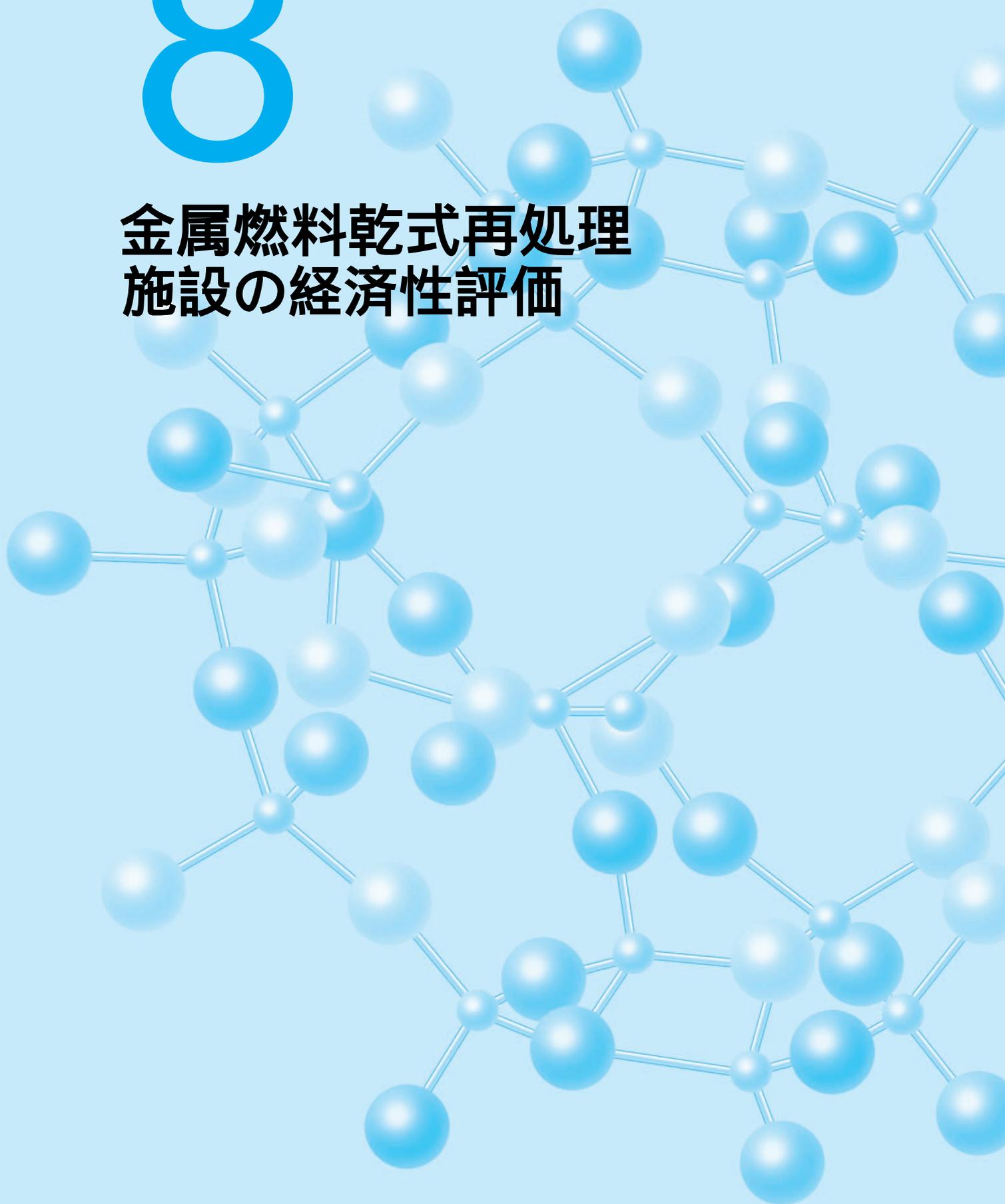


第

8

章

金属燃料乾式再処理 施設の経済性評価



第 8 章 金属燃料乾式再処理施設の経済性評価 目次

柏江研究所 上席研究員 研究参事 常磐井守泰

8 - 1	施設の概念設計	67
8 - 2	施設の概念設計結果	68
8 - 3	経済性評価結果	69

常磐井守泰 26ページに掲載

第 8 章 金属燃料乾式再処理施設の 経済性評価

FBRの再処理プラントでは、FBRの導入初期、平衡サイクルに至る中間的な過程、および大量処理が必要な平衡サイクル・実用化時期に到るステップまで考えると、従来考えられてきた大型施設のみではなく、必要に応じて処理能力を順次増強でき、技術の進歩を適時取り入れ

