

最新のレーザーシステムを駆使して レーザー工学講座 核融合を地球上に

研究室人員：教官 3 名、修士課程 9 名、
博士課程 4 名
565-0871 大阪府吹田市山田丘 2 - 1
TEL: 06-6879-7232 FAX: 06-6879-7936
URL: <http://www.eie.eng.osaka-u.ac.jp/koza/le.html>

研究室紹介

本講座では、レーザー核融合によるクリーンなエネルギー開発を目指し、爆縮物理の研究・高性能レーザーの開発とそれを利用した相対論領域も含むプラズマ・光量子科学の研究を行っています。

現在本講座には、中井貞雄教授、田中和夫助教授、金邊忠講師の教官スタッフと、修士課程、博士課程 13 名の大学院生が、勉強や研究に一生懸命取り組んでいます。

中井教授、金邊講師を中心としたグループではレーザー核融合に必要な、レーザーや光学システムの開発を行っています。

田中助教授を中心としたグループでは、近年提案されたレーザー核融合の新技术「高速点火」に焦点をあてて、相対論の世界を探索しています。

研究テーマ

本講座では、上記のような研究をもう少し詳しく説明しましょう。

レーザー核融合

強力なレーザー光線を用いて 1mm 程度の燃料球を急速に圧縮します（爆縮という）。中心部では、星や太陽の内部密度に匹敵する超密度になり、重水素どうしがくっついて膨大な核融合エネルギーが放出されます。このプロセスには、プラズマの流体運動、X線の放射など興味深い物理がからんでいます。さらに、最近提案された「高速点火」の手法というのがあります。従来からの方法としては、中心部にできた密度の高い燃料を爆縮により自然に核融合反応を起こすものがありますが、「高速点火」では高密度になった燃料プラズマに外部から極短時間にレーザーパルスを注ぎ込んで強制的に、核融合反応に火をつけるというやり方です。こうしたレーザーとプラズマはお互いに作用し合い、様々な新しい現象が見つかっており、電子等は相対論的な振舞をしています。

レーザーシステム

レーザーシステムの効率を飛躍的に高めるために従来のシステムに使われていたフラッシュランプ（ステレオに例えるなら、これは真空管に対応します）を、CDプレイヤー等に使われている半導体レーザー（これはトランジスターに

対応)で、置き換えることを主眼に研究・開発
しています。レーザーシステムでは、この他に
も新しい増幅器の設計、レーザーという強力な
光を操るいろいろな光学素子の開発も行ってい
ます。

レーザーの工学的応用

核融合から派生する様々な応用は、レーザー
による物質の加工や強大な圧力発生による新し
い物質の生成(例えば、金属炭素)や、従来の
巨大な加速器にとってかわるコンパクトなレー
ザー加速器の研究等にも展開しています。



田中 和夫(助教授、工学博士)

1983年大阪大学大学院工学研究科
博士課程修了

「高速点火」、レーザー核融合、
X線工学、ショック

E-mail:katanaka@ile.osaka-u.ac.jp



金邊 忠(学内講師、工学博士)

1987年大阪大学大学院工学研究科
博士課程修了

レーザー工学、半導体レーザー、
工学素子

E-mail:kanabe@ile.osaka-u.ac.jp

主要論文

[1] レーザー核融合研究の展開、核融合研究、

68、p363(1992)中井他

[2] Study of Relativistic Laser Plasma Re

Fast Ignition at Osaka(大阪大学における

速点火に関連した相対論的レーザープラズ

マの研究)、Inertial Fusion Sciences and

Applications(第一回IFSA会議録)p40

(1999)(出版社・Elsevier)

スタッフ



中井 貞雄(教授、工学博士)

1965年大阪大学大学院工学研究科
博士課程修了

レーザー核融合、レーザー工学

E-mail:nakai@ile.osaka-u.ac.jp

核エネルギー技術の 新領域を開拓する

超高温工学講座

研究室人員：教官 3 名、学部学生 6 名
修士課程 10 名、博士課程 4 名
565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1
TEL: 06-6879-7234 FAX: 06-6879-7867
URL: <http://www.eie.eng.osaka-u.ac.jp/>

研究室紹介

本超高温工学講座の源は、現在の吹田キャンパス以前の枚方キャンパスの時代にさかのぼります。1956 年に工学部岡田實教授と理学部伏見康治教授の共同研究として、わが国における最初の核融合実験（直線ピンチ圧縮実験）が行われ、多数の中性を観測するという成果を得ました。この研究の継続発展のために、工学部共通講座として 1960 年に超高温工学講座が設置され、これが本研究室のルーツです。設置後すぐ伊藤博教授が就任し、のち 1968 年に吹田キャンパスに移りました。1976 年に渡辺健二教授に引き継がれ、1979 年には電磁エネルギー工学専攻設置に伴い、その基幹講座となりました。1996 年には工学系大学院改組に伴い、電子情報エネルギー工学専攻（電磁エネルギー工学コース）担当となりました。

直線ピンチの実験以後、磁場閉じ込め高ベータ高温プラズマ研究をすすめ、コンパクトトラスの一種であるスフェロマックプラズマの研究およびコンパクトトラス核融合炉の設計を行ってきました。また、核融合炉プラズマ対向壁の問題を克服する方策として、迅速交換システムを提案しています。

1990 年に渡辺教授退官後、西川雅弘教授が本講座を担当し西川研究室が発足しました。西川研究室では、これまでの研究実績を堅持するとともに

核融合工学の重要課題である高粒子束照射下でのプラズマ対向材料の損耗、プラズマ生成・閉じ込めに有効なプラズマ対向材料コーティングならびにペブルを用いた先進的ダイバータに関する研究を行っています。さらに超音波や電磁探傷法を用いた材料機能劣化の検出・評価の新技术開発、200 以下の低質エネルギー回収のための熱磁気エンジンの開発にも取り組んでいます。ここ数年間の大学院学生の出身大学は、北は北大から南は広大まで広く全国に分布し、また阪大出身者の割合は 5 割以下です。これに加えて、出身学部も原子力系、電気系、応物系等さまざまです。このように出身校や学科の異なった学生がひとつの研究室で研究することで、議論の幅が大きく広がり、広範な知識を身につけることができ、研究教育面から見て大変に好ましい環境であると言えます。

研究テーマ

(1) 高粒子束イオンビーム照射下でのプラズマ対向材料の損耗・堆積現象

従来、プラズマ対向壁材料とイオンの相互作用研究に用いられてきたイオンビームの粒子束は、プラズマからのイオン粒子束より 3 桁以上も小さく実際のエッジプラズマ環境における現象を、実験室で模擬しているかどうか明らかではありません。

そこで従来の実験装置より、2桁以上大きい粒子束を持つ定常マイクロ波イオンビーム装置 (HiFIT, High Flux Irradiation Test device) により、イオンビームと材料の相互作用実験を行っています。

(2) ペブルを用いた先進的ダイバータの設計

核融合装置におけるダイバータは熱負荷が非常に大きいため、現存の材料では耐久性が疑問視されています。そこで、直径が1mm程度のペブルを多数落下させて、材料が溶融する前に回収し、冷却した後再利用するシステムを提案しました。現在の所、このシステムは除熱および粒子排気に有効であることを確認しています。

(3) 電磁波や超音波を用いた材料機能評価

本研究では、欠陥のより精密な測定や従来測定が困難であった条件下での検査を可能にするために、新しく開発したマイクロプローブによる電磁超音波を利用した新しい機能評価法や液体金属の流速測定、細管の非破壊検査のための電磁波によるリモートフィールド法の開発などを行っています。

(4) 低質エネルギー回収のための熱磁気エンジンの開発研究

最近の集中・大エネルギーの発生研究では、環境との調和が重視されています。たとえば、核融合炉は炭酸ガスの排出に対して、クリーンであるという優位性を持っています。さらに地球環境とエネルギー利用の観点からは、ここから排出される200以下の低質エネルギーの回収が重要ですが、この点は従来の汽力発電所と同様未解決のままです。このような立場から、低質エネルギー回収のための熱磁気エンジンの開発を行っています。熱磁気エンジンは、感温磁性材料という0から100の間で、磁束密度が大きく変わる材料を用いて、熱エネルギーを機械エネルギーに変換するものです。

(5) ボロンを利用した硬質薄膜の研究

プラズマプロセスにより、硬質でかつ密着性の良い薄膜の作成を試みています。実験では、ECRプラズマとマグネトロンスパッタ源を用いて、ダイヤモンドの次に硬い立方晶窒化ホウ素膜 (c-BN) の生成を試みています。また、核融合炉第一壁におけるボロンコーティング技術の開発を視野に入れた実験も行っています。

主要論文・著書

- [1] High flux dependence of erosion and retention in beam experiments and its significance to fusion system, Fusion Engineering and Design **41**,47 (1998).
- [2] Conceptual design of pebble drop divertor, in proceedings of 17th IAEA Fusion Energy Conference, **Vol. 4**, 1305 (1998).
- [3] 電磁的手法による超音波の発生・伝播特性ならびに材料劣化診断への道、生産と技術、第50巻、55 (1998).
- [4] Cubic boron nitride film synthesis by reactive sputtering of pure boron target in electron cyclotron resonance plasma, Japanese Journal of Applied Physics, **37**, L1082 (1998).

