

静電浮遊炉(ELF)を使用した高精度熱物性測定

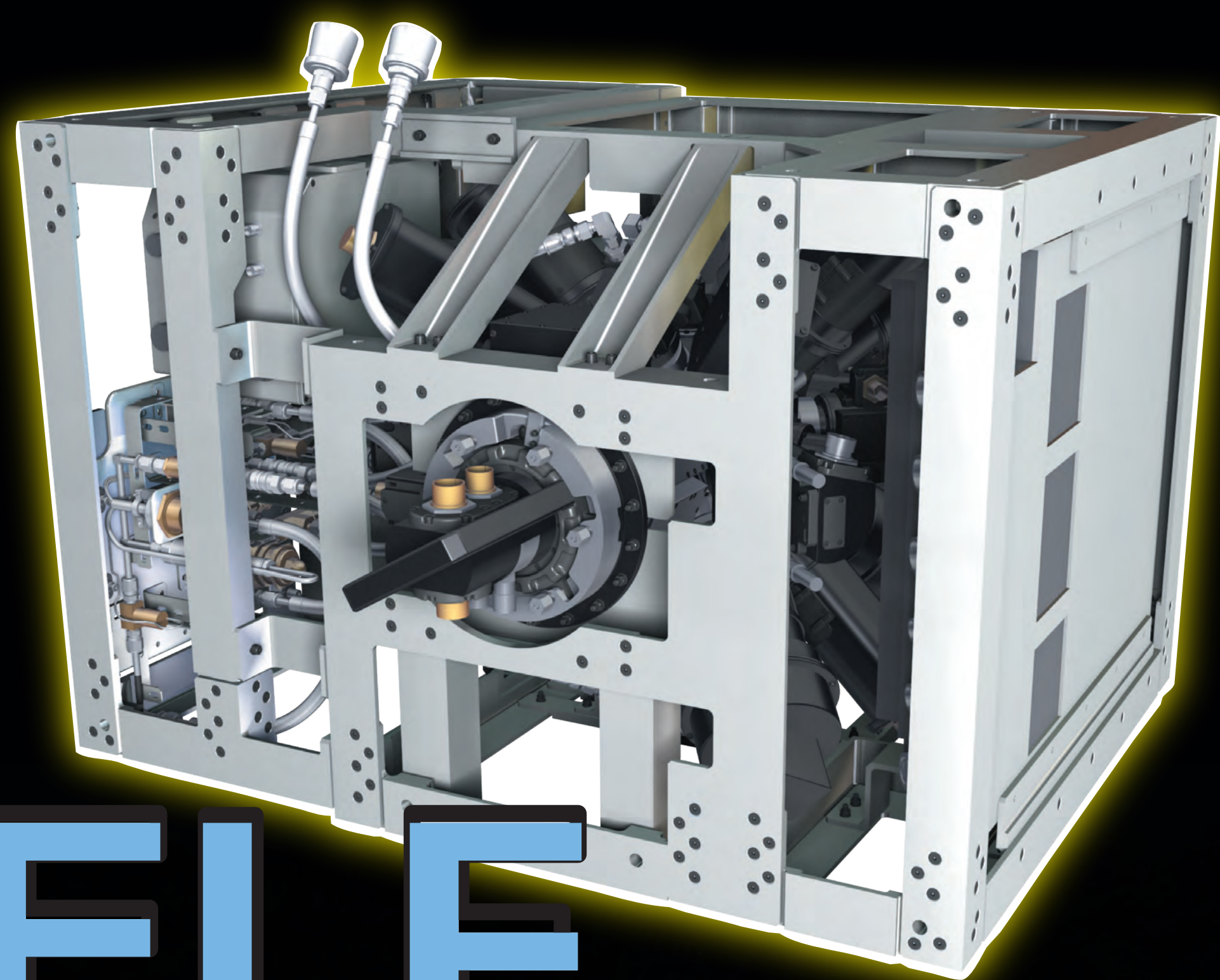


静電浮遊炉(ELF)とは

物質を空間に静電気力で浮遊させ、レーザー溶融・凝固できる装置です。

- ➡2000℃以上の高融点を持つ物質を溶融し熱物性値を計測可能
- ➡容器を使用しないため、高純度で高融点材料を合成可能
- ➡現在、国際宇宙ステーション「きぼう」日本実験内で稼働し、ユーザーを募集中

「きぼう」に設置されている
ELF装置紹介

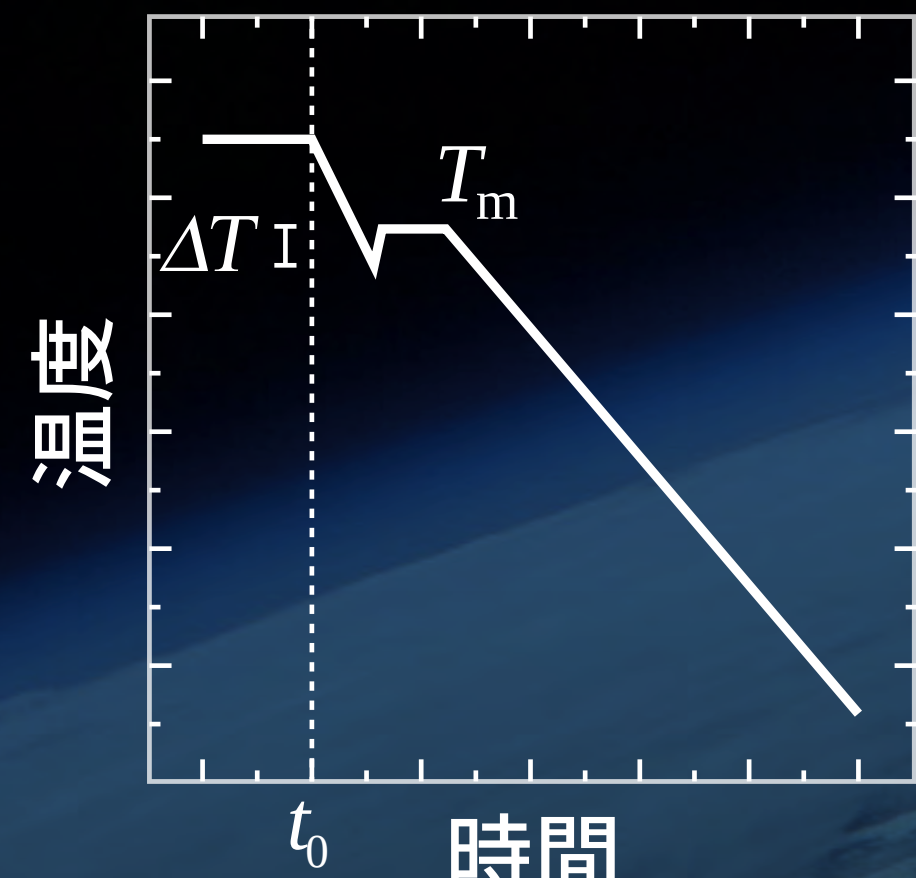
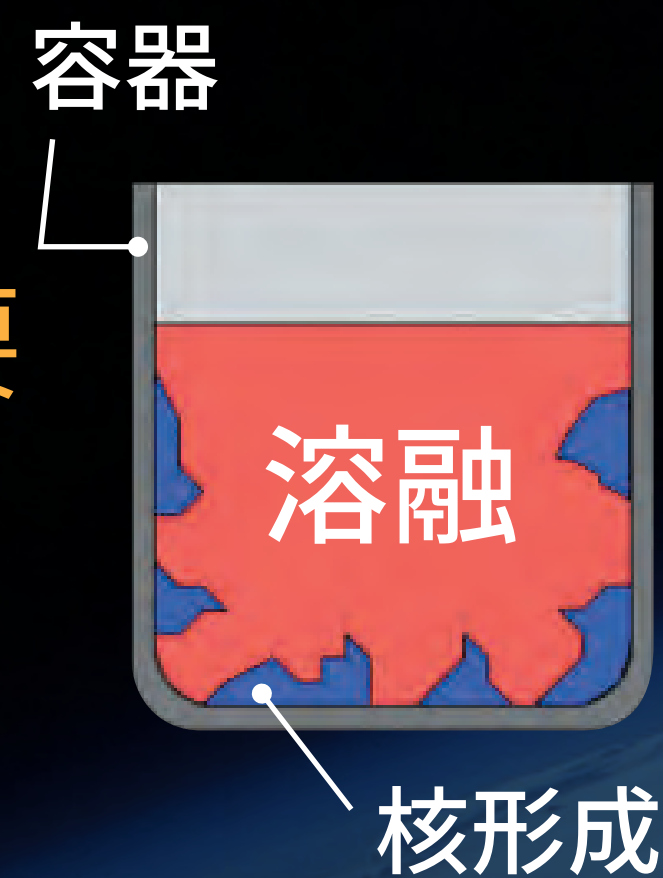


