

戦略的国際共同研究プログラム(SICORP)

EIG CONCERT-Japan 共同研究

終了報告書 概要

1. 研究課題名：「相変化材料を使用した蓄熱機能を有するセメント系複合多孔体建設材料の開発」
2. 研究期間：2019年4月～2023年3月
3. 主な参加研究者名：
日本側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	石田 哲也	教授	東京大学	全体統括, メソスケール解析モデル構築の統括
主たる共同研究者	土谷 浩一	センター長	物質・材料研究機構	PCM複合材料の組織解析の総括
主たる共同研究者	今本 啓一	教授	東京理科大学	PCM複合材料の耐久性と寿命評価
研究参加者	高橋 佑弥	准教授	東京大学	メソスケール解析のPCM材料の挙動モデルの構築
研究参加者	土井 康太郎	独立研究員	物質・材料研究機構	PCM複合材料の分析
研究参加者	清原 千鶴	嘱託助教	東京理科大学	PCM複合材料の物質移動抵抗性評価
研究期間中の全参加研究者数			10名	

相手側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	Eduardus Koenders	Professor	Technical University of Darmstadt	Coordination and overall supervision
主たる共同研究者	Christoph Mankel	Associate Professor	Technical University of Darmstadt	Mix design, Thermal properties and PCM design
主たる共同研究者	Jorge Dolado	Head of Materials Center	Materials Physics Center, CSIC	Thermal properties and nano materials design
研究参加者	Frank Röser	CEO	Röser Ingenieurbeton	Demo wall and Upscaling of PoroPCM foam to industrial application
研究参加者	Jan Cervenka	CEO	Cervenka Consultancy	FEM analysis of of Demo wall and Seismic analysis
研究参加者	Ignacio Peralta	Postdoc	Technical University of Darmstadt	Modelling thermal properties and heat transfer at meso scale
研究期間中の全参加研究者数			8名	

4. 国際共同研究の概要

ポリマー相変化材料（PCM）を使用した、蓄熱性能を有するセメント系複合多孔体材料 **PoropCM** を開発することを目的として、マルチフィジックス型解析モデル、キャラクターゼーション分析、材料性能評価に長けた日本側研究者と、空間設計・材料合成技術、建築構造解析に長けた欧州側研究者とで共同研究を実施した。高解像度の三次元 X 線 CT などの分析を駆使して、気泡と PCM の混合材料の微視的構造を明らかにすると共に、格子ボルツマン法を適用するなどして複合材料の平均物性を評価し、メソスケールの性能評価が可能な解析システムを開発した。また各種力学特性や耐久性に関する試験を実施し、実用化に向けた可能性や問題点を定量的に示した。本開発材料を用いることで、空調を使用せずに快適な室内環境を維持できる可能性が示された。これにより CO₂ 排出削減に貢献することが期待される。研究期間を通じて COVID-19 の影響下にあったにも関わらず複数回の対面合同ミーティング・ワークショップを開催し、研究や技術に関する交流促進に努めた。今後も国際共著論文の取纏めや、本研究で確立された異分野統合材料性能評価手法を用いた他の建設材料の評価などを通じて共同研究関係の継続を図る。

5. 国際共同研究の成果

5-1 国際共同研究の学術成果および実施内容

PoropCM 材料の安定的作製方法を確立した上で、X 線 CT 等を用いて異なる配合条件の試験体の三次元の微視的構造の違いを示した。微視的熱容量や熱伝導率測定と格子ボルツマン法の適用を通じて、複合材料の物性に関する適切な平均化処理について検討し、**PoropCM** の熱的性能が考慮可能なモデルを開発した。開発したモデルを建設材料の性能評価が可能な FEM システムに実装することで、**PoropCM** 試験体の性能評価が可能であることが示された。**PoropCM** を壁部材の一部として用いることで安定的な室内温度環境が得られることも解析的に示された。一方で、強度や耐久性等これまで乏しかった諸性能に関する実験データを蓄積し、体積変化によるひび割れに留意する必要がある可能性が示された。

5-2 国際共同研究による相乗効果

初年度に日欧両者で三度の現地合同ミーティングを実施し、実験環境整備を含めた密な交流を実施した。2 年度以降は COVID-19 の影響により、オンラインでの交流が主となったが、初年度に行った環境整備により各国で研究を進めることが可能であった。2022 年、2023 年にそれぞれ欧州と日本でワークショップを対面で開催し、プロジェクト内外を含めた関連研究の情報交換を行うことができた。日本から欧州への分析結果の共有、欧州から日本への実験・解析技術の指導などの研究の相乗効果も生まれた。

