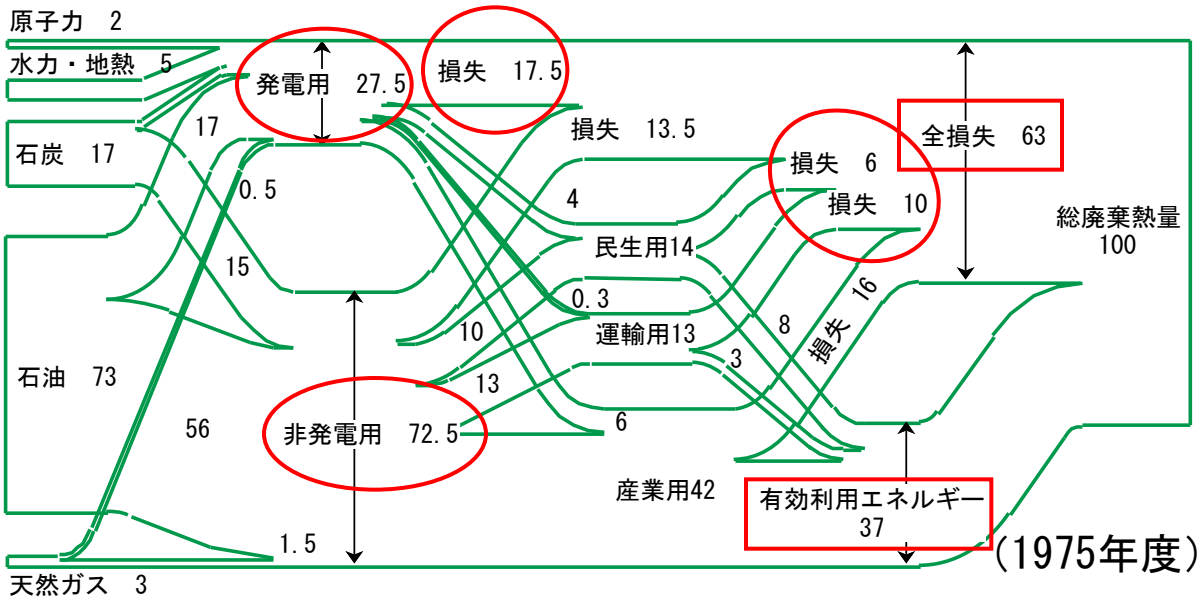
最新の車載用熱利用技術の動向

名古屋大学
大学院工学研究科
（兼任）グリーンモビリティ連携研究センタ

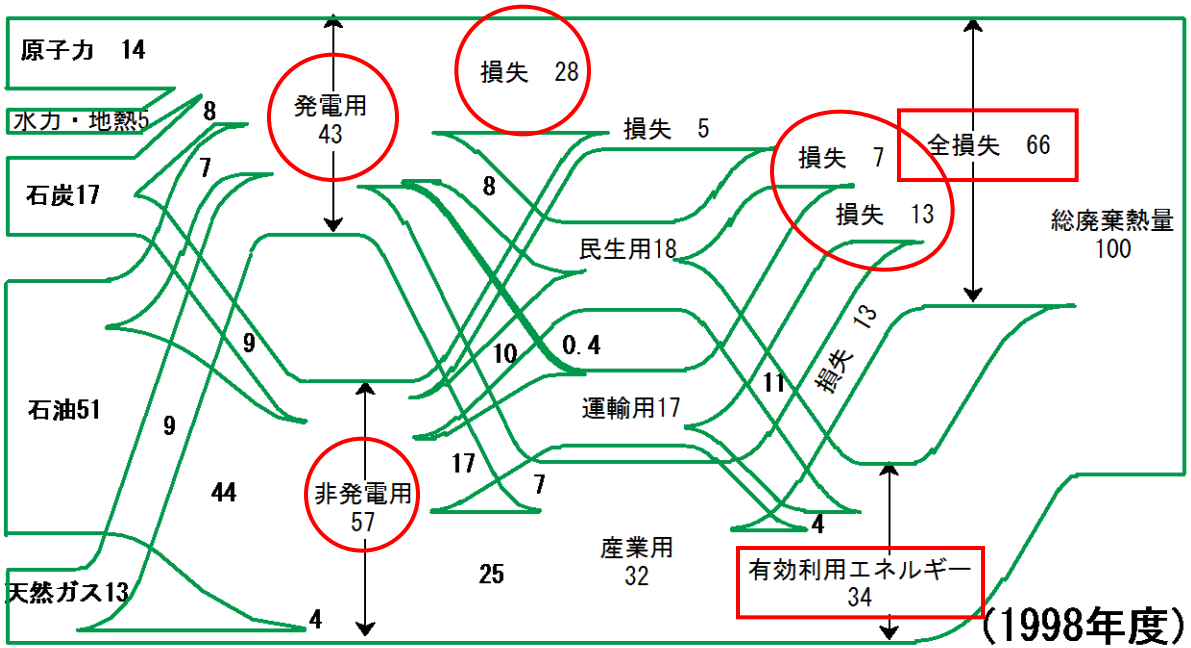
小林敬幸

エネルギーの最終的収支

（かなり古いですが…）



（1975年度）



（1998年度）

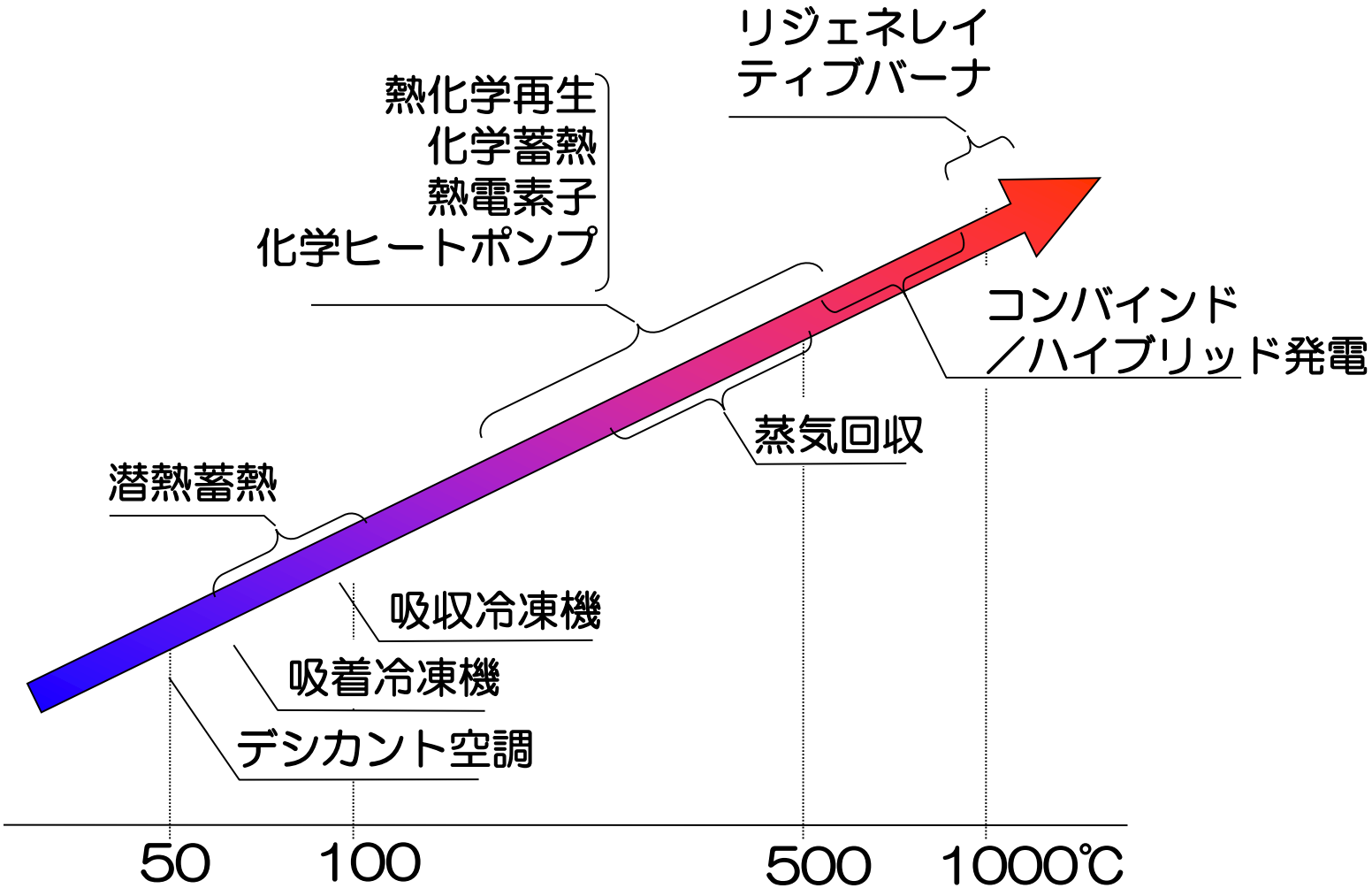
エネルギーの利用率

（1975年度）37%

↓

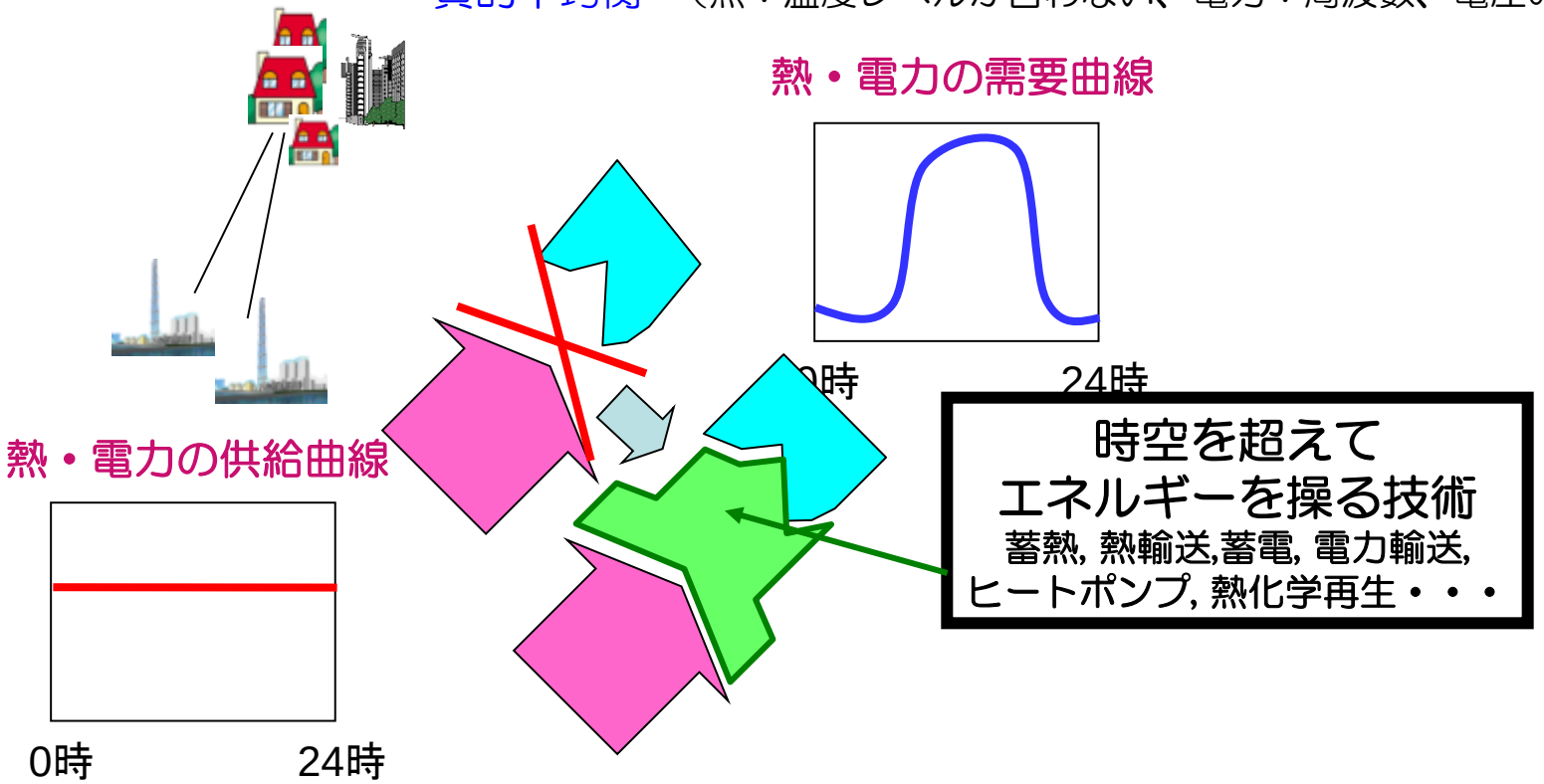
（1998年度）34%

排熱温度と対応技術分野



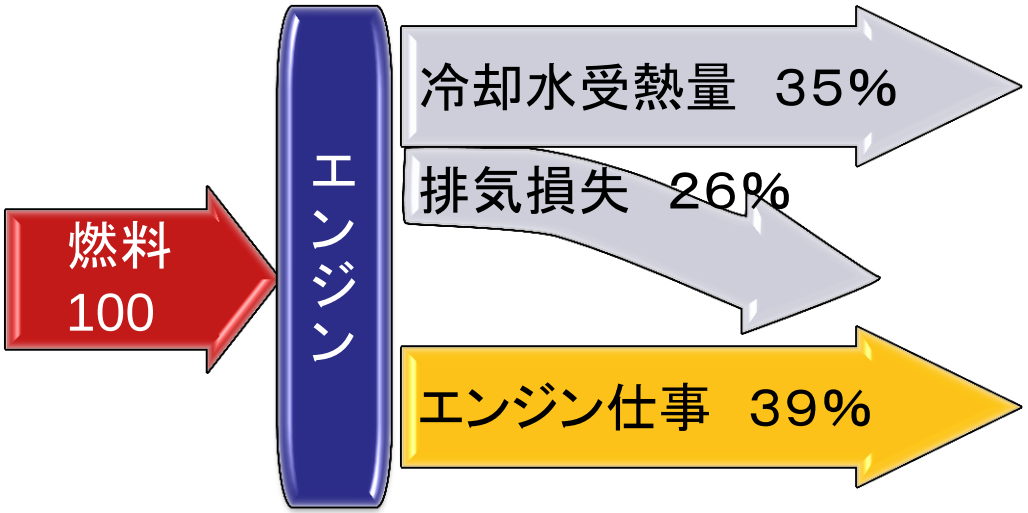
エネルギーの需要と供給に存在する課題点

- 量的不均衡　（供給量と需要量が釣り合わない）
- 地理的不均衡　（供給地と需要地が離れている）
- 時間的不均衡　（需要と供給の時間変動が合致しない）
- 質的不均衡　（熱：温度レベルが合わない、電力：周波数、電圧の不安定性）

