

極低振動機構を用いた 低温熱源（廃熱）発電システムの開発

新エネルギー等のシーズ発掘・事業化に向けた技術研究開発事業
社会課題解決枠フェーズA(未利用エネルギー利用促進分野)
極低振動機構を用いた低温熱源発電システムの開発

発表：2026年7月21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

発表者：吉澤 匠

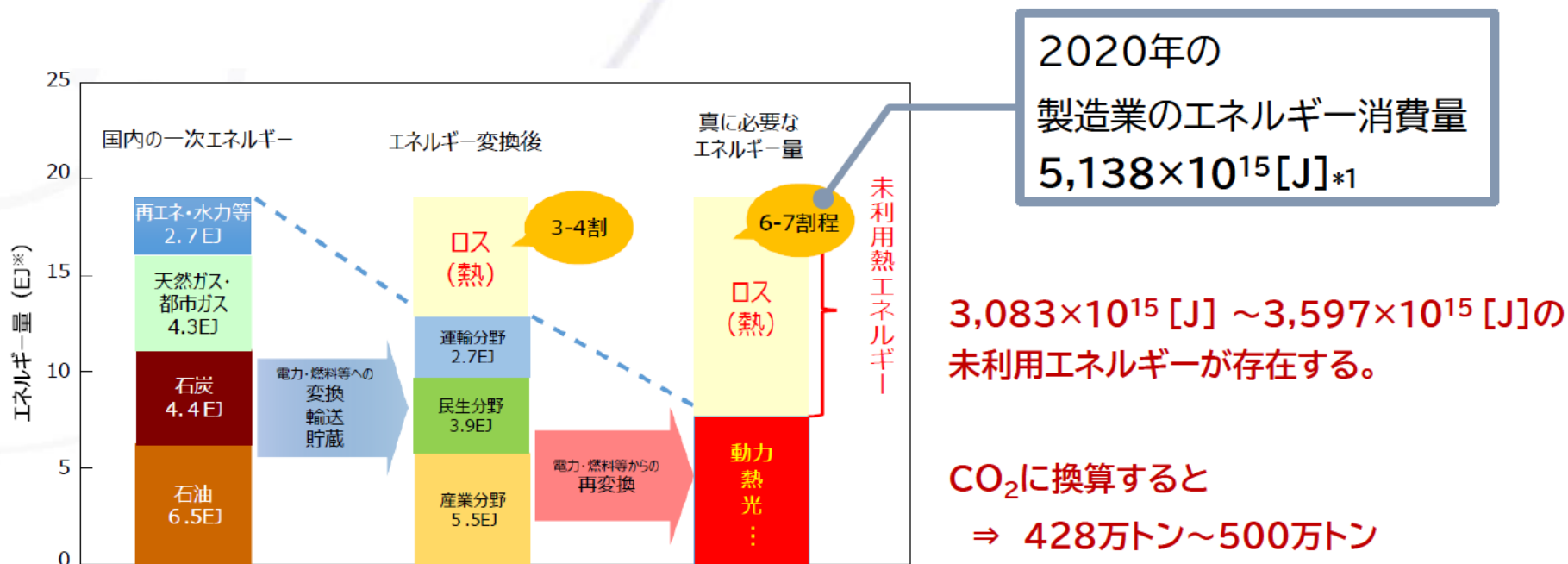
団体名 Zメカニズム技研株式会社

問い合わせ先 Zメカニズム技研株式会社 E-mail:info@zmechnaism.jp

背景および目的

現在の日本における未利用エネルギーは6～7割と大きく、そのほとんどが200℃以下の低温廃熱となっている。さらに、このエネルギーロス量の大半は、製造業からのものである。この未利用エネルギーを有効活用することは、エネルギーレジリエンスに資するものと考えている。

そこで本事業は、オーガニックランキンサイクル(以下、ORC)発電システムのコアである膨張機を、独自の機構技術により極低振動化し、使用するフィールドを選ばない柔軟性に富んだオンデマンド回生発電システムの構築を目指す。



