

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H01180

研究課題名(和文) 高強度レーザーと構造的媒質の相互作用による極限輻射プラズマ生成・閉じ込めと応用

研究課題名(英文) Generation and confinement of extreme radiation plasma produced by the interaction between high power laser and structured medium, and the application

研究代表者

岸本 泰明 (KISHIMOTO, Yasuaki)

京都大学・エネルギー科学研究科・教授

研究者番号：10344441

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,500,000円

研究成果の概要(和文)：現代社会を支える半導体技術である電子線リソグラフィーやプラズマエッチングを駆使することにより、サブミクロンメートルオーダーでデザインされた微細構造を有するターゲット(構造的ターゲット)の作成に成功するとともに、これに高強度レーザーを照射することで、相対論的電子と高電離多価イオン、準静的な自己生成磁場と高強度輻射場が動力学レベルで結合した高エネルギー密度プラズマの生成と慣性時間を越えた閉じ込め状態実現の可能性を追求し、この過程を高精度で再現するシミュレーションと実験検証を通して、新しい非線形性に支配されるプラズマ物理の開拓と応用研究を展開した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本手法で開拓した高エネルギー密度プラズマ研究で発見したイオン加速手法が実験により検証されることで、現状のレーザー技術の範囲内で、従来の大型加速器を小型化してコストを下げる新しい加速手法の研究が促進されるとともに、粒子線医療に貢献する陽子線源としての応用研究や宇宙における高エネルギー粒子生成の加速機構についての理解の一助になることが期待される。また、高エネルギー密度プラズマの自己組織化機能を引き出すことで、従来型の磁場核融合装置では実現が困難とされてきた水素・ホウ素熱核融合の実現に向けた研究の進展が期待される。

研究成果の概要(英文)：By making full use of electron beam lithography and plasma etching, which are semiconductor technologies that support modern society, we have succeeded in creating a target (structural target) with a fine structure designed on the order of submicron meters. By irradiating high-intensity laser on the target, we have pursued to generate high-energy density plasma, where relativistic electrons and highly charged energetic ions, quasi-static self-generated magnetic field and high-intensity radiation field are combined at the dynamic level, and to confine the plasma beyond the inertia time. Through advanced simulations and experimental verifications that reproduce such a process, we have developed a plasma physics regulated by new type of non-linearity and explored application.

研究分野：プラズマ科学

キーワード：高エネルギー密度科学 プラズマ閉じ込め 超高強度レーザー 構造的媒質 水素クラスター 高強度磁場生成 自己組織化 高エネルギー粒子加速

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

これまで核融合プラズマや宇宙・天体現象を司るプラズマなど、様々な領域のプラズマの特性が探求されてきた。中でも、近年のレーザー技術の進展は集光強度が 10^{18-20} W/cm² 領域の高強度レーザーをもたらし、これによる様々な学術・応用研究が展開された。このプラズマは、高強度のレーザー場により生成・加速された電子の相対論効果が主要な役割を果たすことから相対論プラズマとして参照され、従来の磁場プラズマやレーザー生成プラズマと異なった非線形性に支配されるプラズマ物理学の一端を切り開いた。一方、さらなる技術の進展により、現在、 10^{21-22} W/cm² 領域の超高強度レーザーが実現しつつあり、さらに 10^{23} W/cm² 領域も視野に入っている。この領域のレーザーと物質との相互作用では、強い加速度を受けた相対論電子によるガンマ線放射とその反作用である輻射減衰によって非線形性の強い新たな散逸効果がプラズマに付与される。また、この強度のレーザーは金などの重元素物質に対してもそれを高価数に電離する能力を有することから、媒質に重元素を使用すれば高電離多価イオンが大量に生成され、原子核研究とも関係の深い重イオンプラズマの生成が可能になる。

