

(平成 25 年度 研究実施報告)

国際科学技術共同研究推進事業 (戦略的国際共同研究プログラム)

(研究領域「エネルギー利用の高効率化」)

研究課題名「電気自動車用電池における熱管理技術の研究開発」

平成25年度実施報告書

代表者氏名 秋山 友宏

(所属・役職)

北海道大学大学院工学研究院附属エネルギー・マテリアル融合領域研究センター
・教授(センター長)

1. 研究実施内容

1-1. 研究実施の概要 公開

研究実施の概要・成果

エネルギー高効率利用のため、高性能電池を搭載した電気自動車の普及が期待されている。近年、リチウムイオン電池の開発が進み、電池の高出力化・高容量化が急速に進歩したが、電池特性の最適化、長寿命化、及び安全性向上には、高度な電池熱管理技術の確立が必須である。本研究では、「相変化物質 (PCM) 利用型電池熱管理技術の開発」を課題として、1. 低融点合金 PCM の開発、2. PCM 複合材の開発、3. PCM 熱バッファからの熱移動技術、及び 4. 電池冷却システム全体のモデル化に取り組んだ。

1. 低融点合金 PCM の開発

パラフィンや脂肪酸等の有機系 PCM が提案されているが、その熱伝導率は低く、電池からの発熱を迅速に吸収、モジュール系外へ除去できないことが深刻な問題である。そこで本研究では高熱伝導性 PCM として合金 PCM の開発を目的とした。本年度はリチウムイオン電池熱管理技術に適した蓄放熱温度域を有する合金系を、熱力学平衡計算ソフトウェア Factsage にて探索した。その結果、Bi-In-Zn、Sn-Zn-Bi、Mg-Sn-Bi、Sn-Zn-In を母合金群とする系が固液相変化温度 100 °C 以下を実現可能な合金 PCM として有望であった。

2. PCM 複合材の開発

電池からの発熱を迅速に除去可能な PCM 利用技術開発として、高熱伝導性 PCM 複合材の開発 (2-1)、及び空冷と PCM 利用技術のハイブリッド化を目的とした PCM マイクロカプセル担持型炭素繊維シートの開発 (2-2) をそれぞれ実施した。

2-1 高熱伝導性 PCM 複合材の開発

既存の有機系 PCM の高熱伝導化を目的として、高熱伝導性フィラーと PCM の複合化、炭素繊維シートへの PCM 含浸処理による複合化、及び PCM 用高熱伝導性フィラーの開発を実施した。

高熱伝導性フィラーと PCM の複合化では、フィラー種類 (炭素繊維、アルミニウム、窒化アルミニウム)、フィラー充填量、フィラーの粒度分布 (正規分布、べき乗分布)、複合材作成法 (溶融混錬法、ホットプレス法) が PCM 複合材の熱伝導率に及ぼす影響を検討した。その結果、アスペクト比の最も大きい炭素繊維 (正規分布) と PCM 粉末との混合物をホットプレス法にて作成した場合、最も高熱伝導性の複合材となった。

炭素性繊維シートへの PCM 含浸処理による複合化では、平成 26 年度上半期までに、複合体の潜熱量 100 kJ/kg、熱伝導率 20 W/m・K を有する PCM と炭素繊維の複合材開発を目標とし、平成 25 年度は PCM 含浸加工用炭素繊維シートの開発及び、PCM マイクロカプセルを担持させた炭素繊維シートの開発を実施した。PCM 含浸加工用炭素繊維シートの開発では、種々の炭素繊維を利用し、シート内に PCM を含浸させるための空隙確保を検討した。複合体の潜熱量 100 kJ/kg を達成するため、潜熱 200 kJ/kg、密度 750kg/m³ のパラフィン系 PCM を充填率 80 vol% で含浸した場合を想定し、シート空隙率は 90 vol% を目標とした。シートの空隙率は、種々の繊維配合を検討した結果 93.6 % まで到達した。今後、炭素繊維シートの高熱伝導化及び PCM との複合化を検討する。

