

# 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

伊藤貴之 1) 大島宏之 2) 岡本孝司 3)  
1)お茶の水女子大学 2)日本原子力研究開発機構 3)東京大学

## Visualization of Nuclear Reactor Simulation Results by HeiankyoView

Takayuki Itoh 1) Hiroyuki Ohshima 2) Koji Okamoto 3)  
1) Ochanomizu University 2) Japan Atomic Energy Agency 3) The University of Tokyo

This paper presents hierarchical and time-varying data visualization techniques for nuclear reactor simulations. We assume time-varying values of hundreds or thousands of physical measurement values as a simulation result. We divide the values according to their positions and unit systems, and represent the hierarchy of the values by HeiankyoView. We also represent the time sequence of the values in a thin window. We show some examples that prove the effectiveness of the visualization technique.

### 1. はじめに

本報告では、階層型データ可視化手法「平安京ビュー」<sup>(1)</sup>を用いて原子炉プラントシミュレーション結果を可視化した事例を報告する。本事例では原子炉プラントシミュレーション結果として、数百個から数千個の、さまざまな単位を有する物理量が、時系列データとして与えられるものとする。このデータに対して本事例では、位置や単位系に基づいて階層的に物理量をグループ化する。このようにして構築された階層型データを、「平安京ビュー」を用いて一画面に表示する。それと同時に本事例では、時系列情報の要約となる縦長のウィンドウを設け、ここに物理量の時系列変化の要約情報を表示する手法「今昔物語」を搭載する<sup>(2)</sup>。このウィンドウには時刻ごとにボタンが設けてあり、これを押すと「平安京ビュー」は特定の時刻における全物理量を一覽表

示する。このような仕組みによって本事例では、時系列変化の要約情報と、特定時刻における全情報を、対話的に可視化する仕組みを構築している。

### 2. 平安京ビュー

日常生活に氾濫する情報の多くは、階層化された構造を持っている。計算機のファイルシステム、企業や大学の組織構造、図書館の書籍の分類、などはその典型的な例であろう。このように階層化された情報の全貌を、計算機のディスプレイで一望できたら、という要求は当然のように起こりえる。「平安京ビュー」は、そのような要求を満たす大規模情報可視化手法として提案されている。

「平安京ビュー」は図1に示す通り、階層型データの葉ノードを長方形のアイコンで、枝ノードを長方形の枠で表現し、階層構造を2次元の長方形群の入れ子構造で表現し、その全体を一画面に表示するこ

とを目標とした手法である。計算機のファイルシステムに例えるなら、葉ノードはファイルに、枝ノードはディレクトリに相当する。企業の組織構造に例えるなら、葉ノードは従業員、枝ノードは部・課・プロジェクトといった団体に相当する。

この手法は、階層型データ中の葉ノードと枝ノードの親子関係よりも、階層型データ全体に分布する葉ノード群を全て一画面に表現することに主眼をおいた手法である。

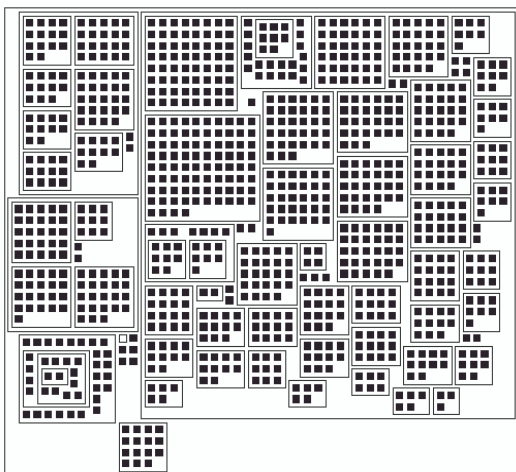


図 1. 「平安京ビュー」による大規模階層型データの可視化の例。

「平安京ビュー」の適用事例は著者らによって既に、非常に広範囲にわたって報告されている。例として、計算機ネットワーク不正侵入履歴、クレジットカード不正利用履歴、薬物実験情報、遺伝子や蛋白質などの生命情報、医療シミュレーション、新聞記事データベース、写真や音楽のコレクション、といった分野での可視化の事例が報告されている。

