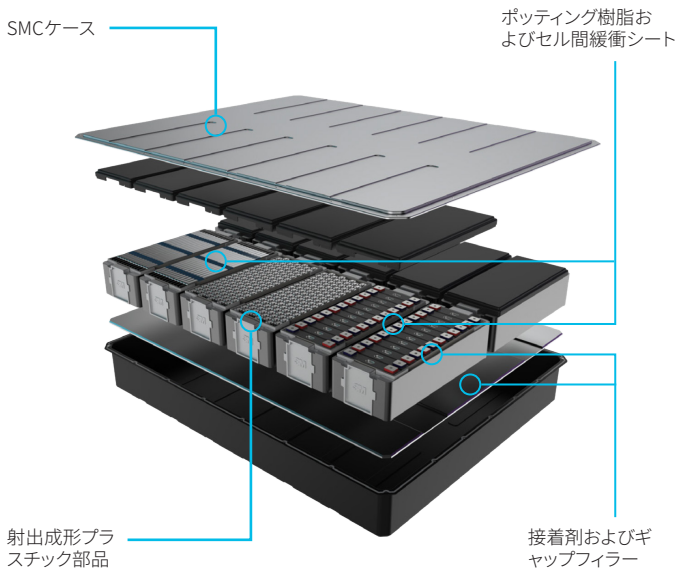


EVバッテリー用途における ガラス微小中空球の使用

著者: Stephen Amos, Rob Hunter, 山邊拓治郎

3M™ グラスバブルズを始めとするガラス微小中空球 (HGM) は、これまで数十年にわたって樹脂系に使用されており、旧来の内燃機関 (ICE) 車などによる輸送の場面に数多くの恩恵をもたらしてきました。バッテリー電気自動車 (BEV) では、図1に示すように、バッテリーパックを中心に複数の用途が想定されています。

図1: バッテリーパックにおいて想定されるガラス微小中空球の用途



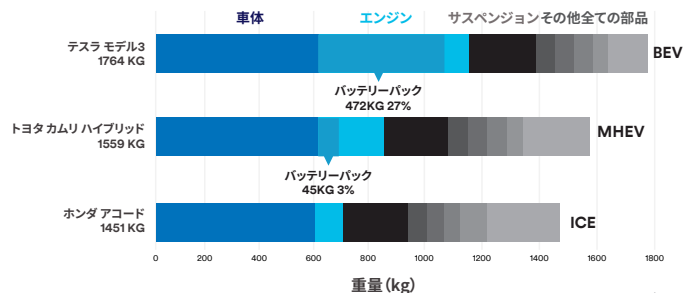
一般に、ガラス微小中空球の使用による主なメリットとしては、重量と密度の削減があげられます。電気自動車 (EV) の場合、軽量化することにより、充電1回あたりの走行距離を伸ばせると同時にタイヤとサスペンション部品の摩耗を抑えることができます。BEVやPHEV、MHEVはバッテリーパックを搭載しているため、内燃機関 (ICE) 車と比較して重量が大幅に増加します。図2に示すのは、BEVとハイブリッド車の相対重量は、ICE車を300~1000 kg上回っています。

図2: バッテリーパックの搭載により、従来のICE車と比較して重量が大幅に増加

BEVの重量はICE車を上回っています。

重量は走行距離に影響を与えるため、自動車の部品を軽量化すれば同じエネルギー密度で走行距離を伸ばすことができます。

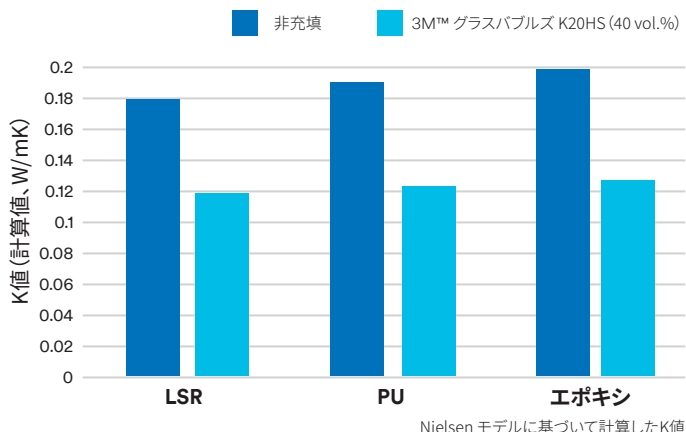
そのための技術開発は進んではいるものの、EVバッテリーの軽量化に向けては依然として継続的な取り組みが必要です。



