

未利用熱エネルギーの 革新的活用技術開発

～プロジェクトの概要紹介～

プロジェクト・リーダー（PL）

産業技術総合研究所 執行役員 エネルギー・環境領域長

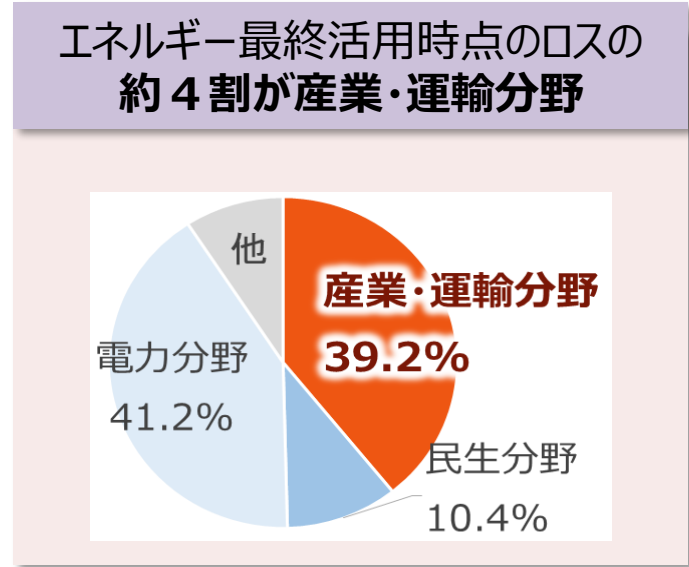
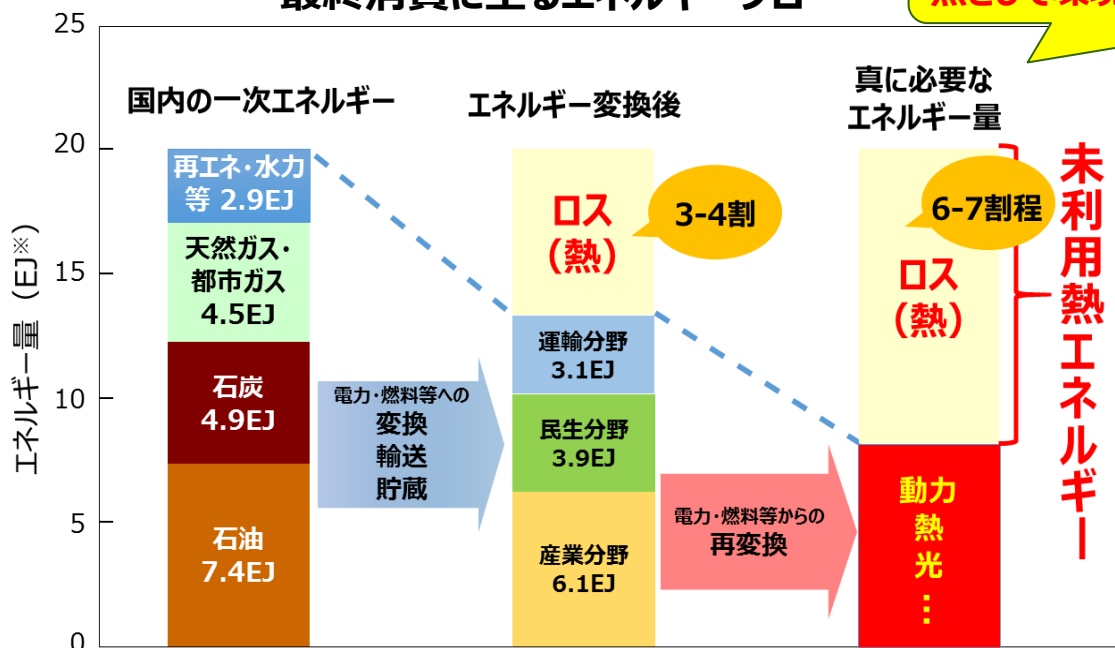
小原 春彦

プロジェクトの背景

- 一次エネルギーの大半は有効活用できておらず、エネルギーの大部分（うち約4割が産業・運輸分野）が**未利用熱として捨てられており、CO₂として排出されている**。

日本における一次エネルギー供給から最終消費に至るエネルギーフロー

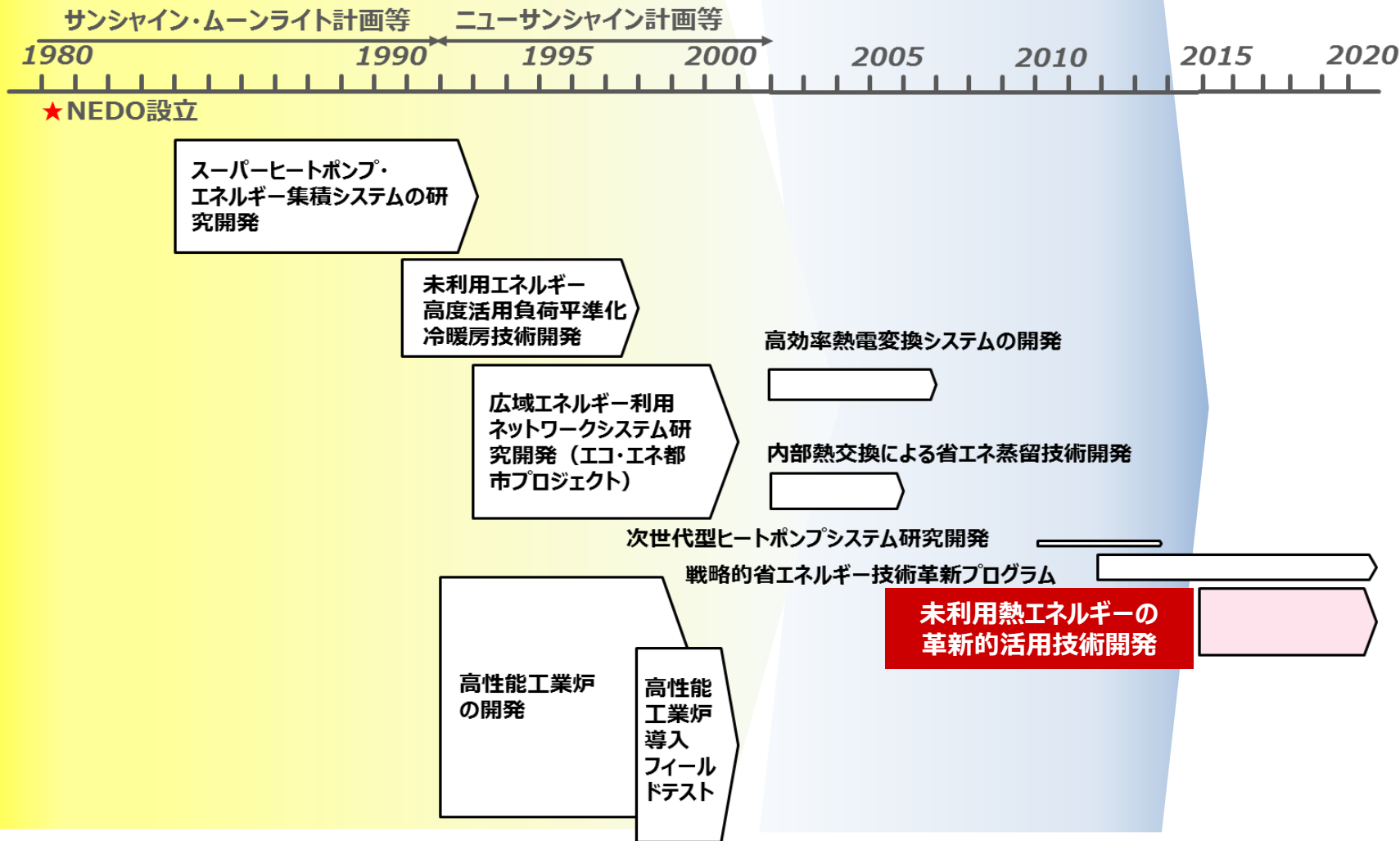
産業・運輸等の分野で、一次エネルギーの大半が熱として環境中に排出される（未利用熱エネルギー）



