

NEDOプロジェクト
「未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発」
産業用高効率高温ヒートポンプの開発 成果報告

2023年2月27日（月）
株式会社 前川製作所

目次（報告内容）

（1）産業用高効率高温ヒートポンプの開発の研究開発

1. 開発の狙い

2. 開発目標

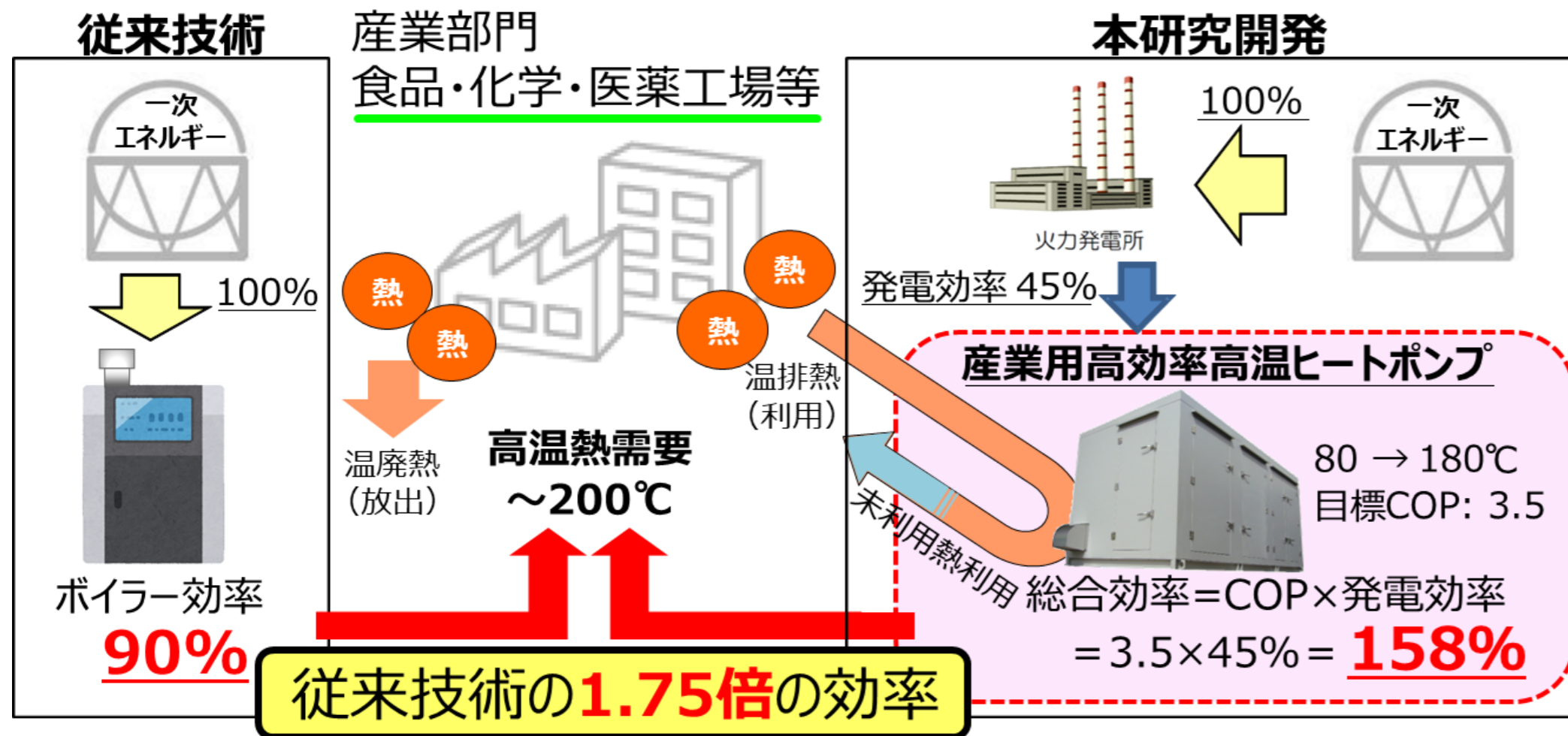
3. 成果

（2）今後の展望

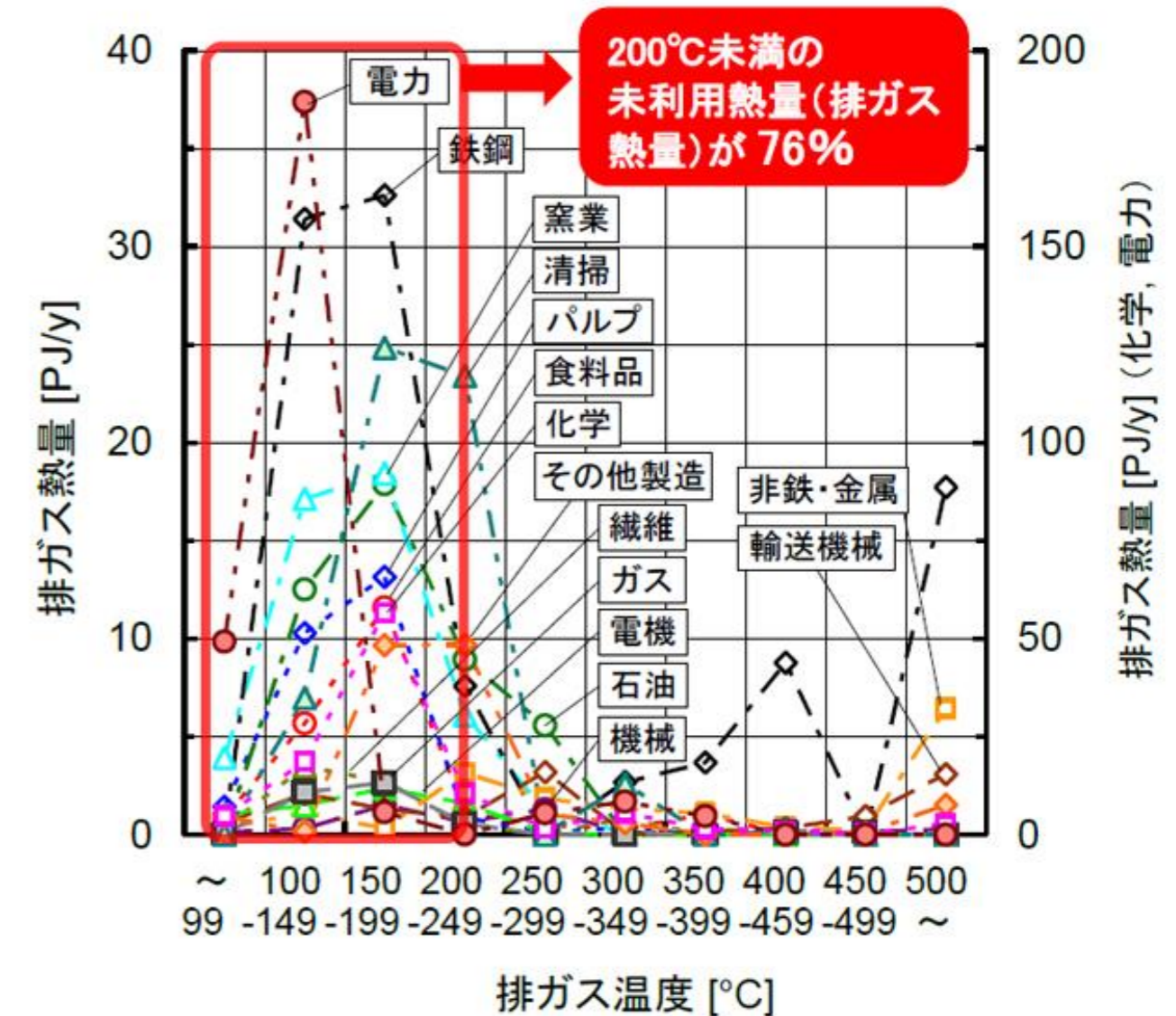
1. 開発の狙い（産業用高効率高温ヒートポンプの研究開発）

- 産業部門における蒸気ボイラの燃料消費量 1.13×10^{12} MJ/年
- 150°C～200°Cの蒸気が消費、大量に排熱を発生
- 工場排熱をヒートポンプの熱源にして、高温度の熱に再生して利用
- 未利用熱を活用した高温ヒートポンプ技術→産業部門の最重要技術

2022年5月経産省が公開した「グリーンエネルギー戦略」中間まとめ「省エネ・燃料転換」政策として、「ヒートポンプなど熱利用の高効率・脱炭素化」が明記



開発のコンセプト



