



# ILE

レーザー科学研究所100  
第7版

## はじめに

大阪大学レーザー科学研究所は、飛躍的進化を続けるレーザー技術を一層発展させ人類未踏の世界を探究することで、イノベーションの源泉となる新学術や革新的技術を創生するとともに世界に革新をもたらす人材を育成する国際的な研究拠点となることを目指してきました。さらに、パワーレーザーフォーラムを立ち上げたことで、光エレクトロニクスフォーラム、IFEフォーラムの3つの応用パワーレベルが異なる推進団体を含め、民生分野における低出力レーザー応用から診断・治療、インフラ検査、加工、新物質・材料創成そして核融合まで幅広い分野をカバーする国内唯一の研究所として一步を踏み出しました。

このような状況の中、2018年に産業界との連携を通じてさらなるイノベーションを図るべく、産学連携の実践の場としてレーザーオープンイノベーションプラットフォームを開設するとともに、その基となる情報提供のツールとして「レーザー科学研究所100」を発刊いたしました。以後改訂を重ね、この度第6版を発行することとなりました。本冊子は、本研究所の中心となる「光量子ビーム科学研究部門」、「高エネルギー密度科学研究部門」、「レーザー核融合科学研究部門」、「理論・計算科学研究部門」の研究とそれに関する産業応用について紹介することで、産学連携を希望される皆様のきっかけになることを願っております。

皆様の御支援・御協力を賜りますようお願い申し上げます。

大阪大学レーザー科学研究所  
所長 兒玉 了祐



# レーザーが切り拓く未来社会



## 超スマート社会

## 情報社会

## 工業社会

## 農耕社会

## 狩猟社会

## レーザーで知の源泉探査

# 未来を創造するオープンイノベーション

## レーザー応用ロードマップ

	現在	2030	2035	2040	2050
材料・デバイス	ワイドギャップ半導体	次世代シンチレーター材料	スーパーダイヤモンド		どこでも超ドットプラズマミラー
	深紫外材料		テラヘルツスピントロニクス	アト秒プラズマスイッチ	新量子材料
	高性能セラミックス材料				
	フォトニック結晶 メタマテリアル	プラズマフォトニックデバイス		室温超電導	
プロセス	時空間光制御	スマートレーザー加工	地産地消月面基地	レーザー掘削	隕石の地球衝突防止
	スマートフェムト秒レーザー加工	スマート3Dプリンタ	超ドット3Dプリンタ		
	スマート深紫外レーザー加工	EUVレーザー加工	軟X線レーザー加工		
計測	テラヘルツ分光	高精度X線画像計測			
		テラヘルツ医療診断			
	自動運転用LIDAR	海中モニタリング	スマート全地球LIDAR		全宇宙LIDAR
光源	スマート白色レーザー		超小型中性子源		
			粒子加速		
			イオン加速		台風制御用レーザー
	高出力深紫外レーザー	EUVレーザー	電子加速	宇宙太陽光レーザー	
システム	レーザー給電	走行型レーザー照明	インフラ非破壊検査装置	レーザー核融合発電	
	レーザー打音検査装置		宇宙デブリ除去	レーザー推進宇宙船	レーザー植物工場
	レーザー空中サインシステム	レーザー害虫・害獣駆除	粒子線がん治療	レーザー誘雷	水素生成
			レーザー量子コンピュータ		レーザー核融合ロケット
				深海都市へのファイバ電力供給	



- ・次世代パワーレーザー開発プラットフォーム
- ・プロセス・加工システム開発プラットフォーム
- ・光材料開発プラットフォーム
- ・共同研究部門  
(光学用多層膜・デバイス開発・EUVシステム)

- ・激光XII号高出力・LFEX超高強度ガラスレーザー  
(世界最高水準)
- ・ファイバー線引き器 (日本の研究機関で唯一)
- ・レーザー組立洗浄室 (日本で唯一)
- ・レーザー実験用微細加工・検査室 (日本で唯一)

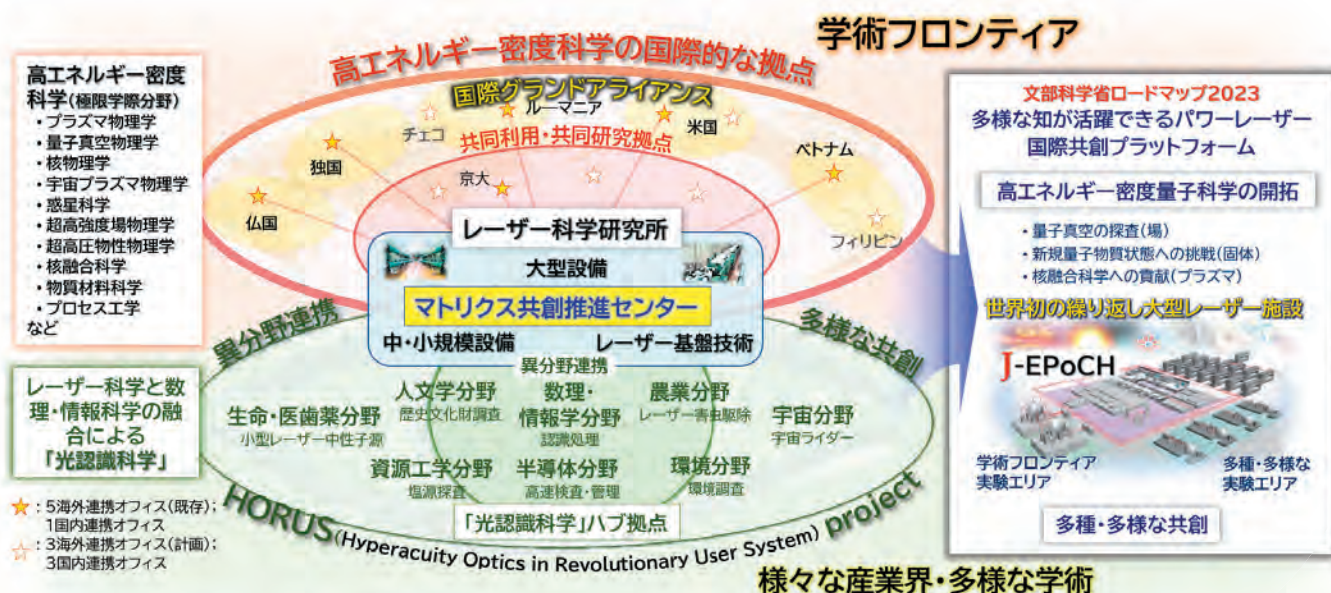
## レーザー技術と価値創造システム

# Quadruple Matrix Center

## マトリクス共創推進センターを核とした 新たな共創の推進

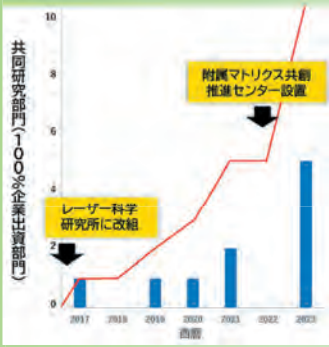
マトリクス共創推進センターは、レーザー技術を基盤とし、学術・国際・施設・産学の4つの連携を一体的に運営することで、我が国のレーザー技術のポテンシャルを最大限に活用し、分野やプロジェクト、機関、部局の壁を越えた「知の融合」を実現することを目指し、2022年に設立されました。本センターはレーザー科学に関する国際的な中核拠点として、コミュニティ内および機関内での多様な頭脳循環を促進し、新たな知の創造とイノベーションの具現化に貢献します。

## レーザー科学の多様性を生かした 世界最先端研究と人材育成の共創の場



# 産学

## 共同研究部門の設置



### ■ 研究所発スタートアップ

- EX-Fusion
  - 2021年7月19日設立
  - レーザー核融合エネルギーの実現
- (株) パワーレーザー
  - 2024年5月20日設立
  - パワーレーザー技術の社会実装

ディーベックによる革新(10年以内に実現可能な技術):  
レーザーによる超小型中性子源は、多様な分野にインパクト

**新たな環境・インフラモニター**

老朽化インフラ診断 (非破壊検査)  
連携: 中部大ミューオンセンター、ミズンフイジションパワー、太陽誘電(株)など

土壌水分検査 (広大な土壌の知照監視)  
連携: 佐賀大工学部など

散乱 ミューオン 中性子

**多様な分野との連携**

医療応用 (BNCT)  
連携: 阪大医、豊字部

生命科学  
連携: 阪大産白質研

物質科学 (スピントロニクス)  
連携: 阪大基礎工、量子セン

材料科学 (磁性体・水素化物)  
連携: 阪大工、産総工

原子核物理  
連携: 阪大工、核物センター

情報科学 (イメージング)  
連携: 阪大産研

手のひらサイズの冷～熱中性子源、宇宙線に代わるレーザー可動型中性子源、ミューオン源の可能性

## 国内5 パワーレーザー施設連携によるDX推進

**パワーレーザーDXプラットフォーム**

大阪大学レーザー科学研究所 京都大学化学研究所 東京大学物性研究所

幹事機関

理化学研究所放射光科学研究所 量子科学技術研究センター

QST関西光科学研究所

# 施設

# 国際

## 国際グランドアライアンス



点と点から面と面の連携へ

## レーザー技術で国際的な文化財調査(文理連携)

レーザー科学研究所+人文学研究科 海外とも連携: フィリピン サンカルロス大学歴史博物館

文化移動の研究 文化財調査(文理連携)

日本の陶器(高級) アメリカ大陸の銀

中国の陶器 ベトナムの陶器(低価格) ス페인(欧州) オランダ(欧州)

文化財 非破壊・その場検査

スマートレーザー分光イメージング

環境調査 人と環境に優しい鉱物資源・埋蔵資源探査

ビッグデータ 相互に利益 分析技術

## レーザー技術基盤の多様な学際研究への展開

スマートレーザー分光イメージング

文化財 資源 環境

# 学際

# 革新的な価値の創造とイノベーション創出

オープン・イノベーションを推進するパワーレーザー研究開発サイクル  
 多様な分野の技術と知識の集約であり、幅広い分野でのイノベーションと人材育成が期待できる



## パワーレーザーシステムと応用



60社

### パワーレーザーフォーラム

レーザー加工、給電、インフラ診断、各種検査、イメージング、  
 医療診断・治療、新材料・物質創成、植物工場、海中応用

### 光科学フォーラムサミット

人材育成 (OJT、Off-JT、人材確保の機会)

12社

### IFEフォーラム

レーザー核融合  
 レーザーのエネルギー応用

110社

### 光エレクトロニクスフォーラム

レーザーディスプレイ・照明、光メモリ、  
 光通信、センシング (小出力)



レーザー核融合と応用

レーザー材料・デバイス開発と応用

# 多様なステークホルダーとの協奏

# 本誌掲載研究者一覧



所長 兒玉了祐



重森 啓介



余語 覚文



岩田 夏弥



岩本 晃史



蔵満 康浩



猿倉 信彦



千徳 靖彦



筑本 知子



中嶋 誠



藤岡 慎介



吉村 政志



有川 安信



尾崎 典雅



坂和 洋一



佐野 孝好



清水 俊彦



椿本 孝治



中田 芳樹



長友 英夫



羽原 英明



藤岡 加奈



山ノ井 航平



Morace Alessio



安部 勇輝



荻野 純平



Gellata John



柴田 一範



田丸 裕基



南部 誠明



田中 のぞみ



Law King Fai Farley



石野 正人



實野 孝久



藤 寛



眞鍋 由雄



山本 和久



藤田 雅之



本越 伸二



染川 智弘



谷口 誠治



吉田 國雄



村上 匡且

## 目次 INDEX

### 材料・プロセス

パワーレーザーで新物質材料創成	尾崎 典雅	▼新しいダイヤモンドを創る ▼新しい金属を創る	P 12
透明セラミック技術	藤岡 加奈	▼新レーザー材料 アルカリ土類金属フッ化物 ▼酸化物レーザー材料 発光元素共添加技術 ▼高融点・分解溶解型材料 ▼セラミックス接合	P 13
溶液成長結晶の育成技術	藤岡 加奈	▼各種水溶性結晶の高速育成 ▼結晶育成の自動化	P 14
コンポジットセラミック蛍光体	藤岡 加奈	▼高熱伝導セラミックス蛍光体 ▼暖色白色光源用セラミックス蛍光体	P 15
Beyond 5G/6G 材料のデザインや評価	中嶋 誠	▼Beyond 5G帯における特性評価 ▼Beyond 5G応用に向けた新材料	P 16
新しい結晶成長技術	吉村 政志	▼結晶成長モードの能動制御 ▼有機低分子の準安定形開発	P 17
マクロなビーム形状制御:ビーム整形	中田 芳樹	▼マクロなビーム形状の整形 ▼均一・均質なビームの応用	P 18
ミクロなビーム形状制御:干渉パターン制御	中田 芳樹	▼干渉パターンの制御 ▼干渉パターンを用いた加工	P 19
超短パルスレーザーを用いた3次元ナノ構造形成	中田 芳樹	▼周期配列金ナノドロップ構造及び金ナノウイスキー構造の形成 ▼干渉パターンを用いた周期配列ナノドット作製	P 20
レーザー加工技術の宇宙応用	藤田 雅之	▼レーザー積層造形による建材作製	P 21
フェムト秒レーザー加工技術	藤田 雅之	▼熱影響が無視できる微細加工 ▼材料表面への微細周期構造形成 ▼半導体の表面改質 ▼CFRPの微細加工	P 22
レーザー加工技術	藤田 雅之	▼レジスト剥離 ▼MEMSウエハのダイシング ▼レーザークリーニング	P 23
高密度プラズマによるレーザートリートメント	重森 啓介	▼大面積レーザークリーニング ▼レーザーピーニングによる材料の強靱化	P 24
次世代光学材料探求とレーザー・超伝導応用研究	筑本 知子	▼磁気光学イメージング法による超伝導材料の電流分布評価 ▼化学的表面活性化による高温超伝導線材の低温接合技術	P 25
トリチウムを使った基礎から応用研究、材料の非破壊検査	山ノ井 航平	▼トリチウムの利用・解析 ▼非破壊・自動検査技術	P 26
高強度パルス極端紫外(XUV)光による物質アブレーション応用と光電離光解離プラズマ物理	田中 のぞみ	▼物質のXUVアブレーション応用とアブレーションプラズマ物理 ▼高フルエンスEUV光による表面改質と異種材料間界面形成	P 27
レーザー駆動真空紫外(VUV)光による光解離過程の応用	田中 のぞみ	▼放射波長域可変のレーザープラズマ光源開発 ▼光解離を利用した高効率水素ラジカル生成	P 28

### 光学素子・デバイス

レーザー用光学素子技術の新しい展開	實野 孝久	▼新しい波面補正法 ▼超高精度光学素子加工法	P 29
-------------------	-------	---------------------------	------

深紫外レーザー用光学結晶の開発	吉村 政志	▼難加工性材のレーザー加工技術 ▼半導体ウエハ、マスク検査	P 30
メタマテリアル	中嶋 誠	▼テラヘルツメタマテリアル ▼メタマテリアルデバイス	P 31
新型テラヘルツ波放射光源	中嶋 誠	▼磁性体超薄膜テラヘルツ波光源 ▼周期型金属構造によるコヒーレントテラヘルツ光源	P 32
次世代量子ビーム用シンチレーター材料	猿倉 信彦	▼酸化亜鉛シンチレーター ▼フッ化物ガラスシンチレーター	P 33
レーザー用光学素子への新技術開発	吉田 國雄	▼光学薄膜(AFTM:MgF2)	P 34
レーザー損傷耐性評価	本越 伸二	▼レーザー損傷評価試験 ▼レーザー損傷しきい値のデータベース化 ▼劣化・発光測定 ▼保護具の耐光性試験	P 35
レーザー励起蛍光体デバイス	藤 寛	▼コンポジットセラミック蛍光体 ▼レーザー耐性評価 ▼遠方投射白色照明	P 36
高輝度フォトニック結晶面発光レーザー	Gelleta John	▼レーザー加工 ▼光検出と測距(ライダー)	P 37
磁気光学デバイスの開拓	田丸 裕基	▼高出力レーザー用光アイソレータ ▼磁気光学デバイスによる新規応用先の開拓	P 38
微小共振器型波長変換デバイス	南部 誠明	▼DUV,VUVレーザー光源 ▼量子光源	P 39
<b>レーザー・システム</b>			
コヒーレントビーム結合とファイバーレーザー	椿本 孝治	▼紫外ピコ秒パルスによる微細加工 ▼任意パルス制御による高性能加工	P 40
アクティブミラー型レーザー増幅器	余語 覚文	▼レーザー加工 ▼医療応用(レーザーメス、美容整形、歯科) ▼レーザー打音検査 ▼ライダー	P 41
世界最高平均出力を目指すハイパワーレーザー	余語 覚文	▼レーザー粒子加速(先端医療応用) ▼宇宙デブリ除去 ▼レーザー核融合(未来のエネルギー)	P 42
超小型パワーレーザー	余語 覚文	▼レーザー治療・検査(美容、成形) ▼映像(プロジェクター)・照明 ▼レーザーガイド補償光学系 ▼小型装置による多彩な造形	P 43
新領域「ニュークリアフォトニクス」 -非破壊検査から宇宙の謎の解明まで-	余語 覚文	▼レーザー粒子加速 ▼レーザー駆動中性子源	P 44
太陽光励起レーザー	荻野 純平	▼宇宙空間での高効率なエネルギー伝送 ▼宇宙基地の建設材料製造	P 45
時空及び位相・周波数制御による プラズマの最適化	藤岡 慎介	▼微小構造ターゲットを用いた、プラズマ光源の高輝度化 ▼二波長レーザーの混合照射による電子ビーム発生	P 46
自立グラフェンを用いた高エネルギー イオン加速	蔵満 康浩	▼LSGを用いた高エネルギー炭素イオンの加速・生成 ▼LSGを用いたイオン源の小型化・低放射化	P 47
高強度レーザーとナノフォトニクスによる 究極の光強度の実現	羽原 英明	▼表面プラズモン共鳴電場増強 ▼マイクロ集光鏡電磁場増強 ▼低密度ナノフォームイオン加速 ▼高速点火レーザー核融合	P 48
レーザー害虫駆除システム	藤 寛	▼飛翔中の害虫撃墜 ▼害虫駆除のための照射技術	P 49

Achieving high-gain nuclear fusion with Extreme Laser Intensities using Relativistic and Curved Plasma Mirrors	Morace Alessio	▼Hybrid Hole-Boring/RPA and fast electron ignitor beam for fast ignition using Ellipsoidal Plasma Mirrors ▼Relativistic plasma mirrors for Doppler-Boosted ignitor beam and SF-QED science	P 50
--	----------------	---	------

深層学習を用いた大型レーザー装置の信頼性向上	Law King Fai Farley	▼増幅器の異常検知 ▼光学素子の異常検知	P 51
------------------------	---------------------	-------------------------	------

## 計測・イメージング・照明

テラヘルツ分光	中嶋 誠	▼センシング・物質の同定・イメージング ▼テラヘルツスピントロニクス	P 52
---------	------	---------------------------------------	------

ワイドギャップ半導体の非接触キャリア特性評価	中嶋 誠	▼薄膜試料評価・バルク材料評価 キャリア密度・移動度・厚み ▼テラヘルツエリプソメトリによる高キャリア濃度試料の評価	P 53
------------------------	------	---	------

可視光レーザー照射応用	山本 和久	▼レーザーによる高輝度照明 ▼高画質レーザーディスプレイ ▼位置可変走査型レーザー照明 ▼レーザーを用いたスマート農業	P 54
-------------	-------	--	------

スペックル制御技術	山本 和久	▼レーザーディスプレイ画質改善 ▼誘目性・視認性による注意喚起	P 55
-----------	-------	------------------------------------	------

走査型可視光レーザーシステム	石野 正人	▼追従型照明 ▼ワイヤレス光給電・情報伝送 ▼レーザー空中サインシステム ▼IoTステーション	P 56
----------------	-------	--	------

高演色・高色再現レーザー照明	眞鍋 由雄	▼高演色高効率レーザー照明 ▼高色再現レーザー照明	P 57
----------------	-------	------------------------------	------

レーザー超音波(音波)技術	染川 智弘	▼レーザーによるトンネル覆工コンクリート検査技術 ▼レーザーによる鋼板接着床版の浮き検査技術 ▼レーザーによるケミカルアンカーの欠陥検査技術 ▼レーザーによるひび割れ深さ計測	P 58
---------------	-------	--	------

レーザーリモートセンシング技術	染川 智弘	▼白色光ライダー ▼赤外ガス吸収計測 ▼海中モニタリング ▼ラマンライダーと微量成分分析	P 59
-----------------	-------	---	------

フェムト秒レーザーを用いたフラグメントフリーイオン化技術	谷口 誠治	▼波長2 μm帯フェムト秒レーザーによるダイオキシン類計測技術	P 60
------------------------------	-------	---------------------------------	------

レーザー中性子源による新しい非破壊検査技術	余語 覚文	▼橋梁・ビルなどの老朽化検査や水素機器の開発・信頼性向上技術 ▼元素を選別して温度を透過・瞬間計測:マルチパラメータ高速分析	P 61
-----------------------	-------	---	------

レーザーによる高輝度X線源及び高速X線分光・イメージング技術	藤岡 慎介	▼次世代半導体デバイス製造用極端紫外光源 ▼レーザー誘起蛍光法による、プラズマ中の中性粒子分布診断	P 62
--------------------------------	-------	--	------

高精度X線画像計測法	藤岡 慎介	▼超高速X線被写体のフレーミング2次元画像計測 ▼ガンマ線過酷環境下のX線フレーミング画像計測	P 63
------------	-------	--	------

アバランシェ光増倍パネルによるモバイル放射線モニター	有川 安信	▼中性子ラジオグラフの超高感度化 ▼PET診断のモバイル化	P 64
----------------------------	-------	----------------------------------	------

高速応答有機液体シンチレータ	安部 勇輝	▼高時間分解放射線計測によるナノ秒スケールの物理現象の解明 ▼X線・中性子ラジオグラフィ用の大型・高速イメージング素子	P 65
----------------	-------	--	------

先端イメージング分光	清水 俊彦	▼分光装置開発 ▼文化財の分光	P 66
------------	-------	--------------------	------

## エネルギー・その他

発電をはるかに凌ぐレーザーフュージョンエネルギー開発	兒玉 了祐	▼地上から宇宙のゴミを掃除 ▼第3の量子状態で新物質を創る	P 67
----------------------------	-------	----------------------------------	------

レーザーフュージョンエネルギーによる水素製造	重森 啓介	▼レーザー核融合で発生する熱エネルギーを水素に変換する ▼HYPERION (HYdrogen production Plant with Energy Reactor of Inertial FusiON)構想	P 68
レーザー駆動による高強度電磁場発生	藤岡 慎介	▼レーザー駆動量子ビームの高輝度化 ▼超強磁場を用いた原子・分子のエネルギー準位の制御	P 69
レーザー駆動無衝突衝撃波によるイオン加速	坂和 洋一	▼繰り返し生成準単色プロトンビームの医療・産業応用 ▼準単色重イオンビームの医療・産業応用	P 70
レーザー誘雷技術	藤田 雅之	▼レーザー誘雷技術	P 71
マイクロチューブ爆縮によるメガステラ磁場の生成	村上 匡且	▼原子物理や宇宙物理など高エネルギー密度物理における学術的応用 ▼超コンパクトな磁場閉じ込め核融合装置や粒子加速器への応用	P 72
マイクロバブル爆縮による極超高電場生成	村上 匡且	▼全く新たなTHz源から、プロトントモグラフィ、 $\gamma$ 線レンズまで ▼新物質創生のための全く新たなツールとして	P 73
ナノサイズの水クラスター・クーロン爆発とその応用	村上 匡且	▼コンパクトなレーザー中性子源の開発 ▼BNCTなどの医療応用のための中性子源として	P 74
超短・超高強度レーザーとナノ構造体との相互作用	村上 匡且	▼プロトンビームを使った微細加工や描画技術の産業応用 ▼中性子捕捉癌治療など医療応用のための中性子源として	P 75
多次元効果による超高圧・超高密衝撃圧縮	村上 匡且	▼第三の点火方式「衝撃点火」によるコンパクトレーザー核融合 ▼「超高圧 & 超高密」を同時達成できるショックチューブの開発	P 76
キャビティターゲットによる高温プラズマ生成法	安部 勇輝	▼単色短パルス中性子源としての応用 ▼極端紫外 (EUV) 光源としての応用	P 77
レーザー核融合炉工学	岩本 晃史	▼水素の液化 ▼極低温冷却技術	P 78
<b>計算・シミュレーション</b>			
高出力レーザー駆動放射線・粒子線源の計算	千徳 靖彦	▼レーザー駆動高輝度X線源 ▼レーザー駆動高輝度ガンマ線源 ▼高強度レーザー駆動高Zイオン線源 ▼X線レーザーによる物質加工のシミュレーション	P 79
高エネルギー密度プラズマ生成・発展の理論モデル	岩田 夏弥	▼レーザーによるプラズマ加熱の基礎理論 ▼宇宙物理学 ▼レーザー核融合	P 80
粒子シミュレーションによるレーザー駆動粒子加速の解析	岩田 夏弥	▼レーザー駆動粒子加速のシミュレーション ▼小型イオン加速器 ▼粒子線を用いた非破壊検査	P 81
燃焼とプラズマの乱流数値シミュレーション	佐野 孝好	▼レーザー核融合における乱流混合過程 ▼太陽磁場活動にみられる宇宙ダイナモ現象 ▼燃焼過程における衝撃波面の構造解析 ▼電磁波を用いた新しいプラズマ加熱機構	P 82
流体と光の複雑・非線形相互作用のシミュレーション	長友 英夫	▼3次元のレーザー光線追跡を含む放射流体シミュレーション ▼レーザー核融合における爆縮プロセスの最適設計	P 83
レーザープラズマのインテリジェント観測・制御	長友 英夫	▼インテリジェントレーザープロセッシング ▼人工知能による複雑非線形物理の解析、最適化	P 84
荷電粒子群の自己組織化による球面配位の最適化	村上 匡且	▼レーザー核融合照射配位の決定からマイクロ球体の構築まで ▼ゴルフボールのディンプル最適化	P 85
レーザーを用いた新しい科学/技術の開拓	柴田 一範	▼真空の非線形性を観測可能な実験系の考案 ▼レーザーを必中させる軌道計算	P 86

プラズマフォトリクスグループ

パワーレーザーで新物質材料創成

Creating new materials with high-power lasers

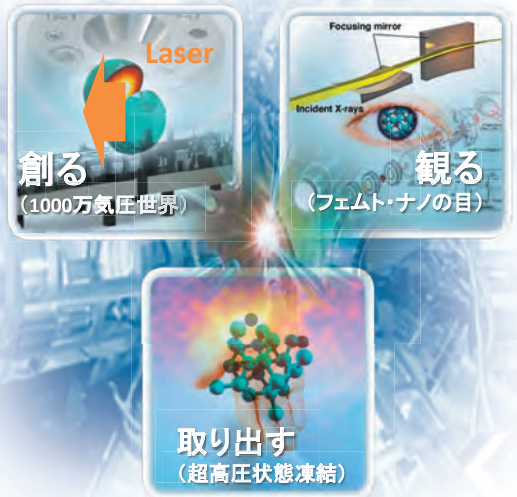
尾崎典雅 准教授(工学研究科兼任)

共同者: 兒玉了祐 教授(工学研究科兼任)、 中村浩隆 助教(工学研究科)

レーザー超高圧縮で新物質状態を創る・観る技術

高出力のパルスレーザーを固体表面に集光照射すると高温・高密度プラズマが生成されアブレーションが起こり、超高圧の圧力波や衝撃波が生成され固体内部に伝播する。このような動的な圧縮により比較的容易に100万-1000万気圧を超える超高圧状態を創り出すことができる。この超高圧状態は、惑星の中心の圧力に相当するとともに、地上に存在していなかった新たな物質材料を創り出すことができる。

レーザー超高圧で新物質材料を創るカギとなる技術の1つは、超高圧状態のダイナミクス制御技術を実現するレーザーパルス波形整形技術であり、もう1つはXFELなどによるレーザー超高圧状態のマイクロダイナミクス診断技術である。これらによりレーザー超高圧下での構造変化の診断と制御による新物質創成の可能性や全く新しいレーザープロセスが期待されている。さらに今後、より高精度かつ大量のデータを可能とする高繰り返しパワーレーザー技術の進展も期待でき、情報科学との連携などによる新学術の創成と共に新たなイノベーション創出が期待できる。



**応用1 新しいダイヤモンドを創る**

パワーレーザーを利用し、炭素(グラファイト)を圧縮することで様々なダイヤモンドを創ることができる。レーザーによる1次元圧縮により、比較的容易にグラファイトから六方晶ダイヤモンド(ロズデーライト)を創ることが可能になってきている。これはダイヤモンドより1.58倍以上の硬度があると考えられている。さらに1000万気圧以上で体心立方(BC8)ダイヤモンド(スーパーダイヤモンド)の状態を実現し、手の上に取り出すことを試みている。これは系外大型惑星(スーパーアース)のコア物質と思われる。

40光年離れた大型地球型惑星の中心にあるスーパーダイヤモンドを、地上に

**応用2 新しい金属を創る**

レーザーによる動的な圧縮は、通常の静的な圧縮と異なり、超高速でかつ1次元圧縮である。この特性を活かして様々な金属を創り出すことができる可能性がある。

- ・金属シリコン(10万気圧以上)  
レーザーの高速圧縮・冷却による高压相凍結による金属シリコンの取り出しの可能性
- ・混合相状態のナノ構造鉄(10-100万気圧)  
異なる高压相の混合鉄を創り出せる可能性
- ・金属カーボン(3000万気圧以上)  
未発見の超軽金属カーボンの可能性

レーザー

100万-1000万気圧以上

希薄波(過冷却) 衝撃波(急加圧)

新相転移  
三次元非弾性圧縮  
一次元弾性圧縮

グループHP <https://www.eie.eng.osaka-u.ac.jp/ef/>

キーワード 超高圧、高密度物質、X線自由電子レーザー、超高速観察



## レーザー材料工学グループ

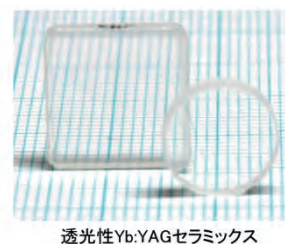
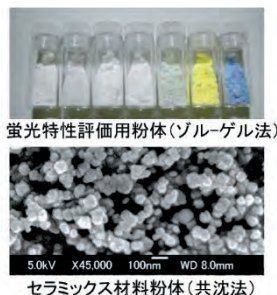
# 透明セラミック技術

### Transparent Ceramics Technology

藤岡加奈 准教授

## 粉体合成からセラミックス透明化まで

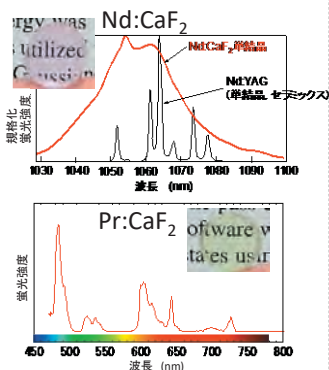
レーザーの高出力・高繰り返しを目指し、希土類元素を添加したYAG ( $Y_3Al_5O_{12}$ ) セラミックレーザー材料の透明化と接合の技術開発を行ってきました。透光性セラミックスの製造は、母材に添加する活性元素の選定、濃度最適化の探査から共沈法、ゾルゲル法、水熱法などの材料粉体製作、成型、焼結、ポスト焼結を一環して行う設備を有しています。この製作工程には多くのノウハウが凝集されており、レーザー材料のみならず、バルク及び粉体の白色光源、磁性光学材料、シンチレーターなどの幅広い分野で応用することが可能です。



### 応用1

## 新レーザー材料 アルカリ土類金属フッ化物

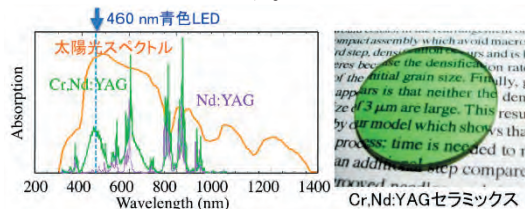
最先端科学と医療・産業分野の幅広い開拓を可能にする高パルスエネルギー・高繰り返しなレーザーを実現するための「短パルス化が可能で排熱に優れたアルカリ土類金属フッ化物透光性セラミックレーザー材料」の研究を行っています。



### 応用2

## 酸化物レーザー材料 発光元素共添加技術

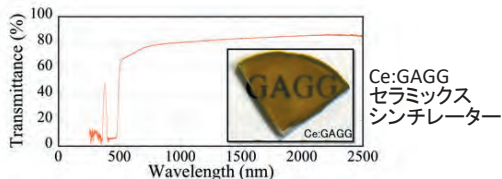
太陽光励起レーザー材料として、太陽光に多く含まれる可視領域の光を有効活用するようにNd:YAGにCrを共添加しました。最近、安価になった青色LED励起による緑～赤の波長域の発光材料が目ざされつつあります。



### 応用3

## 高融点・分解溶融型材料

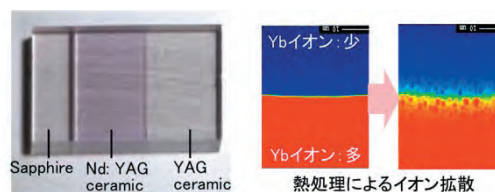
焼結温度が低いセラミックス技術は、高融点材料、あるいは分解溶融型化合物(加熱時に元の組成と異なる固相と液相に分解)の製作に力を発揮します。次世代シンチレーター材料であるCe:GAGG( $Gd_3Al_2Ga_3O_{12}$ )やCe:SrHfO<sub>3</sub>、磁性光学材料Ce:Tb<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub>などがその例です。



### 応用4

## セラミックス接合

高速アルゴン原子ビームを用いて表面を活性化し、セラミックス同士、あるいは異種材料(単結晶、金属など)と常温で接合します。レーザー材料の冷却促進以外に、接合後の加熱によってイオン濃度の傾斜制御も可能です。



グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/lmo/index.html>

キーワード 透明セラミックス、元素共添加、接合



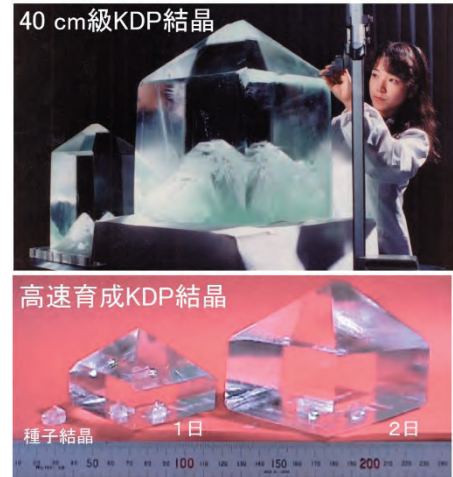
# 溶液成長結晶の育成技術

Technology for Growing Solution-grown Crystals

藤岡加奈 准教授

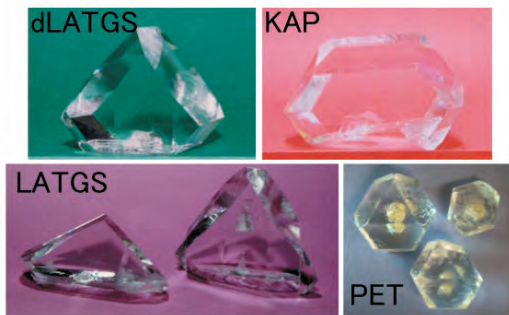
## 母液中のクラスター分子分解による高速成長

大型ガラスレーザー装置激光XII号の波長変換素子として非線形光学結晶KDP ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )の大型結晶育成技術を開発し、当時、世界最大の40cm級結晶の育成に成功しました。大型で高品質の結晶を育成するため、育成母液の攪拌方法や、母液に紫外線を照射することにより結晶の耐レーザー損傷性を向上させるノウハウも蓄積しています。また、母液中の溶質クラスター(溶質分子の集合体)を熱や音波エネルギーで破壊することで育成母液の高過飽和度を達成する技術も開発し、従来の育成方法に比べ10倍以上の速度(最高53 mm/日)での育成に成功しました。これらの技術は溶液成長の結晶育成に広く応用できる可能性があり、光学分野のみならず食品分野でも適用が試みられています。



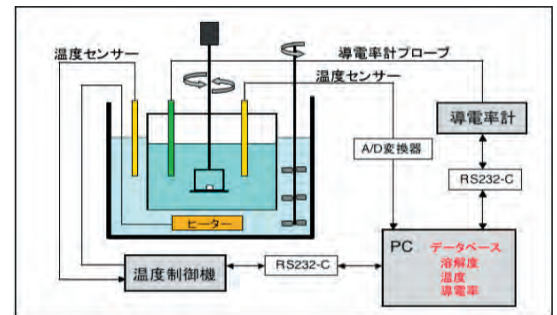
### 応用1 各種水溶性結晶の高速育成

高速育成技術を用いて、広帯域焦電型赤外線センサーなどに使われるLATGS (L-アラニン添加硫酸グリシン)やdLATGS (重水素化LATGS)、X線分光結晶であるKAP (フタル酸カリウム)やPET (ペンタエリスリトール)を従来より数十倍の速度で育成可能にしました。生産性のみならず、種子結晶の選択によって歩留まりの向上にも寄与することができることを提案しました。これらの技術、知見は広く溶液成長結晶の育成に適用が可能です。



### 応用2 結晶育成の自動化

高品質の結晶を安定して育成するには、結晶の成長速度を一定に保つことが重要です。そのためには、育成中の母液の過飽和度を精密に調整する必要があります。過飽和度は母液の温度、伝導率、溶解度に依存するため、これらの関係のデータベースを構築し、伝導率の測定値を基に過飽和度が一定になるように温度制御します。この育成制御の全てをコンピューターにより自動で行ないます。最新のAI技術を応用すれば、さらなる省力化とコストダウンも期待できます。



グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/lmo/index.html>

キーワード 溶液成長、高速成長、自動化



レーザー材料工学グループ

コンポジットセラミック蛍光体

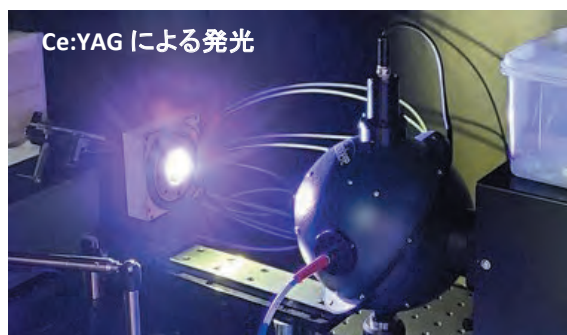
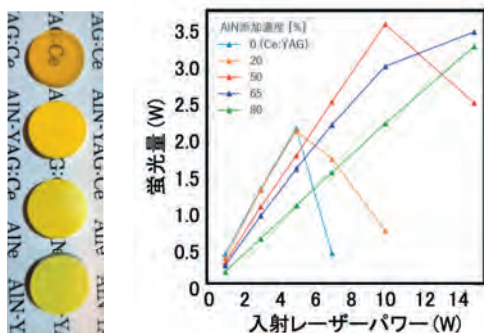
Composite Ceramic Phosphor

藤岡加奈 准教授

温度消光を抑制するための 非酸化物/酸化物コンポジットセラミックス 白色光源用蛍光体

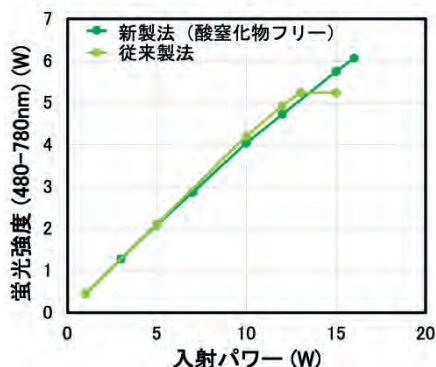
遠方でも必要なところだけを照らすことのできる青色半導体レーザーと蛍光体を用いた照明の開発を行っています。よく光り、温度変化に影響されない長寿命の蛍光体、クールからウォームまで様々な白色を実現する蛍光体の研究を行っています。