ELF
Electrostatic Levitation Furnace

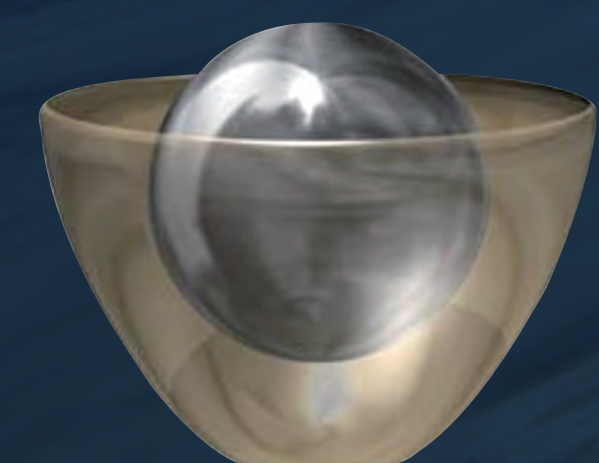
ELFの利点

- ➡液体を浮遊させるので、容器の影響を受けません。
- ➡容器からの核発生がないため、大過冷却を実現できます。

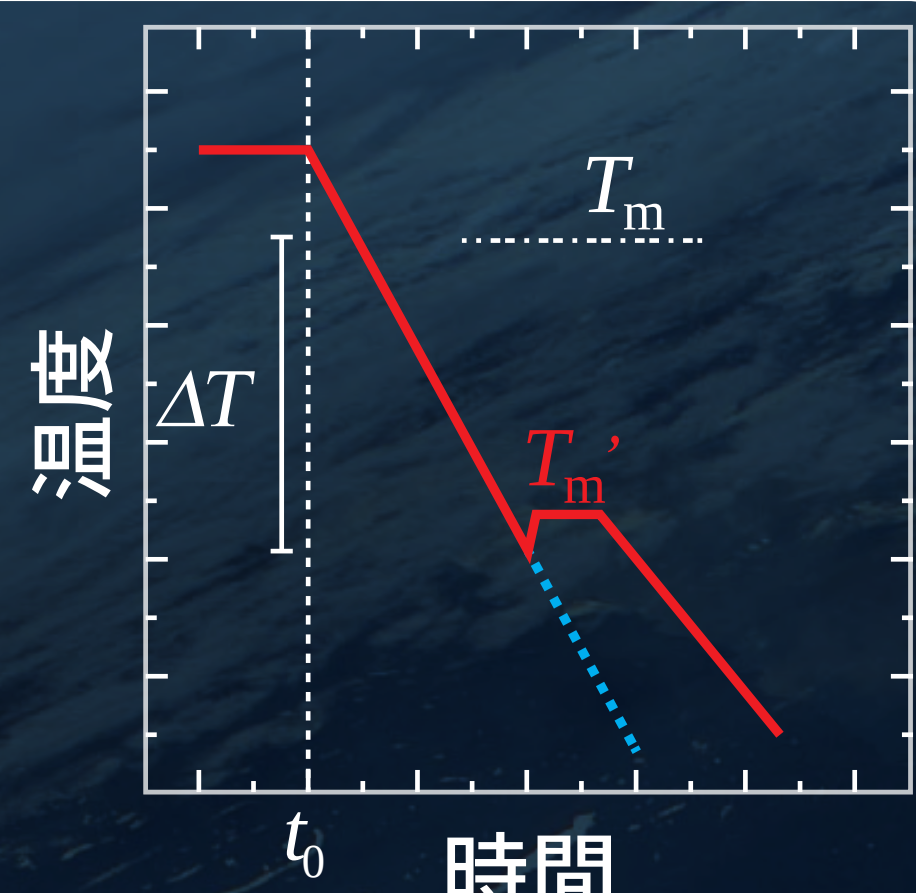
地上
容器が必要



微小重力環境
容器を必要としない



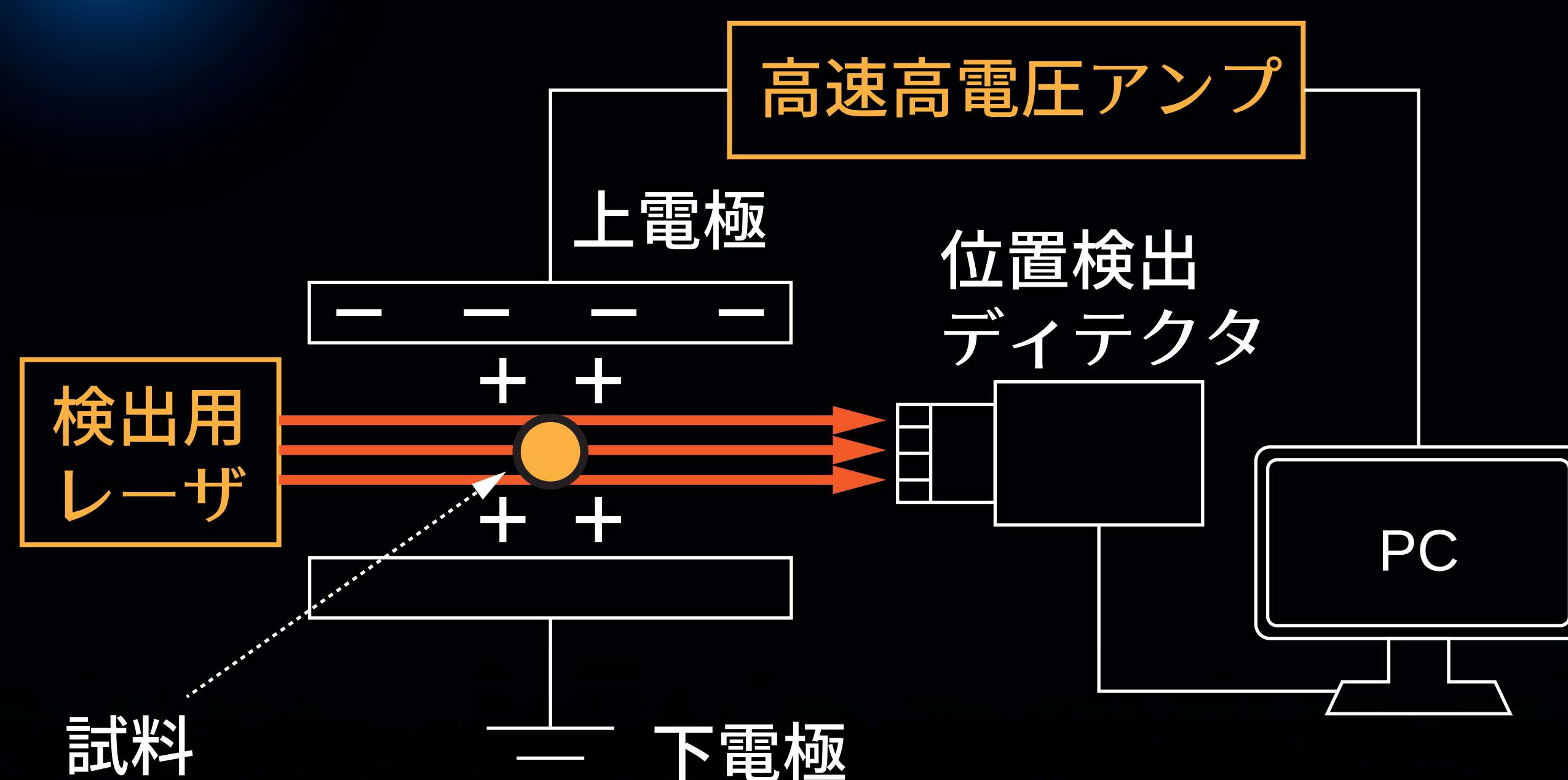
溶融



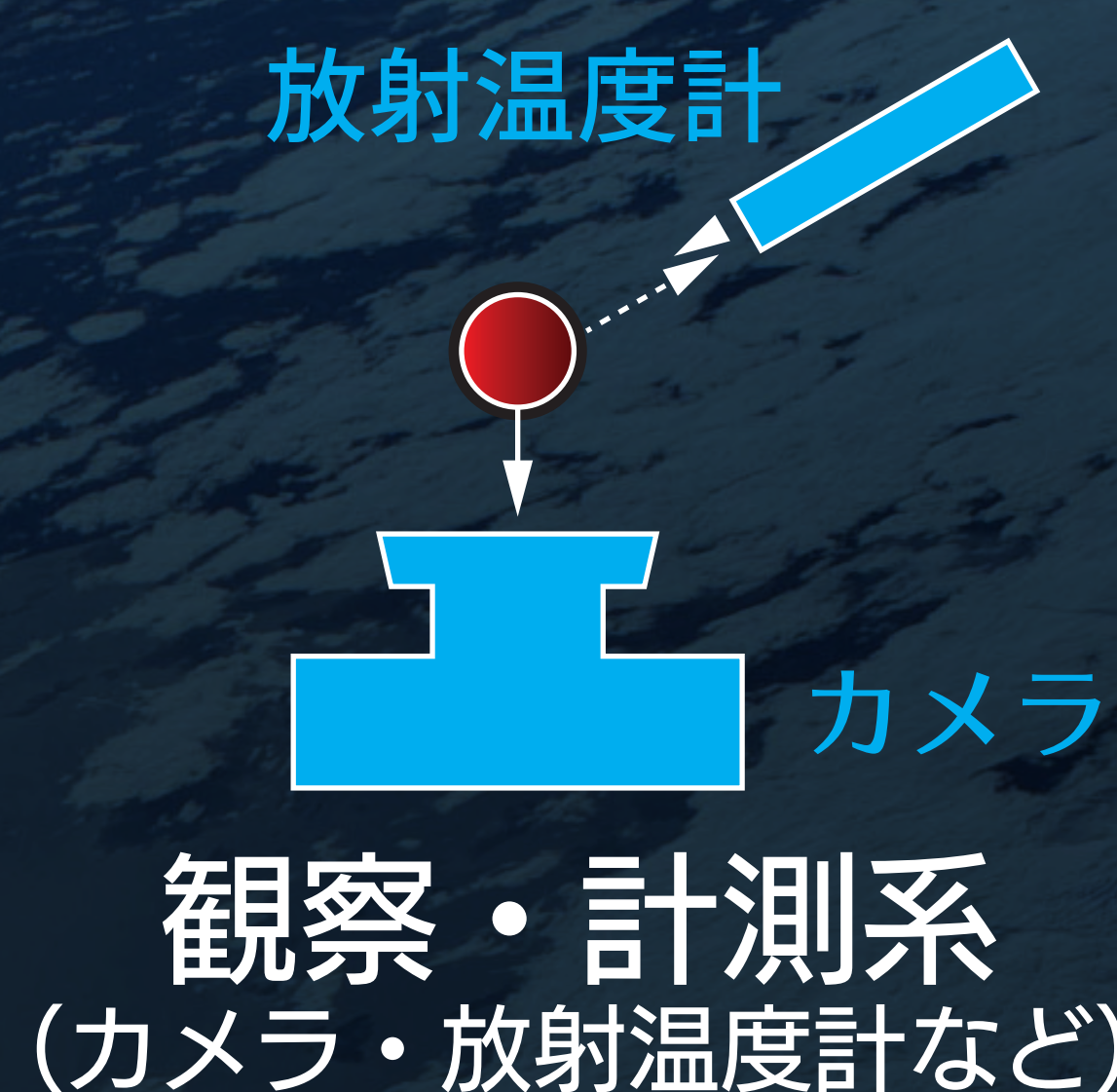
