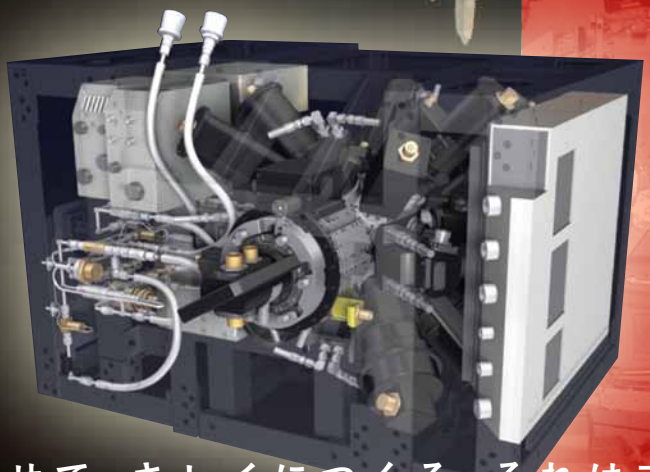
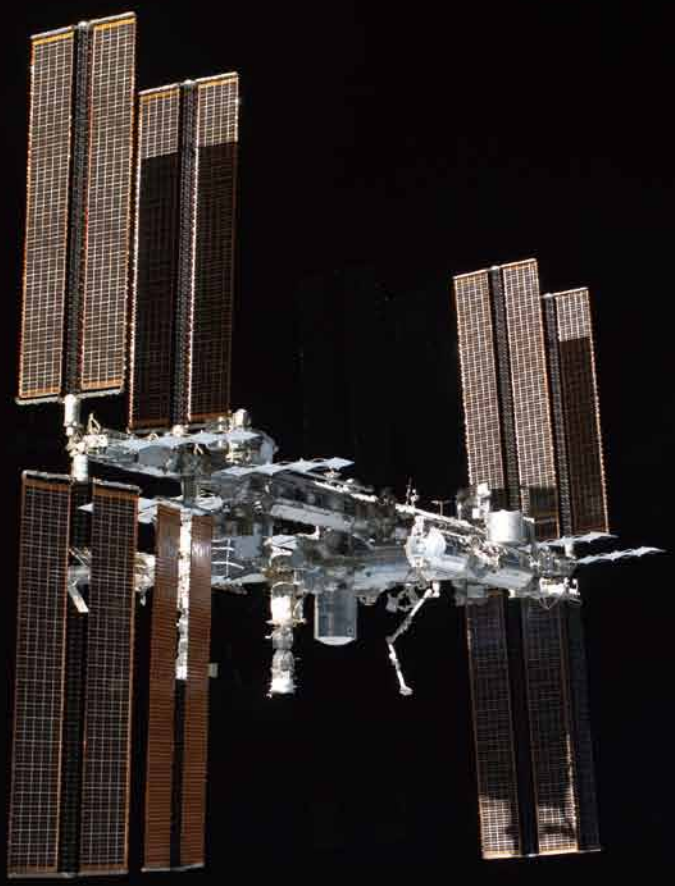


