

## Ⅱ 主要用語解説

# 1. 研究開発の現状と将来展望

## (1) 高速増殖炉 (FBR : Fast Breeder Reactor)

核分裂の際に出る高速の中性子を燃えないウラン238にあてると燃えるプルトニウムに変わる。この仕組みを利用し、燃えた量より多くの燃える燃料を作ることができる原子炉で、「もんじゅ」は我が国唯一の高速増殖発電炉である。

## (2) 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、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まわることから「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（約85年）が数千年に延ばせる。

## (3) 再処理

原子炉で燃やした使用済燃料には、燃え残ったウランや新たに作られたプルトニウムが含まれている。このウランやプルトニウムを使用済燃料から分離すれば、再び燃料として使うことができる。これらの物質を分離回収することを「再処理」という。

## (4) MOX燃料 (Mixed Oxide Fuel)

ウラン酸化物とプルトニウム酸化物を混合して作った燃料。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」と呼ばれて、仏国、独国などで2,000体を超える使用実績がある。

## (5) 高レベル放射性廃棄物

使用済燃料から燃料として使えるウランやプルトニウムを取り出す処理（再処理）を行なった後に残る強い放射能を持った廃液（高レベル放射性廃液）をガラス原料と混ぜて高温で加熱しステンレス容器に入れて固化したもの（ガラス固化体）を「高レベル放射性廃棄物」という。放射能や発熱量は時間とともに減衰する。

(⇒ガラス固化体)。

## (6) ガラス固化体

高レベル放射性廃液を、高温で加熱することにより水分を蒸発させるとともに、ガラス原料とともに高温で溶かし、ステンレス製の容器に封じ込め固体にします。これを「ガラス固化体」という。

## (7) 地層処分

高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）を地下深くの安定な地層中に長期間にわたって隔離する最終的な処分方法を「地層処分」という。人間とその生活環境が高レベル放射性廃棄物中の放射性物質による影響を受けないようにすることが目的である。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。日本では、ガラス固化体を30年～50年程度冷却のために貯蔵したのち、地下300mよりも深い安定な地層中に処分することとされている。

## (8) 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5月、共同実施協定の仮署名に調印。2006年中に署名後、各極が国内手続きに入り、ITER国際事業体が設立される見込み。

## (9) 幅広いアプローチ（ブロードアープローチ）

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）およ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。現在、ITERの共同実施協定と同時の発効を目指して、幅広いアプローチを実施するための日欧核融合研究協力協定（国会承認条約）締結に向けた協議を実施中。

## (10) ISプロセス

高温ガス炉で得られる、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、通常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、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。

(11) **燃料電池**

「燃料電池」は、水の電気分解の逆の反応を利用して、水素と酸素から電気を作り出す発電機。この際の排出物は水だけなので、クリーンであり、発電の際に発生する熱も利用（コジェネレーション）することで、高いエネルギー効率を得ることが出来るため、次世代の分散型エネルギー源として期待されている。

(12) **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)

(13) **J-PARC**

原子力機構と高エネルギー加速器研究機構（KEK）が進めている、大強度陽子加速器施設（Japan Proton Accelerator Research Complex）の略称。2007年中のビーム加速を目指して、現在東海村に建設中。本施設では大強度陽子加速器により様々な二次粒子が生成され、世界最先端の物質・生命科学研究、核変換研究、原子核・素粒子研究が行われる予定である。

(14) **(分離) 核変換**

高レベル放射性廃棄物に含まれる半減期の長い放射性物質を分離し、これを原子炉や加速器に用いて半減期の短い、あるいは放射性でない安定な物質に変換する技術。現在は研究開発の初期段階であるが、この技術が実用化されれば地層処分に対する負荷の低減などに寄与する可能性がある。

