



平成20年 第24回戦略調査セミナー

平成20年11月27日

独立行政法人原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所

JAEA

原子力サプライチェーン

—将来の再処理計画とFBRの移行に関する多角的分析—

次世代原子力システム研究開発部門
設計統括ユニット サイクル解析Gr.

塩谷 洋樹

1. サプライチェーン原子力事業評価手法
2. わが国の原子力シナリオの多角的な分析
3. 再処理計画とFBR導入に関するトピックス
4. まとめと今後の予定

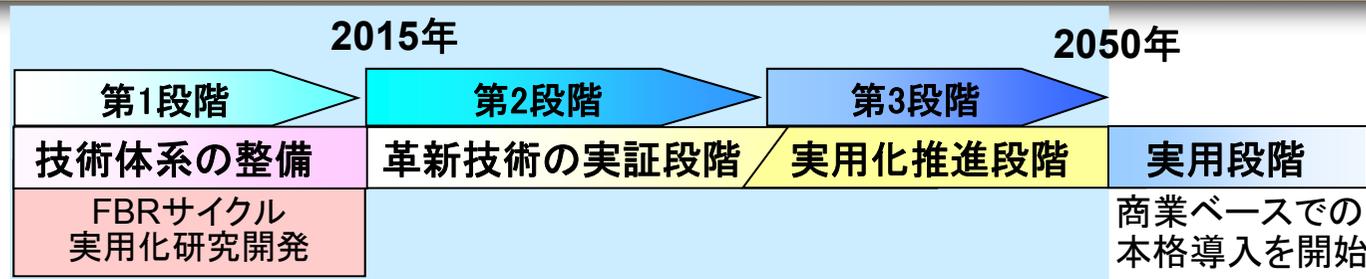
第1部 サプライチェーン原子力事業評価手法

概要

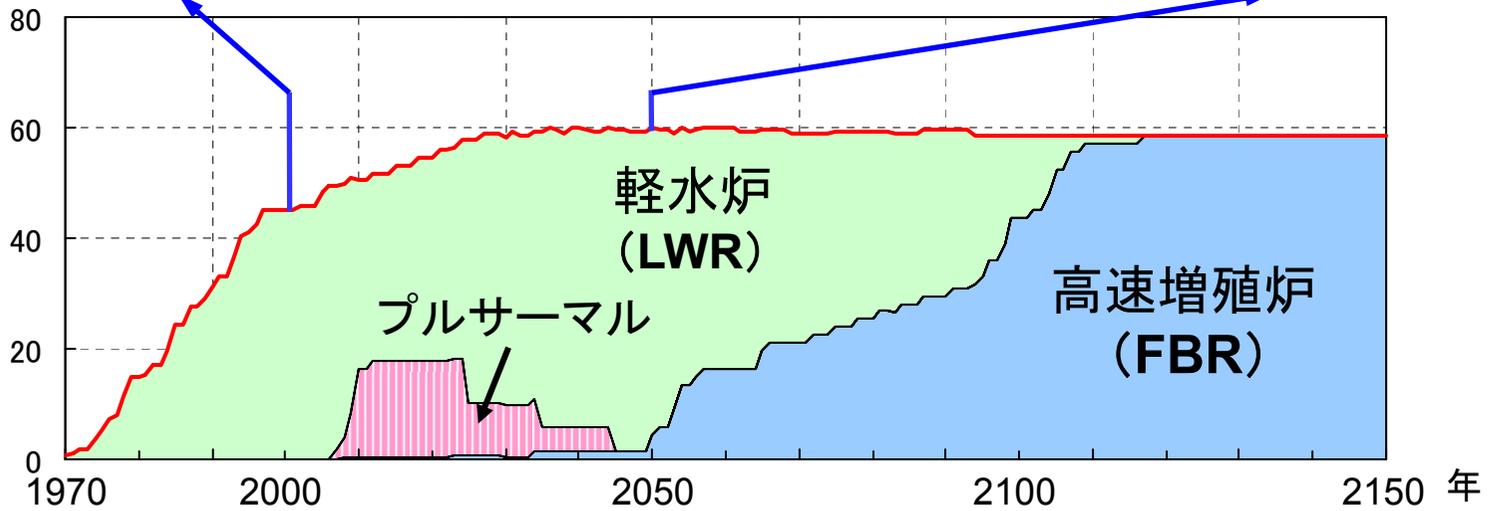
1. サプライチェーン原子力事業評価手法

わが国のFBR導入シナリオのイメージ

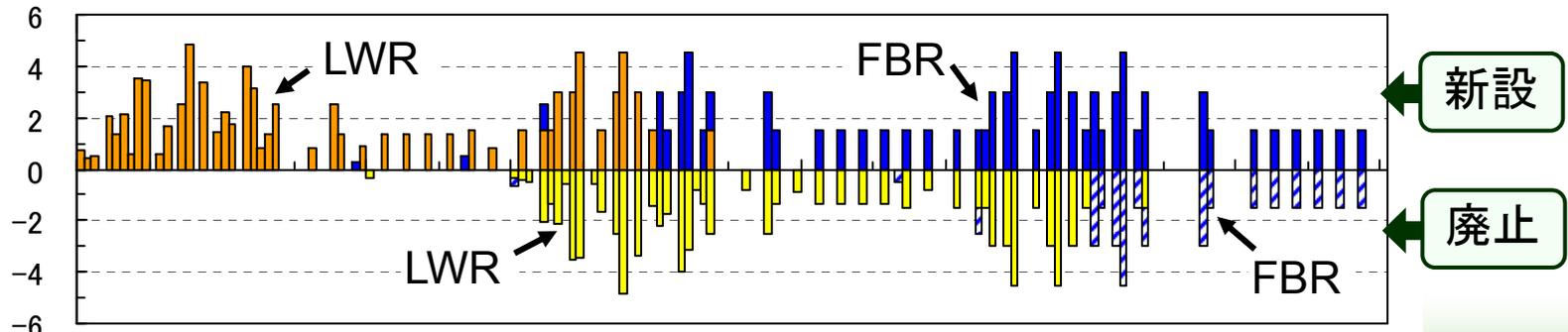
概要



原子力発電
総設備容量
と炉型構成
(GWe)



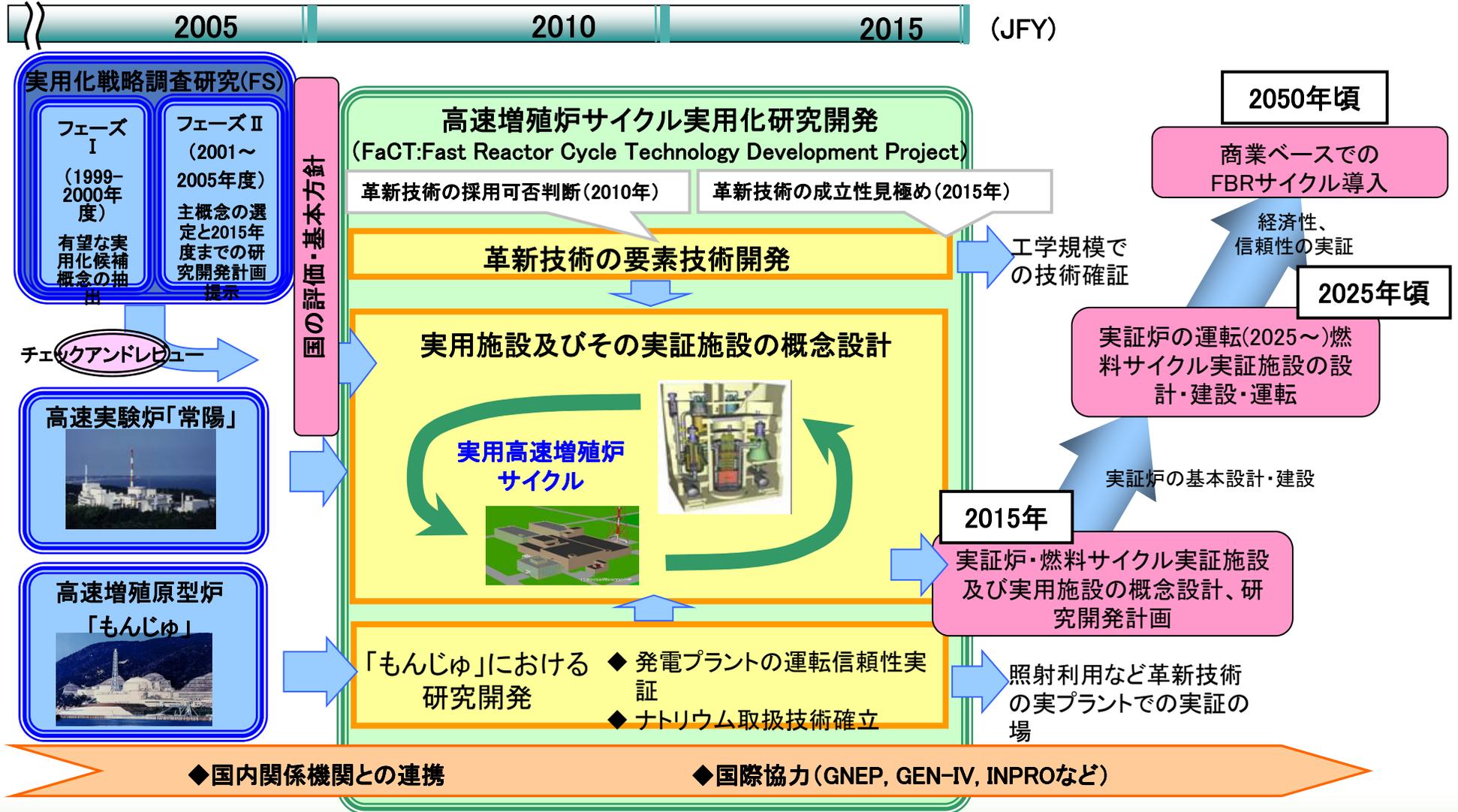
各年の
新設容量
廃止容量
(GWe/年)



