

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月24日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H02154

研究課題名(和文) 大型高強度レーザーを用いた宇宙物理実験

研究課題名(英文) Laboratory astrophysics experiments using large-scale high-intensity laser systems

研究代表者

坂和 洋一 (Sakawa, Youichi)

大阪大学・レーザー科学研究所・准教授

研究者番号：70242881

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,400,000円

研究成果の概要(和文)：宇宙から飛来する高エネルギーの荷電粒子、宇宙線の生成機構として、無衝突衝撃波による加速、磁気リコネクション、航跡場加速が有力な候補となっている。我々は、国内外の高出力および高強度パワーレーザーを用いて、外部磁場中やレーザーによる自己生成磁場中の無衝突衝撃波生成、プラズマによって駆動される磁気リコネクション、および非コヒーレントな航跡場加速の要素物理を明らかにする実験を行った。その結果、プラズマ不安定性の成長から衝撃波生成にいたる時間発展や、磁気リコネクションにおけるプラズマのダイナミクス、等が明らかになった。今後、レーザー実験で粒子加速の物理と宇宙線の起源に迫る事が期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

宇宙からは、速度が大きくエネルギーの高い粒子、宇宙線が絶えず地球に到来している。宇宙線のエネルギーは地上で加速器が達成することのできるエネルギーをはるかに超え、電波障害やIT機器の誤動作を誘発するのみならず、異常気象や地震の発生にも影響を与えていると考えられている。本研究では大型のパワーレーザーを用いて、2つの宇宙線生成機構を実験的に研究した。恒星が一生終える時に生成される衝撃波と、太陽からの高エネルギー粒子の生成機構である磁力線のつながりかえ現象(磁気リコネクション)である。今後、レーザーを用いた室内実験で宇宙線がどのように作られているかが明らかになる可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：As generation mechanisms of high-energy charged particles or cosmic rays coming from space, acceleration by collisionless shocks, magnetic reconnection, and wakefield acceleration are strong candidates. We studied collisionless shock generation in external magnetic fields and self-generated magnetic fields by lasers, plasma-driven magnetic reconnection, and incoherent wakefield acceleration using high-power and high-intensity lasers. In the experiments, the element physics of time-evolution of collisionless shock generation and dynamics of plasmas in magnetic reconnection, etc., were clarified. In the future, it is expected that the physics of particle acceleration and the origin of cosmic rays will be approached in laser experiments.

研究分野：プラズマ物理学

キーワード：レーザー宇宙物理学 無衝突衝撃波 磁気リコネクション 協同トムソン散乱計測 パワーレーザー

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

宇宙から飛来する高エネルギーの荷電粒子、宇宙線のエネルギースペクトルは約 $2$ のべき乗分布をしており、これまでに $10^{20}$  eV以上の超高エネルギー宇宙線が観測されている。我々は世界に先駆け、大型レーザーを用いて $10^{15.5}$  eV以下の銀河宇宙線の生成に重要な超新星残骸に生成される非相対論的無衝突衝撃波の、特に外部磁場を印可しない状態での静電衝撃波と自己生成磁場中ワイベル衝撃波の研究、および、 $10^{15.5}$  eV以上の銀河系外宇宙線の起源の1つとして考えられている非コヒーレント航跡場加速の研究を行って来た[1]。一方で宇宙には背景磁場が存在し、宇宙線の加速においては、磁化プラズマ中の無衝突衝撃波の生成機構解明が重要となる。また、銀河宇宙線生成機構としては、無衝突衝撃波加速だけではなく、磁気リコネクションも主要な加速機構であることが知られている。ワイベル不安定性の非線形発展にもリコネクションが主要な役割を果たしており、宇宙物理において磁気リコネクションは重要なテーマの1つである。

本研究によって、国内外のスペース・宇宙物理研究者とレーザー実験および理論・シミュレーション研究者が協力し、無衝突衝撃波生成、磁気リコネクション、および粒子加速の物理を明らかにし、宇宙線の起源に迫る事が期待される。これにより、宇宙物理学の分野における高出力・高強度レーザーを用いた室内実験の学術的有用性を示し、レーザーを用いた実験室宇宙物理、レーザー宇宙物理学の学術を確立する[1]。

