

地球環境に貢献する高機能材料

Innovative Materials for Global Environment

村上 元 上原 利弘 中島 晋 関口 謙一郎
Murakami Hajime Uehara Toshihiro Nakajima Shin Sekiguchi Kenichiro
石井 義人 末永 和史 西 甫
Ishii Yoshito Suenaga Kazufumi Nishi Hajime

CO₂排出量を削減するための火力発電の高効率化や、環境への負荷を低減した自動車などは、これまでにない高耐熱材料や革新的なカーボン材料など、数多くの高機能材料に支えられている。また、植物由来の材料や鉛を使わない材料など、環境への負荷の少ない材料への要求はますます高まっている。

日立グループは、低炭素社会を実現する社会インフラシステムを支える高機能材料や、環境に配慮した新たな材料創生を通じて、地球環境保全に貢献している。

1. はじめに

東日本大震災からの復旧・復興のためにも、安定した電力供給力の確保が急がれる一方、温暖化対策も避けて通れない重要な課題である。こうした中、CO₂の排出量を削減した環境配慮型の火力発電や、再生可能エネルギーの利用を支える高機能材料の重要性はますます高まっている。

また、植物由来の原料を使った樹脂への期待や、規制範囲を超えて、幅広い分野で鉛フリー化が求められるなど、環境に配慮した材料に対する期待も大きい。

ここでは、環境配慮型社会を根底から支える日立グループの高機能材料について述べる。

2. CO₂排出の抑制に貢献する高機能材料

火力発電の高効率化や再生エネルギーの利用、さらには自動車のハイブリッド化など、CO₂の排出を抑制するために、さまざまな技術開発が進められている。

日立グループの高機能材料は、CO₂排出を抑制する各種システムの実現に大きく貢献している。

2.1 高効率火力プラントを支える高機能材料

火力発電プラントの高効率化のために蒸気温度の高温化が進められている。すでに600℃級のUSC (Ultra

Super Critical：超々臨界圧発電) プラントが実用化され、さらに700℃級のA-USC (Advanced-USC：先進超々臨界圧) 発電プラントの開発が着手されている。日立製作所と日立金属株式会社は、高効率化の要求に対応するため、高温強度が従来よりも高いタービン材料を開発してきた。例えば、USC用には、高温強度の高い12%Crフェライト系耐熱鋼「TAF650R」を開発し、600℃級USC火力発電タービンのブレードおよびボルトに適用した。また、最近ではA-USC用の高強度Ni基合金「USC141」を開発し(図1参照)、700℃級A-USC石炭火力発電タービンなどへの適用を検討している。

2.2 太陽光発電システムを支える高機能性材料

(1) 太陽電池用集電配線材

太陽電池は発電コスト低減の観点からモジュールの低価格化が望まれており、その手段の一つとしてセルの薄型化が進められている。しかし、薄型化したセルは、セルとセルを配線で接続する際に、反りや割れが起きやすくなるため、セルへの負担を軽減する集電配線材が求められている。

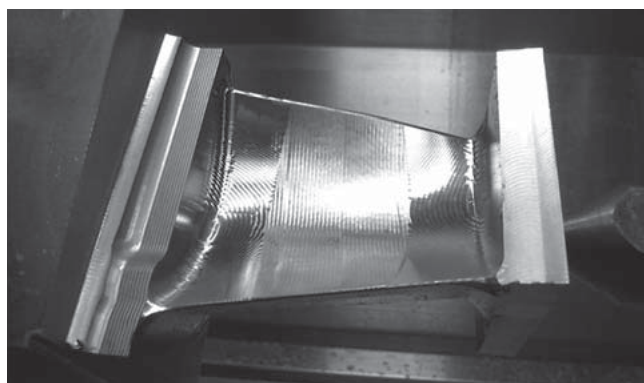


図1 | 高強度Ni基合金「USC141」で試作した動翼
700℃級A-USC石炭火力発電タービンへの適用をめざし、高強度Ni基合金「USC141」を開発した。

日立電線株式会社のはんだめっき平角線「NoWarp」は、高い伝導率と柔軟性を両立させることで、太陽電池製造の配線工程において、セルの反りを軽減し、品質の向上と生産コストの低減に大きく貢献している。また、NoWarpは環境に配慮した鉛フリーはんだにも対応している（図2参照）。

(2) 太陽光発電システムを支えるアモルファス合金

太陽光発電システムでは、太陽電池で発電した直流電力を交流電力に変換するパワーコンディショナ（インバータ）の効率向上が課題であり、これに使用されるリアクトルの損失低減が要求されている。アモルファス合金を用いたリアクトルを使用すると、6.5%Siケイ素鋼リアクトルに対し損失の低減が可能である（図3参照）。

