

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。

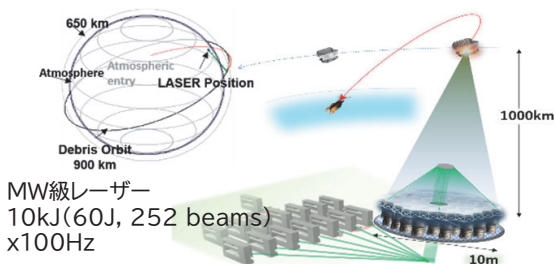


高平均出力レーザーの開発状況

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

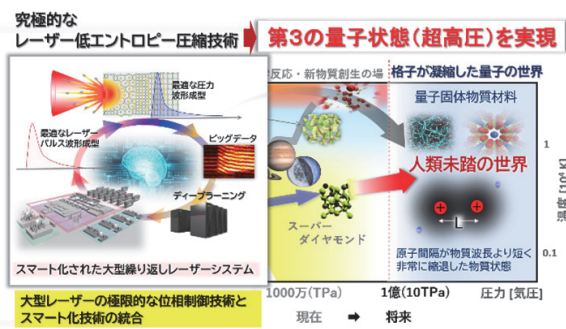
応用1 地上から宇宙のゴミを掃除

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。



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でき、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。



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

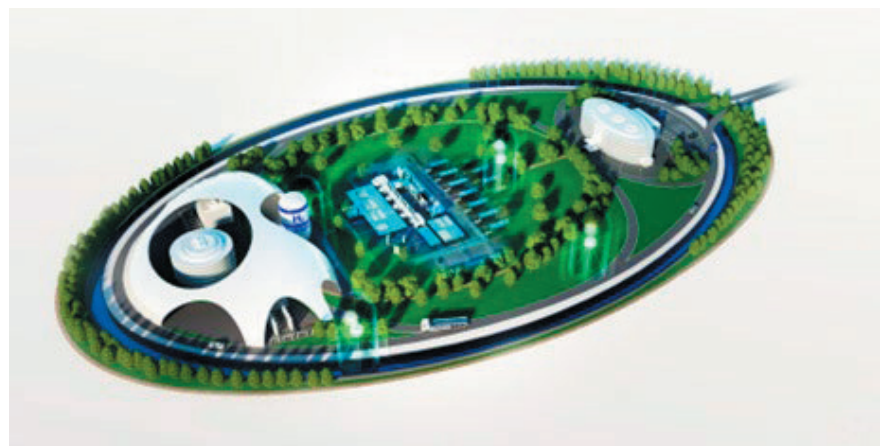
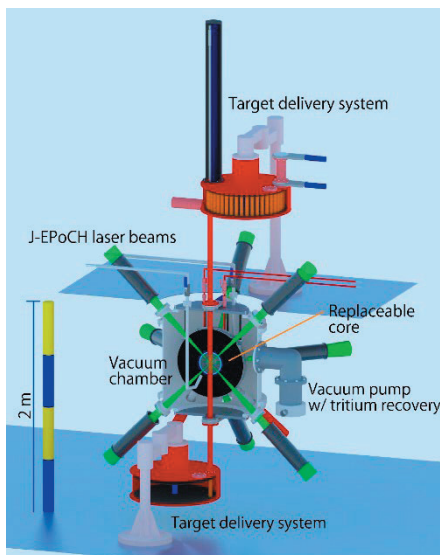
レーザー核融合で発生する熱エネルギーを水素に変換する

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経由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

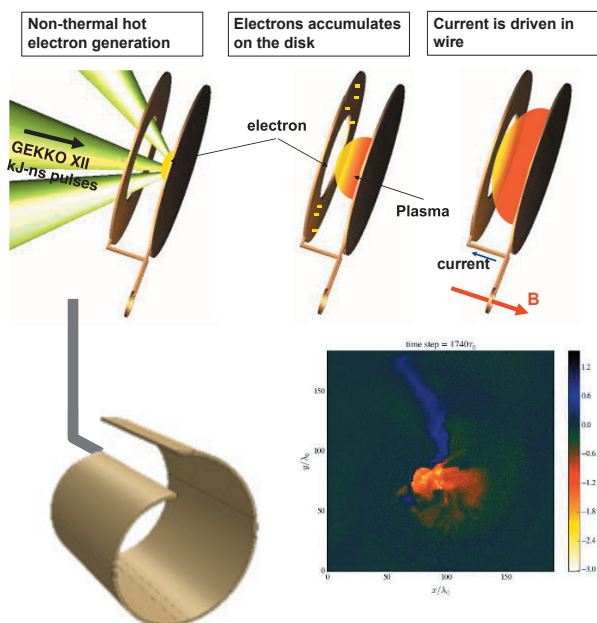
Laser-driven generation of high-intensity electromagnetic fields

