

原子力科学分野は、核分裂技術・核融合技術等を用いたエネルギー利用だけでなく、工学や生命科学、医学、農学等の応用科学分野や、原子核物理学や素粒子物理学、宇宙論等の基礎科学分野等の幅広い領域と深く関連しています。国や研究開発機関、大学、民間企業等が、原子力利用の安全性向上や、新しい原子力科学・技術を実用化していくための原子力の研究開発に取り組んでいます。

(1) 原子力の研究開発に関する取組

① 基礎的・基盤的な研究開発

原子力に関する基礎的・基盤的な研究開発は、主に原子力機構、量研及び大学等で実施されています。

原子力機構は、原子力に関する総合的研究開発機関として、核工学・炉工学研究、燃料・材料工学研究、環境・放射線工学研究、先端基礎研究、高度計算科学技術研究等、原子力の持続的な利用と発展に資する基礎的・基盤的研究等を総合的に推進しています。核工学・炉工学研究では、原子炉設計のみならず放射線医療や宇宙物理研究等で広く利用されている汎用評価済み核データライブラリーの整備を行っています [14] [15]。また、環境・放射線科学研究では、日本周辺海域での原子力事故により放出される放射性物質の海洋拡散を迅速に予測する新たな計算シミュレーションシステム STEAMER⁴ を完成させました [16]。放射性物質の大気拡散を予測する緊急時環境線量情報予測システム WSPEEDI⁵ と結合して用いることで、大気を経由して海洋へ降下する放射性物質の分布を予測することが可能となります。

量研は、量子科学技術についての基盤技術から重粒子線がん治療や疾病診断研究等の応

用までを総合的に推進する体制となっています。これまで放医研が担ってきた放射線影響・被ばく医療研究についても引き続き実施するとともに、東電福島第一原発事故対応を教訓として、放射線影響に対する研究成果を平易な言葉で国民に伝えることを意識した取組が期待されています。

② 核融合研究開発

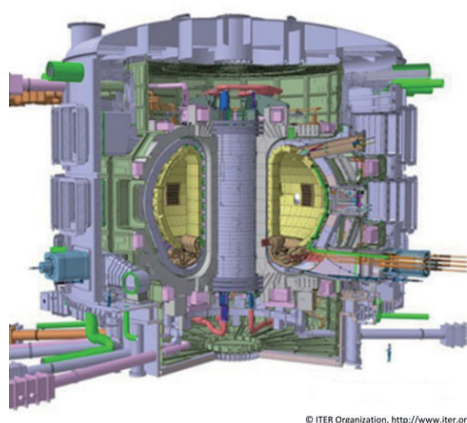
核融合エネルギーは、軽い原子核同士（重水素、三重水素）が融合してヘリウムと中性子に変わる際、質量の減少分がエネルギーとなって発生します。

エネルギーの将来的かつ長期的な安定供給に期待されるエネルギー源として、核融合研究開発は 1950 年代に本格的に開始され、段階的に推進しています。現在、量研、大学共同利用機関法人自然科学研究機構核融合科学研究所（以下「核融合科学研究所」という。）と大学等が相互に連携・協力して核融合研究開発を進めています。

国際熱核融合実験炉（ITER）計画は、核融合エネルギーの科学的、技術的実現可能性を実証することを目指す国際共同プロジェクトであり、日本、欧州、米国、ロシア、中国、韓国及びインドの 7 極により進められています（図 8-2） [17]。2007 年に、ITER 計画を実施する国際機関である ITER 国際

4 Short-Term Emergency Assessment system of Marine Environmental Radioactivity（緊急時海洋環境放射能評価システム）

5 Worldwide version of System for Prediction of Environmental Emergency Dose Information



© ITER Organization, <http://www.iter.org/>



(出典) 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構ウェブサイト「ITERって何?」
http://www.fusion.qst.go.jp/ITER/iter/page1_1.html

図 8-2 ITER の概要

(出典) 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構「ITERって何?」⁶

核融合エネルギー機構（以下「ITER 機構」という。本部：フランス）を設置し、2025 年運転開始（ファーストプラズマ）、2035 年核融合運転開始を目標として建設作業が進められています。

