

未利用熱エネルギーの革新的活用技術について

2023年8月19日(土)

生産機械工学科 1978年卒業(M26/P7回生)

生産機械工学専攻(修士課程) 1980年修了

自然科学研究科生産科学専攻(博士課程) 1983年修了

西脇 文俊

◆ 講師のプロフィール

1. 1983年3月自然科学研究科生産科学専攻(博士課程)修了
学位論文: 気液二相スラグ流の流動特性に関する研究
2. 1983年4月松下電器産業株式会社入社 中央研究所に配属
2008年パナソニック株式会社に社名変更
一貫して、下記のような熱流体環境エネルギー機器の研究開発に従事
エアコン、熱電変換デバイス、CO₂ヒートポンプ洗濯乾燥機、CO₂ヒートポンプ給湯機
車載用ヒートポンプ空調システム、自然冷媒ヒートポンプ、欧州ヒートポンプ暖房機
熱発電システム、蓄熱デバイス
3. 2013年経産省/NEDOプロ「未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発」(10年プロ)
排熱発電技術の研究開発、蓄熱技術の研究開発を担当
4. 2015年10月定年後、再雇用で、上記NEDOプロを技術渉外を担当
5. 2020年10月再雇用退職後、派遣社員として、上記NEDOプロの技術渉外を担当
6. 2023年3月NEDOプロ終了とともに、パナソニック(株)空質空調社で技術渉外を支援

本日の講演内容

- YouTube動画 NEDOプロジェクト紹介
「最新の省エネルギー技術 Vol.8 未利用熱」 ←現在削除されています
- 未利用熱について
- 「未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発」プロジェクトについて
- プロジェクトの各テーマ概要紹介
- パナソニック開発技術の活用事例と成果発表例
- まとめ(私見)

NEDOプロジェクト紹介 最新の省エネルギー技術 Vol.8 未利用熱(2019年7月31日)

<https://www.youtube.com/watch?v=Gy0QvgdOiTA>

←現在削除されています

NEDOプロジェクト紹介

Introduction of NEDO project

最新の省エネルギー技術

The latest energy conservation technology

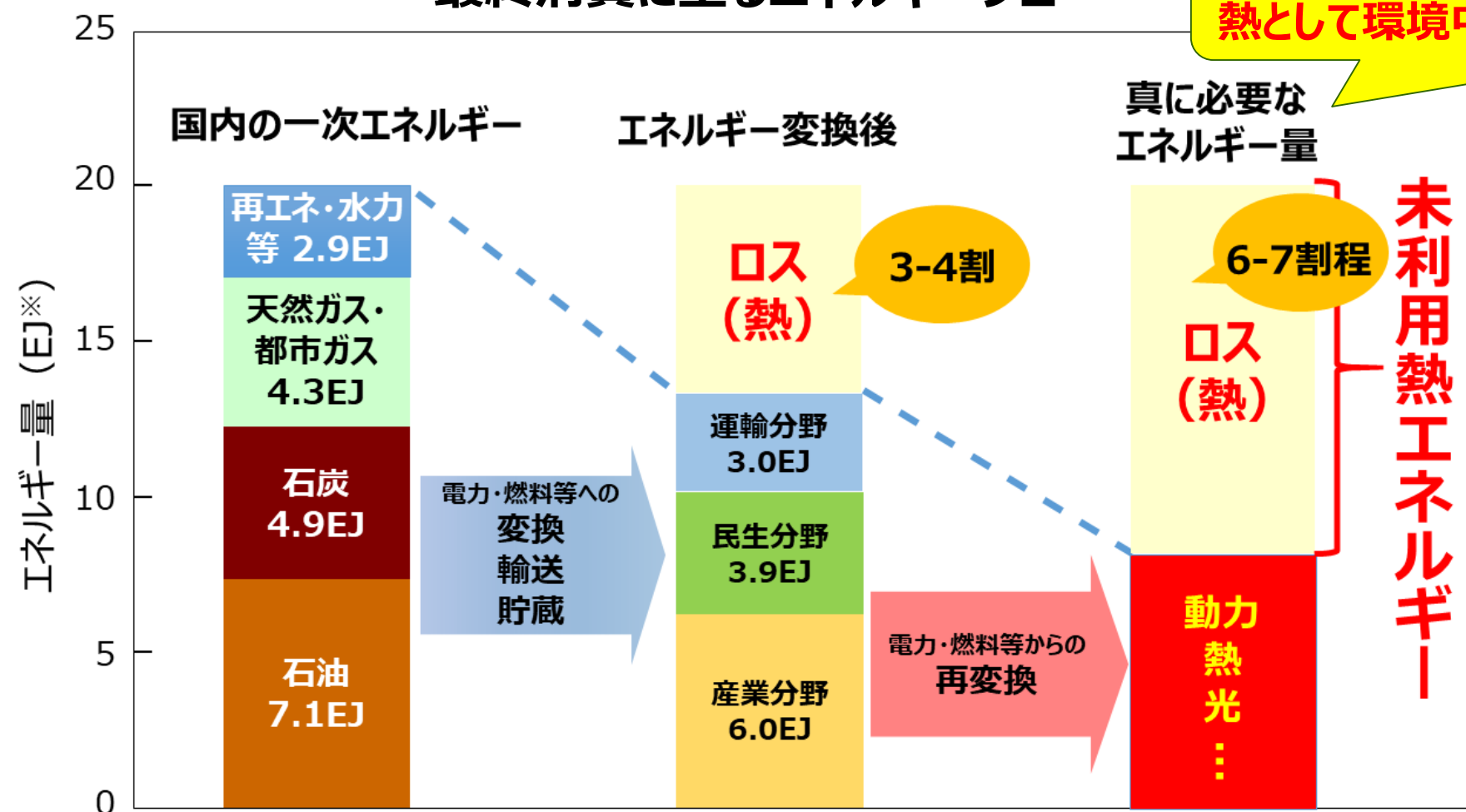
Vol.8 未利用熱

未利用熱について

未利用熱 …… 一次エネルギーの大半が熱として排出される

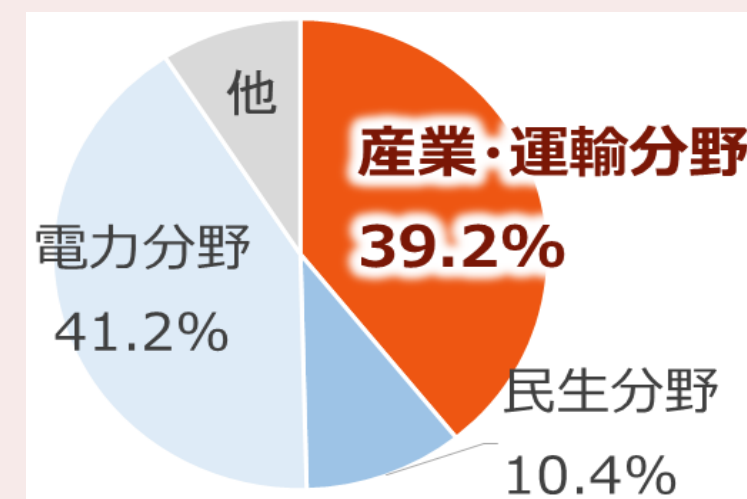
- 一次エネルギーの大半は有効活用できておらず、エネルギーの大部分（うち約 4 割が産業・運輸分野）が未利用熱として捨てられている & CO₂ として排出されている。
- ➡ 一次エネルギーの 9 割を輸入に頼り、その金額が16兆円にも上るとともに、^{カーボンニュートラル} 2050年までに80%の温室効果ガスの排出削減を目指す上で、この未利用熱をいかに減らすかが、我が国にとっては重要な課題。

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）

エネルギー最終活用時点のロスの約 4 割が産業・運輸分野



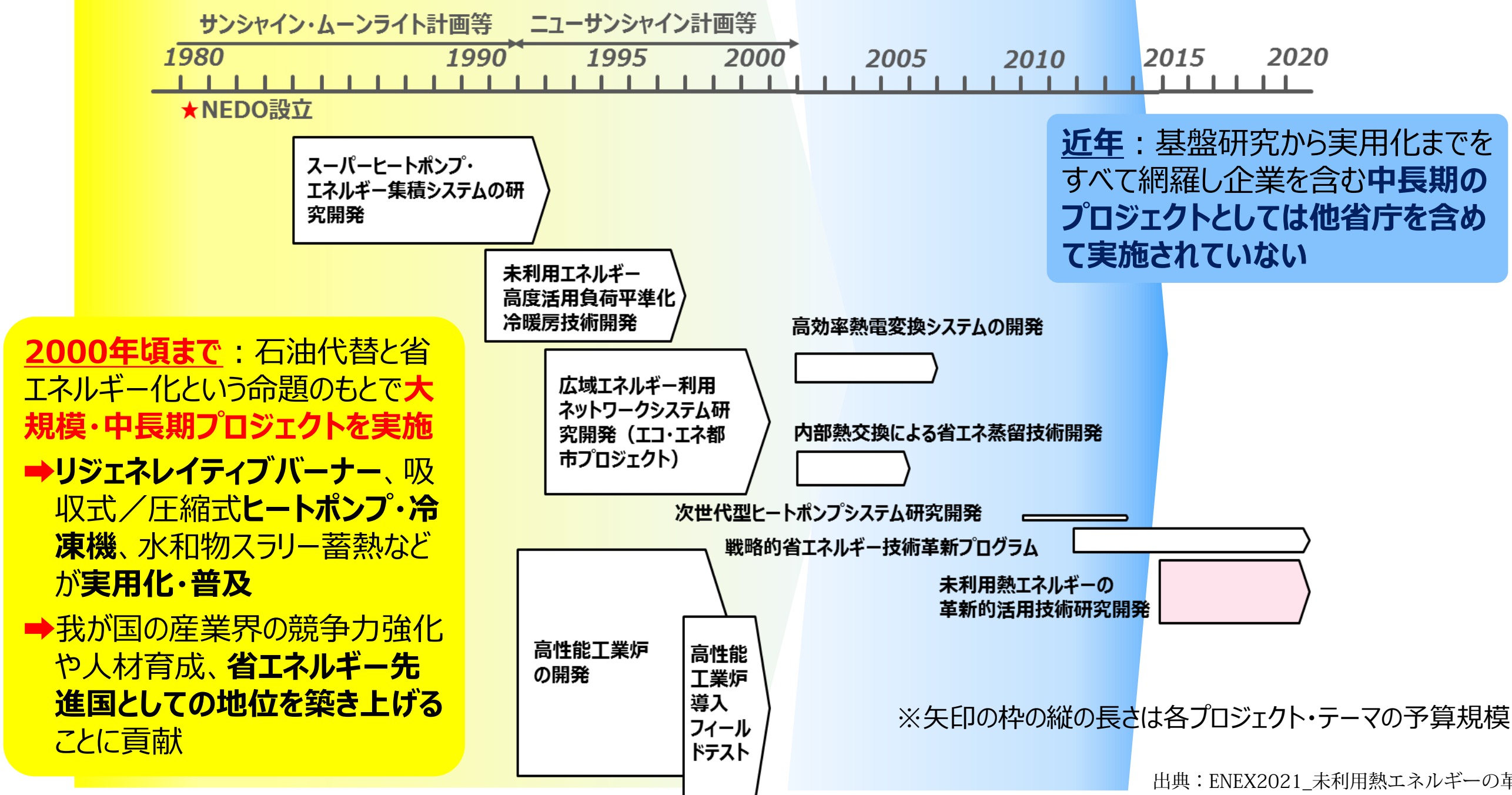
※EJ=10¹⁸ ジュール

出典：資源エネルギー庁 令和元年度（2019年度）エネルギー需給実績（速報）を基にNEDO作成

出典：ENEX2021_未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発（岩坪PM）

- 我が国のイノベーションの創出の大半を担う企業における研究開発が、近年短期化かつ短視野化し、**抜本的なイノベーションを生み出す可能性を秘めた未利用熱の有効利用に関する中長期的研究への投資は特に少なくなっている。**

例：NEDOにおける未利用熱の有効利用に関する主な研究開発プロジェクト



- 欧州を中心に熱利用プロジェクトが加速化しており、全欧州規模でのフレームワークプログラムである“Horizon 2020”では**熱利用に関する100%補助プロジェクト事業に、年間あたり10億円以上の予算が投じられている。**
- 熱利用技術を網羅的に扱うようなプログラムは実施されていない。



- ✓ 国家発展改革委員会：「石炭のグリーンで高効率な利用と新型省エネ技術」の実施計画を発行
➡ 工場の余剰熱回収(主に高温排熱) が重点的研究開発の対象に
- ✓ 中国国家自然科学基金委員会（NSFC）予算による熱電変換に関する基礎研究も活発に実施

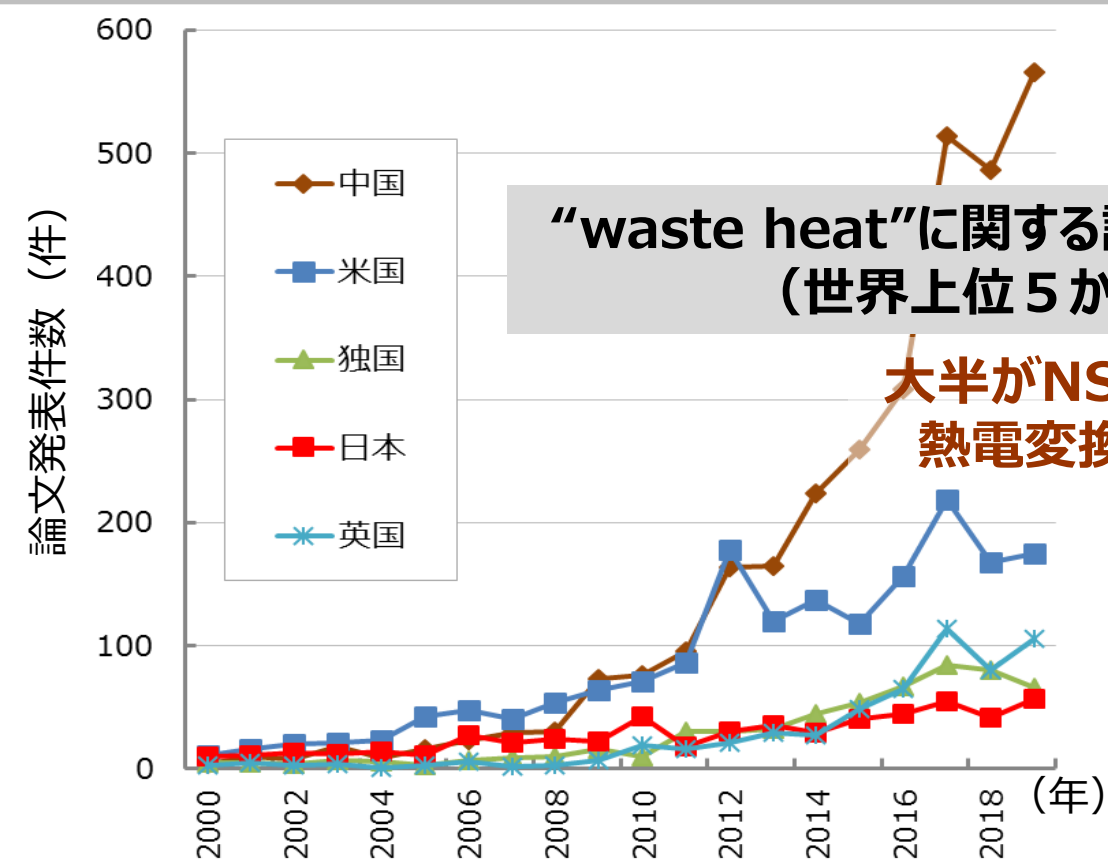


- ✓ DOE Advanced Manufacturing Office：先進製造の実現のため、ポリマーコンポジット材料を用いた新しい熱交換器、マクロチャネル熱交換器の気液二相流の流動挙動解析、排熱回収システムのシミュレーションベースの設計と最適化等の研究開発を実施
- ✓ DARPA, NASA JPL：熱エネルギーハーベスタとして熱電変換材料の開発を活発に実施（テルル系化合物、ハーフホイスラー系、スクッテルダイト系、CNT：目標変換効率6～11%）



