T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	超音波を用いた流動及び物体形状の同時可視化に関する研究
Title(English)	A Study on Simultaneous Visualization of Flow Behavior and Object Shape by Ultrasound
著者(和文)	河内拓也
Author(English)	Takuya Kawachi
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11189号, 授与年月日:2019年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:木倉 宏成,赤塚 洋,筒井 広明,相樂 洋,近藤 正聡
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11189号, Conferred date:2019/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	機械　系 原子核工学　コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士　（　工学　） Doctor of
学生氏名： Student's Name	河内　拓也	指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	木倉　宏成
		指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)	

要旨（和文 2000 字程度）
Thesis Summary（approx.2000 Japanese Characters ）

本論文は「超音波を用いた流動及び物体形状の同時可視化に関する研究」と題し、全 5 章より構成した。本論文の各章における要旨を以下に示す。

第 1 章「緒言」では、東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃止措置における原子炉格納容器内調査では、高線量で濁水かつ暗所の過酷環境下にて格納容器下部に存在する燃料デブリ分布状況の把握及び冷却水の漏洩箇所の特定が求められていることを述べ、計測装置の耐放射線性と濁水かつ暗所環境への適用可能から鑑みて超音波計測が有望であることを示した。また、従来の超音波パルスエコー法を応用して散乱体の位置を推定する物体形状計測から燃料デブリ分布状況の把握を行い、超音波流動計測手法を用いた格納容器内滞留水の流向可視化から漏洩位置を特定することを考案し、さらに調査効率の観点から物体形状と流動を同時に計測可能な同時可視化手法の開発を行うことを目的とし、本研究の位置づけ、意義を述べた。

第 2 章「超音波アレイセンサを用いた開口合成法の物体形状計測への適用」では、燃料デブリを含む格納容器内堆積物を精度良く計測可能な物体形状計測手法を確立することを目的とし、超音波パルスエコー法を高度化した散乱体位置推定法である超音波アレイセンサを用いた開口合成法のうち、超音波非破壊分野で先進的な開口合成法として知られている Total Focusing Method（TFM）に着目し、TFM アルゴリズムを物体形状計測に適用させるためにアルゴリズムの最適化を図った。また、最適化した TFM アルゴリズムを実装可能な計測システムを構築し、格納容器内堆積物を想定して単純形状物体と模擬燃料デブリを計測対象とした物体形状計測実験を行い、単純形状物体と模擬燃料デブリともに数ミリ程度の平均計測誤差で物体形状を把握できることを示し、さらに既存の超音波パルスエコー法、開口合成法、従来の TFM と計測精度を比較し検証することで、物体形状計測に最適化した TFM アルゴリズムの高い有用性を示した。

第 3 章「開口合成ベクトル UVP の開発」では、第 2 章で最適化した TFM アルゴリズムと信号処理における非競合性から流動計測手法として超音波流速分布計測法（Ultrasonic Velocity Profiler: UVP）に着目し、UVP 信号処理を TFM 走査に組み込むことで物体形状と流速ベクトル分布を同時に計測可能な同時可視化手法として開口合成ベクトル UVP を考案した。また、本手法を実装可能な計測システムを構築し、本手法と光学的な粒子画像流速計測計（Particle Image Velocimetry: PIV）から得られる流速分布を比較し、流速ベクトル算出精度の検証実験を行い、流速ベクトルの計測精度を明らかにするとともに流速ベクトルの算出に使用する受信素子の選定方法を示した。さらに、燃料デブリと漏洩箇所を単純化して格納容器内を模擬した実験体系で実験を行い、燃料デブリ分布状況の把握と漏洩位置の特定に向けた開口合成ベクトル UVP の適用可能性を示した。

第 4 章「広範囲計測に向けたエコーPIV 法の開発」では、第 3 章の開口合成ベクトル UVP は計測精度と計測領域の観点から高精度な局所マッピング法であることについて言及し、納容器内調査の効率性を更に向上させるために同時可視化において高い計測効率を実現できる可能性のあるエコー粒子画像流速計測法（エコーPIV 法）に着目し、格納容器内の広域マッピング法として適用するために広範囲のエコー画像を高速に取得可能な画像化手法として超音波アレイセンサを用いた発散波送信（Diverging Wave: DW）と開口合成法（Delay-And-Sum method: DAS）を組み合わせた DW-DAS 画像化手法を考案した。また、DW-DAS 画像化手法を用いたエコーPIV 法を実装可能な計測システムを構築し、本計測システムの性能を調査しながら最適化を図り、第 3 章と同様に燃料デブリと漏洩箇所を単純化して格納容器内を模擬した実験体系で実験を行い、燃料デブリ分布状況の把握と漏洩位置の特定に向けた本手法の適用可能性を示すとともに、広い計測領域とリアルタイム計測の実現可能性から広域マッピング法としての高い可能性を示した。

第 5 章「結言」では、各章で得られた成果を総括し、本論文の結論とした。

以上より、本論文では超音波を用いた流動及び物体形状の同時可視化手法として、開口合成ベクトル UVP 法と DW-DAS 画像化手法を用いたエコーPIV 法を開発し、格納容器内調査における燃料デブリ分布形状把握及び、漏洩位置特定への適用可能性を示すとともに、それらの同時可視化手法を状況に応じて適宜用いることで両調査に向けて効率的に格納容器内の物体形状と流動を同時にマッピングできる可能性を示した。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(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。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	機械 原子核工学 系 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of （ 工学 ）
学生氏名： Student's Name	河内　拓也	指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	木倉　宏成
		指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)	

要旨（英文 300 語程度）
Thesis Summary（approx.300 English Words ）

The ongoing decommissioning of the Fukushima Daiichi (1F) nuclear power plant requires inspection inside the containment vessels that have been flooded with water. These inspections must locate leaks and map the distribution of fuel debris in the water having very low visibility. To accomplish these requirements, the ultrasonic measurement technique was used for its applicability to muddy water as well as high-dose environments. The objective of this dissertation was set to developing simultaneous ultrasonic visualization methods for flow behavior and object profiling to efficiently identify the location of leaks and fuel debris distribution within a submerged vessel. In this dissertation, two different types of simultaneous visualization methods using ultrasonic array sensors were developed. One of the methods is a synthetic aperture vector ultrasonic velocity profiler (UVP) which is combined of a synthetic aperture method for reconstructing object shapes and an advanced UVP for measuring vector flow. This method can visualize flow behavior and object shape much more precisely in one scanning but scanning time is relatively long and the measurable area is limited by an open width of used array sensor. Another method is echo PIV which used ultrasonic echo images for obtaining vector flow with particle image velocimetry (PIV) and stationary object shape by superposing the echo intensities of those images. This method uses a newly developed imaging method, DW-DAS capable of much faster and wider-range scanning for roughly visualizing flow behavior and object shape, which is combined from diverging wave transmission (DW) and delay-and-sum method (DAS). A laboratory-scale measurement system of each of these methods were developed and tested with mockups of a containment vessel in a water tank. As a result, they successfully located a mock leak and mapped the surface of a piece of mock debris. Thus, the developed methods can be applied for the 1F inspection and with better efficiency when appropriately used for certain situations.

備考 ： 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ（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。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).