スタッフ



西川雅弘 (教授,工学博士)

1971年大阪大学大学院工学研究科博士課程単位習得退学
核融合工学、原子力工学
E-mail:nisikawa@ppl.eng.osaka-u.ac.jp



上田良夫 (助教授、理学博士)

1986年東京大学大学院理学研究科博士課程修了
核融合工学、プラズマ・材料相互作用、イオン源工学
E-mail:yueda@ppl.eng.osaka-u.ac.jp

核エネルギーシステム開発 のキーテクノロジー

電磁流体工学講座

研究室人員：教官 3 名, 学部学生 3 名,
修士課程 10 名, 博士課程 1 名
565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1
TEL: 06-6879-7884 FAX: 06-6879-7363
URL: <http://beam1.nucl.eng.osaka-u.ac.jp>

研究室紹介

電磁流体工学講座では、液体金属やプラズマなどの電気磁気を帯びた流体の現象に関して実験的・理論的研究を行っており、原子炉/核融合炉への応用を目指している。本講座は平成 8 年に発足し、現在教授 1 名、助手 2 名の研究スタッフがいます。これに博士課程 1 名、修士課程 10 名、学部 3 名の学生と、原子力工学専攻から技官 1 名、博士課程学生 1 名が加わり、実験や解析による研究活動を活発に行っている。

主な実験装置は「液体金属循環試験装置」及び「超高熱負荷実験装置」の 2 つで、一つのテーマに対して 3-5 名くらいのグループを作って実験を行っている。液体金属循環試験装置は、液体リチウムの流動試験が行える希少な装置であり、海外からも注目されている。

研究テーマ

(1)液体金属の流動熱伝達特性の研究

液体金属リチウムは熱的特性に優れた熱媒体として核融合や宇宙用エネルギーシステムへの応用が考えられている。核融合炉のブランケットの方式の一つに液体金属リチウムを使用する方式がある。電気伝導性の流体であるために磁場中では電磁体積力を受け非伝導性流体では見られないような流動・伝熱特性を示すので、強磁場中での流動・伝熱特性の研究が必要である。

る。

本研究室ではリチウムインベントリ-220 の循環ループを用い、最大 0.8T の磁場中での強制対流熱伝達及び、特定の磁束密度領域で発生する流体運動とそれに伴う熱伝達の向上現象について実験的な研究を進めている。



(写真 1) 液体金属循環試験装置

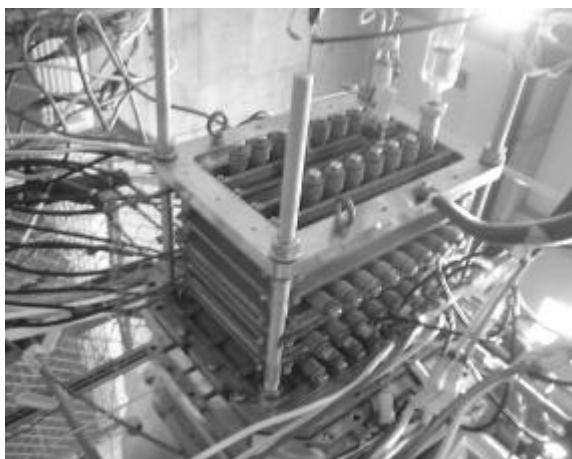
今年度には、IFMIF 中性子源ターゲットのリチウム自由表面流の安定性に関して、核融合研、原研と共同で、負圧下でのリチウムジェットの自由表面状態を調べる実験が予定されている。

またこの他にも、高速炉の 2 次系をタンクで置き換え、安全性、経済性を向上させる新型熱交換器(AIHX)の研究を液体金属 Ga 及び Pb-Bi を用いて進め、実機への適用性を調べている。

このEPSファイルは、プレビュー用の紙は百 PostScript プリンタで正しく印刷できません。
ファイル名: AIHX_Compare.eps
タイトル: (Adobe Illustrator 8 Shading Procset)
作成者: Adobe Illustrator(R) 8.0
作成日: (12/17/97) ()

(2)磁気多極型プラズマ源の研究

核融合プラズマを加熱する方法として、負イオン加速に基づく中性粒子入射装置が用いられる。Hはプラズマの電離過程で H^+, H_2^+ 等と共に少量生成されるので、安定して Hビームを引出すには、その生成過程を解明し、イオン源をそれに適した形にする必要がある。本研究室では、磁気多極型イオン源を用いて、負イオン生成の研究を行っている。



(写真 2) 磁気多極型イオン源

また、両端が開放された容器内にプラズマを作り中性化の媒体として用いる“プラズマ中性化セル”の研究も行っており、装置を試作し実用化の可能性を探っている。

(3)数値解析による磁場閉じ込めプラズマの研究

多くの荷電粒子からなる複雑系であるプラズマは、自己組織化により内部に様々な構造を生み出す。外部加熱の増加にともなう L-H 遷移、磁気シアの制御によって現れる内部輸送障壁の形成等がその例である。これらには、プラズマ内部の電位形成が大きく関わっている。

トカマクプラズマではトロイダル結合効果など幾何学的形状効果が構造形成に影響を及ぼすため、一般座標を用いた粒子コードを開発し、電場・磁場に対する粒子の応答、またそれによる揺動の成長を解析している。

主要論文・著書

- [1] “燃焼ナトリウムへの窒素注入による小規模消火実験”, 日本原子力学会誌, 1084-1091 (1999)
- [2] “MHD Pressure Drop of Imperfect Insulation of Liquid Metal Flow”, Proc. 5th ISFNT, B 775-780 (1999)
- [3] “Natural Convective Heat Transfer of Lithium Under Magnetic Field”, Proc. 5th ISFNT, B 893-898 (1999)

スタッフ



堀池寛 (教授, 工学博士)

1978 年大阪大学大学院工学研究科
博士課程満期退学
核融合工学、原子炉工学

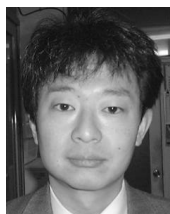
E-mail:
horiike@nucl.eng.osaka-u.ac.jp



井上正二 (助手, 工学学士)

1964 年大阪工業大学工学部電気工
学科卒業
原子炉工学、液体金属電磁流体工
学

E-mail:
inoue@nucl.eng.osaka-u.ac.jp



宮本斉児 (助手, 工学博士)

1997 年大阪大学大学院工学研究科
博士課程修了
プラズマ物理学、核融合工学

E-mail:
miyamoto@nucl.eng.osaka-u.ac.jp

核融合工学講座

核融合中性子効果の マイクロダイナミクス解明

研究室人員： 教官 3 名、学部学生 3 名
修士課程 10 名、博士課程 2 名
565-8701 大阪府吹田市山田丘 2 1
TEL: 06-6879-7909 FAX:06-6879-7363
URL: <http://puffin.nucl.eng.osaka-u.ac.jp>

研究室紹介

本核融合工学講座は、大阪大学の大学院重点化改革によって平成 8 年に発足した。そして、現在本講座には、飯田敏行教授、阪部周二助教授、佐藤文信助手の教官スタッフと、博士後期課程 2 名、博士前期課程 10 名の大学院生と 3 名の学部生が所属し、核融合中性子反応とその関連工学に関する研究[1,2]に取り組んでいる。研究活動は 2 つのグループで分担し、飯田教授を中心にしたグループでは、核融合反応粒子の輸送問題と高品質イオンビーム実験装置を用いた高エネルギー粒子と物質・材料との相互作用に関する基礎研究に取り組んでいる。また、もう一つの阪部助教授のグループでは、レーザー核融合研究に欠かせない超短パルス高強度レーザー装置[3]を開発すると共に、この装置を用いて高強度レーザーとプラズマの相互作用に関する基礎研究やレーザー核融合要素技術の開発に取り組んでいる。

研究テーマ

本講座では主に以下の 4 つの研究課題で活動を行っている。

(1) 核融合中性子に関する研究

DT 核融合反応によって生まれ、エネルギーの源となる 14MeV 中性子の計測を中心にその振る舞い

や影響についての研究を行っている。実際には、強力 DT 中性子源 OKTAVIAN と FNS を利用して、核融合中性子の輸送と効果に関する研究を行っている。核融合反応の進み具合は発生する中性子の量やエネルギーから正確に診断される。核融合診断装置の開発研究では、レーザー核融合実験の為に高時間分解能中性子ストリーク管を始め、各種の新しい中性子エネルギー spektrometer を開発してきた。また、核融合診断技術開発の他に中性子の影響研究にも取り組んでいる。各種機能材料の中性子照射損傷や複合材料素子等における中性子誘導雑音問題、また、DD・DT 中性子効果相関等の研究も手がけている。

(2) 多機能精密イオンビーム照射装置の開発と応用

エネルギー開発には高速粒子と材料の相互作用に関する研究が欠かせない。材料中の高エネルギー粒子の輸送を調べるために、微細領域に高速イオンを 1 個ずつ正確に打ち込めるマイクロシングルイオン照射装置を開発した。これまでに、本装置を利用して、微細構造を有する各種の核融合診断機器要素や精密センサーの放射線環境下での特性評価を行なってきた。また、高速イオンの輸送シミュレーション計算との比較により、それらの要素中に誘起される効果について解析・考察している。



写真1 TWチタンサファイアレーザーシステム(T6)

(3) 超短パルス高強度レーザーの開発と応用
130fs, 500mJ, 10Hz のテーブルトップサイズのチタンサファイアレーザーシステム(T6レーザー: 写真1)を開発し、超高強度レーザーとプラズマ相互作用の研究を行なっている。具体的には、T6レーザー生成プラズマから発生する高輝度のX線や高エネルギー電子、イオンの発生機構について考察している。将来の展開としては、レーザー誘起放射線源の開発や核励起研究にも繋げて行きたいと考えている。また、フェムト秒レーザー関連技術の開発と応用研究にも取り組んでいる。

(4) クラスタースタービーム発生装置の開発と応用
現在、レーザー技術総合研究所と協力して、重水素クラスタースタービーム発生装置の開発を進めている。そして、重水素クラスタースタービームと高強度レーザーやイオンビームとの相互作用についての実験を行う予定である。特に、DD核融合反応によって発生するであろう中性子を詳細に測定し、レーザーと重水素クラスタースタービームの相互作用のダイナミクスについて調べるつもりである。

主要論文・著書

- [1] 強力 14 MeV 中性子源を利用した核融合中性子工学の発展, 応用物理, 64, 931(1995).
- [2] 計測機器の DT 中性子照射効果, 核融合研究 II - 核融合炉工学, 第3章 4.3 節, 名古屋大学出版会(1995).
- [3] Table-Top Ultra-Short High-Intensity Pulse Lasers, Review of Laser Engineering 25, 855 (1997).

