

令和 4 年 6 月 1 日現在

機関番号：14501

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(B)）

研究期間：2019～2021

課題番号：19KK0117

研究課題名（和文）液体水素国際海上輸送研究拠点の構築

研究課題名（英文）Establishment of International Research Center for Liquid Hydrogen Marine Transportation

研究代表者

武田 実 (TAKEDA, Minoru)

神戸大学・海事科学研究科・教授

研究者番号：50206992

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,000,000円

研究成果の概要（和文）：【A】液体水素の海上製造技術に関する研究では、蒸発ガスにおけるオルト・パラ組成比の経時変化を明らかにするために、複数のタンクを用いて蒸発ガスを採集し、長期間保存した。オルト・パラ水素分析計を用いて、パラ水素濃度を測定したところ、異常に長いパラ・オルト変換現象が明らかになった。【B】液体水素の海上輸送貯蔵技術に関する研究では、0.4 MPaGから減圧実験を行ったところ、液体状態（飽和・成層）の違いが、蒸発量や沸騰挙動に大きな影響を及ぼすことがわかった。また、蓄圧振動実験を行ったところ、振動時間が増えるに従って、蓄圧時間が明らかに増加しており、振動による昇圧スピードの抑制効果が明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

神戸大学とドレスデン工科大学との国際共同研究を通じて、水素低温工学とマリンエンジニアリングを融合した、全く新しい「水素マリンエンジニアリング」を創出するとともに、世界をリードする「液体水素国際海上輸送研究拠点」の構築に大きく貢献することができる。また、「水素マリンエンジニアリング」の新展開を担う若手研究者の育成にも深く関与することができる。本研究は、液体水素運搬船を基軸とした国際水素サプライチェーン構築のための基盤技術を研究開発することにより、2050年カーボンニュートラル社会の実現に向けたキーテクノロジーを提供する。

研究成果の概要（英文）：On the subject A of research on liquid hydrogen (LH<sub>2</sub>) production for marine transportation, gas hydrogen (GH<sub>2</sub>) evaporated from LH<sub>2</sub> has been collected and preserved for a long time using vessels to clarify the time dependence of ortho-para (O-P) composition ratio for the evaporated gas. As an experimental result of para hydrogen concentration of the evaporated gas with an O-P analyzer, it becomes evident that the evaporated gas shows anomalous long P-O conversion. On the subject B of research on LH<sub>2</sub> storage and transportation, the experiment of pressurized LH<sub>2</sub> under depressurization has been done. Then we find that the gross evaporation and the boiling behavior can be highly influenced by the liquid condition. In addition, the accumulation experiment of GH<sub>2</sub> evaporated from LH<sub>2</sub> under horizontal vibration has been done. It is found that accumulation time increases with increasing the vibration time certainly; pressure increasing speed of GH<sub>2</sub> can be suppressed by the horizontal vibration.

研究分野：水素低温工学

キーワード：液体水素 国際水素サプライチェーン 液体水素運搬船 神戸大学・ドレスデン工科大学国際共同研究 若手研究者育成

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

地球温暖化やエネルギー問題の解決を目指して、太陽光・風力などの再生可能エネルギーを利用する技術開発が本格化している。極最近、CO<sub>2</sub>フリー水素をベースとした3つのエネルギーキャリア(液体水素、有機ヒドライド、アンモニア)の利用関連技術の開発研究が精力的に進められている。本研究で最も注目しているのは、豪州に埋蔵している大量の褐炭(石炭の一種、水分を多く含む)を利用して水素を製造・液化するビッグプロジェクトである。このプロジェクト[1]は、水素ガス製造時に発生したCO<sub>2</sub>を液化して海底固定するとともに、高貯蔵密度・高純度・極低温の液体水素(LH<sub>2</sub>: 沸点 20 K)の状態、船舶により神戸空港島へ大量に海上輸送すると言うものである。

