

IPPS News Letter

No. 5
2019年2月発行

熊本大学パルスパワー科学研究所

Institute of Pulsed Power Science,
Kumamoto University

パルスパワー科学研究所の今後

パルスパワー科学は、熊本大学が誇る独創的研究のシンボルとして、これまで本学の研究をリードしてきた。実際、COEやG-COE補助金を獲得してきたし、一時期は正しく満開の花が咲いたような華やかさにも例えることができたと思う。しかしながら、G-COEが終了する時期あたりからは、衰退の傾向が見られるようになった。例えば、論文の質、科研費を含む競争的・外部資金の獲得も本学を代表する他の3つの国際先端研究拠点に比べてやや劣っている。その原因は、学術的・応用的な面でのインパクトのある研究成果が得られなかったこと、および目立つ事業化がなされなかった点にある。

パルスパワーは、一つの特種プロセスであり、様々な分野への応用が可能である。実際、このプロセスは、材料、環境、バイオ分野における破壊、生成などの特殊なプロセス手法として現在も実用研究が進んでいる。このことは、研究者はパルスパワーを発生する装置の作製だけでなく、多くの他の研究分野に精通しなくてはならないことを意味している。既に、発生装置の作製方法はほぼ確立されているので、研究者は後者の能力が特に必要とされる。その点での遅れが、インパクトある研究成果が得られない状況に陥っているのではないか。

それでもなお、パルスパワーは魅力ある特殊プロセスである。その応用範囲は、極めて広い特徴がある。アイデア一つで様々な可能性を生み出す。しかしながら、そのためには多くの分野の研究者との連携・融合が必須である。また、それをマネージする能力のある人材も必要となる。ここにもあそこにも使える、それならばこの分野のこの研究者と共同研究したらどうか、などをアドバイスし実行する。

その意味において、パルスパワー科学研究所、先進マグネシウム国際研究センター、そして先端科学研究部のナノ材料研究分野等が融合した新たな研究所を作る必要がある。それが、今パルスパワー科学研究所の融合改組を行おうとしている趣旨である。ここでは、各研究者の専門性を深掘しながら、世界を変える革新材料の創生のための融合プロジェクトをいくつか走らせる。そのような異分野融合のプロジェクトからのヒントにより各専門研究においても新たな展開が可能になる。しかしそこで留まってはならない。さらに事業化を目指すための産学連携をより一層推進することも重要である。

パルスパワー科学研究所が次世代の未来型研究所へ飛躍しようとする今正に大きな転換点にある。



パルスパワー科学研究所
所長 **松本 泰道**
Director, Yasumichi Matsumoto

研究活動

浪平 隆男 准教授(パルスパワー基盤部門)

タイトル:省エネルギープロセスを実現する小型ナノ秒パルス電源の開発

概要: ナノ秒パルス放電プラズマは、高エネルギー効率(省エネルギー)でのオゾン生成やプロセスガス改質、排ガス処理、汚水浄化を実現できる技術として有望

	Previous system	NEW system
Output Voltage	60 kV	40 kV
Weight	55.7 kg	8.7 kg (15.6%)
Volume	91.3 L	10.7 L (11.7%)

表1 小型ナノ秒パルス電源

視されている。しかしながら、その形成を可能とする「ナノ秒パルス電源」は、研究用の複雑かつ大型なものであり、今後の各種プロセス実用化にはその簡易・小型化が必須である。そのため、近年、本研究室では、「ナノ秒パルス電源」の簡易・小型化を進め、今年度、汎用性のある「小型ナノ秒パルス電源」の開発に成功した。図1には、開発した「小型ナノ秒パルス電源」の外観を、表1には、その仕様の一部を示している。「開発ナノ秒パルス電源」は、研究用のものから出力電圧が若干低下しているものの、寸法及び重量が約10分の1となっており、今後、実用開発の進展を加速するものと考えられる。

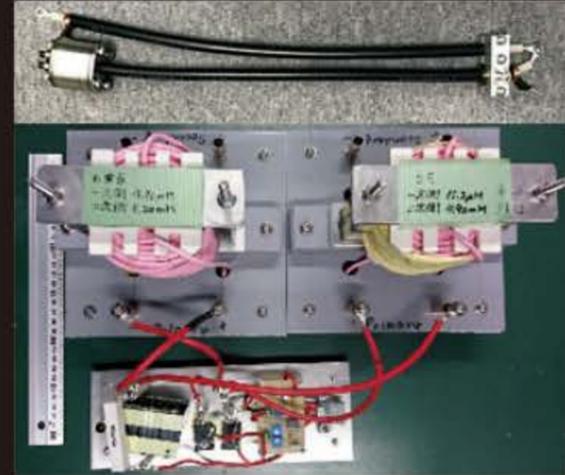


図1 小型ナノ秒パルス電源

北原 弘基 助教(極限物性科学部門)

