

氏 名 岩崎 祥大

学位(専攻分野) 博士(工学)

学位記番号 総研大甲第 2028 号

学位授与の日付 平成 30 年9月28日

学位授与の要件 物理科学研究科 宇宙科学専攻
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 蠕動運動型ラバー混合器を用いた
コンポジット推進薬捏和技術の研究

論文審査委員 主 査 准教授 羽生 宏人
宇宙航空研究開発機構
宇宙科学研究所
准教授 徳留 真一郎
准教授 曾根 理嗣
准教授 後藤 健
教授 甲賀 誠
防衛大学校応用化学群

(様式3)

博士論文の要旨

氏 名 岩崎 祥大

論文題目 蠕動運動型ラバー混合器を用いたコンポジット推進薬捏和技術の研究

Recently, utilization of payloads into space applications in a wide range from several kilograms to several tons has been required. According to the important demand, space applications have changed to be initiated by some private sectors under the recent legal developments and the political supports. To accelerate the change of the space developments, the cost of launch vehicle should be reduced for the future. There are two launcher propulsion systems of vehicles which already used practically: (i) solid rocket propulsion; using solid propellants; and (ii) liquid rocket propulsion; using liquid propellants. According to the density of the propellant and the simplicity of the engine structure, the solid rocket propulsion is the most desirable system for launch of small vehicle that transporting a small payload. Solid propellants are integrated in a solid rocket motor which is usually disposable, therefore it is important to improve the mass production and to reduce their production costs for the future space applications using solid rocket propulsion system. The present solid propellant and composite propellant are mainly composed by oxidizer particle, metal fuel powder and polybutadiene rubber binder. The production process of the composite propellant roughly divided into three unit operations; the components kneading, the propellant slurry casting and the propellant curing. Actually, the process is operated as batch system. In addition, the development of solid propellants can be considered as explosive manufacturing, meanwhile, the process should be kept safe as the first obligation. Following these backgrounds, this study proposes a revolutionary and safe propellant kneading device. The current study focuses on the use of the unique peristaltic pumps and peristaltic rubber pump in the production process. It can even convey viscous fluid and powder content by peristaltic motion while it is just segmented double concentric rubber tube. With compressed air (10s kPa) being impressed into the chamber between the two rubber tubes, the outer tube reinforced carbon fiber (one of the artificial muscles) is contracted and the inner tube is constricted. These tube expansions imitate a peristaltic motion of a digestive tract. In a digestive tract, a digest is peristaltically conveyed to the discharging port and simultaneously mixed with digestive juice, however the mixing mechanism of the peristaltic motion still remains unclear. By the peristaltic rubber mixer (PRM) improved from the peristaltic pump, the research topic demonstrates a revolutionary idea of composite propellant continuous peristaltic kneading. The idea can contribute to the cost reduction of propellant manufacturing, especially in terms of the plant operation safety and the productivity. Due to the

