

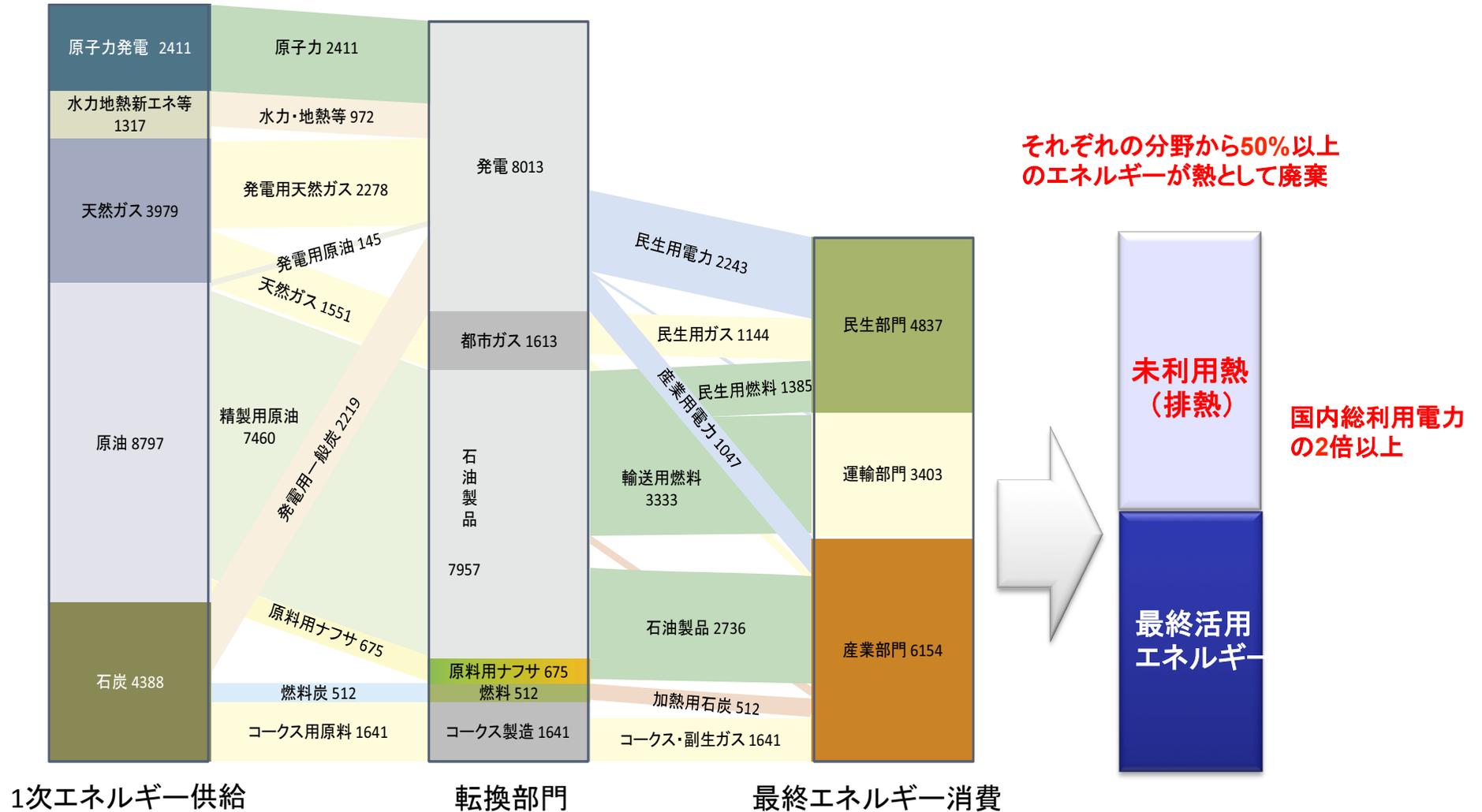
# 未利用熱の活用技術開発の動向

## ー経済産業省のプロジェクトと産総研の取り組みー

産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門

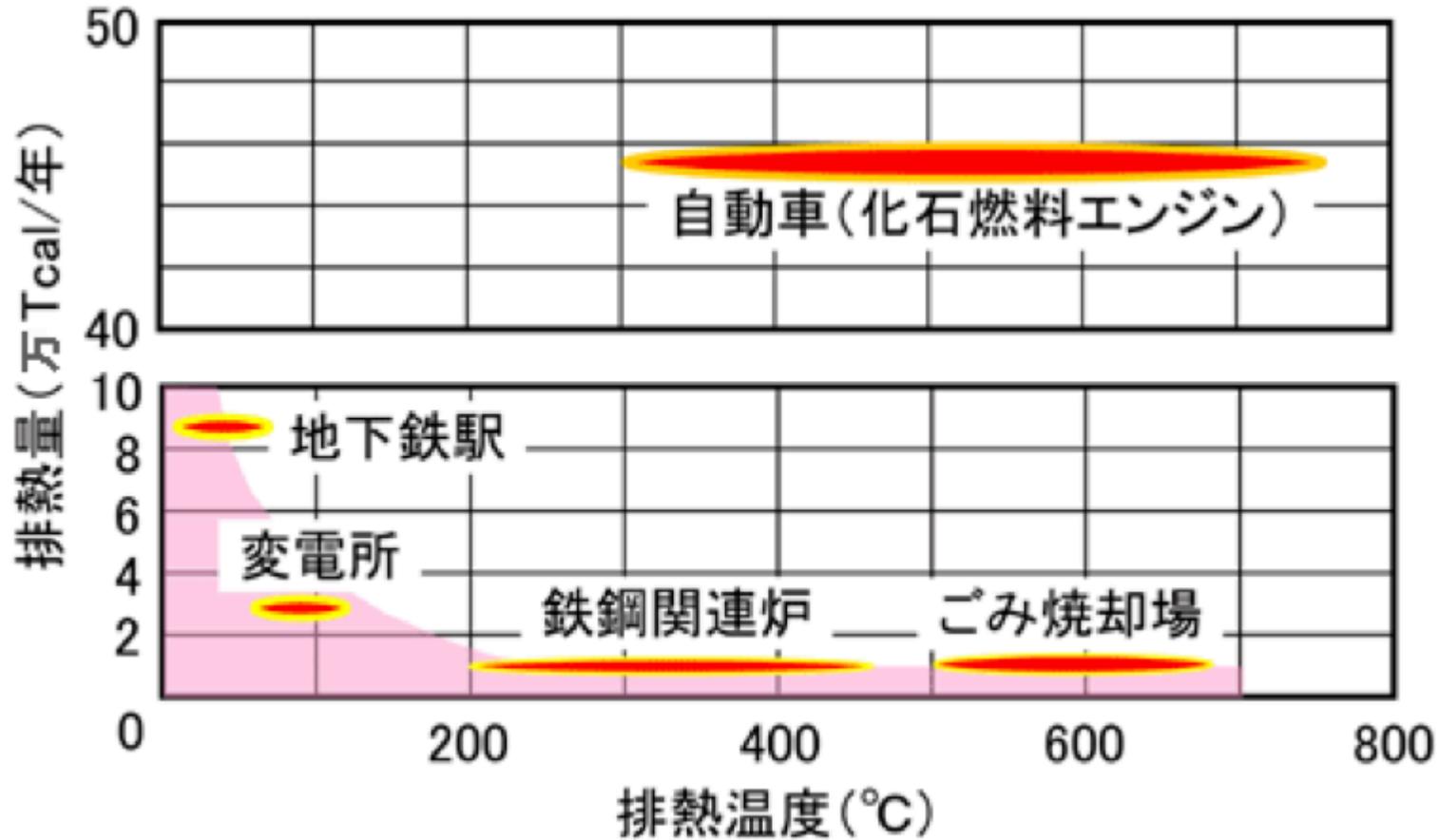
小原 春彦、山本 淳

