

エネルギーの有効活用のための高熱伝導性炭素—金属 複合材料の開発

西宮 耕栄, 畑 俊充*¹

Development of carbon-metal composite materials with high heat conduction for effective use of energy

Koei NISHIMIYA, Toshimitsu HATA*¹

Keywords: 炭素, 金属, 複合材料, 焼結, 熱伝導
carbon, metal, composite materials, sintering, heat conduction

エネルギーの有効活用を目的として、高熱伝導性を有する、炭素—金属複合材料の開発を行った。用いる金属の種類、炭素材料、複合化前の調製条件を変えた複合材料をパルス通電焼結法により成型し、その熱伝導性を評価した。その結果、銅よりもアルミニウムを用いた場合、トドマツ木炭よりも結晶化度が高い黒鉛を用いた場合、トドマツ木炭に金属塩水溶液を含浸するよりも、金属粉を混合した場合に、それぞれ熱伝導率の向上が確認された。

1. はじめに

太陽光や風力、バイオマスなどをエネルギー源とした再生可能エネルギーの利用が進んでいる。特に東日本大震災以降、原子力エネルギーへの不安などから、上に挙げたような再生可能エネルギーの利用の気運が高まっている。しかしながら、これらは、エネルギーの出力が一定しない、あるいは、エネルギー変換効率が低いなどの欠点があるため、その改善が検討されている。

変換効率を向上させるエネルギー蓄積技術の一例としては、熱としてエネルギーを蓄積する蓄熱技術がある。蓄熱技術の場合、熱を蓄える蓄熱体と効率的な熱交換を行う必要があるため、熱伝導率の高い材料が求められる。また、蓄熱体として、潜熱蓄熱体（代表的なものでは酢酸ナトリウム、硫酸ナトリウムなど）を用いているものがあるが、その場合は、熱交換に使用する部材に関しては、蓄熱体と反応して腐食しないことが求められる^{1,2)}。

そのため、腐食に強いと考えられる炭素材料の熱伝導性向上を目的として、金属との複合化による、高熱伝導性材料の開発を行った。

2. 実験方法

2.1 試料

炭素材料として、1000℃で炭化したトドマツ木炭の粉砕物、および、粒子径の異なる鱗片状天然黒鉛（レーザー回折径3.3μmのBF-3AKおよび22.9μmのCFW-18AK、いずれも中越黒鉛工業所製）³⁾を用いた。複合させる金属は、アルミニウムおよび銅とした。

2.2 複合化前の材料調製

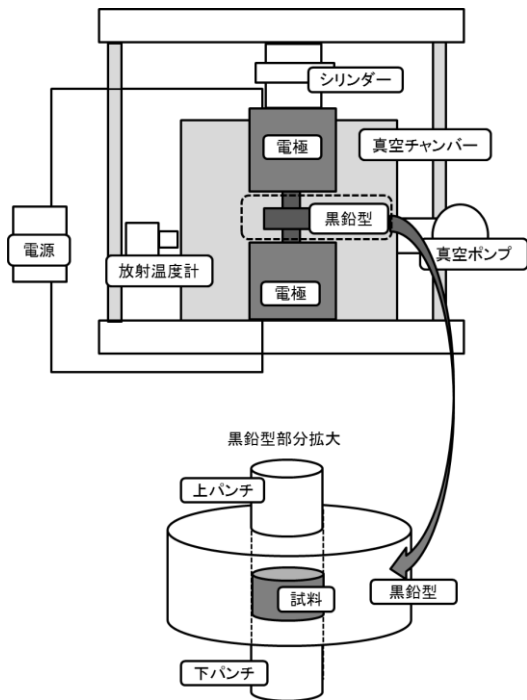
炭素粉と金属粉を混合する方法に加えて、トドマツ木炭については金属塩水溶液を含浸させる方法も検討した。金属粉については市販のものを用い、混合比は重量比で、炭素：金属＝1：1あるいは2：1とした。