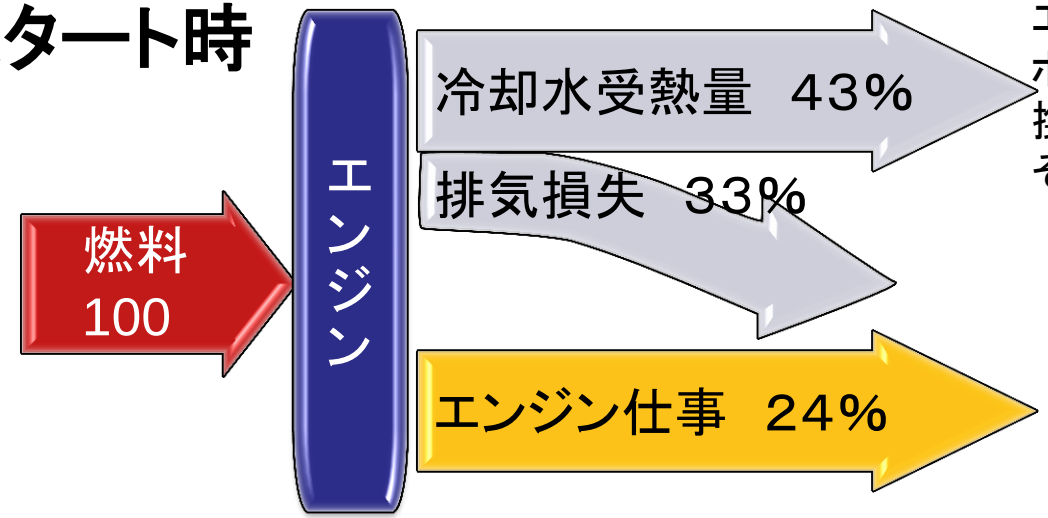


自動車のエネルギーフロー

暖気完了後

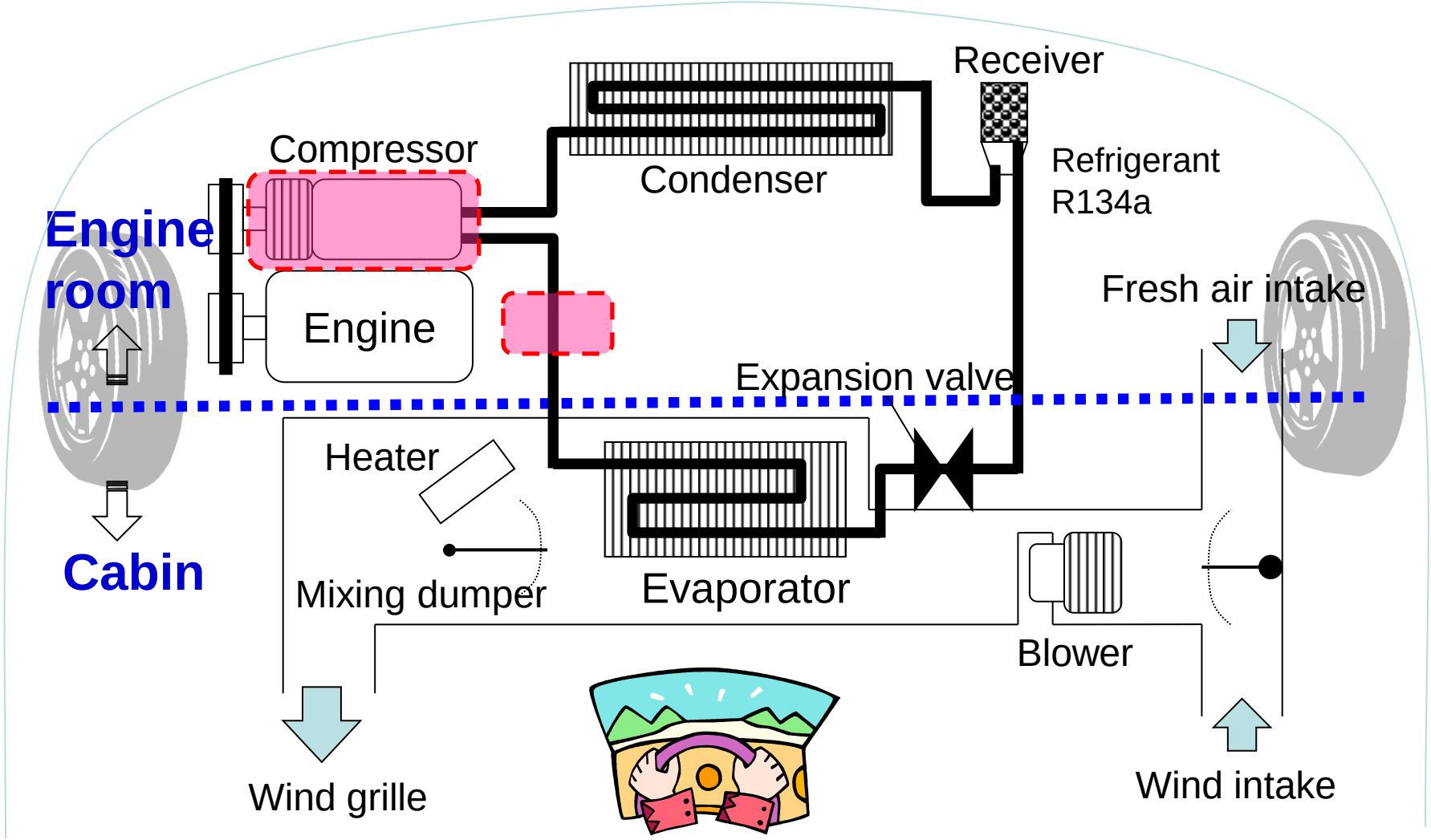


冬期コールドスタート時

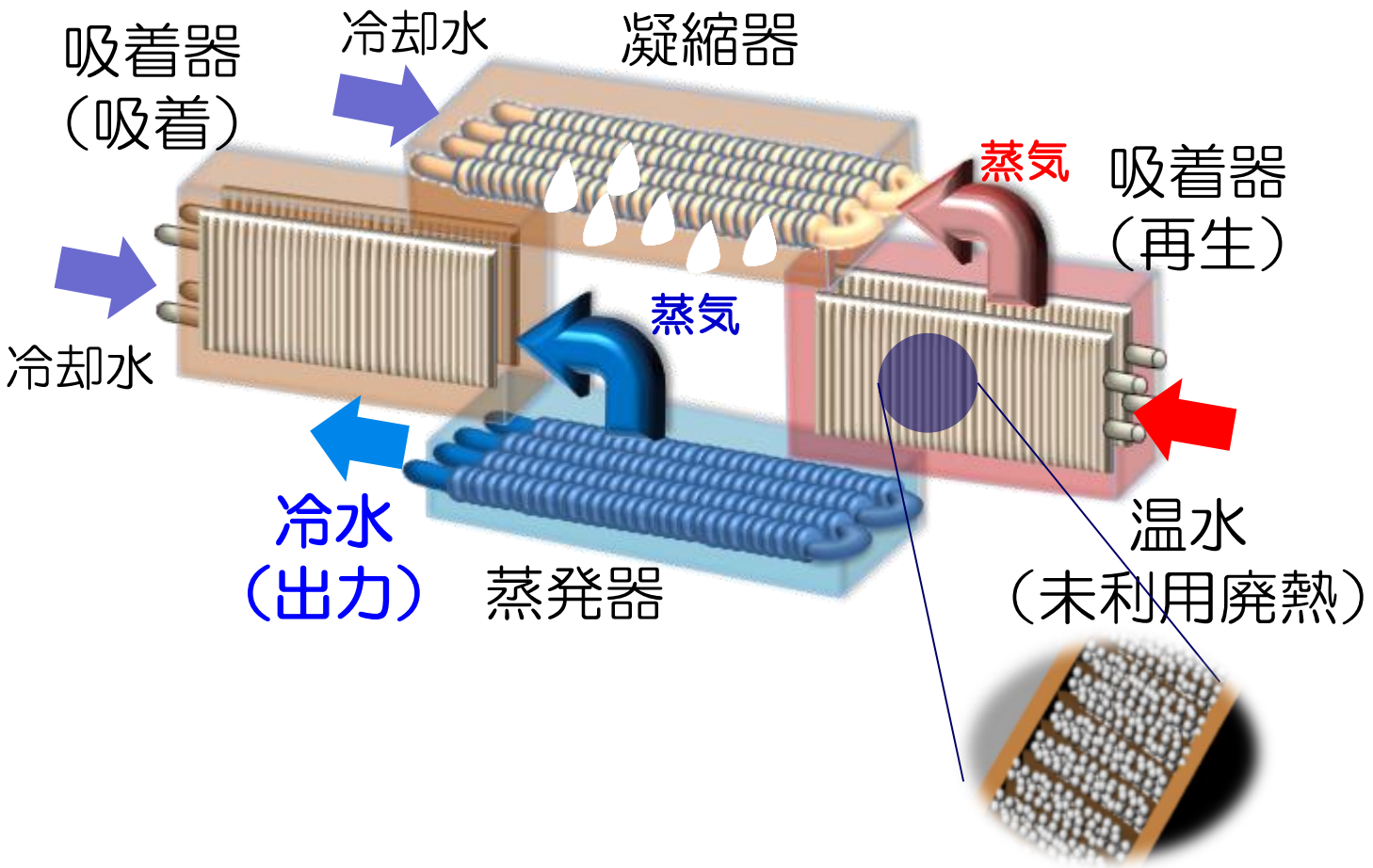


エンジン暖気11%
ボディー放熱13%
換気損失11%
その他9%

吸着コンプレッサー


Receiver
Compressor
Condenser
Refrigerant
R134a
Engine
room
Engine
Fresh air intake
Expansion valve
Heater
Cabin
Mixing dumper
Evaporator
Blower
Wind grille
Wind intake

