

高速増殖炉研究開発の在り方

平成 9 年 1 2 月 1 日

原子力委員会
高速増殖炉懇談会

目 次

1.はじめに

1.1 背景<>

1.2 本懇談会について

1.3 本報告書の構成

2.エネルギー情勢と原子力

3.高速増殖炉研究開発の意義

3.1 高速増殖炉の特性と内外の研究開発状況

(1) 高速増殖炉の特性

(2) 我が国の高速増殖炉研究開発の現状

(3) 海外における高速増殖炉研究開発の動向

3.2 高速増殖炉研究開発の進め方

(1) エネルギー需要の見通しとウラン資源の有限性

(2) 高速増殖炉実用化の技術的・経済的見通し

(3) 高速増殖炉の安全性と核不拡散に与える影響

(4) まとめ

4.今後の課題

(1) 安全の確保

(2) 立地地元住民及び国民の理解促進と合意形成

(3) コスト意識の醸成と計画の柔軟性・社会性

(4) 核不拡散の努力

5.「もんじゅ」による研究開発の実施

6.実証炉以降の開発

7.おわりに

<付記>

○少数意見

○補足意見

<別紙>

○高速増殖炉懇談会の設置について

○高速増殖炉懇談会審議経緯

<参考資料>

○高速増殖炉技術について

○データ集

1.はじめに

1. 1 背景

平成7年12月8日、動力炉・核燃料開発事業団（動燃）の高速増殖原型炉「もんじゅ」において2次系ナトリウム漏洩事故が発生しました。事故は放射線被ばくにはかかわらないものであったとはいえ、社会的には重大なものであり、動燃の対応が不適切であったため、地元住民、国民に多大の不安感、不信感を与えました。その結果、高速増殖炉研究開発を含む原子力政策全体に対する根本的な問いかけにまで問題は拡大しました。また、その後発生した動燃アスファルト固化処理施設の火災爆発事故は、国民の不安感、不信感をさらに大きなものにしました。

ナトリウム漏洩事故後、平成8年4月から9月にかけて、原子力委員会が開催した「原子力政策円卓会議」においては、このことを反映して、我が国における原子力政策について幅広く議論されました。そして、同会議の席上、高速増殖炉の開発についての検討の場を設けるべきとの意見が、また、同年10月には同会議モデレータ（進行役）から高速増殖炉に関する懇談会設置の提言が出されました。こうした意見を受けて、原子力委員会は、平成9年1月末に本懇談会を設置することを決定しました。

1. 2 本懇談会について

本懇談会は、「もんじゅ」の扱いを含めた将来の高速増殖炉の開発の在り方について幅広い審議を行い、国民の意見を政策に的確に反映させることを目的として、広く我が国各界各層からの有識者を構成員として設置されました。このため、本懇談会は、審議に当たり、地方自治体の代表、エネルギー全般、原子炉安全の専門家、海外（英・仏・独）の高速増殖炉専門家を招いて意見を伺い、また、批判的な意見の方からも直接意見を伺いました。

会合は平成9年2月21日から平成9年11月28日まで、合計12回開催されました。（委員の構成及び審議経緯については別紙参照。）

なお、本懇談会開催に当たっては、審議の経過を明らかにするために会合全体を公開の場で行い、議事要旨を含む、会合に提出された資料は、インターネット上に公開しました。さらに、報告書案の段階で一般の方々の意見を募集し、検討の上、報告書に反映しました。

1. 3 本報告書の構成

本報告書は7章から構成されており、第2章では、高速増殖炉の研究開発の前提条件となる、21世紀のエネルギー供給系において原子力を維持発展させるべきか、または、脱原子力を図るかという選択に関する検討結果を述べます。

次いで、第3章では、第2章の検討結果を踏まえて、我が国における高速増殖炉研究開発の今後の在り方についての検討結果を述べます。

第4章以下では、上記検討過程で指摘され、議論された、研究開発遂行上の課題（留意点）について述べます。第4章ではそのうち共通的な事項について、第5章では原型炉「もんじ

ゅ」の取扱いに関する検討結果について、第6章では「もんじゅ」に次ぐ実証炉以降の高速増殖炉の実用化に至る研究開発に関して述べます。

第2章以下については、異論をもつ委員の意見を「少数意見」として、また、補足を必要とする委員の意見を「補足意見」として文末の付記に添付します。本報告書の参考となる高速増殖炉技術について参考資料1として、関連するデータを参考資料2として添付します。

2. エネルギー情勢と原子力

高速増殖炉の研究開発は、高速増殖炉を将来の原子力によるエネルギー供給の一部として利用することを目指してなされるものです。そこで、我が国における高速増殖炉研究開発の今後の在り方を検討するためには、そもそも我が国は、21世紀のエネルギー供給系の構成要素として原子力技術を維持発展させるべきか、あるいは原子力を含まないエネルギー供給系を構想すべきかを検討する必要があります。この点についての検討結果は、次のとおりです。

世界のエネルギー需要は、今後少なくとも21世紀中は、人口の増加が続くことから、増大を続けるとの予測が報告されています。また、我が国のエネルギー需要も今後とも増えると考えられています。さらに、近年の中国、東南アジア諸国などにおける急激な経済成長により、エネルギー需要も同様な増加傾向を示しており、今後省エネルギー努力が相当あったとしても、世界のエネルギー需要は将来ひっ迫することが予想されます。また、現在においても東南アジア50%、日本75%ときわめて高い石油輸入における中東依存度が、今後とも続くことも考えられます。さらに、化石燃料の使用量の増加を抑制していかない限り、地球環境問題がますます深刻になると予想されます。

このような資源的、環境的制約を考慮すれば、今後、日本をはじめとした先進国は、水力資源など従来の非化石エネルギーの有効活用や利用促進、省エネルギー技術開発に一層の努力を払うとともに、太陽光発電、風力発電、廃棄物発電などの新エネルギー、原子力などといった非化石エネルギー技術を開発利用していくことが重要であります。このうち、新エネルギーについては、我が国としても「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」などを通じての開発努力が続けているところですが、現在のところ、経済性やその利用可能性の点でこれらを信頼性の高い大規模な供給力とするには制約があります。

このため、資源の乏しい我が国としては、既に原子力が石油代替エネルギーとして果たしている役割と経験から考えて、これを今後ともエネルギー供給の一部として持ち続けることが妥当であるという意見が多く提出されました。原子力の利用は化石燃料の節約、使用の抑制につながり、地球環境の悪化を少しでも食い止める効果があり、環境面の問題の対処策の一つとして有用と考えられます。

さらに、原子力という選択肢を残し、エネルギー供給系を複数にしておくことは、将来のエネルギー供給の不確実さに備える観点からも望ましいという意見も多くありました。こう

した新たなエネルギー源の開発には相当長期間を要しますから、今原子力の利用を断念することによって将来の世代にとっての選択の幅をせばめることは適切ではない、むしろ積極的な開発利用により課題を明らかにし、その解決に向けて努力してみるのが現世代の我々の責務であると考えます。

他方反対意見としては、エネルギー需要の伸びを前提にして、これに応じるためにあらゆるエネルギー供給手段を尽くしてひたすらその供給量を増強することのみにまい進することは、資源の有限性、環境上の制約などからみて問題の解決にならないこと、原子力については、何よりも高レベル放射性廃棄物処分という重大な課題があり、それに加え新規立地が進まないという重大な課題があり、さらに、万一原子炉で大きな事故が発生するとその被害はきわめて大きく、その大きさは社会の受け入れられるところではないこと、あるいは、潜在供給力がきわめて大きい太陽エネルギー、未開発大規模水力資源などの利用が進まないのは、その利用に技術的・経済的制約などが多いとしてわずかな研究開発投資しか行っていないことに問題があるからであって、エネルギーの効率的利用や省エネルギーを実現できるライフスタイルの追求とあわせて、今後新エネルギーなどの開発・利用を積極的に行っていけば、原子力を構成要素としないエネルギー供給系で十分快適な生活を実現できるとして、これを追求するべきであるという意見もありました。

これに対しては、省エネルギー対策を講じても量的限界があり、新エネルギーの供給についても前記のとおり限界が考えられること、何より複数の選択肢を将来世代のために維持するべく努力を続けるのが我々の責任であるとする意見が多数でした。

懇談会はこれらの意見を巡って議論を行った結果、我が国としては、原子力を21世紀のエネルギー供給の一部として引き続き維持発展させることが妥当と判断しました。ただし、原子力がその役割を果たし得るためには、原子力基本法の精神を踏まえて、平和の目的に限り、安全確保、情報公開、その他について関係者が努力を重ね、国民に信頼されることが重要です。特に安全確保については、関連従事者一人一人の責任感の徹底を図ることは当然のことです。また、この選択は、我が国が、今後エネルギーの効率的利用や省エネルギーを実現できるライフスタイルを追求することや、新エネルギーなどの開発・利用を積極的に進めることの重要性を、いささかも否定するものではありません。

3.高速増殖炉研究開発の意義

第二の検討課題は、原子力を我が国のエネルギー供給の一部として維持発展させるとして、高速増殖炉の研究開発を今後どう進めるかです。この検討には、高速増殖炉の特性や、参考とすべき内外の研究開発状況についての知見が必要です。そこで、本懇談会は専門家などから説明を聴取しました。その概要を3.1に示します。そして、上記の検討課題について検討した結果を3.2に示します。

3.1 高速増殖炉の特性と内外の研究開発状況

（１）高速増殖炉の特性

高速増殖炉は、核分裂当たりの中性子発生数が多いため燃料の増殖が可能です。また、炉心の中性子エネルギーが高いため軽水炉では燃えにくい高次プルトニウムを含むアクチニドも核分裂させやすいことなどの特性を有しています。

このように高速増殖炉は、燃料の複数回のリサイクルによって、ウランの利用効率を軽水炉と比べて極めて高くできる可能性がある上、廃棄物についても軽水炉方式と比較してその負荷を減少できる可能性がある点に大きな特長があります。このことから、世界各国で、原子力開発利用の初期から、高速増殖炉の研究開発が進められてきました。高速増殖炉技術について参考資料１に示します。

原子炉を開発する際の一般的な流れとしては、まずその設計原理を試験的規模で確認し、燃料・材料照射データを蓄積するための「実験炉」が造られます。次いで、発電プラントとしての性能を確認し、大型化への技術的可能性を評価するための「原型炉」が建てられます。そして、経済性を見通しを明らかにするための「実証炉」と続き、実用化に向けて段階を踏んで進められます。この観点から整理した高速増殖炉研究開発の内外の現状は次のとおりです。

（２）我が国の高速増殖炉研究開発の現状

我が国においては、実験炉「常陽」が、動燃により茨城県大洗町に建設され、昭和５２年に初臨界を達成し、実験炉としての当初の目的である、高速増殖炉として安全かつ安定的に運転をすることが実証されました。「常陽」は、昭和５７年に高速中性子炉としての特徴をいかした照射用炉心に改造され、燃料・材料の照射データを蓄積しながら、現在まで順調に運転されています。

次に原型炉「もんじゅ」が、動燃により福井県敦賀市に建設され、平成６年に初臨界を、平成７年には初送電を行いました。その後、発電プラントとしての性能を確認し、大型化の可能性を技術的に評価していくことにしていましたが、前述のとおり、平成７年１２月にナトリウム漏洩事故を起こしたため、現在、運転を停止し、原因究明及び安全総点検を実施中です。

また、電気事業者が中心となって、高速増殖炉の実用化が２０３０年頃までに可能となるよう、現在、実証炉（電気出力約６６万kW）の設計研究及び関連技術開発が進められているところです。

こうした研究開発に当たっては、各国との国際協力も行ってきました。

（３）海外における高速増殖炉研究開発の動向

英国は、実験炉、原型炉の運転を通じて高速増殖炉技術を蓄積してきましたが、豊富な国内石油資源の開発に成功したことを背景に、原型炉を閉鎖するとともに経済性の観点から、実証炉以降については独自に開発することを取りやめ、ドイツ、フランスとともに欧州全体

の高速増殖炉研究開発計画に参加しています。

ドイツは、実験炉の運転に続き、原型炉の建設を目指しましたが、立地している州政府の安全性を理由とした反対による建設計画の遅延に伴い、プロジェクト費用の負担が困難となり、完成間近で建設を放棄しました。

フランスは、最近の政権交代に伴い、経済的理由から実証炉（スーパーフェニックス）放棄の方針を決定しましたが、原型炉及び高速増殖炉研究開発は継続しています。

米国は、実験炉の30年にわたる発電及び大型実験炉の13年にわたる運転により、高い技術レベルを有しているものの、核不拡散、経済性などの観点から高速増殖炉研究開発を中断しており、プルトニウムの商業利用は行わないとしています。

ロシアは、二つの実験炉やカザフスタンにある発電海水脱塩二重目的炉を20年以上にわたり運転し、原型炉も15年にわたって運転してきており、豊富な運転経験を有しています。実証炉についても建設を開始したところですが、財政事情の悪化のためその建設は中断しています。

以上から、海外の高速増殖炉研究開発は、おおむね実証炉による開発段階への移行期にまで到達していますが、最近に至り、主に各国の原型炉などの性能実績、エネルギー需要動向と原子力発電規模の展望、政治経済事情などを背景として停滞状況にあると判断されます。

3.2 高速増殖炉研究開発の進め方

懇談会は、我が国の当面する課題と、以上のような高速増殖炉の特性及び内外の研究開発状況に対する認識を念頭に、我が国は高速増殖炉の研究開発を今後どのように進めるべきかを検討しました。検討においては、様々な観点・立場からの意見が提出されましたが、それらを要約すると、次のとおりです。