(15) **応力腐食割れ (SCC)**

金属材料をある腐食環境で使用するとき、材料が本来持つ引張強さよりも小さな引張り応力でひび割れが発生、進展し破損してしまう現象。材料、環境、応力の3つが、ある条件に揃った場合に発生する。また、ある一定以上の中性子照射を受けた金属材料が、高温水中で応力腐食割れの感受性を示す現象を、「照射誘起応力腐食割れ (IASCC)」という。

## 2. FBRサイクルシステムの実用化に向けて

### (1) 核燃料サイクル

鉱山から掘り出されたウラン鉱石は、抽出、精錬、転換、分離、濃縮、再転換、成型加工などの工程を経て、燃料集合体に組み立てられ、原子力発電所で使用される。この使用済燃料は、再処理工場で、燃え残ったウランや新たに生じたプルトニウムを取り出し、再び燃料に加工して使用することができる。この一連の流れ（サイクル）をいう。

### (2) 高速増殖炉（FBR : Fast Breeder Reactor）

核分裂の際に出る高速の中性子を燃えないウラン238にあてると燃えるプルトニウムに変わる。この仕組みを利用し、燃えた量より多くの燃える燃料を作ることができる原子炉で、「もんじゅ」は我が国唯一の高速増殖発電炉である。

### (3) 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、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まわることから「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よく利用することができ、ウラン資源の寿命（約85年）を数千年に延ばせる。

### (4) MOX燃料（Mixed Oxide Fuel）

ウラン酸化物とプルトニウム酸化物を混合して作った燃料。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」と呼ばれて、仏国、独国などで2000体を超える使用実績がある。

### (5) 超ウラン元素（TRU: TRansUranium）

原子番号がウラン（原子番号92）より大きい元素。ネプツニウム（Np, 93）、プルトニウム（Pu, 94）、アメリシウム（Am, 95）、キュリウム（Cm, 96）などの人工の放射性元素で、現在112番元素までが知られている。これらの中には燃料として利用できる元素が含まれており、これらを取り出し燃やすことにより、環境への影響を低減することができる。

### (6) マイナーアクチニド（MA: Minor Actinide）

使用済燃料中でウラン、プルトニウムに比べ存在量の少ないアメリシウム（Am）、キュリウム（Cm）およびネプツニウム（Np）等のアクチニド元素を言い、将来は、高速増殖炉の燃料として燃やすことを計画している。

(7) **長寿命核分裂生成物 (LLFP: Long-Lived Fission Product)**

核分裂によってできた核種、またはそのような核種から放射性の崩壊によってできた核種のうちで半減期の長いものをいう。主要なものとして、ヨウ素-129 (半減期1,570年)、パラジウム-107 (半減期650万年)、セシウム-135 (半減期230万年)、ジルコニウム-93 (半減期153万年)、テクネチウム-99 (半減期21万1千年)、すず-126 (半減期10万年)、セレン-79 (半減期6万5千年) 等がある。LLFPは、一部の超ウラン元素とともに超長期における高レベル放射性廃棄物の放射能に寄与する。

(8) **低除染燃料**

再処理工程での核分裂生成物の除去の程度の低い再処理製品を原料として製造される燃料である。高速増殖炉の燃料は軽水炉に比べて不純物の許容量 (含有量) を高くとることができるため、核分裂生成物を徹底的に除染する必要はなく、再処理工程を簡素化することが可能である。

(9) **GIF (第4世代原子力システム国際フォーラム) プロジェクト**

第4世代 (Generation IV、GEN-IV) 原子炉とは、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、核廃棄物の最小化、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や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、およ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。このプログラムを国際的な枠組みで推進するため、米国、日本、英国、韓国、南アフリカ、仏国、カナダ、ブラジル、アルゼンチン、スイスの10カ国と1機関 (EU) が2001年7月に第4世代国際フォーラム (Generation IV International Forum:GIF) を結成し、6つの原子炉概念に絞って研究開発を進めていくこととしている。