やすいバッチシステムによる構成が合理的である。このような考えをふまえて、リサイクルシステムの最小単位について評価し、規模を増大させる場合には単位処理ラインを増設するという考え方で施設の経済性を評価した。

経済性を評価するために施設の概念設計を行った。再処理と燃料製造を行うリサイクル施設、および廃棄物を固化処理する施設、ならびに酸化ウラン、酸化プルトニウム混合物を金属に還元する燃料転換施設の概念設計を行った。表8-1-1に施設の構成を示す。

乾式リサイクル施設の年間の処理量は20トンで、標準的な均質2領域の大型FBR(約100万kWe)のリサイクルを賄える。また、当研究所が中型炉用に設計した径方向非均質炉であれば、燃料の炉内滞在時間が大幅に延びるので、210万kW(30万kWe7基)を賄うことが出来る。本評価では、当研究所設計の中型炉をレファレンスとして経済性を評価した。

8 - 1 施設の概念設計

8-1-1 プロセスフロー

施設設計を行うにあたり、第4章の図4-5-1に示したプロセスフローとマスバランスをもとにした。

8-1-2 施設設計

金属燃料乾式再処理施設は、再処理と燃料製造を行なうリサイクル施設(アルゴンセル)、リサイクル施設から排出された廃棄物を安定な固化体に製造する廃棄物処理施設(空気セル)、および初装荷燃料を製造する転換施設(アルゴングローブボックス、原料は軽水炉燃料の湿式再処理施設で精製されるプルトニウムとウラ

表8-1-1 金属燃料サイクル施設の構成

施設の名称	目的	備考
1.リサイクル施設	使用済みの燃料集合体を受け取り、必要な除染処理を行ない、新燃料を製造して集合体にまで組み上げて炉側に排出する。また、工程で発生した廃棄物を排出する。	<ul style="list-style-type: none"> 再処理工程、燃料製造工程、分析工程で構成 アルゴンセルで燃料を処理 計量管理のための分析ポイントは、射出成型工程
2.廃棄物処理施設	リサイクル施設から排出された廃棄物を受け取り、処分に適合する固化体を製造する。	<ul style="list-style-type: none"> 電解槽からの廃塩処理 電解槽からの貴金属FPの固化 全工程からの廃棄物(廃坩堝、その他廃棄物) 空気雰囲気セル
3.燃料転換施設	軽水炉湿式再処理工場のプルトニウム製品を原料とし、金属に還元する。還元物質にウラン、ジルコニウムを適量添加し、射出成型装置で初装荷燃料を製造する。	還元処理は6トン/年で、5ヵ年間で1炉心分のドライバ-燃料を製造する(ブランケットは別の施設で製造すると仮定) (射出成型装置はリサイクル施設に設置した装置を使用する)

ンの混合物)で構成される。廃棄物処理施設については、空気雰囲気セルで行なう方がコストメリットがあると考え、独立の建屋とした。

システムはバッチプロセスであり、物質の流れに沿って機器が直線的に配置され、機器間の物質の移動は床走行ロボットが行う。天井走行クレーンに比べて床走行ロボットとすることで、セルの天井高さを低減できる。扱われる物質は固体状であり、各機器で処理した製品は温度が十分下がって塩などが固化してから取り出す。製品は所定の容器に入れて搬送し、物質を受け渡すステーションで機械によって各装置に装荷される。

8-1-3 適用する機器

適用する技術の設定においては、工学規模装置が稼働

あるいは設計・製作段階にある機器を採用した。また、工学規模の装置の設計例がない場合には、アルゴン国立研究所(ANL)あるいは当研究所で小規模な装置が順調に稼働していることを条件に、それをスケールアップして適用することとした。従って、採用した各機器は、それぞれ技術的に成立することが既に実験によって確認されており、かなり確度の高い根拠データに基づく運転条件を想定できた。