2. 開発目標（産業用高効率高温ヒートポンプの研究開発）

目標と技術課題

最高加熱温度 **200°C**、 $COP_h=3.5$ を達成する高温ヒートポンプの開発

- 課題① 冷媒がない（高温・高圧対応&環境性能良好）
- 課題② 圧縮機がない（高温・高圧対応）
- 課題③ 熱交換器がない（高温・高圧・大温度差対応）
- 課題④ 熱ロスが多い（断熱対策）

未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発



国立研究開発法人
新エネルギー・産業技術総合開発機構

研究開発内容

2013年度～2022年度の10年計画

高温に適した冷媒選定とシステム設計

高温・高圧対応の圧縮機の開発

高温・高圧対応の熱交換器の開発

高温の熱ロスを防ぐ断熱技術の開発

最高加熱温度 **200°C**、被加熱媒体 **80°C ⇒ 180°C**

に加熱可能な高温ヒートポンプの開発

3. 成果（産業用高効率高温ヒートポンプの研究開発）

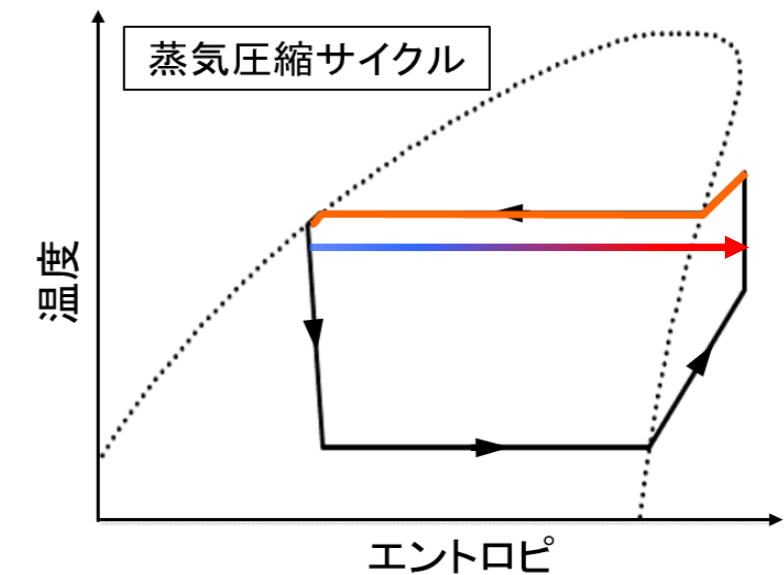
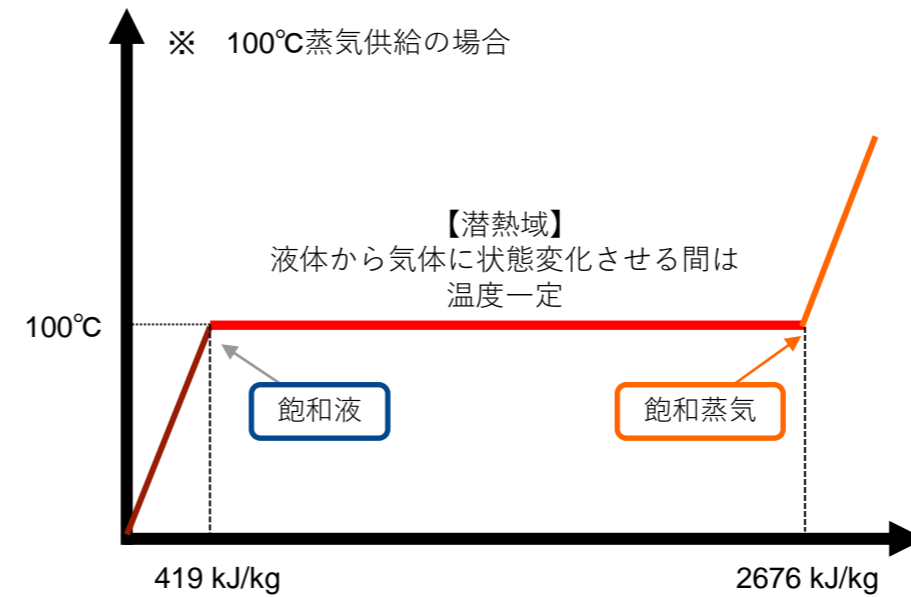
100℃超の産業用高温ヒートポンプとは、