*1 経済産業省エネルギー消費統計調査、図の出典：NEDO2022年講演資料

事業概要

事業名: 極低振動機構を用いた低温熱源発電システムの開発

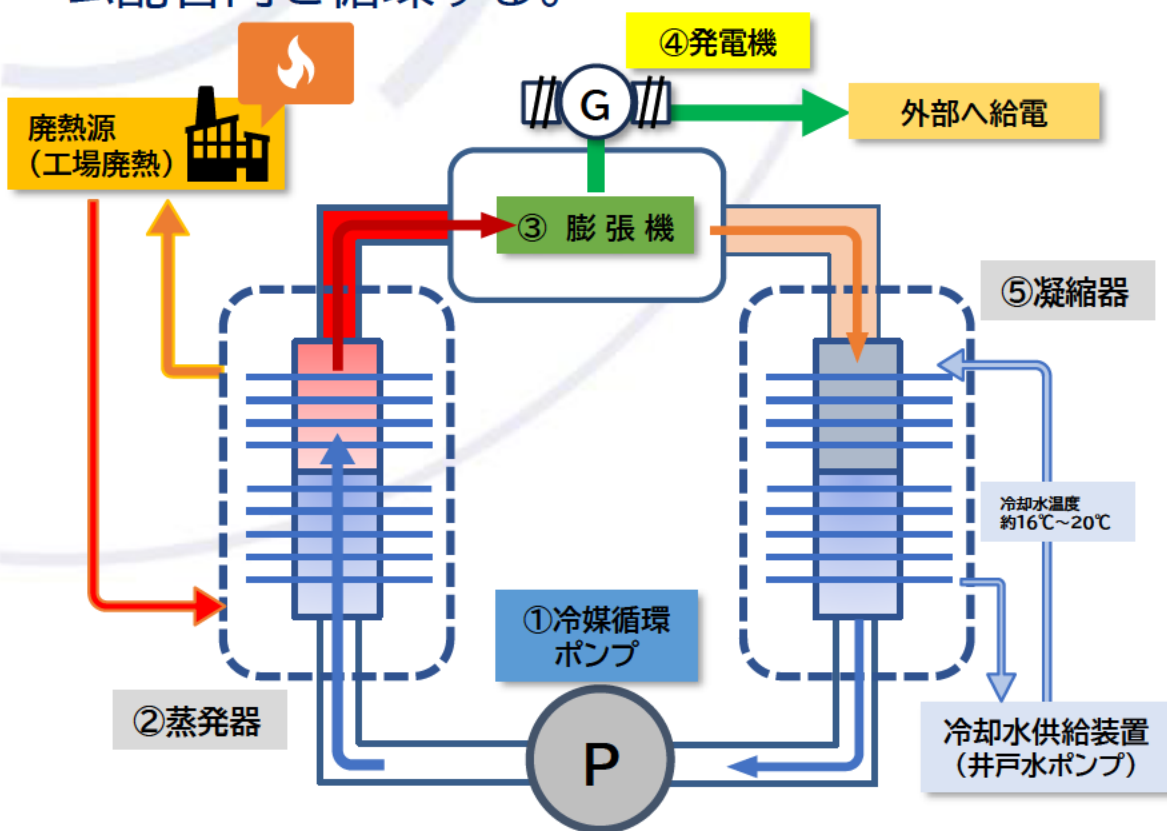
1. 実施期間: 2025年4月18日～2026年3月31日

2. 実施内容

研究開発項目	目標(値)
①極低振動高効率膨張機の研究開発 膨張機に新型機構部を用いた 極低振動化と高効率化	膨張機に発生する振動加速度を－50%以下 に抑制
②熱交換器の最適化(構成・配置等) ベースシステムの性能把握および熱交換 器の最適化による性能向上	ベースシステムと比較し25%の性能改善 向上
③バッテリー直結制御によるエネルギー効率化 発電機出力を整流器だけを介して、リチ ウムイオン電池に直接接続するシステム の開発	バッテリー直接制御によりチャージコントローラ を使用しない構成とし損失を低減させ、蓄電 効率を10%向上

研究開発内容(動作プロセス)

- 本装置は、冷媒(R245fa)を冷媒循環ポンプにて圧送し、廃熱を回収した温水を用いることで冷媒を加熱・気化させ、その圧力で膨張機を駆動。発電機を動作させ、電力を得る。
- その後、冷媒は凝縮器によって冷却・液化し、冷媒循環ポンプへ送られシステム配管内を循環する。



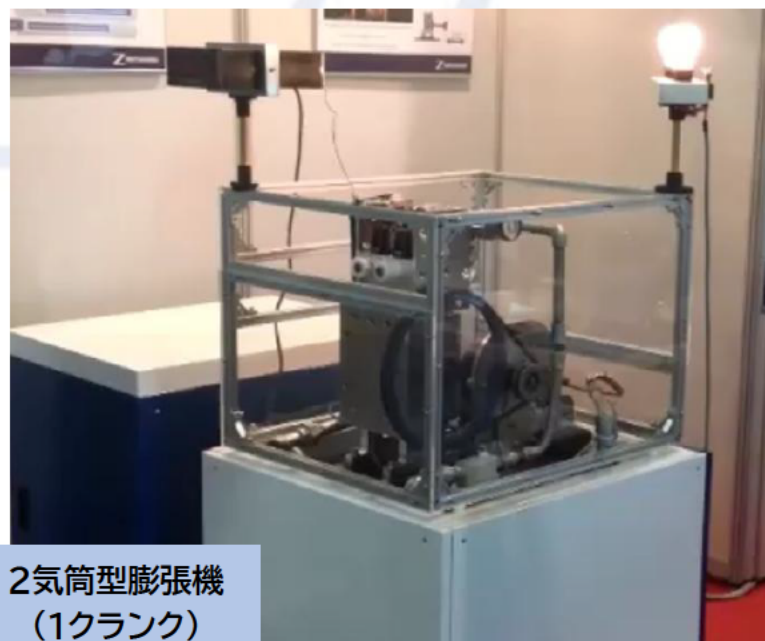
ORCの動作プロセス



FIG.1 ORCの動作プロセス図

研究開発内容(コア技術)

- 本研究開発のコアとなる技術は、「空気冷凍機システム」
- 圧縮空気によって、冷気を生成すると同時に、発電を行う



2気筒型膨張機
(1クランク)

Movie1 空気冷凍機プロトタイプ

空気冷凍機紹介動画
(Youtube)



