

原子力開発利用長期計画
参 考 資 料

昭和57年 9月

科学技術庁原子力局
原子力調査室

核燃料サイクルに係る経済性
の評価について(試算)

1. 評価の目的

プルトニウムの本格的利用が21世紀初頭と見こまれ、使用済核燃料の再処理を早期に行うことの経済性が論議されつつある。このため、使用済核燃料を再処理しない所謂ワンス・スルーと再処理し、早期に利用可能な形でプルトニウム及びウランを利用する(リサイクル)場合を比較評価することとする。

2. 評価の方法

- (1) 原子力発電規模については、1990年5,000万kW、2000年1億kW、2030年2億5,000万kWとした。
- (2) ワンス・スルーについては、使用済核燃料取出し後1年の冷却期間を見て、その後処理処分することとした。
- (3) リサイクルについては、ATR、FBR及びプルサーマルを別添資料1の時期、規模で投入することとした。
- (4) ワンス・スルー及びリサイクルいずれについても、一定期間の累積核燃料費(物価上昇を見こまない)を算出し、相互に比較することとした。なお、算出に当たっての核燃料サイクル関係の単価を別添資料2のおり見積った。

3. 評価の結果

評価の結果を別添資料3に示す。

- (1) イエローケーキ(U_3O_8)の価格が40ドル/ポンドで推移すると仮定しても、リサイクルの場合の累積核燃料費は、ワンス・スルーの場合に比して高々1割高くなる程度である。
- (2) イエローケーキの価格が上昇することが予想されるが、この点を加味して(1)の評価を行うとリサイクルの場合の2025年までの累積核燃料費は、イエローケーキの価格が1%で上昇していだけでワンス・スルーの場合とほぼ同等となる。

(別添資料1)

(1) 原子力発電規模(図1参照)

(年)	1980	1985	1990	2000	2030
(GWe)	15	30	50	100	250

case 1 : Once-through (LWR)

“ 2 : Recycle (LWR/Puサーマル/ATR/FBR)

(2) 炉型構成

(i) FBR

1991	30万kW	(もんじゅ)
1997	100 “	(実証炉)
2001	100 “	(初期実用炉)
2004	100 “	(“)
2007	100 “	(“)
2010	商業化	

(ii) ATR (Puバーナーとして導入)

1992	60万kW	(実証炉)
1993	60 “	
1994	120 “	
1995		
“	125万kW/年×6年	
2000		
“	150万kW/年×5年	
2005		
“	177万kW/年×5年	
2010		

2010

188万kW/年×5年

2015

(合計) 35.65 GWe

(3) Puサーマル, 回収ウランリサイクル

(i) Puサーマル

1998年開始, Puの需給関係で規模は設定。

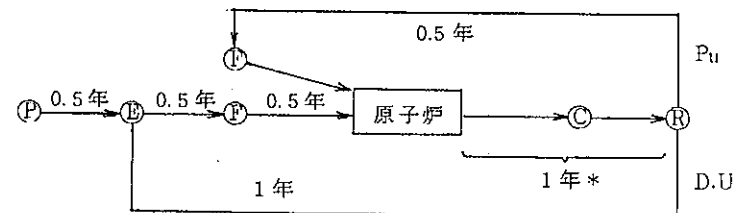
(ii) 回収ウランリサイクル

再濃縮してLWRで使用。

(4) 炉特性

表1参照 FBRはHigh Gainのデータ利用。

(5) リード/ラグタイム



Processes

- (P) Procurement
- (E) Enrichment
- (F) Fabrication.
- (C) Cooling
- (R) Reprocessing

