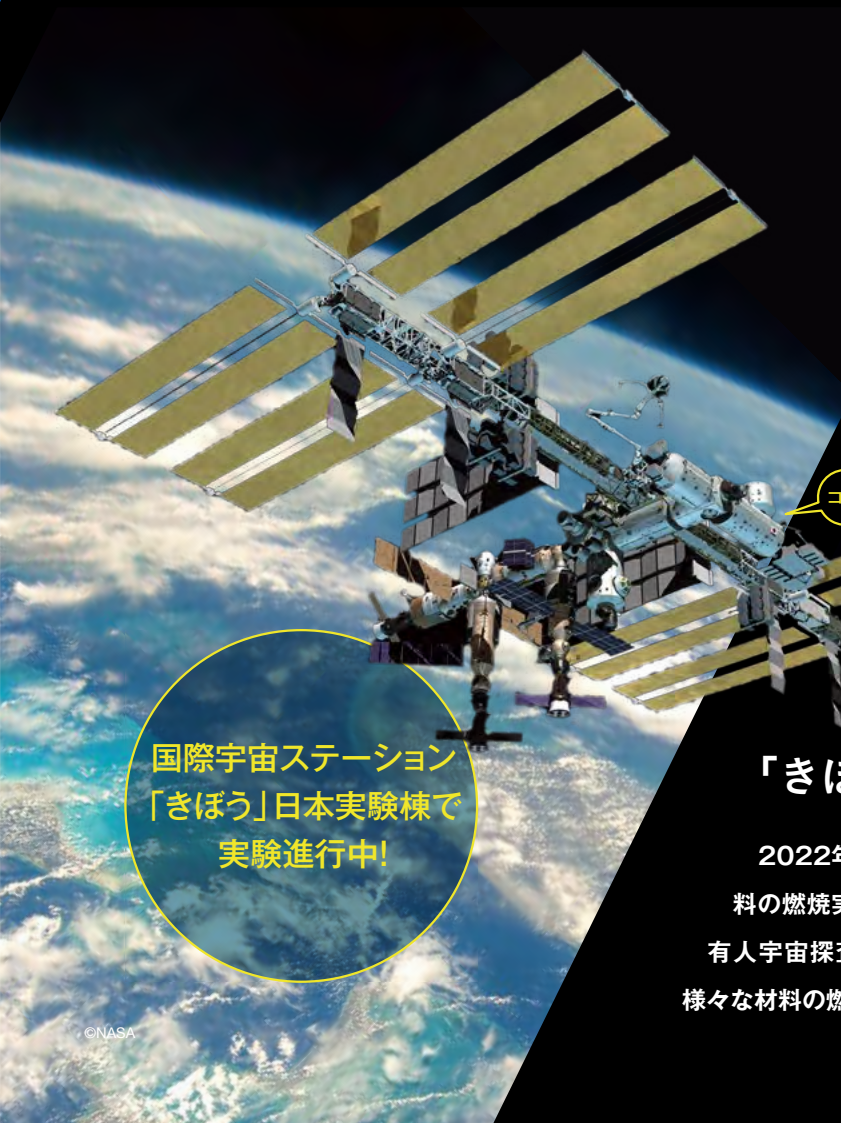


固体燃焼実験装置
Solid Combustion Experiment Module

SCEM



国際宇宙ステーション
「きぼう」日本実験棟で
実験進行中!

「きぼう」で始まる、有人月探査への貢献

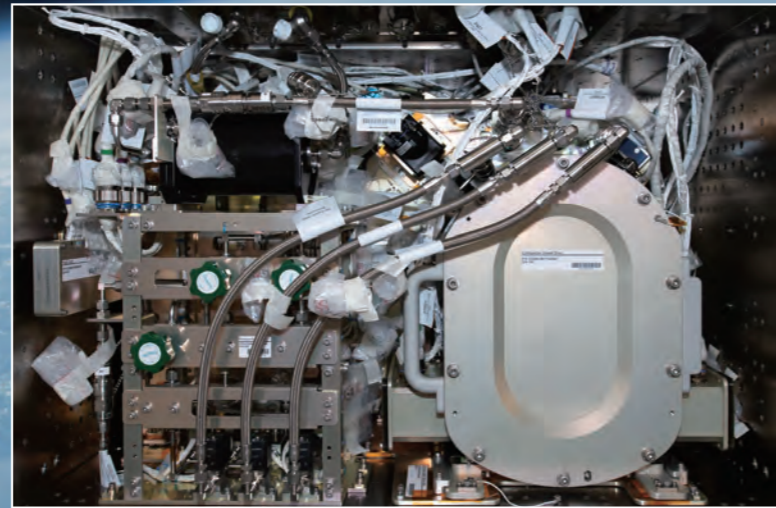
2022年5月19日、固体燃焼実験装置 (SCEM) による固体材料の燃焼実験を「きぼう」日本実験棟で開始しました。今後の有人宇宙探査等における火災安全性向上への貢献に向け、様々な材料の燃焼実験を予定しています。

