

1. 総括報告

グリーン・イノベーションからライフ・イノベーションまで 一次世代への挑戦

(1) 軽水炉 (Light Water Reactor、略称LWR)

核分裂の際に出る高速の中性子の速度を落とし、遅くなった中性子（熱中性子）を次の核分裂に利用し、連鎖反応を維持する装置を熱中性子炉という。熱中性子炉のうち、中性子の速度を落とす材料に水分子を構成する水素^(*1)の原子核を用いるものを軽水炉という。軽水炉で水は中性子の減速だけでなく炉心の熱を輸送する媒体にも用いる。国内外の商業原子力発電に用いられている原子炉のほとんどは軽水炉で、タイプとしては加圧水型 (PWR) と沸騰水型 (BWR) の2種類がある。

*1：水素には、重さ（原子量）1の天然に最も多く存在するもの（これを通常「水素」と呼ぶ）、重さが2倍の重水素、3倍の三重水素がある。この重さ1の水素だけで構成されている水を「軽水」といい、重水素以上の重い水素が含まれる水を「重水」という。この軽水を減速及び冷却に使用したものを軽水炉という。

(2) 軽水炉サイクル

ウラン鉱石を精錬・転換し、ウラン濃縮を施した後に燃料集合体に加工し、軽水炉で燃焼させることにより核分裂エネルギーを取り出し、その後の使用済み燃料を再処理することによりウランとプルトニウムを回収してMOX燃料に加工し、それらを再び軽水炉で利用するという核燃料の流れを、「高速増殖炉サイクル」と区別して「軽水炉サイクル」と呼ぶ。

(3) 高レベル放射性廃棄物

再処理の過程において、使用済み燃料から分離される高レベル放射性廃液、またはそれをガラス固化したもの。その成分として核分裂生成物とアクチノイド核種を含む。

(4) 核融合

水素などの軽い元素の原子核が融合して重い原子核が作られる反応を核融合反応という。核融合炉は、豊富な燃料資源と優れた環境安全性および原理的に核的暴走が起こらないという固有の安全性を有するため、将来の恒久的エネルギー源として期待されている。

(5) 量子ビームテクノロジー

加速器、高出力レーザー装置、研究用原子炉等の施設・設備を用いて、高強度で高品位な光量子、放射光等の電磁波や、中性子線、電子線、イオンビーム等の粒子線を発生、制御する技術、およびこれらを用いて高精度な加工や観察等を行う利用技術からなる新たな技術領域。これらの技術は、世界各国において最先端の科学技術・学術分野から、各種産業に至る幅広い分野を支える技術

として、様々な科学技術水準の飛躍的向上に寄与することが期待されている。
(原子力政策大綱より)

(6) 高速増殖炉 (Fast Breeder Reactor、略称FBR)

核分裂の際に出る高速 (fast) の中性子を次の核分裂に利用し、連鎖反応を維持する装置を高速中性子炉という。連鎖反応に寄与しない中性子を核分裂し難いウラン238等に吸収させると放射性壊変を経てプルトニウム等になる。プルトニウムには核分裂し易いものがあり、この仕組みを利用して、炉心全体として核分裂した核物質の量より多く、新たに核分裂性の物質を作る (増殖: breed) ことができる原子炉を高速増殖炉という。「もんじゅ」は我が国唯一の高速増殖発電炉の原型炉である。

(7) 高速増殖炉サイクル

燃えないウランは「高速増殖炉」で燃えるプルトニウムに変え、「再処理」によりこれを取り出し、新たな燃料として加工し、再び「高速増殖炉」で燃やすことができる。このウラン資源の流れが輪のように廻ることから核燃料サイクルと呼び、高速増殖炉を中心としたサイクルを「高速増殖炉サイクル」と呼ぶ。これによりウラン資源を非常に効率良く利用することができ、ウラン資源の寿命 (80年あまり) を数千年に延ばせる。

(8) 高速増殖炉サイクル実用化研究開発 (Fast Reactor Cycle Technology Development Project、略称FaCT project)

実用化戦略調査研究フェーズII (2000年4月～2006年3月) の成果に対する国の評価を踏まえ、新たなフェーズとして2006年度より実施している高速増殖炉サイクルの研究開発のこと。現在の知見で実用施設として実現性が最も高く開発目標への適合性が高い、ナトリウム冷却高速増殖炉 (酸化物燃料)、先進湿式法再処理及び簡素化ペレット法燃料製造の組合せを主概念として、研究開発対象を重点化している。本研究では、革新的な技術を、採用可能性を判断できるところまで具体化させ、それらを取捨選択し2015年に開発目標・設計要求を満足する実用施設及び実証施設の概念設計を得ることを目標としている。

(9) JT-60

臨界プラズマ試験装置「JAERI Tokamak-60」の略称。原子力機構の那珂核融合研究所で稼働していた世界最大級のトカマク装置である。米国のTFTR (運転終了)、欧州のJET装置と併せて3大トカマクといわれた。昭和60年から運転を開始し、平成8年10月に臨界プラズマ条件を達成した。また、平成8年7月には世界最高温度である5.2億度を達成し、ギネスブックに登録された。さらに、平成18年5月には、高性能のプラズマを世界最長の28秒間維持することに成功している。平成20年8月に、23年4ヶ月にわたる実験を完遂し、現在は超伝導装置JT-60SAとして改修中。

(10) ITER計画

国際熱核融合実験炉（International Thermonuclear Experimental Reactor）計画。日本・米国・ロシア・EU・韓国・中国・印度の7極の共同による核融合実験炉の構想。自己点火プラズマによる長時間核燃焼の実現により、核融合発電の科学的・技術的可能性を実証することを目指す。日・米・露・EUの4極による1988年から3年間の概念設計活動を経て、1992年から工学設計活動を実施し、2001年に終了。2003年2月、中国が正式加盟し、一時脱退した米国が復帰。2003年6月には韓国が正式加盟。2005年6月、フランス・カダラッシュをITER建設サイトとして選定。2005年12月、インドが正式加盟。2006年11月には、参加7極によるITERの建設と運転に関する国際協定が締結された。原子力機構は文部科学省により日本の国内機関に指定された。

(11) 幅広いアプローチ（Broader Approach）活動

核融合エネルギーの早期実現を目指してITERと並行して進める日欧共同事業。ITERサイトがカダラッシュに決定した際のITER閣僚級会合（平成17年6月）で、幅広いアプローチを日本で実施することに合意。平成17年8月、文科省のITER計画推進検討会で幅広いアプローチプロジェクトについての日本案が纏められ、平成17年10月、文部科学省により、茨城県那珂市にサテライトトカマク（JT-60の超伝導化改修）、青森県六ヶ所村に国際核融合エネルギー研究センター活動（原型炉設計R&D調整センター、ITER遠隔実験センター、核融合計算センター）及び国際核融合材料照射施設の工学実証・工学設計活動（IFMIF/EVEDA）を実施することが決定された。平成19年2月5日、幅広いアプローチを実施するための日欧核融合エネルギー協定を締結。同協定は、平成19年6月1日に発効し、原子力機構は文部科学省により日本の実施機関に指定された。

