

補助事業番号 2024M-472
補助事業名 2024年度 粒子分散型複合材料における組成制御方法の確立と
粒子周期配列による異方性の発現 補助事業
補助事業者名 経田僚昭

1 研究の概要

本事業は粒子分散型複合材料を対象に母材単体では得られない異方性のある電気・機械に関する特性を強化材の混入と超音波によって顕在化したバルク材形成の手法確立に資する取り組みを行うものである。母材融液中に超音波定在波を形成することで腹または節に強化材粒子を集約させ、周期配列構造を有する複合材料を構築できる。本事業ではパラフィンに炭素粉末を混合した配列複合材料で得られる異方性を通電実験によって明らかにした。

2 研究の目的と背景

複合材料は単一種類の材料では得られない特性を発揮し、強度や剛性の向上が期待できる。また、エネルギー輸送の観点では熱・電気・光（電磁波）などで不良導体に分類される母材を良導体強化材の混入によってエネルギー輸送媒体となる。

骨のようにある方向には強く、ある方向には壊れやすいような機械的特性の異方性は多様な場面で構造物に要望される。先述したエネルギー輸送の観点にあってもある方向には輸送抵抗が小さく、その方向に直交する方向には輸送抵抗の大きな条件を与えれば、所望する方向への輸送を促進し、周囲への漏れを小さくできる。機械的特性の異方性は安全な構造の実現に、輸送量の異方性は近年のエネルギー問題解決に寄与する。

以上、本事業では母材とは異なる粒子状物質を強化材として混在させた粒子分散型複合材料を対象に、融液凝固過程において非接触で分散状態を操作し、バルク体形成後の材料特性に異方性を与える。本事業は複合材料形成過程において融液中に超音波を入力することで母材の組織改質を図りながら強化材の位置操作を行うことで機能性材料を形成する方法を確立する。

本事業で実施する研究の目的は粒子分散型複合材料におけるエネルギー輸送の異方性を実験的に示すことにあり、同時に機械特性の異方性を示す装置設計の具体的な構想を得ることとする。母材融液中に超音波を入力すると超音波周波数と音波伝播の音速に依存する波長毎に周期的な圧力の腹または節を形成でき、この特徴的な場所に粒子をトラップできる。すなわち、波長で決まる寸法で等間隔での粒子捕捉間隔を選択することで融液中に均質な粒子配置が可能となる。周期的粒子配置は電気、熱、ひずみ等のバルク性能が変わり、配列に平行な方向と垂直な方向で愛量性能が変わることを実際の取り組みで明らかにする。

3 研究内容

(1) 電気特性の異方性発現確認

母材を融点58-60 °Cのパラフィンとし、強化材を炭素粉末とする複合材料を形成し、自作した銅プレートの組み合わせ（プレート間隔 3.2 mm）での通電実験を行った。直流電源装置から1000 Vを印加し、プレート間に存在するパラフィン-炭素粉末複合材料を通過する電流計測を行った。当初、パラフィンは電気を通さない不良導体、炭素粉末は逆に良導体とみなし、二種の混合で得られる通電特性は電圧／電流の比である「抵抗値」によって評価できると考えた。しかし、電流計測の実測値は一定電圧の下で電流値の時間に対する減衰曲線であり、電流の大きさが時間依存性を示した。そこで、想定した電源、抵抗からなる等価回路にコンデンサ成分を考慮し、抵抗値に直列で繋いだコンデンサとそのコンデンサに並列で接続される抵抗成分からなる抵抗とコンデンサの直並列回路による等価回路で評価した。

強化材粉末（炭素）をパラフィンに混合することによって、絶縁抵抗の低下と静電容量（キャパシタンス）の増加の両方の結果が得られた。これら二つはともにプローブ間の電流を多大に増加させる。混合した炭素粉末間のパラフィンが電荷を蓄積する役割を担うが、炭素粉末が電極の役割となり、電極間距離が短くなることでキャパシタンスを増加させた。

さらに、同量の炭素粉末では（1）単純な分散、（2）通電方向に沿う配列、（3）通電方向に直行する配列の場合では、（2）通電方向に沿う配列によって絶縁抵抗の低下効果とキャパシタンスの向上効果の両方を得られることがわかり、配列構造付与による複合材料の電気特性（抵抗値と静電容量）を示すに至った。

(2) 凝固観察装置の設計と製作

機械的特性を評価するにはパラフィンよりも高強度な合金を母材とすることでその特性評価を行うこととした。そのための観察装置・観察システムを確立した。母材はローズ合金 [Bi-Pb-Sn (50.0:28.0:22.0%)] とした。ローズ合金を充填した鋳型を図1(a)、凝固後のインゴットを図1(b)に示す。粒状のローズ合金を自作した鋳型で溶かし、得られるインゴットで特性評価を行う。鋳型で溶かすローズ合金粒は一個当たり 1.0 g - 2.0 g の重さである。これを10 g - 30 g の範囲のもとで、鋳型で溶かし再凝固させた。

