

## TODAY



国連工業開発機関 (UNIDO)  
東京事務所長

安永 裕幸

JRCM 会員の皆様、こんにちは。私は、現在、国連職員という立場で、開発途上国(主にアフリカ諸国)への日本からの投資促進と技術移転促進の仕事をしております。

さて、アフリカというと皆さんはどのような印象をお持ちになりますか？難民、貧困、紛争、マラリアや HIV...。しかし実は今、アフリカの多くの国は 5～10%の経済成長率と高い人口増加率を誇り、世界で最も注目を浴びる巨大市場なのです。

実際にアフリカ諸国の大都市を訪問された方は、「ここがアフリカ？東京が色褪せるような大都市だよ」という感想をお持ちになると思います。勿論、都市を一步出て郊外に行くとそこにはサバンナだったりジャングルだったり砂漠だったり広がっているのですが...

では、そこにどんな市場が広がっているのか？一言でアフリカと雖も 54 もの国がひしめいていますので、一概に括るのは適切ではありませんが、大体において次のような分野の製品・技術が渴望されています。

まずは、水。アフリカでは降水量の少ない国も多く、加えて、多雨の気候下でも貯水インフラが不十分だったりすることも多く、また河川も濁度の高いところが多いので、貯水、浄水、水の配給に関するニーズは山ほどあります。

次は、電力。アフリカでは、電力インフラにアクセスできない人口の比率が極めて高く、人工衛星が撮影した夜間の大陸は日本、北米、欧州、中国沿海部等と比べれば、「真っ暗闇」同然です。ODA 等では大型発電所の建設が盛んに行われていますが、それと同時に太陽光、風力等の再生可能エネルギーを用いたミニグリッドは今後一層重要となるでしょう。

更には、廃棄物や廃水の処理。アフリカでは、前述のとおり経済成長率が高く、人口増加率も高く、加えて都市への人口集中度が高いので、廃棄物の収

集・処理や生活排水・工業廃水の処理インフラが追いつきません。こうしたニーズはどんな国でも大都市なら必ずあります。

そして、食料。アフリカは、耕作可能な農地の数%しか利用していない、というデータがあります。ですから、広大な自然が広がっているように見えても、実は食糧自給率は低いのです。ただし、食べることは人間の基本、というか根源的な欲求。誰もメシを喰わずには生きていられません。農業や食品産業をサステナブルな形でやっていくことが求められています。

最後に(最初に、かも知れませんが)、保健・衛生。アフリカの乳幼児死亡率等のデータを見ると、保健・衛生の重要性を痛感します。我々が小学生時代、「ご飯の前に手を洗おう」といった教育活動を今、盛んにやっているのがアフリカの多くの国の現実です。また、簡便な医療機器や資材も求められています。

こうした項目の中には、確かに直接に JRCM 会員企業様のお仕事には関係していないものもあるでしょう。が、おそらく何らかの形で各社の事業・製品が上記のようなニーズに応えるためのキーデバイス、キーコンポーネントとして使われているだろうと確信します。

アフリカの市場は「日本が 60 年前に既に達成したことをそのまま持っていけばいい」のではありません。寧ろ「水がない、電力がない」といった厳しい境界条件の下での、新たなイノベーションが求められています。例えば「水を使わずに瞬時に汚物を無害化・無臭化するトイレ」を作れ、と言われたら、どんな人も頭を抱えるに違いありません。また、アフリカには太陽光発電の適地が沢山ありますが、太陽電池に求められる機能・性能は発電効率や耐久性以前に、「盗まれないこと」だったりします。

こうした視点で、アフリカを「新しいイノベーションを仕掛ける市場」と捉えれば、独自のチャレンジも可能になってくる筈です。もし何かアフリカ諸国へのビジネス進出に関してお尋ねがあれば、ご連絡いただければ(何でもできる訳では決してありませんが)、いつでもお邪魔します。