酸化物であるCe:YAGと非酸化物で高熱伝導のAlNをコンポジット化する技術を開発し、高パワー励起による蛍光体の温度消光を抑制が可能になりました。



応用1 高熱伝導 セラミックス蛍光体

酸化物と非酸化物のコンポジットセラミックスでは、酸窒化物の副生成物が出現し易く、高熱伝導化の効果低減の原因となります。それを回避するため、Ce:YAG蛍光体に工夫を加えたコンポジットセラミックス新製法によって、さらなる性能向上が確認されています。



応用2 暖色白色光源用 セラミックス蛍光体

レーザー照明をさまざまなシーンに適用するため、色温度の異なる発光を示す蛍光体の研究を行っています。特に、暖色系白色用の蛍光体は温度消光が顕著で高熱伝導材料とのコンポジット化が有効です。



グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/lmo/index.html>

キーワード 蛍光体、セラミックス、熱伝導



## 超広帯域フォトニクスグループ

## Beyond 5G/6G 材料のデザインや評価

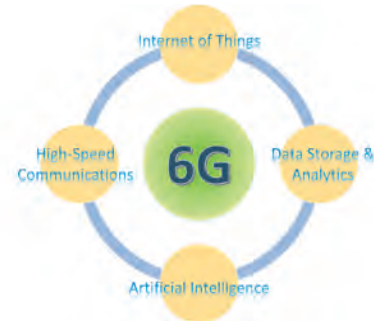
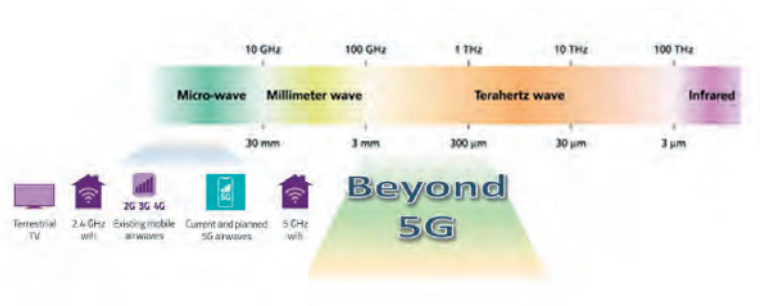
Design and Evaluation of new materials for Beyond 5G/6G

中嶋 誠 准教授

共同者：V. Agulto特任助教、加藤康作特任研究員

## Beyond 5G (6G)

‘Beyond 5G’ もしくは ‘6G’ と呼ばれる次世代の通信帯域は、100 GHz ~ 1 THzの周波数に相当し、テラヘルツ帯に位置します。これらの電磁波は、携帯電話等に用いられるだけでなく、IoT (Internet of Things)やDX (Digital Transformation)の主要な要素となります。高周波の電磁波は、広い帯域を持ち、高速な通信環境を提供し、ビッグデータ記録にも寄与します。6G 帯で利用される材料開発は現在もっとも注目を集めています。メタマテリアルをはじめとする新規材料の開発をはじめ、6G帯での光学応答や伝導特性の評価から、新材料開発の支援を実施します。



## 応用1 Beyond 5G帯における特性評価

Beyond 5G領域(100 GHz-1 THz)のみならず、5Gの領域(50 -100 GHzなど)における物性特性評価が可能です。透過測定のみならず、反射測定も実施可能であり、状況に合わせて配置での測定が行えます。

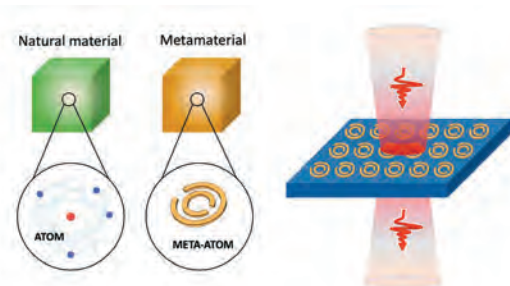
吸収材や磁気材料だけでなく、基板材料や新材料のBeyond 5G帯での評価を実施します。下記の特性を得ることより、デバイス設計の指針となるパラメータの取得が可能です。

多様な特性の評価が可能

- 透過率
- 反射率
- 屈折率
- 誘電率・誘電正接
- 電気伝導度

## 応用2 Beyond 5G応用に向けた新材料

Beyond5Gデバイスに応用可能な新材料の開発を行っています。メタマテリアルは、波長よりも小さい構造体からなる新規の人工物質です。その機能や周波数特性は、その構造のサイズや形状からデザインすることが可能です。6G通信帯における新材料開発に応用することも可能です。我々は、理論計算よりその応答特性を予想することができ、また、実験的にそれらの特性を確認・評価することも可能です。



グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/research/th/>

キーワード Beyond 5G, 6G, 次世代通信、テラヘルツ、メタマテリアル



# 超広帯域フォトニクスグループ

## 新しい結晶成長技術

Advanced crystal growth technology

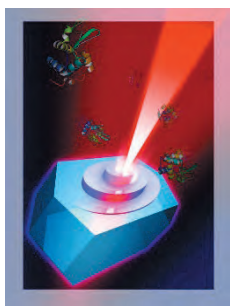
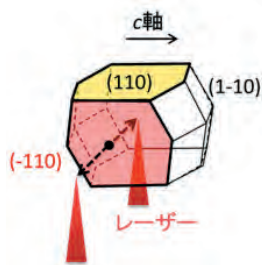
吉村政志 教授

共同者：森勇介教授(工学研究科)、吉川洋史教授(工学研究科)、丸山美帆子教授(工学研究科)

### レーザーアブレーションを用いた結晶成長

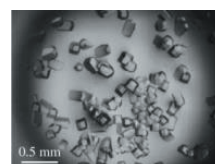
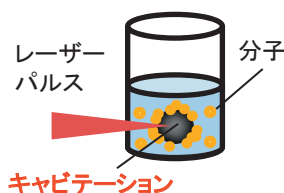
タンパク質の分子構造解析のためには、良質な大型単結晶が必要とされますが、適切な過飽和溶液環境下においても結晶の成長が停止するという課題がありました。結合が弱く、転位が少ないタンパク質結晶では2次元核成長モードが支配的となる点に着目し、レーザーアブレーションによって制御することを試みました。

リゾチーム結晶(タンパク質)



### レーザー誘起核発生

溶液結晶成長法の1つとして、フェムト秒レーザーを過飽和溶液に照射し、キャビテーションバブルを介して核発生を誘起する技術開発を進めてきました。これまでは巨大分子であるタンパク質結晶の結晶化に取り組んでいましたが、最近では薬剤候補化合物の有機低分子の多形制御への応用研究に取り組んでいます。

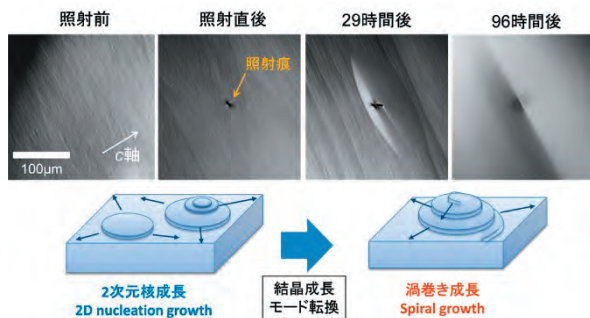


リゾチーム結晶(タンパク質)

### 応用1 結晶成長モードの能動制御

フェムト秒レーザーを用いて、溶液中で成長が緩やかになったリゾチーム結晶表面にレーザーアブレーション痕を形成すると、そこから渦巻き成長が誘起されて面全体がスパイラルステップで覆われました。これによって成長モードが理想的な渦巻き成長に切り替わり、成長が促進されて結晶が大型化するという新しい現象を発見しました。

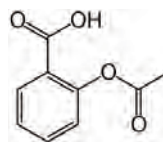
*Nature Photonics, Vol. 10, pp. 723-726 (2016.10).*



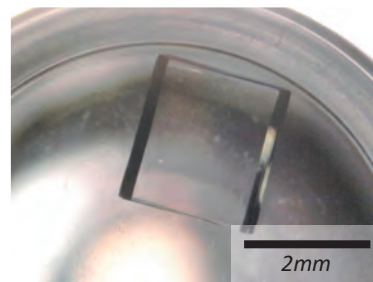
### 応用2 有機低分子の準安定形開発

種々の薬剤は、主成分の有機低分子を結晶化したものを顆粒・錠剤化しています。一般に再安定形の結晶構造が採用されていますが、開発段階では準安定形の結晶形探索が求められます。

解熱鎮痛薬として知られるアスピリンの低過飽和溶液にフェムト秒レーザーを照射すると、通常結晶が晶出しにくい条件において、写真に示すような準安定形の大型単結晶作製に世界で初めて成功しました。



解熱鎮痛薬  
アスピリン



グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/research/up/>

キーワード 結晶成長モード制御、レーザー誘起核発生



# マクロなビーム形状制御:ビーム整形

## Macroscopic beam shape control: beam shaping

中田 芳樹 准教授

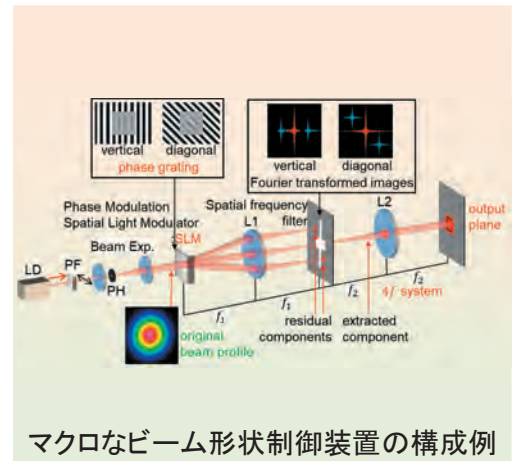
### 空間周波数フィルタリングの最適化による 超高精度ビーム整形

レーザー技術の応用は基礎科学から産業まで非常に多岐にわたる。そのポテンシャルを最大限発揮するためには、ビームが持つさまざまなパラメーターを最適化する必要があるが、その中で最も重要なパラメーターと言える「光の強度と位相の分布」を精密に制御する技術を開発した。

右図が装置構成例である。空間光変調器 (Spatial Light Modulator: SLM) に周期的な位相分布を持つ「位相グレーティング」を表示し、入射するレーザービームにエンコードする。回折光をフーリエ面で除去し、出力面におけるビーム形状を制御する。ここで位相グレーティングの位相を  $\phi_1$ 、 $\phi_2$  とすると、ここでの電界強度と位相は

$$E' \propto E_0 \cos\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) \times \exp\left(j\frac{\phi_1 + \phi_2}{2}\right)$$

で表されるため、空間的な位相差分布  $\Delta\phi(x, y)$  でビーム整形が可能となる。この時、位相グレーティングの  $k$  ベクトルを最適化することで、フーリエ面における除去光と抽出光の完全な空間分離が可能となり、従来法に比べて格段に精度の高いビーム整形が可能になる。

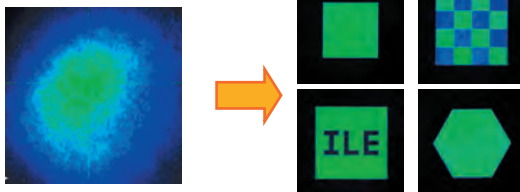


マクロなビーム形状制御装置の構成例

#### 応用1 マクロなビーム形状の整形

従来のビーム整形には空間フィルタリングやCGH、DOE、マイクロレンズアレーなどがあり、フラットトップへのビーム整形が行われてきましたが、精度や波面の乱れ、形状の自由度などに難点があった。一方で本手法は、他の手法より格段に精密なビーム整形と波面制御が可能である (下図: Copyright (2019) Nature)。この技術は、様々なレーザーの応用において、そのポテンシャルを最大限発揮することを可能にしている。

不均一・不均質な  
ビーム



フラットトップやパターン形状  
などへのビーム整形の例

#### 応用2 均一・均質なビームの応用

この技術は、均一性や制御性が重視される全ての面積照射に応用できる。例えば、ステップスキヤニングを併用した多ショット大面積加工、さらには皮膚病や美容医療などがある。一方、強度分布が内包されている大型レーザーのビームパターンでは、光学素子のダメージを防ぐために出力を上げることができない。そこで、増幅する前の前段部で最終的なビーム形状がフラットトップになるようビーム整形を行うことで、最大の出力を得ることができま



グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/research01/plp/>

キーワード ビーム整形、空間周波数フィルタリング、空間光変調器、フーリエ光学系



# ミクロなビーム形状制御：干渉パターン制御

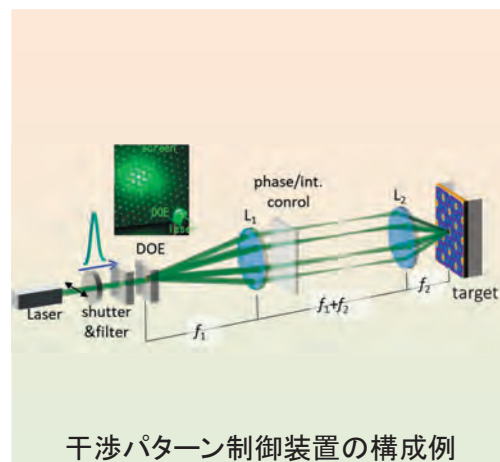
Microscopic beam shape shaping: control of interference pattern

中田 芳樹 准教授

## 干渉パターン制御

レーザーの本質的な特徴であるコヒーレンシーによって生み出される「干渉パターン」は、さまざまな応用がある。一般的には、同じ波長と位相を持った複数のビームを交差させることで、格子状や光子配列されたドット状の光パターンが得られる。

一方で、ビームごとのパラメーターを精密に制御することで、光パターンの形状制御範囲が広がる。同じ光形状が事実上無限に配列できるため、周期構造を一括して形成することができる。さらに周期の精度や自由度が非常に高いなど、さまざまな特徴を備えている。古くから回折格子の書き込みに利用されており、近年ではハイパワーレーザーの干渉パターンを用いた直接加工や周期構造の形成が可能となっている。その結果、この技術の応用範囲は格段に広がっている。



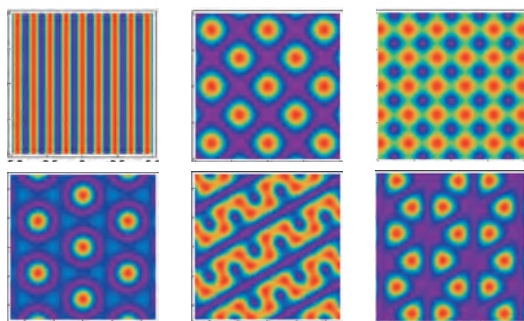
干渉パターン制御装置の構成例

### 応用1 干渉パターンの制御

レーザービームの電界強度は次式で表される。

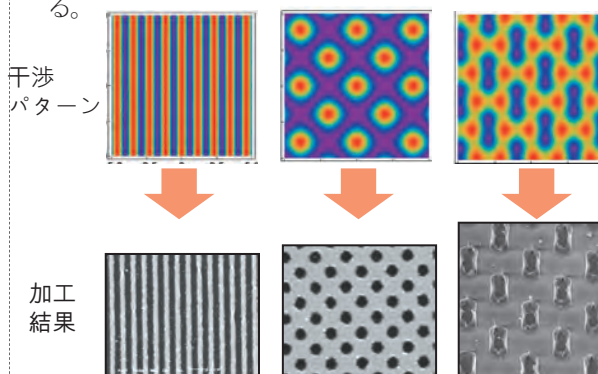
$$E_n(x, y, z, k_n, \theta_n, \phi_n, \omega_n, \alpha_n, t) = E_{n0} \cos(k_n \cos \theta_n \times z + k_n \sin \theta_n \times (-x \cos \phi_n - y \sin \phi_n) - \omega_n t + \alpha_n)$$

複数本のビームを重ね合わせた干渉パターンは、それら電界を加算して2乗し時間平均することで表される。ビーム本数及び $E_{n0}$ と $\alpha_n$ を制御する事で、下記の例にあるようにバラエティに富んだ干渉パターンを形成する事が可能である (Copyright (2012) OPTICA, (2010) Springer, (2002) AIP)。



### 応用2 干渉パターンを用いた加工

左の干渉パターンを用いて物質加工を行うことで、周期構造を直接形成する事が出来る。干渉パターンはオンデマンドで制御が可能であり、レーザー加工が可能な物質であれば全て適応可能で、エッチングが必要な露光プロセスと比較して簡便かつ応用範囲が広い。下記は全て金薄膜を加工した例であり、グレーティング構造や周期穴構造 (MHA)、周期配列した島状構造が形成されている。



グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/research01/plp/>

キーワード 干渉パターン、加工、プロセッシング、メタマテリアル



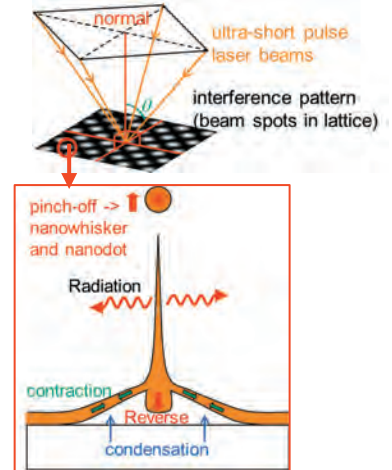
# 超短パルスレーザーを用いた3次元ナノ構造形成

Formation of 3D nanostructures using ultrashort pulsed lasers

中田 芳樹 准教授

## 超短パルスレーザーの干渉パターン加工応用と 3次元ナノ構造形成

フェムト秒レーザーに代表される超短パルスレーザーを用いた物質加工は、一般的に熱による悪影響（クラックやデブリなど）が無い加工法と見なされている。一方で、干渉パターンのようにスポットサイズが波長オーダーになる加工では、微細なスポット領域における熱的プロセスが主体となり、3次元ナノ構造が形成される場合がある。干渉パターンのスポット毎にフェムトリットルの金属が流体的な挙動を起こし、冷却によって固化するタイミングでナノ形状が固定する。このプロセスで、パラメータを精密に制御することによって、さまざまなナノ構造の作製が可能である。さらに、飛散する金属ナノ流体を堆積させることで、周期的なナノドット構造の形成が可能である。微細加工の応用では、新たな材料特性を持つナノデバイスの開発や、次世代の光学デバイスの製造などが考えられる。また、バイオテクノロジー分野においても、この技術を用いた細胞操作やバイオセンサーの開発が進められている。

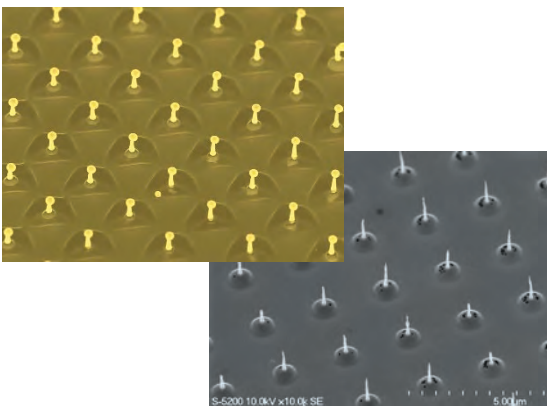


超短パルスレーザーによる3次元ナノ構造形成の模式図  
(Copyright (2013) Elsevier)

### 応用1

#### 周期配列金ナノドロップ構造及び 金ナノウィスカー構造の形成

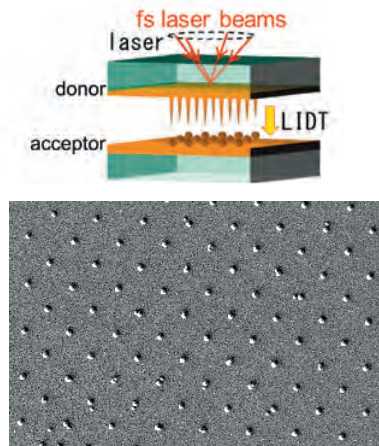
超短パルスレーザーの4ビーム干渉パターンを金薄膜に適切なパラメータで照射することで、周期配列した金ナノドロップ構造（上）または金ナノウィスカー構造（下）を形成することが出来る。後者の頂点曲率半径は4nmであり、トップダウン的な加工法で形成された構造としては世界最小である  
(Copyright (2010) Springer, (2013) Elsevier).



### 応用2

#### 干渉パターンを用いた 周期配列ナノドット作製

左の金ナノウィスカー構造はナノドロップが離脱することで形成される（上図）。これを堆積する手法がレーザー誘起ドット転写法（LIDT）であり、周期配列した直径500nm以下のナノドット構造をシングルショットで作製する事が可能である。  
(Copyright (2020) IOP Publisher).



グループHP

<https://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/research01/plp/>

キーワード

干渉パターン、ナノドロップ、ナノウィスカー、ナノドット、周期配列



# レーザー加工技術の宇宙応用

## Laser Applications for Space

藤田雅之 招へい教授(レーザー技術総合研究所)  
共同者: 児玉了祐教授

### レーザーを用いた月面基地建設材料の製造

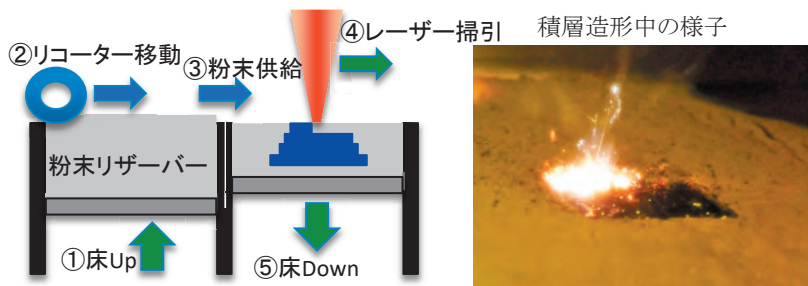
月面探査や火星移住など惑星での人類活動に際して、輸送機の離発着場や運搬路等を含む基地建設が必要となる。地球からの物資の運搬は高いコストや輸送能力の限界があるため、大量の建設材料を現地で入手して製造することが求められる。その解決策として、惑星の表土をレーザーで焼成・熔融させて積層する方法に着目した研究を進めている。レーザーを用いた手法では現在実用化されている3Dプリンターの技術が適用可能であり、将来的には宇宙での利用が期待される太陽光励起レーザーの活用が考えられる。



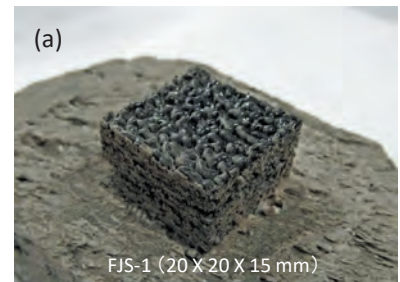
#### 応用1 レーザー積層造形による建材作製

2種類(PBF法とDED法)の市販3Dプリンターに“月の模擬砂(FJS-1)”を装填しレーザー積層造形の実験を行い、建設材料や各種部材としての性能を評価している。PBF法の場合、サブミリのガラスビーズが凝集して層を形成するため、形状精度は高いが圧縮強度は数N/mm<sup>2</sup>程度となった。一方で、DED法の場合は砂(主成分はシリカ)が連続供給され熔融しガラス化することで層を形成するため、圧縮強度としてコンクリート並みの100 N/mm<sup>2</sup>以上が得られた。

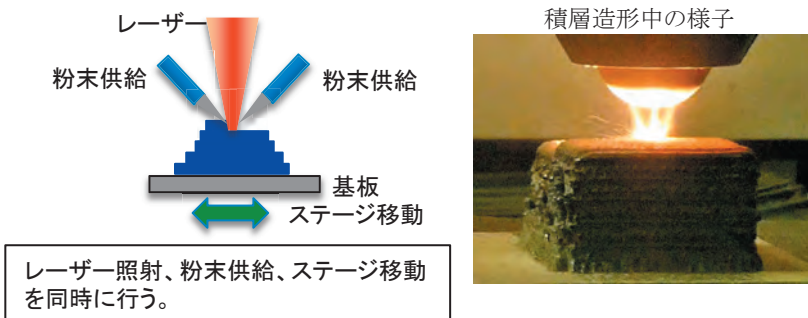
##### 粉末床熔融結合法(PBF法: Powder Bed Fusion)



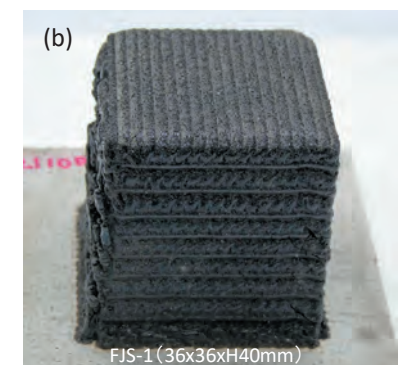
PBF法による造形物



##### 指向性エネルギー堆積法(DED法: Directed Energy Deposition)



DED法による造形物



グループHP <https://www.ilt.or.jp>

キーワード 月の模擬砂、レゴリス、3Dプリンター、月面基地建築資材



# フェムト秒レーザー加工技術

## Femtosecond Laser Processing

藤田雅之 招へい教授(レーザー技術総合研究所)

共同者: 染川智弘招へい教授(レーザー技術総合研究所)、宮永憲明名誉教授(大阪大学)

### 超短パルスレーザーを用いた微細加工

100フェムト秒という短い時間にエネルギーを集中できるフェムト秒レーザーパルスは、熱変成を伴わない微細加工のツールとして注目されている。フェムト秒レーザーパルスはエネルギーが小さくてもピーク強度が高いために、照射フルーエンスに応じて様々な加工現象が発現することが分かってきた。

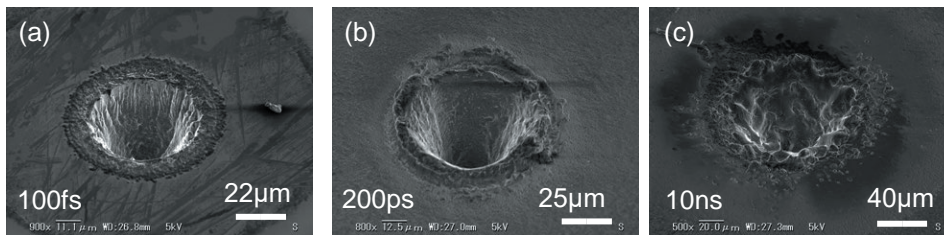
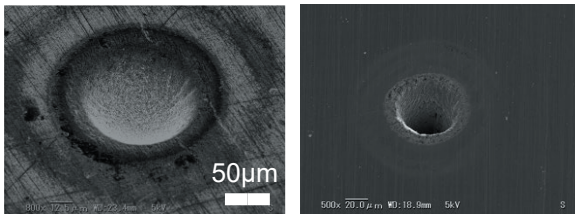


図. パルス幅による加工痕の比較

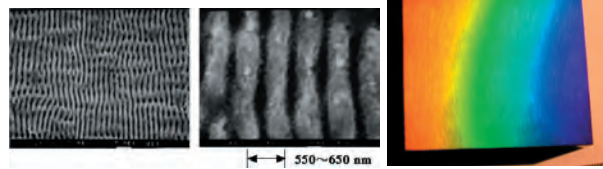
#### 応用1 熱影響が無視できる微細加工

フェムト秒パルスは試料表面でプラズマが発生する前にレーザー照射が終わるために、固体表面でのみエネルギーが吸収され、熱影響が無視できる加工が可能となる。



#### 応用2 材料表面への微細周期構造形成

加工しきい値近傍の低フルーエンスでフェムト秒レーザーパルスを物質表面に照射すると、周期が波長程度の微細な溝構造が自発的に形成される。このような微細構造を摺動面にほどこすと、摩擦係数が低下することが実験的に確認されている。



#### 応用3 半導体の表面改質

加工しきい値以下のフルーエンスで単結晶Siの表面を照射すると、アモルファス層が形成される。

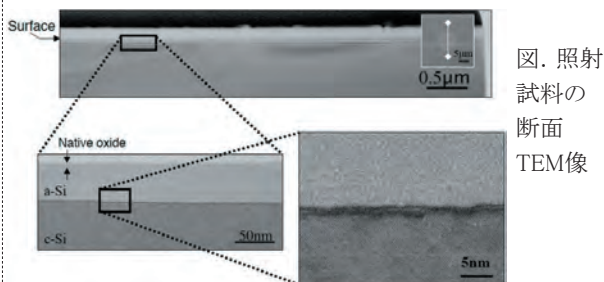


図. 照射試料の断面TEM像

#### 応用4 CFRPの微細加工

レーザー加工による熱影響を受けやすい炭素繊維強化複合材(CFRP)に対しても、フェムト秒パルスを用いれば100 µm以下の微細加工を施すことができる。

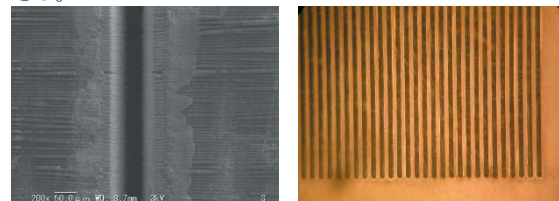


図. CFRPへの溝掘り加工とスリット加工(幅300µm)

グループHP <https://www.ilt.or.jp/>

キーワード 微細加工、周期構造、アモルファス化/結晶化、CFRP



# レーザー加工技術

## Laser Processing Technology

藤田雅之 招へい教授(レーザー技術総合研究所)

共同者: 染川智弘招へい教授(レーザー技術総合研究所)、宮永憲明名誉教授(大阪大学)

### レーザーと物質の相互作用を加工に応用

近年、レーザーのパルス幅は連続光からフェムト秒パルス光まで広い範囲から選べるようになってきている。連続光を用いることで各種材料の接合が可能となり、パルス光を用いると様々な材料の微細加工が可能となる。レーザーとプラズマの相互作用の基礎知識とレーザー開発の実績をもとに、将来的なレーザー開発の動向を考慮して研究テーマを展開している。様々な複合材、合金、セラミックス、ガラス、木材、石材、コンクリートなど製造現場で用いられている素材を対象として、産業界のニーズに対応した共同研究開発も手掛けている。

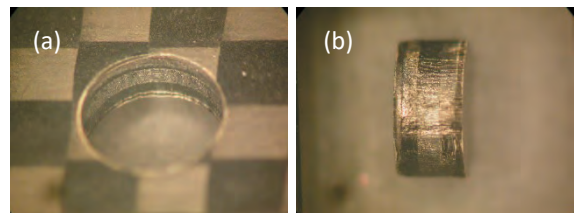
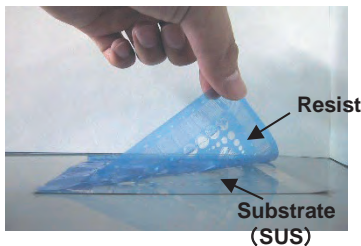


図. パルス幅200psのレーザーでCFRPを加工

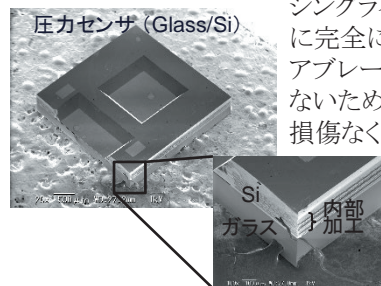
#### 応用1 レジスト剥離

適度な強度のパルスレーザー光を照射すると、金属基板からレジスト膜が剥離する現象が見出された。レジスト膜はレーザー照射により蒸散するのではなく、その形状を保ったまま基板から剥離される。



#### 応用2 MEMSウエハのダイシング

MEMSウエハの代表的な構造であるガラス/Si接合体を微小チップにダイシングする技術を開発した。ダイ



シングラインは内部クラックに完全に沿っており、表面アブレーションを行っていないため、デブリフリーで損傷なく切断できている。

#### 応用3 レーザークリーニング

連続光を高速スキャナと組み合わせることで、熱影響を抑制した材料表面の除去加工が可能となる。金属のさび取り・塗膜除去や木材の表面塗装の除去にも適用可能である。

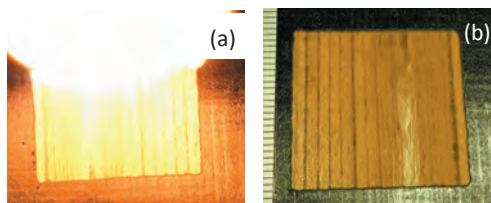


図. 木材塗装のクリーニング:(a)照射中の様子、(b)照射後

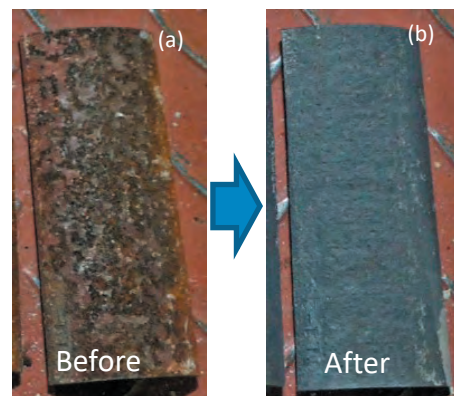


図. 錆びた鋼材のクリーニング:(a)照射前、(b)照射後

グループHP <https://www.ilt.or.jp/>

キーワード レジスト剥離、レーザーダイシング、レーザークリーニング



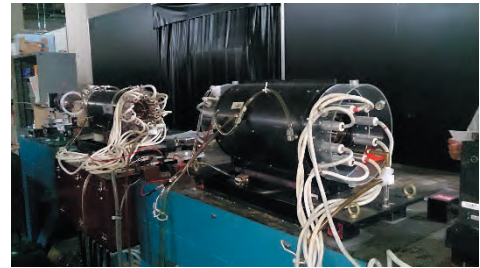
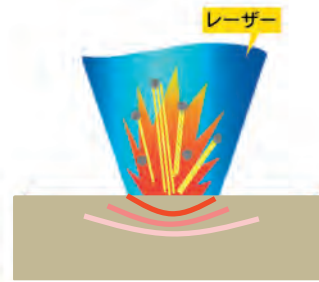
# 高密度プラズマによるレーザートリートメント

Laser treatments with high-power laser irradiation

重森啓介 教授

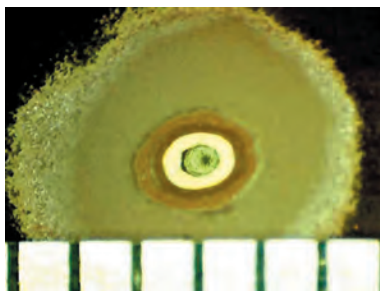
## ハイパワーレーザーによって発生する高密度プラズマ

ハイパワーレーザーを物質に照射することにより、他の手法では得ることのできない高温・高密度、そして高圧力のプラズマ状態を創り出すことができます。この高密度プラズマは学術的に興味深いだけでなく、様々な分野への応用が期待されています。この高密度プラズマによって物質表面が高温に加熱されるため、物質表面を剥離することができることから、錆や塗装などを除去する「レーザークリーニング」が可能です。また、高密度プラズマによって物質が高圧力に加圧されるため、物質中に大きな残留応力を与えることができることから、材料を強くする「レーザーピーニング」が可能です。これらの技術を用いることにより、材料に対して高い付加価値を与えることができます。



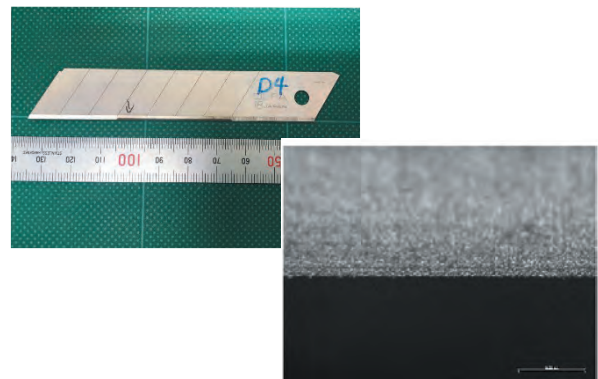
### 応用1 大面積レーザークリーニング

ハイパワーレーザー照射によって物質表面を剥離する「レーザークリーニング」技術はその応用領域が広がりがつつあります。しかしながら、その剥離プロセスは明らかになっておらず、剥離対象の物質やレーザーの照射パラメータに大きく依存します。我々は大出力レーザーの持つ強みを利用し、より大面積の一括クリーニングや学理に基づく照射パラメータの最適化の研究をすすめるとともに、これを一般化するためのクリーニングプロセスの高精度計測、およびそのデータベース構築を行っています。



### 応用2 レーザーピーニングによる材料の強靱化

ハイパワーレーザー照射によって材料内部に衝撃波が伝播し、強い応力(圧縮力)を与えることができます。この残留応力によって材料を強靱化することができるため、「レーザーピーニング」として実用化がすすめられています。我々はこの技術を金属の耐摩耗性を向上させる応用の可能性の一つとして、刃物の刃先にピーニング処理を行うことにより、切れ味の長期間維持を実証しました。



グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/research/hps/>

キーワード 材料加工、クリーニング、ピーニング



# 次世代光学材料探究とレーザー・超伝導応用研究

Materials Development and Applications of Lasers and Superconductivity

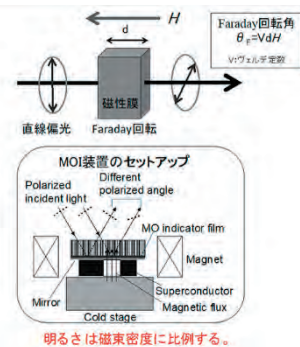
筑本知子 教授

## 次世代光学材料の探究

次世代パワーレーザー応用においては、低欠陥密度化による熱損傷の低減および熱伝導特性の向上による冷却効率の向上が必要不可欠です。そこで、本質的に熱特性の優れた材料の探究を微量元素置換等によってすすめています。(本研究は本研究所極限材料科学グループと東北大学金属材料研究所との共同研究によって進めています。)

### 磁気光学イメージング法による磁場分布可視化

磁気光学イメージング(Magneto-Optical Imaging; MOI)法は、磁気光学効果の一つであるFaraday効果を利用して、磁束密度分布を光学的に観察する方法です。MOI法では面内に磁化容易軸をもつ面内磁化膜を用いると、Faraday回転角 $\theta_F$ が磁性体に垂直な磁場に対して連続的に変化するため、入射側と検光子側に2枚の偏光板をクロスニコル配置することによって、磁場強度を光の強度の変化として測定することが可能となります。



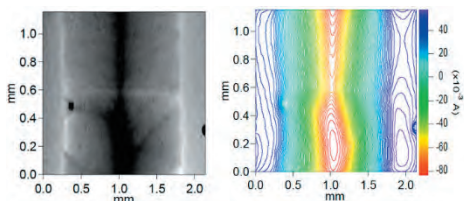
### 超伝導直流送電システムの研究

高温超伝導を利用した直流送電は、原理的に大電流を低損失でコンパクトに送電できることから、炭酸ガス排出削減の他、送電ケーブルのコンパクト化による環境破壊の低減や省資源化等が期待され、カーボンニュートラルの実現にも大いに貢献できる技術です。ここでは長距離システムの実現に欠かせないケーブル接続技術について、常温拡散接合技術についてご紹介します。

#### 応用1

### 磁気光学イメージング法による超伝導材料の電流分布評価

下図はMOI法により、超伝導接合した試料の磁場分布を測定し、その磁場分布から電流分布を計算した例です。このように、MOI法は磁場分布や電流分布の可視化が可能な方法であり、これを用いて、超伝導材料や磁性材料の磁場や電流特性の探究を行います。

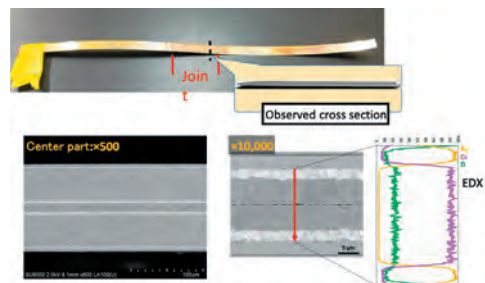


MOI法による超伝導接合試料の磁場分布測定例。左: MOI像 右: 電流分布

#### 応用2

### 化学的表面活性化による高温超伝導線材の低温接合技術

高温超伝導応用のボトルネックの一つが線材をいかに簡便に低抵抗接続できるかです。本研究では、RE123系超伝導線材の銅安定化層同士を化学的表面活性化により200°C程度の低温で直接接合することに成功しました。



