

未利用エネルギーを熱源とした高温 ヒートポンプの開発 ～低GWP冷媒を用いたヒートポンプ 試作機の開発～

プロジェクト名：未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発

プロジェクト実施者：株式会社前川製作所

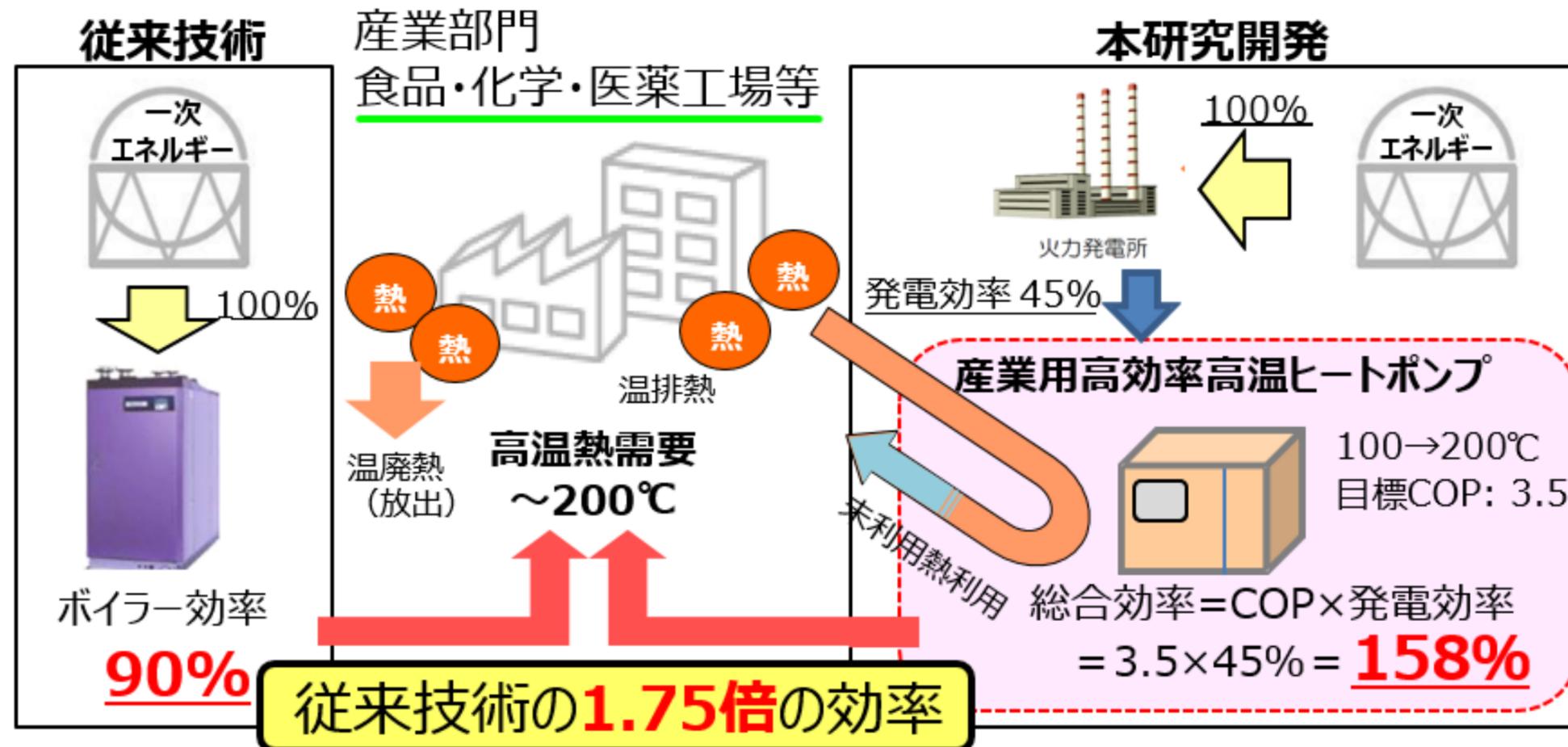
プロジェクト実施期間：2013年4月～2022年3月



- 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
- $150^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$ 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】

