

ここまで来た熱利用 ～脱炭素社会を切り拓く熱の3R

2022年1月27日

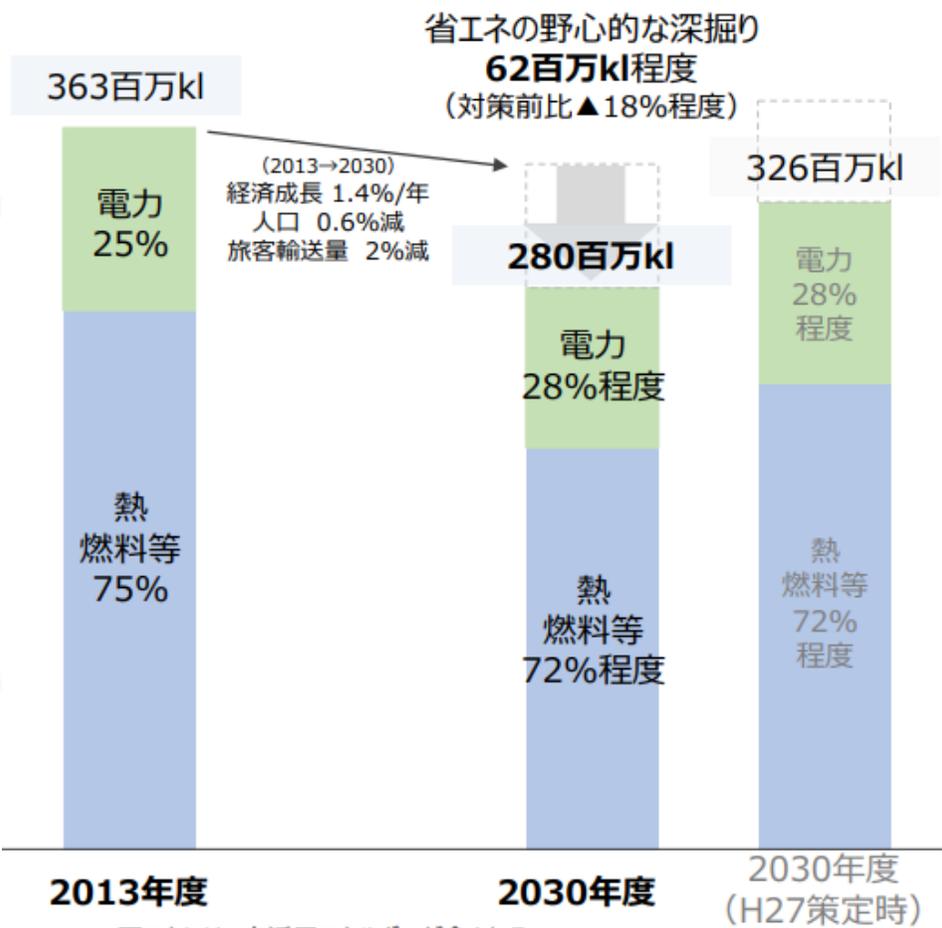
国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
省エネルギー部 小林 正典

※本資料は、当日使用したものを公開用に再編集したものです。

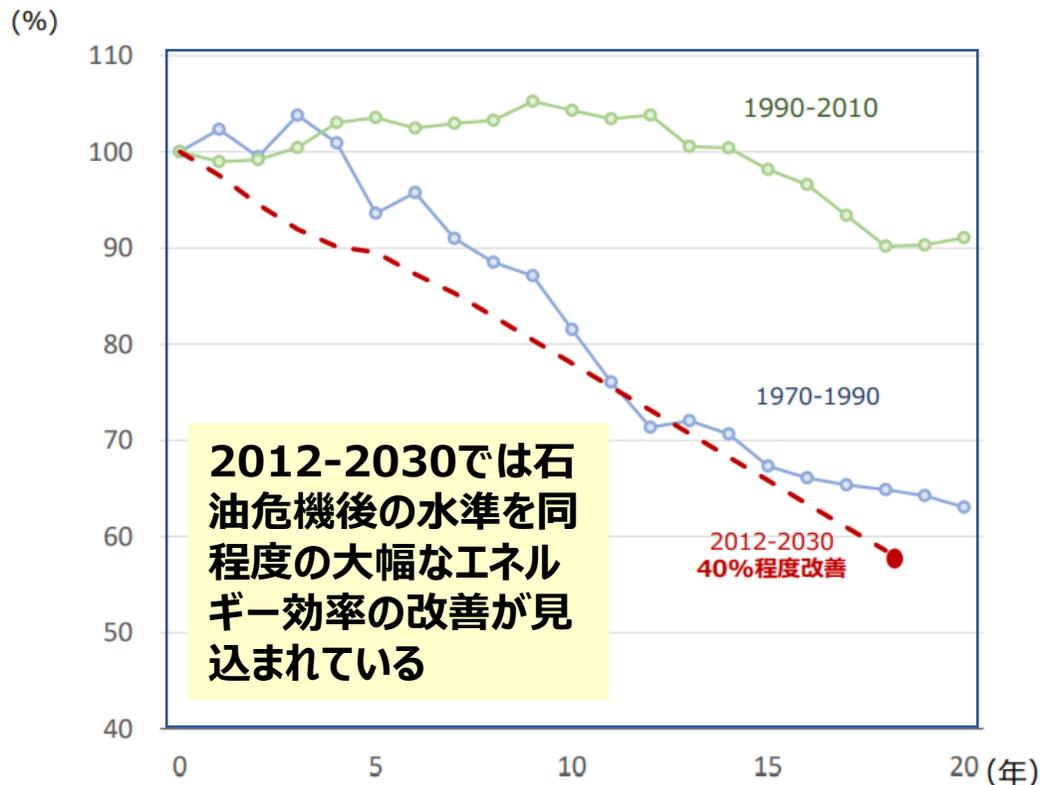
- 1. 脱炭素化への潮流と省エネルギー**
- 2. 熱マネジメントによる省エネルギーの取り組み**
- 3. 未利用熱エネルギー利用・熱の脱炭素化に関する将来技術の探索**

省エネルギーに対する期待は非常に大きい！

エネルギー需要の見通し



エネルギー効率の改善

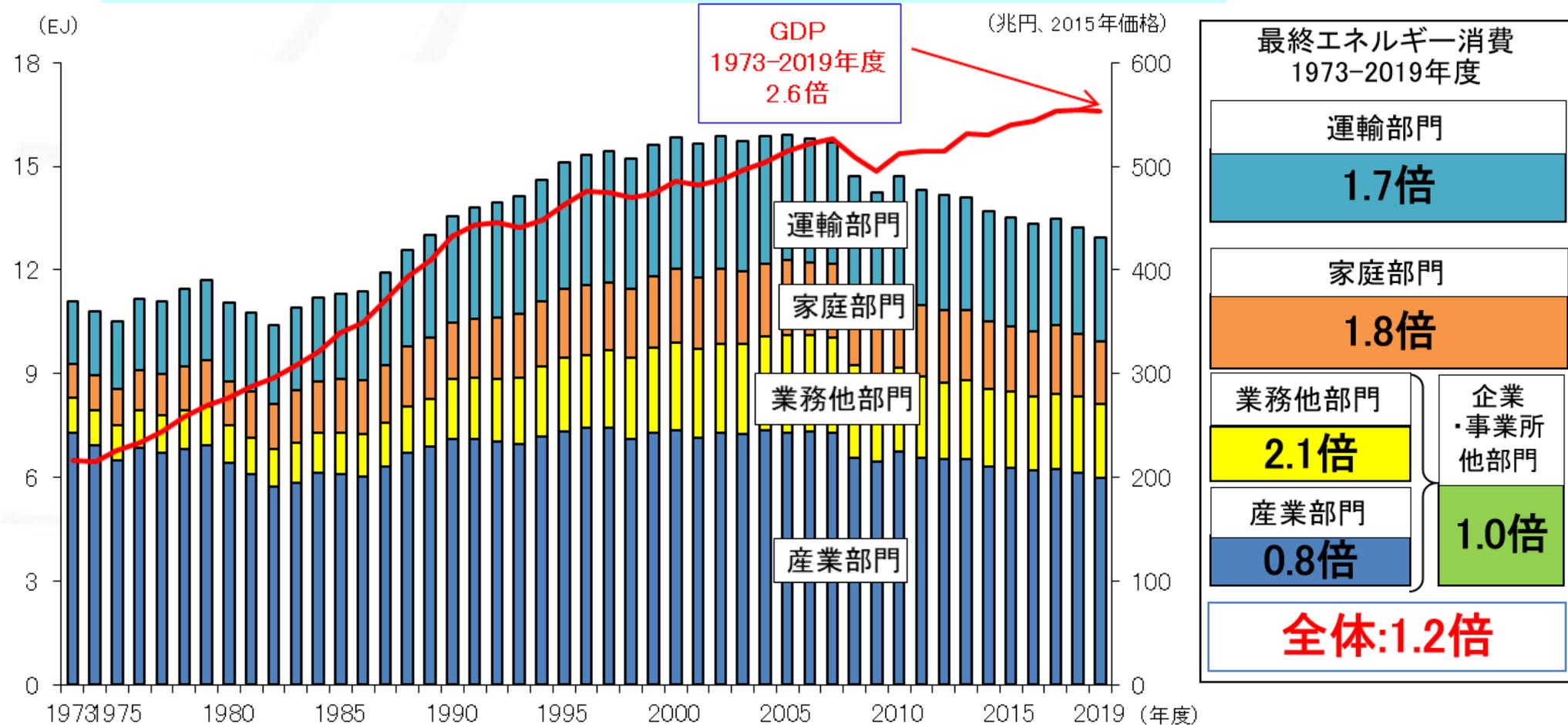


※ 再エネには、未活用エネルギーが含まれる
 ※ 自給率は総合エネルギー統計ベースでは31%程度、IEAベースでは30%程度となる
 ※ H27以降、総合エネルギー統計は改訂されており、2030年度推計の出発点としての。

