

戦略調査セミナー

報告(1)

米国における原子力発電の経済性 と燃料サイクルの位置づけ

平成18年4月13日

経営企画部戦略調査室

立松 研二

報告内容

- 1.はじめに
- 2.米国の原子力発電をめぐる背景
- 3.経済性評価に関する報告書の概要
- 4.発電コストの分析結果
- 5.分析結果の比較と考察
- 6.再処理の位置づけに関する考察

1.はじめに

米国では原子力発電の継続的な利用の必要性が認識されている。しかし、競合電源である石炭火力やガス火力と比べてコスト高であることが、新設の障害の一つとなっている。コストのみが電源選択の指標ではないが、きわめて重要な指標である事は確かである。

MIT、ハーバード大学およびシカゴ大学がそれぞれ発表した米国における原子力発電の経済性に関する報告書に基づき、米国が採用しているワンススルー燃料サイクルの原子力発電コストを中心に、コスト削減に向けた具体的な手段とコスト削減対策の効果に関する分析結果を紹介する。

また、最近見直しの動きがある米国における再処理の位置づけについて簡単に考察する。

2. 米国の原子力発電をめぐる背景

2-1.米国の電気事業と原子力発電

電気事業における原子力発電の周辺環境

- 数多く存在する電気事業者のうち約5%を占める投資家所有の電力会社が、設備・発電電力量では全体の約7割を占めている。
- 投資家所有の電力会社(民間電力会社)は利潤を追求する。
- 「1992年エネルギー政策法」成立を契機に電力市場の自由化が本格的にスタートした。

- 電気事業の競争激化
- 民間電力会社の統合・合併が進む
- 電気事業者の関心が短期的なコスト削減に注がれる

初期投資が大きく、回収までのリードタイムの長い原子力発電所の新設が敬遠される。

2-2.規制面における環境変化

「1954年原子力法」では、「建設許可」と「運転許可」を分離

→ 運開遅延が原因で計画外出費を招く可能性

1979年スリーマイルアイランド事故

→ 原子力規制委員会(NRC)による規制の強化

→ 運開遅延の傾向が強まる(平均の建設期間が5年→12年)

1973年以降新規の発注が途切れる

→ 原子力産業界が非効率な許認可手続きの改善を切望

1992年エネルギー政策法に、許認可手続きの改定が盛り込まれた

電力会社はNRCによって最終設計認証された標準型炉を採用することにより、建設許可と暫定的な運転許可を同時に申請することが可能となった。

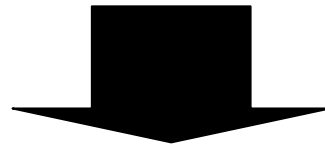
→ 着工前の段階で、運開までの見通しが立てやすくなった

2-3.原子力発電の経済性評価の背景

近年、既存の原子力発電所の運転実績は着実に向上しており、二酸化炭素排出削減の現実的な選択肢として期待されている。

規制の合理化や新しい標準型炉の設計認証（形式認定）発給など、将来の新規発注に向けて環境が整いつつある。

しかし、電力自由化の進展によりコスト削減、投資リスクの回避などがますます重要になってきており、原子力発電所の新設の動きが出てこない状況が続いた。



原子力発電の経済性の現状、今後の経済性改善の手段（方策）と可能性について関心が高まってきた。

3.経済性評価に関する報告書の概要

3-1.原子力発電の経済性評価に関する報告書

機関	タイトル	発表	資金援助
マサチューセッツ工科大学(MIT)	原子力発電の将来*1	2003年 7月	アルフレット.P.スローン財団など
ハーバード大学	使用済み原子燃料の再処理と直接処分 の経済性比較*2	2003年 12月	前クリントン(民主党)政権 時の米国エネルギー省
シカゴ大学	原子力の経済性 展望*3	2004年 8月	現ブッシュ(共和党)政権 時の米国エネルギー省

これらの報告書は、米国の原子力発電開発利用の現状に対する懸念から、継続的な利用の促進を目的として作成されたものである。

*1, The Future of Nuclear Power

*2, The Economics of Reprocessing VS. Direct Disposal of Spent Nuclear Fuel

*3, The Economic Future of Nuclear Power

3-2.主張と見解（経済性について）

報告書	経済性について
MIT	現在の規制緩和された電力市場において、石炭および天然ガス火力に対する競争力はない。しかし、資本費、運転・保守費の削減や建設期間の短縮により、コスト差が縮まる可能性がある。 CO2排出規制が導入されればコスト面で優位に立つ。
ハーバード大学	直接処分に比べ再処理がコスト高である事は一般に同意されている。再処理推進派は、コスト差は5～10%程度で差は縮まる方向であると主張するが、コスト差は大きく、この状況は75～100年間続く。 再処理に最も有利な条件下でも均衡ウラン価格は130ドル/kgUであり、これ以下のウラン資源は十分あり供給の心配は不要である。
シカゴ大学	原子力発電の経済的競争力を決定する主因は資本費である。初号機のみに必要な「開発・設計費」は資本費を約35%上昇させるので、政府の助成により、初号機の段階を乗り越えれば、原子力発電の経済性は、石炭や天然ガス火力と十分な競争力を持つ。 使用済み燃料の再処理とリサイクルは、原子力発電の経済的な競争力には実質的に影響しない。

3-3.主張と見解（経済性以外について）

報告書	経済性以外について
MIT	原子力はエネルギー安全保障ではなく、温暖化対策として重要な選択肢である。 今後50年間はウラン資源の供給に心配はない。現時点では、ワンスルー燃料サイクルの確立が最優先であり、唯一の課題は長期的な廃棄物処分問題である。 ピュレックス法・MOX燃料リサイクルは、核拡散抵抗性が低く、世界規模での利用に耐えない。他方、先進再処理技術による高速炉サイクルは廃棄物の熱負荷、潜在的有害度の減少の点で優れる。
ハーバード大学	核不拡散の観点からワンスルー政策が良い。エネルギー安全保障は、ウラン燃料の戦略備蓄で対応可能である。 再処理により、廃棄物処分量を減らすためには、FBRでMAを燃焼、変換する必要がある。
シカゴ大学	原子力はエネルギー安全保障に貢献し、かつ温暖化対策としても重要な選択肢である。 次世代再処理技術（UREX等）の研究開発により核拡散防止が強化される可能性がある。

