

高速増殖炉懇談会報告書のポイント

平成11年9月20日
第三分科会事務局

1. はじめに

○背景

「もんじゅ」ナトリウム漏洩事故後の「原子力政策円卓会議」における意見を受け、原子力委員会が平成9年1月末に本懇談会の設置を決定。

○本懇談会について

広く我が国各界各層からの有識者から構成。

地方自治体代表、海外専門家、批判的な意見の方、他から話を伺った。

審議、配布資料は公開。

2. エネルギー情勢と原子力

資源の乏しい我が国として、原子力を今後ともエネルギー供給源として持ち続けることが妥当。

省エネルギー、新エネルギーには量的限界。複数の選択肢を将来世代のために維持する努力は我々の責任。

上記のとおり、原子力を21世紀のエネルギー供給源として引き続き維持発展させることが妥当。但し、平和利用、安全確保は重要。また、省エネルギー、新エネルギーの開発・利用は積極的に進めることが重要。

3. 高速増殖炉研究開発の意義

○高速増殖炉の特性と内外の研究開発状況

○高速増殖炉研究開発の進め方

エネルギー需要の見通しとウラン資源の有限性については、異なる意見はあるものの、FBRの研究開発を進めることは長期的エネルギー源の確保の観点から重要であり、人類に対する義務との意見が多数。

経済性などの実用化見通しが得られていないとの意見もあったが、実用化の可能性を探索し、課題を着実に解決すべきなどの意見が大勢。

安全性、核不拡散についての懸念を指摘する意見が出たが、技術的に解決できる見込みがあり、また、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観点から高速増殖炉は開発意義を有するとの意見が出た。

以上をまとめると、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、その研究開発を進めることは妥当。

4. 今後の課題

今後、研究開発を遂行していくにあたっての留意事項は以下の4点。 ○安全の確保

F B Rの研究機関は、安全確保を最優先にできる体制であること。

事故の発生を未然に防止するための万全の対策を講じ、仮に起きたとしても人体・環境への影響を与えないという謙虚かつ懸命な姿勢が必要。

○立地地元住民及び国民の理解促進と合意形成

動燃の一連の事故、不祥事により、立地地元住民には強い不安、不信。

動燃改革を着実に進め、実効性のある安全管理策を立て、それを着実、誠実に実行し、地元住民の理解を得るための努力を。

○コスト意識の醸成と計画の柔軟性・社会性

研究開発自体の経済性（投資対効果）、F B Rの経済性向上、炉とサイクルの調和などからの計画の定期的見直しが必要。

柔軟な対応が可能な計画とし、定期的に評価して適切に軌道修正を行う仕組みを制度化する必要がある。

○核不拡散の努力

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抱かないように努力することが必要。

5. 「もんじゅ」による研究開発の実施

動燃の抜本的な改革が必要。

「もんじゅ」を中断し、今後必要な時に再び研究開発を始めることは費用面、人材面から大きな損失。

地元地域社会の理解を得ることが必要。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が望まれる。

「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。

6. 実証炉以降の開発

「もんじゅ」及び実証炉設計研究の成果を十分に評価した上で、実証炉の具体的計画について決定。

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。

7. おわりに

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、F B Rの実用化の可能性を追求するために研究開発を進めることが妥当。

柔軟な計画の下に、国民の意見を反映して定期的な評価と見直しを行う。

原型炉「もんじゅ」は、この研究開発の場の一つ。

F B R研究開発の意義や進め方について、広く国民に理解を得る努力を。

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
鷲見 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 齊	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）