RE123線材接合試料の外観と断面SEM-EDX像

グループHP  
キーワード

<https://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/research01/mat/>  
次世代光学材料、磁気光学イメージング、超伝導応用、活性化金属接合



レーザー核融合システムグループ

トリチウムを使った基礎から応用研究、材料の非破壊検査

Tritium processing and applications

山ノ井航平 准教授

核融合燃料開発

核融合では極低温で固体にした重水素と三重水素(トリチウム)を燃料に使用します。トリチウムは水素と同じ化学的性質を持っており、15keV程度の弱いベータ線(電子)を出す放射性物質です。レーザー科学研究所には国内で最大量(1日30テラベクレル)のトリチウムを使用できる施設があり、固体状態でのトリチウムの物性評価や応用利用研究を行なっています。



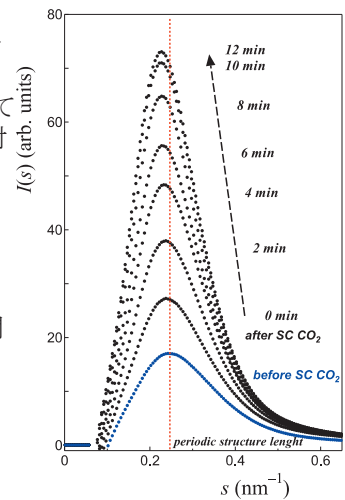
日本最大のトリチウム利用設備

応用1 トリチウムの利用・解析

トリチウムは水素と同じ性質を持ち、放射性物質であるため、放射能検出によって検出が容易です。水素をトリチウムに置き換えることで、水素のイメージングが可能です。その他にも環境中トリチウムのモニタリング技術の開発、トリチウムの回収除去技術の開発と装置性能評価、材料中のトリチウム挙動の解析などが可能です。レーザー科学研究所では、日本で唯一、トリチウムを極低温で固体にした実績を持つなど、大容量のトリチウムを安全に取り扱うことができます。

光と放射線を使った材料評価

光や放射線を用いて、無機、有機、結晶、アモルファスを問わず、あらゆる材料の分析を行っています。右の図は、放射光施設にて高圧下での樹脂の破壊を構造的にリアルタイムで観測した例です。この他にも、放射線による損傷や材料の非破壊検査技術の開発を行っています。



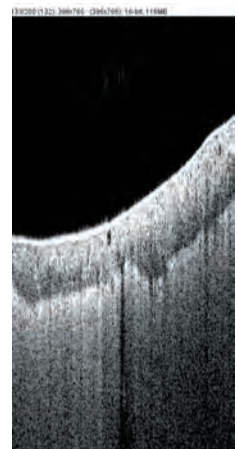
K. Yamanoi et. al., J. Supercrt. Fluid. (2021)

応用2 非破壊・自動検査技術

放射線や光を用いることで、あらゆる材料の分析をすることができます。つまり、最適な手法を用いることで、製品や材料の形状検査、欠陥検査、断層画像検出が可能です。



セラミック材料の非破壊断面観察例



グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/research03/lfs/index.html>

キーワード トリチウム、材料評価、非破壊検査



超高強度場科学グループ

# 高強度パルス極端紫外(XUV)光による物質アブレーション応用と光電離光解離プラズマ物理

Application of materials ablation by intense pulsed extreme ultraviolet radiation and physics of XUV-induced plasma

田中のぞみ 特任講師

共同者: 藤岡慎介教授、西原功修名誉教授(大阪大学)、安田清和講師(工学研究科)

## XUV光と物質の相互作用と、XUV生成プラズマを理解し材料加工に応用

### 高い光子エネルギー (~100 eV)

→ ワイドバンドギャップ(WBG)材料や誘電体のバンドエネルギーを上回る。内殻電子励起、電離が主体の光電離プラズマ。

### 極浅表面での吸収 (固体吸収長 数10 – 数100 nm)

→ 吸収係数が大きい。極表面界面への集中的なエネルギー付与。透明材料が無い。

### 固体密度を上回る臨界密度 ( $10^{24} \text{ cm}^{-3}$ )

→ 実質的にカットオフ密度が無いため、長パルスでも継続的に固体領域に直接エネルギーを付与。

### 短波長 (1-100 nm)

→ 回折限界の短さから微細加工に有利。EUVリソグラフィ技術に応用されている

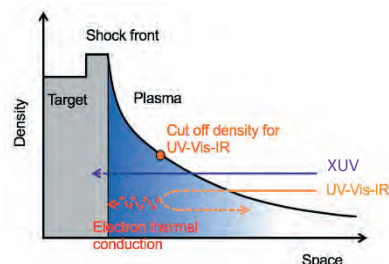


Fig. 1 光子エネルギー吸収の違い

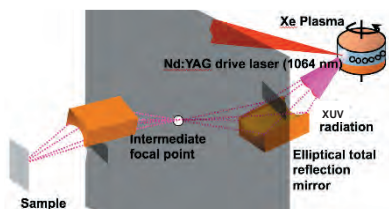


Fig. 2 レーザープラズマXUV光源と集光系。N. Tanaka et al, HEDP 37, 100865 (2020)他

**mJ領域の高エネルギー、 $10^9 \text{ W/cm}^2$ の高強度パルスXUV光を供給**

応用1

### 物質のXUVアブレーション応用と、アブレーションプラズマ物理

レーザープラズマXUV光源の高出力XUV光を集光することで、一光子による光電離・光解離と続くアブレーションが可能である。本グループでは世界でも数少ない高出力XUV光源とXUV集光光学系を用いてXUV光による加工やアブレーションプラズマ利用の応用研究を行なっている。更に従来光が困難とする材料の加工技術への応用を目指している。このようなプラズマは固体密度付近の高密度、1 eV付近の低温という特殊状態を示し、学術的側面からも興味深いプラズマを提供している。

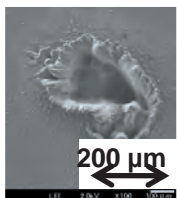


Fig. 4 Si XUVアブレーション痕

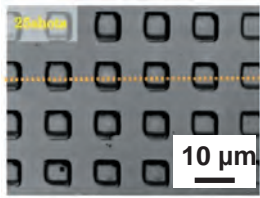


Fig. 5 ポリマー材へのXUVアブレーションによる直接加工

N. Tanaka et al, Appl, Phys, Lett., **105**, 114101 (2015)  
N. Tanaka et al, Appl, Phys, Lett., **124**, 152113 (2024) 他

応用2

### 高フルエンスEUV光による表面改質と異種材料間界面形成

高出力LPP光源からのXUV光を高フルエンスで用いることで、アブレーションを伴わない透明材料を含む極浅表面の処理が可能となる。例えば、基材の表面に塗布した異種材料との界面創出、ポリマー基材バルク領域の熱変性を伴わない深さ方向に局所的な改質の基礎実験を行なっており、透明材料表面へのパターン形成、膜処理、異種材料接合などの可能性を示している。



Fig. 6 透明、フレキシブル材料であるPDMSシート。生体適合性が高い。

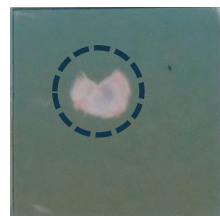


Fig. 7 金属ナノ粒子担持ポリマー表面へのXUV光照射により、界面創生が示された。

K. Yasuda et al., IEEE Explore, ICEP-IAAC, 535 (2018) 他

グループHP <https://lf-lab.net/>

キーワード EUVリソグラフィ、極端紫外光、光電離プラズマ、材料加工



# レーザー駆動真空紫外(VUV)光による光解離過程の応用

Application of photo dissociation process by vacuum ultraviolet radiation from laser produced plasma

田中のぞみ 特任講師

共同者: 藤岡慎介 教授、西原功修 名誉教授、James Edward Hernandez 特任研究員  
城崎知至 招聘教授 (広島大学)、砂原淳 招聘准教授 (パデュー大学)

光子エネルギー10 eV以下の真空紫外光(Fig. 1)は、イオン化やプラズマ状態を介さずに効率的に分子を直接解離する。この領域の原子分子過程を応用するには高出力の光源が必要となる。特に高出力の光は光源の選択肢が少ないことで知られている。レーザープラズマ光源は操作性が高く、非接触であり、コンパクトな装置で高強度高フルエンスという、産業応用に最適な特性を備える。

真空紫外光による光解離を用いることで、例えば高い光解離断面積(Fig. 2)を利用し、効率的にラジカルを生成することができる。水素ラジカルは反応性が高く、シリコン(Si)と結合しSiH<sub>4</sub>を形成することによるエッチング、CH<sub>4</sub>形成による精密機器内のカーボン汚染除去などに利用されている。

本研究では波長可変のレーザープラズマ駆動真空紫外光源の開発、真空紫外光集光光学系の開発、産業応用に向けた水素ラジカル生成の成果を上げている。

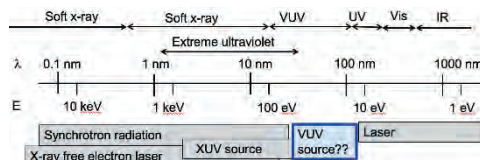


Fig. 1 各波長帯とその光源。真空紫外光はレーザーの短波長側限界と放射光の長波長側限界に位置する。

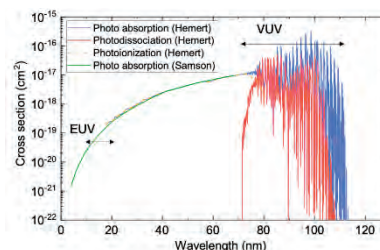


Fig. 2 水素ラジカル生成断面積。光解離過程の方が光電離よりも2桁ほど断面積が大きい。

[https://home.strw.leidenuniv.nl/~ewine/photo/display\\_h2\\_ca2bf3f6b7e18a508253e9521510a4b5.html](https://home.strw.leidenuniv.nl/~ewine/photo/display_h2_ca2bf3f6b7e18a508253e9521510a4b5.html)

## 応用1 放射波長域可変のレーザープラズマ光源開発

現在、波長100 nm、光子エネルギー10 eV付近の真空紫外帯域を提供する光源を得ることは難しい。レーザープラズマ光源を用いることで、高強度高効率、かつ小さいフットプリントでの真空紫外光発生が可能となる。駆動レーザー強度を変化させることで光源プラズマの温度密度を制御し、希望する帯域のスペクトルを得ることができる。極端紫外領域から120 nm帯までの放射が得られることを、二次元輻射流体コードを用いて示した(Fig. 3)。現在はスズの光源を用いて、実験的に特性評価を行なっている。

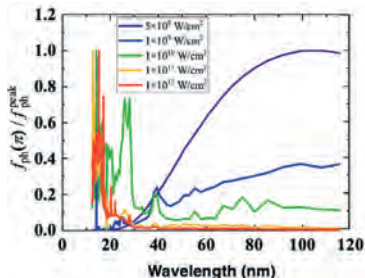


Fig. 3 各駆動レーザー強度に対する波長スペクトルシミュレーション結果。

## 応用2 光解離を利用した高効率水素ラジカル生成

汎用性の高い水素ラジカルを実験的に生成した。レーザー強度を10<sup>11</sup> W/cm<sup>2</sup>から10<sup>9</sup> W/cm<sup>2</sup>に減少させることで間接的に放射を長波長側に制御。反応断面積の特性を利用してラジカル生成効率を増大した(Fig. 4)。光源に集光系を設置することで高フルエンスの真空紫外光の利用を可能にし、高密度(10<sup>14</sup> cm<sup>-3</sup> @ 5 Pa水素ガス)の水素ラジカル生成を示した。

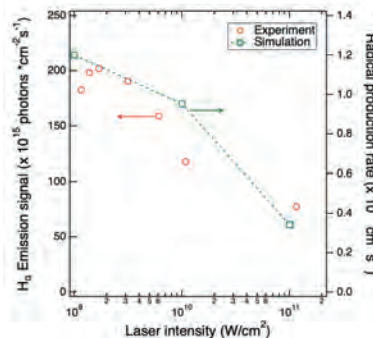


Fig. 4 可視分光による水素発光スペクトル強度の推移。レーザー強度を減少させることで、スペクトル強度が増加、ラジカル生成効率も増加することが確認された。

N. Tanaka et al, Appl, Phys, Lett., **124**, 152113 (2024).  
J. E Hernandez et al, Appl, Phys, Lett., **124**, 012101 (2024).

グループHP <https://lf-lab.net/>

キーワード 光解離プロセス、真空紫外光、ラジカル



# レーザー用光学素子技術の新しい展開

New developments in fabrication methods for high-power laser optics

實野孝久 特任教授

共同者: 本越伸二招へい教授(レーザー総研)、三上拓哉(株式会社オカモトオプティクス)、南部誠明助教

## レーザー光学素子技術の新規開発

核融合実験用の大型レーザー装置や超短パルスレーザー装置に用いられる光学素子には多くの特殊技術が使用されており、それらの技術はいろいろな産業応用にも役立てることが出来る。今回は超短パルスレーザーの新しい波面補正法と超高精度光学素子のための新しい成膜法について紹介したい。現在多くの超短パルスレーザー装置が世界中で稼働しているが、これらのレーザーではレンズによる像転送が困難なことから、可変形鏡による波面補正が正確に行えないという大きな困難が生じている。このため、集光した場合にパルス波形が乱れるという大きな課題を生じており、改善が望まれている。この目的のため、全く新しい波面補正法が考案されており、今後の多くの超短パルスレーザーへの応用が期待される。また、これらのレーザーに用いられる光学素子も広帯域・低分散でかつ超大型である必要があり、従来の研磨・成膜法では性能に制限があった。これらの困難を克服するため、全く新しい研磨・成膜法を開発しており、今後の広い分野への応用が期待される。現在ルーマニアのELI-NP研究所と協力して新技術の開拓を進めている。



LFEXレーザー装置

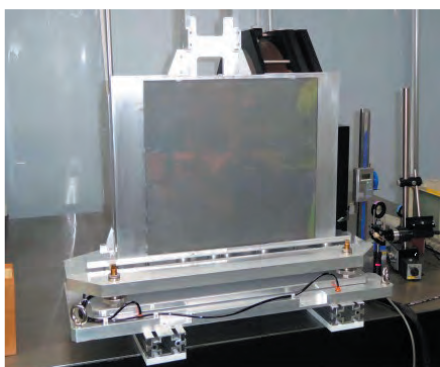


ELI-NPレーザー装置

光学素子・デバイス

### 応用1 新しい波面補正法

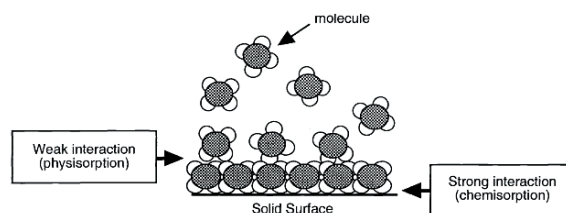
LFEXレーザー装置では波面補正は必須の技術であり、複数の可変形鏡により高度な集光が達成された。しかし超短パルスレーザーでは像転送が無いので、良好な波面補正が困難であった。そこで新規の波面補正法を開発を行うことが計画されている。LFEXで実証された複数の可変形鏡による波面補正法の応用により、超短パルスレーザーで高度な波面補正を実現する予定である。



LFEXレーザー用大型可変形鏡 (46 x 42 cm)

### 応用2 超高精度光学素子加工法

約20年前にレーザー研で先駆的な研究を行っていた原子層堆積法が近年長足の進歩を遂げており、レーザー用光学素子に必要な全ての材料を成膜できるようになっていることから、これらを用いて高出力レーザー用の光学素子を製造することを試みている。この方式では成膜を原子層レベルで制御できることから、任意の屈折率を持った薄膜や傾斜屈折率の成膜も可能となり、光学素子の性能を格段に向上することが可能となる。大型化も容易であり、これまで実現できなかった新しい高性能光学素子が実現できると考えられる。



原子層堆積法の成膜原理

グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/lmo/index.html>

キーワード 新規波面補正法、新規研磨・成膜法、高耐力素子開発



# 深紫外レーザー用光学結晶の開発

Development of optical crystals for deep-ultraviolet laser applications

吉村政志 教授

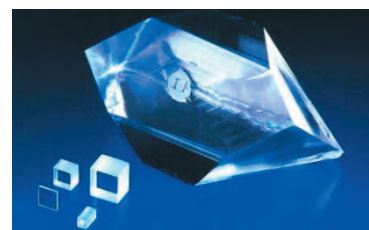
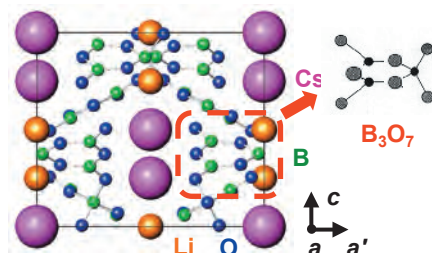
共同者：森勇介教授(工学研究科)

## 研究背景

IoT・AI技術の活用により製造業が変革期を迎えており、加工の自由度が高く、ドライプロセスであるレーザー加工が注目されています。また、航空機や自動車に用いられる炭素繊維複合材(CFRP)、パワー半導体材料のGaNやSiC、セラミックス材、タングステンなどの切削工具材といった難加工性先端材料の加工に向けて、高光子エネルギーの深紫外レーザーの期待が高まっています。

当グループでは、大阪大学で発明された非線形光学結晶CsLiB<sub>6</sub>O<sub>10</sub>(CLBO)の高品質化に成功し、産学連携によって短パルスのピコ秒深紫外レーザー(波長266nm)の開発に取り組んでいます。また、深紫外レーザーの高出力化に対応するため、損傷耐性に優れた窓材やレンズ材として新しい光学硝材候補として、SrB<sub>4</sub>O<sub>7</sub>(SBO)の開発も進めています。

参考：日本経済新聞オンライン 2021年6月22日



非線形光学結晶CsLiB<sub>6</sub>O<sub>10</sub>

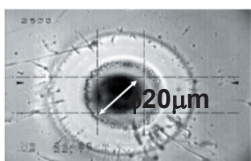
## 応用1 難加工性材のレーザー加工技術

高光子エネルギーの深紫外レーザーパルス(波長266nm)は、加工材料での吸収性が優れているため加工品質に優れ、短波長ゆえに微細加工にも適しています。

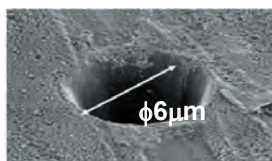
スペクトロニクス(株)・三菱電機(株)との連携により、ピコ秒深紫外レーザー光源、加工機の開発を進めています。



三菱電機社製50W  
266nmレーザー加工機



355nmレーザー(LBO)  
ポロシリケートガラスへのマイクロピア加工(三菱電機資料)



266nmレーザー(CLBO)

## 応用2 半導体ウェハ、マスク検査

深紫外レーザーの高集光性を活かし、半導体フォトマスクの微小欠陥検査や、Siウエハ上のナノ微粒子検出などでCLBOを用いた光源が利用されています。今後のEUVリソグラフィ技術を用いたシングルナノサイズの微細半導体の製造においても、深紫外レーザーによる様々な検査技術が必要とされています。



米国KLA-Tencor社  
Teron 600シリーズ



NuFlare Technology社  
NPI-7000

グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/research/up/>

キーワード 非線形光学結晶、深紫外光発生



# メタマテリアル

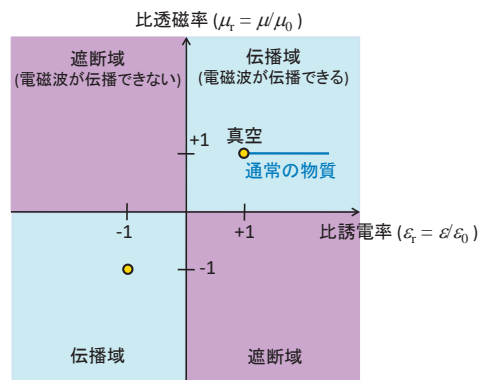
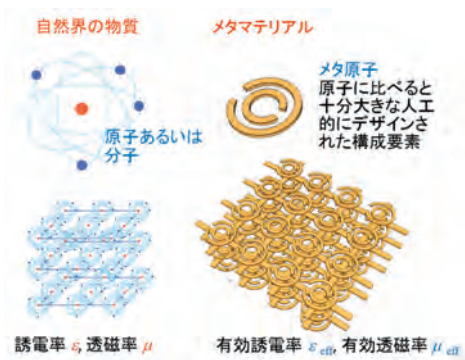
Metamaterial

中嶋 誠 准教授

共同者: V. Agulto 特任助教、加藤康作特任研究員

## 研究背景

メタマテリアルは波長よりも小さな構造体を利用することで、屈折率や誘電率を自在に制御することができる新しい物質概念です。波長よりも小さな金属構造等を用いることで、負の屈折率をはじめ、無反射の高屈折率媒質など、誘電率・透磁率・屈折率を自在に制御した物質の作製が可能です。



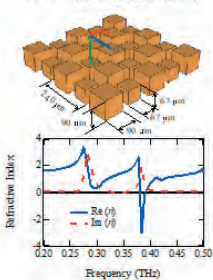
### 応用1

#### テラヘルツメタマテリアル

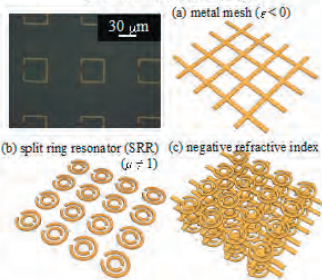
テラヘルツ領域で動作するテラヘルツメタマテリアルをデザイン・作製し、これをテラヘルツ時間領域分光法で測定することにより、透過・反射率や位相遅れ等の評価が可能です。テラヘルツ帯の吸収素子・偏光子の開発を行っています。

スケールングにより、これらの知見は可視域メタマテリアルの試験モデルとして有効です。

酸化チタン共振器を用いたテラヘルツ帯負屈折率



超微細インクジェット工法によるメタマテリアルの作製



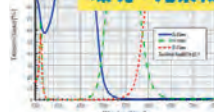
### 応用2

#### メタマテリアルデバイス

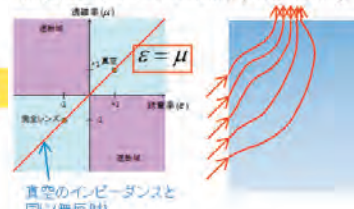
屈折率・誘電率を制御することにより、多くの新しい応用が期待されます。

光学スペクトルの自在な設計

有害・希少元素不要  
環境・元素戦略

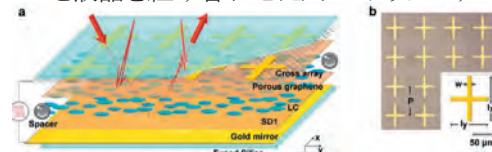


無反射で光を自在に操作(波長、方向)



- ◎ クローキング(透明マント)
- ◎ 完全吸収体による超高効率太陽電池
- ◎ 広角度ビーム操作アンテナ
- ◎ 超解像・近接場顕微鏡
- ◎ 電波障害の防止

グラフェンと液晶を組み合わせたメタマテリアルデバイス



グループHP

<https://www.ile.osaka-u.ac.jp/research/th/>

キーワード

メタマテリアル、テラヘルツ



# 新型テラヘルツ波放射光源

Development of new terahertz wave source

中嶋 誠 准教授

共同者: 加藤康作特任研究員、V. Agulto特任助教、西谷幹彦特任教授

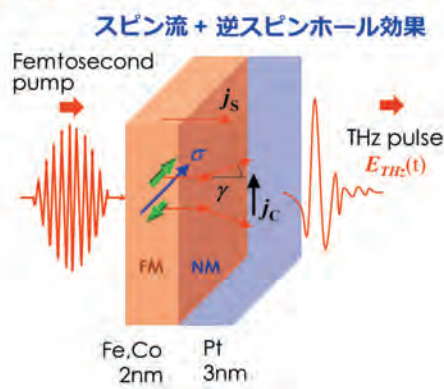
## 新型テラヘルツ電磁波放射光源の開発

テラヘルツ波を用いたセキュリティシステムは空港のボディスキャナー等にも使われ、また、次世代の通信帯(Beyond 5G, 6G)、の電磁波としてテラヘルツ光源の需要はますます高まっている。

我々は2種類の新規のテラヘルツ光源の開発を実施している。一つは、光励起スピン流を利用した磁性体超薄膜であり、薄さ5 nm ほどの光源から、従来のテラヘルツ光源(ZnTe)と同等の強度を得ることが可能である。右図にその放射モデルの概要図を示す。

また、一方で周期構造を持つ金属板の上を電子バンチが通過するとき、テラヘルツ波が放射される。これはスミス・パーセル放射として知られている。そしてこの金属の周期構造体を誘電体上に形成すると、スミス・パーセル放射とは別に、誘電体中に強いテラヘルツ波が放射されることを見出した。

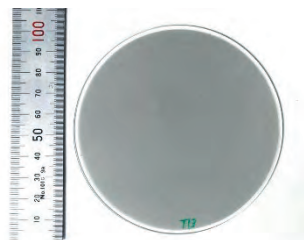
### わずか 5nm 厚の磁性超薄膜 THz光源



### 応用1 磁性体超薄膜テラヘルツ波光源

新光源である磁性体超薄膜素子は、高強度、広帯域、微細構造が不要、高いダメージしきい値を有する、作製費用が安価、大口径化可能などの優れた特性を併せ持つ光源である。光励起スピン流をテラヘルツ波に変換する新しい機構に基づいている。

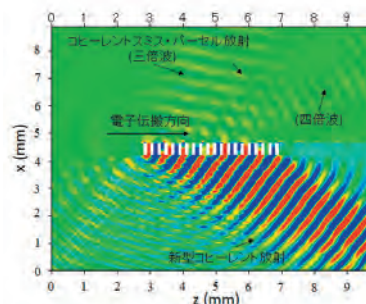
下はテラヘルツイメージングへの応用を意図して作製された直径10 cm の大口径テラヘルツ放射素子である。



ガラス基板上に作製された、直径10cmの Fe/Pt 磁性体超薄膜テラヘルツ放射素子

### 応用2 周期型金属構造によるコヒーレントテラヘルツ光源

スミス・パーセル放射は金属周期構造の回折効果による電磁放射であり、周波数が放出角度に依存する広帯域の放射であるのに対し、誘電体中への新型電磁放射は、誘電体の特性による固有電磁モードと電子バンチとの共鳴により励起される電磁放射なので、単一波長で、指向性が良く、従来のスミス・パーセル放射より強度が数百倍大きくなると予測され、高効率高輝度テラヘルツ波光源として期待されている。



誘電体と金属周期構造を組み合わせた新光源 強力なコヒーレントなテラヘルツ波放出の様子

グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/research/thz/>

キーワード Beyond 5G, 6G, 次世代通信、テラヘルツ、メタマテリアル



# 次世代量子ビーム用シンチレーター材料

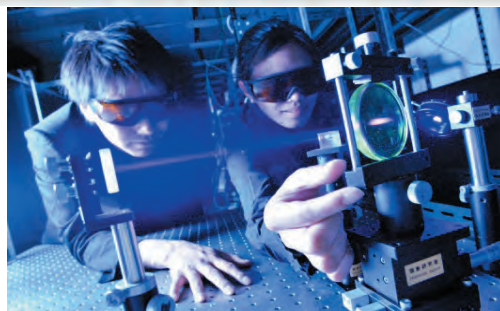
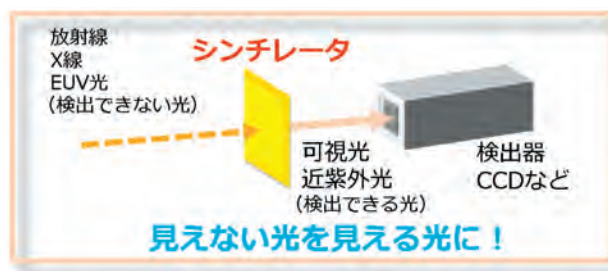
development of new scintillator for various quantum beams

猿倉信彦 教授

共同者: 清水俊彦准教授、山ノ井航平准教授

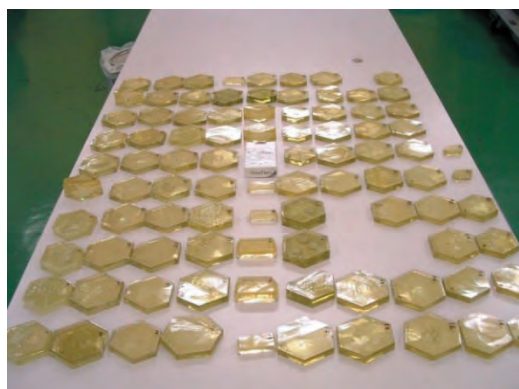
## 見えない光を見える光に変える

シンチレーターは検出が困難である量子ビーム(電磁波・光・粒子線など)を、検出が容易な領域の光に変換します。本グループでは深紫外光・テラヘルツ光を検出するための「酸化亜鉛シンチレーター」と中性子を検出するための「フッ化物ガラスシンチレーター」の開発を行っています。どちらも企業・他大学と共同した研究の成果であり、現在も改良が続けられています。また、これら以外の材料によるシンチレーターも研究を進めています。それぞれのシンチレーターはデバイスとしての提供が可能で、コンポーネントとしての要望にも対応いたします。実際の用途に合わせた高性能化・カスタム化などへのフィードバックも期待しておりますので、材料・対応する光の領域などにこだわらずご相談ください。深紫外シンチレーターとして開発していた酸化亜鉛が高周波用途に使用できることが最近になり発見できたように新しい用途への拡大も期待しています。



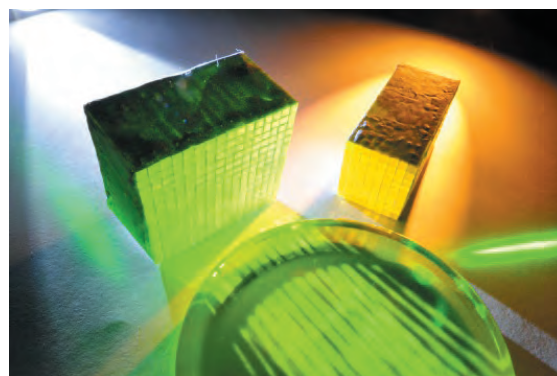
### 応用1 酸化亜鉛シンチレーター

酸化亜鉛シンチレーターは深紫外域まで使用可能で安価で大量生産可能かつ高速応答という特長があります。金属添加などの改良を加えることで従来品よりも大幅な高速化も成功しています。深紫外にとどまらず別の波長域の放射線や高周波光に対しても良いシンチレーター性能を示すことも最近明らかになりました。写真は水熱合成法(共同研究により開発)により育成された大型酸化亜鉛結晶です。



### 応用2 フッ化物ガラスシンチレーター

次世代エネルギーとして期待されるレーザー核融合の実現の為に、爆縮プラズマを診断する為の散乱中性子計測用フッ化物ガラスシンチレーター「 $20\text{Al}(\text{PO}_3)_3\text{-}80\text{LiF}$  (APLF)」を開発しています。APLFにPrを添加することにより、中性子を高効率・高分解能で紫外光に変換できます。現在他の金属の添加や複数の種類の金属の同時添加などによる改良を目指しています。



グループHP

<https://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/research03/lam/>

キーワード

Scintillator, crystal, material



# レーザー用光学素子への新技術開発

Development of new technology for optical element used for lasers

吉田國雄 招へい教授

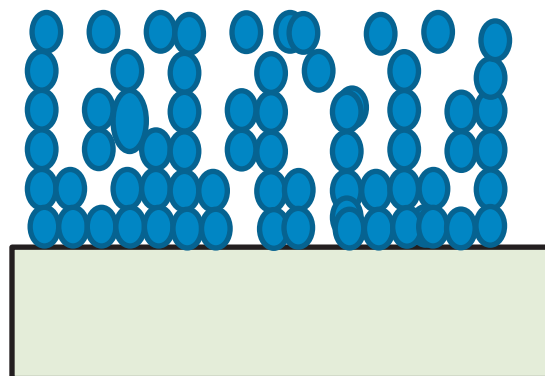
## 光学素子の開発

レーザー装置には反射防止 (AR) 膜、高反射膜、バンドパスフィルターなどの光学素子が蒸着されている。これら光学薄膜では、次に述べる大きな問題点が未解決のままになっている。

- ① 光学薄膜を製作する材料は限られており、それらの材料の屈折率の値は離散的である。
- ② 低屈折率材料で、最小値を有する材料は  $\text{MgF}_2$  (1.37) であり、これ以下の材料は存在しない。
- ③ 光学薄膜を作製する場合は、通常は蒸着用のガラス基板を  $200\sim 300^\circ\text{C}$  に加熱する。この蒸着の際に光学薄膜には応力が生じ、微細なクラックの発生 (引っ張り応力)、或いは基板からの光学薄膜の剥離 (圧縮応力) などの問題が生じやすくなる。層数が 20 層以上となる多層膜、或いは膜厚が厚い赤外域の多層光学薄膜では大きな問題となっている。

本技術は、光学薄膜関連の技術者や研究者にとって夢であった (i) 薄膜の屈折率を自由に変えられる、(ii) 蒸着によって生じる応力を大幅に低くできるポーラス膜 (多孔性薄膜) を作成する新しい成膜技術を開発している。

短波長領域で用いられるミラーの表面は、散乱損失を少なくするために sub-nm の表面粗さが要求される。このような表面は、ワークと砥粒との接触法によってきまるので、従来とは全く異なる手法で sub-nm の表面を創生する技術開発をしている。



多孔性光学薄膜

### 応用 1

### 光学薄膜 (AFTM:MgF<sub>2</sub>)

フッ化物材料の  $\text{MgF}_2$  とプラスチックとを同時に蒸着してフッ化物とプラスチックの混合体である AMTF:MgF<sub>2</sub> (Adaptively mixed thin film:MgF<sub>2</sub>) を製作した結果、非常に低屈折率で、低応力の光学薄膜を世界ではじめて実現した。

### MgF<sub>2</sub> のポーラス化

薄膜の種類	屈折率	散乱 (ppm)	膜厚 (nm)
MgF <sub>2</sub>	1.355	98.6	116
AMTF:MgF <sub>2</sub> -①	1.32	226.6	104
AMTF:MgF <sub>2</sub> -②	1.3	249	135



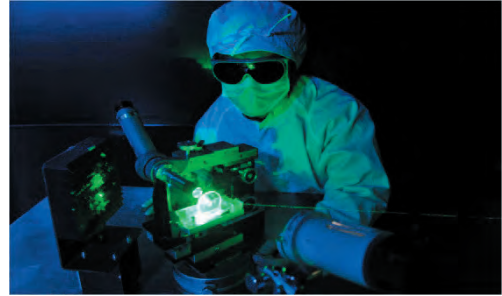
# レーザー損傷耐性評価

Evaluation of Laser-Induced Damage Thresholds for Optical Devices

本越伸二 招へい教授(レーザー技術総合研究所)  
共同者: 藤岡加奈准教授、吉村政志教授、實野孝久特任教授

## 光学素子のレーザー損傷

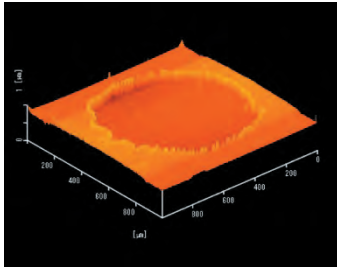
レーザー装置には多くの光学素子が使用されている。光学素子は高出力レーザー光に曝されることにより、物理損傷を生じる。この損傷は「レーザー(誘起)損傷」と呼ばれ、レーザー装置のエネルギーを制限する大きな要因となっている。そのため、レーザー損傷の物理過程を理解するとともに、高耐力を持つ光学素子を開発することは、高出力レーザー装置にとって重要な課題である。



光学素子・デバイス

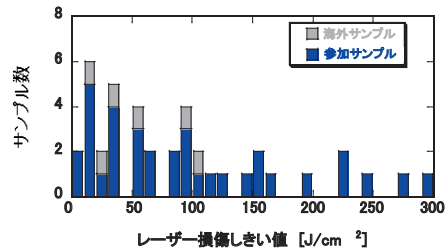
### 応用1 レーザー損傷評価試験

大型レーザー装置の光学素子をはじめ、国内企業からの依頼に対応し、光学素子のレーザー損傷耐力の評価試験を実施している。



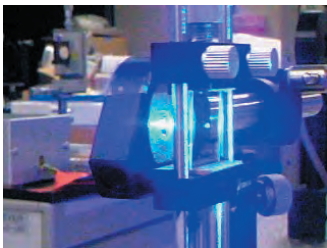
### 応用2 レーザー損傷しきい値のデータベース化

光学素子の開発や使用する上で指針となるように、国内光学素子メーカーと協力して、レーザー損傷しきい値のデータベースの構築を進めている。



### 応用3 劣化・発光測定

レーザー損傷以外にも、光学素子の屈折率や透過特性の変化は、装置性能を制限する要因になる。そのため、材料の劣化や発光の評価を行っている。



### 応用4 保護具の耐光性試験

レーザー光の高出力化に伴い、作業従事者の安全性確保も重要な課題である。保護メガネ、遮光板、保護カーテン、暗幕など、各種レーザー波長に対する耐光性試験を行っている。

グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/lmo/index.html>

キーワード 光学素子、コーティング、損傷



# レーザー励起蛍光体デバイス

Laser-excited phosphor device

藤 寛 特任教授

共同者：藤岡加奈准教授、峯本尚特任研究員、東川雅弘特任研究員、石野正人特任教授、山本和久特任教授、筑本知子教授

## レーザー励起高耐性蛍光体とその評価

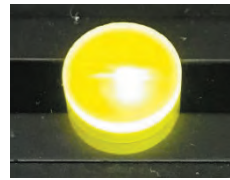
レーザー光を蛍光体に照射するレーザー照明は、省エネルギー、高輝度、遠方照射、色や波長の選択性などの特徴を持つ。特に遠方照射を目的として、高出力のレーザー技術、高い励起光エネルギーに耐える蛍光体とその評価方法を研究する。

高出力のレーザー光や高温環境下で高い発光効率を維持すると同時に、照明としての高い演色性を得る蛍光体材料技術およびデバイス構造技術を開発し、照明システムへの適用を想定した評価技術を確立する。そのため材料の合成、焼成、水熱法を用いた蛍光体の作製を行い、その蛍光体への高出力レーザーの照射手法、蛍光の効率、励起光を含めた色度、および蛍光体の温度調節による高温耐性の評価を行う。実用化に向けた材料やデバイス構造の仕様と評価指標も、応用システムに合わせて設計する。

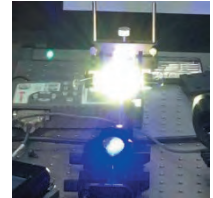
具体的にはCe:YAGなどの黄色蛍光体と、高熱伝導率を有するAlNのコンポジットセラミック蛍光体の作成に成功し、ハイパワー半導体レーザーによる高励起に対して優れた発光特性が得られた。今後は低色温度化と演色性の向上を図り、遠方照明だけでなく家庭、オフィス、医療、道路などで幅広く使用される次世代照明を目指す。

## 応用1 コンポジットセラミック蛍光体

AlN-Ce:YAGからなる酸化物/非酸化物コンポジットセラミック蛍光体(複合蛍光体)の開発に成功した。熱伝導率の著しい向上が見込まれ、ハイパワー半導体レーザーと組み合わせ、高い発光特性を持つ照明デバイスの実用化が期待される。