宇宙で浮かせて、キレイにつくる。それは未来のカタチ

静電浮遊炉

ELF

Electrostatic Levitation Furnace



宙に浮かぶ小さな球が未来のカタチを大きく変える

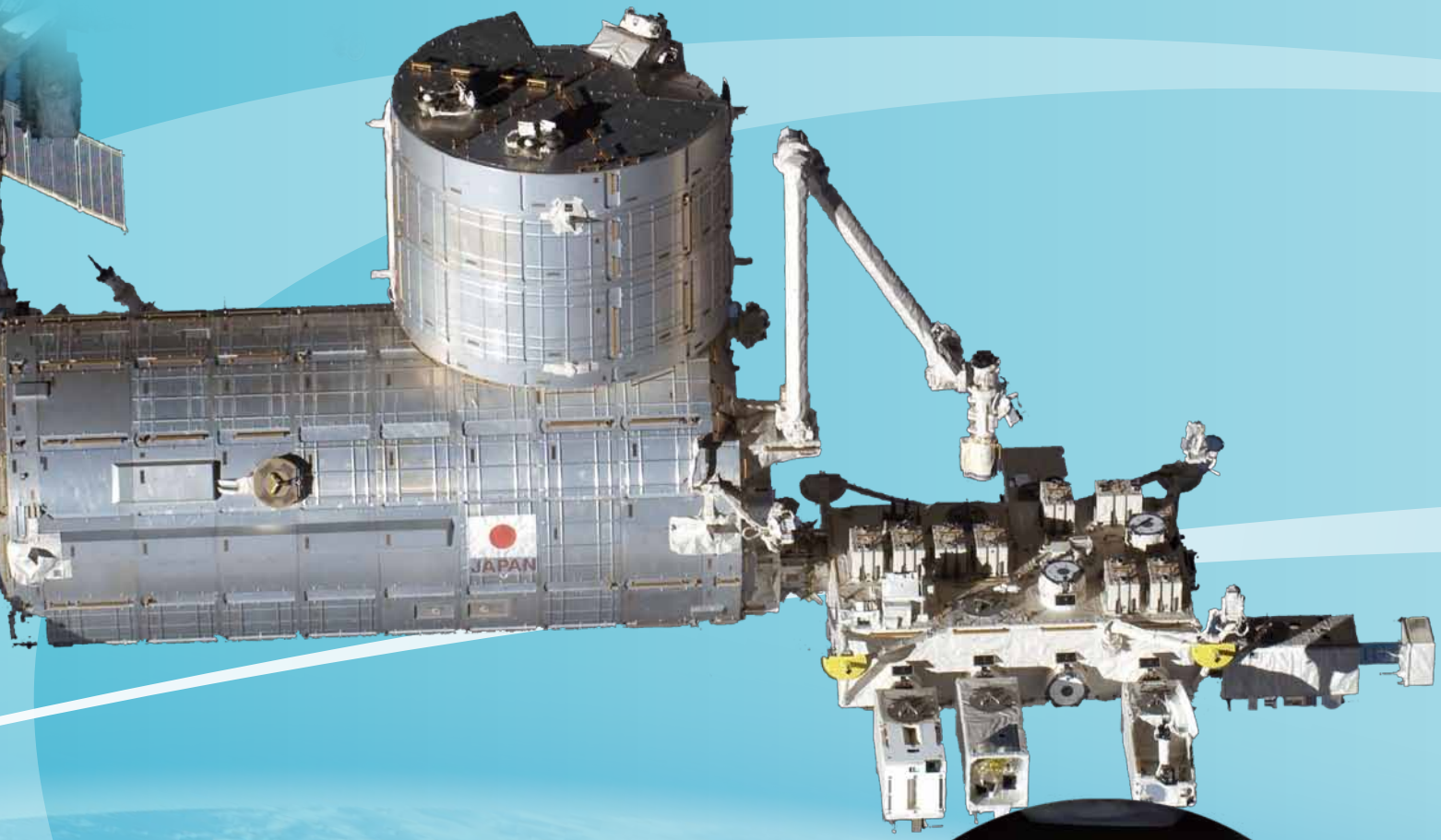
国際宇宙ステーション(ISS)の「きぼう」日本実験棟に設置する静電浮遊炉(ELF)は、静電気力で浮かせた物質を加熱して溶かし、安定した状態(球体)を維持します。

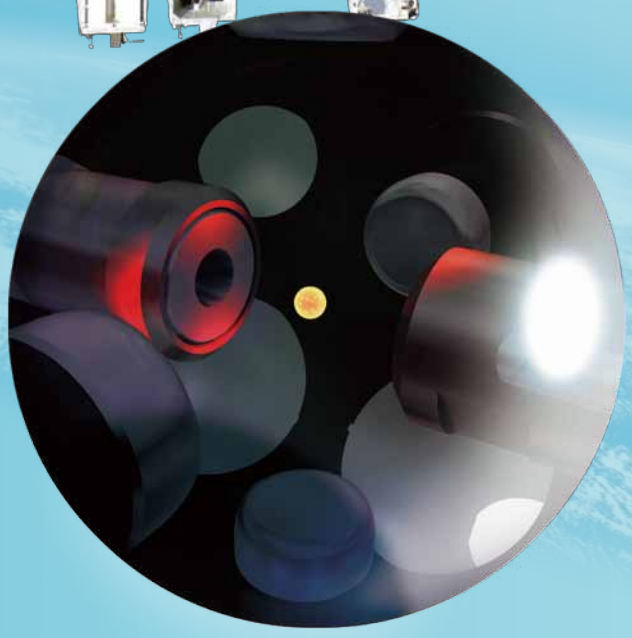
地上では、液体を保つためには容器が必要です。ところが、2000℃を超えるような高温に適した容器がないため、そもそも高い融点を持つ物質を地上で溶かすことは困難です。また、容器は高温の融体と反応し、不純物となって物質と混ざってしまいます。