※プルサーマルはLWRに含む。

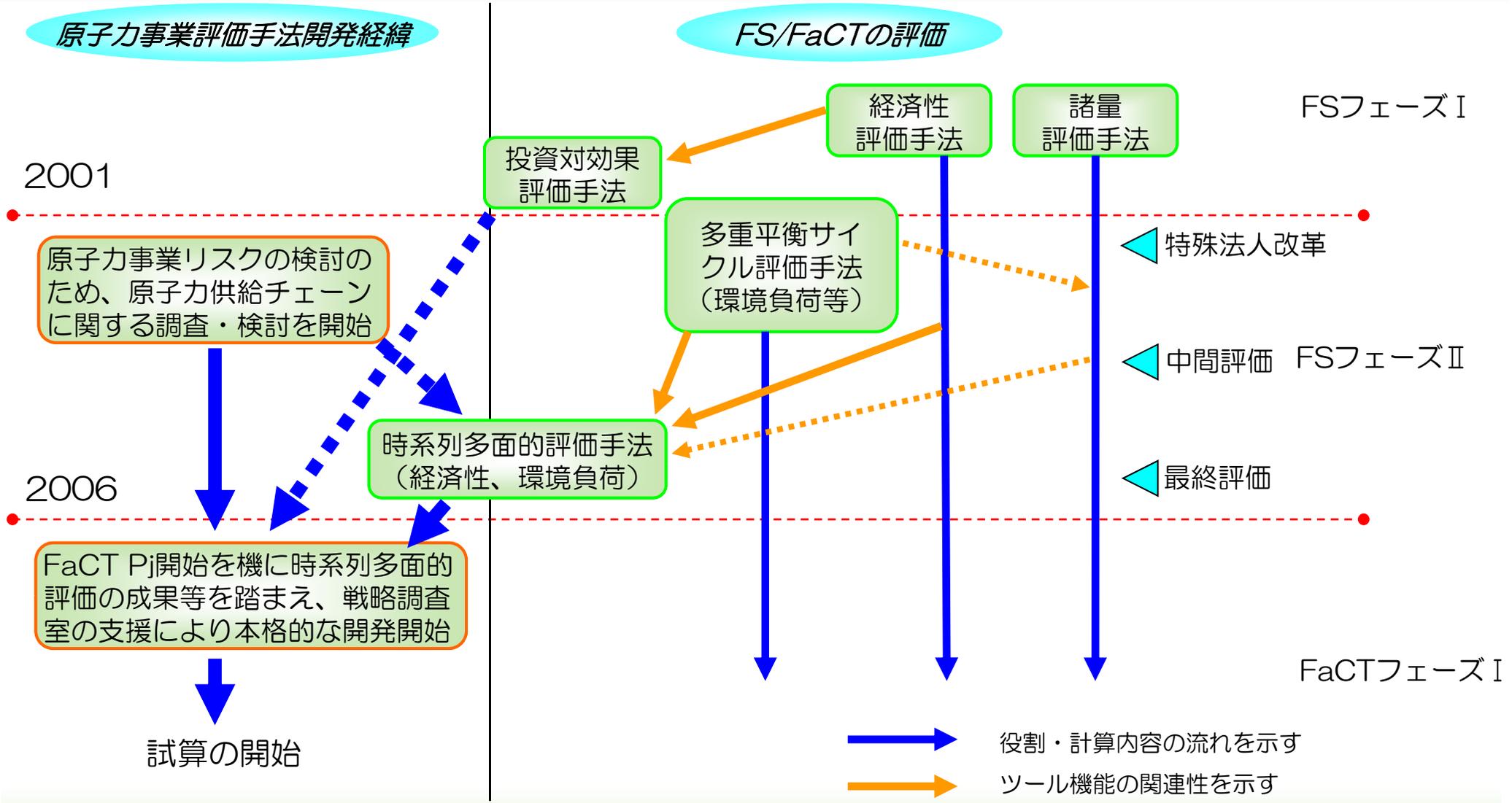
FBR実用化までのステップとFaCTプロジェクトの概要

概要



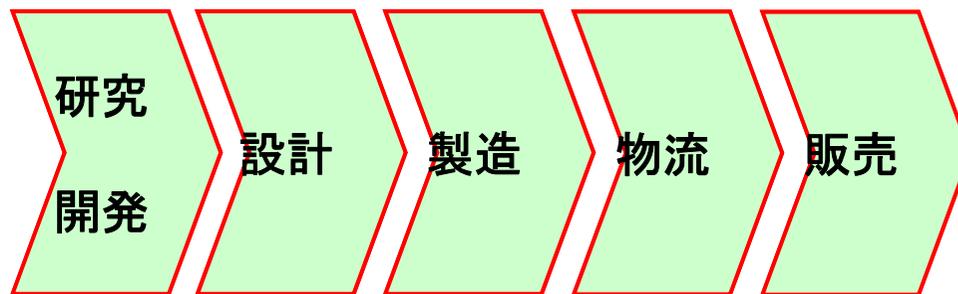
原子力事業評価手法の開発経緯

概要



事業モデル／ビジネスモデルとは？

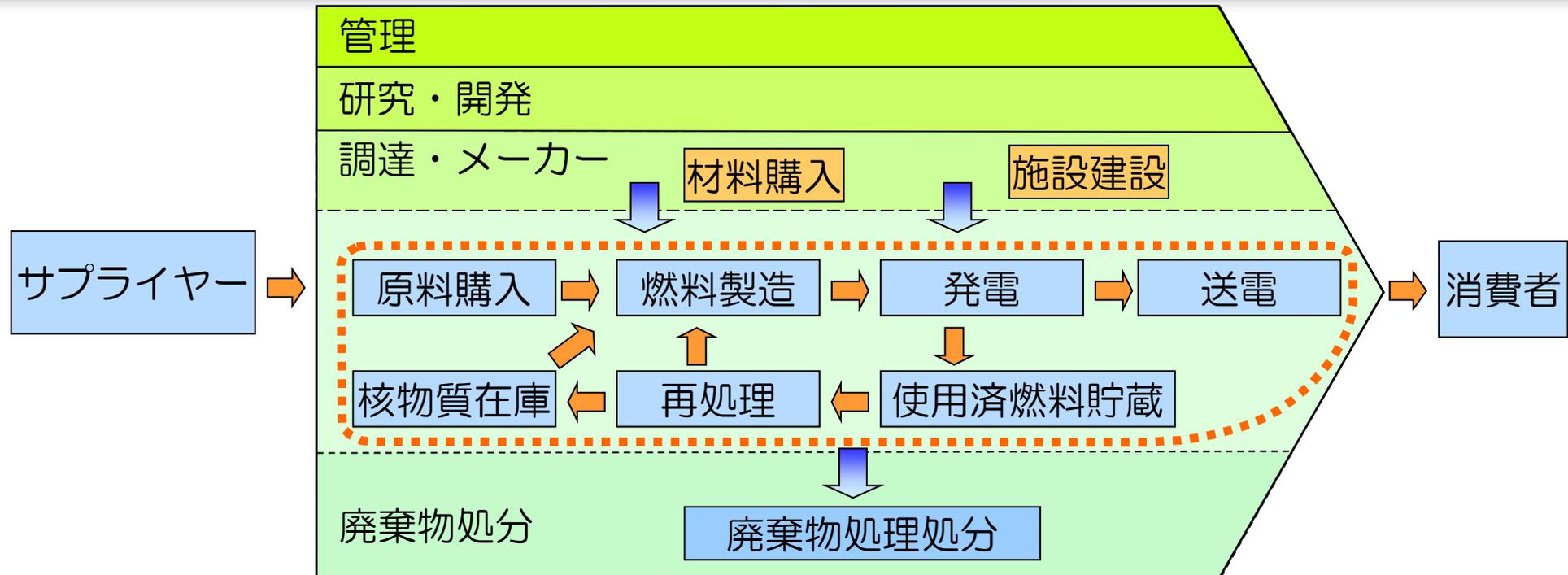
概要



- ビジネスモデルの定義には諸説あるが、一説では「事業で収益を上げる仕組み」のことであり、その中核にはサプライチェーンを意識して作成されるバリューチェーン（価値連鎖）がある。
- バリューチェーンのどの部分でどうやって収益を上げるのかをよく考えて、ビジネスモデルを設計して、サプライチェーンを適切にマネジメントすることが重要である。

サプライチェーンとは？

概要

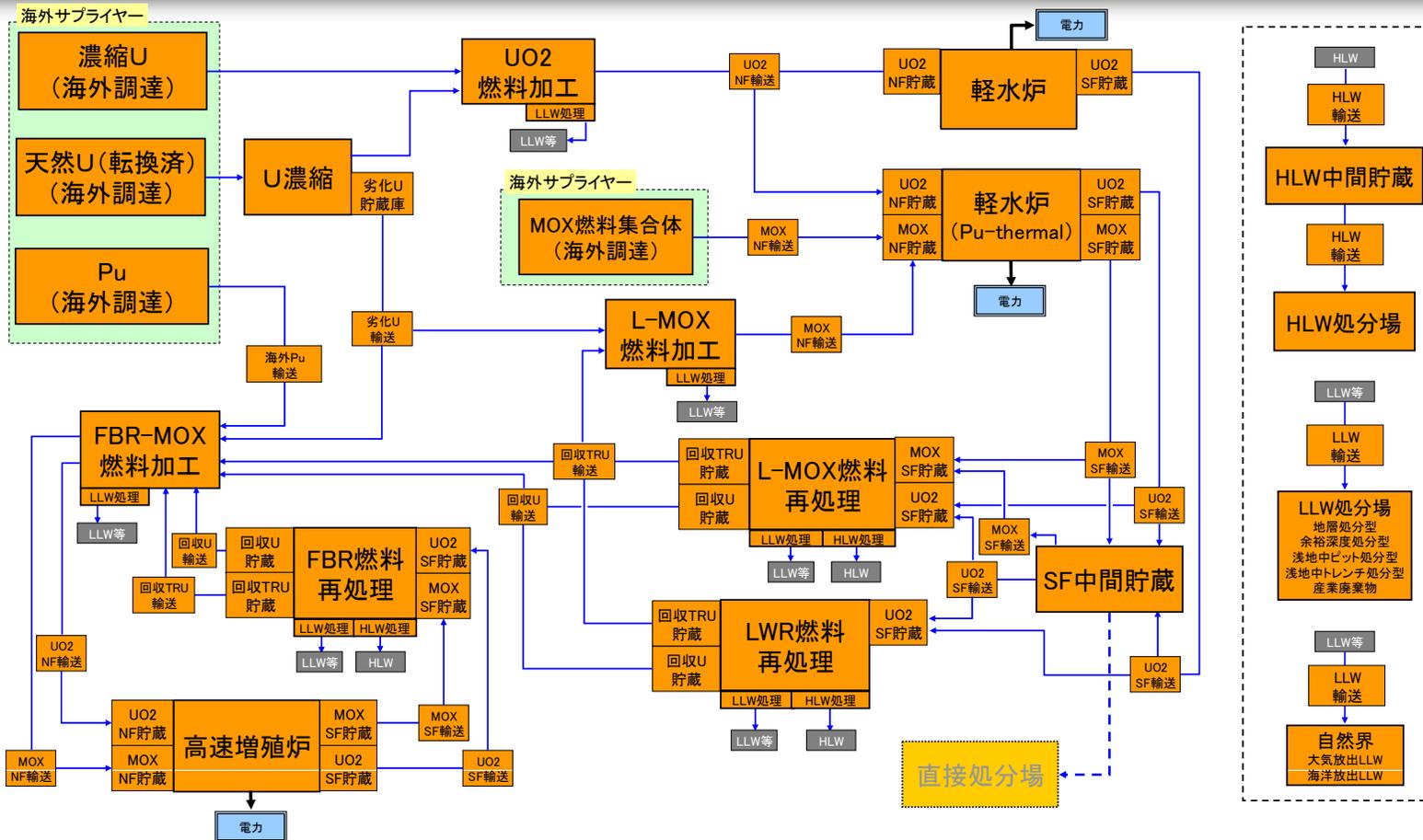


M. E. Porter : Competitive Advance (1985) 等を参考に
価値連鎖の概念とサプライチェーンの概念を統合した形で作成

- サプライチェーンの定義にも諸説あるが、（原子力事業では）サプライヤーからの調達・製造・発電・送電を経て消費者に至るまでの一連のプロセス、資機材の調達や施設建設なども含む広範な産業の複合体と考えられる。
- サプライチェーンを適切に統合・管理して、顧客への価値を創造し、企業収益に結びつけることが、サプライチェーンマネジメントの目的である。

SCMモデルにおけるマテリアル・マネーのフロー

概要



- 原子力サプライチェーンにおける処理・貯蔵施設等、ほぼ全原子力施設、輸送をモデル化し、その操業を模擬し、設備利用率、廃棄物発生量、費用等を評価

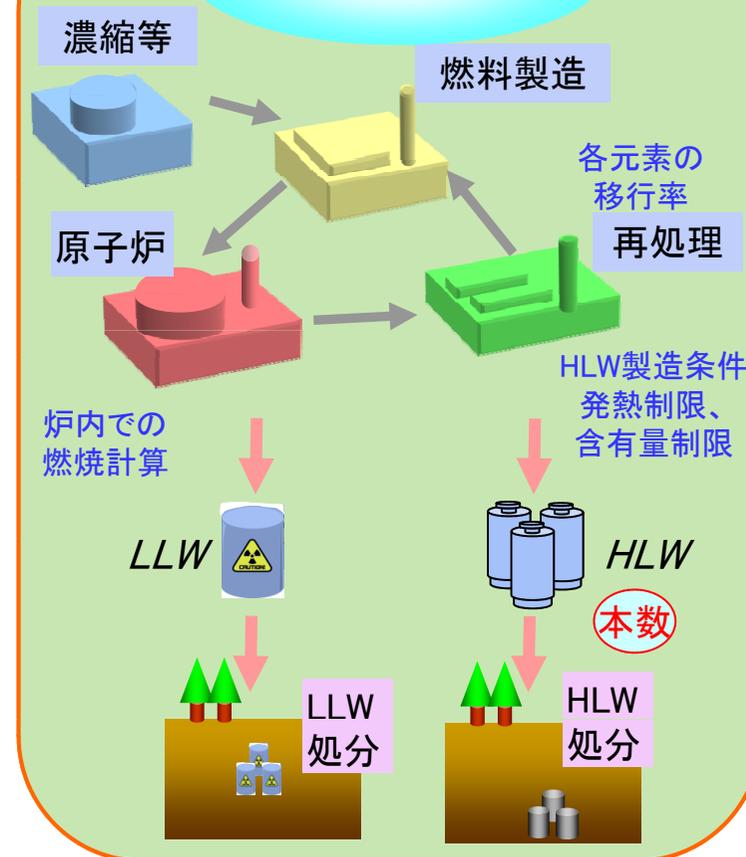
モデルの入出力データ

概要

入力データ

- 各施設の設備容量
- 各施設の建設・廃止時期
- 各施設のリード・ラグタイム
- 原子炉の燃焼条件
- 再処理の元素移行率
- 燃料加工時の制約、製造条件
- HLW製造時の制約条件
- 各施設の廃棄物発生単位
- 各施設の建設費、処理単価等

原子力事業評価手法



出力結果

- 各施設の核物質組成
- 各施設からの廃棄物発生量
- 各施設の設備利用率
- 各施設の費用
- 燃料サイクルの総廃棄物発生量
- 燃料サイクルの総費用等



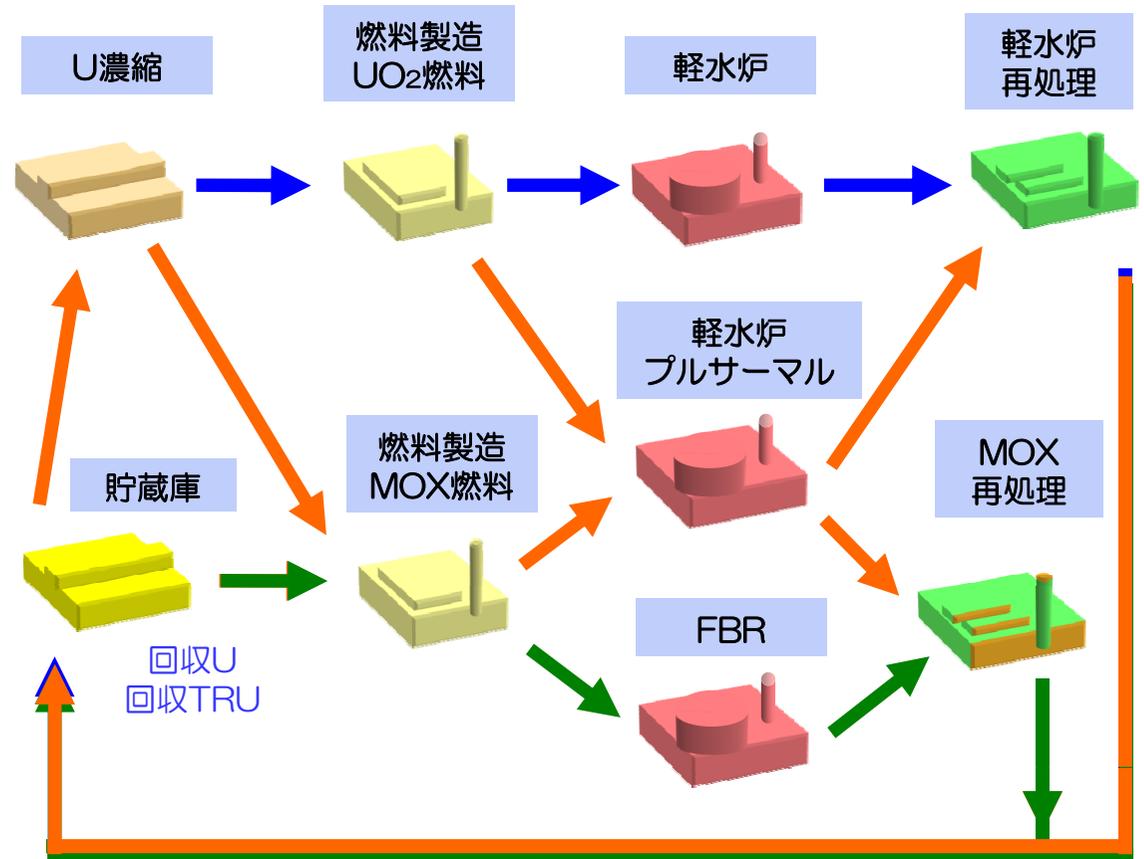
- オブジェクト指向に基づいて、わが国のほぼ全ての実用原子力施設をモデル化
- 既述した原子力事業のモデル化検討状況を(一部)反映

原子力事業のモデル化(施設間接続の切り替え)

モデル

外部入力データ (例)

対象施設	供給元	開始年度	終了年度
U燃料製造	濃縮	2000	2100
軽水炉	U燃料製造	2000	2100
軽水炉再処理	軽水炉	2010	2130
貯蔵庫	軽水炉再処理	2010	2130
濃縮	貯蔵庫	2010	2130
MOX燃料製造	貯蔵庫	2010	2050
プルサーマル	MOX燃料製造	2010	2050
プルサーマル	U燃料製造	2010	2050
MOX再処理	プルサーマル	2020	2060
軽水炉再処理	プルサーマル	2020	2130
貯蔵庫	MOX再処理	2020	2060
FBR	MOX燃料製造	2050	2200
MOX再処理	FBR	2060	2200



- 原子力施設の接続に関するデータを共通化し、施設オブジェクト間の接続を自由に切り替え可能
- 施設間の接続は、国籍・所有者・サイト・燃料の物質（元素名等）・炉心領域などの属性を用い、時系列の入力データで外部から設定（極めて複雑なシナリオの評価が可能）

原子力事業評価手法の役割(その1)

役割と機能確認

1. FSⅡの時系列多面的評価手法の拡張・統合（第2部）

- ◆ 導入シナリオから燃料サイクルの各施設を構成し、移行期の各施設中に存在する核物質の組成（AC, FP）、廃棄物量、コストを算出
- ◆ それらの積算により、時系列の廃棄物管理性や経済性評価を実施でき、かつ両者のトレードオフ解析が可能

