資料　第３－４号

FBR 燃料サイクルの経済性について

平成９年４月１５日
動力炉・核燃料開発事業団

○動燃事業団が取り組んでおります燃料製造及び再処理を中心とした FBR 燃料サイクルについて、その経済性の見通しについて以下に述べます。

１.実用化目標

○**FBR** の実用化時期を 2030 年と想定し、**同時期の軽水炉の発電コストと競合可能とするという経済性の目標を設定しました。FBR** の建設費は軽水炉並を目標に開発が進められており、上記目標を達成するため、**燃料サイクル費を軽水炉と同等以下にすることを目標にしています**。

○このためには、**（１）燃焼度を上げることで燃料の消費量を減らし、燃料製造および使用済燃料再処理などの作業量を削減する**と共に、**（２）含まれるプルトニウム量が多いこと等により割高となっている単位重量当りの燃料サイクル単価（燃料製造単価、再処理単価）を削減する**ことが必要です。

１）燃焼度の目標

- **FBR** 炉心燃料の燃焼度は、実現可能で燃料サイクル費の低減に寄与できる最も効果的なレベルとして、**炉心燃料取出平均 15 万 MWd/t 以上 (注) を目指します**。これにより、単位重量当りの発熱量を軽水炉比で約３倍程度に増やすことができます。

（注）MWd/t：燃料１トン当たりの発熱量（千 kW×日）

２）燃料サイクル単価の目標

- 上記１）により、同じ発電量を得るための燃料重量は、軽水炉の場合の約３分の１になるので、燃料サイクル費を軽水炉燃料サイクル費と競合させるため、図１に示すように、**製造単価と再処理単価の目標値を、それぞれ軽水炉の３倍以下、2.5 倍以下と設定しました**。なお、軽水炉燃料製造単価は国内製造価格推定値９万円/kgU(注)

を、軽水炉再処理単価は海外再処理委託推定値 20 万円/kgU を想定しました。

（注）湯浅、エネルギー経済、第 17 巻第 12 号

２.現状技術レベルの経済性

○将来の経済性達成見通しの算定に先だち、現在までのプラント実績と経験を基に、2000 年に運開するプラントを想定し、燃料サイクル単価を試算することによって、今後さらにどれだけの経済性向上のための努力が必要かを検討するため、現状技術レベルの経済性の把握を行いました。

- 燃焼度は海外 **FBR** の運転燃料の実績から約 9 万 MWd/t（炉心燃料取出平均）を想定しました。

- 燃料製造施設（50 トン/年規模）については、プルトニウム燃料第 3 開発室 **FBR** ラインでの「もんじゅ」燃料製造経験を基に、建設費、運転費等を推定しました。

- 再処理施設（50 トン/年規模）については、その設備構成は、**CPF**（注）等での研究開発成果や東海再処理工場等の経験を踏まえた **FBR** 再処理パイロットプラント概念設計に基づいて設定しました。また、建設費は **RETF**（注）、**TVF**（注）等の経験に、運転費は東海再処理工場の経験に基づいてそれぞれ推定しました。

（注）RETF：動燃東海に建設中のリサイクル機器試験施設
CPF：動燃東海にある FBR 再処理技術実験施設
TVF：動燃東海にある高レベル廃棄物ガラス固化施設

○試算の結果、**現状技術レベルにおいてＦＢＲの核燃料リサイクルを実現したと仮定すると、燃料製造単価は軽水炉の約５倍、再処理単価は軽水炉の約４倍と算定されました。**

３.研究開発課題とコストダウン見通し

○前述のとおり、燃料の燃焼度を上げることで、燃料サイクル費の低減が期待できます。試算によると、燃焼度を実用炉レベルの 15 万 MWd/t に向上させることで、燃料サイクル費は約 4 割削減可能になります。この燃料の高燃焼度化のため、**高性能燃料や長寿命炉心材料の開発を進めています。**（図 2）

〇燃料サイクル単価（製造単価と再処理単価）の目標を達成するための 研究開発としては、図 3 に示す各項目が挙げられます。

〇2010 年頃を目途に、機器・設備の高度化・合理化、検査や保守の方法の合理化や運転自動化等のための研究開発を実施することで、**施設建設費・操業費・部材費の削減等を目指します**。

- 具体的には燃料製造関係では、ペレット等の搬送システムの改良及びコンパクトで高性能な製造･検査機器の開発を行うとともに、プロセス簡素化を実現することで、ウラン燃料製造並みのプラント規模にすることができ、大きな経済性向上が達成できます。（図 4）

- また再処理関係では、ウランやプルトニウムの精製や製品となる溶液の脱硝の設備軽減を目指したプロセスの高度化（図 5)、廃棄物発生量の低減（図 6)、また、小型ラックシステムの開発等によるプラント設計の最適化（図 7）等により経済性向上を目指します。

４.実用化展望

〇図 8 に示すように、**図 3 に示す研究開発課題（2010 年頃を目途にした課題）を解決することにより燃料サイクル単価を目標値までに低減できる見通しをこれまでに得ており、燃料サイクル費を軽水炉サイクル並まで低減できると考えています**。

〇さらに 2030 年頃を目指して、粒状燃料を利用した簡易な集合体構造をもつ革新型燃料集合体の開発導入等により、図 8 に示すようにさらなる経済性向上をねらうことが可能です。これにより図 9 に示すように**燃料サイクル費において軽水炉サイクルに十分競合しうる FBR 燃料リサイクルを構築できると考えています**。

〇この他、先進的核燃料リサイクル技術として、乾式再処理や新型燃料の開発を進めており、思い切ったプロセスの簡素化、再処理と燃料製造施設の一体化等により、さらに燃料サイクル費の大幅な削減を目指しています。

〇一方、原子炉の建設コストにおいても軽水炉並みという見通しが得られており、以上述べたような燃料サイクルの経済性見通しと併せて、**将来の FBR 発電コストは軽水炉発電コストと競合可能と考えています**。