(12) サテライト・トカマク（JT-60SA）

幅広いアプローチ（BA）活動のプロジェクトの一つで、日本と欧州が半額ずつ資金を出し茨城県那珂市に建設する実験装置。原子力機構の臨界プラズマ試験装置JT-60の設備を最大限活用し、プラズマの長時間維持やITERを模擬したプラズマ配位が可能なように、JT-60のコイルを超伝導化する等の改修を行い、ITERの運転シナリオの最適化等のITER支援研究や、原型炉に向けて経済性の向上を目指したITERを補完する研究を実施する。

(13) グラビマス

核融合工学研究開発における真空工学技術の技術を用いて、金属材料中のガス不純物の分量を「重さ単位」の絶対量として測定し、材料の品質向上に役立てるための実用化開発装置として開発された固体中含有ガス量測定装置。高感度四重極形質量分析計と電子天秤の組み合わせからなる装置で、少量のサンプルで、短時間に、金属中のガス不純物成分の重さを高感度で計測することが可能。原子力機構と産業界との連携で実施した実用化プロジェクトの成果の1つ。

(14) 超伝導コイル用導体

超伝導コイルは超伝導線材を使って作られ、エネルギーのロスが無く高磁場を効率良く作ることができる。核融合炉用超伝導コイルには、ニオブチタンやより高性能なニオブズが使われる。導体はそれらの素線を約1000本撚り合わせて作られたケーブルをステンレス製ジャケットに引き込み圧縮形成して作られる。

(15) 高周波加熱装置（ジャイロトロン）

磁場に巻き付いた電子の回転運動をエネルギー源として、サイクロトロン共鳴メーザーの原理によって波長の短い大電力の高周波（周波数100GHz帯のマイクロ波）を効率よく発振させることができる大型の電子真空管。ジャイロトロンの名は磁場中の回転運動（ジャイロ運動）に由来する。ITERやJT-60SAに使われるジャイロトロンは、長さ3m、重さ約700kgあり、1MW以上の大電力を発生させることができる。

(16) 高温ガス炉

高温ガス炉は、炉心の主な構成材に黒鉛を中心としたセラミック材料を用い、核分裂で生じた熱を外に取り出すための冷却材にヘリウムガスを用いた原子炉。軽水炉は、金属被覆管を使用し、冷却材には水（軽水）を用いていることから、原子炉から取り出せる温度は300℃程度に制限され、蒸気タービンによる発電効率は30%台後半まで高められている。一方、高温ガス炉は、耐熱性に優れたセラミック材料の使用により1000℃程度の熱を取り出すことができるため、製鉄、化学工業等のさまざまな分野での熱利用が可能になる。また、ガスタービン発電方式が採用できるため、45%以上の発電効率を得ることが可能である。

(17) ISプロセス

高温ガス炉の特長である高い熱を利用して水を分解し、水素と酸素を製造する熱化学法のひとつ。水の熱分解には、4,000℃以上の高い温度が必要だが、2つ以上の化学反応を組み合わせることで、もっと低い温度で水の熱分解を行うことが可能になる。「IS」プロセスでは、中間物質として、ヨウ素（I）と硫黄（S）を用いており、高温ガス炉の温度域である約900℃の熱で、水素と酸素を製造できる。

(18) 地層処分

高レベル放射性廃棄物等を地下数百メートルより深い安定な地層中に隔離する方法をいう（日本では法律により地下300m以深と定められている）。安定な場所に、人工バリアと天然バリアからなる多重バリアシステムを構築することにより、長期にわたって放射性廃棄物による影響が人間やその生活環境に及ばないようにすることを目的とする。現在、高レベル放射性廃棄物に対する最も現実的な最終処分対策として、各国において実施に向けた研究開発と事業化の取

組みが進められている。

(19) **深地層**

地層処分において、地下深部の岩盤やその環境をさす概念的な言葉。地質学では堆積岩などの成層構造をなす岩盤を地層と呼ぶが、「地層処分」における「地層」は、堆積岩だけではなく、火成岩体などの塊状をなすような岩盤も含めた総称である。なお、原子力機構の深地層の研究施設においては、地層処分の法定深度（地下300m以深）を満足し、地下水が還元性で動きが遅い、健全な岩盤が確保できるなど、地層処分技術の研究開発に好ましい環境を深地層環境と称している。

(20) **NUMO (Nuclear Waste Management Organization of Japan)**

高レベル放射性廃棄物の処分について、処分地の選定から、建設・操業、閉鎖及び事業の廃止に至るまで一連の業務を行う国の許可法人として設立された「原子力発電環境整備機構」のこと。「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」に基づき、2000年10月に設立された。

(21) **結晶質岩**

鉱物の結晶からなる岩石で、マグマが冷えて固まってできた岩石（火成岩）および既存の岩石が熱や圧力によって変化してできた岩石（変成岩）を指す。地層処分において、一般に用いられる岩石分類のひとつ。緻密で固いが、割れ目ができやすいため、き裂性媒体（割れ目の中を選択的に地下水が移動する）として扱われる。例：花崗岩

(22) **堆積岩**

海底や河床などに運ばれた泥や砂などの堆積物や火山噴出物などが固まってできた岩石。地層処分研究において、一般に用いられる岩石分類のひとつ。結晶質岩と対比すべき重要な特徴として、とくに新しい時代の固結度の低い堆積岩は、水理的には多孔質媒体（岩石の粒子の間隙中を均一に地下水が移動する）の性質が強く、工学的には軟岩として扱われる。例：泥岩

(23) **知識マネジメントシステム**

知識マネジメントとは、個人の持つ知識（形式知および暗黙知）や情報を組織全体で共有し、有効に活用することである。JAEAでは、地層処分の超長期間にわたる安全性を立証するための多様かつ大量の研究開発成果を、最新のITや知識工学の技術を駆使して、様々なユーザーのニーズに応じて提供することを目的として、JAEA KMSの開発を進めており、平成22年3月にそのプロトタイプを公開した。

(24) **量子ビーム**

加速器、高出力レーザー装置、研究用原子炉等の施設・設備を用いて発生さ

せた、高強度で高品位な光量子、放射光等の電磁波や、中性子線、電子線、イオンビーム等の粒子線を総称して量子ビームと呼ぶ。

(25) 量子ビームプラットフォーム

先端的な量子ビーム研究施設群の有機かつ相補的な利用を実現する中核的研究基盤をいう。原子力機構の原子力科学研究所の研究炉JRR-3および大強度陽子加速器J-PARC、高崎量子応用研究所のイオン照射研究施設TIARA、電子線、ガンマ線照射施設、関西地区の極短パルス高強度レーザーと大型放射光施設ビームライン等から構成される。

(26) J-PARC

J-PARC (Japan Proton Accelerator Research Complex) は、日本原子力研究開発機構 (JAEA) と高エネルギー加速器研究機構 (KEK) が共同で建設・運営を行っている施設。茨城県東海村のJAEA原子力科学研究所内、約65haの敷地に3台の大型陽子加速器と各種の実験研究施設が設置されている。加速器で光速近くまで加速された大強度陽子ビームを、標的である金属や炭素などの原子核と衝突させて、原子核破砕反応により大量の中性子や中間子、ミュオン、ニュートリノなどの粒子を発生させる。実験研究施設ではこれらの粒子を利用して原子や原子核の世界を調べ、最先端の原子核・素粒子物理研究や、タンパク質の構造解析や材料研究、核変換技術研究などが行われる。

2. 個別報告

「もんじゅ」を活用したFBRサイクル実用化への展開

(1) 軽水炉 (Light Water Reactor、略称LWR)