"1年"はリード・タイム/ラグ・タイム
* ATR, FBRの場合
9ヶ月

(6) ロス率

ウラン転換濃縮プロセス	1%
成型加工プロセス	1%
再処理プロセス	1%

また濃縮のテイル濃度は0.2%とする。

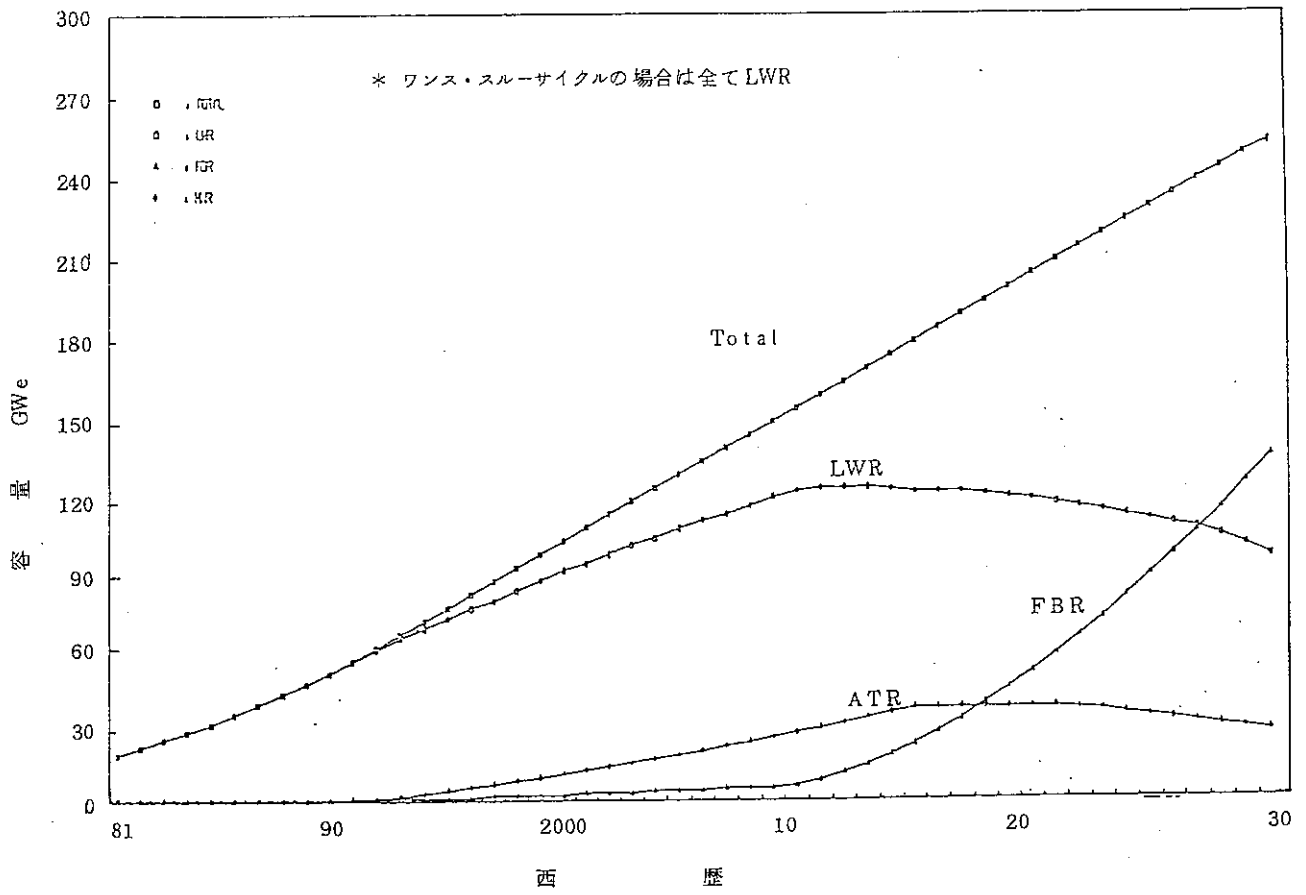


図1. 原子力発電の伸びおよび炉型構成

表 1. 炉 心 特 性 デ - タ

項 目	単 位	PWR (I炉心)	PWR (Pu)		BWR		BWR (Pu)		
			U燃料	Pu燃料	(I炉心)	U燃料	Pu燃料		
電 気 出 力	MWe	1,000	1,000		1,000		1,000		
熱 効 率	%	33	33		33.4		33.4		
比 出 力	MWe/Ton	34.4	34.4		232		23.2		
燃 焼 度	MWeD/Ton	31,500	31,500		27,500		27,500		
増 殖 比	-	-	-		-		-		
炉内滞在期間	Y	3	3		4		4		
初期炉心取替遅れ時間	Y	1	1		1		1		
初 装 荷 燃 料	重 金 属	Ton	88.1	88.1	-	129.0	129.0	-	
	ウ ラ ン	Ton	88.1	88.1	-	129.0	129.0	-	
	プルトニウム	Ton	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-	
	分裂性プルトニウム	Ton	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-	
	ウラン濃縮度	%	2.8	2.8	-	2.23	2.23	-	
初 期 取 出 し 燃 料	重 金 属	Ton/Y	24.044	24.044	-	27.304	27.304	-	
	ウ ラ ン	Ton/Y	23.864	23.864	-	27.118	27.118	-	
	プルトニウム	Ton/Y	0.180	0.180	-	0.186	0.186	-	
	分裂性プルトニウム	Ton/Y	0.142	0.142	-	0.134	0.134	-	
	ウラン濃縮度	%	0.80	0.80	-	0.755	0.755	-	
平 衡 装 荷 燃 料	重 金 属	Ton/Y	24.6	19.6	4.91	27.8	22.6	3.884	
	ウ ラ ン	Ton/Y	24.6	19.6	4.7	27.8	22.6	3.7	
	プルトニウム	Ton/Y	0.0	0.0	0.210	0.0	0.0	0.184	
	分裂性プルトニウム	Ton/Y	0.0	0.0	0.151	0.0	0.0	0.122	
	ウラン濃縮度	%	3.3	3.3	0.711	2.61	2.61	0.711	
平 衡 取 出 し 燃 料	重 金 属	Ton/Y	23.793	23.606		25.939		25.696	
	ウ ラ ン	Ton/Y	23.554	18.770	4.502	26.713	21.764	3.565	
	プルトニウム	Ton/Y	0.239	0.334		0.226		0.367	
	分裂性プルトニウム	Ton/Y	0.160	0.218		0.149		0.194	
	ウラン濃縮度	%	0.92	0.92	0.150	0.71	0.71	0.160	
閉 鎖 時 取 出 し 燃 料	重 金 属	Ton	72.3	71.722		109.2		103.967	
	ウ ラ ン	Ton	71.71	57.140	13.704	108.48	88.310	14.463	
	プルトニウム	Ton	0.478	0.878		0.565		1.194	