A2MAC1によるデータ
自動車は2018年式

バッテリーセルの効率性を高め、寿命を延ばすためには、温度管理が重要になります。「シンタクチック」フォームを含有するガラス微小中空球をセル間のポッティング複合材として使用し断熱性を高めることにより、充電や外気温の変化に伴う温度の変動を調節することができます。またセル1個の温度が局所的に上昇した場合にも、シンタクチックフォームの断熱性が隣接するセルの性能低下を抑制します。図3に示すのは、3種類の樹脂系 (液状シリコンゴム: LSR、ポリウレタン: PU、エポキシ) において、シンタクチックフォームを含有するガラス微小中空球 (40 vol.%) の使用により達成される熱伝導率の低下です (K値 単位W/mK)。

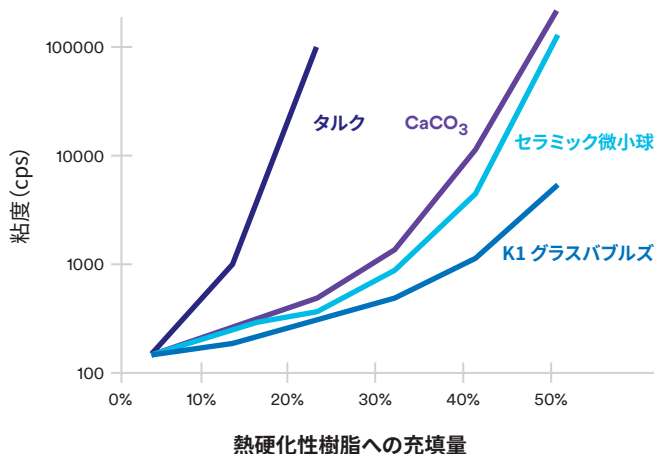
図3: 3M™ グラスバブルズ (40体積%) 充填時と非充填時の混合材のK値 (計算値)



LSRに関する計算値については、LaserComp Fox 50測定システムを使用した実験測定も実施しました。3M™ グラスバブルズ充填液状シリコーンゴム (LSR) 硬化シートと非充填LSR硬化シート (厚さ3 mm) から、K値測定用サンプルを型抜きしました。ASTM C-518に基づくPERSPEX校正基準と合わせ、WinTherm 50 Version 2.30.01ソフトウェアプログラムを使用しました。23°Cにおける測定値は、3M™ グラスバブルズ K20HS (40体積%) 充填LSRが0.1209 W/mK、非充填LSRが0.183 W/mKとなり、Nielsenモデルによる計算結果の妥当性が裏付けられました。

ポットイング化合物としてガラス微小球を使用する際にもう一つ重要なこととして、2液熱硬化性樹脂の粘度の管理があげられます。一般に加工性の観点から低粘度が望ましいとされています。低粘度であれば、狭いセル間 (多くは1 mm未満) に流入しゲル化する前に、混合時に巻き込んだ空気を脱気しやすいからです。通常、十分な加工性を得るためには、粘度を10,000 cP未満に抑える必要があります。フィラー粒子の比表面積が大きい場合、充填量が増えるほど粘度が加速的に増加します。したがってフィラーを高充填すると、上記の条件を満たしながら、低粘度を達成することは難しいとされています。球状粒子の場合、表面積vs.体積比が最も小さくなります。したがってガラス中空球 (HGM) の樹脂への充填において、粘度の増加を最小限に抑えつつ、非常に高充填できます。図4に、HGM (3M™ K1グラスバブルズ) 特有の粘度特性と他の一般的な樹脂フィラーとを比較したグラフを示します。

図4: 3M™ グラスバブルズの粘度変化 (他のフィラーとの比較)



TA Instruments製HR-30レオメーターを使用し、25°Cで粘度を測定しました。その際、1s-1から100s-1まで流量をスイープさせ、剪断速度粘度0に剪断速度を外挿してグラフを作成しました。