4.発電コストの分析結果

4-1.MITの分析結果

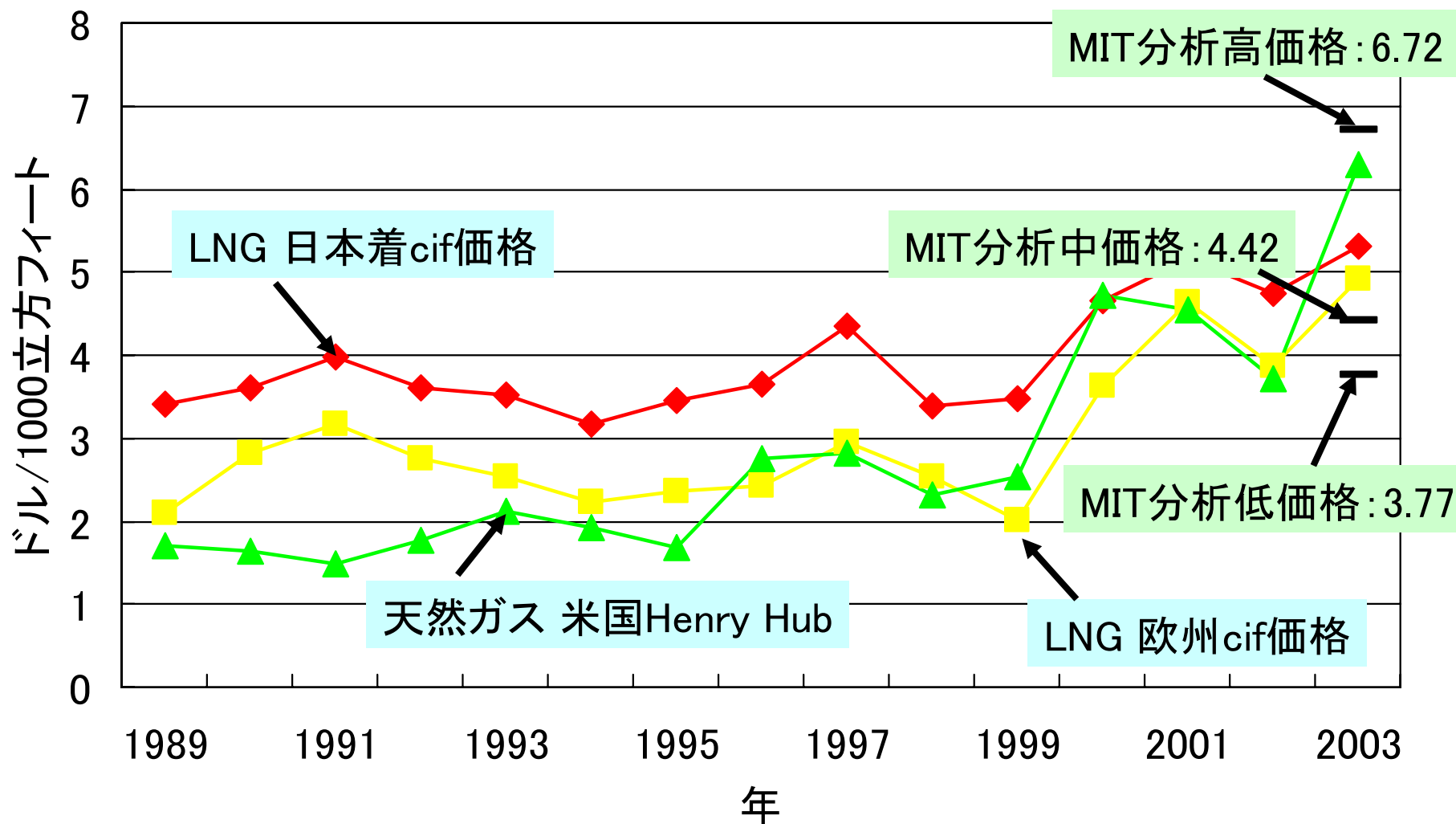
2002年価格

分析ケース		均等化発電コスト(ドル/MWh)			
炭素税(ドル/トンC)		0	50	100	200
原子力発電	2050年に世界で 1000GWeの設備規模 になるシナリオを想定	67			
+ 建設費を25%削減		55			
+ 建設期間を5年から4年へ短縮		53			
+ O&M費を13\$/MWhへさらに削減		51			
+ 資本費をガス/石炭並みに削減		42			
微粉炭火力発電		42	54	66	90
天然ガスコンバインドサイクル発電					
低価格天然ガス(3.77ドル/1000立方フィート)		38	43	48	59
中価格天然ガス(4.42ドル/1000立方フィート)		41	47	52	62
高価格天然ガス(6.72ドル/1000立方フィート)		56	61	67	77

建設費: 2000ドル/kWe
設備利用率: 85%
耐用年数: 40年

天然ガス価格(実績)は発電所の耐用期間にわたって一定と仮定

4-2.天然ガス資源の価格推移(参考)