※EJ=10¹⁸ ジュール

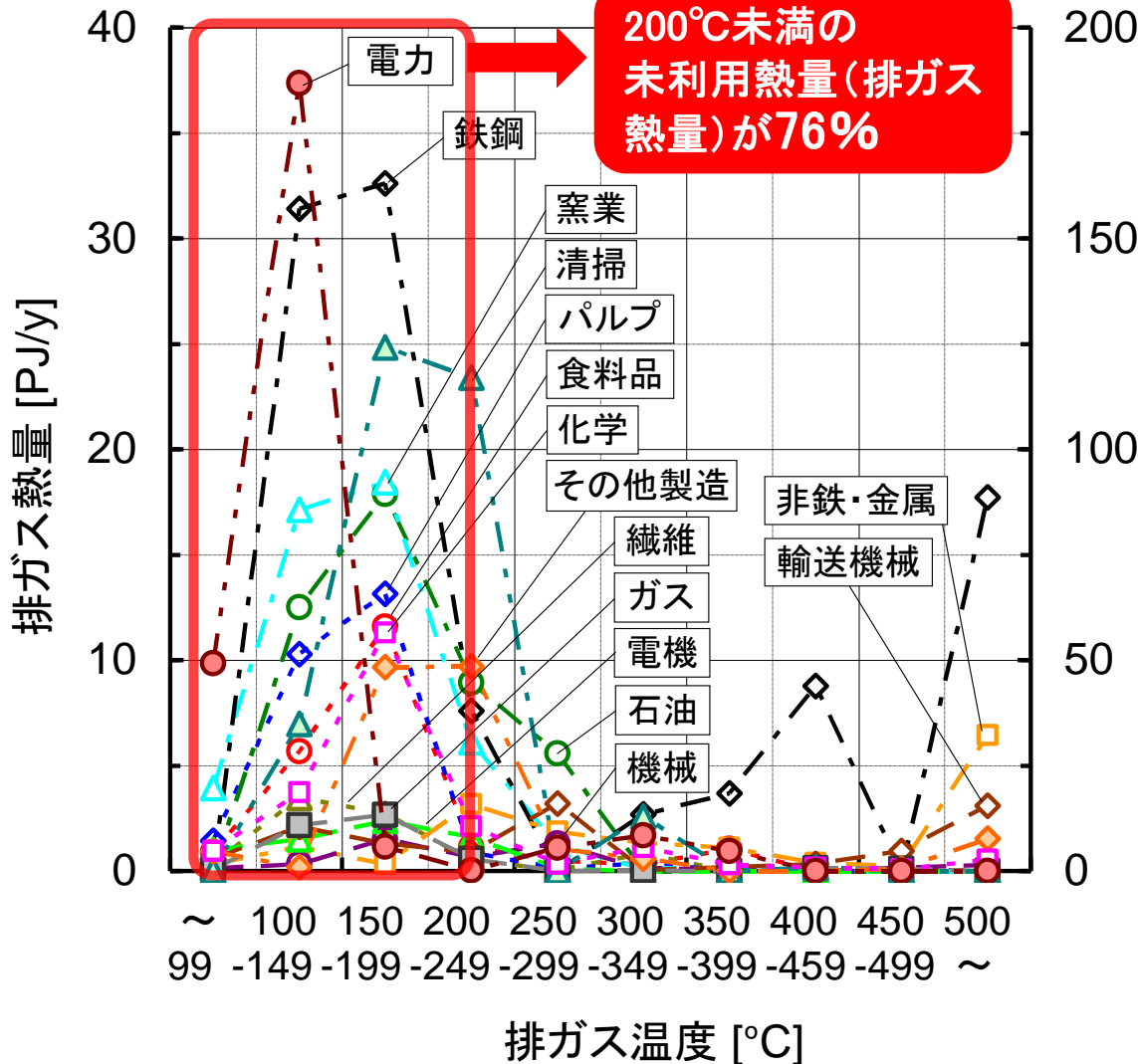
出典：資源エネルギー庁 平成30年度（2018年度）エネルギー需給実績（確報）を基にNEDO作成

NEDOにおける熱利用関連の主な研究開発プロジェクト

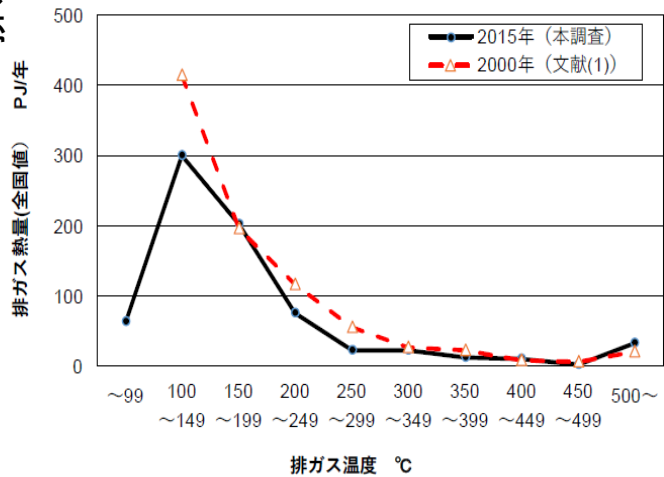


※矢印の枠の縦の長さは各プロジェクト・テーマの予算規模

未利用熱量（排ガス熱量）の全国推定値



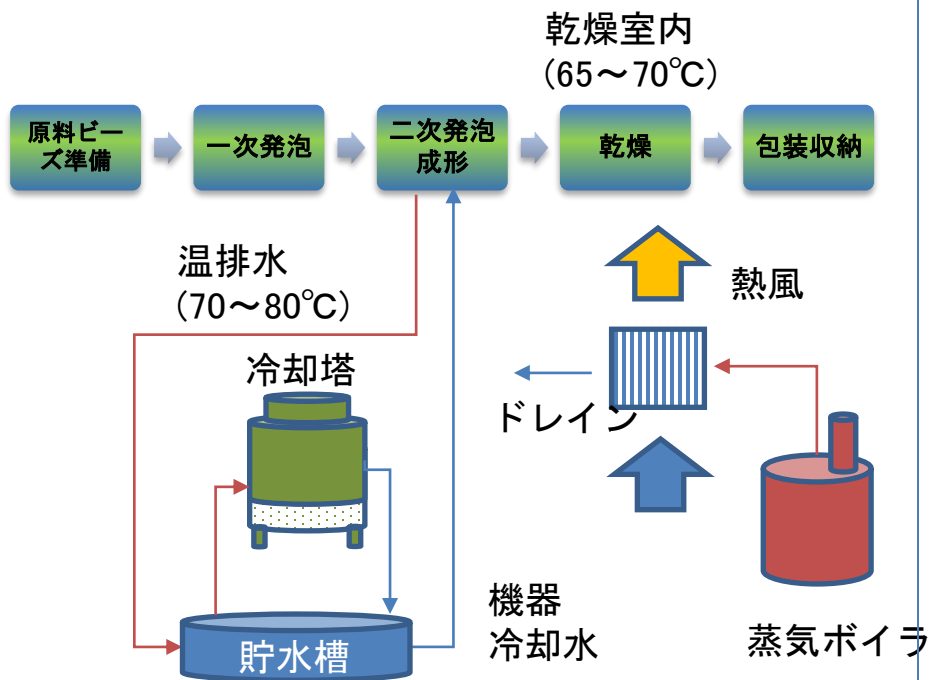
排ガス熱量 [PJ/y] (化学, 電力)



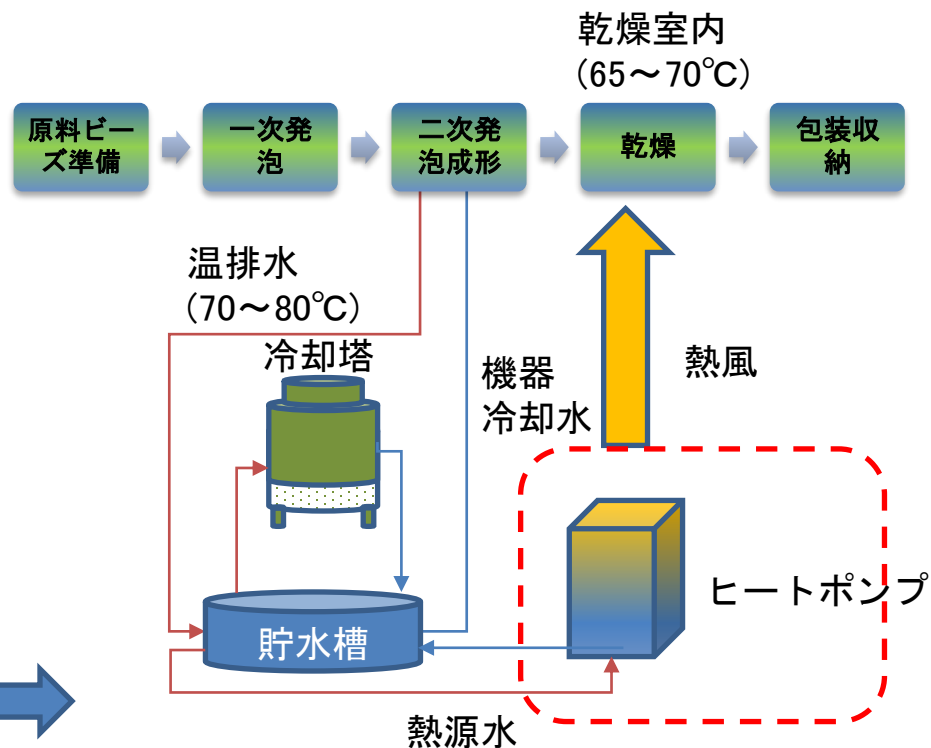
(化学、電力は右軸)