重力により変化する材料の燃焼特性を 解明・実証します

宇宙船内でのろうそくの炎の映像を見たことがありますか？

燃焼現象は重力による浮力対流の影響を強く受けるため、地上と宇宙では大きな差異が生じます。また、宇宙船内での火災防止に深く関係する材料の燃焼性についても、地上の常識はそのまま通用しません。

国際宇宙ステーション (ISS) の「きぼう」日本実験棟には、微小重力環境での様々な固体材料の燃焼特性を詳しく調べることでできる実験装置があります。



「きぼう」船内に設置された固体燃焼実験装置 (SCEM)
©JAXA/NASA

1 宇宙で使用する材料は、燃えにくいことが必要です

ISSのような有人宇宙船内は逃げ場のない閉鎖環境であり、火災は最も避けるべき危険事象の一つです。そのため、使用する材料は一定以上の難燃性を持つことが求められます。

これまでは、NASAが定めた方法に則って地上で材料の可燃性評価試験を行い、その結果により宇宙船内での使用の可否を決定してきました。



NASA基準による材料可燃性評価試験の様子

2 宇宙の方が燃えやすくなる場合もある？

地上での落下実験施設を用いた短時間微小重力環境での実験やこれまでにスペースシャトル等で行われた宇宙実験の結果により、材料の燃焼性は微小重力環境 (μG) の方が地上の重力環境 (1G) よりも高くなる場合があることが分かってきました。つまり、地上での燃焼試験で合格した材料でも、宇宙船内の μG 環境での難燃性を必ずしも保証できない可能性があるのです。

また、日本も参加するアルテミス計画では月面での有人宇宙探査を目指していますが、月面の $1/6\text{G}$ 環境では、1Gや μG と比較して材料は更に燃えやすくなる可能性が示唆されています。このため、重力の影響を考慮した材料の燃焼性評価手法の確立が求められています。

3 材料の燃焼性を正しく評価するカギは、「気流」

地上では、重力に応じて誘起される $30\sim 40\text{ cm/s}$ 程度の浮力対流が火炎近傍に生じます。一方、 μG 環境の宇宙船内では浮力対流は生じませんが、空調等のために非常に低速 (数 cm/s 程度) の気流が存在します。材料の燃焼性は、周囲の流れの影響を強く受けることが分かっています。しかし、地上では浮力対流が障害となり、宇宙船内のような非常に低速の気流中での材料の燃焼を観察できません。

そこでJAXAは、宇宙船内特有の静止または低周囲流速条件での材料の燃焼実験を行うため、固体燃焼実験装置 (Solid Combustion Experiment Module: SCEM) を開発しました。

▼ JAXAが開発した「固体燃焼実験装置 (SCEM)」を使えば…

地上では評価することが難しい、静止雰囲気や非常に低速の周囲流中における材料の燃焼挙動の観察や、着火・火炎燃え拡がり・消炎に関する燃焼特性の定量的データを、雰囲気圧力、酸素濃度、周囲流速を変えて繰り返し取得することができます。

▼ こんなデータが取得できます

「きぼう」での宇宙実験では、宇宙船内環境を模擬した条件下において、以下のような実験データを取得できます。

- 材料上を燃え拡がる火炎の位置・形状、材料の表面温度変化
- 材料上の火炎の燃え拡がりが維持される限界酸素濃度およびその周囲流速・雰囲気圧力依存性
- 被覆電線の自着火が起こる限界電流値および着火遅れ時間
- 熱源により加熱された際の材料の熱分解・発煙特性