# 我が国のエネルギーバランス (2009年) 単位 $10^{15}$ J



JST CRDS調査報告書「中低温熱利用の高度化に関する 技術調査報告書」より

# 排熱量と温度



出典:「排熱回収用高効率熱変換材料の研究開発動向」、  
科学技術政策研究所 科学技術動向研究センター

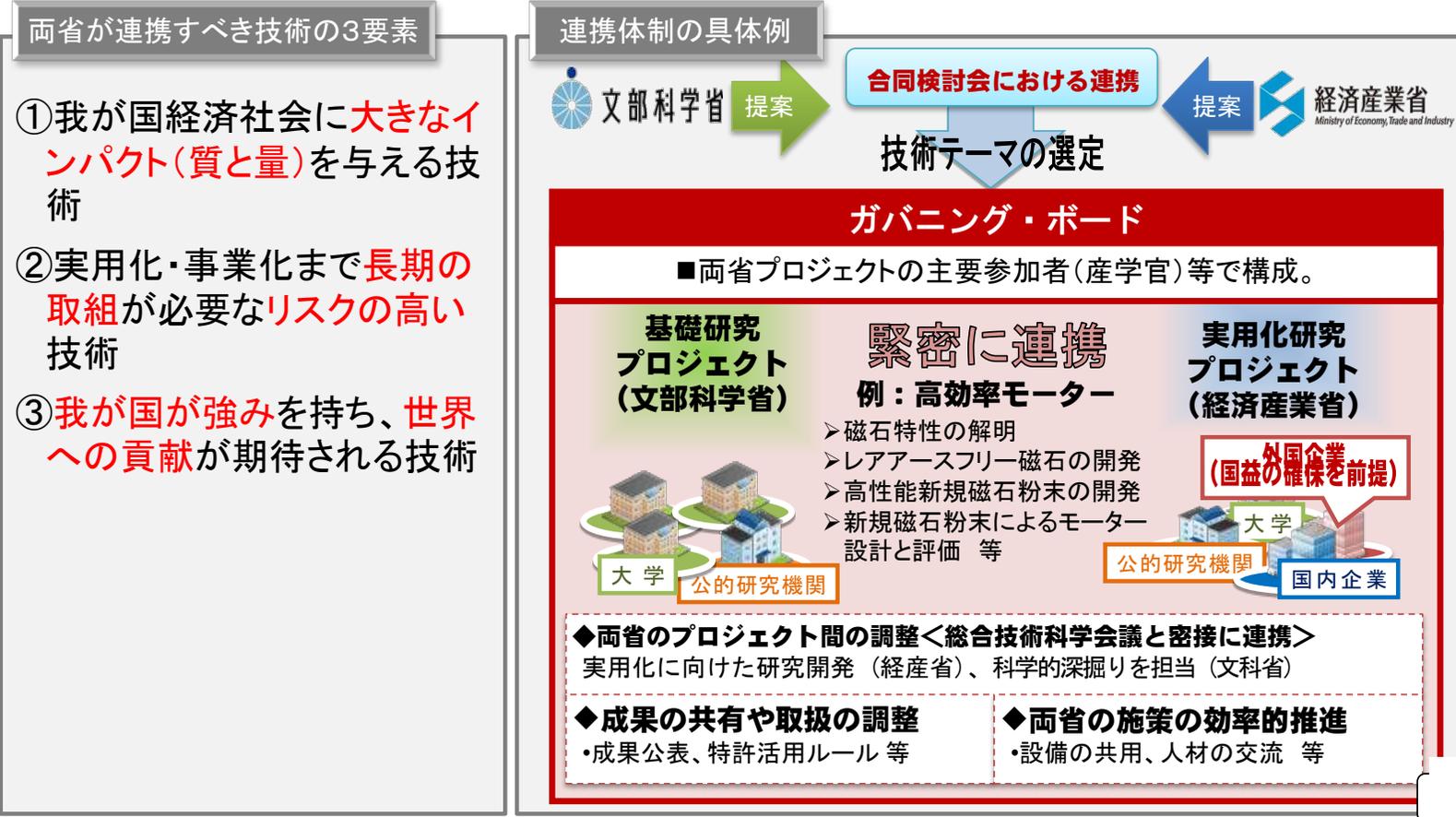
膨大な排熱によるエネルギー損失を抑制・改修して一次エネルギーの需要を抑制する技術革新が求められている

