

〈技術レポート〉

(寄稿) 中・低温領域の断熱材の概要と発泡ポリマー・シリカナノコンポジット断熱材の開発について

独立行政法人 産業技術総合研究所 ナノシステム研究部門 依田 智

1. はじめに

エネルギー資源の多くを海外に依存せざるを得ない我が国においては、エネルギーを無駄なく、有効に活用するための取り組みは不可欠である。またCO₂の排出削減、地球温暖化防止の観点からも、化石燃料を中心とした省エネルギーへの取り組みが必要である。東日本大震災以降の電力供給の状況や、国際的に資源確保の動きが高まっていることも踏まえ、その重要性は高まりつつある。

最近では、これまで排熱として放出され、利用されていない低品位の熱を有効利用するための技術開発に世界的な注目が集まっている。経済産業省では、平成25年度から国のプロジェクトとして「未利用熱エネルギー革新的活用技術研究開発」(平成25年度予算15.5億)を開始した¹⁾。このプロジェクトでは、蓄熱、断熱、熱電変換、ヒートポンプなどの技術開発を促進し、未利用熱エネルギーの有効活用に向けた取り組みを推進している。断熱材料は直接的に省エネルギーに貢献するのみならず、他の技術の効率化や性能向上にも重要な役割を果たすことが期待されている。

本稿では、室温から数100℃までの、中・低温といわれる領域の断熱材料の状況を俯瞰するとともに、独立行政法人産業技術総合研究所(以下、産総研と略す)で取り組んでいる“発泡ポリマー・シリカナノコンポジット断熱材”の開発について紹介する。

2. 中・低温領域の断熱材料の現状と問題点

2.1 中・低温領域の断熱材概説

中・低温領域では主に(a)無機繊維系、(b)発泡ポリマー系が断熱材として汎用されており、また(c)真空断熱材、(d)シリカエアロゲル系複合材が高性能断熱材として上市されている。用途は住宅用建材やプラント関連の配管などの断熱、冷蔵庫、自動販売機などの機器用断熱が主である。マーケットとしては住宅用建材の断熱の割合が大きく、面積比で全断熱材の約70%を占める²⁾。

2.2 主要な各断熱材料の概要と技術課題

図1に主な断熱材の使用可能な温度領域と熱伝導率、価格と熱伝導率の相関(概念図)を示した。材質そのものに柔軟性のある軟質の断熱材と、硬質の断熱材を色で区別した。なお汎用材料の熱伝導率の値は、やや古くなっているが、公的にオーソライズされている資料³⁾を参照している。

(a) 無機繊維系(グラスウール、ロックウール)

極めて安価で化学的安定性、不燃性などの性質を持ち、広く用いられている。一般品の熱伝導率は0.04~0.05W/(m・K)(室温)程度で、温度と共に急激に増大する⁴⁾。

(b) 発泡ポリマー系(硬質ウレタンフォーム、ポリスチレンフォーム、ポリエチレンフォーム、フェノールフォームなど)

軽量で柔軟性、加工性、ハンドリング性に優れる。無機繊維系より熱伝導率は小さく0.029~

0.04W/(m・K) (室温) 程度で、価格はやや高い。フロン系ガス、炭化水素など熱伝導率の小さいガスを使うウレタンフォーム、フェノールフォームでは高性能 (0.022以下～0.028W/(m・K)) が得られるが、空気との置換により断熱性能は低下する⁵⁾。耐熱性は乏しく、フェノールフォームで150℃、他は100℃以下である。上記の環境負荷の大きなガスを使わない発泡技術 (N₂, CO₂の超臨界発泡、ウレタンフォームの水発泡) の開発と、ガスの封止、対流防止などを目的としたガスバリア性の向上が検討されている。

(c) 真空断熱材

多孔質の芯材をシール材 (ラミネートフィルム) で密封し、内部を減圧にした構造を持つ。対流伝熱がなく、極めて低い熱伝導率 (0.01W/(m・K) (室温) 以下) が実現可能である。価格は高い。真空を長期間維持することが最大の課題で、シール部分による熱の逃げや、加工性、施工性の悪さ、柔軟性に欠けることも問題となる。また一般にシール部分の耐熱性が低く、100℃以上では使われない。これらの課題に対する技術開発が行われている。

(d) シリカエアロゲル系複合材

シリカエアロゲルは極めて高い空隙率と、平均径が10～50 nmの細孔構造を合わせ持つシリカの多孔体であり、0.012～0.015W/(m・K) (室温) という低熱伝導率を実現できる。断熱性能は構造に依存し、真空やフロンガスなどの低熱伝導率のガスを使う必要がないため、長期の性能持続性に優れる。成形体の製造コストが高いこと、柔軟性がなく、力学的強度 (特に引っ張り) が小さいことが普及のバリアになっている。

そのため粉末、微粒子などの低コストの製造プロセス、機械的強度の向上を目的とした複合化の研究開発が盛んであり (後述)、粉末状のものと同織布などを複合化した材料 (0.015～0.020W/(m・K) 以下) が上市されている。