折しも、神戸大学先端融合研究環・重点研究プロジェクト No.19「海洋再生可能エネルギーと水素エンジニアリングへの展開」(代表: 武田 実)では、国際共同研究の一環として、水素の製造/貯蔵・輸送/利用に関するテーマを掲げて、液体水素運搬船を基軸とした国際水素サプライチェーン構築のための基盤技術開発を行ってきた。重点研究プロジェクト No.19 に関する主要メンバーが中心となり、2014年4月から5年間の研究活動を実施した。この間、研究プロジェクトでは、文理融合型先端研究の推進を図り、学際性・総合性の調和が取れた教育研究を進展させることを目指して、3回の国際ワークショップ(Workshop on Hydrogen Cryogenics)を主催した。

重点研究プロジェクト No.19 における研究活動を通じて国際交流を続けているドレスデン工科大学は、1958年より極低温用冷凍機・圧縮機の研究開発を行っている、ヨーロッパでも有数の水素低温工学研究のメッカである。これまでに、液体ヘリウム(LHe: 沸点 4 K)を用いた冷凍機/液化機の高効率熱交換器の研究開発、LHe冷熱を利用した小型水素液化機の研究開発、さらにオルト・パラ水素変換触媒の研究開発等において世界をリードしてきた。

一方、申請者らは2004年より液体水素(LH<sub>2</sub>)の研究を開始し、2015年には液体水素の専用実験棟「水素実験棟」を完成させて、水素低温工学を強力に推進している。これまでにMgB<sub>2</sub>(二ホウ化マグネシウム)線材の超伝導特性を利用した、新しい液体水素用液面センサー[2,3]を開発するとともに、LH<sub>2</sub>用小型容器内部のスロッシング(液面揺動)計測[4]に成功した。また、トラックを用いた公道でのLH<sub>2</sub>輸送実験、練習船「深江丸」による世界初のLH<sub>2</sub>海上輸送実験[5,6]に成功した。

### 【参考文献】

- [1] S. Kamiya *et al.*: Physics Procedia, Vol. 67, pp. 11-19 (2015)
- [2] M. Takeda *et al.*: IEEE Trans. Appl. Supercond. Vol. 19, pp. 764-767 (2009)
- [3] K. Maekawa *et al.*: IEEE Trans. Appl. Supercond., Vol. 27, No. 4, 9000304 (2017)
- [4] M. Takeda *et al.*: Adv. Cryo. Eng. Vol. 55, pp. 311-318 (2010)
- [5] K. Maekawa *et al.*: Materials Science and Engineering, Vol. 278, 012066 (2017)
- [6] K. Maekawa *et al.*: Sensors, Vol. 18, 3694 (2018)

## 2. 研究の目的

本研究は、これまでに培われた液体水素(LH<sub>2</sub>)を対象とした、水素輸送貯蔵技術に関する研究成果および国際共同研究のネットワークを基にして、国際共同研究強化を目指すとともに、若手研究者の育成のために実施するものである。本研究の目的は、【A】液体水素の海上製造技術に関する研究において、オルト・パラ水素変換に伴う発熱を低減して水素液化効率を高めるために、新しいオルト・パラ水素変換触媒を開発することである。また、【B】液体水素の海上輸送貯蔵技術に関する研究において、実船等を利用して船用大型タンク内部の液体水素のスロッシングおよびボイルオフ現象を解明し、これを制御する手法を開発することである。

## 3. 研究の方法

本研究は、【A】液体水素の海上製造技術に関する研究、【B】液体水素の海上輸送貯蔵技術に関する研究の2つのテーマ分けて、液体水素運搬船を基軸とした国際水素サプライチェーン構築のための基盤技術開発を目指す。研究体制は、神戸大学重点研究プロジェクト No.19 (代表: 武田 実、テーマ名: 海洋再生可能エネルギーと水素エンジニアリングへの展開)のメンバーを中心に、国際共同研究の一環として実施するものである。本研究を遂行するための研究組織(4名、内1名は海外研究者)・役割分担・渡航計画、および研究内容・方法は以下のとおりである。

【研究代表者】武田 実・神戸大学: オルト・パラ水素変換触媒/熱交換器の評価実験、液体水素熱流動特性実験等、計算および研究総括を担当する(テーマA、B)。毎年夏季または冬季休業中にドレスデン工科大学へ1~2週間滞在し、国際共同研究を取りまとめる。

