

樹脂の熱伝導率向上に資する 複合フィラーの開発

長野県工業技術総合センター
材料技術部門
研究員 村野 耕平

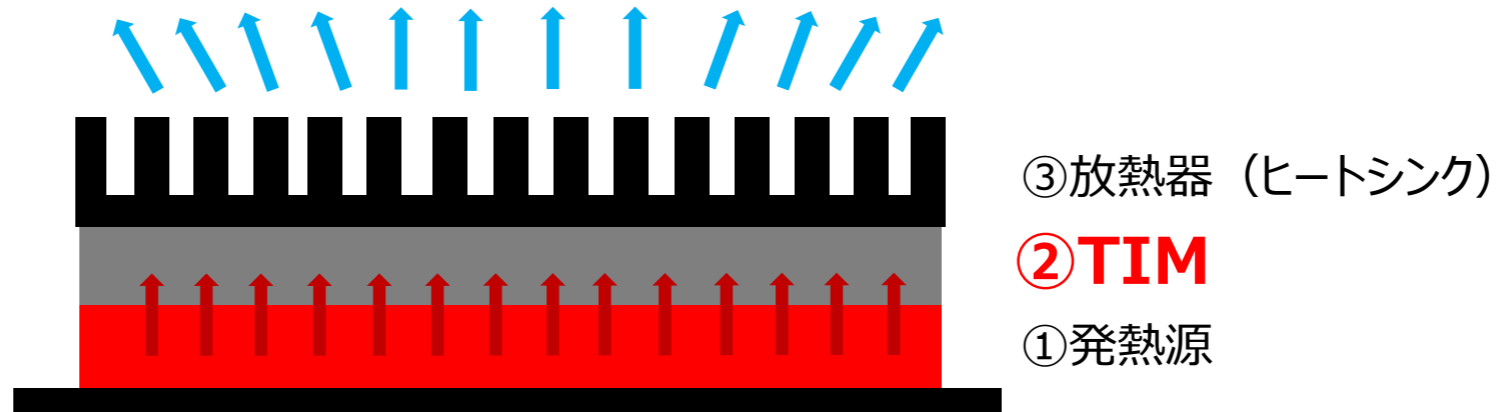
2026年1月27日

技術開発の背景:樹脂の高熱伝導化に関する要求

機器の小型化、実装密度、消費電力増加等に伴い、機器の高温化が重大な課題(高性能化への障壁)となっている。

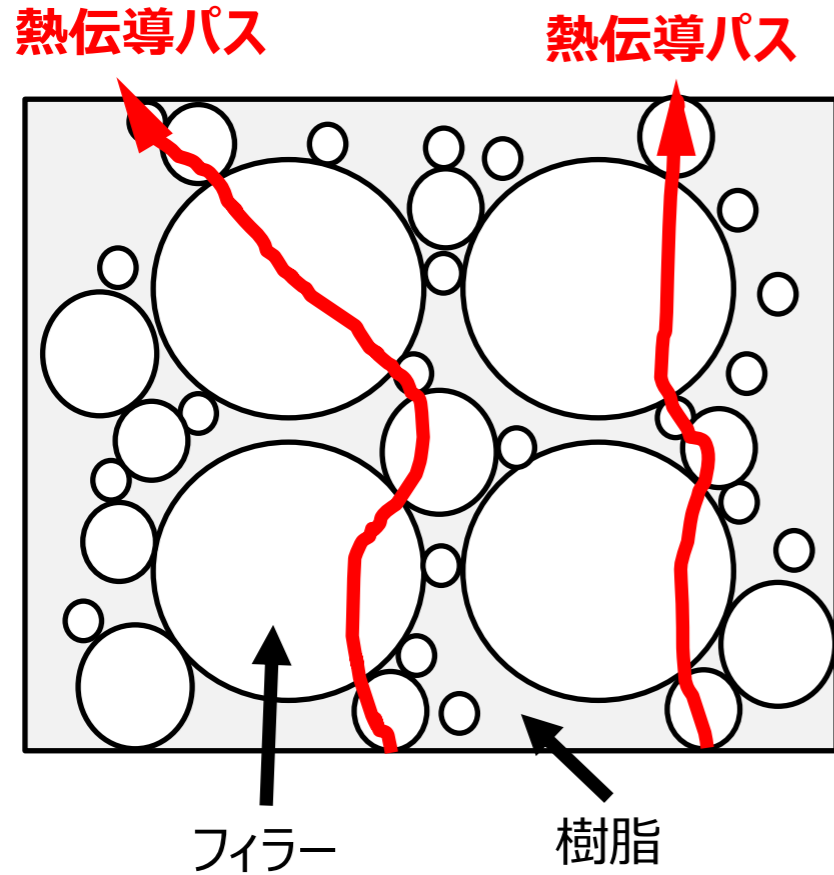


- 熱伝導率の低い樹脂部材が放熱のボトルネックとなっており、樹脂部材の高熱伝導化が要求されている
- 電子機器内部で発生した熱を効率よく放熱するために使用されるサーマルインターフェース材料(TIM)(放熱グリース、放熱シート、ギャップフィラー等)、封止材等の高熱伝導化が求められている。

