

論文の内容の要旨

論文題目 次世代原子力システムの経済性及び導入影響の不確実性評価手法に関する研究

氏名 塩谷 洋樹

1. はじめに

1.1 FaCT プロジェクトの開始まで

わが国では、原子力開発の草創期から高速増殖炉（Fast Breeder Reactor: FBR）の実用化を目指した研究開発を進めてきた。図 1 に FBR サイクルの実用化に向けた研究開発計画を示す。

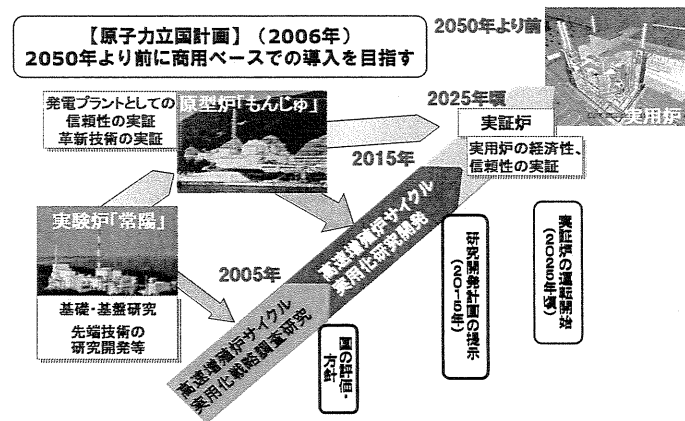


図1 FBR サイクルの実用化に向けた研究開発計画

しかし、1995 年のもんじゅナトリウム漏洩以降、FBR の開発全体を検討し直す機運が高まり、高速増殖炉懇談会が開催された。その結果を受けて 1999 年より開始された FBR サイクルの実用化戦略調査研究 (FS) で、ナトリウム冷却高速増殖炉に先進湿式再処理法と簡素化ペレット燃料製造法を組み合わせさせた FBR サイクルを主概念として選定し、重点的に研究開発を進めていくこととなった。

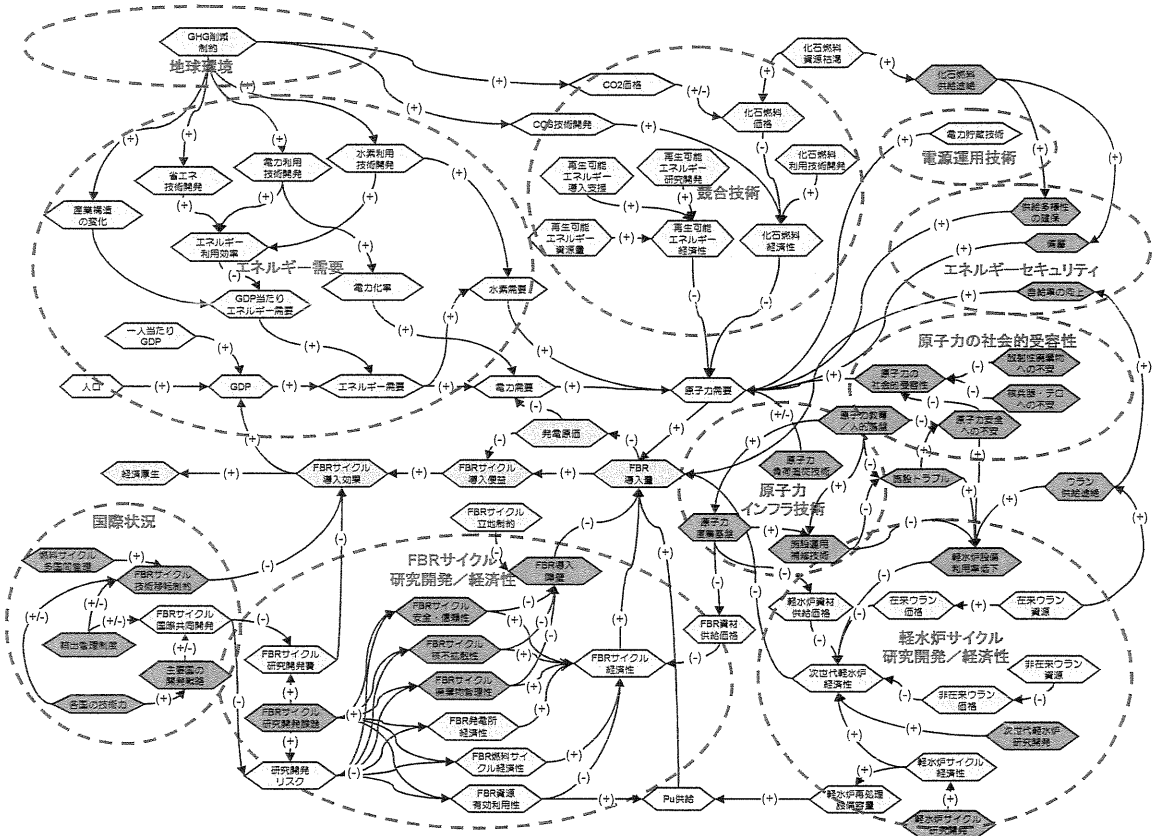
現在、FBR サイクル実用化を目指す取り組みは、FBR サイクルの実用化研究開発プロジェクト (FaCT プロジェクト) と呼ばれ、前述の主概念を中心とした FBR サイクルの