核分裂の際に出る高速の中性子の速度を落とし、遅くなった中性子（熱中性子）を次の核分裂に利用し、連鎖反応を維持する装置を熱中性子炉という。熱中性子炉のうち、中性子の速度を落とす材料に、水の分子を構成する水素の原子核を用いるものを軽水炉という。軽水炉で水は中性子の減速だけでなく、炉心の熱を輸送する媒体にも用いる。国内外の商業原子力発電に用いられている原子炉の殆どは軽水炉である。

(2) 高速増殖炉 (Fast Breeder Reactor、略称FBR)

核分裂の際に出る高速 (fast) の中性子を次の核分裂に利用し、連鎖反応を維持する装置を高速中性子炉という。連鎖反応に寄与しない中性子を核分裂し難いウラン238等に吸収させると放射性崩壊を経てプルトニウム等になる。プルトニウムには核分裂し易いものがあり、この仕組みを利用して、炉心全体として核分裂した核物質の量より多く、新たに核分裂性の核物質を作る（増殖：breed）ことができる原子炉を高速増殖炉という。「もんじゅ」は我が国唯一の高速増殖発電炉の原型炉である。

(3) ナトリウム冷却FBR

FBRは高速の中性子を核分裂に用いるため、冷却材には中性子を減速し難い物質が選ばれる。また、冷却材としての熱を伝える能力も勘案し、液体金属としてナトリウムや鉛、鉛合金などが、気体としてヘリウムが使われ、ナトリウムを冷却材に用いるFBRをナトリウム冷却FBRという。原子力機構は1999年度から2005年度に、様々な冷却材の炉型についての調査研究を行い、開発目標への適合可能性、技術的実現性の面で総合的に最も優れた原子炉概念にナトリウム冷却FBRを選定し、国はこれを現在の知見で実用施設として実現性が最も高く開発目標への適合性が高いと評価した。代表的なナトリウム冷却FBRには、日本の原型炉「もんじゅ」、フランスの原型炉「フェニックス」（2009年停止）、ロシアの原型炉「BN-600」があり、中国、インドで建設中または運転中のFBRも、ナトリウム冷却FBRである。

(4) マイナーアクチニド

原子番号89のアクチニウムから103のローレンシウムまでのアクチノイド元素のうち、アクチニウムを除いた元素群はアクチニドと呼ばれている。マイナーアクチニドとは、原子炉の使用済燃料の中に含まれるアクチニド元素のうち、生成量の比較的多いプルトニウムを除いた、生成量の比較的少ない元素のこと。具体的には、ネプツニウム (Np)、アメリカシウム (Am)、キュリウム (Cm) などが含まれ、いずれも放射性核種である。

(5) 先進湿式法

現在の再処理施設で広く使われている湿式再処理技術をベースとし、さらに経済性、環境負荷低減に対して優れた特徴をもつ先進技術を適用した湿式再処理技術である。ウラン・プルトニウムを分離せず混合物として製品化する技術、溶液中で結晶化する温度の差を利用しウランを選択的に回収する晶析技術、マイナーアクチニドを選択的に回収する技術、分解性の試薬を用いる化学反応プロセス技術などの組合せである。

(6) 簡素化ペレット法

MOX燃料製造コストの低減を目的に、原料溶液の段階でプルトニウムの富化度を調整し、高流動性のMOX粉への転換を行うとともに、ペレット加工工程で粉末を取扱う工程を大幅に削除したペレット加工の方法。燃料加工に必要な工程数を大幅に合理化でき、現行のペレット法を用いた工程の約1/3の工程で燃料を加工できる見通しが示されている。

(7) MOX燃料 (Mixed Oxide Fuel)

ウラン酸化物とプルトニウム酸化物の混合燃料。我が国では新型転換炉「ふげん」、高速実験炉「常陽」、高速増殖炉原型炉「もんじゅ」で使用されている。軽水炉で用いるMOX燃料は「プルサーマル燃料」と呼ばれ、フランス、ドイツなどで2,000体を超える使用実績がある。2009年12月、我が国初のプルサーマルによる営業運転が九州電力(株)玄海原子力発電所で始まった。

(8) 高速増殖炉サイクル実用化研究開発 (Fast Reactor Cycle Technology Development Project、略称FaCT project)

実用化戦略調査研究フェーズII (2000年4月～2006年3月) の成果に対する国の評価を踏まえ、新たなフェーズとして2006年度より実施している高速増殖炉サイクルの研究開発のこと。現在の知見で実用施設として実現性が最も高く開発目標への適合性が高い、ナトリウム冷却高速増殖炉(酸化物燃料)、先進湿式法再処理及び簡素化ペレット法燃料製造の組合せを主概念として、研究開発対象を重点化している。本研究では、革新的な技術を、採用可能性を判断できるところまで具体化させ、それらを取捨選択し2015年に開発目標・設計要求を満足する実用施設及び実証施設の概念設計を得ることを目標としている。

(9) 高速増殖炉原型炉「もんじゅ」

実際に発電し、技術の信頼性や安全性を確認するための中規模の原子炉を原型炉という。我が国の高速増殖炉の原型炉が「もんじゅ」である。「もんじゅ」は電気出力28万kWのナトリウム冷却FBRであり、福井県敦賀市に設置されている。

(10) 高速実験炉「常陽」

原子炉の燃料や材料に中性子が当たった時の特性を調べるための実験を行う

小型の原子炉を実験炉という。高速中性子の照射実験を行える我が国の高速実験炉が「常陽」である。「常陽」は熱出力14万kWのナトリウム冷却高速中性子炉であり、茨城県大洗町に設置されている。

(11) **第4世代原子力システム国際フォーラム (Generation IV International Forum、略称GIF)**

第4世代 (Generation IV) 原子炉は、米国エネルギー省 (DOE) が2030年頃の実用化を目指して提唱した次世代の原子炉の一般的な概念である。第4世代原子炉は、燃料の効率的利用、放射性廃棄物の最小化、核拡散抵抗性の確保などエネルギー源としての持続可能性、炉心損傷頻度の飛躍的低減と敷地外の緊急時対応の必要性排除など安全性／信頼性の向上、及び他のエネルギー源とも競合できる高い経済性の3項目の目標を満足する必要がある。この第4世代原子炉の開発プログラムを国際的な枠組みで推進するため、アルゼンチン、ブラジル、カナダ、フランス、日本、韓国、南アフリカ、英国、米国の9カ国で2001年7月に第4世代原子力システム国際フォーラムが結成された。その後、スイス、欧州原子力共同体、中国、ロシアが加わり12カ国と1機関 (欧州原子力共同体) となり、6つの原子炉概念に絞って研究開発を進めてゆくこととしている。

(12) **革新的原子炉及び燃料サイクル国際プロジェクト (International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles、略称INPRO)**

21世紀のエネルギー需要に対し持続性を持った原子力エネルギーの貢献を可能とすることを支援し、技術保有国とユーザー国双方が結集して要求される革新的な原子炉および燃料サイクルを検討する国際プロジェクト組織。国際原子力機関の下に設置され、30カ国1機関が参画している。日本は2006年4月より正式参加し、原子力機構が評価研究や評価手法の開発等に参画している。

(13) **包括的アクチニドサイクル国際実証 (Global Actinide Cycle International Demonstration、略称GACID)**