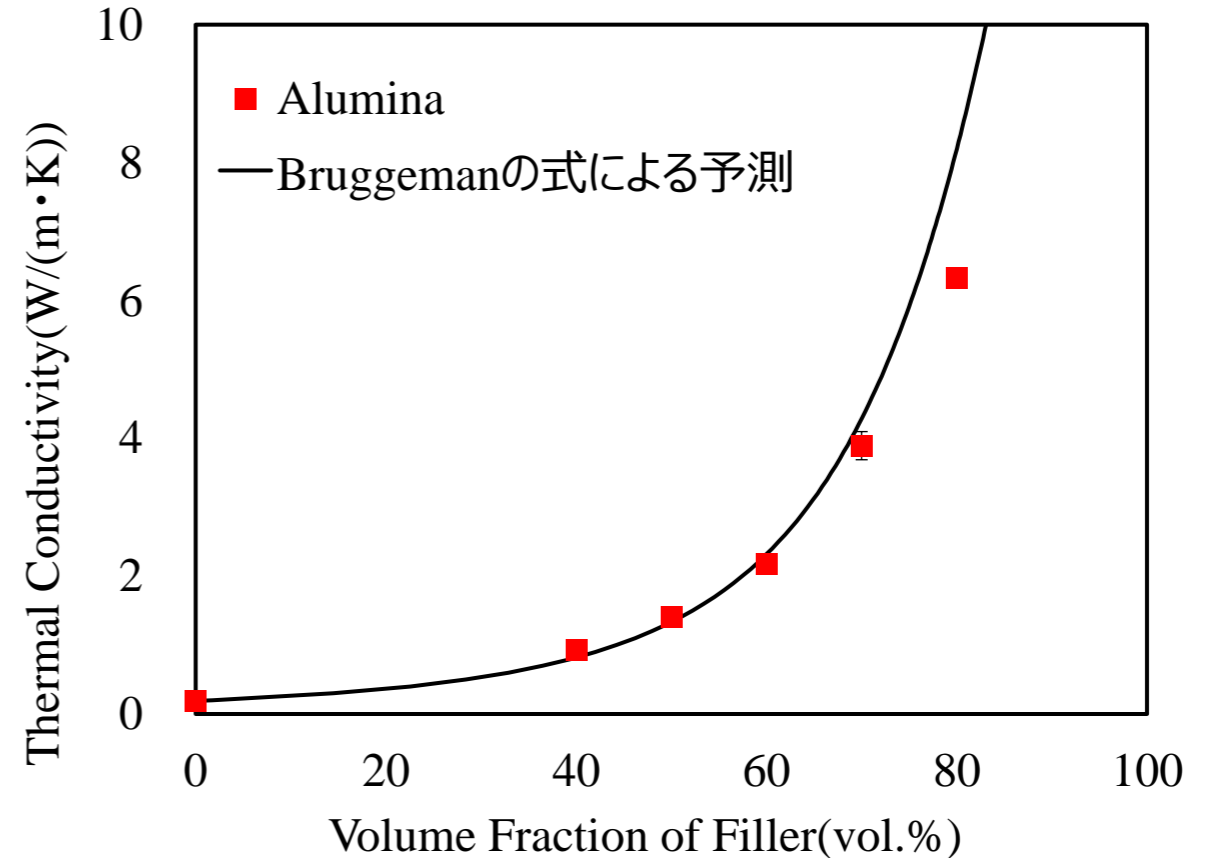


技術開発の背景:樹脂材料の高熱伝導化メカニズム

従来技術：熱伝導率の高いフィラー(セラミックス等)を高充填し、樹脂内部で熱伝導パスを形成させる

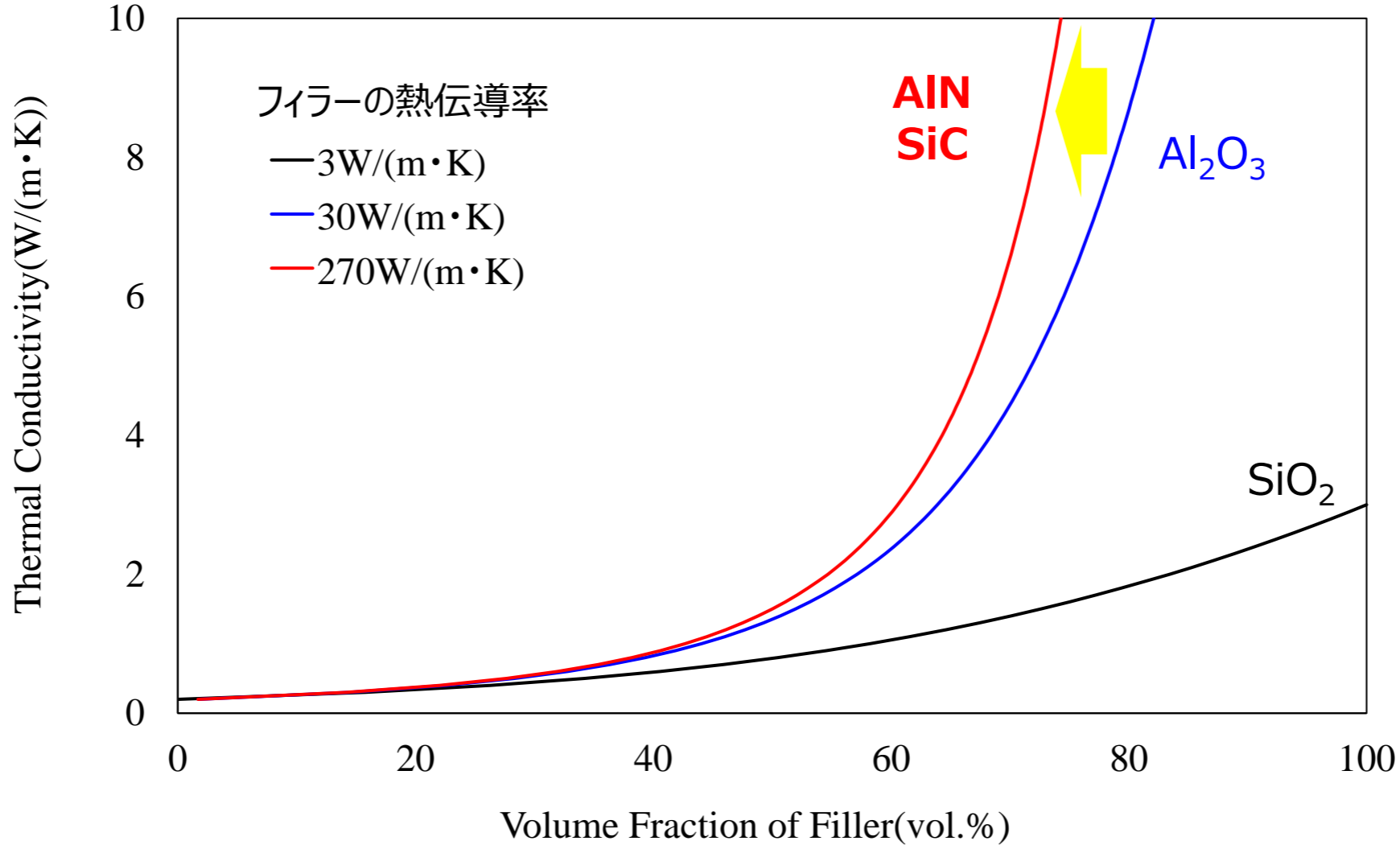


Bruggemanのモデルによる予測値と実測値の比較



フィラーを高充填しないと熱伝導パスが形成されず、熱伝導率向上しない

技術開発の背景:フィラーの熱伝導率の影響



フィラーの熱伝導特性は、樹脂の熱伝導特性を決める重要な因子

技術開発の背景:主要なフィラーの特徴

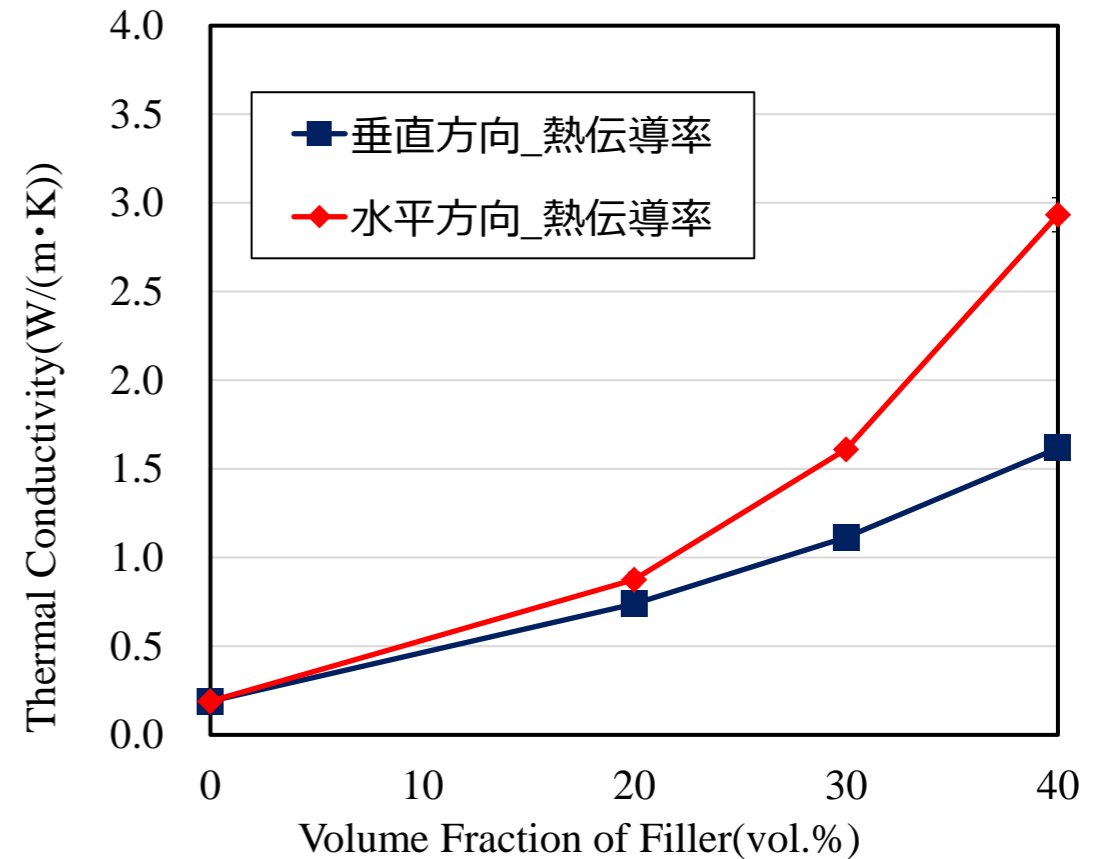
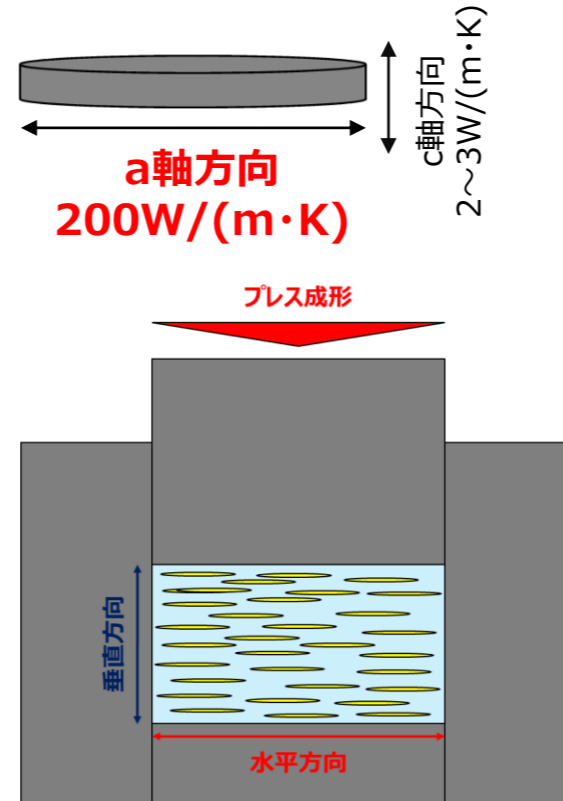
フィラー	熱伝導率 (W/(m・K))	化学的安定性	分散性	絶縁特性	価格
酸化ケイ素 (SiO ₂)	× (2~10)	◎	◎	◎	◎
酸化アルミニウム (Al ₂ O ₃)	△ (20~36)	◎	◎	◎	○~◎
酸化マグネシウム (MgO)	○ (45~60)	×	○	◎	◎
窒化アルミニウム (AlN)	◎ (270)	×	△	◎	×
窒化ホウ素 (BN)	◎ (a軸:200、c軸:2)	○	×	◎	×
炭化ケイ素 (SiC)	◎ (270)	◎	△	×	◎

