

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Simulation of Fluid Dynamics with Uncertainty Based on Polynomial Chaos Expansion
著者(和文)	ジン ジ ヨン フ
Author(English)	Jonghoon Jin
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11267号, 授与年月日:2019年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:肖 鋒,奥野 喜裕,青木 尊之,末包 哲也,長崎 孝夫
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11267号, Conferred date:2019/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	陳 鍾勳 (JIN Jonghoon)		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	肖 鋒	教授	審査員	長崎孝夫	准教授
	審査員	奥野喜裕	教授			
		青木尊之	教授			
末包哲也		教授				

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「Simulation of Fluid Dynamics with Uncertainty Based on Polynomial Chaos Expansion」と題し、数値流体解析における不確かさを定量的に評価するシステムを構築し、圧縮性多相流解析、マルチスケールモデルによる局所風速解析、ガス流量計測などの実問題における応用展開に関する研究をまとめたものであり、英文6章から構成されている。

第1章「Introduction」では、非線形性が強い流動現象の数値解析における不確かさや誤差の定量評価が現象のメカニズム解明および実応用において重要であることを説明するとともに、数値流体シミュレーションに伴う不確かさの定量評価に関する研究現状を概観し、代表的な手法を述べている。計算条件や数値モデルにあるパラメーター、または実験計測に基づくデータ同化システムにおける不確かさを定量評価するシステムの開発と応用を研究目的として掲げている。

第2章「Polynomial chaos expansion approach to uncertainty quantification」では、不確かさ定量評価の手法として、最近開発され、高い注目を集めているPCE法(Polynomial Chaos Expansion)を紹介し、流体数値解析においてその代表的な手法であるStochastic Galerkin(SG)法とStochastic collocation(SC)法に基づく不確かさ定量評価システムを構築している。確率変数を含むバーガース方程式を対象に、SG法とSC法の収束性及び計算効率について評価を行い、SC法は計算効率における優位性だけでなく、より複雑な現象への適用にも優れていることを示している。

第3章「Uncertainty quantification for interaction between shock and interfacial multiphase fluid」では、自由界面を伴う圧縮性多相流の数値解析において密度場の不確かさの解析結果に及ぼす影響を定量的に評価するために、SC法に基づく評価システムを構築している。密度不確かさの確率分布はガウス分布であると仮定し、エルミートカオス展開を用いたSC-PCE解析モデルを開発している。ガウス積分点における確率変数のサンプリング値に基づいたCFD(Computational Fluid Dynamics)計算を行い、時間および空間における各物理量の不確かさの確率分布関数を求め、平均値や標準偏差などの統計量を算出している。密度が異なる二種類の気体の界面に斜め衝撃波の入射問題及び気泡と衝撃波の干渉問題において気体密度の不確かさにおける時間・空間の定量評価を行い、解析領域内のすべての流れ構造に対する影響および感度を明らかにしている。

第4章「Uncertainty quantification of the multiscale wind forecast model」では、局所風力の予測を目的とするメソスケール気象モデルとマイクロスケールCFDモデルから構成したマルチスケール風速予測システムの内部パラメーターの不確かさに対する定量評価システムを開発している。異なるモデル間の風速結合パラメーター、乱流モデルのパラメーターにある不確かさに対してSC-PCE解析を行っている。解析対象である風力発電所の風車15機の風速予測結果において各パラメーターの感度を定量的に調べ、乱流モデルのパラメーターに比べ、風速結合パラメーターの感度が非常に高いであることを明らかにしている。この結果からマルチスケール風速予測システムの改善にあたって重要な指針が得られている。

第5章「Estimation of computation condition based on PCE data assimilation for pneumatic throttle equipment」では、ガス流量計測装置におけるPCEデータ同化システムの開発と実証を行っている。まず、CFD計算から構築した圧力と流量の代理PCE(surrogate)モデルに対し、実験計測結果を用いて検証している。次に、下流側の流量計測結果をもとに代理PCEモデルから上流側の圧力同化を行っている。PCE係数の確率変数に対する勾配を用いることで、計算効率の高いデータ同化手法を実現している。さらに実証実験を行い、データ同化結果と実験値がよく一致することを示している。

第6章「Summary and future work」では、本研究で得られた成果をまとめるとともに、今後の課題について述べている。

以上を要するに、本論文は数値流体解析における不確かさを定量的に評価するシステムの構築および代表的な諸問題における実証・応用をまとめたもので、工学上貢献するところが大きい。よって本論文は博士(工学)論文として十分な価値を有すると認められる。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポータル(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。