

## 用語解説

### 【カ行】

#### ・「階層型」サイクル概念

商用発電炉サイクルを第一階層とし、第二階層である群分離・核変換サイクルを付加した概念。群分離・核変換サイクルでは、売電を主目的とせず、商用発電炉の使用済燃料から分離した長寿命核種の効率的な核変換を行う。

#### ・外部事象(外部ハザード)

地震・津波・航空機落下等の原子炉施設の外部からの脅威を指す。これに対し、原子炉施設内部の浸水、火災などを内部事象(内部ハザード)という。福島第一原子力発電所事故後に策定された新規規制基準では、これらの脅威に対する基準を強化し、対策を十分に行い安全性を確保することが要求されている。

#### ・核データ

種々の核反応の起こる大きさ(確率)を表すデータや、放射性同位元素(RI)から放出される放射線の種類やエネルギー、原子核の励起状態を表す核構造データなどを指す。

#### ・核燃料サイクル

原子力発電で使い終えた核燃料から核分裂していないウランや新たに生まれたプルトニウムなどをエネルギー資源として回収(再処理)し、再び原子力発電の燃料に使うしくみのこと。資源の有効利用、高レベル放射性廃棄物の低減、高レベル放射性廃棄物の有害度(放射能レベル)低減が可能となる。

#### ・核分裂生成物(FP: fission product)

ウラン・プルトニウム等の原子核の核分裂によって生じる生成物。核分裂生成物には安定核種、短寿命の放射性核種、長寿命の放射性核種(LLFP: long-lived fission product)が含まれる。

#### ・核変換

広義の核変換は、原子核に何らかの働きかけを行い、異なる元素や異なる同位体に変換すること。群分離・核変換技術においては、長寿命核種を核反応によって短寿命核種あるいは安定核種に変換することを指す。

・核変換実験施設(TEF: Transmutation Experimental Facility)

加速器駆動核変換システムの研究開発を行うことを目的に、日本原子力研究開発機構が J-PARC に建設を計画している実験施設の名称。施設は ADS ターゲット試験施設(TEF-T)と核変換物理実験施設(TEF-P)で構成される。TEF-T では、液体鉛ビスマスターゲットに大強度陽子ビームを入射することにより核破碎ターゲットの技術開発及び材料の研究開発を行う。TEF-P は零出力の臨界集合体であり、未臨界炉心及び核変換システムの物理的特性の探索と加速器駆動核変換システムの運転経験蓄積を目的とする。

・加速器駆動システム(ADS: Accelerator-driven System)

陽子加速器を用いて陽子を高エネルギーに加速し、未臨界状態の原子炉の中心に設置された核破碎ターゲットに投入することで得られる核破碎中性子を用いて、未臨界炉心を駆動するシステム。

・超伝導加速空洞

超伝導線形加速器の主要な加速部である。超伝導状態となるひょうたん型の空洞であり、内部に蓄えられる高周波電力により荷電粒子を加速する。加速される荷電粒子の速度により形状が異なる。質量の軽い電子の場合はほぼ一定速度(光速)に加速されるため構造は簡単となり、これまでも各国で実用化されている。一方、質量の重い陽子を加速する場合には速度がエネルギー毎に変化し、低エネルギー側では扁平な空洞形状となる。

・ガラス固化体

使用済燃料の再処理で発生する高レベル放射性廃液をガラス状の媒体の中に固定化した廃棄物。ガラス固化体中には、極めて高い放射能を有しかつ長寿命の放射性核種等が含まれる。

・乾式再処理

塩化リチウム、塩化カリウム等の熔融塩や、カドミウム、ビスマス、鉛等の液体金属を溶媒とした水溶液を用いない再処理法の一つ。六ヶ所再処理施設で採用されている湿式再処理と比べ、施設を小型化できることから、小規模の核燃料サイクルに適している。また、水溶液を使用しないため臨界に対する安全裕度が大きい、有機溶媒を使用しないため放射線損傷に対する影響が少ない、原理的にPuの単離が困難なため核拡散抵抗性に優れる等の特長がある。

・技術成熟度レベル(TRL: Technology Readiness Level)

体系的な分析に基づいて、新技術の開発のレベルを客観的に評価するために使用する基準。9段階で用いられることが多く、この場合、TRL1 が最も基礎的な研究、TRL9 が最も商

業化に近い。

・希土類元素(RE)

