

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 村上 敬司

金属材料の凝固現象は、様々な材料を製造する上において重要なものであり、凝固現象解明のための研究が盛んに行われている。凝固現象解明のための一方向凝固実験を実施するにあたっては、凝固速度、温度勾配が重要なパラメーターとなる。従って、それら凝固速度、温度勾配の正確な測定が不可欠である。一方、金属材料の凝固現象を解明するにあたり、今までにはない実験方法としてスペースシャトル、航空機および落下塔等を使用した微小重力環境をパラメーターとする研究が数多く実施されるようになってきている。本論分においては、エアロゲルという透明で断熱性にすぐれた材料を使ったその場観察機能付の一方向凝固炉を開発し、アルミニウム系の共晶合金を用い一方向凝固実験を行い、凝固速度と固液界面における温度勾配の制御が可能であることの確認し結果を示した。さらに、開発したエアロゲル炉の微小重力環境実験装置としての応用性の検討を示している。

第1章では、微小重力環境利用の現状として、宇宙ステーションやスペースシャトル用の実験装置を製作する時の問題点及び一方向凝固実験用に開発されている実験装置の現状等を述べている。また、金属の一方向凝固現象に関する研究・利用及び既存の研究における実験手法上の問題点を指摘した。問題点としては、正確な凝固速度・温度勾配の測定ができないことが挙げられる。さらに、地上の研究室における振動の計測結果を示し、振動が一方向凝固実験時の凝固現象に影響を与えている可能性が示され、宇宙ステーションにおける振動環境について示している。

第2章では、断熱性に優れほとんどの金属と濡れない等の特徴を備えたエアロゲルについて述べている。エアロゲルは、ガラスと同じ組成を持ちつつその体積の90%以上が空気である材料であり、ガラスと同様に透明であることから一方向凝固実験時に断熱材兼試料の観察窓として使用することが可能であることを述べている。最初に、既存の赤外線ランプ加熱炉・エアロゲル・市販のCCDカメラを用いて、一方向凝固時の固液界面の観察可能性に関する確認結果を示している。次に、第1章で示した問題点を解決するための実験装置として新規に製作したエアロゲル炉の特徴・設計・製作結果を示している。エアロゲルを使用することにより、一方向凝固実験時の試料の放射光を、特に赤外域において計測することが可能となり、計測した輝度から温度に換算し、温度場が実際の試料の温度となっていることを確認した結果を示している。また、試料の固液界面位置を放射光の輝度分布から捉えることに成功した結果を示している。

第3章においては、開発したエアロゲル炉を用いて実施した一方向凝固実験の結果を示している。計測した輝度から換算した温度場を用い、固液界面における温度勾配の測定も

可能であることを示している。また、一方向凝固実験としては、振動を印加した状態でも行い、共晶系合金の繊維間距離の変化を比較し、対流が一方向凝固時の繊維間距離に及ぼす影響について確認した結果を示し、さらに、融液の対流に関するコンピューターシミュレーションを実施し、実験結果との比較を行い、エアロゲル炉における実験結果が有用であることを示している。

第4章においては、開発したエアロゲルの有効性について詳細な評価を行った結果を示している。評価としては、計算及び実験結果を用いて、凝固速度・固液界面での温度勾配を一定に保ちつつ一方向凝固実験が可能であることを示している。また、本システムの中核となるエアロゲルの断熱性の評価として、固液界面が平坦であることを確認した結果を示している。また、開発した本エアロゲル炉の特徴として小型、軽量でありかつ稼動部を持たないことから振動を生じないこと等から微小重力環境利用のための一方向凝固実験装置として最適であることを示している。

第5章では、研究結果の総括を示している。

以上、本論文では、凝固現象の解明のために製作したエアロゲル炉の開発結果及びそれを使用して行った実験結果が示しており、凝固速度・固液界面での温度勾配が制御可能な一方向凝固実験用の装置としての有効性を確立している。また、微小重力環境利用のための実験装置としても最適であり、もうすぐ恒常的に微小重力実験が可能な宇宙ステーション時代が到来し、その開発したエアロゲル炉の金属材料に関する凝固現象の解明への寄与が大いに期待される。

よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。