スタッフ



飯田 敏行 (教授, 工学博士)

1978 年大阪大学大学院工学研究科博士課程修了
核融合中性子工学、イオンビーム
応用、放射線(量子)計測
E-mail: iida@nucl.eng.osaka-u.ac.jp



阪部 周二 (助教授, 工学博士)

1980 年大阪大学大学院工学研究科修士課程修了
量子エレクトロニクス、光学、プラズマ物理、レーザー応用、原子物理
E-mail: sakabe@ile.osaka-u.ac.jp



佐藤 文信 (助手, 工学博士)

1999 年大阪大学大学院工学研究科博士課程修了
核融合中性子工学、イオンビーム
応用レーザー工学
E-mail: sato@finch.nucl.eng.osaka-u.ac.jp

応用量子線科学と その周辺

原子核機器学研究室

研究室人員：教授 1 名、助手 3 名、
技術専門員 2 名、秘書 1 名、学生 20 名
565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1
TEL: 06-6879-7891 FAX: 06-6879-7889
URL: <http://newjapan.nucl.eng.osaka-u.ac.jp>

研究室紹介

本研究室は、高橋亮人教授、村田勲(学内講師)、吉田茂生、宮丸広幸の 3 助手、杉本久司、伊達道淳の 2 技術専門員、宮田あい(秘書)と学生(B4 M1 M2 D)約 20 人より成る。研究テーマは、
1) 核融合中性子工学 2) 低線量放射線効果 3) イオンビーム固体相互作用 4) 固体内核反応と、大きく 4 分野である。

1) 核融合中性子工学では、ここ 20 年来 OKTAVIAN(大阪大学強力 14MeV 中性子源)を用いて研究を続けてきた。過去に、14MeV 中性子による中性子放出二重微分断面積を核融合に関係するほとんどの元素について測定しデータベース化した。世界中の標準データとして使用されている。また科研大学連合班により、リチウムブランケットのトリチウム増殖実験が行われた。現在、ブランケット積分実験と粒子(中性子、荷電粒子、線)放出微分断面積データの測定を継承している一方で、原研 FNS との協力研究も 2 年来すすめている。OKTAVIAN は現在に至って維持費が枯渇しているが、技術職員の努力で運転利用を続けており、材料損傷や核発熱評価の出発点データとして重要な荷電粒子(陽子、粒子)発生の微分データ(DDX)、線発生の微分データ測定に重点をおいている。原研 FNS との協同研究では、ITER の R&D

にも関連して先進ブランケット材料(リチウムチタネイト、アルミネイト、ジルコネイト)を用いてのニュートロニクス積分実験、核融合施設からの環境への放射線の評価するためのスカイシャイン測定、ビーム状 14MeV 中性子源を用いる(n,2n)反応の系統的断面積データ測定、等を行っている。このような核融合中性子実験の出来る施設は世界的に少数の場所に限られてきていて、貴重なものとなってきているので、出来る限り日本のこのアクティビティを存続する努力をする所存である。村田助手が研究活動の中心メンバーとなっている。

2) 低線量放射線の効果では、低線量放射線照射による放射線ホルミシス効果の研究(吉田助手が中心メンバー)に注目し、14MeV 中性子、2.5MeV 中性子、原子炉熱中性子、ガンマ線源を用いて、植物種子(カイワレダイコン等)への照射とその後の発芽、生育過程の観察により研究を進めている。現在までに、14MeV 中性子のみにより生育増長効果がみられ、効果発現のメカニズムについて研究をすすめている。

3) 低エネルギービーム固体反応では、OKTAVIAN の重水素のパルスビーム(パルス幅 2~3ns)を用いて TOF-RBS(TOF ラザフォード後方散乱)と NRA(核反応分析)の手法による試料表面分析と固体中での低エネルギー粒子ビームの物理

の研究を行っている。また、ガラス、アルミナ等の絶縁体を対象にしたイオンビーム誘起光発光過程の研究も行っている。宮丸助手が研究の中心メンバーとなっている。

4) 固体内核反応(いわゆる常温核融合)は、高橋があいた時間を利用して学生数人と行ってきた(ここ 10 年来)研究である。詳しいいきさつと学問的内容については「固体内核反応研究 No.1」工学社(1999 年 12 月刊)を参照されたい。これまでのところ、過剰熱と関連した ^4He の発生(中性子の非発生)事象が確認され、重水素の「コヒーレント核融合」が発生しているとみなされる。ミクロなコヒーレンス過程による固体内核融合のモデルとして、11 年前に 3 体(3D)、4 体(4D)核融合による ^4He の“静かな”発生モデルを提唱し、その後それを発展させている。また近年、「核変換生成物」の検出が多数グループから報告されるようになったが、これを説明する理論モデルとして「多光子誘起核分裂(MPIF)」を提唱している。MPIF の理論は、 $A>100$ の元素・核についてクリーン核分裂の可能性を示唆するもので、T キューブレーザーと X()線レーザの組合わせで MPIF を誘起する“クリーンな核分裂”の基礎研究に道を拓く可能性が注目される。Th-232 や U-238 の MPIF で MA や放射性 FP の非常に少ないミニ炉の実現、現用原発の高レベル放射化物(元素)のクリーンな消滅の新しい方法、 $100<A<210$ の元素のクリーンな核分裂によるエネルギー発生、等へむけた基礎研究が見込まれる。(高橋記)

スタッフ



高橋亮人 [教授, 工学博士 (大阪大学), 名誉理学博士 (チェンマイ大学)]

1965 年大阪大学大学院工学研究科修士課程修了
原子核機器学, 応用核物理, 中性子工学, ビーム固体反応
E-mail: akito@nucl.eng.osaka-u.ac.jp



村田勲 (助教授, 工学博士)

1988 年大阪大学大学院工学研究科修士課程修了
核融合中性子工学, 核反応, 粒子輸送理論
E-mail: murata@nucl.eng.osaka-u.ac.jp



吉田茂生 (助手)

1984 年東海大学工学部原子力工学科卒業
保健物理学, 核融合中性子工学, 放射線生物学
E-mail: yoshi@nucl.eng.osaka-u.ac.jp



宮丸広幸 (助手, 工学博士)

1992 年大阪大学大学院理学研究科物理学専攻修士課程修了
イオンビーム科学, 放射線物理
E-mail: miyamaru@nucl.eng.osaka-u.ac.jp



杉本久司 (技術専門職員)

1977 年京都産業大学理学部物理学科卒業
大阪大学強力 14MeV 中性子工学実験装置 (OKTAVIAN) オペレーター
E-mail: sugimoto@nucl.eng.osaka-u.ac.jp



伊達道淳 (技術専門職員)

1983 年大阪電気通信大学工学部電子工学科卒業
大阪大学強力 14MeV 中性子工学実験装置 (OKTAVIAN) オペレーター
E-mail: jun@nucl.eng.osaka-u.ac.jp

次世代エネルギー 変換材料の開発

原子力材料学領域

研究室人員：教官 3 名、学部学生 4 名
修士課程 9 名、博士課程 2 名
研究生 1 名

565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1
TEL: 06-6879-7888 FAX: 06-6879-7889
URL: <http://www.nucl.eng.osaka-u.ac.jp/2kouza/home2-jp.html>

研究室紹介

当大学の原子力工学専攻は原子力も含めたエネルギー全般を広く研究する専攻へ改組する予定で、それに伴い本研究室の研究対象も、佐野忠雄、三宅正宣両名誉教授の時代から行っている次世代原子炉用核燃料、燃料被覆材料、核融合炉第一壁をターゲットとした高融点材料の開発とその基礎物性の研究過程で得られた知見を基に、原子炉材料は勿論、磁性材料、電磁波吸収材料の開発や放射線の有効利用等エネルギー変換機能材料に関連する研究分野へと幅広く展開しつつある。

平成 13 年 2 月現在の本研究室の構成人員は、教授桂正弘、助教授山本孝夫、助手中川貴の 3 名の教官と、博士後期課程 2 名、博士前期課程 9 名、学部学生 4 名、研究生 1 名である。

研究概要

本研究室では、大別すると 6 つの研究課題を行っている。以下に具体的な内容を略説する。

(1) 高水素化ポテンシャル場での炭素のメタン化挙動

トカマク型核融合炉の高熱流束材料として有望な炭素は、水素イオンによる化学的スパッタリングとしてメタンが生成する欠点がある。アンモニアの分解を抑えることで非常に高い水素化ポテンシャル場を再現し、様々な炭素材料のメタン化過程の熱力学的な解析を行っている。

(2) 多元系希土類化合物の合成

軽水炉での高燃焼度化、高出力化に伴う燃料の健全性の観点から、核分裂生成物 (FP) として多量に析出する希土類の酸化物同士の固溶状態を調査し、相安定性を評価している。また、次世代核燃料として期待される窒化物の使用時における FP 挙動調査として、希土類窒化物固溶体についても同様の研究を行っている。これらの多元系希土類化合物の磁性材料への応用も視野に入れている。

(3) ナノ複合材料の磁気冷凍への応用

ナノサイズの粒子では粒内の磁性原子の磁気モーメント揃う単磁区構造を維持しうる。非常に巨大な磁気モーメント有する単磁区構造強磁性ナノ粒子を、非磁性材料に分散させると高効率の磁気熱量変換が可能で、この特徴は高温低磁場での磁気冷

凍に应用できる。これまでウラン窒化物合成で培ってきたアンモニア窒化法のノウハウを活かして、ナノサイズ鉄窒化物を非磁性マトリックスに分散させたナノ複合材料を合成し、鉄濃度や粒径が磁気熱量変換効率に与える影響を考察し、その向上を目指している。

(4) 超微粒子懸濁水への放射線照射

チタニアやアルミナなどの超微粒子の懸濁水に線を照射すると、通常の水の放射線分解に比べ遙かに高収量の水素ガスが得られる。この水素ガス発生メカニズムに粒子表面が大きく関与していることを突き止め、収量向上に向け微粒子の化学種、粒径、凝集量、比表面積あるいは懸濁水のpH等の実験パラメータの最適化を試みている。フェノール、ダイオキシン等の有毒物質の無害化への応用も含め、使用済み核燃料から発生する放射線の有効利用法として検討している。

