

国際宇宙ステーション／「きぼう」搭載用 ポータブル極低温冷凍冷蔵庫

櫻井 鷹哉^{*1} 石川 知良^{*2}
Sakurai Takaya Ishikawa Tomoyoshi

1. はじめに

国際宇宙ステーション（ISS）では、生命科学実験等⁽¹⁾のさまざまな実験が数多く行われており、そこでは低温環境下で試料を保管する装置が活躍している。

ISSの日本実験棟「きぼう」において、実験サンプル等の試料の保管は、これまで各国共同利用

の冷凍冷蔵庫である MELFI⁽²⁾ および日本独自の冷凍冷蔵庫1台で行われていたが、今後のユーザーの増加および極低温環境（-80℃以下）による試料保存の要望に対応するため、「きぼう」搭載用ポータブル極低温冷凍冷蔵庫（以下、FROST2という）の装置開発が行われることになった（図1）。

FROST2は、日本実験棟「きぼう」（図2）の内部に設置され、軌道上にて実験サンプルなどの

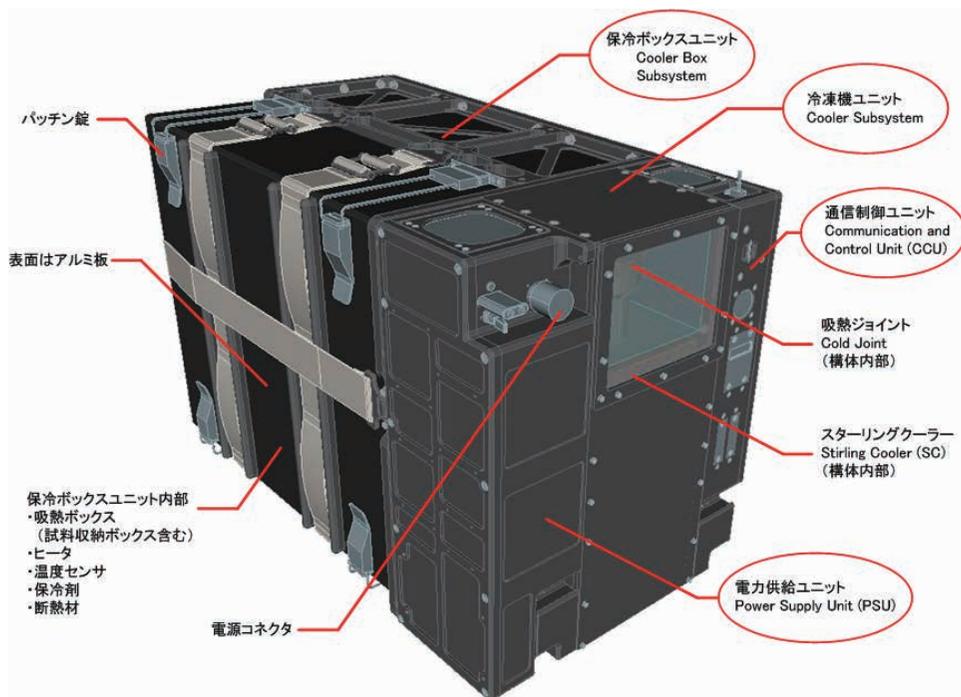


図1 「きぼう」搭載用ポータブル極低温冷凍冷蔵庫 外観図（提供：JAXA / IHI エアロスペース）

*1：制御システム事業部 宇宙システム部
*2：制御システム事業部 宇宙システム部 次長

試料を収納し、冷凍・冷蔵庫内の温度を -100°C ～ $+60^{\circ}\text{C}$ の間で制御する装置である。また、外部とのインターフェースは、電源ケーブルのみであるため、設置場所は任意に決めることができる利点がある（通信は、主に無線 LAN で行われる）。

制御システム事業部では、この FROST2 を制御するための電気系コンポーネントの設計・製造・単体試験および FROST2 の全体組立、システム試験の一部を担当したので紹介する。

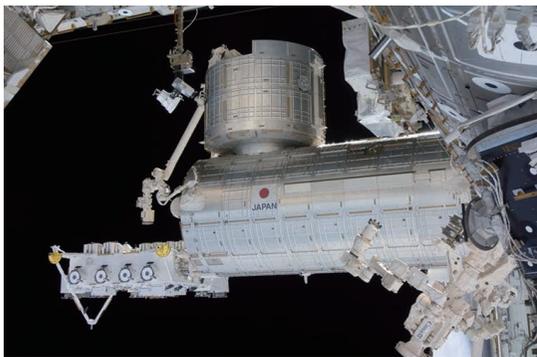


図2 日本実験棟「きぼう」外観
(提供：JAXA / NASA)