一方、乾式リサイクルシステムの製品は固体状であるので、それらをどのようにハンドリングするのかがシステム設計上極めて重要な検討事項となる。ここでは、2000年時点で原子力産業界で実用化されていると想定される技術を適用して、積極的に自動化を図った場合の「商用施設」を考えている。

8 - 2 施設の概念設計結果

8-2-1 リサイクル施設

リサイクル施設の基本仕様を表8-2-1に示す。リサイクル施設では、使用済み燃料の再処理と使用済み塩からの超ウラン元素の抽出、および燃料の製造を同一のアルゴンガス雰囲気セルで遠隔操作で行う。再処理には電解精製、燃料製造には射出成型法を適用している。超ウラン元素を抽出した後の使用済み塩は、廃棄物処理施設に排出される。

主要な機器は、燃料せん断装置、電解精製槽と超ウラン元素抽出器、カソードプロセッサ、射出成型機、燃料ピン処理機、ボンドナトリウム充填機、端栓溶接機などである。封入された燃料ピンは、隣接の空気雰囲気セルに送られて検査される。検査済み燃料ピンは、集合体に組み立てられ、炉に供給される。これらの運転操作は遠隔で行われる。

施設の建屋寸法は72 L × 48 W × 23 H (m)、建屋体積は約43,000 (m³)となった。また、アルゴンセルの体積は約(1,400 m³)となった。

8-2-2 廃棄物処理施設

廃棄物処理施設の基本仕様を表8-2-2に示す。廃棄物の種類は、電解精製槽から排出される廃塩、せん断燃料片の一部である被覆管ハルと塩に溶解しない貴金属FP (ロジウム、ルテニウム、パラジウムその他、モリブデン、ニオブなど) および高温の装置から排出される坩堝やモールドなどである。

本設計時点では、廃棄物処理の方法は確定しておらず、当時のANLの方針を踏襲して廃塩の固化にセメント固化法を暫定的に適用した。その結果、建屋寸法は、46 L × 46 W × 28 H (m)であり、建屋体積は約38,000 (m³)である。なお、本設計が完了した後で、セメント固化法では水素の発生問題の解決が困難と判断され、新規にゼオライト(最終的な固化体はガラス結合型ソーダライト)を用いる方法がANLで開発され、それを参考に当研究所では、塩廃棄物をソーダライトに直接固化する方法を研究している。

表8-2-1 金属燃料リサイクル施設の基本仕様

主要目	仕様	備考
年間処理量	20トン	使用済み燃料中の重金属
年間稼働日数	200日	湿式プラントに揃えた
取り出し燃焼度	10.5万MWd/トン(平均)	ドライバ燃料
	3.8万MWd/トン	ブランケット燃料
プルトニウム富化度	22.4wt%	ドライバ燃料
燃料製造法	射出成形法	100本/バッチ
燃料端栓溶接	電気抵抗溶接法	電気抵抗溶接
燃料せん断法	バンドルせん断	一部ピンを化学分析用に抽出後にせん断処理
FPの除染	電解精製法	固体陰極、液体カドミウム陰極を使い分けるデュアルカソード方式
蒸留精製法	蒸留によるカソードプロセッサ	塩、カドミウムを蒸発させ、ウラン、プルトニウムはインゴットで回収
アルゴンセル	裸の状態の燃料を扱う工程はすべてアルゴンガスセル中に設置	金属燃料は活性金属であり、酸化されるため
空気セル	燃料の端栓終了後は空気セル中で扱う	集合体の解体、新燃料の検査、新燃料集合体組み立てと検査
初装荷燃料の金属燃料の製造	湿式再処理工場のウランとプルトニウムの混合酸化物を還元して金属合金を得、射出成型装置にて金属燃料に成型加工する。	
実施年度	1992年度	

8-2-3 転換施設

転換施設の基本仕様を表8-2-3に示す。転換施設では、

各施設について、概念設計に基づく積み上げで建設費を算出した。また、運転費、部材費、消耗品費、人件費、廃棄物処分費、およびデコミッションング費など燃料サイクルコストの評価に必要なコストを算出した。これらのコストの算定には、類似の施設の単位体積あたりの建設費など、既存施設の情報を活用している。なお、土地代、プロジェクトエンジニアリング・管理費は含めていない。