５.FBR 燃料サイクルに関する研究開発費
（主要施設の建設費、操業費を除く）

○FBR燃料サイクルに関するこれまでの研究開発費は、燃料製造関係で総額約300億円、再処理関係で総額約 350 億円です。

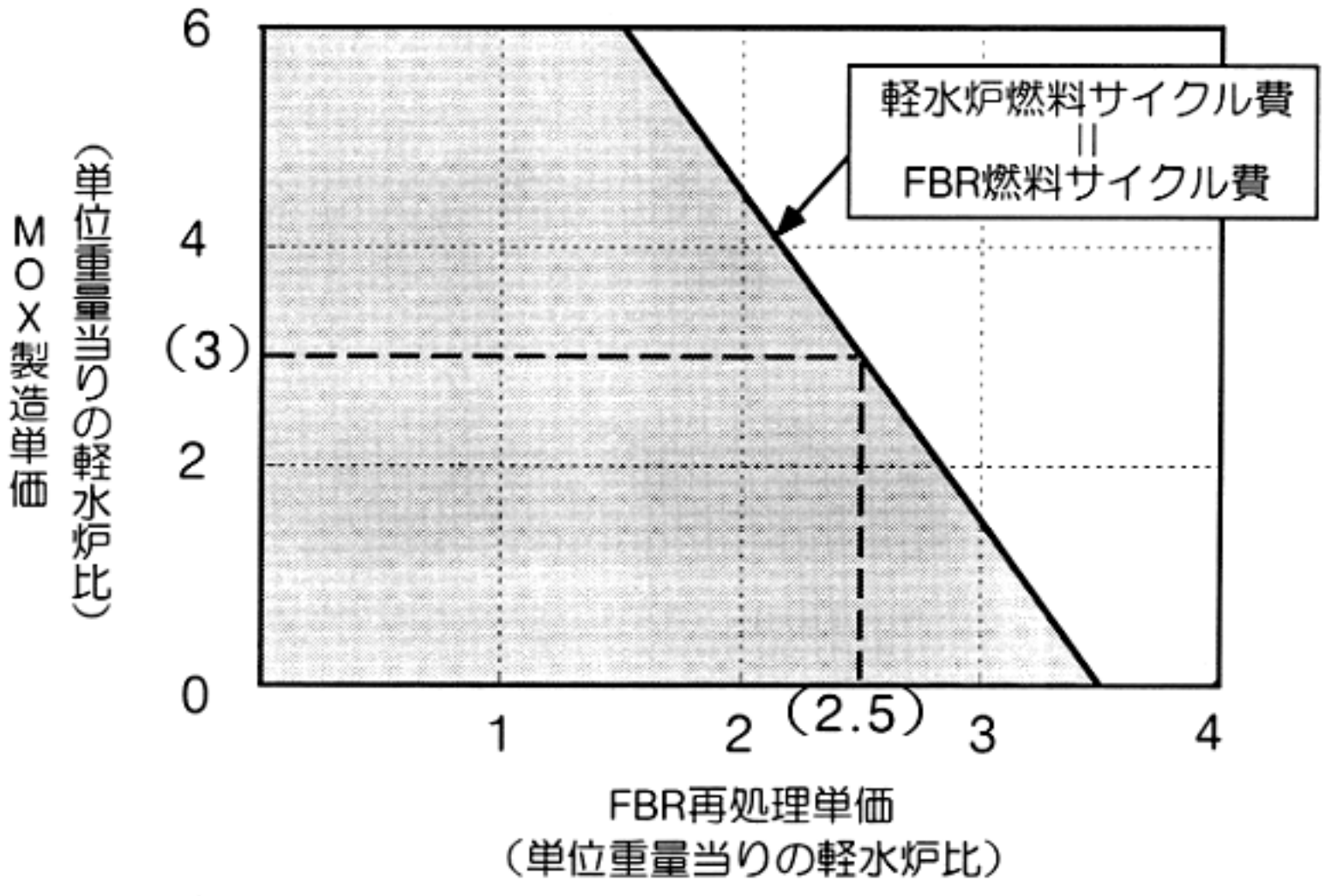
○今後、2010 年頃までを目途とした研究開発費は、燃料製造関係で約 570 億円、再処理関係で約 500 億円を予定しています。

