

カーボンナノチューブを用いて、樹脂の電気絶縁性維持
と高熱伝導化を実現する新規技術を開発
カーボンナノチューブ分散による絶縁樹脂の新規高熱伝導化技術の開発
(豊田中研) 森下卓也、片桐好秀、松下光正、○福森健三

[1PB03]

(TEL: 0561-71-7399)

<技術の概要>

豊田中研の「高熱伝導樹脂」研究チームは、最高レベルの熱伝導率と導電率を併せもつカーボンナノチューブ(CNT)を用いて、樹脂の特徴である電気絶縁性を維持したまま、系の熱伝導率を向上させる技術を開発した。近年の電気自動車(EV)、ハイブリッド車(HEV)の普及の中で、電気・電子系部品の小型化、高出力化に伴う各部品(特に絶縁部位)の放熱性向上が極めて重要となっている(図1)。最も汎用、かつ優れた絶縁性を有する樹脂材料の熱伝導率は無機材料や金属材料に比べて1/10~1/10000と極めて低いレベルにあるため、系の放熱性向上の課題に対し、樹脂(絶縁樹脂)の高熱伝導化がキー技術と位置づけられる。絶縁樹脂の高熱伝導化技術として、樹脂にアルミナ(Al_2O_3)、窒化ホウ素(BN)等の熱伝導・絶縁フィラーを大量(50容量%以上)に配合しフィラー同士の接触を通じて系全体の熱伝導パスを確保する方法が一般的であるが、得られる樹脂複合体について、熱伝導フィラーの配合に伴う系の流動性低下、高比重化および高コスト化が実用上問題となり、更なる高熱伝導化のニーズの高まりに対する大きな壁となっている。

そこで、我々は、ダイヤモンドと同等の熱伝導率(銅の約10倍)をもつCNTに着目し、主成分(連続相)樹脂中に、CNTとの親和性が高いブレンド成分樹脂からなる分散相内に少量(1容量%以下)のCNTを局在化させ、更にCNTに対する排除作用をもち連続相へのCNTの移行を妨げる殻層を界面に配置した新規CNT分散構造モデル(図2(a))を考案した。この構造モデルでは、CNT添加による熱伝導率向上効果が発揮される一方、分散相に局在化したCNTが別の分散相内のCNTと相互連結する形で電気伝導パスを形成することなく、系の絶縁性が維持される。そして本モデルに

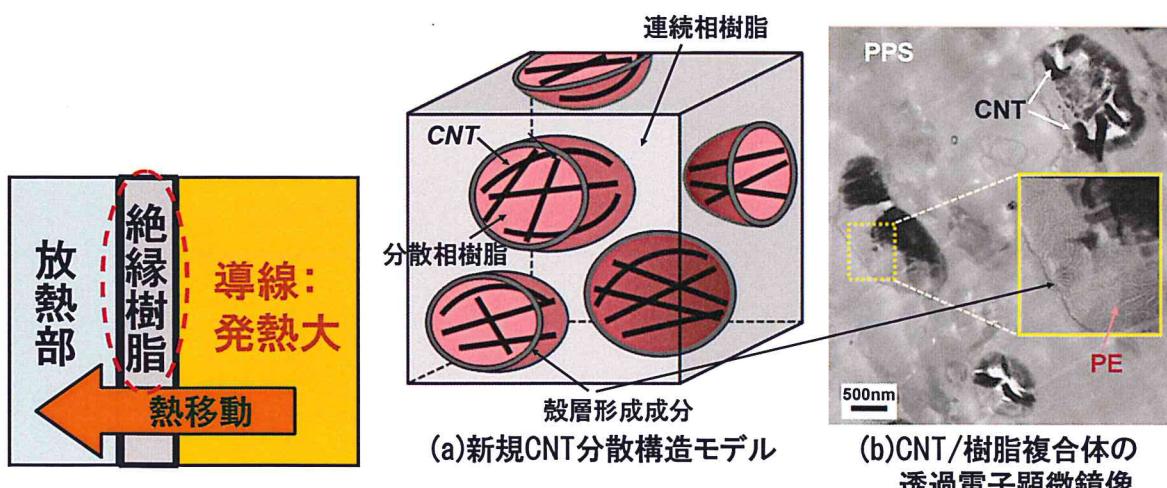


図1 電気・電子系部品の
放熱性向上(例)