トドマツ木炭に20% (w/w) 硝酸アルミニウム水溶液を24時間含浸させた後、105℃の乾燥機中で24時間乾燥し、その後、設定温度1000℃、昇温速度5℃/分、保持時間3時間、窒素ガス雰囲気中の条件で電気炉を用いて加熱し含浸処理トドマツ木炭を得た。なお、この処理により得られたトドマツ木炭の重量増加率は、処理前のトドマツ木炭に対して20%程であった。

2.3 炭素—金属複合材料の成型

パルス通電焼結法 (PCS) により、エス・エス・アロイ製プラズマン2を用いて炭素—金属複合材料の成型を行った。装置の概要は第1図に示した。

炭素材料（トドマツ木炭、黒鉛）と金属粉（アル



第1図 放電焼結装置の概要

ミニウム，銅)を所定の割合で混合したもの，あるいは，含浸処理トドマツ木炭を0.2-0.3g程度，直径10mmの黒鉛型に入れ，焼結温度800℃，昇温速度80℃/分，保持時間10分，圧力50MPa，真空雰囲気中の条件で通電焼結して，成型物を得た。各条件1～2個ずつ成型した。

2.4 得られた炭素-金属複合材料の評価

一般的に金属では，熱伝導率と電気抵抗率には関係があると考えられている (Wiedemann-Franz則) こともあり，得られた複合材料の熱伝導率，電気抵抗率を測定した。

熱伝導率については，真空理工製TC-7000を使用して，レーザーフラッシュ法により，室温で測定した。

電気抵抗率は，三菱油化製ロレスタMCP-T-410を使用して，四探針法により室温で測定した。

3. 実験結果

3.1 炭素-金属複合材料の成型性

得られた複合材料は黒色で炭素系材料の様相を示していた。これは，体積的にはほぼ炭素材料が占めているためと考えられる。また，今回の製造条件の場合，成形性についても特に問題は見られなかった。

3.2 炭素-金属複合材料の熱伝導率と電気抵抗率との関係

3.2.1 金属複合の影響

アルミニウムあるいは銅の金属粉と，トドマツ木炭を混合して成型した複合材料の熱伝導率と電気抵抗率を第1表に示した。銅を用いた場合，電気抵抗率はアルミニウムの場合と同程度の値を示したが，熱伝導率はアルミニウムの方が高い値を示した。金属単体では，銅の方がアルミニウムに比べて，熱伝導率が高く電気抵抗率が低いにもかかわらず，アルミニウムを用いた複合材料の熱伝導率が向上しているのは，トドマツ木炭の黒鉛化反応が進行し，その結晶性が高くなった⁴⁾ ことによるものと示唆される。

3.2.2 炭素材料の種類の影響

炭素材料として，トドマツ木炭と黒鉛，金属としてアルミニウムを用いた場合の複合材料の熱伝導率と電気抵抗率を第2表に示した。炭素材料として黒鉛を用いた場合，木炭よりも熱伝導率が大幅に向上し，電気抵抗率も大幅に低下した。これは，黒鉛の方が木炭よりも熱伝導率が高く電気抵抗率が低いことによるものと考えられる。また，黒鉛の場合，粒子径の相違による熱伝導率の影響が見られた。これは，黒鉛と金属の分散性がその粒子径と関係するためであると考えられる。

3.2.3 金属塩水溶液含浸処理の影響

金属塩水溶液の含浸処理によりトドマツ木炭を成型して得られた複合材料と，金属粉を混合したもので成型した複合材料の熱伝導率と電気抵抗率を第3表に示した。用いる金属はアルミニウムとした。金

第1表 金属複合による炭素-金属複合材料の熱伝導率と電気抵抗率への影響

製造条件	熱伝導率 ($Wm^{-1}K^{-1}$)	電気抵抗率 ($\mu\Omega m$)
トドマツ木炭+アルミニウム	2.83×10^0	1.33×10^1
トドマツ木炭+アルミニウム	3.87×10^0	9.82×10^0
トドマツ木炭+銅	7.63×10^{-1}	5.10×10^0
トドマツ木炭+銅	5.57×10^{-1}	1.22×10^1
トドマツ木炭のみ	3.49×10^{-1}	5.54×10^2