2. 技術開発の投資対効果評価手法（第3部）

- ◆ 包括的な経済性評価により、投資額と比較して技術開発の投資対効果を評価可能（例：ワンスルーとFBRサイクル導入を比較してFBRサイクル研究開発の価値を検討可能）
- ◆ 次世代原子力システムに関する個別投資評価も可能（ある投資を行ったときに、コスト的に有意義なのか検討可能）
- ◆ 従来の投資対効果評価に用いていた時系列の発電原価評価を、移行期の複雑な原子力システムの評価に適した形に精密化

原子力事業評価手法の役割(その2)

役割と機能確認

3. 時系列の不確実性を考慮した原子力事業評価手法（第3部）

- ◆ 核燃料サイクル施設全体と輸送をモデル化することにより、ある施設から別施設への影響が波及する状況をシミュレートし、設備利用率の変化による経済性への影響を評価
- ◆ 貯蔵庫・輸送などを明示的にモデル化することにより、現実的な制約条件を反映した評価を実施可能

4. 施設レベルの（時系列）事業戦略評価手法（第3部）

- ◆ ポイントとなる施設の個別検討や施設間差異の検討も可能であり、輸送に関する情報も提供可能
- ◆ 平衡状態の単純な核燃料サイクルでなく、複雑な核燃料サイクルの評価向き（時系列的な変化もそのまま評価可能）

原子力とSCM(動向1：10/7の原子力委)

まとめ等

1. 同国（仏）の原子力政策は、エネルギー安全保障に発したものであるが、（...中略...）世界規模で原子炉は下（ママ）より、核燃料サイクルの上下流部門にまたがってサプライチェーンを充実する戦略を追求する原子力企業と、国際化により規模の経済を通じてサプライチェーンの効率向上を追及する（中略）電気事業、そしてその基盤となる研究開発を支える政府のトロイカによって推進されている。
2. 日本の原子力政策は（中略）同じくエネルギー安全保障の確保が目標ですけれども、地域企業である電気事業群とどちらかということと単一製品、フォーシングが得意だとか容器をうまく作れるとか、燃料サイクルについても単一のサービスの供給者群が連合をなしているわけでもなくて、群として存在している。政府は政府で研究開発を進めると（...中略...）大綱で産業に対しては国内市場は限界があるから、世界市場で勝てるように自らを鍛えてくださいといっているわけであり、（中略）今度は、そこに方向感覚を打ち出していくべきなのかな、それがこれからの課題……

内閣府 第42回原子力委員会 資料第4号 「近藤原子力委員会委員長の海外出張報告」4ページ

原子力とSCM(動向2：10/30の資源エネルギー)

まとめ等

2. 先進原子力利用国との連携

- ⑤ 我が国の核燃料サイクル政策の安定的推進等の観点から、他の先進原子力利用国との連携をどのように進めていくか。
- ⑥ 高速炉等の技術開発について、我が国が参加する多国間の国際的連携・協力をどのように活用していくか。

- ⑦ 世界的な原子力発電の拡大の中で、安全規制分野における国際協力についてどのような取組が期待されるか。新型炉開発など先進的技術開発を進める上で、内外の安全規制当局との連携をどのように考えるか。

資源エネルギー庁：総合資源エネルギー調査会
電気事業分科会 原子力部会
第1回国際戦略検討小委員会 資料4
「原子力発電を巡る国際的動向と主要論点」
23ページ

核燃料サイクルの安定的推進のための
国際的連携
高速炉等の多国間の国際的連携・協力

3. 核燃料の安定供給確保と核燃料サイクル関連産業の強化

- ⑧ 原子力利用が世界的に拡大する中、核燃料の需給逼迫が懸念される一方、フロントエンドの国際的な産業再編と寡占化が進展しつつあるが、核燃料の安定供給確保並びに我が国の核燃料サイクル関連産業の強化の観点から、ウラン資源開発を含めフロントエンド全体でどのような対応が求められるか。
- ⑨ 濃縮については、戦略的産業分野として各国が重視するところであるが、海外の濃縮事業者の動向や、アジアを中心とする需要の増大、核不拡散及び核燃料供給保証の議論等を踏まえ、我が国の濃縮事業の戦略的展開についてどのように考えるか。

- ⑩ 世界的な資源制約の高まりや原子力利用拡大の中で、我が国における再処理事業の戦略的な展開についてどのように考えるか。
- ⑪ 原子力発電拡大と核不拡散の両立を図る核燃料供給保証等の国際的な議論に対し、我が国原子力政策の安定性や我が国産業の競争力に与える影響をどのように考え、どのように積極的関与を維持していくか。

ウラン資源開発等のフロントエンド対応
戦略的産業分野としての濃縮
我が国の再処理事業の戦略的な展開
燃料供給保証等への関与

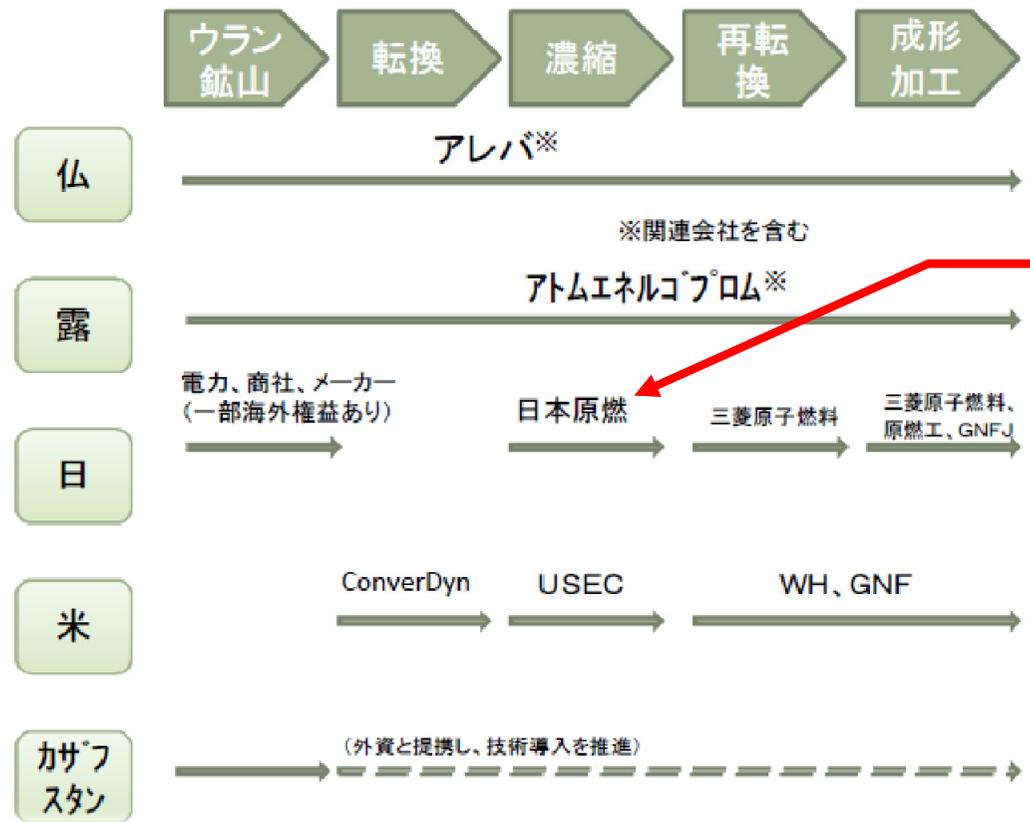
原子力とSCM(動向2：10/30の資源エネルギー庁)

まとめ等

各国の燃料供給サプライチェーン

- フランスやロシアは、燃料供給のサプライチェーンをプラントビジネス展開上の強みとして活用。
- カザフスタンも、核燃料製造に関する技術導入を積極的に推進。

燃料供給におけるサプライチェーンは、純粋なFBRサイクル実現まで(100年～)は重要な課題である。



我が国原子力産業のサプライチェーンの脆弱さを克服するための検討が国レベルで開始されたところである。

資源エネルギー庁：
 総合資源エネルギー調査会電気事業分科会 原子力部会 第1回国際戦略検討小委員会 資料4
 「原子力発電を巡る国際的動向と主要論点」
 19ページ

第2部 リファレンスシナリオの多角的な分析

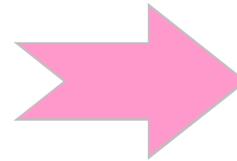
役割と機能確認

2. リファレンスシナリオの多角的な分析

将来の原子力にとって大切なこと

役割と機能確認

現行の原子力固有問題の解決



21世紀の社会

- 資源の有効利用
- 環境と共存

- 安全かつ信頼できること
- 経済的であること
- 資源をムダなく使えること（長期的エネルギーの安定確保）
 - 持続的に核燃料を生産でき、長期にわたりウラン資源を活用できること
- 地球にやさしいこと（地球環境への適合）
 - 放射性廃棄物の減量化などにより、地層処分への負担を低減すること
- 平和目的にだけ限定した原子力であること（高い核拡散抵抗性の維持）
 - プルトニウムに接近しにくくすること。核兵器をつくりにくくすること

FaCTプロジェクトの開発目標

役割と機能確認

- 2010年までのFaCTプロジェクトにおいては、FBRサイクルシステムの主概念を中心に、革新的プラントシステムの概念設計を実施するため、革新技術の開発を含め、FSフェーズⅡより具体的な開発目標を設定。

- (1)「安全性及び信頼性」ー プラントとしての運転安全性、保守補修性及び信頼性に対する検討を深めるため、信頼性を追加。なお、信頼性については、設備利用率など経済性の観点で要求すべきものは、経済性の指標で考慮。
- (2)「持続可能性」ー FBRサイクルの意義・必要性に対する国際的な認知度が高く、一般市民が理解し易いキーワードとして「**持続可能性**」とし、具体的内容を示す副題を「環境保全性」、「廃棄物管理性」及び「資源有効利用性」とした。
 - 「**環境保全性**」ー 21世紀社会において不可欠な地球温暖化ガスや化学物質による環境移行物質の抑制を新たに考慮。
 - 「**廃棄物管理性**」ー FSフェーズⅡの環境負荷低減性と同様。
 - 「**資源有効利用性**」ー FSフェーズⅡの資源有効利用性と同様。
- (3)「**経済性**」ー 発電原価に加えて、投資リスクを考慮。
- (4)「**核不拡散性**」ー 国際的なコンセンサス(軽水炉並みのプルトニウム組成など)作りにも貢献することを考慮。
- (5)長寿命核種の分離・核変換については、「**基礎的に研究開発を進める長期的課題**」として、指標とは別枠の位置づけ。

開発目標の指標		考慮すべき内容
安全性及び信頼性		<ul style="list-style-type: none"> ・安全性に加え、信頼性も評価 ・異常時の公衆被ばく影響を評価 ・運転・保守・補修性を考慮
持続可能性	環境保全性	<ul style="list-style-type: none"> ・通常運転時の放射線影響を評価 ・環境移行物質の抑制を考慮
	廃棄物管理性	<ul style="list-style-type: none"> ・廃棄物発生量を評価 ・廃棄物の質(形態と性状の把握と可操作性と安全性能)の評価 ・潜在的有害度を評価
	資源有効利用性	<ul style="list-style-type: none"> ・エネルギーセキュリティの観点から、増殖性能を評価
経済性		<ul style="list-style-type: none"> ・発電原価を評価 ・不確実性を考慮 ・投資リスクを考慮
核不拡散性		<ul style="list-style-type: none"> ・保障措置と核拡散抵抗性を評価 ・核物質防護システムを評価。

・長期目標として、長寿命核種の分離・核変換を考慮

リファレンスシナリオの紹介(前提条件)

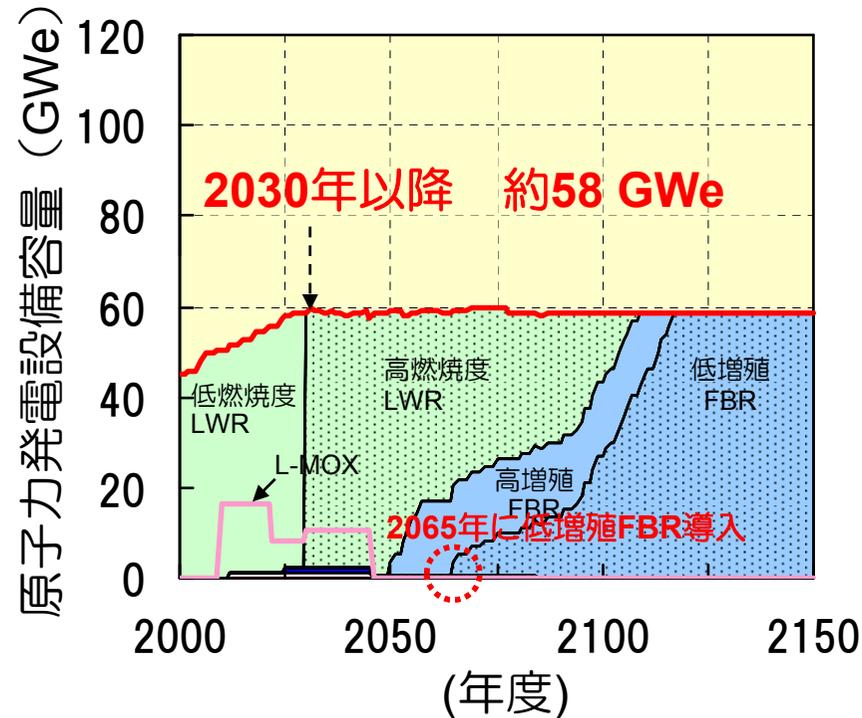
役割と機能確認

システム		概要
原子炉システム	軽水炉	～2029年：燃焼度 約4万MWd/t、稼働率80% 2030年～：燃焼度 約6万MWd/t、稼働率90% プルサーマル：2010年利用開始（導入規模、終了時期はFBR導入に応じて変更）
	FBR	高増殖型：増殖比1.2、Pu需給バランスに応じて低増殖型（増殖比1.03）を導入
燃料サイクルシステム	炉外サイクル時間	軽水炉サイクル：4年、FBRサイクル：5年
	ロス率	軽水炉サイクル（転換：0.5%、加工：0.1%、再処理：U-0.4%、Pu-0.5%、MA-0.1%） FBRサイクル（加工：0.1%、再処理：U・Pu・Am・Cm-0.1%、Np-10%）
	その他	六ヶ所再処理運転条件：平成19年9月18日時点の計画値 FBR再処理実証プラント：年間処理規模20ト/年、2030年運転開始 軽水炉サイクル：回収ウラン再濃縮利用、第二再処理以降でMA回収を想定 FBRによるMAリサイクル（FBR燃料中のMA濃度上限5%） 炉寿命：60年、再処理施設：40年

- 以下の方針（制約）で作成されたFBR導入シナリオがベース
 - Puバランスを保ちつつ所定の移行期間で軽水炉からFBRに切り替わる
 - 六ヶ所工場のPu貯蔵能力を考慮する
 - 第二再処理の全操業期間の平均稼働率は、80%以上を確保する

リファレンスシナリオの紹介(原子力設備容量)