(10) **GNEP (Global Nuclear Energy Partnership)**

2006年2月にDOEが発表した米国の先進エネルギー戦略構想の一環となる包括的な戦略。目標として、1) 米国の国外化石燃料への依存度を下げ経済成長を促進する、2) 核拡散抵抗性を高める先進的技術を活用して核燃料リサイクルを行い、より多くのエネルギーを再生産するとともに、廃棄物を低減する、3) 世界の成長と繁栄、クリーンな開発を奨励する、4) 世界の核拡散リスクを減らすための最新の技術を利用する、の4項を掲げており、この目標を実現するため、米国は単独または国際的パートナーと共に、7つの事業・技術開発に取り組むこととしている。

(11) **先進湿式法 (再処理)**

現在、稼動している再処理施設で広く使われている湿式再処理法をさらに経済性、環境負荷に対して優れた特徴を持つ先進技術を適用した湿式再処理である。例えば、ウラン・プルトニウムの共回収、精製工程などの簡素化や晶析法

の適用による抽出処理量低減、また塩廃棄物を発生させない試薬(ソルトフリー試薬)の利用などの研究が行われている。

#### (12) 金属電解法 (再処理)

使用済燃料を熔融塩中に溶解し、酸化・還元電位差を利用して金属Uを固体陰極に析出させる。その後、熔融カドミウム陰極でプルトニウムおよびMAの析出生成自由エネルギーがウランと近接することを利用して金属プルトニウム・ウラン・MAの共析出を行い、アクチニドを回収する乾式再処理法。基本プロセスは米国ANLが開発した。

#### (13) 酸化物電解法 (再処理)

酸化雰囲気下で、酸化物の使用済燃料を熔融塩 (LiCl-CsClなど) 中で塩素ガスを吹き込みながら溶解 (塩素化溶解) し、酸化・還元電位の差やプロセスガス中の酸素や塩素の分圧を制御することによって、アクチニド元素を酸化物 (ウラン酸化物、プルトニウム酸化物) として陰極表面上に電解析出させる乾式再処理法。基本プロセスは、析出物が理論密度に近い顆粒状であるため、バイパック振動充填法による燃料製造のための顆粒製造技術としてロシアRIARが開発した。

#### (14) 簡素化ペレット法

MOX燃料製造コストの低減を目的に、転換工程でのプルトニウムの富化度調整、高流動性のMOX粉への転換を行うほか、ペレット工程では原料秤量、均一化混合および造粒等を削除する等の合理化により、現行の製造工程を約1/3までに短縮できる見通しが示されている。

#### (15) 振動充填法

燃料をペレットに焼結せず顆粒状にし、振動を加えながら燃料被覆管内に充填する燃料ピンの製造方法である。振動充填法では、プルトニウム、ウランを酸化物に転換する際に、数十～数百マイクロメートル程度の球 (スフェアパック燃料) あるいは塊状 (バイパック燃料) に調整し、振動を加えながら燃料被覆管に充填する。

#### (16) 射出鋳造法

金属燃料の製造に適用される技術。熔融した合金成分を減圧したモールドという鋳型に圧力差を利用して鋳込む技術であり、一度に数十本以上の単位で燃料スラグが製造できる特徴を有しており、現在のペレット形状をした酸化物燃料の製造に比較して、プロセスが極めて簡単で大量の生産に向いており、経済性に優れる。

### 3. 量子ビームの産業利用

#### (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、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)

#### (2) 光量子

電磁波である光は、物質に作用するとき、エネルギーをもつ粒子として振る舞う。光の粒子的性質を表すため、光を「光量子」と呼ぶ。このように、光は波動的性質と粒子的性質をもつが、他方電子や中性子などの粒子は、粒子的性質とともに波動的性質を持つ。光や物質が示す波動性と粒子性の二重性を、量子力学的性質と呼ぶ。

#### (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）と理研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。

#### (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RF電場を用いて加速した粒子ビーム。普通には、原子から電子をいくつか剥ぎは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、高能材料、生物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) JRR-3

