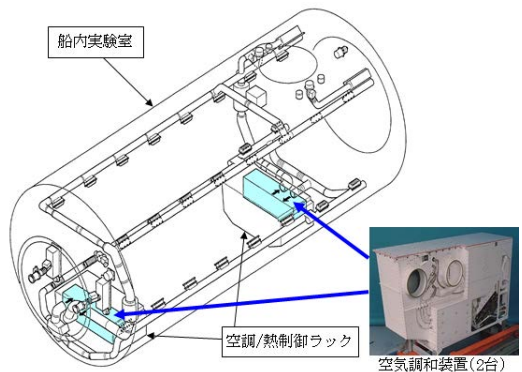


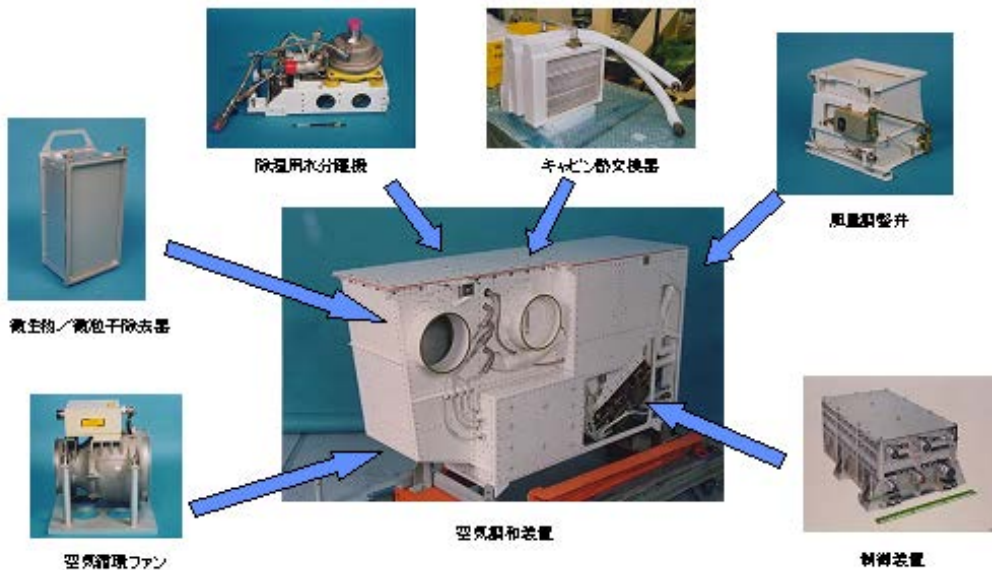
第 21 章 「きぼう」 空気調和装置の開発成果

1. 序論

船内実験室には、搭乗員の安全性、快適性を維持するための環境制御系の主要構成機器として、空気調和装置（第 1 図、第 2 図参照）が搭載されている。本章では、空気調和装置に関して、開発から射場における維持作業、さらには軌道上の最新運用状況を報告するとともに、これらを通して獲得したまたは獲得しようとしている技術、知識、経験等について示す。



