

平成21年5月28日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2008

課題番号：18560767

研究課題名（和文）新型海流MHD水素発生器の基礎研究

研究課題名（英文）Fundamental Studies of New Seawater MHD Hydrogen Generator

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

研究成果の概要：

新型（ヘリカル型）海流 MHD (magneto hydrodynamics) 水素発生器内部の海水の流れ状態を調べるために、デジタル CCD カメラ等を用いて海水の流れを観測した。また、この装置を用いてヘリカル流路に沿った圧力分布を測定した。その結果、ヘリカル流路の距離が短いと入口と出口の影響により流れが乱れ、発達したヘリカル流にならないことがわかった。続いて、水素発生器の形状を最適化するために、回転数、ピッチ等の形状をパラメーターとしたヘリカルモデルを製作し、圧力分布および流体損失を測定した。その結果、回転数依存性、ピッチ依存性等が明らかになった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成18年度	1,800,000	0	1,800,000
平成19年度	800,000	240,000	1,040,000
平成20年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	510,000	4,010,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：海洋工学, 超伝導応用, 水素発生, 磁場応用, MHD, 再生可能エネルギー

1. 研究開始当初の背景

化石燃料の消費に伴う大気汚染や酸性雨の問題、さらには地球温暖化の問題等が深刻化している。これらの問題を抑えるために、2005年より温室効果ガス排出量の削減を目指す京都議定書が発効した。しかし本質的な問題の解決のためには、「環境負荷の少ない代替エネルギー源」の確保が急務である。

化石燃料の代替エネルギー源として、「水素」が期待されている。水素のクリーンな特

性を活かすためには、再生可能な資源から水素を生成しなければならない。「海流エネルギー」は、太陽光や風力エネルギーに比べて季節や天候に左右されないので、「水素発生のための再生可能エネルギー」として極めて有効である。さらに、わが国は四方を海に囲まれた島国であり、再生可能な海流エネルギーを利用した「MHD 水素発生器」を開発することは、代替エネルギー源確保のひとつの方策として大きな意義がある。

海流 MHD 発電・水素発生方式は、海流の持つ運動エネルギーを電気エネルギーに直接変換し、その電気エネルギーにより水素ガスを発生するユニークな方式である。この方式では、ガス発生量や発生効率に対して印加磁場の強さが最も重要なファクターとなる。しかし、これまでの装置（リニア型）[1]では、超伝導マグネットによる磁場が弱かったために、水素発生は実現しなかった。この問題を克服するひとつの方法は、強磁場化が容易なソレノイド型超伝導マグネットを使用することである。そこで我々は、この超伝導マグネットを用いた新型（ヘリカル型；螺旋型）海流 MHD 発電・水素発生方式を考案した。

我々は、これまでにヘリカル型海流 MHD 発電機（外径 10 cm、長さ 30 cm）を製作し、7テスラ（1 テスラ=1 万ガウス；1 T = 10^4 Gauss）の超伝導強磁場を用いて、発生起電力および発電出力に対する磁場および海水流速の依存性を初めて明らかにした[2]。さらに、その数値シミュレーションにも成功している。本研究は、これらの研究成果を踏まえて、「海流エネルギーを利用した MHD 水素発生器」の基礎特性を初めて明らかにするものである。

【参考文献】

[1] 岩田 章, 佐治吉郎: 低温工学, Vol. 15, No. 6, pp. 317-328 (1980).

[2] M. Takeda *et al.*, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 15, No. 2, pp. 2170-2173 (2005).

2. 研究の目的

本研究では、ヘリカル型海流 MHD 発電機の研究成果に基づき、整流器設置等の改造を施した電気分解実験装置を用いて、「海流エネルギーを利用した MHD 水素発生器」の基礎特性を明らかにすることを目的として、以下の 6 項目を扱う。

(1) 整流器設置等による実験装置の改造

発生起電力を上げるためには、海水の流体損失を低減し海水流速を増加させることが重要である。そこで、発電機の前後に整流器を設置して、流体損失および発生起電力とともに発電出力を調べる。これらの物理量を調べることにより、発電特性に対する整流器設置の効果が明らかになる。

(2) 海流 MHD 水素発生器内部の海水の流れ状態の観測

海流 MHD 水素発生器内部では、平均流速が 5 m/s を超える複雑な流れや渦等が発生していると予測されている。そこで、透明な模擬装置を用いて流れを可視化し、海水の流れを観測する。この観測により、計算モデルに関

する知見を得ることができる。

(3) 水素ガス発生実験

簡易実験用の電気分解セルを作製して、人工海水が静止した状態で発生する水素ガス量および濃度を測定する。また、電気分解セルに強磁場を印加した状態で測定値に対する磁場の影響を調べる。さらに、電極材料およびその表面状態を評価して最適な電極を選定する。

