

宇宙航空研究開発機構研究開発資料

JAXA Research and Development Memorandum

実験用航空機ビーチクラフト機による大気・環境観測飛行

稲垣 敏治, 石川 和敏

2007年11月

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

宇宙航空研究開発機構研究開発資料

JAXA Research and Development Memorandum

実験用航空機ビーチクラフト機による大気・環境観測飛行

Atmospheric Observation Flights Using the Experimental Aircraft Beechcraft 65

稲垣敏治^{*1}、石川和敏^{*1}

Toshiharu INAGAKI^{*1} and Kazutoshi ISHIKAWA^{*1}

* 1 : 総合技術研究本部 飛行システム技術開発センター

Flight Systems Technology Center

Institute of Aerospace Technology

2007年11月

November 2007

宇宙航空研究開発機構

Japan Aerospace Exploration Agency

目 次

概要	1
略語・記号・用語説明	2
1. はじめに	4
2. 背景と目的	5
2.1 定期的な大気採取	5
2.2 CME の飛行評価	6
2.3 エアロゾル観測	6
2.4 観測飛行の効率化	6
3. 計測システム	7
3.1 全体構成	7
3.1.1 計測システム構成	7
3.1.2 観測の効率化	7
3.2 飛行データ収集システム	9
3.3 大気採取システム	11
3.4 CME 計測システム	12
3.5 エアロゾル採取計測システム	13
4. 観測飛行	14
4.1 観測飛行方法	14
4.1.1 観測場所設定	14
4.1.2 飛行手続き	15
4.1.3 飛行手順及び注意	16
4.2 大気採取手順と飛行パターン	16
4.2.1 大気採取手順	17
4.2.2 飛行パターン	17
5. 観測飛行評価と結果例	18
5.1 飛行状態量データ	18
5.2 大気・環境観測データ	18
5.2.1 大気観測成果例	18
5.2.2 CME 観測成果と STC 取得寄与	19
5.2.3 エアロゾル観測成果例	20
6. おわりに	20
参考文献	21

実験用航空機ビーチクラフト機による大気・環境観測飛行

Atmospheric Observation Flights Using the Experimental Aircraft Beechcraft 65

稲垣敏治*¹、石川和敏*¹

Toshiharu INAGAKI*¹ and Kazutoshi ISHIKAWA*¹

Abstract

The Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) has conducted the atmospheric observation flights over the Sagami-Bay for the following purpose using the experimental aircraft Beechcraft 65.

- (1) Periodic gas sampling in cooperation with the National Institute for Environmental Studies (NIES)
- (2) In-flight evaluation of newly-developed automatic continuous CO₂ measuring equipment (CME)
- (3) Aerosol observation flight for the development of an airborne turbulence detection sensor; light detection and ranging sensor (LIDAR)

In order to conduct research on long-term atmospheric changes in the areas adjacent to large cities, it has been requested that the observation flights be carried out periodically over Sagami-Bay near Tokyo, where there is heavy air traffic. All observation devices are installed in the aircraft in order to maintain observation frequency and reduce long flight times. This paper presents details of the atmospheric observation measuring system, procedure adopted for the observation flight and the typical results.

Key words: Flight Test, Atmospheric Observation

概 要

宇宙航空研究開発機構では、所有する実験用航空機ビーチクラフト式 65 型機を用いて、以下の大気環境観測飛行を行っている。

- 1) 定期的な大気採取（国立環境研究所と共同研究）
- 2) 二酸化炭素自動連続測定器の飛行評価
- 3) 風擾乱検知装置開発のための大気エアロゾル観測

都市周辺における大気の長期的な変動を調査するため、複数の航空路が交差する東京に近い相模湾上空で定期的に観測飛行を行っている。観測頻度を確保したまま飛行回数を減らすため、小型機である実験用航空機に上記全ての観測機器を同時に搭載している。本資料は、大気・環境観測計測システム及び観測飛行手順、及び、その成果例について記述する。

* 平成 19 年 5 月 14 日 受付 (received 14 May 2007)

*1 総合技術研究本部 飛行システム技術開発センター

(Flight Systems Technology Center, Institute of Aerospace Technology)

略 語

ARINC	Aeronautical Radio, Inc.
ASE	Automatic Sampling Equipment
ATC	Air Traffic Control : 航空交通管制
CME	Automatic continuous CO ₂ Measuring Equipment : 二酸化炭素自動連続測定器
DME	Distance Measuring Equipment : 距離測定装置
FAA	Federal Aviation Administration : アメリカ合衆国連邦航空局
FDASB	Flight Data Acquisition System for Beech : B-65 機用飛行データ収集システム
FMS	Flight Management System : 飛行管理システム
GAIA	GPS Aided Inertial Navigation Avionics : GPS 補強型慣性航法装置
GPS	Global Positioning System : 全地球測位システム
HDD	Hard Disk : 計算機のハードディスク
IAS	Indicated Air Speed : 指示対気速度
I/F	Interface : インターフェース・ボックス (中継箱)
IMU	Inertial Measurement Unit : 慣性計測ユニット
IRU	Inertial Reference Unit : 慣性基準装置
INS	Inertial Navigation System : 慣性航法システム
JAL	Japan Air Line : (株) 日本航空インターナショナル
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency : 独立行政法人 宇宙航空研究開発機構
JCAB	Japan Civil Aviation Bureau : 国土交通省航空局
LIDAR	Light Detection and Ranging : 光検出・測距器、ライダ
MADT	Micro Airdata Transducer : マイクロ・エアデータ変換器
MIL-STD	Military Standard : 米軍 MIL 規格
NAL	National Aerospace Laboratory of Japan : 独立行政法人 航空宇宙技術研究所
NDIR	Non Dispersive Infra Red : 非分散赤外線
NIES	National Institute for Environmental Studies : 独立行政法人 国立環境研究所
PC	Personal Computer パソコン
RAPCON	Radar Approach Control レーダ進入管制所 (ラプコン)
RS232	シリアル通信の規格の一種(EIA 規格)

STC	Supplemental Type Certificate : 追加型式設計承認書
TACAN	UHF Tactical Air Navigation Aid : UHF (方位・距離) 航空保安施設
TAT	Total Air Temperature : 全温度
VOR	Very High Frequency Omni directional Range : 超短波全方位無線標識
VORTAC	VOR and TACAN combination : VOR と TACAN の併設の無線標識

記 号

B-65	: ビーチクラフト式 65 型航空機
B-747	: ボーイング式 747 型航空機
B-777	: ボーイング式 777 型航空機
CO ₂	: 二酸化炭素
CFC	: フッ素と塩素を含んだ炭素化合物 (クロロフルオロカーボン)
CH ₄	: メタン
HCFC	: CFC に水素が加わったもの (ハイドロクロロフルオロカーボン)
HFC	: HCFC からフッ素が抜けている化合物 (ハイドロフルオロカーボン)
N ₂ O	: 亜酸化窒素 (一酸化二窒素)

用語説明

追加型式設計承認書 : 国土交通省令に定められた基準により設計・製作、又は承認された航空機の型式の設計を追加・変更を行った場合、検査に合格時に JCAB より発行される承認書。

修理改造検査 : 国土交通省令に定められた基準により航空機の修理又は改造をする場合に、その計画及び実施について JCAB が行う検査。

ATC トランスポンダ : 航空機の機体の識別をする航空無線装置がある。地上のインタロゲータ (質問機) と機上のトランスポンダ (応答機) から構成されるもので、ATC トランスポンダは機上側の無線機である。地上からの質問信号により、機上のトランスポンダは予め指定されたコードを発信することで地上管制官は機体の識別が可能となる。