21 世紀は、多分、いや、きっと「アフリカの世紀」です。

**平成 28 年度戦略的基盤技術高度化支援事業**  
**「次世代自動車部品用の新規高熱伝導性複合材料分散液の研究開発」**  
**株式会社高木化学研究所**  
**主任 永谷裕介、渡邊大輔、主任研究員 松山一夫、顧問 高木紀彰**

## 1. 研究開発の背景

次世代自動車の普及に伴って、モーターやリアクトルの小型化・高出力化が急速に進んでいる。自動車の電動化および自動運転の技術革新がこの動きに拍車をかけている。モーターやリアクトルの小型化が進むと、コイル部の発熱を抑制することが喫緊の課題となり、開発の方向は、駆動モーターでは、ATF(Automatic Transmission Fluid) を用いる冷却方法から注型樹脂（ポットニング材とも言われる）を用いる放熱方法に、リアクトルでは、金属筐体内装型から樹脂モールド型に向かっている。そのため、革新的な注型樹脂の開発が急務になっている。

(株)高木化学研究所は、平成 23 年度戦略的基盤技術高度化支援事業「新規高熱伝導性複合材料を用いる環境に優しい LED 放熱部品の研究開発」(管理法人:JRCM)によって、高熱伝導性フィラー樹脂系におけるモルフォロジー制御による画期的な高熱伝導化に成功し、粉体状樹脂のプレス成形品において一定の成果を挙げた<sup>1)</sup>。しかし、次世代自動車等に用いられるモーターやリアクトルのモールド樹脂として用途拡大を図るためには、トレードオフの関係にある高熱伝導性と流動性を両立させる必要があった。

## 2. 開発の目的及び実施体制

本研究開発は、前回プロジェクトの知見をベースに、高熱伝導性と流動性を両立する材料を求めて、開発材料の特性評価を行うと共に、モーターに用いられているステータやリアクトルに樹脂モールドし、モーターやリアクトルの性能評価を行い、コイル部の発熱抑制効果における優位性を実証することを目的とした。JRCM(管理法人)のもとに、材料面での基盤技術開発に豊橋技術科学大学 応用化学・生命工学系 松本研究室、硬化および放熱特性評価に鹿児島大学 環境化学プロセス工学科 二井研究室、機械物性評価および射出

成形技術開発にあいち産業科学技術総合センター 産業技術センター 化学材料室の支援を受けて実施し、材料開発面では豊橋技術科学大学 名誉教授 竹市力氏、デバイス評価面では東海大学 元教授 森本雅之氏、販路開拓面では東海エレクトロニクス(株) 高橋俊氏をアドバイザーに迎え当該事業を進めた。

## 3. 開発成果

### 3.1 開発材料(分散液)の特性とラインアップ

本研究開発では、絶縁性熱伝導性フィラーに窒化ホウ素(以下 BN と略記)、導電性熱伝導性フィラーにグラファイト(以下 GR と略記)を用い、これらに添加剤を加えたものを固形分<sup>2)</sup>とし、分散媒に熱硬化性樹脂または熱可塑性樹脂を用いて、独自手法により高熱伝導性と流動性を両立する複合材料分散液(以下分散液と略記)を開発した。開発した絶縁性分散液および導電性分散液の特性を表 1 に示す。

開発した分散液は、単独での使用のみならず、絶縁性分散液と導電性分散液の二色成形が可能であるという特徴を有する。固形分に用いる添加剤がバインダーとなり、界面での熱抵抗の大幅な低減や、強度の維持を可能にし、界面での熱抵抗の大幅な低減は、デバイス全体の放熱性を格段に高めることができる。

開発した分散液は、高熱伝導性フィラーおよび添加剤を特殊な方法で均一混合したものを固形分に、熱硬化性樹脂または熱可塑性樹脂を分散媒に用いたものであり、フィラー濃度は 30wt% から 64wt% の分散液をラインアップした。分散液の粘度は、フィラー濃度と共に増加し、熱硬化性樹脂を用いた分散液では、フィラー濃度 40wt% までブルックフィールド回転粘度計を用いて測定でき、100℃において 500 ~ 18,000mP・s である。40wt% を超える場合は、フローテスト(細管式レオメーター)を用いて測定でき、300kg 荷重にお

