

平成21年 5月22日現在

研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2006～2008  
 課題番号：18760575  
 研究課題名（和文）新材料創成を目指した流れの構造を持つ磁化プラズモイドの連続パルス生成法の開発  
 研究課題名（英文）Development of repetitive formation method of magnetized plasmoid with flow structure  
 研究代表者  
 浅井 朋彦（ASAI TOMOHIKO）  
 日本大学・理工学部・講師  
 研究者番号：00386004

## 研究成果の概要：

本研究では、磁化同軸ガンにより生成されるフローや孤立した磁場構造を持ったスフェロマックプラズマについて、IGBT インバータを用いた放電制御回路を開発し、高繰り返し率生成・射出方法を確立することで、表面改質や短波長光源などへの応用方法を実現した。特に、生成されるスフェロマックの捕捉磁束や温度が、放電デューティ比に極めて強く依存することが示され、プラズマの生成効率の向上の可能性が示された。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,900,000	0	1,900,000
2007年度	700,000	0	700,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	150,000	3,250,000

研究分野：プラズマ理工学

科研費の分科・細目：工学・プロセス工学

キーワード：磁化プラズモイド、スフェロマック、傾斜機能性材料、プラズマプロセス

## 1. 研究開始当初の背景

一般的にプロセスなどに用いられるプラズマは、アークジェットのような高温・高密度の領域か、熱フィラメントやマイクロ波生成プラズマのような低温・低密度領域にほぼ限定されていた。本研究では流れの構造を持つ完全電離プラズマであるスフェロマックを、新材料の創成、特にその流れの構造を利用し傾斜機能材料の創成に応用出来る形で連続的に生成、射出する装置の開発を目指して実施された。

## 2. 研究の目的

本研究は、流れの構造を持つ完全電離プラズマであるスフェロマックを、新材料の創成、特にその流れの構造を利用し傾斜機能材料の創成、また電磁加速により生成・射出できる特徴を活かし、短波長光源などへ応用するための装置の開発を目指すものである。磁化同軸プラズマガンにより生成されるプラズモイド（スフェロマック配位と呼ばれる）は独立した閉じた磁力線構造を持ち、生成後、自身の持つヘリシティ量に合わせて無力配位に緩和することが知られている。この特性を利用することで、プラズマ生成時のパラメータ（ガン電流、電圧、磁化磁場強度、ガス

圧)を変化させ、ガンから射出され独立した配位に緩和した後のプラズモイドのパラメータ(密度、サイズ、速度など)を制御することが可能である。

一方で、これまでに実験的に生成されているスフェロマックは、それ自身の物理的性質や磁力線再結合現象などの磁場との相互作用などが研究の主たる目的であり、コンデンサー充電による単パルス放電が一般的である。本研究では、大電力 IGBT インバータを用いてスフェロマックを連続的に生成することで、従来では合成不可能なアモルファス合金などの新材料の創生、表面改質などによる新機能の付加といった材料物性、工業応用の新展開に貢献することを目指す。

### 3. 研究の方法

(1) 磁化同軸プラズマガンに使用する同軸電極を負荷とした、半導体スイッチを含む電源システムの試験を行う。この上記システムによりスフェロマックを連続生成し、最適な運転条件を確認する。

(2) 3次元磁気プローブを製作し、コンバータ中に射出されたプラズモイドの磁場配位の時間変化を観測することで、磁場緩和の描像を明らかにする。また、ガン領域で生成されたヘリシティ量、プラズマエネルギーとターゲット部に輸送された量の比較を行い、輸送効率を明らかにする。

(3) 光ファイバおよびコリメータを用いた、高空間分解能分光計測システムを製作し、中性粒子、イオンの線スペクトルから、プラズマの生成効率と運転条件の関係を解明する。

(4) 繰り返し放電法に対し、特に紫外から軟 X 線領域における高速計測システムを開発し、観測された高輝度化について、高エネルギー(短波長)領域における特性を試験する。

(5) 準直流放電において、形成される薄膜の高機能化を主眼に置き、運転条件の最適化を行う。

### 4. 研究成果

(1) IGBT を用いたインバータ様放電制御電源および小型磁化同軸プラズマガンを用いて、スフェロマックの高繰り返し率パルス生成実験を開始した。この実験の結果、放電のデューティ比を適切に制御することにより、準直流的な放電や交流放電と比較し、プラズマの生成効率が大幅に向上する条件を見出した。