# 未来開拓研究

# 文部科学省と経済産業省の連携による研究開発の推進

## ■ 両省連携の取組について ～文部科学省・経済産業省合同検討会～

○2030年頃の実用化を目指して取り組むべき革新的技術を特定するとともに、特定された技術の研究開発推進における文部科学省・経済産業省の役割や両省連携の仕組み等について方向性を示すため、文部科学省研究開発局・経済産業省産業技術環境局の両局長の私的勉強会として開催。



# 平成25年度から開始する未来開拓研究のテーマ

## 経産省・文科省が連携する技術の三要素

我が国経済社会に大きな  
インパクトを与える

リスクが高く、実用化・  
事業化まで長期の  
取組が必要

我が国が強みを持ち、世  
界への貢献が期待される

### 1. 次世代蓄電池

電気自動車やスマートグリッドの本格的な普及を控え、二次電池のコスト低減、エネルギー密度向上には大きな期待。我が国が有する二次電池技術の強みを生かし、次世代蓄電池を開発する。

### 2. エネルギー貯蔵・輸送

再生可能エネルギーの時間・空間的な偏在を補完し、我が国において安価・安定な再生可能エネルギーの利用を可能とするため、水素等のエネルギー貯蔵・輸送に関する技術を開発する。

### 3. 未利用熱エネルギー

我々が有効に活用できていない熱エネルギーの利用を促進し、膨大なエネルギー損失を回収して一次エネルギーの需要を抑制するため、熱エネルギーを有効活用する革新的な要素技術やシステム技術を開発する。

### 4. 革新的構造材料

次世代の航空機や自動車等の競争力獲得のため、軽量化による燃費向上・高速化等が最重要課題。チタンや炭素繊維複合材料等の高性能材料や異種材料接合技術等を開発する。

# 未利用熱エネルギーの革新的活用 技術開発

## 未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発 15.5億円（新規）

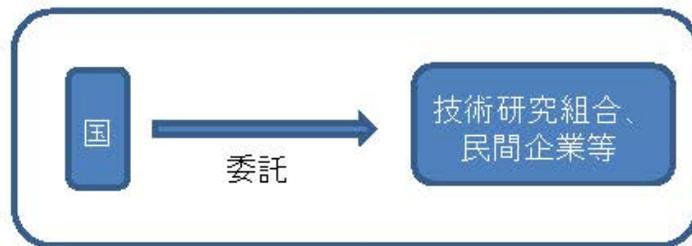
産業技術環境局 研究開発課  
製造産業局 ファインセラミックス・  
ナノテクノロジー・材料戦略室

### 事業の内容

#### 事業の概要・目的

- 一次エネルギーの約7割は有効活用出来ておらず、熱として損失しています。例えば産業部門における最終排熱量の見積もりは年間1兆kWh（84万Tcal）にも及び、膨大な量の未利用熱が再利用される事なく廃棄されています
- 本事業では、このような未利用熱を効果的に削減・回収して、必要な時に再利用する為の要素技術と、それらをシステム化した熱マネジメント技術を開発し、産業や運輸部門、さらに将来的には住宅などに応用することで、省エネ・省CO2社会の促進を目指します。

#### 条件（対象者、対象行為、補助率等）



### 事業イメージ

- 熱を貯める技術と逃さない技術の開発  
断熱性能寿命に優れた断熱材や、蓄熱密度の高い蓄熱材を開発します。
- 熱を電気に変換する技術の開発  
既存の熱電変換材料の高性能化と、新規熱電変換材料の探索および開発を行います。
- 温度エネルギーを作り出す技術  
大気や排熱を回収し、必要な温度の熱エネルギーに変換する革新的なヒートポンプ技術を開発します。
- 熱マネジメント技術の開発  
自動車や工場など、用途に合わせて上記要素技術のマッチングを図り、未利用熱を有効活用するシステムを開発します。