(4) 水素ガスの採集および貯蔵実験

海流 MHD 水素発生器から発生する水素ガスは、海水の流れに伴って移動する。そこで、人工海水を流した状態で水素ガスを発生し、水素の採集および貯蔵実験を行う。この実験より、水素吸蔵合金等による採集・貯蔵方法および新規な超伝導 MHD 分離法について評価する。

(5) 海流 MHD 水素発生実験

(1)～(4) で得られたデータに基づいて、整流器および水素ガス採取管を備えたヘリカル型海流 MHD 水素発生器を製作する。7テスラの強磁場および人工海水を用いて、水素ガス発生量と磁場および海水流速との関係、水素ガス発生効率と磁場および海水流速との関係について詳しく調べる。得られた実験結果に基づいて、水素発生特性の評価を行う。

(6) 実用器の設計指針の検討

数値シミュレーション結果と実験結果とを比較して、計算モデルの妥当性を検討する。これに基づいて、明石海峡の潮流や黒潮海流を対象とする実用器の設計指針を作成するための基盤を確立する。試作器を想定して実験装置を相似的に 1 桁大型化すれば、水素発生量は 3 桁増加することが試算される。また、高温超伝導マグネットを用いてさらに強磁場化すれば、水素発生量が著しく増加するだけでなく超伝導マグネットの冷却コストを低く抑えられるので、実用化の目処が立てられる。

3. 研究の方法

(平成 18 年度)

(1) 整流器設置等による実験装置の改造

製作した発電機の前後に整流器を設置して、流体損失および発生起電力とともに発電出力を測定した。これらの測定には、海水フローラインおよび MHD 実験用自動計測装置を用いた。得られたデータより、発電特性に対する整流器設置の効果について評価した。

(2) 海流 MHD 水素発生器内部の海水の流れ状態の観測

海流 MHD 水素発生器内部の複雑な流れや渦

等の発生状態を調べるために、実験装置と同じ形状の透明な模擬装置を用いて流れを可視化し、ビデオカメラにより海水の流れを観測した。可視化用のトレーサーとして、インクを用いた。また、この装置を用いてヘリカル流路に沿った圧力分布を測定した。圧力測定には水マンومترを用い、測定ポイントの間隔は1/4ピッチとした。

(3) 水素ガスの発生および採集実験

簡易実験用の電気分解セルを作製し、水素ガスの発生および採集実験を行った。水上置換法により、人工海水が静止した状態と流れている状態（強磁場中を含む）で水素ガスを採集した。採集した水素ガス量に基づいて、水素ガス採集率に対する磁場および海水流速の影響等について調べた。また、ガスクロマトグラフを用いて、ガス成分を分析した。

(平成 19 年度)

(1) 海流 MHD 水素発生器の流体損失

ヘリカル型海流 MHD 水素発生器を模擬して、回転数 (3、5、7) が異なる実験装置（ヘリカルモデル）を製作した。水を対象として流量を変えながら、1/4 ピッチごとの圧力分布および流体損失を測定した。得られたデータより、流体損失の回転数依存性等について調べた。

(2) 基礎特性のシミュレーション

実験値と比較するために、数値シミュレーションを行った。数値シミュレーションでは、製作した水素発生器と同じ形状を想定し、ソフトウェア ANSYS multiphysics を用いた。これを用いて、流速分布および電極間の電位差を計算した。計算のパラメーターは、入口の海水流量（または海水流速）と印加磁場とした。

(3) 水素ガスの採集実験

海流 MHD 水素発生器から発生する水素ガスを採集する方法として、新規な超伝導 MHD 分離法を考案した。この方法は、海水と水素ガスの電気伝導率の違いに起因する電磁力の差を利用するものである。作製した簡易実験用電気分解セルを用いて、水素ガスの分離・採集実験を行った。

(平成 20 年度)

(1) 海流 MHD 水素発生器の流体損失

ヘリカル型海流 MHD 水素発生器を模擬して、回転数 (3、5、7) およびピッチ (30、37.5、45 mm) が異なるヘリカルモデルを製作した。水を対象として流量を変えながら、1/4 ピッチごとの圧力分布および流体損失を測定した。得られたデータより回転数依存性およびピッチ依存性等について調べた。

(2) 海流 MHD 水素発生器用電極の検討

海流 MHD 水素発生器では水素ガスと同時に電解生成物も発生する。このため電極が劣化するので、最適電極について検討した。検討したいくつかの電極を簡易実験用電気分解セルに取り付け、電流・電圧特性および耐久性等について実験的に調べた。