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(仏国ボルドー大学)、
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

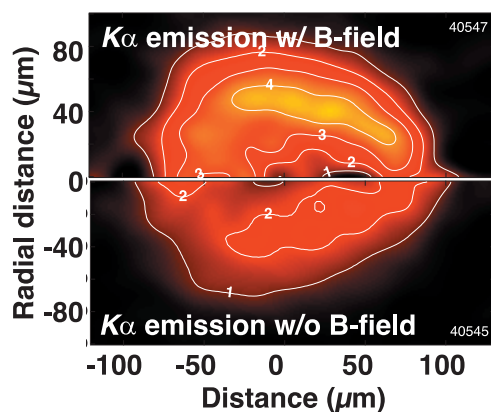
レーザー生成プラズマは、エネルギー変換体としての機能を有しています。例えば、高強度レーザーのエネルギーを高強度磁場のエネルギーに変換することが可能です。レーザー生成プラズマの形状は、プラズマ源であるターゲットの形状を反映するため、コイル型の形状をしたターゲットを、レーザーでプラズマ化し、そこに大電流を流すことで、強磁場を発生出来ます。ターゲットの形状を変えることで、様々な形状の電場や電磁パルスなども発生させることが可能です。



応用1

レーザー駆動量子ビームの高輝度化

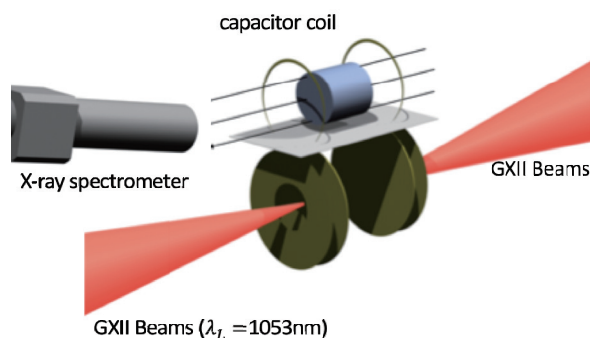
高強度レーザーで加速された量子(粒子)ビームは、極めて瞬間的ですが、従来の加速器を圧倒的に上回る大電流を有しており、高密度物質を瞬時に数千百度にまで加熱させるなどの応用が可能です。高強度電磁場を活用することで、レーザー加速量子ビームを更に集光出来るようになり、ビームの高強度化が実現しました。



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

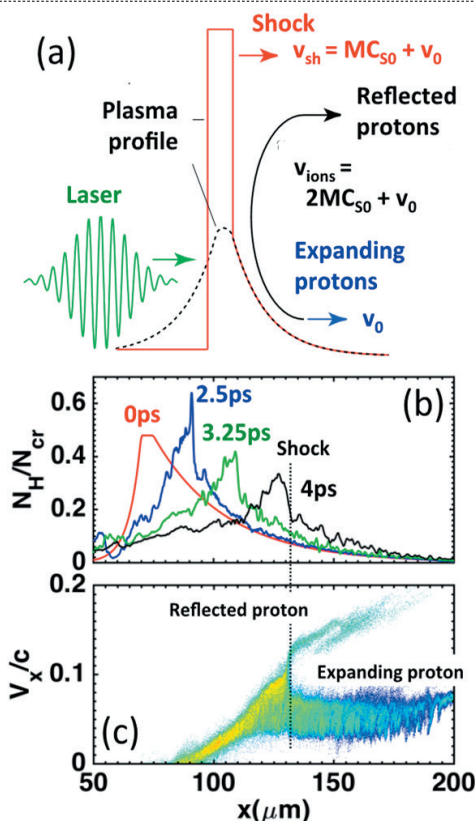
共同者: Alessio Morace 助教、福田祐仁 上席研究員(量子科学技術研究開発機構)、
蔵満康浩 教授(大阪大学大学院工学研究科)