しかし、前述のレーザープラズマや相対論プラズマを含め、レーザーで生成された高エネルギー密度状態のプラズマは、エネルギー密度は磁場プラズマに比べて格段に高い一方、相互作用領域はターゲット表面に限られ、閉じ込め時間はそこでの音速で決まる慣性時間程度と短い。そのため、応用研究もこの限られた時空間内で成立する対象に限られている[図1]。このことは、逆に、このような高エネルギー密度状態を、慣性時間を上回って一定時間閉じ込めることができれば、高エネルギーの相対論的電子が高電離の多価イオンや広帯域・高強度の輻射場と共存することから、三者の結び付きはさらに強まり、複雑な原子過程や光核過程、核融合過程を通して相互が動力学のレベルで結合した新しいプラズマ状態が生成される可能性がある。応用研究の自由度も大きく広がることが期待される。

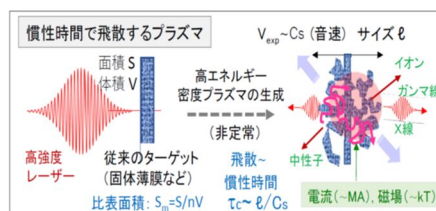


図1: 高強度レーザー照射された従来ターゲット(比表面積:Sm)による極限状態(Gbarの圧力、MA級の電流、kT級の磁場)の非定常性な高エネルギー密度プラズマが慣性時間で飛散する様子を示す。

このような高密度状態のプラズマの閉じ込めを実現できる背景には、(1)高強度レーザー照射下でも、電荷度・質量比(Z^*/A)が小さくなる重元素を使用すればプラズマの閉じ込め時間を伸長できる可能性があること、(2)2次元ロッドやクラスターからなるターゲットを使用すると、表面の分極効果を通して、高密度プラズマ中でもレーザーが伝播するメタマテリアル様の光学特性が存在すること、(3)磁場核融合プラズマの知見から、磁場を伴うプラズマは閉じ込め状態を自律的に向上させる機能を有していることなどである。これらの知見に基づいて、サブ μ mオーダーでデザインされた微細構造を有する媒質を使用することで高エネルギー密度状態のプラズマの閉じ込めの伸長を図ることができる可能性が出てきた。

2. 研究の目的

上記の背景に基づいて、現在、視野に入りつつある集光強度が 10^{21-24} W/cm² 領域の高強度レーザーと物質との相互作用において、ナノ工学と電気化学の融合によって作製可能なサブ μ mオーダーの構造を有する媒質(構造的媒質)をターゲットに使用することにより、地上で例のない高強度輻射場、相対論電子、高電離多価イオンが動力学レベルで結合した極限状態のプラズマの創成と磁場の自己組織化機能による閉じ込め状態を実現できるとの着想のもと、これを再現する理論・シミュレーションの構築と実験検証を通して、これまでと質的に異なる新しい非線形性に支配される新領域プラズマの開拓と宇宙・天体や生命現象まで視野に入れた応用研究を展開することを目的とする。このプラズマは、従来の磁場プラズマや相対論プラズマとは質的に異なった非線形に支配されることから、それらと区別して「極限輻射プラズマ」として参照する。

3. 研究の方法

ターゲット物質としてシリコン(Si)をベースとした半導体技術を利用した電子線リソグラフィ技術や電気化学・プラズマエッチング技術を用いることで、サブ μ mオーダーのロッド集合体を作成するとともに、このターゲットに 10^{19-22} W/cm² 領域の高強度レーザーを照射することで生成される高エネルギー密度プラズマのダイナミクスをシミュレーションによって再現する研究を行う。また、同様の構造的ターゲットとして、ノズルからの高圧の水素ガス噴霧によって生成される μ mオーダーのクラスターと高強度レーザーに相互作用による新しい高エネルギー粒子生成に関わる研究を行う。

4. 研究成果

(1) μm サイズの構造的ターゲット作製に関する研究：

高強度レーザーを照射するターゲットとして、一般に固体薄膜(厚さ数 10 ~ 数 100 nm に加工されたプラスチックや金属平板)が幅広く用いられている。これに対して、半導体製造で実績のあるシリコン(Si)を素材として、電子線リソグラフィとプラズマエッチングの技術を組み合わせることにより、アスペクト比($A=[\text{高さ}]/[\text{直径}]$)が 100 レベルの長尺のロッドを任意の分布に配置した集合体を作成する方法論を開発することに成功した[図 1][Y. Kishimoto *et al.*, "Confinement" of High Energy Density Plasma Based on Structured Medium and initial Experiments Using SACLA X-Rays, A New Platform Studying MCF Plasmas Using Laser (6C08), 11th International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications (IFSA2019), Sep. 27, Osaka, Japan].

