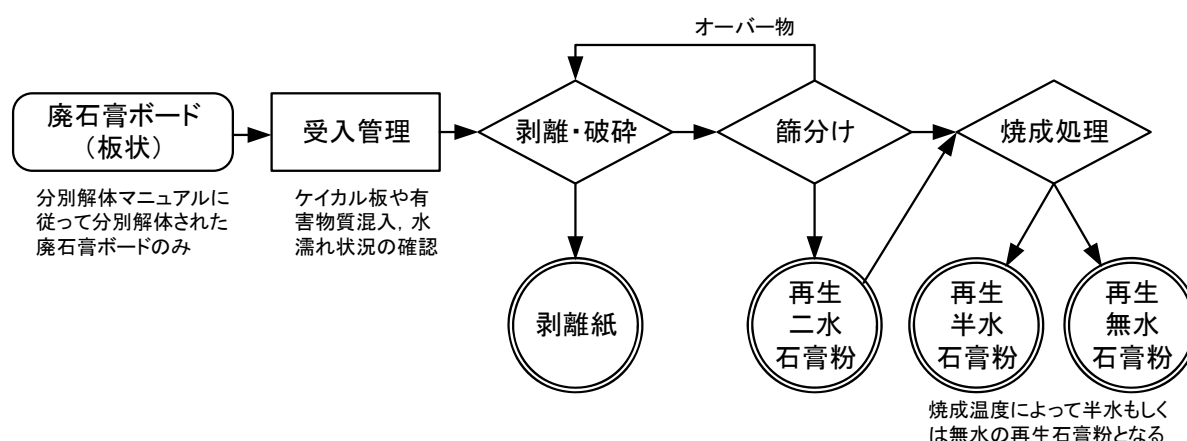


図-2.3 再生石膏粉の基本的な製造方法

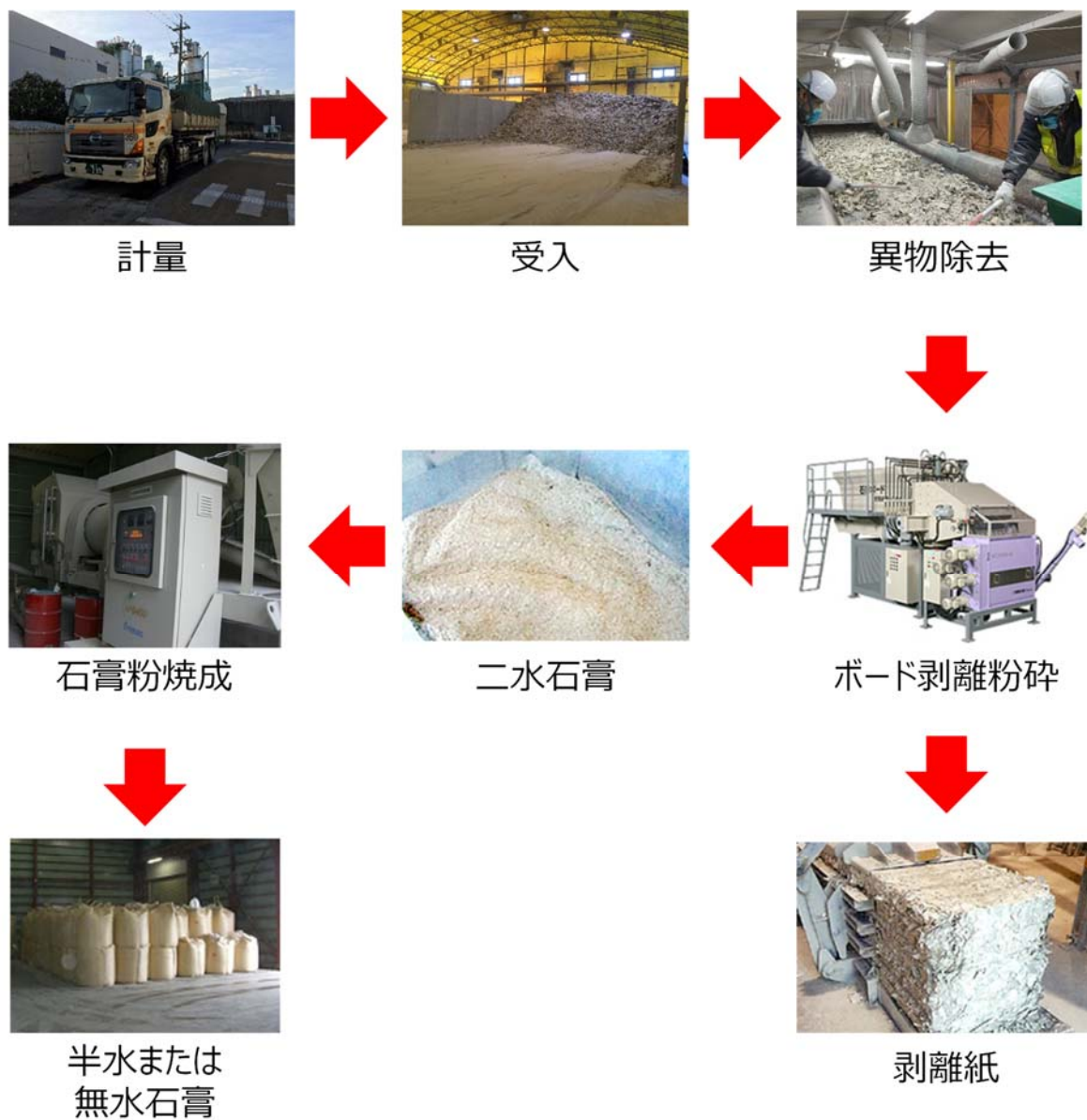


図-2.4 再生石膏粉の製造工程の例

2.3 再生石膏粉を用いた固化材・改質剤の製造方法

再生石膏粉を用いた固化材，改良助剤ならびに改質剤の製造には，品質が確認・管理された粉体もしくは粒状体の再生石膏を用いる。再生石膏粉の受入管理後は，フレキシブルコンテナバッグ（以下，「フレコンバッグ」と称す。）等のまま保管するか，バラで受け入れた場合などはサイロに保管する。再生石膏粉（粒状体を含む）を計量し，目的に応じて他材料とミキシングして製品となる。製品は品質管理を行った後に出荷される。

【解説】

再生石膏粉は，石膏ボードの原料にリサイクルされるほか，固化材（中性固化材の主材），改良助剤（セメントや石灰系固化材の二次助剤），改質剤（ハンドリング性の向上など）等に用いられる。再生石膏粉単味では強度の要求性能を満たせない場合もあるため，目的に応じて様々な材料と混合し，複合材料として利用されることが多い。

図-2.5は再生石膏粉を用いて固化材や改質剤などの複合材料を製造する基本的な工程をイメージしたものである。図中に示す再生石膏粉とは，前項にて示した方法によって製造された廃石膏ボードからの再生品を指す。固化材，改質剤などの用途に応じて，再生石膏粉と複数種の粉体材料を任意の割合によってミキシングして製造する。再生石膏粉は，水分や湿気によって変質することから，サイロ等で保管し，湿気や水濡れに注意することが必要である。

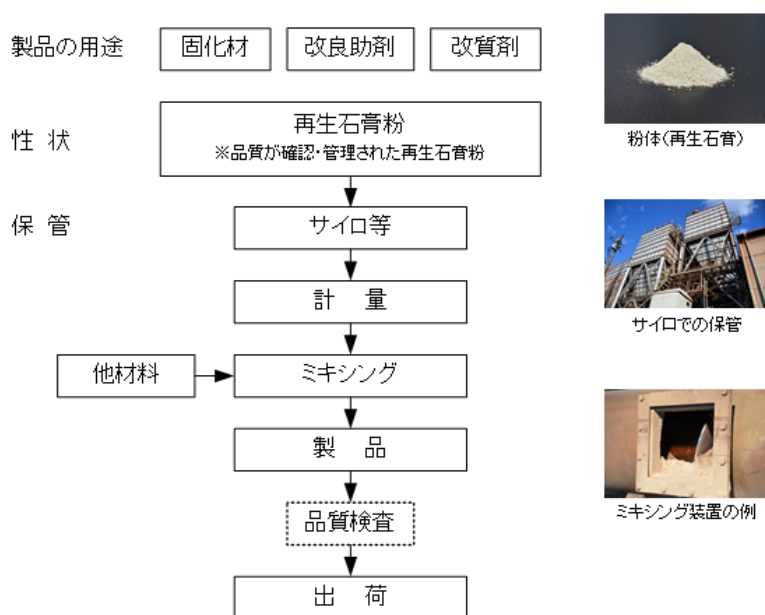


図-2.5 再生石膏粉を用いた固化材・改質剤の基本的な製造方法

いずれの製品を製造する場合においても，使用する再生石膏粉は前項に示すように，国土交通省の「分別解体マニュアル」に従って受入管理を行い，第2.2節に示す製造方法に準じていることを基本としており，製造する製品の目的に応じた品質管理を行った石膏粉である必要がある。また，固化材等の製品を出荷する時点においては第3章に示すような品質検査を行い，製品の性状および安全性の確認を行う。

2.4 保管時の留意点

再生石膏粉自体や、再生石膏粉を原材料とした固化材ならびに改質剤を保管する場合は、材料が湿気を帯びないように留意しなければならないため、水（湿気を含む）との接触を避ける必要がある。

【解説】

第2.1節で解説したとおり、再生石膏粉は結晶水の状態によって性質が異なり、用途によって求められる再生石膏粉の結晶水の状態が異なる（図-2.1参照）。そのため、再生二水、再生半水、再生無水石膏粉のいずれであっても保管中に湿気を帯びたり水濡れによって結晶水の状態が変化しないように配慮が必要である。

- 再生二水石膏（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）：吸湿はしないが溶解度が0.2%あるため、水分と接触すると徐々に溶解していく。そのため、水分と接触させないことが重要であり、結露などにも注意する。
- 再生半水石膏（ $\beta\text{-CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ）：空気中の湿気と反応し、ゆるやかに二水石膏となるため、保管時には湿気や水分から隔離し、製造後はなるべく早く使用する。
- 再生無水石膏（II- CaSO_4 ）：空気中の湿気とは反応しないが、水濡れによって二水石膏へと変化するため、保管時には水分から隔離し、製造後はなるべく早く使用する。

いずれの再生石膏粉であったとしても、フレコンバッグで保管する場合はポリエチレン製などの湿気を通しにくい素材であることが必要である。また、20 kg袋で保管する場合はポリ袋やアルミ袋、もしくは、紙袋の内袋がポリ袋であるものを用いる。基本的には、セメントの保管時と同様の取り扱いが必要である。

フレコンバッグおよび20 kg袋保管に際しては下記の二点を確認することが必要である。

- ① 地面からの湿気を防止する（例：パレットを敷くなど）。
- ② 雨がかりを防止するために、屋内に保管するのが望ましい。特に、半水石膏や無水石膏は、屋内に保管すること。

【参考文献】

- 1) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部：平成21年度廃石膏ボードの再資源化促進方策検討業務調査報告書，平成22年3月，p.9，2009.
- 2) 国土交通省：廃石膏ボード現場分別解体マニュアル，平成24年3月。

第3章 再生石膏粉の品質管理

3.1 適用範囲

本章で示す品質検査は、固化材等の製品の材料として製造される「再生石膏粉（二水、半水、無水）」に適用する。

【解説】

再生石膏粉の工学的有効性が報告されている一方で、再生処理技術の優劣により再生石膏粉の品質が一定していないことが再生利用の障壁となる事例が散見される。再生石膏粉の要求品質については、利用用途に応じて異なり、また、品質検査の考え方は、時勢と受け入れ先等の要求事項の変化に対応する必要があることから、再生石膏粉の製造業者は、再生石膏粉の特性を良く理解した上で、製造する再生石膏粉の品質の向上と安定性を確保するために積極的に品質管理を実施する必要がある。

なお、再生石膏粉の一般環境での利用は、例えば固化材の場合はセメント等と配合して固化材という製品とした後に、その製品を土と混合して用いることとなる。そのため、土としての所定の強度を発現するかどうか、あるいは有害物質による環境影響が十分に低いかどうかについては再生石膏粉そのものの試験によって行うのではなく、実際の使用に際して設定した配合等に基づく処理土を用いて試験することが適切である。よって、本章の示す内容は製造する製品の原料としての品質管理の在り方であり、再生石膏粉の有する品質を把握するために行うものであることに十分に留意する必要がある。

第2章に示したとおり、再生石膏粉は、廃石膏ボードを破碎し、剥離紙との分離によって生成される「石膏粉」から、規定の最大粒径を超えるサイズを篩分けにより排除した「再生二水石膏粉」、焼成処理を経た「再生半水石膏粉」および「再生無水石膏粉」が製造される。

本章では、図-3.1の赤枠で示した製品の原材料として製造される「再生石膏粉（二水、半水、無水）」について、品質検査項目および検査方法を規定する。

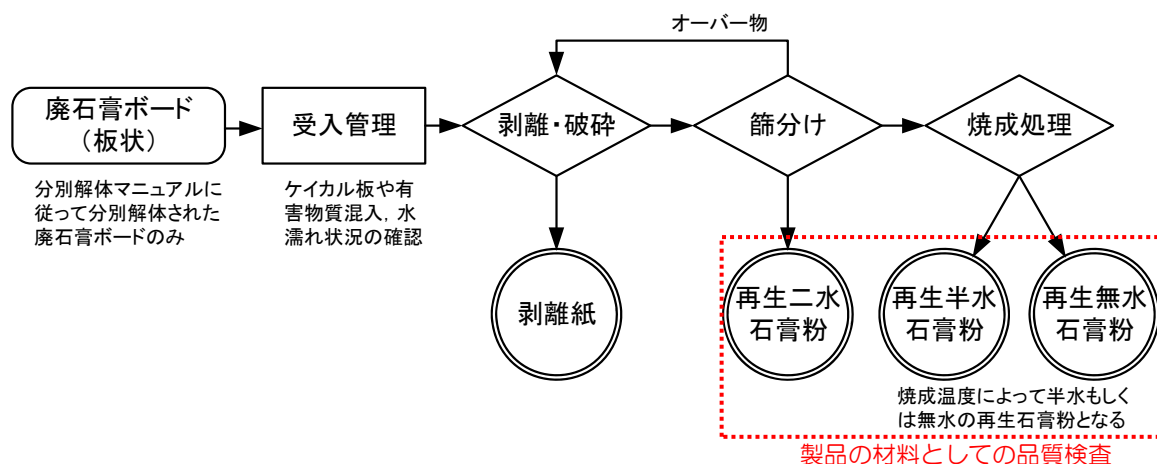


図-3.1 再生石膏粉の基本的な製造方法と品質検査の適用範囲

3.2 品質管理項目

品質管理は、製品の原材料として製造される「再生石膏粉（二水，半水，無水）」に対して実施する。なお、本ガイドラインは、各品質管理項目に対して、基準値を設けるものではなく、測定データは、出荷先への品質保証に資することを目的としている。

