

高速増殖炉を中心とした核燃料サイクルの 必要性に関する基礎資料

平成11年10月25日

高速増殖炉を中心とした核燃料サイクルの必要性に関する基礎資料

I. 世界及び日本のエネルギー需給

1. 世界の一次エネルギー需要の推移と予測（1850年～2100年）	1
2. 世界の一次エネルギー供給構造の推移と予測（Bケース、1850年～2100年）	2
3. 地域別エネルギー消費の推移	3
4. 世界のエネルギー消費の推移と見通し	4
5. アジアのエネルギー消費の推移と見通し	4
6. 日本の一次エネルギー需給の推移と予測（1990年～2010年）	5
7. エネルギー資源の確認可採埋蔵量	6
8. 世界のエネルギー需給展望	7

II. CO₂排出量と各発電方式の特徴

9. 最終エネルギー消費とエネルギー起源CO ₂ 排出量の実績と見通し	8
10. 各発電方式の特徴	9

III. ウラン資源の需給・価格見通し

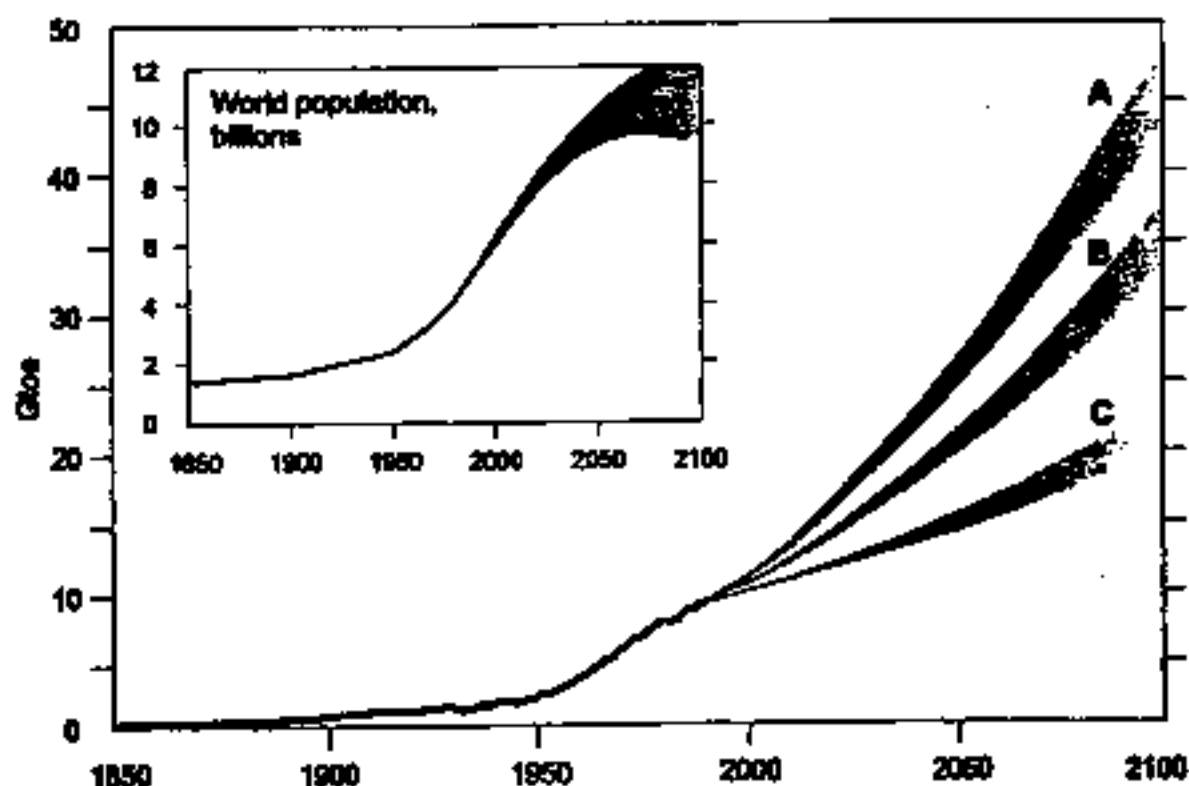
11. ウランの資源の分類	10
12. ウランの長期需給見通し	10
13. ウランスポット価格の推移	11
14. 天然ウラン価格の将来予測	11

IV. 各燃料サイクルの比較

15. 各燃料サイクルの天然ウラン利用効率	12
16. 各燃料サイクルの電気エネルギー発生量と主な廃棄物の潜在的毒性	12
17-1. 各燃料サイクルの比較（1）～軽水炉ワンズスルーの場合～	13
17-2. 各燃料サイクルの比較（2） ～高速増殖炉サイクル（燃焼度：約 74GWd/t、リサイクル回数：3回）の場合～	14
17-3. 各燃料サイクルの比較（3） ～高速増殖炉サイクル（燃焼度：約 74GWd/t、リサイクル回数：無限回）の場合～	15

I. 世界及び日本のエネルギー需給

1. 世界の一次エネルギー需要の推移と予測（1850年～2100年）



(注1) Gtoe:石油換算値 [単位:10⁹トン]

