

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Study on Non-invasive Flowrate Measurement of High Temperature Liquid and Steam Flow by Air-coupled Ultrasound
著者(和文)	塚田圭祐
Author(English)	Keisuke Tsukada
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10495号, 授与年月日:2017年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:木倉 宏成,加藤 之貴,千葉 敏,赤塚 洋,相樂 洋
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10495号, Conferred date:2017/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	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	塚田圭祐	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	木倉 宏成	准教授	相樂 洋	准教授
	審査員	加藤 之貴	教授		
		千葉 敏	教授		
赤塚 洋		准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Study on Non-invasive Flowrate Measurement of High Temperature Liquid and Steam Flow by Air-coupled Ultrasound」(空中超音波を用いた配管内の高温液体および蒸気を対象とした非侵襲流量計測に関する研究)と題し、全7章より構成されている。

第1章「Introduction」では、原子力発電所の給水流や蒸気流の高精度計測では、流量計近傍で発生する後流渦による腐食促進や流量計の老朽化による計測誤差の増加に対して非侵襲計測の需要が高まっている事を示し、近年の非侵襲計測手法を概観した上で超音波計測の有効性を述べるとともに、従来の超音波流量計の適用限界を示している。また、次世代原子炉や既存軽水炉における600℃を超える高温液体および1.0MPaを下回る低圧蒸気に対する流量計の開発が求められている事を示し、高温環境および蒸気環境での超音波流量計を実現する技術として空中超音波を応用した非接触液体流量計とクランプオン式蒸気流量計の開発を目的とし、本研究の位置づけ、意義を述べている。

第2章「Acoustic transmission between gas and liquid through a plate and prevention of guided wave」では、固体-気体界面における音響透過率を理論的に算出するとともに、雑音となる配管を伝搬するガイド波を抑制する手法を提案している。配管壁を通した気体から液体への音波の透過率、音波の周波数、配管壁の厚さ、超音波の入射角度により決定することを理論的に明らかにし、入射角度と周波数を制御することで音響透過率が改善可能である事を示すとともに、入射角度の最適化を行っている。また、ガイド波は両流量計における主な雑音源であり、本章では機械的にガイド波の励起を抑制する曲率センサの設計を、有限要素法解析を用いて行い、その結果によりセンサ性能を明らかにしている。

第3章「Development of air-coupled ultrasonic flowmeter for liquid」では、空中超音波による非接触液体流量計の開発を行っており、従来の超音波流量計に採用されている伝搬時間差式流量計測法に着目し、空中超音波流量計測手法に応用するとともに、第2章で設計した曲率センサの開発および性能評価を行っている。さらに、ガイド波形を予め取得して受信信号と差分を取る参考波形法を開発し、本手法を水平配管水流れに適用し、既存流量計と同程度の計測精度を得て、本空中超音波流量計測手法の有効性を示している。

第4章「Development of clamp-on ultrasonic flowmeter for steam measurement」では、空中超音波を用いたクランプオン式蒸気流量計の開発を目的に、超音波を垂直入射する事によって音響透過率を改善可能な超音波タフト法を採用するとともに、第2章で設計し蒸気流に適応した曲率センサを試作し、センサの音場と配管壁を透過した際の音場計測を行い、曲率センサが透過率改善に有効である事を示している。また、ガイド波を信号処理により分離する手法としてガイド波の分散特性に着目した周波数分散フィルタを開発し、蒸気配管において本フィルタを適用する事で蒸気透過信号が抽出可能である事を明らかにしている。さらに渦流量計との比較計測を0.3MPaの蒸気垂直配管流で行うとともに、計測精度の評価を行い本クランプオン式蒸気流量計の有効性を示している。

第5章「Application of air-coupled ultrasonic flowmeter to molten salt measurement」では、第3章で開発した空中超音波流量計のLiCl-KCl共晶熔融塩流れへの適用を試みている。空中超音波流量計を適用するにあたり、流量計測に必要な物性値である熔融塩の音速を導波棒による反射エコー法により計測し、400℃から600℃の温度範囲での音速を明らかにするとともに、600℃の高温配管から超音波センサを保護するのに十分なセンサと配管間の距離を評価するために、配管から超音波センサへの熱輻射と超音波センサ周りの空気への放熱の熱収支を計算している。流量計測では、第4章で開発した周波数分散フィルタを適用することで透過波形の抽出を行い、熔融塩の音速から求められる伝搬時間と受信信号の伝搬時間の一致を確認し、熔融塩計測が可能である事を明らかにしている。また、実験中に超音波センサは最高使用温度を超える事なく空気による断熱が可能である事を明らかにしている。

第6章「Application of clam-on steam flowmeter to industrial steam measurement」では、第4章で開発した空中超音波を用いたクランプオン式蒸気流量計を、原子力発電所配管系を模擬した実際の蒸気配管施設内にある0.8MPa蒸気配管へ適用するために、超音波センサを高温配管から保護する温度緩衝材スペーサを配置するとともに、超音波センサをヒートシンクで冷却する手法を考案し、超音波センサの温度による感度低下を補正することで、渦流量計に対して10%以内の誤差で計測可能である事を示し、本流量計の有効性を示している。

第7章「Conclusions」では、各章で得られた成果を統括し、本論文の結論としている。

これを要するに本論文は、固体-気体界面における音響透過率改善と配管を伝搬するガイド波の抑制を機械的および信号処理的に行う事で、空中超音波液体流量計およびクランプオン式蒸気流量計を開発するとともに、本計測手法を熔融塩計測および実際の蒸気配管施設に適用する事で計測器の実機適応性と有効性を示しており、工学上及び工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として十分価値あるものと認められる。

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。