【研究分担者】松本明善・NIMS: 液体水素用液面計のセンサー等となる超伝導線材を製造する(テーマB)。前川一真・神戸大学: オルト・パラ水素変換触媒/熱交換器の作製、蒸発ガス組成比の実験と計算、液体水素熱流動特性実験と計算、液体水素用液面計の設計と実験を担当す

る（テーマ A、B）。毎年夏季または冬季休業中にドレスデン工科大学へ1～2週間滞在し、同大学の協力を得て、触媒の作製（1年目）、熱交換器の作製（2年目）、熱流動特性に関する議論（3年目）を行う。

【海外研究者】Christoph HABERSTROH・ドレスデン工科大学：オルト・パラ水素変換触媒／熱交換器の作製、蒸発ガス組成比の計算、液体水素熱流動特性の計算、液体水素用液面計の設計を担当する（テーマ A、B）。

【A】液体水素の海上製造技術に関する研究として、(A-1) 新型オルト・パラ水素変換触媒の研究開発（2019～2020）、(A-2) 新型水素用冷凍機／液化機の研究開発（2020～2021）、(A-3) 蒸発ガスにおけるオルト・パラ組成比の経時変化（2019～2020）に関する研究を実施する。

【B】液体水素の海上輸送貯蔵技術に関する研究として、(B-1) 加圧・減圧時における液体水素の熱流動特性（2019～2020）、(B-2) 輸送・振動時における液体水素の熱流動特性（2020～2021）、(B-3) 液体水素運搬船用 MgB2 液面計の研究開発（2019～2021）に関する研究を実施する。

#### 4. 研究成果

【A】液体水素の海上製造技術に関する研究、【B】液体水素の海上輸送貯蔵技術に関する研究について、主な研究成果を以下に示す。

##### 【A】液体水素の海上製造技術に関する研究

初年度（2019年度）を除いて、コロナ危機の影響を受け、ドレスデン工科大学への渡航・滞在中止となった。初年度は、武田・前川が春季休業中にドレスデン工科大学へ5日間滞在して、新型オルト・パラ水素変換触媒、水素ガスの異常に長いパラ・オルト変換現象、減圧時における液体水素（LH2）の熱流動特性等について HABERSTROH らと議論した。新型触媒の研究開発では、従来の Fe2O3 とは異なる磁性材料（Ni 系など）に注目し、微粒子状態の材料を金属管内にパッキングする際の空隙平均孔径が重要であるとの認識に至った。オルト・パラ水素分析計を用いて、変換効率に対する空隙平均孔径の最適値を調べる研究課題が残っている。一方、フラウンホーファー IFAM 研究所を訪問し、MgH2 と海水を用いて水素製造する技術について意見交換を行った。

新型水素用冷凍機／液化機の研究開発では、購入した GM 冷凍機および真空断熱容器を用いて水素ガス冷却実験を行うために、同液化機の熱計算および触媒・熱交換器の設計を実施した。詳細設計のためには、GM 冷凍機の冷凍能力を実験的に調べた上で、これを基にした計算モデルを構築することが重要であり、一部研究課題が残った。

蒸発ガスにおけるオルト・パラ組成比の経時変化を明らかにするために、複数の SUS タンクを用いて蒸発ガス（0.6 MPaG）を採集し、長期間（232日）保存した。オルト・パラ水素分析計を用いて、パラ水素濃度を測定したところ 33% であった。室温平衡状態のパラ水素濃度（25%）には至っておらず、異常に長いパラ・オルト変換現象が明らかになった。新たな試みとして、触媒・熱交換器の性能評価の際に有益となる、パラ水素代替用標準ガス（He/H2 混合ガス）の比率を調べた。その結果、一定値を見出すことに成功した。本研究は、液体水素の海上製造技術の開発を行うものであり、これらの課題を解決すれば、世界をリードする「液体水素国際海上輸送研究拠点」の構築に大きく貢献することができる。

##### 【B】液体水素の海上輸送貯蔵技術に関する研究

減圧時における液体水素の熱流動特性に関する研究では、液体状態・初期充填率・減圧速度をパラメータとして、0.4 MPaG から減圧実験を行った。その結果、液体状態（飽和状態・成層状態）の違いが、蒸発量や沸騰挙動に大きな影響を及ぼすことがわかった。実験結果の一例を図1に示す。

