国内拠点

本部

〒212-8554
神奈川県川崎市幸区大宮町1310
ミューザ川崎セントラルタワー（総合案内16F）
TEL：044-520-5100（代表） FAX：044-520-5103

関西支部

〒530-0011
大阪府大阪市北区大深町3-1
グランフロント大阪 ナレッジキャピタル タワーC 9F
TEL：06-4695-2130 FAX：06-4695-2131

海外事務所

ワシントン

1717 H Street, NW, Suite 815
Washington,D.C. 20006 U.S.A
TEL:+1-202-822-9298
FAX:+1-202-733-3533

欧州

10, rue de la Paix
75002 Paris,France
TEL:+3-3-1-4450-1828
FAX:+3-3-1-4450-1829

北京

2001 Chang Fu Gong Office Building,
Jia-26,Jian Guo Men Wai Street,
Bejing 100022, P.R.China
TEL:86-10-6526-3510
FAX:86-10-6526-3513

シリコンバレー

3945 Freedom Circle, Suite 790
Santa Clara, CA 95054 U.S.A
TEL:+1-408-567-8033
FAX:+1-408-567-9831

ニューデリー

15th Floor, Hindustan Times House,
18-20 Kasturba Gandhi Marg,
Connaught Place,
New Delhi 110 001, India
TEL:+91-11-4351-0101
FAX:+91-11-4351-0102

バンコク

8th Floor, Sindhom BuildingTower 2,
130-132 WittayuRoad, Lumphini,
Pathumwan
Bangkok 10330, Thailand
TEL:+66-2-256-6725
FAX:+66-2-256-6727

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 省エネルギー部
〒212―8554神奈川県川崎市幸区大宮町1310番 ミューザ川崎セントラルタワー 18F
TEL:044-520-5180（代表） FAX:044-520-5186
https://www.nedo.go.jp

February 2023（第1版）

省エネルギーへのフロンティア

未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発

Reduce

熱の3R

Reuse Recycle

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

目次

未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発 ····· 1

Reduce

断熱技術の研究開発

高強度高断熱性多孔質セラミックスを用いた省エネルギー炉の研究開発
【美濃窯業(株)、(国研)産業技術総合研究所】 ····· 3

蓄熱技術の研究開発

高密度／長期蓄熱材料の研究開発【パナソニック(株)】 ····· 5※
車載用蓄熱技術(材料)の研究開発【トヨタ自動車(株)】(2018年度卒業テーマ) ····· 37

遮熱技術の研究開発
革新的次世代遮熱フィルムの研究開発(2017年度卒業テーマ)
【東レ(株)、(国研)産業技術総合研究所】 ····· 38

Reuse

ヒートポンプ技術の研究開発

産業用高効率高温ヒートポンプの開発【(株)前川製作所】 ····· 7
機械・化学産業分野の高温熱供給に適したヒートポンプシステム技術開発(2020年度卒業テーマ)
【三菱重工サーマルシステムズ(株)】 ····· 9
低温駆動・低温発生機の研究開発(2017年度卒業テーマ)
【日立ジョンソンコントロールズ空調(株)、(株)日立製作所】 ····· 39

Recycle

熱電変換材料・デバイス高性能高信頼化技術開発

熱電デバイス技術の研究開発【古河機械金属(株)】 ····· 11
熱電変換による排熱活用の研究開発【(株)日立製作所】 ····· 13
シリサイド熱電変換材料による車載排熱発電 (2020年度卒業テーマ)
【(株)安永、日本サーモスタット(株)】 ····· 15
実用化に適した高性能なクラスレート焼結体の研究開発【古河電気工業(株)】 ····· 17
フレキシブル有機熱電材料およびモジュールの開発(2017年度卒業テーマ)
【富士フィルム(株)】 ····· 40

排熱発電技術の研究開発

排熱発電技術の研究開発(2020年度卒業テーマ)【パナソニック(株)】 ····· 19

※パナソニック(株)テーマについては、2020年度から熱マネージメントのテーマ内において実施。

Management

熱マネージメントの研究開発

熱マネージメントの研究開発【マツダ(株)】 ····· 21
車両用小型吸収冷凍機の研究開発【(株)アイシン、(国研)産業技術総合研究所】 ····· 23
車両用高効率排熱利用・冷房用ヒートポンプの研究開発
【マレリ(株)、日本エクスラン工業(株)】 ····· 25
熱マネージメント材料の研究開発【トヨタ自動車(株)】(2018年度卒業テーマ) ····· 41

熱関連調査・基盤技術の研究開発

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
【(一財)金属系材料研究開発センター)・早稲田大学(共同実施)】 ····· 27
熱電変換素子の高性能化に資する評価技術の開発
【(国研)産業技術総合研究所】 ····· 29
熱関連調査研究と各種熱マネージメント材料の基盤技術の開発
熱関連材料のシミュレーションとデータベース構築【(国研)産業技術総合研究所】 ····· 33
機械・化学産業分野の高温熱供給ヒートポンプに適した冷媒の研究開発(2020年度卒業テーマ)
【三菱重工サーマルシステムズ(株)、三菱重工業(株)、セントラル硝子(株)、
(国研)産業技術総合研究所】 ····· 35

小規模研究開発 ····· 42

膨大な未利用熱エネルギーを有効活用できる革新的技術を確立し、産業分野、輸送機器、住宅環境等の更なる省エネ化を実現

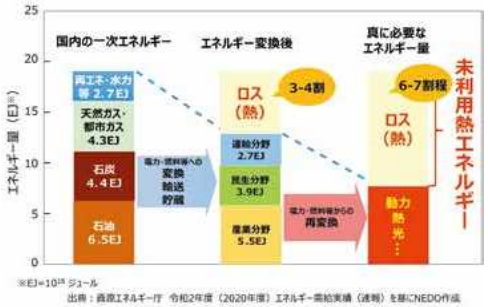
未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発

▶ プロジェクト実施期間：2013～2022年度

背　景

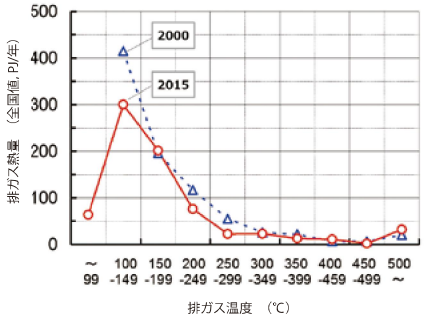
我が国では、一次エネルギーから電力・燃料などに変換・輸送・貯蔵する過程で、その3～4割が、さらに、最終エネルギー消費の過程まで含めると6～7割が熱として失われています。一次エネルギーの9割を輸入に頼る我が国にとって、これはとても大きな損失です。
また、化石燃料は、変換・使用の過程において二酸化炭素（CO_2）を排出するため、このエネルギー・ロスの削減は、我が国が2050年までにの温室効果ガスの排出削減を目指すうえでも重要な課題になります。

国内の一次エネルギー活用状況

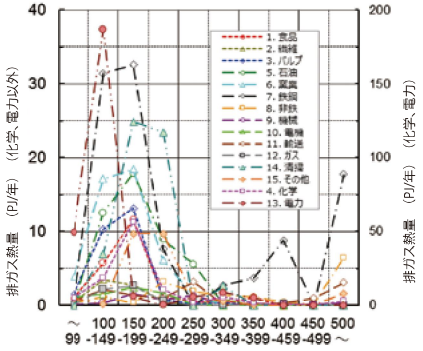


15業種の工場設備の排熱実態調査

熱利用量の多い15業種を対象に、温度帯や量、排出される場所がさまざまな未利用熱エネルギーの排出・活用状況に関するアンケートを実施し（回答数：全国1273事業所）、産業部門において、200℃未満あるいは一部業種で500℃以上を中心として未利用熱が大量に排出されていることが分かりました。