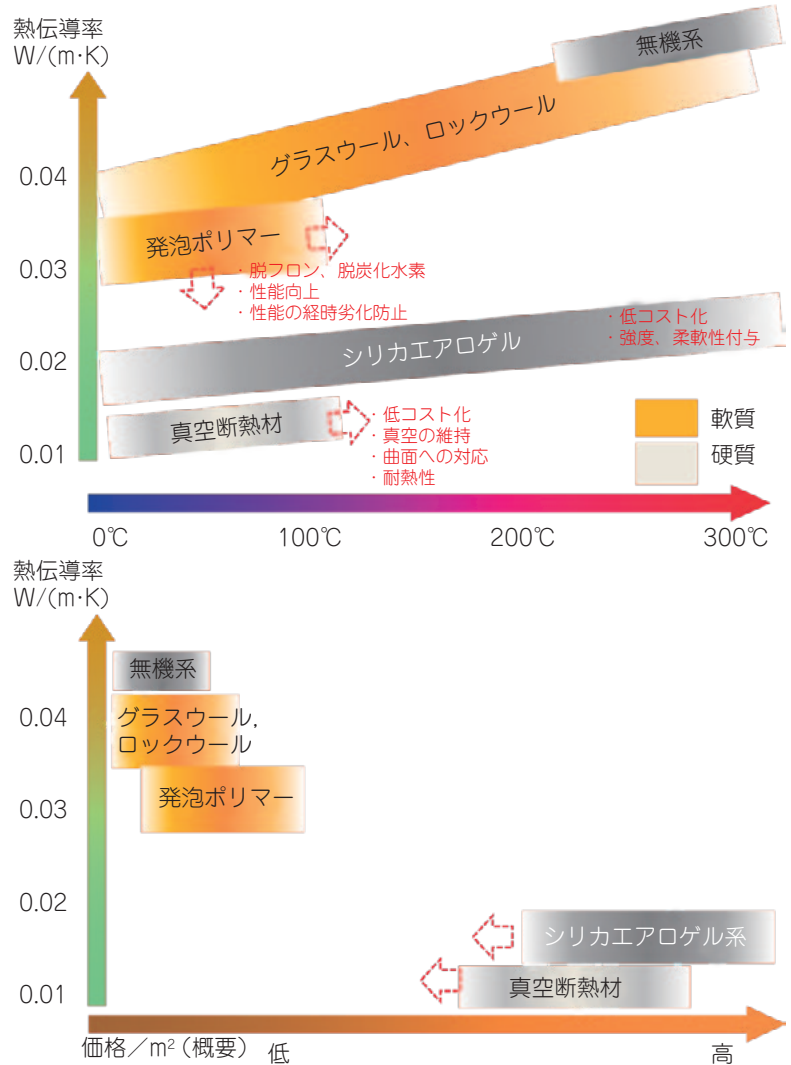


図1 主な断熱材の使用可能な温度領域と熱伝導率、価格の相関(概念図)

以上を総合すると、中・低温領域では、100℃以上の領域で、種々の形状に使用できる主要な軟質断熱材としては無機繊維系が選択肢となるが、現状ではさらに高い断熱性能が要求されるようになっている。また、全般的にコストへの要求が厳しい。

3. 中・低温領域における断熱材料のニーズ

3.1 住宅用途

住宅の冷暖房、給湯に起因するエネルギー消費は増え続けており、断熱化が急がれている⁶⁾。次世代省エネ基準 (平成11年基準) を満たすためには標準Ⅳ地域で壁に高性能グラスウール (密度16k) またはロックウール (密度40k) で90 mm

が必要とされるが、断熱材が高性能になるほど薄くでき、居住空間の増大につながる。建築業界がイニシャルコストに厳しいこと、不燃性、難燃性が求められること、施工基準が整備されていない問題などから、無機繊維系が出荷量（面積基準）で66%（平成22年）を占める²⁾。ポリマー系は33%で、うち硬質ウレタンフォーム、フェノールフォームはそれぞれ12.4%、1.7%であり、他の高性能断熱材のシェアは極めて低い²⁾。

この用途で新規の断熱材料を考えるならば、低コストで高性能（0.02 W/(m・K)（室温）以下）であることが必要であり、難燃性または不燃性、環境調和性（フロンガスや炭化水素フリー）が求められる。

また、既存の住宅のうち50%近くが無断熱状態⁷⁾であり、これらの断熱リフォームに対応する製品も望まれている。例えばカーペット、床材、壁紙などの内装材であり、既存の居住空間を損なわないための薄さ（＝断熱性能）と柔軟性が求められる。

3.2 プラントなどの用途

化学、電力などの産業プラントでは温排水や蒸気配管などでの排熱損失が問題となっている。排熱温度は100～300℃のものが多いが、前述のように100℃以上で一般的なポリマー系材料は対応できず、無機繊維系や、無機系複合材料が使われているプラントなどの用途では100～300℃で安定に使用でき、特に熱漏れの大きなバルブ部などの複雑な形状に対応するための柔軟性や復元性、低コストなどが求められる。今後の熱伝導率の目標値としては、コストとのトレードオフとなるが、例えば同じ温度の静止空気の熱伝導率以下（例えば0.037W/(m・K)（200℃））とすることが妥当な目標と考えられる。

