



熱流れの計測解析技術の開発 電気駆動車の計測実施/自動車の熱流れモデルの構築

プロジェクト実施者:未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合
(マツダ(株))

背景

地球温暖化の対策に貢献していくためには、自動車の電動化による燃費の向上が有効です。しかし、電気駆動車における熱システムの構成や熱エネルギーフローは、従来の内燃機関車と比べて複雑になっていきます。そのため、実車を使った開発では効率が悪く、今後は、高精度な熱流れモデルを使って熱管理を行なうモデルベース開発が重要となります。

目的

高精度な熱流れモデルの構築にあたっては、伝熱の3形態である、「伝導」「対流」「放射」を分離して計測する技術が必要となってきます。また、この技術を用いた電気駆動車の様々なシーンにおけるエンジンルームや車室内等の熱流れ計測が必要です。そこで、本研究開発では、「1.熱流れの計測解析技術の開発」、「2.電気駆動車の計測実施」、それらを活用した「3.自動車の熱流れモデルの構築」に取り組めます。

事業概要・成果

1 熱流れの計測解析技術の開発

伝熱の3形態をそれぞれ高精度に計測するためには、場を乱さず空間的に細かく温度を計測する技術や、同時に計測されてしまう対流と放射を分離する手法が必要です。これらを解決する計測技術の開発を行っております。(図1)

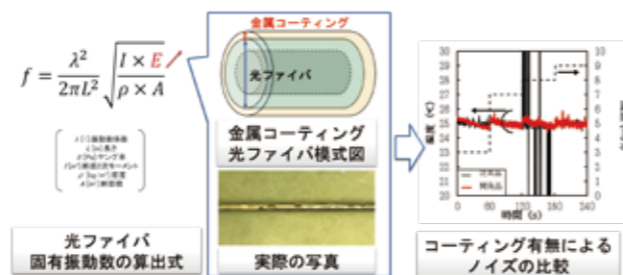


図1. 熱流れの計測解析技術の開発

2 電気駆動車の計測実施

1で構築した計測技術をベースとし電気駆動車のエンジンルーム、排気系などを対象として各種の計測を実施し、熱流れの見える化を行っていきます。(図2)



図2. 電気駆動車の計測実施

3 自動車の熱流れモデルの構築

高精度で汎用性のある熱流れモデルを作る上での課題は、計算にかかる時間と精度の両立です。そこで、2で実施した結果を併用することで解決します。(図3)

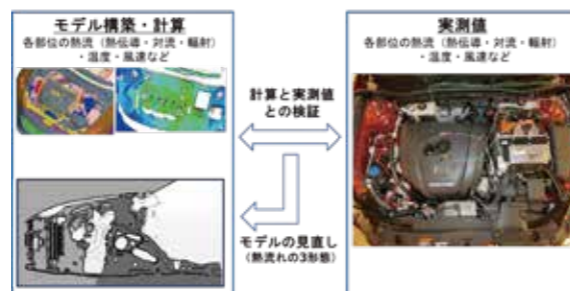


図3. 自動車の熱流れモデルの構築

成果

【電気駆動車の計測実施】

2020年度は、放射と対流を分離する手法を用いて、異なる外気温での対流・放射の影響度を検証しました。一例として電気自動車のモータに直結された減速機の底面における計測結果を図1の左に示します。0℃以下では、対流による放熱が大きいことが確認された一方、25℃以上では放射による放熱が増えることが分かりました。これは図4の右に示す通り、暖房と冷房でモータールーム内の温度が大きく変わることにより対流熱伝達に変化し相対的に放射影響が大きくなっていくことが要因と考えられます。

【自動車の熱流れモデルの構築】

2020年度は、これまでに構築したモデルの外気温違いにおける予測精度の向上に取り組みました。具体的には、熱流体解析モデルにおいて先述の実車計測結果を活用することにより、温度場と流れ場の計算精度を同時に確保するモデルを構築しました。構築したモデルを用いて温度の予実を比較した例を図5に示します。予実差は小さく、高精度なモデルが構築されたことを確認しました。

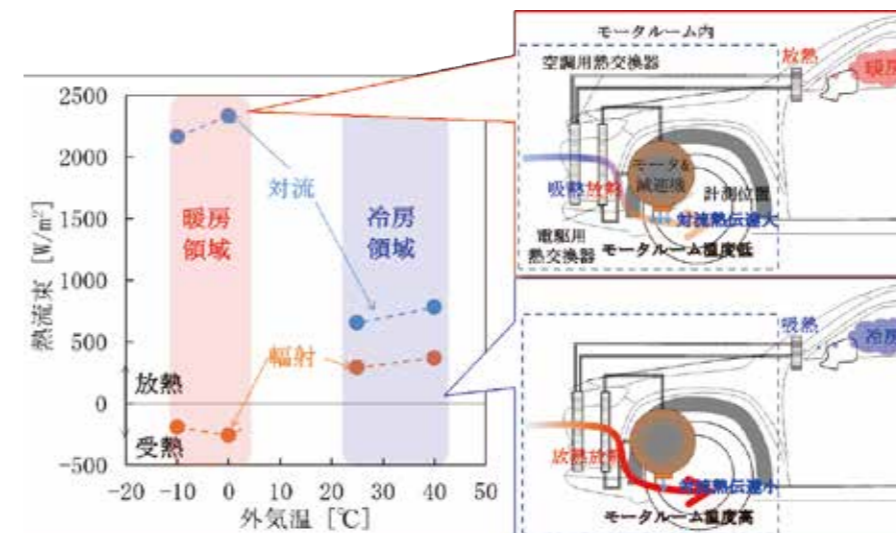


図4. 電気自動車での対流・放射分離結果

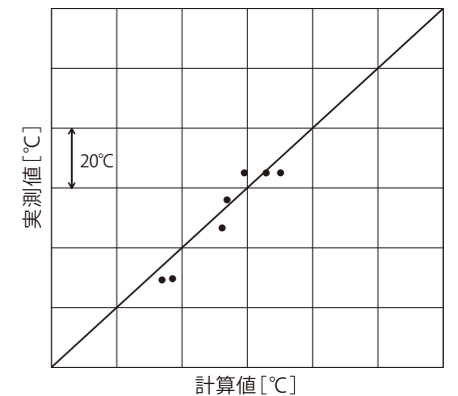


図5. 温度の予実比較

今後の展望

これまで構築してきた高精度な熱流れモデルは、詳細な熱流れのメカニズム解明に適しています。一方で、解明したメカニズムをベースに熱流れを変化させたときの機能検証のために本モデルを活用すると、モデル修正や計算に多くの時間を要してしまいます。そこで、汎用性向上にむけ解明したメカニズムを反映させた1次元モデル化に取り組めます。加えて電気駆動車の計測を引き続き実施し、この1次元モデルの精度を検証します。(2022年度に完了予定)

プロジェクト実施期間: 2013~2022年度

NEDOプロジェクト名:未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発/熱管理の研究開発

お問い合わせ

マツダ(株) 技術研究所

〒730-8670 広島県安芸郡府中町新地3-1

TEL:082-252-5502 FAX:082-252-5342 URL:http://www.mazda.co.jp/



自動車排熱を回収し、そのエネルギーで冷房する事で燃費を向上する小型吸収冷凍機の開発

プロジェクト実施者: 未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合 (株)アイシン

背景

車両の燃費を向上し、エネルギー消費を抑制する事が望まれています。現状、エンジン車両では燃料エネルギーの約60%が有効に利用されずに排熱(未利用熱)として排出されています。一方で夏季の冷房時には走行以外に空調のための燃料エネルギーが必要なため、冷房時には非冷房時に比較して燃費が悪化する現象が生じています。

目的

従来捨てていた排ガスや冷却水などの排熱を回収し、冷房するためのエネルギーとして用いる事ができれば、空調に必要であった燃料エネルギーを減らし、燃費を向上する事が期待できます。このために、熱で冷やす事ができる吸収冷凍機に着目しています。吸収冷凍機は、主に燃料の燃焼熱を加熱源とし、空調用としてオフィスビル等に設置されています。本テーマは、車両環境でも安定に動作する事ができる吸収冷凍機を開発する事を目的としています。

研究開発の概要

現在、自動車の冷房は圧縮式冷凍機を用いているため、冷房時には走行以外に、空調のためにエンジンでコンプレッサを作動させる燃料が必要となっています。この結果、冷房時の燃費は非冷房時に対し5~50%程度悪化するとの報告もあります。一方、エンジン車においては図1のように燃料のエネルギーの約60%が排熱として捨てられ、未利用の熱エネルギーとなっています。従って、排熱を回収して冷房用のエネルギーとして利用する事が出来れば燃費の向上が期待できます。熱で動作させる吸収冷凍機を用いることで、車両の排熱を回収して冷房に利用する事が可能となれば年間約12%の燃費向上が期待できます。

一般的な吸収冷凍機は、主にオフィスビル等の大型の据置型が中心で、車両に用いる場合、容積、重さあたりの冷房能力をそれぞれ20~40%、130%程度アップする小型軽量化、さらに、走行時での傾斜、振動等の車両特有の環境など、据置型では考慮する必要のない制約条件への対応が必要となります。

これらを踏まえ、図2のように車両排ガス熱を回収し、冷熱を発生する吸収冷凍機を車両に搭載するために小型・軽量化し、車両の揺れや振動などの車両環境に対応するシステムを開発しています。

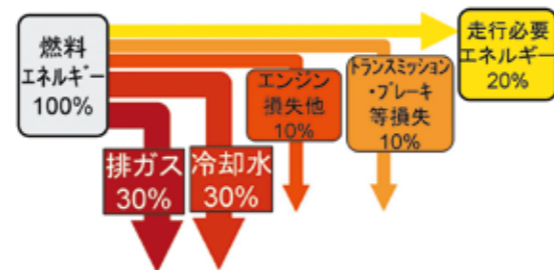


図1. エンジン車エネルギーの流れ

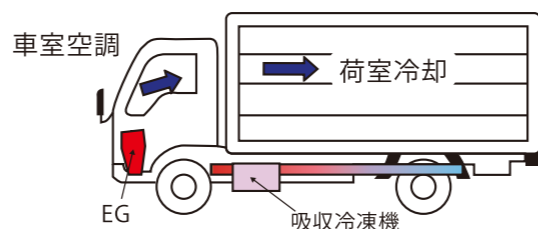


図2. 車載イメージ

成果

従来の据置型吸収冷凍機を車両に搭載することを考えると、[1]重すぎる、[2]走行中の傾斜や揺れ、加減速などにより動作が困難になる、[3]冷却塔が必要で体格が大きすぎる、などの課題がありました。

これまでに装置の薄肉化や構造材に軽金属や樹脂を用いた軽量化および走行による装置への影響を抑制するための新たな構造や、水蒸気透過膜を採用した装置を開発しました。さらに作動媒体の開発により冷却塔なしでも使用できるシステムとし商用車に搭載できるシステムを開発しています(図3)。このシステムは、浄化後の排ガスを排熱回収器に供給し、システムで冷却した冷水を車両HVAC内の熱交換器に循環することで送風口から冷風を発生させる構成となっていました。