国際宇宙ステーションの微小重力環境では容易に液体を浮かせることが可能なので、容器を用いる必要がありません。このように容器を使わずに物質を取り扱う手法を「無容器プロセッシング」といいます。無容器プロセッシングでは、地上では浮かせることが難しい物質の溶融状態の性質を詳細に調べることが可能です。さらに、溶かした試料を過冷凝固(融点より低い温度で急速に固体化)して地上に持ち帰り、試料を詳細に分析することもできます。

静電浮遊炉を利用することによって、地上では得られない、世界をリードする新たな成果が期待されています。

高融点材料の
隠されている性質を
解明します。





静電浮遊炉(ELF)は、微小重力環境を利用して、
融点が非常に高い物質を
浮かせた状態で溶かして特性を計測し、
過冷凝固させる材料実験装置です。
国際宇宙ステーション(ISS)への搭載を目指し、
地上で研究開発を進める中で、すでに数多くの成果を
世界に先駆けて取得しています。
「きぼう」日本実験棟に設置する静電浮遊炉を用いて、
地上では計測できない物質の性質を解明することで、
新機能を持った革新的な物質の創製など、
私たちの想像を超える材料のさらなる可能性を拓きます。

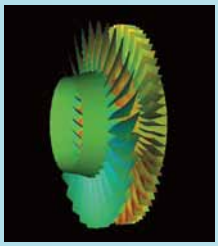
次世代のジェットエンジンへ

高精度熱物性値取得による鋳造などの効率化

静電浮遊炉の地上実験では、「きぼう」日本実験棟での実験に向けて熱物性計測技術を向上させ、金属元素融体の高温熱物性データを取得するなど、多くの実績を上げてきました。
さらに、「きぼう」では、地上では測定できない酸化物等の熱物性（密度・表面張力・粘性）を高精度に計測します。
「きぼう」でしか獲得できない新しいデータは、物質科学の基本データを大きく書き換えます。こうしたデータは、コンピュータを使った鋳造シミュレーションプログラムの基礎データとして、また、高性能な耐熱コーティング技術の開発などに活用され、効率の良い発電システム・航空機・次世代ジェットエンジンのタービンへの応用が期待できます。

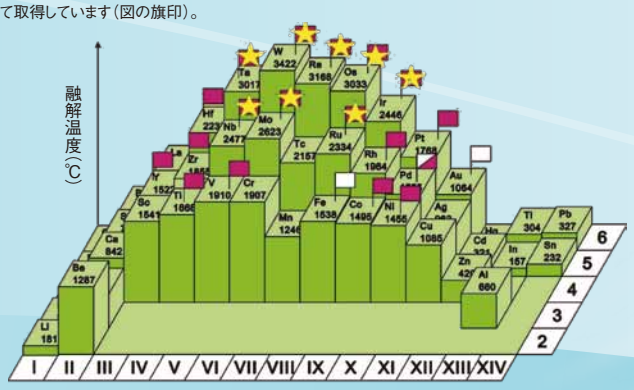
■ ジェットエンジンタービンブレードなど精密鋳造への応用

合金など高温で融解する物質を使った精密鋳造の最適条件を探る際には、実験が難しいことから数値シミュレーションが利用されています。
静電浮遊炉を使って獲得した高精度な熱物性のデータを使ってコンピュータシミュレーションすることで、ジェットエンジンの高効率化が期待されます。



■静電浮遊炉を使って測定した金属元素融体の高温熱物性取得データ

これまでは高い融点、特に2,000℃以上の融点を持つ元素の溶融・熱物性測定は困難でした。静電浮遊炉の地上実験では、すでに金属の中で最高融点を持つタングステン（元素記号W）など、融点が3,000℃を超える金属の粘度データを、世界で唯一取得することができました（図の星印）。
また数多くの物質において、幅広い温度範囲のデータを世界に先駆けて取得しています（図の旗印）。

