

知的革新炉実現のための計測融合仮想システム

Measurement-integrated virtual system aiming at next-generation nuclear power plants with intelligent system

東北大学流体科学研究所	内一 哲哉	Tetsuya UCHIMOTO	Member
東北大学流体科学研究所	高木 敏行	Toshiyuki TAKAGI	Member
東北大学流体科学研究所	早瀬 敏幸	Toshiyuki HAYASE	
東北大学流体科学研究所	井小菽 利明	Toshiaki IKOHAGI	
日本原子力研究所	松岡 浩	Hiroshi MATSUOKA	

This paper proposes a novel concept of the measurement-integrated virtual system aiming at next-generation nuclear power plants with intelligent system. The present system is composed of wireless sensors, a measurement-integrated simulator and a lifecycle simulator. Some element research activities to realize the measurement-integrated virtual system are introduced, and future efforts are overviewed.

Keywords: Measurement-integrated virtual system, Next-generation nuclear power plant, Maintenance, Monitoring.

1. 緒言

ライフサイクル全般にわたってプラント各部の構造材にやさしい運転条件を動的に自己創出し続けることができる知的な原子炉(知的革新炉)が実現すれば、トラブルフリーの長期運転によって「優れた安全性」と「経済性の大幅な向上」を達成できる。この知的革新炉を実現するためには、プラント内の状態をリアルタイムで正確に把握し、これを制御する必要がある。合理的な保全を念頭においた場合、その制御はプラントの状態に基づいて構造物の劣化・損傷という時間スケールでの予測に基づいたものである必要がある。東北大学流体科学研究所、電気通信研究所と日本原子力研究所を始めとする共同グループでは、知的革新炉を実現するための要素技術として「計測融合仮想システム」を提唱している。「計測融合仮想システム」とは有限個のワイヤレスヘルスマニタリング計測データから冷却材流れ場、構造材の状態の全てを正しく再現できる「計測融合シミュレータ」、プラント内の保全も考慮に入れた脆弱な部分を抽出する「耐性評価システム」、及び「計測融合シミュレータ」と「耐性評価システム」とを高速ネットワークを用いて統合し可視化する「可視化統合システム」からなる。

本稿では、知的革新炉を実現するための「計測融合仮想システム」について紹介し、本システムを構築するため要素研究と今後の計画について概説する。

2. 計測融合仮想システムの要素研究

「計測融合仮想システム」の構成を図1に示す。対象となる原子炉内や冷却系統に有限個のセンサを配置し、その計測結果に基づいた計測融合シミュレーションに基づいて、プラント内の流動と構造物の負荷を完全に把握する。この状態量に基づいて保全を考慮しつつ運転制御を行い、プラントライフサイクルを通して運転を最適化するものである。このための、1) センサ群と計測融合シミュレーションシステム、2) ライフサイクルシミュレーションシステム、3) 可視化システム、を統合化したシステム全体を「計測融合仮想システム」と呼ぶ。以下では、本システムの構築のための要素研究について紹介する。

1) 計測融合シミュレータ

東北大学流体科学研究所では、実験と計算という2つの研究手法を一体化した“計測融合シミュレーション” [1] という手法を世界に先駆けて創生して、超高速かつ高精度にこれらの問題を解決している。従来の計測は、実際の計測対象システムの特定の場所に設置された有限個の計測器から得られるデータをもとに、当該ポイントの物理量のみを把握する計測であった。これに対し、「計測融合シミュレーション」では、コンピュータ上で計測対象システムの全ての場所におけるすべての物理量を推測することが可能である。しかも、この推測は、個別の計測データをそのまま用いるのではなく、異なる場所・異なる時間に得られた異なる計

連絡先： 内一 哲哉, 〒980-8577 宮城県仙台市青葉区方平
2-1-1, 東北大学流体科学研究所, 電話: 022-217-5262,
e-mail: uchimoto@ifs.tohoku.ac.jp

測物理量の間整合性がシミュレーションモデルを介して相互に確保された形で推測されたものである。従って、その推測結果の信頼性は高く、現実の挙動を非常に忠実に再現することが可能となる。東北大学流体科学研究所では、原子力発電プラント内の流動や航空機・宇宙用推進機における流動を、計測技術とシミュレーション技術の統合により、リアルタイムにて高精度で解析する「次世代融合手法」を提案し、その研究開発を推進している[2]。

