

研究成果報告書

所属機関
北見工業大学

職名
教授

氏名
小原 伸哉

研究テーマ

CO₂ハイドレートの生成・解離による低温廃熱・小温度差クリーン発電

研究報告

1. 研究の背景と目的

国内の1次エネルギー消費量のおよそ7割が、低温排熱（概ね200℃以下）として最終的に放出されている。この低温排熱を動力や電力に変換できたなら、温室効果ガス排出の大幅な抑制となる。本研究では高温側の熱源として上で述べた低温排熱、低温側の熱源として外気を用いて、これら2つの熱源の温度差から実用的な効率で電力を得ることに取り組んでいる。例えば有機ランキンサイクルを10℃以上の温度差に適用しても、その効率は10数%と低い。そこで申請者は、数十度の熱源の温度差でガスの解離とハイドレートの生成を繰り返す独自のガスハイドレート熱サイクルを構成し、この熱サイクルから仕事を心得て電力に変換する、世界初のエネルギー変換技術を目指している。これまで申請者らは、CO₂ガスハイドレート生成触媒の構造と適切な流体制御の研究成果から、発電効率9.2%のシステムを開発している。本研究では、発電効率20%以上の電力変換を目標として、ガス（CO₂）ハイドレート熱サイクルのガス解離過程で生じる、数MPaの高圧CO₂から高効率で仕事に変換するアクチュエータ（膨張機）の仕様を明らかにした上で、非常に安価な電力用バッテリーとして社会実装することを目的とする。

2. 研究成果および考察

本研究の対象としている、100℃以下の低温廃熱と数十℃以下の小温度差で駆動し、エネルギー貯蔵も可能なガスハイドレート熱サイクルでは、ガス解離時（放電モード）の大きな損失62.9%が課題で

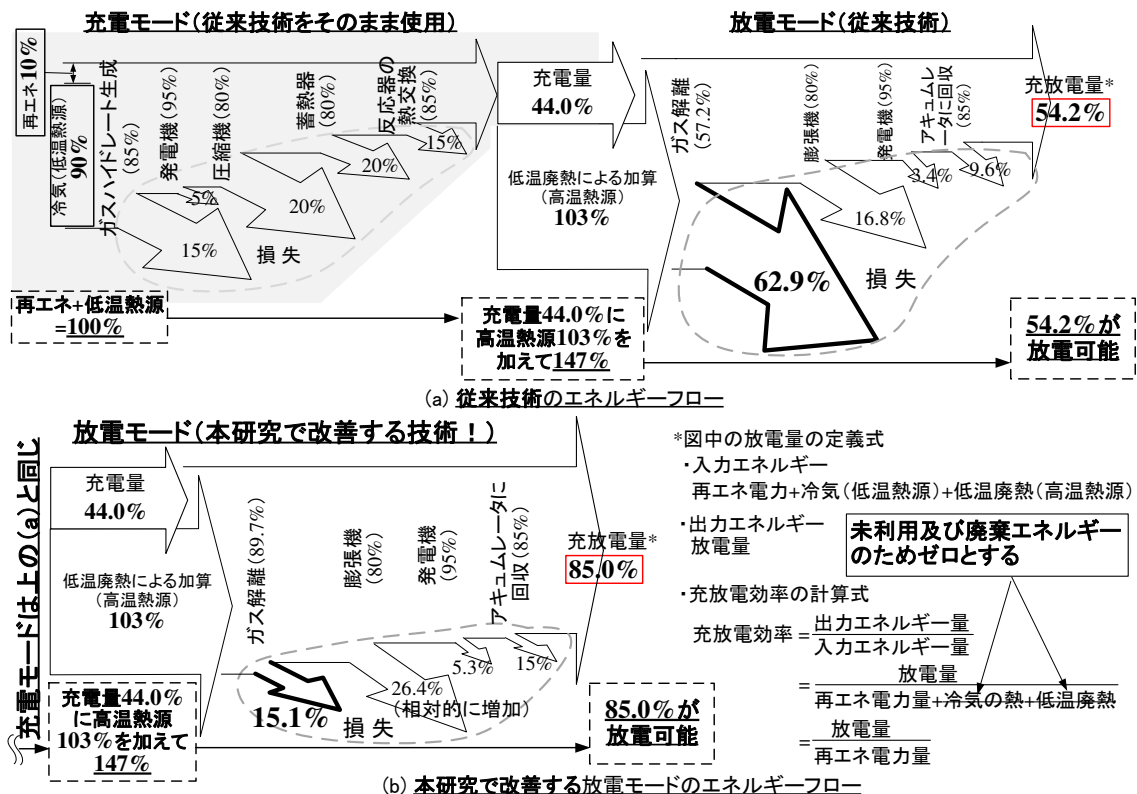
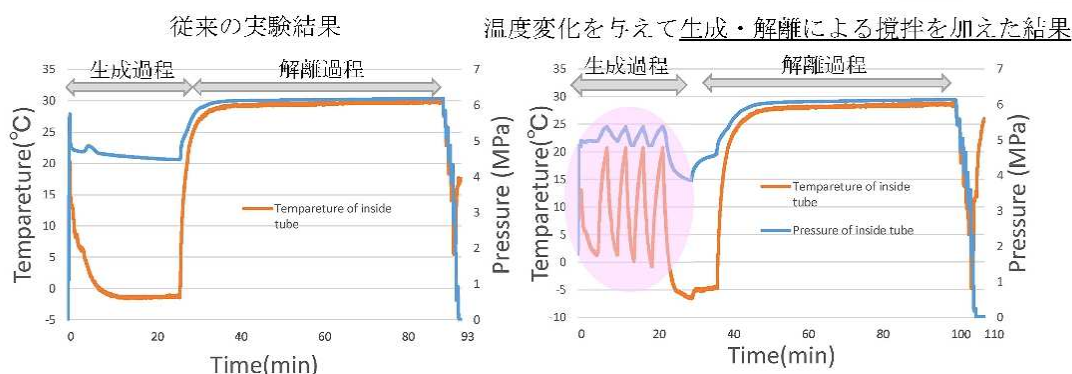


