

## 核融合エネルギーの火 を我が手に！！ 最先端技術開発と安全性の確証

構成：関昌弘部長、関省吾次長、菱沼  
特別研究員 + 8 研究室 & 事務室  
319 -0193 茨城県那珂郡向山 801-1  
TEL: 029-270-7510 FAX: 029-270-7519  
URL: <http://www.naka.jaeri.go.jp>

核融合工学部は、部長次長以下、現在 8 研究室と事務室で構成し、核融合炉の主要工学技術の開発を国内外の大学・研究機関と協力して進めている。各研究室毎に研究内容と最近の話題を紹介する。

### ブランケット工学研究室：

本研究室は秋場真人室長以下、職員 9 名、業務協力員 2 名で、ITER 用遮蔽ブランケット[1]及び原型炉用発電ブランケットの開発と、核融合炉の燃料循環系内の炉心プラズマに直結した燃料供給・真空排気システムに関する開発研究[2]を行っている。いずれの研究も基礎的研究や要素開発は 20 年以上前から行われてきたが、工学開発を系統的に進めるためにブランケット工学研究室が発足したのは歴史が浅く平成 9 年度である。

ITER 用遮蔽ブランケットでは、製作技術開発を中心に研究を進めている。拡散接合の一種である高温等方加圧接合によるブランケット製作技術の開発を行っている。接合材の機械的特性を明らかにするとともに、部分モックアップを用いた高熱負荷試験、機械試験等により、製作技術を確立し、実規模大モックアップの製作に成功した(図 1 参照)。原型炉用発電ブランケットでは、発電効率及びトリチウム増殖性能に優れた超臨界圧水冷却・固体増殖方式のブランケットの設計研究を行っている。ITER 用遮蔽ブランケット同様に、高温等方加圧接合によるブランケット製作技術の開発を行っている。またトリチウム増殖材・中性子増倍材微小球充填層の熱・機械特性に関する研究を行っている。

燃料供給システムの開発では(1)、燃料ペレット入射系の要素技術検討を行っている。一方、真空排気システムの開発では ITER 工学 R&D として、炉心からのヘリウム不純物を未反応燃料とともに速やかに連続排気できる機械式真空ポンプを開発するとともに、プローブガスを用いた炉内水冷機器の水リーク探知技術開発を行っている。

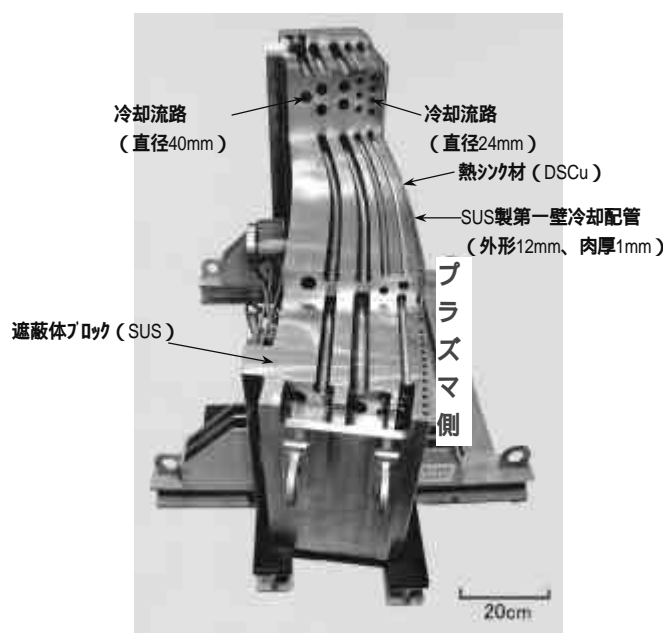


図 1 . ITER 遮蔽ブランケットのプロトタイプ

### 参考文献

- [1] 小原、他：プラズマ核融合学会誌第 7 5 巻増刊 (1999) p. 35
- [2] 阿部、河西、廣木、他：プラズマ・核融合学会誌第 7 5 巻増刊 (1999) p. 62

## 超電導磁石研究室：

本研究室は、核融合炉用超伝導コイルを研究開発するために1978年に超電導磁石研究室として発足した。発足当時は島本進室長（前東北大学教授）以下2名の研究員ではじまったが、現在では奥野清室長以下、職員11名、業務協力員3名を含めた40名を擁する大きな研究室となった。発足当時から核融合炉実現に向けて大型、高磁場、高電流超伝導コイルの研究開発をダイナミックに進め、国内初のトロイダル磁場コイル開発（クラスター計画）[1-2]を初めに、世界初の大型超伝導コイルの国際協力である大型コイル事業（LCT計画）[3]、日米協力における実証トロイダルコイル計画（DPC計画）[3-4]を遂行してきた。さらに、1992年からは、国際熱核融合実験炉（ITER）の工学設計活動の中心的R&Dである中心ソレノイド・モデル・コイル開発に参加し、世界最大の強制冷却超伝導コイル実験装置[6-7]の開発、大型超伝導コイル（外層モジュール）の開発[5]、コイルの試験装置への据付けを実施した。そして、2000年5月には、

約26秒で最大磁場13T（運転電流46kA、蓄積エネルギー640MJ）を達成する成功をおさめ[8-9]、国際協力における試験遂行幹事国としての責務を全うした。

## 参考文献

- [1] S. Shimamoto, et al.: IEEE Trans. Magn. 17 (1981) 2234
- [2] T. Ando, et al.: Proc. of 11<sup>th</sup> Eng. Problem of Fusion Res. (1986) 991
- [3] D. S. Beard, W. Klose, S. Shimamoto, et al.: Fusion Eng. Des. 7 (1988) 1-232
- [4] H. Tsuji, et al.: Proc. of MT-11 (1990) 806
- [5] Y. Takahashi, et al.: Cryogenics, 31 (1991) 640
- [6] H. Nakajima, et al.: Proc. of MT-15 (1997) 361
- [7] S. Shimamoto, et al.: IEEE Trans. Magn. 32 (1996) 3049
- [8] T. Kato et al.: Adv. in Cryogenic Engineering, 41 (1996) 709
- [9] T. Kato, et al.: to be published in Fusion Eng. Des., 21-SOFT (2000)
- [10] H. Tsuji, et al.: to be published in Fusion Energy (2000)

## 核融合中性子工学研究室:

本研究室は1980年に東海研究所原子炉工学部に核融合炉物理研究室として発足し、1999年4月に那珂研究所核融合工学部の組織となった。現在、西谷健夫室長以下、職員4名、業務協力員2名、博士研究員2名が所属しており、D-T中性子源 Fusion Neutronics Source(FNS)を用いて、核融合中性子に関連する、遮蔽特性、核融合炉構成材料の核特性、中性子計測法開発、増殖プ