全ての要求特性を満たすフィラーは存在しない

フィラーの複合化により要求特性を満たす複合フィラーが開発できれば有用な技術となりうる

新技術: BNの熱伝導特性を活かした複合フィラーの開発

六方晶窒化ホウ素(h-BN)の特徴

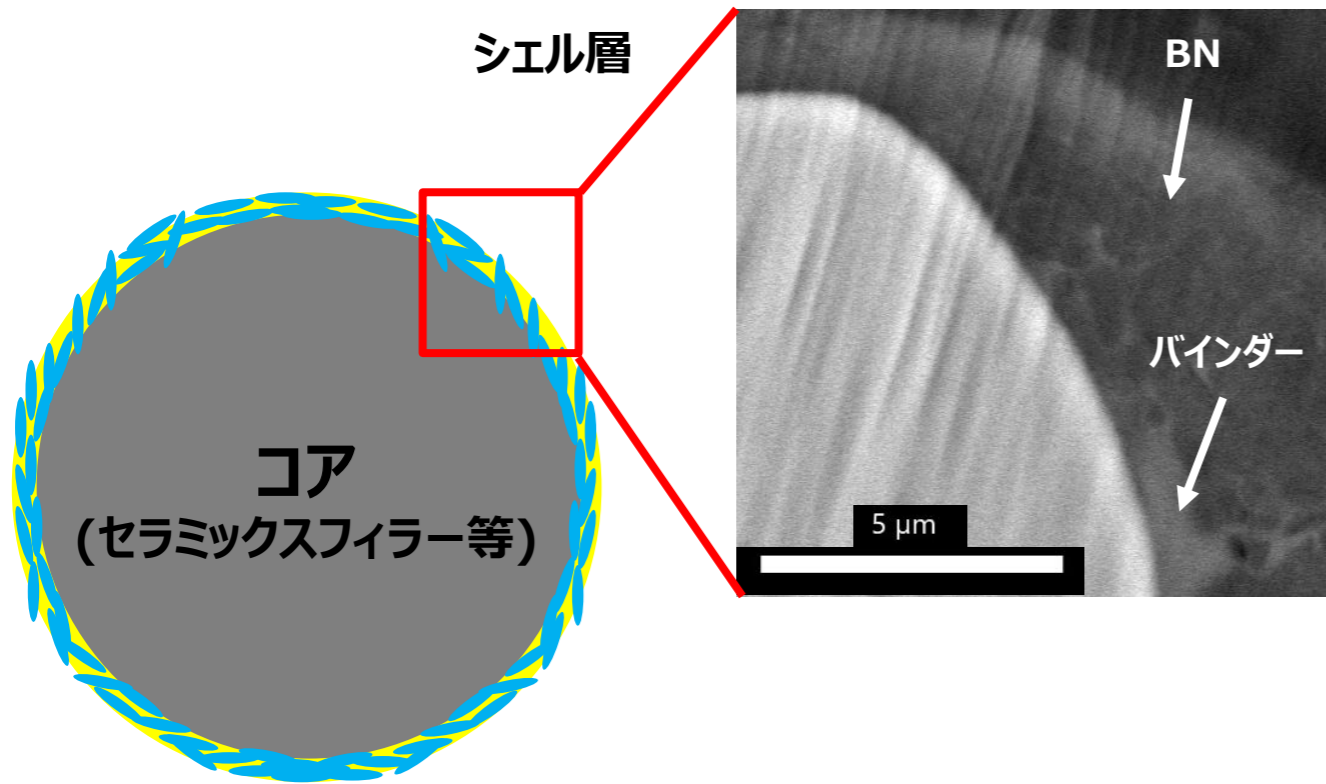


熱伝導率異方性、分散性等の課題があるが、高い熱伝導率、絶縁特性を備え、化学的安定性も高い



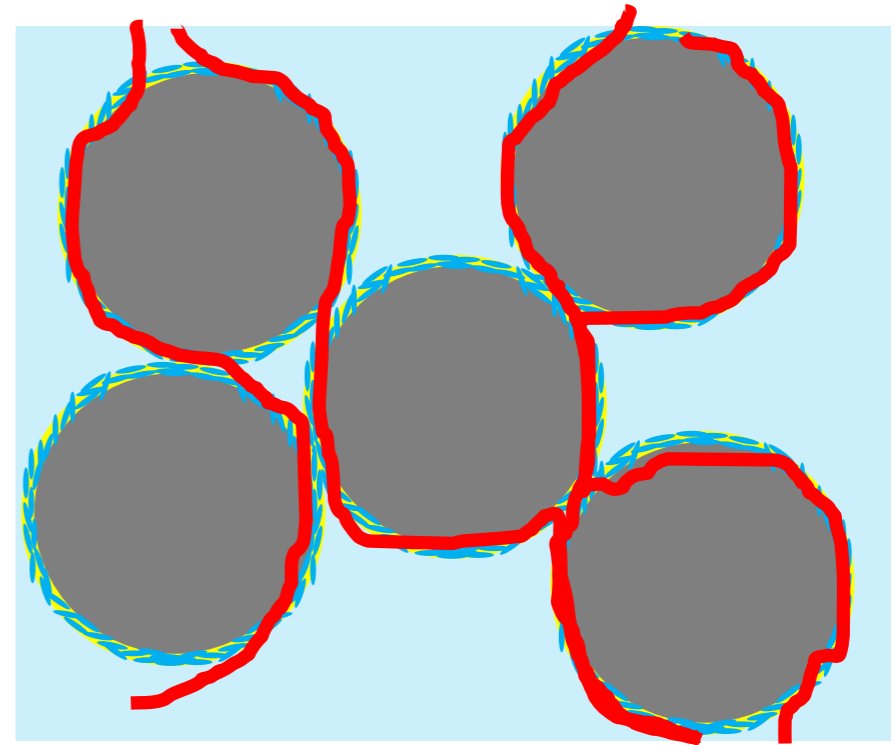
分散性を改善し、かつ、a軸方向の高い熱伝導率を活かすことできれば、樹脂の高熱伝導化に有効

新技術: BNの熱伝導特性を活かした複合フィラーの開発



コア-シェル型複合フィラーの構造

a軸方向の高熱伝導を活かした熱伝導パスの形成



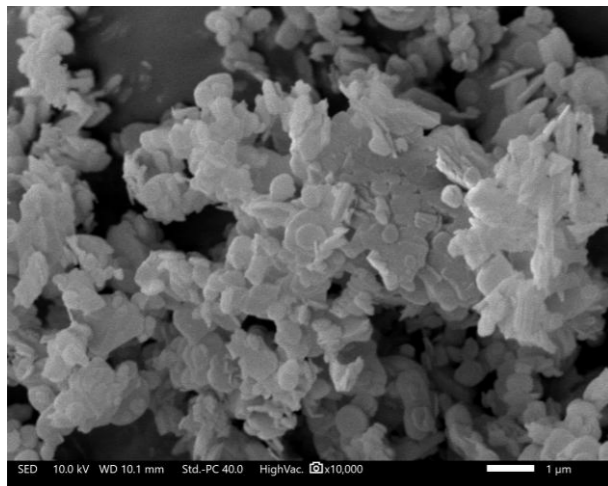
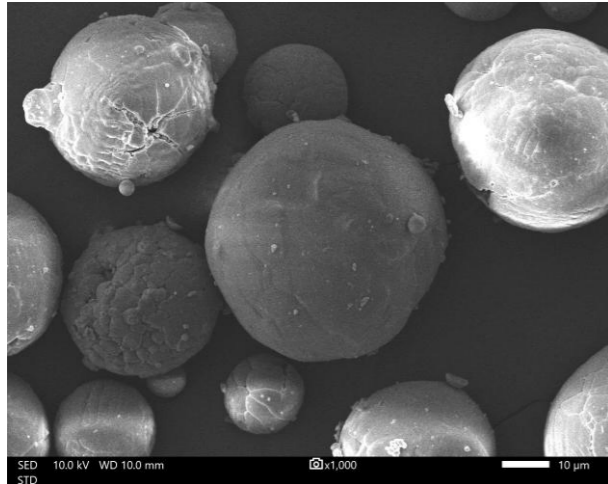
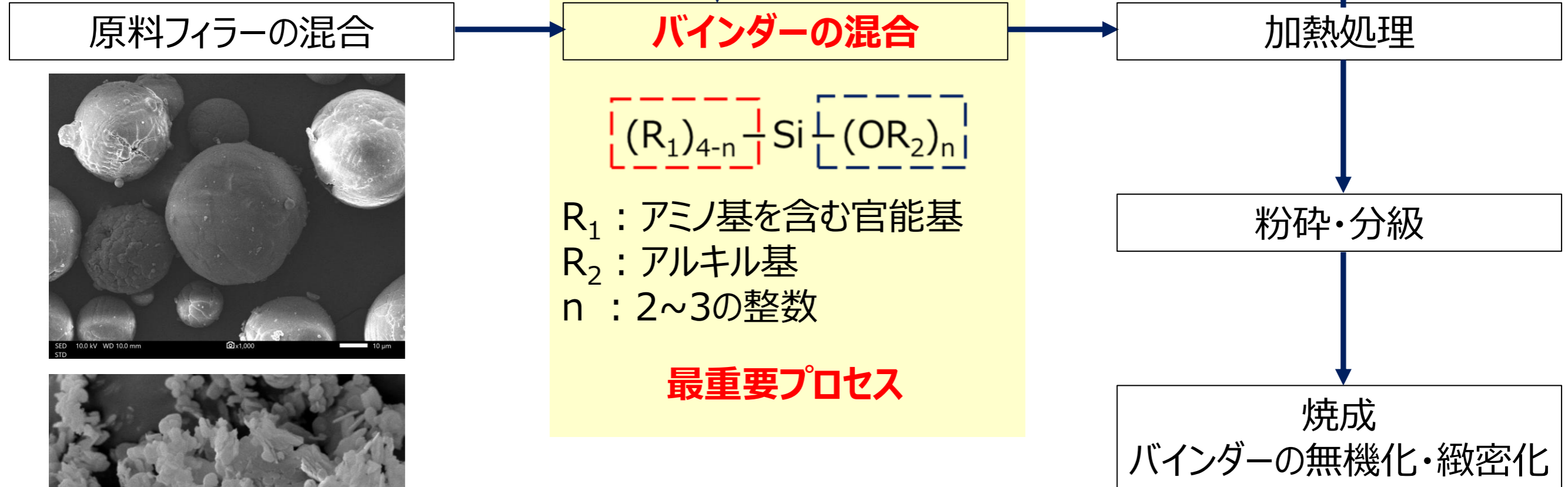
コア-シェル型複合フィラーを充填した樹脂複合材料の充填構造モデル

「コア」となるセラミックスフィラー表面を、無機バインダーとBNで被覆した「コア-シェル型複合フィラー」

BNの熱伝導率異方性を改善、コア粒子にBNの高熱伝導特性、絶縁特性、化学的安定性を付与

新技術: BNの熱伝導特性を活かした複合フィラーの開発

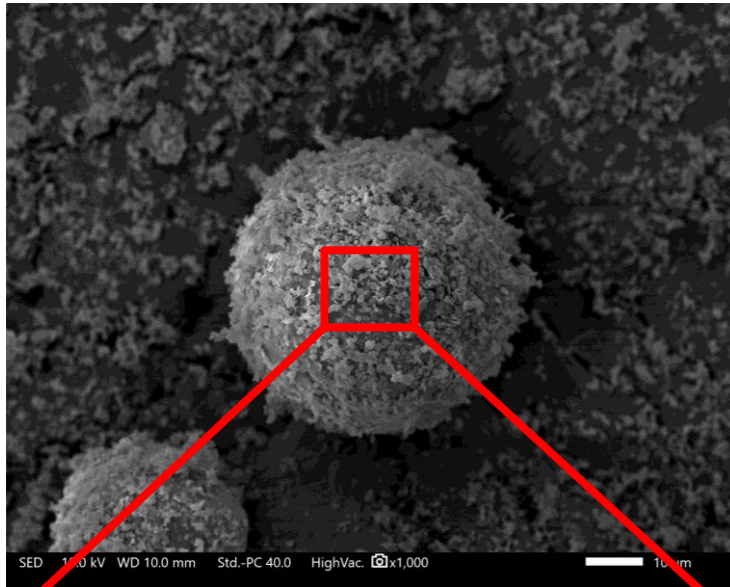
複合フィラーの製造方法



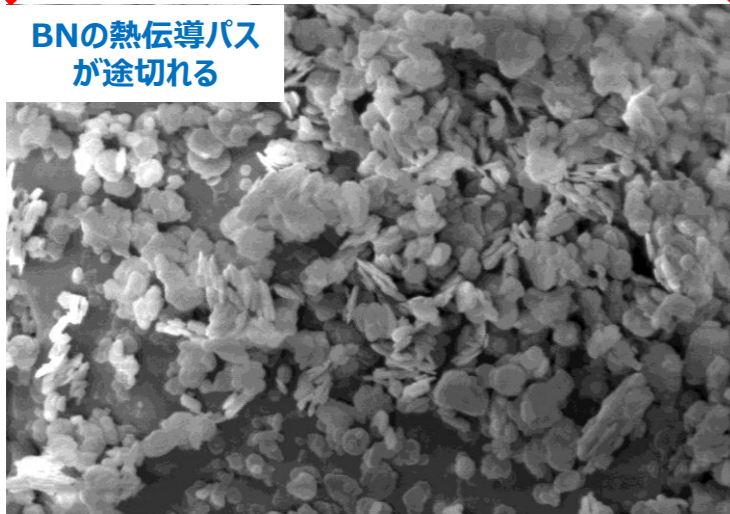
フィラーとバインダーを混合する、簡単なプロセスで製造可能
フィラーの組合せは問わない