タイトル:ナノ結晶材料・超微細粒材料の創製およびその変形機構の解明

概要: 金属材料中の結晶粒径を100nm以下のナノ化もしくは1 μm以下に超微細化すると、強度が著しく向上することが知られている。我々のグループでは、加工によるナノ組織や超微細粒組織の形成過程やナノ結晶材料、超微細粒材料の変形機構の解明を行っている。図2は、表層強加工を施したマグネシウム合金の透過型電子顕微鏡(TEM)像である。結晶粒径が100nm前後まで微細化していることが分かる。また、変形機構の評価においては、新規の評価法を立案し、装置作製も行っている。図3は、線引きにより作製された極細金属線(直径100 μm以下)用の疲労試験機である。

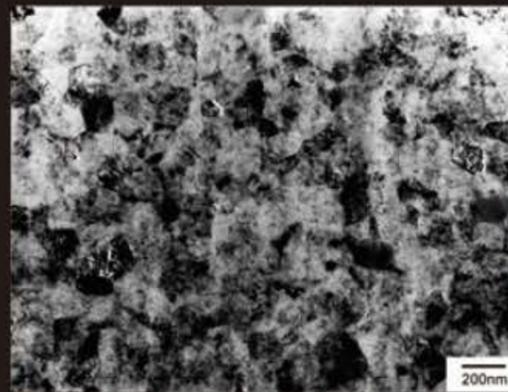


図2 表層ナノ結晶を有するマグネシウム合金のTEM像



図3 自作した極細金属線用の疲労試験機

勝木 淳 教授(バイオエレクトロクス部門)

タイトル:強電界パルスによるタンパク質の変性

概要: 強電界パルスは、誘電体の集合体としての細胞に対して多様な物理作用を有する。一つはエレクトロポレーションとして知られる細胞膜穿孔で、結果として膜を介した物質流動を惹起する。一方タンパク質への物理作用もあるはずだが、現時点ではわかっていない。図4は、強電界パルス(250kV/cm, 5ns)を印加したUreaseタンパク(分子量480kDa、六量体)の電気泳動パターンである。四次構造を調べるために電気泳動の前処理を3つの温度で行った。90kDaと210kDaのバンドはそれぞれサブユニットと三量体である。パルス印加回数が増えるほどサブユニット、三量体ともにバンドが下に流れ、変性していることがわかる。この現象は200kV/cm以上でのみ起こる。一方でパルス印加中の温度上昇は高々3°Cである。この結果は強電界パルスがある種のタンパク質を非加熱的に変性させることを示しており、強電界パルスの生体応用上、重要な知見である。

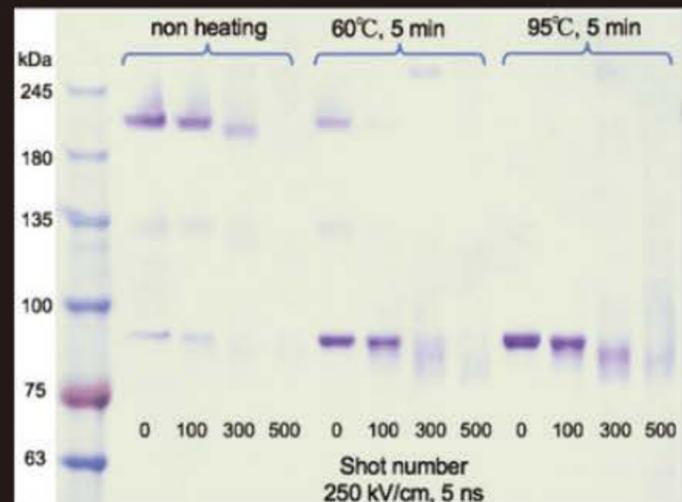


図4 強電界パルスを印加したUreaseタンパクの電気泳動パターン

平成30年度、情報計測CREST採択課題
「データ駆動科学による高次元X線吸収計測の革新」

研究代表者 赤井 一郎 (極限物性科学部門)