	分裂性プルトニウム	Ton	0.320	0.587		0.373		0.668	
	ウラン濃縮度	%	1.74	1.74	0.340	1.44	1.44	0.369	

ATR (Pu+Ni)	ATR (I炉心)	ATR (Pu+DU)	CANDU	FBR(Lゲイン)		FBR(Hゲイン)	
				(炉心)	(ブランケット)	(炉心)	(ブランケット)
1,000	1,000	1,000	1,000	1,000		1,000	
31.5	31.5	31.5	31.4	40		40	
20.51	20.51	20.51	26.0	10.61		11.72	
28,700	29,100	28,700	7,500	84,000		94,350	
-	-	-	-	1.2		1.3	
6	6	6	1	3	4	3	4
2	2	2	1	1		1	
154,796	154.8	154.8	122.3	23,160	32,180	20,930	32,520
152.2	154.8	152.4	122.3	19,240	32,180	17,490	32,520
2,580	0.0	2,355	0.0	3,920	0.0	3,440	0.0
1,858	0.0	1,696	0.0	3,060	0.0	2,680	0.0
0.711	1.72	0.81	0.711	0.300	0.300	0.300	0.300
25,278	25,217	25,340	121.616	7.45	9.20	6.69	9.49
24,950	25,070	25,041	121.148	6.11	9.04	5.54	9.33
0.328	0.147	0.299	0.368	1.34	0.16	1.15	0.17
0.150	0.089	0.132	0.280	1.01	0.15	0.88	0.16
0.253	0.310	0.228	0.290	0.16	0.11	0.16	0.11
28,265	27.87	28,265	108.332	7,720	9,220	6,980	9,510
27.70	27.87	27.74	108.332	6,370	9,220	5,840	9,510
0.565	0.0	0.526	0.0	1,350	0.0	1,140	0.0
0.407	0.0	0.379	0.0	1,050	0.0	0,890	0.0
0.711	2.0	0.81	0.711	0.300	0.300	0.300	0.300
27,381	26,907	27,278	107.438	7,090	9,180	6,330	9,500
27.00	26.71	26.92	107.039	5,730	8,880	5,290	9,140
0.381	0.197	0.358	0.399	1,360	0.300	1,040	0.360
0.148	0.104	0.141	0.279	0.970	0.290	0.810	0.350
0.134	0.170	0.145	0.22	0.130	0.110	0.180	0.110
15,225.7	15,203.7	15,230.8	109.326	2,190	3,209	2,051	3,234
14.99	15.13	15.01	108.92	1,783	3,149	1,691	3,173
2,357	0.737	2,208	0.406	4.07	0.60	3.60	0.61
1.183	0.513	1.113	0.284	2.99	0.57	2.77	0.59
0.361	0.722	0.424	0.22	0.22	0.22	0.24	0.22

(別添資料 2.)