今回、図5のように新たな装置構造の開発と装置のレイアウト検討により、走行時の排熱の時間変化によるシステム安定性の向上と体格を約40%小型化しました。排ガスのみでなく蒸気、温水など多様な排熱媒体にも対応が容易となっています。このシステムで排熱によって作動媒体が110℃程度に加熱されると10℃以下の冷却温度が確認されることが確認できました。

図3 搭載評価状況外観



図4 搭載システム外観

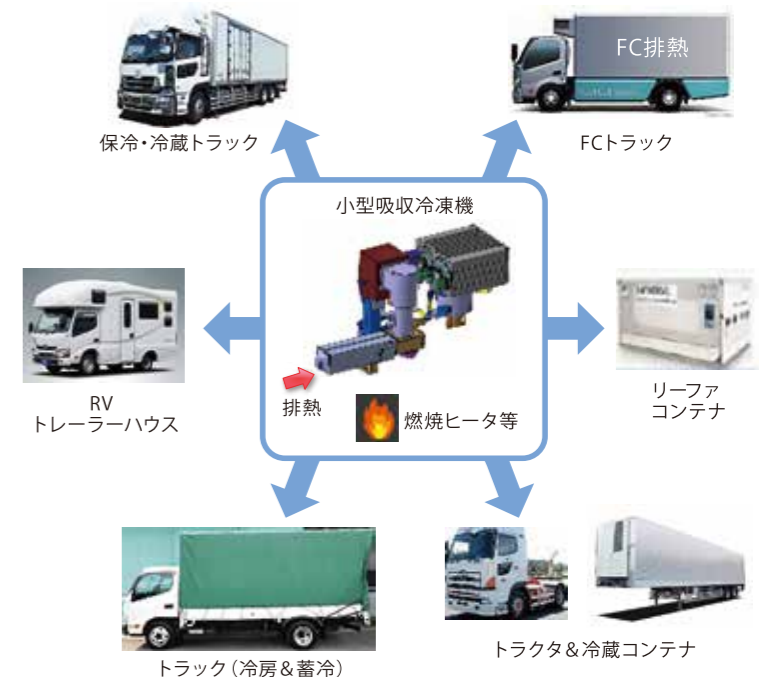


図5 新システム外観

今後の展望

今後車速により排ガス熱量が変化しても安定した冷房出力が得られるような制御をします。

また、本プロジェクトの開発技術を応用し、冷蔵、保冷車両やRV、輸送コンテナなどの移動体向けシステムや、排熱を利用することで冷房の消費電力を抑え、カーボンニュートラルの実現に貢献可能な小型冷房機としての応用展開を目指します。



プロジェクト実施期間: 2013~2022年度

NEDOプロジェクト名: 未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発 / 車両用小型吸収冷凍機の開発

お問い合わせ

株式会社 アイシン 担当: 坪内

TEL: 090-6394-1875

メールアドレス: tsubouch@rd.aisin.co.jp URL: https://www.aisin.com/jp/



電動車向け次世代エネルギー マネージメントデバイスの研究開発

車両熱計測技術の開発と電動車の熱量調査

▶ プロジェクト実施者：未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合
(マレリ(株))

背景

自動車が排出するCO₂削減に向け、現在様々な電動車(HEV^{※1},PHEV^{※2},BEV^{※3}等)が研究開発・市場投入されています。その駆動システムの構成や熱エネルギーのフローはより複雑化しており、車両の燃費を向上してCO₂排出量を削減するためには、車両システムの熱エネルギーフローを把握し、最適なエネルギーマネージメントデバイス(排熱回収デバイス、排熱変換デバイス、電動化対応の暖房用ヒータなど)を開発することが必要となります。

※1)HEV: Hybrid Electric Vehicle ※2)PHEV: Plug-in Hybrid Electric Vehicle ※3)BEV: Battery Electric Vehicle

目的

本研究ではパワートレイン違いの電動車(以降xEV)の熱エネルギーフロー調査を行い、その結果をもとに車両全体の熱エネルギーフローが推計できるシミュレーションモデルを構築、有効なエネルギーマネージメントデバイスの査定^{※4}・発掘・最適化を行うことで、車両開発前の段階で燃費への効果を早期に把握します。その結果に基づき、開発車両に搭載するデバイスの価値を判断します。

※4)デバイスの車両搭載時の燃費効果、エネルギーの利用量・効率を明らかにすること。

研究開発の概要

- ・伝熱要素(伝導、対流、輻射)を切り分ける高精度な計測技術を開発し、xEVの熱エネルギーフローを明らかにします。その計測結果を基に車両全体の熱エネルギーフローを把握し、ベースとなる車両システムシミュレーションモデルを構築します。
- ・このシミュレーションを活用し、車両で発生する熱エネルギーに対し最適なエネルギーマネージメントデバイス(排熱回収デバイス、熱エネルギー変換デバイス、電動化対応の暖房用ヒータなど)を明らかにします(図1)。具体的には、排熱回収デバイス・熱エネルギー変換デバイスを用いた車両の燃費向上効果を明確にし、最適なデバイスの選定に活用します(図2)。

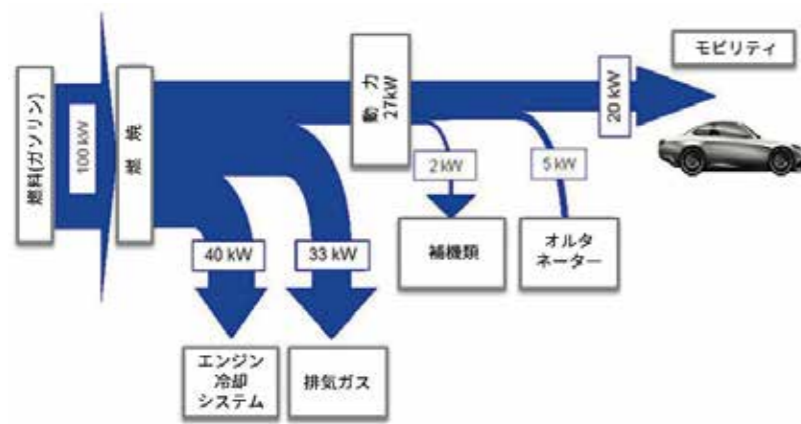


図1. 車両全体の熱エネルギーフロー

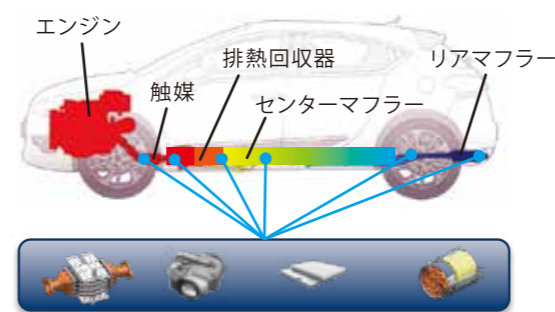


図2. デバイスの選定イメージ

成果

電動車の熱量調査

将来主力となり得る電動車両のハイブリッド機構違いによる未利用熱量を調べるため、これまでに調査を進めてきたシリーズパラレル式HEVに加え、2021年度は将来増加が期待されるPHEV車両の車両計測を行いました。図3のグラフ上段は3元触媒通過後の排出ガス温度、下段は同排出ガスの熱量です。排出ガスの熱量を時間平均すると、PHEVの電動駆動優先モードでは0.2kW、エンジン駆動優先モードでは4.0kWです。電動駆動優先モードでの排出ガスの熱量は、シリーズパラレル式の2.4kW、シリーズ式の1.5kWより大幅に少ないことが解りました。これらの車両の測定結果を用いてシミュレーションの精度を上げていきます。

車両熱計測技術開発

本組合のシナジー活動の一環として、組合内で開発を行っている熱電変換デバイスのHEV車両への搭載を想定し、その効果をシミュレーションしました。熱電変換デバイスの一例として、排出ガスの熱エネルギーを電気エネルギーに変換し、再利用した場合のWLTCモード^{※5}における燃費効果を算出しました。熱電変換デバイスが排気システム上で搭載される可能性のある位置を図4に示します。この結果、熱電変換技術搭載時の燃費効果は、床下触媒前に搭載した場合が最大となり約4%、リアマフラー出口に搭載した場合が最小となり1%以下でした。このように、熱電変換デバイスの排気システム上の搭載位置違いによる燃費の差異を予測することができました。

※5)WLTCモード：市街地、郊外、高速道路の各走行モードを平均的な使用時間で配分した国際的な走行モード。Worldwide-harmonized Light vehicles Test Cycleの略

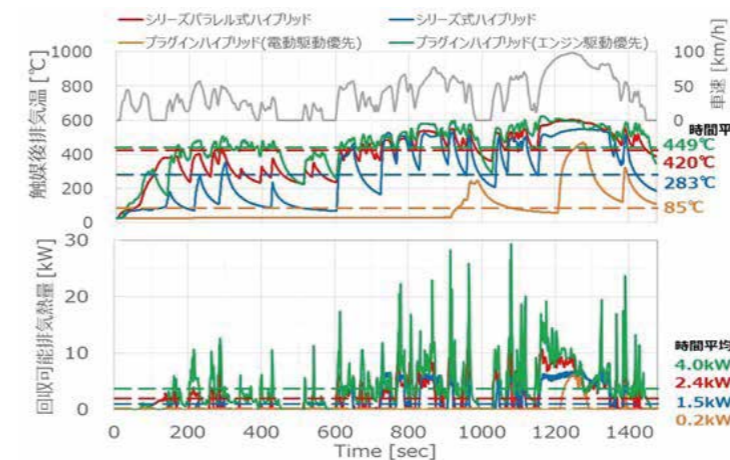


図3. 排気温度・排気熱量

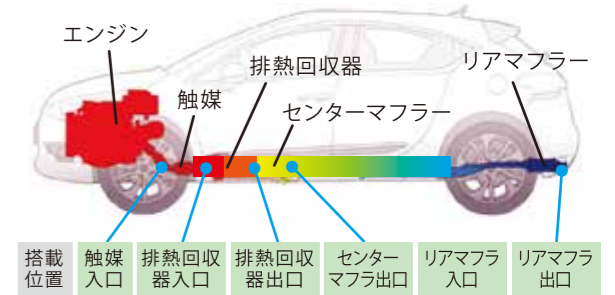


図4. 熱電変換デバイスの搭載位置

今後の展望

これまで実施してきた車両の計測によりHEV、PHEVの熱エネルギーフローを明確にすることができました。今後はマイルドHEVを含めさらにパワートレインの種類を増やして計測データの拡充とシミュレーション精度の向上に取り組みます。またそのシミュレーションを用いて各々のパワートレインに適したエネルギーマネージメントデバイスの効果予測を行い、最適なデバイスを明確にします。(2022年) このシミュレーション技術を活用し、多くの熱マネージメントデバイスの車両効果を明確にして様々な電動車両への適応拡大、普及につなげていきます。