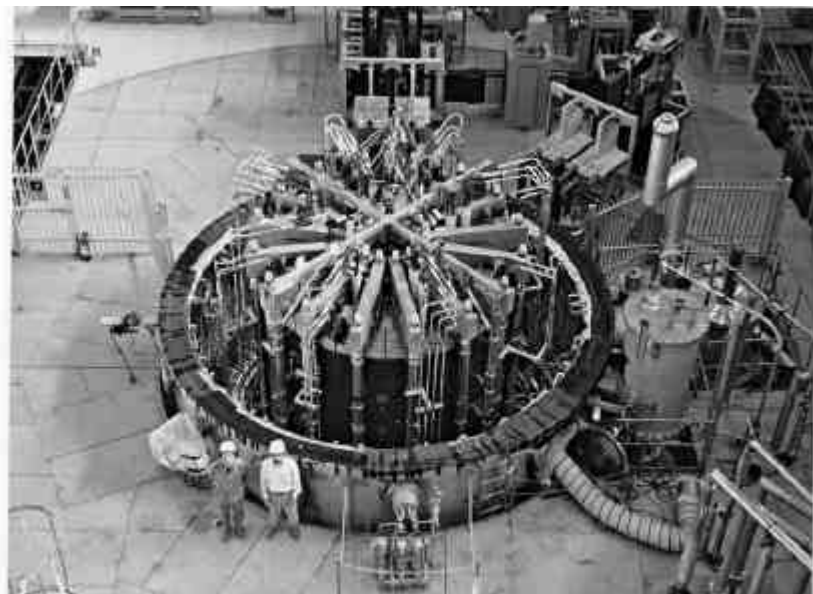


図2. CSモデルコイル

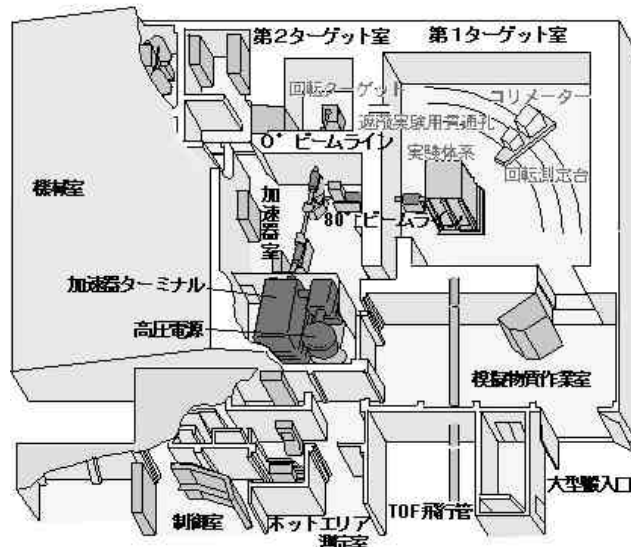


図 3. FNS 鳥瞰図

ランケット核特性等の研究を行っている。FNS はコッククロフト・ワルトン型の加速器を用いた中性子源で、 $D^+$ を約 400 keV に加速し、トリチウムターゲットに当てて、D-T 反応により 14 MEV 中性子を発生している。トリチウムターゲットには 37 TBq (1000 Ci)のトリチウムを吸着させた回転ターゲットを使用しており、 $4 \times 10^{12}$  個/s の中性子発生率が可能であり、この値は現在世界最高である。

遮蔽特性研究では ITER の遮蔽ブランケット / ポートプラグを模擬した中性子ストリーミング実験を行っており、材料核特性では ITER 用材料の誘導放射能、崩壊熱測定等を行っている[1]。また、中性子計測法開発では、人工ダイヤモンドを使用した放射線検出器の開発に成功し、ITER の中性子計測への応用も期待されている[2]。今年からは、原型炉開発を目指し、増殖ブランケットの核特性実験にも着手し、トリチウム増殖率の測定等も開始している。

#### 参考文献

- [1] C. Konno, et al.: Overview of straight duct streaming experiments for ITER, Fusion engineering and Design 51-52 (2000) 797-802.
- [2] J. Kaneko, et al. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A 422,211(1999).

#### NBI 加熱研究室

本研究室は 1974 年に発足し、現在 NBI 加熱研究室として奥村義和室長以下、職員 8 名、業務協力員 3 名、博士研究員 2 名が所属し、NBI 加熱装置とプラズマ対向機器の開発研究を進めている。高エネルギー中性粒子を用いたプラズマ加



図 4. ITER 用負イオン源

熱装置 (NBI) では、イオン源で大量の高エネルギーイオンビームを作り、それを電氣的に中性な粒子に変換した後プラズマに入射する。イオンの中性粒子に変換する効率は、負イオンの方が正イオンより遙かに高いため、負イオンビームを用いた加熱装置の開発が必要となる。ITER ではエネルギー 1MeV で 40A という大電流の負イオンビームを生成する事が求められているが、本研究室では、世界で初めて十アンペア級の負イオン源を開発したほか、ITER で要求される 1MeV のエネルギーまで負イオンを加速することに成功しており、さらなる高性能化、長パルス化に向けた研究を行っている。また、核融合用に開発したビーム技術を加速器用のイオン源や半導体プロセッシングなどの産業用に応用するための開発研究にも力を入れている。

プラズマに直接対向して高い熱流速や粒子負荷を受けるダイバータはプラズマからの粒子や熱から表面を保護するアーマ材料、熱を除去するための冷却構造、そして全体を支える支持構造からなっている。本研究室では、アーマ材として用いられる銅以上の熱伝導率を持った炭素繊維複合材の開発、内部にねじりテープを挿入することにより熱除去効率を高めた銅合金冷却管の開発、炭素材と銅合金の接合技術の開発などを行っている。また、これらの成果を総合して ITER 用ダイバータのプロトタイプを作成し、その加熱実験を行った結果、ITER で必要とされる性能を満足することを実証した。現在、低放射化鋼を用いた冷却管の開発や、熱効率を高めるために高温、高圧水を用いた除熱システムの開発など、原型炉以降のダイバータを見据えた研究開発を行っている。