以　上

図1　FBR燃料サイクル単価の目標値

○目標値設定の考え方

・燃料サイクル費が軽水炉と同等となる燃料製造単価
及び再処理単価を目標値とする。

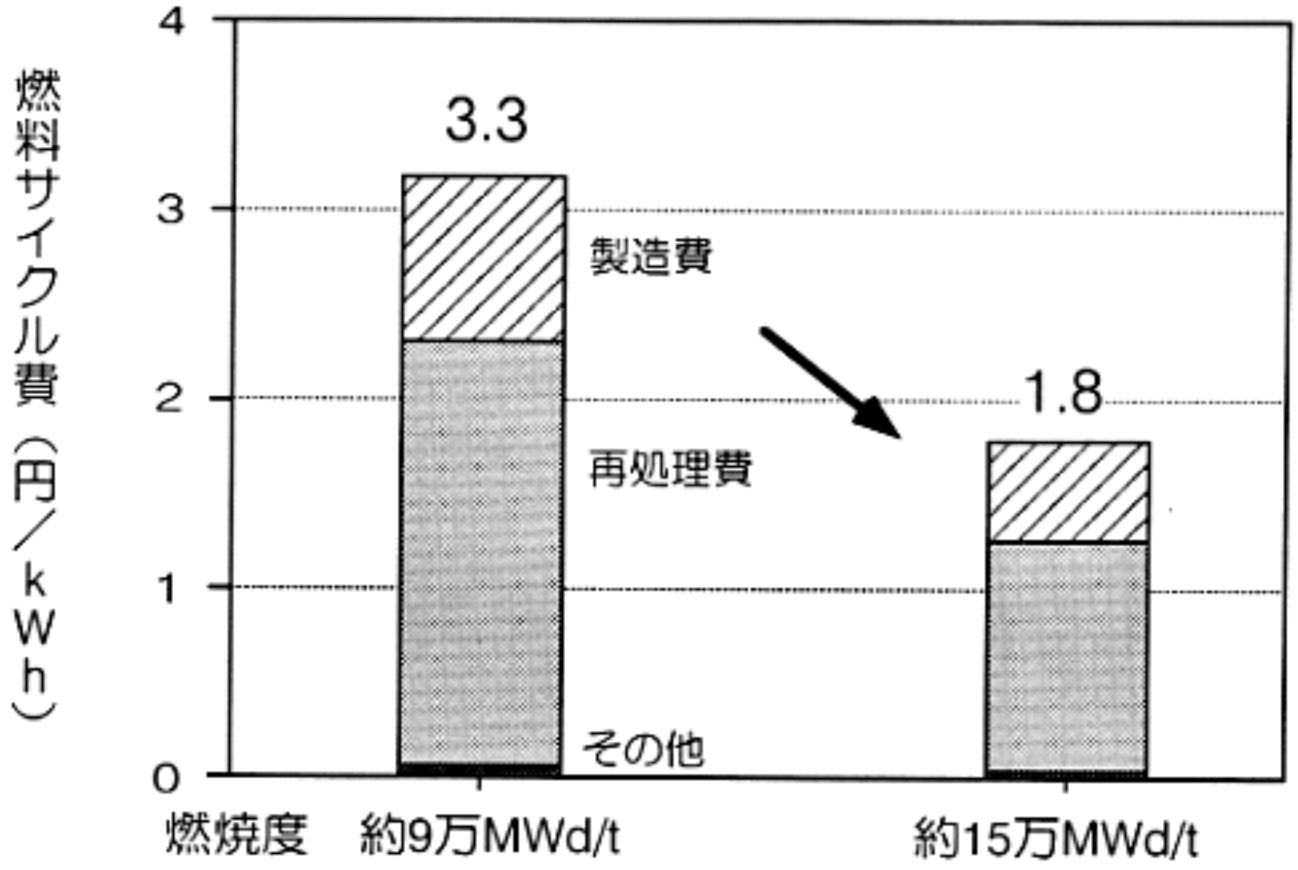


○燃料サイクル単価目標値

・燃料製造単価	軽水炉の3倍以下 （燃料単位重量当たり）
・再処理単価	軽水炉の2.5倍以下 （燃料単位重量当たり）

図2　高性能MOX燃料の開発

○高燃焼度の効果（約9万→約15万MWd/t）



（ 製造単価　軽水炉×約5
再処理単価　軽水炉×約4　で一定とした場合 ）

MOX：PuとUの混合酸化物

○高速炉炉心材料の開発目標と位置づけ

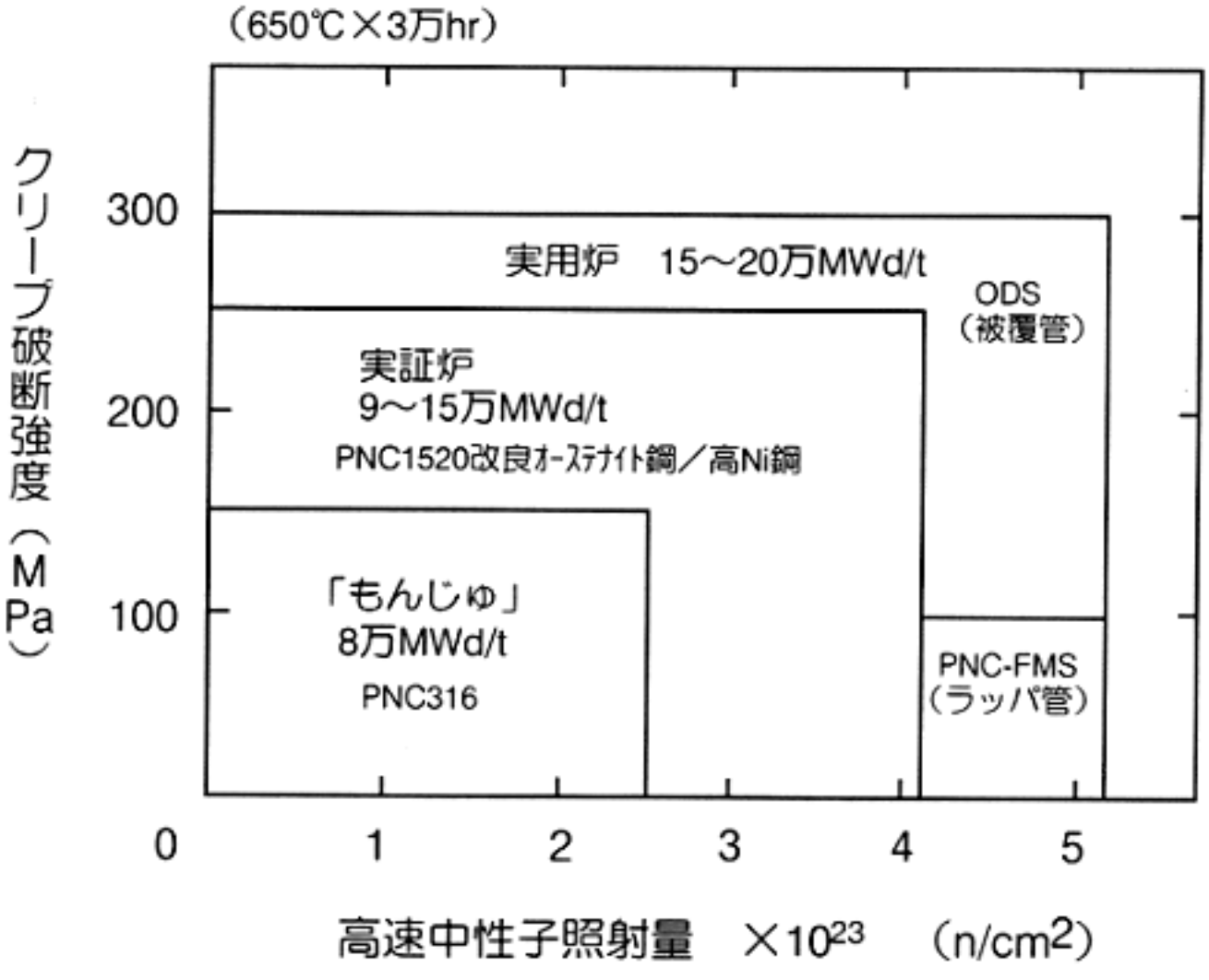


図3　経済性向上の為の研究開発課題

:経済性目標　:開発テーマ　主な研究開発課題 :2010年頃、:2030年頃