3.3 自動車用途

近年ハイブリッド車やEVの普及に伴い、これまでエンジンの排熱を利用できていた冷暖房の負荷が相対的に大きくなり、燃費への悪影響が無視できない問題となっている。そのため、これまでほとんど考慮されていなかったボディの断熱化が検討されるようになった。現状では吸音・断熱効果のある素材が一部使われている程

度であり、高い性能の断熱材を導入することにより効果が期待できる。必要なスペックとして、薄くできること（＝高い断熱性能）、複雑な形状に対応できる柔軟性、成形性、不燃性または難燃性、低コストなどが上げられる。

また、熱電変換素子を用いた排気ガスからの排熱回収も検討されているが、効率的に熱回収を行うためには、断熱材による熱流の制御が必要になる。高い温度領域となるため一部は無機系断熱材の守備範囲となるが、今後需要が多くなる分野と考えられる。

3.4 その他

ヒートポンプや蓄熱システム、熱電変換素子、太陽熱利用システムなどの熱デバイス全般において、断熱の高性能化、熱流の制御による熱利用効率の向上が期待できる。太陽電池との組み合わせによるエネルギー利用向上も期待できる。いずれの場合も薄くて高性能で、さまざまな形状に対応できることが基本的に求められる。

4. ナノコンポジット技術による低熱伝導率の実現性

4.1 低熱伝導率達成の考え方

微細な独立気泡や細孔構造を持つ断熱材料では、熱伝導の三態（伝導・対流・放射）のうち、気体の対流による伝熱が無視でき、固体および気体における伝導と放射が主に影響する^{8, 9)}。放射は材質の影響が大きく、温度領域や強度、用途などで選択が限定される。固体部分の伝導抑制にはできる限り空隙率を大きくすることが必要である。気体部分の熱伝導については、真空断熱が抜本的な解決法となるが、材料としては前述のようにコスト、柔軟性、性能の持続性、加工性などの点で問題も多い。

真空を用いない断熱材料として、空気中の気体分子が自由に運動できないサイズの空間を集積した構造を持つNIM（Nano Insulation Materials）の概念が知られている¹⁰⁾（図2）。熱伝導率の小さな材料で、空隙率の高いこのような構造が作成できれば、気体分子が空間に拘束され、相互衝突頻度が下がるために、伝導が抑制され、静止状態の空気を下回る熱伝導率が得

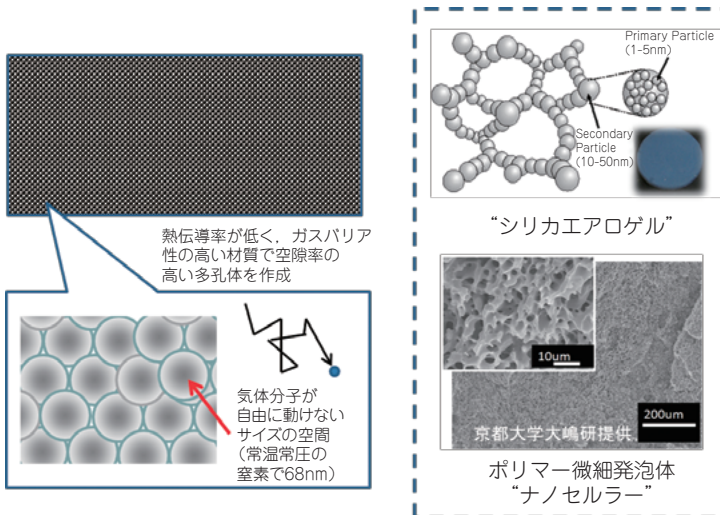


図2 NIMの概念図

られるとされる^{8~10}。実在のNIMに近い材料としては、シリカエアロゲルとポリマーの微細発泡体（ナノセルラー）がある。

4.2 シリカエアロゲルなど低密度シリカとポリマーのナノコンポジット

シリカエアロゲルはNIMに最も近い実用材料であり、欠点である製造コストの低減と、機械的強度の改善が研究開発の中心となっている。シリカエアロゲルなどの低密度シリカと、ポリマーもしくは繊維をナノレベルで複合化することで、断熱性能と機械的強度を両立したコンポジット材料を目指す研究が多く行われている。これらの研究では室温領域での建材用途を想定した研究が中心で、硬質断熱材が多く、100℃以上での利用を想定した研究は数少ない。本稿末に軟質断熱材または耐熱性ポリマーに関連の深い最近の研究の一覧を示した。

4.3 耐熱性ポリマーフォーム

ポリマーの微細発泡により、NIMを製造する試みはこれまででも多く行われているが、バッチ発泡での実施例はあるものの、実用サイズ/materialを連続的に製造するに至っていない。現状では耐熱性の高いポリマーで、高い空隙率と微細な気泡径ができるだけ両立するような構造の最適化、高い空隙率となった際の機械的強度の維持、コストの低減が課題である。ポリイミドやポリ尿素な