5-3 国際共同研究成果の波及効果と今後の展望

本研究課題を通じて、博士を含む計 6 名（うち 1 名見込み）の学生が研究を行い学位論文を取得した。研究参画者を含め多くの研究人材を育成することに貢献した。また、本研究の開発材料は、エネルギー消費を伴わない安定的な住環境の整備に資する、SDGs 目標 7 や目標 11 の達成へ貢献するものである。研究開発を通じて得られた国内企業と協力関係（相変化材料調達、気泡コンクリート作製）を継続させることで、社会での実用化がより進められるものと考えている。

Strategic International Collaborative Research Program (SICORP)
 EIG CONCERT-Japan Joint Research Program
 Executive Summary of Final Report

1. Project title : 「 Functional Porous cementitious nanocomposites for heat storage in buildings using Phase Change Materials」
2. Research period : 04/2019 ~ 03/2023
3. Main participants :
 Japan-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Tetsuya Ishida	Professor	The University of Tokyo	Overall supervision, mesoscale analysis model construction
Co-PI	Koichi Tsuchiya	Center director	National Institute for Materials Science	Head of microstructural analysis of PCM composites
Co-PI	Kei-ichi Imamoto	Professor	Tokyo University of Science	Durability and lifetime evaluation of PCM composites
Collaborator	Yuya Takahashi	Associate Professor	The University of Tokyo	Modeling the behavior of PCM materials for mesoscale analysis
Collaborator	Kotaro Doi	Researcher	National Institute for Materials Science	Analysis of PCM composite materials
Collaborator	Chizuru Kiyohara	Contract Research Associate	Tokyo University of Science	Evaluation of mass transfer in PCM composites
Total number of participants throughout the research period:				10

Partner-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Eduardus Koenders	Professor	Technical University of Darmstadt	Coordination and overall supervision
Co-PI	Christoph Mankel	Associate Professor	Technical University of Darmstadt	Mix design, Thermal properties and PCM design
Co-PI	Jorge Dolado	Head of Materials Center	Materials Physics Center, CSIC	Thermal properties and nano materials design
Co-PI	Frank Röser	CEO	Röser Ingenieurbeton	Demo wall and Upscaling of PoroPCM foam to industrial application
Co-PI	Jan Cervenka	CEO	Cervenka Consultancy	FEM analysis of of Demo wall and Seismic analysis
Collaborator	Ignacio Peralta	Postdoc	Technical University of Darmstadt	Modelling thermal properties and heat transfer at meso scale
Total number of participants throughout the research period:				8

4. Summary of the international joint research

The aim of the research was to develop a porous cementitious composite material, PoroPCM, which has heat storage performance using polymer phase change material (PCM). The collaboration was conducted between Japanese researchers with expertise in multiphysics-type analytical models, characterization analysis, and material performance evaluation, and European researchers with expertise in spatial design, material synthesis technology, and building structure analysis. The researchers used high-resolution 3D X-ray computed tomography and other analytical techniques to clarify the microscopic structure of the composite of PCM, cement paste and foam. We also applied the lattice Boltzmann method to evaluate the average properties of the composite and developed an analysis system capable of evaluating meso-scale thermal performance. In addition, various mechanical properties and durability tests were conducted to quantitatively demonstrate the possibilities and problems for practical application. It was shown that by using the developed material, it is possible to maintain a comfortable indoor environment without using air conditioning. This is expected to contribute to the reduction of CO₂ emissions. Despite being under the influence of COVID-19 throughout the research period, several face-to-face joint meetings and workshops were held to promote exchanges on research and technology. We will continue our collaborative research relationship through the compilation of international co-authored papers and the evaluation of other construction materials using the integrated material performance evaluation method established in this study.

5. Outcomes of the international joint research

5-1 Scientific outputs and implemented activities of the joint research

After establishing a stable fabrication process for PoroPCM materials, we used X-ray CT and other techniques to show differences in the three-dimensional microscopic structure of specimens under different compounding conditions. Through the application of microscopic heat capacity and thermal conductivity measurements and the lattice Boltzmann method, the appropriate averaging process for the thermal properties of composite materials was investigated, and a model was developed that can account for the thermal performance of PoroPCM. The developed model was implemented in a FEM system that can evaluate the performance of construction materials, and it is also shown analytically that a stable indoor temperature environment can be obtained when PoroPCM is used as part of a wall member. On the other hand, experimental data was accumulated on various performance characteristics such as strength and durability, which have been lacking so far, and it is suggested that we have to pay attention to cracks caused by volume changes.

5-2 Synergistic effects of the joint research

In the first year, three on-site joint meetings were held in both Europe and Japan, and close exchanges were conducted, including the development of the experimental environment. In 2022 and 2023, workshops were held in person in Europe and Japan, respectively, to exchange information on related research, both within and outside the project. Research synergies were also generated, such as the sharing of analytical results from Japan to Europe and guidance on experimental and analytical techniques from Europe to Japan.