原子番号 57 から 71 までの 15 元素、ランタン(La)、セリウム(Ce)、プラセオジウム(Pr)、ネオジウム(Nd)、プロメチウム(Pm)、サマリウム(Sm)、ユウロピウム(Eu)、ガドリニウム(Gd)、テルビウム(Tb)、ジスプロシウム(Dy)、ホルミウム(Ho)、エルビウム(Er)、ツリウム(Tm)、イッテルビウム(Yb)、ルテチウム(Lu)に加えて、これらに性質が極めて類似したスカンジウム(Sc)、イットリウム(Y)を加えた 17 元素のこと。化学的な性質が類似しており、相互の分離が難しい。

・金属燃料

金属ウランや金属プルトニウムなどにジルコニウムを添加して合金とした原子炉用の燃料。

・群分離

高レベル放射性廃棄物中に含まれる様々な元素を、それぞれの特性に応じて幾つかの元素群に分離すること。群分離した後の各元素群に対して、それぞれの特性に応じた処理処分や有効利用を行う。

・高速炉(FR: Fast Reactor)

液体金属であるナトリウムなどを冷却材に用いて、中性子を減速させずに臨界を維持する原子炉。高速増殖炉では、劣化ウランを炉心外周に配することで燃料の増殖が可能となる。高速中性子によってマイナーアクチノイドが核変換しやすいため、廃棄物処理(核変換)に適する。

・コールド機器開発

放射性物質を含む試料を用いず、再処理プラント等において用いられる実用規模の機器を、模擬物質を用いて開発すること。

・高レベル放射性廃棄物(HLW: High Level Radioactive Waste)

核燃料を再処理した後に残る高放射性・高発熱の廃棄物。ガラス固化体などにして安定化する。

・固溶型燃料

同一の結晶構造内に複数の金属元素が配置し、均質な固相となっている燃料。核変換用窒化物燃料の場合、超ウラン元素(TRU)窒化物と窒化ジルコニウム(ZrN)の固溶体を指す。(U,Pu)O<sub>2</sub> 混合酸化物燃料(MOX 燃料)も UO<sub>2</sub> と PuO<sub>2</sub> の固溶体。

## 【サ行】

### ・最終処分

放射性廃棄物を以降の取扱いが不要な形で処分すること。最終処分は、放射性廃棄物を廃棄物の性状、放射能レベル、核種濃度等により適切に区分し、生活圏からの隔離（処分深さ、生活圏との距離）と放射性物質の封じ込め性能等を考慮し、浅地中（トレンチ処分）、浅地中（ピット）処分、中深度処分、地層処分の四つの方法に分類して行われる。

### ・実液、実廃液

核燃料再処理で発生する高レベル放射性廃液（HLLW: High-level liquid waste）の実物を表す用語。核分裂生成物、マイナーアクチノイド、再処理で回収しきれなかったウラン、プルトニウムを含む。分離技術のプロセス試験では、HLLW 組成を模擬した模擬廃液を使用した試験を行った上で、実際の HLLW である実廃液を使った試験に移行する必要がある。

### ・受動的安全性

液体の自然循環あるいは大気の大気対流通風、水の蒸発、物質の熱膨張あるいは重力落下等、単純な物理原理に基づいた安全機能をもつ特性。動的機器や交流電源によらず安全性を確保できるため、福島第一原子力発電所事故以降、特に重要性が増している。

### ・照射試験

原子炉、加速器等を用いて物質に中性子、電子線、γ線などの放射線をあて、放射線照射に伴う物質の特性変化を調べるための試験。

### ・照射損傷

材料が中性子や γ線などエネルギーを持った放射線の照射を受けることにより、その材料の構造が乱され、構造欠陥が造成されることによっておこる損傷をいう。

### ・深層防護

原子力施設の基本的な安全思想であり、原子力施設の多様な安全対策が多段階にわたって設けられていることをいう。

## 【タ行】

### ・窒化物燃料

金属元素の窒化物からなる核燃料。金属燃料に近い熱伝導率を有し、金属燃料では均一に混合することが困難なアメリカシウムとネプツニウムを広い範囲で固溶できるという特長があ

る。マイナーアクチノイド核変換のための加速器駆動システム燃料の有力候補であり、超ウラン元素の窒化物を窒化ジルコニウム(ZrN)または窒化チタン(TiN)の不活性母材で希釈して燃料ペレットとする。これまでに実験室規模でのマイナーアクチノイド含有燃料ペレット製造に成功しており、照射試験の実現と工学規模での製造プロセス開発が課題である。

