

窯業系サイディングの資源循環を可能にする再生材の研究

DB13044 梅原 優

1. はじめに

写真 1 に窯業系サイディングの製品、施工状況を示す。セメントに繊維質を加えることで薄いボードでも強度が得られる窯業系サイディングは、施工が容易なこと、豊富なデザイン、優れた耐火性・耐久性により、現在、日本における新設住宅の外壁素材のほとんどで用いられている。また、最近では集合住宅の外装や店舗などの内装材としての利用も増えてきている。木造住宅の寿命が 30 年と言われており、リフォームや解体などで、そう遠くない将来に大量の窯業系サイディングの廃材が排出されることになる。しかし、窯業系サイディングの廃材は廃棄処分されており、有効な再利用方法が確立されていないのが現状である。

そこで、窯業系サイディングのシェア、再利用の現状を調査、独自の再利用方法の考案で、資源循環、産業廃棄物の削減への貢献を目的として研究を行う。

2. 窯業系サイディングに関する社会的調査(研究 1)

2.1. 窯業系サイディングのシェア

図 2 に各外装素材の使用割合の推移を統計を元に示す¹⁾。窯業系サイディングの誕生以前まで主流であったモルタル仕上げの外装に比べ、左官職人の技術が要らず工場生産のため施工が容易なこと、デザインの自由度が高いこと、モルタル仕上げの問題点であったひび割れが起りにくく耐久性に優れることなどの特徴により急激に普及し、現在では新設住宅の 8 割以上の外装素材で使用されている。

2.2. 窯業系サイディングの出荷量

図 3 に窯業系サイディングの販売出荷量の推移を統計を元に示す²⁾。1995 年から 2014 年までの 20 年間で約 2,227,500,000 m²の窯業系サイディングが出荷されており、これは日本の国土面積の約 6 倍に相当する。これほどの量の窯業系サイディングの廃材が近い将来に排出されることを考えると、いち早く資源循環方法の確立が必要とされる。

2.3. 窯業系サイディングのリサイクルの現状

図 4 に窯業系サイディングのマテリアルフローを示す。各サイディングメーカーは、工場や建設現場などから排出される残材や端材を回収し、窯業系サイディングの原料として再利用している。しかし、具体的な回収システムや回収量などが公表されているものは少なく、全体でどれだけ実際に回収、再資源化されているのかは不明確な状態である。また、中間処理業者へのヒアリング調査では、端材の排出量に対しメーカーの端材の受け入れ量が追いつかず、受け入れを拒否されるケースがあり、再資源化が進んでいないことがわかった。

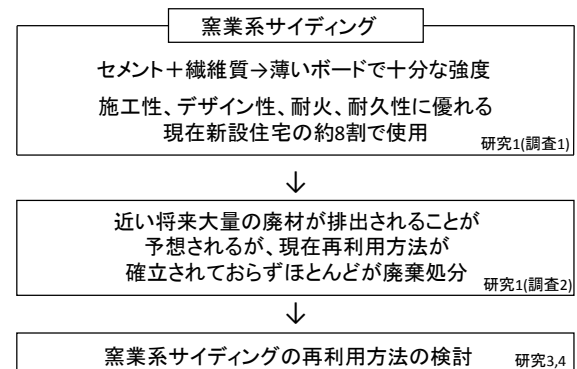


図 1 研究背景

表 1 使用材料

分類	項目	主原料
仕上材	窯業系サイディング (セメントに繊維質を加えた外装材)	A セメント、ケイ酸質原料、混和剤 有機繊維【ファイバー7.8%(重量比)】
		B セメント、ケイ酸質原料、混和剤 有機繊維【木チップ 27%(重量比)】

表 2 実験要因と水準

項目	実験要因	水準
研究 1	調査 1	文献調査
	調査 2	ヒアリング調査
研究 2 窯業系サイディング 破砕	ジョークラッシャーによる 廃材の破砕回数	1 回、2 回、3 回
	振動ミルによる廃材の破砕時間	20 秒一定
研究 3 再生水和固化材料 作製	再生水和固化材料の試験体寸法	40 mm×40 mm×160 mm 20 mm×40 mm×160 mm
	再生水和固化材料物性評価	密度(g/c m ³) 曲げ強度(N/mm ²)
研究 4 再生ガラス系材料作製	再生ガラス系材料焼成温度	1150℃一定