燃料サイクルコスト要素の単価

(220円/ドル)

コスト要素	コスト	仮定, 出典等
天然ウラン	reference: 8,800円/kgU ₃ O ₈ (40ドル/kgU ₃ O ₈)	
ウラン転換	1,600円/kgU (7.3ドル/kgU)	原子力工業, Vol. 27 (9)
濃縮	30,800円/kgSWU (140ドル/kgSWU)	現状の DOE 価格
UO ₂ 燃料加工	87,200円/kgU (396ドル/kgU)	原子力工業, Vol. 27 (9) (国内加工費の水準)
MOX 燃料加工	130,000円/kgHM (591ドル/kgHM)	ATR実証炉用MOX施設の の評価より)
LWR 燃料再処理	Reference: 88,000円/kgHM (400ドル/kgHM)	INFCE WG/4
	高城: 135,000円/kgHM (614ドル/kgHM)	現状のコスト
Puサーマル, ATR燃料再処理	105,600円/kgHM (480ドル/kgHM)	LWR 燃料の 20% up を仮定
FBR炉心燃料再処理	864,000円/kgHM	50トン/年規模のプラント での概算値

コスト要素	コスト	仮定, 出典等
FBRブランケット再処理	88,000円/kgHM (400ドル/kgHM)	LWRと比べて熱処理工程が 加わるが, 燃焼度, 比放射が 低いので, LWRと同じと仮定
使用済燃料貯蔵	4,400円/kgHM/年 (20ドル/kgHM/年)	INFCE WG/4
PuO ₂ 貯蔵	220円/gPu f/年 (1ドル/gPu f/年)	INFCE WG/4
使用済燃料輸送 (LWR, ATR, FBRブランケット)	22,000円/kgHM (100ドル/kgHM)	INFCE WG/4 (ほぼ現状の国内輸送費)
FBR用MOX 使用済 燃料の輸送	26,400円/kgHM (120ドル/kgHM)	LWR等燃料の輸送の 20% up
廃棄物処理処分*	(1)低レベル廃棄物処理処分 21,700円/kgHM (99ドル/kgHM)	再処理高レベル廃棄物処理処分, 使用済燃料処理処分以外
	(2)高レベル廃棄物処理処分 45,300円/kgHM (206ドル/kgHM)	再処理高レベル廃棄物の処理 処分
	(3)使用済燃料処理処分 51,800円/kgHM (235ドル/kgHM)	INFCE WG/7
*フランス・スルーサイクルでは(1)+(3)が廃棄物処理処分の合計 再処理・リサイクルでは(1)+(2)		〃

(別添資料 3.)