我が国は、ITER 機構との調達取決めに基づき、超伝導コイル等の主要機器等の製作において欧州に次いで多くを分担する等、ITER 計画の推進に大きな役割を担っています。2017 年 12 月には、超高温プラズマを維持するために必要となる超伝導コイル用の高性能ニオブ 3 スズ超伝導導体、全 49 本（計 700 トン）の製作が完了しました。この導体の高性能化に当たっては、従来よりも約 30% 高い電流を流せる超伝導素線を開発するとともに、極低温中で大きな電磁力に耐えられる、従来と比べて約 2 倍の強さを持つ金属管を開発しました。また、自動溶接や効率的な検査、品質管理法を確立して量産化を行いました。このような導体の開発は、超伝導送電、電力貯蔵装置、医療用加速器の小型化への応用も期待できる成果です [18]。

また、幅広いアプローチ（BA⁷）活動は、ITER 計画を補完・支援するとともに、核融合原型炉に必要な技術基盤を確立すること

を目的とした先進的研究開発プロジェクトであり、日欧協力により、我が国で実施しています。我が国では量研が実施機関となっており、青森県六ヶ所村では、核融合原型炉に必要な高強度材料の開発を行う施設の設計・要素技術の開発に向けて、世界に類のない大電流の原型加速器の開発を、2020 年 1 月からビーム加速試験が実施できるよう進めるほか、核融合原型炉の概念設計や研究開発、シミュレーション研究のための高性能計算機の運用等に取り組んでいます。さらに、茨城県那珂市では、2020 年 3 月の完了を目指して、世界最高水準のプラズマ形成を可能とする先進超伝導トカマク装置 JT-60SA の建設に取り組むなど、核融合原型炉建設に求められる安全性・経済性等のデータの取得や、ITER に先立ち取得した様々な予備的データにより ITER の運転開始や技術目標達成を支援できるような取組等を進めています。

上記プロジェクトのほか、IAEA や IEA の枠組みでの多国間協力、米国、欧州、韓国、中国との二国間協力も推進しています。これらの協力を通じて、ITER での物理的課題の解決のために国際トカマク物理活動（ITPA⁸）で実施されている装置間比較実験

6 http://www.fusion.qst.go.jp/ITER/iter/page1_1.html

7 Broader Approach

8 International Tokamak Physics Activity

へ参加するとともに、韓国や中国の超伝導トカマク装置での実験に参加しています。

国内においては、核融合科学技術委員会（科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会）において、今後の我が国の核融合原型炉に向けた研究開発の基本方針を示すことを目的とした「核融合原型炉研究開発の推進に向けて」（2017年12月）が取りまとめられ、将来の原型炉開発を目標に、トカマク方式の着実な進展とともに、相補的・代替的なヘリカル方式、レーザー方式、革新的概念の研究を行うことが定められました。

大学等では、核融合炉の実現へ向けた学術研究やその体系化、教育機関としての優れた次世代人材の育成を行っています。核融合科学研究所では、ヘリオトロン磁場による大型ヘリカル装置（LHD⁹）を建設し、全国の関連分野の研究者による共同利用・共同研究に供しています。2017年3月より重水素ガスを用いた実験に移行し、7月には核融合を実現するために最も重要なプラズマ条件の一つである、イオンの温度1億2,000万度を達成し、ヘリカル型核融合炉実現への見通しを確立しました [19]。また、大阪大学レーザーエネルギー学研究センターにおいては、2009年に完成した超短パルスレーザー装置（LFEX¹⁰）の高出力化を進めるとともに、レーザー方式の先駆的・基礎的研究を実施しています。このほかの大学等においても、各種閉じ込め方式による基礎的研究、炉工学に係る要素技術等の研究が進められています。

また、量研では、核融合原型炉開発の技術基盤構築を進めるため、オールジャパン体制により原型炉の概念設計及び研究開発を担う組織として、原型炉設計合同特別チームが設置されており、2015年6月の発足以降、国内の産官学の英知を結集した研究活動が行われています [20]。