プロジェクト実施期間：2013～2022年度

NEDOプロジェクト名：未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発／電動車の熱量調査・次世代エネルギーマネージメントデバイスの研究開発

お問い合わせ
マレリ(株)
〒327-0816 栃木県佐野市栄町8番地
TEL:0283-21-8309 URL: <https://www.marelli.com>



ヒートポンプの導入効果を定量評価できる産業用ヒートポンプシミュレーターの開発

プロジェクト実施者: 未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合
(一財)金属系材料研究開発センター、(株)前川製作所・早稲田大学(共同実施)

背景

15業種の工場設備の排熱実態調査の結果、未利用の743PJ/yの排ガスが、2711PJ/yの排温水が排出されていると推定され、これらはヒートポンプの熱源として活用可能な省エネポテンシャルと考えられます。産業用ヒートポンプを蒸気ボイラーやバーナー等の代替として導入することにより、大幅なエネルギーコストやCO₂排出の削減が見込めます。

目的

工場に導入予定のヒートポンプについて、①利用パターンを選択し、②定格加熱能力・給水温度・流量・冷媒等を入力することで、1次エネルギー消費量・CO₂排出量等の導入効果を、詳細な熱計測を行わなくても短時間で高精度に試算できるようにします(図1)。

[適用検討対象工程(例)]

- 機械器具製造業…塗装乾燥・塗装焼付け・洗浄工程
- 化学工業・繊維工業…乾燥・濃縮・蒸留・熱架橋・煮絨工程
- 食品・飲料製造業…加熱・乾燥・洗浄工程
- ゴム製品製造業…混合・加硫工程、など

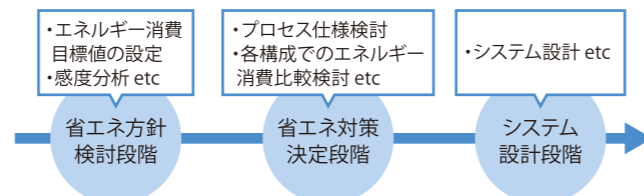


図1 シミュレーターの使われ方の想定

研究開発の概要

- ヒートポンプシステムの導入パターンを「加熱方式」(循環、非循環)、「ヒートポンプの導入用途」(予熱、置換)、「冷温同時取り出し」(有、無)これら3つの組合せの基本8パターンより選択し、ボイラー・バーナータイプ(従来)と比較します(図2)。
- 地球温暖化係数の低い冷媒を探索するために、冷媒を変更した場合の比較も容易に行えるようにしました。
- 計算には年間性能評価のため十分な妥当性を確保しつつ速度も重視したピンチ温度による数理モデルを採用しました。

基本構成パターン	ボイラー・バーナー	ヒートポンプ	基本構成パターン	ボイラー・バーナー	ヒートポンプ
Type1 ・非循環加熱 ・置換 ・冷温同時利用 なし			Type5 ・循環加熱 ・置換 ・冷温同時利用 なし		
Type2 ・非循環加熱 ・置換 ・冷温同時利用 あり			Type6 ・循環加熱 ・置換 ・冷温同時利用 あり		
Type3 ・非循環加熱 ・予熱 ・冷温同時利用 なし			Type7 ・循環加熱 ・予熱 ・冷温同時利用 なし		
Type4 ・非循環加熱 ・予熱 ・冷温同時利用 あり			Type8 ・循環加熱 ・予熱 ・冷温同時利用 あり		

図2. 計算可能な基本構成パターン

成果

- 簡単な入力と操作で産業用ヒートポンプの導入効果を定量評価できる「産業用ヒートポンプ単体シミュレーター」を開発し(図3)、Webよりダウンロードできるようにしました(図4)。
- 開発シミュレーターの計算精度を、温水での洗浄プロセスや、熱風での塗装乾燥プロセスでの実測データを用いて確認しました。
- また、2元冷媒サイクルの計算ロジックを構築し、シミュレーターとしての汎用性の拡張を行いました。
- さらに、単体シミュレーターで構築したパターンやロジックを基に、ヒートポンプやボイラー、補機等のモジュールをGUI上で接続してフロー図を作成しシステムの性能評価計算を行う「産業用エネルギー統合シミュレーター」の開発を行いました(図5)。

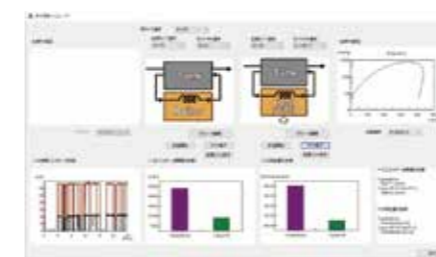


図3 産業用ヒートポンプ単体シミュレーターのユーザーインターフェース画面の例

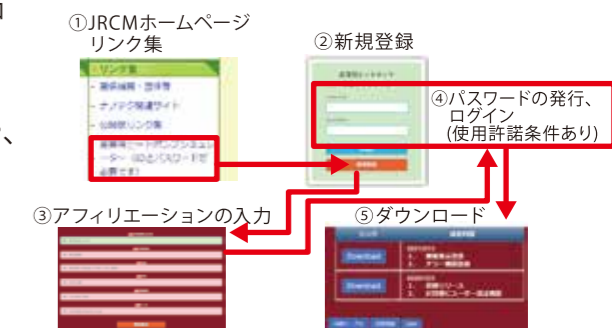


図4 産業用ヒートポンプ単体シミュレーターのダウンロードの要領



図5 産業用エネルギー統合シミュレーターのシステムフロー図のGUIの例

今後の展望

具体的な事例における産業用ヒートポンプの導入効果について本シミュレーターを用いて示すとともに、ポンプ・タンク・弁などの生産プロセス全体の設計やエンジニアリングを可能とする「産業用エネルギー統合シミュレーター」を高度化してゆきます。また、これらシミュレーターの一般公開と標準化を進めます。

参考文献

- 1) TherMAT技術開発センター「産業分野の排熱実態調査報告書」(2019.3) https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101074.html
- 2) 市川、鈴木、鄭、宮岡、齋藤:「産業用ヒートポンプシステムの統合シミュレーション技術の構築第2報:「産業用ヒートポンプ単体シミュレータ」の開発」日本冷凍空調学会講演論文集、(2020.9.9-11) D234 pp.1-6.
- 3) A. Ichikawa, J. Jeong, Y. Miyaoka, S. Yamaguchi, and K. Saito: "Categorization of industrial heat pump for integrated simulation technology" Proc. of 13th IEA Heat Pump Conf. 2020、(2021.4) 322 pp.1-9.
- 4) 武藤、丸山、宮岡、齋藤:「産業分野におけるヒートポンプ導入効果の評価手法の構築とシミュレータの開発」第31回環境工学総合シンポジウム、(2021.7.8-9) No.21-14 pp.1-4.
- 5) 占部、宮岡、鄭、齋藤、淵上、町田、豊田:「ヒートポンプ導入効果を定量評価できる産業用ヒートポンプシミュレーターの開発」エレクトロヒート、No.239 (2021.9) pp.9-14.
- 6) 丸山、武藤、宮岡、鄭、齋藤:「産業分野におけるヒートポンプ導入効果の評価手法の構築と「産業用エネルギー統合シミュレータ」の開発」日本冷凍空調学会講演論文集、(2021.9.8-10) D123 pp.1-6.

プロジェクト実施期間: 2013~2022年度

NEDOプロジェクト名: 未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発 / 熱関連・基盤技術の開発 / 産業分野の排熱実態調査、ヒートポンプ技術等の統合解析シミュレーション技術の構築

お問い合わせ

(一財)金属系材料研究開発センター 担当: 豊田

TEL: 03-3592-1282

メールアドレス: stoyoda@jrcom.jp URL: <http://www.jrcom.or.jp/>



熱電発電モジュールの発電性能の 高精度評価技術・耐久性評価技術を開発

プロジェクト実施者: 未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合
(国研)産業技術総合研究所

背景

未利用熱を有効活用した熱電発電システムの実現にむけて、低コストで高性能な熱電発電モジュールの開発が世界各国で進められています。熱電発電システムの最小構成部品である熱電発電モジュールは、今後様々な形で市場を流通すると考えられ、その基本発電性能や耐久性等について、正確に評価する技術開発が求められています。

目的

本事業で実施している高性能熱電発電モジュールの研究開発の加速、および近い将来の熱電発電モジュールの市場拡大を見据えて、正確で迅速な熱電発電モジュールの発電性能評価技術を開発し、国際標準化を目指します。また熱電発電モジュールの耐久性の評価手法や寿命の推定方法を新たに開発し、長寿命で低コストな発電モジュール、発電システムの実現を目指します。

研究開発の概要

熱電変換モジュールが市場に普及するには、統一した基準のもと、性能を精度よく評価することが求められています。本研究開発では、産総研つくばセンターで運用してきた標準型熱電発電モジュール評価システム(NEDO「高効率熱電発電システムの開発(FY2002-FY2006)」において開発)蓄積した技術を更に高度化して、様々なモジュールの高精度評価ができるように技術開発を進めています。例えば、熱電モジュールには大小さまざまな形状のものがあります。そのため、サイズの違いによる測定誤差を正しく評価する必要があります。我々は、測定誤差が生じる様々な要因を詳細に調べ、熱電モジュールの高精度評価技術の開発を進めています。本事業で開発した評価手法を基に発電性能測定法の国際標準化(IEC/TC47)を進めています。また、高耐久モジュールの開発に必要な、熱膨張率や機械強度など、材料の基本物性値のデータベース化もおこなっています。



性能評価システムの外観



性能評価システムの内部

成果

【モジュールの形状依存性】

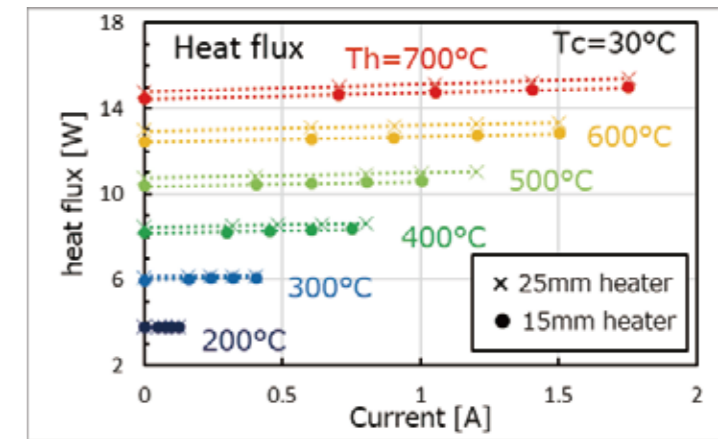
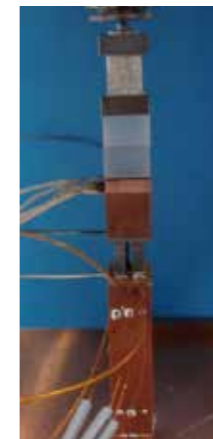
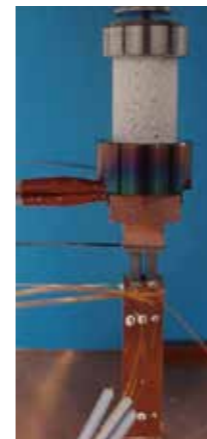
大小様々なサイズの熱電モジュールがあり、それらの性能を高精度にかつ実際の運用上出来るだけ簡便に評価する必要があります。そのために、ヒーターからの放射による誤差を評価し、モジュールとヒータのサイズスマッチの影響を明らかにしました。