供給する熱に応じて2種類のヒートポンプ

■ 蒸気生成：小温度差の加温→循環式

- ⇒ 水を蒸気に変える、温度一定で加熱する区間がある
- ⇒ 150℃超の蒸気生成は現行冷媒では難しい

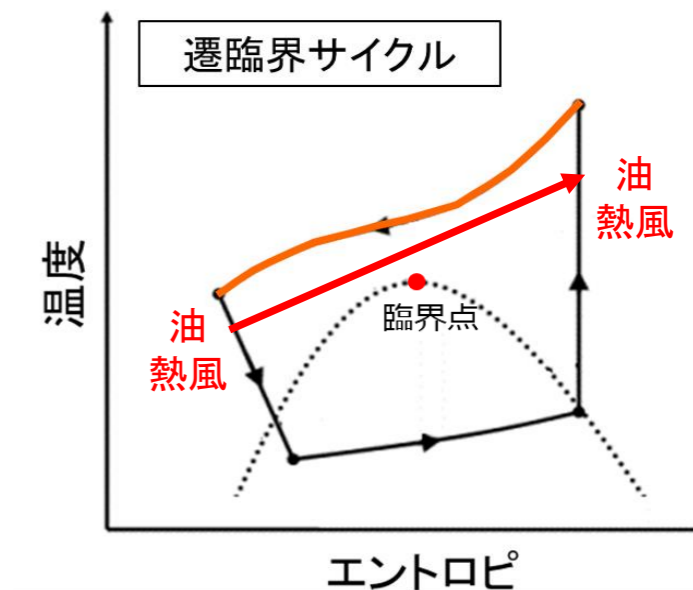
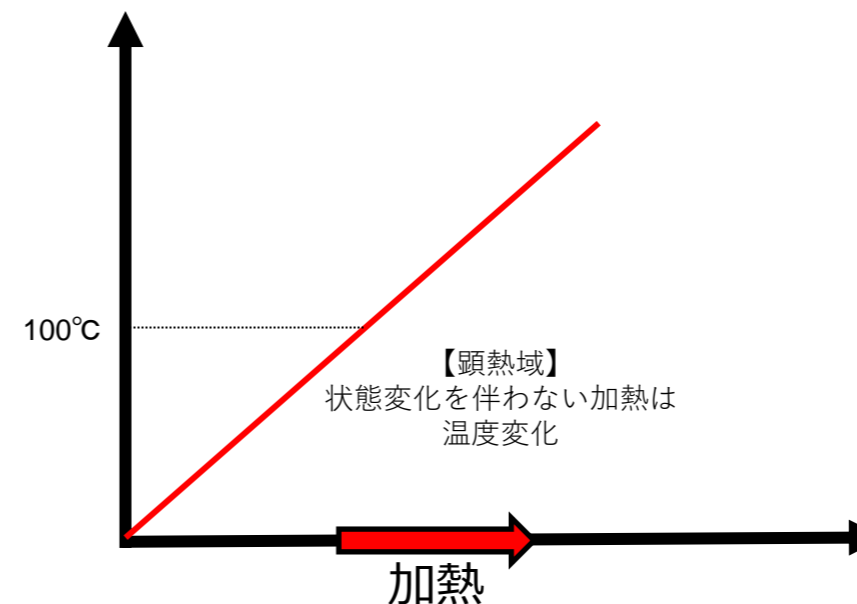
【蒸気生成：循環式加温】



■ 熱媒油・熱風生成：大温度差の加温→一過式

- ⇒ 温度一定の区間がない
- ⇒ 150℃超の高温供給が現行冷媒で可能

【熱媒油・熱風生成：一過式加温】



一過式加温（遷臨界サイクル）を採用

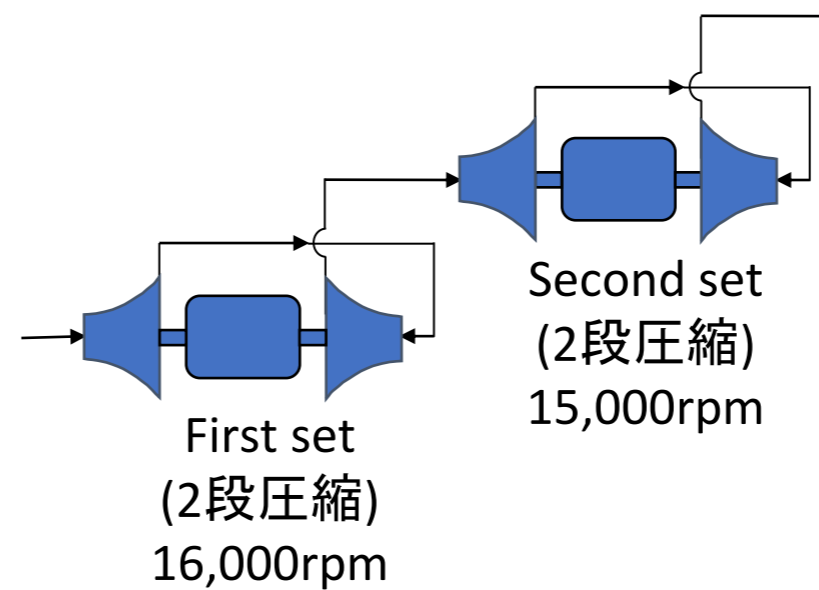
3. 成果（産業用高効率高温ヒートポンプの研究開発）

本開発産業用高温ヒートポンプの仕様

目標 最高加熱温度**200°C**, $COP_h=3.5$ を達成する高温ヒートポンプの開発

仕様（設計値）

項目	設計値
冷媒	HFO冷媒 R1336mzz(Z) (A1冷媒,GWP:2)
圧縮機	ターボ
冷凍機油	不要
設計圧力	6.0MPaG
加熱能力	300kW
COP_h (80°C ⇒ 180°C 加温条件時)	3.5
熱源水温度	80°C程度
被加熱媒体 供給温度	80°C ⇒ 180°C



ターボ圧縮機

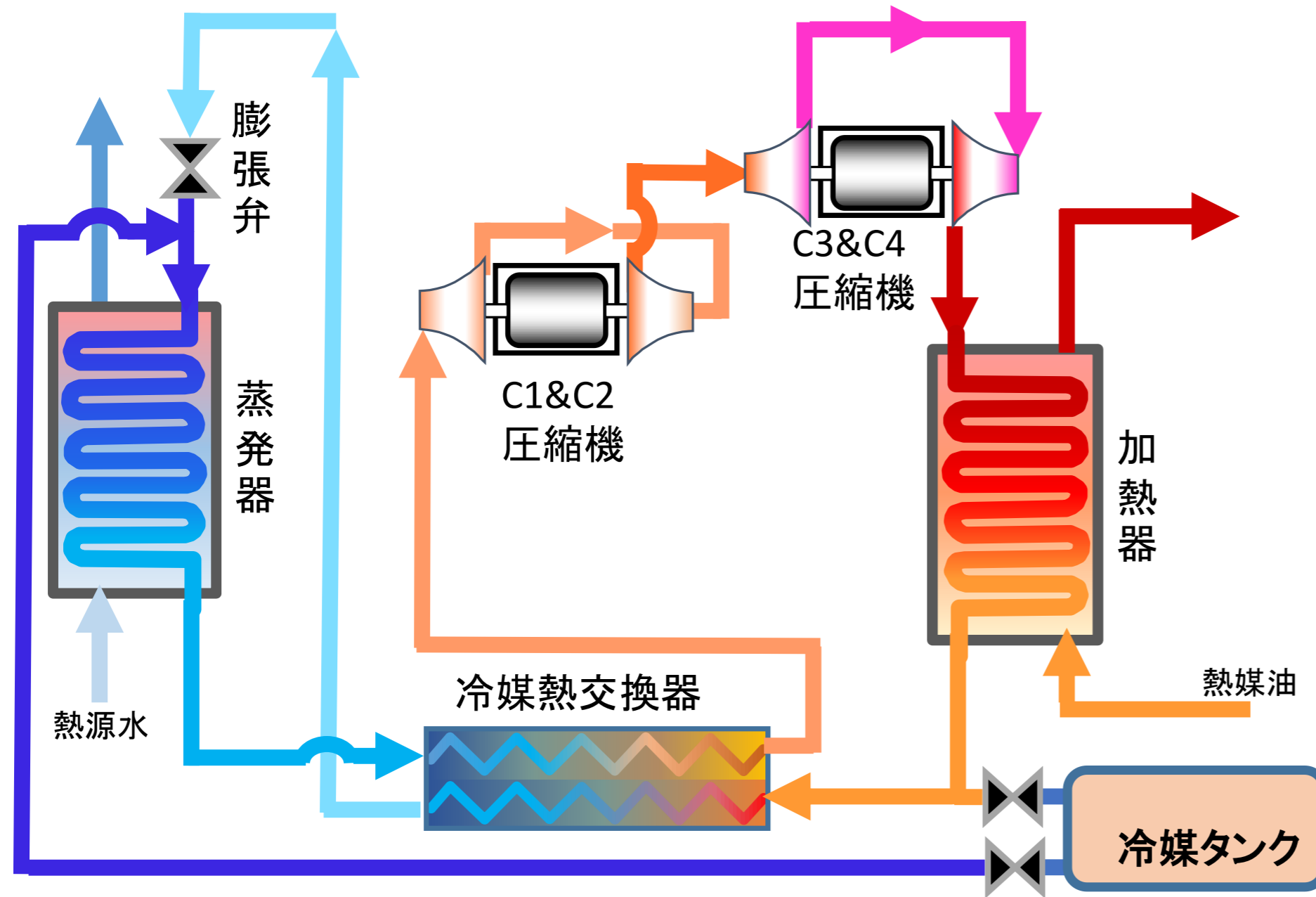
- 単機 2 段圧縮 × 2 台直列
- ビルトインモータ
- オイルフリー磁気軸受支持

