

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 15 日現在

機関番号：17601

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560106

研究課題名(和文) 廃棄ガラス繊維強化プラスチックを利用した高強度多孔質セラミックスの開発とその応用

研究課題名(英文) Development of high-strength porous ceramic produced by firing mixture of clay and waste glass fiber reinforced plastic and applications

研究代表者

木之下 広幸 (Kinoshita, Hiroyuki)

宮崎大学・工学部・助教

研究者番号：80295196

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,300,000円

研究成果の概要(和文)：廃棄ガラス繊維強化プラスチック(GFRP)が埋立て処分されていることから、その有効利用法として、粘土に粉碎したGFRPを混合・焼成することにより、ガラス繊維強化多孔質セラミックスを製造する方法を提案した。まずこの製造方法で得られるセラミックスの強度や吸水率などの材料特性を明らかにした。また、セラミックスの化学成分分析、浸漬液のpH値の測定、耐酸性試験を行い、その環境適合性について検討した。次に、セラミックスの応用として、高吸水性及び低熱伝導の特性を活かし、ヒートアイランド現象の対策として、日射熱による表面温度の上昇を抑制できる舗装用ブロック及びセラミックとコケからなる緑化材の開発を行った。

研究成果の概要(英文)：To use waste glass fiber reinforced plastic (GFRP) effectively, we produced porous glass fiber reinforced ceramic by mixing clay and crushed waste GFRP before firing the mixture. Various ceramic specimens were produced by changing the mixing ratios of clay and GFRP and firing temperature. Strength tests were carried out on the samples. The apparent porosity, water absorption and thermal conductivity were also measured. In addition, to examine the environmental suitability of the ceramics, the pH of immersion liquid was measured and acid resistance tests were carried out. From the results, it was clarified that ceramics with high water absorption, high strength and low thermal conductivity could be produced in this process. As applications of the ceramics, the developments of a pavement block and greening material with moss for heat island phenomenon countermeasures by exploiting the ceramic high water absorption ability and low thermal conduction characteristics were conducted.

研究分野：機械材料・材料加工

キーワード：リサイクル ランド現象 ガラス繊維強化プラスチック 多孔質セラミックス 高強度 日射熱の低減 ヒートアイランド現象 舗装用ブロック 緑化材

1. 研究開始当初の背景

ガラス繊維強化プラスチック(GFRP)は、プラスチック中にガラス繊維を含むため、既存のリサイクル技術が適用できない場合が多く、そのほとんどが産業廃棄物として埋立て処分されている。

そのため、廃棄 GFRP による環境汚染と埋立地の不足が懸念されており、廃棄 GFRP の有効利用法や環境への負荷が抑えられる処分方法の開発が強く望まれている。

このような状況から、研究代表者らはこれまでに、廃棄 GFRP の処理ならびに廃棄 GFRP に含まれるガラス繊維の有効利用を目的に、粘土に粉砕した GFRP を混合して焼成することにより、プラスチック母体を分解し、残留するガラス繊維により強化された多孔質セラミックスを製造する方法を提案した(特許公開 2010-100497)。

しかし、本手法を実用化するためには以下に記載する課題を解決する必要がある。

- 1) 本手法により製造されるセラミックスの特性は、焼成温度、粘土と GFRP の混合率、粉砕した GFRP の粒度によって変わるので、製造条件と材料特性との関係を明らかにする必要がある。
- 2) 目標の材料特性を得ることのできる材料設計手法を確立する必要がある。
- 3) GFRP に含まれるガラス繊維は非常に硬く、樹脂は軟らかいという性質があり、一般に GFRP は粉砕するのが大変難しい。この GFRP をガラス繊維を傷つけずにできるだけ簡単に粉砕できる技術の開発が望まれる。
- 4) セラミックスの用途(製品への応用)を示す必要がある。

2. 研究の目的

上記研究の背景から、本研究では廃棄 GFRP を用いた高強度多孔質セラミックスを製造する方法において、以下のことを目的とする。

- 1) 製造可能な材料特性を明らかにする。
- 2) 製造条件および材料設計手法を確立する。
- 3) 本手法では、軽量で高強度かつ高吸水性のセラミックスが得られる。この特徴を活かして、ヒートアイランド現象の対策としての保水性インターロッキングブロック(舗装用ブロック)および緑化基盤材への適用を図る。