「Cool Earth-エネルギー革新技术計画」

「省エネルギー技術戦略2011」



本研究開発では、高温ヒートポンプの普及を目指し、
加熱温度の上昇および**COP向上**を目的とする。

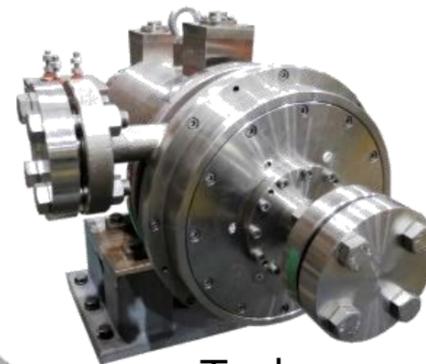
目標 最高加熱温度 **200°C**、 $COP_h=3.5$ を達成する高温ヒートポンプの開発

特徴

- 低GWP冷媒(GWP:15 or 2)



試験機の外観写真



Turbo compressor

仕様 (設計値)

項目	設計値
冷媒	n-ブタン or HFO系冷媒
圧縮機	ターボ
冷凍機油	未使用
設計圧力	6.0MPaG
加熱能力	500kW
COP_h (熱媒体100°C/200°C)	3.5
熱源温度	80°C
熱媒体 供給温度	80°C ⇒ 180°C
最高加熱温度	200°C

想定される適用先

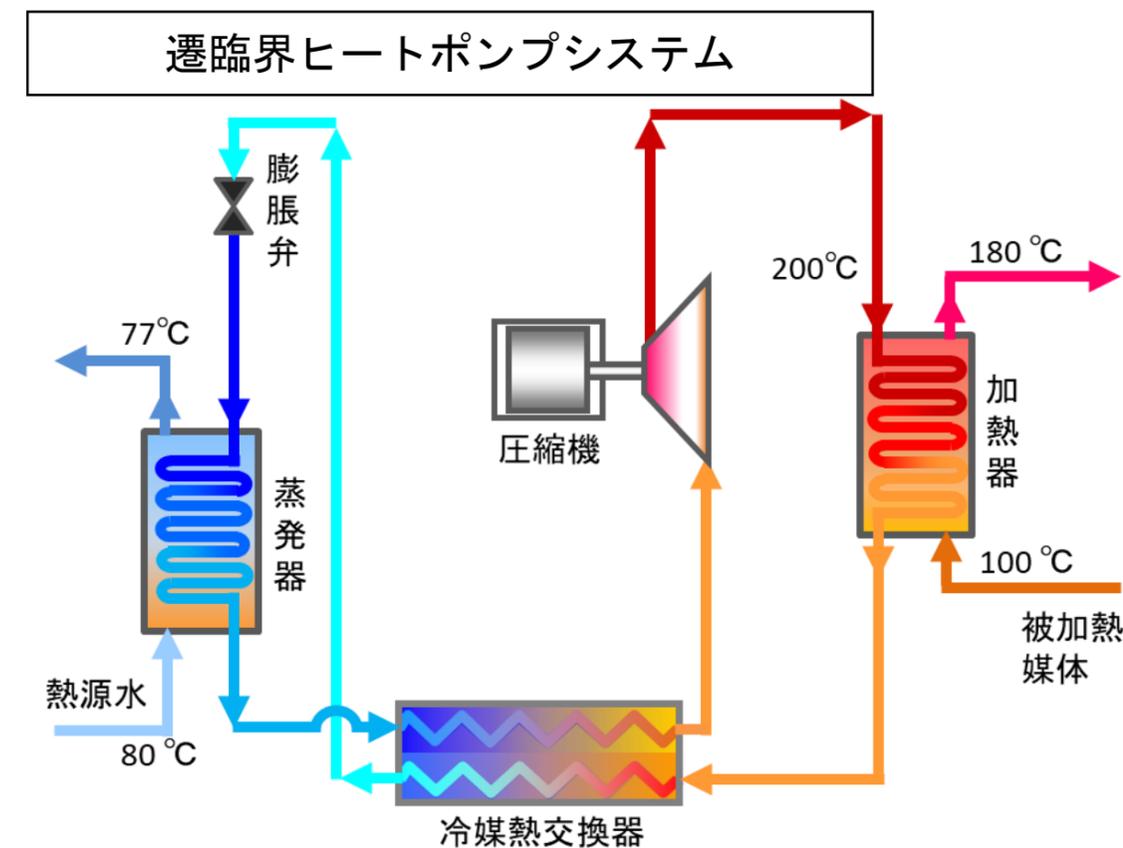
食品、飲料、医薬、ケミカル産業 etc.