原子力長計と高速増殖炉懇談会報告書の比較

	原子力長計 (平成6年6月)	懇談会報告書 (平成9年12月1日)
高速増殖炉の位置付け	将来的に核燃料リサイクル体系の中核として位置付け。 高速増殖炉は将来の原子力発電の主流にしていくべき。	将来の非化石エネルギーの一つの有力な選択肢。 長期的なエネルギー源の確保の観点から重要。
原型炉「もんじゅ」	性能試験を着実に進め、1995年末の本格運転を目指す。得られる成果を実証炉以降の高速増殖炉開発に反映していく。	実用化の可能性を確度高く追求するための研究開発の場。 動燃改革が確実に実現され、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が望まれる。 データを着実に蓄積する慎重な態度で。
実証炉1号機	「もんじゅ」の運転実績の反映等を考慮して、2000年代初頭に着工することを目標に計画を進める。電気事業者は、必要な研究開発と着工に向けての所要の準備を進める。	「もんじゅ」の運転経験を反映することが必要。「もんじゅ」及び民間の研究開発等の成果を十分に評価した上で、その具体化のための計画の決定が行われるべき。
実用化に向けて	適切な間隔で実証炉1号炉、これに続く実証炉2号炉の建設を進める。 2030年頃までには実用化が可能となるよう技術体系の確立を目指す。	非化石エネルギー源の一つの有力な選択肢として、実用化の可能性を追求するために研究開発を進めることが妥当。 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及しつつ、将来のエネルギー状況を見ながら、柔軟に対応していく。

参考データ（抜粋）

1. 世界のウラン資源量
2. 世界の高速増殖炉開発の現状
3. 天然ウラン利用効率
4. 水とナトリウムの特性の比較
5. 「もんじゅ」2次系ナトリウム漏えい事故
6. 各燃料サイクルの比較

1. 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）

	確認資源 A	推定追加資源 分類Ⅰ B	推定追加資源 分類Ⅱ	期待資源	年需要量 C (1995年)	A/C 年	(A+B)/C 年
確認資源報告国 ¹⁾	295	90	200	671	5.7	52	68
その他 ²⁾	66		45	177	0.5		
合計	451		245	848	6.2		73