表1 開発した分散液のラインアップおよび特性値

電気特性	絶縁性						導電性						流動性
	BN / 添加剤 A 熱硬化性樹脂 (注入 / 加圧)		BN / 添加剤 B 熱硬化性樹脂 (注入 / 加圧)		GR / 添加剤 A 熱硬化性樹脂 (注入 / 加圧)		GR / 添加剤 B PP樹脂 (プレス成形)		GR / 添加剤 B ナイロン樹脂 (プレス成形)		GR / 添加剤 A ナイロン樹脂 (50t 射出成形)		
熱伝導率 測定方法	HD*法	定常法	HD法	定常法	HD法	定常法	HD法	定常法	HD法	定常法	HD法	定常法	---
単位	W/mK		W/mK		W/mK		W/mK		W/mK		W/mK		
30	4	2	1	2	-	-	-	-	5	2	-	-	低
40	5	3	5	3	6	4	7	4	8	4	7	2	低
45	8	5	7	4	-	-	-	-	-	-	-	-	中
50	12	7	10	5	13	7	11	6	14	7	8	3	中
60	18	10	13	8	27	14	-	-	26	12	12	5	高
64	-	-	-	-	-	-	28	16	-	-	-	-	高

※ HD 法: ホットディスク法 BN: 窒化ホウ素 GR: グラファイト PP: ポリプロピレン

いて  $1.4 \times 10^5 \sim 1.8 \times 10^5 \text{mP} \cdot \text{s}$  である。熱可塑性樹脂分散液を用いた分散液の場合は、用いる樹脂の融点よりも約  $10^\circ\text{C}$  高い温度で測定し、 $1.4 \times 10^5 \sim 1.9 \times 10^5 \text{mP} \cdot \text{s}$  である。当該絶縁性分散液は、注入機によりモーターのステータやリアクトルのコイル部へ注入することが可能である。また、導電性分散液は、モーターやリアクトルの筐体への用途を想定した射出成形が可能である。

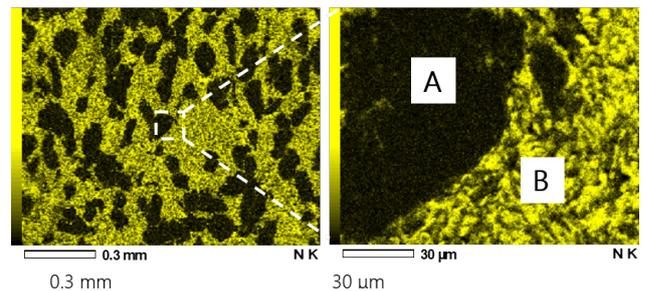
前述の分散液を用いた成形品の熱伝導率は異方向性を示し、絶縁性分散液成形品では、ホットディスク法熱伝導率測定法で面方向  $1 \sim 15 \text{W/mK}$ 、定常法同測定法で厚み方向  $2 \sim 8 \text{W/mK}$ 、導電性分散液成形品では、同様に面方向  $5 \sim 28 \text{W/mK}$ 、厚み方向  $2 \sim 16 \text{W/mK}$  である。

### 3.2 分散液成形品のモルフォロジー解析

分散液成形品は、フィラーリッチ相およびフィラー非リッチ相を形成し、フィラーリッチ相が連続相となり高い熱伝導率を発現する特徴を有する。

図1は、[BN フィラー (50wt%) / 添加剤 A] 熱硬化性樹脂分散液成形品の SEM-EDX 分析結果、図2は、同成形品の 3D X 線顕微鏡写真、図3は絶縁性分散液および導電性分散液二色成形品の SEM-EDX 分析結果を示したものである。それぞれ、フィラーリッチ相およびフィラー非リッチ相の存在、フィラーリッチ相が連続相を形成してい

ること、異種材料界面での強固な結合形式などの特徴を裏づけるものである。



A: 添加剤 A 相 (フィラー非リッチ相)  
B: フィラーと熱硬化性樹脂の絡み合い構造 (フィラーリッチ相)