8-3-1 施設の建設費

リサイクル施設

表8-3-1に建設費の内訳を示す。施設の建設費は約260

表8-2-2 廃棄物処理施設の基本仕様

項目	仕様
ラップ管部 FPガス 溶融塩の安定化法 ハル・セラミックス等 セル形態	圧縮梱包 高圧ボンベ封入 セメント固化法 銅中分散固化法(HIP) (酸洗浄によりTRU除去後) 空気セル

軽水炉使用済み燃料から湿式再処理施設で精製されたプルトニウム製品(酸化物)を受け取り、金属燃料用の合金を製造する。酸化物を金属に還元する方法として、現在は5章で示したりチウム還元法の研究開発を進めているが、本評価はリチウム還元法の検討開始以前に実施したために、当研究所が神戸製鋼と共同で開発したフッ化物電解還元法を用いることとした。その結果、建屋寸法は35 L × 29W × 10 H(m)、その体積は約900(m³)となった。

表8-2-3 転換施設の基本仕様

項目	仕様
重金属生産量	6トン/年
稼働日数	200日
原料	PUREX再処理済混合酸化物(炉心) U酸化物(ブランケット)
還元法	フッ化物溶融塩電解法
セル形態	Ar雰囲気グローブボックス

8 - 3 経済性評価結果

億円となった。プロセス設備費用は約60億円強で、全体の約1/4である。運転費の内訳を表8-3-2に示す。3直4班で運転するなど、既存の原子力発電所の運転経験などを取り込んで、運転要員数(147人、100万円/人・月と仮定)を算出し、人件費を算出した。必要な消耗品の数、量を算定し、それらを積み上げて消耗品費が算出された。運転費は40億円強となった。

廃棄物処理施設

廃棄物処理施設の建設費は約150億円となった。建屋コストは全体の1/4以下であるが、プロセス付帯設備が1/2強となり、その中でも中央制御設備費がプロセス・

表8-3-1 再処理・成型加工施設の建設費内訳

項目	コスト(億円)	備考
1. 建屋・建屋付帯設備		
建屋	27	
建屋換気設備	8.7	
建屋電気設備	10.1	
建屋給水設備	0.9	
建屋防火設備	0.3	
放射線管理設備	7.4	
小計	54.4	
2. プロセス設備		
集合体解体設備	25	
電解精製設備	5	
塩分離設備	2.5	
Cd蒸留設備	5	
射出成型設備	7	
集合体組立設備	7.5	
塩再生設備	2.7	
Cd再生設備	0.9	
ロボット設備	6.3	
小計	61.9	
3. プロセス管理・付帯設備		
中央制御設備	10	暫定値
ユーティリティ設備	10	暫定値
プロセス冷却系設備	21.9	
Arセル純化系設備	11.2	
空気セル空調設備	7.5	
廃液処理設備	7.8	
セル内ライニング	5	
セル内ハッチ	5	
分析設備	5	暫定値、計量管理含む
保守設備	5.9	
キャスク取扱設備	9.2	
資材貯蔵設備	0.2	
小計	98.7	
4. エンジニアリング費		
設計費	21.5	上記1～3の10%
工事管理費	21.5	上記1～3の10%
小計	43.0	
合計	258.0	

付帯設備の約60%強を占めている。

転換施設

転換施設の建設費は約110億円となった。

8-3-2 燃料サイクル費の評価

実用化時期を想定した時の発電プラント(30万kWe、稼働率80%)では、使用済み燃料の取り出し量は5.71トン重金属/20ヶ月で、年間当たり2.86トン重金属である。この際、燃料サイクル費は1.32円/kWeとなった。燃料サイクル費に占めるリサイクル費は72%、廃棄物処理費は19%、廃棄物処分費は9%である。

8-3-3 酸化物燃料サイクルとの比較

在来のMOX燃料サイクル(高除染湿式再処理とペレッ

表8-3-2 再処理・成型加工施設の運転費

項目	費用	備考
人件費(運転員)	17.6 億円/年	3直 5班 147名、100万円/人月
交換機器費	8.6	建物コストの1%、 プロセス設備コストの5%
動力費	1.5	84 × 10 ⁶ kWh、17.5円/kWh
消耗品費	13.4	
合計	41.1	