- ✓ EUヒート・ロードマップ
産業から排出される未利用熱に着目して、その地域熱供給への接続を含め、未利用熱の利活用をさらに推進する方針を示している（2012～）

- ✓ 欧州委員会（EC）の研究資金助成プログラムHorizon 2020
2014～2015年、2016～2017年、2018～2020年に実施されている作業プログラムの中で、排熱利用等の熱マネジメント技術関連の公募枠が設定されている。
蓄熱や熱電変換を中心に、未利用熱の活用に関する研究開発が活発に実施されている。



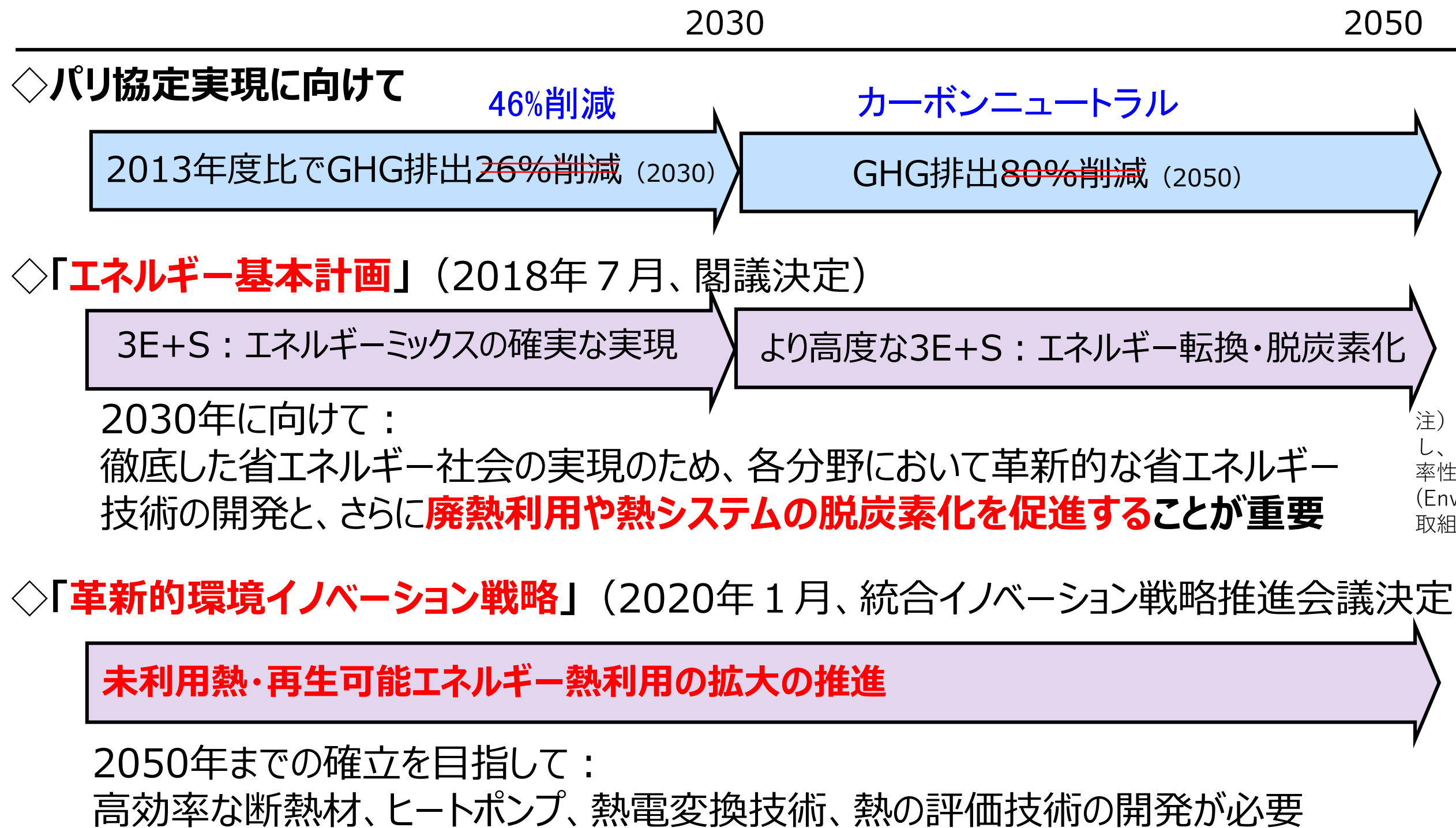
“waste heat”に関する論文発表動向
（世界上位5か国）

大半がNSFC予算による
熱電変換の基礎研究

出典：Web of Science検索
（“waste heat”）結果を基に
NEDO作成

- 我が国の中長期的なエネルギー・環境目標の実現に向けて、熱の効率的利用をはじめ省エネルギーの推進が求められている。

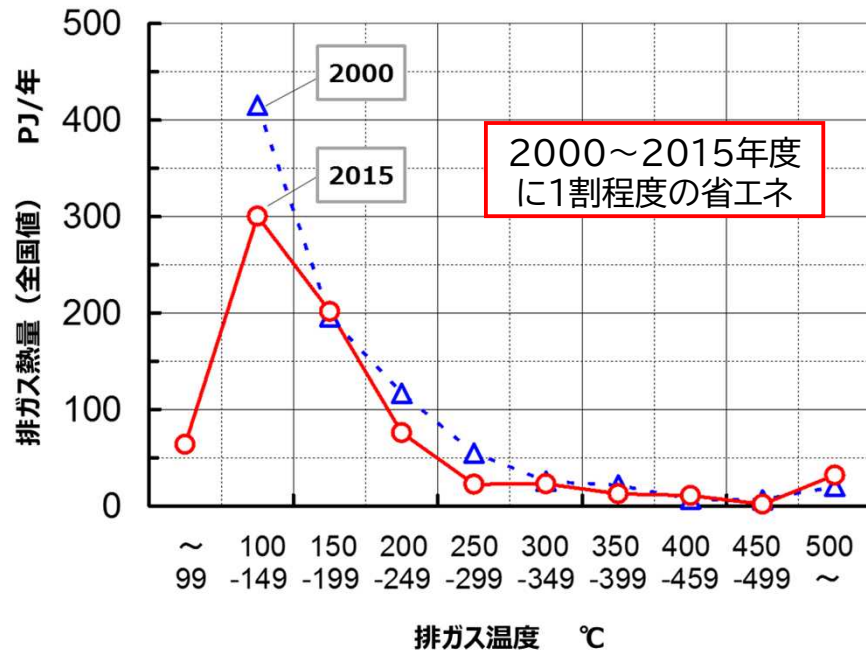
2021年10月22日、地球温暖化対策計画の改定が閣議決定



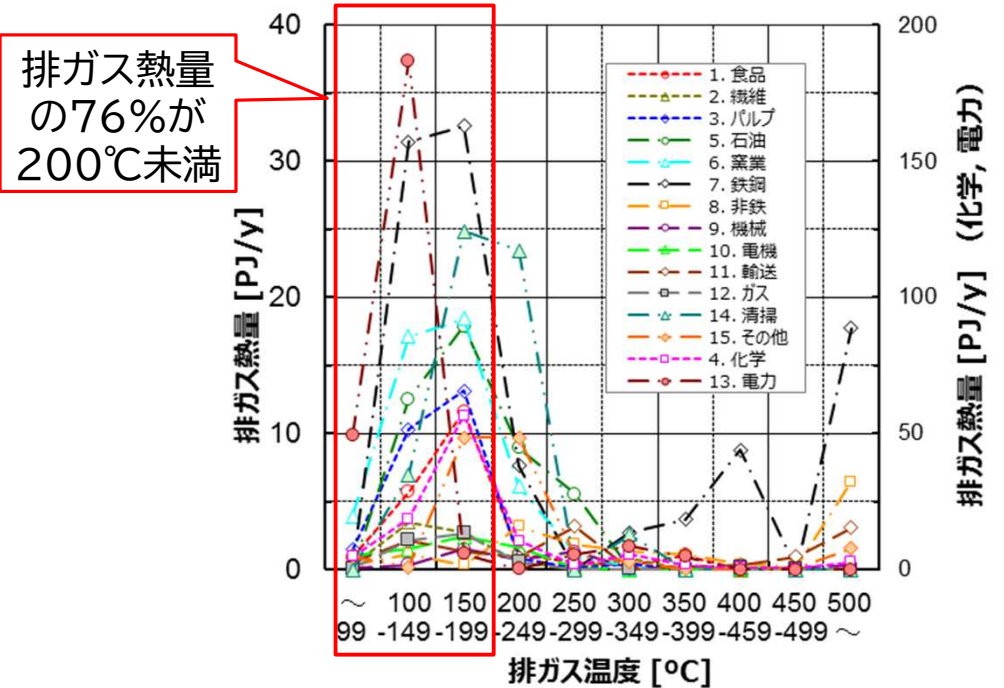
未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発

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が分かりました。

注) 2000年度の排熱調査：旧通商産業省のニューサンシャイン計画
「広域エネルギー利用ネットワークプロジェクト」(エコ・エネ都市プロジェクト, 1993~2000年度)
の一環として、財団法人省エネルギーセンターが実施した工場群のエネルギーシステムに関する調査研究

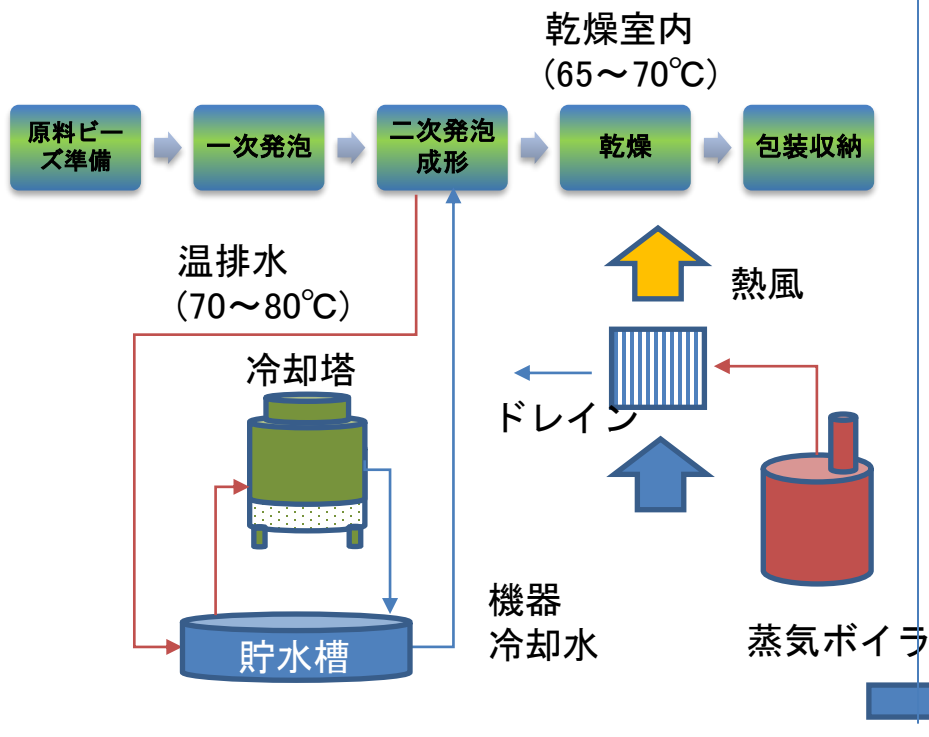
工場排熱実態調査状況

- ・国プロを活用して13業種20件の排熱ヒヤリングを行い、排熱発電導入可能性を評価。
- ・各業種毎に排熱量の具体的事例を抽出し、機器設計、効果/市場規模推定を進める。

