

第17回原子力機構報告会での主なご質問及び回答

質 問	回 答
もんじゅの事故は原因究明とその対策はできているのか。なぜ今後は大丈夫と言えるのか。	もんじゅを含め高速炉はナトリウムは漏れる可能性があるという前提でその対策が設計に組み込まれています。実際に漏れて燃えても事故を拡大させることなく終息可能で、公衆の安全に影響を与え得るような安全上の問題はなかったと考えています。ただし、もんじゅ事故では映像を隠蔽したことが社会問題化し、大きなご批判をいただきました。JAEAは「もんじゅ」の経験も踏まえ、安全性の更なる向上に取り組んでおります。
日仏協力の高速炉安全はタンク型とのことだが、日本の従来のループ型でも同様の安全性向上が図れるのか。ループ型が適している理由は何か。	ループ型炉はタンク型炉と比べ原子炉容器の直径を小さくすることができるため、日本国内の地震条件に適した炉型と考えられています。タンク型炉についても、免震システム等の採用により、国内の厳しい地震条件に対応できる見通しが得られています。
「もんじゅのナトリウム事故」の技術的教訓と技術的以外の教訓の総括と今後の「高速増殖炉開発」への総括の反映内容について、説明をお願いします。	技術的教訓については、例えば漏洩の原因となった配管挿入型の温度計の設置方法について、問題点を解決し、その結果は流力振動の防止にかかる機械学会の指針として広く反映されています。また、2016年12月の原子力関係閣僚会議で「もんじゅ」の廃止措置への移行が決定される議論の中で、発電用原子炉としてふさわしい品質保証・保守管理に関する検討や理解が不十分であったといった点を反省点としてご指摘を頂きました。JAEAはこうした反省点を踏まえ、事故・トラブル、対応の不備等に対して、都度反省、対応を図り、改善を進めております。今後、実証炉の建設に当たり、その実施主体については国の議論の中でご検討頂くこととなりますが、JAEAはこうした過去の反省に立ち、「もんじゅ」の経験を踏まえた課題や教訓について、今後の実証炉開発等に活用していくことが必要であると認識しております。
軽水炉使用済MOX燃料の再処理と、高速炉燃料の再処理（FBR燃料製造を含む）の目処は立っているのか。	軽水炉使用済MOX燃料の再処理技術の構築に向け、燃料溶解技術や抽出プロセス等の開発を重点的に進めており、現在は技術的成立性が見通しが得られてきている段階にあります。軽水炉MOX再処理技術の確立を通じて、高速炉燃料の再処理技術の確立を目指した研究開発を行っています。
高レベル廃棄物を高速炉の中で処理できないのか。	高レベル廃棄物を直接、高速炉の中で処理する計画はありませんが、使用済燃料の中に含まれるウラン、プルトニウム、アメリシウムの一部の同位体核種は半減期が長く、放射能を長い間維持し続けます。このような核種を回収・核分裂させつつ燃料サイクルの中で循環させることにより、処分する放射性廃棄物の潜在的有害度を低下させることができます。 詳細についてはJAEAのホームページをご参照ください。 https://www.jaea.go.jp/04/sefard/faq/faq03/

質 問	回 答
<p>原発の中性子を直接発電に使える技術は開発できないか。</p>	<p>タービン・発電機を使用せずに核エネルギーを電気へ直接変換する技術が1960年代から開発されています※。ただし、主に宇宙用推進源への応用を想定して開発されたものであり、発電プラントに利用するためには実効的なエネルギー変換効率の改善等の技術開発が必要と考えられています。</p> <p>※ W. F. Krieve, JPL Fission-Electric Cell Experiment, JPL technical report No. 32-981 (1966)</p>
<p>資料33/52にはNatrium炉について、「2028年の実証炉の運転開始を目指し開発中」とあるが、発表では「運転開始時期は2030年になる見通し」との発言があった。この情報はどこからか。また時期が遅れるなら、その理由は何か。</p>	<p>米国エネルギー省の先進的原子炉実証プログラム（ARDP）の支援で開発を進めているNatrium炉の運転開始目標は2028年となりますが、米国におけるナトリウム冷却高速炉開発・建設のブランク等の影響や、日本における高速炉やナトリウム試験施設の開発・建設の経験を勘案すると、運転開始は2028～2030年になる可能性があります。</p>