15業種全体の排ガス熱量（全国値）について2000年度に行われた調査結果と比較したところ、約14%低下しており、2015年までの15年間に1割程度の省エネルギーが達成されていることが推測されました。



一方で、15業種の排ガス熱量の76%は200℃未満で、溶解や熱処理を伴う鉄鋼業、非鉄金属業、輸送機械業は500℃以上の高温の排ガスが多いことなどが分かりました。

事 業 概 要

私たちは、未利用の熱エネルギーに着目し、熱の3R技術や、3Rを統合的に推進するための熱マネジメント技術などの開発に取り組んでいます。

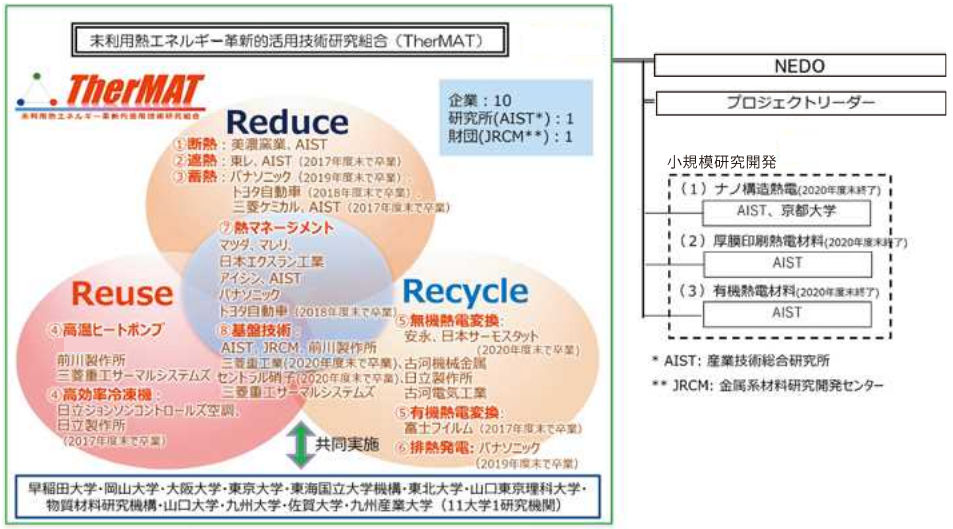
開発した技術を社会実装し、現在は環境中に排出されている膨大な未利用熱を効果的に削減・回収、利用することで、徹底した省エネルギーや長期的なエネルギー転換・脱炭素化の実現に貢献していきます。



事業概要
（NEDOホームページ）



実 施 体 制 図



国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構省エネルギー部
〒212−8554　神奈川県川崎市幸区大宮町1310番　ミューザ川崎セントラルタワー 18F
TEL:044-520-5180　FAX:044-520-5186
https://www.nedo.go.jp

ファイバーレス断熱材と周辺部材の開発で産業/工業炉の省エネルギー化を目指します

未利用熱活用

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
（美濃窯業(株)、(国研)産業技術総合研究所）

背　景

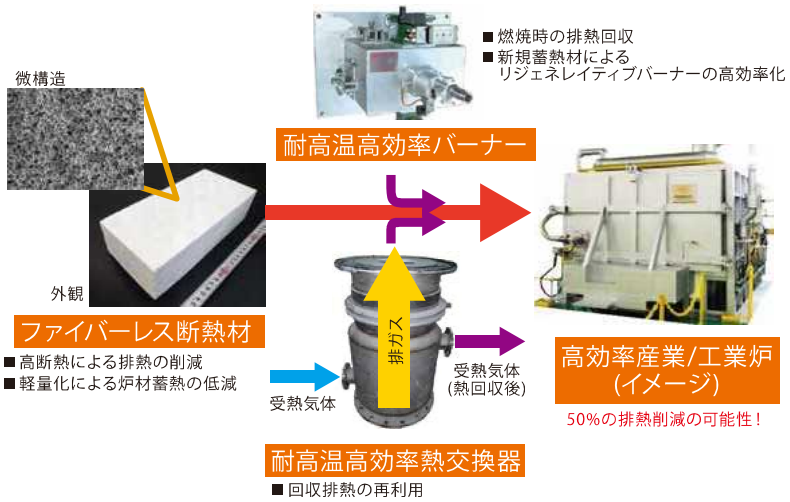
高温で使用するセラミックス焼成炉では、投入エネルギーの約2%しか被焼成物の加熱に使用されず、残りの98%は未利用のまま排気ガスや放熱として廃棄されています。加えてセラミックスの焼成を含む窯業・土石分野の排熱量は国内の総排熱量の約5%を占めているため、未利用熱エネルギーの削減が強く求められています。

目　的

未利用熱エネルギーを削減する新規な省エネルギー産業炉/工業炉を開発するため、高強度と高断熱特性を兼ね備えたファイバーレス断熱材と耐高温高効率熱交換器や耐高温高効率バーナーなどの周辺部材の開発を行い、これらを組み合わせることで５０%以上の排熱削減の実証を図ります。

研究開発の概要

操業中の産業/工業炉において炉外への放熱量や炉材への蓄熱量を削減する「ファイバーレス断熱材」、高温排気ガスから熱エネルギーを回収する「耐高温高効率熱交換器」、新規蓄熱体を用いた「耐高温高効率バーナー」を開発し、産業/工業炉の省エネルギー化を目指します。
これらの要素技術開発成果と産業/工業炉の設計・製造技術ノウハウを組み合わせ、省エネルギー実証評価まで行う熱エネルギーマネジメントシステムの構築が目標です。



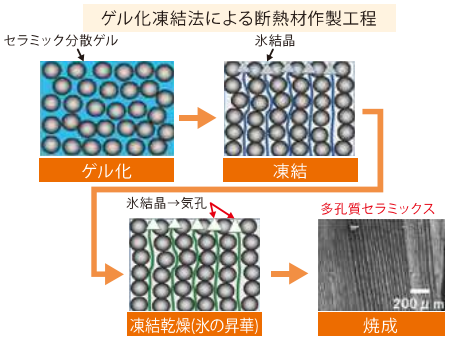
成　果

【ファイバーレス断熱材】
- ゲル化凍結法を用いることで2017年度に最高使用温度1,500℃、圧縮強度15MPa以上、熱伝導率0.2W/m・Kを示すファイバーレス断熱材を開発しました。
- 検証用ガス炉を用いてファイバーレス断熱材の燃料(LPG)使用量削減効果を検証したところ、既存の断熱れんがを使用した場合と比較してガス使用量を約36%削減できることが分かりました。
- 作製条件、加工方法を検討することにより、従来の並形れんが形状だけでなくボード形状のファイバーレス断熱材の作製技術を確立しました。
- ゲル化凍結法における凍結乾燥工程でIRヒーターによる加熱を活用し、従来比で乾燥時間を40%短縮することが可能となり、生産性が向上しました。

【耐高温高効率バーナー】
- リジェネレイティブバーナー用の蓄熱体を新規に開発し、既存の蓄熱材料の2倍の入熱放熱速度を達成し、バーナーの燃焼効率が向上しました。

【耐高温高効率熱交換器】
- 1,300℃対応品を2015年より販売開始しました。
- 1,500℃の耐久試験においても従来品の約3倍となる熱交換効率20%以上を達成しました。