ど、耐熱性の高いポリマーの多孔体の作成、またそれらとシリカなどの複合技術が注目すべき技術と思われる。同じく本稿末に最近の技術の一覧を示した。

4.4 低熱伝導率の実現性と課題

柔軟性で、耐熱性のある、高性能断熱材料を実現するためには、耐熱ポリマーをマトリックスとした空隙率の高いナノセルラーか、骨格の柔軟性が非常に高いシリカエアロゲル類似構造を作成することが理想であるが、どちらも技術的なハードルは極めて高い。シリカエアロゲルや低密度シリカを、耐熱性のポリマー多孔体中にできるだけ多く高分散した構造を作成することが現実的である。既存のこのような材料の熱

伝導率は0.03~0.04W/(m・K)（室温）のものが多く、ポリマー成分による熱伝達の増大が影響していると思われる。シリカ成分の割合を増やすことで、低熱伝導率を実現することは可能であるが、柔軟性の低下や発じん性、加工性などハンドリング性とのトレードオフになる。低密度シリカをできるだけ微細なレベルで、できるだけ分散化する技術が開発課題となる。構造最適化により同温度の静止空気（室温で0.024W/(m・K)、200℃で0.037W/(m・K))を上回る熱伝導率を達成できればさまざまなニーズに対応できよう。図3に想定されるナノコンポジット断熱材の位置づけを示した。

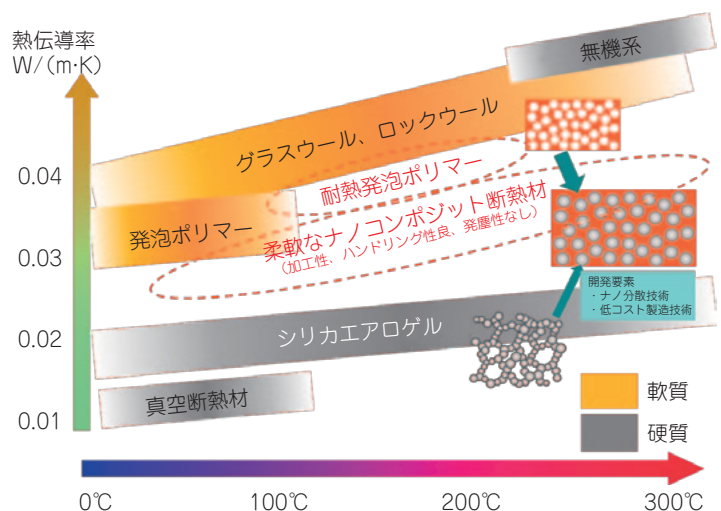


図3 想定されるナノコンポジット断熱材の位置づけ

5. 発泡ポリマー・シリカナノコンポジット断熱材の開発

5.1 コンセプト

もし、シリカエアロゲルが発泡ポリマーの独立気泡内に充填された構造（図4）を持つナノコンポジットが低コストで製造できれば、柔軟で高性能な断熱材料としての展開が期待できる。我々はこのような材料の実現を目指して検討を行っている。

独立気泡でなく、連通孔型のポリマーフォームを用いれば、ゾルゲル法でのシリカ前駆体を含浸させることで、シリカエアロゲルとポリマーの複合体は容易に作成できる。このような材料では、シリカエアロゲル並の断熱性能を維持したままで、ハンドリング性、柔軟性などの特性が大幅に向上することを確認している¹¹⁾

一方、図4のような独立気泡内にシリカを充填する手法としては、市販のシリカエアロゲルをポリマーに混練、分散することも考えられるが、我々は図5のような新規手法を提案した。これは、高压の二酸化炭素（CO₂）が、ゾルゲル法でシリカの調製に多用されるシリコンアルコキシド類と、各種のポリマーの双方に親和性を持ち、化学種と温度、圧力条件によって三成分の均一相を形成できる¹²⁾ ことを利用し、均一相の状態から減圧により相分離（発泡）を行うものである。通常の発泡ポリマーでは、高压下でポリマー中に発泡ガス（例えばCO₂）を溶解させ、これを減圧することで発泡させるが、この場合、CO₂の代わりにCO₂とシリコンアルコキシドの混合物で発泡させる、と言い換えてもよい。これによりシリコンアルコキシドを発泡セル内に凝集させた構造を形成させ、加水分解によりシリカとすることができる。

この方法は分子レベルの混合状態からボトムアップで気孔とシリカが形成されるため、理論的にはナノレベルの微細な構造の形成、制御が可能である。また発泡ポリマーの製造と同様にして、押出成形機を用いた

連続的な製造プロセスを構築できる可能性があり、実現すれば既存の材料と十分なコスト競争力を持つことが期待できる。これらの発展性を踏まえて、本法の検討を行ってきた。

5.2 ポリマー，シリコンアルコキシド，二酸化炭素の高压相平衡

目的とする断熱材の構造（図4）を図5の製造プロセスで実現するためには、各種ポリマーについて、シリコンアルコキシド、CO₂との三成分が、均一相を形成する条件と相分離する条件を把握し、両条件を跨ぐように圧力の操作を行うことが必要となる。図6に三成分の相平衡と圧力操作の関係（概念図）を示す。相平衡は化学種によって異なるため、例えば均一相を形成する条件が実プロセスでは現実的でない温度、圧力となったり、常温常圧でも相分離しなかったりとすることもあり得る。