表 3 実験項目と方法

項目	方法
研究 1	調査 1 文献調査 窯業系サイディングの資源循環の現状をサイディングメーカーや外装協会のHPにて調査
	調査 2 ヒアリング調査 廃材の回収状況を中間処理業者にヒアリング
研究 2	破砕機による窯業系サイディング廃材の破砕 ジョークラッシャー破砕 サイディングをジョークラッシャーに入れ、入れた回数ごとの破砕状況を観察
	振動ミル破砕 ジョークラッシャー、ボールミルそれぞれで破砕した後、振動ミルに入れ、破砕状況の観察
	蛍光X線分析 窯業系サイディングの粉末の成分を無機鉍物の酸化物比として蛍光X線分析により分析
研究 3	再生水和固化材料 研究 2 で破砕した窯業系サイディングの粉末と水を練り合わせ、試験体を作成
研究 4	再生ガラス系材料 窯業系サイディングの粉末に炭酸ナトリウムを加え、1150℃の電気炉で 8 時間加熱

解体・リフォームなどで排出される廃材についてはメーカーによる回収はされておらず、ほとんどが廃棄処分されているのが現状である。ある中間処理業者は独自の技術により、サイディングの廃材を製鉄工程の転炉に用いるフォーミング抑制剤として再利用しているが、廃材の粉碎方法や生産量の限度などで根本的な解決には至っていない。

3. 窯業系サイディングの破碎方法の研究(研究2)

3.1. 概要

表4に破碎機の種類、写真2に各破碎機を示す。廃材を新たな素材として再利用する際に、廃材の破碎は不可欠である。本研究では、ジョークラッシャー、振動ミルの2種の破碎機を用い、それぞれの破碎状態を分析する。また、従来の窯業系サイディング(A)と木チップが配合されたカーボンオフセットサイディング(B)で破碎状態が異なったのでそちらを比較する。

3.2. ジョークラッシャーによる一次破碎

写真3にジョークラッシャーでのサイディングの破碎状態を示す。Aをジョークラッシャーに投入すると薄く層状に破碎され、層状に分離されたものは厚紙のように柔らかいため2回、3回と繰り返し投入しても元のままの状態が出てくるものが多く、細かく破碎するのは困難であった。一方、Bとは異なりブロック状に破碎されるため、繰り返し投入するごとに細かくなることが確認できた。

3.3. 振動ミルによる二次破碎

写真4に振動ミルでのサイディングの破碎状態を示す。ジョークラッシャーに投入した後のAを振動ミルにかけると完全な粉末にすることができた。また投入後の粉末を0.6mmのふるいにかけることでサイディングに配合されている繊維を取り除くことができる。繊維は質量比で7.8%含まれていた。Aと同様にジョークラッシャーに投入後のBを振動ミルにかけると木チップが元の状態のまま残ってしまい完全な粉末にすることは出来ない。木チップは重量比で27.0%含まれる。

4. 窯業系サイディングの再利用方法の検討

4.1. 窯業系サイディングの廃材の成分分析

図5に蛍光X線分析による窯業系サイディングの成分分析結果を示す。いずれのサイディングも主成分は酸化カルシウムと二酸化ケイ素であり、スラグ系副産物などと成分が類似しており利用価値が高いと考えられる。

4.2. 窯業系サイディングの利用方法の検討

蛍光X線分析による分析による成分分析結果から、スラグ系副産物に成分に近いことがわかった。また、SiO₂を多く含むことから、ガラス系の材料としての利用の可能性も期待し、本研究では窯業系サイディングの破碎物を水和反応させ固形化させる再生水和固化材料と、窯業系サイディングの破碎物を高温で加熱することでガラス化させる再生ガラス系材料の2通りの利用方法を検討し研究を行う。

