

大阪大学工学研究科電子情報 エネルギー工学専攻超高温工学講座

(現：電気電子情報工学専攻，電気電子システム工学部門，
先進電磁工学講座，プラズマ生成制御工学領域)



研究室紹介

西川 雅弘*

Department of Electronic, Information Systems and Energy Engineering,
Supra-high Temperature Laboratory

Key Words：核融合，保全，プラズマ材料相互作用，非破壊検査

1. 研究室の歴史

超高温工学講座の源は，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，多量の中性子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ました。これが当講座のルーツです。設置後すぐに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。電磁エネルギー工学専攻は，当時としては全国でも数少ない大学院専任専攻として発足しました。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。直線ピンチ装置による実験以降，核融合炉の磁場閉じ込め高温プラズマ研究を進め，磁場閉じ込め方法のひとつであるスフェロマックプラズマの研究，及びこの閉じ込め形式を生かした核融合炉設計を行ってき

ました。また，核融合炉で最も大きな熱負荷が加わるプラズマ対向壁の問題を克服する方策として，プラズマ対向壁の迅速交換システムを提案しました。そして，1990年に渡辺教授退官後，私，西川が本講座を担当し現在に至っています。平成17年度からは，電気電子情報工学専攻，電気電子システム工学部門，先進電磁工学講座，プラズマ生成制御工学領域として，新たな歴史を作ります。

現在の研究室の研究キーワードは，核融合研究と保全・環境です。核融合研究については，講座創設当時からのテーマのひとつであり，イオンビーム装置やプラズマ装置を用いて，プラズマと壁の相互作用やその制御法の研究，及び先進的熱・粒子除去システム(ペブルダイバースシステム)の概念研究を行っております。保全・環境に対応しては，超音波探傷法や渦電流探傷法を利用した非破壊検査法による予防保全法の研究を行っております。

2. 核融合研究と超高温工学講座

核融合研究については，前章でも述べたように，本研究室の設立当時からの一貫したテーマです。核融合研究は，1950年代よりソ連，英国，米国等で始まりました。1960年代後半にトカマク方式と呼ばれる有力な閉じ込め方式が開発されたことを受けて1970年代から1980年代にかけて大型装置の設計・建設が日本，米国，EU，ソ連で行われ，研究が大きく進みました。そして現在(2005年1月)，日本が誘致を目指し，政府一体となって取り組んでいる国際熱核融合炉ITERの建設に関する国際協議がいよいよ最終段階を迎えようとしています。ITERは日本，EU，ロシア，米国，中国，韓国が協力して行う国

* Masahiro NISHIKAWA

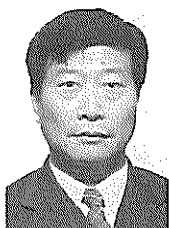
1942年9月生

1971年大阪大学・大学院工学研究科・
原子核工学専攻博士課程単位取得退学
現在，大阪大学・大学院工学研究科・
電子情報エネルギー工学専攻，教授，
工学博士，プラズマ工学，核融合炉工
学，保全工学

TEL 06-6879-7234

FAX 06-6879-7235

E-Mail [nisikawa@eie.eng.osaka-u.
ac.jp](mailto:nisikawa@eie.eng.osaka-u.ac.jp)



際的な大プロジェクトで、核融合発電炉の実現へ向けた大きなステップとなります。

一方で、国内に目を向けると今後の核融合研究の進め方について、さまざまな場で議論が行われ、いっそうの重点化と研究資源の有効利用による効率的な研究開発の推進が提言されました。その結果、多くの研究機関が小型の装置を保有し小規模な研究を続けている現在の状況を改め、いくつかの重点装置に研究拠点を集約し、国内が一体となって共同研究を行うことで研究資源を有効利用し、効率的な研究開発を進めるという方針が打ち出されています。本研究室の柱の一つである核融合炉工学研究においても、この方針の一端を担い国内外の共同研究に積極的に参画する一方で、研究室独自の基礎研究とその応用分野への開拓を進めることで研究室の独立性を保ちながら、核融合炉開発研究に大きな貢献をしていきたいと考えております。

