

再処理リサイクル対直接処分の 経済性比較

スティーブ・フェッター

School of Public Affairs, メリーランド大学

Matthew Bunn, John P. Holdren, Bob van der Zwaan

Kennedy School of Government, ハーバード大学

直接処分 対 再処理リサイクル

- 使用済み燃料を直接地層処分するのがよい
か、あるいは、再処理してプルとウランを再利用
するのがよいか？
- この問いは以下の観点から新たな注目を浴び
ている
 - 使用済み燃料と分離プルトニウムの蓄積
 - 地層処分地の処分容量
 - 原子力の長期的見通し
 - 民事用核燃料サイクルと核兵器の拡散との結び
つき

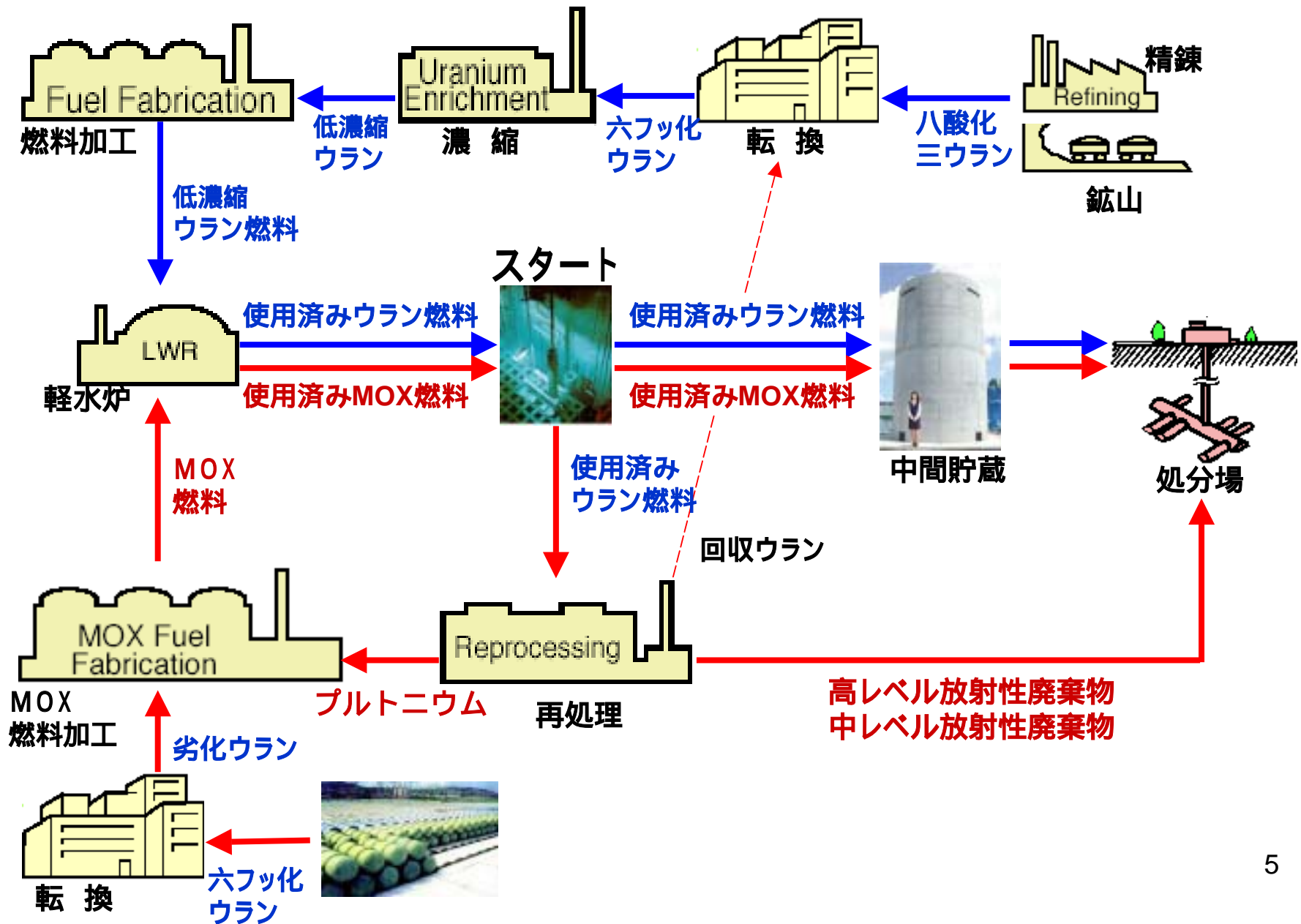
今回の研究はコストに焦点を当てた

- この論争においてコストは重要な要素である
 - ただ、唯一あるいは最重要の要素ではない；
環境, 保安, そして廃棄物管理などは同様に重要な要素である
- 現時点で、再処理・リサイクルが直接処分よりも高つくことは、一般に合意されている
- 推進側はその差は少なく、原子力エネルギーが増大すれば、すぐに消えると主張する
- 我々の結論では、コスト差は大きく、50～100年間は続くというもの