(5) 高周波数電磁波吸収材の開発

近年、電子機器のGHz帯周波数の利用に伴い、GHz電磁波吸収材の開発が望まれている。BaZ型フェライト($Ba_3Co_2Fe_{24}O_{41}$)は、有望な高周波数電磁波吸収材の一つであり、これまでの本研究室での研究で、Coの一部をFeで置換すると、その透磁率が向上し相安定領域が拡大することを見出した。磁化測定や高温中性子回折、XPS解析から金属イオンの価数や置換されるサイトを特定し、実用化に向けた電磁波吸収特性の更なる改善を行っている。

(6) XAFSによる物質の相同定と化学状態、局所構造の解析

X線吸収微細構造(XAFS)は特定元素の電子状

態やその元素近傍の局所構造に関する情報を得られる有力な手段である。固溶体中でも着目元素のみの情報を引き出せるので、非常に複雑な使用済み燃料中の各元素の化学状態の特定に利用できると考え、多元系希土類化合物中の各元素の原子価、局所構造の解析を行っている。また、ナノコンポジット中の少量元素の相同定や、Z型フェライト中の各金属元素の占有サイトの特定にも応用している。

最近の研究成果

- [1] M. Katsura *et al.* : Thermodynamics of the Formation of CH_4 by the Reaction of Carbon Materials by a Stream of NH_3 , *J. Nucl. Mater.* **258-263**(1998)839 .
- [2] T. A. Yamamoto *et al.* : Magnetic Entropy Change of Nanocomposites Composed of a Silver Matrix And Grains Of Iron-Oxide or -Nitride, *Materials Research Society Symposium Proceedings* **581**(2000)297.
- [3] S. Seino *et al.* : Hydrogen Gas Evolution From Water Dispersing Nanoparticles Irradiated With Gamma-Ray, *Materials Research Society Symposium Proceedings* **608**(2000)505.
- [4] T. Tachibana *et al.* : Thermally Stable Region And Magnetic Properties of Z-Type Hexagonal Ferrite: $Ba_3Co_{2-x}Fe_{24+x}O_{41}$, *The 8th Int. Conf. on Ferrites Proc.*, (Received).
- [5] T. Nakagawa *et al.* : Study on local structure around Ce and Gd atoms in CeO_2 - Gd_2O_3 binary system, *J. Synchrotron Rad.* (in press).

スタッフ

桂 正弘 (教授、工学博士)

1964年大阪大学大学院工学研究科修士課程修了
原子力材料、核燃料、窒化物、炭素材料、熱力学
E-mail:katsura@nucl.eng.osaka-u.ac.jp

山本 孝夫 (助教授、工学博士)

1981年大阪大学大学院工学研究科修士課程修了
原子力材料、ナノマテリアル、放射線化学、
磁性材料
E-mail:takao@nucl.eng.osaka-u.ac.jp

中川 貴 (助手、工学博士)

1995年大阪大学大学院工学研究科修士課程修了
原子力材料、希土類化合物、XAFS、構造解析
E-mail:nakagawa@nucl.eng.osaka-u.ac.jp

流体・熱流動工学講座

独創的技術でエネルギー・
環境問題の解決を

熱流動工学領域（片岡研究室）

研究室人員：教官 4 名、学部学生 10 名
修士課程 9 名、博士課程 1 名

大阪府吹田市山田丘 2 - 1

TEL: 06-6879-7256 FAX: 06-6879-7247

URL: <http://www-thd.mech.osaka-u.ac.jp>

研究室の概要

大阪大学大学院工学研究科機械物理工学専攻流体・熱流動工学講座には、流体工学領域と熱流動工学領域があり、熱流動工学領域（片岡研究室）では、エネルギー・環境問題に関連した熱流動の基礎と応用の研究を行っている。具体的には核融合炉、核分裂炉も含めた機器の設計、安全性に関連した気液二相流の流動と熱伝達の基礎的な研究、並びに、マイクロチャンネル内の気液二相流の特性、機能性混相流の開発、環境汚染物質の除去技術の開発等の研究を行っている。特に最近では、新技術の開発と産学連携に力を注いでいる。

研究テーマ

気液二相流の基礎方程式とその数値モデルに関する研究

気液二相流の流動伝熱現象を正確に予測するため気液二相流の保存式の瞬時・局所的な定式化から出発して、厳密な平均化手法を用いて、質量、運動量、エネルギーの平均値、並びに乱流エネルギー、乱流散逸、レイノルズ応力等の高次の変動量の保存式さらには気液二相流に特有の量である気液界面積の保存式の厳密な定式化を行っている。またこれらの平均化方程式に現れる様々な構成関係式、特に界面輸送項について、実験データと物理モデルに基づき関係式の開発を行っている。また気液二相流の基礎方程式の持つ数理的な性質についての研究を行い数学的に整合性のある基礎方程式の開発を行っている。

環状噴霧流の液滴挙動並びに乱流構造についての研究

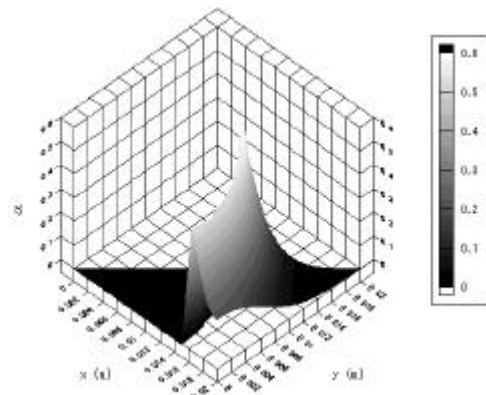
環状噴霧流の流動伝熱特性、ドライアウト現象は原子炉、ボイラー等において極めて重要であるが、

これらを正確に解析するためには液膜からの液滴の発生、気流中での液滴の拡散、液膜への付着、また、これらと極めて密接な関係を持つ液膜流、気相流の乱流特性についての知見が必要である。特に液滴の拡散、付着特性については実験データのばらつきも大きく正確な評価方法の確立が必要である。これに関して、気相の乱流中での個々の液滴挙動をラグランジュ的に解析しそれを統計的に取り扱うことにより液滴拡散、液滴付着率を予測する研究を行っている。この場合、気相の乱流は、液滴、並びに液膜の界面波により影響を受けると考えられるので、これらをモデル化した乱流解析を行うとともに、実験により液膜、液滴のおよぼす気相乱流への影響の測定を行っている。また、これと併せて、環状噴霧流の液滴、液膜、気相流の流動特性並びに液膜ドライアウト熱流束を多流体モデルを用いて解析し、ロッドバンドル等の複雑の形状について予測する手法の開発を行っている。

気泡流（特に沸騰二相流）のボイド率分布並びに乱流構造の研究

原子炉、ボイラー等の伝熱装置の流動特性、伝熱特性、バーンアウト熱流束の正確な評価するためには、気泡流の乱流特性、ボイド率分布の厳密な解析が必要である。これに関連して、気泡流における乱流分布並びにボイド率分布の解析を行っている。特に気泡による乱流生成、乱流吸収、気泡の乱流拡散について適切なモデル化を行い乱流分布、ボイド率分布の解析を行い、空気 - 水系気泡流の実験データとの比較を行っている。また実用上重要な沸騰二相流の乱流についても伝熱面から発生する気泡の乱流場並びにボイド率分布に及ぼす影響をモデル化することにより、複雑な形状の流路を含めた解析を行っている。第1図はロッドバンドルにおける沸騰二相流のボイド率分布の予測結果（対称性を仮定して1/8セクションについての計算結果）を鳥瞰図として表したものである。さらに、ボイド率分

布と乱流分布の予測結果とバーンアウトについての適当なモデルを用いることにより気泡流領域でのバーンアウト熱流束の解析的予測手法の開発を行っている。

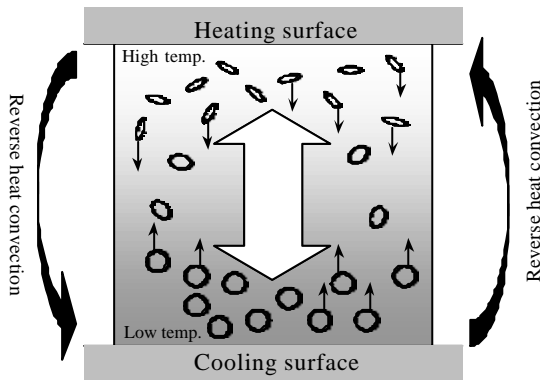


第1図 ($j_{L0}=2.0\text{m/s}$, $d_B=0.002\text{m}$, $q_w=104\text{W/m}^2$, $z=0.50\text{m}$, $D_H=0.020\text{m}$, $R=0.015\text{m}$)

機能性混相流に関する研究

近年では混相流の持つ単相流には見られない多様な流動、伝熱、物質伝達特性を積極的に利用して、より高度な機能を持った流体（機能性流体、知能性流体）を開発する試みが行われるようになり、研究が進められている。これに関連して、様々な機能性の材料を用いて特殊な熱的、流体力学的特性を持った粒子を作成し液体の中に分散させることにより、新しい流動伝熱特性をもった機能性混相流の開発を行っている。

第2図は現在開発を行っている逆熱対流混相流体の概念図であり、この流体は加熱されると密度が大きくなる性質を持ち、通常の流体とは逆の自然対流特性を示す。この流体を用いて、湖沼や沿岸浅海域の水環境の改質に応用することを計画している。この技術は科学技術振興事業団の特許化支援事業により特許申請中であると共に同事業団の独創的研究成果育成事業として企業との共同開発、製品化に取り組んでいる。



第2図

マイクロチャンネルにおける気液二相流の流動挙動の研究

非常に細い管（広い意味でマイクロチャンネルと呼ぶ）では表面張力の影響が大きくなり、気液二相流の流動特性は通常口径管に比して大きく異なり、極めて興味深い挙動を示す。このようなマイクロチャンネル内の気液二相流の流動挙動について実験並びに解析を行っている。こうしたマイクロチャンネル内の気液二相流特性を応用した極めて高効率で低揚程の流体輸送装置や超高熱流束冷却装置など、新たな特性を持つ流動伝熱機器の開発を行っている。

