

令和 6 年 5 月 28 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H00140

研究課題名（和文）ペタワットレーザーによるメソスケールプラズマの加熱物理の解明

研究課題名（英文）Study of mesoscale high energy density plasmas driven by petawatt laser light

研究代表者

千徳 靖彦（Sentoku, Yasuhiko）

大阪大学・レーザー科学研究所・教授

研究者番号：10322653

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 34,900,000円

研究成果の概要（和文）：ペタワットレーザーは、物質をピコ秒という時間スケールで、太陽の中心と同等な状態まで加熱できる能力を持つ。本研究では、この強い光を物質に照射した時に、如何にプラズマが発展し、粒子の加速構造や輻射構造が生じるかを明らかにした。また高温化したレーザー吸収領域からプラズマ中に伝播する熱輸送モデルを提案し、実験と比較し検証を行なった。原子過程を組み込んだプラズマ粒子シミュレーションと比較することで、物理モデルの妥当性を評価した。本研究によりペタワットレーザーにより駆動されるプラズマの特性が明らかになり、粒子加速やX線輻射、さらには電子・陽電子対生成など、プラズマが内包する機能を制御できるようになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人類が火を手に入れてからこれまで、史上最も熱いトーチはレーザー光である。炎の温度は数千度であるが、最先端の光は物質を数億度まで加熱できる。加熱とは電磁波である光から電子やイオンといった荷電粒子へのエネルギー変換過程であり、本研究はその物理過程を明らかにした。この加熱過程は、レーザー核融合における爆縮コアプラズマの加熱過程と同じであり、本研究で得られた知見により、実験室において太陽コアと同じ状態までコアプラズマを加熱する道筋が得られた。今後の研究で、加熱から点火・自立燃焼といった核融合燃焼過程が明らかになれば、核融合エネルギーの利用へ扉を開くことになり、社会的なインパクトは極めて大きい。

研究成果の概要（英文）：A petawatt laser can heat matter to a state equivalent to the center of the sun on a picosecond time scale. In this study, we have clarified how the plasma develops, how the particles are accelerated, and how radiations are emitted when the material is irradiated with this intense light. A heat transport model for the propagation from the high-temperature laser absorption region into the plasma is also proposed and verified by comparison with experiments. The validity of the physical model is studied by with a help of plasma particle simulations that incorporate atomic processes. The present study clarifies the characteristics of plasmas driven by petawatt lasers and enables us to control the plasma functions such as particle acceleration, X-ray radiation, and electron-positron pair production.

研究分野：プラズマ物理学

キーワード：高エネルギー密度科学 高強度レーザープラズマ相互作用 メソスケールプラズマ物理 プラズマ粒子シミュレーション レーザーイオン加速 レーザー核融合

1. 研究開始当初の背景

1980年代に Chirped Pulse Amplification (CPA; 2018年ノーベル物理学賞受賞)技術が開発され、レーザー光を効率的に増幅することが可能となった。研究開始当初、世界の最先端のレーザーは出力がペタワット(10^{15}W)を超えていた。二つのタイプのペタワットレーザーが存在し、1つのタイプはレーザーのエネルギーをキロジュール級に増強しピコ秒に圧縮してペタワットを達成し、大型ペタワットレーザーと呼ばれる。もう一つは、数ジュールのエネルギーをフェムト秒に圧縮し、マイクロスケールに強集光することでペタワットを達成した。このタイプを超高強度極短パルスレーザーと呼ぶ。

レーザーエネルギーがキロジュール級の大型ペタワットレーザーの運用が、阪大レーザー研の LFEX レーザーをはじめ、世界の研究機関で開始されていた。大型ペタワットレーザーは、従来の典型的な短パルスレーザーに比べてパルス長やスポット径が10倍以上あり、時間・空間とも桁違いに大きなプラズマ相互作用が起こり、従来のスケーリング則を超える高エネルギー電子の発生やイオン加速が報告されていた。大型ペタワットレーザーによる加速機構の解明が喫緊の課題であった。

