

微小重力環境研究の蓄積を活用した新材料合成プロセスの可能性

永井 秀明 (AIST)

Possibility of new material synthesis processing by application of the accumulated microgravity research results

Hideaki Nagai*

*AIST, Central 5, 1-1-1, Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8565

E-Mail: hideaki-nagai@aist.go.jp

Abstract: Many fundamental and Applicable results of microgravity research for material science have been done until now. These results roughly classified three categories; (1)Crystal growth, (2)fluid dynamics・thermophysical property, and (3)material synthesis. By coordination with the results of these categories, it is possible to construct material processing for new material. In this report, possibility of new material synthesis processing is discussed.

Key words; Microgravity experiment, Crystal Growth, Fluid Dynamics, Thermophysical property, Material synthesis, Composite material, Orientation, Synergy effect

1. はじめに

物質科学分野では、これまでに多くの材料合成に関連する実験が微小重力環境下で行われている。その中では、微小重力の影響が顕著である融液や溶液などの流体を用いた物が多く、大別すると、

- (1) 結晶成長機構の解明、
- (2) 流体の流れや物質移動に関連する研究(熱物性計測を含む)、
- (3) 流体からの材料合成と評価

になる(Fig.1)。著者の知る限りで宇宙で行われた実験だけをまとめてみても、実に 100 を越える実験が実施されており(Table1)、航空機実験や落下塔実験なども含めると相当数の結果が蓄積されていると考えられる。これらの知見は従来からある材料の本質を理解したり、新材料合成に繋がるものと考えられているが、相互の連携はそれほど強くない。これらの蓄積されてきた微小重力実験の結果を有機的に結びつけることができれば、これまで以上に材料合成の幅が広がる事は想像に難くない。

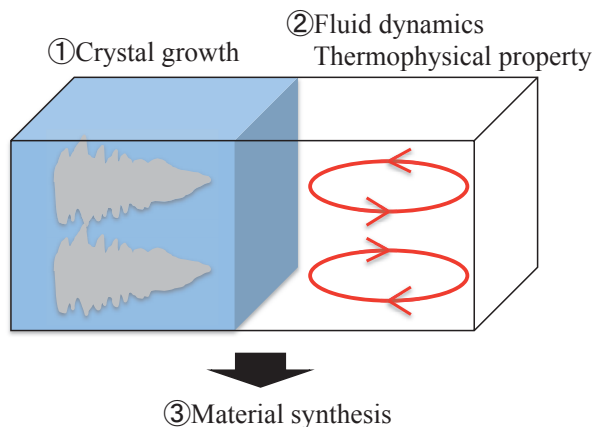


Fig.1 Image of material research field in microgravity

本報告では、材料合成の観点から、これまでの蓄積及び現在進行中の微小重力実験の結果も含めた、新材料合成プロセス構築の可能性について述べる。

Table1. Space experiments for nmaterial science

Microgravity tool	Period	Research category		
		Crystal growth	Fluid dynamics・Thermophysical property	Material synthesis
TT-500A	1980-1983	0	0	7
TR-1A	1991-1998	7	16	7
Space shuttle (FMPT)	1992	6	4	11
TEXUS	1988-1992	2	5	0
Space Lab	1993	2	1	1
SFU	1995-1996	10	0	0
Space shuttle (MSL-1 etc.)	1992-1998	2	6	2
ISS(kibo)	2008-	6	4	0
合計		35	36	28

2. 微小重力環境を利用した新材料のイメージ

これまでの微小重力環境を利用した材料合成は、無対流・無沈降をベースとした均質系の材料合成が多く研究されている(例として Fig.2)。これらの結果によって既存の材料の結晶成長機構や不均一性による特性への影響が明らかにされている。一方、単純な不均一性の問題については、様々な合成法を駆使することで重力下でも対応が可能なおもも多く、微小重力環境の利点は限定的とも言える。また、このような均質系材料の合成の際には流体の流れや物質移動は起こらないことが求められる事が多く、微小重力環境下での流体の流れなどの蓄積はほとんど生きてこない。しかし、同じ微小重力環境下での材料合成においても、過冷却現象や一方向凝固法等により複数の組織や結晶構造配向を制御した材料合成が可能になる例も示されてきている(Fig.3)。このような材料は、複数の相の持つ機能のシナジー効果