環境汚染物質の除去技術に関する研究

微粒子や化学物質等様々な汚染物質による大気環境の悪化は現在益々深刻化しており、その除去技術の開発は産官学挙げて取り組むべき緊急の課題である。

これに関連して、気体中の微粒子の熱流体場中での挙動について実験並びにシミュレーション等の基礎的な研究を行うと共に、それらを応用した革新的な除去技術の開発を行っている。現在開発中のものとしては、ディーゼルエンジン排ガス中の浮遊性粒子状物質の除去技術に関して、新しいフィルターを開発し、科学技術振興事業団の特許化支援事業により特許申請中であると共に企業との共同開発のより実用化に取り組んでいる。

主要論文・著書

- [1] Isao Kataoka, I., et al., "Entrainment and Deposition Rates of Droplets in Annular Two-Phase Flow," Int. J. Heat & Mass Transfer, 43, 1573-1589 (2000).
- [2] 片岡（分担執筆）『機能性流体・知能流体』コロナ社（2000）

スタッフ

片岡 勲（教授、工学博士）

1975年京都大学大学院工学研究科修士課程修了
熱流動工学
E-mail: kataoka@mech.eng.osaka-u.ac.jp

大川富雄（講師、工学博士）

1990年東京工業大学大学院工学研究科修士課程修了
熱流動工学
E-mail: t-okawa@mech.eng.osaka-u.ac.jp
吉田憲司（助手、工学博士）

1999年大阪大学大学院工学研究科博士課程修了
熱流動工学
E-mail: yoshida@mech.eng.osaka-u.ac.jp?
松本忠義（助手）

1967年宇部工業高等専門学校卒業
熱流動工学
E-mail: t_matumoto@mech.eng.osaka-u.ac.jp

磁場反転配位 プラズマの研究

超高温計測研究部門

研究室人員：教官 3 名、学部学生 2 名
修士課程 3 名、博士課程 1 名
565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1
TEL: 06-6879-7915 FAX: 06-6879-7916
URL: <http://www.ppl.eng.osaka-u.ac.jp/>

研究施設紹介

本研究施設は、「超高温プラズマに関する基礎的研究を行うこと」を目的として昭和 42 年に工学部附属研究施設として創設され、平成 10 年に大学院工学研究科附属施設に移行した。特別設備として、昭和 43 年に「入射型プラズマ装置」、昭和 51 年から 3 カ年計画で「衝突圧縮加熱プラズマ保持装置 PIACE」、昭和 54 年に「同上計測装置」、平成 7 年に「多機能粒子ビームプラズマ複合装置」を設置している。

研究内容としては、昭和 55 年から小型核融合炉実現を目指したコンパクトトラスの研究を、昭和 62 年からはこれの加熱・保持および産業応用を目指した大容量粒子ビーム研究、更にその応用としての薄膜形成の基礎研究、プラズマを用いた表面処理の研究等を超高温計測研究部門及び高温発生研究部門の 2 部門で行っている。

研究テーマ

コンパクトトラス、特に磁場反転配位 (Field Reversed Configuration : FRC) プラズマはトカマク等の磁場閉じ込め装置の 10 倍程度の高いベータ値 ($\beta \sim 1$) を持っており、同一の磁場強度で 10 倍程度の圧力を持ったプラズマを保持することができる。このため、重水素 - 三重水素を燃料とするトカマク

と同程度の磁場強度で、これより中性子発生がはるかに少ない重水素 - ヘリウム 3 ($D - {}^3\text{He}$) 反応を用いた先進燃料核融合炉を構成できる可能性がある。 $D - {}^3\text{He}$ 核反応生成物は荷電粒子であり、これを効率の高い直接発電に導くのが容易であることも直線状装置に保持される FRC の長所となっている。

FRC プラズマを炉心とした核融合炉の成功の可否を握っている要素の一つとして FRC プラズマの移送がある。この移送により、高速・高電圧放電が必要な生成部と、加熱装置との近接性のよい燃焼部を分離することが可能になり、工学的に有利なものとなる。また、プラズマ温度を下げることなく密度を制御できることから、中性粒子ビーム入射などの加熱装置の適用が可能となる。

本研究施設では FIX (FRC Injection eXperiment) 装置 (写真 1) を用いて、FRC プラズマの生成、移送、定常維持等の実験研究を行っている。石英管製の生成部にてセータピンチコイルを用いて FRC プラズマを生成し、これを金属製チェンバーの閉じ込め部に移送している。閉じ込め部において中性粒子



写真 1 : FRC プラズマ実験装置 FIX

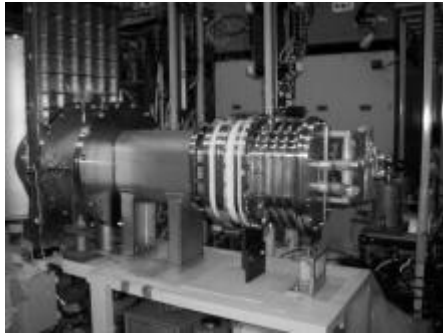


写真2：FIX用中性粒子ビーム入射装置

ビーム入射や波動印加等による維持、加熱実験を行っている。中性粒子ビーム入射実験(写真2)では、14keV、23AのビームをFRCプラズマに入射することによって、ミラー比7以上の条件下で200%程度の配位持続時間の伸長が確認された。

また、FRCプラズマに同軸に配したコイルによりイオンサイクロトロン周波数より低い周波数(約80kHz)の揺動磁場をパルス的に印加する実験を行った結果、主にイオン加熱としてプラズマにエネルギーが吸収されていることが確認されている。セパトリックス外部においては励起されている揺動の分散関係はシアアルフベン波のそれによく一致しており、圧縮性の波動からのモード変換およびエネルギー吸収機構の存在を示唆している。

他に、本研究施設では、結晶成長に最適と考えられる10~100eVのエネルギーを持つイオンビームを精度良く照射可能な低エネルギーイオンビーム

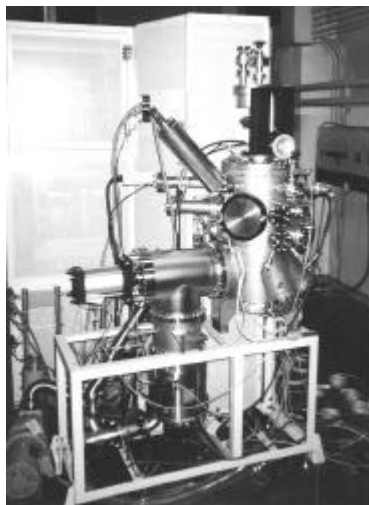


写真3 低エネルギーイオンビーム装置(成膜部)

堆積装置(写真3)を開発し、同装置を用いて薄膜形成に関する基礎並びに応用研究を行っている。最近の研究テーマは、高性能な次世代半導体のもとになる炭化ケイ素(SiC)の低温成膜技術の開発などがある。

また、プラズマを用いた表面処理技術は、処理速度が速い、廃液を出さないなどのメリットがあり、金属やプラスチックなどに対して、対摩耗性や接着性の向上などに応用されている。最近普及しつつあるインバーター電源を応用したDCバイポーラパルス型のプラズマ発生装置により、このような処理の低コスト化を目指す研究も行っている。

主要論文・著書

- [1] “FRCプラズマの能動制御 定常維持に関する要素研究” プラズマ・核融合学会誌、vol.77, No.2 (2001), 掲載予定。
- [2] “FRCプラズマの実験”、プラズマ・核融合学会誌、71, 508 (1995)。

スタッフ



岡田 成文 (教授、理学博士)

1978年 東京大学大学院理学系研究科
物理学専攻博士課程退学
プラズマ物理学

E-mail: okada@ppl.eng.osaka-u.ac.jp



杉本 敏司 (助教授、工学博士)

1986年大阪大学大学院工学研究科
博士後期課程修了
プラズマ計測、プラズマ応用、
電子回路工学

E-mail: sugimoto@ppl.eng.osaka-u.ac.jp



井 通暁 (助手、工学博士)

2000年東京大学大学院工学系研究科
博士課程修了
プラズマ物理、プラズマ計測

E-mail: inomoto@ppl.eng.osaka-u.ac.jp

**先端科学技術に必要な高性能
レーザー技術の研究とその応
用を目指して！**

構成：
井澤靖和教授（工学研究科原子力工学専攻担当）
中塚正大教授（同電気工学専攻担当）
宮永憲明教授（同電子工学専攻担当）
藤田尚徳助教授（同電気工学専攻担当）
實野孝久助教授（同電子情報エネルギー専攻担当）
乗松孝好助教授（同原子力工学専攻担当）
阪部周二助教授（同電子情報エネルギー専攻担当）
神前康次助教授（同電子情報エネルギー専攻担当）
椿本孝治助手（同電気工学専攻）
長井圭治助手（同原子力工学専攻）
藤本靖助手（同電気工学専攻）
565-0871 吹田市山田丘 2-6
TEL:06-6879-8700 Fax:06-6877-4799
URL: <http://www.ile.osaka-u.ac.jp>

高出力レーザー工学部門の研究者を中心に、工学研究科電子情報エネルギー工学専攻他の研究者と協力してレーザー核融合を始めとする先端的な科学技術やその産業応用を目的として、高性能レーザー技術の開発とその応用研究、およびレーザー核融合炉技術開発での最近の課題を紹介する。

高出力レーザー工学グループ

レーザー核融合の実現に向けて現有の激光XII号レーザーシステム(図1)の改良と、小型、高出力、高効率の固体レーザーの開発研究を行っている。主な研究テーマと内容は以下の通りである。

1. 新固体レーザー材料・素子の研究（中塚

教授）

固体レーザーの小型化、高出力化、高繰返し化には熱耐力が高く、熱による光学特性変化の少ないレーザー材料、波長変換素子などが不可欠である。現在、核融合レーザーにはNdを発光体とするNdガラスレーザーが、また産業用レーザーとしては、Nd:YAG結晶が



図1 激光XII号ガラスレーザーシステム

用いられている。Nd ガラスレーザーは大型化が容易であるが、熱耐力が低いため、実用炉用の高繰返しレーザーとしては問題が残る。

一方 YAG 結晶は大型化が問題である。

高繰返し、大出力レーザーとして、ガラスよりも熱耐力に優れ大型化が可能な石英を母材とし Nd や Yb を発光体とする石英ガラスレーザーや、多結晶セラミック (YAG や CNGG) を母体とするレーザー材料の研究を行っている。また、従来、固体レーザーは Xe フラッシュランプが励起源として利用されていたが、半導体レーザー (LD) の高出力化とその積層技術の進歩、およびこれを用いることで熱負荷が軽減できること、LD 励起固体レーザーが主流になりつつある。特に発光体の Yb は準 3 準位系で、高いレーザー効率、熱負荷の軽減が可能であるため、Yb 用の母材の追求が重要な研究テーマとなっている。