VORTAC 局 : 地上の無線航法援助施設の一つで、機上の VOR 受信装置及び DME 受信機で信号を受けることにより自機の VORTAC 局からの方位及び距離を知ることが出来る。但し、TACAN の方位信号は軍用のため民間機では受信できない。そのため、民間機でも受信できる VOR

送信部が併設されている。

VOR/DME 局：地上の無線航法援助施設の一つで、機上の VOR 受信装置及び DME 受信機で信号を受けることにより自機の VOR/DME 局からの方位及び距離を知ることが出来る。

ハロカーボン：フッ素、n ヨウ素を含んだ炭素化合物の総称

ハロゲン：ハロゲン化合物と同義で周期表の 17 族のフッ素 (F)、塩素 (Cl)、臭素 (Br)、ヨウ素 (I) の 4 元素を含む化合物の総称。

1. はじめに

宇宙航空研究開発機構（以下、「JAXA」と言う）では、旧航空宇宙技術研究所（以下、「NAL」と言う）時代の平成8年より国立環境研究所（以下、「環境研」と言う）などとの共同研究により、主に実験用航空機ビーチクラフト式65型機（以下、「B-65機」と言う：写真1参照）を用いて定期的な大気・環境観測飛行を実施してきた¹⁾。観測飛行開始当初は、航空路の密集している空域における航空機のエンジン排出ガスである一酸化炭素（CO）、二酸化炭素（CO₂）、メタン（CH₄）、亜酸化窒素（N₂O）などの採取を目的とし、採取された気体は環境研に送られ、そこで分析された。その後、「気候変動に関する国際連合枠組み条約」の京都議定書発効に伴う地球温暖化防止に寄与するために温室効果気体であるハロゲンガス（以下、「ハロゲン」と言う）やハロカーボンガス（以下、「ハロカーボン」と言う）の観測も加わった^{2)、3)、4)}。

また、定期的な地球温暖化気体観測の一環として、財団法人「日航財団」をとりまとめ機関とした文部科学省の科学技術振興調整費による「定期旅客便による温室効果気体観測のグローバルスタンダード化」の研究が行われ、JAXAもこれに参加した。これは、民間旅客機に搭載できる「温室効果気体濃度測定機器」を開発し、「機器搭載のための機体改修の承認であるSTC」を日本及びアメ

リカ合衆国の航空当局から取得する。その後、旧株式会社日本航空インターナショナル（以下、「JAL」と言う）およびJAXAが所有する航空機に搭載して飛行し、温室効果気体の観測を行うことを目的とした研究である。ここで開発した機器を世界中の航空路を飛行する民間旅客機に搭載できれば、温室効果気体を長期間地球規模で観測することが可能となる。

JAXAは、この研究の中で試作された二酸化炭素自動連続測定器（以下、「CME」と言う）を民間旅客機へ搭載する前の事前の評価などを担当した。この評価・観測機としてB-65機が用いられ、現在も継続的に観測飛行を行っている^{5)、6)}。

大気観測とは別に、晴天時における乱気流などの急激な風の変化から生じる航空機事故を未然に防ぐことを目的として、JAXAでは航空機搭載型の風擾乱検知装置である風計測ライダの開発を行っている。航空機からレーザ光を前方に照射し、大気中の塵（エアロゾル）による散乱光のドップラシフトから風速を測定することで、大規模な風速変化（擾乱）のある空域を検知することで風擾乱による事故回避を行うことを目的としている。この風計測ライダの回線設計の仕様設定や性能評価のためには、種々の条件におけるエアロゾルの濃度を観測し、基礎データを取得する必要がある。B-65機は、この開発においてエアロゾル分布の観測を行うことだけでなく、開発された風計測ライダの飛行評価試験も行っている。^{7)、8)、9)、10)、11)}。



写真1 実験用航空機B-65機

これらの、(1)定期的な大気採取(環境研との共同研究)、(2) CME の飛行評価、及び(3) エアロゾル観測は、使用する航空機が共通であるだけでなく、観測データとして必要な飛行状態量や飛行空域・方法などに共通点も多く、複数の大気観測機材で同時に観測することにより運航上のメリットが期待できる。つまり、これらの観測ではデータ数が多いほど有利であるが、飛行回数は航空機運用経費や気象などの面から制限がある。そのため、飛行位置、高度/速度等の飛行状態量データの収集を行う飛行データ収集システムなど、共通に使用する装置の小型化、複数の大気観測装置の機体への同時搭載化、装置運用や観測飛行方法等の調整を行うことで、同一飛行内で複数の観測を実現し、観測飛行の効率化を図った。

また、同一エリアでの長期間に渡る大気・環境観測飛行を行い、環境観測上においても貴重なデータを提供することを目的とするため、相模湾上空を観測エリアに選定したが、相模湾周辺は航空交通の最も多いエリアの一つであり、定期的な鉛直分布の観測を継続的に実現するためには飛行方法や飛行エリア確保などの難しい課題があった。そのため関係諸機関との調整により、観測飛行が可能となった。

本報告では、観測飛行の実施に関する観点から、背景と目的、観測観測システムおよびその改良、観測方法、及び相模湾上空での大気観測飛行手順について具体的に述べ、その成果例を示す。

尚、本稿では主に航空機で慣用される単位系を使用し、SI 単位系の値を併記する。主な単位の SI 単位系への換算値は以下の通りである。また、飛行に関する用語等は参考文献 12) を参照した。

1ft=0.3048m, 1kt=0.5144m/s=1.852km/h, 1NM=1,852m
1mile/h=0.447m/s=1.609km/h,

2. 背景と目的

2.1 定期的な大気採取

環境研との共同研究は平成 8 年より行われてきた。開始当初における NAL の目的は CO やメタン等の航空機エンジンの排気ガスに含まれる成分の継続的な観測であった。環境研の目的は「温室効果気体の発生、吸収に関するメカニズムの解明と東アジアにおける CO₂ の分布、変動の調査」にあった。

環境研との共同研究を開始する際に要望された、大気・環境観測飛行の条件は以下の通りである。

(1) 観測範囲とする低高度から高々度 (7,000m 程度) までを飛行可能であること。

- (2) 低速度 (200km/h 程度) での飛行が可能であること。
- (3) 観測時の位置や温度、湿度、風の状態などの飛行データが得られること。
- (4) 観測の定時制 (規則的な観測)・継続性を保持できること。

B-65 機は高度域や速度域が上記条件にはほぼ合致する性能であった。さらにエンジンが双発であることにより運航の安全性が高い。表 1 に B-65 機の主要諸元・性能を示す。

B-65 機が実験用航空機であることから、観測用機器をはじめとして各種センサ等の搭載などの機体改修が比較的容易にできる環境を有していること、機体の定期検査 (耐空検査) の期間を除けば、概ね規則的な運航が可能であったことである。

環境研との共同研究による定期的な観測飛行は継続され、温室効果気体 (地球温暖化気体) であるハロゲンやハロカーボンの観測が追加された。この観測飛行の履歴は以下の通りである。

- (1) 平成 8 年 航空機エンジンの排気ガス、CO₂ の観測飛行開始
- (2) 平成 11 年 ハロゲン (代替フロン) の観測飛行開始
- (3) 平成 15 年 ハロカーボン (温室効果気体) の観測飛行開始