最高加熱温度**200℃**、 $COP_h=3.5$ を達成する
産業用高効率高温ヒートポンプの開発

- 要素技術開発：
サイクル、冷媒、圧縮機、熱交換器、断熱技術
- 統合解析シミュレーション技術

【共同研究先】…**早稲田大学**の3先生と共研

- 要素技術開発：**サイクル、冷媒** } 齋藤先生
- 統合解析シミュレーション技術** }
- 要素技術開発：**圧縮機** ⇒ 太田先生
- 要素技術開発：**熱交換器** ⇒ 勝田先生



未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発

本研究開発では、**高温ヒートポンプの普及**を目指し、**加熱温度の上昇**および**COP向上**を目的とする。

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)



研究開発内容

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

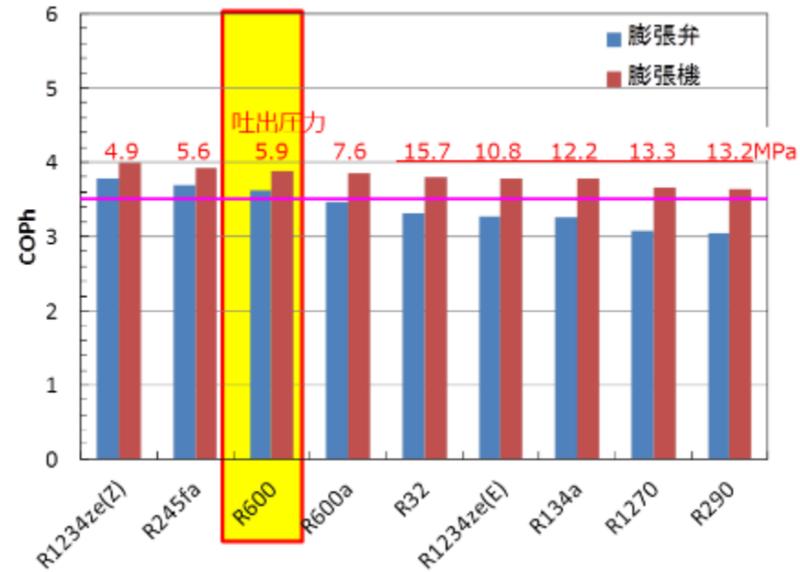
(1) ヒートポンプの最適化技術の開発

◎冷媒システム検討

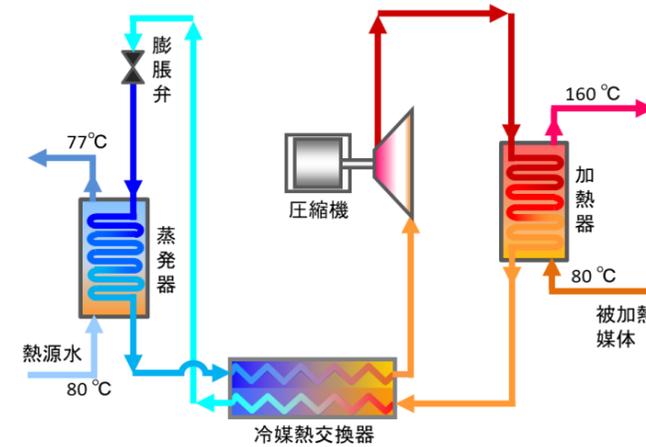
様々な冷媒でサイクル計算を行い、本システムに最適な冷媒を調査

COP_h, GWP, 圧力範囲等から R600 (ノルマルブタン) を選定

・被加熱媒体100℃→180℃加熱での試算結果



◎ヒートポンプ1次試作試験機的设计・製作 ⇒ 試運転



ヒートポンプ1次試作試験機のフローと外観

(2) ターボ圧縮機技術の開発

高温高压対応のオイルフリーターボ圧縮機を開発



第1,第2圧縮機



第3圧縮機



試作機設置時の外観

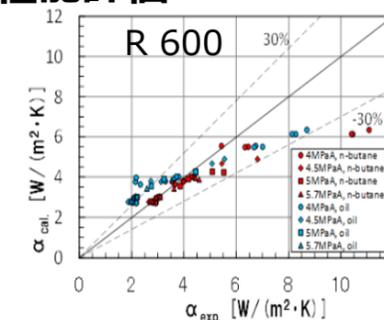