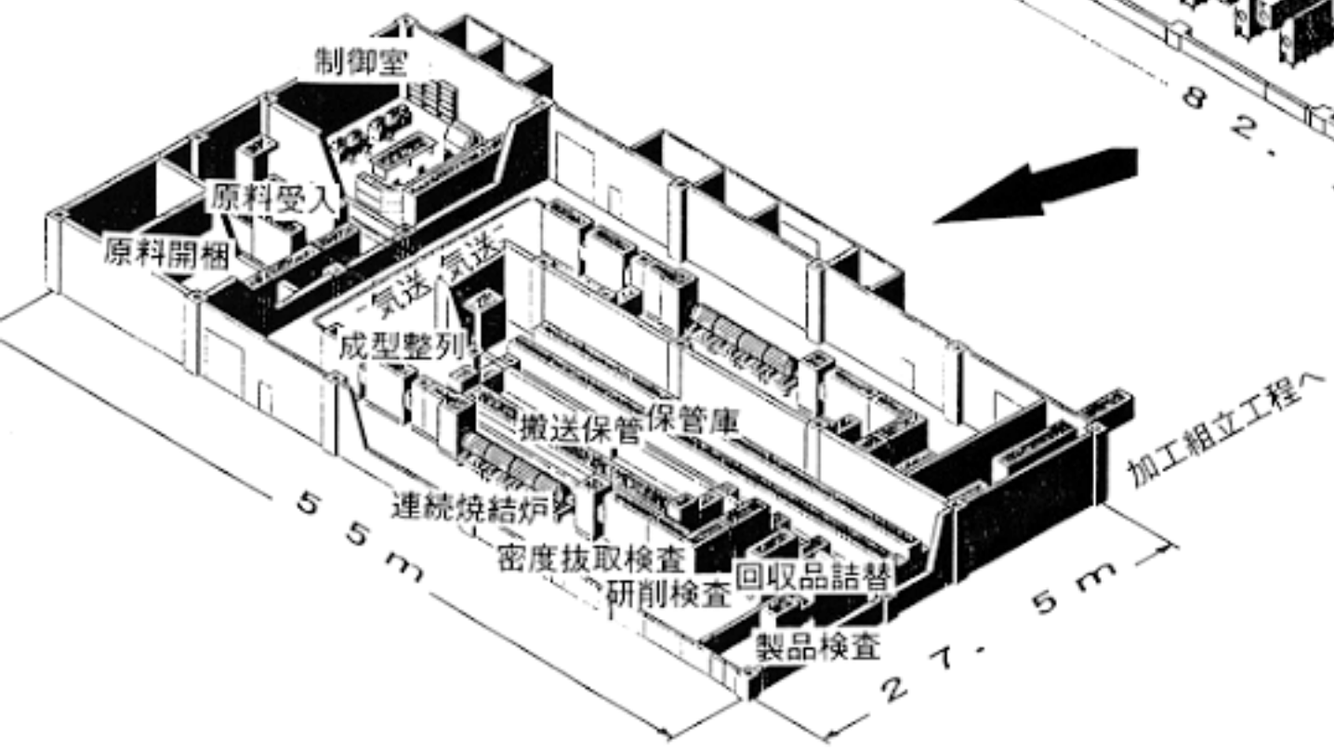
燃料製造単価を軽水炉の3倍以下(単位重量当たり)

		主なコストダウン効果
工程設備の高度化	○ペレット等搬送システム改良 ○コンパクトで高性能な製造・検査機器の開発	施設建設費、操業費削減
製造プロセスの合理化	○プロセス簡素化 ○粉末/焼結特性制御技術の開発	
検査基準の合理化	○高速分析技術の開発 ○検査基準、項目の見直し、緩和	
保障措置の高度化	○保障措置の省力化 ○オンライン高性能機器の開発	
免震工法の採用	○核燃料施設の免震構造の検討	施設建設費削減
部材の合理化	○仕様の緩和　○設計合理化	部材費削減
バイパック燃料の開発	○ゲル化直接顆粒粉製造技術の開発 ○バイパック技術の開発	施設建設費、操業費削減
革新型燃料集合体開発	○ダクトレス燃料集合体の開発 ○構造、設計基準等の検討	部材費削減

