

令和 3 年 5 月 31 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H02996

研究課題名(和文)ギガバール科学の開拓

研究課題名(英文)Pioneering gigabar science

研究代表者

重森 啓介 (Shigemori, Keisuke)

大阪大学・レーザー科学研究所・教授

研究者番号：50335395

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,700,000円

研究成果の概要(和文)：本課題では、ギガバール(10億気圧)という超高压力条件下を高強度レーザーで実現し、高エネルギー密度科学研究に資するプラットフォームを形成するとともに、その応用分野を探るものである。4年間の研究期間において、大きく分けて2つのアプローチでこのギガバール領域の圧力発生法の開発およびその物理機構を解明した。高強度レーザー照射によって発生するアブレーションによる圧力発生において、レーザープラズマ相互作用によって発生する高速電子を有効活用するスキームを開発した。表面にナノワイヤー構造をもつ試料を超高強度レーザーで照射し、試料表面での吸収率を向上させることにより超高压力状態を得ることに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ギガバールという超高压力状態は、これまで核実験や巨大なレーザー施設を用いてのみ得られる稀有な条件であり、この状態を応用することにより天文学や新たな物質状態を得られる可能性を秘めているものの、適用が困難であった。本研究により、比較的小規模な施設でもこの極限状態を得られることが証明されたことにより、地球や惑星内部物質の構造や星の進化などの学術研究を始め、近年高度化しているレーザー加工の分野、さらにこの状態で起こる相転移などの状態変化を応用した新物質創成など、新たな学術分野や産業応用への波及が期待される。

研究成果の概要(英文)：In this research, we investigated the scheme on ultra-high pressure condition of gigabar (1 billion atmospheres) with high-intensity laser irradiation. We also have constructed the platform that contributes to high-energy density scientific research, and explore its application fields. During the four-year research period, the development of this pressure generation scheme in the Gigabar regime and its physical mechanism were elucidated by two major approaches. (1) We have developed a scheme that effectively utilizes hot electrons generated by laser plasma interactions in pressure generation due to ablation generated by high-intensity laser irradiation. (2) We succeeded in obtaining an ultra-high pressure state by irradiating a sample with a nanowire structure on the surface with an ultra-high intensity laser and improving the absorption rate on the sample surface.

研究分野：プラズマ科学，核融合学

キーワード：高エネルギー密度科学 超高压力 高強度レーザー 高速電子

1. 研究開始当初の背景

研究の学術的背景

物質を超高圧力状態に圧縮することにより、常圧力下では見られない興味深い性質が出現する。圧力を加えることによって起こる構造相転移やそれに伴う金属化、超電導化などの研究が盛んに行われ、近年大きな成果を挙げている。このような超高圧力状態を発生させるツールとしては、ダイヤモンドアンビルセルに代表される静的圧縮装置を用いられることが多く、発生圧力は3メガバール(300万気圧)を超える領域が可能になっている(Akahama et al., 2006など)。一方、短時間ではあるが静的圧縮法を凌駕する圧力発生法として、衝撃波による圧縮(衝撃圧縮)も広く用いられ、近年では高強度パルスレーザーによる実験的研究が急速に進展しており、50メガバール(5000万気圧)に及ぶ圧縮実験が可能になっている(Smith et al., 2014)。しかしながら、古典的熱伝導がベースのレーザーアブレーションによる衝撃圧縮法においては、ある照射強度以上では種々のレーザー・プラズマ相互作用によりエネルギー吸収率が急激に減少するため、発生圧力に限界があるのが現状である(約100メガバール)。このため、これを上回るギガバール(10億気圧)級の超高圧力発生には、これまでの方式とは異なったアプローチが必須となる。

これまで実験的に得られた最高発生圧力は、核爆発を利用した4ギガバールという数値を残しているが(Vladimirov et al., 1984)、このような手法は現実的で無いばかりか、研究倫理的にも不可能であることは論を待たない。最近では米国のNational Ignition Facilityでも求心衝撃波によってギガバールを超える圧力を発生させる実験(Kritcher et al., 2014)が行われているほか、レーザー核融合におけるShock Ignitionと呼ばれる点火方式において、高速電子を用いたギガバール衝撃波生成・加熱方法の理論モデルが提案されるなど(Gus'kov 2012)、ギガバール圧力領域における多種多様な研究アプローチが出現している。

