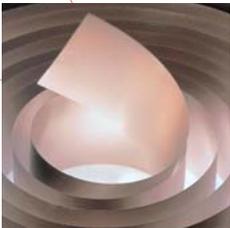
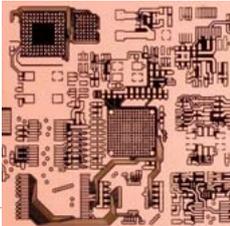
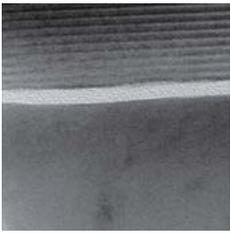


材料

Material

Material 材料 103



ニッケル基超合金により発電効率の向上をめざす A-USC 蒸気タービン用材料

地球温暖化抑制に向けて、石炭火力発電の高効率化、ひいてはCO₂の排出量低減が求められている。石炭火力発電は、ボイラで石炭を燃やして熱エネルギーを発生させ、蒸気タービンで回転エネルギーに変換し、発電機によって発電する。その発電効率の向上には、蒸気の温度と圧力を極力上げる必要がある。日立グループは、高温高压に耐える新しいニッケル基超合金の開発により高効率な石炭火力発電の実現をめざしている。

鉄鋼材料からニッケル基超合金へ

私たちは、より高効率な「A-USC (Advanced Ultra Super Critical: 先進超々臨界圧) 石炭火力発電」の実現をめざして、ニッケル基超合金を用いた蒸気タービンプラントの開発に取り組んでいます。従来の蒸気タービンの材料は鉄鋼材料で、最高の蒸気温度は600℃ですが、蒸気温度を700℃まで上げると発電効率は、従来の40%から46～48%程度まで改善できます。現在、世界全体の電力構成のうち石炭火力は約40%を占めていますが、このA-USC 石炭火力発電を用いれば、CO₂排出量を20%程度削減できるとして大きな期待が寄せられているのです。

ニッケル基超合金は、高温強度に優れるので、飛行機のエンジン部品やガスタービンなど、これまででも高温で使用するべき小型の部品に数多く使われてきました。しかし、これまで製造したことのない10 t以上もの大きな材料を必要とする蒸気タービンのロータをニッケル基超合金で作るためには、大型鋼塊製造性の向上と、700℃以上の高温に長時間耐えられるだけの強度と金属組織の安定性、さらには素材コストの低減を図るなどの研究課題があります。

低コストで高性能なFENIX-700を開発

今回、開発のベースに考えた材料は、大型のガスタービンに用いられているAlloy706というニッケル基超合金です。この材料は大型素材の製造性に優れ、鉄の含有量が多く、コバルトやモリブデン、タングステンなどを含まないために比較的安価である一方、耐用温度は650℃程度という限界がありました。私たちは金属組織の安定性を評価するシミュレーションツールを使って検討した結果、ニオブ

を減らしてアルミニウムを添加することで長時間の劣化に耐え、製造性にも優れたFENIX-700を開発し、耐用温度を700℃まで上げることに成功しました。700℃級のロータ材としての設計目標である10万時間でのクリープ破断強度100 MPaを達成する見込みです。

また、偏析シミュレーション試験および大型鋼塊試作材の断面調査の結果においても、FENIX-700の偏析特性がAlloy706より優れていることを実証しました。現在は、実際に使用される蒸気タービンロータの重量および寸法の開発目標である10 t以上、外径約1,000 mmの大型鍛造品の製作をめざし、製造性の限界に挑戦しています。

蒸気タービンのコンパクト化に寄与するUSC141

600℃級の蒸気タービンのコンパクト化を目的として、日立金属株式会社とともに高強度低熱膨張ニッケル基合金USC141の開発を進めてきました。熱膨張がニッケル基合金より小さい鉄鋼材料に組み込む部品への適用を考え、熱膨張が低いM252をベースに熱間加工性と強度特性を改善した合金です。USC141は、熱膨張を小さくする目的でモリブデンが添加されているため、FENIX-700より高コストですが、10万時間のクリープ破断強度は700℃で160 MPa、740℃でも100 MPaと非常に高くなる見込みです。高強度の材料で蒸気タービンのロータを覆うケーシングのボルトを製造すれば、ボルトを細くでき、フランジを小さくすることで、ケーシングが小さくなります。ひいては、A-USCの蒸気タービンのコンパクト化に寄与することが期待されます。USC141は、タービン動翼および静翼などの小型部材への適用も検討しています。