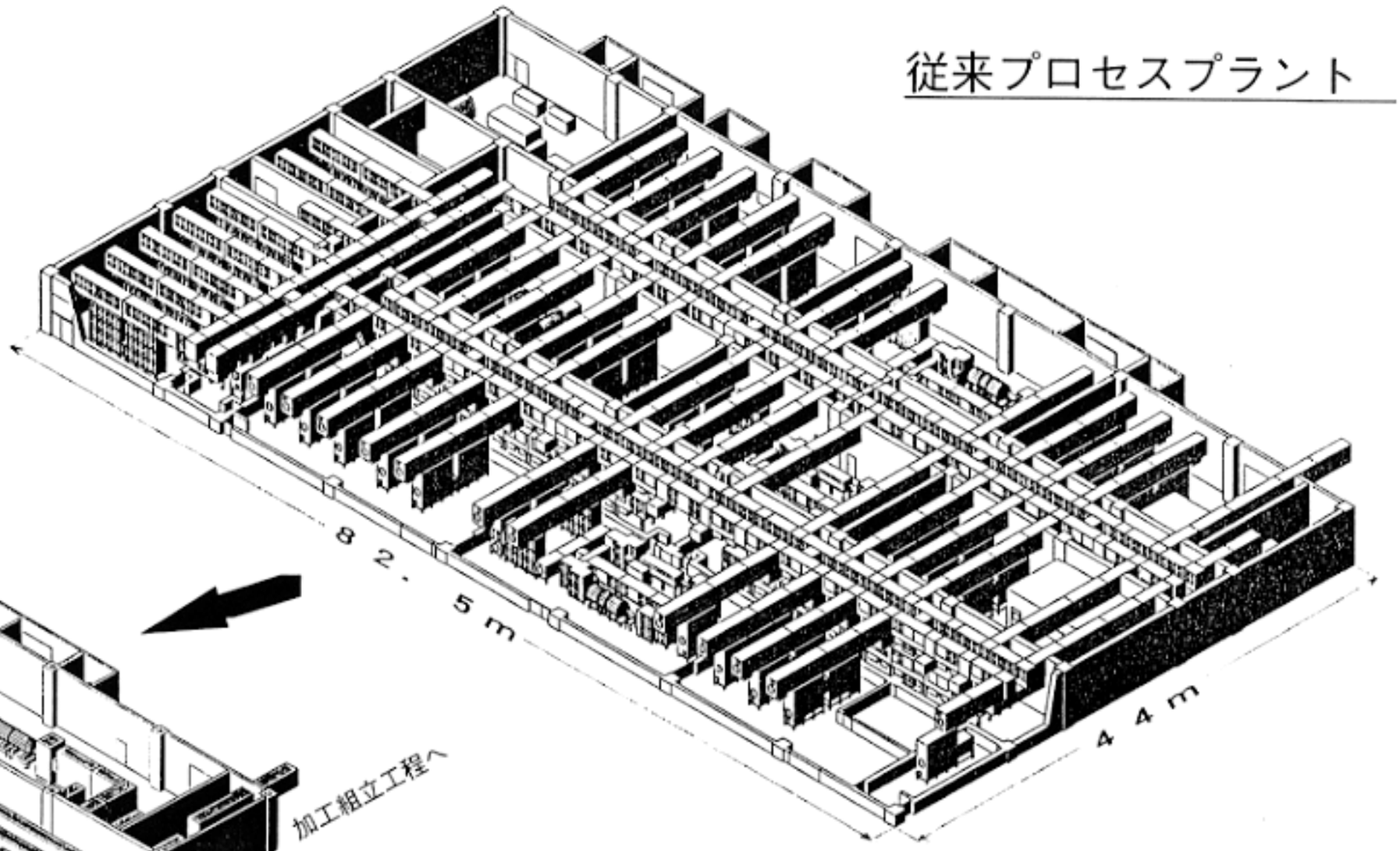
（図4）

再処理単価を軽水炉の2.5倍以下(単位重量当たり)

		主なコストダウン効果
プロセス高度化（図5）	○フローシート開発 ○U、Pu製品の簡易的処理 ○長寿命、高性能機器開発	施設建設費削減
廃棄物発生量低減（図6）	○ソルトフリー技術開発 ○酸、溶媒のリサイクル率向上	
プラント設計の最適化（図7）	○小型ラックシステムの開発	
施設運転自動化	○分析及びプロセス運転の自動化	操業費削減
免震工法の採用	○核燃料施設の免震構造の検討	施設建設費削減
革新型燃料集合体採用	○前処理工程機器の小型化	



合理化プロセスプラント



従来プロセスプラント

合理化のポイント

1．溶液段階でﾌﾟﾙ含有量調整・・・・ｳﾗﾝとﾌﾟﾙ混合工程の削除
2．流動性の良い粉末を利用・・・・造粒・予備焼結工程の削除
3．少量の不良品は再処理へ・・・・回収工程の削除
4．設備の機能複合化・・・・・・・設置面積の削減

図４　高速炉MOX燃料製造プラント（50ﾄﾝ/年）の設計例

図5　プロセス高度化

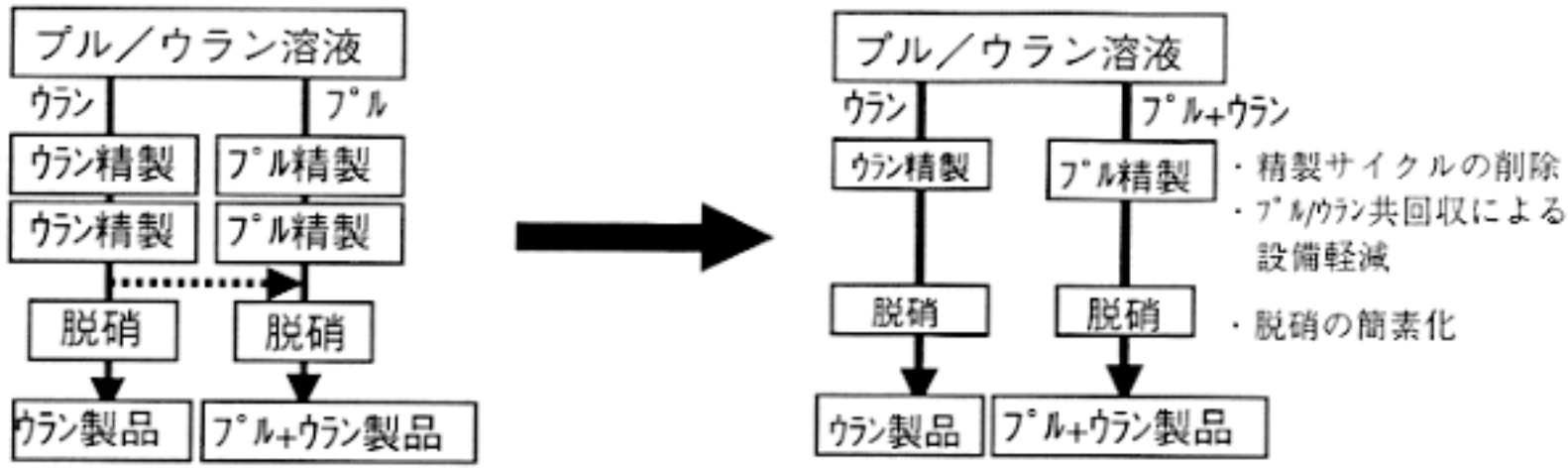


図6　廃棄物発生量の低減

(抽出試薬の再利用を図るための試薬の改良による)