一方、加圧時における液体水素の熱流動特性に関する研究では、液体状態・初期充填率・加圧速度をパラメータとして、大気圧から 0.4 MPaG まで加圧実験を行った。その結果、加圧開始後、気体水素（GH2）の温度が一旦上昇してバランスする温度に収束すること、液体水素（LH2）の温度（液体内部）が変化せずサブクール状態になること、加圧速度が大きいと GH2 の温度上昇が早いこと、充填率が変われば GH2 の温度上昇の様子が変わることなどが明らかになった。更に、加圧に伴う GH2 および LH2 の温度変化に注目すると、充填率が高い場合、LH2 のサブクール状態の度合いが最も大きいことがわかった。また、GH2 の温度が上昇して最大値を示すまでの時間が最も短いことがわかった。

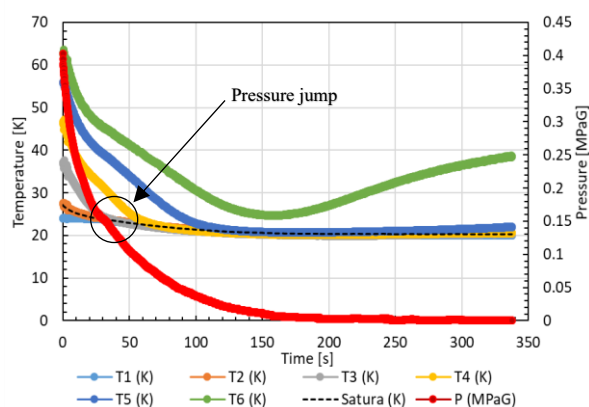


図1 成層状態における減圧実験結果

続いて、輸送・振動時における液体水素の熱流動特性に関する研究では、初期充填率、振動開始圧力  $P_i$ 、振動時間を実験パラメータとして蓄圧振動実験を行った。なお実験には、横振動試験機(最大加速度 0.1 G、振幅±100 mm、周期 2.4 s)を用いて行った。実験結果の一例を図 2 に示す。実験結果は、以下のようにまとめられる。

始めに  $P_i=0.1$  MPaG で、充填率の違いに注目すると、充填率が高いと振動直後の圧力ドロップ  $\Delta P$  が大きく、充填率が低いと  $\Delta P$  が小さいことがわかった。これは、充填率が高いと  $\text{GH}_2$  が占める空間の体積が小さいので、液面振動に伴う圧力ドロップの効果が大きくなるためであると考えられる。

次に、 $P_i$ の違いに注目すると、充填率 45.1%~56.8%、振動時間 1 h において、 $P_i=0.1$  MPaG と 0.2 MPaG のどちらでも、圧力ドロップ  $\Delta P$  の  $P_i$  に対する割合は、ほぼ同じであった。次に、 $P_i=0.1$  MPaG で、振動時間 2 h の影響に注目すると、連続振動と 1 h インターバルを含む繰返し振動とは、ほぼ同じ影響を与えることがわかった。更に、充填率 45%~50% における振動時間 (0, 1, 2 h) の影響について 0.4 MPaG までの蓄圧時間で見ると、振動時間が増えるに従って、蓄圧時間が明らかに増加しており、振動による昇圧スピードの抑制効果が明らかになった。大型タンク内部の LH2 スロッシングに伴うボイルオフの制御手法に関して、一部研究課題が残った。

液体水素運搬船用 MgB2 液面計の研究開発において、武田・前川・松本は、始めに PIT (Powder-In-Tube) 法により製造した CuNi シース MgB2 線材に対して SEM 観察 (EDX 分析) を行い、Mg とシース材との高い反応性を確認した。次に、IMD (Internal Magnesium Diffusion) 法による CuNi シース MgB2 線材を製造し、熱処理条件の違いによる超伝導特性の違いを調べた。その結果、熱処理温度 650 °C、熱処理時間 1 h、SiC 添加率 20% の試料において、極低温での抵抗値の上昇が抑えられ、シャープな超伝導転移が観測された。以上の研究により、液体水素運搬船用の MgB2 線材の長尺化および高性能化に関する製造条件・手法がほぼ確定した。本研究は、液体水素の海上輸送貯蔵技術の開発を行うものであり、以上の課題を解決すれば、水素低温工学とマリンエンジニアリングを融合し、世界に先駆けて「水素マリンエンジニアリング」を創出するとともに、「液体水素国際海上輸送研究拠点」の構築に大きく貢献することができる。