革新的技術開発を通じた省エネポテンシャルの開拓

省エネルギー機器・設備の普及拡大

などが重要



(抜粋) 第6次エネルギー基本計画の省エネパート

2030年に向けた政策対応のポイント (需要サイドの取組)

- **徹底した省エネの更なる追求**
 - **産業部門**では、エネルギー消費原単位の改善を促す**ベンチマーク指標や目標値の見直し、「省エネ技術戦略」の改定による省エネ技術開発・導入支援の強化**などに取り組む。
 - **業務・家庭部門**では、2030年度以降に新築される住宅・建築物についてZEH・ZEB基準の水準の省エネ性能の確保を目指し、**建築物省エネ法による省エネ基準適合義務化と基準引上げ、建材・機器トップラナーの引上げ**などに取り組む。
 - **運輸部門**では、**電動車・インフラの導入拡大、電池等の電動車関連技術・サプライチェーンの強化、荷主・輸送事業者が連携した貨物輸送全体の最適化**に向け、**AI・IoTなどの新技術の導入支援**などに取り組む。
- 需要サイドにおけるエネルギー転換を後押しするための**省エネ法改正を視野に入れた制度的対応の検討**
 - 化石エネルギーの使用の合理化を目的としている省エネ法について、**非化石エネルギーも含むエネルギー全体の使用の合理化や、非化石エネルギーの導入拡大等を促す規制体系への見直し**を検討。
 - 事業者による**非化石エネルギーの導入比率の向上**や、**供給サイドの変動に合わせたディマンドリスポンス等の需要の最適化**を適切に評価する**枠組み**を構築。

地球温暖化対策計画の改定（令和3年10月22日閣議決定）

「2050年カーボンニュートラル」宣言、2030年度46%削減目標※等の実現に向け、計画を改定。
 ※我が国の中期目標として、2030年度において、温室効果ガスを2013年度から46%削減することを目指す。さらに、50%の高みに向け、挑戦を続けていく。

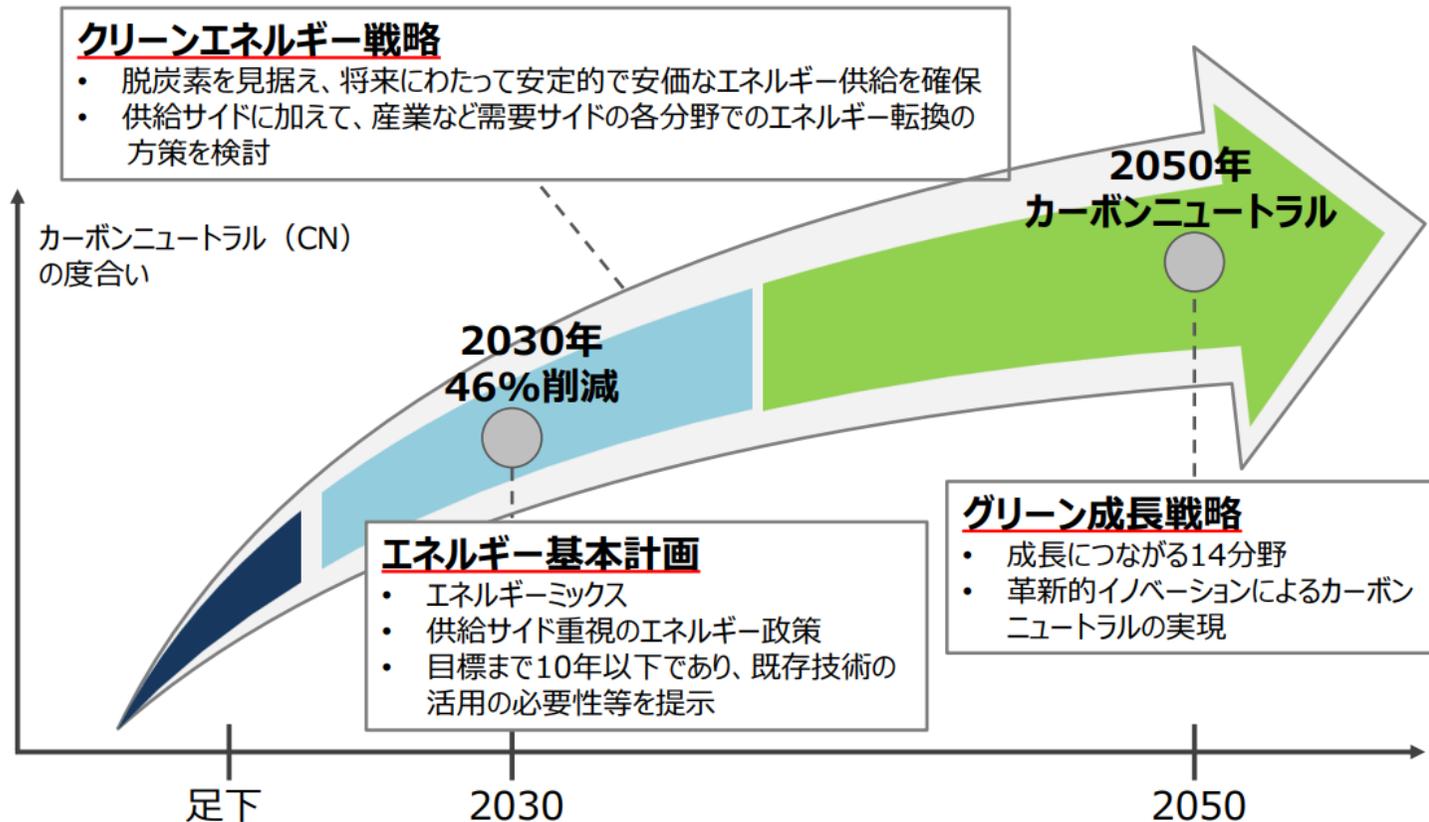
地球温暖化対策計画

- 地球温暖化対策推進法に基づく政府の総合計画
- 我が国全体の温室効果ガス削減目標を部門別に決定（エネルギー起源CO₂については、エネルギーミックスに基づき決定）
- 削減目標実現のための対策を明記

| 温室効果ガス排出量・吸収量 (単位：億t-CO ₂) | 2013排出実績 | 2030排出量 | 削減率 | 従来目標 |
|---|--|---------|------|----------------------------|
| | | 14.08 | 7.60 | ▲46% |
| エネルギー起源CO ₂ | 12.35 | 6.77 | ▲45% | ▲25% |
| 産業部門 | 4.63 | 2.89 | ▲38% | ▲7% |
| 業務その他部門 | 2.38 | 1.16 | ▲51% | ▲40% |
| 家庭部門 | 2.08 | 0.70 | ▲66% | ▲39% |
| 運輸部門 | 2.24 | 1.46 | ▲35% | ▲27% |
| エネルギー転換部門 | 1.06 | 0.56 | ▲47% | ▲27% |
| 非エネルギー起源CO ₂ 、メタン、N ₂ O | 1.34 | 1.15 | ▲14% | ▲8% |
| HFC等4ガス（フロン類） | 0.39 | 0.22 | ▲44% | ▲25% |
| 吸収源 | - | ▲0.48 | - | (▲0.37億t-CO ₂) |
| 二国間クレジット（JCM） | 官民連携で2030年度までの累積で1億t-CO ₂ 程度の国際的な排出削減・吸収量を目指す。我が国として獲得したクレジットを我が国のNDC達成のために適切にカウントする。 | | | - |