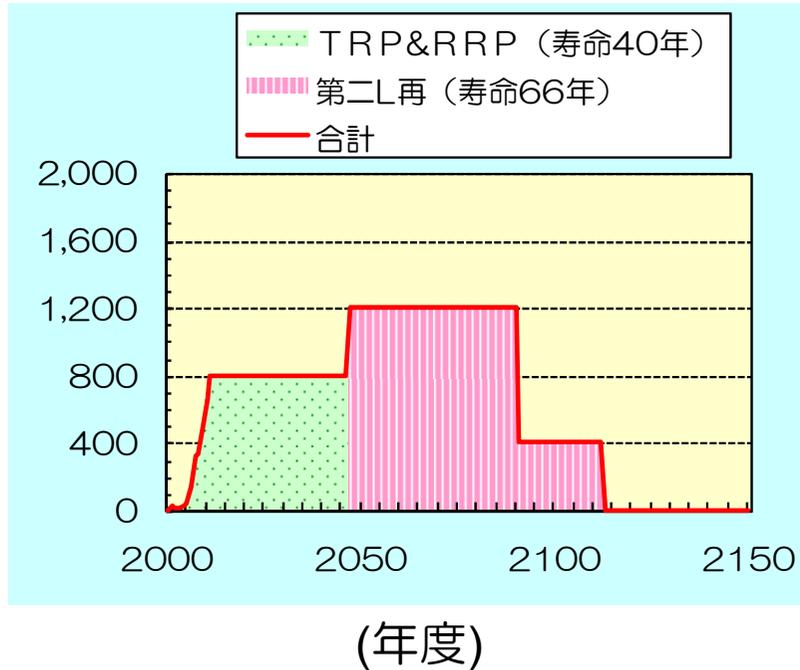
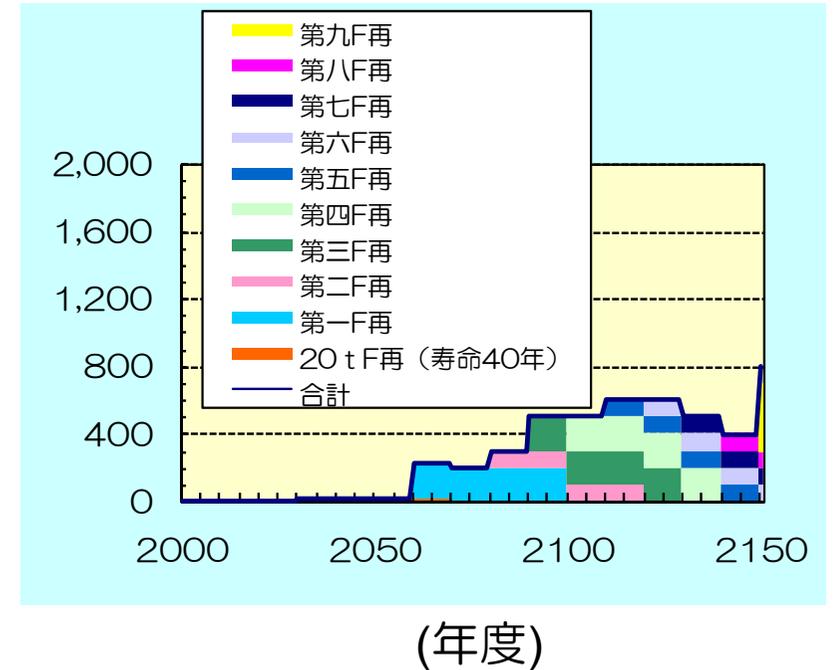
役割と機能確認



- 原子力発電の設備容量は、2030年以降は約58GWeで推移する。
- 2050年から高増殖比（1.20）のFBRの導入を開始し、2065年に低増殖比（1.03）のFBRを導入開始して、FBR導入から60年経過後の2110年には全てFBRにリプレースが完了する。

リファレンスシナリオの紹介(再処理施設)

役割と機能確認

軽水炉使用済燃料
再処理電設備容量 (tHM)FBR使用済燃料
再処理電設備容量 (tHM)

- 軽水炉使用済燃料再処理施設の容量は、六ヶ所再処理施設 (800tHM/年)、第二再処理施設 (1200tHM/年→400tHM/年) と変化していく。
- FBR使用済燃料再処理施設の容量は、20tHM/年の実証施設に続き、2060年から200tHM/年の実用施設導入、さらに400~600tHM/年程度で推移する。

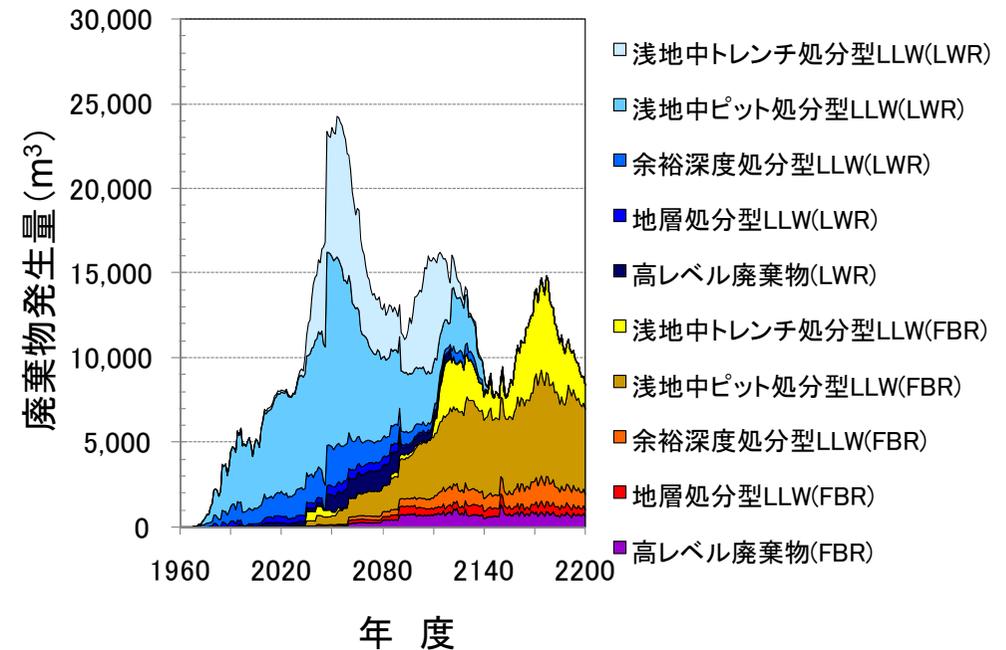
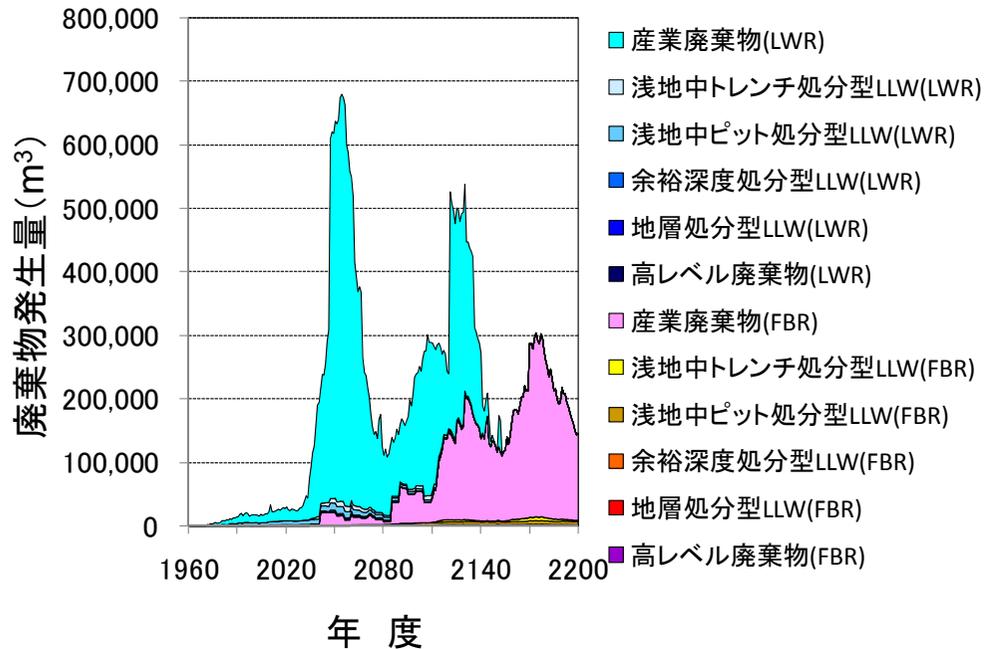
評価結果(内容の概要)

役割と機能確認

- 原子カシステム全体に関しては、将来の原子力に求められる条件のうち、
 - 原子カシステム全般の持続可能性（ウラン資源や放射性廃棄物）
 - 時系列の経済性（全キャッシュフロー）
- 個別施設に関しては、
 - 施設に存在する核物質・廃棄物組成や発熱量性など
 - 上記や設備利用率などから算出される施設の経済性
 - 輸送やトレーサビリティ

評価結果(廃棄物発生量)

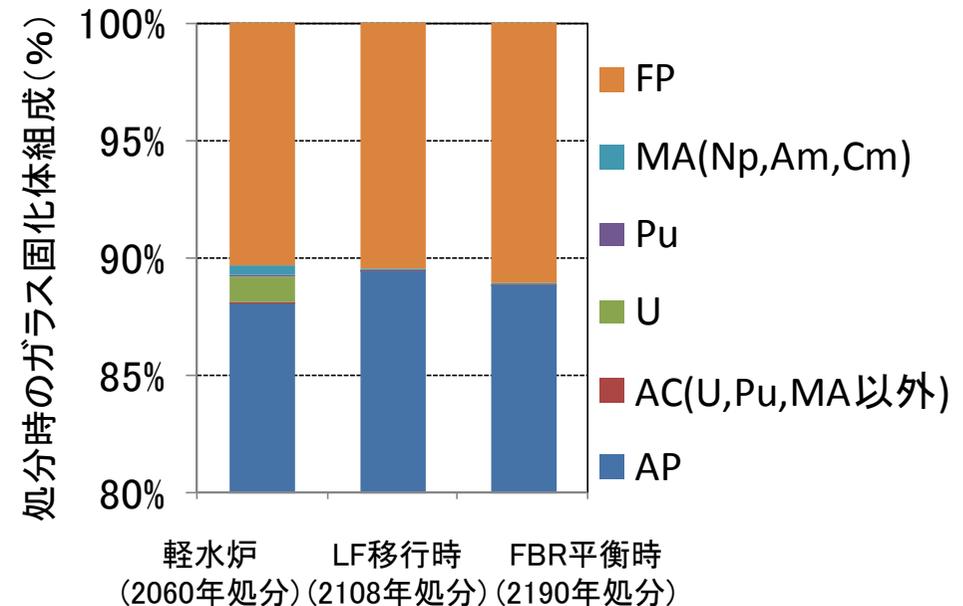
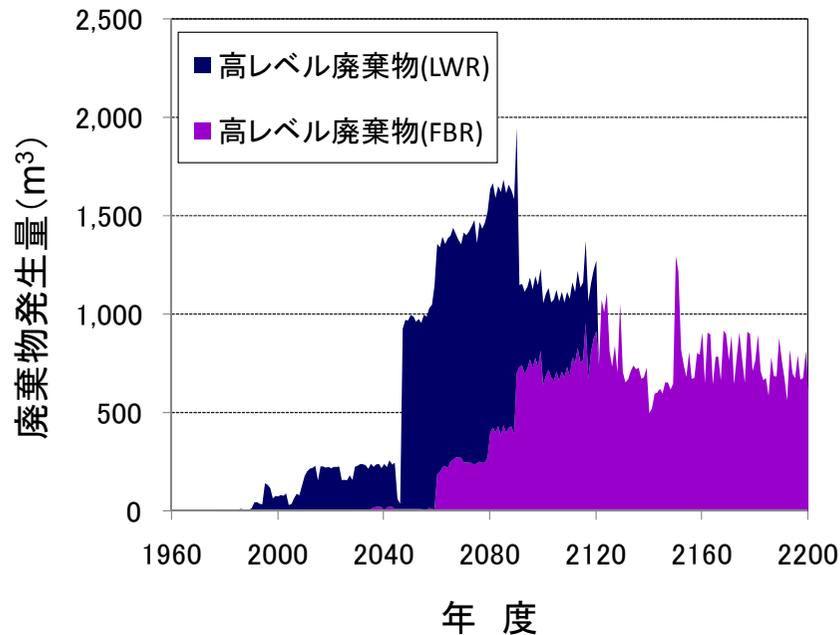
役割と機能確認



- 廃棄物全体の発生量のうち、産業廃棄物の発生量が最も多い。
- 放射性廃棄物の発生量の中では、低レベル放射性廃棄物がほとんどを占める。特にトレンチ処分およびコンクリートピット処分を行う廃棄物の発生量が多い。
- 原子力発電所の廃止、再処理施設の廃止のタイミングで大量の廃棄物が発生する。

高レベル放射性廃棄物の発生量・組成・毒性

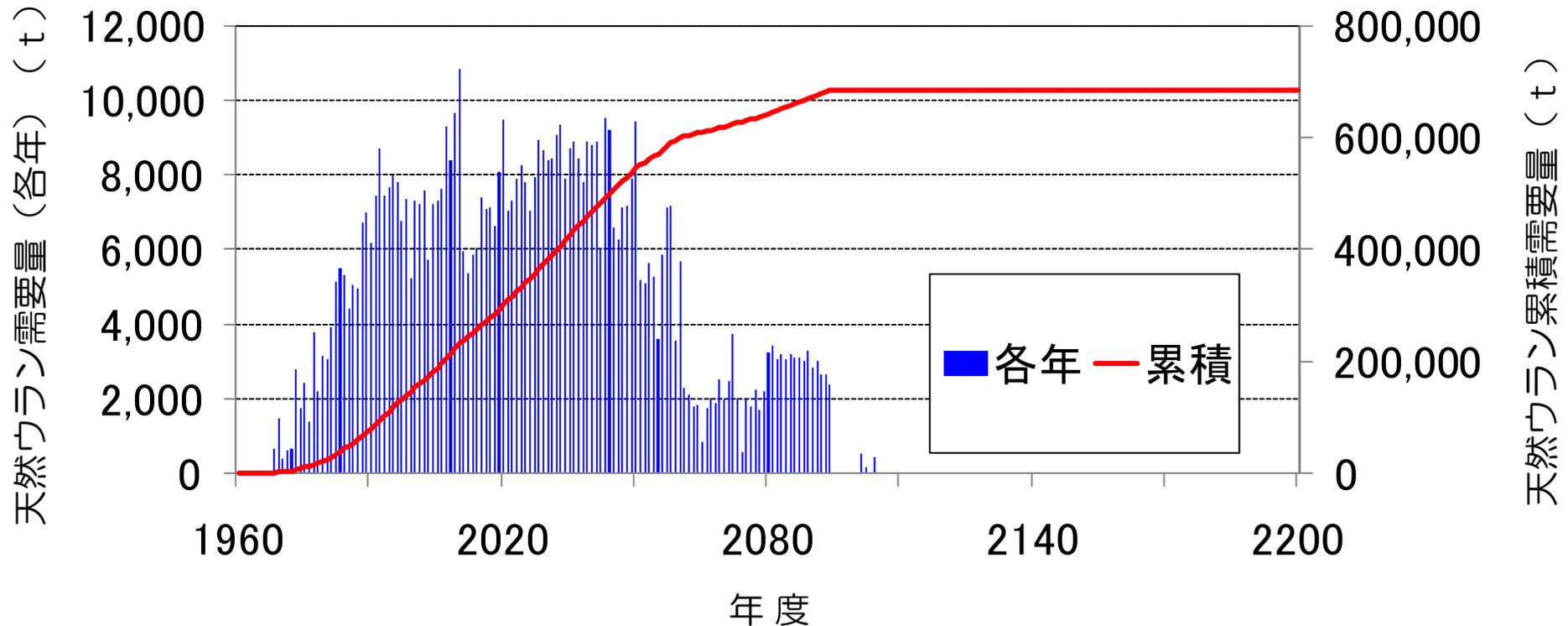
役割と機能確認



- 高レベル放射性廃棄物の発生量は、再処理施設容量に影響されるが、FBRサイクル導入で単位発電量当たりの発生量が6～7割に低減する。
- 高レベル放射性廃棄物の組成のほとんどがガラス基質であり、廃棄物成分としてはFPの各元素が大きな割合を占める。さらに、アクチニドにおいてはウランの割合が大きい。