3. 研究の方法

1) セラミックスの材料特性評価

セラミックスの強度特性

- ・ガラス繊維を 30~50% (質量%) 含む GFRP を粘土と混合・焼成することにより数種類のセラミックス試験片を作製し、曲げ試験、圧縮試験、および疲労試験を行う。
- ・セラミックスの耐凍害性について検討するために、気中凍結水中融解を施した(繰返し数 10 回)試験片について曲げ試験を行

う。

セラミックスの物理特性

粘土と GFRP の混合率、GFRP の粉砕粒度を変えることにより作製した数種類の試験片について、気孔率、細孔分布、吸水率および熱伝導率等の測定を行う。

セラミックスの環境適合性

セラミックスの環境適合性を明らかにするために、化学成分分析、浸漬液の pH 値の測定、耐酸性試験および耐酸性試験後の曲げ試験を行う。

2) セラミックスの材料設計手法の確立

GFRP の混合率(樹脂の混合率)と曲げ強度の関係を数式化することにより、任意の GFRP の混合率に対するセラミックスの曲げ強度を推定し、材料の強度設計を可能にする。

3) 廃棄 GFRP の粉砕方法の確立

GFRP を短時間で大量に粉砕することを目的に、液体窒素を用いて GFRP を冷却し、その後粉砕する方法について検討する。

4) セラミックスの応用(ヒートアイランド現象の対策としての舗装用ブロックの開発およびコケ緑化基盤材の開発)

- ・ヒートアイランド現象対策としての高吸水性ブロックを試作し、輻射熱の抑制効果について検討する。セラミックスの輻射熱の抑制効果は、モルタル板とセラミック板に赤外光を照射した場合の表面と裏面の温度変化を比較することにより検討する。
- ・セラミック基盤材に直にコケを活着した緑化材を試作し、日射熱の低減効果と二酸化炭素濃度の低減効果を実験により明らかにする。

4. 研究成果

1) セラミックスの材料特性

強度特性

- ・ガラス繊維を 30%、40% および 50% (質量%) 含む GFRP を粘土と混合・焼成することにより作製した数種類のセラミックスの曲げ強度、圧縮強度、耐凍害性、疲労強度を明らかにした。
- ・プラスチックに含まれるガラス繊維の含有率が高いほど高強度のセラミックスが得られることを実証した。
- ・凍結融解試験の結果から、粘土と GFRP を混合・焼成したセラミックスの曲げ強度に及ぼす凍結融解の影響は小さいことを明らかにした。
- ・本研究のセラミックス製造方法は理論的にはプラスチックの種類を問わない。このことを検証するために、ガラス繊維と熱硬化性樹脂からなる GFRP を粘土と混合・焼成した試験片の主な材料特性について検討した。その結果から、熱可塑性プラスチックからなる GFRP を用いた場合と同じようにガラス繊維により強化された多孔質セ

ラミックスを作製可能できることを確認した。

[次節, 主な発表論文に記載の学会発表(1),(5),(7),(10),(12),(13),(16) 参照]

セラミックスの物理特性

粘土と粉碎した GFRP を混合・焼成して得られる各種セラミックスの気孔率, 細孔分布, 吸水率, 比表面積, および熱伝導率等を明らかにした。[学会発表 (1)参照]

セラミックスの環境適合性

セラミックスの化学成分分析, 浸漬液の pH 値の測定, 耐酸性試験および耐酸性試験後の曲げ試験を行い, その環境適合性を明らかにした。[雑誌論文(4) 参照]

2) セラミックスの材料設計手法の確立

廃棄 GFRP を用いたセラミックスの実践的な製造方法を提示した。具体的には, 強熱減量試験と化学成分分析により廃棄 GFRP に含まれるガラス繊維の含有率を特定し, 提案した材料設計手法を用いることにより, 粘土に対する GFRP の混合率を決定し, 目標とするセラミックの強度が得られることを示した。[雑誌論文(4) 参照]