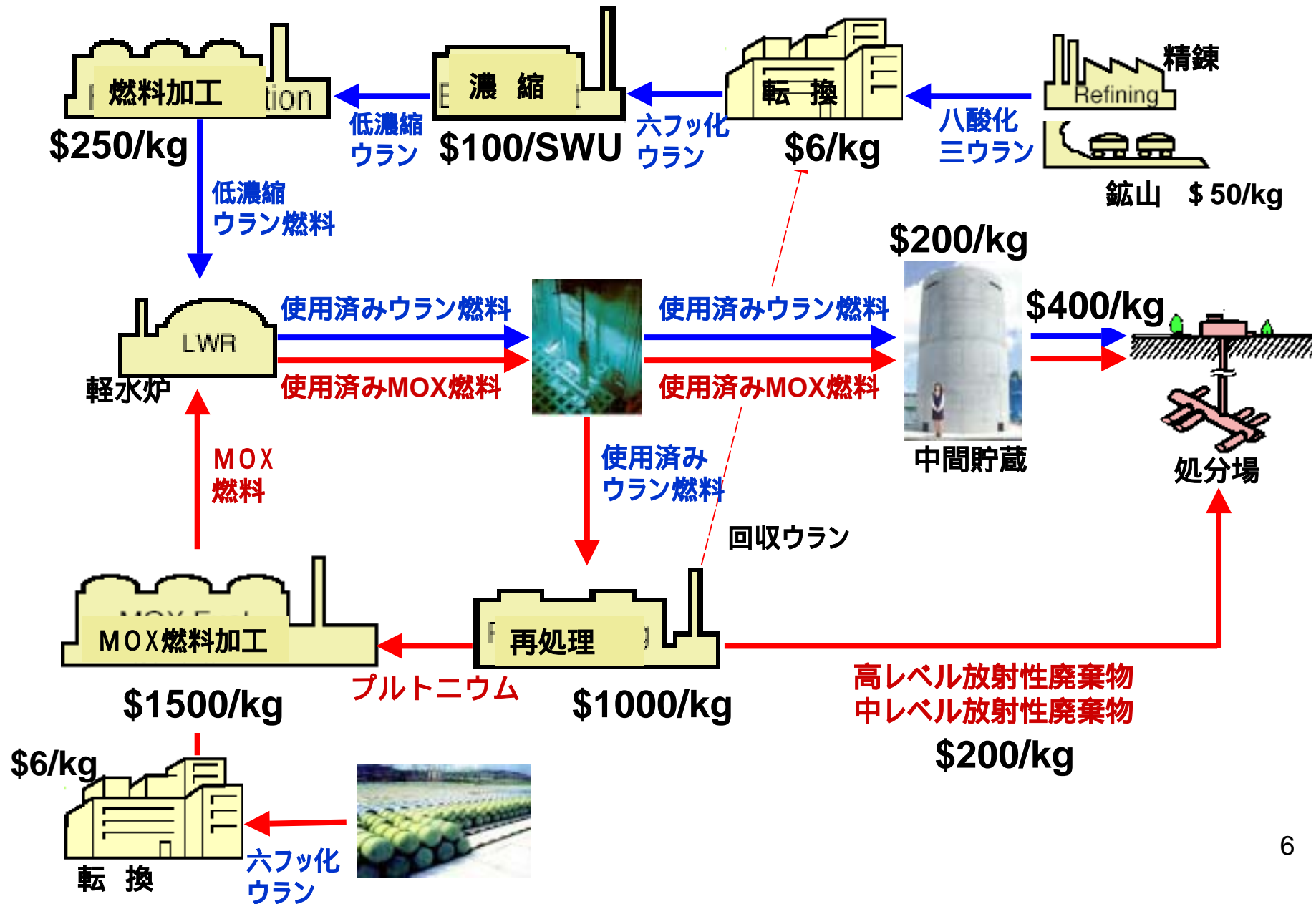
研究の概要

1. 直接処分 対 再処理リサイクル(軽水炉の場合)
 - 均衡ウラン価格
 - 発電単価における差
 - 感度解析
2. 軽水炉-直接処分対高速増殖炉-リサイクル
3. ウラン資源と価格
 - ウラン価格はいつ、再処理リサイクルとつりあう価格となるか?
4. 処分場要件に与える再処理リサイクルの影響

直接処分 対 再処理 (軽水炉の場合)



直接処分 対 再処理 (軽水炉の場合)



燃料サイクル各部門と他のパラメータの 中央値を導くために行った推計:

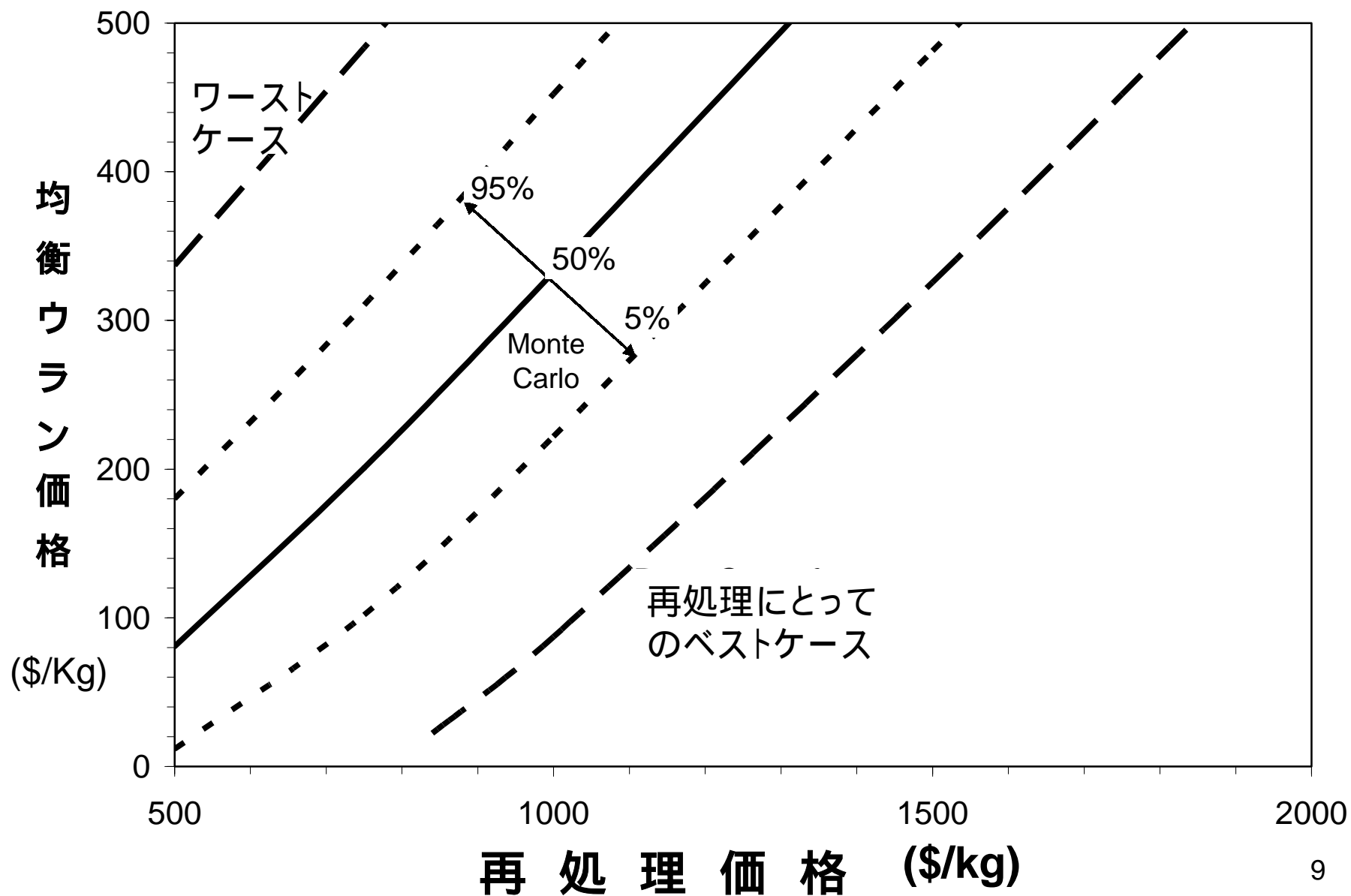
- 両方の発電コストが同一となるウラン価格
(均衡価格)
- 他の燃料サイクル部門の均衡価格(例:再
処理)
- 所与のウラン価格に対応する発電コストの
差