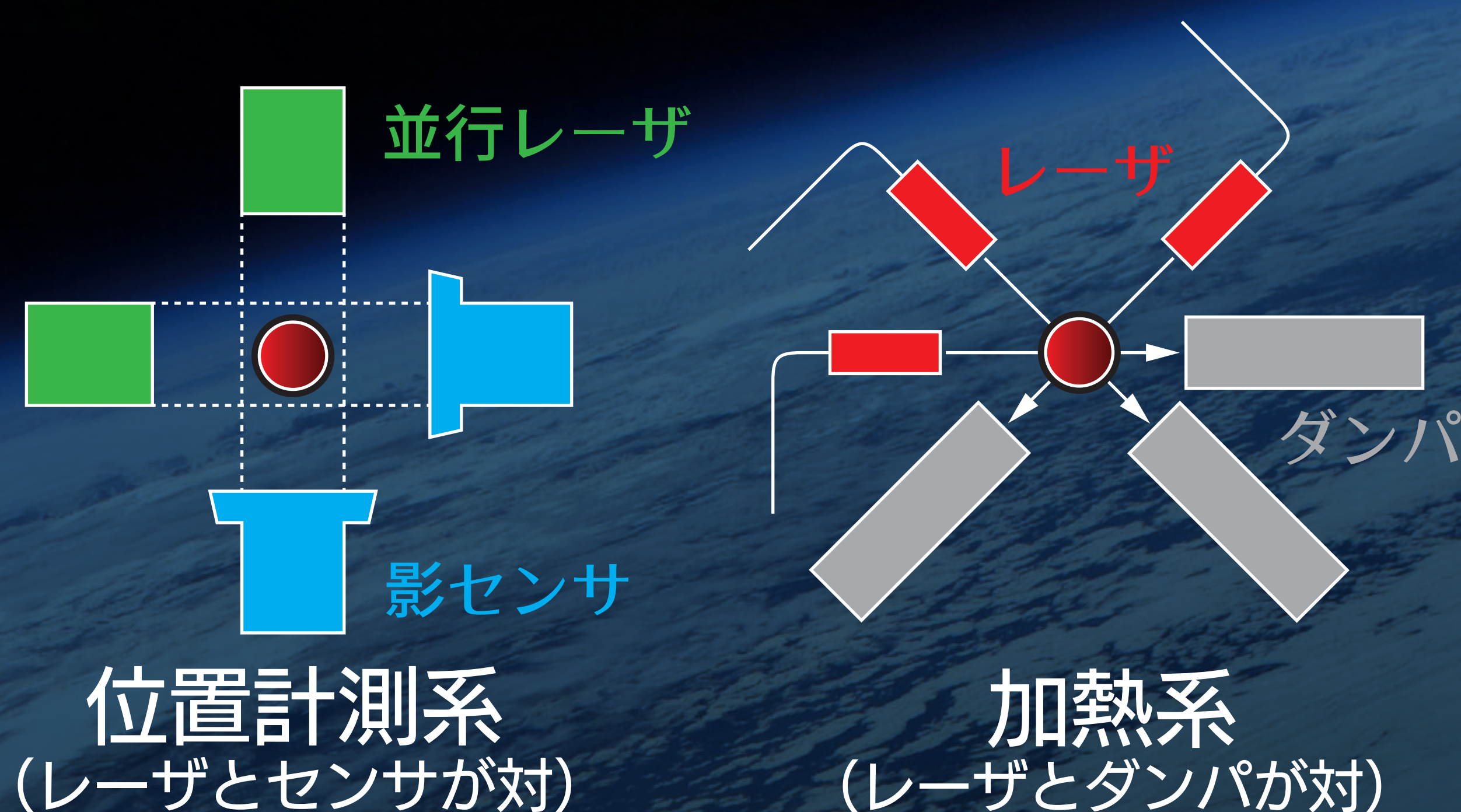
取り扱い可能な試料

試料種	金属(元素)	合金	酸化物半導体など
例	W, Mo, Ta, Nb など	アルミ合金 チタン合金 鉄系合金 など	Al_2O_3 , Er_2O_3 , Ho_2O_3 など
1Gでの浮遊溶融	○	△	×
微小重力浮遊溶融	○	○	○
備考		電荷量が少ないため 地上で浮遊させるのが困難	

位置制御の原理



- 試料の位置を高精度に検出し、電極間の電圧制御をすることで自在に試料を移動、静止することができます。
- レーザー出力を制御することで試料を溶融・凝固することができます。
- 非接触の検出器で、温度や物性を測定することができます。

