ポピュラーサイエンス

宇宙技術と表面科学

平 尾 一 之

京大工学部工業化学科助教授
〒606 京都市左京区吉田本町
(1990年8月9日 受理)

Space Technology and Surface Science

Kazuyuki HIRAO

Dept. Ind. Chemistry, Fac. Eng., Kyoto University
Sakyo-ku, Kyoto 606

(Received August 9, 1990)

宇宙環境を利用すると、これまで地上では作製できなかった新材料を創製することができる。それは、無重力下では、結晶に欠陥が生じにくい、熱対流で分離できなかったものが容易に分離できる、分散が良い、浮遊状態で溶解などができる、などの効果があるからと考えられている。重力下で隠されていた濡れ性、表面張力、粘性、マランゴニ対流などの影響が大きく関わっており、表面科学の研究は今後、重要になっていくと思われる。

近年、国内外を問わず宇宙空間のもつ特殊な環境下での無重力を利用した活動に関心が高まりつつある。1991年の秋、NASA 航空宇宙局から打ち上げられるスペースシャトルに日本人初の宇宙飛行士、毛利衛さんが搭乗し、スペースラボを使って宇宙実験を行なうことは、すでに御存知の通りである。実は、私達のグループが提案した「微小重力下でのガラスの高温挙動」のテーマも今回の飛行で宇宙実験を行なうことになっている。そのために、一昨年から、アメリカの宇宙飛行士の Lee や、毛利、向井、土井の各氏らと共に地上で何度も周到なシミュレーション実験や訓練を行なっており(図1)、その関係で表題の「宇宙技術と表面科学」という題で執筆依

図1 宇宙実験に備えての地上訓練のメンバー
(右端が毛利氏、真中が筆者)

頼があったものと思われるが、ここでは表面科学の研究に無重力がどのように役立つかについて若干触れてみることにする。

これまでの宇宙環境利用では、人工衛星を宇宙の中継所として、放送や通信の分野で、また、宇宙の観測所としては、資源探査や気象などの環境監査の分野で用いてきた。一方、スペースシャトルの出現は宇宙へ材料を運び、そこで高機能性を付加した後、地上へ持ち帰ることも可能にしたので、微小重力・高真空・強力な宇宙線といった新しい環境を利用した新しい科学や技術の分野が今後、広がると考えられる。特に、宇宙特有の環境下では地上で作製困難な各種の機能材料や医薬品などが次々に得られていくと期待されている。2000年にはNASAが打ち上げる宇宙ステーション内に日本独自の実験室をもつ計画もあり、それを利用すると長期に亘って宇宙実験が可能となるので、ゆっくりと時間をかけて作製する、まさに夢の新材料も創製されると期待されている。そこで次に、この宇宙環境下での実験においてどのようなことが期待されるかについて述べてみることにする。

地上では材料を作製する際に、重力の影響を受けるので、物質の混合、分離、精製がうまくいかないだけでなく、拡散、溶解、凝固などのプロセス面でも困難さが伴っている。重力の影響をなくした状態での物性測定やメカニズムの解明を行なうとともに、微小重力環境下での材料作製を試みることにより、①高強度や高硬度といった機械的性質のすぐれた材料、②高純度や均質性の良さからもたらされる透明性のすぐれた光学材料、③均質な複合体制作によりもたらされる高電導性や高強誘電性を有したデバイス材料などが得られる可能性がある。重力減少により、対流、浮力、静水圧などが大きく変化するので、融液や液体状態でその効果が特に顕著にあらわれ、粘性、濡れ性、表面張力、表面張力の差により生じるマランゴニ対流など重力下で隠されていた要素が大きく特性に影響を与えることになる。図2には、以上のような微小重力環境の特徴と、その利用の効果の例を示す。