GIFの下のナトリウム冷却高速炉システム取決め (平成18年2月15日締結) の下で実施されるプロジェクトの一つとして行なわれる研究開発。具体的には、将来の高速増殖炉サイクルとして有力なマイナーアクチニドリサイクルの実証を日仏米の三カ国で分担実施しようとするものである。平成19年9月27日に本研究開発に関する取決めが締結され、機構は、当面5年間に、研究開発の第1段階として、マイナーアクチニド含有燃料の物性測定、「もんじゅ」での照射試験実施のための準備・手続き等を進めることとした。

3. 個別報告

生命科学・先端医療への展開

—量子ビームテクノロジー—

(1) 量子ビームテクノロジー

加速器、高出力レーザー装置、研究用原子炉等の施設・設備を用いて、高強度で高品位な光量子、放射光等の電磁波や、中性子線、電子線、イオンビーム等の粒子線を発生、制御する技術、及びこれらを用いて高精度な加工や観察等を行う利用技術からなる新たな技術領域。これらの技術は、世界各国において最先端の科学技術・学術分野から、各種産業に至る幅広い分野を支える技術として、様々な科学技術水準の飛躍的向上に寄与することが期待されている。(原子力政策大綱より)

(2) 光量子

光は電磁波であり、一般的には、波として取り扱われる。しかし、吸収や誘導放出などのように、原子や分子との相互作用を考える過程においては粒子的な描像をもった量子として取り扱う必要があり、光量子（または光子）と呼ばれる。レーザーは発生過程が光量子の増幅として理解されており、原子力機構では光量子科学研究としてレーザーを用いた量子ビーム応用研究を進めている。

(3) 放射光

光速に近い速さの電子が進行方向を急激に曲げられて加速を受けた時その接線方向に強い電磁波を発生する。この電磁波は放射光と呼ばれ、強度が高い、波長領域が広い、指向性が良い、等の特徴を持つことから物性研究や微細加工等の様々な分野で利用されている。兵庫県播磨では原子力機構（旧原研）と理化学研究所が共同で建設した世界最大級の大型放射光施設（SPring-8）が稼動中である。

(4) イオンビーム

原子、分子、或いはそれらのクラスター（葡萄の房状の集合体）を正または負に荷電し、静電場或いは高周波電場を用いて加速した粒子ビーム。通常は、原子から電子をいくつか剥ぎ取った正イオンビームが用いられる。高崎量子応用研究所においてイオン照射研究施設（TIARA）の大型加速器を用いて、ナノ・材料、生命科学等の研究を行っている。加速されたイオンビームは、その種類とエネルギーにより、一つ一つが入射する物質に対して局所的に大きなエネルギーを与えることが特徴で、飛程の末端部分で特に大きなエネルギーを与えて停止する。また、加速エネルギーを変えることにより照射深度を厳密に制御することができる。イオンビームは、物体中での直進性が高く、マイクロビーム化することによりミクロンレベルの微小領域への局部照射が可能である。

(5) 中性子

陽子とともに原子核を構成する粒子である。電氣的に中性で、物質を透過する力が非常に強い。水素などの軽い原子の検出に優れ、構造解析などで威力を発揮する。また、非常に小さな磁石としての機能を持ち、磁性材料の研究にも有力である。さらに、他の物質に変化させる核変換の能力により、半導体中の不純物量制御などにも応用されている。原子力機構では研究用原子炉や陽子加速器の施設から発生する高強度な中性子線を用いた物質・材料、生命科学研究が行われている。

(6) JRR-3

JRR-3 (Japan Research Reactor-3、最大熱出力10MW) はわが国初の国産研究炉として昭和37年初臨界の後、全国の研究利用者に利用されてきた。しかし、原子力開発の進展に伴って、様々な実験利用に対応でき、しかも高い性能を有する研究炉の整備が要望され、これに応えるため、高性能汎用炉への改造工事を行い、平成2年の初臨界を経て、最大熱出力20MWで利用運転を開始した。設置された各種利用設備は、高い定常熱中性子束と冷中性子の利用が大きな特徴となっている。これらの熱中性子ビームや冷中性子ビームを用いて、中性子散乱実験、中性子ラジオグラフィ実験等の中性子ビーム実験が行われ、世界的に注目される多くの成果が得られている。こうした40年以上にわたる安定かつ安全な運転を通して、わが国の原子力技術の確立及び先進的な中性子科学分野の進展に貢献したことが評価され、平成19年11月に米国原子力学会ランドマーク賞を受賞した。

(7) JRR-4

JRR-4 (Japan Research Reactor-4、最大熱出力3.5MW) は日本原子力研究所・東海研究所(当時) 5番目の原子炉として、昭和40年に臨界に達し、熱出力1MWで運転を開始した。我が国初の原子力船「むつ」の遮蔽に関する試験研究を主目的に設計され、スイミングプール型が採用された。熱出力は、昭和41年から2.5MWに、昭和51年から3.5MWに増強されている。この炉は1日約6時間、週4日(火から金)の運転が行われるため、個々の利用者からの運転要求にきめ細かく対応可能である。そのため、遮蔽実験、炉物理・炉工学実験、放射化分析、材料照射実験、RI製造、シリコン照射、医療照射(BNCT)及び原子炉研修所の運転実習等多方面にわたって利用されている。特に、平成10年の核燃料の低濃縮化の改造に合わせて、世界でも最高レベルのビーム強度を有する熱外中性子ビームを発生できる医療照射設備が開発整備され、次世代の粒子線治療であるBNCTの臨床研究が100症例以上実施されている。

(8) J-PARC

J-PARC (Japan Proton Accelerator Research Complex) は、日本原子力研究開発機構(JAEA)と高エネルギー加速器研究機構(KEK)が共同で建設・運営を行っている施設。茨城県東海村のJAEA原子力科学研究所内、約65haの敷地に3

台の大型陽子加速器と各種の実験研究施設が設置されている。加速器で光速近くまで加速された大強度陽子ビームを、標的である金属や炭素などの原子核と衝突させて、原子核破砕反応により大量の中性子や中間子、ミュオン、ニュートリノなどの粒子を発生させる。実験研究施設ではこれらの粒子を利用して原子や原子核の世界を調べ、最先端の原子核・素粒子物理研究や、タンパク質の構造解析や材料研究、核変換技術研究などが行われる。

(9) TIARA

TIARA (Takasaki Ion Accelerators for Advanced Radiation Application : イオン照射研究施設) の略称。TIARAはイオンビームの持つ特徴を利用して、材料科学・バイオ技術などの先端科学の研究に利用することを目的として、高崎量子応用研究所に設置されたイオン照射研究施設。平成5年に完成し、その後供用が開始された。TIARAには、サイクロトロン、タンデム加速器、シングルエンド加速器、イオン注入装置の4種類のイオン加速器が備えられ、軽イオンから重イオンを数万電子ボルトから数億電子ボルトまでの幅広いエネルギー範囲のイオンビームとして取り出すことができ、先端の材料科学やバイオ技術の研究開発に最適な多種多様な高品位イオンビームを提供している世界でもユニークな研究施設である。