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 $2 v_{sh}$ ($\gg v_0$) 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。

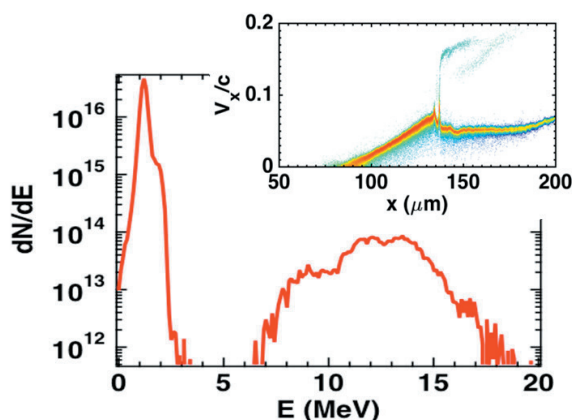
右図は、(a) レーザー駆動衝撃波イオン加速の概念図、(b) プロトン密度の時間発展と無衝突衝撃波の生成、(c) プロトンの phase-space と準単色プロトンの生成を示している。



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。

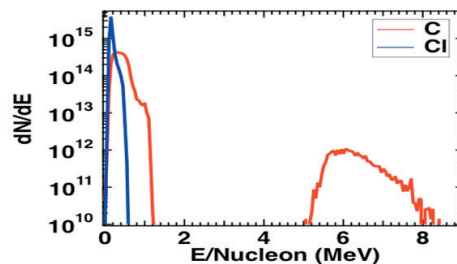


水素ターゲットによる準単色プロトンビーム生成

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。



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。

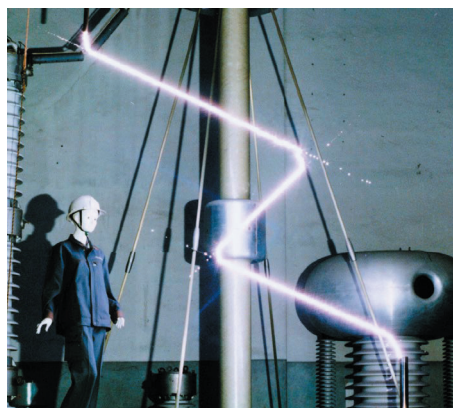


図. レーザープラズマチャンネルを用いた放電誘導

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

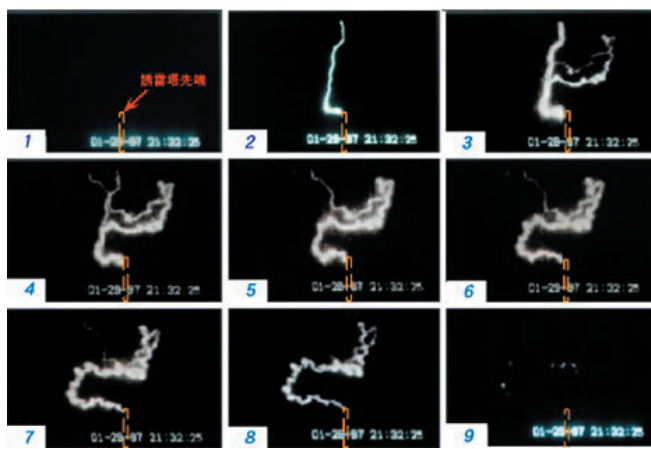


図. 誘雷塔に雷が落ちた瞬間

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 -

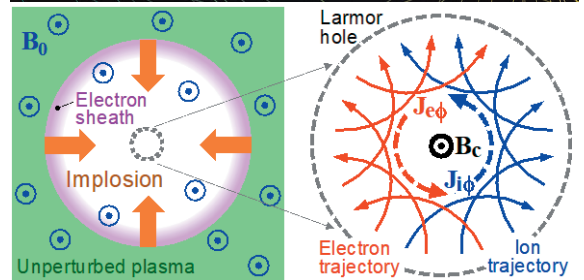
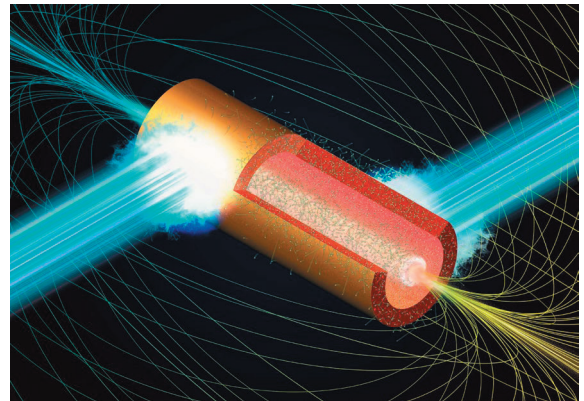
Generation of mega-tesla magnetic fields by microtube implosion