(2) 特にヘリウムガスを用いた放電実験で

は、干渉フィルタ分光システムおよび内部磁気プローブ、磁束ループコイルを用いた計測を行い、ヘリウム原子および1価のイオンの線スペクトルの発光強度、および生成される捕捉磁束について大幅な増大が確認され、さらに捕捉磁束については磁束保持時間の伸長が確認された。これは、今後、産業応用を指向する際に、より低電力で高温かつ高密度のプラズマを生成・維持する可能性を示すものである。

(3) 一方、準直流的な放電による磁化プラズマ流を用いた実験では、低電圧・大電流放電による安定なプラズマ生成について目処が付き、また、内管壁面および対向壁面において、電極材料と同質の金属薄膜が形成されることが確認された。内壁面および対向壁面に形成される膜の諸パラメータについては、磁化プラズマ流の流速、トロイダルおよびポロイダル磁場強度、また温度・密度により制御できることが予想される。このため、今後はこれらのプラズマパラメータ計測機器を立ち上げ、制御をめざした放電実験を行う予定である。

(4) IGBT インバータ放電制御電源および小型磁化同軸プラズマガンを用いて、スフェロマックの高繰り返し率パルス生成実験および衝突加熱機構を利用した高輝度化などに関する応用実験をすすめ、得られた成果について特許出願や学会、学術誌における発表ならびにその準備を進めた。高繰り返し率生成については、対向させたガンから磁束保持容器中にスフェロマックを入射することで衝突、磁気再結合を強調することで、より顕著にプラズマの生成効率が向上する結果を得た。これらは2008年度2件の特許としてまとめ出願するに至った(特願2008-189468, 特願2009-47294)。

(5) 生成されたスフェロマックを応用する際に、反応チャンバーとなる導体制ドリフト管や磁束保持管中でのプラズモイドの緩和機構やその際のプラズマパラメータが重要になるが、これらの結果について実験をすすめ、関連して5件の学会発表を行った。現在、学術誌への発表へ向けた論文の執筆をすすめている。また、副次的な結果として、LFプラズマジェットの前加熱方法に関する発見があり出願した(特願2009-80683)。