### 2. 研究の目的

本研究では宇宙線加速に着目し、その要素実験として磁場中無衝突衝撃波と、米国 OMEGA および NIF レーザーで実験が開始された無衝突ワイベル衝撃波生成およびワイベル不安定性の非線形発展を研究する。さらに宇宙線生成機構として重要な、磁気リコネクションの実験と高強度・繰り返しレーザーを用いた非コヒーレント航跡場加速の実験を行う。

### 3. 研究の方法

(1) 磁場中無衝突衝撃波生成実験: 真空容器に雰囲気ガスを数 Torr 封入し、固体薄膜ターゲット (CH, Al 等) を激光 XII 号レーザーで照射し、生成されたアブレーションプラズマや裏面プラズマからの輻射によって雰囲気ガスがプラズマ化される。この雰囲気ガスプラズマとターゲットからのプラズマの2流体相互作用によって無衝突衝撃波が生成される。宇宙の無衝突衝撃波を模擬するために、外部磁場を印可する。

(2) リコネクション実験: 永久磁石や磁場コイル、自己生成磁場を組み合わせ、固体ターゲット周辺に反平行な磁力線を含む磁場配位を生成する。レーザーアブレーションプラズマによる磁力線輸送、あるいは数 Torr の雰囲気ガス中の衝撃波伝播を介した磁力線輸送により、反平行な磁力線を合体させて磁気リコネクションを駆動する。レーザーエネルギー、ターゲット形状・材質、雰囲気ガス種、磁場の形状や大きさを変えることによって初期磁場配位や磁力線を輸送するプラズマの流速を制御する。磁場のエネルギー解放に由来したプラズマの加速や非熱的粒子の生成を、磁気リコネクションのアウトフロー領域で計測するとともに、シミュレーション結果との比較・検討を行う。

(3) 無衝突ワイベル衝撃波生成実験: 米国 OMEGA または NIF レーザーを CH または CD 製ダブルプレーン (DP) ターゲットに照射して対向プラズマ流を生成し、ワイベル不安定性に起因するフィラメント構造とワイベル衝撃波生成の時間発展計測を行う。主要計測器は、 $D^3He$  核融合生成プロトン用いたプロトンバックライト計測とプローブレーザーによる協同トムソン散乱計測である。

(4) 非コヒーレント航跡場加速実験: 台湾 NCU100TW レーザーを用いて実験を行う。ガスジェット中にレーザーを照射してプラズマを生成し、非コヒーレントな航跡場を生成し、電子スペクトル計測とプローブレーザーを用いた干渉計測とシャドウグラフ計測を行う。

### 4. 研究成果

(1) 磁場中無衝突衝撃波生成実験: 数 Torr の窒素または水素雰囲気ガスを真空容器に封入し、最大 1.6 T の外部磁場下で薄膜ターゲット (CH または Al) にレーザーを照射した。プラズマからの輻射によって電離され、外部磁場で磁化された雰囲気ガスプラズマ中の、磁場に垂直方向に伝搬する無衝突衝撃波生成を行った。協同トムソン散乱では、これまでのイオン項計測 [2] に加えて電子項計測を行い、衝撃波上流の電子・イオン温度、電子密度、流速を、自発光計測

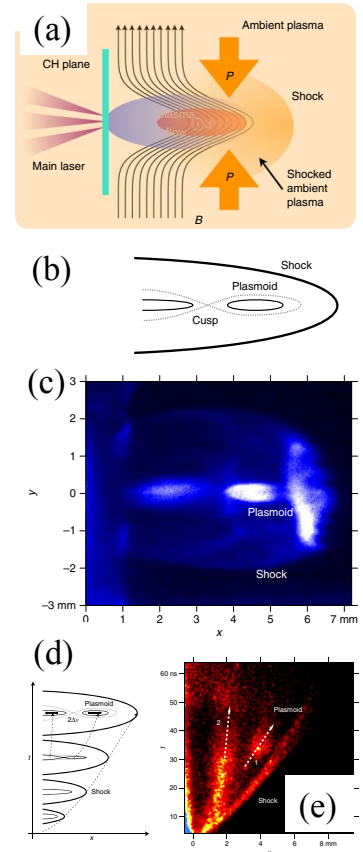


図 1 (a) 電子のダイナミクスが駆動する磁気リコネクション実験の概略図。(b) 実験で得られた特徴的なカusp構造の概略と (c) ICCD カメラで得られた 2 次元像。(d) 磁気リコネクション時間発展の概略図と (e) 自発光のストリーク像[4]。