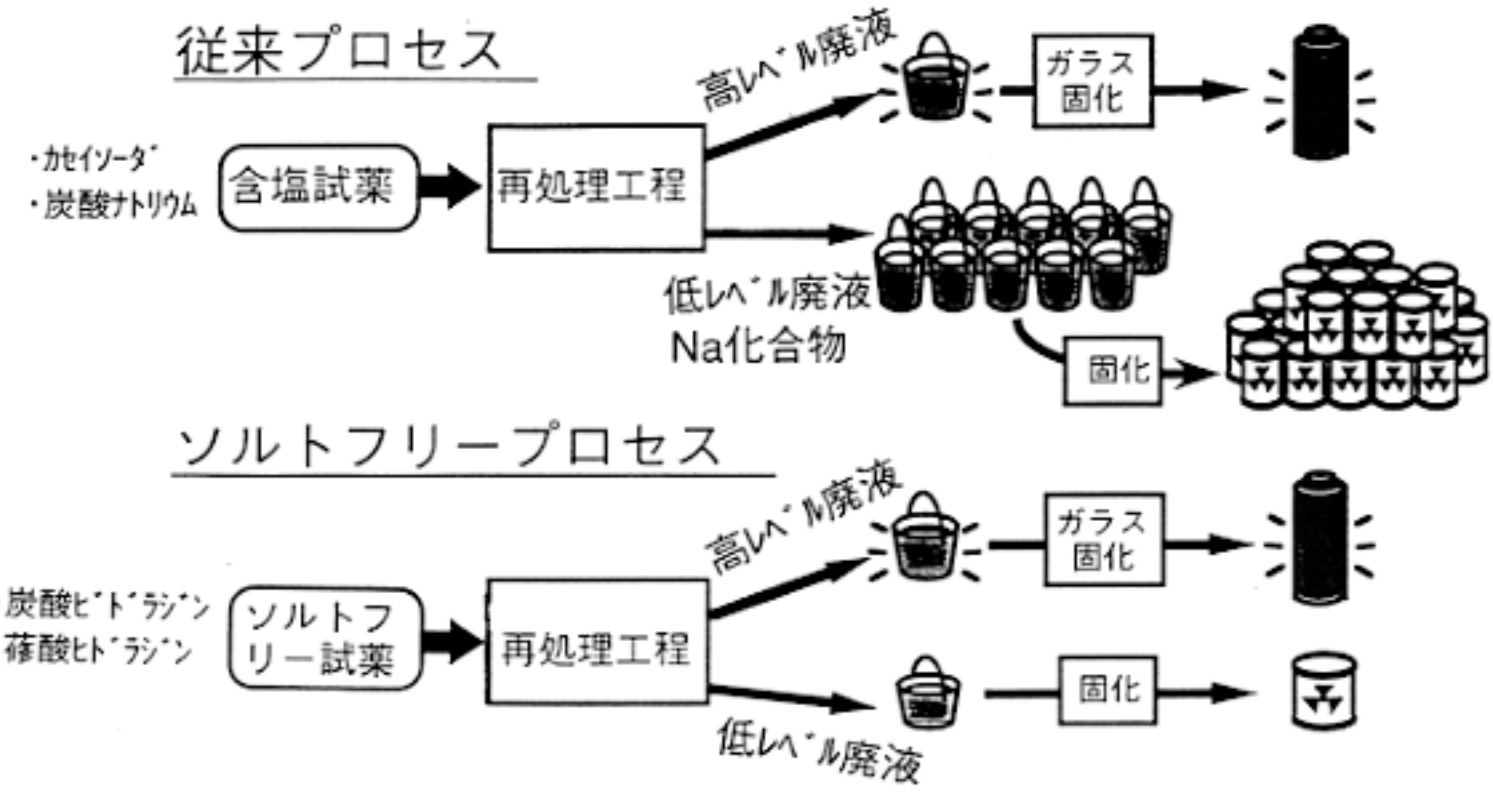


図7　プラント設計の最適化

