

先進湿式MOXプラントのコスト評価

1997年12月

動力炉・核燃料開発事業団
東 海 事 業 所

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒319-11 茨城県那珂郡東海村大字村松 4-33

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所 (Tokai Works)

技術開発推進部 技術管理室

(Technology Management Section)

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technology Management Section, Tokai Works, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4-33, Muramatu Ooaza, Tokai, Naka-gun, Ibaraki, 319-11, Japan)

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation) 1997

公開資料

PNC TN8410 97-220

1997年12月

先進湿式MOXプラントのコスト評価

紙谷 正仁*, 小島 久雄*

要旨

動燃では、PUREX法をベースとした低除染再処理と簡易な燃料製造法からなる「先進湿式MOX」の概念を提案している。これは再処理／燃料製造／炉の設計境界条件を大幅に合理化あるいは変更し、湿式MOXサイクルを金属燃料サイクル並の簡素なサイクルに変更しようという構想である。

この概念では、核燃料物質を低除染でリサイクルすることで抜本的な再処理の簡素化を行う。これに伴って燃料製造工程も遠隔保守セル構造となることから、再処理・燃料製造を一体化した施設内に配置し、廃液処理設備やユーティリティ等を共有することで設備合理化を図る。

本報告は、こうした基本コンセプトのもとに施設概念を構築し、建設費の評価を行った結果をまとめたものである。

建設費の評価は、現行技術で建設した場合の「現行プラント」、現在継続されているR&Dを反映し、現行の高除染サイクル技術を高度化した場合の「基準プラント」、先進湿式MOXの概念を採用した場合の「先進プラント」の各ケースについて行った。

その結果、現行プラント（処理能力；50t/y）の建設費を1とした場合、基準プラント（50t/y）、先進プラント（100t/y及び50t/y）の建設費は、それぞれ0.60、0.66、0.50と評価された。

*技術開発推進部 アクチニドリサイクルグループ

目次

1. はじめに	1
2. 先進湿式MOXプラントについて	2
2.1 プラントの最終概念	2
2.2 実現に向けた課題	7
3. 建設費算出手順	11
3.1 システム概要	11
3.2 建設費算出の考え方	14
3.3 建設費算出手順	16
4. 建設費等算出結果	19
4.1 施設イメージ	19
4.2 建設費算出結果	26
4.3 MAリサイクル	29
4.4 処理単価算出結果	31
添付資料-1	33

1. はじめに

動燃では先進的核燃料リサイクルの一つのオプションとしてPUREX法をベースとした低除染再処理及び簡易な燃料製造法からなる「先進湿式MOX」の概念を提案し、再処理・燃料製造を一体化した施設のシステムスタディを実施してきている。本報告ではこの概念を簡単に紹介し今後の開発課題を示すとともに、その概念に基づく将来の燃料サイクルの経済性について評価した結果を報告する。

2. 先進湿式MOXプラントについて

2.1 プラントの最終概念

動燃は、MOX燃料とPUREX法による湿式再処理の組み合わせ（以下「湿式MOXサイクル」）を基本とした先進的なリサイクルの概念を提案している。具体的にはPUREX工程の精製工程を削除し、低除染係数の再処理製品を燃料に加工し、FBRにリサイクルするものである。これは再処理/燃料/炉の設計境界条件を大幅に合理化あるいは変更し、湿式MOXサイクルを金属燃料サイクル並の簡素なサイクルに変更しようとする構想である。

燃料製造もセル構造となるため、再処理工程と燃料製造工程を一体化した施設内にコンパクトに配置し、廃液

処理設備やユーティリティ等を共有することにより抜本的に簡素化された酸化物燃料のバックエンドを実現することが期待される。従来型の燃料サイクル施設における主要工程の構成と比較した形で先進的湿式MOXプラントの基本的な構成を図1に示した。

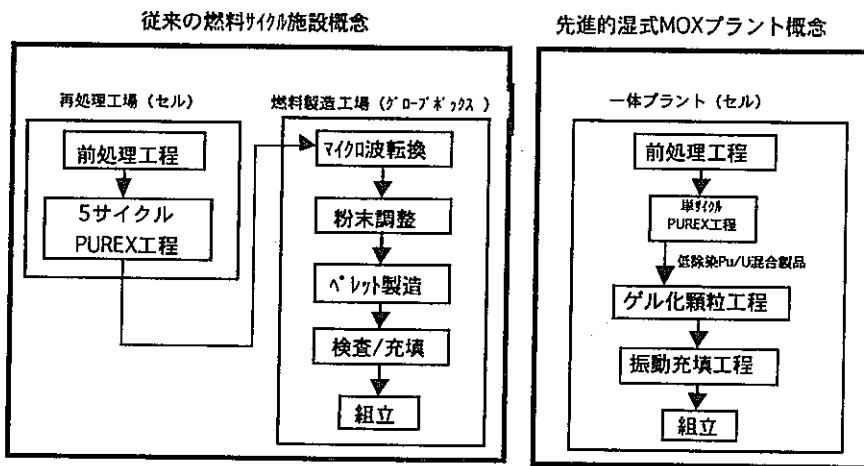


図1.先進的湿式MOXプラント概念の提案

(1) 湿式再処理工程の簡素化

再処理工程簡素化の概要を図2に示す。

従来は、共除染（分配）工程に加えてPuとUのそれぞれに2つの精製工程を設置した合計5つの抽出サイクルによりPuやUを核分裂生成物から約 10^7 程度以上の除染係数で回収してきている。このため、施設全体で扱う流体（水、硝酸、溶媒など）の量が多くなり必然的に貯槽の数などが多くなること、流体をリサイクル利用するために必要な蒸発缶等の付帯工程が多くなること等、処理量と比較して機器設備が大型し易く、廃液系のみならず排気系も複雑化し経済性を大きく左右する事となる。

一方、FBRでのPuの再利用を考えれば除染係数

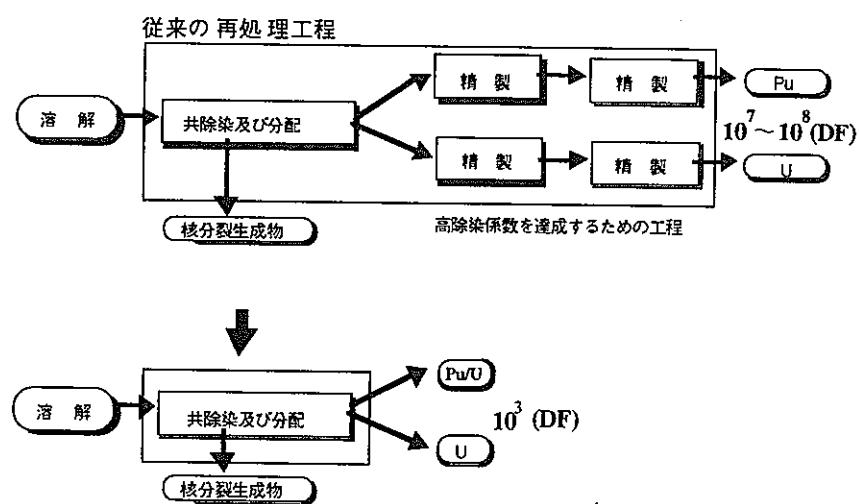


図2.再処理工程簡素化の概要

は 10^3 程度で十分である。動燃・高レベル放射性物質研究施設（CPF）におけるFBR再処理基礎試験の結果やTRPの経験等から、共除染工程だけでも 10^3 以上の除染係数を確保できる見通しが得られている。

「先進的湿式MOXサイクル」では、除染係数 10^3 程度までの精製しか行わない概念とし、これによって、再処理での分離精製工程の抽出サイクル数を従来型の1/5まで少なくした。抽出分離の工程を徹底的に簡素化すれば廃液発生量の大幅削減が可能となり、付帯工程も含めて物量の低減が期待でき、経済性の抜本的な向上が期待できる。

先進湿式MOXプラントの溶媒抽出工程は、下に示す特徴を合わせ持つ共除染工程だけで設計される（図3）。このような簡単な抽出工程を単サイクル抽出プロセスと呼んでおり、従来のPUREX法の開発・運転実績に基づきその成立性は十分に見通せるものである。また、この工程ではUも低除染で回収されるので、回収Uも遠隔でブランケット燃料に加工してリサイクル利用することとなる。

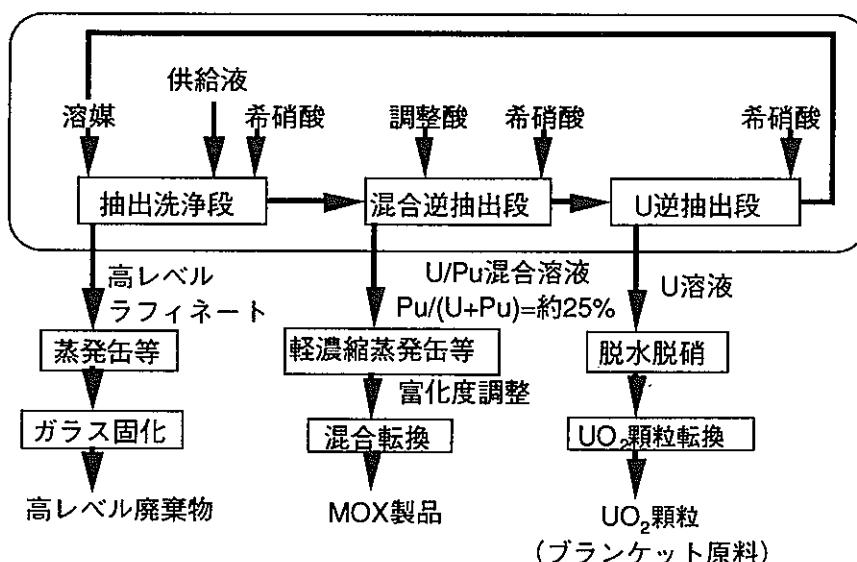


図3. 単サイクル抽出プロセス概念

① 工程合理化（経済性の向上）

サイクル数の削減、溶媒スクラブ液量の削減、温度制御等によるPu非還元分配による使用試薬量の削減等により発生廃液量の低減を図っている。発生する廃液は共除染工程からのものがほとんどとなるため大部分が高レベル系となる。

② Puの非単離回収（核不拡散性の向上）

逆抽出工程の温度制御や流量制御により燃料製造で必要とされるPu/U比に近いPu・U混合溶液として回収する。

③ MA回収（環境負荷の低減）

U, Puと共にNpの共回収は可能である。Am, Cmは高レベル廃液に移行するが、TRUEX法のような工程を付加することにより回収可能である。

ところで、低燃焼度のブランケット燃料の大部分はUであるため、ブランケット燃

料に比べ多量のPu及びFPを含む炉心燃料と別になんらかの簡易な方法で前処理し、大量のUを事前に除いておけば抽出分離と言う仕事量はかなり削減でき廃液発生量の一層の削減が可能となる。このような補完工程を上記の抽出工程の単サイクル化と併せて実現できれば、溶媒抽出工程はより簡素化できる。

Uの先行除去を可能とする補完的な技術について検討した結果、Uを多量に含む溶液の温度を下げることによって溶解度を越えるUを塩として析出させ分離する技術（晶析法）に着目している。大量のUの粗分離に本法を利用し、残液（Puや核分裂生成物及び溶解度範囲内のUを含む）だけを抽出処理すれば、抽出工程の規模は、晶析で回収できたUの量にはほぼ比例して削減でき、廃液量も同様に少なくなる。

(2) MOX燃料製造の簡素化

低除染型の先進湿式MOX燃料サイクル確立のためには、Pu/U原料の放射線量の増加のため、燃料製造においてはグローブボックスにおける直接ハンドリングにから遮蔽セル内での遠隔自動化操作に変更する必要がある。遮へいセル内での遠隔自動化による燃料製造を実現するためには製造工程をいかに簡素化するかが重要である。