新素材の開発および信頼性の評価には、溶解、鑄造、鍛造、熱処理および使用中における金属組織の安定性を評価するシミュレーション技術と実証試験が不可欠です。材料開発にいち早くこれらのシミュレーション技術を取り入れてきた強みを生かして、今後も火力発電の高効率化を実現する新素材の開発に注力していきたいと思えます。

日立製作所 日立研究所 材料研究所 エネルギー材料研究部 火力材料ユニットの今野晋也 主任研究員 (左)、電力システム社 火力事業部 火力技術本部 火力技術部の齊藤英治 主任技師 (右)



※) 本研究の一部は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託事業「エネルギー使用合理化技術戦略開発/700℃超級超々臨界圧発電用蒸気タービン新材料の研究開発」、および、資源エネルギー庁の補助事業「先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発」の一環として行われたものである。

材料

環境に配慮した製品の開発には、有害物を使用せず、リサイクルが可能で、CO₂の発生も抑制する高機能な材料技術が必要となる。日立グループは、ナノレベルの微小組織から大型構造物までを網羅する材料・加工技術で、電子部品から火力・原子力発電設備などの幅広い分野に貢献している。省エネルギーや装置・設備の小型・軽量化をさらに加速する特殊素材や複合材料、接合技術などの開発を推進している。

酸化銀マイクロ粒子を用いた高温環境向け鉛フリー接合技術 1

産業機器に用いられる電子部品は、電流の高密度化に伴って半導体素子の動作温度が高温になる傾向があり、高温環境下での高い信頼性が要求されていた。またSiCなどの新デバイスでは、高放熱性と高耐熱性を有する接合材料が望まれていた。一方、これまでの高温環境向け接合材料は鉛を多く含んだ材料が使用されていたが、近年では環境保全の観点から、有害な鉛を含まない接合材料が求められている。

このような背景を踏まえ、低コストな酸化銀マイクロ粒子を用いた新たな鉛フリー接合技術を開発した。

この技術は、多くの電子部品に用いられるアルミニウムやチタンなどの電極と直接接合できるという特徴がある。これらの電極材は表面に強固で安定した酸化物層を形成しているため、鉛やスズを主原料とする従来の接合材では、この酸化物層を除去する必要があった。今回、酸化銀マイクロ粒子が

還元する際に生じる発熱反応が、これらの酸化物層に対する接合に有効であることを見いだした。また、同様に表面酸化物層を有するシリコンやSiCとも接合できることを確認している。

バイオマス由来エポキシ樹脂を用いた銅張積層板 2

バイオマスは大気中のCO₂を動植物が固定化したものであり、特に木材を原材料とする未利用の木質バイオマスは、2007年で約500万tに達し、それらに含まれる炭素源を用いた樹脂(プラスチック)が、石油を原料とする樹脂に代わる素材として注目されている。

今回、木質バイオマスのリグニンを主原料とし、合成の際の触媒を調整することでエポキシ樹脂の分子量を低く制御することにより、有機溶剤可溶性エポキシ樹脂の合成に成功した。作製したエポキシ樹脂の硬化物のガラス転移温度は200℃以上と高く、プリント回路基板を試作した結果、絶縁性などの特性が石油由来のプリント回路基板

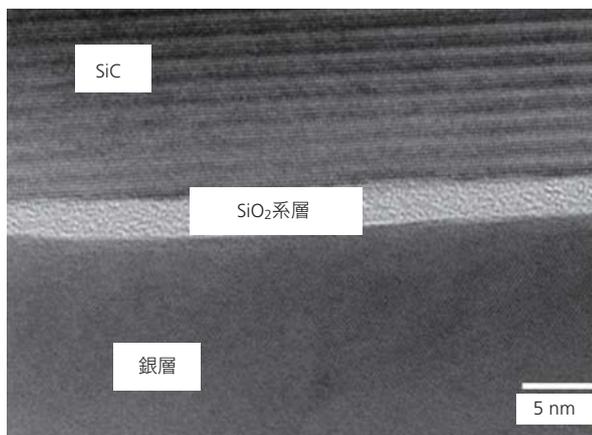
と同等であることを確認している。これは、木質バイオマスのリグニンから作製したエポキシ樹脂の実用化の道をひらくもので、生物由来の再生可能な資源を活用し、資源循環型社会の実現に向けた技術である。