JRR-3(最大熱出力10MW)はわが国初の国産研究炉として1962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、1990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。

## (6) J-PARC

原子力機構とKEKが進めている、大強度陽子加速器施設 (Japan Proton Accelerator Research Complex) の略称。2007年ファーストビームを目指し、現在東海村に建設中。本施設では大強度陽子加速器により様々な二次粒子が生成され世界最先端の物質・生命科学研究、核変換研究、原子核・素粒子研究が行われる。

## (7) TIARA

イオン照射研究施設 (Takasaki Ion Accelerators for Advanced Radiation Application) 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、その後共用が開始された。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。

## (8) SPring-8

大型放射光施設 (Super Photon ring 8GeV) の略称。旧原研と理研は1991年から建設を開始し、1997年10月に完成し共用を開始した。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なわれ、これまで見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」ための研究が行なわれている。

## (9) 中性子ラジオグラフィ

中性子線が物質中を透過した際、物質による吸収 (或いは透過) の大きさの差を用いて物質の透過像を取得する技術。透過像を得るものにはX線ラジオグラフィが著名であるが、物質によっては中性子線の透過性がX線と大きく異なるため、両者は相補的な技術として用いられる。例えば中性子線は、Al、Pb、Bi等

に対してはX線よりはるかに強い透過力を示すので、このような物質内部の欠陥や不純物の非破壊検出・検査を容易にする。中性子ラジオグラフィは研究用原子炉から高中性子束が得られるようになってから、非破壊試験の一つとして急速に発展した。

#### (10) 自己再生機能触媒

通常の自動車触媒は使用している間にその性能がどんどん劣化していく。それに対して、今回原子力機構がダイハツ工業(株)との共同研究で開発した触媒は、その性能を半永久的に持続することが示された。この原因をSPring-8で調べたところ、アクセルを踏んでいるときは通常の触媒のように触媒作用を発揮し、それに伴ってその性能が劣化するが、アクセルを離すと性能が元に戻っていくという働きをすることがわかった。このように使用条件によって劣化した性能が元に戻る再生する働きのある触媒であり、これによって半永久的に性能を維持することがわかった。

#### (11) 放射線抵抗性細菌

細菌には孢子形成能のある種類とない種類がある。一般に、孢子は放射線による致死効果に対する抵抗性が大きいことが知られている。しかし、水分や温度などが生育に適している条件では発芽しやすく、発芽した状態では放射線に対する抵抗性が低くなる。一方、孢子形成能のない細菌の中に、まれに孢子よりも著しく放射線抵抗性の大きいものがあり、放射線抵抗性細菌と呼ばれている。これらは、食品照射や放射線殺菌の研究の過程で発見されたものが多い。また、ラジウム温泉の周辺から探し出された例もある。これらの細菌種では放射線で損傷を受けたDNAを修復する能力が著しく大きいことが知られている。

#### (12) DNA修復試薬

原子力機構では、生物の中で最も放射線に強い微生物「ディノコッカス・ラジオデュランス」をTIARA等でガンマ線、イオンビームといった量子ビームを利用して調べ、放射線で傷ついたDNAを直す新しい遺伝子を発見した。この遺伝子が作るたんぱく質について国内メーカーに資料の提供や技術指導を行った結果、(株)ニッポンジーンから従来製品より約10倍効率の高い修復試薬として発売された。遺伝子操作に欠かせないバイオ研究試薬として幅広い利用が見込まれている。

#### (13) HIVプロテアーゼ

HIV(通称エイズウイルス)の蛋白分解酵素をいう。エイズの病因ウイルスであるHIVは免疫の中樞を担うヘルパーT細胞を中心に感染し、徐々に細胞を破壊する。HIVの増殖にはgagたんぱく質とpolたんぱく質が必要であるが、これらのたんぱく質はpol遺伝子の産物であるプロテアーゼにより、切断されてはじめて機能を発揮する。たんぱくHIVプロテアーゼ阻害剤はこのpolたんぱく質切断を