【劣化診断】

計測中の熱電発電モジュールの特性変化をin-situで計測することができます。このことにより、劣化が開始する温度条件や発電条件を正確に把握することが可能になりました。また大電流を流す劣化加速試験法などを確立し、熱電発電モジュールに使用されている材料の耐久性や寿命の推定が可能となりました。

【熱接合材の影響評価】

熱電発電モジュールをシステムに実装するためには熱伝達促進のための熱接合材が必要です。発電性能に対する影響を詳細に把握し、適切な実装方法を提案できるノウハウを確立しました。



今後の展望

引き続き、測定精度を高めて行くこと及び、様々な形状を持つ実際のモジュールを想定した評価技術を確立します。これまで確立した評価技術の国際標準化を目指します。また、劣化加速試験を進め、精度の高い劣化予測を可能にし、高耐久熱電モジュールの開発に寄与します。

プロジェクト実施期間: 2013~2022年度

NEDOプロジェクト名: 未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発 / 熱電変換素子の高性能化に資する評価技術の開発

お問い合わせ

(国研)産業技術総合研究所

TEL: 029-861-5268 メールアドレス: M-materials-physics-info-ml@aist.go.jp

URL: <https://unit.aist.go.jp/ieco/ieco-mp/>



熱電変換素子の高性能化に資する評価技術の開発 有機熱電変換素子の評価技術の開発

プロジェクト実施者: 未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合
(国研)産業技術総合研究所

背景

有機材料は柔軟性を有することや軽量であることから、フィルムのような質感の熱電変換素子を形成することが可能です。しかし、その熱電特性計測には種々の課題がありました。例えば、層状や繊維状等などの構造を持つ材料では、方向によってその特性も異なります(異方性)。板状や膜状の材料では、厚さ方向に測定用の端子を取りつける十分な距離が確保できず、面方向の測定値だけで評価するしかありませんでした。これに加えて、有機材料の特徴を生かした軽量でシート状の熱電変換素子がどのような場面で使えるのかといった、その用途が従来は明確ではありませんでした。

目的

板状や膜状の材料の電気伝導度とゼーベック係数を、2方向(縦と横)同一条件下で測定できる装置を開発することで、異方性熱電素子評価のデファクトスタンダードとなる手法の確立を目指しています。また、有機材料から成るシート状の熱電変換素子の用途として、熱流束センサへの応用展開を検討しています。熱流束センサを用いて各種装置からの排熱の実計測を行う研究に取り組んでいます。

研究開発の概要

【有機熱電材料計測技術開発】

板状や膜状の厚さ方向(縦方向)の特性評価手法を開発しました。電気伝導度測定では、図1(a)のように、材料を針状とリング状の二重構造電極で挟み、図1(b)のように、その電極間隔を狭めていくことで近似的に4端子法と同等の評価ができることがわかりました。多くの材料の測定を通して、電極間距離、試料厚さ、電気伝導度の3つの間に法則性があることも見出し、精度よく評価できる材料形状と特性の関係も明らかになっています。熱起電力測定では、材料を中心として、上下電極の温度をそれぞれ同じ温度幅でプラス側とマイナス側にふることで、正確な評価ができることを見出しました。開発した装置は市販されています。

【シート状熱流束センサ開発】

カーボンナノチューブ(CNT)を樹脂中に分散させた材料を溶液塗布法により形成することでシート状の熱流束センサを作製しました。CNTと樹脂の複合材料が熱電変換材料として機能するため、センサを通過した熱流束に比例した電圧が発生します。

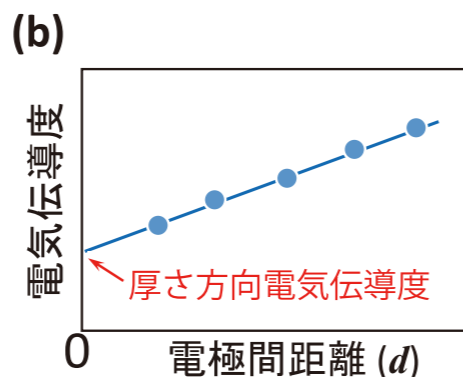
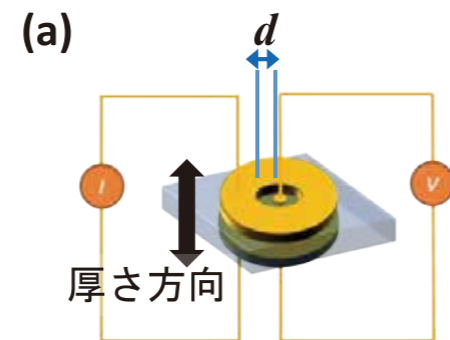


図1. 縦方向電気伝導度測定原理

成果

【有機熱電材料計測技術開発】

市販された縦方向評価装置で、横方向も測定できる手法を確立しました。同一装置で両方向の測定が可能となり、同じ条件で時間をあけずに異方性材料の特性を評価できます。図2に、例として、有機材料の電気伝導度を、一般的な4端子法で測定した結果と、開発した装置で測定した結果を比較して示します。この図では、赤い線上にあればまったく同じ値であることを示しています。開発装置で測定した値が、正確な測定手法として知られる4端子法での値と誤差7.7%以内で一致していて、信頼性の高い評価ができることが明らかとなりました。また、縦方向の測定では電極間距離を変えて測定する必要がありましたが、0.1mm以下の絶縁コーティングを施した中心電極(図3)を使うことで、限りなく電極間距離を狭めることに成功したため、1回の測定で縦方向の評価ができるようになりました。

【シート状熱流束センサ開発】

図4は作製した熱流束センサの実物の写真、及びその素子構造です。熱電材料、及び電極薄膜をスルーホールを介してフィルム基板の上下で接続した構造を採用することで高感度なセンサを作製しました。本熱流束センサはフィルムの様な形態で柔軟性を有するため、曲面を持つ物体へも容易に取り付けることができます。また、素子パターンの密度を変更することで高感度化、大面積化等が容易に行えます。

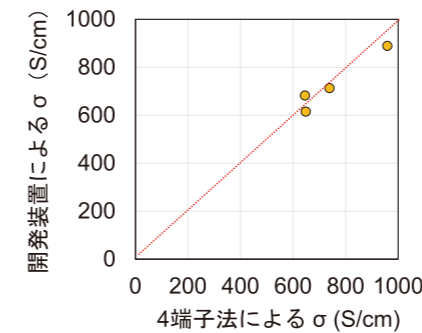


図2 横方向電気伝導度比較



図3 縦方向電気伝導度測定新電極

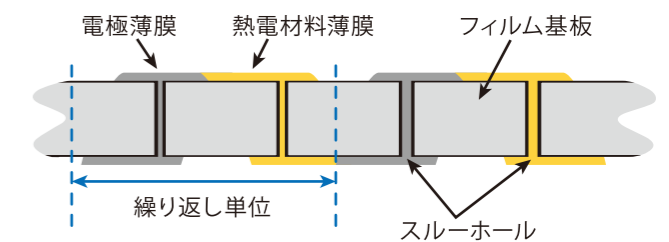


図4 作製した熱流束センサ

今後の展望

有機熱電材料計測技術開発では、上市した縦方向評価装置で、横方向の評価を可能とする手法を確立し、さらには縦・横同一測定手法のデファクトスタンダード化のため、データ公開を積極的に進めデータベースを構築します。シート状熱流束センサ開発では、熱流束センサを用いて様々な装置の動作状態を計測するための技術を開発します。

プロジェクト実施期間: 2013~2022年度

NEDOプロジェクト名: 未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発 / 熱関連調査・基盤技術の開発 / 熱電変換素子の高性能化に資する評価技術の開発

お問い合わせ

有機熱電材料計測技術開発
産業技術総合研究所 担当: 向田 雅一
TEL: 029-861-9393
メールアドレス: mskz.mukaida@aist.go.jp

シート状熱流束センサ開発
産業技術総合研究所 担当: 末森 浩司
TEL: 029-861-4663
メールアドレス: kouji-suemori@aist.go.jp



熱関連材料データベース(PropertiesDB Web)の 開発と計算蓄熱化学の連携

プロジェクト実施者: 未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合
(国研)産業技術総合研究所

背景

未利用熱エネルギー活用技術を革新する各種材料開発を効率的に進めるためには、熱関連材料・物質に関する多角的/体系的な熱物性情報が必須となります。しかし現状では、構造や化学組成等を収録したデータベースは一般に公開されて自由に活用出来る一方で、熱的特性情報まで含めたデータベースの整備は遅れていました。

目的

各種の熱関連材料研究の基盤情報を共有し、さらに新規な材料探索/設計と新規材料を部素材としたモジュール設計に活用されることを目的として、熱関連材料データベースの開発に取り組み、熱関連材料/素材の各種熱物性情報と関連データを収集し体系化した上でデータベースを構築し、プロジェクト内外でデータ共有を図ります。

研究開発の概要

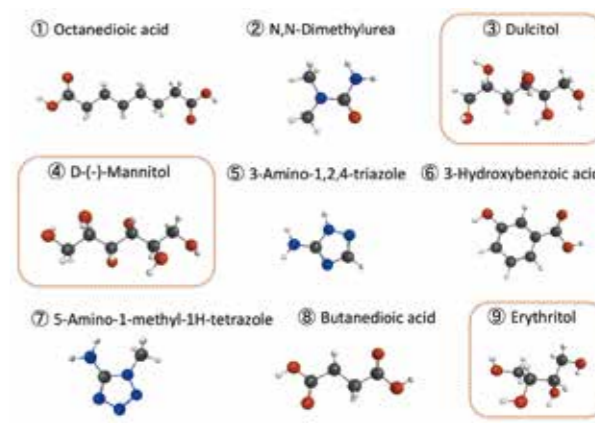
熱関連材料・部素材の各種熱物性情報と関連データを、論文、データ集、データベースなどから探索/収集し、デジタル化してデータベースに体系的に収録しています。また収録したデータセットを各種熱物性(温度、相転移のエンタルピー/エントロピー変化、ギブス自由エネルギー等)間の2次元相関を解析、および表示可能な機能を含めたウェブ検索表示システム「PropertiesDB Web」として整備公開を進めています。また並行して、グラフ情報デジタル化に必要なプログラムも開発して公開しています。左下図においてはPropertiesDB Web公開版のウェブホームページ情報を示しており、本HP上にアクセスすることでシステムの利用が可能です。また熱物性検索の一例として、典型的な熱物性である蓄熱密度に関して、蓄熱性能に優れた材料を検索し新材料探索の方向性を見出すために、物質の融点と融解エンタルピー変化量を解析表示した結果を右下図に例示しています。

