

磁気冷凍技術による 革新的水素液化システムの研究開発

SATテクノロジー・ショーケース2020

■ はじめに

液体水素は気体水素の1/800の体積で、大量輸送、大量供給、大量貯蔵、省スペース等の特長があり、水素エネルギーの本格的な普及には欠かすことができない。しかし、液化点が20K(-253℃)の極低温のため、液化には相応のエネルギー投入が必要で、また、ボイルオフの発生が避けられないことにより、液体水素利用コスト上昇の原因となっている。低コスト化を実現するためには、気体冷凍法では到達困難な液化効率50%以上を達成することが必須である。

本研究開発では、原理的に高い冷凍効率が期待できる磁気冷凍法を用い、革新的磁性材料および高効率磁気冷凍サイクルの開発により、液化効率50%以上、液化量100kg/day以上の高効率水素液化機、および液化水素ゼロボイルオフを目指した小型・省電力な冷凍機を実現し、数千億円規模の液体水素市場を創出するとともに、我が国における水素社会の実現を大きく加速させる。これにより、モビリティから水素発電までの多様な水素エネルギーの普及を先導することを目的としている。

■ 背景

「水素基本戦略」によれば、2030年における日本の水素需要は約30万トン、2050年には1,000万トンオーダーまで急増することが予測されている。このためにはコストの低減が必須であり、現在の水素供給価格100円/Nm³を2030年には30円/Nm³、2050年には20円/Nm³まで低下させることが目標となっている(図1)。このような低コスト化を達成するには、水素の液化効率が50%を越えなくてはならない。しかし、既存の水素液化機の液化効率は25%前後に留まっており、50%以上を達成するには大きな技術的飛躍が必要である。

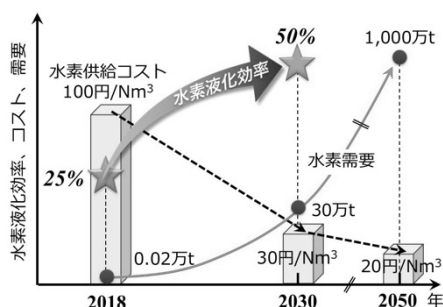


図1. 液化効率向上によるコスト低減と需要拡大効果

一方、液化された水素が輸送・貯蔵の過程で大量に蒸発すれば、液化効率の向上分を打ち消しかねない。このようなボイルオフの損失は水素エネルギーの約5%を占めるとされており、ゼロボイルオフ化は液化効率の向上と並ぶ重要課題である。

以上のような課題を解決する革新的な冷凍技術として、磁性体と磁場を用いた磁気冷凍技術の実用化が期待されている。磁気冷凍においては気体の圧縮・膨張に代えて、磁性材料の磁化・消磁を用いる。このような技術は古くは断熱消磁法として超低温の発生に用いられており、最近では室温の空調等に盛んに研究が進められている。

■ JST未来社会創造事業・革新的水素液化技術

2018年度のJST未来社会創造事業・大規模プロジェクトの課題の一つに、革新的水素液化技術が取り上げられた。我々は磁気冷凍による革新的水素液化システムの提案を行い、現在実施中である。本研究開発では、高効率な磁気冷凍技術のコアとして、以下の2つの課題(POC)を設定している。(POC=Proof of Concept)

POC1: 液化効率50%、液化量100kg/day以上を実現する
中・大型高効率水素液化機

POC2: 液化水素ゼロボイルオフを目指した小型・省電力な冷凍機

液体水素のサプライチェーンにおいては、水素の液化と輸送・貯蔵技術が必須となる。図2には、解決すべき技術課題について、現状と達成目標および予想される効果について示した。

本研究開発により、液体水素の低コスト生産が可能となり、新機軸の小型・省電力冷凍機に展開することで水素貯蔵・輸送インフラ整備の拡大に寄与でき、水素基本戦略で掲げている「世界に先駆けた水素社会の実現」に大きく貢献することが目標である。

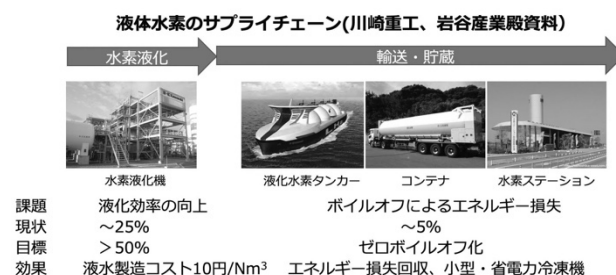


図2. 液体水素のサプライチェーンにおける技術課題等

代表発表者 沼澤 健則(ぬまざわ たけのり)
 所属 物質・材料研究機構
 液体水素材料研究センター
 問合せ先 〒305-0003 茨城県つくば市桜 3-13
 TEL: 029-863-5454
 NUMAZAWA.Takenori@nims.go.jp