開発したコア-シェル型複合フィラーの例

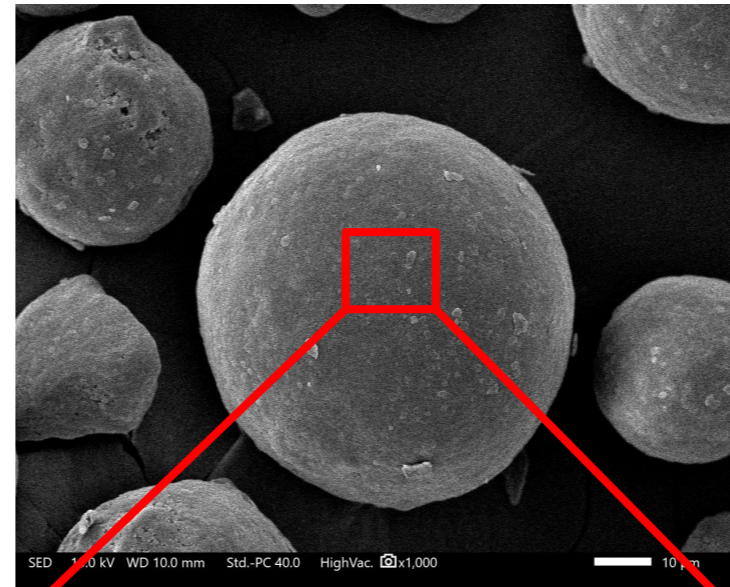
単純混合のみ



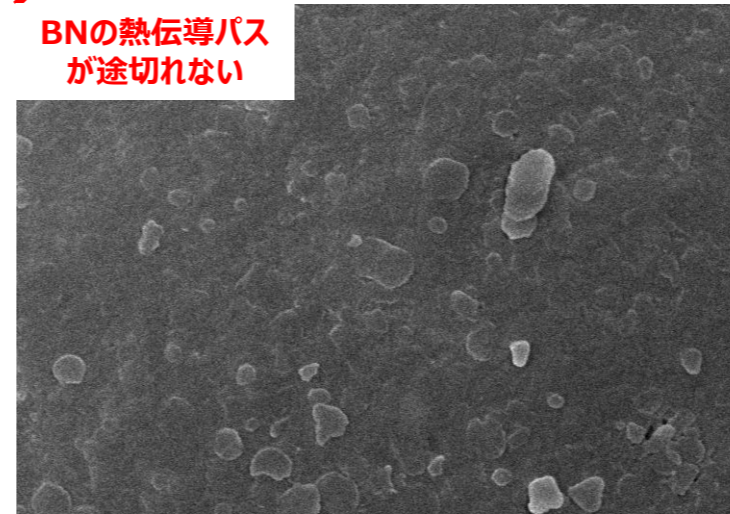
BNの熱伝導パス
が途切れる



コア-シェル型複合フィラー



BNの熱伝導パス
が途切れない

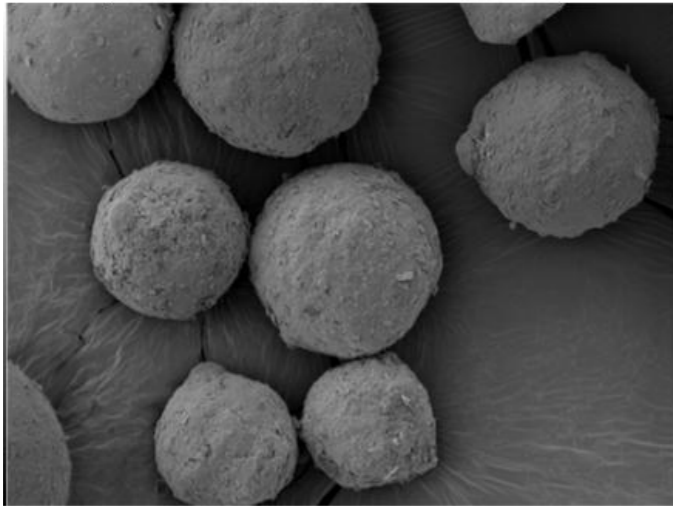


コア : Al_2O_3
 Al_2O_3 : BN = (90:10) (体積比)

開発技術により、コアとなるフィラー表面が均一にBNで被覆された、「コア-シェル型複合フィラー」の製造が可能

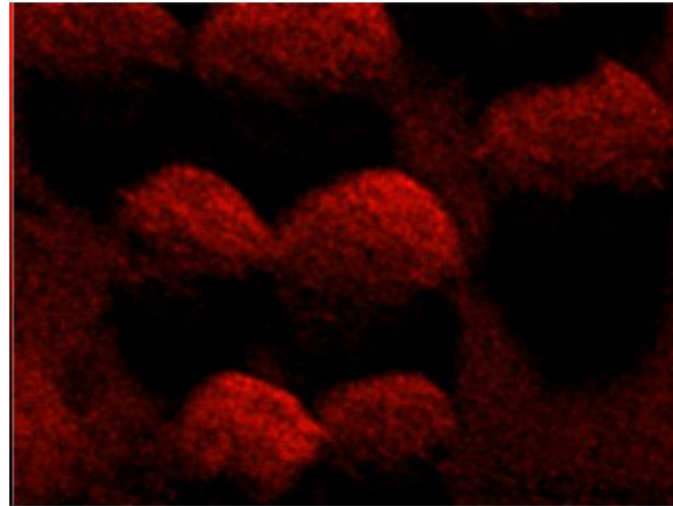
開発したコア-シェル型複合フィラーの例

IMG1(1st)