図1 低温排熱と外気によるガスハイドレート熱サイクルを用いた発電システムのエネルギーフロー

あった。そこで、ガスハイドレートの解離反応に加えて生成反応でも損失を小さくするために、相変化時の状態変化を利用することとした。この方法では、ガスハイドレートの生成解離状態線をまたぐように温度・圧力の変化を弁操作だけで行うものである。

この結果、CO₂ハイドレートの生成反応では図2に示すように、従来の1.7倍の生成効率を得られた。一方、解離反応の効率増加はおよそ30%にとどまった。この原因としては、伝熱速度の遅さに理由があるものと考えしている。そのため引き続き、伝熱速度の違いと解離反応速度の関係を実験により調査している。

生成・解離の相変化による撹拌を加えた際の、CO₂ハイドレートの生成量の実験結果



	生成時間(min)	解離時間(min)	解離後圧力(MPa)	生成ガス量(ml)
通常	20	60	6.182	8840
撹拌	20	60	6.104	8370

投入したエネルギーは半分程度

液体CO₂の圧力温度変化による沸騰・凝縮の繰り返しで、**170%のハイドレート生成量増加を確認**しました。

図2 生成解離の相変化による無電力撹拌を加えた際のCO₂ハイドレート生成量の実験結果

3. 将来展望

引き続き解離効率の増加に挑戦し、さらに以下の調査を進めて、未利用エネルギーによる小温度差が発電・蓄電システムの実現を目指すところである。このため、以下の研究を予定している。

① 触媒のコーティングに関わる分子設計・化学構造設計

ガスハイドレート解離触媒の炭素繊維コーティング最適化による解離反応の促進により、10%程度の解離効率の増加を目指す。(2024年度実施)

② モンテカルロ法を用いてガスハイドレート解離過程のモデル化

三相界面の拡散と解離反応に伴う潜熱と物質の移動速度の関係を定式化。(2025年度実施)

4. 研究発表

1) CO₂ヒートポンプサイクルとCO₂ハイドレートサイクルのハイブリッド化による蓄電装置の開発、牧野瑞生、小原伸哉、日本機械学会第61回北海道支部学術講演会。

2) Mzuki MAKINO, Shin'ya OBARA, Development of energy storage device by hybridization of CO₂ heat pump cycle and CO₂ hydrate cycle, 2024 2nd Power Electronics and Power System Conference (PEPSC 2024) (投稿中)