なおこの成果は、徳島大学、横浜国立大学と共同で開発したものである。

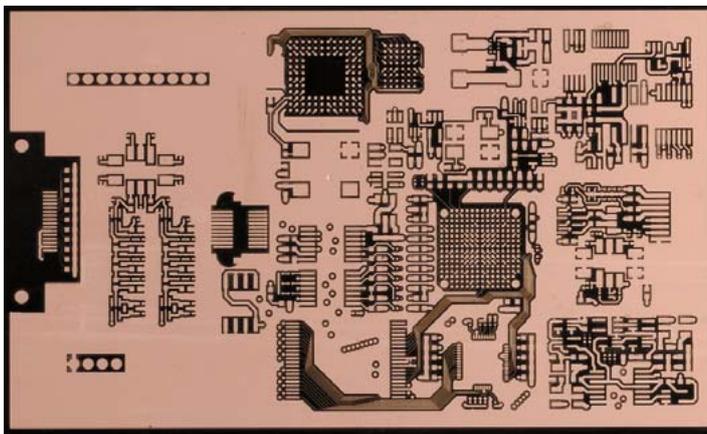
厚板レーザ溶接技術 3

レーザ溶接は、レーザ光線のエネルギーを利用する溶接である。エネルギー密度が高いため、溶け込み深さが大きい接合ができるとともに、溶接時間の短縮も可能であることから、高い品質と生産性を兼ね備えた接合技術として注目されている。

今回、大阪大学接合科学研究所と共同で、レーザ溶接時に、溶融部を保護するシールドガスを高速で噴射する「ガスジェット方式レーザ溶接技術」を開発し、レーザの出力を増大させることなく溶け込み深さを約40%増大



1 SiCとの接合部界面



2 リグニンを主原料としたエポキシ樹脂から試作したプリント回路基板(90×55 (mm))



3 出力10 kWでステンレス (SUS316L) をレーザー溶接した場合の溶け込み形状 4 グラフェン作製前後のサファイア基板と作製したグラフェンの走査型トンネル顕微鏡像

させた。これにより、現在使用している出力より低い出力で、同程度の溶け込み深さが得られることから、レーザー出力を最大で50%抑制し、溶接における消費電力の低減が可能となる。

また、このガスジェットを用いて溶接時に発生する金属蒸気(ブルーム)を大幅に抑制する「ブルーム抑制技術」を開発し、溶接の安定化と環境負荷の低減を実現した。

これらの技術により、従来に比べて低消費電力で環境に配慮した接合が可能になり、原子力・火力発電の機器などを溶接する技術として、2011年ごろの実用化をめざしている。

熱気相成長法による グラフェン成長技術

4

炭素がハチの巣構造に並んだ厚さ0.34 nmの単原子層のシートであるグラフェンを、量産に適した熱気相成長法を用いて層数を制御しながら、電子デバイス作製に適したサファイア基板上に作製することに世界で初めて成功した。グラフェンは、シリコンの数十倍以上の電子移動度を有する材料であり、将来の超高速ネットワーク時代に向けた高速電子デバイスへの応用が期

待されている。

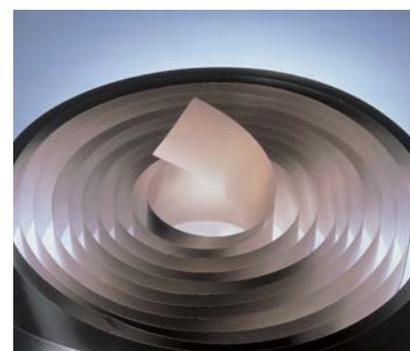
今回、サファイアがグラフェン成長に対する触媒活性を有することを見だし、金属触媒を用いることなく、一層から数層のグラフェンを、サファイア基板表面に直接作製する技術を確認した。さらに透明なサファイア基板を用いることにより、グラフェン一層の光透過率が97.7%であることを利用し、光透過率測定という簡便な方法で、グラフェンの層数を決定する技術も開発した。

