

## TODAY

国際銅加工業者協議会 (IWCC)  
理事会に参加して

一般社団法人  
日本伸銅協会 (JCBA)  
専務理事 桑山 広司

日本伸銅協会の専務理事の桑山と申します。今年の3月に、亀井氏の後任として専務理事に就任いたしました。JRCMの評議員もさせて頂いております。今後ともどうぞよろしくお願いいたします。

さて、当方が理事を務めている国際銅加工業者協議 (IWCC: International Wrought Copper Council) の理事会が去る5月バンコクにおいて開催されたので、IWCCの紹介も兼ねて、世界の銅加工業者の最近の議論の様子などをお話したいと思います。

IWCCは、1953年にヨーロッパの10銅加工企業によって発足し、現在は世界の銅・銅合金加工企業社150社が参加する団体となっています。主な参加企業としては、欧州では、KME、Wieland、Nexan、La Fargなど、米国では、MuellerやFreeport McMoRan、アジアでは、中国のNingbo Boway Alloy MaterialやWalsin Liwha、マレーシアのMetrod、そして日本からは、電線6社と伸銅10社を会員とする日本銅加工業者協議会 (JWCC) などです。このJWCCは、IWCCへ組織で対応するために1968年に設立されました。現在の会長は、住友電工 (株) の井上社長に務めて頂いております。JWCCからは、井上社長と三菱マテリアル (株) 高機能製品カンパニープレジデントの石井利昇氏と私がIWCCの理事を務めています。

これまで、IWCCでは、組織の活性化のための会員獲得やLMEへの対応が主な議論でした。このLMEへの対応というのは、兎角、投機筋の影響で、銅の価格が実態以上に変動することに対し、LMEとしてしっかり値動きを監視して、その対策を講じるように要請することです。IWCCとしては、銅価格の高騰によって部材としての銅製品がアルミのような他の材料に代替されるリスクを強く認識しているがための対応です。

今回の会合では、欧州の炭素国境調整メカニズム

(CBAM: EUが、EU排出量取引制度 (EU ETS) などの温室効果ガス削減規制を強化する中で、規制の緩いEU域外への製造拠点の移転や域外からの輸入増加対策として、EU域内の事業者がCBAMの対象となる製品を域外から輸入する際に、域内で製造した場合にEU ETSに基づいて課される炭素価格に対応した価格の支払いを義務付けるもの) や米国のインフレ抑制法が、いわゆるブロック経済化を推進することになりかねないため、銅加工業にとって自由な事業展開を図るためのロビー活動の在り方などの意見交換が行われました。これら制度の実際の影響は今後明らかになるため、継続した意見交換が行われる予定です。

そして、昨年から議論が盛んに行われてきているのが、カッパーマーク (CM) についてです。CM自体は、国際銅協会 (ICA) によって設立されたもので、銅鉱山及び製錬所において、不正労働力や紛争鉱物を扱わず、社会・環境に配慮した事業活動を証明する事業所の認証制度として制度設計され、既に40近くの事業者が認証を取得しています (世界の銅鉱石生産量の25%に当たる)。現在、この制度を銅加工業に活用できないかという議論です。

この背景には、IWCC側 (特に、欧州メンバー) が顧客や株主、政府等からのESG対応への圧力にワンストップで対応する制度を強く欲していること、CM側は、銅鉱山・製錬所向けのみならず下流のサプライチェーンへの適用拡大を図りたい (林業のFSC、漁業のMSCを念頭) といった思いがあり、昨年後半から、IWCC欧州会員を中心としてCMの間で性急な議論の進展が図られました。

しかし、今回の会合では、いったんストップがかけられました。それは、銅加工業者にとってCM制度が本当に期待するものになれるか不信感が表面化したからです。銅加工業自体の専門性の少ないCM側に、再度、制度設計をして進むべき方向を認識させる作業から行うことになりました。

ただ、CM制度を活用するという、IWCCの基本路線は変わりそうにないので、JWCCとしては、引き続き議論の行方を注視しながら、将来のCM制度の活用を見越した関与を継続していくこととしています。