(3) 超伝導 MHD 分離法による採集実験

新規に考案した超伝導 MHD 分離法に基づき、分離装置を試作した。この装置には、(2) で検討した等方性黒鉛電極を取り付け、水素ガスを模擬した高分子粒子を対象として分離・採集実験を行った。実験では、最大印加磁場は 10 T とし、印加電流の向きおよび大きさ、海水流速等をパラメーターとした。

4. 研究成果

(平成 18 年度)

新型（ヘリカル型）海流 MHD 水素発生器の基礎特性を明らかにするために、本年度は主に予備的な研究として、整流器設置等の効果、水素発生器内部の流れおよび水素ガス採集率等について調べた。得られた成果は次のとおりである。

(1) 整流器設置等の効果

海水の流体損失を低減し海水流速を増加させるために、海流 MHD 水素発生器の前後に整流器を設置して流体損失および発生起電力を調べた。その結果、流体損失の低減に対して整流器設置の効果が見られた。また、7 T の磁場下で最大起電力が整流器なしの場合より約 10 % 向上した。

(2) 海流 MHD 水素発生器内部の流れの観測

海流 MHD 水素発生器内部では複雑な流れや渦等が発生していると予測されている。これを調べるために、内部観測用装置を用いて流れを可視化してデジタル CCD カメラ等を用いて海水の流れを観測した。また、この装置を用いてヘリカル流路に沿った圧力分布を測定した。その結果、ヘリカル流路の距離が短いと入口と出口の影響により流れが乱れ、発達したヘリカル流にならないことがわかった。この結果は、流速分布のシミュレーション結果と矛盾しなかった。

(3) 水素ガスの発生および採集実験

海流 MHD 水素発生器から発生する水素ガスは、海水の流れに伴って移動する。水素ガス採集率を調べるために、簡易実験用電気分解セルを用いて 10 T の強磁場中で人工海水を流した状態で水素ガスを発生し、これを水上置換法により採集した。実験の結果、水素ガス採集率は磁場の影響を受けず、海水流速の

増加とともに減少することが明らかとなった。

(平成 19 年度)

新型（ヘリカル型）海流 MHD 水素発生器の基礎特性を明らかにするために、本年度は水素発生器の最適形状、流体損失、水素ガスの採集方法等について調べた。得られた成果は、次のとおりである。

(1) 海流 MHD 水素発生器の最適形状の研究

発生起電力を上げるためには、海水の流体損失を低減し海水流速を増加させることが重要である。そのために、回転数、電極長さ、電極直径等を含む水素発生器の形状を最適化する必要がある。そこでまず回転数に着目して、流体損失に及ぼす回転数の影響を調べた。その結果、流量が 20 m³/h 以上の場合には規格化した損失が回転数にほとんど依存しないことが明らかになった。

(2) 基礎特性のシミュレーション

流体損失や発生起電力等の実験値と比較するために、製作した海流 MHD 水素発生器と同じ形状を想定し、3 次元有限要素法に基づきソフトウェア ANSYS multiphysics を用いて計算した。水素発生器入口側の流量をパラメータとして流速分布を求めたところ、内部では非常に複雑な流速分布が見られた。

(3) 水素ガスの採集実験

海流 MHD 水素発生器から発生する水素ガスは、海水の流れに伴って移動するため、有効な採集・貯蔵方法等を確立する必要がある。そこで新規な超伝導 MHD 分離法を考案し、これを用いて簡易実験用電気分解セルから発生した水素ガスを対象として分離・採集実験を試みた。その結果、完全ではないが水素ガスの分離を目視で確認した。

(平成 20 年度)

新型（ヘリカル型）海流 MHD 水素発生器の基礎特性を明らかにするために、本年度は水素発生器の最適形状、水素発生器の電極材料、水素の超伝導 MHD 分離法等について調べた。得られた成果は、次のとおりである。

(1) 海流 MHD 水素発生器の最適形状の解明

発生起電力を上げるためには、海水の流体損失を低減し流速を増加させることが重要である。そのためには、回転数、ピッチ、電極直径等を含む水素発生器の形状を最適化する必要がある。そこで、これらの形状をパラメータとしたヘリカルモデルを製作し、圧力分布及び流体損失を測定した。その結果、流体損失に対する回転数依存性、ピッチ依存

性等が明らかになった。

(2) 海流 MHD 水素発生器用電極の検討

海流 MHD 水素発生器から水素ガスと同時に電解生成物も発生するため、これにより電極が劣化する。そこで、劣化が抑えられる最適電極を選定するために、各種電極を用意して電流・電圧特性および耐久性等を調べた。その結果、等方性黒鉛電極が最適であると判断した。