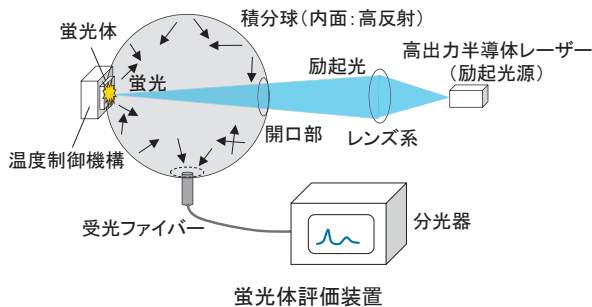
コンポジットセラミック蛍光体



高出力青色レーザー光による発光

## 応用2 レーザー耐性評価

蛍光体材料、デバイスおよび評価装置は、高出力レーザー励起時に光エネルギーや熱エネルギーの負担が増大する。またデバイスの動作温度が上がると発光効率の低下を招く。そこで、積分球と温度制御機構を備えた、高出力レーザー光にも耐える蛍光体評価装置を開発し、材料およびデバイスの基礎的な特性の評価を行う。

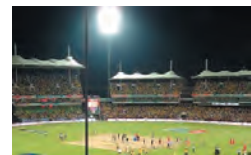


## 応用3 遠方投射白色照明

遠方照明の応用には、車載用ヘッドランプ、サッカーや野球のスタジアム照明、劇場や展示場の高天井照明およびスポットライトなどがある。これらは従来ハロゲンランプ、メタルハライドランプや高圧ナトリウムランプなどが使われ、最近ではLED照明が普及しつつある。一方、レーザー照明は遠方投射白色光源としてこれらを上回る性能を備えている。その特徴をさらに伸ばすため、高耐性の蛍光体およびデバイスの研究を行う。



ヘッドランプ



スタジアム照明



スポットライト

グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/research01/mat/>

キーワード 半導体レーザー、蛍光体、セラミック、温度消光、熱伝導



# 高輝度フォトニック結晶面発光レーザー

High-brightness Photonic-crystal Surface-emitting Lasers

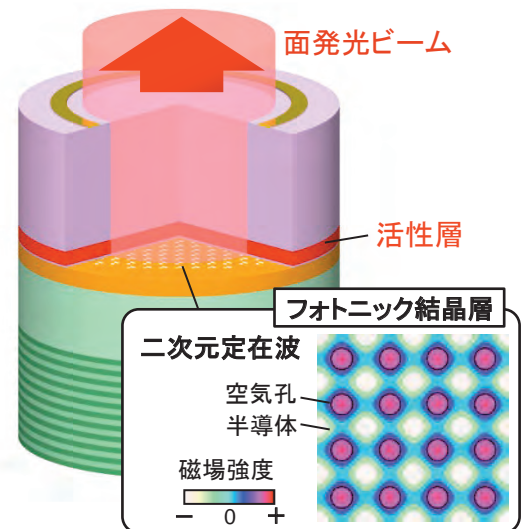
Gelleta John 助教

光学素子・デバイス

## フォトニック結晶レーザーを利用して輝く未来へ

半導体レーザーは、小型、高効率、低価格といった利点を持っている光源であり、通信や光ストレージを中心に現代社会で広く使われています。しかし、通常の半導体レーザーでは高輝度化(すなわち、高出力化かつ高ビーム品質化)が難しいため、レーザー加工や光検出・測距(ライダー)など、高輝度を要求される分野での利用が限定されてきました。そこで、我々は、この課題に対応するために、「フォトニック結晶レーザー」という新たな半導体レーザーの開発に取り組んでいます。このレーザーでは、活性層の付近に配置された二次元的に周期的な屈折率分布をもつフォトニック結晶層が特異点で光を閉じ込めます。これにより、広範囲かつシングルモードでのレーザー発振が可能となり、大型で高価なガスレーザーやファイバーレーザーと同等の高輝度のビームの面発光が実現できます。

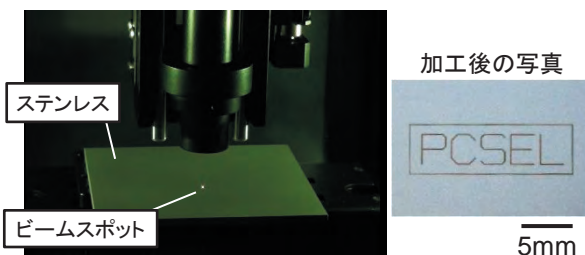
## フォトニック結晶面発光レーザー



### 応用1 レーザー加工

フォトニック結晶レーザーは、限られた品種の製品を大量に生産する「大量生産」という慣れ親しんだ領域から、個々のユーザーのニーズに合わせた「特注生産」という新たな世界へと導く重要な技術です。この新たなパラダイムのもと、小型で低価格なフォトニック結晶レーザーでは、レーザーマーキング、溶接、切断、及び3Dプリンティングを、既存の光源よりも効率的に行えることが期待されています。さらに、半導体の種類とフォトニック結晶の設計を調整することで、加工対象の材料の光吸収特性に最適化し、加工の効率を向上させることが可能です。

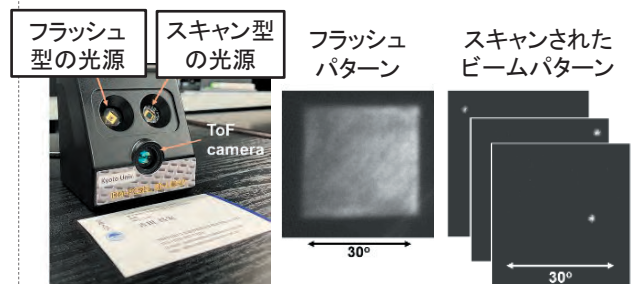
#### フォトニック結晶レーザーによるマーキング



### 応用2 光検出と測距(ライダー)

フォトニック結晶レーザーは、小型でありながら高輝度のビームを放出できるため、物体間の距離を光で測定する「光検出と測距(ライダー)」に最適な光源です。表面から放出するビームの広がり角が狭いため、外部光学系を使用せずに自動運転車向けのライダーシステムに直接組み込むことが可能であり、ライダーシステムのサイズとコストを削減できます。さらに、地球の大気や地形の測定を目的に、飛行時間法のライダーの光ポンプとして、または周波数連続変調法のライダーの光源としても利用され、衛星に搭載するのにも適しています。

#### 非機械的「フラッシュ・スキャン」型のライダー



グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/research01/pls/>

キーワード Photonic-crystal surface-emitting laser, photonic crystal



# 磁気光学デバイスの開拓

Magneto-optical Devices

田丸 裕基 助教

共同者: 余語覚文 教授、 椿本孝治 准教授、 荻野純平 助教、 時田茂樹 招聘教授、 吉田英次 特任研究員

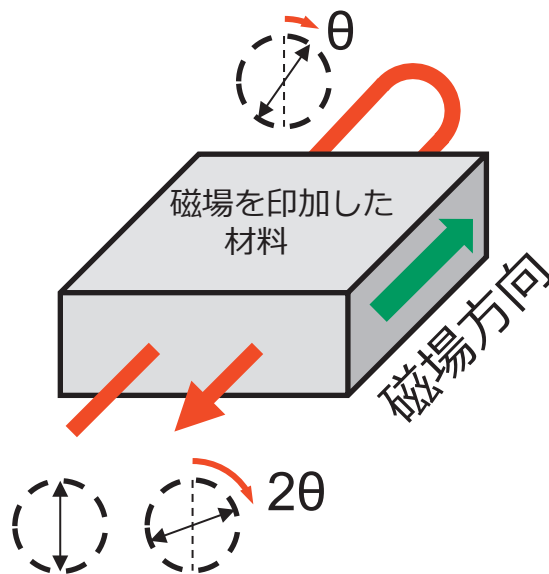
## 磁場と光の相互作用を利用する

磁気光学効果は、物質に磁場を印加すると物質の光に対する応答が変わる現象です。この効果は、他の外場との相互作用と異なる特異な現象を引き起こすことが知られています。

例えば、ファラデー効果と呼ばれる磁気光学効果があり、右図のように、光の進行方向と平行に磁場をかけると、材料を透過した光の振動方向(偏光)が回転します。このとき、偏光の回転方向は磁場の向きだけで決まり、光の伝搬方向に依存しません。つまり光が往復した場合でも、偏光方向が元に戻らないという特異な特性(非相反性)を示します。このファラデー効果を積極的に活用することで光が一方しか伝搬しないような光アイソレータが実現され、光通信の分野などで広く使用されています。

磁気光学効果をより深く理解することで、従来の技術の発展に加え、新しいタイプの光学デバイスや応用技術の開発を目指していきます。

↔ : 偏光方向



### 応用1

#### 高出力レーザー用 光アイソレータ

光アイソレータは光通信の分野だけでなく、高出力レーザーの開発においても必要不可欠です。このアイソレータに使用できる材料は、レーザーの波長に応じて使い分ける必要があります。我々は多種多様な高出力レーザー光源の開発のために、高性能な光アイソレータの実現に向けた要素研究に加えて、新たな材料の特性評価も実施しています。



レーザー科学研究所のLFEX用光アイソレータ

### 応用2

#### 磁気光学デバイスによる 新規応用先の開拓

磁気光学効果を活用することで、これまでにない「磁気光学デバイス」の実現を目指しています。これまでは光アイソレータとしての応用が主でしたが、新しいタイプの光学デバイスの実現によって様々な使用用途が考えられます。

レーザー光源の高出力化や分光計測の高度化といった応用に加え、新しいセンサーとしての活用や新しい応用先の開拓を目指していきます。

レーザー光源  
高出力化

分光計測  
高度化

新たなセンサー  
開発

新たな応用先  
開拓

磁気光学デバイスの応用先

グループHP

<https://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/research01/pls/>

キーワード

磁気光学効果、ファラデー効果、材料評価



# 微小共振器型波長変換デバイス

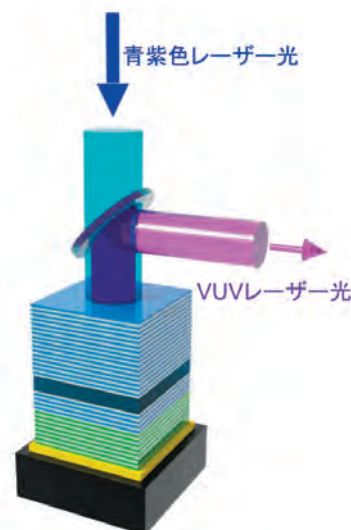
Microcavity wavelength conversion device

南部 誠明 助教

共同者: 吉村政志教授、森勇介教授、片山竜二教授

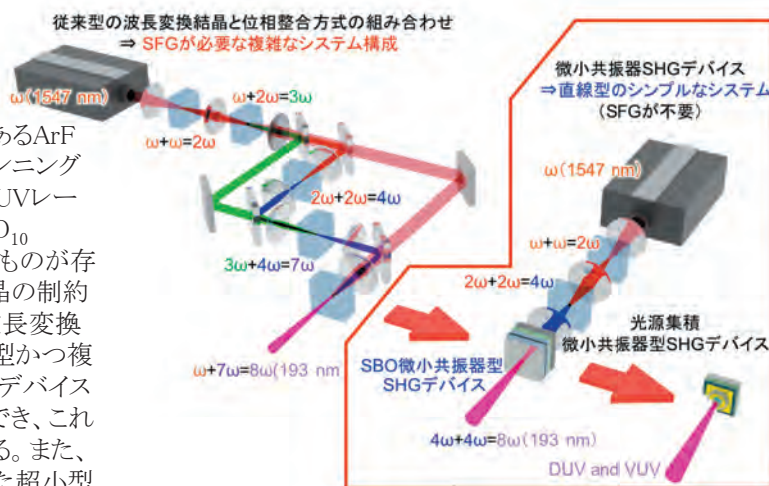
## 微小共振器型波長変換デバイス

任意の波長のレーザー光を得る方法として、波長変換は極めて優れた方法である。例えば、波長の極めて短い深紫外 (DUV) や真空紫外 (VUV) レーザー光は、その集光性や高い光子のエネルギーから微細加工、ウエハやフォトマスク検査、露光等に応用される。しかしながら、これらの波長域で実用化しているエキシマレーザーは、大型かつ高頻度のメンテナンスが必要といった問題を有する。これらの問題を解決可能な全固体レーザー光源として半導体レーザーが挙げられるが、まだまだ研究の初期の段階である。加えて、VUV領域においては半導体レーザーを実現する利得媒質さえ見つかっていない現状である。波長変換の技術を利用すれば、DUVおよびVUV領域で動作する全固体レーザー光源を実現可能であるが、波長変換結晶およびデバイス方式の制限から従来型的方式では小型かつ高効率なデバイスを実現することは難しい。そこで我々は、従来その結晶性から波長変換結晶として利用できないと考えられてきた低複屈折性常誘電体結晶に適応可能な微小共振器型の新規波長変換デバイスを提案し、この問題の解決に取り組んでいる。これにより、DUVおよびVUV領域で動作する小型かつ高効率なレーザー光源を実現できる可能性がある。



### 応用1 DUV、VUVレーザー光源

広く実用化しているVUVレーザー光源であるArFエキシマレーザーが抱える大型かつ高ランニングコストといった問題を解決可能な全固体VUVレーザー光源として、 $\text{BaB}_2\text{O}_4$  (BBO) や  $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$  (CLBO) といった波長変換結晶を利用したものが存在する。しかしながら、これらの光源は結晶の制約から和周波発生 (SFG) を含む多段階の波長変換を介しての動作となり、システム全体が大型かつ複雑になりやすい。微小共振器型波長変換デバイスを用いれば、SFGを介しない光源が実現でき、これらの問題を一挙に解決できる可能性がある。また、基本波光源と波長変換デバイスを集積した超小型VUVレーザー光源の実現も目指している。



### 応用2 量子光源

上記のレーザー光源は第二高調波発生 (SHG) と呼ばれる現象を利用して動作するが、その逆過程である自発的パラメトリック下方変換 (SPDC) を利用することで広帯域光子対を発生させることが可能であり、量子光干渉断層技術 (量子OCT) 等に応用可能である。

グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/research/up/>

キーワード 波長変換、SHG、DUV、VUV



# コヒーレントビーム結合とファイバーレーザー

High average power fiber laser system by coherent combining

椿本孝治 准教授

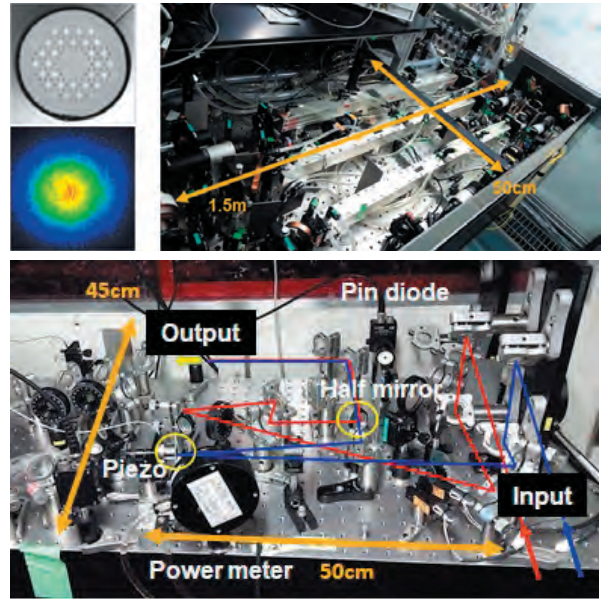
共同者: 吉田英次特任研究員

## 加工に適した高繰り返しレーザー

金属等の加工においては、高スループット、高精度・微細加工と多様な素材対応、加工ヘッドのコンピューター制御との同期等の加工性能が望まれ、それぞれの要求に対応するレーザー性能としては、高平均出力と高効率、高ビーム品質・短パルスと短波長、パルス的高速ON/OFFスイッチ制御が上げられる。

工業製品における多様化、小型化、高集積化、高機能化に対応できるものづくり技術として、高精度・高速微細加工が必要不可欠である。そのためのツールとして紫外域のピコ秒パルスレーザーが有用であるが、市販レーザー(繰り返し100~300kHz、平均出力5~6W程度)では高スループット加工は望めない。複雑な多段増幅システムを避けて高繰り返し・高出力を達成するにはファイバー増幅器が有効である。

微細加工のためには、パルスのON/OFFスイッチングや振幅変調が必要である。また、加工性能の向上に有用なバーストモード動作についても、バースト時間幅の高速制御が重要である。



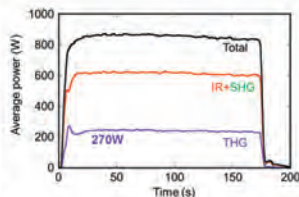
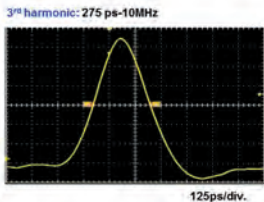
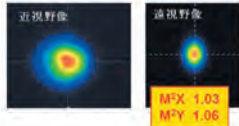
## 応用1 紫外ピコ秒パルスによる微細加工

波長変換技術を利用し、世界最高出力の3倍高調波の発生に成功した。独自に開発した結晶冷却技術により、波長347nm、パルス幅285ps、平均出力300Wの紫外パルスレーザー光を供給できる。

紫外ピコ秒パルスレーザーは、非熱加工が可能であり、微細加工に適している。



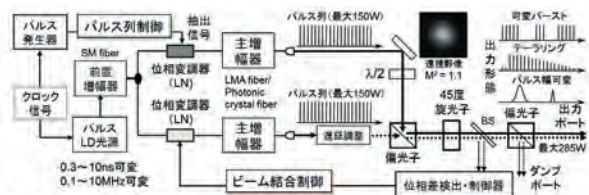
346.7 (nm)-100W



## 応用2 任意パルス制御による高性能加工

加工用レーザーでは、高ビーム品質、高安定性、高平均出力の他に、加工機との親和性も要求される。そのため、100Wを超える平均出力でも適用可能な、高速パルス整形、切り出し、スイッチング技術を考案し、開発している。

バーストパルス列による加工では、連続パルス列よりも加工性能がよくなる。



グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/research01/pls/>

キーワード Fiber laser, Beam combining, Laser processing



# アクティブミラー型レーザー増幅器

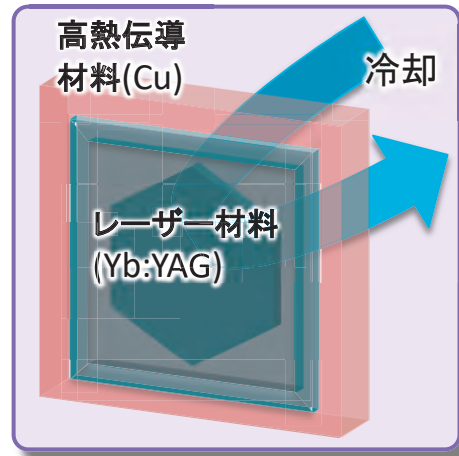
Active Mirror Laser Amplifier

余語覚文 教授

共同者：椿本孝治准教授、荻野純平助教、田丸裕基助教、南部誠明助教、宮永憲明特任教授、時田茂樹招へい教授

## アクティブミラー型レーザー増幅器

アクティブミラー型レーザー増幅器の利点は、ロッド型やスラブ型など他のレーザー増幅器に比べて圧倒的に高い排熱能力と熱に影響されにくい高いビーム品質にあります。また、径方向への面積を拡大することでパルスエネルギーの増力が簡単であるだけでなく、上述の利点は保持されますので、従来にならぬハイパワーレーザーが実現できます。



### 応用1 レーザー加工

パルスレーザーによる塗料の剥離、サビ取り、酸化膜除去、前処理などのレーザークリーニングは溶剤や研磨剤など余計な副産物を出さない、クリーンで高品質な加工を実現します。また、疲労強度や耐応力腐食性、耐摩耗性など金属表面の耐力を向上させるレーザーピーニングは、航空機や炉壁など厳しい環境下に耐えうる高い強度を実現しています。その他にも多彩な加工用途に利用が可能です。



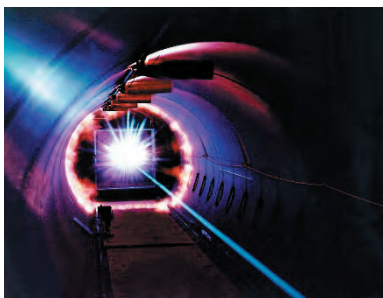
### 応用2 医療応用 (レーザーメス、美容整形、歯科)

しみ抜きや脱毛、あざ治療など美容整形をはじめとして内視鏡と組み合わせて膀胱、肺、消化管などの内部にある腫瘍などの治療、尿路結石破碎、歯科治療などに利用可能です。



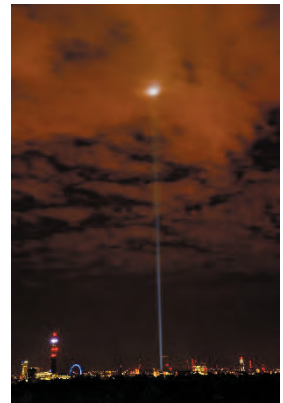
### 応用3 レーザー打音検査

トンネル内壁、コンクリート橋梁、ビル外壁などの内部異常はこれまで人による打音検査が主でしたが、レーザーを用いることで遠隔から高速で検査できます。



### 応用4 ライダー

大気中成分や浮遊微粒子、例えばPM2.5やオゾン、窒素酸化物など、によるレーザー光の散乱や吸収蛍光を利用して対応する物質の濃度空間マップを作ることが可能です。



# 世界最高平均出力を目指すハイパワーレーザー

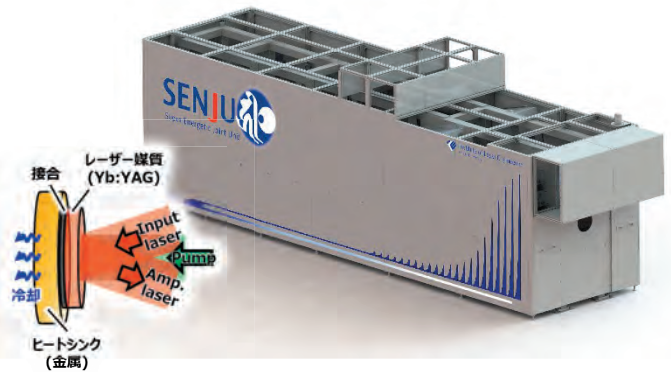
High-power Laser System Achieving World-highest Average Power

余語覚文 教授

共同者：椿本孝治准教授、荻野純平助教、田丸裕基助教、南部誠明助教、宮永憲明特任教授、時田茂樹招へい教授

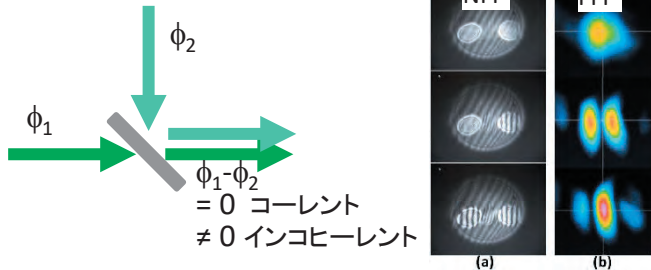
## 大口径アクティブミラー型増幅器

アクティブミラー型レーザー増幅器の利点は、ロッド型やスラブ型など他のレーザー増幅器に比べて圧倒的に高い排熱能力と熱に影響されにくい高いビーム品質にあります。これらの利点は口径化によるパルスエネルギー増力によって損なわれることはありません。大口径化の際にレーザー媒質と冷却板材料の熱膨張率に起因する接着剥離を阪大独自の技術により回避することで高パルスエネルギー化を実現しました。



## ビーム結合技術

様々なインコヒーレントおよびコヒーレントビーム結合技術はレーザーパルスエネルギーと繰り返し周波数を増加させる有効な手法です。エネルギーの足し合わせだけで良いような場合はインコヒーレント結合、高い電界強度が欲しいような場合は位相を揃えたコヒーレント結合を用いるなど、用途によって使い分けます。



## 応用1 レーザー粒子加速(先端医療応用)

イオンや中性子をはじめとした高エネルギー粒子を用いたガン治療は他の生体組織を破壊することなく疾患部のみを狙い撃ちでき、治療効果が極めて高く治療期間が短い先進医療です。



重粒子線によるガン治療

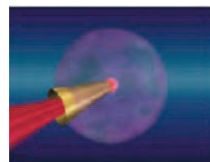
## 応用2 宇宙デブリ除去



使われなくなった人工衛星や打ち上げに使われたロケットおよびその一部、デブリ同士の衝突で生まれる微細デブリなどのスペースデブリは地球衛星軌道上を秒速3~8 kmで動いており、動作中の衛星や宇宙ステーションなどが破壊、破損の危機にさらされる要因となっています。レーザー照射により減速させ地球大気に再突入させて除去する研究が進行中です。

## 応用3 レーザー核融合(未来のエネルギー)

レーザーを重水素や三重水素を照射し、高密度、高温にすること核融合反応を誘発させ発生するエネルギーを利用します。反応後の生成物はヘリウムであり高レベル放射性廃棄物ではありません。同じ質量であれば核融合反応で得られるエネルギーはウランを用いる核分裂反応の場合と比較して4倍以上大きなエネルギーが得られます。



グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/research/rdl/>

キーワード ハイパワーレーザー、高平均出力レーザー、レーザービーム結合



# 超小型パワーレーザー

Ultra-compact Power Lasers

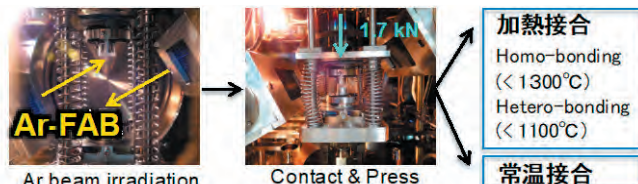
余語覚文 教授

共同者：藤岡加奈准教授、田丸裕基助教、椿本孝治准教授、荻野純平助教

## 高精度接合技術(常温・加熱)

様々な光学素子を接合することでレーザー装置の小型化が実現できます。大阪大学では量子科学技術研究開発機構(QST)と共同で常温での強固な接合技術を開発しました。この技術を利用してレーザー材料と高熱伝導材料を張り合わせることで排熱効率を向上させ高平均出力動作を、また、過飽和吸収材料を張り合わせることで受動Qスイッチ発振などの高性能化、高機能化を超小型装置で実現することに成功しています。レーザー材料や非線形光学材料を選ぶことで比較的幅広い範囲で波長を選ぶこともできます。

## 接合プロセス



レーザー・システム

### 応用1 レーザー治療・検査(美容、成形)

切開や内視鏡的切開、光線力学的治療など比較的低出力のレーザーによるレーザー治療が携帯サイズのコンパクトな装置にて実現できます。レーザー材料や非線形光学材料を選ぶことで比較的幅広い範囲にわたる波長が利用できます。



### 応用2 映像(プロジェクター)・照明

大規模プロジェクションマッピングなどに使用される光源は超高压水銀発光ランプですが、これを超小型レーザー光に変えることで色再現性や小型化はもろんのこと、さらなる高輝度化が期待できます。



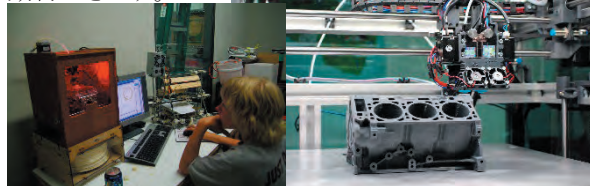
### 応用3 レーザーガイド補償光学系

レーザー光を遠方の対象物付近に照射しその散乱光を受光して大気中のゆらぎを観測し補正することで対象物を正確に観測できます。下図は大型望遠鏡に装備されたレーザーガイドスターの様子です。



### 応用4 小型装置による多彩な造形

3Dプリンティングに代表される造形ですが、比較的高いパルスエネルギーが得られることから樹脂のみならず金属の造形が可能です。また、表面処理などのレーザー加工と組み合わせることで高機能な造形が一台の小型装置で期待できます。



グループHP  
キーワード

<https://www.ile.osaka-u.ac.jp/research/rdl/>  
異種材料間接合、多機能レーザー材料



# ニュークリアフォトニクスグループ

## 新領域「ニュークリアフォトニクス」

-非破壊検査から宇宙の謎の解明まで-

Nuclear Photonics

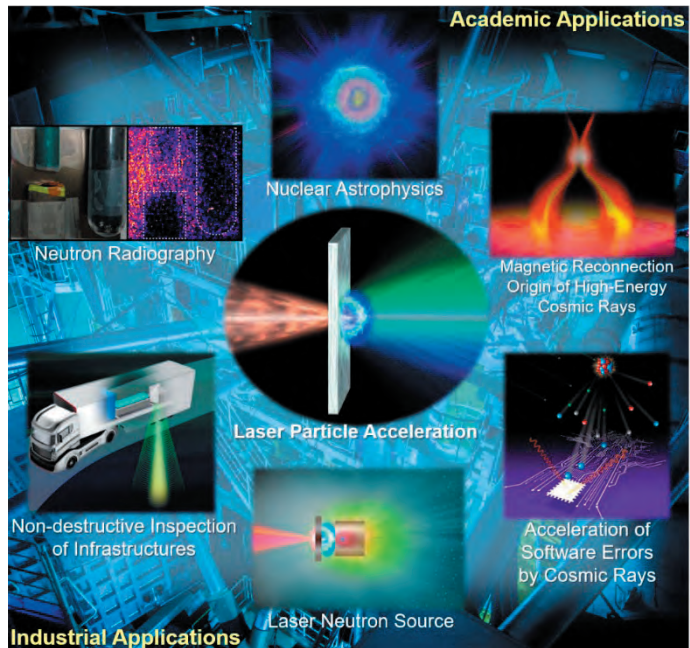
余語 覚文 教授

共同者：有川安信准教授、Alessio Morace講師、早川岳人招へい教授、三間園興招へい教授

レーザー・システム

### ニュークリアフォトニクスとは？

本研究では、「ニュークリア (Nuclear)」の意味するところである原子核を、フォトニクスの技術を使って制御・操作することで、これまでにない学術研究・応用研究を展開することを目的としています。原子核をレーザーの電場で直接引き剥がすには極めて高い強度のレーザーが必要であり、現在のレーザー装置では達成できません。しかしながら、高強度レーザーによって発生した2次粒子(イオン・電子)あるいは光(高エネルギーX線・ $\gamma$ 線)を用いれば、原子核を制御・操作することが可能になります。社会実装を目指した産業応用研究から、宇宙物理のような科学応用研究に跨る広い領域を、ニュークリアフォトニクスというキーテクノロジーによって結びつけ、同時並行的に研究開発を推進します。



### 応用1 レーザー粒子加速

レーザーの光を極めて短い時間(およそ1兆分の1秒)に小さい領域(毛髪の断面くらい)に集中して物質に照射すると、極めて強い電場や磁場が発生します。この電場を利用して、イオンを高エネルギー(数千万電子ボルト)まで加速することで、粒子線がん治療加速器への応用が期待されます。また、極低温に冷却した純粋固体水素(あるいは重水素)薄膜にレーザーを直接照射することで、陽子・重陽子加速を効率化します。将来的には小型の陽子線がん治療装置への応用が期待できます。



### 応用2 レーザー駆動中性子源

中性子はX線が苦手とするシリコンや金属に対する透過力が高く、水素、水や有機物などを検出できます。我々は指先サイズで短パルス・高輝度の中性子フラッシュを発生できる「レーザー中性子源」を開発し、「いつでも・どこでも」利用できる中性子分析を実現しました。橋梁、トンネルの錆・浸水の非破壊検査、水素インフラ施設の保全技術や、動作中の燃料電池・水素エンジンにおける水素の可視化、電極温度の透過計測が可能となります。国際原子力機関(IAEA)「レーザー中性子源諮問委員会・技術委員会」日本代表として、国際的な開発・標準化を推進しています。



グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/research01/np/>

キーワード 中性子、イオンビーム、高強度レーザー、宇宙元素合成



# 太陽光励起レーザー

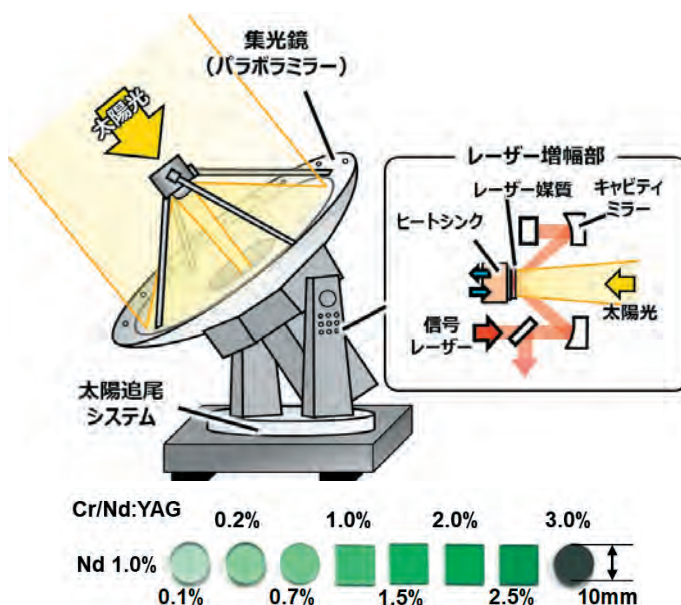
Solar-Pumped Laser

荻野純平 助教

共同者：藤田雅之招へい教授（レーザー総合技術研究所）、余語覚文教授、椿本孝治准教授

## 宇宙空間でのエネルギー利用

宇宙空間でのエネルギー利用には、太陽光を利用することが重要です。しかしながら、太陽光は発散角を持ち、スペクトル帯域が非常に広いという特徴から、太陽光をそのまま簡便に利用することは困難です。そこで、太陽光をレーザーに変換することが提案されています。本研究では、太陽光励起レーザーの効率向上を目指しており、太陽光励起レーザーのレーザー媒質として有望なCr/Nd:YAGのエネルギー特性・熱特性の解析を行っています。さらに、太陽光励起レーザーの実証実験として地上太陽光を用いたレーザー装置の開発も行っています。宇宙太陽光励起レーザーが実現すれば、宇宙空間での高効率のエネルギー伝送や、宇宙基地開発の建材製造などの応用が可能になります。

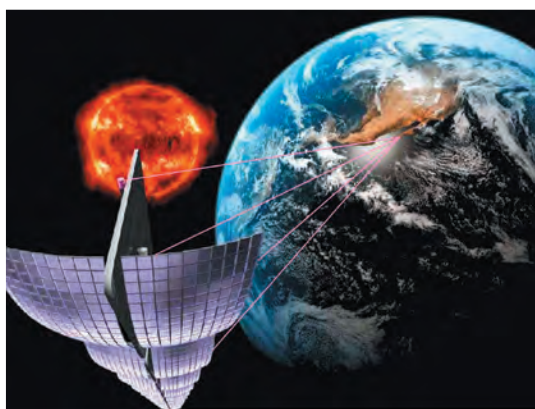


レーザー・システム

### 応用1

## 宇宙空間での高効率なエネルギー伝送

宇宙空間で太陽電池パネルを使用せずに、直接太陽光を指向性の良いレーザーに変換し、宇宙空間または地上の発電プラントに伝送する発電システムが提案されています。太陽光のレーザーへの変換は、太陽光直接励起固体レーザーが期待されています。



(<https://www.u-fukui.ac.jp/fukupre/9802/>)

### 応用2

## 宇宙基地の建設材料製造

人類の宇宙進出を加速させるためには、月や火星などにおける宇宙基地の建設が必要不可欠です。しかしながら、その建設のための材料を地球から輸送することを考えると、莫大な費用と時間がかかるという問題があります。宇宙基地の建設材料には、月や火星表層に豊富に存在する砂（レゴリス）を用いることが提案されていますが、宇宙環境における簡便な建設材料製造手法は確立されていません。そこで、レーザーを用いた3次元造形により建設材料を製造する手法が提案されています。このレーザーを、太陽光励起レーザーにより提供することで、宇宙基地の建築材料製造を全て地球外にあるもので行う“現地調達・完全地産地消”の製造手法となると期待されています。この手法は、人類の宇宙進出に大きく貢献するとともに、宇宙応用の新分野が開拓されることが期待できます。



作成したレゴリス焼結材

グループHP

<https://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/research01/pls/>

キーワード

太陽光励起レーザー、固体レーザー、レーザー加工、宇宙開発



# 時空及び位相・周波数制御によるプラズマの最適化

Plasma optimization by space-time and phase-frequency control

藤岡慎介 教授

長井圭治特任准教授(金沢大学)、砂原淳博士(米国パデュー大学)、  
小島完興主任研究員(量子科学技術研究開発機構)、S. Wilks博士(ローレンスリバモア研究所)

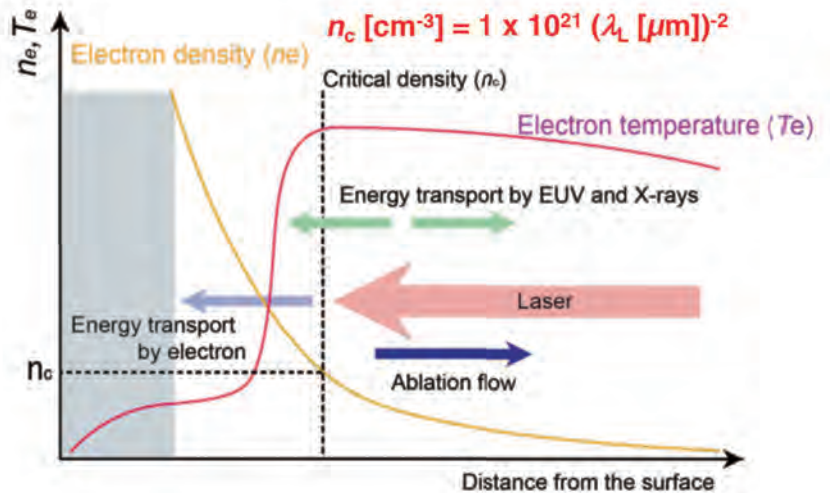
レーザー・システム

## プラズマの最適化の必要性

レーザー生成プラズマは多様な応用の可能性を秘めています。その一方で、レーザープラズマは、非常に高圧力で、高速に運動し、かつ短寿命であるため、それを望むように制御するには一工夫が必要です。

我々は、プラズマを生成するレーザーの空間形状、時間波形、位相及び周波数を変えることで、プラズマの特性を変化させること、またプラズマ源であるターゲットの構造によって、プラズマの特性が変わることを見いだしました。

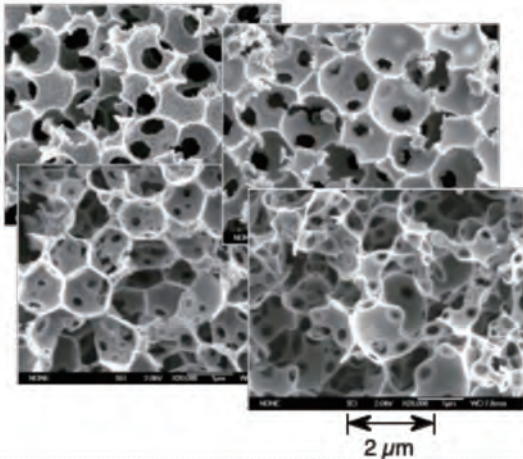
プラズマ物理の知見を活用し、応用に即したプラズマ最適化を提案することが出来ます。



### 応用1

#### 微小構造ターゲットを用いた、プラズマ光源の高輝度化

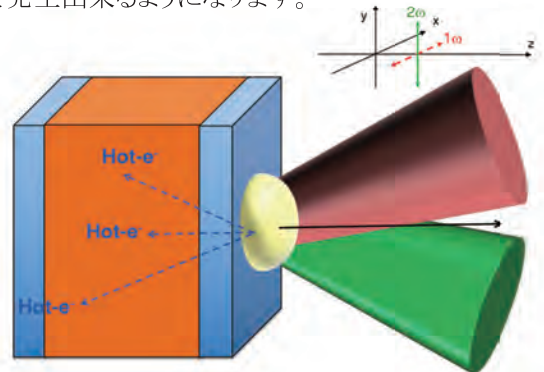
ミクロン以下の構造を有するポーラス形状の酸化スズをプラズマ源として利用することで、レーザーから軟X線へのエネルギー変換効率を1.5倍高めることに成功しました。ターゲットの体積平均密度を下げることによって、軟X線源プラズマの密度を下げたことが、放射効率の向上に寄与したと考えられています。