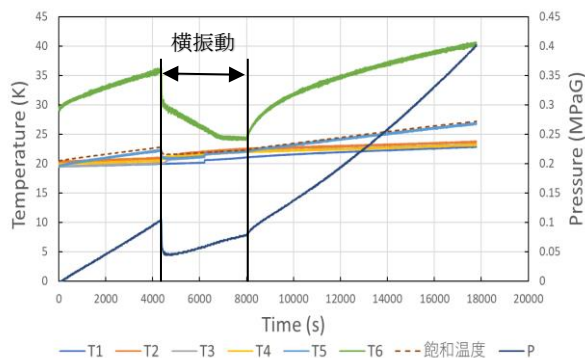


図 2 充填率 71.8%での蓄圧振動実験結果

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 福本祥一、高田芳宏、武田 実、前川一真、熊倉浩明	4. 巻 57
2. 論文標題 液体水素液面センサー用長尺MgB2線材の作製とその評価	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 低温工学	6. 最初と最後の頁 39 ~ 45
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2221/jcsj.57.39	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 佐藤 更、武田 実	4. 巻 17
2. 論文標題 低温用箔ひずみゲージにおける見かけひずみの測定	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 神戸大学大学院海事科学研究科紀要	6. 最初と最後の頁 76-86
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 武田 実、前川一真	4. 巻 55
2. 論文標題 水素エネルギー海上輸送のための基盤技術の研究開発 - 液体水素実験施設の構築 -	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 低温工学	6. 最初と最後の頁 14 ~ 21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2221/jcsj.55.14	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計27件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Sara Sato, Minoru Takeda, Kazuma Maekawa
2. 発表標題 Measurement of apparent strain of foil strain gauge at low temperature
3. 学会等名 ICEC28-ICMC 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 永廣 衛、松田竜之介、武田 実、前川一真
2. 発表標題 液体水素タンク内部圧力の時間変化における充填率依存性
3. 学会等名 第102回2021年度秋季低温工学・超電導学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 武田 実
2. 発表標題 神戸発の世界最先端科学技術：超伝導電磁推進船・電気推進船から液体水素運搬船・燃料船まで
3. 学会等名 第91回（令和3年度）マリンエンジニアリング学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 池北智亮、武田 実、前川一真
2. 発表標題 横振動下における船用タンク内部の極低温液体の流体シミュレーション
3. 学会等名 第91回（令和3年度）マリンエンジニアリング学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 細川誠也、武田 実、前川一真、松本明善、熊倉浩明
2. 発表標題 液体水素海上輸送用MgB <sub>2</sub> 液面計開発に関する基礎研究
3. 学会等名 第91回（令和3年度）マリンエンジニアリング学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青木 誠、武田 実
2. 発表標題 海流MHD発電における水素発生効率の磁場強度依存性
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前川一真、岩佐太陽、知念健太、武田 実
2. 発表標題 海上輸送時における液体水素タンクを対象とした熱流体解析
3. 学会等名 第101回2021年度春季低温工学・超電導学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前川一真、中山郁夢、永廣 衛、武田 実
2. 発表標題 加圧液体水素の減圧時における蒸発特性に関する研究
3. 学会等名 第101回2021年度春季低温工学・超電導学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 知念健太、前川一真、岩佐太陽、武田 実
2. 発表標題 極低温液体の貯蔵・輸送に関する数値シミュレーション
3. 学会等名 第101回2021年度春季低温工学・超電導学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 牧野龍之介、青木 誠、武田 実
2. 発表標題 海流MHD発電機を模擬したチャンネルフローセルの作製と電気分解特性評価
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤 更、武田 実、前川一真
2. 発表標題 低温下におけるGFRP管内圧力変化に伴うひずみの測定
3. 学会等名 第100回2020年度秋季低温工学・超電導学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 永廣 衛、中山郁夢、岩佐太陽、松田竜之介、武田 実、前川一真、高橋和彦
2. 発表標題 液体水素タンク内部圧力の時間変化に関する研究