後から追加された (2) ハロゲン観測飛行は基本的に同じ観測エリアである相模湾上空で採取されたが、採取する気体の特性の違いから新たな装置の搭載や異なる採取高度の指定により、CO₂ 観測のための飛行とハロゲン観測のための飛行が別々に行われていた。その後、ハロゲン観測は (3) ハロカーボン観測に含めて実施してきた。このハロカーボン観測の開始にあたり、採取システムの改良と搭載のための機体改修を実施した結果、平成 16 年度か

表 1 B-65 機の主要諸元・性能

機体型式	ビーチクラフト式 65 型
エンジン型式	ライカミング式 IGSO-480-A1B6 型 2 基
最大離陸重量	3,493 kg
乗員/乗客	2/5、実験形態では 2/2
全長	10.16 m
全幅	13.98 m
全高	4.32 m
最大速度	340 km/h (184 kt)
上昇限度	8,858 m (29,062ft)
最大航続距離	1,185 km

ら CO₂、ハロゲン、ハロカーボン観測が同一飛行によって可能となった。

約 10 年に渡る同一飛行エリアでの大気・環境観測飛行により当初の目的が達成されたが、今後も引き続き CME の評価を通して観測を行う予定である。

2.2 CME の飛行評価

温室効果気体を地球規模で観測するために、財団法人日航財団がとりまとめを行い、平成 15 年度から平成 17 年度の 3 年間に渡り文部科学省の科学技術振興調整費により、研究テーマ「定期旅客便による温室効果気体観測のグローバルスタンダード化」産官学共同研究が実施された。このプロジェクトは、東北大学、気象研究所、環境研、JAXA、(株) ジャムコ、JAL が参加した、いわゆる産・学・官の連携で行うもので、その全体枠は図 1 の通りである。

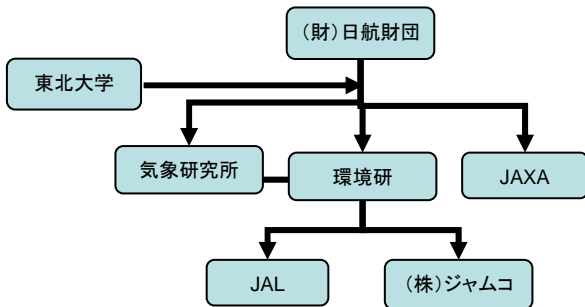


図 1 「グローバルスタンダード化」関係機関

民間定期便を用いる観測は、JAL グループなどにより昭和 59 年から行われていたが、平成 5 年から開始された成田ーブリスベン（またはケアンズ、シドニー）間の大気観測飛行に用いられた旅客機が退役することになった。地球温暖化に対応する有効な対策を推進するためには、日豪間の観測を継続するだけでなく、北米、ヨーロッパ、アジアを含めた全世界的で効率よく温室効果気体を観測する必要がある。そのため、民間旅客機への搭載や運用が容易である観測機器を開発し、それを JAL 機に搭載し運航路線で温室効果気体の観測を行うことになった。

2.1 項で実施している大気採取で用いているフラスコサンプリング装置による観測方法では、観測精度は高いものの大気を採取した後、装置を機体から回収して分析する必要がある。そこで、分析できる気体が CO₂ に限定されるものの長期間の連続運用が可能な CME を新たに開発した。この装置は世界各地域において運用される民間旅客機に搭載可能とする規格、性能を有することを目的とし、B-747-400 型機及び B-777-200 型機への搭載許可

である追加型式設計承認（STC）をアメリカ合衆国 FAA および日本 JCAB から取得した。これは STC で定められた方法に従って搭載すれば同型機の運航を阻害しないことが保証されたこととなり、その結果同型機への搭載が容易に行えるようになる。特に、FAA からの STC を取得することで欧米のエアライン所有の同型機への CME 搭載を推し進めることが期待できる。

JAXA は、この新たに開発した CME を B-65 機へ搭載し、その動作状況を調べることに、CME を使用した先行的観測（計測）を担当した。

2.3 エアロゾル観測

JAXA では、飛行中の航空機（特に民間旅客機）が乱気流に巻き込まれない様に、晴天時の前方気流状態を検知するセンサである風計測ライダの開発に取り組んでいる。

JAXA で開発している風計測ライダは大気中に含まれるエアロゾルの反射を利用する原理を使っているため、その検知の成否及び精度は大気中のエアロゾル濃度に大きく影響される。そのため、開発する風計測ライダの設計や実用化には民間旅客機が飛行するエリアの大気中のエアロゾルの濃度と、天候、季節、高度・速度等との相関関係の調査が非常に重要になる。この目的を実現するためには、エアロゾル濃度を計測するための装置を搭載し、民間航空路における長期間の観測を行うことが必要になる。

風計測ライダ開発の基礎データ収集のため、平成 16 年に B-65 機にパーティクルカウンタ（微粒子計数計）を搭載し、エアロゾル濃度の測定を開始した。その成果を基に、現在 1NM(1,852m) 先までの風擾乱検出可能な風計測ライダの開発及び飛行評価が行われた。更に実用化の目安とされる 5 NM (9,260m) 先の風擾乱検出のために風計測ライダの改良及び飛行評価が行われているが、実用化のための基礎データとすべく、エアロゾル濃度の定期的な観測も継続している。

2.4 観測飛行の効率化

JAXA では、増大・多様化する環境観測など観測飛行をはじめ開発機器の飛行実証・飛行評価などの社会的要請に応えることを目的として、実験用航空機による飛行試験の高度化を検討している。その一環として効率的な飛行試験の実現のために(1)ユーザが持ち込むセンサや計測機材を容易に飛行評価ができること、(2)従来からある研究資源の効率的な運用ができることを目的として、B-65 機で行われている大気観測飛行の効率化の検討を開始した。

昭和 36 年度に導入された B-65 機は 7 人乗りの小型機であり、さまざまな改修を実施してきている。しかし最近、搭載計測機材等の老朽化によるデータ欠落が目立つようになってきた。大気・環境観測飛行において新たな計測機材および観測機材を搭載するには基本的なデータ取得センサや装置の小型軽量化及び自動化などによって観測における計測員の負荷を減らすシステムを実現する必要があった。特に B-65 機は非与圧機であるため、10,000ft (3,048m) 以上での観測飛行を行う時には搭乗員は酸素マスクを使って作業を行っているために作業負荷が大きい。さらに同じ観測エリアで実施される複数の観測に対し、観測データを効率的に取得するためには、同一飛行において複数の観測が実現するシステムとするための検討を行う必要があった。

3. 計測システム

3.1 全体構成

3.1.1 計測システム構成

第 2 章で述べた大気・環境観測飛行を行っている B-65 機に搭載された計測システムは、運航用の機材を除くと、以下の 4 つに分類できる (図 2)。

- (1) 飛行データ収集システム
- (2) 大気採取システム
- (3) CME 計測システム
- (4) エアロゾル計測システム

飛行データ収集システム (以下「FDASB」と言う) は、第 2 章で述べた大気・環境観測を実施する上で共通に必要な飛行状態量 (位置・高度・速度など) を計測・記録するためのシステムであり、以前からの機材に観測用の装置などを加えて構成されたシステムである。飛行状態量センサ (図 2 中、橙色箱で示す) から出力される飛行状態量は、

各種シリアルデータ・バス (赤線で示す) を通して FDASB の HDD に記録される。

(2) から (4) は大気観測を行うために新たに搭載されたシステムであり、大気を採取するための配管が装備された。

大気採取システムは 2.1 項で述べた定期的な大気採取観測のための装置等で構成されており、機体上面に取り付けられた大気採取管から CO₂、ハロカーボン分析用の試料を作るための大気を別々に採取する。2 種類の大気採取装置は大気の採取時にそれぞれの装置に外気を取り込むように配管を切り替えて使用している。