（１）エネルギー需要の見通しとウラン資源の有限性

そもそも高速増殖炉について考えるためには、ウラン資源の有限性について考慮する必要があります。国際機関の評価によれば、世界で現在までに存在が知られているウランの量は約451万トンであり、軽水炉からの使用済燃料を処理することなくウランを使った場合、現在、世界で毎年使われているウラン量（約6.2万トン）からみて約73年分です。もちろん、今後新たに利用可能なウラン資源が開発されることも想定されますが、他方でエネルギー需要の伸びや地球温暖化問題の顕在化を考えた場合、世界の原子力発電を含む非化石エネルギーに対する需要は、中・長期的には増大すると考えて対策を講じるべきです。このためには使用済燃料を再処理して、その中にあるまだ使えるウランやプルトニウムを利用してウランの利用率を高めることは重要です。

将来のエネルギー需要とウラン資源量に関する見通しについては、世界の原子力発電設備容量は過去に言われたほど増大せず、横ばい傾向にあること、歴史的に見てウラン資源量の推定は困難であり、かつ過小評価の場合の多いことが明らかであること、地球温暖化問題は

エネルギー選択の一つの基準でしかないことから、これを根拠として現在の高速増殖炉研究開発計画を正当化することはできないという反対意見がありました。一方、既に技術の確立している軽水炉でのプルトニウム利用（プルサーマル）と併せて、高速増殖炉の研究開発を進めることは、長期エネルギー確保の観点からエネルギー多消費国である我が国にとって重要であり、また我が国社会の人類に対する義務であるとする意見があり、これが多数を占めました。

（２）高速増殖炉実用化の技術的・経済的見通し

内外におけるこれまでの長年にわたる高速増殖炉研究開発努力にもかかわらず、未だ経済性などの点から実用化の見通しが得られていないということは、この高速増殖炉には本質的に解決できない困難が存在していると考えるべきであり、したがってこれ以上開発を続けるべきでないという反対意見が出されました。

これに対しては、「常陽」が一応の成果を収め、「もんじゅ」も建設されており、研究は進展していたこと、一般に技術開発においては、原型段階から実証段階は費用と時間が掛かるものの、この段階で実用化への課題とその解決可能性をより確度高く見極めることができるのであり、我が国の高速増殖炉研究開発においては実用規模のプラントの設計研究を通じて解決すべき課題が明らかにされており、前記の批判は当を得ていないこと、何よりエネルギー資源に乏しい我が国としては、海外の経験を参考にしつつも原型炉を用いた研究開発を中心に高速増殖炉技術の実用化の可能性を探索し、その結果を基に解決すべき課題を明らかにして、これを着実に解決していくべきであるという意見が提出されました。また、これまでの研究開発の結果、各種の試験研究設備と創造力と勇気をもって必要な技術開発に挑戦する意欲ある人材が育っていることもあり、少なくともこの作業の結果を得てから、進退を判断すべきで、現段階でこの作業を中止するべきではないという意見も出され、これが大勢を占めました。

（３）高速増殖炉の安全性と核不拡散に与える影響

その他の反対意見としては、ナトリウムを冷却材に使用している高速増殖炉は、その炉心特性から見て軽水炉と同等の安全性が確保できないし、また、毒性が強いプルトニウムを燃料として用いていることから、前述の「もんじゅ」ナトリウム漏洩事故時の人々の反応から推察できるように、周辺住民に与える不安感が大なので、事実上エネルギー供給を担うに足るだけの立地は不可能であろうし、また、ブランケット燃料で兵器級プルトニウムを生産することから、周辺諸国に核開発疑惑を招くなど国際社会の懸念を増大するのではないか、といった意見が出されました。

これに対しては、安全性や核不拡散に係わる課題については、実験炉や原型炉の建設・運転経験を踏まえれば、技術的には解決できる見込みが十分あること、ただし、技術は安全性、信頼性、経済性のみならず、社会に広範な受け入れ可能な条件を満足しなければ実用的存在

とは言えないことから、そのためにもこれらの建設・運転を通じて原子炉ならびに関連燃料サイクル施設について、実用化のための技術的・社会的課題の発見に努め、それらの解決を図っていくのであり、その過程を経ないで問題解決が困難と断定すべきではないとの意見が出されました。また、軽水炉に基づく現在の原子力エネルギー供給系に高速増殖炉を加えることにより、軽水炉で生成したプルトニウムなどを燃焼して資源の効率的利用を図るとともに放射性廃棄物の負荷を低減することは、リサイクルを基盤とする21世紀社会の技術の有るべき姿を実現することを意味し、望ましきエネルギー供給系を実現するという観点から、高速増殖炉の研究開発を継続すべきという意見も出されました。なお、これに関連して、高速増殖炉は軽水炉で生成したプルトニウムなどを燃焼するといった観点からもその開発意義を有するとの理由から、従来の「高速増殖炉」という呼び名をより広く「高速炉」と変えるべきではないかとの意見が出されました。

（４）まとめ

これらの意見を踏まえて、本懇談会は、将来の原子力ひいては非化石エネルギー源の一つの有力な選択肢として、高速増殖炉の実用化の可能性を技術的、社会的に追求するために、その研究開発を進めることが妥当と考えました。

4. 今後の課題

以上の審議を通じて得られた、今後研究開発を遂行していくに当たって留意すべき事項は、前章に適宜述べているところですが、基本的事項と考えられる4点について、以下に述べます。

（１）安全の確保

高速増殖炉の研究を担う機関は、当然のことながら、安全確保を最優先にできる体制であることが必要です。一方、個々の研究者などにあっては、まず一人一人の責任感の徹底を図るとともに、研究開発の途上にある技術に対しては、事故は起こらないという態度で臨むのではなく、事故はいつでも思わぬところから起こりうるものであるから、その発生を未然に防止するための注意を持続しつつ万全の対策を講じるとともに、仮に起きたとしても人体・環境への影響を与えないようにするという、謙虚かつ懸命な姿勢が必要です。

（２）立地地元住民及び国民の理解促進と合意形成

「もんじゅ」事故をはじめとする動燃の一連の事故、不祥事で、立地地元住民の信頼を裏切ったことは遺憾なことです。これにより生じた地元住民の方々の不安感、不信感は強いものがあります。したがって、国及び動燃は、関係者の意識改革を実行し、動燃改革を着実に進めるとともに、さらに実効性のある安全管理策を立てて、それを着実、誠実に実行することはもちろん、そのことに対する地元住民の方々の理解を得るための努力を進めることが

必要です。

また、高速増殖炉の研究開発を推進するに当たっては、その意義及び進め方についての国民レベルでの合意形成なくしては、立地地域社会の理解を得ることは難しいと考えられますが、これまで国民、特に地元地域社会に対して十分な説明がされてこなかったと判断されるため、今後、説明会、シンポジウムなど様々な機会を通じた情報交流や対話により、十分な理解が得られるよう努力を重ねていくことが重要です。

（３）コスト意識の醸成と計画の柔軟性・社会性

我が国の財政事情はきわめてひっ迫した状況です。そのため、財政構造改革が重要な政治課題となっている中、原子力開発を含め科学技術の大型プロジェクトについても必要性、緊急性を問われています。したがって、研究開発自体の経済性、すなわち研究開発投資とその効果について定期的に評価して、研究開発計画を逐次見直すことが必要です。

また、高速増殖炉の実用化にあたっては、プラント建設費などの徹底したコストダウンが必要であり、これを安全性を確保しつつ実現するのが研究開発の重要な目標の一つです。

さらに、高速増殖炉は、燃料製造や再処理などの燃料サイクル技術を通じてウランの飛躍的な有効利用を図ることができるため、燃料サイクル技術開発は原子炉の開発と同様に重要であり、炉とサイクルの整合性のとれた研究開発が重要です。

研究課題の世界性、つまり、内外の研究動向に照らして真に努力を傾注する価値のある課題であることを確認しつつ進めること、大学などにおける関連分野の基礎・基盤研究の充実により新しいアイデアの提案や展開を促進し、将来においてこの研究開発を担う人材を確保していくことも重要と考えます。これらの観点からも計画を随時見直していくことが必要です。

上記の見直しを通じて、高速増殖炉の研究開発計画に重大な問題が発見された場合には、直ちに同計画の抜本的な再検討を行わなければなりません。そのためには計画自体を柔軟な対応が可能な計画とするとともに、たとえ事故や変更の必要が考えられなくても、定期的な外部評価を受け、適切に軌道修正を行える仕組みを制度化する必要があります。

（４）核不拡散の努力

原子力基本法では、我が国の原子力の研究・開発及び利用は、平和の目的に限っています。核不拡散については、我が国は国際原子力機関（ＩＡＥＡ）の厳しい監視（保障措置）を受け入れ、余剰プルトニウムを持たないことを世界的に宣言しています。また、プルトニウムなどが盗まれないようにする核物質防護については、核物質防護条約に加盟し、世界の国々と協力して対策を採っています。

なお、高速増殖炉における「増殖」とは、燃えた燃料以上に燃えないウランからプルトニウムを生産することです。一方、高速増殖炉はプルトニウムを燃料として燃焼させて消費することもでき、これらプルトニウムの生産と消費のバランスをとることにより、余剰のプルト

ニウムを発生させないようにする必要があります。

高速増殖炉によるプルトニウム利用に当たっては、適切な保障措置、核物質防護技術を開発・利用することにより、今後とも各国からの疑念を招かないように努力することが必要です。

5. 「もんじゅ」による研究開発の実施

動燃の「もんじゅ」事故については、初歩的な設計管理上のミスに起因するものである上、事故後の対応の不適切さが動燃に対する社会的信頼を失わせました。また、その後のアスファルト固化処理施設における事故の対応にもその反省はいかされませんでした。これらは動燃の体質の問題であり、抜本的な改革が必要であると考えますが、動燃改革検討委員会においてその基本的方向がまとめられ、現在その具体化作業が行われています。

そこで本懇談会は、「もんじゅ」の取扱いについて、次のように考えることとしました。「もんじゅ」はこれまで約5900億円の建設費と12年の建設期間をかけ、設計・建設段階で数多くの知見を蓄積してきました。高速増殖炉の研究開発を進めるに当たって、これまでの蓄積に加え、「もんじゅ」の運転データを加えることはきわめて重要であり、これにより、発電プラントとしての性能を確認し、大型化への技術的可能性を評価する「原型炉」本来の目的を達成することができます。この目的を達成しないまま、当面の困難について、その原因を反省し合理的な解決策を探索してこれを乗り越える努力をせず「もんじゅ」の研究開発を中断すること自体、これまでの成果とともに今後の可能性をも無にすることに等しく、大きな損失と言えます。さらに中断の後、将来必要なときに再び研究開発を始めようとしても人材の面からもかなりの困難が予想される上、費用の面からもかなりの金額になり、大きな損失といえます。原子力のような大型技術の開発においては、研究開始後、十分吟味した信頼のおける技術的可能性を得るまでには莫大な研究とそのためのかなりの時間が必要であり、若干のゆとりをもって結論を得られるようにしておく必要があります。したがって、「もんじゅ」を使い、研究開発を続けることは必要なことと考えます。

しかし、この議論に沿って研究開発を進めるためには、動燃改革や安全総点検を通じて「もんじゅ」の安全性向上の状況などについて地元地域社会の理解を得ることが必要です。本懇談会としては、動燃の改革が確実に実現され、研究開発段階にある原子炉であることを認識した慎重な運転管理が行われることを前提に、「もんじゅ」での研究開発が実施されることを望みます。

「もんじゅ」における研究開発に当たっては、増殖特性の確認を含む燃料・炉心特性の確認、ナトリウム取扱い技術や高燃焼度燃料開発など原型炉としてのデータを着実に蓄積するとともに、マイナーアクチニド燃焼など新たな分野の研究開発に資するデータを幅広く蓄積すべきです。

また、「もんじゅ」を高速増殖炉研究開発の場として、内外の研究者に対して広く開放して

いくことも重要と考えます。

6.実証炉以降の開発

実証炉の具体的計画については、「もんじゅ」の運転経験を反映することが必要であり、また「もんじゅ」で得られる種々の研究開発の成果及び電気事業者が中心となって進めている設計研究の成果などを十分に評価した上で、その決定が行われるべきものと考えます。

また、高速増殖炉の実用化にあたっては、実用化時期を含めた開発計画について、安全性と経済性を追求しつつ、将来のエネルギー状況を見ながら、柔軟に対応していくことが必要です。

7.おわりに

本懇談会は、将来の非化石エネルギー源の一つの有力な選択肢として、高速増殖炉の実用化の可能性を追求するために、その研究開発を進めることが妥当と考えます。その際、原子力関係者以外の人々を含め広く国民の意見を反映した、定期的な評価と見直し作業を行うなど、柔軟な計画の下に、進められることが必要です。原型炉「もんじゅ」は、この研究開発の場の一つとして位置付けられます。したがって、高速増殖炉研究開発の意義や進め方について、広く国民と対話し、理解を得る努力をすることが何より重要です。

<付記1>「高速増殖炉開発の中止を求める立場で（反対意見）」

吉 岡 斉

まず原子力発電全般に関する私の意見を示し、次に高速増殖炉開発の検討に進みたいと思います。

原子力発電全般に関しては、私は撤退が妥当と考えます。もちろん私は原子力発電に絶対反対の立場を取る者ではありません。原子力発電を併用する電力供給路線が21世紀の日本にとって、ひとつの有力な選択肢であることに、私は同意いたします。しかしこの選択肢を実際に採用すべきか否かについて、合理的な判断を下すためには、正しい方法論に基づいて、考慮に入れるべき価値規準の体系を明示したうえで、さまざまな選択肢に関する総合評価を行わなければなりません。