2. 研究の目的

本研究では以上の経緯を踏まえ、ギガバール科学という新しい学問領域を開拓することを目標とする。

ギガバール圧力発生の新スキーム開拓

本研究では、高速電子駆動法とナノワイヤー試料の2通りの手法によりギガバール圧力発生のスケールリングを確立する。高速電子駆動法においては、空間的・時間的にエネルギーを集中する短パルス・高強度レーザー照射によって発生する高エネルギー電子によって衝撃波を駆動し、瞬間的にギガバールを超える圧力を発生させるものである。この高速電子の発生・輸送・吸収から高圧力発生の一連の過程の詳細な物理を検証し、高圧力発生に関する最適化を実施する。ナノワイヤー試料を用いた手法に関しては、超高強度レーザーをナノワイヤー試料に照射し、ナノワイヤー内に瞬間的に閉じ込められる超高圧力状態を得るとともに、このメカニズムをX線自由電子レーザーによって明らかにする。

ギガバール実験プラットフォームの構築

ギガバール圧力領域の実験的研究においては、要求される圧力・温度状態を狙い通りに精度よく生成し、さらに試料圧縮中の物理パラメータを正確に計測することが最重要課題となる。上記2通りの方法に関して実験条件を最適化することにより、可能な限りロバストな圧力発生システムを構築することとともに、圧力や、温度などの評価システム(計測系)を完成させる。

3. 研究の方法

超高圧力発生に関して2つの別々のアプローチを行ったため、研究手法(実験条件)や結果などもそれぞれ別の内容となっているため、下記の通り2項目について説明する。

○レーザー・プラズマ相互作用による高速電子を用いた超高圧力発生

超高圧力発生において、レーザー・プラズマ相互作用(LPI)によって発生する高速電子を高密度物質に吸収させ、これを超高圧力発生に利用できることが示唆されている。ここでは高速電子の発生・輸送・吸収といったメカニズム、および高速電子が衝撃波圧力に及ぼす効果を検証するため、LPIにより発生する高速電子の多角的な計測プラットフォームの開発を行った。

実験は大阪大学レーザー研が所有する激光XII号レーザーのHIPER照射装置にて行った。図1に計測系の概略を示す。LPIのパラメトリック過程により、照射したレーザーの波長($\lambda = 351 \text{ nm}$)がシフトするため、ターゲットからの後方散乱スペクトルを測定した。また、プラズマのスケール長は、臨界密度点以下で起こる誘導ラマン散乱(SRS)にとって重要なパラメータであるため、可視ストリークカメラを用いたシャドウグラフ測定を用いて計測した。また、2つの電子スペクトロメータ(ESM)で高速電子のスペクトルを測定し、Cu-K Imagerと分光器で高速電子の吸収過程を、SOP(ストリークカメラによる輝度温度計測)を用いて衝撃波速度等を測定した。これら合計で11種類の計測器を駆使し、高速電子の発生機構、発生量、吸収そして輸送に至る過程を観測した。

レーザー条件は、パルス幅300 ps、ピーク強度は最大で 10^{16} W/cm^2 、そして波長はガラ

スレーザーの基本波 ($\omega, \lambda: 1.053 \mu\text{m}$) 2倍高調波 ($\omega, \lambda: 1.053 \mu\text{m}$) 3倍高調波 ($\omega, \lambda: 1.053 \mu\text{m}$) と変化させた。ターゲットはレーザー照射面から CH 層、Cu 層、Quartz 層の三層ターゲットを使用した。CH 層はアブレタとしてレーザー照射によってプラズマを形成し、レーザー・プラズマ相互作用によって高速電子が生成される。高速電子が Cu 層に吸収されることによって高圧力の発生に寄与し、衝撃波が形成されて Cu 層、Quartz 層へと伝播していく。この過程をレーザーの照射強度や波長、ターゲットの形状などを変化させ、図 1 の計測系における計測を実施した。

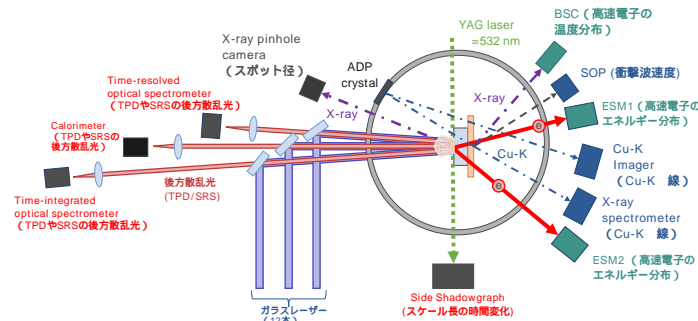


図 1 レーザー・プラズマ不安定性による高速電子を用いた超高压発生における実験配置

○ナノワイヤーアレイ試料による超高压力発生

図 2 に実験系を示す。シャドウグラフ線源として使用する X 線 (XFEL) は一度 Be レンズで集光してからターゲットに照射した。ナノワイヤーアレイ内部で生成される超高エネルギー密度状態を観察するため、ナノワイヤーに対して垂直な方向から XFEL を照射した。超高強度レーザーは XFEL の光軸に対して 72.62° の角度で照射した。シンチレーターから放出された光は対物レンズで拡大されてカメラに入射しており、中心部分が拡大されてシャドウグラフ像として出力された。

