

課題目標・目的及び研究成果

1. 当初の目的・目標	FaCTプロジェクトで開発中のFBRサイクルを革新的原子力システムとして想定し、以下の五項目について研究開発を実施した。 ①従来の応用一般均衡モデルにおけるエネルギー産業の生産構造を技術ごとに区分し、FBRをはじめとする将来電源や、水素利用やCO2回収関連技術といったエネルギー関連の技術進展を取扱い可能な、超長期（FBRが完全に導入される期間：200年間程度を想定）動学モデルを開発する。このとき、FBRサイクル実用化戦略調査研究等の結果を考慮し、資源量や環境制約など次世代原子力システムの導入効果に影響を与える因子を明確にし、それら因子が持つ不確実性を調査する。これらの作業結果を基に、次世代原子力システムを導入したときの各国における社会経済的影響を評価する。 ②近年の次世代原子力システムの国際共同開発等の機運に対応した関係各国の開発動向を調査し、その結果と動学的一般均衡モデルの開発結果から得られる社会経済的效果を踏まえて国際戦略を評価する。 ③次世代原子力システムの研究開発プロセスを調査し、個々の研究開発項目の成否（開発リスク）などの不確実性を摘出する。④また、わが国の次世代原子力システム研究開発プロセスの評価手法を開発し、次世代原子力システムのマネジメントのために有益な手法を構築する。その際、長期間大規模な研究開発の不確実性（開発リスクなど）を考慮可能とする。 ⑤代表的な次世代原子力システムについて、開発した手法を用いて総合的な評価を実施する。その結果を基に国際戦略を踏まえて検討した結果を研究開発戦略としてまとめる。
2. 研究成果	【事業項目1】 次世代原子力システム研究開発の評価技術開発 従来の一般均衡モデルでは、均衡状態同士を比較する評価（比較静学）しかできなかった。しかし、本事業では、各地域における収益率の差を反映した国際投資の結果から生じる資本の国際移動をモデル化することで、一般均衡モデルによる動学計算を可能とした。 エネルギーシステムモデルでは、想定したエネルギー需要に対してコストを最小化したエネルギー供給構造を算出し、エネルギー供給価格の変化を評価する。動学的一般均衡モデルでは、エネルギーシステムモデルで評価したエネルギー供給価格に基づき、エネルギー需要やGDPの変化率を求める。エネルギー需要は、エネルギーシステムモデルの入力データではあるが、出力であるエネルギー供給価格の増減によって変化する

	ため、一般均衡モデルによるエネルギー需要の変化量と、エネルギーシステムモデルによるエネルギー供給価格の変化量が均衡するまで収束計算を行うこととした。 将来競合電源との市場競争を考慮したFBRサイクルの導入量評価手法とFBRの導入による社会経済的影響を世界規模で評価可能なモデルを開発した。特に社会経済全体、エネルギーシステム、原子力システムという3つのレベルに対応した3種類の評価手法を開発・利用することによって、それぞれのレベルにおける不確実性を評価可能とした。なお、採択当初の予定では、上記のような連携計算を行う予定ではなかったが、「原子力発電所の寿命やマスバランスを考慮した現実的なFBRの導入量を算出可能な手法を整備すべき」とのコメントに対応した結果、計算時間を要するものの、現実的な評価が可能な手法となった。 また、従来の一般均衡モデルでは、電力部門を一まとめにした評価しか可能でなかったが、軽水炉やFBRサイクル、石炭火力発電の炭素回収の有無を区別して電力部門を技術ごとに分割した。これにより、FBRサイクルを含む原子力部門を詳細化した評価が可能となり、例えば将来のFBR導入を明確に模擬可能となった。さらに、水素・CO2隔離・貯蔵に関する技術について、動学的一般均衡モデルに組み込むモジュールを開発・追加した。技術動向の調査を踏まえて、まず動学的応用一般均衡モデルに追加することを試み、次世代原子力システム導入によるCO2削減効果について検討した。最終的には、事業項目1にあるように、動学的一般均衡モデルとエネルギーシステムモデルを連携し、社会経済全体、エネルギーシステムというレベルの違いに対応した役割分担を行った。さらに、原子力システムの特性と不確実性の調査を実施し、社会経済レベルから原子力技術のレベルまで、次世代原子力システムの戦略的判断に関与する不確実性因子（エネルギー需要（経済成長率、省エネルギーの進展）、経済性（FBRサイクルの発電原価、競合技術の発電原価）、資源（天然資源、Pu需給バランス）、環境（地球温暖化制約）、立地等）を洗い出し分類し、それらの不確実性を評価する手法を決定した。次いで、それらの不確実性のうち重要なものを選定した上で、一連の不確実性評価手法体系を活用した次世代原子力システム導入の社会経済的影響の不確実性を評価した。原子力の研究開発リスクを想定した幅を持った発電原価の分布評価を基に、資源、環境、競合電源に関する不確実性を考慮した多くの評価結果からは、FBRサイクルの研究開発と導入によって、約1兆円と想定される投資額と比較しても大きな社会経済的効果が得られる場合が多いこと、その内訳についても、発電コスト低減の効果に加えて各種産業への大きな波及的効果も期待できることがわかつ
--	---