想定される適用先

食品、飲料、自動車、医薬、ケミカル産業 etc.

3. 成果（産業用高効率高温ヒートポンプの研究開発）

本開発産業用高温ヒートポンプのシステムフロー



- 加熱器により加熱を行う熱媒体は、**熱媒油（熱水、熱風）**を用いる
- 工場等から排熱を想定し、**熱源は80 °C 程度の温水**として、これを蒸発器で採熱
- 熱媒油の昇温幅が80 °Cから180 °Cと大きいため、**遷臨界サイクル**を採用
- 高圧と低圧の圧力比が大きいため、**多段圧縮**

3. 成果（産業用高効率高温ヒートポンプの研究開発）

試作機の開発

- 1次試作機で明らかになった課題への対策を実施
- 2次試作機では、フロン系低GWP冷媒R1336mzz(Z)を採用



装置外観：W2300×L5400×H2250



ユニット内部

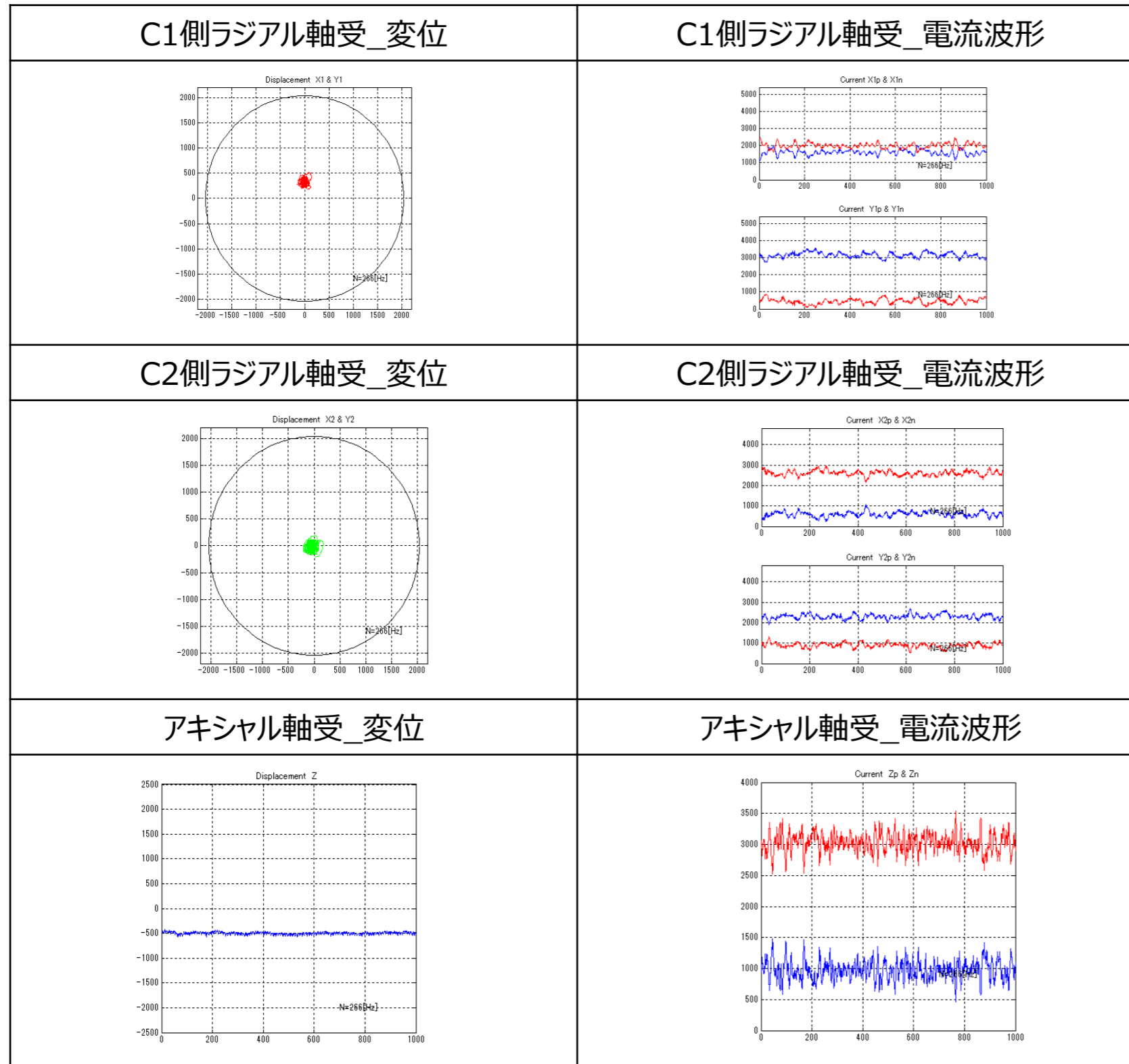


圧縮機外観

Specifications of second prototype heat pump		
Refrigerant		Low GWP refrigerant
Compressor	Type	Centrifugal
	Oil	Oil free
Rotation frequency	First set compressor (low pressure side)	16,000 rpm
	Second set compressor (high pressure side)	15,000 rpm
Gas cooler	Type	Brazed plate
	Capacity	300 kW
Design pressure		5.2 MPaA
Thermal oil inlet temperature		80 °C
Thermal oil outlet temperature		180 °C