産業分野でのヒートポンプのニーズ

導入前のシステム概要



ヒートポンプ導入後のシステム概要

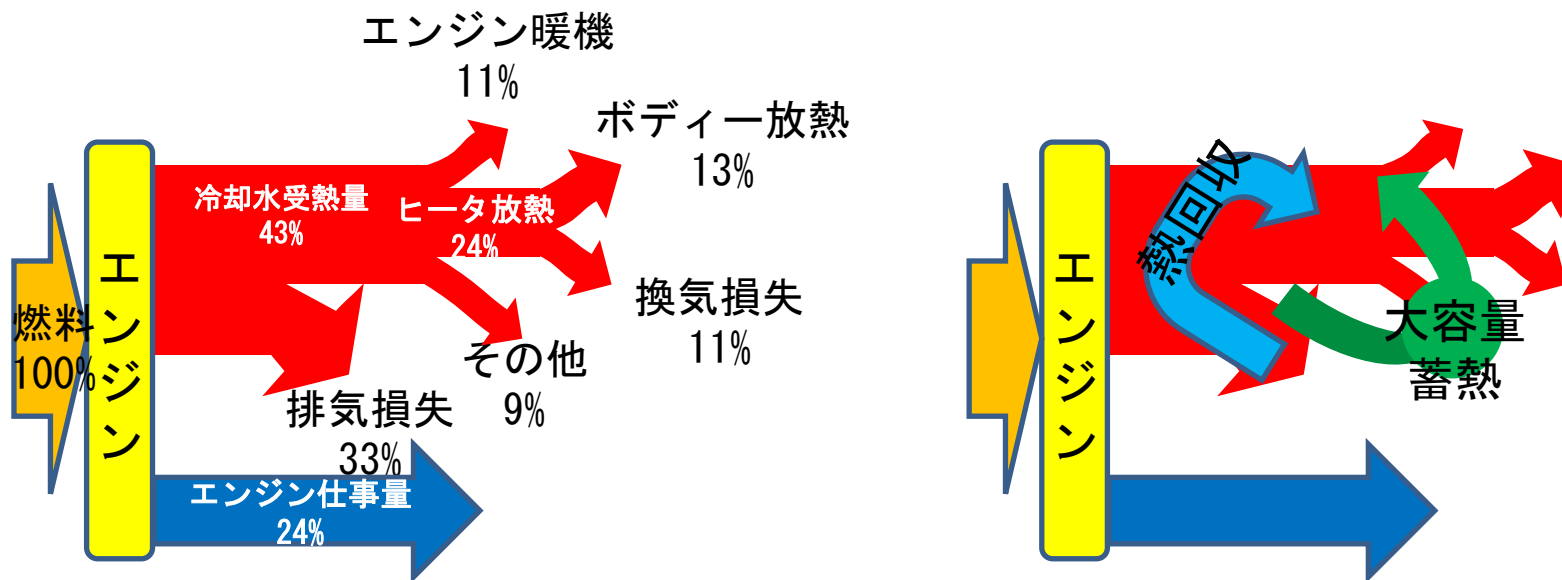


一次エネルギー削減量48%

- 機器の高性能化（温度領域拡大、COP向上）、低コスト化が必要

自動車の熱マネージメントのニーズ

冬季コールドスタート時のエネルギーフロー



初期熱需要により効率低下

トヨタ エスティマハイブリッド車の例

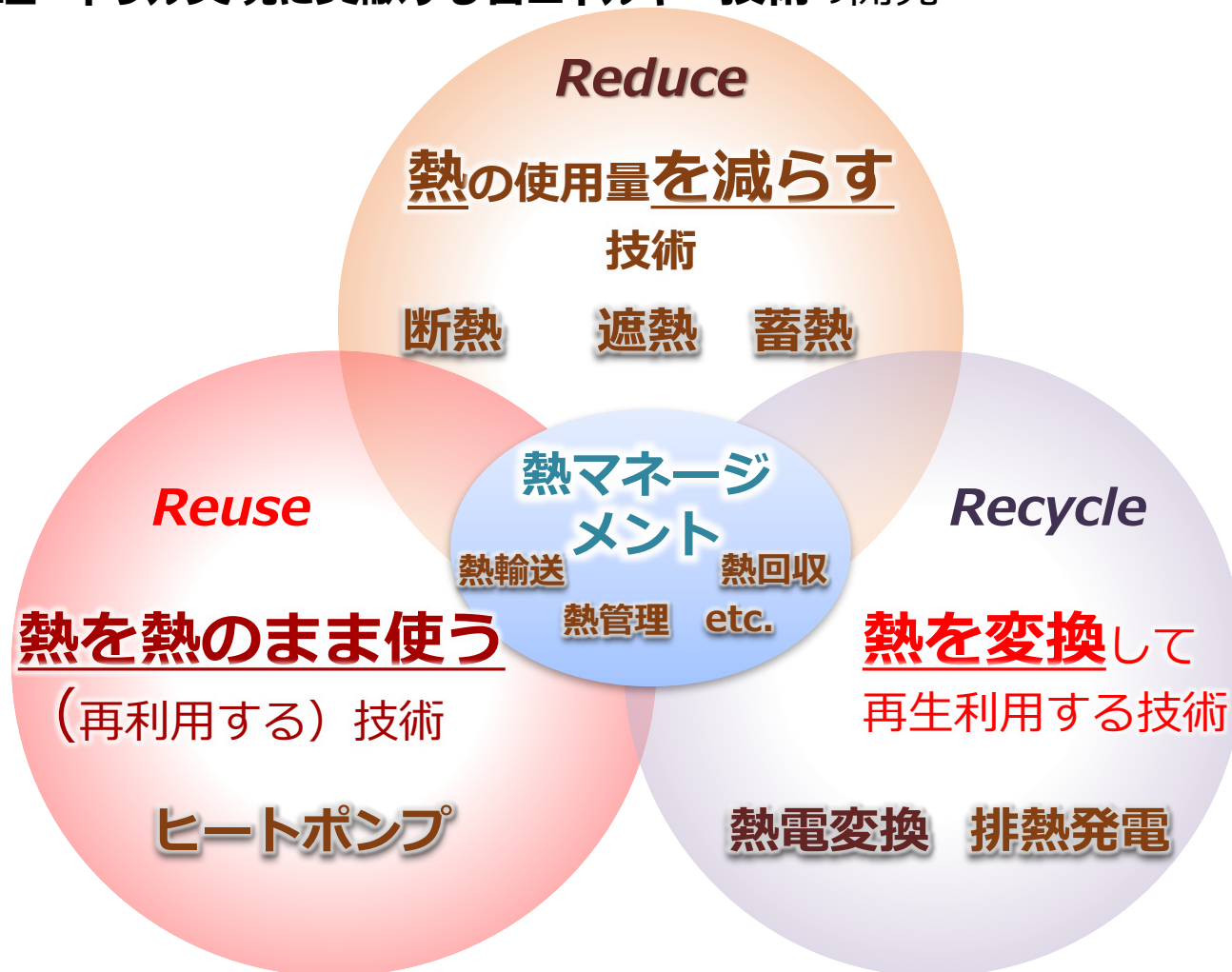
中川ら 排気熱再循環システムによる冬季実用燃費向上 自技会誌Vol. 61 No. 7

大容量蓄熱、排気熱回収・熱輸送により排熱量60%低減

- 性能の高い蓄熱材料・蓄熱モジュール、熱輸送技術が必要

プロジェクトのコンセプト

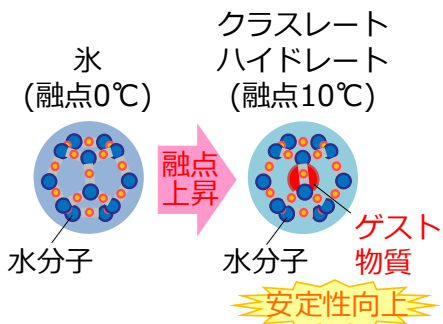
- 未利用熱を効果的に削減（**Reduce**）又は回収して再利用（**Reuse**）、変換利用（**Recycle**）するための技術（**熱の3R技術**）と**熱マネージメント技術**を産学連携により中長期的・重点的に実施。
- **カーボンニュートラル実現に貢献する省エネルギー技術**の開発



高密度/長期蓄熱材料の研究開発 パナソニック (2013-2022)

①高密度蓄熱材料(低温用)

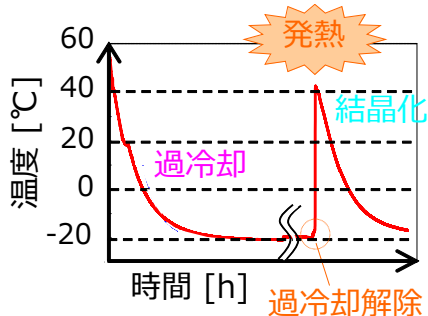
水分子の籠状構造の中にゲスト物質を包み込んだクラスレートハイドレート



目標: 0.3MJ/kg (@10°C)

②長期蓄熱材料

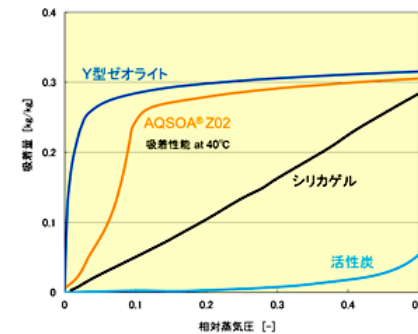
潜熱蓄熱材料の過冷却を利用する長期蓄熱



目標: -20°C~25°C環境下で24時間保持

工場における未利用熱有効利用、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材料を開発

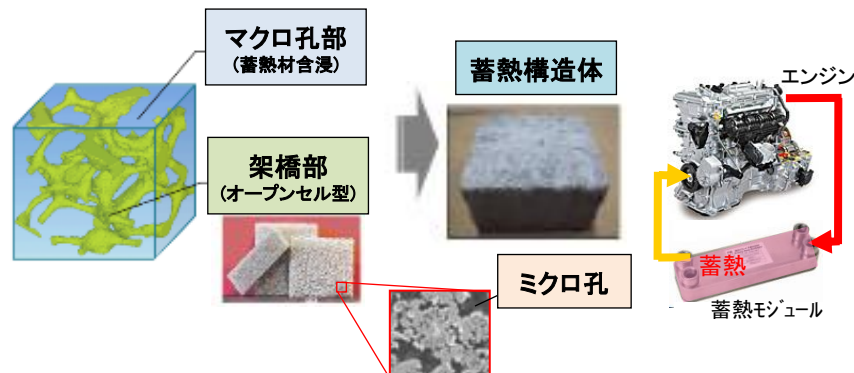
車載用蓄熱技術の研究開発 トヨタ自動車・三菱ケミカル (2013-2019)