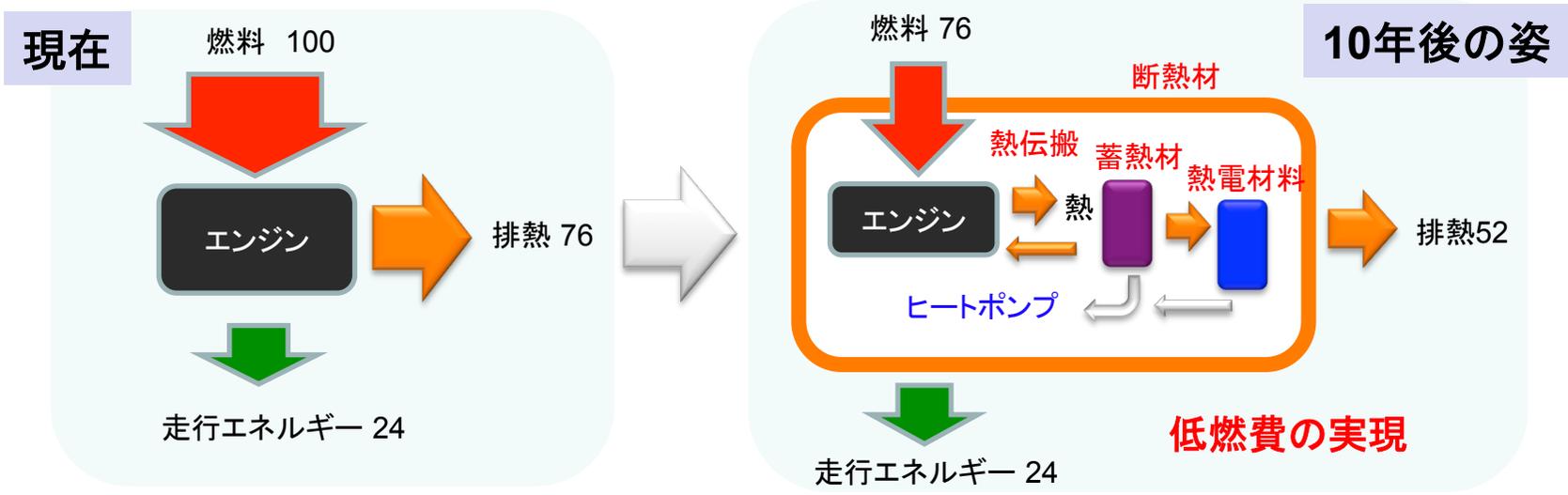


# 未利用熱の有効利用に向けて

- 下記技術開発がキーテクノロジー
  - 蓄熱 熱需要の時間的なズレに対応
  - 断熱・遮熱 熱を逃がさない
  - 熱電(気)変換 熱をより有効なエネルギーへ
  - ヒートポンプ 熱の質を高めて再利用

# HV自動車の熱マネジメント

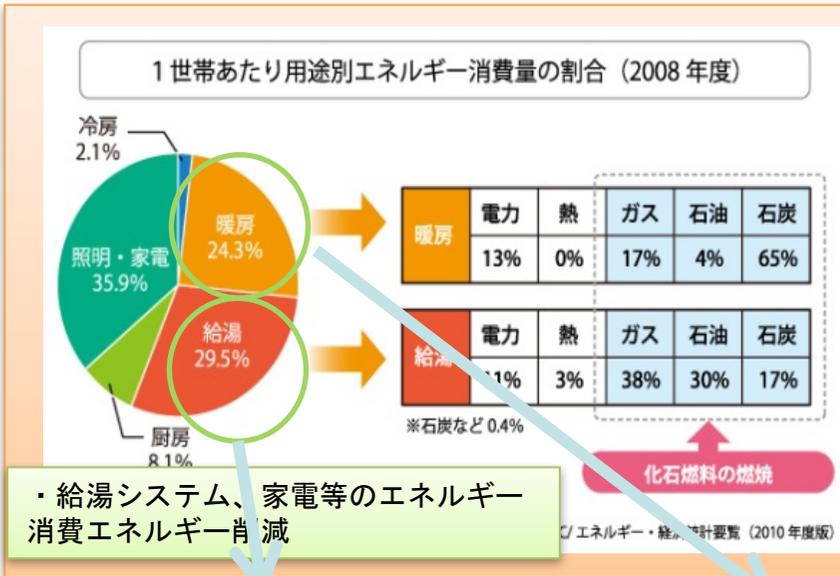
## 冬場の熱の課題\*



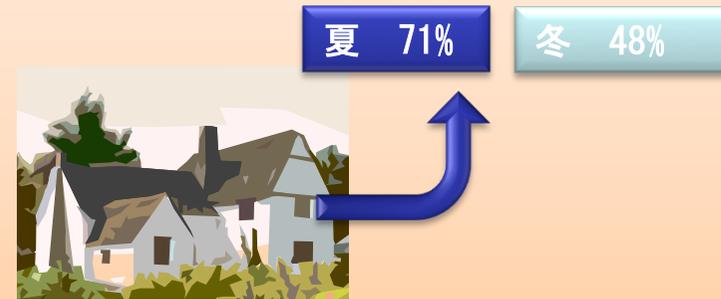
# 住宅分野での熱マネジメント

次世代自動車地域産学官フォーラム・技術開発セミナー

家庭でのエネルギー消費量は約3000億kWh—ほぼ同量が排熱

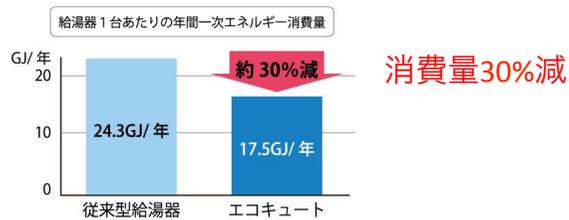


住宅からの熱損失 - 開口部から大きな熱損失

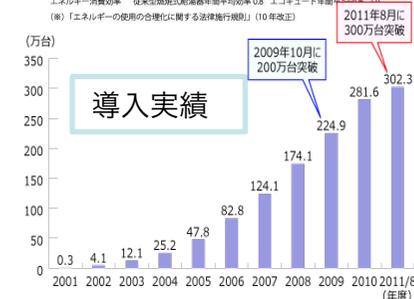
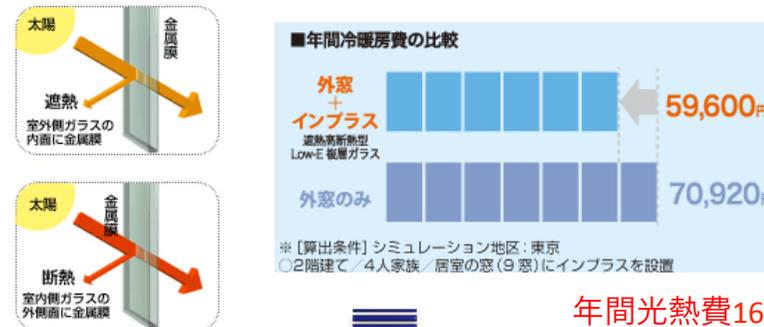


・ヒートポンプ、断熱材、調熱ガラス・熱交換器の導入が有効

ヒートポンプ利用によるエネルギー削減例



積層ガラス導入によるエネルギー削減例



普及率5%程度

高性能調熱部素材の開発 (熱の出入りを制御) ヒートポンプの高性能・小型化 (狭小住宅に対応)

高密度蓄熱材・高性能断熱材、及び関連部材開発

# 産業界（工場）での熱マネジメント

## 業種別熱利用温度レベル

産業界からの排熱量は約1兆kWh

	100℃以下	~150℃	~183℃	183℃以上
食料・たばこ産業	2.5	62.3	16.9	18.6
繊維工業	0.4	50.3	49.3	0
木材・木製品製造	1.1	9.3	6.6	83
パルプ紙加工業	0	85.9	4.1	0
化学工業	4.8	26.9	50	18.8
ゴム製品製造	0	26.3	53.4	20.4
革製品製造	0	100	0	0
窯業土石製造	0	85.6	14.4	0
全業種	1.1	55.8	24.3	17.6