■キーワード: (1) 液体水素
 (2) 磁気冷凍
 (3) 水素液化機

■共同研究者:
 西宮伸幸(物質・材料研究機構・日本大学)
 清水禎、北澤英明、間宮広明、武田良彦、神谷宏治、
 竹屋浩行、西島元(物質・材料研究機構)

● 磁気冷凍とは？

磁気冷凍は、磁性体に磁場をかけたときに生ずる熱量変化、いわゆる磁気熱量効果(Magnetocaloric Effect)を利用した冷凍方式である。これは磁性体の磁気モーメントのエントロピーが外部磁場によって変化することに起因する。図1には磁気熱量効果の原理を示した。端的に言えば、磁性体を磁場中に入れたときに(磁化)、気体の圧縮と同じような温度の上昇や発熱効果が得られ、磁場から出す場合(消磁)、膨張と同じように温度降下あるいは吸熱作用が得られる。

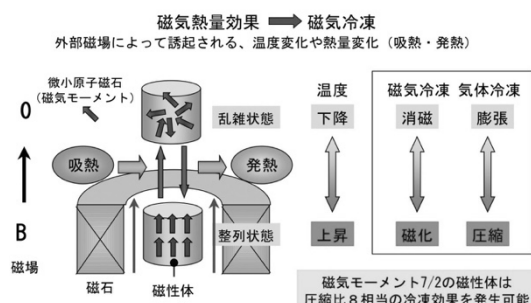


図3. 磁気冷凍の原理

磁気冷凍では理想カルノーサイクルの駆動が可能のため、高い冷凍効率が期待できる。しかし、従来のカルノーサイクルでは冷凍温度の発生範囲が狭いため、AMRという新しい磁気冷凍サイクルの開発が必須となる(図4)。

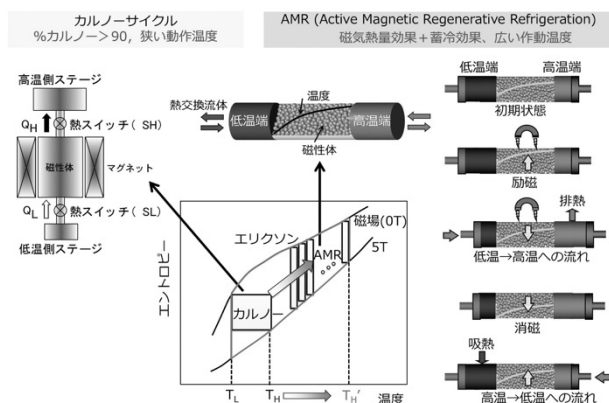
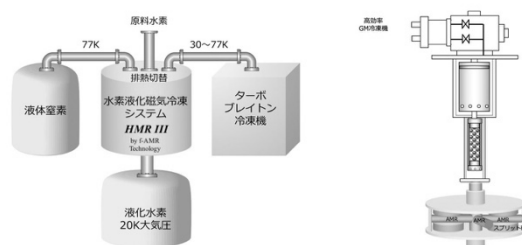


図4. 磁気冷凍サイクルの動作原理

● 本研究開発で目指すもの

図5には、POC (研究開発課題) の特徴と解決を目指して構成される冷凍機のイメージを示した。POC1では高効率な大型水素液化機を、POC2では小型・省電力な再凝縮冷凍機を目指しており、それぞれで磁場発生技術や磁性材料に要求される開発課題が異なる。現在6つの研究チームから構成される研究体制を構築し、本格的な研究が進められている。これには磁気冷凍技術のみならず、既存の気体冷凍技術も適材適所で用いられ、従来にはないユニークなハイブリッド冷凍システムが開発される。

POC	対象	特徴	効率	冷凍能力	磁場	磁気冷凍材料
POC1	水素液化	大容量・高効率	液化効率50%超	100kg/day超	4T以上、超伝導磁石	強磁場で最適化
POC2	再凝縮	小型・省電力	冷凍効率15%超	20W@20K超	~1T、永久磁石	弱磁場で最適化



POC1：液化効率50%以上、液化量 100kg/day以上を実現する高効率水素液化機
POC2：液化水素ゼロボイルオフを目指した小型・省電力な冷凍機

図5. 開発されるハイブリッド水素冷凍システムのイメージ

● 期待される成果と社会実装への道

本研究開発は最長10年にわたり実施される予定であるが、原理実証だけではなく、企業の参画も得ながら社会実装を目指している。特に水素分野における国際競争力や知財の確保、デファクトスタンダード化が大きな目標である。国内の水素消費に必要なサプライチェーンの構築のみならず、液体水素タンカーによる海外からの水素輸入にも貢献が期待される。

■ 関連情報等(特許関係、施設)

1. 本研究開発は、JST未来社会創造事業、JPMJMI18A3の支援を受けたものです。
2. JST未来社会創造事業・革新的水素液化技術
https://www.jst.go.jp/mirai/jp/uploads/saitaku2018/JPMJMI18A3_nishimiya.pdf
3. 特許
第6381150号 磁気冷凍装置 (2018)