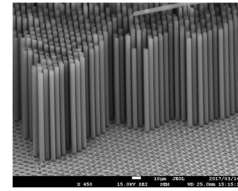


図 2: 電子線リソグラフィとウエットエッチングプロセスで作成したサブ μm オーダでデザインしたロッド集合体例。

(2) 構造的ターゲットによる高エネルギー密度プラズマの生成と輻射減衰に関する研究

図 3 は、同じ質量密度の炭素の()スラブプラズマと 4-2 で作成したロッド集合体と類似した()半径 $a = 160\text{nm}$ のロッド集合体に $I = 8.1 \times 10^{22} \text{ W/cm}^2$ ($a_0 = 200$)の高強度レーザーを照射した場合の輻射減衰による輻射発生シミュレーション結果を示す[N. Iwata, H. Nagatomo, Y. Fukuda, R. Matsui, Y. Kishimoto, *Phys. Plasmas* **23**, 63115 (2016)]スラブ配位では輻射圧によってレーザー進行方向にプラズマが圧縮されるのに対し、ロッド集合体では、ロッドのクーロン膨張に伴うレーザー照射側への動圧がレーザー輻射圧に抗することでスケール長の長いプラズマをレーザー照射側に生成し、レーザー反射面領域を含む広い領域で強い輻射が生成される。これは、比表面積の大きな物質は、高強度レーザーとの相互作用において、物質を構成するイオン系が保有しているクーロンエネルギーを有効に開放するのに適した系であることを示している。

図4(a) は入射レーザーエネルギーのイオン・電子の運動エネルギーおよび輻射エネルギーへの配分率のレーザー強度依存性を示している。特に高強度領域では入射レーザーエネルギーの 40% が輻射に変換されるなど、輻射生成の観点から構造的ターゲットの有用性が示された。図4(b) はロッド媒質中での電子軌道の典型例を示している[Y. Kishimoto and T. Tajima, *HIGH-FIELD SCIENCE* 83-96 (2000), Proceedings on High-Field Science, held November 23-24, 1998 at the Institute for Laser Science and Applications, University of California, Livermore, California]。電子はロッドの近傍の強いクーロン場による捕獲・散乱を繰り返しながら媒質中をランダムに運動し、そのとき受ける強い加速度が強い輻射を放出している。

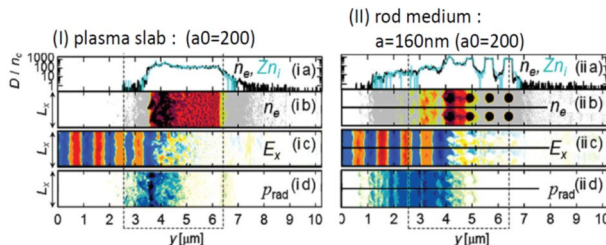


図 3: 強度 $I=8.1 \times 10^{22} \text{ W/cm}^2$ ($a_0=200$)、パルス長 80fs のレーザーの照射された同じ質量密度の(i)スラブ状プラズマと(ii) 320nm 径のロッド媒質からの $t=80\text{fs}$ での輻射の様子: (a) 1次元電子・イオン密度、(b) 2次元電子密度、(c) 電場 E_x 、(d) 輻射強度。