その評価手続きと評価結果の概要は、第12回懇談会の吉岡委員配付資料「反対意見の理由説明」に示した通りです。そこでは、(1)高速増殖炉路線、(2)軽水炉ワンススルー路線、(3)原子力を併用しない路線、の3つの選択肢を評価対象とします。その各々について、次の5つの規準に照らして評価を行い、その結果をバランス良く総合し、そこから結論を導きます。ここで5つの規準とは、①実現可能性（技術的・経済的実証、社会的受容、維持可能性の3つの側面からなる）、②安全保障に関する合理性、③環境・安全・健康（E H & S）に関する合理性、④経済的な合理性、⑤資源の長期安定供給に関する合理性、の5点です。その評価結果に基づく私の現在の判断では、原子力発電からの段階的な撤退が、最も合理的な選択です。それは原子力発電所の新設・増設のモラトリアムによって達成されます。

さて、いよいよ高速増殖炉についての私の見解を述べます。私は高速増殖炉を、将来の電力供給の有力な選択肢の1つであるとは思いません。高速増殖炉は現在のところその実現可能性が不明であるため、一人前の選択肢ではなく、単にその候補の1つに過ぎません。また高速増殖炉は、選択肢の候補としても決して有力ではありません。その理由は上記の方法論を用いて「反対意見の理由説明」で述べた通りです。

その結論をここで要約しますと、たしかにそれは、実用化に成功した場合のエネルギーの供給力の大きさは魅力的です（⑤の規準）。また廃棄物管理に関しても一定のメリットを発揮できる可能性があります（③の規準）。しかし多くの問題点があります。第1にその実現可能性は大いに疑問です。高速増殖炉は過去半世紀にわたる巨費を投じた開発（日本だけでも30年間と1兆円を費やした開発）にもかかわらず、さまざまな課題を克服できず、商業化の展望を開くことに成功していないからです（①の規準）。また第2に高速増殖炉は、プランケットにおいてスーパー兵器級プルトニウムが大量生産されるために、軍事転用のリスクが際立って高いことは周知の事実です（②の規準）。さらに第3に高速増殖炉には安全上のさまざまな問題点があり、現在に至るまでその安全性は確立されておりません（③の規準）。また第4に経済的な合理性については、半世紀の開発期間を経た現在でも、高速増殖炉から生み出される電気は、化石燃料や軽水炉と比べ、数倍のコストが掛かります。建設費や燃料費の将来の大幅コストダウンの可能性も疑問です（④の規準）。さらに第5に高速増殖炉は、国際的および国内的な政治情勢の変化や、事故・事件の発生に対してきわめて脆弱です（⑤の規準）。以上を総合すれば高速増殖炉は、原子力発電の選択肢として、決して有力な候補の1つであるとは考えられません。

そうした事情を長年にわたり熟慮した末の決断でしょうか、最近になって欧米諸国の多くが、高速増殖炉を選択肢の候補からも外してしまいました。そのことから直ちに、日本も高速増殖炉を選択肢の候補から外すべきだと結論するのはたしかに早計ですが、欧米諸

国が候補から外した理由は十分に納得できるものであり、しかも日本も同じ困難を抱えています。

私は、高速増殖炉の実用化計画の継続に反対します。従ってもんじゅの原型炉としての運転再開にも反対いたします。その理由は次の通りです。開発途上の選択肢候補については、すでに確立された他の一連の選択肢との間で優劣を直接比較するのではなく、実用化を目指すべきか否かを原型炉の運転成績に基づいて判断するための開発研究（以下、「進学試験」と記す）を実施することの是非を検討するというのが、適切な政策判断の手続きです。

そうした「進学試験」を行う是非については、宝くじ購入のアナロジーに基づき、①一人前の選択肢となることに成功した場合の価値の大小（賞金）、②一人前の選択肢となることに成功する可能性の大小（当選確率）、③「確認試験」実施に伴うコスト及びリスク（賭金）、の三者を総合的に考慮することにより、結論を出すことが可能です。なお③に関してはもし必要ならば、一端中断して再開した場合に要する期間と費用（開発再開に要する余分の賭金）を考慮に入れても構いません。

私は高速増殖炉について、次のように判断します。第1に、「反対意見の理由説明」で示したように、高速増殖炉路線の総合評価は、実現可能性を無視したとしても著しく低い。賞金はあまり高くありません。第2に、当選確率は、それに挑んだ先進諸国の半世紀にわたる歴史的経験に照らして考えれば、極めて低いと判断せざるを得ません。第3に、コストは高速増殖炉用再処理などの関連開発計画の分も含めて毎年数百億円の巨額にのぼると見られますし、もんじゅの安全上の欠陥に関わるリスクも、通常の軽水炉と比べて高いと判断されます。従って賭金は相当に高いと判断されます。さらにウラン価格の大暴落などの社会的・技術的状況の変化による近い将来の開発再開の可能性はほとんどないと思います。なお遠い将来に関しては、完全に開発の芽を摘むのではなく、最新のハイテクを駆使した適切な技術保存の方策を講ずる道を検討するのが適当であると考えます。そして三者を総合的に考慮した結果、「進学試験」を行うのは妥当ではないと判断します。

ただしそのことから直ちに、もんじゅを廃炉とすべきだという結論は、必ずしも導かれません。目的を転換し、設計を変更した上で、純粋な研究炉として存続させる可能性も残されているからです。これについては、もんじゅの研究炉としての学問的意義に関して、厳正なアセスメントを実施した上で、廃炉とするか、それとも研究炉への転換を目指すかの方針を決めるべきでしょう。なお研究炉とするからには、研究テーマを内外無差別に公募し公正な学問的審査によって採否を決める国際研究炉とするのが妥当だと思います。

最後に、原型炉にせよ研究炉にせよ、もんじゅの運転再開を行うための必要条件としての国民レベルでの合意形成と、立地地域社会の同意の手続きについて、私の意見を述べます。私の考えでは、いくら国や動機が説明会やシンポジウムを重ねても、国民の合意や地域社会の賛成は得られません。もんじゅの運転再開を目指す場合には、完全な公開のもとでの事故原因究明に関する全国規模での公聴会の実施、同じく完全な公開のもとでのもんじゅの安全審査のやり直し、運転再開の是非に関わる全国規模での公聴会の開催の三者が、前提条件として必要です。これら一連の施策を、原子力委員会は責任をもって進めて頂きたいと希望いたします。また地域社会の同意については、県知事による同意だけでは不十分だと思います。住民投票の実施など、地元住民の意思が直接かつ正確に決定に反映するような手続きが必要だと思います。もちろん具体的な手続きについては、地域社会の人々自身が決定し、国はそれを尊重していただきたいと思います。

以上。

わが国の高速炉についての基本的な考え方

秋元勇巳

現在軽水炉による原子力発電はわが国の電力確保の上で、欠くべからざる地位を占めています。元来軽水炉は、それ自身だけでは、天然から取り出したウラン資源のほんの一部だけを利用し、あとは多量の廃棄物という形で捨てざるを得ないという、資源の有効利用からみれば不完全なシステムなのです。これは単にウラン資源の枯渇だけを問題にしているわけではありません。廃炉に伴うウラン廃棄物の問題、使用済燃料中に含まれる放射性核種の問題等を考慮しますと、一旦採取したウラン資源は徹底的に使い尽くすということがリサイクル社会の基本なのです。

このようなウランの使い方は高速炉を軽水炉システムの中に組み込むことによって、はじめて可能になるのです。高速炉では、放っておけば厄介な廃棄物となるプルトニウムや超ウラン元素をエネルギー源として使えると同時に、これらを効率よく消滅させることも可能になります。このように高速炉は、軽水炉の燃料サイクル体系の中で、極めて重要な役割を担うことになるのです。そして軽水炉中心の現実の世界が置かれている問題を解決することが、現在の高速炉に期待されていることであり、そのための実証が急がれる所以です。増殖性能の確認はプルトニウムが本当に必要な時期まで、後回しにしても良いでしょう。またプルトニウムが本当に必要な時期までに確立しておくものとしては、高速炉の増殖性能の確認だけではなく、プルトニウムを必要な時に必要な量だけ取り出せるという再処理能力の整備も忘れてはならないでしょう。

このように高速炉は軽水炉を補完して原子力エネルギーの長期安定利用を図る上で欠くべからざるものとして位置づけられるのです。軽水炉だけでは燃料サイクルのシナリオは完結せず、やがて原子力全体が行き詰まってしまうでしょう。その行き詰まりを打開できるのは、現状のような高速炉だけではないかも知れませんが、長期的にみて人類が原子力エネルギーに頼るという選択をするならば、高速炉は必然的な選択であると思われます。原子力が東の間の代替エネルギー源で止まるのか、人類繁栄のための手段となるのかは、一に高速炉の実用化にかかっていると申しても過言ではないでしょう。

<別紙1>

高速増殖炉懇談会の設置について

平成9年1月31日

原子力委員会決定

1. 目的

原子力政策円卓会議における議論等を踏まえ、「もんじゅ」の扱いを含めた将来の高速増殖炉開発の在り方について幅広い審議を行い、国民各界各層の意見を政策に的確に反映させるため、高速増殖炉懇談会（以下、「懇談会」という。）を設置する。

2. 審議事項

- (1) 「もんじゅ」の扱いを含めた将来の高速増殖炉開発の在り方について
- (2) その他

3. 構成員

別紙のとおりとする。

4. その他

- (1) 懇談会は、必要に応じ、懇談会構成員以外の者からの意見も聞くものとする。
- (2) その他、懇談会に関し必要な事項は、座長が懇談会に諮って定める。

(別紙)

高速増殖炉懇談会構成員

秋元 勇巳	三菱マテリアル（株）取締役社長
植草 益	東京大学経済学部教授
内山 洋司	（財）電力中央研究所経済社会研究所上席研究員
大宅 映子	ジャーナリスト
岡本 行夫	外交評論家
木村尚三郎	東京大学名誉教授
河野 光雄	内外情報研究会会長
小林 巖	フリージャーナリスト
近藤 駿介	東京大学工学部教授
住田 裕子	弁護士
鷺見 禎彦	関西電力（株）取締役副社長
竹内佐和子	長銀総合研究所主任研究員
中野不二男	ノンフィクション作家
（座長）西澤 潤一	東北大学名誉教授（前総長）
松浦祥次郎	日本原子力研究所副理事長
吉岡 斉	九州大学大学院比較社会文化研究科教授

（平成9年11月時点）

高速増殖炉懇談会審議経緯

第1回（2月21日）

- 高速増殖炉開発の現行計画の概要及び現状について[事務局、動燃、原電]
- もんじゅ事故の概要及びその後の取組みについて報告[動燃]
- 今後の懇談会の進め方についての説明[事務局]

第2回（3月27日）

- 地方自治体の立場から「もんじゅ」に対する要望[栗田幸雄福井県知事]
- 原子力 ～総合科学技術への道～ [藤家洋一原子力委員]
- 今後の懇談会の進め方についての説明[事務局]

第3回（4月15日）

- 世界の超長期エネルギー展望及び資源問題、地球環境問題と高速増殖炉への期待 [藤目和哉(財)日本エネルギー経済研究所常務理事]
- 経済性見通しについての説明[動燃・原電]

第4回（5月8日）

- "FBR: Why, When, How" [B. バレ仏国原子力庁原子炉局長]
- "The UK and the Fast Breeder Reactor" [D. プーリ英国原子力公社総裁]
- "Fast Breeder Reactor Development in Germany - History and Outlook"
- [G. ケスラー独国カールスルーエ中性子物理・原子力工学研究所長]

第5回（5月26日）

- 我が国のエネルギー政策の現状と課題 [資エネ庁]
- 新エネルギーの導入促進について [資エネ庁]

第6回（6月20日）

- 「仏国首相の所信表明演説（スーパーフェニックス関連）について」[事務局]
- 核燃料サイクルの推進について（原子力委員長談話）[伊原原子力委員長代理]
- 高速増殖炉（FBR）の安全性[斎藤原研理事]
- 高速増殖炉の技術的見通し -ナトリウム技術-[動燃]

第7回（7月30日）

- 仏スーパーフェニックスの検討状況[事務局]
- 燃料サイクルの比較 [事務局]
- 「高速増殖炉計画の基本的困難について」 [高木仁三郎原子力資料情報室代表]

第8回（8月27日）

- 「原型炉「もんじゅ」と実証炉の開発の在り方」[動燃、鷺見委員]
- 「FBR開発の投資効果」 [事務局]
- 「今後の高速増殖炉懇談会の進め方」[事務局]

第9回（9月19日）

- 「FBR研究開発投資の適正水準について」[近藤委員]
- 「もんじゅの安全総点検実施状況について」[動燃]
- 「報告書骨子案の検討」[事務局]

第10回（9月30日）

- 「報告書案の検討（1）」

第11回（10月9日）

- 「報告書案の検討（2）」

- 報告書案公開、一般からの意見募集

第12回（11月28日）

- 報告書の取りまとめ >

高速増殖炉技術について

高速増殖炉の安全性、経済性、核不拡散、燃料サイクルとの整合性、開発リスクなどについては、これまでの研究開発の成果ならびにその開発過程において実際に建設運転されてきている原子炉の実績を踏まえて、以下のように整理できます。

(1) 安全性

人的事故についてはもちろんであります。この問題を除いて考えて、原子炉の安全性は、国際原子力安全諮問グループの著した基本安全原則（INSAG-3）に示される諸原則、特に深層防護の考え方に基づいて、炉心損傷事故を格納できる格納系を含む多重の安全防護系を実現したプラントを、適切な安全文化のもとで管理する方針を採用することにより、十分確保されると考えられていますが、この原則は高速増殖炉に対しても適用可能です。

