

戦略的創造研究推進事業(ALCA)
技術領域(プロジェクト名)「自律分散型次世代スマートコミュニティ」
課題名「有機無機ハイブリッドエアロゲルを基材とする多用途断熱材の開発」

終了報告書

研究開発期間 平成23年3月～平成30年12月

研究開発代表者:中西 和樹
(京都大学大学院理学研究科、
准教授)

○報告書要約（和文）

研究開発代表研究者：京都大学 准教授 中西 和樹

研究開発課題名：高強度・柔軟性を示すエアロゲル断熱材の開発

1.研究開発の目的

ポリマーフォームやグラスウールなど既存の断熱材が用いられている住宅・輸送機関・発電・工業生産設備など様々な社会インフラにおける、熱マネジメントの基幹技術としての断熱部材を高性能化し、熱源として消費される化石燃料の使用削減、特に二酸化炭素などの温室効果ガスの排出を抑制することを目的とした。一般的な断熱材として用いられているポリマーフォームやグラスウールの熱伝導率は $30\text{--}40\text{ mW m}^{-1}\text{ K}^{-1}$ 程度であるが、たとえばこれの半分の熱伝導率をもつ断熱材を開発できれば、同じ厚さで2倍の断熱性能、あるいは半分の厚さで同等の断熱性能をもたせることができる。このような高性能断熱材を用いることで、広範なプロセスにおける熱効率を高めることが可能であり、また断熱材の厚さを減らすことにより例えば住宅や輸送機関における空間の有効利用が実現できる。さらに、耐水性、耐熱性や耐候性の高い材料が開発できれば、やむをえず性能の低い断熱材を使用していた高温多湿部位などの厳しい条件下にも適用可能で、断熱材の交換サイクルも長期化できる可能性がある。このような理由から、温室効果ガス削減に対するトータルの寄与は甚大である。

2.研究開発の概要

(1)内容:京都大学では、有機-無機ハイブリッド組成における新しいエアロゲル断熱材の新規開発を行った。エアロゲルを得るための前駆体の化学構造を幅広く検討し、適切なゾルーゲル反応系を新たに構築した。ティエムファクトリ(以降ティエム社)では、京都大学において開発されたエアロゲルを用い、モノリス状および粒子状エアロゲル材料のスケールアップ製造検討を行った。パナソニック・エコソリューションズ社(以降パナソニック ES 社)では、京都大学において開発された技術を用い、ポリマーバインダーや不織布との複合体試料を作製し、断熱性能を評価した。

(2)成果: 無機シリカゲルを有機基であるメチル基で修飾した組成をもつポリメチルシルセスキオキサン系において、高い光透過性を有するエアロゲルを得た。これらは、高い圧縮強度と柔軟性など優れた機械的物性を示し、従来の高圧での超臨界乾燥でなく常温・常圧での乾燥により高断熱性のエアロゲル(熱伝導率は約 $13\text{ mW m}^{-1}\text{ K}^{-1}$)を得ることが可能であった。この成果を用い、ティエム社ではモノリス体および粒子を製造するためのプロセス開発を行い、300 mm 角級板状エアロゲルの製造および粒子状エアロゲルのプラント規模製造までの目処をつけることができた。パナソニック ES 社では、圧縮変形下でも高断熱性を示す複合体材料の開発に成功した。

(3)今後の展開: 製造設備への投資を行うベンチャーキャピタルの支援を得て、ティエム社が製造能力を増強し、試供品供出なども含め、さまざまな利用形態における実証・検証を行い、本格的な社会実装へスムーズに移行できるような基盤づくりを実施する。また、パナソニック ES 社の成型技術により、高付加価値断熱部材として試供品を作製・提供し、実用レベルの性能および競争力のある価格についてコンセンサスを形成する。特に需要が見込まれる分野については、大規模なデモンストレーションを行い、実地検証による事例を蓄積することで、利用者が導入に踏み切りやすい環境を整える。プロジェクト終了後も3者が協力し、製造能力、市場規模を見極めつつ、比較的少量の高付加価値部材の提供から開始して、徐々に使用量の多い市場へ販売を拡大する。新規な学術的知見は知的財産管理に留意しつつできる限り速やかに広く国際学術コミュニティへ発信すると共に、長期的には他社へのライセンス契約による製品開発を許可することで、有機-無機ハイブリッドエアロゲルを用いた断熱材分野全体の活性化を図る計画である。