相平衡の測定は、体積可変型で内部観察可能な窓のついた压力容器にポリマー、シリコンアルコ

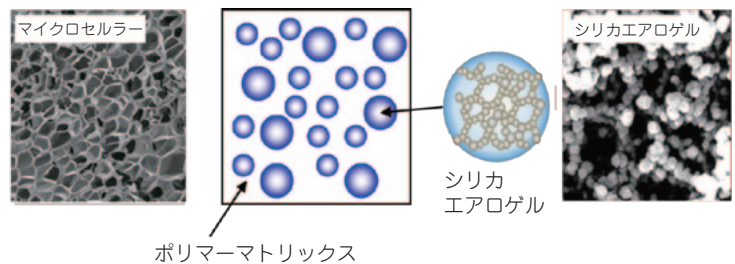
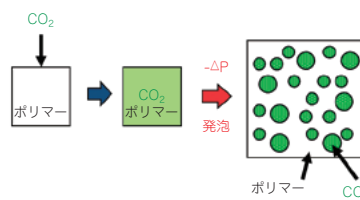


図4 目的とする断熱材の概念図
(シリカエアロゲルが発泡ポリマーの独立気泡内に充填された構造)

■通常の発泡ポリマー



■発泡ポリマー・シリカナノコンポジット

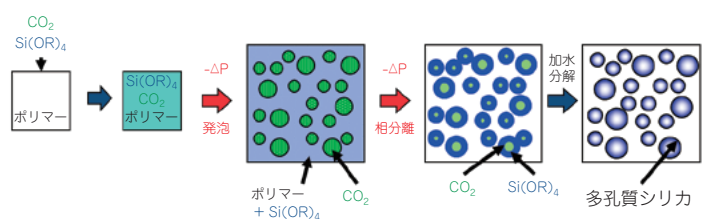


図5 発泡ポリマー・シリカナノコンポジット断熱材の製造プロセス概念図

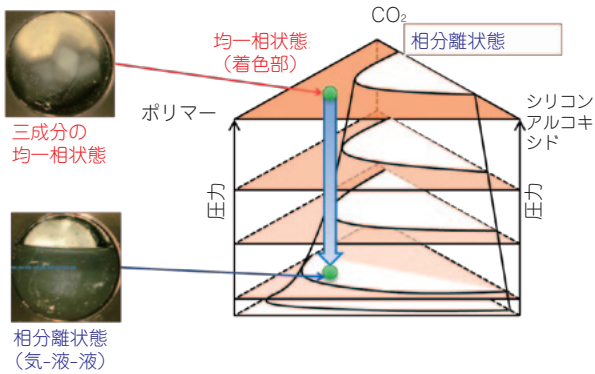


図6 三成分の相平衡と圧力操作の関係

キシド, CO₂を所定量導入し, 容器の体積を変えて組成一定のまま圧力を変化させ, 相の変化を目視観察することにより行う。ポリメタクリル酸メチル (PMMA), テトラメキシシラン (TMOS), CO₂の三成分系について, 均一相の減圧により発泡が開始される平衡条件 (気液相分離点) の測定を行った例を図7に示す¹²⁾。組成によらず均一相 (線の外側) となる圧力条件があり, 温度と共に高圧力側にシフトすることがわかる。測定した系では三成分系が発泡する条件はTMOSとCO₂二成分系が相分離する温度, 圧力¹³⁾とほぼ一致しており, 同系統のポリマーおよびシリコンアルコキシドでも同様な傾向を確認した。今後他のポリマー, シリコンアルコキシドについても同様の測定を行い, 相平衡と発泡/相分離に関するデータを蓄積していく予定である。

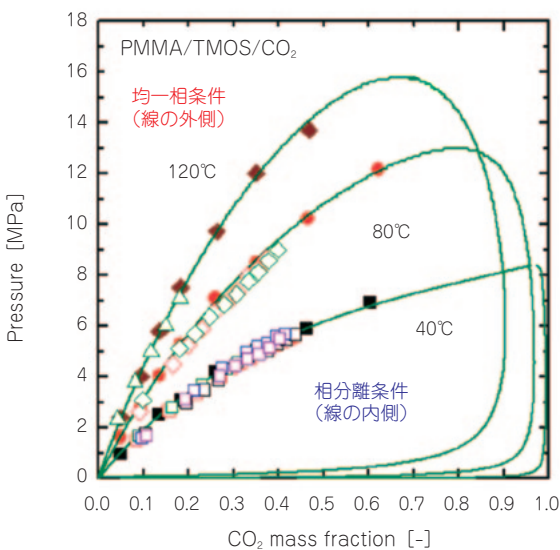


図7 PMMA/TMOS/CO₂三成分系における気液相分離点の測定例
 ※緑の線は境界 (臨界軌跡) を表し, 白抜き点は三成分系の実測点, 塗りつぶし点はTMOS/CO₂二成分系の実測点を表す