4-3.ハーバード大学の分析結果

燃料サイクル単価の推定値及びプルサーマルにおける均衡価格（均衡価格とは、他の費目が中央値を取る場合に、MOX燃料と濃縮ウラン燃料のコストが等しくなる価格）

リサイクル
に厳しい

リサイクル
に甘い

費目	燃料サイクル単価の推定値			均衡価格
	低位	中位	高位	
ウラン(ドル/kgU)		50		370
再処理(ドル/kgHM)	500	1000	2000	420
MOX燃料加工(ドルkgHM)	700	1500	2300	< 0
中間貯蔵(ドルkgHM)	300	200	100	780
最終処分コスト差(ドルkgHM)	300	200	100	630
濃縮(ドル/SWU)	150	100	50	1200

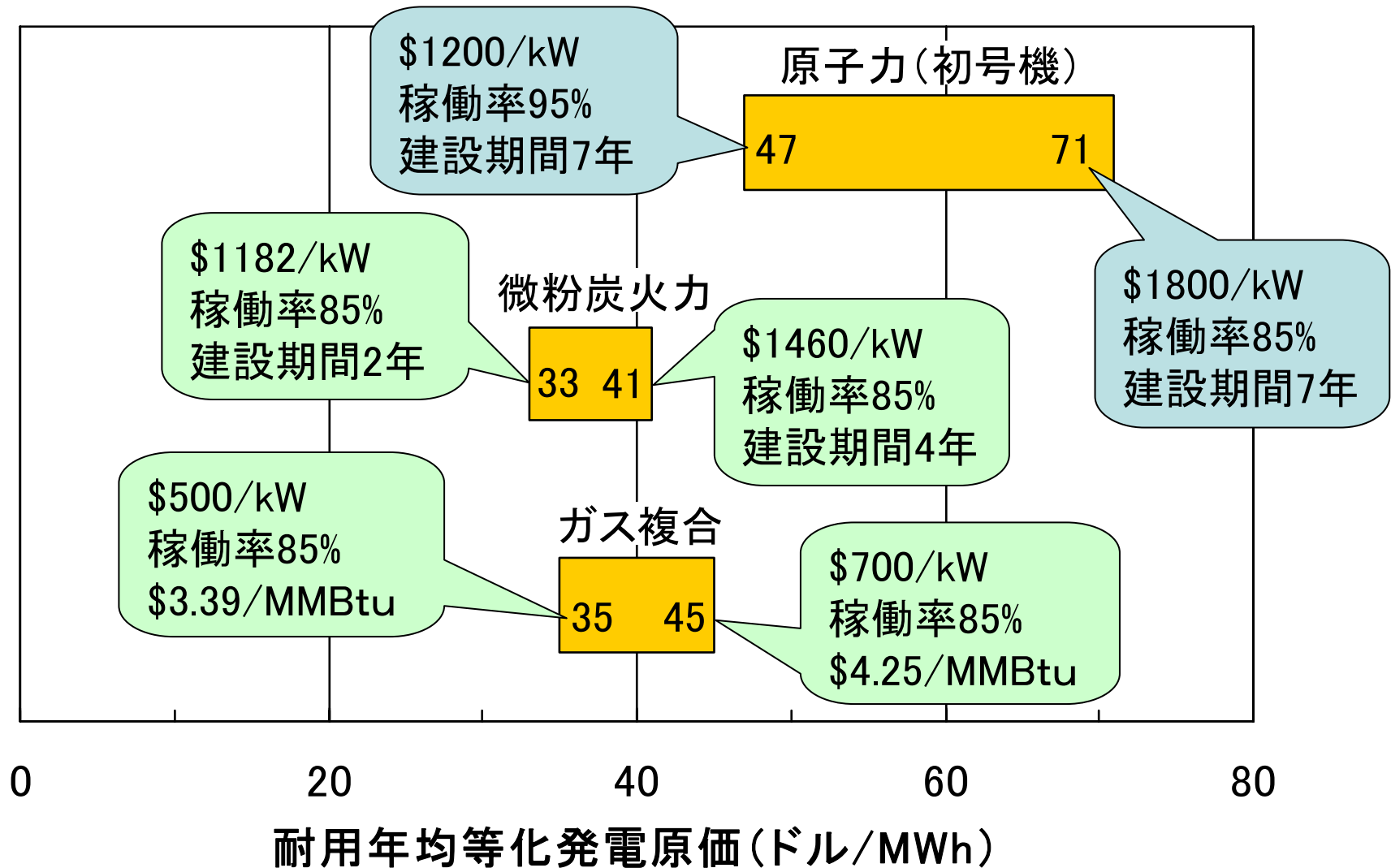
リサイクルに有利な価格を想定しても、天然ウラン価格が7倍以上で無いと均衡しない。

4-4.シカゴ大学-各種炉型の建設単価

	建設単価	例
既存タイプ	1200 (\$/kW)	ABWR ACR-700
開発コストが必要	1500 (\$/kW)	AP1000
開発コストが必要な最新鋭	1800 (\$/kW)	SWR1000

- ・ 既存タイプのみ、既に建設経験があるため、初号機設計コストを含まない。
 - ・ 初号機設計コストは、資本費を約35%押し上げる。
-
- ・ ACR-700: 重水減速を利用した改良型CANDU炉 (Advanced CANDU Reactor)
 - ・ AP1000: モジュール化と経済性を両立させた受動的安全システム採用PWR (Advanced Passive)
 - ・ SWR1000: 受動的安全器機を導入した単純化沸騰水型原子炉 (Simplified Boiling Water Reactor)

4-5.シカゴ大学-発電原価の比較(政策支援なし)