資源の有効利用(天然ウラン累積需要)

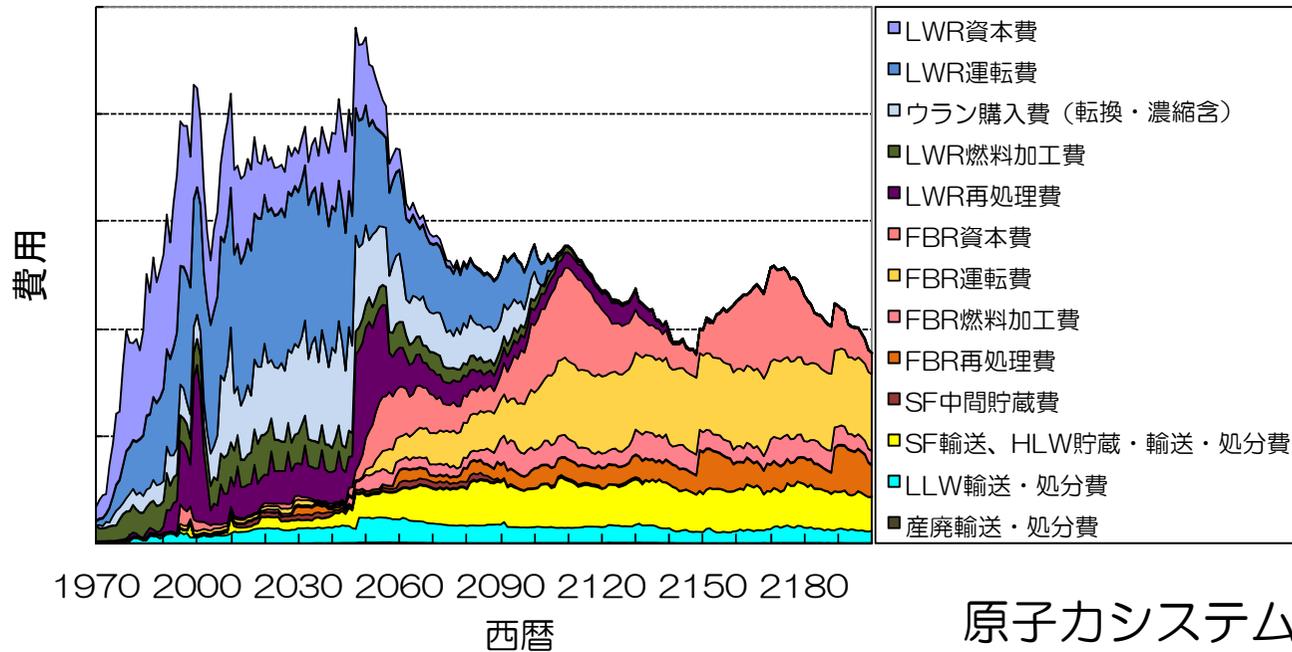
役割と機能確認



- 原子力発電で必要となる天然ウランの需要量を示している。FBRによるLWRの置換終了に伴い、天然ウランは不要となる。試算では、最終的な天然ウラン需要量は約68万トンUであった。
- 国内の濃縮施設は、将来にわたって1500トンSWUと想定した。安定した核燃料の調達は今後のわが国原子力利用において重要な関心事項である。

評価結果(原子カシシステムの総コスト)

役割と機能確認



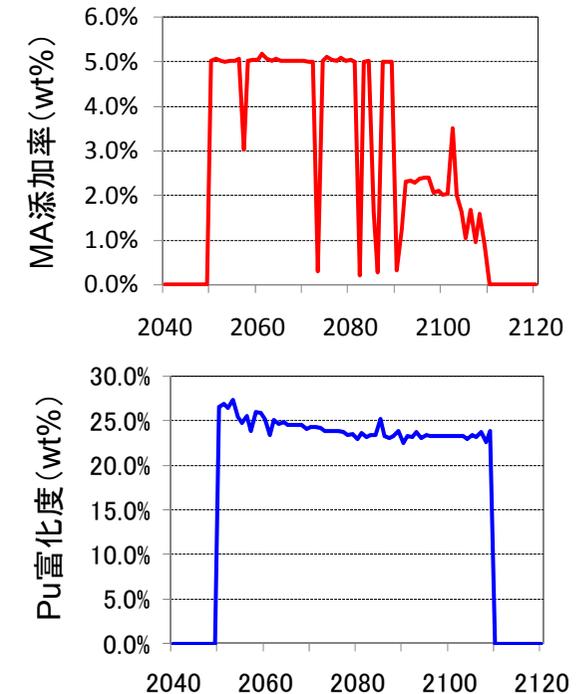
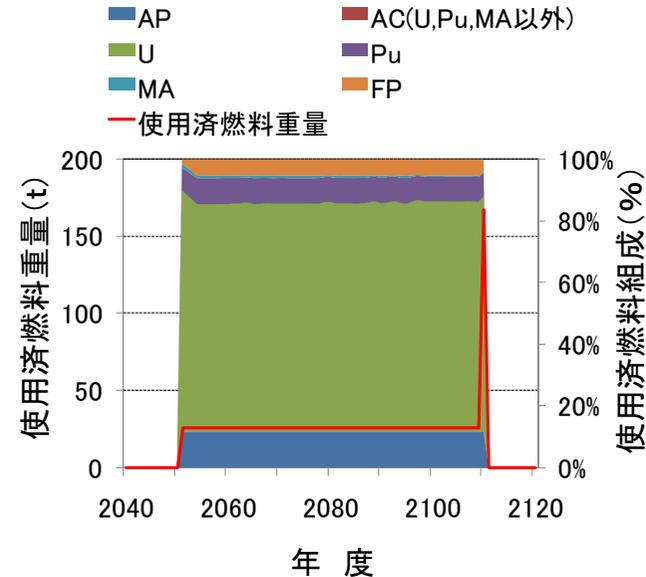
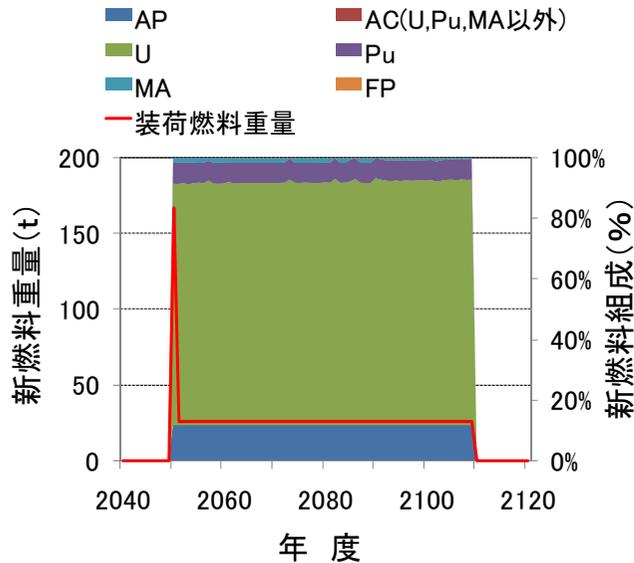
1970年~2200年
(割引率2%)

原子カシシステム総コストから求めた
平均発電原価 約5.0円/kWh

- 革新技术を備え、経済性に優れたFBRサイクルが導入されることで、長期的には原子カシシステムに要する費用が低減していく傾向が示された。
- 原子炉の廃止と建設、再処理施設の廃止と建設が集中する2050年頃、2100年から2110年頃、2170年頃に費用のピークが発生する。

燃料組成と発熱の問題

役割と機能確認



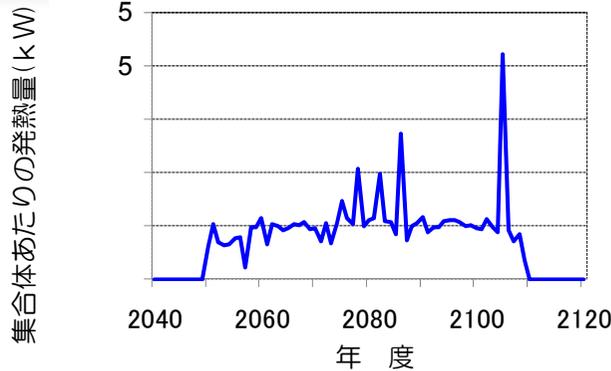
- 典型的なシナリオでは、軽水炉での燃焼で発生したMAをFBRで燃焼することとしている。MAを含有する燃料は発熱量が大きく、また、その使用済燃料からの発熱も大きくなる。そのため、燃料の製造や使用済燃料の取扱いといった制約条件を考慮して燃料サイクルを検討する必要がある。

燃料組成と発熱の問題

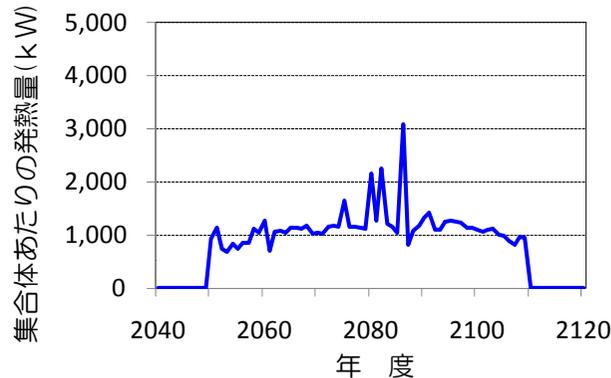
役割と機能確認

装荷時

内側炉心

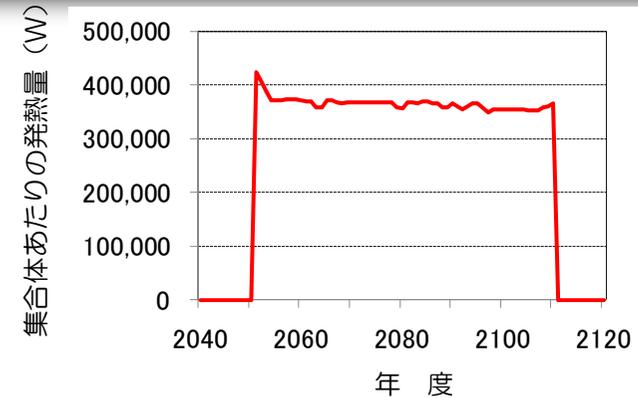


外側炉心

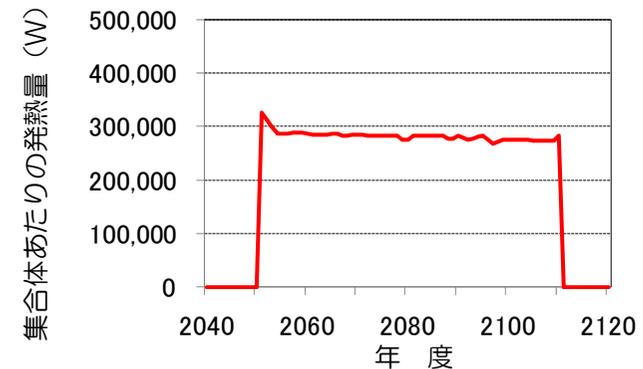


取出時

内側炉心



外側炉心

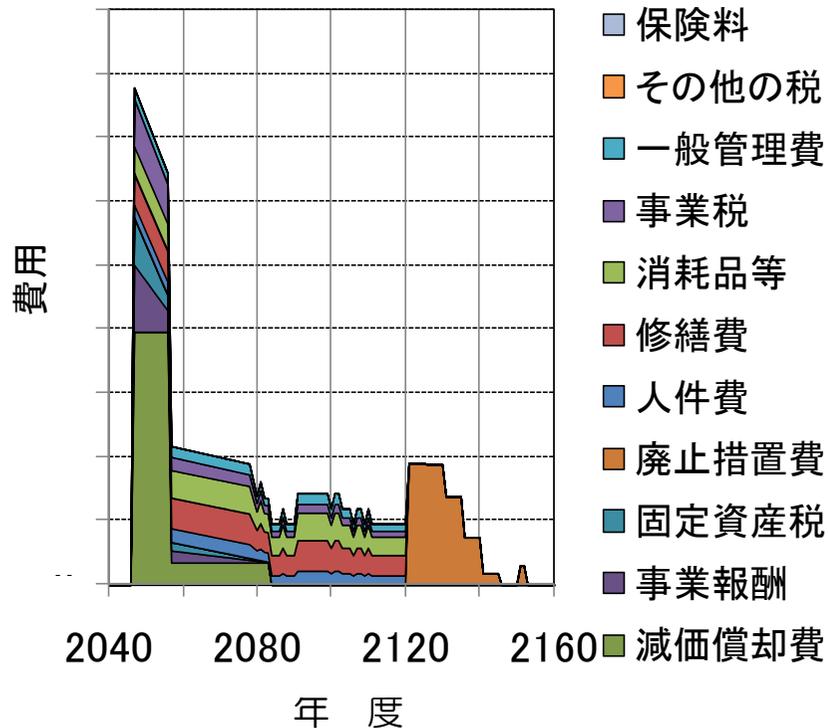


- 典型的なシナリオでは、軽水炉使用済燃料中のMAをFBRで燃焼する予定であるが、FBR用の新燃料および発生する使用済燃料は発熱量が大きく、施設対応が必要となる可能性がある。特にリサイクル時にどの使用済燃料をどのように混合して新燃料を製造したのか、といった燃料取扱の方法によって新燃料と使用済燃料の特性に差が生じる。そのため、そうした詳細な制約条件を考慮した検討を実施する必要がある。