	た。 【事業項目2】国際戦略評価手法の開発 国際戦略評価における対象国として、次世代原子力システム開発を行っている主要国（米、仏、露、中、印）の開発計画とGen IV、INPRO、GNEPといった国際協力構想の進捗状況について、開発状況を調査した。結果に基づき、主要国における国際協力によるメリットと国際戦略を評価する手法案（手順書）を作成した。また、この手順書を基に各国間の開発費用分担方法や競合関係を想定した国際戦略の策定が可能な分析ツールを作成し、動学的一般均衡モデルの結果等から主要国の国際戦略を分析する手法を開発した。開発した国際戦略評価手法を用いて、我が国にとってメリットのある提携の枠組みや国際標準炉開発を行う場合の合理的な費用分担方法について検討した。国際協力によってFBR技術の国際標準化を進める一方で、FBRの競争力を高める革新技术については独自開発を継続することが、我が国の利得を最大化することを明らかにした。また、国際標準炉開発においては、大規模なFBR導入の可能性がある中国やインドも枠組みに含めた上で、FBR導入によって得られる便益の大きさを踏まえて応分の費用負担を求めることが合理的であることを示した。 【事業項目3】研究開発プロセス評価手法の開発 研究開発関連情報と各評価ツールにおける入出力データや根拠資料を関連付けて整理・管理するための評価知識管理データベースを構築した。さらに、開発したデータベースを用いて、複数の総合評価手法と多様な入出力データ、根拠資料、評価手続き（ワークフロー）を管理する方法を構築し、次世代原子力システム評価用の情報基盤として上記データベースを活用できることを示した。 【事業項目4】研究開発マネジメント手法の構築 技術経営手法等を調査し、事業項目1～3までの内容が反映可能な超長期間に亘る不確実性を持つ大規模研究開発である次世代原子力研究開発のマネジメント手法を構築した。特に、FaCTプロジェクトで重要となる項目（多様な開発目標・設計要求事項間の調整や技術オプションの採否等）を検討・決定できるような研究開発のマネジメントのための一連の手順をとりまとめた。 【事業項目5】総合評価と研究開発戦略の検討 本事業で構築した手法では、リアルオプションの考え方を導入することにより、初期の研究段階の実施価値や代替技術の開発による経済的価値を定量評価可能となった。この手法を用いてFaCTプロジェクトで想定されている革新技术開発の技術開発価値評価を行い、経済性向上を意図し
--	---

	た開発課題については、いずれも十分な費用対効果が得られるとの評価結果が得られた。また、研究開発進展に伴う段階的な研究開発投資の意思決定、リスクの高い革新技术開発と並行した代替技術の開発等によって、研究開発リスクの影響を軽減できることが分かった。 【事業全体】 従来、研究開発戦略は、マネジメント層が断片的な情報入手や評価を実務者に指示し、それらを経験知や個人の判断能力を用いて取捨選択の上で立案してきた。しかし、本事業では、（１）次世代原子力システム研究開発に関する不確実性を整理し、（２）原子力システム、エネルギー、経済システム、研究開発、国際戦略という多様な領域別に対応する評価手法を開発した。（３）それらを再度組合せることで、高次元の戦略策定に活用できる総合的な評価手法を開発し、経験知や個人の判断能力に属する戦略的判断基盤を整備することを目指した。（４）特に研究開発成否による実用システムへの影響評価（不確実性評価）や国際戦略の意義については、将来の原子力システムを検討する上で重要であるにも拘らず分析方法の整備が遅れていたが、本事業において他の手法と連携する形で整備した点は重要である。 本事業では、次世代原子力システム研究開発に関する不確実性を整理し、現時点の知見に基づいてそれらを一連の評価・検討体系として整理し、全体を一望できる地図を素描した。この成果が、次世代原子力システムの研究開発全体の検討に関係する者における一般的な知見となり、その適切なマネジメントに役立つことが期待され、それが本事業における最大の研究開発成果と考える。 【得られた成果の外部発表】 (1) 塩谷洋樹、小野清：動学的応用一般均衡モデルによる高速増殖炉サイクルの導入影響評価、日本原子力学会和文論文誌、Vol. 8, No. 2, pp. 165-183, (2009) (2) 塩谷洋樹、より良い高速増殖炉サイクル実現に向けたOR手法の活用、オペレーションズ・リサーチ誌、Vol. 53, No. 4, (2008) (3) Hiroki Shiotani, Kiyoshi Ono, Masanori Heta: “Methodology with Knowledge Database in the field of Nuclear Energy System Strategy Evaluation”, Proc. of Global 2009, Paris, France, (2009) (4) 塩谷洋樹、次世代原子力システムの経済性と導入影響に関する不確実性評価手法の開発、東京大学大学院博士課程学位請求論文、
--	--

	(2008) (5) 塩谷洋樹、小野清、FBR サイクルの導入影響評価（環境と市場の不確実性評価）、日本原子力学会2008年秋の大会予稿集 F10(2008) (6) 塩谷洋樹、小野清、辺田正則、FBR サイクルの総合評価基盤概念の構築、日本原子力学会2009年秋の大会予稿集 F04(2009)
--	---