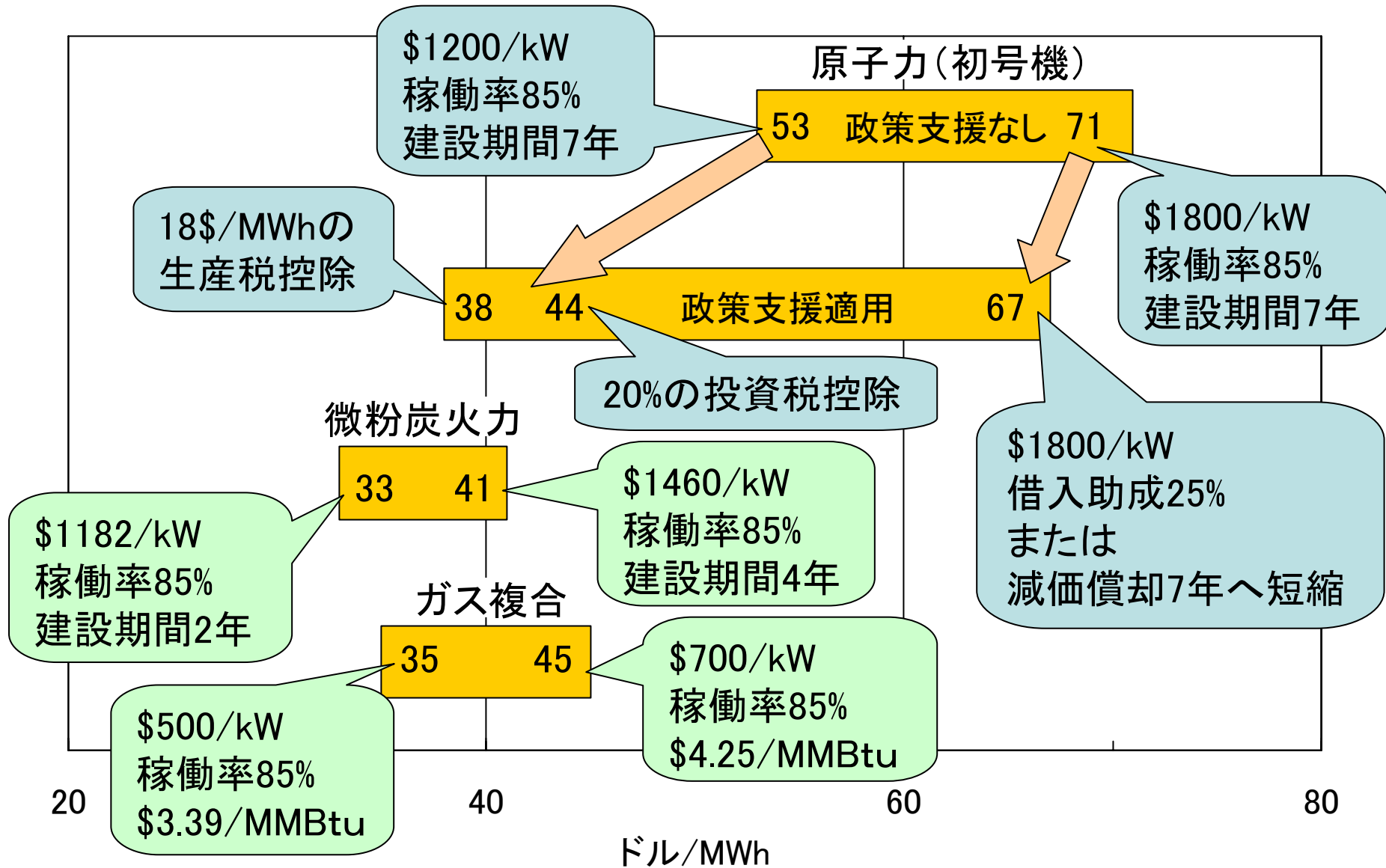
初号機エンジニアリングコストは、原子力の価格競争力を低下させる

4-6.シカゴ大学-財務政策支援について

原子力の収益性の改善および円滑な導入促進の実現を目的に、次の4種類の財務政策支援を講じた場合の耐用年均等化発電コストの削減効果を見積もっている。各財務政策について簡単に説明する。