3. 成果（産業用高効率高温ヒートポンプの研究開発）

第1,2段圧縮機 磁気軸受運転データ



運転条件

熱源水入口温度：75[°C]

熱媒油入口温度：78[°C]

圧縮機回転数：16,000[rpm]

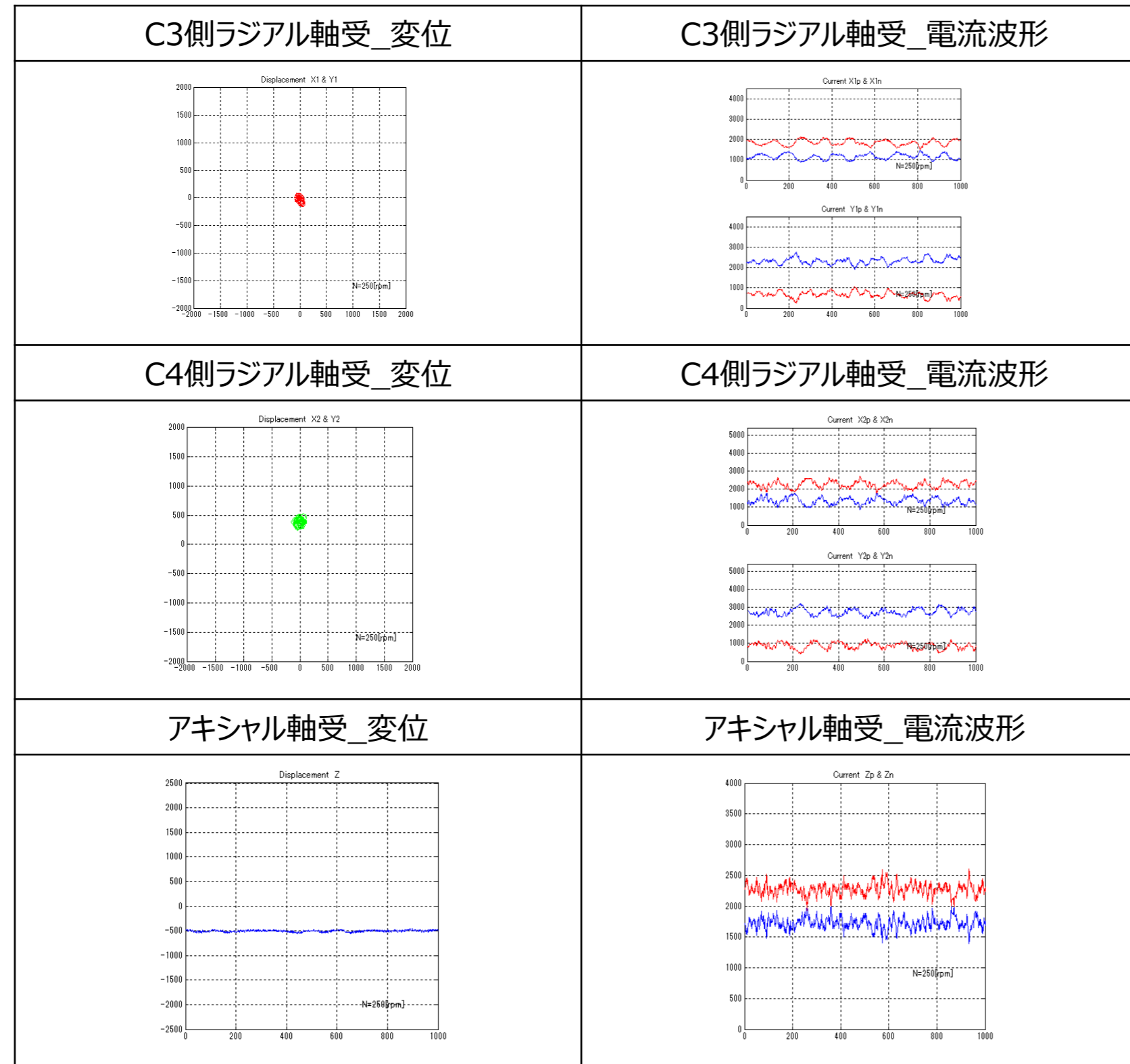
第1段圧縮機（C1）入口
吸入温度：118.5 [°C]
吸入圧力：0.34 [MPaA]

第2段圧縮機（C2）出口
吐出温度：172.8[°C]
吐出圧力：1.13 [MPaA]

**ラジアル軸受・アキシャル軸
受共に安定した制御状態を
確認した。**

3. 成果 (産業用高効率高温ヒートポンプの研究開発)

第3,4段圧縮機_磁気軸受運転データ



運転条件

熱源水入口温度 : 75[°C]

熱媒油入口温度 : 78[°C]

圧縮機回転数 : 15,000[rpm]

第3段圧縮機 (C3) 入口
吸入温度 : 171.7[°C]
吸入圧力 : 1.10[MPaA]

第4段圧縮機 (C4) 出口
吐出温度 : 184.8 [°C]
吐出圧力 : 1.61 [MPaA]