成果

有機化合物の構造と物性相関の具体例として、本データベースに収録された有機化合物の融点とエンタルピー変化(融解熱)に関して、分子構造と熱物性の多元相関を解析しました。典型的な有機化合物(アルカン、アルケン、アルキン、アルコール、シクロアルカン)に関しては、融点と融解熱はその構造に従って特徴的な傾向を示すことが分かったので、さらに融解に伴うエントロピー変化の融点分布も本データベースを用いて解析しました。左下図には融点に対する融解エントロピーの分布を、CとHのみを含む化合物とそれ以外に分けて表示していますが、融解熱が大きくかつエントロピー変化も大きな物質を探索することで、高密度蓄熱が期待される蓄熱材の候補分子構造が検索できます。右下図に幾つかの候補分子構造を示しますが、今回検索された化合物の一種である糖アルコールは高密度蓄熱が期待され、実際に理論計算とデータベースを活用した新規蓄熱材の分子設計においても、糖アルコールを鋳型とする分子では高密度蓄熱が予測されています(稲垣一石田, J. Phys. Chem. C (2016) 120, 7903-7915, J. Am. Chem. Soc. (2016) 138, 11810-11819)。



有機化合物の融点と融解エントロピー分布



融解熱とエントロピー変化の大きな有機分子構造

今後の展望

本データベースに収録された有機/無機化合物の多くには国際純正・応用化学連合(IUPAC)により命名法や、CAS番号などが対応づけられており、PubChem等の化合物データベース、およびRDKit等のオープンソースソフトウェアを併用した熱物性の統計解析への応用が期待されます。また同時に、本データセットに対して構造物性相関解析手法を適用し、さらに計算シミュレーションと連携した新規材料を探索する新しい技術基盤を確立することで、未利用熱エネルギーの革新的活用のための材料開発研究を加速することが期待されます。

プロジェクト実施期間: 2013~2022年度

NEDOプロジェクト名: 未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発/熱関連材料の計算シミュレーションとデータベース構築



PropertiesDB Web公開版ホームページ

PropertiesDB Web 実行画面(選択&ズーム表示)

お問い合わせ

(国研)産業技術総合研究所
〒305-8568 茨城県つくば市梅園1-1-1 つくば中央第二事業所
TEL: 029-858-2770 URL: <https://thermatdb.secsite.jp/Achievement/PropertiesDBtop.html>



200°C温水出力を可能にする高効率ヒートポンプに適した環境負荷の低い冷媒の開発

プロジェクト実施者: 未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合
(三菱重工サーマルシステムズ(株)、三菱重工(株)、セントラル硝子(株)、(国研)産業技術総合研究所)

背景

機械・化学産業分野の多くのプロセスでは化石燃料を使用した蒸気ボイラにより高温熱媒が供給されており、地球温暖化防止の観点から、その代替として高温熱を供給することが可能なヒートポンプの導入が求められています。一方で、高温熱供給に適した環境負荷の低い冷媒が存在しないなどの理由で、150°C以上の高温水が出力できる、蒸気ボイラの代替が可能なヒートポンプは存在していないのが現状です。

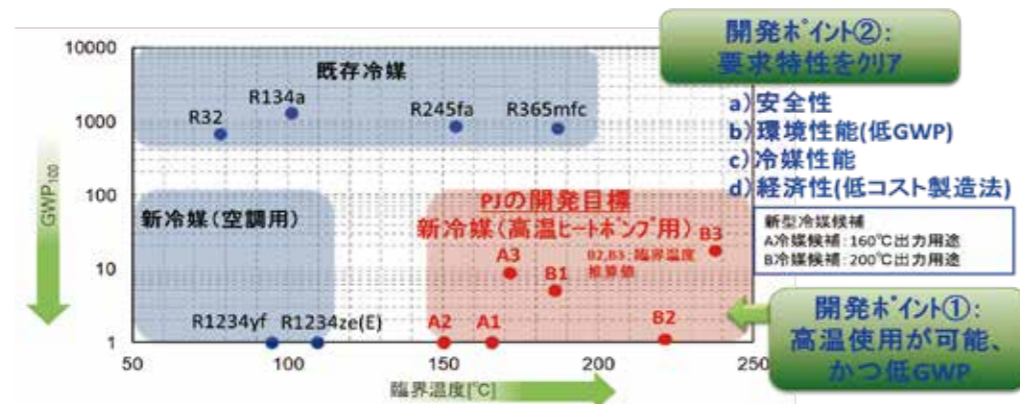
目的

産業用の製造プロセスから未利用熱として捨てられている80~100°C程度の排熱を回収し、160~200°C程度の高温熱媒を供給するヒートポンプシステムに必要な冷媒を開発します。このため、GWP(Global Warming Potential: 地球温暖化係数)が小さく、高温域での利用でも、熱伝導性、熱安定性に優れていると共に、ヒートポンプサイクルの設計圧力を低減できる沸点の高い化合物を選択し、冷媒としての適性評価を行っています。これにより、高効率ヒートポンプシステムの開発が可能となり、ガスバーナ燃焼や蒸気ボイラの代替として導入することにより、一次エネルギー使用量の削減およびCO₂排出量の削減に貢献していきます。

研究開発の概要

①高温ヒートポンプに適した低GWP冷媒候補の開発および物性情報の構築
2017年度までに、新型冷媒候補A3を160°C温水出力ヒートポンプに適した冷媒として選定しました。2018年度以降は、200°C温水出力用に適した冷媒候補をB1、B3に絞り込み、低コストの製造方法を開発するとともに、熱力学性質、輸送特性を計測し、高精度ヘルムホルツ方程式を完成させます。冷媒物性データベースREFPROPで使用できるよう取得したデータのデータファイルを作成してきました。

②高温ヒートポンプの冷媒候補の適正評価
2017年度までに、160°C温水出力ヒートポンプの基本設計を終了しました。2018年度以降は、熱力学性能解析によって、200°C温水出力ヒートポンプに適したヒートポンプサイクルの基本特性を明らかにしました。また、200°Cヒートポンプサイクルを実現する熱交換器設計の指針を示すとともに、採用冷媒に適合する潤滑油の選定や使用可能なエラストマ材料の選定を行いました。



低GWP新型冷媒候補の臨界温度とGWPの関係

成果

①高温ヒートポンプに適した低GWP冷媒候補の開発および物性情報の構築
200°C温水出力ヒートポンプに適した冷媒候補B1~B5を、GWP、燃焼性、熱安定性、安全性の観点から、B1・B3に絞り込みました。そして、熱物性・輸送性質、毒性試験、量産性の検討を実施し、冷媒候補B1が最適であると判断しました。取得した物性値から、高精度のヘルムホルツ状態方程式を完成させ、REFPROPで使用できるようデータファイルにして、プロジェクト実施者内で共有しました。さらに、高効率の量産方法を確立しました。

低GWP新型冷媒候補での評価物性

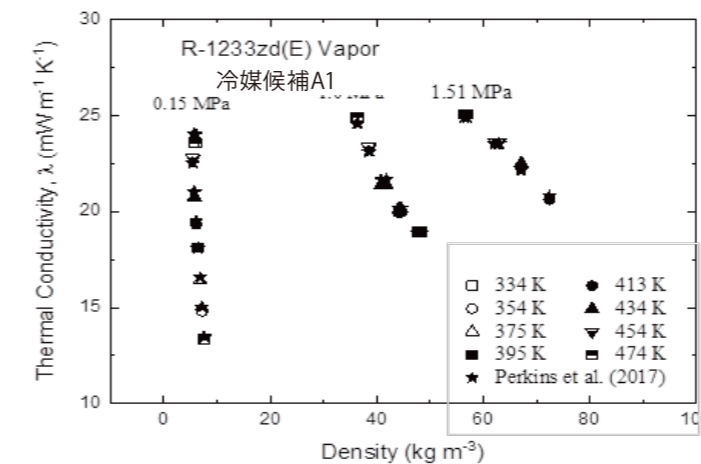
開発番号	160°C出力用新型冷媒候補 (A)		
	A1	A2	A3
毒性	Ames: 陰性 急性吸入: GHS区分外	Ames: 陰性 急性吸入: GHS区分外	Ames: 陰性 急性吸入: GHS区分外
燃焼性	Class: 1	Class: 2L	Class: 1
熱安定性	160°C	200°C	225°C
熱力学的性質	データ取得済	データ取得済	データ開示済
輸送的性質	データ取得済	データ取得済	データ開示済

160°C出力機: A3冷媒で選定

②高温ヒートポンプの冷媒候補の適正評価
200°C温水出力に適したヒートポンプの熱力学的サイクル性能を予測し、COPの改善および製造コストの観点から、二段圧縮抽気サイクルが最も合理的なサイクルであることを確認しました。また、採用した冷媒候補B1の二段圧縮抽気サイクルでは、熱物性値が既知である既存冷媒よりも、新型冷媒候補B1を採用したヒートポンプ性能が、最も良くなることを確認しました。さらに、冷媒候補B1に適した潤滑油を選定し、採用冷媒と採用潤滑油に適したエラストマ材料の選定が完了しました。

開発番号	200°C出力用新型冷媒候補 (B)				
	B1	B2	B3	B4	B5
毒性	Ames: 陰性 急性経口: GHS区分5 または区分外	Ames: 陰性 急性吸入: GHS区分5 または区分外	Ames: 陰性 急性経口: GHS区分5	Ames: 陰性 急性経口: GHS区分5 または区分外	Ames: 陰性
燃焼性	Class: 2L	不燃性	Class: 2L	Class: 2L	不燃性
熱安定性	250°C	225°C	250°C	250°C	250°C
熱力学的性質	データ取得中	未評価	データ取得中	未評価	未評価
輸送的性質	データ取得済	未評価	データ取得済	未評価	未評価

200°C出力機: B1冷媒が最適と判断



冷媒候補の密度-動粘度計測結果



臨界点測定装置とバーネット式PVT測定装置外観

今後の展望

冷媒候補B1の熱物性・輸送特性のデータベースの公開を進め、開発冷媒B1の普及を進めます。また、200°C温水出力ヒートポンプへの適用を進めることで、開発冷媒の供給実用化を図っていきます。

プロジェクト実施期間: 2013~2020年度
NEDOプロジェクト名: 未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発/熱関連調査・基盤技術の研究開発/
機械・化学産業分野の高温熱供給ヒートポンプシステムに適した冷媒開発

お問い合わせ

三菱重工サーマルシステムズ(株) 大型冷凍機技術部 担当: 結城啓之

TEL: TEL: 050-3826-1502

メールアドレス: hiroyuki.yuki.3r@mhi.com URL: https://www.mhi-mth.co.jp/



蓄熱構造体の開発

プロジェクト実施者: 未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合 (トヨタ自動車(株))