一方で、超高強度極短パルスレーザーもエネルギーを時空間で極限的に圧縮することで、ペタワットを超え、集光強度は超相対的強度($10^{22}\text{W}/\text{cm}^2$ 以上)となるレーザーの開発が進められていた。そのような極端パルスペタワットレーザーは、強度のピークに到達するピコ秒前にすでにレーザー強度が十分に高く、ピークに到達する前にピコ秒スケールのプレパルス光によりどのようなプラズマが形成されるかが、相互作用の解明の鍵となる。プラズマとピーク強度のレーザー光が相互作用した場合に、粒子のエネルギーは超相対論的になり、大量の X 線やガンマ線が複写されることが予想される。そのため高輝度なガンマ線による核物理学への展開や陽電子・電子対生成など量子電磁気学的現象への展開が期待されていた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ペタワットレーザーによる物質の加熱を解明するために、マイクロスケールの吸収過程やプラズマ不安定性、輻射を含めた非局所的エネルギー輸送など、プラズマの構造発展を包括的に理解することである。このような多階層複雑系にあるプラズマを“メソスケールプラズマ”と定義し研究対象とする。研究課題の核心をなす学問的問いは、「強い光は物質をどのように加熱し、高エネルギー密度状態を形成するのか」である。炎による加熱は酸化という化学反応であり、その温度は数千度である。一方で、ペタワットレーザーの加熱では、物質を一瞬で電離しプラズマ状態に遷移させ、温度数千万度から数億度まで一気に加熱する。ペタワットレーザーによる加熱とは、メソスケールにおけるレーザーからプラズマへのエネルギー変換である。これまでのサブピコ秒という極短時間のレーザー照射による撃力的な相互作用と異なり、メソスケール領域では、レーザーとの相互作用を通してプラズマの構造変化が起こり、粒子の加速機構や輻射機構が発現する。エネルギー注入と散逸を伴う構造形成は、宇宙から生命現象に至る普遍的なプロセスである。本研究は、ペタワットレーザーにより駆動されるメソスケールプラズマの形成過程を解明し、高活性な非平衡プラズマを制御する方法を確立することで、粒子加速や X 線輻射などのプラズマが内包する機能を効率的に引き出す指針を与える。また、最先端の研究に大学院生・若手研究者を参加させ、次世代の研究者として育成する。

3. 研究の方法

メソスケールはピコ秒以上と、従来のフェムト秒の相互作用に比べて長い。それでも現象は一瞬である。そのため現象の直接観測は困難である。そこで本研究では数値シミュレーションを積極的に活用する。高強度レーザーとプラズマの相互作用は非平衡、すなわち運動論的であり、プラズマ粒子の運動と電磁場を自己無撞着に計算するプラズマ粒子コードを利用する。利用するシミュレーションコードは、独自に開発した多次元粒子コード(PICLS)を用いる。PICLS コードには、メソスケールで重要な原子過程や輻射輸送モデルが組み込まれている。本研究で、極短パルスペタワットレーザーによる量子電磁気学的効果を見積もるために、光子衝突による電子・陽電子対生成過程などを新たに組み込む。

最先端のプラズマシミュレーションコード PICLS を活用して研究し、メソスケールプラズマ物理の理論を構築する。理論家と実験家が緊密に連携することで、理論モデルの実験検証を実施する。レーザー実験は、阪大レーザー研・LFEX (大型ペタワットレーザー) と QST・J-KAREN (極短パルスペタワットレーザー) の特性の異なる二つのペタワットレーザーを利用する。LFEX は計測可能なスケールでペタパスカル超の超高温状態を作り出すことができる。また、J-KAREN は高繰り返しレーザーであり、集光条件・ターゲット条件など広いパラメーターサーベイが可能である。

米国ローレンスリバモア国立研究所との共同研究を行い、世界最大エネルギーを誇る大型ペタワットレーザー(NIF-ARC)の実験データも本研究で活用する。また、米国ネバダ大学との共同研究により米国 SLAC や RIKEN SACLA の X 線自由電子レーザーによる高密度プラズマの計測を行い、シミュレーションデータの検証に活用する。