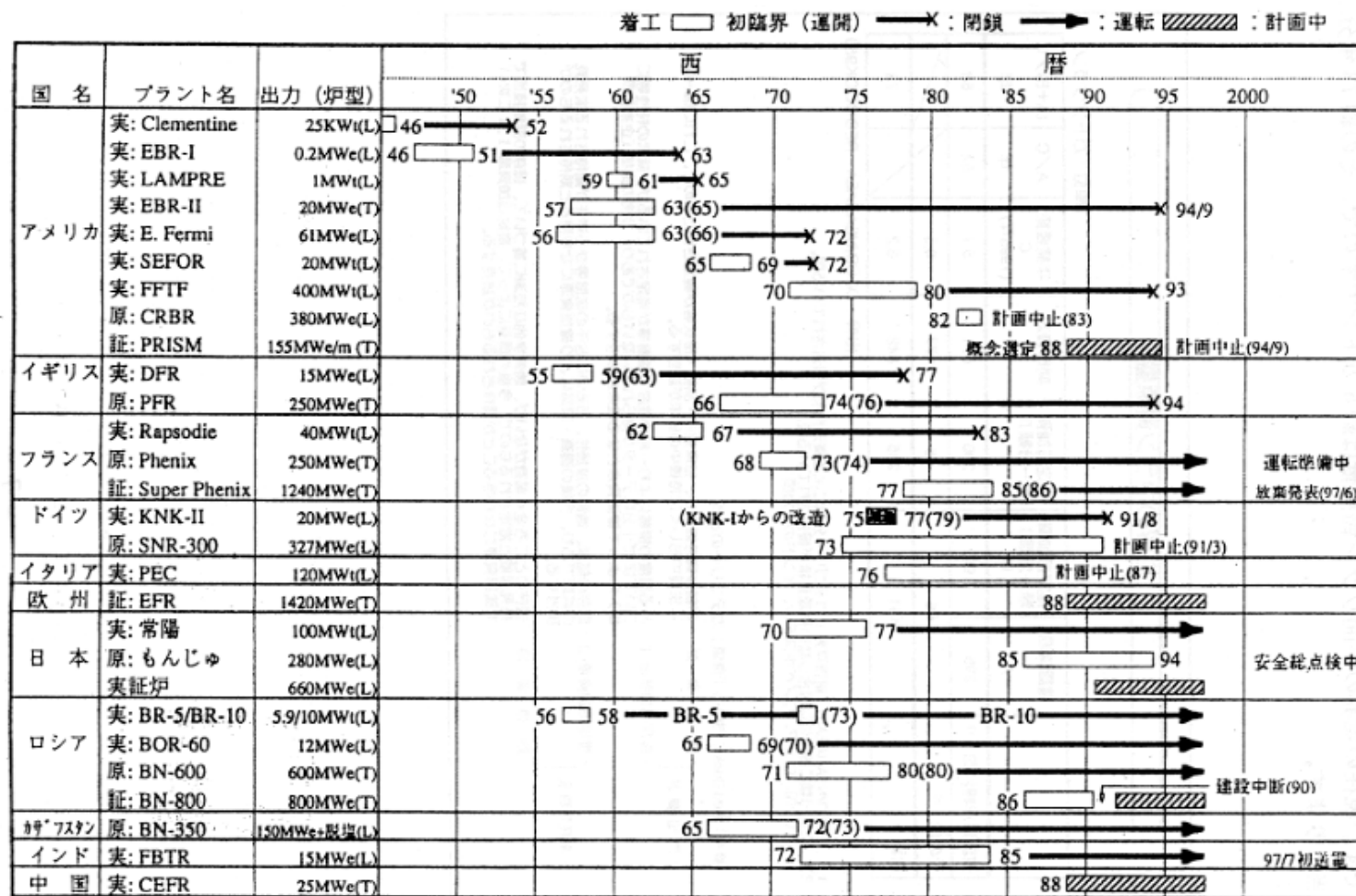
（出典：OECD/NEA, IAEA RED BOOK95）

1) : OECD/NEA, IAEAの「確認資源」カテゴリー分類による資源見積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積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 {
 - 確認資源 : 探鉱作業を終了し、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持続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定の確度で鉱量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）によって確認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、あるいは若干の鉱量等から存在が期待される未発見の鉱床であり、今後の調査・探鉱により確認資源になり得ると期待されるものが該当する。
 - 期待資源 : 現在のところ全く鉱量がないが、地質学的な推測に基づいて、既存の探鉱技術で発見可能と推定されるもので、今後の調査によって、推定追加資源-Ⅰ,Ⅱに決いで確認資源になり得ることが期待されるものが該当する。



(注)

原: Phenix
98年5月運転再開
同年11月より総点検のため停止中

証: Super Phenix
98年2月放棄決定
同年12月廃炉措置に関する政令発布

原: もんじゅ
98年3月安全性総点検
結果報告書公表(科技厅)

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 Reactors (IAEA Technical Report Series No. 246) 他

2. 世界の高速増殖炉開発の現状

科技厅調べ

3. 天然ウラン利用効率

高速増殖炉でない、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、高速増殖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」鈴木麗之編著

4. 水とナトリウムの特性の比較

高速増殖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、高速増殖炉は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必要があります。