**令和2年度採択 戦略的基盤技術高度化支援事業**  
**「次世代自動車電動部品向け新規高熱伝導性薄物シート連続製造技術の開発」**  
**株式会社高木化学研究所**  
**GL 永谷裕介、主任 渡邊大輔、主席研究員 松山一夫、代表取締役 高木優州**

**1. 研究開発の背景**

自動車業界はCASEやMaaSといった著しい技術革新の只中にあるが、特に、SDGsやESG投資といった世界的な環境意識の高まりの中、燃料電池車(FCV)や電気自動車(EV)の普及拡大に向けた取組が進められている。こうした状況下、FCVの普及にはそのコストが、EVの場合は電力変換系(電源)の効率化や二次電池の容量増大がボトルネックになっている。低コストで高効率な材料の製造技術の開発や採用が喫緊の課題である。

**2. 開発の目的および実施体制**

本事業は、FCVの燃料電池用セパレータ、EVの次世代パワーデバイス用サーマルインターフェイス材料(TIM)に活用するため、その要求特性を満足する熱可塑性樹脂をベースとする新規有機材料および低コストで高効率な高機能性薄物シートの連続製造技術の開発を目的とした。管理法人JRCMのもとに、材料の基盤研究には豊橋技術科学大学の松本研究室、材料および燃料電池評価にはあいち産業科学技術総合センター、パワーデバイスプロトタイプ的设计・作製・評価解析には名古屋大学山本研究室、また材料開発面は豊橋技術科学大学名誉教授竹市力氏、パワーデバイスの実装面は(株)デンソーの神谷有弘氏をアドバイザーに迎え、更に薄物シートの試作実験にはダブルベルトプレス機メーカー、自動車部品製造メーカーおよび基板実装には電子基板試作メーカーの協力を得て当該サポイン事業を進めることができた。

**3. 開発成果**

**3.1 薄物シートの機能性・耐久性の向上**

**(1) 薄物シートの特性および製品ラインアップ**

材料開発の指針となる燃料電池用セパレータおよび次世代パワーデバイス用TIMの要求項目および特性を表1に示す。熱伝導性フィラーとして、扁平状のグラファイト(導電性)[GR]または六方晶窒化ホウ素(絶縁性)[BN]と、多様な特性を有する熱可塑性樹脂(主にエンブラ)、エラストマー等の粉末樹脂とを、下記(2)項で述べるメカノケミカル合成技術を駆使して材料を均一に混合し、粉体コンパウンドを得て、下記3.2項で述べる超高温・超高压ダブルベルトプレス機を用いて加圧・加熱溶解/冷却固化して薄物シートを連続的に作製した。フィラーおよび樹脂の種類、組成等を変えて薄物シートの特性を評価し、表1の要求特性を満足するような表2の結果を得た。フィラー、樹脂および改質剤の組合せによって、様々な顧客の要望に応えられる体制ができ、標準的な製品も品揃えできた。

**(2) メカノケミカル合成技術の特徴およびその体系化**

メカノケミカル合成技術を駆使することによって、①:扁平フィラーの活性化、②:樹脂の微粉化および、③:各成分素材のミクロンオーダーで均一分散することを確認でき、またシート化の際に、④:多成分樹脂使用によるフィラーリッチ相およびフィラー非リッチ相の発現、⑤:凝集フィラー併用による異方性の改善や、熱伝導性、接着性等の性能向上、⑥:④および⑤の併用による顕

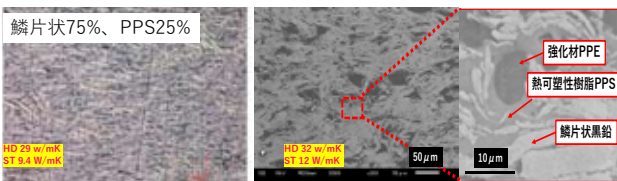
表1 燃料電池用セパレータおよび次世代パワーデバイス用TIMの要求項目および特性