#### ・抽出クロマトグラフィ

円筒であるカラムに吸着体を充填し、吸着体に対する吸着のしやすさの違いを利用した分離法。溶液を供給すると、最も吸着しやすい成分がカラム上部の吸着体に吸着し、その下の吸着体には次に吸着されやすい成分が吸着する、というように上部から順に成分ごとに分かれて吸着される。抽出クロマトグラフィは、吸着体に抽出剤を含浸させた樹脂を使用することで、抽出剤の選択性を有する吸着体とし、高度な分離を実現させるものである。

#### ・抽出剤

溶媒抽出法や抽出クロマトグラフィで用いられる、溶液中の特定成分を取り出すための試薬。再処理工場で主に採用されているPUREX法では、抽出剤としてTBP(リン酸トリブチル)が用いられており、使用済燃料を溶解した硝酸溶液から、n-ドデカン溶媒で希釈したTBPでウランやプルトニウムを抽出する。

#### ・超伝導加速器

超伝導体で作った加速空洞を極低温まで冷却し、超伝導状態にして粒子ビームを高効率に加速する方式を用いた加速器。加速器駆動システムで必要とする大電流陽子ビームを高効率に得るために必要となる。

#### ・データ同化

数値シミュレーションに実測データを取り入れシミュレーションの予測精度を向上させる手法のこと。

#### ・デジタルツイン

デジタルデータを基に、サイバー空間内に物理空間の環境を再現すること。デジタルツインの環境を活用することで、物理空間のモニタリングを行えるほか、将来の故障や変化を予測できる。

#### ・同位体分離

複数の同位体が混ざった状態の物質を対象として、特定の同位体の組成を変化させる作業を言う。同位体は化学的性質が同じであるため異種元素や異種化合物の分離と比べて難しく、質量のわずかな違い、化学反応における同位体効果(結合エネルギーの違いによる反

応速度の差)、原子の電子エネルギー準位の違いや分子の振動エネルギー準位の違いによる光の選択吸収波長の差などを利用して行う。

## 【ナ行】

### ・鉛-ビスマス(Pb-Bi)

加速器駆動システムのターゲット及び冷却材として注目されている合金。鉛とビスマスは、いずれも重い核であり、陽子による核破砕反応で発生する中性数が多く、しかも、鉛は陽子数が魔法数(原子核が特に安定になる陽子と中性子の個数)である 82、ビスマスは中性子数が魔法数である 126 であるため中性捕獲反応断面積が小さく、核破砕中性子ターゲット材としても、冷却材としても優れた核的性質を持っている。また、鉛とビスマスはいずれも金属であるため熱伝導率が高く、各々を 44.5%と 55.5%で合金とすると、低融点(125°C)、高沸点(1670°C)の共晶合金を作るため、冷却材としての優れた熱的性質も有している。

### ・二次廃棄物

元来原料中に含まれている廃棄物(核分裂生成物や被覆管廃材など)を一次廃棄物と言うのに対し、処理過程で使用した試薬、器具などが汚染されて廃棄物となったものを二次廃棄物という。処理で使用する試薬・器具類が多いほど、またこれらの試薬と一次廃棄物の分離(除染)が困難なほど二次廃棄物は増加する。

### ・燃焼度

核燃料の燃焼程度を示す量で、MWd/t や at%などの単位であらわす。燃料内の核分裂性物質の濃度を高くし、燃料集合体当たりの取り出す総熱量を大きく(高燃焼度化)することで、運転サイクル期間の延長、プラントの燃料費の削減、使用済燃料の発生量の低減が可能となる。

### ・燃料ふるまい

原子炉の中で燃料が燃焼していくにつれて、燃料棒にも燃料集合体にも変化が生じてくる。この変化の総称を燃料ふるまいと呼び、燃料棒の内側で発生する力や、燃料棒を構成する燃料ペレットと被覆管の温度、燃料棒内部での FP の動きなどにより原子炉の安全性が損なわれないよう、燃料ふるまい解析により燃料設計の妥当性を確認する必要がある。