#### 参考文献

- [1] プラズマ核融合学会誌第 7 5 巻増刊 (1999) p.65
- [2] プラズマ核融合学会誌第 7 5 巻増刊 (1999) p.26

## RF 加熱研究室

本研究室は、20 年前に原研での電磁波を使ったトカマクプラズマの高周波 (RF : Radio-Frequency) 加熱開発が本格化し始めた頃に発足した。以来、JFT-2 や JT-60 用高周波加熱装置の機器開発、最近では ITER のための高周波加熱技術の開発研究を中心に行っている。今井剛室長以下 6 名の研究員と 4 名の業務協力員からなり、研究の中心は、ミリ波の大電力の発振源であるジャイロトロンや、ミリ波の伝送、結合系機器要素の開発である。また、新高周波源としてのマイクロ波帯の自由電子レーザー (FEL) の基礎研究や大電力のマイクロ波応用にも挑戦している。

最近のトピックとしては、中心テーマである電子サイクロトロン波加熱・電流駆動装置用の大電力ジャイロトロンの開発である。ジャイロ



図 5. ITER 用ジャイロトロン

トロンは図5に示したような姿で、高さが約3 m、重さが700kgの巨大な電子管である。これまでのITERジャイロトロンの開発で、世界に先駆けて、1) エネルギー回収、2) 超高次体積モード共振器、3) 人工ダイヤモンド出力窓の開発を成功させ、ジャイロトン開発では世界の中心的な存在となっている。最近では、共振器周辺での寄生発振の抑制に成功、電子ビームの低分散化や、発振効率の向上に成功し、170GHz、1 MWレベルで10秒近い出力に成功し、RF変換効率も1 MWで50%以上を実現している。ITERで必要な性能である、1 MWで連続出力にもう一步まで近づいている。また、核融合で開発した大電力高周波技術の波及効果を目的に、大学等と共同で、様々な高周波応用テーマに取り組んでいる。

平成13年度からは、本研究室の主力装置である高周波工学試験装置(1 M級の長パルスのマイクロ波源)を施設利用型の協力研究の供用施設として運用始めた。様々な用途に利用できないか広く、皆さんのアイデアを募集している。

#### 参考文献

[1] プラズマ核融合学会誌 75 増刊「ITER 工学 R&D における成果」(1999)72 .

[2] K. Sakamoto, et al., Phys.Rev.Lett. 73 (1994) 3532  
 [3] K.Sakamoto, et al., J.Phys.Soc.of Japan 65 (1996) 1888.

[4] A.Kasugai, et al., Rev. Sci. Inst. 69 (1998) 2160.  
 [5] K.Sakamoto, et al., Rev. Sci. Inst. 70 (1999) 208.

#### 炉構造研究室 :

本研究室は、ITERの工学設計活動が開始された平成3年4月に発足した。現在、研究室には、柴沼清室長以下、職員7名、業務協力員3名を含む20人が所属し、核融合実験炉の建設・運転に必要な炉構造技術(ITER用真空容器の製作・組立技術及び地震時の安全性を高める免震技術)と遠隔保守技術(ブランケットやダイバータなどの大型炉内機器を精度良く組立・保守する遠隔ロボット技術)の開発に取り組んでいる。

真空容器の製作技術については、高さ15mの溶接二重壁構造をいかに精度良く製作し、組み立てるかが課題であったが、ITER工学R&Dを通じて、変形を最小に抑える溶接・組立方法を開発し、実際に実物大の真空容器モデルを製作して、±3mmの精度を達成した<sup>[1]</sup>。免震技

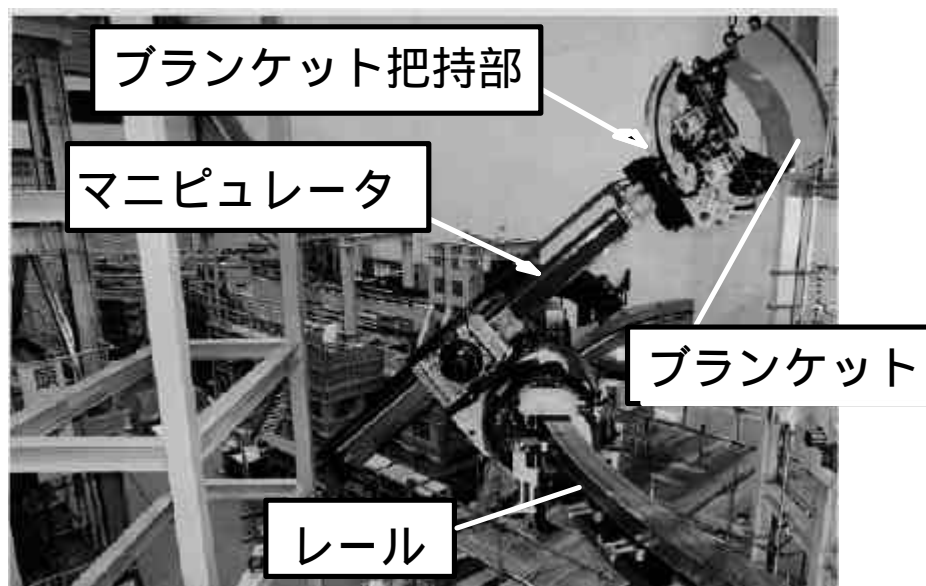


図6. レール走行型ロボット

術については、トカマク本体を支える免震要素（積層ゴム）の限界性能等の実証が必要であり、現在、小型・中型モデルによる性能試験を進めている。

遠隔ロボット技術については、高放射線環境下で4～25トンの大重量炉内機器を±2mmの精度で安定に取り扱う遠隔保守機器の開発と制御技術を進めている。重量4トンのブランケットを交換する方式として、レール走行型ロボット（図6）という新しい概念を考案し、実物大のロボットの製作・試験により所定の性能を実証した<sup>[2]</sup>。現在は、位置センサと力センサの情報に基づく制御技術の高度化試験を進めている。また、ロボットを構成する機器・部品についても高崎研究所と協力して耐放射線性機器の開発に取り組んでいる。

#### 参考文献

- [1] プラズマ・核融合学会誌 第75巻増刊「ITER工学R&Dにおける成果」pp.20-24（1999年）
- [2] プラズマ・核融合学会誌 第75巻増刊「ITER工学R&Dにおける成果」pp.45-54（1999年）

### トリチウム工学研究室：

本研究室を支えるトリチウムプロセス研究棟<sup>[1]</sup>（TPL）は、昭和60年、国内初、世界でも有

数のグラムレベルトリチウム取扱施設として建設され、現在、西正孝室長以下、職員10名、業務協力員4名、博士研究員1名が所属している。現在のトリチウム貯蔵許可量は、 $2.22 \times 10^{16}$ Bq（=約63g）実際の保有量は、約60gである。トリチウム取扱開始以来10年以上の間、事故なく10g以上のトリチウムの安全取扱実績を積み上げつつ<sup>[2]</sup>、世界の同種の核融合トリチウム技術研究開発施設であるTSTA（米国ロスアラモス国立研究所）及びPPPL（米国プリンストンプラズマ物理研究所）と国際協力を行い、数々の研究成果を上げると共に、大量トリチウム取扱施設の運転管理に必要な技術と経験を蓄積してきた。