背景

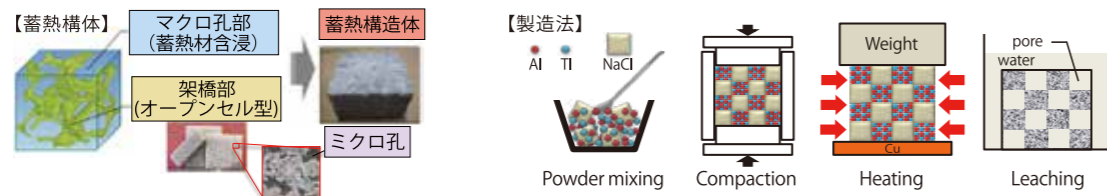
自動車で消費される燃料エネルギーの7割は廃熱として捨てられていますが、特に冬季には、冷間始動時は熱不足、暖機完了後は熱過剰という時間のミスマッチが生じており、熱の有効利用ができておりません。その結果として、車両の燃費が悪化し、環境へのダメージ増加につながっております。そのため、出てきた廃熱を一旦溜めておく蓄熱技術の開発が重要です。

目的

蓄熱材は多くの熱を蓄えることが可能であり、一定温度で熱を吸放出する点が特徴です。しかし、材料自体は熱伝導率が低いため、凝固時の熱放出速度が遅い点が課題です。そこで、熱伝導率の高いポーラス金属との複合構造体を開発し、実行熱伝導率の向上を目指します。さらに、ポーラス構造を制御することで、熱出力(熱伝導率×蓄熱密度)の最適化も目指します。また、熱交換器への適用を想定し、生産性向上やコスト低減性に優れた構造体の開発を目指します。

研究開発の概要

- 本研究にて具現化を目指したポーラス構造は、オープンセル型です。オープンセル型とは、大きな空間を有するマクロ孔部と伝熱ネットワークを構築する架橋部に分かれた構造です。本研究の特徴として、この架橋部内にミクロ孔を配置させたことがあげられます。これは、マクロ孔部に蓄熱材を配置し、ミクロ孔で物質移動を実現するためです。本構造により、蓄熱材の種類(潜熱、吸着等)に寄らず蓄熱構造体を具現化できるようになると期待しています。
- 骨格材料にはAl-Ti合金を用いて、高温高压環境下でのAl自己発熱反応を利用した構造体(ポーラス金属)の合成を目指しました。また、NaClを含有させることで、容易にマクロ孔をあけることができます。
- 本製造法を用いて、ポーラス構造体の合成に成功しました。配合比、粒子径等の最適化を行い、Al/Ti比=9、Al/Ti粒子径<45 μ m、マクロ孔径330-430 μ m熱伝導率3.5W/mKを有する構造体の作成に成功しました。顕微鏡解析で意図した構造体となっていることも確認しました。さらに、焼成温度、圧力の適正化により、17年度→18年度で成型時間1/4化に成功し、工業的に適用可能な成形時間実現の道筋が見えてきました。



プロジェクト実施期間: 2013~2018年度

NEDOプロジェクト名: 未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発/蓄熱技術の研究開発/車載用蓄熱技術(材料)の研究開発

お問い合わせ

トヨタ自動車(株) 担当: 渡橋 学英

TEL: 050-3166-1070

メールアドレス: manabu_orihashi@mail.toyota.co.jp URL: <https://global.toyota/>



独自設計の高遮熱フィルムの開発で 夏場の冷房負荷約30%省エネを実現

プロジェクト実施者: 未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合 (東レ(株)、(国研)産業技術総合研究所)

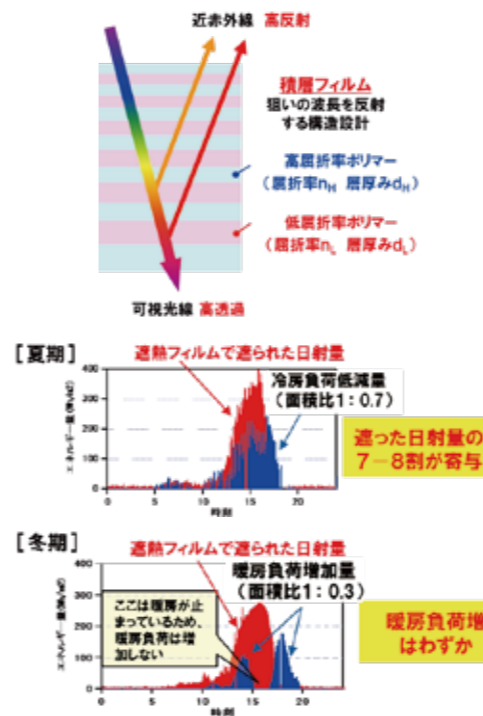
背景

世界的な温室効果ガス削減を背景として、夏場のエアコンの電力負荷低減を目的に、太陽光の熱線が窓から流入するのを防止して温度上昇を抑えることが重要となっています。このような窓では採光と熱流入の制限を両立させることが必要であり、このため太陽光に含まれる熱線のみ選択的に反射させる技術開発が求められています。

目的

ポリマー材料を利用し、超高精度な積層技術等を駆使することにより、従来技術では到達困難な明るさ(高い透明性)と遮熱性を兼ね備えた革新的次世代遮熱フィルムを創出することです。革新的次世代遮熱フィルムを窓に設置することにより、住宅・建築分野における空調電力や照明電力の省エネルギー化を図り、温室効果ガスの削減を目指します。

研究開発の概要



超高精度な積層技術等を駆使して、革新的な遮熱フィルムを開発します。また、開発品を窓材として用いた際の建屋内の省エネ効果の評価技術確立し、窓材用の設計確立を目指します。

- 新規光学設計技術、特殊積層技術、ポリマー設計技術等を融合し、従来では不可能な明るさと高遮熱性の両立を実証しました。特に遮熱フィルムの外観品位向上のため、フィルムの積層構造の解析とその結果を用いた特殊積層装置の改造設計・加工をおこない、大面積でのフィルム外観の均一性を向上させました。
- 建屋内の省エネ効果の評価技術の開発では、窓からの日射熱に加え、天井・床・壁の熱流入を計測して解析をする評価技術を構築し、年間を通じた冷暖房負荷低減効果の評価が可能となりました。
- 本開発品の年間を通じた評価をおこない、夏期は遮った日射の7~8割が冷房負荷低減につながることで、冬期は遮った日射の3~4割しか暖房負荷増加につながらないことを実証しました。これから、年間を通じた本開発品の有効性が証明されました。

プロジェクト実施期間: 2013~2017年度

NEDOプロジェクト名: 未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発/遮熱技術の研究開発/革新的次世代遮熱フィルムの開発

お問い合わせ

東レ(株)

TEL: 077-533-8351

URL: <https://www.toray.co.jp/>



『一重効用ダブルリフト吸収冷凍機』を 業務用、産業用分野に導入開始

▶ プロジェクト実施者: 未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合
(日立ジョンソンコントロールズ空調(株)、(株)日立製作所)

背景

『未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発』の成果をもとに2017年4月に製品化した『一重効用ダブルリフト吸収冷凍機』は、コージェネ大賞2017 技術開発部門 特別賞を受賞するとともに、現在実用化され業務用・産業用の空調用途として順調に稼働しています。現在、温水排熱を約55℃まで回収して8℃の冷水を供給する機種に加え、1993～98年のNEDO事業「エコ・エネ都市システム」の低温発生技術を採用した0～3℃供給型が利用可能です。

目的

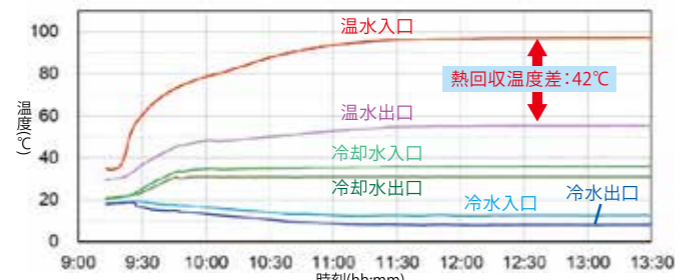
温水の熱エネルギーを95℃から55℃まで大温度差で回収することにより熱エネルギーを低温域まで活用し、同時に温水の流量と搬送動力を低減します。今後は高温・中温排熱利用の進展に伴って100℃以下の低温排熱の増加が予想され、これらの需要に合わせた開発を継続していきます。

研究開発の概要

『一重効用ダブルリフト吸収冷凍機』は現在商用機の生産、業務用、産業用分野への導入を開始しました。さらに、従来型の一重効用吸収冷凍機を用いた低温発生実証試験の結果をもとに、供給温度範囲を0～3℃まで拡大した低温供給仕様についても販売を開始しており、今後、産業分野などにおける低温未利用熱の活用をさらに促進することが期待されます。



一重効用ダブルリフト吸収冷凍機 (プロトタイプ)



プロトタイプによる試験運転データ

No.	導入先	導入国	用途	熱源温水	冷凍能力	台数	導入時期
1	事務所ビル	ドイツ	業務用空調	95→65℃	630kW	3	2019年
2	機械工場	ドイツ	産業用空調	90→55℃	1,407kW	1	2020年
3	大学病院	ポーランド	業務用空調	65→57℃	300kW	1	2020年
4	化学工場	スロバキア	産業用空調	62→52℃*	494kW	1	2021年

※25℃の冷却水により熱源温水出口温度を低温化
一重効用ダブルリフト吸収冷凍機のおもな導入事例

プロジェクト実施期間: 2013～2017年度

NEDOプロジェクト名: 未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発/ヒートポンプ技術の開発/低温駆動・低温発生機の開発

お問い合わせ

日立ジョンソンコントロールズ空調(株) 日本ビジネスユニット
業務用空調本部 大型冷凍機統括部 国内大型冷凍機営業部
TEL: 03-6848-9206 <http://www.jci-hitachi.com>



印刷技術を活用したフレキシブルな 熱電変換モジュールを開発

▶ プロジェクト実施者: 未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合
(富士フイルム(株))

背景

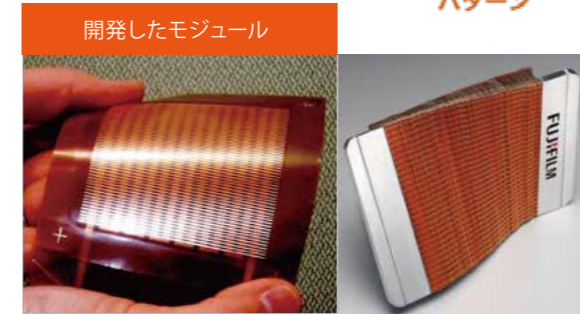
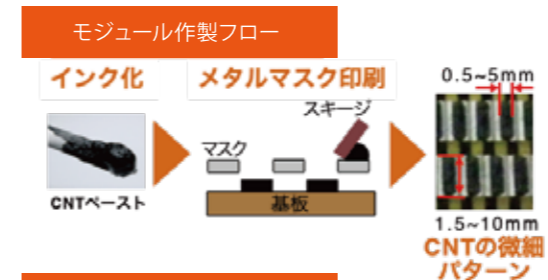
サステイナブルな社会の実現に向け、未利用熱の有効利用が注目されています。温度差を電気エネルギーに変換する熱電変換技術は、未利用熱の再資源化に有望であり、発電特性の飛躍的な向上を目指した材料及びモジュール開発を行うことによって省エネルギー・CO₂削減に貢献することが必要です。