燃料製造の簡素化として、ゲル化／振動充填の組み合わせが考えられる。

これはまず、再処理から供給される低除染Pu/U混合硝酸溶液をたとえばアンモニア水中に滴下し、数種類の所定粒径のゲル状の球として回収し、これを焼結してMOXの顆粒を得る。さらにこの顆粒MOX燃料を振動によって燃料ピンに充填する方法である。この方法は、工程が連続的であるため遠隔自動化製造という課題解決に合致したものである。

この方法と現行のMOX燃料ペレットの製造プロセスの比較を図4に示す。振動充填燃料の製造では、ペレット法に必要とされる粉碎・混合・造粒・成型、さらには研削工程が不要となるため、現状のペレット工程の大幅な簡素化が期待できる。今後の課題としては所定の粒径分布を持つ顆粒製造及び振動充填燃料の高密度化などが上げられる。

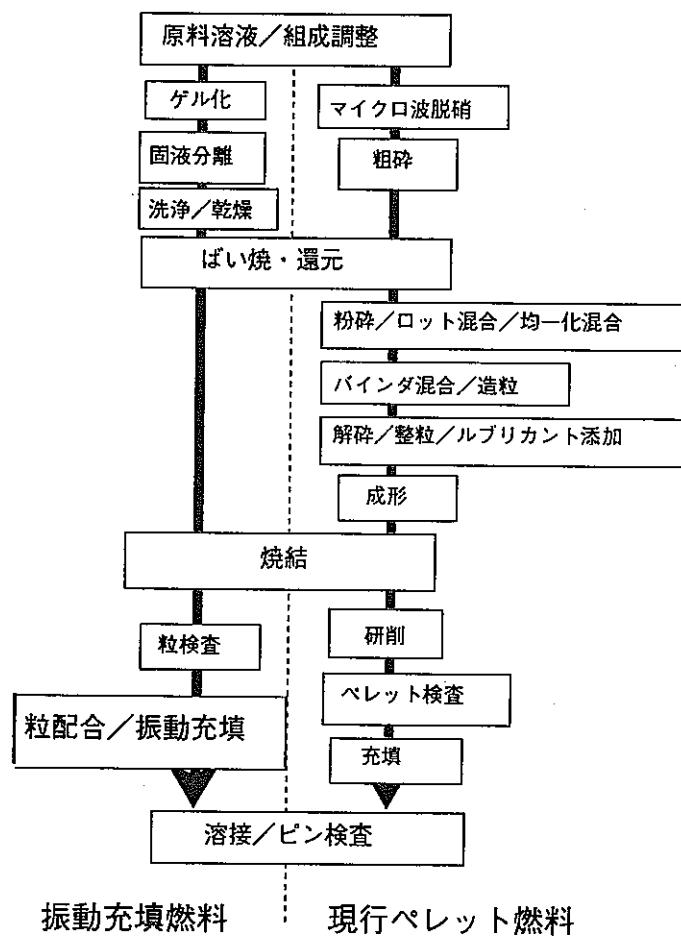


図4. 炉心燃料製造プロセスの比較

表1. MOX燃料/湿式再処理リサイクルシステムの開発

	現行工程の合理化	先進的技術
再処理技術 (分離・回収)	<div style="text-align: center; margin-bottom: 10px;"> PUREX法改良・高度化 </div> <ul style="list-style-type: none"> ・プロセス高度化 ・機器高性能化 ・プラント設計最適化 ・廃棄物発生量低減 ・施設運転自動化 ・免震 等 	<ul style="list-style-type: none"> ・単サイクルフローシート ・Pu/U/Np共回収 ・TRU廃棄物低減 ・晶析法 *MA核種回収
燃料技術	<div style="text-align: center; margin-bottom: 10px;"> MOX燃料高性能化 </div> <div style="text-align: center; margin-bottom: 10px;"> 製造プロセス高度化 </div> <div style="text-align: center; margin-bottom: 10px;"> 振動充填燃料 </div> <div style="text-align: center; margin-bottom: 10px;"> 製造プロセス 燃料設計 品質保証技術 </div> <ul style="list-style-type: none"> ・高燃焼度化 ・高線出力化 ・部材合理化 等 <ul style="list-style-type: none"> ・機器/工程高度化 ・基準合理化 ・保障措置高度化 ・免震 等 	<ul style="list-style-type: none"> ・遠隔燃料製造 ・TRU廃棄物低減 ・顆粒製造技術 (ゾルゲル,他)

* 採用候補技術

表2.高速炉燃料再処理実用化のための技術開発

-課題と関連R&D-

課題	開発目標	R&D項目
1.プロセス高度化 ・機器高性能化	・抽出工程の合理化 ・濃縮設備の合理化 ・機器の保守頻度の低減 ・小型化	・高DFフローシート (精製系の削除) ・溶媒抽出プロダクトの高濃縮化 ・長寿命、高信頼性機器の開発 ・解体・せん断機の一体化
2.プラント設計の最適化	・設計の高度化 ・小型ラックシステムの採用	・合理的な施設設計 ・保守思想の見直し
3.免震設計	・免震技術の採用	・建屋、機器の免震対応設計
4.廃棄物の発生量低減	・中低レベル廃液の発生量1/10	・ソルトフリープロセス ・酸、溶媒の完全リサイクル
5.施設運転の自動化	・運転員の大幅削減	・インライン分析技術 ・分析前処理の自動化 ・プロセス機器の自動運転技術
6.合理的安全評価手法 の開発	・安全基準の見直しなど	・安全評価データの取得、評価
「先進概念の開発」 7.単サイクル抽出プロセス	・U/Puの希望組成での共抽出 ・試薬使用量の削減	・フローシート確証
8.晶析技術	・補完技術としての晶析技術の最適化	・晶析条件の確認 ・晶析における除染係数 ・晶析装置
9.再処理燃料製造の一体化	・一体化施設による建設費の低減	・湿式再処理/製造一貫プロセスの検討

2.2 実現に向けての開発課題

先進湿式MOXプラントに採用する技術は基本的に現行のリサイクルシステムに立脚した技術であるため、現在進めている技術開発は大部分がこのプラントにそのまま適用可能である。「現行」と「先進」の間に技術開発のステップの明確な区分けが存在するものではないと考える。今後必要となる開発項目を表1に示した。

(1) 高速炉燃料再処理

表2に研究開発課題や目標を整理した。

事業団では1975年以降各工程機器の開発及びCPFでの基礎試験を進め、1985年頃までにPUREX法が高速炉燃料再処理に適用可能であるとの見通しを得た。その後、高性能新型機器の開発、抽出分離工程短縮化・含塩廃棄物発生量低減を目指したプロセス開発、大型セル遠隔保守システム開発等を進め、現在、2000年過ぎのホット試験開始をめざしたRETFの建設を進めている。RETFにおいて工程機器の性能確認や基本的フローシート条件を確認（現行工程の確立）したのち、U/Pu/Np共回収を含む単サイクル抽出システムの試験等（先進工程）を実施していく計画である。

(2) 酸化物燃料製造

研究開発の課題や目標等を整理すると表3の通りである。プルトニウム燃料第1開発室での基礎研究、プルトニウム燃料第2開発室での「常陽」、「ふげん」用燃料製造を経て、プルトニウム第3開発室で「もんじゅ」、「常陽」燃料製造を実施してきた。そして、MOX燃料製造コスト低減をめざし、簡易ペレット製造の技術開発を展開している。並行して中空ペレットの開発も進めており、2000年代前半に「もんじゅ」燃料製造に適用する予定である。

燃料の高性能化（高燃焼度化、高線出力化）については被覆管材料の開発が重要であり、事業団は「常陽」のみならずPHENIX等の海外炉も利用しての照射試験を通して実証データを取得している。

振動充填燃料は、英国、スイス、ロシア、ドイツ、インド、日本等で開発が行われ、動燃でも1960年代後半に振動充填燃料ピンを18本試作し、最高約50GWd/tまでの照射試験を海外炉を利用して行った経緯がある。現在もスイスとロシアで開発が継続されており、良好な製造や照射実績が得られつつあることから、先進湿式MOXの燃料製造技術として大いに期待できる。

(3) 課題の整理

実用化に向けた湿式MOX技術開発のWBSを図5(1)及び(2)に示した。また図6には主要な項目を模式的に示している。

より一層のコスト低減効果の期待される晶析法や振動充填法についてはその技術成立性の見通しを得るべく既存施設の有効利用や共同研究等により開発を加速していく。また、燃料製造工程の遠隔保守化については再処理施設での経験を活かし、検討を実施していく。

**表3.高速炉MOX燃料実用化のための技術開発
-課題と関連R&D項目の選定-**

課題	開発目標	R&D項目
「燃料高性能化」 1.燃料高性能化	炉心の高線出力化480W/cm、高燃焼度化 15~20万MWd/tによる発電原価低減 (20万MWd/tはR&DIIとする)	<ul style="list-style-type: none"> ・炉心材料の開発 ・照射試験による燃焼度保証 ・出力上昇パターン合理化 ・燃料設計手法の合理化
2.部材の合理化	部材仕様緩和、加工法の合理化	<ul style="list-style-type: none"> ・要素部材、種類の合理化 ・製造仕様の緩和
「プロセス高度化」 3.機器の高度化	製造、検査の高度化、自動化、機器の高信頼性化 (3→2ライン化、成型・焼結の連続化、連続炉等)	<ul style="list-style-type: none"> ・物流システムの開発、改良 ・高速化機器の開発 ・改良高度化製造・検査機器/設備の開発
4.製造プロセス高度化	原料工程、製造工程の合理化 (転換工程でのPu/U調整、U受入れ貯蔵/粉末秤量/混合/造粒削除等)	<ul style="list-style-type: none"> ・プロセスの簡素化の実証 ・粉末/焼結特性コントロール技術の開発
5.検査基準の合理化	検査の合理化による省力化 (線密度の採用、ピン検査及び検査設備合理化)	<ul style="list-style-type: none"> ・高速分析技術の開発 ・検査基準、項目の見直し、緩和
6.保障措置、保守等の合理化	査察及び保守の効率化による稼働率向上	<ul style="list-style-type: none"> ・保障措置の省力化 ・オンライン高性能機器の開発
7.建屋の免震	免震対応による設備・機器の軽量、コンパクト化	<ul style="list-style-type: none"> ・核燃料施設の免震構造の検討 ・建屋免震基準の策定 ・設備・機器の軽量コンパクト化
「先進概念の開発」 8.バイパック燃料の開発	バイパック燃料による転換・製造工程数の大幅簡素化	<ul style="list-style-type: none"> ・ゲル化直接顆粒粉製造技術の確立 ・バイパック技術の開発 ・噴霧熱分解新プロセスの開発
9.再処理・燃料製造一体化	一体化施設による建設費の低減	<ul style="list-style-type: none"> ・湿式再処理/製造一貫プロセスの検討