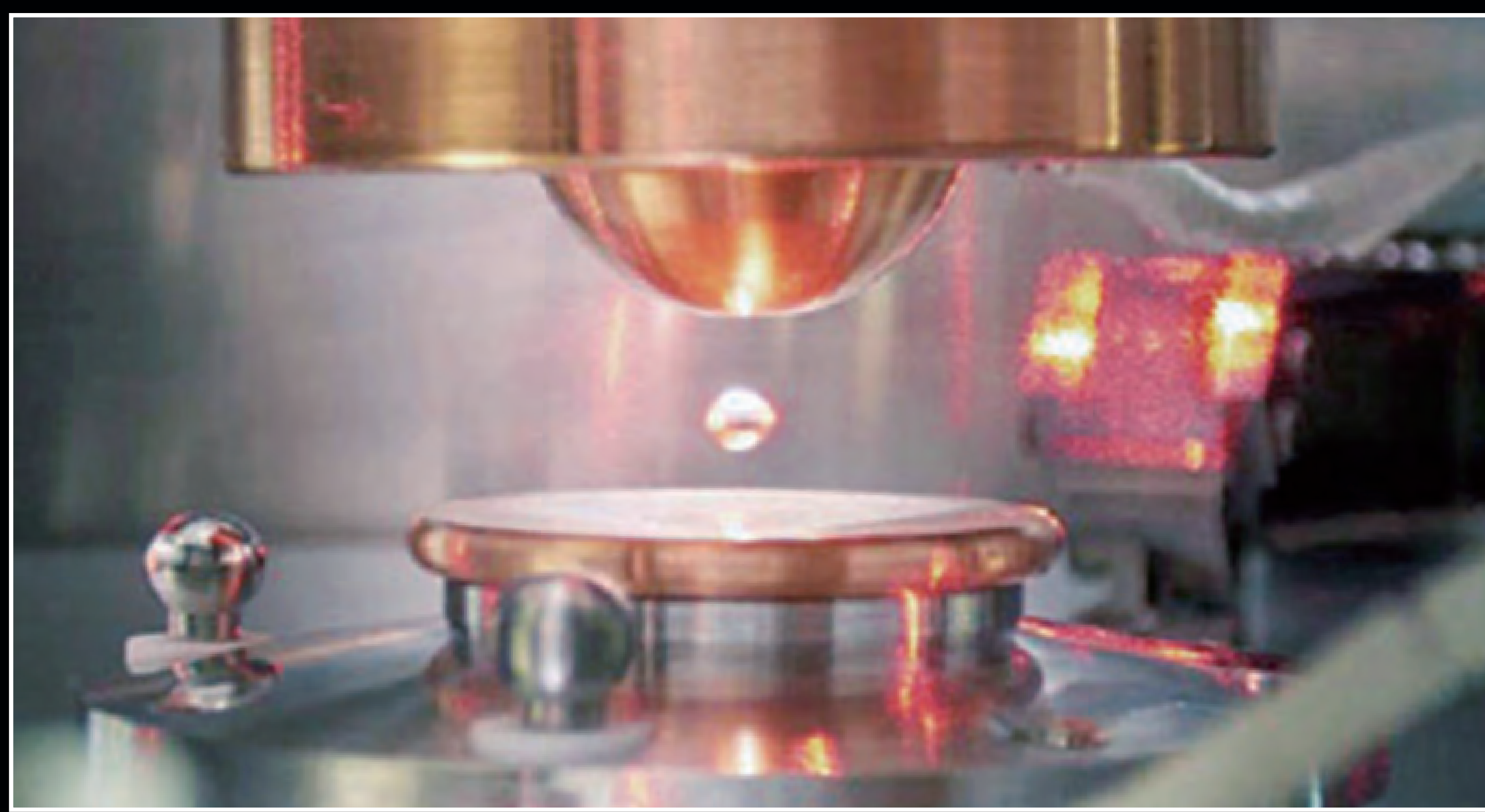


静電浮遊炉(ELF)を使用した高精度熱物性測定



密度の計測

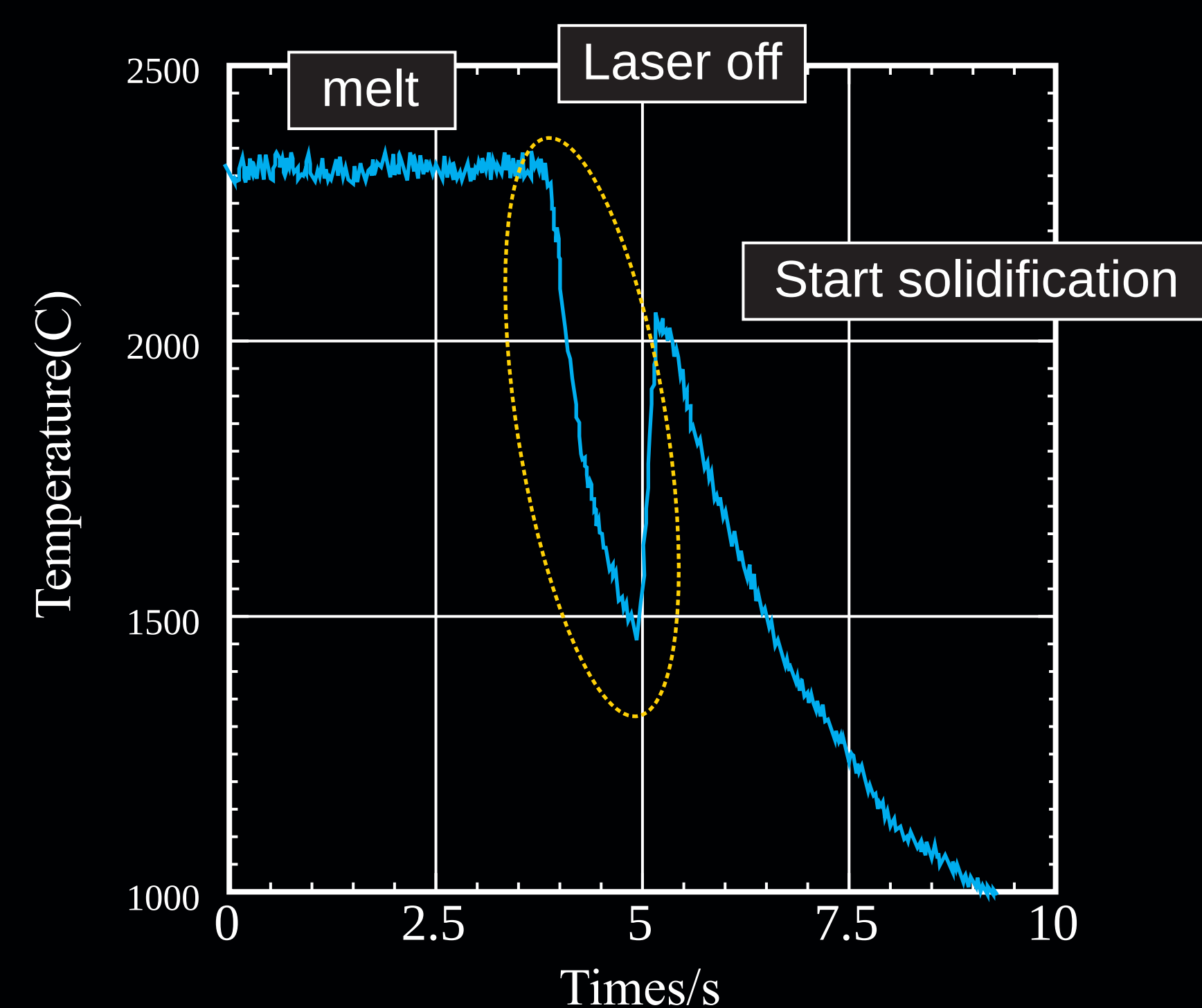
1. 試料をレーザーで加熱して溶かします。
2. 試料はレーザー停止することで冷却されます。
3. 各温度での試料の画像を取得します。
体積は画像解析により測定されます。
4. 試料はELFから取り出され、
地上に回収されます。
5. 質量は地上で測定されます。
6. 密度は右の式から求められます。