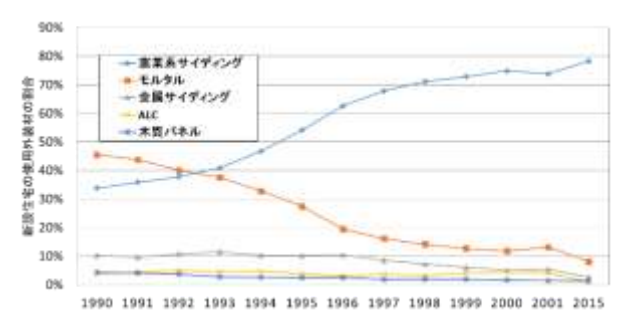


図2 外装素材使用割合の推移

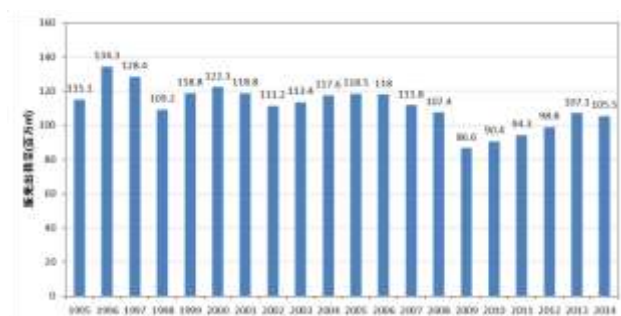


図3 窯業系サイディングの販売出荷量の推移



a) 製品サンプル b) 施工例
写真1 窯業系サイディングの施工状況

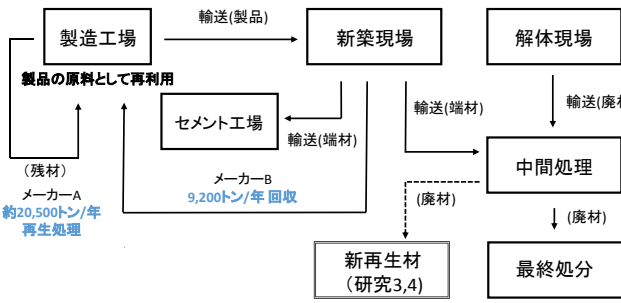


図4 窯業系サイディングのマテリアルフロー

表4 破碎機の種類

破碎機	処理レベル	製造レベル	作用力	回数
ジョークラッシャー	破碎処理(1次)	粗破碎 (~20mm)	圧縮力	3回
振動ミル	磨砕処理(2次)	製砂・粉体 (~2mm)	機械式摩擦力	20秒

5. 再生水和固化材料の作製 (研究 3)

5.1. 再生水和固化材料の試験体の作製

研究 2 で破碎した窯業系サイディングの粉末を種類 (A、B)、破碎状態ごとに分類し、それぞれを 60% の水と練り合わせ 40 mm×40 mm×160 mm の試験体を作成する。

試験体作製のプロセスとしては、破碎したものを 1450℃ 程度の高温で焼成し水和性を回復させ、混和剤を混和し、水和させ養生、成型することが理想的であるが、本研究では 1450℃ での焼成が難しいことと破碎物自体の特性を観察するため、焼成と混和のプロセスを除いて試験体を作製した。

ジョークラッシャーに投入したのみの場合、A と B ともに粒が大きく、水と練り合わせるのが困難であった。A に関しては破片一つ一つが繊維質の塊であるため、練りの段階で吸収した水分が型枠に流し込んだ際に分離してしまい試験体を作成することは困難であった。

完成した試験体を観察すると、密度が小さく、非常に脆いものとなった。

ジョークラッシャーに投入後、振動ミルにかけたものは細かな粉末状になっているため A と B ともに容易に練り合わせることが出来た。A は振動ミルにかけたことで繊維質の塊がほぐれ、若干の水の吸収、分離が確認できたものの大きく低減することが出来た。B は木チップが粉末になることなく残っているものの練りやすさへの影響は少なく容易にペースト状にすることが出来た。

5.2. 圧力をかけた試験体の作成

写真 5 にアムスラー試験機による圧縮、つき固めの様子、各成形方法の試験体を示す。水と練り合わせたのみでは密度が小さい試験体となってしまうことがわかり、水と練り合わせた後、アムスラー試験機により 10kN の圧力をかけた試験体とつき固めた試験体を作成する。また、圧力をかけることで水分が放出されることが予想されるため、水分量の異なる試験体を A、B、それぞれ作成し、適切な水分量の検討も行う。