3. 核融合炉心プラズマと容器内壁の相互作用の研究

核融合エネルギーを発生する炉心プラズマから磁場を横切って拡散するプラズマは、最終的に壁に到達し、熱影響やイオン衝突に起因する影響を与えます。超高温工学講座では、これらの影響をイオンビーム装置やプラズマ発生装置を利用して研究しています。プラズマが壁に衝突する際の粒子束は大変に大きく、またほとんどのプラズマイオンは数10 eVから1 keV程度という低エネルギーで材料に照射されます。さらに、プラズマイオン中には、核融合の燃料イオン(重水素イオン、三重水素イオン)だけではなく、壁材料イオンやヘリウムイオンが含まれています。超高温工学講座では、このような核融合炉の壁における複雑なプラズマと材料の相互作用環境をある程度模擬できるようなイオンビーム装置として、50 eV程度から1 keV程度のエネルギー領域で高い粒子束を照射できる定常イオンビーム装置(HiFIT)を製作し、イオンビームと材料の相互作用研究を行っています。照射材料は、炭素材、タングステン、低放射化フェライト鋼などの核融合炉の候補材料であり、材料のスパッタリング損耗、表面形状変化、水素脆化、水素吸蔵などの基礎データの取得、モデルの構築、およびこれらの結果を基にした核融合炉環境での適応性の検討を行っています。

最近の研究では、水素イオンビーム中に0.3%以上の炭素イオンを混入させてタングステンに照射すると、表面がドーム状に持ち上がる現象(プリスタリングと呼ばれる)が大幅に促進されることを見出しました。これは、タングステンの表面に形成されたタングステンと炭素の混合層が水素の拡散に影響を与えたためです。これまで、この程度の不純物は核融合プラズマと壁の相互作用を考える上であまり問題にならないと考えられていましたが、この研究はその既成概念を覆しました。その結果、プラズマ中の微量不純物の効果が他の研究機関においても重要視され始めています。

炉心プラズマから周辺に拡散したプラズマ(エッジプラズマ)は、ダイバータと呼ばれる部分に集中し、最も熱負荷が大きいところでは $\sim 10 \text{ MW/m}^2$ にも達します。この熱負荷は、家庭用ボイラーの熱負荷より2桁近く大きい値であり、このような条件下でダイバータ表面の損耗や損傷が許容できるかどうかまだ不確実です。そこで、本研究室では新たに「移動する壁」の概念を導入した先進的ダイバータの設計・要素研究を行っています。具体的には、1mm程度の直径の小球(ペブル)を多数落下させたペブルカーテンによってプラズマを受け止める「ペブルダイバータ」です。ペブルの落下速度を調整し、プラズマからの熱負荷を受ける時間を短くすれば、ペブルの温度上昇は材料の許容範囲に保たれます。また、ペブルの表面に一時的にプラズマから照射されたイオンが吸蔵されるため、核融合反応で生じるヘリウム(燃焼による灰のような不要物)を排気する機能を持たせることもできます。本研究室ではペブルの熱負荷応答のシミュレーションや、プラズマ発生装置中にペブル模擬体を導入した場合の熱負荷やプラズマへの影響を調べる研究を行っています。

4. 電磁氣的探査手法による材料機能保全研究

核融合装置のような大型装置を安全に運転するためには、装置のメンテナンスが重要となります。メンテナンスに関しては、定期的に点検を行うことに加えて、事故が起こる前にその事象を把握し対処する予防保全の考え方がますます重要になってきています。本研究室では、このような目的から超音波劣化診断とリモートフィールド渦電流探傷による保全技術開発に取り組んできました。超音波診断では、

電磁超音波探触子を用いて診断対象物に超音波を直接発生させる方法をとっています。この探触子は接触媒質を使わずに超音波を発生でき再現性の良い結果が得られます。こうした特長がある電磁超音波探触子は、欠陥や減肉の発生、材質硬化に伴って生じる超音波伝播特性の変化を捉えるのに適しています。これまでの研究成果として、ステンレス鋼の熱時効変化を電磁超音波によって測定することに成功しています。

リモートフィールド渦電流探傷法は、配管に渦電流を発生させ、渦電流によって誘起される磁束を検出するによって非磁性細管に存在する欠陥を探傷する方法です。探触子は、配管の内部に挿入しますが、配管内部の欠陥と同様に配管外部の欠陥に対しても同感度で探傷できます。磁場検出コイルを小型化することによって、周方向の溝欠陥に対して、欠陥位置や欠陥深さを求めることができることを明らかに

してきました。

今後は超音波診断やリモートフィールド渦電流探傷法をさらに発展させ、予防保全に貢献する常時監視システムの構築などに取り組んでいきます。

5. おわりに

今年度から大学院組織運営が電気系の他専攻と一体化され、また近い将来学部も一体化される予定です。このような組織改変の中で、われわれが培ってきたプラズマやイオンビーム技術、あるいは材料保全技術を基盤とする研究をさらに発展させるとともに、電気系の他の領域とも連携を深められるような応用研究の分野を視野に入れながら、活動を続けていきます。

(研究の詳細は、以下の研究室ホームページを参照してください。 <http://www.eie.eng.osaka-u.ac.jp/~supraweb/default.html>)

