

# 微小重力環境を利用した材料研究



夢はバラ色

野 城 清\*

## Materials Research under Microgravity Environment

Key Words : Microgravity, Space Welding, Surface Tension, Density, Viscosity

### 1. はじめに

国際宇宙ステーションの建設を数年後にひかえ、宇宙環境利用の重要性が再認識されてきている。宇宙環境とは微小重力、高真空といった一般に知られている環境以外に原子状酸素の存在や厳しい温度差のある環境である。我々のグループではここ数年来微小重力環境を利用した材料の研究を研究室のメインテーマの一つとして位置づけており、本稿では我々が現在行っている研究を中心に紹介する。

### 2. 微小重力環境利用の目的

材料の研究に微小重力環境を利用する目的は以下の三点に大別される。

- ① 微小重力環境そのものを利用する。
- ② 無容器溶解が可能なことを利用する。
- ③ 熱や密度差による対流がないことを利用する。

①の範疇にはいる例としては溶接の研究があげられる。2003年に建設が予定されている国際宇宙ステーションや宇宙コロニーなどの宇宙構造物の補修には溶接は欠かすことのできない技術であるが、宇宙溶接技術の確立のためには宇宙環境を模した微小重力環境での基礎実験

が必要不可欠である。②の範疇には高温融液を保持するのにるつぼなどを必要とせず、るつぼなどからの汚染がないために、高純度材料の創製や高温融液の熱物性の高精度測定などがあげられる。さらには無容器溶解では核生成の起点となるるつぼ壁が存在しないため大過冷を得ることが可能である。③の範疇にはいる例としては強制的な補助攪拌を与えることによって地上では得られない新素材の創製や高温融液の拡散の研究などがあげられる。

### 3. 微小重力環境を得る方法

微小重力環境は以下に示すような方法で得られる。

- i. 落下塔
- ii. 航空機やロケット
- iii. スペースシャトル
- iv. フリーフライヤー
- v. 宇宙ステーション

図1にそれぞれの方法で得られる微小重力時間とそれに要するコストとを対比して示す。当然のことながら長時間の微小重力環境を得るためには多大な費用を必要とすることはいうまで

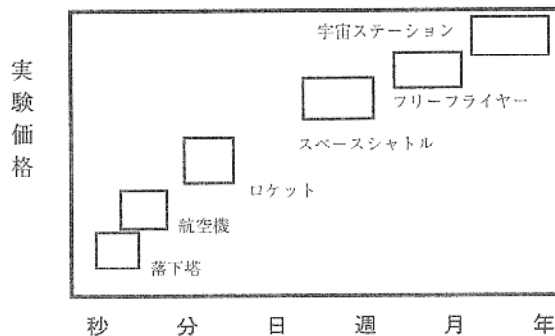


図1 微小重力時間と費用との関係

\*Kiyoshi NOGI  
 1945年9月7日生  
 昭和45年大阪大学工学部冶金学科  
 修士課程修了  
 現在、大阪大学接合科学研究所、  
 教授、工学博士、機能性診断学  
 TEL 06-879-8643  
 FAX 06-879-8653  
 E-Mail nogisan@jwri.osaka-u.  
 ac.jp



もない。微小重力環境を利用した材料研究においてはその目的に応じた方法を選択する必要がある。たとえば溶接は溶融から凝固にいたるまで1秒前後で完了する非平衡現象であり、また融体の熱物性値である表面張力や密度の測定も数秒間で行うことができる。一方、単結晶の製造などは数時間から数日を要する。したがって、溶接や熱物性値の測定などは落下塔を利用し、単結晶の製造などはスペースシャトルや宇宙ステーションで行うのが合理的である。

我々の研究は溶接や高温融体の熱物性値の測定を中心にしており、長時間の微小重力環境を必要としないため、短時間の微小重力が得られる落下塔を利用して研究を行っている。図2に実験に使用している落下塔の概略を示す。北海道上砂川の地下無重力実験センターの落下塔は落下塔の中でも世界一の高品質( $10^{-5}G$ )かつ長時間(10秒間)の微小重力環境下での実験を可能にしている。カプセルに搭載可能な装置は容積、870mm×870mm×930mm以内、重量500kg以下であることが要求されているのみならず、自由落下中は外部との接触は断たれているため、全自動で作動させる必要がある。また制