吸着式冷凍機内の現象



4. 小型吸着式ヒートポンプの実際

（吸着器の高性能化）

●吸着器の選定・・・吸着材、使用熱交換器、吸着材保持方法
冷媒・・・水（潜熱の大きさ、安全性）

吸着材　FAMZ-02

熱交換器

タイプ：**コルゲートフィンチューブ型**

必要面積：4.6m^2
（拡散性を考慮して片側4器使用）

保持方法

フィン表面への**塗布**

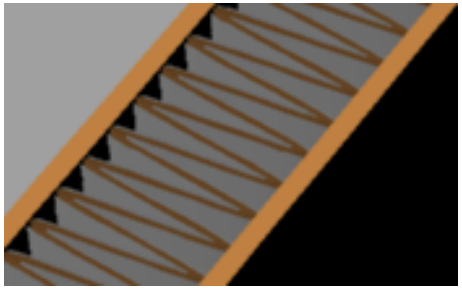


Fig.塗布概略図

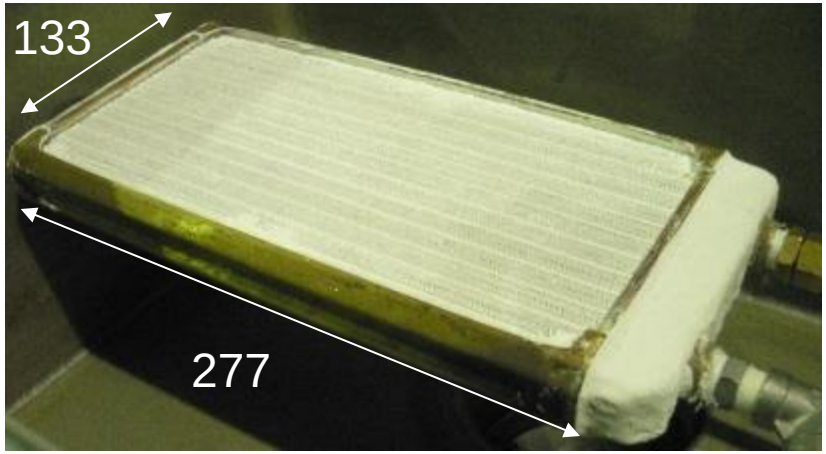


Fig.使用吸着器

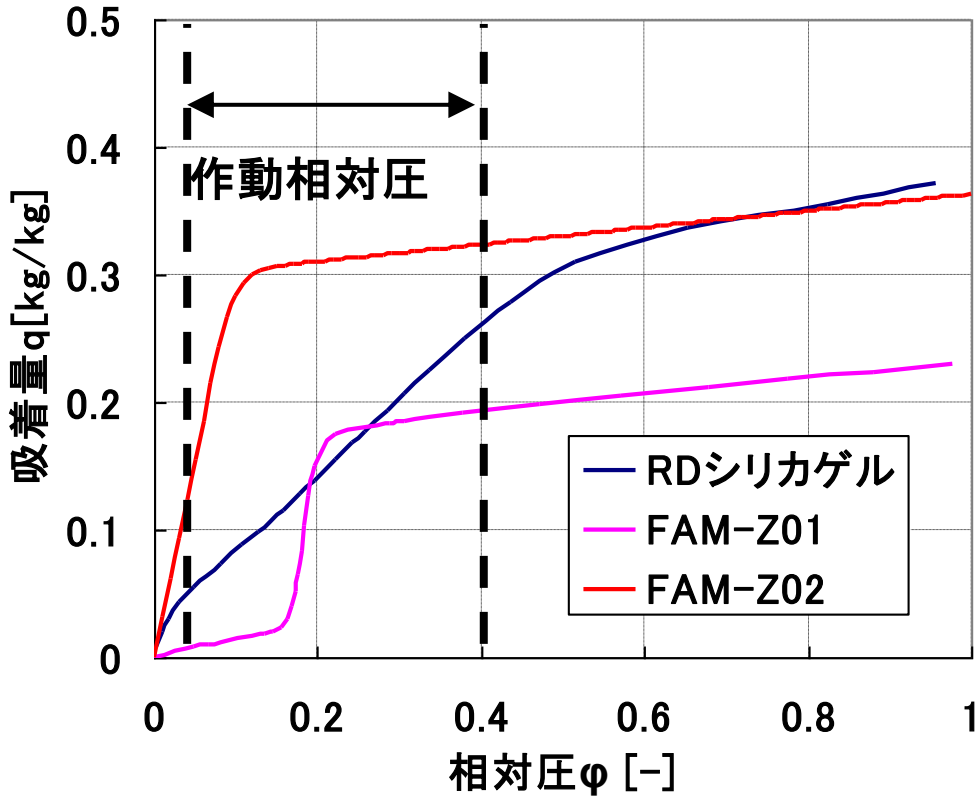
Table　吸着器の主な仕様（1器あたり）

熱交換器		吸着材	
伝熱面積[m^2]	1.5	吸着材重量[g]	215
占有体積[L]	1.1	平均膜厚[μ m]	200

計（片側4器）→　伝熱面積：6m^2
占有体積：4.4L
吸着材重量：860g

選定した吸着器の妥当性を実験的に評価する必要がある

4. 小型吸着式ヒートポンプの実際
（吸着剤の選定）



作動相対圧算出式

$$\phi_1 = \frac{P_{TM}}{P_{TH}}$$

$$\phi_2 = \frac{P_{TL}}{P_{TM}}$$

Fig.水蒸気吸着等温線

Table　吸着材の平衡吸着量差Δq [kg/kg]

TM	RDシリカゲル	FAM-Z01	FAM-Z02
30	**0.20**	**0.18**	**0.28**
35	**0.14**	**0.16**	0.25
40	**0.08**	**0.15**	0.22

小型吸着式ヒートポンプの実際
（試作器構成）

●試作器全体の設計

リードバルブの導入

- □大幅な**体積削減**
- □蒸気流路**抵抗の低減**
- □圧力差による**自動開閉**

特徴

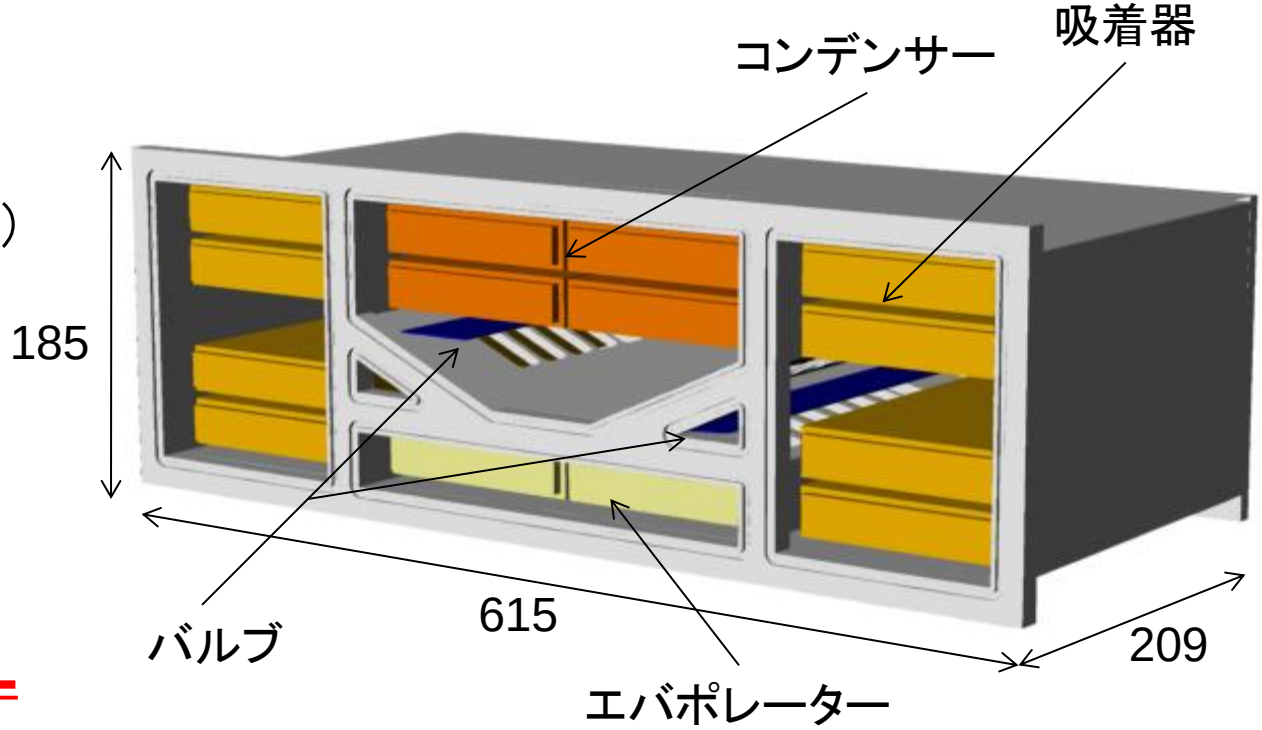
- ■**塗布**型吸着器
- ■**リードバルブ**の導入
- ■隔壁の**傾斜構造**

伝熱面積

吸着器：6.0m^2（片側）
蒸発器：3.0m^2
凝縮器：6.0m^2

体積

内容積・・・31.2L
実体積・・・39.9L



ドイツのベンチャー製品

SorTech's adsorption chillers are available in combination with tailored recoolers as efficient subsystems with two different cooling capacities:
ACS 08/RC08 – 7.5 kW nominal cooling capacity
ACS 15/RCS 15 – 15 kW nominal cooling capacity
The main Advantages and distinctive features of those small adsorption chillers are:
Compact, high performing chiller - easy handling and installation, minor space requirements,
Low minimum driving temperatures - good performance starting at 60° but robust up to 95°,
Robust - long durability and low maintenance requirements (almost no moving parts),

吸着式ヒートポンプの出力向上と設計（1）

装置体積のコンパクト化

- 伝熱性能の優れた熱交換器
- 吸着速度の大きな吸着剤
- 単位体積当たり吸着量の高い吸着剤
- 蒸気バルブの小型化

COP（成績係数）の向上

- 熱交換器の熱容量
- 吸着剤の熱容量
- 熱交換流体の熱量回収
- 残存蒸気の熱量回収
- サイクル時間

吸着式ヒートポンプの出力向上と設計（2）

冷熱出力 Q_{Cold}[kW]=(⊿H)・(⊿q)・(W)・(θ)$^{-1}$

- 蒸発潜熱⊿Hの大きな作動冷媒の利用
- 吸着材の吸着容量⊿qの増大
- 限られたスペースに保持する吸着材量Wの増加
- 吸着時間θの短縮（吸着速度⊿q／θの向上）

⊿H :水の蒸発潜熱[kJ/kg-water],
⊿q :吸着量[kg-water/kg-adsorbent]
W:吸着材重量[kg-adsorbent], θ:吸着時間[sec]

吸着式ヒートポンプの出力向上と設計(3)

吸着速度を決める要因

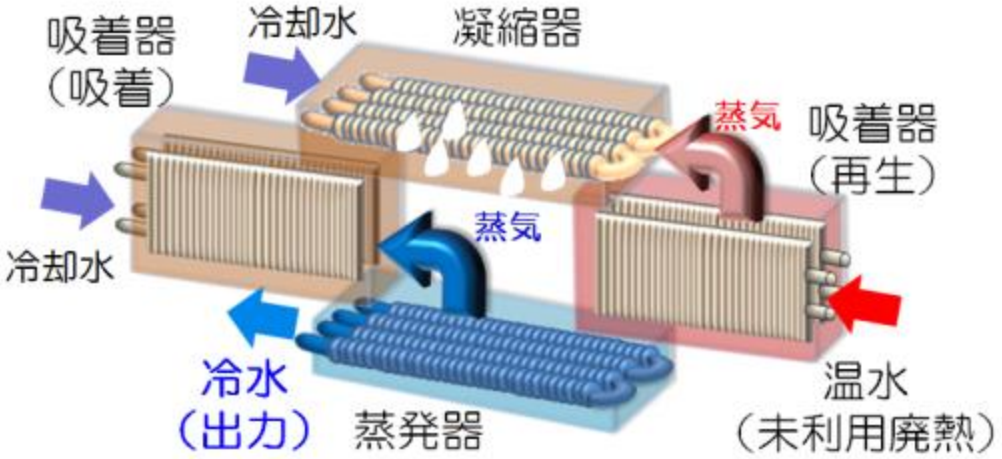
・吸着層内の**伝熱**
・吸着層内の蒸気の**拡散性**
・吸着材自身の**吸着速度**

主なパラメータ

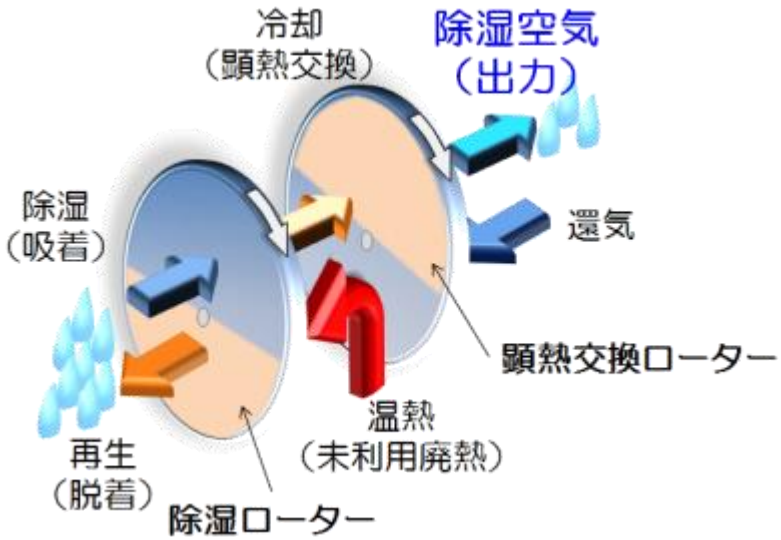
粒子径　・・・　拡散係数，熱伝導度，充填量，吸着速度
吸着材　・・・　吸着容量，吸着速度
空隙率　・・・　拡散係数，熱伝導度
熱交換器の設計　・・・　熱容量，形状，フィンピッチ

６０℃以下の熱で動く冷凍機
（温熱から冷熱への転換）

吸着式冷凍機



デシカント空調機



化学蓄熱・昇温の特徴

✓作動媒体と反応材の組み合わせが多い

⇒ 広い温度域で作動可能

✓化学反応により熱を生成

⇒ エネルギー密度が大きい

✓蓄熱操作が可能である

⇒ 時間のミスマッチを解消

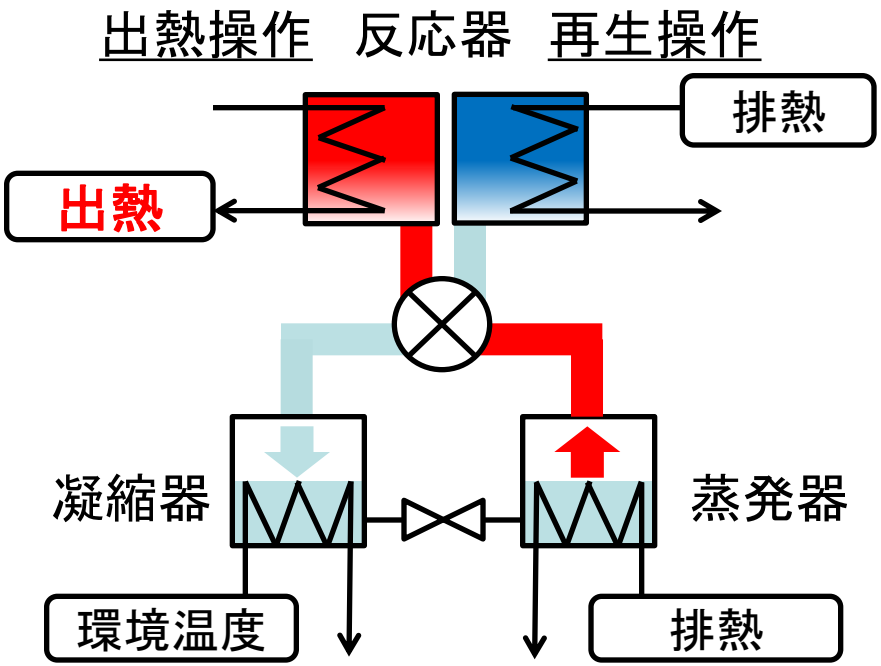


Fig. ケミカルヒートポンプの昇温操作 概略図

□ 昇温操作とは

1. 蒸発器から冷媒が移動し、反応熱が熱交換され高温で出熱 (出熱操作)
2. 熱源を切り替え、環境温度にて、凝縮させる (再生操作)
3. (温度レベル)出熱＞排熱 → 熱の質を向上

