

令和 3 年 6 月 8 日現在

機関番号：14303

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01194

研究課題名(和文) 非中性プラズマを応用した制御自己ポテンシャル場が創り出す2流体プラズマの動力学

研究課題名(英文) Investigation of dynamics of two-fluid plasmas with controlled self-potential by use of non-neutral plasmas

研究代表者

比村 治彦 (Himura, Haruhiko)

京都工芸繊維大学・電気電子工学系・教授

研究者番号：30311632

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円

研究成果の概要(和文)：独自に設計製作してきたBX-U直線型トラップ装置でポテンシャル井戸が入り子状になっているネストトラップを作り出す。このようにすることで、あらかじめ回転平衡状態に緩和しているイオンだけから成る純イオンプラズマと電子だけから成る純電子プラズマを実験的に重畳できる。この重畳により、電気的中性条件が破れた非中性状態の2流体プラズマを作り、その巨視的平衡と安定性の非中性度依存性を実験的に調べることに成功した。また、純イオンプラズマと純電子プラズマの回転については、装置端部にインストールしたニードルをプラズマが横切ることによって生じる影を高速カメラで撮影する手法が適用できることを実験的に確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

プラズマとは、一般的にはイオン密度と電子密度が等しく全体として電気的中性な電離気体と理解されている。ところが、2流体プラズマとは、この一般的理解から外れるプラズマの捉え方である。2流体プラズマでは、プラズマを構成するのは、イオンプラズマと電子プラズマの2つと分けて考えている。これが2流体プラズマという考え方の特徴であり、理論上では2流体プラズマは存在可能である。これを実験的に検証して、先端プラズマ物理のフロンティアを拡充するという点が、本研究の学術的意義である。

研究成果の概要(英文)：The BX-U linear trap machine, which we have designed and fabricated ourselves, produces a nested trap with nested potential wells. In this way, we can experimentally superimpose a pure ion plasma consisting of only ions and a pure electron plasma consisting of only electrons, which have been previously relaxed to their corresponding rotational equilibrium states. By this superposition, we succeeded in creating a non-neutral two-fluid plasma in which the electrical neutral condition is broken, and experimentally investigated the dependence of macroscopic plasma equilibrium and stability on the non-neutrality. Regarding the measurements of rotations of ions and electrons in the two-fluid plasma, it was experimentally established that a high-speed camera can be used to capture the shadows produced by the plasma crossing a thin needle installed at the end of the nested potential wells.

研究分野：プラズマ科学

キーワード：2流体プラズマ 純イオンプラズマ 純電子プラズマ 非中性プラズマ 正準角運動量 プラズマフロー
差動回転平衡 電磁流体力学

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

様々なプラズマ関連学分野で広く知られているプラズマの流体的取り扱い方法に、1 流体プラズマ (MHD) がある。MHD では、プラズマを、電流を流すことができるが電荷を持たない気体とみなす。この MHD 方程式セットは、スケール長 L を含まない。そのため、MHD は、宇宙プラズマのような巨大なプラズマに対しても、マイクロプラズマのような非常に小さいプラズマに対しても、原理的に等しく成り立つ。このため、実際にはどのようなプラズマに対して MHD が成り立つのか、その適用可能性を明らかにするために、多くの研究が行われてきた。それらの結果、現在までに、MHD は L の長いプラズマの平衡や安定性に対して有効と結論づけられている。しかし、この帰納的結論は、明らかに不十分であり、プラズマを極端に単純化している MHD がなぜ機能するのか、MHD が適用できる実効的な L の長さはいかなのか、これら根本的な問いに対して、何も答えていない。このような曖昧さが MHD に残されている状況の中、近年、プラズマ境界層のような狭い領域内でのプラズマ挙動、ベータ値が高くて急峻な圧力勾配 p 領域を含むプラズマや、イオン速度場 $\mathbf{V}_i(\mathbf{r})$ が存在するプラズマの平衡・安定性の観測事実、磁束密度 \mathbf{B} が小さいためにイオンと電子の磁化がずれる磁気中性面付近でのイオン異常抵抗の発生のように、MHD の適用が不適当と思われる現象に対しては、プラズマを 2 流体とみなす取り扱いが用いられている。

