

原子力システム研究開発事業 ー基礎研究開発分野ー
若手対象型 事後評価総合所見公表用フォーマット

研究開発課題名（研究機関名） 原子力システム管理技術の大規模情報可視化に関する研究開発 （国立大学法人お茶の水女子大学）	
研究開発担当者 機関名：国立大学法人お茶の水女子大学 総括代表者：伊藤 貴之 機関名：独立行政法人日本原子力研究開発機構 代表者：大島 宏之 機関名：国立大学法人東京大学 代表者：岡本 孝司	
研究期間及び予算額 平成17年度～平成19年度（3年計画） 65,885 千円	
項目	要 約
1. 当初の目的・目標	<p>原子炉システムの安全性、信頼性の確保に貢献するため、原子力システムが有する多数の計測機器の数値の変化の全貌を一画面に表示できる大規模情報可視化技術を確立することを課題の到達目標とした。研究開発成果としての大規模情報可視化技術は、革新的原子力システムの種類に依存するものではないが、事業項目中にある課題抽出と解決方法検討においてはナトリウム冷却炉を想定した。</p> <p>事業としての全体計画は以下のとおりである。</p> <p>事業項目 1：可視化システム実装・試験。情報可視化技術「平安京ビュー」をベースにした可視化システムを実装・試験する。平成 17 年度に実施する。</p> <p>事業項目 2：事故・故障原因のマイニングに関する研究開発。事業項目 1 で開発した可視化システムを用いて、事故・故障時データを可視化する。また、事故・故障原因の視覚的発見を意識した可視化機能を研究開発する。平成 18 年度に実施する。</p> <p>事業項目 3：予兆のマイニングに関する研究開発。事業項目 1 で開発した可視化システムを用いて、事故・故障の予兆が見られると思われるデータを可視化する。また、予兆の視覚的発見を意識した可視化機能を研究開発する。平成 19 年度に実施する。</p> <p>事業項目 4：高速増殖炉「もんじゅ」の試験データの処理作業。試験データを局所計算機にダウンロードし、スクリーニングしたものを可視化する。平成 17 年度に実施する。</p> <p>事業項目 5：仮想事故・故障シミュレーション。事故・故障を再現するシミュレーションを実施し、そのシミュレーション結果を可視化する。平成 18, 19 年度に実施する。</p> <p>事業項目 6：高度 3 次元可視化システムの検討。複数のスクリーンを用いて大規模情報を可視化するシステムを構築し、その有効性を評価検討する。平成 17, 18, 19 年度に実施する。</p> <p>事業項目 7：革新原子炉システムへの適用に関する研究開発。革新原子炉システムへの可視化システムの適用における課題を抽出し、その解決方法を検討し、可視化システムの研究開発につなげる。平成 17, 18, 19 年度に実施する。</p>

<p>2. 研究成果</p> <ul style="list-style-type: none"> ・当初予定の成果 ・特筆すべき成果 ・副次的な成果 ・論文、特許等 	<p>【事業項目1】可視化システム実装・試験</p> <p>本項目では「可視化システム実装・試験」として、情報可視化技術「平安京ビュー」をベースにした可視化システムを実装・試験した。平成17年度に実施した。</p> <p>本項目では革新的原子力システムが有する千個単位の計測情報を一画面に全て表示できることを成果として想定し、想定通りの成果が得られた。また計測情報のグループ化、表示時の視覚的属性（棒グラフの色や高さ）によって、計測情報の可読性が大きく変わることを確認し、事業項目2の課題につなげることができた。また立体視ディスプレイの適用により、計測情報の可読性が向上することを確認した。</p> <p>なお本項目において、情報可視化システムのリース契約開始の遅れという事務処理上の理由により、「計測データのインストール」の着手に遅れが生じたが、作業は計画通り終了できた。</p> <p>【事業項目2】事故・故障原因のマイニングに関する研究開発</p> <p>本項目では「事故・故障原因のマイニングに関する研究開発」として、事業項目1で開発した可視化システムを用いて、事故・故障時データを可視化した。また、事故・故障原因の視覚的発見を意識した可視化機能を研究開発した。平成18年度に実施した。</p> <p>本項目では事業項目4で抽出した高速増殖炉「もんじゅ」の試験データ、および事業項目5で得られた仮想事故・故障シミュレーション結果を可視化した。その結果として、本可視化システムにより、事故や故障の原因の一端となる現象を視認できることを確認した。</p> <p>また本項目では特に、表示時の視覚的属性（棒グラフの色や高さ）の算出方法を4種類検討した。具体的には各計測値について、正規化された値、直前時刻との差分値、の2値を算出し、色および高さはその2値のいずれかを採用することで、合計4種類の算出方法を検討した。その結果、少なくとも本事業項目で扱うデータにおいては、正規化された値を棒グラフの色で、直前時刻との差分値を棒グラフの高さで表現することで、事故や故障の原因の一端となる現象を視認しやすくなった。この点は本事業を開始する時点で既に所有していた「平安京ビュー」には含まれないものであり、本項目を通して可視化技術に関する新しい知見を得ることができた。</p> <p>【事業項目3】予兆のマイニングに関する研究開発</p> <p>本項目では「予兆のマイニングに関する研究開発」として、事業項目1で開発した可視化システムを用いて、事故・故障の予兆が見られると思われるデータを可視化した。また、予兆の視覚的発見を意識した可視化機能を研究開発した。平成19年度に実施した。</p> <p>本項目では事業項目5で得られた、事故・故障の原因となりえる予兆現象のシミュレーション結果を可視化した。その結果として、本可視化システムにより、事故・故障の原因となりえる予兆現象を視認できることを確認した。</p>
---	---

