

補助事業番号 2024M-477

補助事業名

2024年度 港湾での発電に適した高温超電導用液化水素冷却システム開発 補助事業
補助事業者名 豊田工業高等専門学校 情報工学科 准教授 都築 啓太

1 研究の概要

本研究は、港湾などにおける水素エネルギー活用を見据えた高温超電導回転機の冷却システムの構築を目的としています。港湾等での発電設備としての活用を想定し、安全かつ効率的な水素冷却システムの構築を目指しました。温度・圧力・真空を統合監視できる制御系、遠隔冷却可能な凝縮器、安定したガス供給を実現する制御パネルなど、複数の構成要素を設計・製作・統合し、試験評価を実施しました。特に、安定動作可能な冷却システムの要素技術を確立し、実現性を検証しました。

2 研究の目的と背景

近年、CO₂排出量をゼロ（カーボンニュートラル：CN）によって達成される脱炭素社会の実現に向けて再生可能エネルギーや高効率エネルギー技術が注目されています。中でも港湾インフラにおける自立型電源の確保は重要課題であり、水素を用いた超電導回転機はその有効な解となり得ます。本研究では、液体水素を冷媒とする冷却システムの構築と評価を通じて、港湾での現場実装を見据えた応用可能性の検証を目的としました。

3 研究内容

(1) 水素冷媒を用いた極低温冷却システムの開発

本研究では、水素を用いた冷却系の設計・製作・試験を行うべく概念設計から要素技術検証までを実施しました。制御にはLabVIEWを用い、流量、圧力、温度をリアルタイムで監視可能なシステムを構築しました。温度センサ、圧力センサ、真空センサ、マスフローコントローラ、熱交換器、熱交換器を組み合わせ、窒素による模擬試験や応答評価を経て代替気体による凝縮温度近傍までの冷却試験までを実施しました。

(2) 試作部品の調達および組立評価

耐水素性素材による配管や冷媒熱交換器の製作、冷却供試体の設置、流量調整用ヒータの取り付けなどを行いました。各構成要素が極低温環境下で適切に作動することを確認し、システム全体の評価と改良を段階的に行いました。

(3) CNを目的とした水素応用機器の需要調査

本研究に関連して、国内外の水素エネルギーおよび超電導応用事情に詳しい関係者との打ち合わせを複数回実施しました。特に国内外での発表と調査によりカーボンニュートラル(CN)

推進施策を背景にした港湾施設や液化水素を活用した電源システムへの期待と現実の課題について意見交換を行いました。冷却システム開発と並行し、国内技術者および研究者との打合せを継続的に開催し、技術適用の可能性や冷却システムとの適合性、実用化に向けた課題抽出を行いました。

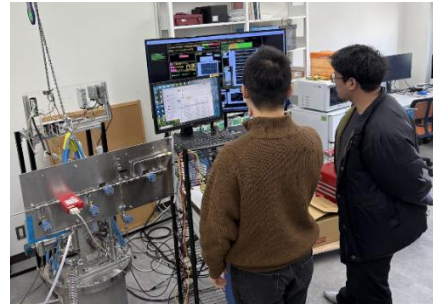


図1 高温超電導用水素冷却システム一式 図2 実施機関における冷却実験の様子

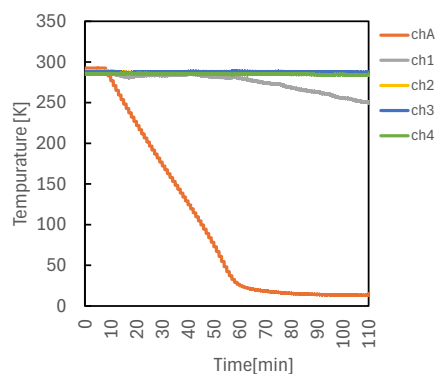


図3 冷媒ガスなし冷却試験結果

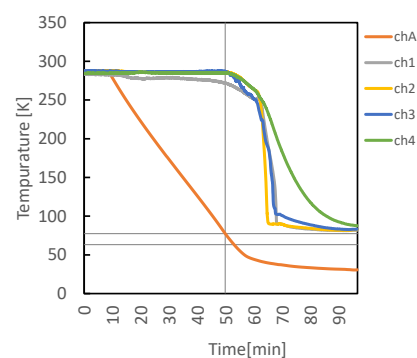


図4 冷媒ガスを用いた冷却試験結果

冷媒ガスの有無による条件を変更して冷却実験を行った結果を示します。冷媒ガスを流入していない場合は導入管内は真空状態となり、冷媒導入管の伝導伝熱のみで遠いところを冷却されます。コールドヘッドの温度であるchAは冷却を始めると順調に温度が下がっていきますが、冷媒導入管の温度であるch1~4はほとんど温度が変わっていません。冷媒を用いて冷却実験を行った場合は時間経過により結果を見ると冷媒導入管の温度も徐々に下がり始め、最終的には冷媒導入管の温度はターゲットとしている温度に到達することができました。これより、コールドヘッドで冷却された冷媒ガスが冷却供試管まで到達し、目標値まで冷却することができている基本構造を確認することができました。