低コスト型合成ゼオライトの外観

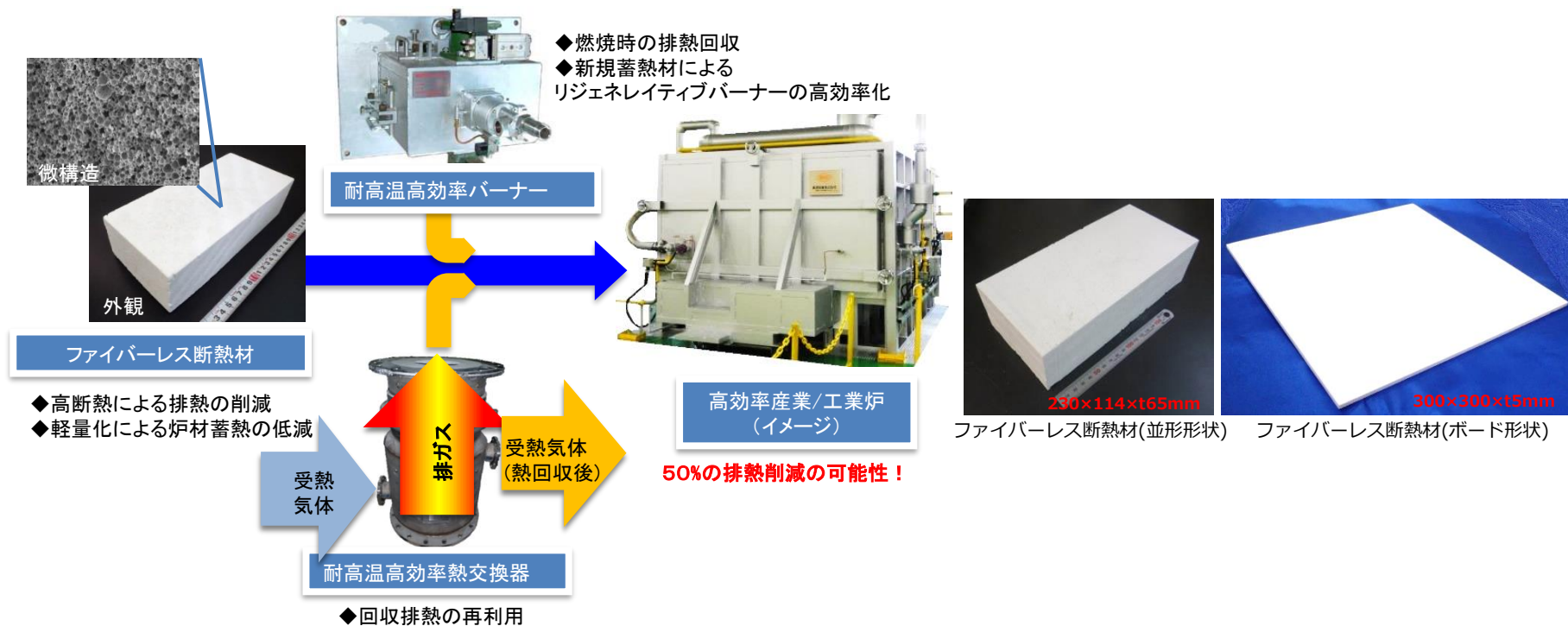
AQSOA®Z02の吸着等温線

水蒸気吸着材、蓄熱材として高性能な合成ゼオライトの低コスト・量産技術を開発



エンジンの排熱を蓄熱するための、熱伝導率の高いポーラス金属との複合構造体を開発

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・産総研 (2013-2022)



産業／工業炉の省エネルギー化を目指し、【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
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、省エネ実証評価まで行う熱エネルギーマネジメントシステムを構築

革新的次世代遮熱フィルムの研究開発

東レ・産総研 (2013-2017)

革新的次世代遮熱フィルム

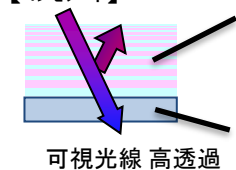
金属光沢調フィルム
東レホームページより

技術を利用

高透明
↑
↓
高遮熱

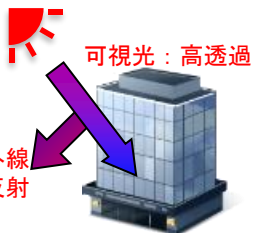
トレードオフ

【コンセプト】



積層フィルム
近赤外線を反射

コーティング層
可視光透過・遮熱性の制御

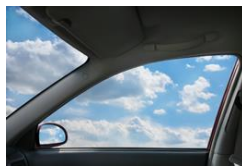


- ①可視光の取り込み
照明電力低減
- ②遮熱による室内温度低減
冷房負荷低減

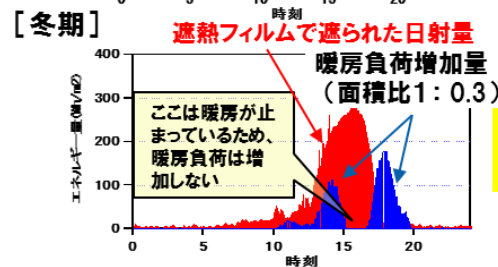
・実際の建物での省エネ評価を行い、開発品が従来品に比べ高い冷房負荷低減効果を有することを実証

■今後の展開

建物、自動車の省エネに貢献する革新的遮熱窓材



日本ウインドウ・フィルム工業会より

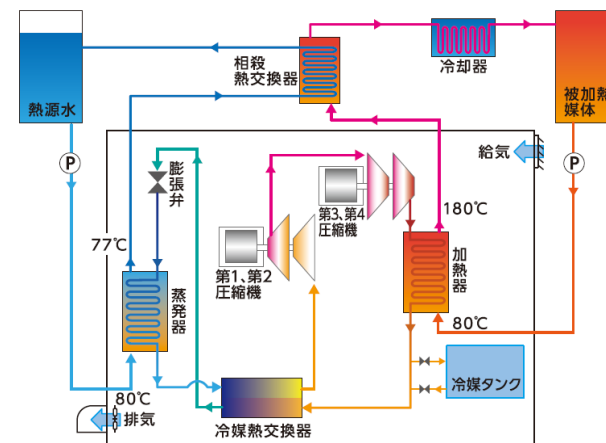
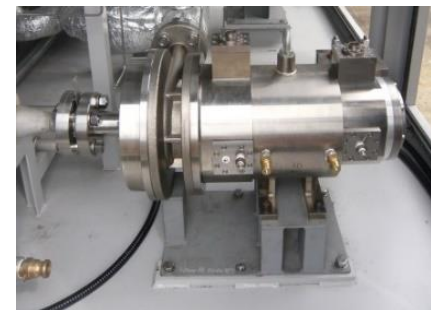
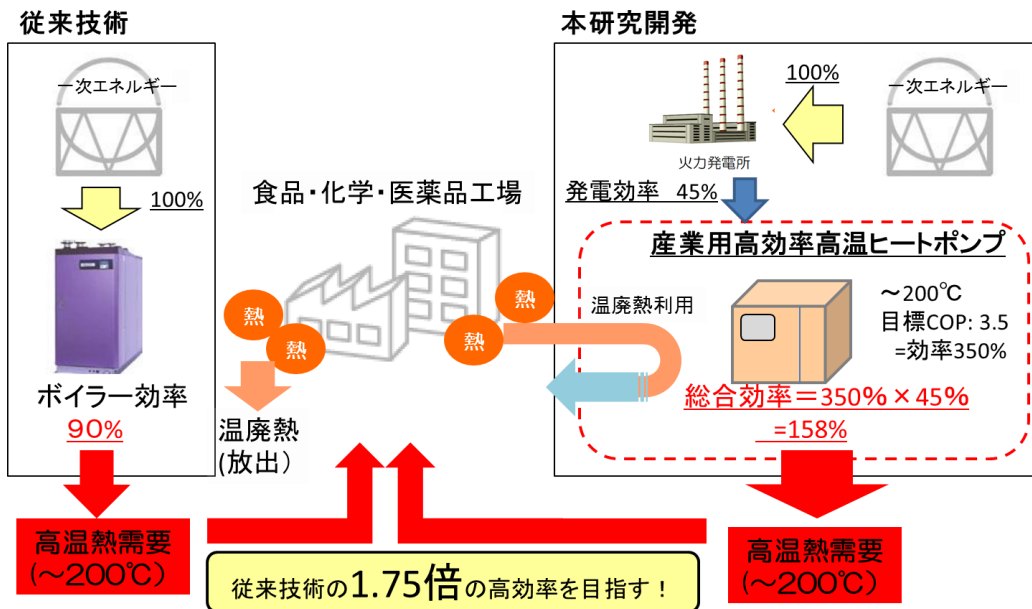


新規光学設計技術、特殊積層技術、ポリマー設計技術等を融合し、従来では不可能な明るさと高遮熱性の両立を実証

建屋内の省エネ効果の評価技術開発では、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

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

産業用高効率高温前川製作所 ヒートポンプの開発 (2013-2022)



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を開発ポイント

- 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

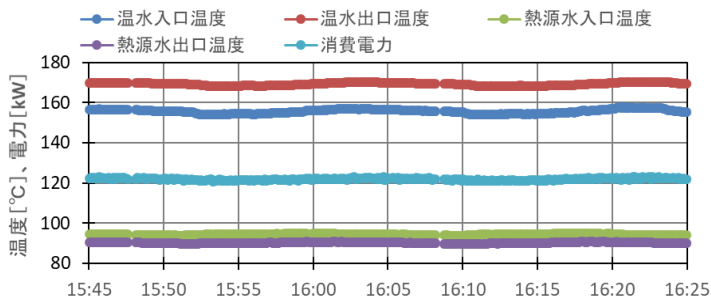
機械・化学産業分野の高温熱供給に適したヒートポンプシステムの開発 三菱重工サーマルシステムズ (2013-2020)



