



レーザー科学研究所
令和3年度（2021年度）

共同利用・共同研究成果報告書

（令和3年4月-令和4年3月）

ILE Annual Report of Collaborative Research
April 2021 - March 2022

はじめに

大阪大学レーザー科学研究所は、国内外の共同研究者の皆様と共に、汎用性の高いレーザー技術を発展させ、レーザーが拓く人類未踏の世界を探究することで、学術の開拓と革新的技術の創生に努めています。最先端レーザー技術をベースとした基礎及び応用に関する研究・教育を推進するとともに、共同利用・共同研究拠点として国内外の大学又は研究機関等の研究者の共同利用に供しています。皆様のご理解とご協力のもと、令和3年度もこれまで通り、光材料工学、光デバイス工学、レーザー工学ならびにテラヘルツフォトンクスやパワーフォトンクスなどを始めとしたレーザー科学やレーザー宇宙物理学やレーザー核融合などを含めた高エネルギー密度科学などの学際分野で多くの成果が得られました。これらの活動の成果を、共同研究成果報告書としてまとめましたので、ご高覧いただければ幸いです。

令和3年度も、前年度に引き続き新型コロナの影響が、共同利用・共同研究拠点の活動に少なからずありました。一方で、ポスト・コロナの時代にむけ、機器のデジタル化、リモート化を進めるとともにオンラインコミュニケーションの手法を積極的に取り入れ、国内外の共同研究の新しい展開、機能強化につながる新たなサービスを創出するデジタルトランスフォーメーションの推進に取り組んでまいりました。活動の1つとして、令和3年度、文部科学省先端研究基盤共用促進事業において、国内5機関のパワーレーザー施設が連携しDXを推進する「パワーレーザーDXプラットフォーム」の計画が採択されました。これにより、様々なステークホルダーが、支援を受けることができる研究施設プラットフォームを形成し、我が国の研究開発基盤の持続的な維持・発展に貢献します〔施設連携〕。また、このようなコロナ禍においても世界では、着実に研究が進んでいます。例えば、ルーマニアELI-NPにおけるレーザー世界最高強度10ペタワットの実現や、米国ローレンスリバモア研究所国家点火施設(NIF)における核融合点火燃焼に近いエネルギー増幅の実現など大きな成果が得られています。レーザー科学研究所は、これらの研究機関とも強い連携関係を構築しており、国内コミュニティの海外活動支援などを目的に連携オフィスを設置しています。例えば、米国ローレンスリバモア研究所に関しては、令和3年度、世界で唯一、核融合燃焼物理を含めた部局間学術協定に更新いたしました。さらにルーマニアの連携オフィスは、ELI-NPだけでなくレーザー科学研究所内にも先方のオフィスを設置し、より密接な連携ができる環境を整備しています〔国際連携〕。さらに、学際的な共同利用・共同研究をさらに加速するため、レーザーを利用した新たな展開を検討することを目的に、学内部局が横断した3つのワーキンググループ(レーザーによる歴史的文化財探索(文理融合)、レーザー超高压による新極限グリーン物質材料探索、パワーレーザー実験室宇宙探査)を設置し活動が開始いたしました〔学際連携〕。加えて、パワーレーザー・IFE・光エレクトロニクス(延べ180社参加)の3つのフォーラムによる産学協奏の場を活用するとともに5つの産学共同研究部門を始めとし、レーザー科学を基盤とした様々な産学連携を推進しています〔産学連携〕。

令和4年度において、上記のような4つの連携(学際連携、国際連携、施設連携、産学連携)をより有機的に活用した研究所付属の新たなセンターや多様なステークホルダーからの利用が期待されている100J級の繰り返しパワーレーザーシステムの整備・利用が計画されています。レーザー科学ならびに高エネルギー密度科学を発展させ、より幅広いコミュニティの期待に応えることができる拠点活動を推進していきたいと考えております。ポスト・コロナ時代の新しい共同利用・共同研究拠点として、共同研究者の皆様と共に新しい学問領域を開拓するとともに社会に貢献していきたいと考えております。今後とも当拠点活動に対する皆様のご理解ご支援のほど、よろしくお願い申し上げます。

令和4年5月
大阪大学レーザー科学研究所長 兒玉 了祐

目次 INDEX

レーザー宇宙物理学

2021A1-001YAMAZAKI	Experiments of collisionless shocks propagating into magnetized plasma	Ryo Yamazaki	青山学院大学・理工学部	P. 8
2021A1-003ZHANG	Collimated charged particles generation and application with accompanied magnetic field	Zhe Zhang	Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences	P. 9
2021A1-013MATSUKIYO	Empirical research of self-reformation of collisionless shock	Shuichi Matsukiyo	九州大学・大学院総合理工学研究院	P. 10
2021A1-022MORITA	Investigation of the structure and rate of a laser-driven magnetic reconnection	Taichi Morita	九州大学大学院・総合理工学研究院	P. 11
2021A1-2020015MABEY	Studying the interplay between shocks and magnetic fields in the Universe	Paul Mabey	LULI, Ecole Polytechnique	P. 12
2021A1-2020036SAKAWA	Particle acceleration via magnetic reconnection using capacity coil target	SAKAWA Youichi	Institute of Laser Engineering	P. 13
2021B2-007TANAKA	Preparation to laser experiments of induced Compton scattering	Shuta Tanaka	青山学院大学理工学部 物理・数理学科	P. 14
2021B2-019KISAKA	Theoretical study for experimental verification of conditions of coherent radiation and stimulated emission for understanding of Fast Radio Bursts	Shota Kisaka	Hiroshima University	P. 15
2021B2-038MIZUTA	Study of hydrodynamic instabilities in astrophysical jet propagation using ultra intense laser plasma experiments	Akira Mizuta	Astrophysical Big Bang Laboratory, RIKEN	P. 16
2021B2-048FUKUDA	Ion acceleration using collisionless shocks produced in nonequilibrium plasmas	Yuji Fukuda	Kansai Photon Science Institute (KPSI), National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology (QST)	P. 17

超高圧物性・惑星物理学

2021A1-023OZAKI	Phase transition kinetics observed using laser-driven decaying shock compression	Norimasa Ozaki	大阪大学・大学院工学研究科	P. 18
2021A1-024EINAGA	LASER DAC Hybrid Compression Experiment on High Temperature Superconducting Hydrogen Sulfide	EINAGA Mari	大阪大学基礎工学研究科 附属極限科学センター	P. 19
2021A1-025SATO	Melting behavior of silicate during planetary evolution	Tomoko Sato	広島大学大学院先進理工系科学研究科	P. 20
2021A1-2020011FUJIOKA	High density compression with tailored laser pulse and solid ball	Shinsuke Fujioka	Institute of laser engineering	P. 21

2021A1-2020040BATANI	Behavior and optical properties of materials of planetological interest (water, carbon, LiH) at Megabar pressures	Dimitri BATANI	University of Bordeaux	P. 22
2021B1-005YANO	Fundamental Development of Microparticle Capture System through Hypervelocity Impact Simulations and Experiments at >10 km/s	Hajime Yano	宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所	P. 23

超高強度磁場科学

2021A1-2020019ZHONG	Zeeman splitting in the EUV spectrum emitted from a magnetized silicon plasma	Jiayong Zhong	Department of Astronomy, Beijing Normal University	P. 24
2021A1-2020039JI	Study of Particle Acceleration from Magnetically-Driven Collisionless Reconnection at Low Plasma Beta Using Laser-Powered Capacitor Coils	Hantao Ji	Princeton University	P. 25

量子ビーム科学

2021A1-007ARIKAWA	Study on generation of a large electric current generation by using two-wavelengths and polarizations mixed ultra high intensity laser	Yasunobu Arikawa	大阪大学レーザー科学研究所	P. 26
2021A1-011IWAMOTO	Pure proton/deuteron beam acceleration by laser	Akifumi Iwamoto	National Institute for Fusion Science	P. 27
2021B2-014NISHIUCHI	Investigation of the formation of high intensity laser produced highly charged heavy ion plasmas	Mamiko Nishiuchi	QST	P. 28
2021B2-017HIGASHIGUCHI	Development of high-repetition rate laser-produced plasma quantum beam source by regenerative D2O target	Takeshi Higashiguchi	宇都宮大学・工学部	P. 29
2021B2-033TOKUMOTO	Development of New Soil Moisture Detection System by Neutrons	Ieyasu Tokumoto	Saga University	P. 30
2021B2-039INOUE	The development for a higher pulse power on a 589-nm DPSS laser by using Passive Q-switch	Shunsuke Inoue	京都大学 化学研究所附属 先端ビームナノ科学センター	P. 31
2021B2-043SATO	Theoretical study on neutron generation by disintegration of polarized deuterium	Toru Sato	大阪大学核物理研究センター	P. 32
2021B2-044IWAMOTO	Development of a solid deuterium foil target system for laser neutron generation	Akifumi Iwamoto	National Institute for Fusion Science	P. 33
2021B2-045KITAGAWA	Development of spin polarized deuterium target by using dynamic nuclear polarization for laser driven neutron generation	Masahiro Kitagawa	大阪大学基礎工学研究科/先端の学際研究機構 量子情報・量子生命研究センター(QIQB)	P. 34

プラズマ科学

2021A1-008FUJIOKA	Realization of stable, quasi-static and high-density material compression with tailored laser pulse and solid ball target	Shinsuke Fujioka	Institute of Laser Engineering, Osaka University	P. 35
2021A1-2020007DELAHAYE	Opacities for astrophysical applications	Delahaye	Observatoire de Paris	P. 36
2021A1-2020008SAWADA	Study of characteristic K-alpha x-ray production using high power LFEX laser	Hiroshi Sawada	University of Nevada, Reno	P. 37
2021A1-2020034MORACE	Ion stopping power in dense plasmas	Alessio Morace	Institute of laser engineering Hiroshima University	P. 38
2021B1-006JOHZAKI	Development of X-ray ray-tracing code and its application to experimental analysis	Tomoyuki Johzaki	Graduate school of advanced science and engineering	P. 39
2021B2-009SENTOKU	Study of Isochoric heating physics using XFEL(SACLA)	Yasuhiko Sentoku	Institute of Laser Engineering, Osaka University	P. 40
2021B2-010SENTOKU	Developing a photon scattering model in non-thermal high energy density plasmas in PICLS code	Yasuhiko Sentoku	Institute of Laser Engineering, Osaka University	P. 41
2021B2-015HABARA	Modeling of magnetic field creation via resistivity gradient in the high density plasma	Hideaki Habara	大阪大学大学院 工学研究科	P. 42
2021B2-018CAMPOS	Dependence of Richtmyer-Meshkov Instability growth on gas compressibility	Francisco Cobos-Campos	Escuela de Ingenier*ia Industrial y Aeroespacial, Instituto de Investigaciones Energ*ticas y Aplicaciones Industriales, Universidad de Castilla-La Mancha	P. 43
2021B2-022MORI	Investigation of electromagnetic wave propagation/absorption and plasma heating with polarization-controlled counter-illuminating intense laser pulse	Yoshitaka Mori	光産業創成大学院大学	P. 44
2021B2-025IWATA	Theoretical study on particle acceleration in high energy density plasmas created by kJ class ultraintense lasers	Natsumi Iwata	大阪大学レーザー科学研究所	P. 45
2021B2-032TAGUCHI	Interaction between ultra-intense laser and plasmas	Toshihiro Taguchi	日本原子力研究開発機構 敦賀総合研究開発センター	P. 46

テラヘルツ光科学

2021B1-001ONO	Development of broadband antireflection structure in THz region	小野晋吾	名古屋工業大学・工学研究科	P. 47
2021B1-003KAWAYAMA	High frequency characteristics of non-Drude-type conductors	Iwao Kawayama	京都大学大学院エネルギー科学研究科	P. 48
2021B1-007TANI	Study on high-efficiency terahertz wave generation by metallic spintronic devices	Masahiko Tani	福井大学・遠赤外領域開発研究センター	P. 49

2021B1-008MATSUI	Terahertz fast switching utilizing organic semiconductors	Tatsunosuke Matsui	三重大学・大学院工学研究科電気電子工学専攻	P. 50
2021B1-009MARUYAMA	Identification and imaging of polymorphs in urinary stones by terahertz spectroscopy	Mihoko Maruyama	大阪大学高等共創研究院 大阪大学大学院工学研究科	P. 51
2021B2-005KUWASHIMA	simultaneity of laser modes in laser chaos through plasmon antenna	Fumiyoshi Kuwashima	福井工業大学工学部	P. 52
2021B2-016ASAKAWA	Smith-PUrcell radiation emitted from ps electron bunch in THz wave range	Makoto Asakawa	Department of Pure and Applied Physics, Faculty of Engineering Science, Kansai University	P. 53
2021B2-023SASAKI	Analysis of damage of optical materials through micro breakdown using percolation	Akira Sasaki	量子科学技術研究開発機構・関西光科学研究所	P. 54
2021B2-030MAKINO	Terahertz spectroscopic study of phase change materials and device applications	Kotaro Makino	National Institute of Advanced Industrial Science & Technology (AIST)	P. 55
2021B2-034LEE	IR and THz Transmission Characteristics of Metal Organic Framework Thin Film Fabricated on the Flexible Substrate	Sang-Seok Lee	鳥取大学	P. 56
2021B2-037KAWATO	Theoretical analysis of expansion of output pulse width and chirp linearization of positive dispersion mode-locked laser using high gain and high non-linearity effect.	Sakae Kawato	福井大学学術研究院工学系部門	P. 57
2021B2-040KAWATO	Higher Efficiency of Laser Diode Pumped Hemispherical Cavity Continuous Wave Yb:YAG Lasers	Sakae Kawato	福井大学学術研究院工学系部門	P. 58
2021B2-041MORITA	Spin manipulation using high power THz pulse	Ken Morita	Chiba University	P. 59
2021B2-053NASHIMA	Fabrication of metal hole with sharp transmission spectra in terahertz region	Shigeki Nashima	Graduate School of Engineering, Osaka City University	P. 60

パワーレーザー科学

2021B2-024KANABE	Improvement of LFEX laser system.	金邊 忠	福井大学 学術研究院 工学系部門 電気・電子工学講座	P. 61
2021B2-036MOTOKOSHI	Build-up of silica glass structures by laser fabrication metod	Shinji Motokoshi	レーザー技術総合研究所	P. 62

光学材料

2021B1-002MURATA	Improvement on characteristics of Pr ³⁺ -doped glass scintillator for neutron detector	Takahiro Murata	熊本大学・大学院先端科学研究部	P. 63
2021B1-004RADUBAN	Investigating the scintillation properties of rare-earth-doped APLF glasses with various doping concentrations and excitation sources	Marilou Cadatal-Raduban	School of Natural and Computational Sciences, Massey University	P. 64

2021B2-008FURUSE	Development of transparent ceramics	Hiroaki Furuse	北見工業大学・地球環境工学科	P. 65
2021B2-011FUJIMOTO	Development on advanced functional optical fiber devices and its application	Yasushi Fujimoto	千葉工業大学	P. 66
2021B2-027IWASA	Luminescence properties of rare-earth doped mixed-anion compounds	Yuki Iwasa	産業技術総合研究所 物理計測標準部門	P. 67
2021B2-028OGINO	Development of novel excitonic luminescence materials by layered mixed-anion compounds	Hiraku Ogino	産業技術総合研究所・電子光基礎技術研究部門	P. 68
2021B2-046YAMADA	The modification of the wavelength of EO polymer for ion/neutron measurement in laser fusion experiment	Toshiki Yamada	情報科学研究所未来ICT研究所	P. 69
2021B2-050MORI	High quality large scale borate optical crystal	Yusuke Mori	Graduate School of Engineering, Osaka University	P. 70
2021B2-051YOSHIKAWA	Production of Organic Functional Crystals by Using Intensive Lasers	Hiroshi Yoshikawa	埼玉大学大学院理工学研究科	P. 71

物理インフォマティクス

2021C-001NAGATOMO	Research workshop on simulation and datability for high energy density science	Hideo Nagatomo	大阪大学・レーザー科学研究所	P. 72
-------------------	--	----------------	----------------	-------

一般共同研究

2021B2-001OHKUBO	Machine Learning of Dielectric Mirror for High Power Lasers	Tomomasa Ohkubo	東京工科大学・工学部	P. 73
2021B2-002HIROSE	Radiation MHD simulations of accretion disks	Shigenobu Hirose	JAMSTEC	P. 74
2021B2-003FURUKAWA	Development of integrated simulation code on laser processing using ultra short pulse lasers.	Hiroyuki Furukawa	レーザー技術総合研究所	P. 75
2021B2-004INUBUSHI	Study of transient state of intense-laser-produced plasma using femtosecond X-ray spectroscopy	Yuichi Inubushi	高輝度光科学研究センター	P. 76
2021B2-006MATSUOKA	Nonlinear interaction in multi-layer fluid interfaces with density stratification	Chihiro Matsuoka	大阪市立大学大学院工学研究科	P. 77
2021B2-012TANABE	Evaluation of laser speckles with red, green, and blue colored laser light sources and its suppression	Minoru Tanabe	National Institute of Advanced industrial science and technology	P. 78
2021B2-013NAKANO	Development of a transparent Nd:CaF ₂ ceramic material	Hitoshi Nakano	Faculty of Science and Engineering, Kindai University	P. 79

2021B2-020SANO	Decay instabilities of whistler waves in solar wind plasmas	Takayoshi Sano	Institute of Laser Engineering, Osaka University	P. 80
2021B2-021SUNAHARA	Numerical modeling of plasma facing materials	Atsushi Sunahara	Center for materials under extreme environments, School of Nuclear Engineering, Purdue University	P. 81
2021B2-026FUJITA	Research on development, control, applications of quantum beam sources	Masayuki Fujita	Institute for Laser Technology	P. 82
2021B2-029KOIZUMI	Development of a measurement system for neutron resonance transmission analysis with a laser driven neutron source	Mitsuo Koizumi	日本原子力研究開発機構 核不 拡散・核セキュリティ総合支援 センター 技術開発推進室	P. 83
2021B2-031FURUTA	THz radiation and absorption properties of CNT forest metamaterials	Hiroshi Furuta	高知工科大学・システム 工学群	P. 84
2021B2-035ODA	Development of real-time control system for application of repetitive-pulse high- power laser	Yasuhisa Oda	摂南大学・理工学部・機械 工学科	P. 85
2021B2-042MASADA	Interaction of Turbulent Field and Mean Field : Development of 3D Mean-field Solar Dynamo Model	Youhei Masada	Aichi University of Education, 愛知教育大学	P. 86
2021B2-047KUROSAWA	Development of Transparent Ceramics II	Shunsuke Kurosawa	未来科学技術共同研究セ ンター	P. 87
2021B2-049KAWAMURA	Effect of point and complex defects on optical properties of GaN	Takahiro Kawamura	三重大学 工学研究科機 械工学専攻	P. 88
2021B2-052KUWASHIMA	Low cost and stable CW-THz spectroscopy for volcanic ash	Fumiyoshi KUWASHIMA	福井工業大学	P. 89

磁化プラズマ中を伝播する無衝突衝撃波の生成実験

山崎了^{1,2}, 田中周太¹, 相原研人¹, 佐藤雄飛¹, 塩田珠里¹, 高田敦也¹, 松井啓一郎¹, 佐野孝好², 江頭俊輔², 太田雅人², 倉本織羽乃², 松本雄志郎², 石原大樹², 前田亘佑², 蔵満康浩³, 南卓海³, 境健太郎³, 西本貴博³, 岩崎滉³, 姫野公輔³, 田口智也³, 小田和昌³, 鈴木蒼一郎³, 松清修一⁴, 森田太智⁴, 松尾涼人⁴, 児島拓仁⁴, 東力也⁴, 忍田昂太郎⁴, 竹崎太智⁵, 小口拓哉⁵, 富田健太郎⁶, Pan Yiming⁶, 大西直文⁷, 梅田隆行⁸, 星野真弘⁹, 大平豊⁹, 石井彩子¹⁰, 坂和洋一²

1) 青山学院大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所, 3) 大阪大学工学研究科, 4) 九州大学, 5) 富山大学, 6) 北海道大学, 7) 東北大学, 8) 名古屋大学, 9) 東京大学, 10) 山形大学

SUMMARY

超新星残骸などに存在する宇宙の低密度媒質中の磁化無衝突衝撃波の生成実験を行った。ショット前に窒素ガス 5 Torr を封入し、外部磁場をかけ、アルミ・ターゲットに激光XII号HIPERレーザーを照射した。外部磁場3.6 Tを印加したショットを13回、4.7 Tのショットを7回行うことに成功した。プラズマ自発光、トムソン散乱、B-dot計測などを行い、外部磁場なしの場合や磁場強度の違いによる計測結果の違いを認めた。特に、無衝突磁化衝撃波の遷移層で生じると考えられてきたイオン温度非等方性の測定に成功した(FIG)。粒子シミュレーションの結果と比較しながら、無衝突衝撃波生成の理論的解釈を行った。

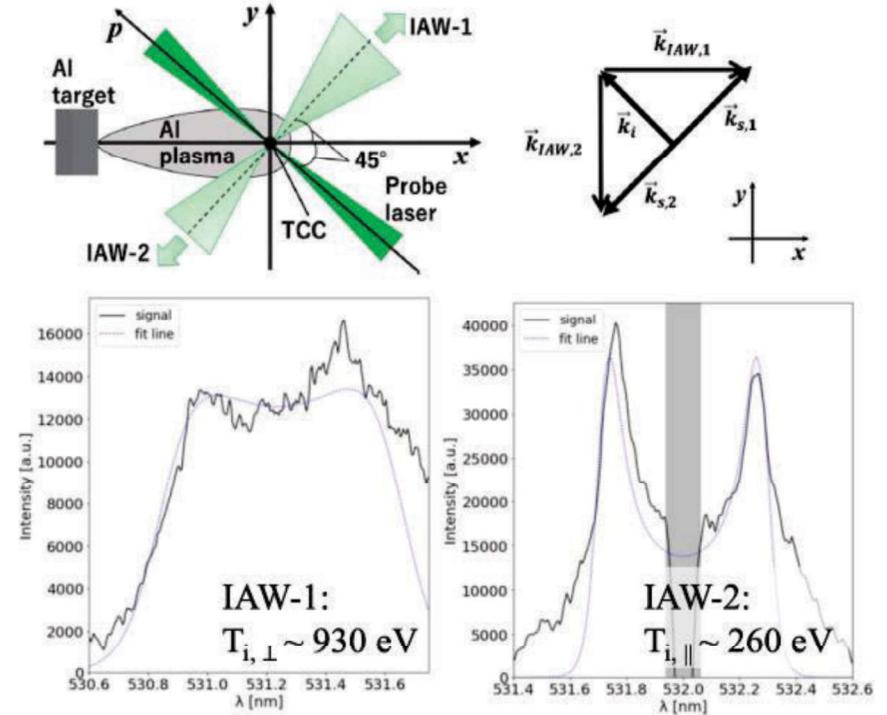


FIG. 外部磁場 3.6 T (y方向：左上)を印加したショット後 25.5 nsでのトムソン散乱計測結果(TCC)。背景磁場に垂直方向(左下)と平行方向(右下)でイオン温度非等方性を測定することができた。

Collimated charged particles generation with accompanied magnetic field

B. Zhu¹, Y. Abe¹, Z. Zhang², M. Takemura¹, Y. Zhang², L. Cheng², X. Yuan³, S. Guo¹, Z. Lan¹, A. Morace¹, A. Nakao¹, R. Takizawa¹, C. Liu¹, H. Morita¹, A. Yogo¹, Y. Arikawa¹, M. Nakai¹, H. Shiraga¹, Y. Li², S. Fujioka¹

1) Institute of Laser Engine, Osaka University, Japan, 2) Institute of Physics, CAS, 3) MoE, Shanghai Jiao Tong Univ., 4) NIFS

SUMMARY

We proposed a novel idea to produce a collimated charged particle beam with a pulsed-magnetic field generated by relativistic picosecond lasers. A kilo-tesla level magnetic field is generated with higher energy conversion efficiency due to hot electron flow current in 2020. The divergences of proton beams are suppressed by the simultaneously-generated strong magnetic fields. In 2021, the dependence of B-field strength on laser energy was studied. A foil with a separated coil target was used to demonstrate the coil wire itself was not dominant in proton confinement. In addition, we found that the foil with tube target could diverge the protons and confine the electrons.

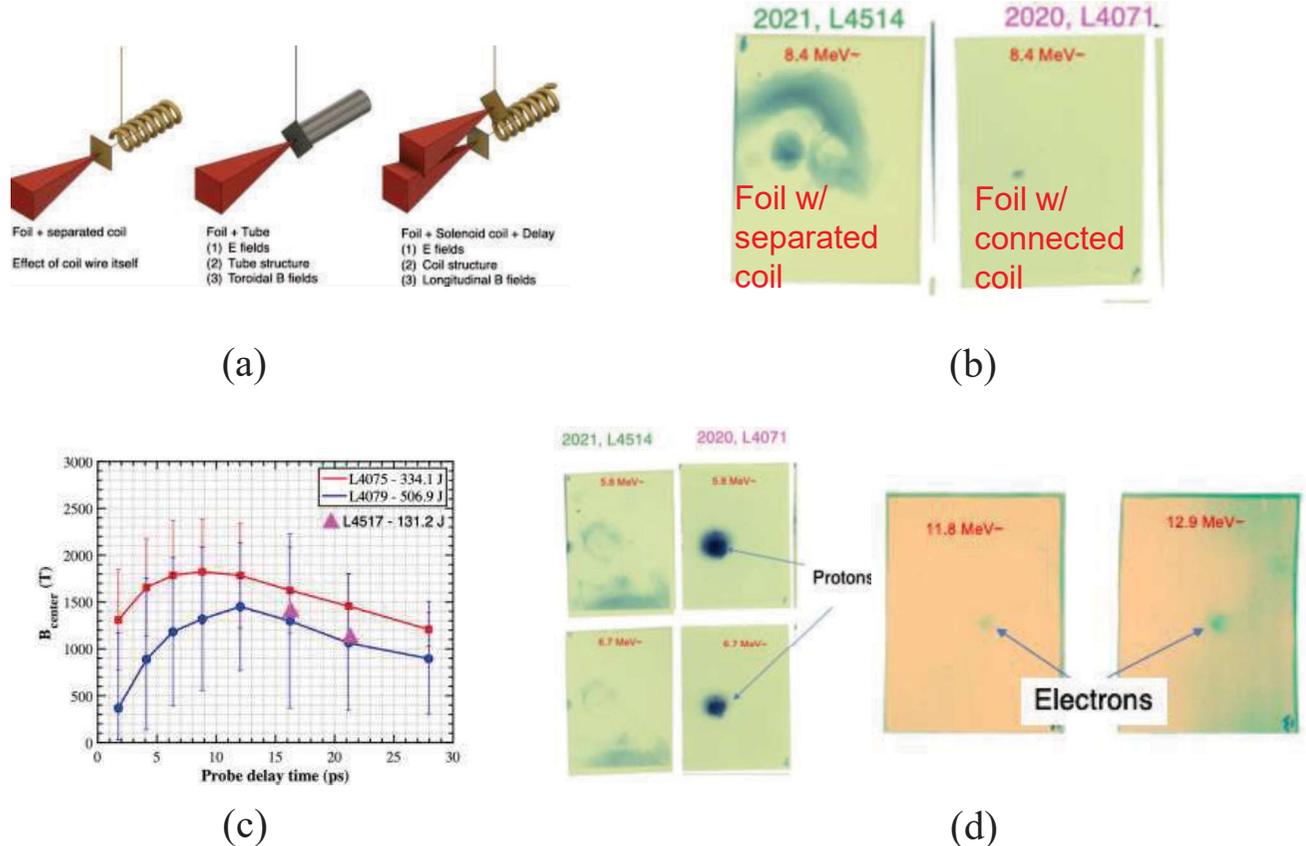


FIG. (a) The schematic of the experiments. (b) Proton pattern comparison. (c) The dependence of B field strength on laser energy. (d) The proton and electron results of foil w/ cone targets.

Empirical research of self-reformation of collisionless shock

S. Matsukiyo¹, S. Isayama¹, T. Morita¹, T. Takezaki², Y. Kuramitsu³, R. Yamazaki⁴, S. J. Tanaka⁴, K. Tomita⁵, T. Sano⁶, H. Luo¹, R. Higashi¹, K. Takahashi¹, S. Matsuo¹, T. Kojima¹, T. Oguchi², S. Kato², T. Minami³, K. Sakai³, T. Nishimoto³, A. Iwasaki³, K. Himeno³, T. Taguchi³, S. Owada³, S. Suzuki³, K. Aihara⁴, Y. Sato⁴, J. Shiota⁴, A. Takada⁴, K. Matsui⁴, P. Yiming⁵, S. Egashira⁶, M. Ohta⁶, H. Ishihara⁶, O. Kuramoto⁶, Y. Matsumoto⁶, K. Maeda⁶, Y. Sakawa⁶

1) *Kyushu University, Japan*, 2) *University of Toyama, Japan*, 3) *Osaka University*, 4) *Aoyama Gakuin University*, 5) *Hokkaido University*, 6) *Institute of Laser Engineering, Osaka University, Japan*

SUMMARY

The self-reformation of a collisionless shock is believed to be responsible for an energy dissipation including wave generation as well as particle acceleration at a collisionless shock. A high power laser experiment was conducted to empirically demonstrate the shock reformation. An ambient magnetic field is necessary to be applied in wide region of space to magnetize the surrounding gas plasma. The maximum ambient magnetic field of $B = 4\sim 6.5\text{T}$ was successfully applied by using a Helmholtz coil (FIG.A and FIG.B). The physical parameters of the created shock were measured by self-emission gated optical image intensifier, streaked optical pyrometer, framing camera (FIG C), and Thomson scattering measurement. The long time evolution of the system up to $t \sim 140\text{ns}$ was captured for the first time to show that the shock is still developing and the unanticipated collimated structure appears in the front edge of the compressed gas plasma in later time.

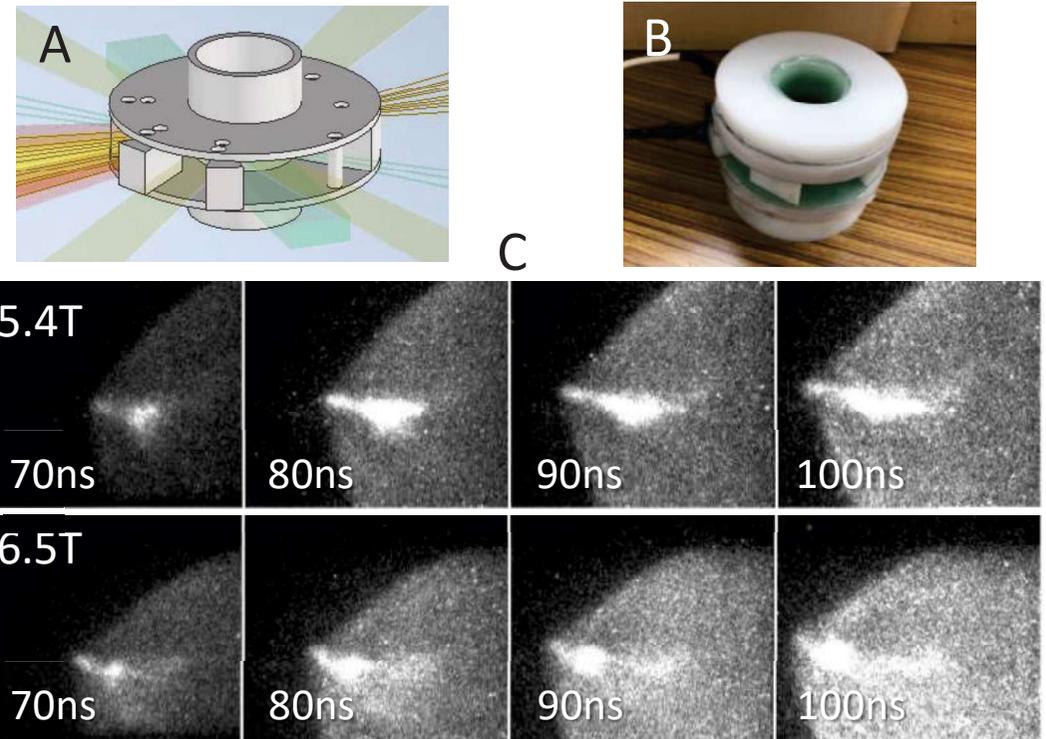


FIG. A) The holder of magnetic coil and a number of light paths. B) Photo of the magnetic coil system after electric insulating treatment. C) Self-emission intensity evolutions for $B=5.4\text{T}$ and 6.5T obtained from the framing camera.

Investigation of the structure and rate of a laser-driven magnetic reconnection

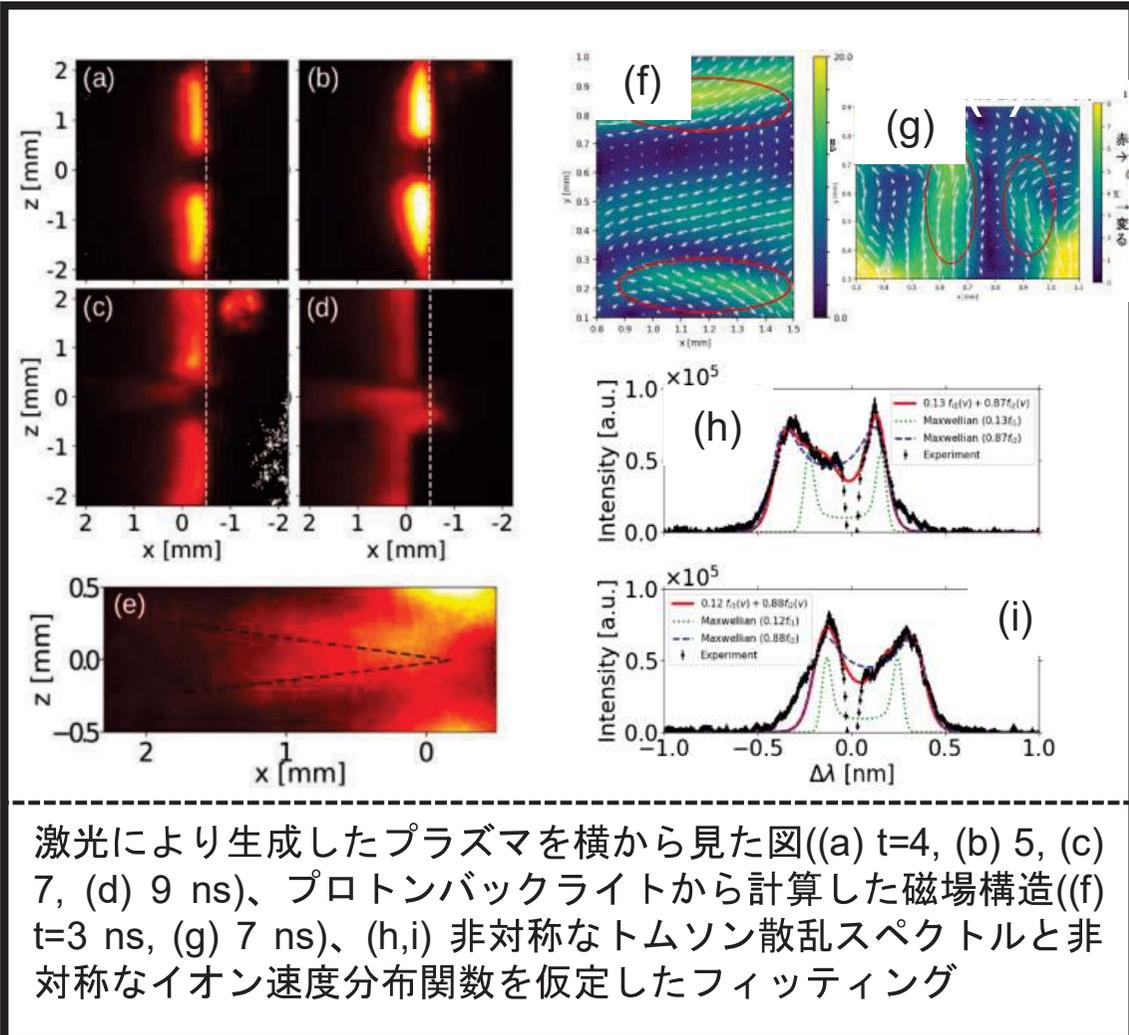
T. Morita¹, S. Matsuo¹, T. Kojima¹, S. Matsukiyo¹, S. Isayama¹, R. Yamazaki², S. J. Tanaka², K. Aihara², Y. Sato², J. Shiota², A. Takata², Y. Pan¹, K. Tomita³, T. Takezaki⁴, Y. Kuramitsu⁵, K. Sakai⁵, S. Egashira⁵, H. Ishihara⁵, O. Kuramoto⁵, Y. Matsumoto⁵, K. Maeda⁵, and Y. Sakawa⁵

1) Kyushu University, Japan, 2) Aoyama-gakuin University, Japan, 2) Aoyama-gakuin University, Japan, 3) Hokkaido University, Japan, 4) Toyama University, Japan, 5) Osaka University, Japan,

SUMMARY

激光を照射して生成した磁化プラズマ同士の相互作用で磁気リコネクションを駆動した。磁場拡散領域周辺のプラズマをレーザートムソン散乱法で計測し、磁場に垂直方向には電子・イオンの異なる速度、つまり反平行磁場間に生成された電流を検出した。また、磁場方向には非対称なトムソン散乱スペクトルを検出した。このスペクトルは非対称なイオン速度分布と解釈でき、磁気リコネクションによるアウトフローと理解できる。

また、LFEXで生成したプロトンによって磁場構造を可視化した。通常プロトンのイメージングから磁場に変換するには、電磁場による偏向されたイメージと電磁場が無い場合のプロトン像の両方が必要である。今回、2020年度と2019年度の結果を用いて、エネルギー分解した複数の画像から磁場を構築することに成功した。求めた磁場強度とそこから推測される電流シートはレーザートムソン散乱の結果と矛盾せず妥当な結果となった。これらの結果は現在論文投稿準備中である。



激光により生成したプラズマを横から見た図((a) t=4, (b) 5, (c) 7, (d) 9 ns)、プロトンバックライトから計算した磁場構造((f) t=3 ns, (g) 7 ns)、(h,i) 非対称なトムソン散乱スペクトルと非対称なイオン速度分布関数を仮定したフィッティング

Studying the interplay between shocks and magnetic fields in the Universe

P. Mabey¹, B. Albertazzi², Y. Sakawa³, T. Morita⁴, S. Matsukiyo⁴, S. Isayama⁴, R. Yamazaki⁵, S. Tanaka⁵, T. Takezaki⁶, K. Tomita⁷, T. Sano³, Y. Kuramitsu³, M. Koenig²

1) *Freie Universitaet Berlin, Germany*, 2) *LULI, France* 3) *University of Osaka, Japan*, 4) *Kyushu University, Japan*, 5) *Aoyama Gakuin University, Japan*, 6) *Toyama University, Japan*, 7) *Hokkaido University, Japan*

SUMMARY

Magnetic fields are ubiquitous in the Universe and may have an influence on any number of celestial objects as well as the medium between them. However astronomical observations using techniques such as Faraday rotation or Zeeman splitting are unable to resolve smaller scale structures within the magnetic field. For example, a supernova remnant expanding in the interstellar medium will compress the ambient magnetic field. However, this compression factor rate is unknown. Here we performed a scaled laboratory experiment to help answer this question, in which a blast wave expands under the influence of a uniform magnetic field. Optical diagnostics such as interferometry and SOP were used to track the dynamics of the system.