では衝撃波速度の詳細な計測を行った。また1次元(1D)粒子(PIC)シミュレーションから、ビヤマン・バッテリー効果によってターゲット近傍に生成された自己生成磁場によってAlプラズマが磁化され、窒素雰囲気ガスプラズマとの相互作用によって無衝突衝撃波が生成される可能性が示された[3]。

(2)リコネクション実験：

① 永久磁石を用いて、CHターゲットのノーマル方向に対して約0.3 Tの弱い垂直磁場を印可し、イオンは磁化されず電子のみが磁化されたプラズマを生成した。プラズマが磁力線を押し曲げながら伝播し、引き伸ばされた磁力線の反平行成分の磁気リコネクションが観測された(図1)。さらに、真空容器を窒素ガスで満たし、レーザー生成プラズマからの輻射によってプラズマ化することによって衝撃波を生成した(図1(a))。この衝撃波下流の窒素プラズマによる外圧を加えることにより、電子のダイナミクスが駆動する磁気リコネクションを実現し、特徴的なカスプ構造とプラズモイドの計測に成功した(図1(b)-(e)) [4]。

② 磁場コイルを用いて上下に配置したAlターゲットの周辺に約0.1 Tの反平行および平行な磁場配位を生成し、協同トムソン散乱光と可視自発光の時間発展計測を行った。レーザーのターゲット照射によって約1 Tの自己生成磁場が生成され、反平行の外部磁場配位時に自己生成磁場が増幅され、リコネクションに起因するプラズマのアウトフローが観測された。

③ 中国 神光IIレーザーを用いた実験では、永久磁石を組み合わせ固体ターゲット周辺に反平行および平行磁場配位を形成し、レーザー生成プラズマで磁気リコネクションを駆動した。反平行磁場配位の時にだけリコネクションが起り、電子が電子のAlfvén速度にまで加速された。

(3) 無衝突衝撃ワイベル撃波生成実験：

① 米国OMEGAレーザーをCH製ダブルプレーン(DP)ターゲットに照射して対向プラズマ流を生成した。協同トムソン散乱計測により、電子密度、電子・イオン温度、流速の時間発展を計測した。また、ワイベル不安定性に起因するフィラメント(ワイベルフィラメント)構造の詳細な時間発展をD<sup>3</sup>He核融合生成プロトン用いたプロトンバックライト計測によって行った(図2)。計測結果は、3D PIC計算と良く一致し、ワイベル不安定性による磁場生成機構が明らかとなった[5]。

② 米国NIFレーザーをCD-CDまたはCD-CH製のDPターゲットに照射して対向プラズマ流を生成し、無衝突ワイベル衝撃波生成実験を行った。D<sup>3</sup>He核融合生成プロトンバックライト計測を行い、レーザー照射後t=2.6から7.6 nsまで約1 ns刻みで磁場分布の時間発展を明らかにした。さらに、生成された衝撃波のプラズマパラメータを協同トムソン散乱計測によって計測した[6]。

(4) 非コヒーレント航跡場加速実験：台湾NCU100TWレーザーをガスジェット中に照射してプラズマを生成し、非コヒーレントな航跡場実験を行った。レーザー強度とガスジェットの密度を変えて電子のエネルギースペクトルを計測し、普遍的にベキ乗のスペクトルが得られることを明らかにした。

<引用文献>

[1] Y. Sakawa et al, *Advances in Physics: X* **1**, 425-443 (2016); 坂和洋一, レーザー研究 **44**, 577- 582 (2016); 坂和洋一, レーザー研究 **44**, 583- 588 (2016); 坂和洋一, プラズマ・核融合学会誌 **92**, 102-106 (2016).

[2] T. Ishikawa, Y. Sakawa, et al, *Journal of Physics: Conference Series* **688**, 012098-1-4 (2016); Y. Sakawa, et al, *High Energy Density Physics* **23**, 207-211 (2017).