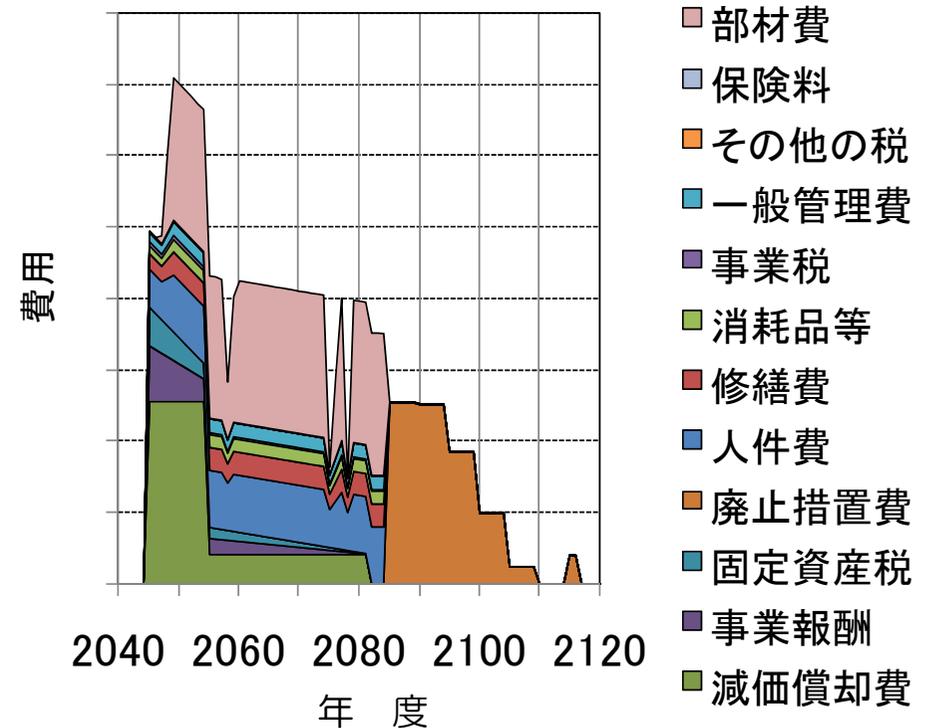
燃料サイクル施設のコスト

役割と機能確認

第二LWR再処理



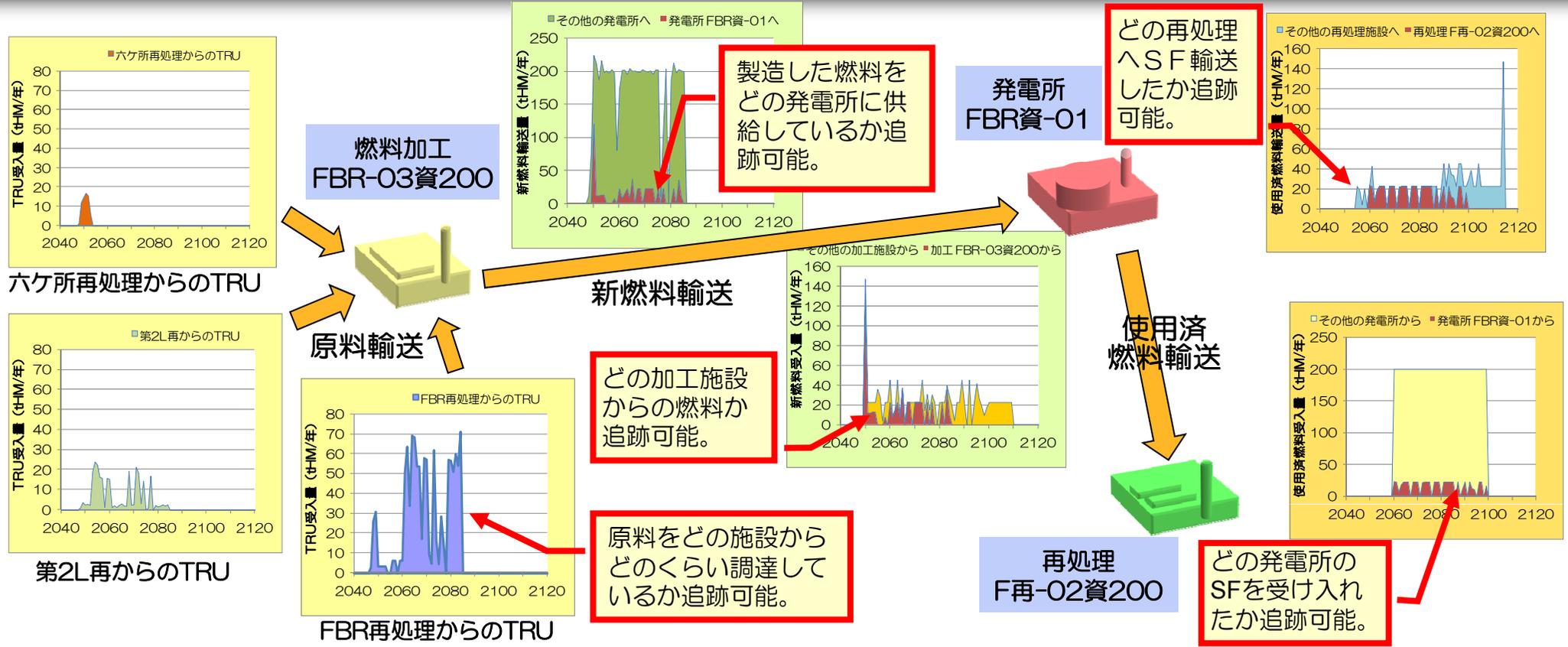
FBR燃料加工



- 本手法では、原子力事業を構成する各施設の物流とコストを算出可能である。
- わが国の原子力事業で最大の施設となることが予想される第二再処理施設のキャッシュフローとFBR燃料加工用の実用施設のキャッシュフローを試算した結果を示す。
- 一部、設備利用率が低下している年には、運転維持に関する費用が低減していることが示されている。

輸送とトレーサビリティ

役割と機能確認



- SCMの効果をもとめ、燃料のトレーサビリティを確保する機能を整備している。それぞれの発注ごとに発注作業、燃料製造、核物質の輸送、炉への装荷、使用済燃料の輸送と再処理製品といった核物質の流れを追跡できるようにしている。
- 今後、機能を充実させると共にさらに簡便に活用可能としていく予定である。

第3部 再処理計画とFBR導入に関するトピックス

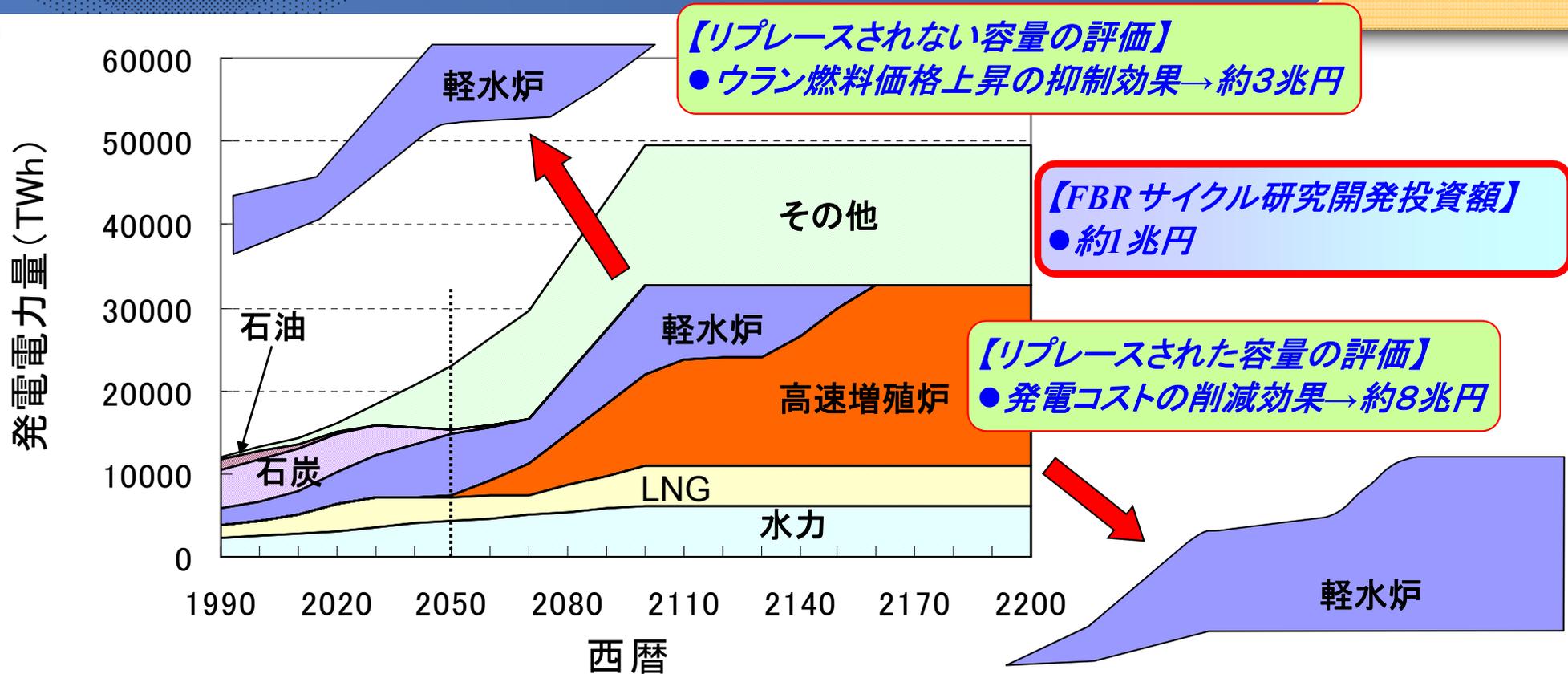
役割と機能確認

3. 再処理計画とFBR導入に関するトピックス

主に経済性に関する手法の機能確認と試算状況

FBRサイクルの投資対効果評価(従来の方法)

役割と機能確認

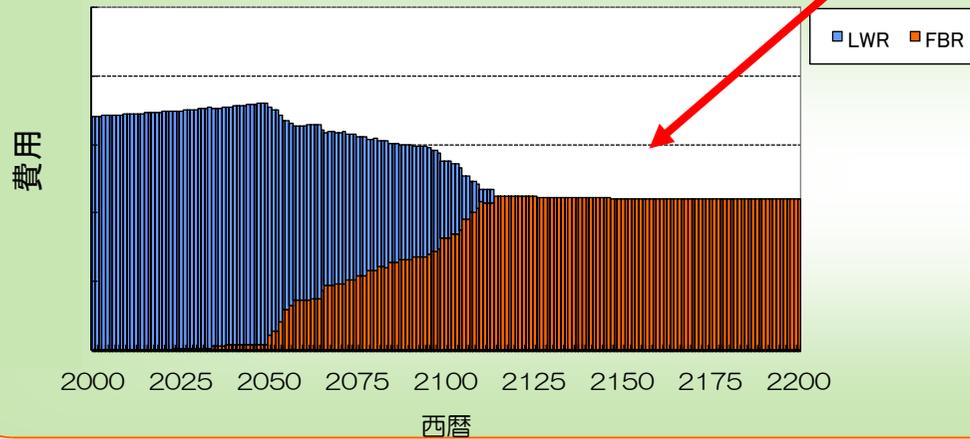


- 従来のFBRサイクルの投資対効果評価では、軽水炉からのリプレースを想定し、その際にはリプレース分の発電コスト削減効果と非リプレース分のウラン価格上昇抑制効果を考慮した。
- ここでの費用対効果評価では、非リプレース分も含んだ発電コスト全般の削減効果を算出することで両者を包含して直接的に評価する。

従来のFBRサイクルの投資対効果評価との比較

役割と機能確認

従来発電コスト評価ツールを組合せた評価例

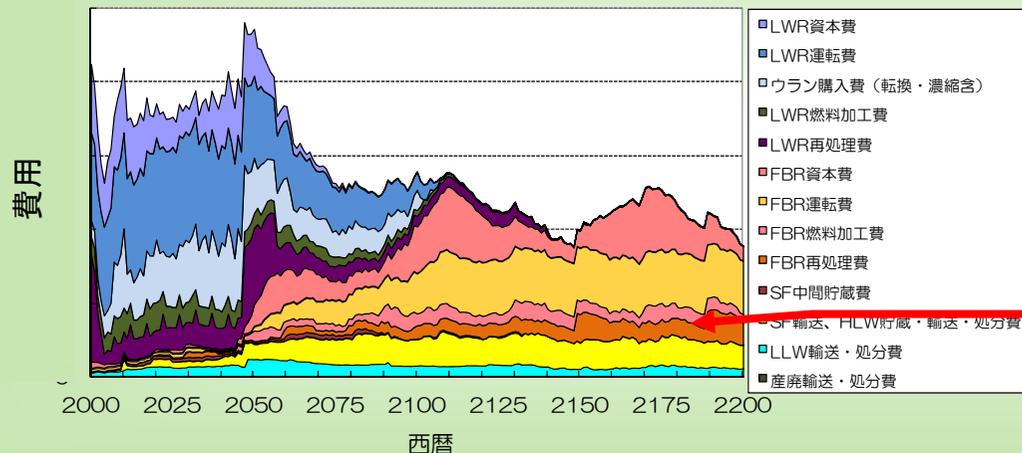


単純な核燃料サイクルの評価向き

LWR、FBRそれぞれに、予め毎年の単基の発電コストを計算し、その年の導入割合で加重平均することで、原子力全体の発電コストやサイクルコストを算出。

解析期間	2005~2200年
FBR導入規模	2030年以降、約58GWeで一定
設備利用率	LWR：90%、FBR：94.6%
FBR導入時期	2050年
割引率	2%
FBRの導入	100%LWRから置換されると想定
LWR発電コスト	公開データから推計
FBR発電コスト	新規に導入される炉の発電コストはFSの結果をベースに設定

原子力事業評価手法を用いた評価例



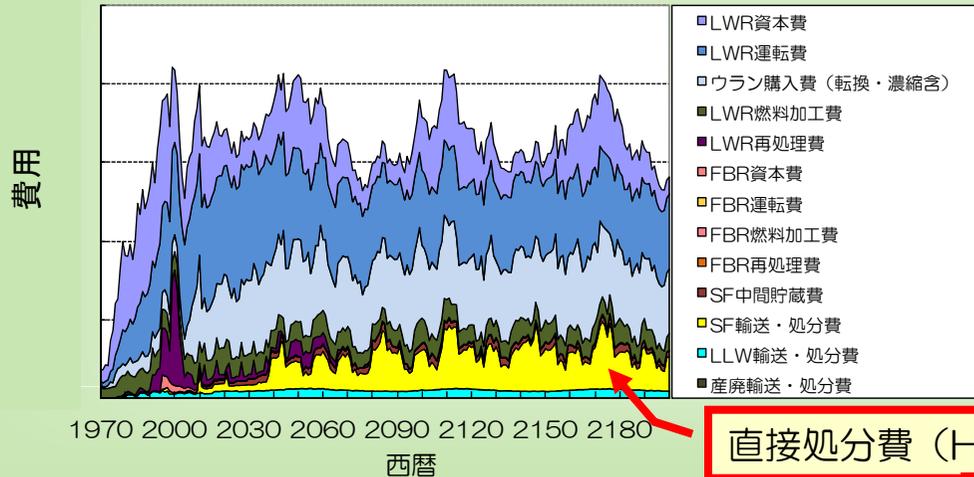
原子力事業全体における物流を考慮して各施設の建設・運転・廃止に要する費用を算出し、それらの積算と発電電力量から、原子力全体の発電コストやサイクルコストを算出。