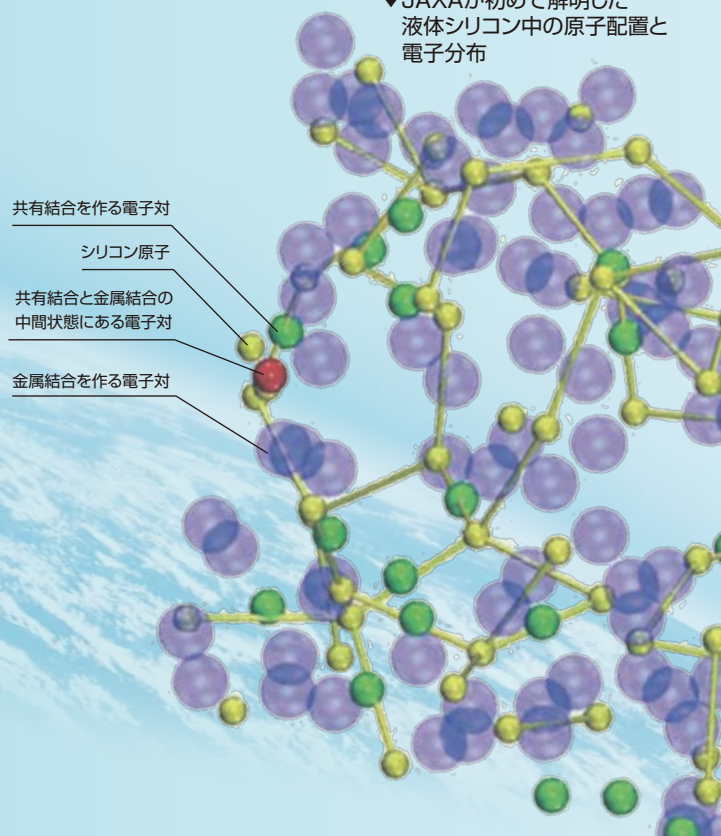


溶けると金属になるシリコンの新しい可能性を探求

静電浮遊法によって開く、新たな科学

「きぼう」日本実験棟での実験を目指した、地上静電浮遊装置の小型化や技術革新により、X線を用いた実験装置と組み合わせた詳細な解析が可能になりました。その結果、地上実験で液体シリコンの特異な電子構造の解明に初めて成功し、コンピュータのCPUや太陽電池など半導体材料として社会を支える電子機器に幅広く利用されているシリコンの、新しい可能性を示す結果を得ています。
今後は、微小重力環境の「きぼう」での実験と相互に補完しあいながら、未知の酸化物等の液体状態を解明し、科学や材料開発へのブレークスルーをもたらすことが期待されます。

▼JAXAが初めて解明した液体シリコン中の原子配置と電子分布

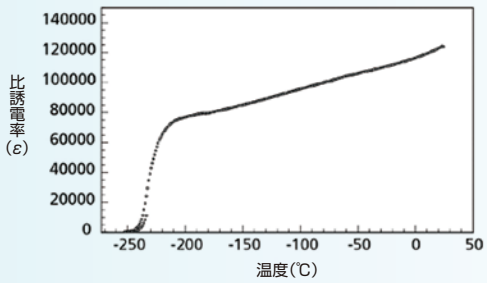


高性能なコンデンサやJAXAガラス
革新的な工業成果を目指す

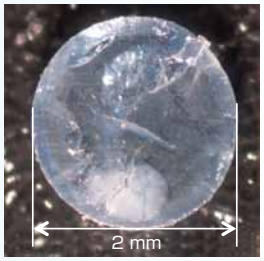
無容器プロセッシングによる新機能材料の創製

無容器プロセッシングでは、大きな過冷却状態を得ることができ、それを利用して新たな材料を作ることが可能です。
地上実験でチタン酸バリウム（$BaTiO_3$）を無容器で浮遊溶融して、過冷凝固させたところ、巨大誘電率を持ち、温度が変化しても安定した状態を保つことができる高性能な物質の開発に成功しました。この高品質なチタン酸バリウムをコンデンサに応用すれば、移動体通信機器の小型化と大容量の情報伝送を可能にします。
また、チタン酸バリウム（$BaTi_2O_5$）を無容器で浮遊溶融して急冷させたところ、過冷却状態からダイヤモンドと同程度という高屈折率を持つ、新機能素材に変化しました。薄くて高性能なこのJAXAガラスは、各分野への応用が研究されています。
「きぼう」の実験でさらなる新機能材料の発見や創製プロセスが明らかになれば、地上での製造や実用化に向け大きく道が開けます。