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。

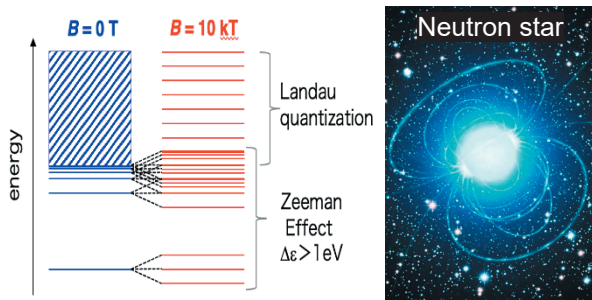
阪大レーザー研では、ミクロンサイズの中空円筒体に強力な超短パルスレーザーを照射することにより、キロテスラのさらに千倍強力なメガテスラの極超高磁場を生成させる新たな物理機構を世界で初めて提唱し、スーパーコンピューターを使った数値実験での原理実証に成功しました。種磁場があると、爆縮するイオン・電子は、ローレンツ力により右図のように各々が逆方向の偏向を受け、中心部で時計方向の強力なスピンの電流を形成します。電子とイオンは互いに逆符号の電荷を持つため、結局、イオンと電子が「協働」して種磁場を増幅する形で超高強磁場を生成します。その増幅率は数百倍から千倍程度に達し、中心軸上でメガテスラのオーダーとなりま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



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

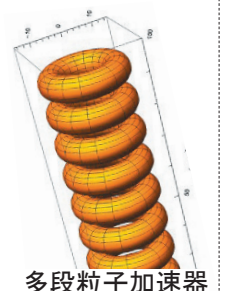
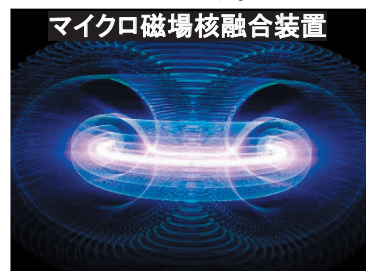
メガテスラという極超高強磁場に関して今回提唱された物理機構に基づき、今後、これまで議論の俎上にさえ載らなかったような量子電磁力学(QED)効果や極限パラメータ下での物性研究、さらには中性子星やブラックホール近傍において予測されているメガテスラ磁場に関連した宇宙物理など、未踏の研究領域に対する実験室での能動的な基礎研究が展開できることになり、基礎科学に対する大きなインパクトが見込まれます。