クリーンエネルギー戦略の位置づけ

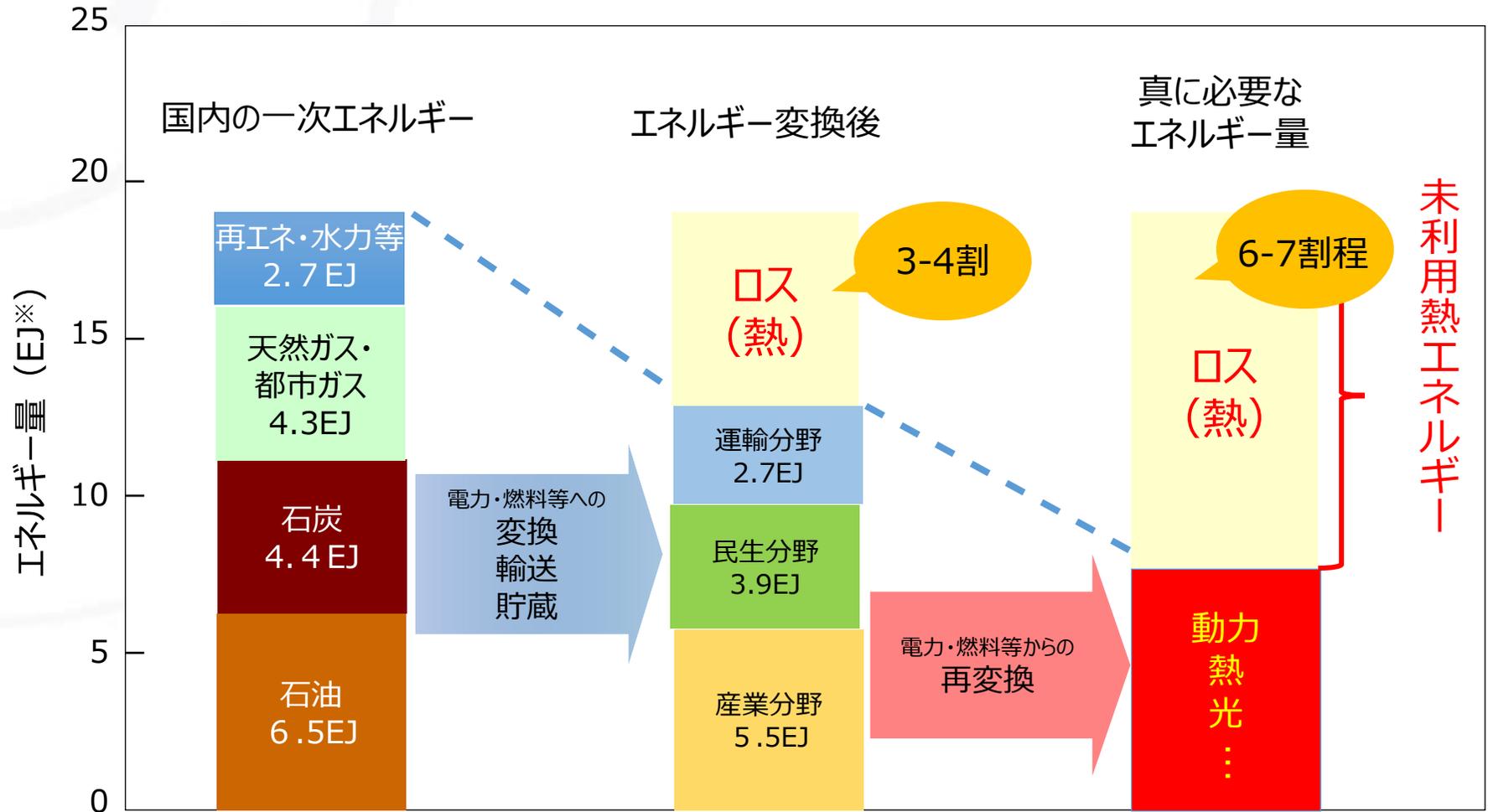
- 2050年カーボンニュートラルや2030年46%削減の実現を目指す中で、将来にわたって安定的で安価なエネルギー供給を確保し、更なる経済成長につなげるため、「点」ではなく「線」で実現可能なパスを描く。



1. 脱炭素化への潮流と省エネルギー
2. 熱マネジメントによる省エネルギーの取り組み
3. 未利用熱エネルギー利用・熱の脱炭素化に関する将来技術の探索

我が国におけるエネルギーロスの現状

未利用熱エネルギーを有効に利用することが省エネルギーへの道



※EJ=10¹⁸ ジュール

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

出典：資源エネルギー庁 令和2年度（2020年度）エネルギー需給実績（速報）を基にNEDO作成

未利用熱エネルギーの発生源と排出割合

電力分野



産業分野



民生分野



電力分野

他

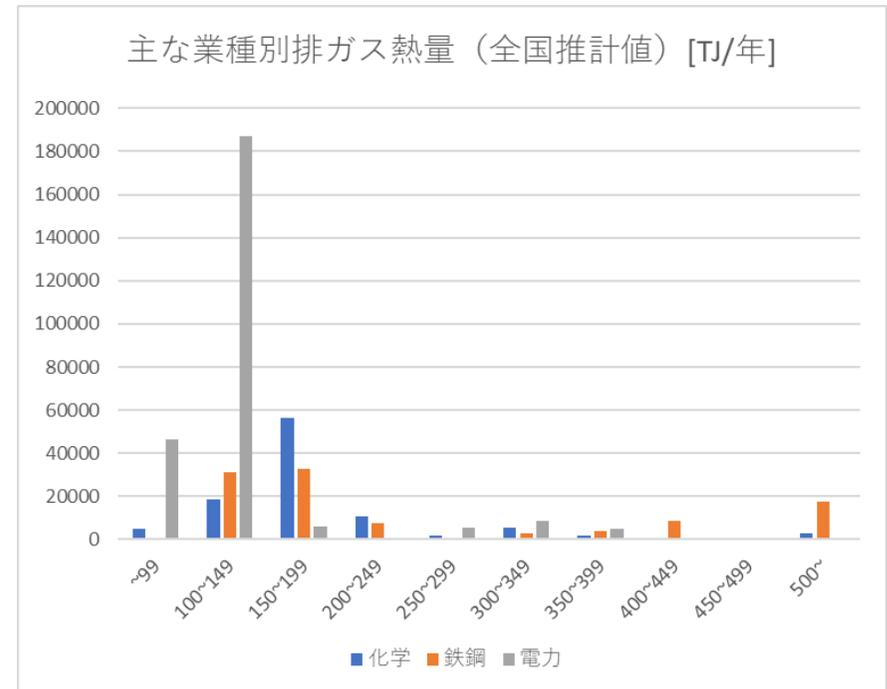
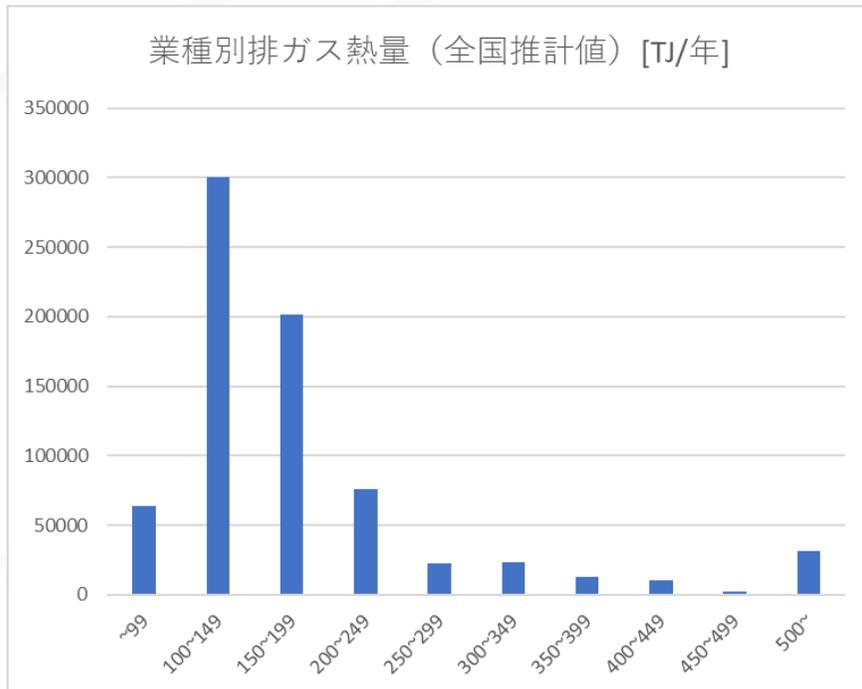
産業・運輸分野

運輸分野

民生分野



廃ガス熱量では、86%が250℃未満、76%が200℃未満。

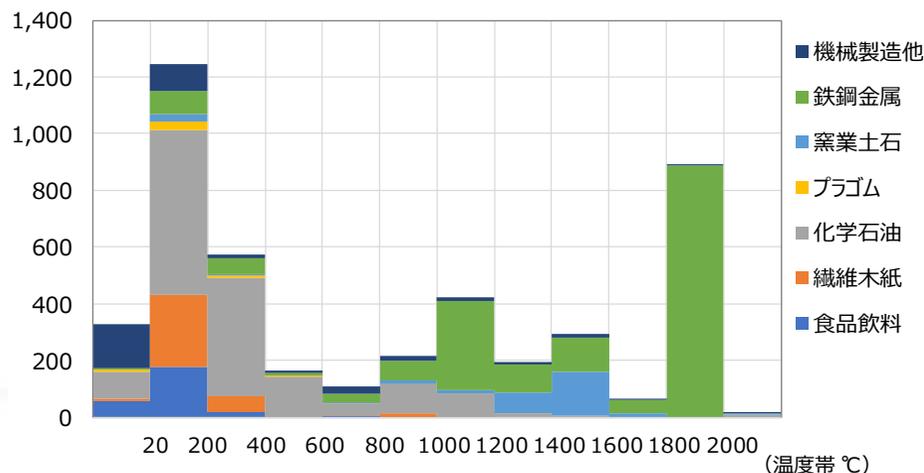


産業分野の排熱実態調査 (TherMAT/NEDO) 2019年

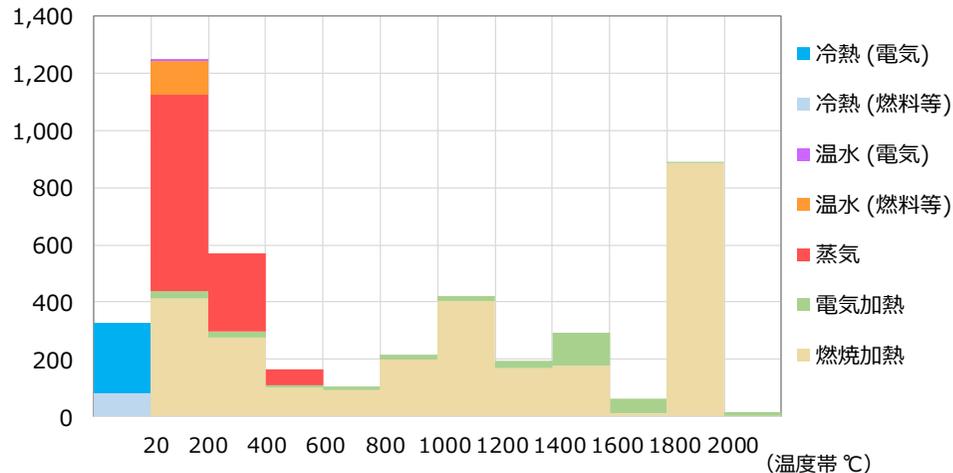
15業種の工場設備の排熱実態調査報告書

- 産業分野(除く電力)の熱需要は、200°C以下の比較的低温領域が、1/4以上を占めている。すなわち、未利用熱の温度分布と、熱需要の温度分布は相当程度重なる。

(熱需要 PJ) **業種別・温度帯別熱需要**



(熱需要 PJ) **熱形態別・温度帯別熱需要**



出典) 平成29年度新エネルギー等の導入促進のための基礎調査(熱の需給及び熱供給機器の特性等に関する調査)

http://www.meti.go.jp/medi_lib/report/H29FY/000018.pdf (平成31年2月26日閲覧)