第 1 図 空気調和装置と船内実験室



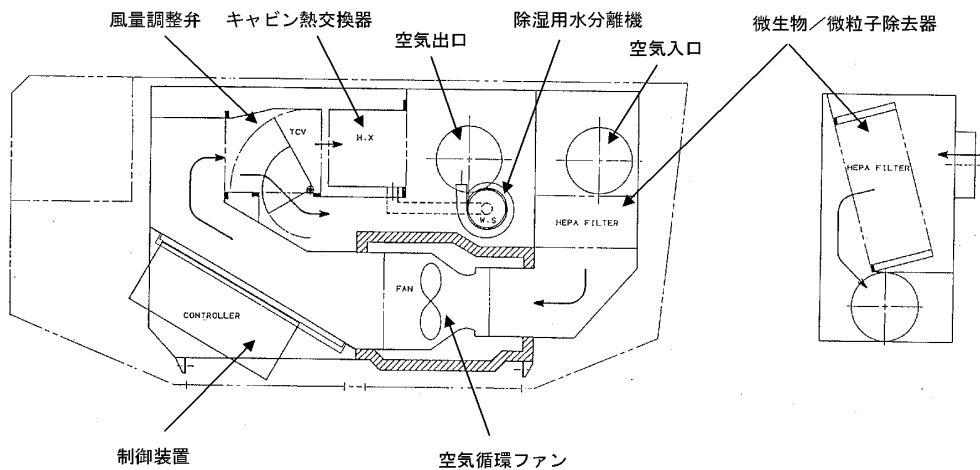
第 2 図 空気調和装置の構成

2. 空気調和装置の開発

2.1 装置構成

船内実験室には、空気調和機能の1故障許容対応のため、2台の空気調和装置が設置され、通常は2台が稼動状態にある。空気調和装置は、その主な構成部品が軌道上交換ユニット（ORU：Orbital Replacement Unit）として組み上げられ、軌道上交換による保全が可能な構成としている。基本設計時点では、

フレームに各コンポーネントを配置し、コンポーネント間をダクトで接続するマウントフレーム方式を採用していたが、詳細設計段階で、重量、剛性、保全性に優位な方式である構造ダクト方式に変更した。この方式では、ダクトに強度を持たせ、その中に各コンポーネントを配置している。空気調和装置内のキャビン空気の流れ（第3図参照）に沿って、各ORUの機能を次項に示す。



第3図 空気調和装置内のキャビン空気流れ

2.2 装置機能

船内実験室キャビン内のリターングリルから吸い込まれ、ダクトを介して空気調和装置に入ったキャビン空気は、最初に微生物/微粒子除去器を通り、ここで空気中の微生物、微粒子が捕捉される。微生物/微粒子除去器は、船内実験室の16台のリターングリルに分散して設置する案もあったが、故障検知と保全性に優位な空気調和装置内に集中させて設置する方式を採用した。空気循環ファンは、船内実験室内の空気循環に必要な風量

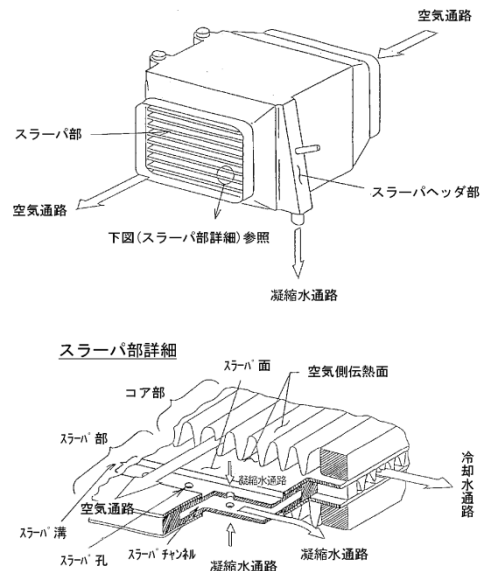
を与えるとともに、空気調和装置で処理するキャビン空気を吸引、送風する。また、環境制御系の運用に応じて、ファンの回転数を変更することにより、3段階の風量を設定することが可能である。空気循環ファンにより吸引されたキャビン空気は、風量調整弁により、キャビン熱交換器へ供給する空気とバイパスする空気に分流される。キャビン熱交換器へ供給された空気は、船内実験室内の能動制御系に属する水ループとの間で熱交換を行うことにより冷却される。キャビン熱交換器