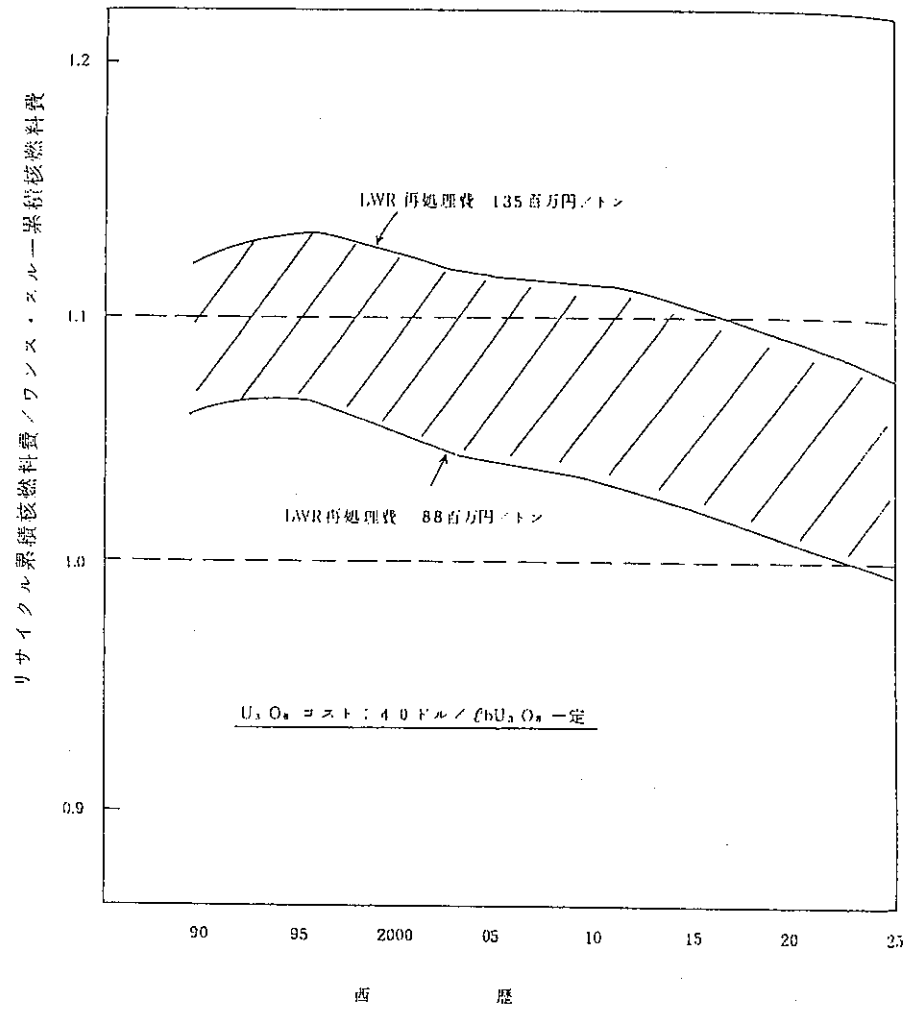


図 1. ワンス・スルーとリサイクルの累積核燃料費の比較

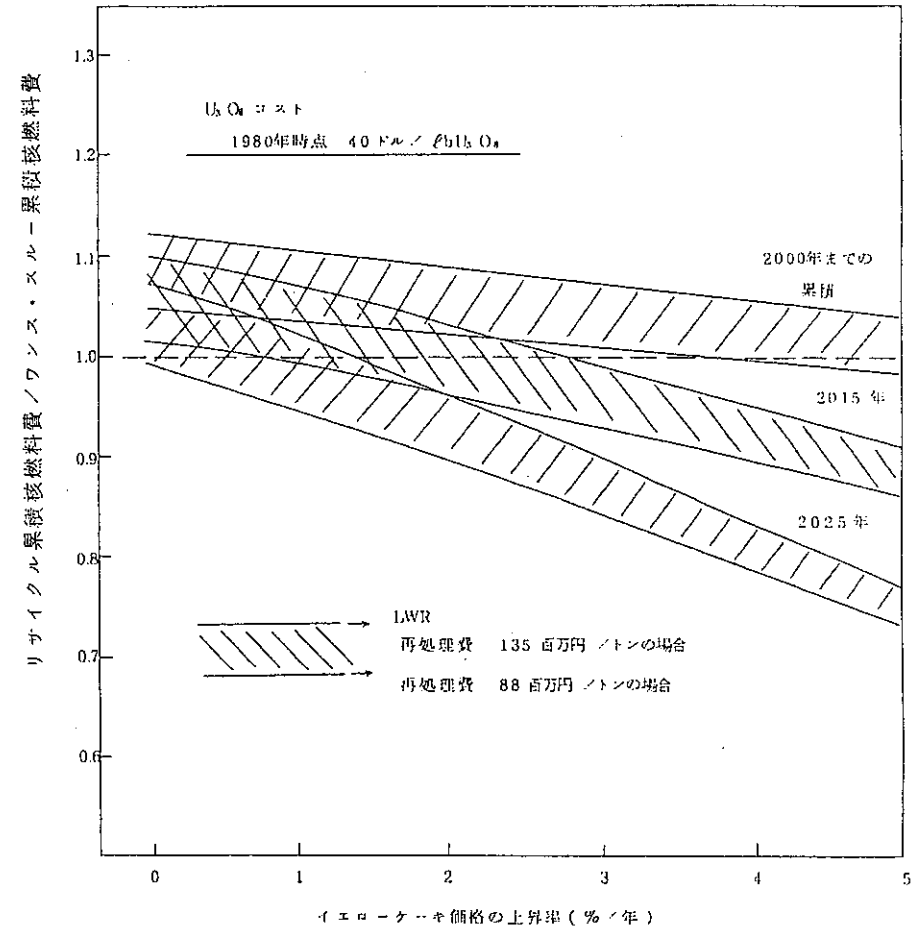


図 2. イエローケーキ価格の上昇率のリサイクルの経済性への影響

(参考資料)

FBR 建設費プレミアムの推定

LWR の建設費よりも FBR の建設費がどこまで高くても FBR の経済性が成り立つか (プレミアム) を次のようにして推定する。(軽水炉によるブルトニウム利用を考慮しない場合。)

$$F_{OT} = F_R + f_A \cdot \Delta C_A + f_F \cdot \Delta C_F$$

F_{OT} : ワンス・スルーサイクルの燃料サイクル費 (円/Kwh)