熱は輸送が難しく、発生地から概ね500m以内に熱需要が無いと熱→熱の廃熱利用は困難。

排熱する企業と熱需要のある企業が異なると、マッチングや調整コストのハードルが高い。

・熱輸送長

廃熱が、利用設備へ熱輸送される場合の距離

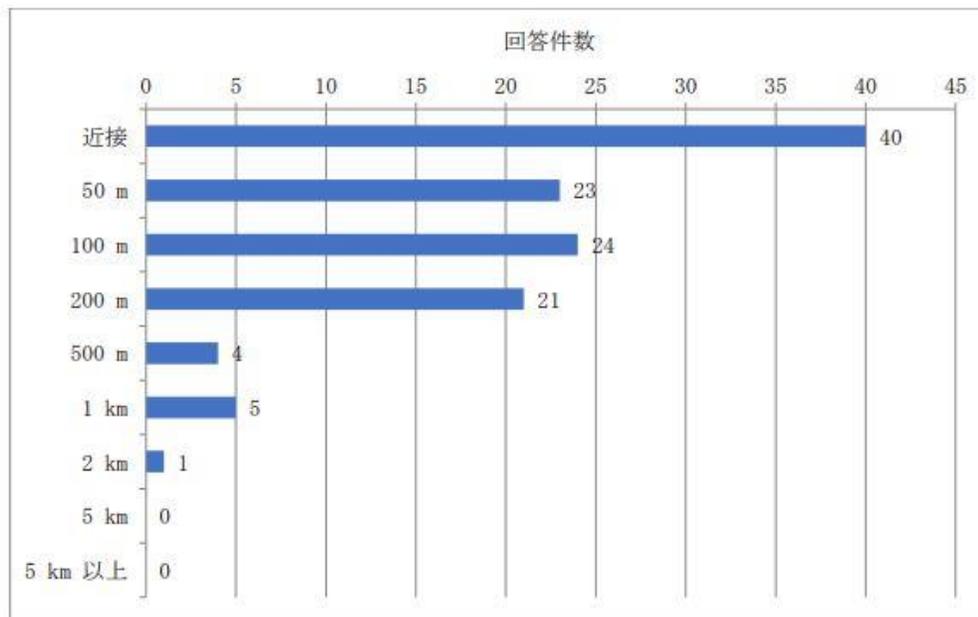


図 86 生産プロセスから排熱利用設備へ熱輸送される場合の熱輸送距離 (回答事業所数: 100)

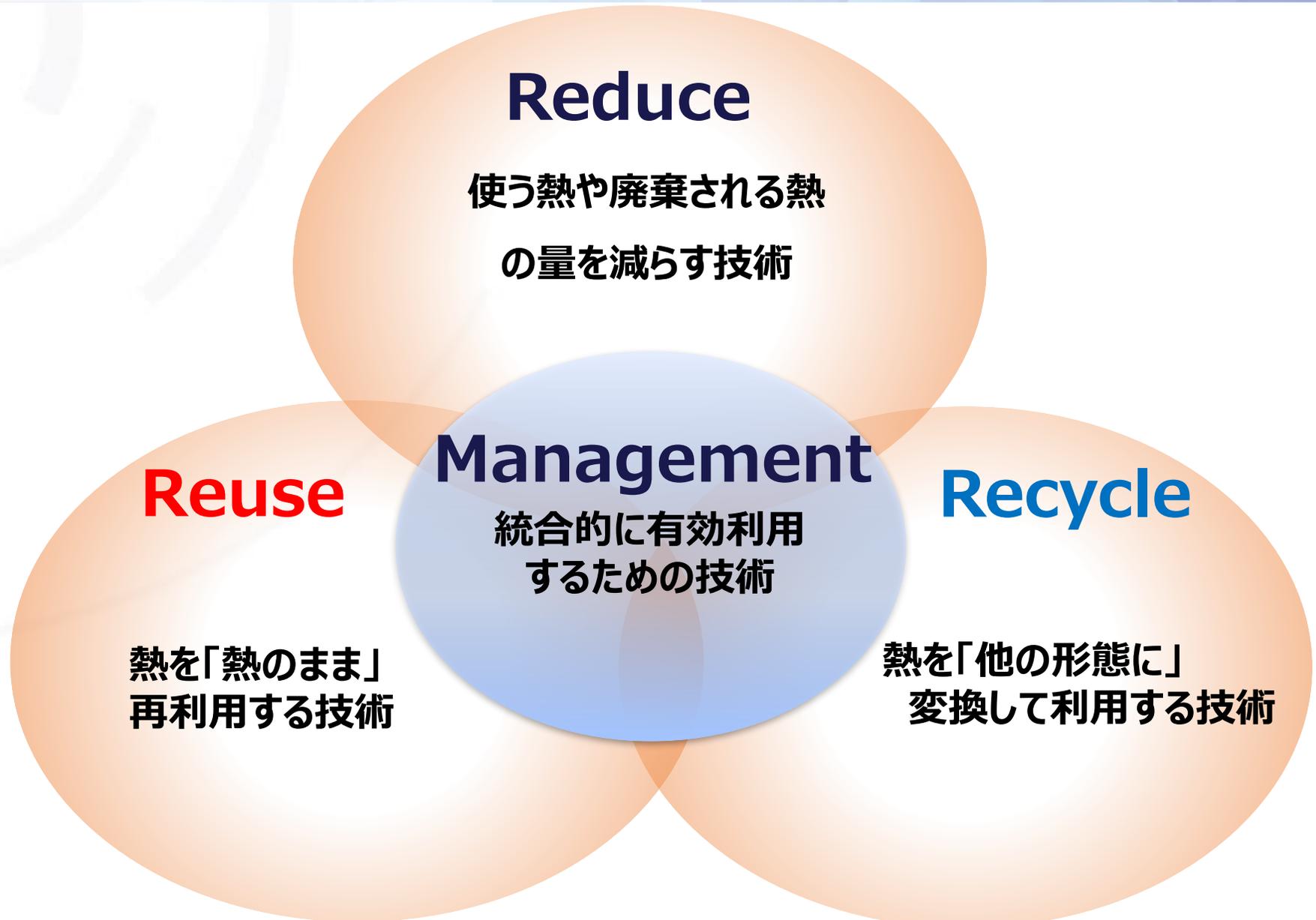
未利用熱利用が進みにくい要因②

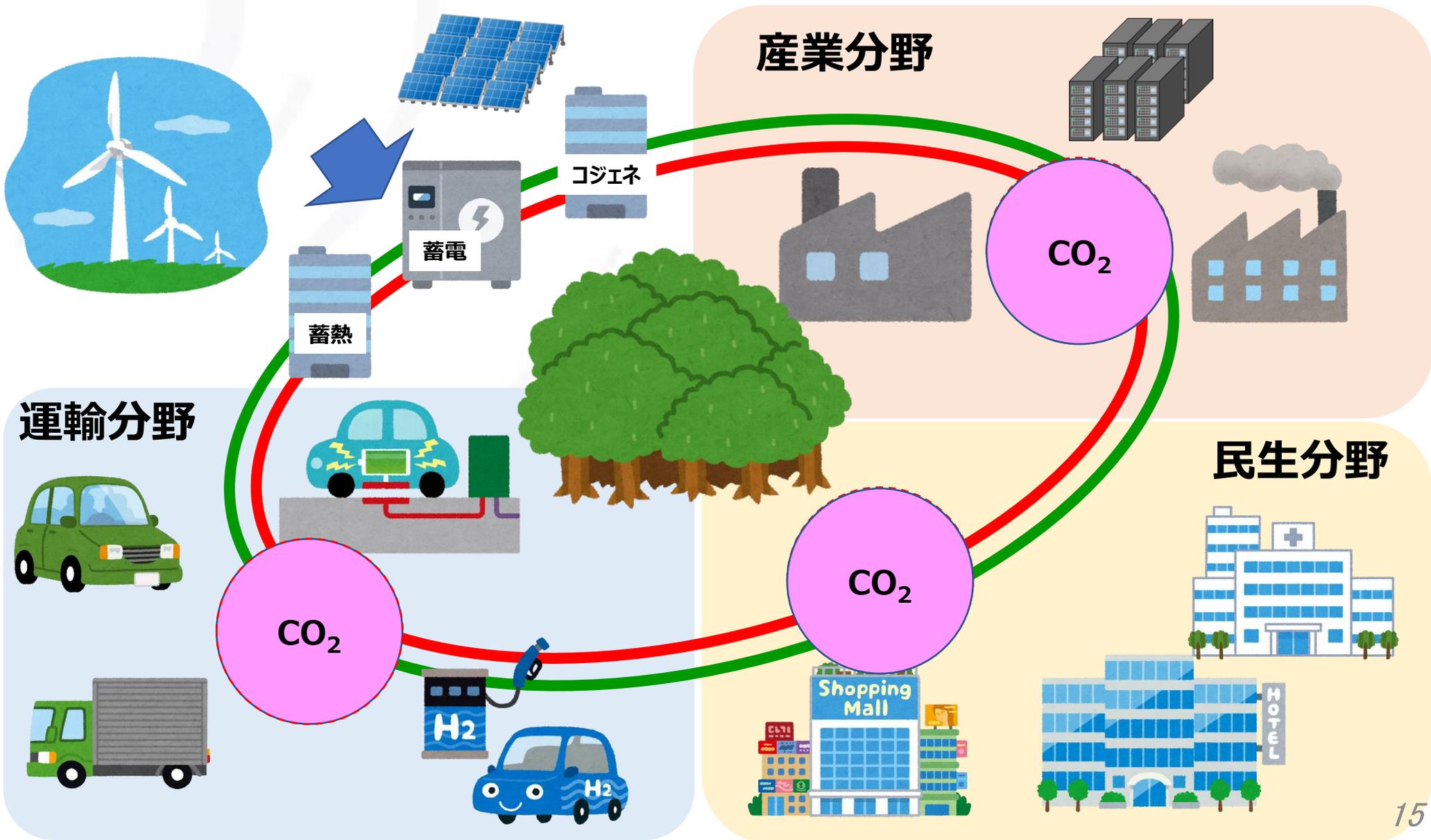
- ・ 熱の輸送性の低さ、企業の省エネ設備投資への慎重な態度、調整コストが未利用熱利用を妨げている。
- ・ 未利用熱を最大限利用するためには、技術開発・助成措置に加えて、企業の判断を促すメカニズムと、調整コストを下げる取り組みが必要。