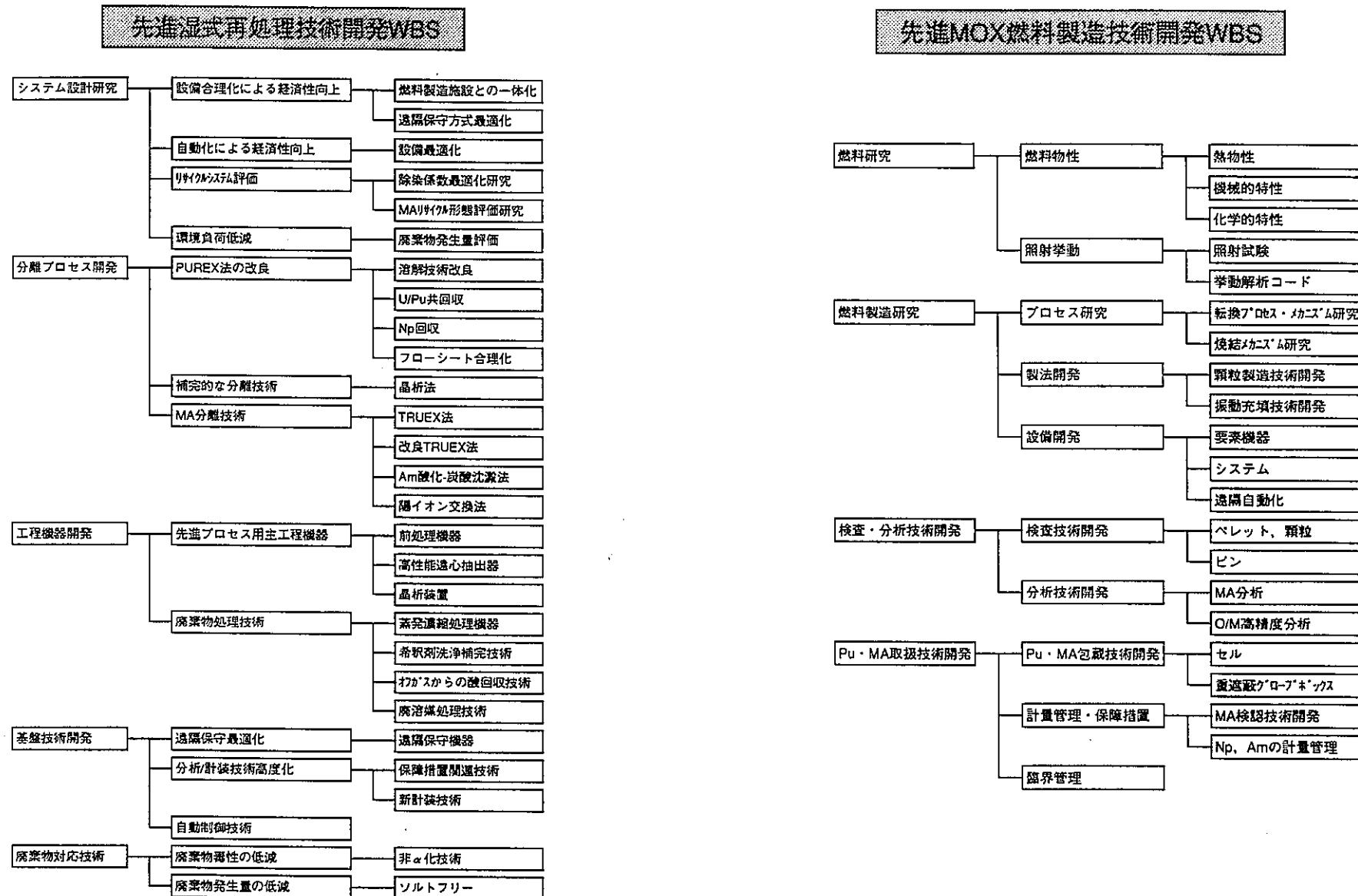


図5(1) 「先進湿式MOX」技術開発WBS
再処理技術開発

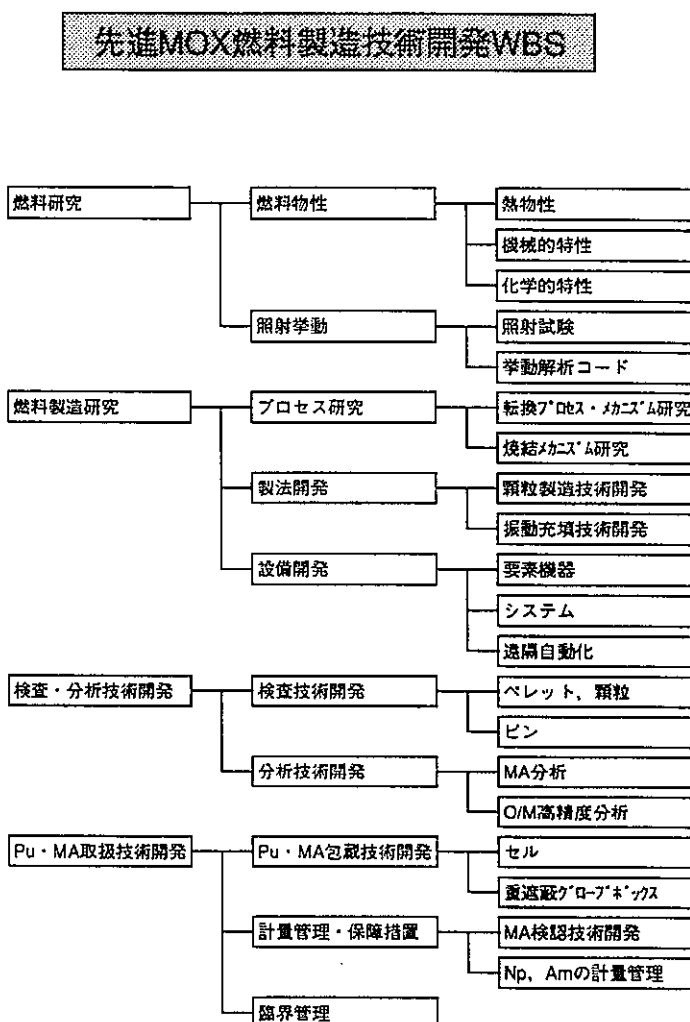


図5(2) 「先進湿式MOX」技術開発WBS
燃料技術開発

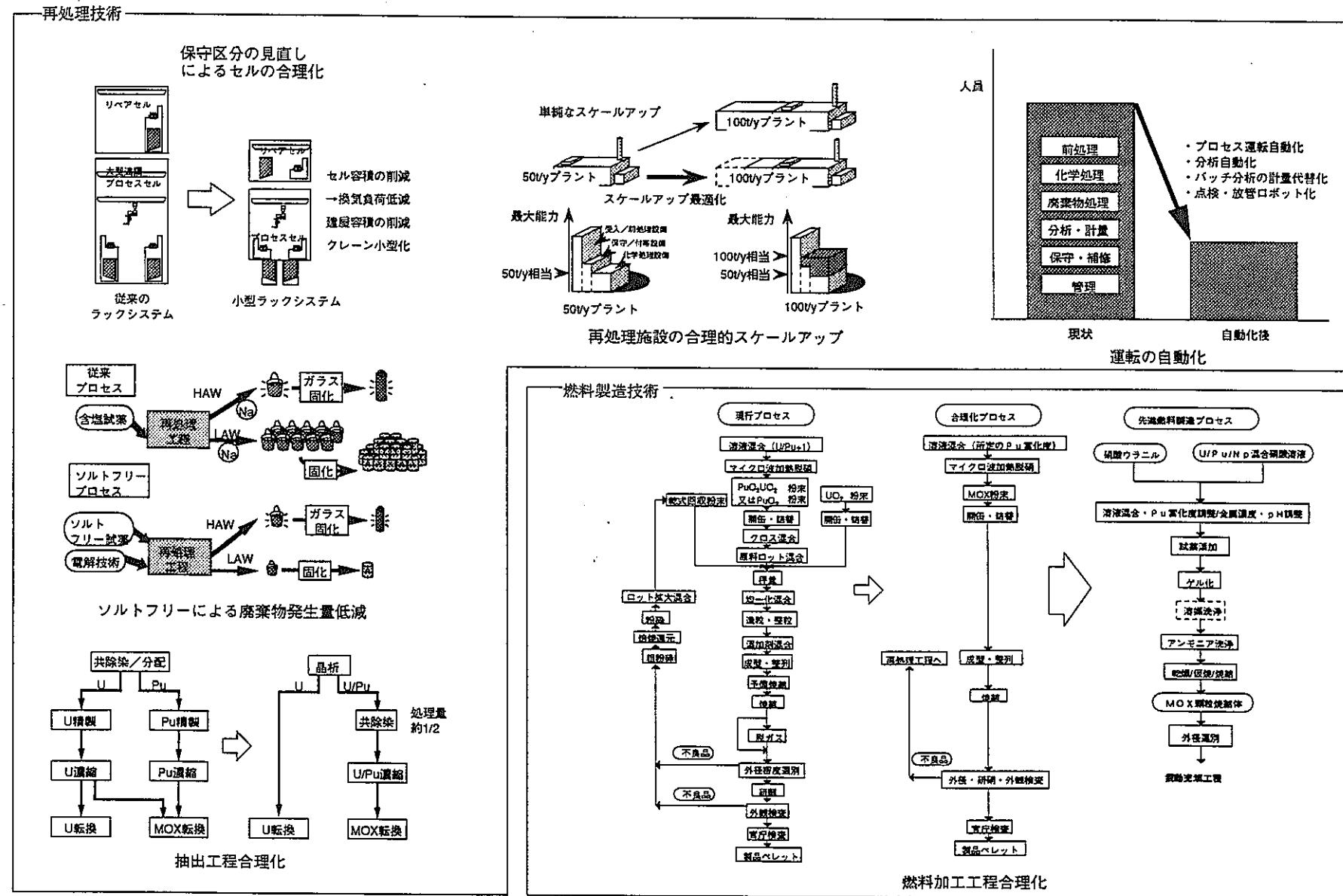


図6.実用化に向けた高速炉リサイクル技術開発

3. 建設費の算出の手順

3.1 システムの概要

① 基本ケース

より経済性が達成されると考える単サイクル抽出プロセスに晶析法を併用する再処理及び振動充填法による燃料製造を一体化した「先進的湿式MOX」プラントを基本ケースとして建設費の評価を行った。

なお、晶析法及び振動充填法の詳細仕様は今後の技術開発により決定されるため、その見積もり根拠に若干の不確定さが含まれるのは事実である。

基本ケースにおけるプロセス概要をブロックフローにて図7(1)に示した。

② 参考ケース

参考ケースとして、MAのリサイクル機能の付加がコストに及ぼす影響評価を行った。この場合のプロセス概要は図7(2)に示すとおりである。NpはU、PuとともにPUREX工程において回収し、また、Am及びCmは高レベル廃液からTRUEX法により回収後、炭酸塩沈殿等により相互に分離し、Amのみリサイクルすることとした。この場合、Cmは適当期間保管管理し、減衰させる。