4. 研究成果

以下に本研究の主な研究成果を紹介する。

(1) 多変数スケーリングによる高強度レーザーイオン加速の最適化

Y. Takagi, N. Iwata, E. d'Humieres, and Y. Sentoku, Phys. Rev. Res. **3**, 043140 (2021).

超高強度レーザーを薄膜ターゲットに照射することで、高エネルギーイオンが発生する。イオンのエネルギーを最大化する、あるいは発生するイオンへのエネルギー変換効率を最大化するなど、利用目的に応じてイオンビームを調整するには、レーザーとターゲットの条件を最適化する必要がある。最適な実験条件を見つけるために、これまでレーザー実験やプラズマ粒子シミュレーションを用いた研究が多く行われてきた。しかし、相対論的なレーザー・プラズマ相互作用は複雑であり、様々なパラメーターが複合的に絡み合うためイオンエネルギーの予測スケーリングを得ることは容易ではない。我々は、ベイズ推論を用いた統計的アプローチにより、イオンエネルギーの多変数スケーリングを求めた。多変数解析では、何をパラメーターとして採用するか、目的の現象を的確に捉えることが必要である。プラズマ粒子シミュレーションの解析の結果から同定したパラメーターで得たイオンの最大エネルギーのスケーリングは以下の式で与えられることを示した。

$$E_{\max} \text{ (MeV)} = 27.1 (I_{20} \lambda_{\mu\text{m}}^2)^{0.61} \left(\frac{\tau_L}{10 \text{ fs}} \right)^{0.68} \times \left(\frac{\rho}{\rho_{\text{Al}}} \frac{L}{1 \mu\text{m}} \right)^{-0.43} \left(\frac{W}{10 \mu\text{m}} \right)^{0.82}$$

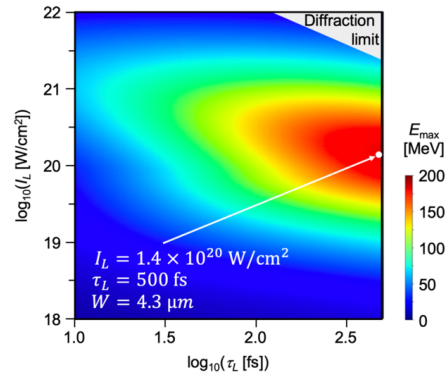


図1: レーザーエネルギー 10 J を固定し、パルス長 τ_L と強度 I_L を変えた時の、イオンの最大エネルギーのマップ。

式中の各変数の冪指数はベイズ推定による大量のデータ解析で求めている。

図1は、レーザーエネルギーを 10 J に固定した場合、最大のパフォーマンスを得るために必要なレーザーのパルス長と集光強度の分布である。今後の実験をデザインする上で指標となる結果である。

(2) 大集光径ペタワットレーザーと薄膜相互作用における高速電子のスポット内閉じ込め効果とイオン加速へのインパクト

N. Iwata, A. J. Kemp, S. C. Wilks, K. Mima, D. Mariscal, T. Ma, and Y. Sentoku, Phys. Rev. Res. **3**, 023193 (2021)

高強度レーザー-プラズマ相互作用では、レーザースポット領域における高速電子の密度を最大化することが、プラズマ加熱と粒子加速を達成するための鍵となる。われわれは、レーザースポット径がターゲットフォイルの厚さに比べて大きい場合、薄膜内を周回する高速電子は、スポット領域内のプラズマ表面で揺らぐ磁場によって散乱され、横方向に「ランダムウォーク」することを発見した。この横方向の運動を拡散としてモデル化した結果、拡散速度は弾道的に輸送される速度よりもはるかに遅いことがわかった。したがって高速電子はスポット領域に蓄積し、時間とともにその密度はレーザーで加速された高速電子密度の 10 倍以上になる。ターゲット内の高速電子密度の増大は、固体の加熱やイオン加速をより効率的な領域へと押し上げることが期待される。これまで、レーザーエネルギーがキロジュール級の大口径ペタワットレーザーによるイオン加速で生成されるイオンのエネルギーが従来のフェムト秒の高強度レーザーよりも高効率になる理由が議論されていた。今回の我々の理論は、レーザー照射条件とターゲットパラメーターから、高速電子が相互作用領域内にどの程度蓄積するか、また、高速電子のエネルギー分布がどのように時間発展し、高エネルギー化するかを明らかにするものである。レーザーイオン加速でのイオンビームを最適化する上で、非常に有益なものとなる。

