

令和 2 年 6 月 5 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05728

研究課題名(和文)運動論に基づく非線形高強度レーザー照射モデルを考慮した輻射流体シミュレーション

研究課題名(英文) Radiation hydrodynamic simulation considering non-linear laser plasma interactions based on kinetic theory

研究代表者

長友 英夫 (Nagatomo, Hideo)

大阪大学・レーザー科学研究所・准教授

研究者番号：10283813

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：比較的高強度なレーザーを固体に照射した場合の輻射流体シミュレーションの解析精度を改善するため、ミクロな非線形レーザープラズマ相互作用(LPI)による運動論効果のモデル化に取り組んだ。数多くのLPIのシミュレーションを通して密度スケール長が長い場合の誘導ラマン散乱、ブリリアン散乱等のデータベース化を行った。レーザー吸収、高速電子発生等の時間、スケール長依存性を示すとともにモデル化を行った。輻射流体シミュレーションコードに組み込まれていた拡散近似モデルを拡張し、非等方性の強い高速電子輸送を取り扱えるM1モデルの開発も行った。これによって、高エネルギー密度科学の応用研究にも展開可能になった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高エネルギー密度科学は様々な可能性を持っている。しかし、同分野の多くの実験は極限状態であることから計測が難しく、科学的な解明の妨げになっている。一方、計算シミュレーションは比較的容易に数値実験を行うことができる。今回の成果は、流体シミュレーションに運動論的な効果をモデル化して組み込むことで極限状態のシミュレーションの精度を大きく向上させるものである。

研究成果の概要(英文)：In order to improve the numerical analysis of the radiation hydrodynamic simulation when a solid target is irradiated with a relatively high-intensity laser (10^9 W/cm²), we have developed a model of the kinetic effect considering the microscopic nonlinear laser-plasma interaction (LPI). LPI simulations have been carried out to create a database of stimulated raman scattering and stimulated brilliant scattering for long density scale length case. The time dependence of laser absorption, hot electron generation and scale length dependence were shown and modeled. We also extended the diffusion approximation model for the radiation hydrodynamic simulation code, where M1 model was developed in order to consider the high energy electron transport with strong anisotropy.

研究分野：計算プラズマ物理

キーワード：輻射流体シミュレーション レーザープラズマ相互作用 高速電子輸送 運動論効果

1. 研究開始当初の背景

近年、レーザー技術の進歩に伴って、高強度・ハイパワーレーザーの普及が進んでいる。それに伴ってレーザープラズマ研究も多彩に展開されるようになり、シミュレーション技術も進展している。研究代表者が開発しているレーザープラズマの輻射流体シミュレーションコードに関しては、「レーザープラズマによる超高強度磁場形成とその応用に関するシミュレーション」(科研基盤(C)、H26-28年度、長友)において、従来の輻射流体シミュレーションコードに抵抗性MHDコードを組み込み、外部磁場、自己生成磁場に起因する磁場の輸送、拡散の解析を可能にした。これを用いて、従来の高エネルギー密度科学に加え、キロテスラ級の強い外部磁場を伴う強磁場レーザープラズマ科学に対しての研究展開もできるようになった。さらに、高速電子による非局所電子熱伝導モデルも開発済で様々な問題解析への活用が進んでいる。その一方で、レーザーの高強度領域(1×10^{15} W/cm²以上)での非線形レーザープラズマ相互作用過程のモデリングが問題になってきている。この強度領域は、高圧物性科学のためのレーザーによる超高圧達成の際に避けることができない領域である。また、相対論レーザープラズマ科学においても、メインパルス(1×10^{18} W/cm²以上)が到達する直前のプレパルス、ペDESTALがこの強度領域で、ターゲットのプレヒート、プラズマ膨張等の副作用が主現象に影響を及ぼすことから正確な予測・解析が求められている。この強度領域では、運動論による解析が必要なミクロな非線形レーザープラズマ相互作用が、マクロな流体運動に影響を及ぼすことが知られている。しかしながら、運動論的シミュレーションでは大きな空間・時間スケールを取り扱うことが困難である。一方、輻射流体シミュレーションにおいては、非線形相互作用のモデリングの困難さから、レーザー吸収は古典的なモデルしか考慮されていなかった。

2. 研究の目的

比較的高強度なレーザーを照射した場合の輻射流体シミュレーションの解析精度を改善するために、ミクロな非線形レーザープラズマ相互作用に関して運動論的シミュレーションと理論モデルによって普遍的なモデルを構築する。ラマン散乱、ブリリアン散乱等の効果をマクロスケールの流体コードに組み込むことよって、運動論効果を考慮したレーザープラズマ流体シミュレーションを可能にすることを目的とする。