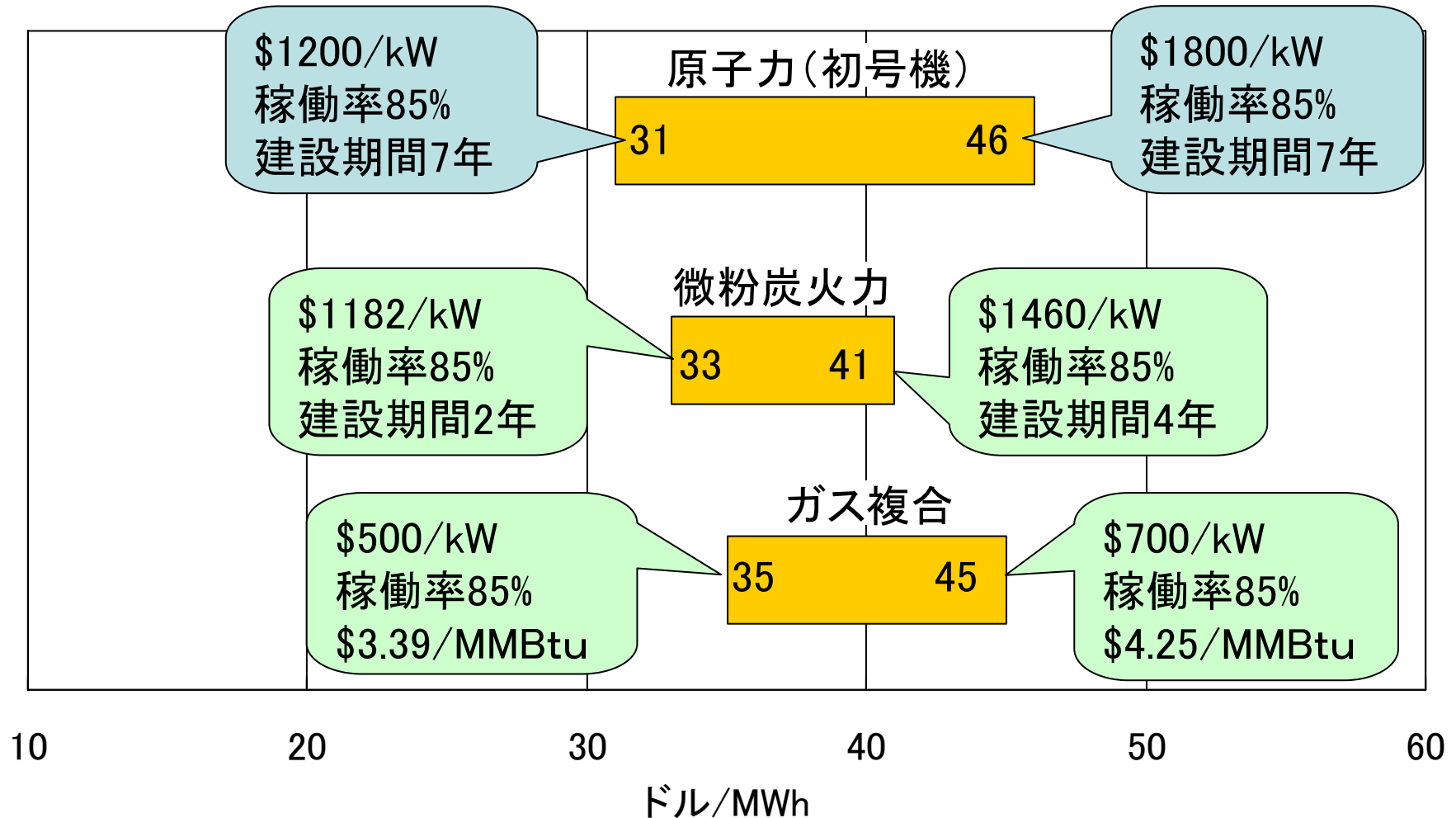
政策	効果
借入助成	米国財務省中期証券と連動する、市場金利より低い、リスクフリーの利率で資金調達を可能とする。
減価償却期間の短縮	減価償却に要する期間を短縮化することで、固定資産税の負担を軽減する。
投資税控除	設備機器の購入・設置に対する税額控除。建設期間中の税負担を軽減する。
生産税控除	売電に対する税額控除。運転開始から8年間のみ適用される。収益性改善に貢献する。

4-7.シカゴ大学-発電原価(単一財務政策適用)



4-8.シカゴ大学-発電原価(複合財務政策適用)