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

実機検証結果 (温水170°C出力条件)運転トレンド

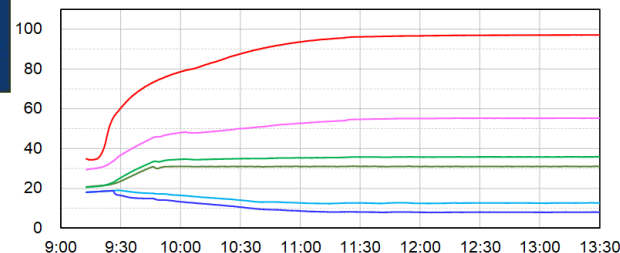
実機試験設備 外観



要素検証機試験結果 (温水170°C出力条件)

産業用製造プロセスの80~100°C程度の未利用排熱を回収し160~200°C程度の高温熱供給を高効率で行うことを目標として、200°C高压高温水の出力が可能な性能係数(COP)3.5以上を実現する加熱能力600kWの高温熱供給用ヒートポンプの技術開発を実施

低温駆動・低温発生機の開発 日立ジョンソンコントロールズ空調・日立製作所 (2013-2017)



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

一重効用ダブルリフト吸収冷凍機のおもな導入事例

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 °C	630 kW	3	2019年
2	機械工場	ドイツ	産業用空調	90→55 °C	1,407 kW	1	2020年
3	大学病院	ポーランド	業務用空調	65→57 °C	300 kW	1	2020年
4	化学工場	スロバキア	産業用空調	62→52 °C *	494 kW	1	2021年

* 25°Cの冷却水により熱源温水出口温度を低温化

従来利用できなかった55°C以下までの低温排熱から冷熱を発生するため、熱効率 (COP) を上昇させた新型の熱駆動型冷凍機を開発。95°Cの排温水から55°Cまで熱を回収し、冷房に利用可能な0-3°Cの冷水を発生する「一重効用ダブルリフト吸収冷凍機」を販売開始。「2017年度コージェネ大賞 特別賞」(技術開発部門)を受賞

熱電デバイス技術の研究開発 古河機械金属 (2013-2021)

熱電変換による排熱活用の研究開発 日立製作所 (2013-2021)

材料技術

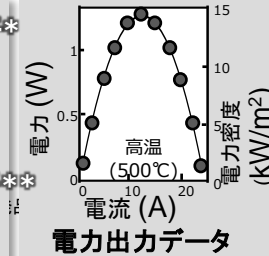
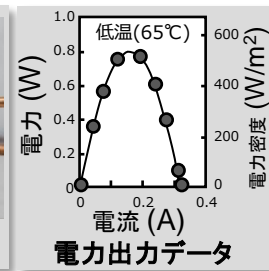
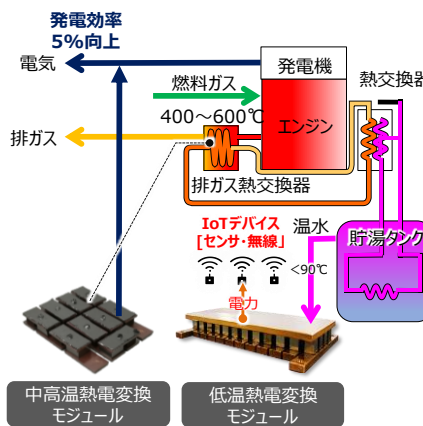
1. 熱電材料開発
A+B+C+D=SKD
2. 熱電材料合成技術
3. 大型焼結体成形技術
4. 研磨、素子加工技術

モジュール技術

5. 熱電材料/電極接合技術
6. モジュール化技術
7. 酸化防止技術

システム技術

8. 熱交換技術
9. ユニット化技術
10. 冷却
11. 電力変換

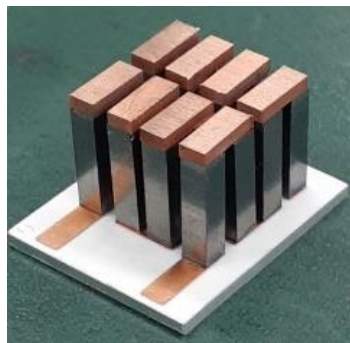


開発した熱電発電ユニット

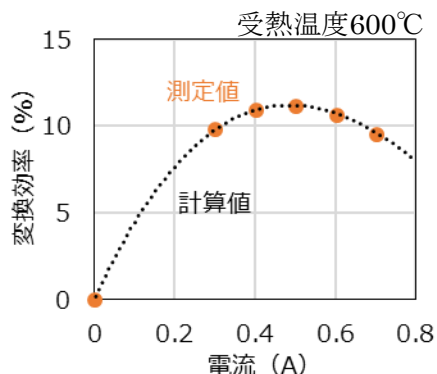
室温～600℃の中温域において熱電性能の良いスクテルライト系熱電材料を開発し、長期耐久性を有する熱電モジュールの作製技術を確立して、熱電変換技術を自動車排気や工場排熱等の熱エネルギーから発電を目指す。

ガスコジェネレーション装置の未利用熱活用による効率向上のため、排熱量が非常に多い100℃以下の低温排温水から熱電変換モジュールを用いて発電した電力をIoTセンサー・通信無線の電源に活用するシステムを検討
500℃のエンジン排熱から電気変換可能な無毒かつ安価なシリコンを使用し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を設計・試作

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 (2013-2021)

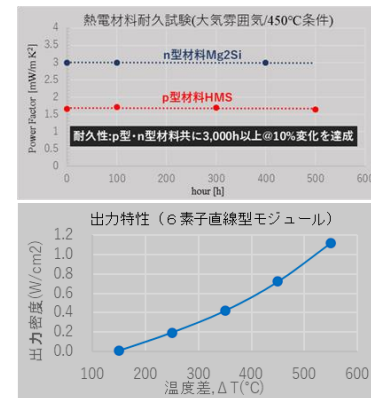
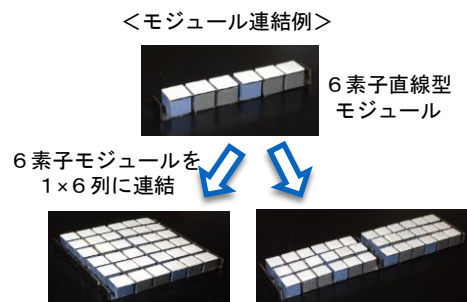


試作・評価に用いた熱電モジュールの構成



他接合型クラスレート熱電モジュールの電流と発電効率の関係

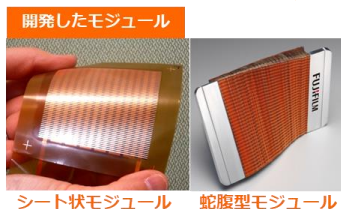
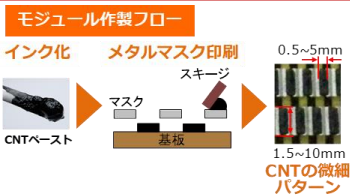
シリサイド熱電変換材料による車載排熱発電システムの実用化への要素技術開発
日本サーモスタット・安永 (2013-2020)



熱電材料として理想的なかご状の結晶構造を有しかつ資源性が高く、環境調和性に優れたクラスレート化合物を用いて、高温でも安定な低コストで長寿命な熱電モジュールを開発

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

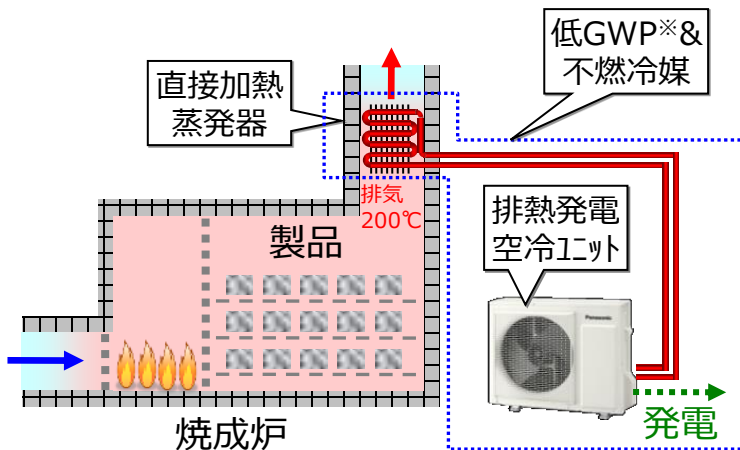
フレキシブル有機熱電材料およびモジュールの開発 富士フィルム (2013-2018)



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

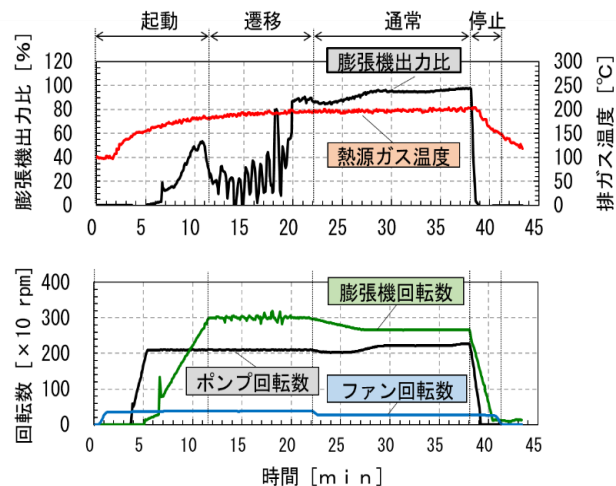
排熱発電技術の研究開発

パナソニック(2013-2020)