目的

200℃未満の中低温領域の膨大な未利用熱エネルギーの活用を促進するために、従来の固くて重く、希少/毒性元素を含む無機系の熱電変換材料にかわる、柔軟で軽く、ユビキタス元素からなる有機系の熱電変換材料を開発します。印刷プロセスを用いて、様々な形状や規模の熱源に対応できるフレキシブルかつ軽量で加工しやすく、スケラブルな熱電変換モジュールの実現を目指します。

研究開発の概要

有機系の熱電変換材料として、高い導電性をもつ単層カーボンナノチューブ(CNT)に着目し、半導体特性の制御技術、及び分散・印刷技術により、軽量かつフレキシブルな熱電変換モジュールを開発しました。



シート状モジュール 蛇腹型モジュール

- CNTを高濃度かつ低欠陥でペースト化する分散技術、及びCNTの半導体特性を制御するドーピング技術を開発し、p型及びn型のCNTインクを実現しました。
- 開発したCNTペーストを用いて、熱電変換モジュールに適した微細パターンを実現できる印刷技術を開発しました。
- 印刷により形成した数千個の微細パターンの一つ一つが熱電変換素子として機能し、高いフレキシブル性をもつシート状の熱電変換モジュールを実現しました。
- 印刷により、CNTのpn接合を形成し、曲面追従性と温度差のつきやすさの両立を目指した蛇腹型の熱電変換モジュールを実現しました。

プロジェクト実施期間: 2013～2017年度

NEDOプロジェクト名: 未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発/熱電変換材料・デバイス高性能高信頼化技術開発/

フレキシブル有機熱電材料およびモジュールの開発

お問い合わせ

富士フイルム(株)有機合成化学研究所 担当: 杉浦 寛記
TEL: 0465-85-2965 メールアドレス: hiroki.sugiura@fujifilm.com
URL: <https://www.fujifilm.com/jp/ja/about/rd/structure#>



高効率熱輸送技術の開発

プロジェクト実施者: 未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合 (トヨタ自動車(株))

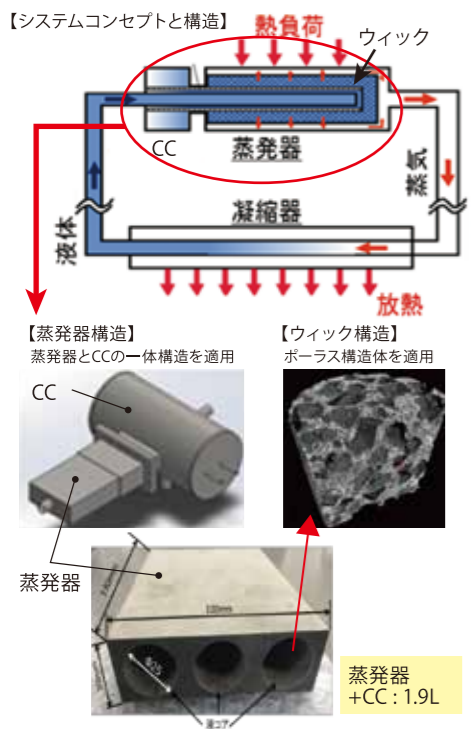
背景

自動車で消費される燃料エネルギーの7割は廃熱として捨てられておりますが、特に冬季には、熱の発生する場所と熱を利用したい場所が違う、空間のミスマッチが生じており、熱の有効利用ができておりません。その結果として、車両の燃費悪化、環境へのダメージ増加に繋がっております。そのため、出てきた廃熱を効率的に輸送する熱マネジメント技術の開発が重要です。

目的

熱を効率的に輸送するため、蒸気を利用した熱輸送システムに着目しました。中でも、電気的アクチュエータを必要とせず、熱輸送ポテンシャルの高いループヒートパイプ(LHP)の適用を検討します。従来研究では、輸送できる熱量は高々数百W程度でありましたが、車両の要求に答えるべく数kWオーダーの熱輸送を可能とするLHPの技術開発を目指します。

研究開発の概要



- ループヒートパイプ(LHP)はウィックの毛管力を駆動源とするため、ポンプレスで熱輸送ができます。従来では数十～数百Wクラスの報告は成されていましたが、車載を見据えた場合、さらなる大熱輸送量を実現する必要があります。本研究では、kWクラスのLHP構築を目指しました。
- システム具現化に向けては、蒸発器構造が重要な要素の一つです。本研究では、蒸発器とコンプレッサチャンバ(CC)を一体化させることでスペース効率の高い蒸発器を実現し、また、ウィック構造にポラス構造体を用いることで、狙いの熱輸送量の確保を目指しました。ポラス構造体は、気孔径や気孔率を制御しやすく、ウィック構造に適した材料です。
- 上記構造を適用することで、蒸発器+CCが車載を目指すレベルの1.9Lまで小型化することができました。
- 本蒸発器を用いた原理実証ベンチを構築し、熱輸送距離は2m、蒸発器と凝縮器の高低差をゼロと設定して評価を実施しました。また、凝縮器は水冷方式とし、性能律速させないため、余裕を持たせた設計としました。
- 原理実証の結果、3kWまで熱輸送可能であることを確認できました。また、本システムを設計するにあたり、要求にマッチしたLHP設計を可能とすべく、MBD技術を構築しました。その結果、当初狙いであったkWクラスのLHPの構築/実証に加え、要求性能が変わったとしても、要求に応じたLHPの設計ができるようになりました。

プロジェクト実施期間: 2013~2018年度

NEDOプロジェクト名: 未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発/熱マネジメントの研究開発/熱マネジメント材料の研究開発

トヨタ自動車(株) 担当: 渡橋 学 夫
お問い合わせ TEL: 050-3166-1070
メールアドレス: manabu_orihashi@mail.toyota.co.jp URL: https://global.toyota/



先導的に取り組むべき研究開発について 小規模研究開発を実施

未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発/小規模研究開発
熱電変換素子の高性能化に資する評価技術の開発

プロジェクト実施者: 未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合 ((国研) 産業技術総合研究所、京都大学)

背景

未利用熱を利用価値の高い電気に変換して再利用する熱電変換材料の探索・育成に向け先導的に取り組むべき研究開発について、小規模な研究開発を行っています。

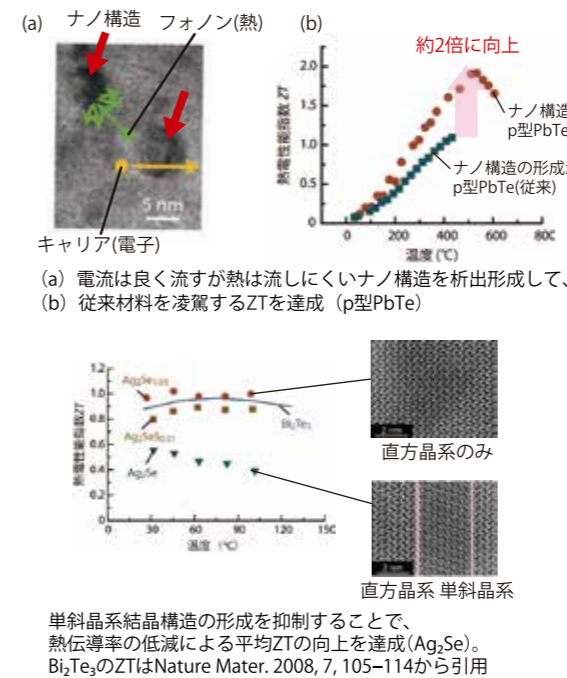
目的

熱電材料のナノ領域の熱(フォノン)の制御技術等、高度な熱マネジメント技術開発や、材料探索やモジュール作成技術、評価技術等、材料の高性能化等に必要な技術を開発しています。

- 小規模研究事業内容
- (1) ナノ構造を利用したフォノンとキャリア輸送の同時制御による熱電性能指数の飛躍的向上
 - (2) 低温排熱の有効活用に向けたバターンニング熱電デバイス
 - (3) ワイヤレスセンサネットワーク用電源用高性能有機系熱電材料・素子の研究開発

事業概要 (1) ナノ構造による熱電性能指数の飛躍的向上①

バルク体熱電変換材料において、ナノ構造を利用したフォノンとキャリア輸送の同時制御を実現し、熱電性能指数ZTの飛躍的向上を達成することを目的に、産業技術総合研究所と京都大学が協力して研究開発を進めています。



【高温熱電発電: 世界最高峰の変換効率を達成】
テルル化鉛(PbTe)バルク体熱電変換材料において、ナノ構造の制御などにより、n型とp型材料共に、ZTの大幅向上を達成しました。例えば、p型の材料では510°Cで最大ZTは1.9に達します。さらに、これら材料を用いてデバイスを作製して、世界最高峰の約12%の変換効率を実現しました。この技術は工場や自動車などからの高温廃熱を用いた熱電発電への応用が期待されます。

【低温熱電発電: 既存材料に匹敵する高性能を実現】
n型の熱電特性を示すAg₂Seの結晶構造を、ナノメートル領域で制御することで、電荷を運ぶキャリアの移動度の向上とキャリア濃度の最適化を実現しました。その結果、Ag₂Seで実用材料であるテルル化ビスマス(Bi₂Te₃)と同等のZTを達成しました。この材料は、IoT用電子機器などの自立電源などでの利用が期待されます。

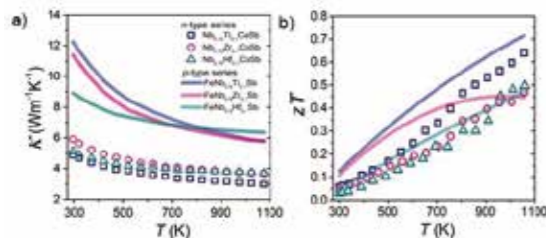
【代表的な成果】
Jood, P. Ohta, M. et al., Joule, 2018, 2, 1339-1355.
Jood, P.; Ohta, M. et al., J. Mater. Chem. A, 2020, 8, 13024-13037.
2018年5月22日プレス発表。
2020年5月28日プレス発表。

単斜晶系結晶構造の形成を抑制することで、熱伝導率の低減による平均ZTの向上を達成(Ag₂Se)。Bi₂Te₃のZTはNature Mater. 2008, 7, 105-114から引用