このコア技術は、ジュールトムソン効果を用いて圧縮された気体を膨張させ温度を低下させる。

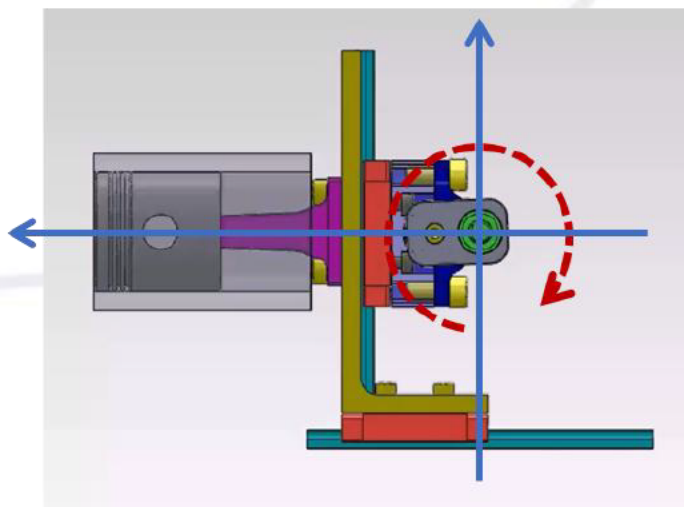
独自の発電制御を加え、温度低下を促進させ、**最大で -86°C の低温空気を生成**することができる。



このシステムの作動流体を相変化がある冷媒にすることで、ORCへの展開が可能

研究開発内容(膨張機内部機構)

- 本研究開発で用いる膨張機は、独自機構であるXY分離クランク機構によって構成されている
- クランクの回転力を異なる直交する2軸に分離することでピストンを厳正直線運動させる機構
- 回転要素はクランク軸のみであり、コネクティングロッドの揺動がない



Movie2 XY分離クランク機構

日本・米国・ドイツ・中国・韓国にて特許取得済み

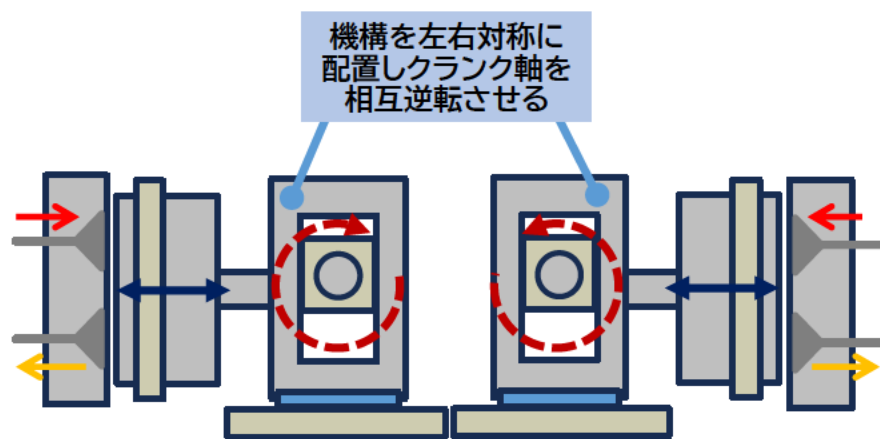
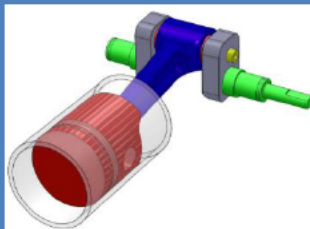


Fig.3 XY分離クランク機構の鏡像配置による2軸反転機構

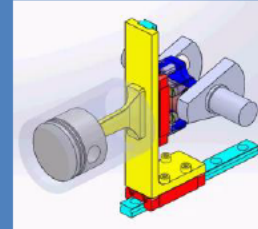
研究開発内容(膨張機内部機構)

7

Slider Crank

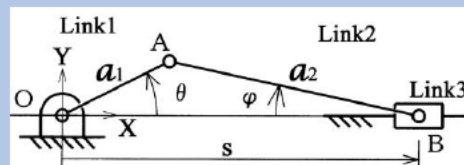


Z Mechanism



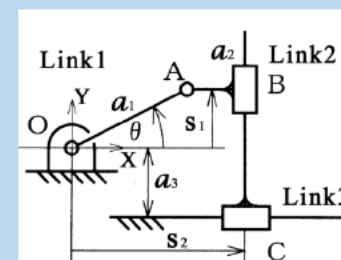
回転運動の
変換・伝達

コンロッドの揺動運動を
伴う非正弦波動作



$$s = a_1 \cos \theta \pm \sqrt{a_1^2 \cos^2 \theta - (a_1^2 - a_2^2)}$$

直交2軸のスライダによる
厳正な正弦波動作



$$s_2 = a_1 \cos \theta + a_2$$

構成部品の回転
揺動動作部品の数

クランク軸/コンロッド
(2円の合成による変換)

クランク軸のみ
(単一回転運動からの換)

コンロッド揺動

揺動運動が発生する

揺動運動が発生しない

研究開発内容(装置外観/膨張機)

