

カキ殻タイル作成温度の低温化についての検討

2年3組 石丸 琴未 2年3組 高平なごみ
2年3組 古岩 春花 2年4組 有馬 智香
指導者 高橋 寛

1 課題設定の理由

宇和海沿岸は、ブリやスマの養殖に限らず、カキやアコヤガイなどの養殖等、水産業が盛んである。本校では地域資源を利用した課題研究を進めており、地域の廃棄物であるカキ殻の再資源化について先輩方が研究を行っていた。2016年には、石山らが800°Cで加熱処理したカキ殻が水中の銅(II)イオンやリン酸イオンを除去できることを見出した⁽¹⁾。2017年には脇本らが800°Cで焼成したカキ殻粉末を用いてタイル状に成型することで遮熱性を有するタイルが製作可能であることを見出した⁽²⁾。2018年には岩本らがカキ殻を加熱する温度を調べ、650°C以上の温度でカキ殻の主成分である炭酸カルシウムが熱分解してしまうことを見出した⁽³⁾。また、岩本らは650°Cで処理したカキ殻は灰色であったが、熱処理の前に強アルカリで前処理することで、得られる粉末を白色にすることができることも見出していた。

私たちは、岩本らの研究をもとに、カキ殻を焼成することにより遮熱性を有するタイルを作成する際の温度を、どこまで下げることが可能なのかを調べることにした。その理由は、廃棄物を再利用する際に必要な熱エネルギーをできるだけ下げたいと考えたからである。

2 仮説

- (1) アルカリ処理を行うことで650°C以下の低温でも白色のタイルを作ることができる
- (2) 低温(650°C以下)で作成したカキ殻タイルでも遮熱性を有する

3 実験の方法

(1) カキ殻の粉末化と成型

基本的な手順は岩本らの論文を参考にし、以下の手法によりカキ殻をタイル状に成型した。アルカリ処理は、酒井ら(2018)のアコヤガイの稜柱層を除去する研究⁽⁴⁾の条件を参考にした。

① 前処理

焼成前に5%水酸化ナトリウム(和光一級)水溶液に一定期間浸し、水洗いを行った。前処理期間は、基本的に一週間であるが、焼成後の様子を見て二週間を試した。

② 焼成・粉末化

前処理後の焼成温度を650°Cから50°Cずつ下げて焼成し、乳鉢を用いて粉末化した。

③ 成型

得られた粉末をPVA(洗濯のり)と混合し、タイル状に成型した。

(2) 光照射下での裏面温度変化

作成したタイルの遮熱性を評価するために、太陽光を模した白熱電球を照射した状態で、裏面の温度がどのように変化するかを評価した(図1)。温度測定には、熱電対温度計(秋月電子通商、MAS838、K熱電対)を用いた。

この評価の目的は、光により物体の温度が上昇するのは色の影響が大きいということから、作成したタイルの色の影響と共に、裏面に熱がどのように伝わるのかを調べることである。作成した遮熱タイルは屋上に置いて使用するこ



図1 白熱電球照射実験の様子

とを想定している。遮熱性を評価するために太陽光を照射した状況下で裏面の温度がどのように変化するかを評価する必要があると考えていたが、太陽光は季節や天候により強度等が左右され条件として安定しないため、100 W の白熱電球を 15 cm の距離から照射することで代用することとした。

(3) 熱伝導性の評価

太陽光を模した光照射下では、光吸収によるタイル自体の温度上昇のしやすさの影響を受けると考えられる。それを踏まえ、色の影響を無視した状態で熱伝導性について評価を行うために、一定温度になるよう設定したホットプレート上にタイルを置き、表面の温度がどのように変化するかを評価した (図 2)。表面の温度測定には光照射時の実験と同様に、熱電対型温度計 (秋月電子通商、MAS838、K 熱電対) を用いた。岩本らの研究では放射温度計を用いていたが、測定値が安定しないという問題が生じたため、熱電対温度計を用いることとした。

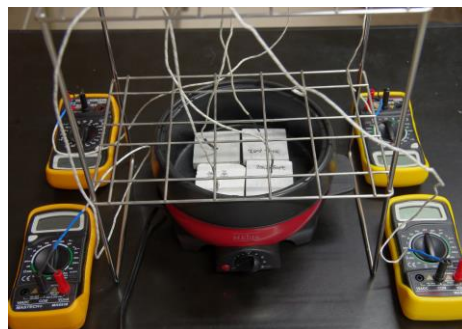


図 2 熱伝導性評価の様子

4 結果と考察

(1) カキ殻の粉末化と成型

焼成後のカキ殻の状態を表 1 及び図 3 に示す。表 1 中の○は粉末化が容易で、△は粉末化が可能なものの困難さがあり、×は粉末化が困難だったものである。また、○を付したものについてはタイル化し、以後の遮熱性評価に用いた。1w650°C10h などの表記は、以後の実験におけるサンプル名である。