高速増殖炉の設計には、炉心で冷却材ナトリウム中に気泡が生じるときに正の反応度が挿入されるものが多いのですが、この原則に基づけば、このような設計を行うときには、反応度挿入事故や炉心にボイドを生ずるような事故の発生頻度が十分低く、また、それらがもたらす結果が発生頻度から考えて受け入れられるものであることを、注意深い評価で確認することになります。

なお、高速増殖炉の通常運転時の放射性物質放出量に関しては、わが国に存在する「常陽」や「もんじゅ」の運転実績によれば、線量目標値の指針を満足させることに格別の困難はなく、したがって、軽水炉と同様な安全性が確保できます。燃料サイクル施設については、現在のところ、軽水炉用の施設の一部を利用して研究開発が行われていますので、比較できる段階ではありませんが、別々に設置されるとしても、同一の線量基準が適用されることになります。

(2) 経済性

原子力発電の費用は、設備の建設費（廃止措置を含む）の償却費、運転費、燃料費（廃棄物管理費用を含む）から構成され、プラント熱効率、稼働率、ウラン価格、金利などに依存します。実用規模高速増殖炉の設計研究を通じて、経済性が軽水炉と競合できる水準にある設計例やその実現のための開発課題が示されています。現在のところ、これが実現できるかどうかの不確かさは大きいのですが、この課題を解決するための研究開発を推進し、その成果を踏まえた実証炉の設計・建設・運転が行われれば、実用化に移行できるか否かの判断が十分可能になるまでに減少すると考えられています。一方、燃料サイクルについては、実証施設の規模が少なくとも原子炉数基分の燃料を供給・処理できる程度とされていますので、

その実証には原子炉の場合よりも時間がかかることに注意する必要があります。

（３）核不拡散

原子炉施設や燃料サイクル施設の運転にあたっては、保障措置と物的防護により、保有する核物質が核兵器生産に転用されることを防止する必要があります。高速増殖炉の燃料には大量のプルトニウムが含まれますから、新燃料取り扱い施設の保障措置については再処理施設と同様に格段の配慮が必要です。高速増殖炉燃料再処理施設についても、その設計内容によっては、その保障措置に新しい課題が生じると考えられます。その負担軽減の観点からブランケット燃料を炉心燃料と混合処理する提案もあります。いずれにしても、プラント設計の当初から IAEA の専門家を交えて、効果的かつ効率的な保障措置を開発することが重要です。

（４）燃料サイクルとの整合性

高速増殖炉は、中性子発生数の多い高速中性子による核分裂の連鎖反応に基づくものですから、炉心において核分裂あたりに発生するウラン-238 のプルトニウムへの転換数を失われるプルトニウム数よりも多く（増殖）できるのみならず、軽水炉においては燃焼しにくい高次プルトニウムも燃焼できます。そこで、高速増殖炉の第一の用途は、成長が予想される原子力エネルギー供給系において、軽水炉の使用済み燃料から再処理で得られたプルトニウムを全て新設する増殖炉心を有する高速増殖炉に使用していく方式です。こうすれば、システムにおける高速増殖炉の割合が増大するとともに、システム内を流れるプルトニウム量は増殖率に依存して増加するようになり、発生電力量あたりの所要ウラン資源量は急速に減少していきます。

第二の用途は、プルトニウムリサイクルを行っている軽水炉系に高速増殖炉を組み合わせ、高速増殖炉燃料の再処理から得られたプルトニウムと軽水炉から得られる高次化したプルトニウムを混合して燃料として利用する方式です。これにより、軽水炉を用いながら、高レベル廃棄物をウラン・プルトニウムを含まないものにすることができます。これらの方式においては、高速増殖炉の転換比を適切に調整することにより、プルトニウム在庫量を調整することができます。

なお、こうした方式を実現するには、軽水炉及び高速増殖炉燃料の再処理技術確立が必要になります。

（５）開発リスク

これまでの世界各国における高速増殖炉に関する技術的蓄積は膨大であり、研究開発施設も整っています。残された主な課題は、プラントのコンパクト化・単純化による経済性の向上と高燃焼度燃料の開発、信頼性、運転管理の容易さの向上などです。これらは地道な材料開発、試作研究と実験炉や原型炉を用いた実証を繰り返して進められます。

運転信頼性についてはBN-600のように高い稼働率で運転されているプラントもありますが、「もんじゅ」や「スーパーフェニックス」のように、事故・故障の結果低い稼働率のものもあり、現状では確かさに欠けます。今後、実証炉の設計にあたっては、これらの経験から優れたものの特徴を抽出し、失敗事例については再発防止対策を研究して、高信頼度運転のための知見を集積するべきです。

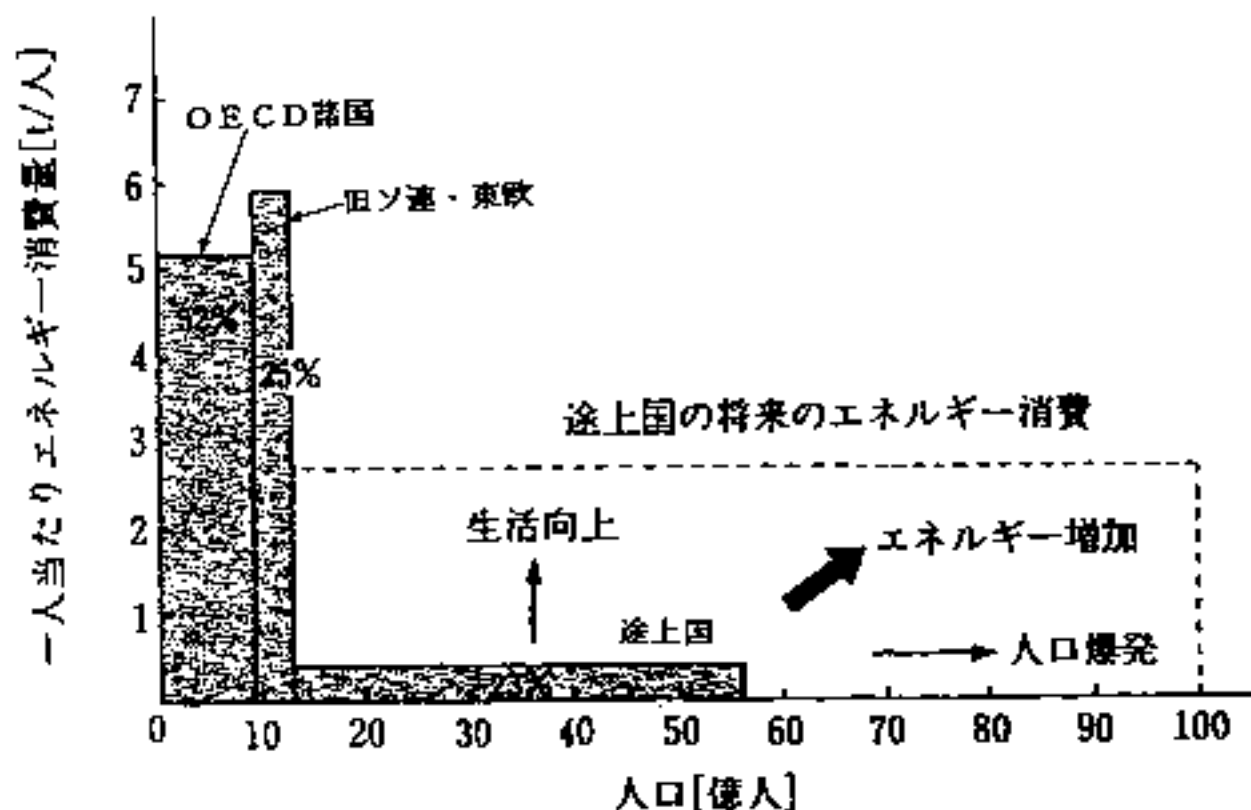
なお、軽水炉を長く運転してきたプラント運転者から、ナトリウム-水反応やナトリウム火災の可能性、ナトリウムが不透明なことによる検査・保守の困難性、出力係数が負であっても炉心のボイド係数が正であることなどについて不安が表明されることがあります。これらの点は原型炉での研究への参加を通じて経験を蓄積して解消していくことが望めます。また、並行して経済的な再処理技術の開発も重要です。これについても有望なアイデアは提出されていますが、その開発と実証はこれからです。

データ集

1. 人口と一人当りのエネルギー消費量
2. アジア地域の一次エネルギー需要量の見通し
3. 地球環境問題
4. 超長期にみたエネルギー需要と化石エネルギーの供給曲線
5. エネルギー資源の確認可採埋蔵量と可採年数
6. 世界のウラン資源量
7. 新エネルギー供給量
8. 世界の高速増殖炉開発の現状
9. 高速増殖炉プラントの仕組み
10. 増殖の仕組み
11. 天然ウラン利用効率
12. 高速増殖炉と軽水炉の比較
13. 水とナトリウムの特性の比較
14. プルトニウムの特性
15. 「もんじゅ」2次系ナトリウム漏えい事故
16. 動燃事業団における高速増殖炉開発経費
17. 各燃料サイクルの比較

1. 人口と一人当たりのエネルギー消費量

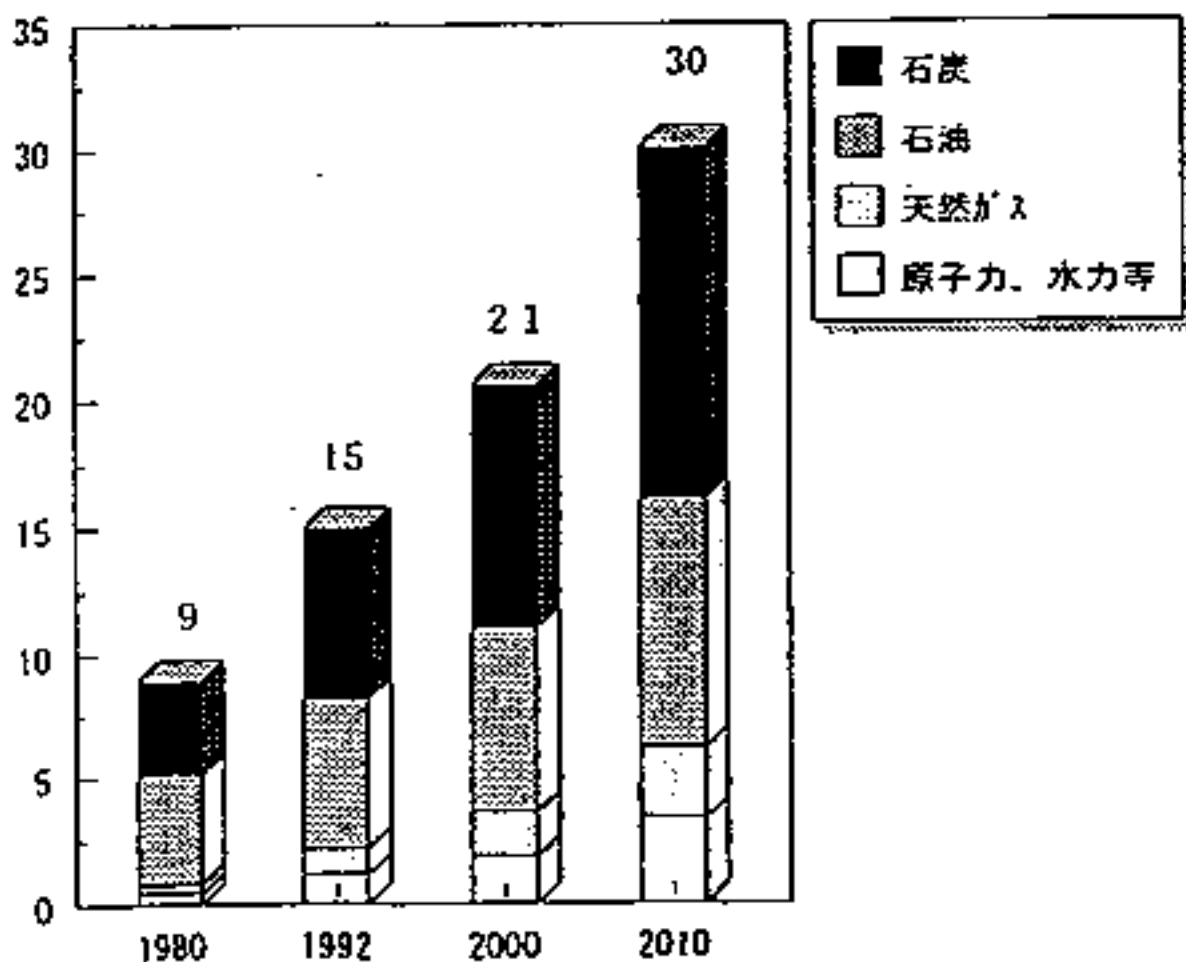
図は人口と一人当たりエネルギー消費の関係を描いたものです。図の四角に囲まれた面積はエネルギー消費量を表しています。国連の人口予測によれば2050年に途上国の人口は現在の2倍に増えます。途上国の一人当たりのエネルギー消費量も増加が予想され、仮に先進国の2分の1まで高まるとすれば、世界のエネルギー需要は現在の3倍に達します。