また、太陽光発電システムを電力系統に接続する配電変圧器に、ケイ素鋼変圧器よりも高効率なアモルファス変圧器¹⁾を使用することで損失低減が図れる。なお、ケイ素鋼変圧器に比べアモルファス変圧器は大型化する問題があっ



図2 | 太陽電池配線用はんだめっき平角線「NoWarp」
はんだめっき平角線「NoWarp」は太陽電池製造の配線工程において、セルの反りを低減し、品質の向上と生産コストの低減に貢献する。

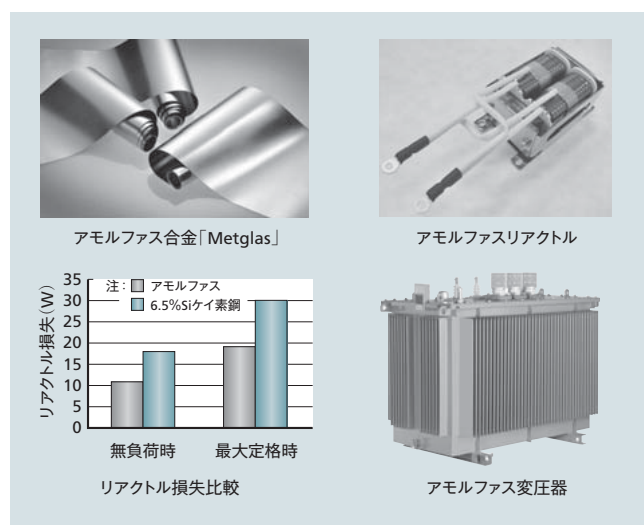


図3 | アモルファス合金「Metglas」およびMetglasを用いた太陽電池用リアクトルと変圧器

アモルファス合金「Metglas」は、パワーコンディショナや配電変圧器の損失を低減し、太陽電池システムの効率向上に貢献する。

たが、高磁束密度アモルファス合金「Metglas 2605HB1」の製品化によって改善が図れるようになった²⁾。

2.3 環境対応型自動車を支える高機能材料

(1) 高性能リチウムイオン電池を支える負極材料

近年、ハイブリッド自動車、電気自動車などには、環境性能を向上できるリチウムイオン電池が搭載されている。リチウムイオン電池に使用されているカーボン負極材は、電池性能を左右する重要な役割を担っている。例えば、ハイブリッド自動車用の負極材には、加速時の放電と減速時の回生充電を安定かつ急速に実現できる特性が求められる。日立化成工業株式会社のアモルファス炭素負極材（図4参照）は、リチウムイオンが炭素中に入り出しやすい構造に制御されており、かつ、充放電時の炭素の構造変化を低減させたことで、高い電池性能を実現できる。

また、電気自動車やプラグインハイブリッド自動車には、長距離走行に対応できる高いエネルギー密度の電池が必要となる。そこで、特殊な粒子形状に制御したグラファイト粒子を負極材料に適用することで高密度化を可能にした。さらに、負極材表面の炭素構造に傾斜機能を付与し、電解液や温度に対する電極材料の構造を安定化させることができ、電池の長寿命化と高安全化を両立している。

(2) ディーゼル排出ガス浄化用セラミックフィルタ

世界的な排出ガスの規制強化とともに、ディーゼルエンジンの排出ガスに含まれるPM（Particulate Matter：粒子状物質）を大幅に削減することが求められており、PMを捕集するフィルタが必要となっている。日立金属のセラミックフィルタ「セラキャットフィルタ」（図5参照）は、高気孔率の大型一体成形構造（標準サイズ：直径266.7 mm、長さ304.8 mm）であり、コーディエライト（ $5\text{SiO}_2 \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{MgO}$ ）を主成分とし、マクロ構造（セル構造）