$$\rho = \frac{m}{V}$$

ρ : 密度
 m : 質量
 V : 体積

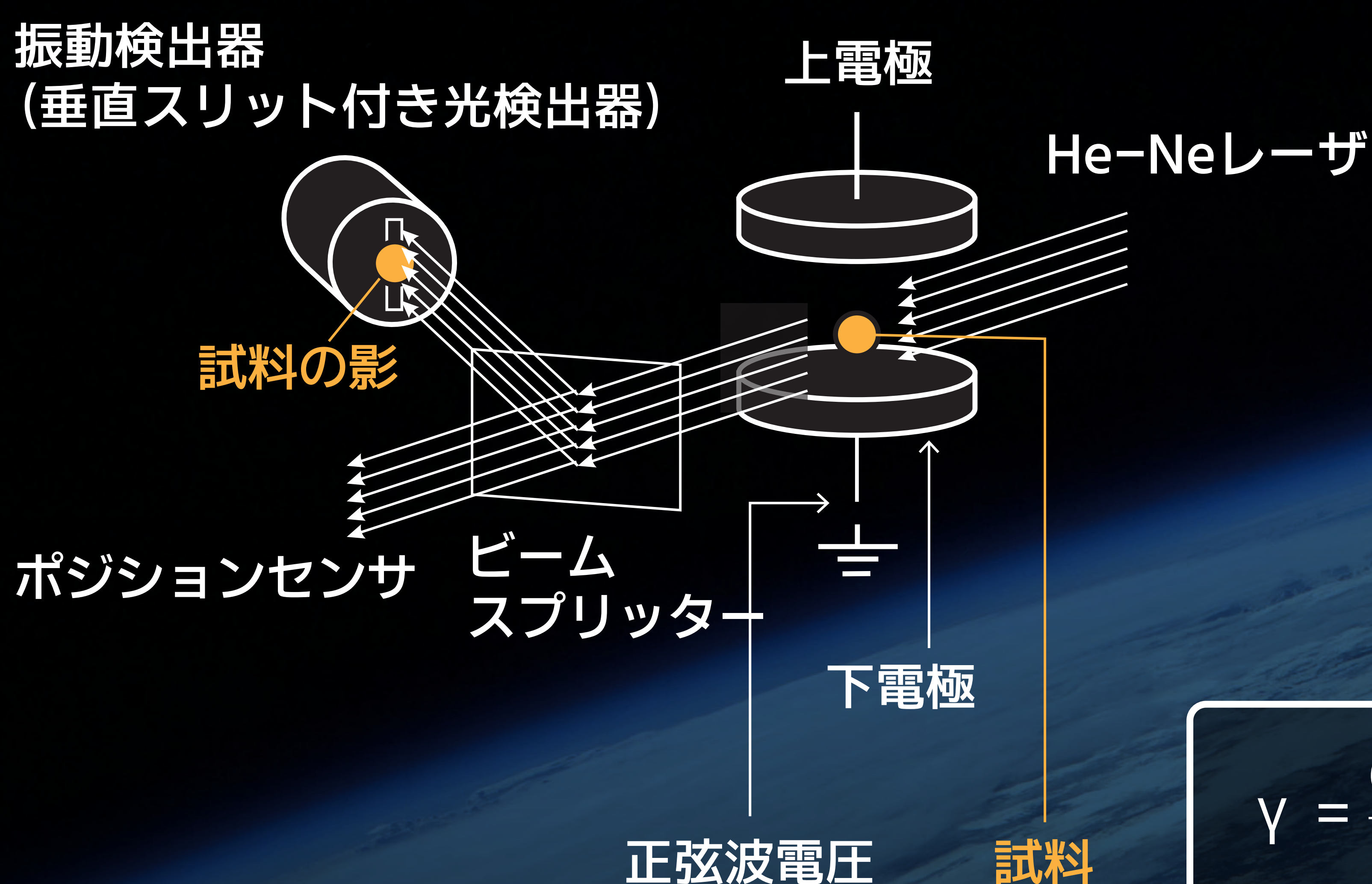
溶融酸化アルミニウム



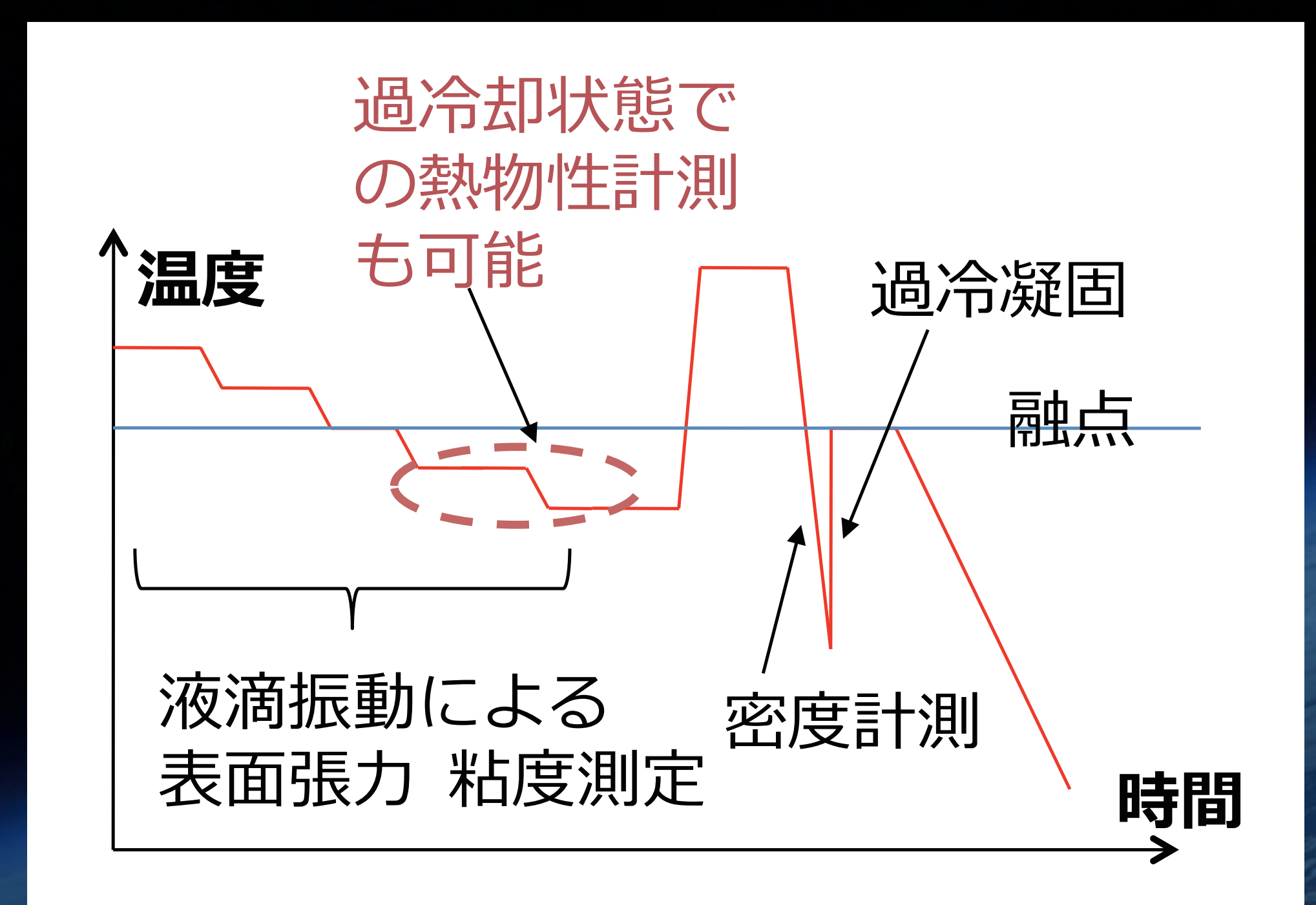
溶融酸化アルミニウムの温度プロファイル

表面張力と粘度の計測

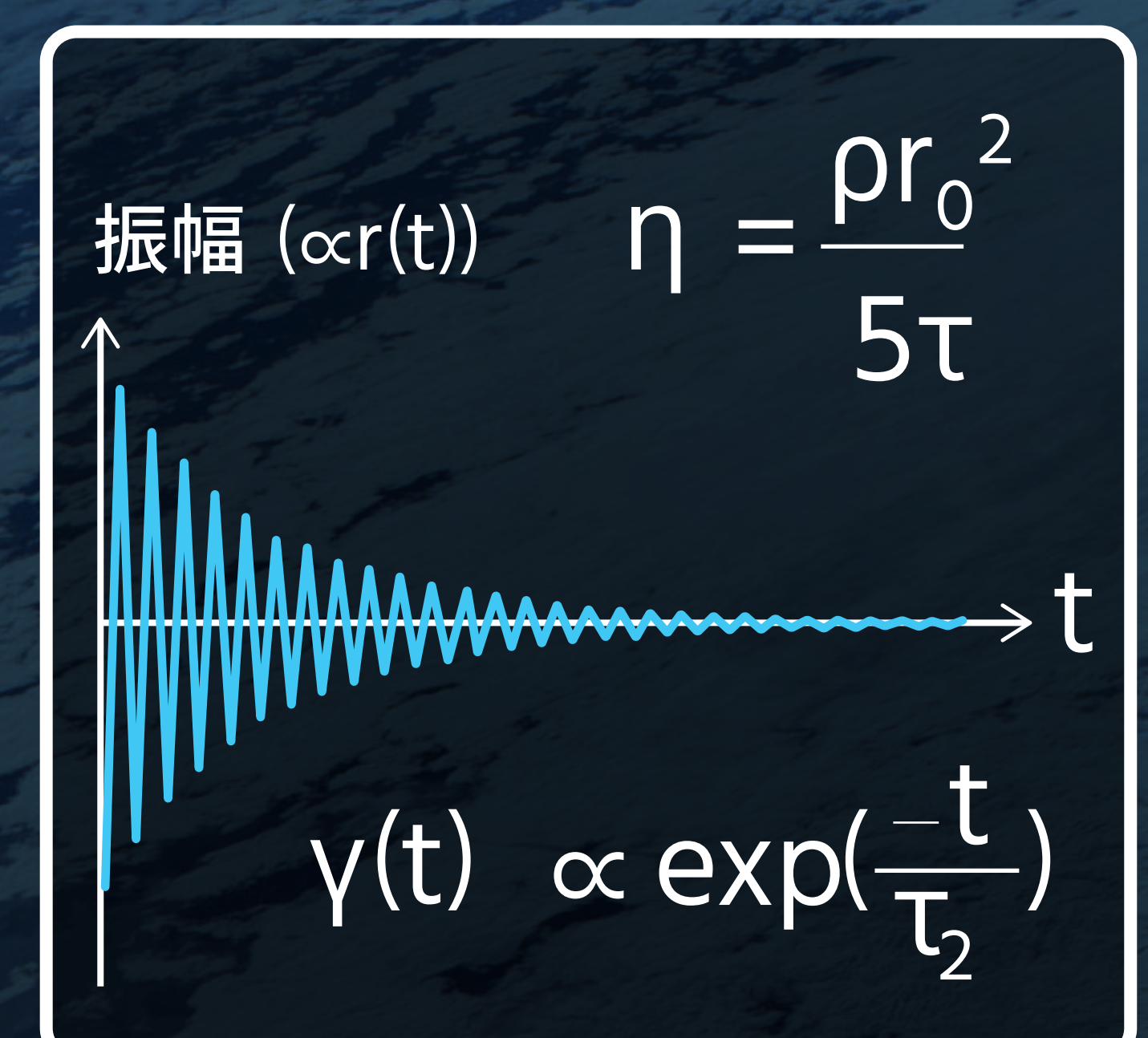
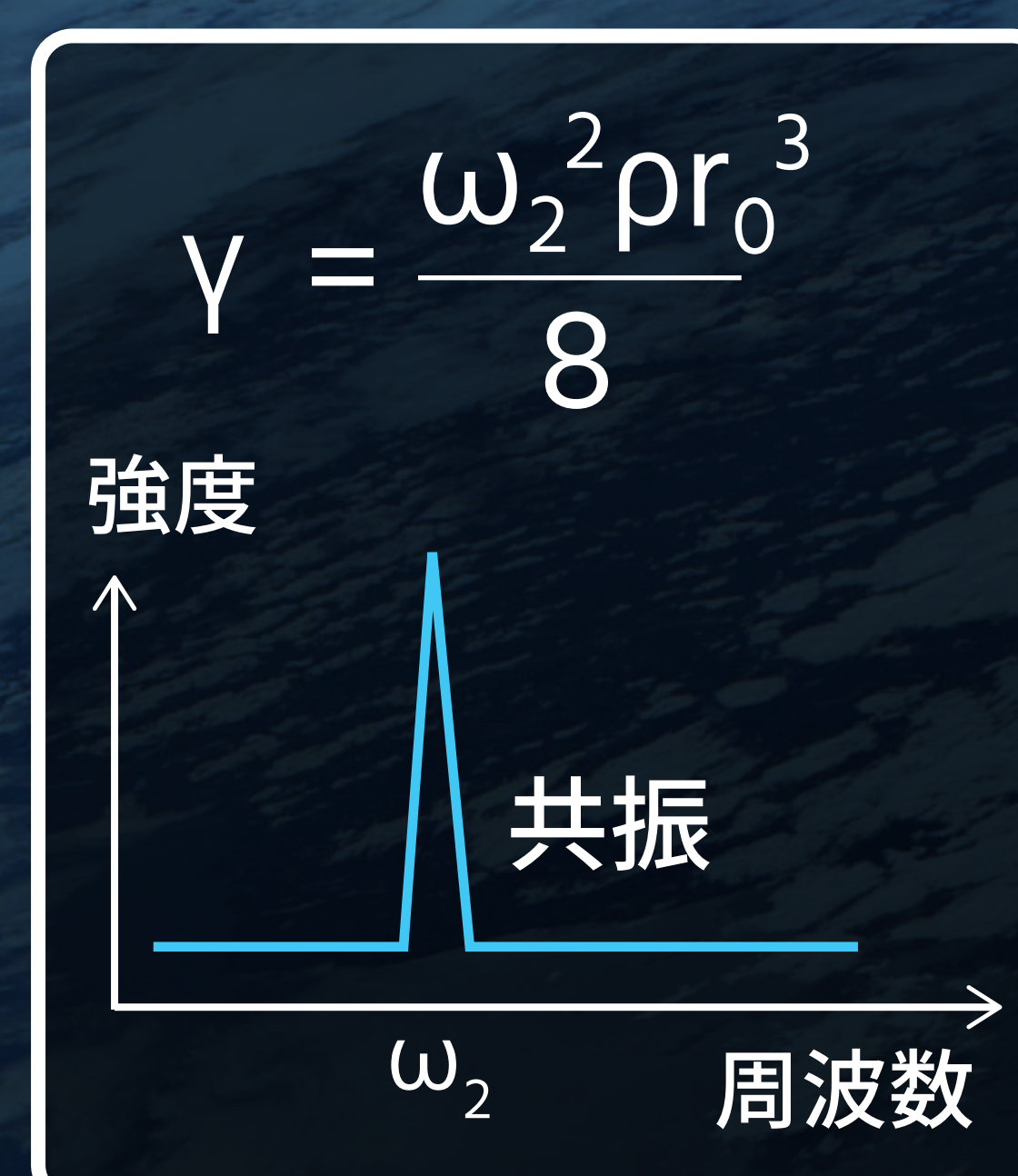
液滴の振動から表面張力と粘度を測定できます



ω_2 : 共振周波数 η : 粘度
 τ : 減衰時間 γ : 表面張力
 r_0 : 試料の半径



溶融～凝固まで30分程度で
広い温度範囲の熱物性値が測定可