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

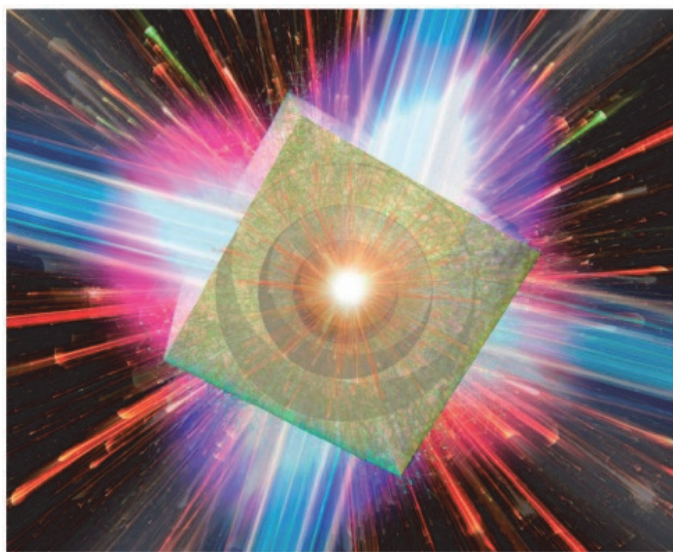
- 超高密度エネルギー場生成を生かした基礎&応用研究 -

Generation of ultrahigh electric-fields by microbubble implosion

村上匡且 教授

新たな粒子加速機構

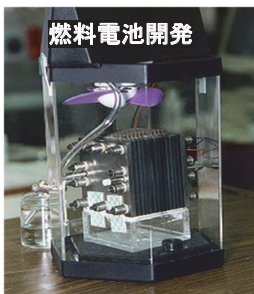
ミクロンサイズのパブル(球状の空洞)を内包する水素化合物の外側から超高強度レーザーを照射すると、パブルが原子サイズにまで収縮した瞬間に超高エネルギーの水素イオン(プロトン)が放射される「マイクロバブル爆縮」という全く新しい粒子加速機構が発見された。この機構では、千億度という超高温の電子がパブル内に充満することで生じた強力なマイナスの静電気力により、正電荷を持つイオンがパブル中心に向かって球対称に加速される。球中心という一種の特異点に無数のイオンが高速で加速し激突する結果、わずかに原子数十個を直列にした程度のナノスケールの極小空間内で、固体密度の数十万～百万倍という白色矮星^{※1}内部にも匹敵する高密度圧縮^{※2}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

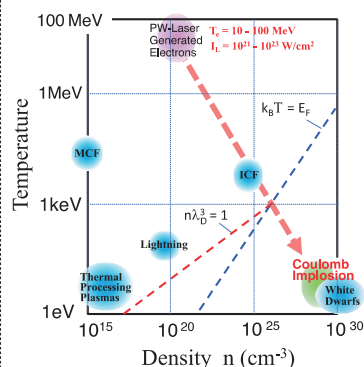
パブルサイズをコントロールすることにより、発生するプロトンビームのエネルギーを調整することができる。さらに、パブル爆縮で得られる高エネルギーのプロトンをリチウムやベリリウムに照射することでコンパクトな中性子源としても期待することができる。こうして得られるプロトンや中性子は、多種多様な産業応用、例えば燃料電池開発におけるプロトントモグラフィーとして、あるいは様々な機器や構造物に対する非破壊検査等としても使うことができる。また数百MeVというエネルギープロトンを使えば癌治療も応用対象となる。さらに、シュウィンガー電界の約1%の超高電場生成可能なパブル爆縮を使えばγ線レンズの開発も見込まれる。パブル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



応用2

新物質創生のための全く新たなツールとして

パ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 －

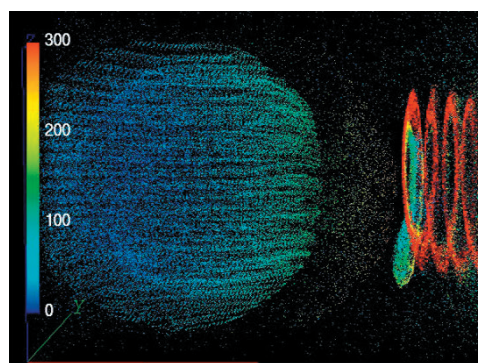
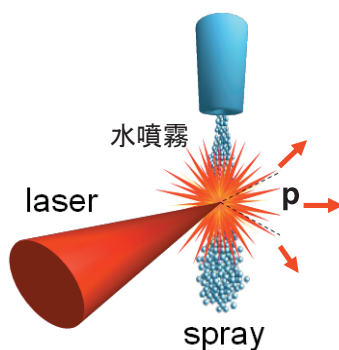
Coulomb explosion of nano-water-cluster and application

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

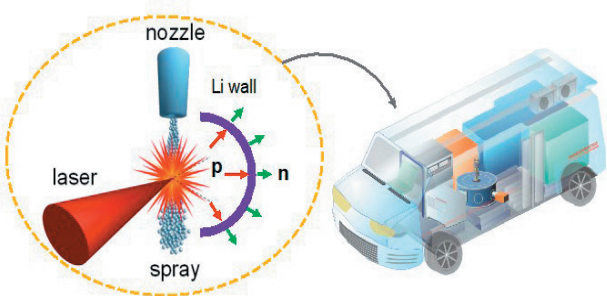
を照射したところ、1.5MeVにエネルギーピークを持つ準単色のプロトンビームが初めて観測された。理論的には、吸収エネルギーからプロトンに分配されるエネルギー効率は20~30%と極めて高い。加えてエネルギー幅はピークエネルギーのわずか10%以下に抑えられる。こうして、水滴のサイズとレーザー強度を調整することでデブリフリーのプロトン源システムを構築することが可能となる。