凝固した後のインゴットを図1に示す。鋳型内にローズ合金粒8個（約10 g）を融点以上に加熱し、再凝固させて取り出したインゴットである。図1から明らかなように粒形状が顕在化しており、粒界面は融解し接着していても形状が解消されるなかった。そこで、インゴット作成には鋳型とは別に融解を担う注入装置を用意し、融液を鋳型に注ぐ手法を試行した。注入装置は円筒容器として外部加熱によって内部に投入したローズ合金を加熱し、融液と

なった後、鑄型に注いだ。まず、ローズ合金粒一粒を融解させ、鑄型に滴下し、凝固後、取り出した。試料を図2(a)に示す。図2で示すような粒形状とは異なる試料となり、ほぼ円形の試料を作成した。続いて、ローズ合金30 gを注入装置に投入して融解させた後、鑄型内で凝固させた試料を図2(b)に示す。初期粒形状が全く見られず狙い通り、粒形状や粒の初期配置に依存しないインゴット作成ができた。以上の検討によって合金融液を対象に超音波配列を実施できる注入装置、鑄型の整備を進めた。

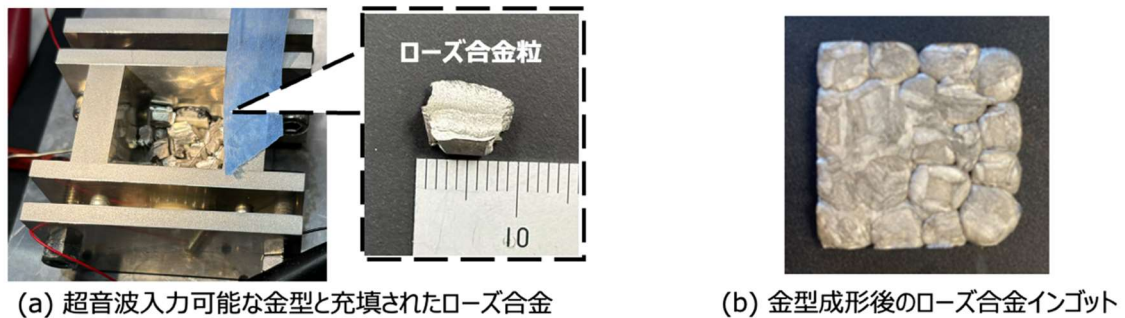


図1 ローズ合金鑄型とインゴット



図2 注入装置を介して鑄型で作成したインゴット, (a) 一粒 (2.0 g), (b) 30 g.

(3) ひずみ量の異方性発現確認

機械的特性を把握するためのひずみ量計測における基礎的な試験装置の設計に取り組む。②で組み立てた観察装置を鑄型として、得られる試料の寸法の決定し、次の段階としてその試料のひずみ計測を行うべく装置の設計を開始した。本事業で最終的に採用した鑄型内寸法は 25 mm x 20 mm であり、製作したインゴットでひずみ評価を行うべく装置構成を決定した。図3 (b)で示すインゴットは30 gで厚み7.10 mmとなり、測定部寸法 10 mm x 5 mm を有するひずみゲージを選定した。これによって、作成したインゴットでそのまま材料特性を評価できる一連の測定系を用意した。

(4) 材料試験機の開発

(3)でのひずみ量を把握するための装置設計を行った。三点曲げ試験による材料特性評価を行うことで構想を決定した。富山高専で保有する材料衝撃試験装置の利用も上記図3 (b)のインゴットで可能となる。さらに、電子顕微鏡で試料観察を行えるよう試料設置のため観察ステージへの設置ができ、材料特性評価と合わせて破断面や曲げ試験後の表面観察が可能なインゴット寸法となっていることを確認した。以上、当初の予定通り、電気特製の評価と理解を実施し、機械特性評価のための材料試験機の設計、現有の既製品装置による評価・観察が行える準備を整えたことが本事業の1年間の成果である。

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

超音波を用いた母材融液内の強化材操作は多種多様な材質に応用できることが想定できる。これまでのような複合材料で混合する母材や強化材の組み合わせの検討だけでなく、強化材の配置や組織構造も加味した制御を可能にすることで新しい特性の材料を生成することに役立つ。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

研究代表者は熱工学をベースに電気・電子エレクトロニクス関係のデバイスを用いた研究を推進している。本テーマも熱工学・材料学を基に超音波発振システムを着実に整備することで推進したテーマである。予想外の実験結果を得た経験も踏まえ、一年間を通して得られた知見が今後の新たな研究活動に寄与する。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

T. Kyoden, H. Yoshioka, M. Kurashima, N. Momose, H. Ishida, Effects of Periodic Alignment Produced by Ultrasound on Resistance and Capacitance of Composite Material, Journal of Electronic Materials, (2025) (Accepted).

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

粒子分散型複合材料 [母材：パラフィン、強化材：カーボン]、合金融液注入装置、超音波入力可能な鋳型

(2) (1) 以外で当事業において作成したもの

該当なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名：富山高等専門学校（トヤマコウトウセンモンガッコウ）

住 所： 〒920-0862

富山県射水市海老江練合1-2

担 当 者： 准教授 経田僚昭（キョウデン トモアキ）

担 当 部 署： 商船学科（ショウセンガッカ）

E - m a i l： kyouden@nc-toyama.ac.jp

U R L： <https://www.nc-toyama.ac.jp/staff/kyoden-tomoaki/>