【解説】

品質管理のフローを図-3.2に示す。また、「再生石膏粉」の品質管理項目を表-3.1に示した。「再生石膏粉」の品質管理は、製造業者自らが行う自主検査と第三者機関による定期検査によって行う。

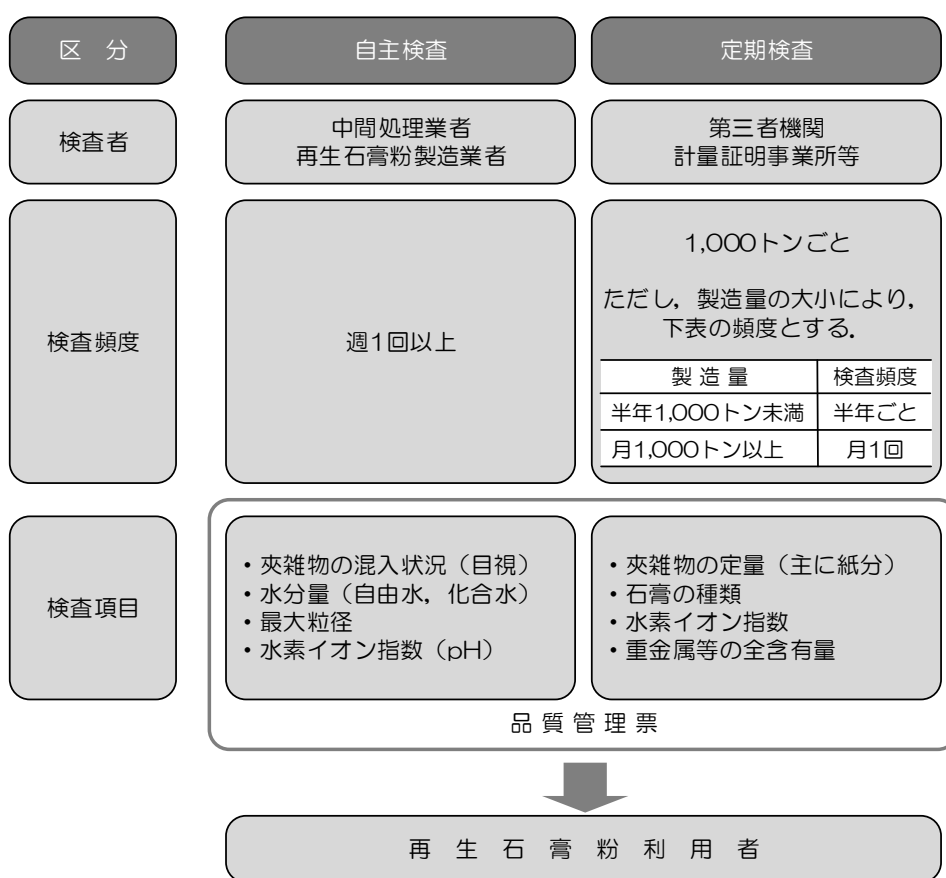


図-3.2 品質管理フロー

製品の原材料として製造される「再生石膏粉」の要求品質は、出荷先の受入条件に委ねられるが、製造業者自らが行う自主検査では、製品の原材料としての基本的な特性の把握と品質のバラツキを管理することを目的として、夾雑物の混入状況（目視による種類，量），水分（自由水および化合物）の量，最大粒径（粒度・寸法），水素イオン指数（pH）を品質管理項目とした。

第三者機関による定期検査では、夾雑物の定量，製品の原材料として掲げる石膏種（二

水、半水、無水）の割合、水素イオン指数（pH）、重金属等の分析（全含有量）を品質管理項目とした。

なお、定期検査で行う重金属等の有害物質については、例えば、固化材や農業利用のように土と混合して利用する場合には、土と混合した状態で溶出試験を行う必要があるが、製品の原材料として製造される「再生石膏粉」については、その品質を把握することを主眼として、重金属等8項目（カドミウム、鉛、六価クロム、砒素、総水銀、セレン、ふっ素、ほう素）の含有量を定期的に検査することとした。

ただし、地方自治体のリサイクル品認定制度等においては、固化材等の評価項目に原材料の土壌溶出量（土壌環境基準）を求める自治体もあることから、関係部局に確認する必要がある。

表-3.1 品質管理項目

区分	品質管理項目	検査の目的
自主検査	夾雑物の混入状況	・解体系の廃石膏ボードには、針・鋸などの金属、剥離紙、木片、モルタル、ロックウール等の夾雑物が混入する可能性がある。
	水分量（自由水量）	・再生石膏粉の基本的な特性の把握と保管状況の管理のために検査する。
	水分量（化合水量）	・再生石膏粉の基本的な特性を把握するために検査する。なお、化合水量を測定することで製品の原材料として掲げる石膏種（二水、半水、無水）の概略的な含有量を把握することも可能である。
	最大粒径	・再生石膏粉の基本的な特性として、製造工程（中間処理）で行われる「破砕」および「篩分け」設備の性能管理のために検査する。
	水素イオン指数（pH）	・再生石膏粉の基本的な特性を把握するために検査する。 ・通常時からのpH値の変化により、夾雑物の混入等の品質の変化を把握することができる。
定期検査	夾雑物の定量	・解体系の廃石膏ボードには、針・鋸などの金属、剥離紙、木片、モルタル、ロックウール等の夾雑物が混入する可能性がある。 ・定期管理では、室内試験により、繊維分（主に紙分）と不溶解残渣の含有量を検査する。
	石膏の種類	・焼成処理によって製造される「再生半水石膏」および「再生無水石膏」については、石膏の形態を把握して石膏の種類（半水、無水）を保証する必要がある。
	水素イオン指数（pH）	・再生石膏粉の基本的な特性を把握するために検査する。 ・通常時からのpH値の変化により、夾雑物の混入等の品質の変化を把握することができる。
	重金属等（全含有量）	・再生石膏粉の有害物質に対する品質を把握するために重金属等8項目 ^{※1)} の全含有量 ^{※2)} を検査する。

※1) 重金属等8項目：カドミウム、鉛、六価クロム、砒素、総水銀、セレン、ふっ素、ほう素

※2) ここでいう含有量は、土壌汚染対策法の土壌含有量ではなく、全含有量（底質調査方法）である

3.3 検査方法

検査方法は、JIS (Japanese Industrial Standards), 地盤工学会基準等を基本とする。

【解説】

(1) 自主検査

(1)-1 夾雑物の混入状況

目視観察によって、夾雑物の混入状況（種類、量等）を記録する。

(1)-2 水分量（自由水量）

「せっこうの化学分析方法」（JIS R 9101）に準じて、粒径約 4 mm 以下の試料を 200～300 g 程度使用し、(40±2) °C で恒量になるまで空気乾燥して、その減量によって、水分（自由水）の量を求める。

なお、製造業者自らが行う自主検査には、上記公定法との整合性を確認した上で、電子水分計の使用を推奨する。電子水分計を用いる場合の試料量は、10 g 程度を標準とする。

(1)-3 水分量（化合水量）

「せっこうの化学分析方法」（JIS R 9101）に準じて、粒径約 4 mm 以下の試料を (40±2) °C で空気乾燥した後、約 1.0 g を 240～260°C で恒量になるまで加熱し、その減量によって、水分（化合水）の量を求める。

また、自由水量の測定と同様、製造業者自らが行う自主検査には、上記公定法との整合性を確認した上で、電子水分計の使用を推奨する（試料量は 10 g 程度を標準とする）。

なお、各石膏の理論上の化合水量は、二水石膏：20.9%、半水石膏：6.2%、無水石膏：0.0%となることから、石膏粉の化合水量を測定すれば、理論上の化合水量との差から、各石膏種の概略的な含有量を推定することも可能である（表-3.2 参照）。

表-3.2(1) 【参考】化合水量による各石膏種の推定含有量の換算表（二水石膏）

石膏の種類	化合水量の測定値： Wg (%)	二水石膏の推定含有量： Pd (wt%)	推定含有量の算定式
二水石膏	20.9 ~ 20.0	100 ~ 96	①
	20.0 ~ 19.0	96 ~ 91	
	19.0 ~ 18.0	91 ~ 86	
	18.0 ~ 17.0	86 ~ 81	
	17.0 ~ 16.0	81 ~ 77	
	16.0 ~ 15.0	77 ~ 72	

【推定含有量の算定式】

$$Pd = (Wg - Wi) / (Wd - Wi) \times 100 \dots\dots ①$$

Pd : 二水石膏の推定含有量(wt%), Wg : 試料の化合水量の測定値(%),

Wi : 夾雑物の化合水量(0.0%と仮定), Wd : 二水石膏の理論上の化合水量(20.9%)

表-3.2(2) 【参考】化合水量による各石膏種の推定含有量の換算表（半水石膏）

石膏の種類	化合水量の測定値： Wg (%)	半水石膏の 推定含有量： Ph (wt%)	推定含有量の 算定式
半水石膏	10.0 ~ 9.0	74 ~ 81	②
	9.0 ~ 8.0	81 ~ 88	
	8.0 ~ 7.0	88 ~ 95	
	7.0 ~ 6.0	100 ~ 95	②, ③
	6.0 ~ 5.0	97 ~ 81	③
	5.0 ~ 4.0	81 ~ 65	

【推定含有量の算定式】

(化合水量の測定値が6.3以上の場合)

$$Ph = (Wg - Wd) / (Wh - Wd) \times 100 \dots\dots ②$$

 Ph : 半水石膏の推定含有量(wt%), Wg : 試料の化合水量の測定値(%) Wd : 二水石膏の理論上の化合水量(20.9%), Wh : 半水石膏の理論上の化合水量(6.2%)

(化合水量の測定値が6.2以下の場合)

$$Ph = (Wg - Wi) / (Wh - Wi) \times 100 \dots\dots ③$$

 Ph : 半水石膏の推定含有量(wt%), Wg : 試料の化合水量の測定値(%) Wi : 夾雑物の化合水量(0.0%と仮定), Wh : 半水石膏の理論上の化合水量(6.2%)

表-3.2(3) 【参考】化合水量による各石膏種の推定含有量の換算表（無水石膏）

石膏の種類	化合水量の測定値： Wg (%)	無水石膏の 推定含有量： Pa (wt%)	推定含有量の 算定式
無水石膏	2.5 ~ 2.0	60 ~ 68	④
	2.0 ~ 1.5	68 ~ 76	
	1.5 ~ 1.0	76 ~ 84	
	1.0 ~ 0.5	84 ~ 92	
	0.5 ~ 0.0	92 ~ 100	

【推定含有量の算定式】

$$Pa = (Wg - Wh) / (Wa - Wh) \times 100 \dots\dots ④$$

 Pa : 無水石膏の推定含有量(wt%), Wg : 試料の化合水量の測定値(%) Wh : 半水石膏の理論上の化合水量(6.2%), Wa : 無水石膏の化合水量(0.0%)

(1)-4 最大粒径

最大粒径は、「土の粒度試験方法」（JIS A 1204）に準じ、JIS Z 8801-1 に規定する金属製網ふるいを用いた「篩分け」により把握する。400 g 程度の試料を破砕機の公称破砕粒径付近の篩目を用いて篩い、全ての試料が通過する最小の篩目を最大粒径とする。

なお、再生石膏粉は、破砕しやすい試料であることから、篩目に詰まった粒は、破砕しないように注意しながら押し戻し、篩にとどまった試料とみなし、手で押して無理に篩を通過させてはならない。

(1)-5 水素イオン指数 (pH)

水素イオン指数 (pH) の測定は、「せっこうの化学分析方法」（JIS R 9101）に従う。

試料を 5.0 g はかり取り、あらかじめ水¹⁾ 100 mL を入れたビーカー（200 mL）中に投

入し、直ちにマグネチックスターラーを用いて4分間かき混ぜる。pH計の電極を試料懸濁液に浸し、引き続きかき混ぜ、試料投入時から5分間経過したときのpHの値を読み取る。

なお、自主検査におけるpH値の測定は、懸濁液の作成後、pH試験紙やポータブルpH計等を用いて簡易的に測定しても良い。

(2) 定期検査

(2)-1 夾雑物の定量

試験手順を以下に示す。試験イメージを図-3.3に示す。

- ・ 200～300 g程度の試料を約40℃で恒量になるまで乾燥し、初期質量を求める。
- ・ 175℃で3時間加熱し、二水石膏部分を半水石膏化とする。
- ・ 100 μmの篩上で水洗し、半水石膏を軽くすりつぶしながら全てを洗い流す。(繊維分がほぐれない場合：15分水洗→15分水中養生→完全に溶解するまで水洗。)
- ・ 篩上の残存物を繊維分(浮揚物)と不溶解残渣(沈殿物)に分離する。(繊維分に粒子が絡まっている場合にはピンセット等で取り出し、不溶解残渣に含める。)
- ・ 繊維分と不溶解残渣をそれぞれ40℃で恒量になるまで乾燥し、各質量を計量する。
- ・ 繊維分と不溶解残渣の質量を試料の初期質量で除し、各含有率を算出する。



図-3.3 “夾雑物の定量”の試験イメージ

(2)-2 石膏の種類

① X線回折分析による方法

石膏は、二水、半水、無水の形態の違いによって、固有の回折角にピーク強度が現れることから、二水、半水、無水の判定が可能となる。また、二水、半水、無水ごとの固有のピーク強度の比から、それぞれの概算成分比を算出することができる²⁾。X線回折分析には、粒径が数十 μm 程度以下の風乾試料を用い、試料量は数g程度で良い。

② 密度と化合水量の測定による方法

図-3.4は、再生石膏粉の密度と化合水量の関係を整理したものである。図中●印は標準試薬（純度の高い石膏粉）の状態量（二水、半水、無水）を示している。また、○印は二水と半水および半水と無水がそれぞれで1:1（質量比）の割合で構成された場合の状態量を表しており、各点を実線で結び表記した。破線は、実線に対して1%及び2%の紙片が混入した場合を想定して描いた密度と化合水量の関係であり、●、●、●は再生二水石膏粉、再生半水石膏粉、再生無水石膏粉の実験値をプロットしている。