図2 CNT分散構造制御により樹脂の
高熱伝導化と絶縁性維持を実現

基づく高熱伝導と高絶縁性の両立を実現した CNT/樹脂複合体の創製に成功した(図2(b))。得られた CNT/樹脂複合体は、高い耐熱性や優れた耐薬品性をもつ代表的なスーパーエンプラであり、金属材料や熱硬化性樹脂からの代替が盛んなポリフェニレンサルファイド(PPS)の連続相中に、PPS の脆い性質を改善する軟質成分に対応したポリエチレン(PE)相がマクロメータ(μm)オーダーで分散した相分離構造を形成し、その PE 分散相内に直径約 80nm の多層 CNT が局在化した状態にある。また PPS 連続相と PE 分散相との界面領域を拡大すると、CNT を分散相内に閉じ込める役割の殻層形成成分に相当したエチレングリジルメタクリレート共重合体(EGMA)の存在が確認できる。

樹脂に対して CNT1 容量%を単純分散させた CNT/PPS 系(構造制御なし)では、系の熱伝導率は PPS 単独系に比べて約 1.6 倍に向上するが、絶縁性の尺度となる体積抵抗率は大きく低下した。一方、開発技術に基づく CNT/PPS/PE/EGMA 系(構造制御)では、PPS 単独と同等の体積抵抗率を維持したまま、熱伝導率の更なる向上(PPS 単独の約 1.8 倍)が達成された(図3)。

<技術の特徴と応用>

(1) 少量のナノメートル(nm)サイズの CNT 分散により樹脂自体

の熱伝導率向上に類似した効果が発揮されることから、従来の熱伝導フィラー配合量の大幅削減が期待できる。すなわち、熱伝導フィラー配合に伴う樹脂複合体の成形性低下、高比重化、高コスト化等に対する抑制効果として確認できる。例えば、PPS に熱伝導フィラーとして BN 粒子を 15 容量%配合すると、PPS の熱伝導率が約 2.6 倍に向上するが、そこにわずか 0.85 容量%の CNT を追加し図2と同様に構造制御することで、熱伝導率を樹脂単独の 4 倍以上まで容易に向上させることができる。一方、BN 粒子のみの追加では 10 容量%オーダーの增量が必要となる。

(2) PPS を連続相とする CNT/PPS 複合体の場合、各構成樹脂成分の溶融状態での混練過程における CNT との親和性の大きさは、PE(分散相樹脂) > PPS(連続相樹脂)の関係にあるものと推定される。この考え方は、様々な樹脂系への展開において、ポリアミド6(PA6)と PPS との組合せで PA6 を連続相(主成分)とした場合、CNT との親和性は PPS > PA6 の関係にあり、殻層形成成分の共存のもと、PPS 分散相内に CNT が局在化した図1と同様な構造が形成され、かつ系の高熱伝導化と絶縁性維持が実現された。また CNT のような纖維状粒子について、通常樹脂の流れ方向への配向による系の熱伝導率の異方性(面方向と厚み方向)が懸念されるが、分散相内の CNT は流れの影響を受けにくく、その異方性の問題が軽減される利点を併せもつ。

<適用分野> 本技術は、各種電子・電気系部品の放熱性向上に貢献する樹脂高機能化に関わる重要な要素技術の一つとして、EV、HEV に代表される電気・電子系部品の使用拡大に伴う、効率的な熱マネージメントが急務な自動車分野をはじめとする幅広い応用展開が期待される。

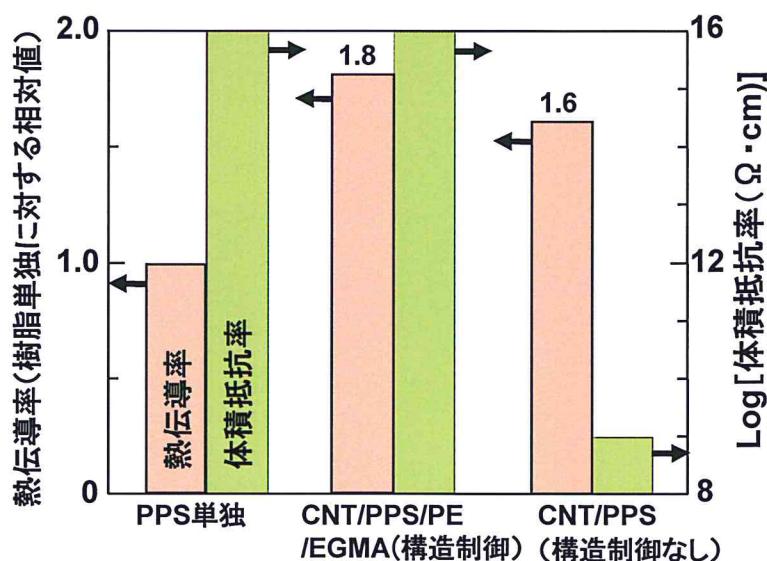


図3 CNT/PPS 複合体の熱伝導性と絶縁性