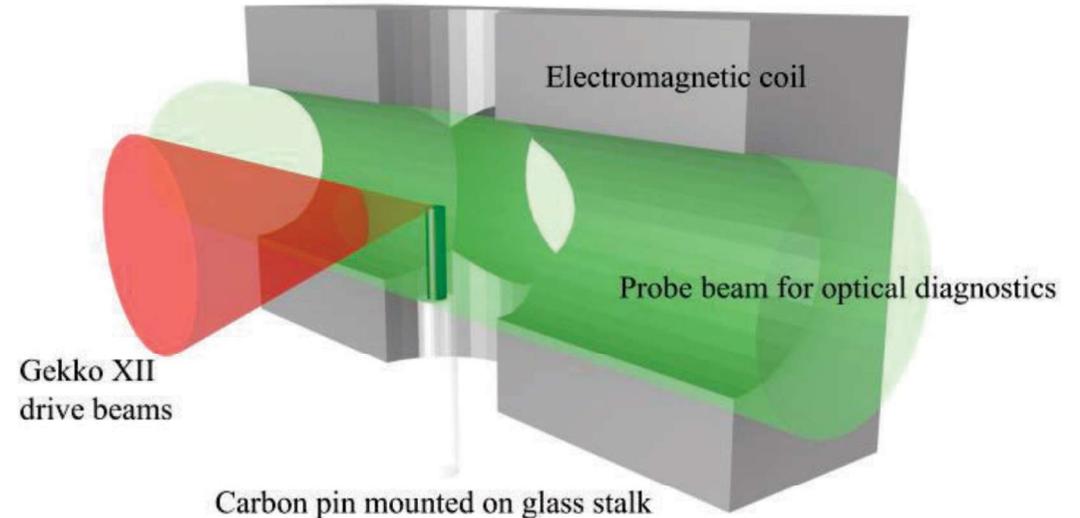


FIG. Cut-away of experimental setup at the GEKKO XII laser facility.

キャパシタコイルターゲットが生成する強磁場を用いたレーザー駆動磁気リコネクション実験
 坂和洋一^A, 江頭俊輔^B, 前田亘佑^B, 倉本織羽乃^B, 松本雄志郎^B, 石原大樹^B, 太田雅人^B, 児島拓仁^C, 松尾涼人^C,
 相原研人^D, 塩田珠里^D, 東力也^C, Y.M. Pan^C, 福田将也^E, 西村虹輝^E, 境健太郎^E, 南卓海^E, 瀧澤龍之介^B, 前川珠貴^B,
 Alessio Morace^A, 福田祐仁^F, 金崎真聡^G, 森高外征雄^H, 羽原英明^E, 蔵満康浩^E, 竹崎太智^I, 富田健太郎^J, 藤岡慎介^A,
 佐野孝好^A, 松清修一^C, 山崎了^D, 森田太智^C

A) 大阪大学 レーザー科学研究所, B) 大阪大学 大学院理学研究科, C) 九州大学 総合理工学研究院,
 D) 青山学院大学 理工学研究科, E) 大阪大学 大学院工学研究科, F) 関西光科学研究所,
 G) 神戸大学 大学院海事科学研究科, H) 核融合科学研究所, I) 富山大学 工学部, J) 北海道大学 工学研究院

SUMMARY

宇宙線の加速機構は未解明であり、磁気リコネクションはその候補とされている。磁気リコネクションは空間スケールの異なる現象が並行して起こるため、レーザープラズマ実験が有効である。

2つのキャパシタコイルターゲット (CCT) にそれぞれ激光XII号 (1.3 ns, 600 J/b, 100 $\mu\text{m}\phi$) を照射することで反平行磁場を生成させた。Al平板にLFEX (1.5 ps, <350 J/b, 30 $\mu\text{m}\phi$) を照射することでTNSAによる陽子線を発生させ磁場の計測を行った。イオン加速方向にThomson Parabola (TP) 計測器を配置してエネルギースペクトルを計測した。YAGレーザーを照射して協同Thomson散乱計測 (CTS) を行い、プラズマの速度・温度・数密度の計測を行った。プラズマからの可視自発空間分布をICCDを用いて計測した。本実験では反平行磁場配位に加えて、平行磁場配位およびCCT単体での実験を行った。

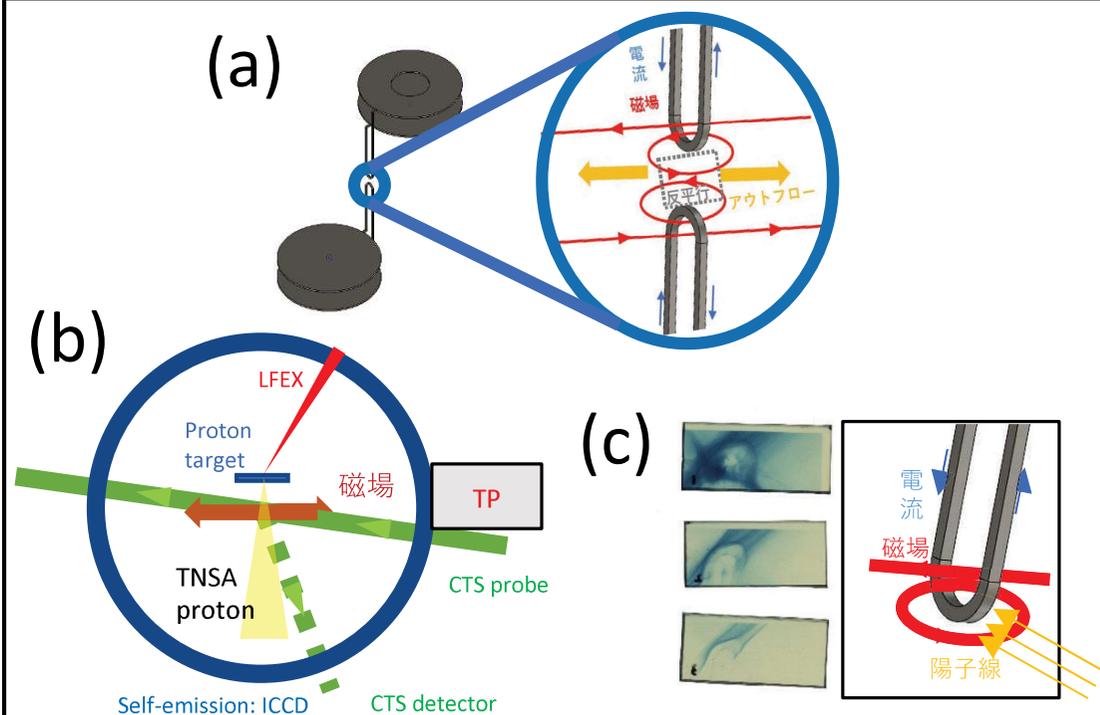


FIG.(a) CCTの配置と磁場の方向。(b)生成される磁場方向と計測器の配置。(c)左：磁場により散乱された陽子線により得られた散乱像（上から4, 5, 6 MeV プロトンの結果）。右：磁場の形状と陽子線の入射方向

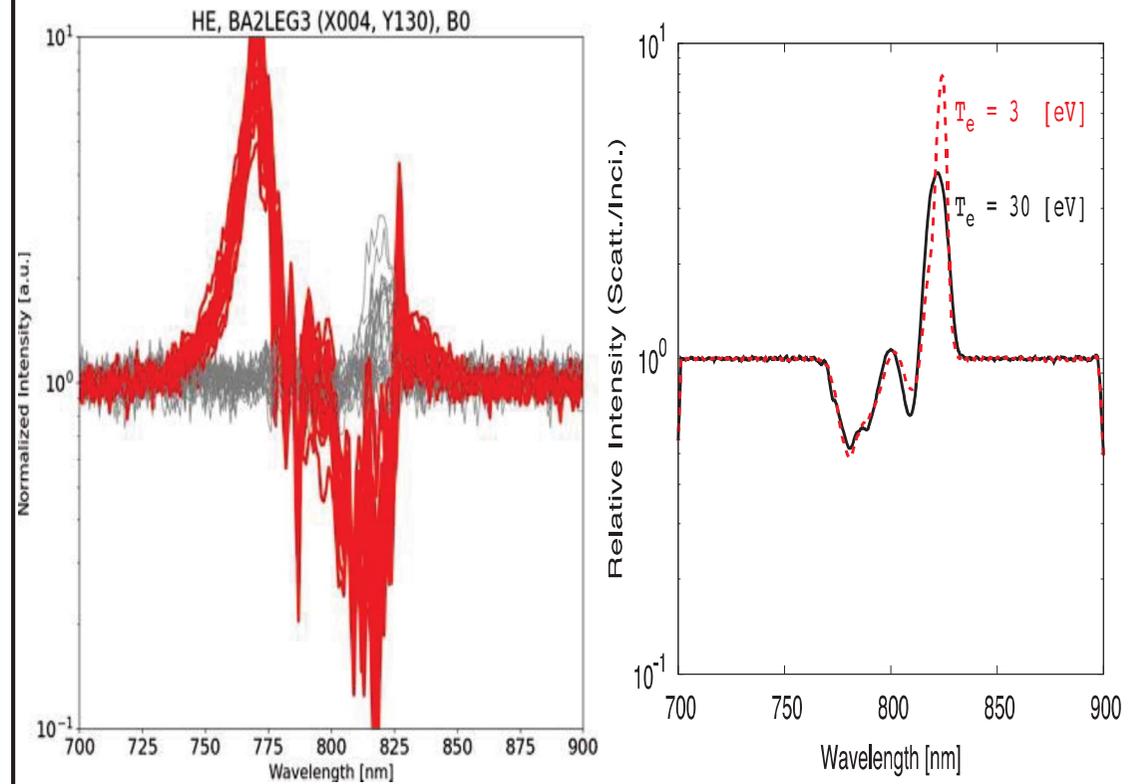
誘導コンプトン散乱のレーザー実験に向けての研究

田中周太¹, 山崎了^{1,2}, 蔵満康浩³, 福田祐仁⁴, 坂和洋一²

- 1) 青山学院大学理工学部, 2) 大阪大学レーザー科学研究所,
3) 大阪大学大学院工学研究科, 4) 関西光科学研究所

SUMMARY

本研究は「誘導コンプトン散乱(ICS)」というレーザー・プラズマ非線形相互作用の研究である。ICSの理論的研究とそれのレーザー実験での実証を目指す。右図が昨年度(2020年12月)に行われたJ-KAREN-Pレーザーを用いた実験で得られた散乱光と入射光のスペクトル強度比である。左側の赤線が実験データ, 右側が実験データを元に予想した理論曲線である。実験データの770nm付近に見られるピークはICSでは説明できないが, 820-830nm付近に現れるピークはICSで説明することができる。今後の実験で830nmよりさらに長波長側にピークが現れることが期待される。



2020年12月のJ-KAREN-Pレーザーを用いた実験で得られたデータ(左: 赤線)とICSの理論曲線(右: 赤線)。実験データの長波長側に見られるピークがICSで説明される。

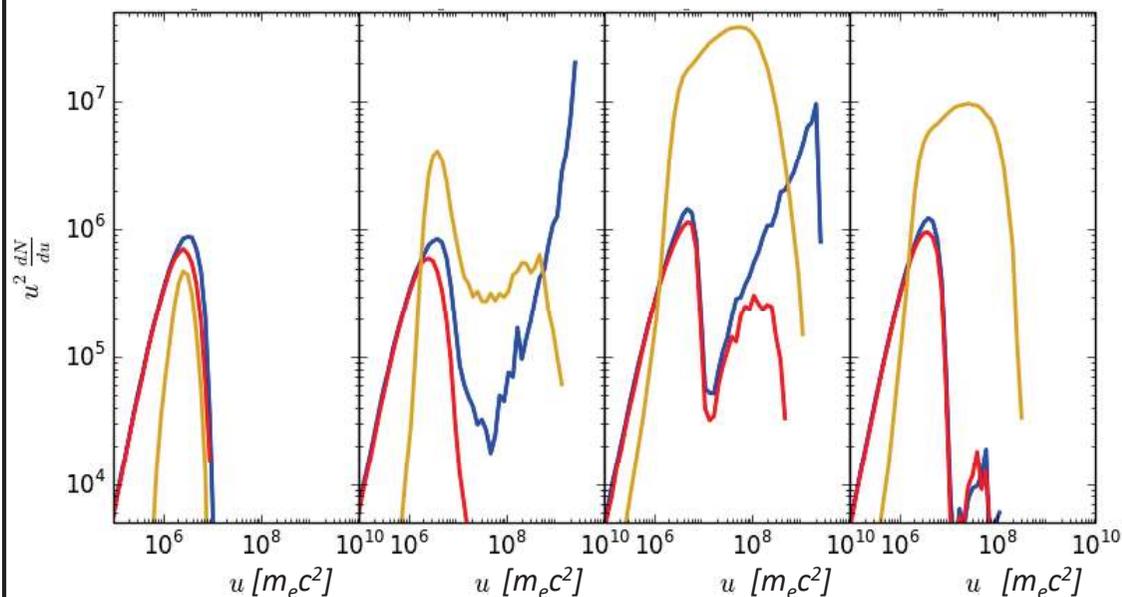
高速電波バースト解明のためのコヒーレント放射条件と誘導放射条件の実験的検証に向けた理論検討

木坂将大¹, 田中周太², 住友洋介³, 浅井朋彦⁴, 坂和洋一⁵

1) 広島大学大学院先進理工系科学研究科, 2) 青山学院大学理工学部, 3) 日本大学量子化学研究所, 4) 日本大学理工学部, 5) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

本研究は、「コヒーレント放射」や「誘導放射」の物理機構の理解を目指した、レーザー実験による検証に向けた理論研究である。本年度はコヒーレント放射が実現すると考えられている電磁カスケードの結果としてのプラズマの分布関数を図のように明らかにした。この結果をもとに擬似的に再現可能なセットアップの検討を行った。コヒーレント放射の理解は謎の天体現象である高速電波バーストの機構として有力で、その起源解明や宇宙論などへの応用への寄与も期待できる。



Particle-in-Cell シミュレーションによる電磁カスケードの結果としての電子(赤), 陽電子(青), ガンマ線(黄色)のエネルギー分布. プラズマはビーム成分と熱的成分に分かれることがわかる.

超高強度レーザープラズマ実験による宇宙ジェット伝搬における流体不安定性成長の模擬実験の検討

水田晃¹, 蔵満康浩², 西本貴博², 坂和洋一³

1) 理化学研究所, 2) 大阪大学工学研究科, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

宇宙では様々なスケールで細く絞られた超音速のプラズマ流が見られジェットと呼ばれる。ガンマ線バーストの起源も相対論的ジェット状爆発が起源だと考えられている。ジェットは星間物質中などを伝搬していく時にバウ衝撃波を形成し、その内側には高圧のコクーンを形成される。ジェットはこのコクーン圧に支えられ長距離にわたって収束を保つ。しかし、ジェットは伝搬しながら横方向にわずかに膨張、収縮を繰り返す。横方向の振動運動に伴い、ジェット界面に実効的加速度がかかり、RTIが成長し、ジェット伝搬のダイナミクスに大きな影響を与えているとされている。

ターゲット形状、入射レーザーの方向などを工夫し、超高強度レーザープラズマによって実験室で宇宙ジェットの伝搬の模擬実験が可能かどうかの検討を行っている。

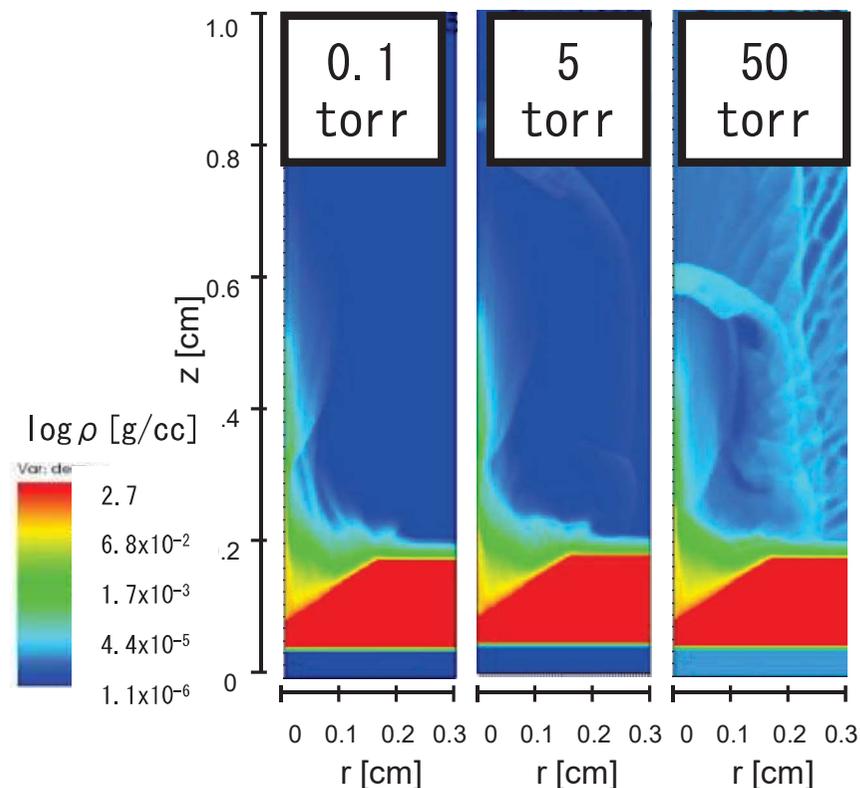


FIG. Dimple 形状のAl ターゲット表面に500J のレーザーを照射する。チャンバーにHe ガスを充填させ、そのガス圧の影響をシミュレーションで調べた(右から0.1, 5, 50 torr)。ガス圧が高い場合、アブレーションプラズマの広がりや押しえられ、ジェット状形状になりやすい結果が得られた。

非平衡プラズマ中に発生する無衝突衝撃波を用いた陽子加速

福田祐仁¹, 坂和洋一²

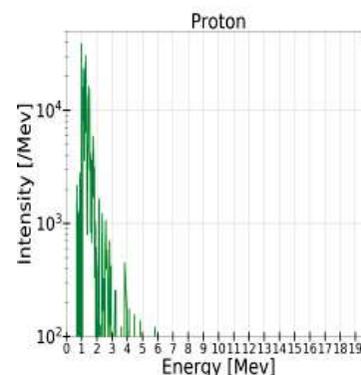
1) QST関西光科学研究所, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

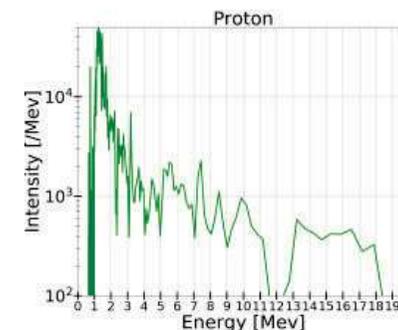
J-KARENレーザー（レーザー強度： 2×10^{21} W/cm²、パルス幅：40 fs）による、CHターゲット（厚さ：1 μ m）を用いた無衝突静電衝撃波による粒子加速において、プロトン、および、炭素イオンについて、イオン化レーザーを照射した際に、衝撃波イオン加速に由来すると思われる準単色のイオン加速が起こっていることが確認された。プロトンと炭素イオンとで核子あたりの最大エネルギーに差があったため、これらは、別々の衝撃波によって加速されていることが示唆される。

PICコードによるシミュレーションは、別々の衝撃波によって、プロトンと炭素イオンとが加速されることを示している。このような、2つの異なる衝撃波による、異なる種類のイオンの加速に関する報告はこれまでになく、本研究成果は、無衝突静電衝撃波による粒子加速において、新たな知見をもたらすものである。

イオン化レーザーなし



イオン化レーザー照射



イオン化レーザー照射

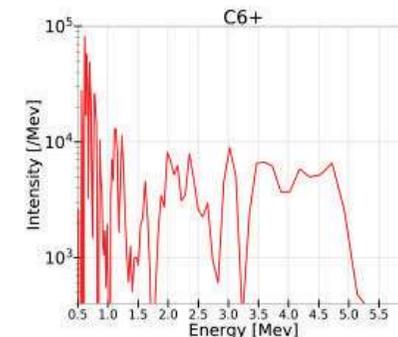


FIG. イオン化レーザーを照射しないときは、TNSA由来のプロトンのみが加速（左図）。イオン化レーザーを照射した際には、プロトン、および、炭素イオンについて、準単色エネルギーを有するイオンが観測（右図）。

ディケイグショックによる相転移カインेटクスに関する実験的検討

尾崎典雅^{1,2}, 片桐健登^{1,2}, 奥地拓生³, 梅田悠平³, 入船徹男⁴, 佐野孝好², 児玉了祐^{1,2}

1)大阪大学大学院工学研究科, 2)大阪大学レーザー科学研究所,

3)京都大学複合原子力科学研究所, 4)愛媛大学地球深部ダイナミクスセンター

SUMMARY

本研究では、ハイパワーレーザーやXFELなど最先端の量子ビームツールと、ナノ多結晶材料など初期状態を制御したターゲットを駆使して、物質材料の変形や破壊、相変化や状態変化についてマクロ-ミクロからの多面的な理解を戦略的な目標としている。当該実験では、ミクロ-ナノ結晶粒の試料を配置したターゲット開発を実施するとともに、速度干渉計による標準的な光学測定・観察が可能であることを実証した。コランダム（サファイア）および酸化マグネシウムについて初めて実験を実施し、400 GPa - 1500 GPa (0.4 TPa - 1.5 TPa) の極限的圧力領域におけるデータを世界で初めて取得した。多結晶と単結晶の試料における衝撃波伝搬の様子や生成する衝撃圧縮状態を直接比較できることを実証確認した。

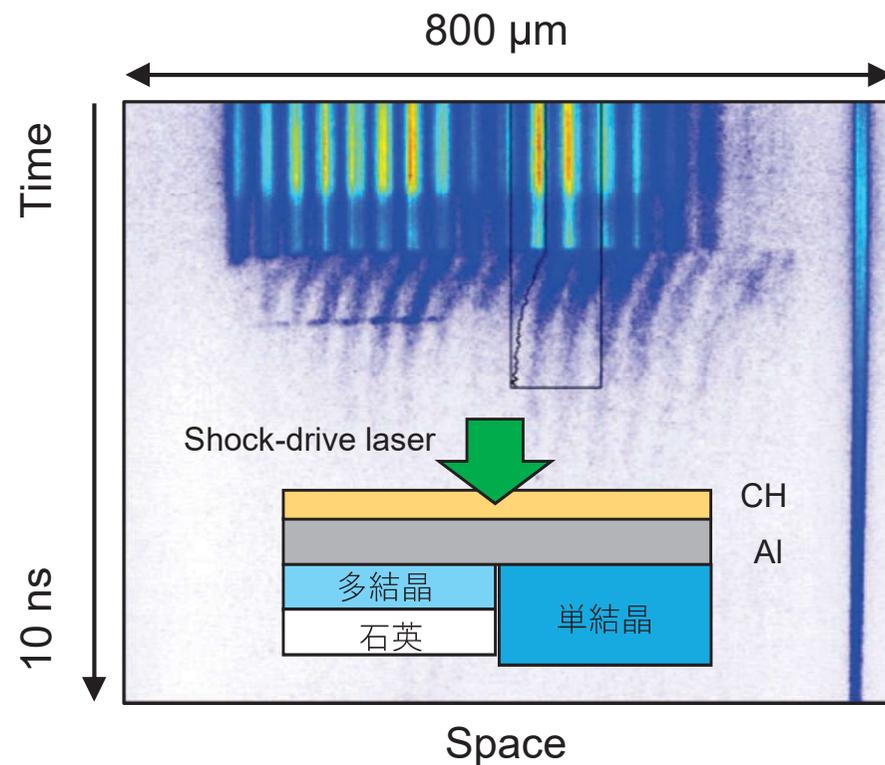


FIG. サファイアターゲットの速度干渉計（VISAR）画像の例。左側が試料となる多結晶サファイアで、裏面に標準物質である石英を貼り付けた。右側は比較対象となる単結晶サファイア。

水素化物の超高压物性計測および新奇物性探索に関する研究

榮永茉莉¹, 新田蒼真², 清水克哉¹, 佐々木岬¹, 松本聖司¹, 奥地拓生³,
佐野孝好⁴, 染川智弘⁵, 兒玉了祐⁴, 片桐健登^{2,4}, 岩本良太², 尾崎典雅^{2,4}

1) 阪大基礎工学研究科附属極限科学センター, 2) 阪大工学研究科, 3) 京大複合研
4) レーザー科学研究所, 5) レーザー総研

SUMMARY

超高压力下で高温超伝導を示す硫化水素について、ダイヤモンドアンビルセル (DAC) とレーザーショックを組み合わせたハイブリッド圧縮実験を行った。DAC内で静的予備加圧を行い、液体状態にした硫化水素に対して、レーザーショックを駆動して状態方程式データなどを取得した。

極限科学センターのグローブボックス内でH₂Sガスを低温で液化してDACへ封入し、室温で約200 MPaまでの加圧を行った。その後、GXIIでのレーザー実験では、パルス幅2.5 ns, 波長351 nm, 集光径600 μmの条件でターゲットにレーザーを照射し、VISARおよびSOPを主とした独自のショック高圧力計測システムにより衝撃波速度や放射輝度を計測した。

解析により70-230 GPaの範囲で、H₂Sについての衝撃圧縮特性が初めて得られた。本成果は静圧縮研究の結果と併せて、水素化物における温度-圧力相図や相転移などの包括的な理解に繋がるものである。

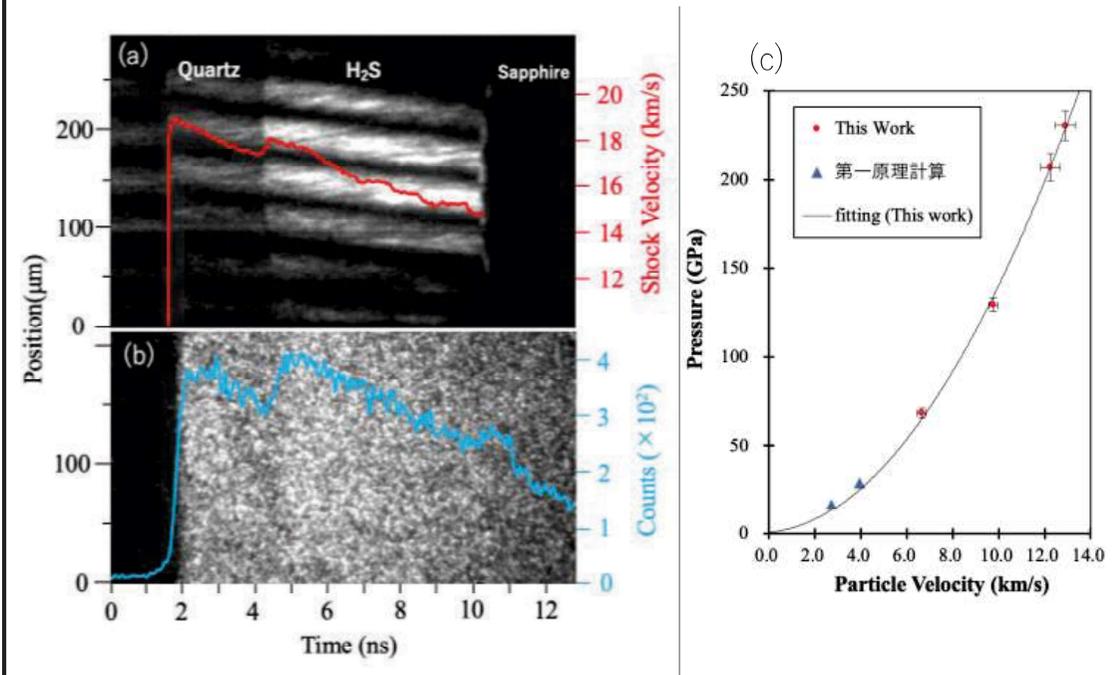


FIG. (a),(b) Raw VISAR/SOP streaked images from shot 44722, respectively. Overplotted are shock velocity (red) and SOP count (blue) temporal profiles. (c) Particle velocity vs. Pressure Hugoniot relationship.

ケイ酸塩の惑星内部における融解挙動の解明

佐藤友子¹, 遠地伽奈¹, 尾崎典雅², 上村拳生², 佐野孝好³, 兒玉了祐^{2,3}

1) 広島大学大学院先進理工系科学研究科, 2) 大阪大学大学院工学研究科, 3) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

岩石型惑星の主要構成物質であるケイ酸塩の地球・惑星中心部に相当する超高压・高温条件下の状態方程式を決定するため、 MgSiO_3 組成の高密度相であるブリッジマナイトの減衰衝撃圧縮実験によるユゴニオおよびユゴニオ温度の測定を実施した。VISAR、SOPに加え分光スペクトル測定も実施し、輻射プロファイルからの温度測定も試みた。約700GPa・10000K付近から温度変化に傾きの変化が見られた。 MgSiO_3 の融解曲線は、エンスタタイト他の外挿による推定よりも高温側に存在する可能性が示唆される。

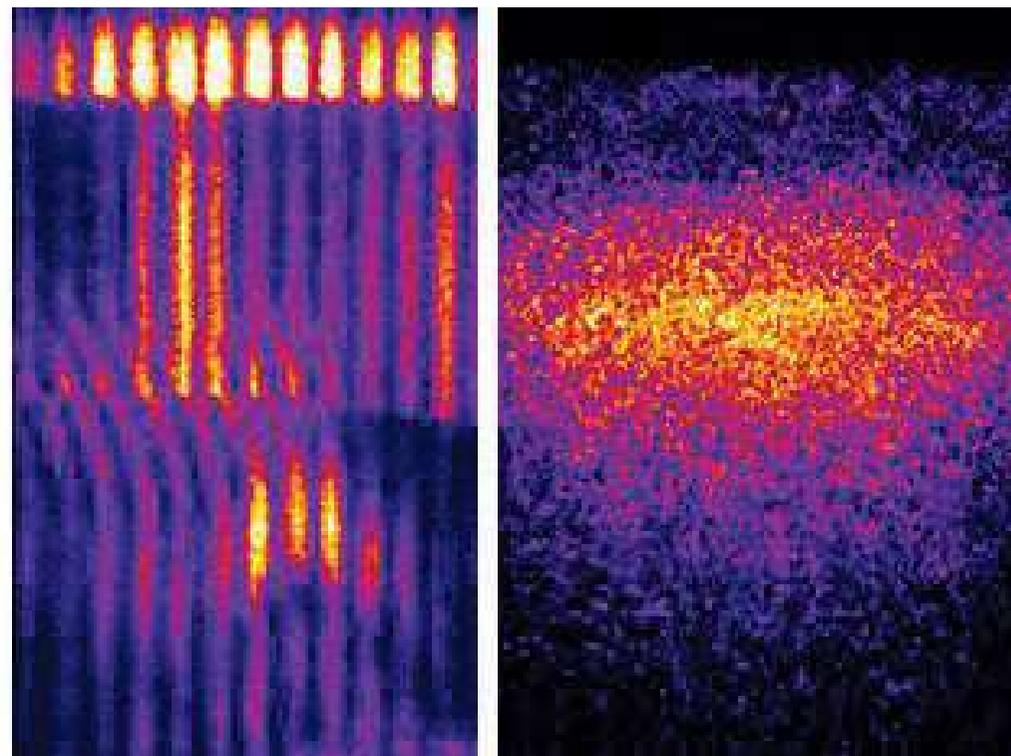


FIG. ブリッジマナイト試料の(左)VISAR・(右)SOP測定結果の一例

テラードパルスと中実球を用いた安定かつ準静的な高密度圧縮の実現

藤岡慎介^{1,2}, 瀧澤龍之介¹, 長友英夫¹, 有川安信¹, 森田大樹¹, 敦近原¹, 前川珠貴¹, 王雨波¹, 片桐健登³, 弘中陽一¹, 尾崎典雅³, 重森啓介¹, 藤域淳平³, 安部勇輝³, 羽原英明³, 蔵満康浩³, 中井光男¹, 白神宏之¹, 椿本孝治¹, 城崎知至^{4,1}, 千徳靖彦¹, 兒玉了祐^{1,3}

1)大阪大学レーザー科学研究所, 2) 核融合科学研究所, 3)大阪大学工学研究科, 4) 広島大学

SUMMARY

パルス波形整形したパワーレーザーで物質を球対称圧縮することで、静的圧縮法では到達が困難な超高压力下の物質を手に入れることができる。本研究では、将来の水素中実球の超高密度圧縮を目指して、超高密度プラズマの知見とレーザー及び計測技術を習得するために、プラスチックの中実球の高密度圧縮実験を実施している。本年度は二次元複写流体シミュレーションコードPINOCOを用いて最適化された波形を用いて圧縮実験を行った。球面湾曲結晶を用いた二次元撮像法とLFEXレーザーにて生成した単パルスX線を組み合わせることにより密度を計測した。レーザー波面の不均一性を起因とした流体不安定性が顕著に現れてしまい、高密度に圧縮することができなかった。次年度以降はランダム位相板を導入することによって、照射一様性を改善し更なる高密度圧縮を目指す。

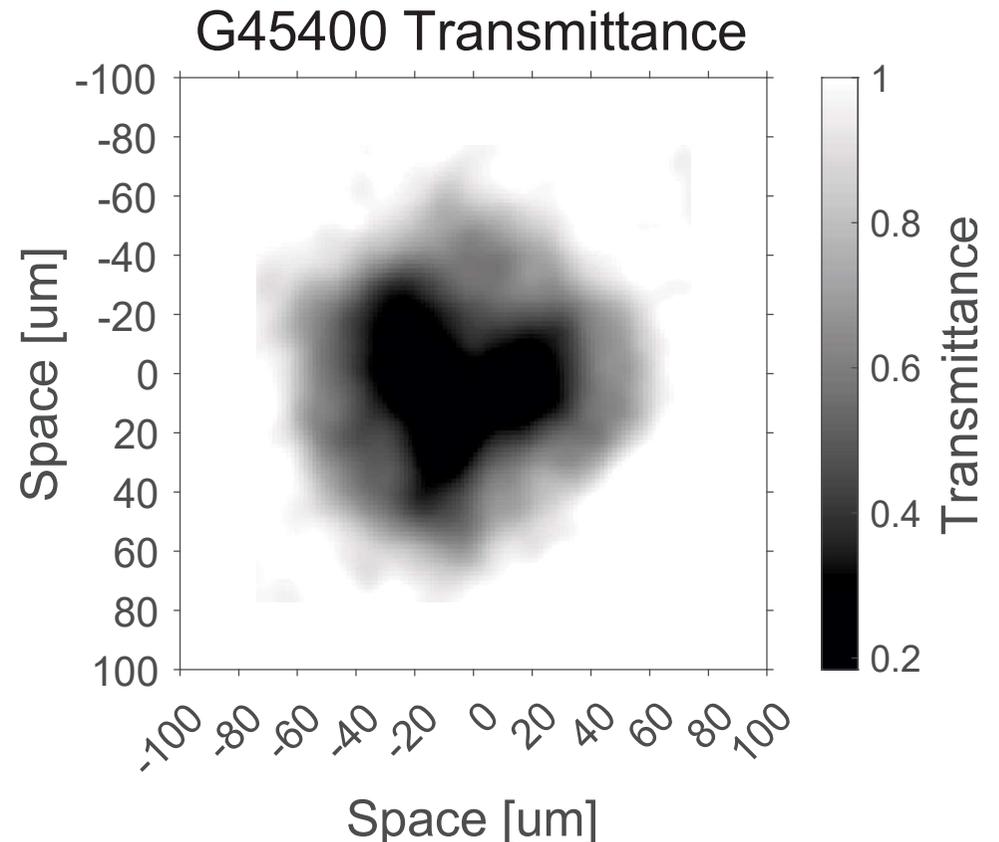


FIG. 最大圧縮後0.3nsのタイミングにて計測されたX線透過率二次元絵。中心部分にはモード3の不安定性、表面部分には高次モードの不安定性が現れている。

Behavior and optical properties of materials of planetological interest (water, carbon) at Megabar pressures

D. Batani¹, K. Shigemori², N. Nissim³, L. Perellmutter³, G. Schaumann⁴, K. Batani⁵, N. Ozaki⁶

1) Celia, University of Bordeaux, France, 2) ILE, Osaka University, Japan, 3) Soreq Nuclear Research Centre, Israel, 4) University of Darmstadt, Germany, 5) IPPLM, Warsaw, Poland, 6) University of Osaka, Japan

SUMMARY

We studied the behavior and the phase transitions of materials of astrophysical and fundamental interest (water, carbon) in the Mbar pressure range. We investigated the EOS of such materials but also their optical properties (reflectivity, refraction index) using standard SOP and VISAR diagnostics. In the experiment we used water cells containing water at normal atmospheric pressure (as in the figure) to compare results with those obtained in the previous experiment with perforated diamond anvil cells. Typically the cells had 10 μm plastic ablator followed by 0. μm Al, 100 μm quartz, the water layer (about 500-600 μm and again 100 μm quartz)

As for diamond, we used multilayer targets made of 10 μm plastics (ablator) followed by a metal layer (either 10 μm Au or 15 μm Cu) and a diamond monocrystal with orientation 100 and density 3.51 g/cm^3 , of thickness between 150 and 350 μm . This was followed by a metal step of same material and thickness. The laser energy on target was ranging in the interval 200 to 800 J. Experimental results are still being analyzed.