実験では平板試料とナノワイヤーアレイ試料の二種類を用意した。ナノワイヤーアレイ試料 (図 2) には先行研究と同じ Ni のナノワイヤーアレイを使用した。ワイヤーの長さが $10 \mu\text{m}$ のナノワイヤーアレイ (Sample A) と長さが $20 \mu\text{m}$ のナノワイヤーアレイ (Sample B) の二種類のナノワイヤーアレイを使用した。レーザーの照射条件は図 2 に記載の通りである。SACLA のビームラインは BL2 を使用した。使用したナノワイヤーアレイおよび平板は Ni で構成されているので、Ni の K 吸収端のエネルギーの 8.3315 keV 前後のエネルギーである $8.2, 8.4, 8.6 \text{ keV}$ の XFEL を照射した。

超高強度レーザーの照射後から XFEL を照射するまでの時間を変化させながら、シャドウグラフ法で超高エネルギー密度状態のその場観察を行い、シャドウグラフ像を得た。このシャドウグラフ像はそれぞれの観測時間での状態であり、一連のシャドウグラフ像の試料の透過率の空間分布の時間変化を解析し、レーザー照射から吸収、そして輸送過程に至る知見を得た。さらにこの実験結果を 2 次元粒子シミュレーションコード PICLS により解析を行い、実験では観測や予測が困難な物理パラメータの評価を行った。

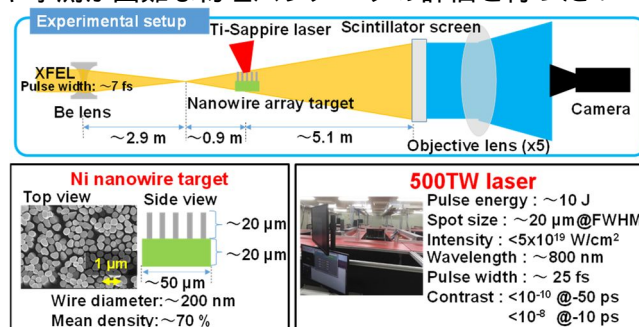


図 2 ナノワイヤー試料による超高压力発生実験の概略

4. 研究成果

○レーザー・プラズマ相互作用による高速電子を用いた超高压力発生

上記の実験プラットフォームを活用し、高速電子の圧力発生におよぶ効果を包括的に得た。パラメータを変化させることにより、多くのシステムティックなデータセットが得られたが、ここではその一例を示す。

ここでは高速電子の挙動が鍵を握っているため、高速電子の発生量を制御することを目的として照射するレーザーパルスの前に比較的弱い強度のプリパルス照射した。プリパルス照射によってプラズマのスケール長が深淵することにより、レーザー・プラズマ相互作用で発生する電子の量を増加させた。この高速電子の吸収量は Cu の K 線の発光量を計測することによって評価した。

実験結果より (図 3), プリパルス照射により高速電子の吸収量は増大することが確認さ

れ、プリパルスの照射が無い場合のおおよそ2倍の値を示した。すなわち高速電子の吸収量はある体積に与えるエネルギー量に等しいため、プリパルス照射による高速電子の増大が高圧力発生に寄与することが予想される。

図4および図5は発生する衝撃波の圧力を評価するために用いた衝撃波速度干渉計(VISAR)および輝度温度計(SOP)の結果を示す。これらの結果より、試料の各層における衝撃波通過時間を見積もり、1次元シミュレーションとの比較を行った。ここで比較対象とした1次元シミュレーションILESTA-1Dは高速電子の効果を含んでいないため、高速電子が重要な役割を占めていると思われる本研究の実験結果とは一致しないはずである。逆に考えると、このシミュレーションと実験結果の差分をとることにより、高速電子の影響を評価することが出来る。

この実験結果と1次元シミュレーションとの比較より、最も差が大きくなったのは図5の3 ω のプレパルス条件であった。この結果の解釈としては、3 ω 照射の方が2 ω 照射と比較してより強い予備衝撃波を生成するため、メインのレーザーパルスが照射される段階でより試料の密度が高くなっていることが考えられる。密度の高い状態の方が、より高速電子の飛程が短くなりエネルギー密度=圧力が上がり、結果的に高速電子の効果が顕著となる。