の低温面に曝されて冷却・除湿されたキャビン空気は、風量調整弁によりバイパスされた空気と混合した後、船内実験室のダクト、ディフューザを介してキャビンへと送風される。キャビン熱交換器上で凝縮した水は、遠心式の除湿用水分離機により吸引及び空気から分離・回収され、船内実験室の凝縮水ラインを通して、宇宙ステーション本体の凝縮水タンクに返送される。制御装置は、上位機器との間の RS422 規格による通信や、空気調和装置のコンポーネントへの電力供給、制御、状態監視とともに、キャビン温度の制御を行う。キャビン温度の制御は、搭乗員または地上から設定される温度と、キャビндаクト内温度の実測データとの差分に基づき、制御装置がフィードバック制御を行い、キャビン熱交換器へ通過する風量を風量調整弁により調節することにより、実現している。なお、キャビン湿度は、直接的に相対湿度や露点を制御することはできないが、能動熱制御系側の冷却水温度の制御（規定範囲内に入るよう）によって、従属的に制御される。

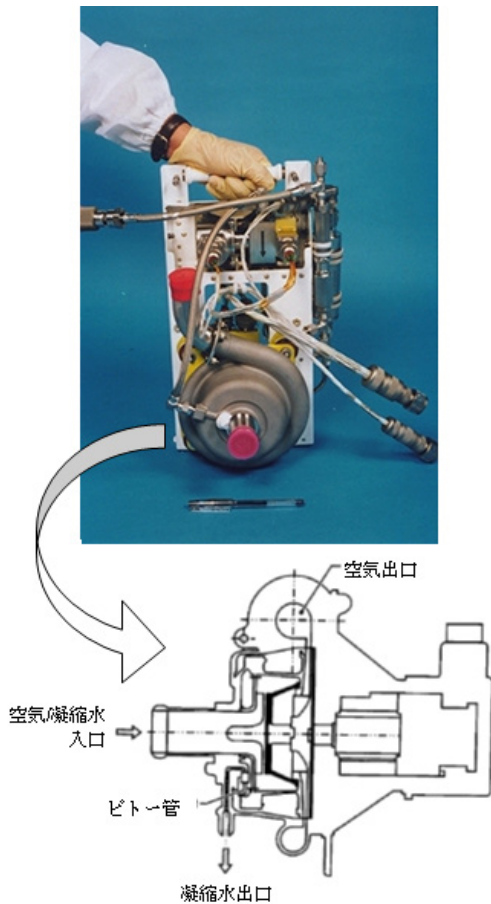
2.3 要素開発

空気調和装置の開発に当たっては、キャビン熱交換器、及び除湿用水分離機の要素開発に重点を置き、予備設計段階から縮尺モデル、部分モデル、実物大モデルの試作、試験、熱交換器－水分離機組合せ試験等、段階的に開発を進めた。キャビン熱交換器の主要開発要素は凝縮した水を回収するためのスラーパと微小重力下での凝縮水飛散を防ぐための空気側フィンへの親水性処理皮膜であった。キャビン熱交換器の構造を第 4 図に示す。また、除湿用水分離機（第 5 図参照）の主要開発要素は遠心式的水分離ファンと凝縮水回収移送のためのピトー管であった。特にキャビン熱交換器の親水性処理については、耐

久試験の結果、当初選定していたコーティングの経時劣化が大きいことが判明し、要素開発試験の段階でコーティングを変更した。



第 4 図 キャビン熱交換器構造概要



第5図 除湿用水分離機

3. 空気調和装置の射場作業

船内実験室の打ち上げ準備のため、空気調和装置に関する射場作業として、主に凝縮水システム洗浄作業、及び微生物／微粒子除去器交換作業を実施した。

空気調和装置を搭載した空調／熱制御ラックの地上試験において、空気調和装置から排出／回収された凝縮水に、規定を超える汚れが含まれていることが確認され、評価試験を実施した結果、キャビン熱交換器の親水性処理皮膜に付着した、空気中の揮発性有機成分に起因するものであることが判明した²⁾。