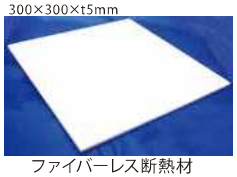
【熱マネジメントシステム】
- 各要素技術の組み合わせで排熱削減50%を達成できる可能性を確認しました。



Fukushima et al., J. Ceram. Soc. Jpn., 116, 1322-1325,(2008)



ファイバーレス断熱材
(並型れんが形状)



ファイバーレス断熱材
(ボード形状)

今後の展望

ターゲットとしている窯業・土石分野だけでなく、より大きな排熱量を占める鉄鋼分野(国内総排熱量の約8%)へ応用展開することで、さらなる排熱削減効果が期待されます。開発中の断熱材について様々な用途の工業炉で実証テストを進めており、実用化に向けたデータ収集を進めています。また、各要素技術を組み合わせた工業炉の排熱削減50%の実証試験も進めています。

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／高強度高断熱性多孔質セラミックスを用いた省エネルギー炉の研究開発

お問い合わせ
美濃窯業（株）技術研究所
〒475-0027　愛知県半田市亀崎北浦町1-46
TEL：0569-28-2019　FAX：0569-55-7411　URL：http://www.mino-ceramic.co.jp/

未利用熱活用

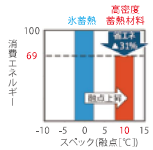
時空を超え、熱を高密度/長期に貯める蓄熱技術により未利用熱エネルギーの有効活用を実現

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
（パナソニック(株)）

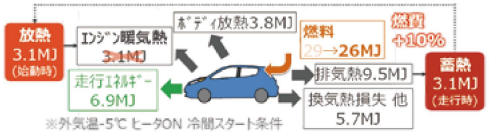
背　景

一次エネルギーの大半が有効活用されずに廃棄されている未利用熱の有効活用のために、工場や自動車等で、時空を超えた熱利用を可能とする蓄熱(熱を貯める)技術の活用が期待されています。例えば、産業・業務部門の食品製造業等では、10℃前後の冷熱需要に即した冷凍機の省エネルギー運転に寄与する蓄熱材料が求められています。また、運輸部門等においては、自動車の走行時の排熱を翌日の始動時に使用することを想定して、長期に蓄熱出来る蓄熱システムが求められています。

産業・業務部門で求められる蓄熱材の省エネ効果(例)



ハイブリッド自動車における燃費向上効果(例)



目　的

工場における未利用熱の有効利用、次世代自動車における暖機時間の低減、ビル空調における消費エネルギー低減等に向け、高い蓄熱密度や長期安定性を有する蓄熱システムの開発を行います。

研究開発の概要

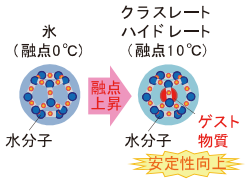
蓄熱材料の高付加価値化と温度ステージ拡大を図るため、次の蓄熱材料の開発を行っています。

①高密度蓄熱システム（低温用）の開発：産業・業務分野等における10℃前後の冷却水ニーズに対して、従来の氷蓄熱と同等の蓄熱密度（目標：従来蓄熱材料比２倍）を有し、氷蓄熱よりも高温で蓄冷可能である省エネルギーな潜熱蓄熱材料を用いた蓄熱システムを開発します。

②長期蓄熱システムの開発：融点よりも低い温度（-20℃～25℃環境下）でも液体のまま長期（24時間）に熱を蓄える潜熱蓄熱材料を開発し、トリガーにより必要な時に熱を取り出すことを可能とすることで、運輸分野等での未利用熱の有効活用できる蓄熱システムを目指します。

①高密度蓄熱システム(低温用)

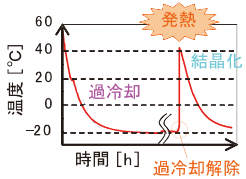
水分子の籠状構造の中にゲスト物質を包み込んだクラスレートハイドレート



目標：従来蓄熱材料２倍

②長期蓄熱システム

潜熱蓄熱材料の過冷却を利用する長期蓄熱



目標：-20℃～25℃環境下で24時間保持

成　果

【高密度蓄熱システム（低温用）の開発】

安全性評価を完了した蓄熱材料を搭載した蓄熱モジュールを設計しました。モジュール特性評価を行った結果、融解開始温度7℃と結晶化開始温度との差に基づく過冷却度2K以下に加えて、蓄熱モジュールにおける蓄熱材料の充填率56%以上で、モジュール体積当りの蓄熱量を表す蓄熱密度0.12MJ/L、蓄放熱速度25W/L以上等の10℃前後の温度で冷却する食品製造プロセス等への適用を想定した目標値を満たすことを検証しました（図１）。

【長期蓄熱システムの開発】

トリガーを付与してから30秒以内に過冷却解除が得られることを確認した蓄熱材料や過冷却解除機構等を組込んだ蓄熱モジュールを設計しました。モジュール特性評価を行った結果、過冷却解除までの時間30秒以内に加えて、熱の保持時間に相当する過冷却保持時間24時間以上、モジュール体積当りの蓄熱量を表す蓄熱密度0.16MJ/L、蓄放熱速度0.27kW/L等の内燃機関を有する自動車等への適用を想定した目標値を満たすことを検証しました（図２）。

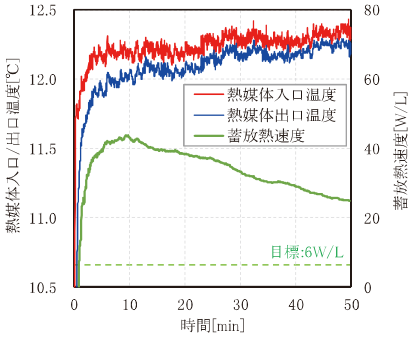


図１　高密度蓄熱モジュールの特性評価

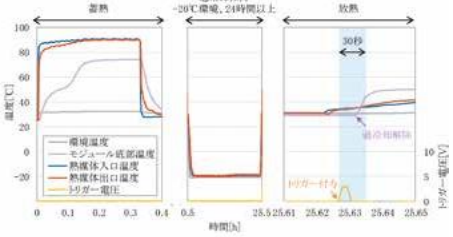


図２　長期蓄熱モジュールの過冷却解除特性評価

今後の展望

高密度蓄熱システム(低温用)の開発では、水蓄熱槽の中に蓄熱モジュールを設置し、10℃前後の温度で冷却する食品製造プロセス等への適用を想定した模擬システムを構築します。また、長期蓄熱システムの開発では、冷却水回路の中に蓄熱モジュールを設置し、内燃機関を有する自動車等への適用を想定した模擬システムを構築します。

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／蓄熱システムの研究開発／高密度/長期蓄熱システムの研究開発

お問い合わせ
パナソニック（株）　担当：鈴木基啓
TEL：070-2900-7679
メールアドレス：suzuki.motohiro@jp.panasonic.com

未利用熱活用

最高200℃加熱を実現する産業用高効率高温ヒートポンプの開発

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)前川製作所）

背　景

現在、産業用の加熱用途の熱源としては化石燃料を用いたボイラが多く使用されています。100℃以上の蒸気ボイラ燃料消費量は1.13×10^{12}MJ／年であり、大量に消費、排熱を発生しています。この排熱を熱源にしてより高い温度の熱に再生し利用することが重要となっています。今後、ヒートポンプを利用した熱のリユース・リサイクルは省エネにとって必要不可欠な技術となっていきます。また、150℃以上加熱するヒートポンプは無く、今回160～200℃加熱の高温ヒートポンプの開発に取り組みました。