<p>もんじゅは設計の上での「増殖性能は1.2倍で、40%出力での短期間での運転なるも、それが確認できた」旨の記載があるが、過去の公式発表等でそれが現在でも入手できるものがあるなら、DL可能な手法・サイト等を教えていただきたい。</p>	<p>1968年の研究開発着手から半世紀にわたる設計、建設、運転、保守等を通じて得られた技術的成果が「高速増殖原型炉もんじゅ；その軌跡と技術成果」にまとめられており、増殖性能については本書の3.3.4項(2)増殖比の確認（出力分布特性）に記載しております。本書は、JAEAの研究開発成果検索・閲覧システムJOPSS※からダウンロードいただくことができます。</p> <p>※ https://jopss.jaea.go.jp/search/servlet/search?5065316</p>
<p>テラパワー社の設計するNatriumのチェックを行うことについて、これはJAEAのAI設計システム（アルカディア）で検証できるのか？</p>	<p>現在、協力内容の具体化に向けて日米間で協議を行っております。その中で、JAEAが開発・整備を進めているARKADIAや大型ナトリウム施設などの技術基盤の活用について検討してまいります。</p>
<p>アクチニウム225はどんな核種に高速中性子を照射するのですか？</p>	<p>自然界に広く存在する放射性核種の一つであるラジウム226に高速中性子を照射することで、アクチニウム225を製造することができます。</p>
<p>冷却材Naの代わりにガリウムGa等は使えないのか。</p>	<p>核分裂反応に高速中性子を利用する高速炉では、中性子のスピードを減速させない冷却材が必要です。ナトリウムはこの性質を有し、熱伝導性に優れた熱媒体としても利用が可能です。また、ガリウムなどのレアメタルと異なり偏在することなく豊富で入手しやすいこともメリットです。このため、ナトリウムが高速炉に最も適した冷却材として使われていますが、世界各国では鉛や鉛-ビスマス合金、ヘリウムなどナトリウム以外の冷却材を利用する高速炉の研究も進められています。</p>

質 問	回 答
<p>黒鉛は500°C～600°Cで発火する。酸素が入ってしまったら火災になるのでは？水をかける訳にはいかないだろう。</p>	<p>黒鉛の品質を高めることにより、炉内に空気が混入しても問題ない設計になっており、実際に実験で発火しないことを確認しています。原子炉に使用する黒鉛は高純化処理を施したものであり、空気に触れる構造表面部で酸化反応が生じて発熱するものの、炉心を構成する黒鉛の熱容量が大きいこと、発熱量よりも放熱量が常に上回ることから、酸化発熱によって温度が上昇することはなく、燃焼状態になりません。</p>
<p>HTTRで、電源や冷却材が喪失したときに、制御棒を挿入せずとも自動的に停止するのはなぜか。</p>	<p>核分裂反応は、温度が上昇・下降すると反応が変化する（反応度フィードバック）という性質があります※。高温ガス炉の通常運転時の燃料温度は、事故時の制限温度に対し十分な余裕を持っており、事故時に制御棒の挿入による緊急停止動作を行わずとも、原子炉はこの負の反応度フィードバック特性により自動的に停止します。HTTRでは、その原理を利用して炉の安定を保つように設計されています。</p> <p>※ 例えばドップラー反応度：https://atomica.jaea.go.jp/dic/detail/dic_detail_1120.htmlをご参照ください。</p>
<p>ヘリウムは水と比べて比熱が低いが、冷却能力に不足はないのか。</p>	<p>ヘリウムの冷却性能が低くても十分な冷却ができるように、ヘリウムガスの圧力と流量を高めるとともに、出力密度を軽水炉の1/10程度に抑えた設計をしています。そのため、配管が破断してヘリウム冷却材が喪失するような事故時においても、原子炉は炉内の黒鉛構造物の熱伝導と輻射熱伝達のみで、自然に冷却されます。</p>
<p>ヘリウムは放射線を遮蔽する能力が低いのか。</p>	<p>高温ガス炉は、冷却材であるヘリウムではなく、減速材として原子炉内の大部分を占める黒鉛が中性子の減速・遮蔽の役割を果たします。</p>