### 3. 本事例が想定するシミュレーション

本事例では、高速増殖原型炉「もんじゅ」に代表されるような、ナトリウム冷却炉を模擬したプラントシミュレーションを採用した。具体的には、炉心を含む原子炉容器、1次主冷却系、中間熱交換器、2次主冷却系、そして蒸気タービンを有する水・蒸気系で構成されるプラントを想定し、シミュレーションデータを構築した。

本事例のシミュレーションでは、日本原子力研究開発機構による MSG-COPD コードというシミュレータを用いている。このコードはモジュール構造を

用いており、熱計算や流動計算を含む数種類の機器モジュールを自由に組み合わせてプラントを構成し物理量を計算する。その結果として本事例のシミュレーションでは、プラントを構成する各部位において、温度、圧力、速度などの多種多様な物理量を、時系列データとして出力する。

### 4. 「平安京ビュー」による可視化

原子力プラントに限らず科学技術シミュレーションに関する可視化手法の大半は、その結果を物理空間にマッピングすることで物理量を表現する。しかし本事例では、あえて物理空間ではなく階層構造としてシミュレーション結果を可視化する。そのメリットについては既に議論した<sup>(3)</sup>通り、多次元的な物理量の同時可視化が可能であること、極めて局所的な（または微小な）物理現象を発見しやすい可視化を実現できること、などにあると考えている。

本事例では、シミュレーション結果として得られる約 300 個の計測情報を、位置および単位系で階層的にグループ化することで、階層構造を構築した。これらの計測情報を「平安京ビュー」で画面空間に配置し、色と高さをつけることで物理量を表現した。

図 2 は色算出の伝達関数である。ここでは物理量の最小値と最大値、それと安定状態の下限値と上限値を設定し、それとの相対値を入力、色を出力とした関数を用いている。この関数は、物理量が安定状態の範囲内であれば灰色、安定状態の下限値より低ければ緑や青、安定状態の上限値より高ければ黄や赤を与えるものである。

図 3 は高さ算出の伝達関数である。ここでは物理量の直前時刻に対する差分の最小値と最大値を設定し、それとの相対値を入力、高さを出力とした関数を用いている。この関数は、差分の絶対値がゼロであれば高さがゼロ、差分の絶対値が最大であれば高さが最大、となるものである。

図 4 は本手法による可視化の例である。多数の棒グラフが、長方形の枠で囲まれたブロックを構成しており、同一の位置かつ単位系の計測情報が結集して表示されている。また、安定状態にある物理量には目立たない灰色を割り当てることで、安定状態から外れて注意を要する物理量だけが目につくようになっている。さらに、直前時刻からの差分が大きい