2 流体プラズマとは、MHD 方程式を導き出す時に用いられる 2 流体プラズマ方程式セットに基づいた考え方である。2 流体プラズマ理論では、イオン流体と電子流体は、それぞれの流体運動方程式に従っている。したがって、図 1 のように、イオン流体の $\mathbf{V}_i(\mathbf{r})$ と電子流体の $\mathbf{V}_e(\mathbf{r})$ など、互いに対となるプラズマパラメータの値や空間分布がそれぞれ異なってもよく、むしろ、異なっていることが前提とされている。また、MHD 平衡の偏微分方程式は楕円型である一方、2 流体プラズマのそれは双曲型なので、2 流体プラズマからは MHD では発現しない解、例えば、波動解が示される。シミュレーション研究では、実験で観測された $\mathbf{V}_i(\mathbf{r})$ が再現するように、2 流体プラズマ方程式が含んでいるホール項や、イオン流体と電子流体の $p_{(i,e)}$ 項 (反磁性電流項) の大きさが調整されている。これらの結果を用いて、MHD では説明できない事実の理解が試みられている。

しかしながら、本研究開始当初、2 流体プラズマは、その状態、つまり、異なる $\mathbf{V}_i(\mathbf{r})$ と $\mathbf{V}_e(\mathbf{r})$ の共存が、まだ直接観測されてはいなかった。また、代表者が知る限り、近年の 2 流体プラズマ平衡理論や 2 流体プラズマシミュレーション、さらには中性流体を含む 4 流体プラズマという考え方においてさえ、イオン密度 n_i と電子密度 n_e が等しいと仮定されている。つまり、プラズマは全体として電気的中性のみであり、系に自己ポテンシャル ϕ_s が含まれていない。この束縛条件は、2 流体プラズマ方程式セットに必ずしも必要とされてはいない。つまり、ここでも MHD の時と似たような簡略化が行われている。簡略化が何もない 2 流体プラズマでは、他の対となるパラメータと同じく、 $n_i(\mathbf{r})$ と $n_e(\mathbf{r})$ も異なってよい。このような 2 流体プラズマ状態で、イオン流体と電子流体はそれぞれどのような流体運動を行うのか？ 平衡状態はあるのか？ このような最も根本的な問いに答えてくれる基礎実験はなかった。このために、2 流体プラズマという考え方は、プラズマ物理学の中で曖昧な問題の一つとして残されたままであった。

2. 研究の目的

上述のような分野動向を踏まえて、本研究は、系に有限の ϕ_s が存在し、かつ、 $\mathbf{V}_i(\mathbf{r})$ と $\mathbf{V}_e(\mathbf{r})$ が共存している 2 流体プラズマの存在可否を実験室プラズマで検証することを目的とした。図 2 は、 n_i と n_e の大小関係を軸にして、プラズマ物理の体系を整理し直した表である。イオンもしくは電子のどちらかしか存在しない極限領域の物理は、非中性プラズマ物理学として学問的に確立されている。つまり、プラズマの学問体系上では、 n_i と n_e の値が異なる中間領域の研究が欠落している。そこで、本研究では、これらの未開拓領域を具体的な開拓対象とした。そして、得られる実験データから、そもそも後述する研究代表者の実験装置と実験方法で、2 流体プラズマがベースとされているプラズマの力学的平衡、巨視的不安定性、輸送係数の増大や減少に関する仮説の実験的検証の可否への展望を得ることを試みてきた。