以上より、高速電子が圧力発生に及ぼす効果が明らかとなり、今後レーザー・プラズマ不安定性によって発生する高速電子のより詳細な解析を行うことにより、更なる高度な制御が可能となると考えられる。

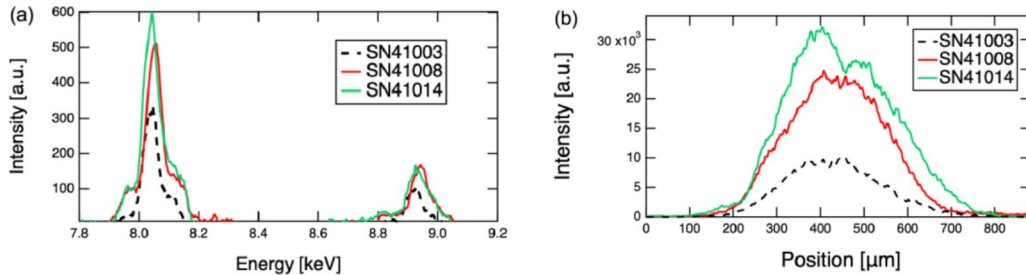


図3 高速電子の計測結果例(a)Cu-K線のスペクトル、(b)Cu-K線の発光分布

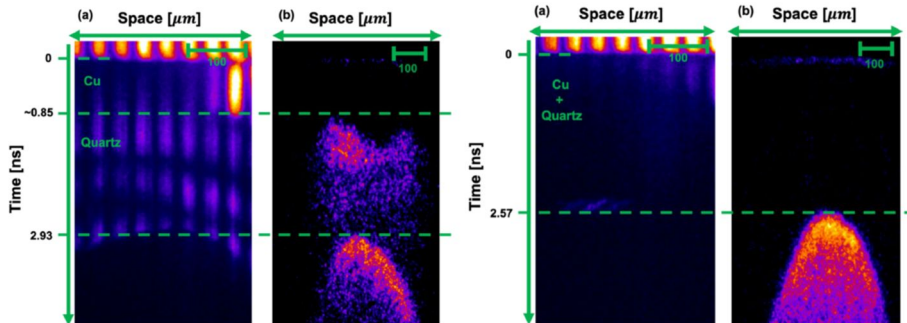


図4 2 ω プレパルス照射時の(a)VISAR、(b)SOPの計測結果

図5 3 ω プレパルス照射時の(a)VISAR、(b)SOPの計測結果

○ナノワイヤーアレイ試料による超高圧力発生

図*はシャドウグラフ計測の結果より、試料の表裏面の位置の時間変化をプロットしたものである。ナノワイヤー試料、Ni平板は50~100 psの間に表面と裏面が移動を開始している。500 psあたりからはナノワイヤー試料の裏面がNi平板に比べて大きく移動している。それぞれの移動の原因について述べていく。

まず50~100 psの移動に関しては、レーザー照射によってターゲットが得た熱による熱膨張だと考えられる。レーザー照射によりターゲット表面に生じた電子がレーザーの電場によりエネルギーを得た後にターゲットの裏面へ移動することで裏面に熱が伝えられ、表面と裏面の両方で熱膨張が生じたと考えられる。次に500 psあたりでのナノワイヤー試料の裏面の急激な移動について述べる。これはターゲット表面でレーザー照射によって生じたアブレーションによる衝撃波と考えられる。物質にレーザーを照射すると表面の物質がレーザーエネルギーを得ることで物質外に放出されるアブレーションが起こるが、その時に反作用として物質側に圧力が生じる。この圧力が衝撃波としてレーザーの照射面から物質内部に向かって伝わる。ナノワイヤー試料の裏面の急激な移動はこの衝撃波が伝わったことで生じたと考えられる。この衝撃波の平均移動速度は500 psでナノワイヤー試料の裏面で観測されたことから 8.0×10^4 m/sと求められる。

今回の実験では超高エネルギー密度状態はターゲット上部のごく薄い部分にのみ生成されたと考えられる。8.4 keVのシャドウグラフ像において、超高エネルギー密度状態が生成されていれば、透過率が変化することでナノワイヤー部分に透過光が見られるはずだが、得られたシャドウグラフ像において透過光が見えるものはなかった。これは実験で使用した

