

論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第8条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

○氏名	VU VAN TRUONG (ぶー ばん ちゅーん)
○学位の種類	博士 (工学)
○授与番号	甲 第 856 号
○授与年月日	2013 年 3 月 31 日
○学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項 学位規則第 4 条第 1 項
○学位論文の題名	Numerical and Experimental Investigations of Formation and Breakup of Compound Jets (複合ジェット流の形成と崩壊に関する理論的ならびに実験的研究)
○審査委員	(主査) 高倉 秀行 (立命館大学工学部教授) 今井 茂 (立命館大学工学部教授) John C. Wells (立命館大学工学部教授) 本間 俊司 (埼玉大学工学部准教授)

<論文の内容の要旨>

本論文は、中空のシリコン球を製造する技術を開発することを目指して、複数の媒質から構成される複合ジェット流の安定性に関する一連の数値解析ならびに実験による検証結果についてまとめたものである。特に、液体のジェット流の中心が空洞である、中空ジェット流 (hollow jet) の不安定性について、数値シミュレーションを詳細に実施し、この手法を用いれば、中空の材料の製造が可能であることを証明し、その実験上の条件を、構成物質の物性値から詳細に予測し、これに基づいた一連の実験を実施した。

数値解析は、3つの不混合非圧縮流体の軸対称の流れを対象とし、差分法により運動量方程式 (Navier-Stokes 方程式) を時間的に積分する。流体同士の界面を追跡するため、また界面張力を評価するため、界面と共に動く目印粒子を追跡する Front-tracking 法を用いた。

これらの解析結果を検証するため、中心部が気体であり、これを液体が包み込んでいる中空ジェット流について、液体として水、気体としてアルゴンガスを用いて一連の実験を実施した。その結果、数値解析した結果とよく一致することを示した。

続いて、熔融した鉛錫共晶合金を液体とした実験装置により中空球を試作し、流速の条件並びに物性値とサイズの関係性を明らかにした。また、水やシリコンのように固化する際に体積膨張を伴う材料を、液滴状態から固化させた時の形状についての数値解析も行い、中空シリコン球作製のための基本的な技術情報と、その製造装置の開発に必要な基礎デー

タを導出した。

<論文審査の結果の要旨>

本論文は、中空のシリコン(Si)球を製造してこれを電子デバイスに応用するという、これまで試みられていない非常にユニークな課題について、実験並びに数値シミュレーション両面から詳細な検討を行った結果についてまとめたものである。

本論文は、以下の点で評価できる。

- (1) 周辺流体が静止状態である場合について、中空ジェット流についての数値解析を行った。供給される2つの液体が同心円2重ノズルを通過し、界面張力により、液滴に変化していくことを数値シミュレーションで明らかにした。
- (2) 続いて、周辺流体も速度を持つ場合について解析を行った結果、それぞれの流体の物性値ならびに相対速度の違いにより、内の相界面や外の相界面が破壊し、液滴を形成する位置が異なっている3つのモードが現れることが解り、その結果、単純液滴、1つの空洞を持つ複合液滴、複数の空洞を含む複合液滴、が安定に現れることを数値シミュレーションで、世界で初めて解明した。
- (3) 直径が1mm程度の同心円2重ノズルを作製し、気体としてアルゴンガス、液体として水を用いて、中空ジェット流が安定に実現できる装置を作製し、中空ジェット流が液滴に変化する様子を、高速度カメラを用いて広範囲な実験条件で世界で初めて捉え、これを詳細に分析し、数値シミュレーション結果とよく一致することを示した。
- (4) 鉛錫共晶合金（融点、183℃）を用いて同様の実験を行い、直径約3mm、厚さ約0.15mmの中空金属球を製造することに成功した。
- (5) 以上の結果を基に、中空Si球を製造するための装置、特に、直径1mm以下の微小な2重ノズルを持つ石英るつぼの設計を行い、試作した。

本論文の審査に関して、2012年10月27日（土）13時30分～15時20分、ウエストウイング2階 電子システム系会議室において公聴会を開催し、申請者による論文要旨の説明の後、審査委員は学位申請者 VU VAN TRUONG 氏に対する口頭試問を行った。各審査委員より、単純液滴が複合液滴に移る際の条件、ならびに中空Si球を作製するときの酸素の影響、などの質問がなされたが、いずれの質問に対しても申請者の回答は適切なものであった。以上の論文審査と公聴会での口頭試問結果を踏まえ、本論文は博士の学位に値する論文であると判断した。

<試験または学力確認の結果の要旨>

本論文の主査は、本論文提出者と本学大学院理工学研究科総合理工学専攻博士課程後期課程在学期間中に、研究指導を通じ、日常的に研究討論を行ってきた。また、本論文提出後、主査および副査はそれぞれの立場から論文の内容について評価を行った。

本論文提出者は、本学学位規程第18条第1項該当者であり、論文内容および公聴会での

質疑応答を通して、本論文提出者が十分な学識を有し、博士学位に相応しい学力を有していることを確認した。本論文提出者は工学的な面においても、学術的な面においても国際的に高く評価される研究を行っており、大学院在学中に査読付き論文 5 編、国際会議報告 7 編を報告しており、いずれも高い評価を得ている。量的ならびに質的に優れた研究業績をあげたことから、後期課程 2.5 年在学での修了が適当と判断した。

以上の諸点を総合し、本論文提出者に対し、本学学位規程第 18 条第 1 項に基づいて、「博士（工学 立命館大学）」の学位を授与することが適当であると判断する。