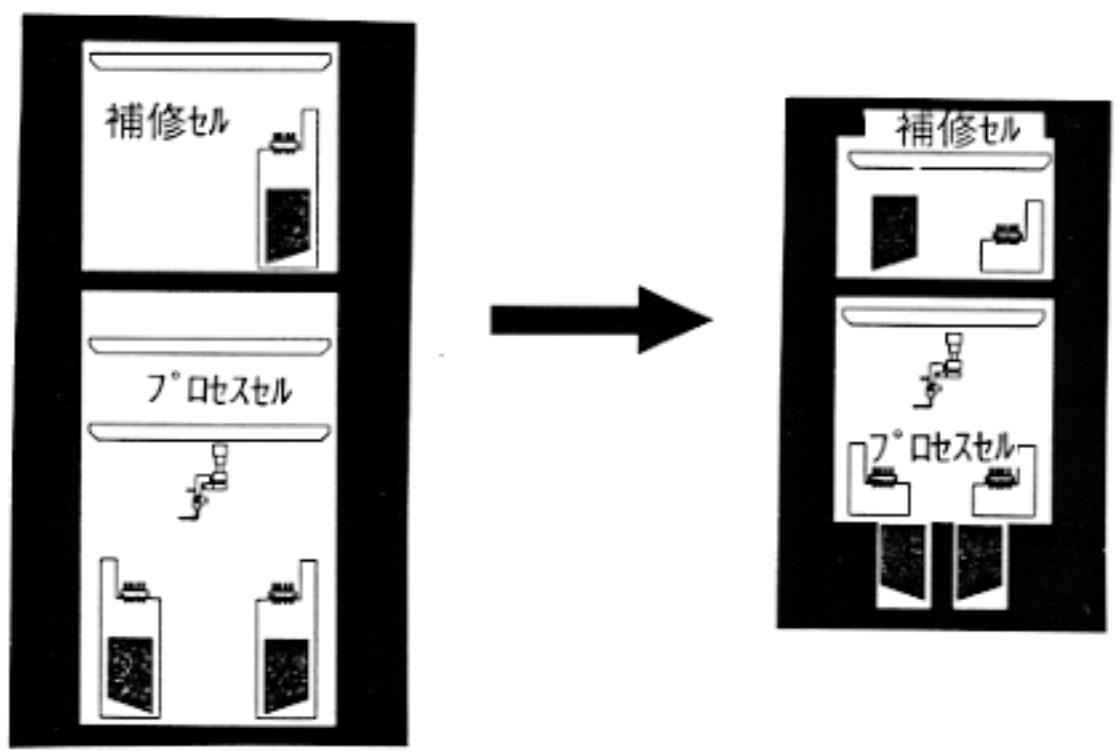
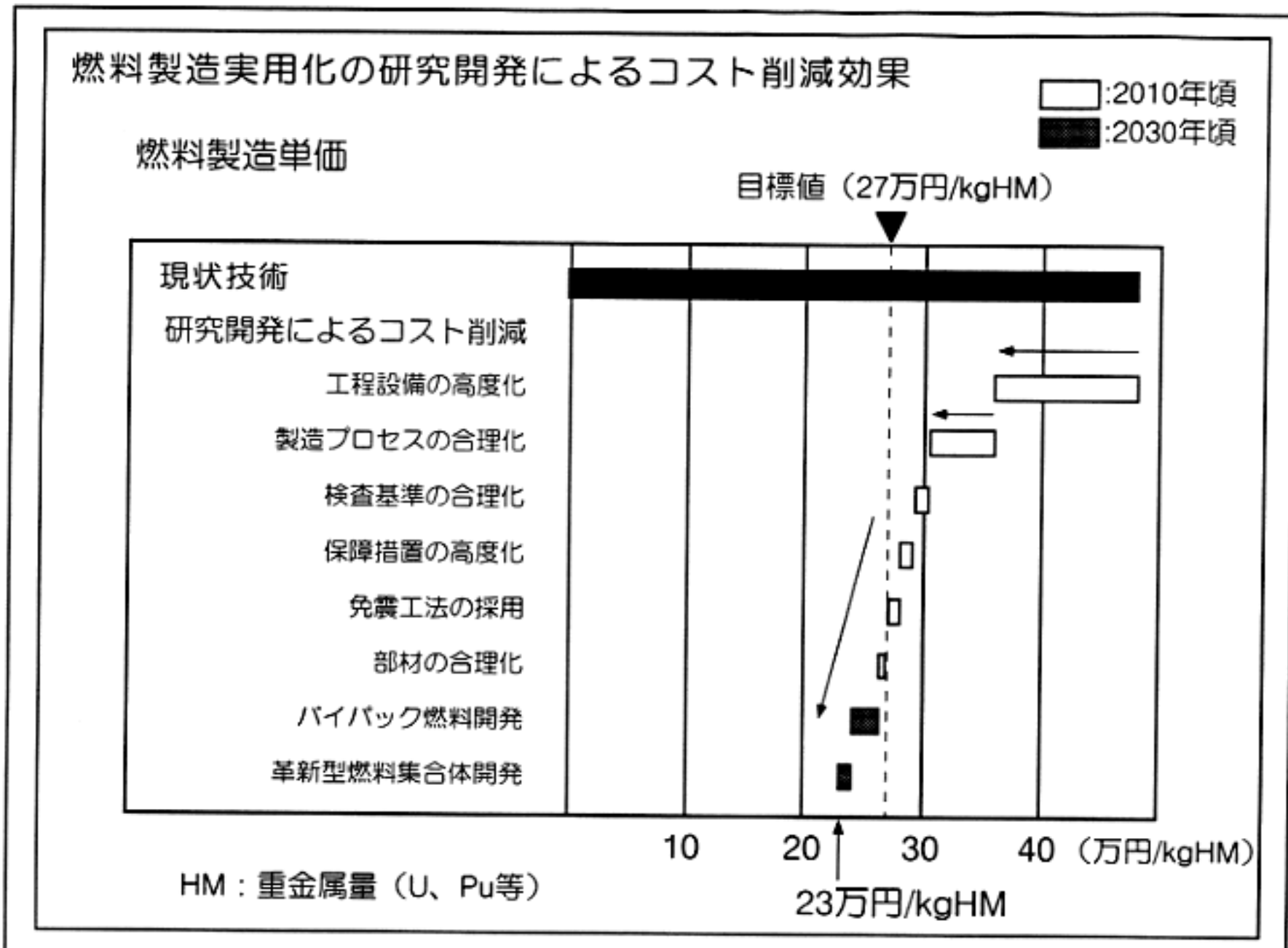