また平成 18 年度の中間フォロー会にて、計測情報の時系列変化を可視化できる機能が必要である、という意見を頂いたのを受けて、平成 19 年度には予兆のマイニングと並行して、すでに研究代表者が所有していた時系列情報可視化手法を本可視化システムに統合する、という研究開発を実施した。これを予兆のマイニングに適用したところ、時系列情報可視化機能を用いることで予兆現象の可視化が格段に容易になることがわかった。これは事業計画時点では予想していなかったことであり、想定以上の成果であったと考えている。

また平成 18 年度および 19 年度の中間フォローにて、可視化システムの評価の実施を要求された。しかし、可視化システムの性能は人間による視認性によって決定されるため、これを客観的に評価することは原理的に困難である。そこで本事業項目では被験者評価を実施した。具体的には、可視化システムの結果から要注意と考えられる時刻を 11 人の被験者に列挙させ、事業項目 5 におけるシミュレーション実行者の見解と照合した。その集計結果として高い評価結果を得ることができたが、これも本事業項目で実施した時系列情報可視化機能によるところが大きい。これも事業計画時点では予想していなかったことであり、想定以上の成果であったと考えている。

【事業項目 4】高速増殖炉「もんじゅ」の試験データの処理作業

本項目では「高速増殖炉「もんじゅ」の試験データの処理作業」として、試験データを局所計算機にダウンロードし、スクリーニングしたものを可視化した。平成 17 年度に実施した。

本項目では平成 7 年 12 月 9 日のナトリウム漏洩事故時、定常運転時、プラントトリップ試験時、の 3 ケースにおいて、各々 6 時間ずつの試験データをダウンロードした。これを局所計算機上でスクリーニングしたところ、いずれのケースも 6 時間の計測情報全体において可視化に適用することが可能であることがわかった。これらを可視化することで、本事業による可視化システムが、高速増殖炉「もんじゅ」の試験データに対して有効であることを確認した。

【事業項目 5】仮想事故・故障シミュレーション

本項目では「仮想事故・故障シミュレーション」として、事故・故障を再現するシミュレーションを実施し、そのシミュレーション結果を可視化した。平成 18, 19 年度に実施した。

本項目ではまず平成 18 年度に、「もんじゅ体系」および「革新原子炉体系」の 2 種類の原子炉を想定して、定常状態、および外部電源喪失を模倣するシミュレーションを実施した。本項目では複数の実プラントのシミュレーションを評価対象とすることによって、可視化手法開発に対して、より広範な課題抽出や適用可能性検討の実現を目指した。ここでプラント動解析コードではプラント体系ごとに全体解析モデルというデータを構築する必要がある。「もんじゅ体系」の全体解析モデルは既に再委託先が所有したため、事故事象の境界条件を与えるだけで解析を

実施できたが、「革新原子炉」は全体解析モデルを新たに構築する必要があった。そのためシミュレーションに先立ち、革新原子炉のプラント動特性シミュレーションのためのモデル化および入力データの作成を実施した。具体的には、ナトリウム系の炉容器内核熱計算モデル、炉上部プレナムの熱計算モデル、1次主冷却系の熱計算モデル、炉容器を含む1次主冷却系の流動計算モデル、2次主冷却系の熱計算モデルおよび流動計算モデル、水/蒸気系計算モデルについて、それぞれモデル化および入力データの作成を実施した。以上のモデルおよび入力データは「もんじゅ体系」と比較して、炉容器内構造の複雑化、配管短縮、ループ数削減、崩壊熱除去形式の違い、蒸気発生器タイプの違いなのが反映されたものとなっている。