- 本研究開発では、先述の膨張機(直列2気筒)を、水平2軸反転型の膨張機の構成に変更して製作。
- 2本のクランクシャフトを相互反転させ、慣性力を打ち消す構造。

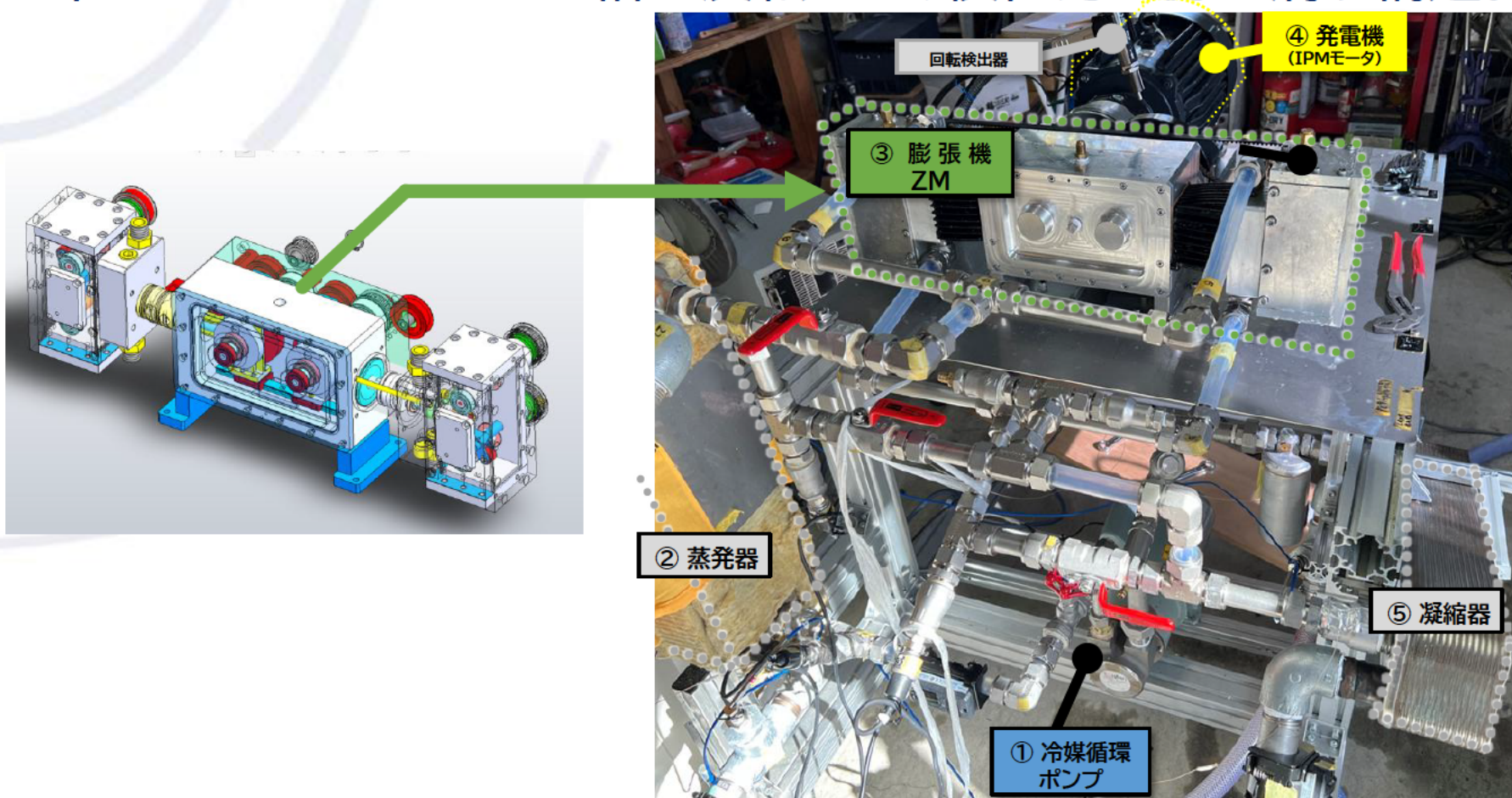


FIG.2 膨張機の構成図ならびに試験装置の実機

研究開発内容(装置外観/システム全体構成)