(3) 高温高压熱交換器技術の開発

熱交換器を試作し、伝熱性能を評価

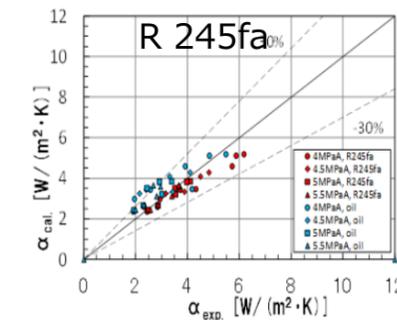
・ヘリンボーン形プレート式熱交換器



・超臨界域での伝熱性能評価



・オフセットフィン形プレート熱交換器



1次試作機：試験結果と課題

Test condition of first prototype compressors

	First set	Second set
Number of stage	Two	Single
Rotation speed [rpm]	45,000	70,000
Suction pressure [MPaA]	0.048	0.119
Suction temperature [°C]	53.1	84.5
Super heat [K]	38.5	46.6
Discharge pressure [MPaA]	0.116	0.161
Discharge temperature [°C]	89.5	104.3

- 低圧力雰囲気条件で、定格回転数での運転に成功。
- ターボ圧縮機の機械的な健全性を確認できた。
- ビルトインモータ・アキシャル軸受近傍の雰囲気温度が上昇、対策が必要。

2次試作機の検討へ

2次試作機の作成

- 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、フロン系の低GWP冷媒R1336mzz(Z)を採用。



装置外観：W2300×L5400×H2250 mm



圧縮機外観



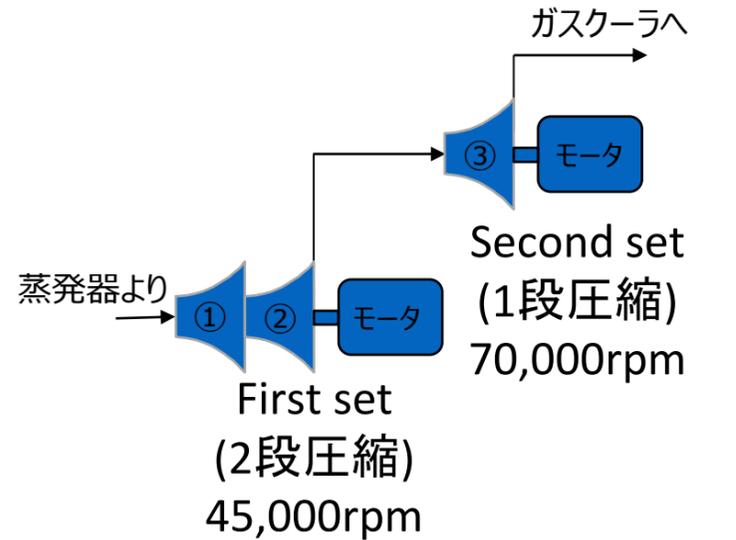
装置内部

2次試作機の変更点

- ・最高加熱温度 : 180℃ ⇒ 200℃
- ・冷媒 : R600 ⇒ R1336mzz(Z)
- ・圧縮機段数 : 3段 ⇒ 4段
- ・圧縮機ブレード : 片持ち ⇒ 両持ち（保持方法）