阻害し、HIVの増殖を止める。これが現在最も期待される抗HIV薬剤の1つである。現在までに数多くのHIVプロテアーゼ／阻害剤の結晶構造がX線により解析されてきた。

#### (14) 水素・水和構造

タンパク質や核酸を構成する原子数の約半分は水素で占められている。また、生体系の多くは水と共存している。したがって、水素原子や、たんぱく質を取り巻く水分子がどのような向きに並んでいるか（配向するか）を知ることは、タンパク質の形成や機能の発現にとって極めて重要である。このように、水素原子や水分子が、タンパク質中において、或いはタンパク質分子に対してどのように配列するかを水素、水和構造と称する。これまでは、高性能のX線回折によって構造を決めていたが、原理的に水素原子の位置を決定するのは困難なので類推に頼る部分が多く、水素に対して高い感度を有する中性子回折による解析が待たれている。

#### (15) 分離抽出剤（PDA）

原子炉の使用済燃料を処理する方法のひとつとして、燃料を硝酸で溶解し、イオンとして分離する方法がある。このときの硝酸溶液の中に溶け込んでいる金属イオンについて、それぞれの物理的、化学的性質の違いを利用して、イオンを分離する物質を分離抽出剤という。特定の金属イオンを選別し、そのイオンと結合する物質を作り出すことによって、そのイオンだけを分離することができる。これを分離抽出剤という。イオンを選別するには、イオンの大きさ（イオン半径）の差を利用し、抽出剤のイオンを取り込むポケットの大きさをイオン半径にあわせることによって、分離できるようになる。

#### (16) メタノール用燃料電池と水素用燃料電池

燃料電池の中で、電解質に高分子膜を使った固体高分子型燃料電池は、小型・軽量化に適しているため、携帯機器向け、自動車向け及び家庭向け電源としての利用が考えられている。この固体高分子型燃料電池は、一般的な燃料電池用燃料である水素を利用するタイプと直接メタノールを利用するタイプ（直接メタノール型燃料電池：DMFC）に分けられる。DMFCは液体燃料であるメタノールを小型カートリッジに入れて供給することができるため携帯機器用電源として期待されている。

#### (17) グラフト重合と橋かけ

グラフトとは、「接ぎ木」という意味で、ある高分子鎖に別の高分子鎖を結合することをグラフト重合という。高分子鎖上に放射線照射や触媒などにより活性点を形成し、これによって別のモノマーの重合を開始させ、グラフト重合体を合成する。繊維やプラスチックなどの高分子材料に別のモノマーをグラフト重合することによって、新しい性質をもつ材料を製造することができる。例えば放射線グラフト重合法を用いることにより、既存の特質である丈夫さを損

なうことなく、接ぎ木のような金属捕集機能を付与することによって、海水中のウラン捕集機能に優れた繊維状アミドキシム樹脂を合成することができる。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で結合をつくり、耐熱性や不溶化などの機能を向上させることができる。この手法により、生分解性のポリ乳酸の耐熱性の向上やセルロースの化合物からゲルを作製できる。

#### (18) ポジトロンイメージング

ポジトロン放出核種の崩壊時に放出するポジトロンが、周囲に存在する電子とともに消滅する際、一對の消滅ガンマ線が同時に発生し、互いに180° 反対方向へ飛ぶ性質を利用した画像計測技術。医療分野でポジトロン断層撮影(PET)に利用されている。しかし、この技術を生きた植物中で物質が動く様子のリアルタイム計測に応用する技術は世界的に例が無かったが、原子力機構は浜松ホトニクス㈱と共同で、世界初の植物用ポジトロンイメージング装置を開発し、植物研究への応用に関する研究を行った。これにより、植物中でのカドミウムの動態の可視化に世界で初めて成功するなど、植物の機能を解明する研究が飛躍的に進展した。