が、しかし！！

- ・ これまでは未利用熱のコンペティターは化石燃料の燃焼（あるいは化石燃料由来の電源をベースロードとした発電等による加熱/加温）だったが、「2050年CN」で「熱（そのもの）」の脱炭素化へのアプローチの重要性が増してきている！





集中ボイラーで熱を供給する工場に産業用ヒートポンプを導入すると・・・

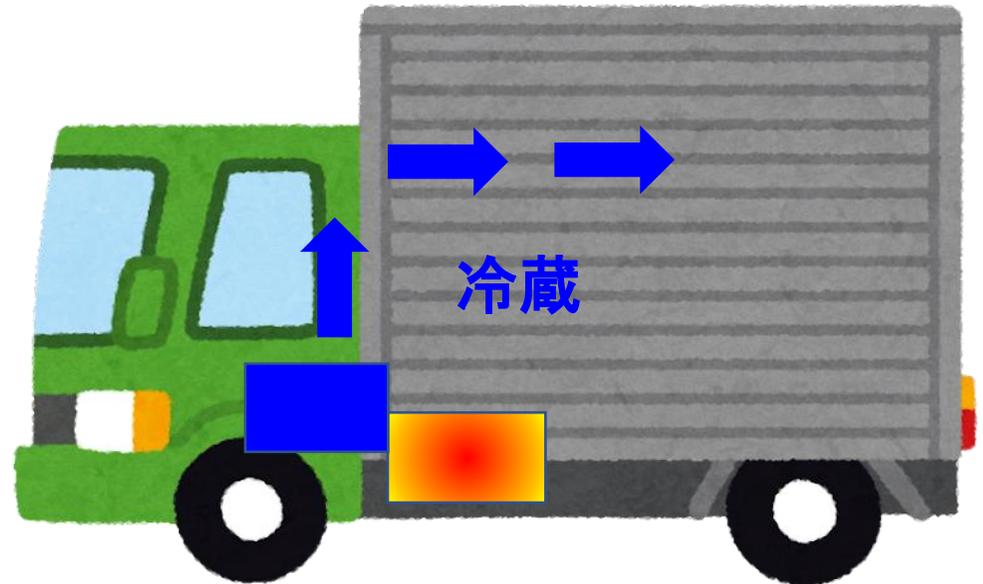
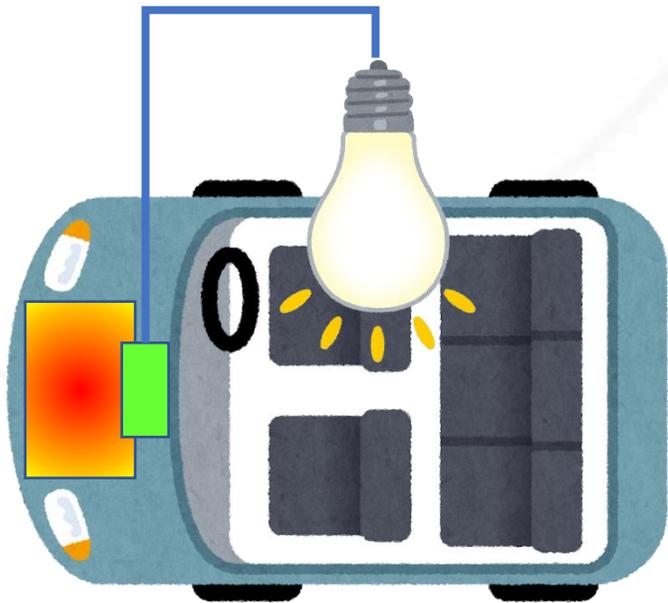
熱需要近傍で熱を発生させることで
十数%～50%の配管ロス無くせます

高性能のヒートポンプを導入
することで数%～20%のロス
を減らせます



ボイラーで蒸気製造

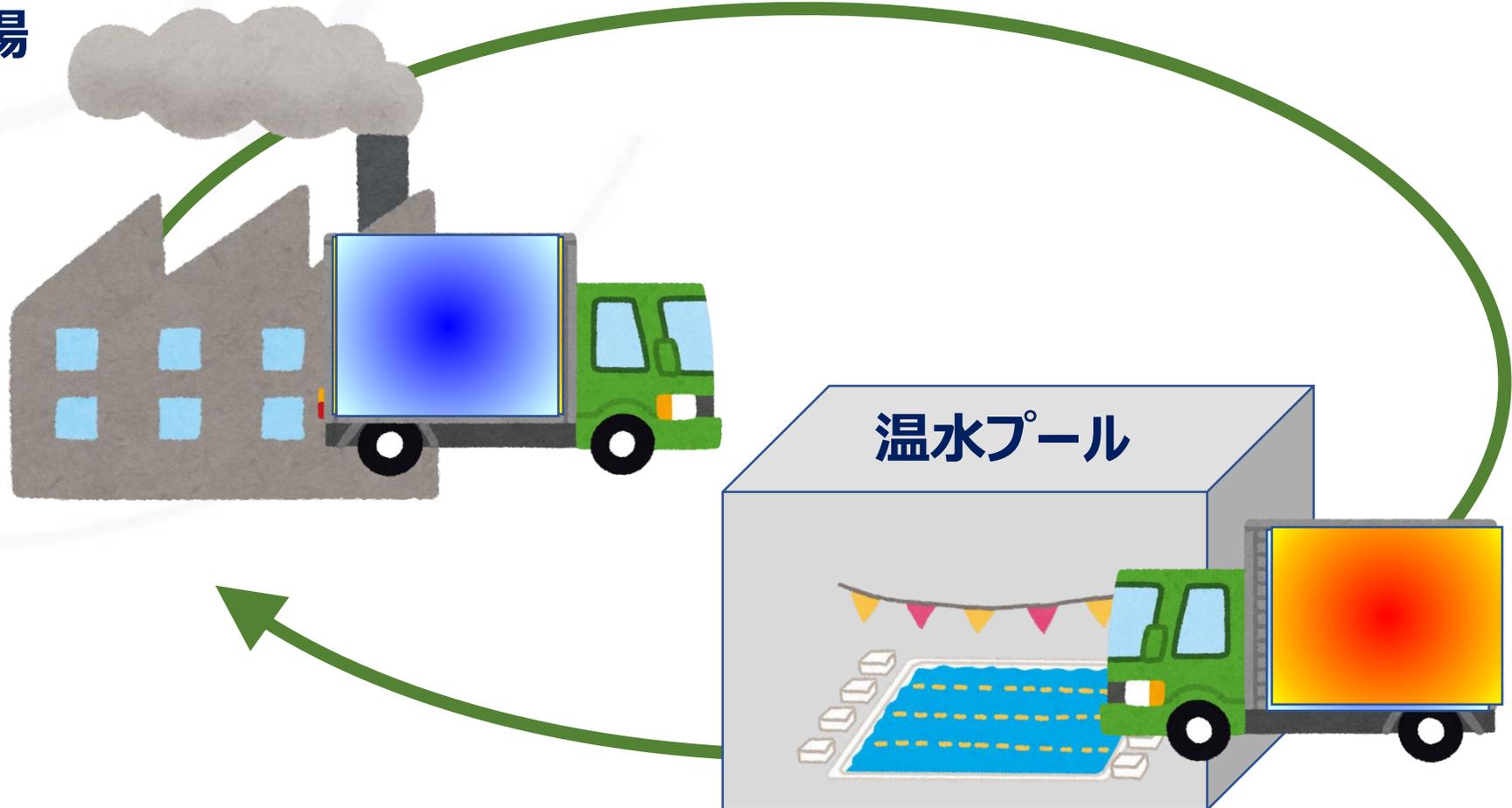
自動車はEVシフトなど変化の大きい分野ですが時代に応じた形で排熱利用の取り組みを進めて行きます。