<p>HTTRはコンパクト型燃料だが、Xe-100はペブルベット型燃料で、それぞれの特徴やメリットはどう違うのか。</p>	<p>ブロック型（コンパクト型）燃料は、燃料ブロックを含めた黒鉛構造物が小さい隙間で敷き詰められており、炉心全体で見た時の等価な熱伝導率を高めることができます。配管が破断してヘリウム冷却材が喪失するような事故時にも、この熱伝導により炉容器を通して外に熱を放出するなど崩壊熱除熱性能に優れる点がメリットです。球体のペブルベット型燃料では、ペブル間に空隙があるため、前述の等価な熱伝導率が比較的小さくなり事故時の崩壊熱除熱性能が悪く、原子炉出力に上限があり、経済性に劣ります。一方、ペブルベット型燃料は、運転を継続しながら燃料を交換できるメリットがあります。</p>
<p>セラミック被覆燃料は非常に安定しており、直接処分に適していると考えますが、それでも再処理・サイクルするのか。</p>	<p>セラミック被覆は核分裂生成物を閉じ込める機能に優れているため、海外では高燃焼度燃料を長期保管または廃棄（直接処分）する考え方が主流となっています。一方、国内エネルギー資源に乏しい我が国では、原子炉の使用済燃料を再処理することを基本方針としており、高温ガス炉燃料についても、再処理技術の確立が必要と考えます。</p>

質 問	回 答
HTTRの使用済燃料は直接処分されるのか？どのような処理処分を考えているのか。	HTTRの使用済燃料は、設置変更許可申請書に記載の通り、我が国が原子力の平和利用に関する協力のための協定を締結している国である英国又はフランスの再処理事業者、若しくは米国のエネルギー省に再処理を委託又は引き取りを依頼して引き渡します。引渡しまでの間は、HTTR原子炉施設の使用済燃料貯蔵設備において貯蔵します。
高温ガス炉、高速炉と軽水炉における燃料サイクル方法（再処理方法）の違いをお知らせ頂きたい。	高温ガス炉、高速炉と軽水炉はそれぞれ燃料の仕様が異なりますが、いずれもウランやプルトニウムの酸化物であり、基本的にはこれまで軽水炉で開発されてきた再処理技術が適用可能と考えています。主要な違いは、高温ガス炉では、被覆粒子燃料を燃料コンパクトから取り出し被覆を削除する前処理、高速炉では、燃料集合体からの取り出しや燃料ピンの切断などの前処理の部分が、軽水炉燃料の場合と異なります。また、軽水炉MOX燃料を含めて、軽水炉燃料と比較してプルトニウムの含まれる割合が異なることに起因する特性の違いがあります。被覆の中身はウラン燃料又はウランとプルトニウムの混合酸化物燃料であり、いずれも湿式再処理技術を適用するため、再処理方法に大きな違いはないと考えています。
HTTRは高速炉ではないのか。どこがどう違うのか。高速炉でなくては、ウランを有効利用できないのではないのか。	HTTRは高速炉ではなく熱中性子炉です。高速炉にするためには、減速材である黒鉛構造物を減らす必要がありますが、安全性を低下させる設計となるため、熱中性子炉の設計を選択しました。ご指摘のように、ウラン資源の有効利用の観点では、既存の軽水炉と大きくは変わりません。地政学的視点やエネルギーセキュリティの観点では、高速炉サイクルとの組み合わせなど多様な取り組みも必要と考えています。
高温ガス炉の燃料は再処理できないのか。また再処理できるとしても、費用がかかるので競争力がなくなるのではないのか。	燃料被覆の中身は軽水炉と同様にウラン燃料であるため、高温ガス炉燃料の再処理は技術的に可能と考えています。ただし、被覆を剥がすなどの工程が生じることを踏まえ、今後、経済性の見通しについて検討していく必要があると考えております。
高温ガス炉には多量のHeガスが必要となるが、昨今Heガスの値上がりがニュースになっている。開発ロードマップで想定した導入量とした場合に、毎年必要なHe量はどの程度になるのか。	HTTRの運転実績から、保守的にHeガスのリーク量を0.1%/dayと仮定した場合、商用規模の高温ガス炉1基あたり毎年必要なHeガス量は約2万m ³ /yearです。この量は、近年の日本国内でのHeガス年間販売量の0.2%程度であり、高温ガス炉の導入上の問題とはならないと考えます。

質 問	回 答