さらに、その成果を高エネルギー密度科学、特に超高圧物性科学、超高強度レーザー加速等の応用問題に展開させる。

3. 研究の方法

運動論に基づくレーザープラズマ相互作用シミュレーションを行い、ミクロな非線形現象の流体への影響に関する特性を見出し、理論モデルを構築する。マクロスケールの輻射流体シミュレーションに組み込み、統合化したコードの妥当性を検証する。新たに構築するモデルが輻射流体運動へ与える影響は大きく二つに分割できる。一つは、レーザーエネルギーの吸収、および散乱・反射の影響の考慮で、流体の電子のエネルギー方程式に直接作用させる(結合:第1段階)。また、非線形現象で生成する高速電子は、輻射流体シミュレーションコードに、既設の非局所電子熱伝導モデルを介して流体運動と結合させる(結合:第2段階)。最後に、新モデルを組み込んだシミュレーションで妥当性の検証、及び高エネルギー密度科学に関する応用計算を行う。

輻射流体シミュレーションでは、2温度(電子、イオン)流体として扱うため、運動論的レーザープラズマ相互作用はモデルに依存する必要がある。しかし、その複雑さゆえ、比較的簡単に表記できる古典的なレーザー吸収モデルである、レーザー伝播の臨界密度付近における逆制動放射(inverse bremsstrahlung)を考慮するに留まっている。本研究では、これまで考慮することができなかった高強度領域(1×10^{15} W/cm²以上)でのミクロ現象な非線形レーザープラズマ相互作用を理解、モデル化することによって、大局的な輻射流体運動への影響を考慮したシミュレーションを可能にする。

非線形レーザープラズマ相互作用の代表的なパラメトリック不安定性のうち、特に影響が多いとされている2電子波崩壊不安定性(Two Plasmon Decay Instability: TPD)、誘導ラマン散乱(stimulated Raman scattering: SRS)、および誘導ブリリアン(stimulated Brillouin scattering: SBS)に関する不安定性を考える。

運動論的シミュレーション手法である電磁PICコードを用いたシミュレーションによって、流体シミュレーションから得られる代表的な指標から各不安定性の特性を割り出し、レーザーエネルギーの吸収率、散乱・反射率、高速電子の発生スペクトルに対する一般性を明らかにし、流体シミュレーションに適したモデルを構築する。

ここで得られたモデルを輻射流体シミュレーションコードに組み込み、実験結果等と比較できるベンチマーク問題のシミュレーションを行うことによって、モデルを結合した流体シミュレーションの妥当性を示す。

4. 研究成果

研究成果として、高速電子輸送を考慮した輻射流体シミュレーションコード開発については、高速電子の輸送モデルとして、従来から用いてきた拡散近似型の SNB モデルは等方性が大きく崩れる問題に対応できなかったのに対し、M1 モデルを導入することによって非等方性のある問題でも対応できるようになった。ただし、一般的に用いられてきた M1 モデルでは解法の安定性に問題があり、時間ステップ、空間格子ステップなどの制約が厳しく実用的な計算を行うことができなかった。そのため、新たに陰的な時間積分項を導出し、これによってこれらの制約を受けることなく安定に解けることを明らかにした。今後の実用的な時間、空間スケールシミュレーションに活用できると考える。

一方、高速電子の発生源となる誘導ラマン散乱、誘導ブリリアン散乱について、1次元相対論レーザープラズマ相互作用(LPI)のシミュレーションを行い、データベースを構築するとともにモデル化を進めた。特に、密度スケール長が長くなる問題について重点的に行い、レーザープラズマ相互作用によるキャビティの発生、散乱光による2次の誘導ラマン散乱などの現象の特性を捕えることができた。右図はその一例である。

レーザーの周波数に対し、1/2の周波数の位置に誘導ラマン散乱による反射光。さらに、1/4の位置にもスペクトルがみられる。これは2次の誘導ラマン散乱に相当する。これらは absolute SRS と言われているのに対し、その間にもブロードな分布がみられる。これが convective SRS であり、これがキャビティの形成とその成長によるもので、カットオフ付近でのイオンの動きと連動していることが明らかになった。このような absolute SRS と convective SRS は密度スケール長、レーザー強度に依存し、照射時間とともに成長するキャビティの影響を受けながら反射光と生成する高速電子を決定づけている。従来の研究では数 ps 程度しか計算を行っていないのに対し、本研究では 100ps までの時間変化を調べた。これによって、反射光が劇的に変化する遷移時間も捕えられており、より詳細なデータ解析が必要となった。今後はこれらのデータ解析を進めるとともに、データベースを基にした流体コード用のモデル化を進める予定である。