項目	燃料電池用セパレータ	SiCパワー半導体用TIM
機能性	①エネルギー変換効率を良くする導電性(接触抵抗値) ②反応性の高い水素ガスが漏れない(水素ガス不透過性) ③燃費向上の面から軽量化(使用材料の厚さ・重さ) ④ガス及び空気の供給や排水等のための流路形成 ⑤円滑な排水のための表面の粗面化・親水処理	①素子の発熱による温度上昇を抑える熱伝導性 ②ハンダフロー及び高温動作のための耐熱性 ③高電圧に耐える絶縁性(絶縁破壊電圧) ④半導体基板や電子デバイスにするために必要な金属との接着性・密着性
耐久性	⑥燃料電池スタックに組み込む際に破損しない機械的強度 ⑦酸性下で劣化しない耐水性	⑤作業性・耐久性面からの高強度・高弾性、耐衝撃性 ⑥熱サイクル性等の安全性・信頼性確保
量産化	量産化に向けた革新的な成形技術の開発による安定した品質及び低コスト化	

表2 薄物シートの特性項目および実績

セパレータ用導電性薄物シート		TIM用絶縁性薄物シート	
特性	実績	特性	実績
①接触抵抗	3 ~ 10 Ω cm <sup>2</sup>	①熱伝導率	厚み方向 ~ 23W/mK
②ガス不透過性	エアリークテスト、カラーチェックで確認	②耐熱性	低温、中温、高温用3グレード
③シート厚	0.3 ~ 0.4mm	③絶縁破壊電圧	10 ~ 40kV/mm
④流路形成	プレス成形(外部)、切削(自社)	④金属との接着性	0.75 ~ 1.2N/mm
⑤親水性/撥水性	機能性添加剤により確認	⑤機械的強度	強度: ~ 48MPa; 弾性率: 13 ~ 24GPa
⑥機械的強度	強度: 33 ~ 57MPa; 弾性率: 6 ~ 19GPa	⑥熱サイクル性	熱サイクル試験で顕著な変化なし
⑦耐水性	含水率 1%以下		
製品	①フィラー: 鱗片状黒鉛、黒鉛屑等 ②樹脂: PPS、ポリアミド等 ③改質剤: SEBS、ナイロン 12、フッ素ポリマー等	製品	①フィラー: BN、凝集 BN 等 ②樹脂: PPS、PEEK 等 ③改質剤: SEBS、ナイロン 12、PPE、ポリイミド等

著な相乗効果を見出し、更に材料のSEM/EDX 観察や、各成分の表面自由エネルギーをシート製造プロセスにおけるモルフォロジーの変化と関連付けることによって、これらの発現メカニズムを体系化した。図1には、PPS樹脂からなる単一樹脂系に、改質剤PPE添加によって、フィラーリッチ/非リッチ相が発現する様子をSEM写真で示した。フィラーリッチ相(熱伝導性パス)の発現によって熱伝導率が飛躍的に向上した。



単一樹脂系 2成分樹脂系

図1 2成分樹脂系における

フィラーリッチ/フィラー非リッチ相の発現

(HD:ホットディスク法(面方向)熱伝導率;ST:定常法(板厚方向)熱伝導率)

### 3.2 薄物シートの連続製造技術の開発

#### (1) ダブルベルトプレス機を用いる製造技術の特徴

超高温・超高压ダブルベルトプレス機(シート幅500mm、能力10万m<sup>2</sup>/年以上)を用いて、粉体コンパウンドから直接薄物シートを成形する方法を図2に示す。剥離フィルムに挟まれた粉体コンパウンドは、加熱・加圧ロールによって脱泡、

その後、加熱・加圧状態において熔融し、次いで、冷却・固化段階で、フィラーと樹脂が絡み合い構造を形成した薄物シートが製造される。

従来の熱プレス機ではシート厚み5~10mm程度のものしか得られないが、当該ダブルベルトプレス機を用いると0.2~1mm厚のシートが得られる。0.3~2mm厚のシートが得られる真空治具を備えたサーボプレス機との性能の比較を表3に示す。

熱プレス機とダブルベルトプレス機とは、熱伝導率等の物性はほぼ同じものが得られるが、サーボプレス機では、極端に異方性の高い材料となる。このことは、シート成形(進行)方向に対する冷却方向および体積変化の違いに起因するものと思われる。ダブルベルトプレス機は、他の成形方法に比べて、極端に生産性が高いものとなる。