## 【ハ行】

### ・「発電用高速炉利用型」サイクル概念

発電用高速炉を使用してマイナーアクチノイドの核変換を行う核変換システムの概念。マイ

ナークチノイドを全ての燃料に均質に混ぜる均質サイクル概念と、核変換用ターゲット燃料を炉内・炉心外周部に装荷した非均質サイクル概念がある。

#### ・ビームトリップ

加速器は高電圧部の放電等によりビームの不意の停止(ビームトリップ)を起こす。ADS ではビームトリップにより未臨界炉心の出力が下がるため、この頻度が多いと機器が熱サイクル疲労で損傷する可能性がある。また、数分を超えるような加速器の停止時には発電系までを含めた再起動が必要となり、設備稼働率が極端に悪くなる可能性がある。

#### ・ビーム窓

加速器駆動システムにおいて陽子加速器のビームダクトと核破砕ターゲットの境界をなす構造機器。陽子ビームはビームダクト終端部に位置する本機器を通過して核破砕ターゲットに入射するため、陽子ビームによる発熱、ビームの変動に伴う熱衝撃、冷却材である鉛-ビスマスによる静圧と腐食、陽子ビーム及びターゲットや炉心からの中性子による照射損傷などに耐える設計が要求される。加速器駆動システム特有の構造機器であり、重要な開発課題である。なお、欧州では冷却材の自由界面を加速器との真空境界とする「窓なし」のシステム概念も提案されている。

#### ・不活性母材

核変換用燃料において、Pu とマイナーアクチノイドを適切な濃度に希釈するための母材であり、中性子との核反応が少ないこと(不活性)、熱伝導率や高温安定性が良好なこと、被覆管材料との両立性が良好なこと、再処理に適応可能なこと等の観点から材質を選択する。窒化物燃料の場合、遷移金属窒化物である窒化ジルコニウム(ZrN)と窒化チタン(TiN)を不活性母材の候補としている。

#### ・腐食抑制技術

鉛-ビスマスは鋼材に対する腐食性が高く、微量の酸素を鉛-ビスマスに添加して鋼材表面に酸化皮膜を形成し腐食を抑制することや、耐腐食性材料の開発等の対策が検討されている。

#### ・フローシート

ミキサーセトラや遠心抽出器などの抽出機器を多段で使用する複雑な分離プロセスにおいて、抽出機器の段数や接続法、溶液や抽出溶媒の流量比、供給段などの条件を決めたものの。

- ・崩壊熱除去

原子炉の炉心は炉停止後も核分裂生成物の崩壊により、持続して熱が発生する。これを崩壊熱といい、原子炉運転停止後も一定時間冷却系の一部を用いて、この崩壊熱を除去する必要がある。

- ・ホット試験、コールド試験

前者は、放射性物質を含む試料を用いた試験。これに対し、後者はホット試験に先立ち、その手順の確認、プロセスの模擬試験などとして、放射性物質を用いずに行う試験。

## 【マ行】

- ・マイナーアクチノイド(MA: minor actinide)

アクチノイド系列の元素のうち、使用済燃料に含まれるウラン及びプルトニウム以外の元素。主にネプツニウム、アメリシウム、キュリウムの 3 元素を指す。原子炉中のウランやプルトニウムに対し、量が 1/10 程度であることからマイナーアクチノイドと呼ばれる。なお、核変換用燃料に添加する Pu と MA を併せて超ウラン元素(TRU: transuranium elements)と呼ぶこともある。

- ・マルチフィジックス統合解析

流体-構造連成や電気-熱-構造連成など、異なる支配方程式で表される複数の物理現象を、統合的に解く解析を指す。現実世界では複数の物理現象が同時に作用しており、統合的な解析により、現象をより正確に捉えることができる。

- ・未臨界度(監視・調整)

未臨界度とは、「臨界からどれだけ余裕があるか」を定量化した指標であり、ADS の未臨界度は事故等で反応度が投入されても、未臨界が常に担保されるよう設定される。一方で、臨界に近いほど中性子経済性がよく、安全性と経済性、設計・測定精度を考慮し未臨界度が設定される。ADS の定格出力運転中に万が一臨界に近づいた場合にも中性子源の供給を断つことで炉心を安全に停止できるよう、未臨界度の変動が設計値を満足しているかを監視・調整する必要がある。

## 【ヤ行】

- ・陽子加速器

陽子を、電場を用いて加速する装置。電場の種類により、バンデグラーフ型加速器のような静電加速器、サイクロトロン、シンクロトロン、リニアックなどのような高周波加速器がある。静

電加速器では、数 MeV 程度が加速の上限であるが、高周波加速器はそれ以上のエネルギーへの加速が可能であり、シンクロトロンでは CERN の Large Hadron Collider のように数 TeV までの加速ができる施設もある。