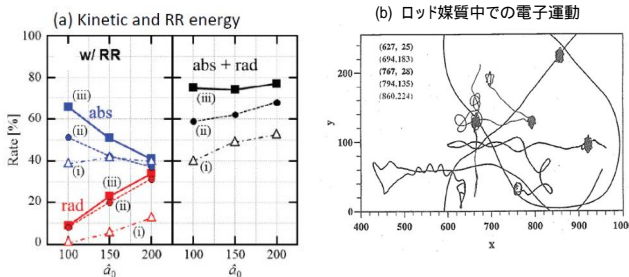


図 4 (a)スラブプラズマ(), $r_{cl}=320\text{nm}$ ロッド媒質(), $r_{cl}=740\text{nm}$ ロッド媒質()における運動エネルギー(abs)と輻射エネルギー(rad)のレーザー強度依存性(左図は全吸収エネルギー $\text{abs}+\text{rad}$) [2], (b) $a_0=2$ で照射されたロッド媒質中での 5 個の電子の軌道。

(3) 衝撃波駆動サブ GeV 級準単色陽子線生成に関する理論・シミュレーションに関する研究

量研機構関西研では、J-KAREN-P レーザーの特性を最大限に生かした、高繰り返しで、超高純度プロトンビームの開発を目指して、サブミクロンサイズの高純度の固体水素粒状物質である水素クラスターターゲットの開発に着手し、これまでに、半径 0.17~1.0 μm の水素クラスターの生成に成功している。先行する理論・シミュレーション研究により、 $1.0 \times 10^{22} \text{ W/cm}^2$ の集光強度において、サブミクロンサイズの水素クラスターは非等方クーロン爆発を起こし、前方に 100 MeV 以上にまで加速されたプロトンが生成することを見いだしている [S. Jinno, M. Kanasaki, M. Uno, R. Matsui, M. Uesaka, Y. Kishimoto and Y. Fukuda, *Plasma Phys. Control. Fusion* **60**, 044021 (2018).]. 本研究では、集光強度が $10^{20-22} \text{ W/cm}^2$ レベルの高強度レーザーを照射すれば、クラスタ

ー内部に方向性をもった衝撃波が形成され、それによって単色性の高い高エネルギー陽子線の生成が可能との着想に基づき、相対論的電磁粒子コード EPIC3D を用いて、水素クラスター媒質 (半径 0.6, 0.8, 1.0 μm の単一水素クラスター + 背景水素ガス) と、現在の技術レベルで達成可能な、パルス幅 33 fs (FWHM)、波長 0.81 μm 、直線偏光で最大集光強度が $(0.1-2.0) \times 10^{22} \text{ W/cm}^2$ の高強度レーザーとの相互作用を模擬する 3 次元シミュレーションを行い、高エネルギープロトンの生成メカニズム、プロトンの最大エネルギー、および、単色化率について調べた。

その結果、予測した衝撃波の形成とともに、200-300 MeV の高指向性準単色陽子線が生成可能なことを示した [図 5(a)(b)]。また、図 4(b) に示すように、クラスター半径が 0.6 μm の場合、衝撃波加速は起こらず、クーロン爆発成分 (~120 MeV) のみが見られる。一方、レーザーの最大集光強度が $2.0 \times 10^{21} \text{ W/cm}^2$ 以下の場合、相対論的透明化が起こらないため、単色化率が悪くなる ($E/E \sim 20\%$)。従って、準単色高エネルギープロトンパッチ生成は、クラスターサイズ・レーザーの最大集光強度に関する限られた領域において、衝撃波の生成・伝播、衝撃波加速、相対論的透明化、シース加速という、クラスターの内部・外部自由度に起因する多段階的な素過程が同期することで実現することが明らかとなった [R. Matsui, Y. Fukuda and Y. Kishimoto, Phys. Rev. Lett. **122**, 014804 (2019)、[6] 松井隆太郎、岸本泰明、福田祐仁、「宇宙線発生の仕組みを利用した新たな加速器の提案」、Isotope News 2019 年 10 月号 No.765.]。これらは、従来の平板ターゲットなどを用いた手法では実現困難な医療応用や産業応用に資する高エネルギーイオン源の開発につながる画期的な成果と位置付けられている。

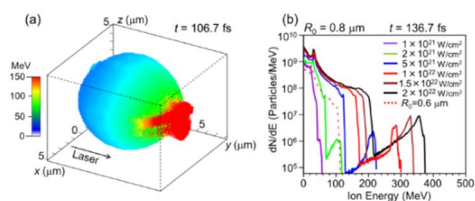


図 5: (a) レーザー入射後 $t=107 \text{ fs}$ 後のクラスターイオンのエネルギーの空間分布図。赤い部分が準単色イオン。(b) レーザー入射後 $t=136.7 \text{ fs}$ 後のクラスターイオンのエネルギースペクトル。