#### (2) ダブルベルトプレス機を用いるセミ連続および連続製造技術の開発

薄物シートの膜厚、均一性等は、粉体コンパウンドの供給方法に大きく依存する。図3に示す剥



図3 金属枠を用いる薄物シートのセミ連続プロセス

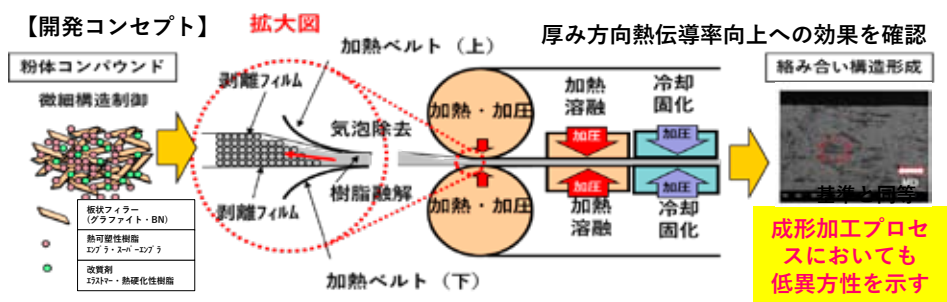


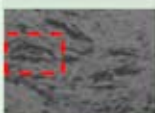


図2 超高温・超高压ダブルベルトプレス機を用いる薄物シートの成形方法

表3 熱プレス機及びサーボプレス機とダブルベルトプレス機との性能の比較

装置名 (サンプル厚/サイズ)	装置概要	生産性	異方性の違い	熱伝導率 (W/mK) 異方性
熱プレス機 成形品厚 5~10 (サイズ 150×150 mm)	加熱 溶解 → 冷却 固化	2~3 個/日 (0.04~0.07 m <sup>2</sup> /日)	 (フィラー非リッチが多い)	HD法: 33 定常法: 14 異方性: 2.36
サーボ プレス機 シート厚 0.3~2 mm (サイズ 50×50 mm)	小型サーボプレス機 真空プレス工法 異方性を調整するために 加熱・冷却・圧力 の各パラメータを調整し、異方性を調整する	20~30枚/日 (0.05~0.08 m <sup>2</sup> /日)	 (フィラー非リッチが少ない)	HD法: 22 定常法: 3.3 異方性: 6.75
ダブルベルト プレス機 シート厚 0.2~1 mm (シート幅 500 mm、ベル ト速度 0.5 m/min)	Material → Heating → Cooling → Pressure	・セミ連続: 50枚以上/日 (9m <sup>2</sup> /日以上) ・連続: 120m <sup>2</sup> /日	 (フィラー非リッチが多い)	HD法: 29 定常法: 12 異方性: 2.24

離フィルム上に縦横 300 × 600mm の金属枠内に粉体コンパウンドを、高さが均一になるように投入し、更に上部を剥離フィルムで覆って、超高温・超高压ダブルベルトプレス機に通して均一な薄物シートが成形できるセミ連続法を確立した。0.2~0.6mm 厚シートのシート厚バラツキを 20% 以内に収めて、上記 3.1 項記載の結果を得ることができた。

一方、当該ダブルベルトプレス機に原料ホッパー、振動搬送機（電磁フィーダー）、自動フィルム巻き取り機およびレーザー変位計 2 個を、図 4 のように取り付けた。GR/PPS 樹脂系粉体コンパウンドを用いて、セミ連続の場合と同様の性能をもったシート幅 500mm の薄物シートが連続的に量産できることを確認した。

### 3.3 導電性および絶縁性薄物シートの応用

#### (1) 燃料電池用セパレータへの応用

シート厚 0.4mm 程度の導電性薄物シート開発品が、熱プレス機による成形加工によって、セパレータ製造メーカーにおいてセパレータとして利用

できるような流路を形成できることを確認した。フッ素ポリマー (PFA) を添加した GR/PPS 樹脂系粉体コンパウンドを、熱プレス成形またはダブルベルトプレス成形して得られたシート（後者については、融着により一定の厚さのシートにした）を切削加工により流路形成し、図 5 に示すセパレータを作製した。次いで、燃料電池特性を評価し、100% 黒鉛セパレータ（市販品）と比較した。表 4 には、セパレータ材料の特性を示し、図 5 右には、フッ素ポリマーで改質したとき（表 4 中、GG/PPS/PFA）の燃料電池の電流密度に対するセル電圧の特性図を示す。接触抵抗および貫通抵抗は、フィラー濃度と共に減少し、市販の黒鉛セパレータと比較して、厚み方向の電気伝導度が 1/30 程度であるにもかかわらず、黒鉛セパレータに近い材料特性が得られた。また、フッ素ポリマーを添加することによって、セパレータの表面は疎水化し、電流密度を高くしてもセル電圧はそれほど高くならず、生成水の排水がスムーズになると推察される。