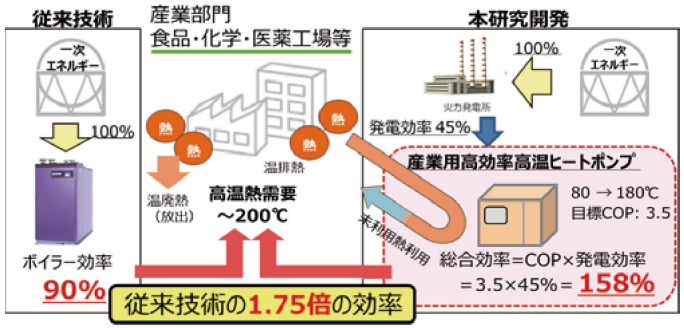
目　的

蒸気ボイラによるセントラル加熱では、ボイラと熱利用設備とが離れざるを得ないケースもあります。長い搬送距離と断熱材の劣化が重なり、その熱のロスは無視できないレベルになることもあります。現在、開発中のヒートポンプは、熱利用設備の近くに設置して、熱のロスを最小限にとどめ、～200℃加熱を実現することにあります。このヒートポンプを適切に配置して、ボイラに代わりプロセス加熱に利用することで、工場の省エネルギー化を図り、地球温暖化防止に貢献します。

研究開発の概要

従来、蒸気ボイラを使用していた工場のプロセス加熱を開発目標COP3.5を満足する産業用高効率ヒートポンプに代替することで1.75倍の熱効率で加熱可能なシステムとなり、ヒートポンプが普及すると考えます。

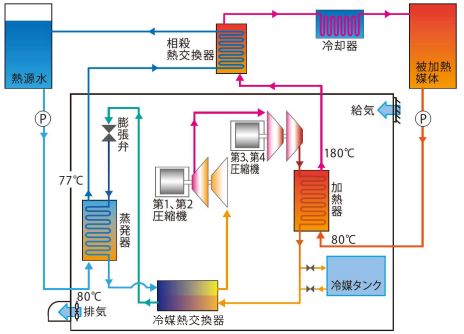
ポイント　①システムの最適化と機器の高効率化が検討可能な統合解析シミュレータ
②磁気軸受の採用によるオイルフリーのターボ圧縮機
③冷媒充填量を減らすことが可能となる高温・高圧対応マイクロチャンネル熱交換器



成　果

- 開発した統合解析シミュレータによる解析により80℃→160℃加熱でCOP4.10なり中間目標（COP3.5）が達成できる見通が得られました。
- R600冷媒を使用した最高加熱温度200℃、加熱能力300kW級のヒートポンプ試作機の設計・製作・性能確認試験を行い、課題の抽出を行いました。
- 上記課題の解決と、更なる効率向上を目的に作動媒体を見直して、HFO系冷媒80℃→180℃加熱用ヒートポンプ試作機の設計・製作・運転試験を行いました。
- 上記の作動媒体専用オイルフリーターボ圧縮機の設計・製作・単体性能確認試験を実施しました。
- 上記試験結果と解析結果より、被加熱媒体入出口温度80℃→180℃加熱で最終目標(COP3.5）が達成できる見通しが得られました。





今後の展望

最終目標に向けて更なる研究開発を行い、2020年代前半には従来技術に対して競争力のある高温ヒートポンプの市場導入、事業化を進めていきます。海外市場は市場規模等の具体的な調査は出来ていませんが、欧州、ASEAN、東アジア等で国内の数十倍の市場規模があると思われます。国内のみならず海外からの需要も高く、日本の優勢を示せる製品になると考えています。
導入に向けた課題は、実際の熱利用設備にヒートポンプを適用した際の効果が見えにくいことにあります。その解決策のひとつとして、実際の熱利用設備を想定したモデルケースの検討を進めていきます。『導入効果の見える化』を進めていくことにより、導入後のイメージをお客様と共有することが可能となりますので、導入の加速に繋がると考えています。

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／ ヒートポンプ技術の研究開発

お問い合わせ
（株）前川製作所　担当：広報室
TEL：03-3642-8181　メールアドレス：public@mayekawa.co.jp
URL：http://www.mayekawa.co.jp/ja/

未利用熱活用

環境負荷の低い冷媒を使用した高温熱供給ヒートポンプシステムの開発

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)）

背　景

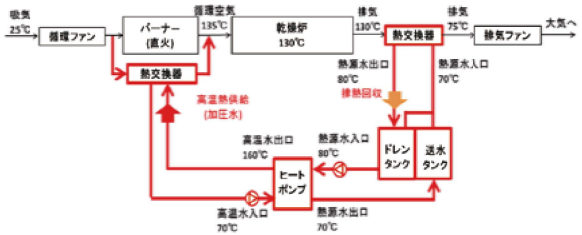
機械・化学産業分野の多くのプロセスでは化石燃料を使用した蒸気ボイラにより高温熱媒が供給されており、地球温暖化防止の観点から、その代替として高温熱を供給することが可能なヒートポンプの導入が求められています。一方で、高温熱供給に適した冷媒が存在しないなどの理由で、150℃以上の高温水の出力が可能なヒートポンプは存在しておりません。また、産業分野においては200℃以下の多くの熱が有効利用されずに未利用熱として環境に排出されています。これらの工場排熱などの未利用熱を有効利用し、ヒートポンプシステムで高温熱供給を行い、化石燃料の使用量を減らしていくことが求められています。

目　的

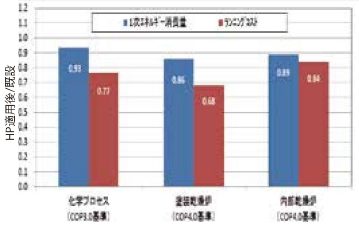
産業用の製造プロセスから未利用熱として捨てられている80～100℃程度の排熱を回収し、160～200℃程度の高温熱供給を高効率で行うことを目標としています。高温熱供給ヒートポンプシステムに適したGWP（Global Warming Potential：地球温暖化係数）が小さい開発冷媒を採用し、200℃高圧高温水の出力が可能な性能係数(COP)が3.5以上を実現するヒートポンプの技術開発を行っています。これにより、ガスバーナー燃焼や蒸気ボイラの代替として導入することにより、一次エネルギー使用量の削減およびCO_2排出量の削減に貢献していきます。

研究開発の概要

機械・化学産業を中心とする業界に導入可能な加熱能力600kWの高温熱供給用のターボヒートポンプの開発を行いました。対象とする産業における熱プロセスの調査・評価を行い、開発するヒートポンプの導入が効果的であるプロセスを見出し、必要なヒートポンプ仕様を明らかにしてきました。プロセス調査により見出したヒートポンプ仕様に対し、開発・選定された高温用途の冷媒を用いて、ヒートポンプの最適なサイクルシステムを構成することにより、高効率の性能係数を実現するヒートポンプの設計開発を行いました。
2017年度までは、160℃温水出力でのヒートポンプシステムの基本設計を行い、性能係数(COP)が4以上となることを目途付けしました。2018年度からは、200℃温水出力で性能係数(COP)が3.5以上となる高効率のヒートポンプシステムの開発を進めてきました。



塗装プロセスへの高温ヒートポンプ適用例



高温ヒートポンプ適用効果試算結果

成　果

①高温温水ヒートポンプの適用プロセス検討と経済性効果の検証

高温温水出力ヒートポンプの高い導入効果が見込めるプロセスを抽出し、それぞれのプロセスでの運転実態(熱収支、エネルギー消費量等)を把握しました。付帯設備を含めた設備システムを計画・構築し、適用するプロセスを精査するとともに、経済性効果の検証を行いました。