20%の投資税控除と18\$/MWhの生産税控除(最初の8年間)を複合的に実施することで、競合電源に対して遜色ない経済性を確保できる。



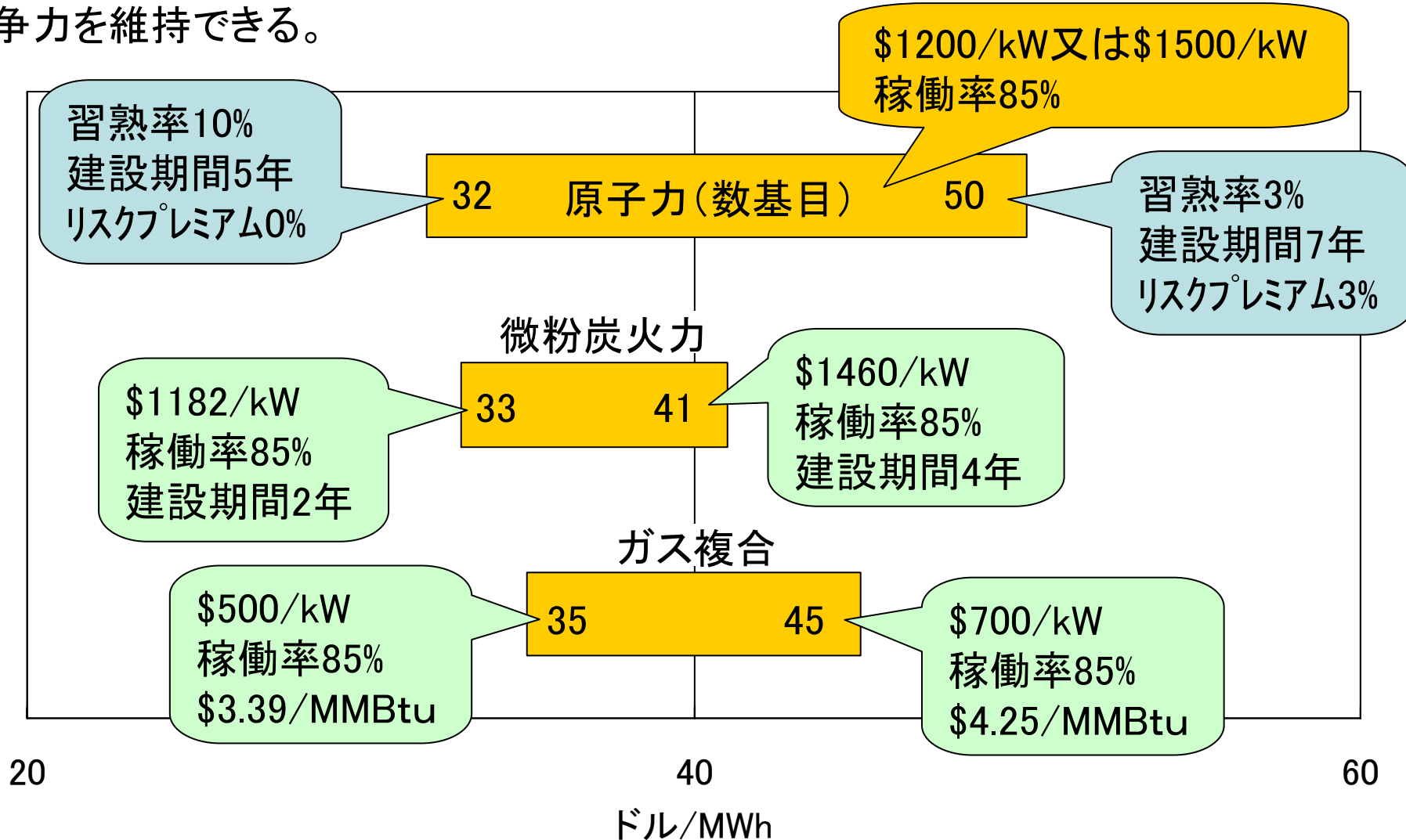
4-9.シカゴ大学-新設シナリオと習熟率

習熟率 (%)	炉の発 注ペース	サイトあたりの 炉心数	建設市場	炉設計の 標準化	規制の 影響
3	1年又は それ以上の 間隔	設備過剰ぎ み; マルチユ ニットなし	価格競争力なし; 習熟による節約 はベンダー利益	高い標準化はさ れない	多少の建 設遅延あ り
5	ほぼ連 続	一定の新設 需要あり; マ ルチユニット は非一般的	一定の価格競争 力あり; 習熟によ るコスト削減は、 ほぼバイヤーへ 還元される	建設される炉の 設計がある程度 限定される	建設遅延 は一般的 でない
10	連続	設備需要が 高成長する; マルチユニッ トが一般的	高い価格競争力 がある; 削減コス トの全てが還元さ れる	複数の設計; 標 準化が達成され、 習熟効果を得る 為に十分な発注 が各設計に 対してある	建設期間 は短縮さ れ、建設 遅延は無 くなる

習熟率とは、積算の設備容量が2倍になった時のコストの削減率。

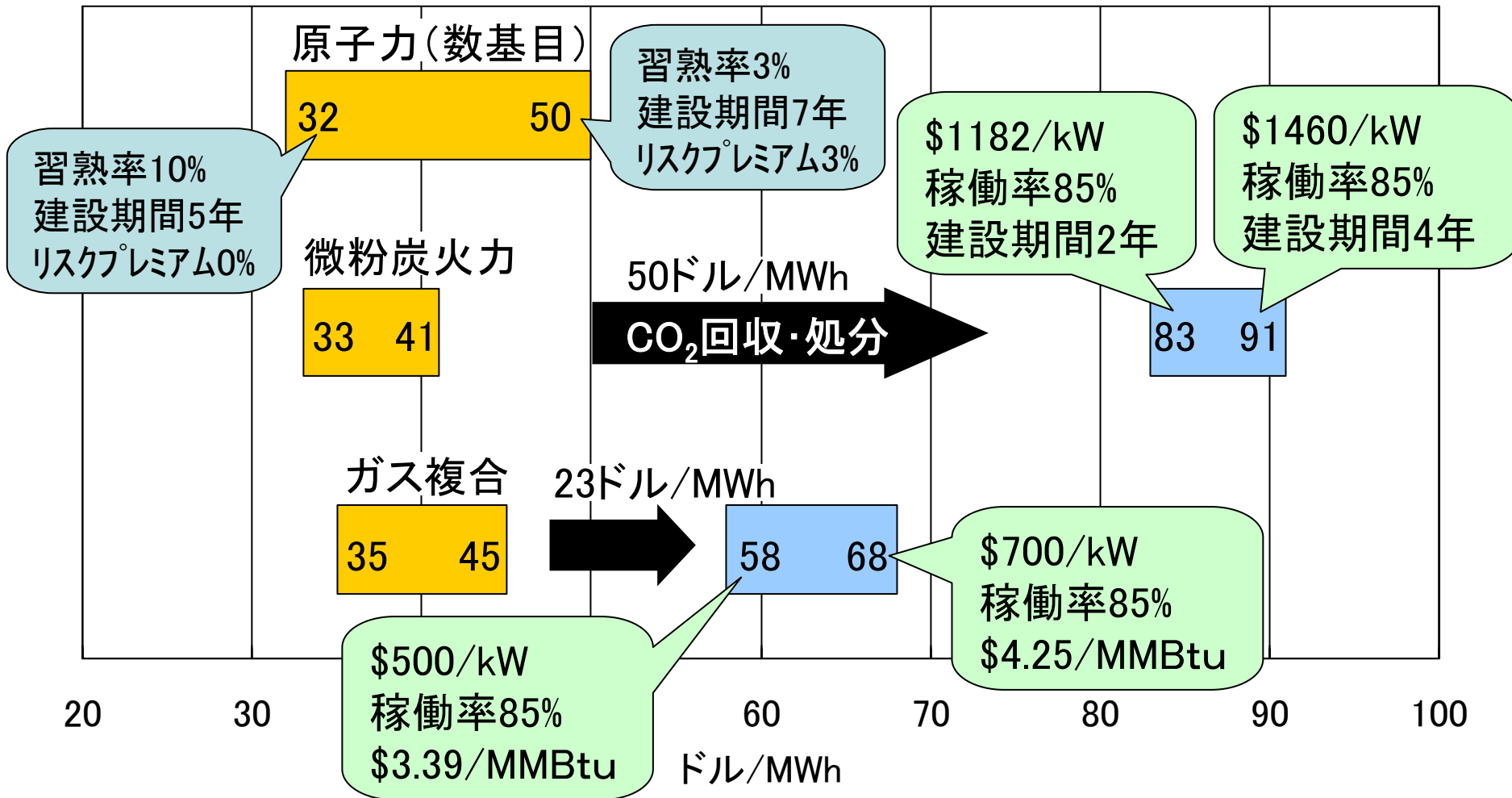
4-10.シカゴ大学-発電原価(数基目以降)