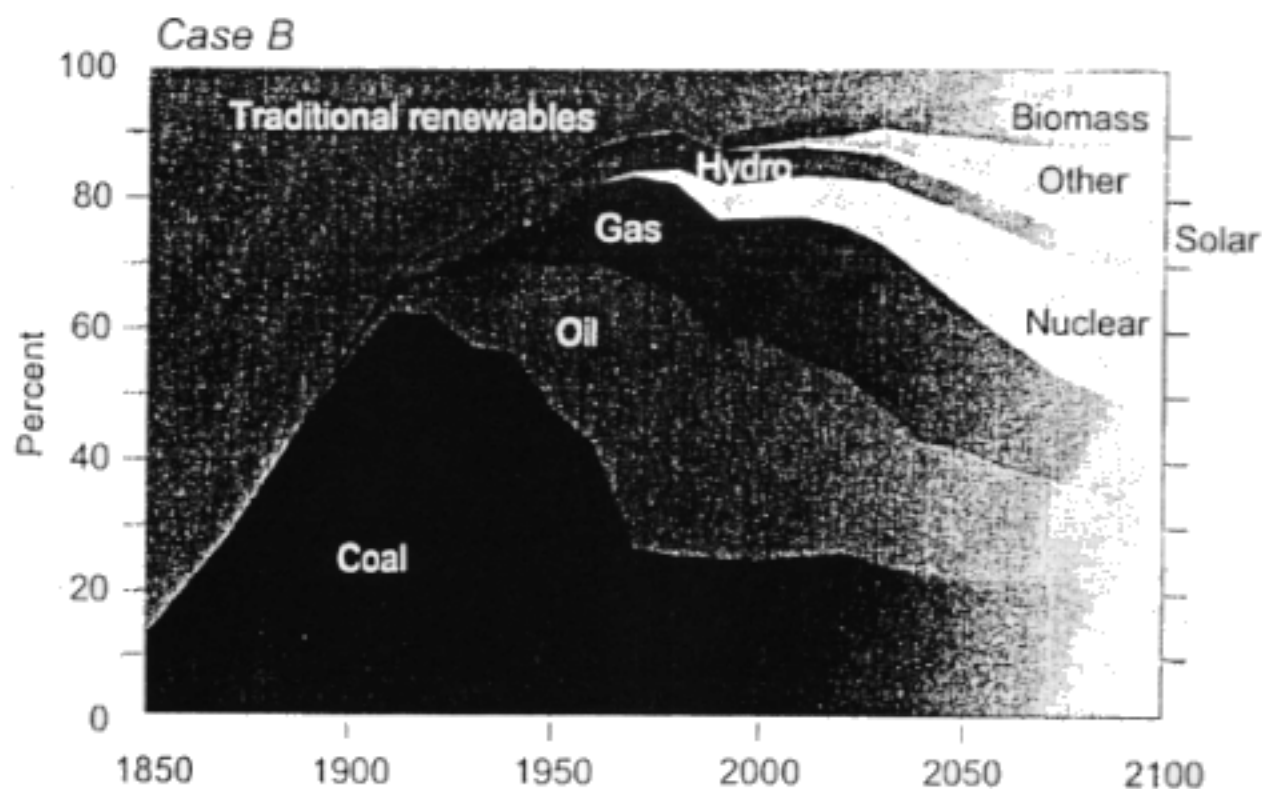
(注2) 図中のケースA、B、Cの定義

- | | |
|------------------------|---------------------|
| A: High growth | : 所得エネルギー等の高成長ケース |
| B: Middle | : より穏やか、より現実的な成長ケース |
| C: Ecologically driven | : 環境保護等に焦点を当てたケース |

(出典: Global Energy Perspectives, IASA/WEC(1998))

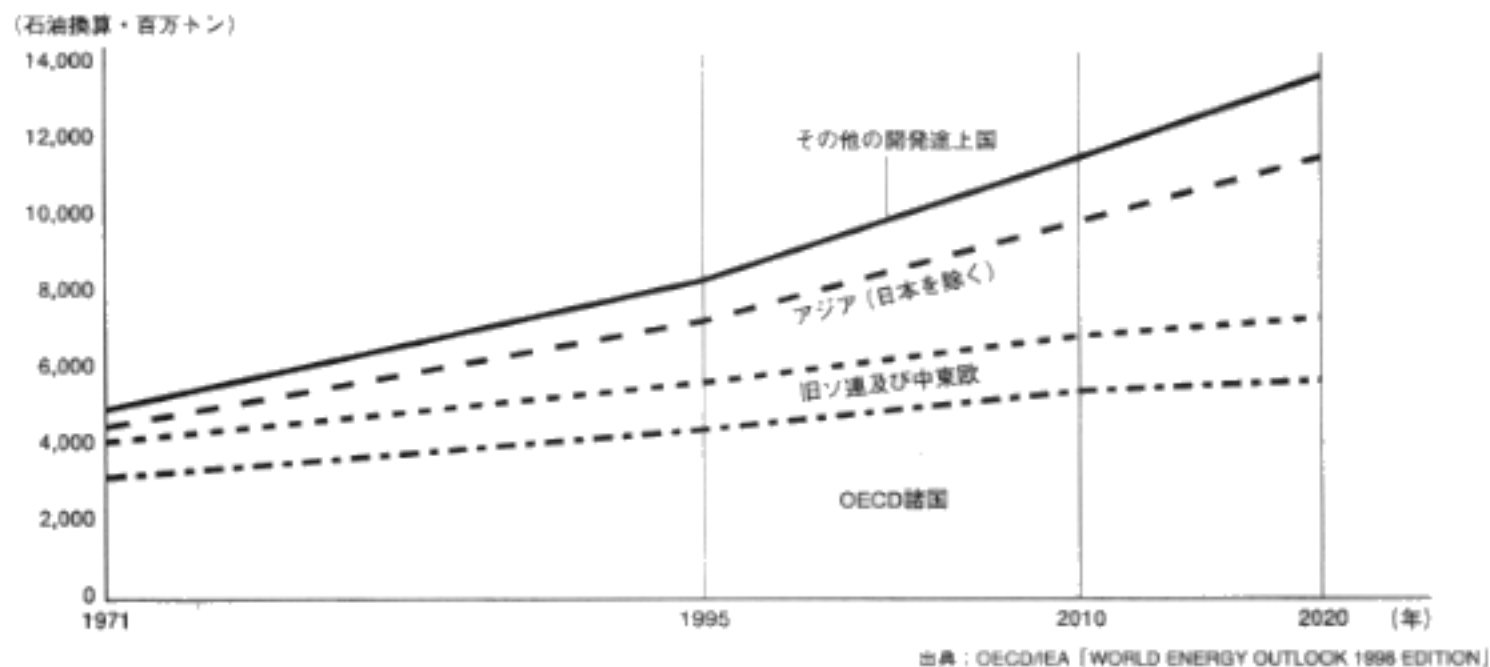
2. 世界の一次エネルギー供給構造の推移と予測

(Bケース、1850年～2100年)