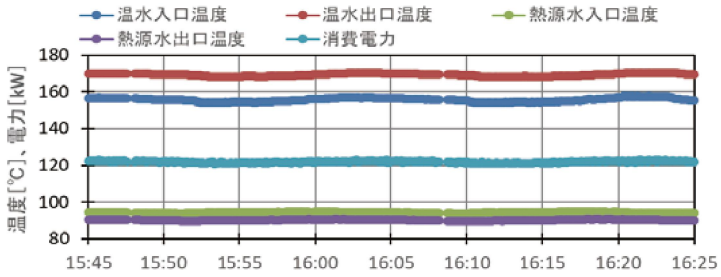
実機試験設備 外観

②高温温水ヒートポンプのユニット開発

200℃出力条件でのヒートポンプ基本解析を行い、最適なヒートポンプサイクルを選定しました。並行して開発した新型冷媒候補を採用することで、200℃温水出力ヒートポンプでの性能係数が3.5以上となる目途付けが出来ました。200℃出力ヒートポンプの詳細計画を進めております。圧縮比を大きくできるヒートポンプ用の高効率インペラーを開発しました。
既存製品を改造した実証試験機で、高温域での冷媒候補を用いたドロップイン運転試験を実施しており、温水出口170℃で安定した温水出力できることを確認しました。200℃温水出力を実現するためのインペラーの性能評価、電動機冷却性、油冷却性能などの各機器要素技術の妥当性評価を実施しました。

項目	単位	実測値
加熱能力	kW	221.0
加熱COP	-	1.76
温水温度	℃	156.5／170.1
熱源水温度	℃	93.9／90.2
消費電力	kW	125.2

要素検証機試験結果（温水170℃出力条件）



実機検証結果（温水170℃出力条件）運転トレンド

今後の展望

開発した160℃出力ヒートポンプ、新型冷媒を採用した200℃出力ヒートポンプの実用化に向けて、事業化の準備と事業性の評価継続を行っていきます。高温熱供給ヒートポンプ導入で導入効果の高いプロセスがあるものの、ヒートポンプの付帯設備の低コスト化や簡易化が必要になるため、引き続き、低コスト化に向けた検討を進めて参ります。

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/ヒートポンプ技術の研究開発/
機械・化学産業分野の高温熱供給に適したヒートポンプシステム技術開発

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/

未利用熱活用

熱を電気に変換する熱電材料、熱電モジュールと熱電発電システムの開発

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
（古河機械金属(株)）

背　景

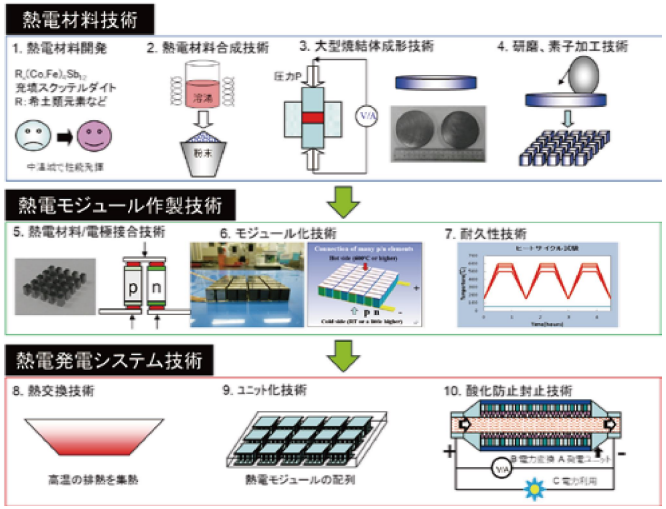
石炭、石油、天然ガス等の1次エネルギー、また、ガソリン、軽油等の2次エネルギーの多くは活用しきれずに未利用熱として大気中に排出されます。排出される未利用熱は分散的であるため、従来の発電方法では利用しにくく、未利用の熱エネルギーを有効に活用し、削減することが求められています。

目　的

熱電技術は熱エネルギーを電気に変換でき、定置式熱源にも移動式熱源にも適用できる熱エネルギーの回生利用に役立つ技術として期待されています。本研究開発は工場、自動車等の排熱を電気へ効果的に変換することを目的として、熱電技術を研究開発し、熱エネルギーの回生利用の実現を目指します。

研究開発の概要

本研究では、300℃～600℃の中温域の熱電変換に適するスクッテルダイト系熱電材料を研究し、熱電材料技術、熱電モジュール技術及び熱電発電システム技術を開発しています。研究開発内容の概略を下図に示します。実用化可能の目安としては、熱電材料の無次元性能指数ＺＴ≧1、熱電モジュールの出力密度1W／c㎡以上、熱電発電システムの出力１００W以上が求められています。本研究では無次元性能指数ＺＴ≧1の熱電材料技術、出力密度1W／c㎡以上、耐久性1,000h以上の熱電モジュール技術と出力100W以上の熱電発電システム技術を開発し、熱電技術の確立を図ります。



成　果

熱電材料技術の開発では、図1に示すように、無次元性能指数ＺＴ＝0.9～1.2のスクッテルダイト系熱電材料を開発し、1バッチ10kgの熱電材料合成技術、直径200mm、厚さ20mmの熱電材料焼結体の成形技術、焼結体から1～5mmサイズの素子加工技術等の熱電材料技術を確立しました。

熱電モジュール技術の開発では、試作の熱電モジュールの出力密度は1～2W／c㎡に達し、熱から電気への変換効率は7%～9%でした。図2に示すように、高温側/低温側＝600～200℃／50℃の条件でスケルトン式の熱電モジュールに対して3万時間のヒートサイクル耐久性試験を行い、発電性能の劣化は1万時間@5千サイクルで5%以下、2万時間@1万サイクルで15%以下、3万時間@1万5千サイクルで25%以下でした。熱電モジュールの基本技術を確立しました。

熱電発電システム技術の開発では、図3に示すように、直径100mm、長さ200mmの熱流路を想定し、熱流路の外周に熱電モジュールを配置し、外径Φ160mm、長さ500mmの熱電発電ユニットを試作した結果、排気温度400℃～900℃の温度範囲で熱を電気に変換し、50W～280Wの回生電力を得ることができました。

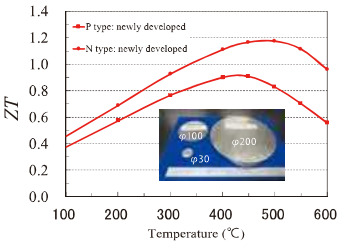


図1　熱電材料の焼結体と熱電性能

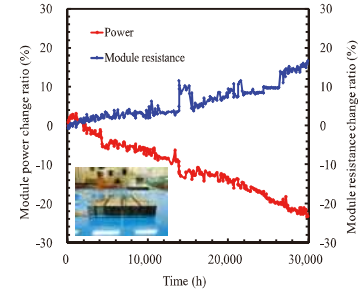


図2　熱電モジュール耐久性の試験結果

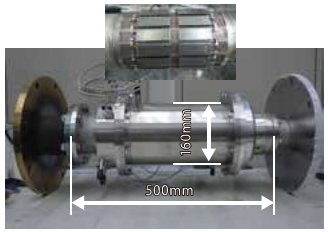


図3　熱電発電ユニットとそのモジュール配置

今後の展望

熱電材料技術、熱電モジュール技術の開発により、高い耐久性の熱電モジュールを開発しました。この熱電モジュールを用いて熱電発電システム技術を構築し、より発電性能の良い、小型化の熱電発電システムの技術確立を目指しています。本プロジェクト開発の熱電技術は、室温～1000℃の熱源に適用し、必要に応じて発電電力をmW～kWの範囲で設計することができ、エナジーハーベスティングや工場、自動車の排熱回生利用に応用することが期待できます。