静電浮遊炉(ELF)を使用した高精度熱物性測定



地上での研究実績～拡がる将来の可能性

高温熱物性を精緻に取得 ～数値シミュレーションの精度を向上



➤ AIST



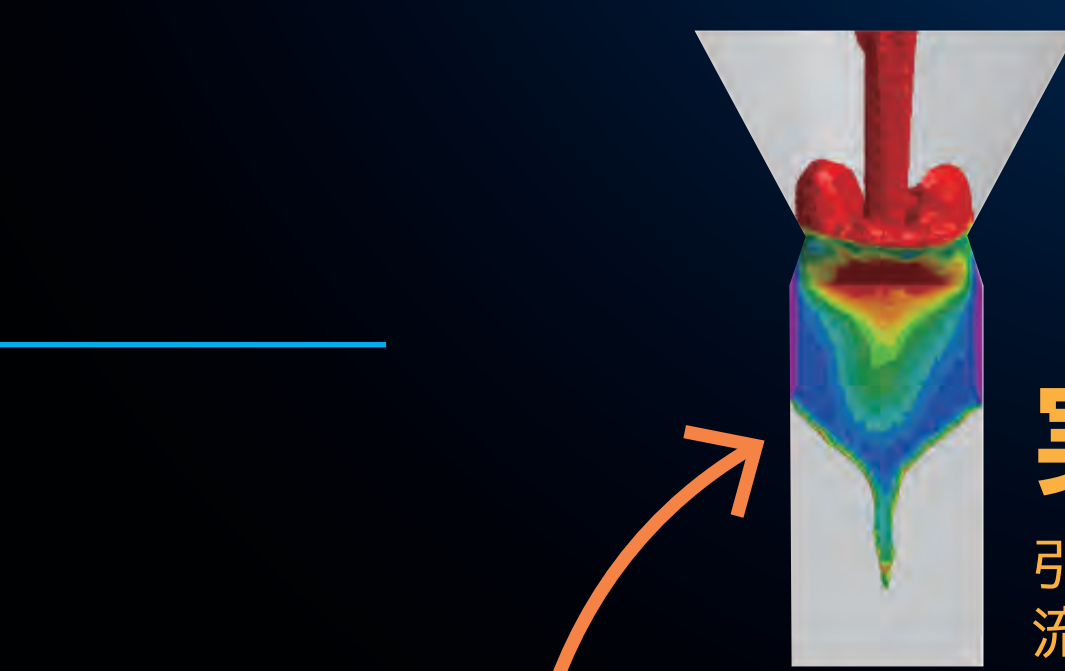
➤ NIMS

地上研究により獲得した2000℃以上の材料の熱物性データは、AISTの『分散型熱物性データベース』やNIMS『高温熱物性データベース』にて公開しています。

また、これまで推測に頼らざるを得なかった高温融体の熱物性データを実測できることにより、鋳造、溶接など液体状態を用いるシミュレーションの精度・信頼性を向上させます。パラメータ絞りこみに必要な実験数の削減や製造プロセスの改善に貢献し、開発スピード向上や開発コストの抑制が期待されます。