F_R : 再処理・リサイクルの “ ”

ΔC_A : ATR の建設費増による発電コストの増分 (円/Kwh)

ΔC_F : FBR の “ ”

f_A : 全発電量に占める ATR による発電量の割合

f_F : “ ” FBR “ ”

上式において ΔC_F を FBR のプレミアムとする。上式で求まる ΔC_F (円/Kwh) を次の様に建設費増 ΔP_F (円/Kwh) に換算する。

$$\frac{\Delta P_F \times 0.17}{365 \times 24 \times 0.75} = \Delta C_F$$

より

[稼働率]

$$\Delta P_F = 38,650 \times \Delta C_F$$

ΔC_A は ATR 実証炉の C&R 時の値,

$$\Delta C_A = 1.58 \text{ 円/Kwh}$$

を仮定する。なお、この時の LWR, ATR の建設単価は以下の通り

・ LWR 建設単価

$$\frac{2733 \text{ 億円}}{96.9 \text{ 万KW}} = 28.2 \text{ 万円/Kwh}$$

・ ATR 建設単価

$$\frac{1894 \text{ 億円}}{60 \text{ 万KW}} = 31.6 \text{ 万円/Kwh}$$

(LWR の 12% 高)

結果を図 2, 3, 4 に示す。

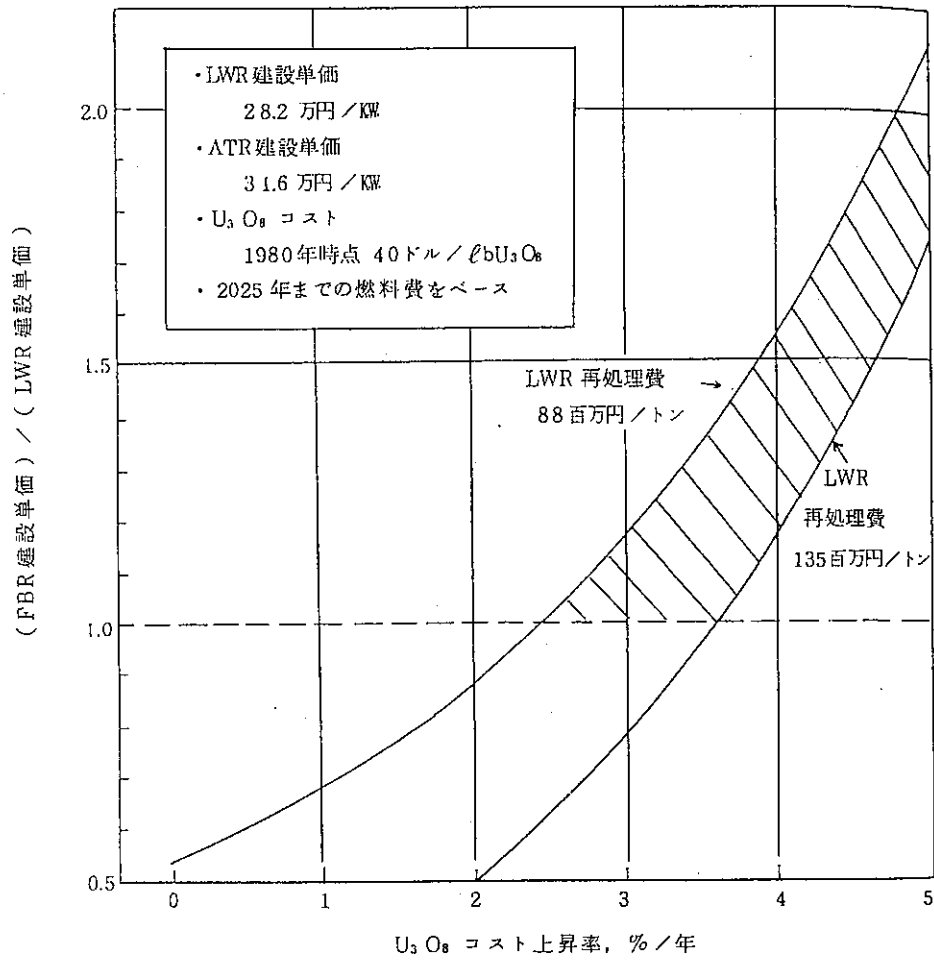


図 2. FBR 建設費の上限と U₃O₈ コスト上昇率の関係

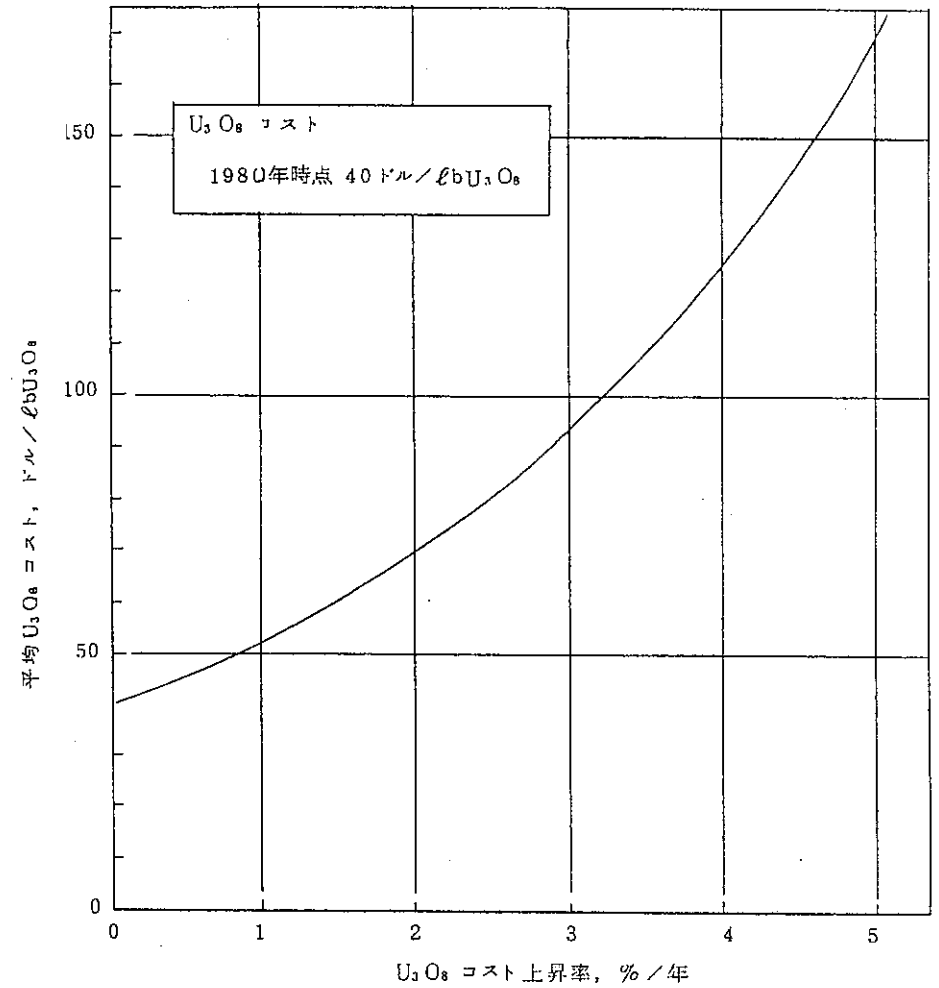


図 3. 天然ウランの平均コスト (~2025年までの加重平均)

(FBR建設単価) / (LWR建設単価)

