

TODAY

材料の変遷と持続社会の構築

豊橋技術科学大学
教授 竹市力

化石資源、中でも石油の枯渇が言われて久しい。ただし、石油の大部分は精製後に燃やされ、化学原料として利用されている石油は一部にすぎない。それでも石油の枯渇と高騰で、高分子についても再生可能原料を求める動きが高まっている。微生物が作ってくれるバイオポリエステル、ポリ乳酸などデンプンを発酵させてつくるバイオ高分子、あるいはケナフなどの天然繊維で強化したバイオコンポジットなど、研究開発は枚挙にいとまがない。

これまで人類は幾多の材料の変遷を経験してきた。例えば、16世紀以降ヨーロッパでは製鉄、造船、塩の製造等に木が大量に用いられたため、森林が伐採され、破壊された。製鉄産業においては、木材由来の木炭に替わって石炭由来のコークスを使用することで、環境破壊は食い止められたそうである。以来、鉄はその優れた物性から幅広い分野で使用され、“産業の米”とも“鉄は国家なり”と呼ばれるほどとなり、戦後日本の復興と高度経済成長を支えた。製鉄・鉄鋼業はものづくり立国日本の象徴的な基幹産業でもあった。

鉄の大きな欠点は重いことである。重い車は燃費が悪い。燃費の良い車への期待は大きく、ハイブリッド車、電気自動車、燃料電池車なども登場しているが、燃費向上には車の軽量化が有効である。電気自動車に用いられているバッテリーは重いので、軽量化のためにプラスチック、あるいは炭素繊維で強化したプラスチック（CFRP）の使用が検討されている。車に先駆けて、航空機ではCFRPが大幅に使用されるようになってきている。ボーイング社の最新鋭機B787では構造部材の50%がCFRPである。エアバス社でも最新のA380に次いで近々登場するA350ではCFRPが大量に使用されるようである。

このように軽量を誇るプラスチックへの期待は大

きいが、実はプラスチックの歴史、さらには高分子科学の歴史は非常に新しい。人類は有史以前から天然にある高分子を物理的に加工して使用してきた。しかしそれら綿、麻、絹、羊毛、紙、ゴムなどが高分子であることはわかっていなかった。高分子に化学の手が加えられたのは1830年代からと、実に最近である。高分子が細くて長い分子でできていることが分かったのは、なんと1920年代である。高分子科学の歴史はまだ100年にも満たない。

それにもかかわらず、合成高分子であるプラスチックは軽くて、成形が容易で、種類が多くて安価なため、金属やセラミックスが使用されていた部材と置き換えたり、新しい用途が見出されて大量に使用されるに至った。我々の身の回りの日用品だけでなく、最近は携帯機器の小型化・高性能化に貢献して我々の生活を豊かで便利にしてくれている。そればかりか、人工衛星や宇宙ヨット「イカロス」などの宇宙開発も合成高分子なくして成立しない。

しかし、ここに来て脱石油の動きが出てきた。それでは、石油や石炭などの化石資源に依存しないで高分子が合成できるであろうか。炭酸ガスを原料とする高分子も含め、バイオ高分子が研究の上では花盛りである。しかし、“バイオ”に頼る限り、その生産量には限度があることをしっかりと認識すべきである。製鉄産業において、鉄鉱石の還元を使う炭素源を木炭（すなわち再生資源）からコークス（化石資源）に変換することで環境破壊が食い止められた歴史を忘れてはならない。

地球上では人口が増加しているうえに、先進国だけでなく、発展途上国においても、人類は快適な生活を求め、必要以上にエネルギーやモノを消費している。宇宙の誕生は137億年前、地球の誕生は46億年前と言われている。歴史は繰り返し、いずれはるか将来にはこの宇宙が収縮し、再びビッグバンが起こるとも言われている。地球にも寿命があるが、人類が自ら地球を痛めつけるのではなく、できる限り長い間、持続して共存できるライフスタイルを構築したいものである。そのためには、省エネ、石油代替エネルギーの開発と利用、リサイクルの徹底と拡大、真に地球環境に優しい高分子材料の開発等が積極的に推進されることを願ってやまない。