2018年10月、科学技術振興機構(JST)のCREST研究領域「計測技術と高度情報処理の融合によるインテリジェント計測・解析手法の開発と応用」で、赤井が研究代表者を務める研究課題「データ駆動科学による高次元X線吸収計測の革新」(研究期間:2018年10月~2024年3月末)が採択された。

このCREST研究領域では、「超スマート社会」(Society 5.0)における取組として、日本が強みを有する計測技術を、近年急速に進展している情報科学・数理科学等と融合して新たな「情報計測」分野を創出することを目指す。採択された我々の研究課題は、その実現のため、日本屈指の放射光研究施設(SAGA-LS, SPring-8)で行われている材料研究とその計測に、最新情報科学を融合して、従来の限界突破と新たな科学上の発見を目指す。研究組織は、データ駆動科学グループ(熊本大学7名)の他に、SAGA-LSでの研究を担うX線吸収計測・統合解析グループ(佐賀県立九州シンクロトロン光研究センター6名、主たる共同研究者:妹尾与志木)、SPring-8での研究を担うメゾスケール計測・機能解析グループ(高輝度光科学研究センター・利用研究促進部門6名、主たる共同研究者:水牧仁一郎)と、情報科学を専門とする特徴量画像解析グループ(東京工業大学大学院、電気通信大学大学院、神戸大学大学院、各1名、主たる共同研究者:東工大院・青西亨)から構成される。

情報科学を融合する計測法は、放射光を用いた多角的なX線吸収微細構造(XAFS)スペクトル計測とその顕微計測(μ -XAFS)である。XAFS計測法は、吸収端エネルギーで原子選択をした上で、注目原子近傍のマイクロ構造、電子状態、スピン状態等のマイクロ物性がプローブ可能である。しかし機能性材料で、マクロ物性の最適化には、その様なマイクロ物性の最適化だけでなく、様々な材料特有のメゾ構造最適化を必要とする。現在SPring-8で実現されている μ -XAFS計測の空間分解能は、それらのメゾ構造を的確に捉えられることが可能であり、それらのビックデータを元に、マイクロ物性、メゾ構造、マクロ機能の発現をシームレスに解析・解明する方法論の開発が強く求められている。我々の研究課題では、ベイズ分光[1,2]や、スパースモデリング[3]、画像解析の様々な機械学習法[4]を、磁石・二次電池固体電解質の材料研究に適用し、それらの材料機能の高度化研究を躍進させることを目指す。



SAGA-LS 実験ホール「提供: 佐賀県立九州シンクロトロン光研究センター」

[1] I. Akai, K. Iwamitsu, M. Okada, J. Phys.: Conf. Ser. 1036, 012022 (2018).

[2] A. Kiridoshi, S. Aihara, S. Arishima, T. Yamashiro, M. Mizumaki, K. Iwamitsu, I. Akai, physica status solidi (b) 255, 1800136 (2018).

[3] I. Akai, K. Iwamitsu, Y. Igarashi, M. Okada, H. Setoyama, T. Okajima, Y. Hirai, J. Phys. Soc. Jpn. 87, 074003 (2018).

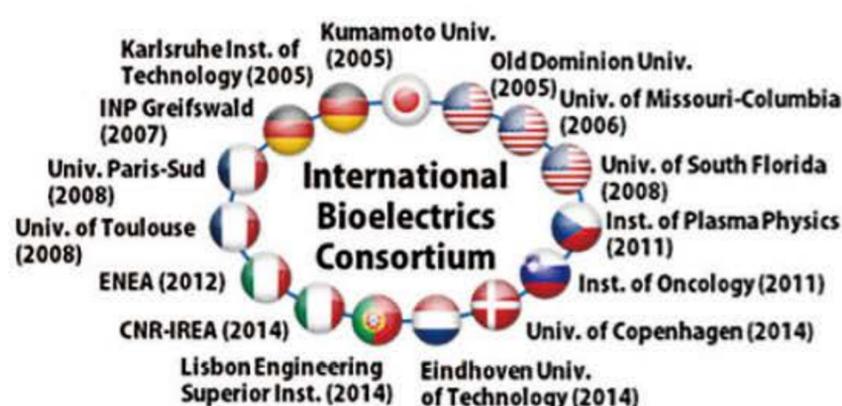
[4] R. Maruyama, K. Maeda, H. Moroda, I. Kato, M. Inoue, H. Miyakawa, T. Aonishi, Neural Netw. 55, 11 (2014).