### 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8件)

① Kiyoyuki Yambe, Michiaki Inomoto,

- Shigefumi Okada, Yuka Kobayashi, and Tomohiko Asai, Effects of internal structure on equilibrium of field-reversed configuration plasma sustained by rotating magnetic field, Physics of Plasmas, 15, 092508 1-6, 2008, 査読有
- ② Yoshiki Matsuzawa, Tomohiko Asai, Tsutomu Takahashi, and Toshiki Takahashi, Effects of background neutral particles on a field-reversed configuration plasma in the translation process, Physics of Plasmas, 15, 082504 1-8, 2008, 査読有
- ③ T. Asai, N. Yamaguchi, H. Kajiya, T. Takahashi, H. Imanaka, Y. Takase, Y. Ono, and K. N. Sato, Development of ion source with a washer gun for pulsed neutral beam injection, Review of Scientific Instruments, 79, 063502 1-3, 2008, 査読有
- ④ Michiaki Inomoto, Tomohiko Asai and Shigefumi Okada, Neutral beam injection heating on field-reversed configuration plasma decompressed through axial translation, Nuclear Fusion, 48, 035013 1-8, 2008, 査読有
- ⑤ T. KIGUCHI, T. ASAI, N. YAMAMOTO, S. HIROMORI, T. OKANO, T. TAKAHASHI, T. TAKAHASHI, Y. NOGI and S. INAGAKI, Tomographic Reconstruction of Internal Instability in a Field-Reversed Configuration, Plasma and Fusion Research, 2, S1122 1-4, 2007, 査読有
- ⑥ Y. Kanamaru, H. Gota, K. Fujimoto, T. Ikeyama, T. Asai, T. Takahashi, Y. Nogi, Magnetic probe array with high sensitivity for fluctuating field, Review of Scientific Instruments, 78, 036105 1-3, 2007, 査読有
- ⑦ H. Yamaura, T. Takahashi, Y. Kondoh, T. Asai, T. Takahashi, Rotation of a Field-Reversed Configuration due to Resistive Flux Decay, Fusion Science & Technology, 51, 373-375, 2007, 査読有
- ⑧ T. Asai, Y. Matsuzawa, T. Okano, T. Kiguchi, K. Sakuraba, T. Takahashi, T. Takahashi, Y. Hirano, N. Mizuguchi, Y. Tomita, Heating and Particle Build-Up of Field-Reversed Configuration due to Neutral Particle Injection in a Translation Process, Fusion Science & Technology, 51, 379-381, 2007, 査読有
- ① 浅井朋彦, 磁場反転配位プラズマの自発回転と速度シアの形成, 平成 20 年度NIFS共同研究会「自己組織化系高ベータプラズマの外部MHD制御と粒子制御技術への応用」, 2009.1.31, 核融合科学研究所
- ② 岸香織, 寺嶋悠紀, 板垣宏知, 沼澤広斗, 浅井朋彦, 小口治久, 高繰り返し放電によるスフェロマック生成効率の向上, 第 25 回プラズマ・核融合学会年会, 2008.12.5, 栃木県総合文化センター
- ③ 板垣宏知, 沼澤広斗, 岸香織, 寺嶋悠紀, 浅井朋彦, 小口治久, フラックスコンザーバ領域における高繰り返し生成スフェロマックの特性, 第 25 回プラズマ・核融合学会年会, 2008.12.5, 栃木県総合文化センター
- ④ 根本祐一, 加治屋博貴, 東晃由, 今中平造, 浅井朋彦, 井通暁, 高瀬雄一, 佐藤浩之助, 小野靖 ワッシャーガン型イオン源を用いたNBI装置のビーム特性評価, 第 25 回プラズマ・核融合学会年会, 2008.12.5, 栃木県総合文化センター
- ⑤ 小石章太郎, 鈴木章太郎, 小森谷勇樹, 平山泰行, 浅井朋彦, 高橋努, 小口治久, 永田正義, 磁化プラズマ流の生成とドリフト管領域における特性, 第 25 回プラズマ・核融合学会年会, 2008.12.5, 栃木県総合文化センター
- ⑥ 岸香織, 板垣宏知, 寺嶋悠紀, 沼澤廣斗, 平山泰行, 的場日香瑠, 根津鉄一郎, 元木正裕, 浅井朋彦, 高橋努, 小口治久, 高繰り返しパルスによるスフェロマック生成の効率化, 第 7 回核融合エネルギー連合講演会, 2008.6.19, 青森市民ホール
- ⑦ 多米貴裕, 浅井朋彦, 板垣宏知, 奥田真之介, 岸香織, 熊倉正巳, 吉田博之, 小口治久, 島村信, 高橋努, 林新也, 高繰り返し放電によるスフェロマック生成とパラメータ制御, 第 55 回応用物理学関係連合講演会, 2008/03/28, 日本大学理工学部
- ⑧ 板垣宏知, 熊倉正巳, 多米貴裕, 岸香織, 奥田真之介, 島村信, 林新也, 浅井朋彦, 小口治久, 外部磁場領域におけるスフェロマックの高速繰り返し生成による磁束増幅効果, 日本物理学会 第 63 回年次大会, 2008/03/26, 近畿大学
- ⑨ 浅井朋彦, 鈴木章太郎, 東晃由, 小口治久, 永田正義, 木山學, 平野洋一, 榊田創, 磁化プラズマ流入射による逆磁場ピンチの

ダイナモ励起と磁束増幅効果, 日本物理学会 第 63 回年次大会, 2008/03/26, 近畿大学

- ⑩ Shotaro Suzuki, Tomohiko Asai, Masayoshi Nagata, Haruhisa Koguchi, Yoichi Hirano, Hajime Sakakita, Satoru Kiyama, Characteristics of magnetized plasma flow for helicity injection into reversed-field pinch, 49th Annual Meeting of the Division of Plasma Physics, 2007/11/13, Orlando, FL

[産業財産権]

○出願状況 (計 3 件)

- ① 名称: LF プラズマジェットの生成方法と LF プラズマジェットの生成装置

発明者: 浅井朋彦, 小森谷勇樹

権利者: 日本大学

番号: 特願 2009-80683

出願年月日: 2009-03-28

国内外の別: 国内

- ② 名称: プラズマ光源とその紫外光発生方法

発明者: 浅井朋彦, 岸香織, 板垣宏知, 沼澤廣斗, 寺嶋悠紀

権利者: 日本大学

番号: 特願 2009-47294

出願年月日: 2009-02-27

国内外の別: 国内

- ③ 名称: 同軸磁化プラズマ生成装置

発明者: 浅井朋彦, 多米貴裕, 岸香織 権利者: 日本大学

番号: 特願 2008-189468

出願年月日: 2008-07-23

国内外の別: 国内

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

浅井 朋彦 (ASAI TOMOHIKO)

日本大学・理工学部・講師

研究者番号: 00386004