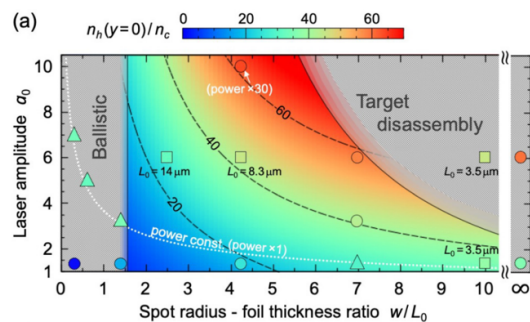


図2: レーザースポットサイズとターゲットの厚さの比とレーザー強度に対する高速電子の蓄積密度のマップ。

(3) 高強度レーザー照射による高速熱拡散による固体の等積加熱

N. Higashi, N. Iwata, T. Sano, K. Mima, and Y. Sentoku, Phys. Rev. E **105**, 055202 (2022).

相対論的短パルス・レーザーと物質との相互作用によって、メガ・アンペア以上の電流を持つ高速電子が生成され、固体ターゲットを加熱して高温高密度プラズマが形成されると考えられている。ピコ秒という加熱時間はプラズマが膨張する時間スケールよりも十分に短く、プラズマは加熱中に初期の固体密度を維持している。そのためこの加熱過程は等積加熱と呼ばれる。高速電子がほぼ光のスピードで固体プラズマ内部を伝播し先行加熱する。しかし、ピコ秒の時間スケールの等積加熱では、高温化したレーザー相互作用領域から生じる熱拡散がエネルギー輸送の支配的プロセスであることがわかってきた。我々は、高速電子電流によって加熱された高温プラズマ領域から駆動される高速熱拡散の基礎方程式を解き、拡散の伝播スピードを理論的に導いた。光速で規格化された熱拡散のスピードは以下の式で与えられる。

$$\begin{aligned} \bar{v}_{\text{heat}} &= \left(\frac{8}{9} \alpha_{\text{SH}} f \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{n_h}{n_e} \right)^{\frac{1}{2}} \bar{v}_h \\ &= \frac{1.9 f}{\sqrt{n_i Z}} \sqrt{\gamma^2 - 1}. \end{aligned}$$

この式から、熱拡散のスピードは γ 、イオン密度 n_i 、イオンの電離度 Z 、そして係数 f によることがわかった。ここで γ はレーザー強度に依存する変数で、照射するレーザー強度が一定であれば、拡散スピードは一定となることが予測される。図3は1次元プラズマ粒子シミュレーションの計算結果である。アルミ固体を高強度レーザーで左から加熱している。固体の表面は $x=0$ の位置である。図(a)は加熱されたプリプラズマ領域からの熱の進展を示しており、高速電子による先行加熱と拡散領域の切り替えの位置を拡散の先端と定義し、赤線で示した。(b)は温度ごとの時間・空間発展を表す。例えば2keVのライン(赤線)は時空間で直線となっており、一定の速度で伝播していることが見て取れる。シミュレーションで観測された拡散スピードは、上式で予測されるスピードと良い一致をしている。本研究成果は、高強度レーザーで物質を加熱する場合や、高速点火方式レーザー核融合での加熱を考える上で重要な成果である。

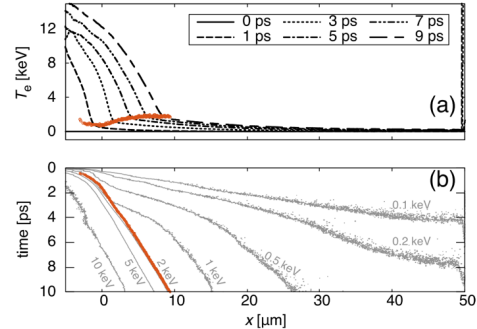


図3 : (1次元粒子シミュレーション) 高強度レーザーによる固体ターゲットの加熱の様子。(a) 温度の空間発展の様子。(b) 時空間での温度毎の発展の様子。

(4) 超相対論的高強度レーザーによるプラズマ中での光子衝突構造と陽電子加速構造の自己組織化

K. Sugimoto, Y. He, N. Iwata, I-L. Yeh, K. Tangthararakul, A. Arefiev, and Y. Sentoku, Phys. Rev. Lett. **131**, 065102 (2023).