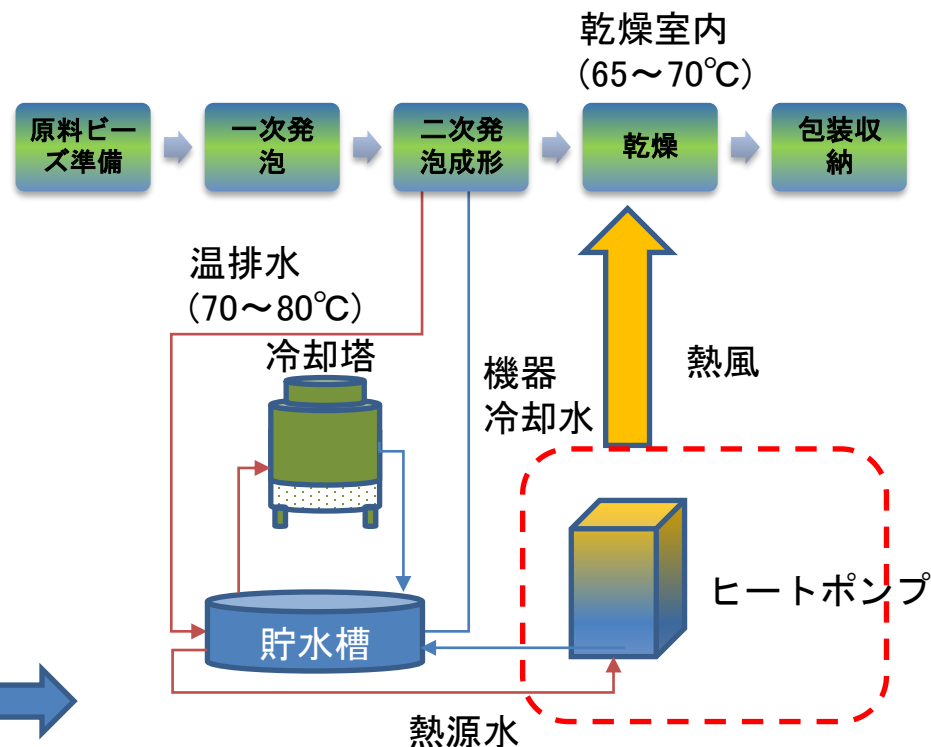
業種	ヒヤリング先	排熱の箇所	排熱温度	排ガス量(関連情報)	ORC発電出力	稼働時間/年	判断
清掃	堺市クリーンセンター	触媒反応塔後の煙突排気	196℃	60,000 Nm3/h	140～180kW	24h×330d	○
清掃	泉北環境整備施設組合	焼却炉の煙突排気	200℃	40,000 Nm3/h	検討中	24h×308d	
食品加工	キッコーマン食品・高砂工場	蒸気加熱後排気	165℃	ボイラー2.5t/h×20台	検討中	15h×240～250d	
食品加工	山崎製パン・大阪第一工場	オープン排気	35～120℃	都市ガス使用量83697m3/月	検討中	24h×365d	
食品加工	東洋水産・神戸工場	油揚げ乾燥工程排蒸気	100℃	ドレイン量5t/h	検討中	21h×255d	△
繊維・化学	東レコーテックス・本社工場	①ガスエンジンコジェネ排気	①150℃	①3,574 Nm3/h(発電+40℃お湯製造)	①3.6kW	①16h×250d	○
		②コーティング水分乾燥 排ガス	②130℃	②2,400 Nm3/h	②3.4kW	②24h×250d	○
		③コーティング有機溶剤乾燥 排ガス	③110℃	③4,800 Nm3/h	③5.2kW	③24h×250d	○
繊維	東邦テナックス・三島事業所	①炭素化炉排気	①100～200℃	①1,000m3/h	①3.2kW	①24h×317d	○
		②耐炭化炉後燃焼装置排気	②600℃	②227Nm3/h(KYK炉資料より)	②4.1kW	②24h×317d	○
化学	新日本化学工業・本社工場	麴粕工場乾燥機	170℃	900Nm3/h(先方資料より)	検討中	6h×150d	
化学	ユニチカ設備技術・本社	①ナイロン回収工程熱媒ボイラー排ガス ②プロセス蒸気の余り ③ガス焚熱媒ボイラー排ガス ④ガスタービン年少排ガス	①190℃ ②170℃ ③190℃ ④105℃	①2台分:975 Nm3/h ②10t/h(12時間)、蒸気圧0.25MPa ③1540 Nm3/h ④240,000 Nm3/h ×2台	①2.4～3.1kW ②25.8kW ③3.9～5.0kW ④300～470kW	①24h×365d ②12h×365d ③24h×365d ④24h×365d	○ ○ ○ ○
ゴム	シバタ工業・本社工場	加硫装置排気	140～150℃	蒸気使用流量0.4、0.5、6.3t/h	検討中	8h、8h、24h×250d	
製材	ホクシン・岸和田工場	①木質乾燥工程排気 ②蒸気ボイラータンク排水	①80℃ ②90℃	検討中	検討中	24h×255d	△
製材	中国木材・本社工場	内部流動層ボイラーからの排ガス (排気塔から)	100～170℃	40,000 Nm3/h	72～86kW	24h×330d	○
製紙	北越紀州製紙・大阪工場	SCAFドライヤー排気	40～45℃(推定)	蒸気エネルギー26,918GJ/年		24h×250d	×
機械	小松製作所・大阪工場	①浸炭炉排気	①558℃	①63Nm3/h	①1.2kW	①24h×320d×80%	○
		②ガスエンジンコジェネ排気	②145℃	②都市ガス使用量212.6Nm3/h	②12.1kW	②24h×320d	○
		③塗装脱臭装置排気	③200℃	③都市ガス使用量2400kcal/min	③7.2kW	③24h×320d	○
窯業	住友大阪セメント	①排熱回収ボイラーからの排ガス	①150℃	①100,000 Nm3/h	①270kW	24h×300～320d	○
		②原料粉碎機(乾燥)からの排ガス	②70～100℃	②100,000 Nm3/h	②18kW		○
		③ロータリーキルン壁面からの排熱	③300℃ (表面温度)	③300℃壁表面からの輻射	③検討中		○
鉄鋼	ユニタイト・本社工場	①熱処理炉排気	①400℃	①都市ガス使用量140万m3/年r	検討中	24h×320d	
鉄鋼	東研サーモテック・寝屋川工場	①熱処理炉排気 ②RXガス発生装置排気	①250～350℃ ②750℃	①920Nm3/h(炉2、3台分)×20カ所 ②70Nm3/h×3台	検討中	①24h×365d ②24h×365d	
クリーニング	白興・三郷工場	乾燥機	100～120℃	都市ガス使用量4,500～5,000m3/日	検討中	12h×365d	
蒸気機器設計	ティエルバイ	蒸気プロセス中のフラッシュ蒸気	100～160℃	プロセス毎に異なる	検討中	8～12h×240～360d	
プラント設計	井原炭炉工業・本社	ガラス炉レキュベレータ後排気	400℃	都市ガス使用量183Nm3/h	検討中	24h×365d	

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

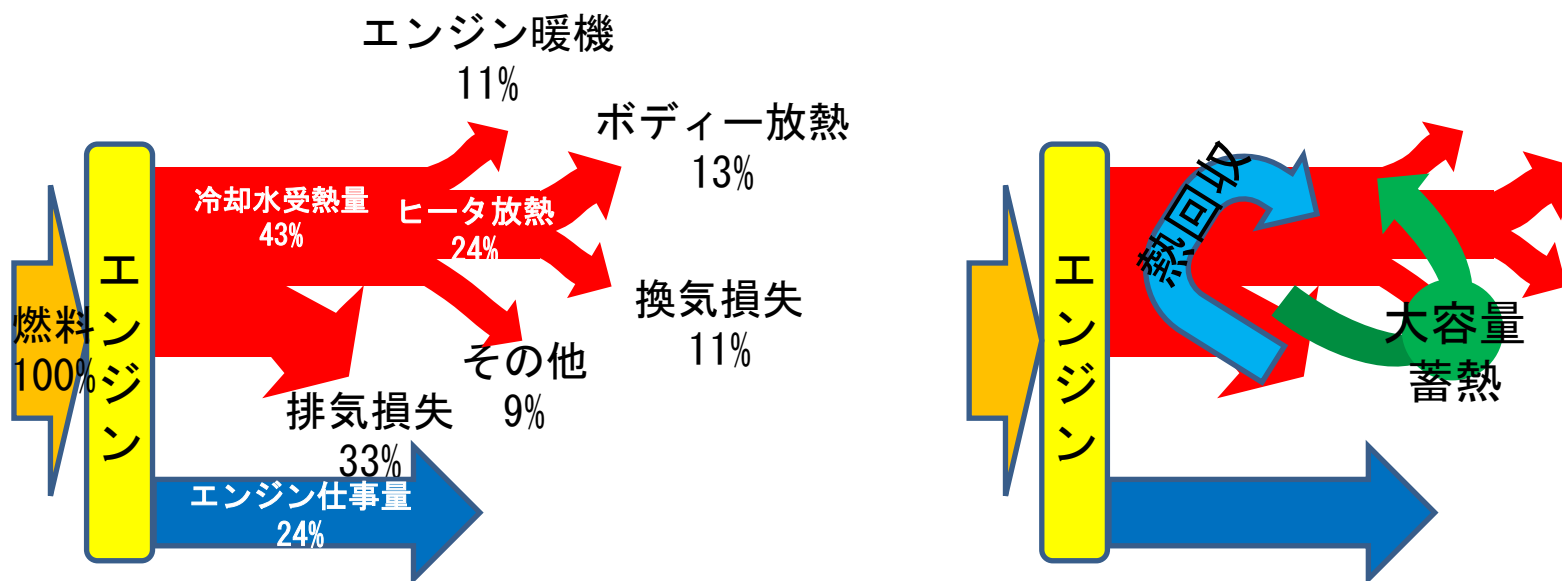


一次エネルギー削減量48%

- 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

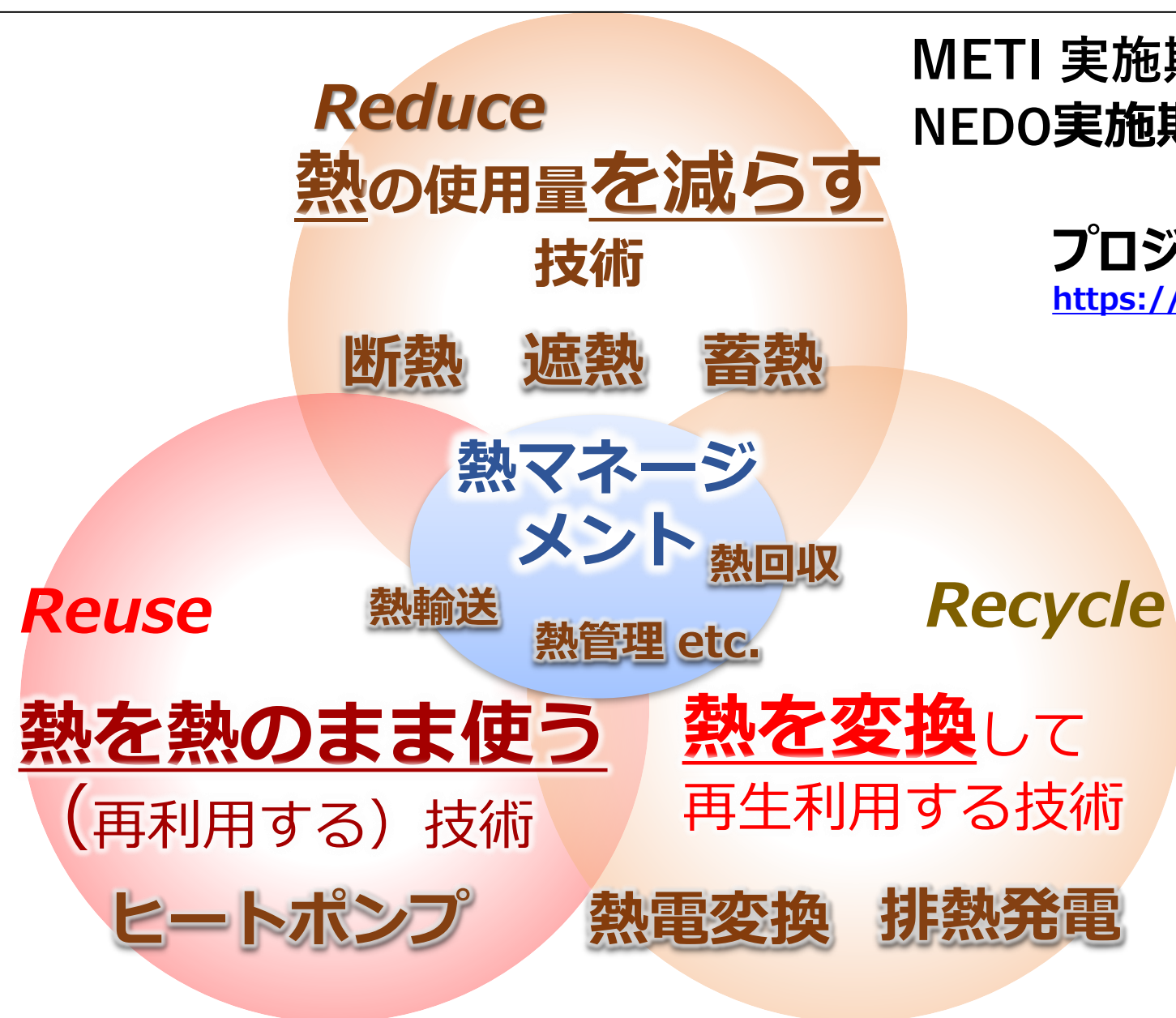
大容量蓄熱、排気熱回収・熱輸送により排熱量 60% 低減

● 性能の高い蓄熱材料・蓄熱モジュール、熱輸送技術が必要

「未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発」 プロジェクトについて

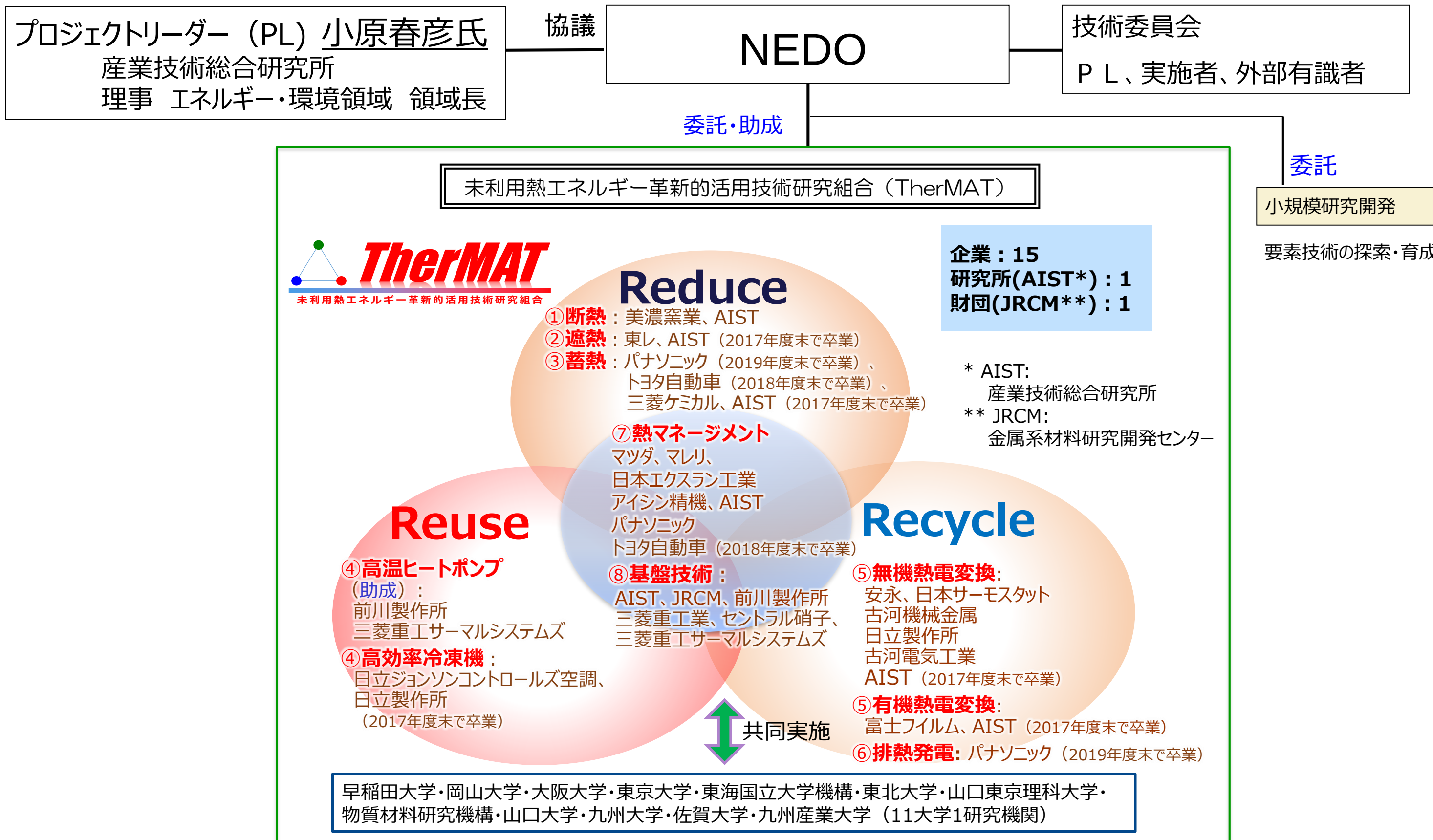
- 未利用熱エネルギーを効果的に、①削減（**Reduce**：断熱、遮熱、蓄熱）、②再利用（**Reuse**：ヒートポンプ技術）、③変換利用（**Recycle**：熱電変換、排熱発電）するための技術開発（**熱の3R**）と、④これらの技術を一体的に扱う**熱マネジメント**技術を産学官連携により中長期的・重点的に実施。