<p>社会実装（＝事業化？）のためには、他の方式（軽水炉、原子力以外）と比較して競争力を持つことが必要になると考える。付加価値も含めて投資家を納得させる競争力（開発目標）をどのように考え、それをどう技術的に実現しようとしているのか。</p>	<p>高温ガス炉は、非電力分野のカーボンニュートラルに向けて必要となる水素の、大量かつ安価な供給を目指しており、グリーン成長戦略に記載された水素製造コスト12円/Nm3を目標に開発を進めております。高速炉については、地政学的視点を含むエネルギーセキュリティの問題を解決し、安定で信頼性の高いエネルギー供給に貢献できます。さらにエネルギー分野だけでなく、がん治療等医療用ラジオアイソトープの製造への活用も可能である等の価値を有しています。JAEAはこれら革新炉の技術実証に必要な技術基盤等の開発・整備を進めつつ、社会実装に向けて取り組んでまいります。</p>
<p>HTTRの今後の技術的な課題と経済成立性の課題の解決に向けた方向性(対応策見通しと解決時期の目標)について、説明をお願いします。</p>	<p>先ず、HTTRを用いた安全性試験や熱利用試験を通して、将来の高温ガス炉水素製造に必要な技術開発を進めます。その後、高温ガス炉を用いた水素製造技術確証のため、2030年までに、HTTRに水素製造施設を接続し、高温ガス炉と水素製造施設の安全な接続技術を確立する予定です。具体的には、原子炉と水素製造施設の接続に係る安全設計を確立するとともに、水素製造施設異常時に用いる高温環境で使用可能な隔離弁等の機器やプラント制御方法の検討に必要なプラントシミュレータを開発します。</p>
<p>開発ロードマップではNa冷却高速炉に10年先だって実証規模プラントの運開を予定されているとのことだが、将来の社会実装はどの程度の規模（基数）を想定されているのか。</p>	<p>実用高温ガス炉はモジュール炉として4基1セットでの設置を検討しており、4基を軽水炉1基分の敷地に設置できます（太陽光の約1/1600の敷地）。高温ガス炉1セット（4基）での水素製造量は、約36億Nm3/年であり、高炉1基（27.2億Nm3/年）に十分な水素製造量となります。将来、高温ガス炉を20セット（80基）設置できれば、年間の水素製造量は、約720億 Nm3/年となり、2050年政府目標：2000億Nm3/年の約36%を供給することができます。</p>
<p>事業化に向けた開発目標が明確でない。軽水炉や原子力以外と比較して競争力は何か。安全性、経済性や水素製造などの付加価値も含めて投資家を納得させる開発目標をどう設定し、どう技術的に実現しようとしているのか。</p>	<p>高温ガス炉は、非電力分野のカーボンニュートラルに向けて必要となる水素の大量かつ安価な供給を目指しており、グリーン成長戦略に記載された水素製造コスト12円/Nm3を目標に開発を進めております。</p>

質 問	回 答
<p>高温ガス炉は出力あたりの施設規模が軽水炉や高速炉よりも大きくなり、固有安全性確保の観点から1基あたりの出力にも制限があると思うが、1プラントでは実用高温ガス炉は何基必要と考えるか。</p>	<p>600MWth (275MWe) の実用発電炉4基で軽水炉1基と同等の電気出力となりますが、ヘリウムを用いたガスタービン技術を開発、適用することで、BWRプラントにくらべて施設規模（建屋容積）は8割程度になると試算しています。</p>
<p>高温ガス炉で発生する高温の熱を活用する層との連携、つまりどんな産業との隣接立地、あるいは自治体との活用イメージ共有がされているのか、教えて欲しい。</p>	<p>カーボンニュートラル実現に向けて、大量かつ安価な水素を必要とする製鉄、運輸、化学工業等への熱供給を想定しています。JAEAは、いばらきカーボンニュートラル産業拠点創出推進協議会等の活動を通じて自治体へのPRに取り組んでいます。</p>
<p>高温ガス炉の水素と熱源を用いて酸化鉄の還元を行い(酸化鉄の還元は吸熱反応)、できた鉄粉を石炭火力発電の石炭の代替燃料として使う鉄の酸化・還元システムを用いて、石炭火力発電の換骨奪胎による再利用はできないか。</p>	<p>ご提案いただいた概念の技術的成立性はわかりませんが、原理的には実現可能と考えます。ただし、発電用途と考えるのであれば、高温ガス炉による水素製造と発電の熱効率がほぼ同じであることを考えると、ご提案いただいたシステムでは、そこから、酸化鉄の還元、石炭火力発電所での発電の熱効率を考える必要があり、直接、高温ガス炉で発電した方が、倍程度の電力を安価に得ることが可能です。</p>