水分量 40% の試験体は A、B、共に水分の放出はなく、比較的高い密度の試験体を作成することが出来た。A と比較し B は表面が若干脆いものとなった。振動ミルにかけることでほぼ完全な粉末となる A と異なり B は木チップが残ってしまうため粒の粗い粉末であることが原因と考えられる。水分量 50% の試験体は A と B ともに圧力をかけることで水分が放出され表面がひび割れてしまい、水分量 40% のものよりも密度は小さくなった。40% のものと同様に A と比較し B はかなり脆いものとなった。また、つき固めた試験体については高密度の試験体を作成することが出来たが、強度は大きくはなかった。以上の結果から窯業系サイディングの粉末を水で練り合わせた固形物は、実用的に使用できる強度を得ることは難しいと分かった。

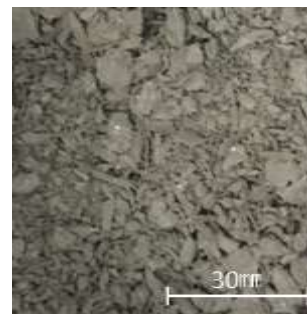
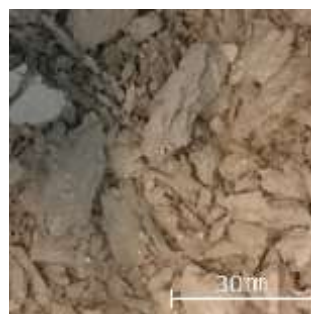
1450℃ 程度の高温で焼成し、再水和性回復が必要であると考えられる。



a) ジョークラッシャー (一次)

b) 振動ミル (二次)

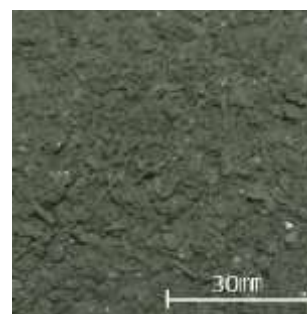
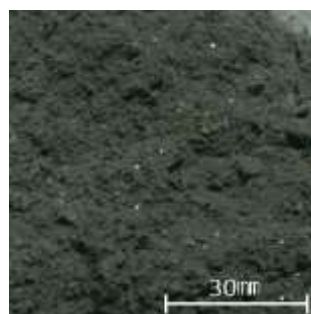
写真 2 本研究で用いる破碎機



a) サイディング A

b) サイディング B

写真 3 窯業系サイディングのジョークラッシャー (一次) の破碎状態



a) サイディング A

b) サイディング B

写真 4 窯業系サイディングの振動ミル (二次) による破碎状態

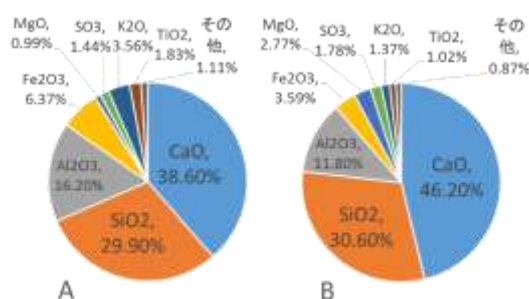


図 5 窯業系サイディング (無機分) の蛍光 X 線分析による成分分析結果

6. 再生ガラス系材料の作製 (研究 4)

写真 6 にサイディングの粉末を加熱しガラス化させたものを示す。窯業系サイディングの主成分である SiO₂ と CaO に炭酸ナトリウムを加えることで、ソーダ石灰ガラスを作ることができる。窯業系サイディングの粉末に炭酸ナトリウムを加

えた粉末を1500℃のガスバーナーで加熱したが一部は反応したものの、全体を反応させることができなかった。このことからガラス化させるには高温で長時間加熱する必要があると推測し、次に電気炉を用い時間をかけ加熱する実験を行う。炭酸ナトリウムを加えることでケイ素の融点が1000℃近くまで下がることから、1150℃電気炉に入れ8時間加熱し、ガラス化するかを確認する。添加する炭酸ナトリウムは、一般的な板ガラスの製品で約15%、ガラス細工などに用いるガラスで約20%ほどであるので、本実験では炭酸ナトリウムをそれぞれ15%、20%、25%、30%加えた4種類を8時間電気炉に入れて加熱した。15%、20%のものはガラス化が不十分であり、25%のものは透明のガラス化した部分と不完全な部分が半々の結果となった。30%加えたものは、ほぼ全体をガラス化させることが出来た。本研究では1150℃が上限の電気炉を用いたため、完全にガラス化させるためには30%の炭酸ナトリウムが必要となったが、より高温で加熱することが可能であれば、より少ない炭酸ナトリウムの添加量でガラス化させることが可能だと推測される。炭酸ナトリウムの添加量が少ないほどガラスの強度が増すので、製品として実用するには1400℃程の温度で加熱する必要がある。また、一般的なガラスの原料とは異なる様々な物質が含まれているため、完全な透明にすることは難しいと考えられる。そのため板ガラスなど透明度が必要とされる製品の利用には向かないが、グラスウールなどの製造原料として利用できると考えられる。