➡古くから研究開発の行われている当該分野の技術について、**未来の省エネルギーに向けたフロンティアとして革新し、2030年で原油換算で600万kL/年程度以上の省エネを目指す。**



METI 実施期間：2013年度～2014年度
NEDO実施期間：2015年度～2022年度

プロジェクトURL：
https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100097.html

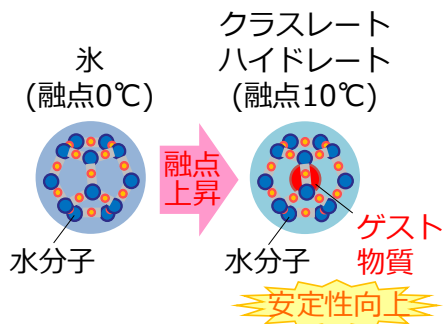


プロジェクトの各テーマ概要紹介

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)

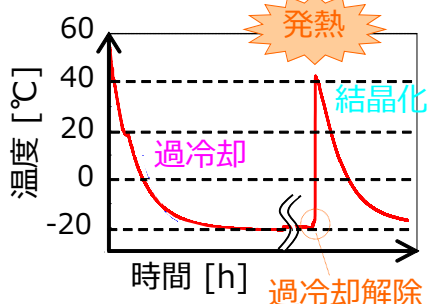
水分子の籠状構造の中にゲスト物質を包み込んだクラスレートハイドレート



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



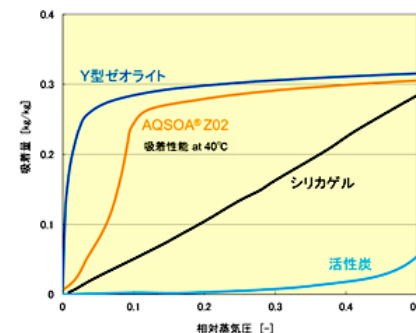
目標: -20°C~25°C環境下で24時間保持

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)

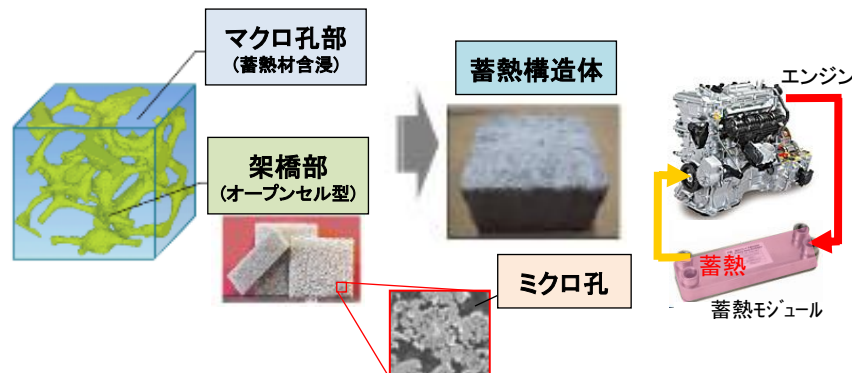


低コスト型合成ゼオライトの外観



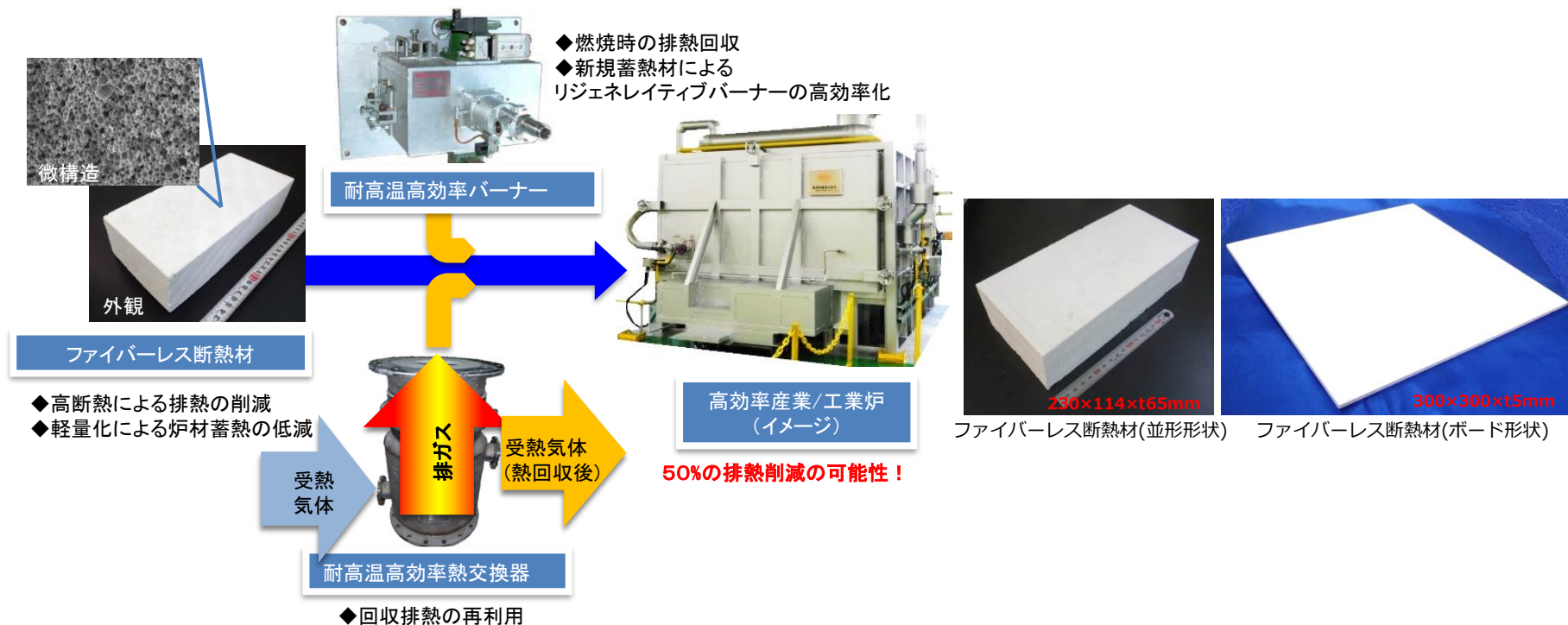
AQSOA®Z02の吸着等温線

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)

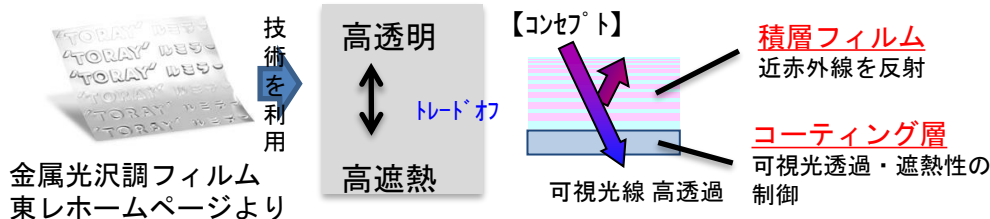


産業／工業炉の省エネルギー化を目指し、【操業中の産業/工業炉において炉外への放熱量や炉材への蓄熱量を削減する「ファイバーレス断熱材」、高温排気ガスから熱エネルギーを回収する「耐高温高効率熱交換器」、新規蓄熱体を用いた「耐高温高効率バーナー」を開発
これらの要素技術開発成果と産業/工業炉の設計・製造技術ノウハウを組み合わせ、省エネ実証評価まで行う熱エネルギーマネジメントシステムを構築

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



- 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

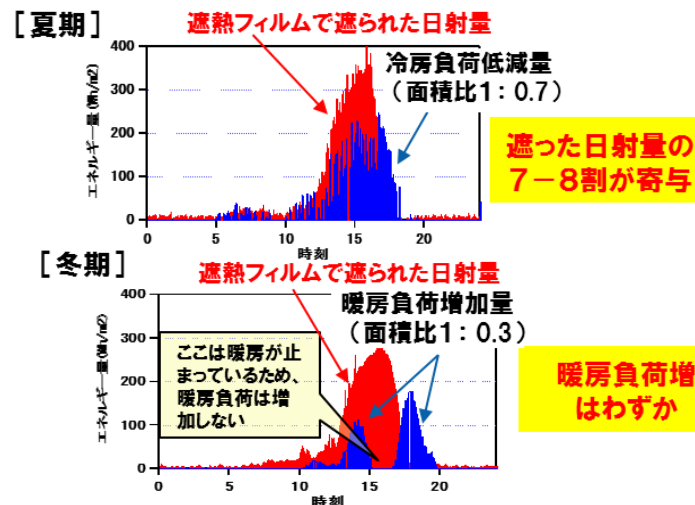
・実際の建物での省エネ評価を行い、開発品が従来品に比べ高い冷房負荷低減効果を有することを実証

■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



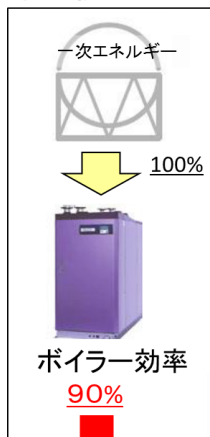
新規光学設計技術、特殊積層技術、ポリマー設計技術等を融合し、従来では不可能な明るさと高遮熱性の両立を実証

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

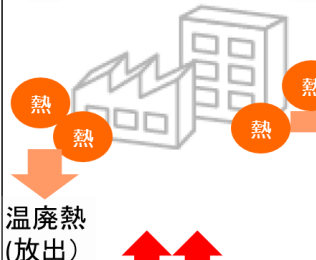
本開発品の年間を通じた評価をおこない、夏期は遮った日射の7~8割が冷房負荷低減につながる、冬期は遮った日射の3~4割しか暖房負荷増加につながらないことを実証

産業用高効率高温前川製作所 ヒートポンプの開発（2013-2022）

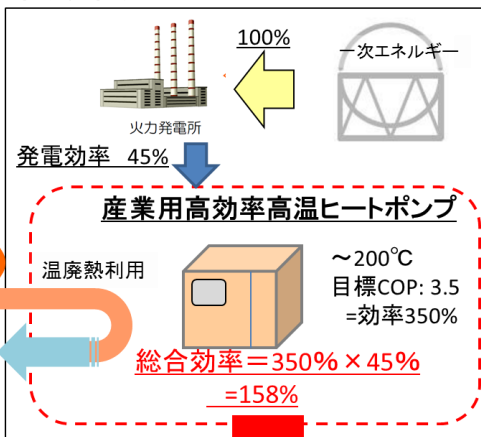
従来技術



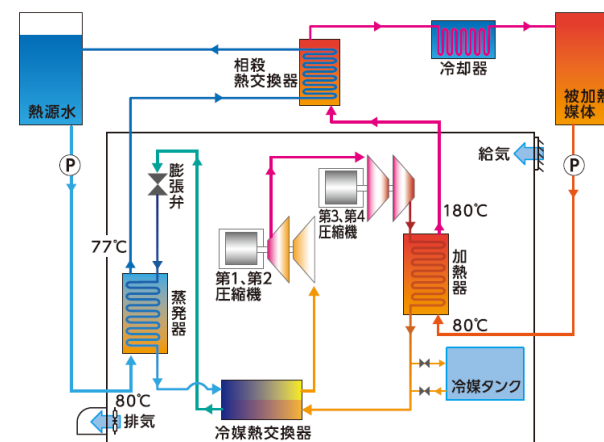
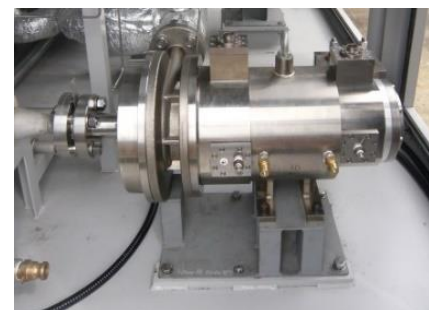
食品・化学・医薬品工場



本研究開発



従来技術の1.75倍の高効率を目指す！



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

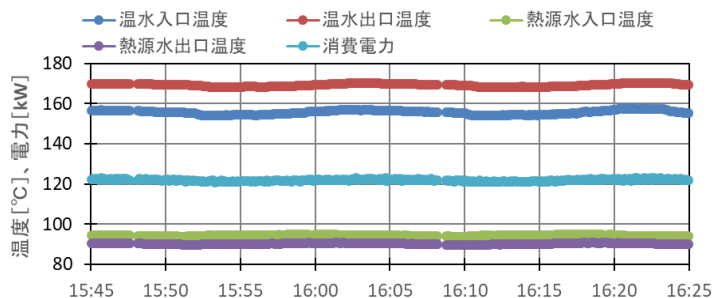
機械・化学産業分野の高温熱供給に適した ヒートポンプシステムの開発 三菱重工サーマルシステムズ（2013-2020）