均衡価格

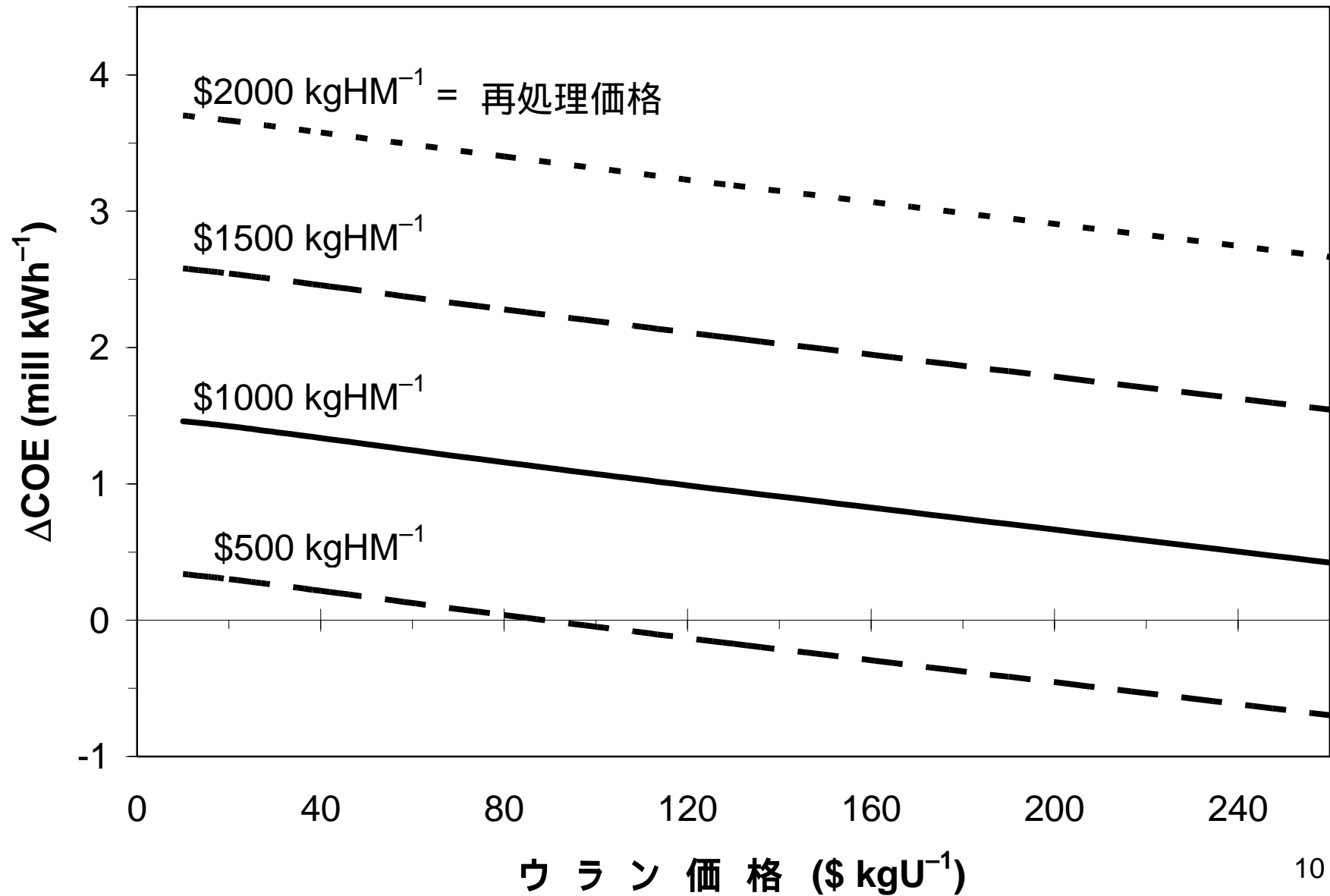
他のパラメータでは中央値を想定した場合

パラメータ	均衡価格	最安値	中央値	最高値
ウラン (ドル/kg)	370		50	
再処理 (ドル/kg)	420	500	1000	2000
MOX燃料加工 (ドル/kg)	<0	700	1500	2300
中間貯蔵	780	300	200	100
処分コスト差	630	300	200	100
濃縮 (ドル/SWU)	1200	150	100	50