これらの熱供給に適した熱源の最適配置が重要

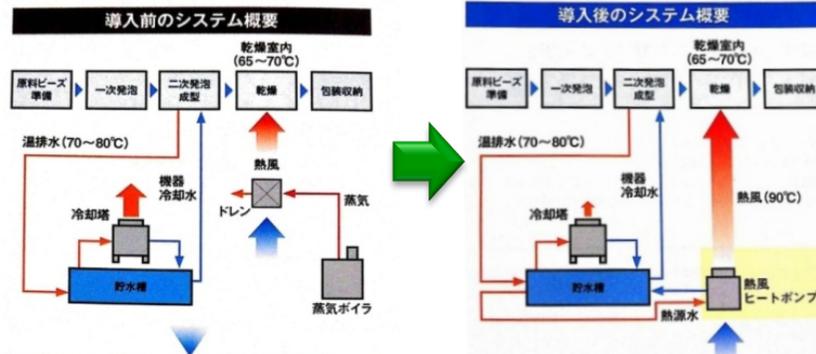
ヒートポンプ利用が最適であるが以下の課題を有する

- ・ 150℃以上をカバーするヒートポンプがない（ボイラー代替）  
**最適な冷媒・蓄熱材・関連部材開発**
- 高温域（~200℃）で使用可能なモーター、配管部材開発  
小型熱交換器開発
- ・ 単なるヒートポンプの導入ではなく、工場全体の熱フローから見たシステム設計が必須

## ヒートポンプ(90℃温風)適用例

## 現在

## 10年後の姿



ボイラー → ヒートポンプ  
一次エネルギー削減量48%

高温域（150℃以上）ヒートポンプ開発による適用範囲拡大

普及には個別工場に適用可能な柔軟な熱マネジメント技術が重要

例えば排熱を5%削減すると500億kWhの省エネルギーが可能(大型発電所7基の年間発電量)

# 未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合（通称：TherMAT）の概要

設立年月日：平成25年10月17日

組合員：トヨタ自動車(株)、アイシン精機(株)、カルソニックカンセイ(株)、(一財)金属系材料研究開発センター、(独)産業技術総合研究所、セントラル硝子(株)、東レ(株)、日本サーモスタット(株)、パナソニック(株)、日立アプライアンス(株)、(株)日立製作所、富士フイルム(株)、古河機械金属(株)、古河電気工業(株)、(株)前川製作所、マツダ(株)、三菱重工業(株)、三菱樹脂(株)、美濃窯業(株)、(株)安永  
(18企業 1独法 1一般法人)

事業の概要：未利用熱エネルギーの革新的活用技術の研究開発

## ○組合設立の目的

運輸等の分野において、利用されことなく環境中に排出されている膨大な量の熱エネルギーを削減・回収・利用する要素技術を革新し、システムとして確立することで省エネ・省CO<sub>2</sub>を促進し、それにより国際競争力の向上を行う。

## ○実用化の方向性

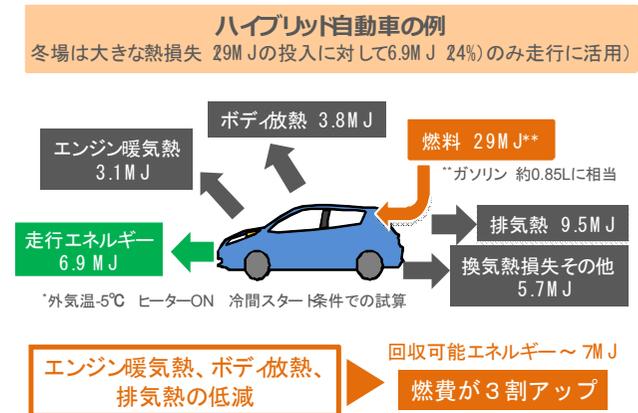
- ・熱使用量を削減する技術開発(断熱技術・遮熱技術など)
- ・未利用熱を利用する技術開発(蓄熱技術・HP技術など)
- ・熱を変換利用する技術開発(熱電変換・排熱発電技術など)
- ・上記各要素技術をシステム化・融合していく熱マネジメント技術開発を行い、自動車等への搭載を目指していく。