出典：内山 洋司、将来のエネルギー需給と電源選択、第3回高速増殖炉懇談会資料

2. アジア地域の一次エネルギー需要量の見通し

原油換算億ℓ

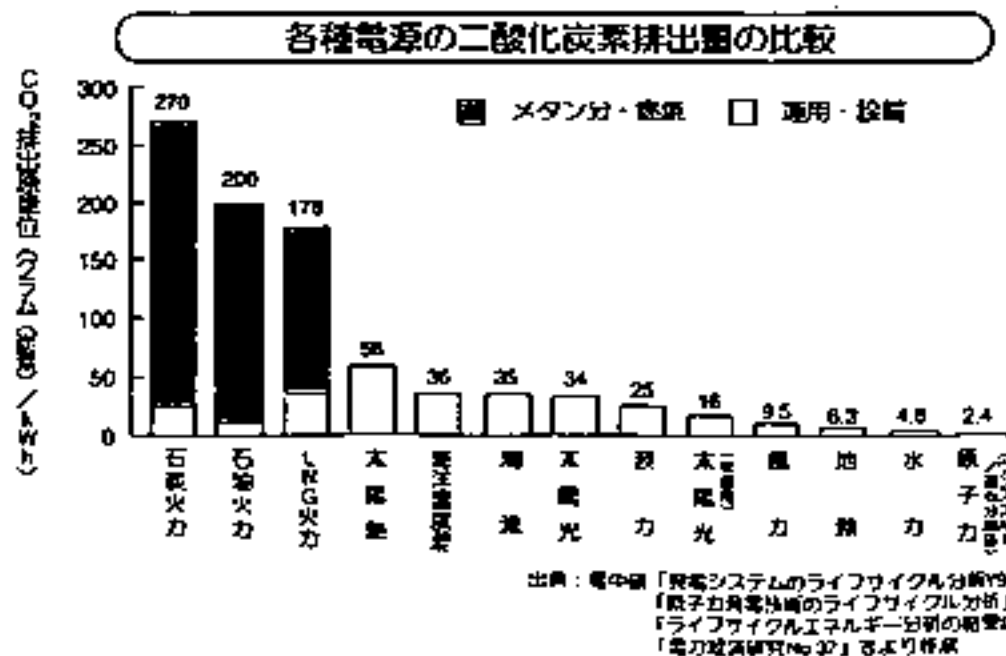
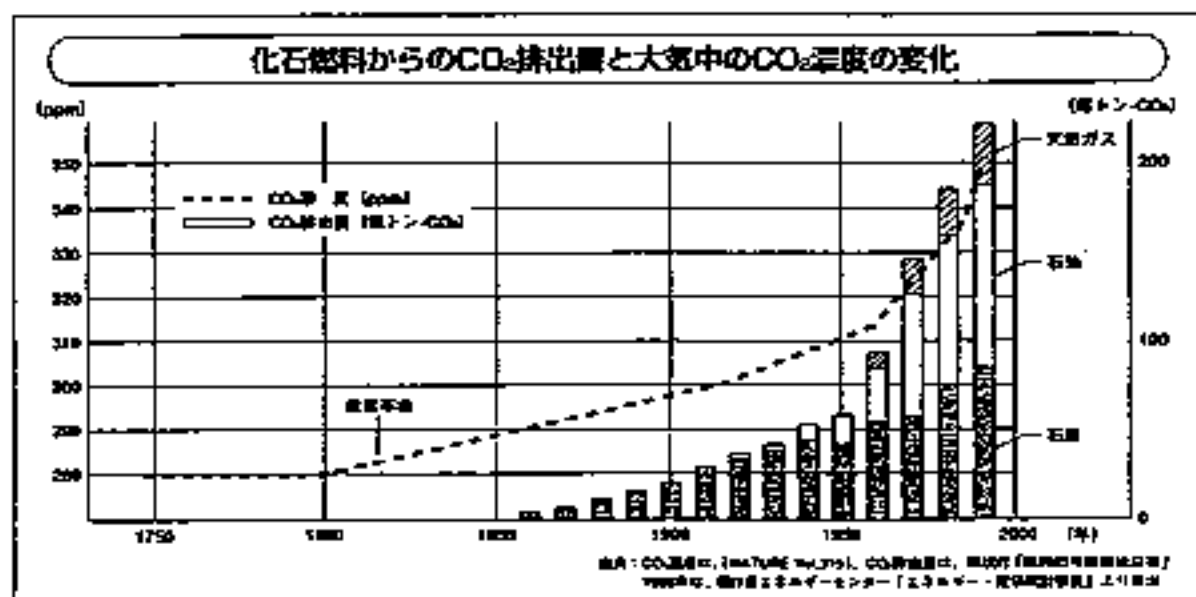


出典: 総合エネルギー調査会
国際エネルギー部会中間報告

3. 地球環境問題

地球環境問題の中でも、特に地球の温暖化は人類の生存基盤に深刻な影響を与えかねないため、その解決が国際的にも強く望まれています。温暖化は、化石燃料の燃焼などによって生じるCO₂の濃度上昇などが原因と言われています。大気中のCO₂濃度は、産業革命前には約280 ppmでありましたが、1990年には353 ppmまで上昇しています。

発電量当たりのCO₂発生量の多いものには石炭、石油、天然ガスといった化石燃料の燃焼によりCO₂を排出するものがあり、原子力や水力、地熱は発生量の少ない部類に入ります。



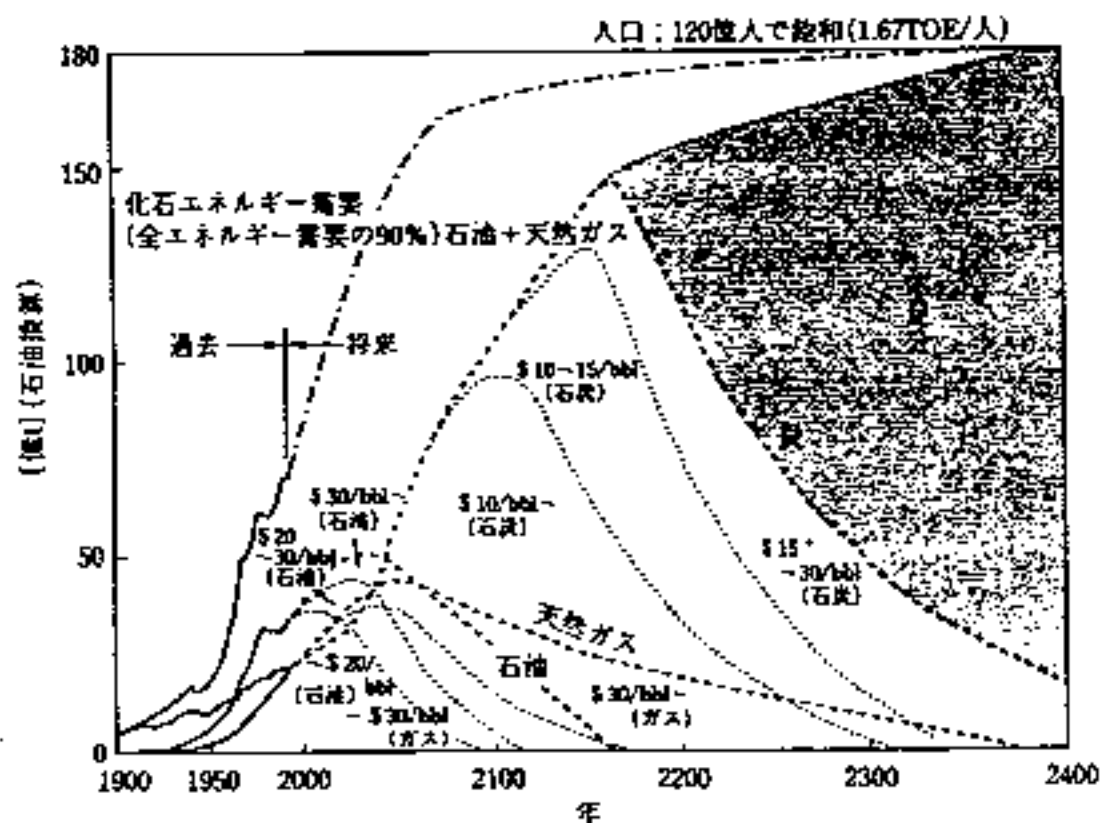
4. 超長期にみたエネルギー需要と化石エネルギーの供給曲線

世界の超長期的なエネルギー需要量を、各化石エネルギー資源別に描くと図のようになります。将来も現在と同様に化石エネルギーに依存し続けたとすると、その供給には三段階で危機的な資源制約が防れることを示しています。

第一段階（2015年頃）：安価な石油の減産時期

第二段階（2050年頃）：石油と天然ガスの減産時期

第三段階（2150年頃）：石炭の減産時期



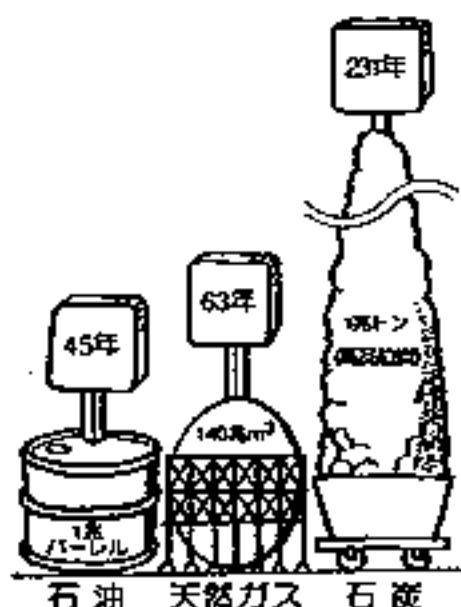
出典：内山 洋司、将来のエネルギー需給と電源選択、第3回高速増殖炉懇談会資料

5. エネルギー資源の確認可採埋蔵量と可採年数

現在、世界の一次エネルギー消費量の約90%は、石油、石炭、天然ガスといった化石燃料によるものです。

確認可採埋蔵量を年生産量（年消費量）で割った可採年数は、石油で45年、天然ガス63年、石炭231年となっています。

エネルギー資源の確認可採埋蔵量と可採年数



		石油	天然ガス	石炭
表1 確認可採埋蔵量 (B)		1996年1月1日 現在 10.075 億バレル 全世界	1996年1月1日 現在 14035m³ 全世界	1993年現在 10,310 億トン (高炭給炭) 全世界
地域別	中東	2.7%	4.7%	24.2%
	ロシア	12.8	5.5	1.1
	西アフリカ	1.5	3.4	7.3
	インドネシア	85.5	32.4	0
	オーストラリア	4.4	6.7	30.9
	アメリカ	7.3	6.8	6.0
	ロシア・西欧	5.9	40.6	30.6
表2 年生産量 (P)		1995年 224 億バレル	1995年 2.22 兆 m³	1993年 44.7 億トン
表3 可採年数 (B/P)		1995年 全世界 45年	1995年 全世界 63年	1993年 全世界 231年
出典	表1	Oil & Gas Journal (December 25, 1996)		世界エネルギー 会報 (1995年) (3年に1回更新)
	表2	Oil & Gas Journal (March 11, 1996)		

注) 年数は可採年数 (可採年数 = 確認可採埋蔵量 / 年生産量)

6. 世界のウラン資源量

現在までに存在が知られているウランの資源量（既知資源量）は約 450 万トンです。現在の世界の年間ウラン需要量は約 6 万トンですので、その約 73 年分に当たります。

世界のウラン資源量

（単位：万トンウラン）

	既知資源 A	推定追加資源 第一分類 I B	推定追加資源 第二分類 II	期待資源	年間需要 C (1995年)	A/C 年	(A+B)/C 年
既知資源報告国 ¹⁾	235	90	200	671	5.7	52	68
その他 ²⁾	66		45	177	0.5		
合計	451		245	848	6.2		73

（出典：OECD/NEA, IAEA RED BOOK95）

- 1) : OECD/NEA, IAEAの「既知資源」カテゴリー分類による資源見解が報告されている国。
 2) : 上記分類に厳密には適合しない資源見解が報告されている国。
 （中国、ロシア、ウズベキスタン、インドの4カ国）

（参考）Red Bookにおける「資源」カテゴリーの定義

既知資源	既知資源	建設資源 : 採掘作業を終了し、鉱床規模・品位・形状等が確定されたもので、これには一般に生産中もしくは待機中の鉱床が該当する。
	推定追加資源-I	ある程度の探鉱により一部の鉱床で鉱質等が推定されているが、鉱床の特性等についてまだ十分にデータが得られていないものであり、今後の探鉱（企業化探鉱）によって既知資源となる鉱床が該当する。
未発見資源	推定追加資源-II	既存の鉱床、地質の連続性、あるいは岩石の探鉱等から存在が期待される未発見の鉱床であり、今後の探鉱・探鉱により推定資源になり得ると期待されるものが該当する。
	期待資源	現在のところ全く探鉱がないが、地質学的な観点に基づいて、既存の探鉱技術で発見可能と推定されるもので、今後の探鉱によって、推定追加資源-I, IIに次いで既知資源になり得ることが期待されるものが該当する。

7. 新エネルギー供給量

コージェネレーションなどを含む新エネルギーなどの供給量は1992年度で1次エネルギー全体の1.2%です。我が国では導入を促進し、2000年度には約2%、2010年度には約3%を目指しています。