3) 廃棄 GFRP の粉碎方法の確立

GFRP を液体窒素に浸して冷却した後に, せん断で破砕する方式のカッターミルを用いて GFRP を粉碎することにより, GFRP を大量に粉碎できることを示した。

[雑誌論文(4) 参照]

4) セラミックスの応用

ヒートアイランド現象の対策としての舗装用ブロックの開発

セラミックスの高強度, 高吸水性および低熱伝導等の特性を活かし, ヒートアイランド現象の対策として, 日射熱による表面温度の上昇を抑制できる舗装用ブロック, あるいは建築用タイルの開発を行った。

セラミックスの輻射熱の低減効果について検討するために, モルタル板とセラミック板に赤外光を照射した場合の表面と裏面の温度変化を測定し, それらを比較した。

その結果から, 乾燥状態においては, セラミック板の表面温度はモルタル板と同等であるが, 裏面温度はその低熱伝導特性のため, モルタル板よりも著しく低くなることを確認した。以上から, セラミックスを建築用タイルとして使用することにより, 屋内温度の低減が期待できることがわかった。

一方, 飽和吸水させた試験片に赤外光を照射した場合の温度測定結果から, セラミック板の表面および裏面温度は, 吸水量(蒸発熱量)の違いにより, モルタル板よりも著しく低くなることを確認した。

[学会発表(6),(8),(11) 参照]

コケを活着させた緑化基盤材の開発
セラミックスの高吸水性, ならびにセラミ

ックス上においてコケが生育することに着目して, 土を用いずに, セラミック基盤材に直にコケを活着した緑化材の開発を行った。この緑化材をビルの屋上などに設置することにより, ヒートアイランド現象を緩和するとともに, 屋内温度の低減を図ろうとするものである。

まず, 植生用インターロッキングブロックの強度の条件を満足すると共に高い吸水率が得られる条件で基盤材を作製した。次にコケ緑化材の製造方法として, 基盤材に植物用接着液を塗布し, 所定の大きさに切断したコケ粒をその上に撒布する方法を試みた。その結果, 基盤材に直にコケが活着するとともに外観のよい緑化材が得られることが明らかとなった。

また, 作製したコケ緑化材について, 日射熱の抑制効果と二酸化炭素濃度の低減効果を実験により明らかにした。さらに, 耐風性に優れたコケ緑化基盤材の開発を目指し, 基盤材表面に凹凸を設けることにより, コケの耐風性が向上することを明らかにした。

[雑誌論文(2),(3),(5) 参照]

[学会発表 (14),(15) 参照]

その他の用途開発

NO₂ 吸着材としての可能性調査

セラミックスの多孔質な性質に着目し, NO₂ ガスの吸着除去性能に優れたセラミックスの開発を目指した。金属, プラスチック, 木材, モルタル, 粘土を焼成したセラミックス, および GFRP と粘土を焼成したセラミックスについて, NO₂ の吸着除去試験を行った。その結果から, 本研究のセラミックスは単位質量および単位体積当たりの両方において NO₂ の吸着性に優れていることを明らかにした。[学会発表(3),(4),(9) 参照]

濁水濾過材としての可能性調査

セラミックスの透水性に着目して, 濁水や汚水等の浄化用濾過材としての利用の可能性について検討した。GFRP の粘土との混合率, GFRP の粒度および焼成温度を変えることにより, 細孔分布の異なる数種類のセラミックスを作製し, 透水試験およびカオリンを含む模擬濁水の濾過試験を行った。その結果から, 水をよく通し, 濁度低減率も高いセラミックスを作製できることがわかった。

[学会発表 (2) 参照]

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計5件)

(1) High-strength ceramics from waste glass fiber and clay, International Journal of Innovations in Engineering and Technology, Special issue, 13-18, H. Kinoshita, Y. Yasuda, T. Yuji, Y. Okamura, T. Kobayashi, 他 1 名, (2014 年 6 月). 査読有

