

# 論文審査の結果の要旨

氏名 平間 宏忠

本研究は、生物学・医学・薬学分野で利用されることを想定した高機能マイクロカプセル開発のために、「マイクロカプセルの機能性の向上」と「微小流路のrapid prototyping手法の開発」を目指した要素技術開発を行ったものである。「マイクロカプセルの機能性の向上」に関しては、新規の高機能性マイクロカプセルであるゲル微粒子と1対1カプセル化液滴を開発した。また、「微小流路のrapid prototyping手法の開発」に関しては、ハイドロゲルを鋳型として利用する微小流路のrapid prototyping手法を開発し、作製した微小流路の液滴生成評価を行った。

本論文は6章構成であり、各章の概要は以下のとおりである。

「第1章 序論」では、本研究の背景となる、「機能性マイクロカプセル」、「微小流路を用いた機能性マイクロカプセルの開発」、「微小流路のrapid prototyping」に関する昨今の研究開発状況の代表例を挙げつつ整理した上で、それらを踏まえた本研究の目的と位置付けについて述べている。

「第2章 高機能マイクロカプセルの開発1：ハイドロゲル/液滴界面における分子拡散を用いたアルギン酸ゲル微粒子の作製」では、新規の高機能マイクロカプセルの開発として、微小流路によって生成した液滴をもとに得られるゲル微粒子（single phaseマイクロカプセル）の生成法について述べている。本章で開発した、 $\text{Ca}^{2+}$ を含むハイドロゲル基板上に静置することでアルギン酸ナトリウム液滴を収縮・ゲル化しゲル微粒子を生成する手法は、ゲル微粒子内にタンパク質分子やナノ・マイクロスケールの粒子を濃縮し固定化できる手法であった。

「第3章 高機能マイクロカプセルの開発2：交互液滴生成法に基づく1対1カプセル化」では、新規の高機能マイクロカプセルの開発として、微小流路によって生成される、粒子を1対1でカプセル化できるW/O/Wエマルジョン液滴（double phaseマイクロカプセル）の生成法について述べている。開発した本手法は、添加する界面活性剤および各流量を適切に選択することで1粒子のハンドリングが可能となる手法であった。

「第4章 微小流路のrapid prototyping手法の開発1：ゲル鋳型を用いた“lithography-free”の微小流路作製法の開発」では、新規の微小流路のrapid prototypingとして、ひも状のハイドロゲルを鋳型として特別な機器を一切使用せずに手作業だけで立体的な微小流路を自由に成型・試作する手法（Hydrogel Molding）の開発について述べている。開発した手法であるHydrogel Moldingは、ゲル鋳型によるシリコンゴムの鋳造という独自の加工原理に基づく手法であった。

「第5章 微小流路のrapid prototyping手法の開発2：ゲル鋳型で作製した微小流路内での液滴生成挙動」では、第4章で述べた新規の微小流路のrapid prototyping（Hydrogel Molding）によって作製した微小流路を用いて行った、液滴生成挙動の評価について述べている。本章で実施した、微小流路の液滴生成評価では、Hydrogel Moldingによって作製した微小流路と、従来法（フォトリソグラフィ）によって作製した微小流路の液滴生成挙動を比較した。その結果、本手法

で作製した微小流路が従来法（フォトリソグラフィ）で作製した微小流路と同様の液滴生成の性能を示すことが確認された。

「第6章 結論と展望」では、上記の一連の研究についての結論と今後の展望について述べている。

生物学を対象にした実験手法、医療機器、医薬品の開発では、それぞれの有用性や実用性を向上させるため、従来の技術的課題を克服できる高機能化された材料の開発が重要である。また一方で、当該分野における研究開発では、複雑な研究開発工程や多種の対象サンプルを取り扱う必要があるため時間がかかる。そのため、研究開発プロセス全体の迅速化は重要な要素である。それら課題に対して、上記の要素技術開発に関する研究により、当該分野において利用可能な、高機能化されたマイクロカプセルを開発した。また、高機能マイクロカプセルを生成するための微小流路の **rapid prototyping** 手法を開発した。本研究結果は、マイクロカプセルの高機能化と迅速化に貢献できると考えられる。本研究成果にもとづき、分析機器、医療機器、医薬品の開発が迅速促進されることが期待される。

本論文の内容において、第5章は大寺貴裕との共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験、解析を行ったものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。本論文は博士（科学）の学位論文として合格と認められる。

以上 1,966 字