無重力下では対流、沈澱が生じないので(a)に示すように結晶育成中に欠陥が生じにくく、欠陥の少ない大型結晶の成長が可能となり、高純度半導体結晶の製造に適しているといえる。また、液体中でミョウバンなどの結晶を成長させる際にも、微小重力下では結晶は浮遊したまま完全な形で成長するので、欠陥や破壊表面ができにくい。また、(b)に示すように無重力下では、熱対流がおきないので、分離・精製の効率が非常に良い。たとえば、熱対流がおきないとすると、物質の荷電状態のわずかな違いを利用して、有用物質の分離や精製が効率的にしかも精度良く行なえ、微量の医薬品の分離・精製に適

図 2 宇宙環境利用の効果

しているといえよう。(c)に示すような密度差が非常に大きい物質を混合する場合も、無重力下では、物質の分散が容易となり、均分の均質な合金や複合材料を作ることができる。特に、セラミックスの強度を上げようとする場合、その靱性向上のために、ファイバーや球状粒子を分散させることが試みられているが、無重力下では容易に作製できるといえる。原子量の大きく異なる元素を含む合金やアモルファスを作製する場合にも好都合である。表面と特に関係深いのは(d)の場合であろう。無重力下では超音波や電磁波で物質を浮遊させて溶融できるので、ルツボなどの容器がいらず、表面付近に不純物の混入がない。また、浮遊状態で固体を溶融させると表面エネルギーを減少させた完全な真球を作製することができる。また、地上では、固体から融液になる際の体積変化を測定することは極めて困難であるが、無重力下では、精度良く広い温度範囲にわたって完全真球を光学的に測定できるので、今まで存在していなかった物性値を新規に求めることも可能になる。最初に述べた私達の実験テーマ「微小重力下でのガラスの高温挙動」は、まさにこれに関連したものである。

以上、宇宙環境利用の効果について表面との関連も含めて述べてきたが、特に、表面に直接関わるテーマとして、NASA が次の研究をスペースシャトル内で行なうことを決定した。(1)微小重力下での表面張力の温度と不純物依存性(NBS)、(2)微小重力下での臨界濡れ角の直接観察(アラバマ大)、(3)マランゴニ対流の抑制(ワシントン大)、(4)表面張力が引き起こす対流(ケースウェスタン大)、(5)微小重力下での自由表面観察(カリフォルニア大)、(6)微小重力下での臨界角近傍での粘性係数測定(NBS)。しかし、これらの実験は、試料充填方法

表 1 微小重力下の諸現象と材料作製への応用

無 対 流	無 接 触 浮 遊
(a) 界面張力による対流 (マランゴニ対流)	(a) 表面張力の影響大 (真球作製)
(b) 濡れ・毛管現象の変化	(b) 浮遊帯溶融性の応用 拡大
(c) 一方向凝固過程の制御容易	(c) 超高純度物質の製造 容易
(d) 化学反応の均一化	(d) 超高温化学反応 (無接触)
(e) 結晶の歪みの減少	(e) 無接触による核生成 の抑制
(f) 外力による物質移動 の容易	
無 浮 力	無 静 圧
(a) 均質混合が容易	(a) 濡れ・吸着現象の現 れ
(b) 多成分系の均質化学 反応	(b) 燃焼現象の変化
(c) 電気泳動分離が容易	(c) 移動界面の観測
(d) 大型モザイク結晶成 長容易	(d) 結晶粒成長の制御可 能
(e) 泡の均一化分散容易	(e) 格子不整の除去容易

や充填装置の開発、トレーサーの検討など数多くの困難があり、準備もさることながら、一度の宇宙実験で必ず成果が得られるという保証もなく、やはり、宇宙ステーション実験が望まれる。最後に、微小重力環境下の諸現象と材料製造への応用ということの調査研究の結果を表 1 に示した。特に、表面科学に関連した現象を利用した技術分野について示した。表面科学の研究が、宇宙実験の発展と共に益々重要になっていくことが、この表から明らかである。今後の宇宙環境利用についての参考になれば幸いである。なお、資料収集に御協力頂いた通産省工業技術院、広田博士氏に謝意を表します。