(10) SPring-8

大型放射光施設 (Super Photon ring 8GeV) の略称。旧原研と理研は平成3年から建設を開始し、平成9年10月に完成し供用を開始した。SPring-8は線形加速器及びシンクロトロンによってエネルギー8ギガ電子ボルト(80億電子ボルト)に加速した電子を蓄積リング(周長1436m)で回転・蓄積し、赤外線からX線までの広い波長範囲の放射光を発生できる世界最大の放射光発生装置であり、日本の研究開発基盤施設として産学官の研究者の利用に供し、材料科学、情報電子、ライフサイエンス・医療など広範な分野の先端的・基盤的研究開発が行われ、これまで観ることのできなかつたものを「観る」ための研究や創ることのできなかつたものを「創る」ための研究が行われている。

(11) J-KAREN

J-KAREN (JAEA Kansai Advanced Relativistic ENgineering) とは、関西光科学研究研にて運用されている、極めて強度の高いペタワット(10^{15} W)級のレーザーパルスが発生できる高強度レーザー施設である。この施設は、フェムト秒(10^{-15} 秒)レーザーパルスを発生させる発振器、この光パルスをナノ秒(10^{-9} 秒)に広げるパルス伸張器、伸長した光パルスの出力を増加させるための多段増幅器及び再度、パルス幅を狭めて単位時間当たりのレーザー光強度を高めるためのパルス圧縮器から構成される。一旦、パルス幅を広げた後に増幅し再度パルス幅を狭めるこの増幅方法をCPA (Chirp Pulse Amplification : チャープパルス増幅法)と呼ぶ。J-KARENレーザーの特長は、ペタワット級のレーザー出力を発生した際に生じるノイズ成分が、 10^{-10} 以下と極めて小さい高品質の超高強度

レーザー光が発生できることである。現在、この超高強度レーザー光を用いて高エネルギー粒子発生などの研究を行っている。

(12) BIX-3, 4

原子力機構の研究用原子炉（JRR-3）には、水素原子を含むタンパク質の立体構造を「観る」ことを目的とした中性子回折計（BIX-3, 4: diffractometer for BIological Xtallography-3, 4）が稼働している。この2つの装置は、中性子を効果的に検出することができる中性子イメージングプレート（旧原研と富士写真フィルムが共同開発）を装着していることに特徴があり、解析に使用するソフトウェアはX線結晶解析用に作られたものをそのまま流用できるという大きなメリットがある。現在、タンパク質の構造を「観る」ことができる中性子回折計は、世界に3か所しかない。BIX-3, 4は、タンパク質中性子構造解析において世界の半数の解析に貢献している極めて重要な装置である。原子力機構は本装置の高度化を進め、HIVプロテアーゼなどの創薬標的タンパク質において、水素原子を含む全原子構造の解析に成功した。近年J-PARCで稼働を開始した産業利用目的のiBIXとともに、タンパク質の中性子構造解析の主力を担う装置である。

(13) HIVプロテアーゼ

代表的な創薬標的タンパク質（医薬品の作用点）のひとつで、ヒト免疫不全ウイルス（HIV）がヒトの細胞に感染し、細胞内で増殖するときに必要な蛋白質である。アミノ酸の変異が非常に早いため、ワクチンによる治療が難しく、薬剤耐性菌の出現が早い。原子力機構では、中性子や放射光の「観る」機能を効果的に使うことによって、HIV-プロテアーゼの水素を含む全原子構造を解明することに成功した。この成果によってHIV-阻害剤などの合理的な設計において、より具体的な情報を提供することができる。実際に今回得られた知見をもとに医薬品候補分子となる阻害剤の改良に取り組んでいる。また今回の構造解析によってHIV-プロテアーゼの機能解明について決定的な知見を得ることができた。これは学術的にも意義の大きな成果である。

(14) 水和水

生物の営みに欠かせない様々な分子（タンパク質、核酸、糖鎖など）は、水分子に取り囲まれることによってその機能を発揮する。これらの分子との相互作用によって、束縛されている水分子を総称して水和水という。水和水には、タンパク質等の分子の一部として挙動し機能発現に寄与するものがあり、このような水和水について中性子を用いて水素原子を含めて「観る」ことにより、その水和水構造（タンパク質等の分子と結合した構造）の特徴を原子レベルで把握することが可能となり、タンパク質等の分子の機能発現における水分子の役割を明らかにすることができる。

(15) 物質・生命科学実験施設

物質・生命科学実験施設(MLF: Materials and Life Science Experimental Facility)は、中性子およびミュオンを利用して、物質科学や生命科学などの研究を行う実験施設。建物は長さ約130m、幅70m、高さ約30mあり、ジャンボジェット機が2機収納できるほどの巨大な実験施設である。1 MWの大強度陽子ビームを水銀の標的に衝突させ、原子核破砕反応により発生するパルス中性子を、23本設置される中性子利用ビームラインに導く。パルス中性子の強度は世界最高レベルを実現し、この高強度中性子が無機物質からタンパク質等の有機物質にいたる物質の構造解析や材料の内部応力解析など、物質科学研究や生命科学研究、産業応用に利用される。また炭素標的から発生するパルスミュオンも世界最高強度を実現しており、磁性構造解析や材料分析などに利用されている。

(16) iBIX

iBIX(茨城県生命物質構造解析装置)は、J-PARCのパルス中性子を利用し、有機低分子から蛋白質までの分子量の有機分子について、それを構成する原子の立体構造を、高い分解能で観測するための装置である。本装置は、茨城県、茨城大学、原子力機構の3者が協力して建設したもので、原子力機構が装置提案したBIX-P1が原型である。本装置は、茨城県が運営する産業用ビームラインとして有償利用を目的として建設され、そのビームタイムの一部は学術利用にも提供されている。なお、学術利用のニーズを満たすためには特性の異なる定常炉中性子との併用が必要である。これらの中性子を利用した生物分子構造研究(中性子構造生物学)は、創薬プロセス開発研究等を通じて将来のノーベル賞クラスの発見に繋がることが期待される研究分野の一つである。

(17) アスベスト肺

肺が線維化してしまう肺線維症(じん肺)という病気の一つ。肺の線維化は、粉じん、薬品等多くの原因により起こるが、石綿のばく露によっておきた肺線維症を特にアスベスト肺(石綿肺)とよんで区別する。職業上アスベスト粉塵を10年以上吸入した労働者に起こるといわれており、潜伏期間は15~20年と非常に長いことから、静かな時限爆弾とも言われる。胸部X線写真でアスベストを吸い込んでいた可能性を示唆する所見が見られる場合もあるが、アスベストを吸い込んだ人全てに胸部X線写真の所見があるとは限らない。

(18) PIXE

PIXE(Particle Induced X-ray Emission: 粒子線誘起X線放出)法は、粒子線が原子に照射された時、内殻電子がはじき飛ばされ、そのあとに外殻の電子が遷移する際、元素に固有のX線を放出する特性を利用し、このX線を検出することにより、試料中の元素組成を調べる分析方法。一般にはバルクの試料を使うが、TIARA(イオン照射研究施設)では、水素イオンビームを1 μ m以下に収束できる軽イオンマイクロビーム装置を利用し、大気中で生細胞中の微量な元素分布を2次元画像として計測する技術を開発した。この大気マイクロPIXE分析