#### (19) カドミウム規制値

カドミウムは人体にとって有害（腎臓機能に障害が生じ、それにより骨が侵される）で、日本ではカドミウムによる環境汚染で発生したイタイイタイ病が問題となった。食品衛生法では、コメに含まれるカドミウムが1ppm未満であることが定められている。0.4 ppmを超えるカドミウムが検出されたコメは、市場に流通しないよう対策が講じられている。

#### (20) 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）や中性子、重荷電粒子（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・速中性子線治療・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、水素原子の原子核であり、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。中性子線は癌細胞に対する致死効果が大きい、線量分布はX線やガンマ線と変わらず集中性が悪い。一方、放射線医学総合研究所などで新しく臨床応用が始まった重粒子線は、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、癌の治療に適した放射線治療法として期待されている。

(21) リニアック

線形加速器ともいい、電子またはイオンを直線に走らせながら加速する。特徴として、電子又はイオンの走行時間に合わせて電極を並べ、電極に供給した高周波の電場を利用して加速する。感覚的にはサーフボードで波乗りをしているようなもの。電子と陽子（イオン）ではその質量が異なるため、同じエネルギーでも速度が極端に違うので、異なる設計をしなければならない。小型のものは医療、滅菌、工業などで盛んに使われている。

(22) シンクロトロン

環状の円形粒子加速器。電子又はイオンの加速に用いられる。荷電粒子のエネルギーに応じて磁場を強くすることで、粒子に軌道半径一定の円軌道をとらせ、その回転周期に同期した高周波加速電場を加えて粒子を加速する。ドーナツ型の真空容器とそれを取り囲むように配置された電磁石、加速電場を作り出す高周波空洞、粒子を予備的に加速する入射器からなる。電子は比較的低いエネルギーで、加速周波数の変調はほとんど不要であるのに対し、陽子の場合には広い範囲にわたっての変調が必要である。

(23) ニュートリノ

電気（電荷）を持たず、質量が殆どゼロの粒子。最も基本的な素粒子の一つである。中間子のベータ崩壊や各種中間子の崩壊の際に作られ放出される。地球に外部から入射しても殆ど全部が地球を素通りしてしまうほどなので、観測が難しく、原子核や電子に衝突したときごくまれに起こる反応により検出する。

## 4. 地層処分の知識基盤構築

### (1) 高レベル放射性廃棄物

使用済燃料から燃料として使えるウランやプルトニウムを取り出す処理（再処理）を行なった後に残る強い放射能を持った廃液（高レベル放射性廃液）をガラス原料と混ぜて高温で加熱しステンレス容器に入れて固化したもの（ガラス固化体）を「高レベル放射性廃棄物」という。放射能や発熱量は時間とともに減衰する。

（⇒ガラス固化体）。

### (2) ガラス固化体

高レベル放射性廃液を、高温で加熱することにより水分を蒸発させるとともに、ガラス原料とともに高温で溶かし、ステンレス製の容器に封じ込め固体にします。これを「ガラス固化体」という。

### (3) 地層処分

高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）を地下深くの安定な地層中に長期間にわたって隔離する最終的な処分方法を「地層処分」という。人間とその生活環境が高レベル放射性廃棄物中の放射性物質による影響を受けないようにすることが目的である。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。日本では、ガラス固化体を30年～50年程度冷却のために貯蔵したのち、地下300mよりも深い安定な地層中に処分することとされている。

### (4) 結晶質岩

地層処分において用いられる岩石分類のひとつで、鉱物の結晶からなる岩石。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）からなる。緻密で硬いが、割れ間ができやすいため、亀裂性媒体（割れ目を選択的に地下水が移動する）として扱われる。例：花崗岩（⇔堆積岩）