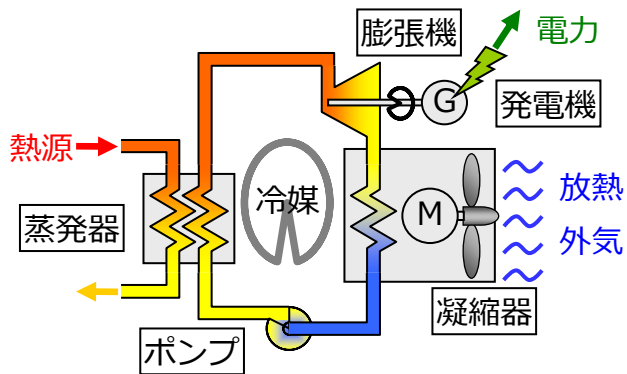


※GWP：地球温暖化係数

工業炉からの排熱回収の概念図



自動制御運転特性

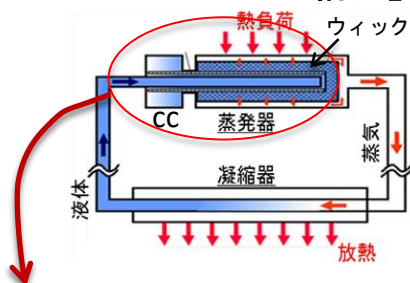


ランキンサイクルのシステム図

従来比2倍の発電効率で投資対効果の高い小型排熱発電技術を開発し、これまで捨てられていた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、CO₂排出量の削減に貢献。

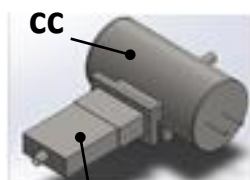
高効率熱輸送技術の開発 トヨタ自動車 (2013-2019)

【システムコンセプトと構造】



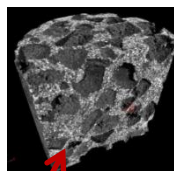
【蒸発器構造】

蒸発器とCCの
一体構造を適用

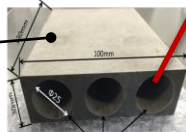


【ウィック構造】

ポラス構造体を適用



蒸発器

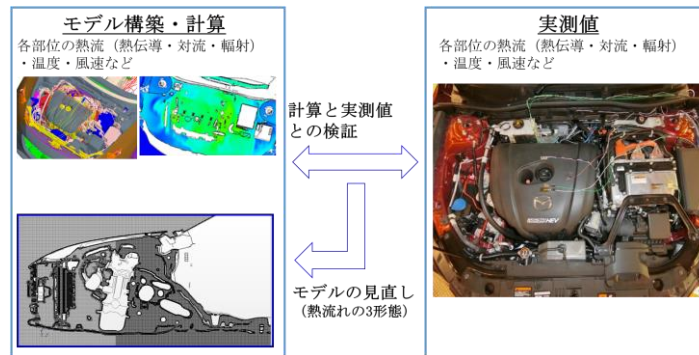


蒸発器

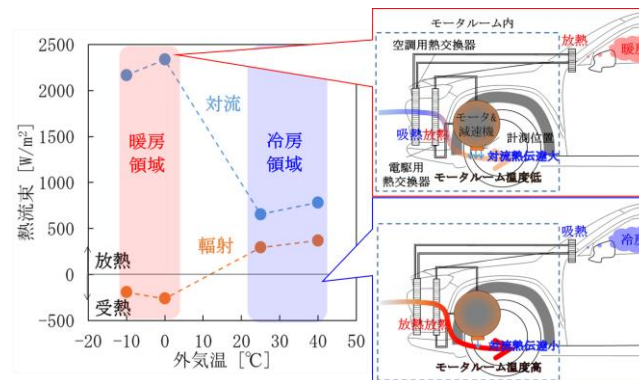
+CC : 1.9L

蒸気を利用した効率的熱輸送システムとして、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)の開発し、車両に必要な数kWオーダーの熱輸送を可能とするLHP技術を開発。原理実証ベンチによる実験で3kWまで熱輸送可能であることを確認。

熱マネージメント技術 マツダ (2013-2022)

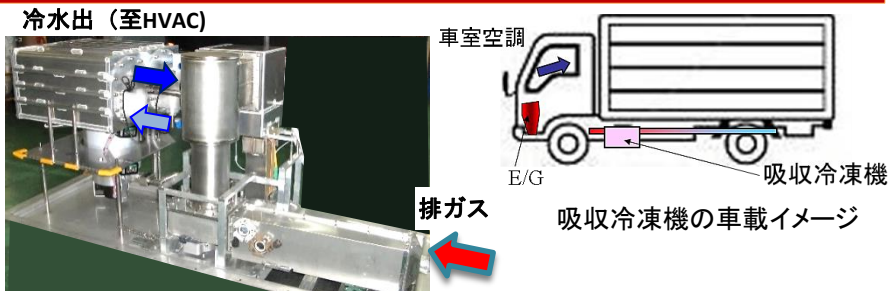


自動車の熱流れモデルの構築

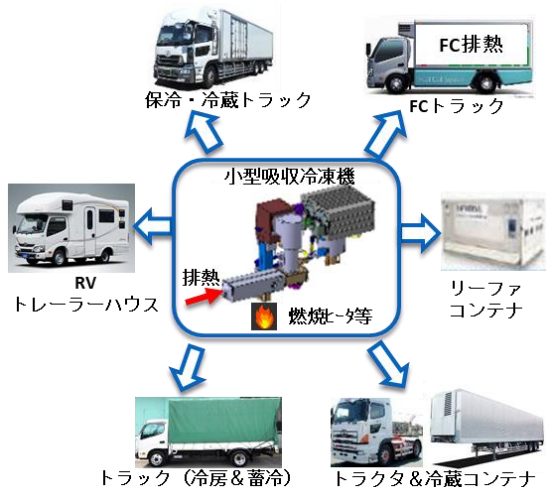


電気駆動車における熱システムの構成や熱エネルギーフローを高精度な熱流れモデルを使って熱マネージメントを行なうモデルベース開発のため、「熱流れの計測解析技術の開発」、「電気駆動車の計測実施」、それらを活用した「自動車の熱流れモデルの構築」を実施。

排熱蓄熱可能な小型吸収冷凍機の研究開発 アイシン (2013-2022)

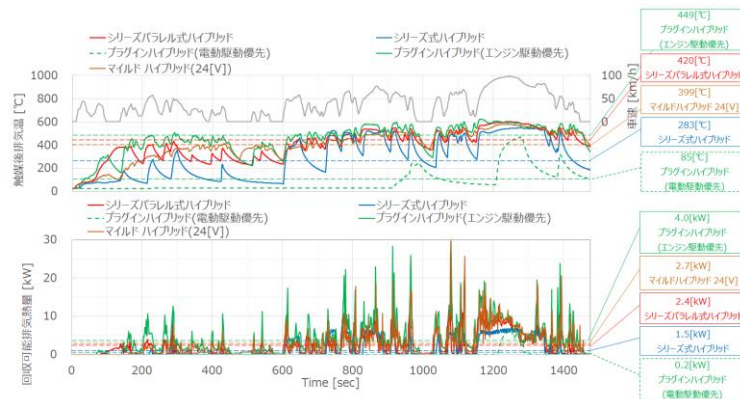


搭載システム外観



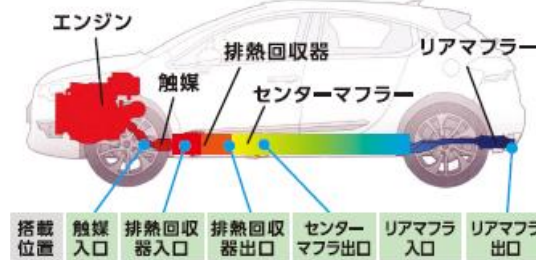
排ガス熱を回収し冷熱を発生する吸収冷凍機を車両に搭載するために小型・軽量化し、車両の揺れや振動などの車両環境に対応するシステムを開発。同技術を応用し、冷蔵、保冷車両やRV、輸送コンテナなどの移動体向けシステムや排熱利用により冷房の消費電力を抑える小型冷房機としての応用を検討

車両熱計測技術の開発と電動車の熱量調査 マレリ (2013-2022)



【計測条件】 ・走行条件: WLTC / 外気 25°C / 空調ON

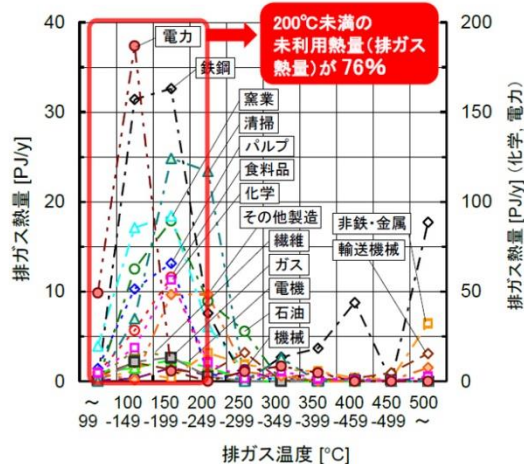
排気温度・排気熱量



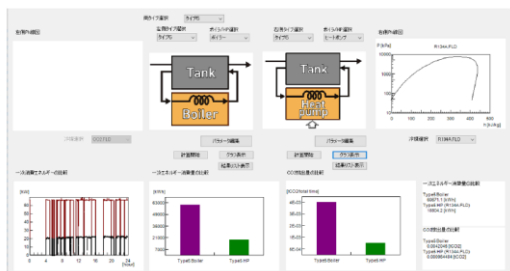
熱電変換デバイスの搭載位置

パワートレイン違いの電動車の熱エネルギーフロー調査を行い、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、有効なエネルギーデバイス の査定・発掘・最適化を実施。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