今後も、熱マネジメントや蓄熱技術の開発を進めて行きます

工場





※ENEX2022でご紹介した内容のうちアニメーション表示した部分は以下のNEDOチャンネルリンクで動画としてご覧になれます。よろしければ是非ご視聴下さい。

01.できる！省エネルギー【はじめに】

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

02.脱炭素化への潮流と省エネルギー

<https://www.youtube.com/watch?v=52yfPufBdRo>

03.熱マネジメントによる省エネルギーの取り組み

<https://www.youtube.com/watch?v=CdmQXifshd0>

04.省エネルギーに関する将来技術の探索

<https://www.youtube.com/watch?v=2caJmhzcImE>



※さらに、今後、熱利用の脱炭素化について大きな役割を担うことが期待される産業用ヒートポンプについて以下のNEDOチャンネル動画もオススメです。よろしければ是非ご視聴下さい。

01.産業分野のエネルギー消費で何が問題か

<https://www.youtube.com/watch?v=gkQb1YoM35Y>

02.熱についてはヒートポンプで考えてみませんか？

<https://www.youtube.com/watch?v=flzGTdpkO3Y>

03.開発が進む産業用ヒートポンプ

<https://www.youtube.com/watch?v=1vJJsFB2TWE>

未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発（2015年度～2022年度）

未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合（TherMAT）



Reduce

- ①蓄熱：
パナソニック、
トヨタ（2019.03脱退）、三菱ケミカル（2018.03脱退）
- ②遮熱
東レ（2020.03脱退）
- ③断熱
美濃窯業、AIST

⑦熱マネージメント

マツダ、マレリ*、
日本エクスラン工業
アイシン精機、AIST
トヨタ（2019.03脱退）

⑧基盤技術：

AIST、JRCM、
三菱重工サーマルシステムズ
三菱重工業（2021.03脱退）
セントラル硝子（2021.03脱退）

企業：10（+脱退9）
研究所(AIST*)：1
財団(JRCM**)：1

Reuse

- ④高温ヒートポンプ
前川製作所
三菱重工サーマルシステムズ
- ④高効率冷凍機：
日立ジョンソンコントロールズ空調
（2018.03脱退）

Recycle

- ⑤無機熱電変換：
古河機械金属
日立製作所
古河電気工業
安永（2021.03脱退）
日本サーモスタット（2021.03脱退）
- ⑤有機熱電変換：
富士フイルム（2018.03脱退）
- ⑥排熱発電
パナソニック（2021.03終了）

#旧カルソニックカンセイ

共同研究

* AIST: 産業技術総合研究所
** JRCM: 金属系材料研究開発センター

NEDOプロジェクトマネージャー：岩坪哲四郎

プロジェクトリーダー：小原春彦(産総研)

小規模研究開発

(1) ナノ構造熱電(2020年度未終了)

AIST、京都大学

(2) 厚膜印刷熱電材料(2020年度未終了)

AIST

(3) 有機熱電材料(2020年度未終了)

AIST

* AIST: 産業技術総合研究所

** JRCM: 金属系材料研究開発センター

早稲田大学・大阪大学・東京大学・東北大学・山口東京理科大学・物質材料研究機構・
山口大学・九州大学（7大学1研究機関）

実用化に向けた主な課題と今後の取組（例）

<断熱>

コストダウンを見据え
工業的作製・加工プロセスの確立

- ・高強度化・低熱伝導率化の両立
- ・再現性の高いプロセスのスケールアップ技術の開発

<熱電変換>

200～600℃で使用可能な熱電変換モジュール・システムの確立

- ・実環境下（バイオマスボイラ、コージェネ、自動車排気システム）での性能検証

日本の優位性を確保するため
性能評価手法の国際標準化

- ・発電性能の評価手法の国際標準規格提案
- ・標準化に向けた耐久性評価技術の確立

<高温ヒートポンプ>

PJ終了後の早い段階での実用化のため
200℃加熱の実現と性能検証

- ・新規冷媒を適用したヒートポンプ試作機的设计、製作、性能測定試験

開発成果を含む
高温ヒートポンプの導入障壁の排除

- ・導入効果等の見える化を可能とする汎用的なツール・データセットの構築
- ・開発ツールを用いたモデルケースの検討

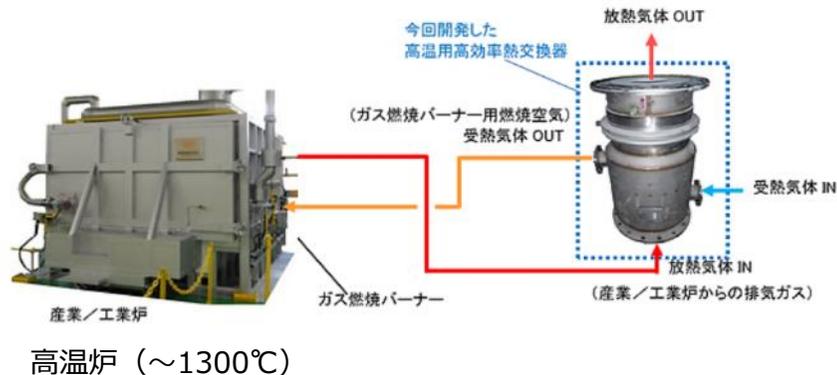
成果の実用化・事業化（例）

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）

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）

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



美濃窯業株式会社

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

1. 脱炭素化への潮流と省エネルギー

2. 熱マネジメントによる省エネルギーの取り組み

3. 未利用熱エネルギー利用・熱の脱炭素化に関する将来技術の探索

○未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発

ナショプロとして、未利用熱エネルギーを効果的に、削減（断熱、遮熱、蓄熱）、再利用（ヒートポンプ技術）、変換利用（熱電変換、排熱発電）する技術開発等を実施。

○先導研究でシーズ技術の支援

熱交換・熱マネジメント技術の高度化、空気の資源化、高性能蓄熱技術などによる産業分野の脱炭素化、再エネ導入促進による脱炭素化を実施。



蒸留プロセス
熱交換・熱物質移動制御による
産業分野の脱炭素化



データセンター



酸素富化による工業炉の
脱炭素化

NEDOのミッション

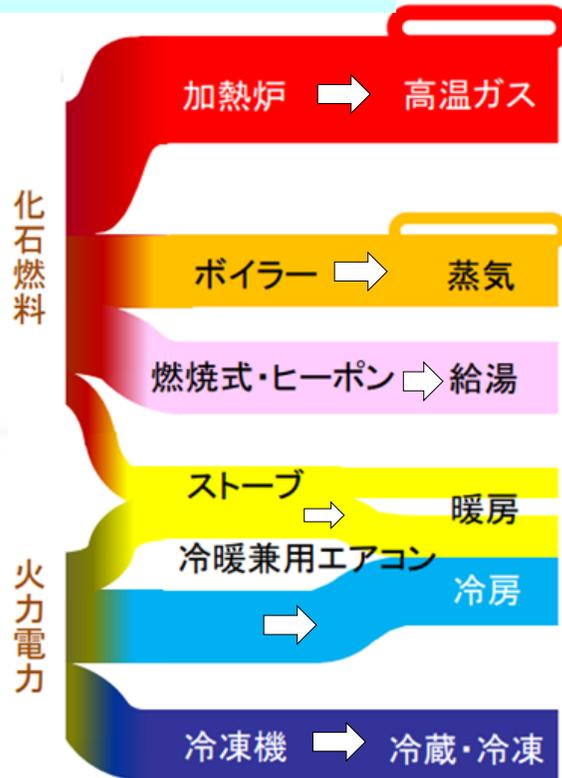
- エネルギー・地球環境問題の解決
- 産業技術力の強化



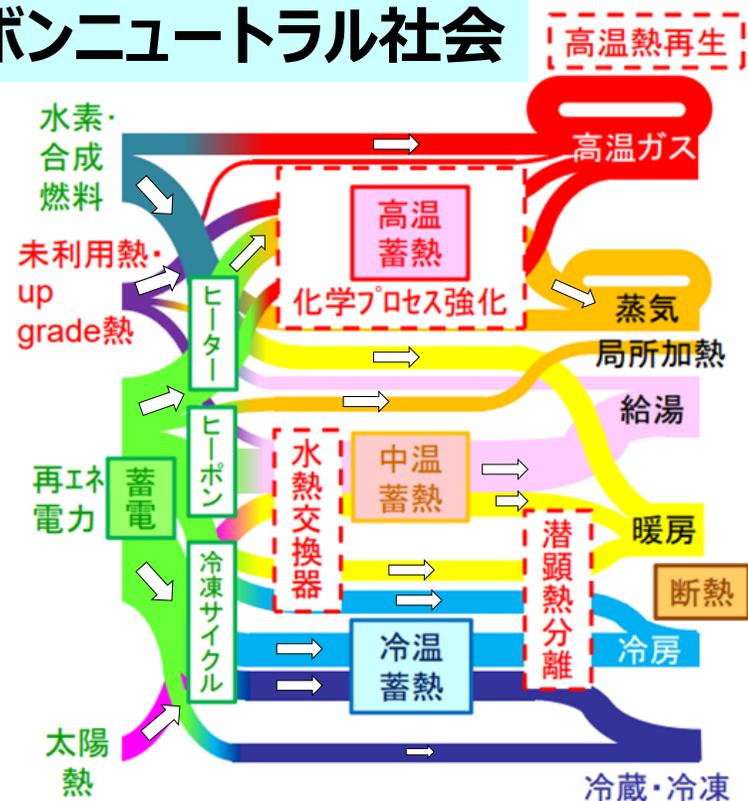
カーボンニュートラル時代に向けた熱交換技術の再構築

化石燃料社会からカーボンニュートラル社会に変化する中で、複雑化・高度化していくエネルギー変換プロセスへの柔軟な対応を可能とし、それらのプロセスの効率を上げていくための熱マネジメント技術の可能性を検討しています。