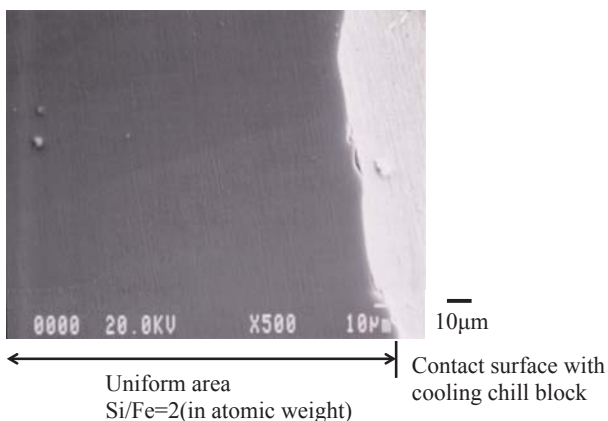


Fig.2 Splat-solidified Fe-Si alloy by drop tower experiment

が効率的に発現し、特性が大幅に改善していることから、複合系の組織・結晶配向を制御した材料の合成場として微小重力環境は魅力的である。また、このような組織・結晶配向の制御においては、定常流のような規則性のある流れはむしろ能動的な制御に利用可能で有り、選択肢を増やす方向（地上での製造の可能性など）に働く事が考えられる。更に、物質移動が抑制されているため、地上では得られにくい組織が得られている事も興味深く、特性の向上への寄与が示唆されている。一方、結晶成長については複数の相が共存する状態のため、事例の蓄積や計算科学によるシミュレーションが必要だと考えている。

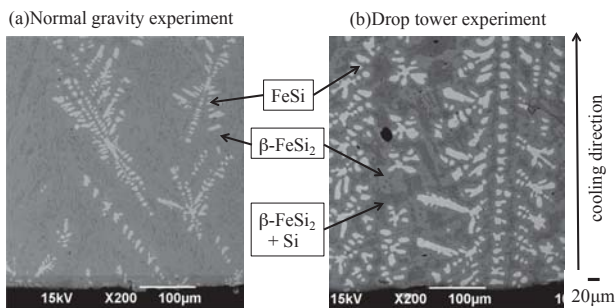


Fig.3 Unidirectional solidified Fe-rich FeSi₂ alloy after annealing at 1073K

3. 新材料合成プロセスへの展望

これまでに微小重力実験で培われてきた結果を将来展開も含めて個別に整理した新材料合成プロセスへの展望の一例が Fig.4 である。

結晶成長については、従来から行われてきている均質系の制御から複相系への展開を図ることで複合組織やそれらの結晶構造配向の制御に資する基盤技術へ発展していくことが可能と考えている。

流体の流れや物質移動に関連する研究では、融体の熱物性値の蓄積やその場分析による迅速化を進めるとともに、国内外の微小重力以外を含めた技術による結果も取り入れてデータベース構築に寄与する。加えて、マランゴニ流などの流体挙動を積極的に活用して、上記のデータベースとリンクすることで、

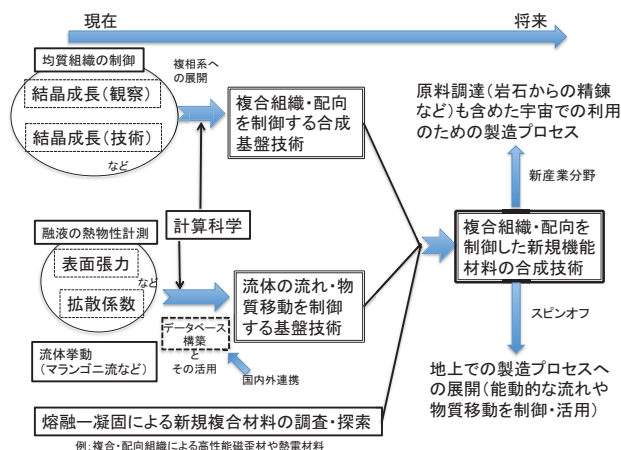


Fig.4 Future prospect of new material processing by using high temperature melt in microgravity

様々な流体の流れや物質移動の制御に資する基盤技術へ発展していくことが可能と考えている。

これらの2つの基盤技術は、新材料合成プロセスの構築の核となる要素で有る。ただし、実験による蓄積には限りがあるため、より汎用の技術へと発展させるためには計算科学によるシミュレーション技術との連携が必要不可欠である。

これらの基盤技術を用いて対象とする材料については、これまで著者が行ってきた超磁歪材や熱電材料などのシナジー効果が期待できる複合組織・結晶構造配向を制御した物が候補として挙げられるが、どのような条件が揃えばシナジー効果が最大となるか等の特徴が明確に示せる材料の調査や探索はまだ必要であろう。

また、近未来的には新材料は地上で使用することになると考えると、製造そのものも地上で行えた方がより効率的である。計算科学に裏打ちされたこれらの基盤技術のスピノフも可能と考えている。

更に、人類が宇宙での活動を本格化すれば、将来的には原料調達自体も地球外（月や小惑星など）で行い、宇宙で材料を生産、使用する事も含めた製造プロセスも検討が必要であり、新産業分野に発展するであろう。