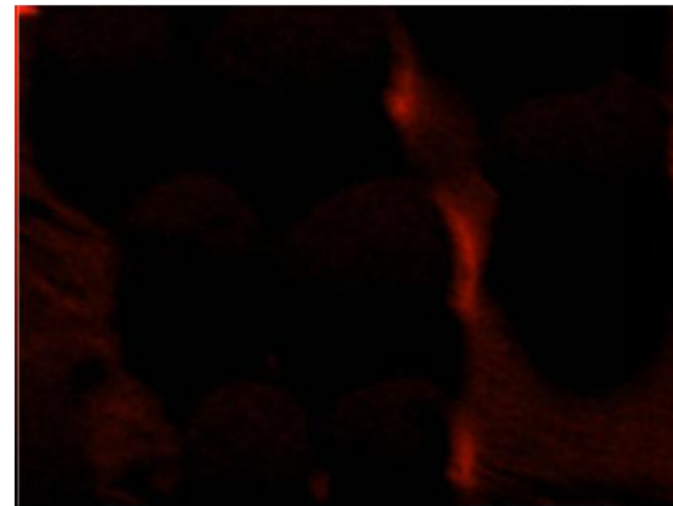
□ 10µm

B-K



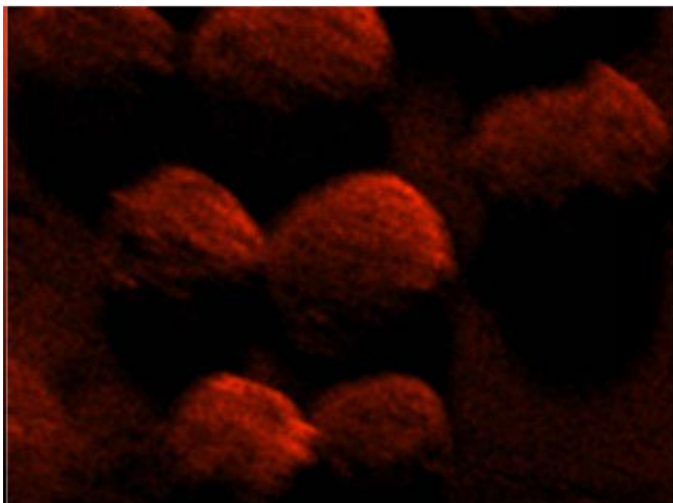
□ 10µm

C-K



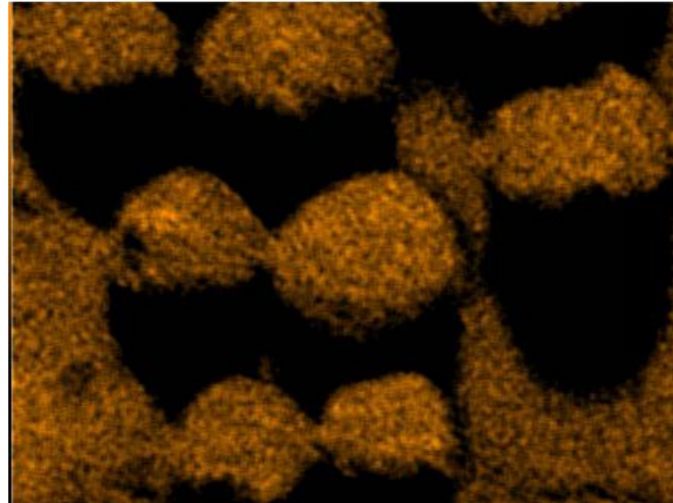
□ 10µm

N-K



□ 10µm

Si-K

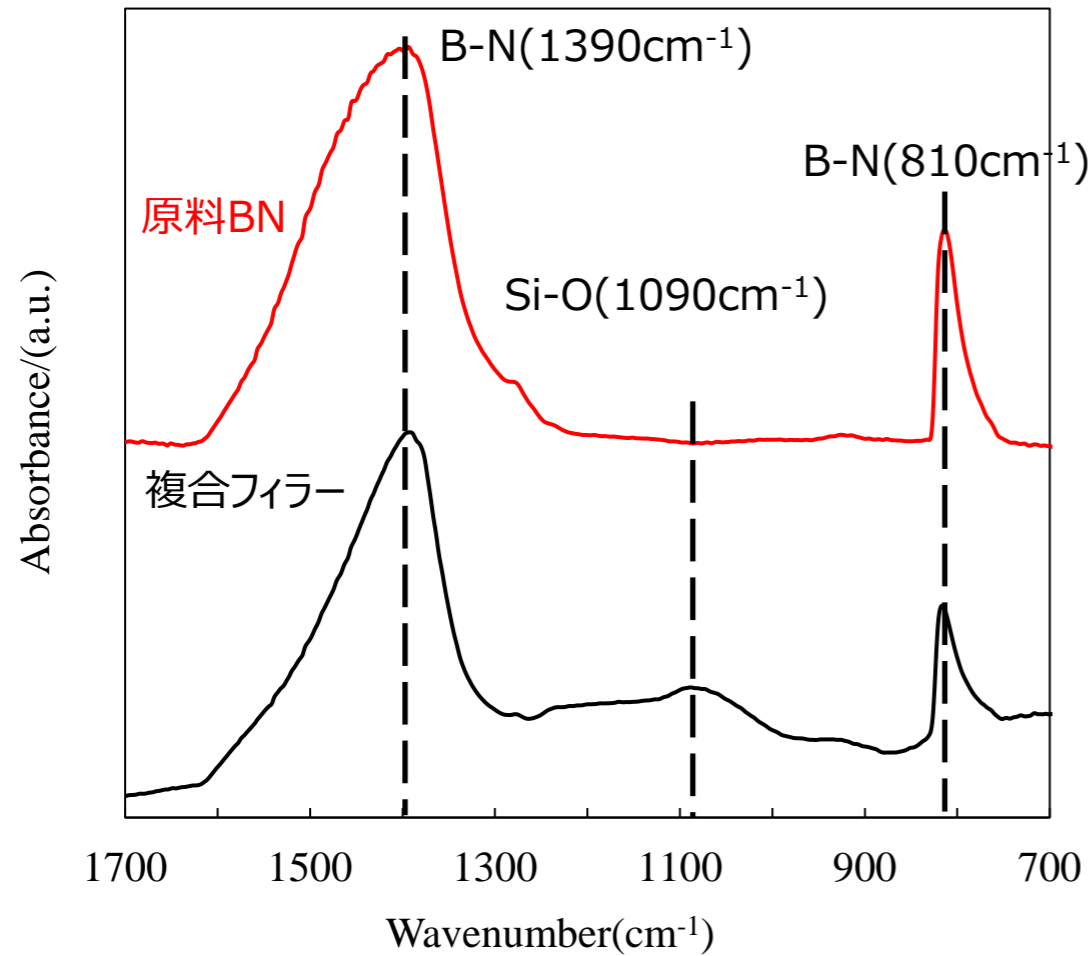


□ 10µm

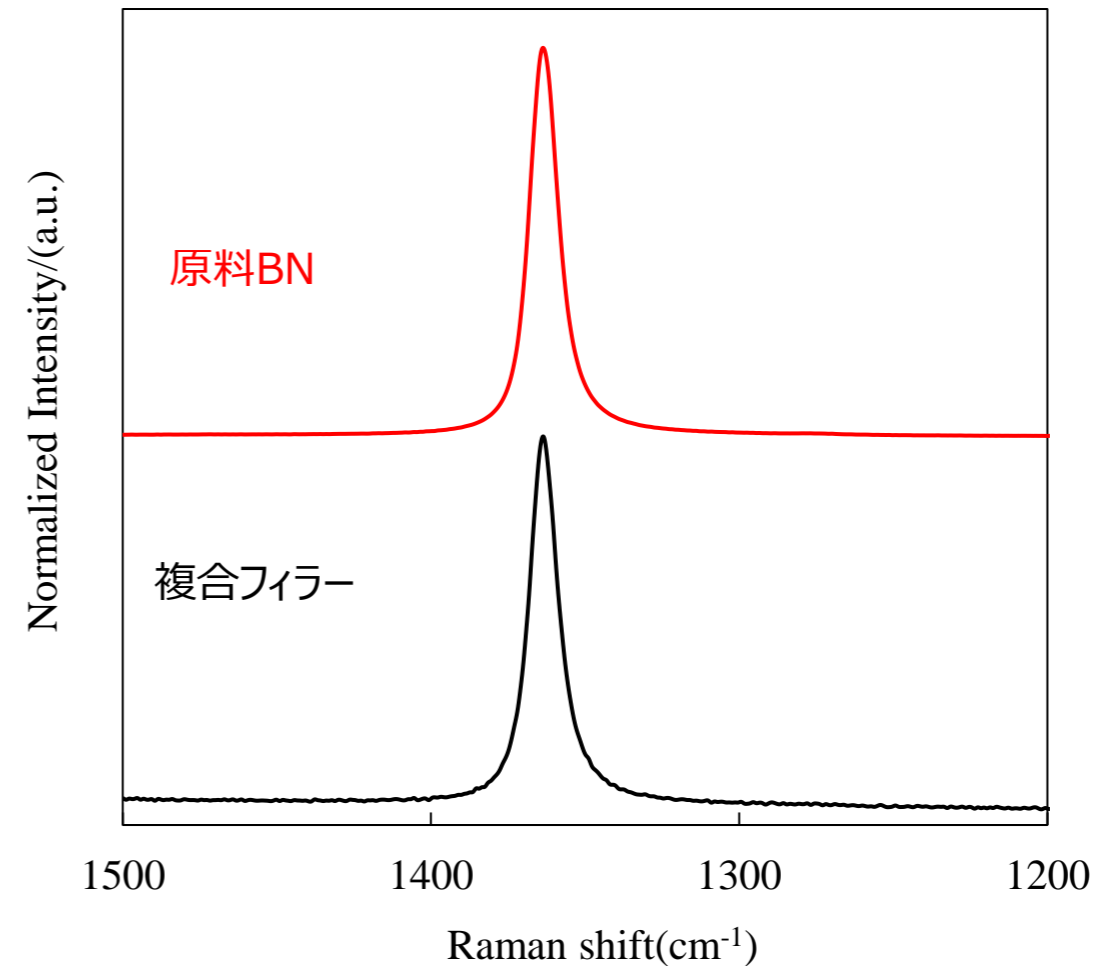
コアとなるフィラー表面から
BN由来のホウ素(B)、窒素(N)
バインダー由来のケイ素(Si)
が検出される。
バインダー由来の有機物(炭素(C))は未検出。
→バインダーは加熱処理により無機化している。

開発したコア-シェル型複合フィラーの構造

赤外吸収スペクトル(拡散反射スペクトル)