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

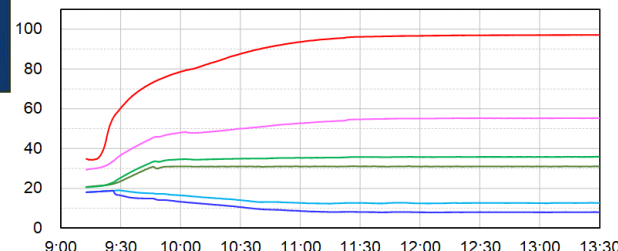
実機試験設備 外観



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



モジュール技術

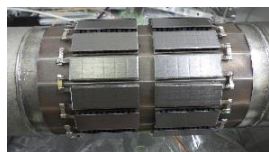
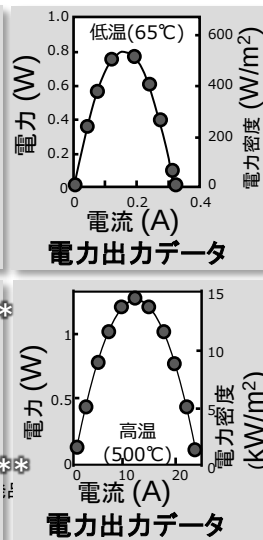
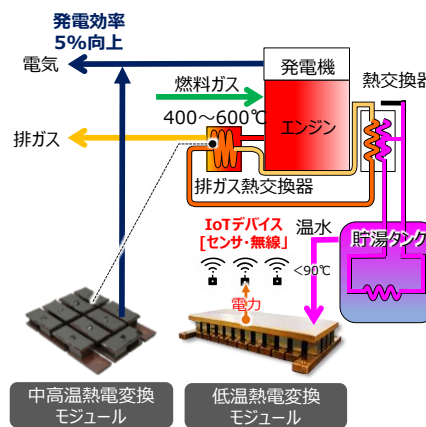


システム技術

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

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

8. 熱交換技術
9. ユニット化技術
10. 冷却
11. 電力変換



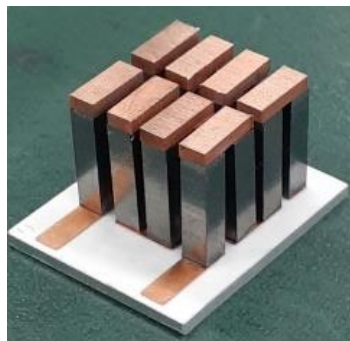
開発した熱電発電ユニット

室温～600℃の中温域において熱電性能の良いスクッテルダ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認して、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。

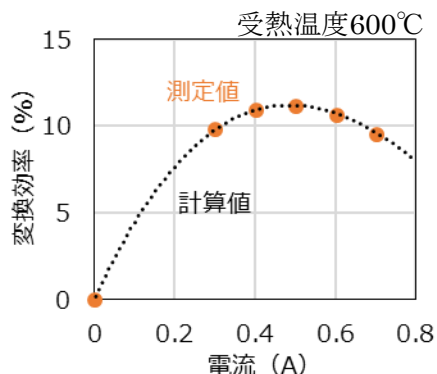
ガスコジェネレーション装置の未利用熱活用による効率向上のため、排熱量が非常に多い100℃以下の低温排温水から熱電変換モジュールを用いて発電した電力をIoTセンサー・通信無線の電源に活用するシステムを検討

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）

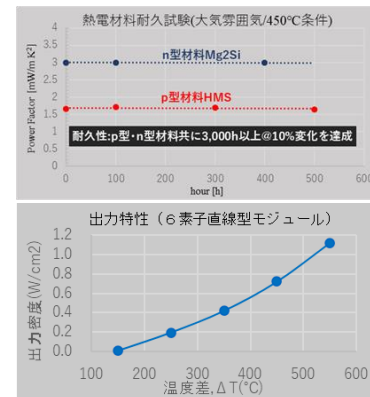
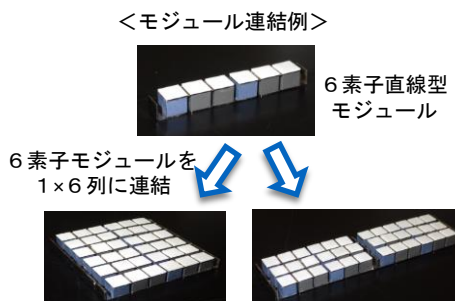


試作・評価に用いた熱電モジュールの構成



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

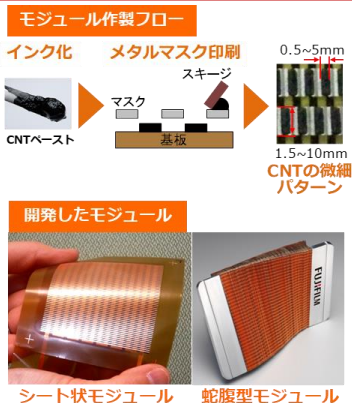
シリサイド熱電変換材料による車載排熱発電システムの実用化への要素技術開発 日本サーモスタット・安永（2013-2020）



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

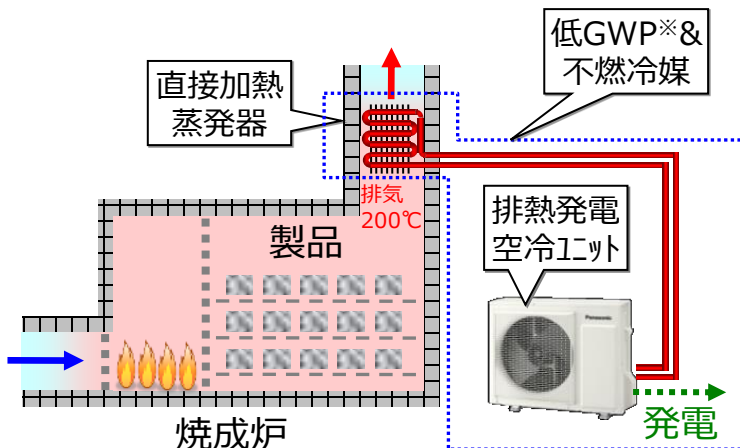
フレキシブル有機熱電材料およびモジュールの開発 富士フイルム（2013-2018）



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

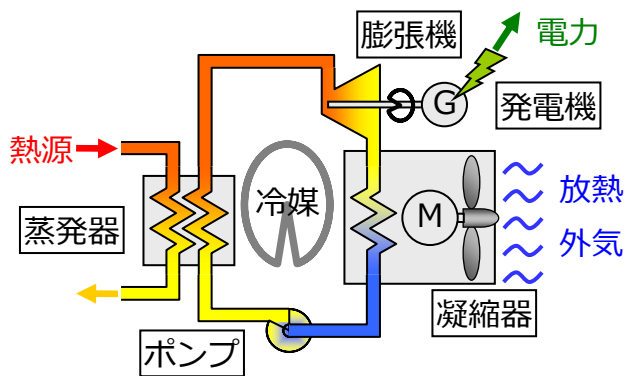
排熱発電技術の研究開発

パナソニック(2013-2020)

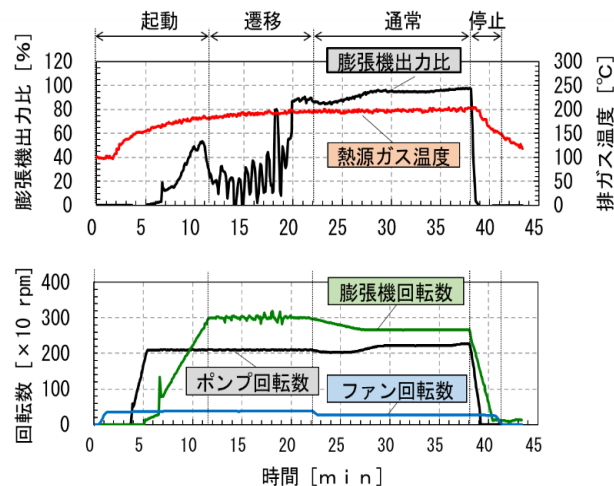


※GWP：地球温暖化係数

工業炉からの排熱回収の概念図



ランキンサイクルのシステム図

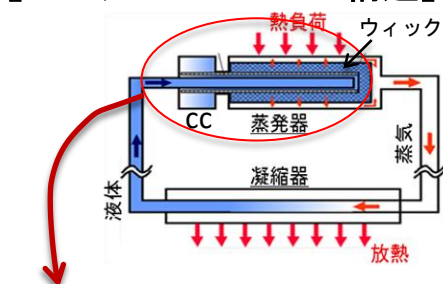


自動制御運転特性

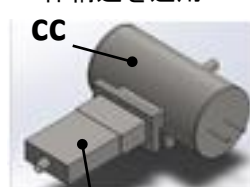
従来比2倍の発電効率で投資対効果の高い小型排熱発電技術を開発し、これまで捨てられていた排熱や排蒸気の一部を電気に変換することで、工場の消費電力量を削減し、省エネルギー化、CO₂排出量の削減に貢献。

高効率熱輸送技術の開発 トヨタ自動車（2013-2019）

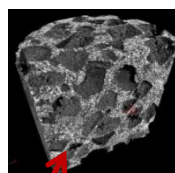
【システムコンセプトと構造】



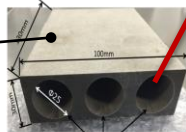
【蒸発器構造】 蒸発器とCCの 一体構造を適用



【ウィック構造】 ポラス構造体を適用



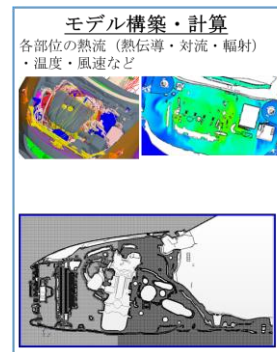
蒸発器



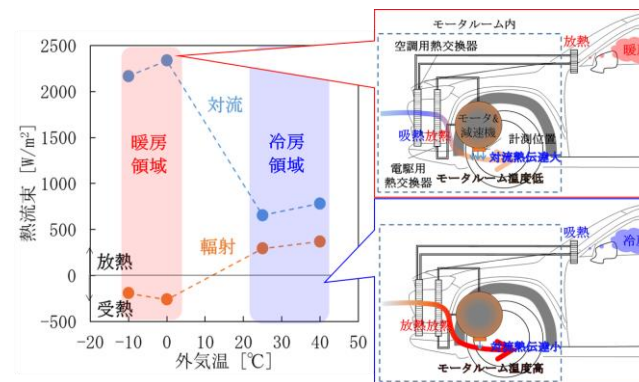
蒸発器
+CC : 1.9L

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）



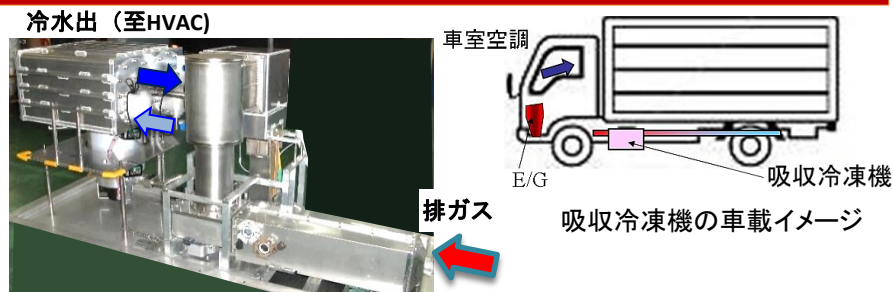
自動車の熱流れモデルの構築



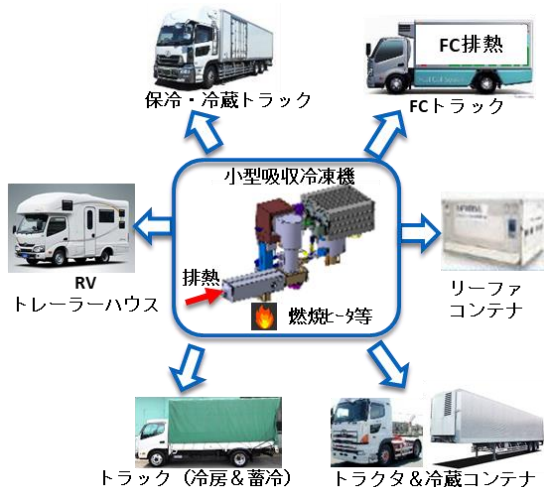
電気自動車での対流・放射分離結果

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）

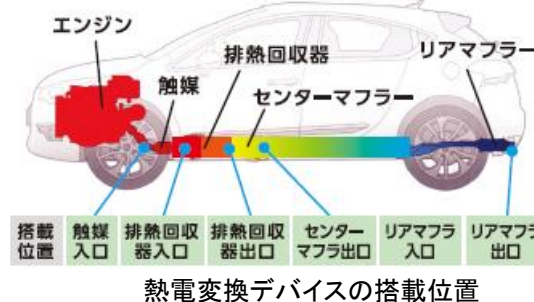
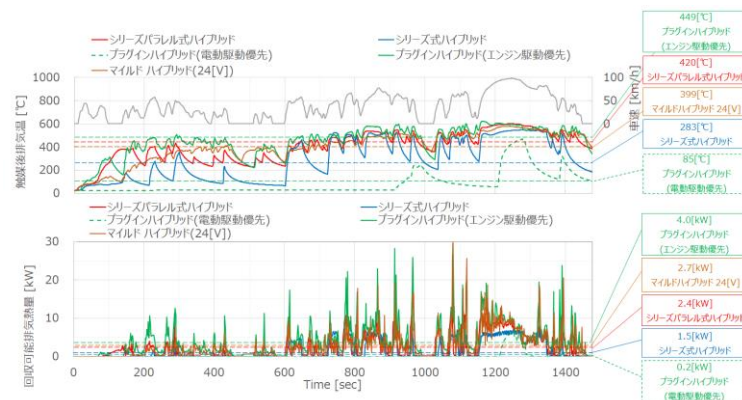


搭載システム外観



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）



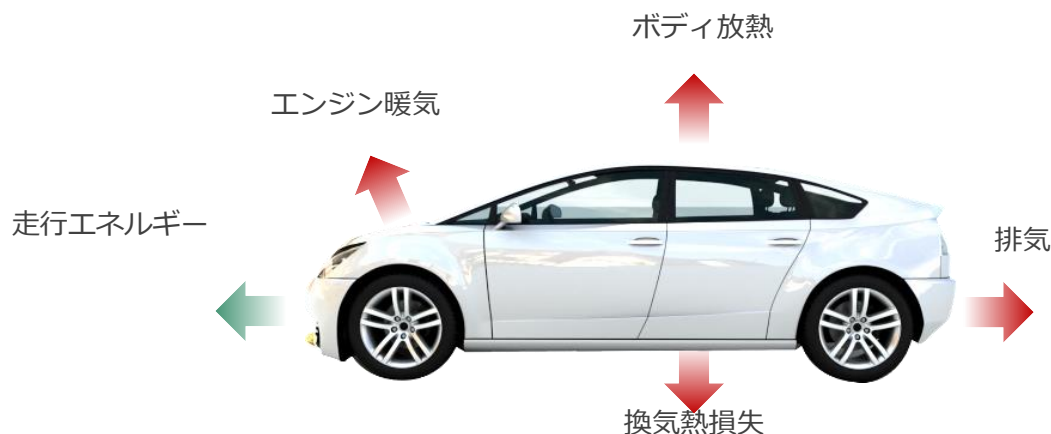
パワートレイン違いの電動車の熱エネルギーフロー調査を行い、車両全体の熱エネルギーフローが推計できるシミュレーションモデルを構築、有効なエネルギーデバイスの査定・発掘・最適化を実施。その結果に基づき開発車両に搭載するデバイスの価値を判断