[3] Takayuki Umeda, et al, Youichi Sakawa, et al, *Physics of Plasmas* **26**, 032303-1-8 (2019).

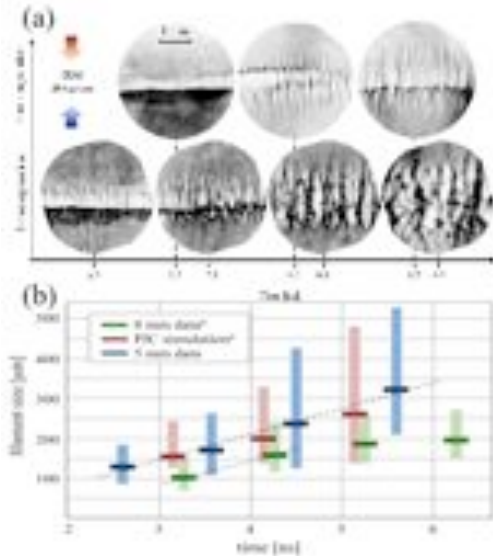


図2 (a) プロトンバックライトイメージの時間発展。DPターゲットの間隔は8 mm(上図)と5 mm(下図)を用いた。(b) 計測と3D PICから求めたワイベルフィラメントサイズの時間発展[5]。

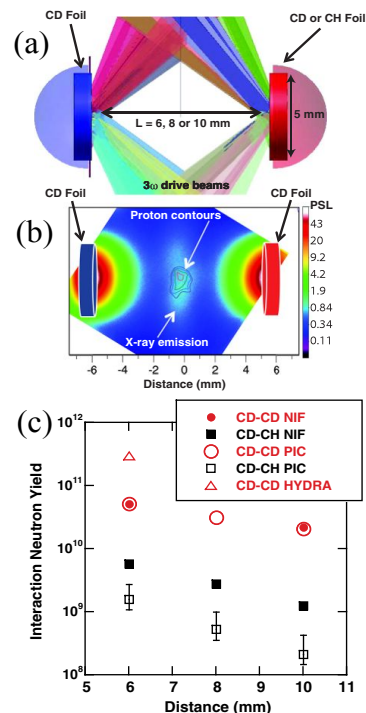


図3 (a) NIF実験の概略図。(b) 計測されたX線強度とDD核融合生成プロトン強度の2次元分布。10 mm間隔のCD製DPターゲットを用いた。(c) 実験と数値計算から求めたDD核融合生成中性子数のDPターゲット材質(CD-CDまたはCD-CH)と間隔に対する依存性[6]。

- [4] N. Khasanah, et al, Y. Sakawa, et al, High Energy Density Physics **23**, 15-19 (2017); Y. Kuramitsu, T. Moritaka, Y. Sakawa, et al, Nature Communications **9**, 5109-1-6 (2018).
- [5] H.-S. Park, et al, Y. Sakawa, et al, Physics of Plasmas **22**, 056311-1-13 (2015); Hye-Sook Park, et al, Y. Sakawa, et al, Journal of Physics: Conference Series **688**, 012084-1-6 (2016); C. M. Huntington, et al, Y. Sakawa, et al, Physics of Plasmas **24**, 041410-1-7 (2017).
- [6] J. S. Ross, et al, Y. Sakawa, et al, Physical Review Letters **118**, 185003-1-6 (2017).

##### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 53 件) 特筆したもの (#32, #33) 以外は査読有り