### 応用2

#### 二波長レーザーの混合照射による電子ビーム発生

レーザーの電磁波とプラズマ波動の相互作用の結果、プラズマ中で電子ビームが加速されます。波長の異なるレーザー光をプラズマに同時照射することで、レーザー光とプラズマ波動の干渉を起こし、結果として効率的に高速電子は加速出来る事を発見しました。この高速電子を利用することで、レーザーで直接的に加熱することが難しい、固体密度物質を効率的に加熱することが可能になり、従来のレーザー照射法では達成出来なかった高圧力を発生出来るようになります。



グループHP <https://lf-lab.net/>

キーワード 量子ビーム、プラズマ制御



# 自立グラフェンを用いた高エネルギーイオン加速

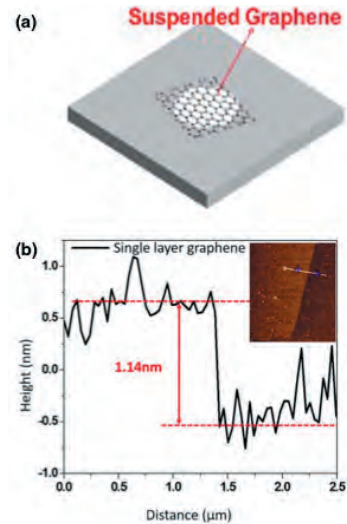
Energetic ion acceleration using large-area suspended graphene

蔵満康浩 教授

共同者: Wei-Yen Woon 教授 (台湾国立中央大学)、Nigel Woolsey 教授 (英国York大学)、羽原英明准教授、安部勇輝助教、坂和洋一 准教授、金崎真聡准教授 (神戸大)、福田祐仁 上席研究員 (量子科学技術研究開発機構)

## Large-area suspended graphene (LSG)

両面が自由表面のグラフェンターゲット (large-area suspended graphene: LSG) は、世界最薄 (1nm) のターゲットで、平面性が良く、枚数を重ねることで、1nmの精度でターゲットの厚みをコントロールでき、異なるレーザー条件に対し、最適なターゲット厚を精度よく決定できる。また、グラフェンは広範囲に応用されているため、安価に大量生産が可能である。これまでレーザー実験で用いられてきた極薄膜ターゲットと比べ、何桁もターゲットにかかる費用を抑えることができる。さらに、超高強度レーザーと固体ターゲットの相互作用による高エネルギー放射線は、固体中の原子核の数に比例するため、グラフェンターゲットを用いることで、放射能汚染を劇的に軽減できる。グラフェンは同じ厚みのその他の物質よりもはるかに丈夫で、レーザーイオン加速ターゲットに最適である。

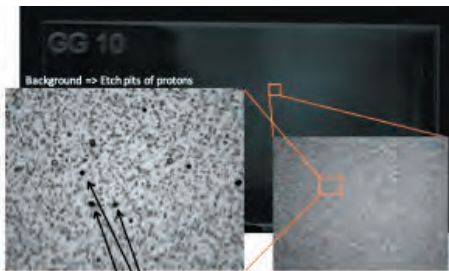


レーザー・システム

### 応用1

## LSGを用いた高エネルギー炭素イオンの加速・生成

重イオン線治療として用いられるカーボンイオンの加速は、世界中で大規模なプロジェクトにより研究開発が行われており、現在レーザーイオン加速の業界で最も重要な課題となっている。これまでは、比較的厚めの固体薄膜が用いられてきたが、ターゲットの表面に生成される電磁場により、加速が制限されることが知られており、イオン加速は長らく頭打ちとなっていた。高エネルギーまでイオンを加速するために非常に薄いターゲットが必要だと考えられてきた。LSGを用いて最高エネルギーのカーボンイオンを加速する。

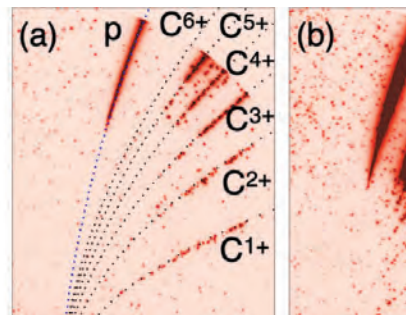


カーボンイオン (~700 MeV)

### 応用2

## LSGを用いたイオン源の小型化・低放射化

グラフェンは最も薄い2次元材料であり、最も軽く、最も丈夫な物質である。また、ほぼ透明な光学特性を持っており、これまでのどのターゲットよりもプレパルスに対する耐性があると考えられている。さらに、安価で大量生産が可能であるため、これらの特性を生かし、より小型のレーザーを用いたイオン源の小型化・高繰り返し化・低放射化を実現できる。



非相対論的強度でのレーザーイオン加速実験結果

グループHP  
キーワード

<https://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/research02/kgp/>  
レーザーイオン加速、グラフェン



# 高強度レーザーとナノフォトンクスによる 究極の光強度の実現

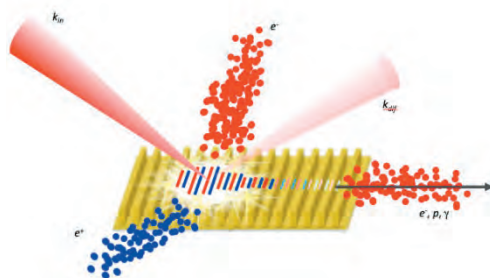
Generation of ultra high field via integration of intense laser technology and nanophononics

羽原 英明 准教授

共同者: 蔵満康浩教授、安部勇輝助教

## 相対論的ナノフォトンクス

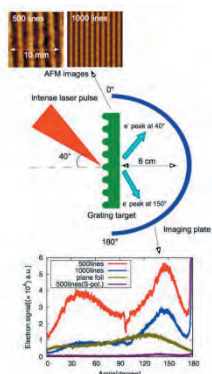
高強度レーザーを物質に照射すると、その強い電場・磁場により物質を瞬間的に蒸発させ、高輝度なX線や高エネルギー粒子を容易に生成することができる。我々はさらに光強度を増強し、GeVクラスの高エネルギーイオンビームや、強力なガンマ線・陽電子線を生成する目的で、ナノフォトンクスの技術を適用し、局所的に数100倍もの光強度の増強を実現させるための研究を進めている。



高強度レーザーを金属回折格子に入射することで共鳴的に励起される表面プラズモンと、生成される高エネルギー量子線

### 応用1 表面プラズモン共鳴電場増強

金属回折格子に高強度レーザーを照射すると、共鳴条件を満たす場合にのみ表面プラズモン共鳴が起こる。共鳴により表面電場強度が増強し、高エネルギー粒子が効率的に生成される。

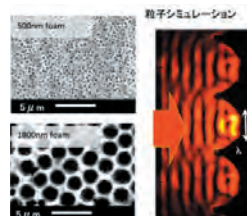


金属回折格子への高強度レーザー照射実験と高エネルギー電子の増大

### 応用2 マイクロ集光鏡電磁場増強

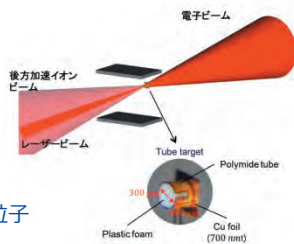
ナノマイクロサイズの空孔が表面に多数あるナノフォームターゲットに高強度レーザーを照射すると、空孔内部での反射と屈折によりエネルギーが集中し電磁場が増強。それによって高エネルギー電子、イオンが効率的に生成される。

金属ナノフォームSEM画像とフォーム内部での電磁場集中



### 応用3 低密度ナノフォームイオン加速

1mg/ccの超低密度ナノフォームターゲットに高強度レーザーを照射すると、強い光圧により瞬時に高温高压状態となり、それによってイオンが数100MeVのエネルギーで弾き飛ばされる。

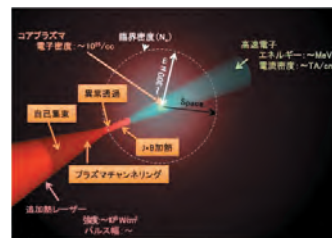


ナノフォームから前後に加速される高エネルギー粒子

### 応用4 高速点火レーザー核融合

高強度レーザーによって作られる高エネルギー電子ビームを二重水素・三重水素高密度プラズマに照射し、熱核融合反応によりエネルギーを取り出す。同時にエネルギーを電気に変換する核融合炉のデザインも行っている。

周辺の薄いプラズマを切り裂いて高密度の燃料プラズマへと侵入する高強度レーザー



グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/research02/kgp/>

キーワード 高強度場、量子ビーム、構造化ターゲット



# レーザー害虫駆除システム

Laser systems for pest control

藤 寛 特任教授

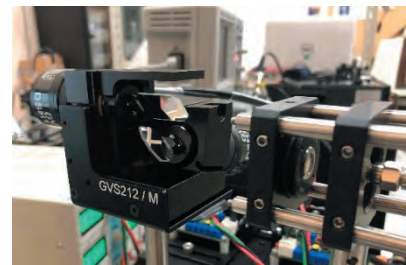
共同者：山本和久特任教授、筑本知子教授

## 可視光半導体レーザー制御技術

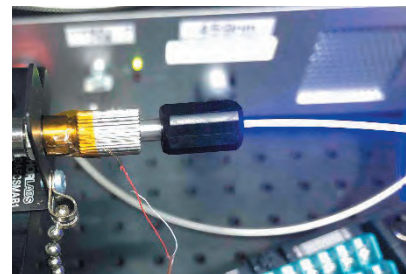
レーザー光の直進性、集光性などの特徴を生かして新たな応用を開拓するため、可視光半導体レーザーの制御技術を研究する。レーザービームは直進が高いため、小さなミラーなどによって自在に方向を変えることができる。ガルバノスキャナーミラーやMEMSミラーなどのデバイスでは、このミラーの角度は電氣的に制御され、レーザービームを瞬時に任意の方向に走査する。よく知られている実用例はレーザープロジェクターであり、RGBの3色のレーザービームをラスターキャンすることでスクリーンに画像を表示する。

またレーザー光は集光性が高いため、光ファイバーによって導光しやすく、電線のように自在に遠い距離まで光を届ける。よく知られている例は大容量のデータを高速で通信する光ファイバー通信である。最近ではファイバーの表面から光を発する拡散型ファイバーも開発され、新たな照明用途展開が期待されている。

これらの特長を活用して、現在、レーザー害虫駆除システムの研究を進めており、飛翔中の大型害虫や野菜に停まっている微小害虫などの駆除によって食糧増産に貢献する。



レーザービーム走査(ガルバノミラー)



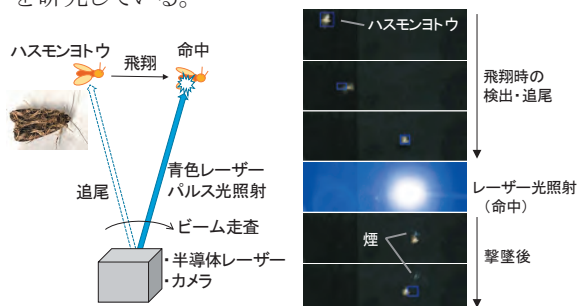
光ファイバー照明(拡散型ファイバー)

レーザー・システム

### 応用1 飛翔中の害虫撃墜

農業では近年、農薬耐性を持つ害虫が増えており、農薬に頼らない駆除技術が求められている。レーザーを使った駆除技術は、レーザービームを集光して害虫のみに照射する。無農薬であり、かつ害虫をピンポイントで駆除するため、それ以外への影響は全くない環境にやさしい技術である。

我々は高速画像認識と高速走査型レーザー照射を組み合わせ、高速で飛翔する害虫を素早く追跡してレーザーパルス光を照射して撃墜する技術を研究している。



飛翔害虫駆除システム 飛行時の追尾検出と撃墜の過程

### 応用2 害虫駆除のための照射技術

農作物の栽培現場で害虫を効果に駆除するには、レーザー光の照射条件や害虫の照射位置を的確に設定する必要がある。これは装置の小型化、省エネや低コスト化にも結び付く。

我々は様々な条件でレーザービームを害虫に照射して、最適なシステムを探索する。蛾の各部位にレーザー光を照射して損傷度合いを調べ、駆除に結び付く急所や照射条件を研究している。



レーザーショット実験装置



蛾へのレーザー光照射

グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/research01/mat/index.html>

キーワード 半導体レーザー、害虫、駆除、走査、画像処理、動体検出

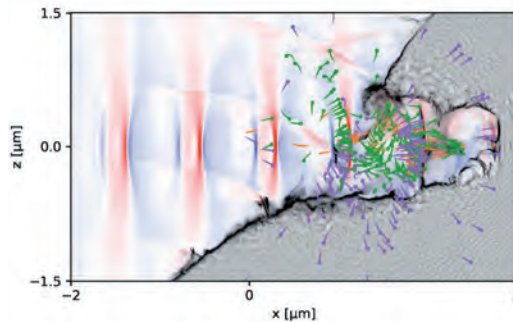
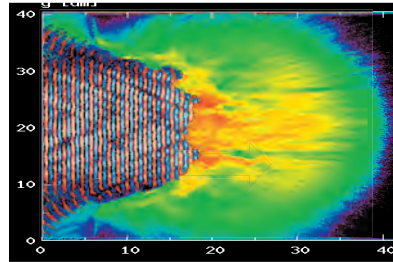


# Achieving high-gain nuclear fusion with Extreme Laser Intensities using Relativistic and Curved Plasma Mirrors

Morace Alessio 講師

## Introduction

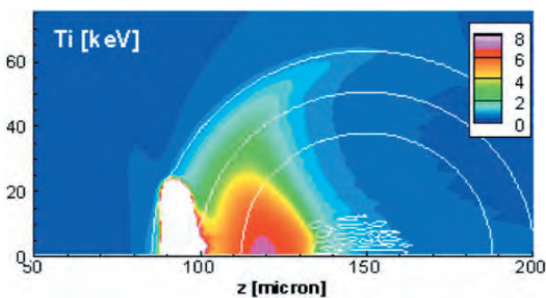
Achieving extreme light intensities is not only a great milestone in its own merit, but it is likely the key to approach to achieve high-gain Fusion Energy. By using Relativistic Plasma Mirrors with femtosecond laser pulses and Curved Plasma Mirrors with picosecond laser pulses, we aim at the creation of extreme laser intensities that will directly allow for new methods of depositing energy in the compressed core of imploded DT capsules or spheres. Exploring the Physics of Extreme Light Intensities will also allow to address key issues in fundamental physics, including Astrophysics and Strong Field QED.



### 応用1

#### Hybrid Hole-Boring/RPA and fast electron ignitor beam for fast ignition using Ellipsoidal Plasma Mirrors

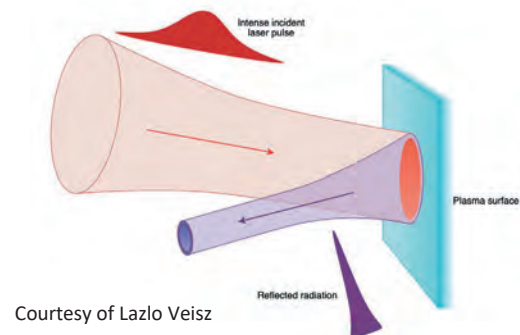
Using Ellipsoidal Plasma Mirrors on picosecond, kJ-class PetaWatt lasers is possible to attain intensities exceeding  $10^{21} \text{ W/cm}^2$  and establish the conditions for the direct acceleration of Carbon ions as well as ultra-relativistic electrons constituting a hybrid ignitor beam for Fast Ignition. Extreme laser intensities could also be used to achieve near relativistic proton beam acceleration.



### 応用2

#### Relativistic plasma mirrors for Doppler-Boosted ignitor beam and SF-QED science

PetaWatt-class femtosecond lasers tightly focused on a Plasma Mirror surface induce instantaneous surface curvature that will focus down Doppler-Boosted harmonic beams to intensities approaching  $10^{25} \text{ W/cm}^2$ . Focused harmonics can be used to trigger Thermonuclear burst in Inertial Confinement Fusion research, as well as capable of revealing Strong-Field QED phenomena and bring us closer to the Schwinger limit.



グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/research01/np/>

キーワード Extreme Intensity , Fusion Energy Research



# 深層学習を用いた大型レーザー装置の信頼性向上

Enhancing the Reliability of Large-Scale Laser Systems Using Deep Learning

Law King Fai Farley 特任助教  
 共同者: 藤岡慎介教授、長友英夫准教授

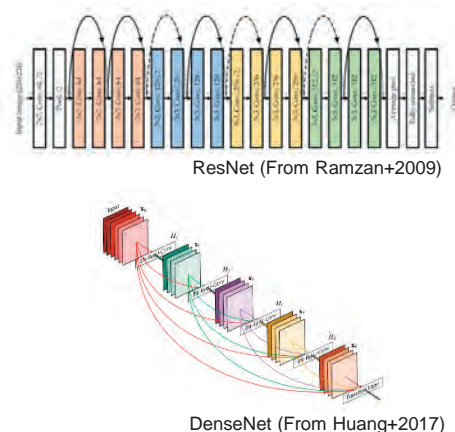
## 畳み込みニューラルネットワークによる画像解析

畳み込みニューラルネットワーク(CNN)は、画像認識や解析において最も先進的な技術の一つです。CNNは、人間の視覚システムに類似したアプローチを取ることで、画像内の特徴を自動的に抽出し、複雑なパターンを高精度で認識することが可能です。

CNNは、複数の畳み込み層とプーリング層から構成されており、各層で画像データを逐次的に処理することで、抽象度の高い特徴を捉えることができます。これにより、物体の輪郭やテクスチャ、色の違いなど、細部にわたる情報を効果的に解析することができます。

さらに、CNNは大量のデータを用いて学習することで、様々な画像認識タスクにおいて高いパフォーマンスを発揮します。例えば、ResNetやDenseNetなどの高度なアーキテクチャは、より深いネットワーク構造を持ち、より複雑なパターンの認識に優れています。

これらの技術を応用することで、医療画像の診断、監視カメラの異常検知、自動運転車の物体認識など、さまざまな分野で画期的な成果を上げています。

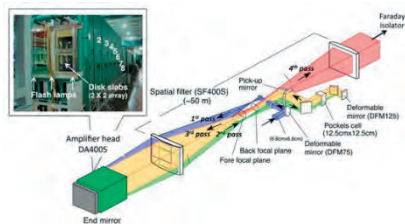


レーザー・システム

### 応用1 増幅器の異常検知

増幅器の異常検知は、レーザーシステムの安定性と効率を高めるために不可欠な技術です。深層学習を活用し、電流波形データを解析することで、増幅器の異常を早期に検出する手法を開発しました。電流波形データは増幅器の運転状況を詳細に反映しており、正常時と異常時の差異を精密に捉えることが可能です。

上で紹介されたアーキテクチャを用いることで、従来の手法では困難だった微細な異常も検出できます。この技術により、増幅器の信頼性を向上させ、予知保全の実現によって運用コストの削減とシステム全体のパフォーマンス向上に貢献できます。



### 応用2 光学素子の異常検知

光学結晶、反射鏡などといった光学素子の異常検知は、レーザーシステムの性能維持と故障防止に重要な役割を果たします。深層学習を用いた画像解析技術を駆使し、光学素子の劣化や損傷を早期に検出することもできます。

光学素子の劣化や損傷は、レーザー性能に直接影響を及ぼすため、迅速な異常検知が求められます。CNNを活用した画像解析により、微細な異常を高精度で識別し、光学素子の状態を継続的に監視することも可能です。この技術を開発することによって、光学素子の信頼性を高め、レーザーシステム全体の安定稼働を支えるとともに、メンテナンスコストの軽減を目指します。



グループHP  
 キーワード

<https://lf-lab.net/>

画像解析、畳み込みニューラルネットワーク、異常検知



# テラヘルツ分光

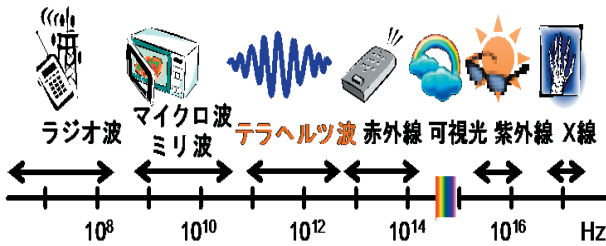
Terahertz Spectroscopy

中嶋 誠 准教授

共同者: 加藤康作特任研究員、V. Agulto特任助教

## 研究背景

テラヘルツ波は周波数 $10^{12}$  Hz程度の、高い透過性と直進性を併せ持つ新しい電磁波です。紙やプラスチックなどの材料に対して高い透過性がある一方、フォノン、スピン、高分子高次構造の振動モードや自由電子の超高速応答などの観測が可能な波長域です。これらの特徴を利用して、通信、センシング、セキュリティスキャナー、物質評価などへの応用が開拓されています。私たちは、テラヘルツ波の発生や検出技術の開発や、電磁波の伝搬操作、テラヘルツを利用した物性測定やデバイス開発を通してテラヘルツ波工学の発展に寄与します。



## 期待されるテラヘルツ波応用

**産業応用**

- 半導体産業
- 製薬
- 新光學デバイス
- テラヘルツ通信
- 食品産業

**基礎物理・化学**

- 半導体物性
- 超伝導物性
- 誘電体物性
- ガラスの物性
- フォトニック結晶やメタマテリアルの物性
- 液体物性と化学
- 気体の精密分光
- プラズマ診断

**テラヘルツ波技術**

- THz発生・検出法
- 光学素子
- 各種分光システム
- イメージング
- などの開発

各種テラヘルツ波分光法開発

**バイオ・医学応用**

- 生体関連分子の分析
- 遺伝子解析
- タンパク質の昨日解析
- 癌診断
- 医用材料検査
- 火傷診断

**安全・安心社会の実現**

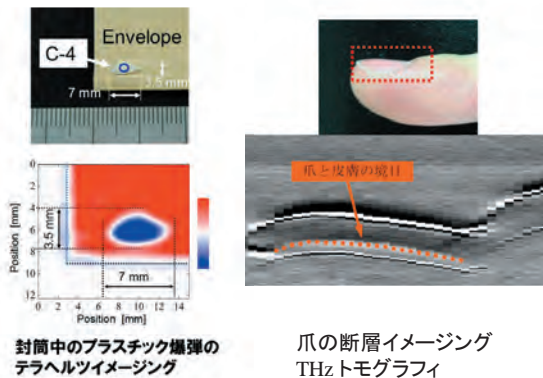
- 違法薬物の検査
- 爆発物検査
- ペットボトル中の液体検査
- 違法ガソリン取り締まり
- 偽札検査
- 煙中の透視(火事場での応用)
- 環境計測(排ガス、有毒ガス監視)

新機能光学素子の提案と開発

### 応用1 センシング・物質の同定・イメージング

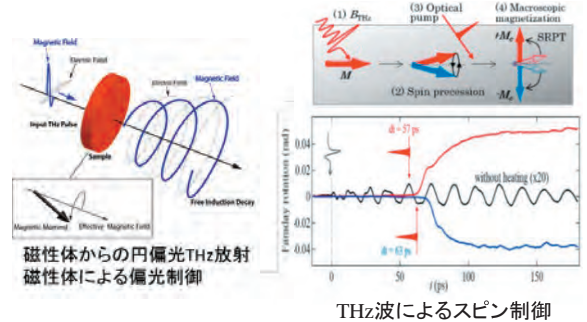
テラヘルツ波は高い透過性と直進性を併せ持つ新しい電磁波です。また、テラヘルツ領域および赤外領域は指紋領域と言われ、物質を同定する特徴的なスペクトルが現れることで知られています。

半導体におけるキャリア評価をはじめ、水分の検出、絶縁体薄膜・フィルムにおける厚み評価、劣化試験、危険物探知(セキュリティ)等への応用が期待されています。



### 応用2 テラヘルツスピントロニクス

テラヘルツ領域において、磁性体の利用が注目されています。磁性体を利用した偏光制御素子(ファラデー素子)やテラヘルツ発生・検出デバイスの開発を行っています。テラヘルツパルス照射により、スピン状態の超高速制御(右下図)が可能であることを明らかにしています。テラヘルツパルスによりスピンを利用した情報書き込み・読み込み技術をはじめとして、次世代高密度磁気記録デバイスに向けた新規磁気記録方式の提案・実証研究を行っています。



## 超広帯域フォトニクスグループ

# ワイドギャップ半導体の非接触キャリア特性評価 ～伝導特性の光学的評価～

Noncontact Evaluation of Conductivity properties for ultrawide-bandgap semiconductors  
by Terahertz spectroscopy

中嶋 誠 准教授

共同者: V. Agulto 特任助教、岩本敏志 招へい教授、加藤康作 特任研究員

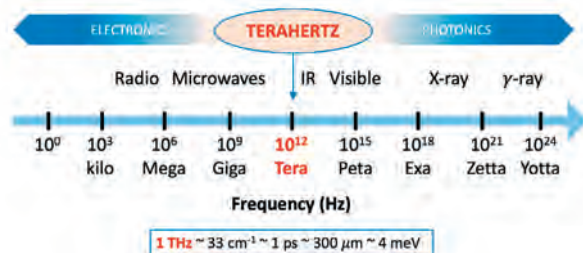
### テラヘルツ波による伝導特性評価

テラヘルツ波は波長(周波数)にして、3 mm (0.1 THz)から 30  $\mu\text{m}$  (10 THz) におよぶ電磁波です。この領域では自由キャリアの応答が現れるため、この成分を検出することにより、従来ので電気伝導特性計測とは異なり、電極不要で、非接触非破壊により、伝導特性を取得することが可能です。

現在半導体の伝導特性評価は、ホール測定やCV法によって行われていますが、これらの測定では電極の作製が必須になります。またHg電極の利用は水俣条約により、今後利用が困難になります。このような従来の手法と比べ、テラヘルツ波を用いることで、非接触で高い空間分解能での伝導特性の測定が可能になります。ワイドギャップ半導体として期待されているSiC, GaN,  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  等の試料においても確かな測定実績を持っています。

プレスリリース記事参照

[https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2021/20210126\\_3](https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2021/20210126_3)



Hall method	Capacitance-Voltage (CV) measurement	THz spectroscopy
Uses electrical contacts	Uses mercury (Hg) probe; Hg is toxic when handled incorrectly	All-optical method
Electrode deposition is time-consuming	No electrode deposition needed but probe is in contact with the sample	Noncontact; no electrode deposition needed; high throughput
Destructive method	Nondestructive	Nondestructive

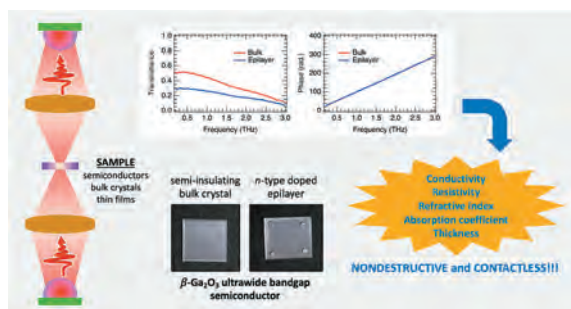
### 応用1

#### 薄膜試料評価・バルク材料評価 キャリア密度・移動度・厚み

ワイドギャップ半導体は、パワーデバイスや高周波デバイスとして高い性能を示し、注目を集めている。半導体材料の評価として、キャリア密度や移動度等の伝導特性の評価は非常に重要である。

テラヘルツ時間領域分光法(THz-TDS)は、新しい優れた手法であり、非接触・非破壊にて、テラヘルツ帯の屈折率・誘電率をはじめ、キャリア密度等の伝導特性を評価することが可能である。

下図は、エピタキシャル膜の $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ を評価したときのデータである。SiCやGaN等の評価も可能。



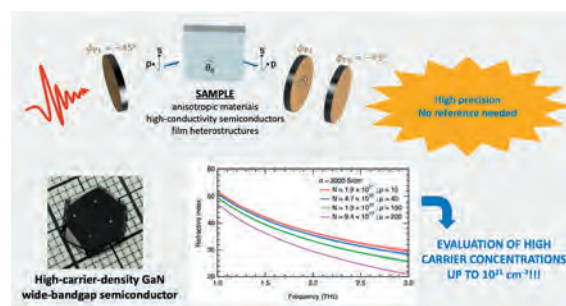
### 応用2

#### テラヘルツエリプソメトリによる 高キャリア濃度試料の評価

テラヘルツエリプソメトリは、入射するテラヘルツ波の偏光変化を解析することで、参照測定なしで、キャリア密度等の伝導特性を得ることが可能です。特定のポイントでの情報のみならず、空間分布測定などにも応用可能です。ワイドギャップ半導体 GaN においては、 $10^{15}\text{--}10^{21}\text{ cm}^{-3}$  の広い領域でのキャリア密度の評価が可能です。

プレスリリース記事 参照

[https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2021/20210915\\_2](https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2021/20210915_2)



グループHP  
キーワード

<https://www.ile.osaka-u.ac.jp/research/thz/>

ワイドギャップ半導体、エリプソメトリ、キャリア密度、移動度、散乱時間



# 可視光レーザー照射応用

Visible laser irradiation application

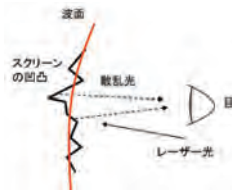
山本和久 特任教授

共同者: 石野正人特任教授、藤 寛特任教授、眞鍋由雄特任教授、藤岡加奈准教授、筑本知子教授

## 可視光半導体レーザー照射技術

可視光半導体レーザー応用は光ディスクが代表的な市場であったが、このところディスプレイ・照明分野への応用が巨大市場として大きく期待されている(右図参照)。照明や画像表示に対して障害となる、レーザー特有のスペックルノイズの制御、また応用に対する多種の課題解決を図っている。

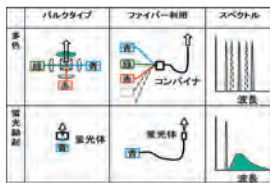
スペックルに関しては、低減を行う技術だけでなく、状態を可変し自由にコントロールをする技術を開発している。



	ユースケース① 走査型レーザー投射	ユースケース② 高輝度表示装置	ユースケース③ レーザー照明(応用)
内容	レーザー光の走査による投射映像表示	レーザーの高輝度性を活かし大画面映像化	必要部分のみ投射可能な照明、その応用
特長(優位性)	・高効率(省エネ) ・焦点深度 ・小型	・高効率(省エネ) ・高輝度 ・色再現性大	・高効率(省エネ) ・高輝度 ・デザイン性
代表応用例	・VR/AR ・ヘッドアップディスプレイ	・レーザーTV ・プロジェクタ	・業務用照明 ・レーザーヘッドライト
その他応用商品	・スマホからの投射 ・ポータブルパソコン ・携帯プロジェクタ	・デジタルシネマ ・プロジェクションマッピング ・スーパーハイビジョンTV ・デジタルサイネージ	・レーザー照明(ライティング) ・スポット照明(映像投射可能) ・レーザーイルミネーション ・レーザー植物工場
ねらい	TV・モニター不要へ	巨大化でも消費電力低減	必要などころのみ照らす

### 応用1 レーザーによる高輝度照明

レーザー照明には青色半導体レーザーで蛍光励起を行う方法、および蛍光を用いず多色レーザーで行う方法がある。どちらにも取り組んでおり、千ルーメン以上の高輝度白色光発生、低電力化を目指した遠方投射に成功している。



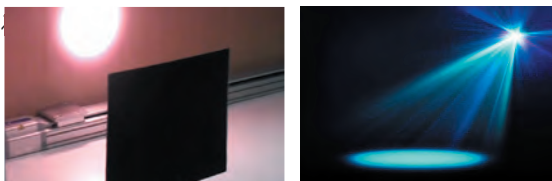
### 応用2 高画質レーザーディスプレイ

レーザー走査方式の携帯プロジェクタはLEDプロジェクタに比べ光利用効率が高い上に、光源を常時最大値で点灯する必要がなく低消費電力である。また、通常プロジェクタで必要な投射レンズが不要であり超小型化が容易であることも大きな特徴である。



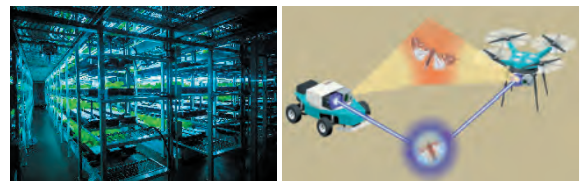
### 応用3 位置可変走査型レーザー照明

光走査型照明は、センサー連動で時間だけでなく場所的に明るさや色彩が可変できる照明である。必要な箇所のみ照射できるので超省エネであり、その高輝度・点光源性により、超小型レンズを用い損失なく集光・平行・発散ビームが自在に得られ



### 応用4 レーザーを用いたスマート農業

レーザー走査応用として、画像認識と走査型照射を組み合わせ、植物が存在する部分や成長させたい部分のみ照射することで省電力化が図れる。また害虫に対してレーザー照射を行う、雑草除去に応用するなど無農薬農業が実現できる。



グループHP <https://prcra.vlda-cons.org/>

キーワード 可視光レーザー、レーザー照射、照明、ディスプレイ、スマート農業



# スペックル制御技術

Speckle control technology

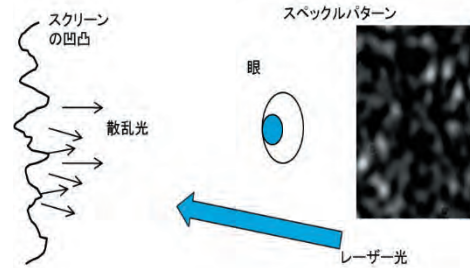
山本和久 特任教授

共同者: 石野正人特任教授、真鍋由雄特任教授、筑本知子教授

## スペックル制御

画像表示に対して大きな障害となるのがレーザー特有のスペックルノイズである。右図に示すように、コヒーレントなレーザー光がスクリーンの微小な凹凸の干渉によって斑点状の画像雑音を生じ、その大きさはスペックルコントラストCs(標準偏差/輝度空間平均値)で表される。スペックルノイズを低減するためにレーザー光源のスペクトル、光学系、スクリーンのそれぞれで対策が試みられている。

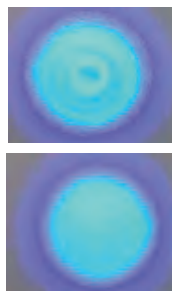
表にスペックルノイズ低減の主要な方式を示す。レーザー光源に対しては波長スペクトル幅を広げる、または複数の異なる波長の光源を組み合わせて多重化するという方法がある。半導体レーザーはもともと波長にばらつきがあるので、複数個用いることで効果が生じる。光学系での工夫としては、レーザー光源からのビームを時間毎に角度を変化させて出射させることが有効である。具体的な構成として、回転レンズアレイ光学系や拡散板揺動等の方法がある。またレーザーの偏光を直交する2つの偏光に分離しスクリーン上に到達させるという方法もある。一方、スクリーンを振動させることが簡便で効果が高いが、少し大がかりな振動機構が必要である。許容範囲(低減目標Csは4~10%。応用により異なる)以内にするために上述した各種方法を組み合わせる。



対策箇所	構成、方法
レーザースペクトル	多重化 複数の波長の異なるレーザーを使用。
	広幅化 波長スペクトルを拡大
光学系	角度多重 拡散板や位相板を振動(回転)
	偏光多重 偏光を水平、垂直に分離
スクリーン	振動 スクリーンを振動(回転)
	多重化 進行方向に散乱元を多重化する

### 応用1 レーザーディスプレイ画質改善

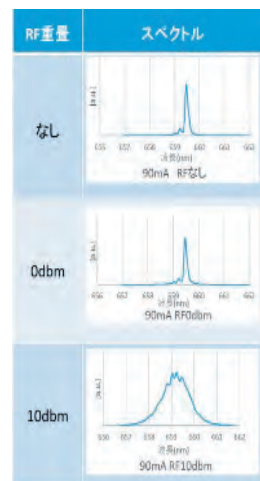
レーザーディスプレイにおいて、スペックルは解像度が悪くなったように見える。またレーザー照明においては、壁などに映るもやもやで気分が悪くなったりする。2次元画像デバイスのバックライトとしてレーザーを照射する方式ではレーザー光を拡散させるなどで比較的容易にスペックル低減が可能である。一方、レーザー走査方式のプロジェクトの場合はビームそのままを扱うので、低減手段が限られる。スペクトル拡大が有効であり、いくつかの方法を検証している。



スペックル大(上)  
低減後(下)

### 応用2 誘目性・視認性による注意喚起

スペックルは映像表示においては弊害であるが、注意喚起照射などで有効利用できる。ギラギラ感などはレーザーポインターでも実体験できるように人間の注意を引き付ける。特に自然光や室内照明がある状況においてスペックルコントラストの大きなレーザー照射は注意喚起に有効である。またレーザーのスペクトルの狭さは色純度が高く視認性を高めることができ、スペックルとの相乗効果を発揮できる。



半導体レーザーへの高周波重畳による発振スペクトル可変によるスペックル制御

グループHP <https://prcra.vlda-cons.org/>

キーワード レーザー、スペックル、画質、レーザーディスプレイ





# 高演色・高色再現レーザー照明

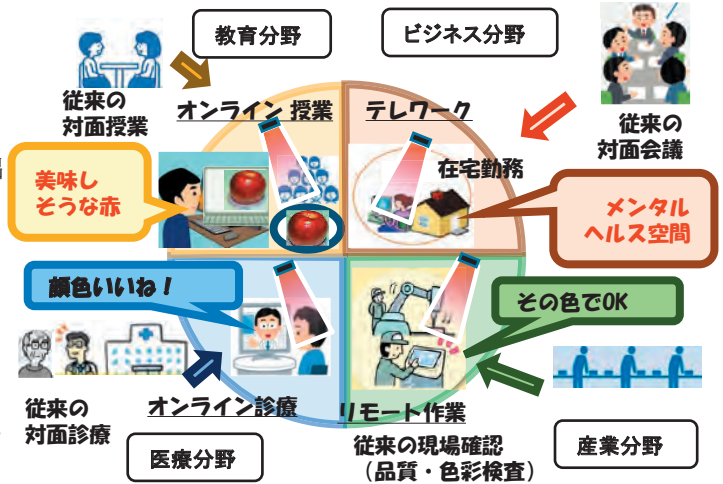
High Color Rendering Index, High Color Fidelity Laser Lighting System

眞鍋由雄 特任教授

共同者：筑本知子教授、山本和久特任教授

## オンラインでも同じ色で色鮮やかなレーザー照明

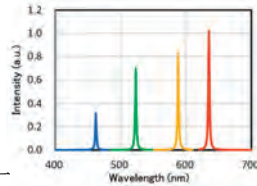
従来の高効率光源であるLEDに比べて、原理的に色温度を一定に保てるレーザー照明はその優れた特長により、リモート社会において遠隔距離通信でオンライン状況(在宅勤務、オンライン授業、オンライン診療、リモート作業)下で同じ色、色鮮やかな空間を演出できるので、LED照明との差別化が図れる。我々は、発光材料である活性層の半導体の混晶揺らぎがなく、レーザー単色性の特長を活かしたリモート社会を構築することを目指す。在宅勤務(演色性の高い照明空間で癒しを感じる)、オンライン授業(同じ色と高色彩での授業)、遠隔作業(同じ色で検証確認できる現場)、オンライン医療(同じ顔色で診察できる)となる高演色・高色再現を可能にしたレーザー照明装置の開発を企業と共同研究を通じて、リモート社会に貢献している。



リモート社会において構築されたレーザー照明社会

### 応用1 高演色高効率レーザー照明

レーザー照明の構成として様々な種類のレーザーや蛍光体などの光学系が提案されているが、ここでは青色、緑色、赤色のRGB系レーザーに黄色レーザーを加えた4元系の構成で、光源波長や光強度を演色性が最大となる組合せを、加法混色法の計算方法で求めた。3000から6500 Kの色温度範囲において、平均演色評価数( $R_a$ )と、赤色の演色評価数( $R_9$ )の演色性を80以上の照明装置を可能にした。上図は色温度5000 Kの4元系レーザーの構成における発光スペクトルを示す。