(3) 超伝導 MHD 分離法による採集実験

海流 MHD 水素発生器から発生する水素ガスは、海水の流れに伴って移動するため、有効な採集方法等を確立する必要がある。そこで、独自に考案した新規な超伝導 MHD 分離法に基づき、分離装置を試作して分離・採集特性等を調べた。水素ガスを模擬した高分子粒子を対象として、10 T の磁場下で分離・採集実験を行ったところ、電流下向きより上向きの方が分離・採集率が少し高いことがわかった。しかし、計算値に比べて実験値はまだ小さく、分離装置の改造が求められる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

(1) Bui Anh Kiet, M. Takeda, Y. Sera: Measurements of pressure distribution of helical-type seawater MHD generator, Proceedings of the 3rd PAAMES/AMEC, pp. 69-73 (2008) アブストラクト査読有.

(2) M. Takeda, Y. Iwamoto, T. Akazawa, K. A. Bui, T. Kida, X. Liu, T. Kiyoshi: Basic Characteristics of Helical-Type Seawater MHD Power Generator with Flow Rectifiers, Journal of the Japan Institute of Marine Engineering, Vol. 43, pp. 130-134 (2008) 査読有.

(3) M. Takeda, T. Tachibana, T. Akazawa, K. Nishigaki and A. Iwata: Improvement in MHD Separation of Oil from Oil-Contaminated Seawater Using High-Field Superconducting Magnet, Journal of the Japan Institute of Marine Engineering, Vol. 41, pp. 101-106 (2006) 査読有.

(4) X. Liu, T. Kiyoshi and M. Takeda: Simulation of a seawater MHD power generation system, Cryogenics, Vol. 46, pp. 362-366 (2006) 査読有.

(5) 武田 実, 岩本裕樹, 赤澤輝彦, Bui Anh Kiet, 木田龍雄: 整流器を備えたヘリカル型海流MHD発電機の基礎特性, 神戸大学海事科学部紀要, 第3号, pp.107-113 (2006) 査読無.

[学会発表] (計 6件)

(1) Bui Anh Kiet, M. Takeda, Y. Sera: Measurements of pressure distribution of helical-type seawater MHD generator, The 3rd PAAMES/AMEC, Chiba, Japan (2008); A3-2, 2008年10月21日.

(2) 中川 聡, 武田 実, 西垣 和, 岩田 章: 電極分割方式によるMHD分離技術の基礎研究, 第75回2006年秋季低温工学・超電導学会講演概要集, p. 272 (2006); 3C-a12, 2006年11月22日. 熊本大学

(3) 木田龍雄, 武田 実, Bui Anh Kiet, 上田章生: ヘリカル型海流MHD発電機内部の流れの観測, 第75回(平成18年秋季)マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, pp. 37-38 (2006); 202, 2006年10月31日. 神戸大学

(4) M. Takeda, Y. Iwamoto, T. Akazawa, K. A. Bui, T. Kida, X. Liu, T. Kiyoshi: Basic Characteristics of Helical-Type Seawater MHD Power Generator with Flow Rectifiers, Applied Superconductivity Conference, Seattle, USA (2006); 5LH12, 2006年9月1日.

(5) 岩本裕樹, 武田 実, 赤澤輝彦, Bui Anh Kiet, 木田龍雄, 劉 小軍, 木吉 司: 整流器を備えたヘリカル型海流MHD発電機の基礎特性, 第74回2006年春季低温工学・超電導学会講演概要集, p. 222 (2006); 3B-p08, 2006年5月17日. 大阪大学

(6) Bui Anh Kiet, 武田 実, 赤澤輝彦, 木田龍雄, 劉 小軍, 木吉 司: ヘリカル型海流MHD発電機の基礎特性のピッチ数依存性(1), 第74回2006年春季低温工学・超電導学会講演概要集, p. 221 (2006); 3B-p07, 2006年5月17日. 大阪大学

[その他]

(1) 雑誌記事: Tidal power with a twist, New Scientist, July 5 (2008).

(2) 雑誌記事: Kobe University Studies Magnetohydrodynamics Seawater Generator,

Superconductor Week, September 1 (2008).

6. 研究組織

(1) 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

(2) 研究分担者

赤澤輝彦 (AKAZAWA TERUHIKO) (平成18年度~平成19年度)
神戸大学 海事科学研究科 准教授
研究者番号: 30346291

木吉 司 (平成18年度~平成19年度)
物質・材料研究機構超伝導材料センター
マグネット開発グループ グループリーダー
研究者番号: 00354316

(3) 連携研究者

木吉 司 (平成20年度)
物質・材料研究機構超伝導材料センター
マグネット開発グループ グループリーダー
研究者番号: 00354316