ターゲットのナノワイヤー部分の密度が大きかったことが原因だと考えられる。

先行研究では、ターゲットのナノワイヤー部分は直径 55 nm のナノワイヤーが 135 nm 周期で配置されており、平均密度は 13 % である。それに対して今回の実験で使用したターゲットのナノワイヤーは直径 200 nm で 240 nm 周期で配置されており、平均密度は 65 % である。先行研究で使用されたターゲットに比べて今回の実験で使用したターゲットはナノワイヤー間の隙間が狭いので、臨界電子密度以上の電子密度の領域がナノワイヤー間の隙間を先行研究に比べて早く覆ってしまったために、レーザー光が比較的多く反射されてしまったと考えられる。そのためシャドウグラフ像で確認できるほど大きな領域を超高エネルギー密度状態にするだけのエネルギーを与えられなかったのではないかと考えられる。今回の観察における分解能は $5\ \mu\text{m}$ (8.2 keV)、 $5.7\ \mu\text{m}$ (8.4 keV) であり、ナノワイヤー上部のごく薄い層だけが超高エネルギー密度状態となったとしても、シャドウグラフ像には現れないと考えられる。

これらの結果を踏まえて、2次元PICシミュレーションコードPICLSによる解析を実施した。

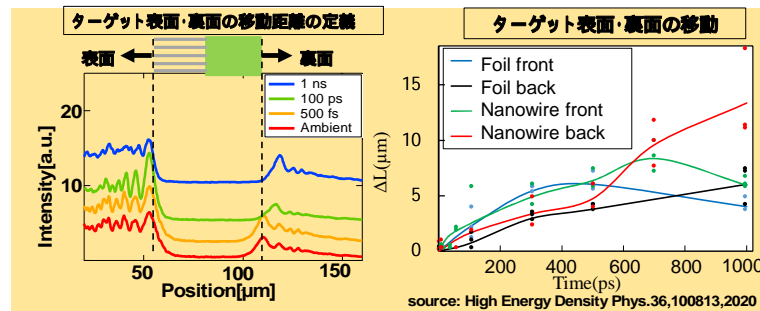


図6 シャドウグラフによって観測された強度プロファイル例(左)および表裏面の位置の時間変化(右, 平板およびナノワイヤー)

図7に2次元粒子シミュレーションコードPICLSによる解析結果を示す。左はエネルギー密度(圧力)の空間分布であり、それぞれナノワイヤーと平板の計算結果である。結果より、平板と比較してナノワイヤーアレイの方が奥行き方向に広い高エネルギー密度状態を維持していることがわかる。この高圧力領域はおおむね1ギガバール以上である。一方でエネルギー密度のプロファイル(右)を見ると、試料の裏面側に関しては平板の方がナノワイヤーに比して高い値をとる。さらにここでは示していないが、試料の横方向の分布をみても同様の傾向を示唆している。これは高速電子の散逸が平板試料(深さ, 横方向とも)に大きいことを示している。

横方向の散逸に関しては、ナノワイヤーアレイの構造上、ワイヤーと真空部分が存在するため、この真空部分が高速電子の抵抗として存在するため、ナノワイヤーアレイ試料の方が散逸しない(高速電子が閉じ込められる)ことが考えられる。一方、深さ方向の散逸に関しては、磁場の影響が示唆される計算結果が現れている。結果より、ナノワイヤー先端にワイヤーを取り巻くような磁場構造が出現していることがわかる。これは照射初期にナノワイヤー中を深さ方向に高速電子が伝播し、それによって発生する電流がワイヤーの周方向に強磁場を形成し、その磁場が電子をトラップしていると考えられる。この効果により、深さ方向にも高速電子が伝播しにくくなり、結果的に平板と比較して(裏面側の)温度が低下していることが示唆される。

これは今まで提案されてこなかったメカニズムであり、強磁場が高圧力状態の閉じ込めに寄与するという初めての発見であり、この効果を積極的に応用することにより、更なる高圧力は生スキームの設計が可能となる。