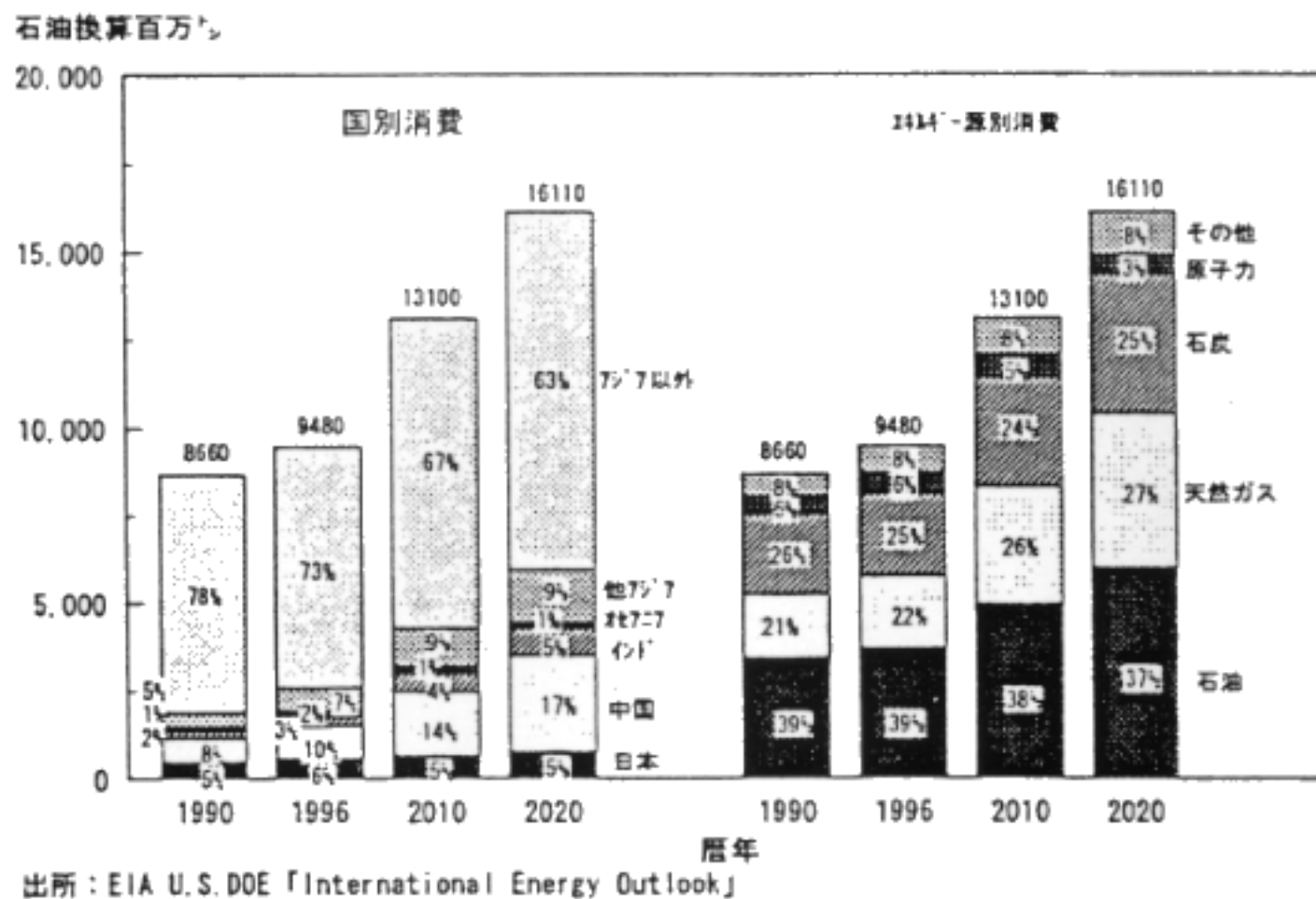


(出典: Global Energy Perspectives, IIASA/WEC(1998))