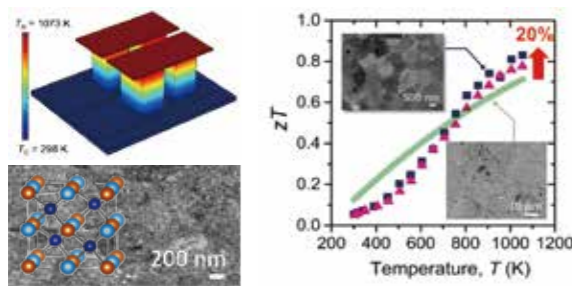
(国研) 産業技術総合研究所ゼロエミッション国際共同研究センター
〒305-8569 茨城県つくば市小野川16-1
お問い合わせ TEL: 029-861-5663 e-mail: gzr-info-ml@aist.go.jp URL: https://www.gzr.aist.go.jp/

事業概要 (1) ナノ構造による熱電性能指数の飛躍的向上②

中高温域で高い熱電変換性能指数を示すハーフホイスラー (HH) 化合物に着目しています。従来のHH化合物よりも機械的強度や高温安定性に優れたニオブ (Nb) 系HH化合物について、ナノ構造化による熱電性能指数の飛躍的向上をはかるとともに熱電発電モジュールを開発します。



Nb系HH化合物の (左) 熱伝導率と (右) zTの温度依存性



Nb系HH化合物のモジュール特性評価とナノ構造化による性能向上

Nb系HH化合物 (p型: NbFeSb, n型: Nb_xCoSb) の熱電性能指数を、Nbサイトを第4族元素 (Ti, Zr, Hf) で適量置換することで向上することに成功しました。n型とp型のどちらにおいても、NbサイトをTiで置換したときに最大の熱電変換性能指数が得られることが明らかになりました。

Nb系HH化合物からなる一対のパイ型熱電発電素子の性能を、実験的に得られた熱電特性の数値データをもとに、有限要素法シミュレーションソフトウェアCOMSOLを用いて評価しました。低温側を室温、高温側を1073 Kとしたとき、最大出力密度と最大効率を、それぞれ、6.6 Wcm⁻²と7.3%となりました [1]。

メルトスピン法を用いて試料の組織をナノ構造化することで、熱電変換性能指数を最大で約20%向上させることに成功しました [2]。

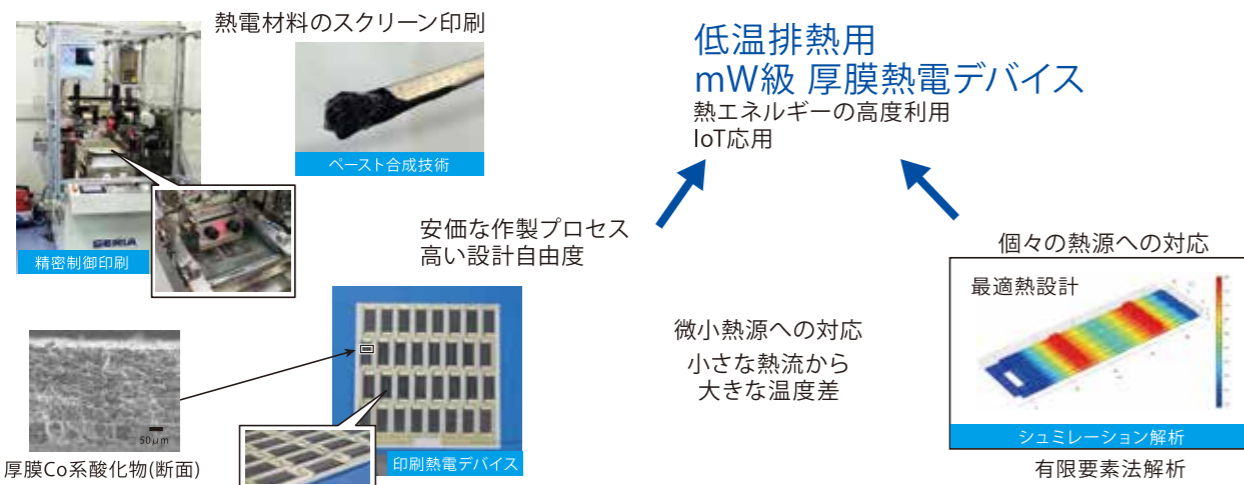
- [1] W. Silpawilawan et al., Adv. Electron. Mater., 6, 2000083 (2020).
- [2] W. Silpawilawan et al., Phys. Status Solidi A, 217, 2000419 (2020).

お問い合わせ

(国立大学法人) 京都大学複合原子力科学研究所
〒590-0494 大阪府泉南郡熊取町朝代西2丁目
TEL: 072-451-2491 URL: https://www.rri.kyoto-u.ac.jp/ndp-lab/top_page.html

事業概要 (2) 厚膜印刷によるパターンニング熱電デバイス

豊富に存在する低温排熱や身近な温度差を有効活用し、熱エネルギーの高度利用やIoT機器へのエネルギー供給を可能にするための厚膜熱電発電デバイスの作製技術を開発しています。



熱電発電デバイスの性能を最大限に発揮させるためには、熱源の温度や熱量に対して素子形状を最適化する必要があります。とくに今後の応用展開が期待されている環境発電には、微小熱源への対応が必要不可欠であり、 μm ~ mm スケールの素子作製技術が求められます。本事業では、スクリーン印刷を基盤とするパターンニングプロセスを用いて、安価で設計自由度の高い厚膜熱電材料の作製技術の構築を進めています。また、酸化物熱電材料を用いることで、環境負荷が小さく耐久性に優れたmW級の発電デバイスの開発を目指しています。

お問い合わせ

(国研)産業技術総合研究所 極限機能材料研究部門 電子セラミックスグループ
〒463-8560 愛知県名古屋市守山区下志段味穴ヶ洞2266-98
E-mail: M-webmaster_ifm-ri-ml@aist.go.jp URL: <https://unit.aist.go.jp/ifm-ri/eceram/>

研究開発の概要 (3) ワイヤレスセンサネットワーク電源用有機熱電材料素子の研究開発①

分散した熱を有効活用するため、安価で毒性の少ない原料を用いた有機系・炭素系材料による熱電材料を研究しています。材料自体の特性向上とあわせて、モジュール設計の最適化によって、近年注目されているワイヤレスセンサネットワーク (WSN) 用の電源をターゲットに、有機熱電モジュールの開発を行っています。

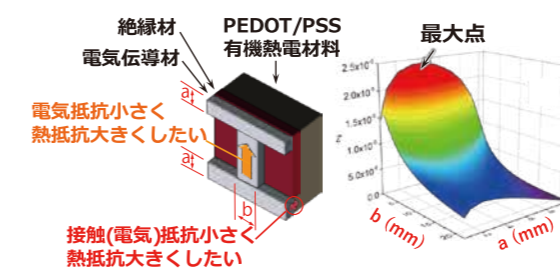


図1 内部構造 図2 シミュレーション結果

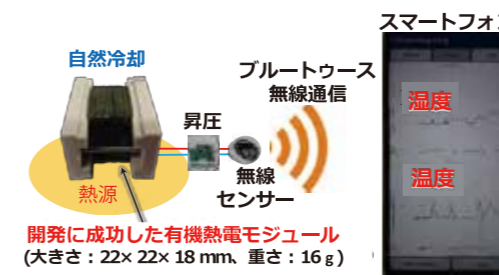


図3 スマートフォンへの無線通信

熱電発電では、発電量は温度差の2乗に比例して大きくなるので、熱抵抗が大きいことが大切です。一方、電気抵抗は小さいほど高性能です。図1は、PEDOT系有機熱電材料を用いて開発したモジュールの基本構造です。電気伝導材 (金属) は熱を伝えやすいので、図のaとbをできるだけ小さくしたいのですが、aとbが小さいと電気抵抗が大きくなります。そこで、熱抵抗を大きくかつ電気抵抗を小さくするための最適のaとbをシミュレーション解析して (図2*) モジュールを作製し、無線通信電源として利用できることを実証しました (図3)。100°C以下の熱源に置き自然冷却で、スマートフォンにセンサー信号を無線送信できています。70日間の連続稼働試験では劣化が認められませんでした。より低温で十分な発電量が得られるさらに小型軽量のモジュールの開発を進めています。

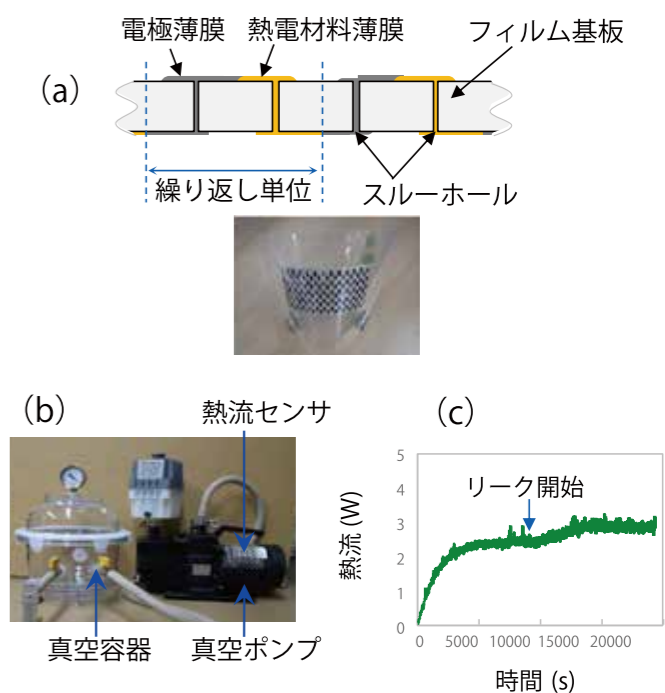
*1) ACS Appl. Energy Mater., 2019, 2, 10, 6973-6978.

お問い合わせ

(国研)産業技術総合研究所 担当: 向田 雅一
TEL: 029-861-9393 メールアドレス: mskz.mukaida@aist.go.jp
URL: https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2020/pr20200121_2/pr20200121_2.html

研究開発の概要 (3) 熱流センサによる装置の動作状態計測

炭素系熱電変換材料を用いて、フレキシブルで大面積な熱流センサを作製しました (図aの写真)。熱流センサを熱が通過すると電圧が発生します。この熱流センサはフィルムのような形状のため、曲面へも容易に取り付けることができます。図bはロータリー真空ポンプに熱流センサを貼り付け、その排熱を計測した様子です。電源投入後、5000秒程度で発電量が飽和しています (図c)。これは装置の暖機が5000秒程度で終了したことを示しています。また、9400秒経過時に意図的にリークを行い、装置に負荷をかけると発電量が増加することが観測されました (図c)。これより、本熱流センサを用いて装置にかかる負荷を計測できることが明らかとなりました。



お問い合わせ

(国研)産業技術総合研究所 担当: 末森浩司
TEL: 029-861-4663
メールアドレス: kouji-suemori@aist.go.jp