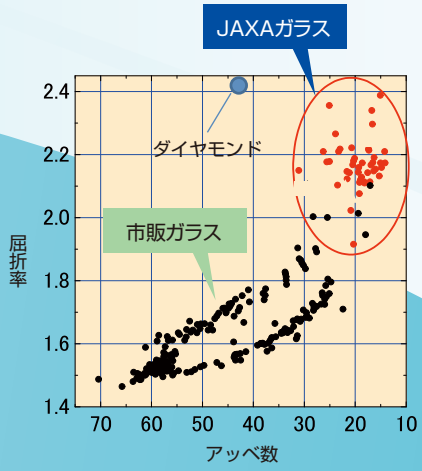
■ チタン酸バリウムの比誘電率

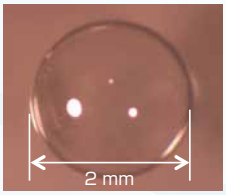


■ 地上静電浮遊炉で作製したチタン酸バリウム



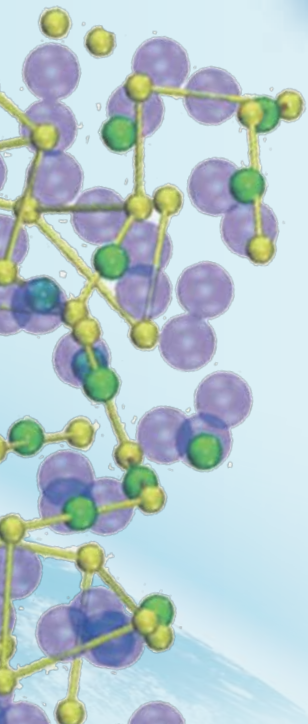
室温で10万以上という従来の30倍の巨大誘電率を持つチタン酸バリウムは、工業的に高誘電率コンデンサへの応用が期待できます。さらに、室温から70K（-203.15℃）の温度範囲で高い誘電率を保持し続けるという、通常では得られない優れた温度安定性があることがわかりました。





■ ガラスの屈折率
（赤：JAXAガラス、黒：市販のガラス）

地上のガス浮遊実験において、無容器で溶解凝固したJAXAガラスの屈折率は2.0以上に集中しています。高い屈折率を持ち光輝くダイヤモンドの屈折率2.42に匹敵する、高屈折率のガラスに変化しました。



3,000℃以上の超高温を達成できる

宇宙の静電浮遊炉が導く科学・技術

「きぼう」では、地上実験で獲得した静電浮遊技術を使って、地上では浮かせることが困難な帯電しにくい酸化物など、幅広い物質を対象に高温融体熱物性計測を行い、宇宙でしかできない実験を進めます。
さらに無容器プロセッシングによる過冷凝固から、物質の新しい特性が見出せると期待されています。