5-3 Scientific, industrial or societal impacts/effects of the outputs

Through this research project, a total of six students (including one prospective student), including a doctoral student, conducted research and obtained dissertations in Japanese side. The project contributed to the development of many research personnel, including those who participated in the research. In addition, the materials developed in this research will contribute to the development of a stable living environment without energy consumption, and will contribute to the achievement of SDG Goal 7 and Goal 11. We believe that the practical application in society can be further promoted by continuing the cooperative relationship with domestic private companies (procurement of phase-change materials and fabrication of foam concrete) obtained through research and development.

国際共同研究における主要な研究成果リスト

1. 論文発表等

*原著論文 (相手側研究チームとの共著論文) 発表件数: 計 0 件

・査読有り: 発表件数: 計 0 件

・査読無し: 発表件数: 計 0 件

*原著論文 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの論文): 発表件数: 計 2 件

・査読有り: 発表件数: 計 2 件

1. 遠藤樹, 今本啓一, 清原千鶴: パラフィン系相変化材料による温度上昇抑制型建材開発に向けた基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, 43 巻 1 号, pp.1427-1432, 2021
2. 遠藤樹, 今本啓一, 清原千鶴, 田中章夫: パラフィン系相変化材料を含有する建材の温度上昇抑制効果に含水状態が及ぼす影響についての検討, コンクリート工学年次論文集, 44 巻 1 号, pp.1618-1623, 2022

・査読無し: 発表件数: 計 0 件

該当なし

*その他の著作物 (相手側研究チームとの共著総説、書籍など): 発表件数: 計 0 件

該当なし

*その他の著作物 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの総説、書籍など): 発表件数: 計 0 件

該当なし

2. 学会発表

*口頭発表 (相手側研究チームとの連名発表)

発表件数: 計 0 件 (うち招待講演: 0 件)

*口頭発表 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表)

発表件数: 計 9 件 (うち招待講演: 1 件)

*ポスター発表 (相手側研究チームとの連名発表)

発表件数: 計 0 件

*ポスター発表 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表)

発表件数: 計 0 件

3. 主催したワークショップ・セミナー・シンポジウム等の開催

1. WORKSHOP – SUSTAINABLE MATERIALS FOR ENERGY STORAGE SOLUTIONS、主催者: JORGE S. DOLADO(CSIC), EDUARDUS A.B. KOENDERS(TUD), 石田哲也 (東京大学・教授)、Auditorium of the CFM CSIC-UPV/EHU、San Sebastián、スペイン、2022 年 2 月 23 日~25 日、参加人数 35 名程

4. 研究交流の実績（主要な実績）

【合同ミーティング】

- ・2019年4月14日：キックオフミーティング、ダルムシュタット工科大学 会議室、ダルムシュタット、ドイツ
- ・2019年9月1日-2日：定例ミーティングかつ日本チームに対する欧州チームからの技術指導、東京大学 工学部 1号館、東京、日本
- ・2020年1月13日：定例ミーティング、ダルムシュタット工科大学 会議室、ダルムシュタット、ドイツ
- ・2020年9月18日：プロジェクト参画メンバーによるオンラインミーティング
- ・2021年9月22日：プロジェクト参画メンバーによるオンラインミーティング
- ・2022年2月22日：プロジェクト参画メンバーによるオンラインミーティング

【学生・研究者の派遣、受入】

- ・2023年2月20日：日本から研究者1名（東京大学高橋）が、1日間相手国研究機関を訪問し、解析手法に関する技術習得と打合せを行った。

5. 特許出願

研究期間累積出願件数：0件

6. 受賞・新聞報道等

【受賞】

- 1) 村上記念賞（日本金属学会）、土谷浩一、2020/9/15
- 2) 第91回 日本建築学会関東支部研究発表会 優秀研究報告集、遠藤樹、2021/3/1
- 3) 日本コンクリート工学年次論文奨励賞、遠藤樹、2021/7/1
- 4) 日本建築学会大会（東海）学術講演会 材料施工部門若手優秀発表、遠藤樹、2021/9/1
- 5) 第7回コンクリート構造物の非破壊検査シンポジウム 持続可能な社会を目指してー非破壊検査の可能性ー 新進賞、遠藤樹、2022/8/1
- 6) 日本建築学会大会（北海道）学術講演会 材料施工部門若手優秀発表、遠藤樹、2022/9/1
- 7) 第93回 日本建築学会関東支部研究発表会 若手優秀研究報告賞、遠藤樹、2023/2
- 8) 増本量賞（日本金属学会）、土谷浩一、2023/3/8

7. その他

該当なし