同図に示すとおり、再生石膏粉の化合水量および密度を把握することにより、再生石膏粉の概略的な夾雑物の量と石膏の種類（二水、半水、無水）を把握することができる。

なお、密度および化合水量の測定方法は、それぞれ「セメントの物理試験方法」（JIS R 5201）、「せっこうの化学分析方法」（JIS R 9101）に従う。

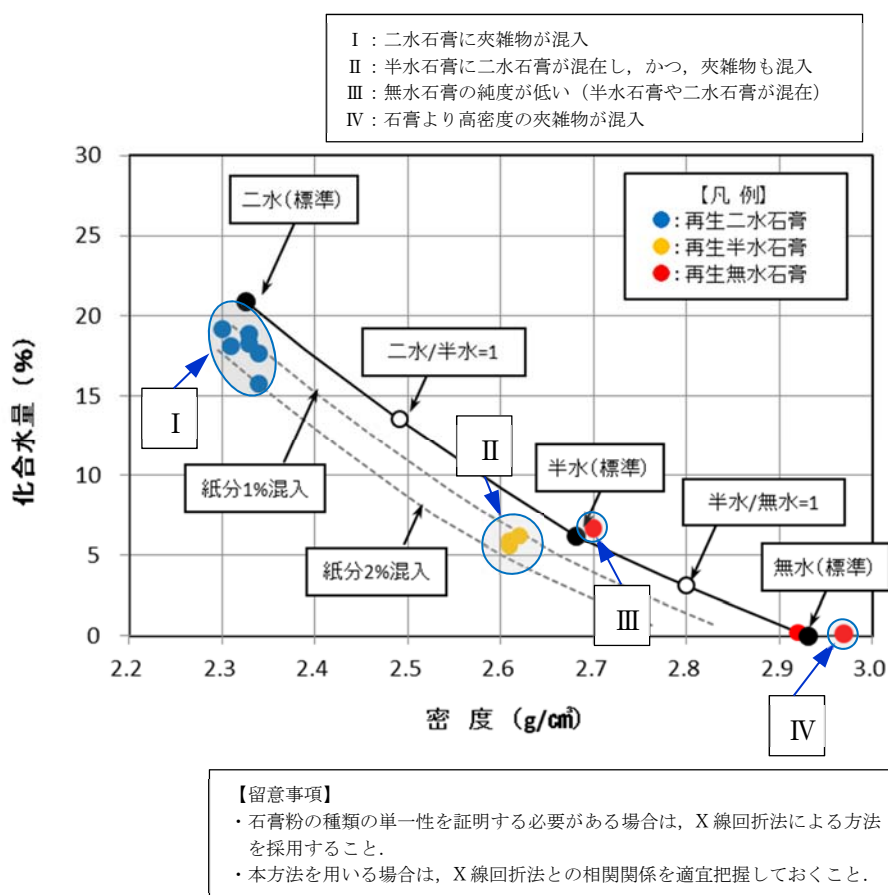


図-3.4 化合水量と密度の測定による夾雑物と石膏の種類管理イメージ

(2)-3 水素イオン指数 (pH)

「せっこうの化学分析方法」(JIS R 9101)に従う。

(2)-4 重金属等

重金属等の全含有量分析は、「底質調査方法」³⁾に従う。

また、各項目の検出下限値(単位:mg/kg)は、表-3.3に示した値程度に設定することが望ましい。

表-3.3 底質調査法による再生石膏粉の重金属等の全含有量分析に係る検出下限値⁴⁾

	カドミウム	鉛	六価クロム	砒素	総水銀	セレン	ふっ素	ほう素
検出下限値 (mg/kg)	0.1~1	0.5~5	0.5~5	0.2~2	0.01~0.1	0.2~2	20~200	0.5~5

参考として、全国石膏ボードリサイクル協議会の協力を得て、全国から収集した再生石膏粉を用いて実施した底質調査法による重金属等の全含有量分析例を表-3.4に示す。本節にしたがった品質管理の結果、本表の範囲に収まっていれば一般的に流通している再生石膏粉と同等の性能であるといえる。本表の値は、規制値ではなく、自主管理値であることから、最大値を上回る結果が出たとしても、流通を妨げるものではないが、再測定等を行うことで、重金属類が過剰に含まれる再生石膏粉であるかどうかの確認を行い、品質の管理に努めることが望ましい。

表-3.4 【参考】底質調査法による再生石膏粉の重金属等の全含有量分析例

	カドミウム	鉛	六価クロム	砒素	総水銀	セレン	ふっ素	ほう素
平均値	3未満	50未満	0.1	2.6	0.1	0.1	1,187	131
最大値	3未満	50未満	1.8	23	0.5	2.0	2,900	320
最小値	3未満	50未満	0.5未満	2未満	0.1未満	1未満	390	100未満
標準偏差	—	—	0.3	3.9	0.1	0.4	481	79

(単位:mg/kg)

- ・サンプル数:52 試料(新築系再生石膏粉, 解体系再生石膏粉の両者を含む)
- ・平均値および標準偏差の算出にあたり、検出下限値未満は0 (mg/kg) として取り扱った。

3.4 検査の運用方法

再生石膏粉の製造業者は、第三者機関による定期検査と製造業者自らが行う自主検査によって、再生石膏粉の品質を管理する。
検査結果は、品質管理票として保管し、必要に応じて商品流通時に添付する。

【解説】

品質検査は、製造業者自らが行う自主検査と計量証明事業所等の第三者機関等が行う定期検査とに大別される。また、第三者機関は、以下のいずれかの外部精度管理調査に定期的に参加していることが望ましい。

- ・ 環境測定分析統一精度管理調査（環境省）
- ・ ISO/IEC ガイド 43-1 に基づく技能試験（公益財団法人日本分析化学会，一般社団法人日本環境測定分析協会など）

ただし、製造業者が計量証明事業所であって、前述の外部精度管理調査に定期的に参加している場合は、製造業者が自ら定期検査を行うことを否定しない。

（1）検査の頻度

自主検査は、ロットごとに行うことを基本とする。ロットの大きさは、再生石膏粉が製造される期間において、1週間分を目安とする。

定期検査の頻度は、1,000 トンごととする。ただし、製造量が半年で1,000 トンに満たない場合は、半年ごとを基本とする。また、製造量が1ヶ月で1,000 トンを超える場合は、月1回程度にしても良い。

なお、出荷先の受入条件に検査頻度の定めがある場合は、この限りではない。

（2）試料の採取方法

品質検査に用いる試料は、検査頻度の中で製品を代表するように採取する必要がある。

具体的には、検査頻度に達する時期に、1～2日程度の間隔で5試料採取し、これを等量に混合して検査試料とする。

検査試料の量は、1～2 kg 程度を目安とする。

（3）品質管理票

品質管理票の記載項目を以下に示す。自主検査と定期検査の頻度が異なるため、品質管理票は2種類を用意する。

自主検査の記載項目の例は、

- ① 石膏の種類（二水，半水，無水）
- ② 製造業者名
- ③ 製造場所

- ④ 検査実施日と実施者
- ⑤ 製造年月日
- ⑥ 製造管理番号（製造ロット番号，略号等）
- ⑦ 検査結果
- ⑧ 特記事項

などであり，

定期検査の記載項目の例は，

- ① 石膏の種類（二水，半水，無水）
- ② 製造業者名
- ③ 製造場所
- ④ 製造年月日
- ⑤ 製造管理番号（製造ロット番号，略号等）
- ⑥ 検査実施日と検査実施者
- ⑦ 検査結果
- ⑧ 特記事項

などである．

再生石膏粉の納品ごとに1～数回分の自主検査用の品質管理票と，1枚の定期検査用の品質管理票がセットとなる．また，定期検査は第三者機関等で実施することから，試験結果報告書を別添として添付することが望ましい．なお，特記事項には本ガイドラインで示す方法と異なる試験法を採用した場合や，提出日時等を記載する．

（4）品質管理票の提出

製造業者は，商品出荷時に利用業者の求めに応じて提出する．

（5）品質管理票の保管

品質管理票の保管期間は，5年とする．

再生石膏粉の品質管理票（自主検査用）

1. 石膏の種類： 二水 ・ 半水 ・ 無水
2. 製造事業者名
3. 製造場所：

品質管理検査結果（自主検査結果）

検査実施日・実施者			
製造年月日（製造期間）			
製造管理番号（製造ロット，略号等）			
検査項目	夾雑物の混入状況 （種類，量の観察）		
	最大粒径（粒度・寸法）		
	水分量	自由水量 （乾燥温度：40±2℃）	%
		化合水量 （加熱温度：240～260℃）	%
	水素イオン指数		

検査実施日・実施者			
製造年月日（製造期間）			
製造管理番号（製造ロット，略号等）			
検査項目	夾雑物の混入状況 （種類，量の観察）		
	最大粒径（粒度・寸法）		
	水分量	自由水量 （乾燥温度：40±2℃）	%
		化合水量 （加熱温度：240～260℃）	%
	水素イオン指数		

検査実施日・実施者			
製造年月日（製造期間）			
製造管理番号（製造ロット，略号等）			
検査項目	夾雑物の混入状況 （種類，量の観察）		
	最大粒径（粒度・寸法）		
	水分量	自由水量 （乾燥温度：40±2℃）	%
		化合水量 （加熱温度：240～260℃）	%
	水素イオン指数		

【特記事項】

※保管期間は検査実施日より5年間とする。

再生石膏粉の品質管理票（定期検査用）

1. 石膏の種類： 二水 ・ 半水 ・ 無水
2. 製造事業者名
3. 製造場所：
4. 製造年月日（製造期間）：
5. 製造管理番号（製造ロット，略号等）：

品質管理検査結果（定期検査結果）

検査実施日	
検査実施者	

夾雑物量	繊維分	w t %
	不溶解残さ分	w t %
石膏の割合	二水石膏	w t %
	半水石膏	w t %
	無水石膏	w t %
	測定方法： X線回折法 ・ 化合水量と密度の関係 (化合水量 w t %) (密度 g / c m ³)	
水素イオン指数 (pH)		
重金属等 (底質調査方法) の全含有量	カ ド ミ ウ ム	m g / k g
	鉛	m g / k g
	六 価 ク ロ ム	m g / k g
	砒 素	m g / k g
	総 水 銀	m g / k g
	セ レ ン	m g / k g
	ふ っ 素	m g / k g
	ほ う 素	m g / k g

【特記事項】

※保管期間は検査実施日より5年間とする。

3.5 利用用途に応じた品質検査

ここでは、「3.2 品質管理項目」に加えて利用用途別の製品の原材料として必要と考えられる再生石膏粉の品質検査項目を例示する。

ただし、利用用途に応じた要求品質は出荷先の受入条件に委ねられることから、原材料を製造する際には、出荷先の品質管理項目、検査方法、管理基準等を確認の上、本項を参照されたい。

【解説】

利用用途別の再生石膏粉の検査項目の一覧を図-3.5 に示す。

利用用途	セメント 凝結遅延剤	ボード to ボード	中性固化材	改質剤	改良助剤	農業利用
使用される主な石膏	二水・無水	二水	半水・無水	二水・半水・無水	二水・半水・無水	二水
夾雑物量	◎	◎	◎	◎	◎	◎
化合水	—	◎	◎	—	◎	—
粒度	最大粒径	◎	◎	◎	◎	◎
	粒径分布	※	※	※	※	※
重金属等	溶出量	—	※	※	※	※
	含有量	◎	◎	◎	◎	◎
pH	◎	◎	◎	◎	◎	◎

◎：本ガイドラインで規定する品質管理項目（3.2節）

※：利用先によっては要求される可能性がある項目

—：不要

図-3.5 利用用途別の材料としての再生石膏粉の検査項目

（1）セメント凝結遅延剤

粒径分布に関して、セメントに関する JIS において、粉末度（比表面積もしくは、篩い通過質量で評価される粉末の細かさの程度）⁵⁾が求められる。これは、セメントメーカーにおいて、その他セメント原料との混合性能を最適化するためである。

（2）“ボード to ボード”

石膏ボード原料として再生石膏粉を受け入れる場合、

- 1) アスベストを含有していないこと
- 2) 金属、プラスチック、ビニール、ケイ酸カルシウム板、岩綿吸音板等の小片その他のセメント、石、砂、土、布、ゴム等の細粒夾雑物がないもの
- 3) 夾雑物として、ビス、釘、ステープル、壁紙、木材、塗料、断熱材、漆喰等の残片がないもの
- 4) 付着水として重量比で 1% 以上の水濡れや油汚れがないもの
- 5) 化合水に関するデータがあること

- 6) 一定の粒度以下であること（寸法・粒度として求められる場合もある）
- 7) 全含有量の他に、カドミウム、鉛、六価クロム、砒素、セレン、水銀の溶出試験結果を求められる場合もある
- 8) pHが5～10であること

が基本であり、図-3.5の一通りの検査項目が必要である。各項目の詳細や、その他の受入基準については受け入れる石膏ボードメーカーに確認する必要がある。なお、廃石膏ボード（製造履歴の明らかなもの）をそのまま石膏ボードメーカーに納品される場合は、この限りではない。1)～4)については、適正解体（例えば、国交省マニュアルに従った解体）によって達成することが可能であり、2)～8)については本章で示す品質検査方法によって確認することができる。

（3）中性固化材・改質剤・改良助剤

- ・ 製品が中性域であることを謳う場合、pH試験により、中性資材であることを評価することが必要である。
- ・ 中性固化材や改良助剤に使用する場合、石膏の種類によって強度発現が異なることから、化合水（二水、半水、無水の判定）の把握が必要である。
- ・ 乾式混合時の不均一性の防止や、混合時の粉じん発生抑制のために粒径分布⁶⁾を把握する必要がある。
- ・ 地方自治体のリサイクル品認定制度等においては、評価項目に原材料の土壌溶出量（土壌環境基準）を求める自治体もある。
- ・ 紙分等の夾雑物が強度発現に影響を及ぼすことから、夾雑物量の管理が特に重要である。適切に製造された再生二水石膏粉の紙分は、2～3%程度以下となる。

（4）農業利用

- ・ 農作物への安全性を担保するため、夾雑物量、重金属等の溶出量、水素イオン指数（pH）の評価が必要である。
- ・ 土壌への混合時の不均一性を防止するためや、混合時の粉じん発生抑制のために粒径分布⁶⁾を把握する必要がある。

【参考文献】

- 1) JIS K 0557-1998：用水・排水の試験に用いる水。
- 2) JIS K 0131-1996：X線回折分析通則。
- 3) 環境省水・大気環境局：底質調査方法，平成24年8月。
- 4) 建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壌への対応マニュアル（暫定版），平成22年
- 5) JIS R 5201-2015：セメントの物理試験方法。
- 6) JIS A 1204-2009：土の粒度試験方法。

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

4.1 利用用途

再生石膏粉を用いた固化材、改質剤の用途は、主に、固化による力学性能等の向上と改質によるハンドリング（搬送性、篩い分け性能）の向上がある。本章では、再生石膏粉を単味または他の材料と混合した材料を、固化材または改質剤として使用する場合の利用用途について示す。これらの固化材、改質剤を使用する際には、用途に応じた要求品質を満たすことを事前の各種試験等により確認する必要がある。なお、ここで固化や改質の対象とする土は、土壌汚染対策法の溶出量基準と含有量基準に適合した非汚染土とする。