そして「もんじゅ体系」「革新原子炉体系」のシミュレーション結果を可視化したところ、事業項目4で可視化した「もんじゅ」の試験データと同様の視認性があることを確認できた。また、「もんじゅ体系」と「革新原子炉体系」の2種類の原子炉における現象の差異を、可視化結果から視認できることがわかった。

本項目では続いて平成19年度に、事故や故障の原因になりえる予兆現象のシミュレーションを実施した。ここで「もんじゅ」計測データには微小ゆらぎを含むものがあり、これに対するパワースペクトル密度の算出が実施・発表されている。本項目では、このパワースペクトル密度を入手し、予兆情報として分析した。その結果として4パターンの外乱を仮定し、各々のパターンに対応する1次主冷却系ポンプ回転数を外乱として与えるように入力データを作成し、シミュレーションを実施した。そしてこれらの結果を可視化したところ、4パターンの外乱がもたらす、異なる種類のゆらぎを可視化結果から視認できることがわかった。特に事業項目3にて開発した時系列情報可視化機能が、本項目のシミュレーション結果の可視化において有効であることがわかった。

【事業項目6】高度3次元可視化システムの検討

本項目では「高度3次元可視化システムの検討」として、情報可視化技術「平安京ビュー」をベースにして事業項目1で開発した3次元可視化システムをさらに高度化するために、複数のスクリーンおよびネットワークを用いて大規模情報を可視化するシステムを構築し、その有効性を評価検討した。平成17, 18, 19年度に実施した。

本項目ではまず平成17年度に、高度3次元可視化システムを構築するための前段階として、複数のスクリーンを1カ所に組み合わせて「平安京ビュー」による可視化結果を同時表示することで、複数のスクリーンを同時に用いることによる可視化の有効性を検証した。また複数のスクリーンを同時に用いる場合においても、「平安京ビュー」による3次元可視化が有効であることを検証した。

本項目では続いて平成18年度に、ネットワークを利用して複数の利用者が同時に可視化結果を共有できるシステムを構築し、これが原子炉システムの遠隔監視や知識共有などの目的において有効であることを

検証した。

また平成 18 年度には、複数のスクリーンを 1 カ所に組み合わせたシステムの有効活用手段について検討した。その検討結果を受けて、計測情報に対するさまざまな数式処理結果を多数のスクリーンに同時表示する、あるいは計測情報のさまざまな時刻における数値を多数のスクリーンに同時表示する、などの機能を開発し、さらにその有効性について議論した。

本項目では続いて平成 19 年度に、前年度に開発したシステムに対して、ネットワーク上での有効性に関する評価を実施した。その結果として、ネットワークを介して複数のタスクを同時に実行し、複数のスクリーンを用いて同時にそれを眺めることの有効性を評価できた。また本システムにおいても、「平安京ビュー」による 3 次元可視化が有効であることを検証した。

またその評価結果を受けて、ネットワーク環境での協調操作を改善するためのインタフェース等の開発を実施した。具体的には、ビューア部とデータコントロール部から構成されるインタフェース等の開発を実施した。さらに、実際に複数の技術者によるコラボレーション作業を実施し、その動作を確認した。

以上の研究開発を通して、「平安京ビュー」をベースにした 3 次元可視化システムに対して、複数のスクリーンおよびネットワークの導入によって高度化された可視化システムが、革新原子炉システムの計測情報の可視化に有効であると結論付けた。

また本項目では、高度 3 次元可視化システムの構築過程において、可視化システム本体の研究開発上の課題を適宜抽出し、事業項目 1～3 に反映してきた。特に平成 18 年度には、ネットワークを利用した可視化システムの構築において、データ転送量の低減が非常に大きな課題であることを指摘した。この課題は事業項目 3 において、時系列情報可視化機能の本可視化システムへの搭載の際に、同時に解決できた。これは事業計画時点では予想していなかったことであり、想定以上の成果であったと考えている。

【事業項目 7】革新原子炉システムへの適用に関する研究開発

本項目では「革新原子炉システムへの適用に関する研究開発」として、革新原子炉システムへの可視化システムの適用における課題を抽出し、その解決方法を検討し、可視化システムの研究開発につなげた。平成 17, 18, 19 年度に実施した。

本項目ではまず平成 17 年度に、「もんじゅ」を訪問してデータ抽出方法について確認し、事業項目 4 を問題なく実施できることを確認した。また、大洗研究開発センターやフランス Phenix 炉を対象として、事業項目 4 で対象とした「もんじゅ」との差異を検討した。その結果から、翌年度以降の可視化システムの開発において前提とすべきデータ規模などについて解決方法を検討した。