kneading of PRM by the rubber tube expansion, fundamentally, there is no erroneous ignition source of the solid propellant. Moreover, the continuous kneading of composite propellant can generally lead the continuous and automatic plant operations, indicating that it can reduce the number of processes and the hazardous operations. The continuous kneading also can increase the productivity by the long period continuous plant operation. This can contribute to promote the propellant mass production safely and efficiently. Consequently, the safe and continuous kneading technique of composite propellant by PRM, while it is a new mixer, could be one of the candidates of the drastic propellant manufacturing cost reduction method. In this paper, PRM was developed based on the existing peristaltic rubber pump and derived the optimum conditions of the composite propellant kneading by PRM. Finally, it was confirmed that the propellant grain which had been produced under the optimum conditions combusted with the anticipated combustion pressure in the small solid rocket motor. In Chapter 1, the research background, a review of the literatures about the technical development of the existing composite propellant kneading and the idea of the composite propellant continuous kneading by the PRM were described. Furthermore, viscous slurry made from sodium polyacrylate aqueous solution and glass particles was actually kneaded by PRM. This result showed the composite propellant kneading potential of PRM. In Chapter 2, the durability of a PRM segment was improved for the kneading by the repetitive peristaltic contractive motion. Also, a disk-shaped heat exchanger was supplemented to increase the kneading efficiency and some rapid exhaust valves was supplemented at the compressed air chamber exhaust port to improve the exhaust efficiency of the compressed air. In Chapter 3, to derive the optimum kneading operation conditions of PRM, the relation between the PRM kneading mechanism and the composite propellant particle packing structure and physical properties was considered. Based on this consideration, especially about the compression of the non-flowability propellant mixture, the optimum impressed air pressure was experimentally indicated. In Chapter 4, the optimum condition of the charged amount of the propellant and the kneading time condition were derived. The propellant kneading experiment was carried out under the five charged amounts (500; 550 and 600 g) as the first experiment parameter and the four kneading times (30; 40; 60 and 80 min) as the second parameter. The kneaded propellant slurry was casted into a curing case and cured. Thus, the presence of void in the cured propellant samples were estimated by an X-ray radiography. The combustion characteristics were measured using the strand burner method. From these results (the X-ray transmission images and the combustion characteristics), the optimum charged amount and kneading time were discussed. In Chapter 5, the propellant was kneaded under the optimum kneading conditions from Chapter 2-4 and the propellant grain was produced. The result seems to indicate that the grain production succeeded. In Chapter 6 (conclusions), the results of Chapter 5 suggest that the composite propellant kneading

by the improved PRM under the optimum conditions normally proceeded.

(備考)

- 1 用紙の大きさは、日本工業規格 (JIS) A 4 縦型とする。
- 2 和文で作成する場合は 2,000 字～3,000 字、英文で作成する場合は 700 語～2,000 語程度とする。

ただし、生命科学研究所に出願 (申請) する場合は、英文 700 語程度で作成すること。

- 3 1 行あたり 40 文字 (英文の場合は 80 文字)、1 ページあたり 40 行で作成する。
- 4 上マージン、下マージン、右マージンは 2 cm、左マージンは 2.5 cm とする。
- 5 タイトルと本文の間は、1 行空ける。
- 6 片面印刷とし、ホチキス止めをしないこと。
- 7 別紙の添付は不可。
- 8 ページ番号は入れないこと、また改行を行わないこと。
- 9 図表を挿入する際は、白黒印刷でも判別できるように配慮すること。
- 10 論文審査に合格し、博士号が授与された場合は、本要旨を総合研究大学院大学リポジトリにおいて、インターネット公開する。

博士論文審査結果

Name in Full
氏名 岩崎 祥大

Title
論文題目 蠕動運動型ラバー混合器を用いたコンポジット推進薬捏和技術の研究

出願者は、宇宙ロケット用コンポジット固体推進薬の新しい概念に基づく製造技術に関する研究を行い、所定の研究成果をまとめた。当該分野では、コンポジット固体推進薬の製造技術を学術研究の範疇で直接的に取り扱った事例は極めて少なく、本研究は、火薬類取締法等の法令の理解と遵守の上で実験研究が行われており、学術的、技術的観点で新規性および独創性が高い。

本論文は、近年の高頻度な宇宙輸送システムの実現を目指す潮流、輸送コストの抜本的なコスト低減の要求に触れ、固体ロケット分野における課題が固体推進薬の製造工程にも含まれていること、そして製造技術の革新が最重要であることを述べている。従前の製造方法は、専用の大型プラネタリミキサを使ったバッチ式であることに対し、本研究は、製造コストを削減するために新たな混練技術の導入や、これによる連続製造方法の実現により課題を解決しようとするものである。材料の攪拌・混合等は一般の産業で広く行われる操作であるが、固体推進薬は火薬の一種であることから、特に攪拌操作における安全性への配慮が欠かせない。固体推進薬の製造における特有の安全要求を満たす攪拌操作を実現することが可能と見立てをしたのが、本研究の主題である蠕動運動による混練技術である。研究において着目した蠕動運動を原理とする混合装置は、中央大学が主体的に開発した生体模擬型ロボット（いわゆる、ミミズロボット）を起源としており、人工筋肉の伸縮および内部ゴムの膨張動作により蠕動運動を模擬していることから学際的要素を含んでいる。