【解説】

（1）利用用途の種類

再生石膏粉の利用用途の詳細を表-4.1示す。

再生石膏粉の利用形態は、①固化材、②改質剤の2種類に大きく分けられる。それぞれの目的は次のとおりである。

(1)-1 固化材

軟弱な土や浚渫土の固化もしくは締固め特性の向上による力学性能の向上（例：軟弱地盤の支持力増加、トラフィカビリティの向上、軟弱土の盛土材としての利用、軟弱地盤の改質による路床、路盤材への利用）

(1)-2 改質剤

造粒による高含水・高粘性の土からの夾雑物選別の性能向上や、廃棄物混じり土からの廃棄物の選別、コーン指数の増加による運搬性向上（例：篩いによる土中夾雑物選別、泥濘土（ $q_c < 200 \text{ kN/m}^2$ ）に対するダンプトラック等の搬送性確保）、軟弱土の路盤材、路床材としての利用

表-4.1の利用形態における「主材」とは、その材料成分の多くが再生石膏粉であり、中性域であることを特徴とした固化材または改質剤を指す。また、「助剤」とは、固化材または改質剤の機能を高めるために、再生石膏粉をセメントや石灰等の助剤として配合した材料を指す。なお、固化材・改質剤の主材は再生石膏粉単味の場合もある。

（2）使用に際しての留意点

これらの固化材、改質剤を使用する際には、第4.3節に基づき、用途に応じた要求品質を満たすことを事前の各種試験等により確認する。また、再生石膏粉はふっ素等の重金属等の溶出量が多いものが多いこと等から、第4.5節に基づき、改良土に対して環境安全品質に関する検査を実施する。

再生石膏粉を固化材または改質剤の主材として用いる場合は、加水してスラリーとすると、その時点で二水石膏を生成して土質改良や地盤改良時の力学性能増加が期待できなくなるため、使用時姿は粉体とすることが望ましい。また、力学性能における改良効果だけでは

なく、使用用途に合わせて、長期耐久性や膨張の可能性等を十分に検討することが必要である。力学性能の改良においては、支持力や法面安定性の増加のみならず、植生基盤への利用も考えられ、植生の繁茂に適した土壌硬度となるように配合試験で材料・添加量の検討が求められる場合もある。

再生石膏粉を固化材の助剤として使用する場合は、二水石膏でもエトリングイト等の結晶鉱物の生成が期待されるため、粉体またはスラリーのどちらでも使用できる。この時、エトリングイト等の結晶性鉱物生成による力学性能増加の傾向は土質によって異なることから、事前の配合試験でセメントや石灰量の増加に比べてコストメリット等があるかどうかを判断した上で使用する。エトリングイト等の生成による力学性能の向上はロームや粘性土で効果が高い報告がある¹⁾。一方で、エトリングイト等の生成は膨張を起こす可能性があるため、事前の配合試験で膨張性の有無およびその程度を確認することが望ましい。

再生石膏粉を改質剤として使用する場合は、改質の主な目的が空隙自由水の吸水による粘着性、付着性の減少であることから、スラリーとしての利用はないものとしている。

なお、表-4.1に示す想定 pH の中性域とは、水質汚濁防止法の一律排水基準 pH=5.8~8.6 の範囲内であることを示し、アルカリ性とは、pH=8.6 を超過する pH を示す。

表-4.1 再生石膏粉の利用用途の詳細

利用形態	工種・用途	使用時姿	想定 pH	石膏の機能	利点	欠点	
固化材	主材	地盤改良	中性域 ($5.8 \leq \text{pH} \leq 8.6$)	・無水石膏や半水石膏の水和物である二水石膏の結晶が生成することで所定の力学性能を発現する	・pH が中性域(原土が中性域である場合) ・重金属等の溶出挙動に与える影響が小さい(事前試験により要確認)	・セメントや石灰等に比べて力学性能向上は小さい ・粉じん発生の可能性がある ・結晶生成により膨張の可能性がある ・石膏の溶解により長期的な力学性能低下の可能性はある	
		盛土材, 覆土材, 埋立材					
		路床, 路盤材					
	助剤	地盤改良	粉体/スラリー	アルカリ性	・エトリングイト等のセメント結晶鉱物の生成促進により力学性能が向上する	・力学性能向上や速硬性がある ・ロームや粘土の改質効果が高い ・重金属等の溶出挙動に与える影響が小さい(事前試験により要確認)	・粉体利用時は粉じん発生の可能性がある ・結晶生成により膨張の可能性がある
		盛土材, 覆土材, 埋立材					
		路床, 路盤材					
ソイルセメント							
流動化処理土							
セメント固化体							
改質剤	主材	廃棄物等の分別・分級	中性域	・無水石膏や半水石膏の水和反応による吸水作用	・pH が中性域(原土が中性域である場合)	・粉じん発生の可能性がある ・固化により分別, 分級が困難になる可能性がある ・固化により機械への付着性が増加する可能性がある	
		運搬時の前処理(ハンドリング性向上)					
	助剤	廃棄物等の分別・分級	粉体	アルカリ性	・無水石膏や半水石膏の水和反応による吸水作用と、エトリングイト等セメント結晶鉱物生成による力学性能の向上と自由水の減少	・pH を大きく変動させず、物理的吸水作用(含水比低下)により主材性能を補助する作用がある	・固化により分別, 分級が困難になる可能性がある ・固化により機械への付着性が増加する可能性がある
		運搬時の前処理(ハンドリング性向上)					

※ここでは、表-1.1に示した用途の中から主に「地盤改良および安定処理」に関する部分を再整理した。

4.2 固化材・改質剤の品質管理

再生石膏粉を用いた固化材・改質剤は適切に品質管理されたものを使用しなければならない。

【解説】

地盤改良等へ利用する固化材・改質剤の製造に用いる再生石膏粉は、第3章に示した一連の品質管理によって出荷（もしくは製造）されたものでなければならない。

また、再生石膏粉を用いた固化材・改質剤を地盤改良工事等へ用いる際は、底質調査方法による全含有量分析等によって、平常時と大幅に異なる化学組成になっていないことを確認しなければならない。なお、平常時の化学組成その他品質の把握は固化材・改質剤メーカーが測定データを蓄積することによって成し得る。さらに、再生石膏粉を用いた固化材・改質剤による地盤改良等における環境安全性は、第4.5節で示すように、本ガイドラインでは、適用現場の発生土等を用いて室内配合試験を行い確認することとする。そのため、固化材・改質剤自体の含有量や溶出量に基準値はない。

なお、再生石膏粉を含む固化材・改質剤の出荷の際には、ロットごとに SDS（旧:MSDS, 安全データシート, 必要項目は以下の記載を参照）を発行・提出する。

<SDS（安全データシート）記載事項>

1. 製品及び会社情報
住所, 担当部門, 担当者（作成者）, 電話番号, FAX 番号, 電子メール,
緊急連絡先, 製品名, 推奨用途及び使用上の制限
2. 危険有害性の要約
3. 組成, 成分情報
4. 応急措置
5. 火災時の措置, 消火方法
6. 漏出時の措置
7. 取扱い及び保管上の注意
8. 暴露防止措置及び保護措置
9. 物理的及び化学的性質
10. 安定性・反応性
11. 有害性情報
12. 環境影響情報
13. 廃棄上の注意
14. 輸送上の注意
15. 適用法令
16. 引用文献その他の情報

4.3 設計から室内配合試験，施工までの流れ

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に際しては，用途に応じて必要な力学性能や pH 等を設定する。その上で，固化材メーカーと施工業者が協力して，室内配合試験・溶出試験により設定された要求性能と環境安全品質の事前確認を行い，原位置において重機によりまたは土質改良機により均質な攪拌・混合を実施し，品質を確保する。

【解説】

設計から室内配合試験，施工までの標準的なフローを図-4.1 に示す。

(1) 設計

設計段階では，用途に応じて必要な力学性能や pH 等の設定を行う。第 4.1 節でも述べたように，再生石膏粉の地盤改良等への利用形態は，①固化材，②改質剤の 2 通りが考えられる。①固化材を用いることの本来的な目的は改良による力学性能向上，締固め特性の向上等であり，事前検討項目は明確であるが，②改質剤については現場ごとに目的や要求性能が異なっている。そのため，①固化材については設計上必要とされる項目を，②改質剤については目的に合わせて必要とされる性能を，それぞれ設定しなければならない。

(2) 室内配合試験

固化材・改質剤メーカーやコンサルタント会社等は，事案ごとに，施工業者の協力の下で適用現場の発生土を用いて室内配合試験を行い，所定の力学性能（第 4.4 節参照）が発揮され，かつ環境安全品質（第 4.5 節参照）が確保される適切な配合条件を提示する。

室内配合試験に用いる固化材または改質剤は，第 4.2 節に従って，また，再生石膏粉を単味で固化材・改質剤として用いる場合は，第 3 章に従って，それぞれ品質管理されたものでなければならない。

室内配合試験の方法については，例えば，「セメント系固化材による地盤改良マニュアル（第 4 版）」，「石灰による地盤改良マニュアル」に準じて実施する。再生石膏粉の場合，混練の回数や攪拌方法によって一軸圧縮強さが変化することがあるため，混練の方法（使用機器，攪拌時間，回転数（回転式の場合））についても検討することが必要である。

所定の力学性能が達成できる配合を決定した後，適切な養生期間（目安として 7～28 日程度）を設定し，第 4.5 節に示す溶出試験等を実施する。さらに，硫化水素ガスの発生が懸念されるような中性固化材等の pH が中性域のもの（第 4.5 節の検査方法に示す懸濁液 pH が 9.5 未満のとき），ならびに改良対象土の有機物含有量が多い場合（地盤材料の工学的分類方法 JGS 0051-2000 において高有機質土 {Pm} に分類される場合）は，硫化水素ガス発生ポテンシャル試験も実施することが必要である。

固化材・改質剤メーカーは施工業者へ製品を受け渡す際に，室内配合試験における環境安全品質，ならびに固化材・改質剤の品質変動に関する全含有量試験等の情報（第 3.3 節および第 4.2 節参照）を併せて添付することを基本とする。

(3) 施工

施工に際しては、固化あるいは改質の目的を踏まえた上で現場施工条件に適合した施工方法を選定し、固化あるいは改質に関わる要求品質と環境安全性を満足するよう適切な施工管理を行わなければならない。施工管理時の留意点は第4.6節を参照のこと。

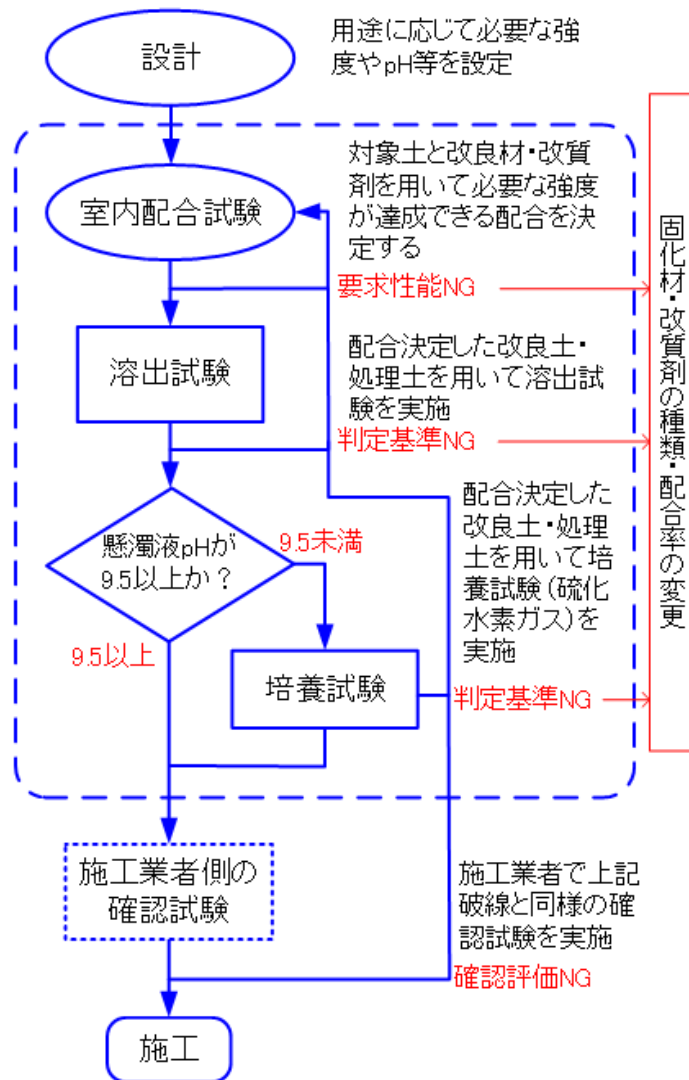


図-4.1 設計から室内配合試験、施工までの流れ

4.4 力学性能に関する要求品質と検査方法

再生石膏粉を用いた固化材・改質剤を建設発生土の利用や建設汚泥の再生利用に用いる場合は、本節に示す圧縮強さ、コーン指数等について利用用途の要求品質に適合していることを確認する必要がある。

【解説】

建設発生土の利用や建設汚泥の再生利用のため、再生石膏粉を用いてその性状を改良する技術は、固化と改質に区分される。ここではそれぞれの場合において満足すべき基準を示す。建設発生土の利用や建設汚泥の再生利用においては、ここで示す利用用途に応じた品質基準を満足する必要がある。

(1) 再生石膏粉を用いた固化材・改質剤を利用する際に準拠すべき基準

再生石膏粉を用いた固化材・改質剤を建設発生土の改良等へ利用する場合、通達「発生土利用基準」（平成18年8月10日、国官技第112号、国官総第309号、国営計第59号）に従うことが必要である。なお、実際の適用にあたっては、「建設発生土利用技術マニュアル第4版」（土木研究所編著、土木研究センター発行）を参考にするが良い。

また、建設汚泥の再利用にあたっては「建設汚泥の再生利用に関するガイドライン」（平成18年6月12日、国官技第46号、国官総第128号、国営計第36号、国総事第19号）、「建設汚泥の再利用に関する実施要領」、「建設汚泥処理土利用技術基準」（平成18年6月12日、国官技第50号、国官総第137号、国営計第41号）に従うとともに、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」に従った手続きが必要となる。

なお、再生石膏粉を単味（または、主材）として建設汚泥の改良等に用いた場合、地下水位や潮汐の変化により改良部が地下水面以深となるような状況、または、長期的に降雨に暴露される環境下では、再泥化が発生する可能性があり、留意を要する。

※ 再泥化とは「用語の定義および解説」に記述しているように、「固化材により改良された土が水に浸漬された状態になると力学性能の低下を起し、軟化或いは泥状化する現象」である。このため、海浜・河川部、地下水以深での処理土の利用に際しては十分検討する必要がある。