実用化に向け、国際協力なども活用して積極的な研究開発を進めている。

2. FBR サイクルシステムの不確実性

2.1 不確実性要因と影響の整理

FBR サイクルの導入量や導入効果に影響を及ぼす不確実性要因を幅広く抽出し、11のグループに整理される不確実性要因について、その影響経路を整理した。図2に、FBR サイクル導入効果に関する影響経路図を示す。



※緑色で示した要因は定量化が困難な要因を示している。

図2 FBR サイクル導入効果に関する影響経路図

続いて各不確実性要因に関して、FBR サイクル導入への影響は、『導入対象市場への影響』、『競争力への影響』及び『導入に関する制約条件』の3種類に大別して整理し、金銭価値換算可能か否かについても併せて考慮した。

2.2 不確実性の評価手法

本研究では、経済的価値を中心に据えて検討するため、金銭価値換算が可能な不確実性要因と困難な要因を分けて評価する方針とした。

金銭価値換算が可能な不確実性要因は、費用対効果分析の枠組みで評価することが適当であり、安全性/核不拡散性/放射性廃棄物低減/エネルギーセキュリティなど

定性的な要因も、金銭価値観算可能な場合には費用対効果分析に反映すべきである。

他方で、金銭価値換算が困難な要因については、他の指標との一元化する手法（階層分析法、多属性効用分析、外部コストなど）、専門家による価値判断を行う手法などが考えられるが、各要因の特性を踏まえて要因ごとに決定する必要がある。

以下では、原子力システムを巡る不確実性として、FBR サイクル研究開発の実施あるいは中止による導入・非導入の影響、さらに炭酸ガス排出量制約の有無と CCS 付石炭火力発電のコスト競争力の変化による原子力発電設備容量への影響、天然ウラン価格の上昇による FBR 導入への影響、FBR 建設単価上昇と燃料サイクル技術開発失敗の影響、放射性廃棄物処分場制約の影響といった不確実性に注目し、それらを評価可能な手法を開発して影響評価を実施した。

3. 原子力システムの経済性評価手法

3.1 経済性の評価手法

原子力発電の経済性（発電原価）評価で通常用いられる耐用年平均現在価値換算法による発電原価評価手法について図3に示す。図で左側が現在価値に換算した発電量の算出フローであり、右側が現在価値に換算した発電に要する費用の算出フローである。詳細な費目が積み上げられて、資本費、運転費、燃料費が算出される流れを示している。