#### ・溶媒抽出法

有機溶媒を用いて水溶液中の混合物を分離する方法。抽出剤を含む有機相によって処理対象の廃液から目的成分を有機相に抽出し、次のステップにおいて有機相から水相に逆抽出することで分離を達成する。

### 【ラ行】

#### ・粒子分散型燃料

核変換用窒化物燃料においては、超ウラン元素窒化物固溶体の球状粒子(直径 200 $\mu$ m 前後)を窒化チタン(TiN)の不活性母材に分散させて焼結した燃料ペレットを指す。均質に分散させることで、核分裂片による照射損傷領域を粒子近傍に限定し、アクチノイド元素再分布の抑制、FP 保持性能向上等が見込まれ、一度の燃料装荷で効率的な核変換が可能となる。一方で、母材に粒子を均質に分散させる工学的技術開発が必要である。酸化物燃料においては、プルトニウムとアメリシウムの二酸化物固溶体粒子を酸化マグネシウム(MgO)や金属モリブデン(Mo)の不活性母材に分散させる概念がある。

#### ・量子ウォーク

酔っばらいのふらふら歩きのように、左右どちらに進むか定まらない運動の確率論的モデルをランダムウォークと呼び、量子ウォークはランダムウォークの量子版として、近年本格的に研究され始めた。ランダムウォークは、拡散現象、ノイズを含む問題等に広く使われている。ランダムウォークの確率分布(確率測度)が 2 項分布で表され、出発点の確率が高い単峰型であるのに対し、量子ウォークの確率分布は、出発点の確率が最も低く、2 つの端点に近い場所の確率が高い逆釣鐘型となる。この特性に着目した同位体分離技術の研究開発が行われている。

#### ・臨界実験装置

炉心構造を容易に変更することができる原子炉の総称で、核燃料物質の臨界量等の原子炉の核特性を測定するのに用いられる。炉心設計においては、各種の計算コードにより設計し、臨界実験装置によってその妥当性を検討する。

#### ・ループ試験(鉛-ビスマス)

鉛-ビスマスを循環させる配管ループ装置内での鉛-ビスマスの流れや温度バランスの

説明、また鉛-ビスマスによる鋼材の腐食・壊食の影響の把握のために行う、配管ループ装置を用いた流動試験のこと。

- ・炉物理

狭義には原子炉における中性子の振る舞いおよびその及ぼす効果を予測する物理学の一分野であるが、それだけでなく、中性子による核反応によって増減する物質の量の変化も対象とする。伝熱流動とともに炉心の設計に欠かせない分野である。具体的には、臨界質量、出力の空間分布、反応度係数、燃焼特性などの核設計の基礎となる学問分野である。

### アルファベット順

- ・ADS

加速器駆動システムの項を参照。

- ・FR

高速炉の項を参照。

- ・HLW

高レベル放射性廃棄物の項を参照。

- ・J-PARC(Japan Proton Accelerator Research Complex)

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)とが共同で運営している大強度陽子加速器施設群の総称。2008年にJAEA 東海の原子力科学研究所内に第一期施設が完成した。

- ・MA

マイナーアクチノイドの項を参照。

- ・MA 含有燃料

使用済燃料の再処理後に回収されるMAを混入した原子炉燃料。高速炉やADSではMAを燃料に一定量混入し、燃焼(核分裂)、転換反応によって消滅させることができる。MA含有燃料自体の基礎物性の知見取得や、MA含有により生成量が大幅に増加するHeの燃料中の挙動の把握、MAの表面線量が高いことによる遠隔での燃料製造技術の確立などの課題がある。

・MYRRHA

ベルギー原子力研究センター(SCK CEN)が中心となって開発を進めている照射試験用加速器駆動システム(ADS)の名称。老朽化した研究炉及び照射炉の代替として建設が計画されている。MYRRHA は出力 50-100 MWt の鉛ビスマス冷却型 ADS であり、ADS の実証、重金属冷却高速炉の実証、燃料・材料照射、医療用アイソトープ製造、基礎研究等を目的とする。

・OECD/NEA(経済協力開発機構/原子力機関)

原子力発電を安全で環境に調和した経済的なエネルギー源として開発利用することを、加盟諸国政府間の協力によって促進する経済協力開発機構(OECD)傘下の国際機関。

・TEF-P

核変換実験施設の項を参照。

・TEF-T

核変換実験施設の項を参照。

・TRU

マイナーアクチノイドの項を参照。