

審査の結果の要旨

氏名 櫻井 大地

中空マイクロカプセル、マイクロセルラープラスチックなどのマイクロスケールの中空構造をもつ材料は内部に微小空隙構造を持つことから、例えば、空隙を持たないバルク材料と比較して軽量であるだけでなく、比強度や断熱性能、光散乱性能、吸音性能、絶縁性能に優れるなど、多くの優れた機能を持つ。そのため、構造材料、断熱材、光反射板、超音波造影剤など、広い分野に渡る応用が期待されている。特に、直径 $2\mu\text{m}$ 以下の中空マイクロカプセルは超音波造影剤などの医療分野での応用が、直径 $10\mu\text{m}$ 以上の中空マイクロカプセルやマイクロセルラーフォームは主に材料改質フィラーや光反射板などの工業分野での応用が期待される。しかしながら、このような中空材料を高効率に高精度に製造する方法は必ずしも確立されていない。高効率化と高精度化という二つの課題を同時に克服する方法として、マイクロバブルを直接にカプセル化することにより中空構造体を作ることが考えられる。このような背景から、本論文においては、マイクロバブルを利用して、高効率かつ高精度に中空マイクロ構造体を製造する方法を提案するとともに、ポリマー溶液中のガス溶解度、閉鎖系における気泡径と気泡数の関係など関連するマイクロバブルの特性を明らかにすることを目的としている。本論文は、「マイクロバブルを利用した中空構造体の製造」と題し、全5章から構成されている。

第1章は序論であり、マイクロスケールの中空構造をもつ材料、例えば中空マイクロカプセル、マイクロセルラーフォームなどについて、製造方法を中心に従来の研究を示した上で、本論文の位置づけ及び目的について述べられている。

第2章「Gas/Oil/Water 法とバブルテンプレート法による中空ポリ乳酸マイクロカプセルの製造」では、熱力学的解析から、微小液滴中に微小気泡がある数密度以上で存在する場合と大きな気泡が1つ存在する場合のいずれも熱力学的に安定であることを示し、それぞれの状態に対して、1つだけ気泡が含まれる中空マイクロカプセルを作る方法、バブルテンプレート法と Gas/Oil/Water 法があることを示した。特に、Gas/Oil/Water 法は、本研究で提案した方法であり、気泡核をもつポリ乳酸のジクロロメタン溶液を水中に分散させることで Gas/Oil/Water 構造をつくり、ジクロロメタンが徐々に水中に溶解することを利用して中空ポリ乳酸マイクロカプセルをつくる方法である。気泡核の発生方法、ジクロロメタンの水中への溶解速度の制御方法などを工夫することにより、実験的にこの方法で中空ポリ乳酸マイクロカプセルができることを示した。しかし、粒径、中空構造の制御は必ずしも十分ではなかった。そこで、これ以降、ポリマー溶液中のガ

ス溶解度，閉鎖系における気泡径と気泡数の関係などを研究し，ポリマー溶液中の気泡径や気泡数の制御に取り組んだ。

第3章「ジクロロメタンに溶解するポリ乳酸が各種ガス（CO₂，N₂，He）の溶解度に与える影響」では，ポリ乳酸のジクロロメタン溶液に対するガス溶解度を予測する理論モデルを提案し，半経験式を導いた。また，先行して行われた同様の系の実験計測における不確かさ解析，および実験結果と理論解析の比較検討を行った。これらの研究により，ガスの種類によって，ガス溶解度のポリ乳酸濃度依存性が定量的に示されるとともに，溶解平衡と吸着平衡だけでは必ずしも十分に予測できないことが示された。

第4章「閉鎖系気液混合溶液内の気泡に関する熱力学的安定解析」では，ポリ乳酸のジクロロメタン溶液中に窒素ガスの気泡が存在している気液混合溶液系を考えた。実験においては，この気液混合溶液系（液滴）が水中に静置されているが，周囲の水と気液混合溶液系間の物質交換が極めて遅いため，気液混合溶液系を閉鎖系とみなした。この閉鎖系気液混合溶液中の気泡について，熱力学的安定解析および実験計測を行った。沸点以上の温度であっても安定に気泡が存在できること，気泡数と気泡径に相関が見られることなど中空マイクロカプセルの製造において重要な知見を得ることができた。

第5章は結論であり，以上の考察から得られた知見をまとめている。

以上述べたように，本論文では，マイクロバブルを利用して，高効率かつ高精度に中空マイクロ構造体を製造する方法を提案するとともに，ポリマー溶液中のガス溶解度，閉鎖系における気泡径と気泡数の関係など関連するマイクロバブルの特性を明らかにした。これらの結果は，中空マイクロ構造体の製造技術の開発において有用であるばかりでなく，マクロバブル，中空マイクロ構造体を用いた様々な環境・エネルギー技術においても有用な知見であり，その環境学的な意義は大きい。

したがって，博士（環境学）の学位を授与できると認める。

以上1978字