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

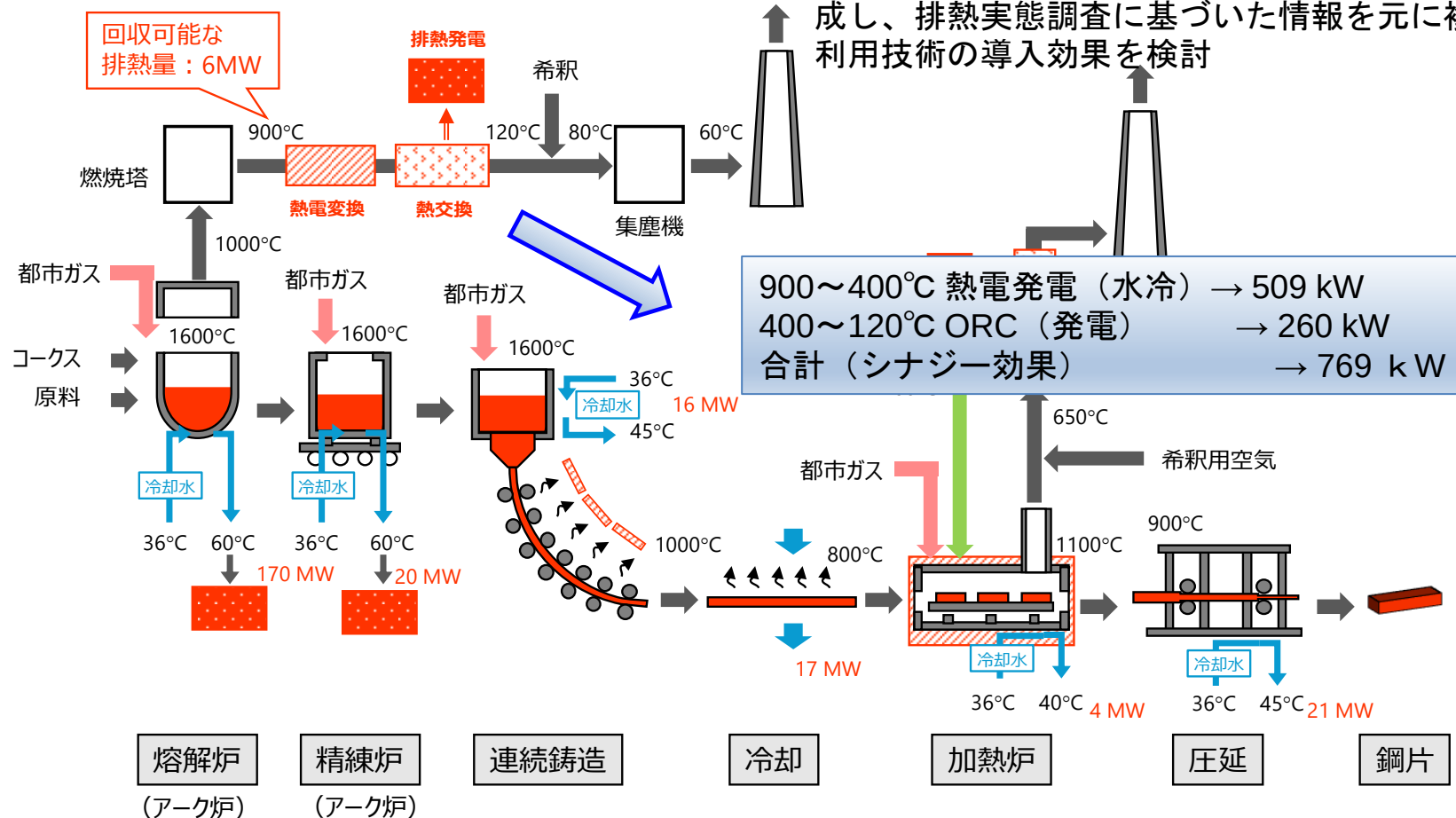


- ◆走行に必要なエネルギーは投入エネルギーの2割程度
- ◆熱回収により大幅な改善が可能

自動車熱マネー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

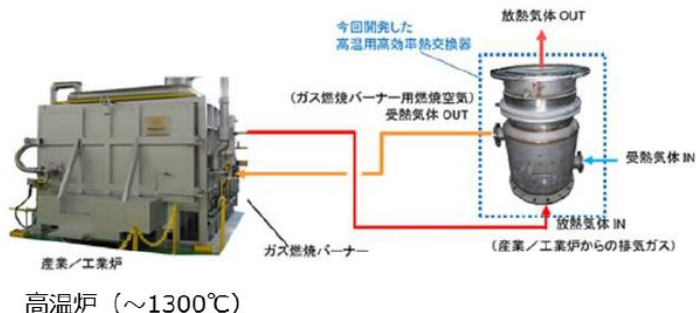
未利用熱を従来比3倍の性能で回収可能な 高温用高効率熱交換器を実用化（2015年度）

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

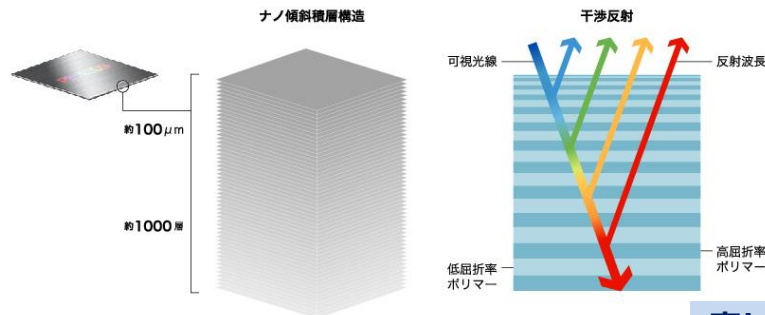
日立ジョンソンコントロールズ空調株式会社

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

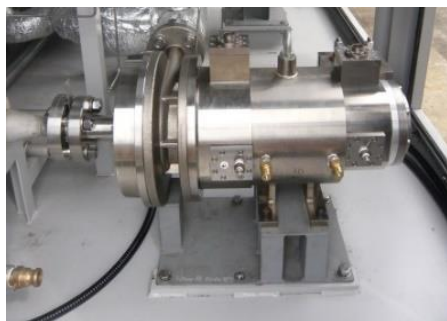
P!CASUS



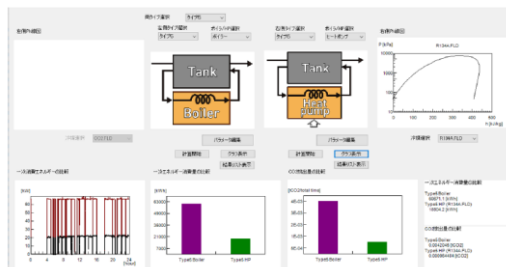
東レホームページより

東レ株式会社

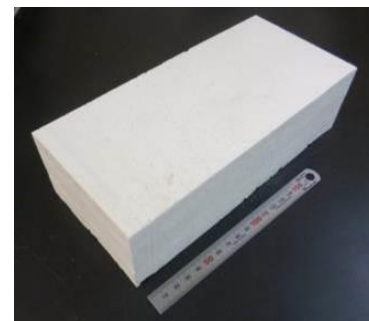
カーボンニュートラル実現に貢献する 未利用熱を有効活用した省エネ技術



高温ヒートポンプ用圧縮機

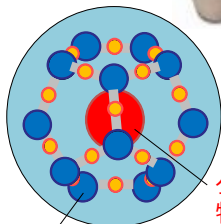


産業用ヒートポンプシミュレーター



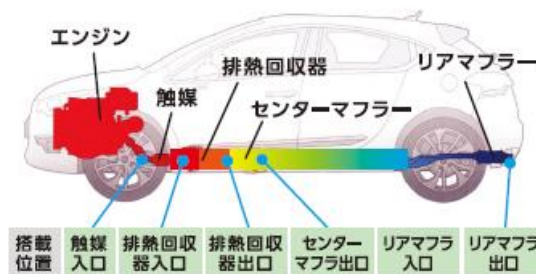
ファイバーレス断熱材

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

パナソニックがNEDOプロで開発してきた 技術の活用事例と成果発表例

- 高密度／長期蓄熱技術
- 排熱発電技術

高密度蓄熱材料について

水分子の籠構造の中にゲスト物質を包接したクラスレートハイドレートを開発

氷と高密度蓄熱材料の構造比較

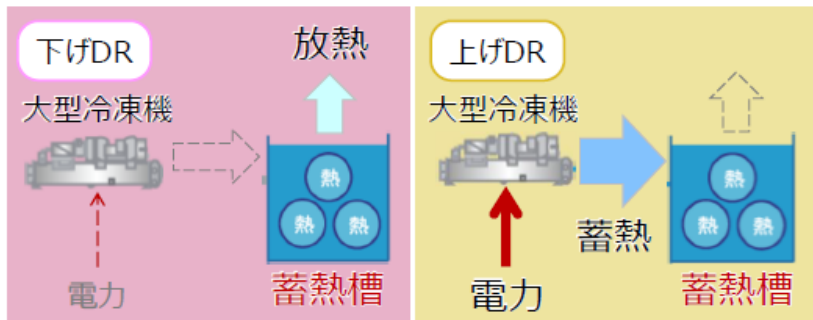
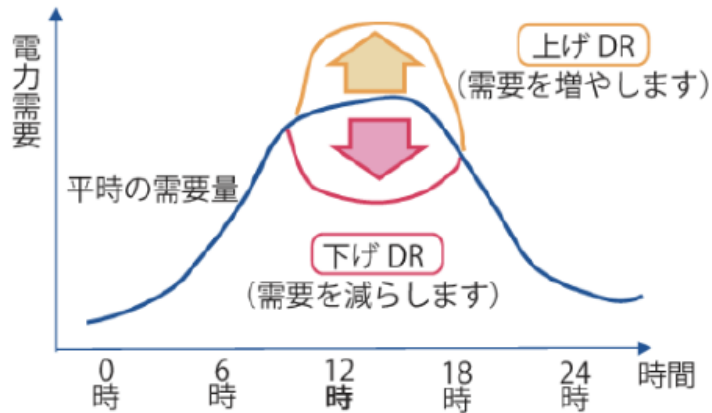


高密度蓄熱技術の活用事例

氷蓄熱に比べて、利用温度に近い温度(10℃前後)で冷熱を蓄えることで省エネ

- 再生可能エネルギーの容量増加やこれまで出力調整を担ってきた石炭等の火力発電所廃止の動きがあり、火力発電所や蓄電池に代わる電力需給調整手段として蓄熱システムが期待されている

■ 蓄熱システムによる電力需給調整



(出典) 日本熱供給事業協会 <https://www.jdhc.or.jp/what/merit/>に基づき、当社作成

■ 想定適用先

10℃前後の冷熱需要がある用途

- 民生（オフィスビル、商業施設）：空調
- 産業（食品工場、冷蔵倉庫）：プロセス冷却

空調

オフィスビル



(出典) COOL&HOT 2015 No.49

商業施設



(出典) COOL&HOT 2013 No.45

プロセス冷却

食品工場



(出典) COOL&HOT 2006 No.25

注) DR：デマンドレスポンス

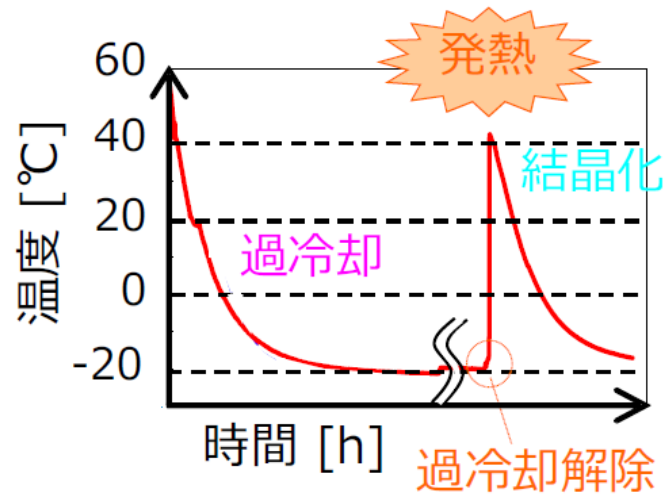
出典 ENEX2023セミナー講演 蓄熱システムの研究開発

長期蓄熱材料について

周囲環境との温度差なしで熱を蓄え、トリガーにより必要な時に熱の取り出し可能を確認

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: $-20^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ 環境下で24時間保持

トリガーにより必要な時に熱を取り出し

蓄熱

サーモグラフィ



長期蓄熱材料(液体)

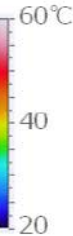
放熱

サーモグラフィ



長期蓄熱材料(固体)