2) 数値非破壊評価学とヘルスマonitoring

東北大学流体科学研究所では、「数値非破壊評価学」を提唱し、数値解析との融合により電磁非破壊評価手法を高度化してきた。特に探傷プローブからの計測データに基づきき裂の位置と形状を推定する逆問題解析について大きな進展が見られる。原子力プラントの高温環境で構造材健全性をモニタするいわゆるヘルスマonitoringに関する研究を行っており、得られた信号からき裂の進展を定量的に評価する手法を確立している[3]。また、プラント内のプローブと高速ネットワークを接続し、遠隔地にてプラントの状態を把握する遠隔計測融合シミュレーションに関する取り組みが東北大学流体科学研究所と神戸大学との共同研究にて行われてきており、その実現の見通しを得ている[4]。

4 計測融合仮想システムの構築に向けて

上記の要素研究に加え、東北大学流体科学研究所及び原子力研究所にて蓄積された熱流動数値解析技術、東北大学電気通信研究所で開発されたワイヤレス超小型超低消費電力デバイスによる情報処理システムを統合することにより、「計測融合仮想システム」を構築することを計画している。この「計測融合仮想システム」を開発するために、以下の3課題について取り組む。

- 1) 計測融合シミュレーションにより炉内の流れ場、構造物の負荷を有限の観測点から完全に推定するシステムの構築
- 2) 計測融合シミュレーションの出力に基づいて、プラント内においてトラブルに至る可能性のある脆弱な箇所を抽出するシステムの構築
- 3) 1)、2)のシミュレーションを統合した計測融合仮想システムを用いて、現行の炉におけるセンサの最適配置と運転制御/メンテナンス方法を議論する

知的革新炉は、原子力プラントと計測融合仮想システムとを図2に示される形で統合することで実現する。知的革新炉の概念は、軽水炉、高速増殖炉等を含むあらゆる炉型の将来炉に適用可能である。合理的なメンテナンスと運転制御を可能とする経済性と安全性・信頼性を両立させた炉の設計も可能であり、最終的には、メンテナンスフリー炉や高寿命炉につながると考えられる。

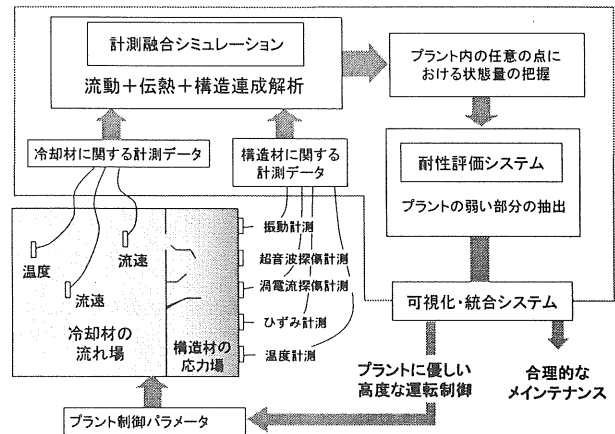


Fig.1 Schematic drawing of measurement-integrated virtual system.

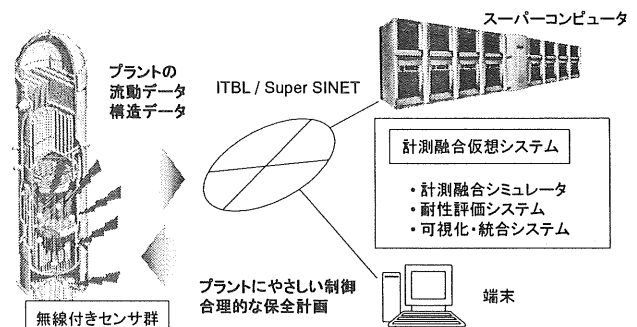


Fig.2 Intelligent nuclear power plant with measurement-integrated virtual system.

参考文献

- [1] 早瀬敏幸, “流れ場の数値シミュレーションと仮想計測”, 計測と制御, Vol. 40, 2001, pp. 790-794.
- [2] 平成 16 年度研究活動報告書, 東北大学流体科学研究所 流体融合研究センター, 2005.
- [3] T.Kasuya, T.Okuyama, N.Sakurai, H.Huang, T.Uchimoto, T.Takagi, Y. Lu and T.Shoji, “In-situ Eddy Current Monitoring under High Temperature Environment, International Journal of Applied Electromagnetics in Materials, Vol. 20, 2004, pp.163-170.
- [4] 学術情報ネットワーク(スーパーSINET/SINET) 成果報告集, 国立情報学研究所, 2004.