この技術は、東北大学と共同開発したものであり、今後、グラフェンを用いた高速電子デバイス、透明電極、触媒、センサー、機能性コーティング材料としての実用化・量産化のためのコア技術に発展させていく予定である。

配電変圧器用 高性能アモルファス合金

5

アモルファス合金を用いた配電変圧器は、方向性電磁鋼板を使用した配電変圧器に比べて無負荷損失が小さく、省エネルギーで環境負荷の低減を期待できることから、需要が拡大している。しかし、サイズが大きくなり、騒音も大きいなどの問題が指摘されており、これ



5 配電変圧器用高性能アモルファス合金

らを改善できるアモルファス合金の開発が望まれていた。

この要求に応えるため、飽和磁束密度を従来のアモルファス合金の1.56 T (テスラ) から1.64 Tに高めるとともに、B-Hループの形状をより高角型化した高性能アモルファス合金を開発した。開発した高性能アモルファス合金を配電変圧器に用いることで、従来のアモルファス合金を用いた場合と同等の無負荷損失で、小型化および低騒音化が可能となる。

(日立金属株式会社)

新世代汎用 プラスチック金型用鋼 「HPM-MAGIC」

6

家電製品、事務用品、自動車部品などのプラスチックを成形する高精密金



6 「HPM-MAGIC」の加工例



7 ガソリンターボエンジン用エキゾーストマニホールド

型用鋼として「HPM-MAGIC」を開発した。

プラスチック金型用鋼は、被削性、溶接性、耐久性、低コスト化が必要とされ、これらをバランスよく満足する鋼種開発が要求されていた。HPM-MAGICは、マイクロ組織制御や非金属介在物組成制御技術を組み合わせることで、これに成功したものである。

[主な特徴]

- (1) 優れた被削性と鏡面仕上げ性の付与により、型製作のリードタイムが短縮され、製造効率の改善が可能となる。
- (2) 耐久性と溶接補修性に優れるため、新製品立ち上げ時に発生しやすい型割れの危険性が低下する。

(日立金属株式会社)

**ガソリンターボエンジン用
排気系耐熱鋳鋼部材
「HERCUNITE A3K」**

7

CO₂排出量の削減が求められる昨今、自動車の燃費向上は重要課題であり、その燃費向上技術の一つに、過給器を搭載したダウンサイジングガソリンエンジンがある。

このエンジンは理論空燃比で燃焼させるため、従来のエンジンと比べて排出ガス温度は高く、1,000℃を超える場合もある。このため、排気マニホールドなどの排気系部材には、耐熱鋳鉄よ

り耐熱性の高い耐熱鋳鋼が必要となり、一般にメタル温度1,000℃の排気系部材には25Cr-20Ni系や18Cr-37Ni系の耐熱鋳鋼材が使用される。しかし、CrやNiといったレアメタルの価格高騰により、レアメタル含有量を低減した材料の開発が急務となっていた。

そこで、より低合金の20Cr-10Ni系をベースに材料組成を詳細に検討してメタル温度1,000℃に耐えられる「HERCUNITE A3K」を開発した。A3Kは排気量2,000 cc (mL) 以下にダウンサイジングした過給器付きエンジンに採用され始めている。

(日立金属株式会社)

**加速器マグネット用
Nb₃Al 超電導線材**

8

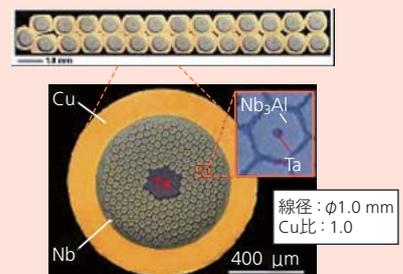
欧州原子核研究機構のLHC (Large

Hadron Collider : 大型ハドロン衝突型加速器) では、陽子ビームを加速して正面衝突させることで、さまざまな素粒子反応に伴う実験が計画されている。さらに、ビームの衝突頻度を高めて実験の効率を向上させるためのアップグレード計画も進行している。