優れたレーザー特性を示す Nd や Yb 固体レーザーは、発振波長が $1 \mu\text{m}$ 近傍の赤外域であるので、核融合レーザーとして用いるためには波長変換が不可欠である。紫外域までの波長変換が可能で、大型化が可能な KDP 結晶の高速育成技術の開発(図 2)、およびその育成技術の X 線回折用結晶や焦電検知用結晶への適用研究も進められている。KDP 結晶の育成に関しては、従来 $1\text{-}2\text{mm/day}$ であったものが、 50mm/day を可能にしている。この他、大型の反射防止膜や反射鏡の高性能化、製作コストの低減に向けて、ゾングル法による反射防止膜作成技術、表面化学反応による誘電体多層膜製作技術の開発を進めている。



図 2 波長変換用大型 KDP 結晶

2. レーザービーム制御技術 (宮永教授、藤田助教授)

レーザーの利用にあたっては、その利用目的に合った形で、レーザーのコーヒーレンス (可干渉性) 強度分布、集光特性の制御が求められる。パルスレーザーにあつては、さらにパルス幅・波形制御が求められる。これらはレーザーの位相を制御することにより可能となる。

a) 標的照射均一性向上研究

レーザーはコーヒーレンスが高いため、光路に存在する媒質に損傷や不均一があると回折、干渉効果等により波面が乱れ、一様な強度分布が得られない。

核融合研究にあたっては、これが障害となり爆縮の一様性が劣化する。また、産業応用の一つである紫外レーザーリソグラフィや表面加工にあつても一様均質なパターンニングに障害を及ぼす。

標的照射均一性向上を目的として、直接的にコーヒーレンスを制御する技術として位相制御素子の研究、集光パターンの制御技術、位相共役鏡技術等の研究を行っている。

光のコーヒーレンスはスペクトル幅が狭い

ほど高くなり、干渉効果が大きくなる。このため、レーザー発振のスペクトル幅を広くしたり、空間的なコーヒーレンスを小さくすることにより干渉性を抑制することが可能となる。しかし、コーヒーレンスの低下はレーザー性能を低下させ、増幅時の効率や波長変換効率を低下させる。レーザーの効率を下げることなく、標的照射の均一性を向上する技術として、(1) 空間分散制御 (Smoothing by Spectral Dispersion, SSD) や (2) 位相制御板の導入による方法などの研究を進めている。SSD はコーヒーレントではあるが時間・空間的に波長が周期的変化する広帯域光を発振器で発生させ、標的上で時間・空間的に平均化して均一な強度分布を得る方法である。また、位相制御板による方法としては、任意の強度分布を実現できるキノフォーム位相板と呼ばれる空間的に位相を制御する素子がある。この位相制御板として、光による制御パターンの書き込み、消去が可能な液晶素子の高レーザー耐力化や高性能化の研究を行なっている。

位相共役鏡は、入射光と位相が反転した反射光を作る鏡で、反射光が元来た光路を逆進すると、往で受けた位相歪が復路でキャンセルされ、無歪レーザー光の実現を可能にするものである。この位相共役鏡をレーザーに応用するには素子破壊や性能低下等の諸課題の解決が必要である。

その他、波動方程式の解に存在するポインティングベクトル (光エネルギーが伝播する方向) が回転するレーザービーム (ラゲールビーム) や非回折ビームとなるベッセル・ガウスビームの研究を行っている。これらは、

レーザーと物質との相互作用に新しい現象を発現すると期待されるばかりでなく、非常に長い焦点深度を持つ光となる可能性があり、加工や計測、宇宙利用などの長距離エネルギー輸送などへの応用が期待される。

短パルスレーザー工学グループ

工学研究科電子情報エネルギー工学専攻、他大学、(財)レーザー技術総合研究所、民間企業との協力、共同研究により、新しい学術、先端科学、産業技術を切り拓くものとして注目されている短パルスレーザー技術の開発と高出力レーザー応用研究を行っている。

1. 超短パルスレーザー技術 (實野助教授)

T³ (Tunable Table-top Tera-watt) レーザーとして最近注目を浴びている超短パルス (フェムト秒、 10^{-15} sec) 高強度レーザー (テラワット、 10^{12} W 以上) によるレーザー核融合の新しい点火法である高速点火の研究や先端科学技術、産業技術への応用に必要なレーザー技術の開発を行っている。

超短パルスレーザーの高出力化、高安定化に向けての独創的な増幅技術の開発、パルスの再圧縮時に問題となるレーザー光の波面歪の補正技術、超高強度に耐えられる分散素子等の研究を行っている。出力の安定化に向けた研究として、増幅過程でのスペクトル幅の狭帯域化の少ない非線形光学効果を利用したパラメトリック増幅の研究、歪んだレーザー光の波面を補正する波面補償技術の研究を行っている。また、高速点火研究には出力エネルギー数 kJ 数 10kJ のペタ (10^{15}) ワットレーザー (図 3) が必要であり、それに用いる分

散素子である大口径、高レーザー耐力の回折格子（口径 1 m）の開発を検討している。

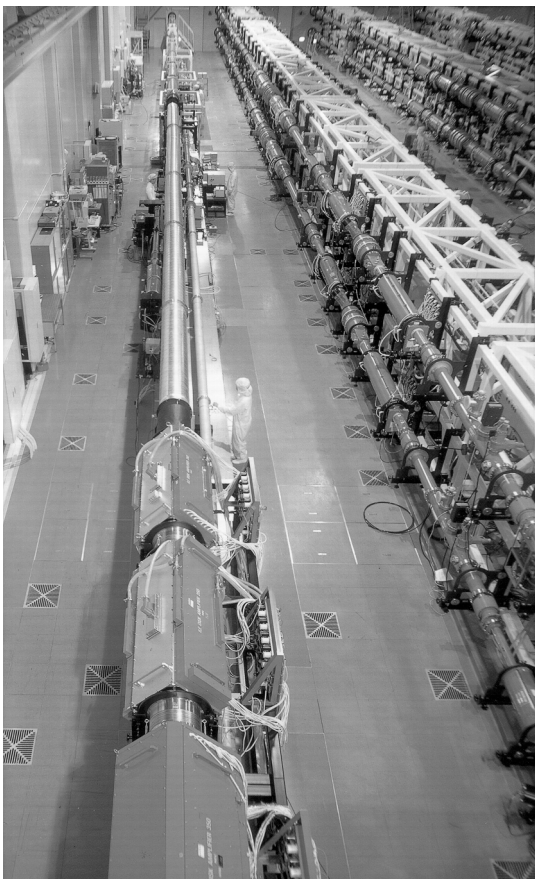


図3 激光XII号に付け加えられたPWレーザー用増幅器列

2. レーザーの応用研究（井澤教授、阪部助教授）

フェムト秒レーザーを用いると構造が変化するよりも短い時間でエネルギーを物質に注入できる。また、大きな非線形効果を誘起できるばかりでなく原子のポテンシャル場を変化させることができる。さらにレーザー強度が (10^{18} W/cm²) に達すると物質、特にプラズマとの相互作用において相対論的効果が発現し、これまでの光では考えられなかった色々な現象が発現する。この様な新しい現象の発現とその応用研究を進めている。現在行って

いる研究は、クラスター標的への超短パルスレーザー照射による強力なX線発生、中性子発生、原子核の励起や空気などのガス中を伝播させた時に発生する自己束縛状態で伝播する白色光を利用した、また分子の分解を伴わない状態で分子を電離できる性能を利用した環境汚染物質、炭酸ガスやメタンなどの地球温暖化ガスやダイオキシンなどの検出の研究を行っている。

この他、レーザー応用研究として、医療、科学研究、原子力発電プラントに必要なとされる元素の同位体の分離の研究、レーザーにより大気中に長尺のプラズマを生成して、これにより雷を所定の場所に落雷させ、雷災害を防止するレーザー誘雷の研究、レーザーによる宇宙デブリの除去の基礎研究などを行っている。

レーザー核融合技術グループ

炉用レーザー基礎研究、燃料ペレット技術、炉技術の研究を行っている。

1. 炉用レーザー技術（山中助教授）

広く産業応用のために研究されている半導体レーザー（LD）励起固体レーザーは、レーザー核融合の炉用レーザーとしての性能（高率 10%）を有する。また、炉用レーザークラスものは宇宙デブリ除去、飛翔体推進などの宇宙応用にも活用できる。

炉用レーザーの実用化の要となるLDの高効率化、レーザー材料の熱的課題の研究、高効率エネルギー取出し、ビームの高品質化の研究を行っている。

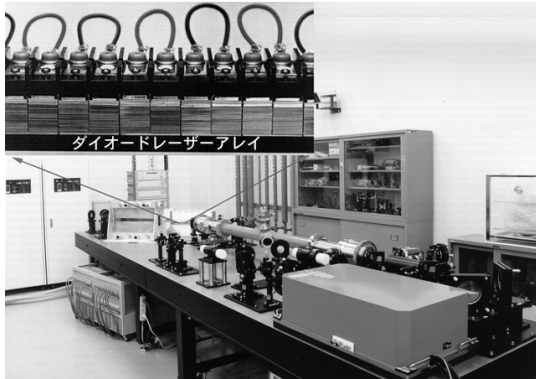


図4 LD アレイ(左上)と水冷式ジグザグスラブレザー

水冷方式のジグザグスラブ型(図4)、伝導冷却方式のスラブ型などの高い冷却効果を持つ高効率増幅器の開発、これに必要な要素技術(熱除去技術、熱効果による波面歪の補正技術等)の研究を10J-10Hz レーザーを構築して行うと共に、炉用ドライバーの1モジュールとしての10kJ、10Hz レーザーに向けての設計研究を行っている。