平成 23 年度戦略的基盤技術高度化支援事業中間報告
 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
 (株)高木化学研究所 顧問 高木 紀彰 (同計画 PL)、主任研究員 松山 一夫

1. はじめに

電子機器の高性能化、高機能化、小型化、利用範囲の拡大に伴い、使用される半導体素子が関係する熱の問題が大きな課題となっており、この熱の除去について、材料面、構造面など様々な視点から検討がなされている。有機高分子は、成形・加工が容易で、軽量化に寄与でき、環境変化に係る使用条件に合わせた様々な改良が容易であることから、大きな期待がもたれている。しかしながら、有機高分子は、熱伝導性が極端に低いため、熱伝導性パスが遮断され、セラミックス等の高熱伝導性フィラーとの複合化を図っても、高熱伝導性フィラーの特徴を十分に発揮できない。

弊社は、NEDO 委託事業平成 18 年度地域研究開発技術シーズ育成調査において高熱伝導性複合材料の調査を行い、この分野におけるニーズが高く、益々深化していることを認識し、弊社単独で研究開発を進めてきた。しかし、単独での開発には限界があり、豊橋技術科学大学およびあいち産業技術総合センターとの協力のもとに計画立案し、一般財団法人金属系材料研究開発センター (JRCM) からご指導を得てプロジェクト化し、平成 23 年度戦略的基盤技術高度化支援事業に採択された。まだ、中途ではありますが、新規高熱伝導性複合材料について、いくつかの知見が得たので、以下に中間報告する。

2. プロジェクトの構成

本研究開発は、事業管理機関 JRCM のもとに、豊橋技術科学大学には基盤研究、あいち産業科学技術総合センターには成形加工・評価技術の支援を受けて、(株)高木化学研究所が中心となって研究開発を進めている。

3. 新規高熱伝導性複合材料の研究開発結果の概要

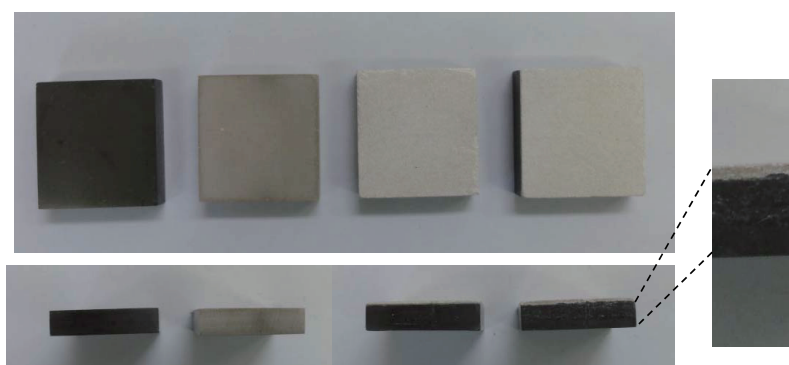
高熱伝導性フィラーは、50 ~ 200 W/mK と高い熱伝導率を示すが、有機高分子 (樹脂とも称す) の熱伝

表 1. グラファイトフィラー充填エンブラ樹脂成形品の諸物性

熱伝導性フィラー		グラファイト (導電性)		
フィラー濃度 (wt%)		30	50	70
密度 (g/cm ³)		1.42	1.70	1.75
熱伝導率 (W/mK)		1.05	5.43	6.00
電気伝導度 ((Ωcm) ⁻¹)	表面	10 ⁻⁷ 以下	10 ⁻⁷ 以下	0.007
曲げ試験	曲げ強度 (MPa)	45	42	40
	曲げ弾性率 (GPa)	5.3	7.0	11

導率は 0.1 ~ 0.5 W/mK と低い。このため、通常の方法で得られたフィラー充填樹脂成形品は極めて低い熱伝導率のものしか得られない。表 1 には、通常の方法によって得られたグラファイトフィラー充填エンブラ樹脂成形品の熱伝導率、電気伝導度および曲げ試験の結果を示すが、フィラー濃度が 70 重量%と高いものでも、6 W/mK のものしか得られず、十分な熱伝導性パスが形成できず、従って、電気伝導度も低い値となっている。