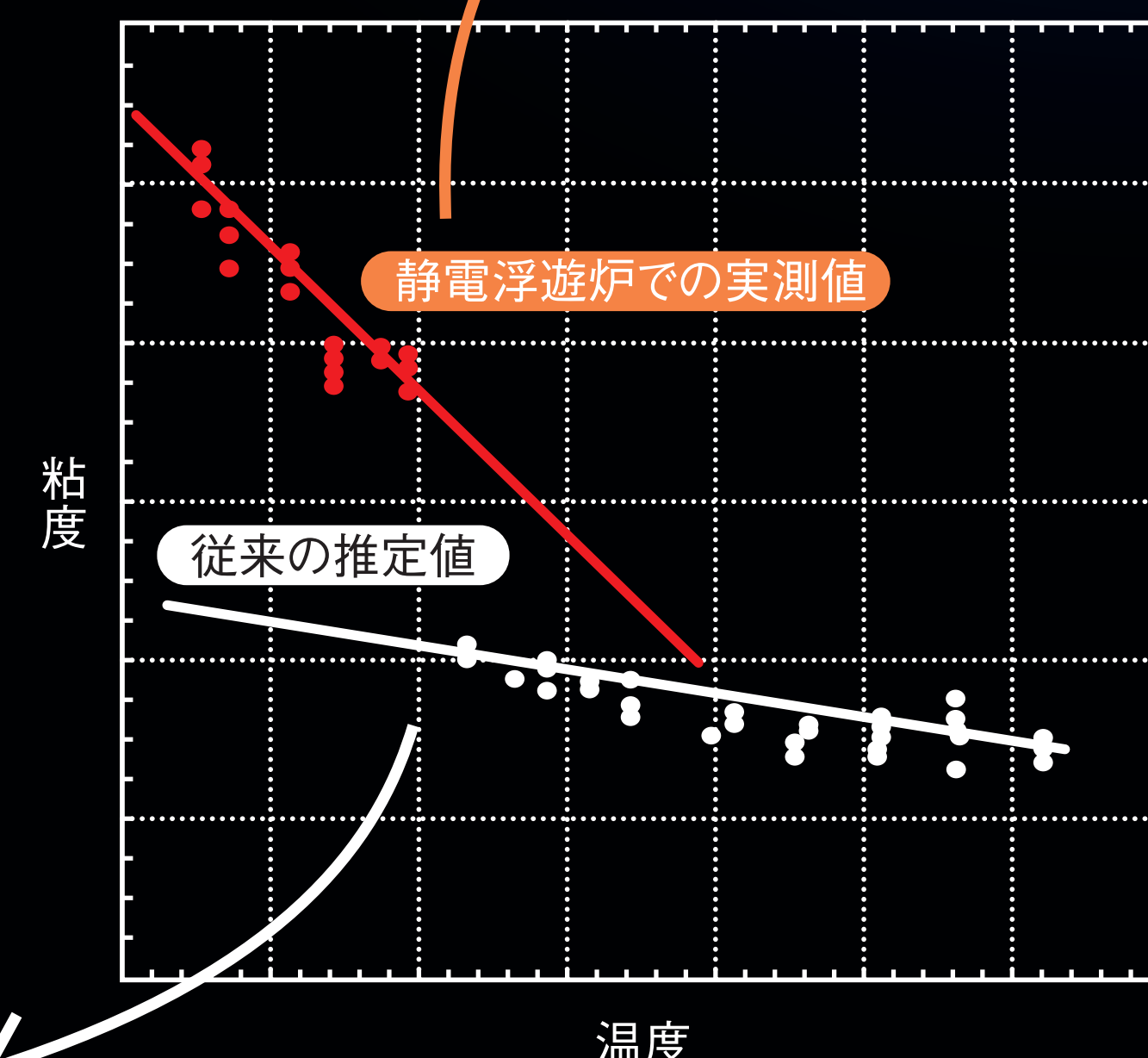
マテリアルズ・インフォマティクス協力

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。



実測値

引け巣が現れ、流れが大きく変化



推測値

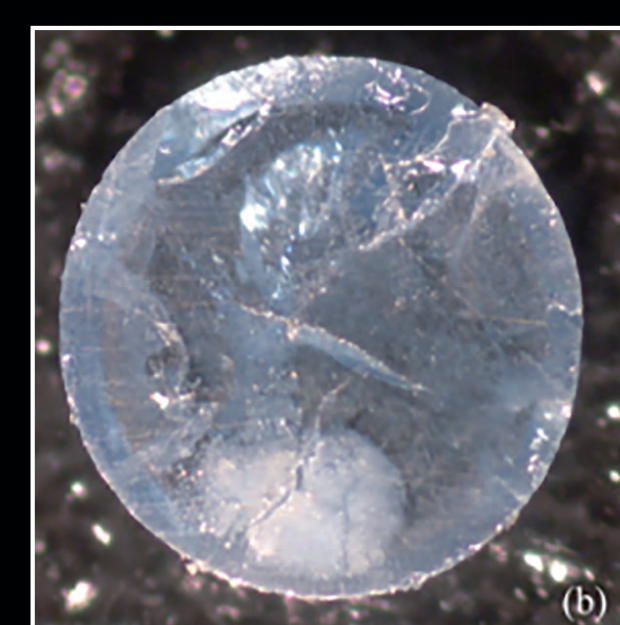
引け巣は現れていない

実測値を鋳造シミュレーションに入力したことにより正確な流れの解析結果が求められました。ブレード形状を解析してみたところ、流れに起因する欠陥(湯まわり不良)が突き止められ鋳造前の対策検討に貢献しました。

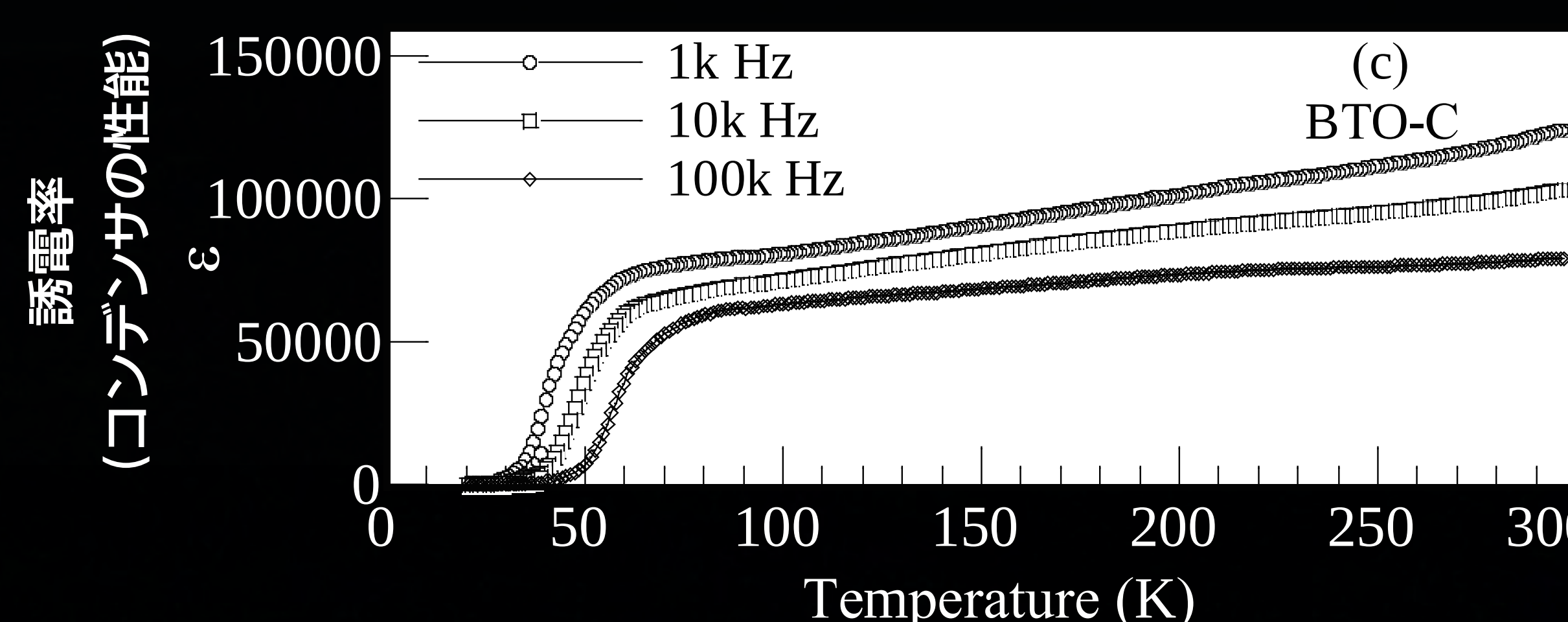
過冷凝固産物 ～新機能材料の発見/創製プロセスの解明

溶融したチタン酸バリウム (BaTiO_3) を急冷凝固させたところ従来の30倍の誘電率と優れた温度安定性を示しました。これを使った超小型コンデンサへの応用が進められています。