SPring-8 蓄積リング棟 実験ホール「提供: 理化学研究所」

国際連携活動

バイオエレクトリクスコンソーシアムの活動



パルスパワーの生体作用とその応用研究をバイオエレクトリクスと呼び、それは世界的なパルスパワー研究拠点である熊本大学（日本）、オールドドミニオン大学（米国）、カールスルーエ工科大学（ドイツ）を起源として2002年に始まった。2005年には、バイオエレクトリクス国際コンソーシアム(IBC)が設立され、現在、そのメンバーは、米国・欧州・日本からの16機関に達している。IBCは、国際研究協力および研究促進を目的とした国際テレコンファレンスを年2回実施しており、熊本大学IPPSは、2018年から2019年にかけて第28、29、30回目を主催し、IBCにて中心的な役割を担っている。

さくらサイエンスプラン 「東アジア先端材料科学技術者養成講座」

パルスパワー科学研究所が主催したプログラムであり、外本教授と田中助教が中心となって企画し、学術交流協定校である培材大学（韓国）とスパンボン大学（ラオス）からそれぞれ学生5名、教員1名を招へいして、日本の先端科学技術を中心とする見学や講義、実験などの活動を実施した。



IPPS主催・共催国際シンポジウム

[The 49th IROAST International Mini-symposium](#)

Date: January 24, 2019

Venue: Kumamoto University, Japan

Speakers: Prof. Youn-Woo LEE (Seoul National University), Prof. Olivier Boutin (Aix-Marseille University)

Chair: Mitsuru Sasaki, Kumamoto University, Japan

[3rd International Symposium on Advanced Materials Having Multi-Degrees-of-Freedom \(ISAMMDoF2018\)](#)

Date: November 1-2, 2018

Venue: Kumamoto University, Japan

Chair: Ichiro AKAI, Kumamoto University, Japan

[The 1st Conference of Scientific Cooperation Japan-Mexico](#)

Date: August 17, 2018

Venue: Universidad Autonoma de Nuevo Leon (UANL), Monterrey, Mexico

Speakers: Mitsuru Sasaki, Soreli Castro, Kazuyuki Yamada (Kumamoto University), and Prof. Rodolfo Ibarra (UANL)

Chair: Prof. Rodolfo Ibarra (UANL) and Mitsuru Sasaki (IPPS, Kumamoto University)

[One Day National Workshop on Advances in Welding Practice](#)

Date: March 22, 2018

Venue: ALVA's Institute of Science & Technology, Mangalore, India

Speakers: Prof. Hokamoto (IPPS), et al.

Organized by Department of Mechanical Engineering, ALVA's Institute of Science & Technology in association with IPPS

[2018 IPPS International Symposium on Interdisciplinary Pulsed Power](#)

Date: March 5, 2018

Venue: Kumamoto University, Japan

Organized by IPPS, Japan

海外研究者の招へい活動(IPPS機能強化経費実施分)

招へい者氏名	期間	所属機関名
Prof. Ivan Bataev	2019.2.12 - 2019.3.1	Novosibirsk State Technical University, Russia
Prof. Tao Shao	2019.1.28 - 2019.2.8	Chinese Academy of Sciences, China
Prof. Matej Vesenjsek	2019.1.6 - 2019.1.18	University of Maribor, Slovenia
Prof. Viren Menezes	2018.12.8 - 2018.12.19	Indian Institute of Technology Bombay, India

活動報告

◆2018年カロテノイド若手の会・第32回カロテノイド研究談話会

2018年9月14～16日に2018年カロテノイド若手の会及び第32回カロテノイド研究談話会を開催した。カロテノイドは天然に幅広く存在する色素分子であり、基礎研究をはじめ食品、医薬品にも応用されている。本会では大学・企業関係者100名が参加し、3件のチュートリアル講演、5件の招待講演(当研究所より佐々木満先生にご講演いただいた)、17件の一般口頭講演、16件のポスター講演が行われ、大変な盛会のうちに終了した。



◆IPPSセミナー

第45回

内容: Progress on Nanosecond-pulse Discharge and Plasma Applications in IEE CAS
講師: Prof. Tao Shao (Pulsed Power & Plasma Laboratory, Institute of Electrical Engineering, Chinese Academy of Sciences Beijing, China)

第44回

内容: Characterisation of Metal Foam Filled Tubes
講師: Dr. Matej Vesenjak (University of Maribor, Slovenia)

第43回

内容: Shock-wave-driven Biolistic Devices
講師: Prof. Viren Menezes (Indian Institute of Technology Bombay, India & IROAST Visiting Professor, Kumamoto Univ.)