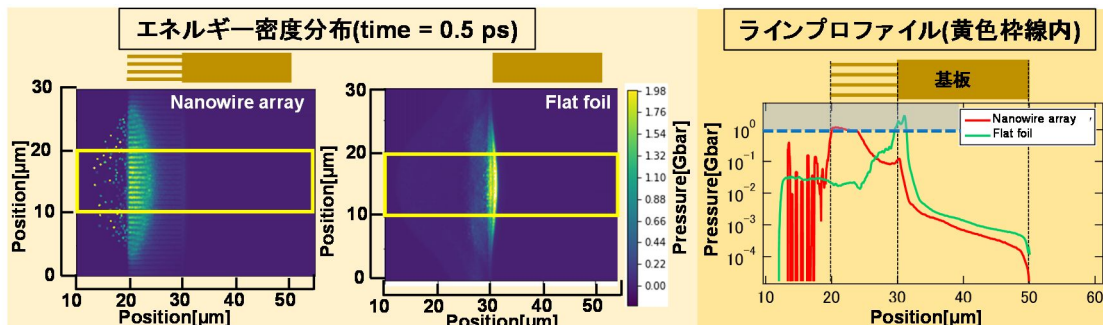


図7 2次元シミュレーションコードPICLSによるナノワイヤーおよび平板試料のエネルギー密度(圧力)分布計算結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Maeda Y., Hironaka Y., Iwasaki T., Kawasaki K., Sakawa Y., Izumi T., Ota M., Egashira S., Nakagawa Y., Higashi N., Sentoku Y., Kodama R., Ozaki N., Matsuoka T., Somekawa T., Yabuuchi T., Inubushi Y., Togashi T., Kon A., Sueda K., Miyanishi K., Shingubara S., Shimizu T., Okumura A., Shigemori K.	4. 巻 36
2. 論文標題 Observation of ultra-high energy density state with x-ray free electron laser SACLA	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 High Energy Density Physics	6. 最初と最後の頁 100813 ~ 100813
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.hedp.2020.100813	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 Baton S.D., Cola?tis A., Rousseaux C., Boutoux G., Brygoo S., Jacquet L., Koenig M., Batani D., Casner A., Bel E. Le, Raffestin D., Tentori A., Tikhonchuk V., Trela J., Reverdin C., Le-Deroff L., Theobald W., Cristoforetti G., Gizzi L.A., Koester P., Labate L., Shigemori K.	4. 巻 36
2. 論文標題 Preliminary results from the LMJ-PETAL experiment on hot electrons characterization in the context of Shock Ignition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 High Energy Density Physics	6. 最初と最後の頁 100796 ~ 100796
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.hedp.2020.100796	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 該当する

1. 著者名 Sakaiya Tatsuhiro, Terasaki Hidenori, Akimoto Kosaku, Kato Hiroki, Ueda Taichi, Hosogi Ryota, Fujikawa Takashi, Kondo Tadashi, Hironaka Yoichiro, Shigemori Keisuke	4. 巻 39
2. 論文標題 Measurements of Rayleigh?Taylor instability growth of?laser-shocked iron?silicon alloy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 High Pressure Research	6. 最初と最後の頁 150 ~ 159
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/08957959.2019.1575966	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 Hiroki, Yamada Hideaki, Ohmagari Shinya, Chayahara Akiyoshi, Mokuno Yoshiaki, Fukuyama Yuji, Fujiwara Neo, Miyanishi Kouhei, Hironaka Yoichiro, Shigemori Keisuke	4. 巻 86
2. 論文標題 Synthesis and characterization of diamond capsules for direct-drive inertial confinement fusion	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Diamond and Related Materials	6. 最初と最後の頁 15 ~ 19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.diamond.2018.04.010	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 Kato H., Shigemori K., Nagatomo H., Nakai M., Sakaiya T., Ueda T., Terasaki H., Hironaka Y., Shimizu K., Azechi H.	4. 巻 25
2. 論文標題 Effect of equation of state on laser imprinting by comparing diamond and polystyrene foils	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physics of Plasmas	6. 最初と最後の頁 032706 ~ 032706
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5018906	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 SATOH Nakahiro, WATARI Takeshi, NISHIHARA Katsunobu, MATSUKADO Koji, YOSHIMURA Ryo, AKIYAMA Naoki, TAKAGI Masaru, KAWASHIMA Toshiyuki, ABE Yuki, ARIKAWA Yasunobu, SUNAHARA Atsushi, HIRONAKA Yoichiro, SHIGEMORI Keisuke, FUJIOKA Shinsuke, NAKAI Mitsuo, AZECHI Hiroshi	4. 巻 13