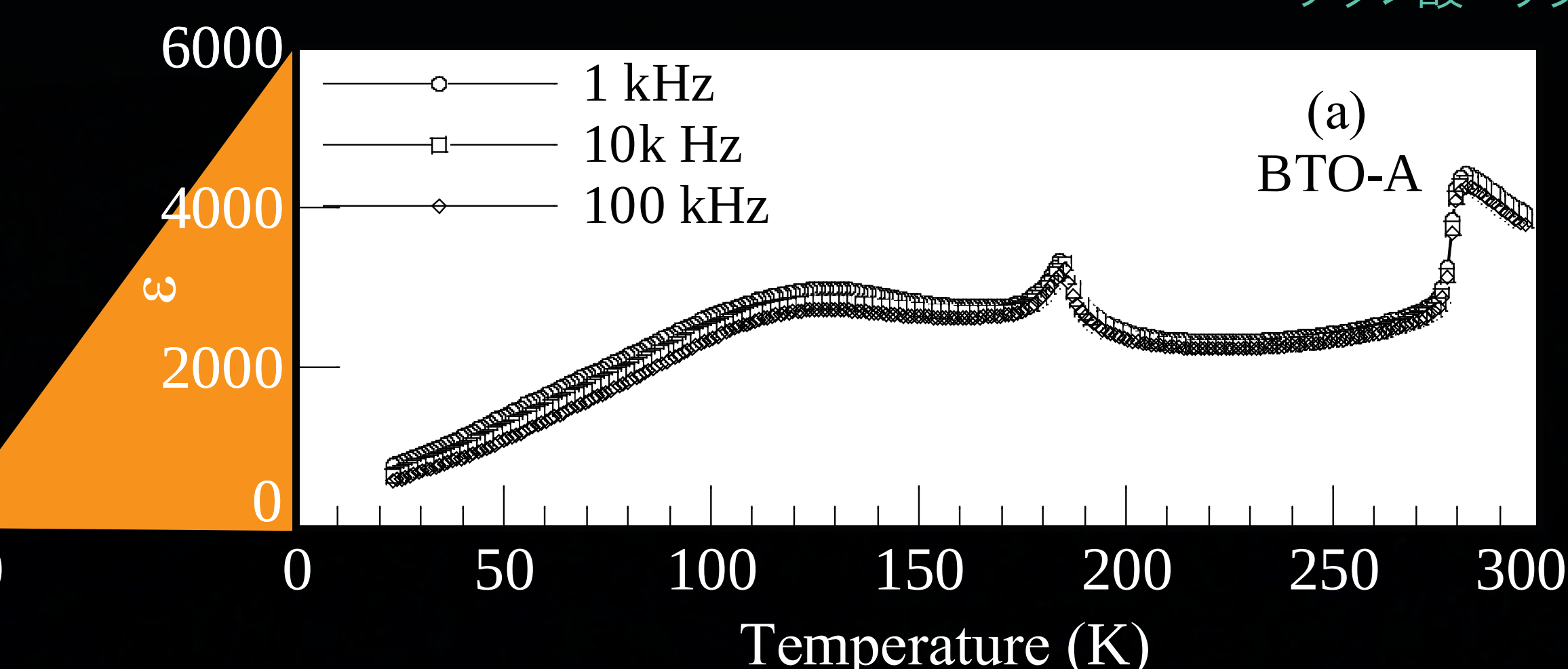
通常の凝固では得られない準安定相や微細組織が実現できれば、革新的な工業成果の萌芽となります。また、発見された新機能材料の創製プロセスを解明できれば、地上での製造、実用化することも可能です。



巨大誘電率を持つ
チタン酸バリウム



静電浮遊炉で作製した BaTiO_3 コンデンサ



一般に使われている BaTiO_3 コンデンサ

溶融状態の高融点酸化物の密度を計測しました

酸化アルミニウム

Status of the Electrostatic Levitation Furnace (ELF) in the ISS-KIBO, *Microgravity Sci. Technol.* 30, 643(2018).

希土類酸化物

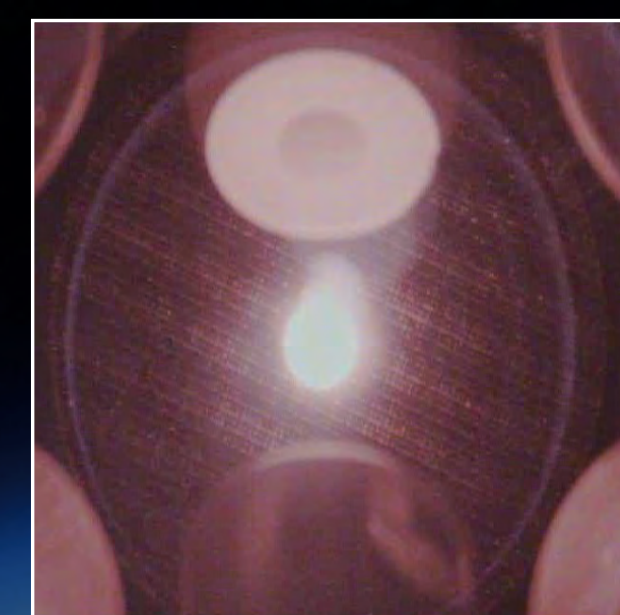
Densities of Liquid Lanthanoid Sesquioxides Measured with the Electrostatic Levitation Furnace in the ISS, *J. Amer. Ceram. Soc.*, 104, 2913 (2021).



➤ 酸化アルミニウム論文

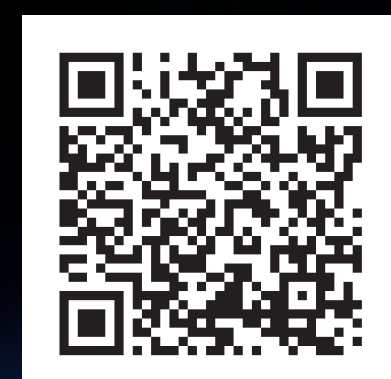


➤ 希土類酸化物論文



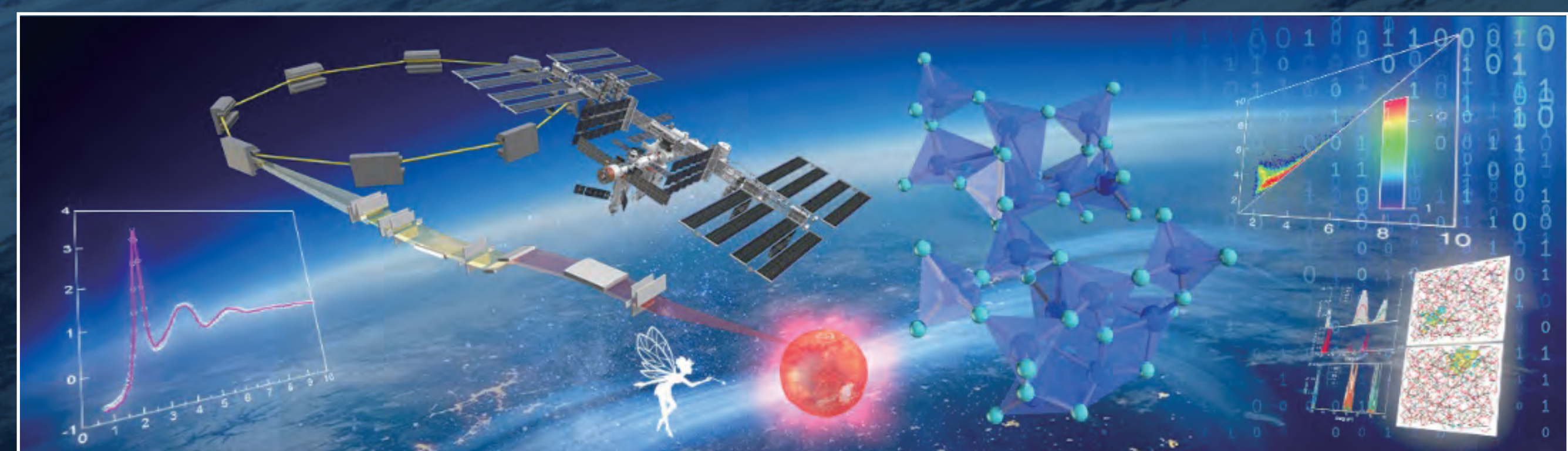
6つの電極間で浮遊する
溶融酸化アルミニウム

ELFの物性データと地上実験の連携により 超高温酸化物液体が持つ特異構造を発見しました



JAXAプレスリリース

Very sharp diffraction peak in non-glass forming liquid with the formation of distorted tetraclusters, *NPG Asia Materials* 12, 43 (2020)



実験状況と今後の予定

- 現在、国内外の大学、企業の研究者にご利用をいただいております。ガラスや鉄鋼精製する際のスラグ等の熱物性の取得が進行中です。
- 宇宙デブリ除去の研究や、原発事故時の炉心溶融データ取得等、新たな視点からの利用も進められています。
- 引き続き、国内外、企業、大学問わず、幅広くユーザーを募集しています。