第42回

内容: Flow Control Techniques in S-Shaped Ducts
講師: Prof. Konstantinos Kontis (Dean for Global Engagement ? East Asia & China, Head of Aerospace Sciences Division, University of Glasgow), & IROAST Distinguished Professor, Kumamoto Univ.

第41回

内容: X-ray Physics and Medical X-ray devices
講師: Dr. Jaegu Choi (Korea Electrotechnology Research Institute (KERI), Korea)

第40回

内容: The Research on the Drive Circuits for Solid-State Pulsed Power Generator
講師: Prof. Zi Li (University of Shanghai for Science and Technology, China)

第39回

内容: Pulsed Power Technologies and Applications at KIT
講師: Prof. Georg Mueller (Institute for Pulsed Power and Microwave Technology (IHM), Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Germany)

第38回

内容: Effect of surface roughness on the hypersonic nose-tip transition control
講師: Prof. Viren Menezes (Indian Institute of Technology Bombay, India, IROAST Visiting Professor, Kumamoto Univ.)

第37回

内容: 電磁エネルギーに対する細胞応答
講師: 浅野麻里子氏(理化学研究所)、矢野憲一氏(IPPS)

連携活動

◆メキシコ・ヌエボレオン州立自治大学との第1回国際交流カンファレンス

2017年12月に大学間交流協定を締結したヌエボレオン州立自治大学(メキシコ)との第1回国際交流カンファレンスを、2018年8月にメキシコ・モンテレイ市にて開催した。本学からは佐々木准教授と自然科学研究科所属の大学院生2名が出席し、講演、施設見学、教員・学生同士の交流を図った。なお、第2回国際交流カンファレンスは2019年夏頃に熊本で開催予定である。



◆大学間交流協定校からの研究インターンシップ学生の受け入れ

大学間交流協定校であるエクス・マルセイユ大学(フランス)から、大学院生2名(Dom YACA君とDi Wuさん)が特別研究学生として本研究所超臨界流体プロセス実験室(佐々木)に滞在した(2018年5月～9月)。日々研究に励むとともに、学生との交流、日本文化体験にも積極参加していた。



◆Super Science High Schools体験講座

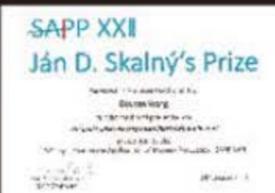
- ・2018年12月8日に熊本北高校1, 2年生7名に「特殊反応場における化学反応を体験しよう!～超臨界流体とパルスアーク放電の化学反応への利用～」というテーマで講義および体験実験を佐々木が行った。
- ・2018年11月15日、長崎県立大村高等学校にて「ダイヤモンドとルビーの科学、そして先端技術」、12月8日、熊本県立熊本北高等学校にて「物質の研究から見える持続可能文明への道、教えるか人類の絶滅」、のSSH体験講座・出前授業を依頼により吉朝が行った。

◆第57回九州高等学校理科教育研究会熊本大会

2018年7月27日、九州地区高等学校理科教員28名が来学し、IPPS研究紹介の講義およびIPPS施設見学を行った。

受賞報告

- ◆王斗艶准教授、22nd Symposium on Applications of Plasma Processesより、「Jan D. Skalný's Prize」を受賞(2019年1月24日)
- ◆龍輝優(熊本大学自然科学研究科修士2年)、平成30年度第42回静電気学会全国大会より「HRSB賞」を受賞(2018年10月4-5日)
- ◆高島真聖(工学部機械システム工学科4年)、2018 International Symposium on Novel and Sustainable Technologyより、「Excellent Award of Poster」を受賞(2018年9月13日)
- ◆外本和幸教授、日本材料学会より「業績賞」受賞(2018年3月27日)