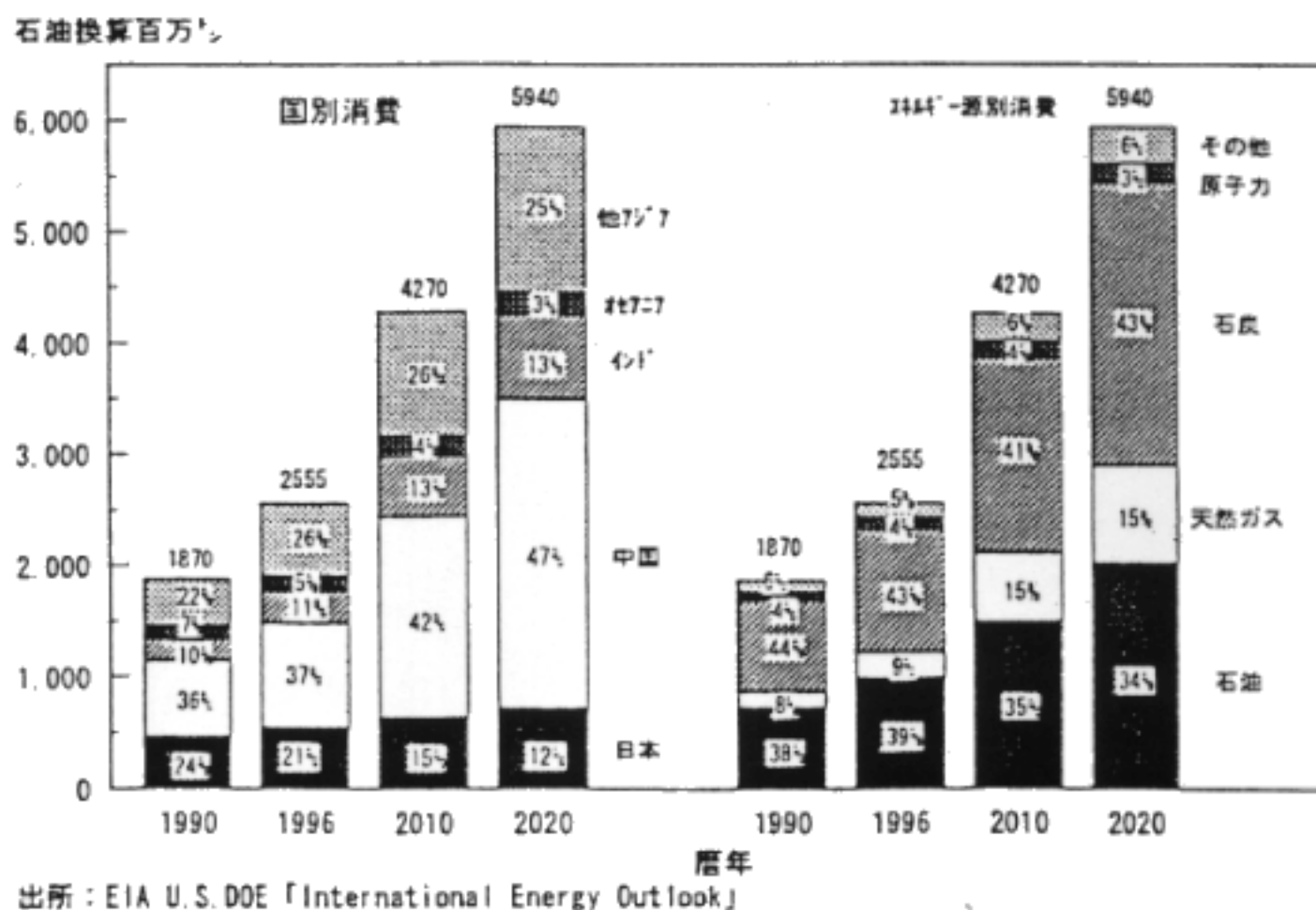
3. 地域別エネルギー消費の推移



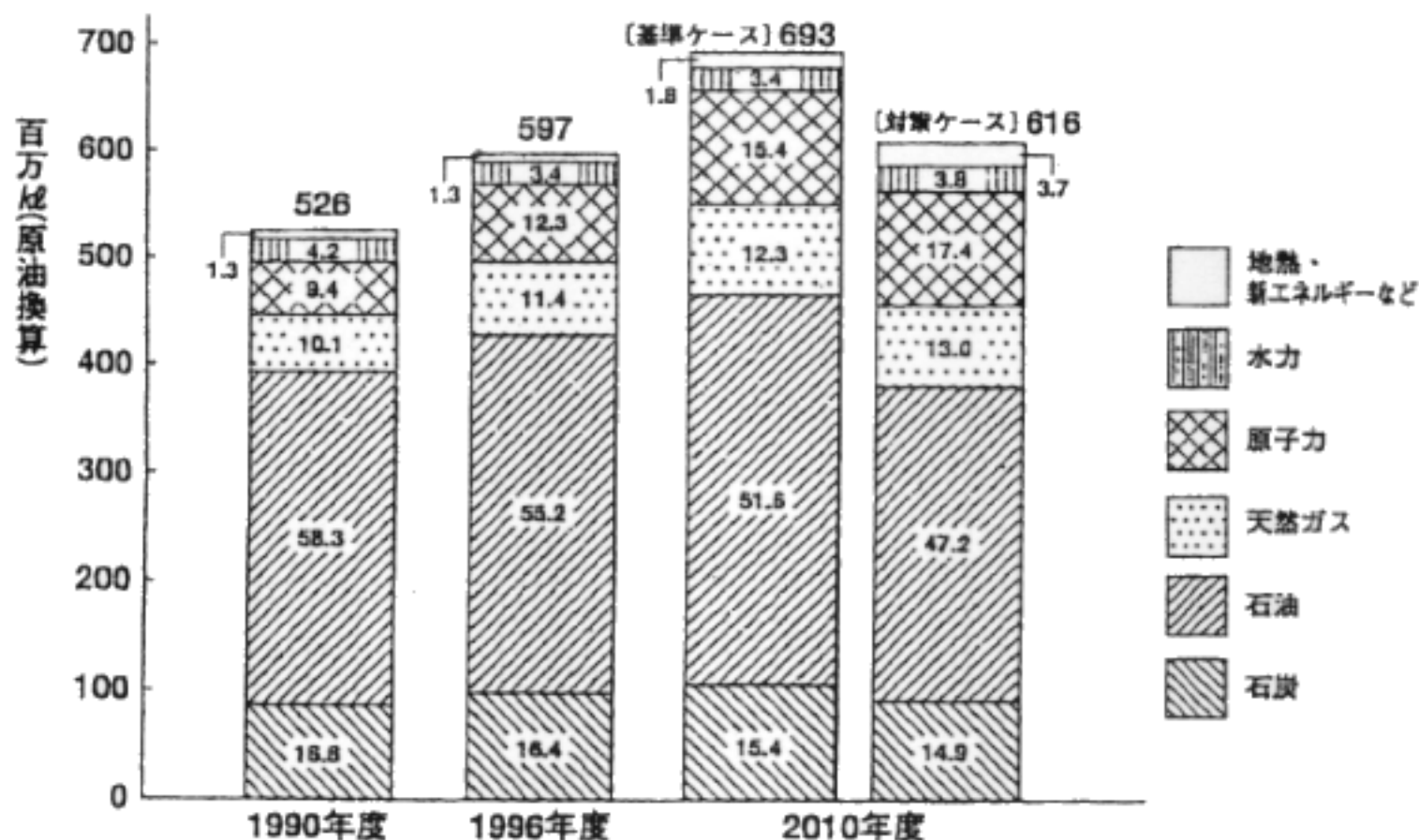
4 . 世界のエネルギー消費の推移と見通し



5 . アジアのエネルギー消費の推移と見通し



6 . 日本の一次エネルギー総供給の推移と見通し(1990年度～2010年度)



(注) [基準ケース] これまで講じられた対策を維持し、追加的な政策努力を講じない場合
 [対策ケース] エネルギー需給両面にわたる最大限の努力を講じた場合

(出典：総合エネルギー調査会需給部会中間報告(1998年6月))

7. エネルギー資源の確認可採埋蔵量

		石 油	天然ガス	石 炭	ウ ラ ン
(注1)		1998年1月1日	1998年1月1日	1993年末	1997年1月
確認可採埋蔵量 (R)		1兆195億バレル 全世界	143兆9,471億m ³ 全世界	1兆316億トン 全世界	436万トン 全世界
地域別 賦存 状況	北 米	2.6%	4.6%	24.2%	17.4%
	中 南 米	12.4	5.6	1.1	6.2
	西 欧	1.8	3.3	7.3	3.0
	中 東	66.4	33.9	0	0
	アジア・太平洋	4.1	6.3	30.9	25.1
	アフリカ	6.9	6.9	6.0	17.3
	旧ソ連・東欧	5.8	39.4	30.6	31.0
(注2)		1997年	1996年	1993年	1996年
年 生 産 量 (P)		64,940千b/d	2兆3,379億m ³	44.7億トン	3.6万トン
(注2)		1997年	1996年	1993年	(注3) 1996年
可 採 年 数 (R/P)		全世界 43年	全世界 62年	全世界 231年	全世界 72年
出 所	(注1)	Oil & Gas Journal (December 29.1997)	Oil & Gas Journal (December 29.1997)	世界エネルギー 会議 (1995年) (3年に1回開催)	OECD/NEA, IAEA URANIUM 1997, RESOURCES, PRODUCTION AND DEMAND
	(注2)	Oil & Gas Journal (December 29.1997)	Oil & Gas Journal (March 10.1997)		

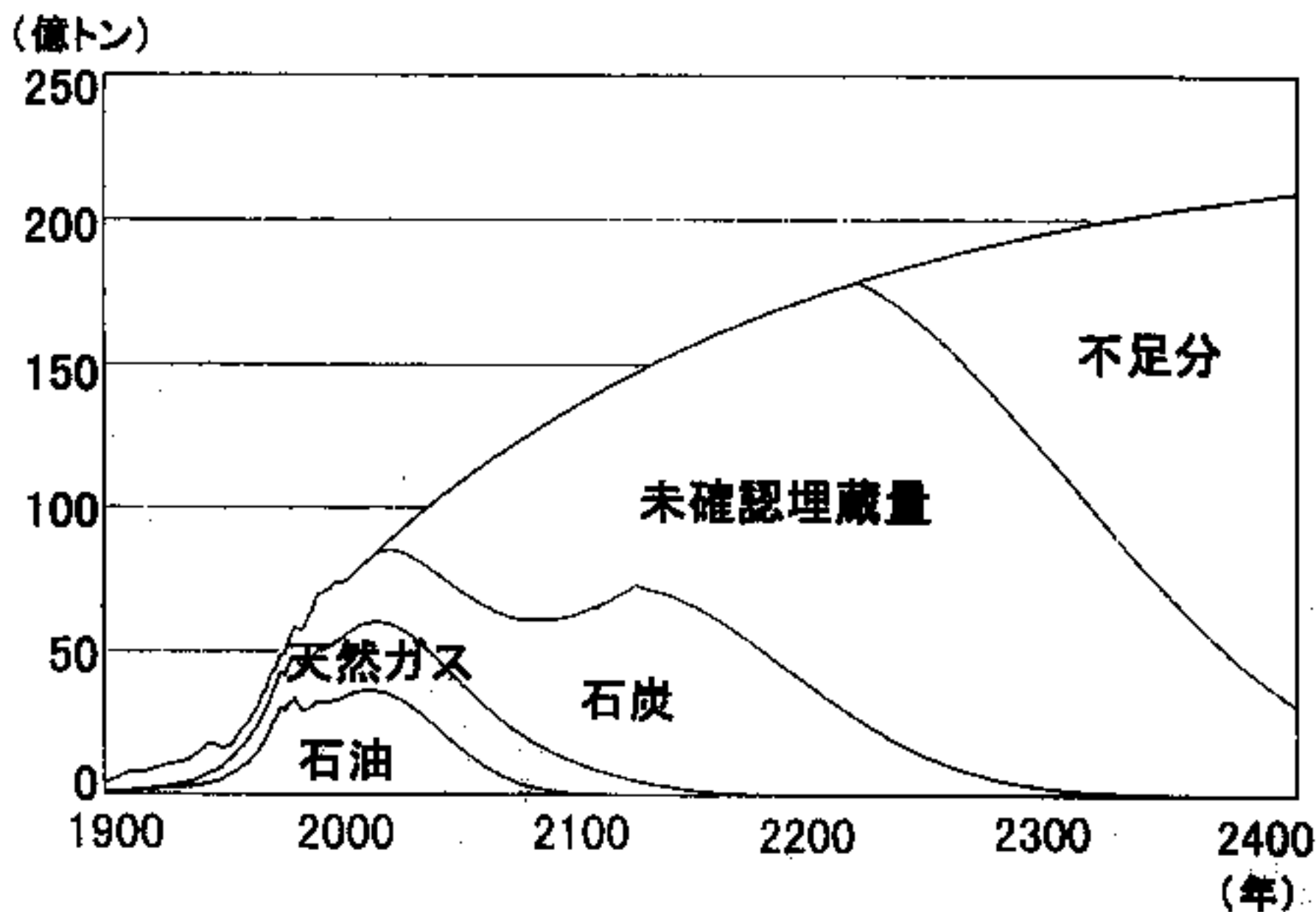
(注) 四捨五入のため、和が含まないことがある

(注1) 年数は可採年数 (可採年数=確認可採埋蔵量/年生産量)