9

- ・ 熱交換器は流通している一般品を用いた。
- ・ 凝縮器の配置姿勢によって熱交換に有意な差が発生するかどうかを検証

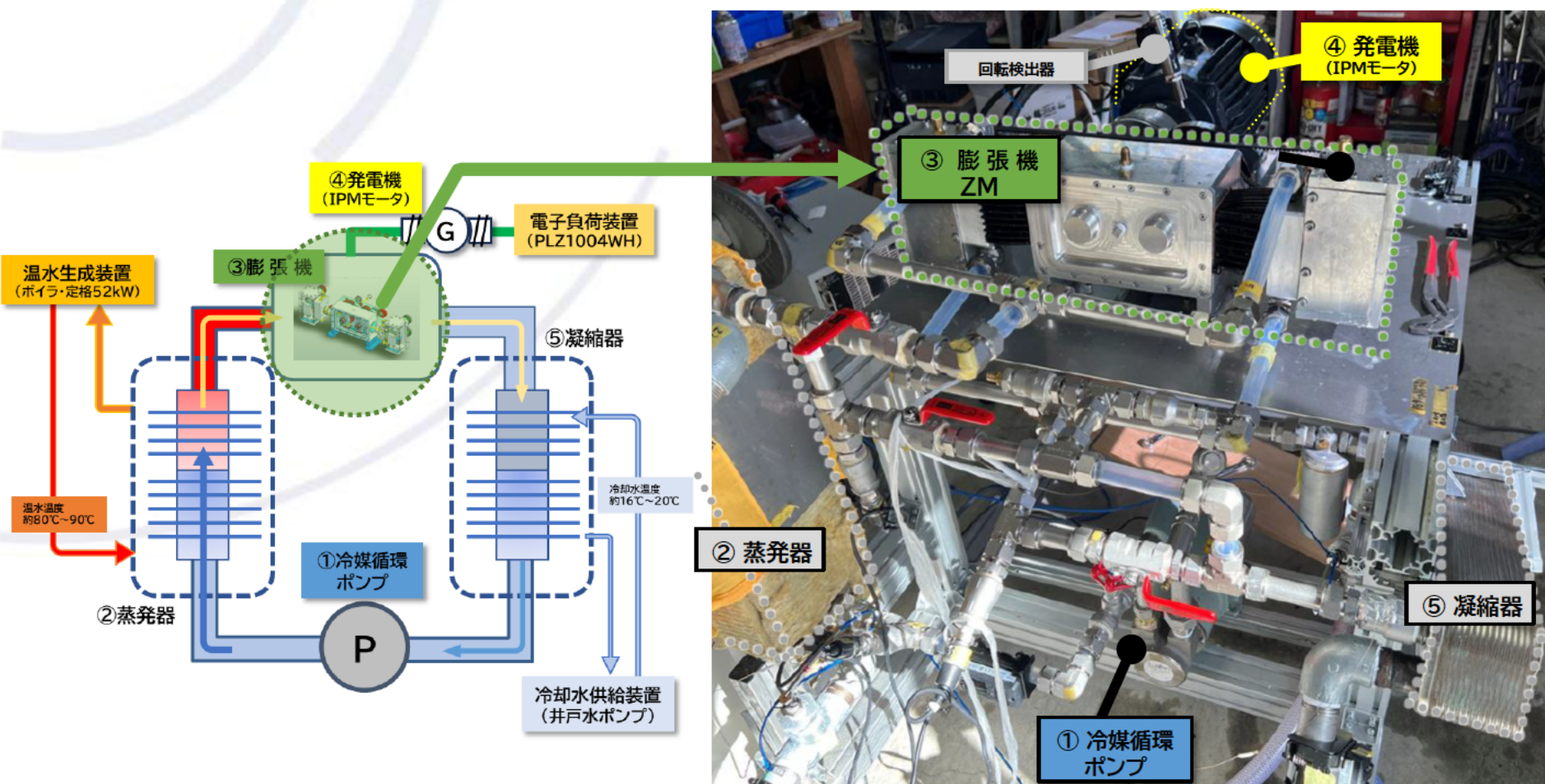


FIG.2 試験装置構成図と膨張機の実機ならびに実際の構成要素部品

開発項目①/実施内容(極低振動高効率膨張機)

- 一般的に、ピストン方式の機械は、スクロール方式と比較して振動が大きいと言われている
- 本機構の直動運動と二重反転方式により理論上振動を打ち消すことができる
- この機構を用いてエンジンを試作し、6000rpmにて動作させ、振動の減少効果について検証した。その結果、機構由来の低次振動を解消できた。

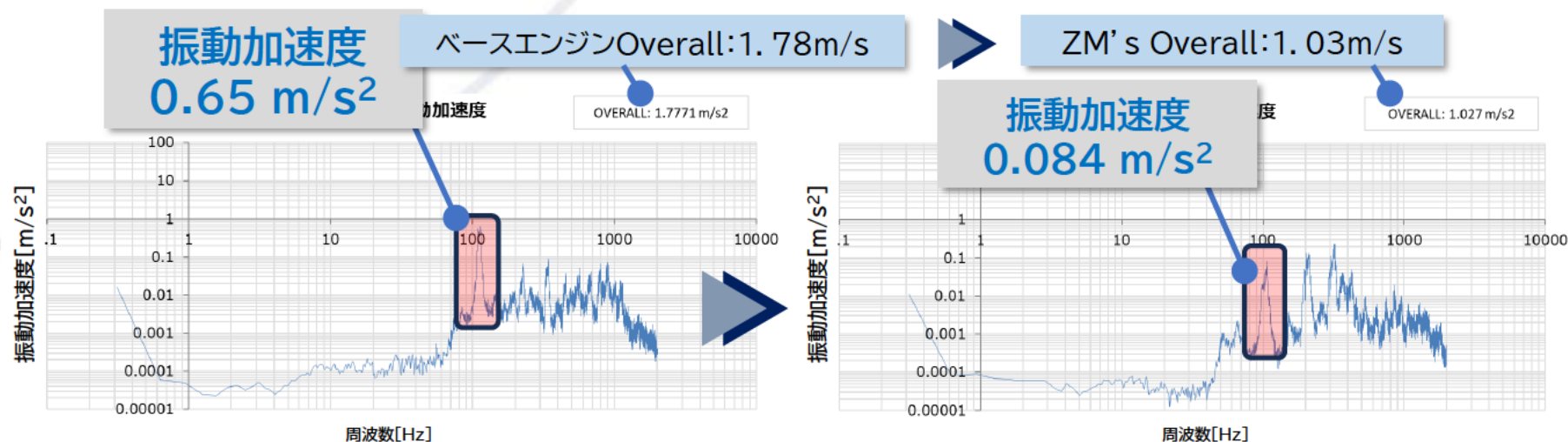


FIG.4 振動加速度の試験結果

機構由来の低次振動を98%削減

開発項目②/実施内容(熱交換器の最適化/構成・配置)