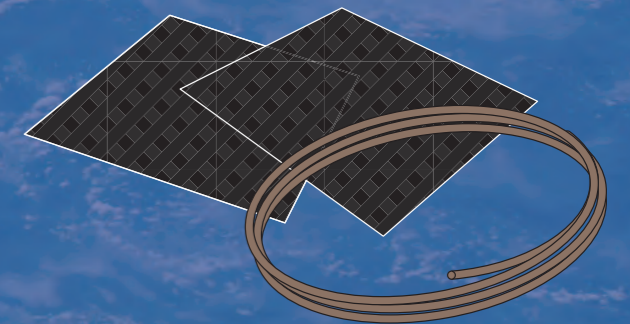
▼ 宇宙で目指すこと

浮力対流を抑制し、宇宙船内を模擬した環境での固体材料の燃焼特性データの取得を通じ、材料の燃焼性に対する重力の影響に関する科学的成果の創出を目指します。また、微小重力環境や月面のような低重力環境での材料の燃焼性を地上で評価する技術の開発や、宇宙で使用予定である材料の難燃性を軌道上実証することにも活用できます。

4 期待される成果

▼ 新たな可燃性評価手法の確立による 多様な材料の利用拡大

NASA基準に基づく現在の可燃性試験の実施は手間とお金がかかるため、新材料の利用におけるハードルとなっています。JAXAでは、重力の影響を適切に考慮しつつ、且つ現在よりも安価に可燃性評価を行うための新手法の開発を進めています。新手法の国際的な活用を通じ、有人宇宙活動における多様な材料の利用拡大が期待されます。



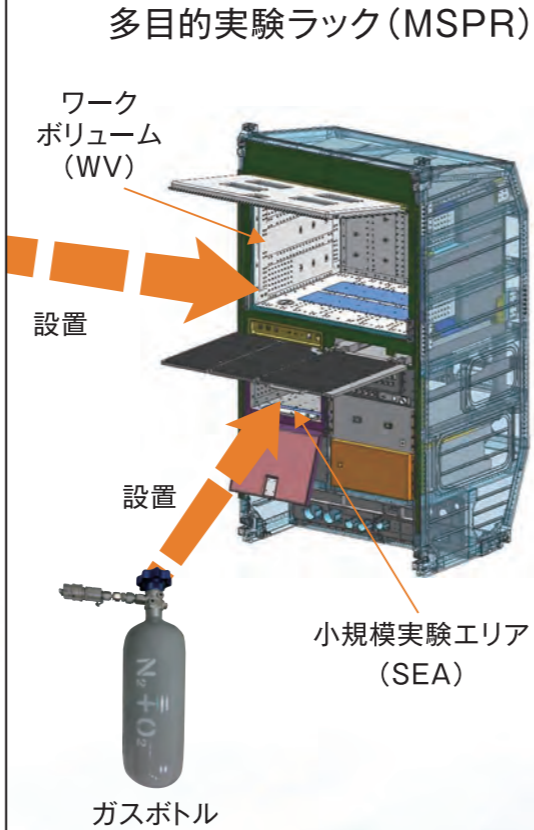
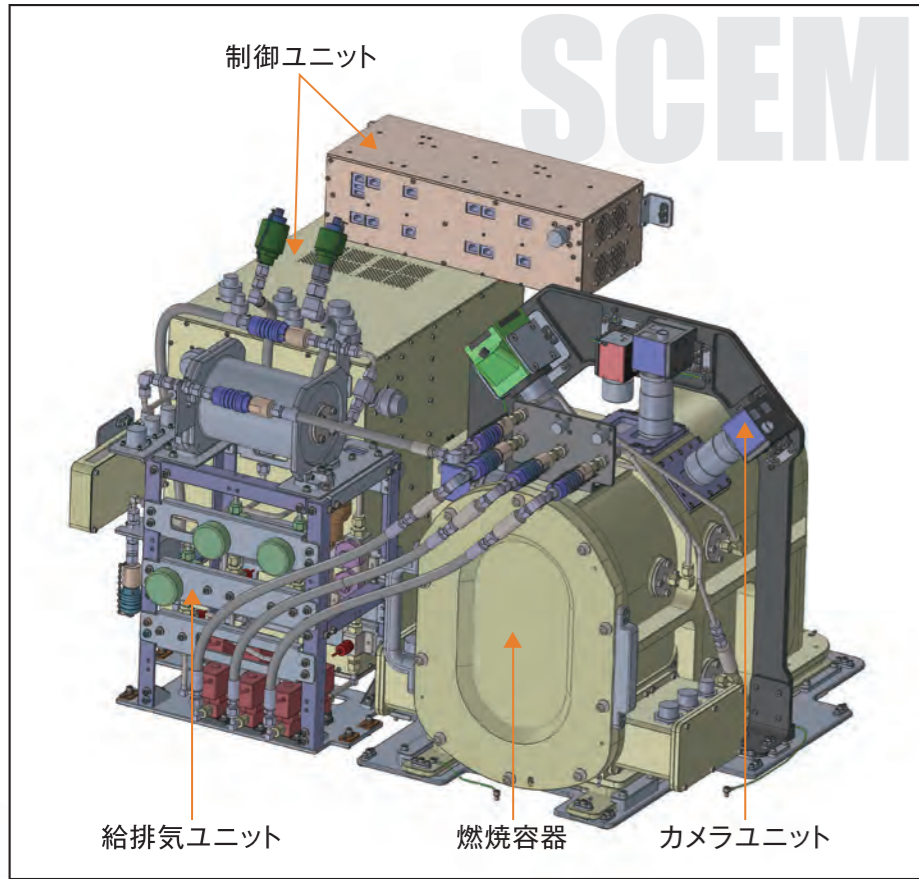
宇宙用材料 (イメージ)