(注2) プルトニウム利用によりウランは数倍から数十倍利用年数が増える

(注3) ウランについては、年生産量と年消費量のバランスがとれていないため、確認可採埋蔵量を年消費量(6.05万トン)で除した値とした

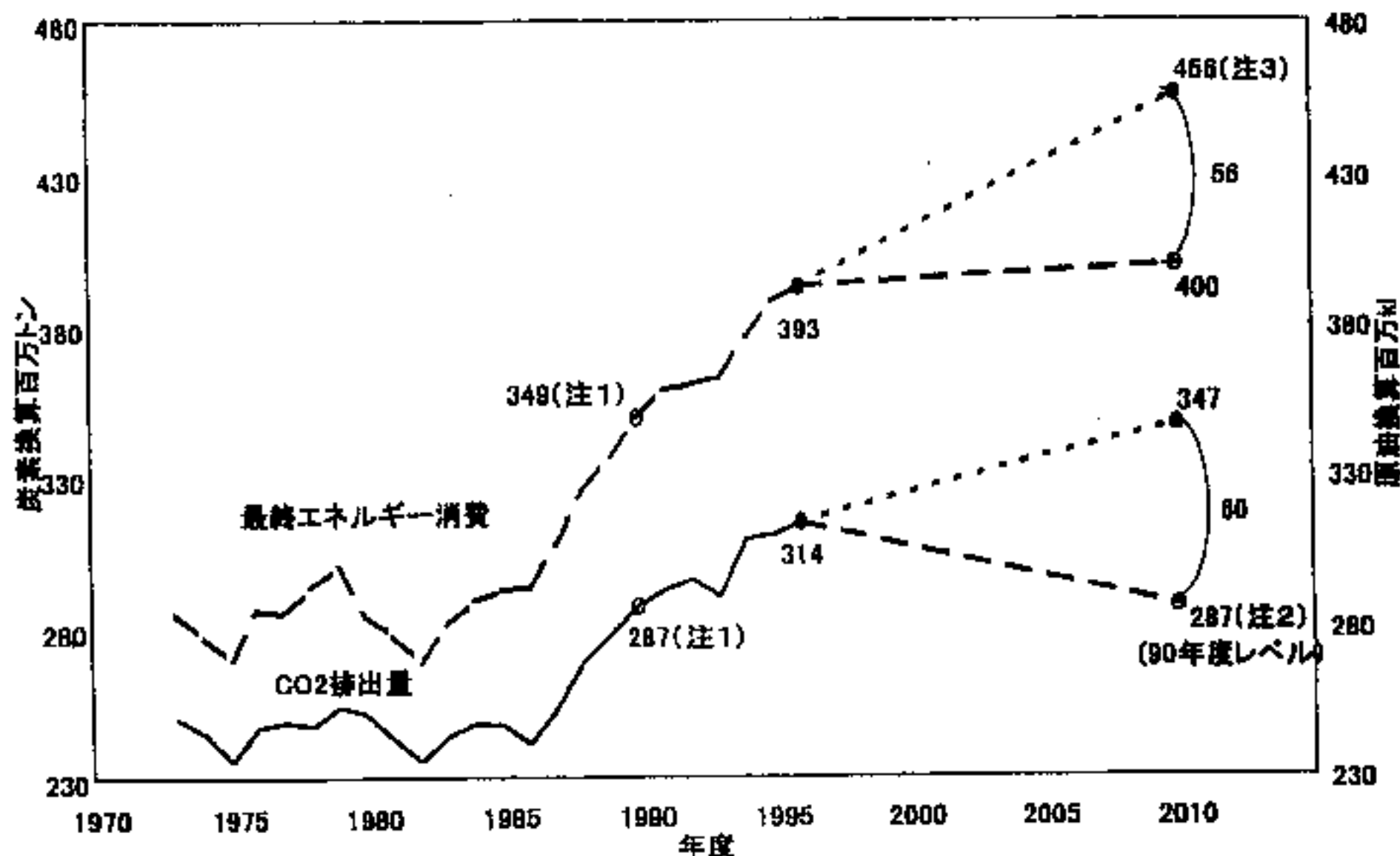
8 . 世界のエネルギー需給展望



(出所：長期計画策定会議第二分科会内山洋司委員資料)

Ⅱ. CO₂排出量と各発電方式の特徴

9. 最終エネルギー消費とエネルギー起源CO₂排出量の実績と見通し



(出所：総合エネルギー調査会需給部会中間報告 (1998年6月))

10. 各発電方式の特徴

	電源特性、導入実績等 【】は原子力の追加導入分を代替した場合の追加燃料需要量(注1)	環境負荷 【】は原子力の追加導入分を代替した場合の追加CO2排出量(注2)	エネルギーセキュリティ上の特徴 【】は確認可能年数	導入に際しての課題・対応等
石油火力	・燃料調達の柔軟性及びその運転特性から、ピーク供給力であるとともに負荷変動に対応した調整機能を有する。 【約4,500万原油換算kl】	・単位当たりCO2排出量は、天然ガスに比べれば多いが、石炭よりは少ない。 【約3,400万炭素換算トン】	・供給の大宗を中東地域に依存 【約43年】	・老朽化に対応した設備のリブレースに際しては、より高効率な設備への集約化を進める。
石炭火力	・優れた燃料供給の安定性、経済性等を有することからベース・ミドル供給を担う 【約2,700万原油換算kl】	・他電源と比べ、単位当たりのCO2排出量が最も多い。 【約4,000万炭素換算トン】	・賦存量の膨大さ、賦存の広さから供給安定性は高い。 【約231年】	・CO2排出抑制を図るため、より高効率な発電方式等の導入。
LNG火力	・優れた環境特性や出力調整機能を有し、近年、熱効率が大幅に向上していることを踏まえ、ピーク供給力からベース供給力までの全ての範囲に対応する電源。 【約4,000万原油換算kl】	・石油石炭火力と比べ、単位当たりのCO2排出量が少ない 【約2,200万炭素換算トン】	・東南アジア、中東への依存度が高い。 ・契約形態が硬直的なため、供給弾力性は小。 【約62年】	・材料開発等、更なる技術開発の推進により、より高効率なものの開発・導入。
原子力発電	・現在、我が国の発電電力量の約3割を担う重要なベース電源。燃料供給及び価格の優れた安定性を有する。 【約1,400トン(注3)】	・発電過程でCO2等温室効果ガスを排出しない。	・燃料のウランは多様な地域に分布し、かつ政情の安定した国が多い。 ・核燃料サイクルの実施によって、より一層の資源の有効利用が可能。 【約72年】	・国民の原子力に対する理解促進、高レベル放射性廃棄物の処理処分対策の明確化等。
太陽光発電	・自然エネルギーを利用したクリーンな再生可能エネルギー。 ・住宅用や産業用などの太陽光発電の設置について積極的な導入促進策を実施	・発電過程でCO2等温室効果ガスを排出しない。	・再生可能エネルギーを利用しているため資源制約はない。	・大電力を得るためには広大な面積を必要とし、かつ、天候や時間帯によって必要な電力が得られない。
風力発電	・自然エネルギーを利用したクリーンな再生可能エネルギー。 ・97年末現在、竜飛ウィンドパーク、泊ウィンドヒルズ等49ヶ所にて77機が稼働中。	・発電過程でCO2等温室効果ガスを排出しない。	・再生可能エネルギーを利用しているため資源制約はない。	・良好な風況に恵まれた適地が少なく、かつ、出力が天候に左右される。 ・風況によって電圧変動が発生する。 ・立地に際して騒音問題の制約がある