CME 計測システムは 2.2 項で述べた民間旅客機搭載用 CME の評価を行うためのシステムであり、上面の採取管の一つを占有し飛行中連続して CO₂ 濃度を自動的に測定する。また、このシステムは外部からの ARINC データを記録する機能を有しており、民間旅客機で想定している FMS からの信号に代えて、B-65 機では機体に搭載している GPS 受信機から出力される GPS データを収集・記録する。

エアロゾル計測システムは 2.3 項で述べたエアロゾル観測のための計測装置等で構成されており、観測空域の大気をパーティクルカウンタに取り込んで空域の塵の量 (数密度) を観測する。

3.1.2 観測の効率化

B-65 機による大気・環境観測においては観測の効率化を図るために JAXA の担当者と環境研の研究者が度重なる協議を行って、搭載しやすく、かつ扱いやすい計測システムの実現に向けて順次整備を進めてきた。

即ち、2.4 項で述べた観測飛行の効率化に加えて、同時に取得した複数の観測機器のデータを比較したいという研究者からの要求や、定時性を確保するために少ない

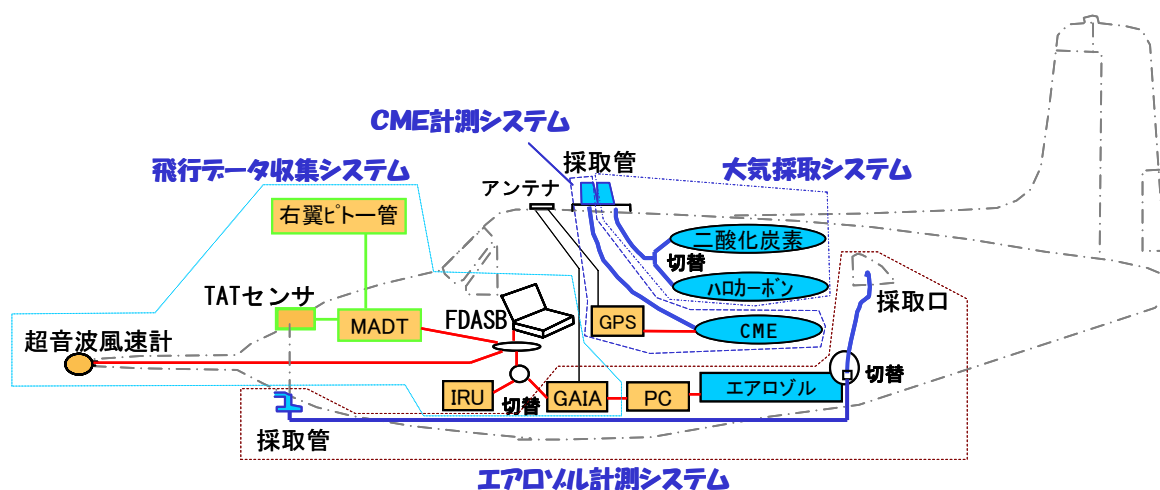


図 2 B-65 機搭載システム概要

飛行機会（梅雨時などでは観測空域と基地である調布地区の双方の天候が良好である条件が成立しにくいことや、飛行人員のスケジュールの確保が困難であるなど）を有効に使いたいという機体運航者側からの要求があった。これらの問題を解決するためのキーワードとして各システムの自動化と集約化およびスペースの確保を掲げ、機体改修を行った。

機体改修はハロカーボン観測の実施に合わせて開始した。まずハロゲン用採取システムを基に開発したハロカーボン採取システムの機体への搭載を行った。同時にCO₂採取システムとの同時搭載化を実現した。その結果、それまで別々の飛行で行われていたCO₂の採取飛行とハロカーボンの採取飛行を同じ飛行の中で実施できるようになった。この作業により客室後部にスペースが生まれ、

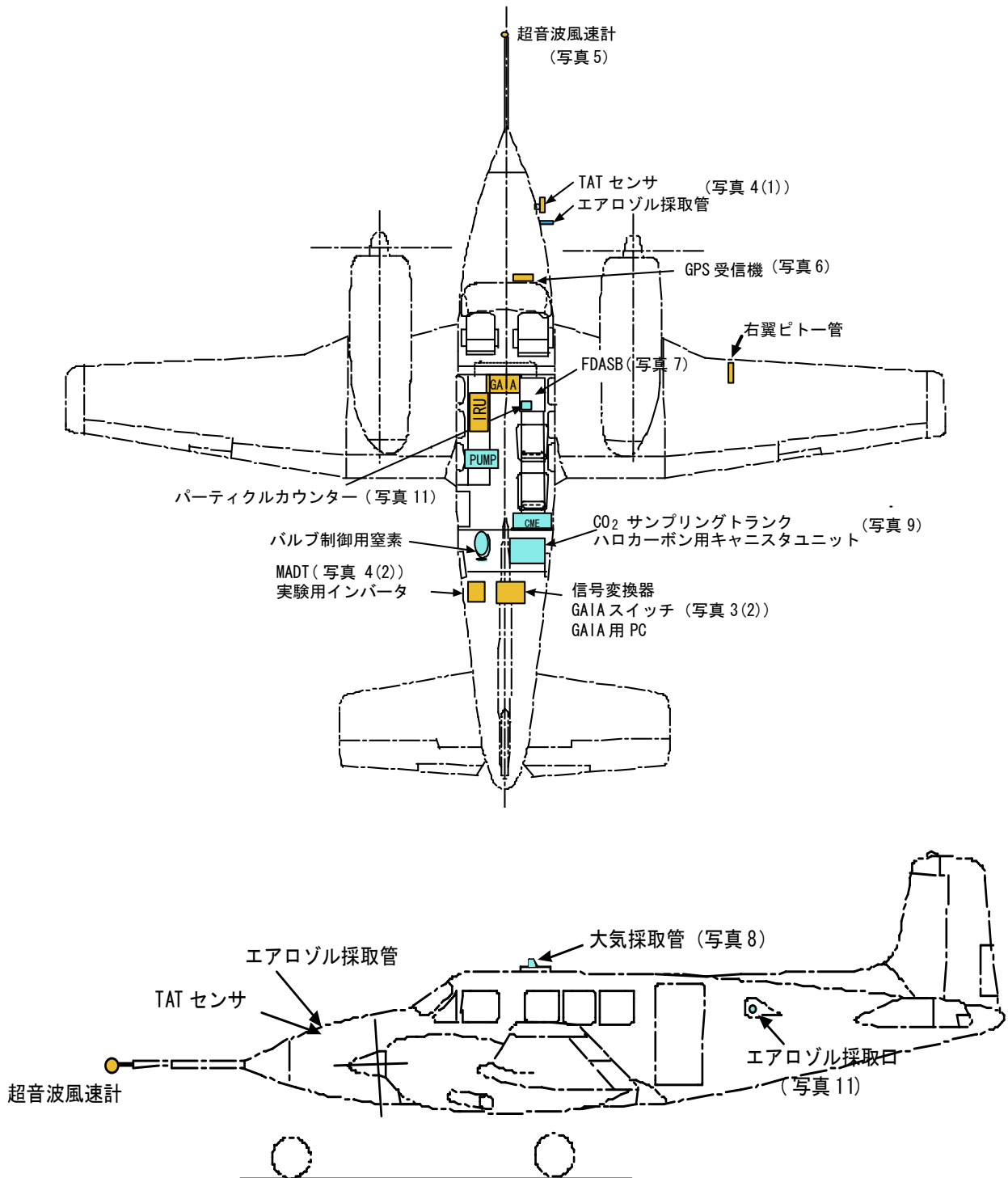


図3 B-65 搭載機器配置

そこに CME 計測システムを搭載することを実現した。またエアロゾル計測システムも同時期に搭載した。

FDASB の構成センサである慣性航法センサ IRU の老朽化によるデータ欠落が発生し始めたことから小型・高性能の慣性航法センサ GAIA の搭載を行うとともに、GAIA からの出力データを飛行データ収集システムに取り込むことができるような信号変換器を製作し搭載した。このとき GAIA 本体を主桁付近の床下に収納するとともに制御 PC、信号変換器を後部に配置することにより、大きく重い IRU が占めていたスペースおよび重量が軽減され、あらたな搭載余裕が生まれるとともにエアロゾルデータの制御 PC への集約化も実現した。