▼ 有人宇宙環境での難燃性実証による 宇宙市場での地位確立

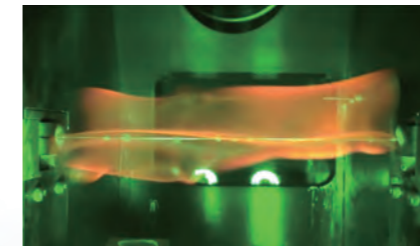
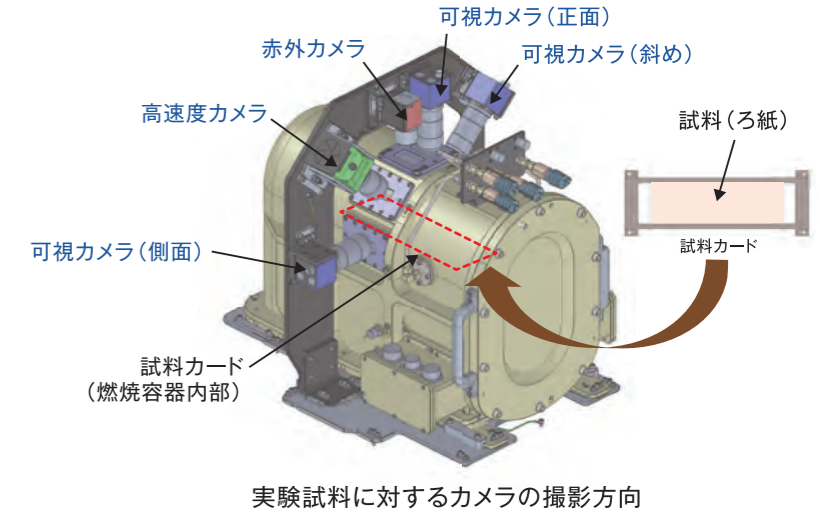


月面基地 (イメージ)

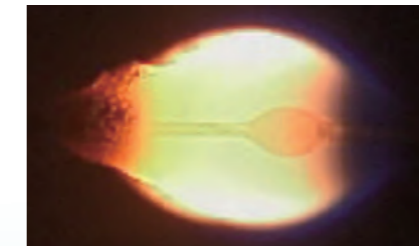
アルテミス計画での月面有人探査においては、居住施設等の内部環境が低圧・高濃度酸素 (約 0.56 気圧 、酸素濃度 34%) 条件となる見込みです。さらに $1/6\text{ G}$ という重力環境も考慮したうえで、高い難燃性を持つ材料が求められています。SCEMを用い、そのような環境で使用可能であることを軌道上実証することにより、今後の月面有人活動等で国際的に使用される“デファクトスタンダード材料”としてのポジションを世界に先駆けて固めることが期待できます。



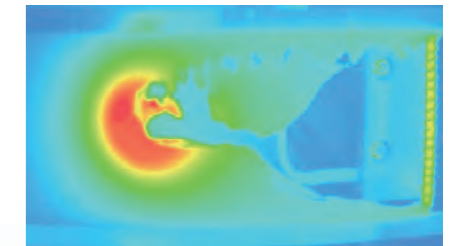
項目	仕様
燃焼容器内寸	幅220 mm×高さ374 mm×奥行548 mm
観察装置	<ul style="list-style-type: none"> ●可視カメラ 3台 (解像度3296×2472 px) 撮影速度 21.8 fps (最大解像度時) ●高速度カメラ 1台 撮影速度 最大2000 fps (実績値) ●赤外カメラ 1台 (温度範囲 20~500 °C)
計測機能 (燃焼容器内)	<ul style="list-style-type: none"> ●圧力 2ch (0~200 kPa abs) ●温度 3ch (-40~180 °C) ●流速 1ch (0.125~2.5 m/s) ●酸素濃度 1ch (0~40 %) ●二酸化炭素濃度 1ch (0~3 %)