各ビームから出力されるレーザー光の波面や位相をそろえることができれば、複数ビームをあたかも単一ビームとして伝送することができ、実用上利点大きい。コーヒーレント結合は、複数の出力ビームの波面や位相をそろえる技術であり、これが実現されれば、小出力のレーザー装置を多数並列運転し、大きなレーザー出力を得ることができるため、レーザー加工など産業技術としても魅力的な技術である。非線形光学現象を利用する4波混合、位相共役鏡などの技術を駆使して、その実現に向けて研究を進めている。

2. 燃料ペレット技術(乗松助教授)

レーザー核融合実験に必要な燃料ペレット容器、固体 D_2 、DT 燃料層の生成技術と検査技

術、レーザー照射位置への燃料ペレットのインジェクション・トラッキング技術、燃料ペレット性能向上のための機能性材料の開発などを進めている。

燃料容器製作技術にあたってはプラスチックシェルの真球形、シェル厚の均一性、表面精度の改善技術と機構の研究、検査技術の研究を進めている。(図5)

インジェクション、トラッキング技術では、燃料ペレットを 300m/s 以上で炉内に投入する必要があるが、その投入技術、精度 100 μ m 以下での炉内軌道予測技術、極低温燃料ペレット(15K)と炉内ガスとの相互作用の研究を行っている。

機能性材料研究にあつては、照射レーザーの不均一性効果を低減するための光機能性材料や液体 D_2 、DT 燃料層を均一化するための極低密度フォームの形成技術、レーザー照射面より発生するX線や高エネルギー電子に

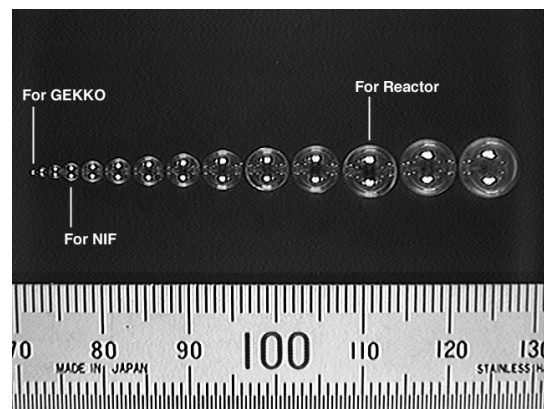


図5 ポリスチレン燃料容器

よる燃料層の先行加熱を抑制する機能を有する材料開発の研究を行っている。

3. 炉技術(神前助教授)

レーザー核融合では炉容器の保護のために液体金属層を内面に持つウェットウォール炉、XeのX線吸収特性の高い希ガスを低圧に充填したドライウォール炉等が提案、概念設計されている。いずれの場合においても、燃料ペレットの燃焼時に炉内ガス圧が上昇する。この圧力を次の燃焼までに凝縮（ウェットウォール

の場合）または排気し、燃料ペレット投入、レーザー照射に対して障害にならないようにする必要がある。

液体金属壁での蒸発した金属蒸気の再凝縮特性の研究、ガス存在時のレーザービームの伝播の問題等の炉内環境に関するシミュレーション研究、実験研究を行っている。

大阪大学 レーザー核融合研究センター プラズマ実験部

炉心プラズマの原理実証を 指して！

構成：
山中龍彦（センター長、工学研究科電気工学専攻担当）
畦地宏教授（同電子情報エネルギー工学専攻担当）
北川米喜助教授（同電子工学専攻担当）
白神宏之助教授（理学研究科物理学専攻）
565-0871 吹田市山田丘 2-6
TEL:06-6879-8700 Fax:06-6877-4799
URL: <http://www.ile.osaka-u.ac.jp>

爆縮核融合部門超高強度光学部門の実験研究者、および工学研究科電子情報エネルギー工学専攻の研究者と協力してレーザー核融合の点火・燃焼に向けて展開されている超高強度レーザーによる高速点火の原理実証研究と診断技術の最近の研究を紹介する。

高速点火研究グループ

（田中助教授、北川助教授、児玉助教授）

爆縮プラズマの中心に点火源となるホットスパークを持たない低温の高密度プラズマを生成し、この一部を超短パルス超高強度レーザーで加熱して点火を起こす高速点火は、中心点火よりも小さいレーザーエネルギーで大きな核融合利得が得られる方式で、近年注目を集めている先進的レーザー核融合法である。また、この研究は超高強度レーザーとプラズマの相互作用を通して強力な高エネルギー（MeV）X線、電子・イオンを発生し、原子核反応の誘起等の、これまでの光では実現できなかった相対論的効果の強い現

象を誘起し、「相対論的プラズマ非線形光学」と呼ばれる新しい学問分野を拓きつつある。

現在、この高速点火法の原理実証に必要な基礎研究を出力1ペタワットレーザーを固体平面ターゲットや激光XII号レーザーで爆縮した超高密度プラズマに照射して研究を進めている。

主な研究テーマは

- 1) 超高強度レーザー ($>10^{19}\text{W}/\text{cm}^2$) のプラズマの中での伝播と非線形相互作用および吸収機構の研究
- 2) 超高強度レーザーによる高エネルギー電子、イオンの発生機構とこれらによる超高密度プラズマの加熱の研究

- 3) 高エネルギー X 線、電子による電子・陽電子対発生を始めとする核反応の研究
- 4) 超高強度レーザーによる電子加速の研究

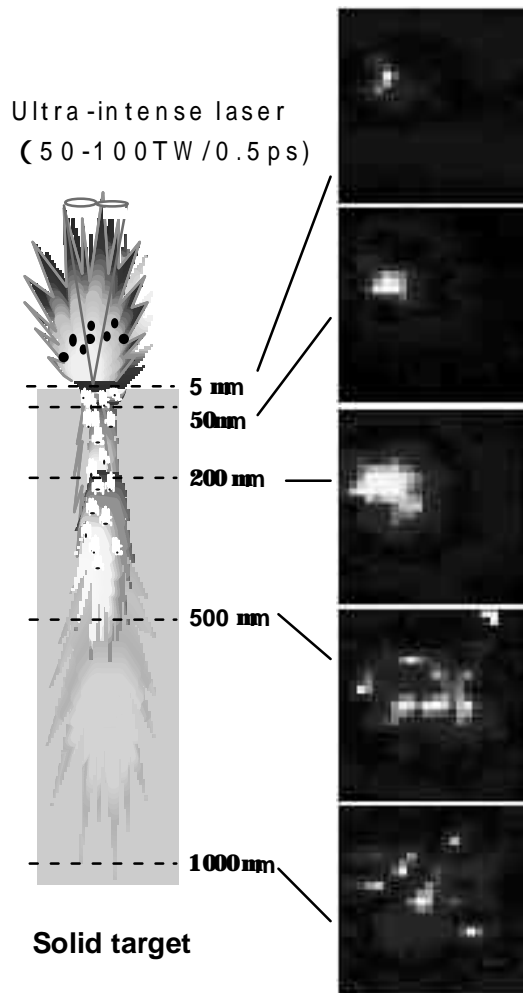


図5 固体中の高エネルギー電子の伝播

- 5) これらの集大成としての高速点火に必要な諸条件の解明と高速点火の原理実証

これまでの研究により、レーザーが遮断密度よりも高いプラズマ中を相対論的效果により自己収束を起こして伝搬すること(図5) この過程で発生する高エネルギー電子が、固体及び高密度プラズマ中をビーム状に伝搬すること、爆縮プラズマを加熱できることなどが明らかにされ、この分野での世界の研

究をリードしている。

流体爆縮研究グループ

(畦地教授)

レーザー核融合の炉心プラズマの実証には、爆縮の安定性による固体密度の 1000 倍以上の超高密度圧縮と、点火に必要な点火源の形成である。本グループでは、これまでに達成された固体密度の 600 倍よりも高い 2000 倍に及ぶ超高密度低温プラズマを実証するために必要なマクロな流体運動と爆縮プラズマの低温化の障害となる先行加熱に關係する X 線や電子によるミクロなエネルギー輸送に關係する諸問題ならびに爆縮プラズマの診断法の研究を行っている。

超高密度圧縮および爆縮プラズマの中心でのホットスパークの形成は、爆縮時に発生する流体不安定性により成長する不均一性の大きさに左右される。この流体不安定の起源は、レーザーを照射する燃料ペレットの表面凹凸と、レーザー照射の非一様によりペレット表面に誘起される凹凸や、運動の不均一である。また流体不安定性の成長率、飽和レベル、飽和後の乱流状態は、爆縮の駆動力として作用するペレット表面に生成されるプラズマの噴出速度や、内部へのエネルギー輸送に依存する。この流体不安定性の理解と制御、ならびに先行加熱の実験的研究とその応用としての超新星爆発地球マントルの研究をも視野に入れて進めている。また診断技術に関しては、ナノ秒で終了する超高速現象の 2 次元、3 次元画像計測技術として、X 線モアレ法やフレネルゾーンプレートようなコ

ード化された素子を通して得られる複写体情報より画像を再生するコーデイドイメージ法などの研究を行っている。

実験は世界最高クラスの 12 ビームガラスレーザー激光 XII 号よりの波長 $0.53\ \mu\text{m}$ の緑の光燃料ペレットを爆縮する球対称爆縮装置および、波長 $0.35\ \mu\text{m}$ の紫外光に変換して、12 ビーム束ねて一方向より平面ターゲットに照射して実験を行う高密度プラズマ実験装置(図 6)を用いて行っている。

HIPER:
High Intensity Plasma Experimental Research

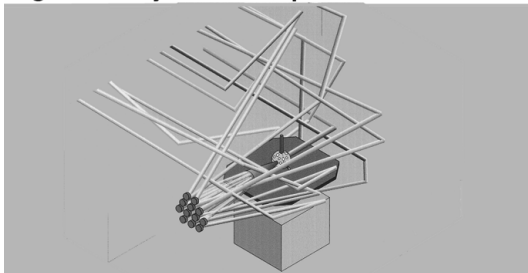


図 6 HIPER 実験装置ビームレイアウト

X線計測グループ

(西村助教授)