プロジェクト実施期間：2013～2021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/熱電デバイス技術の研究開発

お問い合わせ
古河機械金属（株）　担当：郭　俊清
TEL：029-839-2151　メールアドレス：j-guo@furukawakk.co.jp
URL：https://www.furukawakk.co.jp/

未利用熱活用

ガスコジェネレーション装置のシステム効率向上を可能にする熱電変換技術

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
（ひたち分室）

背　景

国内で生成される1次エネルギーの6割以上が未利用熱として廃棄されています。その半分以上を占める200℃未満の低温排熱と、高い効率が期待される内燃機関（エンジン等）で発生する500℃近傍の中高温排熱を利用した、熱からの電気変換によるエネルギーの有効活用が省エネ社会をめざす上で重要になっています。

目　的

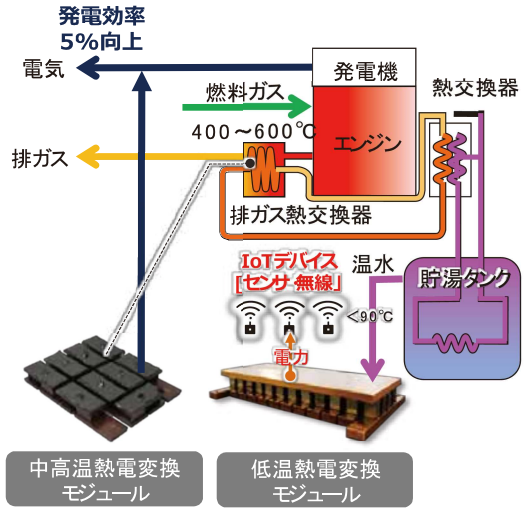
普及が期待されるガスコジェネレーション装置において、未利用熱活用による総合効率の向上を図ります。排熱量が非常に多い低温排熱利活用のために、熱電変換モジュールを使った１００℃以下の低温排温水からの発電の検討を行います。また高い効率が期待される高温排熱利活用のために、エンジン排熱から発電可能な環境低負荷かつ安価な材料を用いた熱電変換技術を確立し、熱電変換技術の普及への取り組みを加速します。

事業開発

普及が期待されるガスコジェネレーション装置において、広い温度域の排熱を熱電変換技術を用いて電気変換することにより、システムの総合効率を向上する検討を行っています。

①低温熱電変換モジュールの開発
ガスコジェネレーション装置の低温排温水から電気変換可能な熱電変換モジュールの設計・試作を行いました。熱電変換モジュールを装置に組み込み、100℃未満の低温排温水から発電した電力をIoT機器に使われるセンサー・通信無線の電源に活用するシステムについて検討します。

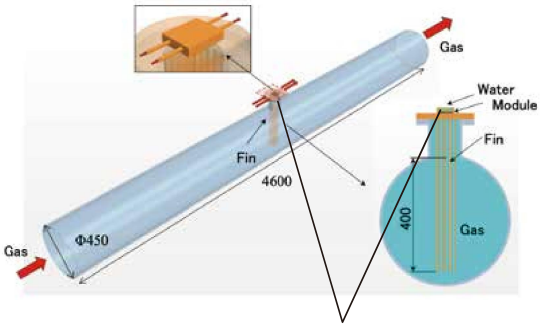
②中高温熱電変換モジュールの開発
500℃の排熱から電気変換可能な無毒かつ安価なシリコンを使った高性能熱電変換材料を開発し、それを素子として組み込んだ熱電変換モジュールの設計・試作を行いました。ガスコジェネレーション装置のエンジン排熱から電気変換を可能とし、広い温度域での未利用熱活用の実現を目指します。

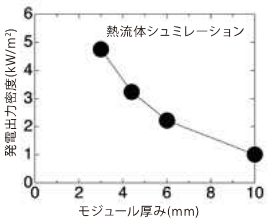


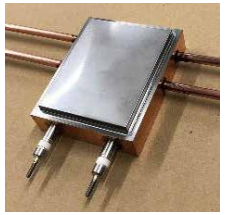
成　果

②中高温熱電変換モジュールの開発
2020年度までに開発した高性能かつ環境低負荷なマンガン・シリコン化合物（Mn－Si）熱電変換材料を用いたモジュールを作製し、ガスコージェネレーション装置の発電量5%向上の実証を進めています。1MW級コジェネへのガス排熱発電システムの適用を想定し、熱流体シミュレーションから得られた高温排ガスと水冷装置の温度差から発電量を計算しました。その結果、熱電変換モジュールの出力密度は最大で5kW／㎡が得られる見込みであることがわかりました。今後実際に1MW級コジェネからの排熱を用いた熱電発電を行い、ガスコージェネレーション装置の発電量向上効果の評価を行います。

1MW級コジェネ装置のガス排熱回収システム設置イメージ図





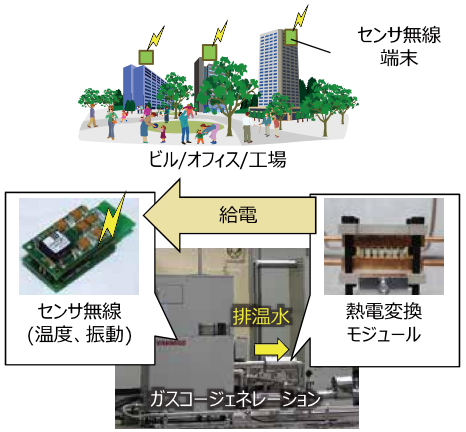


作製した熱電変換モジュール

今後の展望

事業終了後も継続して自社開発を進め、2025年頃を目指して今回開発した排熱発電技術を組み込んだガスコジェネレーションシステムの実装を進めます。

今回開発した技術は広い温度域に適用可能であり、モビリティ分野への応用も可能です。またエネルギー分野だけでなくIoT技術への活用も期待されており、更なる省エネに向けた展開と技術開発を検討します。



プロジェクト実施期間：2013～2021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/熱電変換による排熱活用の研究開発

お問い合わせ
（株）日立製作所　基礎研究センタ
〒185-8601　東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
TEL：042-323-1111　URL：https://www.hitachi.co.jp/rd/about/location/crl/index.html

未利用熱活用

資源量が豊富な環境負荷材料で高出力高密度の熱電モジュールを開発

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
（（株）安永、日本サーモスタット（株））

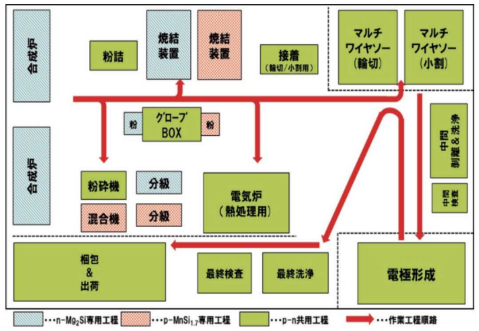
背　景

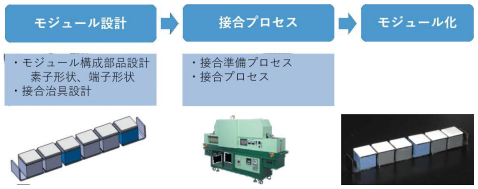
自動車は消費した燃料の約6～7割を無駄な熱エネルギーとして排出しています。
地球温暖化が進む中、自動車業界全体としても、燃費向上・CO_2排出量削減を目指して、この無駄な熱エネルギーの削減・再利用に向けた取組みが推進されています。
また、自動車業界以外でも同様に熱エネルギーを有効活用しようとする取組みが推進されています。