11

この結果を元に、実機において凝縮器の姿勢を変更し、直立姿勢で液状態であった冷媒を正常に相変化できることを確認した。

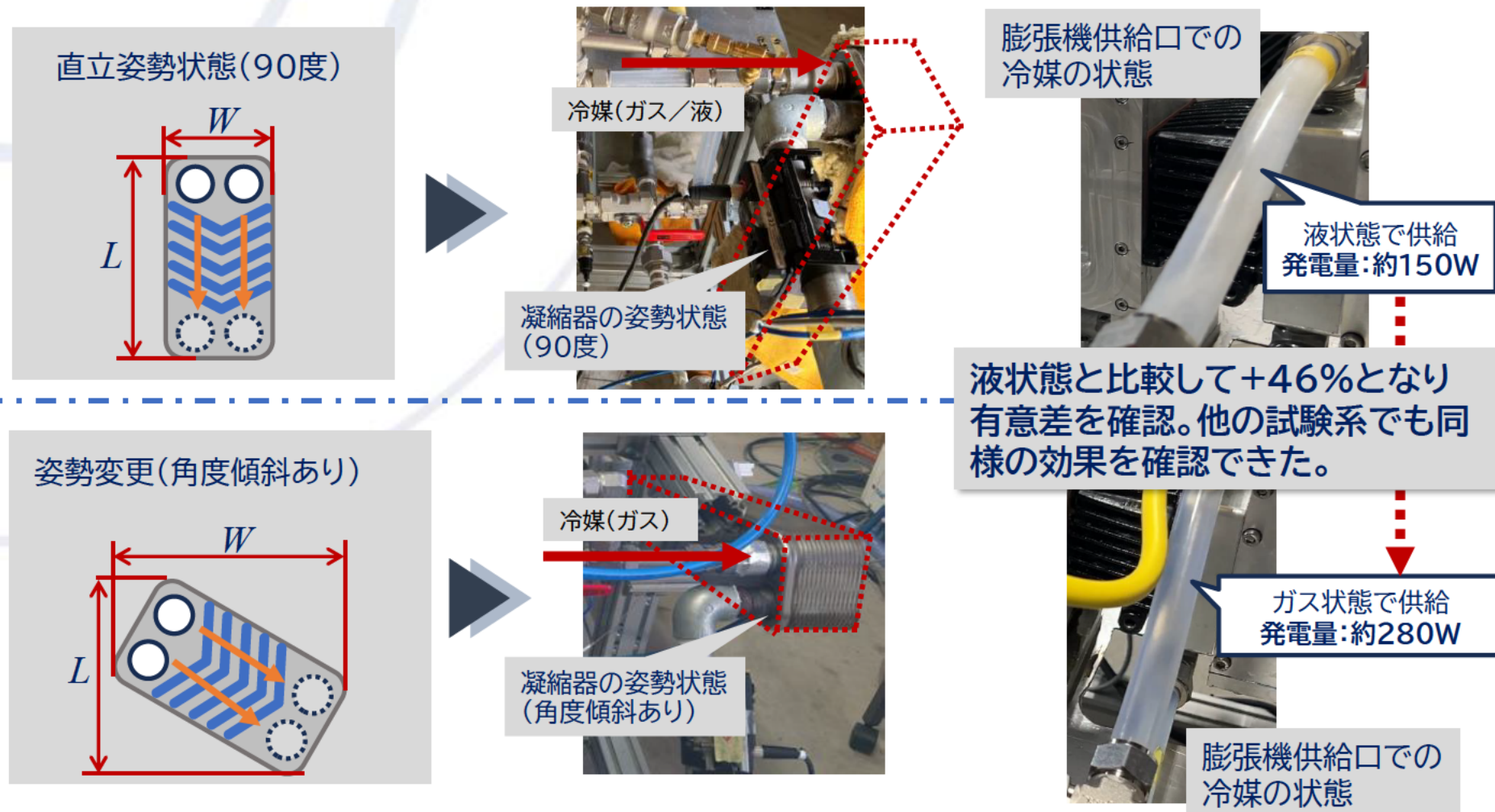
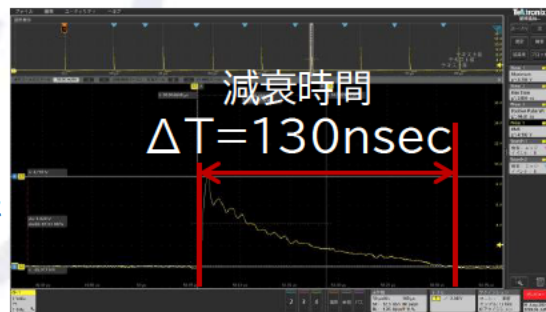


FIG.6 凝縮器配置姿勢による冷媒状態の変化(試験系C)

開発項目③/実施内容(バッテリー直結制御によるエネルギー効率化)