これは、親水性処理皮膜が活性炭のように非常に広い吸着面積を持つため、クリーンルームに存在し得る微量の揮発性有機溶剤成分を吸着するためであり、回避することができない現象である。規定を超える汚れを含んだ凝縮水が空気調和装置から排出された場合、下流側の凝縮水ラインに装備されているバルブ等の作動不良を招く恐れがあるため、キャビン熱交換器や、その下流側の凝縮水ライン等について、主に射場において、洗浄作業を実施した。

また、空気調和装置の製造後、打ち上げまでにはシャトルの事故等により約10年が経過し、微生物／微粒子除去器について、初期搭載品は寿命に達したため、補用品として製造した新品の微生物／微粒子除去器への交換作業を射場において実施し、打ち上げ、軌道上運用に備えた。

4. 空気調和装置の運用状況

2008年6月の打ち上げで、船内実験室が国際宇宙ステーションに取り付けられた後、船内実験室の起動とともに、空気調和装置も起動された。空気調和装置は、常時運用される装置であり、現在も運用を継続中である。空気調和装置の特徴的な運用として、1週間に1回、ドライアウトと称する運転が実施されている。ドライアウトは、キャビン熱交換器への通水を止めて、凝縮水が発生しないようにした状態で、キャビン熱交換器へ通過する風量を風量調整弁により増加させることにより、キャビン熱交換器の空気側フィンを乾燥させて、かび等の発生を防ぐための運転である。

空気調和装置は常時運用される装置であるため、その機能を維持するために、微生物／微粒子除去器、除湿用水分離機、キャビン

熱交換器等は、ORU として、軌道上交換により保全が実施される予定である。

以下の項では、空気調和装置の軌道上運用において分かった事例を紹介する。

4.1 キャビン熱交換器からの水滴検出

空気調和装置を長期間運用する中で、設計や地上試験では十分に予想できていなかった事象が幾つか発生している。例としてキャビン熱交換器からの水滴検出が挙げられ、これまで複数回発生している事象である。

空気調和装置 2 台の内、1 台の空気調和装置が初めて起動した翌日、キャビン熱交換器からの水滴を検出して、空気調和装置が自動停止した。キャビン熱交換器上で凝縮した水は、除湿用水分離機により回収される設計であるが、凝縮水が飛散した場合に備えて、空気流れの下流側に水分センサを設置しており、この水分センサが水滴を検出したために、制御装置の所定の機能が働いて自動停止したものである。このときは、宇宙飛行士 10 人全員が船内実験室に入室した後だったため、一時的に船内の湿度が上昇して、凝縮水が多く発生したこと等が原因と考えられた。

前述のドライアウト運転では、キャビン熱交換器の表面を効率良く乾燥させる目的で、熱交換器へ通過する風量を風量調整弁により増加させるが、この風量を増加する際にも、熱交換器を通過した空気とともに水滴が飛散する場合があることが確認された。

軌道上から地上へダウンリンクされた空気調和装置のテレメトリデータを確認すると、ドライアウト前の通常運転時に、キャビン空気への熱負荷が小さかったため、温度制御による風量調整弁の開度調節の結果、パイパス側への風量が多く、キャビン熱交換器側には空気が殆ど流れない状態であったことが判明した。キャビン熱交換器で発生した凝

縮水は、2 項で述べたように、スラーパから除湿用水分離機の吸引によって回収されるが、凝縮水が熱交換器後端のスラーパまで到達するのは、空気通路を流れるキャビン空気が、熱交換器表面の凝縮水を押し流すためである。キャビン熱交換器に流れる空気の量が少ない場合、凝縮水は徐々にではあるが継続して熱交換器表面に発生するのに対し、風量が少ないと、発生した凝縮水がスラーパまで押し流され難いため、除湿用水分離機に十分に回収されず、熱交換器表面上に滞留してしまう。そのような状態で、ドライアウト開始によりキャビン熱交換器側への風量が増加すると、滞留していた凝縮水が一気にスラーパへと流れ出し、熱交換器後端から空気の流れとともに飛散する可能性がある。このような事象が発生し得ることは開発時に考慮しており、熱交換器－水分離機組合せ試験等の中で、水飛散が発生しないことを確認している。それでもなお、軌道上で水飛散が発生してしまうのは、重力が微小であることの影響が推定より大きかったことによるものと考えられる。例えば、地上では空気通路各層の下面側に凝縮水が溜まり易いのに対し、軌道上では微小重力環境であるため、空気通路各層の上面側と下面側に均等に凝縮水が付着することにより、重力以外の条件が同じであれば、軌道上の方がキャビン熱交換器に多くの凝縮水が付着し得ることが考えられる。