2. 論文標題 3 × 10 ⁸ D-D Neutron Generation by High-Intensity Laser Irradiation onto the Inner Surface of Spherical CD Shells	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 2401028 ~ 2401028
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.13.2401028	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, H., Yamada, H., Ohmagari, S., Chayahara, A., Mokuno, Y., Fukuyama, Y., Fujiwara, N., Miyanishi, K., Hironaka, Y., Shigemori, K.	4. 巻 86
2. 論文標題 Synthesis and characterization of diamond capsules for direct-drive inertial confinement fusion	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Diamond and Related Materials	6. 最初と最後の頁 15-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.diamond.2018.04.010	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 Kato, H., Shigemori, K., Nagatomo, H., Nakai, M., Sakaiya, T., Ueda, T., Terasaki, H., Hironaka, Y., Shimizu, K., Azechi, H.	4. 巻 25
2. 論文標題 Effect of equation of state on laser imprinting by comparing diamond and polystyrene foils	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physics of Plasmas	6. 最初と最後の頁 32706
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5018906	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 Koester P., Baffigi F., Cristoforetti G., Labate L., Gizzi L. A., Baton S., Koenig M., Cola?tis A., Batani D., Casner A., Raffestin D., Tentori A., Trela J., Rousseaux C., Boutoux G., Brygoo S., Jacquet L., Reverdin C., Le Bel E., Le-Deroff L., Theobald W., Shigemori K.	4. 巻 92
2. 論文標題 Bremsstrahlung cannon design for shock ignition relevant regime	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 013501 ~ 013501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0022030	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 Iwasaki T., Kawasaki K., Yamada H., Ohmagari S., Takeuchi D., Chayahara A., Mokuno Y., Hironaka Y., Shigemori K.	4. 巻 37
2. 論文標題 Dependences of morphology and surface roughness on growth conditions of diamond capsules for the direct-drive inertial confinement fusion	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 High Energy Density Physics	6. 最初と最後の頁 100849 ~ 100849
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.hedp.2020.100849	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 Kawasaki Koki, Hironaka Yoichiro, Maeda Yuto, Iwasaki Toshihiro, Tanaka Daisuke, Miyanishi Kohei, Nagatomo Hideo, Fujioka Shinsuke, Ozaki Norimasa, Kodama Ryosuke, Matsuoka Takeshi, Batani Dimitri, Trela Jocelag, Nicolai Phillipe, Shigemori Keisuke	4. 巻 37
2. 論文標題 The role of hot electrons on ultrahigh pressure generation relevant to shock ignition conditions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 High Energy Density Physics	6. 最初と最後の頁 100892 ~ 100892
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.hedp.2020.100892	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 重森啓介, 弘中陽一郎, 尾崎典雅	4. 巻 49
2. 論文標題 レーザー生成高速電子を用いた超高压力発生	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 レーザー研究	6. 最初と最後の頁 40-44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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25件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 9件）