水とナトリウムの特性の比較

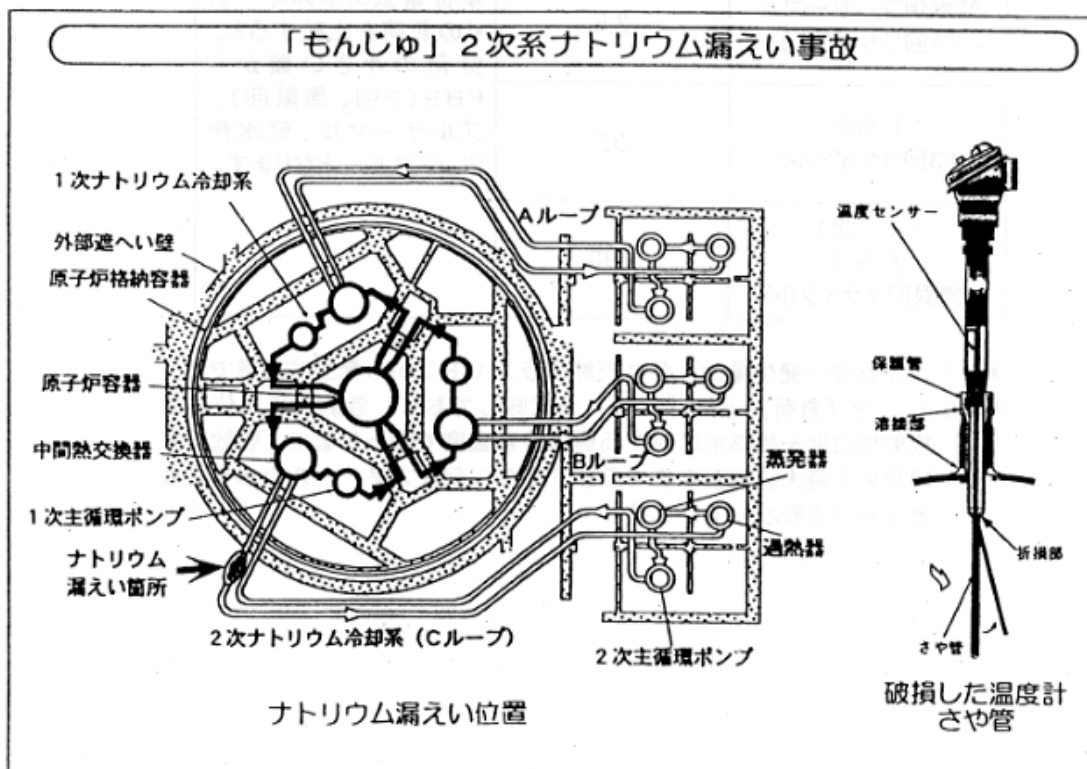
	水 (軽水炉)	ナトリウム (高速増殖炉)	比 較
中性子の減速能力	大	小	ナトリウムは中性子を減速しにくい (水の約1/300)
熱の伝え易さ	小	大	ナトリウムは熱を伝え易い(熱伝導度は水の約100倍)
沸点(液体から気体になる温度)	100℃ (1気圧)	約880℃ (1気圧)	軽水炉では水の加圧が必要ですが、ナトリウムは低い圧力で使うことができます。
融点(固体から液体になる温度)	0℃	約100℃	ナトリウムは液体状態に保つために予熱する必要があります。
化学的活性	小	大	ナトリウムは、空気や水に触れると激しく化学反応を起こすので、適切な対策が必要です。