3. 研究の方法

(1) 実験装置

実験は、研究代表者が独自に開発した BX-U トラップ装置で行う。この装置の鳥観図や真空容器内部の説明は、平成 26-28 年にかけて実施した基盤研究 (B) の報告書で説明しているので、そちらを参照されたい。円筒容器の内部には、中空型の円筒リング群が設置されている。この円筒リングの一つずつに独立した電圧を印加することで円筒リングの中心軸上にハーモニック電位井戸を 2 つ作ることができる (図 3 参照)。図 3 の例では、左側の負の電位井戸の中で、電子のみからなる純電子プラズマを回転平衡状態に緩和させることができる。その右側には、大きな負の電位井戸中に、正の電位井戸が入れ

昔は、反磁性電流と考えるだけだった。。

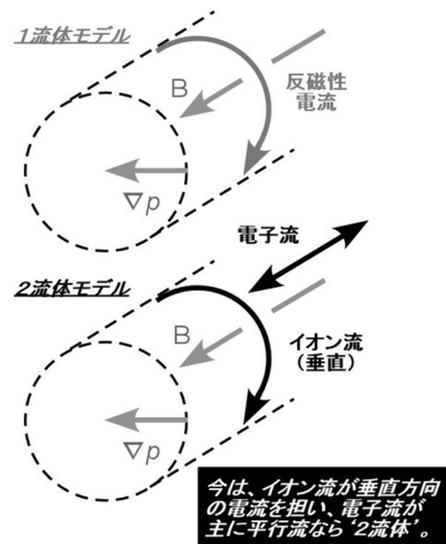


図 1 . 1 流体 MHD プラズマと 2 流体プラズマでのプラズマの取り扱い方が違う例の一つ .

	$only\ n_i$ ($n_e = 0$ の極限)	$n_i \gg n_e$	$n_i \geq n_e$	$n_i = n_e$	$n_i < n_e$	$n_i \ll n_e$	$only\ n_e$ ($n_i = 0$ の極限)
自己ポテンシャル	有	有	有	有	有	有	有
支配物理	純イオンプラズマ (非中性プラズマ分野)	(不明)	中性プラズマ (?)	中性プラズマ (?)	(不明)	純電子プラズマ (非中性プラズマ分野)	純電子プラズマ (非中性プラズマ分野)
平衡理論	剛体回転平衡 完全熱平衡	差動回転平衡?	MHD平衡 2流体平衡	MHD平衡 2流体平衡	差動回転平衡 (R.C. Davidsonの教科書等)	剛体回転平衡 完全熱平衡	剛体回転平衡 完全熱平衡
シミュレーション	有	無	無	多数有	無	わずか (Sengupta, PoP (2017)誌)	有
実験(流体)	有	無	無	多数有	無	わずか (我々のグループ)	有
実験(輸送)	わずか (我々のグループ)	無	電子ルート (ヘリカル分野)	多数有	イオンルート (ヘリカル分野)	わずか (我々のグループ)	多数有
流体安定性	安定	不明	非線形飽和? (構造形成?)	多数有	非線形飽和? (構造形成?)	不安定 (イオン共鳴不安定性)	安定

図2. プラズマ物理学での研究をイオン密度と電子密度の大小で整理した表.

上に生成されている。このような入れ子上の電位井戸は、一般にネストラップと呼ばれている。このネストラップの正の電位井戸の中で、あらかじめイオンのみからなる純イオンプラズマを回転平衡状態に緩和させて閉じ込めておく。その中に左の負の電位井戸の右側の電位障壁を開閉することで、図3の(b)のように、ネストラップ内で純イオンプラズマと純電子プラズマを重ねさせて、2流体プラズマ状態を作り出す手法を用いる。