排熱の質と時間のミスマッチを改善する排熱有効利用技術

化学蓄熱・昇温の概念

◻ $CaBr_2/H_2O$ chemical heat pump

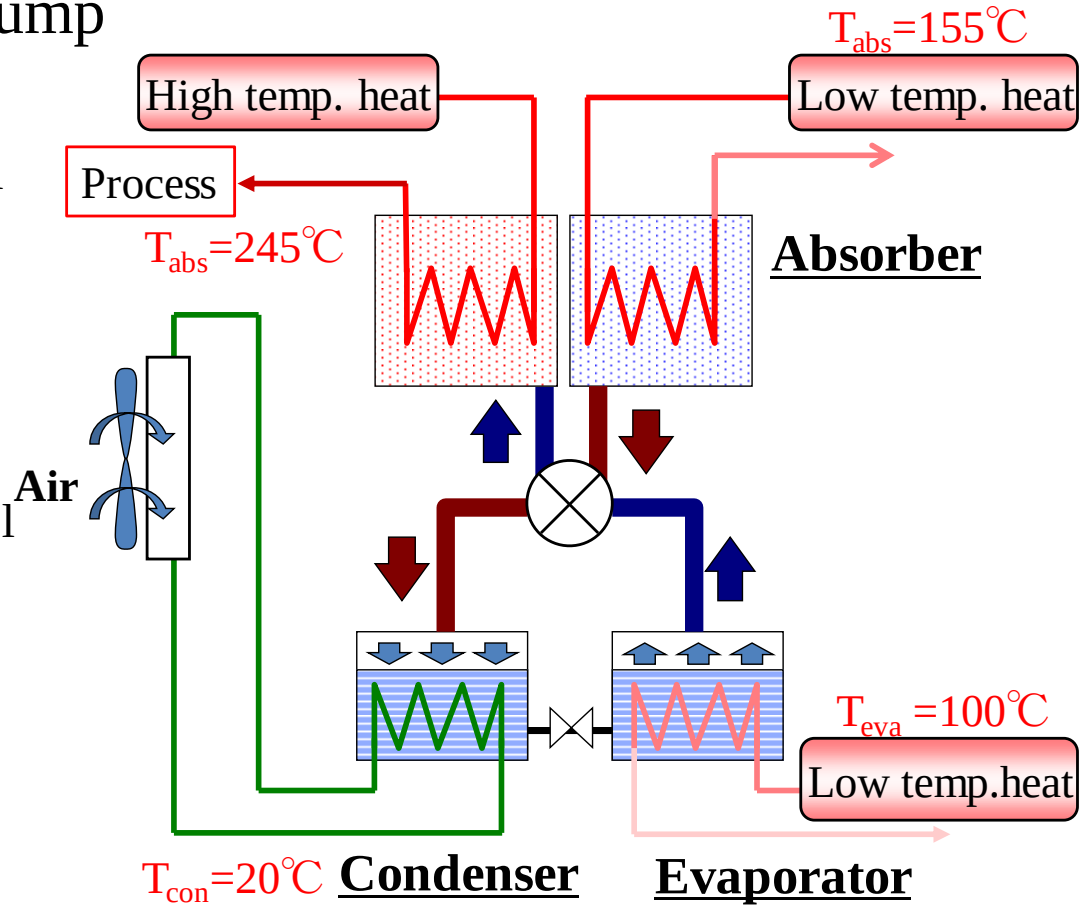
蓄熱過程

$CaBr_2 \cdot H_2O \rightarrow CaBr_2 + H_2O - 75.1 kJ/mol$

repeating

放熱過程

$CaBr_2 + H_2O \rightarrow CaBr_2 \cdot H_2O + 75.1 kJ/mol$



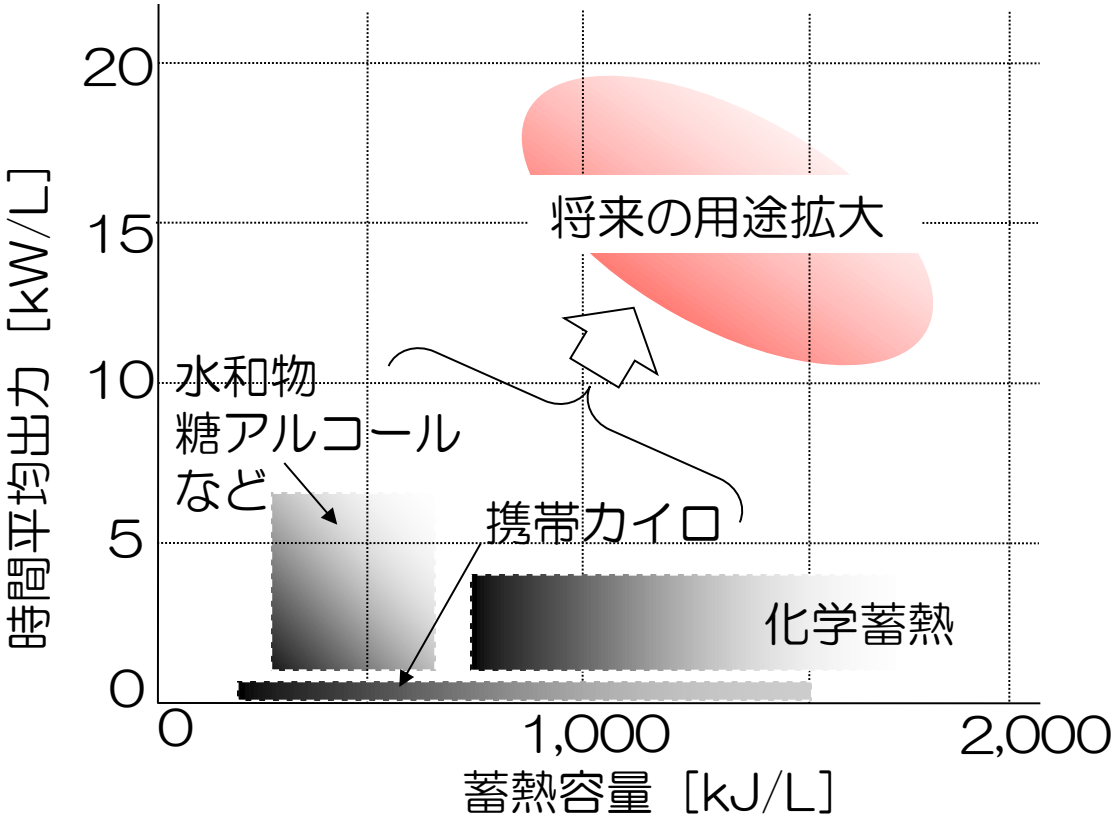
◻ Evaluation of durability

Table. Experimental condition

T_{abs} [℃]	170
T_{eva} [℃]	60
T_{con} [℃]	20

各過程の操作時間150s

蓄熱技術の現状と将来


20
15
10
5
0
時間平均出力［kW/L］
0
1,000
2,000
蓄熱容量［kJ/L］
将来の用途拡大
水和物
糖アルコール
など
携帯カイロ
化学蓄熱

操作線図

Operation conditions[under air pressure]