この参考ケースは後述する「先進プラント」（100tHM/y）の場合について評価した。

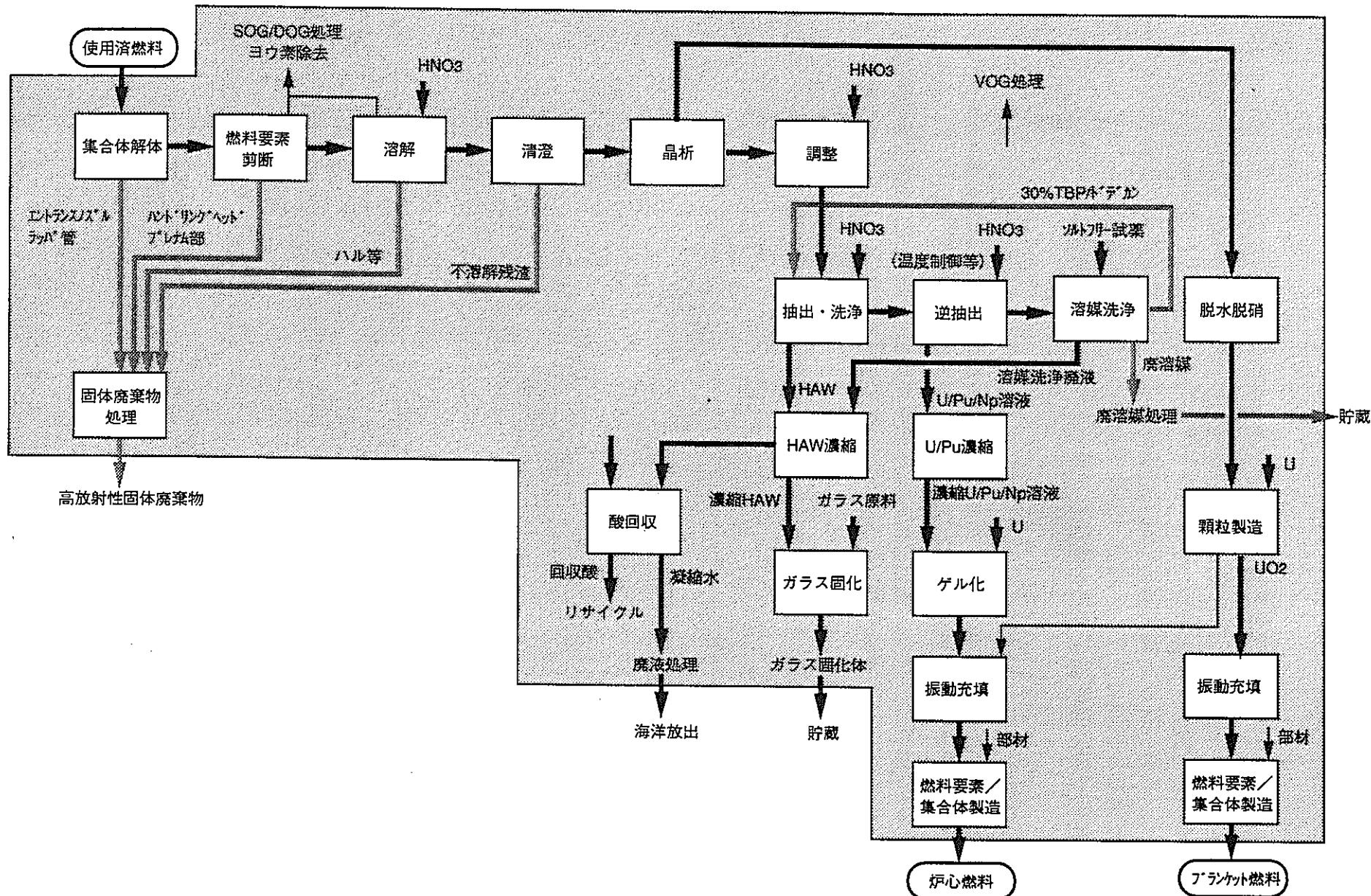


図7(1).先進湿式MOXプラントのフローシート

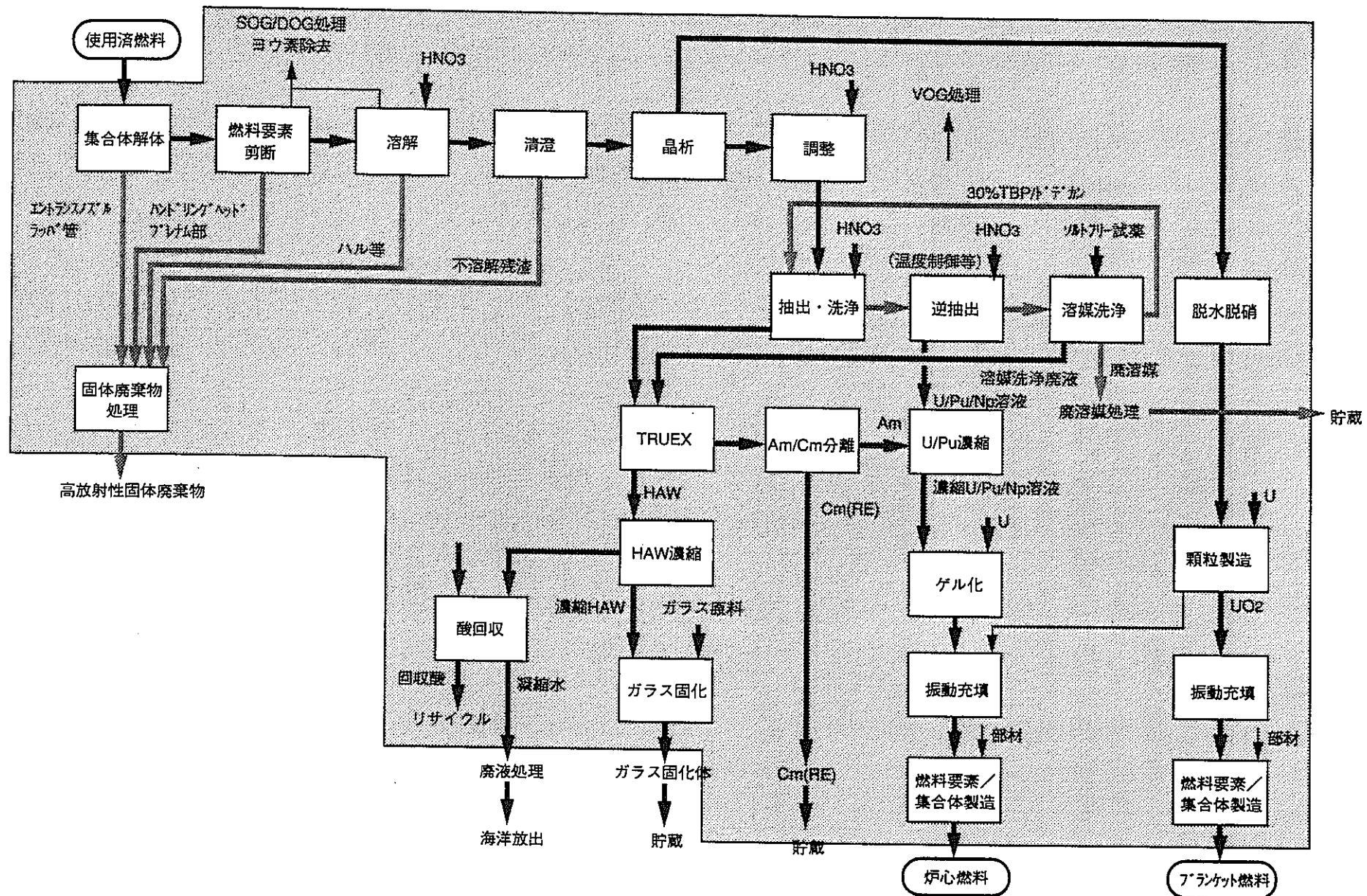


図7(2).先進湿式MOXプラントのフローシート (MA回収機能付加)

3.2 建設費算出の考え方

再処理は炉心燃料及びブランケット燃料を混合処理（合計100tHM/yで使用済みの炉心燃料とブランケット燃料はほぼ同量）することとしている。回収される製品は低DFであるため、炉心燃料及びブランケット燃料は遮へいセル内で加工することとなる。燃料製造の規模としては炉心燃料集合体（酸化物で50t/y）及びブランケット燃料集合体（酸化物で50t/y）とした。再処理・製造のいずれにおいても予備系列は考えてない。また、年間200日の稼働日数を前提とした。

建設費の算出において、系列化で対応する部分は必要な数を乗じ、また単純にスケールアップで対応できる部分は2/3乗則を適用することとした。

廃棄物についてはこの時期において既に処分の方策が確立しているとの前提のもと、高レベル、低レベルとも約3年分の一時貯蔵容量としている。

施設操業に係る諸経費についてはTRP等における年間の平均的な値を参考に推定した。また要員は再処理・製造それぞれについて、日勤50名及び交代勤務者20名／班×5班の計150名（総合計300名）とした。（表4参照）

表4 評価の前提条件

調整項目	PNCの想定条件	
(1)施設の想定範囲の設定 ・主建屋、副建屋、廃棄物貯蔵建屋、管理棟、倉庫、PP施設 敷地（造成）、港湾施設、連絡道路、等 ・施設外との境界条件	再処理 主建屋 受入貯蔵、前処理、化学処理、ガラス固化、転換 副建屋 低レベル廃液処理、廃溶媒処理 廃棄物貯蔵建屋、管理棟、倉庫、PP施設 廃棄物は最終処分までの一時貯蔵	燃料製造 主建屋
(2)処理対象燃料 ・燃料形態 ・燃焼度、冷却期間 ・プランケット燃料の取扱い	MOXペレット 燃焼度15万MWd/t、3年冷却 再処理；混合処理 再処理と燃料製造のスループットに若干不整合有り	MOXペレット 燃料製造；炉心燃料製造+プランケット燃料製造同左
(3)貯蔵設備の容量 ・燃料受入貯蔵 ・廃棄物貯蔵	400体分（50t/y） ガラス固化体；360本（50t/y） 高レベル固体；ドラム缶3500+6550本（50t/y） 低レベル固体；	再処理-燃料製造間の中間貯蔵は再処理側で考慮
(4)要員に関する設定 ・考慮する要員の範囲、構成、内訳 (管理者、交替勤務者、日勤者、保守要員等) ・1要員あたりコスト（レベル毎） ・交替勤務体制（4/3, 5/3, 他） ・定検要員の取扱い（常時、臨時）	150名を想定 日勤者50名、交替勤務20名/班 一律900万円/y 5班3交替 定検は委託する	150名を想定 日勤者50名、交替勤務20名/班 一律900万円/y 5班3交替 定検は委託する
(5)保守費、運転経費等の設定方法 ・人件費以外の操業費 ・人件費	TPRの実績を元に推定 ((4)から設定)	Pu3の実績を元に推定 ((4)から設定)
(6)建設費見積もり等に関する設定 ・ブレークダウンの程度（工程毎、機器毎） ・償却期間 ・耐用年数の設定 ・予備系列の考え方（前処理等） ・稼働率（年間操業日数、定検期間） ・更新割合 ・スケールアップの考え方（2/3乗則、その他）	工程設備毎 内装設備10年、付帯設備15年、その他30年 内装設備10年、付帯設備20年、その他30年 予備系列考慮せず 年間200日稼働、その他の165日間に定検等を実施。 耐用年数毎に100%更新 2/3乗則	工程設備毎 内装設備10年、付帯設備15年、その他30年 内装設備10年、付帯設備20年、その他30年 予備系列考慮せず 年間200日稼働、その他の165日間に定検等実施。 耐用年数毎に100%更新 MOXライン；系列化 UO2ライン；2/3乗則
(7)海外関連 ・内外価格差の補正 (海外の建設費データから見積もる場合) (海外調達を考慮する場合)	海外調達は考慮せず、事業団実績から積算 したがって、内外価格差の問題は考慮していない。	同左
(8)その他 ・建設積立金の有無、金利、税率、立地対策資金 ・物価・人件費の上昇（下落）	建設積立金、立地対策資金；なし 金利；5% 建設費（過去データからの推定；物価上昇率2.4%） 人件費の上昇は考慮せず	同左

3.3 建設費算出の手順

最も確実に建設費が推定できるのは、TRP、RETF及びPu-3等の現在の技術で50t/y規模のプラントを建設する、とした場合である。これを便宜上、「現行プラント」と呼ぶ。

次に、将来の第一段階のプラント（「基準プラント」と呼ぶ）として、高DFの再処理及びそれに対応する燃料製造機能を有するとして、TRP、RETF、あるいはPu-3等の実績及び今後期待される技術開発成果の反映を見込んで、「現行プラント」の値と比較しつつ、その建設費を推定した。

ついで、第二段階（「先進プラント」と呼ぶ）として表2及び3に示した「先進概念の開発」成果までを取り込んだ低DFでの再処理・燃料製造のプラントイメージ（すなわち基本ケースの概念）を構築し、物量把握の上、建設費を推定を行った。