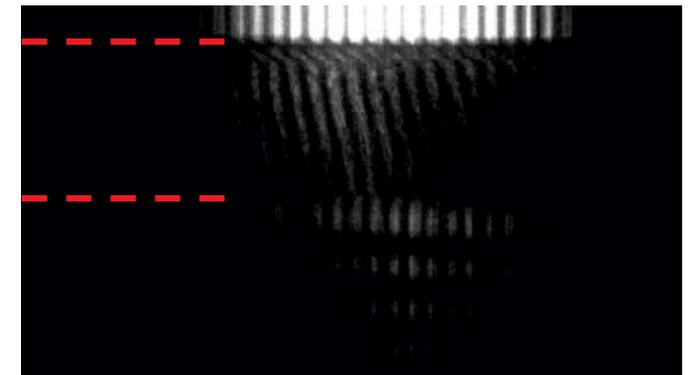
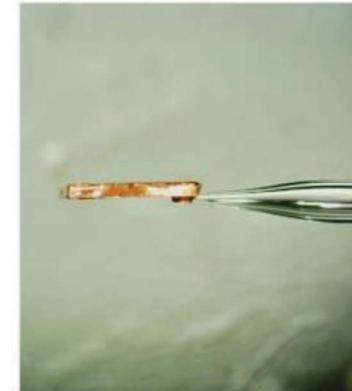
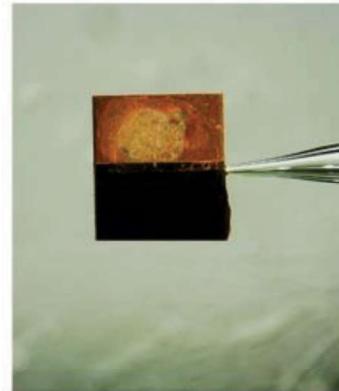


FIG. up) photo on diamond target (with metal step on the back); bottom) Photo of water cell and corresponding streak camera VISAR image showing the shock breakout at metal/quartz interface and at quartz/water interface (shot 44621, 417 J on target)

極超高速衝突シミュレーション実験による固体微粒子捕集機構の基礎開発 (2)

矢野創^{1,5}, 長友英夫², 弘中陽一郎², 佐野孝好², 田端誠³, 平井隆之⁴, 中澤淳一郎⁵

- 1) 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, 2) 大阪大学レーザー科学研究所,
3) 千葉大学, 4) 千葉工業大学, 5) 総合研究大学院大学

SUMMARY

地球外生命の探索に直結する海洋天体プルームのサンプルリターンの実現を目指し、(1) 10ミクロン径の微粒子を10km/s以上の超高速度で標的へ単発で衝突させる実験設備の構築と、(2) 微粒子の衝突生成物から物質情報を回収できる採取機構の基礎開発を行っている。

第二年度の2021年度にはまず、衝突生成物の吸着採取に関する特許を申請した。その後、初年度に製作した実験系と解析結果を用いて、レーザー照射で超高速衝突を模擬する原理確認実験と熱力学計算を実施した。実験では、太陽風サンプルリターン探査機Genesisで宇宙実績のある鏡面加工物質に衝突生成物を当て、吸着された収量を測定した。

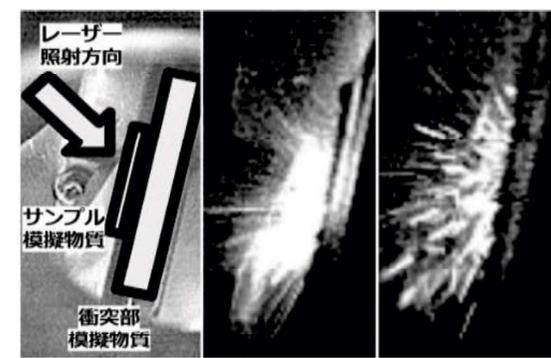
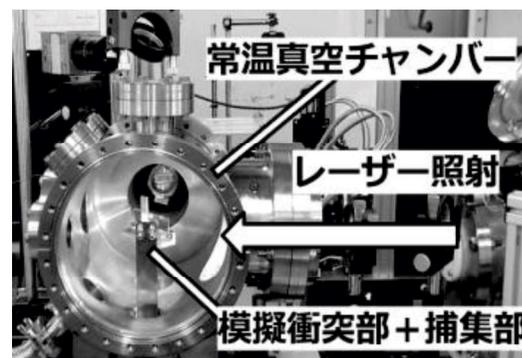
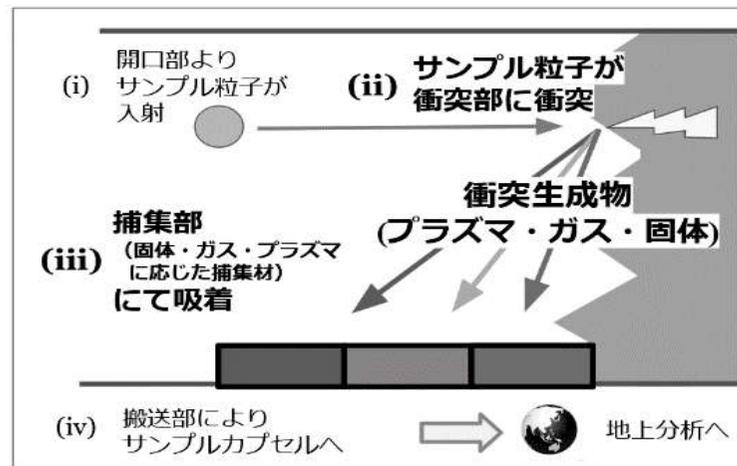


FIG. (上) 衝突生成物捕集機構の概念図 (矢野他、特願2021-118319より改訂)、(下左) 原理確認実験設備、(下右) レーザー照射で模擬海洋天体物質が放出され、吸着材に衝突する様子。

Zeeman splitting in the EUV spectrum emitted from a magnetized silicon plasma

Z. Zhong¹, Y. Abe^{2,4}, K. F. F. Law³, A. Yogo⁴, A. Morace⁴, T. Sano⁴, M. Murakami⁴, S. Fujioka⁴

1) *Institute of Physics, Chinese Academy of Science, China*, 2) *Graduate School of Engineering, Osaka University, Japan*, 3) *The University of Tokyo, Japan*, 4) *Institute of Laser Engineering, Osaka University, Japan*

SUMMARY

Combining a seed field of more than 100 T, microtubes, and a short-pulse power laser is expected to generate a magnetic field of up to 100 kT. A hollow capsule is used as a proton source to generate a spatially uniform proton beam, which improves the accuracy of magnetic field measurements. The two on-axis micro-coil targets were irradiated with LFEX laser (300 J/1.5 ps x 2 beams) to generate a seed magnetic field of more than 200 T at the microtubule position. The realization of an ultra-high magnetic field comparable to that on the surface of a white dwarf star has led to the study of extreme atomic states (nonlinear Zeeman effect, Landau quantization) in the laboratory.

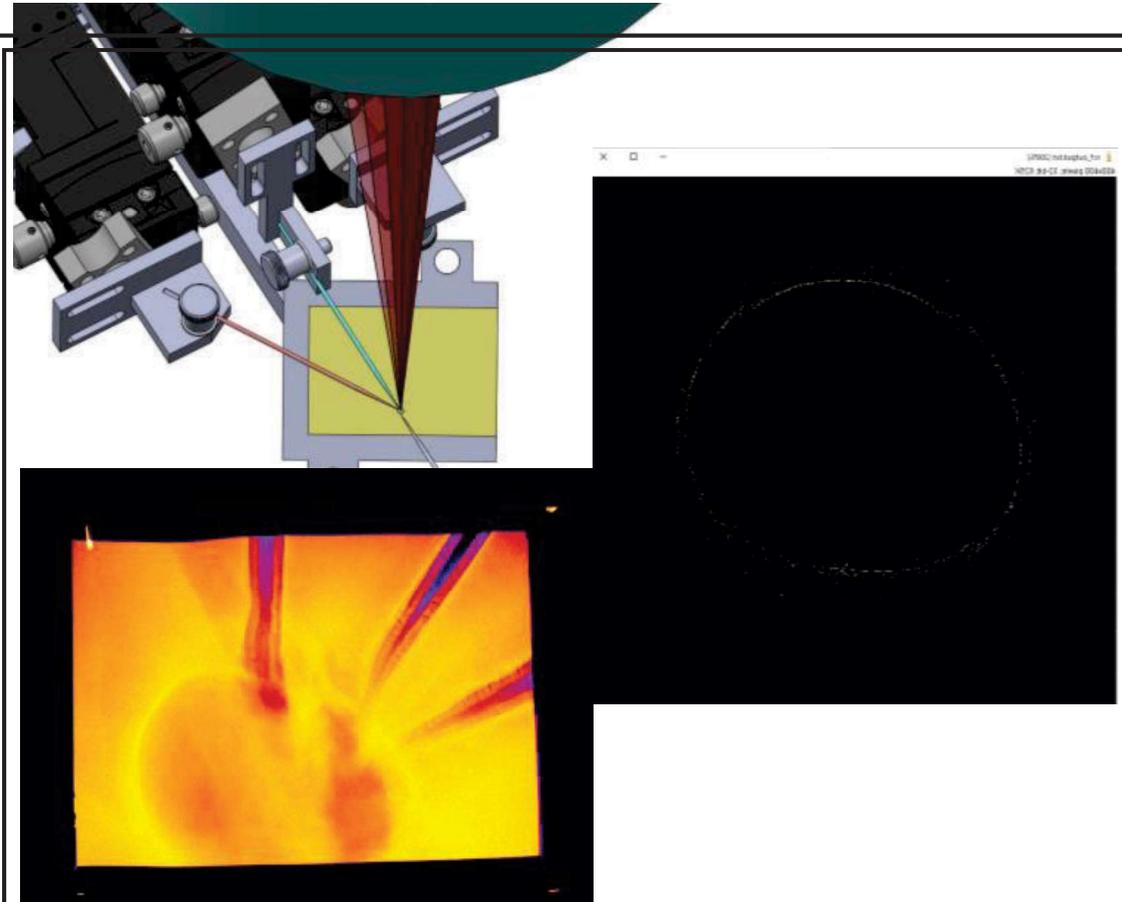


FIG. 1 Proton radiography image of laser-driven coil target to produce extremely strong magnetic field for Zeeman splitting experiment.

Study of Magnetic Reconnection using Laser-driven Capacitor Coils

Shu Zhang¹, Lan Gao², Abraham Chien¹, Hantao Ji^{1,2}, Ryunosuke Takizawa³, Shinsuke Fujioka³, Youichi Sakawa³, Taichi Morita⁴

1) Princeton University, USA, 2) Princeton Plasma Physics Laboratory, USA

3) Institute of Laser Engineering, Osaka University, Japan, 4) Kyushu University, Japan

SUMMARY

Magnetic reconnection is ubiquitous in space and astrophysical plasmas, rapidly converting magnetic field energy into plasma particles. Under this collaborative program, we have conducted an experiment with GEKKO XII and LFEX lasers using laser-driven capacitor coils to create reconnection environment with antiparallel magnetic field in low-beta plasmas and diagnosed the x-ray and optical emissions, Thomson scattering, and particle acceleration during the reconnection. The streaked and pinhole x-ray images captured the x-ray emission in the reconnection region, indicating plasma heating, which will be compared with rad-MHD simulations to infer the field energy conversion. The x-ray emission is also correlated with the hot electrons captured by the electron spectrometers. Detailed data analyses and their comparisons with Rad-MHD and PIC simulations will be conducted to further understand the mechanism of the plasma heating and particle acceleration in reconnection.

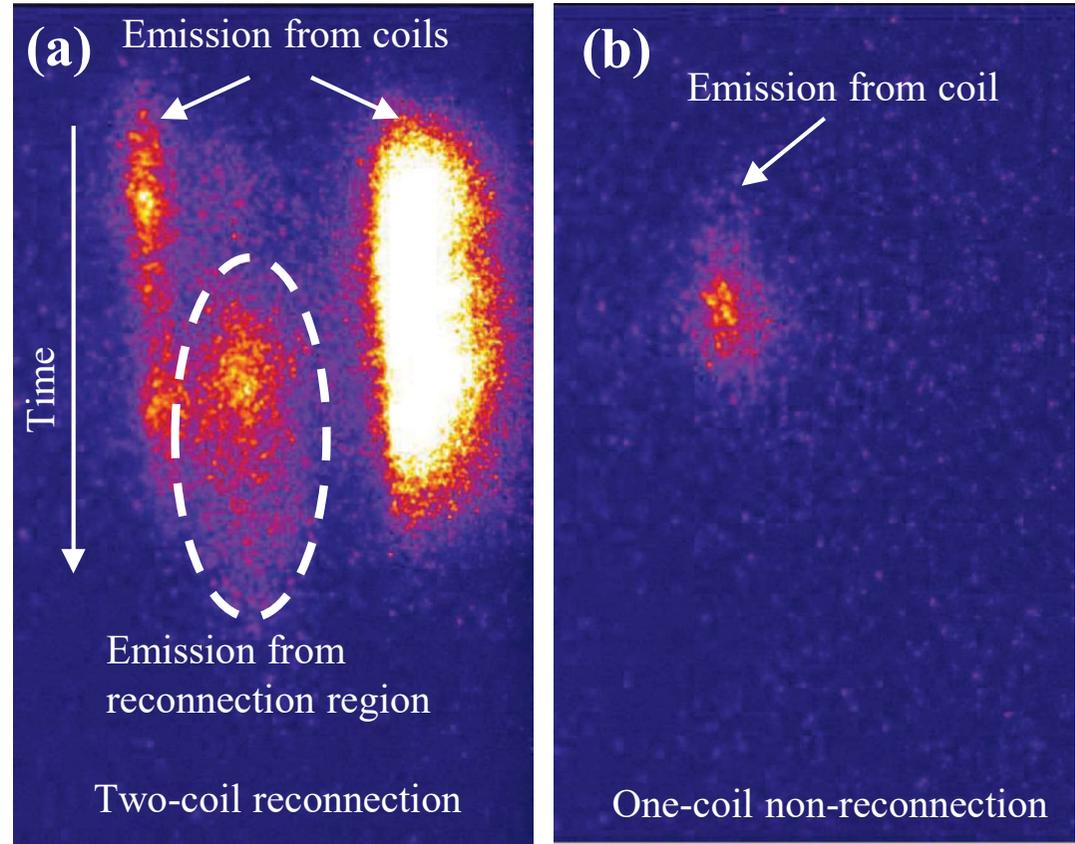


FIG. Spatiotemporally resolved x-ray emission from (a) two-coil target (reconnection) and (b) one-coil target (non-reconnection). The emission circled by dashes is from the reconnection region between the coils.

Study on generation of a large electric current generation by using two-wavelengths and polarizations mixed ultra high intensity laser

Y. Arikawa, S. Fujioka, A. Morace, K. Tsubakimoto, T. Suda, S. Asano, H. Shiraga
Institute of Laser Engineering, Osaka University

SUMMARY

We experimentally demonstrated to generate electrons more efficient by using fundamental and second harmonics mixed LFEX beam. Four beams of LFEX with an energy of 300 J of fundamental was converted to fundamental 150 J and second harmonics 150J mixed beam by LBO frequency conversion crystal equipped to LFEX laser beamline. Homogenous beam pattern in second harmonics is observed which ensures the fundamental/second harmonics beams are well overlapped at the focal spot. Electron and proton energy spectrums are compared for fundamental only and the mixed beam. Taken into account of that intensity of the laser beam was different at a target, the number of the electron is slightly increased for the mixed beam.

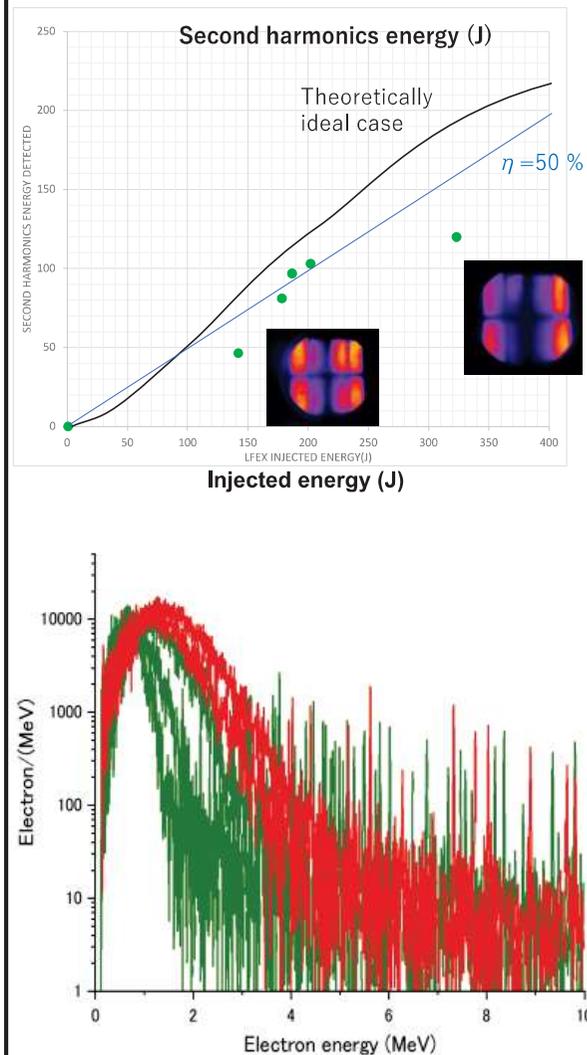


FIG. 1 Experimentally obtained second harmonics energy (vertical axis) for injected fundamental energy (horizontal axis). Second harmonics beam pattern is also seen as inset figure.

FIG. 2 Electron energy spectrum compared for fundamental (two red lines) and second harmonics and fundamental mixed (three green lines). Total laser energies are similar for five shots but the peak intensity for the mixed beam shot is 2.5 times smaller than fundamental beam.

レーザー駆動純粋水素・重水素加速の実証

岩本晃史、余語覚文*、田邊大貴*、T. Wei*、勝常也*、中井光男*

核融合科学研究所

*大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

理想的なプラズマターゲットである固体水素薄膜を実験的に実現することで、ピコ秒高強度レーザーとプラズマの相互作用の解明を通じて、大幅な加速の効率化と、新しいイオン加速機構の実証を目指す。また、純粋固体重水素薄膜を実現することで、レーザー駆動中性子源の中性子強度を上昇させることを目指す。

2021年度では、固体重水素薄膜を真空中に生成することに成功した。この時、固体が急速に昇華する様子は見られなかった。これは、昇華熱が奪われることでターゲット温度がさらに低下し、固体がより安定になる条件を実現できたためである。

LFEXレーザーショットにより加速されたイオンを分析したところ、重陽子のみが加速され、表面不純物に起因する陽子や炭素 (C^{1-6+}) は加速されなかった。純粋重水素薄膜からのイオン加速が起こったことを実証するファーストデータであり意義が大きい。重陽子の最大エネルギーは 3.2 MeV/u (全エネルギー 6.4 MeV) であった。今回の膜厚は 1mm 程度であり、来年度は厚さを最適化する。

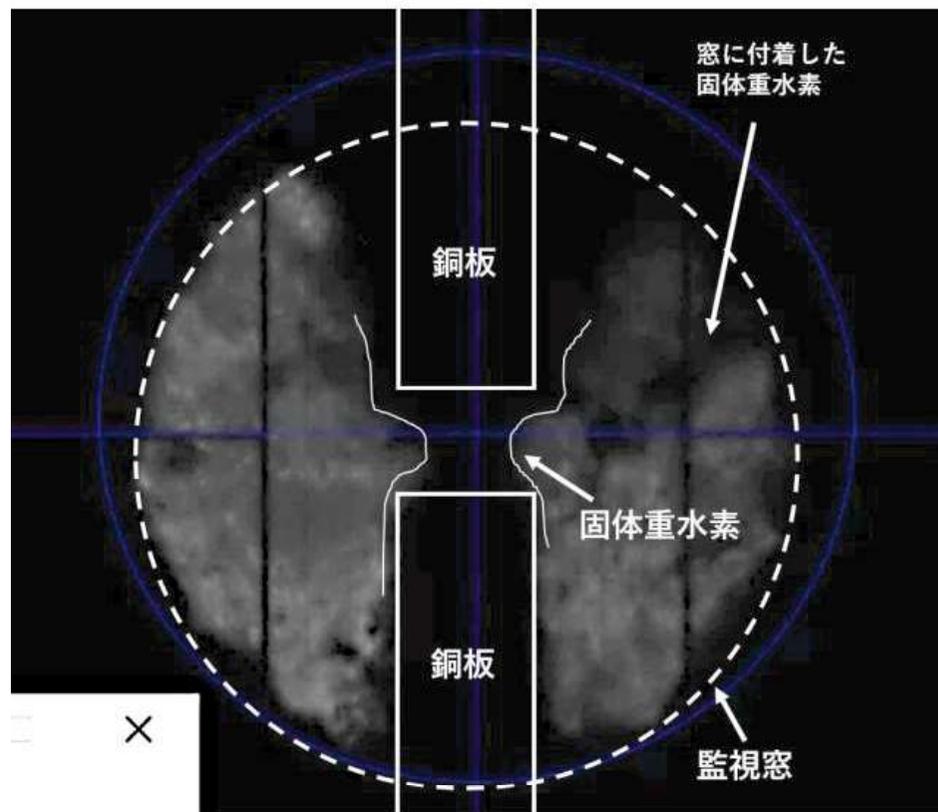


FIG. LFEXチェンバーで製膜した固体重水素薄膜。銅のスリットに生成されたところを真横から撮影。右方向からLFEXを集光し、左方向へイオンが加速される。

超高強度レーザーによる高電離重金属プラズマの形成過程の解明

西内満美子¹, N. P. Dover², 高木悠司^{3,4}, 畑昌育¹, 近藤康太郎¹, 榎泰直¹, 岩田夏弥^{3,5}, 杉本馨^{3,4}, J. Koga¹, 千徳靖彦³

1) 量子科学技術研究機構関西光科学研究所, 2) Imperial College London, 3) 大阪大学レーザー科学研究所, 4) 大阪大学理学研究科, 5) 大阪大学高等共創研究院

SUMMARY

超高強度レーザーを重金属に照射することで、極限的な高電離・高エネルギー密度プラズマを生成することができる。生成されるプラズマは高エネルギー重イオンビーム源 [M. Nishiuchi *et al.*, Phys. Rev. Research **2**, 033081 (2020)] や高輝度X線源 [K. Sugimoto *et al.*, High Energy Density Phys. **36**, 100816 (2020)] として応用が期待される。本研究では、超高強度レーザー駆動イオン加速の特性を調べるため、関西光科学研究所のJ-KAREN-Pレーザーを含むレーザー実験データとプラズマ粒子シミュレーションデータに対してベイズ統計に基づく多変量解析を行い、イオン加速最大エネルギーのスケージング則を導いた [Y. Takagi *et al.*, Phys. Rev. Research **3**, 043140 (2021)]。イオン加速は、レーザーにより生成された高エネルギー密度プラズマの特性を表す指標であり、今後この知見を重金属プラズマの形成過程の解明にも応用していく。

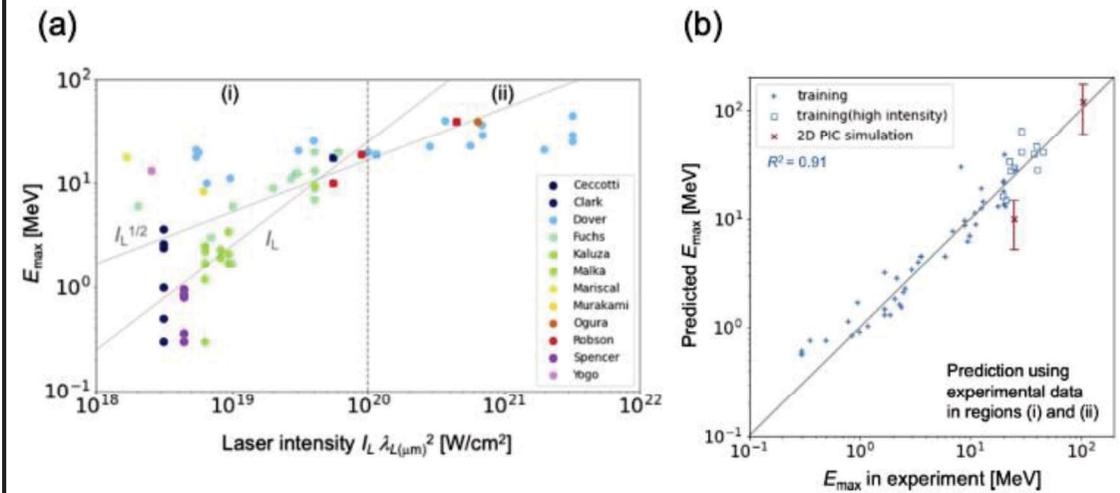


FIG. 1 レーザー駆動プロトン加速の最大エネルギー E_{\max} に関してベイズ統計に基づく多変量解析を行った結果。(a) 使用したレーザー実験データの分布。(b) 多変量解析で得られた予測値（縦軸）と実験値（横軸）。青点は解析に用いた訓練データ、赤点は実験に対応する2次元プラズマ粒子（PIC）シミュレーション。 [Y. Takagi *et al.*, Phys. Rev. Research **3**, 043140 (2021)]

連続供給重水ターゲットによる高繰り返しレーザー生成プラズマ量子ビーム源の開発

東口 武史¹, 安部 勇輝², 藤岡 慎介²

1) 宇都宮大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

半導体リソグラフィ用露光用極端紫外 (EUV) 光源やセキュリティー分野で注目されている中性子源は基礎研究にとどまらず産業応用として展開する重要な応用であるが、高いスループットのため、高い繰り返し動作を要する。レーザー生成プラズマでは、レーザーには高繰り返し動作、ターゲットの高速連続供給技術が必要である。そこで、高繰り返しで動作できる連続供給ターゲットとしての重水ターゲットを開発する。

本年度は大気中または低真空度で水ジェットターゲットを発生できるようになった。今後は、レーザー照射実験に向けて、粒子計測用フェラデーカップなどを用意する予定である。

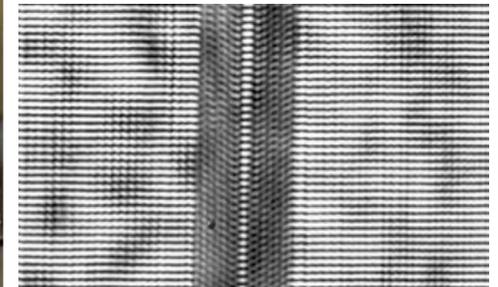


FIG. 液体ジェット装置の組み立てを完了した。大気中では最小直径 $10\ \mu\text{m}$ まで噴射可能になった（写真は $500\ \mu\text{m}$ ）。また、真空中の軽水ジェットの陰影像と干渉縞を観測した（ノズル先端から約 $5\ \text{mm}$ 下流を観測）。

中性子による新しい土壌水分計測システムの開発

徳本家康^{1,2}, 余語覚文², 有川安信²

1) 佐賀大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

中性子による新しい土壌水分計測システムの開発のため、中性子バブル検出器（BDTおよびBDS10、100、600、1000）を用いた圃場試験を行った。圃場試験（南阿蘇夜峯山）では、土壌水分量（ θ ）を計測するため、土壌採取および電磁波を用いた土壌水分計測法（TDR法）を使用した。

実験では、宇宙線中性子が θ に影響するとされる計測領域を設定し、15カ所において θ を計測した（FIGs. a, b）。本研究の試験圃場では、土壌有機物含量の違いにより、水分量の変動性が大きかった。また、計測領域の中心地で中性子バブル検出器による計測を試みた。中性子バブル検出器ではバブルがほとんど検出されず、BDS1000においてもほとんど不検出であった。この成果は、今後の検出器デバイスの開発において重要な知見である。

今後は、宇宙から降り注ぐ高速中性子に焦点を当てた計測により、原位置における中性子バックグラウンド補正の高精度化が期待される。

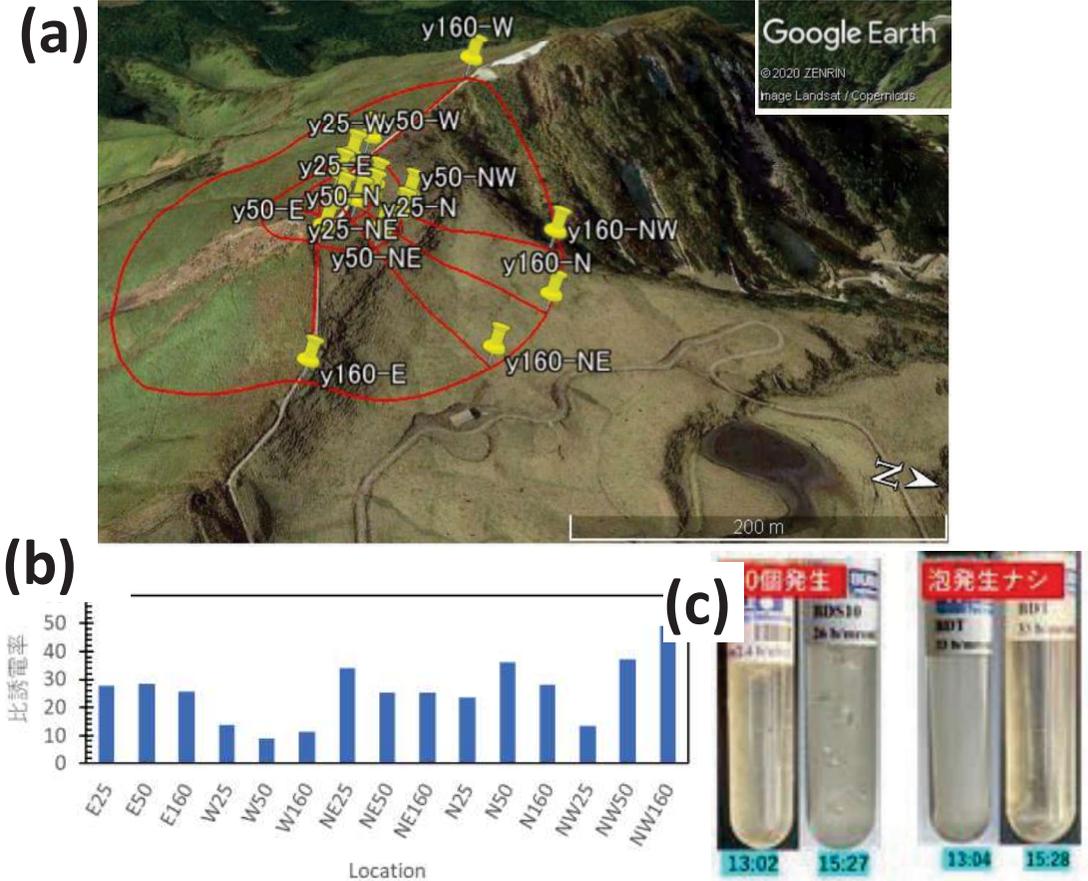


FIG. 圃場における計測: (a) 土砂災害地域における土壌採取および θ 計測位置, (b) θ 計測（比誘電率）の結果, (c) BDS100およびBDTのバブル検出の例

DPSS方式589nmレーザーにおける Qスイッチによる高パルスエネルギー化

井上峻介, 有川安信,
京都大学化学研究所, 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

レーザー科学研究所有川安信先生が開発を進めている黄色光レーザー発振器についての共同研究を行なっている。この装置はNd:YAG結晶に波長808nmのLDで励起し、1064nmと1319nmを同時に発振させて、KTP結晶で和周波により589nm光を発振させている。パルス化のためにLDの電源に変調をあててパルス整形をしているが（図に示す波形が得られている）、Qスイッチ動作によりピーク強度をさらに高めることが望まれている。発振器は非常にコンパクトに設計されており、ミラーコートされたNd:YAG結晶とKTP結晶と共振器ミラーが1mmの隙間で配置され、安定かつ高効率な発振が実現している。本年度はQスイッチのために受動Qスイッチの実験を行なった。受動Qスイッチとして過飽和吸収体結晶V:YAGおよびCr:YAG挿入して実験したところ、また損失が大きくなりすぎて発振に至らなかった。次年度は超小型音響光学素子によるQスイッチ実験を予定している。

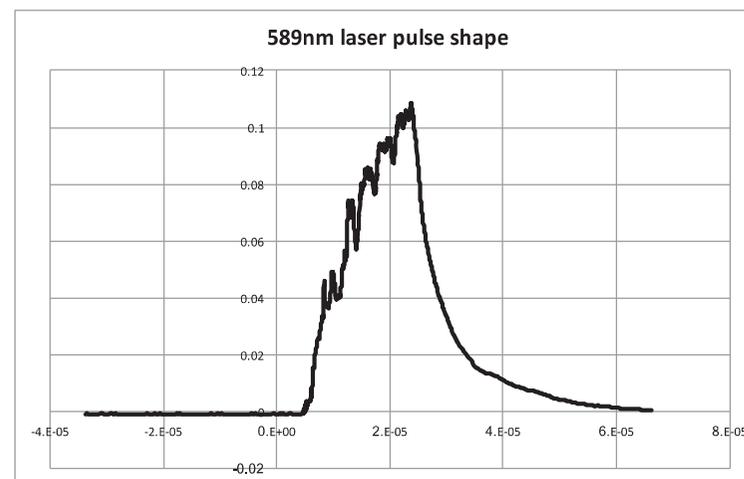


FIG1. 固体発振装置式、波長589nmレーザー装置のパルス動作試験の様子と、得られたパルス波形

スピン偏極重水素の核分解反応における中性子発生に関する理論研究

佐藤透, 有川安信,
核物理研究センター, 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

レーザー科学研究所有川講師が目指す、重陽子の核分解反応における分解閾値付近での超高指向性中性子発生反応について、ガンマ線および電子入射の条件に対する核分解反応断面積、および発生する中性子の角度分布について、理論的計算から導出した。

図1に、に電子線入射、電子運動エネルギーは核分解閾値エネルギー(2.224...MeV)+1eVを入射させた場合の中性子の運動エネルギーの分布の計算結果を示した。0.96keV \pm 10%程度のモノエネルギー中性子が発生することが理論的に示された。同様にガンマ線入射、ガンマ線エネルギーが閾値エネルギー+1eVの場合は、中性子の運動エネルギーの中心は0.65keV \pm 5%程度であった。反応断面積は電子に比べてガンマ線の方が13700倍高いことが示された。

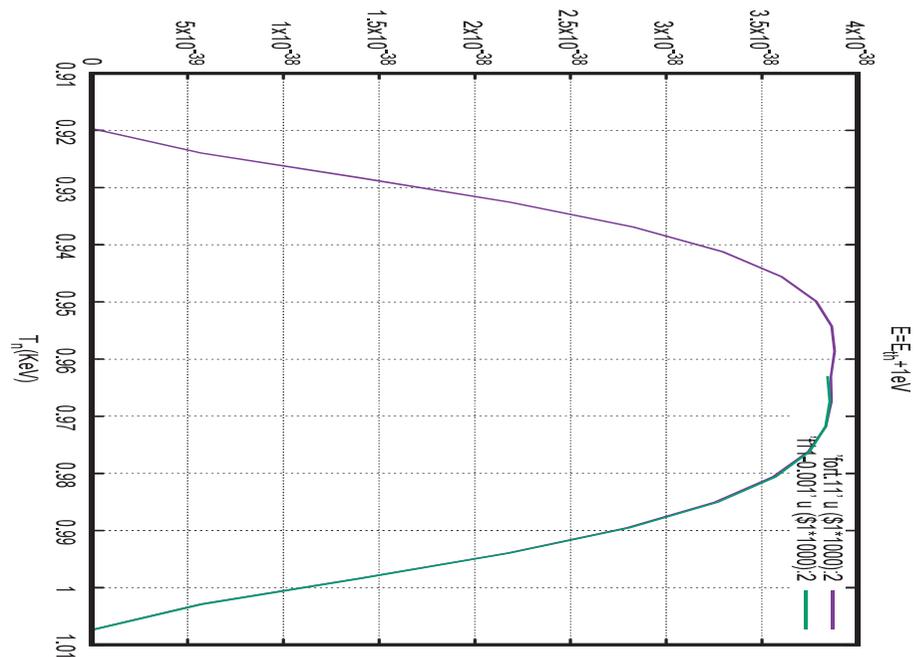


FIG1. 理論計算における、電子-重陽子核分解反応で発生する中性子のエネルギー分布。電子線運動エネルギーは分解閾値エネルギー(2.224...MeV)+1eV単色を仮定している。分解閾値エネルギーは中性子と陽子の質量合計と重陽子の質量の差に相当する。

高効率冷中性子発生のための固体重水素薄膜生成手法の開発

岩本晃史、余語覚文*、田邊大貴*、T. Wei*、勝常也*、中井光男*

核融合科学研究所

*大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

理想的なプラズマターゲットである純粋固体重水素薄膜を実験的に実現することで、大幅な加速の効率化と、レーザー駆動中性子源の中性子強度を上昇させることを目指す。

2021年度では、固体重水素薄膜を真空中に生成することに成功した。この時、固体が急速に昇華する様子は見られなかった。これは、昇華熱が奪われることでターゲット温度がさらに低下し、固体がより安定になる条件を実現できたためである。厚さ1および0.5 mmのスリット板を使用して、スリットと同程度の厚さの固体重水素が成膜されることを確かめた。ターゲット位置アライメント～安全確認・退避～レーザー充電・ショットに要する時間（約20分）で十分に固体の状態を保持することができた。固体の保持時間にはまだ余裕がありそうなので、2022年度ではさらに薄い領域に挑戦する。さらに薄いスリットを使用できる改良を施したほか、固体生成部の熱伝導経路を見直し、より低温を実現するための装置の設計を実施した。

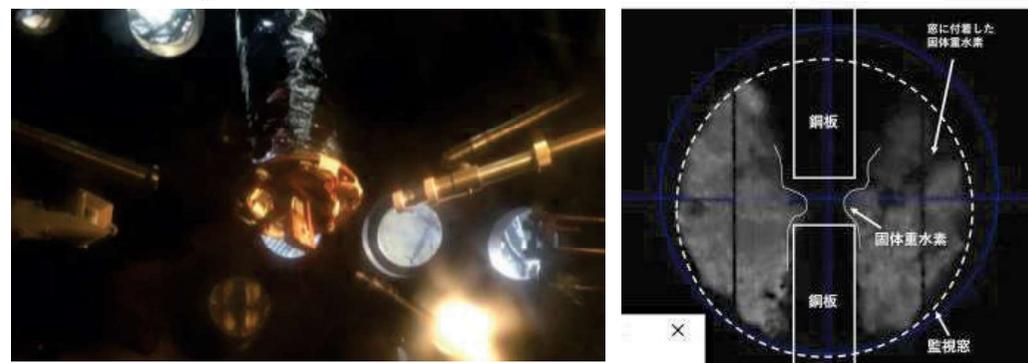
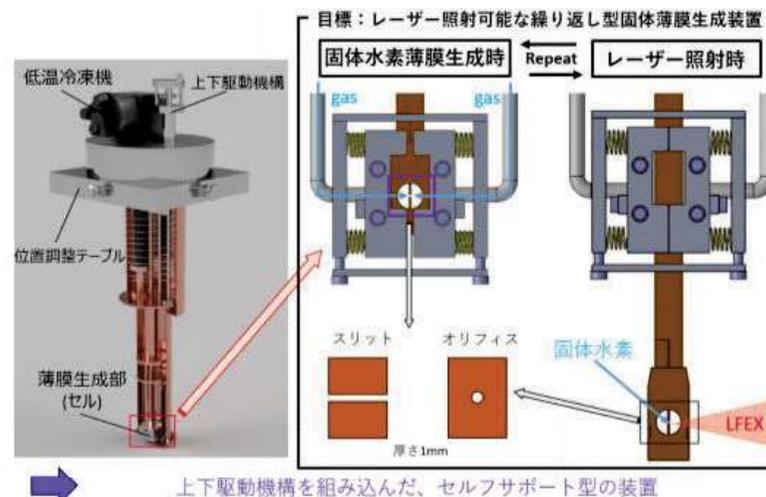