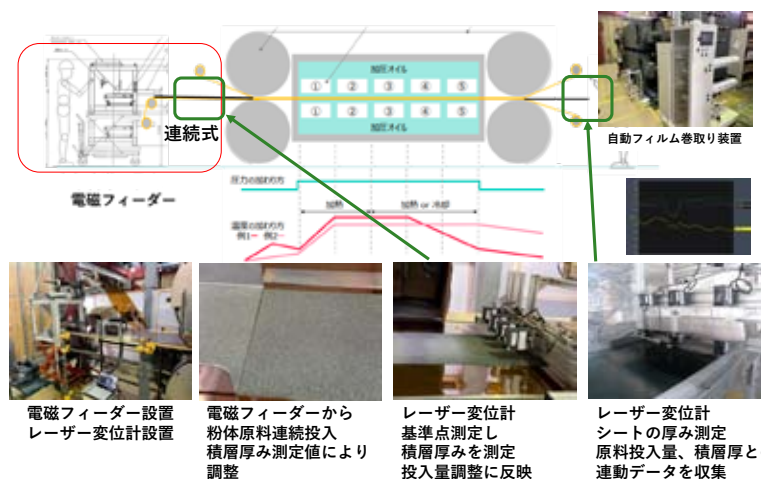
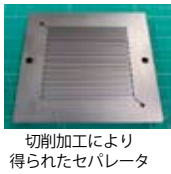


図4 電磁フィーダー、レーザー変位機等を取り付けた薄物シートの連続製造プロセス



拡散過電圧 市販品 (黒鉛) > D2S  
 水滴の接触角：  
 ⑨市販品 (黒鉛) セパレータ 92.1°  
 ⑤開発品 TTD-D2S 110.9°  
 (比較：フッ素樹脂無し  
 セパレータ厚み：5mm 触媒  
 触媒目付量：0.25mg/cm<sup>2</sup>・Pt)



燃料電池単セル評価装置  
 (電圧：~20V；電流：~  
 50A；電力：~125W)

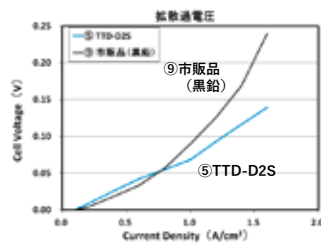


図5 セパレータ、燃料電池単セル評価装置  
 および評価結果

表4 セパレータの材料特性

組成/材質	品番 P: プレス S: シート	フィラー 含有率 (wt%)	厚み (mm)	接触抵抗 (mΩ cm <sup>2</sup> )	貫通抵抗 (mΩ cm <sup>2</sup> )	電気伝導度 厚み方向 (Ω cm) <sup>-1</sup>
FG/PPS	TTD-1P	55	10	60	157	2
FS/PPS	TTD-2P	65	10	27	72	6
FG/PPS	TTD-3P	75	10	9	26	18
GG/FG/PPS	TTD-5P	75	10	7	22	35
GG/PPS/PFA	TTD-D2S	75	5	7	23	22
黒鉛	市販品	-	10	2	10	560
黒鉛	市販品	-	5	1.5	8	1,045

注) FG: 鱗片状黒鉛; GG: 黒鉛屑; P: 熱プレス成形; S: ダブルベルトプレス成型

## (2) 次世代パワーデバイスへの応用

剥離フィルム上に銅箔を載せて、セミ連続法によりダブルベルトプレス成形によって銅箔シートを一体成形した銅張り基板を作製した。次に図6に示すように、パターン形成、エッチング、パワー素子搭載およびワイヤーボンディングによってパワーデバイスのプロトタイプを作製した。基板の