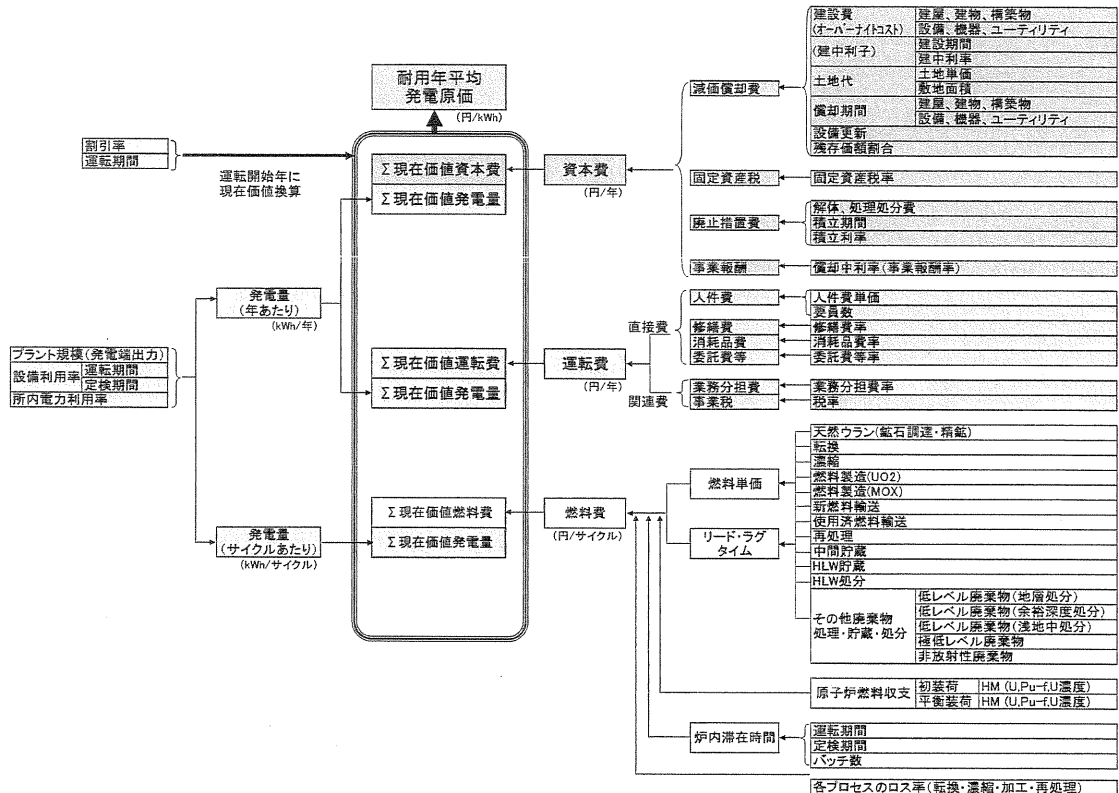


図3 耐用年平均現在価値換算法による発電原価評価手法

3.2 発電原価の不確実性評価手法

本研究では、研究開発の失敗や単価設定の幅について発電原価への影響を確率的に評価する目的でモンテカルロ計算を用いた発電原価の不確実性評価手法を開発した(図4参照)。

評価手法としては、下記を考慮した。

- 開発成功時の諸量を基準として、開発成功確率、失敗の影響（影響の内容、大きさ）、他技術性能への影響（影響の内容、大きさ）、他技術の成立性への影響を考慮可能とした。
- 開発失敗の影響の大きさは、開発成功時の数値に対する変化比率で評価する。また、代替技術がある場合には、代替技術成功時と代替技術失敗時に区別して開発失敗の