5.3 バッチ発泡による発泡ポリマー・シリカナノコンポジットの調製¹⁴⁾

各種のポリマーをシリコンアルコキシド, CO₂と共に高圧条件下で保持し, 急減圧によりバッチ発泡させ, 試料を作成する検討を行った。図8に調製法の概略を示す。シリコンアルコキシドとしてはTMOSを選択し, 各種ポリマーと共に圧力容器に仕込み, CO₂を導入して353 K, 20 MPaまで昇温昇圧した。この条件では組成によらずTMOSとCO₂は均一相を形成する¹³⁾。同条件で24時間維持した後, 大気圧まで急減圧してポリマーを発泡させた。発泡した試料は圧力容器より取り出した後, 水またはアンモニア水溶液上で24時間処理することによりTMOSの加水分解を行い, 真空乾燥してナノコンポジット発泡体を得た。

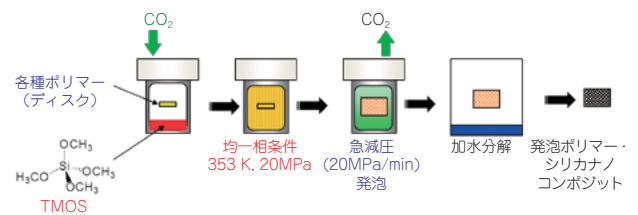


図8 バッチ発泡による発泡ポリマー・シリカナノコンポジットの調製法の概略

検討の結果, ポリ乳酸 (PLA), ポリメタクリル酸メチル (PMMA) などのポリエステル類がTMOSとの親和性が高く, また比較的倍率の高い発泡構造を示した。これらのポリマーにおいては, 発泡セルの内部にシリカリッチな粒子が析出したり, マトリックスが多孔化するなどの多様な微細構造が観察された。バッチ発泡の条件を最適化すると, 図9のように, 発泡セル内にシリカリッチなカプセル状の単一粒子が生成した, 極めてユニークな構造を持つ発泡体を作成できた。この粒子は多くの場合カプセル状となっており, さらにそのカプセルが微細なシリカ粒子で構成されている, 多段階の階層構造となっていることを確認した (図10)。一方, ポリスチレン (PS) はTMOSに高い親和性を示すものの, シリカ粒子の成長は少なく, 全体がハイブリット化する傾向を示した (図9 (d))。これはPSとTMOSの親和性が非常に高く, 常温常圧下でも

相互に溶解して均一相を形成できるため、PSとシリコンアルコキシドの分離が進行しなかったものと考えられる。また、ポリエチレンなどのオレフィン系ポリマーは、TMOSとの親和性が悪く、検討した条件ではコンポジットを形成できなかった。

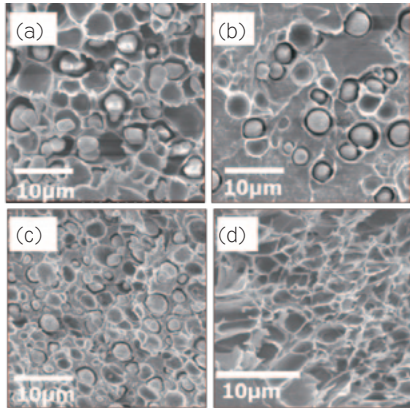


図9 バッチ発泡で調製した試料のSEM像
 ※(a) PLA (Natureworks 4060D, 非晶質), (b) PMMA (Aldrich), (c) PMMA (ブレンド) (d) PS (Aldrich) TMOSとの親和性が高くシリカが相分離しない

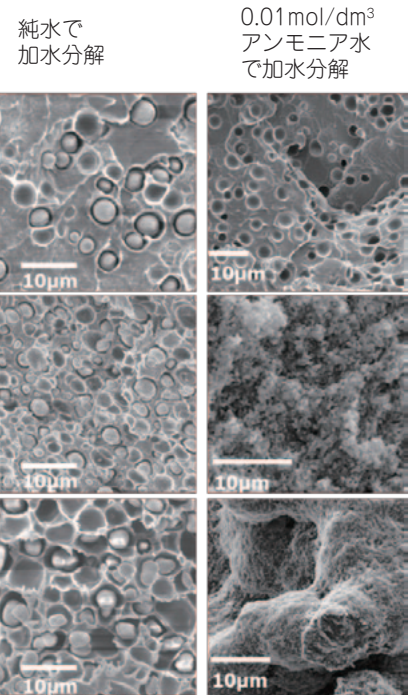


図11 加水分解条件による構造の差異

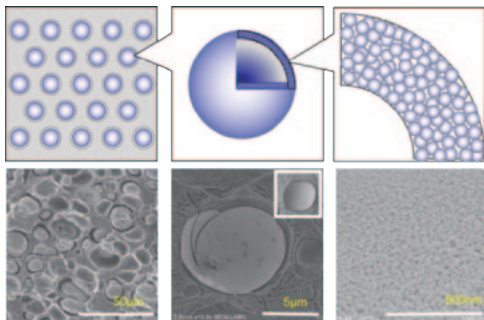


図10 発泡ポリマー・シリカナノコンポジットの多段階層構造の概念図および実試料のSEM像 (PMMA/TMOS/CO₂)
 ※中央はカプセルが潰れたと思われる構造