**ラジアル軸受・アキシャル軸
受共に安定した制御状態を
確認した。**

3. 成果（産業用高効率高温ヒートポンプの研究開発）

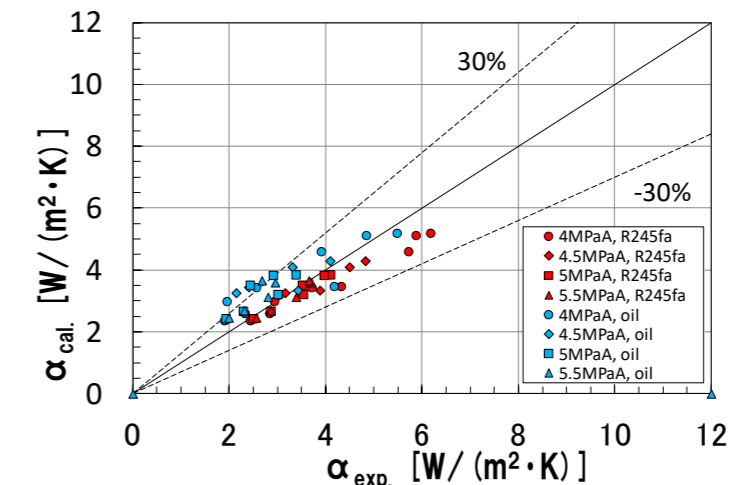
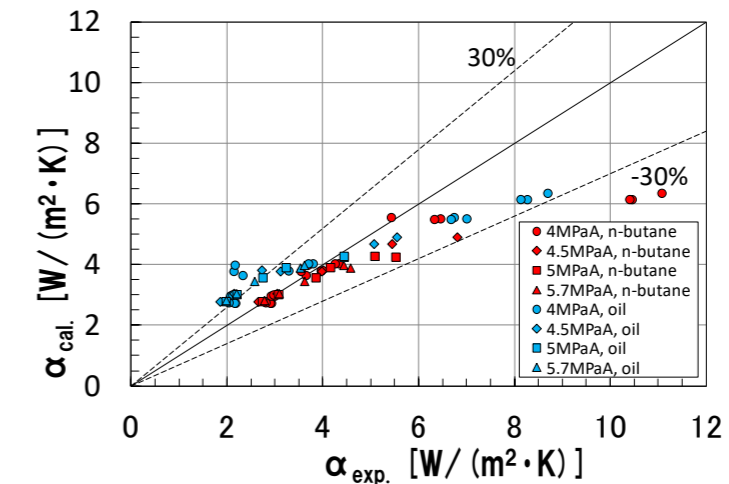
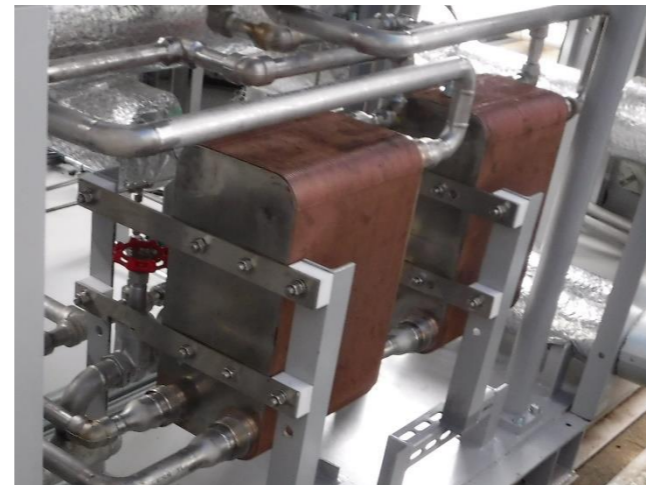
高温高圧熱交換器の開発

- フロン系低GWP冷媒を使用した**最高温度200°C**の熱が供給可能な**加熱能力300kW級**のヒートポンプ2次試作試験機を設計した
- **高低温度差を100°Cに設定した熱疲労試験**において、**使用期間15年**を想定した繰り返し回数での熱疲労試験において、熱交換器に問題が生じないことを確認した