<p>HTTRや常陽、あるいは将来のプロジェクトにおいて、国際的な人材育成に用いる考えはあるか。</p>	<p>JAEAは、HTTRや「常陽」等の原子力施設を活用し、人材の育成と技術の維持・開発に取り組んでおり、海外の研究者・技術者に対する研修も行っています。また、競争力のあるプラント像の提示、開発期間短縮・コスト削減に加え、技術散逸防止・伝承・発展、人材育成への活用を図るために、高速炉を含む革新炉の設計支援ツールである統合評価手法ARKADIAの開発を国際協力も活用し進めています。このような活動を通じて、国際的な人材育成を図っています。</p>
<p>次世代革新炉開発の推進と並行して、エネルギー安定供給のためにメーカー3社が進めている次世代軽水炉開発をJAEAはサポートしないのか？</p>	<p>JAEAは、文部科学省と経済産業省による主導の下で2019年から開始された「NEXIP (Nuclear Energy × Innovation Promotion) イニシアチブ」の枠組みの中で、メーカー各社が進めている次世代軽水炉を含む革新炉開発の支援を行っています。</p>
<p>発電炉としてのHTTRの今後の研究課題は何か。</p>	<p>HTTR自体は発電利用の計画はありません。高温ガス炉を用いて蒸気タービンで発電を行う場合、ヘリウム熱交換型蒸気発生器の大型化が課題ですが、その他設備は蒸気条件が火力発電と同等なので、研究課題はありません。</p>

質 問	回 答
<p>ウラン資源は100年位で枯渇するという説明だが、安全保障の観点から、そのような原料に頼るのは上策ではないのでは？</p>	<p>ウラン資源を現行の商用軽水炉のみで利用し、使用済燃料を再処理せずに直接処分した場合、100年程度でウラン資源を使いきるのに対し、高速炉サイクルを活用して使用済燃料をリサイクルすることができれば数千年にわたりウラン資源を利用し続けることが可能になります。このため、高速炉サイクルの確立はエネルギー安全保障の観点からも実現すべき重要な課題です。</p> <p>詳細についてはJAEAのホームページをご参照ください。 https://www.jaea.go.jp/04/sefard/faq/faq02/</p>
<p>古い施設は廃止か新規規制基準適合改造が必要だろうか、来年度の予算はどの程度確保されているのか。 また今後の計画はどうなっているか。</p>	<p>JAEAにおける施設マネジメントの基本的考え方は、国として、最低限持つべき原子力研究開発機能の維持に必須な施設は下記を考慮した上で可能な限り継続利用する方針としております。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・試験機能は可能な限り集約化 ・安全対策費等の視点から継続利用が困難な施設は廃止等 <p>この方針に従い、JAEAの全原子力施設を継続利用：45施設、廃止：45施設に選別し、継続利用する施設については新規規制基準対応、高経年化対策といった施設の安全確保に努めておりますが、来年度の予算についてはまだ確保できておりません。なお、今後の施設のマネジメント計画については、「施設中長期計画」としてJAEAウェブページで公表しております。 https://www.jaea.go.jp/about_JAEA/facilities_plan/</p>
<p>研究施設からの放射性廃棄物の処分費用は、どの位を見込んでいますか。</p>	<p>JAEAでは、現存する原子炉等規制法の許可施設を対象に、廃止措置、廃棄物処理・処分等のバックエンド対策の長期（約70年）にわたる見通しと方針を「バックエンドロードマップ」として取りまとめております。</p> <p>この中で、施設の廃止措置、廃棄物の処理処分に要する費用を約1.9兆円（約70年間）と試算しており、そのうち放射性廃棄物の処理処分費用は約1.4兆円と試算しております。なお、「バックエンドロードマップ」はJAEAウェブページで公表しております。 https://www.jaea.go.jp/about_JAEA/backend_roadmap/</p>