では、マグネシウムからウランまでの元素分布を1 μm の高空間分解能と数ppmの高感度で一度に分析できる。

(19) PET

PET (Positron Emission Tomography : ポジトロン断層撮像) は、ポジトロン(プラスの電荷を持った電子の反粒子、陽電子とも言う)を放出する核種を利用した診断技術であるポジトロン断層撮像及びこれに使う装置の略称。PETは、ポジトロン放出核種が崩壊に伴い放出したポジトロンが周囲の電子と消滅する際に511keVの一对の消滅 γ 線となって互いに反対方向へ飛散する性質を利用して、ポジトロン放出核種で標識した薬剤の3次元分布を高分解能で画像化する。代表的なPET診断用薬剤として[F-18]-FDG(フッ素-18標識フルオロデオキシグルコース)がある。[F-18]-FDGは、細胞がエネルギー源とするブドウ糖(グルコース)の薬剤で、細胞分裂を盛んに行うがん細胞に多く取り込まれやすいことを利用して、がんの検診に利用されている。

(20) RI-DDS

RI-DDS (RI-drug delivery system : RI標識薬剤送達システム) は、特定の細胞に選択的に集まる抗体等に放射性同位元素(RI)を標識した薬剤を作ることにより、診断や治療の対象となる組織だけに効率良くRIを送り込む方法である。RI-DDSは、正確な診断や効果的な治療が行なえるだけでなく、体内に投与されたRIが非特異的に体内を循環することによる不必要な被曝の低減にも有効である。抗体を利用したRI-DDSとして ^{90}Y -ゼヴァリン(治療用)や ^{111}In -ゼヴァリン(診断用)が薬剤として認可されている。

(21) 創傷被覆材

褥瘡、皮膚潰瘍、火傷等の傷口を覆い、湿潤環境を提供して治療を促進する材料。創傷被覆材は、創傷面を保護しつつ創傷面からの滲出液を吸収し、表皮細胞の移動を促進する湿潤環境を形成して自然治癒を促進する。多量の水を吸収して保持できるハイドロゲルは創傷被覆材に応用されており、滅菌ガーゼと比較して、創傷面から容易に剥がすことができかつ創傷の治癒が早いことが特徴である。

(22) (放射線) 橋かけ

橋かけとは、放射線の照射により形成された活性点で高分子同士の間に関結合をつくり、耐熱性や不溶化などの機能を向上させることができる手法。化学的な橋かけと異なり、架橋剤など化学薬品の添加が必要ないため、不純物の混入のないゲルが得られることから、創傷被覆材のような医用材料の作製に適している。

(23) BNCT

BNCT (Boron Neutron Capture Therapy : ホウ素中性子捕捉療法) は、低いエ

エネルギーの中性子がホウ素 (^{10}B) に高い確率で吸収されて粒子線 (α 線、 ^7Li 線) を放出する性質を利用して、がん細胞を集中的に殺傷することをねらった放射線治療法である。がん細胞に集まりやすいホウ素化合物を体内に投与した後に中性子照射を行うが、 α 線とLi線の到達距離が短いため、がん細胞を狙い撃ちすることが原理的に可能である。他の治療法では効果が見られない悪性腫瘍に対しても効果があり、これからの治療法として期待されているが、現在日本では、原子炉を使って治療が行われている等の制約があり、治療数はまだ限られている。今後BNCTを本格的に普及していくために、病院で使用できる加速器を利用したBNCT技術の確立、がん細胞選択的がさらに高い薬剤の開発、治療の対象とするがんの種類の高拡大等が望まれている。

(24) 粒子線治療

X線やガンマ線等の電磁波ではなく、陽子（水素イオン）や重粒子（重イオン、主に炭素イオンが用いられる）などの粒子ビームを病巣に直接照射することによって、主に悪性腫瘍を「切らずに治す」放射線治療法の総称。利用する粒子の種類によって、陽子線治療・重粒子線治療などに分けられ、世界各地で臨床応用や研究が行われている。例えば陽子線治療では、正の電荷を持つ陽子を加速して高速にしたものを体外から病巣部に向けて照射する。陽子線は癌細胞に対する致死効果はX線やガンマ線と変わらないが、病巣部への線量の集中性が良いため正常組織への放射線被曝量を減らすことができる。放射線医学総合研究所などで臨床応用が進められている重粒子線治療は、病巣部への線量の集中性が非常に良く、かつ癌細胞に対する致死効果も大きいことから、癌の治療に適した先進的放射線治療法として期待されている。

(25) bcl-2

ヒトのBリンパ球に発生するリンパ腫から見つけられた遺伝子で、がんの発生を促す。bcl-2遺伝子が高発現したがん細胞ではプログラムされた細胞死(アポトーシス)が抑制されることが知られており、乳がんや大腸がんなどではbcl-2遺伝子が高発現している。また、 γ 線やX線に対する抵抗性が高くなるため、これらの放射線による治療が効きにくくなる。

(26) レーザー駆動粒子加速器

高強度レーザーを物質に照射すると原子がイオン化されて、電子とイオンから構成されるプラズマ状態になる。このプラズマと高強度レーザーがつくる強い電磁場とが相互作用することで、高エネルギーの電子やイオンが生成される。この高エネルギー粒子をビーム状に取り出す装置が、レーザー駆動粒子加速器である。

4. 個別報告

ワールドフュージョンコロボ ～夢のエネルギー実現への挑戦～

(1) 核融合

原子核同士が合体する反応。この際、非常に大きなエネルギーが発生する。太陽をはじめ、夜空に輝く星のエネルギー源が核融合であり、宇宙には一般的に存在する反応である。

核融合を地上で実現させるためには、太陽の中心温度（約1600万度）よりも高い温度である約2億度くらいにまで燃料ガス（水素の一種である重水素と三重水素）の温度を上げて、その状態を維持できなければならない。1グラムの燃料から発生する核融合エネルギーは、石油8トンの燃焼エネルギーに匹敵する。燃料資源が豊富に存在し、安全で環境適合性も高いなどの特長を有するため、この「地上の太陽」を実現させることにより、エネルギー問題の抜本的な解決が期待できる。

(2) プラズマ

固体、液体、気体に続く第4の物質状態。1万度以上の高温になると気体中の原子から電子とイオンが分離し、ガス全体としては電氣的に中性だが電子とイオンがバラバラに運動できる状態となる。これをプラズマという。宇宙を構成する物質の99%以上がプラズマであり、身近な例としては、オーロラ、雷、蛍光灯などがある。

(3) 炉心プラズマ

核融合炉を目指した研究において作られるプラズマの総称。

(4) トカマク

プラズマを磁場で閉じ込める方式の一つ。ドーナツ状の容器の中で、プラズマに電流を流し、電流がつくる磁場とコイルがつくる磁場とを組み合わせ、らせん状の磁力線（磁力線のカゴ）を作り、高温の粒子を閉じ込める。トカマク（TOKAMAK）という名称は、装置の特徴を表す4つのロシア語からなる造語（TOK：電流、KAMERA：容器、MAGNITNUE：磁気の、KATUSHKI：コイル）。旧ソビエトのクルチャトフ研究所で考案され、その優れた閉じ込め性能のために世界各国の研究所で、この形式のプラズマ実験装置が建設され研究されてきた。

(5) JT-60

臨界プラズマ試験装置「JAERI Tokamak-60」の略称。原子力機構の那珂核融合研究所で稼働していた世界最大級のトカマク装置である。米国のTFTR（運転終了）、欧州のJET装置と併せて3大トカマクといわれた。昭和60年から運転を開始し、平成8年10月に臨界プラズマ条件を達成した。また、平成8年7月に

は世界最高温度である5.2億度を達成し、ギネスブックに登録された。さらに、平成18年5月には、高性能のプラズマを世界最長の28秒間維持することに成功している。平成20年8月に、23年4ヶ月にわたる実験を完遂し、現在は超伝導装置JT-60SAとして改修中。