(2) 固化・改質における所定力学性能

(2)-1 固化

固化の目的は、力学性能の向上および変形の抑制であり、改良後、所定の養生時間を経たのち、設計上必要とされる一軸圧縮強さ、支持力等を発現することが求められる。室内試験では、一軸圧縮強さを一軸圧縮試験（JIS A 1216）により、現地盤では、支持力や地盤反力を必要に応じて、ポータブルコーン貫入試験（JGS 1431-2003）、平板載荷試験（JGS 1521-2003）、スウェーデン式サウンディング試験（JIS A 1221）等によりそれぞれ測定する。

(2)-2 改質

改質の目的として、①標準仕様ダンプトラックで運搬できる程度（コーン指数 200 kN/m²）に土質性状を変える、②植生ができる程度に泥濘土を改良する、③がれき等に付着した土砂を剥離する等が想定される。以下に改質区分ごとに示す。

① 標準仕様ダンプトラックによる運搬を目的とした改質

標準仕様ダンプトラックに積載ができず、また、その上を人が歩けない状態のものは、土の力学性能の指標で示せば、コーン指数が概ね 200 kN/m² 以下である²⁾。これは目安であり、土の組成によってはこれ以上でも運搬できないこともあるが、この値を要求品質として、建設発生土や建設汚泥処理土の品質区分判定と同様に検査を実施する。

② 植生基盤への利用を目的とした改質

植生基盤としての土壌は、地盤としての支持力等を必要としないことから、要求品質は土が移動できる程度のコーン指数 200 kN/m² として、建設発生土や建設汚泥処理土の品質区分判定と同様に検査を実施する。

③ がれき等に付着した土砂を剥離する補助材

当該使用に際しては、土砂を剥離することが目的であることから力学性能に関する要求品質はない。適用の際には、改質土について目開き 10~20 mm 程度の篩を用いて、篩い分け試験を行い、通過率と残存率から篩い分け性能を評価する。篩の目開きは、土中からの夾雑物選別の場合、夾雑物の形状や寸法に合わせて、決定する。事前確認の手順については、**図-4.1**の配合試験フローを参照し、改良土と同様に篩下の改質土について事前確認を行う。

4.5 環境安全性に関する要求品質と検査方法

再生石膏粉を用いた固化材・改質剤を建設発生土の利用や建設汚泥の再生利用に用いる場合は、固化または改質後の土を対象として、本節に示す環境安全性（重金属等、pH、硫化水素ガスの発生）が、利用用途の要求事項に適合していることを確認する必要がある。

【解説】

(1) 重金属等

重金属等に関する環境安全品質検査方法の概要を表-4.2に示す。

第4.3節で示したように、本ガイドラインでは、再生石膏粉を用いた固化材・改質剤による地盤改良等における環境安全性は、適用現場の発生土等を用いて室内配合試験を行い確認することとする。建設発生土等と混合して固化または改質を行う場合は、平成13年環境省通知の考え方に従って、固化または改質後の土に対して、土壤環境基準（農用地関係は除く）への適合性を判定するH3環告46号を適用することとする。一方、セメント等の助剤として用いる場合は、セメント固化体の状態で評価が可能なJIS K 0058-1「スラグ類の化学物質試験方法—第1部：溶出量試験」の5.有姿攪拌試験を行うこととする。また、処分場への運搬の前処理として改質を行う場合は、管理型産業廃棄物処分場等への受け入れのための判定試験「産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法」（S48環告13号）を行うこととする。

ただし、環境安全性に係る試験項目等については、条例や他法令等への適合が求められる場合があるため、受け入れ先の条件等を確認する必要がある。

(1)-1 試料調製

室内配合試験に用いた改良体等を対象とし、参照する各試験方法の試料調製方法に基づき試料調製を実施する。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。

なお、再生石膏粉以外に配合された材料によって基準値を超過するおそれが考えられる場合は、再生石膏粉を添加しない配合についても同様に試料を調製して試験を行い、この結果と比較することにより、再生石膏粉が基準超過の原因ではないことを確認し、基準値を超過しない固化材・改質剤を用いて試料調製を行う。

(1)-2 試験方法

参照する各試験方法に基づく。

(1)-3 検査項目

検査項目を表-4.2に示す。

土壤環境基準に含まれる項目のうち、重金属等（農用地関係は除く）を検査項目とする。

(1)-4 基準値

基準値を表-4.3に示す。

基準値は、土壤環境基準と同等とする。ただし、再利用が想定されない港湾施設の構造物を構成するセメント固化体（助剤として再生石膏粉を用いる場合）については、総合報告書³⁾の考え方にに基づき、同報告書の港湾用途基準と同等とする。また、処分場運搬時の前処理としての改質の場合は、管理型処分場受入基準（S48 環告 13 号）と同等とする。

表-4.2 環境安全品質検査方法（重金属等）の概要

利用形態	工種・用途	試験対象 試料	試験方法	測定項目	養生期間	
固化材	主材	地盤改良	混合土	H3 環告 46 号	水銀、鉛、カドミウム、 六価クロム、ヒ素、セレン、 フッ素、ホウ素	混合後 7~28 日程度
		盛土材、覆土 材、埋立材	混合土			
		路床、路盤材	混合土			
	助剤	地盤改良	混合土			
		盛土材、覆土 材、埋立材	混合土			
		路床、路盤材	混合土			
		ソイルセメン ト	混合土			
		流動化処理土	混合土			
セメント固化 体	混合土	JIS K 0058-1	水銀、鉛、カドミウム、 六価クロム、ヒ素、セレン、 フッ素、ホウ素			
改質剤 (主材・助 剤共通)	廃棄物混じり 土等の土と廃 棄物の分別・ 分級	分別土 ^{注)}	H3 環告 46 号	水銀、鉛、カドミウム、 六価クロム、ヒ素、セレン、 フッ素、ホウ素	混合直後	
	処分場以外へ の運搬時の前 処理	改質土				
	処分場への運 搬時の前処理	改質土	S48 環告 13 号	水銀、鉛、カドミウム、 六価クロム、ヒ素、セレン		

注) 廃棄物等を除去した後の分別土をいう。

表-4.3 環境安全品質基準（重金属等）

項目	一般用途溶出量基準 ^{注1)} (mg/L)	港湾用途溶出量基準 ^{注2)} (mg/L)	管理型処分場受入基準 ^{注3)} (mg/L)
水銀（化合物を含む）	0.0005 以下	0.0015 以下	0.005 以下
鉛（化合物を含む）	0.01 以下	0.03 以下	0.3 以下
カドミウム（化合物を含む）	0.01 以下	0.03 以下	0.09 以下
六価クロム（化合物を含む）	0.05 以下	0.15 以下	1.5 以下
砒素（化合物を含む）	0.01 以下	0.03 以下	0.3 以下
セレン（化合物を含む）	0.01 以下	0.03 以下	0.3 以下
ふっ素（化合物を含む）	0.8 以下	15 以下	-
ほう素（化合物を含む）	1 以下	20 以下	-
試験方法	H3 環告 46 号	JIS K 0058-1	S48 環告 13 号
参考とした基準等	土壤環境基準	建設分野の規格への環境 側面の導入に関する指針 附属書 I	金属等を含む産業廃棄物 に係る判定基準

注 1) 再利用が想定されない港湾施設の構造物を構成するセメント固化体、ならびに処分場運搬時の前処理としての改質は対象としない。

注 2) 再利用が想定されない港湾施設の構造物を構成するセメント固化体のみを対象とする。

注 3) 管理型処分場受け入れ時の前処理としての改質の場合のみを対象とする。

(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⁾。

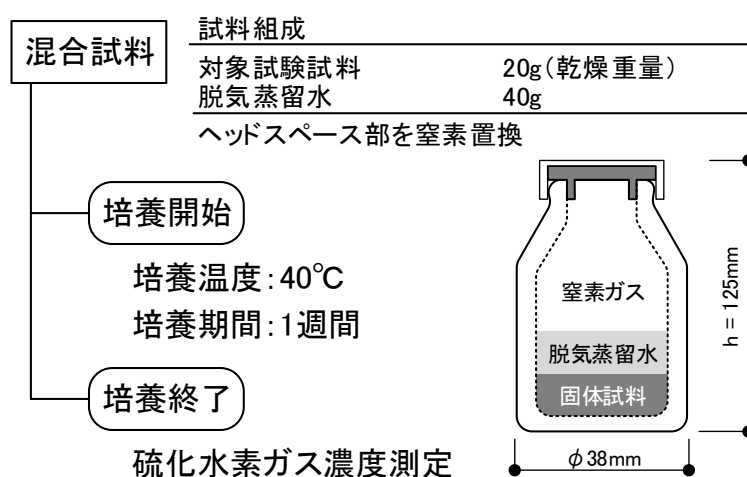


図-4.2 バイアル瓶を用いた硫化水素ガス発生ポテンシャル試験⁴⁾

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，この濃度が土壌中で発生したとしても，硫化水素ガスは周辺土壌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

4.6 施工管理における留意点

施工に際しては、固化あるいは改質の目的を踏まえた上で現場施工条件に適合した施工方法を選定し、固化あるいは改質に関わる要求品質と環境安全性を満足するよう適切な施工管理を行わなければならない。

【解説】

（１）搬入と保管

再生石膏粉の搬入時の荷姿は、紙袋、フレコンバッグ、バラ（ローリー車運搬）があり、施工方法や施工量に応じて適切な方法を選択する必要がある。施工現場において再生石膏粉等の固化材を仮置きする場合、パレット等の上に置き、地面に直接置くことを避ける。また、降雨の恐れのある場合や湿度が高い場合にはビニールシートで覆う等の処置が必要である。

（２）品質の確認（受入検査）

再生石膏粉を現場で受け入れる際には、管理票（品質証明書）等の内容を照合し、含有成分を確認する。再生石膏粉の粉体の性状について、粒径等が施工上問題ないか、異物の混入がないか、湿気・含水による品質劣化が生じていないかなどを確認する必要がある。

（３）施工時の留意事項

(3)-1 粉体混合方式での留意事項

粉体混合方式を用いる浅層混合処理工法等においては、固化材の散布・混合の際に、発塵による周辺環境、作業環境への影響に注意する。作業の際は風速、風向に注意し、特に施工現場が市街地や農地に近接する場合には、粉じんの発生と飛散を極力抑える必要がある。対策として、飛散防止シート・囲いの設置などが挙げられる。また、作業者は手袋、長靴、保護メガネ、防塵マスクなど適切な保護具の着用が求められる。

(3)-2 スラリー混合方式での留意事項

4.1 節（２）に示す通り、半水石膏を主成分とする再生石膏粉は、加水してスラリーとすると、その時点で二水石膏を生成して、土質改良や地盤改良時の力学性能の向上が期待できなくなるため、原則として、使用時姿は粉体とすることが望ましい。施工上の制限等からスラリー混合方式を用いざるを得ない場合には、加水～混合・攪拌に要する時間や加水量（含水比）を詳細に管理し、所定の固化作用が発揮されるように留意する必要がある。また、深層混合処理工法におけるオーバーラップ施工では、早期に固化した既設改良体との混合・攪拌によってオーバーラップ部の品質に問題が生じないか、事前の検討が必要である。

(3)-3 地盤環境に関わる留意事項

生活環境保全上の支障が生じないように、第 4.5 節で示す環境安全性を確保すること。

(4) 品質管理

品質管理においては、改良目的と要求品質に応じて所定の養生日数における改良体の力学性能試験を行う。力学性能試験は、現場にてモールドを用いて製作する供試体、あるいは改良地盤の試料採取を行って、一軸圧縮試験を実施するのが一般的である。改良地盤の原位置試験を行う場合には、地盤の性状や改良目的に応じてポータブルコーン貫入試験（JGS 1431-2003）、平板載荷試験（JGS 1521-2003）、スウェーデン式サウンディング試験（JIS A 1221）等を選定する。

品質管理における改良体あるいは改質土のサンプリング頻度等は、「セメント及びセメント系固化材の地盤改良への使用及び改良土の再利用に関する当面の措置について」（建設省技調発第48号、平成12年3月24日）に準ずる。

【参考文献】

- 1) 佐藤研一，藤川拓朗，古賀千佳嗣：再生半水石膏を用いた地盤改良材の耐久性に関する研究，福岡大学研究部論集 F3，pp. 24-49，2016.
- 2) （独）土木研究所編著：建設汚泥再生利用マニュアル，2008年12月.
- 3) 経済産業省産業技術環境局産業基盤標準化推進室：コンクリート用骨材又は道路用等のスラグ類に化学物質評価方法を導入する指針に関する検討会 総合報告書，平成24年3月.
- 4) 遠藤和人，中川美加子：廃石膏ボード由来の再生石膏の熱処理による硫化水素ガス発生挙動の違い，第26回廃棄物資源循環学会研究発表会，pp. 215-216.
- 5) 遠藤和人，中川美加子，肴倉宏史，井上雄三，井真宏，杉原元一：再生石膏・石灰系地盤改良における硫化水素ガス発生挙動に関する研究，journal of the Society of Materials Science，Vol.61，No.1，pp. 31-36，2012.
- 6) 小野雄策，田中信壽：建設廃棄物埋立における硫化水素ガス発生の可能性と管理法に関する考察，廃棄物学会論文誌，Vol.14，No.5，pp. 248-257，2003.
- 7) 佐藤研一，押方利郎，武下俊宏：廃石膏ボードリサイクル技術の総合化に関する研究，平成23年度環境研究総合推進費補助金 研究事業 総合研究報告書，pp. 94-102，2012.
- 8) 環境省：温泉利用施設における硫化水素中毒事故防止のためのガイドライン，2017年9月.