本項目では続いて平成 18 年度に、可視化システムの革新原子炉シス

テムの適用に関する課題を抽出した。その結果として、事業項目3で着手したように、計測情報の時系列変化の可視化が重要であるという課題を抽出し、その解決方法として研究代表者が既に所有している時系列情報可視化手法の適用について検討した。また平成18年度には、事業項目5にて実施した「もんじゅ体系」と「革新原子炉体系」のシミュレーション結果の違いについて確認し、この違いを表現できるように可視化システムを構築することが重要であると位置づけた。また革新原子炉システムではデータ量の増大が想定されるため、本可視化システムの本来の長所である「数千個単位の数値情報を一望できること」という長所を活かした開発を進めること、また複数スクリーンによる高度可視化システムの構築が有効であること、などを確認した。

本項目では続いて平成19年度に、さらに有効な可視化システムの構築のための修正方法について課題を列挙した。特に原子力の事象に特化した改良が課題であることをあげ、その解決方法について列挙した。また平成19年度には、事業項目6で構築した高度3次元可視化システムについて課題を列挙し、その解決方法を検討した。

以上を総括すると本項目では、他項目の進捗に応じて適切に課題を列挙し、その解決方法を適切に検討できたことから、事業計画時の想定通りに実施できたと考えている。

【事業全体】を通して

本事業では原子炉システムの計測情報の可視化システムを構築すると同時に、複数のスクリーンおよびネットワーク環境を活用することでその拡張システムを構築した。また可視化の対象としては「もんじゅ」試験データと、合計6種類のシミュレーション結果を用いた。全ての項目を事業計画とおりに実施し、想定通りに実施できなかった点は特になかった。

また事業計画の想定以上の成果をあげた点として、時系列情報可視化機能の搭載によって、想定以上の可視化結果を得たこと、被験者評価において良好な結果を得たこと、データ転送量の問題点を同時に解決できたこと、があげられる。

	<p>論文、特許等については、以下のとおりである。</p> <p>1. 論文発表</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ Itoh T., Furuya S., Ohshima H., Okamoto K., Hierarchical Data Visualization for Atomic Plant Data, Journal of Fluid Science and Technology, Vol. 3, No. 4, pp. 553-562, 2008. <p>2. 口頭発表</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ Itoh T., Furuya S., Ohshima H., Okamoto K., Hierarchical Data Visualization for Fluid Science, Seventh International Symposium on Advanced Fluid Information and Fourth International Symposium on Transdisciplinary Fluid Integration, pp. 152-155, 2007. ・ 伊藤, 大島, 岡本, 平安京ビューを用いた原子炉プラントシミュレーションの可視化, 第 27 回日本シミュレーション学会大会, pp. 325-328, 2008.
<p>3. 事後評価</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 目的・目標の設定の妥当性 ・ 研究計画設定の妥当性 ・ 研究費用の妥当性 ・ 研究の進捗状況 ・ 研究交流 ・ 研究者の研究能力 	<p>【目的・目標の設定の妥当性】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 新しい情報技術を原子力の世界に取り込むという観点で適切であった。 ・ 多数の計測値の全貌を瞬時に表示する研究は、運転員の適切な操作を補助するものとして重要である。 <p>【研究計画設定の妥当性、研究の進捗状況】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 今後の開発を待つ部分もあるが、研究開発は全体として当初予定通りで進捗したと判断する。 <p>【研究交流、人材育成、研究者の研究能力、成果】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 情報技術分野より原子力分野への挑戦的研究としてとらえ、その将来性を評価すると共に今後の発展を期待する。 ・ 研究代表者は、異なる分野から原子力の分野に携わるようになったこともあり、必ずしも十分な研究交流をベースに研究が進められたようには見えない。今後は、現場ニーズの収集等、研究チームとしてのより緊密な連携、指導に努めていただきたい。
<p>4. その他</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 計算機を駆使した大規模な可視化システムの開発にあたっては、現場のニーズはどこにあるか、またどのように使われるのか、常に意識しつづける必要がある。 ・ 現場のニーズ把握のために、JAEA の事故故障分析など安全研究分野の人と交流を図るとよいと思う。

5. 総合評価	<p>・大量の計測データを効率よく視覚的に表示するシステムは構築されたが、運転員の操作補助として実用化されるまでには多くの課題が残っている。実用化に向けての課題再整理と優先順位を考慮した研究推進を期待する。また、弁やポンプ等の動的機器の動作状況情報も取り入れることで、より原子炉の安全運転に役立つシステムとして育ててもらいたい。</p>
	<p>A) 想定以上の成果が得られ、今後に大いに期待できる。 B) 想定通りの成果が得られ、今後が期待できる。 C) 想定通りの成果が一部得られなかった。 D) 想定通りの成果が全く得られなかった。</p>