反り、銅箔との接着強度不足、表面汚れ等により実装不良が発生し、製品歩留まりは大幅に低下した。そこで、各工程を精査し改善することによって、表5に示す組成の各種実装基板を作製し、材料特性や通電してパワーデバイスとしての放熱特性を評価し、市販のアルミナ実装基板と比較した。

表5に示す実装基板の熱抵抗値は、材料の熱伝導率、トリスターによる過渡熱分析ならびに裏面が断熱状態およびヒートシンク装着状態でのサーモグラフィ測定によって求めた。トリスターの場合は、基板/ヒートシンク界面の変化点を微分曲線により求め、サーモグラフィの場合は、裏面断熱で表面熱抵抗およびヒートシンクを装着し板厚熱抵抗を求めた。実装基板の放熱特性は、ほぼ材料特性に依存し、開発品はアルミナ基板に近い特性値を示した。また、トリスターの場合、開発品 Z7' の片面銅箔に比べ、開発品 Z7 の両面銅箔の方が、基板→空気の熱抵抗が顕著に高くなるのは

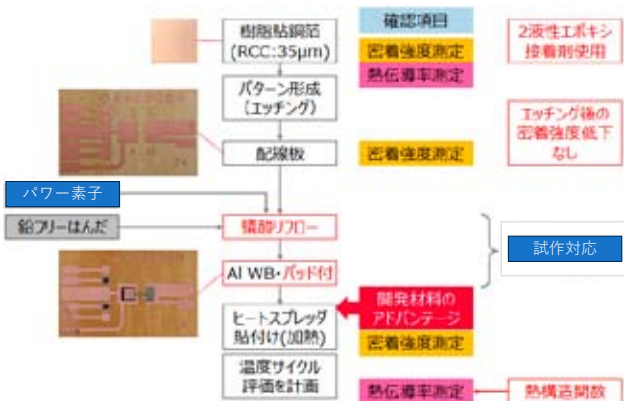


図6 パワーデバイスプロトタイプの試作工程

表5 基板の材料特性およびパワーデバイスの放熱特性

サンプル	開発品 Z1	開発品 Z4	開発品 Z7	開発品 Z7'	市販品		
樹脂 [wt%]	PPS: 15 PPE: 15 ナイロン 12:5	PPS: 15 PPE: 15 ナイロン 12:5	PEEK: 35	PEEK: 35	アルミナ: 35		
フィラー (BN) [wt%]	扁平/凝集 (1/3): 65	扁平/凝集 (1/4): 65	扁平: 65	扁平: 65			
基板厚み [mm]	0.82 (両面銅箔)	0.79 (両面銅箔)	0.79 (両面銅箔)	0.75 (片面銅箔)	0.67 (両面銅箔)		
熱変形温度 (°C)	280 ~ 310	280 ~ 310	350 ~ 385	350 ~ 385	-		
表面熱伝導率 [W/mK]	15.9	14.8	7.7	7.7	29		
板厚方向熱伝導率 [W/mK]	10.4	11.6	3.4	3.4	29		
熱抵抗	材料特性	表面 [K/W]	6.3	6.8	13.0	13.0	3.4
		板厚 [K/W]	9.6	8.6	29.4	29.4	3.4
	トリスター計測	板厚 [K/W]	2.0	2.4	3.2	3.2	1.9 ~ 2.3
		サーモ計測	表面 [K/W]	2.2	3.0	3.2	5.2
		板厚 [K/W]	7.4	8.1	8.3	10.1	7.6