本研究では、現時点で実験的に利用可能な最高強度のレーザーを用いることで、光子衝突による物質生成の検証実験が可能なることを理論的に始めて示した。ブライト・ウィラー過程と呼ばれる。2光子衝突による電子・陽電子対生成は1934年に理論が提唱されているが、未だ実験的に検証がなされていない。これは光子衝突の衝突断面積が 10^{-25}cm^2 と非常に小さいことに起因する。大量の高エネルギー光子を対向で衝突させる必要があるため実験的観測を難しくしていた。今回、極端パルスペタワットレーザーを低密度プラズマに照射すると、臨界密度近傍でプラズマが自己組織化して光子衝突構造を発生し、2光子衝突による対生成が起こり、さらに発生した陽電子が、超相対論的エネルギーまで加速する機構を発見した。この機構の概念図を図4に示す。

臨界密度近傍を伝播するレーザー光は自己収束し、パルス導波路からプラズマを排除しチャンネルを形成する。チャンネル内では電子が強く前方へ加速されるため、チャンネルは強い磁場を伴う。磁場は加速された電子をシンクロトロン振動させ、前方方向へ高エネルギー光子線(ガンマ線)を放射する。一方で、レーザーパルスは光子圧により、その先端に電子を積み上げ、電化分離による縦方向の静電場を励起する。この電場は、一部電子を引き戻し、引き戻された電子は、強いレーザー光と衝突し放射減衰によりエネルギーを失いX線を放射する。ガンマ線とX線は対向配位で衝突し、電子・陽電子対生成を引き起こす。発生した陽電子は高エネルギーなガンマ線の運動量を引き継ぐため、前方にほぼ光速で移動し、パルス先端の静電場により持

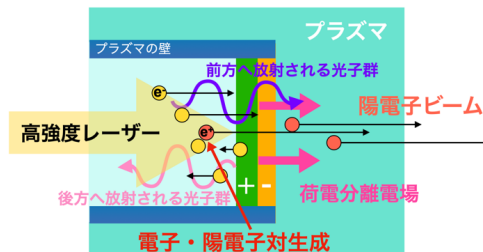


図4 : レーザー光とプラズマの自己組織化による電子・陽電子対生成機構の構造形成のイメージ。

続的に加速を受ける。結果として GeV エネルギーの陽電子ビームが前方へ強い指向性を持って放出される。予測される陽電子数は凡そ 1,000,000 個であり、他の電子・陽電子対生成(例えばベータ・ハイトラー過程)で発生する陽電子より数桁以上高い(図 5 参照)。レーザー光先端の静電場は、電子を減速するため、電子は陽電子よりエネルギーが低いことも特徴である。この研究成果は、線形ブライト・ウィラー過程の実験的検証や、陽電子ビームの応用への道を開くものである。

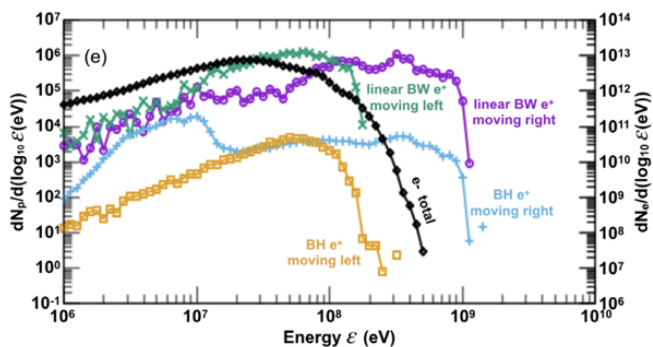


図 5 : 線形ブライト・ワラー(BW)過程で発生する陽電子他のスペクトル。レーザー照射方向前方と後方に分離してプロットしている。BH はベータ・ハイトラー過程によるもの。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 6件/うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Sawada H., Yabuuchi T., Higashi N., Iwasaki T., Kawasaki K., Maeda Y., Izumi T., Nakagawa Y., Shigemori K., Sakawa Y., Curry C. B., Frost M., Iwata N., Ogitsu T., Sueda K., Togashi T., Glenzer S. H., Kemp A. J., Ping Y., Sentoku Y.	4. 巻 94
2. 論文標題 Ultrafast time-resolved 2D imaging of laser-driven fast electron transport in solid density matter using an x-ray free electron laser	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 033511 ~ 033511
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0130953	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 該当する

1. 著者名 Sugimoto K, Iwata N, Sunahara A, Sano T, Sentoku Y	4. 巻 64
2. 論文標題 Dynamics of ultrafast heated radiative plasmas driven by petawatt laser light	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Plasma Physics and Controlled Fusion	6. 最初と最後の頁 035004 ~ 035004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6587/ac4313	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 該当する