このアップグレードには、ビームを収束させる超電導マグネットの磁場を、現状の9 Tから12 T以上に上げることが必要であり、マグネット用超電導線材もNbTiから化合物系に代える内容での取り組みが推進されている。日本においては、大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構、独立行政法人物質・材料研究機構、日立電線株式会社が共同で、RHQT (Rapid Heating, Quenching and Transformation : 急熱急冷・変態) 法 Nb₃Al線材を適用するために開発を進



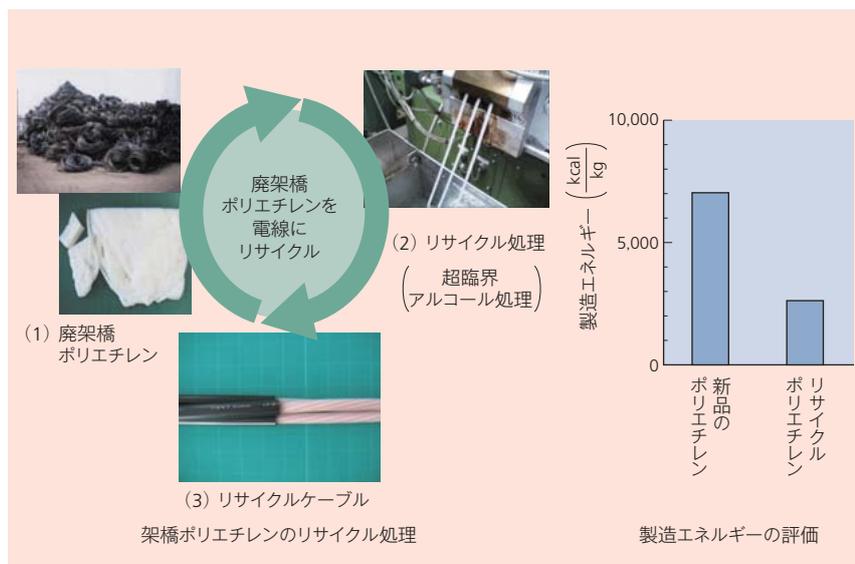
http://mediaarchive.cern.ch/MediaArchive/
LHC 加速器の一部



Presented by A.Kikuchi at MT20.

加速器用 Nb₃Al線材

8 LHC加速器の一部(左)と加速器用Nb₃Al線材(右)



9 シラン架橋ポリエチレンのリサイクル処理

めている。

この線材の最大の特徴は、加速器用導体として燃(より)線構造で使用した際の電磁力による高い応力下で、超電導特性の劣化が Nb_3Sn 線材に比べて約 $\frac{1}{5}$ 程度に少ない点である。また、運転時の磁場変動に伴って発生する可能性のある低磁界不安定性を抑えるために、タンタルバリア構造も採用している。

今後、加速器用線材の実現に向けて長尺化と高性能化をさらに進めていく。(日立電線株式会社)

超臨界流体による 電線ケーブル被覆用 架橋ポリエチレンのリサイクル技術

循環型社会の構築に向け、リサイクルの必要性が高まっている。ケーブル被覆材として大量に使用されているシラン架橋ポリエチレンは、分子間をシロキサン結合で橋かけして耐熱性を高めているために熔融成形できず、マテリアルリサイクルが進んでいなかった。

これに対し、シラン架橋ポリエチレンを高温高圧の超臨界アルコールで処理してシロキサン結合を分解し、熔融成形可能なポリエチレンに戻す技術を開発した。

[主な特徴]

- (1) リサイクルポリエチレンの物性は新品のポリエチレンと同等で、ケーブル被覆材として再利用できる。
- (2) 樹脂成型用の押出機を超臨界流体用の反応容器として用いた新しいプロセス技術により、連続処理が可能になった。
- (3) EPR (Energy Profit Ratio : エネルギー収支比) の考え方をういて1 kgのポリエチレンを製造するために必要なエネルギーを求めた結果、新品のポリエチレンよりも少ないエネルギーでリサイクルポリエチレンを製造できることが証明された。