影響を評価する。

- ・開発の失敗が他技術の性能に影響する場合には、対象技術の性能への波及効果を考慮する。なお、この効果は波及対象技術の開発が成功した場合に適用する。

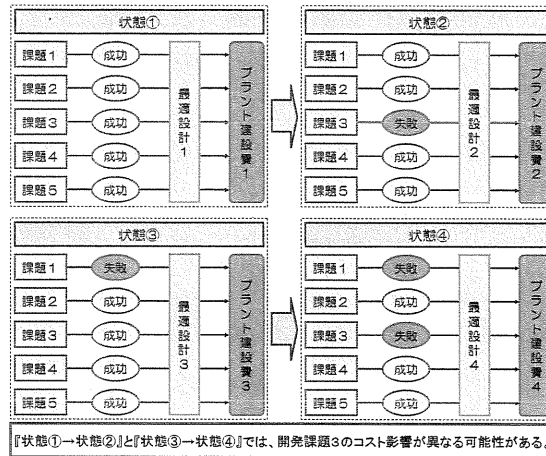


図4 各開発課題の成功/失敗による設計変更の可能性

図5に計算結果を示す。高速炉サイクルは、前述の主概念を用いているが、システム簡素化のための冷却系2ループ化、ポンプ組み込み型蒸気発生器、配管短縮のための高クロム鋼の開発、高燃焼度化に対応した炉心燃料の開発等のFBRシステム開発課題、晶析技術による効率的ウラン回収システムの開発、抽出クロマト法によるMA回収技術の開発、ダイ潤滑成型技術の開発、セル内遠隔設備開発等の燃料サイクルシステム研究開発リスクによる経済性への影響と現時点での成功確率を設定して計算した。このとき、発電原価の平均が全革新技術の開発成功時と比較して約15%程度上昇した。

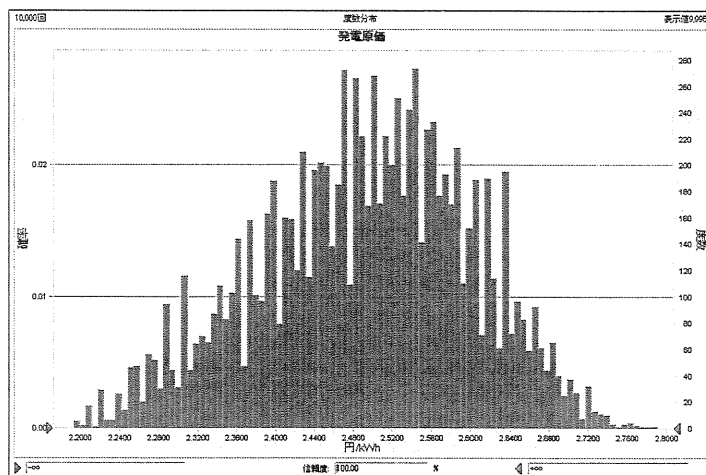


図5 発電原価の不確実性評価の結果

3.3 時系列の経済性評価手法

FBR 導入の有無や環境面といった特定の目標を重視した燃料サイクルオプション評価、あるいは原子力事業における不測の事態の影響評価等に利用するため、核燃料サイクルを含む原子力システムを時系列評価する手法（原子力事業評価手法）を開発した。

これにより、今後 100～200 年程度の期間にわが国で操業する原子力施設における核物質や廃棄物中の核種組成、使用済燃料等の発生量、キャッシュフローが算出可能となった。さらに不確実性要因が他施設に及ぼす経済的影響の評価等も可能となった。

特に軽水炉サイクルに関する設定については、時系列評価に関しては、より詳細なデータが必要となるため、実用化戦略調査研究当時に想定していた仕様を基にして評価した。

原子力事業評価モデルによる評価結果を図 6 に示す。上がワンスルー政策を採ったときの評価結果であり、下が FBR サイクル導入政策を採ったときの評価結果である。

ワンスルーに関しては、再処理費用が減少している（六ヶ所再処理施設の建設費は含む）ものの、直接処分費が発生する。一方、革新技術を備えた安価な FBR を導入した場合、FBR サイクルは高燃焼度であって燃料費が低減していくために発電原価が低減していき、長期的にはワンスルーと比較しても遜色ない発電原価の低減が期待できる。本研究では、およそ 0.3 円/kWh 程度安価な結果が得られた。

ただし、長期的なリサイクル政策の経済合理性に関しては、第 2 再処理施設の検討結果や次世代軽水炉の開発状況等も大きな影響を及ぼし、その他の不確実性も考慮して検討する必要がある。