(注1)1996年度の原子力発電電力量(3,021億kWh)と、石油代替エネルギーの供給目標(平成6年9月閣議決定)における2010年度の原子力発電目標値(4,800億kWh)の差(1,780億kWh)を、他電源で代替した場合を1996年度時点における各電源の燃料消費実績と発電電力量を元に試算
(注2)上記前提に基づき、各電源の排出原単位当たりの熱量に熱効率を乗じて試算
(注3)2010年度導入目標とされる4,800億kWhを発電するために必要とされるウラン燃料需要量

Ⅲ. ウラン資源の需給・価格見通し

1 1. ウランの資源の分類

単位：千トンU

回収コスト	既知資源		未知資源	
	確認資源	推定追加資源-I	推定追加資源-II	期待資源
\$130/kgU 以下	3,220	1,079	約 2,300	約 10,200
\$80/kgU 以下	2,340	745	約 1,500	
\$40/kgU 以下	666	257	約 300	

(出典：Uranium (1997), OECD/NEA/IAEA)

(注)

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待機中の交渉が該当する。

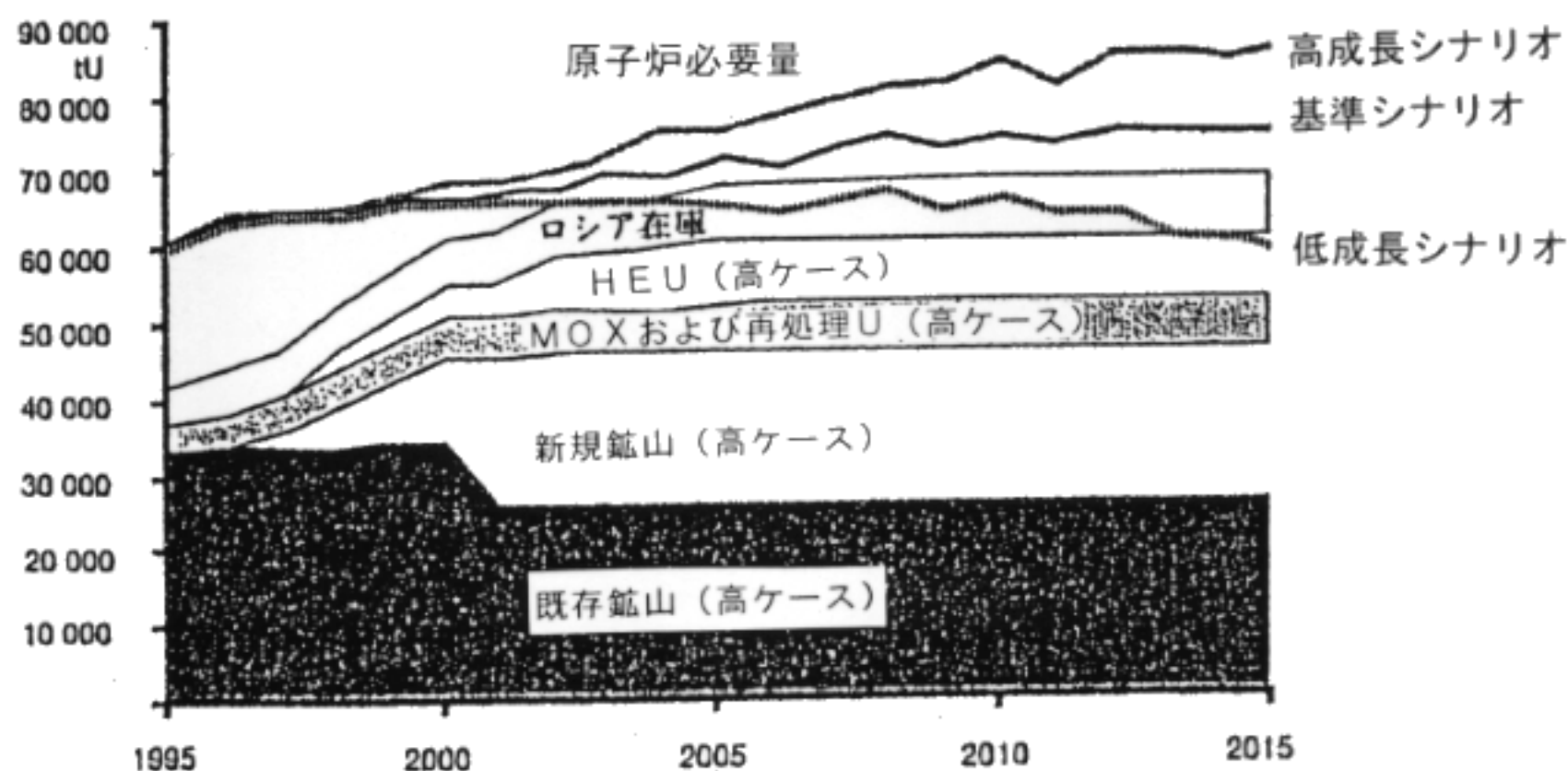
推定追加資源-I：ある程度の探鉱により一応の確度で鉱量等が推定されているが、鉱床の特性等についてまだ十分にデータが得られていないものであり、今後の探鉱（企業化探鉱）によって確認資源となる鉱床が該当する。

未知資源

推定追加資源-II：既存の鉱床、地質の連続性、あるいは若干の鉱徴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う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徴がないが、地質学的な推測に基づいて、既存の炭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に次いで確認資源になりうることが期待されるものが該当する

1 2. ウランの長期需給見通し



1 3. ウランスポット価格の推移



非制限市場価格：米国以外で販売される CIS (Commonwealth of Independent States) 産のウランについて適用される価格

制限市場価格：米国内で販売されるすべてのウランと米国外で販売される非 CIS 産ウランに適用される価格

(出所：TRADE TECH 社 (旧 NUEXCO 社) 公表値)

1 4. 天然ウラン価格の将来予測

天然ウラン価格
(\$/lbU308)

