

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K13389

研究課題名(和文)超臨界流体ダストプラズマの創製

研究課題名(英文)Fabrication of dust plasma in supercritical fluids

研究代表者

寺嶋 和夫(Terashima, Kazuo)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：30176911

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：高圧および超臨界CO<sub>2</sub>中での電界放出型表面DBDにおいて、擬似微小重力環境の効果による重力方向への微粒子配列の形成が確認された。また、擬似微小重力環境における機能性プラズマ結晶の形成を目指し、同様の実験方法で磁性微粒子の配列実験を行い、その配列にも成功した。以上の成果は、地上における等方的な3次元ダストプラズマ生成、機能性プラズマ結晶の形成への大きな一歩である。

研究成果の概要(英文)：With an effect of pseudo micro gravity circumstances, an array of fine particles along the gravity direction was found in electric field emitting surface DBD of CO<sub>2</sub> under high pressure condition up to supercritical fluid. Moreover, with a similar experiment, an array of fine magnetic fine particles was also found for a formation of functional plasma crystal under pseudo micro gravity circumstances. These achievements demonstrate the first great step to formation of isotropical three dimensional dust plasma and functional plasma crystal on the ground.

研究分野：プラズマ材料科学

キーワード：超臨界流体ダストプラズマ ダストプラズマ 超臨界流体中

### 1. 研究開始当初の背景

ダストプラズマの地上実験における“重力による異方性”の問題に対して、私共のグループでは、高密度媒体である超臨界流体を用いたプラズマによる研究に着眼し研究を進めてきた。研究を開始した当初までに、液体的な超臨界二酸化炭素 ( $scCO_2$ ) 中における電界放出型表面の誘電体バリア放電 (DBDs) を用いたダストプラズマの研究がなされ、直線的な一次元微粒子配列が形成され、微粒子の帯電量や運動の解析により強結合プラズマであることが示された[Y. Matsubayashi *et. al.*, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **48** (2015) 454002]。しかしながら、より高密度媒質を用いた擬似微小重力環境の効果による重力方向への微粒子の配列は確認できなかった。

### 2. 研究の目的

本研究は、ダストプラズマの地上実験における「重力による異方性」の問題に対して、高密度媒質である高圧・超臨界流体中でダストプラズマを生成することで浮力の効果により重力の効果打ち消し、擬似微小重力環境における等方的なプラズマ結晶の形成を目指す。さらには、ダスト微粒子として磁性微粒子や触媒微粒子などを用いることで、機能性プラズマ結晶の創製を目指す。

### 3. 研究の方法

本研究では、 $0.2\text{--}0.7\text{ g/cm}^3$  という高圧および超臨界  $CO_2$  の密度範囲において、密度が  $0.5\text{ g/cm}^3$  程度の中空微粒子 (HB-2051, SEKISUI CHEMICAL CO., LTD.) を用い、我々のグループの既存の方法[Y. Matsubayashi *et. al.*, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **48** (2015) 454002] で微粒子配列実験を行うことで、擬似微小重力環境の効果による重力方向へのプラズマ結晶の形成を試みた。

31.8 °C 前後の温度で圧力を変化させ、 $CO_2$  の密度を変化させながら中空微粒子の配列実験を行った。10 kHz, 4.8 kVpp の交流電圧

を数分間印加して微粒子を帯電させたのち、周波数を 0.155 kHz まで下げて微粒子配列を形成した。(a) ~ (e) の各条件で実験を行った。プラズマ発生のための電極には Fig.1 のような電極を用いた。

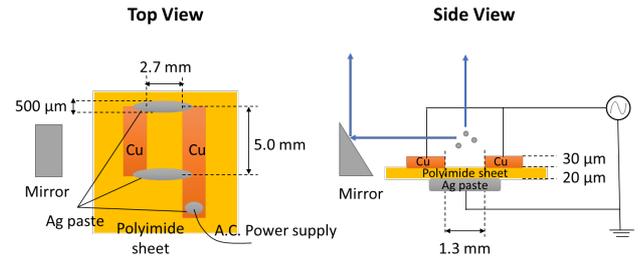


Fig. 1 電極構造 (左: 上面図、右: 側面図)