(4) 高強度レーザーと構造型媒質との相互作用による衝撃波形成に関する研究

上述の固体粒状物質 (クラスター) を含め、高強度レーザーと物質との相互作用において、ミクロナメートルオーダの構造体と高圧気体や高強度磁場が共存した不均一系をターゲットに使用することで、新しい機能を有するプラズマが生成できるとの着想に基づき、これを実証する理論・シミュレーション研究を実施した。具体的には、相対論的電磁粒子コード EPIC3D を用いて、サブミクロナメートルオーダの固体炭素ロッドと高圧水素気体 (背景ガス) からなる媒質に、パルス幅 33 fs 波長 0.81 μm 、直線偏光で集光強度が $10^{20-22} \text{ W/cm}^2$ レベルの高強度レーザーを照射すると、異なった媒質間に接触面を持つ無衝突プラズマ境界層が形成され、これが新たな自由エネルギー源となり、レーザー照射後の長い時間スケールにおいて多様な非線形波動を伴う準安定な構造やダイナミクスが自発的に創出されることを見出した [図 5 (a)(b)]。

また、複数のロッドが存在する場合、各々のロッドがクーロン爆発を起こして膨張する [図 3 (c)] とともに、ロッド集合体の周期構造の結果、各々の衝撃波の位相は重なり合い、図 4 (d) に示すように、ロッド集合体の外側の領域において、背景ガス中に大域的な衝撃波が形成される。これにより、単一のロッドの場合と比べより長時間衝撃波加速が継続されることを新たに見いだした。これらにより、超新星爆発時の衝撃波やそれによる高エネルギー宇宙線の生成、キロテスラオーダの高強度磁場の生成やそれにより慣性時間を上回ってのプラズマの保持機能など、異なった媒質が接する界面 (境界層) が新しいプラズマ機能の創出に重要な役割を果たすことが明らかとなった [R. Matsui, Y. Fukuda and Y. Kishimoto, Phys. Rev. E **100**, 013203 (2019)]。