熱疲労試験結果

BPHE ID	Test ID	ΔT (°C)	No. of Cycles	Note	Passed
DP-170911-02-01	1752-172	100	11000	stopped	Yes
DP-170911-02-02	1752-173	100	11000	stopped	Yes
DP-170911-03-02	1752-174	100	11000	stopped	Yes
DP-170911-03-01	1752-175	100	11000	stopped	Yes

試作機で使した熱交換器



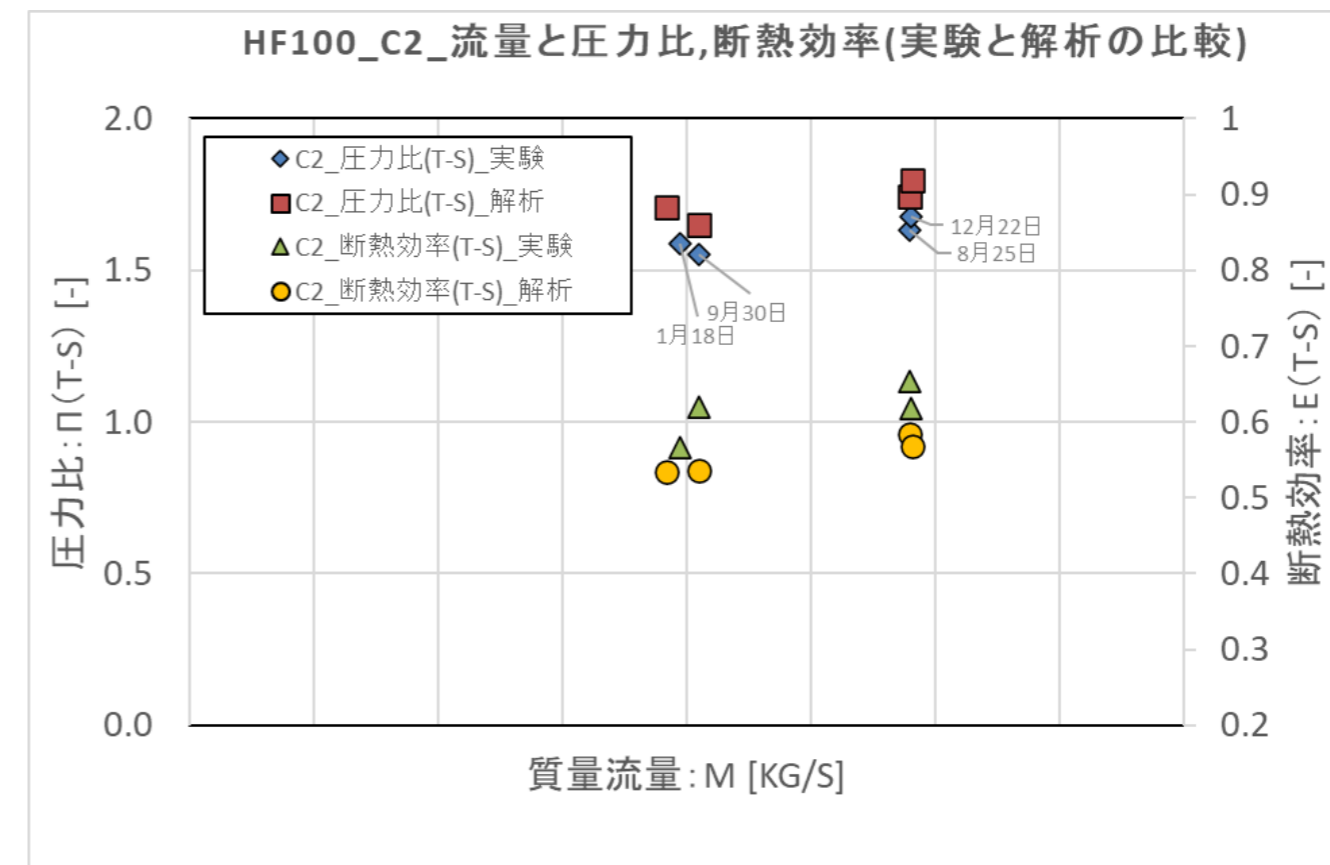
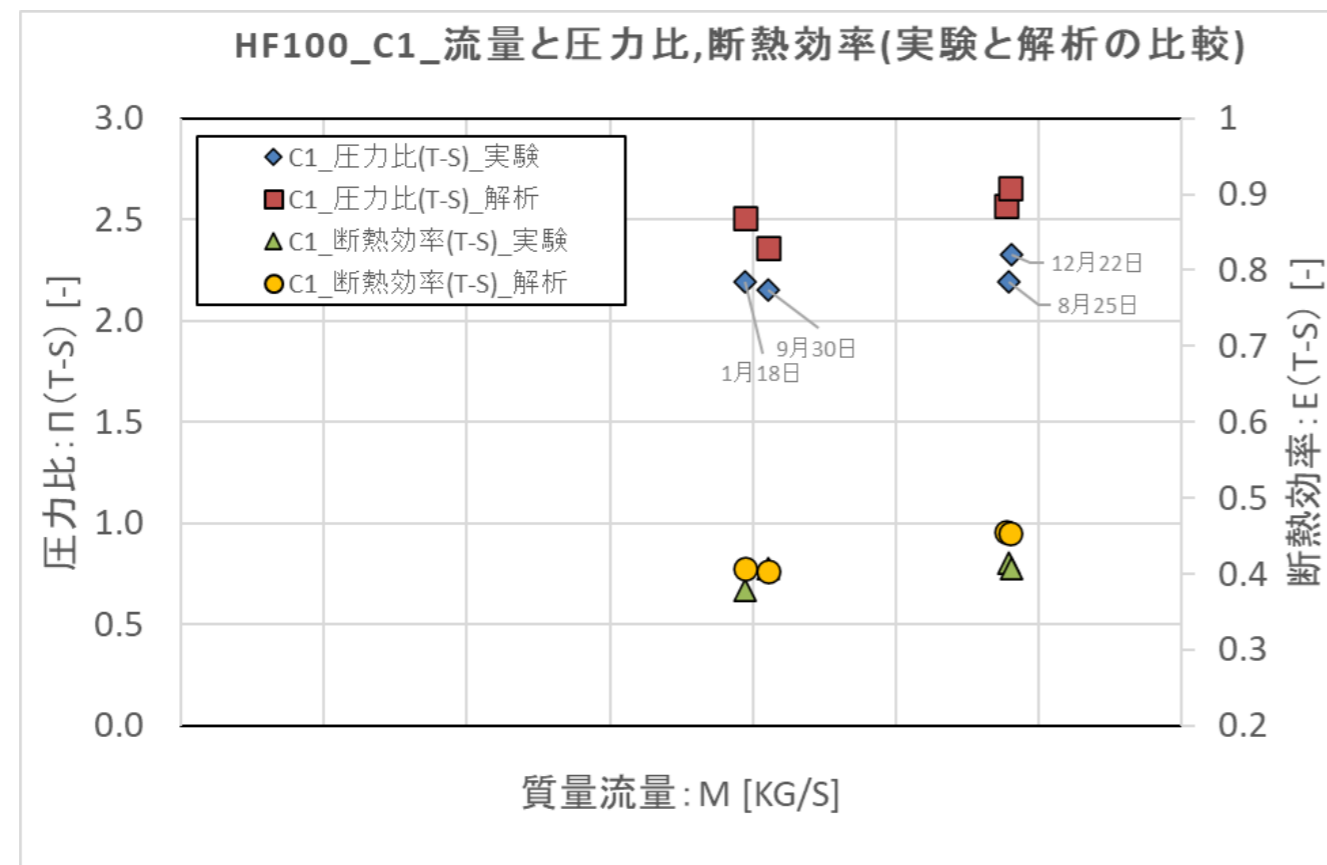
伝熱相関式と試験結果