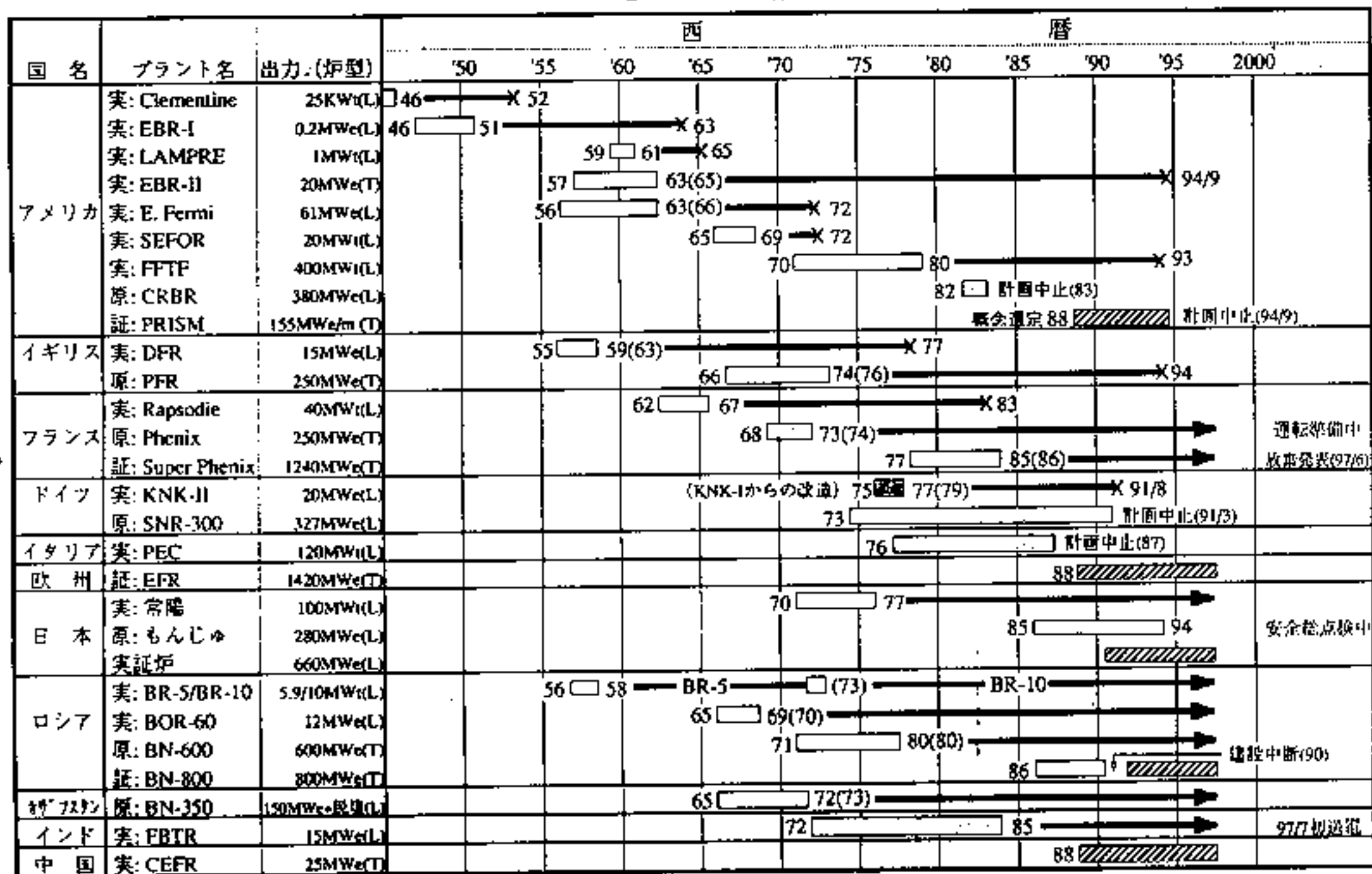
我が国における新エネルギーによる潜在的供給可能量としては、以下のとおりです。

住宅の屋根の大半に太陽光発電装置を設置した場合、現在のエネルギー供給量の約2%に相当します。風況の良い米国カリフォルニア州の現在の風力発電量の10倍の風力発電量とすれば、同じく約1%以下に相当します。可燃性ゴミを全て利用した場合の発電量は約3%に相当します。

参考：総合エネルギー調査会長期エネルギー需給見通し（平成6年6月）

第5回高速増殖炉懇談会内山委員資料

着工 □ 初臨界 (運転) —X— : 閉鎖 —▶— : 運転 ▨ : 計画中



実: 実験炉 原: 原型炉 証: 実証炉 初臨界年等の出典: Status of Liquid Metal Cooled Fast Breeder Reactor (IAEA Technical Report Series No. 246) 他

8. 世界の高速増殖炉開発の現状 科技庁調べ

9. 高速炉プラントの仕組み

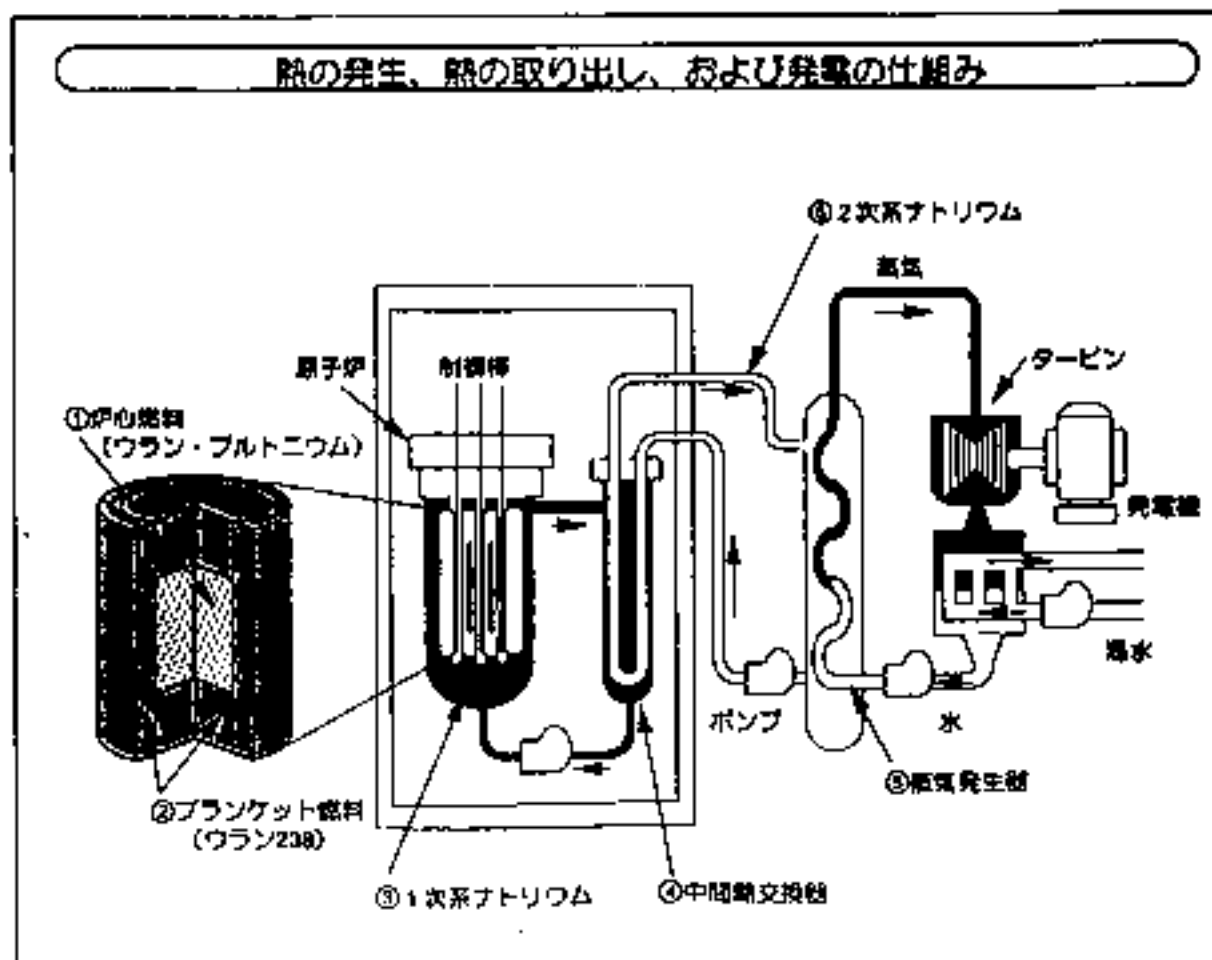
原子力プラントでは、原子炉で発生した熱を利用して水を蒸気に変え、この蒸気の方で発電機を回して電気を起こしています。

高速炉の炉心燃料は、ウランとプルトニウムを混ぜたウラン・プルトニウム混合酸化物（MOX）燃料を使っており、これらの燃料が核分裂することで熱を発生します。（①）

炉心の周辺部は、ウランのうち燃えない性質のウランで囲まれており、これは炉心からの中性子を吸収することにより、新たにプルトニウムに変わります。（②）

原子炉で発生した熱は、まず熱の良く伝わるナトリウム（1次系ナトリウム（③））を通じて中間熱交換器（④）まで伝わり、さらに別の系統のナトリウム（2次系ナトリウム（⑥））を通じて蒸気発生器（⑤）まで伝わります。蒸気発生器は2次系ナトリウムの熱で水を蒸気にし、その蒸気でタービンを回します。

ナトリウムは、水と激しく反応する性質があるので、蒸気発生器における何らかの事故でナトリウムが水と反応することがあっても、原子炉に影響を与えないよう、安全のために原子炉を回る系（1次系）と蒸気発生器を回る系（2次系）を分離しています。なお、ナトリウムの特性については「13. 水とナトリウムの特性の比較」参照。



10. 増殖の仕組み

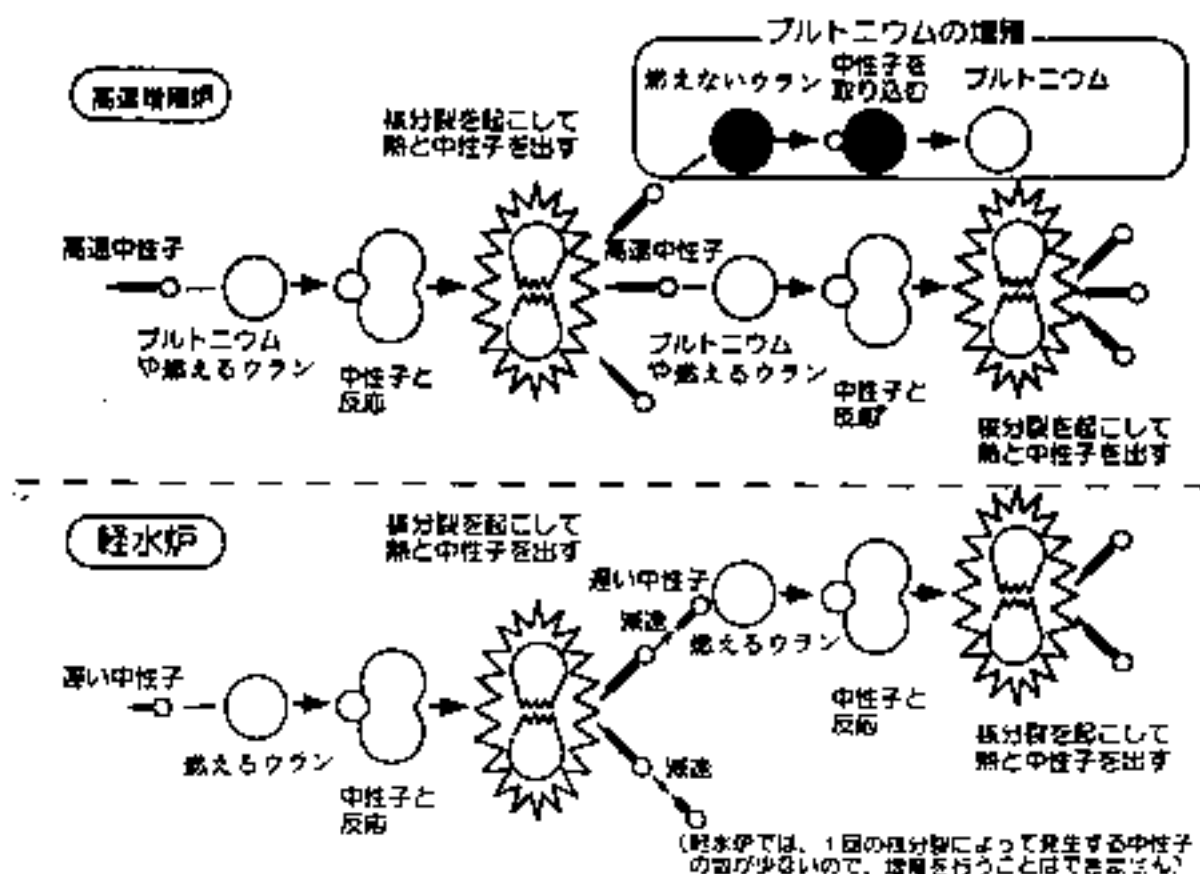
燃えない（核分裂しない）ウラン（→解説）に中性子を当てると、その中性子を吸収して燃える（核分裂する）プルトニウムに変換されます。

核分裂によって生じる中性子の数は、高速炉では約2.8個、一般の原子炉（軽水炉）では約2.4個で、高速炉で核分裂を起こさせた方が、たくさんの中性子を発生させることができます。

このため、多く発生する中性子を、燃えないウランからプルトニウムへの変換に利用することができ、より多くのプルトニウムを作り出すことができます。

このように、核分裂を持続させながら、燃えないウランをプルトニウムに変換していくことにより、結果として、消費した以上の量の新しいプルトニウムを作り出すことができます。これが増殖です。高速増殖炉とは高速で動く中性子（高速中性子）を使ってエネルギーを発生させながら、プルトニウムを増殖させる原子炉という意味です。

（解説）燃えないウラン：天然ウランの中には、燃えるウランと燃えないウランがあります。天然ウランの中で、燃えるウランは0.7%だけで、残りの99.3%は燃えないウランです。



1 1. 天然ウラン利用効率

高速炉でない、ふつうの原子力発電所（軽水炉）でウランとプルトニウムを混ぜた燃料（MOX 燃料）を燃やす方法をプルサーマルと言います。この方法では、燃料を使った後の燃え残りのウラン、プルトニウムを利用することにより、軽水炉でウラン燃料を 1 回限り燃やす場合（ワンスルー）に比べて、ウランを 2～3 割節約することができます。

