

審査の結果の要旨

氏名 矢敷 達朗

本論文は、全5章で構成されている。

第1章では、本研究の背景と課題について説明し、それを踏まえて本研究の目的を述べている。はじめに、機器、配管系を含むプラント全体を対象として3次元流体解析を適用しプラントの特性を評価するニーズがあること、その具体例として、3次元流体解析により配管系に発生する旋回流れを可視化し、流量計精度評価、配管減肉量評価に活用する事例を示している。本研究では、固有直交分解法と Galerkin 射影に基づく縮約モデルを配管系流れ解析に適用して、流れ場を短時間に計算する手法を開発し、配管系を対象とした3次元流体解析の計算時間を短縮することを目的としている。

第2章では、固有直交分解法を用いて配管系流れ解析結果から基底空間を抽出する手法が提案されている。模擬配管系の定常流れにおいて、抽出に用いるレイノルズ数を4ケース、基底空間の基底数を3個とすることで、3次元流体解析の流速を時間平均誤差0.6%以下の精度で近似できることが示されている。次に、非定常流れへの適用において、レイノルズ数を4ケース、基底空間の基底数を100とすることで、3次元流体解析の流速を時間平均誤差2.7%以下の精度で近似できることが示されている。その際、配管系の周期的な流れに対して、低次モード基底の結合係数の周波数が、3次元流体解析の流れ場の低周波成分の周波数に一致することが示されている。さらに、実配管系の非定常流れへの適用において、基底空間の基底数を180とすることで、3次元流体解析の流速を時間平均誤差4.9%以下の精度で近似できることが示されている。

第3章では、プラントの配管系を対象とした流れ解析結果に対して、Neural Network(NN)モデルを用いて短時間に渦中心位置を抽出する手法が提案されている。エルボ、分岐を含む配管系の流れ解析への適用において、NNモデルと従来手法である圧力ヘシアンを用いた数式モデルにより抽出した渦中心位置の比較から、NNモデルの結果はノイズにより生じた渦を除去し、数式モデルによる結果と比較して妥当な結果が得られることが示されている。また、渦中心位置を計算するために必要な計算時間は数式モデルに対して131倍高速化できることが示されている。次に、配管系流れの流速基底に対して提案手法を用いて渦中心位置を抽出した結果、基底の次数が大きくなると、基底が保有している流速場のエネルギーが減少し、基底より抽出されるらせん渦の空間スケールが小さくなることが示されている。

第4章では、Galerkin 射影を用いて、流れ解析の基礎式である Reynolds-Averaged Navier-Stokes Equation(RANS)を基底空間上に射影し、配管系流れ解析に対する縮約モデルを構築し、縮約モデルを配管系流れ解析に適用することで流れ場を短時間に計算する手法が提

案されている。キャビティ流れ解析への適用において、基底数 40 の条件で構築した縮約モデルの計算結果は 3 次元流体解析の計算結果に対して時間平均誤差 2.64%以下の精度で近似でき、計算時間は、3 次元流体解析に対して 87 倍高速化できることが示されている。次に、エルボ、分岐を含む実プラントの配管系流れ解析への適用において、基底数 40 の条件で構築した縮約モデルの計算結果は、配管断面平均スワールを指標とした精度評価に基づき、3 次元流体解析の計算結果に対して全体平均誤差 2.64%以下の精度で近似でき、縮約モデルを流量計精度評価に適用可能であることが示されている。さらに、縮約モデルを用いた計算時間は、3 次元流体解析に対して 38 倍高速化できることが示されている。

第 2 章、第 3 章、第 4 章において、配管系流れ解析結果に対して、固有直交分解法と Galerkin 射影を適用して基底空間上に流れ解析の基礎式を射影して縮約モデルを構築し、縮約モデルを用いて流れ場を短時間に計算可能とする成果が得られている。提案手法を用いて構築される縮約モデルを用いて、配管系の流量計精度評価、配管減肉速度評価に必要となる配管内部の旋回流れを短時間に算出できると考えられる。これにより、開発技術をプラント運転前の流量計精度評価結果の配管系設計へのフィードバック、配管減肉速度予測結果に基づくプラント定期点検での肉厚測定作業の効率化に活用でき、プラントの設計、運転・保守の最適化、標準化に貢献できると考えられる。

なお、本論文第 2 章、第 3 章、第 4 章、第 5 章は、東京大学 奥田洋司教授との共同研究であるが、論文提出者が主体となって手法の提案、検証を行っており、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

よって本論文は博士（環境学）の学位請求論文として合格と認められる。

以上 1 9 4 3 字