前述のように、ポットイングシステムの熱伝導率を抑えると同時に加工性を確保することは非常に困難です。粘度を抑えるために主剤Aと硬化剤Bを加熱すると、硬化がより加速します。また温度が60°Cを超えると電池セルに損傷が発生することから、この方法は使えません。表1の真密度の異なる2種類のガラス微小中空球を使用し、液状シリコーンゴム (LSR) ポットイング材に関する熱伝導率と粘度の比較 (3M™ グラスバブルズAは0.25 g/cm³、3M™ グラスバブルズBは0.20 g/cm³) は、ガラス微小中空球を添加することにより、軽量化 (最大40%) や低い熱伝導率、高フィラー充填率で低粘度な特徴と、加工性の確保を可能にするあらゆる利点が得られることを示しています。その他のメリットとしては、有機樹脂成分を置換して可燃性成分量の削減や、(膨張を制御できないブロー成形と比較して) シンタクチックフォームによる密度の容易な制御などが特徴としてあげられます。

表1: 非充填LSRポットイング樹脂と高充填LSRポットイング樹脂の物理的特性と粘度の比較

特性	単位	シリコーンポットイング樹脂	シリコーン (3M™ グラスバブルズ A使用)		シリコーン (3M™ グラスバブルズ B使用)	
軽量フィラー	Wt.%	-	16%	20%	16%	20%
密度	g/cm ³	1.0	0.67	0.61	0.60	0.54
硬度計	Shore 00	gel	53	62	82	84
引張強度	PSI	gel	18.9	18.4	16.8	16.1
熱伝導率 (室温)	W/mK	0.18	0.13	0.12	0.12*	0.11*
粘度	cP	10	950	1250	1651	6130

ASTM D 792に基づいて測定した比重
ASTM D2240に基づくショア硬度
ASTM D4121に基づく引張強度
ASTM 5470Iに基づく熱伝導率

ガラス微小中空球を使用したポリウレタン、あるいはエポキシポットイング材でも、重量と熱伝導率を同程度に低下させ、低い粘度に維持することが可能です。

またガラス微小中空球は絶縁性も有しているため、ポットイング材やコーティング材、ギャップフィラーの絶縁破壊電圧を改善し、誘電率を低下させることができます。それにより信号損失を抑え、信号伝送速度を高めることが可能です。3M™ グラスバブルズを使用することにより、耐圧強度を高めることができます。そのため中空球の寿命を伸ばし、複合材の密度を大幅に低減できます。またガスの膨張が温度に依存し、その温度が硬化に影響を与えるガス発泡樹脂とは対照的に、複合材の最終的な密度を容易に調整できます。球体は表面積対体積比が小さいため、狭いセル間への流入や注入を要する熱硬化性樹脂材の粘度増加を抑えることができます。

3M™ グラスバブルズは、ポッティング材として使用する以外にも、バッテリーモジュールケースなどの熱可塑性樹脂射出成形部品にも使用できます。3M™ グラスバブルズはICE車において、CAFÉ規格を満たすための手段として、既に数多くの成形部品の軽量化に使用されています。例として、ボンネット内HVACシステム部品（エアボックス、車内空気フィルターフレームなど）からインテリア部品（センターコンソール、ピラートリムなど）まで、あらゆる部品が含まれています。

図4と図5に示すように、熱可塑性の電気コネクタ、や熱硬化性樹脂成形のレードーム、LiDAR、プリント基板、銅張積層板（CCL）にガラス微小中空球を添加することにより、比誘電率と誘電正接が低下し、誘電損失を抑えることができます。それにより信号損失を抑え、信号伝送速度を速められます。