産業分野の排熱実態調査／導入シナリオの検討、
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
産総研、JRCM、前川製作所 (2013-2022)



15業種別の工場排熱実態

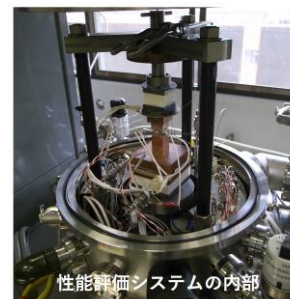


開発した「産業用ヒートポンプシミュレーター」のユーザーインターフェース画面の一例

15業種の工場設備から排出される未利用熱の排出状況や熱利用状況調査・分析を行ない、「産業分野の排熱実態調査報告書」として報告

産業用ヒートポンプ技術の工場への導入効果を評価検証するために、産業別工場のエネルギー利用状況調査、ヒートポンプシミュレーターの開発を実施。シミュレーターの一般公開と標準化を推進

熱マネジメント部材の評価技術開発
産総研 (2013-2022)



高性能熱電発電モジュールの研究開発の加速、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の開発及び国際標準化



装置外観



板状や膜状材料の電気伝導度とゼーベック係数を2方向同一で測定できる装置の開発。有機材料からなるシート状熱電素子の熱流束センサへの応用

熱関連材料のシミュレーションとデータベース構築 産総研 (2013-2022)

PropertiesDB Web

熱関連材料データベース表示ソフト

本データベースは、熱関連材料および基本的物質について、右記の物性データを取録しております。条件を設定し検索ボタンを押すと、条件を満たす物質を収録データから抽出し、その物性データの分布をグラフに表示することができます。また、検索結果の表上で任意の物質を選択すると、その化学式に該当するPubchemのデータを一覧表示します。

未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合
国立研究開発法人 産業技術総合研究所

【種別データ数】		【物性別データ】	
有機物*	4,507	標準生成エンタルピー	7,953
無機物*	8,804	標準生成ギブスエネルギー	4,221
		標準エンタルピー	3,478
		比熱容量	1,905
		転移エンタルピー	7,936
		転移エン트로ピー	1,654

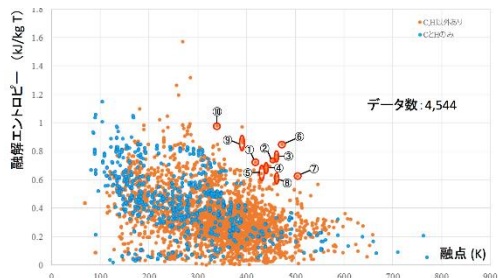
*収録データ数を表します

現在、標準生成エンタルピー・標準生成ギブスエネルギー・標準エンタルピー・比熱容量は、標準状態(298.15K, 1bar)の値のみです

- 【検索方法】
- 検索の条件は、「元素比」、「化学式」、「名前」、「物性値」について設定できます。
 - どれか一つでも設定すれば、抽出が可能です。
 - 複数設定した場合は、設定した全ての条件を満たすものを抽出します。

詳しい操作方法についてはマニュアルをご覧ください。

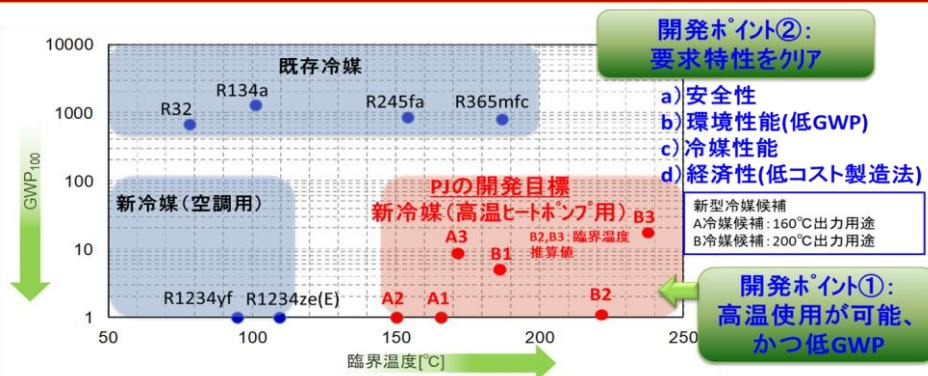
PropertiesDB Web を起動



有機化合物の融点と融解エンタルピーの分布

新規材料探索・設計と新規材料を部素材としたモジュール設計への活用を目的として、共通基盤技術としての熱関連材料データベース開発を行い、熱関連材料・部素材の各種熱物性情報と関連データを収集し、体系化してデータベースを構築

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 三菱重工サーマルシステムズ・三菱重工業・セントラル硝子・産総研 (2013-2020)



低GWP新型冷媒候補の臨界温度とGWPの関係

開発番号	160°C出力用新型冷媒候補 (A)			200°C出力用新型冷媒候補 (B)				
	A1	A2	A3	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区分外	Ames: 陰性 急性吸入: GHS区分外	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 または区分外	Ames: 陰性 急性経口: GHS区分5 または区分外	Ames: 陰性
燃焼性	Class: 1	Class: 2L	Class: 1	Class: 2L	不燃性	Class: 2L	Class: 2L	不燃性
熱安定性	160°C	200°C	225°C	250°C	225°C	250°C	250°C	250°C
熱力学的性質	データ取得済	データ取得済	データ取得済	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	データ取得済	データ取得済	データ取得済	未評価	データ取得中	未評価	未評価

160°C出力機: A3冷媒で選定

200°C出力機: B1冷媒が最適と判断

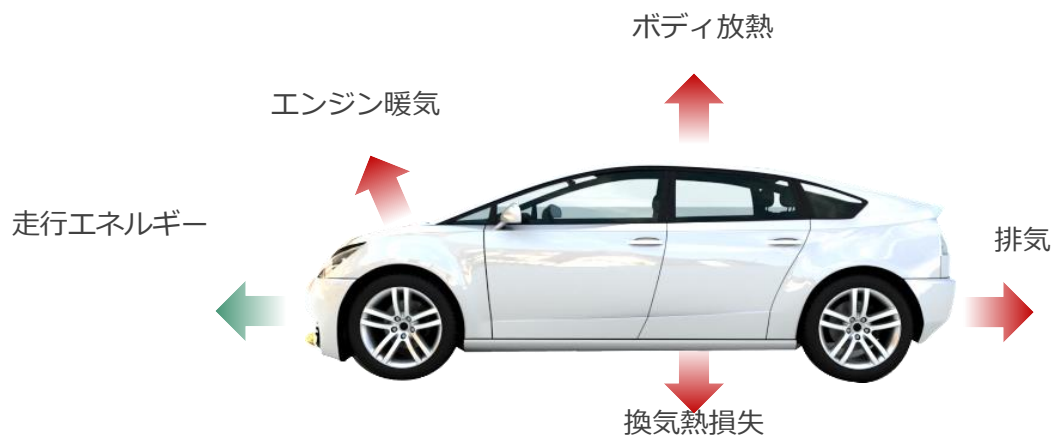
低GWP新型冷媒候補での評価物性

GWP (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実施

開発中の技術を導入した際の燃費改善効果

複数の研究テーマの最終目標をハイブリッド車に導入した際の燃費改善効果をGamma Technologies社のGT-SUITEを用いて推計。
夏季条件で約30%、冬季条件では約13%の燃費改善という結果を得た。