今後は本格的な実用化をめざすとともに、他のプラスチックリサイクルな

どへの応用展開を図る。なお、この研究の一部は独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託研究として行ったものである。(日立電線株式会社)

大電流対応 150℃ 耐熱ハロゲンフリー 難燃 HEV ケーブル

10

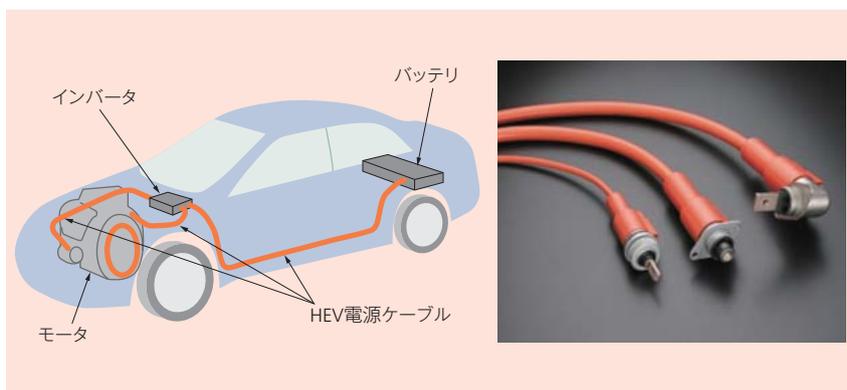
HEV (Hybrid Electric Vehicle : ハイブリッド電気自動車) の大電流通電に対応した電源ケーブルを開発した。

約200 Aの大電流による温度上昇と環境負荷を考慮して、ケーブルの被覆材料には新規開発の耐熱ハロゲンフリー難燃材料を適用している。これは、フッ素またはシリコン以外の材料では達成できなかったHEV環境に最適な150℃クラスの耐熱性を、ハロゲンを含まない難燃ポリオレフィン材料で実現したものである。

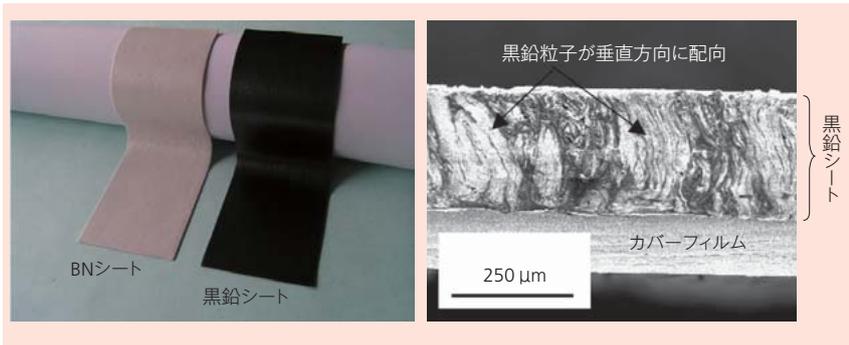
今後はHEV用電源ケーブルとして広く展開していく予定である。

[主な特徴]

- (1) 被覆材料はハロゲンや重金属を含まず環境負荷の低いエコマテリアルである。
- (2) 新規ポリマーの採用と酸化防止剤処方最適化により、150℃の耐熱性を達成した。
- (3) 柔軟で配線作業性に優れている。(日立電線株式会社)



10 HEV電源ハーネスの配線イメージ(左)と電源ケーブルの外観(右)



11 BNシート、黒鉛シートの外観(左)とシートの断面の画像(右)

11 金属並みの高熱伝導性を有するフレキシブル熱伝導シート

半導体素子の高集積、高速化に伴い、素子の発熱量は年々増大している。素子の発する熱を効率よく伝達するためには、金属並みに熱伝導性が高く、ゴムのように柔軟な材料が必要とされる。

従来では達成することができなかったこれらの特性の両立を試み、独自開発した薄片状の黒鉛粒子を柔軟な樹脂中に分散した熱伝導シートを開発した。開発した黒鉛粒子は柔軟性と高い熱伝導率を両立しており、かつ黒鉛特有の高い耐熱性を有している。