多種多様な施設が存在する移行時期の複雑な核燃料サイクルの評価向き

ワンスルー/FBRサイクルの投資対効果評価

役割と機能確認

FBRを導入しない場合（ワンスルー）の発電費用

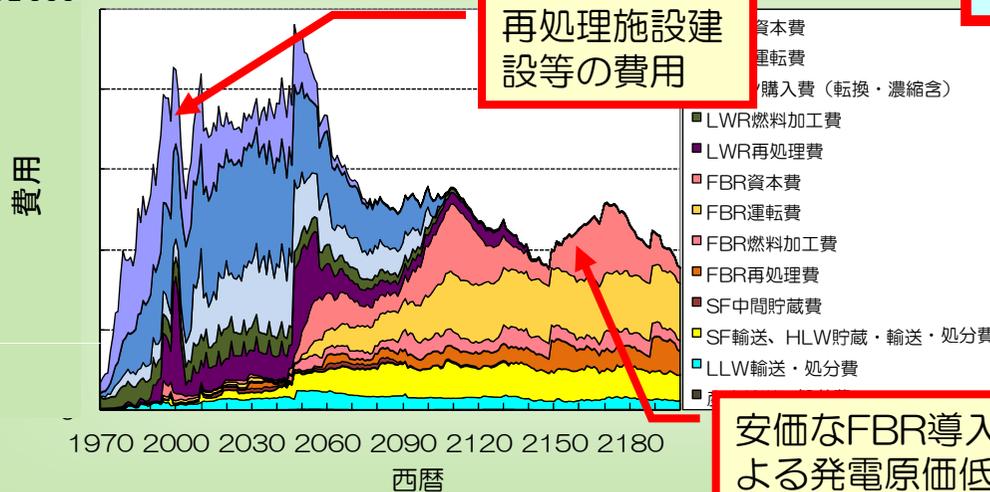


2050年以降の総コスト 約369兆円

ワンスルーでは、再処理等の費用が減少しているものの、直接処分費が発生することがわかる。

平均発電原価 約5.1円/kWh

FBRを導入した場合の発電費用



投資対効果の評価では軽水炉サイクル（特に第二再処理）の扱いが大きな影響

2050年以降の総コスト 約316兆円

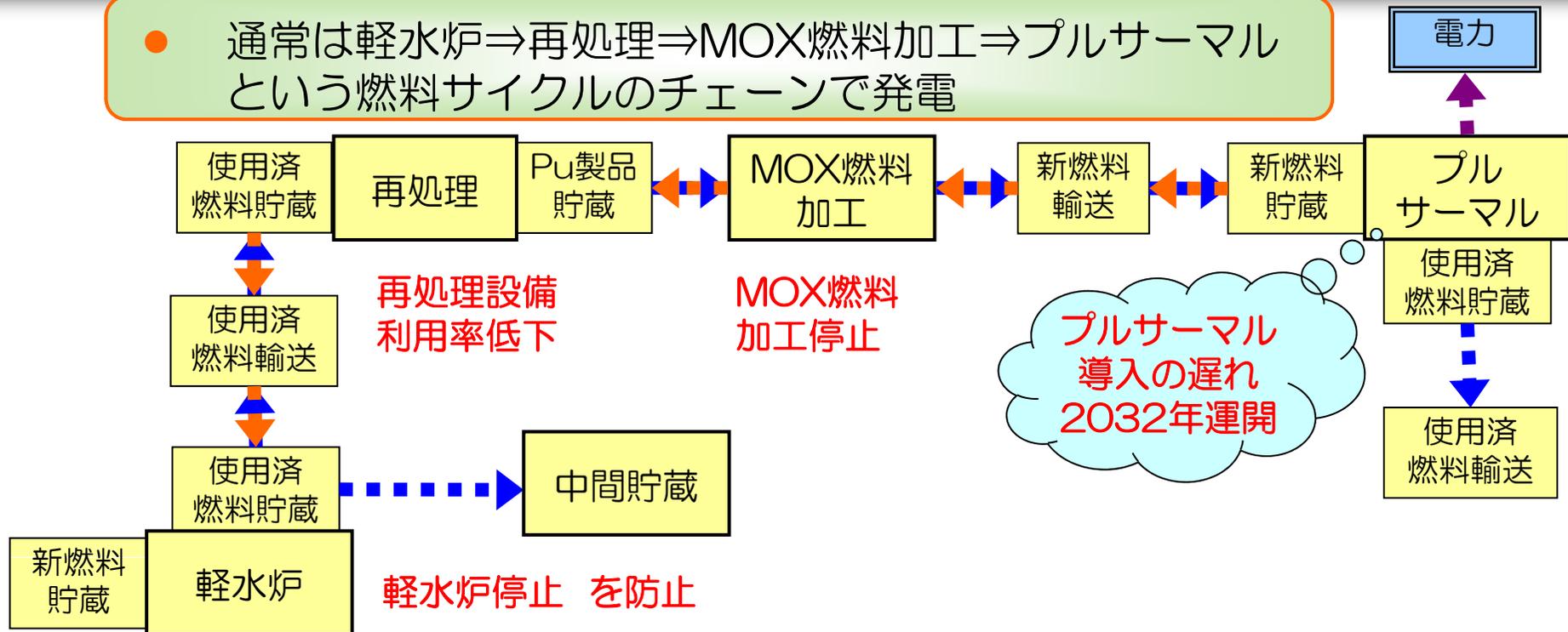
FBRを導入した場合には、軽水炉再処理施設の建設費・廃止措置費の負担が大きいものの、発電原価の低減が期待できることがわかる。

平均発電原価 約5.0円/kWh

軽水炉サイクルの供給リスク連鎖試算

役割と機能確認

- 通常は軽水炉⇒再処理⇒MOX燃料加工⇒プルサーマルという燃料サイクルのチェーンで発電



- ツール機能の確認（再処理、燃料加工、原子炉、貯蔵の連鎖関係）

2012年プルサーマル導入／六ヶ所再処理Pu貯蔵容量 変更なし／2010年中間貯蔵施設運開

2032年プルサーマル導入／他は同一条件

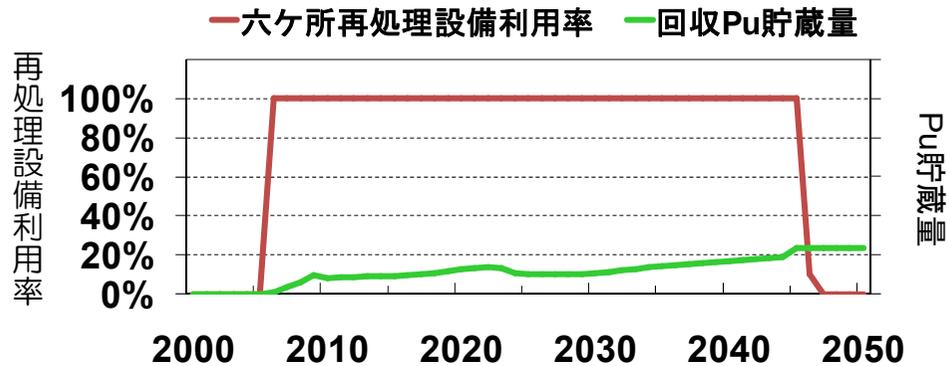
2032年プルサーマル導入／六ヶ所再処理Pu貯蔵庫 5倍／他は同一条件

2032年プルサーマル導入／2032年中間貯蔵施設運開／他は同一条件

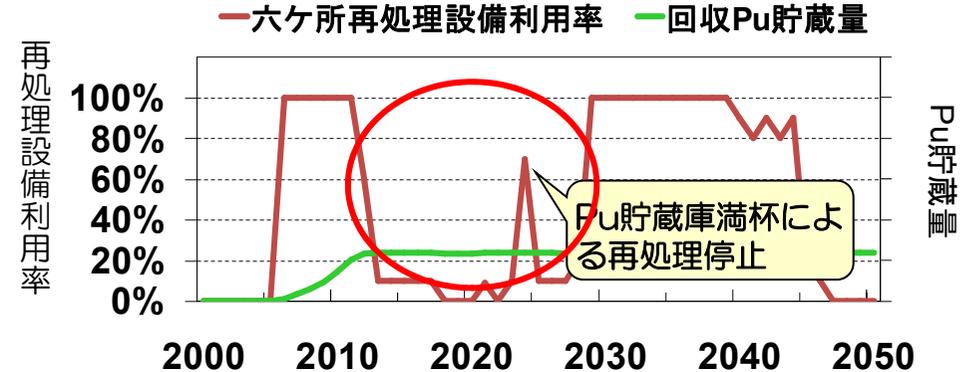
軽水炉サイクルの供給リスク連鎖試算

役割と機能確認

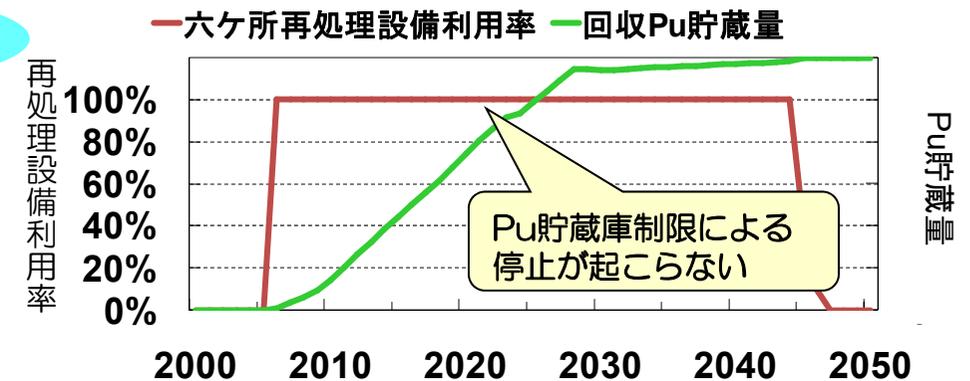
プルサーマル 2012年操業開始



プルサーマル 2032年操業開始



プルサーマル 2032年操業開始/Pu貯蔵庫150tPuへ拡張

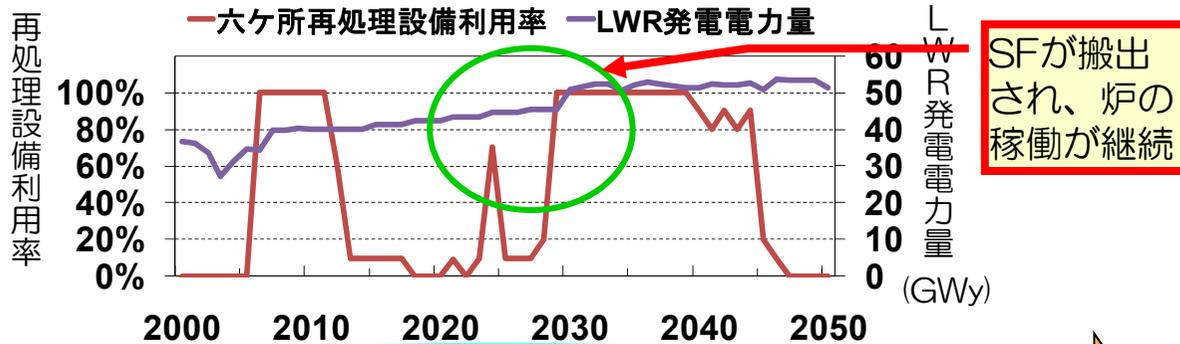


- プルサーマル遅延 ⇒ JMOR停止時でも、Pu貯蔵庫がバッファとなって、再処理施設の操業を維持 ⇒ 原子炉の操業も維持
- プルサーマル20年遅延時においても再処理施設停止を防止

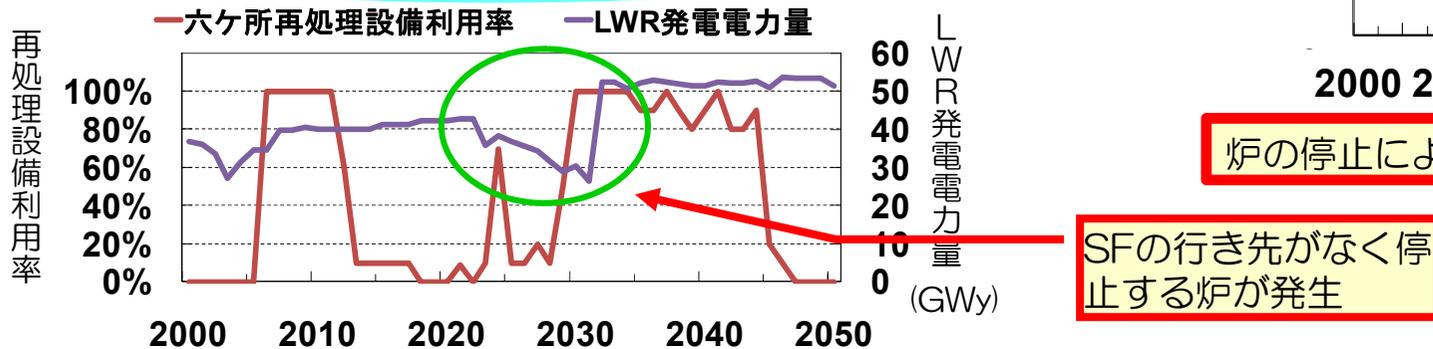
軽水炉サイクルの供給リスク連鎖試算

役割と機能確認

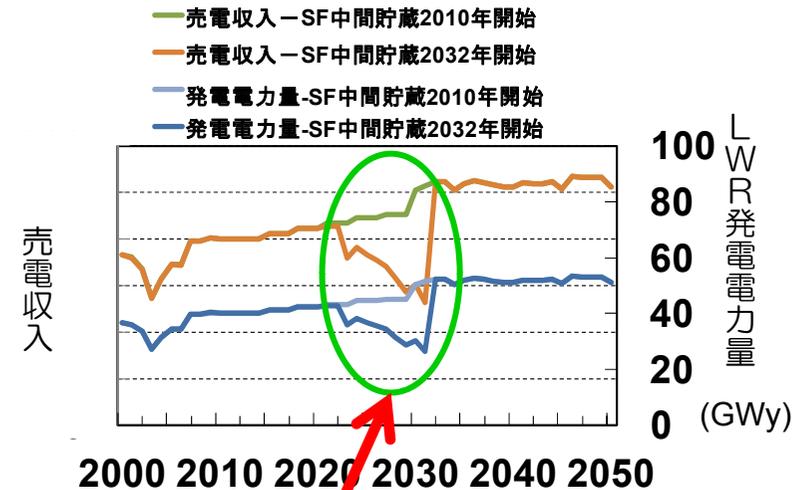
中間貯蔵施設あり (2010年貯蔵開始)



中間貯蔵施設なし (2032年貯蔵開始)