化石燃料社会



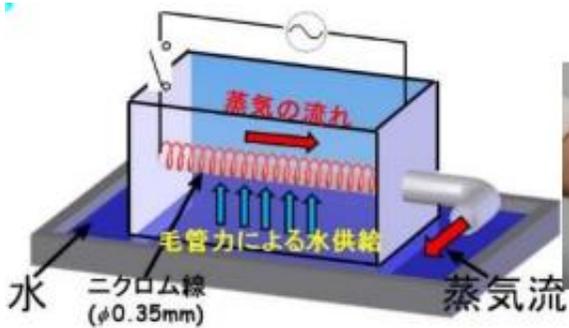
カーボンニュートラル社会



飛躍的な伝熱促進を目指した沸騰・蒸発技術

熱マネジメントの中でのカギとなる熱交換プロセスについて、熱交換を行う界面における熱移動や物質移動を促進できる技術の可能性を検討しています。
 この技術を、化学産業を中心とした様々な産業プロセスに適用することで、産業分野の大幅な省エネルギー化、脱炭素化に貢献できます。

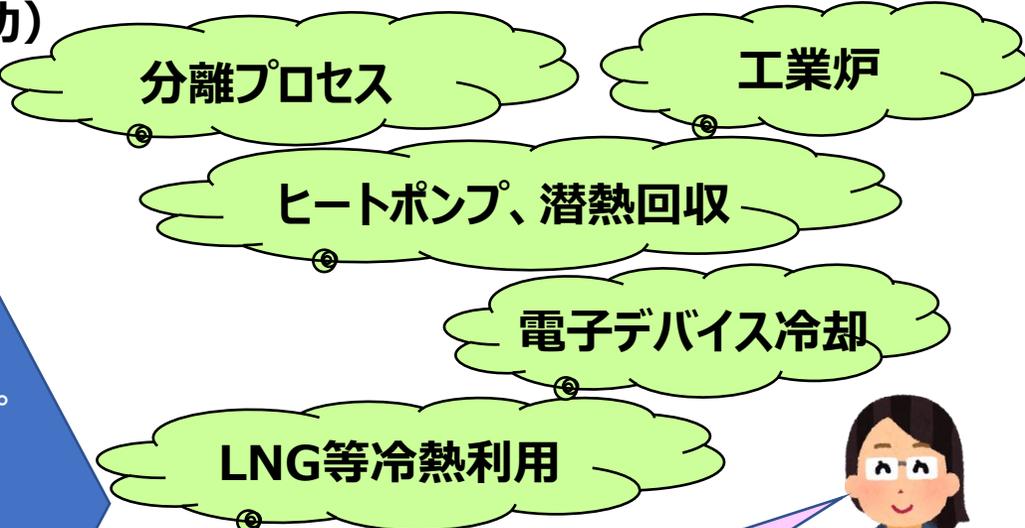
超高速高温蒸気製造技術（プロトタイプ作成に成功）



伝熱面のぬれ性制御による沸騰冷却技術



様々な産業プロセスへの適用を目指し研究を実施



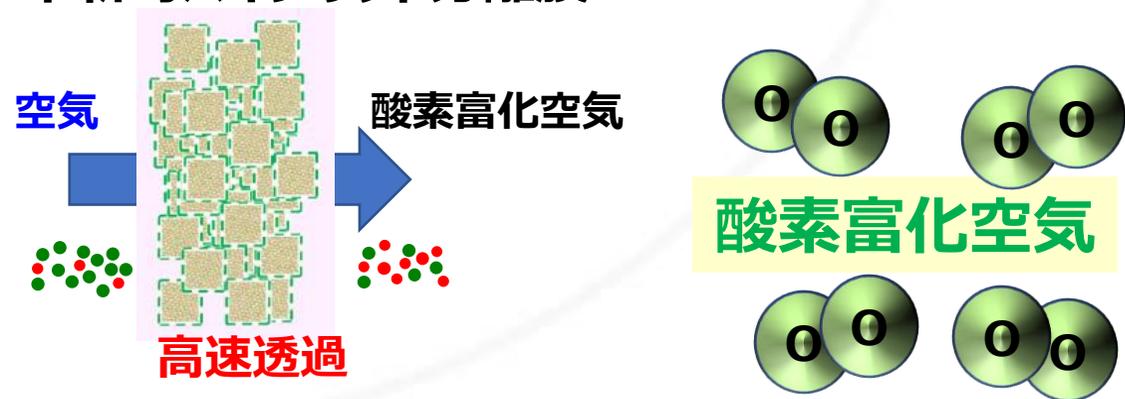
多くの産業分野の脱炭素化に貢献できます



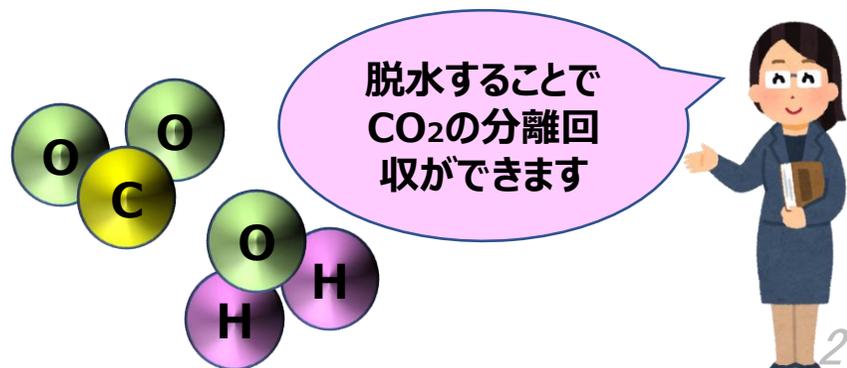
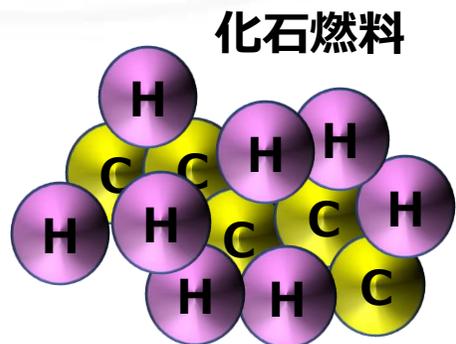
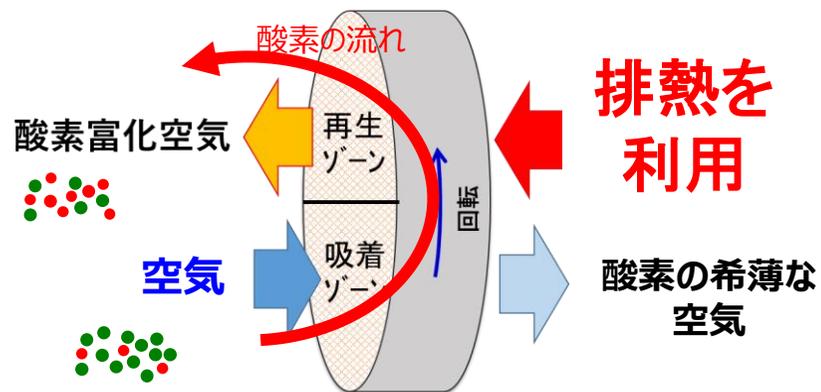
低コスト・省エネルギーで酸素濃度を調整するための技術

- ・酸素濃度を高めた酸素富化空気を燃焼に用いることで、NO_x発生を抑え、エネルギー効率良い燃焼が可能になります。CO₂の分離回収も容易になります。
- ・COVID-19対応等、医療分野でも酸素富化空気が求められています。

革新的ハイブリッド分離膜



革新的TSA技術 (TSA:温度スイング吸着)



高性能高温蓄熱技術の開発

高速に熱交換可能で高密度で熱を蓄積できる蓄熱技術の開発を行っています。これを活用することで様々な産業分野の省エネルギーや、再生可能エネルギーの導入支援を目指しています。

シーズ：革新的蓄熱材“h-MEPCM”