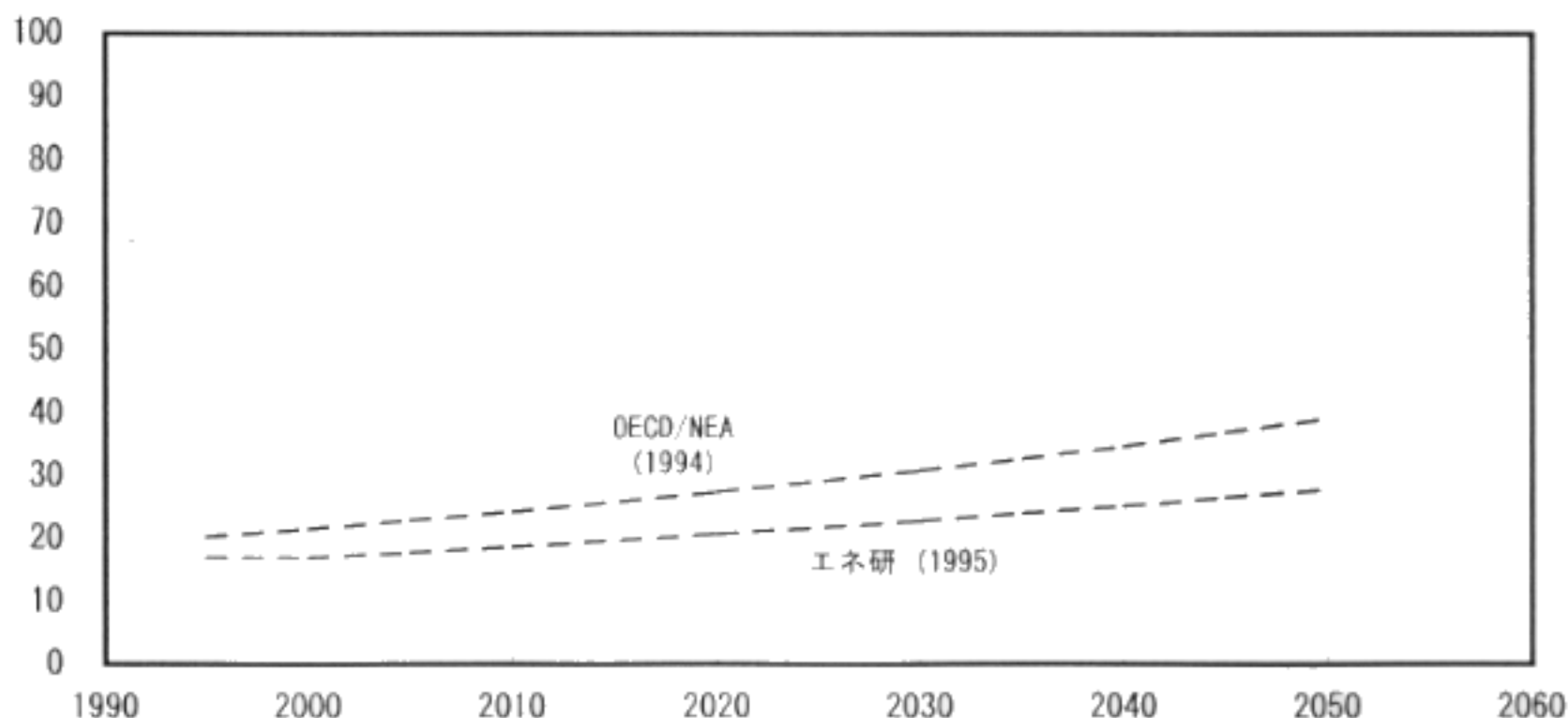


図 天然ウラン価格の将来予測

(出所) The Economics of the Nuclear Fuel Cycle, OECD/NEA, 1994

わが国電気事業のコスト構造分析と今後の課題, 日本エネルギー経済研究所, 1995

IV. 各燃料サイクルの比較

15. 各燃料サイクルの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 (ブルサーマル)	0.75%
FBR	60%程度

(出所：鈴木篤之編著「プルトニウム」)

16. 各燃料サイクルの電気エネルギー発生量と主な廃棄物の潜在的毒性

シナリオ	電気エネルギー発生量* (GWd)	主な廃棄物の単位電気エネルギー当りの負荷**
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)、ブルサーマル、軽水炉ワンススルーとなります。
軽水炉ブルサーマル (1回りサイクル)	2.5	
FBR (3回りサイクル)	32	
(参考) FBR (無限回りサイクル)	190	

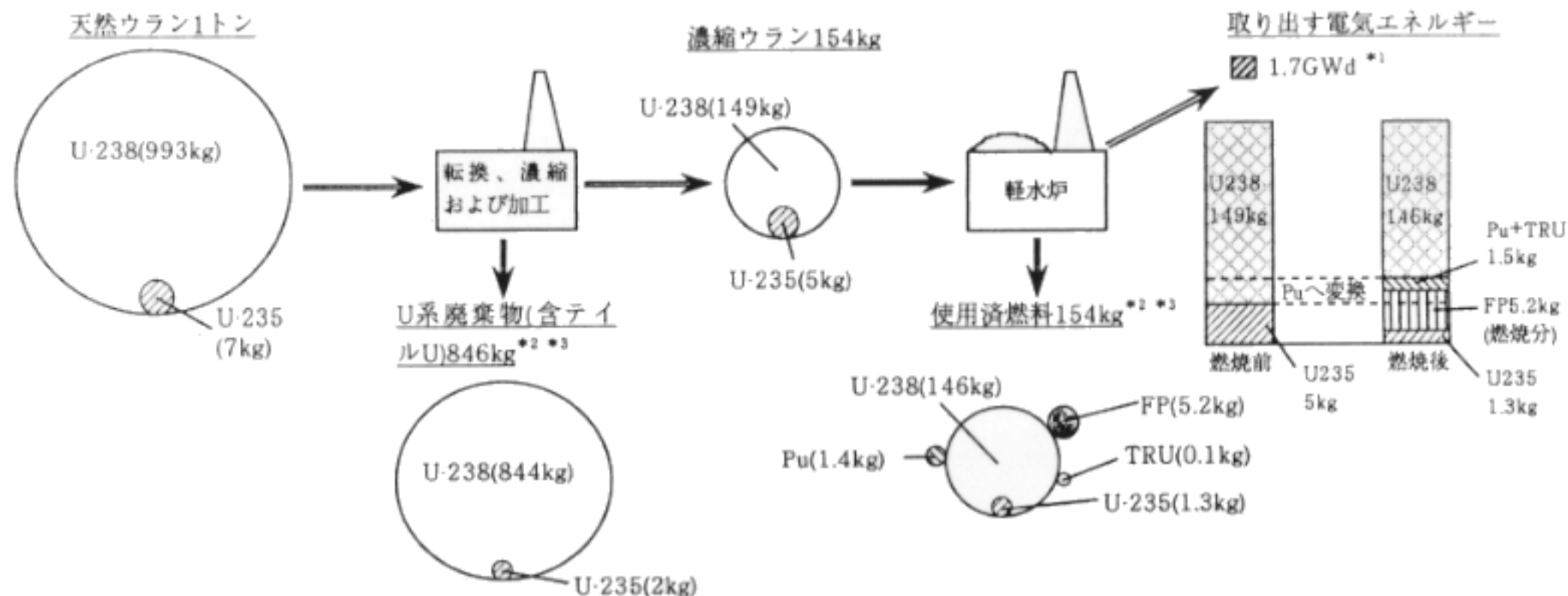
* 1) エネルギー発生量は、各々天然ウラン1トンから発生する量です。

* 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。

(出所：原子力委員会高速増殖炉懇談会「高速増殖炉研究開発の在り方」(1997年12月))