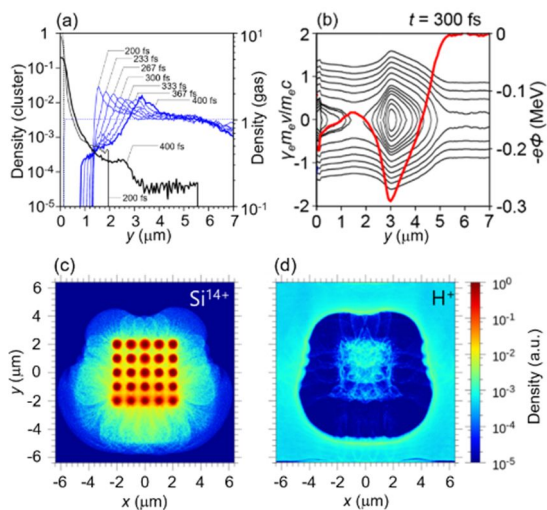


図 6: (a) レーザー入射後 $t = 200 - 400 \text{ fs}$ の、単一ロッド (黒)、背景ガス (青) についての、ロッド中心から $+y$ 方向の断面図。(b) $t = 300 \text{ fs}$ の静電ポテンシャル $-e\phi$ (赤) と電子軌道。レーザー入射後 $t=180 \text{ fs}$ の (c) イオン (ロッド集合体) と (d) 背景ガスイオンの電荷密度の空間分布図。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6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 Kawahito D., Kishimoto Y.	4. 巻 27
2. 論文標題 Ionization and acceleration of multiply charged gold ions in solid film irradiated by high intensity laser	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physics of Plasmas	6. 最初と最後の頁 033108 ~ 033108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5140493	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 Matsui Ryutaro, Fukuda Yuji, Kishimoto Yasuaki	4. 巻 100
2. 論文標題 Dynamics of the boundary layer created by the explosion of a dense object in an ambient dilute gas triggered by a high power laser	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 013203-1-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.100.013203	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 Matsui Ryutaro, Fukuda Yuji, Kishimoto Yasuaki	4. 巻 122
2. 論文標題 Quasimonoeenergetic Proton Bunch Acceleration Driven by Hemispherically Converging Collisionless Shock in a Hydrogen Cluster Coupled with Relativistically Induced Transparency	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 14804
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.122.014804	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 Jinno S., Tanaka H., Matsui R., Kanasaki M., Sakaki H., Kando M., Kondo K., Sugiyama A., Uesaka M., Kishimoto Y., Fukuda Y.	4. 巻 25
2. 論文標題 Characterization of micron-size hydrogen clusters using Mie scattering	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 18774 ~ 18774
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.25.018774	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 Jinno S, Kanasaki M, Uno M, Matsui R, Uesaka M, Kishimoto Y, Fukuda Y	4. 巻 60
2. 論文標題 Micron-size hydrogen cluster target for laser-driven proton acceleration	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plasma Physics and Controlled Fusion	6. 最初と最後の頁 044021 ~ 044021
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6587/aaafa8	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 Kawahito Daiki, Kishimoto Yasuaki	4. 巻 24
2. 論文標題 Multi-phase ionization dynamics of carbon thin film irradiated by high power short pulse laser	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physics of Plasmas	6. 最初と最後の頁 103105 ~ 103105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.4986034	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 -