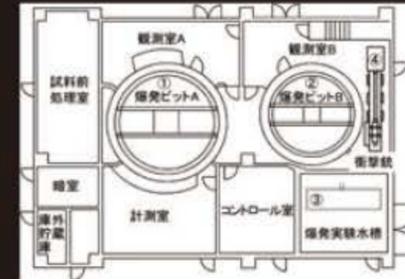


全国共同利用・共同研究拠点を目指した研究推進

代表的な施設・設備

爆発実験施設

火薬・爆薬等を爆発させた際の諸現象を研究するための国立大学としては唯一の施設であり、①爆発ピットA(計測実験用)、②爆発ピットB(回収実験用)、③爆発実験水槽、④衝撃銃 から構成される。衝撃大電流の使用も可能であり、主要な衝撃波の発生源を利用可能で、各種能力の高速度カメラ・光源なども備えている。平和利用に特化した大学の研究施設としては他に類例がなく、世界最高水準の施設である。



Facility ground plan



High-speed video camera
1ms (100 frames)

バイオエレクトリクス総合研究施設

本施設はバイオエレクトリクス研究に特化した国内唯一の施設であり、世界的に見ても同等の施設は米国に一箇所あるのみである。パルスパワー科学と生命科学という異なる分野の最新機器を同一施設内に集約し、有機的な運用を行うことで、異分野融合型の研究を効率的に行うことを可能としている。高い施設稼働率のもと、国内外の研究者との活発な共同研究が実施されている。



バイオエレクトリクス・バイオイメージング装置



バイオエレクトリクス・細胞培養室

パルスパワー研究基盤設備

同研究施設は、可変パルス幅(数10ns-ms)、超高速立ち上がり(2.6ns)、超高繰り返し(~15,000pps)等のソリッドステートパルスパワー発生装置群(10台)を有し、国内外の研究者に利用されている。いずれも熊本大学で開発されたもので、性能、台数共に世界最高である。また、高速現象計測装置(33GHzオシロ、5nsフレーミングカメラ、高感度ns時間分解分光器、その他)も充実しており、パルスパワー発生装置開発とその応用研究の環境が整備され、世界最先端のパルスパワー研究に最適な施設である。



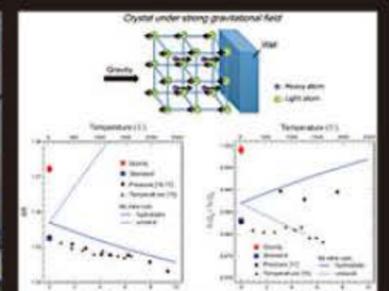
40J繰返しパルスパワー装置

超重力発生設備

世界でも唯一の「大型高温超遠心機」とその関連機器が設置されており、物質の超重力場実験を行う設備である。大型高温超遠心機は、最高500°C以上の高温下で最大100万Gの強い重力場を最大100時間以上発生することができる。



熊大発大型高温超遠心機



超重力場で合成されたユニークなTiO₂ルチル単結晶
[Crys. Growth Design, 17, 1460 (2017)]