## ○事業化の目途の時期

開発した各要素技術は、自動車等の運輸分野を中心に、事業終了後すみやかに製品化・実用化を進める。

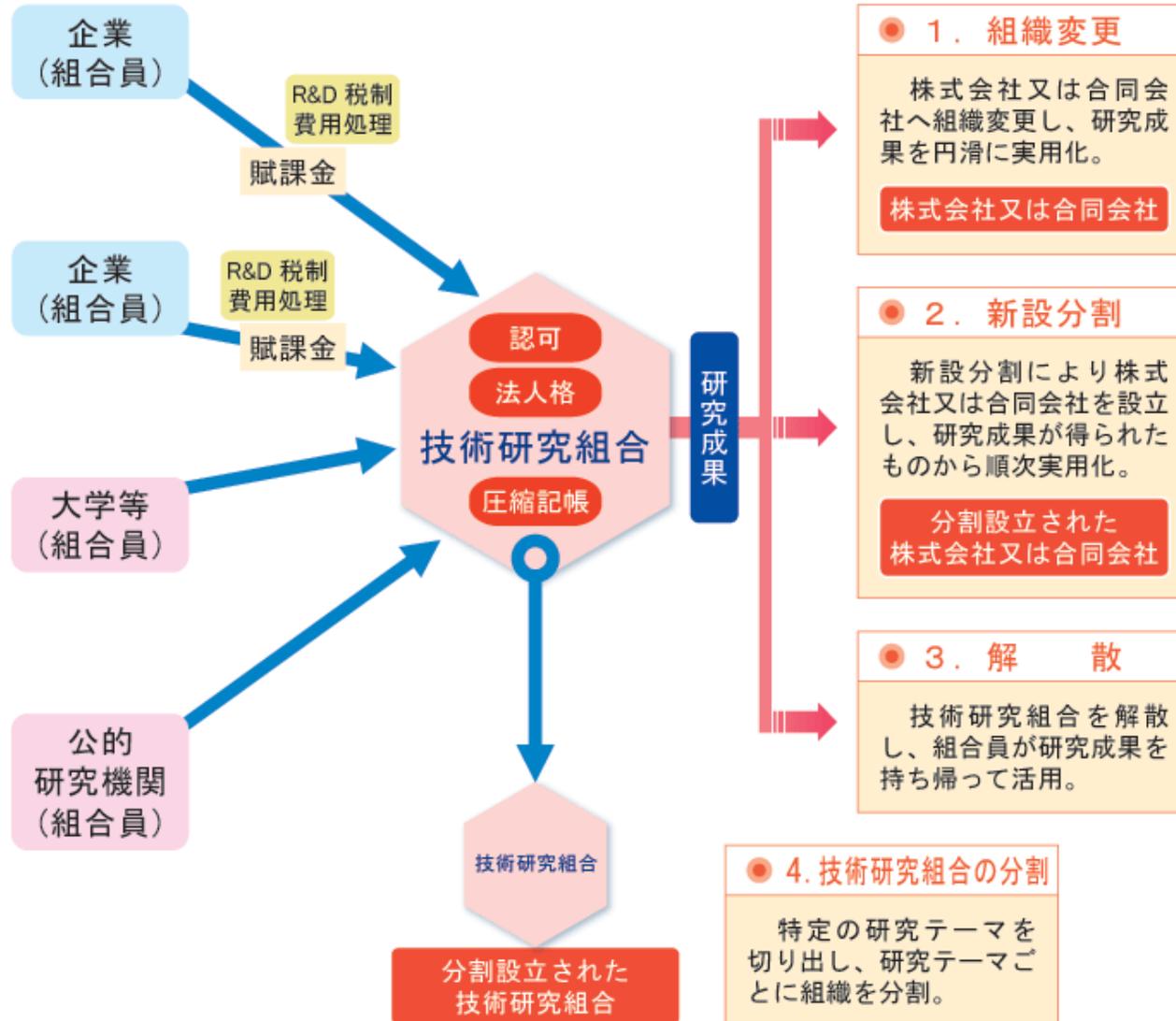


研究開発の対象となる要素技術の例



# 技術研究組合

## 技術研究組合制度の概要



- 技術研究組合は、産業活動において利用される技術に関して、組合員が自らのために共同研究を行う相互扶助組織(非営利共益法人)です。各組合員は、研究者、研究費、設備等を出しあって共同研究を行い、その成果を共同で管理し、組合員相互で活用します。
- 平成21年の改正により、研究開発終了後に会社化して研究成果の円滑な事業化が可能になるなど、従来よりも使いやすい制度になりました。今後は、大企業、中小ベンチャー企業、大学・公的研究機関等により幅広く活用されることが期待されます。

# 未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合



## 民生

空調の高効率化  
熱需要変動の平均化



## 自動車

暖気エネルギー低減  
空調の高効率化  
エンジン排熱等による発電



## 産業

高温炉の高効率化  
ボイラー排熱の低減  
局所排熱による発電

### 遮熱技術

ビル・車内空調の高効率化

- 革新的次世代遮熱材料の開発
- 透明性(明るさ)と遮熱性の両立

東レ(株)

### 蓄熱技術

排熱を熱エネルギーとして再利用

- 温度ステージの拡大(低温～高温)
- 表面修飾による高密度化

パナソニック(株)

トヨタ自動車(株)  
三菱樹脂(株)

### 断熱技術

排熱エネルギーの削減

- 気孔率・サイズ・形状を制御
- 高強度化かつ低熱伝導化

美濃窯業(株)

### 排熱発電技術

排熱を電気エネルギーとして回収

- 小型高効率ランキンサイクルの開発
- 余剰蒸気利用発電技術の開発

パナソニック(株)

### 熱電変換技術

排熱を電気エネルギーとして回収

- 高効率熱電材料・モジュール開発

古河機械金属(株)

古河電気工業(株)

(株)日立製作所

日本サーモカット(株)

富士フイルム(株)

安永(株)

### ヒートポンプ技術

排熱エネルギーの有効活用

- 高熱・冷熱生成用新冷媒の開発

(株)日立製作所  
日立アプライアンス(株)

(株)前川製作所  
三菱重工業(株)  
セトテック硝子(株)

## 連携

### 熱マネジメント技術

車両における熱エネルギー効率の向上

- 車載用熱マネジメント部素材・システム開発

トヨタ自動車(株)

マツダ(株)

アイシン精機(株)

カリフニカカンセイ(株)

### 調査・基盤技術

- 熱関連調査研究・物性DB作成・評価技術開発

未利用熱エネルギー活用技術開発センター  
(産総研・JRCM)

## 連携

早稲田大・東京工業大・名古屋大・東北大・岡山大・大阪大・東京大・山口東京理科大・東京理科大・物質材料研究機構・広島大・九州大・佐賀大・八戸工業大・宇都宮大・建築研究所

# プロジェクト目標値

【最終目標(H34年度末)】

## ① 蓄熱技術

- ・120°C以下で、蓄熱密度1MJ/kgを有する化学反応、固液相変化等を利用した蓄熱材料の開発
- ・-20°C～25°C環境下で24h以上の保持期間を実現する蓄熱材の開発
- ・蓄熱材の占有体積が9割以上であり、蓄熱材単体の50倍以上の熱伝導率を有する複合蓄熱体の開発

## 遮熱技術

- ・理論限界近傍の可視光線透過率70%以上、日射熱取得率40%以下(可視光線反射率12%以下、カット波長850～1800nm)の遮熱フィルムの開発

## 断熱技術

- ・1500°C以上で使用可能な工業グレードのファイバーレス断熱材で圧縮強度20MPa以上、かつ熱伝導率0.20W/m・K以下を有する断熱材料の開発
- ・上記開発材料等を産業・工業炉に適用し、50%以上の排熱削減を実証