図1 [BN フィラー (50wt%) / 添加剤 A] 熱硬化性樹脂分散液成形品の SEM-EDX 分析結果

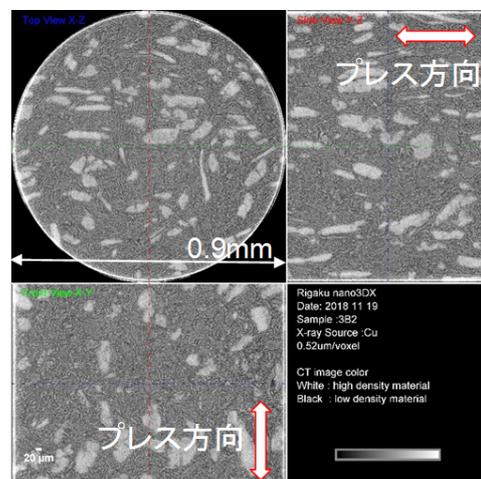


図2 熱硬化性樹脂分散液成形品の 3D X 線顕微鏡写真 [BN フィラー (40wt%) / 添加剤 A] 熱硬化性樹脂

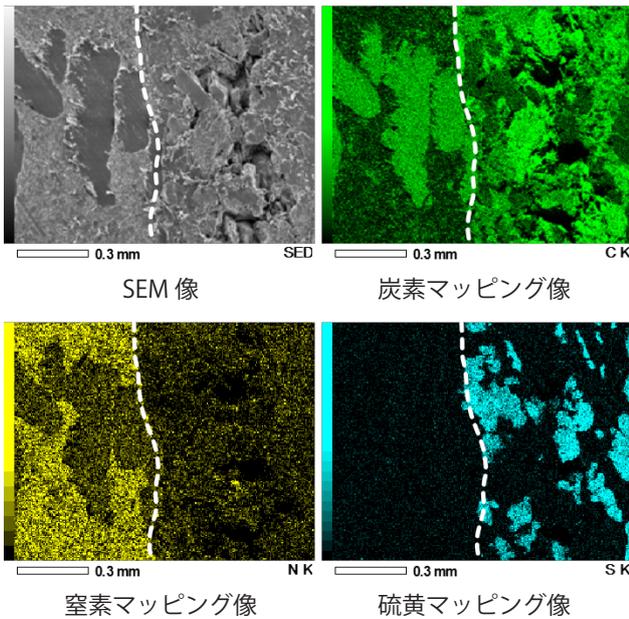


図3 絶縁性分散液・導電性分散液二色成形品のSEM-EDX分析結果

点線左側：[BN フィラー (60wt%) / 添加剤 A] 熱硬化性樹脂分散液  
 点線右側：[GR フィラー (64wt%) / 添加剤 A] 熱可塑性樹脂分散液

### 3.3 樹脂モールドリアクトルの試作およびその評価

図4に検討に用いた市販のリアクトルと樹脂モールド試作品を示す。市販のリアクトル（東京精電（株）製 TSL2T-15A-1mH）は、自動車搭載レベルの出力を有するものを用いた。外装樹脂には [GR フィラー (50wt%) / 添加剤 B] 熱可塑性樹脂分散液を用いて厚さ 2mm に成形したプレートからケースを作製し、リアクトルをケース内に挿入し、そこに [BN フィラー (30wt%) / 添加剤 B] 熱硬化性樹脂分散液を真空注入し、脱泡、熱処理を行い、導電性分散液と絶縁性分散液を用いて二色成形した樹脂モールドリアクトルを作製した。

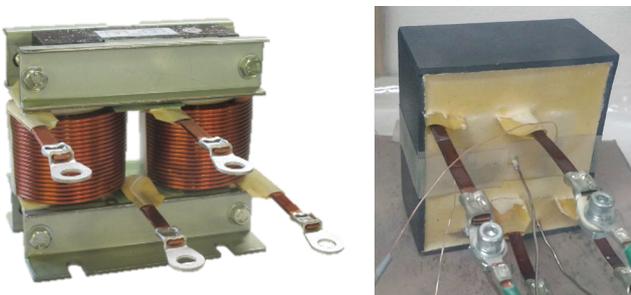


図4 樹脂モールドリアクトルに用いたリアクトル（左）と樹脂モールドリアクトル（右）

図5にリアクトルの評価用回路の概要図と温度測定部位を示す。電源は家庭用コンセントから、ボルトスライダで入力電圧を 5V に調整し用いた。電流、電圧および電力は電力測定器（横河計