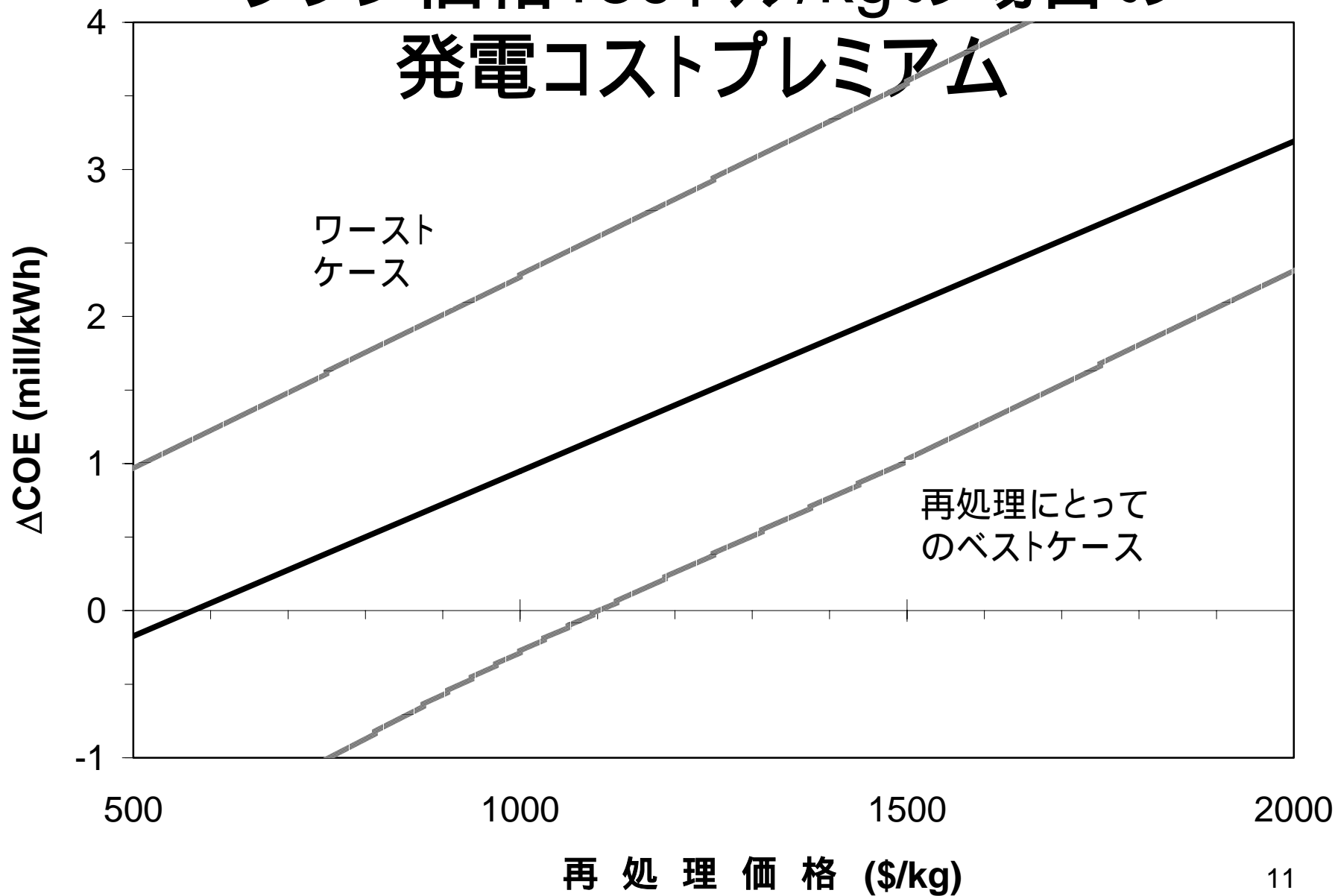
均衡ウラン価格 対 再処理価格



再処理価格に対する発電コストプレミアム



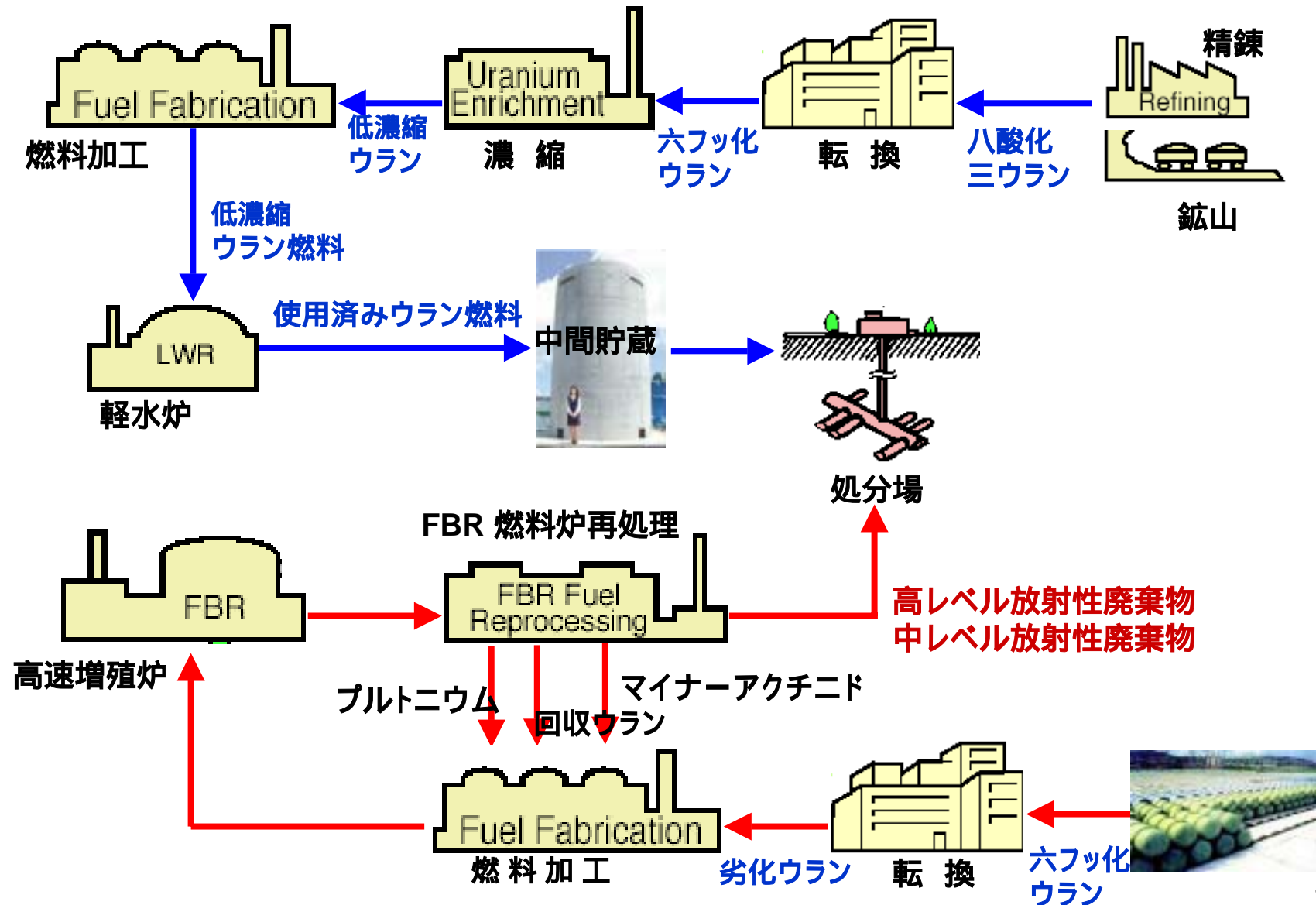
ウラン価格130ドル/kgの場合の 発電コストプレミアム



再処理にとって有利な見積もりをおこなった

- 再処理とMOX燃料加工の中央値は実勢より相当低くした
- プルトニウム貯蔵、アメリシウム除去、MOX利用に伴う許認可や保安上の費用を見込まず
- 直接処分に伴う中間貯蔵費用を高く見積もった
- 高レベル放射性廃棄物の処分コストを低下の利点を大目に見積もった
- 使用済みMOX燃料と使用済みウラン燃料の処分コストを同等とした