レーザー照明の発光スペクトル

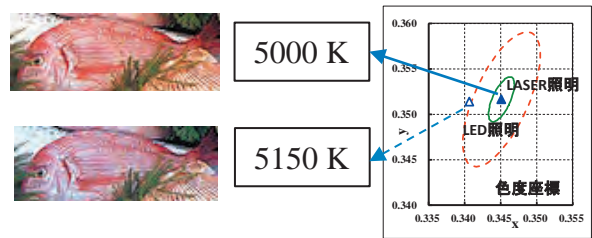
演色性は $R_a=85$ 、 $R_9=83$ の高演色照明である。下図は、レーザー照明とLED照明下でリンゴを撮影した。レーザー照明は $R_a=87.3$ 、 $R_9=95.9$ と高演色であった。

	レーザー照明	LED照明
リンゴ		
$R_a$	87.3	82.2
$R_9$	95.9	8.7

レーザー照明とLED照明の比較

### 応用2 高色再現レーザー照明

リモート社会において、遠隔地間で同じ色の対象物を見るためには、色再現精度の高い照明で見る必要がある。我々は、励起源(青色レーザーや青色LED)で黄色蛍光体を使って白色光を作成し、色再現できる照明装置を研究した。励起源を青色レーザーと青色LEDとし、色温度5000 K白色光源を作成した。これらの光源で鯛を撮影した結果、レーザー照明(左上図)とLED照明(左下図)とでは、明らかに色の違いがわかる。この結果を色度座標(右図)で表現すると、レーザー照明(図中心▲)で、LED照明(左の位置△)となる。LED照明の発光部の半導体活性層は混晶半導体であり、混晶揺らぎの為に、LED照明の色温度は、最大5150 Kまで色ずれが発生するが、レーザー照明下ではほとんど色ずれは生じず、実際の色とほぼ同じ色を見ることが出来る。



グループHP  
キーワード

<https://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/research01/mat/>  
レーザー照明、演色性、色再現



# レーザー超音波(音波)技術

Laser ultrasonics (sonics) techniques

染川智弘 招へい教授(レーザー技術総合研究所)  
 共同者: 倉橋慎理共同研究員(レーザー技術総合研究所)

## レーザーによるインフラ構造物の検査

高度成長期に建設された構造物の老朽化が大きな社会問題となっており、構造物の健全性を効率よく診断できる技術の開発が急務である。健全性の評価には打音検査法が主に用いられているが、当研究グループでは打音検査法に代わるレーザーを用いた検査方法の研究を進めている。

衝撃波励起用レーザーをコンクリート表面に照射して、表面を微小振動させる。その微小振動を検出用レーザー検出する。微小振動は健全部と欠陥部で振動モードが変化するので、このモードを解析することで欠陥を検出する。

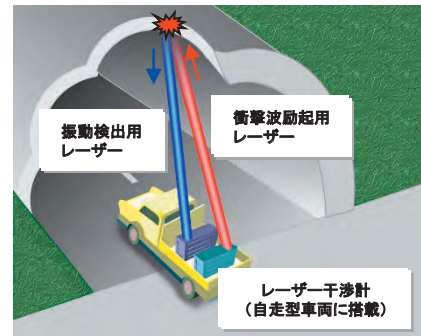


図. レーザーを用いたインフラ構造物の検査技術の原理

### 応用1 レーザーによるトンネル覆工コンクリート検査技術

山陽新幹線トンネル覆工コンクリートに、この技術を適用してコンクリート剥離等の欠陥検査の検証を行った。この技術は欠陥を検出するための十分な性能を有することを確認した。



図. レーザー検査法

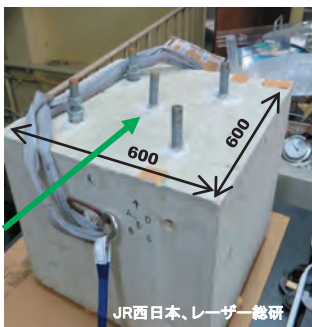
### 応用2 レーザーによる鋼板接着床版の浮き検査技術

この技術を使用して、高架橋の鋼板接着床版における鋼板とコンクリートとの剥離の検査を行った。その結果、十分な性能を有することを確認した。



図. 装置からレーザーを照射して鋼板の浮きを検査

### 応用3 レーザーによるケミカルアンカーの欠陥検査技術



コンクリート付帯のケミカルアンカーボルトの欠陥検査にレーザーを適用する可能性を見出した。この技術はトンネル内のさげづかや照明器具、配管などを固定するための一手法として期待できる。

図. ケミカルアンカーボルトのコンクリート供試体

### 応用4 レーザーによるひび割れ深さ計測

衝撃波励起用レーザーを照射して超音波をコンクリート内部に発生させて、超音波がひび割れを迂回して戻ってくる時間を計測することでひび割れ深さを評価する方法である。ひび割れ深さ100 mmまでの計測が可能である。

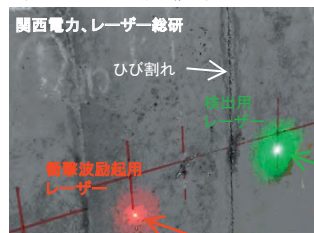


図. レーザーを用いたひび割れ深さ計測

グループHP <https://www.ilt.or.jp/>

キーワード レーザー打音・超音波探傷、非破壊検査



# レーザーリモートセンシング技術

Laser remote sensing

染川智弘 招へい教授(レーザー技術総合研究所)  
 共同者: 藤田雅之招へい教授(レーザー技術総合研究所)

## ライダーによる種々の環境計測を実施

ライダーはLight Detection And Ranging (LIDAR) の略語であり、ライダーの光源をラジオ波からレーザーに置き換えたリモートセンシング技術である。レーザーと測定対象の相互作用(ミー散乱、ラマン散乱、吸収等)やレーザーの特性(偏光、ドップラー効果など)を望遠鏡等の集光光学系を利用して観測することで、数kmに及ぶ測定対象の濃度、分布情報を取得することが可能であり、中国からの越境汚染が懸念されている黄砂、温室効果ガスであるCO<sub>2</sub>、局所的な豪雨(ゲリラ豪雨)予測に向けた水蒸気の観測など、様々な環境計測へ応用が可能である。

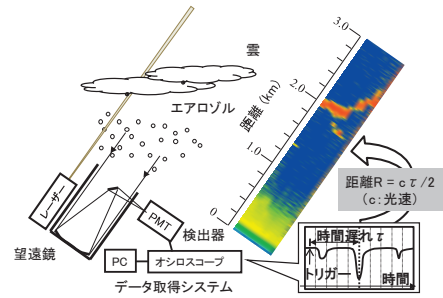


図. ライダーの原理

### 応用1 白色光ライダー

高強度フェムト秒レーザーをガス中に集光すると、非線形効果によって自己位相変調が誘起され、紫外から赤外におよぶ広帯域なスペクトルをもつ白色光が生成される。この白色光をライダー光源に用いる「白色光ライダー」では、これまで単色のレーザー光が複数台必要であった環境計測が一台の装置で実施可能になる。



図. 白色光ライダー

### 応用2 赤外ガス吸収計測

赤外域にはCO<sub>2</sub>やメタン、COといったガスの吸収ラインが多数存在しており、その吸収波長で共振するレーザーを用いて吸収計測を実施すれば、高精度に対象ガスの濃度評価が可能となる。

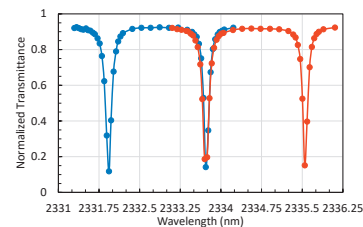


図. DFBレーザーを用いたCOの赤外吸収スペクトル

### 応用3 海中モニタリング

海底開発では資源探査手法の開発だけでなく、海底開発に伴う海洋生態系・環境への影響評価が必要であるため、広範囲にわたる領域を短時間でモニタリング可能な水中ガスラマンライダーによる海中モニタリング技術を開発している。



図. 石垣島近海における海上ラマンライダー試験の様子

### 応用4 ラマンライダーと微量成分分析

ラマンライダーでは、大気中の水蒸気の高度分布計測が可能となる。得られたデータを気象予測モデルに同化することによって、予測精度の向上が期待できる。また、ラマン分光法を用いると、水・油に溶存しているガスの微量成分分析も可能である。

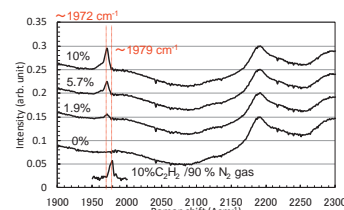


図. 絶縁油溶存アセチレンのラマンスペクトル

計測・イメージング・照明

グループHP <https://www.ilt.or.jp/>

キーワード ライダー、ラマン分光、赤外吸収計測



# パワーレーザーシステム工学グループ、パワーフォニクスグループ フェムト秒レーザーを用いたフラグメント フリーイオン化技術

Fragmentation-free ionization technology using femtosecond lasers

谷口誠治 招へい准教授(レーザー技術総合研究所)

共同者: 中島信昭特別研究員(レーザー技術総合研究所)、ハッ橋知幸教授(大阪公立大学)

## フェムト秒レーザーを用いた試料分子の定量評価

ダイオキシン類等の大分子量物質を質量分析計測を行うためには分子をフラグメント化させずに計測することが必要である。試料をイオン化させる方法は、試料の励起準位にレーザー波長を合わせた共鳴多光子イオン化法と、フェムト秒レーザーを用いた非共鳴多光子イオン化法に分けられる。共鳴多光子イオン化法のイオン化効率は励起準位の寿命に左右されるが、波長 $2\mu\text{m}$ 帯フェムト秒レーザーを用いた非共鳴多光子イオン化法ではその欠点がない、また、レーザーパルス幅が短く親イオンがフラグメント化する確率が小さいために、イオン化効率が高く極微量の試料が計測可能である。



図. 波長 $2\mu\text{m}$ 帯フェムト秒レーザー装置

## 応用1

### 波長 $2\mu\text{m}$ 帯フェムト秒レーザーによるダイオキシン類計測技術

ダイオキシン類は1980年代から国内で少しずつ広まり、テレビ報道などで取り上げられることにより、知られるようになり、1997-1999年にかけて異様な盛り上がりを見せた。現在では、大きな焼却施設を建設することによりダイオキシン類は減少傾向にあるが、ダイオキシン類は未だに土壌、河川、海水などにまだ多く含まれているのが現状である。

当研究グループは、波長 $2\mu\text{m}$ 帯フェムト秒レーザーを用いた非共鳴多光子イオン化法でダイオキシン類のイオン化を行い、そのイオンをTOF型質量分析器で計測を行った。図はポリ塩化ジベンゾダイオキシンを計測したTOF波形である。フラグメント化を起こさずに計測ができる。

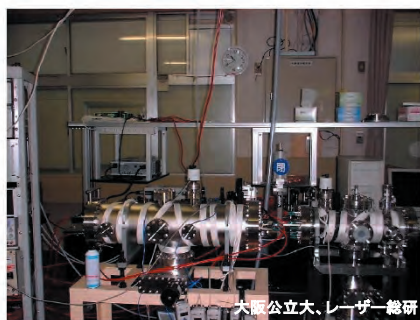


図. 質量分析装置

#### ポリ塩化ジベンゾダイオキシン

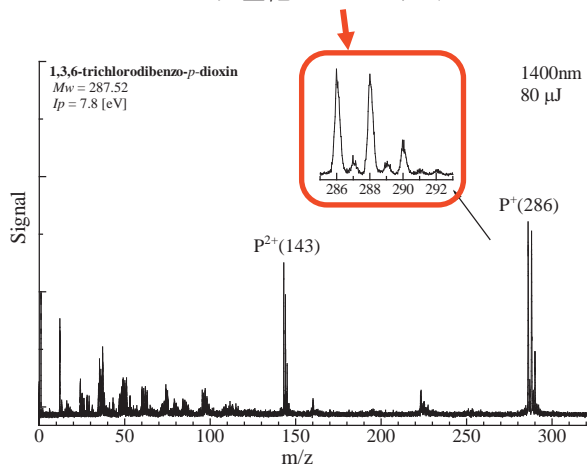


図. ポリ塩化ダイオキシンが検出されたTOF波形

グループHP <https://www.ilt.or.jp/>

キーワード femtosecond laser, TOF-mass spectroscopy, fragmentation-free ionization, dioxins



# レーザー中性子源による新しい非破壊検査技術 水素の可視化、元素ごとの温度を透過計測

Non-destructive Inspection by Laser-driven Neutrons

余語覚文 教授

共同者: 有川安信准教授、Alessio Morace助教、早川岳人招へい教授、三間園興招へい教授

## X線で見えない水素や元素の情報を瞬間分析

中性子は原子核を構成する、電荷を持たない粒子です。中性子はX線が苦手とするシリコンや金属に対する透過力が高く、深部まで透過できます。加えて、X線では見えない水素、水や有機物などを検出できます。しかし、中性子を得るには原子炉や加速器といった特別な施設が必要でした。そこで我々は、指先サイズで短パルス・高輝度の中性子フラッシュを発生できる「レーザー中性子源」を開発し、「いつでも・どこでも」利用できる中性子分析を実現しました。



### 応用1

## 橋梁・ビルなどの老朽化検査や 水素機器の開発・信頼性向上技術

レーザー中性子源を使えば、メートルサイズの厚い構造物に進入した水を透かして見ることができます。老朽化したインフラの補修の優先順位を非破壊で評価できます。また、X線と中性子のフラッシュを同時に発生できるので、有害物質の評価(図1は充電電池に含まれるカドミウムを検出)や、ステンレス配管中の水の検知に成功(図2)しています。燃料電池や水素エンジン、配管の内部の高圧水素を透過検出することも可能です。レーザー中性子源なら10万分の1秒で計測が完了するので、水素の動きを瞬間的に計測できます。カーボンニュートラル社会実現に不可欠な水素機器の開発・信頼性向上に役立ちます。

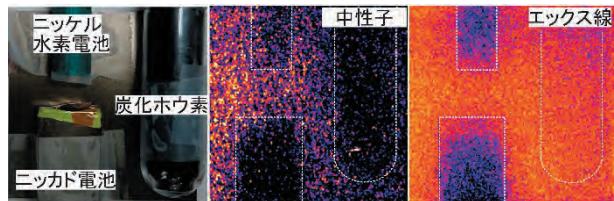


図1: レーザー中性子・X線同時撮像。中性子の透過率からニッカド電池内部のカドミウムの厚さを評価した。

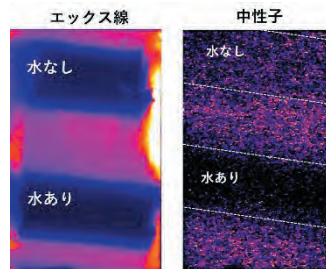
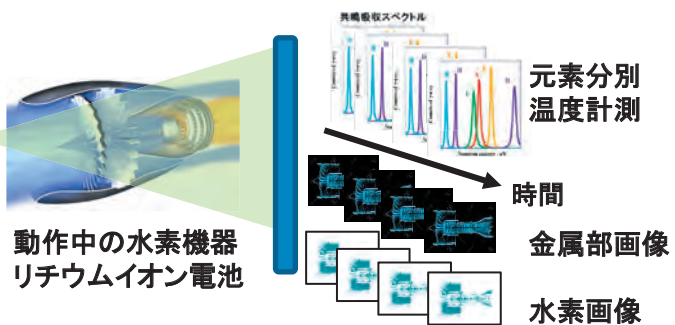


図2: ステンレス配管中の水の透過撮像。X線では配管の影だけが映り水の有無は分からないが、中性子では水のある方が影が濃く映るので判別できる。

### 応用2

## 元素を選別して温度を透過・瞬間計測: マルチパラメータ高速分析

中性子の吸収を計測することで、元素を選別してリモートで温度を計測することができます。例えば、リチウムイオン電池の場合、電極材料のみを選別して、温度変化を計測できます。電荷を持たない中性子は電気的影響が極めて少なく、充電・放電中に分析できます。これにより、破損・損傷する瞬間の様子をリアルタイムで計測することも可能になります。温度に加えて、材料ごとに選別した透過画像を同時計測できる、マルチパラメータ高速分析を実現します。



## 超高強度場科学グループ

# レーザーによる高輝度X線源 及び高速X線分光・イメージング技術

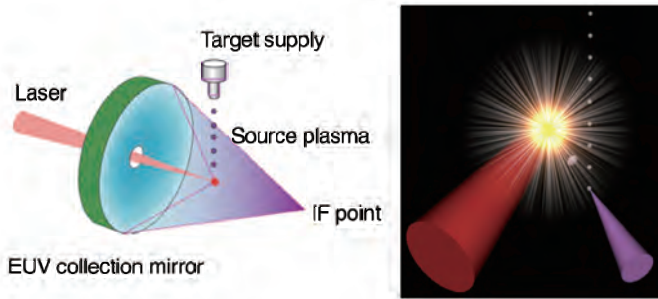
High-brightness X-ray source using lasers and high-speed X-ray spectroscopy and imaging technology

藤岡慎介 教授

西村博明教授(福井工大)、澤田寛准教授(米国ネバダ大学リノ校)、疇地宏名誉教授(大阪大学)  
西原功修名誉教授(大阪大学)、砂原淳研究員(米国パデュー大学)、難波慎一教授(広島大学)

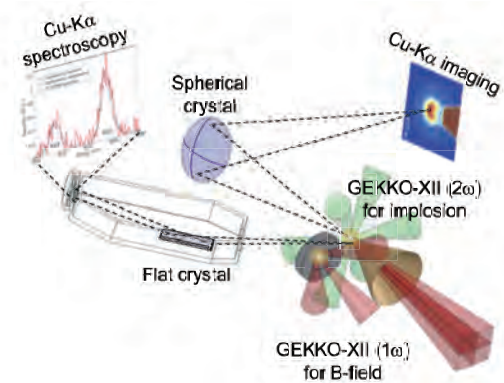
### レーザー生成プラズマ高輝度X線源

高強度レーザーによって生成されるプラズマからは、非常に明るいX線が放射されます。その明るさは星の明るさに匹敵するほどです。更に、X線の発光時間は、レーザーパルス幅とほぼ等しいため、極めて短時間だけ発光する「フラッシュX線」としても機能します。明るいX線を使って、レントゲン写真のように物体の瞬間を透視することや、物質を加工すること、更には星の研究をすることが可能になっています。



### 高速分光・イメージング技術

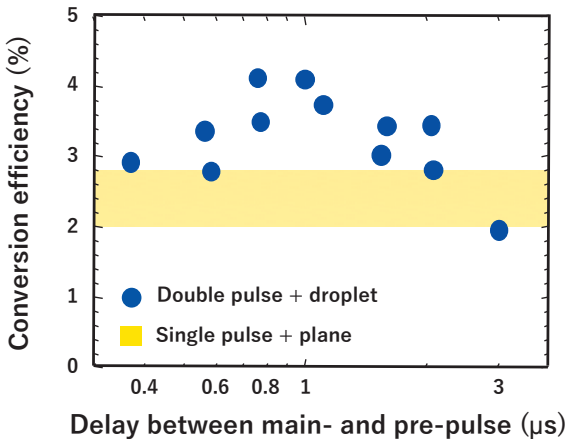
プラズマから放射される光は、プラズマの組成、温度、密度、速度など、様々な情報を運んでいます。プラズマから放出される光のスペクトルを観測すること、及び、プラズマ発光を撮像することは、プラズマを用いた応用研究において不可欠です。我々が有する、高速分光・高速イメージング技術は、様々な応用を支えるプラズマ診断技術として貢献できます。



#### 応用1

### 次世代半導体デバイス製造用 極端紫外光源

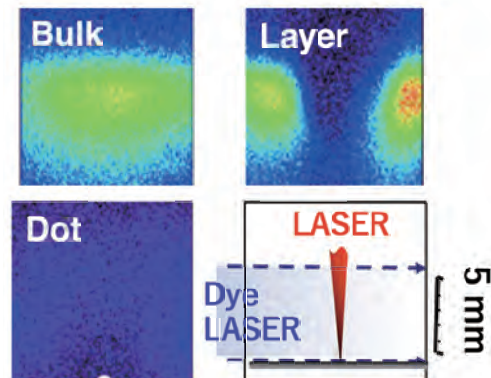
高出力レーザー照射によって、物体がプラズマ化する過程、そのプラズマが光を放出する過程を詳細に調べた結果、非常に効率的な極端紫外光源を作ることに成功しました。この技術は、次世代の半導体デバイスを製造するための新しい光源として利用されています。



#### 応用2

### レーザー誘起蛍光法による、 プラズマ中の中性粒子分布診断

プラズマの中には、少なからず、電離してない中性粒子が混じっています。プラズマを応用する観点では、中性粒子は、プラズマの温度が下げる効果に加えて、装置を汚すゴミにもなります。我々は、レーザー誘起蛍光法を用いることで、光を発しない中性粒子を可視化することに成功し、プラズマ光源の最適化に貢献しました。



グループHP

<https://lf-lab.net/>

キーワード

X線源、極端紫外光、イメージング



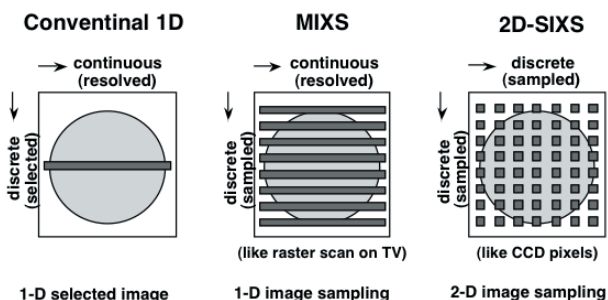
# 高精度X線画像計測法

High-precision X-ray image measurement technique

藤岡慎介 教授

## ストリークカメラにおける画像サンプリングの応用

2次元X線画像に対して1次元または2次元画像サンプリング技術を応用すると、本来1次元空間分解画像を時間分解撮影するX線ストリークカメラでも2次元時間分解画像を取得することが出来る。



## 軟X線全反射鏡

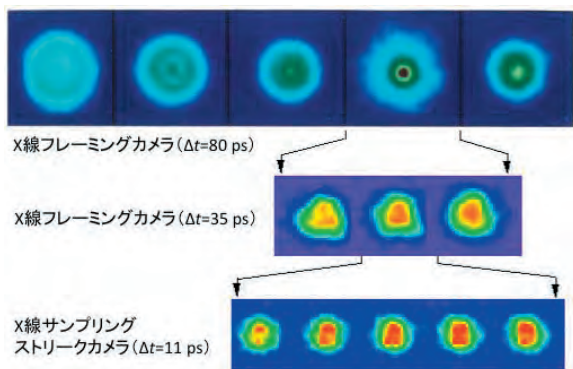
MeV領域の強烈なガンマ線バックグラウンドのある過酷環境においても、全反射X線反射鏡を導入すれば、keV領域の2次元軟X線画像撮影が可能になる。検出器としては時間分解ならX線フレーミングカメラ、時間積分ならイメージングプレートなどが使用出来る。



### 応用1

## 超高速X線被写体のフレーミング 2次元画像計測

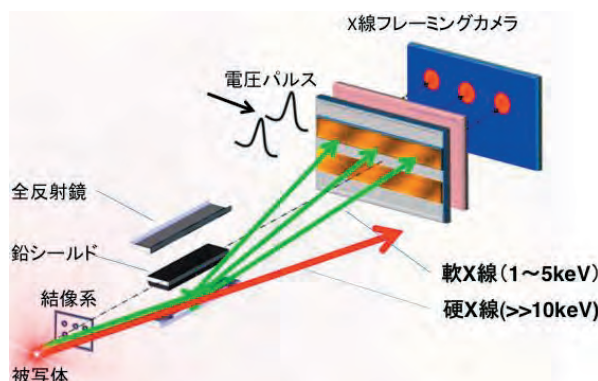
レーザー加熱生成プラズマのような、ピコ秒レベルで高速変化するX線光源の形状や運動を2次元画像として時間分解撮影することが出来る。下記の例はレーザー核融合プラズマの爆縮コアプラズマの時間分解画像。時間分解能は最速で2ピコ秒、フレーム数は最大100コマ程度まで可能である。



### 応用2

## ガンマ線過酷環境下のX線 フレーミング画像計測

X線全反射鏡をX線フレーミングカメラに結合することにより、硬X線・ガンマ線 ( $>10$  keV~MeV) 過酷環境下においても光源の軟X線 (1~5 keV) のみの時間分解画像を取得出来る。



グループHP <https://lf-lab.net/>

キーワード ストリークカメラ、フレーミングカメラ、X線



# ニュークリアフォトニクスグループ アバランシェ光増倍パネルによる モバイル放射線モニター

Mobile radiation monitor by using Avalanche photon intensifier panel

有川安信 准教授

共同者: 余語覚文教授、安部勇輝助教

## アバランシェフォトダイオードを用いた 高効率なイメージ増強パネル

放射線計測にかかせないシンチレーション発光を画像として撮影するためには、微弱な光を増倍する装置(イメージインテンシファイア)が必要である。従来のイメージインテンシファイアは高価で開口径にたいして装置が大型であり、高圧電源を必要としたためモバイル化が困難であった。我々はアバランシェフォトダイオードアレイ(MPPCとして市販)を多数ピクセル配列し、各ピクセルごとに発光LEDを結合させたデバイスを開発した(図1、図2)。本装置は量子効率(光を電子に変換する効率)が40%程度、光増倍率として $10^5$ と得られ、しかも高速応答である。57V程度の電源で駆動できるため、ボタン電池直列つなぎで動作でき、モバイル化が実現している。表1は従来のイメージインテンシファイアとの性能比較である。この装置は、中性子ラジオグラフのシンチレーター信号増強(1000倍向上)、医療用PET診断装置の超小型化、リアルタイム診断ができるようになる、赤外線や紫外線レーザー光や、微弱光の可視化様フォスファープレートとしてなど応用は多岐にわたる。

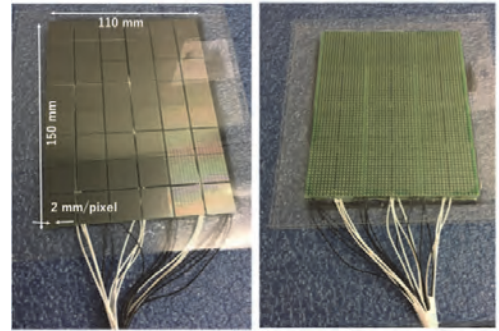


図1 アバランシェ光増倍パネル

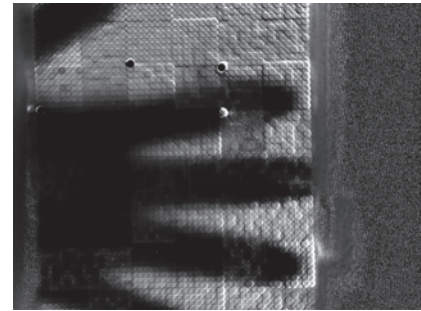


図2 アバランシェ光増倍パネルによる  
暗室内の微弱光による手の影

### 応用1 中性子ラジオグラフの超高感度化

中性子ラジオグラフはこれまでのX線撮影では透視できなかったような分厚いコンクリート内部などの検査が可能になる。中性子はX線に比べ発生が困難であり、さらに検出も困難であることから、測定装置の高感度が必須である。アバランシェ光増倍パネルを中性子シンチレーターアレイに接着することで、シンチレーション信号をおよそ $10^5$ 倍まで増強し、中性子1個の信号が得られるようになった。図3は密封放射線源からのガンマ線を、シンチレーターアレイとアバランシェパネルで増倍撮影し、CCDカメラで撮影した様子である。1個1個のガンマ線が容易に検出できるようになった

### 応用2 PET診断のモバイル化

現状の医療用PET装置の放射線計測部は大掛かりな装置である。シンチレーターとアバランシェ光増倍パネルを組み合わせれば、スマホサイズのデバイスでリアルタイムにガンマ線を検出できることから、PET診断のコンパクト化が期待される。



図3 本装置を用いた密封放射線源の観測の様子

グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/research01/np/>

キーワード 放射線、モバイル放射線診断装置



# 高速応答有機液体シンチレータ

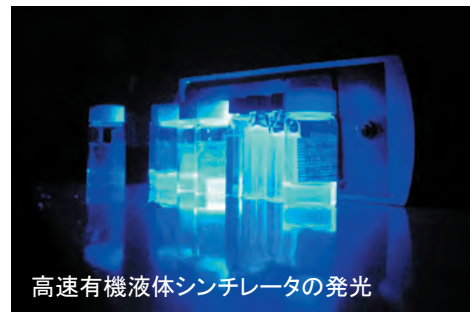
A fast-response organic liquid scintillator

安部勇輝 助教

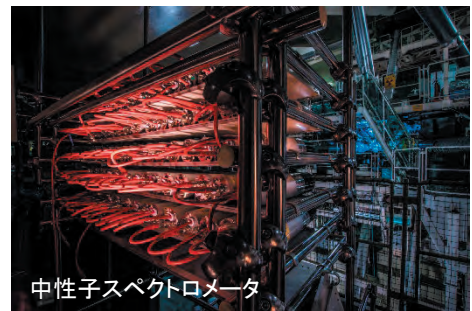
共同者: 中井光男招へい教授, 有川安信准教授

## サブナノ秒の発光寿命で中性子の時間分解イメージングを可能にする

シンチレータは $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 線等の放射線を紫外光や可視光に変換する物質であり、光電子増倍管やCCDといった光検出器と組み合わせることで医療・工業・高エネルギー粒子科学における様々な放射線検出に用いられる。中でも有機材料をベースとするシンチレータは中性子の検出に不可欠なものであり、Time-of-flight計測用の中性子検出器や中性子ラジオグラフィ用のイメージング素子として重要である。我々は、発光寿命の短い蛍光材料の開発や、酸素等の不純物の添加による発光寿命の短縮に成功し、サブナノ秒の時間応答を持つ高速有機液体シンチレータを開発した。シンチレータの応答が高速になることで、Time-of-flight計測における $\gamma$ 線と中性子の時間弁別が容易になる他、高精度な中性子スペクトル計測が可能になる。また液体ベースである為、シンチレータの大型化が容易であり、現実的な製造コストで受光面の大きなイメージング素子の設計が可能になる。これにより、X線・中性子ラジオグラフィによる大型構造物の非破壊検査や、高速で運動する物体や流体の可視化が可能になると期待される。



高速有機液体シンチレータの発光

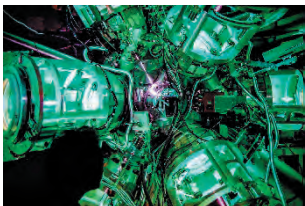


中性子スペクトロメータ

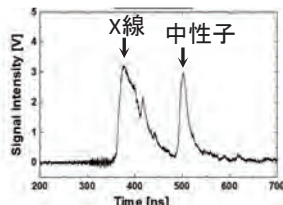
### 応用1

#### 高時間解放射線計測による ナノ秒スケールの物理現象の解明

本技術は高エネルギー粒子科学や核科学、核融合工学等の分野における放射線計測への応用が期待される。特に、粒子加速器や高強度レーザーを用いた核反応では、電子やX線、中性子など複数種の放射線が同時に生成する為、これらを飛行時間の差から弁別するTime-of-flight計測が重要である。我々の高速液体シンチレータは、これらの放射線計測において高精度な時間弁別を可能にする。特に中性子計測においては、たった数ナノ秒の飛行時間差から中性子のわずかなエネルギーの違いを検知し、高エネルギー粒子やプラズマの状態を解明することができるようになる。



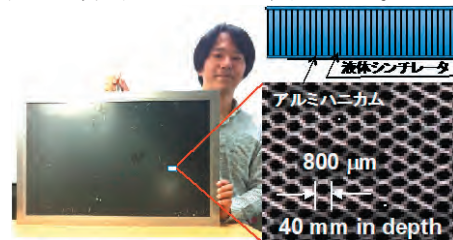
レーザープラズマ実験に於けるTime-of-flight計測



### 応用2

#### X線・中性子ラジオグラフィ用の 大型・高速イメージング素子

レントゲン検査をはじめ、X線ラジオグラフィは既に医療・工業分野で広く利用されているが、近年は有機材料や流体の観測に適した中性子ラジオグラフィの実用化が期待されており、そのイメージング素子の開発に注目が集まっている。本技術はX線と中性子の双方に検出能力をもつイメージング素子の開発を可能にするものであり、素子の大型化、高速化を容易にする。これにより、土木建造物の劣化試験やエンジンなどの高速運動体内部の観測、金属配管内を流れる流体の可視化などが可能になり、医療・工業・セキュリティ分野をはじめ、様々な分野での応用が期待される。



ハニカム構造のアルミ板を用いた中性子イメージング用の大型液体シンチレータピクセルアレイ

グループHP

<https://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/research02/kgp/>

キーワード

シンチレータ, 量子ビーム計測, 中性子イメージング



# 極限材料科学グループ 先端イメージング分光

Advanced Imaging Spectroscopy

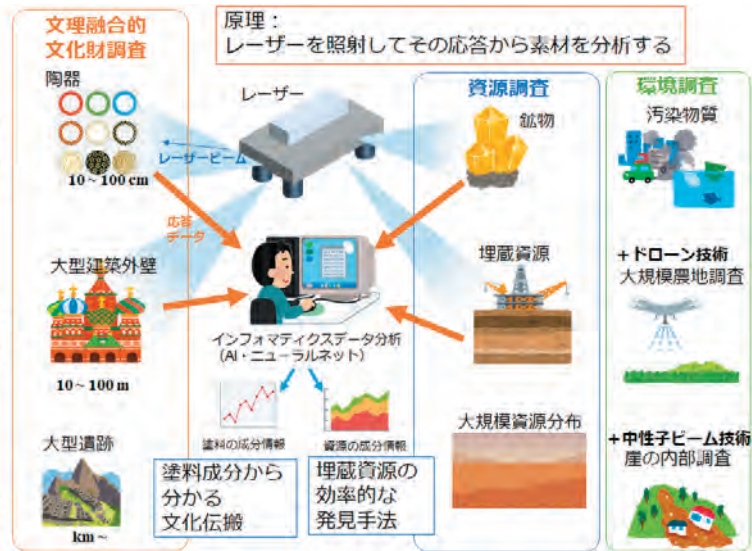
清水俊彦 准教授

共同者：猿倉信彦教授、山ノ井航平准教授

## 見えないものを見るために

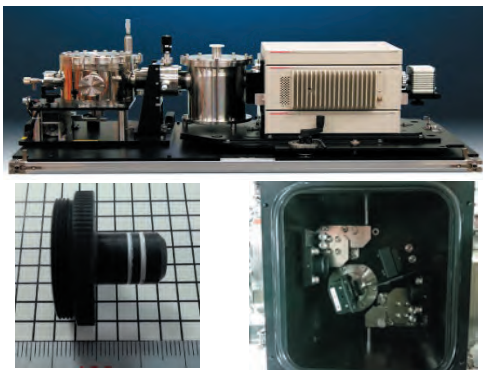
産業技術分野及びエネルギー・環境分野において、広い波長域で二次元的に解析する分光装置が望まれています。特に従来は困難であった中赤外光と深紫外光の領域で需要が高まっています。私たちは、赤外から深紫外光までの広い波長領域に対応するイメージング分光技術の研究を行っています。

可視光以外の領域では、透過率の問題から光学素子とすることができる材料がほとんどありませんでした。そこで、私たちは、可視光以外でも透明な材料や光学素子の研究に加え、それらを使用した分光装置の開発まで行っています。そして、それらの装置を使用し、学際融合的に環境・資源・文化財などの社会問題を解決する目的で分光計測を行っています。



### 応用1 分光装置開発

深紫外領域では、対応した光源と計測器が入手が難しいという点があります。本グループでは企業と協力し真空紫外まで対応した分光器・ストリークカメラシステムも開発しました。このため、深紫外光学材料の評価も効率的に行うことができます。さらに、近年のイメージング分光応用のため、フッ化物材料を組み合わせることにより深紫外域の色消しレンズを実現しました。このレンズを使用したイメージング分光器も作成しています。



### 応用2 文化財の分光

近年学際連携による研究が重視されており、なかでも文理融合は重要な課題となっています。私たちは、開発した装置を使用し、文化財の専門家と協力しながら、レーザー科学を応用した文化財分析を進めています。可視光だけでは塗料の素材や絵の下に隠された情報の取得が困難であるため、物質固有のデータを取得できる紫外から赤外までのイメージング分光が有効です。可視光以外の光を使用することで、見えなかったものが見えるようになります。



グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/research03/lam/>  
キーワード イメージング分光、異分野連携



# 発電をはるかに凌ぐレーザーフュージョンエネルギー開発

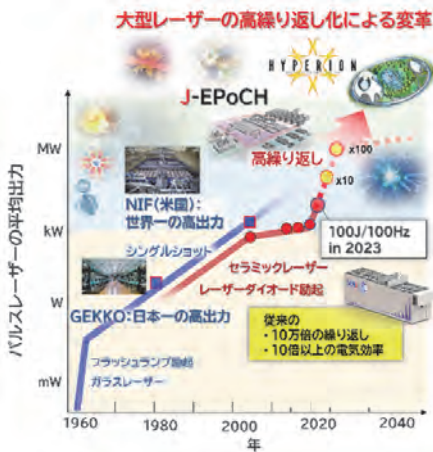
Laser fusion energy development far beyond power generation

兒玉 了祐 教授

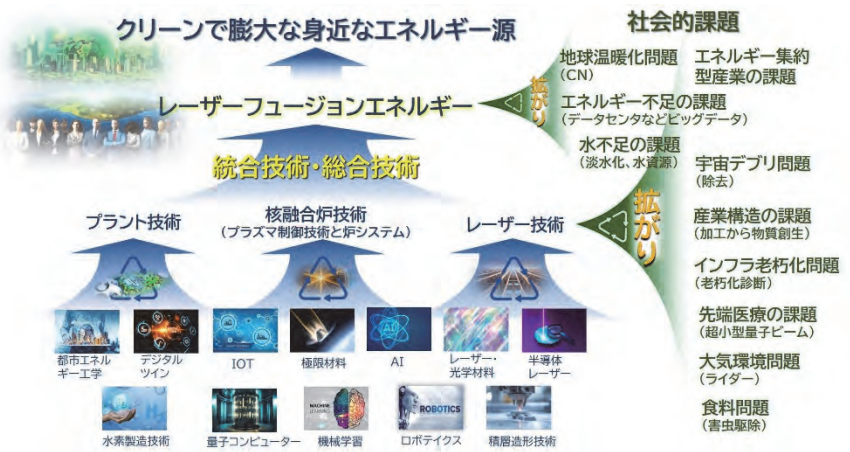
## 統合技術としてのレーザー核融合研究開発

2022年末、米国で人類史上初めて核融合の点火燃焼が実証された。レーザー核融合エネルギー実現へ向け、新たな局面を迎えようとしている。我が国が取り組んできた定常核融合炉に不可欠なメガワットレベルの「大出力の繰り返しレーザー」と「高利得核融合点火」の実現が求められている。

レーザー核融合は、最先端の革新的技術を結集してできる総合技術である。高繰り返しパワーレーザーの開発は、日本の競争力ある基盤技術と革新的な技術の統合により、メガワットクラスの高繰り返し高出力レーザーが、現実的となろうとしている。10kWのパルスレーザーの要素技術はできており、これを100台以上並べればメガワットクラスのパルスレーザーができる段階にきている。レーザー核融合は、レーザー技術だけでなくIOT,量子技術,水素取り扱い技術など多様な革新的技術を統合する必要がある、幅広く産業界の技術開発をけん引できる。また、開発される先端技術は、幅広い分野に役立つものが多く他分野への波及効果は絶大である。



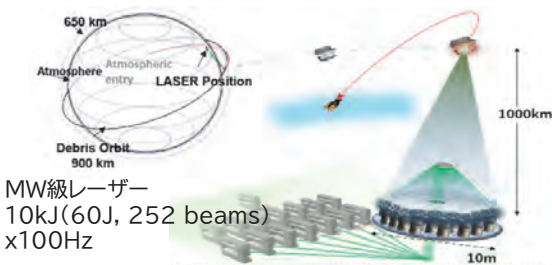
高平均出力レーザーの開発状況



レーザー核融合によってもたらされる日本の基盤技術と革新的技術の統合

### 応用1 地上から宇宙のゴミを掃除

宇宙のゴミといわれている宇宙デブリは、地上1000km上空に大量に発生している。その90% (50万個以上) は大きさが1cm~10cmで、処理の方法に目途が立っていない。これをレーザー核融合炉に必要なレーザーと制御技術を利用することで、ほとんどの宇宙ゴミ(90%)を地上から処理できる。

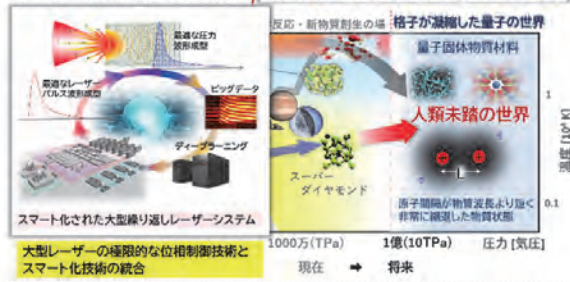


MW級レーザー  
10kJ(60J, 252 beams)  
x100Hz

### 応用2 第3の量子状態で新物質を創る

スマート化し究極的に制御された高繰り返しのパワーレーザーで、1億気圧の固体を創ることが可能になる。実現できれば、極小、極低温に次ぐ第3の量子の世界に人類は踏み込むことができる。

究極的なレーザー低エントロピー圧縮技術 第3の量子状態(超高压)を実現



エネルギー・その他

グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/index.html>

キーワード パワーレーザー、核融合、宇宙ゴミ、新物質



# レーザーフュージョンエネルギーによる水素製造

Hydrogen production with laser fusion energy

重森啓介 教授

共同者：岩本晃史准教授(核融合科学研究所)、長友英夫准教授、兒玉了祐教授

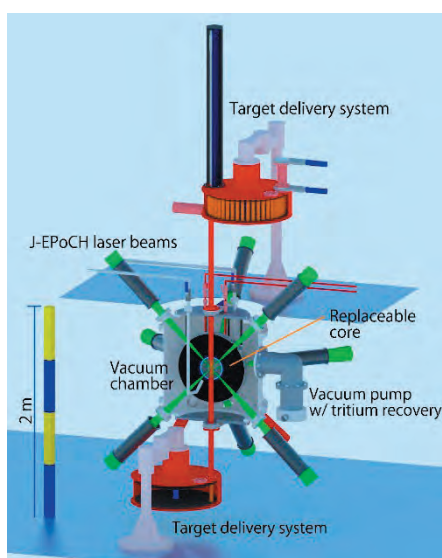
## レーザー核融合で発生する熱エネルギーを水素に変換する

レーザー核融合においては、核融合反応で得られる熱エネルギーを利用して「発電」を目指すのがレーザー核融合炉計画の基本路線として位置づけられています。一方でカーボンニュートラル実現の大きな柱として、水素をゼロエミッションエネルギーとして戦略的に利用する提案が数多く行われています。レーザー核融合炉においては、核融合反応によって発生する中性子の吸収により炉壁は1000℃以上の超高温状態となり、この熱エネルギーを水素製造へと応用することが可能です。

## HYPERION (HYdrogen production Plant with Energy Reactor of Inertial FusiON) 構想

レーザー核融合炉で得られる熱出力を活用し、水素製造を基軸とした開発構想を立案しています。この実現のために、まず高繰り返しメガワット級レーザー「J-EPoCH」において、エネルギー変換を主とした炉工学研究を行うための未臨界実験炉「L-Supreme」[1]を通して基盤技術の開発を行います(図1)。ここで得られる要素技術に関する知見を基に、水素製造に適した核融合炉の設計を行います。レーザー核融合炉は出力変動が比較的容易であるほか、装置全体の小型化も可能であることから、水素製造に適した熱エネルギー源といえます。

水素の製造は、核融合反応で得られる熱エネルギーによる高温状態下において、木材チップなどのバイオマスをガス化して水素を発生させる方法が考えられています。また、IS法と呼ばれる化学反応系を用いた水素製造法も検討されており、両者を軸としたレーザー核融合炉に適した設計を行います。このHYPERION装置のフェーズ1(水素製造試験装置)の建設は2040年を目途とし、コマーシャルベースのフェーズ2は2050年の完成を目指しています(図2)。究極のカーボンフリー水素製造法としてコスト評価を常に重視し、産業界と連携して開発をすすめます。



(図1) レーザー核融合未臨界実験炉「L-Supreme」[1]

(図2) HYPERION構想図

[1] A. Iwamoto, et al. High Energy Density Physics (2020).

グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/research03/lfs/>

キーワード フュージョンエネルギー、熱利用、核融合炉工学



# レーザー駆動による高強度電磁場発生

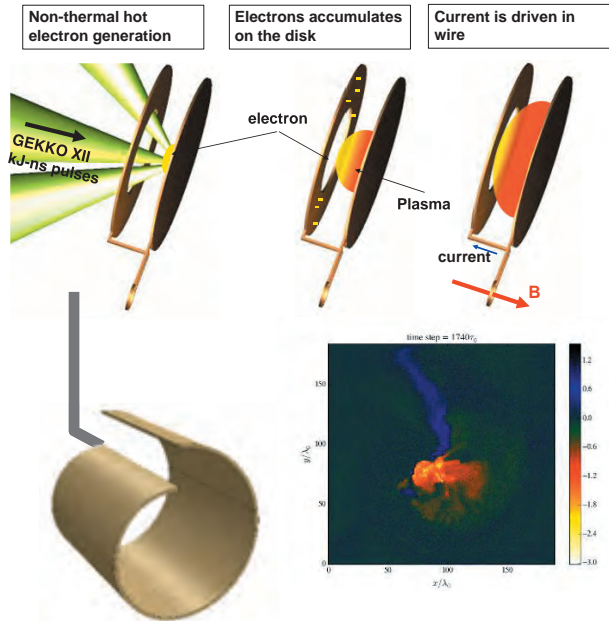
Laser-driven generation of high-intensity electromagnetic fields

藤岡慎介 教授

城崎知至教授(広島大学)、佐々木徹准教授(長岡技科大)、Joao Jorge Santos准教授(仏国ポルドー大学)、Philipp Korneev准教授(露国原子核工学大学)、John Moody博士(米国ローレンスリバモア研究所)、Alex Arefiev准教授(米国カリフォルニア大学サンディエゴ)

## レーザー駆動による超強電磁場の生成

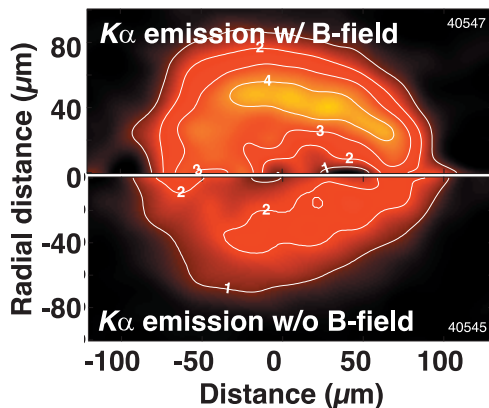
レーザー生成プラズマは、エネルギー変換体としての機能を有しています。例えば、高強度レーザーのエネルギーを高強度磁場のエネルギーに変換することが可能です。レーザー生成プラズマの形状は、プラズマ源であるターゲットの形状を反映するため、コイル型の形状をしたターゲットを、レーザーでプラズマ化し、そこに大電流を流すことで、強磁場を発生出来ます。ターゲットの形状を変えることで、様々な形状の電場や電磁パルスなども発生させることが可能です。



### 応用1

#### レーザー駆動量子ビームの高輝度化

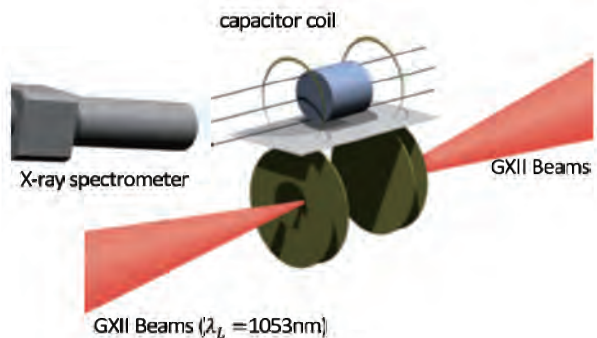
高強度レーザーで加速された量子(粒子)ビームは、極めて瞬間的ですが、従来の加速器を圧倒的に上回る大電流を有しており、高密度物質を瞬時に数千度以上に加熱させるなどの応用が可能です。高強度電磁場を活用することで、レーザー加速量子ビームを更に集光出来るようになり、ビームの高強度化が実現しました。



### 応用2

#### 超強磁場を用いた原子・分子のエネルギー準位の制御

原子や分子に外部から強磁場を加えることで、束縛電子のエネルギー状態を変化させることが出来ます。例えばゼーマン効果は、外部から磁場を、ローレンツ力によって電子軌道を変えることで起こります。強磁場を用いることで、原子及び分子からの発光線をシフトさせたり、発光する光の偏光を制御することが可能です。



エネルギー・その他

グループHP  
キーワード

<https://lf-lab.net>  
高強度電磁場、高強度レーザー



# レーザー駆動無衝突衝撃波によるイオン加速

Ion acceleration in a laser-driven collisionless shock

坂和洋一 准教授

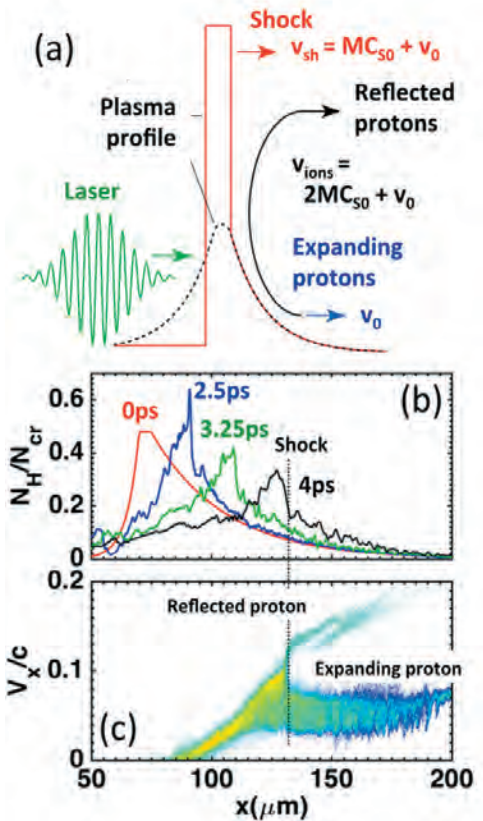
共同者: Alessio Morace 助教、福田祐仁 上席研究員(量子科学技術研究開発機構)、  
蔵満康浩 教授(大阪大学大学院工学研究科)

## レーザー駆動無衝突衝撃波によるイオン加速

宇宙から飛来する高エネルギー荷電粒子「宇宙線」の生成機構として最も有力な候補となっている「無衝突衝撃波加速」を、パワーレーザーを用いて地上で実現することによって、レーザー駆動イオン加速の医療・産業応用に必要な「準単色イオンビームの繰り返し生成」を実現することができる。

高強度レーザーを相対論的な臨界密度程度のプラズマに入射すると、レーザーの光圧がピストンとしてプラズマを押し、密度分布の急峻化と大きな静電ポテンシャル形成が起こり、無衝突衝撃波が生成される。この衝撃波の静電ポテンシャルが、速度  $v_0$  をもつ衝撃波上流イオンの運動エネルギーよりも大きければ、衝撃波が「壁」として作用し、イオンが反射(=加速)される。ここで、衝撃波速度  $v_{sh}$  が  $v_0$  よりも十分大きければ、反射イオンの速度は  $2v_{sh}$  ( $\gg v_0$ ) となり、準単色のイオンビームが得られる。イオンビームのエネルギーはレーザーエネルギーの増加に伴い大きくなる。

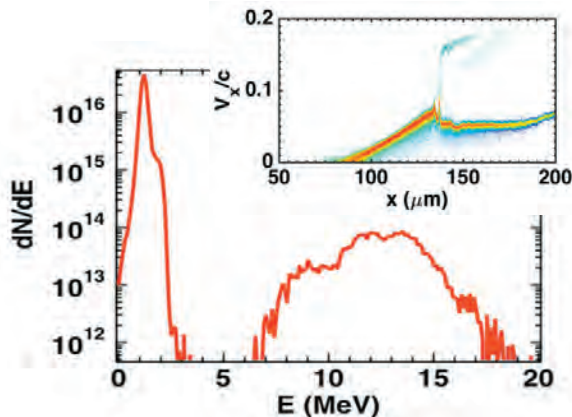
右図は、(a) レーザー駆動衝撃波イオン加速の概念図、(b) プロトン密度の時間発展と無衝突衝撃波の生成、(c) プロトンの phase-space と準単色プロトンの生成を示している。



### 応用1

#### 繰り返し生成準単色プロトンビームの医療・産業応用

ターゲットに高繰り返し動作可能な高密度水素ターゲットを用い、既存の高強度レーザー技術と組み合わせることによって、準単色プロトンビームの繰り返し発生が可能となる。

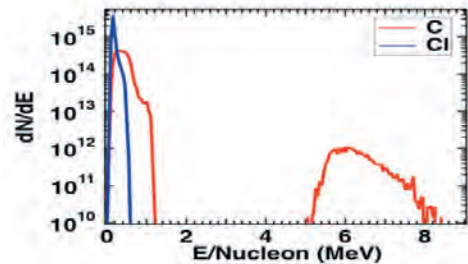


水素ターゲットによる準単色プロトンビーム生成

### 応用2

#### 準単色重イオンビームの医療・産業応用

ターゲットに加速したい重イオンと、より電荷/質量比 ( $Z/A$ ) が小さなイオンを含むターゲットを用いる事により、準単色重イオンビームを生成することができる。



$\text{CCl}_2$  ターゲットによる準単色カーボンビームの生成

グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/research/lap/index.html>

キーワード イオン加速、無衝突衝撃波



## レーザー誘雷技術

Laser-Guided Lightning

藤田雅之 招へい教授(レーザー技術総合研究所)

### レーザープラズマチャンネルを用いた 放電誘導技術

レーザーを大気中に集光照射すると高周波電界中の自由電子の加速による衝突電離により気体の絶縁破壊が生じる。この絶縁破壊はレーザー光の道筋に沿って生成されるためレーザープラズマはチャンネル状になる。プラズマチャンネルは導電率が大気に比べて大きいために放電はそこを通り放電をすることができる。

右図は3本のプラズマチャンネルを“Z”字型に配置して放電を誘導したときの写真である。このようにレーザープラズマは放電を曲げるなどの誘導が可能であることを示す。

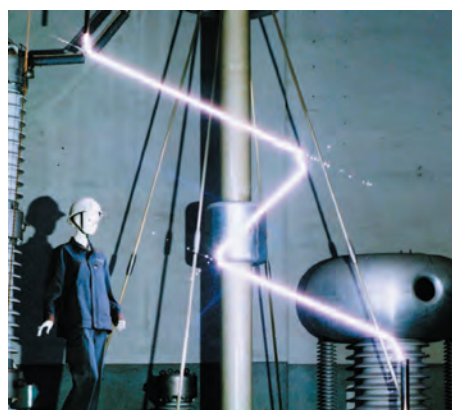


図. レーザープラズマチャンネルを用いた放電誘導

### 応用1

### レーザー誘雷技術

日本では、古くから怖い物の代名詞として「地震、雷、火事、親父」といわれてきた。現在では親父の威厳は低下したものの未だに地震、雷、火事は人々に恐れられている。特に、雷は年に数十人の死者を出しているほか、送電線には多大の影響を与える。わが国における送電線事故の2/3は落雷が原因となっている。近年のコンピュータ機器等の普及に伴い、停電事故の影響は広範囲に及ぶため、電力系統における雷害対策は年々その重要性を増している。この雷対策としてレーザー誘雷技術がある。誘雷塔先端からレーザープラズマチャンネルを生成することで瞬時に鉄塔の高さが高くなり周りのコロナシールドを突き破ることにより、雷を鉄塔から発生しやすくなる。当研究グループは福井県の嶽山に50 mの誘雷塔を設置して

レーザー誘雷の実験を行った。2 kJの炭酸ガスレーザーによって、誘雷塔先端から5 mのレーザープラズマを生成することにより図に示すような実雷を誘導することができた。

この技術は溶接などの放電ガイド等に用いることができる。



図. 誘雷塔

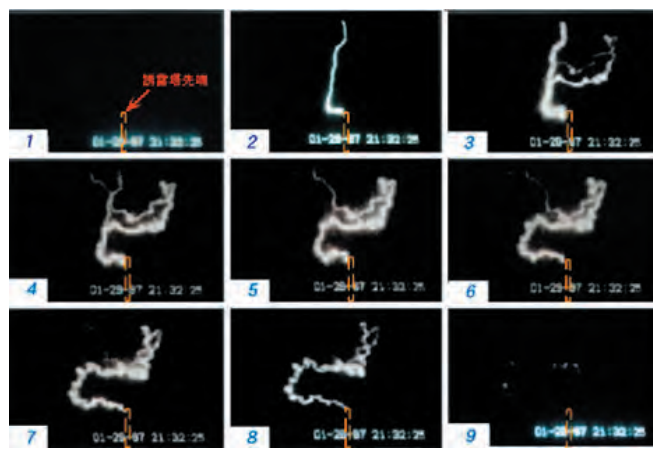


図. 誘雷塔に雷が落ちた瞬間

グループHP <https://www.ilt.or.jp/>

キーワード プラズマチャンネル、放電ガイド、レーザーアシスト放電



# マイクロチューブ爆縮によるメガテスラ磁場の生成 - 人類未踏の極限物理の解明とその応用開拓 -

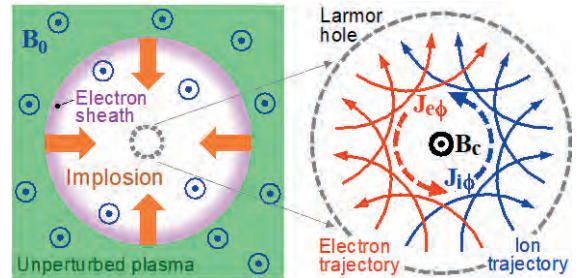
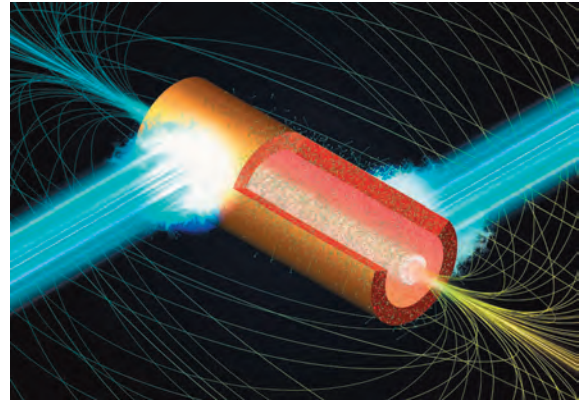
Generation of mega-tesla magnetic fields by microtube implosion

村上匡且 教授

## メガテスラ磁場を生成するための新たな原理

磁場は現代物理学における最も基本的な概念の一つであると同時に、常に科学技術の最先端を切り開いてきた物理要素でもあります。例えば、地磁気は0.3～0.5ガウス、磁気ネックレスは0.1テスラ(=1千ガウス)、病院で使われる磁気断層写真(MRI)では約1テスラ(=1万ガウス)の磁場が必要です。過去半世紀以上に渡って更なる磁場強度の増強に向け様々な方式が追求されてきましたが、これまで人類が地上で実現した最大の磁場強度は2～3キロテスラでありこの壁を未だ超えるに至っていません。

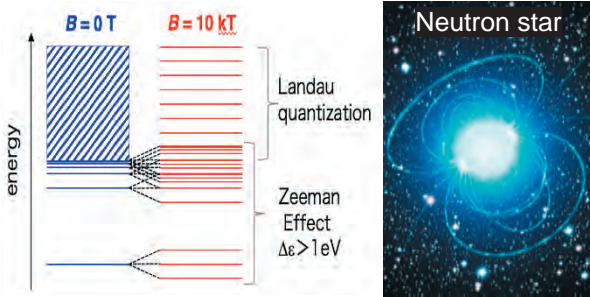
阪大レーザー研では、ミクロンサイズの中空円筒体に強力な超短パルスレーザーを照射することにより、キロテスラのさらに千倍強力なメガテスラの極超高磁場を生成させる新たな物理機構を世界で初めて提唱し、スーパーコンピューターを使った数値実験での原理実証に成功しました。種磁場があると、爆縮するイオン・電子は、ローレンツ力により右図のように各々が逆方向の偏向を受け、中心部で半時計方向の強力なスピンの電流を形成します。電子とイオンは互いに逆符号の電荷を持つため、結局、イオンと電子が「協働」して種磁場を増幅する形で超高強磁場を生成します。その増幅率は数百倍から千倍程度に達し、中心軸上でメガテスラのオーダーとなります。



### 応用1

## 原子物理や宇宙物理など高エネルギー密度物理における学術的応用

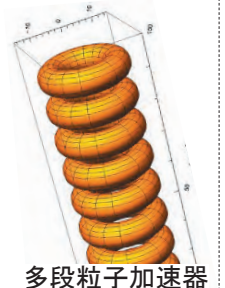
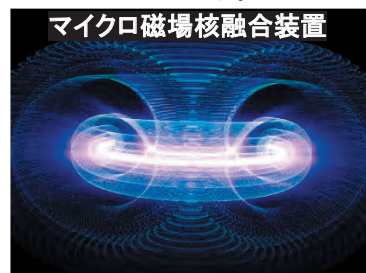
メガテスラという極超高強磁場に関して今回提唱された物理機構に基づき、今後、これまで議論の俎上にさえ載らなかったような量子電磁力学(QED)効果や極限パラメータ下での物性研究、さらには中性子星やブラックホール近傍において予測されているメガテスラ磁場に関連した宇宙物理など、未踏の研究領域に対する実験室での能動的な基礎研究が展開できることになり、基礎科学に対する大きなインパクトが見込まれます。



### 応用2

## 超コンパクトな磁場閉じ込め核融合装置や粒子加速器への応用

ギガガウスからメガテスラといった極超高磁場の下では、荷電粒子のラーマー半径はミクロンスケールとなり、極めて小さな空間内に相対的に長い時間、プラズマを閉じ込めることが可能になります。これを利用した超コンパクトなレーザー駆動磁場閉じ込め核融合装置への応用を考えることができます。さらには、トーラス状のユニットを多数連結することにより電磁相互作用を利用してミクロスケールの線型粒子加速器を構築することも可能となります。



グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/research/csn/>

キーワード マイクロチューブ、メガテスラ磁場、核融合応用



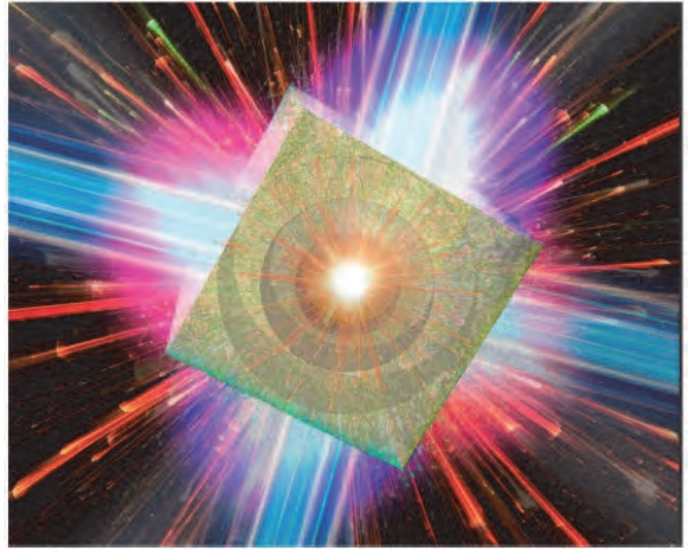
# マイクロバブル爆縮による極超高電場生成 - 超高密度エネルギー場生成を生かした基礎&応用研究 -

Generation of ultrahigh electric-fields by microbubble implosion

村上匡且 教授

## 新たな粒子加速機構

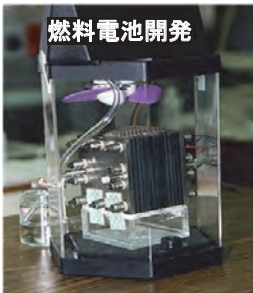
ミクロンサイズのパブル(球状の空洞)を内包する水素化合物の外側から超高強度レーザーを照射すると、パブルが原子サイズにまで収縮した瞬間に超高エネルギーの水素イオン(プロトン)が放射される「マイクロバブル爆縮」という全く新しい粒子加速機構が発見された。この機構では、千億度という超高温の電子がパブル内に充満することで生じた強力なマイナスの静電気力により、正電荷を持つイオンがパブル中心に向かって球対称に加速される。球中心という一種の特異点に無数のイオンが高速で加速し激突する結果、わずかに原子数十個を直列にした程度のナノスケールの極小空間内で、固体密度の数十万~百万倍という白色矮星内部にも匹敵する高密度圧縮<sup>※2</sup>が原理的に可能となる。本研究成果により、星の内部や宇宙を飛び交う高エネルギー粒子の起源といった長大な時空スケールにおける未解明の宇宙物理の解明に貢献するだけでなく、将来的には核融合反応によるコンパクトな中性子線源等として医療・産業への応用研究にも貢献することが期待される。



### 応用1

## 全く新たなTHz源から、プロトントモグラフィー、γ線レンズまで

パブルサイズをコントロールすることにより、発生するプロトンビームのエネルギーを調整することができる。さらに、バブル爆縮で得られる高エネルギーのプロトンリチウムやベリリウムに照射することでコンパクトな中性子源としても期待することができる。こうして得られるプロトンや中性子は、多種多様な産業応用、例えば燃料電池開発におけるプロトントモグラフィーとして、あるいは様々な機器や構造物に対する非破壊検査等としても使うことができる。また数百MeVというエネルギープロトンを使えば癌治療も応用対象となる。さらに、シュウィンガー電界の約1%の超高電場生成可能なバブル爆縮を使えばγ線レンズの開発も見込まれる。バブル爆縮の最大圧縮時に放射される電磁波はテラヘルツ帯に対応することから、コンパクトかつ高効率THz光源開発も可能である。

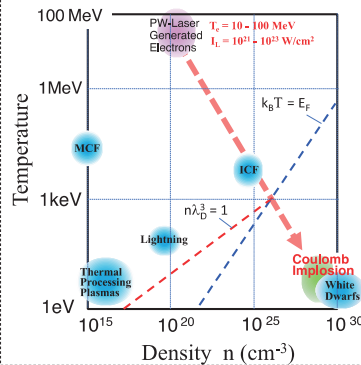


燃料電池開発

### 応用2

## 新物質創生のための全く新たなツールとして

バブル爆縮の現象を使うと、角砂糖大の重さが100kg以上という、白色矮星内部に匹敵する前人未踏の超高密度にまで物質を圧縮することが原理的に可能となる。このような超高密度を地上で実現し得る方法は現在のところマイクロバブル爆縮以外にない。そのインパクトは、単に基礎物理分野に止まらず、例えば、新しい材料機能を持つ人工ダイヤモンド開発といった新物質創生への展開が期待される。



新しい材料機能を持つ物質創生の可能性

エネルギー・その他

グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/research/csn/>

キーワード マイクロバブル、超高強度レーザー、シュウィンガー極限



# ナノサイズの水クラスター・クーロン爆発とその応用

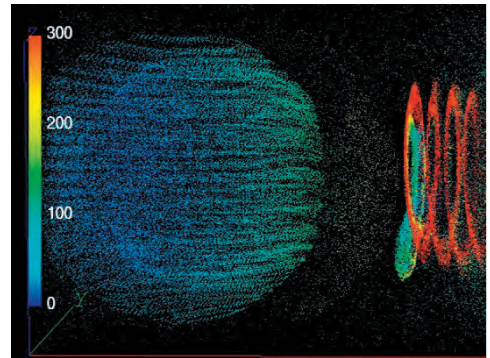
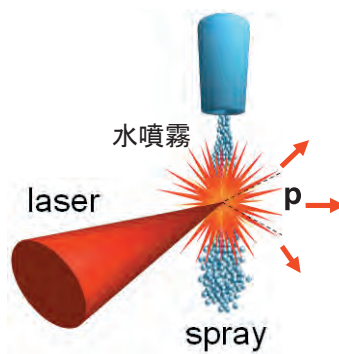
## — デブリフリーのコンパクト中性子源開発 —

Coulomb explosion of nano-water-cluster and application

村上匡且 教授

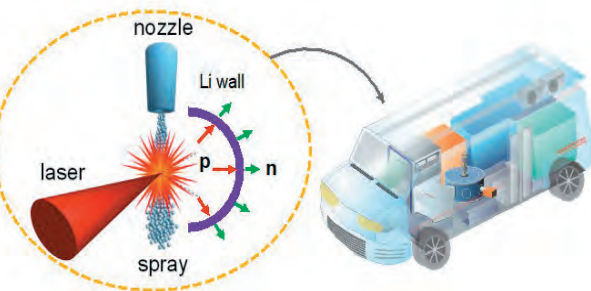
### 水クラスターを使ったクーロン爆発

ナノスケールの水分子クラスターをノズル先端から噴霧し、これを超短・超高強度レーザーで照射すると(下図左)、まず電子が瞬時に遠方に吹き飛ばされ、残された正電荷を持つ酸素イオンと水素イオン(プロトン)が、ほぼ球対称に加速される。これがクーロン爆発と呼ばれるものである(下図右)。最近の理論およびシミュレーションの研究から、2種イオンの混合した固体でのクーロン爆発を考えると、軽い方のイオン(今の場合プロトン)が最もエネルギー効率の高い状態で加速される条件は、イオンの質量数と電離度の組み合わせから決定され、水分子は理論的な最適解に近いクーロン爆発を起こすことが見出された。実際に、100 - 200ナノメートルの直径の水クラスター噴霧に超高強度レーザーを照射したところ、1.5MeVにエネルギーピークを持つ準単色のプロトンビームが初めて観測された。理論的には、吸収エネルギーからプロトンに分配されるエネルギー効率は20~30%と極めて高い。加えてエネルギー幅はピークエネルギーのわずか10%以下に抑えられる。こうして、水滴のサイズとレーザー強度を調整することでデブリフリーのプロトン源システムを構築することが可能となる。



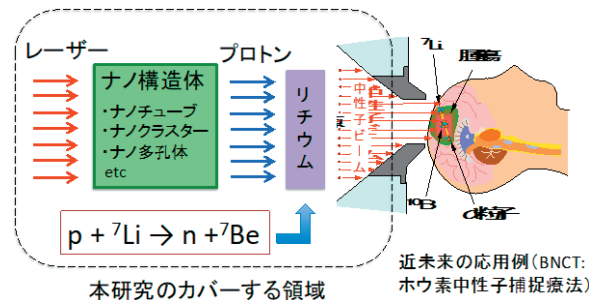
#### 応用1 コンパクトなレーザー中性子源の開発

上記のような手法で水クラスターから得られるMeVクラスのエネルギーを持つプロトン源はエネルギー効率は高いが、球状にプロトンが放射されるため指向性の観点において効率に問題がある。しかし、下図のようにプロトン源の周りにリチウムやベリリウムを配置することで、核反応により中性子を生成することが可能であり、原子炉で得られる中性子に比べるとずっと低いエネルギーでコンパクトな中性子源として開発すれば様々な応用に供することが期待される。



#### 応用2 BNCTなど医療応用のための中性子源として

左記のように、水分子のサイズを調整することで、必要なエネルギー帯のプロトンが得られ、これを使ってリチウムに照射すると、吸熱反応であることから、数百keV程度の中性子束を得ることができる。これらのエネルギーは比較的程エネルギーであることから、必要とされるモデレーターの厚みは高々数cm程度に収めることができ、将来的には携帯用レーザー生成中性子源として様々な用途に使うことが期待される。下図は医療応用の一例である。



グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/research/csn/>

キーワード クーロン爆発、水クラスター、理工応用



# 超短・超高強度レーザーとナノ構造体との相互作用

## － 高品質プロトンビームの生成と各種応用 －

Interaction between ultra-intense lasers and nano-structures

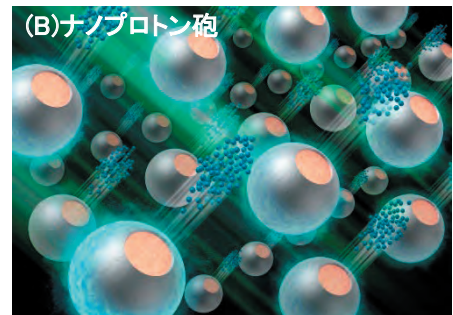
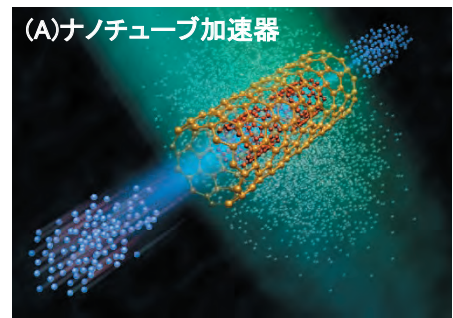
村上匡且 教授

### ナノスケール構造の最適化

超高強度のフェムト秒レーザーを物質に照射すると、瞬時に電子の大半が遠方に吹き飛ばされ、残された正電荷の塊がクーロン反発力で四方に飛散するのがクーロン爆発であるが、特殊な幾何学構造をナノスケールの物質に持たせることにより、レーザーとの相互作用の結果として得られる加速されたイオンに「指向性」と「単色性」を持たせることが可能となる。これによって、様々な分野への応用を考えることができる。

図(A)「ナノチューブ加速器」はカーボンナノチューブをベースとしており、チューブ内に水素化合物を充填したものである。長さ50マイクロン、直径15マイクロンという微細構造に対する3次元シミュレーションによると、数MeVクラスのエネルギーを持った準単色のプロトンビームが得られることがわかっている。

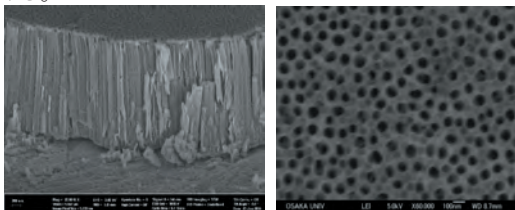
一方、図(B)「ナノプロトン砲」は、中空のナノスケール球殻の一部に射出口を持たせたナノ構造体であり、この構造を使うことにより、内部に充填された水素化合物のプロトン成分が指向性を持ってビーム状に加速されることがわかっている。加速されるプロトンを全体的にビームとして得るためには、(A)の場合はナノチューブ軸の方向を、(B)の場合はナノ球の射出口の方向を、統一配向させて製作する必要がある。したがって今後、こうしたナノ構造体の現実的応用を図る場合は、高精度のナノファブリケーション技術の発展・向上が欠かせない。



#### 応用1

### プロトンビームを使った微細加工 や描画技術の産業応用

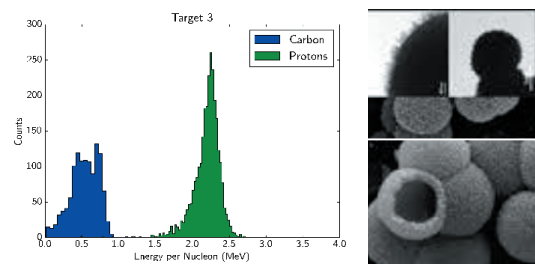
上記のような機構で得られるプロトンビームは出力は低いが指向性・単色性の高いビームパフォーマンスが期待されることから、微細加工やプロトンビーム描画、さらにはプローブとしての応用を考えることができる。ビームの発生・制御に対する技術開発は今後の課題である。下図に示したのは、ナノチューブ加速器の基礎実験に用いた結晶化二酸化チタンを使った中空チューブの集合体ターゲットである。内径100nm、外径150nm、軸方向長さ2マイクロンである。それらのチューブが載っている基盤も同材質であるが、近未来的には、材質やナノチューブパラメータなどを振ってプロトンビーム生成に対する最適化を進める必要がある。



#### 応用2

### 中性子捕捉癌治療など医療応用のための中性子源としての

数十フェムト秒のパルス幅を持つ高強度レーザーを100ナノメートル程度の中空殻構造を持つプラスチック(炭素+水素)に照射すると、吸収されたレーザーエネルギーから最終的なプロトンへのエネルギー変換効率は30%にもおよび、且つ、準単色のエネルギースペクトルを持つことがわかっている(下左図)。こうして得られるMeVのエネルギーを持ったプロトンをリチウムやベリリウムに照射すると減速材も少なくコンパクトな中性子源の開発を視野に入れることができる。最新のナノテクを導入することでさらなる高効率化を図ることができる。



グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/research/csn/>

キーワード ナノ構造体、レーザー、相互作用、理工応用



# 多次元効果による超高压・超高密衝撃圧縮

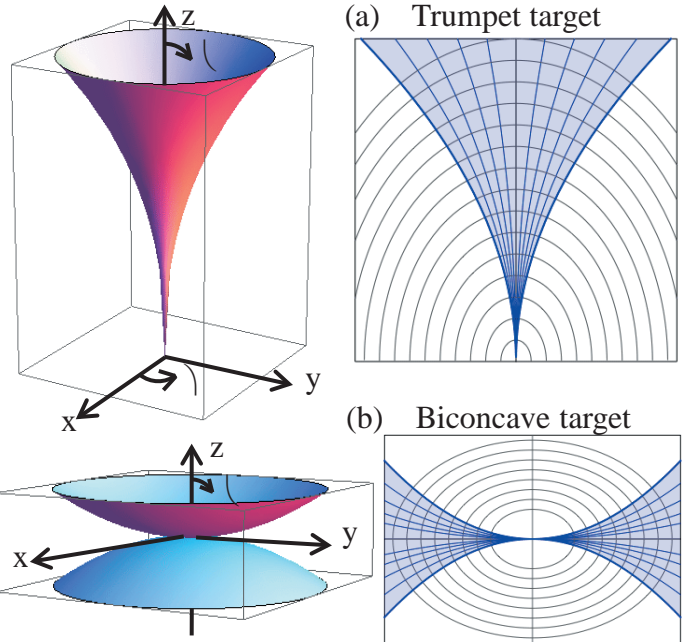
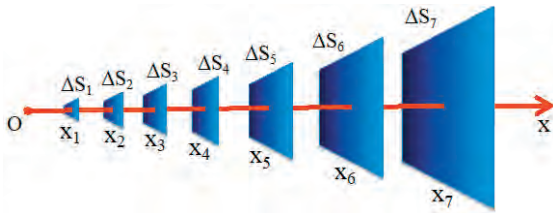
## — 未踏の密度vs圧力経路を使った物性研究と材料開発 —

Ultrahigh compression of matter in use of multi-dimensional shock-compression effect

村上匡且 教授

### 曲率制御された衝撃波圧縮

衝撃波の通過によって媒質は圧縮され、その密度圧縮率は幾何形状に強く依存する。平板(1次元)、円筒(2次元)、球(3次元)の順で圧縮密度は高くなってゆくことはよく知られた事実である。では球幾何における圧縮密度が最高かというとは実はそうではない。衝撃波が伝播する媒質の幾何形状を制御することで、流体が「仮想的に3次元以上の多次元媒質中にある」かのように振る舞う圧縮を実現することができる(特許第5846578号)。加えて衝撃波でありながら「等エントロピー圧縮」のレベルが格段に高いために、通常の衝撃圧縮に比べ、高圧力と高密度の双方を同時に達成することが可能となる。