第5章 その他分野等への適用と展望

5.1 土木利用

品質管理された再生石膏粉は、中性固化材の主材や、セメントや石灰系固化材の助剤として、また、改質剤としての利用が期待される。

【解説】

「平成 24 年度 建設副産物実態調査」（国土交通省）によると、我が国の建設発生土の場外搬出量は、約 1 億 4,080 万 m³（平成 24 年度）である。

一方、『建設発生土等の有効利用必携（建設発生土等有効利用研究会：2003 年 10 月）』によると、場外搬出される建設発生土のうちの約 8%（約 1,100 万 m³）が、活用に際して土質改良等が必要となる第 4 種建設発生土や泥土である（表-5.1 参照）。

建設発生土の単位体積重量を 1.8 t/m³ とし、改質剤添加率を 3% とした場合、改良材としての需要量は約 600 千トン程度と想定される。

600 千トン ≒

$$11,263 \text{ 千 m}^3 \text{ [場外搬出量]} \times 1.8 \text{ t/m}^3 \text{ [建設発生土の単位体積重量]} \\ \times 3\% \text{ [改質剤添加率]}$$

表-5.1 我が国の建設発生土の場外搬出量と改良を必要とする土砂量の推計

単位：千 m³

土質の種類	排出量等	
	土質別構成比 ※2	
場外搬出量 ※1		140,790
うち第 1 種建設発生土	39%	54,908
うち第 2 種建設発生土	33%	46,461
うち第 3 種建設発生土	20%	28,158
うち第 4 種建設発生土	6%	8,447
うち泥土	2%	2,816
第 3 種，第 4 種，泥土計		39,421
第 4 種，泥土計		11,263

※1：平成 24 年度建設副産物実態調査（国土交通省）

※2：建設発生土等有効利用必携

改良材の添加量が 150 kg/m³，改良材の助剤として再生石膏粉を 10% 程度利用されると仮定し（再生石膏粉としては 15 kg/m³ の添加量），第 3 種建設発生土を安定処理することを想定した場合，潜在的な需要量は約 760 千トン程度と推算される。

760 千トン ≒

$$28,158 \text{ 千 m}^3 \text{ [場外搬出量]} \times 1.8 \text{ t/m}^3 \text{ [建設発生土の単位体積重量]} \\ \times 15 \text{ kg/m}^3 \text{ [助剤としての添加量]}$$

5.2 農業利用

再生石膏の農業分野への利用は、植物の生育促進を図る目的での使用と、農業土壌の改良を図る目的での使用が想定され、それぞれ混合割合、施用時期・混和方法などが異なったものになる。従って、それぞれの活用目的に応じた品質管理等を行うことが必要である。

【解説】

再生石膏が農業分野で期待される効果は2つあり、そのうちの一つは石膏の植物への生育促進効果である。再生石膏は硫酸（硫黄）およびカルシウムで構成され、このうちカルシウムは植物の生育に必須であり窒素、リン、カリウムの多量要素に続く中量要素として重要性が認識されている。植物における働きとして、カルシウムは細胞間の接着剤の役割をするペクチン酸カルシウムの生成に関与している。カルシウムが不足すると細胞間の接着が弱くなる、即ち組織がもろくなり、器官形成不能、或いは外部衝撃による腐食、病害に対する抵抗力が低下する等の障害が発生する。また、硫黄も同様に中量必須元素であり、含硫アミノ酸の構成要素や細胞の機能調節にかかわっており、不足することで細胞の代謝が低下するとされる。

ただし、肥料として製造・販売する場合には、各都道府県における「特殊肥料の登録」を行わなければならない。石膏に関しては、肥料取締法に基づく特殊肥料等（昭和25年農林省告示第177号）において「石こう（りん酸を生産する際に副産されるものに限る。）」と記されており、りん酸石膏のみが該当するため、再生石膏は登録ができない。従って、肥料としては販売できないが、植物の生育に良好な作用があるとされる「土壌改良資材」、「活力剤」としての販売が可能である。

もう一つは土壌改良効果であるが、石膏は中性であるのでアルカリ過剰の土壌を中和する作用があり、アルカリに弱い作物の生育を助ける。また、石膏には土壌の団粒化構造を促進する作用があり、通気性の改善から病気の予防、余剰な塩分の排出効果などが期待できる。そのため、「土壌改良資材」として販売することができる。

「土壌改良資材」の品質管理に関しては「再生石膏を用いた農業用土壌改良資材の環境安全品質ガイドライン（石膏再生協同組合 発行）」を参照されたい。

「作物統計調査」によると、我が国の農産物の作付面積（平成29年度）は、稲作が約147万ha、畑作（麦作、かんしょ、そば、豆類）が約56万haなどとなっている。その他、果樹や茶なども含め、牛糞堆肥が使用されたと想定すると、推定堆肥量は38百万～59百万トンと想定される（表-5.2 参照）。カルシウム添加や含水比調整等を目的に、堆肥の約1%重量に再生石膏粉を添加したとすると、約50万トン程度の活用が想定される。

既存の農業用土壌改良資材「エコカル」を参考にすると、稲作ならびに果樹（みかん、りんご、なし、ぶどう、もも等）に対しては、10a当たり60kg（0.6トン/ha）を施肥するとされている。全国の稲作面積は147万ha、果樹は18万haであることから、施肥可能な潜在量としては約100万トンと推計される。

表-5.2 我が国の堆肥の必要量（想定）

		稲作	畑作 ※2	果樹	
作付面積(ha)	a	1,466,000	560,670	216,062	
堆肥の施肥基準(t/10a) ※1					
稲わら堆肥	b1	1 ~ 1	2 ~ 4	2.5 ~ 2.5	
牛ふん堆肥	b2	0.3 ~ 0.3	1.5 ~ 2.5	1.5 ~ 1.5	
豚ふん堆肥	b3	0.15 ~ 0.15	1 ~ 1.5	1 ~ 1	
バーク堆肥	b4	1 ~ 1	1.5 ~ 2	1.5 ~ 1.5	
想定施肥量(千 t)					
稲わら堆肥	c1=a×b1	14,660 ~ 14,660	11,213 ~ 22,427	5,402 ~ 5,402	
牛ふん堆肥	c2=a×b2	4,398 ~ 4,398	8,410 ~ 14,017	3,241 ~ 3,241	
豚ふん堆肥	c3=a×b3	2,199 ~ 2,199	5,607 ~ 8,410	2,161 ~ 2,161	
バーク堆肥	c4=a×b4	14,660 ~ 14,660	8,410 ~ 11,213	3,241 ~ 3,241	
		茶	飼料作物	野菜	合計
作付面積(ha)	a	42,400	985,100	468,700	3,738,932
堆肥の施肥基準(t/10a) ※1					
稲わら堆肥	b1	2 ~ 4	2 ~ 4	2.5 ~ 4	
牛ふん堆肥	b2	1.5 ~ 2.5	1.5 ~ 2.5	1.5 ~ 2.5	
豚ふん堆肥	b3	1 ~ 1.5	1 ~ 1.5	1 ~ 1.5	
バーク堆肥	b4	1.5 ~ 2	1.5 ~ 2	2.5 ~ 2.5	
想定施肥量(千 t)					
稲わら堆肥	c1=a×b1	843 ~ 1,696	19,702 ~ 39,404	11,718 ~ 13,748	63,542 ~ 102,336
牛ふん堆肥	c2=a×b2	636 ~ 1,060	14,777 ~ 24,628	7,031 ~ 11,718	38,492 ~ 59,061
豚ふん堆肥	c3=a×b3	424 ~ 636	9,851 ~ 14,777	4,687 ~ 7,031	24,928 ~ 35,213
バーク堆肥	c4=a×b4	636 ~ 848	14,777 ~ 19,702	11,718 ~ 11,718	53,441 ~ 61,382

資料：作付面積（H29年度）「作物統計調査（農林水産省）」

※1：「なるほど土壌診断ガイド（JA全農）」黒ボク土の施肥基準（施肥基準の幅は、寒地・暖地の相違）

※2：畑作は、麦作（子実用）、かんしょ、そば（乾燥子実）、豆類の合計

5.3 畜産利用

再生石膏の畜産分野での活用は、敷料としての利用が行われてきており、単味での活用、おがくずとの混合による利用、藁やおが粉との混合・併用としての活用などが行われてきている。このため、これらの活用形態を考慮した品質管理を行うことが必要である。

【解説】

畜産用途での活用は、家畜の傷害、病気や臭気の軽減のため敷料として利用される。

畜産においては家畜の糞尿による臭気や病害が問題となる。これらは、畜舎での飼育密度が高く、清掃頻度が低い場合に頻発する。一般的には、粃殻、藁、おが粉等を用いて、余分な水分を吸収させることで、予防・軽減が可能である。しかし、近年ではバイオマス発電の燃料として、それらが利用されるため価格は上昇傾向にある。

廃石膏ボードから発生する紙片や、石膏粉は吸水性が高く、粃殻・おが粉・藁と同様の効果が期待される。また、石膏は結晶水を有するため、それらに比べて火災になりにくいとされ、一部で利用されている。

「流通飼料価格等実態調査（農林水産省）」によると、我が国の畜産用飼料の年間出荷量（平成29年度）は、配合飼料で約2,350万トン、混合飼料で約50万トンである（表-5.3参照）。一方、ある研究成果（特許出願番号：特願平3-305068）によると、養鶏用飼料に石膏成分を1%（重量比）添加することにより、飼育鶏の生育、肉質等の有意な改善がみられるとのことである。このため、畜産飼料に1%程度の石膏の添加が可能と考えられ、これらに再生石膏粉（廃石膏ボード由来）を用いると仮定すると、24万トン程度の潜在的な活用が想定される。（養豚用、乳牛用、肉牛用など向けの効果的な添加率については、同研究での言及はないが、石膏の添加により反芻動物の消化器官中での微生物反応によるメタンガスの発生が抑制される効果が期待されるとしている。このため、本試算では養鶏用飼料編添加率（1%）と同程度と想定した。）

表-5.3 我が国の飼料出荷量と石膏需要量（想定）

	出荷量(t) ※1	石膏添加率 ※2	石膏需要量 (t : 想定)
	a	b	c = a × b
配合飼料			
養鶏用飼料			
育すう	718,516	1%	7,185
成鶏	5,800,381	1%	58,004
ブロイラー	3,897,018	1%	38,970
計	10,415,915		104,159
養豚用飼料			
ほ乳期	721,963	1%	7,220
子豚	1,631,184	1%	16,312
肉豚	2,301,115	1%	23,011
種豚	963,078	1%	9,631
計	5,617,340		56,173
乳牛用飼料	2,994,016	1%	29,940
肉牛用飼料	4,454,511	1%	44,545
うずら用飼料	31,496	1%	315
その他家畜用飼料	26,038	1%	260
配合飼料計	23,539,316		235,393
混合飼料	484,226	1%	4,842
合計	24,023,542		240,235

資料：※1 出荷量「流通飼料価格等実態調査（農林水産省）」

※2 石膏添加率：「石膏または石膏水溶液の飼料への利用方法（特許出願番号：特願平 3-305068）」における飼料中の石膏添加率
 上記特許中では、養鶏用飼料への添加による効果を確認
 養鶏用飼料以外の添加率は、養鶏用と同等と想定

5.4 濁水対策

石膏は複数のカルシウム系の凝集剤の中でも凝集効果が優れていることから、濁水の凝集処理剤としての活用が期待できる。

【解説】

濁水対策としては、電力中央研究所の報告¹⁾に詳しい説明が記載されている。以下に、報告書からの抜粋を列挙する。

- ・ 我が国ではあまり用いられてはいないが、海外においては濁水の凝集処理剤あるいは、水質改善薬剤としての活用がある。米国では湖沼の濁水対策として、農業用石膏を投入することは一般的に行われている。
- ・ 池の濁水の処理法として、石膏を投入する方法を紹介しており、100～300 mg/L 程度投入することで効果が期待できるとしている。また、米国アラバマ州において、淡水魚養殖用の池（0.04 ha）に農業用石膏を投与した結果、水中のリンの濃度の減少に伴って植物プランクトンが減少し、その結果、水の pH が低下することが報告されている。
- ・ 我が国の濁水対策においては、再生石膏を直接適用した例はまだないが、農業用石膏を濁水対策に用いた研究報告として、水田の代掻きによる濁水の凝集処理に、石膏を使用した時の効果についての報告がある。複数のカルシウム系の凝集剤の中で、石膏の凝集効果が優れていることと、水田における試験において 10 アールあたり石膏 30 kg の散布量で十分な凝集効果が得られたとされる。

5.5 除塩

再生石膏を使用することで農地の除塩を効率的に行うことができる。

【解説】

津波や高潮等による海水由来の塩分（ナトリウムと塩素）は土壌中に残留し、作物の生育に影響を与える。塩素が水に流れやすいのに対し、ナトリウムは土粒子表面に付着し、降水等による除去が難しいといわれる。そこで、石膏成分を添加することで除塩を促進させる手法がある。メカニズムとしては、石膏成分から溶出するカルシウム（イオン）によって、吸着しているナトリウム（イオン）と交換させる。更に、石膏中のカルシウムイオン（ Ca^{2+} ）は土壌粒子のマイナス電荷と結合し、土壌粒子を団粒化させる。これにより通水性が高まり、除塩効率を向上させ、作物の回復を促すことが可能になる。

石膏施用による除塩効果・施用方法については、大津波が発生した東日本大震災時の農地の復旧でも活用されている²⁻⁴⁾。また、石膏施用による除塩を促進する研究や実証は震災対応以外でも多数の報告がある⁵⁻⁷⁾。

【参考文献】

- 1) (財) 電力中央研究所：石膏ボード廃棄物のリサイクルに関する現状調査・分析，－脱硫石膏需要に及ぼす今後の影響推定－，調査報告：V04019，p.14，2005。
- 2) 農林水産省：農地の除塩マニュアル，農村振興局，p. 15，2011。
- 3) 東北地方太平洋沖地震に伴う農作物の技術情報（第1報），技術情報，宮城県農産園芸課・畜産課，平成23年4月7日，2011。
- 4) (一財) 日本水土総合研究所：農地の除塩技術の研修会報告書，平成25年3月，2013。
- 5) 香川県農業経営課：農地への海水の流入が農作物に及ぼす影響とその対策，平成16年12月，2004。
- 6) 三宅靖人・下瀬 昇・可内知道：笠岡湾干拓畑土壌に対する土壌改良資材の除塩効果，岡山大学農学部学術報告，第72巻，pp. 77-87，1988。
- 7) 酒井裕司：中国における脱硫副産物を利用した塩類集積土壌改良の取り組みと今後の展望，日本海水学会誌，第66巻，第2号，pp. 66-73，2012。

第6章 参考資料

6.1 関連する法令と指針等

本ガイドラインの適用にあたっては、関連する法令・基準・条例等を遵守し、生活環境保全上の支障が生じないように、都道府県等の関連部局と十分に協議する。

【解説】

本ガイドライン策定に際して参考とした法令・指針・通知等および本ガイドラインの適用に際して関連する法令等を以下に示す。

(1) 法律等

1. 環境基本法（平成 5 年，法律第 91 号）
2. 循環型社会形成推進基本法（平成 12 年，法律第 110 号）
3. 廃棄物の処理及び清掃に関する法律〔廃棄物処理法〕（昭和 45 年，法律第 137 号）
4. 廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行令（昭和 46 年，政令第 300 号）
5. 廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行規則（昭和 46 年，厚生省令第 35 号）
6. 資源の有効な利用の促進に関する法律（旧，再生資源の利用の促進に関する法律）
〔資源有効利用促進法，リサイクル法〕（平成 3 年，法律第 48 号）
7. 資源の有効な利用の促進に関する法律施行令（平成 3 年，政令第 327 号）
8. 建設業に属する事業を行う者の再生資源の利用に関する判断の基準となるべき事項を定める省令（平成 3 年，建設省令第 19 号）
9. 建設業に属する事業を行う者の指定副産物に係る再生資源の利用の促進に関する判断の基準となるべき事項を定める省令（平成 3 年，建設省令第 20 号）
10. 建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律〔建設リサイクル法〕（平成 12 年，法律第 104 号）
11. 建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律施行令（平成 12 年，政令第 495 号）
12. 建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律施行規則（平成 14 年，国土交通省・環境省令第 1 号）
13. 土壌汚染対策法〔土対法〕（平成 14 年，法律第 53 号）
14. 土壌汚染対策法施行令（平成 14 年，政令第 336 号）
15. 土壌汚染対策法施行規則（平成 14 年，環境省令第 29 号）
16. 農用地の土壌の汚染防止等に関する法律（昭和 45 年，法律第 139 号）
17. 特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律〔化学物質排出把握管理促進法，化管法，PRTR 法〕（平成 11 年，法律第 86 号）
18. 特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律施行令（平成 12 年，政令第 138 号）
19. 特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律施行規則（平成 13 年，内閣府・財務省・文部科学省・厚生労働省・農林水産省・経済産業