基準プラント以降の検討の具体的手順は以下に示す通りである。（図8参照）。

① 再処理

(a) 基準プラント (50t/y)

回収製品は高DF（グローブボックスによる燃料製造可能）であることを担保しつつ、U/Pu共回収やソルトフリー等のプロセス高度化、免震工法の採用等（具体的には表3の1.～6.の各項目）による設備・装置の合理化に資する技術開発成果を取り入れた3つのサイクルからなるプラントを想定した。そして該当する設備等の削減・仕様の緩和を考慮し建設費等を推定した。

(b) 先進プラント (50t/y)

次に、(a)の概念を踏まえ、単サイクル抽出工程（U/Pu/Np共回収）で全量処理する低DF（ 10^3 程度）のプラント概念を構築した。さらにこの概念に晶析法を併用したシステムを構築し、これによる抽出工程及び廃液処理設備等の合理化を考慮し、コスト低減を評価した。

(c) 先進プラント ((b)概念を100t/yに規模拡大)

機械的前処理工程（解体・せん断工程）は使用済み燃料を集合体単位で取り扱うため、50t/y（約10kg/時、すなわち「もんじゅ」炉心1集合体を約5時間で処理）規模の装置にて100t/y（約20kg/時）に対応可能であるのでスケールアップに伴うコスト増はない。この工程以外については装置のスケールアップで対応するため、2/3乗則を適用し、各工程設備のコストを算出した。

② 燃料製造

(a) 基準プラント (50t/y)

グローブボックスによるペレット燃料製造を前提に、機器高度化（稼働率向上）、プロセス高度化、検査基準合理化、保障措置高度化及び免震工法の採用等（具体的には表2の3.～7.の各項目）による設備・装置の合理化に資する技術開発成果を取り入れた基準プラント（2系列で対応）を想定した。そして該当する設備等の削減・仕

様の緩和を考慮し建設費等を推定した。

(b) 先進プラント (50t/y)

まず、再処理側の低除染化と整合をとるため、炉心燃料及びブランケット燃料のペレット製造工程を遮へいセル内に設置し、遠隔保守対応可能としたプラント概念を構築した。ついでペレット製造工程を本評価の基本ケースである振動充填法に置き換え、コスト低減を評価した。

炉心燃料製造ライン (25t/y) は遠隔保守セル内に1系列設置される。また低除染のUを原料とするブランケット燃料製造ライン(25t/y) についても同様に1系列必要となる。それぞれ別のセル（計2セル）に配置することし、遠隔保守化に必要な設備付加の影響も考慮している。

(c) 先進プラント (100t/y)

炉心燃料製造ライン (50t/y) は1つのセル内に上記先進プラント (25t/y) 相当のものを2系列設置し対応する。一方、ブランケット燃料製造ライン (50t/年) は別のセルに設置するが、臨界管理上の制約が大幅に緩和されたためバッチサイズの大型化が可能であり、1系列で対応できる。この部分は2/3乗則を適用して評価した。

遠隔保守化に必要な設備はセル数が同じであるため、先進プラント (50t/y) と同等と評価した。

③ 一体化

最終的に建設費算出の対象となる再処理・製造を一体化した先進湿式MOXプラント主要セル内の工程機器配置及び主建屋内レイアウトの検討を50t/y及び100t/yの両ケースについて行った。

建設費算出においては再処理の精製工程やそれに付随する廃液処理工事が削減されるスペースに燃料製造工程が収まると言う設計研究成果に基づき、燃料製造部分の建家建設費はゼロとした。

④ コスト評価参考ケース

参考ケースであるMA回収工程付加の建設費への影響は本一体化プラントで評価した。

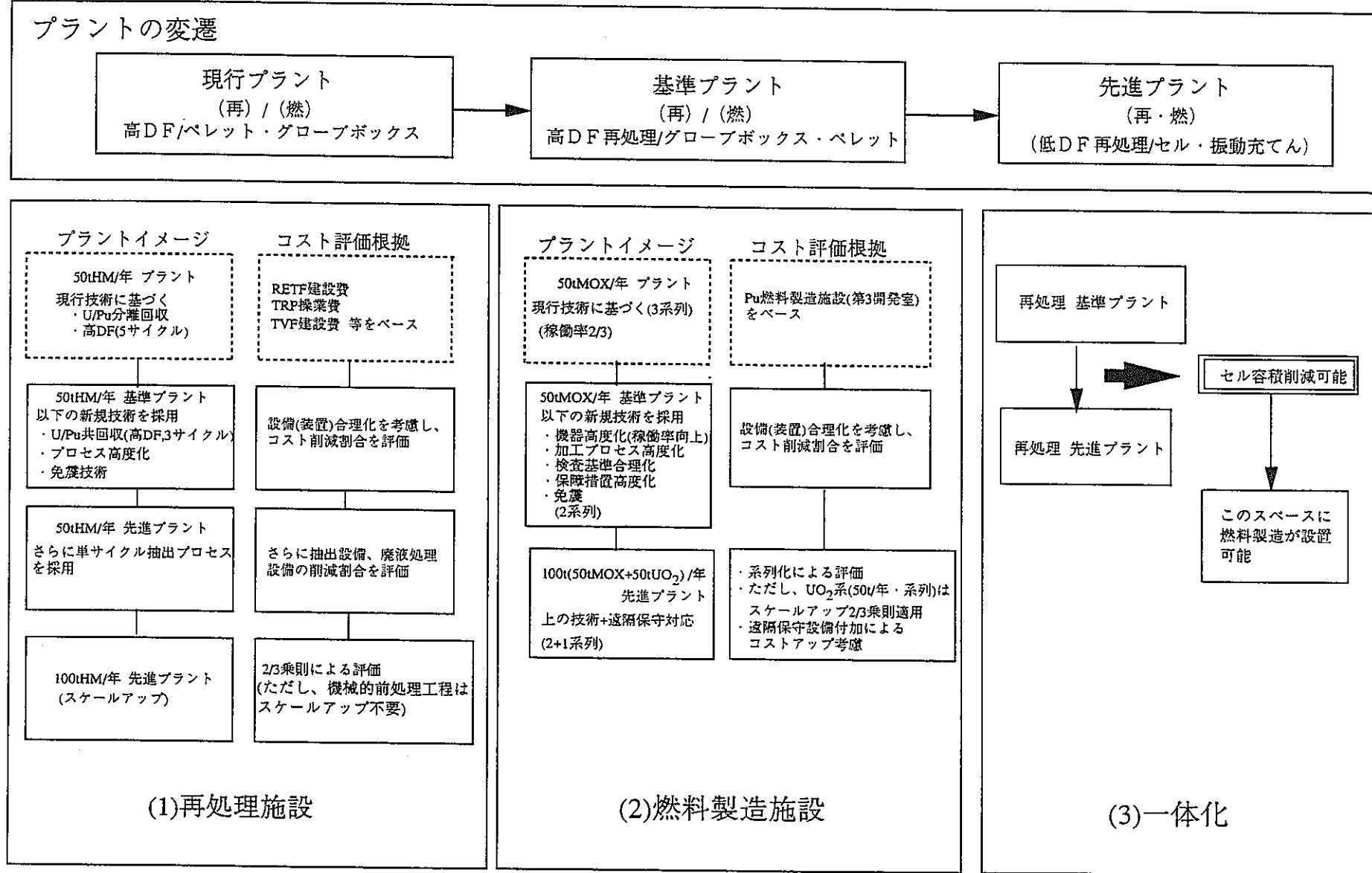


図8. 評価手順

4. 建設費のまとめ

4.1 施設イメージ

表6に先進的湿式MOXプラントの設備構成を示した。50t/y及び100t/yの両ケースにおいて、炉心燃料製造工程が系列化で対応する以外は機器の大型化で対応可能であると評価している。

主要セル内の工程機器配置及び主建屋内レイアウトの例を、50t/y規模について図9(1)及び(2)に、また100t/y規模について図10(1)及び(2)に示した。それぞれの施設の大きさの概略を表7にまとめた。また、100t/y規模におけるマテリアルバランスを図11に示した。

表7 施設規模の概略

	先進(100t/y)	先進(50t/y)
建屋寸法	90m×96m×35m	78m×84m×35m
階数	地下2階地上3階	地下2階地上3階
主建屋体積	約 302,000 m ³	約 230,000 m ³
セル容積 (*)	約 24,000 m ³	約 17,000 m ³

(*) 主要なプロセスセル（前処理セル、化学処理セル、HLSW・ガラス固化セル、炉心燃料製造セル及びブランケット燃料製造セル）の合計

表6. 設備構成

設備名	数量 (50t/y)	数量 (100t/y)	設備名	数量 (50t/y)	数量 (100t/y)
再処理・製造建屋			加工・組立設備		
受入貯蔵設備	1式	1式	振動充填装置	2基	3基
再処理設備			燃料ピン組立設備	2式	3式
解体機	1基	1基	検査設備	1式	1式
せん断機	1基	1基	保守設備	1式	1式
溶解設備	1基	1基	付帯設備		
SOG/DOG設備	1式	1式	ユーティリティ設備	1式	1式
清澄設備	1基	1基	計測制御設備	1式	1式
ハルモニタ	1基	1基	分析設備	1式	1式
H L S W取扱設備	1式	1式	遠隔サンプリング設備	1式	1式
調整計量設備	1式	1式	放射線管理設備	1式	1式
晶析設備	1基	1基	P.P.設備	1式	1式
共除染分配設備	1式	1式	低風量換気設備	1式	1式
溶媒再生設備	1式	1式			
Pu濃縮設備	1基	1基			
HAW濃縮設備	1基	1基			
酸回収設備	1基	1基			
リワーク設備	1式	1式			
試薬調整設備	1式	1式			
VOG設備	1式	1式			
ラック	9基	9基	副建屋		
ドリップトレイ	1式	1式	LLLW処理設備	1式	1式
			廃溶媒処理設備	1式	1式
ガラス固化工程設備	1式	1式	LLLW固化処理設備	1式	1式
			分析設備	1式	1式
UO ₃ 脱硝設備	1式	1式	付帯設備	1式	1式
MOX転換設			固体廃棄物貯蔵建屋		
ゲル化装置	1式	1式	HLSW保管設備	1式	1式
原料粉受入保管設備	1式	1式	ガラス固化体貯蔵	1式	1式
焼結設備	1式	1式	LLSW保管設備	1式	1式
脱ガス設備	1式	1式	付帯設備	1式	1式
焼結顆粒保管設備	1式	1式			