PCM 用高熱伝導性フィラー開発では、①新規高熱伝導性フィラーとして窒化アルミニウムを燃焼合成法により試作した。その結果、平均粒径約 5µm 程度、酸素濃度は 1% 程度、予測熱伝導率 180 W/mK の AlN フィラーの開発に成功した。また、②既存高熱伝導性材料の改良を目的に、熱伝導率 800 W/mK を示すグラファイトファイバーをボールミル粉砕により粉砕し、繊維長を自在に調整することを試みた。粉砕時間と体積基準の円相当径の間に線形な関係が認められ、本パラメーターで分布を制御できる可能

性が示唆された。

2-2 PCM マイクロカプセル担持型シートの開発

PCM マイクロカプセルを担持させた炭素繊維シートの開発では、粉体混抄紙製造法を応用して PCM マイクロカプセル担持型炭素繊維シートを試作し、その熱物性を測定した。また、密度が熱伝導率に及ぼす影響を調査するため、熱プレスによる成型を検討した。熱物性測定の結果、シートの熱伝導性は、高密度化により上昇した。シートの潜熱は PCM 重量配合率に比例することが判明した。

3. PCM 熱バッファからの熱移動技術

熱移動技術の開発では、電池の平常発熱時および異常発熱時の双方に適した冷却システムの開発を目的とし、PCM 熱バッファから熱移動の計測 (3-1)、熱流動デバイス内の流れの観察 (3-2)、数値モデルによる解析と伝熱性能予測 (3-3) に取り組んだ。

3-1 PCM 熱バッファからの熱移動の計測

ここでは伝熱性能測定装置による基礎的な計測評価を進めた。PCM (ここではパラフィンを使用) の内部にラミネート型リチウムイオン電池を模擬したヒータ (ここでは実物の 1/4 の大きさ) を設置し、基礎的な小型の装置を用いて計測した結果、PCM に挿入した微細ヒートパイプ (ここでは表裏合計 4 本設置) によって内部の熱を外部に効率よく移動でき、平常発熱時ではヒータ温度の低下につながる事が確認できた。異常発熱時の場合の最適化が今後必要である。

3-2 熱流動デバイス内の流れの観察

既存のヒートパイプの内部の調査や可視化手法の調査の結果、ガラス板を用いた特別なヒートパイプを自作せざるを得ないことが分かった。今後製作に取り組む。

3-3 数値モデルによる解析と伝熱性能予測

ヒートパイプおよび水冷チャンネル内の現象のモデル化について調査したが、これらは微細サイズの気液二相流となり解析は簡単ではないことがわかった。今後は実験結果をシステム全体のモデルに組み込んで適合させるために必要な伝熱パラメーターの決定という形でモデル化を進めることにした。一方で解析ソフトを用いた PCM (融解現象含む) および微細ヒートパイプを組み合わせた近似的な数値モデルはほぼ確立でき、PCM 融解の基礎実験データを再現できる数値モデル計算が可能になった。融解現象自体の計算は、基礎実験および融解現象理論式 (ステファン解) との比較から、実験を妥当に再現していることが分かった。

4. 電池冷却システム全体のモデル化

全体システムのモデル化に関しては、最終的に提案する新 PCM 材料および伝熱システムの検討とその性能予測が可能なモデルの構築をめざし、解析ソフトを用いた数値モデルでいくつかの試計算を実施した。その結果から計算は妥当なレベルに達しており今後様々な計算に適用可能であることが分かった。

研究交流

本研究チームは、国内国外グループ間で積極的に連携をとり、活発な研究交流を実施している。2013 年 9 月、2014 年 1 月に中国側協力 2 機関 (上海交通大学、華南理工大学) へ訪問し、研究ミーティング、研究室見学会を実施し、共同研究方針、学生、スタッフの派遣方針を議論した。また、「電気自動車用次世代電池技術に関する研究開発」に関する別チーム (課題名: 新エネルギー自動車電気化学エンジンとしての動力用電池の高性能化) と合同で国際ワークショップを開催した。