(2) $V_i(r)$ と $V_e(r)$ の測定方法について

イメージチャージの空間・時間発展による方法

既述の通り、電位井戸の形成には中空型の円筒リング群が用いられている。この円筒リング群を方位角方向に分割し、その分割されたリング片の一つずつに誘導されるイメージチャージの時間発展を測定すれば、原理的には $V_i(r)$ と $V_e(r)$ の測定が可能である。しかしながら、BX-U 装置では、市販されている高感度の微小電流増幅器を用いてさえ、信号対雑音比の値が1を越えなかった。これは2流体プラズマの重畳実験のプラズマ密度が $10^{11-13} \text{ m}^{-3}$ の低密度であることによる。重畳後の密度差は、その値以下に下がる。このような低密度プラズマ状態のために、リング片に誘導されるイメージチャージの絶対量が雑音レベルを越えなかった。この方法での $V_i(r)$ と $V_e(r)$ 測定は、プラズマ閉じ込め用の磁束密度が1T下での実験では、誘導されるイメージチャージの信号対雑音比が1以上となる可能性はある。当初予定していたこの測定手法は、将来の強磁場実験下での課題となった。

ニードルワイヤーの影のふれ角をエンドオン高速度カメラで撮影することによる方法

図4は、ニードルワイヤーを用いた $V_i(r)$ と $V_e(r)$ の測定原理を表している。図3のネストラップから排出された2流体プラズマは、ネストラップの右側端部にインストールされているSUS製の1ニードルワイヤーを横切る。つまり、プラズマがワイヤーで切断される。もし、プラズマが回転している場合は、そのワイヤーの影が、図4のようにプラズマの回転に伴って、回転することになる。この様子をさらに右側の最下流に設置されている蛍光盤付MCPで観察すれば、ワイヤーの影が傾いて撮影されることになる。この原理に基づいたニードルワイヤープローブを新たに開発し、BX-U装置のネストラップ下流にインストールした。また、このワイヤーには信号線が取り付けられており、プラズマがワイヤーを横切る際に、ワイヤーと接したプラズマの一部の荷電粒子がワイヤーから流れ出るようになる。この電流を高感度電流アンプで測定することで、プラズマの通過タイミングも測定できる。

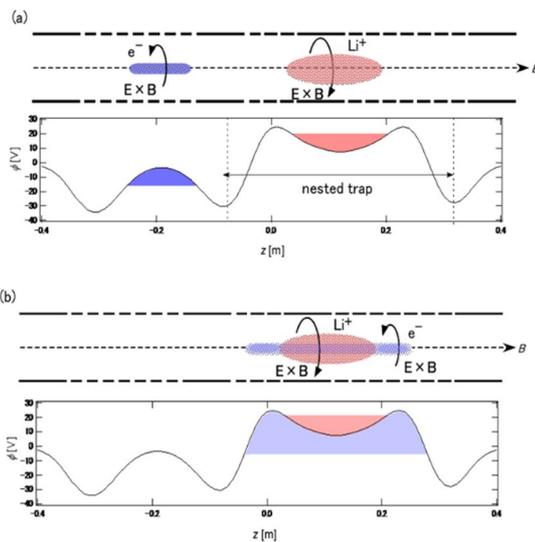


図3. BX-U リニアトラップ装置内での2流体プラズマ生成の手順.

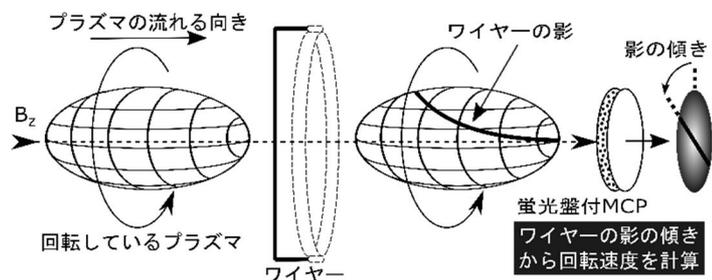


図4. 電位井戸から排出されるプラズマにニードルワイヤーを横切らせることによる回転測定法の原理.

