

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	パルス超音波を用いた溶融ガラス流動モニタリングに関する研究
Title(English)	A study on flow monitoring in molten glass by means of pulsed ultrasound
著者(和文)	井原智則
Author(English)	Tomonori Ihara
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9801号, 授与年月日:2015年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:木倉 宏成,竹下 健二,高橋 実,赤塚 洋,加藤 之貴
Citation(English)	Degree:., Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9801号, Conferred date:2015/3/26, 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)： 博士 (工学)
学生氏名： Student's Name	井原 智則		指導教員 (主)： 木倉 宏成
			指導教員 (副)： 飯尾 俊二

### 要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

高レベル放射性廃棄物処理に用いられるガラス固化工程においては、白金族元素などの凝集・沈降挙動等がガラス熔融炉の運転に影響を及ぼすことが指摘されている。現在は、計算シミュレーションによって流動解析を進める一方、温度モニタリング等による炉内管理により運転制御が行われているが、炉内流動解明に向けては実験的な熔融ガラス流動計測手法の開発が求められている。しかしながら、一般的な流動場に対して従来広く用いられてきた光学的手法は、熔融ガラスの光学的不透明性や熱輻射の影響により、適用が困難であった。そこで本研究では、パルス超音波を用いた計測手法である超音波流速分布計測法(Ultrasonic Velocity Profiler Method: UVP 法)を応用した熔融ガラス流動モニタリング手法の開発を行った。

本論文は、「A study on flow monitoring in molten glass by means of pulsed ultrasound (パルス超音波を用いた熔融ガラス流動モニタリングに関する研究)」と題し、6章より構成されている。本論文の各章における要旨を以下に示す。

第1章「Introduction」では、上述の背景について述べた後、熔融ガラスの高粘度に起因する低速流動性および音響減衰性に対応する為には新たな流速分布算出アルゴリズムの開発、実装方法および構築した計測システムの検証が必要であると述べ、熔融ガラス内へ超音波を送受信するためには導波棒システムの実現が必要であることを示した。さらに、信号処理システムと導波棒システムを組み合わせ、熔融ガラス中の音響特性の取得と流動計測を行うことで熔融ガラス流動モニタリングの有効性を検証する必要があることを示し、本研究の位置づけ、意義および目的を述べた。

第2章「Development of UVP for molten glass」では、広い周波数帯域におけるパルス間の位相差に着目し、熔融ガラス内計測に適応した UVP 法の信号処理システムを開発し、UVP 法における計測下限速度について移動壁の速度と計測速度を比較することで実験的な検討を行い、実用上は信号対雑音比が計測下限速度に影響することを明らかにした。また、回転円筒内剛体運動流れや水平配管内流れ、テイラークエット渦流れを用いた実流における検証実験によって、開発した信号処理システムが従来の計測器をしのぐ耐雑音性・安定性を有することを明らかにした。

第3章「Realization of ultrasonic transmit system into molten glass」では、熔融ガラス内へ超音波の送受信を行うための導波棒システムを実現するために、熔融ガラスに対する音響的濡れ性と腐食性に着目し、導波棒材料の実験的検討を行い、ムライト材が高い濡れ性を示し、ジルコニア材が高い耐腐食性を示す事を明らかにした。また、導波棒壁面でのモード変換および干渉によって生じる遅れエコーの低減に向け、3次元超音波伝播シミュレーションを援用した導波棒形状と励起周波数の設計評価手法として、広帯域パルスと短時間フーリエ変換を用いた手法を提案した。

第4章「Acoustic characteristics of molten glass」では、流動計測に先立ち、廃液を模擬した成分を含むホウケイ酸系熔融ガラスにおける 1000℃から 1200℃での超音波の音速と減衰率について計測を行い、本温度範囲であれば音速はほぼ一定であり、計測線上の温度分布によるビーム偏向の影響は少ないことを示すとともに、減衰率は温度と超音波周波数の関数として求めることを明らかにした。また、一本の導波棒で送受信を兼ねた超音波反射法を応用した簡便かつ正確な音響特性評価手法として、遅れエコーの影響を低減するための計測手法および信号処理手法を提案した。

第5章「Application of UVP to molten glass」では、前章までに得られた計測システムと導波棒システムとを組み合わせ、流動モニタリングシステムを構築し、移動中の導波棒から熔融ガラス内を経由してつば底面の相対速度を評価することで、導波棒を用いた際の UVP 法における熔融ガラス内での計測可能距離が、導波棒における遅れエコーレベルと熔融ガラス内における音響減衰率によって定められることを実験的に明らかにした。また、融体内の凝集体を模擬したジルコニア球の熔融ガラス中における挙動についても観察可能であることを示し、本論文で開発したモニタリングシステムの有効性を明らかにした。

第6章「Conclusions」では、各章において得られた成果を要約し、結論としている。以上により本論文では、広い周波数帯域におけるパルス間位相差を用いた新しい信号処理システムを開発し、UVP 法における計測下限速度について明らかにするとともに、熔融ガラスに適した導波棒計測システムを提案し、熔融ガラス内流動モニタリングの有効性を示した。

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 1 copy 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).

## 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 (工学)	Doctor of
学生氏名 : Student's Name	井原 智則		指導教員 (主) : Academic Advisor(main)	木倉 宏成	
			指導教員 (副) : Academic Advisor(sub)	飯尾 俊二	

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words )

The platinum group metal issue is recognized in vitrification process of high-level radioactive waste. Experimental flow monitoring technique is essential to clarify the flow mechanism in glass melter. However, optical visualization method, which is commonly applied to normal flow fields, cannot be employed to molten glass due to its optical opacity and strong thermal radiation. On the other hand, ultrasonic velocity profiler (UVP) is one of the applicable methods in such a hostile condition. However, application of UVP to molten glass flow is yet challenging due to high viscosity and high temperature. The objective of this work was to develop flow monitoring technique in molten glass by means of pulsed ultrasound.

Concerning high viscosity, flow field is expected to be slower than one mm/s. That is possibly the same order of detectable speed of UVP. In addition, high absorption of ultrasound can restrict the measurable range. In order to solve these issues, broadband signal processing technique for UVP was presented and implemented to the measurement system. Minimum detectable velocity limit of the UVP method was then evaluated experimentally, and was affected by signal to noise ratio in real condition. Validity of the measurement system was also confirmed using several flow configurations.

Buffer rod system was then constructed to transmit ultrasound into high temperature molten glass. Suitable material selection was discussed from a viewpoint of acoustic wettability and corrosion resistance. Three-dimensional simulation of ultrasonic propagation in the buffer rod was employed in deciding the emission frequency and shape of the rod with lower spurious echo signals.

Measurement of acoustic characteristics of molten glass was demonstrated using constructed buffer rod system to evaluate the applicability of UVP. Sound velocity from 1000 °C to 1200 °C was almost constant, and therefore, temperature distribution along a measurement line will not significantly affect the measurement. Acoustic attenuation coefficient was also evaluated and was found to be a function of frequency and temperature.

By measuring the velocity of moving back wall, it was concluded that measurable distance is determined by signal to noise ratio and attenuation coefficients in a fluid. Subsequently, motion of a ball suspended in the molten glass was successfully measured.

This thesis presents the applicability of the UVP method for the flow monitoring in molten glass. This was enabled by developing the UVP and the buffer rod systems specialized for molten glass.

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).