TPLは、燃料精製系、同位体分離系、増殖トリチウム回収系、燃料計量・貯蔵系、ガス組成測定分析系から構成されるプラズマ排ガスからの一連の核融合燃料循環処理の模擬試験の出来る現在世界で唯一のシステム<sup>[3]</sup>を有しており、システム実証とシステムの高度化を目標とした研究開発課題に日々取り組んでいる。また、核融合炉運転初期段階に必要なトリチウムの製造に関する研究も進めている。

一方、トリチウム安全工学研究に関しては、



トリチウム実験用  
グローブボックス

図7. トリチウム実験用グローブボックス

トリチウム安全性試験装置(CATS)<sup>[4]</sup>を設置し、トリチウムが万一室内に漏洩した場合の挙動評価、閉じ込め・除去性能、安全設備の信頼性確認に関するデータ取得を大学との研究協力の下に進めている。また、トリチウム汚染物の効率的処理技術の確立を目指した紫外線やレーザー等を利用した除染方法に関する研究を、D-T プラズマに曝されて汚染したカボンタイルを所有する PPPL 等とも協力して積極的に取り組んでいる。さらに、トリチウムイオンビーム照射装置を用いたトリチウムと材料の相互作用等の基礎的な研究も進めている。

### 参考文献

- [1] Y. Naruse et al: Fusion Eng. Des., **12** (1990) 293
- [2] M. Yamada et al.: Fusion Technol., **28** (1995) 1736
- [3] T. Yamanishi et al.: Nuclear Fusion, **40** (2000) 515
- [4] T. Hayashi et al: Fusion Eng. Des., **51-52** (2000) 543

### 核融合材料開発推進室

原研における核融合材料開発の効率的推進を目的として、それまで東海研究所に置かれていた組織を平成11年度から新たに那珂研究所に移行させた組織である。当推進室は平成13年度から新たに核融合中性子源(IFMIF)開発を担当している部

門と統合され、現在のスタッフは竹内浩室長以下、職員5名、博士研究員1名、業務協力員2名、特別研究生1名の合計10名となっている。主な業務は東海研究所を初め原研の各研究所でそれぞれ進められている核融合材料開発の総合調整及び設計作業を含む IFMIF の開発である。特に平成12年5月の核融合会議において策定された「中期的展望に立った核融合炉第一壁構造材料の開発の進め方について」において、原研が我が国における低放射化フェライト鋼開発の中核機関と定められたことを受け、低放射化フェライト鋼の開発については大学等を含めた全日本的な調整作業を進めている。

また、平成12年度からは調整業務のみを行う業務テーマから、調整業務と研究の両方を行う研究テーマに衣替えしたことを受け、核融合炉の発電効率向上の観点から有望視されている超臨界圧水冷却方式に不可欠な低放射化酸化物分散強化(ODS)フェライト鋼の開発を東海研究所物質科学研究部材料照射解析研究グループと協力して進めている。当推進室の当面の目標は、2005年に予定されている第1回目のC&Rの課題を達成することであり、現在その課題解決に向けて研究開発を進めている。

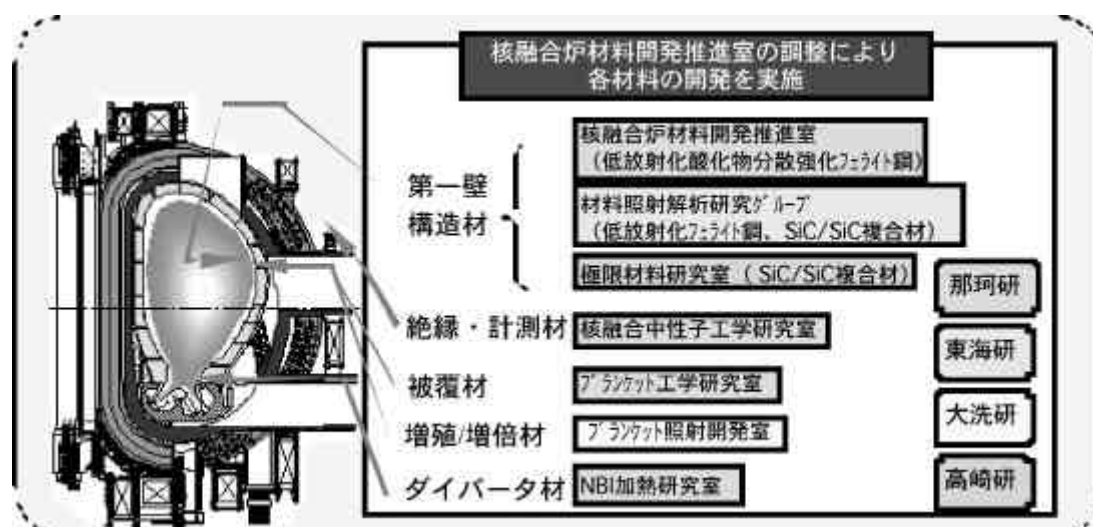


図8. 原研における核融合材料開発分担

## トカマク炉心プラズマ研究 の牽引車

人員：職員 198名 博士研究員 6名 特別  
研究生 5名 連係大学院生 1名 リサーチ  
フェロー 4名  
311-0193 茨城県那珂郡那珂町向山 801-1  
TEL:029-270-7310 FAX:029-270-7419  
URL: <http://www-jt60.naka.jaeri.go.jp>

### 1) 研究室紹介

原研・那珂研究所の炉心プラズマ研究部と核融合装置試験部は、大型トカマク装置 JT-60 及び中型トカマク装置 JFT-2M の運転・実験・解析を担当するとともに、プラズマ理論研究、核融合炉システム研究等の多様な研究を展開し、その成果を統合することで核融合炉の1日も早い実現を目指しています。図1のように、炉心プラズマ研究部は7室、核融合装置試験部は1課5室で運営されています。人員は、職員、業務協力員、博士研究員、特別研究生、連係大学院生、リサーチフェロー等で構成され、夏期には学生実習生の受け入れも行っています。国内(約30研究機関)、国外(約30研究機関)との間の研究協力も盛んです。JT-60 では、テレビ会議やデータリンクシステムを用いて、海外の研究所からの遠隔実験参加も行っています。また、ITER 物理 R&D 活動も重要な仕事です。現在7つある ITER 物理 R&D 専門家グループには、各々、炉心プラズマ研究部に属する専門家委員または議長がいて、物理 R&D 活動を担うとともに、JT-60 や JFT-2M で得られた成果を遅滞なくその活動に活かしています。若手研究者に数多くのチャンスが与えられていることも運営の特徴です。IAEA 会議をはじめとする重要な国際会議の発表も、その大半を 30、40 才程度の若手研究者に任されています。特別研究生が ITER 物理 R&D 専門家会合に招かれ、その研究成果が国際的に評価されて R&D 活動の一翼を担うこともあります。