応用1

コンパクトなレーザー中性子源の開発

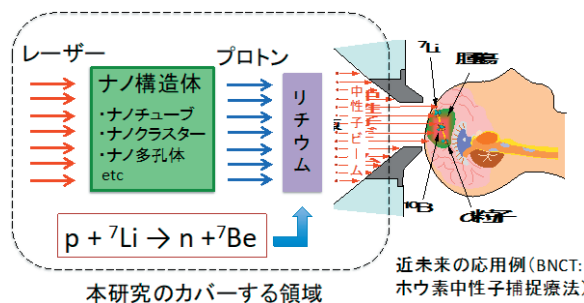
上記のような手法で水クラスターから得られるMeVクラスのエネルギーを持つプロトン源はエネルギー効率は高いが、球状にプロトンが放射されるため指向性の観点において効率に問題がある。しかし、下図のようにプロトン源の周りにリチウムやベリリウムを配置することで、核反応により中性子を生成することが可能であり、原子炉で得られる中性子に比べるとずっと低いエネルギーでコンパクトな中性子源として開発すれば様々な応用に供することが期待される。



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

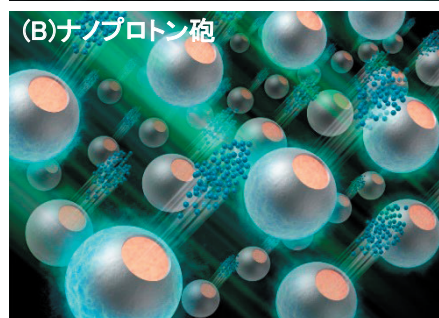
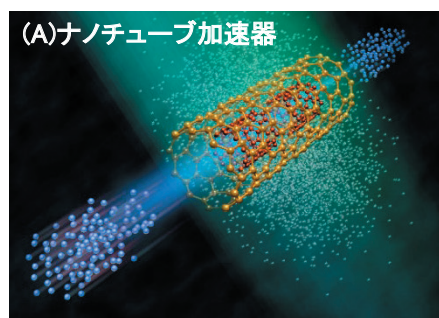
村上匡且 教授

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ミクロン、直径15ミ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。

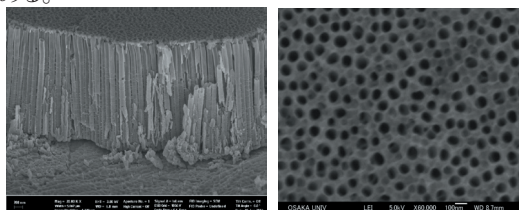
一方、図(B)「ナノプロトン砲」は、中空のナノスケール球殻の一部に射出口を持たせたナノ構造体であり、この構造を使うことにより、内部に充填された水素化合物のプロトン成分が指向性を持ってビーム状に加速されることがわかっている。加速されるプロトンを全体的にビームとして得るためには、(A)の場合はナノチューブ軸の方向を、(B)の場合はナノ球の射出口の方向を、統一配向させて製作する必要がある。したがって今後、こうしたナノ構造体の現実的応用を図る場合は、高精度のナノファブリケーション技術の発展・向上が欠かせない。



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

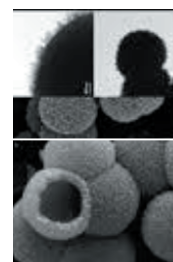
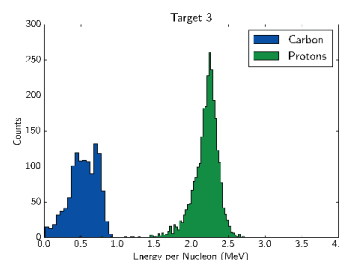
上記のような機構で得られるプロトンビームは出力は低いが指向性・単色性の高いビームパフォーマンスが期待されることから、微細加工やプロトンビーム描画、さらにはプローブとしての応用を考えることができる。ビームの発生・制御に対する技術開発は今後の課題である。下図に示したのは、ナノチューブ加速器の基礎実験に用いた結晶化二酸化チタンを使った中空チューブの集合体ターゲットである。内径100nm、外径150nm、軸方向長さ2ミクロンである。それらのチューブが載っている基盤も同材質であるが、近未来的には、材質やナノチューブパラメータなどを振ってプロトンビーム生成に対する最適化を進める必要がある。