4. 研究成果

(1) 2 流体プラズマ生成と観測装置の完成

図 5 は、Photron 社の高速度カラーカメラ(型式 Nova S9)を用いて、純電子プラズマのニードルワイヤーの影を明瞭に撮影することに成功したことを表しているイメージ例である。カラーカメラなので ISO 感度は 12,000 と低いが、それにもかかわらずニードルワイヤーの影を明瞭に視認できる。そのニードルワイヤーの影は、画像中でほぼ垂直に立っている。この結果は、電子プラズマが磁力線の周りを回転していないことを意味してはいない。電子プラズマの磁力線に対して垂直方向の回転の速さは、電子が磁力線に沿って運動する速さに比して遅い。このために、電子プラズマの画像にはニードルワイヤーのふれ角は非常に小さく出る。つまり、図 5 の結果は、画像上で図 4 のニードルワイヤーの位置を正確に同定するためのリファレンスデータになることを示している。

一方、イオンプラズマについては、リチウムイオン(Li⁺)を用いている。Li⁺の熱速度をできる限り小さく抑えるために、ベータユークリプタイト源からのイオン引き出し電極の多孔をエッチング加工にて精密に揃えられたタングステン製メッシュを導入した。また、画像撮影用のカメラについては、一眼レフカメラ、ICCD カメラ、高速度カラーおよびモノクロカメラを試した。試行実験と画像データ処理技法の最適化を繰り返すことによって、1 秒間あたりのフレーム数が 10 万枚、つまり、10 μs あたり 1 枚の撮影スピード(= 100,000 fps)、Li⁺イオンプラズマのニードルワイヤーの影を捉えることに成功した。図 6 がその画像例である。中心部に反時計回りに少し回転しているニードルワイヤーの影を視認できる。この影の傾きは、Li⁺イオンプラズマが回転していることを示しており、その回転方向は非中性プラズマ物理で指し示される方向と一致している。

これら電子プラズマと Li⁺イオンプラズマを重畳して 2 流体プラズマ状態を作り出し、MCP のエントランスの電位を正もしくは負電位とすることで、電子プラズマもしくは Li⁺イオンプラズマのみの画像を撮影する手法も確立した。以上より、2 流体プラズマ生成と観測装置が完成し、系統的な 2 流体プラズマ実験を行う装置が整えられた。また、初期データの取得を完了することができており、現在、データの整理を進めている。 n_i と n_e の値を独立に変化させながら ϕ を持つ 2 流体プラズマ状態が存在するような結果が得られており、さらなる検討を進めているが、この結果が事実の場合はプラズマ物理学分野に一定の波及効果をもたらす。その他、コロナ渦の実験に対する影響については、研究 3 年目に予定していた実験に遅れが生じたものの、この装置での実験は引き続き科研費でフォローアップされており、非中性プラズマを用いる 2 流体プラズマ実験の遂行は継続できる。

(2) 画像データ解析方法の確立

1 秒間あたりのフレーム数を 150,000 に増やすと、図 7 の上のように、画像上では何も見えない。しかし、この画像を 2 値化処理すると、図 7 の下のように、ニードルワイヤーの影の位置をあらわにすることができるようになった。この画像処理技法の確立も研究成果の一つである。

(3) 反差動回転平衡状態開拓の端緒に到達

Li⁺イオンプラズマと電子プラズマから成る 2 流体プラズマ状態の一つとして考えてよいプラズマ状態の一つに、Davidson 等により導出された差動回転平衡がある。この差動回転平衡状態では、Li⁺イオンプラズマと電子プラズマの回転速度が異なっている。この平衡は、 n_i と n_e で決まる非中性度 $f \equiv n_i/n_e$ がパラメータとされており、プラズマ温度が 0 の冷たいプラズマに対しての理論的予測であった。

一方で、BX-U 装置での 2 流体プラズマ実験では、プラズマの温度は 0 ではなく、有限温度である。実験から得られた Li⁺イオンプラズマの回転の様子は、図 6 とは異なるように見える。温度が考慮し差動回転平衡と比較するために、その平衡解を導出した。理論的には、有限温度では、Li⁺イオンプラズマと電子プラズマが互いに逆回転してよいことも明らかにしつつある。

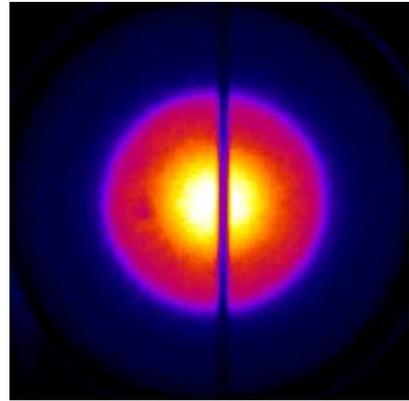


図5. Photron S9 を用いたニードルワイヤーを横切った電子プラズマ画像の例.