FIG. 開発した固体重水素薄膜装置。小室で水素薄膜を成膜し、ショット時に集光点へ移動させる。セルフサポートの固体重水素を真空中に生成できる。

レーザー駆動中性子発生のための動的核偏極を用いた スピン偏極重水素標的の開発

北川勝浩, 根来誠, 香川晃徳, 宮西 孝一郎, 有川安信,
大学院基礎工学研究科 システム創成専攻, 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

レーザー科学研究所において、偏極中性子発生に向けた研究が進められている。スピン偏極重水素標的に超高強度レーザーを照射して核分解によって偏極中性子を発生させる計画である。そのスピン偏極重水素標的を生成するための装置をレーザー科学研究所の計測準備室において開発した。基礎工学研究所で開発した光トリプレット動的核偏極装置、レーザー科学研究所で開発した固体発振波長589nmレーザー装置、偏極率測定用NMR装置からなる。今後は、この装置をLFEXレーザー実験に導入できるようにするための開発を行う。



FIG1. レーザー研の実験室に構築した動的核偏極生成・観測装置

Realization of stable, quasi-static and high density material compression with tailored laser pulse and solid ball target
藤岡慎介^{1,2}, 瀧澤龍之介¹, 長友英夫¹, 有川安信¹, 森田大樹¹, 敦近原¹, 前川珠貴¹, 王雨波¹, 片桐健登³, 弘中陽一¹, 尾崎典雅³, 重森啓介¹, 藤域淳平³, 安部勇輝³, 羽原英明³, 蔵満康浩³,
中井光男¹, 白神宏之¹, 椿本孝治¹, 城崎知至^{4,1}, 千徳靖彦¹, 兒玉了祐^{1,3}
1)大阪大学レーザー科学研究所, 2) 核融合科学研究所, 3)大阪大学工学研究科, 4) 広島大学

SUMMARY

大阪大学レーザー科学研究所では、令和3年度の補正予算により、任意波形整形が可能なファイバーレーザー発振器を導入し、加えて、令和三年度から開始した先端研究基盤共用促進事業（先端研究設備プラットフォームプログラム）にて、ファイバー増幅器及び、波形計測と波形整形へのフィードバック機構を導入した。

本実験では、3段パルスによる高密度圧縮を目標とし、放射流体シミュレーションコードを用いて、レーザー波形の設計を行った。レーザー増幅シミュレーション、波長変換シミュレーションを行い、オンターゲット上で理想のレーザーパルス波形を目指した。

X線ストリークカメラを用いて、プラズマの圧縮軌跡を観測し、X線バックライト法を用いた形状の計測を行った。

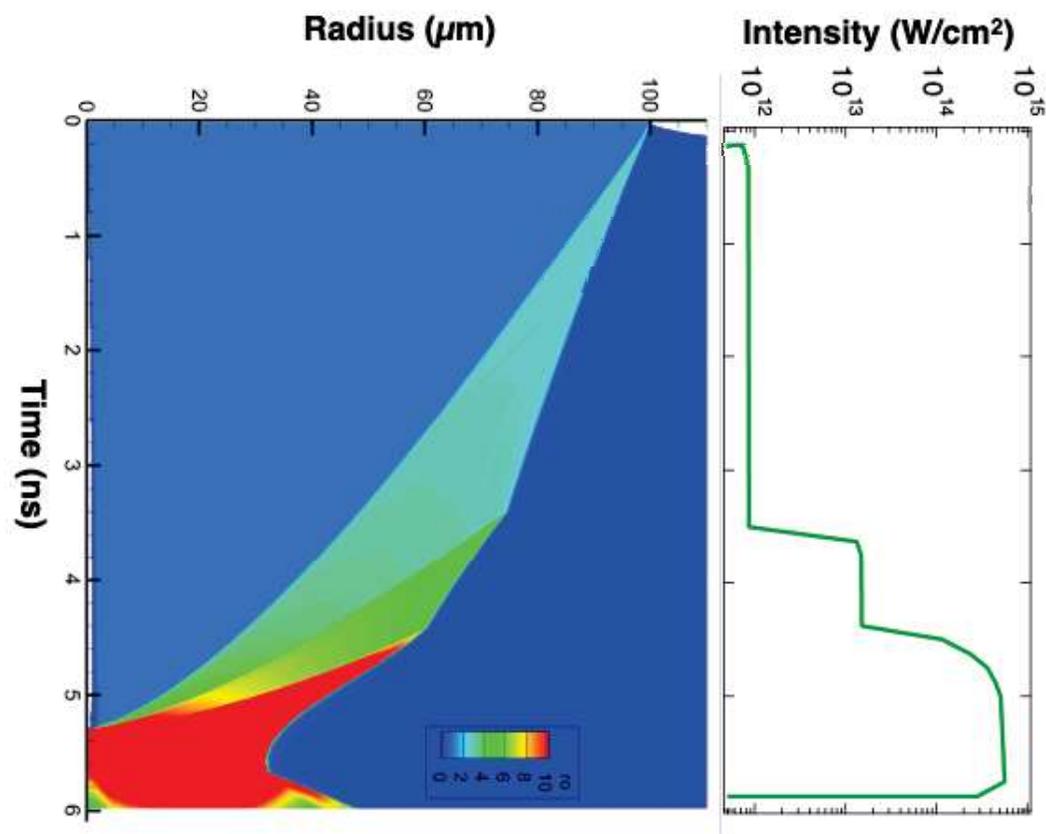


FIG. 放射流体シミュレーションを用いたレーザー波形の設計。

Laboratory Measurement of Solar Opacity with High Intensity Laser

J. Dun¹, F. Delahaye², T. Maekawa¹, Y. Wang¹, T. Pikuz¹, R. Takizawa¹, S. Guo¹, H. Morita¹, B. Zhu¹, M. Koenig³, H. Lahmar³, S. Lepape³, B. Albertazzi³, P. Renaudin⁴, C. Blancard⁴, L. Jacquet⁴, S. Fujioka¹

1) ILE Osaka Univ., 2) Obs. de Paris, 3) LULI, 4) CEA

SUMMARY

Uncertainties in the opacity of the solar interior plasma may be a cause for the discrepancy between standard solar model predictions and helioseismology observations. The opacity is a necessary physical quantity that affects the transport of photons in the solar interior and determines the structure of the interior. Sandia National Laboratory team has proposed the hypothesis that the open-L-shell state of ions in the solar constituent plasma reduces the accuracy of the plasma opacity calculations. We are testing this hypothesis with the GEKKO-LFEX facility. In FY2021, we have developed an experimental platform. We use a laser-irradiated dog-bone cavity to generate intense thermal radiation for producing a local-thermal-equilibrium plasma with spatially uniform temperature and density profiles. We have achieved 100 eV of the radiation temperature and obtained the transmittance spectrum for calcium in the X-ray and XUV ranges.

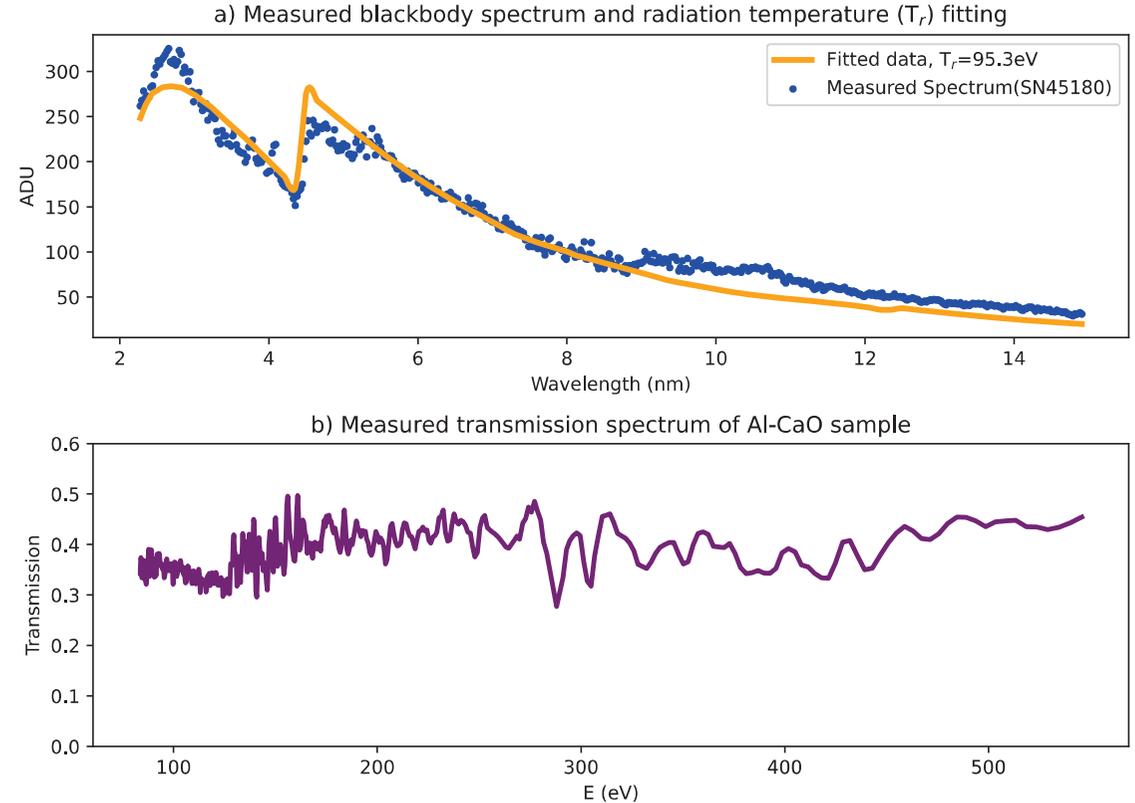


FIG. (a) Comparison between measured blackbody radiation emitted from a laser-cavity and the fitting curve with maximum $T_r = 95.3\text{eV}$. (b) Calculated transmission spectrum by subtracted self-emitted radiation of the heated sample (SN45183) from the absorption spectrum (SN45196) and also divided by backlight spectrum (SN45180).

Study of characteristic K-alpha x-ray production using high power LFEX laser

H. Sawada¹, R. Takizawa², T. Maekawa², J. Dun², D. Morita², N. Iwata², Y. Sentoku² and S. Fujioka²

1) University of Nevada Reno, USA, 2) Institute of Laser Engineering, Osaka University, Japan

SUMMARY

This experiment has investigated characteristics of laser-produced hard x-rays by the high power LFEX laser. Narrow line and broadband hard x-rays produced by high intensity short pulse lasers have been studied to explore the potential for applications in fundamental science, medical and industrial fields. Up to date, detailed characteristics such as x-ray spectrum, x-ray energy conversion efficiency and angular dependence of the x-ray intensity have not been well understood. In this experiment, we used a suite of diagnostics to measure angularly resolved bremsstrahlung, $K\alpha$ x-ray yields, monochromatic x-ray images, escaped electrons and energetic protons on every shot for various laser intensities. These comprehensive measurements together with 3-D hybrid particle-in-cell simulations that are being underway will provide information on laser-accelerated fast electrons as well as the broadband hard x-rays specific to the high power LFEX laser.

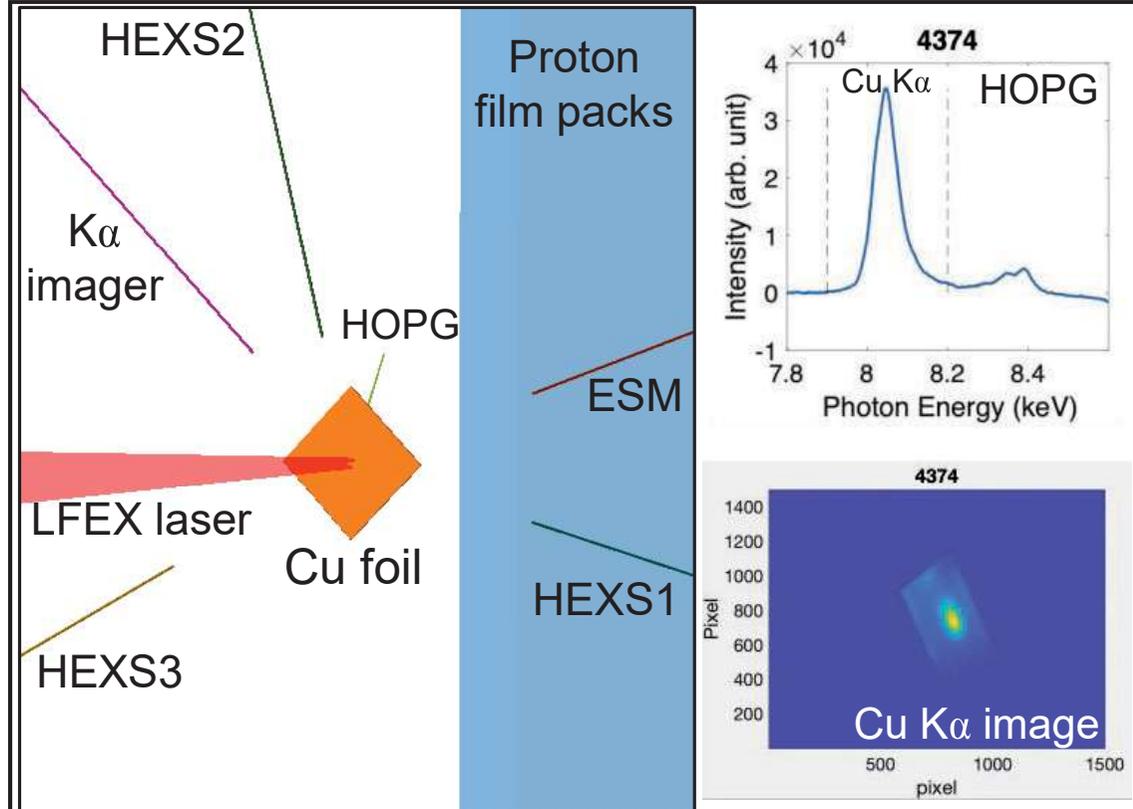


FIG. 1 A schematic of the experiment and diagnostic layout. X-ray and particle emissions were measured with an electron spectrometer (ESM), hard x-ray spectrometers (HEXS), a HOPG crystal spectrometer, a $K\alpha$ imager and proton film packs. Sample x-ray spectrum and $K\alpha$ image are also shown.

Ion stopping power in dense plasmas

A. Morace¹, Y. Arikawa¹, S. Asano¹, M. Tosca², D. Margarone², D. Batani³, P. Nicolai³, L. Giuffrida², D. Raffestin³

Institute of Laser Engineering, Osaka University

Eli Beamlines

CELIA, University of Bordeaux

SUMMARY

We experimentally investigated the alpha particle stopping power in dense plasmas by using a Boron-doped CH open-shell target.

The shell is 500 μm in diameter with an aperture of 200 μm in diameter. LFEX laser is focused on the inner surface of the hemi-shell through the aperture.

According to PIC simulations, the open-shell target is supposed to contain the self-generated magnetic field, which in turn will be compressed by the imploding TNSA plasma and confine the MeV plasma of Hydrogen and Boron for longer time, thus enhancing fusion reactions. The alpha particles will then cross the shell (15 μm thick) and be detected by an array of CR-39 detectors. Knowing the original energy of the alpha particles it is possible to estimate the alpha particle stopping power in dense plasmas.

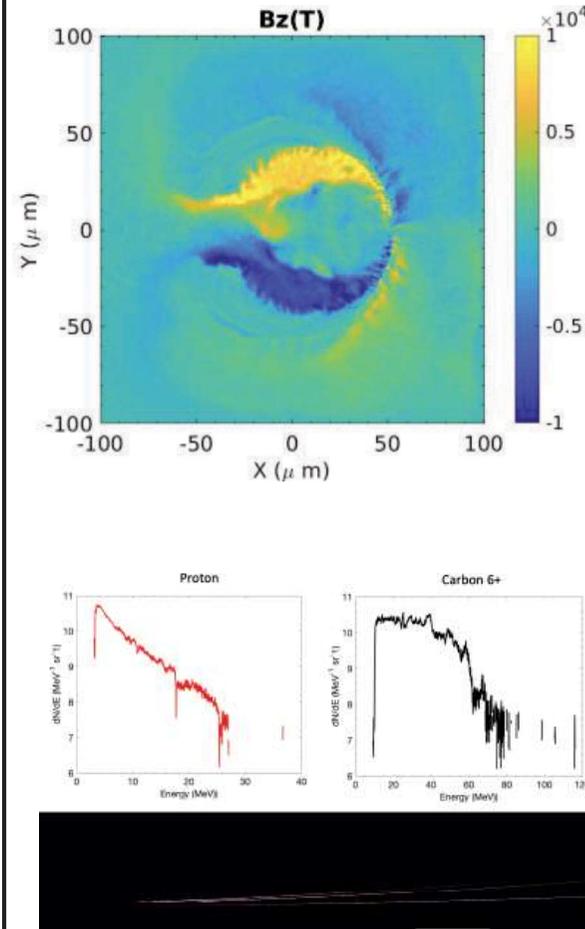


FIG. 1 PIC simulation showing the compressed magnetic field profile inside the open shell. This magnetic field will confine the Hydrogen and Boron ions enhancing fusion reactions

FIG. 2 Example of Thomson parabola data obtained during the experiment for open-shell type target. CR-39 diagnostics for alpha particle detection are still under analysis at ELI-Beamlines.

X線光線追跡コードの開発とその実験解析応用

城崎知至¹, 長友英夫², 砂原淳³, 難波慎一¹, 桑田智洋¹, 藤岡慎介², 有川安信², 松尾一輝⁴

1) 広島大学, 2) パデュー大学, 3) 大阪大学レーザー科学研究所, 4) カリフォルニア大サンディエガ校

SUMMARY

極短時間・極小領域で生じるレーザープラズマ現象の実験解析で重要となる放射・透過X線像と同等の像をレーザープラズマシミュレーション結果から得るための光線追跡コード・計測系空間時間分解能を考慮した像構築コード、またその逆アーベル変換コードからなる、X線解析コードシステムの開発を進めている。

本年度は、爆縮コアからの自発光ストリーク像や短パルス単色X線フラッシュバックライト像を作成するコードシステムを開発した。開発したシステムを用いて、激光XIIレーザー3段パルスを用いた爆縮実験(双方向型共同研究: 2021NIFS12KUGK057)を対象とした解析を行い、爆縮結果からストリーク像並びにバックライト像を作成できるようにした。この結果と実験で計測された像との比較により実験解析を進めている。

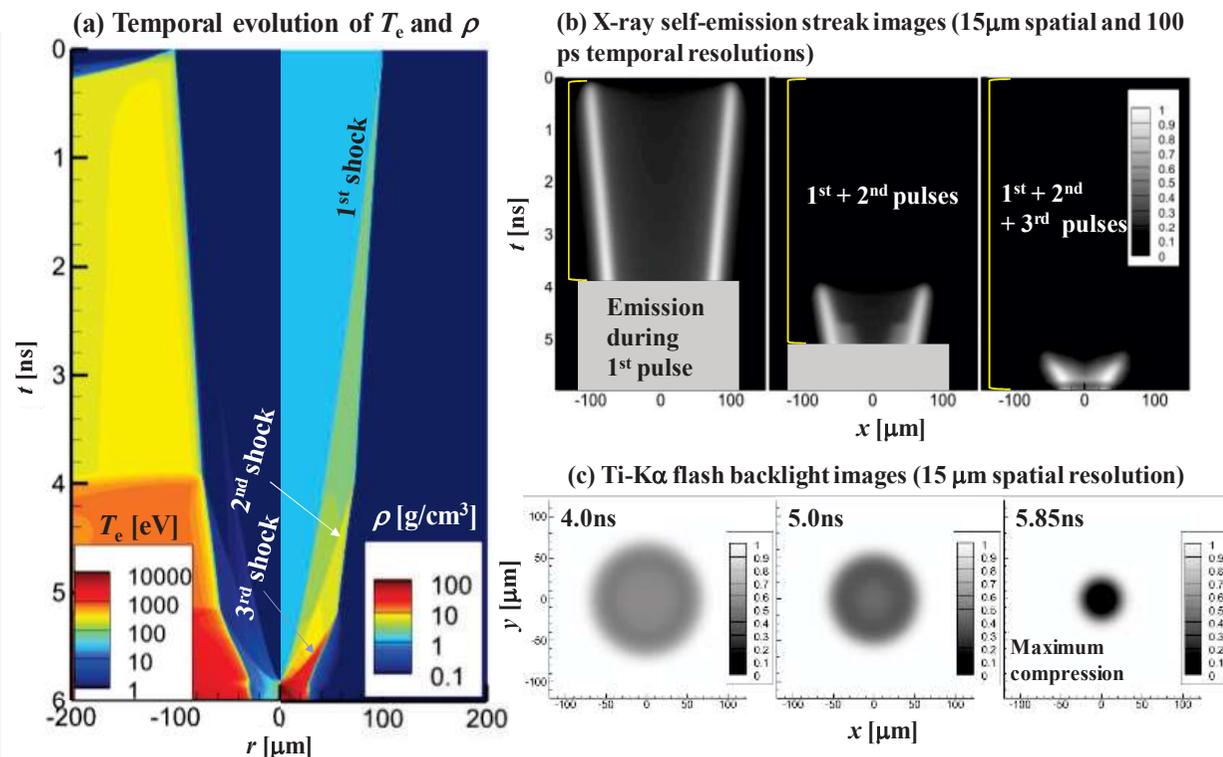


FIG.1 2次元輻射流体コードPINOCOによるGXII 3段パルスによる中実球爆縮シミュレーション結果(a)と、ポストプロセスX線解析により求めたX線自発光ストリーク像(b)とTi-K α フラッシュバックライト像(c). (b)自発光ストリークでは1段パルスまで(左), 2段パルスまで(中), 3段パルスまで(右)の発光像を示す。いずれも最大強度で規格化している。

XFEL(SACLA)を活用したレーザー等積加熱物理の解明

千徳靖彦¹, 佐野孝之¹, 澤田寛², 岩田夏弥¹, 東直樹¹

1) 大阪大学レーザー科学研究所, 2) University of Nevada, Reno, USA

SUMMARY

高強度レーザーは物質を固体密度を維持したまま、keV温度の高温まで一気に加熱することができる。この加熱過程は等積加熱と呼ばれる。等積加熱では、高温領域はおよそ光の速さで物質中を拡散する。SACLA(XFEL)を用いた高速時間分解能計測を行い、高強度極短パルスレーザーにより加熱された銅薄膜中の加熱領域の広がりを実測した。SACLAの光子エネルギーを、銅原子のK殻吸収端エネルギー8.9keVの前後に振った計測により、加熱による電離の進行の様子を捉えることができた。本共同研究では、2次元プラズマ粒子コードPICLSを用いて、実験条件と同じシミュレーションを行い、加熱領域の広がり(電子温度 $>10\text{eV}$)の領域の進行の様子が、実験で計測されたXFELイメージングの結果と良い一致を見た。固体金属中での加熱領域の広がり物理の解明を進めることで、等積加熱の理解が一層進むと期待される。

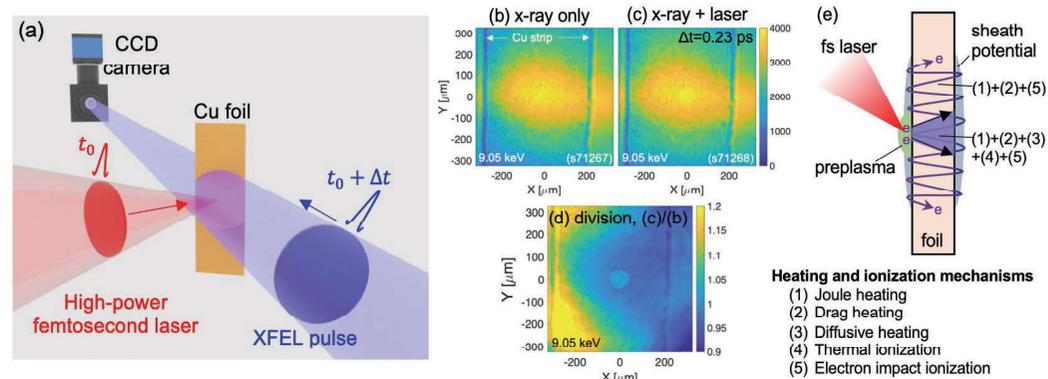


Figure 1| (a) Experimental layout. Sample recorded images with (b) x-ray only, (c) x-ray + laser beams, and (d) division of the two images. (e) A schematic of relativistic electron motions and heating and ionization mechanisms in a solid.

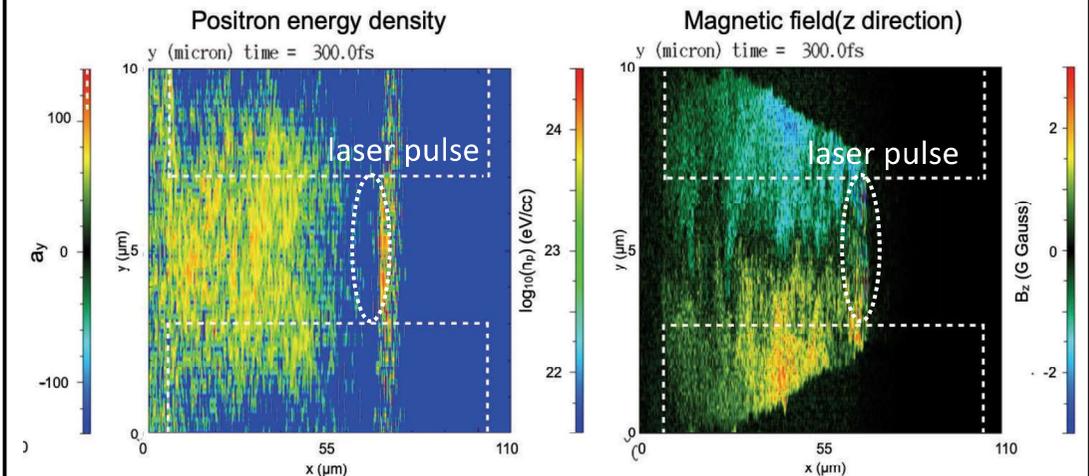
Developing a photon scattering model in non-thermal high energy density plasmas in PICLS code

Y. Sentoku¹, T. Sano¹, E. d'Humieres²

1) Institute of Laser Engineering, Osaka University, Japan, 2) University of Bordeaux, France

SUMMARY

In this research, we developed new physical models and simulation techniques to expand the scope of application of a laser-plasma simulation code, PICLS, and improved the accuracy of the simulation. This year we had the monthly Zoom meeting (Japan 6pm – France 9am) to discuss about the model equation of the Compton scattering for relativistic electrons. Check the characteristic of the differential cross-section of the Breit-Wheeler pair creation and implement it as a Monte Carlo model in PICLS code.



Laser pulse is injected into a plasma channel.

FIG. PICLS 2D simulation: (left) positron density induced via the liner Breit-Wheeler process. (right) quasistatic magnetic fields excited behind the laser pulse.

A significant amount of positron are trapped in the pulse front and they are accelerated over 500 MeV. These positrons could be observable and signatures of the liner BW process, which has not been confirmed in the experiment.

高密度プラズマ中における抵抗率勾配における強磁場生成のモデリング

羽原英明¹, 藤城淳平¹, 上山慶典¹, 城崎知至², 長友英夫³
1) 大阪大学 2) 広島大学, 3) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

本研究では追加熱レーザーとプラズマの相互作用によって生じる高速電子を抵抗率勾配による自己生成磁場によってガイドングすることを目的としている。そこで右図(a)のようにGXIIビームによってプレプラズマを生成しLFEXレーザーによって生じる高速電子を裏面Cu層で観測する実験を提案し、ターゲット設計(右図(b))を行い、それを用いて実験を行った。実験で計測した銅特性X線強度のLFEXレーザー照射タイミング依存性を右図(c)に示す。グラフの青線がNiがターゲットの表面に現れているもの、橙線はNiを埋め込んだターゲットの結果を表しており、この結果からNiプラズマの吹き出しが最も大きいタイミングで信号強度が最も強くなっていることが示された。これは、そのタイミングで強い磁場が生成され、高速電子が集束されていることを示唆しており、Niワイヤ挿入の有用性が示された。

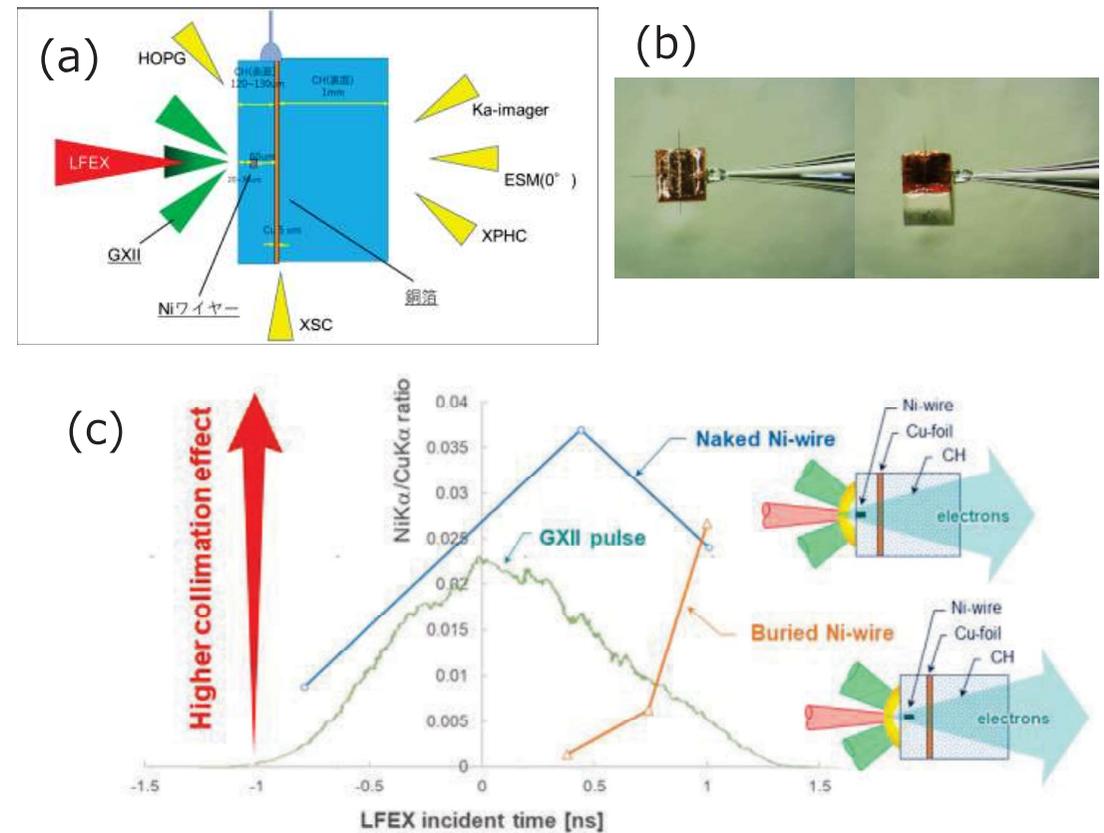


FIG. 1

(a) 実験セットアップ。(b) 実際に用いたターゲット写真。(c) 銅特性X線強度の爆縮プラズマへのLFEX入射タイミング依存性

Dependence of Richtmyer-Meshkov Instability growth on gas compressibility

T. Sano¹, C. Matsuoka², and F. Cobos-Campos³

1) Institute of Laser Engineering, Osaka University, Suita, Osaka 565-0871, Japan, 2) Graduate School of Engineering, Osaka City University, Sugimoto, Sumiyoshi, Osaka 558-8585, Japan, 3) ETSI Industriales, Instituto de Investigaciones Energéticas and CYTEMA, Universidad de Castilla-La Mancha, 13071 Ciudad Real, Spain.

SUMMARY

We have studied the dependence of the growth velocity of Richtmyer-Meshkov Instability (RMI) on the gas compressibility. A change in the behavior of the growth rate (u_i) as a function of the ratio of the specific heats (ρ) has been observed for some value of the incident shock strength (M_i). Upper some critical value of M_i , the growth rate is severely reduced when $\rho \rightarrow 1$. A freeze-out regime ($u_i = 0$) is achieved in the limit $\rho \rightarrow 1$ and $M_i \rightarrow \infty$. This behavior has been seen in both cases when a shock is reflected and when a rarefaction is reflected. This would bring the possibility to find and characterize new freeze-out, or at least low-growth, regimes for very intense shocks as those used in Inertial Confinement Fusion (ICF) configurations. Therefore, an interesting possibility could be open: can a low ρ be used to mitigate RMI if the shock is strong enough?

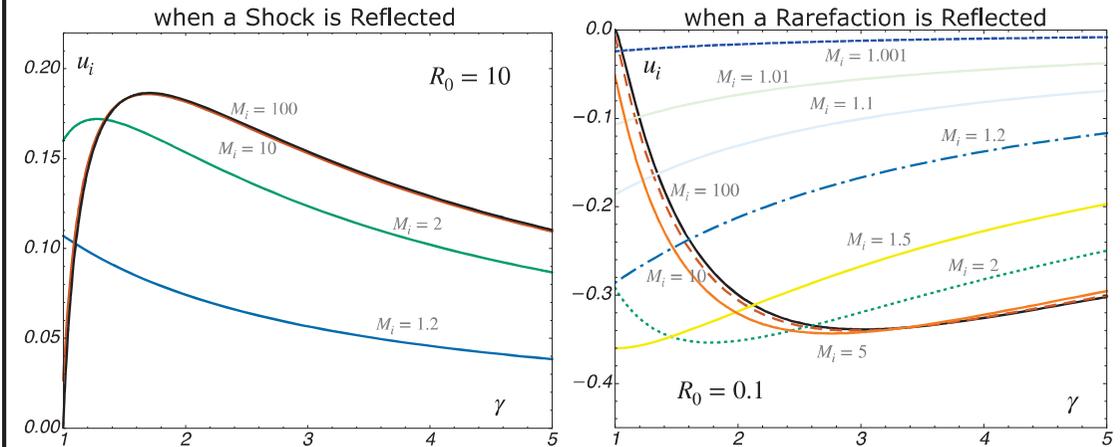


FIG. Dependence of the linear asymptotic growth velocity (u_i) as a function of the isentropic exponent of the gas (we assume same as both sides $\rho_1 = \rho_2 = \rho$) for different incident shock Mach numbers (M_i). Both cases, when a shock and a rarefaction is reflected back, are shown. Since we consider same ρ , they correspond to light-heavy and heavy-light configurations, respectively. The initial density ratio across the contact surface ($R_0 = \rho_1/\rho_2$) is 10 when a shock is reflected and 0.1 when contrary.

偏光制御対向照射レーザーを用いた電磁場伝搬吸収とプラズマ加熱の検証 -ワイヤターゲット供給システムの整備-

森芳孝¹、北川米喜¹、佐野孝好²、千徳靖彦²、岩田夏弥^{2,3}

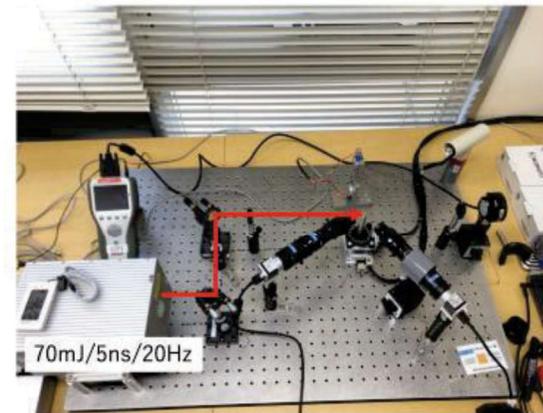
1) 光産業創成大, 2) 大阪大学レーザー科学研究所, 3) 大阪大学高等共創研究院

SUMMARY

ピーク出力数TW級超短パルスレーザーの照射配位、偏光、パルス幅を制御し、非相対論から相対論領域における電磁波の伝搬・吸収の検証を行うことを最終目的としている。昨年度は、対向照射配位で、対向ビーム交差タイミングが調整可能な照射システムの整備を行った。今年度は、梯子型ワイヤターゲットの自動アライメントシステムを整備した。ターゲットは、直径 $50\mu\text{m}$ のチタン線である。自動アライメントシステムは、ターゲット位置を2台のCMOSカメラで監視し、XYステージで、ワイヤ位置をレーザー照射位置へ移動させる機構である。本システムにより、直径 $50\mu\text{m}$ のワイヤ線を照射位置 $50\mu\text{m}$ 以内に5秒以内で連続自動供給することが可能となった。従来の手動調整では、20秒程度必要であることから、本システムにより実験の効率化が期待される。

2021B2-022MORI

Wire target supply system R&D on Akashi College NIT



Y. Ota, M. Izuka, I. Nakau, Y. Kajimura

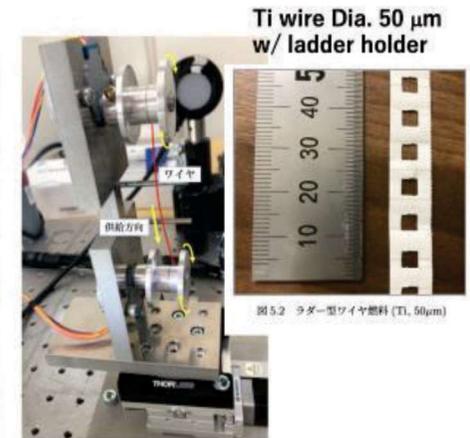


図 3.5 燃料ターゲット自動送り機構

FIG. (左)連続ワイヤ供給装置レーザー照射アライメントシステム (右) 連続ワイヤ供給システム
研究協力者：中右、太田、飯塚、梶村（明石高専）

Theoretical study on particle acceleration in high energy density plasmas created by kJ class ultraintense lasers

N. Iwata^{1,2}, A. J. Kemp³, S. C. Wilks³, and Y. Sentoku¹

1) *Institute of Laser Engineering, Osaka Univ.*, 2) *Institute for Advanced Co-Creation Studies, Osaka Univ.*,
3) *Lawrence Livermore National Laboratory, USA*

SUMMARY

Kilojoule-class relativistic lasers, having over-picosecond pulse durations and tens of μm spot sizes, realize efficient particle acceleration and plasma heating. To create high energy density state for these applications, confining laser-accelerated fast electrons in the spot area for a long time is important. In this study, we theoretically found a confinement mechanism of fast electrons in a large laser spot that has the radius w much larger than the target foil thickness L_0 . The fast electrons show a random walk scattered by a self-generated magnetic filaments in the spot. The escaping velocity of the electrons from the spot is then reduced, and the electrons accumulate in the spot area as Fig. 1. We reported the result in N. Iwata *et al.*, Phys. Rev. Research **3**, 023193. We will investigate the electron confinement effect on the ion acceleration using the ARC laser at NIF as a Discovery Science campaign in 2023-2024.