さらに、高速炉では天然ウランの 99.3% を占める燃えないウランをプルトニウムに変換することにより、使った燃料より多くの燃料を生み出すことができ、プルサーマルよりもウランの利用効率を飛躍的に向上させることができます。

天然ウラン利用効率

原子炉	ウラン利用効率
軽水炉 (ワンスルー)	0.5%
軽水炉 (プルサーマル)	0.75%
FBR	60%程度

出典：「プルトニウム」鈴木博之編著

1.2. 高速増殖炉と軽水炉の比較

高速増殖炉は、ウランやプルトニウムなどの燃料を核分裂させ、その時に発生する熱を使って発電するという意味では軽水炉と同じですが、核分裂に使う中性子の速度や冷却材の種類等に次のとおりの違いがあります。

【軽水炉】

- 燃えるウランを3%程度に濃縮したウラン酸化物燃料を使います。
- 燃料である燃えるウランを効率的に核分裂させるために、熱中性子と呼ばれる速度の遅い中性子を利用しています。このため核分裂で出てくる高速中性子の速度を遅くするために、減速材として冷却材を兼ねた軽水（普通の水）を使っています。

【高速増殖炉】

- ウラン・プルトニウム混合酸化物（MOX）燃料を使用します。また、燃料を増殖（燃えないウランをプルトニウムに変換）するために、炉心の周りに燃えないウラン（ブランケット燃料）を置きます。
- 核分裂で出てくる高速中性子をそのまま利用して核分裂を起こさせることから、軽水炉のような減速材はありません。また、高速中性子を利用していることから高速（増殖）炉と呼ばれています。
- なお、ブランケット燃料を取り除くと、増殖させずにプルトニウムを効率よく消費することもできます。

原子炉の比較

	軽水炉	高速増殖炉
炉心燃料	濃縮ウラン酸化物燃料 燃える部分 ウラン235 約3% 燃えない部分 ウラン238 約97%	ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料 プルトニウム 約20% ウラン238 約80%
核分裂に使う中性子	熱中性子（遅い中性子）	高速中性子
減速材 （中性子の速度を遅くするための媒体）	中性子の速度を遅くするために軽水（普通の水）を使用します。	核分裂で出てくる速度の遅い中性子を使用するので、減速材はありません。
冷却材 （熱を伝える媒体）	軽水（普通の水） 減速材である水を熱を伝える媒体としても使用します。	液体金属ナトリウム 熱を伝える能力に優れています。 （但し、ナトリウムの取扱いには適切な対策が必要です。）
運転条件	軽水は、通常の状態で100℃で沸騰して気蒸気になってしまうことから、運転は高い圧力（70～150気圧）をかけた状態で、冷却材の温度は約300℃になっています。	ナトリウムは、沸騰する温度が高い（約880℃）ことから運転は低い圧力で行うことができ、約500～550℃の高温で効率の高い発電が可能です。

13. 水とナトリウムの特性の比較

高速炉で発生した熱を伝える物質としては、中性子の速度を大幅に落とさず無駄に吸収しないこと、熱を伝えやすいこと等の性質が必要です。

ナトリウムは、このような特性を持っており、さらに次のような特長も有しています。

- ・約880℃まで沸騰しないことから、軽水炉のように加圧しなくても高温（約500～550℃）の運転条件で使うことができ、発電の効率を高くすることができます。
- ・不純物を除いてその濃度を低くすることにより、機器や配管等の材料の腐食はほとんどありません。

ただし、ナトリウムは、空気や水と激しく反応する性質や、中性子にあたると放射化される（放射能を帯びたナトリウムになる）性質があることから、使用にあたっては適切な対策が必要となります。このため、高速炉は1次系、2次系に分けています。また、常温では固体であるため、液体状態に保つためには常に予熱しておくことが必要です。

水とナトリウムの特性の比較

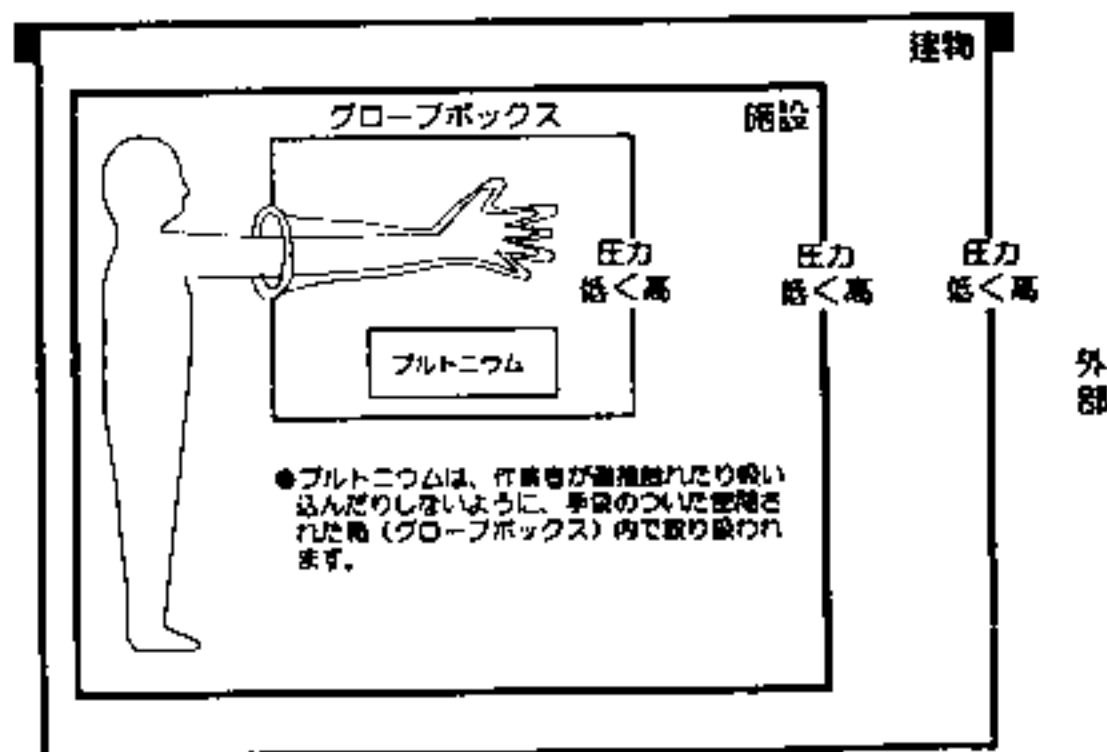
	水 (軽水炉)	ナトリウム (高速増殖炉)	比 較
中性子の減速能力	大	小	ナトリウムは中性子を減速しにくい (水の約1/300)
熱の伝え易さ	小	大	ナトリウムは熱を伝え易い(熱伝導率は水の約100倍)
沸点(液体から気体になる温度)	100℃ (1気圧)	約880℃ (1気圧)	軽水炉では水の加圧が必要ですが、ナトリウムは低い圧力で使うことができます。
融点(固体から液体になる温度)	0℃	約100℃	ナトリウムは液体状態に保つために予熱することが必要です。
化学的活性	小	大	ナトリウムは、空気や水に触れると激しく化学反応を起こすので、適切な対策が必要です。

14. プルトニウムの特性

高速増殖炉で燃料として用いるプルトニウムは、体内に取り込まれた場合の発ガン性が特に問題であり、その取扱いには十分注意を払う必要があります。このため、プルトニウムは気密性を有した装置（グローブボックスなど）内で取扱われます。また、民生用のプルトニウムは原子爆弾の原料とはなりにくいと言われていますが、その潜在的な可能性から、兵器として悪用されないよう（核不拡散）、国際機関の厳しい監視（保障措置）下に置かれています。

なお、高速増殖炉はその転換比（新しい燃料をつくり出す効率）を柔軟に変えることができるため、余剰プルトニウムを発生させないように転換比を下げて運用できるとの観点から、核不拡散性向上の手段としても有効な原子炉であるとも言えます。

●常に外部の気圧より施設内の気圧が低くされており、万一、グローブボックスから施設内に漏れたとしても、外部に漏れにくい構造となっています。



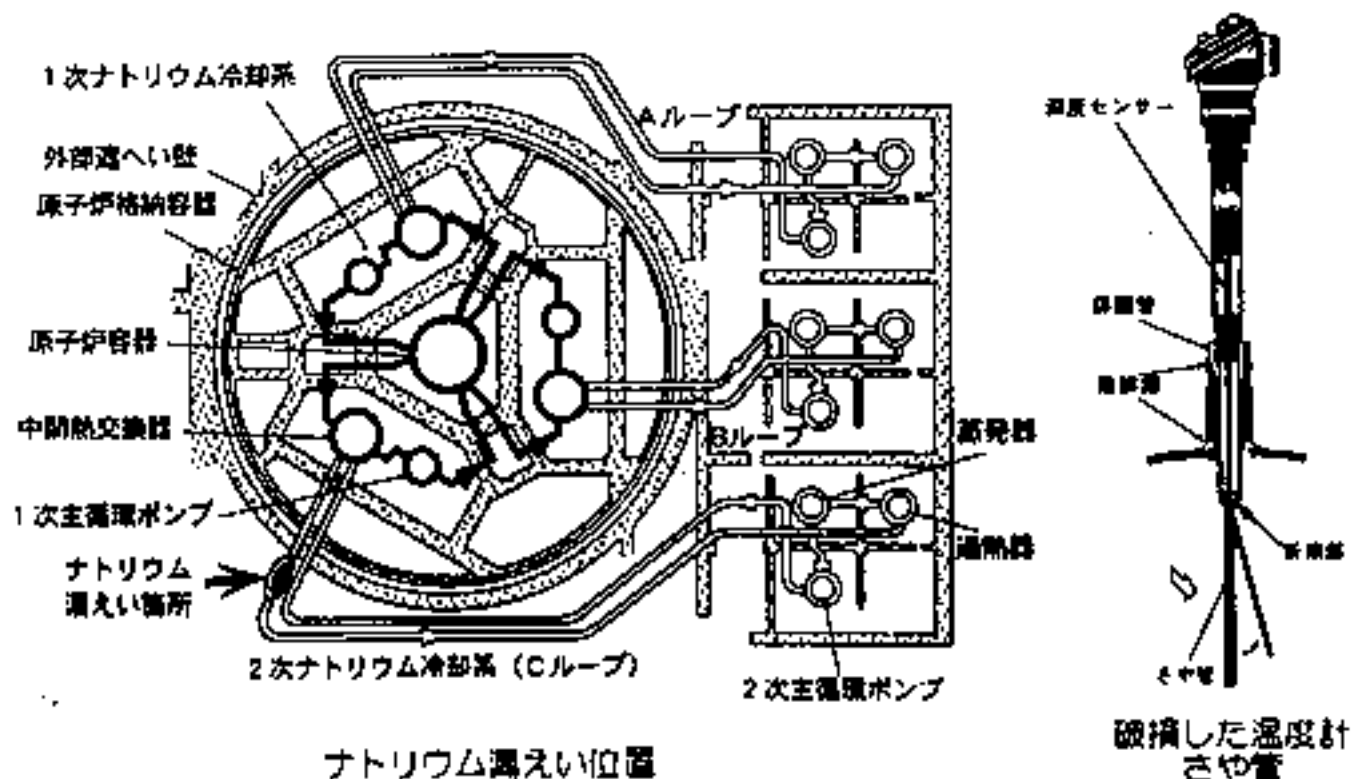
15. 「もんじゅ」2次系ナトリウム漏えい事故

平成7年12月8日に「もんじゅ」において、2次冷却系にある中間熱交換器の配管（出口配管）に挿入されたナトリウムの温度を測定する温度計先端部分のさやや細管部が脱落し、そこからナトリウムが空気中に漏えいしました。

漏えいナトリウムが空気中の酸素と反応して燃焼（ナトリウム火災が発生）し、配管の下にある換気のためのダクトなどが損傷しました。

さや管が破損した原因は、さや管部分の設計が不適切だったためです。さや管部が配管内を流れるナトリウムにより振動し、さや管付部に高サイクルの振動が生じました。これにより温度計が破損しました。

「もんじゅ」2次系ナトリウム漏えい事故



16. 動燃事業団における高速増殖炉開発経費

(政府出資金)

(単位：億円)

		S 42	S 43	S 44	S 45	S 46	S 47	S 48	S 49	S 50	S 51	S 52	S 53	S 54	S 55	S 56	S 57
常 陽	建設費		3	12	31	65	106	63	8	1							
	運転費						2	10	23	30	27	36	42	36	54	61	67
もんじゅ	建設費														67	132	119
	運転費																
関連研究開発		3	20	56	99	98	90	103	90	100	115	160	185	189	162	142	149

		S 58	S 59	S 60	S 61	S 62	S 63	H元年	H 2	H 3	H 4	H 5	H 6	H 7	H 8	累 計
常 陽	建設費															289
	運転費	52	64	60	57	52	48	44	39	40	37	45	32	30	34	1,022
もんじゅ	建設費	130	226	319	394	404	497	570	512	363	298	262	211			4,504
	運転費							15	45	155	207	224	206	232	192	1,275
関連研究開発		140	112	101	105	101	117	114	104	102	117	130	147	138	138	3,427