### (5) 堆積岩

地層処分において用いられる岩石分類のひとつで、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。結晶質岩と対比すべき重要な特徴として、特に新しい時代にできた固結度の低い堆積岩は、水理学的には多孔質媒体（岩石を構成する粒子の隙間を地下水が移動する）の性質が強く、工学的には軟岩として扱われる。例、泥岩（⇔結晶質岩）

### (6) 知識管理

知識管理とは、地層処分に関する技術を知識基盤として構築する（知識化）のために行なう管理のことであり、知識に関する開発、統合、品質保証、コミ

コミュニケーション、維持・記録保存といった全ての側面を意味する語として用いている。

**(7) 知識管理システム**

知識管理システムとは、知識管理の体系を示すもので、知識の活用を管理・促進する仕組みと、それに必要な計算機支援システムをあわせたものを言う。

**(8) 知識ベース**

知識ベースは、地層処分に関わる国内外の様々な情報、研究開発を通じて明らかとなった事実、経験などにもとづく知見やノウハウなどの知識を、利用者が活用しやすい形態に整えて蓄積・保管している場所と蓄積・保管した知識そのもののことを言う。

## 5. 核融合研究開発の国際展開

### (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) 核融合利得

核融合エネルギー増倍率ともいう。核融合反応で発生したパワーとプラズマ加熱のために外部から投入したパワーとの比で、この比が1の場合を臨界プラズマ条件、無限大の場合を自己点火条件という。核融合発電炉では、この比が30以上必要とされている。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。

### (4) 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る世界最大級のトカマク装置である。

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ている。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た。

### (5) 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5月、共同実施協定の仮署名に調印。2006年中に署名後、各極が国内手続きに入り、ITER国際事業体が設立される見込み。

#### (6) 増殖技術

核融合炉の燃料は重水素と三重水素（トリチウム）であるが、トリチウムは天然にはほとんど存在しない。このため、核融合炉では、核融合反応によって発生する中性子とトリチウムの反応を利用し、燃料であるトリチウムを生産する。燃料として消費するトリチウムを上回る量のトリチウムを生産することから、これを「増殖」という。トリチウムを効率よく生産し、回収するための技術が「増殖技術」である。なお、トリチウムの原料となるリチウムは海水中に豊富に存在する元素である。

#### (7) ITER定常運転

トランスの原理を利用した誘導電流駆動方式を用いなくてプラズマ電流を長時間定常的に維持できる運転を定常運転と呼ぶ。ITERの物理目標のもう一つに、核融合エネルギー増倍率 $Q$ が5以上の定常運転を目指すことが掲げられている。この目標を実現する運転のためには、定常運転に適した中性粒子入射や高周波による電流駆動とプラズマの圧力によって自然に流れる自発電流のみでプラズマ電流を維持する運転が必要であり、ITERでは、標準運転よりはプラズマ電流値の低い運転が想定されている。

#### (8) ITER標準運転

ITERの物理目標の一つに、核融合エネルギー増倍率 $Q$ が10以上で長時間燃焼（トランスの原理を利用した誘導電流駆動方式で300～500秒）を達成することが有る。この目標達成のため、電流駆動にトランスの原理を利用した誘導方式を併用し、プラズマ電流15MAにおいて、 $Q=10$ で300秒～500秒の燃焼時間を確保できる運転をITERにおける標準運転と呼んでいる。

#### (9) プラズマの性能

本講演では、プラズマの性能とは、規格化されたプラズマの圧力を指している。ある環状の磁場強度に対するトカマクプラズマの圧力の上限值は、プラズマ電流に比例し、磁場強度とプラズマ小半径に反比例することが、広範な理論計算により示されている。その比例係数を規格化ベータ値と称し、この値が高いほど、高性能・高効率な炉心プラズマが設計可能となる。

#### (10) EDA

ITERの工学設計活動（Engineering Design Activity）。1992年7月から、日・

米・ロ・EUの4極の国際協力によりITER建設に必要な全ての技術情報を整えることを目標に、設計活動の他、物理及び工学R&Dを実施した活動である。2001年7月にコンパクトITERの設計を完成し、終了した。