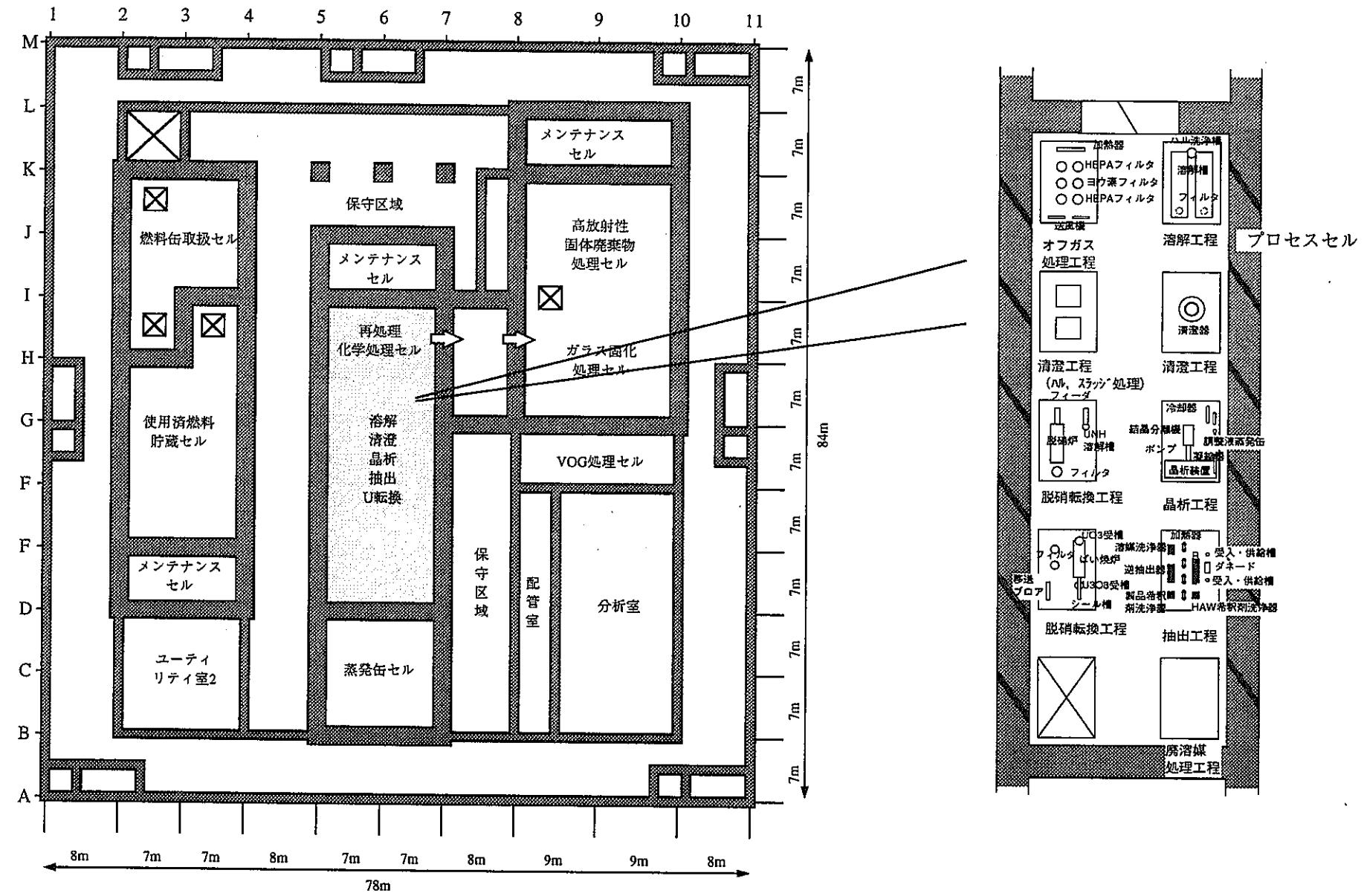


図9(1) 50t/y先進的湿式プラント主建屋配置図（地下1階）

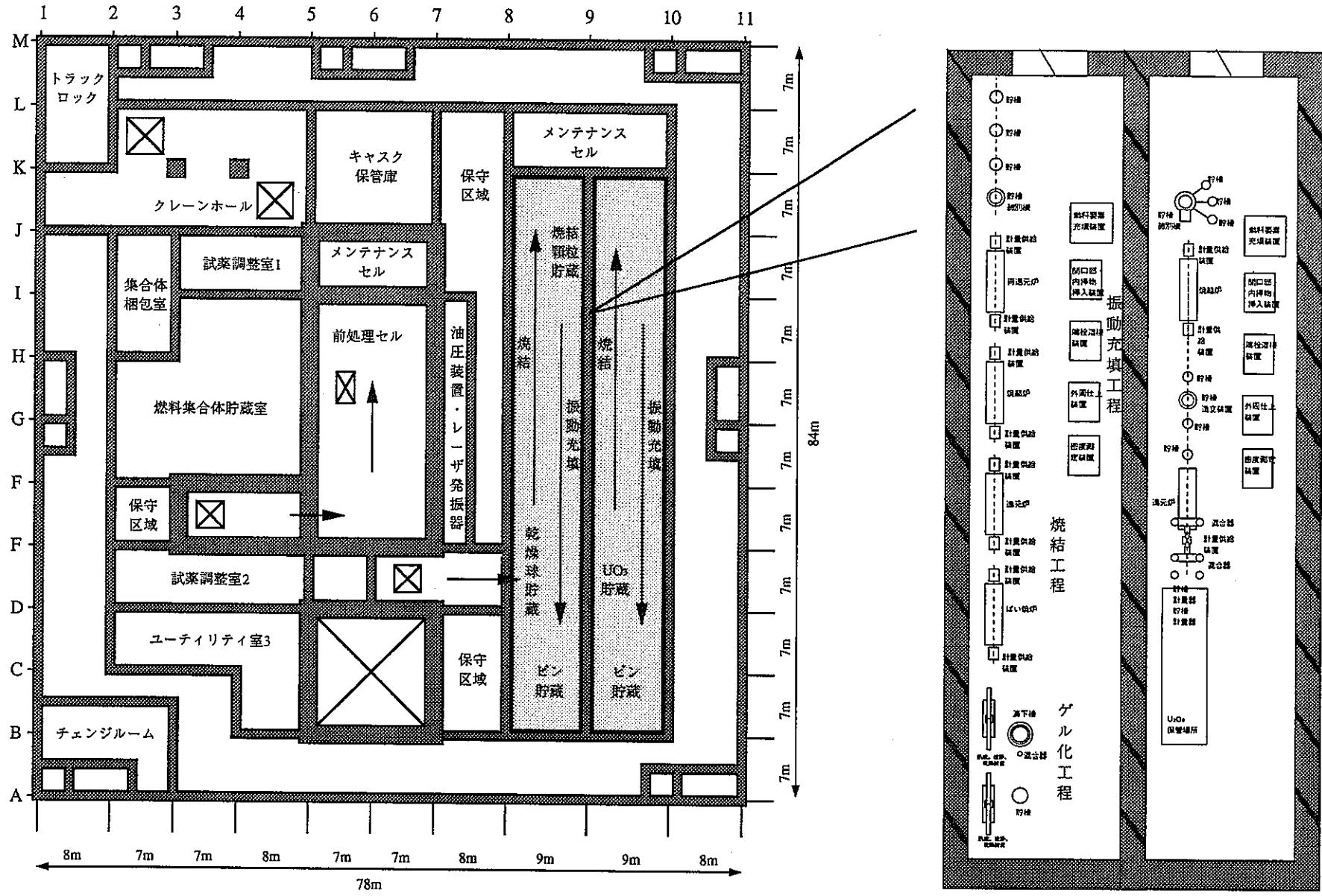


図9(2) 50t/y先進的湿式プラント主建屋配置図（地上1階）

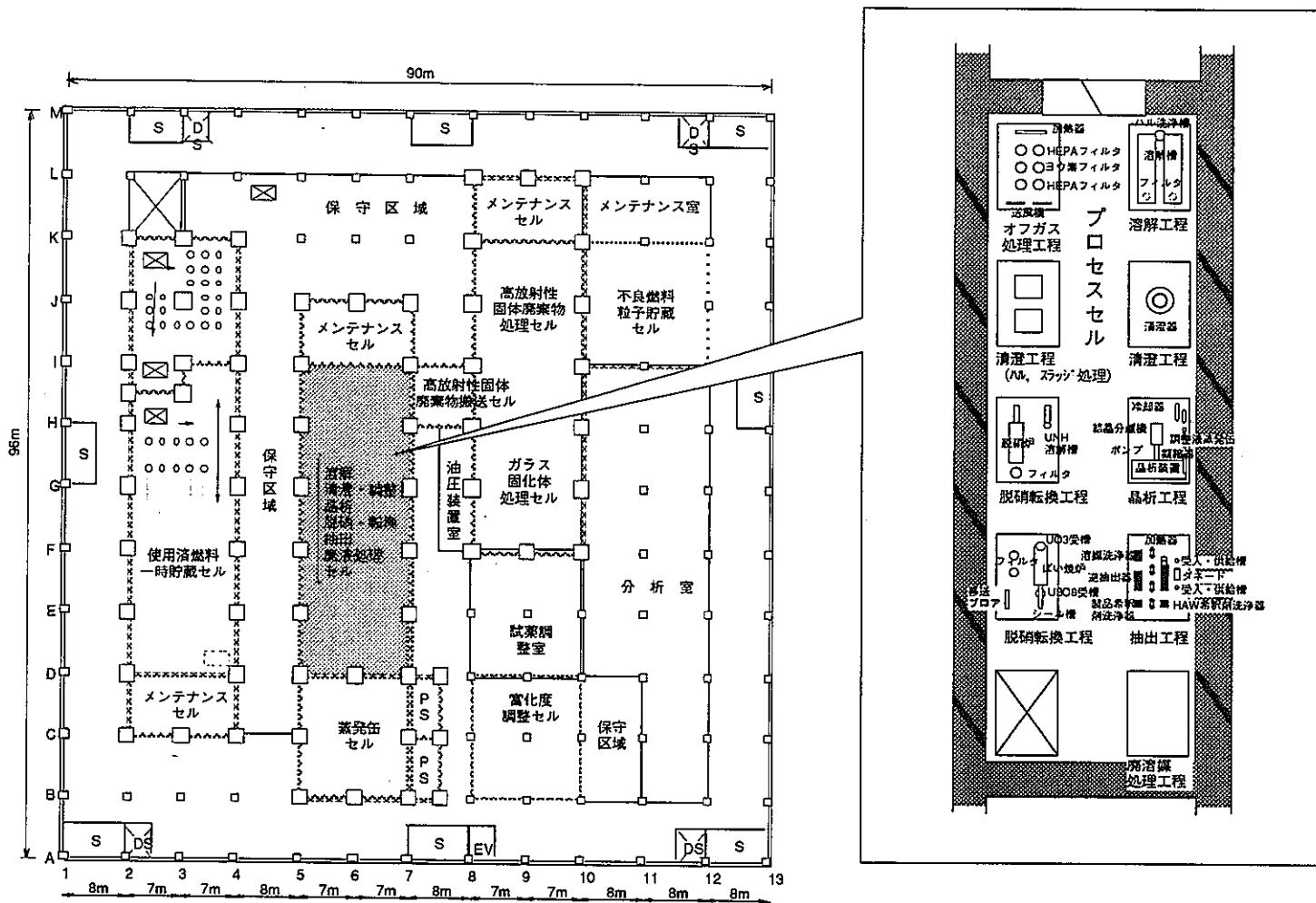
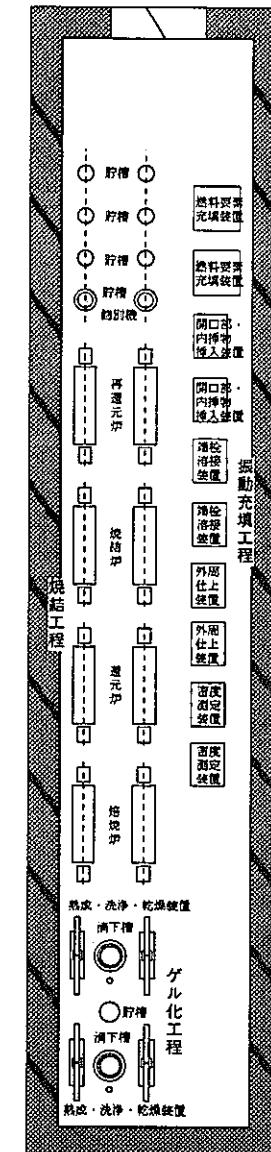
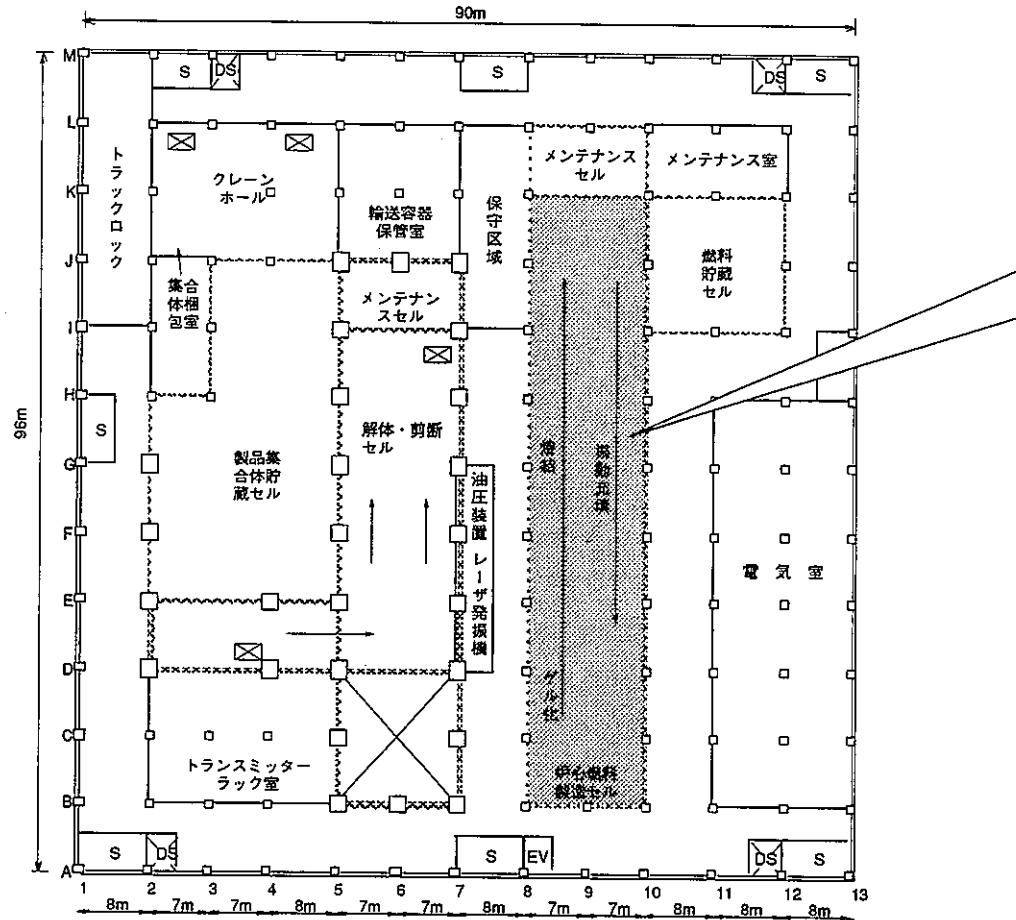


