

氏名	キソール　クマール　サフー KISOR KUMAR SAHU
学位(専攻分野)	博士 (エネルギー科学)
学位記番号	エネ博第 140 号
学位授与の日付	平成 18 年 9 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	エネルギー科学研究科エネルギー社会・環境科学専攻
学位論文題目	FREE SPACE IN RANDOM PACKING OF SPHERES AND BEHAVIOR OF MICROBUBBLES IN LIQUID (球の無秩序充填における自由空間と液体中のマイクロバブルの挙動)
論文調査委員	(主査) 教授 石原 慶一　教授 八尾 健　教授 馬 渕 守

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、球の不規則充填における自由空間と液相中のマイクロバブルの挙動について詳細に研究し、得られた基礎的知見をまとめたもので、全7章からなっている。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的について述べている。同一サイズの球による無秩序充填構造の研究が如何に重要であるかについて述べている。特に、近年無秩序構造を持った新素材など様々なところで応用されており、その構造を記述することは重要であるが、一般に認められた方法は存在していない。そこで本研究では自由空間を対象を絞り、同一サイズ球の無秩序充填構造における空隙とそれに類似する構造として液体中のマイクロバブルについて調査することを目的としている。

第2章では、ポロノイ図に関連したナチュラルネイバーフッドの概念に基づいた空隙胞を定義している。この定義によれば、空間を完全に空隙胞のみで充填することができ、また、その形状は大きな空隙を内包しており、自然な定義であると考えられる。しかし、この定義を実際の構造に当てはめて計算することは困難であり、その代わりに、球の外部にある任意の点を中心とした空隙胞の計算法を考案している。その計算法に従えば、厳密な解の一意性は保障されないが、ポロノイ図の計算をする必要はなくテロニー三角形分割を用いることにより簡単に計算できる。

第3章では、空隙胞に内接する球に関する計算方法について述べている。これは多面体の内接球を求める問題であるが、計算精度の向上などの工夫についても言及している。

第4章では、空隙胞内の自由空間に内接する球のうち最大のものを間隙球と定義してその球に関する計算方法について述べている。ただし、内接球は4つ以上の周囲の球と接していることを条件とする機械的安定性をも考慮している。

第5章では、第2章で定義した空隙胞と第3、4章で述べている内接球について具体的に計算している。まず、離散要素法 (DEM) を用いた計算機シミュレーションにより単一サイズの球の重力による充填構造を作成している。そこで得られた構造は境界の影響を受け境界近傍で周期構造が見られること、その内部ではほとんど無秩序な充填構造が得られることを明らかにしている。次に、その中心部の無秩序充填構造における空隙について第2章で定義した空隙胞を計算し、再現性について検討している。結果として得られた空隙胞から5000個取り出して調べたところ、頂点の数が10, 11個の多面体が最も多く存在し、9から12個に90%が含まれること、空隙の内接球は周囲と四面体および八面体中心の関係にあり、相対半径は中心を0.48の対数分布に従う分布を示すことなどを明らかにしている。

第6章では、超音波による過飽和溶液からの気泡の発生について炭酸飲料を試料に用いて実験を行っている。過飽和でない状態において、超音波振動を当て、減圧し過飽和状態にしたとき(缶を開けたとき)、気泡の発生によりほとんどの液体があふれ出る。そこで残った液体の量を測定することにより、気泡発生量を見積もった。その結果、超音波を止めてすぐに缶を開けたときは超音波にさらされている時間に関係なくほぼ一定の気泡発生量であること、缶を開けるまでにおいた時間とともにその値は減少し沈静化し、超音波にさらされている時間が長いほど早く沈静化することを明らかにしている。次に、

一度超音波にさらして時間を置いた後、再び超音波にさらして缶をあけたところ、最初の超音波処理が二度目の超音波処理後の気泡発生量に影響を及ぼすことを明らかにした。また、その影響は数分から数十分という比較的長い時間まで影響を及ぼし、ある場合にはもう一度超音波振動を与えて開缶しても噴かないことを明らかにした。この結果について、核形成に必要な大きさよりも小さなマイクロバブル（エンブリオ）の存在を仮定し、説明を試みている。これらは液体の構造、とりわけ自由体積の分布と密接に関係していることを示唆している。

第7章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、粒子状物質の充填における自由体積の解析方法として空隙胞を定義し、それに付随する種々の内接球の分布を用いる方法について提案し、計算機シミュレーションによる重力による球の無秩序充填構造にその解析方法を適用し有効性を調査した。さらに、過飽和溶液からの気泡の発生について調査し、予備処理として超音波振動を与えることによる気泡の発生量を実験により求め、液相中の空隙の分布という考え方で説明を試みた。得られた主な結果は以下のとおりである。

粒子状物質の充填においてナチュラルネバーフッド（自然的な隣接関係）という概念を応用し、空隙胞を定義できることを提案した。本方法は、数学的に明確に定義できること、容易に計算できること、また、空隙を多面体で表現することができるため、その多面体を用いて空間を再構築できるなどの利点があることを明らかにした。また、その空隙胞に内接する球を解析する方法についても考案している。

単一サイズの球の重力による充填を離散要素法（DEM）を用いた計算機シミュレーションにより求めた。そこで生じた構造は境界の影響を受け周期構造が見られること、その内部ではほとんど無秩序な充填構造が得られることを明らかにした。その充填構造について空隙の整理を行った結果、頂点の数が10, 11個の多面体が最も多く存在し、空隙の内接球は周囲と四面体および八面体の関係にあり、相対半径は中心を0.48の対数分布に従う分布を示すことを明らかにした。

また、超音波による過飽和溶液からの気泡の発生について炭酸飲料を試料に用いて実験を行った。過飽和でない状態において、超音波振動を当て、減圧し過飽和状態にしたとき（缶を開けたとき）、超音波振動の長さが気泡の発生に影響を及ぼすことを明らかにした。また、超音波振動を止めた後も影響が残り、その影響は数分から数十分という比較的長い時間まで影響を及ぼし、ある場合にはもう一度超音波振動を与えて開缶しても噴かないことを明らかにした。この結果について、核形成に必要な大きさよりも小さなマイクロバブル（エンブリオ）の存在を仮定し、説明を試みた。これらは液体の構造、とりわけ自由体積の分布と密接に関係していることが示唆される。

以上、本論文は、液体や非晶質に代表されるランダム構造を自由空間という観点から整理し考察を行ったもので、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（エネルギー科学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成18年8月22日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。