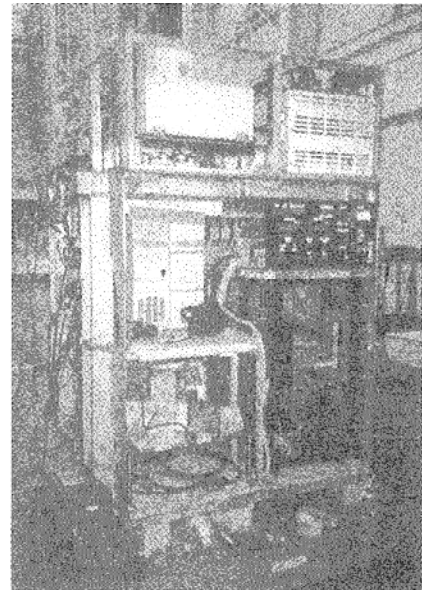


図3 ガスタングステンアーク溶接装置

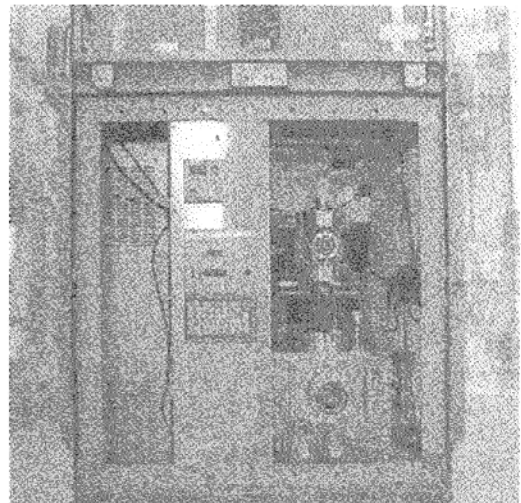


図4 電子ビーム溶接装置

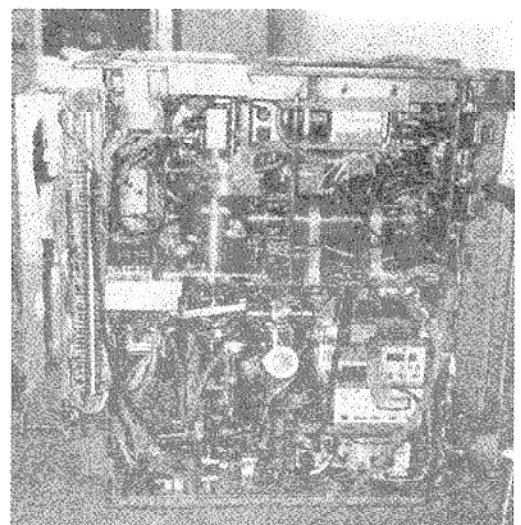


図5 電磁浮遊炉

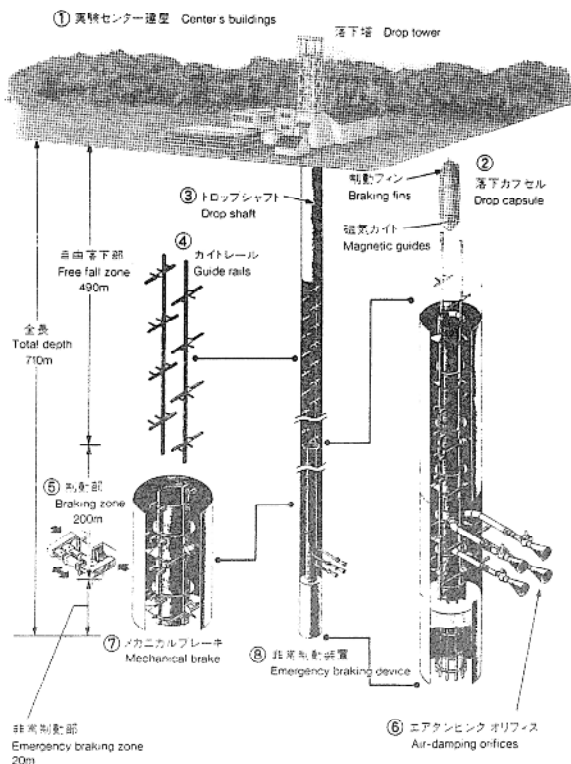


図2 地下無重力実験センターの施設の概略

動時に装置にかかる衝撃も考慮する必要がある。

### 微小重力環境を利用した材料研究

微小重力環境を利用した材料研究のために我々のグループが使用している装置の外観を図3, 4, 5に示す。図3, 4はいずれも宇宙溶接の基礎研究に用いている装置である。図3はガスタングステンアーク溶接装置, 図4は電子ビーム溶接装置である。図5は高温融液の物性測定に用いている微小重力用電磁浮遊炉である。紙面の都合もあり各々の詳細については説明できないので, 図5の微小重力用電磁浮遊炉の概略について述べる。本装置はフルラック仕様で, バッテリー, 高周波用高圧電源, 真空チャンバー, 浮遊コイル, 加熱コイル, 高速ビデオカメラ, ビデオカメラ, 赤外線補助加熱装置, 放射温度計, イオンポンプ, ガスボンベ, 制御用コンピュータ, 冷却水循環系等で構成されており, 高周波出力は加熱用, 浮遊用がそれぞれ, 2kW, 12kW, 補助加熱電源の出力は1kWである。また, それぞれの装置は制御時にかかる8Gに耐えるように設計されている。

我々のグループが過去3年間における微小重力環境を利用した研究で得た成果の一例を図6に示す。図6は地上および微小重力環境下においてガスタングステンアーク溶接法により立向き上進溶接を行った溶接ビードの外観である。地上(1G)での結果は重力の影響を受け, 通常のリップル(溶接ビード表面の皺)を形成してい