図4 | 高性能Liイオン電池を支えるカーボン負極材

日立化成工業株式会社のアモルファス炭素負極材は、ユニークな炭素構造により、高容量かつ放電負荷特性に優れたリチウムイオン電池を実現する。

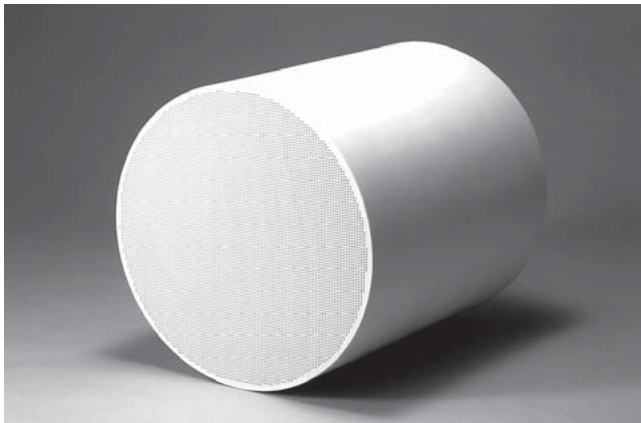


図5 | 大型ディーゼルエンジン用「セラキャットフィルタ」

セラキャットフィルタは、マクロ構造とミクロ構造の最適化を図ることで、PMの高い捕集性能だけでなく、圧力損失低減により低燃費にも貢献する。

とミクロ構造（細孔構造）の最適化を図ることで、PMの高い捕集性能のみでなく、圧力損失も低減し、低燃費に貢献している。現在、商用車などの大型ディーゼルエンジンに適用されている。

3. 生態系保全への取り組み

現在の生活は、樹脂など多種多様な化学物質を使用した製品やサービスに支えられている。これらの物質の多くは、石油などの枯渇性資源に依存している。また、化学物質の中には、人の健康や生態系に有害となり得るものが少なくない。生態系保全への意識が高まる中、循環型資源であるバイオマスの利用や、環境に配慮した材料が強く求められている。

日立グループは、これまで鉛が使われていた材料を代替する新たな高機能材料や、バイオマスを原料とする材料技術の開発を進めている。

3.1 鉛フリー化の推進

(1) 環境適合バナジウム系低熔点ガラス

鉛を多く含む低熔点ガラス封止材は、ICセラミックパッケージ、水晶振動子、MEMS (Micro-electromechanical Systems)、半導体センサーなどの気密封止に広く用いられている。しかし、環境や信頼性の観点から新規封止材料が求められている。

日立製作所と日立化成工業は、鉛などの規制物質やハロゲンを含むせず、かつ高い信頼性を実現した独自の環境適合バナジウム系低熔点ガラス「Vaneetect (バニーテクト)」を開発した（図6参照）。Vaneetectはバナジウムの価数を制御することでガラス構造を層状から三次元的な網目構造としている。その網目の中にイオン半径の大きな元素や低融性の元素を導入することで、350～400℃という低温での気密封止と、従来の鉛系ガラス以上の高い耐湿性を両立

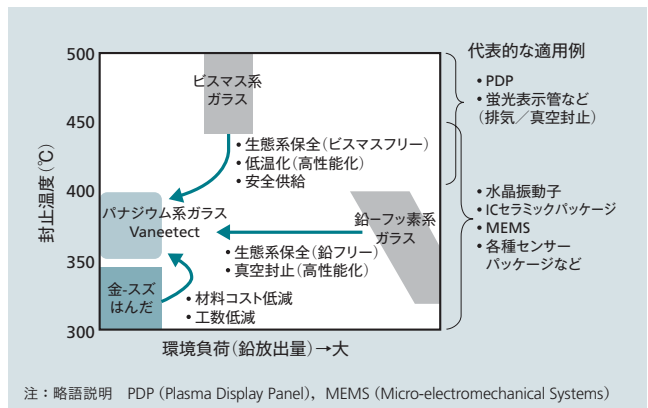


図6 | 環境負荷低減に貢献するバナジウム系低熔点ガラス「Vaneetect」

Vaneetectは、封止材料の鉛フリー化、ハロゲンフリー化を実現する。

した。また、熱膨張係数を幅広く調整可能であり、ガラス、セラミックス、金属、半導体を接合することができる。

(2) 鉛フリー圧電薄膜材料の開発

近年、圧電材料は薄膜化によって、高精細インクジェットプリンタのヘッドや角速度センサーなどへ広く適用されている。しかし、圧電薄膜材料は鉛を高濃度に含有するため、環境上の観点から代替材料が強く求められてきた。

日立電線は焼結体において優れた圧電特性を示す鉛を含まない (K, Na) NbO₃ (以下, KNN と記す。) に着目し、量産実績のあるスパッタリング法によって、高c軸配向かつ低残留応力のKNN膜を、直径100 mmのウェーハサイズで実現した。開発した圧電薄膜は、既存の鉛系圧電薄膜と同等の100 pm/V以上の圧電定数を達成し、実用レベルの鉛フリー圧電薄膜として期待されている（図7参照）。

3.2 植物由来樹脂の活用

木材を原料とする未利用の木質バイオマスは、石油を原料としている樹脂に替わる資源循環型社会の素材として注目されている。すでにポリ乳酸などのバイオマスを利用した樹脂は、電子機器の筐（きょう）体や車の内装などへの