カプセル状粒子の形成は、三相の相分離条件となった際に、拡散性の高いCO₂が先にポリマーマトリックスから分離して気孔を形成し、気孔壁からシリコンアルコキシドが滲出して加水分解されることにより形成すると推察される。加水分解をアンモニア水溶液上で行い、マトリックスからシリコンアルコキシドが分離する前に固定化を行うとマトリックスそのものが多孔化した構造が形成し、推論が裏付けられた (図11)。

5.4 連続製造プロセスと断熱材としての評価

セグメント型の二軸押出成形機をベースとして、前述のプロセスを連続的に行うための装置を試作し、連続製造プロセスの開発を行った。図12にプロセスの概略と装置の写真を示す。装置にはシリコンアルコキシドとCO₂を混合して導入するための高圧ポンプ、ミキサーを備え、押出成形機の所定の位置に導入できるようにしている。

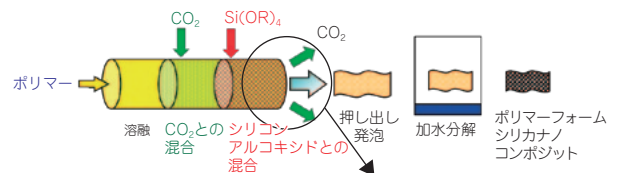


図12 連続製造プロセスの概念図および製造装置

この装置を使って連続的に製造した試料の例を図13に示す。PMMAをベースに、発泡倍率が20倍で、シリカ含有量が10~15wt%, 3 μ m程度の発泡セルが均一に分布した発泡体が得られた。バッチ発泡の場合と比較して発泡倍率を高めており、セル内へのカプセル析出は明確ではないが、内壁にはシリカリッチな微粒子の析出が確認できた。

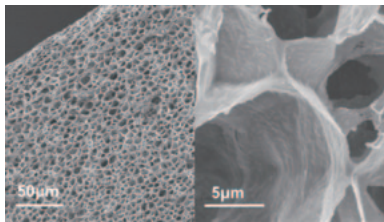


図13 連続製造装置で調製した発泡ポリマー・シリカナノコンポジット断熱材の例

熱流束計による評価で、これらの試料は0.028 W/(m \cdot K)の断熱性能を示しており、CO₂で同程度の倍率に発泡させた試料(0.034W/(m \cdot K))より高い断熱性を示した。シリカとのナノコンポジット化により、セル壁のガスバリア性が向上したことなどが要因と考えられる。また、環境試験器による3ヶ月の加速試験(333 K, 50% RH)を行ったが、性能の低下はほとんど見られなかった。

6. まとめ

6.1 ナノコンポジット断熱材

本稿ではナノコンポジットを用いた断熱材の可能性を俯瞰し、弊所での取り組みの例を紹介した。ナノコンポジットをベースとすることで、柔軟性、性能持続性、高い環境調和性などを合わせ持つ、従来の材料では得られない断熱材料が創製できるものと考えている。現状では断熱性能の向上が課題であり、発泡構造の制御、シリカの低密度化などによって改善を図っていく予定である。また、多様なポリマーへの適用可能性を図るため、現在、複数の企業と連携の上、これまで実証した以外の他の汎用ポリマーでナノコンポジット化ができないか、検討を行っている。

6.2 断熱材料の研究開発

高性能な断熱材料の開発と普及が我が国の省エネルギーに繋がることは議論の余地がないと考える。海外を見るとシリカエアロゲル複合材などの高性能断熱材に多額の公的資金が投入されており、住宅分野以外のアプリケーションを含め、開発と普及は確実に進んでいる。一方で我が国の現況にはいささかの不安を覚える。安価な割に嵩が高いという断熱材料の特質のため、国外からの製品輸入が少ない、という点で現状守られている点があるのかもしれない。しかし、近い将来、近隣諸国でシリカエアロゲル系の高性能断熱材が低コストで生産され、大量に輸入されるような状況は十分に考えられる。

ニッチな用途であっても、新規の断熱材料を開発し、有効性、省エネルギーの効果を実証していくことが現状では重要と思われる。さまざまな分野の方と議論させていただきながら、方向を模索していきたいと考えている。

本稿の前半は弊所で行った未利用熱プロジェクトに関する調査をベースに構成したものである。また後半は東京理科大学工学部の大竹勝人教授との共同研究の内容が含まれる。ご協力頂いた関係者の方々に厚く御礼申し上げる。

参考文献

- 1) <http://www.meti.go.jp/information/publicoffer/kobo/k130529002.html>
- 2) 矢野経済研究所 2011年版 各種住宅用断熱材の市場実態
- 3) 建築材料の断熱性に係わる性能値の公表について(平成11年4月8日通商産業省)
- 4) 大村高弘, 坪井幹憲, 小野寺正剛, 富村壽夫, 九州大学機能物質科学研究所報告, 16,13(2002)
- 5) 椰木佐津男, 大澤元毅, (社)日本建築学会 2002年度大会要旨集, 2002.
- 6) 資源エネルギー庁 エネルギー白書 2011 2.2.(2) 家庭部門のエネルギー消費の動向 <http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2011energyhtml/2-1-2.html>
- 7) 建材による建物の省エネ性能向上について(総合資源エネルギー調査会省エネルギー部会), 社団法人日本建材住宅設備産業協会, 2011
- 8) 金森主祥, 中西和樹, 機能材料, 32(10), 10-16(2012).
- 9) 大嶋正裕, 志熊治雄, 成形加工, 22, 187-188(2011).
- 10) Bjorn Petter Jelle, Energy and Buildings, 43, 2549-2563(2011).