また、Fig.2 に示すように各実験条件での  $CO_2$  の温度、圧力、密度、相は、条件(a) 31.8 °C, 6.92 MPa,  $0.234\text{ g/cm}^3$  高圧気体、条件(b) 31.8 °C, 7.46 MPa,  $0.355\text{ g/cm}^3$  液体の超臨界、条件(c) 31.7 °C, 7.50 MPa,  $0.466\text{ g/cm}^3$  液体的超臨界、条件(d) 31.8 °C, 7.70 MPa,  $0.624\text{ g/cm}^3$  液体的超臨界、条件(e) 32.0 °C, 8.16 MPa,  $0.668\text{ g/cm}^3$  液体的超臨界、である。

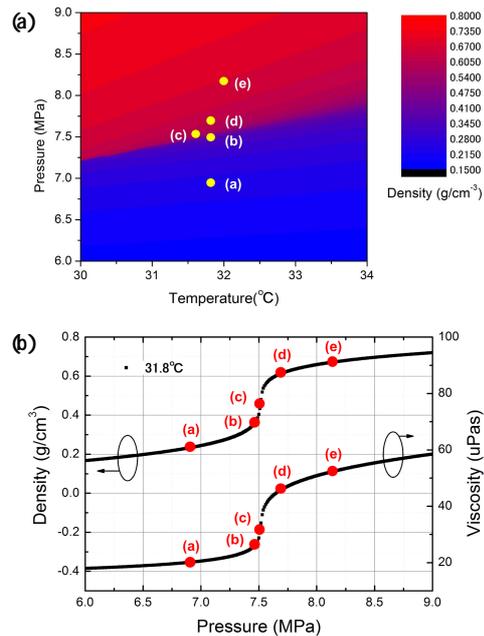


Fig. 2 (a)相図上(b)等温曲線上での各条件の位置

$0.234\text{ g/cm}^3$  気体的超臨界、条件(c) 31.7 °C, 7.50 MPa,  $0.466\text{ g/cm}^3$  液体的超臨界、条件(d) 31.8 °C, 7.70 MPa,  $0.624\text{ g/cm}^3$  液体的超臨界、条件(e) 32.0 °C, 8.16 MPa,  $0.668\text{ g/cm}^3$  液体的超臨界、である。

#### 4. 研究成果

条件(a)において微粒子は一層に配列し、CO<sub>2</sub>密度を上昇させると (b) – (d)の条件下でも微粒子は重力方向にも配列した。更に CO<sub>2</sub>密度を上げていくと、条件(e)では重力方向への配列が見られなくなった。また、微粒子の運動方程式の解析により、微粒子の平衡位置はCO<sub>2</sub>密度により変化するがCO<sub>2</sub>粘性によってはほとんど変化しないことが示された。以上の結果より、CO<sub>2</sub>密度が微粒子密度近傍である条件においては、重力の効果が打ち消され、擬似微小重力環境の効果によって微粒子が重力方向にも配列したと考えられる。なお、配列した微粒子は配列空間内に束縛されているものの、静止せずに振動、浮遊、隣接粒子との交換などの運動をしていた。

また、擬似微小重力環境における微粒子配列実験に加え、機能性プラズマ結晶の形成を目指し、同様の実験方法で磁性微粒子 (micromer-M, micromod Partikeltechnologie GmbH, 密度 1.1 g/cm<sup>3</sup>) の配列実験を行った。無磁場の条件下では、4, 5 個の微粒子が直線状に配列した。今回は、磁性微粒子に関しては 7.4MPa, 32 付近の気体的超臨界の条件のみ行った。磁性微粒子は密度が 1.1g/cm<sup>3</sup> と CO<sub>2</sub> 密度に対して大きいため、磁性微粒子の 3 次元配列を目指す場合は、8MPa 程度まで圧力を