最初の数基に対して財務政策援助をすれば、それ以降は援助なしでも価格競争力を維持できる。



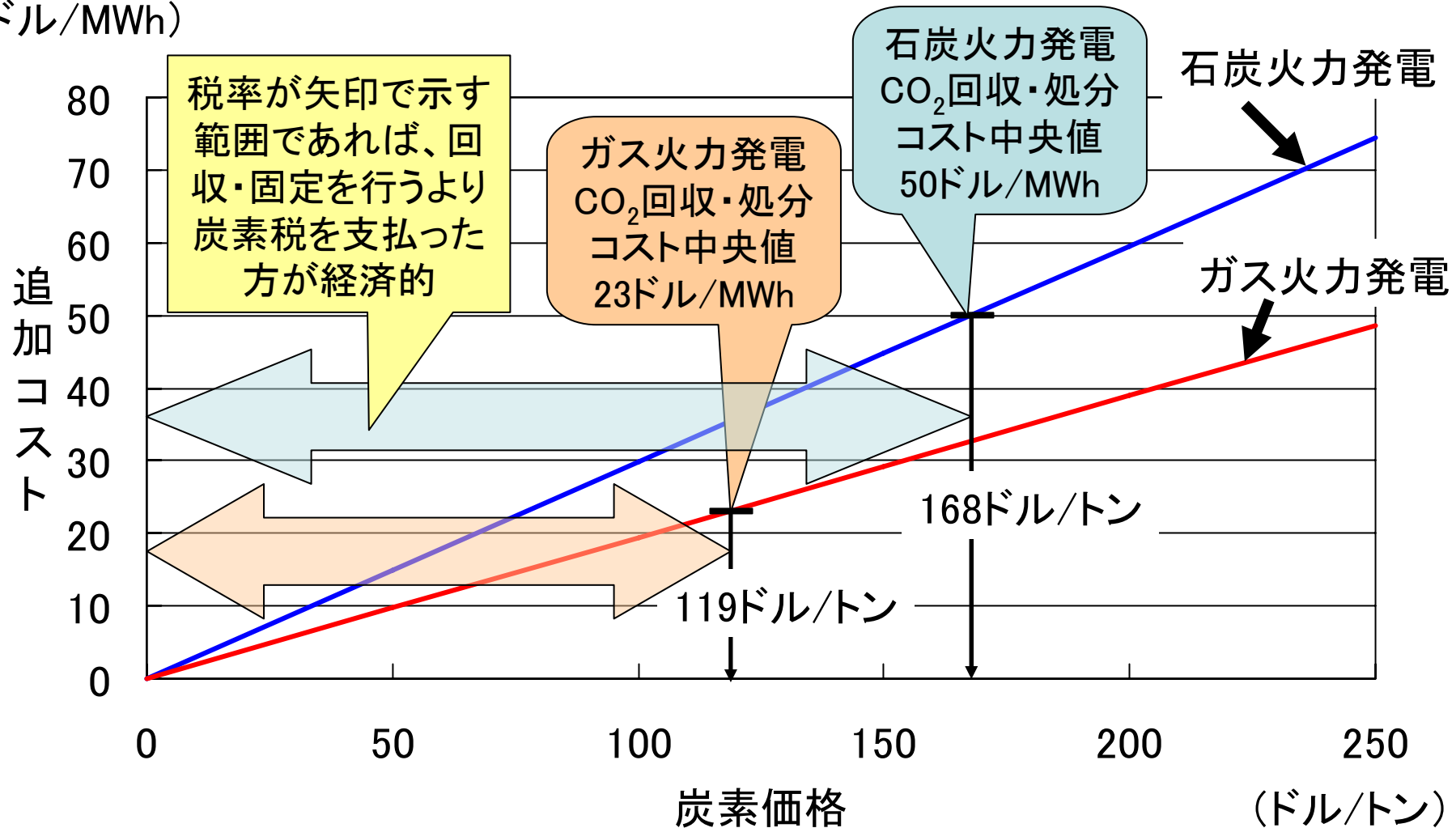
4-11.シカゴ大学-発電原価(CO₂回収・固定の影響)

CO₂回収・固定費用として、
微粉炭火力では、36-65ドル/MWhの中央値50ドル/MWh、
ガス複合サイクルでは、17-29ドル/MWhの中央値23ドル/MWhを採用している。