目　的

世界市場の約9割が燃費・CO_2排出規制の対象となっています。自動車業界に求められる燃費改善・CO_2排出量削減は、年々厳しくなっており、内燃機関だけでは対応が難しいといわれています。
従来、無駄な熱エネルギーとして排出されるしかなかった自動車排熱から新たな電気を生み出すことのできる車載排熱発電モジュールを開発することによって、自動車の燃費改善・CO_2排出量削減に貢献します。

研究開発の概要

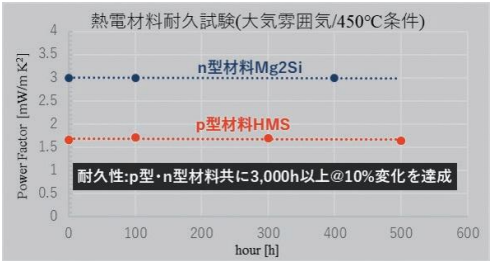


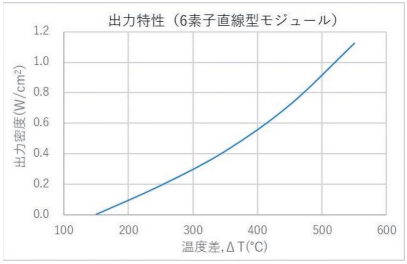


- 資源量が豊富で、且つ自動車への使用に対し環境的に安全であるシリサイド材料を用いた熱電素子の開発、安定供給を行います。その素子を使用した実用化可能な熱電モジュールの設計開発を行います。
- 「1.5W/cm²の発電モジュール向け発電素子の開発」では、φ100mm焼結体製造技術の確立及び同技術を軸とした発電素子量産ラインの設計開発により、最終的に1.5W/cm²の発電モジュールに使用される発電素子の安定供給を目指すべく実用化研究開発を行います。並びに性能向上及び耐久性の向上により、発電素子の信頼性確保を目指すべく実用化研究開発も行います。
- 「1.5W/cm²の発電モジュールの実用化研究開発」では、素子形状の最適化、部品間接合方法の改善、性能向上した素子のモジュールへの取り込みによる出力性能の向上により、最終的に1.5W/cm²の発電モジュールを目指すべく実用化研究開発を行います。また、当該技術は運輸分野だけでなく、産業・民生分野から排出されている熱の利用にも応用可能です。

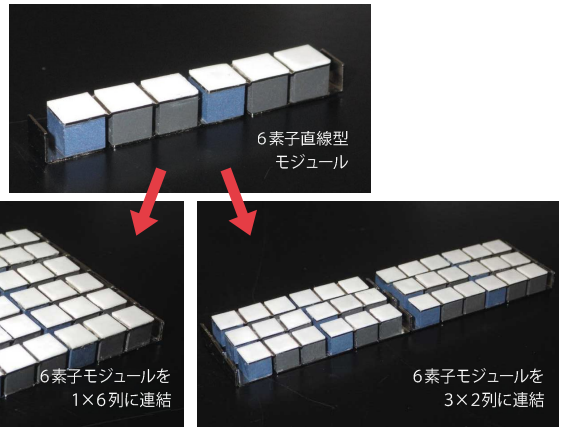
成　果

「1.5W/cm²の発電モジュール向け発電素子の開発」では、n型材料Mg_2Si、p型材料HMSの大気雰囲気/450℃条件の耐久性評価を実施し、3,000時間以上の耐久性（材料の出力の低下率が初期値の10%以内）を確認しました。
「1.5W/cm²の発電モジュールの実用化研究開発」では、6素子直線型モジュールをベースとし任意に連結する事で、出力電圧や搭載スペース等に応じたフレキシブルな形状、サイズを可能としました。耐久性能では、ヒートサイクル試験で2000サイクルを達成しました。





＜モジュール連結例＞



今後の展望

シリサイド熱電変換材料・発電素子の安定供給が可能な製造プロセスの確立を目指すと共に、発電モジュールも含めた更なる低コスト化及び高性能・高耐久性化の開発に取り組みます。
また、自動車業界以外においても、培った熱電の技術を応用し、熱エネルギーから取り出した電気エネルギーを有効活用できるものを模索していきます。

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/熱電変換材料・デバイス高性能高信頼化技術開発/
機械・化学産業シリサイド熱電変換材料による車載排熱発電システムの実用化への要素技術開発

お問い合わせ
原料・素子：（株）安永　担当：田口 豊
TEL：03-6634-0243
メールアドレス：taguchi-yua@fine-yasunaga.co.jp
URL：https://www.fine-yasunaga.co.jp

モジュール：日本サーモスタット（株）　担当：伊東　聡
TEL：042-491-2693
メールアドレス：sito@ntcl.co.jp
URL：https://www.ntcl.co.jp

未利用熱活用

中高温域での熱電変換を実現する高性能なクラスレート熱電モジュールを開発

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
（古河電気工業（株））

背　景

熱を直接電力に変換する熱電変換は、工場排熱や自動車エンジンなど、中高温域といわれる200～800℃の未利用熱を有効に利用して省エネルギーに資することが期待されます。しかしながら、現在の熱電モジュールは発電効率が十分でないなど、大規模な実用化には至っていません。そこで、さらに環境調和性にも優れた熱電材料を用い、高温耐性があり、高い発電効率を有する高性能な熱電モジュールの実用化が望まれています。

目　的

本研究開発では、熱電材料として、環境調和性に優れたクラスレート化合物の性能向上を図るとともに、実用化に必要な高発電効率、低コスト、高温耐性に優れた熱電モジュールに関する技術を開発します。これにより中高温域での未利用熱エネルギーを電力に変換する高性能な熱電モジュールを開発し、さらに他分野への応用を進め、低炭素社会の実現に貢献します。

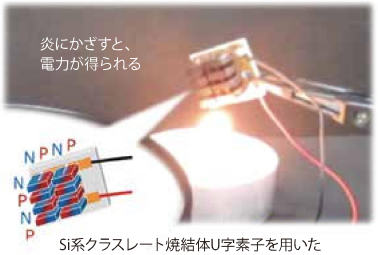
研究開発の概要

- 高性能なクラスレート熱電モジュールの開発に向け、熱電材料の性能向上および熱電モジュールに関する技術開発を行っています。

- 熱電材料の性能向上に関する技術開発では、クラスレート化合物について、その結晶構造や組成に着目した熱電材料の高性能化の検討を行うとともに、特徴的な作製方法による性能向上に関する検討を行っています。



P型およびN型の
Si系クラスレート焼結体
U字素子



Si系クラスレート焼結体U字素子を用いた
熱電モジュール

- 熱電モジュール化に関する技術開発では、熱電材料の性能向上に関する技術開発で得られたシリコン（Ｓｉ）、ゲルマニウム（Ｇｅ）及びスズ（Ｓｎ）系の各クラスレート化合物を用いて、高温耐性が優れたＰ型およびＮ型焼結体が一体となった高温電極レスのU字素子（左図）の開発や、高い発電効率の実現に有効な多接合型熱電モジュールに関する技術開発を行っています。