〔学会発表〕 計35件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 岸本泰明
2. 発表標題 レーザー照射された構造型媒質が生み出す多様な波動・構造形成現象と粒子加速の物理 (シンポジウム講演)
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松井隆太郎, 上原直希, 深見一弘, 福田祐仁, 井上峻介, 阪部周二, 太田雅人, 坂和洋一, 増井英陽, 今寺賢志, 岸本泰明
2. 発表標題 高強度レーザーと構造型媒質の相互作用による高エネルギー密度プラズマの生成 - レーザー照射ロッド集合体のエネルギー吸収と膨張ダイナミクス -
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岸本泰明, 松井隆太郎, 上原直希, 今寺賢志, 太田雅人, 坂和洋一, 井上峻介, 阪部周二, 坂口浩司, 深見一弘, 福田祐仁
2. 発表標題 高強度レーザーとロッド集合体との相互作用シミュレーションと実験
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第40回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 増井英陽, 松井隆太郎, 岸本泰明
2. 発表標題 固体と背景ガスの境界層近傍で生成する高強度レーザー駆動無衝突衝撃波の構造とダイナミクス
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第40回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松井隆太郎, 福田祐仁, 岸本泰明
2. 発表標題 水素クラスターを用いた求心衝撃波駆動準単色プロトン加速 (CSBA)
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第40回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岸本泰明, 松井隆太郎, 上原直希, 今寺賢志
2. 発表標題 高強度レーザーと構造的媒質の相互作用によるプラズマの自己組織化と構造形成 -高強度エネルギー密度プラズマの閉じ込めと磁場生成-
3. 学会等名 第36回 プラズマ・核融合学会 年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松井隆太郎, 上原直希, 今寺賢志, 福田祐仁, 岸本泰明
2. 発表標題 高強度レーザーと構造的媒質の相互作用によるプラズマの自己組織化と構造形成 -無衝突衝撃波と運動論的準安定構造の形成-
3. 学会等名 第36回 プラズマ・核融合学会 年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuaki Kishimoto
2. 発表標題 Generation and application of self-organized high energy density plasma produced by the interaction between high intensity laser and structured medium
3. 学会等名 3rd Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (AAPPs-DPP2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryutaro Matsui, Yuji Fukuda, Yasuaki Kishimoto
2. 発表標題 Dynamics of a Collisionless Plasma Boundary Layer Created by the Explosion of a Laser-Irradiated Dense Object in an ambient Dilute Gas
3. 学会等名 11th International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications (IFSA) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuaki Kishimoto, Ryutaro Matsui, Naoki Uehara, Kenji Imadera, Hiroshi Sakaguchi, Masato Ota, Youichi Sakawa, Kazuhiro Fukami, Yuji Fukuda
2. 発表標題 "Confinement" of High Energy Density Plasma Based on Structured Medium and initial Experiments Using SACLA X-Rays - A New Platform Studying MCF Plasmas Using Laser-
3. 学会等名 "Confinement" of High Energy Density Plasma Based on Structured Medium and International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications (IFSA) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松井隆太郎, 今寺賢志, 福田祐仁, 岸本泰明
2. 発表標題 高強度レーザーと構造的媒質との相互作用で生成される高エネルギー密度プラズマの準安定磁場構造と閉じ込め
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上原直希, 松井隆太郎, 深見一弘, 坂口浩司, 今寺賢志, 坂和洋一, 福田祐仁, 岸本泰明
2. 発表標題 高強度レーザーとサブ μm オーダーのロッド集合体との相互作用による高エネルギー密度プラズマの生成と緩和
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 樹下真治, 松井隆太郎, 福田祐仁, 岸本泰明
2. 発表標題 求心衝撃波を用いた準単色高エネルギー陽子線生成における加速メカニズムの解析
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松井隆太郎, 今寺賢志, 福田祐仁, 岸本泰明
2. 発表標題 構造的媒質中で生成する無衝突プラズマ境界層における構造形成の運動論的シミュレーション
3. 学会等名 25th NEXT Workshop
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 樹下真治, 松井隆太郎, 福田祐仁, 岸本泰明
2. 発表標題 求心衝撃波を用いた準単色高エネルギー陽子線生成に関する粒子シミュレーション研究
3. 学会等名 25th NEXT Workshop
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上原直希, 松井隆太郎, 深見一弘, 坂口浩司, 今寺賢志, 坂和洋一, 福田祐仁, 岸本泰明
2. 発表標題 高強度レーザーとロッド集合体との相互作用による高エネルギー密度プラズマの生成と緩和
3. 学会等名 25th NEXT Workshop
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuaki Kishimoto
2. 発表標題 "Confinement" of high energy density plasma based on structured medium
3. 学会等名 The 6th Workshop on Magnetic Fields in Laboratory High Energy Density Plasmas (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuaki Kishimoto
2. 発表標題 Internal and external collision-less shock generation and associated quasi-monoenergetic ion acceleration by the interaction between high intensity laser and clustered medium
3. 学会等名 The 13th International West Lake Symposium on Extreme Radiation Physics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuji Fukuda
2. 発表標題 Recent advances in intense laser-matter interactions
3. 学会等名 International Symposium on Ultrafast Intense Laser Science (ISUILS) 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松井 隆太郎
2. 発表標題 Dynamics of a collisionless plasma boundary layer in a laser-irradiated cluster medium and application to cosmic plasm