3. 学会等名 第100回2020年度秋季低温工学・超電導学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 福本祥一、高田芳宏、荘林純一、山本博和、武田 実、前川一真、熊倉浩明
2. 発表標題 液体水素用外部加熱型MgB <sub>2</sub> 長尺液面センサーの研究開発
3. 学会等名 第100回2020年度秋季低温工学・超電導学会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 猪股昭彦、梅村友章、河合 務、成尾芳博、丸 祐介、川口 潤、武田 実、千田哲也
2. 発表標題 液化水素ローディングアーム緊急離脱機構からの水素拡散挙動の解析
3. 学会等名 第90回（令和2年）マリンエンジニアリング学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩佐太陽、前川一真、知念健太、武田 実
2. 発表標題 液体水素の海上輸送時における容器内部の熱流動特性の計測と数値解析
3. 学会等名 第90回（令和2年）マリンエンジニアリング学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 知念健太、前川一真、武田 実、岩佐太陽
2. 発表標題 液体水素の貯蔵・輸送に関する数値シミュレーション
3. 学会等名 第90回（令和2年）マリンエンジニアリング学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 青木 誠、武田 実
2. 発表標題 磁場中での海水電気分解の測定と酸化反応解析
3. 学会等名 2020年第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 北田一輝、武田 実、前川一真
2. 発表標題 横振動下における極低温液体の温度・圧力・蒸発量測定
3. 学会等名 第99回2020年度春季低温工学・超電導学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中山郁夢、赤松慧亮、松田竜之介、永廣 衛、岩佐太陽、知念健太、武田 実、前川一真、熊倉浩明
2. 発表標題 減圧時における加圧液体水素の観測
3. 学会等名 第99回2020年度春季低温工学・超電導学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤 更、武田 実、前川一真
2. 発表標題 液体水素用流量計開発のための低温用箔ひずみゲージの温度特性
3. 学会等名 第99回2020年度春季低温工学・超電導学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 青木 誠, 武田 実
2. 発表標題 海流MHD発電の実用化を目指した強磁場中電気化学測定
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菊池祐希, 武田 実, 青木 誠, 前川一真
2. 発表標題 ヘリカル型海流MHD発電機の電気分解特性および電磁ブレーキに関する研究
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Minoru TAKEDA, Keisuke AKAMATSU, Kazuma MAEKAWA, Taiyo IWASA, Ikumu NAKAYAMA, Hiroaki KUMAKURA
2. 発表標題 Observation of Pressurized Liquid Hydrogen under Rapid Depressurization
3. 学会等名 10th ACASC/2nd Asian-ICMC/CSSJ Joint Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 赤松慧亮, 武田 実, 前川一真, 岩佐太陽, 中山郁夢, 熊倉浩明
2. 発表標題 海上輸送用液体水素タンク開発のための急減圧時における液体水素容器内部の観測
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北田一輝, 武田 実, 前川一真
2. 発表標題 横振動下における船用タンク内部の極低温液体の温度・圧力・蒸発量測定
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 前川一真, 武田 実, 赤松慧亮, 岩佐太陽, 中山郁夢, 若林伸和, 矢野吉治, 熊倉浩明
2. 発表標題 練習船深江丸外洋航海中における液体水素タンク内部のスロッシング計測
3. 学会等名 第89回(令和元年)マリンエンジニアリング学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 白井智之, 北田一輝, 武田 実, 前川一真
2. 発表標題 加圧液体窒素の減圧時における蒸発量の減圧速度依存性
3. 学会等名 第98回2019年度春季低温工学・超電導学会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	前川 一真  (MAEKAWA Kazuma)  (20760664)	神戸大学・海事科学研究科・助教   (14501)	
研究 分担者	松本 明善  (MATSUMOTO Akiyoshi)  (50354303)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・機能性材料研究拠点・主席研究員   (82108)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
ドイツ	ドレスデン工科大学	フラウンホーファー IFAM 研究所		