7. まとめ

窯業系サイディングの廃材は膨大な排出量のため大多数が廃棄処分され資源循環が進んでいないのが現状である。

再生水和固化材料としての利用は現段階では建材として要求される強度を得ることが出来ず利用が困難であるが、理想プロセス通りに試験体を作製すれば可能性はある。

表 5 窯業系サイディングの資源循環を可能にする再生材概要

	再生水和固化材料	再生ガラス系材料
原料	窯業系サイディング粉末＋水	窯業系サイディング粉末＋ Na_2CO_3
製造方法	窯業系サイディングを破砕した粉末を水で練り合わせ圧力をかけて成型する。水分量は成型方法により調整する	窯業系サイディングを破砕した粉末に30%の Na_2CO_3 を添加し1150℃に設定した電気炉で8時間以上加熱しガラス化させる
物性	密度 1.43g/c m ³ 曲げ強度 0.27N/m m ²	1.8g/c m ³
主な用途	製鋼用フォーミング抑制剤 下地用ボード等 セメントクリンカー原料	ガラス繊維補強材、 グラスウール系断熱材等
課題	・窯業系サイディングを破砕した粉末のみを水で練り合わせたものは圧力をかけてもボードとして利用可能な強度を出すことが出来ない ・1450℃程度で焼成し再生水和性回復させる必要がある ・強度を出すため他の材料を添加する必要がある 添加する場合、廃材量に対して少量であることが望ましい	・上質なガラスを生成するには1400℃以上で加熱する必要がある ・本研究で用いた電気炉の上限温度が1150℃と低かったため、添加する Na_2CO_3 の量が多くなった ・ Na_2CO_3 の添加量を20%以下にし、上質なガラスを生成するため、より高温で過熱する必要がある。

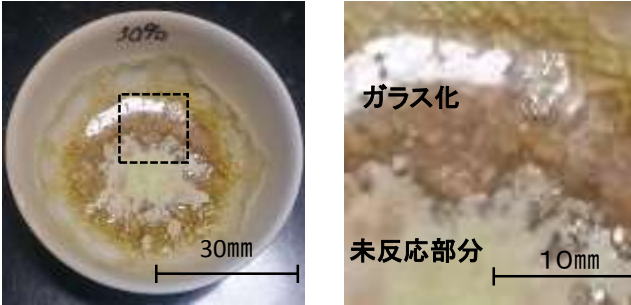


a) 圧縮の様子 b) 付き固めの様子



c) 圧力 10kN (水粉体比 40%) d) つき固め (水粉体比 60%)

写真 5 再生水和固化材料の作製状況 (研究 3)



a) Na_2CO_3 30%含有 焼成後 b) 左図拡大

写真 6 再生ガラス系材料の作製状況 (研究 4)

再生ガラス系材料としての利用ではガラス化させることはできたが、加熱温度が低いため Na_2CO_3 の添加量が多くなったので、より高温で加熱することで Na_2CO_3 の添加量を抑え、実用性の高いガラス系材料の作製が可能と考えられる。

参考文献

- 1) 日本サッシ協会「住宅用建材使用状況調査」1990 年～2015 年
- 2) 日本窯業外装材協会 HP <http://www.nyg.gr.jp>
参照 2016 年 4 月 20 日

謝辞

本研究の実施にあたり、NPO 法人外装エコロジーシステム理事 山下隆盛氏および関係各位、ニチハ株式会社、日本建築学会、環境配慮運営委員会内資源循環小委員会より、窯業系サイディングの提供、調査・議論等で多大な助力を賜り、感謝いたします。