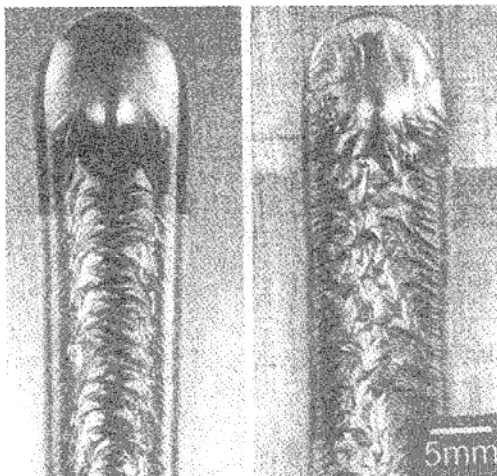


図6 溶接ビードの外観  
(a)地上 (b)微小重力

るのに対し, 微小重力環境ではランダムなリップルを形成していることがわかる。このような相異は地上環境では重力が働くため溶融池は下向きの力を受けて凝固するのに対し, 微小重力環境では重力の影響を受けないため, 溶融池は方向性のないランダムな動きをしつつ凝固することによるものと考えられる。

### 微小重力環境を利用した研究の問題点

微小重力環境下での実験における問題点の一つとして, 実験にともなう経費があげられる。我々は比較的 low コストの落下塔を利用して微小重力環境を得ているが, それでも1回の落下費用は約300万円を必要とする上に, 実験用装置が既存のものを利用できない場合が圧倒的に多く, 装置開発費が最低でも地上用の10倍程度は必要となる。したがって, 微小重力環境を利用して新材料を創製するといった研究では採算のとれることはまず不可能であり, 今後の宇宙開発に必要な溶接などの技術の確立するための研究や材料の物性測定のように広く利用されることが期待されるような研究を優先的に行うことが重要だと考えられる。

### 今後の展望

微小重力環境を利用した材料の研究の歴史は浅く, 我が国においても1979年にスペースシャトルを利用した材料実験の募集が始まって以来, 実際に微小重力環境下で材料研究が行われたのは1980年代に入って小型ロケットによるものが最初である。研究の歴史は浅いものの北海道や岐阜県の落下塔をはじめとして航空機などを用いて多くの成果が得られており, 今後更にコスト面を含めて, 手軽に微小重力環境が利用できるようになれば, 材料分野のより一層の進展が期待できる。

### 謝辞

本研究は, 通産省工業技術院, NEDO, (財)宇宙環境利用推進センターおよび大阪大学接合科学研究所熱源センターから多大な援助を受けて遂行しています。ここに記して感謝の意を表します。