③ 高温ガス炉研究開発

高温ガス炉は、外部から手を加えることなく自然に炉心が冷却される固有の安全性を有するとともに、水ではなく化学的に安定なヘリウムガスで冷却するため原理的に水素爆発を起こす可能性もない、非常に高い安全性を持つ原子炉です。また、高温ガス炉は、発電のみならず、900℃を越える高温の熱を供給することが可能であり、その多様な産業利用についても期待されています。

原子力機構は、高温ガス炉の基盤技術の確立を目指し、高温工学試験研究炉（HTTR¹¹）を建設し、その運転・試験を進めています（図8-3）。HTTRは、1998年11月に初臨界を達成した後、2010年3月に定格出力3万kW、原子炉出口冷却材温度約950℃での連続運転を実現しました。原子力機構は、2014年11月に、原子力規制庁に新規制基準への適合性審査に係る設置変更許可申請を行い、現在、2020年中の再稼働を目指し、作業を進めています。また、HTTRが達成した950℃の熱供給能力を有効利用できる革新的水素製造技術（熱化学ISプロセス）の開発を進め、2016年には試験設備において約31時間の水素製造試験を実施しました。高温ガス炉の研究開発の方向性については、2014年に文部科学省の科学技術・学術審議会原子力科学技術委員会の下に設けられた高温ガス炉技術研究開発作業部会において取りまとめられた報告書「高温ガス炉技術開発に係る今後の進め方について」の指摘を踏まえ、研究開発段階から産学官が連携し緊密に意見交換できる場として高温ガス炉産学官協議会を設置し、議論を進めています。また、同報告書も踏まえ国際協力による高温ガス炉の研究開発も積極的に進められています。

2017年5月には、日・ポーランド外相会談で署名された「日・ポーランド戦略的パー

9 Large Helical Device

10 Laser for Fast Ignition Experiments

11 High Temperature Engineering Test Reactor



図 8-3 高温工学試験研究炉 HTTR

(出典) 原子力機構高温工学試験研究炉 HTTR¹²

トナシップの実施のための行動計画(2017-2020)」において、原子力機構とポーランド国立原子力研究センターの高温ガス冷却炉技術の研究・開発に向けた協力が奨励されたことを踏まえ、両機関で積極的な協力が進められています [21]。

④ 国際協力

革新的な原子炉や核燃料サイクル技術(革新的原子力システム)に関する研究開発は、実用化に至るまで長い時間と膨大な資源が必要です。そのため、人的・資金的資源を分担し、成果を共有する国際的な枠組みで進めることが合理的であるという認識の下、国際協力の枠組みを活用して研究開発を進めています。

〈革新的原子炉及び燃料サイクルに関する国際プロジェクト (INPRO)〉

革新的原子炉及び燃料サイクルに関する国際プロジェクト (INPRO¹³) は、増加するエネルギー需要への対応の一環として、2000年にIAEAの呼びかけにより発足したプロジェクトです。安全性、経済性、核拡散抵抗性等を高いレベルで実現し、原子力エネルギーの持続可能な発展を促進する革

新的システムの整備のための国際協力を目的としています。主たる活動は、経済性、インフラ、廃棄物管理、核不拡散性、核物質防護、安全性、資源枯渇による環境への影響の7つの観点から革新的システムを評価する方法論の開発、これを用いた原子力システムの評価、研究開発への協力、各国の戦略的かつ長期的な計画の支援です [22] [23]。我が国は2006年から参加しており、2017年8月時点で、41か国と1機関(EC)が参加しています。

〈第4世代原子力システムに関する国際フォーラム (GIF)〉

第4世代原子力システムに関する国際フォーラム (GIF¹⁴) は、「持続可能性」、「経済性」、「安全性・信頼性」及び「核拡散抵抗性・核物質防護」の開発目標の要件を満たす次世代の原子炉概念を選定し、その実証段階前までの研究開発を国際共同作業で進めるためのフォーラムです。米国エネルギー省(DOE)の提唱により2001年に発足し、2017年12月時点で、13か国と1機関(アルゼンチン、オーストラリア、ブラジル、カナダ、中国、フランス、日本、韓国、ロシア、南アフリカ、スイス、英国、米国及びユーラトム)が参加しています¹⁵ [24]。現在、第