Heat storage step

T_{input}:155 ℃

Condensation

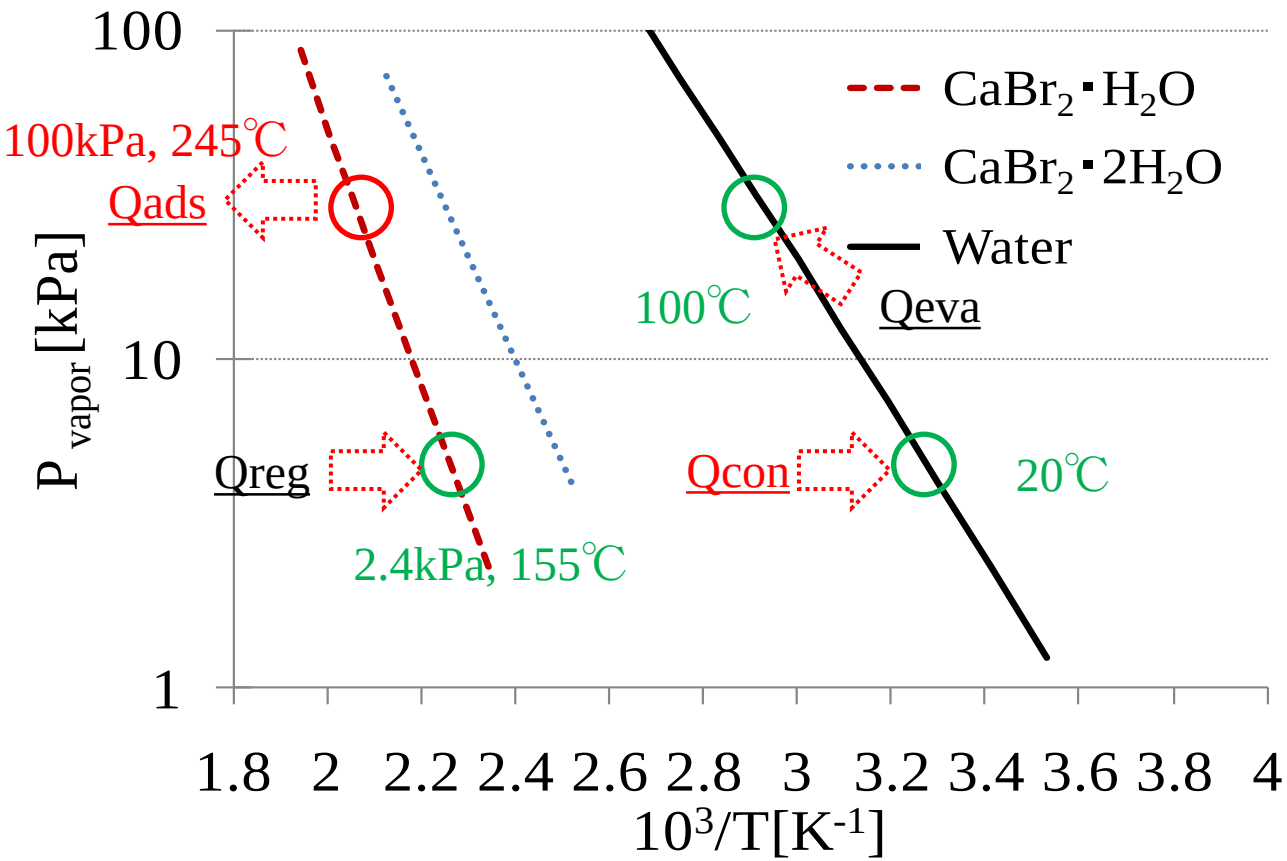
T_{env}:20℃

Heat release step

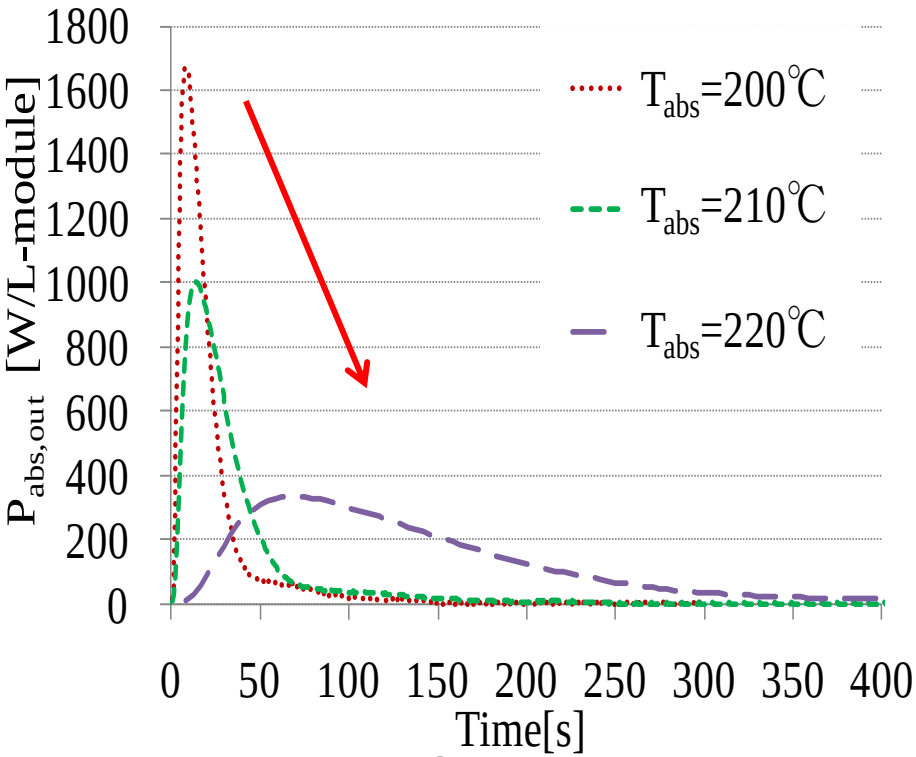
T_{output}:245 ℃

Evaporation

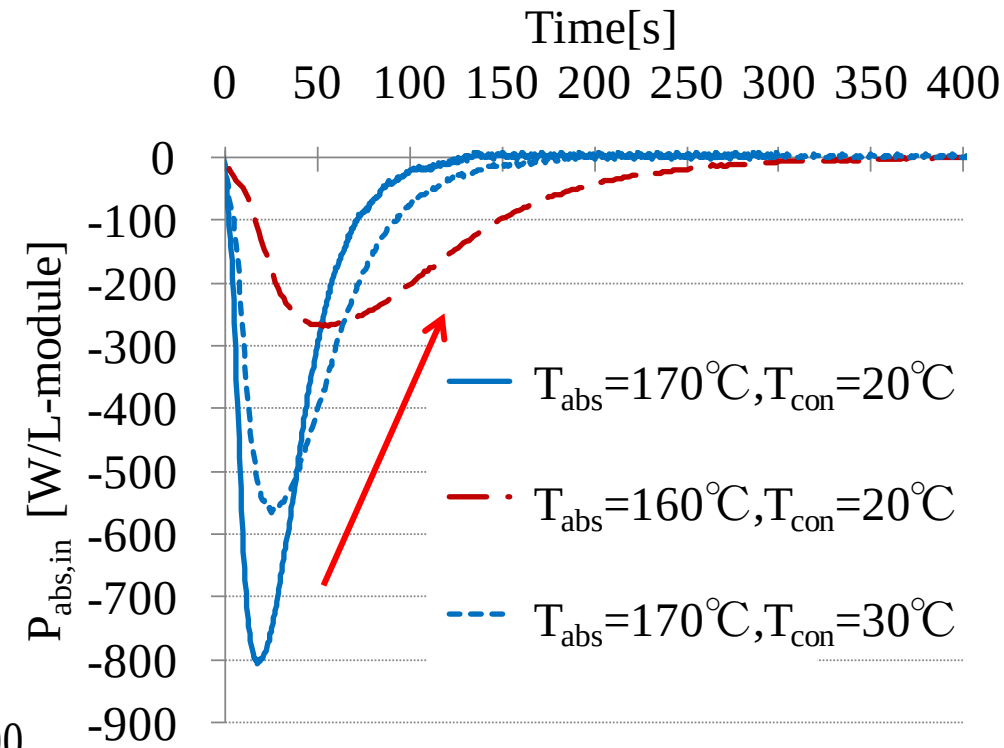
T_{low}:100 ℃



蓄放熱の実験結果

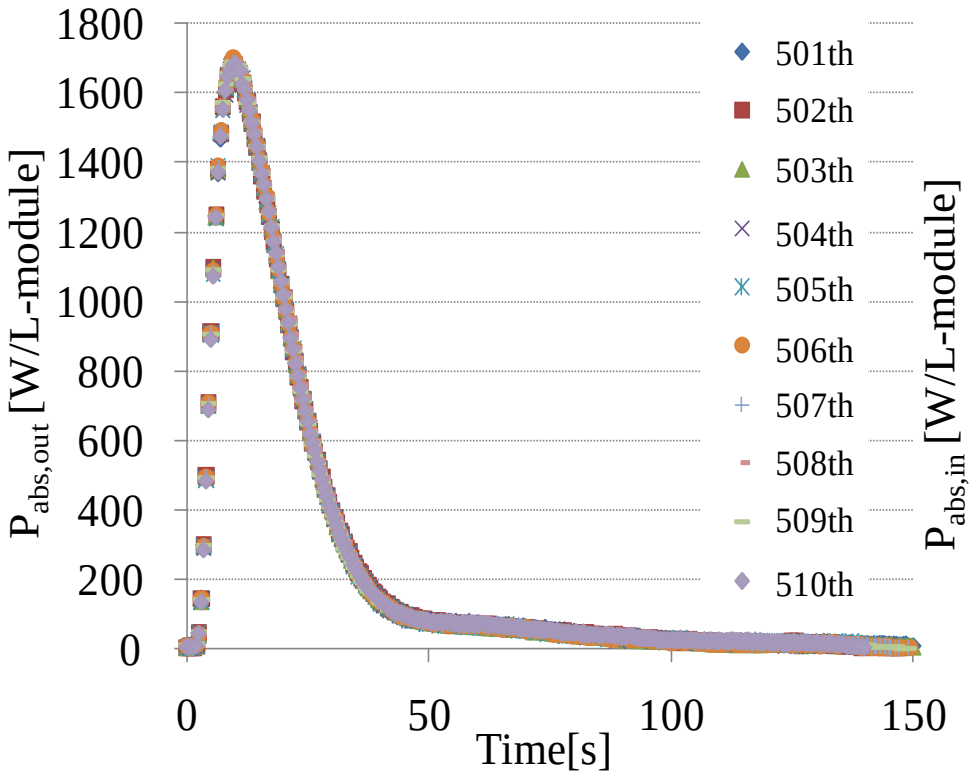


放熱挙動

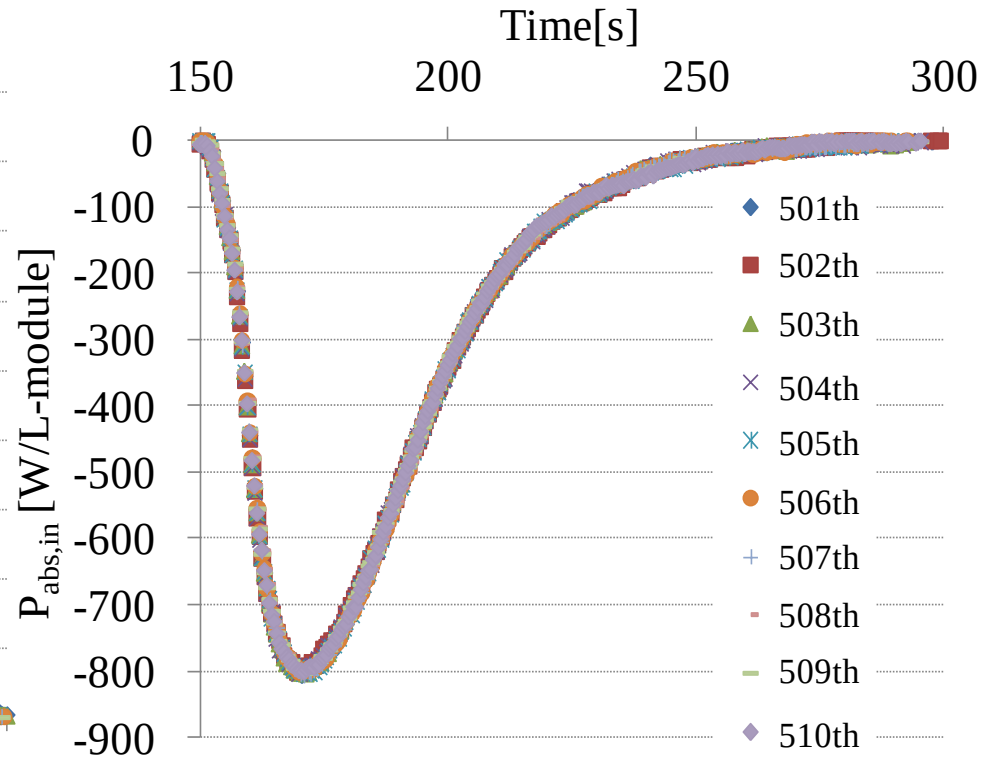


蓄熱挙動

蓄放熱操作の繰り返し特性

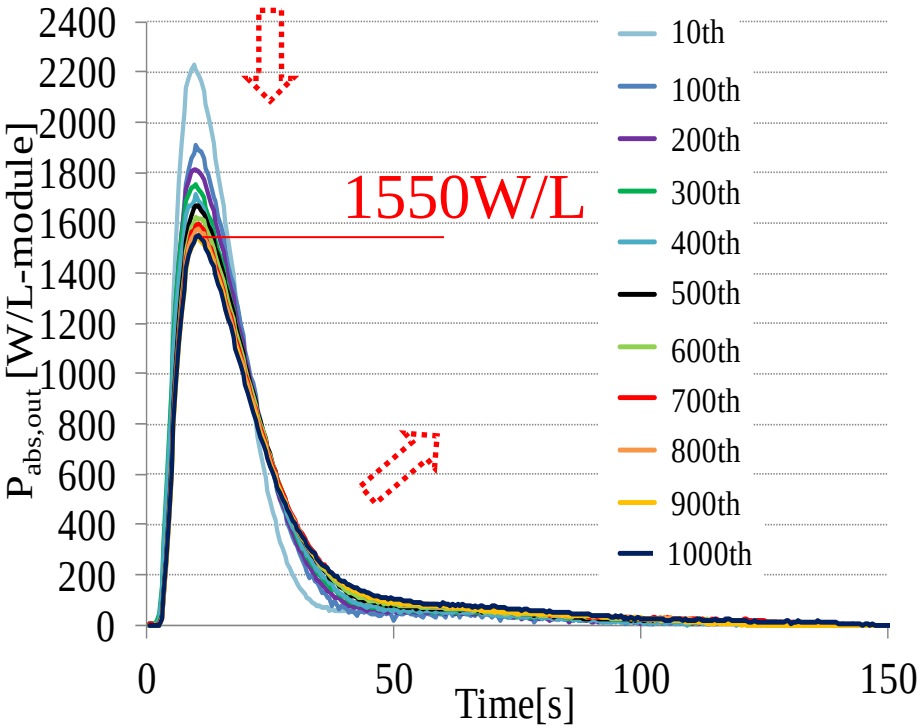


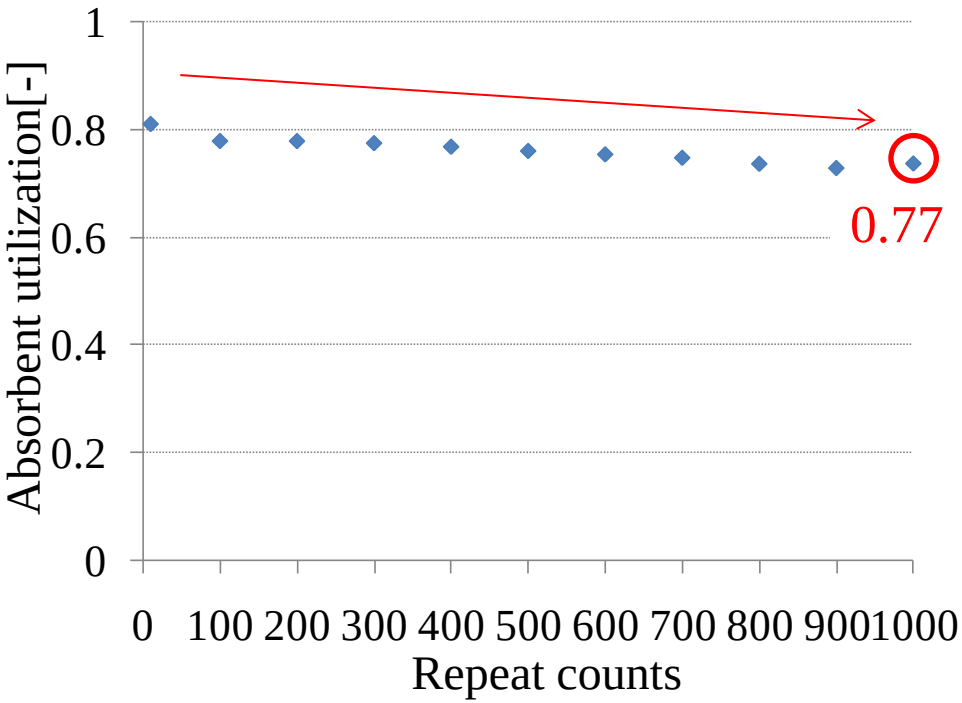
放熱の繰り返し特性



蓄熱の繰り返し特性

1000回繰り返し操作後の劣化





反応系の選択

$$CaCl_2 \cdot H_2O + H_2O \Leftrightarrow CaCl_2 \cdot 2H_2O$$

$$\Delta H_{reaction} = 52.7\ kJ/mol - CaCl_2 \cdot H_2O$$

- ✓ 自然冷媒
- ✓ 高い反応熱
- ✓ 反応の安定性

(ハロゲン化水素へ分解する反応材も存在)