トドマツ木炭と金属粉を1:1(重量比)で混合してから成型。焼結温度800℃。

第2表 炭素材料の相違による炭素－金属複合材料の熱伝導率と電気抵抗率への影響

製造条件	熱伝導率 ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$)	電気抵抗率 ($\mu\Omega\text{m}$)
トドマツ木炭のみ	3.49×10^{-1}	5.54×10^2
トドマツ木炭＋アルミニウム粉	1.20×10^0	1.35×10^2
黒鉛BF-3AK	6.62×10^0	3.31×10^1
黒鉛BF-3AK＋アルミニウム粉	8.06×10^0	2.30×10^1
黒鉛CFW-18AK	1.99×10^1	1.87×10^1
黒鉛CFW-18AK＋アルミニウム粉	2.03×10^1	1.66×10^1

炭素材料とアルミニウム粉を2:1(重量比)で混合してから成型。焼結温度800°C。

第3表 含浸処理による炭素－金属複合材料の熱伝導率と電気抵抗率への影響

製造条件	熱伝導率 ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$)	電気抵抗率 ($\mu\Omega\text{m}$)
含浸処理トドマツ木炭	5.12×10^{-1}	3.35×10^3
含浸処理トドマツ木炭	4.40×10^{-1}	3.20×10^3
トドマツ木炭＋アルミニウム粉(混合比1:1)	2.83×10^0	1.33×10^1
トドマツ木炭＋アルミニウム粉(混合比1:1)	3.87×10^0	9.82×10^0
トドマツ木炭＋アルミニウム粉(混合比2:1)	1.20×10^0	1.35×10^2
トドマツ木炭のみ	3.49×10^{-1}	5.54×10^2

炭素材料としてトドマツ木炭、金属としてアルミニウムを用いて成型。焼結温度800°C。

属粉で混合した方が、熱伝導率は高くなった。これは、複合材料中の金属の含有量が、含浸の場合20%程度、金属粉体で混合比1:1の場合、50%程度と想定されるため、複合材料中に含まれる金属含有量の相違によるものと考えられる。

4. おわりに

炭素－金属複合材料の熱伝導性に与える、金属複合の影響、炭素材料の影響、含浸処理の影響を調べるため、種々の条件で炭素－金属複合材料を成型し、その熱伝導率、電気抵抗率を測定した。用いる金属として、アルミニウムと銅を比較した場合、アルミニウムの方が高い熱伝導性を有することが確認された。炭素材料として、結晶化度の高い黒鉛を用いた場合、熱伝導率をさらに向上させることが可能となった。また、金属塩水溶液を含浸するより、金属粉を混合させる方が熱伝導率の高い複合材料が得られることが確認された。

複合させる金属を変えることで、さまざまな熱伝導率と電気抵抗率の組み合わせを持つ複合材料の調製が可能になると考えられる。

謝 辞

本研究は、平成24年度、25年度、京大大学生存圏

研究所木質材料実験棟共同利用研究により行われた。ここに記して謝意を表する。

5. 引用文献

- 1) Cabza, L., F., Illa, J., Roca, J., Badia, F., Mehling, H., Hiebler S., Ziegler, F.: Immersion corrosion tests on metal-salt hydrate pairs used for latent heat storage in the 32 to 36 °C temperature range. *Materials and Corrosion*, **52**, 140-146 (2001).
- 2) Porisini, F., C.: Salt hydrates used for latent heat storage: Corrosion of metals and reliability of thermal performance. *Solar Energy*, **41**(2), 193-197(1988).
- 3) 平林靖、中平翔、山中真也、藤本敏行、空閑良壽:黒鉛微粒子－フェノール樹脂複合材の導電性評価と発熱合板への応用、粉体工学会誌 **49**(3), 164-170 (2012).
- 4) Nishimiya, K., Hata, T., Kikuchi, H., Imamura, Y.: Effect of aluminum compound addition on graphitization of wood charcoal by direct electric pulse heating method. *J of Wood Science* **50**(2), 177-181 (2004).

－利用部バイオマスグループ－
－*1京大大学生存圏研究所－
(原稿受理：16.11.14)