# プロジェクト目標値（続き）

## 熱電変換技術

- ・性能指数 $ZT=2$ を有する有機材料の開発および当該材料を用いたモジュールの開発
- ・性能指数 $ZT=4$ を有する無機材料の開発および当該材料を用いたモジュールの開発

## 排熱発電技術

- ・ $200^{\circ}\text{C}$ 以下の中低温排熱に対応した、発電効率 $14\%$ (従来比 $2$ 倍)を有する出力 $10\text{kW}$ クラス小型排熱発電装置の開発
- ・ $200^{\circ}\text{C}$ 以下の中低温排熱に対応した、従来の大型機( $500\text{kW}$ クラス)と同等性能を有する $50\text{kW}$ クラス排熱発電装置の開発
- ・工場等にて、開発した排熱発電装置を利用した未利用熱削減効果の実証

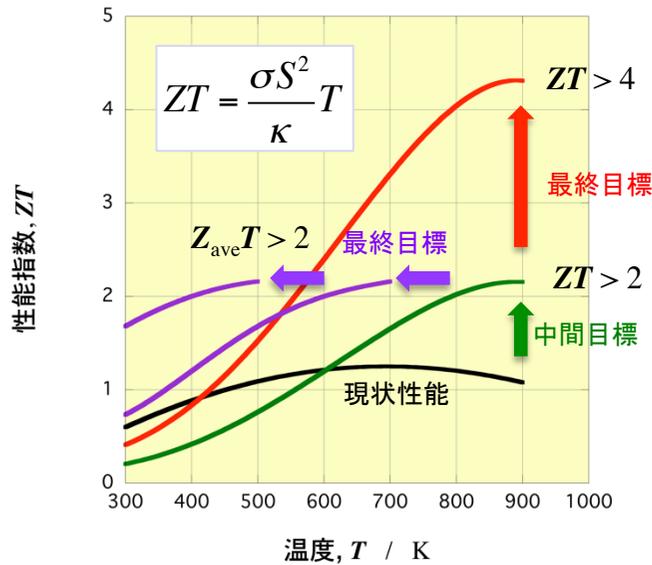
## ヒートポンプ技術

- ・ $200^{\circ}\text{C}$ までの供給温度範囲に対応し、 $100\rightarrow 200^{\circ}\text{C}$ 加熱で $\text{COP}:3.5$ 以上を達成するヒートポンプシステムの開発
- ・ $60^{\circ}\text{C}$ 以下の熱源で、供給温度 $-10^{\circ}\text{C}$ までの幅広い温度範囲に適合するヒートポンプシステムの開発



熱電変換効率の向上

アプローチ



1.5倍~2倍を目標

$$ZT = \frac{\sigma S^2}{K} T$$

2/3~1/2を目標  
温度依存性のフラット化を目標

材料の性能指数

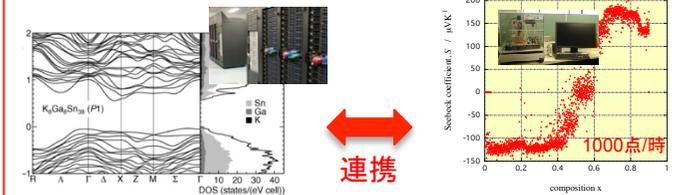
$$ZT = \frac{\sigma S^2}{K} T$$

①電気的性能の向上 (出力因子の向上)

②断熱性能の向上 (熱伝導率の低減)

出力因子の向上

- 出力因子の予測には第一原理計算等の計算科学技術の適用が可能
- 複雑組成化合物の出力因子のスクリーニングにはコンビナトリアル材料科学の手法を適用可能
- スピード重視の戦略的探索法の開発



第一原理計算による電子構造の計算

革新的高速コンビナトリアルスクリーニング技術の適用

出力因子を大幅に向上できる材料系の探索・実証研究

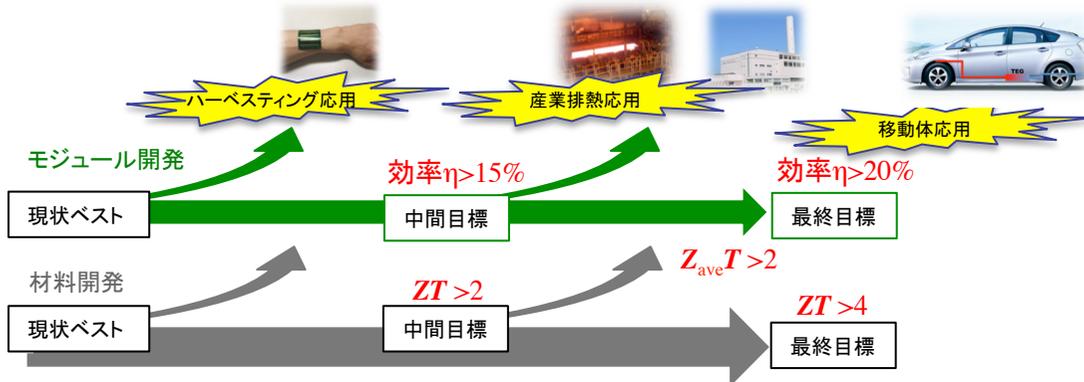
熱電発電の経済性を向上させるためには、

- モジュールコスト低減 (量産の技術革新)
- 変換効率の向上 (材料の性能指数の向上)