固体密度の数十倍から数百倍に圧縮されたプラズマの温度、密度を計測するには、飛程の長いX線や核融合反応で生成される中性子などを利用する必要がある。本グループでは温度、密度を計測するために必要なX線分光計測に関する実験的研究と波長分解2次元X線画像計測装置などの高性能X線分光計測法の研究を行っている(図7)。ドイツのイェナ大学光・量子エレクトロニクス研究との共同研究により湾曲結晶を用いて単色X線フレーミングカメラを開発し、これを複数用いて得られる異なる波長の空間分解像

と時間分解スペクトルを組み合わせる手法により、時間か空間分解された温度と密度の2次元プロファイルを導くことに成功している。またK線や特定の共鳴線スペクトルの形状測定のための高性能X線分光器や得られたデータより温度、密度の導出に必要な解析コード作成のためのデータベースの構築を進めている。

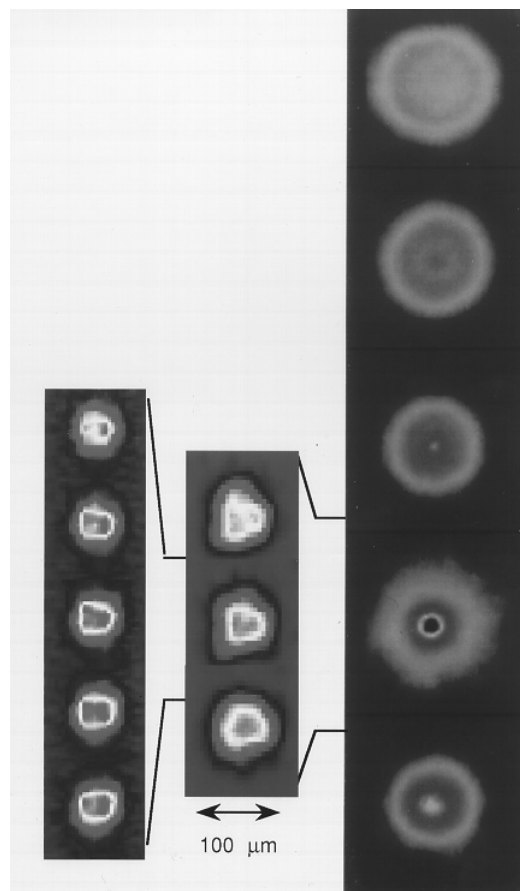


図 7 爆縮コアの超高速X線コマ撮り写真。一番左の列は露光時間 10ps、コマ間隔 35ps

レーザー核融合科学の体系化 を目指して!

構成：
三間 園興 教授（工学研究科電子情報エネルギー専攻）
西原 功修 教授（工学研究科電子情報エネルギー専攻）
高部 英明 教授（理学研究科物理学専攻）
山田 章一 助教授（理学研究科物理学専攻）
村上 匡且 講師（工学研究科電子情報エネルギー専攻）
長友 英夫 助手（工学研究科電子情報エネルギー専攻）
565-0871 吹田市山田丘 2-6
TEL:06-6879-8700 Fax:06-6877-4799
URL: <http://www.ile.osaka-u.ac.jp>

レーザープラズマ理工学部門と超高強度光学部門の超高強度レーザープラズマ発生研究領域の理論研究者により、レーザー核融合ならびにそれに関連する分野の理論的研究を行っている。

超高密度プラズマ理論グループ

（西原教授）

核融合燃料を高密度に圧縮するには、爆縮過程における一様性の向上と流体不安定性に関する研究ならびに超高密度プラズマの物理的理解とそのモデル化が重要である。流体不安定に関しては、線形、非線形理論のモデルの構築を行うとともに、燃料ペレット設計や3次元流体シミュレーションコードの開発を、また超高密度プラズマの物理に関しては、個々の粒子間力が重要となる強結合プラズマのダイナミクスの研究を分子動力学的手法を用いたシミュレーションにより研究している。また、超高強度レーザーと物質の相互作用の研究を3次元粒子プログラムを用いて行っている。これらの応用として、粒子加速、ソリトン形成、クーロン爆発などの研究を行っている。

複雑系シミュレーション研究グループ （高部教授）

レーザー核融合のターゲット設計に必要

な統合コードの構築とそれに必要な要素物理の研究及びその天体物理・核物理への応用研究を行っている。

1. レーザー核融合の要素物理

レーザー核融合では、レーザーとプラズマの非線型相互作用、高温流体の物理、多電子原子の非平衡統計力学、X線や荷電粒子の輸送論などが要素物理として重要である。これらの理論モデルの構築と数値計算コードの開発を行っている。現在は、電子の非局所エネルギー輸送と多次元空間内のX線輻射の非平衡、非局所なエネルギー輸送を中心に研究を行っている。

2. 統合コードの開発と大規模計算科学

レーザー核融合や天体物理は高温・高密度プラズマ流体というマクロな物理と原子物理、核物理などミクロな物理が密に絡んだ複合系の物理を研究対象としている。多次元流体コードをベースにした大規模数値計算コードの開発と、それを用いた実験・観測データの解析や予測、さらに、レーザーによる天体現象模擬実験の提案などの先見的研究を

行っている。この研究の中心はセンターのプロジェクトである、「レーザー核融合統合コード」の開発である。グループ外の教官とも連携してプロジェクトを推進している。

3. レーザー天体物理・レーザー核物理

ハッブル宇宙望遠鏡に代表される観測技術の急速な向上により、高度な宇宙物理の理論が要求されている。星の進化を中心とする宇宙150億年の発展シナリオ解明の重要課題が高強度レーザーを用いた実験室での模擬実験で解明し得るか検討している。主に、超新星爆発の物理機構やその残骸の流体・原子過程、ブラックホール周りや活動銀河核の相対論的プラズマやX線レーザー天体の可能性等が研究対象。また、超高強度レーザーを用いて、H, He様に電離させた高Z原子のK殻電子に10MeV程度のエネルギーを与え、核で散乱させ核の構造を解明する事が出来ないか等、考察している。

高速点火理論グループ

(三間教授)

1. 高速点火の理論・シミュレーション

球対称爆縮した高密度プラズマに超短パルスレーザーを照射、点火させる方式でレーザー核融合の新しい方式として注目されている。しかし、高密度プラズマに超高強度レーザーを照射した場合の物理現象の詳細はまだ解明されておらず、理論的手法と粒子コードなどの数値シミュレーションによる解析を行い、高速点火原理実証を目指している。

2. 超高強度レーザーとプラズマの相互作用

超高強度レーザー光はプラズマとの強い

相互作用によって粒子や電子を加速し、電子は相対論的な速度にまで達する。このような特性は、超高強度レーザーの高速点火方式への利用だけでなく様々な基礎物理への応用が期待されている。ここでは、特に高速電子、粒子の発生、衝突などの強い非線形プラズマ現象の研究を行っている。

3. 爆縮流体现象の理論・シミュレーション解析

レーザー核融合の爆縮では、プラズマ流体、レーザー伝搬、輻射輸送、状態方程式、中性子輸送等、様々な物理が含まれている。これらの現象は相互に作用するため、爆縮解析では物理モデルすべての式を考慮して解く必要がある。そこで、統合爆縮シミュレーションコードの開発を中心に、それと関係する要素物理の研究・開発を行っている。特に、流体解法、状態方程式、レーザー伝搬などの研究を行っている。

4. レーザー核融合ターゲットの設計

レーザー核融合をエネルギー源として利用には十分なターゲット利得が得られることが必要条件になる。しかし、爆縮性能はその過程の複雑な物理に左右されるため、ターゲット構造やレーザーパルス形状など様々なパラメータを最適化しなければならない。そのために、理論的な検討と爆縮コードを用いた数値シミュレーションによる最適化、検証を行っている。

核融合炉用超伝導 コイルの安定性 ビーム/プラズマプロセス 材料表面直接改質

エネルギー材料分野

研究室人員： 教官 5名

学部学生 2名、修士課程 5名

567-0047 大阪府茨木市美穂が丘 8-1

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

核融合炉用超伝導磁石の安定性

核融合炉用超伝導磁石の安定性に関する研究を行っている。大型超伝導磁石の複合性に起因する問題や、照射効果をもたらす不安定性を検討している。複数の超伝導線材や絶縁材料が相互作用を及ぼし合いながら、電磁力により変形していく状況を模擬する（FEMとは異なる）手法を確立したが、本手法により大型超伝導磁石の機械的要因による不安定性を明確にすることができるようになった。

具体的には「素線動力学」及び「モンテカルロ法」を開発した。素線動力学ではそれぞれの素線の動きを運動方程式を時間発展で解くことにより、素線の動きによる擾乱を計算する。またそれに放射線等による擾乱を加えたものと、最少クエンチエネルギーを比較することにより安定性を評価する手法である。モンテカルロ法では、撚り線の動きを予測しその擾乱を同定できる手法である。これらの解析により、現在問題となっている結合損失を評価する上で重要な、素線間の接触圧力の分布を評価することができるようになった。また、これらの手法を核融合炉用超伝導磁石の運転結果と対応させ、明確でなかった強制冷却導体の素線の動的挙動を明らかにする事ができた。

荷電粒子ビーム/プラズマプロセス材料表面直接改質 - 金属表面のセラミックス化 -

金属表面を直接的にメタルセラミックス化することにより、母材に金属の性質を保持し、表層部にセラミックスの特徴を持たせ、また、界面及び改質層に濃度勾配を付与することにより、セラミックスの脆性を補強し、熱伝導性、耐剥離性を改善し、機械加工が容易で、超耐高温性の、傾斜機能性をもつ、新種のセラミックス・金属複合材料の創製を実施している。現在までの成果として、厚さ数 mm の板状の Ta、Zr、Al など純金属の他、金属間化合物、SUS 合金の表面を数 10 ~ 100 μm の厚さの炭化物・窒化物、酸化物各セラミックス TaC、ZrC、TaN、ZrN、TiAlN などに直接改質できた。

スタッフ：

谷村 克己 教授、西嶋 茂宏 助教授、
布垣 昌伸 助手、西浦 徹也 助手、
石川 憲一 助手

M2: 大久保 知明、大平 慎一郎、

M1: 尾形 英輝、大橋 雅人、

学部 青木 康祐、巽 祐一郎、寺田 隆也