上記の値・「もんじゅ」建設費への民間拠出金 1,382億円
・通商省における研究開発 145億円

注) 四捨五入により計額不一致あり。

出典：第6回高速増殖炉懇談会資料

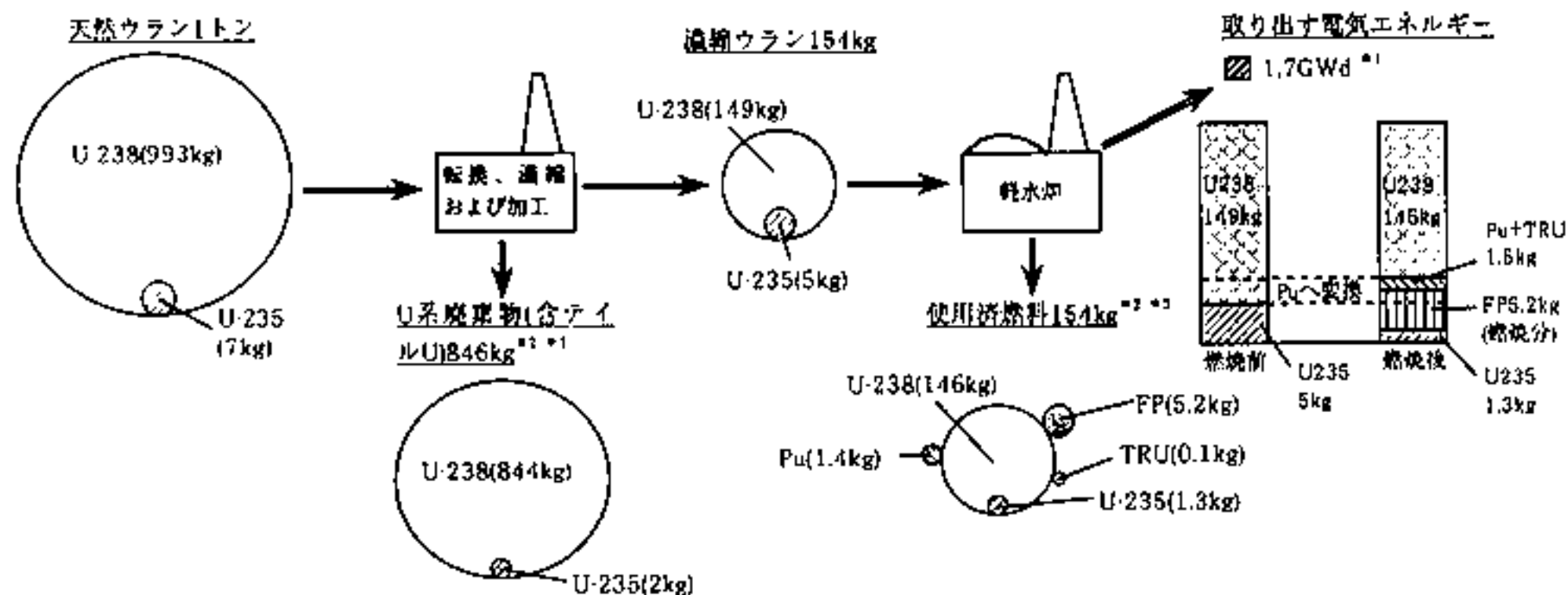
17. 各燃料サイクルの比較

シナリオ	電気エネルギー発生量 ^{*1} (GWd)	主な廃棄物の単位電気エネルギー当りの負荷 ^{*2}
軽水炉ワンススルー	1.7	単位電気エネルギー当りの負荷を比較すると、負荷の小さい順からFBR(3回、無限回)、プルサーマル、軽水炉ワンススルーとなります。
軽水炉プルサーマル (1回リサイクル)	2.5	
FBR (3回リサイクル)	32	
(参 考) FBR (無限回リサイクル)	190	

- * 1) エネルギー発生量は、各々天然ウラン1トンから発生する量です。
- * 2) ここで「負荷」とは「毒性」を意味しており、各放射性同位体の放射性濃度を飲料水に対する最大許容濃度で割った値で、各放射性同位体を最大許容濃度まで希釈するのに何立方メートルの水を必要とするかを表わしています。

図1 軽水炉ワンスルーサイクルの場合（燃焼度：約32GWd/t）

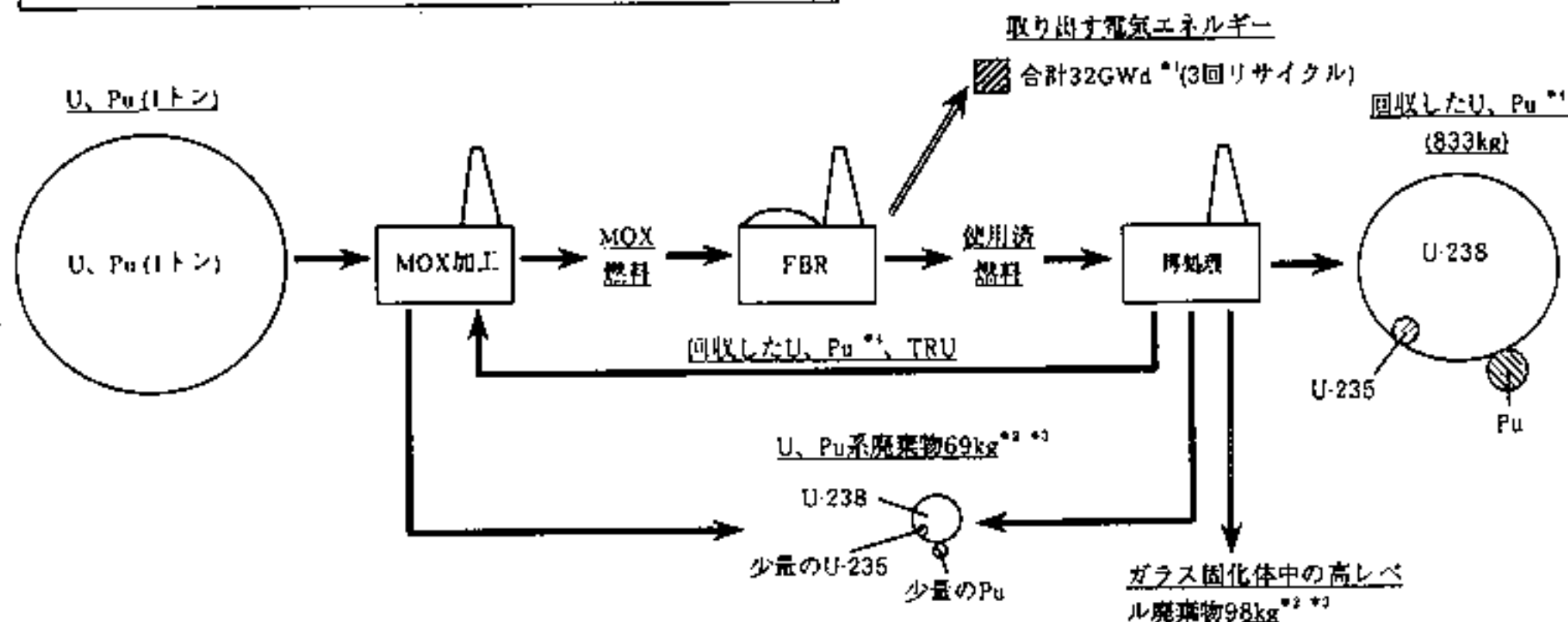
天然ウラン1トンから約1.7GWdの電気エネルギーを取り出すことができます。



- *1) 電気エネルギーとして取り出せるのは、U-235約3.7kgおよび原子炉内でU-238から変換したPu-239約1.5kgが燃焼した量で、これは約1.7GWdに相当します。GWdはエネルギーを表す単位で、1GWd = 24×10^6 kWhです。
- *2) 製錬済みの天然ウランを出発物質と仮定しているため、製錬時に発生する廃棄物（残土など）は含めていませんが、濃縮工程から発生するテイルウランは廃棄物として含めました。（テイルウランとは濃縮の際に発生する廃品ウランと呼ばれるもので一般にU-235の濃度が0.25%程度と天然ウランのそれに比べ低くなっています。）主な廃棄物の形態は使用済燃料です。
- *3) 廃棄物発生量は重量で評価しており、容積として即ちドラム缶の発生量などとは異なります。
- *4) 運転にともない発生する廃棄物や、廃炉にともなう廃棄物は含めていません。

図2 高速増殖炉サイクルの場合（燃焼度：約74GWd/t、リサイクル回数：3回）

核物質1トンから約32GWdの電気エネルギーを取り出すことができます。



*1) 電気エネルギーとして取り出せるのは、主にU-235、原子炉内でU-238から変換したPu-239、およびMOX燃料中のPu-239の合わせて約84kgが燃焼した分で、これは約32GWdに相当します。

*2) 製錬済みの天然ウランを出発物質と仮定しているため、製錬時に発生する廃棄物（残土など）は含めていません。また、3回リサイクル後に再処理して最終的に回収する約833kgのUとPuは廃棄物には含めません。主な廃棄物は加工と再処理工程からロスとして発生する(U+Pu+TRU)廃棄物の合計約69kg（加工と再処理工程でのロス率は各々1%、2%と仮定）および高レベル廃棄物（ガラス固化体）98kgです。

*3) 廃棄物発生量は重量で評価しており、容積として即ちドラム缶の発生量などとは異なります。

*4) FBRでは組成が劣化（高次化）したPuを効率良く燃やすことができます。炉心燃料とブランケット燃料を混合して利用する場合、この組成劣化も進まなくなります。

*5) 運転にともない発生する廃棄物や、廃炉にともなう廃棄物は含めていません。

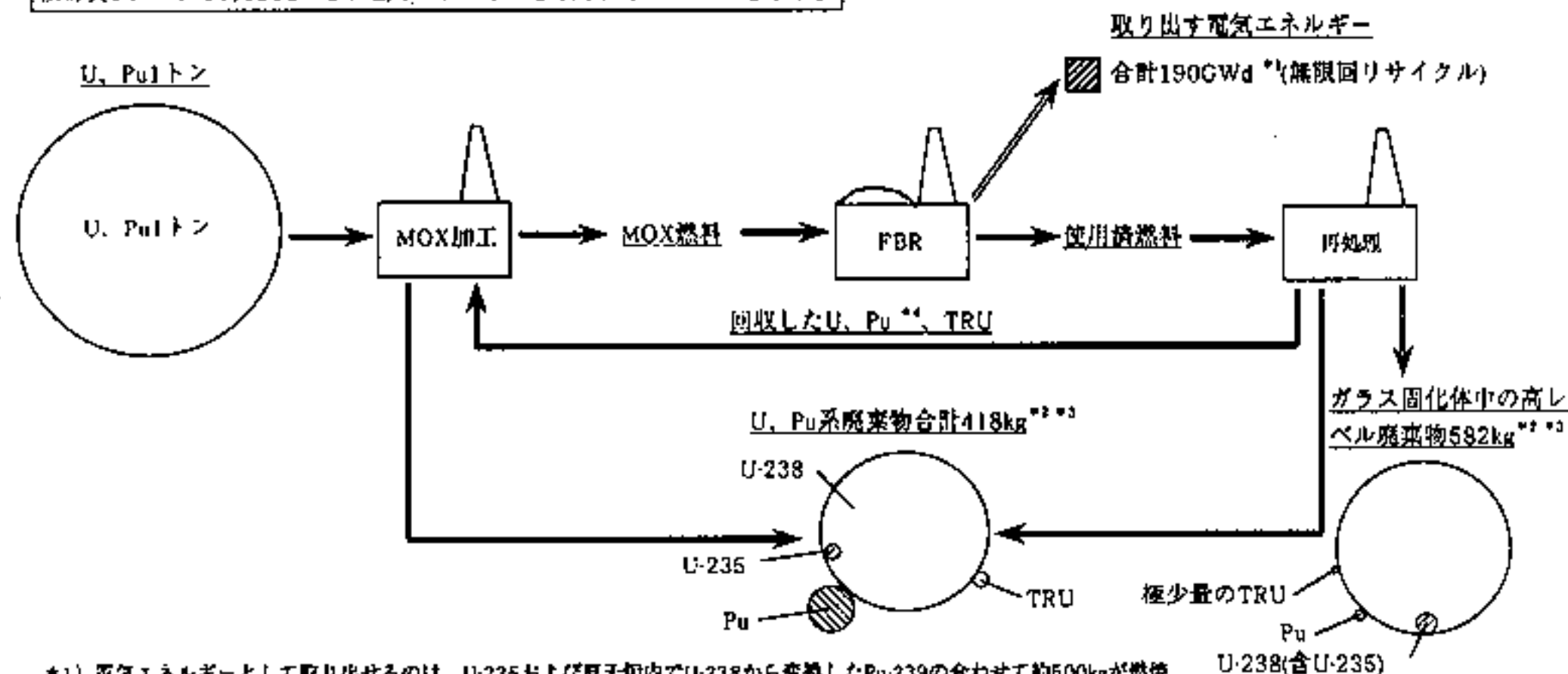
FP(84kg)



少量のU, Pu, TRU

図3 高速増殖炉サイクルの場合（燃焼度：約74GWd/t、リサイクル回数：無限回）

核物質1トンから約190GWdの電気エネルギーを取り出すことができます。



*1) 電気エネルギーとして取り出せるのは、U-235および原子炉内でU-238から変換したPu-239の合わせて約500kgが燃焼した量で、これは約190GWdに相当します。GWdはエネルギーを表す単位で、1GWd = 24×10^9 kWhです。

*2) 主な廃棄物は、無限回リサイクルした場合の加工と再処理工程からロスとして発生する(U+Pu+TRU)廃棄物の合計約418kg（加工と再処理工程でのロス率は各々1%、2%と仮定）および高レベル廃棄物（ガラス固化体中）582kgです。

*3) 廃棄物発生量は重量で評価しており、容積として即ちドラム缶の発生量などとは異なります。

*4) FBRでは組成が劣化（高次化）したPuを効率良く燃やすことができます。炉心燃料とブランケット燃料を混合して利用する場合、この組成劣化も進まなくなります。

*5) 運転にともない発生する廃棄物や、廃炉にともなう廃棄物は含めていません。