1. T. G. White, 他 22 人, Y. Sakawa, 他 8 人, *Supersonic Plasma Turbulence in the Laboratory*, Nature Communications **10**, 1758-1-6 (2019). DOI: 10.1038/s41467-019-09498-y
2. Rajesh Kumar, Youichi Sakawa, 他 3 人, *Enhancement of collisionless shock ion acceleration by electrostatic ion two-stream instability in the upstream plasma*, Physical Review Accelerators and Beams **22**, 043401-1-8 (2019). DOI: 10.1103/PhysRevAccelBeams.22.043401
3. Takayuki Umeda, 他 8 人, Youichi Sakawa, 他 4 人, *Full particle-in-cell simulation of the interaction between two plasmas for laboratory experiments on the generation of magnetized collisionless shocks with high-power lasers*, Physics of Plasmas **26**, 032303-1-8 (2019). [https:// doi: 10.1063/1.5079906](https://doi.org/10.1063/1.5079906)
4. D. P. Higginson, 他15人, Y. Sakawa, 他5人, *Kinetic effects on neutron generation in moderately collisional interpenetrating plasma flows*, Physics of Plasmas **26**, 012113-1-15 (2019). <https://doi.org/10.1063/1.5048386>
5. Y. Kuramitsu, T. Moritaka, Y. Sakawa, 他 10 人, *Magnetic reconnection driven by electron dynamics*, Nature Communications **9**, 5109-1-6 (2018). DOI: 10.1038/s41467-018-07415-3
6. B. Albertazzi, 他 17 人, Y. Sakawa, 他 8 人, *Experimental platform for the investigation of magnetized-reverse-shock dynamics in the context of POLAR*, High Power Laser Science and Engineering **6**, e43-1-14 (2018). doi:10.1017/hpl.2018.37
7. L. Van Box Som, É. Falize, M. Koenig, Y. Sakawa, 他 19 人, *Laboratory radiative accretion shocks on GEKKO XII laser facility for POLAR project*, High Power Laser Science and Engineering **6**, e35-1-8 (2018). doi.org/10.1017/hpl.2018.32
8. Th. Michel, 他3人, Y. Sakawa, 他17人, *Analytical modelling of the expansion of a solid obstacle interacting with a radiative shock*, High Power Laser Science and Engineering **6**, e30-1-10 (2018). doi:10.1017/hpl.2018.24
9. A. Rigby, 他17人, Y. Sakawa, 他8人, *Electron Acceleration by Wave Turbulence in a Magnetized Plasma*, Nature Physics **14**, 475-479 (2018). doi:10.1038/s41567-018-0059-2
10. Yan-Fei Li, 他17人, Youichi Sakawa, 他12人, *Laboratory Study on Disconnection Events in Comets*, SCIENTIFIC REPORTS **8**, 463-1-7 (2018). DOI:10.1038/s41598-017-18712
11. M. Koenig, 他7人, Y. Sakawa, 他11人, *Interaction of a highly radiative shock with a solid obstacle*, Physics of Plasmas **24**, 082707-1-7 (2017). doi: <http://dx.doi.org/10.1063/1.4996010>
12. T. Morita, Y. Sakawa, 他 9 人, *Characterization of electrostatic shock in laser-produced optically-thin plasma flows using optical diagnostics*, Physics of Plasmas **24**, 072701-1-7 (2017). doi: <http://dx.doi.org/10.1063/1.4990058>
13. Kazuki Matsuo, 他9人, Youichi Sakawa, 他4人, *Magnetohydrodynamics of laser-produced high-energy-density plasma in a strong external magnetic field*, Physical Review E **95**, 053204-1-6 (2017). 10.1103/PhysRevE.95.053204
14. Y. Sakawa, 他6人, *Generation of counter-streaming plasmas for collisionless shock experiment*, High Energy Density Physics **23**, 207-211 (2017). 10.1016/j.hedp.2017.04.007
15. J. S. Ross, 他17人, Y. Sakawa, 他14人, *Transition from Collisional to Collisionless Regimes in Interpenetrating Plasma Flows on the National Ignition Facility*, Physical Review Letters **118**, 185003-1-6 (2017). 10.1103/PhysRevLett.118.185003
16. C. M. Huntington, 他13人, Y. Sakawa, 他5人, *Magnetic field production via the Weibel instability in interpenetrating plasma flows*, Physics of Plasmas **24**, 041410-1-7 (2017). 10.1063/1.4982044
17. N. Khasanah, 他8人 Y. Sakawa, 他10人, *Spatial and temporal plasma evolutions of magnetic reconnection in laser produced plasmas*, High Energy Density Physics **23**, 15-19 (2017). DOI: 10.1016/j.hedp.2017.02.004
18. E. Brambrink, 他11人, Y. Sakawa, 他6人, *Short-pulse laser-driven x-ray radiography*, High Power Laser Science and Engineering **4**, e30-1-5 (2016). DOI: 10.1017/hpl.2016.31
19. Y. Sakawa, T. Morita, Y. Kuramitsu, and H. Takabe, *Collisionless electrostatic shock generation using high-energy laser systems*, Advances in Physics: X **1**, 425-443 (2016). DOI: 10.1080/23746149.2016.1213660
20. Y. Kuramitsu, A. Mizuta, Y. Sakawa, 他 13 人, *Time evolution of Kelvin-Helmholtz vortices associated with collisionless shocks in laser produced plasmas*, Astrophys. J **828**, 93 (10pp) (2016). DOI: 10.3847/0004-637X/828/2/93
21. Yoshitaka Shoji, 他 5 人, Youichi Sakawa, 他 14 人, *Toward the Generation of Magnetized*