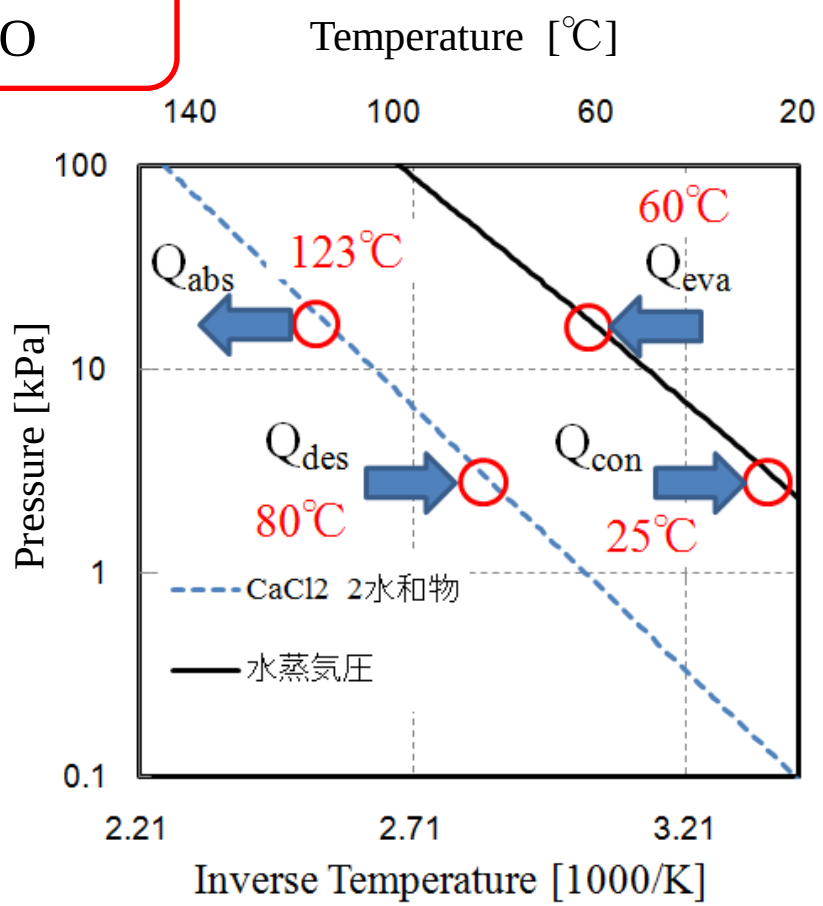
□ 作動温度

<u>出熱操作</u>

蒸発器:60℃ → 反応器:123℃(理論)

<u>再生操作</u>

反応器:80℃ → 凝縮器:25℃



実験装置図（出熱操作）

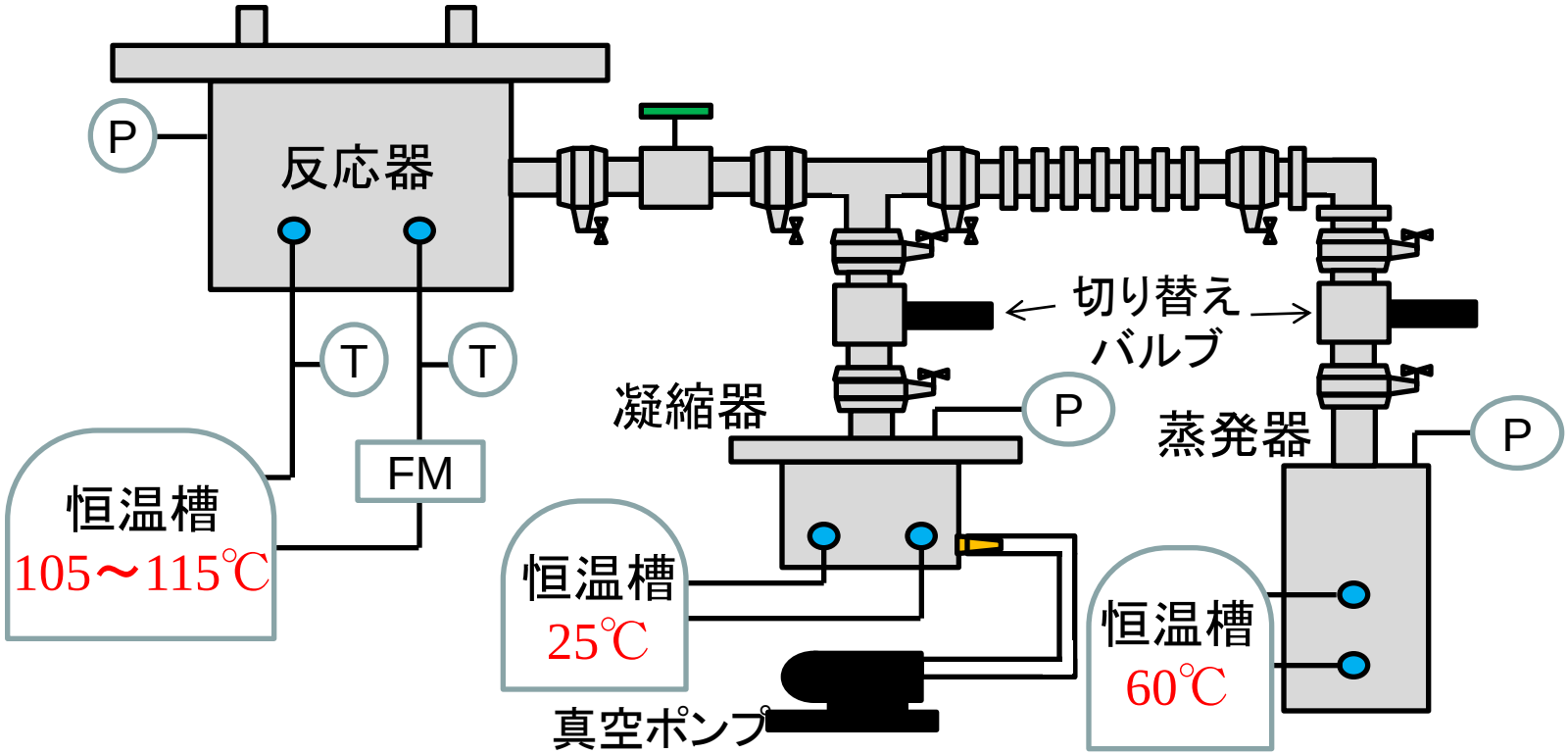


Fig. 実験装置図

- ✓ 反応器熱交換流体の出入口の温度を測定 (発熱の確認)
- ✓ 反応器の温度差を測定し、熱交換した出力を算出
- ✓ 切り替え時間を1800 sとし、数回繰り返す。

実験装置図（再生操作）

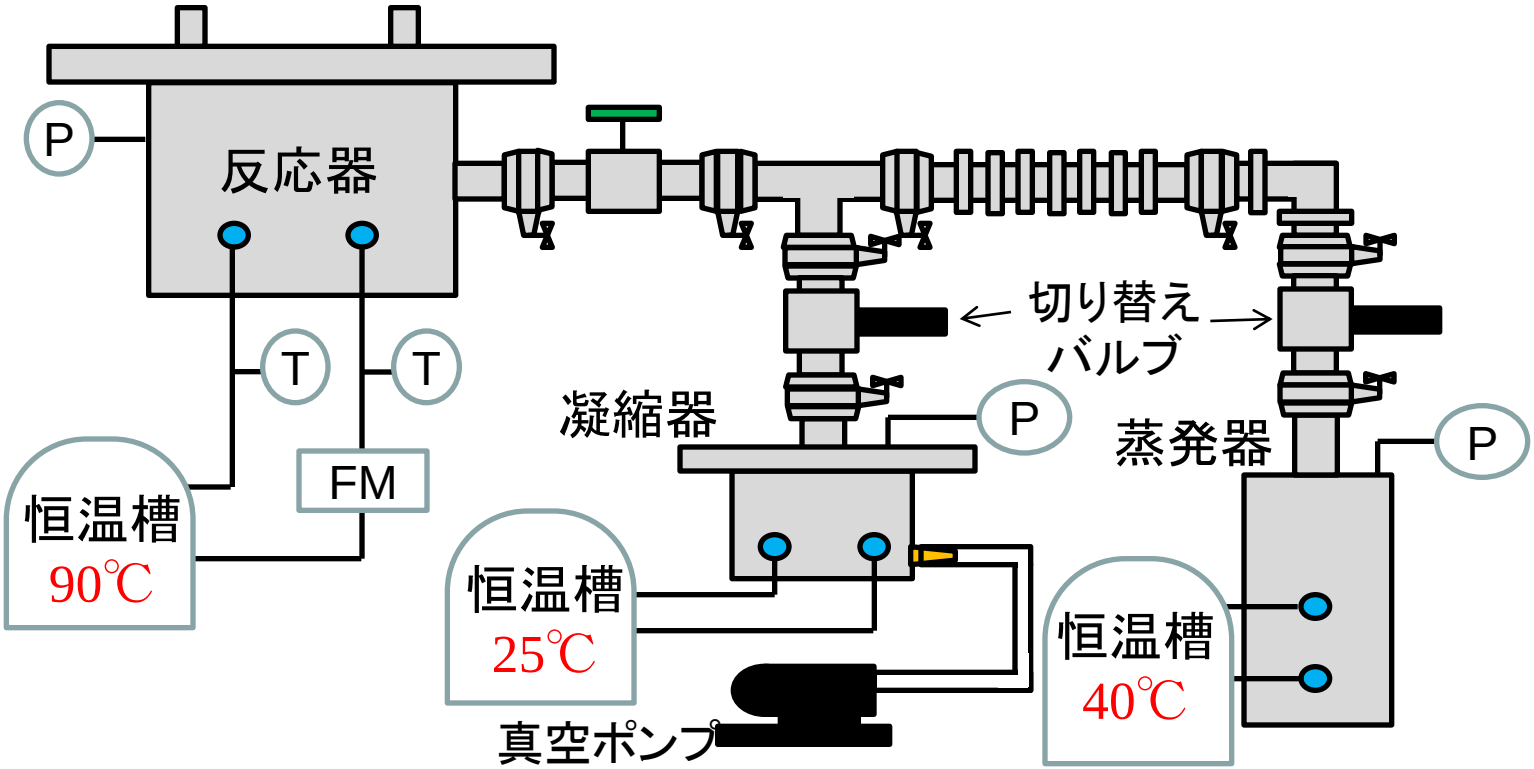


Fig. 実験装置図

- ✓ 蒸発器を40℃に下げて完全に2水和の状態になるまで反応
- ✓ 熱交換流体の温度差により吸熱の有無を確認

□ 使用した試料と熱交換器

✓アルミ製のラジエーターを使用

✓ 充填部体積 0.7L
✓ 熱交換器重量　680 g
✓ 熱交換器流量　1.0 L/min

✓ $CaCl_2$: 420g (3.8mol)
→ 理論発熱量 : 200 kJ
✓ 試料を充填した後、反応器に設置
✓ 操作を数回繰り返し、無水和物がほぼない状態で評価を開始

