

氏 名	羽賀 勝洋
学 位 の 種 類	博 士 (工学)
学 位 記 番 号	博 甲 第 8 5 3 6 号
学位授与年月日	平成 3 0 年 3 月 2 3 日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審 査 研 究 科	システム情報工学研究科
学位論文題目	高出力水銀ターゲットの流動水銀中における微小気泡分布の予測 および水銀流路構造設計への応用
主 査	筑波大学 教授 工学博士 京藤 敏達
副 査	筑波大学 教授 博士 (工学) 阿部 豊
副 査	筑波大学 教授 工学博士 文字 秀明
副 査	筑波大学 教授 博士 (工学) 羽田野 祐子
副 査	筑波大学 助教 博士 (工学) 金川 哲也

## 論 文 の 要 旨

審査対象論文は、高出力陽子ビームを水銀ターゲットに照射し中性子を発生させる水銀ターゲット容器中における気泡分布の予測および流路構造に関する研究を記載したものである。気泡は、水銀ターゲット容器内に設置された巡回流型バブラーで生成され、流れにより移流拡散し、核破碎反応が発生するビーム窓において、熱衝撃に起因する圧力波の発生を抑止するとともに、伝ばする圧力波を減衰させる効果がある。本論文の目的は、水銀ターゲット容器内の気泡分布を予測し、圧力波の低減に必要な量の気泡をビーム窓近傍に分布させる方法について検討することである。

第1章では、高出力水銀ターゲット容器における核破碎による高圧の発生とキャビテーションの問題が提起され、その解決方法として微細気泡の注入および狭隘流路の設置が提案されている。第2章では、クロスフロー型流路の設計および流路における熱流動解析とその妥当性を検証するための水流動実験結果を示している。第3章では、水銀流路中でニードルノズルから径が  $200\ \mu\text{m}$  以上の単一気泡を放出し、壁面に付着した気泡分布から気泡の上昇速度を推定し、既存の抗力係数の算定式との比較を行っている。この抗力係数は、水銀流路に対する気泡の抗力係数であり、上壁面、乱流および気泡表面の汚れの影響を含んだものとなるため、平均抗力係数と定義されている。第4章では、第3章で定義した平均抗力係数を径が  $200\ \mu\text{m}$  以下の微細気泡に対しても成立する実験式を求めている。この実験式を用いて水銀流路内の気泡の流動解析を行い、水銀流路内の気泡分布およびバブラーで生成される気泡分布の推定を行っている。また、これらの結果が流路上壁面に付着した気泡分布に整合することを示している。最後に、第5章では、第4章で行った解析結果を踏まえ、バブラーの位置をビーム窓に接近させる流路構造の改良を提案し、さらに水銀流れに弱い循環を与えると流路鉛直面内の気泡分布を良好に一様化できることを示している。

## 審 査 の 要 旨

### 【批評】

パルス核破碎中性子源により中性子を発生させ物質の内部を可視化することは、物質科学/生命科学の進展にとって重要であり、中性子による可視化の効率を上げるためには、陽子ビームの出力を上げる必要がある。一方で、それに伴って発生する熱衝撃波により水銀ターゲット容器が破損するという問題がある。本研究では、微小気泡をビーム窓近傍に分散させることで熱衝撃波を低減し、高出力水銀ターゲットを実現することを目的としており、科学技術の進展に寄与し意義のある研究課題であると考えられる。

本論文では、まず、ビーム窓で発生した熱を滞留させないクロスフロー型流路構造を提案し、熱流動解析により流路内の温度分布を推定すると共に、解析結果の妥当性を水流動実験による流れ場と比較することにより検証した。また、水銀は内部が可視化できないこと、および、微小気泡の生成が容易ではないことから、まずニードルノズルで発生できる  $200\text{ }\mu\text{m}$  以上の気泡について、流路壁面に付着した気泡の分布から抗力係数を推定し、既存の公式と比較し、この抗力係数が汚れの無い気泡の抗力係数に近いことを示した。さらに、 $200\text{ }\mu\text{m}$  以下の微小気泡については、旋回流型バブラーで気泡を生成し、同様に気泡の流路壁面分布データから、旋回流型バブラーで生成された気泡径分布および気泡の抗力係数を推定し、流路壁面に付着した気泡径分布に整合していることを示した。以上の気泡の抗力係数は、乱流、気泡表面の汚れ、気泡の壁面への付着のし易さなどの影響を含むものであり、水銀ターゲットの流動中における微小気泡分布の推定にとっては、信頼性の高いものである。最後に、この気泡の抗力係数を使って、ビーム窓近傍の気泡密度が熱衝撃波低減に寄与する程度の大きさとなるための旋回流型バブラーの位置を決定しており、実機の設計にとって極めて重要な知見を与えている。

以上、本研究は可視化できない水銀中の気泡挙動を実験及び数値計算により推定する手法を提案しており、その成果は、パルス核破碎中性子源の出力を上げるための装置の設計に大きく寄与するものである。

### 【最終試験の結果】

平成 30 年 1 月 31 日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

### 【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。