1. 著者名 Higashi Naoki, Iwata Natsumi, Sano Takayoshi, Mima Kunioki, Sentoku Yasuhiko	4. 巻 105
2. 論文標題 Isochoric heating of solid-density plasmas beyond keV temperature by fast thermal diffusion with relativistic picosecond laser light	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 055202-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.105.055202	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 Hata Masayasu, Sano Takayoshi, Sentoku Yasuhiko, Nagatomo Hideo, Sakagami Hitoshi	4. 巻 104
2. 論文標題 Pulse duration constraint of whistler waves in magnetized dense plasma	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 035205-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.104.035205	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 Sawada H., Trzaska J., Curry C. B., Gauthier M., Fletcher L. B., Jiang S., Lee H. J., Galtier E. C., Cunningham E., Dyer G., Daykin T. S., Chen L., Salinas C., Glenn G. D., Frost M., Glenzer S. H., Ping Y., Kemp A. J., Sentoku Y.	4. 巻 92
2. 論文標題 2D monochromatic x-ray imaging for beam monitoring of an x-ray free electron laser and a high-power femtosecond laser	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 013510 ~ 013510
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0014329	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 該当する

1. 著者名 Iwata N., Kemp A. J., Wilks S. C., Mima K., Mariscal D., Ma T., Sentoku Y.	4. 巻 3
2. 論文標題 Lateral confinement of fast electrons and its impact on laser ion acceleration	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 023193-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.3.023193	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 該当する

1. 著者名 Takagi Yuji, Iwata Natsumi, d'Humieres Emmanuel, Sentoku Yasuhiko	4. 巻 3
2. 論文標題 Multivariate scaling of maximum proton energy in intense laser driven ion acceleration	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 043140-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.3.043140	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 該当する

1. 著者名 Simpson R A, Mariscal D A, Kim J, Scott G G, Williams G J, Grace E, McGuffey C, Wilks S, Kemp A, Lemos N, Djordjevic B Z, Folsom E, Kalantar D, Zacharias R, Pollock B, Moody J, Beg F, Morace A, Iwata N, Sentoku Y, Manuel M J-E, Mauldin M, Quinn M, Youngblood K, Gatu-Johnson M, Lahmann B, Haefner C, Neely D, Ma T	4. 巻 63
2. 論文標題 Demonstration of TNSA proton radiography on the National Ignition Facility Advanced Radiographic Capability (NIF-ARC) laser	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plasma Physics and Controlled Fusion	6. 最初と最後の頁 124006 ~ 124006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6587/ac2349	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 該当する