氏名	所属	職名	課題名
田中 文章	石川工業高等専門学校	助教	ひずみゲージを用いた簡易的な衝撃波観測手法に関する研究
秀 拓一郎	北里大学	准教授	Shockwaveが脳に及ぼす影響
下嶋 賢	沖縄工業高等専門学校	准教授	衝撃波を用いた食品加工装置の実用化装置製作のための物質動特性の評価
坂本 あゆみ	沖縄工業高等専門学校	准教授	衝撃成形による金属製レプリカ標本作製の試み
長坂 琢也	核融合科学研究所	准教授	爆発圧接による核融合炉用バナジウム合金異材接合材の試作
山下 実	岐阜大学	教授	金属板端面の衝撃接合法
森園 靖浩	久留米工業高等専門学校	教授	爆発圧着とその後の熱処理による高温材料のアルミナ被覆
西 雅俊	熊本高等専門学校	講師	一方多孔隙構造を有する多孔質材料の力学特性に関する研究
結城 和久	山口東京理科大学	教授	爆発圧着技術を用いた均一多数穴ポラス鋼管の熱伝達性能評価
渡邊 敏晃	水産大学校	准教授	衝撃波による水と空気の相互作用に関する基礎的研究
森 昭寿	崇城大学	准教授	多層同時爆接における金属板の高速斜め衝突現象の観察
伊藤 和博	大阪大学	教授	爆発圧接を用いた異種薄板材料接合による高機能発現と異材接合界面評価
笠田 竜太	東北大学	教授	水中爆接法による核融合炉用タングステン被覆材の開発
小畑 正明	京都大学	名誉教授	カンラン石の高圧衝撃圧縮実験による剪断破砕と摩擦溶融の研究
永山 邦仁	九州大学	名誉教授	衝撃波データによる状態方程式情報抽出に関する考察
関根 利守	大阪大学	招へい教授	高速衝突衝撃圧縮での脱水反応の観察
佐野 智一	大阪大学	准教授	バルクナノメタルの動的降伏応力測定
上床 美也	東京大学	教授	超重力場における圧力誘起超伝導物質の研究
杉山 和正	東北大学	教授	人工マスケリナイトの合成とランダム構造評価
木下 貴博	富山県立大学	講師	衝撃銃を用いたRbCl単結晶の高圧相の状態方程式に関する研究
岡本 庸一	防衛大学校	准教授	超重力場中でのSi, Ge, Au微細粉末の異常粒成長の研究
毛塚 博史	東京工科大学	非常勤講師	衝撃圧縮によるBi系酸化物超伝導体結晶粒からの単結晶ナノ/マイクロファイバーの生成及びSEM, TEM and X-ray-Diffractionによる結晶構造評価
上野 崇寿	大分工業高等専門学校	講師	インパルス電界による健康関連微生物の滅菌を目的としたインパルス電流の開発
川村 邦男	広島修道大学	教授	ナノ秒パルス放電プラズマによる水溶液中でのオリゴペプチド生成反応
古里 友宏	長崎大学	助教	超臨界二酸化炭素中パルスアーク放電を用いた化学反応プロセスの開発
本間 哲雄	八戸工業高等専門学校	准教授	パルス放電を用いたオリゴペプチド試薬創成技術の創出
猪原 武士	佐世保工業高等専門学校	助教	非熱ナノ秒パルスマイクロプラズマの安定生成とその応用
南谷 靖史	山形大学	准教授	高感度高周波高出力パルス列によるHeLa細胞へのアポトーシス誘導の最適周波数および電界強度閾値の調査
小畑 大地	西日本工業大学	講師	純水の流動帯電による静電気障害に関する研究
伊藤 亮孝	高知工科大学	講師	微小球状固相媒体を利用した新規光機能性材料の創出とその物性評価
川上 恵典	大阪市立大学	特任准教授	紅藻アマノリの色落ち問題の解明に向けて
浅井 智広	立命館大学	助教	緑色硫黄細菌の光合成反応中心におけるカロテノイド配糖体が関与するエネルギー移動経路の同定
水牧 仁一朗	高輝度光科学研究センター	主幹研究員	ベイズ分光法を用いたX線吸収スペクトル関数形の評価と係数評価法の妥当性の検証
鐘本 勝一	大阪市立大学	准教授	有機半導体の低温分光測定及びデータ解析手法の構築
佐藤 英一	宇宙航空研究開発機構	教授	衝撃荷重下における宇宙機構造材料の強度測定
奥野 正幸	金沢大学	教授	衝撃圧縮によるMgシリカグラナラびに生物起源含水非晶質シリカの構造変化
中村 昭子	神戸大学	准教授	多孔質物質クレータースケール則の構築
中村 一隆	東京工業大学	准教授	パルスレーザーを用いた非平衡条件下での構造・フォノンダイナミクス
井山 裕文	熊本高等専門学校	教授	マグネシウム合金の爆発成形に関する数値シミュレーション
足立 典隆	横浜市立大学	教授	UVパルスレーザーによって誘起されるDNA損傷応答のライブイメージング解析
佐藤 岳彦	東北大学	教授	プラズマ誘導性細胞応答における電荷の生理的意義の解析
高橋 克幸	岩手大学	助教	水面上パルス放電の進展と活性種輸送効率の関連性の検討
小坂 丈敏	埼玉工業大学	講師	パルスパワー電源の抵抗変化によるマイクロバブル活用放電成形促進の調整に関する研究
福島 祥夫	埼玉工業大学	教授	衝撃波によるプラスチック塊破砕法に関する研究
荒岡 信隆	福岡大学	助手	雷による風車ブレードの貫通破壊を防ぐための沿面放電の伸展特性調査



熊本大学パルスパワー科学研究所

Institute of Pulsed Power Science,
Kumamoto University

〒860-8555 熊本市中央区黒髪 2-39-1
TEL 096-342-3292 FAX 096-342-3293
E-mail ipps@kumamoto-u.ac.jp
http://www.ipps.kumamoto-u.ac.jp/

2019年2月発行