2. 研究実施体制 公開

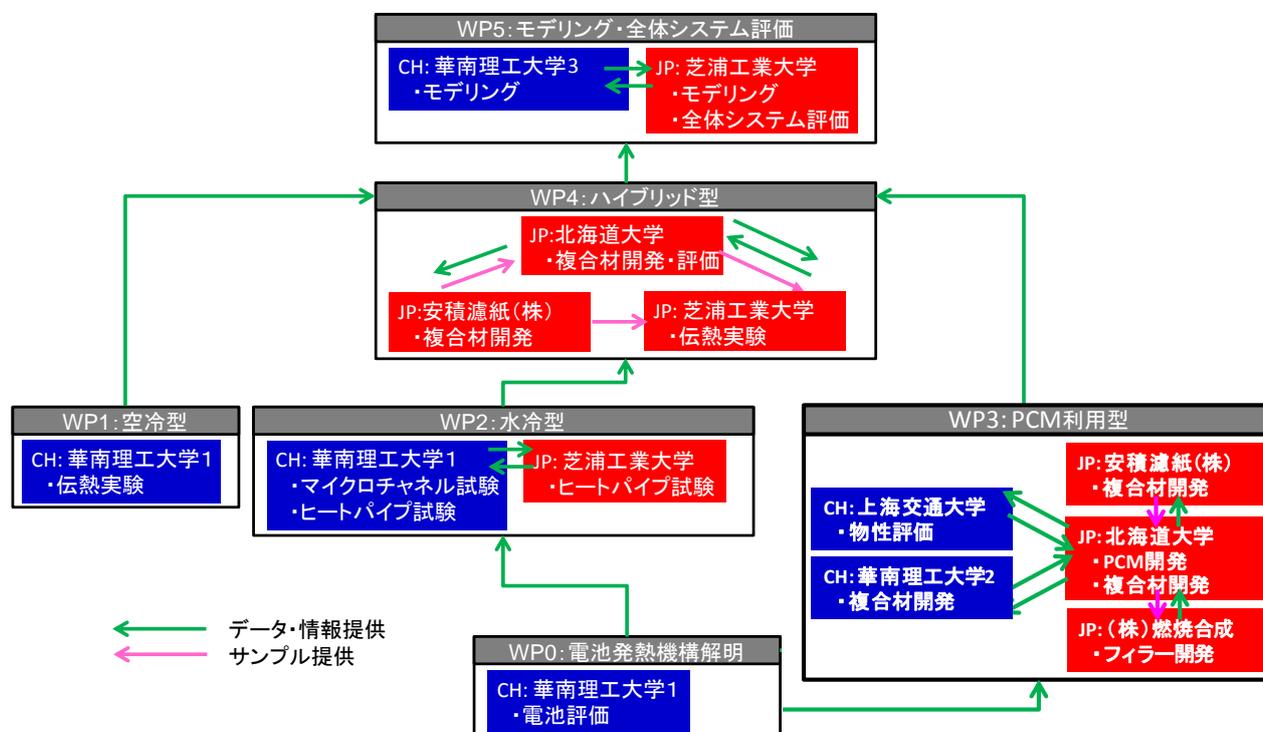
2-1. 日本側の研究実施体制

研究代表者/ 主な共同研究者	氏名	所属	所属部署	役職
研究代表者	秋山 友宏	北海道大学	大学院工学研究院 附属エネルギー・ マテリアル融合領 域研究センター	教授 (センター長)
主な共同研究者	小野 直樹	芝浦工業大学	工学部機械機能 工学科	教授
主な共同研究者	谷川 完士	安積濾紙株式会社	本社	専務取締役
主な共同研究者	中津川 勲	株式会社燃焼合成	研究所	取締役研究所長

2-2. 相手側の研究実施体制

研究代表者/ 主な共同研究者	氏名	所属	所属部署	役職
研究代表者	汪双鳳	華南理工大学	化学与化工学院	教授
主な共同研究者	張鵬	上海交通大学	製冷与低温工程 研究所	教授
主な共同研究者	臧孟炎	華南理工大学	機械と汽車工程 学院	教授
主な共同研究者	張正国	華南理工大学	化学与化工学院	教授

2-3. 両国の研究実施体制



3. 原著論文発表 公開

3-1. 原著論文発表

① 発行済論文数

	うち、相手側チームとの共著 (※)
国内誌 0 件	(0 件)
国際誌 0 件	(0 件)
計 0 件	(0 件)

※本共同研究の相手側チーム研究者との共著に限る

② 未発行論文数

	うち、相手側チームとの共著 (※)
国内誌 0 件	(0 件)
国際誌 0 件	(0 件)
計 0 件	(0 件)

※本共同研究の相手国チーム研究者との共著に限る