- Collisionless Shocks with High-Power Lasers*, Plasma and Fusion Research **11**, 3401031-1-3 (2016). DOI: 10.1585/pfr.11.3401031
22. T. Ishikawa, Y. Sakawa, 他24人, *Thomson scattering measurement of a collimated plasma jet generated by a high-power laser system*, Journal of Physics: Conference Series **688**, 012098-1-4 (2016). 10.1088/1742-6596/688/1/012098
  23. Hye-Sook Park, 他18人, Y. Sakawa, 他3人, *Laboratory astrophysical collisionless shock experiments on Omega and NIF*, Journal of Physics: Conference Series **688**, 012084-1-6 (2016). 10.1088/1742-6596/688/1/012084
  24. Toseo Moritaka, Youichi Sakawa, 他5人, *Density filament and helical field line structures in three dimensional Weibel-mediated collisionless shocks*, Journal of Physics: Conference Series **688**, 012072-1-4 (2016). 10.1088/1742-6596/688/1/012072
  25. T. Morita, 他23人, Y. Sakawa, 他5人, *Proton imaging of an electrostatic field structure formed in laser-produced counter-streaming plasmas*, Journal of Physics: Conference Series **688**, 012071-1-4 (2016). 10.1088/1742-6596/688/1/012071
  26. Y. Kuramitsu, 他5人, Y. Sakawa, 他24人, *Spherical shock in the presence of an external magnetic field*, Journal of Physics: Conference Series **688**, 012056-1-4 (2016). 10.1088/1742-6596/688/1/012056
  27. Ayako Ishii, 他4人, Youichi Sakawa, and Hideaki Takabe, *Computational Study of Magnetic Field Amplification in Laser-Produced Shock Waves Relevant to Supernova Remnants*, Journal of Physics: Conference Series **688**, 012035-1-4 (2016). 10.1088/1742-6596/688/1/012035
  28. Y. Kuramitsu, N. Ohnishi, Y. Sakawa, 他21人, *Model Experiment of Magnetic Field Amplification in Laser-Produced plasmas via the Richtmyer-Meshkov instability*, Physics of Plasmas **23**, 032126-1-6 (2016). 10.1063/1.4944925
  29. X. X. Pei, J. Y. Zhong, Y. Sakawa, 他13人, *Magnetic reconnection driven by Gekko XII lasers with a Helmholtz capacitor-coil target*, Physics of Plasmas **23**, 032125-1-5 (2016). 10.1063/1.4944928
  30. 坂和洋一, 大型レーザーによる実験室宇宙物理: レーザー宇宙物理, レーザー研究 **44**, 577-582 (2016). <http://www.lsj.or.jp/laser/44/4409.pdf>
  31. 坂和洋一, 大型レーザーを用いた無衝突衝撃波の生成, レーザー研究 **44**, 583- 588 (2016). <http://www.lsj.or.jp/laser/44/4409.pdf>
  32. 森田太智, 坂和洋一, 蔵満康浩, 高部英明, 宇宙と実験室の無衝突衝撃波—粒子加速と磁場生成・増幅— 3.2 静電無衝突衝撃波生成実験, プラズマ・核融合学会誌 **92**, 98-101 (2016). 査読無し [http://www.jspf.or.jp/Journal/PDF\\_JSPF/jspf2016\\_02/jspf2016\\_02-98.pdf](http://www.jspf.or.jp/Journal/PDF_JSPF/jspf2016_02/jspf2016_02-98.pdf)
  33. 坂和洋一, 宇宙と実験室の無衝突衝撃波—粒子加速と磁場生成・増幅— 3.3 Weibel不安定性による磁場生成と無衝突衝撃波生成実験, プラズマ・核融合学会誌 **92**, 102-106 (2016). 査読無し [http://www.jspf.or.jp/Journal/PDF\\_JSPF/jspf2016\\_02/jspf2016\\_02-102.pdf](http://www.jspf.or.jp/Journal/PDF_JSPF/jspf2016_02/jspf2016_02-102.pdf)
  34. J. Meinecke, 他20人, Y. Sakawa, 他7人, *Developed turbulence and non-linear amplification of magnetic fields in laboratory and astrophysical plasmas*, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America PNAS **112**, 8211-8215 (2015). 10.1073/pnas.1502079112
  35. H.-S. Park, 他20人, Y. Sakawa, 他6人, *Collisionless shock experiments with lasers and observation of Weibel instabilities*, Physics of Plasmas **22**, 056311-1-13 (2015). 10.1063/1.4920959