ト製造)と、金属燃料サイクルとを施設の建設費、サイクル費で比較した例がいくつか報告されている。それらを図8-3-1に示す。建設費では両者の比は3.3～5.2の範囲で異なっているが、金属燃料サイクルの方がMOX燃料サイクルよりも安いことは共通している。一方、サイクル費では金属燃料サイクルの方がMOX燃料サイクルよりも安いが、建設費程の差はない。

8-3-4 まとめ

本施設設計は1992年に行ったものである。金属燃料サイクルが技術開発途上であり、この評価以降にも多くの技術の進歩や大型装置による実証があり、これらの成果をもとにコスト評価を見直していく必要がある。一方、当研究所以外の組織でも、金属燃料サイクルの経済性評価も行われており、湿式再処理との比較でいえば、程度の差はあるものの金属燃料サイクルの方がMOX燃料サイクルよりも燃料サイクル費が安いと言う結果が得られている。

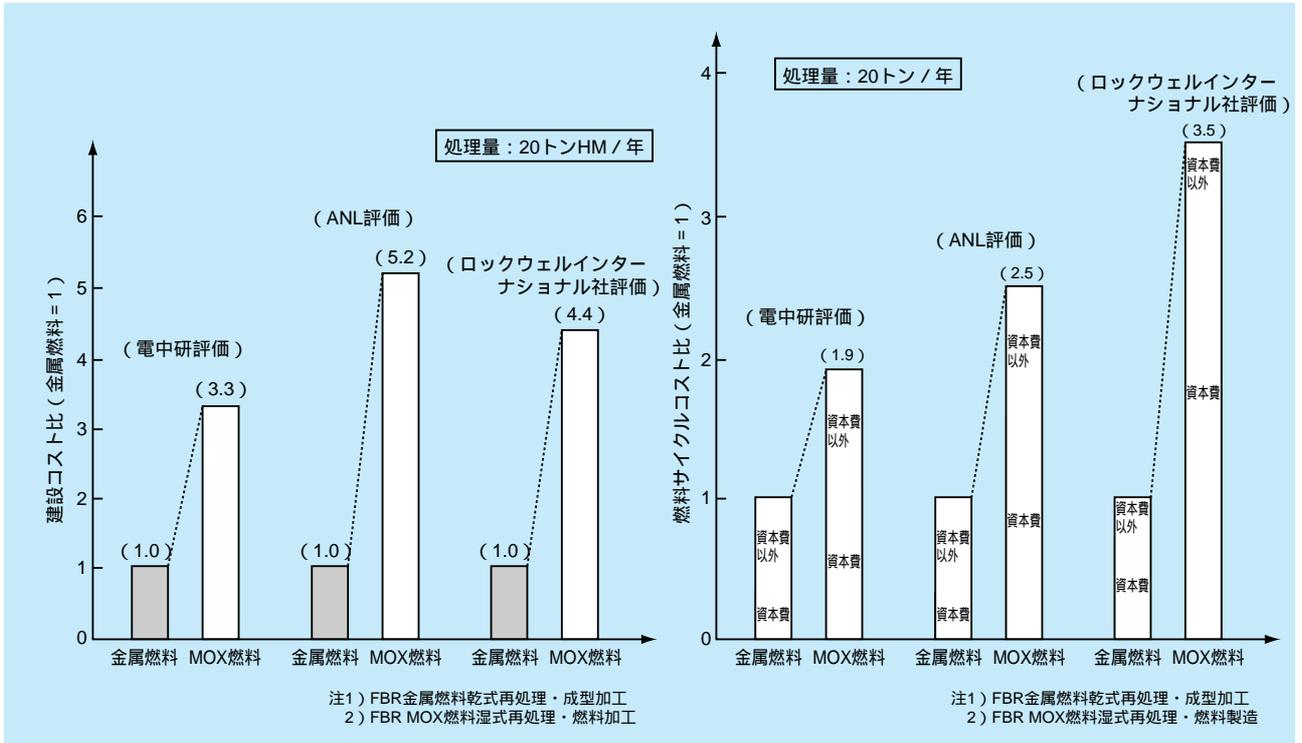


図8-3-1 金属燃料とMOX燃料の(左)再処理・成型加工建設費と(右)サイクル費の比較