本研究の目標は、当該装置の蠕動運動メカニズムを固体ロケット推進薬の混練操作に応用し、連続的かつ高効率な固体推進薬製造の実現にあり、将来的には固体燃料ロケットのコスト低減に寄与することである。

本研究の初手においては、蠕動運動による材料混練の機構や、火薬類材料の適用可能性を議論している。当初は安全の確認も合わせて模擬材料を用いて試行実験を行い、材料の分散状況が進行したことを確認した。したがって、本質的に当該装置が材料混練機能を有することを実験的に検証している。その上で、蠕動運動型ラバー混合器が、火薬類の混練装置として具備すべき基本機能の洗い出しを行い、混練装置として必要な改良を施した。蠕動運動型ラバー混合器の内部における二相混合組成の混練の進行、すなわち、固体推進薬原料が装置投入時の粉体凝集体から徐々に流動性を有するスラリー状態に遷移する原理を明らかにした。上述の知見を踏まえ、装置の稼働条件を検討した結果、作動時の装置への印加圧力、および原料投入量が検討すべきパラメタであることを見出した。

上述の通り、固体ロケット推進薬は火薬類に分類されることから、試作研究は火薬類取締法の適用を受ける。法の制約で実験室では400グラム未満の試作に限定されるが、適用装置の安全性評価を主体的に行い、協力企業と連携して経済産業省から工場への設置認可

を受けた。スケールアップ研究においては、協力企業の工場に当該装置を設置し、400グラム以上のスケールで実験を実施した。装置自身が当局の許認可を受け、製造工場に実装可能であることが確認されていることは技術開発を推進する上で大いに意義がある。実験結果から、当該装置による混練の最適条件は、試料仕込み量がラボスケールよりも大きい範囲に存在していたことを示した。そこで、抽出した混練の最適条件による実原料を用いた固体推進薬の試作を行い、固体推進薬の基本的燃焼特性である線燃焼速度を実測し、従来技術（プラネタリミキサ）で製造したものと同等であることを確認したこと、および試験用ロケットモータグレインの試作実験を行い、こちらも同等の品質の試料が製作できることを検証した。総括すると、蠕動運動型ラバー混合器は、本質的に固体推進薬製造装置として適用可能であることを示し、本研究成果は、固体ロケット推進薬の製造技術の革新に値すると言える。

研究の背景から識別された課題を新規性の高い技術により解決しようとする点、およびその技術が固体ロケット推進薬の製造技術として実効性があることを定量的に示している点において、学位論文としての価値が認められる。また、当該技術は、将来的に蠕動運動による火薬類原料の混練操作を連続化し、その先は全自動化させることを目論んでいる。新規性の高い製造技術の基礎となる部分を定性的かつ定量的に明らかにしたことは、工学的観点でも高い価値が認められる。

以上を以って、審査委員会の結論としては、博士号授与に値する内容であると判断する。

(備考)

1. 用紙の大きさは、日本工業規格（JIS）A4縦型とする。
2. 1行あたり40文字（英文の場合は80文字）、1ページ当たり40行で作成する。
3. 上マージン、下マージン、右マージンは2cm、左マージンは2.5cmとする。
4. タイトルと本文の間は、1行空ける。
5. ページ番号は入れない。
6. 出願者（申請者）が論文審査に合格し、博士号が授与された場合は、本紙を総合研究大学院大学リポジトリにおいて、インターネット公開する。

Note:

1. The sheets must be Japanese Industrial Standard (JIS) A4 vertical.
2. Each line shall have approximately 40 characters in Japanese or 80 characters in English, and each page shall have 40 lines.
3. The top, bottom, and right margins must be 2 cm and the left one must be 2.5 cm.
4. Single spacing is required between the title and the text.
5. There must be no page numbers.
6. If the applicant is conferred a doctoral degree, this paper will be published on the SOKENDAI Repository.