### 2) 研究・業務内容

#### 2-1. 計画調整

炉心プラズマ計画室は、以下に述べる JT-60 の研究、JT-60 装置の運転と機器開発研究、JFT-2M の研究、理論研究、核融合炉システム研究に関して、短期・長期の計画調整を行っています。特に、JT-60 については、研究計画の立案、年間実験計画、機器整備計画の総合調整を行うとともに、

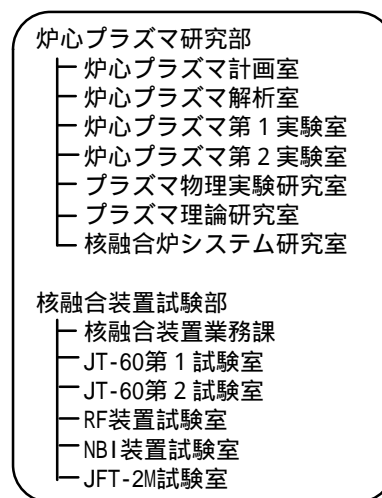


図1 部・課室の構成

大学等との連係協力のもとに実施する JT-60 改修計画の超伝導コイル、真空容器、ダイバータ機器等の設計検討を両部の他課室、那珂研究所の核融合工学部の協力を得ながら進めています。また、米国の DIII-D 装置を用いた実験グループもここに属しています。

#### 2-2. JT-60 の研究

JT-60(図2)は原子力委員会が定めた第2段階核融合研究開発計画の中核装置として 1985 年に運転を開始、1990 年に大電流化改造を行いました。1992 年に策定された現在の第3段階核融合研究開発計画においては、本段階の中核装置となるべき ITER に必要な物理データベースへの貢献と高効率定常炉の開発に向けた研究を進めています。この間、一貫して高性能プラズマの研究開発とその定常化に関する研究を中心課題に据えています。特に、原研が提案した核融合動力炉概念(SSTR)を契機に、高ポロイダルベータ H モード、負磁気シアモード等の所謂先進運転モードの研究開発を中心に世界の定常核融合炉研究をリードしてきました。1996 年の臨界プラズマ条件の達成をはじめ、等価



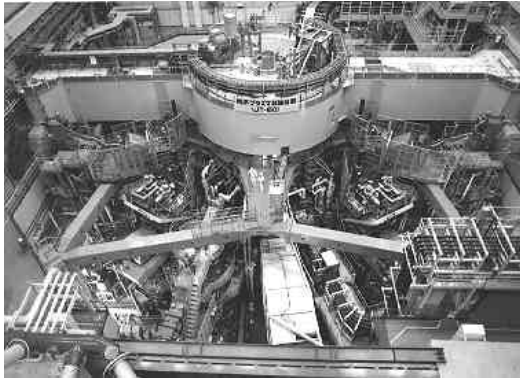


図2 JT-60装置

エネルギー増倍率、核融合積、イオン温度、非誘導駆動電流量、電流駆動効率等で世界最高の性能を実現しています。現在最も力を注いでいるのは、ITERの定常運転及び原型炉に必要な高い総合性能のプラズマの実現とその維持です。そこでは、正イオン源NB、負イオン源NB、LHRF、ICRF、ECRF、ペレット入射等、世界のトカマク装置の中で最も多彩な加熱・電流駆動・粒子供給システムを、自由度の高いプラズマ断面形状制御と組み合わせた最適化研究・制御研究が主役を果たしています。その研究領域も広範で、コア、周辺、スクレイプオフ、ダイバータの各プラズマ領域を対象として、約50種類に及ぶ計測機器を駆使することで、平衡、閉じ込め、輸送、MHD安定性、ディスラプション、電流駆動、高エネルギーイオン・電子、熱・粒子バランス、原子・分子過程、壁粒子相互作用等の多彩な物理研究を行っています。

このようなJT-60の高性能プラズマ研究を主に担当するのは、炉心プラズマ第1実験室、第2実験室及び解析室です。炉心プラズマ第1実験室及び第2実験室は、JT-60を用いた実験の立案、実施、解析を担当しています。また、計測器の開発・運転保守を担当しています。炉心プラズマ解析室は、JT-60の実験解析及び物理モデルの開発・検証を目的に、解析コードを開発するとともに、計測データ処理システムの開発・運用や実時間制御システムの開発・試験を行っています。データリンクシステムやTV会議システムの開発・運用も行っています。

### 2-3. JT-60 装置の運転と機器開発研究

JT-60 第1試験室、JT-60 第2試験室、RF装置試験室、NBI装置試験室が担当しています。JT-60はトカマク本体機器に加えて、大容量の電源設備、大電力の加熱・電流駆動装置等で構成されています。この4試験室はJT-60の安全な運転を遂行するとともに、各装置の性能向上や、新規装置の開発を行っています。

プラズマ制御では、プラズマ位置・形状、蓄積エネルギー、中性子発生量、温度等の実時間帰還制

御を開発・運用し、さらに、これらの複合制御の開発に取り組んでいます。

粒子・熱制御では、高密度化に必要なペレット入射装置と、高い効率で粒子排気・熱除去を行うダイバータの開発に重点を置いています。最近では、排気性能を向上させたW型ダイバータへの改造、内側入射遠心加速方式のペレット入射システムの開発を行いました。また、酸素不純物の低減のために、その場ボロン化処理技術を開発し、大きな効果を上げました。第一壁材料表面分析研究も推進しています。

高周波(RF)による加熱・電流駆動技術の開発では、イオンサイクロトロン周波数帯(IC)と低域混成波帯(LH)の共に10MW級の大電力装置を開発し、非誘導電流駆動等の研究で成果を上げてきました。平成10年からは、特に局所加熱・電流駆動に優れた電子サイクロトロン波帯(EC)装置の開発に力を注いでいます。現在、4MW級の世界最大のEC装置となり、プラズマ高圧力化に威力を発揮しています。