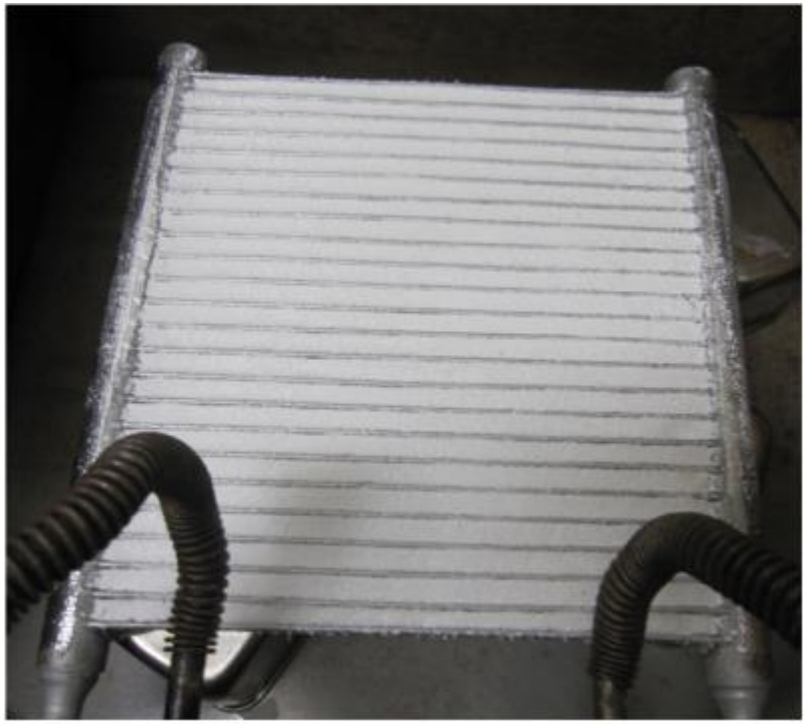


Fig. 試料と熱交換器

実験結果～出熱操作時の熱出力～

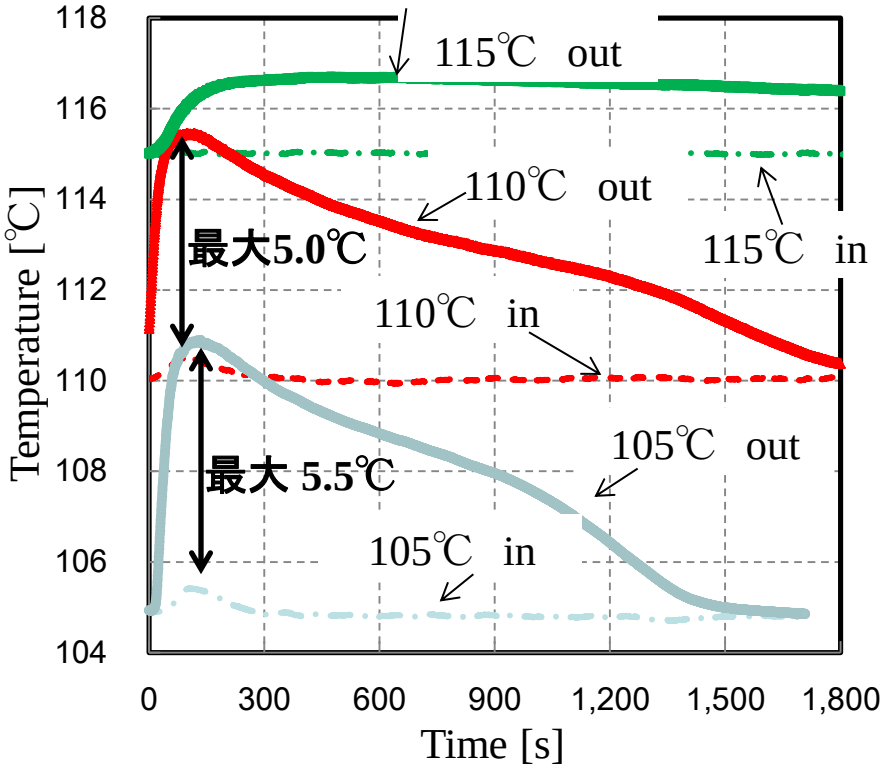


Fig. 各温度の経時変化

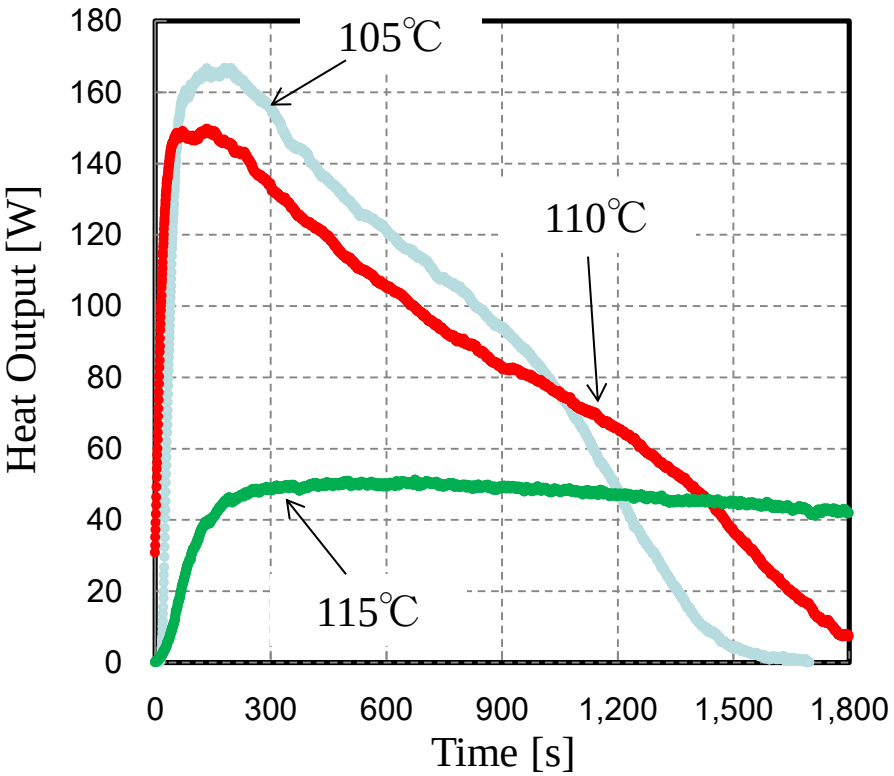


Fig. 熱出力の経時変化

- ✓ 熱回収時間の短縮、出熱の温度差、熱出力が増大
- ✓ さらなる熱回収時間の短縮化と熱出力の増大を目標
  → 熱出力部分の熱交換器と反応材の設計が必要

試料の繰り返し安定性

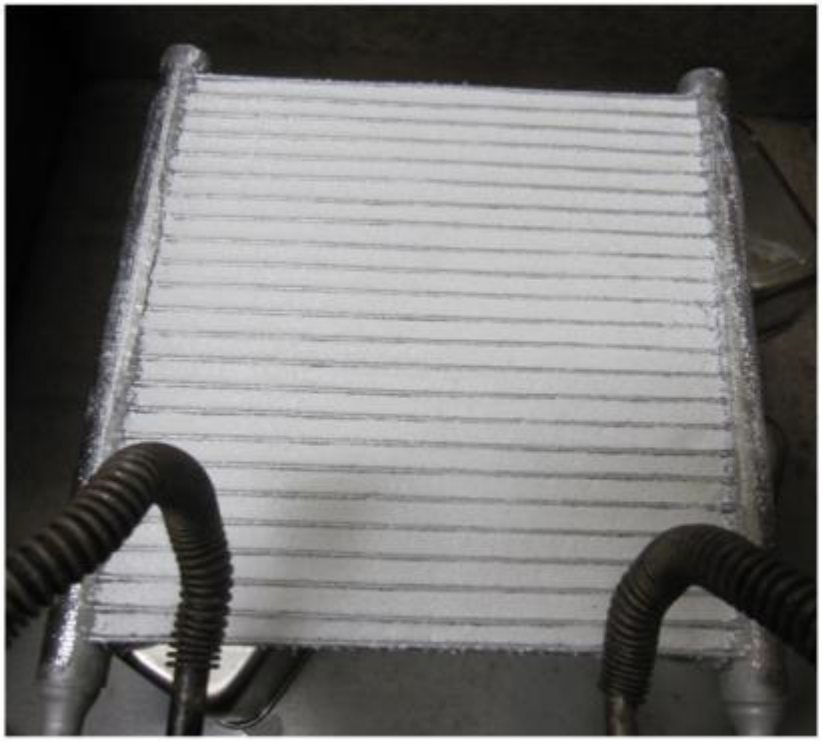


Fig. 実験前の試料状態

Fig. 実験後の試料状態

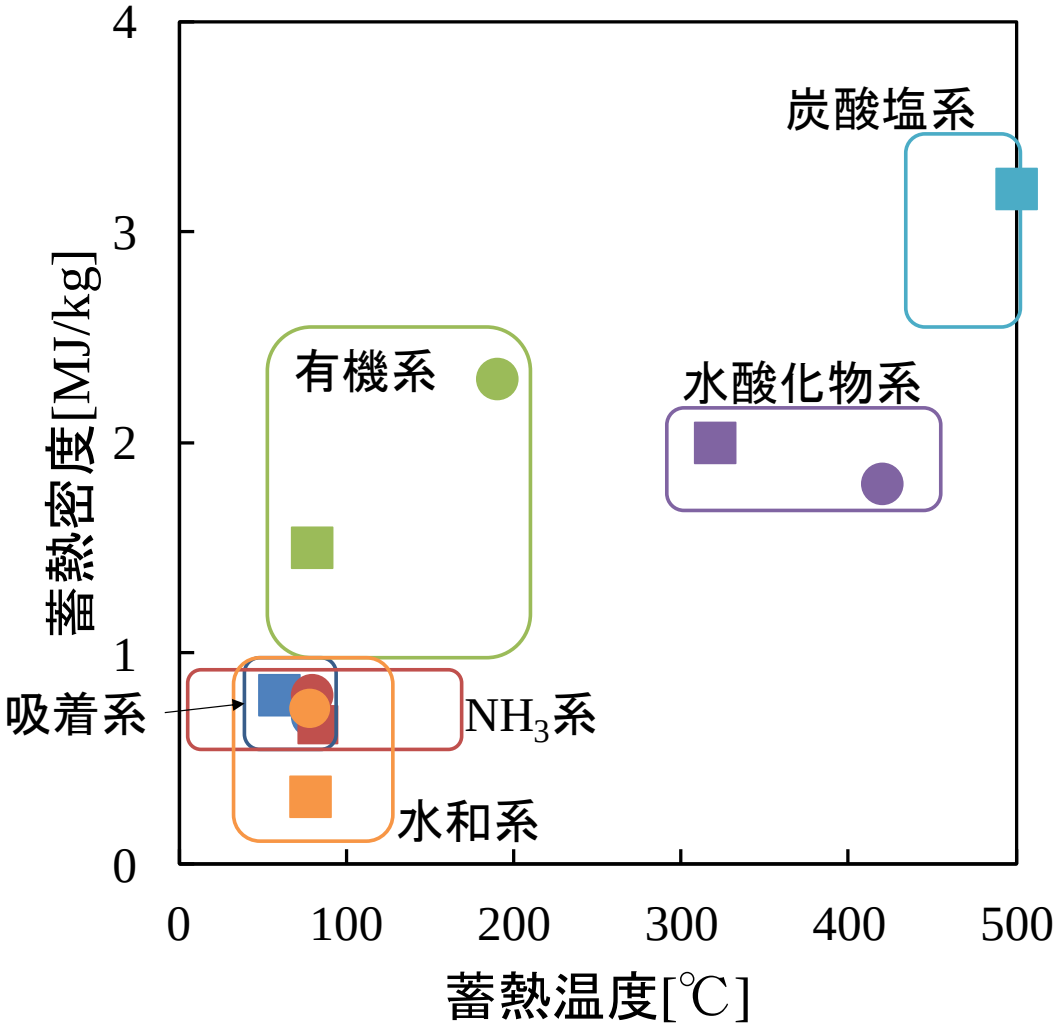
- ✓ 反応材の飛散はなく、熱交換器に保持されていることを確認
- ✓ 10回の繰り返しでは熱出力に変化がなく、安定的に駆動
- ✓ 試料充填層に亀裂が存在
- ✓ 長期サイクルの試験より、形状変化と性能評価する必要性あり

反応系の選定（2）

アルカリ土類金属ハロゲン化物/NH_3系

- ✓毒性・腐食性
- ✓自然冷媒
- ✓蓄熱温度：100℃未満
- ✓高圧系

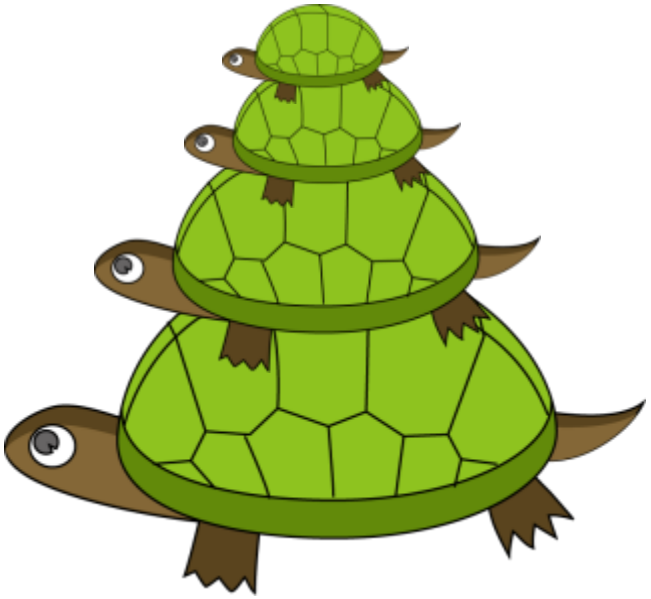
- 活性炭/エタノール
- シリカゲル/水
- $CaCl_2/NH_3$(8⇔4)
- 活性炭/NH_3
- $(CH_3)_2CO/H_2$
- C_6H_6/H_2
- MgO/H_2O
- CaO/H_2O
- CaO/CO_2
- $CaCl_2/H_2O$(2⇔1)
- $MgCl_2/H_2O$(6⇔4)



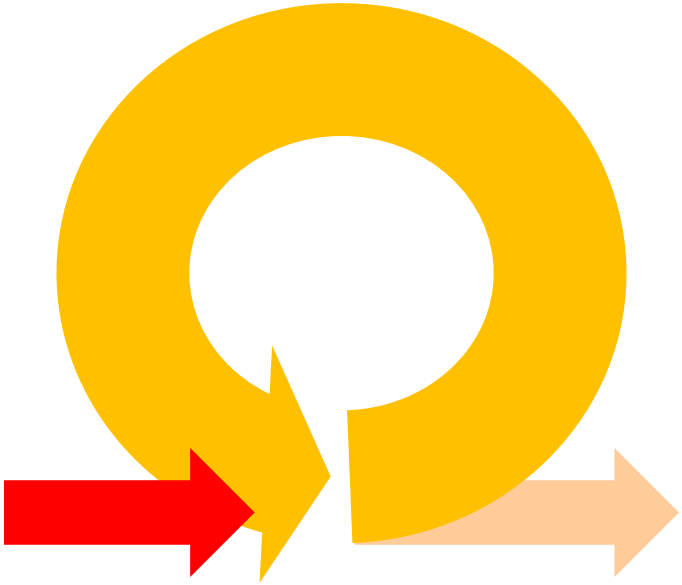
（参考）Watanabe et al., *IEA Heat Pump Center Newsletter*, 19, (1), 23-26(2001)