本研究開発では、高熱伝導性フィラー、樹脂などの原料の選択、フィラーと樹脂のモルフォロジーの制御などによって、熱伝導性の無限大クラスターの形成に成功し、今までにない樹脂の高熱伝導化と、樹脂の優れた特徴を生かした新規な高熱伝導性材料を開発することができました。開発したフィラー高充填エンブラ樹脂成形品の上部および側面からの外観を図 1 に示し、諸物性



(1) 導電性 単一材料 (2) 絶縁性 単一材料 (3) 絶縁 / 導電性 2層材料 (4) 絶縁 / 導電性 4層傾斜材料
 (成形品 : 40 mm × 40 mm × 10 mm)

図 1. 本研究開発によって得られた樹脂成形品の外観

を、表2および3に示した。側面からの外観では、絶縁／導電性2層材料および4層傾斜材料には、それぞれ、2mmおよび1mmの上部絶縁層が見られる。密度は、成形品の重量と体積から、熱伝導率はホットディスク法により、電気伝導度は四探針法、熱膨張係数は熱機械分析装置(TMA)により、曲げ試験はJIS法に準拠して測定した。表2より、密度、熱伝導率および電気伝導度はグラファイト濃度と共に増加し、熱伝導率は90wt%では61.2 W/mKという高い値を示した。電気伝導度は表面と断面で異なり、異方性を示した。熱膨張係数はグラファイト濃度によって制御できることがわかり、セラミックスおよび金属との熱膨張係数の差をほとんどなくすることが可能である。曲げ試験の結果は、通常得られるものと同レベルの機械的強度を維持していることがわかる。高熱伝導性フィラーとして、セラミックスを用いた場合、90wt%で24.0 W/mKという高い値が得られた。電気伝導度は、 $10^{-7}(\Omega\text{cm})^{-1}$ 以下となっているが、測定限界以下であり、実際はもっと低い値、 $10^{-10}(\Omega\text{cm})^{-1}$ 以下であると推測され、かなり高い絶縁性を保持している。

表3は、表1のデータをベースにして、セラミックスとグラファイトの多層一体成形品を試作し、その特性を示したものである。セラミックス／グラファイト2層成形品は、厚さ10mmのうち、セラミックス層の厚さは2mmであり、セラミックス側から測定した熱伝導率は23.2 W/mKとなり、セラミックス単一材料とほぼ同程度の値となった。また、グラファイト側から測定した値は25.3 W/mKとなり、グラファイト単一材料の値よりもわずかに低いものとなった。セラミックス／グラファイト界面が存在するにもかかわらず、機械強度は低下しているが、一体成形により熱伝導率は単一材料とほぼ同程度の値が得られた。電気伝導

表2. 導電性または絶縁性単一材料に基づく新規樹脂成形品の諸物性

熱伝導性フィラー	(1) グラファイト (導電性)			(2) セラミックス (絶縁性)	
	60	75	90	75	90
フィラー濃度 (wt%)	60	75	90	75	90
密度 (g/cm ³)	1.67	1.89	1.98	1.95	1.96
熱伝導率 (W/mK)	31.2	40.2	61.2	17.5	24.0
電気伝導度 ((Ωcm) ⁻¹)	表面	1.39	29.9	64.5	10^{-7} 以下
	断面	0.61	3.45	13.6	10^{-7} 以下
熱膨張係数 ($\times 10^{-6}$ °C)	19.9	7.62	2.06	18.2	7.63
曲げ試験	曲げ強度 (MPa)	41	39	47	46
	曲げ弾性率 (GPa)	2.4	3.9	3.7	10.2

表3. 導電性または絶縁性材料の多層一体成形に基づく新規樹脂成形品の諸物性

熱伝導性フィラー		(3) セラミックス/ グラファイト(1層)	(4) セラミックス/ グラファイト(3層)
セラミックス層	フィラー濃度 (wt%)	90	90
	層濃度 (vol%)	20	10
グラファイト層	上層	フィラー濃度 (wt%)	60
		層濃度 (vol%)	80
	中層	フィラー濃度 (wt%)	—
		層濃度 (vol%)	—
	下層	フィラー濃度 (wt%)	—
		層濃度 (vol%)	—
密度 (g/cm ³)		1.62	1.79
熱伝導率 (W/mK)	セラミックス側	23.2	22.4
	グラファイト側	25.3	20.3
電気伝導度 ((Ωcm) ⁻¹)	セラミックス側	10^{-7} 以下	10^{-7} 以下
	グラファイト側	33.6	7.93
	断面	10^{-7} 以下	10^{-7} 以下
曲げ試験 (セラミックス側から)	曲げ強度 (MPa)	15	37
	曲げ弾性率 (GPa)	1.1	2.2