3. 成果（産業用高効率高温ヒートポンプの研究開発）

試作機性能試験結果

試作機試験結果の一例（圧縮機性能評価）

	HF100_C1入口	HF100_C2出口	HF60_C3入口	HF60_C4出口
回転数[rpm]	16,000		15,000	
圧力 [MPaA]	0.34	1.13	1.10	1.61
温度 [°C]	118.5	172.8	171.7	184.8



実測値と解析値の比較から、比較的高い解析精度であることがわかる。
このことから、**最終目標：COP3.5が達成できる見通し**が得られた。

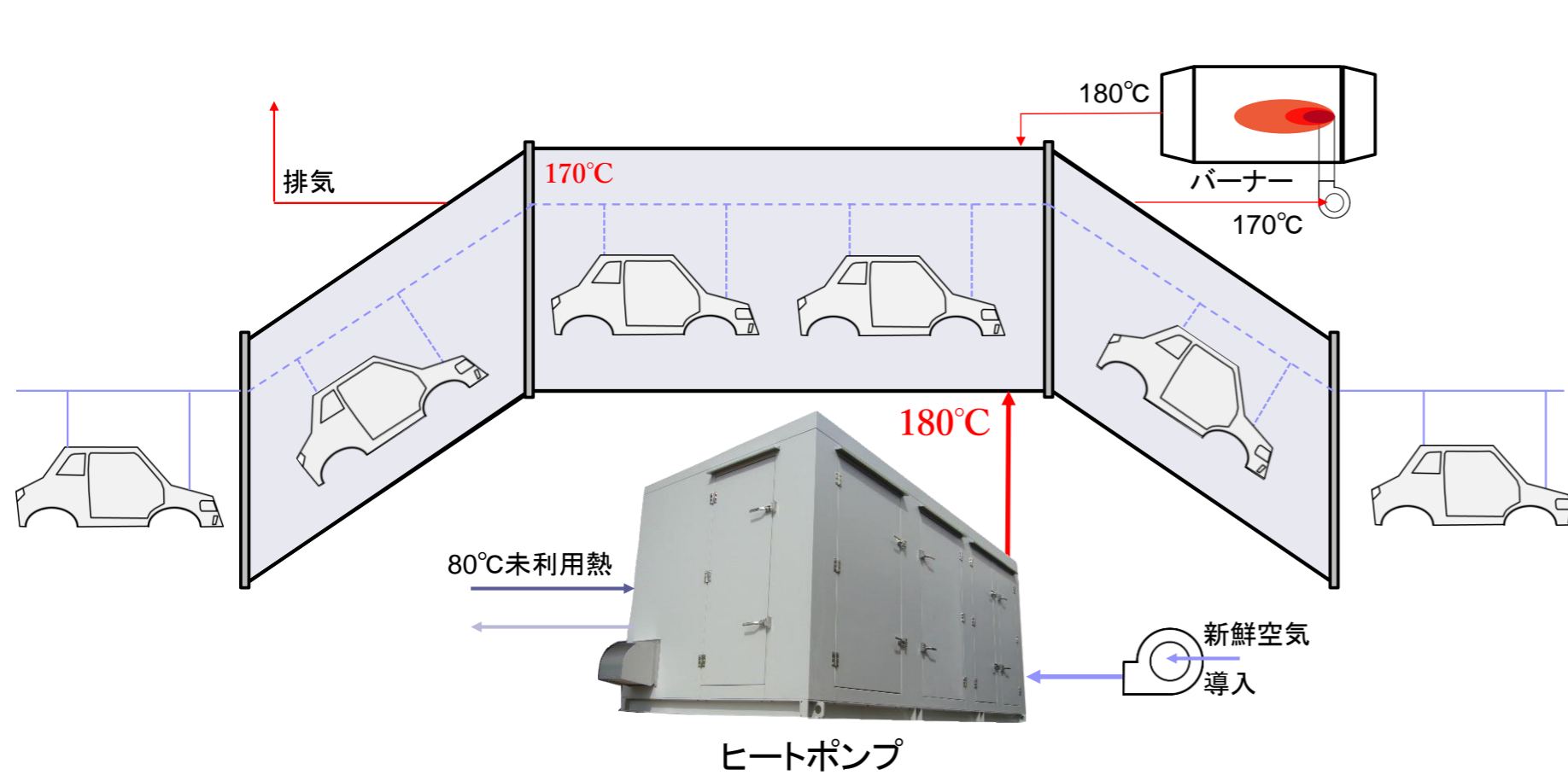
今後の展望（産業用高効率高温ヒートポンプの研究開発）

まとめ

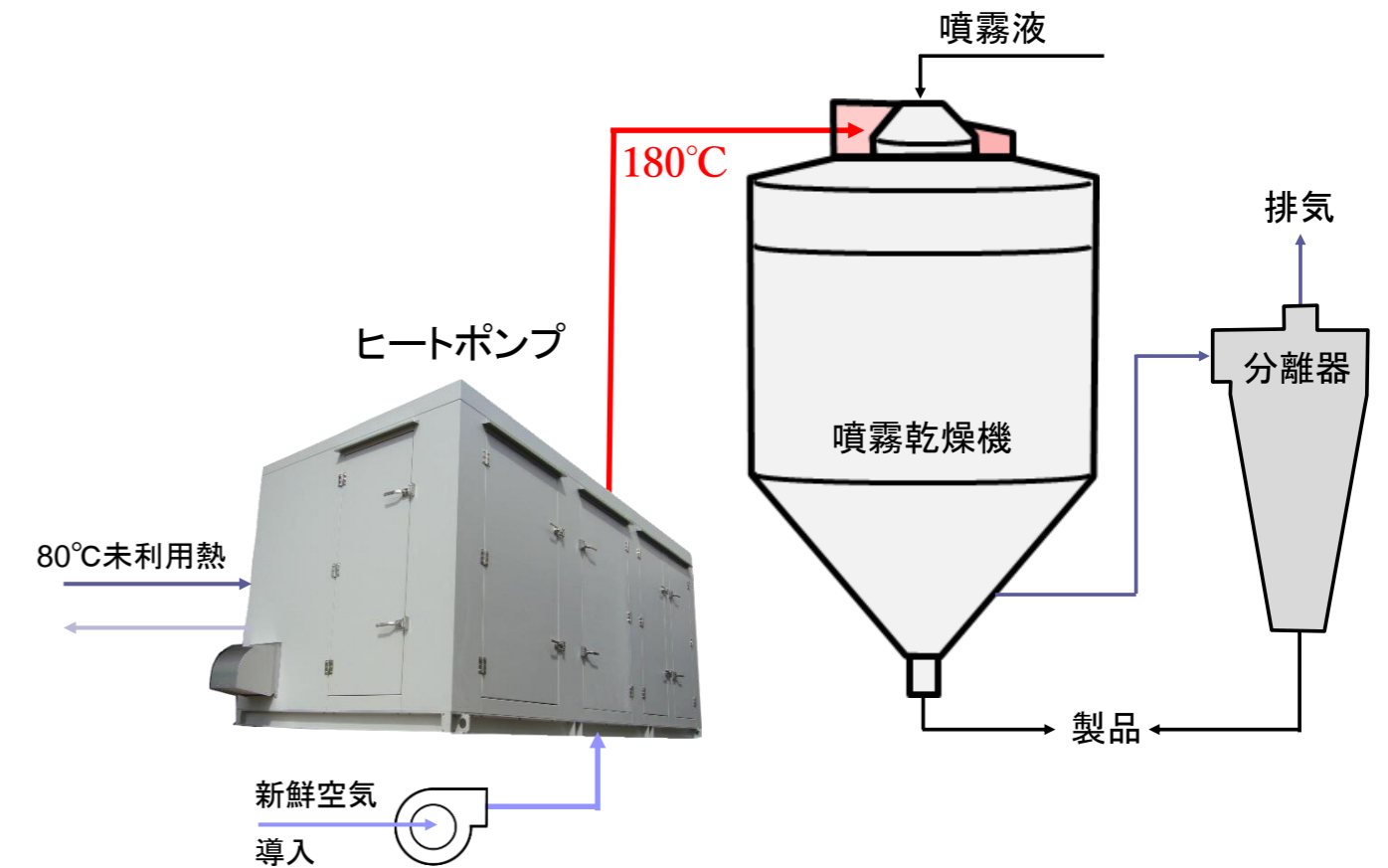
- ◆ 現在、最終の試験中であるが、**最高加熱温度200℃**、被加熱媒体**80→180℃加熱**で**COP 3.5**を達成する産業用高温ヒートポンプシステムを開発に見通しが得られた。
⇒ 実用化により、**世界最高加熱温度・最高効率**の産業用ヒートポンプとなる
- ◆ 本開発の**最適ヒートポンプサイクル**、**冷媒**、**圧縮機**、**熱交換器**、断熱材・蓄熱材などの要素技術開発の成果は、今後の実規模の**シリーズ化**、**用途展開**等においても**有用な技術**である。
- ◆ **統合解析シミュレーション技術**は、ヒートポンプ本体の運転性能算出（本研究）のみならず、市場導入のため**熱のエネルギーマネージメント**として使用可能なものとし（別途委託研究）、今後の**高温ヒートポンプ普及に有効なツール**として使用していく。

今後の展望（産業用高効率高温ヒートポンプの研究開発）

【参考】導入のイメージ



塗装乾燥（山型乾燥炉）



噴霧乾燥機

今後の展望（産業用高効率高温ヒートポンプの研究開発）

- 本プロジェクト終了後、**製品化**を行い、実ラインでの**実証試験**を経て、**2025年度**には温室効果ガス削減に取り組む**企業様への導入、事業化**を目指す。
- 本高温ヒートポンプは、現状では**日本が先行して開発**に取り組んでおり、その優位性を生かして、**国内外へ積極的に販売活動を進めて行く**。
- 本プロジェクトで開発した**シミュレータを用いて**、実際の熱利用設備を想定したモデルケースにおいて、『**導入効果の見える化**』を進めていくことにより、**導入後のイメージをお客様と共有**することが可能となり、**導入の加速**に繋がる。
- ◆ 現在～2022年度(2023年3月)
2次試作機を用いた性能評価試験
- ◆ 2023年度～25年度（NEDOプロジェクト終了後）
社内試験 & 実用化開発 & フィールド試験（量産方法、信頼性・安全性確立）
「脱炭素社会実現に向けた省エネルギー技術の研究開発・社会実装促進プログラム」へ申請予定
- ◆ 2025年度～
販売開始 ※食品会社、自動車関連会社、ゼネコン、エンジ会社等から問合せ有
量産設計、法規制対応、工場設備投資検討など