被覆電線試料の過電流印加による自着火 (可視カメラ;航空機実験画像) ©北海道大学



被覆電線試料上を燃え広がる火炎 (可視カメラ;航空機実験画像) ©北海道大学



平板材料上の火炎燃え広がりにおける表面温度分布 (赤外カメラ) ©弘前大学/岐阜大学/北海道大/JAXA

■ 燃焼容器

燃焼実験を実施するための容器です。燃焼容器の内部に搭載される実験インサート (p.5) を交換することにより、様々な材料の燃焼実験を実施できます。燃焼容器に取り付けられた観察窓を通して、燃焼現象をカメラで観察します。

■ カメラユニット

燃焼容器の周囲には燃焼現象観察用に5台のカメラを設置しています。カメラの内訳は可視カメラ3台、高速度カメラ1台、赤外カメラ1台です。各カメラで撮影した静止画、動画は、地上からの遠隔操作により地上に伝えられます。

■ 制御ユニット

SCEMへの電力供給、構成品の動作制御、地上からの遠隔操作信号の受信、地上へのデータ転送などの機能を持ちます。全体を制御する電源通信制御ユニットとカメラを制御するユニットに分かれています。

■ 給排気ユニット

実験ラックの窒素/酸素の供給配管、排気配管と接続し、燃焼容器内の圧力および酸素濃度調整、燃焼後のガス排気などの機能を持ちます。また、吸着剤を充填したフィルタで排気ガスを浄化します。

SCEMでの実験の流れ

- STEP 1 燃焼容器に実験インサートを設置する。
 - STEP 2 燃焼容器内部の圧力、酸素濃度を調整。
 - STEP 3 実験インサート内の試料を地上からの遠隔操作により燃焼位置にセットする。
 - STEP 4 インサートのファンを駆動し燃焼容器内に必要な速度の循環流を生成する。電熱線または、被覆電線試料への過電流印加により試料に着火する。
 - STEP 5 試料上の火炎燃え広がりや、着火挙動を各種のカメラにより撮影する。また燃焼時の酸素濃度、圧力などの変化をセンサで計測する。取得した映像・データなどを地上に転送する。
- ▶▶▶ STEP 2 から繰り返す。



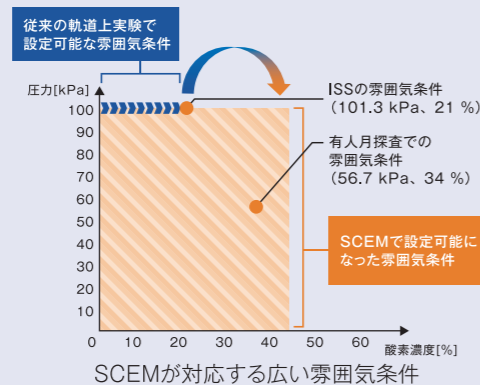
宇宙飛行士は、実験インサート及びガスボトルの交換を行います。 ©JAXA/NASA



筑波宇宙センターのユーザ運用エリアから軌道上のSCEMを操作し実験を進めます。

有人月探査への貢献ポイント!

- アルテミス計画で想定されている低圧・高濃度酸素条件での材料燃焼実験に世界で初めて対応した軌道上実験装置です
- 有人月探査で使用する材料候補の難燃性を軌道上実証できます

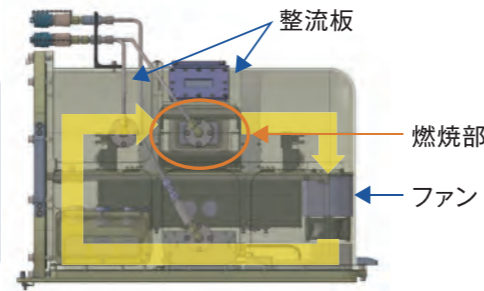


月面基地 (イメージ)

実験インサート

SCEMでは試料を実験インサートにセットして使用します。燃焼容器の内部に搭載される実験インサートを交換することにより、様々な試料の実験を実施できます。現在のところ、以下の2種類の実験インサートが利用可能です。