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

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圧・超高密衝撃圧縮

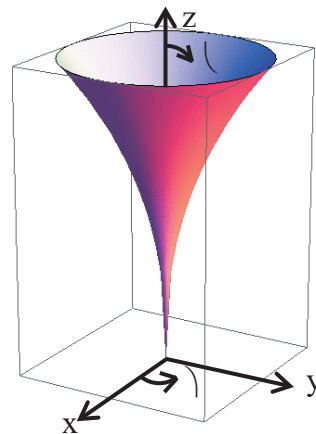
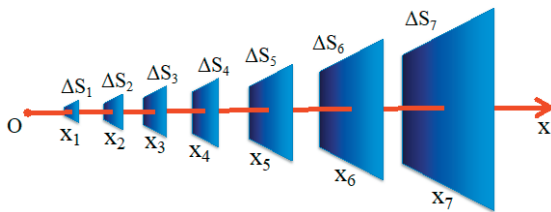
－ 未踏の密度vs圧力経路を使った物性研究と材料開発 －

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

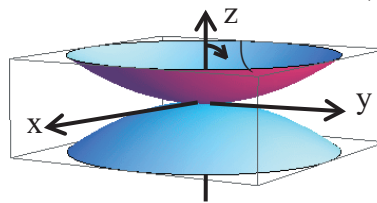
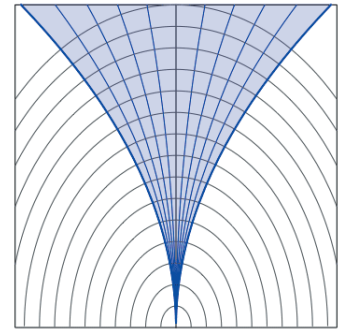
村上匡且 教授

曲率制御された衝撃波圧縮

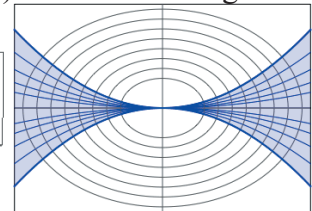
衝撃波の通過によって媒質は圧縮され、その密度圧縮率は幾何形状に強く依存する。平板（1次元）、円筒（2次元）、球（3次元）の順で圧縮密度は高くなってゆくことはよく知られた事実である。では球幾何における圧縮密度が最高かという実はそうではない。衝撃波が伝播する媒質の幾何形状を制御することで、流体が「仮想的に3次元以上の多次元媒質中にある」かのように振る舞う圧縮を実現することができる（特許第5846578号）。加えて衝撃波でありながら「等エントロピー圧縮」のレベルが格段に高いために、通常の衝撃圧縮に比べ、高圧力と高密度の双方を同時に達成することが可能となる。



(a) Trumpet target



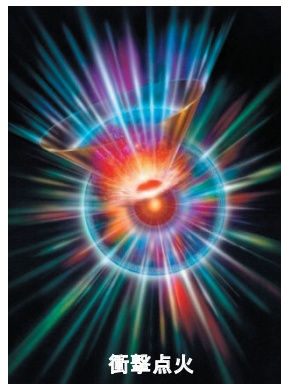
(b) Biconcave target



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

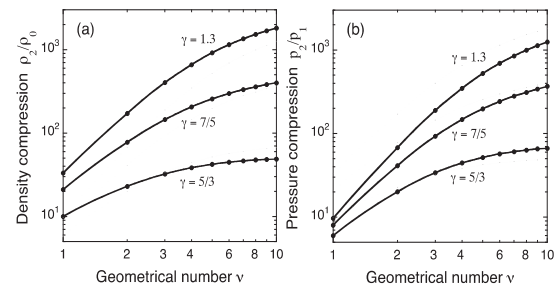
2014年、「地上におけるプロジェタイルの最高速度」として秒速1000kmを実験で実証した（ギネス世界一認定）。さらに、漏斗状の中空構造に装填された微小なDT燃料片を超高速に加速し主燃料DTプラズマと激突させる「衝撃点火」方式が提案され（特許第4081029号）将来のコンパクトなレーザー核融合方式として研究が続けられている。