▶ 動画（NEDO Channel）で紹介中

YouTube

成　果

- 熱電材料の性能向上に関する技術開発では、Sn系、Ge系およびSi系の各クラスレート化合物の性能向上を図りました。
- また、熱電モジュール化に関する技術開発では、多接合型クラスレート熱電モジュールについて、伝熱解析により適正化した熱電モジュール構造について、P型およびN型のクラスレート焼結体素子を用いて、多接合型　クラスレート熱電モジュールを試作・評価しました（図1、図2）。その結果、モジュール評価から得られた測定値　と、素子性能および接合抵抗、輻射等のモジュールに関するパラメータから計算される設計値とがほぼ　一致することを確認し、高性能なクラスレート熱電モジュールの設計指針が得られました。

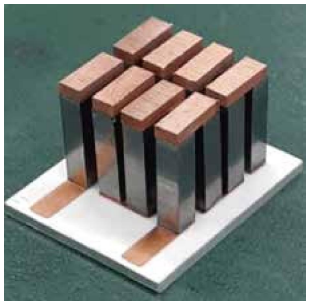


図1　試作・評価に用いた熱電モジュールの構成

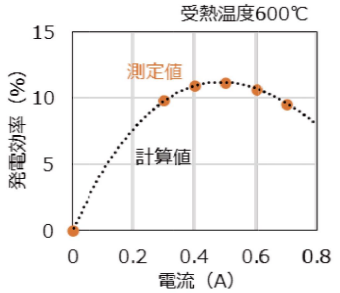


図2 多接合型クラスレート熱電モジュールの電流と発電効率との関係

今後の展望

今後、さらにクラスレート化合物の性能向上と熱電モジュールに関する技術向上を図り、発電効率15%をもつ多接合型熱電モジュールを開発するとともに、実用化に向けた技術開発を進め、高性能なクラスレート熱電モジュールの実現を目指します。

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／熱電変換材料・デバイス高性能高信頼化技術開発

お問い合わせ
古河電気工業（株）研究開発本部
〒220-0073　神奈川県横浜市西区岡野2丁目4番3号
TEL：045-311-1324　FAX：045-311-5190　URL：http://www.furukawa.co.jp/

未利用熱活用

排熱を効率良く回収して電気に変換する従来比2倍の高効率小型排熱発電技術

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
（パナソニック(株)）

背　景

一次エネルギーの約70%は有効に利用されずに排熱（未利用熱）として排出されており、環境中に排出される膨大な未利用熱を効率的に回収・再利用し、省エネルギー化やCO_2排出量の削減が求められています。
NEDOが実施した「産業分野の排熱実態調査」において、①未利用排ガス熱量の約76%を200℃未満の排ガス熱量が占めている事、②未利用熱活用設備の導入可能性に関するニーズ調査から、200℃未満の排熱活用ニーズが多い事、熱電発電に適用可能な排熱熱量として10kWレベル（発電量として1kWe相当）が最も多い事、等が解っています。

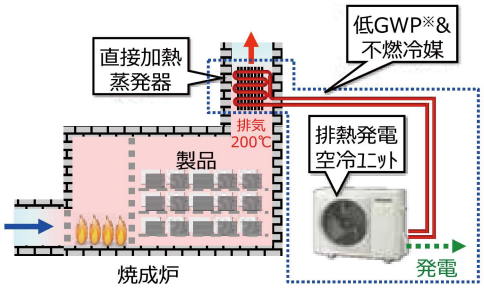
目　的

従来比2倍の発電効率で投資対効果の高い1kWeクラスの小型高効率排熱発電技術を開発することで、これまで捨てられていた小規模に分散している200℃未満、熱量10kW程度（発電量1kWeに相当）の排熱や排蒸気の一部を電気に変換することで、工場の消費電力量を削減し、省エネルギー化、CO_2排出量の削減に貢献します。

研究開発の概要

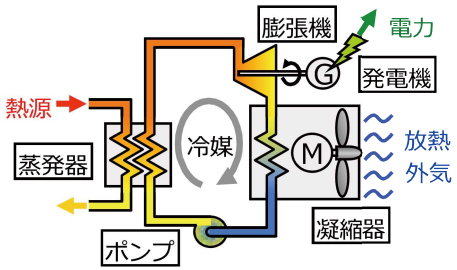
200℃程度の中低温排熱を活用する1kWeクラスの高効率小型オーガニックランキンサイクル（ORC）発電技術（目標発電効率14%）を開発しています。

工業炉からの排熱回収の概念図



※GWP：地球温暖化係数

ランキンサイクルのシステム図



成　果

1kWeクラス排熱発電システム実証機の構築と排熱発電効果の実証を行いました。発電ユニットは、店舗向け空調機の室外機をベースに、膨張機、冷媒ポンプ、再熱器、凝縮器等の要素部品を1つのシャーシに収納し構成しました（図1）。排熱回収用の蒸発器には2019年度に10年耐久を確認したフィンチューブ熱交換器を採用し、冷媒配管で発電ユニットと連結しています。冷媒には発電効率、熱安定性、地球温暖化係数(GWP)の観点からHFO-1336mzz(E)［GWP18］を選定し、熱源には熱量可変の高温ガス発生装置を用いて、熱処理炉、乾燥炉、焼成炉等の熱源調査結果に基づき熱源ガス温度パターンを設定しました。
熱源ガス温度200℃、熱源ガス温度変化（昇温/降温）速度5K/分、外気温度16℃、熱源稼働時間8時間におけるORC自動制御運転特性を図2に示します。熱源の起動に伴う熱源ガス温度の上昇に追従した起動運転、安定した熱源ガス温度での定常運転、熱源の停止に伴う熱源ガス温度の低下に追従した停止運転を可能とするサイクル自動制御運転技術を構築し、ORC自動制御運転を実現しました。そして、年間（夏・中間（春/秋）・冬）の各外気温度に対し、熱源ガス温度200℃の定常運転において平均発電出力1kWe、年間平均発電効率9%を確認し、排熱発電技術を実証しました。（表1）

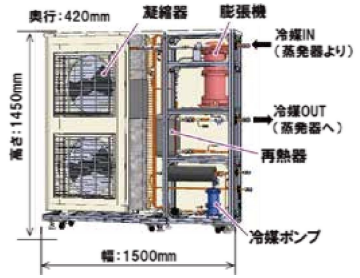


図1　発電ユニット

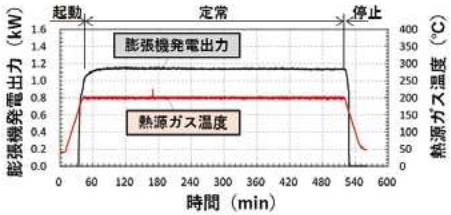


図2　自動制御運転特性

注：（　）内の数値は外気温度を示す

項目	発電端出力	発電効率（発電端）
夏（35℃）	1.01kW	8.5%
中間（16℃）	1.12kW	9.1%
冬（7℃）	1.17kW	9.4%
年間平均	1.10kW	9.0%

表1　実証機評価結果

今後の展望

2020年度に開発した排熱発電効果実証技術に、2017年度に発電効率14%を達成した高効率化技術を盛り込むことで、平均発電出力1kWeかつ発電効率14%を達成することができると考えられます。今後、自社で適用先を検討するとともに実用化開発を進める予定です。

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／排熱発電技術の研究開発

お問い合わせ
パナソニック（株）　担当：引地　巧
TEL：080-9946-5743
メールアドレス：hikichi.takumi@jp.panasonic.com