3. 学会等名 第12回核融合エネルギー連合講演会, プラズマ・核融合学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 安田拓海
2. 発表標題 金属ナノ触媒エッチングによるヘリカルポア形成メカニズム
3. 学会等名 第3回材料WEEK「材料シンポジウム」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 前田有輝
2. 発表標題 ヘリカルポアを有するシリコンへの電解による導電性ナノヘリックス作製
3. 学会等名 第3回材料WEEK「材料シンポジウム」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福田 祐仁, 松井 隆太郎, 岸本 泰明
2. 発表標題 Quasi-monoenergetic proton acceleration exceeding 200 MeV triggered by the intra-cluster collisionless shock in the relativistically-induced transparency regime
3. 学会等名 Sixth International Conference on Energy Density Physics (ICED2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 神野 智史, 金崎 真聡, 宇野 雅貴, 松井 隆太郎, 上坂 充, 岸本 泰明, 福田 祐仁
2. 発表標題 Development of Micron-size Hydrogen Cluster Targets for Laser-Plasma Interactions
3. 学会等名 IBS Conference on Laser Plasma Accelerators, Jeju island, Korea (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 福田祐仁, 金崎真聡, 神野智史, ピロジコフ アレキサンダー, 匂坂明人, 小倉浩一, 宮坂泰弘, 中新信彦, 宇野雅貴, 高野雄太, 森井厚作, 浅井孝文, 坂本溪太, 清水和輝, 森島邦博, 小平聡, 岡本 祐樹, 松井隆太郎, 岸本泰明, 小田啓二, 山内知也, 上坂充, 近藤公伯, 河内哲哉, 神門正城, 桐山博光
2. 発表標題 マイクロメートルサイズ水素クラスターのクーロン爆発による multi-MeV 純陽子線の高繰り返し発生
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会, 千葉
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福田祐仁, 金崎真聡, 神野智史, ピロジコフ アレキサンダー, 匂坂明人, 小倉浩一, 宮坂泰弘, 中新信彦, 宇野雅貴, 高野雄太, 森井厚作, 浅井孝文, 坂本溪太, 清水和輝, 森島邦博, 小平聡, 岡本祐樹, 松井隆太郎, 岸本泰明, 小田啓二, 山内知也, 上坂充, 近藤公伯, 神門正城, 桐山博光
2. 発表標題 マイクロメートルサイズ水素クラスターターゲットからのマルチMeV純プロトンビームの高繰り返し発生
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第38回年次大会, 京都
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuki Maeda, Kenta Matsuzaki, Daisuke Saya, Christian Bergaud, Atsushi Kitada, Kuniaki Murase, Reiko Oda, Kazuhiro Fukami
2. 発表標題 Electrochemical Filling of Helical Nanopores in Silicon Formed by Plutonium-Assisted Chemical Etching (Poster)
3. 学会等名 Porous Semiconductors Science and Technology 2018 (PSST2018), Montpellier, France (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福田 祐仁
2. 発表標題 レーザー照射された水素クラスターからの準単色陽子線加速
3. 学会等名 第33回固体飛跡検出器研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Matsui, Y. Fukuda and Y. Kishimoto
2. 発表標題 Acceleration of ambient gas ions and establishment of a kinetic equilibrium in boundary layers created by a Coulomb explosion of a cluster
3. 学会等名 JIFT2018, Hiroshima, March 28, 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasuaki Kishimoto
2. 発表標題 Confinement of high energy density plasma produced by the interaction between high intensity laser and structured medium
3. 学会等名 Topical Problems of Nonlinear Wave Physics (NWP-2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yasuaki Kishimoto
2. 発表標題 Generation of self-organized high energy density plasma by the interaction between high intensity laser and structured medium
3. 学会等名 The 10th International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications(IFSA2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ryutaro Matsui, Yuji Fukuda and Yasuaki Kishimoto
2. 発表標題 Generation of quasi-monoenergetic protons exceeding 200 MeV via intra-cluster collisionless shocks in a laser-irradiated micron-size H ₂ cluster (Poster)
3. 学会等名 The 10th International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications(IFSA2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 D. Kawahito and Y. Kishimoto
2. 発表標題 Magnetic dynamics and confinement properties in non-equilibrium extreme radiation plasma (Poster)
3. 学会等名 The 10th International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications (IFSA2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岡本祐樹, 松井隆太郎, 福田祐仁, 岸本泰明
2. 発表標題 水素クラスターのクーロン爆発におけるサイズ依存性
3. 学会等名 日本物理学会 第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松井隆太郎, 福田祐仁, 岸本泰明
2. 発表標題 クラスター媒質中で生成する無衝突プラズマ境界層における準安定非線形波の形成とイオン加速
3. 学会等名 日本物理学会 第73回年次大会
4. 発表年 2018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	坂口 浩司 (Sakaguchi Hiroshi) (30211931)	京都大学・エネルギー理工学研究所・教授 (14301)	
研究分担者	福田 祐仁 (Fukuda Yuji) (30311327)	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・関西光科学研究 所 量子科学研究部・上席研究員(定常) (82502)	
研究分担者	深見 一弘 (Fukami Kazuhiro) (60452322)	京都大学・工学研究科・准教授 (14301)	

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
---------	---------