開発した熱伝導シートの最大の特徴は、この黒鉛粒子をシートの上下方向に精密に配向制御したことにある。これにより、ランダムに分散した場合に比べ、熱伝導率を100倍程度改善でき、金属並みの優れた熱伝導率(90 W/m・K)を実現した。また、配向した黒鉛

粒子が半導体素子と冷却モジュールをダイレクトかつフレキシブルに接合するため、接触界面での熱伝導のロスがきわめて小さい。

さらに、この配向制御技術を用いて、黒鉛の代わりに窒化ホウ素(BN)を用いた絶縁熱伝導シートも合わせて開発した。このシートは、柔軟な絶縁系部材としてはきわめて高い熱伝導率10~20 W/m・Kを実現している。

開発した熱伝導シートは、PCのCPU(Central Processing Unit)やパワーモジュール、LED(Light Emitting Diode)など、放熱を必要とする分野への幅広い適用が期待される。

(日立化成工業株式会社)

12 絶縁性と高熱伝導性を両立する接着シート「ハイセット」

電子部品は、大電流化と小型化に伴って発熱量が増大し、いかにして放

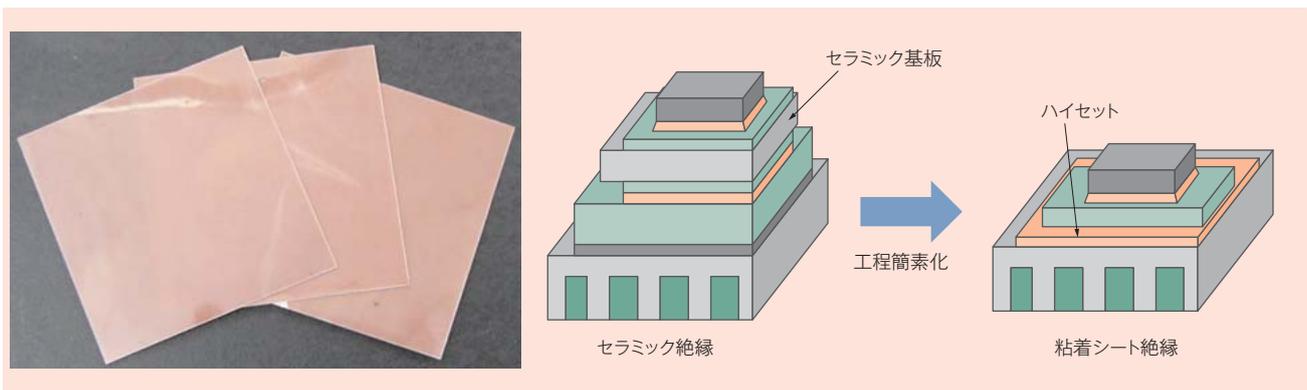
熱するかという課題に直面している。熱伝導性を高めるためには、セラミック系フィラーを高充填(てん)化する方法が一般的であるが、フィラー量が多すぎると柔軟性が損なわれ、絶縁信頼性や接着性が低下する。そのため、トレードオフの関係にある絶縁性と高熱伝導性を両立する樹脂材料が求められていた。

今回、日立製作所と日立化成工業株式会社が共同で開発したナノレベルの高次構造を制御して絶縁性と熱伝導性を両立したエポキシ樹脂をベースに、信頼性の高い丸み形状のフィラーを適量配合した接着シート「ハイセット」を開発した。

樹脂自体の熱伝導率を高め、効率的にコンポジットの熱伝導率を向上したことや、フィラー量を最適化して絶縁、接着信頼性を高めたことが特徴である。さらに半硬化状態にあるシートが柔軟性に優れ、部品などに容易に圧着、熱硬化して使用できる。この「ハイセット」には、熱伝導率が5 W/m・K、10 W/m・Kの2種類がある。

インバータ、LED照明、コンピュータ周辺機器などの電子部品の発熱に対するセラミック基板代替としての展開が期待される。

(日立化成工業株式会社)



12 高熱伝導絶縁接着シート「ハイセット」の外観(左)と使用例(右)