ものだけを高く表示することで、突然に物理量が変化したものが目立つように表示されている。

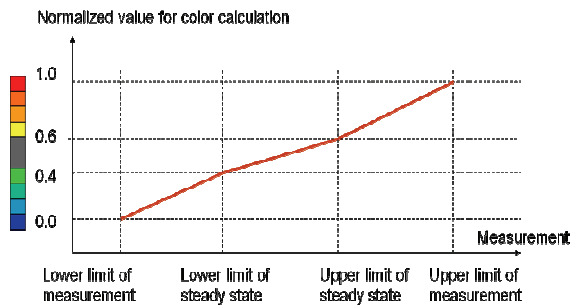


図 2 色算出のための伝達関数。

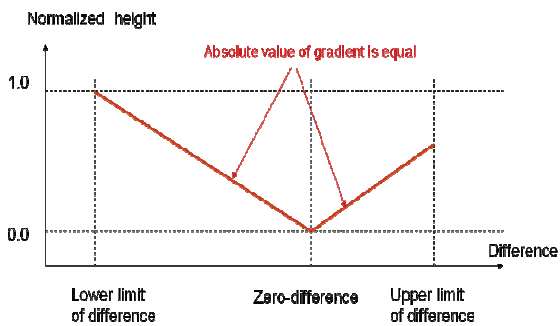


図 3 高さ算出のための伝達関数。

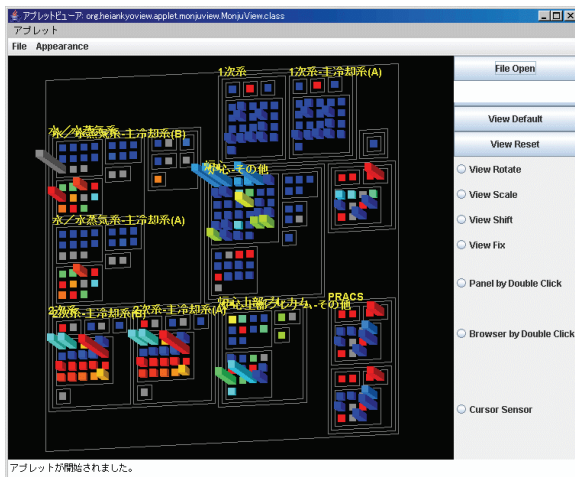


図 4 「平安京ビュー」による可視化の例。

以上の方法により、数百個にわたる物理量の全貌を階層構造化された形で概観でき、しかも注意すべき物理量に特に目が届きやすい、という可視化を実現できると考えられる。

## 5. 時系列情報の付加表示「今昔物語」

本事例では 4 章で説明した階層構造の可視化に加えて、物理量の時系列変化の要約情報を別ウィンド

ウにて可視化する手法「今昔物語」を提案する。図 5 に示すとおり「今昔物語」では、2つのウィンドウを同時に用いる。ここで左側の縦長のウィンドウは、物理量の時系列変化の要約情報を示すものである。このウィンドウは縦軸が時刻を表しており、ウィンドウ右側のカラーマップによって物理量の変化を表現する。さらにウィンドウ左側にはボタンが縦に並んでおり、このボタンを 1 個押すことで特定の時刻を選択できる。このボタンを押すと、右側のウィンドウに表示されている「平安京ビュー」において、選択された時刻における全ての物理量を、4 章にて説明した手法で可視化する。

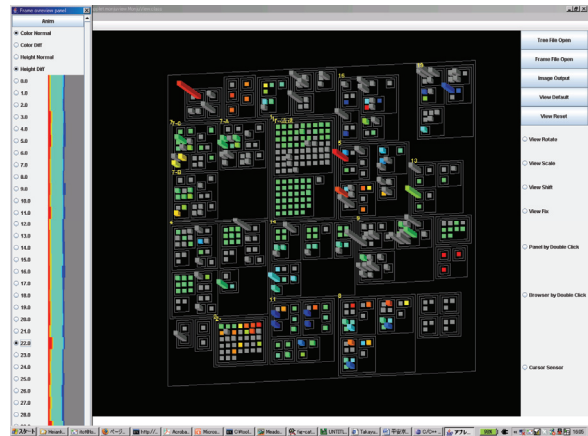


図 5 階層構造と時系列変化の同時可視化。

ここで問題となるのは、細長い領域に数百、数千といった大量の物理量の時系列変化を要約表現する手段である。「今昔物語」では、音声情報に用いられている「量子化テーブル」に似た概念を導入して、大量の数値群の分布を、少ない画素数の領域に表現する。音声情報の圧縮技術では、量子化テーブルに予め記録された量子化係数を乗じることで、人間の耳につきやすい重要な周波数領域では大きく量子化し、それ以外の周波数領域では小さく量子化する。この技術によって音声情報は、重要度に依存した情報量で合理的に記録される。それに倣って「今昔物語」では、注目すべき数値（例えば定常値を大きく外れている数値や、時間変化量の大きい数値など）には量子化を大きめに、それ以外の数値には量子化を小さめにすることで、重要度に依存した情報量で可視化を実現する。