表 1 処理方法の違いによるカキ殻粉末の状態

処理期間	550°C	600°C	650°C
前処理 1 週間 焼成 10 時間	×	△ (灰)	○ (白) 1w650°C10h
前処理 1 週間 焼成 20 時間	×	○ (灰) 1w600°C20h	—
前処理 2 週間 焼成 20 時間	×	○ (やや白) 2w600°C20h	—

岩本らは、アルカリ溶液での一週間の前処理を行うことで 650°C では 10 h 焼成後に白色の粉末を得ることができていた (図 3 (a)、1w650°C10h)。したがって、同じ前処理を行うことにより焼成温度を下げても白色粉末を得ることができるのではないかと考えた。しかし、600°C では 10 h 焼成しても、表中の△で示すように、潰すことはできるものの粉末化することができないほどの硬さが一部残っていた。この理由として、焼成時間が不足したことによりタンパク質などの分解が不十分だったのではないかと考えた。次に、600°C での焼成時間を 20 h に伸ばしたところ、粉末化することはできたが、粉末は灰色であった (図 3 (b)左、1w600°C20h)。さらに前処理の時間を一週間から二週間に延ばすことで白色化が可能ではないかと試したところ、前処理期間の短い 1w600°C20h に比べ、やや白色の粉末を得ることができた (図 3 (b)左、2w600°C20h)。また、図 3 (c) で示す 550°C で焼成したカキ殻は、前処理の有無・多い少ないや加熱時間の増減にかかわらず乳鉢では簡単に潰せないほど強度が残っており、タイル状の成型は不可能と判断した。以上のことから、水酸化ナトリウム水溶液での前処理を加えることで焼成温度を低減する限界は、550°C ~ 600°C の間にあると考えられる。

以後の実験については、表中に○印をつけた3つの試料のみタイル状に成型を行い、遮熱性の評価を行うこととした。

(2) 光照射下での裏面温度変化

図4に光照射下での裏面温度の変化を評価した結果を示す。コンクリートや試薬の炭酸カルシウムから成型したタイルを含めたすべての試料の中で、1w650°C10hの一番温度上昇量が小さかった。これは、1w650°C10hが白色であり、密度が小さいことが理由だと考える。脇本らの論文でも、密度が小さいことで熱が伝わりにくいと考察しており、同様の結果が得られた。焼成温度を50°C下げた1w600°C20hは、粉末もタイルも灰色であり、密度は低いもののコンクリートよりも温度上昇するという結果が得られた。したがって、灰色であることが光による温度上昇につながったと考えられる。また、前処理期間を延ばした2w600°C20hは、試薬のタイルと同じ温度上昇量を示した。2w600°C20hは灰色の1w600°C20hよりもやや白いタイルであったことから、温度が上昇しにくくなったのだと考えられる。