LPI によって構築したモデルを輻射流体シミュレーションに組み込むところまでは、期間中に終わることができなかったが、それ以外は有益な結果を得ることができた。また、LPI のモデル化の過程で新たな計測手法を着想するなどの展開も図れた。今後は、コードのベンチマークを経て、レーザーを用いた高エネルギー密度科学、レーザー核融合研究などのシミュレーション研究の一端を担えるコードに仕上げる予定である。

年度毎の成果は以下の通りである。

(平成29年度)

高速電子発生のデータベース構築については、1次元電磁粒子シミュレーション(PIC)シミュレーションコードを利用して非線形レーザープラズマ相互作用のシミュレーションに着手した。特に、流体計算用に幅広いパラメータ領域でのデータベースを構築する必要があり多くの計算が必要である。一方で、流体シミュレーションとPICシミュレーションとの時間、および空間スケールが大きく異なることから、1次元計算にも関わらず比較的大規模計算が必要であることから、PICコードのデータ収集向けにする改良作業を行った。

一方、輻射流体コードについては、これまでに開発済みの非局所電子熱伝導モデルについて、多群拡散近似方程式を解く SNB モデルをベースに高速電子の外部ソースを与える手法について検討を行った。その結果、拡散の影響でやや等方的な伝搬をする傾向があることが分かった。境界条件の設定、あるいは高次の拡散モデル(M1 モデル)の導入によって改善される可能性があることも分かった。これらを踏まえ、コードの改良を行った。特に、磁場の高速電子への影響を考慮するための開発も行った。

(平成30年度)

高速電子発生のデータベース構築のために、1次元電磁粒子シミュレーション(PIC)シミュレーションコードを利用して非線形レーザープラズマ相互作用のシミュレーションを行った。その結果、今回検討している数ピコ秒を超える比較的長時間の間に、誘導ラマン散乱、誘導ブリリアン散乱によって電子、およびイオンの密度分布が大きく変動することが明らかになった。これは、輻射流体コードとの結合の際は、サブピコ秒単位でマイクロ-マクロ間のデータ結合を行う必要があることを意味している。モデルの簡素化、および輻射流体コード側との連結強化での対策

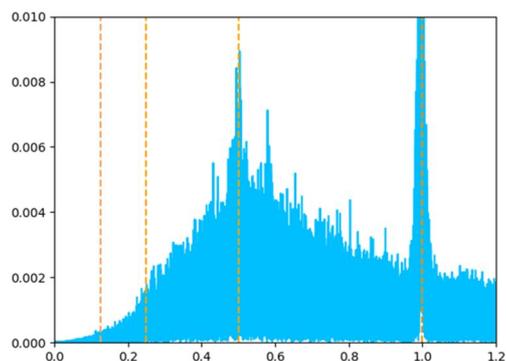


図. スケール長 100 μm の密度分布に 1×10^{16} W/cm^2 のレーザーを照射した場合の誘導ラマン散乱による反射光のスペクトル分布(横軸: 周波数、縦軸: 強度)

を進めている。

輻射流体コードについては、これまでに開発済の非局所電子熱伝導モデルについて、多群拡散近似方程式を解く SNB モデルをベースに高速電子の外部ソースを与える手法について検討を行った。衝突項の影響を大きく受けることから、従来の BGK モデルを使った SNB モデルを改良した AWBS モデルを使った SNB に改良した。その結果、エネルギー保存性等で改善が見られた。

(令和1年度)

非線形レーザープラズマ相互作用を1次元 PIC シミュレーションについて、実際のプラズマ状態に近い、比較的長い密度スケール長のプラズマ中の時間変化特性のデータ収集を行った。その結果、キャビティの形成と高速電子の発生に関する依存関係が明確になった。現在、論文投稿準備を進めるとともに、次のステップとして2次元に拡張した場合のキャビティ構造の変化と高速電子の発生メカニズムへの影響についての研究に着手した。

輻射流体コードの高速電子輸送部分に従来の SNB モデルを改良し、M1 モデルに拡張した。今後は、上記の誘導ラマン散乱の影響を、レーザーエネルギーの吸収モデルと矛盾なく結合した輻射流体シミュレーションコードの開発に目途がついた。

また、誘導ラマン散乱と密度スケール長の依存関係から、実験での新たな密度計測手法への応用の可能性が明らかになったことから、別途実験グループと共同研究を立ち上げ研究に着手した。