IEC 61189およびASTM D2520試験方法に基づき、SDPR（スプリットポスト共振器）キャビティを使用して誘電特性試験を実施しました。

図5: 熱可塑性、熱硬化性樹脂複合材への3M™ グラスバブルズの添加による誘電率の低下

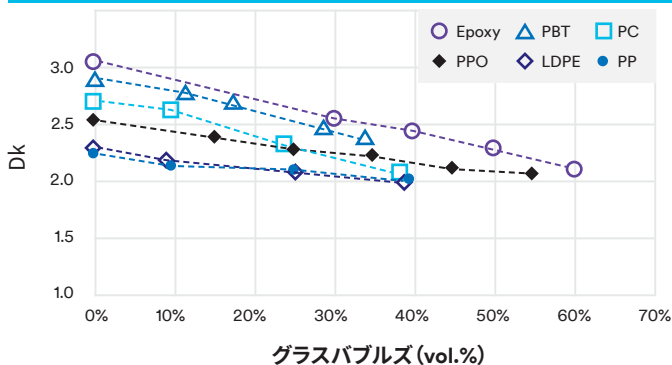
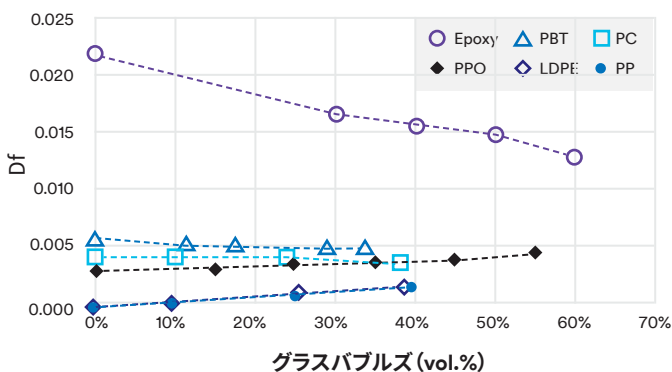


図6: 熱可塑性、熱硬化性樹脂複合材への3M™ グラスバブルズの添加による誘電損失の改善



球状材料を使用することにより、樹脂への等方的な充填が可能となります。つまり、熱可塑性樹脂射出成形部品の寸法安定性が改善され、複合材の線膨張係数（CTE）が低下し、収縮差が抑えられます。成形によるヒケが減少し、反りが抑えられるなど、表面の外観が改善されます。

図7: PP + タルク (20 wt.%) と同等の物理的特性を有する3M™ グラスバブルズ添加PPの線膨張係数

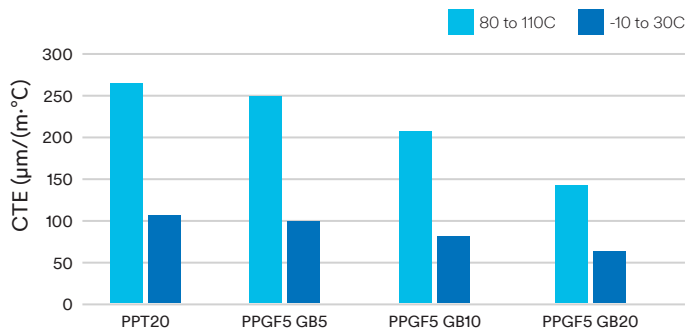
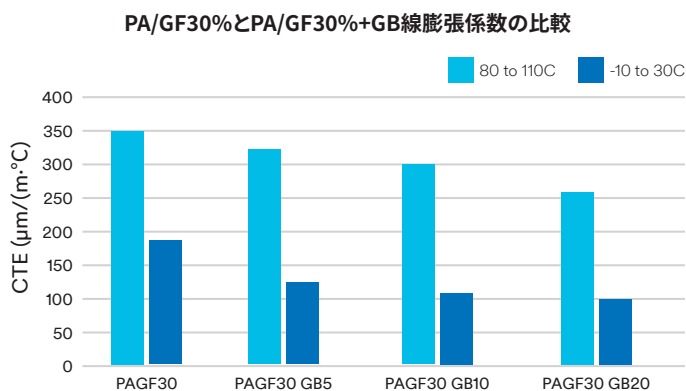


図8: PA6 + GF (30 wt.%) と同等の物理的特性を有する3M™ グラスバブルズ添加PA6の線膨張係数



CTE測定法:

測定法に関する情報
使用した測定機: TA Instruments製Q400 TMA
プローブ: マクロエクステンション
静的力: 0.05N
温度範囲: -20-120°C (2°C/分、加熱2回)
調整: 該当なし