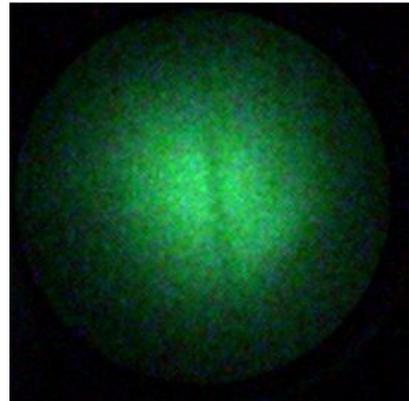


図6. Photron S12 を用いたニードルワイヤーを横切ったLi⁺プラズマ画像の例.

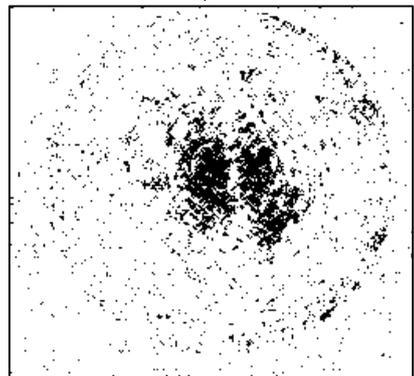
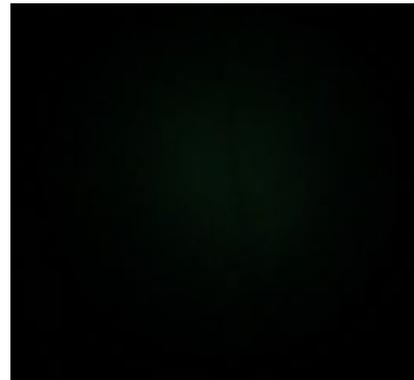


図7. 2値化によりあらわになるニードルワイヤーの影の例.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kitazawa Miki, Himura Haruhiko, Mine Takuya, Kitamura Kyoko	4. 巻 3
2. 論文標題 Revisit: principle of transverse flow measurement by using an optical vortex beam in cylindrical coordinates	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 OSA Continuum	6. 最初と最後の頁 2470 ~ 2470
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OSAC.403980	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kanki Takashi, Himura Haruhiko, Tsumori Katsuyoshi, Nakano Haruhisa	4. 巻 59
2. 論文標題 Simulations of negative ion extraction and transport for developing novel remote reactive ion processing system	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SJJE01 ~ SJJE01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab7ba8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 KATO Toshiki, HIMURA Haruhiko, SOWA Shinji, SANPEI Akio	4. 巻 14
2. 論文標題 Controlling the Diameter of a Pure Electron Plasma to Produce an Exact Two-Fluid Plasma State in a Nested Trap	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 1201039 ~ 1201039
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.14.1201039	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 AKAIKE Kiyomasa, HIMURA Haruhiko	4. 巻 14
2. 論文標題 A Method for Avoiding Following Ion Leakage from a Penning Trap	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 4401149 ~ 4401149
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.14.4401149	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 Akaike K., Himura H.	4. 巻 25
2. 論文標題 Studies of ion leakage from a Penning trap induced by potential barrier closure	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physics of Plasmas	6. 最初と最後の頁 122108 ~ 122108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5061692	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Furukawa Kosuke, Himura Haruhiko, Okada Shigefumi, Sanpei Akio, Masamune Sadao	4. 巻 1928
2. 論文標題 Observation of macroscopic stability of weakly magnetized Li ⁺ ion beams near the Brillouin density limit	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 20002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5021567	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamada Shohei, Himura Haruhiko, Kato Toshiki, Okada Shigehumi, Sanpei Akio, Masamune Sadao	4. 巻 1928
2. 論文標題 Two-dimensional macroscopic shapes of lithium ion and electron plasmas after elapse of two-fluid plasma state	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 20016
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5021581	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Himura Haruhiko	4. 巻 1928
2. 論文標題 Recent experiments with lithium ion and electron plasmas in the BX-U linear trap	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 20005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5021570	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計19件（うち招待講演 8件 / うち国際学会 8件）