以上

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Sunahara Atsushi, Asahina Takashi, Nagatomo Hideo, Hanayama Ryohei, Mima Kunioki, Tanaka Hiroki, Kato Yoshiaki, Nakai Sadao	4. 巻 61
2. 論文標題 Efficient laser acceleration of deuteron ions through optimization of pre-plasma formation for neutron source development	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plasma Physics and Controlled Fusion	6. 最初と最後の頁 025002 ~ 025002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6587/aaeb7b	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 Asahina Takashi, Nagatomo Hideo, Sunahara Atsushi, Johzaki Tomoyuki, Hata Masayasu, Mima Kunioki, Sentoku Yasuhiko	4. 巻 30
2. 論文標題 Enhanced heat transport in ablation plasma under transverse magnetic field by upper hybrid resonance heating	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 High Energy Density Physics	6. 最初と最後の頁 8 ~ 12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.hedp.2018.12.003	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 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 朝比奈 隆志, 田中 浩基, 安部 勇輝, 森 芳孝, 余語 覚文, 長友 英夫, 花山 良平, 早川 岳人	4. 巻 46
2. 論文標題 レーザー駆動中性子源のパルス幅評価	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 レーザー研究	6. 最初と最後の頁 594-598
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 -

1. 著者名 森 芳孝, 安部 勇輝, 田中 浩基, 花山 良平, 鬼柳 善明, 長友 英夫, 砂原 淳	4. 巻 46
2. 論文標題 レーザー駆動中性子源の特徴	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 レーザー研究	6. 最初と最後の頁 564-570
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 -