1次試作機

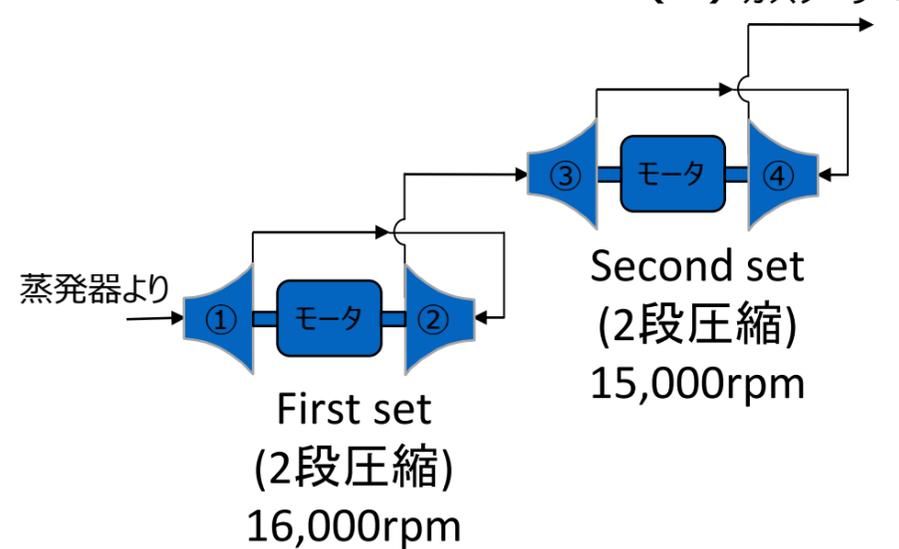
冷媒：R600（ブタン）



1次試作機 圧縮機

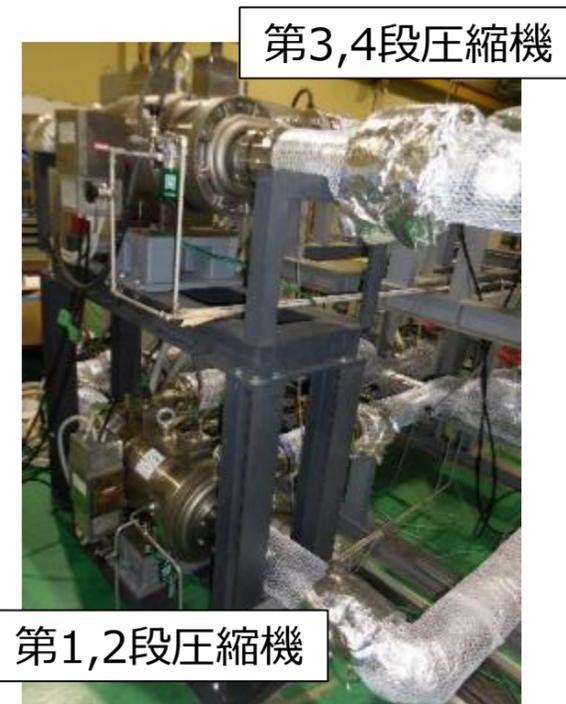
2次試作機

冷媒：R1336mzz(Z) ガスクーラへ

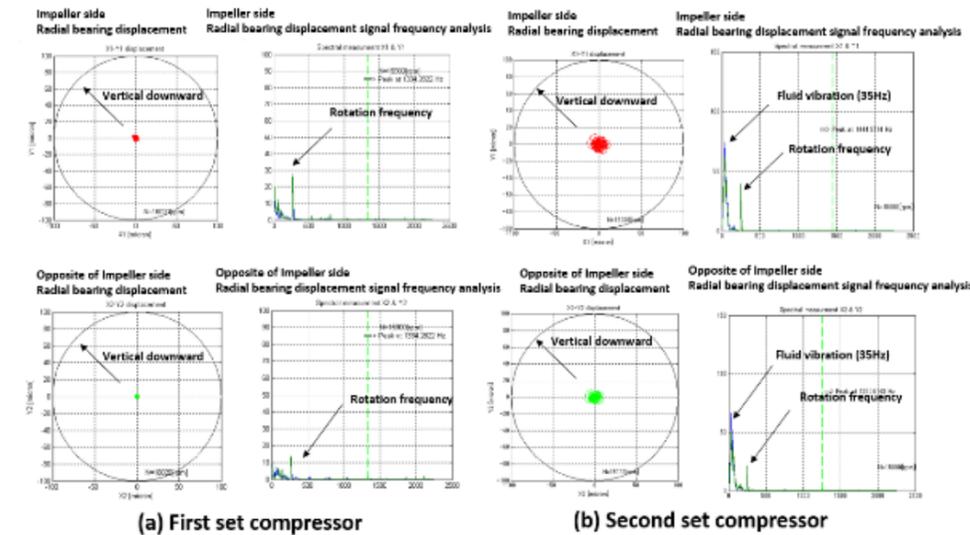


2次試作機 圧縮機

圧縮機単体試験結果



連結運転時の軸変位と周波数分析結果



- ・ 低圧力雰囲気条件で、定格回転数での運転に成功。
- ・ ビルトインモータ・アキシャル軸受近傍の温度上昇なし。
- ・ 低周波数で流体振動に起因する大きなピークが確認。
⇒ 磁気軸受の調整で対策予定。



性能評価試験へ

まとめ

- 80 °Cの被加熱媒体を180 °Cに加熱する際、COP 3.5を達成する高温ヒートポンプの開発を目指している。
- 第1ステップとして、80 °Cの被加熱媒体を160 °Cに昇温するシステムを対象にして、これまで開発した圧縮機、熱交換器をヒートポンプに適用した際のシステム性能のシミュレーションによる評価を行った。
- 80 °Cの被加熱媒体を180 °Cに加熱する際、COP3.5を達成する高温ヒートポンプの開発を目指し、システム解析技術と、圧縮機、熱交換器の要素技術の開発およびそれらを統合した実規模のヒートポンプ試作機の開発を実施してきた。
- シミュレーション結果およびこれまでの熱交換器の伝熱性能や圧縮機の流体解析結果をもとに、実規模の性能評価試験装置の製作を行った。