静電浮遊炉(ELF)全体

STEP 1 15個の試料が入ったホルダを装填したカートリッジをセットする。

STEP 2 直径2mm程度の試料を帯電させ、クーロン力により3対の電極間で位置制御する。

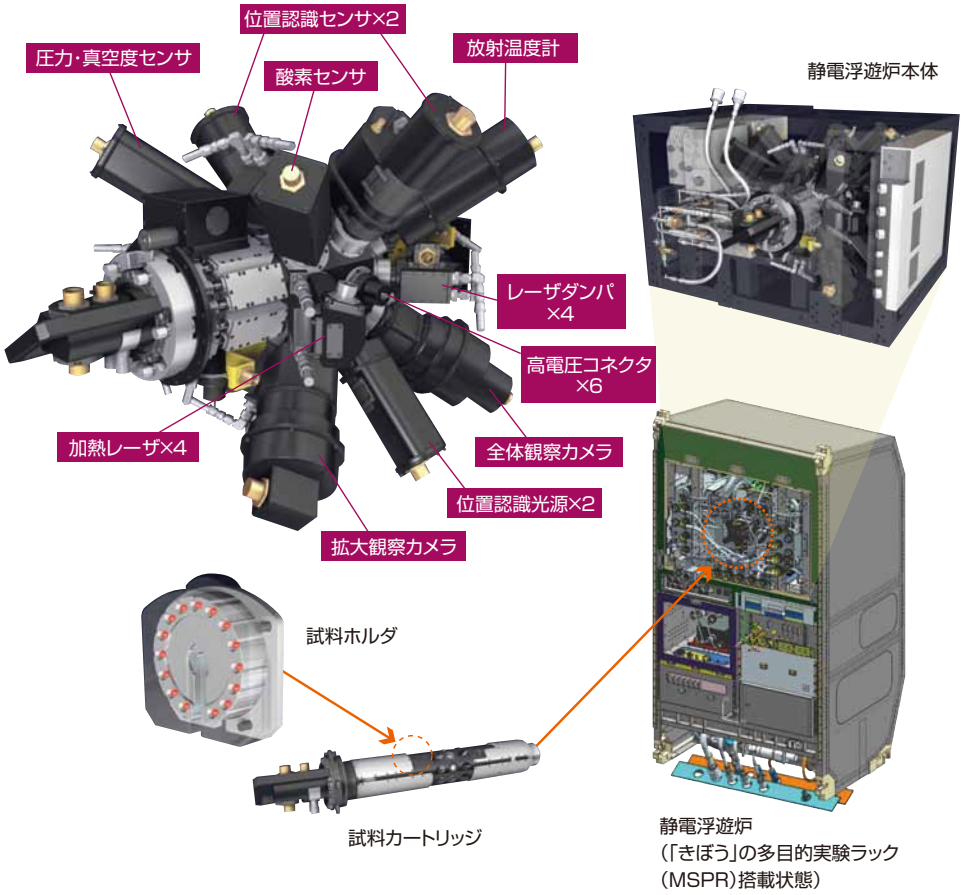
STEP 3 加熱用レーザーを照射し、試料を無容器で溶かす。

STEP 4 溶融状態の試料の密度、表面張力、粘度を計測する。

STEP 5 レーザによる加熱を止め、過冷却状態から凝固する様子を計測する。

静電浮遊炉の実験は地上から遠隔操作で進められ、高精度な測定を実施し、取得したデータは自動的に地上に伝えられます。実験後、試料ホルダはドラゴン宇宙船やソユーズ宇宙船等で地上に回収し、さらに詳細な解析が行われます。

■ 静電浮遊炉の構成



■主な仕様

項目	主な仕様等
寸　法	590×887×787mm(本体) ＋226×259×347mm(UVランプ部)
軌道上質量	約220kg
最大消費電力	約550W
加熱機能	加熱レーザ(半導体レーザ、波長980nm、最大光出力40W×4)
運用寿命	打上げより5年間
試　料	主に酸化物を対象とする。金属、合金、半導体も可能。 形状は、直径1.5～2.1mmの球状試料(試料カートリッジの交換により直径5㎜まで対応可能)
温度計測	計測範囲300℃～3000℃、計測頻度100Hz
密度計測	UV背景光を利用し、高温時に発光する試料外郭を、直径2mmにおいて140画素／半径以上で観察可能
表面張力・粘性計測	融液の共振周波数により表面張力を、振動の減衰率により粘性を計測する。 振動励起(1～600Hz)
凝固状態観察	解像度640×480ドット、フレームレート30fps、ダイナミックレンジ120dB以上
雰囲気制御	空気2気圧(酸素濃度10%)、窒素2気圧、アルゴン2気圧、真空(JEM排気系統使用)
試料位置制御	3軸制御、制御周期: 最大1kHz、位置制御精度: ±100μm以内

宇宙航空研究開発機構
Japan Aerospace Exploration Agency

有人宇宙ミッション本部
〒305-8505
茨城県つくば市千現2丁目1-1 筑波宇宙センター
TEL : 050-3362-3202　FAX : 029-868-3950

宇宙科学研究所
〒252-5210
相模原市中央区由野台3-1-1
TEL : 042-751-3911(代表)

宇宙ステーション・きぼう広報・情報センター
http://iss.jaxa.jp/index.html
宇宙科学研究所サイト
http://www.isas.jaxa.jp/
静電浮遊炉(ELF)のホームページ
http://iss.jaxa.jp/kiboexp/pm/elf/

R100 VEGETABLE OIL INK リサイクル適性Ⓐ この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。