1. 発表者名 比村治彦
2. 発表標題 ネスト型トラップで2流体プラズマ状態に至るまでに生じる現象のまとめ
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Haruhiko Himura
2. 発表標題 Experiments on exploring two-fluid plasma state produced by pure lithium ion and electron plasmas in the BX-U linear trap
3. 学会等名 APS-DPP (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 比村治彦
2. 発表標題 RELAXプラズマダイナミクスを2流体プラズマとして検証する実験計画
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡田勝志郎、比村治彦、他
2. 発表標題 BX-Uでの2流体プラズマ実験を精緻に遂行するための 擬イオンの抑制とイオンプラズマ安定密度域の特定
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 曾和真司、比村治彦、他
2. 発表標題 2 流体差動回転プラズマ平衡の存在を示唆する観測データ
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡田敏和、比村治彦、他
2. 発表標題 非中性度をパラメータとした2流体プラズマ実験
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Haruhiko Himura
2. 発表標題 Recent experiments with lithium ion and electron plasmas in the BX-U linear trap
3. 学会等名 International conference on nonneutral plasmas (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 比村治彦
2. 発表標題 非中性プラズマを用いた2流体プラズマ動力学の実験的検証 I
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Haruhiko Himura
2. 発表標題 Superimposition of Li ⁺ ion plasma on e ⁻ plasma for producing two-fluid plasma state
3. 学会等名 2018 APS-DPP annual meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Haruhiko Himura
2. 発表標題 Direct observation of two-fluid plasma state by extending ion skin depth in laboratory plasmas
3. 学会等名 2018 US-Japan CT Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Akaike and H. Himura
2. 発表標題 experiments on ion leakage from BX-U linear trap during potential barrier closure
3. 学会等名 2nd Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Kato, H. Himura et al.
2. 発表標題 ontrol of diameters of Li ⁺ and e ⁻ plasmas for testing two-fluid plasma state
3. 学会等名 2nd Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 比村治彦
2. 発表標題 京都工芸繊維大学プラズマ基礎工学研究室
3. 学会等名 Fusion2030研究会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 比村治彦
2. 発表標題 RELAXプラズマダイナミクスを2流体プラズマとして検証する実験計画
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 比村治彦
2. 発表標題 RELAXトカマクフォーメーションの準備と研究計画
3. 学会等名 先進トカマク研究会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Himura
2. 発表標題 Investigation of two-fluid plasma state by extending ion skin depth
3. 学会等名 4th Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Himura
2. 発表標題 Research Plan for Investigating Canonical Flux Tube of Toroidal Plasmas in RELAX
3. 学会等名 The 29th International Toki Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 比村治彦
2. 発表標題 10年後を見据えたプラズマ科学の学術課題
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 比村治彦
2. 発表標題 エネルギーが揃えられた特定イオンのみによる 膜質向上の実験的検証
3. 学会等名 電気学会全国大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>京都工芸繊維大学プラズマ基礎工学研究室 http://nuclear.es.kit.ac.jp/</p>

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	三瓶 明希夫 (Sanpei Akio) (90379066)	京都工芸繊維大学・電気電子工学系・准教授 (14303)	
研究 分 担 者	政宗 貞男 (Masamune Sadao) (00157182)	中部大学・工学部・教授 (33910)	

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			
カナダ	サスカчевン大学			