応用2

「超高圧&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

超高圧縮、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

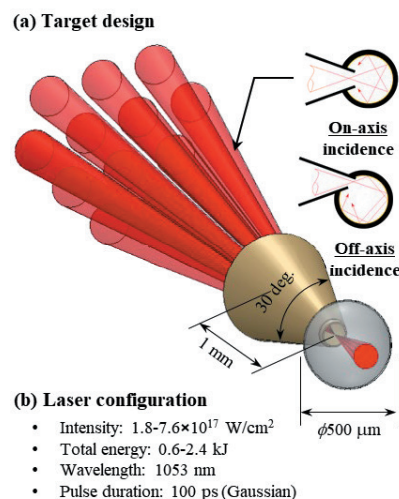
High-temperature plasma generation with a cavity target

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

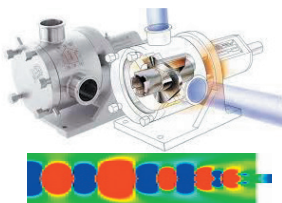
応用1

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

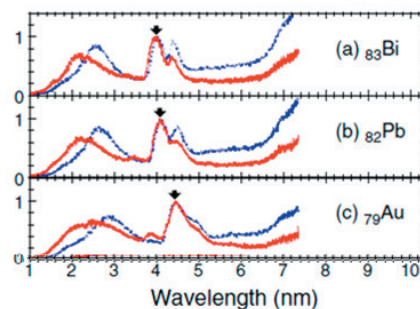


脈動重流体の観測

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

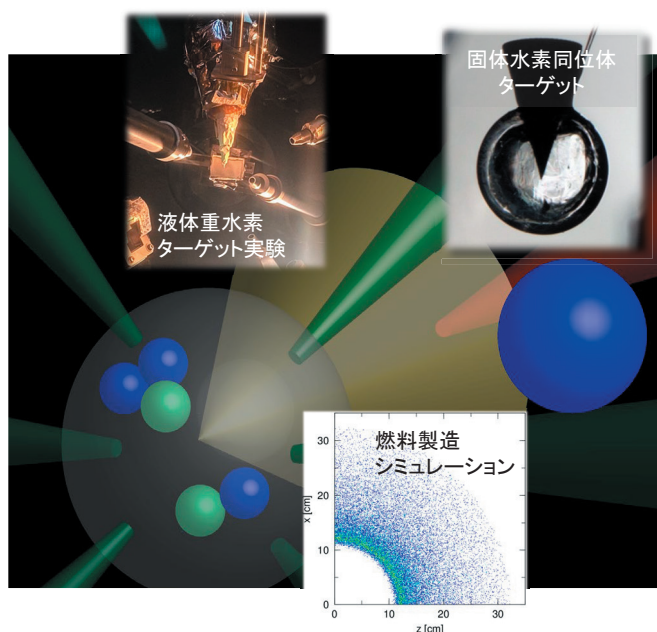
岩本 晃史 教授

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。

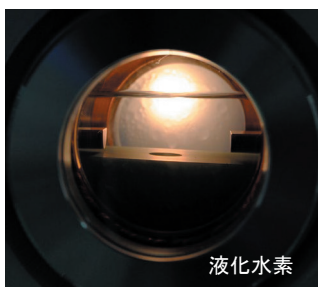
ブランケットではリチウムを使って核融合燃料を製造します。その製造と同時に熱へと変換し、その熱から電気を作ります。グループでは効率的な核融合燃料の製造と熱変換の研究を行っています。



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。

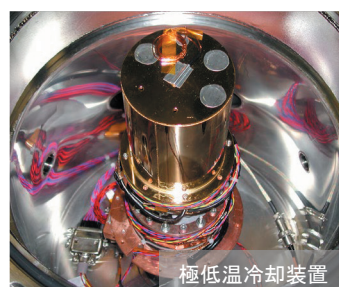
我々のクライオジェニックターゲットの技術は水素の液化にも利用できます。



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。



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