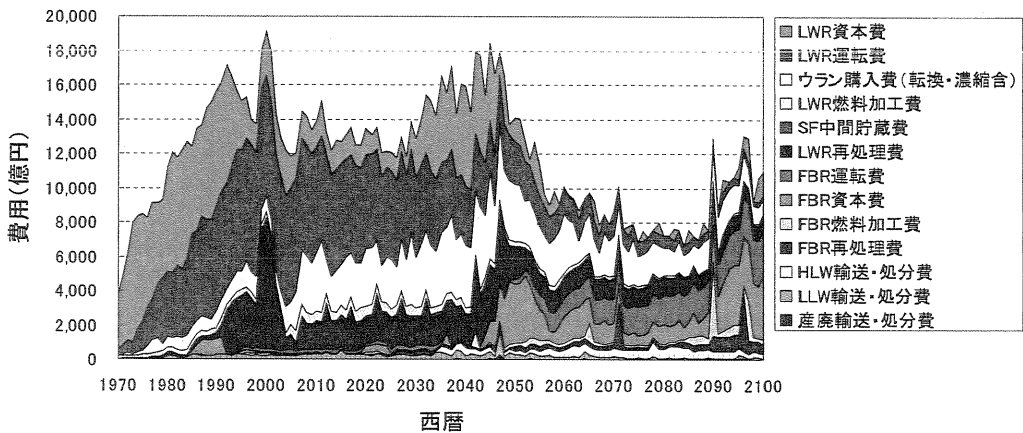
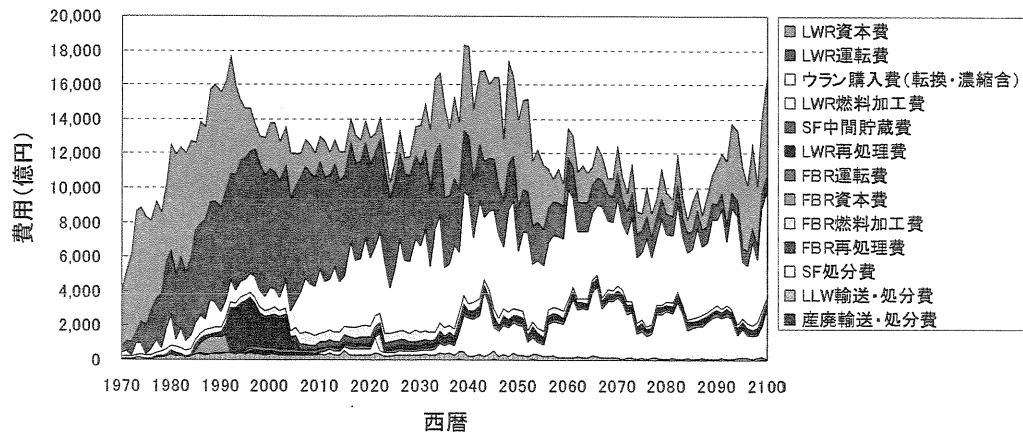


図6 時系列評価（原子力事業評価モデルによる評価）の結果

4. 次世代原子力システム導入影響評価手法の開発

FBR サイクル導入時の経済的影響を適切に分析するため、動学的応用一般均衡モデルとエネルギーシステムの評価モジュールの連携システムを開発した。発電原価の不確実性評価結果、SCM 原子力事業評価手法による時系列発電原価等を基に、FBR 導入時のコストを入力し、電源構成と社会経済的影響（GDP や経済厚生）等々を評価し、社会環境に関する不確実性評価を実施した。