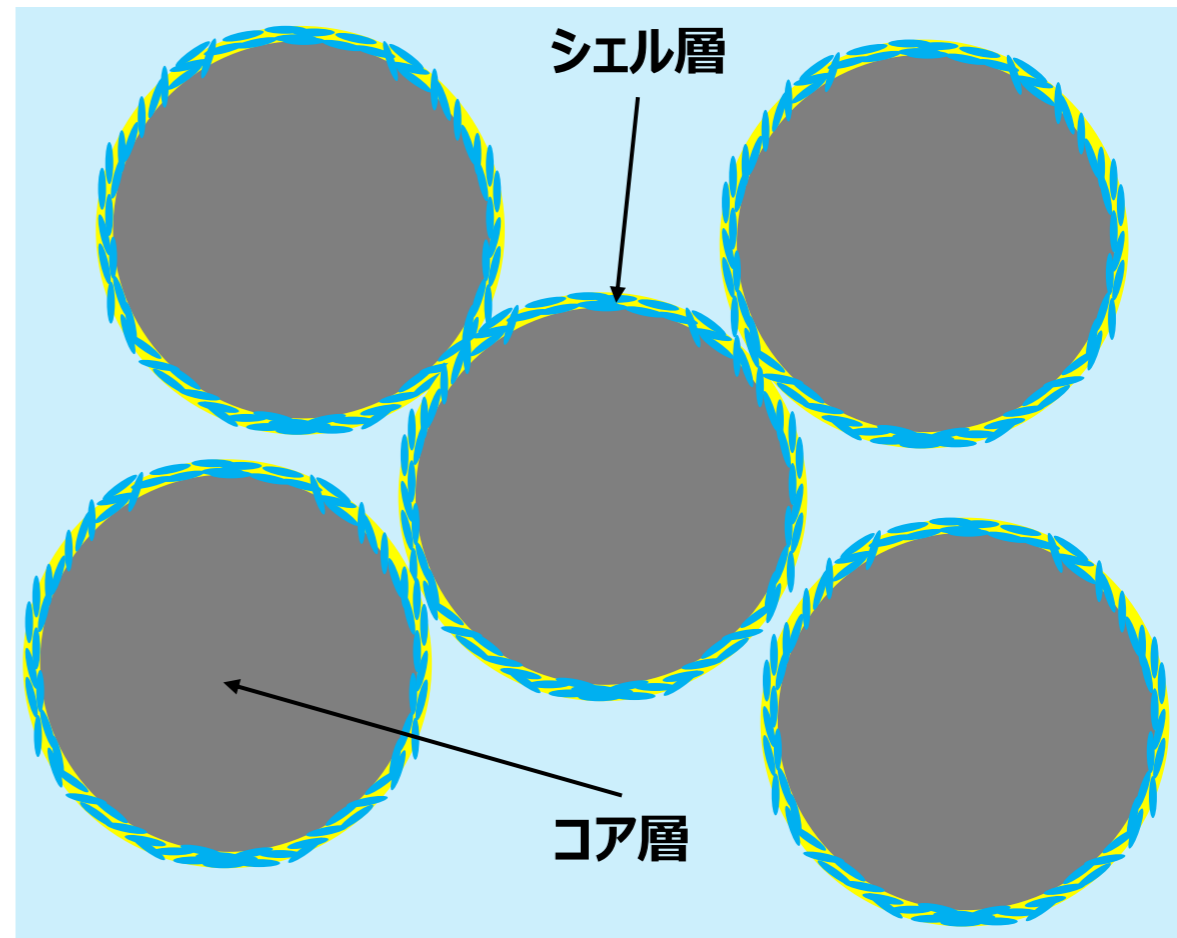
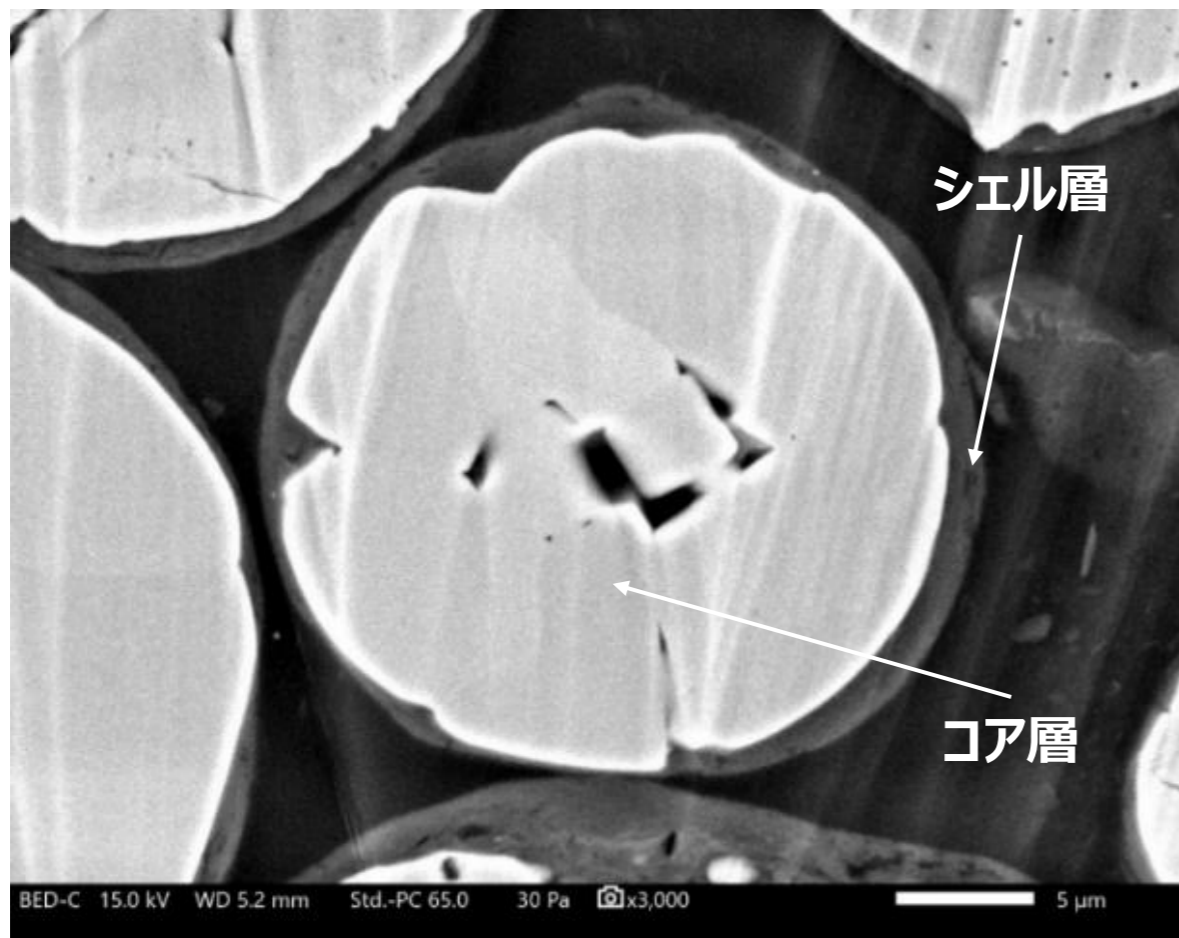