JKA機械振興補助金による研究進捗報告書URL

タイトル:【御礼】公益財団法人JKA 機械振興補助事業に採択

投稿日: 2024年4月4日 URL: <https://tsuzuki-lab.net/?p=603>

タイトル:【研究】冷媒を用いた超電導材料の冷却環境を構築

投稿日: 2024年10月30日 URL: <https://tsuzuki-lab.net/?p=774>

タイトル:【学会】第37回超伝導シンポジウム (ISS2024) 金沢にて発表

投稿日: 2024年12月4日 URL: <https://tsuzuki-lab.net/?p=677>

タイトル:【報告】研究協力者への設備案内と進捗報告

投稿日: 2024年12月4日 URL: <https://tsuzuki-lab.net/?p=860>

タイトル:【研究】実験データの取得と検証が進行中

投稿日: 2025年1月16日 URL: <https://tsuzuki-lab.net/?p=745>

タイトル:【調査】タイ・レムチャバン港の訪問

投稿日: 2025年1月26日 URL: <https://tsuzuki-lab.net/?p=723>

タイトル:【訪問】極低温材料研究に関する装置見学と意見交換を実施

投稿日: 2025年3月24日 URL: <https://tsuzuki-lab.net/?p=779>

タイトル:【学会】電子情報通信学会 (IEICE)にて研究発表を実施

投稿日: 2025年3月28日 URL: <https://tsuzuki-lab.net/?p=734>

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

将来的に港湾や離島などの電力インフラにおいて、風力や太陽光と連携した超電導発電システムの中核技術として活用が期待されます。特に本研究の成果である液体水素冷却技術は、持続的かつ高効率な運転を支える重要技術であり、水素社会の基盤技術の一端を担うことが期待されます。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

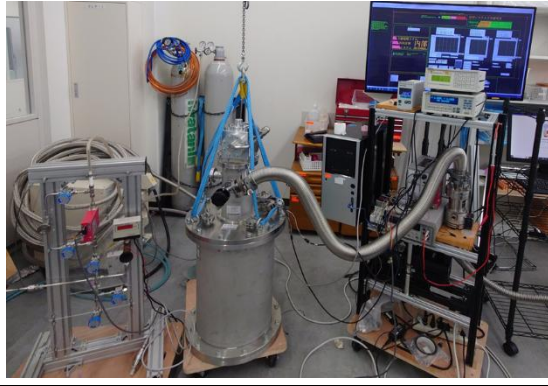
本研究は、申請者がこれまでに取り組んできた超電導応用技術、特に回転機構に関する熱管理技術に基づく応用展開です。従来の冷凍機に依存したシステムから、より柔軟なガス冷却システムへの移行を目指し、次世代のエネルギーインフラ設計に直結する開発段階と位置づけられます。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

成果について超電導および電気関係の国際学会、国際シンポジウム等で超電導・水素応用を主眼とした研究成果の一部として発表しました。学内においては令和6年度の卒業研究テーマとして豊田工業高等専門学校情報工学科5年生において卒業論文が執筆されており研究補助の上で成立した実証実験の成果として学内関係者にも共有されています。研究開発内容について公開予定です。今後は冷却構造やセンサ統合制御技術についてとりまとめ、実用に向けて知見を蓄積していきます。

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

<p>(A)高温超電導用 水素冷却システム一式 水素ガスを冷媒とした極低温冷却システムであり、超電導材料(Bi-2223線材など)を20K以下の温度に安定して保つために設計されたものです。温度・圧力・真空度のセンサを用いてリアルタイムに監視・制御を行います。流量制御可能なマスフローコントローラを備え、安全性と精密性の両立を図っています。</p>	
<p>(B)熱交換器 冷却ガスと熱を効率的に交換するための中核装置です。本装置では極低温域まで冷却する必要があるため、流路形状と材質について検討を重ねて製作され、超電導材料への均一な冷却を可能としています。</p>	<p>(C)冷却供試管 冷却対象である超電導材料を収納し、極低温環境に晒すための主要構成部品です。気密性と断熱性を両立した素材を用い、真空引きによる断熱構造を採用しています。</p>

(2)報告書

年3回、研究メンバーによって報告が行われ、研究報告資料を作成しました。

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名：豊田工業高等専門学校 情報工学科(ジョウホウコウガクカ)

住 所：〒471-8525 愛知県豊田市栄生町2-1

担 当 者：准教授 都築 啓太(ツヅキ ケイタ)

担 当 部 署：豊田工業高等専門学校 情報工学科 (ジョウホウコウガクカ)

E - m a i l : tsuzuki@toyota-ct.ac.jp

U R L : <https://tsuzuki-lab.net/>