図10(1) 100t/y 先進プラント主建屋配置図 (地下1階)



炉心燃料製造セル

図10(2) 100t/y 先進プラント主建屋配置図 (地上1階)

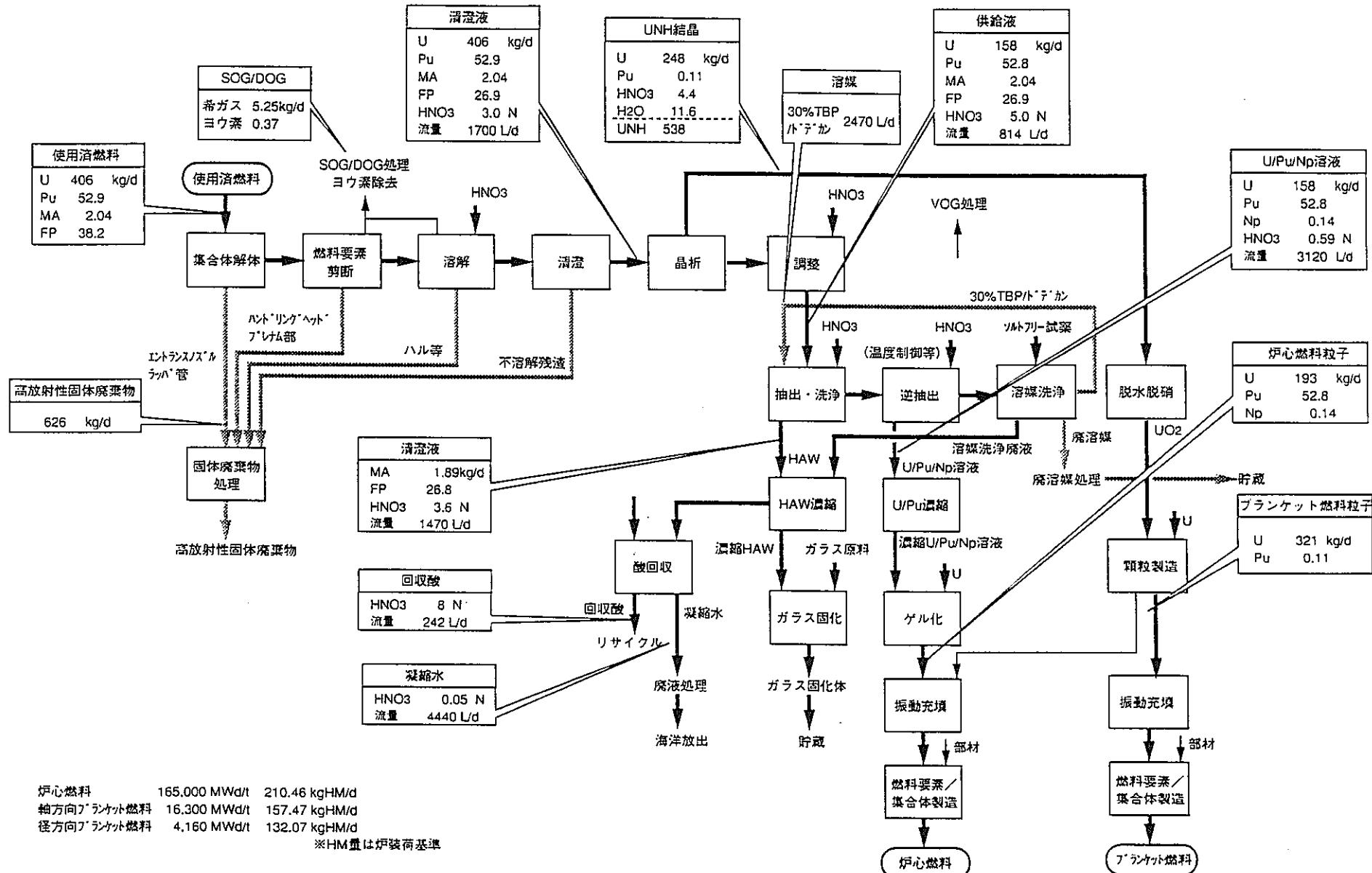


図11. 先進湿式MOXプラントの物質収支(100t/y)

4.2 建設費の算出

表8に再処理の基準プラント（50t/y）及び先進プラント（50及び100t/y）の建設費等の内訳をまとめた。各工程設備にまでブレークダウンし、必要に応じて2/3乗則を適用している。同様に燃料製造に関する基準プラント（50t/y）及び先進プラント（50及び100t/y）の建設費等の内訳を表8(1)及び(2)にまとめた。

以上により算出された再処理および燃料製造に係る先進プラント建設費を表9にまとめた。

表9 建設費のまとめ

プラントイメージ	建設費		
	再処理	燃料製造	合計 (比*)
先進プラント			
① 50t/y	1580億円	298億円	1872億円 (0.50)
② 100t/y	1992億円	461億円	2453億円 (0.66)
(参考)			
現行プラント (50t/y)	2730億円	996億円	3726億円 (1.0)
基準プラント (50t/y)	1923億円	309億円	2232億円 (0.60)

* 比：現行50t/yを1としたとき

表8(1) 再処理建設費等の内訳

		①現行プラント 50tHM/年	②基準プラント 50tHM/年	③先進(品析) 50tHM/年	④先進(品析) 100tHM/年
建設費(億円)	主建屋	建・電・換	289.6	203.3	203.3
	主建屋内装	受入・貯蔵設備	6.7%	8.6%	11.3%
		前処理工程設備			8.4%
		解体設備	2.7%	3.4%	4.5%
		せん断設備	0.6%	0.8%	1.1%
		溶解設備	2.9%	3.7%	4.8%
		SOG・DOG設備	1.4%	1.8%	2.4%
		清澄設備	1.5%	1.9%	2.5%
		ハルモニタ	1.0%	1.3%	1.7%
		HLSW取扱設備	1.8%	5.8%	7.6%
		化学処理工程設備			5.7%
		調整・計量設備	0.3%	0.4%	0.5%
		品析設備			0.4%
		調整・計量設備			8.5%
		共除染・分配設備	5.7%	7.3%	0.5%
		溶媒再生設備(1st C)	1.1%	1.4%	1.1%
		Pu精製設備	16.3%	7.3%	1.4%
		Pu精製系溶媒再生設備	2.2%	1.4%	
		Pu濃縮設備	2.4%	2.5%	0.7%
		U精製設備	6.5%	4.2%	0.8%
		U精製系溶媒再生設備	1.1%	0.7%	
		U濃縮設備	1.0%	1.1%	
		TRUEX設備			
		廃棄物MA回収設備			
		HAW濃縮設備	2.3%	2.9%	2.4%
		酸回収設備	1.1%	1.3%	1.0%
		リワーク設備	1.7%	1.9%	1.1%
		試薬調整設備	1.5%	1.7%	1.4%
		VOG設備	2.1%	2.5%	1.4%
		ラック	9.5%	5.5%	3.2%
		ドリップトレイ	0.6%	0.7%	0.4%
		ガラス固化工程設備	6.7%	8.6%	11.3%
		UO ₃ 脱硝設備	0.9%	1.2%	1.5%
		MOX転換設備			1.1%
		内装設備	8.7%	10.0%	13.2%
		グローブボックス	1.2%	1.4%	15.6%
		保守設備			
		BSMシステム	3.6%	4.6%	6.1%
		その他保守設備	4.9%	4.3%	5.7%
		内装合計	1472.7	1036.5	788.6
					1059.7
	主建屋	ユーティリティ設備	15.2%	15.1%	13.9%
	附帯設備	低風量換気設備	7.3%	5.8%	5.3%
		計装設備	41.3%	41.1%	37.9%
		分析設備	18.4%	18.3%	16.9%
		遠隔サンプリング設備	7.2%	7.9%	7.3%
		放管設備	9.6%	10.6%	15.6%
		P.P.設備	1.0%	1.1%	3.1%
		附帯合計	510.2	415.4	320.4
	付属施設	副建屋			
		LLLW処理設備	8.1%	2.5%	2.5%
		廃溶媒処理設備	4.6%	1.4%	1.4%
		LLLW固化処理設備	4.4%	1.4%	1.4%
		分析設備	1.4%	2.4%	2.4%
		建・電・換	18.5%	15.8%	15.8%
		固体廃棄物貯蔵建屋			18.1%
		HLSW保管設備(1)	9.6%	16.4%	16.4%
		HLSW保管設備(2)	3.5%	0.6%	0.6%
		ガラス固化体貯蔵	3.1%	5.4%	5.4%
		LLSW保管設備	2.2%	0.4%	0.4%
		建・電・換	26.2%	22.4%	22.4%
		管理棟／非登棟／その他	18.3%	31.3%	31.3%
		付属施設合計	457.4	267.3	267.3
					371.9
		建設費合計	2729.9	1922.6	1579.7
					1992.0
採算費	人件費 (億円/年) (人數×900万)	40.5	13.5	13.5	13.5
	人件費以外 (億円/年)	31.5	31.5	31.5	53.1
償却期間	建屋	30年	30年	30年	30年
	内装	10年	10年	10年	10年
	附帯設備	15年	15年	15年	15年
耐用年数	建屋	30年	30年	30年	30年
	内装	10年	10年	10年	10年
	附帯設備	20年	20年	20年	20年
設備稼働率	日数 年間稼働日数(日)	200.0	200.0	200.0	200.0
	処理量 1日の処理量(kgHM)	250.0	250.0	250.0	500.0
	施設規模 (tHM/年)	50.0	50.0	50.0	100.0
	年間処理量 (tHM/年)	50.0	50.0	50.0	100.0