- 11) 依田智, 古屋武, 成形加工 24 (3), 154-158 (2012).
 12) T. Hamada, et. al., Proceedings of 13th Asia Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress, Taipei, Taiwan (2010).
 13) T. Hamada, et. al., Fluid Phase Equilibria, 322-323, 135-141 (2012).
 14) S. Yoda, et. al., J. Mater. Chem. A, 1, 9620-9623 (2013).

筆者紹介



依田 智

(独) 産業技術総合研究所 ナノシステム研究部門 ナノケミカルプロセスグループ グループ長

日本化学会, 化学工学会, 高分子学会等会員

博士 (工学), 技術士 (化学部門)

高压流体を用いたナノ材料製造プロセスの開発に従事

軟質断熱材または耐熱性ポリマーに関連の深い最近の研究と技術の一覧

(a) 最近の主要論文

研究者, グループ	文献など	概要	熱伝導率 W/(m·K)/ 温度	耐熱性	軟質, 硬質
京都大学 中西教授ら	機能材料, 32 (10), 16-16 (2012) など	有機無機ハイブリッド組成により, 骨格に機械的強度と柔軟性を付与し, 常圧乾燥を可能にしたシリカエアロゲル	0.015/ 室温		基本的には硬質, 軟質あり
アキレス株式会社	井上望, 杉尾圭太郎, 小池裕治, 横山浩樹, 成形加工, 22, 201-202 (2011)	シリカエアロゲルをポリウレタン等の素材へ含浸することで, 柔軟で低い熱伝導率の断熱材料を製造。	0.027/ 室温		硬質~軟質
ハルピン工科大 (中)	GE Dengteng et. al, J Non-Cryst. Solids, 355 52-54 2610-2615 (2009)	シリカエアロゲル/エポキシ複合体を疎水性エアロゲルとエポキシ粉末の乾燥混合と加熱圧縮法によって調製。	0.044/ 170°C	250°C	硬質
Tongji Univ. China	CHEN Ke, et. al., J Sol-Gel Sci. Technol. 62(3), 294-303(2012).	レゾルシノール/ホルムアルデヒド (RF) 樹脂で架橋した機械的強度に優れるシリカエアロゲルをワンポットのプロセスで効率的に合成。低コストでの合成に期待。	ガラス ウール程 度		硬質

(b) 最近の主要特許

研究者, グループ	文献など	概要	熱伝導率 W/(m·K)/ 温度	耐熱性	軟質, 硬質
Gore Enterprise (米)	特開2012-107241	シリカエアロゲル粒子及びポリテトラフルオロエチレン (PTFE) バインダーからなる, 顕著な発塵又は絶縁特性の損失を伴わずに, 屈曲, 伸長又は折り曲げることができる複合体組成物。	0.025/ 室温		軟質
Institute of Sperio technico (ポルトガル)	WO2006-107226 特許4994360号	アルコキシシラン基で修飾したシリカ/ラテックスハイブリッドからなるモノリス状キセロゲル及びエアロゲル。超臨界条件を使わない乾燥条件によるポリマーラテックスとシリカのハイブリット。柔軟性と断熱性を併せ持つ。			軟質
BASF' (独)	EP2010-053193, WO2010-105985	イソシアネートと多官能性アミンあるいは多官能性ヒドロキシ化合物の有機複合材料のキセロゲル	0.036/ 室温		軟質
BASF (独)	EP20080-056015, WO2008-138978	芳香族ポリ尿素ベースのキセロゲル	0.037/ 室温		軟質

(c) Web情報など

研究者, グループ	Webサイトなど	概要	熱伝導率 W/(m·K)/ 温度	耐熱性	軟質, 硬質
NASA (米)	http://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20120014118	ゴム状のポリ尿素エアロゲル。汚れにくい, 柔軟性, 頑強, 永続性, 低密度で, 熱伝導性はシリカエアロゲルを上回る。			軟質
NASA (米)	http://www.gizmag.com/polymer-aerogel-stronger-flexible-nasa/23955/	ポリイミドエアロゲルのシート。400°Cまでの耐熱性をもち, 機械的強度が大きく, 柔軟性がある。米国2012R&D100 awardに選出されている。		400°C	軟質
NASA (米)	http://www.nasa.gov/centers/kennedy/news/foam_technology.html	エアロゲル粒子, エアロゲル複合材およびポリイミド中空粒子からなる複合断熱材			
産総研, ユニチカ	http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2013/pr20130121/pr20130121.htm	ポリイミド-シリカ多孔ナノコンポジット		600°C	軟質