これらの機体改修により計測システムはほぼ自動化されたこととなり、10,000ft(3,048m)以上での酸素マスクを使いながらの観測作業にとって観測飛行中のオペレーションミスの発生が減少した。また、計測員がシステムのモニタなどを確実に実施するための余裕ができた。このことは非常に有益であった。

他方、航空機のジェネレータ電源 DC28V とは別に、B-65 機は電源インバータを搭載し、民生用機器を用いた計測システムの機器のための電源として、AC115V を供給している。この電源インバータを変換効率の良い電源インバータに交換することによって観測において使用できる AC115V 電源容量の増加を図った。この改修により、新たな AC115V 電源を使用する搭載機器の追加搭載が可能になった。

以上の改修を行った結果、現在の観測飛行における計測システムの配置は図 3 に示すようになった。

計測システムの特徴は以下の通りである。

- (1) 標準装備の飛行データ収集システム (FDASB) により、必要な飛行データ (位置、高度、風、温度等) が容易に得られる。
- (2) 複数の大気観測システムを混載してあり飛行機会を有効に使える。即ち、効率的な飛行回数で観測データが得られる。
- (3) 計測システムの自動化により少人数で運用ができる。

搭載計測装置の改造・新規搭載などは JCAB の修理改造検査の対象となることが多いこと、観測の定時性を維持することから機体改修に要する期間をなるべく短くすることのために、観測の効率化のための機体改修作業は複数年度に渡り行われた。

3.2 項以降では、B-65 機に搭載している飛行データ収集システムと 3 つの観測システムについてそれぞれ説明する。

3.2 飛行データ収集システム

第 2 章で述べた大気・環境観測に共通して必要な飛行データの収集システム FDASB は、機体状態量を計測するための飛行状態量センサ及び計測・記録装置で構成される^{4),13)}。

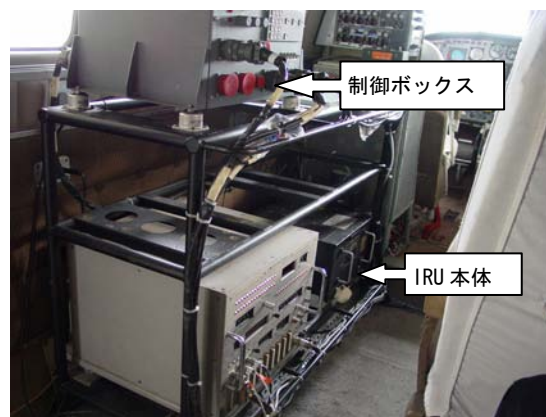


写真 2 IRU の搭載状況

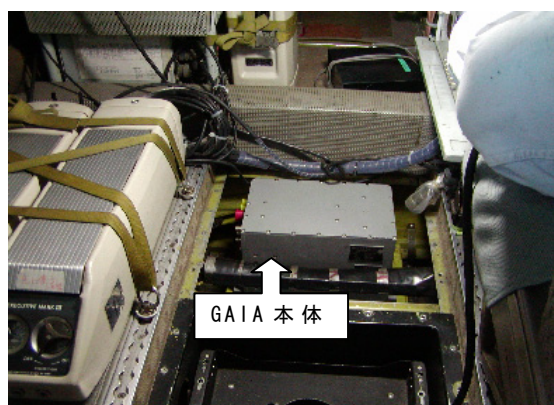


写真 3(1) GAIA の搭載状況

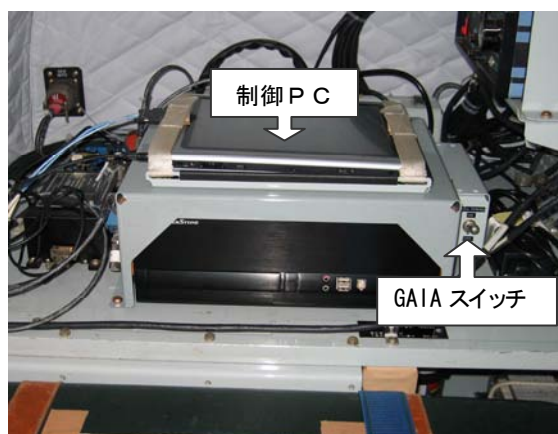


写真 3(2) GAIA 用制御 PC、スイッチ

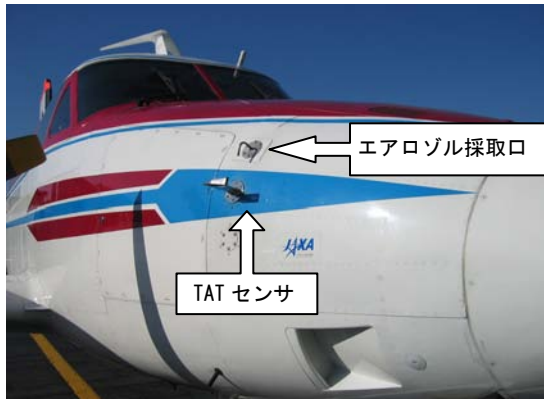


写真 4(1) エアデータセンサ (TAT)

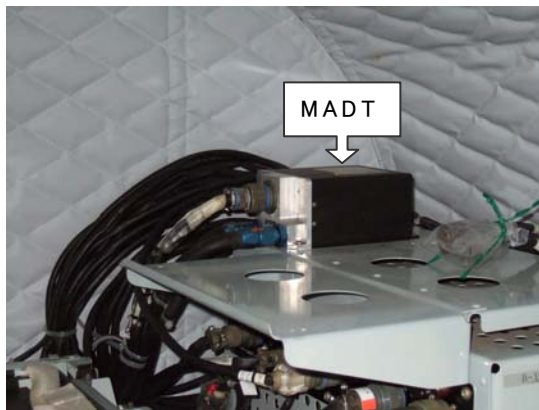


写真 4(2) エアデータセンサ (MADT)