実験インサートにはファンや整流板が搭載されており、燃焼容器内部を循環式の風洞とすることができます。



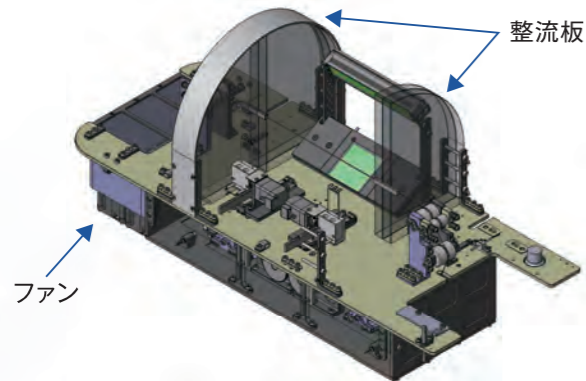
■被覆電線試料用実験インサート

着火方法:電熱線による外部着火、もしくは電流印加による自着火。
(電熱線もしくは通電用電極の選択により実現)

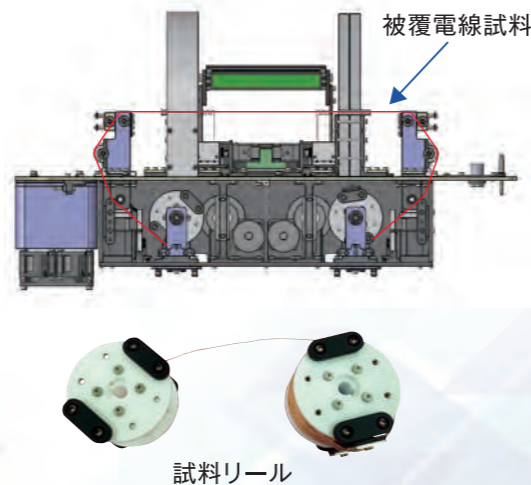
試料供給方法:試料リールに巻かれた試料を、試料送り機構により送り/巻き取り操作を実施する。

試料交換方法:宇宙飛行士が、試料リール単位で交換する。

試料リール装填可能量
直径1.1 mm以下
最短:3 m
最長:81 m
(ただし、試料直径により変化する)