HV自動車：冬場の熱分析

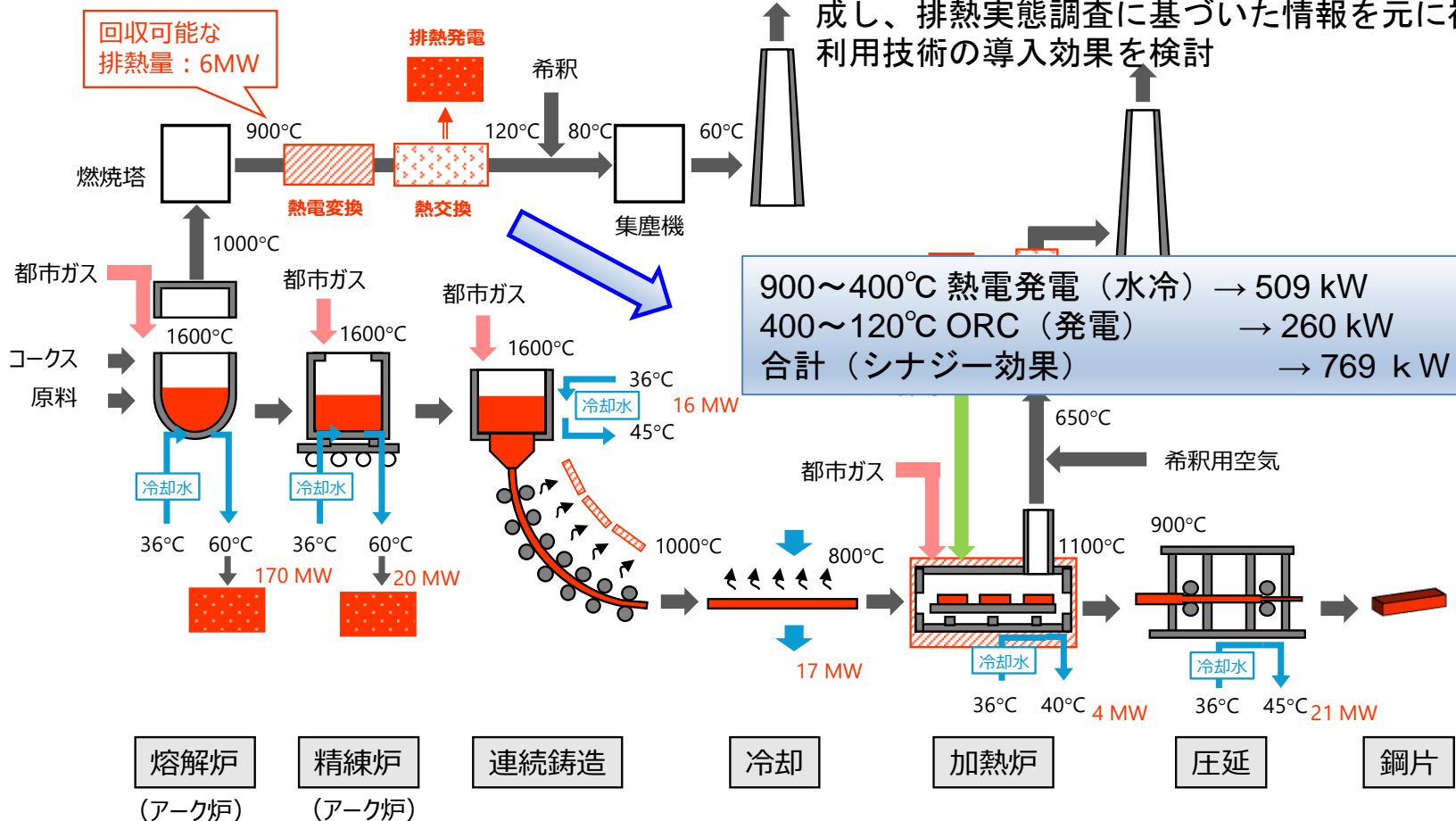


- ◆走行に必要なエネルギーは投入エネルギーの2割程度
- ◆熱回収により大幅な改善が可能

自動車熱マネジメントシステムワーキンググループ会議の成果

鉄鑄造品製造工場での未利用熱活用検討

プロジェクト参画企業がワーキンググループを構成し、排熱実態調査に基づいた情報を元に複数熱利用技術の導入効果を検討



排熱利用モデル製造ライワーキンググループ会議の成果

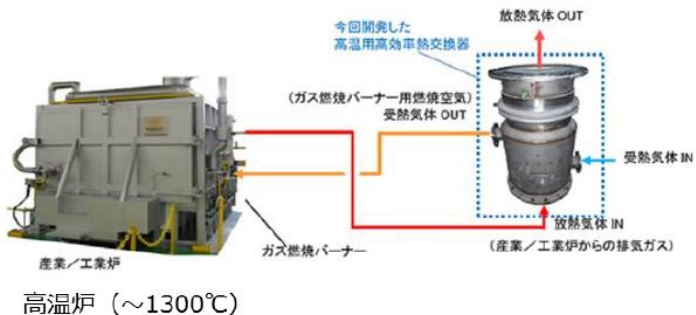
未利用熱を従来比3倍の性能で回収可能な 高温用高効率熱交換器を実用化（2015年度）

実用化

- ・1300℃の耐高温性能
- ・従来に比べ3倍の性能で未利用熱を回収



高温炉に
設置可能



美濃窯業株式会社

従来比2倍の未利用熱回収性能の 冷凍機を実用化（2017年度）、事業化（2019年度）

事業化



温水熱の利用温度をより低温域まで拡大：
95℃の温水排熱について、従来は75℃までの熱しか回収できなかったところを、より低温域の51℃まで熱回収

開発した一重効用ダブルリフト
吸収冷凍機「DXS」

2019年度以降、ドイツ等に導入、商用運転を開始

導入先	導入国	用途	熱源温水	冷凍能力	台数	導入時期
事務所ビル	ドイツ	業務用空調	95→65℃	630kW	3	2019年
機械工場	ドイツ	産業用空調	90→55℃	1,407kW	1	2020年
大学病院	ポーランド	業務用空調	65→57℃	300kW	1	2020年

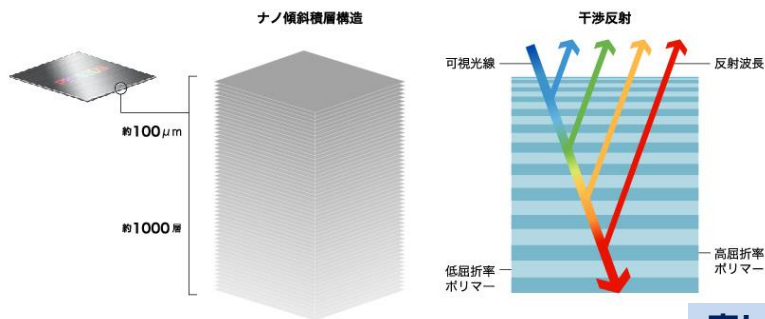
日立ジョンソンコントロールズ空調株式会社

ナノ積層フィルムピカサス®

ナノ積層技術を駆使し、フィルムの反射・透過の波長帯域を思い通りに制御

TORAY
Innovation by Chemistry

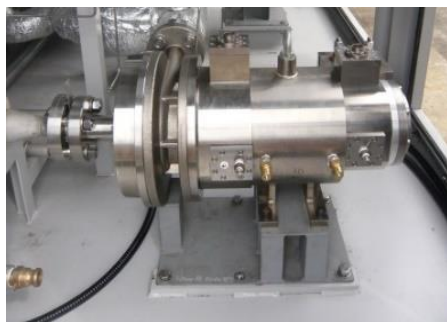
P!CASUS



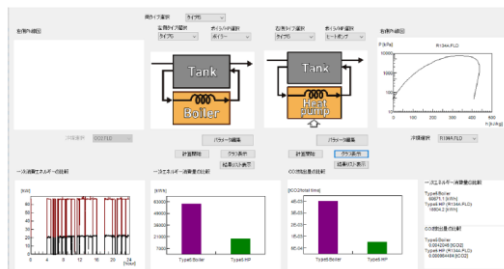
東レホームページより

東レ株式会社

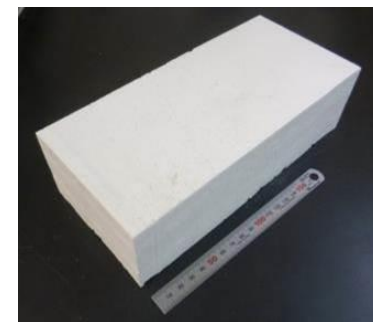
カーボンニュートラル実現に貢献する 未利用熱を有効活用した省エネ技術



高温ヒートポンプ用圧縮機

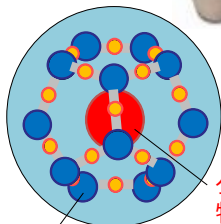


産業用ヒートポンプシミュレーター



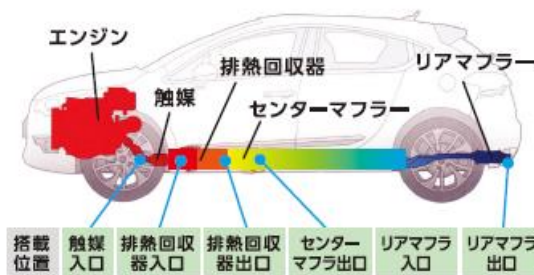
ファイバーレス断熱材

蓄熱モジュール



水分子
ゲスト物質

クラスレートハイドレート蓄熱材



電動車の熱量調査



自動車の電動化

参考資料

プロジェクト参画企業・機関、テーマ一覧

※一部早期終了、実施内容を変更したテーマがあります。

テーマ	サブテーマ	実施事業者
①蓄熱技術の研究開発	(1)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
	(2)車載用蓄熱技術(材料)の研究開発	トヨタ自動車、三菱ケミカル、産総研
②遮熱技術の研究開発	(3)革新的次世代遮熱フィルムの研究開発	東レ、産総研
③断熱技術の研究開発	(4)断熱材料の研究開発	美濃窯業、産総研
④熱電変換技術の研究開発	(5)高性能熱電材料およびモジュールの開発	産総研
	(6)熱電デバイス技術の研究開発	古河機械金属
	(7)熱電変換による排熱活用の研究開発	日立製作所
	(8)フレキシブル有機熱電材料およびモジュールの研究開発	富士フイルム
	(9)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
	(10)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	安永、日本サーモスタット

プロジェクト参画企業・機関、テーマ一覧

※一部早期終了、実施内容を変更したテーマがあります。

テーマ	サブテーマ	実施事業者
⑤排熱発電技術の研究開発	(11)排熱発電技術の研究開発	パナソニック
⑥ヒートポンプ技術の研究開発	(12)産業用高効率高温ヒートポンプの開発	前川製作所
	(13)機械・化学産業分野の高温熱供給に適した冷媒とヒートポンプシステム技術開発	三菱重工サーマルシステムズ、三菱重工業、セントラル硝子、産総研
	(14)低温駆動・低温発生機の研究開発	日立製作所、日立ジョンソンコントロールズ空調
⑦熱マネジメント技術の研究開発	(15)熱マネジメント材料の研究開発	トヨタ自動車、産総研
	(16)熱マネジメントの研究開発	マツダ
	(17)車両用小型吸収冷凍機の研究開発	アイシン、産総研
	(18)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、日本エクスラン工業
⑧熱関連調査・基盤技術の研究開発	(19)熱関連調査研究と各種熱マネジメント材料の基盤技術の開発	産総研、JRCM
	(20)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	神戸分室：三菱重工サーマルシステムズ、三菱重工業、セントラル硝子、産総研