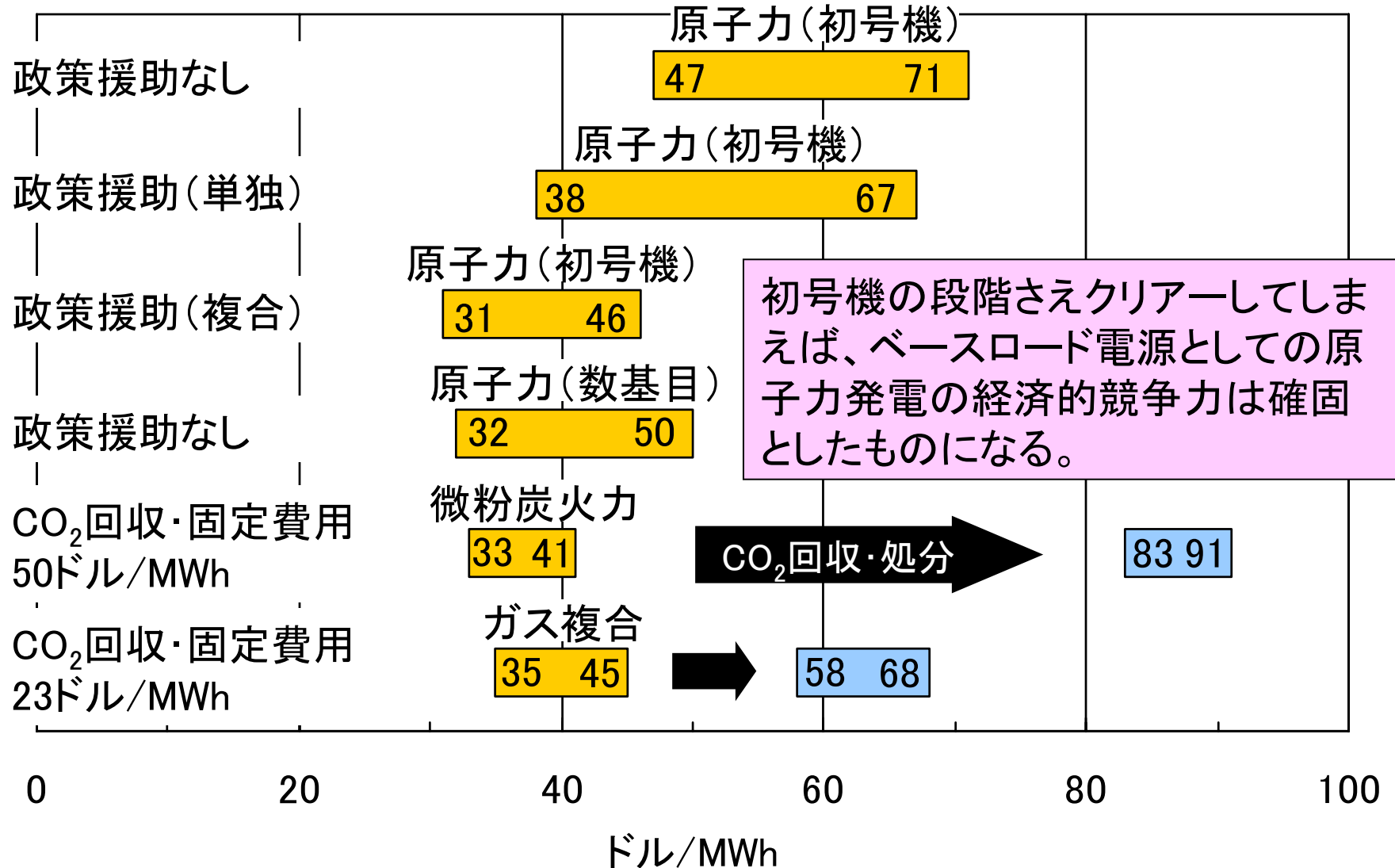
4-12.シカゴ大学- CO₂排出規制による追加コスト

(ドル/MWh)



追加コストは、石炭火力214プラント、ガス火力222プラントのCO₂年間排出量と年間発電電力量の実測値に基づいて計算。

4-13.シカゴ大学分析結果の比較



5.分析結果の比較と考察

5-1.発電単価の比較

1260:240=UOX:
MOXの比率で
の使用を想定

		MIT*3	ハーバード大学	シカゴ大学*3
建設費(ドル/kWe)		2000(1500)	—	1500
建設期間(年)		5	—	7(5)
再処理(ドル/kgHM)		1000	1000	967
MOX燃料加工(ドル/kgHM)		1500	1500	—
中間貯蔵及び 最終処分	使用済み燃料(ドル/kgHM)	400	600	489
	高レベル廃棄物(ドル/kgHM)	300	200	341
ワンスルー	発電単価(ドル/MWh)	67(55)	—	62(54)
	うち燃料費(ドル/MWh)	5. 15	—	5. 44
使用済み燃料 再処理	発電単価(ドル/MWh)	69. 76	—	59. 6
	うち燃料費(ドル/MWh)	7. 91*1	—	7. 04*2
UOX対MOX燃料 の均衡価格	天然ウラン(ドル/kgU)	560	370	—
	再処理費(ドル/kgHM)	90	420	—

* 1 MOX燃料の価格はUOX燃料の4倍以上の22.4ドル/MWhと試算されている。

* 2 MOX燃料加工費は計上されていない。 * 3 耐用年数40年、稼働率85%。

5-2.再処理に関する見解

報告書	再処理に関する見解
MIT	ワンススルー燃料サイクルの確立が最優先。 核不拡散の観点からピュレックス法によるMOXリサイクル路線は否定、一方、廃棄物処分問題の観点から先進再処理技術による高速炉サイクル路線の有効性は認めている。
ハーバード大学	コストの安いワンススルー路線を全面的に支持。 廃棄物処分問題が、ワンススルー路線を否定する根拠にはならないとし、中間貯蔵施設が有効と主張。
シカゴ大学	軽水炉MOX再処理路線を肯定。 再処理により、ユッカマウンテン貯蔵所へ最終処分できる廃棄物量を増やす事ができ、処分場を効率的に利用可能とし、また再処理が原子力発電の経済的競争力に影響することはないと主張。

6.再処理の位置づけに関する考察

6-1. 米国燃料サイクル政策の経緯

年月	主要事項
1977年10月	米国は、FBRと再処理の開発中止を世界に提案(INFCE)。2年半の議論の後、制度と技術の整備を通じて核不拡散と平和利用は両立し得ると結論。
1984年	FBR原型炉クリンチリバー建設計画を放棄
2001年5月	国家エネルギー政策の発表：原子力利用の拡大、核不拡散性の高い再処理及び燃料技術研究の推進等
2002年7月	高レベル廃棄物処分場としてのユッカマウンテン計画を連邦議会が承認
2003年1月	DOEが議会に「先進的燃料サイクルイニシアティブ(AFCI)」報告書を提出
2003年5月	AFCIへの予算が認可
2005年8月	2005年包括エネルギー政策法が成立(NP2010、NHI支援など)
2006年2月	「国際原子力パートナーシップ」(GNEP)計画を発表し、2億5000万ドル(約300億円)の2007年度予算案を連邦議会に提出

6-2.米国における再処理に関する考察

再処理の位置づけが見直され始めた背景

- 米国内での廃棄物最終処分問題
- 米国以外の先進国で燃料サイクル技術の開発利用が進展
- 発展途上地域での核兵器保有国の出現・増加

核拡散抵抗性の高い先進再処理技術を確立する必要が発生

先進再処理技術の研究開発推進