省・国土交通省・環境省令第1号)

20. 毒物及び劇物取締法〔毒劇法〕（昭和25年，法律第303号）
21. 毒物及び劇物取締法施行令（昭和30年，政令第261号）
22. 毒物及び劇物取締法施行規則（昭和26年，厚生省令第4号）
23. 労働安全衛生法〔安衛法〕（昭和47年，法律第57号）
24. 労働安全衛生法施行令〔安衛令〕（昭和47年，政令第318号）
25. 労働安全衛生規則〔安衛則〕（昭和47年，労働省令第32号）
26. 肥料取締法（昭和25年，法律第127号）

（2）通達・通知・告示等

1. 産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法（昭和48年，環境庁告示第13号）
2. 土壌の汚染に係る環境基準について（平成3年，環境庁告示第46号）
3. 土壌の汚染に係る環境基準についての一部改正について（平成13年，環水土第44号）
4. 土壌溶出量調査に係る測定方法を定める件（平成15年，環境省告示第18号）
5. 土壌含有量調査に係る測定方法を定める件（平成15年，環境省告示第19号）
6. 建設汚泥処理物の廃棄物該当性の判断指針について（平成17年，環産産発第050725002号）
7. 土壌汚染対策法の一部を改正する法律による改正後の土壌汚染対策法の施行について（平成22年，環水大土発第100305002号）
8. 建設工事から生ずる廃棄物の適正処理について〔建設廃棄物処理指針（平成22年度版）〕（平成23年，環産産発第110329004号）
9. 行政処分の指針について（平成25年，環産産発第1303299号）
10. 肥料取締法に基づく特殊肥料等（昭和25年，農林省告示第177号）
11. セメント及びセメント系固化材の地盤改良への使用及び改良土の再利用に関する当面の措置について（平成12年，建設省技調発第48号）
12. 「セメント及びセメント系固化材の地盤改良への使用及び改良土の再利用に関する当面の措置について」の運用について（平成12年，建設省技調第49号，建設省営建発第10号）
13. 建設副産物適正処理推進要綱（平成14年，国官総第122号，国総事第21号，国総建第137号）
14. 建設リサイクルガイドライン（平成14年，国官技第41号，国官総第123号，国営計第25号，国総事第20号）
15. 公共建設工事における分別解体等・再資源化等及び再生資源活用工事実施要領【土木】（平成14年，国官技第44号，国官総第127号）
16. 建設汚泥の再生利用に関するガイドラインの策定について（平成18年，国官技第46号，国官総第128号，国営計第36号，国総事第19号）
17. 建設汚泥処理土利用技術基準（平成18年，国官技第50号，国官総第137号，国営計第41号）

18. 発生土利用基準について（平成 18 年，国官技第 112 号，国官総 309 号，国営計第 59 号）

（3）指針・マニュアル等

1. 廃石膏ボード現場分別解体マニュアル（平成 24 年，国土交通省）
2. 建設汚泥再生利用マニュアル（平成 20 年，土木研究所編著）
3. 建設発生土利用技術マニュアル 第 4 版（平成 25 年，土木研究所編著）
4. 農地の除塩マニュアル（平成 23 年，農林水産省）

6.2 マテリアルフローの算定方法

平成28年度推計として得られたマテリアルフローの算定方法について以下に解説する。

【解説】

廃石膏ボードの処理実態調査として、国内の廃石膏ボードの処理を行っていると考えられる事業者（産廃処分施設等）を対象としてアンケート調査を実施し、廃石膏ボードの受入量（新築系、解体系）、再利用用途について調査を行った。調査対象は、廃石膏ボードの受け入れを行っている施設が調査対象外とならないよう、幅広く対象施設を抽出することとした。都道府県・政令市の産業廃棄物処理施設許可情報から、次の条件に該当する施設を抽出した。

《対象① 中間処理施設等》

受入許可品目が次のいずれかに該当する施設

- ・ガラス、コンクリートくず（工作物の新築、改築又は除去に伴って生じたものを除く）、及び陶磁器くず
- ・がれき類（工作物の新築、改築又は除去に伴って生じたコンクリートの破片その他これに類する不要物）

《条件② 最終処分場》

・管理型産業廃棄物最終処分場

なお、アンケート対象は平成29年9月現在の各都道府県等のHPを参考に抽出し、受入条件に「廃石膏ボードを除く」といった条件があるものは除外した。抽出した施設を対象としてアンケート調査を実施し、多くの回答が得られるよう、アンケート形式は可能な限り簡易なものにするとともに、回答記入後、容易に返信できるようフリーダイヤルのFAX回答により回収を行った。調査方法の概要を表-6.1に示す。本条件で抽出したアンケート対象は、全国で約6,300件であった。全国のアンケート対象施設数の一覧を表-6.2に示す。

表-6.1 廃石膏ボードアンケート調査概要

項目	調査内容等
1. 調査件名	廃石膏ボード等の処理実態に関する調査
2. 調査対象	表-6.2に示す産業廃棄物処理施設
3. 調査期間	平成29年11月（11月上旬郵送配布） ※回答締切 平成29年11月30日
4. 調査内容	①施設の種類（中間処理施設、最終処分場） ②石膏ボード受入の有無、受入量（新築系、解体系の別、再利用用途） ③建設混合廃棄物の受入の有無、受入量（うち、石膏ボード混入割合） ※それぞれ平成28年度実績について調査 ※「アンケート調査票」は、資料編参照
5. 配布回収方法	○配布：郵送配布 ○回収：調査票に記入後、FAX（フリーダイヤル）による回答

表-6.2 廃石膏ボードのマテリアルフロー算定におけるアンケート調査対象施設の一覧

No.	都道府県		件数	
		政令市		
1	北海道		206	247
		札幌市	13	
		函館市	10	
		旭川市	18	
2	青森県		105	123
		青森市	18	
3	岩手県		33	38
		盛岡市	5	
4	宮城県		101	132
		仙台市	31	
5	秋田県		77	91
		秋田市	14	
6	山形県		138	138
7	福島県		56	92
		郡山市	14	
		いわき市	22	
8	茨城県		110	110
9	栃木県		98	117
		宇都宮市	19	
10	群馬県		79	101
		前橋市	12	
		高崎市	10	
11	埼玉県		131	151
		さいたま市	11	
		川越市	7	
		越谷市	2	
12	千葉県		158	196
		千葉市	29	
		船橋市	3	
		柏市	6	
13	東京都		215	231
		八王子市	16	
14	神奈川県		73	217
		横浜市	77	
		川崎市	33	
		相模原市	19	
		横須賀市	15	
15	新潟県		133	176
		新潟市	43	
16	富山県		98	143
		富山市	45	
17	石川県		24	42
		金沢市	18	
18	福井県		81	81
19	山梨県		58	58
20	長野県		169	192
		長野市	23	
21	岐阜県		119	129
		岐阜市	10	
22	静岡県		191	270
		静岡市	37	
		浜松市	42	
23	愛知県		312	433
		名古屋市	56	
		豊橋市	20	
		岡崎市	19	
		豊田市	26	
24	三重県		123	123
25	滋賀県		64	73
		大津市	9	
26	京都府		49	85
		京都市	36	
27	大阪府		92	220
		大阪市	62	
		堺市	30	
		東大阪市	15	
		高槻市	12	
		豊中市	2	
		枚方市	7	
28	兵庫県		109	189
		神戸市	29	
		姫路市	32	
		西宮市	2	
		尼崎市	17	
29	奈良県		32	36
		奈良市	4	
30	和歌山県		55	87
		和歌山市	32	
31	鳥取県		57	57
32	島根県		83	83
33	岡山県		71	142
		岡山市	47	
		倉敷市	24	
34	広島県		98	203
		広島市	64	
		福山市	31	
		呉市	10	
35	山口県		117	138
		下関市	21	
36	徳島県		60	60
37	香川県		51	68
		高松市	17	
38	愛媛県		107	132
		松山市	25	
39	高知県		65	78
		高知市	13	
40	福岡県		186	314
		福岡市	23	
		北九州市	66	
		久留米市	22	
		大牟田市	17	
41	佐賀県		48	48
42	長崎県		80	112
		長崎市	25	
		佐世保市	7	
43	熊本県		83	107
		熊本市	24	
44	大分県		62	105
		大分市	43	
45	宮崎県		72	79
		宮崎市	7	
46	鹿児島県		138	173
		鹿児島市	35	
47	沖縄県		89	89
		那覇市	0※	
			総計	6309

※那覇市は全て沖縄県に含まれる。

アンケートの結果、中間処理施設、最終処分場を合わせて371事業所から石膏ボードの受け入れ実績あり（有効回答）の回答が得られた。返信はあったものの、廃石膏ボードの受け入れを行っていないと回答した事業所は有効回答に含まれていない。表-6.3に有効回答の内訳を示す。得られたアンケート結果から、新築系と解体系の受入量を施設区分ごとに整理した。なお、本アンケートでは、「石膏ボード単味での受入量」に加えて、「建設混合廃棄物の受入量」及び「建設混合廃棄物受入量のうち、廃石膏ボードの占める割合」についても調査した。表-6.4に集計結果を示す。また、処理施設等で受け入れられた新築系と解体系の廃石膏ボードのうち、石膏成分、紙成分の有効利用用途の調査結果を表-6.5、表-6.6に示す。なお、混合廃棄物として受け入れた廃石膏ボードのうち、有効利用分は平成24年度建設副産物実態調査（国土交通省）による有効利用割合から算出し、この有効利用分については、利用用途先が明確でないことから、その他利用として計算した。

表-6.3 廃石膏ボードマテリアルフローのアンケート調査の有効回答数内訳

施設区分等		回答事業所数
中間処理施設	廃石膏ボードの受入あり	271
	建設混合廃棄物の受入あり	235
最終処分場	廃石膏ボードの受入あり	47
	建設混合廃棄物の受入あり	35

注：廃石膏ボード、建設混合廃棄物のいずれの受け入れも行っている施設があるため、合計数は有効回答数（371件）にはならない。

表-6.4 廃石膏ボードの受入量（アンケート回答値：平成28年度実績）

（単位：トン）

新築系・解体系区分	施設区分	廃石膏ボード単味での受入量 ①	建設混合廃棄物の受入量			廃石膏ボード 総受入量 ⑤=①+④
			②	うち廃石膏ボード分※ ③	④=②×③	
新築系	中間処理施設	465,596	586,067	6%	35,164	500,760
	最終処分場	36,412	8,078	6%	485	36,897
	計	502,008	594,146	—	35,649	537,657
解体系	中間処理施設	348,594	1,384,459	10%	138,446	487,040
	最終処分場	70,692	99,906	7%	6,993	77,685
	計	419,286	1,484,364	—	145,439	564,725
合計	中間処理施設	814,190	1,970,526	—	173,610	987,800
	最終処分場	107,104	107,984	—	7,478	114,582
	計	921,294	2,078,510	—	181,088	1,102,382

※ 「うち石膏ボード分」の割合は、アンケート調査結果に従って設定した。

表-6.5 新築系廃石膏ボードの有効利用用途等（アンケート回答値：平成28年度実績）

単位：トン

受入品目	施設区分	受入量	有効利用用途等	利用量	割合	
石膏ボード 単味	中間処理施設	465,596	石膏成分	石膏ボード原料	315,381	67.7%
				その他ボード原料	621	0.1%
				セメント原料	92,284	19.8%
				土壌固化材	15,809	3.4%
				農業用資材	1,604	0.3%
				その他	8,324	1.8%
				管理型処分	11,911	2.6%
				小計	445,934	95.8%
			紙成分	段ボール	11,637	2.5%
				その他製紙用	3,997	0.9%
				燃料用	1,044	0.2%
				その他	2,387	0.5%
	管理型処分	597		0.1%		
小計	19,662	4.2%				
計		465,596	100.0%			
最終処分場	36,412					
建設混合 廃棄物	中間処理施設	35,164	処理後→有効利用※	20,465	58.2%	
	最終処分場	485	処理後→最終処分	14,699	41.8%	
合計		537,657				

※平成24年度建設副産物実態調査（国土交通省）における中間処理後の有効利用割合から引用。

表-6.6 解体系廃石膏ボードの有効利用用途等（アンケート回答値：平成28年度実績）

単位：トン

受入品目	施設区分	受入量	有効利用用途等	利用量	割合	
石膏ボード 単味	中間処理施設	348,594	石膏成分	石膏ボード原料	38,317	11.0%
				その他ボード原料	1,023	0.3%
				セメント原料	145,683	41.8%
				土壌固化材	52,489	15.1%
				農業用資材	3,958	1.1%
				その他	16,483	4.7%
				管理型処分	51,489	14.8%
				小計	309,442	88.8%
			紙成分	段ボール	32,232	9.2%
				その他製紙用	4,146	1.2%
				燃料用	751	0.2%
				その他	981	0.3%
	管理型処分	1,042		0.3%		
小計	39,152	11.2%				
計		348,594	100.0%			
最終処分場	70,692					
建設混合 廃棄物	中間処理施設	138,446	処理後→有効利用※	80,576	58.2%	
	最終処分場	6,993	処理後→最終処分	57,870	41.8%	
合計		564,725				

※平成24年度建設副産物実態調査（国土交通省）における中間処理後の有効利用割合から引用。

中間処理施設ならびに最終処分場に廃石膏ボードと認識できる形で処理されている廃石膏ボードについては、上述までのアンケート回答値等によって推定できるが、これ以外に、解体工事現場で建設混合廃棄物の細粒分（掃きごみ、ミンチごみ）にも不可避免的に廃石膏ボード粉が混入していると考えられる。これら細粒分は、混廃として中間処理された後、ふるい下残さに混入すると考えられる。そこで、建設系混合廃棄物を処理している中間処理業者を関東地方と関西地方から各1施設選定し、建設系混合廃棄物を処理したふるい下残さ中に含まれる廃石膏ボード粉の推量を実施した。