写真 5 超音波風速計



写真 6 GPS 受信機

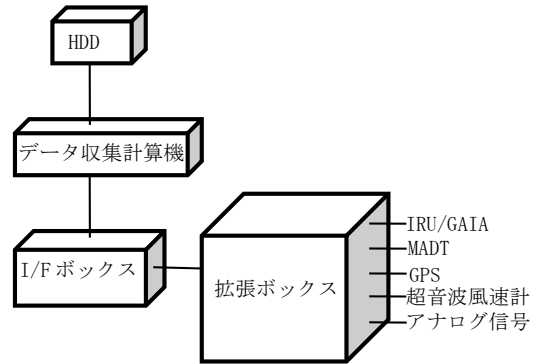


図 4 FDSB 系統図



写真 7 FDSB 搭載状況

飛行状態量センサは主に、位置・姿勢・高度/速度を出力する慣性センサ、気圧高度/対気速度、外気温度を出力するエアデータセンサ、GPS データを出力する GPS 受信機、風速度を算出する風センサにより構成されている。慣性センサは写真 2 に示す IRU を用いているが、平成 18 年に JAXA において開発した GAIA (写真 3) を搭載し、IRU と GAIA を交換装備としている。今後 B-65 機を用いた観測飛行では主力となる慣性センサを GAIA とすることとしている。一方、エアデータセンサには、写真 4 (1) に示すような総温度 TAT センサとピトー圧力変換器 (以下、「MADT」と言う：写真 4(2)) を用いている。MADT は右主翼下に装備されているピトー管からの配管を分岐して装備した計測用の配管によって得られる圧力データと、前述の TAT センサからの温度データから、気圧高度や真対気速度など演算・出力する統合センサとなっている。エアデータセンサは MADT 以外に風センサとして、JAXA が開発した超音波風速計 (写真 5) を搭載しており、風向、風速のほか迎角、横滑角などの計測をしている。また、飛行位置センサとして、操縦室計器パネルに計測用 GPS 受信機を装備している (写真 6)。

それぞれのセンサから出力されたデータは拡張ボックスに集中され、I/F ボックスを通して計測・記録装置であるデータ収集計算機に送られる。ここでは全ての収集データに時間タグが取り付けられるよう処置されて HDD

に記録される。本方式により、異なるセンサから送られるデータ間の関係が明確になり、効率的なデータ解析を行うことが可能となった。FDASB によるデータ収集の流れを図4に、データ収集計算機およびI/Fボックスの搭載の状況を写真7に示す。

3.3 大気採取システム

2.1項で述べた、CO₂採取およびハロカーボン採取の大気採取システムについて述べる。CO₂採取システムを図5に、ハロカーボン採取システムを図6に示す。

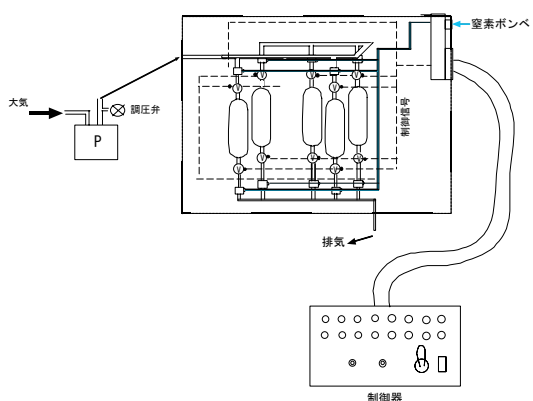


図5 CO₂採取システム

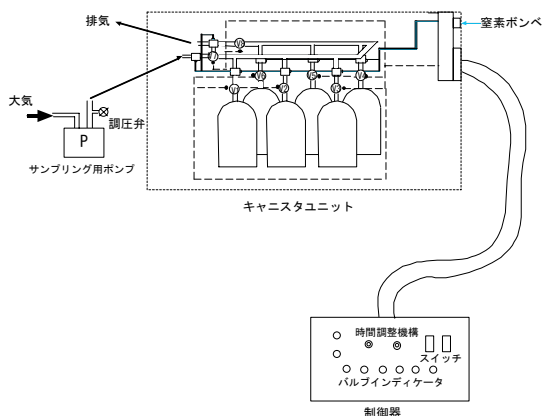


図6 ハロカーボン採取システム

(1)CO₂採取システム

CO₂採取のシステムでは機体上面に設置した大気採取管(写真8)からテフロンチューブにより客室内に搭載したポンプラックに装備された加圧用ポンプを経て環境研によって開発された採取器(以下、「サンプリングトランク」と言う:写真9)に大気が導かれる。

サンプリングトランクには必要な数のガラス製のボトル(15本)が収められており、それぞれのボトルにある2つの口(大気採取口と排出口)にはそれぞれエアフロ

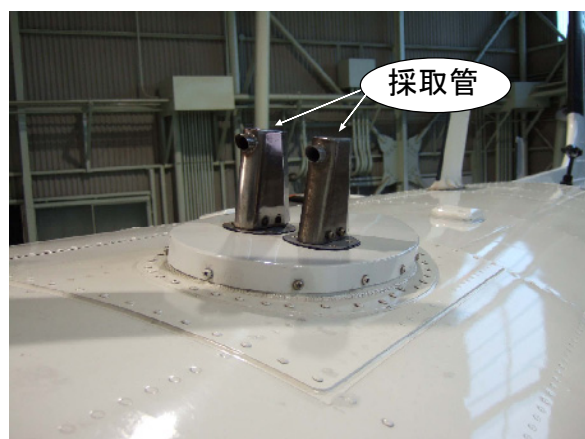


写真8 大気採取管(孔)

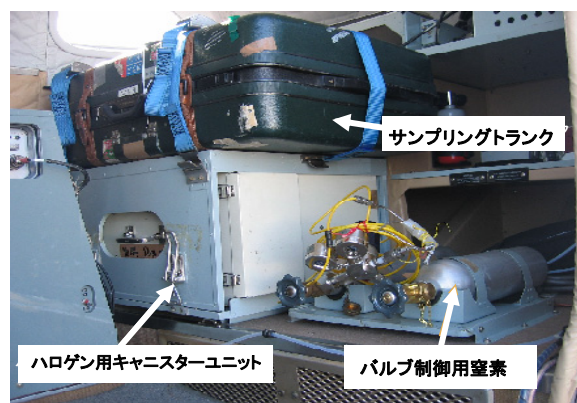


写真9 採取器の搭載状況

一型バルブが設けられ、専用のコントローラにより制御される。これにより所望のボトルに大気を採取することができる。

CO₂採取システムで大気を採取する場合、最初に両方のバルブをあげ、ボトル内を大気で洗浄したのち、出口側のバルブを閉め加圧する。ボトル内が一定の圧力になると自動的に入口側のバルブも閉じて大気採取が完了する。

(2)ハロカーボン採取システム

一方、ハロカーボン採取システムはCO₂採取システムと同様に機体上面の大気採取管から機内のポンプに導かれた大気を加圧ポンプにより採取器(ハロゲン用キャニスターユニット、以下「サンプラー」と言う:写真9)に収める。サンプラーの中には必要な数のボトル(6本)が収められている。ボトルの口にはエアフロー型のバルブがついており、専用のコントローラによって制御される。このサンプラーおよび専用のコントローラは平成14-16年度に実施した地球環境研究総合推進費による「日本沿岸上空におけるハロカーボンの鉛直分布モニタリングに関する研究」において開発したものである。

(3) 大気採取シーケンス

ここでは JAXA で実施している大気・環境観測飛行において実施している大気採取のシーケンスの概略を説明する (図 7)。

各採取用ボトルに所定の大気を採取するにはまず採取しようとする高度において水平飛行をしている間に空流し、採取という工程を実施する。空流しでは採取管から採取用ボトルまでの間にある不必要な大気を管路から排気する。そのためには採取器の入口および出口のバルブを開けて管路を開放にする (必要に応じてボトルの中も空流しする)。その後、出口バルブを閉め、採取用ボトルの入口を開けて加圧用ポンプによって取り込まれてきた大気を規定圧力になるまで採取する。採取したら入口バルブを閉じてこのケースにおける大気採取は終了し、次の採取に備える。このシーケンスを順次採取用ボトルの数だけ (観測指定高度の数) 実施する。