2. システム概要

FROST2 は、電力供給ユニット (PSU)、通信制御ユニット (CCU)、冷凍機ユニット、保冷ボックスユニットの4つの構成から成り立っている。

(1)～(4)に、各ユニットが持つ機能を示す。

(1) 電力供給ユニット (PSU)

- ・「きぼう」システムから電力供給を受け、PSU、通信制御ユニット (CCU) の内部機器への電力を供給する機能
- ・ CCU からのコマンドを受けて保冷ボックス内を冷却する冷凍機への電力を制御する機能
- ・ 冷凍機の異常検知機能
(冷凍機の排熱部の異常な温度上昇、排熱部温度センサの断線、冷凍機への出力指令異常等)

(2) 通信制御ユニット (CCU)

- ・ データ処理機能
- ・ FROST2 の動作状態 (各電圧・電流、保冷ボックス内の温度等) をモニタする機能
- ・ 保冷ボックス内の温度を制御する機能 (冷凍機の制御は PSU が行う)
- ・ PSU から電力を受け取り、ヒータへ電力を供給する機能
- ・ 有線 LAN、無線 LAN インターフェースを通して宇宙飛行士が使用するラップトップ PC や「きぼう」の通信システムを介して地上の管制設備とやり取りを行う通信機能

(3) 冷凍機ユニット

- ・ 保冷ボックス内を冷却する機能

(4) 保冷ボックスユニット

- ・ 実験サンプルなどの低温環境下および一定の温度での保管が必要な試料を収納する機能
- ・ ヒータによる庫内昇温機能

3. 温度制御の概要

温度制御は、目標温度および保冷ボックスユニット内部の壁面4箇所にある熱電対で計測した温度 (現在温度) を通信制御ユニットに内蔵されたボードコンピュータで校正した後、デジタル調節計に入力する。デジタル調節計は温度情報を受け、冷凍機またはヒータに指令を出すことにより、保冷ボックス内の温度をアクティブに制御する (図3)。

以下、図3に沿って温度制御の概要を説明する。

- ①温度計測のため、保冷ボックス内部に4chの熱電対が設置されている。
- ②熱電対からの信号は、冷凍機ユニットを経由して通信制御ユニット内に引き込まれる。なお、コネクタのコンタクトおよび通信制御ボックス内の電線は熱電対の材質と異なるため、出力電圧の誤差を補正できるように、冷接点

補償用の白金測温抵抗体を設けている。

- ③通信制御ユニット内で熱電対および白金測温抵抗体の信号は各アンプを介してAD/DAボードによりアナログ信号からデジタル信号に変換された後、4ch分の温度データをボードコンピュータに入力する。
- ④4chの熱電対の温度データから1chを任意に選択(デフォルトは、1ch目)し、制御用の現在温度としてAD/DAボードでデジタル信号からアナログ信号(0-5Vの電圧信号)に変換された後、デジタル調節計へ入力する。この制御用の熱電対が故障(バーンアウト)等した場合、自動で別の熱電対を制御用として切り替わるようになっている。
- ⑤地上管制設備等からコマンドで指定された設定温度をボードコンピュータからデジタル調節計へ入力する。なお、運用途中で設定温度を変更することも可能である。

- ⑥計測温度と設定温度が入力されたデジタル調節計は、冷凍機またはヒータに指令を出すことで保冷ボックス内部の温度を調節する。なお、冷凍機はPID制御、ヒータはON/OFF制御となっている。
- ⑦冷凍機コントロールボードは、デジタル調節計からの指令を受け、冷凍機の出力電圧(冷却具合)を調節する。
- ⑧保冷ボックス内部は、冷凍機は吸熱ジョイントを介して冷却、またはヒータによって昇温し、一定の温度を保つため制御する。