表8(2) 燃料製造建設費等の内訳

		①現行プラント 50t/年	②基準プラント 50t/年	③先進(振動充填) 50t/年	④先進(振動充填) 100t/年
建設費	建屋合計	48.0	24.7		
内装		MOX G.B		MOX UO2	
1.ペレット製造工程	508.9	137.2 18.3	63.1	63.1 50.1	
Pu缶取出設備	1.5%	— —	—	— —	
Pu缶開缶詰替設備	1.4%	— —	—	— —	
試料採取・DS詰替設備	0.6%	0.9% 0.1%	1.8%	1.8% 1.8%	
原料搬送設備	0.7%	1.4% 7.1%	1.0%	1.0% 1.0%	
ウラン受入保管設備 (顆粒原料粉受入保管設備)	0.5% 0.0%	1.0% 0.0%	—	2.2% 2.2% 2.2%	
ウラン缶開缶詰替設備	0.6%	— —	—	— —	
Pu原料混合設備	0.4%	— —	—	— —	
乾回粉混合設備	0.4%	— —	—	— —	
拡大混合粉末用試料取扱設備	0.5%	— —	—	— —	
秤量設備	0.8%	1.3% 2.4%	2.1%	2.1% 2.1%	2.1%
均一化混合設備	2.5%	— —	—	— —	
粉末混合設備	2.1%	— —	—	— —	
造粒設備	2.6%	— —	—	— —	
成型・整列設備 (先行試験用)	1.4%	— —	—	— —	
成型・整列設備	3.5%	7.1%	—	— —	
粉末試料取扱設備	0.5%	— —	—	— —	
焼結設備	8.3%	16.6% 23.0%	29.4%	29.4% 29.4%	
脱ガス設備	2.3%	4.6% 8.4%	7.6%	7.6% 7.6%	
ペレット試料取扱設備	3.1%	— —	—	— —	
詰替設備	1.3%	— —	—	— —	
研削設備	5.5%	— —	—	— —	
密度・外観検査設備	8.2%	22.5	—	— —	
ペレット官庁検査設備 (焼結顆粒検査設備)	1.5%	— —	—	— —	
設備監視盤室設置工事	1.3%	2.7% 0.0%	5.8%	5.8% 5.8%	
回収品破碎設備	0.8%	— —	—	— —	
粉碎設備	0.9%	— —	—	— —	
焙焼還元設備	1.7%	— —	—	— —	
粉末・ペレット保管庫 (顆粒製品保管庫)	13.8%	20.2% 56.2%	—	— —	
ペレット製品保管庫	2.5%	— —	—	19.2% 19.2% 19.2%	
中空燃料対応	9.4%	13.3%	—	— —	
労務費	19.6%	11.6%	25.2%	25.2% 25.2%	
2.加工・組立工程	180.0	97.5 3.2	94.3	94.3 74.8	
3.検査工程	97.5	52.8	47.7	47.7 37.9	
4.中央管理システム	43.7	— —	—	— —	
5.保障措置システム	30.7	— —	—	— —	
6.放射線管理設備	43.9	— —	—	— —	
7.保守設備 BSMシステム			48.1	48.1	
その他保守設備			45.0	45.0	
内装合計	904.8	308.9	236.1	349.8	
附帯設備	附帯合計	43.0	43.0		
建設費合計		995.8	376.6		
採用費	(億円/年) (人數×900万)	30.0	13.9	13.5	13.5
人件費以外	(億円/年)	30.0	15.2	15.2	30.3
部材費	(円/kgHM)	11万	9.3万	7.9万	7.9万
償却期間	建屋	30年	30年	30年	30年
	内装	9年	9年	9年	9年
	附帯設備	15年	15年	15年	15年
耐用年数	建屋	30年	30年	30年	30年
	内装	15年	15年	15年	15年
	附帯設備	20年	20年	20年	20年
設備稼働率	日数 年間稼働日数(日)	200.0	200.0	200.0	200.0
	処理量 1日の処理量(kgMOX)	250.0	250.0	250.0	500.0
	施設規模 (tMOX/年)	50.0	50.0	50.0	100.0
	年間処理量 (tMOX/年)	50.0	50.0	50.0	100.0

4.3 MAリサイクル

MA回収工程付加のケースについては先進プラント100t／年規模で評価し、総額約241億円の増加となる試算結果を得た。その根拠等について表10にまとめた。

想定したプロセスはNpはU、Puと共に回収し、一方Am及びCmはTRUEX法で高レベル廃液から分離回収し、Amのみリサイクル（Cmは保管管理）するとしている。このため、TRUEX工程のための抽出器の追加、TRUEX工程で発生するラフィネートの処理のための酸回収機能の増大、新たな廃溶媒処理設備等の追加が必要である。またAmとCmの相互分離のための炭酸塩沈殿やイオン交換等の設備対応も必要となってくる。

燃料製造においては低除染の再処理製品を取り扱う前提であるため、MA追加による被ばく対策（遠隔化）は織り込み済みである。このため燃料製造設備への新たな追加はないものと評価した。

表10 TRUEX設備追加の設備増加見積もり

設備	100tプラントとの 関係	コストアップ分 (%は設備費の増加率)
	処理対象燃料は均質燃料 一括晶析法 Am沈殿は再溶解し、U/Pu溶液に混合	
受入・貯蔵設備	共有	
解体設備	共有	
剪断設備/溶解設備	共有	
SOG・DOG処理設備	共有	
清澄設備/調整設備	共有	
MA系抽出分離設備	TRUEXサイクル追加	1stサイクル分相当
MA系溶媒再生設備	TRUEXサイクル追加	1stサイクル分相当
MA系リワーク設備	TRUEXサイクル追加	+60%
Am分離設備	炭酸沈殿設備追加	遠心清澄機相当
Am再溶解設備	追加	調整設備相当
酸回収設備	増設	+60%
主建屋建電換	セル・建屋体積の増 加	+15%
試薬調整設/VOG処理/HAW濃縮 ドリップトレイ/ユーティリティ/低風量換気/ 計装/サングリング/LLLW処理/ 廃溶媒処理	増設	+20%

4.4 処理単価の算出

(注：この項は大洗・サイクル解析室の協力による)

(1) 単価算出方法

燃料製造や再処理施設では、建設費、運転費、処理能力等に応じて重量あたりの単価が決定されるため、その単価を算出する必要がある。単価の構成は資本費（建屋建設費、内装設備費、附帯設備費）、操業費、部材費（燃料製造のみ）に分けられ、算出は発電原価と同様に現在価値換算均等化法により行う。入力に必要な項目と数値の例を表11に示す（現在価値換算に関しては添付-1参照）。

(2) 単価算出結果

一体化した先進湿式MOXプラントでの再処理及び燃料製造（双方合算して燃料費）に係る処理単価は、50t/y規模で66万円/kgHM、100t/y規模で47万円/kgHMとなった。今後、原子炉の建設費も含めて発電コストの算出を行う予定である。

なお、3.(3)で紹介した基準プラント（今後の技術開発成果を取り入れた高DF再処理及びグローブボックス製造で、再処理／製造各々個別の建物）での処理単価は50t/y規模で79万円/kgHMと計算される。単価試算結果を表12に示す。

表12 単価試算結果 (万円/kgHM)

	現行プラント (50t)	基準プラント (50t)	先進(50t)	先進(100t)
再処理	78.5	54.3	65.6	47.2
燃料製造	49.0	25.0		

表11 燃料製造・再処理単価試算の前提条件

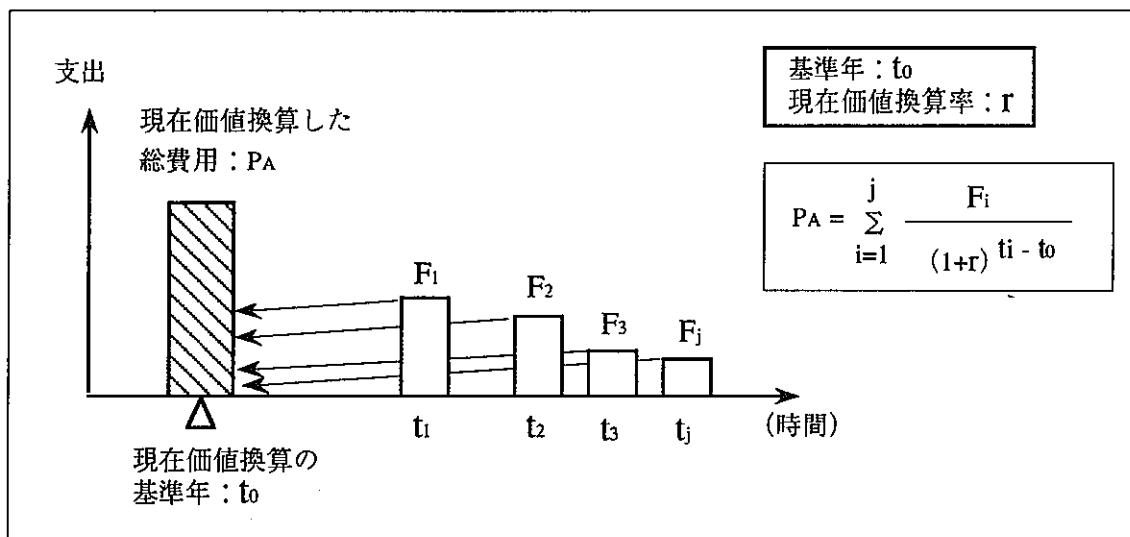
※) 太文字は入力に必要な項目である

項目	燃料製造／ 再処理施設	燃料製造／ 再処理施設	
年間処理能力	50 t／年	100 t／年	
コスト算出法	耐用年平均単価	同左	
資本費	建設費（建屋+内装設備+附帯設備） 建設期間 建中利子利率 運開日 償却法 償却期間 建屋建設費 内装設備費（燃料製造） 内装設備費（再処理） 附帯設備費 残存価格割合 建屋 内装設備費（燃料製造） 内装設備費（再処理） 附帯設備 償却期間中の利子率 耐用年数（寿命） 施設 内装設備費（燃料製造） 内装設備費（再処理） 附帯設備 耐用年における設備更新割合 内装設備費（燃料製造） 内装設備費（再処理） 附帯設備	5年 5 % 2000年 定額法 30年 9年 10年 15年 10% 10% 10% 10% 5% 30年 15年 10年 20年 100% 100% 100%	同左 同左
操業費	人件費+人件費以外（億円／年）	73.7	110.4
部材費	1kg当たりの部材費（万円／kgHM）	7.9	同左
その他	解体費率 現在価値換算率 価格基準年 固定資産税率 保険料率	5 % 1995.1 1.4 % 0.5 %	同左 同左 同左 同左

添付資料-1 現在価値換算均等化法

(1) 現在価値換算

投資や収入がある期間にわたって分布している様な場合において、各々の時間的な価値を基準時点の価格に換算することである。（複数の投資案の優劣を比較する際に有効である）



(2) 均等化

現在価値換算した総費用を、耐用年数に渡り回収する際に、一定のコストとなるように平均化する事である。