関東地方の施設は5 mm アンダーのふるい下残さを3回、関西地方の施設では50 mm アンダーのふるい下残さを4回、試料として採取した。採取した試料は、液固比100の溶出操作を2回繰り返し、溶出した硫酸イオン濃度とカルシウムイオン濃度をイオンクロマトグラフィーによって測定し、硫酸カルシウム量に換算することで推定石膏含有量とした。硫酸イオンはコンクリートやゴムくず等からも溶出する可能性があるが、その多くは石膏成分から溶出すると仮定し、溶出操作によって得られた硫酸イオンならびにカルシウムイオンの全量を石膏成分として計算した。試験結果を表-6.7と表-6.8に示す。硫酸イオン (SO_4^{2-}) から推定される石膏 (CaSO_4) の推定含有量は、関東地方の業者で平均12.1%、関西地方の業者で21.0%と推定され、両者の平均は17.2%となった。

表-6.7 関東地方の中間処理業者A社のふるい下残さ中の推定石膏含有量

	SO ₄ 推定 CaSO ₄ 量(wt%)	Ca推定 CaSO ₄ 量(wt%)
関東・処理業者 A#1	9.0	11.5
関東・処理業者 A#2	17.6	21.9
関東・処理業者 A#3	9.6	7.8
平均値	12.07	13.73

表-6.8 関西地方の中間処理業者B社のふるい下残さ中の推定石膏含有量

	SO ₄ 推定 CaSO ₄ 量(%)	Ca推定 CaSO ₄ 量(%)
関西処分業者 B#1	13.9	11.1
関西処分業者 B#2	16.0	19.3
関西処分業者 B#3	35.4	30.3
関西処分業者 B#4	18.8	15.8
平均値	21.03	19.13

国土交通省で実施している「平成 24 年度建設副産物実態調査」によると、我が国の建設混合廃棄物排出量は約 280 万トンとなっている。土木工事では廃石膏ボードが混入する可能性は極めて低いと判断できるため、廃石膏ボードが混入する可能性のある建設系混合廃棄物は、建設工事のうち、解体工事や修繕工事等から排出されている 48.5 万トンと考えられる（表-6.9 参照）。関東地方と関西地方の中間処理業者で得られたふるい下残さ中の推定石膏含有量が代表値であり、石膏成分の全てが廃石膏ボード由来と仮定すると、48.5 万トン×17.2%の約 8.3 万トンが建設系混合廃棄物に混入した解体系廃石膏ボード量と推定される。この 8.3 万トンは、解体系廃石膏ボードの排出量に加算され、中間処理を経て、最終処分されるフローに属すると判断される。

以上のアンケート結果と推計結果によって得られる廃石膏ボードの処理フロー推計は表-6.10 に示す通りとなり、図化したものが第 1.3 節に示すマテリアルフロー図となる。

表-6.9 我が国の建設系混合廃棄物の排出量

工事区分		排出量
公共土木工事		367.5 千トン
民間土木工事		98.8 千トン
建築工事		
	新築工事	1,844 千トン
	解体工事	418.8 千トン
	修繕工事	66.6 千トン
合計		2,795.7 千トン

※資料：平成 24 年度建設副産物実態調査（国土交通省）

表-6.10 廃石膏ボードの処理フロー推計結果

処理工程等		新築	解体	合計	備考
中間処理施設受入	ボード単味	465,596	348,594	814,190	
	混合廃棄物	35,164	138,446	173,610	
	ふるい下残さ	0	83,489	83,489	
	計	500,760	570,529	1,071,289	①
中間処理後有効利用	石膏ボード	315,381	38,317	353,698	
	セメント	92,284	145,683	237,967	
	その他（紙含む）	65,888	192,639	258,527	
	計	476,553	267,489	744,042	
直接最終処分	単味	36,412	70,692	107,104	
	混合廃棄物	485	6,993	7,478	
	計	36,967	77,685	114,652	②
中間処理後最終処分	単味	12,508	52,531	65,039	
	混合廃棄物	14,699	57,870	72,569	
	ふるい下残さ	0	83,489	83,489	
	計	27,207	193,890	221,097	
合計		537,727	648,214	1,185,941	①+②

※単位：トン

6.3 硫化水素ガス発生ポテンシャル試験の方法

再生石膏粉を用いた固化材・改質剤を土試料と混合したサンプルの硫化水素ガス発生ポテンシャル試験方法は、以下に示す方法で実施すること。

【解説】

本手法は、土壌や混合サンプル、再生石膏粉等の硫化水素ガスの発生量，すなわち，硫化水素ガス発生ポテンシャルを測定する方法である。なお，対象サンプルに対して植種は実施せず，対象サンプルが使用される環境下において発生するであろう硫化水素ガスの測定を行うことを目的としている。



写真1：円筒ガス噴射管（光信理化学製作所；セラミフィルター B型φ25）



写真2：MilliQ をスターラーで攪拌しつつ，円筒ガス噴射管を用いて N₂ ガスで脱気



写真3：日電理化学硝子 ガスクロバイアル SVG-100（無色）標準セット（瓶：外径φ40×全長L=120 肉厚t=1.8）



写真4：脱気水を40 mL 計量し，バイアル瓶へ静かに注ぐ

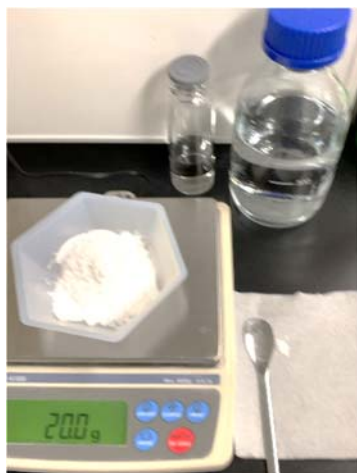


写真 5 : 試料 20 g を計量



写真 6 : バイアルへ試料を注ぐ



写真 7 : 粉体ロート φ65 があると操作が容易



写真 8 : 注いだ直後に 10 秒手攪拌



写真 9 : その後 1 分間ボルテックスで攪拌

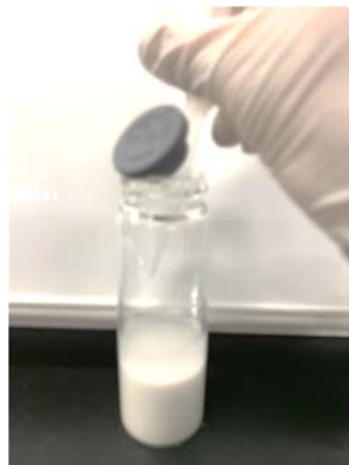


写真 10 : N_2 ガスで 2 分間気相を置換気流は表面が波立つ程度の強さ



写真 11：最低 3 反復で試料を作成し（同一試料を 3 検体用意する），40℃の恒温槽で培養する



写真 12：培養中は可能な限り 1 日ごとに手で 10 秒強撹拌する（試料の底部が懸濁するまで）。土日祝等を挟む場合は、本作業はスキップ

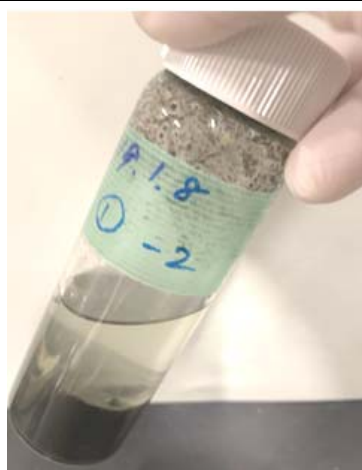


写真 13：測定日（7 日目）は恒温槽から試料を出して約 3 時間静置し，室温と同程度まで冷却する。硫化水素ガスは空気よりも比重が大きい（比重 1.1905）ため試料下部へ偏在する可能性がある。そのため，測定直前にバイアル瓶を撹拌して、バイアル瓶内の気相を均一にする



写真 14：シリンジを用いてバイアル瓶内から気相をら 100 μL 採気し，気相中の硫化水素ガス濃度を測定する。測定における希釈は 10 倍希釈の場合は，10 μL をバイアルから，90 μL を外気から採気する。50 倍希釈の場合は，2 μL （最小の目盛）をバイアルから，98 μL を外気から採気する。これ以上の希釈はガスバックを使う

ガスクロマトグラフィー測定条件例

- ・ 使用機：SHIMADZ GC-2014（FPD），ソフトウェア：GCSolution Ver2.42.00 SU2
- ・ カラム：SUPELCO Supel-QTM PLOT 30 m \times 0.53 mm ID Cat.#25462
- ・ インジェクション温度：230℃，カラム室温度（OVEN）：50℃，検出器（FPD）温度：260℃（カラム洗浄温度：210℃（カラム耐用 250℃）30 分、コンディショニングタイム 2 時間以上）
- ・ キャリアーガス：N₂、流量 10 mL/min

参 考 資 料

品質管理票（自主検査用）ならびに品質管理票（定期検査用）の見本を印刷用として添付する.

再生石膏粉の品質管理票（自主検査用）

1. 石膏の種類： 二水 ・ 半水 ・ 無水
2. 製造事業者名
3. 製造場所：

品質管理検査結果（自主検査結果）

検査実施日・実施者		.
製造年月日（製造期間）		
製造管理番号（製造ロット，略号等）		
検査項目	夾雑物の混入状況 （種類，量の観察）	
	最大粒径（粒度・寸法）	mm
	水分量 自由水量 （乾燥温度：40±2℃）	%
	化合水量 （加熱温度：240～260℃）	%
	水素イオン指数	

検査実施日・実施者		.
製造年月日（製造期間）		
製造管理番号（製造ロット，略号等）		
検査項目	夾雑物の混入状況 （種類，量の観察）	
	最大粒径（粒度・寸法）	mm
	水分量 自由水量 （乾燥温度：40±2℃）	%
	化合水量 （加熱温度：240～260℃）	%
	水素イオン指数	

検査実施日・実施者		.
製造年月日（製造期間）		
製造管理番号（製造ロット，略号等）		
検査項目	夾雑物の混入状況 （種類，量の観察）	
	最大粒径（粒度・寸法）	mm
	水分量 自由水量 （乾燥温度：40±2℃）	%
	化合水量 （加熱温度：240～260℃）	%
	水素イオン指数	

【特記事項】

※保管期間は検査実施日より5年間とする。

再生石膏粉の品質管理票（定期検査用）

1. 石膏の種類： 二水 ・ 半水 ・ 無水
2. 製造事業者名
3. 製造場所：
4. 製造年月日（製造期間）：
5. 製造管理番号（製造ロット、略号等）：

品質管理検査結果（定期検査結果）

検査実施日	
検査実施者	

夾雑物量	繊維分	w t %
	不溶解残さ分	w t %
石膏の割合	二水石膏	w t %
	半水石膏	w t %
	無水石膏	w t %
	測定方法： X線回折法 ・ 化合水量と密度の関係 (化合水量 w t %) (密度 g / c m ³)	
水素イオン指数 (pH)		
重金属等 (底質調査方法) の全含有量	カ ド ミ ウ ム	m g / k g
	鉛	m g / k g
	六 価 ク ロ ム	m g / k g
	砒 素	m g / k g
	総 水 銀	m g / k g
	セ レ ン	m g / k g
	ふ つ 素	m g / k g
	ほ う 素	m g / k g

【特記事項】

※保管期間は検査実施日より5年間とする。

おわりに

産業廃棄物や建設副産物等のリサイクルに関しては、これまで、アスファルト・コンクリート塊やコンクリート塊、石炭灰等が建設資材として利活用されています。排出量の多いこれらの副産物は、ガイドラインやマニュアル等が整備され、さらには環境安全品質基準が明確に示されています。しかしながら、副産物の有効利活用に際しては、廃棄物由来の製品であること、天然資材の方が安いこと、長期安定性が不明なことなどを理由に、積極的に利用することが敬遠されているのが現状です。

さて、解体系の廃石膏ボードは、2035年頃には年間200万トンを超える量が排出されることが予測される産業廃棄物です。平成18年に環境省は「廃石膏ボードを埋立処分する場合には管理型処分場に埋め立てなければならない」ことを通知しており、有効利用されない場合には管理型最終処分場の逼迫が懸念されます。特に、地域によっては、受け入れのほとんどが廃石膏ボードとなっている最終処分場もあります。今後、新たな最終処分場の建設が困難な状況に鑑みれば、廃石膏ボードの最終処分量を縮減することは喫緊の課題であります。現在、解体工事現場等で排出される廃石膏ボードは、再資源化促進を見据えて国土交通省が作成した分別解体マニュアルに準じて適正に分別が行われ、その後、中間処理業者により破碎・分別処理され、再生石膏粉と剥離したボード用原紙のリサイクルに取り組みられています。しかしながら、再生石膏粉のリサイクルについては、再生石膏粉の品質、環境安全性、利用用途などの課題があり、積極的なリサイクルに至っていないのが現状です。

このような状況の中、(国研)国立環境研究所の遠藤氏が中心となり、福岡大学、愛知工業大学、(一社)泥土リサイクル協会、(株)日本能率協会総合研究所がチームを編成して環境省の「環境研究総合推進費」に応募し、「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(H29～30年)」が採択されました。これを受け、研究チームは2年にわたり、①地盤利用の環境安全性、②地盤利用の工学的ベネフィット、③再生石膏粉の品質管理、④マテリアルフローと利用調査、⑤ガイドライン作成と社会啓蒙、の5つのサブテーマに取り組んで参りました。この中でもサブテーマ⑤の再生石膏粉の有効利用ガイドライン作成と社会啓蒙は、研究テーマとしての意義だけではなく、廃石膏ボードの有効利用を促進するという実践的な効果も期待されています。ガイドラインの作成に当たっては、泥土リサイクル協会を事務局とし、全国の各分野の専門家とオブザーバーからなる作業部会ならびに策定委員会を設置してガイドラインの作成および審査を行い、このたびガイドラインをとりまとめることができました。ご協力下さいました皆様方には、厚く御礼申し上げます。

本ガイドラインが、業界の信頼性を向上し、再生石膏粉の品質管理を通して一定の品質を担保できる再資源化技術を確実なものとすることを期待するとともに、広く活用されることで将来に備えたりサイクルシステムの形成の一助となれば幸甚であります。

最後に、策定委員会および作業部会、ならびに本ガイドラインの策定に際して、再生石膏粉の力学特性や化学特性、さらには有害物質への環境安全性を系統的かつ学術的な観点から評価するためのサンプリングや情報提供等、多大なるご協力頂いた全国石膏ボードリサイクル協議会の関係者の方々に、深く感謝の意を表します。

再生石膏粉の有効利用ガイドライン策定委員会
委員長 佐藤 研一

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

発行 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

問い合わせ 一般社団法人 泥土リサイクル協会
〒492-8266 愛知県稲沢市横地町12番地
TEL：0587-23-2713 FAX：0587-23-2734
E-mail：m-nishikawa@deido-recycling.jp