測（株）社製パワーメーター WT332E-C1-D）で測定した。発熱状態は、熱電対（接触式）およびサーモグラフィーカメラ（非接触式）を用いて測定した。

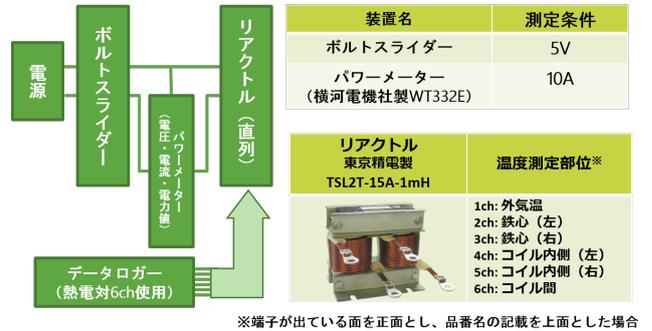


図5 リアクトル評価用回路の概略図および温度測定部位

図6にサーモグラフィーカメラによる発熱の様子を示す。モールド無し品は熱がコイル部に集中しており、樹脂モールド品では、コイル部から発生した熱がモールド部に拡散していることが確認できた。

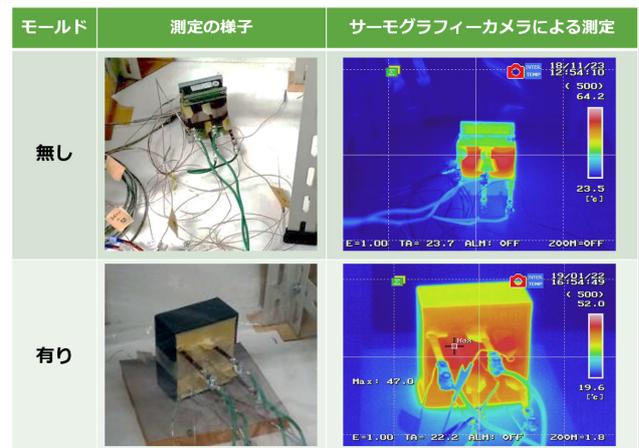


図6 リアクトルの樹脂モールドの有無による比較（サーモグラフィーカメラによる発熱状態）

図7に熱電対を用いた温度測定結果を示す。定常状態におけるコイル部の温度を比較すると、樹脂モールド品はモールド無し品に比べ、約 13℃ の温度低下があることがわかった。試験開始後の温度上昇の傾きを比較すると、樹脂モールド品の方がモールド無し品よりも、温度上昇が緩慢である。これは、樹脂モールドにより、リアクトルの熱容量が増加した結果であると考えられる。このように、開発した分散液でリアクトルをモールドすることによって、コイル部の発熱を抑えることができた。

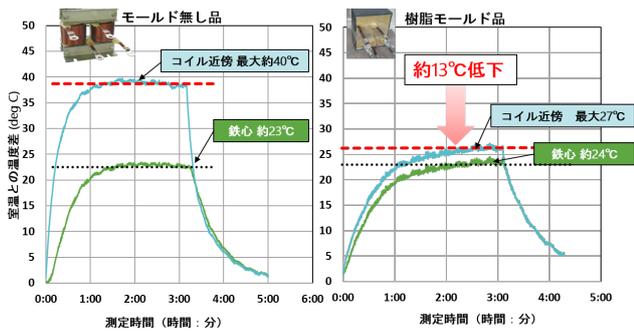


図7 熱電対を用いた温度測定による発熱温度の比較 (左:モールド無し品、右:樹脂モールド品)

### 3.4 樹脂モールドステータの試作

図8にステータ、樹脂モールドステータおよび熱伝導性フィラー含有ボビンの写真を示す。試験に用いたモーターは、定格出力30Wおよび最大出力3kWのアウトローター型である。樹脂モールドステータは、コイル部に [BN フィラー (40 または 50wt%) / 添加剤 B] 熱硬化性樹脂分散液を注入し、外装に [GR フィラー (64wt%) / 添加剤 A] 熱可塑性樹脂分散液を用いて二色成形で作製した。また、熱伝導性フィラー含有ボビンは、ステータコアとコイルとを絶縁するインシュレーターとして用いるために [GR フィラー (30wt%) / 添加剤 B] 熱可塑性樹脂分散液を用いて、射出成形によって作製した。