5. 「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、さや段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。



6. 各燃料サイクルの比較

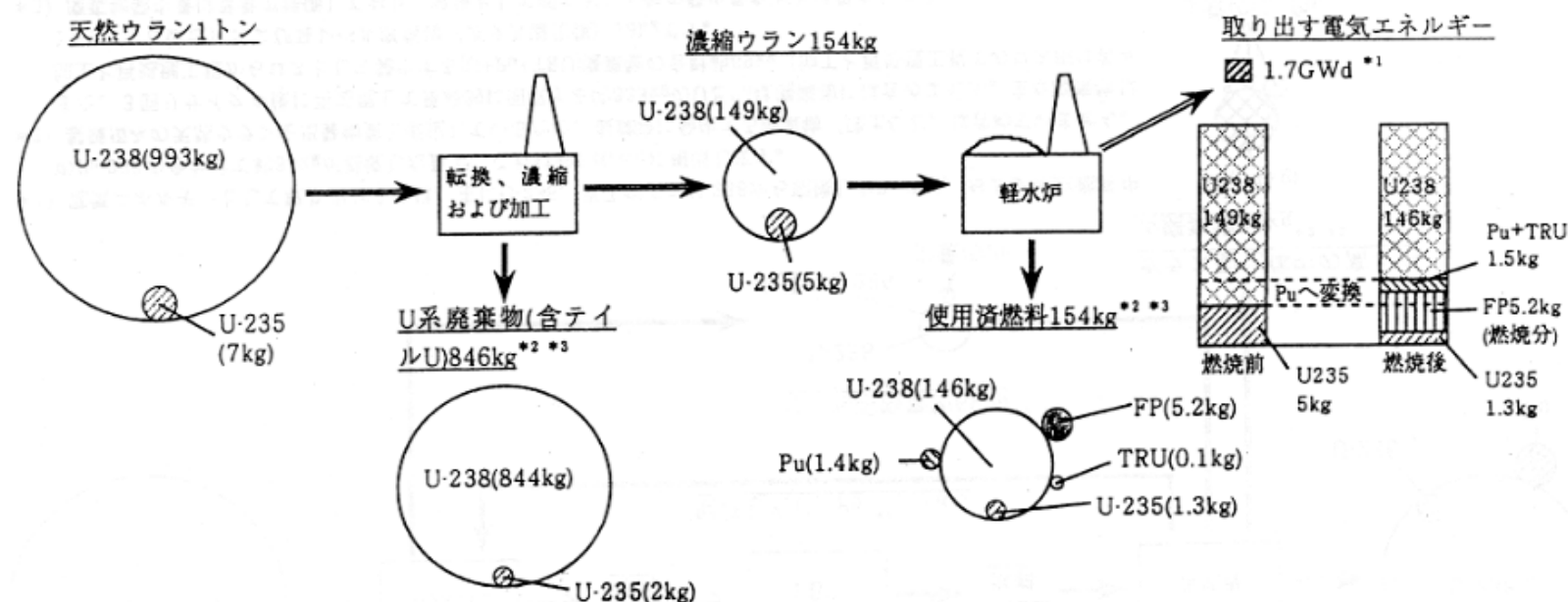
シナリオ	電気エネルギー発生量* ¹ (GWd)	主な廃棄物の単位電気エネルギー当りの負荷* ²
軽水炉ワンススルー	1.7	単位電気エネルギー当りの負荷を比較すると、負荷の小さい順からFBR(3回、無限回)、プルサーマル、軽水炉ワンススルーとなります。
軽水炉プルサーマル (1回リサイクル)	2.5	
FBR (3回リサイクル)	32	
(参 考) FBR (無限回リサイクル)	190	