また、ハロカーボン採取を例にとって採取の様子を図 8 (1)~(4) とする。

- (1) 採取前において大気は図 8 (1) のように採取管からポンプを経て送り込まれるが採取器内部の管路を通らずバイパスして外部に排気される。ハロカーボン採取の場合、各ボトル内部は洗浄されているので、採取時までその状態を維持するため、およびポンプの連続運転を可能とするためにこのような経路としている。
- (2) 採取にあたっては、まず大気をボトル内に取り込む前にサンプラー内の管路から不要な大気を除くための空流しを実施する。
ハロカーボン採取システムにおいては管路にある不要な大気を外に吐き出して有用な大気で充満させる (図 8 (2))。
- (3) そして、それぞれ適当な時間の空流しを行ったあと、ボトル入口のバルブを開け、ボトル内にポンプで加圧した大気を取り込む (図 8 (3))。
- (4) 適量 (気圧) 採取した時点でボトル入口のバルブを閉じてその高度における採取を終了し次の採取に備える (図 8 (4))。

3.4 CME 計測システム

CME は CO_2 濃度を連続的に測定することができる装置で、従来のボトルサンプリング方式と比べ、圧倒的に大量のデータが取得可能となる。飛行中に CME を作動させておけば、航空機が移動した場所の CO_2 濃度を連続して記録できる。

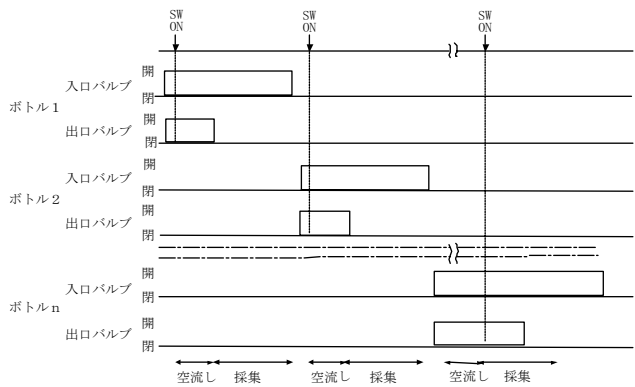


図 7 大気採取シーケンスの概念

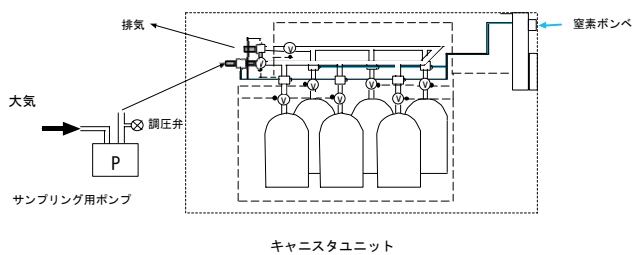


図 8(1) 採取シーケンス 1

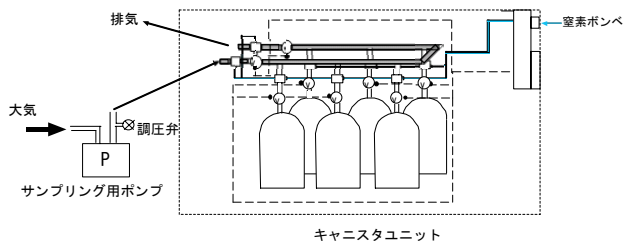


図 8(2) 採取シーケンス 2

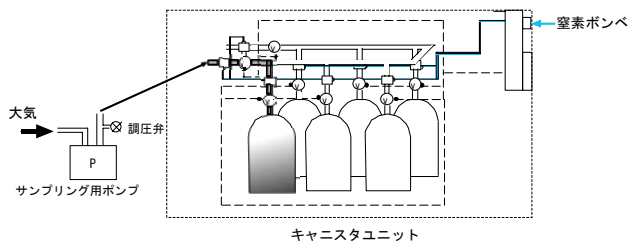


図 8(3) 採取シーケンス 3

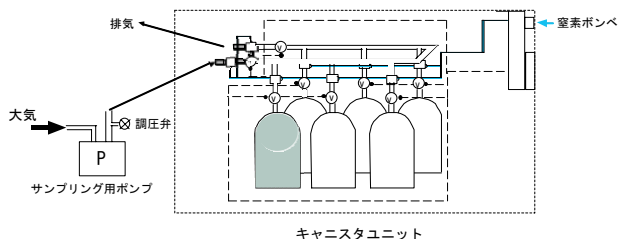


図 8(4) 採取シーケンス 4

CME 計測システムの B-65 機への搭載は平成 16 年度に実施され、民間旅客機搭載に先駆けて CME の運用面における示唆を与えることができた。また、今後も B-65 機による観測飛行を行うことにより CME の特性の経時変化の

観察や新たに発生した問題点を円滑に解決できることなどが期待される。

CME 計測システムは、CME 本体、補助ポンプと外部信号入力ラインから構成されている (図 9)。

CME 本体は、採取大気と比較するための標準気体、CO₂ センサ (NDIR：非分散赤外線)、調圧器、ポンプなどの CO₂ 観測部、高度センサ、CME 制御センサの状態や外部からの入力信号等を記録するデータ収集部、並びに制御部で

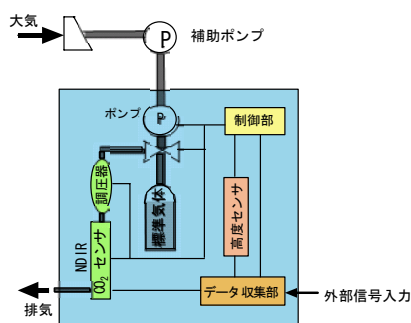


図 9 CME 計測システムの概念図



写真 10 CME 搭載状況

構成される。

CO₂ 濃度計測は、NDIR に採取大気を通過させて濃度を計測する。しかし、NDIR は温度で特性が大幅に変わることや、CO₂ 濃度を高精度に計測するために、あらかじめ CO₂ 濃度がわかっている 2 種類の標準気体と採取した大気を交互に NDIR を通過させて、2 つの標準気体との比を計算し、採取気体の CO₂ の絶対濃度を計算する方式を採用している。計測された CO₂ 濃度は、大気採取場所の位置・高度等の飛行データとともにデータ収集部に記録される。

第 2 章で述べたとおり、CME は民間旅客機搭載用に開発された。B-65 機は、民間旅客機 (B-747-400 型機、B-777-200 型機) と機体装備環境 (非与圧機、エンジン振動条件) などが異なるため、B-65 機に搭載した CME は同一の機能を有するものの一部仕様異なる。この CME を B-65 機に搭載するために追加の試験 (高度、振動試験) を行い、JCAB による修理改造検査を受けた。

また、民間旅客機搭載の CME では、飛行状態量 (位置、高度、時間など) のデータは FMS (飛行管理システム) 信号 (ARINC429 規格) を分岐して CME 本体のデータ収集部に記録される。しかし、本 CME 計測システムでは、B-65 機に搭載された GPS 受信機 (トリンプル 2000TNL) の出力信号 (ARINC429 規格) を分岐して得られる位置データ等と、CME 本体に内蔵された高度センサによる高度データが飛行状態量としてデータ収集部に記録される。この高度センサ情報は、予め設定した高度以上で自動的に観測を開始するためのトリガ信号としても利用されている。CME は観測開始まで内部管路の空流しを実施する。CME に供給される採取大気は、機体上面に装備している大気採取管 (写真 8) から取り込まれ、テフロンチューブによって客室内の補助ポンプを通して CME に送られている。この補助ポンプは CME を B-65 機に搭載するために新たに取り付けられた。民間旅客機搭載用 CME は貨物室の与圧空間に設置するように設計されており、高度約 6,000ft (1,829m) 相当の圧力下での稼働を前提としている。しかし、B-65 機は非与圧機であり、観測高度が 23,000ft (7,010m) までの高空に及ぶことなどから、この補助用のポンプを搭載して低大気圧に対処した。