中性粒子入射(NBI)による加熱・電流駆動技術では、大電力(40MW)の正イオン源NBI装置に加えて、平成8年には高密度プラズマの中心加熱・電流駆動のために、世界最大の高エネルギー負イオン源NBI装置(現在420keV)を開発、JT-60の電流駆動性能を大きく向上しました。現在、一層の性能向上に努めています。

### 2-4. JFT-2M の研究

中型トカマク装置JFT-2Mは、プラズマ物理研究の高度化を担うべく1983年に運転を開始しました。装置の機動性を活かすことで新規性の高い試みを数多く実施し、先進的なトカマクの研究開発を推進してきました。その運営では、大学・国立研究機関等との研究協力に特に力を入れています。このような装置の機動性や研究協力に支えられたHモード物理・制御研究は、当初から世界をリードしています。また、JT-60に先行して実施した閉ダイバータ、ペレット入射、RF電流駆動等で得られた多くの成果はJT-60に活かされています。平成11年度からは、原型炉構造材料の有力候補である低放射化フェライト鋼のプラズマへの適用試験(先進材料プラズマ試験)を本格的に開始するとともに、閉じ込め高性能化実験として、大学等との研究協力を一層活用しつつ、重イオンビームプローブ計測によるHモード研究、高周波加熱電

流駆動、コンパクトロイド入射による燃料供給、ダイバータ特性等に関する研究を進めています。プラズマ物理実験研究室とJFT-2M試験室が担当しています。

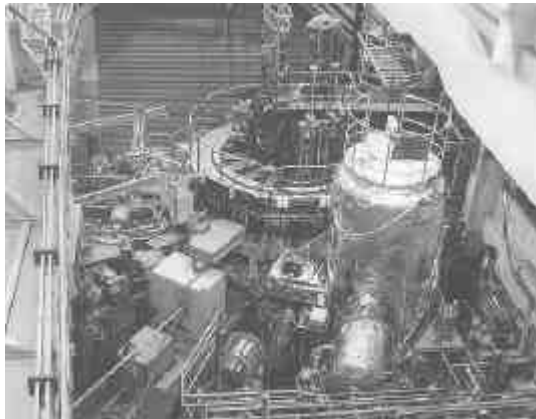


図3 JFT 2M装置

## 2-4. 理論研究

トカマクを中心とした核融合プラズマ現象は、様々な時空間スケールの現象が多階層に混在し、単一の物理モデルでは説明困難な高度に複雑な現象です。このため、因果関係に制約を設けた従来の実験的・理論的アプローチだけでは核融合プラズマ現象の全貌の解明と予測は困難であり、これまでと異なった新たな研究手法の展開が強く望まれています。

このため、これまでの実験研究と理論研究と相補的に、プラズマの振る舞いを規定している基礎方程式に出来るだけ忠実に従うことによりプラズマ中で起こっている現象を精密に計算機上に再現し、プラズマの複雑現象の謎に挑戦する数値トカマク実験(NEXT: Numerical EXperiment of Tokamak)研究を進めています。NEXT 研究の実現にあたっては、近年目覚ましい発展を遂げている計算科学技術の活用が不可欠です。このため NEXT 研究では様々なプラズマシミュレーションモデルの開発やテラフロップス級の超並列計算機を用いた高速計算手法の開拓を進め、これにより高性能の核融合炉実現に向けた予測性能の飛躍的向上と数値シミュレーションに基づく理工学的評価を目指しています。また核融合プラズマの理論・シミュレーション研究においては、エネルギーの視点のみならず、非線形多体問題をはじめとした原子力分野における複雑系科学への応用を積極的に図り、21世紀の核融合研究において大規模数値シミュレーションを中心に据え、広範囲の学問領域の知識を結集する第三の科学としての計算科学の確立も目指しています。プラズマ理論研究室が担当しています。

## 2-5. 核融合炉システム研究

未来の核融合エネルギーの可能性を示し、今現在の開発意義を明確にすることを目標に、核融合エネルギーシステムについての幅広い検討を行っています。大きな柱は、炉設計と安全性です。高効率、低放射化の核融合動力炉 A-SSTR2 や原型炉等の概念設計を進める一方、事故事象解析、トリチウム挙動解析、廃棄物評価などを行っています。液体ダイバータ概念、核融合エネルギーの多目的利用、コスト評価なども研究しています。最近の成果に、センターソレノイドなしや、初装荷トリチウムなしでの起動シナリオがあります。核融合炉システム研究室が担当しています。

## 参考文献

最近の代表的文献は、第18回IAEA核融合エネルギー会議の発表論文(18th IAEA Fusion Energy Conference, Sorrento, 2000)です。JT-60 関連は13件 + 共同論文6件、JFT-2M 関連は3件 + 共同論文2件、理論関連は5件 + 共同論文1件、炉システム関連は1件です。その内、代表的なものを以下に記します。

- [1] Y. Kamada et al., OV1/1 (JT-60 Overview)
- [2] H.K. Kawashima, et al., EX9/3 (JFT-2M, 先進材料試験)
- [3] T. Matsumoto, et al., TH3/3 (NEXT)
- [4] S. Nishio, et al., FTP2/14 (A-SSTR2 炉設計)

## スタッフ(核融合工学部会員)

- 炉心プラズマ研究部：
  - 部長 狐崎晶雄、次長 二宮博正
- 炉心プラズマ計画室：
  - 室長 菊池 満、草間義紀、河野康則、石田真一、逆井 章
- 炉心プラズマ第1実験室：
  - 室長 牛草健吉、鎌田 裕、竹治 智
- 炉心プラズマ解析室：
  - 清水勝宏
- 炉システム研究室：
  - 室長 小西哲之、岡田英俊
- 核融合装置試験部：
  - 部長 清水正亜、次長 栗山正明
- JT-60 第1試験室：
  - 室長 細金延幸、松川 誠
- JT-60 第2試験室：
  - 室長 宮 直之、木津 要、浦田 一宏
- RF 装置試験室：
  - 室長 藤井常幸、池田佳隆、関 正美
- NBI 装置試験室：
  - 室長 山本 巧、梅田尚孝

## 国際熱核融合実験炉 ITER の 工学設計

構成：常松俊秀室長、永見正幸次長  
業務、計画管理、国際共同設計、国内設計、  
安全評価の各グループ  
311-0193 茨城県那珂郡那珂町向山 801-1  
TEL:029-270-7368 FAX:029-270-7468  
URL: <http://www.naka.jaeri.go.jp>

ITER 開発室は、事務室に相当する業務グループ、研究室に相当する 4 グループで構成され、ITER の工学設計活動における日本国内チームの中心的役割を果たしている。