4. おわりに

FROST2は、日本時間で2017年2月19日午後11時39分にドラゴン補給船運用10号機に搭載され、米国フロリダ州ケネディ宇宙センターから打ち上げられた。

その後、「きぼう」の与圧部内に設置され、

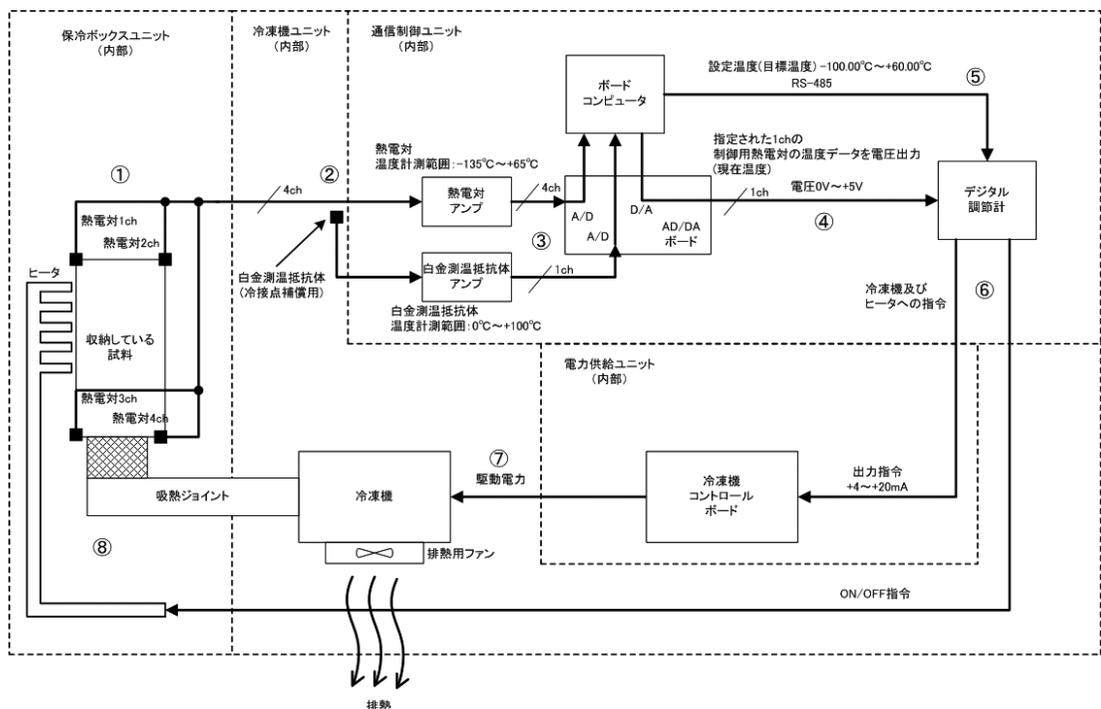


図3 FROST2の温度制御の関係図

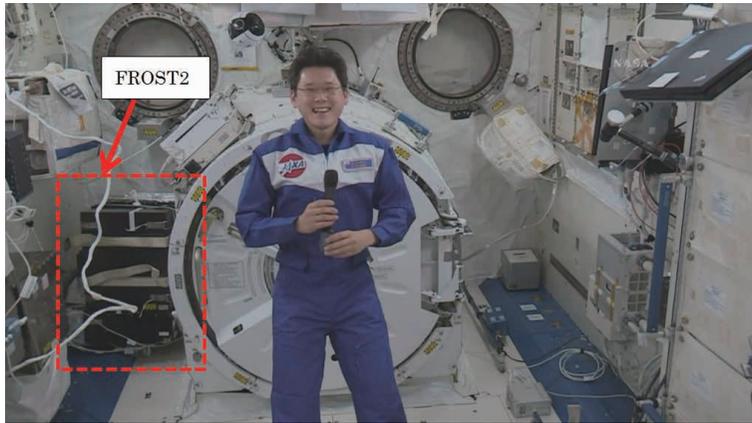


図4 「きぼう」内にて金井宇宙飛行士の後ろに写る FROST2 (提供：JAXA / NASA)

2017年3月1日から軌道上での初期検証のため、始動した。現在は試料を保管し運用中である(図4)。

運用情報は、JAXAのホームページにある「きぼう」での運用実験の利用の計画⁽³⁾から確認することができる。

5. 謝辞

本稿の執筆にあたり、ご協力をいただいたJAXA殿、株式会社IHIエアロスペース殿の皆様にご心より感謝申し上げます。

参考文献

- (1) JAXA ホームページ(生命科学実験の紹介ページ) : http://iss.jaxa.jp/kiboexp/news/radgene_loh_start.html
- (2) JAXA ホームページ(MELFI 紹介ページ) : <http://iss.jaxa.jp/kiboexp/equipment/pm/melfi/>
- (3) JAXA ホームページ(「きぼう」での運用実験の利用の計画) : <http://iss.jaxa.jp/kiboexp/plan/>



制御システム事業部
宇宙システム部
櫻井 鷹哉
TEL. 042-523-8319
FAX. 042-523-8320



制御システム事業部
宇宙システム部
次長
石川 知良
TEL. 042-523-8319
FAX. 042-523-8320