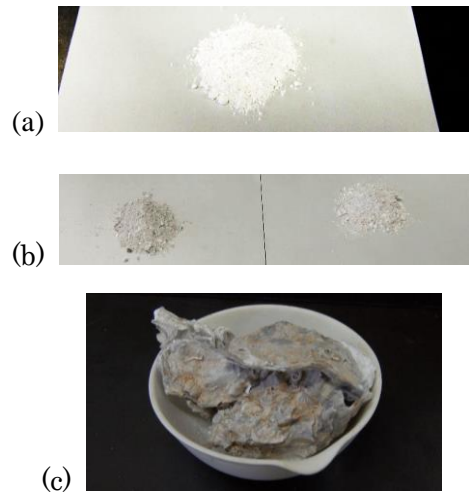


図3 各温度での焼成後の様子
(a) 1w650°C10h、(b)左 1w600°C20h
(b)右 2w600°C20h、(c) 550°C

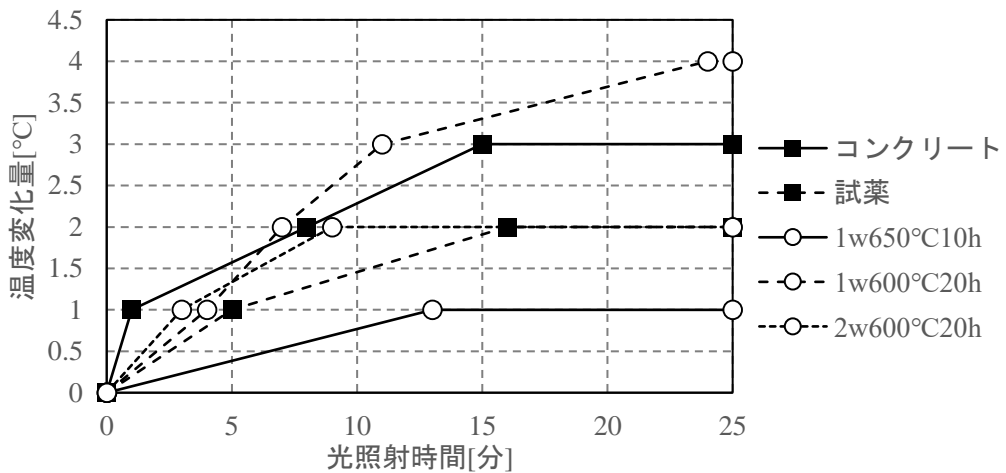


図4 光照射下での裏面温度変化の評価

(3) 熱伝導性の評価

表2に比較材料および得られたタイルの密度の評価結果を示す。タイルの寸法は1cm×5cm×5cmであり、その質量から求めた。また、図5にホットプレートを用いてタイルの裏面を加熱した際の、熱伝導性の評価結果を示す。図に示すように、コンクリートが最も熱を伝えやすく、これは先輩方の結果と同様であった。これはコンクリートの密度が大きいことにより熱を伝えやすいと考えている。試薬も密度が高いことから、同様に熱を伝えやすいのだと考えられる。カキ殻から作ったタイルは、どれも比較材料であるコンクリートや試薬よりも熱を伝えにくいという結果が得られた。したがって、カキ殻を用いて、遮熱性のあるタイルを得ることができているといえる。650°Cで10h

表2 タイルの密度

試料	密度
コンクリート	2.2
試薬	2.0
1w650°C10h	0.8(※)
1w650°C20h	1.2
2w650°C20h	1.0

※成型体の一部が欠けており、やや低い値である

加熱したものよりも、600°Cで20h加熱したものの方が熱を伝えにくいという結果が得られた。また、600°Cで焼成したタイルは、完全に白色ではないものの熱を伝えにくい結果であった。今回は白色のタイルを得る目的で条件を変更し、温度と加熱時間の両方の条件を変化させてしまっているので断言はできないが、600°C焼成の試料には焼成温度が低いことによりカキ殻の内部の構造が多く残っていて、熱を伝えにくくなっていることが考えられる。以上の結果より、熱伝導性については低温化することにより性能を向上させることができたといえる。ただし、光照射実験と合わせると、色によるタイル自身の温度上昇も考慮する必要があり、どちらが有効であるかについてはさらに評価が必要であると考えられる。

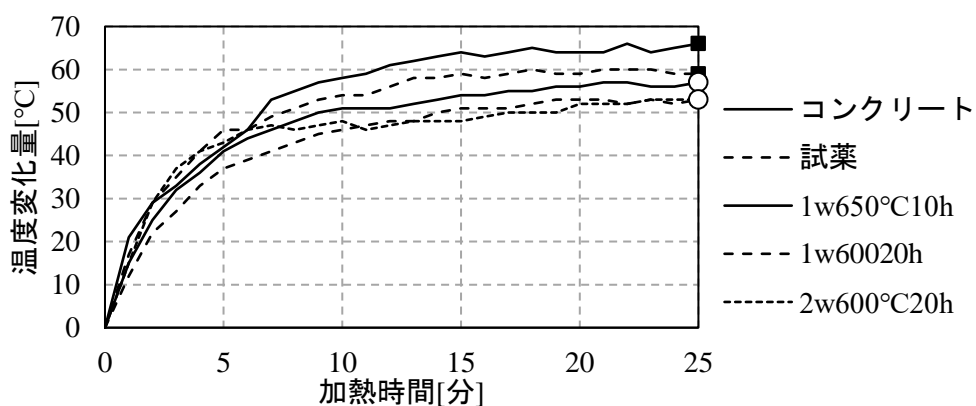


図5 ホットプレートを用いた熱伝導性の評価結果

5 まとめと今後の課題

カキ殻から遮熱性のあるタイルを作る温度の低減を目指した結果、当初の目的を果たすことはできたが、アルカリ処理を加える手法では600°Cまでしか温度を下げることはできなかった。光照射下での評価によると白色であることが有効な650°Cのタイルが最も性能が高く、熱伝導性の評価によると構造が残っていることによる影響のある600°Cのタイルが最も性能が高く、甲乙つけがたい結果となった。今後は、先輩方の達成できなかった気泡の付与による遮熱性の向上や、前処理や焼成温度の時間を変更することで600°C未満でもでも白色に限りなく近いタイルを作成することが課題である。

謝辞

今回の研究を進めるにあたり測定方法について助言いただいた本校3年生の佐竹陸真様、前田喬祐様、岩本拓哉様、細田佑樹様にこの場を借りて心より感謝申し上げます。

参考文献

- ・石山春菜、二宮紗弥、東野乃(2016)「カキ殻粉末を用いた水質浄化ー赤潮の未然防止に向けてー」『平成28年度宇和島東高等学校SSH生徒課題研究論文集』P.83
- ・佐竹陸真、細田佑樹、前田喬祐、脇本晃太郎(2017)「牡蠣殻を利用した遮熱タイルの評価」『平成29年度宇和島東高等学校SSH生徒課題研究論文集』P.35
- ・佐竹陸真、前田喬祐、岩本拓哉、細田佑樹(2018)「カキ殻タイルへの耐水性の付与と遮熱性向上」『平成30年度宇和島東高等学校SSH生徒課題研究論文集』P.103
- ・酒井空、坂井理子、行定菜生、櫻田侑生(2018)「アコヤ貝による海水の富栄養化の防止」『平成30年度宇和島東高等学校SSH生徒課題研究論文集』P.154