

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)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	原子核工学	専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	（工学）
学生氏名： Student's Name	塚田 圭祐		指導教員（主）： Academic Advisor(main)	木倉 宏成	
			指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	林崎 規託	

要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

原子力発電所において流量計が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おり、非侵襲流動計測手法を概観した上で超音波流量計の有効性について述べるとともに、従来の超音波流量計の適用限界を示し、第 4 世代原子炉や既存軽水炉における既存超音波流量計の適用範囲外である 600 ℃を超える高温液体および 1.0 MPa 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。そこで本研究では、高温環境および蒸気での超音波流量計を実現する技術である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行った。本論文は「Study on Non-invasive Flowrate Measurement of High Temperature Liquid and Steam Flow by Air-coupled Ultrasound」と題し、7 章より構成されている。本論文の確証における要旨を以下に示す。

第 1 章「Introduction」では、本論文では上述の背景を述べた後、高温液体の流量計測技術とクランプオン式蒸気流量計の開発には、固体 - 気体界面における音響エネルギー損失を克服することと配管壁を伝搬するガイド波に起因する雑音対策が必要であることを示した。また、開発した流量計の適用先として、600 ℃を超える熔融塩流れと、1.0 MPa をした回る低圧蒸気における計測をあげ、実験的に流量計の評価の評価を行う必要性を示すことで、本研究の位置づけ、目的および意義を述べた。

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について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は、音波の周波数、薄板の厚さ、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を改善可能であることを示すとともに、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により行い、有効性を検証した。

第 3 章「Development of air-coupled ultrasonic flowmeter for liquid」では、空中超音波による非接触型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、流量計測手法を考案するとともに第 2 章で設計した曲率センサの開発および性能評価を実施している。さらに、ガイド波形を予め取得し受信信号と差分を取る参考波形法を開発し、空中超音波流量計による流量計測実験を水平配管流れにおいて行い、既存流量計と同程度の計測精度を有することによって本流量計の有効性を示した。

第 4 章「Development of clamp-on ultrasonic flowmeter for steam measurement」ではクランプオン式蒸気流量計の開発をしており、超音波を垂直入射すること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ことを示している。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、蒸気配管において周波数分散フィルタを適用することで蒸気透過信号の抽出可能性を示した。さらに渦流量計との比較計測を 0.3 MPa の蒸気配管流で行い、計測精度の評価を行うことにより本流量計の有効性を示した。

第 5 章「Application of air-coupled ultrasonic flowmeter to molten salt measurement」と題し、第 3 章で開発した空中超音波流量計を LiCl-KCl 共晶熔融塩流れ計測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、600oC 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-配管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ており、熔融塩における計測可能性を示している。また、実験中に超音波センサは最高使用温度を超えることなく空気による断熱が可能であることを明らかにした。

第 6 章「Application of clam-on steam flowmeter to industrial steam measurement」では、第 4 章で開発したクランプオン式超音波蒸気流量計を実際の生産施設内にある 0.8 MPa 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としてスぺ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ことを示し、本流量計の有効性を示した。

第 7 章「Conclusions」では、各章で得られた成果を要約し結論としている。

以上より気体-固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ことで、空中超音波流量計、クランプオン式蒸気流量計を開発するとともに、熔融塩計測および実際の生産施設における蒸気配管適用を行うことで計測器の有効性を示した。

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

専攻：	原子核工学	専攻
Department of		
学生氏名：	塚田 圭祐	
Student's Name		

申請学位(専攻分野)：	博士	(工学)
Academic Degree Requested	Doctor of	
指導教員(主)：	木倉 宏成	
Academic Advisor(main)		
指導教員(副)：	林崎 規託	
Academic Advisor(sub)		

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

Non-invasive ultrasonic flowmeters are developed for high temperature application such as molten salt reactor over 600 °C and steam flowrate measurement under 1.0 MPa. The development issues of the flowmeters are acoustic loss through solid-gas boundary and the guided wave noise which is generated by the ultrasound propagation along the pipe wall. The mechanical and signal processing methods to improve the acoustic transmission coefficient and prevention methods of guided wave are developed. The line-focused sensor for the prevention of guided wave generation are designed analytically and experimentally. The material for mechanical absorption of the guided wave is selected experimentally. Air-coupled ultrasonic flowmeter and clamp-on steam flowmeter are developed under those methods. The developed flowmeters are validated by applying the flowmeters to the molten salt and industrial steam measurements. It is clarified that the acoustic transmission coefficient can be improved by controlling the incident angle, frequency of sound and thickness of the wall. The mechanical methods can reduce the guide wave noise at most 10 dB. For the demonstration of air-coupled ultrasonic flowmeter in high temperature condition, the flow measurement of molten salt LiCl-KCl with working temperature of 600 °C is performed. The signal processing method by subtracting the reference guided wave can contribute to the noise reduction and the transmitted wave signal through molten salt is successfully detected. Additionally, signal processing method based on the frequency dispersion of guided wave is validated by guided wave signal elimination of clamp-on steam flowmeter. The steam flowmeter is validated experimentally where the stream pressure is 0.3 MPa and the measured flowrate is compared to that by conventional vortex flowmeter. Besides, the flowmeter is applied to 0.8 MPa steam pipe line in an industrial facility. The measured flowrate error is within 10 % comparing to the results measured by vortex flowmeter. Thus, it is denoted that the developed flowmeters can be applied to the flow measurement of molten salt and industrial steam line.

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).