本研究開発において、マンガン酸リチウムイオン電池を用いてノイズ除去を検討した(熱源の温度変動などの外乱によって発生する発電変動対策)。

EFT/B試験機で生成した
ノイズ波形を印加



ノイズの減衰効果を確認

オシロスコープ



三端子セル外観

出力正極

負極

入力正極

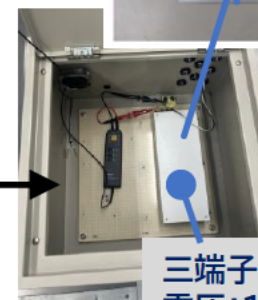
装置設定
電圧ピーク: 4000V
繰り返し周波数: 100kHz

EFT/B試験器

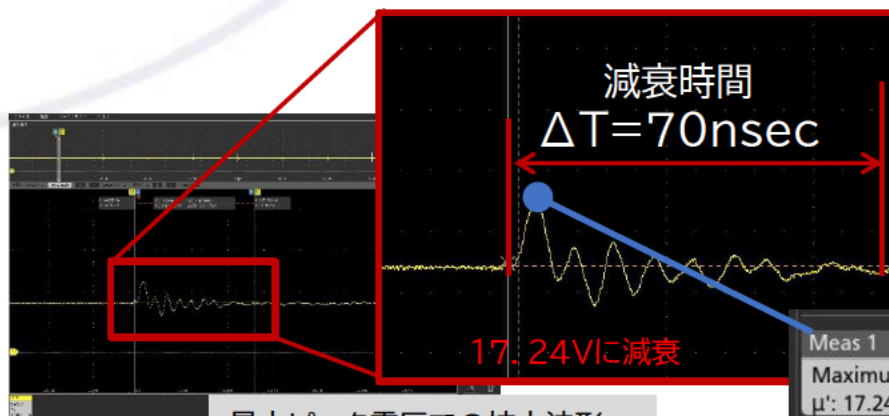
4000V出力

減衰器
(1/200)

20V入力



三端子MLIBユニット
電圧: 12V



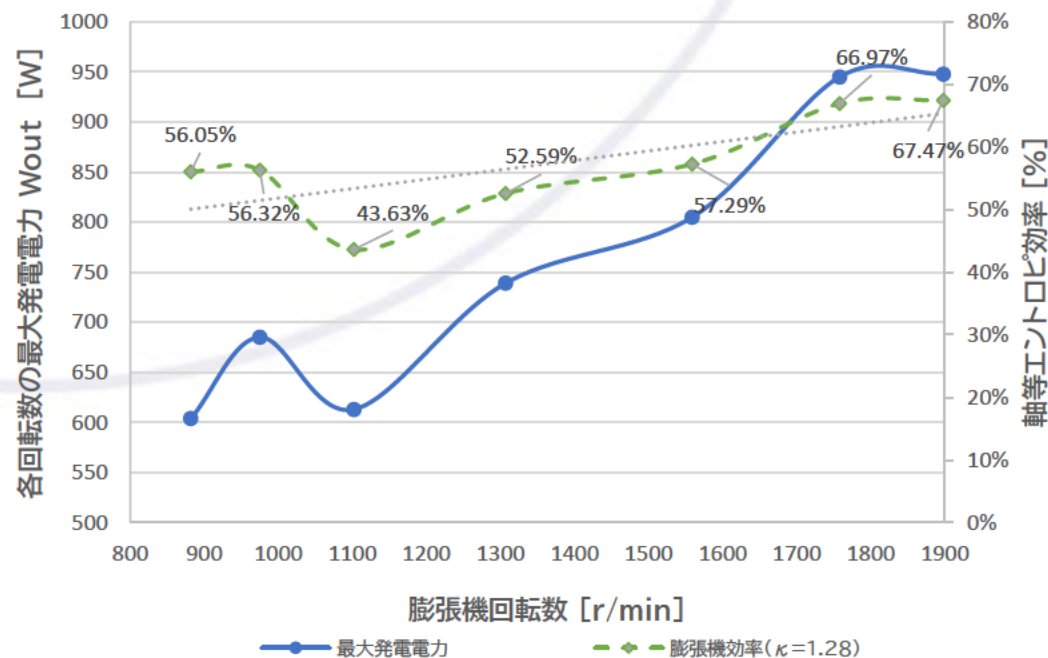
最大ピーク電圧での拡大波形

ノイズ減衰効果が認められたが、
回路簡略化までは困難。
一方で、電子ガバナとしての効果が
期待できる。

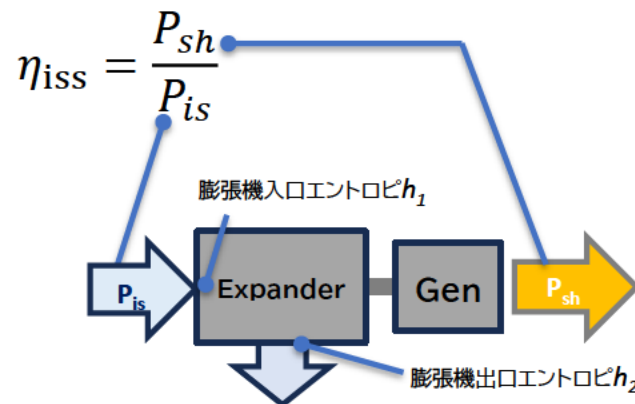
FIG.7 三端子マンガン酸リチウムイオン電池のノイズ減衰効果

開発項目/実施内容(ORCシステム全体の効率検証)

- 既存のORCでは1000rpm以下の領域では発電が難しい。一方、本システムでは、この領域でも動作が確認された。
- ORCシステムの全体効率は、軸等エントロピー効率 η_{iss} (緑破線)として定義される。
- 試験系Aにおいて、ORCの理想状態であるガス動作(圧縮空気模擬)させた結果、FIG.6に示す通り、43%~67%のシステム効率が得られることが確認された。



軸等エントロピー効率 η_{iss} (システム効率)



理論動力 P_{is} (圧縮空気を持つ理論エネルギー)

$$P_{is} = \dot{m}(h_1 - h_2)$$

P_{sh} : 発電電力(実験値)
 P_{is} : 圧縮空気の理論出力
 $\dot{m}$: 質量流量
 h_1 : 膨張機入口エントロピー
 h_2 : 膨張機出口エントロピー