12 <http://httr.jaea.go.jp/>

13 International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles

14 Generation IV International Forum

15 ただし、枠組み協定にアルゼンチンとブラジルは未署名、英国は署名していますが未批准です。

4 世代原子力システムに求められている達成目標を満足させ、2030 年代以降に実用化が可能と考えられる 6 候補概念（①ガス冷却高速炉、②溶融塩炉、③ナトリウム冷却高速炉（MOX 燃料、金属燃料）、④鉛冷却高速炉、⑤超臨界圧水冷却炉、⑥超高温ガス炉）を対象に、多国間協力で研究開発を推進するとともに、経済性、核拡散抵抗性・核物質防護及びリスク・安全性についての評価手法検討ワーキンググループで横断的な評価手法の整備を進めています。

⑤ 高速炉に関する研究開発

高速炉及びそのサイクル技術（高速炉サイクル技術）は、使用済燃料に含まれるプルトニウムやマイナーアクチノイドを燃料として再利用する技術です。科学技術基本計画 [1] 及びエネルギー基本計画 [25] においては、研究開発に取り組むこととしています。最近の高速炉に関する動向については、第 2 章 2-4 「核燃料サイクルに関する取組」に掲載しています。

〈高速実験炉「常陽」〉

高速実験炉「常陽」は 1977 年 4 月の初臨界以来、高速増殖炉の開発に必要なデータや運転経験を着実に蓄積しています。これまでに、累積運転時間約 70,798 時間、累積熱出力が約 62.4 億 kW（発電設備を有しないため電気出力はない）に達しており、588 体の運転用燃料、220 体のブランケット燃料及び 101 体の試験燃料等を照射し、高速炉炉心での燃料集合体や燃料ピンの安全性と照射特性を明らかにしてきました。現在は、2007 年 11 月に確認された燃料交換機及び炉心上部機構と計測線付実験装置試料部との干渉により運転を停止しています。原子力機構は 2009 年 7 月に原因究明と対策等を取りまとめ、復旧作業を進めていましたが、

2015 年 6 月に作業を完了しました。2017 年 3 月には、原子力機構は再稼働に向けて、新規規制基準への適合性審査に係る設置変更許可申請を行いました。しかし、同年 5 月の第 201 回審査会合において、申請書に記載の熱出力と設備能力が整合していない、事故想定等に関して先行する高温工学試験研究炉（HTTR）¹⁶ の審査で得られた知見が反映されていない、などの指摘 [26] を受け、設置変更許可申請書の見直しを行っています [27]。

〈高速増殖原型炉「もんじゅ」〉

高速増殖原型炉「もんじゅ」（図 8-4）については、トラブル等の影響により 2010 年以降運転を停止していましたが、2016 年 12 月の原子力関係閣僚会議において、運転再開はせず廃止措置へ移行し、今後の高速炉研究開発における新たな役割を担うよう位置付けることが決定されました。また、将来的にはもんじゅサイトを活用し、新たな試験研究炉を設置することで、もんじゅを含む周辺地域を我が国の今後の原子力研究や人材育成を支える基盤となる中核的拠点となるよう位置付けるとの方針が示されました [28]。これを受け、政府は、関係府省横断的な枠組みである「『もんじゅ』廃止措置推進チーム」を設置し、2017 年 6 月にもんじゅの廃止措置の安全、着実な実施に当たり原子力機構が準拠すべき「『もんじゅ』の廃止措置に関する基本方針」を定めました [29]。この基本方針では、廃止措置に当たっては原子力機構任せにすることなく、政府として責任を持って取り組むことが示されたほか、廃止措置の実施体制について、政府一体となった指導・監督を行うこと、文部科学省に「もんじゅ」廃止措置評価専門家会合を設置し原子力機構の計画や進捗に関する評価を行うこと、原子力機構は廃炉実証のための実施部門を創設することが定められました。また、廃止措置の進捗状況