度は、セラミックス側からの測定では絶縁性を、グラファイトからの測定では導電性を示し、断面では表面と同様に絶縁性を示した。セラミックス／グラファイトを接着剤で接合したものの熱伝導率が4 W/mKであるので、一体成形により著しく改善されることがわかる。

表3の右欄には、セラミックス(1層)／グラファイト(3層)からなる4層一体成形品であり、セラミック層の厚さは1mmである。セラミック側からの熱伝導率は22.4 W/mK、グラファイト側からの熱伝導率20.3 W/mKとなり、グラファイト側からの熱伝導率が若干低い値となったが、電気伝導度からはセラミック側および断面は2層一体成形品と同様に絶縁性である。曲げ試験の結果は、セラミック層が薄く、グラファイト層に傾斜機能を付与することによって大幅に改善された。

4. まとめと今後の展開

原料の選択、モルフォロジー制御などによって、金属並みの樹脂の高熱伝導化に成功し、軽量化、絶縁性／導電性材料の一体成形、傾斜機能材料化、熱膨張係数制御など、樹脂のもつ特徴を最大限に生かすことを可能とし、半導体素子周辺材料として有用であることを見出した。今後は、当該材料のさらなる高度化を図ると共に、グラファイトー樹脂複合材料の有する高い熱輻射率を有効に活用した放熱部品の開発を進める。

謝辞

本研究開発は、平成23年度採択の経済産業省戦略的基盤技術高度化支援事業に係るものであり、事業管理機関の一般財団法人金属系材料研究開発センターをはじめ、共同で研究開発を進めている国立大学法人豊橋技術科学大学竹市力教授（同計画SPL）、松本明彦教授、あいち産業科学技術総合センター高橋勤子主任、株式会社高木化学研究所などの関係する多くの方々のご尽力に謝意を表します。

日本鉄鋼協会からのお知らせ

シンポジウム「資源・環境制約下での素材」

(社)日本鉄鋼協会 環境・エネルギー・社会工学部会若手フォーラムは、循環型社会の形成に向けて、金属リサイクルの促進、それに伴って生じうる技術課題の解決、あるいは、それらを支援するための社会システムや法制度の在り方について、若手研究者が幅広く議論する場として平成22年度より3年間活動してきました。活動の総括として、資源制約や素材リサイクルをテーマとしたシンポジウムを開催させていただきます。

日程：2013年2月21日(木) 15:00 - 17:45

場所：フクラシア東京ステーション 6階 A会議室

主催：(社)日本鉄鋼協会 環境・エネルギー・社会工学部会若手フォーラム

共催：(社)日本鉄鋼協会 自動車リサイクル研究会

司会：東京大学大学院工学系研究科 特任准教授 醍醐市朗

15:05 - 16:05

特別講演「鉄鉱石と製鉄・製鋼技術の変遷とこれから(仮題)」

稲角技術士事務所 稲角忠弘氏

16:05 - 16:35

招待講演「銅製錬とリサイクル」

東北大学 柴田悦郎氏

16:45 - 17:15

「鉄スクラップの現状と電気炉での使用方法」

トピー工業株式会社 上手研二氏

17:15 - 17:45

「劣質化鉄資源対応型製鋼プロセス技術」

東京工業大学 小林能直氏

申込・問合せ先：

東京大学大学院工学系研究科マテリアル工学専攻 特任准教授 醍醐市朗

TEL：03-5841-8652 FAX：03-5841-8651

E-mail：sympo@mfa.t.u-tokyo.ac.jp

フクラシア東京ステーション

住所 〒100-0004 東京都千代田区大手町2-6-1 朝日生命大手町ビル5F、6F

アクセス 東京駅・大手町駅B6出口直結、東京駅日本橋口徒歩1分

TEL (総合受付) 03-3510-3051



The Japan Research and Development Center for Metals

JRCM NEWS / 第316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 2013年2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