17-1. 各燃料サイクルの比較（1） ～軽水炉ワンスルーの場合～

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。

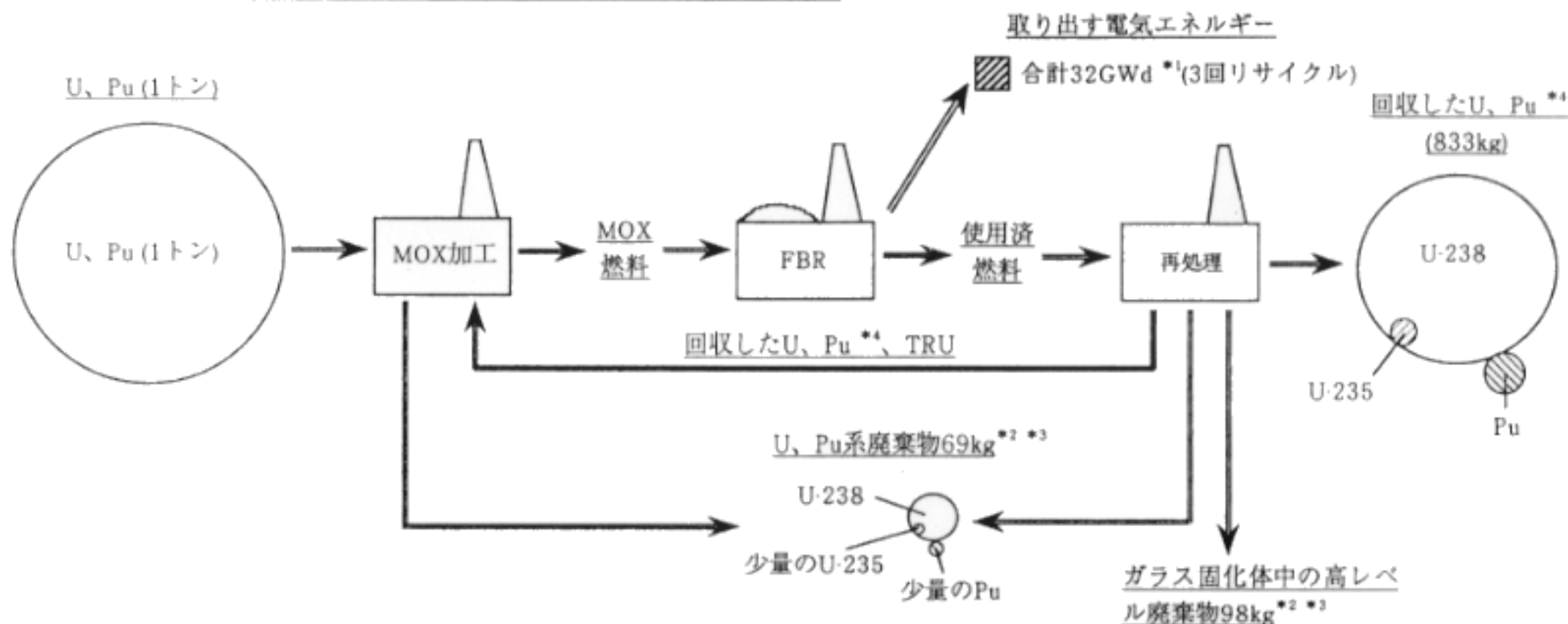


- *1) 電気エネルギーとして取り出せるのは、U-235約3.7kgおよび原子炉内でU-238から変換したPu-239約1.5kgが燃焼した量で、これは約1.7GWdに相当します。GWdはエネルギーを表す単位で、1GWd = 24×10^6 kWhです。
- *2) 製錬済みの天然ウランを出発物質と仮定しているため、製錬時に発生する廃棄物（残土など）は含めていませんが、濃縮工程から発生するテイルウランは廃棄物として含めました。（テイルウランとは濃縮の際に発生する廃品ウランと呼ばれるもので一般にU-235の濃度が0.25%程度と天然ウランのそれに比べ低くなっています。）主な廃棄物の形態は使用済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

17-2. 各燃料サイクルの比較 (2)

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

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。

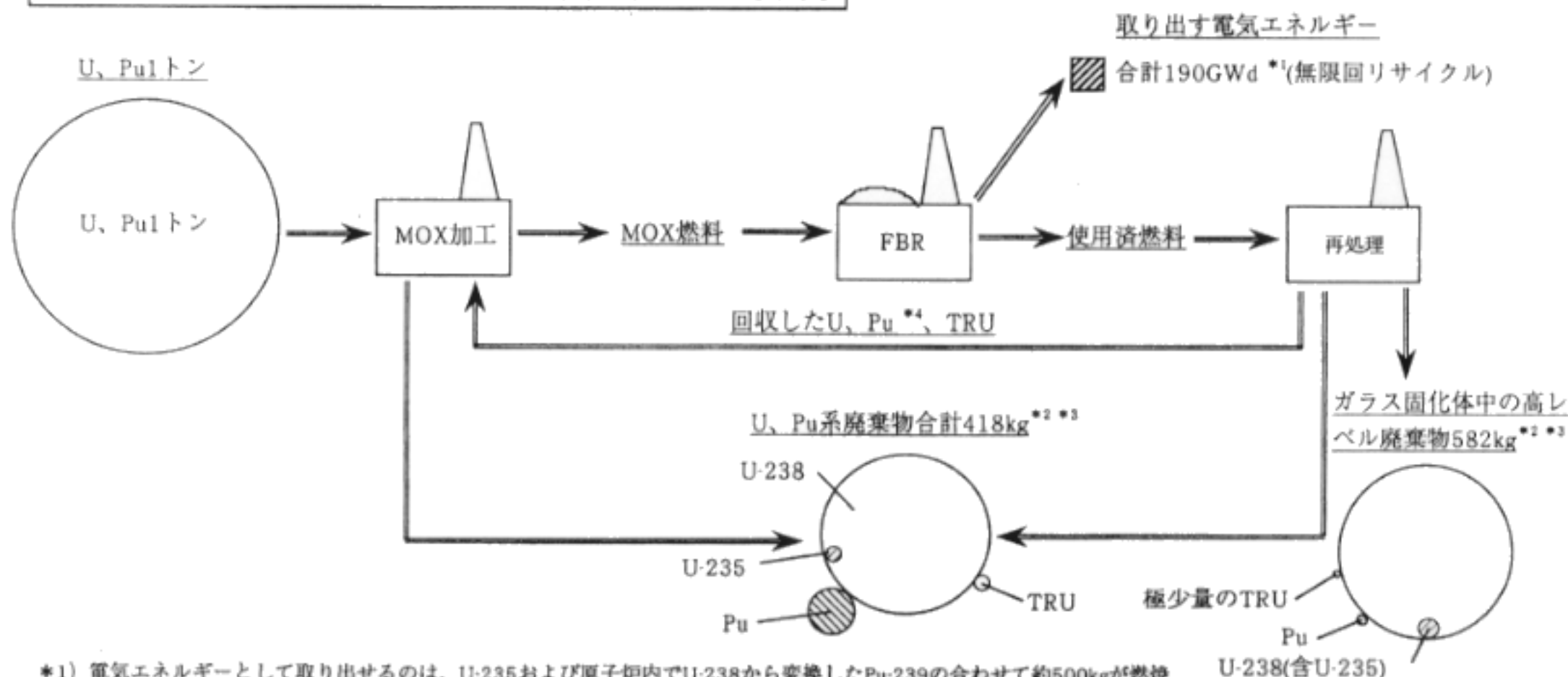
*4) FBRでは組成が劣化(高次化)したPuを効率良く燃やすことができます。炉心燃料とブランケット燃料を混合して利用する場合、この組成劣化も進まなくなります。

*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。

17-3. 各燃料サイクルの比較(3)

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

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。

(出所：原子力委員会高速増殖炉懇談会「高速増殖炉研究開発の在り方」(1997年12月))