- (2) Greening material consisting of a porous ceramic made from waste glass fiber reinforced plastic coated with moss, International Journal of Innovations in Engineering and Technology, Special issue, 7-12, H. Kinoshita, Y. Yasuda, T. Nakazono, K. Yasui, T. Yuji, 他 3 名, (2014 年 6 月). 査読有
- (3) 廃棄 GFRP を再利用したコケ緑化基盤材の耐風性の向上, 日本実験力学会誌, 13 (4), 380-386, 木之下広幸, 湯地敏史, 安田雄祐, 小林太一, 福山華子, 他 3 名, (2013 年 12 月). 査読有
- (4) Production and material properties of ceramic from waste glass fiber reinforced plastic, Journal of Environment and Engineering, 8 (1), 27-40, H. Kinoshita, K. Kaizu, S. Hasegawa, T. Ando, R. Kawamura, 他 3 名, (2013 年 3 月). 査読有
- (5) 廃棄 GFRP を再利用した高強度多孔質セラミック基盤材とコケからなる緑化プラントの開発, 日本実験力学会誌, 13 (1), 100-106, 木之下広幸, 海津浩一, 安田雄祐, 中園健文, 小林太一, 他 4 名, (2013 年 3 月). 査読有
- [学会発表](計 16 件)
- (1) 廃棄ガラス繊維強化プラスチックと粘土を混合・焼成した高強度多孔質セラミックスの応用(第報), 宮崎大学工学部紀要第 44 号, 木之下広幸, 安井賢太郎, 湯地敏史, 岡村好美, 境健太郎, 瀬崎満弘, (頁数 7, 印刷中:2015 年 7 月出版予定).
- (2) 廃棄 GFRP を再利用したセラミックスの濁水濾過性能, 日本機械学会九州支部 68 期総会・講演会, pp.95-96, 安井賢太郎, 後藤 彰吾, 木之下広幸, 市川大貴, 岡村好美, 湯地敏史, 瀬崎満弘, 澤山重樹, 2015 年 3 月 13 日, 福岡大学, 福岡市).
- (3) 廃棄 GFRP, 粘土及び TiO₂ 粉末を混合・焼成したセラミックスの NO₂ 除去性能, 日本機械学会九州支部 68 期総会・講演会, pp.97-98, 安田雄祐, 木之下広幸, 安井賢太郎, 上運天柗太, 岡村好美, 湯地敏史, 瀬崎満弘, 澤山重樹, (2015 年 3 月 13 日, 福岡大学, 福岡市).
- (4) 粘土と廃棄 GFRP の混合物を焼成した多孔質セラミックスの NO₂ 吸着除去性能, 日本機械学会第 24 回環境工学総合シンポジウム 2014, pp.111-114, 木之下広幸, 安井賢太郎, 安田雄祐, 上運天柗太, 湯地敏史, 岡村好美, 境健太郎, 瀬崎満弘, (2014 年 11 月 18 日, つくば国際会議場, 茨城県つくば市).
- (5) ガラス繊維の含有率が極めて高い廃棄熱硬化性プラスチックと粘土の混合物を焼成したセラミックスの強度, 日本機械学会第 24 回環境工学総合シンポジウム 2014, pp.54-57, 木之下広幸, 上運天柗太, 安田雄祐, 安井賢太郎, 湯地敏史, 岡村好美, 瀬崎満弘, 澤山重樹 (2014 年 11 月 18 日, つくば国際会議場, 茨城県つくば市).
- (6) 粘土と廃棄 GFRP を原料とするヒートアイランド現象対策用舗装ブロックの開発, 日本機械学会第 24 回環境工学総合シンポジウム 2014, pp.58-61, 木之下広幸, 安田雄祐, 上運天柗太, 安井賢太郎, 湯地敏史, 岡村好美, 瀬崎満弘, 房野俊夫, (2014 年 11 月 18 日, つくば国際会議場, 茨城県つくば市).
- (7) Strength of ceramics produced by firing mixtures of clay and waste thermosetting plastics with high glass fiber content, Proceedings of 1st Asian conference on electrical installation & applied technology and 3rd Japan-Thailand friendship international workshop on science, technology & education (1st ACEIAT and 3rd JTSTE 2014), 205-208, H. Kinoshita, S. Kamiunten, Y. Yasuda, K. Yasui, T. Yuji, 他 4 名, (2014 年 8 月 28 日, タイ, チェンマイ).
- (8) Pavement blocks for heat island countermeasures produced by firing mixtures of clay and waste glass fiber-reinforced plastic, Proceedings of 1st Asian conference on electrical installation & applied technology and 3rd Japan-Thailand friendship international workshop on science, technology & education (1st ACEIAT and 3rd JTSTE 2014), 57-60, Y. Yasuda, H. Kinoshita, K. Yasui, S. Kamiunten, T. Yuji, 他 3 名, (2014 年 8 月 28 日, タイ, チェンマイ).
- (9) NO₂ adsorption and removal performance of porous ceramics produced by firing mixtures of clay and waste glass fiber reinforced plastic, Proceedings of 1st Asian conference on electrical installation & applied technology and 3rd Japan-Thailand friendship international workshop on science, technology & education (1st ACEIAT and 3rd JTSTE 2014), 53-56, H. Kinoshita, K. Yasui, Y. Yasuda, S. Kamiunten, Y. Okamura, 他 3 名, (2014 年 8 月 28 日, タイ, チェンマイ).
- (10) 廃棄 GFRP を再利用した高強度多孔質セラミックスの開発(熱硬化性プラスチックの再利用), 日本機械学会九州支部 67 期総会・講演会, 木之下広幸, 上運天柗太, 湯地敏史, 岡村好美, 中林健一, 吉園修平, 他 4 名, (2014 年 3 月 13 日, 九州工業