またシート成形複合材（SMC）にガラス微小中空球を使用することもできます。ガラス微小中空球を使用しない一般的なSMCと比較して、最大40%以上の軽量化が実現できます。たとえば、シート成形複合材（SMC）パネルをバッテリーケースカバーとして使用します。またバッテリーモジュールボックスやバッテリーパッケージとしての使用も想定されています。3M™ グラスバブルズの粒径は小さくコントロールされ、クラスA塗装外観が求められる部品を成形できます。この種のSMC複合材を車体パネルに使用することにより、車体重量の大幅な削減が可能です。不飽和ポリエステル樹脂系SMCの場合、水酸化アルミニウム（ATH）などの難燃性フィラーを大量添加（50-80 wt.%）することにより、バッテリーパッケージカバーの難燃試験をクリアすることができます。しかしながら、ガラス微小中空球などの他のフィラーを充填できる間がさほど残りません。フェノール系SMCであれば、フェノール樹脂が本質的に難燃性を有しており、難燃性添加物はさほど必要ではありません。つまり、フェノール系SMCでは、超大型部品の重量を大幅に削減することもできます。

付録A: 熱伝導率の計算 (Nielsenモデル)

当社では実測に加え、Nielsenモデルに基づく熱伝導率の計算も実施しています。この計算により、温度範囲5~60°Cにおいて3M™ グラブバブルズ (43~63vol.%) を添加したポリプロピレン複合材の熱伝導率予測値の妥当性について検証しました。

Nielsenの式では、ガラス微小中空球の形状 (球状) とパッキング係数の双方を考慮しています。

$$k_c = k_m (1 + ABV_{GB}) / (1 - B \Psi V_{GB})$$

ただし、

$$B = [(k_{GB}/k_m) - 1] / [(k_{GB}/k_m) + A]$$

$$\Psi = 1 + [(1 - \Phi / \Phi^2) V_{GB}]$$

ならびに、

k_c = 複合材の熱伝導率

k_m = 母材の熱伝導率

k_{GB}^m = ガラス微小中空球の熱伝導率

V_{GB} = ガラス微小中空球の体積分率

A = 1.5 (球状粒子の場合)

Φ = ガラス微小中空球のパッキング係数=0.63

保証、救済手段の制限、および免責事項: 特定用途での3M製品のご使用や性能は、3Mの管理が及ばないユーザーご自身の管理下にある多くの要因によって影響を受ける可能性があります。ユーザーは、3M製品を評価し、ユーザーがお考えになる用途や目的に適しているかどうかを判断する責任を負っていただくものといたします。またユーザーは、第三者の知的財産権を評価し、ユーザーによる3M製品のご使用が第三者の知的財産権を侵害しないことを確認する責任を負っていただくものといたします。当該製品の資料やパッケージに挿入される資料において別途の保証条件が定められる場合を除き、3Mは、3Mが製品を出荷した時点において、各3M製品に適用される3M製品の仕様を満たしていることを保証いたします。3Mは、明示または黙示を問わず、商品性、特定目的への適合性に関する黙示の保証または条件、非侵害に関する黙示の保証、もしくは取引の過程、慣習または商慣習に起因する黙示の保証または条件を含む他のいかなる保証も行いません。3M製品が上記保証を満たさない場合、ユーザーの唯一かつ排他的な救済は、3Mの選択により、3M製品の交換またはご購入価格の返金のみとさせていただきます。

責任の制限: 法律により禁止される場合を除き、3Mは、保証責任、契約責任、過失責任または厳格責任を含む主張される法理論に関係なく、また直接的、間接的、特別的、付随的、派生的であるかに関係なく、3M製品に起因するいかなる損失または損害に対して一切の責任を負わないものとします。

技術情報: 本文書に記載されている、または3M社員が提供する技術情報、推奨事項、およびその他の記述は、3Mが信頼できると考える試験または経験に基づいていますが、これらの情報の正確性または完全性については保証いたしません。これらの情報は、当該情報に基づいて下した自身の判断を評価し適用するための十分な知識および技術スキルを備えた人物を対象とするものです。当該情報により、3Mまたは第三者の知的財産権に基づくライセンスが明示的または黙示的に付与されるものではありません。



スリーエム ジャパン株式会社

化学製品事業部

http://go.3M.com/GB_EV_WP

3Mは、3M社の商標です。

© 3M 2024. All rights reserved.