ラマン散乱スペクトル



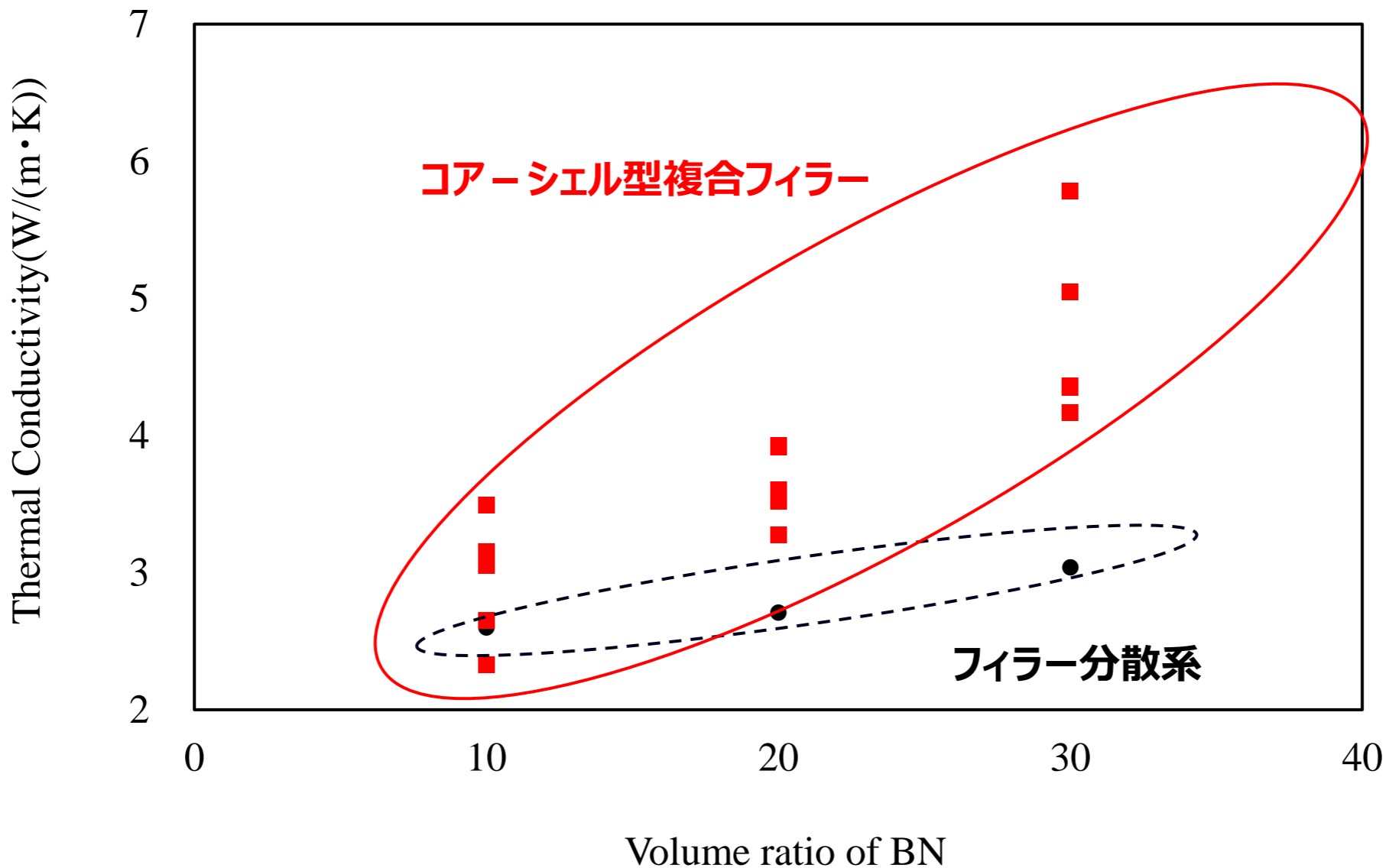
コアとなるフィラーの表面がBNとSiO₂で被覆されている

コア-シェル型複合フィラー充填樹脂複合材料



樹脂との混合後もコア-シェル構造が維持されている

コア-シェル型複合フィラーの熱伝導特性



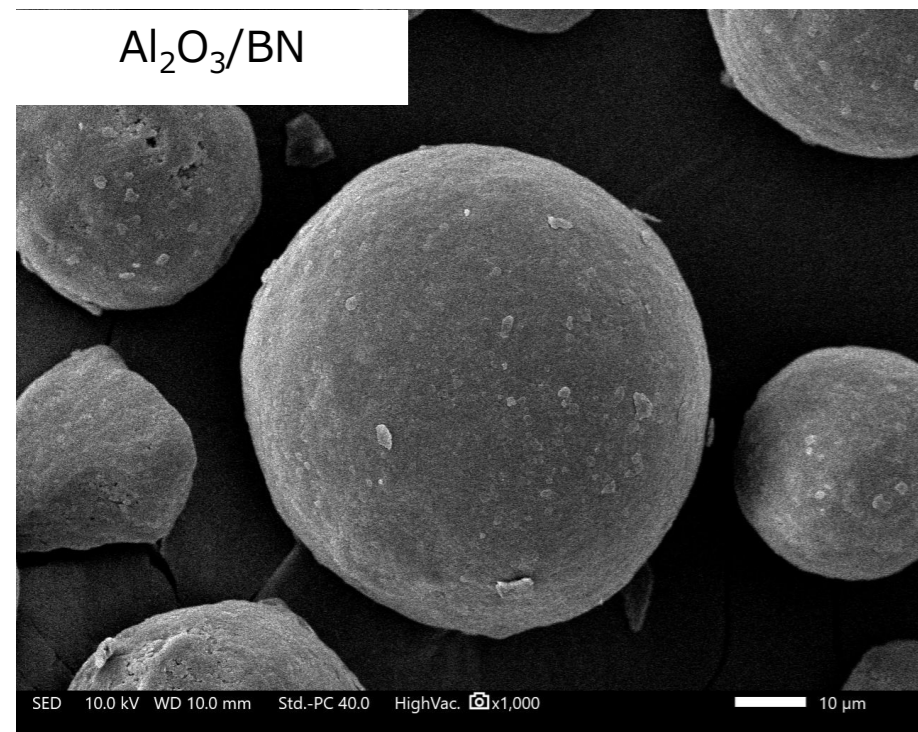
マトリックス樹脂：エポキシ樹脂
フィラー充填量：60vol.%

コア-シェル型複合フィラーを充填することで、フィラーを単純に分散させた条件よりも樹脂複合材料の高熱伝導化が可能

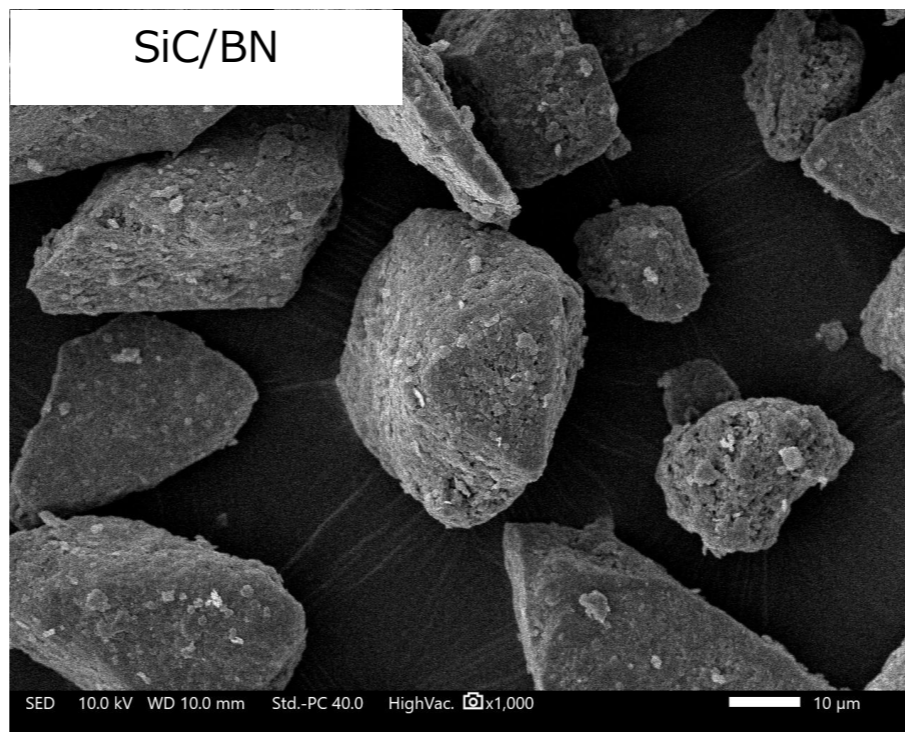
フィラー複合化技術の応用

BNをシェル層としたコア-シェル型複合フィラーとすることで、
BNの熱伝導特性、絶縁特性、化学的安定性を付与可能

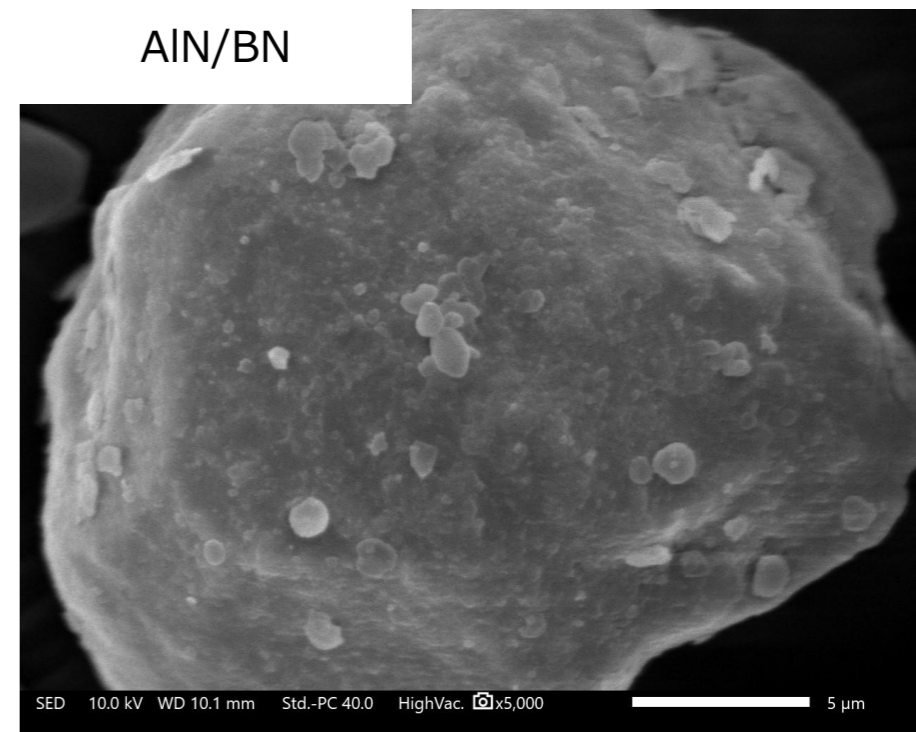
Al₂O₃/BN



SiC/BN



AlN/BN



熱伝導特性の向上

絶縁特性の向上

耐水性の向上

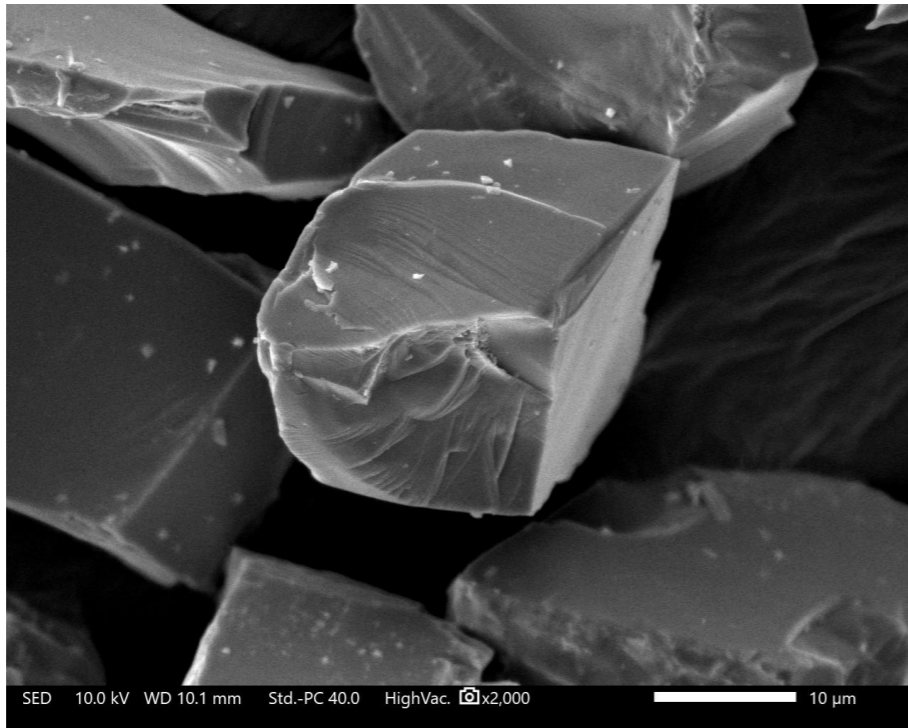
コアとなるフィラーの材質は問わない

フィラー複合化技術の応用(SiCフィラーの絶縁特性向上)

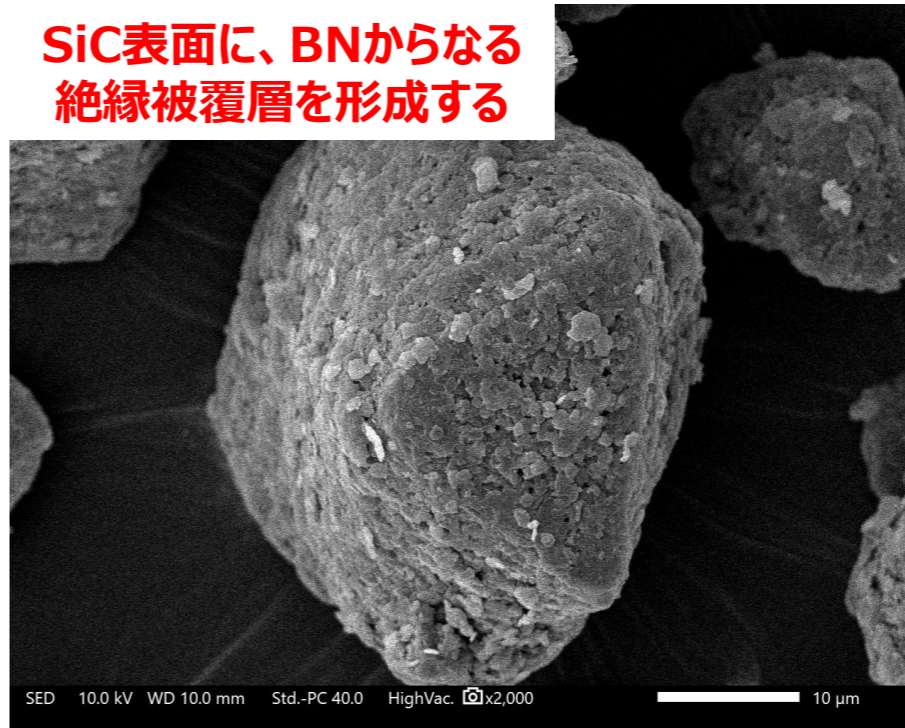
SiCは低コストで非常に高い熱伝導率を持った素材だが、半導体のためフィラーとしての用途が限られていた