16 常陽と同一敷地内にある。

の把握と、地元との連絡・調整等の円滑な実施のため、関係府省の職員から構成される「『もんじゅ』廃止措置現地対策チーム」が福井県敦賀市に設置されました。

原子力機構は、「『もんじゅ』の廃止措置に関する基本的な計画」を策定し、2017年6月に「『もんじゅ』廃止措置推進チーム」より了承されました[30]。この計画では、敦賀地区に新たな実証部門を創設するほか、基本的な計画の策定から約5年半での燃料体取り出し作業を終了し、廃止措置作業をおおむね30年で完了すること等が示されています。さらに、2017年12月には廃止措置計画認可申請書を原子力規制委員会に提出しました[31]。

原子力規制委員会は、もんじゅの廃止措置の実施状況や、各廃止措置工程におけるリスクに応じた規制を行うことを目的として、「もんじゅ廃止措置安全監視チーム」を設置しました。2017年2月に第1回会合が開催され、燃料の取り出し工程等に係る課題の検討のほか、現地調査が実施されました[32]。2018年1月に開催された第10回会合では、燃料取り出しの目標工程が提出され[33]、同年3月の第12回会合にて、廃止措置計画の第一段階である燃料取り出し工程についてはおおむね了承されました[34]。同年同月、原子力規制委員会は、もんじゅの廃止措置計画を認可しました。



図 8-4 高速増殖原型炉「もんじゅ」

(出典) 原子力機構高速増殖原型炉もんじゅ / もんじゅ運営計画・研究開発センター「もんじゅとは」¹⁷

〈第4世代ナトリウム冷却高速炉実証炉 (ASTRID) への日仏協力〉

2014年5月、第4世代原子炉 ASTRID 計画及び高速炉協力に係る日仏政府機関間の取決めの署名がなされました。ASTRID は、フランスが開発を進めている実証炉で、安全性・信頼性の実現と、放射性廃棄物の減容・有害度低減を目的としています。

我が国は、原子力機構が中心となり、ナトリウム冷却高速炉の安全性向上のための共同設計を実施しています。また、安全性や原子炉技術、燃料等に関する共同研究を進めるとともに、原子力機構の施設を用いた試験について、共同で計画の立案を行っています。

17 https://www.jaea.go.jp/04/turuga/monju_site/page/facilities.html

(2) 原子力委員会の技術開発・研究開発に係る見解について

2018年4月24日、原子力委員会は「技術開発・研究開発に対する考え方」を取りまとめ、今後の原子力分野における技術開発・研究開発の在り方について基本的な考え方と政府、国立研究開発機関及び産業界の各ステークホルダーの果たすべき役割について示しました。

具体的な内容は「電力自由化」により総括原価方式がなくなった現在、原子力のエネルギー分野での利用について、関係者は国民の便益と負担の観点で、安価な電力を安全・安定に供給するという原点を改めて強く認識し、各者が創意工夫や競争・協力し、それぞれの経営に努力する必要があると指摘しています。また、原子力の発電方式は市場の需要によって決められるものであり、多様な選択肢と戦略的な柔軟性を維持すべきとも指摘しています。電力の自由化が進む中、原子力発電コストが過度に高くつく場合、ユーザーたる発電企業がこれを先行すると楽観することはできないと考えられます。個

別発電企業は、第4世代炉等新型炉を許容する場合もあれば、より長期間、軽水炉のコストダウンや効率化を先行する場合があります。原子力発電は、応用技術の固まりであることから、市場で使われて初めて意味のあるものであり、今後の技術開発・研究開発はコストシェアの考え方も取り入れ、個別発電企業やメーカーが主導し、それらの企業の負担も求めつつ、政府が支援する仕組みを導入していくべきと提言しています。また、国際連携については、戦略的な柔軟性を確保することが肝要であり、一つの国際プロジェクトにコミットするあまり、長期間にわたって我が国の技術開発・研究開発が柔軟性を失うことは避けるべきとしています。さらに、高速炉の開発や炉系の選択においても、様々な環境変化に柔軟に対応すべきであり、国際情勢に高いアンテナを持ち、周辺環境の変化に伴う評価軸の重みや変化等も意識し、より柔軟なアプローチを追及していくべきと指摘しています。