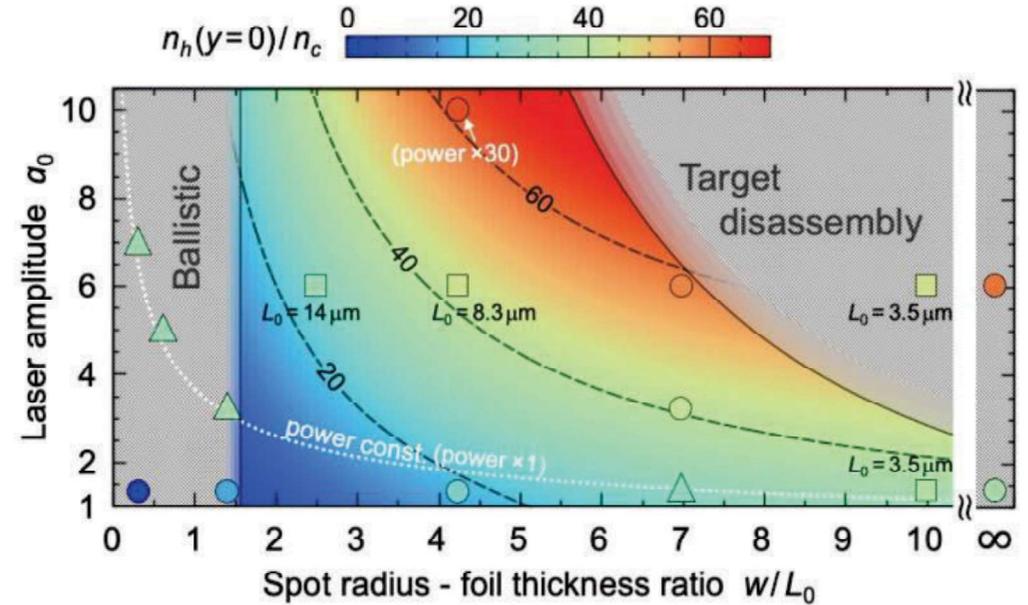


FIG. 1 Theoretical prediction of the accumulation density of fast electrons n_h due to the random walk inside the laser spot area (radius w) in a solid foil target (thickness L_0). n_c is the critical density for the incident laser. The shaded areas are the regimes where the model is not applicable. Points are two-dimensional PIC simulation results. [N. Iwata *et al.*, Phys. Rev. Research **3**, 023193]

超高強度レーザーと高密度プラズマの相互作用

田口 俊弘

日本原子力研究開発機構 敦賀総合研究開発センター

SUMMARY

2021年度は諸事情のため2020年度に行った誘導ラマン散乱の解析の続きができなかった。

そこで、以前より行っている三角形メッシュを利用した放電解析用の粒子コードの改良に取り組み、精度の向上や粒子入力の実装などを行った。図1は開発したコードによる解析結果の一例である。下部電極（突起部）と上部電極の間の電子密度(a)と電位分布(b)を示している。電位がシース構造を形成し、その中に落下させたダスト粒子が浮遊している様子を示している。

現在このコードはダストプラズマ解析用であるが、電極形状の任意性を生かして将来は真空容器中でのレーザー加工など高強度レーザーと物質の相互作用の解析において、チャンバーや電極構造などを取り入れた解析に発展させればその方面へのインパクトは大きいと考えている。

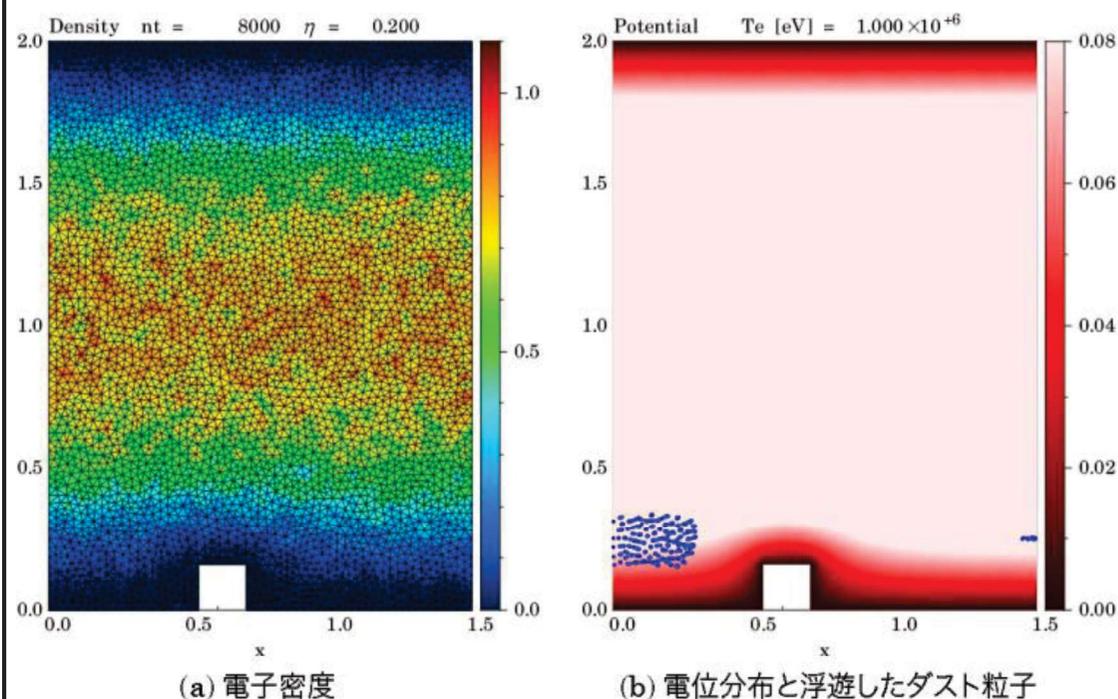


Figure 1: 三角形メッシュ静電粒子コードを用いて解析したシースプラズマ中の(a)電子密度分布と(b)電位分布およびその中に落下させたダスト粒子（青い○）が浮遊している様子

テラヘルツ領域における広帯域反射防止構造の開発
余希¹, 後藤和真¹, 安永優輝¹, 小野晋吾¹, 猿倉信彦², 中島誠²
1) 名古屋工業大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

超短パルスレーザー加工により、ZnO単結晶基板表面にモスアイ（反射防止微細周期）構造を作製した。レーザー加工を施したZnO表面には、加工に起因する欠陥が形成されることで、THz波の吸収が起こり、反射率低減効果を抑制している。このTHz帯でのZnO中の欠陥形成はこれまでに報告がないが、大気中でのアニール処理によって透過率が改善することから、熱処理が欠陥低減に有効であることが分かった。

モスアイ構造を形成したうえで、アニール処理したZnO基板は、未加工の基板よりも高い透過特性を示すことから、モスアイ構造の効果も確認することができた。このモスアイ構造は、次世代通信帯（6G）で使用されるTHz帯において、大気とZnOの界面における反射損失を22%低減することが可能となり、Society5.0目標を含む省エネルギー社会の進展にも大きく貢献できると考えられる。

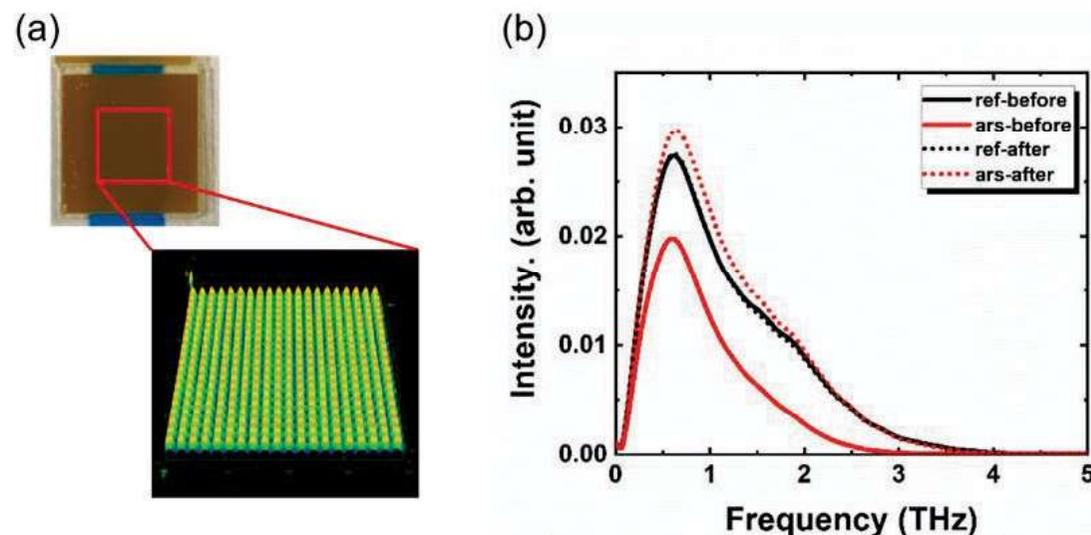


FIG. (a) ZnO基板表面に作製したモスアイ構造（加工領域面積：8 mm × 8 mm）の写真とレーザー顕微鏡で計測した三次元形状、(b) 未加工ZnO基板とモスアイ構造を作製した基板の熱アニール前後の透過周波数スペクトル（THz時間領域分光法による測定）。黒線と赤線はそれぞれ、未加工とモスアイ構造作製基板の透過スペクトルであり、実線と点線はそれぞれ、アニール前と後の透過スペクトルを示す。モスアイ構造を形成したうえで、アニール処理した基板は未加工基板よりも高い透過特性を示す。

テラヘルツ時間領域分光法を用いた乱れた系の複素伝導度解析手法の確立とその応用

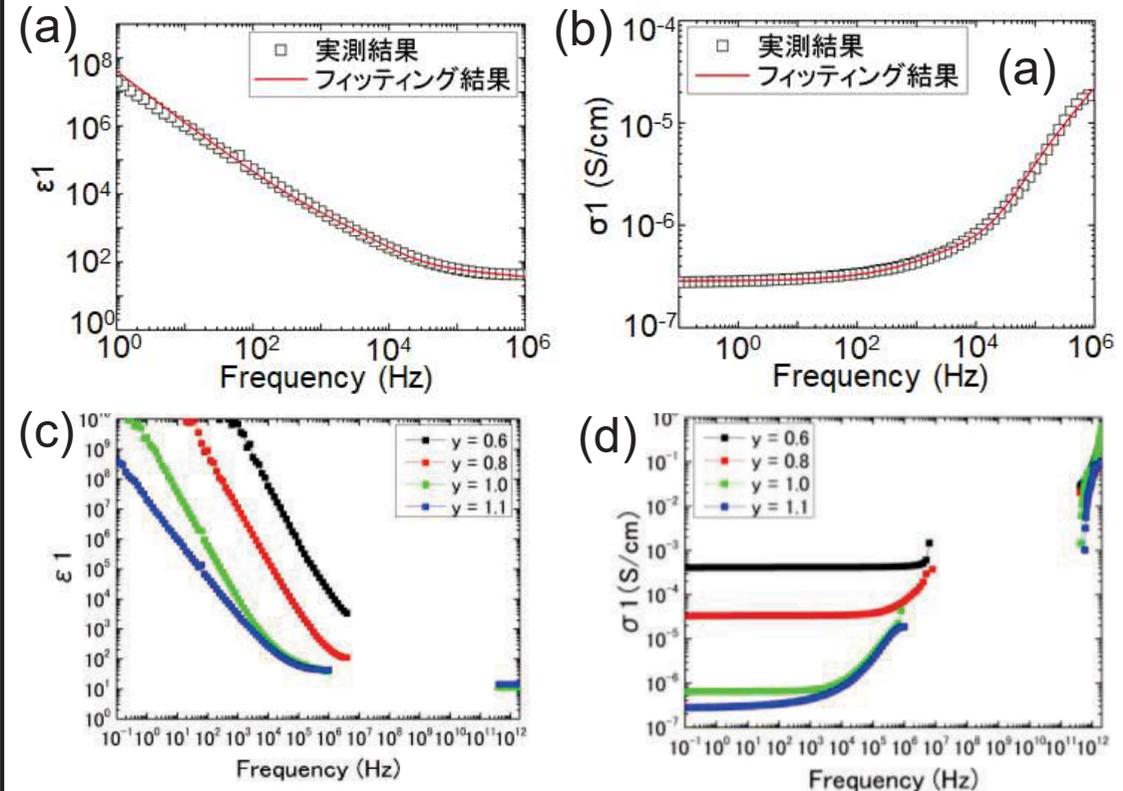
川山 巖¹, 正盛涼大¹, 村上博成²

1) 京都大学大学院エネルギー科学研究科, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

LiCoO₂はリチウムイオン電池の代表的な正極活物質として使用されているが、その電子・イオンの伝導機構については詳細な研究は行われていない。本研究では、THz-TDSおよび交流インピーダンス測定を組み合わせた広帯域の交流導電率測定により、Li_yCoO₂焼結体の電気伝導特性を調べた。

その結果、電子伝導はドメイン粒内と粒界の直列結合モデルと実験結果がよく一致することがわかった。また、低周波領域ではイオン伝導に起因すると思われる誘電率の増加が見られた。このように、広帯域の交流伝導度・誘電率計測により電子とイオンの伝導機構を統一的に分析可能であることを示した。



Li_{1.1}CoO₂の交流インピーダンス測定により求めた(a)誘電率と(b)伝導度の測定結果とフィッティング曲線、およびLi_yCoO₂ ($y = 0.6, 0.8, 1.0, 1.1$)の(c)誘電率と(d)伝導度のTHz分光とインピーダンス測定による広帯域プロット。

金属スピントロニック素子による高効率テラヘルツ波発生の研究

谷正彦¹, 中嶋誠², 北原英明¹, 古屋岳¹, タララミゼル¹, マグウサラヴァリン²,
エスカニョメアリクレア¹ ムールデラホセリート¹, 郭其新³

- 1) 福井大学・遠赤外領域開発研究センター, 2) 大阪大学レーザー科学研究所,
3) 佐賀大学・シンクロトロン光応用研究センター

SUMMARY

本研究は光励起によるスピン流を利用した高効率なテラヘルツ(THz)波発生素子(スピントロニック素子)の開発を目的とする。今年度は以下の取り組みを行った。

- 1) THz波放射効率は基板の特性にも大きく左右される。そのため原子界面が部分的に原子層レベルで平坦になることが期待できるへき開面MgO基板を用いてPt(3nm)/Fe(2nm)/MgO基板(0.5mm)に素子を作成し、研磨面MgO基板の場合と放射効率を比較した。得られたTHz波放射波形の比較を右図に示す。へき開面の場合、研磨面に比べて約1/2程度のTHz波形振幅しか得られなかった。AFM観察の結果、へき開面には数 μm 間隔で細かいステップが見られ、これが金属膜の不均一性を増大させていることが、放射効率が低い原因である結論付けられた。
- 2) 昨年度、Pt膜厚を100nmのDiabolo型アンテナで約2倍の放射振幅強度の改善が見られたが、Pt膜厚がより分厚い200nmのDiabolo型アンテナを試作した(素子評価中)。

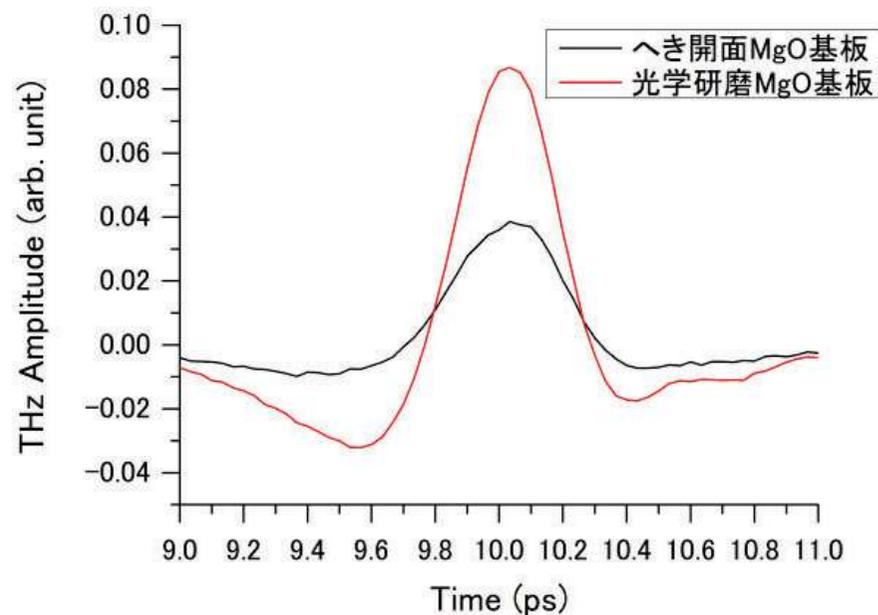


図. へき開面MgO基板と研磨面MgO基板上のPt(3nm)/Fe(2nm)スピントロニック素子からのテラヘルツ波放射波形の比較

有機半導体材料によるテラヘルツ高速スイッチング

松井龍之介¹, 栃原隆太¹, 中嶋誠²

1) 三重大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

真空蒸着法により金属薄膜を成膜する場合、連続膜を形成できないほどの蒸着開始直後においては金属材料はアイランドを形成し電気伝導を示さない。一方で、有機半導体PCBM薄膜上に金薄膜を蒸着すると、パーコレーション閾値に至る前の極微量の蒸着時においても電気伝導度の非線形的な増大が見られることが報告されている。本研究では、このような有機半導体と金属ナノ粒子の複合系において見られる特異な電気伝導特性を活用した新規なテラヘルツ高速スイッチング素子の創出を検討している。このような系のテラヘルツ電気伝導特性については未だ報告例がなく、学術的な新規性が高いのはもとより、新規なテラヘルツ光学材料・素子の開発につながる可能性がある。これまでに、金の真空蒸着過程での試料の電気伝導度の継時変化を測定するための実験系の構築や、数十マイクロン幅の電極のフォトリソグラフィおよびリフトオフによる作製（右図）について進めてきた。

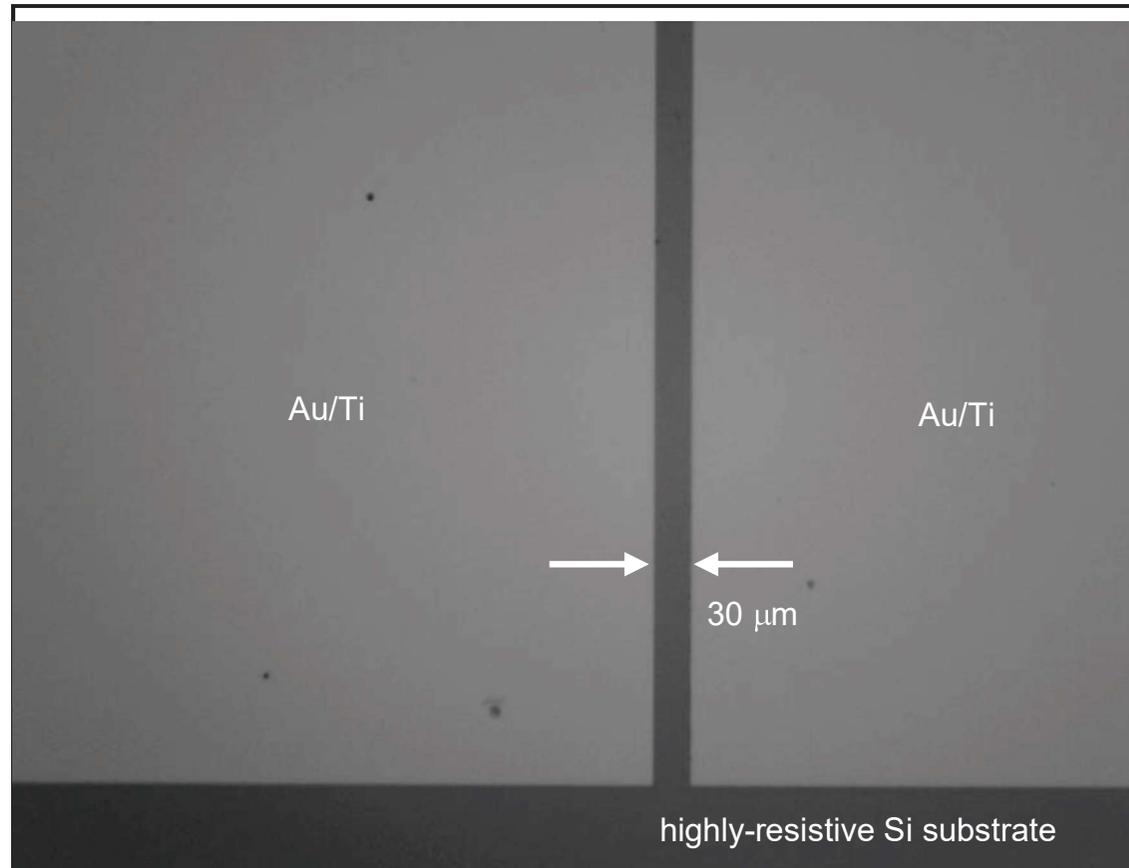


FIG. フォトリソグラフィおよびリフトオフにより高抵抗シリコン基板上に作製したAu/Ti電極（電極間隔30 μm ）の光学顕微鏡写真

テラヘルツ分光による尿路結石中の結晶多形同定とイメージング

丸山美帆子¹, 吉村政志², 塚本勝男³, 古川善博士³, 田尻理恵⁴, 岡田淳志⁵, 田中勇太郎⁵, 門馬綱一⁶,
杉浦悠紀⁷, 中嶋誠², 森勇介¹

1)大阪大学 2)大阪大学レーザー科学研究所 3)東北大学 4)田尻薄片製作所
5)名古屋市立大学 6)国立科学博物館 7)産業技術総合研究所

SUMMARY

The transmittance spectrum of 1 wt. % COD pellet measured by FTIR is shown in Fig. 1. A broad absorption band centered at about 8.5 THz is observed. In the case of COM, terahertz time-domain spectroscopy (THz-TDS) investigation of pelletized commercial COM powder reveals a signature peak at about 1.1 THz (not shown here). These findings show that COD and COM can be distinguished in the THz and far-infrared regions. This finding is useful in the phase identification of kidney stones which is valuable in understanding the stone formation mechanism.

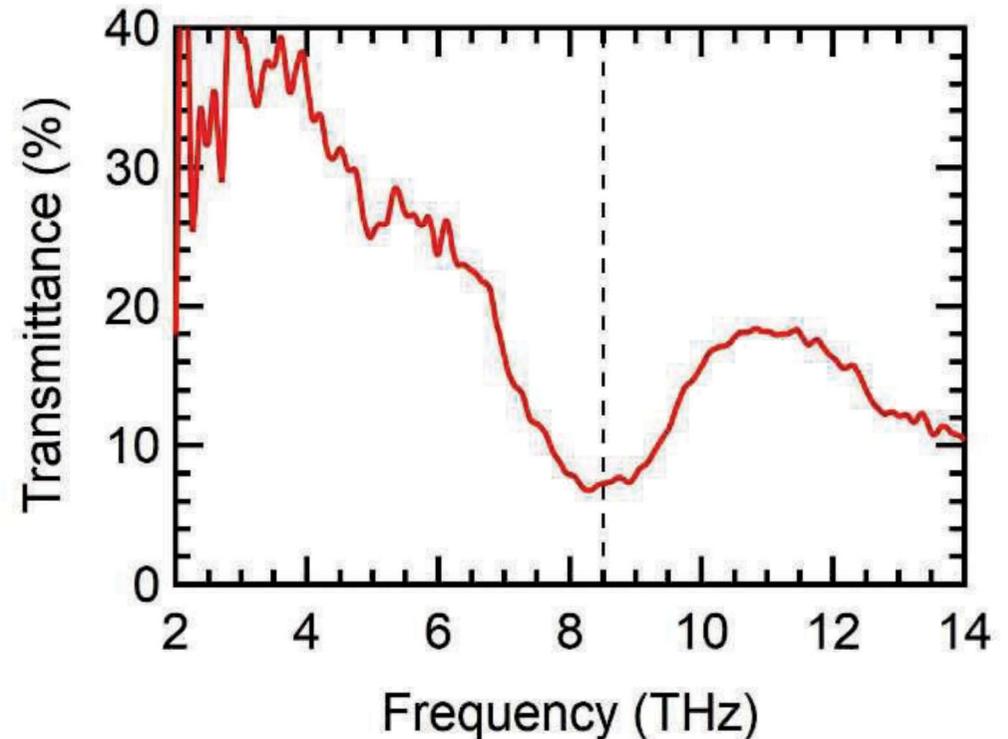


Fig. 1. Transmittance spectrum of 1 wt. % COD pellet.

プラズモン光伝導アンテナを用いたレーザーカオス光におけるモードの同時性の解明

栞島史欣¹, Mona Jarrahi², Semih Cakmakyapan², 森川 治³, 白尾 拓也¹, 岩尾 憲幸¹, 栗原 一嘉⁴, 北原 英明⁵, 和田 健司⁶, 中嶋誠⁷, 原口雅宣⁸, 谷 正彦⁵

1) 福井工業大学、2) カリフォルニア大学、3) 海上保安大学校、4) 福井大学教育学部、5) 福井大学遠赤センター、6) 大阪府立大学電子数物系、7) 大阪大学レーザー科学研究所、8) 徳島大学

SUMMARY

これまで、市販の半導体レーザー（数百円）に外部鏡による光学的遅延帰還をかけることでレーザーカオス発振させ、安定、広帯域、低価格なTHzの発生検出ができることを証明してきた。この原因としては、レーザーの縦モードの同時発振性が重要である。図1に示す、外部から逡倍器によるTHz波を加え、縦モード間の光ビート周波数との差を1GHz程度とし、RF領域で観測し、その安定性を評価することで、モードの同時性を評価した。今回は、特にレーザーの閾値付近まで、レーザーカオス光の光ビートが安定していることを示し、カオスの構造安定性を実証した。また、戻り光を加えた多モードの半導体レーザー方程式を用いて、遅延帰還のみでモードが同期してゆく領域があることも見出した。今後これらの詳細について調査してゆく。カオスの構造安定性は、自律的な制御につながり、これまでの精密制御を超えたメタ工学の創造につながる。

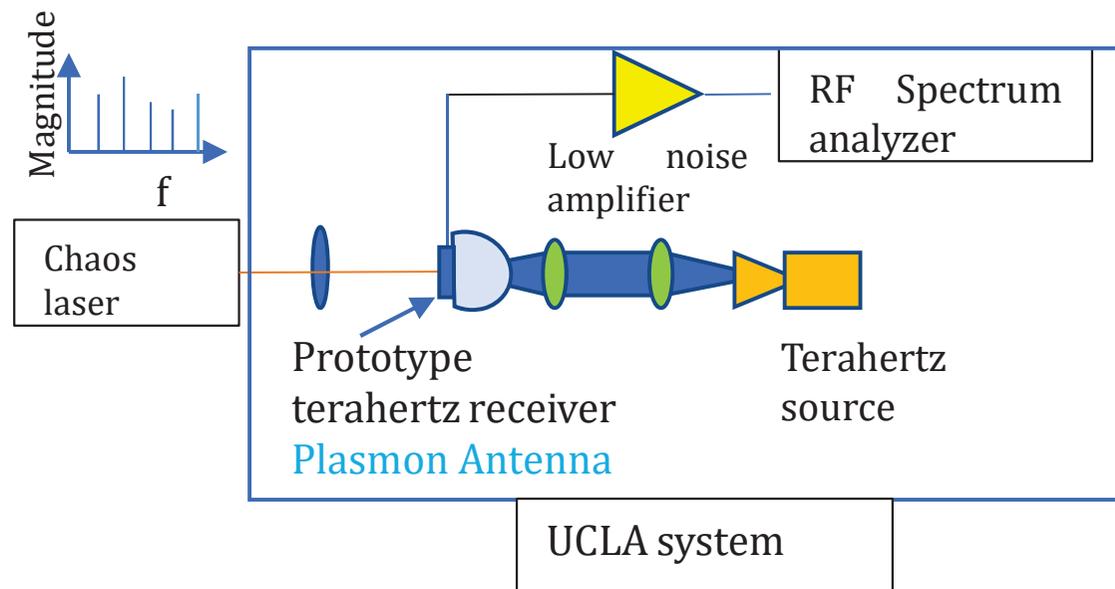


図1 Rf にダウンコンバートする実験系

ピコ秒電子バンチから放射されるTHz帯スミス・パーセル放射光源の開発

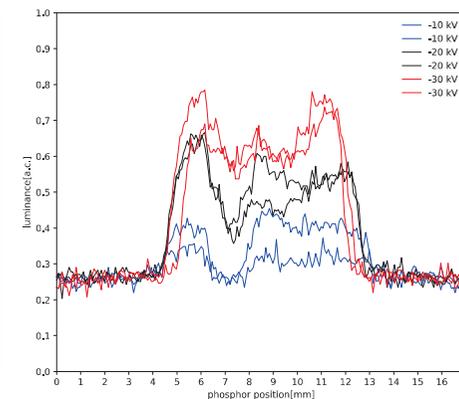
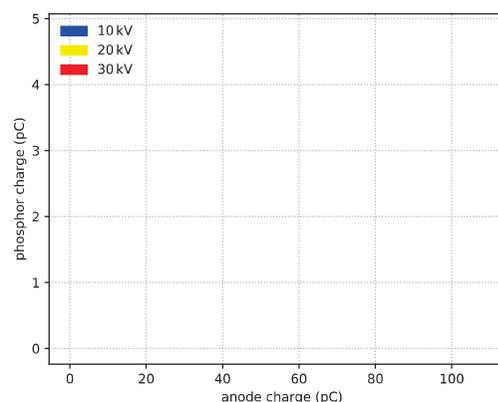
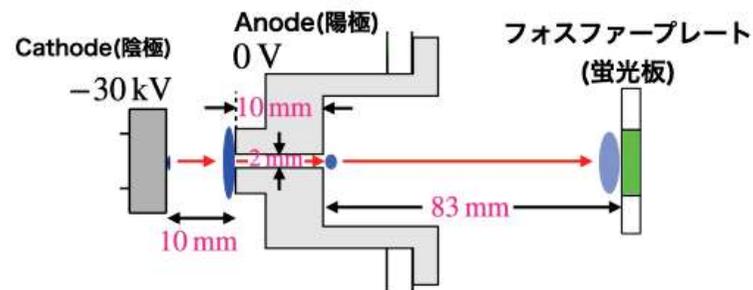
浅川 誠¹, 中嶋誠²

1) 関西大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

電子バンチ電気量の精密制御を実現するために、ビームスプリッター角度をPC制御する事によりレーザーパワーを調整するシステムおよび0.05 pCまで電気量を測定できるシステムを構築した。またそれと連動して電子バンチ断面での電荷密度分布を観測するシステムも構築した。

パルス幅100 fsのチタンサファイアレーザー照射により光電陰極で発生した電子バンチは陽極に向かって10 kV~30 kVまで加速される。陽極には直径2 mmの小穴があり、電子バンチの中心部のみがここを通過する。通過した後、電子バンチは83 mmの無電場領域を伝播し、フォスファープレートに衝突する。左グラフはアノードに衝突した電気量とフォスファープレートに衝突した電気量の関係であり、右図はフォスファープレートに衝突した電気量が1 pCの場合の蛍光強度分布である。電子バンチの電気量が増えるにつれ、小穴を通過する電気量の割合が減少する。シミュレーションによると陰極で発生した電気量が50 pCを超えると著しく電子バンチエミッタンスが増大することが予想されており、本実験結果は電気量増大に伴うエミッタンス増大を示唆しているものと考えられる。今後、蛍光強度分布の解析を進め、電子バンチパラメータの向上を目指す。



光電電子銃の構造. 左グラフ: 陽極電気量とフォスファープレート電気量の関係 (5日分のデータをプロットしておりデータのばらつきが大きい.) 右グラフ: 蛍光強度分布 (加速電圧が高いほど、バンチ径は小さくなる)

光学材料、光学薄膜の導体転移、絶縁破壊を経る損傷過程のパーコレーションモデルによる解析

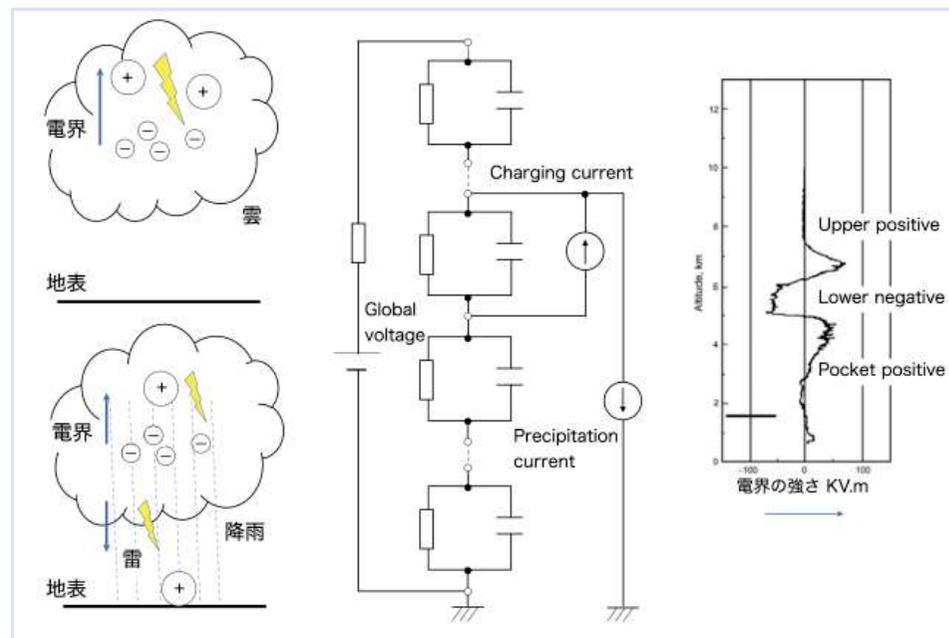
佐々木 明

量子科学技術研究開発機構・関西光科学研究所

SUMMARY

光学損傷は、光学素子の性能を制約する重要な要件であるが、そのメカニズムにはまだ未解明の要素があり、その理解、制御によりレーザーシステムの性能を向上できる可能性が残っている。われわれは、光学損傷を絶縁破壊現象の一つと捉え、パーコレーションモデルによる解析を試み、損傷閾値のパルス幅依存性などの有意な知見を得たが、その原理や、実験的な検証などにおいて、決定的な結果を得ることができなかった。

絶縁破壊が起こるためには、媒質の各場所にどのような強い電界がかかるか、また媒質は電界に対してどのように反応するか、特に、高強度レーザー照射で生じる高温、高圧状態を含む物理的、化学的変化についての洞察が必要との指摘に基づき、物性の研究を行なった。例として大気中の放電現象を取り上げ、雷の発生過程、上昇気流による雲の生成、電荷の蓄積、その降雨による再分配、落雷に至る過程をひと繋ぎの物理としてまとめるモデリングを行なった。



(図) (左) 雷雲中で、上昇気流中で氷の粒が衝突して電荷分離が起こり、ついで降雨によって電荷が再分配され、地表との間に強い電界ができて落雷することを示す。
(中) 雷雲の電氣的な等価回路で、上昇気流、降雨の効果を電流源として表し、かつグローバルサーキットを考えて閉じた回路を構成すると、(右)の雲中の電界分布を再現し、雷の発生と進展を説明できるようになることを示す。

相変化材料を利用したテラヘルツ波デバイスの開発

牧野孝太郎¹, V. K. P. Mag-Usara², 中野隆志¹, 中嶋誠²

1) 産業技術総合研究所 デバイス技術研究部門 2) 大阪大学 レーザー科学研究所

SUMMARY

相変化材料は異なる結晶状態間での構造相転移と、それに伴う光学的性質や電氣的性質の変化を示す。Ge-Sb-Te合金はその代表的な物質であり、DVD-RWなどの市販の光ディスクやPCRAMに用いられている。しかし、テラヘルツ波帯での利用の可能性は近年まで分かっていなかった。

我々はテラヘルツ波帯での応用に着目し、その特性評価と、FIG.1(a)に示すような変調性という新たな機能デバイス化するための取り組みを実施してきた。FIG.1(b)に示すように、新たな光学系を構築した。この光学系により、相変化材料膜の任意の位置の相変化を制御することに成功した(FIG. (c), (d))。

今後はテラヘルツ電磁波を検出・制御可能なデバイス、メタ材料を活用したデバイスの原理検証・創製を目指す。また、相変化材料ともに重要な役割を果たす配線材料など金属の特性評価を実する計画であり、金属薄膜の評価の準備を整えている。