軽水炉 (直接処分) 対 高速増殖炉

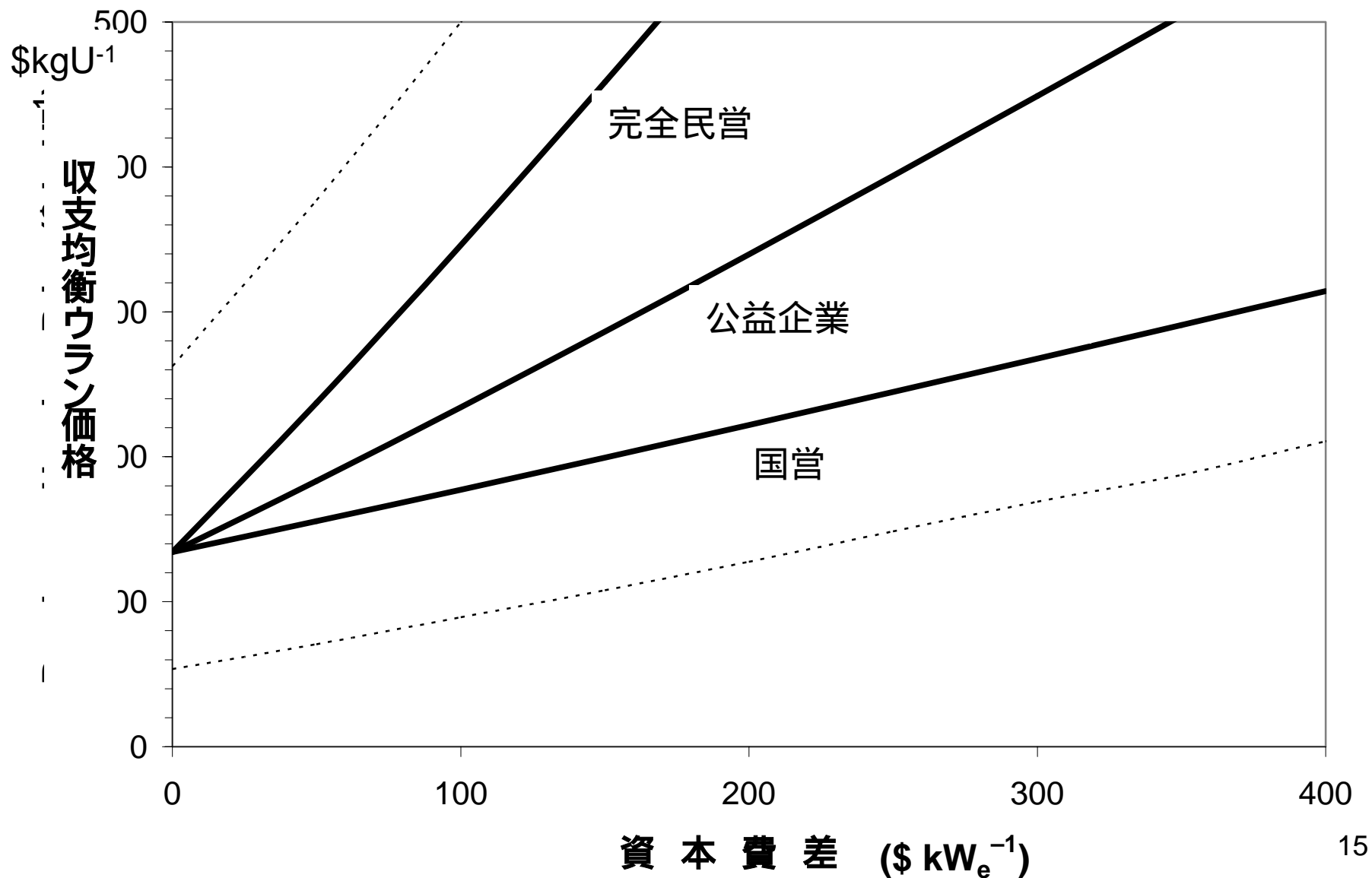


均衡価格

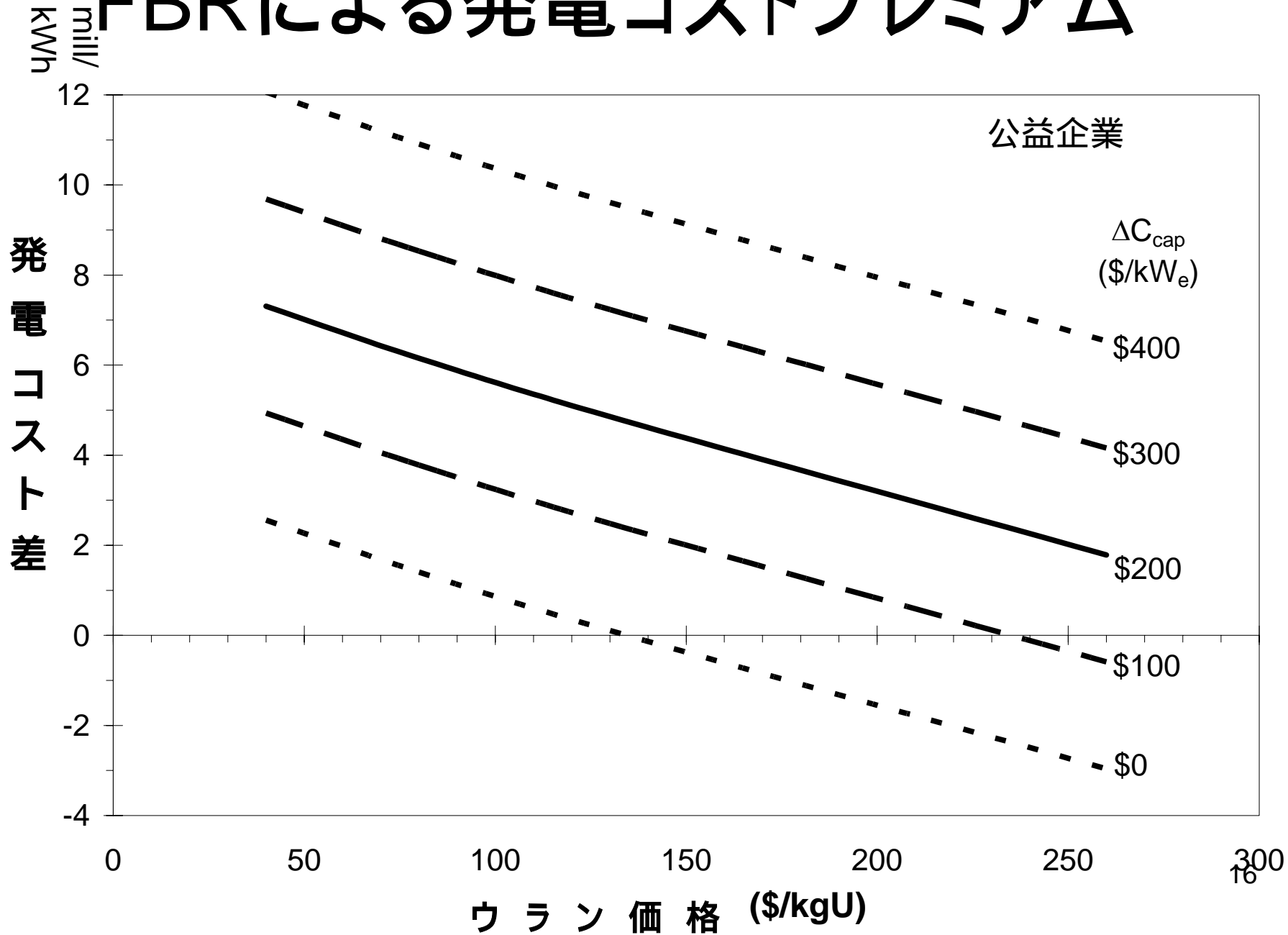
規制下の公益企業所有を想定

パラメータ	均衡価格	最安値	中央値	最高値
ウラン (ドル/kg)	340		50	
資本費差	-95	0	200	400
再処理 (ドル/kg)	<0	500	1000	2000
中間貯蔵	4100	300	200	100
処分コスト差	3400	300	200	100
濃縮 (ドル/SWU)	570	150	100	50

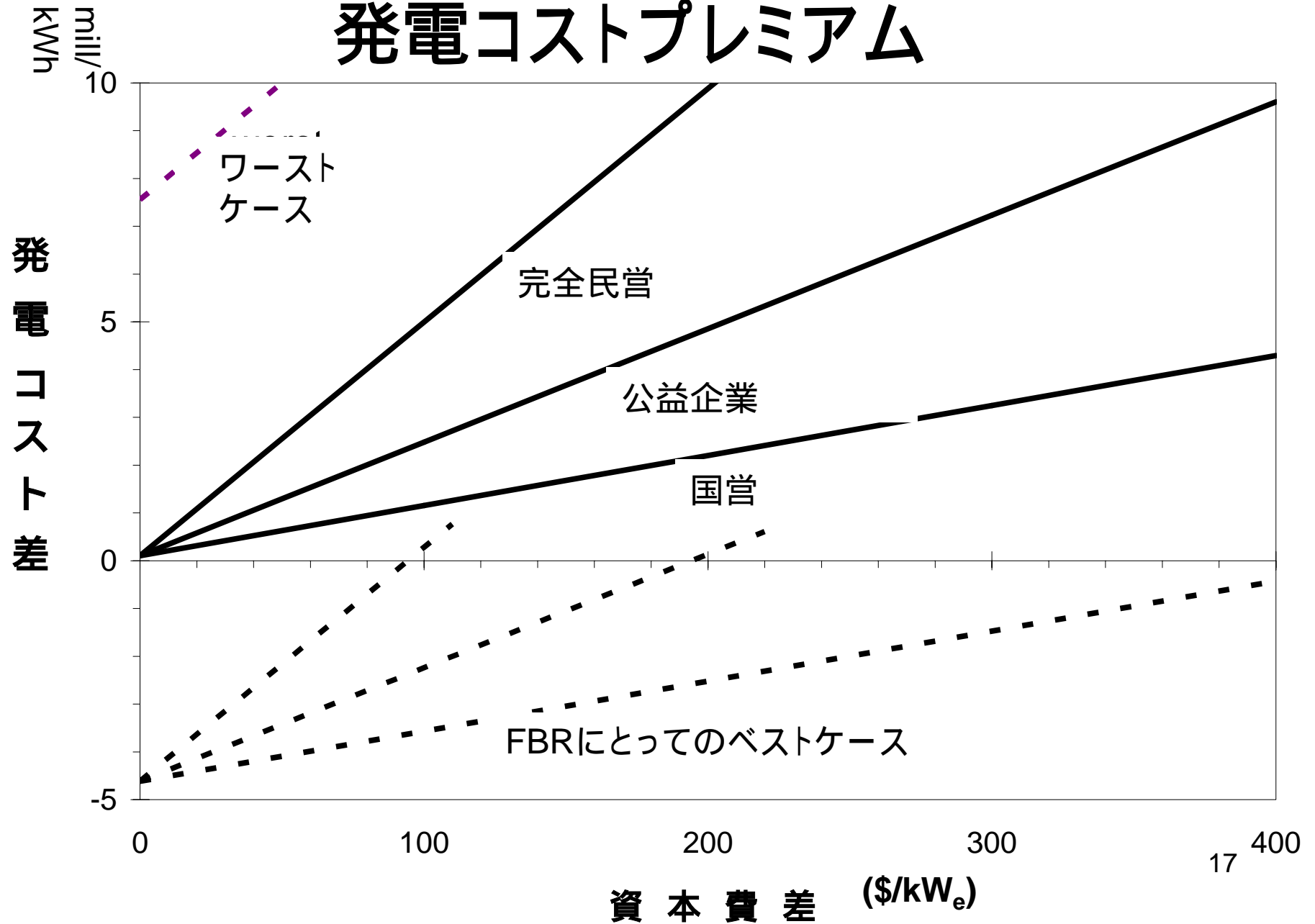
均衡ウラン価格 対 資本費差



FBRによる発電コストプレミアム



ウラン価格130ドル/kgの場合の 発電コストプレミアム



ウラン資源

- 中央値を使った場合の均衡ウラン価格:
340ドル/kg (高速増殖炉) 370ドル/kg (軽水炉)
- ベストケースでも
均衡ウラン価格 > 130ドル/kg
- どれだけあるか? NEA/IAEAレッドブックでは1600万トン(ウラン価格130ドル/kg以下として)しかし、
 - 多くの国での高いコストの資源
(例:オーストラリア)を見積もっていない;
 - 非在来型資源(例:リン酸塩)を含まず
 - ウラン探査へのわずかの投資