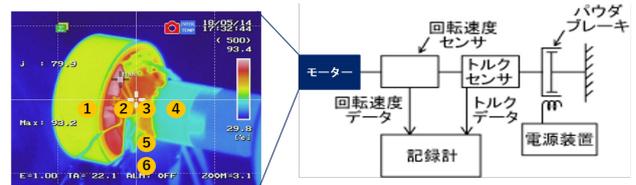


図8 (A) ステータ、(B) 樹脂モールドステータ、および (C) 熱伝導性フィラー含有ボビン

### 3.5 試作したモーターの性能評価

樹脂モールドステータおよび熱伝導性フィラー含有ボビンを用いて試作したモーターの性能評価を行い、モーター駆動時におけるコイル部の発熱状態を調べた。図9にサーモグラフィカメラによる測定の様子およびモーター性能評価回路の概要を示す。サーモグラフィカメラの使用に

より、モーター作動中の発熱状態が測定できる。モーター性能評価装置は、回転速度センサ、負荷装置 (パウダブレーキ)、トルクセンサおよび記録計で構成される。測定用モーターを評価装置に連結し、モーター性能への樹脂モールドおよび熱伝導性フィラー含有ボビンの効果を評価した。電源には定電流電源を用い、電流、電圧および電力はパワーメーターを用いて測定した。温度の測定は熱電対およびサーモグラフィカメラの2つの方法で行った。



モーター効率  $\eta$  [%] = 出力 / 入力  $\times$  100

- ①入力電力[W] = 電圧 [V]  $\times$  電流 [A]
- ②回転速度[N] = 回転速度 [rpm]
- ③トルク[T] = 定格負荷、拘束負荷[Nm]
- ④出力[P] =  $1.027 \times N \times T \times 10^{-5}$

図9 サーモグラフィカメラによる発熱状態およびモーター性能評価回路の概要図

図10には、出力一定における樹脂モールドおよび熱伝導性フィラー含有ボビンの効果を示す。モールド無し品では、入力電力が70Wを超えるとコイル部の温度が100°Cを超えるのに対し、樹脂モールド品および熱伝導性フィラー含有ボビン仕様品では、コイルの温度が100°Cを超えることはなかった。

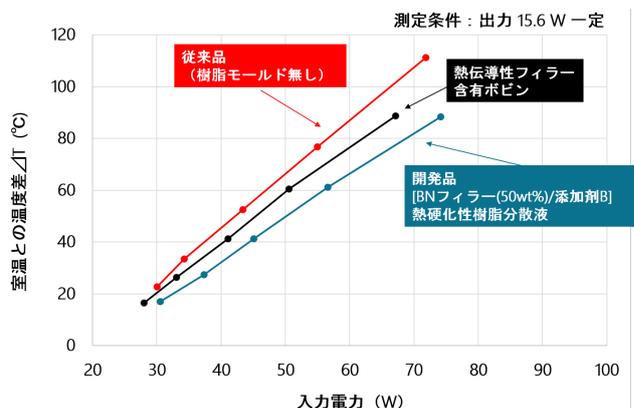


図10 出力一定における入力電力に対するコイル部の温度上昇の変化

図11には、回転数一定における樹脂モールドおよび熱伝導性フィラー含有ボビンの効果を示す。モールド無し品では、入力電力が70Wを超えるとコイル部の温度が100°Cを超えるのに対し、樹脂モールド品および熱伝導性フィラー含有ボビン仕様品では、コイル部の温度が100°Cを超えることはなかった。

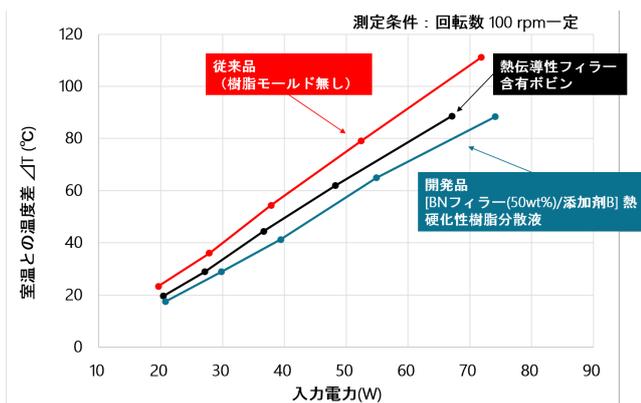


図 11 回転数一定における入力電力に対するコイル部の温度上昇の変化

図 12 には、トルク一定における樹脂モールドおよび熱伝導性フィラー含有ボビンの効果を示す。トルク一定の条件では、入力電力が増えるに従って、室温と測定部位との温度差が減少し、発熱量が減少する。これは入力電力を増えることによりアウターローターの回転数が上がり、その結果、対流による放熱が増加し、温度が低下したと考えられる。対流による放熱を考慮しても、樹脂モールド品および熱伝導性フィラー含有ボビン仕様品では、コイル部の温度上昇の抑制効果を確認できた。