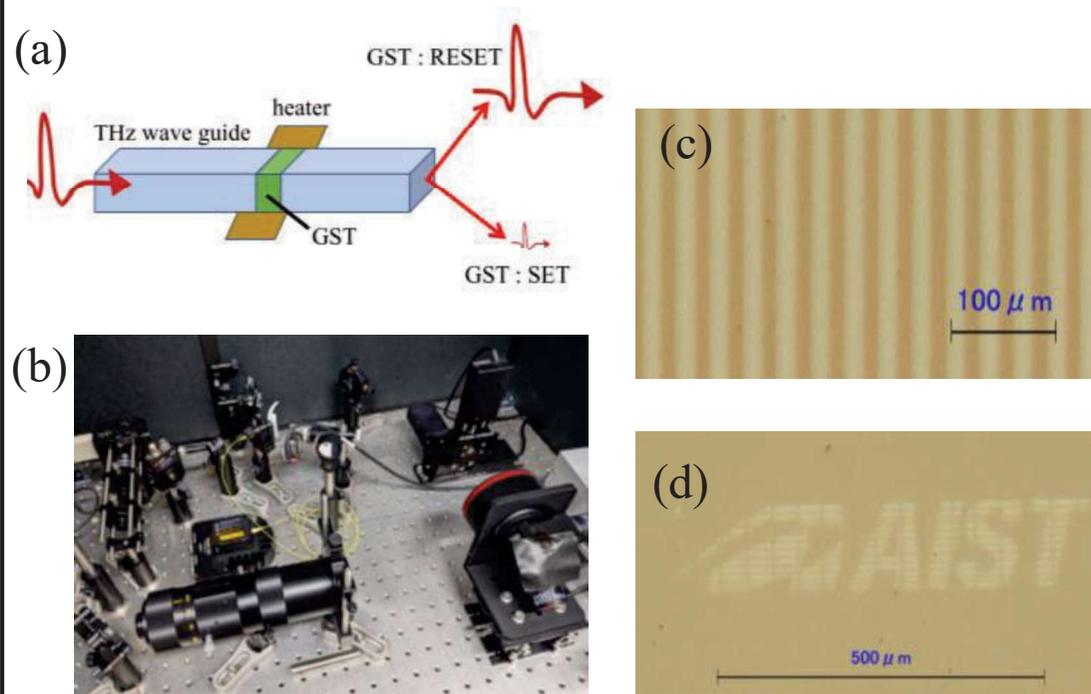


FIG.1 (a) 本研究で目指す新しいテラヘルツ波デバイスの概要図、(b) 新たに構築した相変化制御用の光学系、(c), (d) 相変化材料膜の相変化を制御することで描画されたパターン。

フレキシブルな基板の上に成膜した金属有機構造体のひずみゲージへの応用

李 相錫¹, 松永 忠雄¹, 中嶋 誠²

1)鳥取大学工学部, 2)大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

様々な金属イオンとそれらを連結する架橋性の有機配位子を組み合わせることで骨格間に無数のナノメートルサイズの細孔が存在する結晶性の高分子である金属有機構造体(Metal Organic Frameworks ; MOF)は、センサなどへの応用が期待されている。本研究では、厚さ $3\mu\text{m}$ のMOF薄膜をフレキシブルなポリイミド基板の上に成膜し、ひずみゲージへの応用可能性を明らかにする。そのためMOF薄膜に加えたひずみと電気抵抗の変化率との関係を調べた。フレキシブルな基板上的MOF薄膜形成に関する報告例がないため、本研究成果は学術的に有意義であると考えられる。

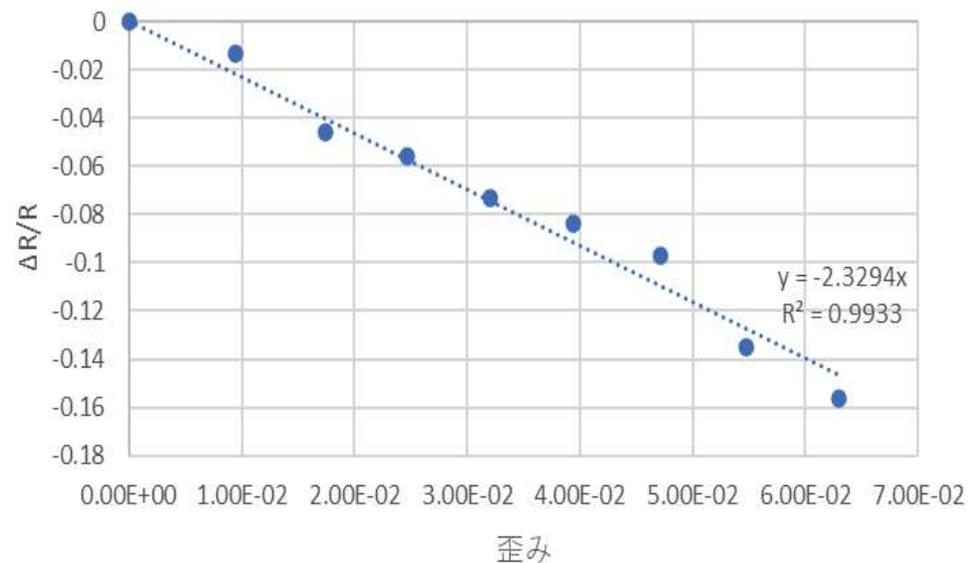


FIG. フレキシブルなポリイミド基板の上に導電性を高めるためTCNQでドーピングを行った金属有機構造体を用いてひずみと電気抵抗の変化率を調べた結果、ゲージファクタが2.33になることがわかった。

高利得化及び高非線形化を用いた正常分散モード同期レーザーのチャープの線形化及びパルスの拡大法に関する理論解析

上島和史¹, 後藤広樹¹, 川戸栄², 河仲準二³

1) 福井大学工学研究科, 2) 福井大学学術研究院工学系部門, 3) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

超短パルスレーザーの繰り返し周波数を下げ、パルスエネルギーを高出力化したときに正常分散が発振スペクトルと出力パルスに及ぼす影響を明らかにした。

解析により、正常分散により発振スペクトルが減少すると同時にパルス幅が広がり、パルスのピーク強度を抑えることが可能となる。またスペクトル幅を広げるために二次分散 $10^4 fs^2$ の場合に高速可飽和吸収体の飽和パワーをスペクトル幅が最も広くなる値に設定した場合、パルス幅及びパルスエネルギーが減少することを明らかにした。

今後の展望としてパルス幅を広げながらスペクトル幅も広い状態に維持できる発振条件を理論的に明らかにしたい。

(a)

パラメータ	スペクトル幅	パルス幅	エネルギー
繰り返し周波数 61.7 MHz	10 nm	194 fs	3.4 nJ
繰り返し周波数 617 kHz	2.9 nm	697 fs	2.7 μ J

(b)

高速可飽和吸収体の飽和 パワー P _{sa}	スペクトル幅	パルス幅	エネルギー
100 kW	2.7 nm	773 fs	65 μ J
200 kW	4.6 nm	441 fs	19 μ J
300 kW	6.6 nm	288 fs	0.6 nJ
400 kW	7.2 nm	257 fs	0.2 nJ
500 kW	6.9 nm	263 fs	0.1 nJ
600 kW	6.3 nm	279 fs	8.4 nJ

Table (a) 繰り返し周波数の低下が出力パルス、スペクトル幅に及ぼす影響（二次分散なし）(b)高速可飽和吸収体の飽和パワーが変化したときの出力結果(繰り返し周波数617kHz,二次分散 $10^4 fs^2$ で一定とする。)

LD励起半球型共振器連続波Yb:YAGレーザーの高効率化

後藤広樹¹, 上島和史¹, 川戸栄², 河仲準二³

1) 福井大学工学研究科, 2) 福井大学学術研究院工学系部門, 3) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

本研究では、高効率、高出力な小型超短パルスレーザーの低コスト化に向けて、レーザーダイオード(LD)を励起光源に用いた小型レーザーの高効率化、高出力化を目的とした。理論解析で最適化を行い、その結果をもとに集光光学系、共振器を試作し、入出力特性の測定を行った。出力鏡透過率5%のとき、最大励起光パワー3.87 W、レーザー光パワー2.71 W、光-光変換効率70%が得られた。この効率は先行研究でも報告されているファイバー結合LDを励起光源とした高効率な小型レーザーと同等の結果である。このことから、非点収差が大きい光源を用いる場合でも、レーザー光に非点収差を与えることで小型CWレーザーの高効率化が可能であることを示すことができた。

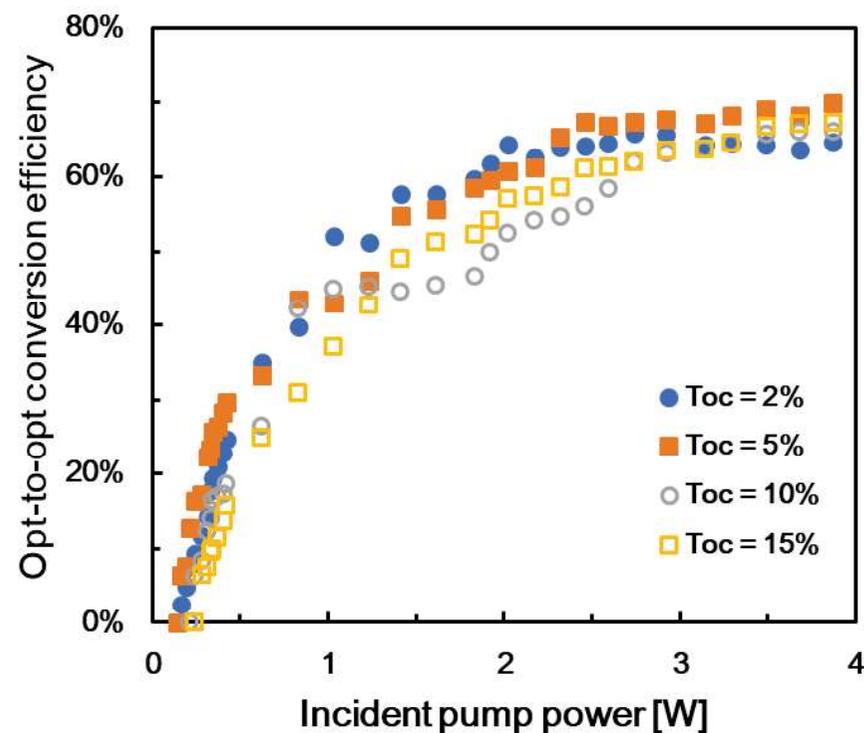


FIG. 励起光-レーザー光変換効率に対する励起光パワー依存性。出力鏡透過率(Toc)が5%で最大励起光パワー(3.87W)のときに変換効率が最大の70%となった。

高強度テラヘルツパルスによるスピン制御の研究

森田 健¹, 中嶋 誠²

1) 千葉大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

光励起した半導体中の電子スピンの高強度THzパルスによってどのように制御できるかについて研究している。電荷としての光励起電子は維持できるが、スピンの情報はピコ秒オーダーで消失する結果が得られていた。本年度は電子-フォノン相互作用を考慮したシミュレーションを行った。 Γ 点の光励起スピンはTHzパルスの電場によって波数を得て、電子-フォノン相互作用を介して別のX点に移る。その過程でスピンの超高速消失現象が起きることを示唆する結果が得られた。本結果は、キャリアを維持したままスピン情報を瞬時に消すことを意味し、将来の量子情報処理技術に応用可能である。

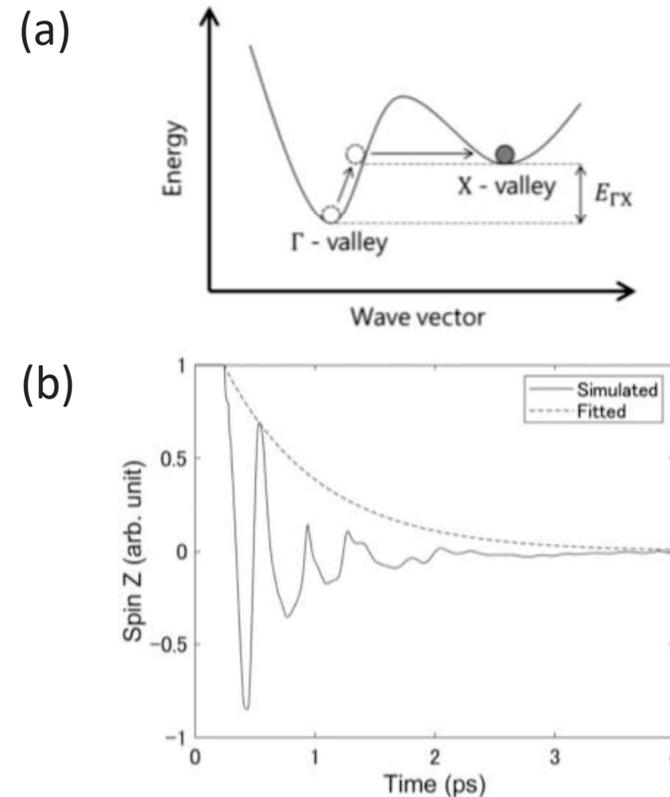


FIG. (a)高強度THzパルスによって Γ 点からX点へ電子スピンの移動する。(b)電子-フォノン相互作用を考慮したスピンのダイナミクスのシミュレーション結果。1ピコ秒程度でスピンの情報が消える結果が得られた。

テラヘルツ帯における鋭峻化された透過スペクトルを有する金属開口の作製

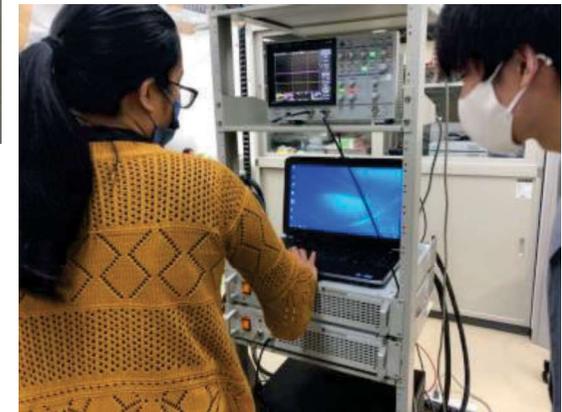
菜嶋茂喜¹

1) 大阪市立大学

まとめ

金属薄板に周期的な開口が施された金属メッシュを用いた初のマイクロアレイバイオセンシング化を目指し，開口形状に由来する構造共鳴の局在化に最適な開口形状の調査（大阪市大で実施）と作製方法について検討した（大阪大と大阪市大とで実施）。

今年度は開口部単体で見られる共鳴について構造パラメーターの影響を調査し，その作製の際に使用する予定のレーザー加工について，候補とするYAGレーザーとフェムト秒レーザーを検討した．大阪大学にあるフェムト秒チタンサファイアレーザー加工機の使用法，安全面，運用方法などについて打ち合わせた（右写真）。



写真（左上）． YAGレーザーで作製した，一辺 $260\ \mu\text{m}$ の金属単開口（大阪市立大学で実施）． レーザー加工機の操作方法を受ける大学院生（大阪大学で実施）。

LFEXレーザーシステムの高性能化 —核融合炉用レーザーシステムの動特性解析に関する研究—

金邊 忠¹, 河仲 準²

1) 福井大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

大出力ガラスレーザーは非線形屈折率が無視できず、非線形光学効果(B係数)により光学ノイズが成長する。非線形光学効果を考慮したシミュレーションコードを用いて実際の増幅器内部の成長するノイズを再現し、NIF, LIFE, HAPLSの増幅伝搬シミュレーションを行った。図より、B係数がNIFでは3.0, LIFEでは2.5, HAPLSでは2.3を超えると1/Filling Factorが2を超えて悪化する。どのシステムでも、F値が大きい方が、1/Filling Factorが大きくなる傾向が見られた。レーザーガラスはNIFではLHG-8, LIFE, HAPLSではAPG-1を使用した。これらの非線形屈折率は図中に記載した。NIF, LIFE, HAPLS両方の性質からB係数と1/Filling Factorの特性を $a \cdot \exp[b \cdot \gamma \cdot L(B-c)] + d$ の式で近似した。NIFでは、 $1.0 \exp[2.1\gamma L(B-c) \times 10^{13}] + 0.6$, LIFEでは、 $1.2 \exp[2.1\gamma L(B-c) \times 10^{13}] + 0.5$, HAPLSでは、 $1.6 \exp[2.1\gamma L(B-c) \times 10^{13}] + 1.6$ であった。各システムのB係数と1/Filling Factorは、あるB係数の値までは一定で、増加し始めてからは γL を用いた式で近似できることがわかった。

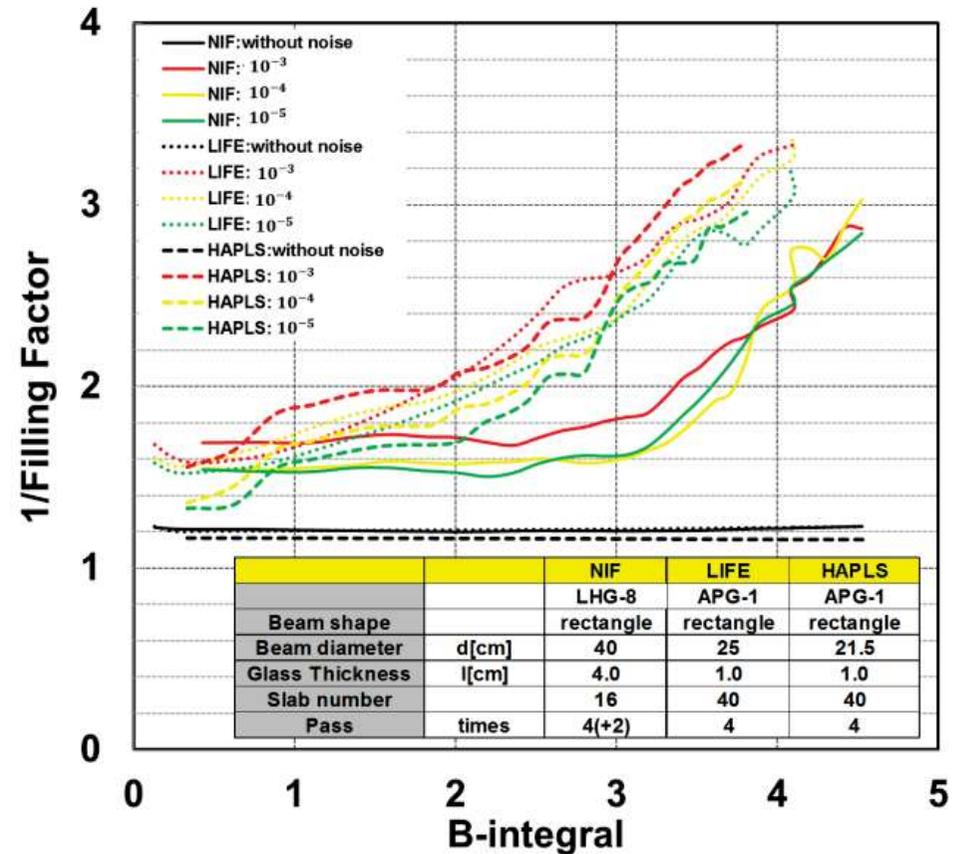


FIG. 1/Filling FactorとB-integral

レーザー造形法によるシリカガラス構造形成

本越伸二¹, 村松功希², 吉田実², 藤岡加奈³, 坂本高保¹

1) (公財) レーザー技術総合研究所, 2) 近畿大学理工学部, 3) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

ガラス表面に構造を持つ回折光学素子は、様々な応用分野で利用されている。この表面構造はインプリントや、研削・除去加工で形成されているため、その精度、自由度には限界があり光学素子設計を制限する要因となっている。

本研究では、シリコン油に紫外レーザー光を照射することにより微細ガラス構造の形成を目的に行っている。

2021年度はシリコンウェハ上に塗布されたシリコン油に対して、波長193nmのArFエキシマレーザーパルス照射したときの屈折率の変化を評価し、ガラス化に適したレーザー照射条件を検討した。

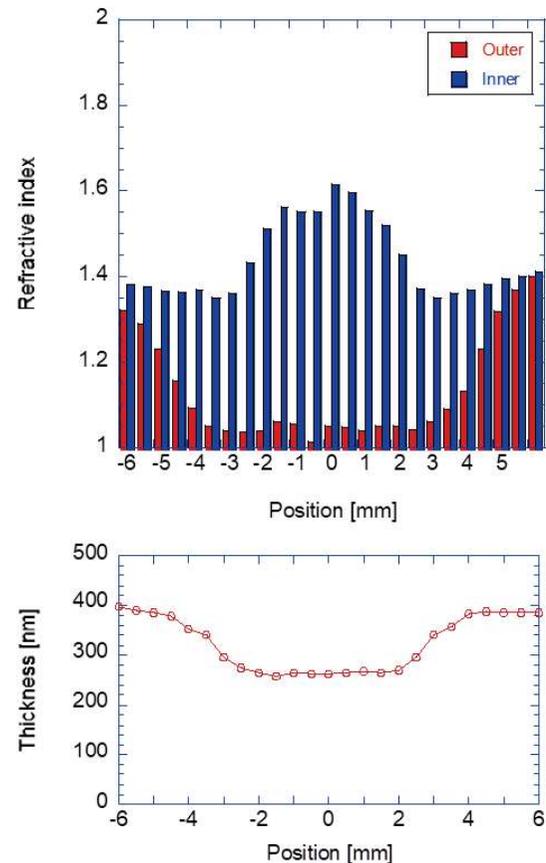


FIG. 8mJ/cm²、40,000パルス照射後のシリコン油の屈折率と膜厚の分布。

中性子線ガラスシンチレータの特性改良に関する開発研究

村田 貴広

熊本大学 大学院先端科学研究部

SUMMARY

本共同研究では、高速応答と高輝度を兼ね備えた高性能中性子線計測用ガラスシンチレータ材料の開発を目的としている。

本年度からガラスシンチレータの新規製造プロセスの開発を開始し、ガラスにドーピングするPr原料化合物がガラス形成に及ぼす影響について調査を行なった。ガラスマトリクスとPr化合物の反応性を考慮することによって安定にガラス形成できる可能性を見出した。さらに本プロセスを最適化させてPr³⁺ドーピングガラスの合成を目指した研究を継続して取り組んでいる。

本研究で開発する高性能中性子線ガラスシンチレータは、核融合研究にとどまらず、国内外を問わず極めてニーズが高い分野において安全・安心な社会を支える基盤技術となるとともに、利用分野も広範囲に渡るので高い経済波及効果も期待できる。

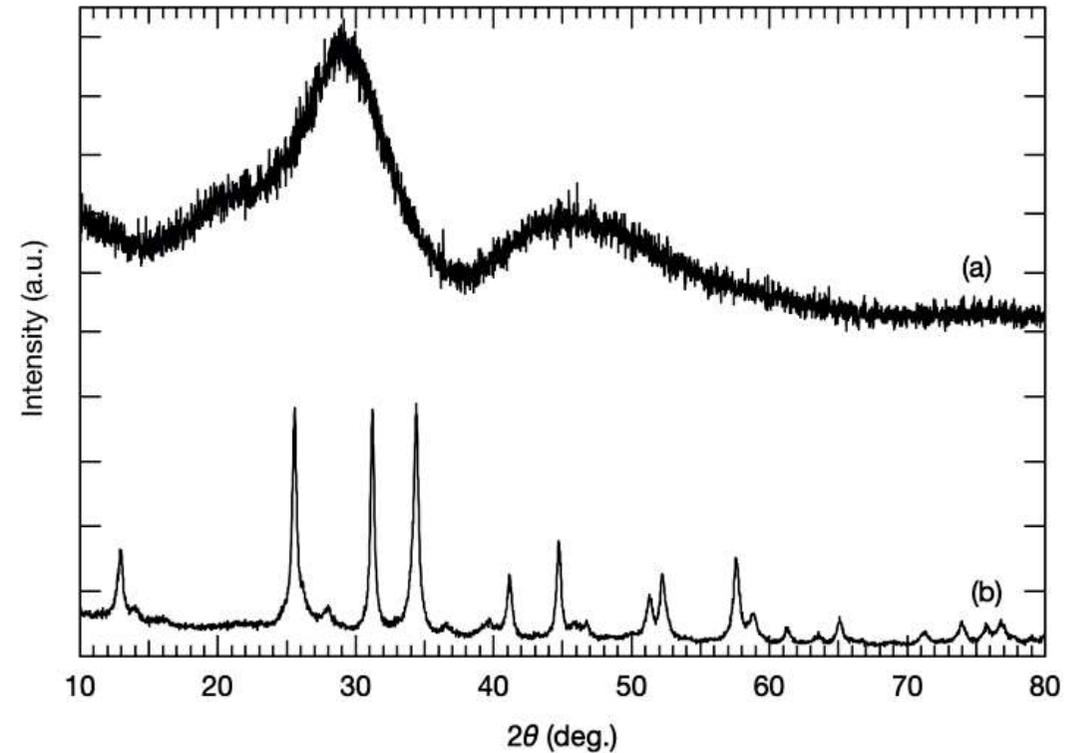


FIG. XRD patterns of Pr³⁺-doped samples prepared using Pr(III) compounds (a) and (b).

Investigating the scintillation properties of rare-earth-doped APLF glasses with various doping concentrations and excitation sources

M. Cadatal-Raduban^{1,2}, M. J. F. Empizo², K. Shinohara², N. Sarukura² and K. Yamanoi²

1) Massey University, New Zealand, 2) Institute of Laser Engineering, Osaka University, Japan

SUMMARY

The optical properties of $20\text{Al}(\text{PO}_3)_3-80\text{LiF}$ (APLF80) glass doped with trivalent neodymium (Nd^{3+}) ions of varying concentrations from 0.5 to 2.0 mol% were evaluated by photoluminescence spectroscopies. The electric-dipole allowed $4f^25d \rightarrow 4f^3$ ($^4I_{9/2}$) transition resulted to a broad VUV emission that peaked at ~ 187 nm. The decay time of this emission ranged from ~ 6.1 ns to ~ 5.0 ns when the doping concentration changed from 0.5 mol% to 2.0 mol%. At room temperature, the absorption edge located around 192 nm overlaps with this VUV emission indicating that self-absorption could limit the emission intensity. This overlap can be minimized by working at low temperatures. Our results present exciting prospects for improved down-scattered-neutron detection in fast-ignition laser fusion as the scintillation decay time from Nd^{3+} -doped APLF glass is significantly faster than conventional glass scintillators and this decay time can be made even faster by adjusting the doping concentration.

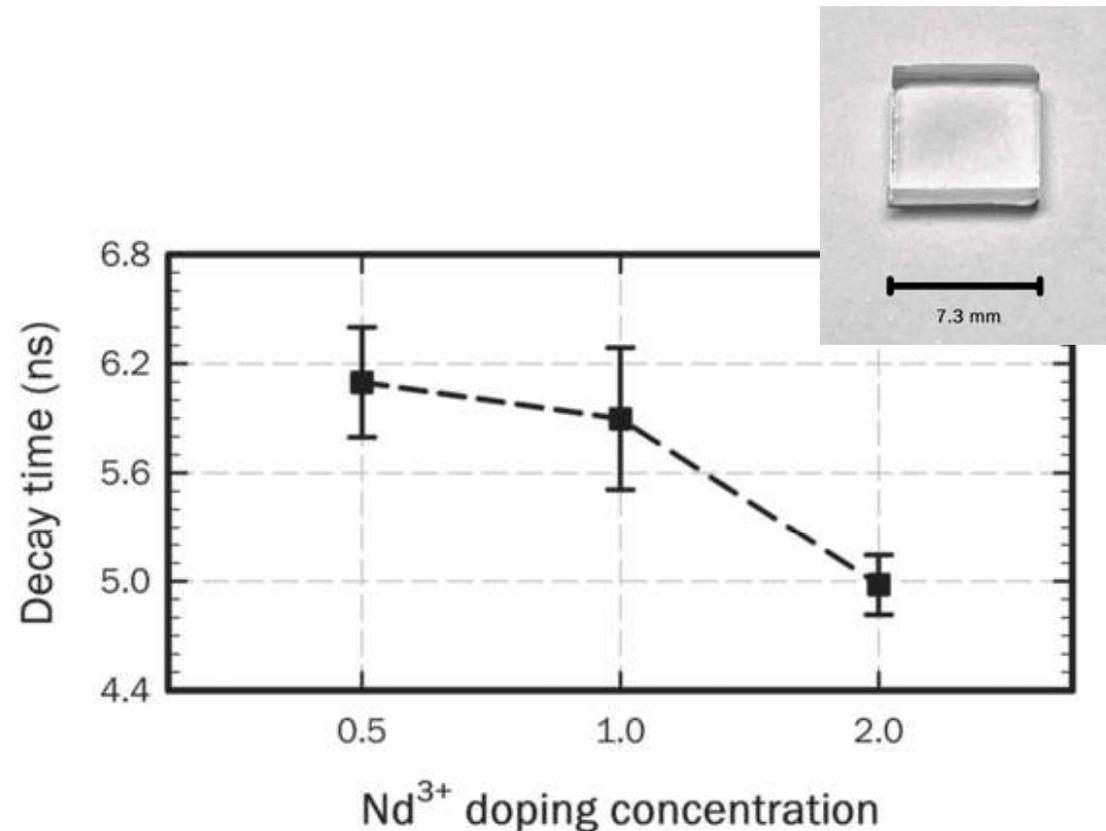


FIG. Decay times of Nd^{3+} -doped APLF glass at room temperature under 157 nm F_2 laser excitation with different doping concentrations. The inset shows the photograph of the 1.0 mol% Nd^{3+} -doped APLF glass.

透光性セラミックス材料の開発

古瀬裕章¹, 黒沢将平¹, 藤岡加奈²

1) 北見工業大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

透光性セラミックスは、レーザー材料以外にも、白色照明用蛍光体やシンチレータ、フェラデー材料など幅広い光学分野へ期待されている。様々な作製法がある中で、北見工大では放電プラズマ焼結法 (Spark Plasma Sintering: SPS) に着目して、新しい機能性セラミックスの開発に取り組んでいる。

これまで酸化物系材料を中心に透明セラミック化に取り組んできたが、SPS法を用いたフッ化物系材料の研究は多くはない。今回、課題抽出を目的に、市販の CaF_2 粉体のSPS焼結を行い、透明セラミック化を試みた。

様々な条件で焼結を行った結果、 850°C で焼結した際に高い透光性を有する焼結体が得られた。今後は、さらなる高品質化に取り組む予定である。

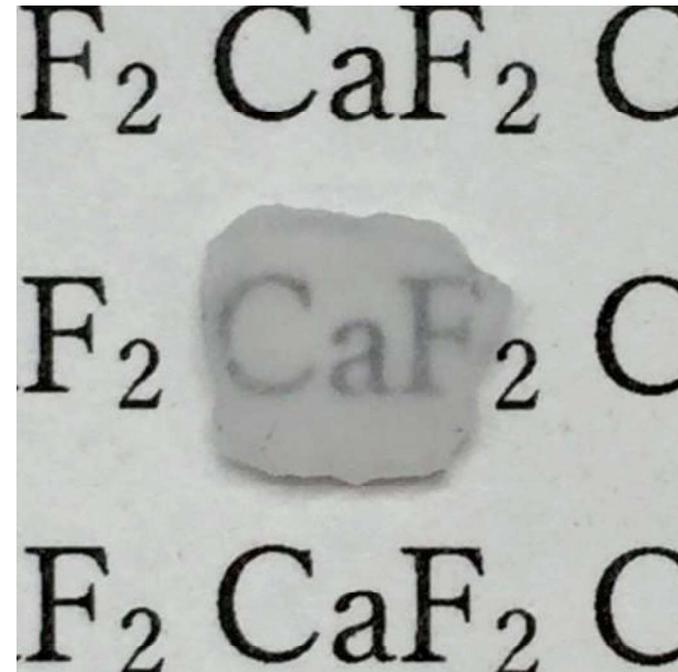


FIG. SPSで焼結した CaF_2 セラミックス.

次世代高機能光ファイバデバイスの開発とその応用

藤本 靖
千葉工業大学

SUMMARY

Ultra-short length gain fibers are expected to be applied to range sensors and optical frequency combs because of their ability to fabricate resonators with high repetition rates around GHz. A photo-darkening (PD) phenomenon in a Yb doped silica fiber, however, makes us difficult to use ultra-short Yb fiber due to requiring too high concentration of Yb ions. We previously reported that PD phenomenon can be suppressed by co-doping group 2 elements to the Yb fiber. The PD effect of Yb-Mg co-doped silica fiber (YbMgSGF) is the lowest. In addition, laser oscillation has been already demonstrated in YbMgSGF. However, the gain properties of YbMgSGF are not well known, it is difficult to establish a benchmark for cavity fabrication. In this study, we will show the gain bandwidth in high concentration YbMgSGF (Yb:54,600 ppm) to confirm how much the pulse width can be shortened when fabricated as a short pulse resonator. Last year, we constructed a wideband probe laser system (FIG.1).

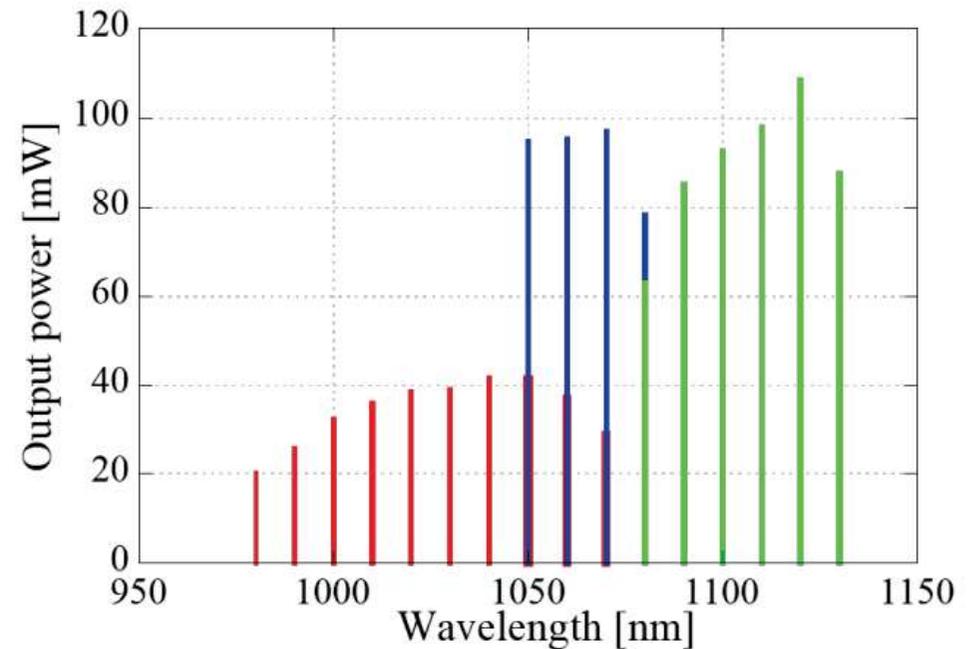


FIG.1 Output power for spectra of the tunable lasers: Red; LD-1050-0050, Blue; LD-1060-0100, Green; LD- 1120-0100

Excitonic luminescence properties from new layered mixed-anion compounds with natural superlattice

Hiraku Ogino¹, Yuki Iwasa¹, Kohei Yamanoi², Toshihiko Shimizu², Sarukura Nobuhiko²

1) National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), 2) ILE, Osaka University

SUMMARY

Compounds which exhibit excitonic emission are important for optical applications such as new type of phosphor materials and very fast scintillators. In some layered compounds, excitonic luminescence is observed because their layered structure works as a quantum well. Previously we have investigated optical properties of other compounds, $\text{Sr}_3\text{Sc}_2\text{Cu}_2\text{S}_2\text{O}_5$ and $\text{Sr}_2\text{ScCuSO}_3$ [1]. These compounds composed by semiconducting CuS layer and perovskite-related SrScO layers. In both samples sharp emission lines are observed near the band edge. The merit of these group of compounds are their chemical and structural flexibilities. In this year, we explored this system, and found new material $\text{Sr}_2\text{ZnCu}_2\text{Se}_2\text{O}_2$. Solid solutions of $\text{Sr}_2\text{ZnCu}_2\text{S}_2\text{O}_2$ - $\text{Sr}_2\text{ZnCu}_2\text{Se}_2\text{O}_2$ were also synthesized.