## 実装基板の構造関数

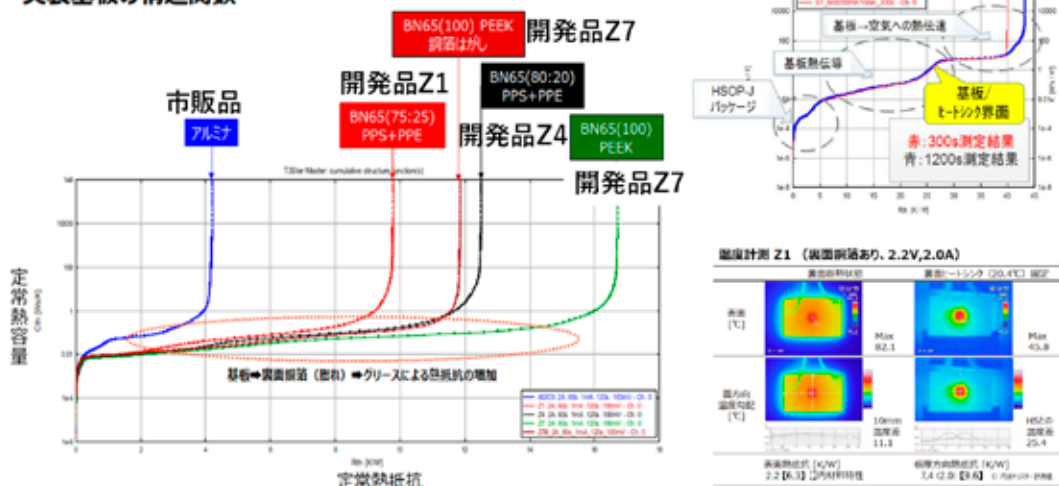


図7 各種実装基板のトリスターおよびサーモグラフィによる放熱特性の比較

裏面銅箔の膨れなど接着不良が原因と思われる。

ここで、開発品 Z1 および Z4 は、作動温度 175～200℃の低中温対応、開発品 7 は作動温度 225℃以上の高温対応のものである。これらの知見に基づいて、SiC 素子を搭載した PEEK 樹脂をベースとした実装基板を作製することができ、現在、通電下での放熱特性を測定中である。

### 4. まとめ

本事業の成果をまとめると以下のようになる。

#### (i) 薄物シートの機能性・耐久性の向上

粉末状のフィラーおよび樹脂の多成分原料を用いて、メカノケミカル合成技術を駆使した複合マイクロ均一分散により、モルフォロジー制御し、電気・熱的特性や、機械的特性に優れた高機能性薄物シートを開発できた。

#### (ii) 薄物シートの連続製造技術の開発

ダブルベルトプレス機を用いる薄物シートの製造において、粉末原料の供給方法やシート厚さの制御により、薄物シートのセミ連続および連続一貫製造技術を開発した。

#### (iii) 導電性および絶縁性薄物シートの応用

薄物シートからセパレータおよび基板用 TIM を作製し、部材としての評価を行うと共に、燃料電池およびパワーデバイスのプロトタイプを作製して、デバイスの特性評価を行った。課題抽出/改善により、使う側目線に立った新素材・部材・部品の開発ができた。

## 5. 今後の展開

弊社は、平成 23 年採択サポイン事業<sup>1)</sup>において、メカノケミカル合成法粉体コンパウンドから熱および電気特性に優れた樹脂材料が得られることを見出し、熱プレス機を用いた成形品ブロックが、切削加工によって有用な放熱部品に利用できることを示した。また、平成 28 年採択サポイン事業<sup>2)</sup>において、当該粉体コンパウンドを用い、ポッティングや注型成形に利用できる分散液は、樹脂モールドリアクトルやステータにおいて、コイル温度の低減に有用であり、また多成分樹脂からなる粉体コンパウンドが、射出成形により放熱部品を量産できることを確認できた。更に本サポイン事業<sup>3)</sup>によって、燃料電池用セパレータやパワーデバイス用 TIM として有用な薄物シートが、セミ連続および一貫連続製造で量産化の目途が立った。

このように、上記粉体コンパウンドから顧客の要望に応じた様々な樹脂系放熱材料（素材・部材・部品）を提供でき、「試作から量産まで」の開発支援が可能となった。川下メーカーとの擦り合わせによって、電機・電子部品の小型化・軽量化・高性能化に貢献していきたい。

### 引用文献

- (1)JRCM ニュース, 316, 2 (2013); WO2014/080743.
- (2)JRCM ニュース, 392, 6 (2019); WO2019/097852.
- (3) WO2022/097852.

The Japan Research and Development Center for Metals  
JRCM NEWS / 第 438 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 2023 年 7 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  
URL <http://www.jrcm.or.jp/> E-mail [jrcm@oak.ocn.ne.jp](mailto:jrcm@oak.ocn.ne.jp)  
※送付先の変更・中止等は上記 E-mail に御連絡をお願いいたします。