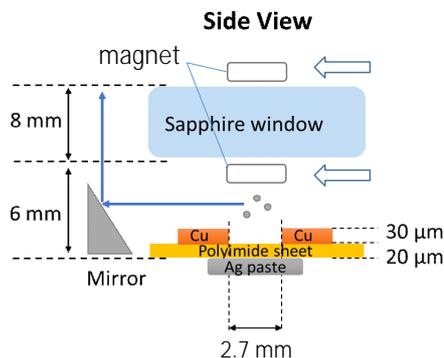


Fig. 3 電極上方への磁石の設置

げた液体的超臨界、もしくは更に密度の高い Xe での実験が必要となると思われる。次に、

ネオジウム磁石 (354 mT) を電極上方に設置することで (Fig.3 参照) 磁場による微粒子配列の変化の観察を試みた。磁石を設置しない場合には、一次元配列が形成され、位置に磁石を入れても微粒子配列に変化は生じなかった。また、位置に磁石を設置すると微粒子が磁石に吸引されてしまい、微粒子配列は形成されなかった。

結論として、高圧および超臨界 CO<sub>2</sub> 中での電界放出型表面 DBDs において、擬似微小重力環境の効果による重力方向への微粒子配列の形成が確認された。また、擬似微小重力環境における機能性プラズマ結晶の形成を目指し、同様の実験方法で磁性微粒子 (micromer-M, micromod Partikeltechnologie GmbH, 密度 1.1 g/cm<sup>3</sup>) の配列実験を行い、その配列に成功した。以上の成果は、地上における等方的なダストプラズマ生成への大きな一歩であり、さらに電極構造の改良などにより電位構造を改善することで、地上実験による 3 次元プラズマ結晶の形成が期待される。また、磁性微粒子を用いた機能性プラズマ結晶の形成についても、磁場を印加する方法を模索するなどの更なる研究が望まれる。

#### 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 0 件)

〔学会発表〕(計 5 件)

神原教貴、松林康仁、寺嶋和夫

“超臨界流体を用いた疑似微小重力環境下ダストプラズマの創製( )”

第 64 回応用物理学会春季学術講演会

パンパシフィック横浜(神奈川県・横浜市)

2017 年 3 月 17 日

寺嶋和夫

“マルチフェーズプラズマ材料科学 プラズマの不均一性が生み出す非平衡反応場イノベーション”

プラズマ制御科学研究センター2015年度第二回公開研究会

「秩序構造とプラズマ応用の新しい展開」(招待講演)

京都工芸繊維大学・工織会館(京都府・京都市)

2016年3月28日  
井上健一、シユタウス・スベン、金載浩、  
寺嶋和夫  
“大気圧を超える高圧マイクロ波プラズ  
マの生成と診断”  
第63回応用物理学会春季学術講演会  
東京工業大学大岡山キャンパス（東京  
都・目黒区）  
2016年3月19日  
K Terashima “ Multiphase Plasma :  
Towards to Next generation Plasma  
Surface Engineering ”  
APSPT9/SPSM28 (Invited Lecture)  
長崎大学文教キャンパス（長崎県・長崎  
市）  
2015, Dec. 14  
寺嶋和夫 “ 多相空間ナノ複合構造プ  
ラズマ反応場の創製 ”  
応用物理学会プラズマエレクトロニクス  
分科会  
第22回プラズマ新領域研究会  
「多相空間プラズマのマテリアル科学」  
（招待講演）  
千葉工業大学東京スカイツリーキャン  
パス（東京都・墨田区）  
2015年11月28日

〔図書〕（計 0件）

〔産業財産権〕

出願状況（計 0件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況（計 0件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等  
<http://www.plasma.k.u-tokyo.ac.jp/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

寺嶋 和夫 (TERASHIMA KAZUO)  
東京大学・大学院新領域創成科学研究科・

教授  
研究者番号：30176911

(2) 研究分担者  
( )

研究者番号：

(3) 連携研究者  
( )

研究者番号：

### (4) 研究協力者

榊原教貴 (SAKAKIBARA NIRITAKA)  
東京大学・大学院新領域創成科学研究科・  
大学院生（修士）