FIG.6 本研究において開発した膨張機の実出力と軸等エントロピー効率

今後の課題

①冷媒まわりの動作改善

膨張機内部の隔壁から、吸気バルブ手前までブローバイ冷媒が戻る回路を付与していたが、意図したとおりに冷媒が戻らず、圧縮することがあった。また、周囲温度の影響を顕著に受けた冷媒が、膨張機近傍で液化する現象においては、バルブやその周辺部品が損壊するアクシデントが発生した。

これらの現象は、システムの始動性と安定性を損なっており、これを解決する必要がある。

フェーズBにて膨張機を複動ピストン方式に変更し、ブローバイ冷媒を排気行程へ流す構造とする。同時に、吸排気バルブの構成についても、複数の方式を検討して、膨張機本体の動作安定性を向上させる。

②システム全体の配管設計のコンパクト化

熱交換器や配管についても、現在の構成は経路が長く熱損失が発生している。これを減らすためにはコンパクト化と新冷媒への対応が必要不可欠であり、一層の配置検討が必要である。

フェーズBでは配管構成部品を見直し、安価で単純な部品に置換する。同時に断熱材の配置や流体の経路構成を見直し、冷媒の安定した相変化を確保する。

研究成果(進捗概要/スケジュール)

- 現在、ORCの発電システムが市場に投入されているが、中小企業が導入できる小型システムは種類が少ない状態である。よって、マーケットインを迅速に行い、シェアを確保することが重要と考える
- 極力早い時期に開発を終え、製品化を急ぐ。

2025-2026年度
プロトタイプ 1号機
(Phase-A)



Phase-A
Prototype
Expander

2026-2027年度
プロトタイプ2号機
(Phase-B)

2028年度～
PoC & 商用化
First commercial units
(5 kW / 15 kW)

2029+
Europe PoC
EU demonstration sites



Product
Image

まとめ

- フェーズAで開発した膨張機や熱交換器の知見をもとに、遠隔監視&制御を実装したプロトタイプをフェーズBでは開発予定
- 自動運転が可能な構成に変更し、事業化を加速させる

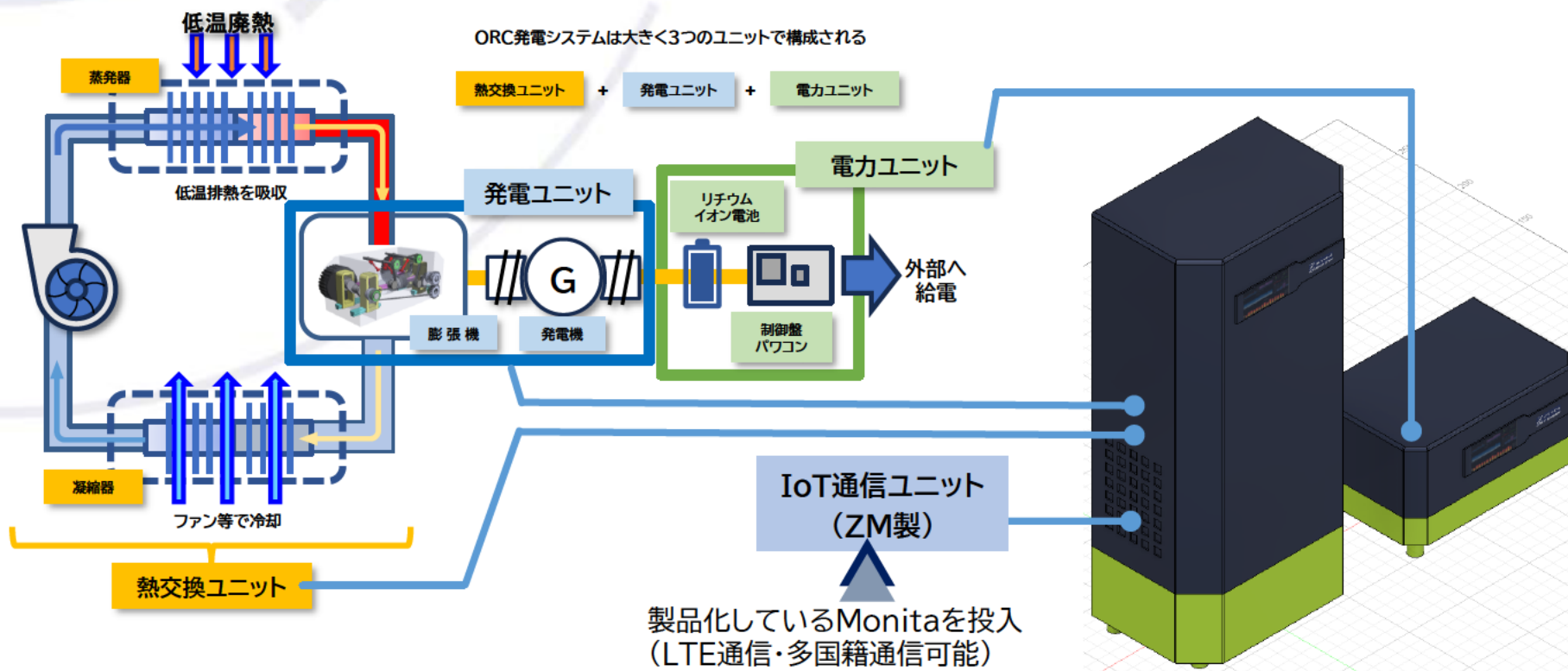


FIG.7 最終製品としてのイメージ