カスケーディング利用から熱リサイクルへの転換へ

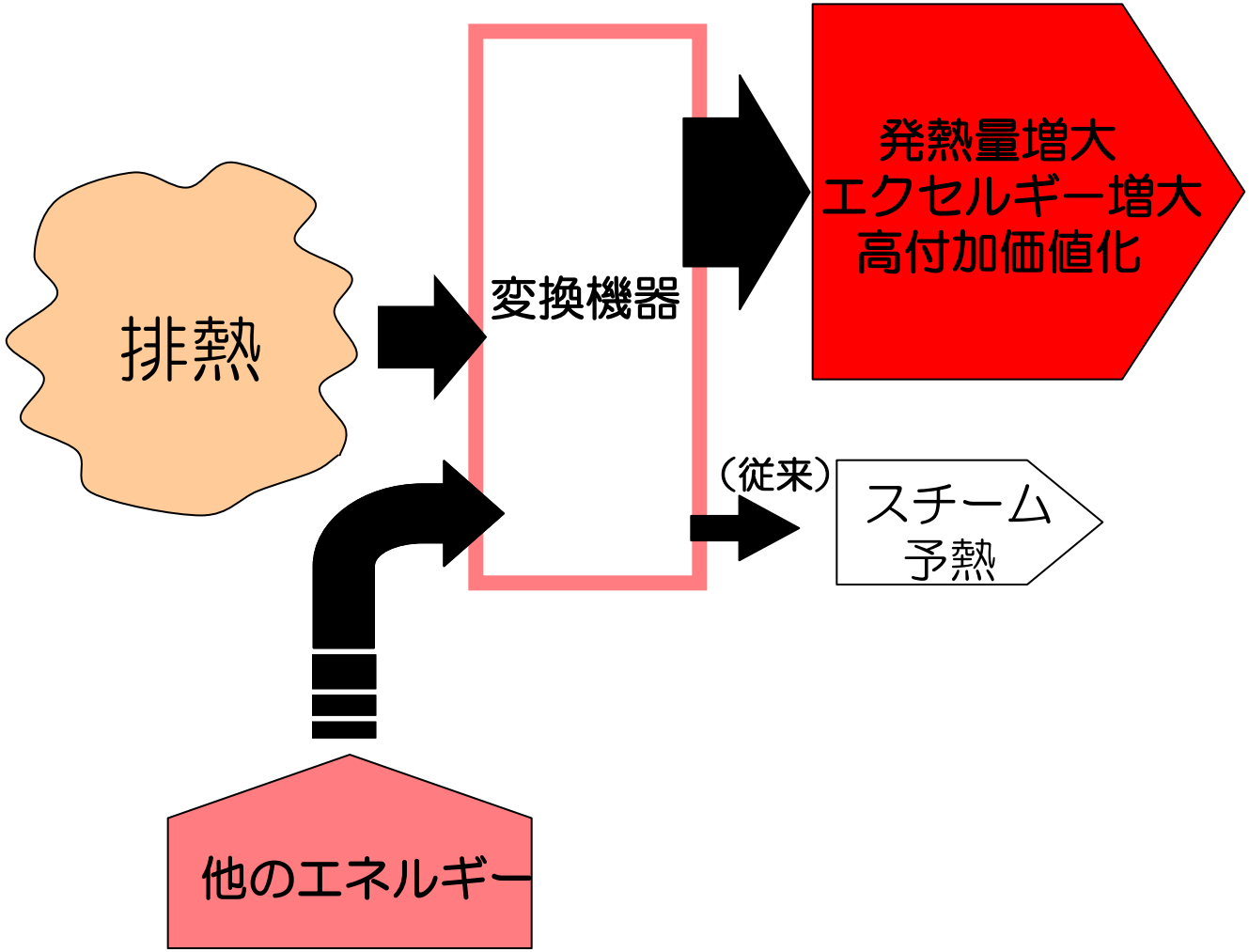
温度レベルを余すことなく利用する
カスケーディング利用の形態



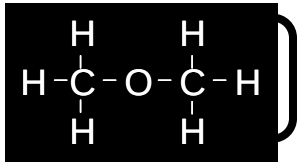
温度レベルを維持しながら必要な
熱量だけを供給する利用形態



熱エネルギーの質的な変換



排熱の燃料化回生

DME 

⇒水蒸気改質反応により水素へ転換

- 排熱を吸熱反応の熱源に利用

$$(CH_3)_2O + 3H_2O = 6H_2 + 2CO_2 \quad \Delta H=122.6[kJ/mol]$$

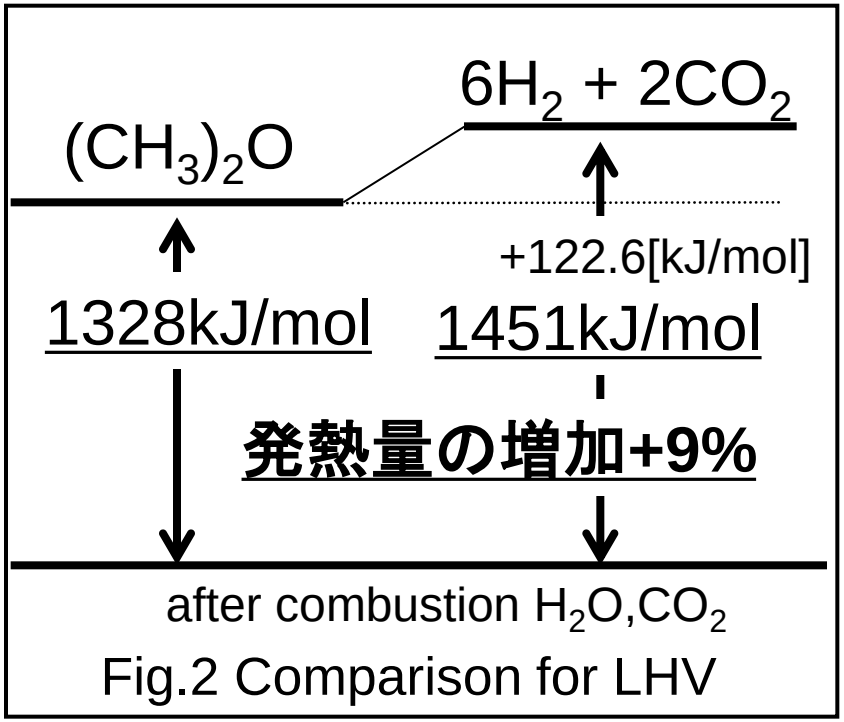
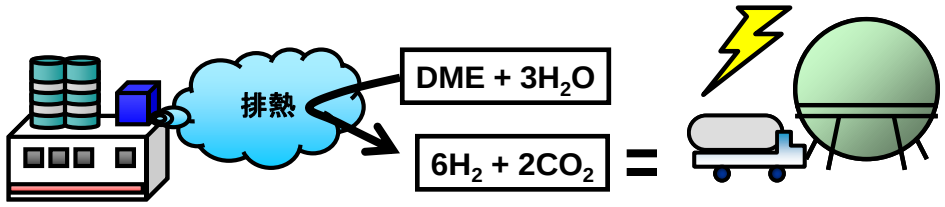


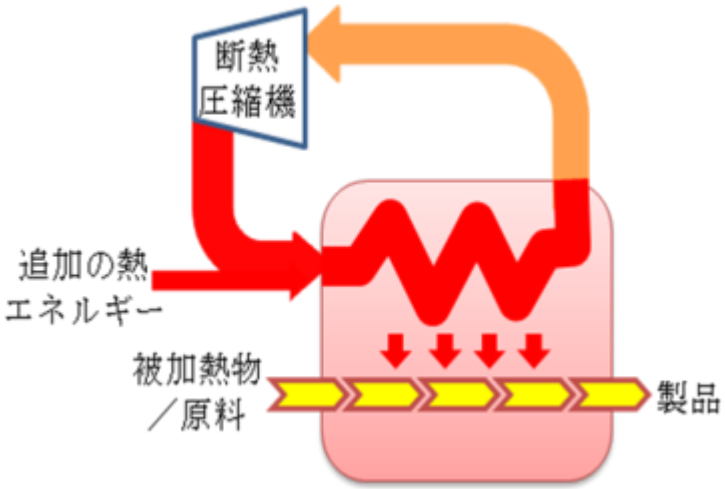
Fig.2 Comparison for LHV

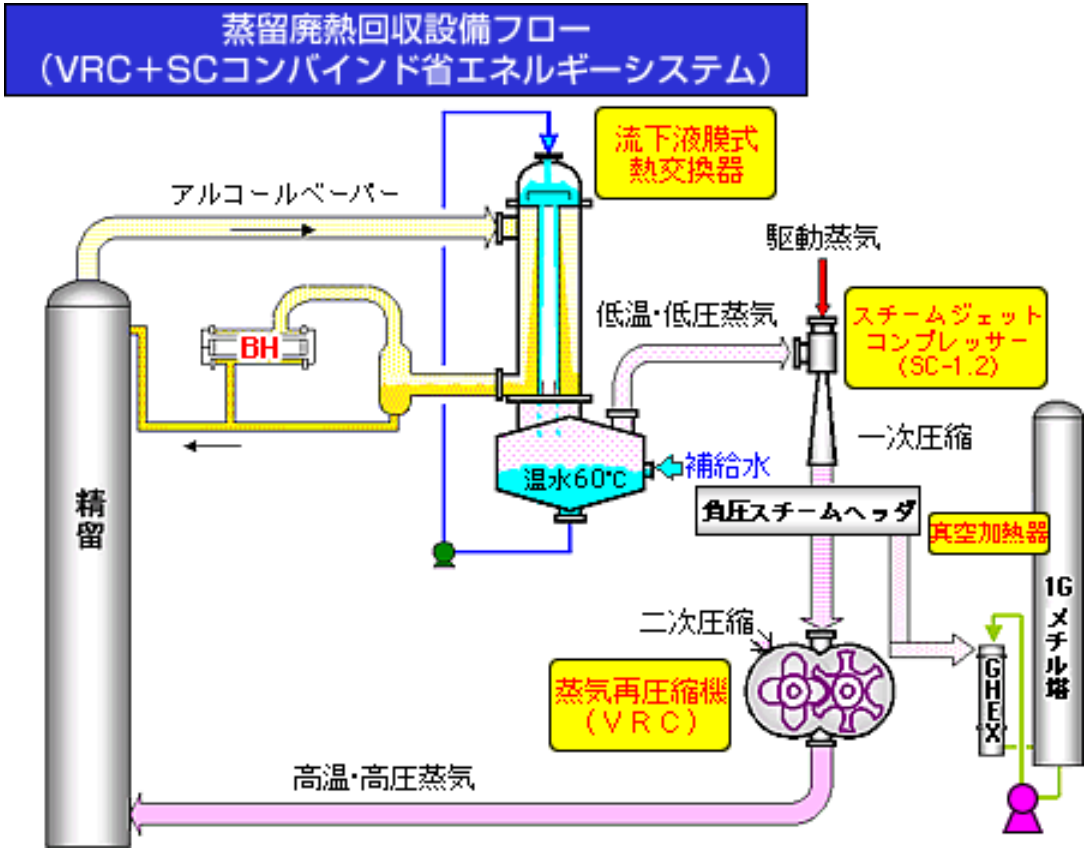
質の高い燃料へ転換
(排熱の燃料化回生)



運搬, 貯蔵, 電力変換が可能

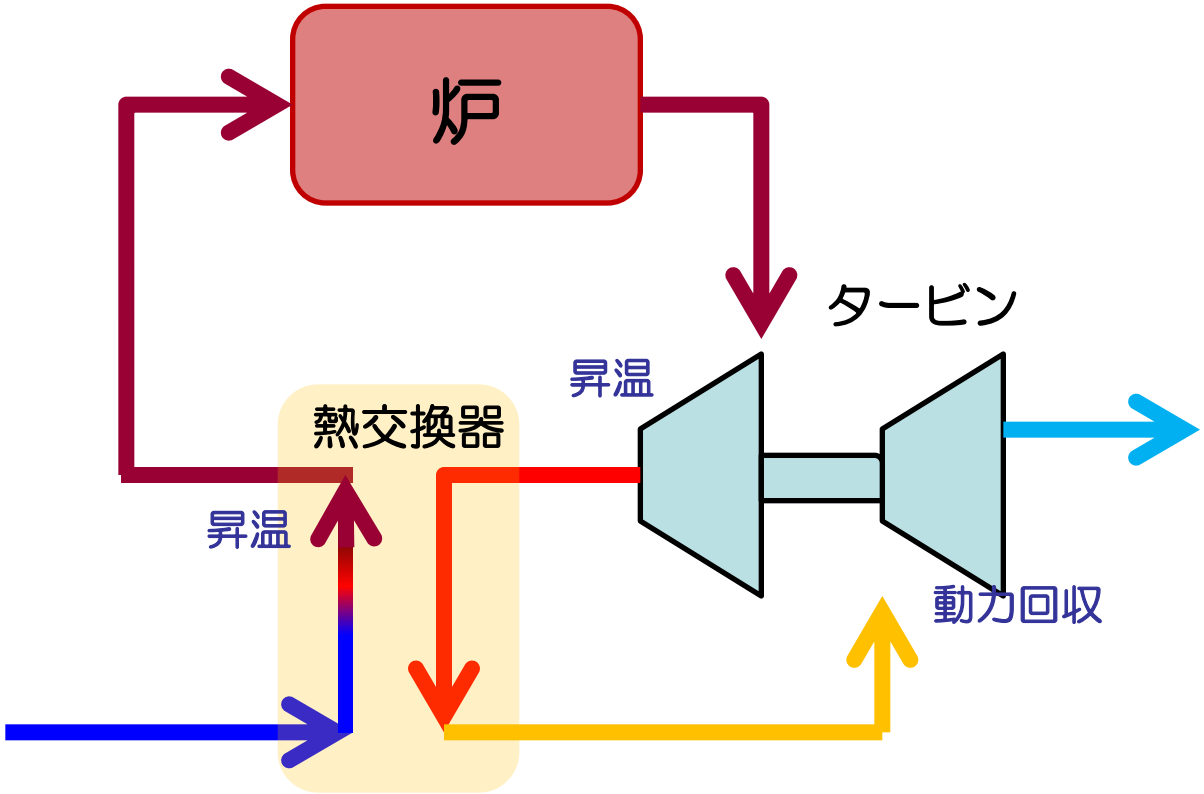
熱リサイクリング技術





出典：サントリーCSRレポート2005

自己熱再生



参考:東京大学生産技術研究所　堤敦司教授資料

☞ご質問、お問い合わせ先

名古屋大学　大学院工学研究科 化学・生物工学専攻
・グリーンモビリティ連携研究センター
小林敬幸
052－789－2733
kobayashi@energy.gr.jp