1. 著者名 H. Nagatomo, T. Johzaki, T. Asahina, M. Hata, K. Matsuo, S. Lee, A. Sunahara, H. Sakagami, K. Mima, K. Iwano, S. Fujioka, H. Shiraga, H. Azechi	4. 巻 57
2. 論文標題 Compression and electron beam heating of solid target under the external magnetic field for fast ignition	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nuclear Fusion	6. 最初と最後の頁 086009-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-4326/aa74f0	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 Matsuo Kazuki, Nagatomo Hideo, Zhang Zhe, Nicolai Philippe, Sano Takayoshi, Sakata Shohei, Kojima Sadaoki, Lee Seung Ho, Law King Fai Farley, Arikawa Yasunobu, Sakawa Youichi, Morita Taichi, Kuramitsu Yasuhiro, Fujioka Shinsuke, Azechi Hiroshi	4. 巻 95
2. 論文標題 Magnetohydrodynamics of laser-produced high-energy-density plasma in a strong external magnetic field	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 053204-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.95.053204	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 Asahina T., Nagatomo H., Sunahara A., Johzaki T., Hata M., Mima K., Sentoku Y.	4. 巻 24
2. 論文標題 Validation of thermal conductivity in magnetized plasmas using particle-in-cell simulations	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physics of Plasmas	6. 最初と最後の頁 042117-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.4981233	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 Johzaki T, Nagatomo H, Sunahara A, Sentoku Y, Sakagami H, Hata M, Taguchi T, Mima K, Kai Y, Ajimi D, Isoda T, Endo T, Yogo A, Arikawa Y, Fujioka S, Shiraga H, Azechi H	4. 巻 59
2. 論文標題 Integrated simulation of magnetic-field-assist fast ignition laser fusion	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Plasma Physics and Controlled Fusion	6. 最初と最後の頁 014045-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/0741-3335/59/1/014045	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 Iwata Natsumi, Mima Kunioki, Sentoku Yasuhiko, Yogo Akifumi, Nagatomo Hideo, Nishimura Hiroaki, Azechi Hiroshi	4. 巻 24
2. 論文標題 Fast ion acceleration in a foil plasma heated by a multi-picosecond high intensity laser	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physics of Plasmas	6. 最初と最後の頁 073111-1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.4990703	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 Yogo A., Mima K., Iwata N., Tosaki S., Morace A., Arikawa Y., Fujioka S., Johzaki T., Sentoku Y., Nishimura H., Sagisaka A., Matsuo K., Kamitsukasa N., Kojima S., Nagatomo H., 以下12名	4. 巻 7
2. 論文標題 Boosting laser-ion acceleration with multi-picosecond pulses	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 42451-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/srep42451	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18件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Hideo NAGATOMO
2. 発表標題 An optimum design of a cone-inserted target implosion for reactor scale Fast Ignition
3. 学会等名 3rd Association of Asia-Pacific Physical Societies Division of Plasma Physics 2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hideo Nagatomo, Takeru Hatanaka, Masayasu Hata
2. 発表標題 Hydrodynamic simulation with the hot-electron transport model for shock ignition
3. 学会等名 61th Annual meeting of the American Physical Society meeting, Division of Plasma Physics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takeru Hatanaka, Masayasu Hata, Hideo Nagatomo
2. 発表標題 Effects of high intensity Laser Plasma Interaction on hydrodynamic simulations
3. 学会等名 61th Annual meeting of the American Physical Society meeting, Division of Plasma Physics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長友英夫、畠中健
2. 発表標題 レーザープラズマシミュレーションにおける高速電子熱流束の高精度化
3. 学会等名 第33回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hideo Nagatomo
2. 発表標題 Radiation hydrodynamic simulation with nonlocal electron thermal conduction model in external magnetic field
3. 学会等名 The 3rd International Conference on Matter and Radiation at Extremes 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hideo Nagatomo et al.
2. 発表標題 Target design study of fast ignition for ignition and burning experiment
3. 学会等名 27th Fusion Energy Conference, International Atomic Energy Agency (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Nagatomo, T. Asahina, T. Hatanaka, Y. Sentoku, T. Johzaki
2. 発表標題 Modeling of LPI and non-local electron transport for radiation hydrodynamic simulation
3. 学会等名 60th Annual meeting of the APS/DPP, November 8 2018, Oregon Convention Center, Portland, Oregon, USA (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Asahina, H. Nagatomo, A. Sunahara, T. Johzaki, M. Hata, K. Mima, and Y. Sentoku
2. 発表標題 Simulation study of magneticfield effect on nonlocal heat transport in laser ablation plasma
3. 学会等名 12th International Conference on High Energy Density Laboratory Astrophysics (May 2018), P.01., Kurashiki, Japan. (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長友英夫, 畠中健, 朝比奈隆志
2. 発表標題 レーザープラズマ流体解析における 非局所電子熱伝導モデルの高精度化
3. 学会等名 第32回 数値流体力学シンポジウム 2018年12月11日 機械振興会館
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長友英夫、朝比奈隆志、畠中健、畑昌育、千徳靖彦
2. 発表標題 運動論効果を考慮した高強度レーザーアブレーションの流体シミュレーション
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 長友英夫、畠中健、朝比奈隆志、畑昌育、城崎知至、千徳靖彦
2. 発表標題 レーザープラズマの流体シミュレーションへの運動論効果モデルの導入
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第35回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長友英夫、朝比奈隆志、城崎知至
2. 発表標題 レーザー爆縮における非局所電子熱伝導の影響
3. 学会等名 第12回 核融合エネルギー連合講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Nagatomo, T. Johzaki, T. Asahina, M. Hata, H. Sakagami, K. Mima
2. 発表標題 High-rhoR target design relevant to Fast Ignition
3. 学会等名 International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 H. Nagatomo, T. Asahina, K. Matsuo, S. Fujioka, Ph. Nicolai, T. Johzaki
2. 発表標題 Validation of non-local electron heat conduction model for radiation MHD simulation in magnetized laser plasma
3. 学会等名 59th Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 H. Nagatomo, T. Asahina, A. Sunahara, K. Mima, R. Hanayama
2. 発表標題 Effect of external and self-generated magnetic field in formation of pre-plasma due to the pre-pulse of ultra-intense laser
3. 学会等名 OPIC/LANSA ' 17 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 長友英夫, 朝比奈隆志, 砂原淳, 城崎知至
2. 発表標題 レーザー核融合の爆縮シミュレーションにおける非局所電子熱伝導モデルの影響
3. 学会等名 72回日本物理学会年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 長友英夫, 朝比奈隆志, 松尾一輝, 藤岡慎介, 城崎知至
2. 発表標題 高速電子を考慮した電子熱伝導モデルの輻射流体シミュレーションへの導入
3. 学会等名 PLASMA CONFERENCE 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 長友英夫, 朝比奈隆志, 城崎知至
2. 発表標題 磁場中の非局所電子熱伝導モデルを導入した輻射流体シミュレーション
3. 学会等名 第31数值流体力学シンポジウム
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 プラズマ・核融合学会	4. 発行年 2018年
2. 出版社 京都大学学術出版会	5. 総ページ数 404
3. 書名 プラズマシミュレーション	

〔産業財産権〕

〔その他〕

http://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/research04/pif/index.html

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
連携研究者	城崎 知至 (Johzaki Tomoyuki) (10397680)	広島大学・工学研究科・准教授 (15401)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携 研究者	千徳 靖彦 (Sentoku Yasuhiko) (10322653)	大阪大学・レーザー科学研究所・教授 (14401)	