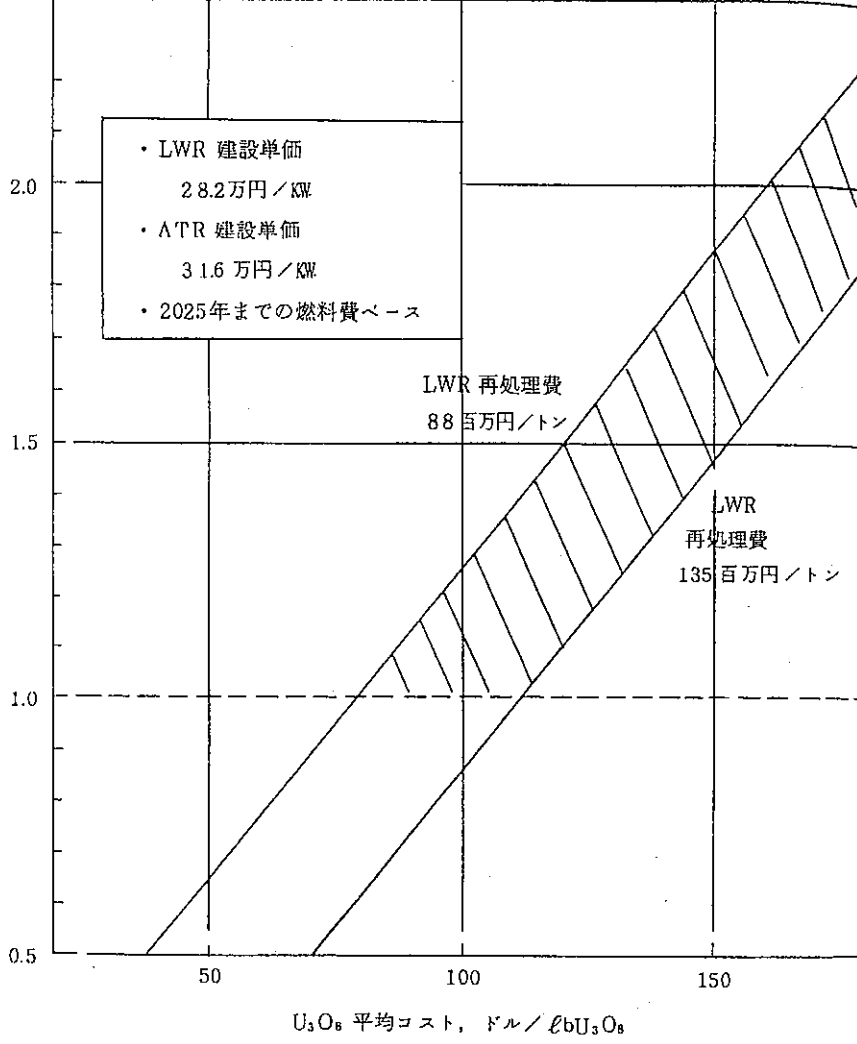


図4. FBR建設費の上限とU₃O₈コストの関係

(参考) マーシャル・ダイアグラム
INFC WG/4

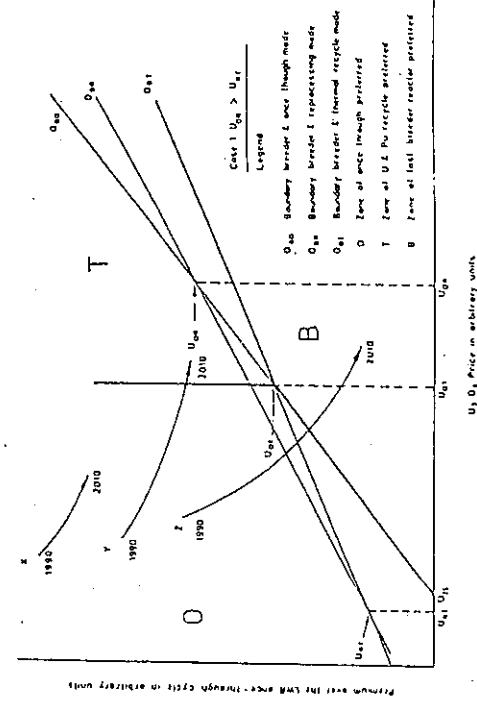


FIG. 4-1A Illustration representation of economic factors. Case 1 - once-through permitted.

(日本)

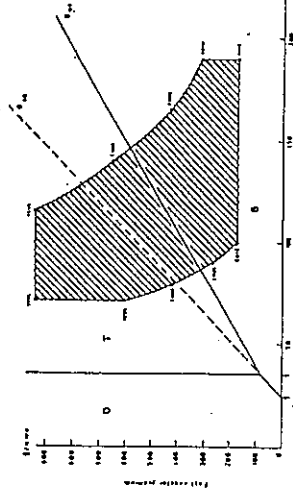


FIG. 4-8 Diagrammatic illustration of economic factors affecting the Japanese nuclear fuel cycle.

(西独)

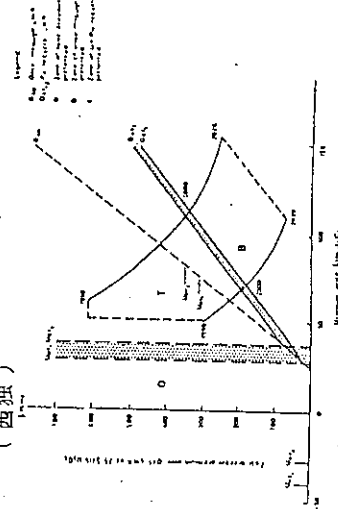


FIG. 4-5 Diagrammatic representation of economic factors affecting the nuclear fuel cycle in the Federal Republic of Germany. O3a - once-through LWR; O3b - Pu recycle LWR; B - low of fast breeder preferred; O - low of once-through preferred; T - preferred LWR cycle zone.