[学会発表] (計 118 件)

1. Y. Sakawa, *Generation of collisionless shock*, Japan-U.S. Symposium on "Perspective of High Energy Density Science and Technology by High Power Lasers", Carnegie Endowment for International Peace, Washington, D.C., January 24 (2019). **Invited**
2. Youichi Sakawa, Rajesh Kumar, Masato Ota, M. Kanasaki, Y. Fukuda, and Alessio Morace, *Ion acceleration by laser-driven collisionless electrostatic shock*, International Symposium on Ultrafast Intense Laser Science, Visegrad, Hungary, 14-19 Oct. (2018). **Invited**
3. Y. SAKAWA, 他 22 人, *Generation of turbulent magnetic field and collisionless shock using a large-scale laser system*, Plasma Conference 2017, Himeji, Japan, Nov. 21-24 (2017). **Invited**
4. Y. Sakawa, *Laboratory astrophysics studies using large-scale laser systems: Weibel-instability mediated collisionless shock experiment*, International Workshop on the Interrelationship between Plasma Experiments in the Laboratory and in Space IPELS2017, San Diego, USA, 5-9 June (2017). **Invited**
5. Y. Sakawa, *Diagnostics on collisionless shock experiments*, 2nd EPS Conference on Plasma Diagnostics ECPD2017, Bordeaux, France, 18-21 April (2017). **Invited**
6. Y. Sakawa, *National Ignition Facility (NIF) Experiments on Collisionless Shocks*, International Symposium on Status and Prospects of High Energy Density Science by Giant Lasers, Lawrence Livermore National Laboratory, CA, USA, September 28 - 29 (2015). **Invited**
7. Y. Sakawa, 他 34 人, *Astrophysical collisionless shock experiments using large-scale laser systems*, OPTICS & PHOTONICS International Congress 2015 (OPIC2015) Conference on Laser Energetics (CLE2015), Yokohama, Japan, April 22 - Apr. 24 (2015). **Invited**

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：米田 仁紀

ローマ字氏名：YONEDA, Hitoki

所属研究機関名：電気通信大学

部局名：レーザー新世代研究センター

職名：教授

研究者番号（8桁）：00210790

研究分担者氏名：松清 修一

ローマ字氏名：MATSUKIYO, Shuichi

所属研究機関名：九州大学

部局名：総合理工学研究院

職名：准教授

研究者番号（8桁）：00380709

研究分担者氏名：森田 太智

ローマ字氏名：MORITA, Taichi

所属研究機関名：九州大学

部局名：総合理工学研究院

職名：助教

研究者番号（8桁）：30726401

研究分担者氏名：山崎 了

ローマ字氏名：YAMAZAKI, Ryo

所属研究機関名：青山学院大学

部局名：理工学部

職名：教授

研究者番号（8桁）：40420509

研究分担者氏名：富田 健太郎

ローマ字氏名：TOMITA, Kentaro

所属研究機関名：九州大学

部局名：総合理工学研究院

職名：助教

研究者番号（8桁）：70452729

研究分担者氏名：佐野 孝好

ローマ字氏名：SANO, Takayoshi

所属研究機関名：大阪大学

部局名：レーザー科学研究所

職名：助教

研究者番号（8桁）：80362606

※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、研究者個人に帰属されます。