(6) ITER計画

国際熱核融合実験炉 (International Thermonuclear Experimental Reactor) 計画。日本・米国・ロシア・EU・韓国・中国・印度の7極の共同による核融合実験炉の構想。自己点火プラズマによる長時間核燃焼の実現により、核融合発電の科学的・技術的可能性を実証することを目指す。日・米・露・EUの4極による1988年から3年間の概念設計活動を経て、1992年から工学設計活動を実施し、2001年に終了。2003年2月、中国が正式加盟し、一時脱退した米国が復帰。2003年6月には韓国が正式加盟。2005年6月、フランス・カダラッシュをITER建設サイトとして選定。2005年12月、インドが正式加盟。2006年11月には、参加7極によるITERの建設と運転に関する国際協定が締結された。原子力機構は文部科学省により日本の国内機関に指定された。

(7) 幅広いアプローチ (Broader Approach) 活動

核融合エネルギーの早期実現を目指してITERと並行して進める日欧共同事業。ITERサイトがカダラッシュに決定した際のITER閣僚級会合(平成17年6月)で、幅広いアプローチを日本で実施することに合意。平成17年8月、文科省のITER計画推進検討会で幅広いアプローチプロジェクトについての日本案が纏められ、平成17年10月、文部科学省により、茨城県那珂市にサテライトトカマク(JT-60の超伝導化改修)、青森県六ヶ所村に国際核融合エネルギー研究センター活動(原型炉設計R&D調整センター、ITER遠隔実験センター、核融合計算センター)及び国際核融合材料照射施設の工学実証・工学設計活動(IFMIF/EVEDA)を実施することが決定された。平成19年2月5日、幅広いアプローチを実施するための日欧核融合エネルギー協定を締結。同協定は、平成19年6月1日に発効し、原子力機構は文部科学省により日本の実施機関に指定された。

(8) 超伝導コイル

超伝導導体を用いたコイル(電磁石)のこと。超伝導導体は、電気抵抗がゼロであるため、銅などの通常の導体のように熱が発生することはなく、電力を消費しない。磁場閉じ込め式核融合装置では、強力な磁場を使ってプラズマを中心部に閉じ込めて核融合を達成させることから、発電コストを低減し、発電システムとして実用化するためには、超伝導コイルの利用が必須である。

(9) 超伝導撚線

超伝導線材、または超伝導線材と銅線を撚り、ケーブル状にしたもの。ITERでは、外径約0.8mmの超伝導線材と同じ外径の銅線を合計約1000本撚り、外径約30~40mmのケーブル状に成型する。撚線の中心部には直径約7mmの冷却管がある。

(10) ジャケット

超伝導撚線を保護する金属製保護管。ITERでは、材料としてステンレス鋼が用いられる。

(11) コンパクション装置

超伝導撚線をジャケット内に引き込み、圧縮成型（コンパクション）してジャケットと超伝導撚線との間の隙間を潰し、超伝導導体として一体化するために用いる装置。

(12) 高周波加熱装置（ジャイロトロン）

磁場に巻き付いた電子の回転運動をエネルギー源として、サイクロトロン共鳴メーザーの原理によって波長の短い大電力の高周波（周波数100GHz帯のマイクロ波）を効率よく発振させることができる大型の電子真空管。ジャイロトロンの名は磁場中の回転運動（ジャイロ運動）に由来する。ITERやJT-60SAに使われるジャイロトロンは、長さ3m、重さ約700kgあり、1MW以上の大電力を発生させることができる。

(13) 粒子ビーム

プラズマの加熱やプラズマに電流を流すため、外部からプラズマに入射する原子（粒子）ビーム。これを入射するための装置を中性粒子入射装置（NBI）という。中性粒子入射装置では、まず、イオン源でイオンを発生させ、加速してイオンビームとする。磁場閉じ込め式核融合装置では、プラズマが磁力線のカゴに閉じ込められているため、電荷を持った粒子（イオン）では磁力線に遮られるので、イオンビームを、電荷を持たない中性粒子に変換した後、プラズマに入射する。

(14) MeV級加速器

中性粒子入射のためのイオンビームを生成する強力な負イオン源と加速器。ITERの中性粒子入射装置では、プラズマ加熱と電流駆動のために、ビームエネルギー1MeV、ビーム電流40Aの負イオン加速器が必要とされる。しかしながら、このような大電流の荷電粒子ビームをMeV級のエネルギーに加速した例は無い。そこで原子力機構ではITER建設に向けて、「MeV級加速器」による開発研究を実施している。イオンビームを中性粒子に変換する際、MeV級のエネルギーでは、正イオンの中性化効率がゼロとなってしまうため、負イオンが用いられる。

(15) エネルギー増倍率

核融合反応による出力と、そのプラズマ状態を維持するためにプラズマに直接供給される外部からの入力との比。Qと表記される。この値が1のときを臨界プラズマ条件、無限大のときを自己点火条件と呼ぶ。JT-60は平成10年6月にこの値が1.25の世界最高値を達成した。ITERの目標は10以上、将来のトカマク型発電炉では30程度以上必要とされている。

(16) **原型炉**

ある形式の動力炉を開発する場合、原子炉及びそのプラントについて、技術的性能の見通しを得ること、その原子炉の大型化についての技術的問題点ならびに経済性に関する目安を得ること等を目的として作られた原子炉を原型炉という。核融合の場合、プラント規模での発電及び燃料増殖の実証と、一定の経済性を見通せる目安を得る事を目的に建設される。

(17) **高ベータ定常運転**

磁場閉じ込め方式では、プラズマ圧力と磁気圧の比を「ベータ (β) 値」という。ベータ値が高いほど、高温・高密度プラズマを閉じ込めることができる。一方、現在のプラズマ実験では、高々数時間の運転ではあるが、将来の核融合炉では1年間にわたり定常に運転されることが望まれる。このような高ベータプラズマを定常に保持した運転の実現が、トカマク型核融合炉においては大変重要である。

(18) **国際核融合エネルギー研究センター (IFERC)**

ITERと並行して、日欧協力で実施される幅広いアプローチ活動のプロジェクトの一つで、平成17年9月のITER計画推進検討会で提案されたもの。原型炉設計・R&D調整センター、ITER遠隔実験研究センター、核融合計算機シミュレーションセンターから構成され、これらが連携しつつ核融合エネルギーの実現に向けた研究開発を効果的・効率的に実施するもので、青森県六ヶ所村に設置された。

(19) **国際核融合材料照射施設 (IFMIF) の工学実証・工学設計 (IFMIF/EVEDA)**

OECD/IEAの下で日欧露米の協力により実施した国際核融合材料照射施設の概念検討、要素技術開発の延長上に位置づけられる活動で、核融合中性子の材料への重照射に関するデータ取得するための施設について、その建設判断に必要な統合された工学設計と裏付けとなる技術データの取得を目的とする。平成17年9月のITER計画推進検討会において、ITERと並行して日欧協力で実施される幅広いアプローチのプロジェクトの一つとして実施することが提案され、青森県六ヶ所村で実施中。