○Report summary (English)

Principal investigator: Associate Professor Kazuki Nakanishi (Kyoto University)

R & D title: Development of aerogel-based thermal insulators with high mechanical strength and flexibility

1. Purpose of R & D

Through the development of high-performance thermal insulating materials, involved as an essential technology in the framework of thermal management, it is possible to reduce the use of fuel energy as a heat source and emission of greenhouse gases represented by carbon dioxide. Polymer foams and glass wools, commonly and traditionally used insulating materials in the sectors of houses/buildings, transportation, power generation and industrial production facilities, have the thermal conductivity range of 30–40 mW m⁻¹ K⁻¹. If the thermal conductivity can be reduced to half, for example, it will be possible to double the insulation performance with the same thickness of insulating layer, or keep the insulation performance while reducing the thickness of the insulating layer to half. Having such high-performance insulating materials, it will be possible to increase the insulation performance in various applications and increase the available space in houses/building and transportations. In addition, if such high-performance insulating materials can be imparted with high water/weather resistance and thermal stability, it will be possible to replace insulating materials that have been used because there was no other choice in harsh environments such as high temperature/humidity, with the new materials. The replacement frequency will also be reduced by using such materials with higher stabilities. From these reasons, huge contributions to the reduction of greenhouse gases are expected by developing above-mentioned insulation materials.

2. Outline of R & D

(1) Contents: Kyoto University team (KU) developed new aerogels based on organic-inorganic hybrid networks for thermal superinsulation. A wide range of chemical structure of the alkoxy silane precursor has been investigated in newly designed sol-gel systems. Tiem factory team (Tiem) developed scale-up production processes for monolithic and granulate aerogels developed by KU. Panasonic Eco Solutions Company (PanaES) prepared aerogel-based composite insulators with polymer binders and unwoven fabric sheets, and confirmed high insulation performances.

(2) Achievements: In polymethylsilsesquioxane (PMSQ) system, of which chemical composition being analogous to methylated silica gel, aerogels with high visible-light transparency have been obtained. These aerogels show excellent mechanical properties such as high strength and flexibility against compression, which makes possible to prepare aerogels with low enough thermal conductivity (ca. 13 mW m⁻¹ K⁻¹) not by using high-pressure supercritical drying but ambient pressure drying. Tiem developed the scale-up process for monolithic and granulate aerogels, and obtained a clear forecast in the production of monolithic tiles larger than 300 x 300 mm² and granules with a full plant scale. PanaES developed composite aerogels that show high insulation ability even under pressurized installation conditions.

(3) Future developments: Tiem will receive financial supports from venture capitals that invest in the production facilities to increase the manufacturing capacity, and make the foundation for transferring the developed technology into extended implementation in society, through providing samples and demonstration and verification in various forms of application. PanaES will also provide sample products of thermal insulators with high added values by making advantage of their materials forming technologies, and develop the consensus for the balance between performance and competitive price for practical applications. In the fields expected with high demands, extended demonstration will be performed to accumulate the examples of on-site verifications to promote recognition and adoption for possible users. KU, Tiem and PanaES will continue their collaborations to broaden the marketing channels by sharing information on production ability and market size. The whole field of thermal insulation materials based on organic-inorganic hybrids

will be further activated by making new academic findings openly available after patent filing, and allowing R&D in other interested companies through forming license agreements in the long-term vision.