本プロジェクト：蓄熱体&モジュールの開発

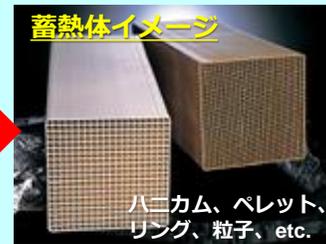
コア:
合金PCM

シェル:
Al₂O₃

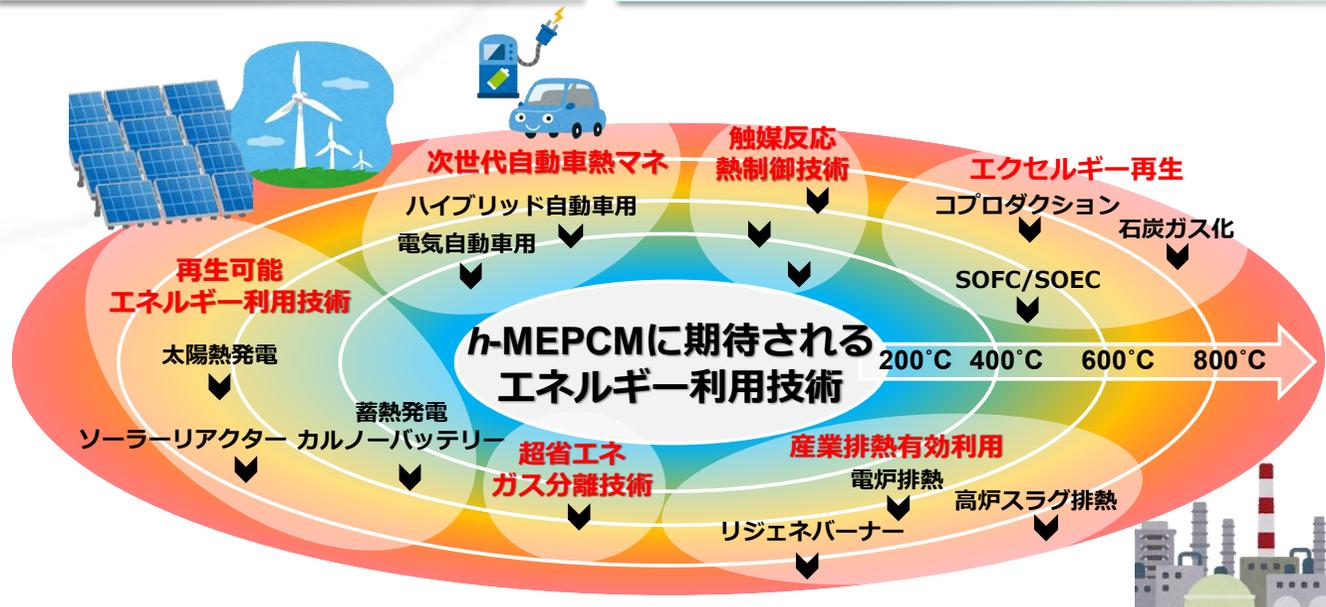
特徴

- ・高蓄熱密度 $\approx 1 \text{ GJ m}^{-3}$
- ・高熱伝導率：金属級
- ・高耐久性 > 3000 cycle
- ・マイクロ粒子 $\approx 30 \mu\text{m}$
- ・優れた成型加工性

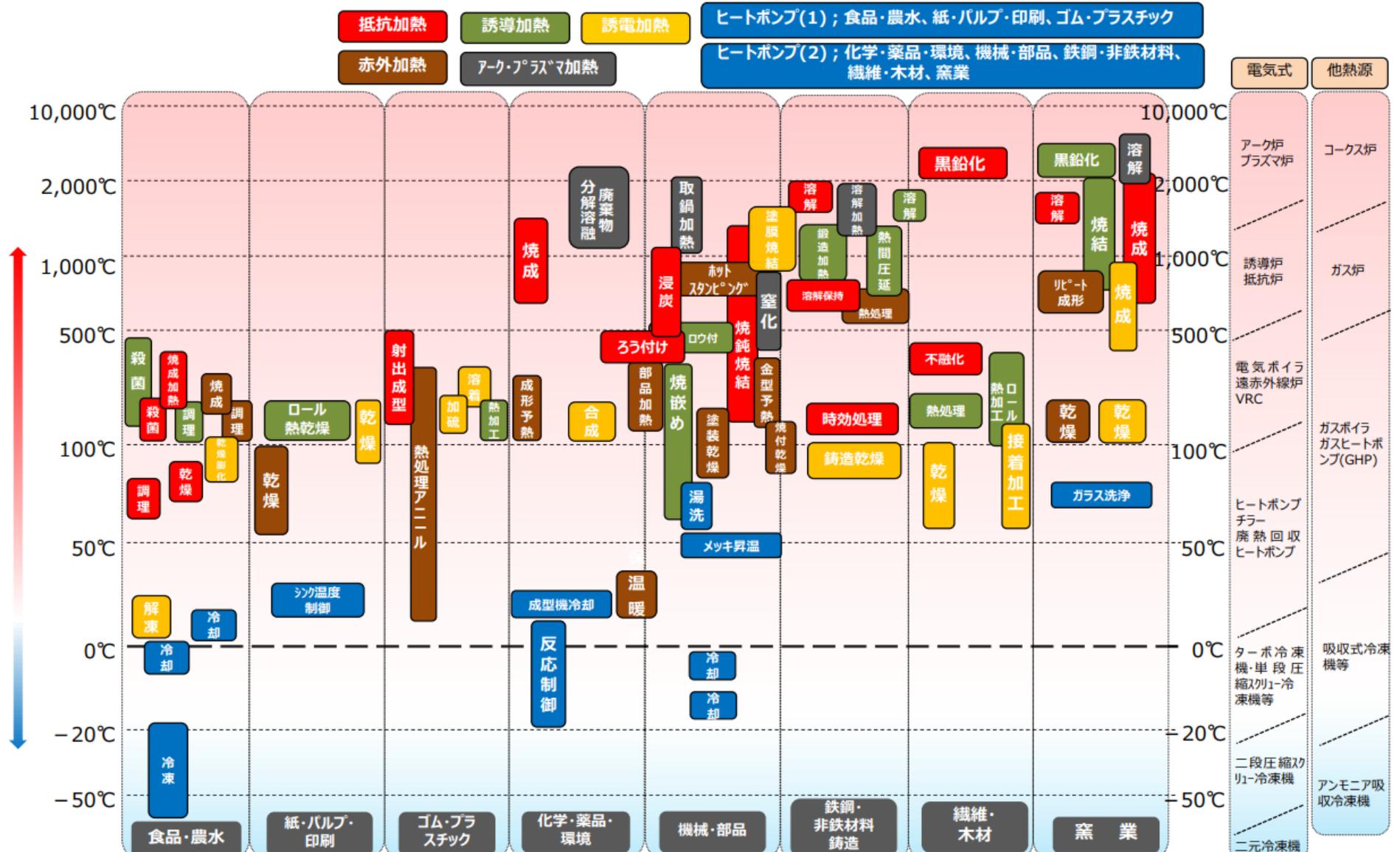
世界初の中高温用MEPCM。量産化を検討中。



内容：h-MEPCM蓄熱体と蓄熱モジュールの性能を明確化



(参考) 産業の熱需要における電化の可能性



熱発生・廃熱回収

ボイラー等代替 (除くヒートポンプ)

- ✓ 次世代加熱炉 (マイクロ波等)
- ✓ 水素、アンモニア燃焼 (工業炉)

ヒートポンプ

- ✓ 高温・大昇温ヒートポンプ
- ✓ 低昇温・温冷熱同時利用ヒートポンプ
- ✓ 次世代冷媒
- ✓ 次世代圧縮機 (大容量、磁性潤滑油等)
- ✓ ケミカルヒートポンプ (吸収式、吸着式等)
- ✓ 高性能除湿・乾燥技術

廃熱発電技術

- ✓ ORC
- ✓ カルノーバッテリー

熱電発電技術

- ✓ 高効率・低価格の熱電発電 (FAST素子等)
- ✓ 熱化学電池 (温度差発電、熱充電)

熱輸送

遮熱/断熱技術

- ✓ 高機能材料 (軽薄短小かつ高強度)、構造最適化
- ✓ 材料熱伝導率や放射率のデザイン
- ✓ 部材機能 (例えば光透過性) との両立

蓄熱技術

- ✓ 利用温度や利用環境に応じた蓄熱材料、モジュール
- ✓ 熱入出力特性の制御機能を持つアクティブ蓄熱技術

熱輸送技術

- ✓ ヒートパイプ/ループヒートパイプ
- ✓ オフライン輸送 (ハスクレイ等)

需要サイドでの最適化制御等

熱の多段階利用

- ✓ コージェネや工場内の高温廃熱を多段階に再利用 (HPで昇温/温冷熱同時利用するものも含む)

実運用のための技術

- ✓ 熱流センサー・AI等を用いた熱需要・廃熱実態把握/予測/最適システム制御
- ✓ 産業用ヒートポンプシミュレーターの適用性向上
- ✓ 用役系・化学系連携最適化制御
- ✓ データセンター (空調、廃熱利用)
- ✓ EV等非内燃機関車の熱需要 (除霜等)
- ✓ 利用温度や熱量に応じた最適デバイス選択
- ✓ 蓄熱技術等と組合せてのDr運用技術

共通基盤技術

熱交換技術

- ✓ 革新的高効率・低熱損失熱交換技術 (材料開発、界面制御、構造最適化 (トポロジー、設計))

計測技術 (熱流センサー)

- ✓ 高感度・低価格の熱流センサー (異常ネルンスト効果)

熱需給最適化技術

- ✓ 各要素技術を最適運用するためのシステム設計・エネルギーマネジメント関連技術 (熱流れの見える化、ヒートポンプと排熱発電の最適運用等)

規格化・標準化

- ✓ 産業用ヒートポンプ等の幅広い熱源・熱出力温度に対応した評価基準
- ✓ 産業用ヒートポンプのモジュール化・ラインアップ化

※この技術整理は講演当時にNEDOで実施中の研究開発等で取り扱っている熱関連の省エネルギー技術～赤:開発中ないし今後開発が見込まれるもの、紫:主に実証での検証、社会実装加速が見込まれるもの、黒:現時点では開発済み、黒字に黄色のハイライト:当該技術の高度化のための開発要素があると思われるもの～について講演者が暫定的に書き出したものであり、NEDOとして確定したものではありません。文責は講演者にあります。今後の開発さらには成果の本格的な社会実装に向けて加除修正含めて検討されていくものであることをご了承ください。

NEDO は、今後も未利用熱エネルギーの利用や
熱の脱炭素化に関する技術の開発・社会実装
のための取り組みを**積極的**に行っていきます。

ご清聴
ありがとうございました！