トリガー
→
結晶化

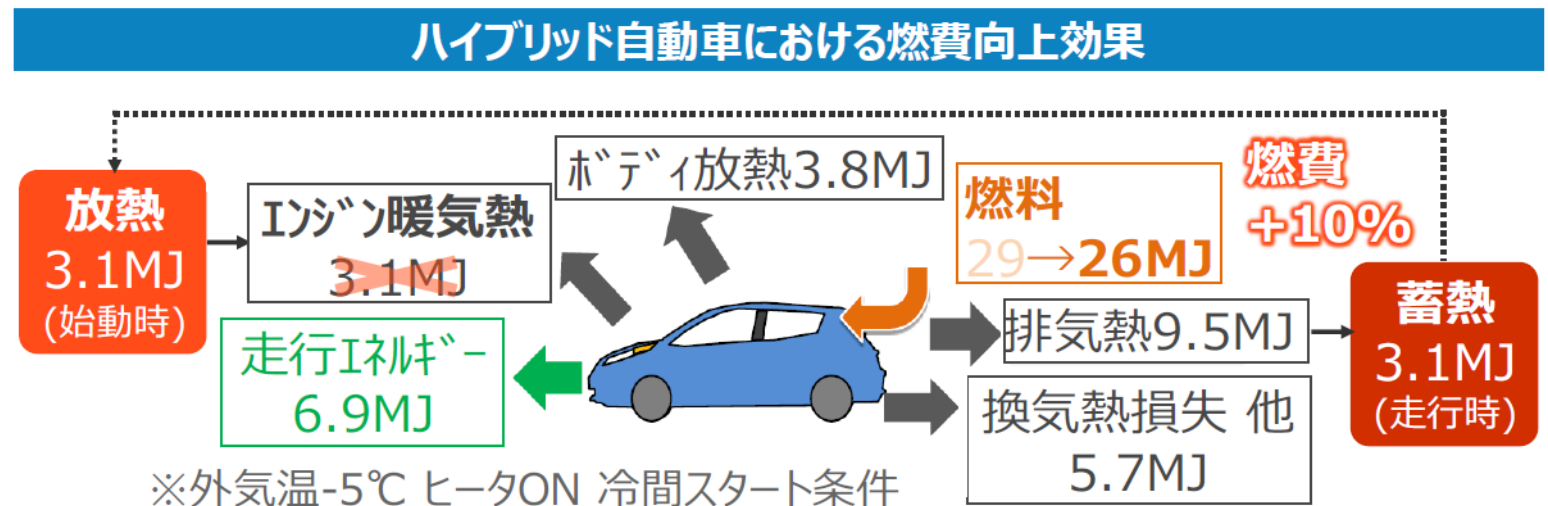
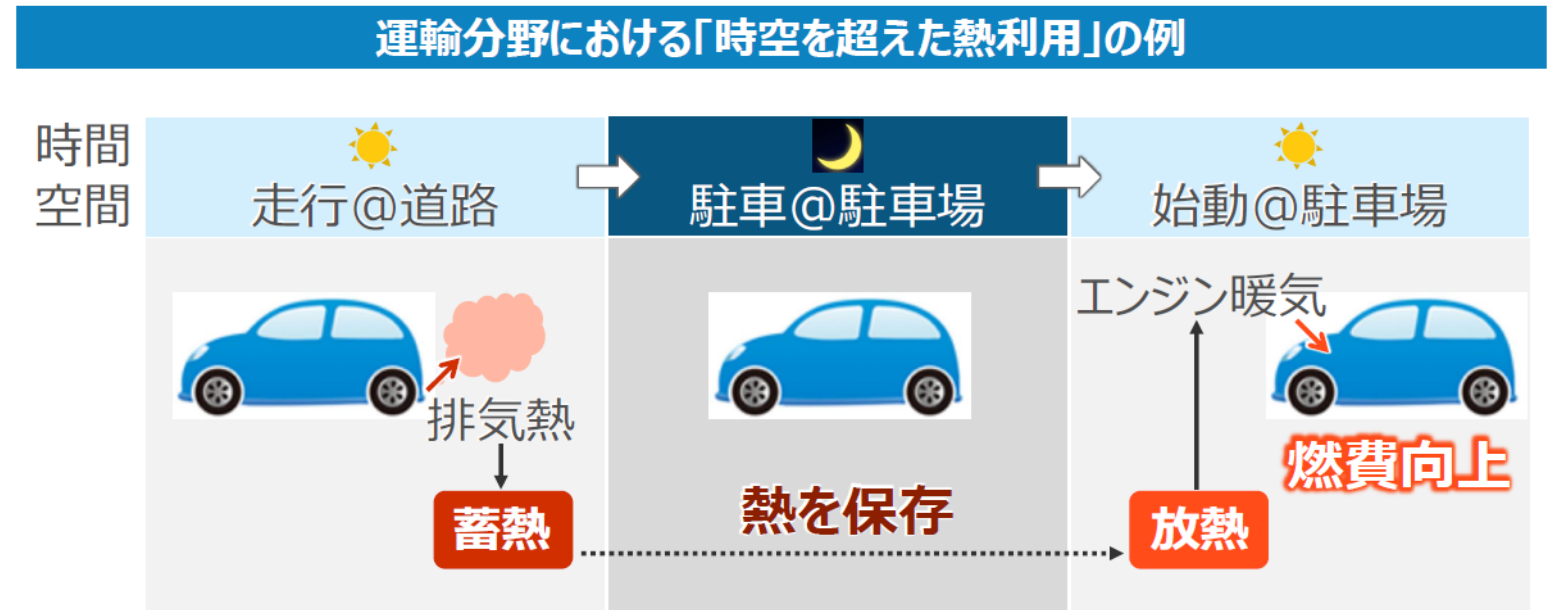


長期蓄熱技術の活用事例

運輸分野における社会実装に
取り組み、未利用熱の有効活用
に貢献する

＜実現する技術＞

- ・断熱なしで24時間以上の長期間
熱を蓄える蓄熱技術
- ・融点より低い温度で液体(過冷
却)のまま熱を蓄え、必要な時に
熱を取出す



＜効果＞

走行時に出ていた排熱を翌日
の始動時に使用し、燃費向上
(最大10%)

最大10%の燃費向上効果

パナソニック 高密度蓄熱技術の成果発表

パナソニック、ハイドレート使った新材料で蓄熱密度1.3倍に

石橋 拓馬 日経クロステック／日経ものづくり

2023.03.01

パナソニック（東京・港）は、水分子が形成するかご状の結晶構造の中にゲスト分子を取り込んだ物質「クラスレートハイドレート」（包接水和物）を使った融点約7℃の高密度蓄熱材料を開発した（図1）＊。同程度の融点の蓄熱材としてはパラフィンを使ったものがあるが、新開発の材料は蓄熱密度が約200kJ/kgとパラフィンのそれ（150kJ/kg程度）に比べて3割ほど高い。



図1 クラスレートハイドレートの分子構造と蓄熱モジュール

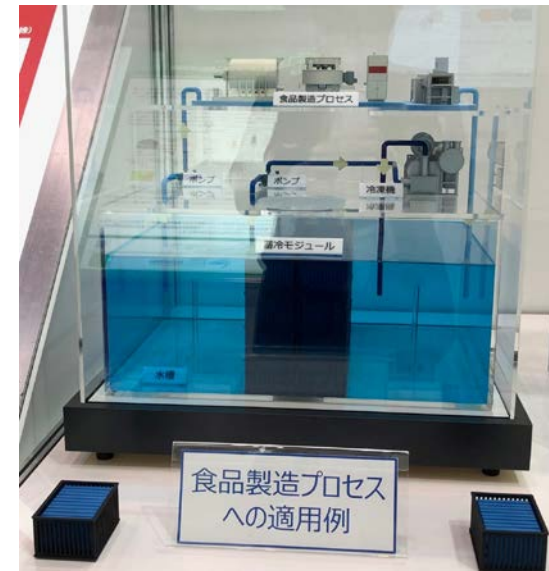


図2 蓄熱モジュールを導入した食品製造プロセスの模型

日刊工業新聞

パナソニックは、5℃で凍る氷を利用した蓄冷システムを開発

模擬システム外観 蓄冷モジュール

蓄冷、5℃で凍る氷利用

パナソニックがシステム

消費電力 36%抑制

食品工場・ビル向け

メタンハイドレートのカゴ構造を作らせて、水分子を取り込んだ氷の結晶中に安定化させた。すると氷を作る。大小2種類の2種類のカチオンと5種類のアニオンを組み合わせて、21-28度Cの間で融点を制御した。これに銀を添加して氷の結晶を作りやすくし、過冷却現象を抑え、融点7度Cの水が5度Cで凍るようになる。通常の氷は0度Cで溶けるが、凍らせるためには5度Cが必要だった。凍結温度が上がると冷凍機の負荷を減らせる。小型蓄冷槽で試験すると氷で冷熱をためるシステムに比べて、消費電力を36%抑えられた。水で冷熱をためるシステムに比べて蓄熱密度は大きくなる。水に加えるカチオンなどは凍結と融解を繰り返しても劣化しない。設備投資は必要だが運転コストで回収できると見る。チヨコレートや乳製品の低温加工や酒類の発酵温度管理、ビルへの冷熱供給などでの利用を想定する。用途に合わせて融点を調整する。国内だけで原油換算で10万t分のエネルギーを減らすポテンシャルがある。新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の未利用エネルギーの革新的活用技術研究開発事業で実施した。詳細は27日にオンラインで開く成果報告会で解説する。

排熱発電の活用事例(1)

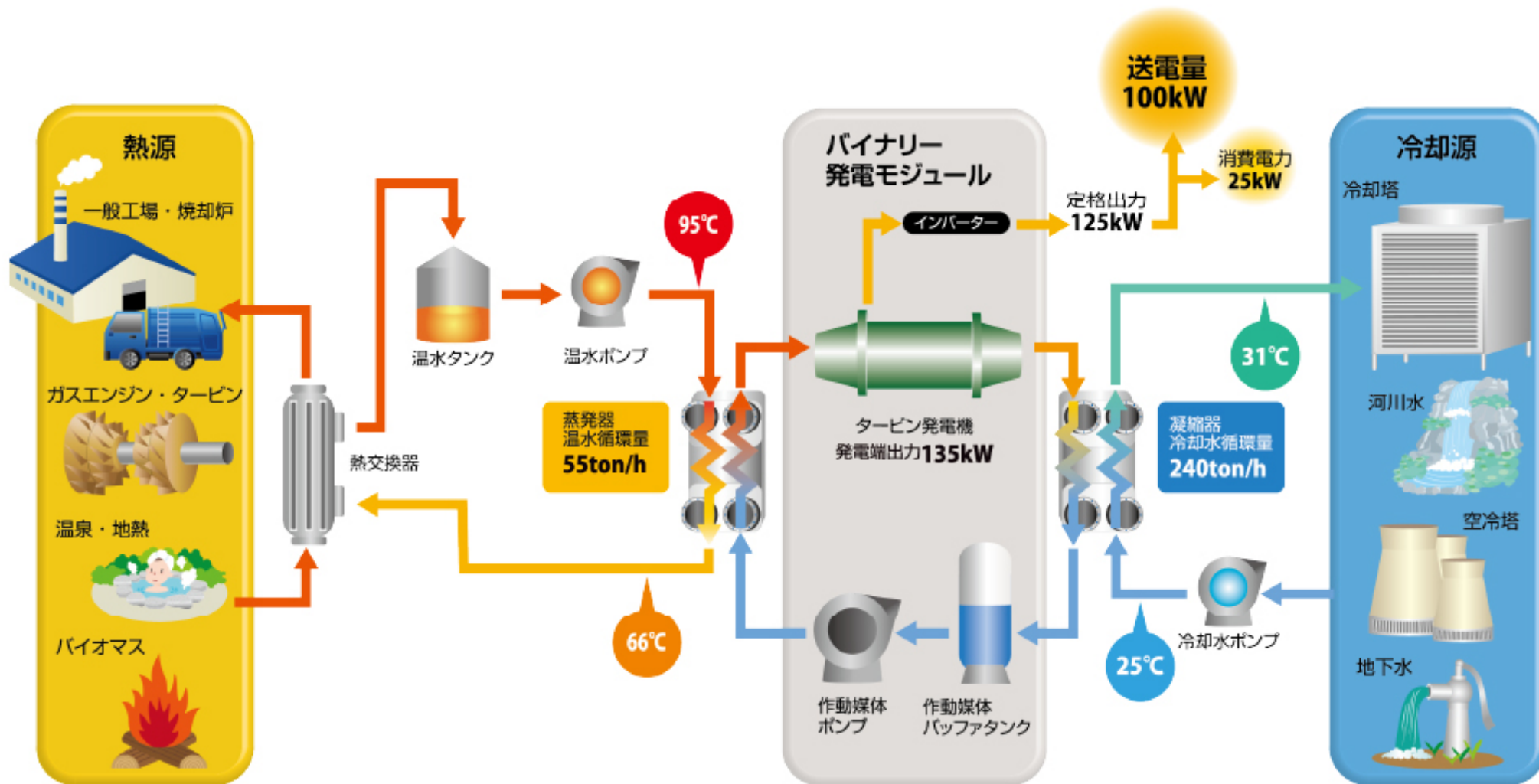
経済性と信頼性の確保により、近い将来、化石燃料を利用するシステムの排熱回収や温泉等の自然熱エネルギーの活用方法として、実用化が進むものと考えられます。



排熱発電の活用事例(2)__システム構成

小型バイナリー発電システムについて

温水や蒸気などの低位熱を二次的に沸点の低い作動媒体に熱交換し、発生した蒸気でタービンを回転させて発電するシステムです。作動媒体には大気圧下15℃で蒸発する代替フロンや次世代低GWP冷媒を使用するため、これまで未利用であった排温水や排蒸気から発電させることが可能です。



排熱発電の活用事例(3) __ 地熱からグリーン水素



大林組は広さ1000平方メートルほどの土地に小型の地熱発電機と水素発生装置を組み合わせた実証プラントを持つ



大林組が製造過程で温暖化ガスを排出しない「グリーン水素」を地熱から生み出す。大分県で実験を進めており、実際に水素ステーションに供給している。グリーン水素は脱炭素の実現につながる次世代燃料である一方、輸入に頼らざるを得ないとされてきた。地熱という国内資源を使った「地産地消」の選択肢ができつつある。地下730メートルの地点で蒸気の熱を取り出している。この熱を使ってセ氏130度で沸点の低い媒体を温め、気体になった媒体がタービンを回す。生まれた電気で水を電気分解し、水素のみを取り出す。

参考：2023年7月7日 NHKニュース 北海道 蘭越町の蒸気噴出 “非常に高濃度のヒ素”が検出



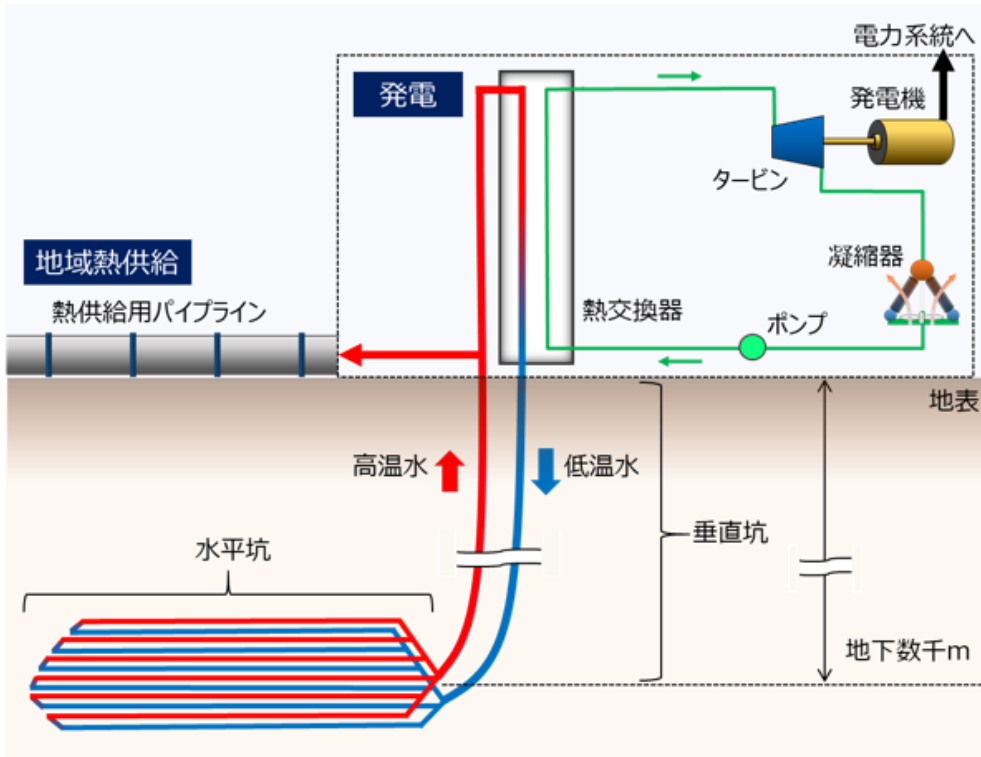
北海道蘭越町にある地熱発電の調査現場で蒸気が噴出している問題で、掘削を行っていた会社は、現場の敷地内で採取した水から非常に高い濃度のヒ素が検出されたと、6日夜、新たに発表しました。会社では周辺の住民に注意を呼びかけるとともに関係機関と対応を協議しています。6月29日、北海道蘭越町湯里の山中にある地熱発電に向けた資源量調査の掘削現場で数十メートルの高さまで蒸気が噴出し、6日夜の時点でも噴出が続いています。