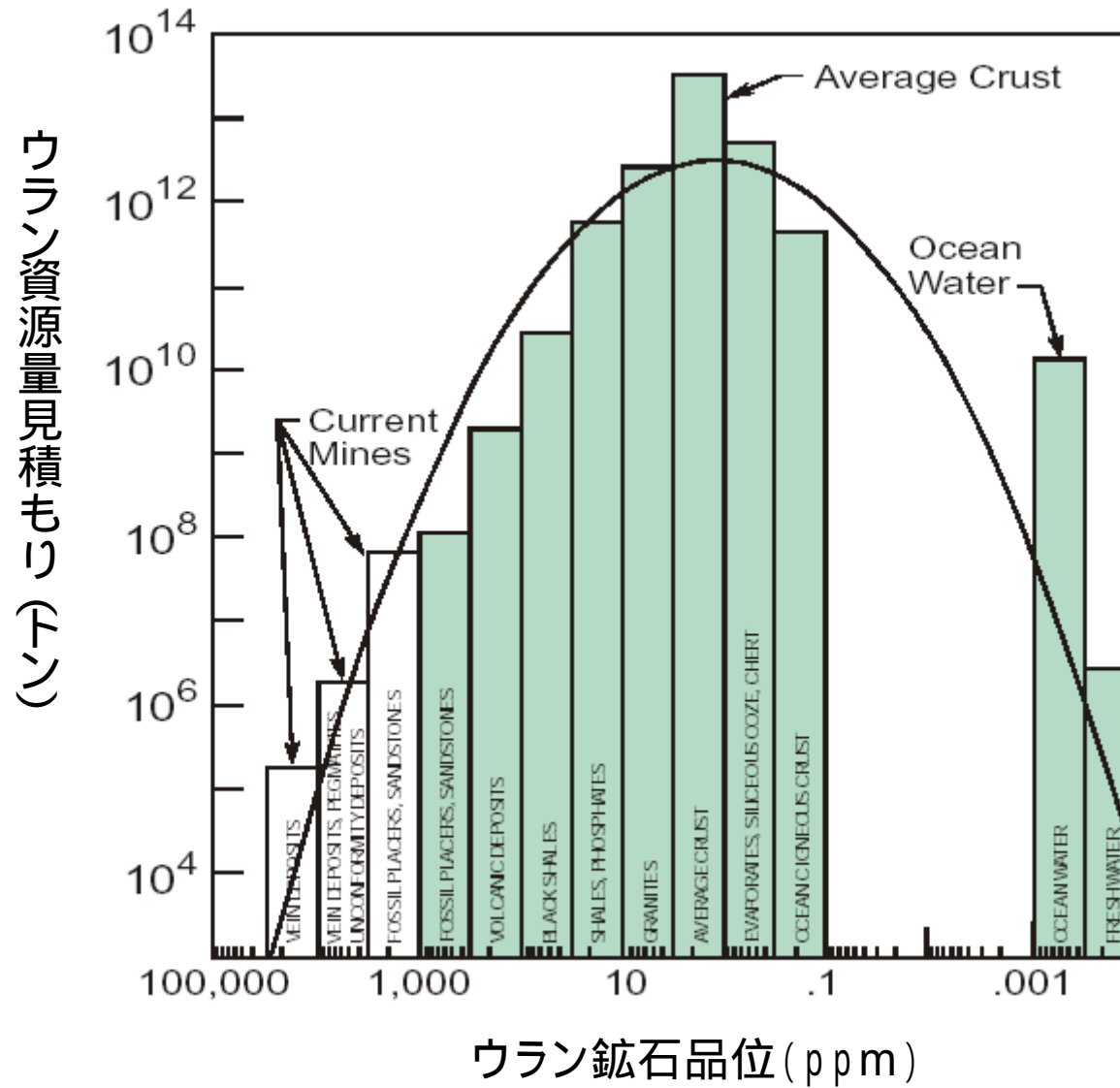
最大可採埋蔵ウラン量の粗い想定

- NEAレッドブックは210万トン(今の40ドル/kgとして)
- Hore-Lacy: “ウラン価格が現行の倍になると確認埋蔵資源量は10倍になると予想できるだろう。”
- 故に、ウラン価格が80ドル/kgなら2100万トンに、160ドル/kgなら2億1000万トンに、

$$R = 2.1 \left(\frac{p}{40} \right)^\varepsilon$$

ε = 供給の長期的価格弾力性

Deffeyes and MacGregor (1980)



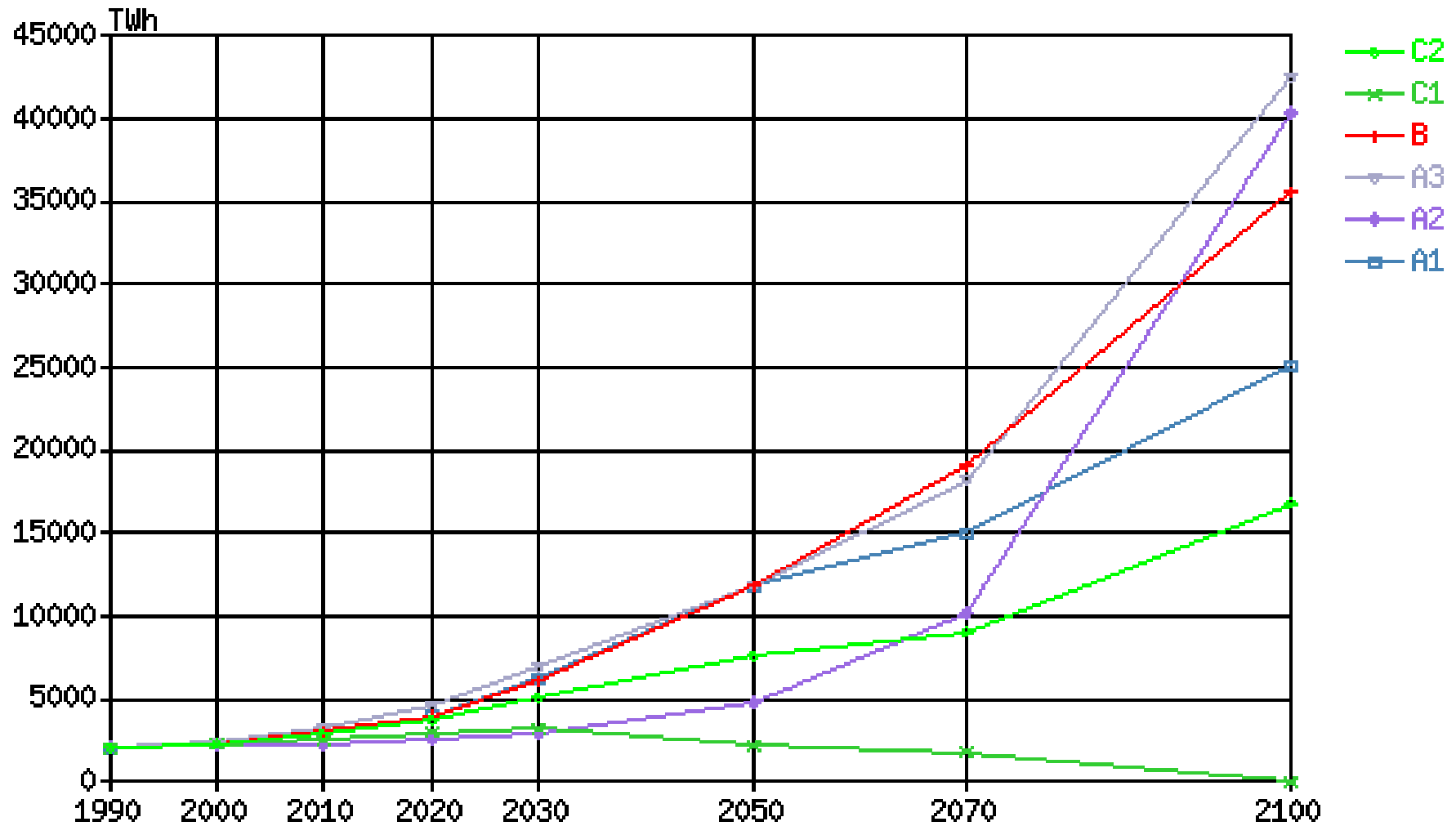
平均して、
 ウラン鉱石の
 品位が10分の
 1になると、利
 用可能なウラ
 ン資源量は
 300倍に増え
 る