1. 発表者名 K. Shigemori
2. 発表標題 The role of hot electrons on ultrahigh pressure generation relevant to shock ignition conditions
3. 学会等名 3rd Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Shigemori
2. 発表標題 The role of hot electrons on ultrahigh pressure generation relevant to shock ignition conditions
3. 学会等名 11th International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Maeda
2. 発表標題 Observation of Ultra-High Energy Density State with X-Ray Free Electron Laser SACLA
3. 学会等名 11th International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Iwasaki
2. 発表標題 Morphology and Surface Roughness on Growth Condition of Diamond Capsule for Direct-Drive Inertial Confinement Fusion
3. 学会等名 11th International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Miyanishi
2. 発表標題 In-Situ Observation of Crystal Structure Transitions of Austenitic Stainless Steel Under Shock Compression and Release Using X-Ray Free Electron Laser
3. 学会等名 11th International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Ota
2. 発表標題 Small angle X-Ray Scattering with Sub-Micron Rod-assembly Target at SACLA
3. 学会等名 11th International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Kondo
2. 発表標題 Structure and Distribution of Quenched High-Pressure Polymorph in Laser-Shocked Silica
3. 学会等名 11th International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 前田優斗他
2. 発表標題 超高強度レーザー照射ナノワイヤーターゲットにおける超高エネルギー密度状態の観測
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 前田優斗他
2. 発表標題 超高強度レーザー照射ナノワイヤーターゲットにおける超高エネルギー密度状態の生成と観測
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 岩崎稔広他
2. 発表標題 直接照射型慣性学融合用ダイヤモンドカプセルの形態と表面粗さの合成条件への依存性
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 重森啓介, 宮西宏併, 前田優斗, 弘中陽一郎, 福山祐司, 藤原宇央, 加藤弘樹, 岩崎稔広, 坂和洋一, 泉智大, 江頭俊一, 千徳靖彦, 尾崎典雅, 松岡健之, 兒玉了祐, 染川智弘, 藪内俊毅, 末田敬一, 犬伏雄一, 富樫格, 今亮
2. 発表標題 X線自由電子レーザー-SACLAIによる超高エネルギー密度状態の生成と観測 (1) 研究の概要
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 前田優斗, 宮西宏併, 弘中陽一郎, 福山祐司, 藤原宇央, 加藤弘樹, 岩崎稔広, 坂和洋一, 泉智大, 江頭俊一, 千徳靖彦, 尾崎典雅, 松岡健之, 兒玉了祐, 染川智弘, 藪内俊毅, 末田敬一, 犬伏雄一, 富樫格, 今亮, 重森啓介
2. 発表標題 X線自由電子レーザー-SACLAIによる超高エネルギー密度状態の生成と観測 (2) X線シャドウグラフ像の解析
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮西宏併, 前田優斗, 弘中陽一郎, 福山祐司, 藤原宇央, 加藤弘樹, 岩崎稔広, 坂和洋一, 泉智大, 江頭俊一, 千徳靖彦, 尾崎典雅, 松岡健之, 兒玉了祐, 染川智弘, 籾内俊毅, 末田敬一, 犬伏雄一, 富樫格, 今亮, 重森啓介
2. 発表標題 X線自由電子レーザー-SACLAによる超高エネルギー密度状態の生成と観測 (3)エネルギー吸収・輸送ダイナミクス
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keisuke Shigemori, Kohei Miyanishi, Yuji Fukuyama, Neo Fujiwara, Yuto Maeda, Youichi Sakawa, Yoichiro Hironaka, Yasuhiko Sentoku, Takeshi Matusoka, Toshihiro Somekawa, Norimasa Ozaki, Ryosuke Kodama, Toshinori Yabuuchi, Akira Kon, Yuichi Inubuchi
2. 発表標題 Observation of ultra-high energy density state in nanowire alloy target with x-ray free electron laser SACLA
3. 学会等名 60th Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福山 祐司, 重森 啓介, 弘中 陽一郎, 宮西 宏併, 加藤 弘樹, 藤原 宇央, 尾崎 典雅, 松岡 健之, 梅田 悠平, 碓 峻, 片桐 健登, 西川 豊人, 細見 実, 向井 啓一郎, 向井 幹二, 上村 伸樹, 寒河江 大輔, 森岡 信太郎, 李 昇浩, 藤岡 慎介, 西村 博明, 中井 光男, 兒玉 了祐
2. 発表標題 超高压力発生におけるレーザー・プラズマ相互作用による高速電子の寄与
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会 第38回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keisuke Shigemori
2. 発表標題 Ultra-high pressure generation with laser-produced hot electrons
3. 学会等名 14th Direct-Drive and Fast-Ignition Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福山 祐司, 重森 啓介, 弘中 陽一郎, 宮西 宏併, 加藤 弘樹, 藤原 宇央, 尾崎 典雅, 松岡 健之, 梅田 悠平, 碓 峻, 片桐 健登, 西川 豊人, 細見 実, 向井 啓一郎, 向井 幹二, 上村 伸樹, 寒河江 大輔, 森岡 信太郎, 李 昇浩, 藤岡 慎介, 西村 博明, 中井 光男, 兒玉 了祐
2. 発表標題 超高圧力発生におけるレーザー・プラズマ相互作用による高速電子の寄与
3. 学会等名 Plasma Conference 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 重森 啓介
2. 発表標題 直接照射型レーザー核融合におけるダイヤモンド燃料カプセルの適用
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会 第41回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 重森 啓介
2. 発表標題 レーザー生成プラズマにおけるプラズマ-固相の動的境界
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前田優斗他
2. 発表標題 ナノワイヤーアレイにおける超高強度レーザー吸収輸送機構の解明
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川崎昂輝他
2. 発表標題 レーザー核融合の衝撃波点火方式における高速電子の衝撃波圧力に及ぼす影響の評価
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 玉川拓実他
2. 発表標題 衝撃点火方式におけるレーザープラズマ相互作用評価のための計測系の開発
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前田優斗他
2. 発表標題 ナノワイヤーアレイにおける超高強度レーザー吸収輸送機構の解明
3. 学会等名 第37回 プラズマ・核融合学会 年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川崎昂輝他
2. 発表標題 レーザー核融合の衝撃波点火方式における高速電子の衝撃波圧力に及ぼす影響の評価
3. 学会等名 第37回 プラズマ・核融合学会 年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Kawasaki他
2. 発表標題 The First Direct- Drive Implosion Experiment of Polycrystalline Diamond Capsules at GEKKO Laser Facility
3. 学会等名 The 16th Direct Drive and Fast Ignition Workshop (招待講演)
4. 発表年 2021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	境家 達弘 (Sakaiya Tatsuhiko) (60452421)	大阪大学・理学研究科・助教 (14401)	
研究分担者	尾崎 典雅 (Ozaki Norimasa) (70432515)	大阪大学・工学研究科・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
---------	---------