※燃焼部を見えやすくする為、一部の部品を表示していません。



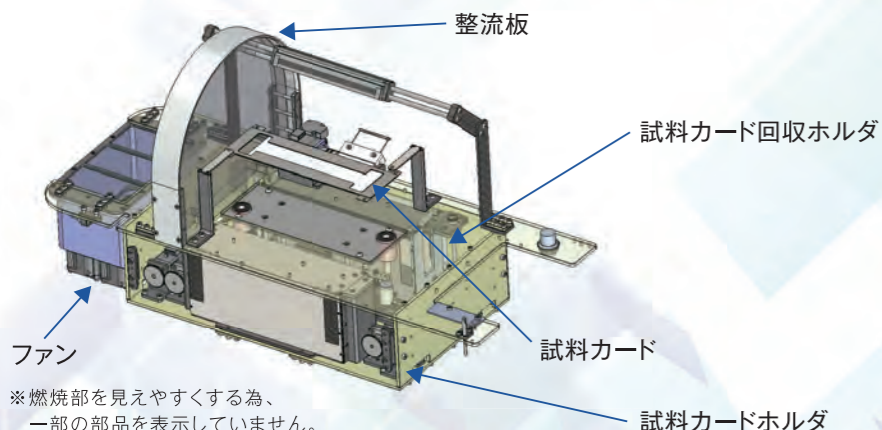
■平板、棒状試料用実験インサート

着火方法:電熱線による外部着火。

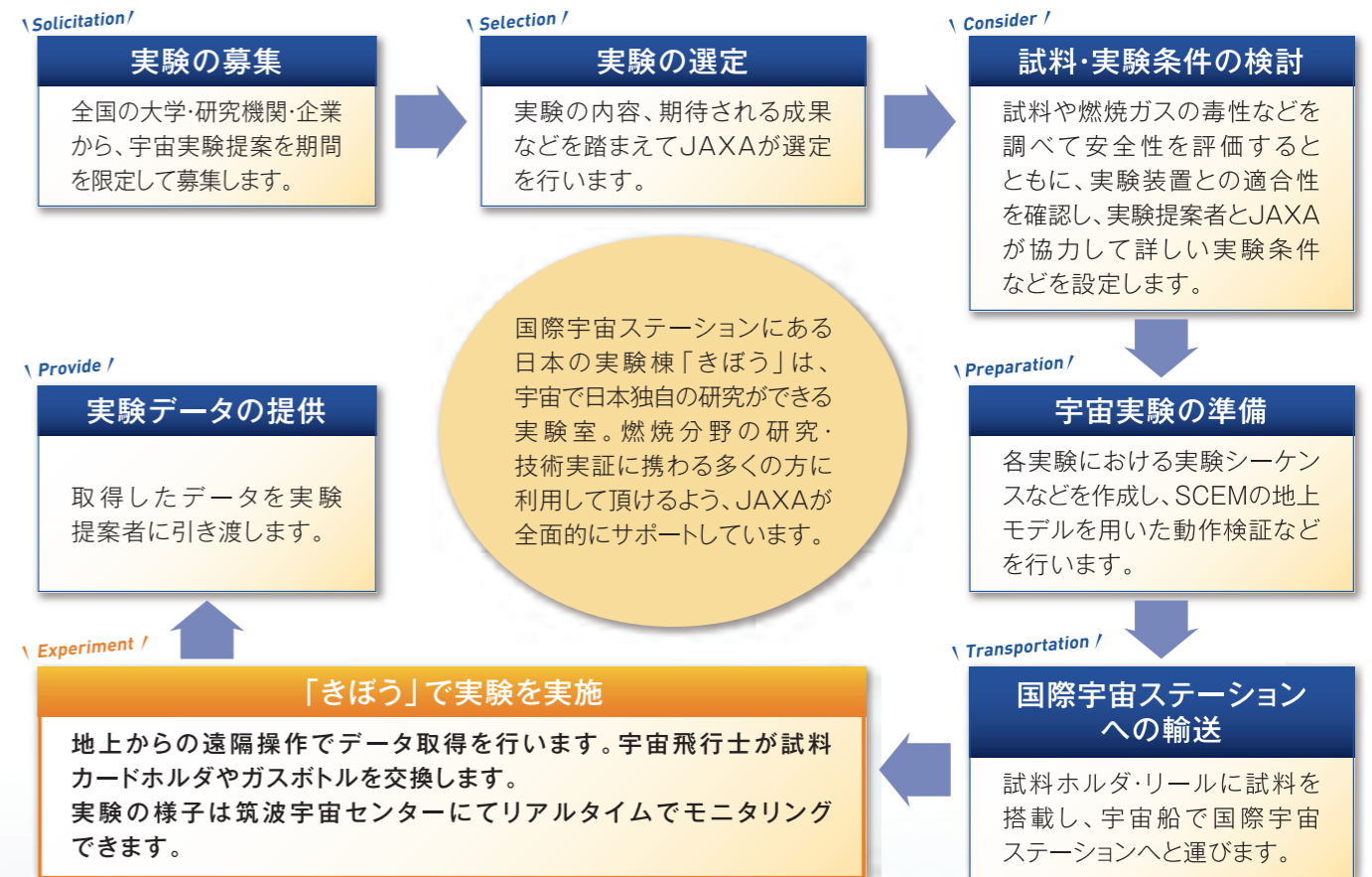
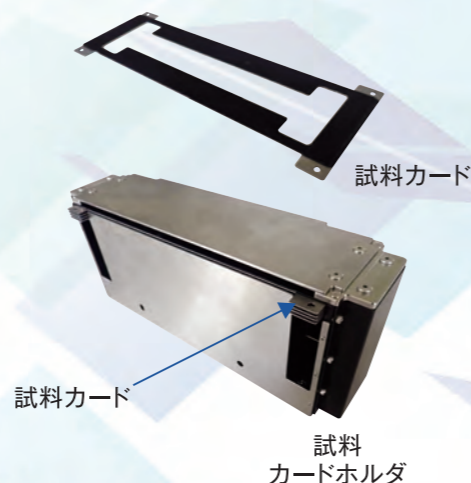
試料供給方法:試料カードホルダに装填された試料カードを1枚ずつ、試料送り機構により燃焼実験を実施するスペースに自動装填する。実験後は、回収用ホルダに自動収納する。

試料交換方法:宇宙飛行士が、試料カードホルダ単位で交換する。

試料カードホルダ装填可能量
試料サイズ:幅50 mm×厚4 mm×長140 mm
(最大値)
試料カード枚数:30枚(試料が薄い場合の最大値)
16枚(試料厚が4 mmの場合の最大値)



※燃焼部を見えやすくする為、一部の部品を表示していません。



SCEMの利用例

FLARE 火災安全性向上に向けた固体材料の燃焼現象に対する重力影響の評価
代表研究者:藤田 修 教授(北海道大学)