掘削工事を行っていた「三井石油開発」は6日夜、7月3日と5日現場の敷地内で採取した水から非常に高い濃度のヒ素が検出されたと発表しました。

排熱発電の活用事例(4)__クローズドループ地熱利用技術



中部電力が参画するドイツ地熱発電施設の完成予想図



クローズドループ地熱利用技術

中部電力は、ドイツ・バイエルン州の地熱発電の事業会社に出資すると発表した。蒸気や熱水が乏しい場所でも発電できるエバー社の特許技術を活用する。

地熱発電事業は掘削しても十分な蒸気や熱水が出ず、発電を諦めるケースも多い。今回の事業ではエバー社の技術を用いて、地下5000メートルに張り巡らせた導管に水を通し熱水をつくる。その熱で沸点の低い物質を気化させ、タービンを回して発電する。エバー社の技術を用いた商業運転の第1号になる。

加えて、本技術を活用した発電は、ベースロード運転だけではなく、低需要時に地下に蓄熱し、高需要時に蓄熱したエネルギーを電力に変換する負荷追従型の調整力電源としての機能も備えています。これらのことから、将来的にエネルギー業界のゲームチェンジャーとなることが期待されています。

24年10月に一部の運転を開始し、26年8月に全面稼働する。発電出力は約8200キロワット市場価格に一定の補助を上乗せする「FIP」と呼ばれるドイツの制度を通じて売電する。地熱をそのまますべて暖房用の熱として供給する場合の出力は6万4000キロワット。

出典 2023年7月23日（日経新聞）中部電力、ドイツ地熱事業に出資 蒸気が少なくても発電
中部電力 プレスリリース カナダの地熱技術開発企業「Eavor(エバー)社」と株式引受契約を締結
https://www.chuden.co.jp/publicity/press/1209329_3273.html

パナソニック 排熱発電技術の成果発表

関東冶金工業（株）での発電実証

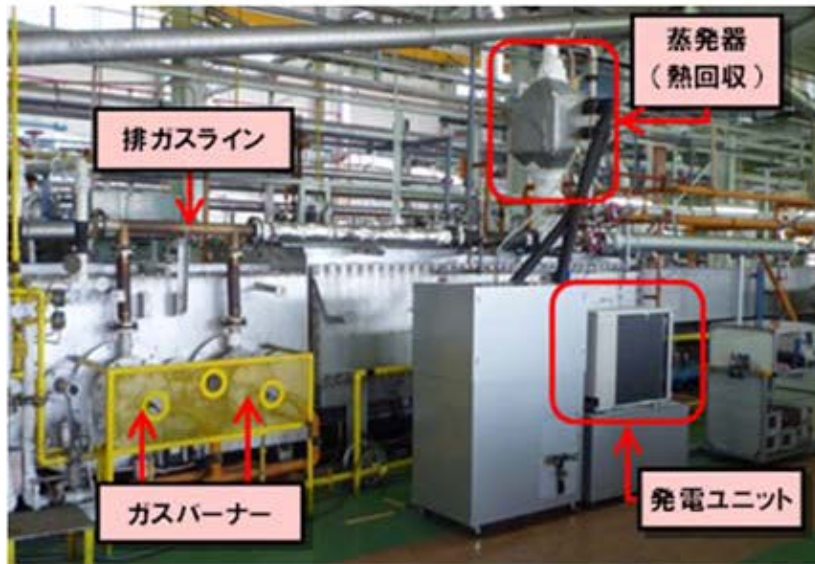


図 2. 工業炉での課題抽出実験

1kWeクラスの発電実験装置を工業炉に設置し、実排熱（400℃の排ガス）による排熱発電実験を実施

機械学会発表 「高効率小型オーガニックランキンサイクル発電技術の開発」

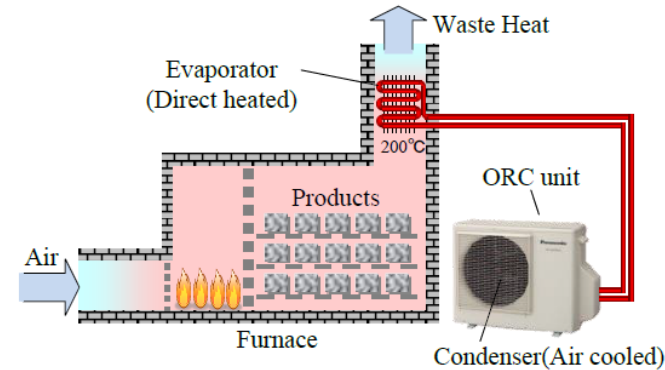


Fig.2 Installation image of compact ORC power generation system

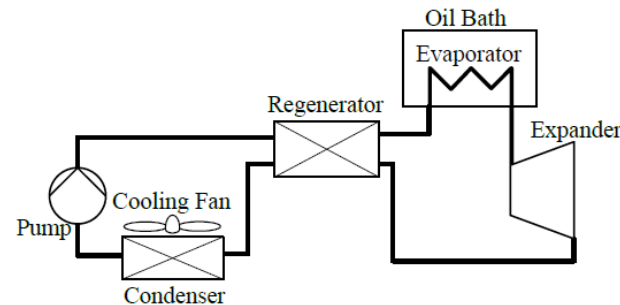


Fig.3 ORC diagram of prototype system

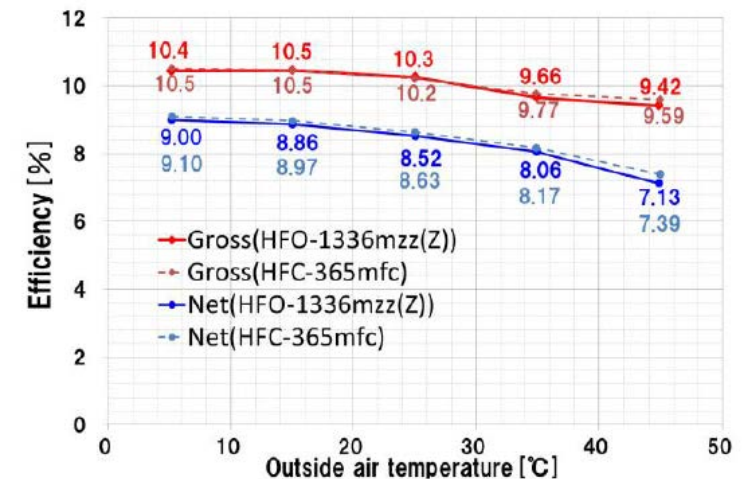


Fig.4 Experimental result about relationship between outside air temperature and generation efficiency

総発電効率10.5%、有効発電効率9.0%を実証

出典：機械学会論文集 2017年83巻847号

機械学会 第22回動力・エネルギー技術シンポジウム

講演論文集D213 [2017.6.14]

機械学会 第21回動力・エネルギー技術シンポジウム

講演論文集D213 [2016.6.16]

まとめ（私見）

－すべてのエネルギーは最終的に熱になる－

- ・我が国の中長期的なエネルギー・環境目標の実現に向けて、未利用熱エネルギーを有効活用する省エネルギー技術を育成し、実用化・社会実装することが重要課題
- ・しかし、それには競争力強化の国家的施策が重要

補足：

「技術ロードマップから見る2030年の社会」,日本機械学会誌 2023年6月号,Vol.126,No.1255

- ・動力エネルギーシステム分野： 熱供給の効率化と排熱回収
- ・エンジンシステム分野： 未利用の廃熱を電力として回収する技術

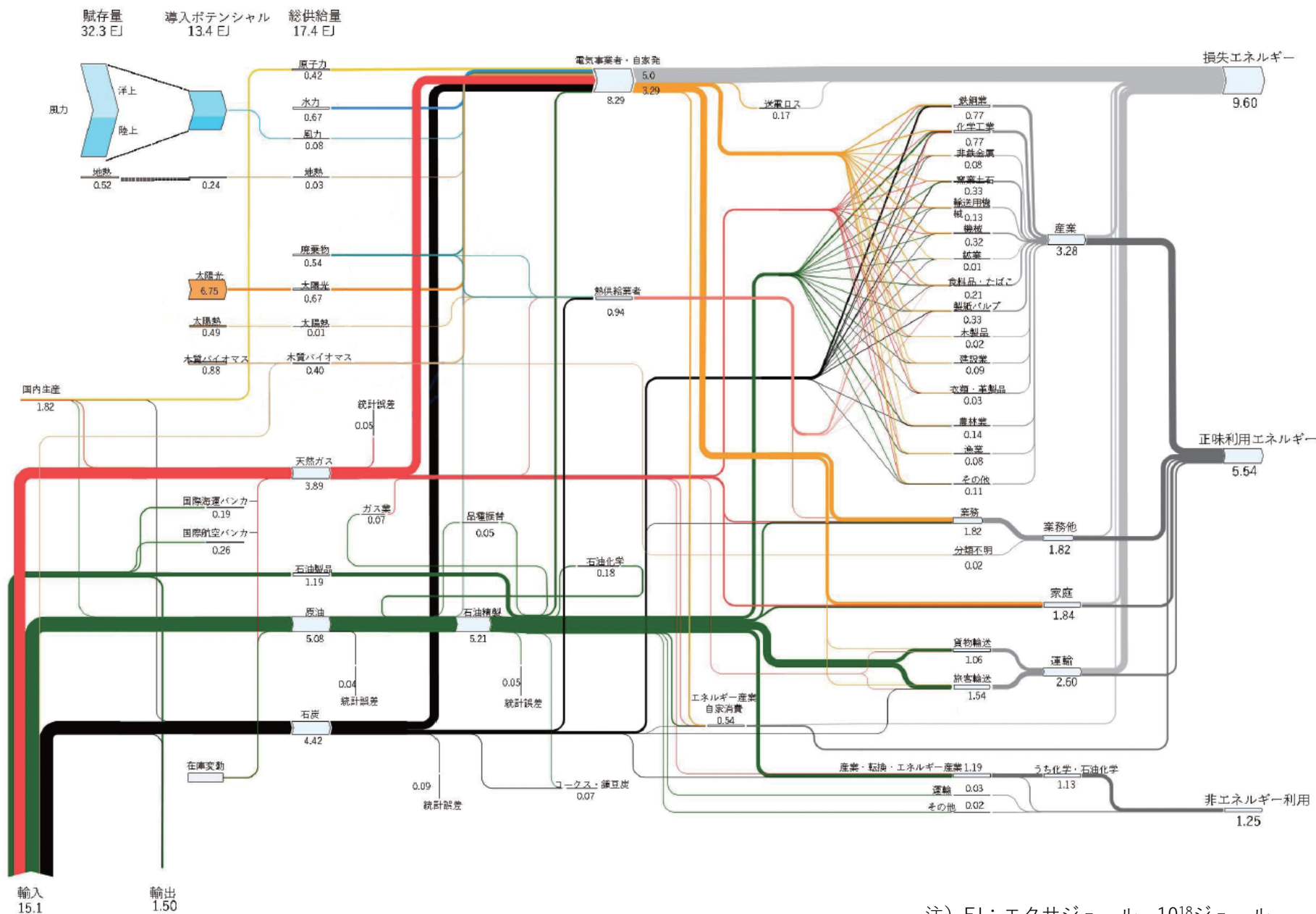
の記載あり。

主な参考資料

- ・NEDOプロ 未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発
https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100097.html
- ・TherMAT 未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合
<http://www.thermat.jp/>
- ・「未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発」成果報告会
https://www.nedo.go.jp/events/report/ZZDA_100023.html
YouTube プロジェクトの概要紹介
<https://www.youtube.com/watch?v=B3N6gmy9tvo>
- ・産業分野の排熱実態調査報告:2019年3月
https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101074.html
報告書 <https://www.nedo.go.jp/content/100957934.pdf>
- ・~~NEDOプロジェクト紹介 最新の省エネルギー技術 Vol.8 未利用熱 (2019年7月31日)~~ ←現在削除されています
YouTube
<https://www.youtube.com/watch?v=Gy0QvgdOiTA>
- ・NEDOプロ 未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発 事業紹介パンフ
<https://www.nedo.go.jp/content/100957589.pdf>
蓄熱技術、排熱発電技術、等の各開発技術・成果を紹介
- ・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」の技術紹介
－ENEX2023 講演 蓄熱システムの研究開発
<https://www.nedo.go.jp/content/100957641.pdf>
－成果報告会 講演 蓄熱システムの研究開発
<https://www.nedo.go.jp/content/100957067.pdf>

補助資料

動力エネルギーシステム分野 エネルギーシステムの構成変化



日本のエネルギーフローの現況として2020年版を図1に示す。一年間に供給された一次エネルギー総供給量（TPES：Total Primary Energy Supply）は17.4 EJ（LHV ベース）となり、2016年に作成した2013年版の19.0 EJ に比べると8.5 %減少した。産業、業務他、家庭、運輸の各需要部門で有効利用されたのは5.54 EJ のみで、全体の55 %にあたる9.6 EJ が熱として廃棄されている。日本全体の正味利用エネルギー割合（総合エネルギー効率）は32 %と、前回の33 %とほぼ同じである。これは、火力発電効率の低さと、自動車のエネルギー効率の低さが主な要因である。発電効率を1 と換算する再生可能エネルギーでは、太陽光発電が0.05 EJ から0.67 EJ に、風力発電が0.02 から0.08 EJ に増加しているが、全体から見ると両者の合計は0.68 EJ と一次エネルギー総供給量の3.9 %に留まっている。

需要家側をみると、エネルギー消費量は合計で9.54 EJであり、部門別の内訳は、産業部門3.28 EJ、業務他部門1.82 EJ、家庭部門1.84 EJ、運輸部門2.60 EJである。エネルギー消費量を利用形態（キャリア）別に見ると、熱が全体の39 %を占め、次いで電力が34 %、輸送用燃料が27 %となる。

注) EJ：エクサジュール 10¹⁸ジュール
 出典 「技術ロードマップから見る2030年の社会」,日本機械学会誌 2023年6月号,Vol.126,No.1255

図1 日本のエネルギーフロー (2020年) (1)