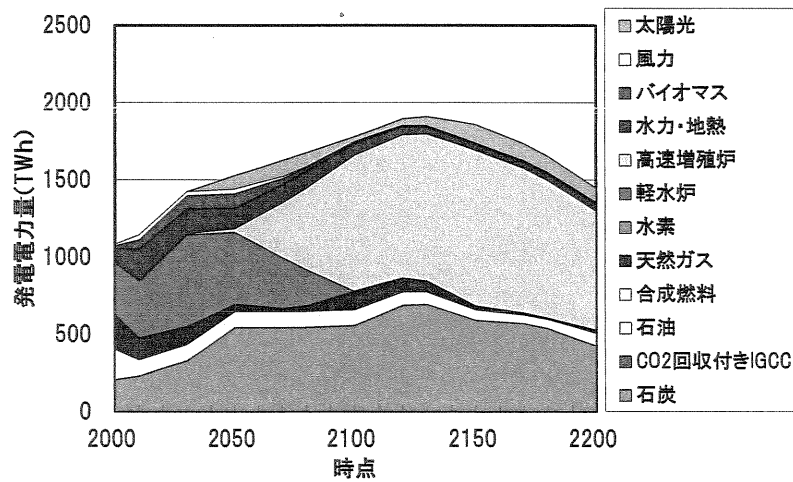
大規模な国際産業連関表を有する応用一般均衡モデルの一種の GTAP (global Trade Analysis Project) モデル (GTAP-E というバージョン) について、資本蓄積の効果を考慮可能なように動学化すると共に、電力部門内を発電技術ごとに分割する技術バンドルを FBR サイクルを含めて導入し、ウラン産業を独立させた。

エネルギーシステムの評価モジュールは、財団法人 地球環境産業技術研究機構) において整備・公開されている DNE21 モデルを基にして、核燃料サイクルの分析モデルの組み込み、サイクル諸量に関するデータの設定、原子力水素製造技術のモデル化と

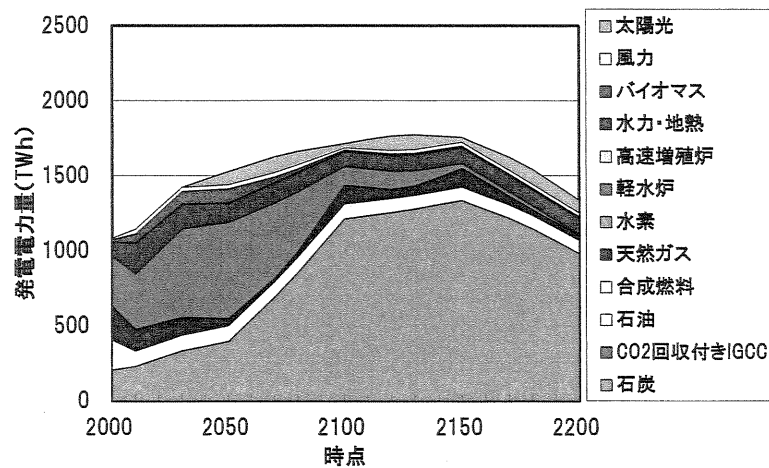
いった改良を実施し、評価対象期間を2200年まで拡張した。

両者を連携させることで、FBR サイクル導入に加えて、CO₂ 回収・貯留や水素製造その他のエネルギー技術を扱うことが可能なエネルギー経済モデルとなり、FBR を含む発電システムの経済性、その他社会や環境に関する不確実性解析を実施可能となった。

図7に主要な評価結果例を示す。革新技術を備えた FBR サイクルは経済的競争力もあり、Pu バランスや負荷変動制約によって設けた上限値まで導入が進み、GDP や経済厚生等の面でも大きな社会経済効果をもたらす。一方、FBR の実用技術がなく、FBR が導入されない場合の電源構成は、石炭火力のシェアが約70%と大きくなるため、温暖化対策等の制約がある場合には非常に厳しいエネルギー経済構造となりうる。



(1) 基準 (開発目標通りの FBR 導入)



(2) FBR 無し

図7 日本の電源構成

5. おわりに

本研究では、FBR サイクルの実用化に向け、それらの研究開発リスク、市場リスク等について、経済性を中心とした不確実性評価と市場への導入影響を評価するための手法開発と不確実性評価を実施した。経済性以外の不確実性評価やデータの入手が課題である。今後は、これらの手法を研究開発のマネジメントに活用することも考えられる。

本研究には、旧電源開発促進対策特別会計法に基づく文部科学省からの受託事業及び特別会計法に基づく文部科学省の原子力システム研究開発事業による委託業務として、独立行政法人日本原子力研究開発機構が実施した平成18年度及び平成19年度「不確実性を考慮した原子力システム研究開発評価法に関する研究」の成果が含まれております。