の双方が必要。エネルギー技術としては変換効率は重要

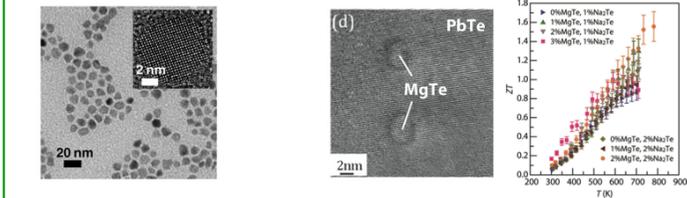
- 中間目標  $ZT > 2$
- 最終目標  $ZT > 4$

※ただし、実用的には  $ZT > 2$  の温度範囲や材料安定性を広げる努力が同じ程度重要。



熱伝導率の低減

- 結晶性材料の中にナノ構造を作り出す技術により、熱伝導率低減を実現
- これまで有効性が確認されたナノ構造形成技術を、様々な材料系に適用



自己組織化現象によるナノ結晶

鉛テルル系材料における性能向上確認

熱伝導率を大幅に低減できるナノ構造の設計、実証研究

熱電変換効率の向上

モジュール試作・評価技術研究開発

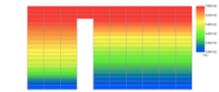
戦略的材料探索研究シーズ



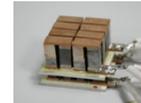
熱電特性高速スクリーニング技術

高速試料合成技術

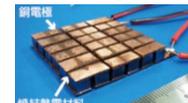
産総研が保有するシーズ技術(試作・評価技術群)



モジュール設計専用コード



高効率モジュール



高信頼モジュール



高精度モジュール評価



想定実施企業

材料開発

材料開発課題

- 性能指数向上
- 計算支援設計
- 高速合成/評価
- 材料探索手法開発
- 希少金属代替
- 知財戦略

想定実施企業

モジュール開発

実用化に向けた課題への対応

- 長寿命化による経済性の改善
- 信頼性向上技術開発
- 標準的計測方法の策定
- 国際標準化、認証への準備作業



モジュール開発

現状ベスト

効率 $\eta > 15\%$

中間目標

効率 $\eta > 20\%$

最終目標

材料開発

現状ベスト

$ZT > 2$

中間目標

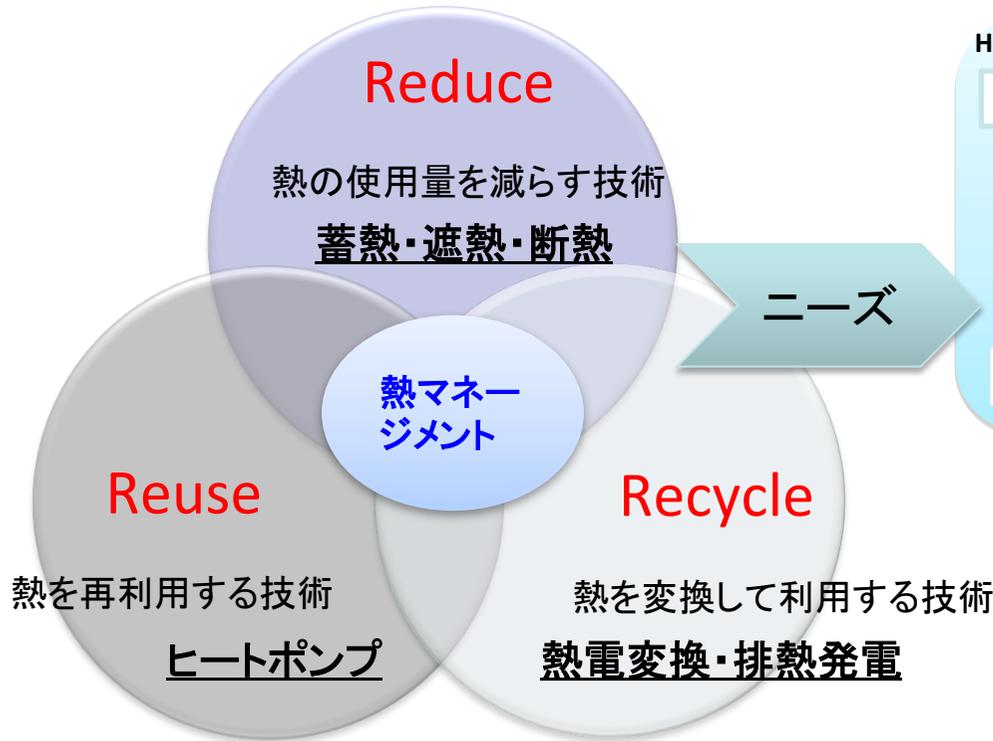
$Z_{ave}T > 2$

$ZT > 4$

最終目標

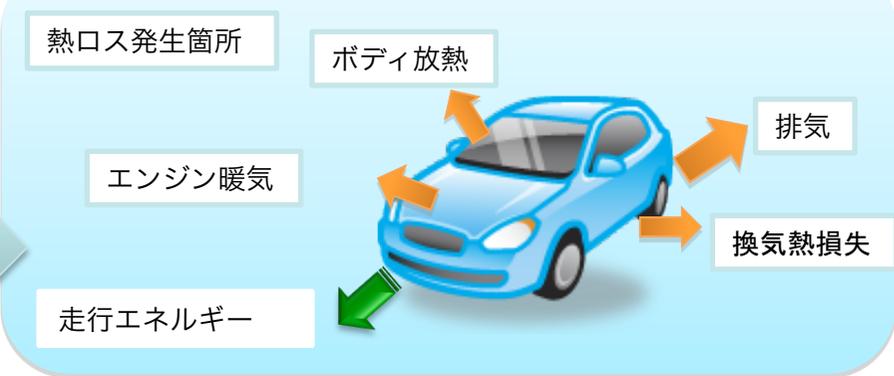
# 未利用熱エネルギー革新的活用技術研究開発のコンセプト

## 熱の3R



## 運輸分野(次世代自動車の例)

### HV自動車の冬場の熱の課題



### 民生分野



### 産業分野



- ニーズプル型の研究開発(運輸・産業・民生分野)→明確な実用化シナリオ
  - 大きなリスク課題(高いスペック部素材)へのチャレンジ→10年を見据えた研究開発
  - 垂直連携による研究開発、異業種企業からなる組合→迅速な事業化、シナジー効果
- 日本が強みを持つエネルギー効率の高い素材、製品へ