可採埋蔵資源

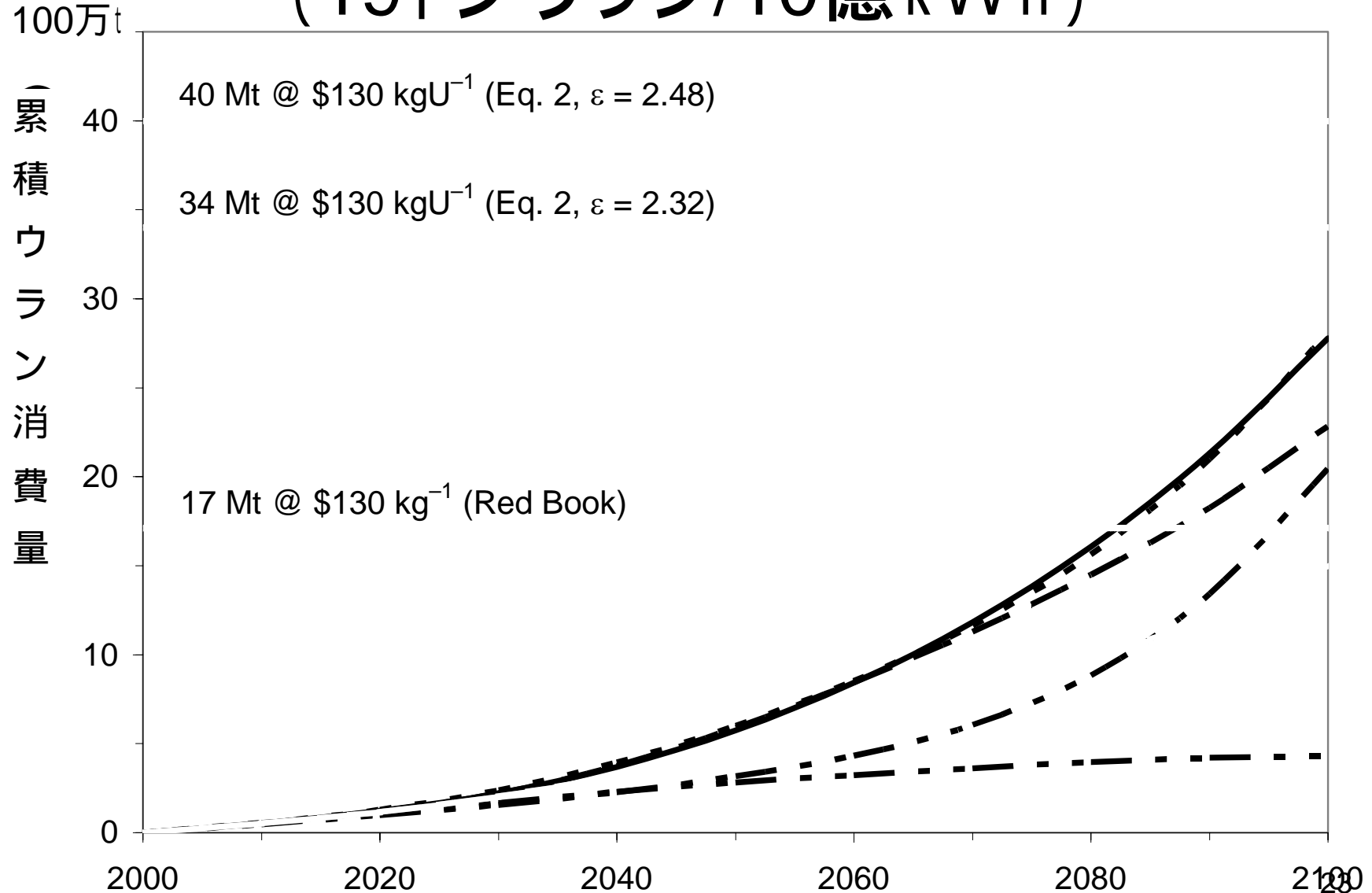
出典	長期的価格弾力性 ϵ	単位: 100万トンウラン		
		<\$40	<\$80	<\$130
UIC (価格が2倍で確認埋蔵量は10倍に)	3.32	2.1	21	105
Deffeyes and MacGregor (品位10分の1で= 資源は300倍増)	2.48	2.1	12	39
Gen-IV (さまざまな採掘方法に対する米国の埋蔵量に基づく)	2.35	2.1	11	34
NEA/IAEAレッドブック		2.1	11	16

IIASA/WEC Global Energy Perspectives

原子力発電シナリオ



軽水炉直接処分の累積ウラン消費量 (19トンウラン/10億kWh)



処分場スペース

- 再処理は新たな処分場の必要を大幅に減らすことができるか?
- 軽水炉リサイクル路線: no
 - マイナーアクチニドによる kWh 当りの崩壊熱の増大
- マイナーアクチニドを含む高速炉リサイクル路線 : yes, しかし...
 - 再処理・燃料製造がより高価に
 - Gen-IV: \$2000/kg 再処理, \$2600/kg 燃料費
 - ウラン価格 = \$130/kg なら:
 $\Delta\text{COE} = 6 \text{ mill/kWh } \Delta C_{\text{cap}} = \0 の場合
 $16 \text{ mill/kWh } \Delta C_{\text{cap}} = \$200/\text{kWh}$ の場合

処分場スペース

- 新たな処分場に対する政治的障壁のため処分場スペースは限られている、しかし
 - 多くの国が新サイトなしに、処分容量を大幅に増やすことができる(しかし、米国はできない)
 - いくつかの国は海外の放射性廃棄物を引き受けるかもしれない、非常に高い費用と引き換えに
 - 分離変換技術に対する政治的障壁は新処分場に対するものより小さくなりそうにない、とりわけ近い将来のリスクがずっと大きいだけに