ある特定時刻  $t$  における  $n$  個のスカラー値  $f_i(t)$  があ

るとする。ただし、 $i$  は 1 から  $n$  までの整数であり、 $f_i(t)$  は区間  $[0,1]$  に正規化されているとする。この  $n$  個のスカラー値を、横  $m$  画素の細長い領域に表現することを考える。このとき「今昔物語」では、 $i$  番目のスカラー値の重要度  $p_i$  を式(1)で算出する。ただし、 $S_1$  および  $S_2$  は正の定数である。

$$p_i = S_1 |f_i(t) - 0.5| + S_2 |f'_i(t)| \dots(1)$$

この重要度  $p_i$  を用いて「今昔物語」では、 $i$  番目のスカラー値の画面上の幅  $w_i$  を、式(2)で算出する。

$$w_i = m \frac{p_i}{\sum_{i=1}^n p_i} \dots(2)$$

以上の算出式によって本事例では、スカラー値が安定状態を外れている（0 または 1 に近い）物理量、またはスカラー値が突然に変化している（微分量の絶対値が大きい）物理量に大きな幅を与え、これらの物理量が強調表現されるような可視化を実現する。

描画の手順は以下のとおりである。まず各々の  $f_i(t)$  の値を区間に分類する。我々の実装では、正規化されたスカラー値を 0.1 間隔で 10 個の区間に分類している。続いて各々の区間について、 $w_i$  の総計を算出すると同時に、図 2 に示した伝達関数を用いて各区間の色を決定する。そして各区間について、所定の順番に左から、 $w_i$  の総計で与えられる幅を塗りつぶす。我々の実装では左から、安定状態を上回るスカラー値（1.0 から 0.6 までの 4 段階）、安定状態を下回るスカラー値（0.4 から 0.0 までの 4 段階）、安定状態のスカラー値（0.6 から 0.4 までの 2 段階）の順に描画している。

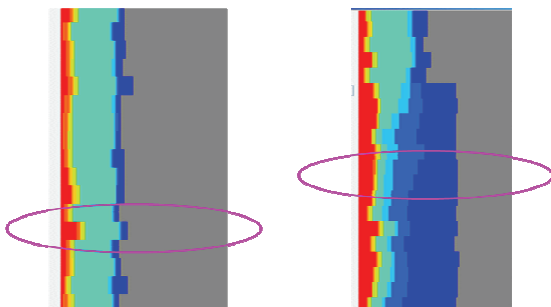


図 6 本事例における時系列情報の可視化例。

「今昔物語」による時系列情報の可視化の例を、図 6 に示す。図 6 (左) では、1 個の物理量が急激に

上昇した瞬間に○がつけられている。赤い領域がこの時刻だけ拡大されていることで、それが強調表現されているのがわかる。また図 6 (右) では、非常に多くの物理量が安定状態を下回り始めている過程に○がつけられている。青い領域が段階的に拡大されていることから、それが適切に表現されているのがわかる。

## 6. ユーザテスト

4,5 章で紹介した手法を 11 人の被験者に利用させ、7 種類のシミュレーション結果に対して、警告が必要と思われる時刻を列挙させた。それと同時に、シミュレーションの実行に関わった原子力プラントの専門家にも可視化結果を示し、警告が必要と思われる時刻を列挙させた。その結果、専門家が列挙した各々の時刻を、11 人の被験者の中で平均 9.5 人が列挙できた。この結果から、本事例に一定の効果があったことがわかる。

## 7. むすび

本報告では、原子力プラントシミュレーションの結果を、あえて物理空間に基づくオーソドックスな科学技術系の可視化手法を用いずに、階層型データおよび時系列データの情報可視化手法を用いた一事例を紹介した。

なお本報告内容は、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として、お茶の水女子大学が実施した平成 19 年度「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」の成果の一部である。

## 参考文献

- (1) 伊藤, 山口, 小山田, 長方形の入れ子構造による階層型データ視覚化手法の計算時間および画面占有面積の改善, 可視化情報学会論文集, Vol. 26, No. 6, pp. 51-61, 2006.
- (2) 橘, 伊藤, 階層型データ可視化手法「平安京ビュー」への時系列情報の付加表示, 情報処理学会第 69 回全国大会, 2007.
- (3) Itoh T., et al., 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.