* 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）

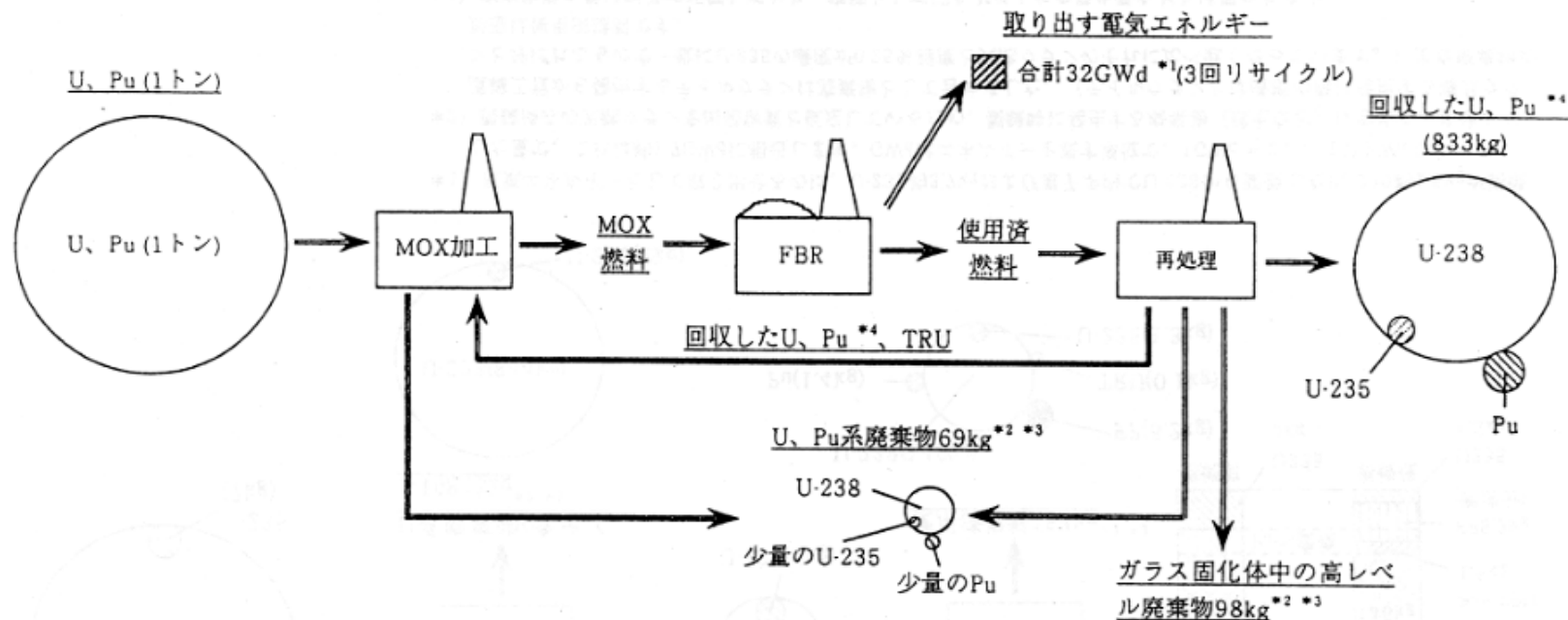
天然ウラン1トンから約1.7GWdの電気エネルギーを取り出すことができます。



- *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）

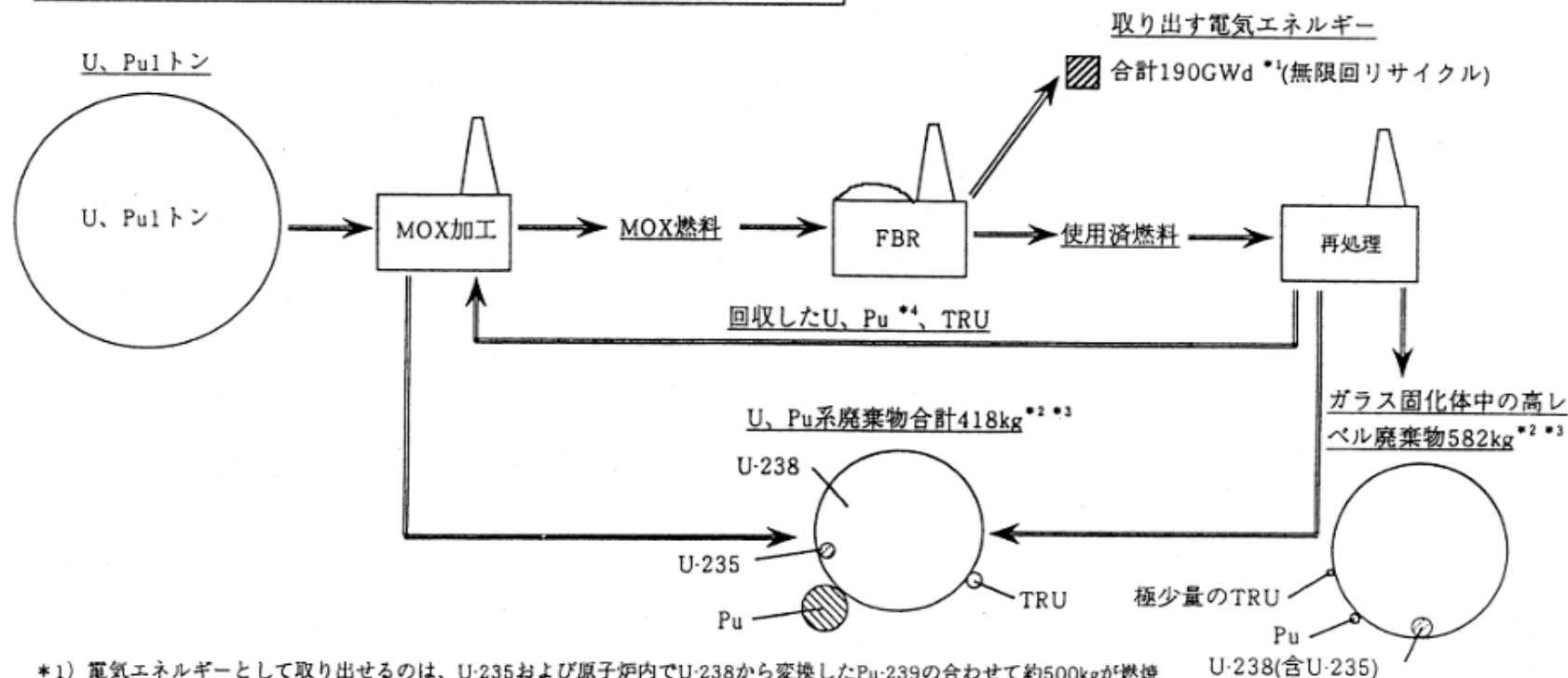
核物質1トンから約32GWdの電気エネルギーを取り出すことができます。



- *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が燃焼した量で、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。

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 = 24×10^6 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。