コラム ～諸外国における研究開発の状況～

諸外国では原子力利用を行っていく上で必要な課題設定を行い、必要な資金を投じて研究開発を実施しています。以下では、米国、フランス、ドイツにおける研究開発の状況について紹介します。原子力利用といっても、発電利用を継続する米国やフランスと、2022年に脱原子力を目指すドイツでは、研究開発の実施状況やリソース配分も異なります。

国名	研究開発の状況
米国 [35] [36]	米国では、連邦政府の資金拠出により実施される研究開発は、連邦議会が制定する歳出法で規定される。以下は、歳出法で DOE 原子力局に資金が賦与されている主要な項目である。 ・小型モジュール炉（SMR¹⁸）の許認可技術支援：SMR の設計認証や許認可の取得に対しての資金面での支援 ・原子力発電実現技術：革新的で分野横断的な原子力技術の研究開発やそのための戦略的なインフラ投資への資金提供 ・原子炉コンセプト研究・開発・実証：材料の高経年化や劣化等に関する初期段階の研究への資金提供を通じた、既存の商用炉の運転寿命延長の支援 ・燃料サイクル R&D：軽水炉のための事故耐性燃料の概念開発等のための支援 ・大学原子力プログラム：大学の研究・教育支援
フランス [12] [37]	具体的な CEA の研究開発の実施内容は、CEA と政府との間で締結される 4 か年の目標・パフォーマンス契約に定められる。同契約は、政府が定めた方針と整合した形で、対象期間中の研究開発活動に必要な財政的・人的資源を確保するために締結される。CEA の主な研究開発テーマは、以下のとおり。 ・第 2、3 世代炉：事業者のニーズに即した R&D（高経年化、燃焼度、安全、EPR の運転開始等） ・燃料サイクル：事業者のニーズに即した R&D（環境影響の低減とコスト削減） ・燃料や材料の照射研究、医療用アイソトープ製造に活用される予定の多目的試験炉ジュール・ホロヴィッツ（RJH）の建設 ・シミュレーション多様な分野、複数の顧客向けの大規模シミュレーションの実施 ・廃止措置：発生する廃液や廃棄物の管理に必要な機器の開発 ・第 4 世代炉：改良型ナトリウム冷却高速炉の原型炉（ASTRID）開発 これらの研究テーマに関して、2017 年には予算で合計 4 億 1,600 万ユーロが配賦されている。

18 Small Modular Reactor

国名	研究開発の状況
ドイツ [38]	原子力関連研究を行う国内各地の研究機関は、調整組織「原子力技術コンピテンス同盟」を通じて、注力テーマや資金・人材等リソース配分の検討などを行っている。連邦の費用で行われる研究に関しては、連邦経済・エネルギー省（BMWi）主導で数年に1度策定される「連邦エネルギー研究計画」の枠組みで予算が配賦される。脱原子力政策をとるドイツでは、国家として自ら新型炉開発等を推進する状況になく、研究対象は、国内外の原子力の安全向上を目的とした研究と、放射性廃棄物処分などバックエンド分野が主体である。コンピテンス同盟は、東電福島第一原発事故後に優先課題の見直しを行い、2013年に以下の項目を今後の注力分野として挙げている。 ・国内に残存する発電炉・研究炉の科学技術面からの運転安全確保に向けた取組 ・閉鎖された施設の廃止措置における安全確保 ・放射性廃棄物の貯蔵・処分安全（複数の処分オプションを念頭に） ・革新炉を含む国外の原子力施設における安全水準確保への支援 ・国際的な安全基準形成における科学技術的根拠 ・保障措置