図7 | 4インチ径シリコン基板上に製膜した (K, Na) NbO₃ 圧電薄膜
スパッタリング法により高c軸配向かつ低残留応力を実現し、世界で初めて実用レベルの鉛フリー圧電膜の開発に成功した。

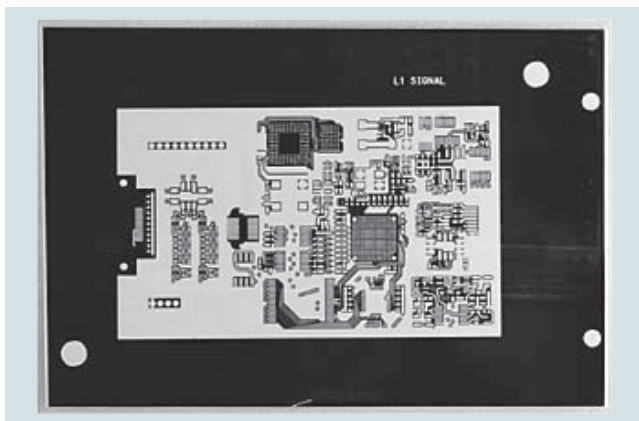


図8 リグニンを主原料とするエポキシ樹脂を用いたプリント回路基板試作品
開発したリグニンを主原料としたエポキシ樹脂は、耐熱性や絶縁性など、石油を原料とするエポキシ樹脂を用いた場合と同等の特性を持つ。

適用が進んでいる。しかし、回路基板、発電機や受変電設備など、高い耐熱性と絶縁性が求められる部材への適用には至っていない。

従来、高い耐熱性や絶縁性を有するエポキシ樹脂は、バイオマスを主原料にすると有機溶剤に溶けないため、多様な形に成形できなかった。日立製作所は徳島大学、横浜国立大学と共同で、木質バイオマスに含まれるリグニンを主原料とし、有機溶剤に溶けるエポキシ樹脂を開発した。さらにリグニンを硬化剤として用いることで、200℃以上のガラス転移温度を有する高耐熱のエポキシ樹脂硬化物の作製に成功した。

開発したエポキシ樹脂を用いたプリント回路基板（図8参照）は、石油を原料とするエポキシ樹脂と同等の耐熱性や絶縁性などの特性を有することを確認した。今後、産業機器などの分野で実用化に向けた研究開発を推進していく。

4. おわりに

ここでは、有害物質の削減や低炭素社会に貢献する日立グループの高機能材料について述べた。

今後も低炭素社会を実現するために、社会インフラシステムを支える高機能材料や環境に配慮した材料創生を通じて地球環境の保全に貢献していく。

参考文献

- 1) 稲垣，外：地球環境保全に貢献するアモルファス変圧器，日立評論，93，2，223～227（2011.2）
- 2) A. Sato, et al. : Development of distribution transformer based on new amorphous metals, CIRED2009 Session 4 Paper No. 0474（2009）

執筆者紹介



村上 元

1992年日立製作所入社，日立研究所 材料研究センタ 所属
現在，環境社会に貢献する材料および材料プロセスの研究開発に従事



上原 利弘

1985年日立金属株式会社入社，安来工場 冶金研究所 所属
現在，自動車・航空機・エネルギー関連の金属材料開発に従事
博士（工学）
日本鉄鋼協会会員，日本金属学会会員



中島 晋

1982年日立金属株式会社入社，軟磁性材料カンパニー 営業企画部 所属
現在，変圧器用アモルファス合金の開発企画業務に従事
電気学会会員



関口 謙一郎

1994年日立金属株式会社入社，ロールカンパニー セラミックス事業推進部 所属
現在，セラミックス事業の企画およびセラミックス製品の開発，製造に従事
博士（工学），技術士（金属部門）
自動車技術会会員，日本機械学会会員，日本材料学会会員



石井 義人

1992年日立化成工業株式会社入社，機能材料事業本部 無機材料事業部 無機材料開発部 所属
現在，リチウムイオン電池用負極材の研究開発に従事
炭素材料学会会員，電気化学会会員，日本化学会会員



末永 和史

1991年日立製作所入社，日立電線株式会社 技術研究所 先端電子材料研究部 所属
現在，鉛フリー圧電薄膜材料の研究開発に従事
博士（理学）
応用物理学会会員，日本物理学会会員



西 南

1998年日立電線株式会社入社，技術研究所 高分子材料研究部 所属
現在，電線ケーブル用の高機能材料の研究開発に従事
博士（理学）
日本トライボロジー学会会員