- 今後、今回開発したヒートポンプ試作機を用いて、性能・信頼性試験を行うとともに、試験結果を用いて、圧縮機、熱交換器の要素技術を高温ヒートポンプに最適化していく予定であり、2025年頃の市場導入を目指して製品化を進めていく

今後のスケジュール

- 現在～2022年度(2023年3月)
二次試作機を用いた、性能評価試験
- 2023年度～24年度 (NEDOプロジェクト終了後)
フィールド試験&実用化開発 (量産方法、信頼性・安全性確立)
- 2025年頃
販売開始



二次試作機外観

低GWP冷媒を使用した高温HPの開発

温水加温HP

供給温度：65°C～90°C
循環式加温型



HC系：GWP=4
HFO系：GWP<1

蒸気生成HP

供給温度：120°C～150°C
加熱能力：250kW
圧縮機：スクリー
循環式加温型



ペンタン：GWP=3
HFO系：GWP=2

Sponsored by NEDO



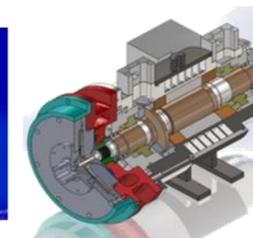
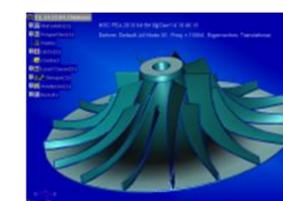
熱媒油・熱風HP

供給温度：160°C～180°C
加熱能力：300kW
圧縮機：ターボ
一過式加温型



HFO系：GWP=2

Sponsored by METI & NEDO



※ GWP values based on the IPCC's 5th report or Ministry of the Environment report.

Copyright © 2021 MAYEKAWA MFG.CO., LTD. All Rights Reserved.