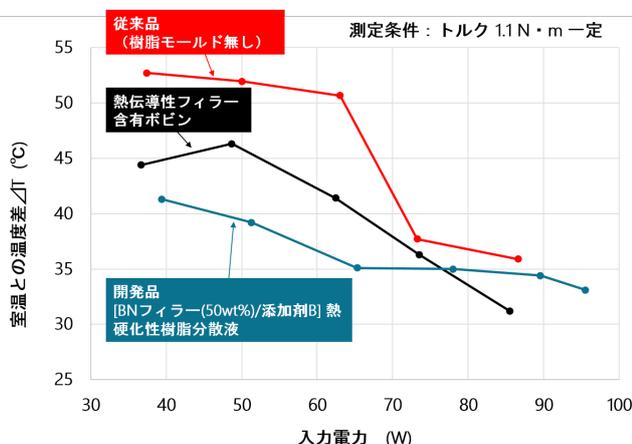


図 12 トルク一定における入力電力に対するコイル部の温度上昇の変化

樹脂モールドおよび熱伝導性フィラー含有ボビンの使用は、コイル部の発熱が抑制でき、その結果、コイルの銅損が低減され、省エネルギーにな

ることはもちろん、同出力モーターの場合、モーターサイズの小型化等が期待できる。

#### 4. まとめ

本研究開発における成果をまとめると以下の通りになる。

##### (i) 新規高熱伝導性複合材料分散液の開発

独自技術による高い熱伝導率と流動性を兼ね備えた高熱伝導性複合材料分散液の開発により、熱硬化タイプ、熱可塑タイプ、導電/絶縁材料など幅広い製品の品揃えができ、用途に合わせて選択/幅広い組み合わせができる。

##### (ii) 硬化・成形加工技術の開発

フィラーリッチ相とフィラー非リッチ相とが均一に分布し、フィラーリッチ相が連続相になることによって、高い熱伝導率および機械的特性を発現させることができ、同時に気泡、亀裂がなく、高性能を発現する硬化・成形加工技術の開発ができた。

##### (iii) 電気・電子デバイスへの応用

リアクトルおよびステータへの樹脂モールドは、高い放熱および温度低減効果を確認でき、デバイスの小型化に寄与できることがわかり、また内装樹脂に絶縁性分散液、外装樹脂に導電性分散液を用いた二色成形によって、両者界面の熱抵抗が極めて小さく、熱ロスの少ない効果的な放熱が可能となった。

#### 5. 今後の取り組み

本研究開発によって、新規材料の開発と共に熱伝導・放熱に係る基盤技術を保有することができた。(株)高木化学研究所は、今後も技術開発、販路開拓および人材育成を継続し、付加価値の高いものづくりに挑戦する企業として、ユーザーの熱伝導、放熱及び電気伝導に係る課題解決の一助となっていきたい。

#### 引用文献

- 1) 高木紀彰ら, JRCM ニュース, 316, 2 (2013).
- 2) 永谷裕介ら, 材料の科学と工学, 55, 43 (2018).

The Japan Research and Development Center for Metals  
JRCM NEWS / 第 392 号

内容に関するご意見、ご質問は JRCM 総務企画部までお寄せください。  
本書の内容を無断で複写・複製・転載することを禁じます。

発行 2019年6月1日  
発行人 小紫正樹  
発行所 一般財団法人 金属系材料研究開発センター  
〒105-0003 東京都港区西新橋一丁目5番11号 第11 東洋海事ビル6階  
TEL (03)3592-1282 (代) / FAX (03)3592-1285  
ホームページ URL <http://www.jrcm.or.jp/>  
E-mail [jrcm@oak.ocn.ne.jp](mailto:jrcm@oak.ocn.ne.jp)