### 1 研究室紹介

ITER の工学設計活動 EDA は 9 8 年より 3 年間延長され、日本、欧州、ロシア 3 極が協力して今までの研究開発の進展を踏まえて核融合開発ステップの技術目標を見直すことによって、建設コストの半減を狙ったコンパクトな ITER(ITER-FEAT)の設計が進められている。現在設計活動は最終段階に入っており、今年 2 月にトロントで開催された ITER 理事会では、ITER 最終設計報告書案が提出され、現在各極の国内評価を受けている。今年 7 月には ITER 工学設計活動を終える予定である。

ITER-FEAT の主要部の構造を図 1 に示す。ITER-FEAT は、従来設計より大幅な小型化を図り、プラズマ電流 15 メガアンペア、核融合出力 500 MW、エネルギー増倍率 10 以上での燃焼時間 400 秒を十分な裕度で実現すると共に、

自己点火運転、定常運転も可能である。主な装置パラメータを表 1 に示す。

表 1 ITER の主要な仕様

プラズマ大半径 (メートル)	6.2
プラズマ電流 (メガアンペア)	15
トロイダル磁場 (テスラ)	5.3
誘導方式パルス長 (秒)	~400
エネルギー増倍率 (Q)	>10
核融合出力 (メガワット)	~500

ITER プロジェクトでは、各参加極から派遣された共同中央チーム (JCT) が ITER 所長の指導の下にプロジェクト管理や設計全体の統合作業を行っている。各参加極の国内チームは『タスク』と称される作業取決めを ITER 所長と取交わし、設計作業と工学 R&D を分担して実施してい

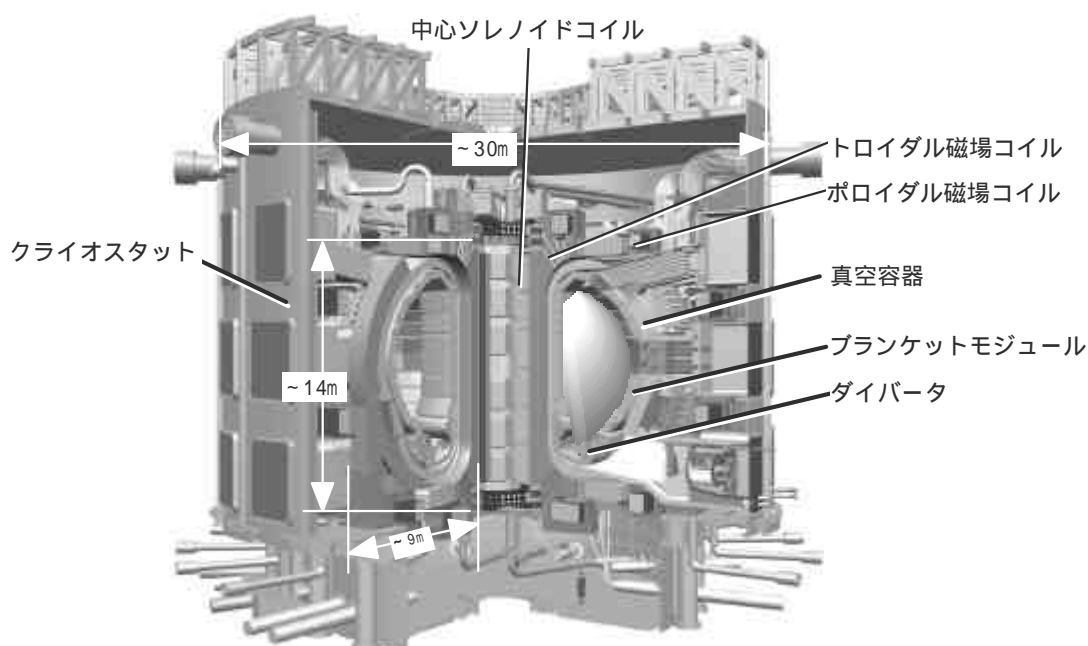


図 1 ITER—FEAT の鳥瞰図

る。当室の室長は日本国内チームのリーダーを勤め、4つのグループでは各々プロジェクトの計画調整、日本国内チームが担当する工学設計や安全性検討のとりまとめを行うとともに、JCTに研究者を派遣し国際共同設計に参加している。また、那珂研究所内にはJCTの共同作業センターがあり、設計活動に従事する共同中央チーム員のために必要な支援を行っている。ITER開発室は、産業界からの派遣者30数名を含め、60数名の大所帯である。

日本国内チームが分担する設計作業や工学R&Dは、核融合工学部、東海研、大洗研等の原研内の関係部署と密接な関係を取りつつ、国内の多数の大学等との研究協力を通じて実施するとともに、多くの企業との契約によりR&D機器の製作や設計解析等の作業を行っている。

部会員は現在11名。

### 1-1. 計画管理グループ

ITER工学設計活動に参加し、日本国内チームが分担する作業を行うに当たり、その技術的活動全般に係る計画の立案・調整を行っている。また、国内の大学等との研究協力に関する調整を担当している。

### 1-2. 国際共同設計グループ

ITERのJCTへ日本から研究者を派遣し、国際共同の設計活動に参加している。JCTにおいてはプロジェクトの運営から機器の設計に携わる技術部門まで、幅広く活動に参加し、プロジェクトの推進に貢献している。また国内チームリーダーを補佐し、JCTとの窓口となっている。

### 1-3. 国内設計グループ

日本国内チームの中核として、超伝導マグネットや真空容器、ブランケットなどからなるトカマク本体の設計作業の統括を行っている。またITERプラントの諸設備、建家及びサイト設備の設計を担当している。

### 1-4. 安全評価グループ

ITERについて安全上の特性を解析・評価するとともに、安全確保の考え方や技術基準案を整備し、ITERの日本への受容性について検討する等、安全設計・評価を実施している。

## 本部組織等

## 原研(核融合)研究の統括と 運営

東京本部  
100-0011 東京都千代田区内幸町 2-2-2  
TEL:03-3592-2111/Fax:03-3592-2117  
URL: <http://www.jaeri.go.jp>

原研では、研究現場の他に、(核融合)研究開発活動全体を統括する管理部門があり、そこでも工学部会に所属する核融合研究者が活動を行っている。

### 組織紹介

#### 役員

経営者として原研の研究活動を統括している。岸本浩理事が部会員。

#### 企画室

研究所の基本的な運営方針、事業計画の立案、業務の総合調整等を行う。約15名のスタッフのほとんどが学会員で部会員は3名。

#### ITER 業務推進室

ITER業務の総合調整、基本事項の立案、関係機関との連絡・調整などのプロジェクトマネジメントを行っている。部会員2名。

#### 那珂研究所所長

核融合研究開発を行っている那珂研究所の松田慎三郎所長をはじめ、所長付きスタッフ2名も部会員。

## 核融合炉ブランケット の照射研究

研究室人員：室長 1 名、職員 3 名  
業務協力 2 名、外来研 3 名、  
業務委託 3 名  
311-1394 茨城県東茨城郡大洗町  
成田町新堀 3704  
TEL: 029-264-8360 FAX: 029-264-8480  
URL: <http://www.jaeri.go.jp/>