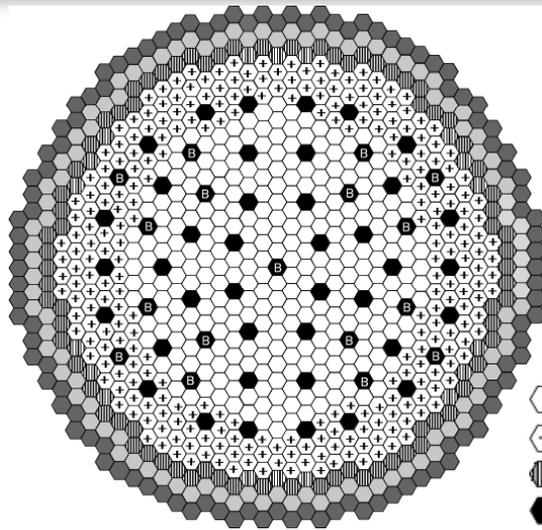
売電収入への影響試算



- 中間貯蔵施設の存在によって、Pu貯蔵庫を拡張できず再処理設備利用率が低下した場合でも、原子炉の停止を回避可能
- バッファ機能増強による設備利用率向上と施設建設費抑制のトレードオフを解析し、原子力システム総コストを踏まえた総合的な戦略判断を支援

FBR炉心増殖比の変更(前提条件)

役割と機能確認



○	内側炉心燃料集合体	288体
+	外側炉心燃料集合体	274体
■	径方向ブランケット燃料集合体	96体
●	主炉停止系制御棒	40体
⊖	後備炉停止系制御棒	17体
○	ステンレス鋼遮へい体	102体
●	Zr-H遮へい体	108体
合 計		925体

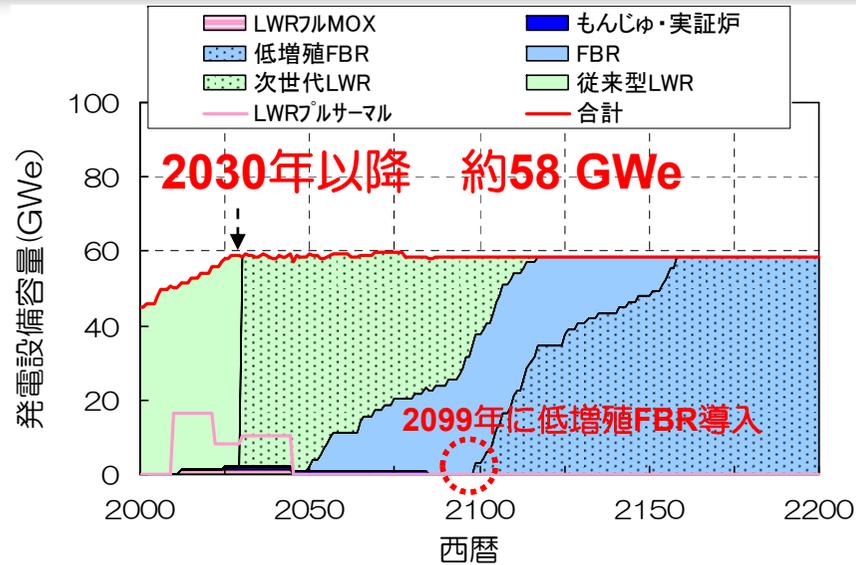
項 目		単 位	低増殖炉心 [増殖比1.1]	H19高増殖炉心 [増殖比1.2]	
炉 心	炉心熱出力	MWt	←	←	
	炉心高さ	cm	100	75	
	軸ブランケット厚さ [上/下]	cm	20/20	40/50	
燃 料 仕 様	燃料ピン径	mm	10.4	←	
	燃料ピン全長	m	約 2.7	←	
	集合体燃料ピン本数	本	255	←	
	集合体全長	m	約 4.6	←	
炉 心 特 性	Pu富化度 [内側/外側]	wt%	18.2/20.6	21.3/24.1	
	運転サイクル長さ	ヶ月	26.3	21.0	
	設備利用率 ^{*1}	%	95.2	94.1	
	増殖比 ^{*2}	—	1.10	1.19	
	初装荷核分裂性Pu重量	t/GWe	5.8	5.1	
	取出平均燃焼度	炉心	GWd/t	145	151
		全炉心 ^{*3}	GWd/t	89	60
	ナトリウムボイド反応度	\$	5.2	4.6	
	燃料バンドル部圧損	MPa	0.2	0.2	

*1 定検期間40日 *2 サイクル平均 *3 ブランケット燃料を含む

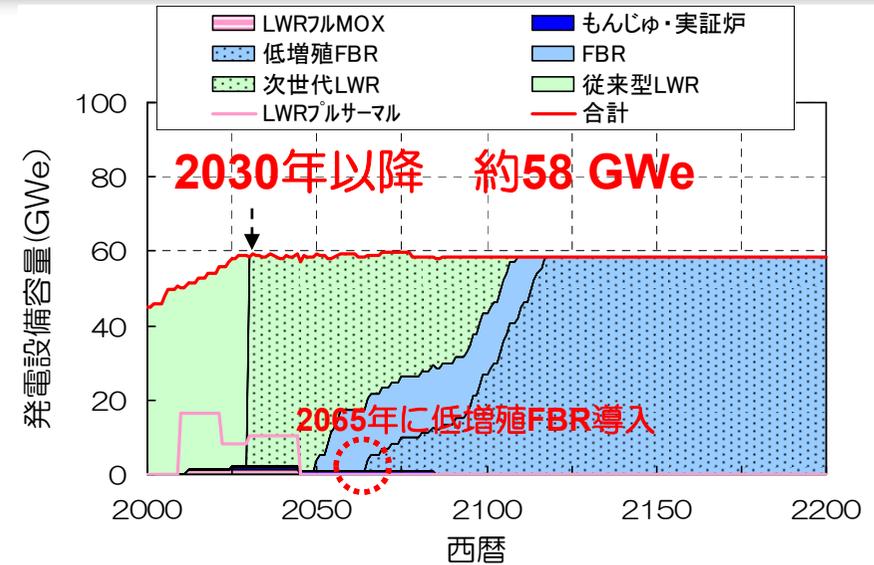
- FSでは、FBR導入初期に増殖比が約1.1の炉心を用いることを想定したが、FaCTでは、増殖比が約1.2の炉心も検討を進めており、2つの炉心（増殖比1.20と増殖比1.10）を導入初期に用いる際の長期的な経済性の相違を試算する。
- 軽水炉と比較してFBRの経済性が向上している場合、増殖比が高いときは、FBRの導入、さらに低増殖比のFBR導入が速やかとなり、原子力全般の経済性を向上させられる。増殖比が低いときは、燃焼度が高い分、導入初期に入れるFBRの経済性は良好である。両者の比較が重要となる。

FBR炉心増殖比の変更(シナリオ)

役割と機能確認



増殖比1.10/1.03の炉心を導入

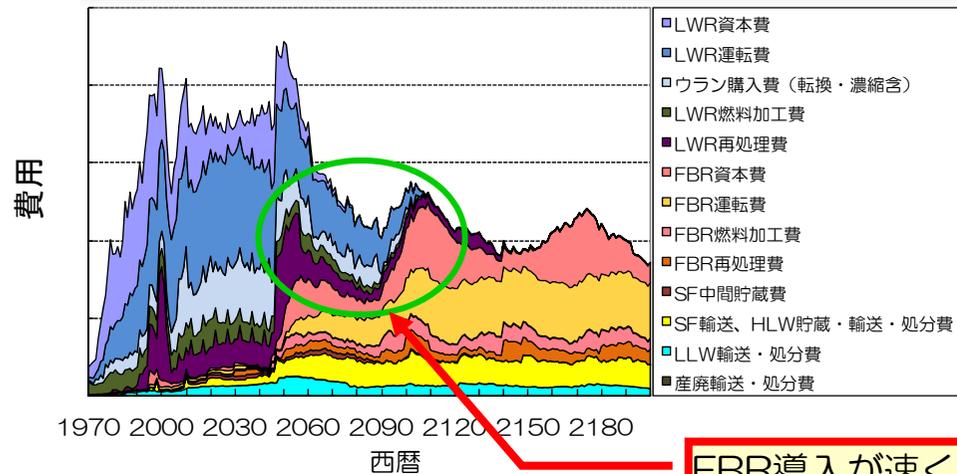


増殖比1.20/1.03の炉心を導入

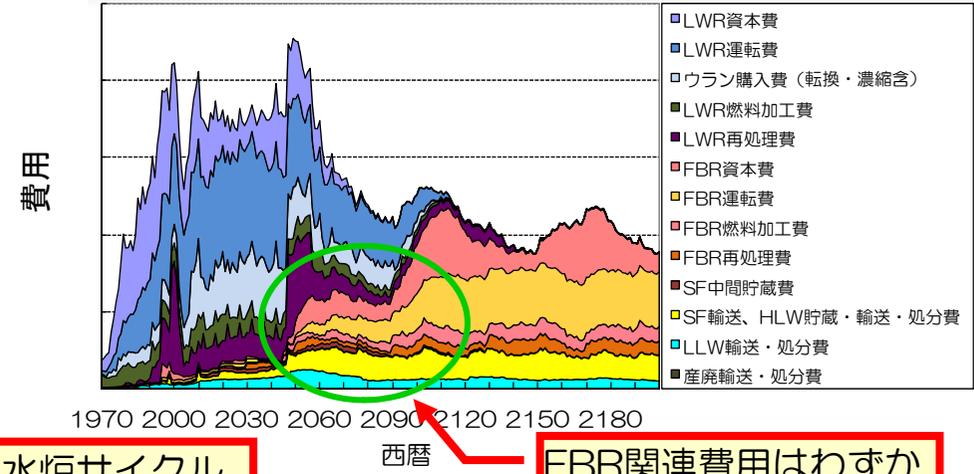
- FBRの導入性に関しては、増殖比の違いで導入ペースは異なるものの、2050年から増殖比1.1のFBRを導入したときは約70年、同様に増殖比1.2のFBRを導入したときは約60年でLWRからFBRにリプレース可能である。

FBR炉心増殖比の変更(コスト影響試算)

役割と機能確認



FBR導入が速く、軽水炉サイクル
関連費用の低下がわずかに大きい。



FBR関連費用はわずかに
低下する。

増殖比1.20/1.03の炉心を導入

原子カシステム総コストから求めた
平均発電原価 約4.9円/kWh (割引率2%)

増殖比1.10/1.03の炉心を導入

原子カシステム総コストから求めた
平均発電原価 約4.9円/kWh (割引率2%)

- 今回の長期的な経済性試算結果は、両ケース共に割引率2%で平均の発電原価が5円/kWh弱とほとんど変わらなかった。
- (注) 長期的な経済性評価では、21世紀後半に導入されるFBRサイクルではなく、軽水炉サイクルの施設(特に原子炉)による影響が大きい。

FBR炉心増殖比の変更(今後の課題)

役割と機能確認

- 今回の経済性評価結果では、増殖比を変えてもほとんど差が生じなかった。しかし…

MEXT報告書 (H18)

「高速増殖炉の研究開発方針について」増殖比1.1としたプルトニウムバランスには余裕が少ないことなどから、**燃料供給の信頼性、確実性を担保する**観点から…
(中略) …増殖比1.2とすることが妥当であるとした。」

原子力委員会・

原子力分野の研究開発に関する委員会 (H18)
「各国で高速増殖炉に対する設計要求が異なることが見込まれることから… (中略) …わが国の高速増殖炉サイクル技術を世界標準とするためには、**高い増殖比に対応できるポテンシャルを設計上確保することへの配慮**が重要…」

さらなる検討の必要性

- FBR導入時期における燃料供給の信頼性、確実性についてSCMの観点から検討すべきと思われる。
- 技術的な設計検討を踏まえ、天然ウラン価格上昇の影響、燃料製造施設の供給能力、第二再処理施設の安定操業の確保、六ヶ所再処理施設でのPu貯蔵量制約等に着目した検討（経済性評価）が有益と考える。

まとめ1（評価手法の機能）

まとめ等

1. 多くの原子力施設と輸送に関する物流とコストの時系列評価を同時に実施可能な「SCMに基づく原子力事業評価手法」を作成した。
2. 各施設が扱う核物質の組成（アクチニド、FPその他）、廃棄物、費用を算出可能であり、多数の制約条件やトレードオフを含む多角的な評価、不確実性評価に活用可能である。
3. 特に時系列の総コスト、ウラン資源、廃棄物発生量、放射性毒性などの算出、ひばく線量や核不拡散関連評価へのデータ提供などに活用できる評価基盤としての機能を有する。
4. FaCTプロジェクト等の施設設計において参考にすべきデータを統一的な見地から提供できる検討基盤としての機能も有する。

まとめ2 (SCMへの活用方法)

まとめ等

5. 各施設や輸送などにおける新燃料や使用済燃料の物質組成、発熱、関連コスト等、リサイクルやFBRサイクルを検討する際に考慮すべき多くの特性を評価することが可能である。
6. より適切なSCMを実施するため、核物質の輸送・処理におけるトレーサビリティを確保できるように配慮している。
7. 最近の情勢、特に仏の官民一体となった核燃料サイクルへの取り組みの背景には、原子力サプライチェーンの考え方がある。わが国も、国内・国際的な燃料サイクル事業の展開を考える上で必要な原子力サプライチェーンの検討・評価に活用可能である。

まとめ3（機能確認と試算）

まとめ等

8. ワンススルーとFBRサイクルシナリオでのわが国全体の原子力施設の時系列コストを試算した。
9. 時系列のコストから経済上の効果を算出する手法に基づく投資対効果評価の改良方を示した。
10. プルサーマル実施と再処理施設の円滑操業の関連性をテーマに試評価してツールの機能を確認し、再処理施設のPu貯蔵庫、中間貯蔵施設のバッファとしての役割を確認した。
11. FBR炉心の増殖比を変化させ、モデルを用いて長期的な経済性を試算したが、経済性の面からはほとんど差が生じなかった。今後は、データの見直しと共に不確実性を考慮した評価などの実施が考えられる。

今後の予定1

まとめ等

1. 物流と経済性評価手法を洗練し、原子力事業全般をより正確かつ簡便に模擬して評価できるツールとする。また、関連する検討（FaCT評価やLF移行期の検討など）で活用する。
2. 設計検討における基盤としての役割を果たせるよう、原子力施設の状態や特性を調査・検討するために必要な様々なデータを出力しやすくする。また、原子力事業における制約や不確実性を考慮した評価を実施する。
3. 発注方式、炉型の追加、国際的な企業連携への対応、部材供給、送電・売電（収益評価）などサプライチェーンマネジメントに必要な機能を追加する。

今後の予定2

まとめ等

4. 廃棄物削減と費用低減等のトレードオフ解析、エネルギー経済モデルとの連携による投資対効果評価といった種々の評価を通じて、原子力事業・開発戦略の意思決定を支援する。
5. 最近の政府動向に見られるように、原子力サプライチェーンの検討には、グローバルな視点が重要である。IAEA/GainsのスタディやCEAとの共研などに参加して、ツールの検証と世界評価（地域評価）を実施する。
6. 知識マネジメントを意識し、構造化されたデータモデルを有する原子力事業の評価モデルとして、手法の継続的な利用と機能拡張を図る。