(20) **サテライト・トカマク**

ITERと並行して、日欧協力で実施される幅広いアプローチのプロジェクトの一つで、平成17年9月のITER計画推進検討会で提案されたもの。日本原子力研究開発機構の臨界プラズマ試験装置JT-60を活用し、プラズマの長時間維持やITERを模擬したプラズマ配置が可能なように、JT-60のコイルを超伝導化する等の改修を行い、ITERの運転シナリオの最適化等のITER支援研究や、原型炉に向けてITERを補完する研究を日欧協力の枠組みで実施する。

(21) 炉工学

核融合炉を開発していく上で不可欠な工学開発（ブランケット技術、超伝導コイル技術、炉構造・遠隔保守技術、加熱・電流駆動機器技術、プラズマ対向機器技術、トリチウム燃料給排気・循環処理技術、計測・制御機器技術、核融合中性子工学技術、核融合材料技術、安全工学技術、等）の研究分野。

(22) 臨界プラズマ条件

プラズマに注入したパワーと核融合反応で発生したパワーの比をエネルギー利得Q値として定義する。臨界プラズマ条件とはプラズマイオンが同数の重水素と三重水素で構成される時に $Q=1$ となるプラズマであり、臨界プラズマ条件はプラズマ温度、及びプラズマ密度とエネルギー閉じ込め時間の積によって与えられる。JT-60（日本）とJET（欧州）では、臨界プラズマ条件を越えるプラズマパラメータが達成されている。

(23) ITER工学R&D

ITER設計活動においてITERの工学的技術を確認するための研究開発。七大工学R&D（ITER中心ソレノイドモデルコイル開発、ITERトロイダル磁場コイル開発、大型真空容器開発、ブランケット開発、ダイバータ開発、ブランケット遠隔保守技術開発、ダイバータ遠隔保守技術開発）を2001年に完遂。

(24) 増殖・発電ブランケット

重水素（D）とトリチウム（T）の反応を用いた核融合炉では、重水素とトリチウムが燃料である。しかし、トリチウムは天然に存在しないため、人工的に作り出す必要がある。そこで、核融合反応が発生しているプラズマを包むような構造体にリチウム化合物を入れて設置し、核融合反応によって発生する中性子を利用してリチウム原子を核反応によりトリチウムに転換することが考えられている。そのためのリチウム化合物及びそれを収納する構造体をトリチウム増殖ブランケットと呼ぶ。また、中性子の運動エネルギーを熱変換しその熱を発電に利用するブランケットを発電ブランケットという。核融合炉のブランケットには、このように増殖機能と発電機能に加え、中性子を遮蔽する機能がある。

(25) アルファ粒子

DT核融合反応では、3.5MeVのアルファ粒子（ヘリウム原子核）が発生し、数10keVの炉心プラズマ加熱に供する。アルファ粒子は電荷を持つため磁場に閉じ込められ、そのエネルギーは衝突によって徐々にプラズマ粒子に移される。その結果プラズマが加熱される。

(26) 真空容器

プラズマを閉じ込めるトーラス状の中空な金属容器。

(27) **プラズマ対向機器**

プラズマに直接面する位置に設置される機器の総称である。第一壁、ダイバータ及びリミタと呼ばれる機器等が含まれ、プラズマを取り囲む壁を構成する。

(28) **遠隔保守機器**

真空容器の内部の構造物（ブランケットやダイバータなど）は、核融合反応時に発生した中性子により放射化することから、その構造物が損傷した場合は遠隔操作により修理交換をする必要がある。この遠隔保守のための各種機器の総称のこと。

(29) **エネルギー閉じ込め時間**

いかに小さなプラズマ加熱パワーで、高温・高密度のプラズマが得られるかを表す指標。プラズマの加熱を停止した場合、プラズマが冷えて行く時間スケールと同じ。エネルギー閉じ込め時間が長いということは、プラズマが冷えにくいことを意味する。プラズマ持続時間（維持時間）とは異なる。

(30) **プラズマの安定性**

トカマクのプラズマは磁場によって閉じ込められているが、プラズマの圧力と閉じ込め磁場の圧力が崩れたり、トロイダル磁場に対してプラズマ電流を大きくしすぎたりすると、閉じ込め性能が劣化し、最悪の場合プラズマが消滅する。これをプラズマの不安定性と呼ぶ。高い圧力のプラズマを安定に保持するためには、プラズマの圧力やプラズマ中を流れる電流の空間分布を最適化する必要がある。

(31) **熱・粒子制御**

核融合炉では超高温プラズマ状態を長い時間保持しなければならない。プラズマを取り囲んでいる壁は著しく高い熱流束およびプラズマ粒子束にさらされるため、壁材料から構成原子が種々の相互作用（昇華、熔融、スパッタリング、昇温脱離等）により、プラズマ中に放出される。放出された粒子が高温プラズマ内にはいると温度が低下し出力の減少につながるため、壁への熱流束を低減して放出量を減らしたり、周辺プラズマでの放出粒子の侵入に対する遮蔽効果を高めたりする必要がある。すなわち、核融合反応が十分起こる状態を長時間保つためには、これらの熱・粒子束を効果的に制御する必要がある。

(32) **高ベータ化**

プラズマを閉じ込める磁場の圧力に対するプラズマの圧力比、すなわちベータ値＝プラズマ圧力／磁場圧力。ベータ値が高いほど弱い磁場で高い圧力のプラズマを閉じ込めることができる。核融合炉の出力は、プラズマ圧力の自乗×プラズマ体積に比例するため、ベータ値を高めることで、コンパクト（小さな体積）な炉心をつくることができる。すなわち、高ベータ化は、核融合炉の経済性を高める上で、必要不可欠な要素である。

(33) **第一壁**

プラズマに直接面する壁の総称。機能的に分類すると、リミタ、ダイバータ板、高熱流防護壁、ブランケット壁等がある。狭義には、壁面が磁気面に平行な位置関係にあるブランケット壁を第一壁と呼ぶ。一般に第一壁はプラズマと直接作用し、大きな熱・粒子負荷を受ける。このため、第一壁から不純物が発生し、これがプラズマに与える影響も無視できない。第一壁の設計は、除熱、不純物放出、粒子リサイクリング率、表面損耗、照射損傷、熱疲労、電磁力等を総合的に評価して行われる。

(34) **低放射化フェライト鋼**

核融合発電実証炉のブランケット構造材料の最も有力な候補である。鉄系の耐熱材料を基にして、長寿命の放射性廃棄物を低減するように設計したものであり、鉄に8%のCrと2%のWを添加したF82Hが原研を中核として大学等の協力を得ながら開発された。現在、実用化への最終段階である工学実証段階への移行を目指し、性能評価が進められている。また、強磁性体であるため、プラズマを閉じ込める磁場に悪影響を与えることが懸念されていたが、原研のJFT-2Mでの適合性試験により、大きな問題がないことが実証されてきた。

(35) **ITER機構**

「イーター事業の共同による実施のためのイーター国際核融合エネルギー機構の設立に関する協定(略称:イーター国際核融合エネルギー機構設立協定)」に基づくITERの実施機関。2007年10月27日設立。初代ITER機構長は元クロアチア大使の池田要氏。2010年7月には前核融合科学研究所長の本島修氏が2代目ITER機構長として就任。

(36) **ダイバータ**

高温プラズマから排出される熱・粒子を除去する機器であり、トカマクの構成機器で唯一直接プラズマと接する固体壁であるため、最も厳しい熱・粒子負荷にさらされる機器である。その受熱面には、原子炉内部の数10倍に相当する熱流束が入射することになる。