BNフィラーとの複合化により、絶縁特性が付与されれば、有用なフィラーとして活用できる

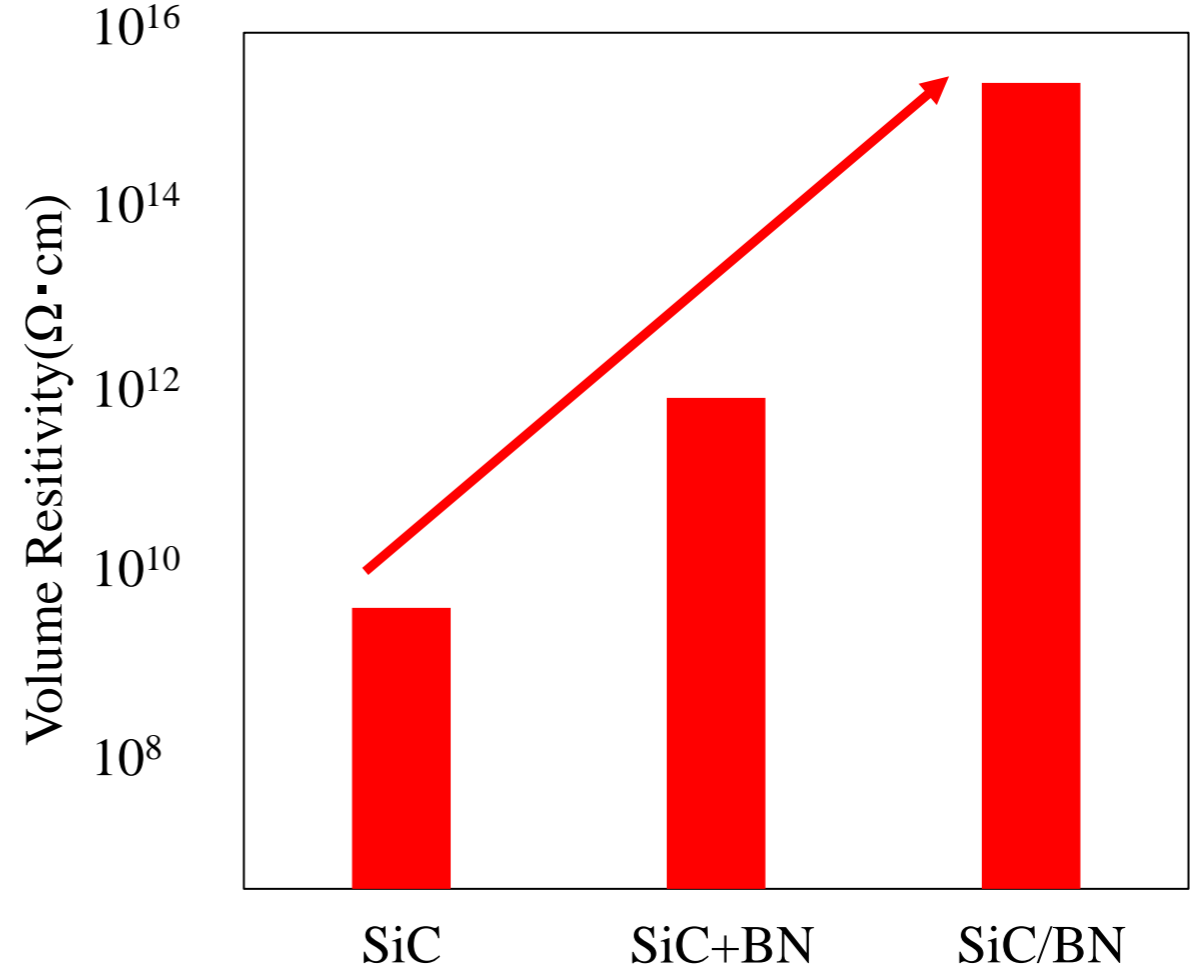
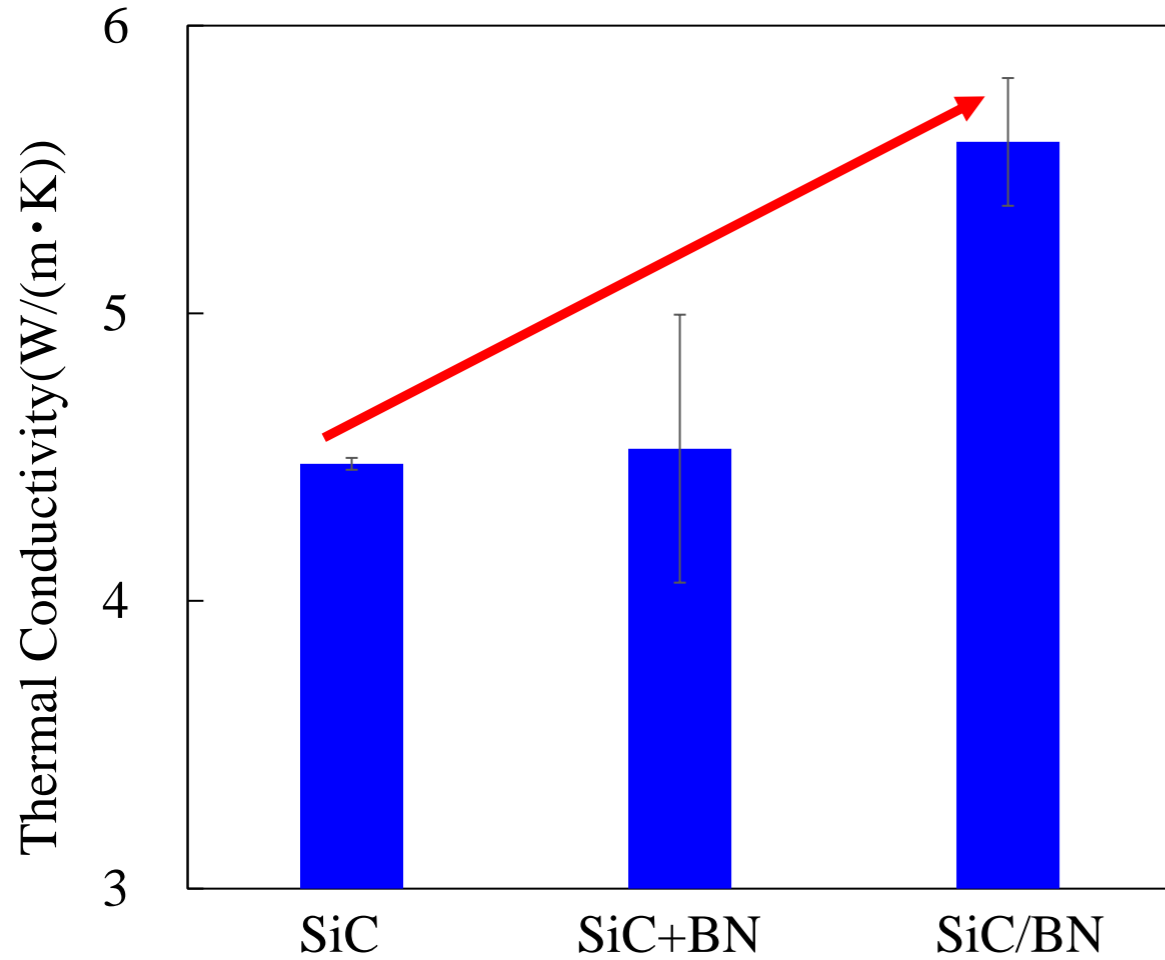


被覆前SiC



被覆後SiC

ファイラー複合化技術の応用(SiCファイラーの絶縁特性向上)



BNとの複合化により、熱伝導特性、絶縁性特性が向上

従来技術とその問題点

- 樹脂内部で熱伝導パスを形成する(樹脂を高熱伝導化する)ためには、フィラーを高充填する必要があり、フィラー充填量増加に起因する高粘度化、重量増加、強度低下等が課題となっている。
- フィラーを高充填すると、分散不良、空隙等の欠陥が生じやすいという課題がある。
- フィラーを高充填するのみでは、近年の高熱伝導化の要望に応えられない。

新技術の特徴・従来技術との比較

- 予めフィラーの構造を制御しておくことで、熱伝導パスの形成に有利な充填構造が得られるようになった。そのため、単純にフィラーを充填するよりも低充填量で高い熱伝導率向上効果が得られるようになった。
- 単一のフィラーでは達成しえない特性を持った素材の開発が可能となり、素材選択の幅が向上した。

想定される用途

- 樹脂用高熱伝導フィラー：TIM(放熱グリース、放熱シート、ギャップフィラー)、封止材等に使用されるフィラー用途
- 3D造形粉末原料：軽量・高耐熱・高熱伝導等の特性を備えた、複雑形状セラミックス部品
- 複合セラミックス原料：少量の機能性フィラー添加による諸特性の向上

実用化に向けた課題

- 実用化に向けたスケールアップ技術を開発する必要がある。
- フィラー毎に最適な複合化条件が異なることがあり、フィラー複合化の原理を解明する必要がある。
- 粒子径の小さい複合フィラーの作製が困難である。

社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装へ取り組みについて記載
基礎研究	バインダーを用いた複合ファイラー作製技術を開発した。	
現在	様々な原料を用いた複合ファイラーの作製が可能となった。	材料提供いただければ、サンプルの試作が可能となった。
1年後	<ul style="list-style-type: none">・スケールアップ技術の開発。・複合ファイラーのレシピ開発。	JST A-STEP研究成果最適展開支援へ応募し研究資金獲得
2年後	<ul style="list-style-type: none">・複合ファイラーを利用したTIM(放熱グリース、放熱シート、ギャップファイラー等)の開発、特性評価。・スケールアップ技術の確立。	開発サンプルの提供
5年後	<ul style="list-style-type: none">・市場投入可能な複合ファイラー作製技術を確立。	放熱用途での複合ファイラーを実用化

企業への期待

- 未解決の「スケールアップ技術の開発」については、フィラーとバインダーの混合手法を最適化することで克服できると考えている。
- 放熱用フィラー製造技術、放熱樹脂製造技術を持つ、企業との共同研究を希望。
- また、TIMを開発中の企業、複合セラミックス材料開発分野への展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。

企業への貢献、PRポイント

- 本技術は、樹脂の高熱伝導化手法における新しい要素技術を提案するものであり、共同研究を行う事でより企業に貢献できると考えている。
- 複合フィラーを活用することで、TIM、封止材の高機能化、軽量化が期待できる。
- 本技術の導入にあたり必要な追加実験を行うことで科学的な裏付けを行うことが可能。
- 導入にあたっての技術指導等を行う事が可能。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 窒化ホウ素被覆熱伝導性粒子及びその製造方法並びに熱伝導樹脂組成物及び熱伝導性成形体
- 特許番号 : 特許第7308426号
- 出願人 : 長野県
- 発明者 : 村野耕平

産学連携の経歴

- 2020年-2021年 JSTA-STEPトライアウト事業に採択

問合せ先

長野県工業技術総合センター 技術連携部門

TEL 026-268-0602

e-mail gijuren@pref.nagano.lg.jp