1. 著者名 Sano Takayoshi, Tatsumi Yusuke, Hata Masayasu, Sentoku Yasuhiko	4. 巻 102
2. 論文標題 Plasma concept for generating circularly polarized electromagnetic waves with relativistic amplitude	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 053214-1, 8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/physreve.102.053214	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32件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 千徳靖
2. 発表標題 Electron energy distribution formation under recursive accelerations by relativistic laser light
3. 学会等名 64th Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩田夏弥
2. 発表標題 Lateral confinement of fast electrons and its impact on laser ion acceleration
3. 学会等名 64th Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高木悠司
2. 発表標題 Multivariate scaling of maximum proton energy in intense laser driven ion acceleration
3. 学会等名 64th Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 杉本馨
2. 発表標題 Electron-positron pair production by linear Breit-Wheeler process in ultra-short petawatt laser-plasma interaction
3. 学会等名 64th Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 千徳靖彦
2. 発表標題 輻射輸送とQED過程を考慮したプラズマ粒子シミュレーション
3. 学会等名 第27回数値トカマク実験(NEXT)研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 千徳靖彦
2. 発表標題 高強度レーザーとプラズマの相互作用における陽電子の生成と加速機構について
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会(SGEPSS) 第152回総会・講演会プログラム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 千徳靖彦
2. 発表標題 高強度レーザープラズマ相互作用における自己組織化に伴う陽電子生成・加速機構
3. 学会等名 プラズマ核融合学会・年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kaoru Sugimoto
2. 発表標題 Electron-positron pair production by linear Breit-Wheeler process in ultra-short petawatt laser-plasma interaction
3. 学会等名 AAPPS-DPP2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuji TAKAGI
2. 発表標題 Multiple regression analysis for maximum proton energy in laser-driven acceleration
3. 学会等名 AAPPS-DPP2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yasuhiko Sentoku
2. 発表標題 Physics of High Energy Density Plasmas Produced by Intense Laser Light
3. 学会等名 The 13th International Symposium of Advanced Energy Science, Kyoto University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Minh Naht Ly
2. 発表標題 Conditions to distinguish between collisionless shock and double-layer structure
3. 学会等名 日本物理学会 2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 杉本馨
2. 発表標題 超高強度レーザーによる臨界密度プラズマの自己組織化で発現する陽電子生成および陽電子加速機構
3. 学会等名 日本物理学会 2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 千徳靖彦
2. 発表標題 高密度プラズマ中の高速電子輸送の非局所性と磁場構造について
3. 学会等名 日本物理学会 2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高木悠司
2. 発表標題 運動論的レーザー吸収で発生する電子フラックス特性の統計的解析
3. 学会等名 日本物理学会 2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 千徳靖彦
2. 発表標題 最適なレーザー核融合を目指す数値レーザー核融合プロジェクト(FIREX-NEO)の紹介
3. 学会等名 レーザー学会第43回年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 千徳靖彦
2. 発表標題 高強度レーザー照射下の高密度プラズマ中での準静的磁場構造と局所加熱の発現
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 杉本馨
2. 発表標題 高強度レーザー駆動高温重金属プラズマからのX線スペクトルに対する輻射輸送の影響
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩田夏弥
2. 発表標題 高強度レーザー光照射下で突発的プラズマ膨張にトリガーされる高速電子の位相空間分布発展
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林美里
2. 発表標題 高強度レーザー照射薄膜プラズマでの電子の循環ダイナミクスとエネルギー分布形成
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高木悠司
2. 発表標題 強集光効果を取り入れた重回帰分析によるレーザー駆動イオン加速エネルギー予測式の導出
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Sentoku
2. 発表標題 Pathway to high gain laser fusion with fast ignition scheme
3. 学会等名 International TOKI conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 千徳靖彦
2. 発表標題 高強度レーザー駆動高密度プラズマ中の磁場形成と高速電子輸送
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 杉本馨
2. 発表標題 相対論的レーザープラズマ相互作用における線形 Breit-Wheeler 過程による電子・陽電子対生成
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Minh Nhat Ly
2. 発表標題 Transition from Collisionless Shock to Double-Layer Structure
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩田夏弥
2. 発表標題 高強度レーザー光照射下の薄膜プラズマにおける統計的電子加速の特性
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 杉本馨
2. 発表標題 多次元輻射粒子シミュレーションによるレーザー駆動重金属プラズマ形成の理論解析
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 千徳靖彦
2. 発表標題 超高強度レーザーによる高密度プラズマ加熱の理論研究
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 千徳靖彦
2. 発表標題 相対論的レーザーによる高エネルギー密度プラズマ形成における大集光径レーザーの優位性
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高木悠司
2. 発表標題 統計的手法によるレーザーイオン加速のスケーリング即の導出
3. 学会等名 日本物理学会秋秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉本馨
2. 発表標題 高強度レーザーによる重金属プラズマ形成の多次元輻射粒子シミュレーション
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 千徳靖彦
2. 発表標題 高強度レーザーと薄膜の相互作用における効率的な閉じ込め機構による高エネルギー密度状態の形成
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 杉本 馨
2. 発表標題 超高強度フェムト秒レーザーによる重金属加熱におけるX線輻射に関する理論研究
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020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	城崎 知至 (Johzaki Tomoyuki) (10397680)	広島大学・先進理工系科学研究科(工)・教授 (15401)	
研究分担者	藤岡 慎介 (Fujioka Shinsuke) (40372635)	大阪大学・レーザー科学研究所・教授 (14401)	
研究分担者	西内 満美子(高井満美子) (Nishiuchi Mamiko) (70391315)	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・関西光量子科学研究所 光量子ビーム科学研究部・上席研究員 (82502)	
研究分担者	岩田 夏弥 (Iwata Natsumi) (70814086)	大阪大学・高等共創研究院・准教授 (14401)	
研究分担者	佐野 孝好 (Sano Takayoshi) (80362606)	大阪大学・レーザー科学研究所・准教授 (14401)	

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			
米国	ローレンスリバモア国立研究所	カリフォルニア大学サンディエゴ校	ネバダ大学リノ校	
フランス	ポルドー大学			
ドイツ	HZDR	European XFEL		