SCEMを利用する最初の実験として、2022年5月に「きぼう」での軌道上実験を開始しました。

目的

固体材料の燃焼限界条件が微小重力環境において地上の重力環境に対しどのように変化するかを明らかにし、微小重力環境における材料燃焼性評価の国際的基準を作成する。

実験試料

平板試料:ろ紙、アクリル、難燃性繊維など
被覆電線試料:ポリエチレン、難燃性フッ素樹脂



ろ紙試料上を燃え広がる火炎画像
©弘前大学/岐阜大学/北海道大学/JAXA

FLARE-2 宇宙居住環境における固体材料の可燃性評価

代表研究者:高橋 周平 教授(岐阜大学)

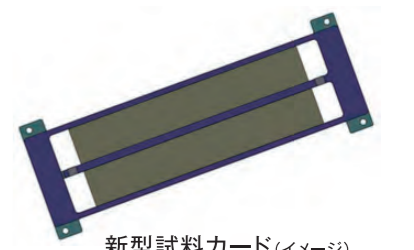
FLARE実験の次に予定されているSCEM利用実験。2つの試料を同時に搭載できる新型試料カードを利用予定。

目的

FLAREで構築された燃焼モデルを、厚い材料、複合材などの多様な材料や有人月探査における低圧環境に拡張する。

実験試料

平板試料:炭素繊維強化プラスチック、電子回路基板材料など
棒状試料:ポリエチレン、アクリル



新型試料カード(イメージ)

//// 「きぼう」での燃焼実験 Q&A ////

Q 燃焼実験に用いる試料には、どのような制約がありますか？

A

サイズ上の制約以外に、燃焼時に発生するガス・固体粒子の毒性評価や実験装置等で使用している材料との適合性評価が必要になります。毒性レベルが高い場合や腐食性ガスが生じるような場合、その試料を用いた実験が難しい可能性があります。その他、宇宙実験に関する一般的な留意事項については、「きぼう」船内実験室利用ハンドブックもご参照ください。

「きぼう」船内実験室利用ハンドブック:

https://humans-in-space.jaxa.jp/kibouser/library/item/pm_handbook.pdf



Q 観察に使用したい特定のカメラがありますが、使えますか？

A

SCEMへの搭載性や安全性等の評価が必要になります。またカメラの打上げも必要になるため、まずはご相談ください。

Q 1つの実験テーマで何回の実験ができますか？

A

実験回数は基本的に試料数により決まります。被覆電線試料用実験インサートと平板、棒状試料用実験インサートでは搭載可能な試料数が実験の基本単位となります(試料数は試料の太さ・厚みに依存します)。多くの試料を使用する場合は、試料カードホルダなどの交換に宇宙飛行士による作業が必要となります。

Q 「きぼう」での燃焼実験に興味があります。どうすれば良いでしょうか？

A

SCEMを利用する燃焼実験は、現状、JAXAが発出する「きぼう」利用テーマ募集にご応募頂き、採択される必要があります。以下のURLをご確認頂き、まずはお気軽にご相談ください。

きぼう利用制度:<https://humans-in-space.jaxa.jp/kibouser/provide/>



Q 実験に要するコストやスケジュールはどうなりますか？

A

宇宙実験が選定される枠組みにより異なりますが、通常の「きぼう」利用テーマ募集で選定された場合、利用にあたっての経費は無償です。ただし、実験提案者側で実施頂く実験計画の具体化、実施準備、実験結果の解析等に係る経費についてはご負担頂きます。選定から「きぼう」での実験実施までに要する期間は、実験内容により異なります。

Q この装置では固体材料の燃焼実験しか行えないのですか？

A

SCEMの大きな特徴の一つは、燃焼容器内に搭載する実験インサートを交換して異なる実験を実施できる点です。現在、液体燃料を用いた液滴燃焼実験等のための新たな実験インサートの検討を進めています。



国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構
有人宇宙技術部門

固体燃焼実験装置 (SCEM)

<https://humans-in-space.jaxa.jp/biz-lab/experiment/pm/scem/>

「きぼう」での燃焼科学実験テーマ一覧

https://humans-in-space.jaxa.jp/kibouser/subject/tag_04.html



本パンフレットに対するご質問や

「きぼう」利用に関するお問い合わせはこちら。

きぼう利用プロモーション室 Z-KIBO-PROMOTION@ml.jaxa.jp



この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。

2023年11月発行