大学，北九州市).

- (11) 粘土と廃棄 GFRP を焼成したセラミックの舗装用ブロックへの適用，日本機械学会 鹿児島講演会，No.138-3, pp.95-96，木之下 広幸，吉園 修平，安井 賢太郎，湯地 敏史，安田 雄祐，その他 3 名，(2013 年 9 月 28 日，鹿児島大学，鹿児島市).
- (12) High-strength porous ceramic produced by firing mixture of clay and waste glass fiber reinforced plastic, Proceedings of Japan-Thailand-Lao P.D.R. Joint Friendship International Conference on Applied Electrical and Mechanical Engineering 2013, 211-214, H. Kinoshita, S. Yoshizono, Y. Yasuda, T. Yuji, K. Yasui, 他 3 名，(2013 年 8 月 31 日，タイ，バンコク).
- (13) Physical and chemical properties of ceramics made from waste glass fiber reinforced plastic, Proceedings of International Joint Symposium on Applied Mechanics and Robotics, CD, H. Kinoshita, S. Yoshizono, R. Kawamura, (2013 年 7 月 28 日，宮崎大学，宮崎市).
- (14) 廃棄 GFRP を再利用したセラミック基盤材とコケからなる緑化プラント(耐風性能に優れた基盤材の開発)，日本機械学会 九州支部 第 66 期総会・講演会 木之下 広幸，湯地敏史，安田雄祐，河村隆介，宮城弘守，小林太一，福山華子，中園健文，海津浩一，川崎久光，(2013 年 3 月 13 日，九州産業大学工学部，福岡市).
- (15) 廃棄 GFRP を再利用したセラミック基盤材とコケからなる緑化プラントの開発(輻射熱による温度上昇の緩和および二酸化炭素濃度の低減について)，日本機械学会九州支部 第 66 期総会・講演会，木之下 広幸，安田雄祐，河村隆介，湯地敏史，小林太一，福山華子，中園健文，宮城弘守，海津浩一，川崎久光，(2013 年 3 月 13 日，九州産業大学工学部，福岡市).
- (16) Development of high-strength tiles produced by recycling waste glass fiber, Proceedings of 2nd Japan-Thailand-Lao P.D.R. Joint Friendship International Conference on Applied Electrical and Mechanical Engineering 2012, 57-60, H. Kinoshita, R. Kawamura, T. Yuji, T. Ando, S. Yoshizono, 他 2 名，(2012 年 11 月 15 日，タイ，パタヤ).

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：

発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者：宮崎大学・工学部・助教
木之下 広幸
研究者番号：80295196