[1] H. Ogino *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **101** (2012) 191901

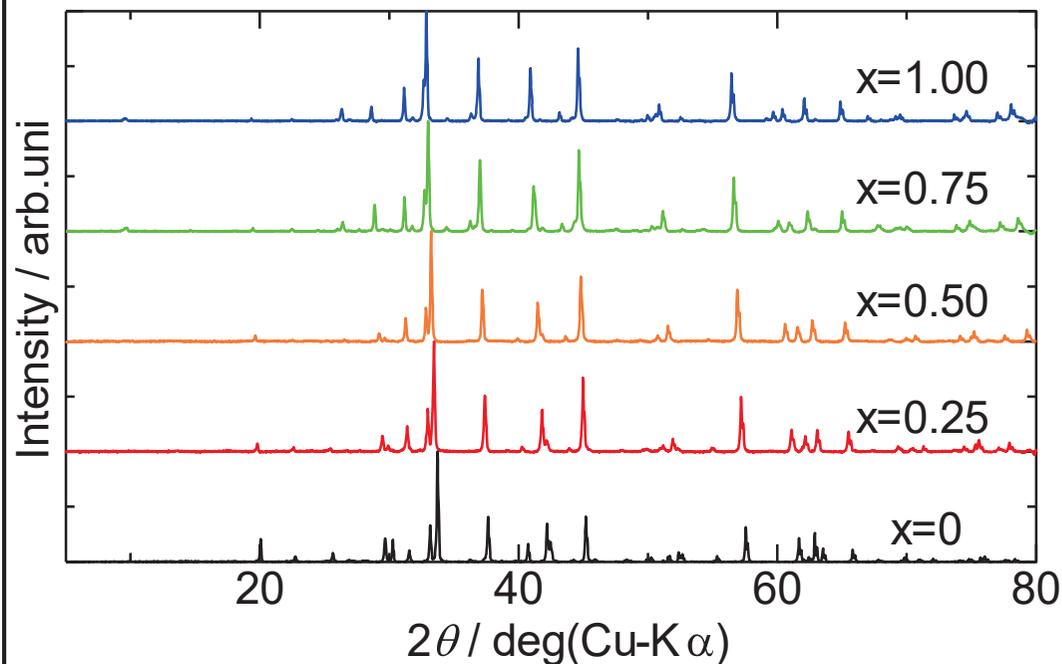


Fig. XRD pattern of $\text{Sr}_2\text{ZnCu}_2(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_2\text{O}_2$

レーザー核融合実験における イオン・中性子計測のための高感度EOポリマー波長最適化

山田俊樹, 大友明, 有川安信,
情報通信機構, 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

レーザー核融合実験における次世代の超高速量子ビーム計測として、電気光学 (Electro Optical, EO) 効果を用いた計測手法が期待されている。情報通信機構において開発されたEO反応性を有するポリマー「EOポリマー」は従来の結晶材料よりも高感度であり、安価に大量生産できるという特徴を有する。大阪大学レーザー科学研究所有川安信先生により、この材料の有用性が着目され、レーザー核融合実験における装置開発が始まっている。本研究では高感度化を目指して、ポリマーの厚さの変更、波長感度向上のためにポリマーに付加している色素の変更、ポリマー膜の基板にレーザー光反射ミラー用アルミ層を導入した。

またレーザー核融合実験にで用いられるプローブレーザーの波長1040nmに合わせて、光吸収エッジの50%点が1040nmに重なるように色素を選択した。EOポリマーは1mmx1mmx0.6mmのシリコン基板に塗布されている。この仕様のEOポリマーチップの大量製作技術が確立した。

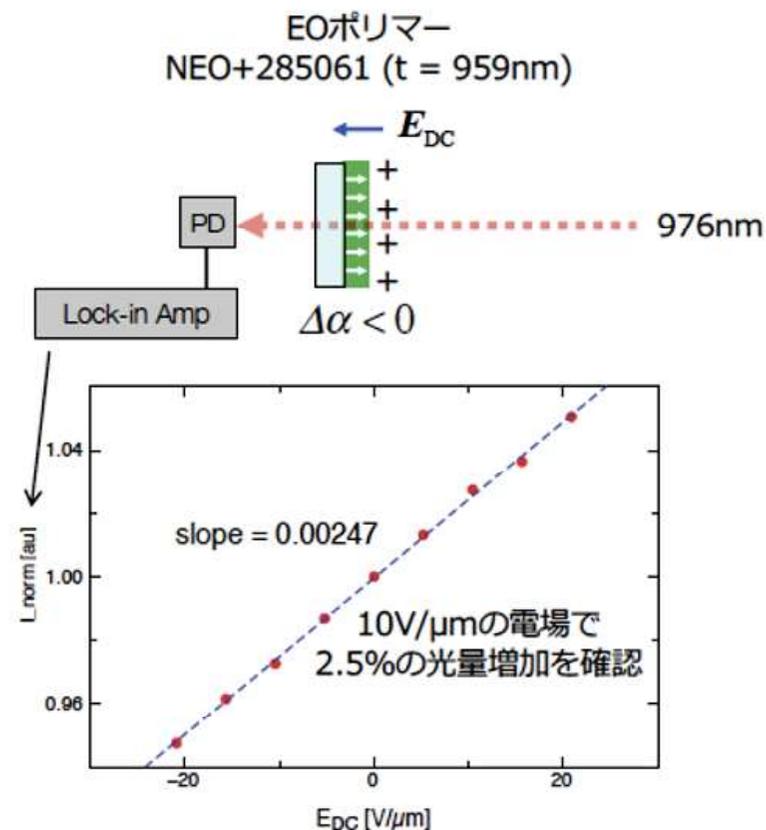


FIG1. EOポリマーの感度測定実験。情報通信機構で実施。従来品よりも低い10Vで十分な光変調を観測することに成功した。

ホウ酸系非線形光学結晶の高品質・大型化

森勇介¹, 吉村政志²

1) 大阪大学大学院工学研究科, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

育成した大型・高品質非線形光学結晶CsLiB₆O₁₀ (CLBO) から大口径波長変換素子を作製し、大阪大学、スペクトロニクス(株)と三菱電機(株)との共同研究によって波長266nm、平均出力20Wのピコ秒パルス深紫外光を発生させ、10000時間以上の連続動作に世界で初めて成功した[Opt. Exp. Vol.30, 11797 (2022)]。また、70mm角断面の第2高調波発生用超大型素子を浜松ホトニクス(株)に提供し、繰り返し周波数2Hz、パルスエネルギー10.8Jの緑色光の発生に貢献した[レーザー学会学術講演会第42回年次大会, B08-14a-II-02(2022.1.14)]。

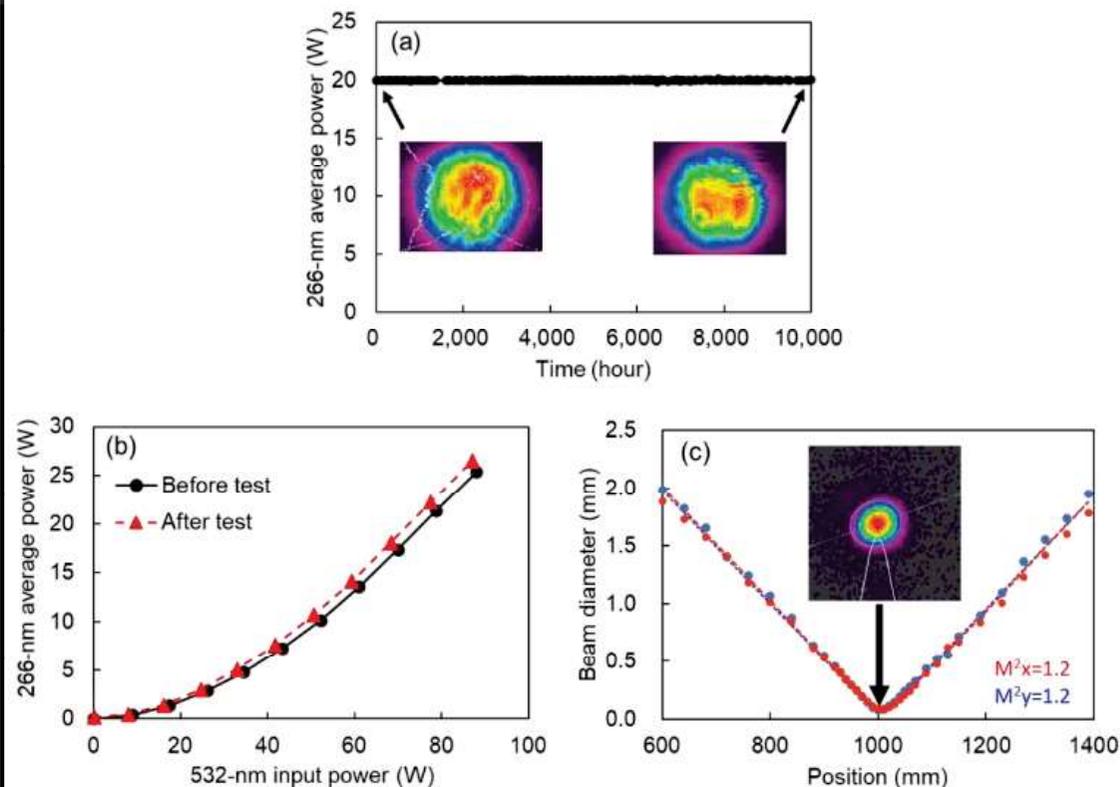


FIG. (a)波長266nm、平均出力20Wの10000時間連続運転結果。挿入図は試験開始時と終了時の空間ビームパターンを示す。(b)入出力特性(試験開始時と終了時)。(c)試験終了後のビーム品質。Opt. Exp.誌より引用。

高強度レーザーを用いた高機能性有機結晶創成法の開発 吉川 洋史¹

1) 大阪大学大学院工学研究科

SUMMARY

本研究の目的は、高強度レーザーによる結晶化制御法を用いて、高機能を有する結晶を創製することにある。本年度は、レーザーアブレーションによる結晶成長および結晶核発生の制御に関する研究に取り組み以下の成果を得た。①レーザーアブレーションで有機電気光学結晶を局所破壊することで、その成長を大幅に加速できることを見出した。本成果はThe Journal of Physical Chemistry C誌に原著論文として発表した(右図)。②レーザーアブレーションによる有機電気光学材料の種結晶作製法を開発し、日本結晶成長学会にてその成果を発表した。③レーザーアブレーションによる融液系(氷酢酸)の結晶核発生に成功し、そのメカニズムなどを調べた。本成果はApplied Physics Express誌に原著論文として発表した。

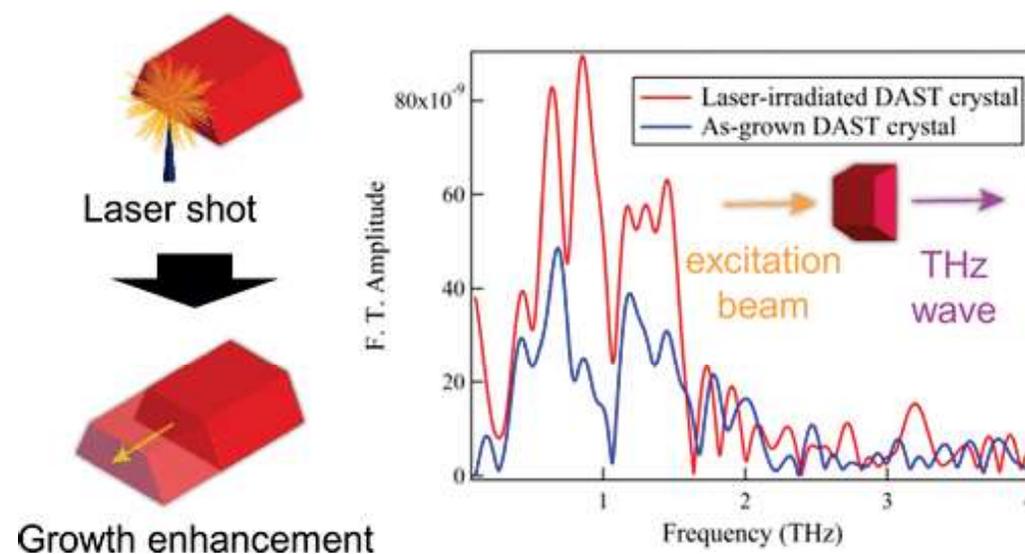


FIG. レーザーアブレーションによる有機電気光学結晶の成長促進と機能向上。Copyright 2021 American Chemical Society (H. Takahashi, H. Y. Yoshikawa et al., J Phys Chem C, 125, 8391-8397 (2021))

高エネルギー密度科学のシミュレーションとデータビリティに関する研究会

開催日時：2022年3月31日（木）13:00～17:30、開催場所：オンライン（zoom）

研究会代表：長友英夫（大阪大学レーザー科学研究所）

研究会概要： レーザーを用いた高エネルギー密度科学に関するシミュレーション研究者が一堂に会し、情報交換が行える場を設けることによって、シミュレーション、およびデータ研究の活性化を図ることを目的とした。特に、関連研究者との情報共有、シミュレーションコード共同開発、コード共用、データビリティに関する幅広い課題に対し、様々な可能性を議論する場を設ける。共同研究への発展も視野に入れ、将来的な研究成果に結びつけることを目指した。

コロナ禍の影響で3年連続で完全オンライン開催となり、参加者が対面で直接議論をする場が失われてきた。そこで今回は、全員の顔が分かる研究会にする試みとして、自己紹介・近況報告セッションを設け各自5分程度の研究紹介を行ってもらった。また、各講演題目を表に示す。講演題目、および近況報告での興味の対象は大きく3つに分かれた。レーザー照射された固体表面の物理、流体近似から運動論へ遷移する領域の物理、および超高強度レーザープラズマ相互作用による高エネルギー光量子発生に関する物理であった。最後の自由討論では各トピックスで連携を目指す具体的な議論が行われるなど、成果が得られた。

研究会プログラム

発表なしの参加者による自己紹介・近況報告：

三間罔興（阪大レーザー研）、坂上仁志（核融合研）、加藤進（産総研）、岩田岩田夏弥（阪大レーザー研）、西川亘（岡山大）、瀬戸慧大（ELI/NP）、城崎知至（広島大）、佐野孝好（阪大レーザー研）、千徳靖彦（阪大レーザー研）

佐々木進	量研関西研	プラズマシミュレーションの新型コロナウイルス感染症の広がりへの解析への応用
古河裕之	レーザー総研	固体とレーザーの相互作用に関する量子力学的考察
畑昌育	量研関西研	三次元PICコードによるレーザープラズマ相互作用研究
田口俊弘	原研機構	最近のレーザープラズマ研究
杉本 馨*	大阪大学	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
高木悠司*	大阪大学	高強度非相対論的レーザーにより生成される非熱的電子流のスケーリング則
長友英夫	大阪大学	非局所電子熱伝導モデルの流体コードへの導入

表：研究会発表氏名・題目一覧（*大学院生）参加者数：16名



図：参加者集合写真

ハイパワーレーザーのための広帯域な誘電体多層膜ミラーの基本設計への機械学習の適用

大久保 友雅¹, 中尾根美樹¹, 松永 栄一¹, 河仲 準二², 實野 孝久², 本越 伸二³, 吉田 國雄^{2,4}

1)東京工科大学, 2)大阪大学レーザー科学研究所, 3)レーザー技術総合研究所, 4)岡本光学加工所

SUMMARY

超ハイパワーレーザー用の誘電体多層膜ミラーの設計において、従来の単純な非線形最適化では要求性能を満たすことが出来ない。そこで、AIを導入した独自の薄膜設計プログラムを製作するために、まずは薄膜データの学習に適切なAIの構造を見出ことを目的とする。

10層の誘電体多層膜ミラーについて、屈折率及び膜厚分布と、その 800 nm から 900 nm の平均反射率との関係を機械学習し、誘電体多層膜ミラーに有効なニューラルネットワークを構築した。先行研究により、再帰的ニューラルネットワーク (RNN) が有効であることが確認されたため、今年度は各層における活性化関数を入れ替え、学習結果の RMSE (Root Mean Squared Error) でその評価を行った。

RNNの出力サイズを10とし、活性化関数を入れ替えた結果を FIG に示す。softplus 関数の誤差は大きかったものの、他の活性化関数は従来の ReLU と変わらない程度で学習出来ることが分かった。

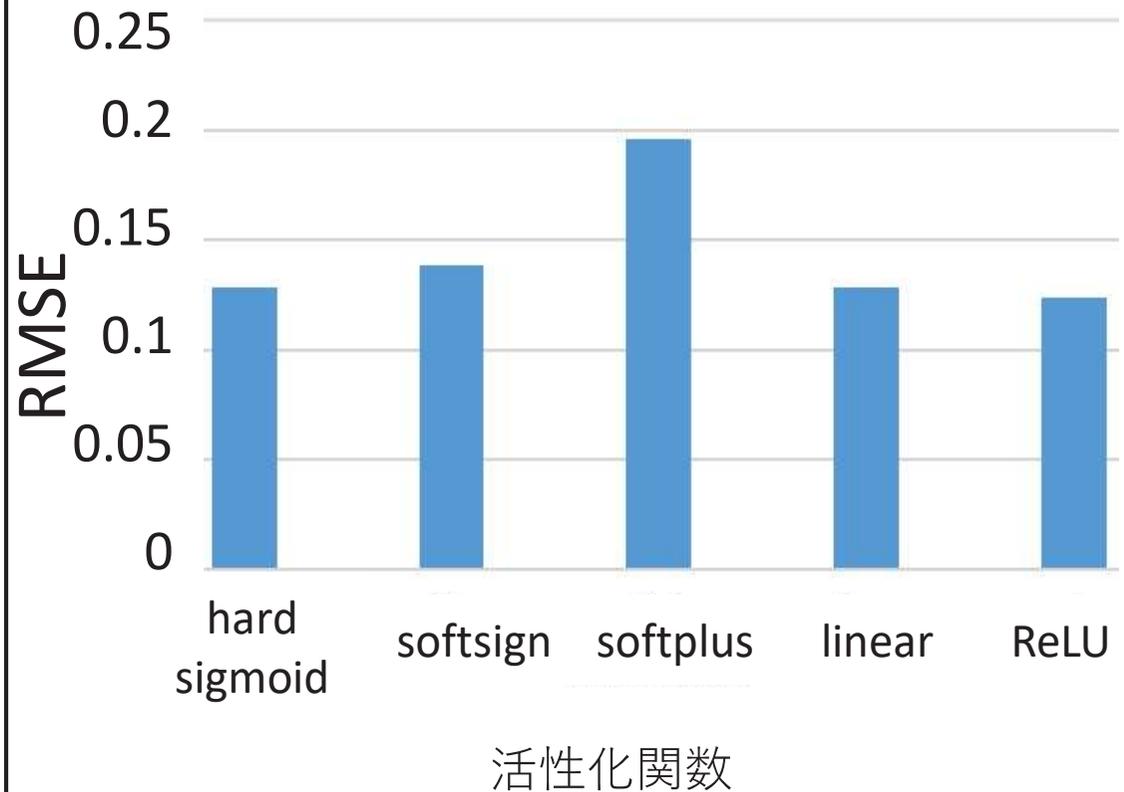


FIG. RMSEによる活性化関数の比較

輻射流体力学シミュレーションのためのオパシティ計算コードOptabの開発

廣瀬重信¹, 佐野孝好²

1) 国立研究開発法人海洋研究開発機構, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

輻射流体力学シミュレーションを行う場合、状態方程式とオパシティの両方が必要となる。シミュレーション結果は両者に依存するため、相互比較のためにも業界で同じ数値データが用いられることが望ましい。しかし現状は、ユーザが個々に目的に応じて数値データを用意するのが普通である。また、本来、状態方程式とオパシティは同じ化学平衡組成をもとに計算されるものであるが、実際にはそうになっていないケースが見られる。これらの問題の要因は、ガスのオパシティ計算を行う整備されたパブリックコードがなく、既存のパブリックテーブルを使わざるを得なかったことにある。そこで我々は、ユーザが用意した化学平衡組成をもとにガスオパシティを計算するパブリックコードOptabの開発を行った (Hirose et al. 2021)。詳細は<https://github.com/nombac/optab>を参照。

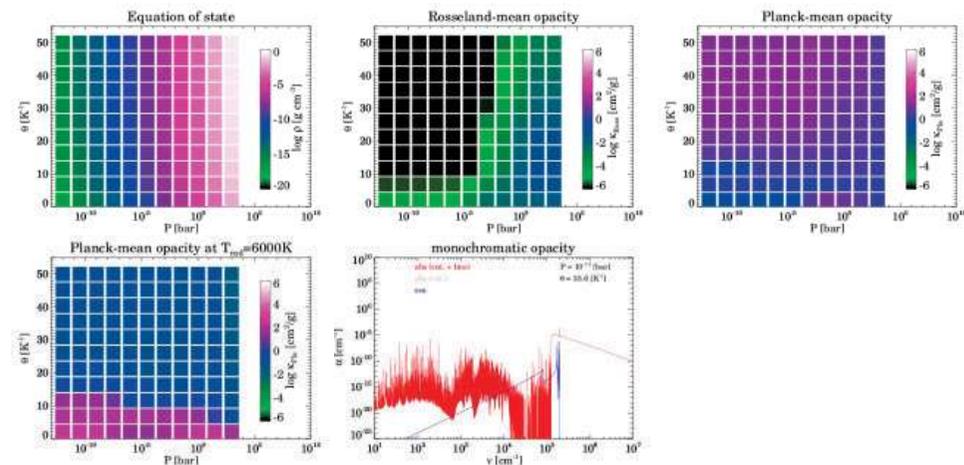
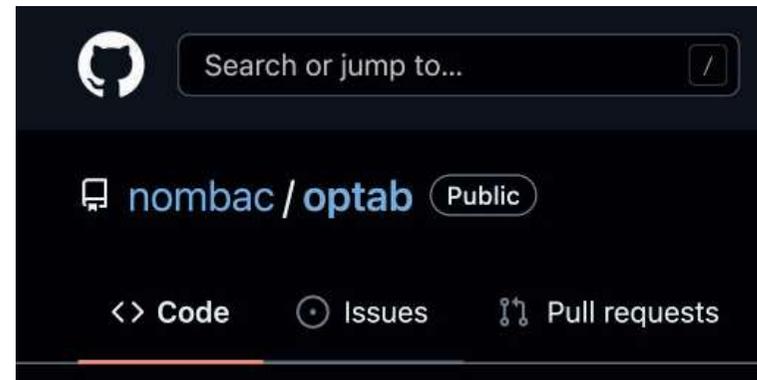


FIG. 開発したオパシティ計算コードOptabはGitHubにて公開している (上)。Optabの出力例 (下) : 左上から右下に向かって、状態方程式・ロスランド平均・プランク平均・2温度プランク平均・単色オパシティ。

超短パルスレーザー加工の統合シミュレーションコードの開発

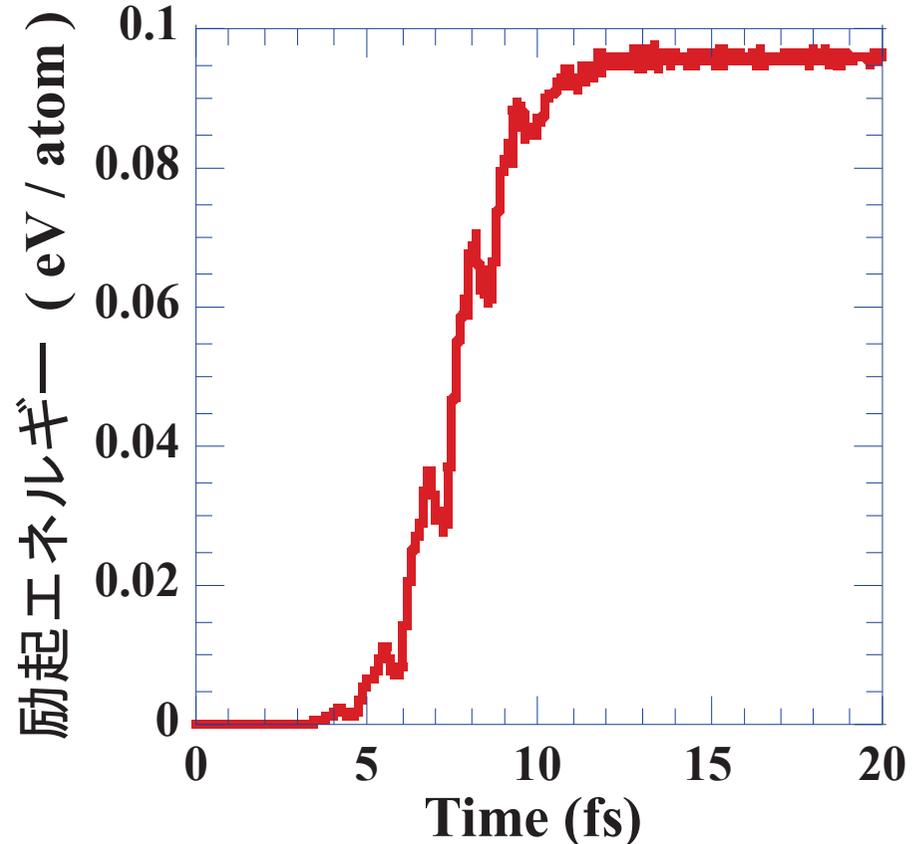
古河裕之¹, 長友英夫², 三間罔興², 矢花一浩³

1) レーザー技術総合研究所, 2) 大阪大学レーザー科学研究所, 3) 筑波大学計算科学研究センター

SUMMARY

本年度は、超短パルスレーザー加工において非常に重要である「初期のレーザーと固体の相互作用」の解明に注視した。本研究において、時間依存密度汎関数理論を固体に適用し、レーザーと固体の相互作用の理論モデルを構築する。

本年度は、時間依存密度汎関数理論コードである「SALMON (Scalable Ab-initio Light-Matter simulator for Optics and Nanoscience)」を用いて、Si結晶とSiO₂結晶の誘電応答関数、屈折率、及び光電場による励起エネルギーの時間発展を求めた。



SALMON で求めた、SiO₂ 結晶の光電場による
励起エネルギーの時間発展。

パルス幅 15 fs、光強度 5×10^{13} W/cm²。

フェムト秒X線分光計測による高強度レーザー生成プラズマの過渡的特性の解明

犬伏雄一¹, 藪内俊毅¹, 千徳靖彦²

1) 高輝度光科学研究センター, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

超短パルス高強度レーザーの照射により、フェムト秒の時間スケールで物質を急激にイオン化・加熱し、強い非平衡状態の高密度プラズマを生成できる。本研究では、10フェムト秒以下のパルス幅をもつX線自由電子レーザー(XFEL)を用いたX線吸収分光計測と、原子過程を組み込んだプラズマ粒子シミュレーションコードPICLSを用いた解析により、このプラズマの過渡的な特性を明らかにする。

実験では、FIG.1に示すように、CuのK吸収端近傍の空間分解透過X線スペクトルを計測した。K吸収端の高エネルギー側の透過率がおよそ800フェムト秒に渡って増大し続け、初期の30倍に達することがポンプ・プローブ計測により明らかとなった。更に、FIG.2に示すように、PICLSとFLYCHKを組み合わせた計算により空間分解X線透過率を導出し、実験結果と比較した解析を進めている。

今後も共同研究を継続し、高強度レーザーによる物質の加熱物理、特にこれまで未知であったフェムト秒領域の過渡的特性を解明していく。

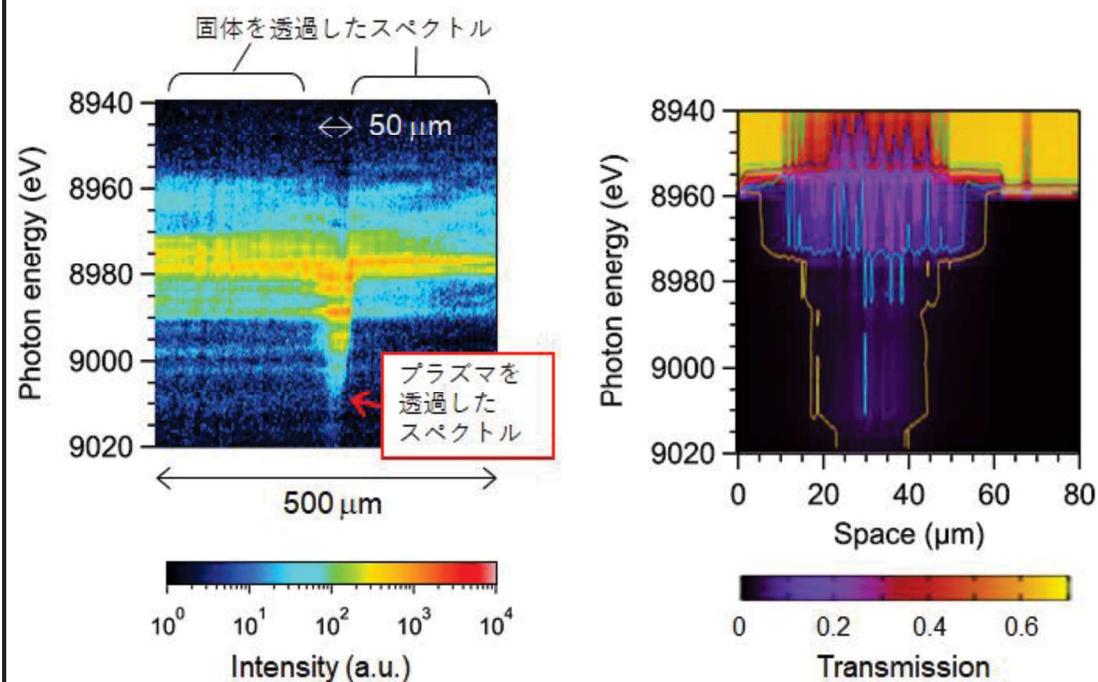


FIG. 1

FIG. 2

FIG.1. XFELにより計測された、高強度レーザー照射Cu薄膜のK吸収端近傍の空間分解透過X線スペクトル。

FIG.2. PICLSとFLYCHKを組み合わせた計算による空間分解X線透過率。いずれもCuの厚みは20 μm, XFELのレーザー照射からの遅延時間はおよそ200 fs。

密度成層のある流体中における多層界面の非線形相互作用

松岡千博^{1,2,3}

1) 大阪市立大学大学院工学研究科, 2) 大阪市立大学南部陽一郎物理学研究所, 3) 大阪市立大学数学研究所

SUMMARY

流体、プラズマ中に生じる密度成層を伴った多層界面（3層2界面以上）の非線形運動が、渦層モデル(Vortex Sheet Model, VSMと呼ばれる数理モデル)を用いて理論的、数値的に詳しく調べられた。その結果、圧縮性がほとんど効かない場合には、2つの界面は合体し、1つの界面のように振る舞うこと、また、バリコースモードと呼ばれる位相が反対の初期値を持った界面どうしの場合には、じょうご型の界面が形成され、くびれた部分からジェットのように高速に流体が噴き出し、渦度も増大することがわかった。多層界面はプラズマ物理のみならず、地球流体、海洋工学分野でも重要で、これらの領域への波及効果が期待できる。

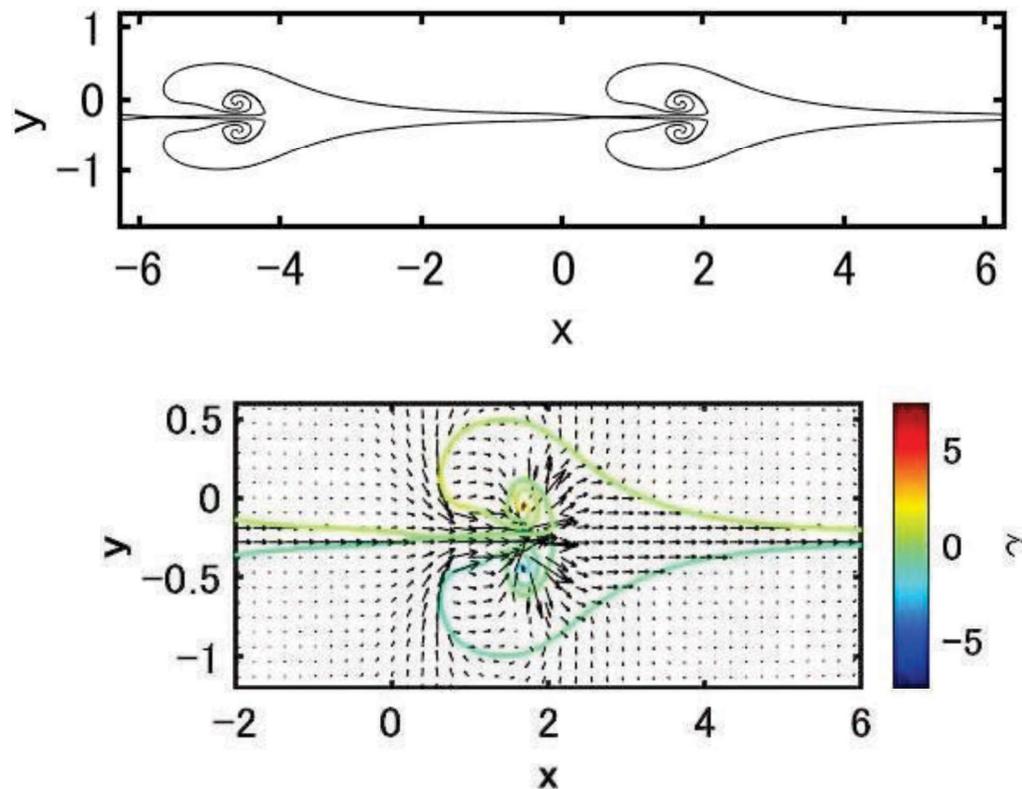


FIG. 2つの界面の非線形相互作用。（上図）発達した界面の形状および、（下図）界面近傍の速度場。カラーバーは渦度の強さを表す。

赤・緑・青色レーザー光源におけるスペックルの評価と抑制技術の開発

田辺稔¹, 越智圭三², 山本和久²

1) 産業技術総合研究所, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

半導体レーザーは、ディスプレイや照明の光源として注目されている。しかし、狭帯域を有する光源であるため、スペックルが発生し精密な放射量や色度の測定に影響を及ぼす。本研究では、この光源からのスペックルの定量的な評価や、その低減技術の確立を目的とする。

右図のような半導体レーザーを組み合わせた光源からのスペックルコントラスト C_s を、専用の測定器を用いて定量的に評価を行った。その結果、スペックルリデューサを光路に挿入することにより、スペックルを大幅に抑制できることが分かった。これらの結果を応用することで、半導体レーザーを用いた光源のスペックルを抑制でき、ディスプレイや照明機器の信頼性の向上に貢献できると考えられる。

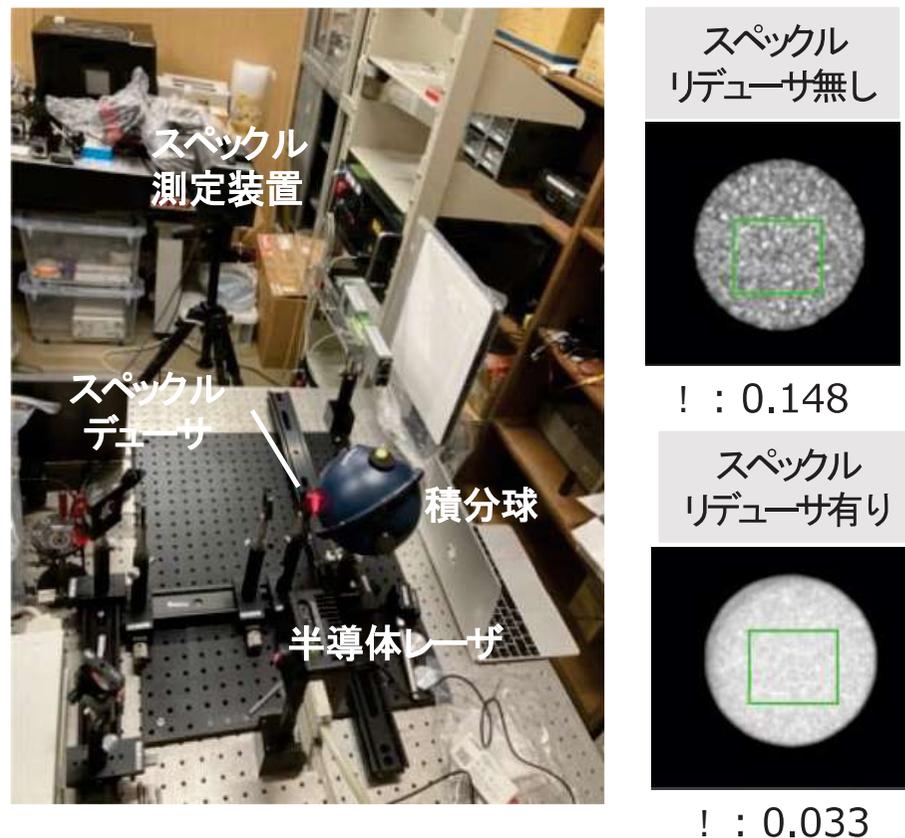


FIG.半導体レーザーと積分球を組み合わせたスペックル評価システム (左) とスペックルリデューサ有無によるスペックルコントラスト値 C_s の差異の結果 (右)

混晶化したNd:CaF₂透明セラミックス材料の開発

松本佑紀¹, 中野人志¹, 藤岡加奈²

1) 近畿大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

高繰り返し超短パルスレーザー材料としてNd:CaF₂セラミックスの開発を行った。本研究では、解決課題となっているセラミックス製作工程中に生じるNd³⁺量減少の防止とセラミックスの透明化に注力した。

添加したNd³⁺は、原料粉体を合成し水洗いする工程で選択的にNd³⁺（およびLa³⁺）が流出することを突き止めた。そして、水洗い時に大量の超純水を用い水洗い回数を減らすことで、0.4 mol%相当の減少から0.1 mol%の減少に抑えることに成功した。また、焼結したセラミックスの透光性は、水洗い時に使用する超純水量が多いほど向上し、超純水を6000 ml使用した場合は、波長 1.06 μmでの全光透過率はおおよそ85%であった。また、セラミックスの黒色化も水洗い時に使用する超純水量が多いほど改善された。

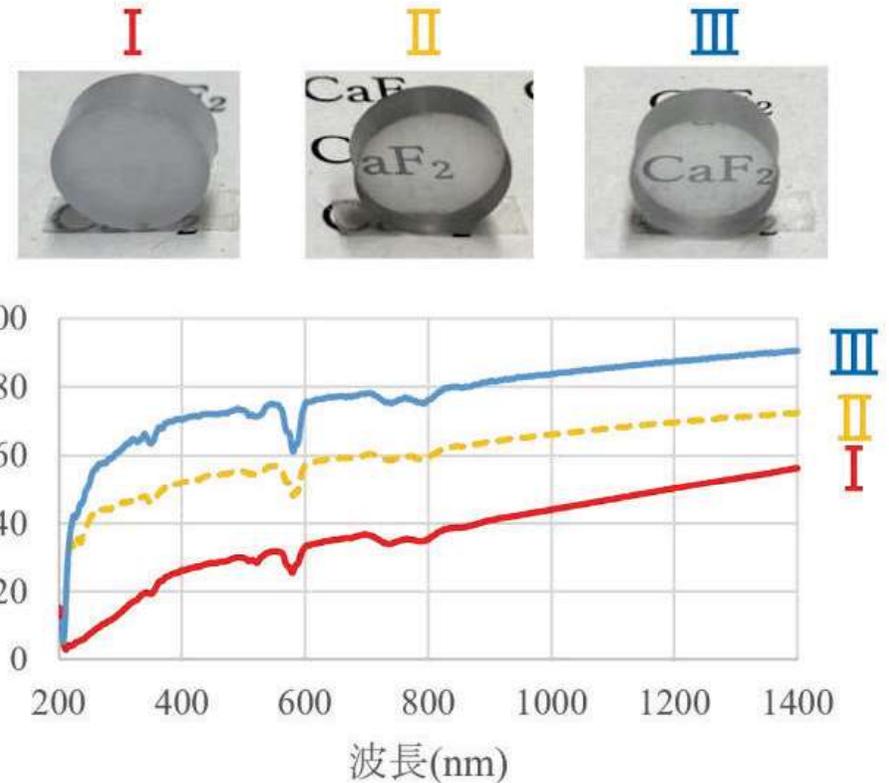


FIG. Nd:CaF₂セラミックスの外観と全光透過スペクトル
水洗い時に用いた超純水量

I : 600 ml II : 3000 ml III : 6000 ml

Decay instabilities of whistler waves in solar wind plasmas

T. Sano¹, Y. Sentoku¹

1) Institute of Laser Engineering, Osaka University

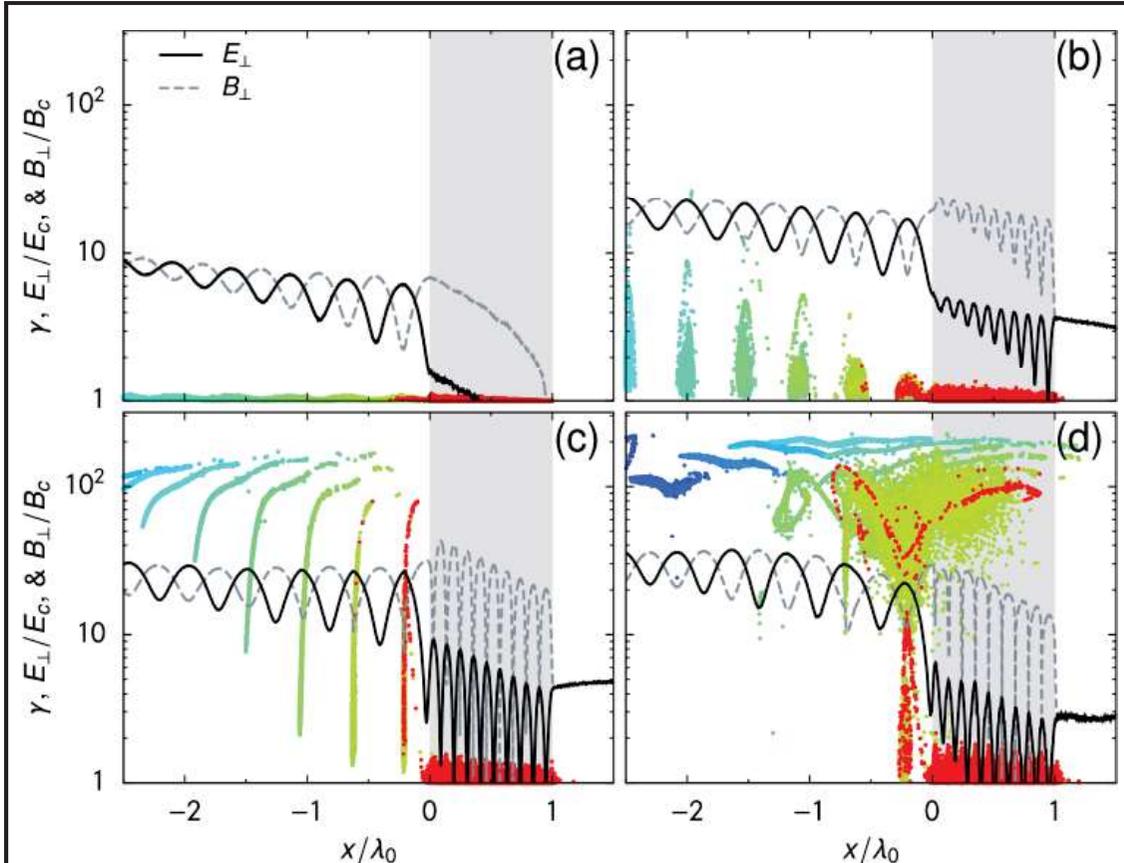
SUMMARY

強磁場下でのレーザープラズマの相互作用は、プラズマ加熱や粒子加速の点で魅力的な特性を持っている。近年、定在ホイッスラー波中の電子が効率的に相対論的速度まで加速されることが理論的に明らかになってきた[1]。対向で伝播する円偏光波の作る定在波の磁場の節に相当する場所で、非相対論的速度から相対論的速度にまで、電子はその場で瞬時に加速される[2]。その結果、固体中の電子をすべてMeV以上の高速電子に加速することも可能となる。このような現象は、レーザープラズマだけでなく、太陽風や地球磁気圏でも起こりうる。本研究では、このような高速電子の作るシース場によって、イオン加速がどの程度効率化できるかについて、数値シミュレーションを用いて解析している[3]。

[1] T. Sano, et al., Phys. Rev. E 96, 043209 (2017)

[2] S. Matsukiyo and T. Hada, Astrophys. J. 692, 1004 (2009)

[3] T. Sano, et al. submitted to Phys. Rev. E



Time variation of the envelope of the electromagnetic fields, E_{\perp} (black solid) and B_{\perp} (gray dashed), and the electron energy (color) as a function of the position x . The snapshots are taken at (a) $t/t_0 = -7$, (b) -3 , (c) -1 , and (d) 1 in the fiducial run of right-hand circularly polarized laser ($a_0 = 30$ and $B_{\text{ext}}/B_c = 30$). The color of each particle indicates the weight of the number of particles.