#### 応用1

### 第三の点火方式「衝撃点火」によるコンパクトレーザー核融合

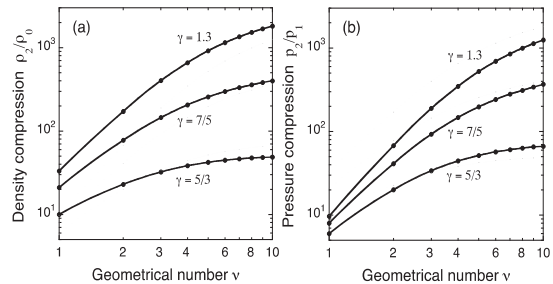
2014年、「地上におけるプロジェクトイルの最高速度」として秒速1000kmを実験で実証した(ギネス世界一認定)。さらに、漏斗状の中空構造に装填された微小なDT燃料片を超高速に加速し主燃料DTプラズマと激突させる「衝撃点火」方式が提案され(特許第4081029号)将来のコンパクトなレーザー核融合方式として研究が続けられている。



#### 応用2

### 「超高压&超高密」を同時達成できるショックチューブの開発

ショックチューブを使って物質を圧縮し、その組成や物性を調べることは基礎物理研究の手段としてだけでなく、新物質創生などの産業応用としても有用な手法と言える。しかし、従来の収束衝撃波を利用したショックチューブの幾何学的構造は円筒・球幾何(円錐)をベースにしたものがほとんどである(それぞれ下図の $\nu = 2, 3$ に対応)。これに対し、 $\nu > 3$ となるような曲率制御された衝撃波伝播を可能とするショックチューブを開発することにより、これを新たなツールとした物性研究と材料開発が期待される。



グループHP

<https://www.ile.osaka-u.ac.jp/research/csn/>

キーワード

超高压縮、多次元効果、衝撃圧縮



# キャビティターゲットによる高温プラズマ生成法

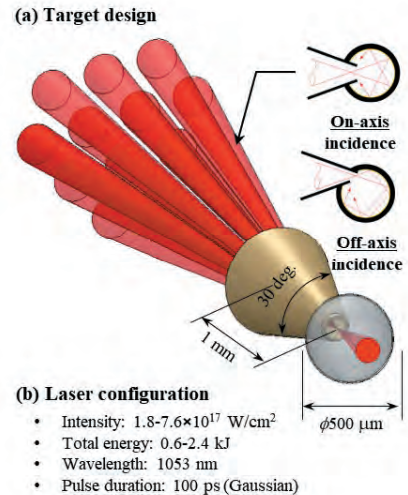
High-temperature plasma generation with a cavity target

安部勇輝 助教

共同研究者: 砂原淳 研究員(米国パデュー大学)、Z. Zhang 准教授(中国科学院物理研究所)、川嶋利幸(浜松ホトニクス株)、佐藤伸弘(浜松ホトニクス株)、渡利威士(浜松ホトニクス株)

## 高強度レーザープラズマ相互作用による高輝度・短パルス(サブナノ秒)のX線・EUV光源、中性子源

高強度短パルスレーザーは、物質と相互作用することによりその表面を急速に加熱し、高電離状態のプラズマを生成する。高電離プラズマは、そのプラズマを構成する元素特有のエネルギーを持った準単色のX線や紫外線を放出する。我々は、直径数百ミクロンの球殻燃料の内壁に高強度レーザーを照射することで、生成した高電離プラズマを百ミクロン以下の極めて小さい領域に閉じ込めることに成功した。これにより、プラズマ同士の相互作用が活発になり、極めて小さい空間領域から高輝度で短パルス、準単色のX線あるいは極端紫外(EUV)光、中性子を発生させることが可能になる。特に、粒子加速器等のプラズマと比較して、本手法はレーザーと固体の直接相互作用により金などの重元素の高電離プラズマの生成が比較的容易であり、水素様の金から放出される準単色のEUV光はリソグラフィ光源として期待されている。また、短パルス性、点源であることはX線や中性子線のラジオグラフィ技術としての応用も期待される。



高速有機液体シンチレータの発光

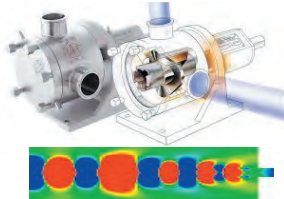
### 応用1

#### 単色短パルス中性子源としての応用

球殻燃料に重水素や三重水素を含む材料を用いることにより、高強度レーザーは簡易で高輝度な中性子発生装置となる。生成する数千万℃の高温プラズマ中では水素同士の核融合反応を起こし、何億個もの中性子を短時間(数百ピコ秒)に生成する。核融合反応で生成する単色の中性子はラジオグラフィ用のパルス中性子源として有用であり、学術分野では超高密度プラズマの密度計測、工業分野では大型運動体の非破壊検査やエンジン内部の高速脈動流体などの非破壊観測が可能になると期待される。



大型運動体の非破壊検査

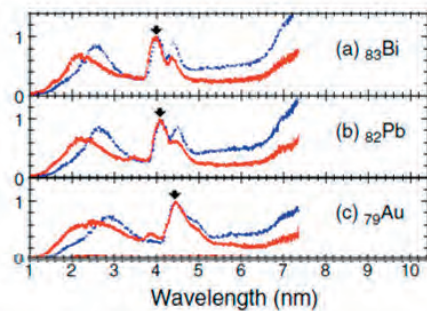


脈動重流体の観測

### 応用2

#### 極端紫外(EUV)光源としての応用

極端紫外(EUV)・軟X線光源は、CPUやメモリの高密度化に必要な次世代半導体リソグラフィ用の光源として注目されている。本技術で生成する高温プラズマは、金、鉛、ビスマスといった重金属元素を高電離状態にするのに適しており、これらの高電離重元素プラズマから放出される波長4-5 nmの準単色光はこれらの応用に極めて重要な光源となり得る。



金、鉛、ビスマスから放出される極端紫外光のスペクトル (H. Ohashi et al., Appl. Phys. Lett. 104, 234107 (2014))

グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/research02/kgp/>

キーワード X線源, 中性子源, EUV光源, 点光源



## レーザー核融合炉工学

Laser fusion reactor engineering

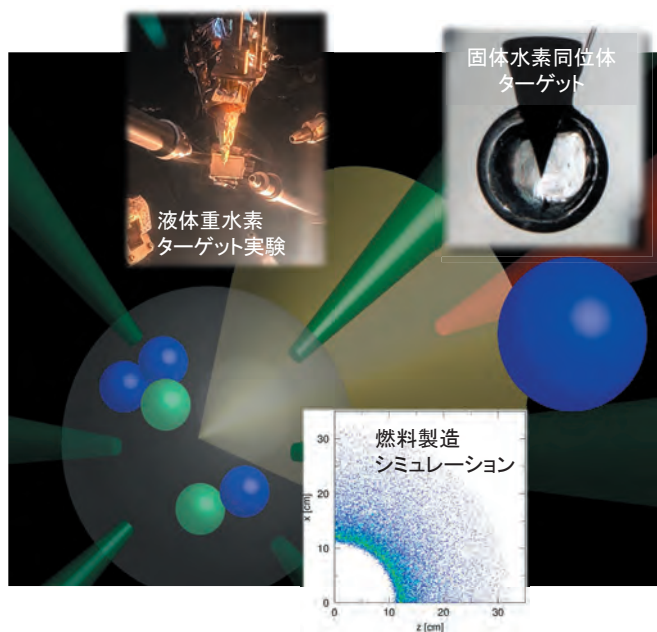
岩本 晃史 教授

### レーザー核融合燃料の供給から製造まで

レーザー核融合炉の燃料はカプセルに封入された固体または液体水素同位体を使用され、それを強力なレーザー光で照射・圧縮し、高温プラズマを生成すると核融合燃焼が起こります。核融合燃焼により発生した中性子はブランケットと呼ばれる熱変換・燃料増殖機能をもつ材料に到達し熱変換及び燃料製造が行われます。

水素同位体の液化または固化では冷凍機が使用されますが、グループでは効率的な冷却方法や生成された液体または固体水素同位体の評価について研究を実施しています。

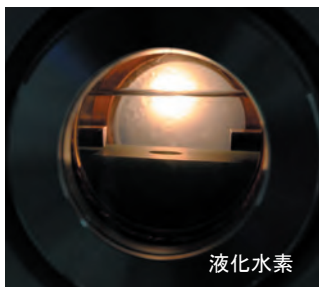
ブランケットではリチウムを使って核融合燃料を製造します。その製造と同時に熱へと変換し、その熱から電気を作ります。グループでは効率的な核融合燃料の製造と熱変換の研究を行っています。



### 応用1 水素の液化

常温では水素は物質を透過しやすく、大量の水素ガスを輸送する際には透過の少ない頑丈な容器に高压で封入する必要があります。水素が液体状態になる極低温では、多くの材料の透過性が低くなり、また、水素自体の体積も数百分の1に減少するため大量輸送には最適だと考えます。

我々のクライオジェニックターゲットの技術は水素の液化にも利用できます。

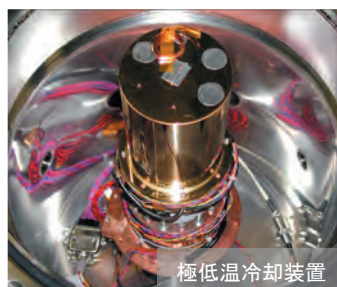


液化水素

### 応用2 極低温冷却技術

水素の液化や固化では極低温環境を効率的に実現する必要があります。特に、室温からの熱侵入量(熱伝導やふく射)を低減するための技術が重要です。また、室温から極低温までの間に様々な物性値の変化があり、最適な材料の組み合わせを考える必要があります。

我々の極低温の技術は超伝導マグネットの冷却や熱伝導率などの物性測定にも利用できます。



極低温冷却装置

グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/research03/fed/>

キーワード 水素、液化・固化、極低温、エネルギー変換、燃料増殖



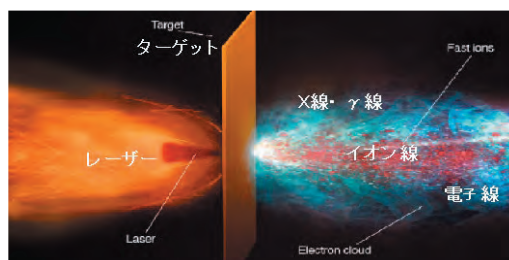
# 高出力レーザー駆動放射線・粒子線源の計算

Computational capability to design new quantum sources driven by high power laser lights

千徳靖彦 教授

## レーザー生成プラズマシミュレーションコード PICLS

PICLSは高出力レーザーと物質の相互作用をシミュレーションするコードである。PICLSコードにより、与えられた条件でレーザーパルス光を物質に照射した時に、生成されるプラズマの状態(温度・密度)を精度よく見積もることができ、さらに発生する放射線(X線・γ線)や粒子線(電子・イオン)の放射角度・エネルギースペクトル等の評価が可能となる。下記に示すような応用技術開発に向けた実験デザインをPICLSコードにより行うことができる。



### 応用1 レーザー駆動高輝度X線源

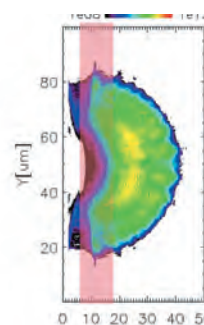
高強度レーザーを物質に照射した時に発生するX線(EUV領域からkeV領域)を、発生する光子のエネルギー、数、放射角度まで含めて予測することができる。レーザーX線は高輝度な点源であり、硬X線は金属内部の構造をサブミクロメートルの精度で走査できる。



レーザーX線で見えるハードディスクの内部構造

### 応用2 レーザー駆動高輝度ガンマ線源

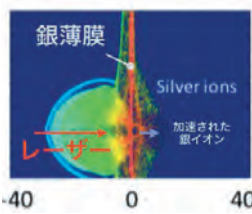
高強度レーザーを物質に照射して、電子を相対論的速度まで加速すると、高輝度なガンマ線が発生する。レーザー駆動ガンマ線は高輝度な点源であり、非破壊検査などへの応用が期待されている。



銅薄膜にレーザーを照射した時に発生したγ線

### 応用3 高強度レーザー駆動高Zイオン線源

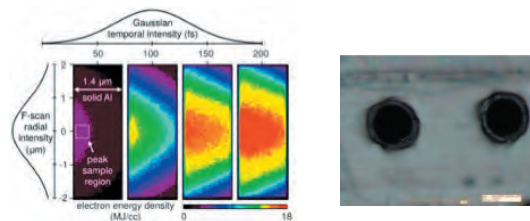
高強度レーザーの応用の一つとして期待されている高価数イオンの加速のシミュレーションを、イオン化過程の詳細を含めて計算できる。放射線ガン治療などへの応用が期待される領域である。



銀薄膜にレーザーを照射した時に加速された銀イオン

### 応用4 X線レーザーによる物質加工のシミュレーション

高輝度X線レーザーを照射した時に、X線レーザーのエネルギー吸収、物質の加熱状態を詳細に計算することができる。穴のサイズなどの加工精度とレーザー強度・スポットサイズの間関係を予測することができる。



グループHP  
キーワード

<https://www.ile.osaka-u.ac.jp/research/thr/>

High power laser, quantum sources, laser-plasma simulation



# 高エネルギー密度プラズマ生成・発展の理論モデル

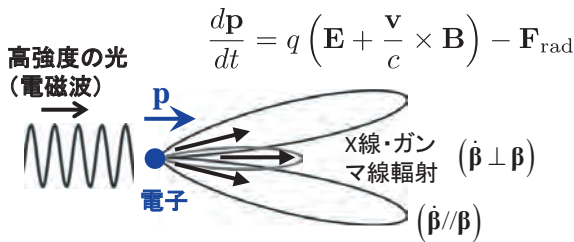
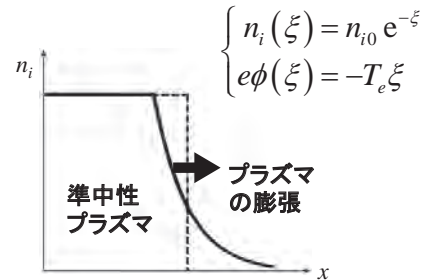
Physics of laser-driven high energy density plasmas

岩田夏弥 教授

共同者: 千徳靖彦教授、佐野孝好准教授

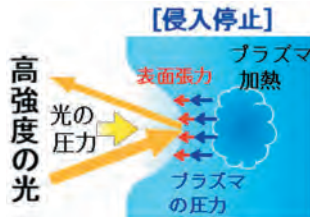
## 電磁気学、相対論的力学、統計物理学、流体力学等を基礎とした理論構築

高強度レーザー光が生成するプラズマの基礎物理を明らかにするため、電磁気学、相対論的力学、統計力学、流体力学などを基礎とした理論構築を行っている。光電磁場に加速される電子のミクロな運動を解いたり(下図)、電子の統計的挙動やプラズマ全体としての流体的膨張(右図)などマクロな振る舞いを記述する方程式を作ることで、複雑な相互作用の中の基礎過程を明らかにする。高強度レーザーが生成するギガバール級の高压プラズマの物理の理論的理解は、宇宙空間や核融合装置などで見られる様々な現象の解明に貢献できる。



### 応用1 レーザーによるプラズマ加熱の基礎理論

高出力レーザーにより光を時空間的に圧縮することで、10億気圧を超える地球上最強の圧力を実現できる。このような高強度光は、光圧で固体表面を押し込みながら物質(プラズマ)を加熱していく。最近の研究では、加熱されたプラズマが光を押し戻す現象や、光照射面から物質内部へと高温(およそ1000万度)の領域が高速で広がっていく現象を明らかにした。このような光と物質の相互作用の基礎的理解は、様々な学術・技術応用の基盤となる。



[大阪大学プレスリリース]  
[https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2018/20180212\\_1](https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2018/20180212_1)

### 応用2 宇宙物理学

恒星内部や宇宙空間は、多くの領域がプラズマに満たされている。高強度レーザーを用いてプラズマの基本的性質を調べることで、宇宙における粒子加速や磁場生成の謎に迫ることができる。



### 応用3 レーザー核融合

太陽内部に匹敵する高温・高密度にプラズマを圧縮・加熱できれば、核融合反応からエネルギーを取り出すことができる。化石燃料に頼らない究極のエネルギー源を目指して、核融合エネルギー開発の研究が進められている。



グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/research/thr/>

キーワード 高強度レーザープラズマ相互作用、高密度プラズマ加熱



# 非平衡輻射プラズマ理論グループ 粒子シミュレーションによる レーザー駆動粒子加速の解析

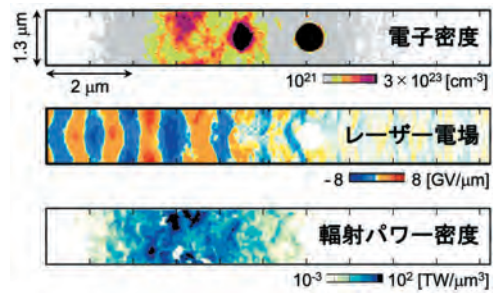
Analysis of laser-driven particle acceleration by kinetic simulation

岩田夏弥 教授

共同者: 千徳靖彦教授、佐野孝好准教授

## 相対論的プラズマ粒子シミュレーション

プラズマの運動を数値シミュレーションで取り扱うためには、プラズマを流体的に取り扱う方法と、粒子的に取り扱う方法がある。後者は、現象のタイムスケールがプラズマの熱的緩和時間よりも短い、運動論的ダイナミクスを取り扱うことに優れている。相対論的プラズマ粒子シミュレーションでは、プラズマ粒子の相対論的運動方程式と電磁場の方程式(マクスウェル方程式)を自己無撞着に解くことで、非平衡性、非線形性の強いプラズマ現象を数値シミュレーションで再現することができる。応用として、右図のような超高強度レーザーと固体密度の物質との相互作用を解くことで、高エネルギー粒子加速や粒子からの輻射を伴うプラズマダイナミクスを解析することができる。



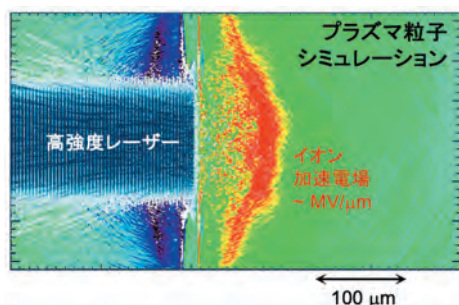
[N. Iwata *et al.*, Phys. Plasmas **23**, 063115 (2016)]

### 応用1

## レーザー駆動粒子加速 のシミュレーション

高強度レーザー光を数ミクロンから数十ミクロンの厚さの薄膜に照射すると、光子圧によって薄膜中の電子が光速に近い速度で押し出され、強い電場が物質裏面に形成される。この電場により、cm以下の加速長でイオンを高エネルギーに加速できる。

このようなレーザー駆動イオン加速は、ピコ( $10^{-12}$ )秒という短時間の間に起こる現象であるため、数値解析には運動論的効果を再現できるプラズマ粒子シミュレーションを用いる。数値解析によって、イオン加速の鍵となる高速電子生成のメカニズムなどを明らかにすることができる。



### 応用2

## 小型イオン加速器

レーザー駆動イオン加速では、cm以下の加速長で高価数イオンを生成すると同時に高エネルギーに加速できる。そのため、既存の線形加速器に代わる新しい高効率加速技術として注目されている。

実用化すれば、粒子線がん治療装置等の小型化、低コスト化に貢献できるほか、核物理等にも応用が期待できる。

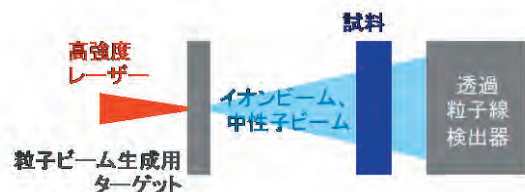


### 応用3

## 粒子線を用いた非破壊検査

超高強度レーザーを物質に照射することで生成されるイオンビームは、高密度物質の透過写真撮影(ラジオグラフィ)に用いることができる。

また、レーザー駆動イオンビームを中性子発生に应用することで、中性子を用いたコンクリート構造物の非破壊検査などが期待されている。



グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/research/thr/>

キーワード レーザー駆動粒子加速、プラズマ粒子シミュレーション



# 燃焼とプラズマの乱流数値シミュレーション

Numerical simulation of combustion and plasma turbulence

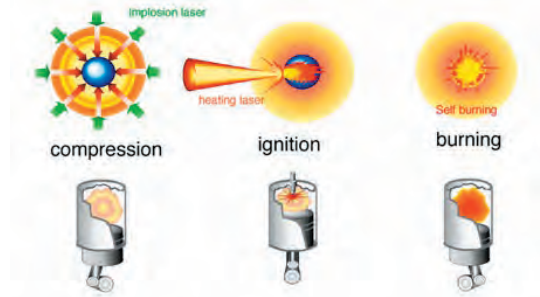
佐野孝好 准教授

共同者: 西原功修名誉教授(大阪大学)、松岡千博教授(大阪公立大学)、  
政田洋平准教授(福岡大学)、千徳靖彦教授、岩田夏弥教授

## 強い衝撃波を安定に解くことのできる磁気流体 シミュレーションコード

## 強磁場中でのレーザープラズマ相互作用を含んだ 粒子シミュレーション

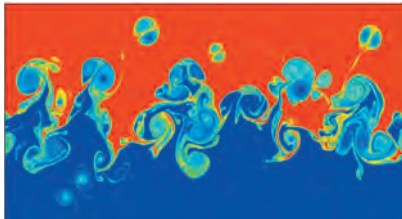
レーザープラズマ現象を理解する上で、数値シミュレーションは非常に重要な役割を持っている。マクロな物理量を解くための流体シミュレーションと、ミクロな現象を取り扱う粒子シミュレーションを駆使することで、複雑なプラズマ乱流や燃焼波面の構造に迫ることができる。



### 応用1

#### レーザー核融合における 乱流混合過程

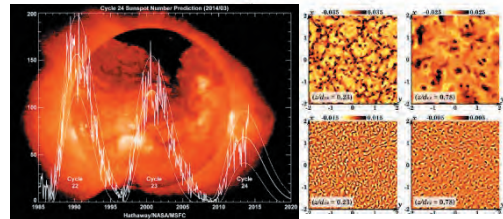
レーザー核融合実現の障壁となっている流体不安定による乱流混合を抑制することを目的として、界面不安定の磁気流体シミュレーションを行う。



### 応用2

#### 太陽磁場活動にみられる 宇宙ダイナモ現象

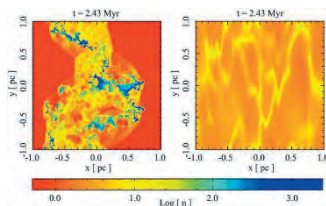
太陽磁場を維持し、太陽活動の周期性の起源となっている対流ダイナモ現象を、大規模流体シミュレーションやレーザー実験で模擬する。



### 応用3

#### 燃焼過程における 衝撃波面の構造解析

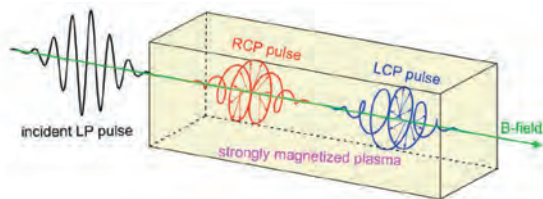
燃焼過程は様々な研究分野で重要となる。乱流と燃焼の関係を複雑な数値シミュレーションを用いて理解することで、幅広い応用が期待できる。



### 応用4

#### 電磁波を用いた 新しいプラズマ加熱機構

粒子シミュレーションはレーザーとプラズマの相互作用を解析する道具である。これを駆使することで、斬新なプラズマ加熱機構の発見も可能となる。



グループHP

<https://www.ile.osaka-u.ac.jp/research/thr/>

キーワード

プラズマシミュレーション



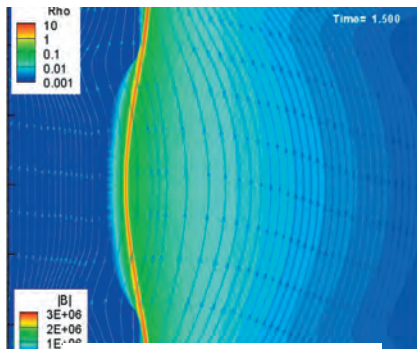
# 流体と光の複雑・非線形相互作用のシミュレーション

Multi-physics, non-linear, radiation hydrodynamic simulation

長友英夫 准教授

## 光と熱と磁場流体運動のシミュレーション

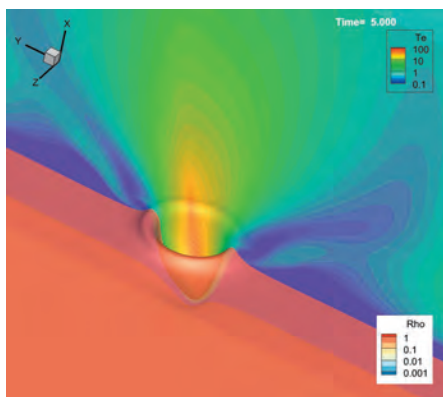
強い光(レーザー)が物質に照射されると物質が溶け、蒸発、そしてプラズマになります。その過程で起こるレーザー吸収、電子・イオン熱伝導、プラズマ流体運動、輻射輸送などの影響を再現、予測することができます。さらには、電磁流体、状態方程式、レーザープラズマ相互作用、高速電子輸送など高エネルギー密度プラズマの様々な現象にも応用することが可能です。



磁場中にある薄膜のレーザーアブレーション加速

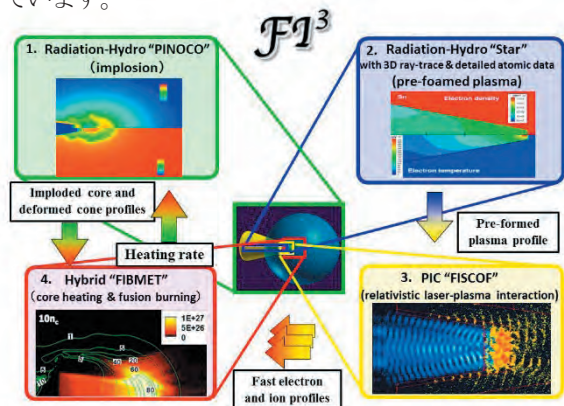
### 応用1 3次元のレーザー光線追跡を含む放射流体シミュレーション

3次元の光線追跡、レーザー吸収、電子・イオン熱伝導、放射輸送、様々な物質の状態方程式が考慮されており、手軽にレーザープラズマシミュレーションが実行できます。レーザー加工、惑星科学など、様々なレーザー応用分野で活用されています。



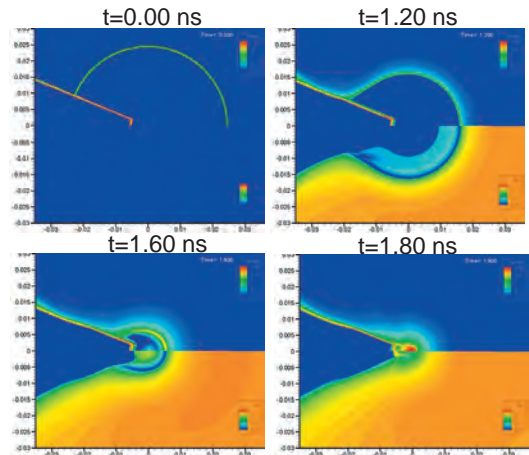
## マルチスケール・マルチフィジックス レーザープラズマ統合シミュレーション

レーザー核融合を実現させるためには、まだ解決すべき課題が多く存在します。それらを理解、克服するために、関係するすべての物理を網羅した統合シミュレーションが活躍しています。実験設計、実験結果の予測・解析、新しい仮説の立証、数値モデルの検証などにも活用されています。



### 応用2 レーザー核融合における爆縮プロセスの最適設計

レーザー核融合の高速点火方式では爆縮による高密度燃料コアを形成させる必要があります。シミュレーションコードには爆縮に関する数値モデルを可能な限り考慮しており、設計に活用されています。



計算・シミュレーション

グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/pif/index.html>

キーワード レーザープラズマ、放射流体力学、電磁流体力学、レーザー核融合



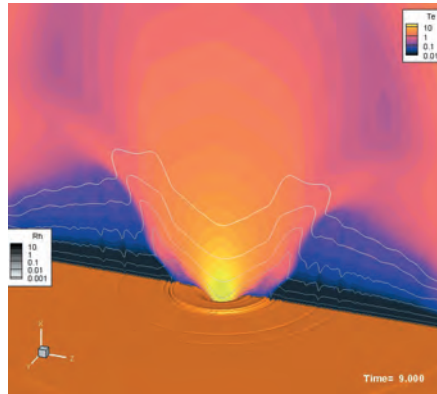
# レーザープラズマのインテリジェント観測・制御

Intelligent sensing and control of laser plasma

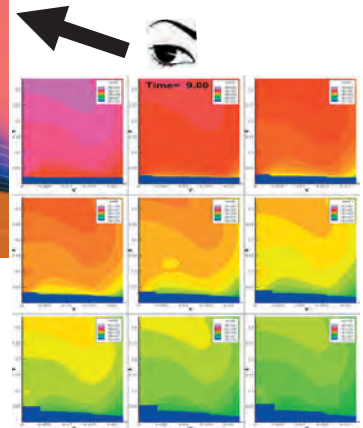
長友英夫 准教授

極限状態を扱うレーザープラズマ実験で計測を行っても、空間的、時間的な分解能の限界によって十分な状態を計測できないことがあります。

このような場合、シミュレーションとの連携が重要ですが、データ処理時間などの制約下では、シミュレーションから得られる物理量を直接リアルタイムで比較するのは困難です。そこで、実験観測系のイメージングを再構成した画像を作成し、機械学習を介してデータ同化する手法の開発を行っています。また、シミュレーションから得られたデータを実験の計測系の画像に置き換えることによって、実験・計測の設計を効果的に進めます。

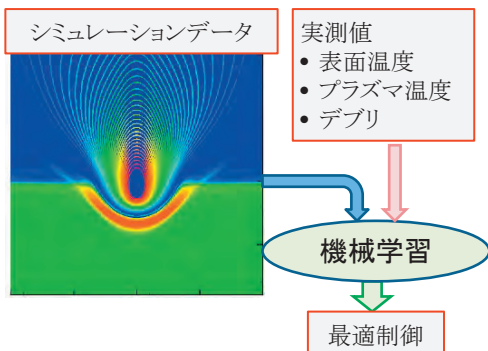


観測されるデータをシミュレーションデータからイメージングすることによって予測、制御に活用する。



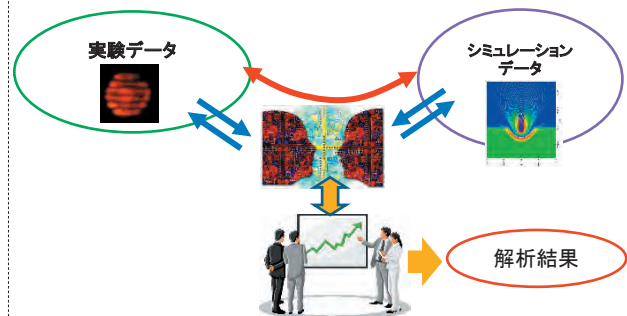
## 応用1 インテリジェントレーザープロセッシング

レーザー加工は様々な用途で使われるようになりました。さらに低コスト、高効率、高速、高精度になれば使い勝手が良くなり、普及も進みます。そんなレーザー加工を賢く行うために、シミュレーションと実験から得られるビッグデータを、人工知能による機械学習によって解析し、用途に合わせた最適化を試みます。



## 応用2 人工知能による複雑非線形物理の解析、最適化

レーザープラズマは、多くの物理量が複雑に影響を及ぼしあい、予測の難しい非線形物理に支配されています。このような複雑現象はシミュレーションや実験だけでは予測が難しいことがあります。そこで、情報科学技術である機械学習などのデータ解析技術を導入することによって、予測、制御性を高めることもできます。



グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/pif/index.html>

キーワード レーザープラズマ、ポストプロセス、その場観察、機械学習



# 荷電粒子群の自己組織化による球面配位の最適化 - 非ユークリッド幾何学的発想による空間対称性の発見 -

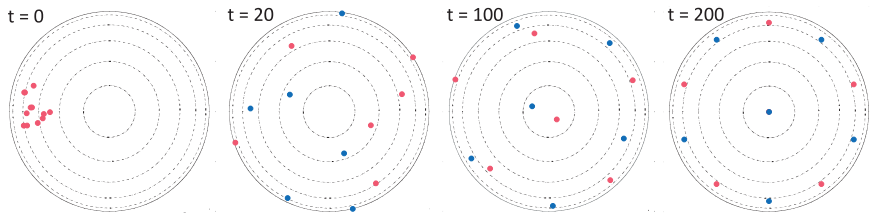
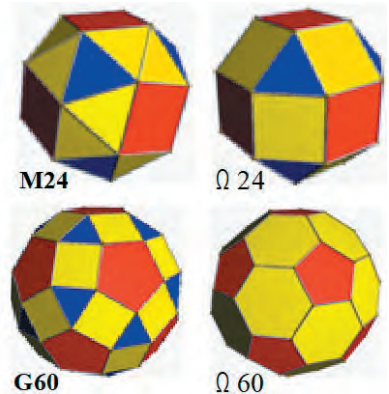
Optimization of spherical surface configuration in use of self-organization of charged particles

村上匡且 教授

## 自己組織化現象と対称性

三千年以上も前のギリシャ時代、対称性を持つ美と調和は神によってもたらされたものであると信じられ、神に近づきたいと言う強い衝動とその究明意欲によって幾何学は大いに発達した。例えば、同じ正多角形からなる正多面体(プラトン多面体)は5つあること、そしてその構造は良く知られていた。また右図のように数種類の正多角形からなる立体(アルキメデス多面体)も13個あることが既に知られていた。これら多面体の発見は、点・直線・面の学理を極めたユークリッド幾何学の勝利と言って良い。では、任意の数Nに対する対称性はもはや存在しないのであろうか。

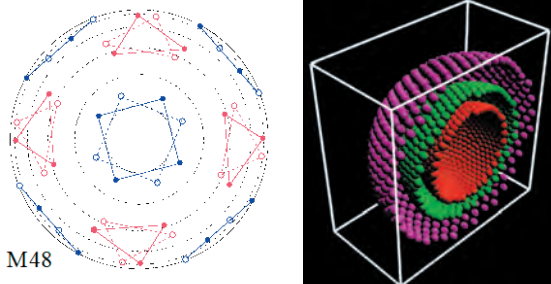
この問いに対する解決法は意外にも中学生にも理解できるほどシンプルなものである。二千年前の幾何学に頼る必要はなく、単に球面状にN個の電荷をばらまくだけで良い。あとは、勝手に電荷同士の反発力で、それら電荷は球面上を走り回り、最後は他の粒子とベストな距離を保ちつつ、安定配位を見つけるのである。右図は、簡単のため12個の正電荷が左から右へと時間発展し、最後は正12面体配置になる様子を示している。



### 応用1

#### レーザー核融合照射配位の決定からマイクロ球体の構築まで

直接照射型レーザー核融合方式では、米ロチェスター大の60ビーム(オメガ)が最大である。上記の原理に従えば、任意のビーム数に対し、常に最も安定なビーム配置を得ることができる。下図(左)はこうして発見された48ビーム配位であり、オメガに比べ照射様性を凌駕することがわかっている。下図(右)はミクロンサイズの空洞を持つ球体表面に配列された模擬原子を表しており、この球体が爆縮すると、ナノスケールまで安定して爆縮することが発見された。



### 応用2

#### ゴルフボールのディンプル最適化

ゴルフボールのディンプルは多種多様であり、必ずしも最適化されているわけではない。ちょっとした構造やパターンの改良で飛距離が大幅に変わってくる。卓球の球は滑らかであるがゆえにベルヌーイの流体法則に従ってカーブが強くなるが、ゴルフボールはこれとは逆にまっすぐ飛ばして飛距離を伸ばす目的から、乱流を「効率的かつ対称的に生成」することが肝要となる。ここで提示した自己組織化の方法を利用した球面上への配置最適化を施すことによってディンプルの総数は言うに及ばず、幅・深さ・形状を流体力学的に計算することでそのパフォーマンスを最適化することが可能である。



グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/research/csn/>  
キーワード 自己組織化、球面配置、最適化



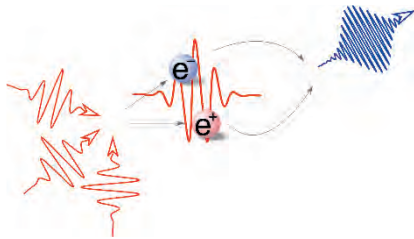
# レーザーを用いた新しい科学/技術の開拓

New science and technology opened by laser

柴田 一範 助教

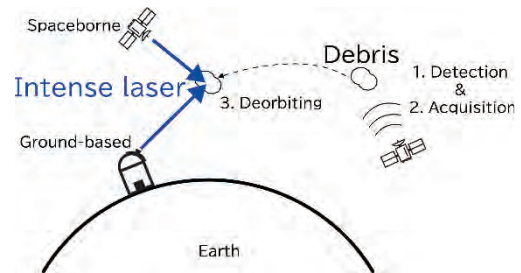
## 真空が示す非線形な性質の解明

光が真空を進むとき、方向や色が勝手に変わることはない。それが我々の常識である。しかし、場の量子論によるとそうではない。真空の非線形性によって、光の色や方向、偏光状態が変わることが予想されている(下図)。この予想を観測することは、場の量子論の更なる発展と真空への理解に必須である。そこで、非線形な真空を進む光の性質を理論的に探究している。



## 宇宙のゴミ拾い

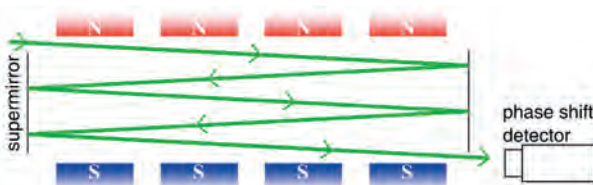
宇宙開発の進展にともない、スペースデブリも激増している。とくに数cmサイズのもの、人工衛星の外壁や人体を容易に貫通する破壊力を持つにもかかわらず、地上から見えないために回避できない。このようなデブリは100万個以上あると推定されており、能動的に減らす必要がある。その手段としてレーザーが使用できる。レーザーによるデブリの除去の研究を行っている。



### 応用

#### 真空の非線形性を観測可能な実験系の考案

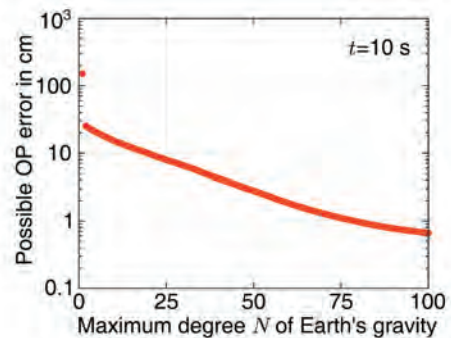
これまでの研究で、真空を進む光の非線形な挙動を見るためには、「非常に強い光の変化を調べる」か、「非常に長い時間での変化を調べる」ことが有望と考えられている。前者の方法で実験ができる手段は今は存在しない。そのため、後者の方法を考えることになる。例えば、重力波干渉計サイズの巨大な共振器にスーパーミラーを用いることを提案している。既存の施設でも真空の非線形性を観測できる実験の考案を行っている。



### 応用

#### レーザーを必中させる軌道計算

スペースデブリに強いレーザーを集光し、アブレーションの反力でその軌道を変化させる。しかし、スペースデブリは軌道上を10km/sものスピードで飛んでいる。そのデブリの表面に集光するには、デブリの軌道を事前に予測する必要がある。しかも、予測した軌道と本当の軌道の誤差が十分小さくなければならない。それが可能であることを理論的に証明した。例えば、デブリの発見から10秒以内での軌道誤差を1cm以内に抑えることができることを示した。



グループHP

<https://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/pif/index.html>

キーワード

場の量子論、ハイゼンベルク-オイラー理論、スペースデブリ、ADR





## 大阪大学レーザー科学研究所

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-6

E-mail : ile-kouhou-contact@ml.office.osaka-u.ac.jp

<http://www.ile.osaka-u.ac.jp/>