図8　燃料サイクル単価の削減



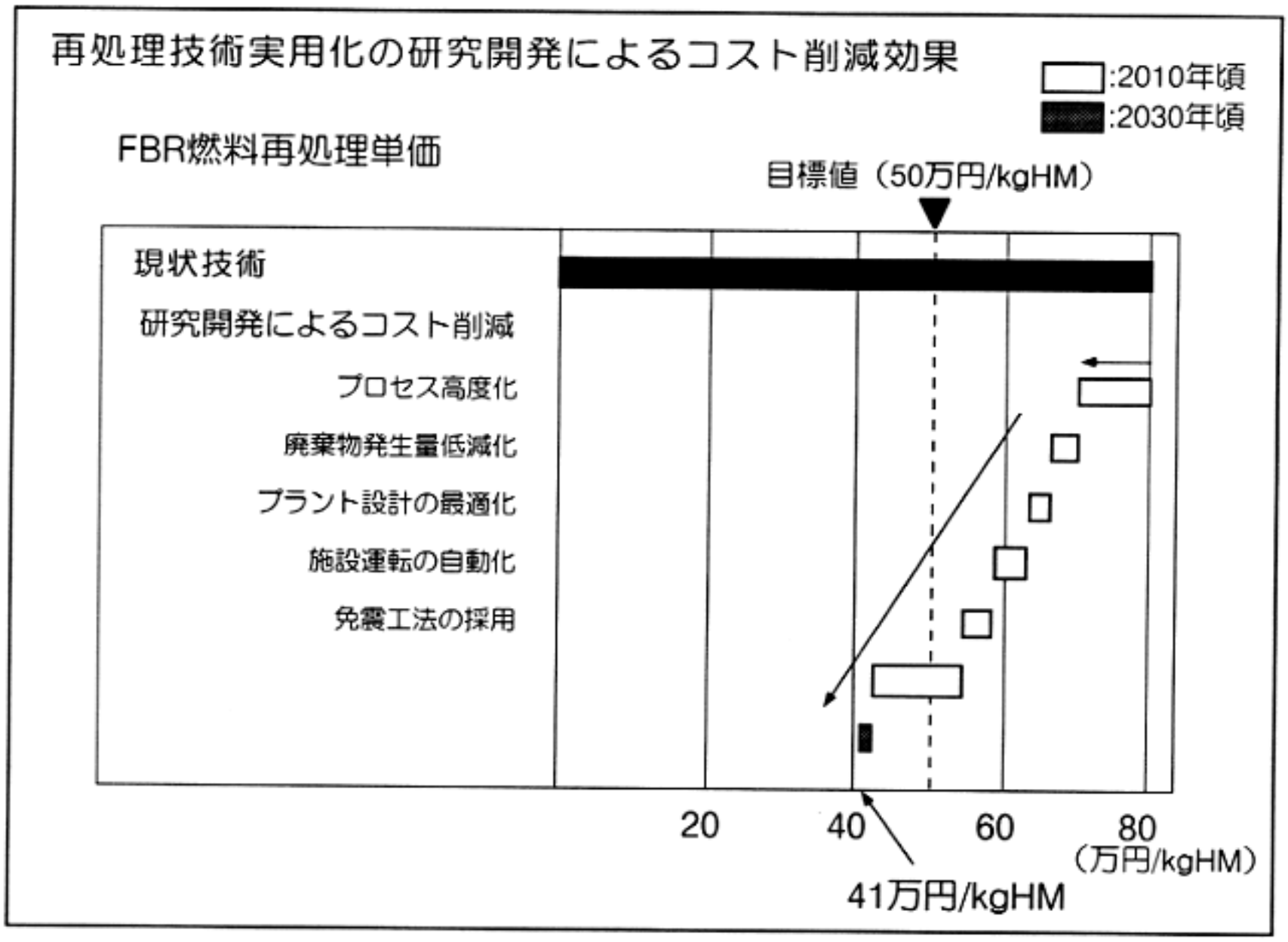
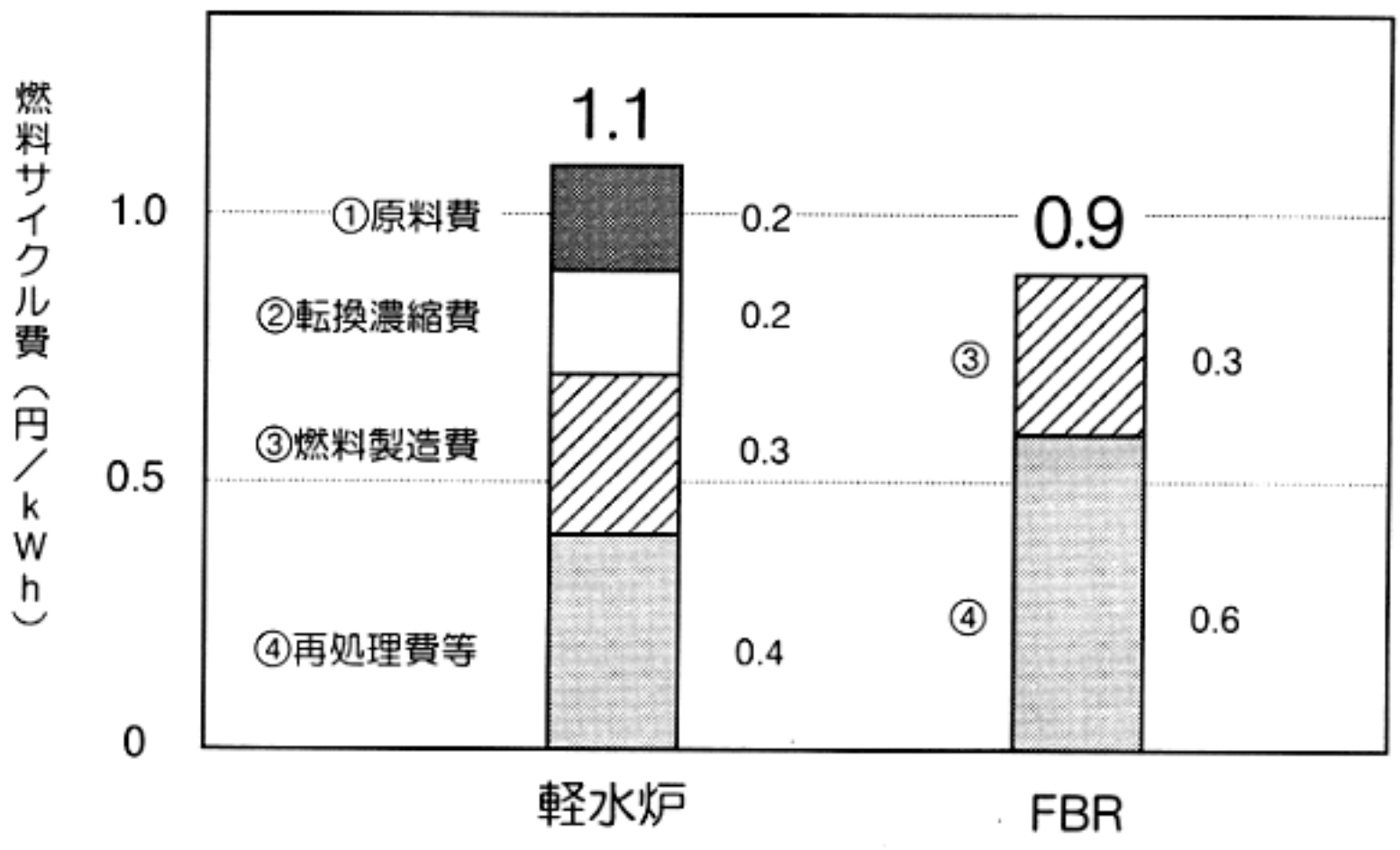


図9　燃料サイクル費削減見通し

○燃料サイクル費試算の前提条件

項　目			軽水炉サイクル	FBRサイクル
燃料サイクル費			16年平均現在価値換算 均等化コスト	
燃焼度（炉心燃料取出平均）		(MWD/t)	約5万	約15万
燃料サイクル単価	①	天然ウラン購入 (万円/kgU)	0.72 (2030年)	―（劣化ウラン利用）
		プルトニウム価値 (万円/gPuf)	0	同左
	②	ウラン濃縮 (万円/kgSWU)	1.1	―
		UF_6転換 (万円/kgU)	0.08	―
	③	燃料製造 (万円/kgHM)	9	23
		径ブランケット製造 (〃)	―	9
	④	再処理 (万円/kgHM)	20	41
		使用済燃料輸送 (万円/kgHM)	2	同左
		高レベル廃棄物処分 (万円/kgHM)	1.1	1.6
為替レート			$1=¥100	同左
現在価値換算率		(%)	5.0	同左

Puf：核分裂性プルトニウム、SWU：ウランの濃縮分離作業量、HM：重金属（U、Pu等）

○将来（2030年頃）の燃料サイクル費の比較