プラズマ対向材の数値モデリング

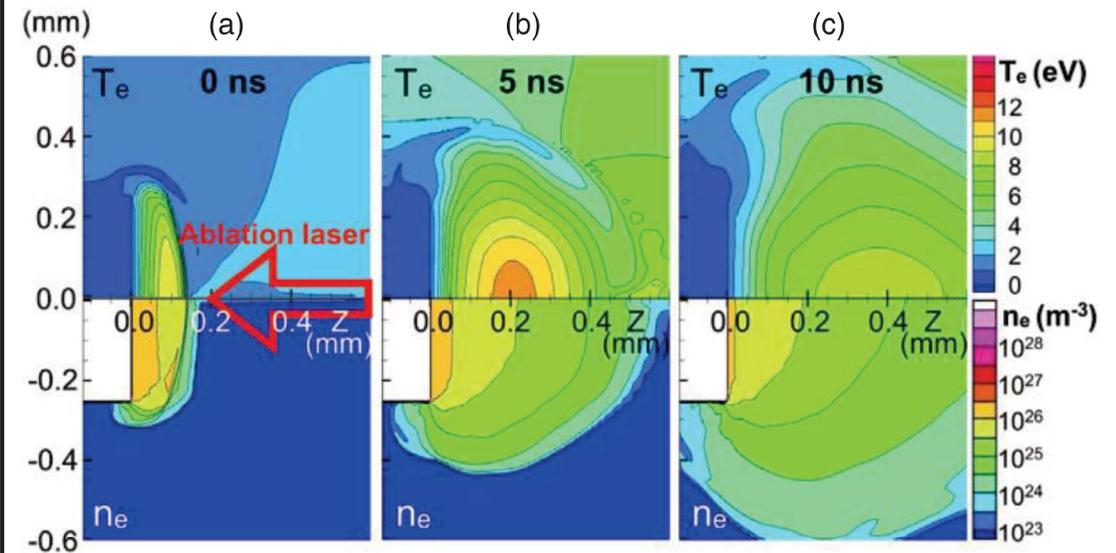
砂原淳¹, 城崎知至², 難波慎一², 西原功修³, 森田太智⁴, 山本直嗣⁴, 枝本雅史⁵, 東口武史⁶, 富田健太郎⁷, 長友英夫³

¹⁾ Center for Materials Under Extreme Environments (CMUXE), School of Nuclear Engineering, Purdue University, USA,

²⁾ 広島大学, ³⁾ 大阪大学レーザー科学研究所, ⁴⁾ 広島大学, ⁵⁾ 岐阜高専, ⁶⁾ 宇都宮大学, ⁷⁾ 北海道大学

SUMMARY

我々はレーザー核融合炉の解析に使える数値シミュレーションコードの開発を目指している。核融合燃焼プラズマからの入力に対する核融合炉第一壁の応答を中心とした諸過程（粒子-壁、放射-粒子-壁相互作用、壁のダイナミクス）のミクロ、マクロにわたる応答について定量的な物理モデリングを可能とする数値シミュレーションコードの開発し、実験による計算精度検証を行いながら物理モデリングを進める。本年度2次元輻射流体シミュレーションコードStar2Dの改良による数値安定化、計算精度向上及び実験との比較による計算精度検証を行った。ロバストかつ精度の高いシミュレーションに繋がる成果である。



2次元輻射流体シミュレーションSTAR2Dで計算されたカーボンターゲットのアブレーションの時間発展 a) 0ns(レーザーピークタイミング), b) 5ns, c) 10ns。これらの結果はトムソン散乱計測結果と比較されました。詳細は下記論文を参照下さい。

Yiming Pan, Kentaro Tomita, Kiichiro Uchino, Atsushi Sunahara, Katsunobu Nishihara, APEX **14** (2021) 066001.

ラマンライダーを利用した水中油の遠隔計測技術の開発

染川智弘^{1,2}, 伊澤淳³, 藤田雅之^{1,2}, 河仲準二², 久世宏明⁴

1) レーザー技術総合研究所, 2) 大阪大学レーザー科学研究所, 3) IHI, 4) 千葉大学環境リモートセンシング研究センター

SUMMARY

日本の領海・排他的経済水域は国土の面積の12倍程度も大きく、海底鉱物資源やメタンハイドレートの採掘、CO₂を海底地層に圧入して大規模削減を目指すCCS、エネルギー資源を輸送する海底パイプラインなどの有効な海底利用が期待されている。海底開発では資源探査手法の開発だけでなく、海底インフラのメンテナンスや事故の早期発見、海底開発に伴う海洋生態系・環境への影響評価が重要とされている。現状の採取・採水測定では評価の頻度や評価可能なエリアに限度があり、広範囲にわたる領域を短時間でモニタリングできる手法の開発が望まれている。そこで、広範囲な海を効率よくモニタリングすることを目指して、海水中に含まれるガスや、油の濃度などを、遠隔から、ラマン散乱で測定するラマンライダー技術を開発している。水の透過の良い波長532 nmのレーザーを利用して、油のラマン波長である波長628 nmをライダー観測することで、水中6 m先の油の位置と濃度の評価が可能である (FIG.1)。

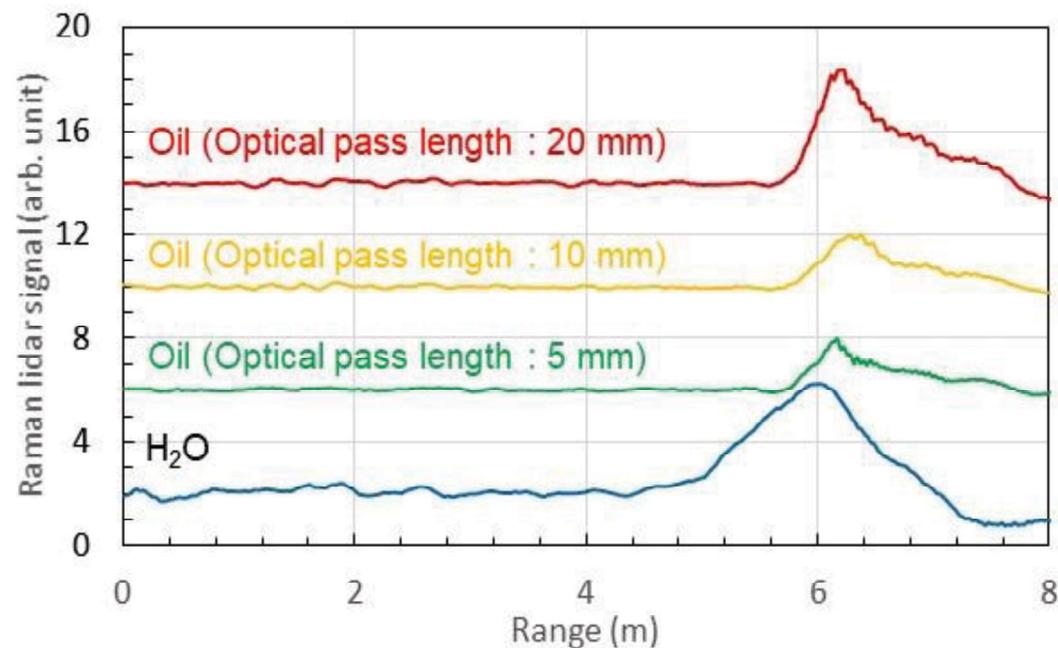


FIG.1 長水槽の水中6 m先に設置した植物油のラマンライダー信号

レーザー駆動中性子源を用いた中性子共鳴透過分析技術に適用可能な測定システムの開発
 小泉光生¹, 弘中 浩太¹, 伊藤史哲¹, 李在洪¹, 高橋時音¹, 余語覚文², 有川安信², 安部勇輝², 中井光男²
 1) 日本原子力研究開発機構 核不拡散・核セキュリティ総合支援センター, 2) 大阪大学レーザー科学研究所・光量子ビーム科学研究部門

SUMMARY

レーザー駆動中性子源(LDNS)の中性子共鳴透過分析(NRTA)への適用可能性を実験的に実証することを目的とし、大阪大学レーザー科学研究所のLFEXレーザーを用いたパルス中性子源を利用して、中性子透過TOF実験を行い、中性子カウンティング法による中性子スペクトルの測定を行った。また、シミュレーションコード(PHITS)を用い、中性子スペクトルのモンテカルロ計算を行った。

右図は、3回分のレーザーショットから得られた中性子スペクトルと、シミュレーションにより求めた中性子スペクトルを比較したものである。両者ともスペクトル中に、インジウムと銀の中性子共鳴吸収による計数の減衰が見られた。実験とシミュレーションが一致したことから、試料の分析測定に成功していることが分かる。このことにより、LDNSを用いたNRTAが実現可能であることを実験的に示すことができた。本実験後に取得したデータに関して、順次、解析を進めているところである。

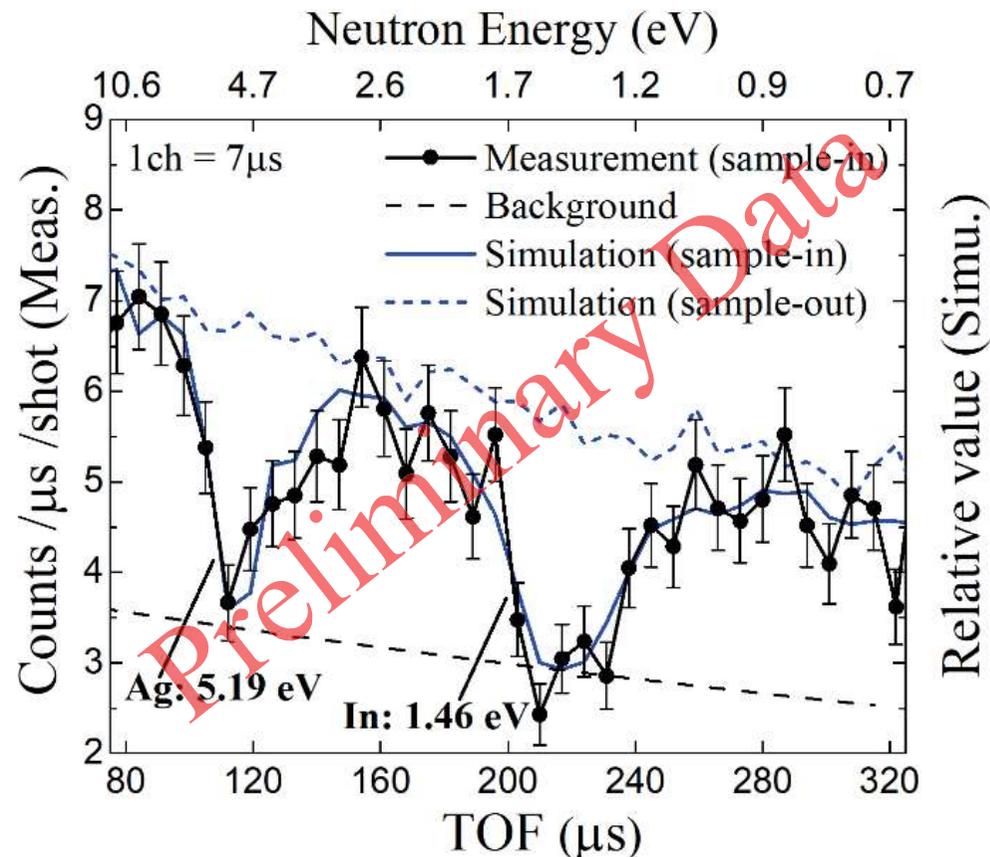


FIG. レーザー駆動中性子源を用いた中性子透過実験により得た中性子TOFスペクトル。インジウムと銀の共鳴ピークが観測された。

カーボンナノチューブフォレストメタマテリアルのテラヘルツ放射吸収特性

古田 寛¹, 沢田 侑斗¹, 西森 秀人¹, 中嶋 誠²

1) 高知工科大学システム工学群, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

カーボンナノチューブ (CNT) はテラヘルツ電磁場に対してメタルナノロッドアンテナとして振る舞い、軸方向からの入射光に対する低反射率や、軸方向偏光のテラヘルツ波放射などユニークな異方性光学特性を持つ材料である。高密度 CNT フォレスト内部構造の密度と配向性を縦・横方向に制御することで実効的な屈折率を変調して形成し、テラヘルツ領域の電磁波の吸収を最大化することを目標とする。ナノチューブフォレストの光学応答について、本年度は評価試料作製条件の探索を行なった。合成時間依存性では触媒のアニール時間を **4.0min** で固定して合成時間を 1 秒から 20 秒に変えた実験を行った。合成時間が 1 秒と短くなると触媒の凝集が要因で不均一な CNT フォレストが成長した。アニール時間を FIG(b4) **4.0min** から (b2) **3.0**~(b3) **3.5min** に短縮することで、触媒微粒子の凝集を抑制でき均一な CNT フォレストが得られた。今後テラヘルツ放射吸収特性を評価する。

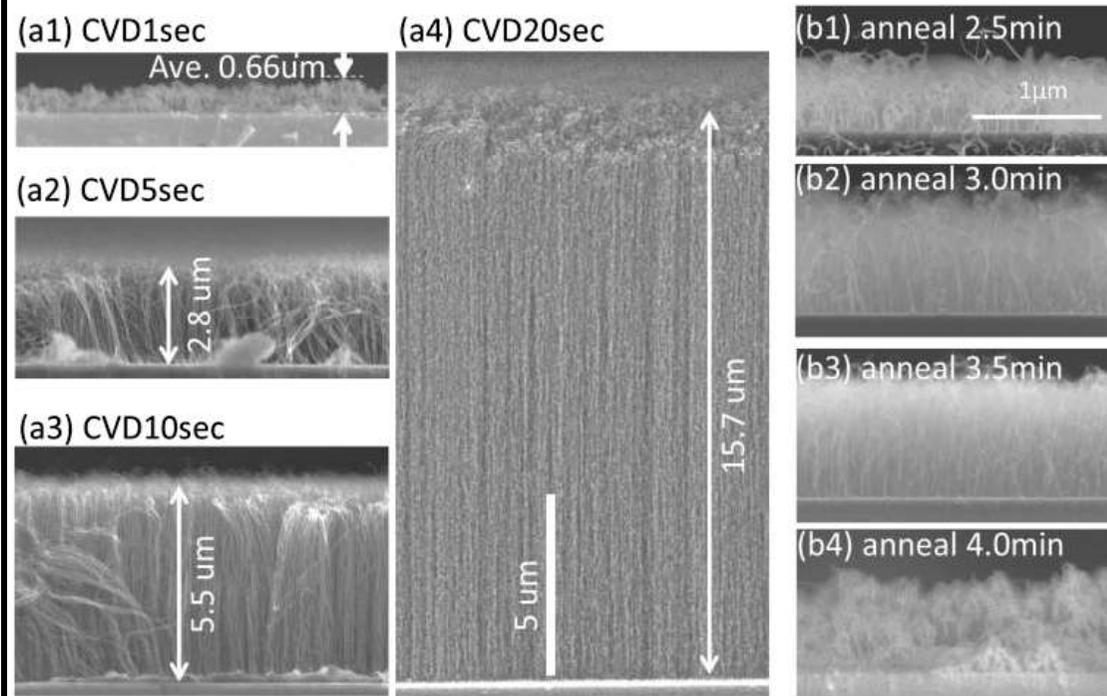


FIG. Cross-sectional SEM images of CNT forest (a1 - a4) with various CVD growth time for 1 to 20 sec with constant catalyst annealing period of 4.0min, and (b1 - b4) with the constant CVD time of 1sec with various catalyst annealing period of 2.5 to 4.0 min.

繰り返しレーザー応用実験のためのリアルタイム制御システムの開発

小田 靖久¹

1) 摂南大学

SUMMARY

10～100Hzで繰り返し動作する高出力レーザーの開発が進む中、これを液滴ターゲットに照射する研究が検討されている。高繰り返し動作での実験では、ショット間のターゲット位置制御を自動化する必要がある。本研究では、ターゲットの位置を直線状に複数の光センサが配置されたフォトダイオードアレイにより検出し、フィードバック制御をするシステムの構築を目指している。このような制御システム開発に向けた準備として、PLC(Programmable Logic Controller)上に光センサ信号の閾値検出と直動ステージの制御指令を行うプログラムを開発した。そして、図1に示す実験系で、模擬ターゲットをもちいて制御プログラムの動作検証を行った。その結果、異なる位置から出発したターゲットが所定の位置に収束するフィードバック制御ができることを確認した。この成果は、繰り返しレーザーの運用に必要な自動制御技術の開発につながるものと期待される。

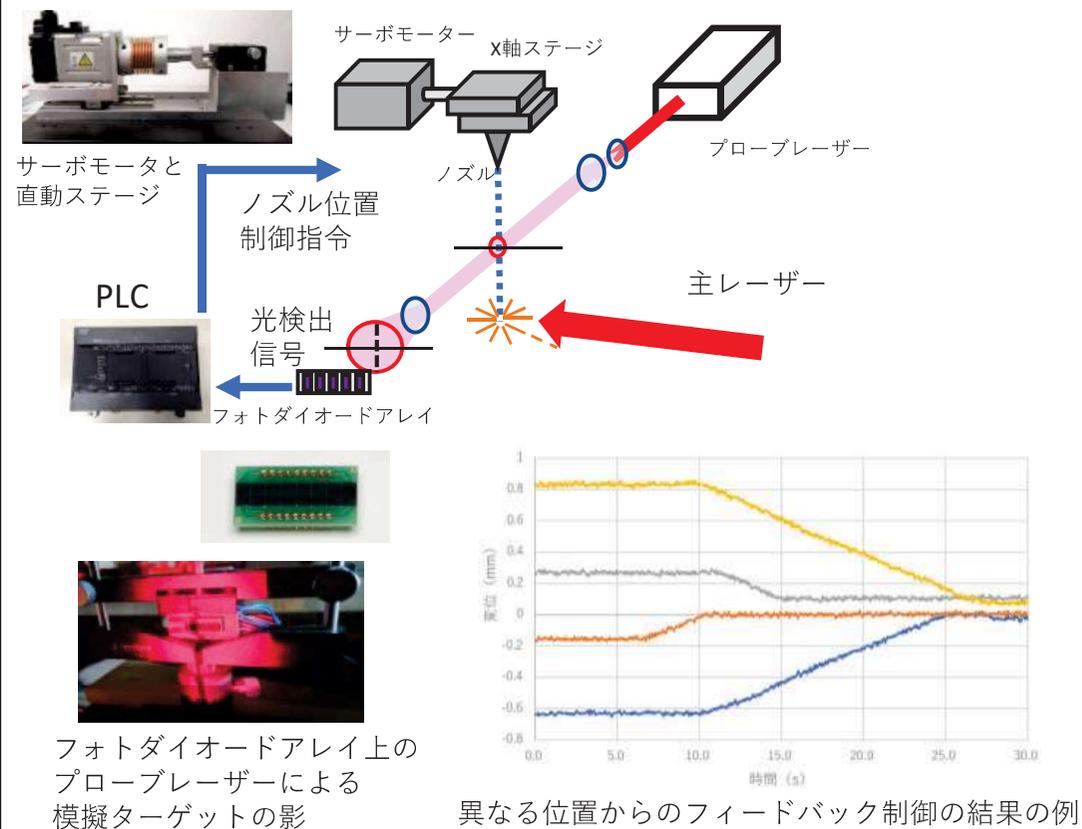


図1 模擬ターゲットを用いたターゲットのフィードバック制御実験系の概要と、異なる位置に設置したターゲットが所定の位置まで自動で移動することを確認した。

乱流場と平均場の相互作用:3次元太陽全球平均場ダイナモモデルの開発

政田洋平¹ 佐野孝好²

1) 福岡大学 (愛知教育大学) 2) 阪大レーザー科学研究所

SUMMARY

太陽ダイナモ機構は, Parker (1955) 以来, $\alpha - \Omega$ ダイナモにその基礎を置いて研究されてきた。この枠組みでは Ω 効果は磁場増幅の役割を, α 効果は主として系の対称性を破るはたらきを担う。磁場の拡散を担うのは, 乱流磁気拡散である。太陽の場合, Ω 効果を与える差動回転分布が日震学診断により精密に測定されているため, α 効果を与える物理機構の理解が, ダイナモ機構の解明の鍵を握ると言える。

本研究で, 我々は強い密度成層下のMHD熱対流計算を行い, 太陽対流層での対流ヘリシティに起因した“乱流起電力”分布をモデル化した。さらに, その結果を球殻平均場太陽ダイナモモデルに組み込んで, ダイナモ計算を実施した。 Ω 効果の源として, 日震学診断と整合する差動回転分布もカップルさせた単純な $\alpha - \Omega$ ダイナモのモデルである。

本課題研究の結果, (i)強い密度成層下の熱対流が担う乱流起電力を考慮することで, 太陽型の磁場の蝶形進化パターンが得られること, (ii)従来の磁束輸送モデルとは異なり, 表面近傍でも磁場の方位角成分が蝶形パターンを示すこと, (iii) 表面直下の速度勾配層が磁場の進化パターンに強い影響を及ぼすこと, 等を明らかにした。

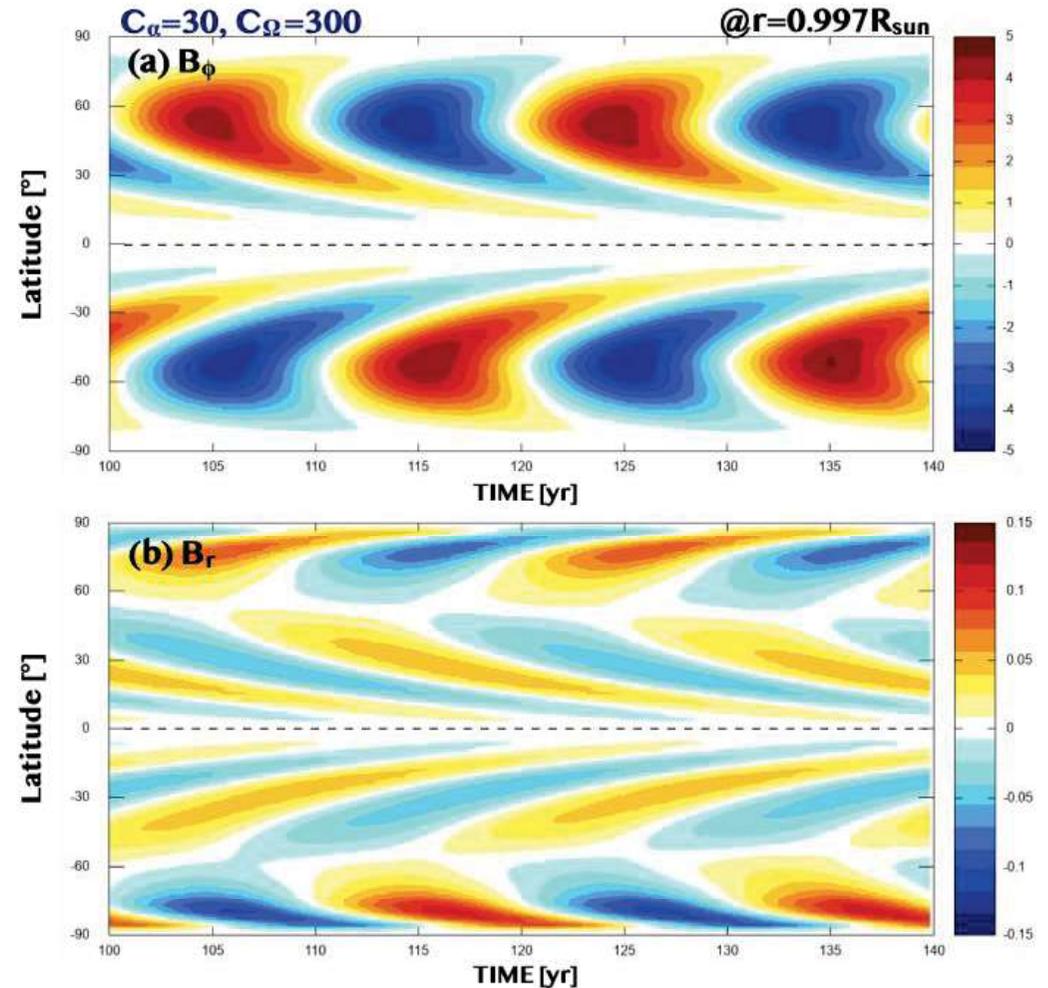


FIG. 磁場のTime-Latitude Diagram. (a)が方位角成分, (b)が動径成分である。いずれも太陽表面直下の磁場の時空間進化を示している。

透光性セラミックスシンチレータの創製 II

黒澤俊介¹, 藤岡加奈²

1) 東北大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

Hf含有酸化物は高い有効原子番号を持つために、ガンマ線検出効率の点から非常に有望なシンチレータ材料である。特に、Ce添加SrHfO₃はこれまでに放電焼結プラズマ法（SPS法）などの探索で、Hf酸化物の中で発光効率が高いCe³⁺の5d-4f遷移（許容遷移）由来の発光が見えていた、一方で、合成品は不透明体で、ガンマ線照射による波高値スペクトル上で、光電吸収ピークが見えなかった。そこで本研究では、共沈法を用いて原材料を準備し、プレスを行うことで透明体を用意した。その結果、FIGのように、ガンマ線の照射によって、光電吸収ピークを観測することができ、十分な発光量があることが分かった。

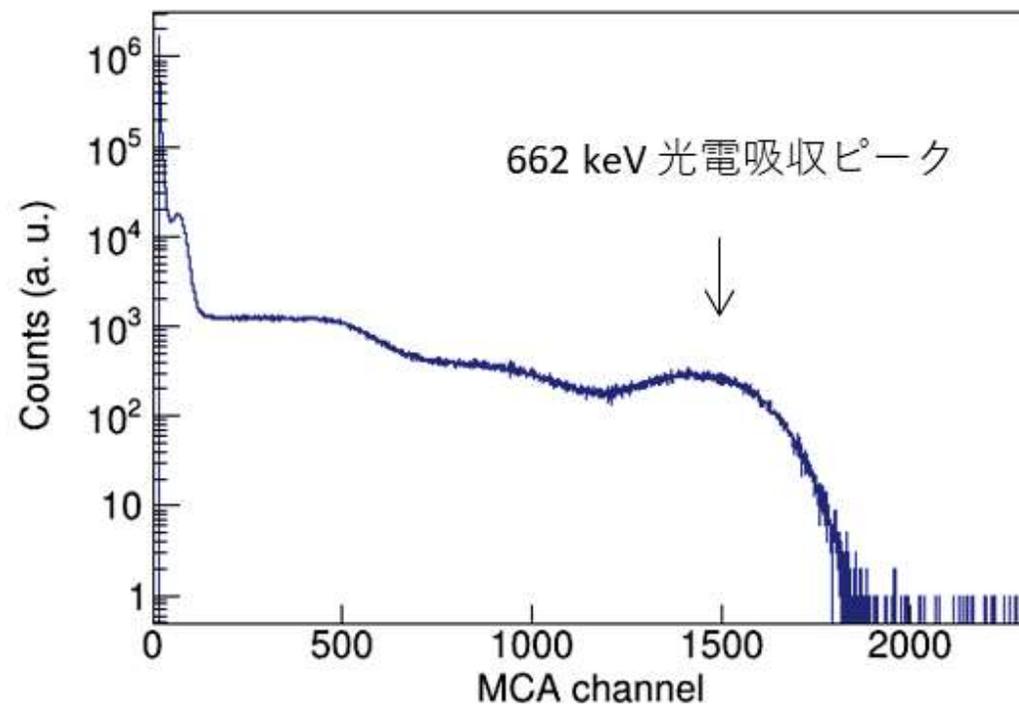


FIG. 育成したCe添加SrHfO₃に¹³⁷Csからのガンマ線を照射させたときの波高値スペクトル

GaN中の点欠陥および複合欠陥が光学物性に与える影響の解明

河村貴宏¹, 大畑智嗣¹, 場崎航平¹, 森勇介², 吉村政志³

1) 三重大学大学院工学研究科, 2) 大阪大学大学院工学研究科, 3) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

GaNはバンドギャップが約3.4 eVと大きく本来は無色透明の結晶であるが、結晶中に多くの欠陥や不純物が含まれると電子構造が変化し、その影響が結晶の着色化として現れる。結晶品質の改善や特性の制御には、欠陥が材料特性に与える影響を理解することが重要である。本研究では第一原理計算を用いて点欠陥と複合欠陥を含むGaNの電子構造を解析することで光学特性に与える影響を調べた。

Ni関連欠陥や4価元素と酸素の複合欠陥においては大きな欠陥準位のピークが見られた。他の欠陥構造においても浅い欠陥準位が現れている場合は意図しない欠陥準位-バンド端間の遷移や吸収係数の変化などが起こり、光学特性へ影響すると考えられる。一方で金属不純物を添加することでGa空孔の影響を低減させることが出来る場合もあることが分かった。これらの成果は、GaNの高品質結晶成長技術と不純物制御技術の開発に貢献するものと考えられる。

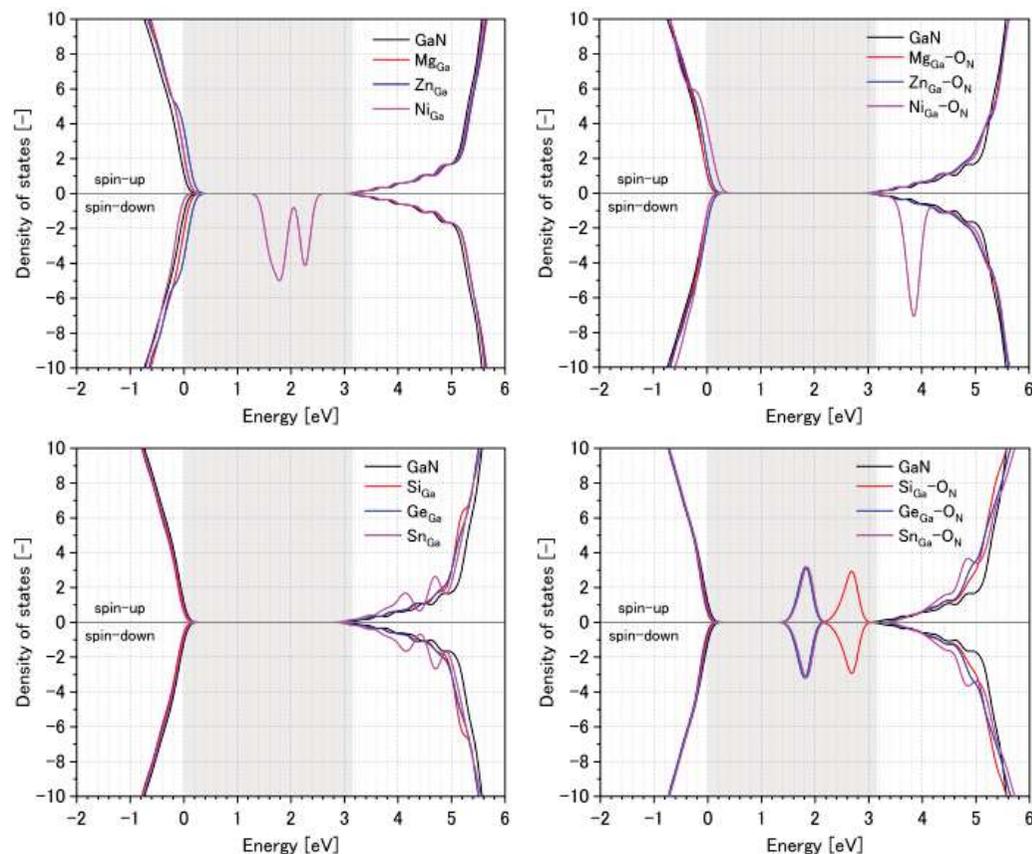


FIG. 1 Gaサイトに置換した2価元素 (Mg、Zn、Ni) または4価元素 (Si、Ge、Sn)、および酸素欠陥 (O_N) で構成される点欠陥および複合欠陥の含むGaNの状態密度 (density of states)。バンドギャップの範囲を灰色で示している。

火山灰の低コスト高安定CW-THz波による分光

栗島史欣¹, 川上由紀²

1) 福井工業大学, 2) 福井工業高等専門学校

SUMMARY

自然災害の多い日本においては、被災者の状況を高速かつ、正確に知ることは喫緊の課題である。THz波を用いることで、高速化が望める。最適な透過特性をもつ周波数帯を調べるために、火山灰に対するSub-THz波帯の透過特性の測定系を構築した。今回は、サンプルの不均一性の影響を避けるために、集光せず直径2インチの平衡ビームのTHz波を用いた。数センチの火山灰のサンプルに対して透過の実験が行えた。通常が多モード半導体レーザーを用いた場合は信号が安定せず分散も大きかったが、レーザーカオス光を用いることで、再現良く、ほとんど分散の無い実験結果が得られるようになった。今後、詳細に周波数の影響を調べ、最適な透過特性を持つ周波数を調査する。また、本研究で用いた半導体レーザーは、数百円の市販のものであり、外部鏡による戻り光を加えることでカオス発振させている。低価格な分光装置の実現が可能である。本システムを用いることで、THz分光も大きく普及することが期待される。

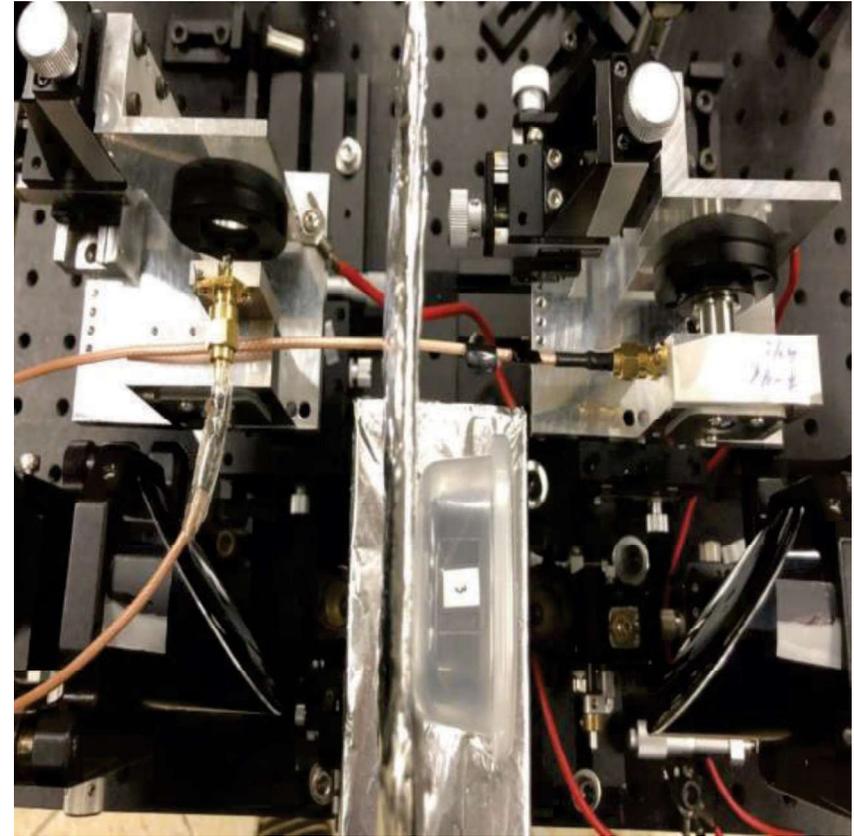


図1 レーザーカオスによるTHz-TDSのサンプルの部分