### 研究室紹介

ブランケット照射開発室は、日本原子力研究所大洗研究所の材料試験炉部に平成 4 年に発足した組織である。現在、本研究室には、河村室長をはじめ、職員 3 名、業務協力員 2 名、外来研究員 3 名、業務委託 3 名の合計 11 名が所属し、先進的照射技術の開発を進めつつ、核融合炉ブランケットに関する照射研究[1]に取り組んでいる。主な研究活動内容を以下に示す。

### ITER 関連工学 R&D

国際熱核融合実験炉 (ITER) の設計データを取得するため、JMTR を用いて接合材 (Cu 合金 / ITER 規格 SUS316LN) の照射試験、フレキシブル材としての Ti-6Al-4V 合金、電気絶縁材としての  $Al_2O_3$  皮膜の照射試験、トリチウム増殖材からのその場トリチウム回収試験、照射済ステンレス鋼と未照射ステンレス鋼の TIG あるいはレーザーによる再溶接性試験、磁気プローブ等計測機器の照射試験及び照射済プラズマ対向機器の高熱負荷試験を実施している。

特に、平成 12 年 11 月から、湿式法で製造したチタン酸リチウム ( $Li_2TiO_3$ ) 微小球充填体を用い、ITER のパルス運転を模擬した照射試験を

実施しており、パルス運転時のトリチウム生成・回収特性等の貴重なデータが得られている。また、レーザー光を用いて in-situ でサファイヤ等窓ガラス材の照射特性評価を可能にした光計測キャプセルやインセル加熱試験装置等の世界的に例のない照射技術及び照射後試験技術を開発しながら、各種照射データを取得し、ITER 設計データベースの構築に貢献している。

### トリチウム増殖関連材料の開発

ブランケットには、燃料となるトリチウムを生産するトリチウム増殖材及び中性子を増やすための中性子増倍材が微小球の形で充填される。

トリチウム増殖材微小球[2]の開発に関しては、高温工学試験研究炉 (HTTR) 用被覆粒子燃料の製造経験を生かし、振動滴下装置を用いた微小球の製造に取組み、大量製造が可能な技術を確認した。この製造技術は、ブランケットから回収した使用済トリチウム増殖材微小球を酸で溶かすことによって、その溶液を微小球製造の原料にできることから、リチウムリサイクルの観点からも優れた方法である。

中性子増倍材微小球の開発[3]に関しては、ベリリウム製金属棒を電気アークで溶かしなが

ら、回転させ、表面張力により微小球を製造する回転電極法を適用し、不純物を抑制したベリリウム微小球の大量製造に見通しが得られた。本法により製造したベリリウム微小球は、国際熱核融合実験炉（ITER）の10年間の運転に相当する中性子照射でも約1%しか体積膨張しないことも明らかになっている。

これらの成果により、ITER建設目的の1つである「テストモジュール照射試験」で用いるトリチウム増殖関連材料として必要な量（約1トン）の微小球供給に見通しが得られた。

### 増殖ブランケットの炉内機能評価

増殖ブランケットの炉内機能評価として、ITERでのテストモジュール照射試験に先立ち、JMTRを用いてブランケット構造模擬試験体の照射試験（部分モジュール・インパイル照射試験）を計画している。この照射試験のための要素技術開発として、計測機器及び照射試験体の開発を行っている。

計測機器の開発としては、高感度でかつ速い応答速度で測定可能な小型の自己出力型中性子検出器（SPND）や中性子吸収体を回転させるための小型モータの開発[4]を行い、目標の中性子照射量でも十分使用できることを明らかにした。

照射試験体の開発としては、細経配管の内外面に緻密な皮膜施工が可能な化学緻密化法による複合酸化物皮膜の施工技術開発及び特性評価を行い、リン酸を添加した複合酸化物皮膜の利用により、リン酸皮膜がない場合と比べ、600でHeガス雰囲気においてトリチウム透過率を1/1000にすることが可能であることを明らかにした。これらの要素技術開発をもとにして、平成17年度から、部分モジュール・インパイル照射試験を開始する予定である。



### 主要論文・新聞発表等

- [1] “New Facilities in Japan Materials Testing Reactor for Irradiation Test of Fusion Reactor Components”, Proceeding of an ENS Class 1 Topical Meeting, p.232-239, (1996).
- [2] “トリチウム増殖材微小球の大量製造技術の確立に成功-核融合発電炉用燃料生産に必要な不可欠な材料製造に目処-”, 日刊工業新聞(3.15), 日経産業新聞(3.16), 原産新聞(3.30), (2000).
- [3] “中性子増倍材微小球の大量製造技術開発に世界で初めて成功-核融合炉用燃料の生産性向上に必要な不可欠な材料製造に目処-”, 日刊工業新聞(2.26), 日経産業新聞(2.26), 電気新聞(2.26)等, (2001).
- [4] “運転中の原子炉内で使用できる小型モータの開発に成功-ITERパルス運転を模擬した照射試験に目処-”, 日本工業新聞(11.5), 日経産業新聞(11.5)等, (2001).

### スタッフ

室長	河村 弘	Tel : 029-264-8360 E-mail: kawamura@oarai.jaeri.go.jp
副主任 研究員	石塚悦男	Tel : 029-264-8368 E-mail: ishi@oarai.jaeri.go.jp
研究員	土谷邦彦	Tel : 029-264-8369 E-mail: tsuchiya@oarai.sjaeri.go.jp
研究員	中道 勝	Tel : 029-264-8417 E-mail: masaru@oarai.jaeri.go.jp
業務 協力員	内田宗範	Tel : 029-264-8368 E-mail: uchida@oarai.jaeri.go.jp
業務 協力員	山田弘一	Tel : 029-264-8417 E-mail: yamada@oarai.jaeri.go.jp
外来 研究員	竹内毅吉	Tel : 029-264-8368 E-mail: takeuchi@oarai.jaeri.go.jp
外来 研究員	坏 久	Tel : 029-264-8417 E-mail: akutsu@oarai.jaeri.go.jp
外来 研究員	菊川明広	Tel : 029-264-8579 E-mail: hiro275@oarai.jaeri.go.jp