#### (11) 中心ソレノイドコイル

ドーナツ状のトカマク装置の最内側に設置されるコイル。プラズマ電流を立ち上げたり、立ち下げたりする時に使用する。将来の定常核融合炉では1～2年の間、定常的に運転するため、30～40年のプラント寿命中に15～20回、電流を立ち上げたり、下げたりするために設置されることになる。強磁場で強い電磁力環境下の狭い空間に設置するため、設計が困難で高価。

#### (12) ブランケット

核融合炉で、燃料増殖、熱エネルギー取り出し、遮へい等の機能を受けもつ機器。プラズマと真空容器との間に設置される。主に遮蔽と冷却の機能を有するものを遮蔽ブランケット、主に遮蔽、冷却及びトリチウム燃料の生成・回収の機能を有するものを増殖ブランケット、遮蔽、トリチウム燃料の生成・回収及び発電のための熱エネルギーの取り出しの機能を有する発電ブランケットに分けられる。

#### (13) ブランケット遠隔操作

ITERの炉内は中性子により放射化されるため、炉内に設置された約400個のブランケットが損傷し保守が必要な場合には、高い放射線（ガンマ線）のために、人による作業は不可能となりロボットによる遠隔操作が必要となる。ブランケット遠隔操作ロボットには、狭くて長いドーナツ状の炉内（真空容器内）で、1個当たり重量4トンの大型重量構造物であるブランケットを最終的な設置精度±0.25 mm以下の高精度で取り付けることが要求されている。このため、ドーナツ状真空容器内で全てのブランケットにアクセス可能で、かつ、大型重量物の真空容器内での移動を可能とするため、保守時には真空容器内にリング状の軌道を敷設し、その軌道上を移動可能なロボットにより、大型重量ブランケットの交換保守を行なう軌道走行ビークル型ロボットが開発された。

#### (14) トロイダルモデルコイル

核融合プラズマの閉じ込めに必要なトーラス円周方向の強磁場を発生するための超伝導コイルの試作物。ITER工学R&Dにて、高さ4m、幅3m、最大磁場7.8テスラのコイルをEU・ロシアを中心とした国際協力によって試作し、大型コイルの変形や運転裕度に関するデータを取得した。

#### (15) ダイバータ

プラズマの周辺の磁力線の形状を工夫して高温のプラズマが直接真空容器の壁に当たらないようにした装置。旧原研が発明。プラズマ中の不純物の減少に効果があるとともに、核融合炉では燃焼生成物（ヘリウム）の排気を助ける。

プラズマを受けるダイバータ板、中性粒子を遮蔽するバッフル板などが真空容器内の下部にW字形に配置されたダイバータをW型ダイバータといい、JT-60でヘリウム灰の排気や不純物混入の抑制による長時間運転の見通しが立つ成果が得られた。ITERにおいても同形式のダイバータが適用されている。

#### (16) 軌道の自動展開

ブランケット遠隔操作の軌道走行ビークル型ロボットでは、ドーナツ状の真空容器内に設置された約400個のブランケットにアクセスするため、ロボットが自由に移動できるリング状軌道を真空容器内に自動展開し固定する必要がある。通常の保守時にはロボットは自由に移動可能で軌道は固定されているが、軌道の展開時にはこれとは反対に、ロボットを仮固定し軌道を自由にした状態でこのビークル型ロボットの走行機構を動作させれば軌道は送り出されることになる。この軌道が送り出される原理を利用すれば、軌道自体には何の動力も必要とせず、ブランケットの遠隔操作に必要なビークル型ロボットのみで真空容器内への軌道の自動展開が可能となる。

#### (17) ブローダーアプローチ（幅広いアプローチ）

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）およ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。現在、ITERの共同実施協定と同時の発効を目指して、幅広いアプローチを実施するための日欧核融合研究協力協定（国会承認条約）締結に向けた協議を実施中。