対策として、ドライアウト運転時には、空気循環ファンの回転数を変更して風量を低減させる等の運用手順に変更したところ、その後の水滴検出の発生回数等は抑制され、有効な対策であったことが確認されている。微小重力状態により発生する可能性のある軌道上特有の事象に対しては、地上では中々事前の発見・検証等が困難であるが、運用を通じて得られたこの様な重要な知見は、将来の

発展的な有人宇宙技術の実現に向けて非常に有効であると考えている。

4.2 微生物／微粒子除去器の交換

前述のように、微生物／微粒子除去器は ORU であり、設計上は、空気調和装置 2 台それぞれの微生物／微粒子除去器を、半年毎に交換する想定であった。これは、微生物や微粒子を捕集することにより微生物／微粒子除去器の圧力損失が増加すると、循環風量が低下してしまうため、一定以上の風量を維持するために必要な交換頻度として設定された。一方、微生物／微粒子除去器の圧力損失、つまり微生物／微粒子除去器の上流側と下流側の圧力の差をモニタするための差圧センサによる実測の結果、設計上想定していたほどには圧力損失が増加していないため、実際には、微生物／微粒子除去器の交換期間を半年よりも延長して運用している。

空気調和装置 2 台の内、1 台の微生物／微粒子除去器が、2010 年 4 月に野口宇宙飛行士により新品と交換され、山崎宇宙飛行士の帰還とともに地上へ回収された。その微生物／微粒子除去器を分析した結果、設計上想定していたよりも、捕集されている微生物や微粒子の量が少ないことが確認されており、このことが、微生物／微粒子除去器の圧力損失が増加していなかった理由と考えられる。更にその理由としては、軌道上における微生物や微粒子の発生量そのものが少ないこと、あるいは、微生物／微粒子除去器で捕集する前に、その上流側にある船内実験室キャビン内のリターングリルにおいても、ある程度の量が捕集されていることが考えられる。

4.3 水分離器過回転の発生

空気調和装置 (THC b) の水分離器の過回転が発生し、自動停止機能により非常停止する現象がこれまでに複数回発生している。何れも再起動により復帰しており、機能としては維持されている。技術的な原因としては、水分離器に対する急激な負荷変動や回転数計測系のノイズなどが考えられるが、根本原因については特定できていない。経過観察を継続している。

5. 空気調和装置開発における獲得技術

空気調和装置の主要開発要素は、前述の通り、キャビン熱交換器のスラーパや親水性処理皮膜、及び除湿用水分離機であり、いずれも微小重力環境下における凝縮水回収に関する技術である。開発の成果として、地上試験等において、所定の機能・性能が得られた。今後も、運用データを取得することにより、凝縮水回収機能等について、空気調和装置の軌道上性能を評価する予定である。

6. まとめ

「きぼう」は我が国初の有人宇宙施設であり、その中で環境制御系は、人間が宇宙で活動するために必要不可欠な技術である。これまで、空気調和装置の開発等を通じて、様々な技術的知見を得ることができた。また、今後 2020 年頃まで予定されている「きぼう」の運用において、更なる実績を蓄積していくことにより、将来の有人宇宙開発にも参考となる技術データを獲得できるものとする。