民間旅客機に CME を搭載して観測する場合、CME に内蔵された標準気体は旅客機の定期点検間の約 3 ヶ月間観測できる容量で設計された。標準気体は常に一定量 NDIR を流れるようになっているが、B-65 機の観測飛行では標準気体の無駄な消耗を防ぐ目的で飛行前に標準気体のボトルのコックを開け、飛行後はコックを閉じるという運用を実施している。

3.5 エアロゾル採取計測システム

エアロゾル採取計測システムでは大気中のエアロゾルの濃度を計測するためのパーティクルカウンタを B-65 機に搭載して、その計数値をパソコンに記録している。搭載したパーティクルカウンタは主に工場のクリーンルームで用いられているものであり、航空機に搭載して実際に大気中のエアロゾルを測定する試みはあまり他の例を見ない。本観測では、定性的なエアロゾルの状況を把握することを主眼にしたため、軽量・小電力のパーティクルカウンタを選択した。パーティクルカウンタの外観を写真 11 に、主要な規格を表 2 に示す。

エアロゾルの計測については機体前部 (写真 4 (1)) に設置した採取管および後胴側部写真用撮影用窓 (写真 12) 付近を流れる大気をチューブによりパーティクルカウンタに導いている。パーティクルカウンタはポンプを内蔵しており、導かれた大気を一定流量でセンサ部を通

過させ1分間ごとのエアロゾル個数をカウントする。データはRS232C信号で出力され、データ収集用PCもしくはGAIA制御用PCに取り込めるようになっている。計測のブロックダイアグラムを図10に示す。ここではGAIA制御用PCにエアロゾルデータを記録するブロックを示している。



写真11 パーティクルカウンタ

表2 パーティクルカウンタの主な規格

型名	モデル 227B
方式	半導体レーザ光源側方光散乱
サンプル吸引量	2.83 リットル/分
測定粒径 CH1	0.3 μm 以上
CH2	0.5 μm 以上にセット
計数誤差	5% 以下
ポンプ	カーボンペーン
出力	RS232C/RS485



写真12 エアロゾル測定窓（写真用窓）

このエアロゾル測定における大気採取方法については気流の乱れない位置、エンジン排気の影響の除去、エアロゾル質量の違いによる測定誤差の問題など検討した

がら、機種前方のエアスクープから取り込む方法と後部胴体側方に準備されている写真撮影用窓を利用して取り込む方法の2つの採取方法を評価中であり、さらに採取口の形状や向きなどについて検討を行っている。現在の大気採取においては写真撮影用窓を利用した方法を中心に測定を行っている。

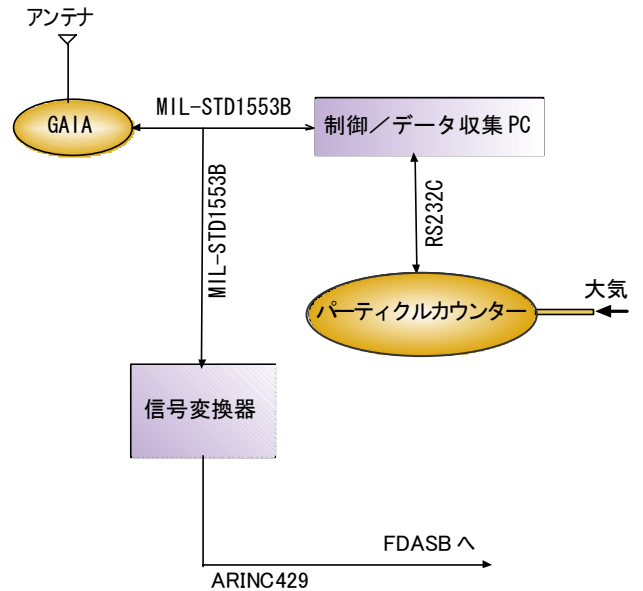


図10 エアロゾルデータ、GAIAデータの収集

4. 観測飛行

4.1 観測飛行方法

4.1.1 観測場所設定

第2章で示した定期的な大気採取を開始する際に共同研究相手である環境研から要求された大気採取場所等の条件を検討した結果、観測条件を下記のように設定した。

- (1) 調布飛行場をベースにする
- (2) B-65機の飛行能力を考慮し、相模湾上空500mから7,000mの大気のサンプル採取を行う。

航空機の高度指示単位は一般にfeetが用いられておりパイロットへの指示等を円滑に行えるよう、観測高度範囲は1,600ft(487m)から23,000ft(7,010m)として設定した。

ハロカーボン観測ではCO₂計測と同じ条件であるが、大気を採取する高度は別に指定された。CMEはCO₂計測と同時にすることが要求された。エアロゾル観測からの要求は民間航空路と同等のエリアでの観測が要求された。

観測場所に対する条件をクリアし、最終的に観測場所とした相模湾上空は最も航空交通量の多い空域の一つであり、図11に示すように東京、横浜、川崎などの大都市

に近く、航空路が密集した地域であるため、航空機エンジンの排気ガスやCO₂の観測に適している。また、相模湾は地理的な特色である季節による大気の入替えによる大気組成のはっきりした変化（南風が入ると海洋性の大気、つまり汚染の少ない大気、また北西風が卓越すると大陸を含んだ日本海側からの大気が山脈により混合されて相模湾上空まで達する）が見られ、大気観測の上で興味深いエリアとなっている。

ベースとなる調布飛行場は、有視界飛行による運用制限はあるものの、東京西部に位置し、相模湾上空へのアクセスがしやすい。

大気・環境観測飛行を実施するには、(1)観測空域を飛行するための手続き及びその飛行方法、(2)大気採取手順と飛行パターン、を確定する必要がある。特に、観測空域の確保には航空交通管制との事前調整が重要である。また、運航時の課題など以下にこれらについて述べる。

4.1.2 飛行手続き

相模湾上空は航空交通量が多いため、この空域での航空交通路をさえぎるような飛行は非常に困難であるとともに、飛行安全を確保するためには航空交通管制諸機関

との円滑な調整が欠かせない。その調整手順は以下の通りである。

- (1) 翌年度の年間全体運用に関する飛行許可調整のため、飛行目的、飛行期間、飛行経路、高度、飛行方式、使用航空機、飛行時間、搭載無線機及び ATC トランスポンダ、操縦士氏名とその資格等についての調整資料を提出し、所沢市にある国土交通省東京航空管制部航空管制事務室と調整を行う。その後、調整内容を記した書類の番号（受理番号）を取得した以降は、観測飛行は全てその受理番号で許可される。
- (2) この飛行空域（高度 3,000ft（914m）～12,500ft（3,810m））の航空交通管制を行っている米軍横田基地のレーダ進入管制を管轄する RAPCON へ調整された資料を参考情報として提出する。これにより、観測飛行時の安全確保のためのレーダ監視（アドバイザー）を受ける事ができる。
- (3) 羽田空港にある東京航空局東京空港事務所航空管制情報官室へ同資料を提出する。これにより、相模湾上空を通過する羽田空港離発着機との安全確保の管制情報となる。

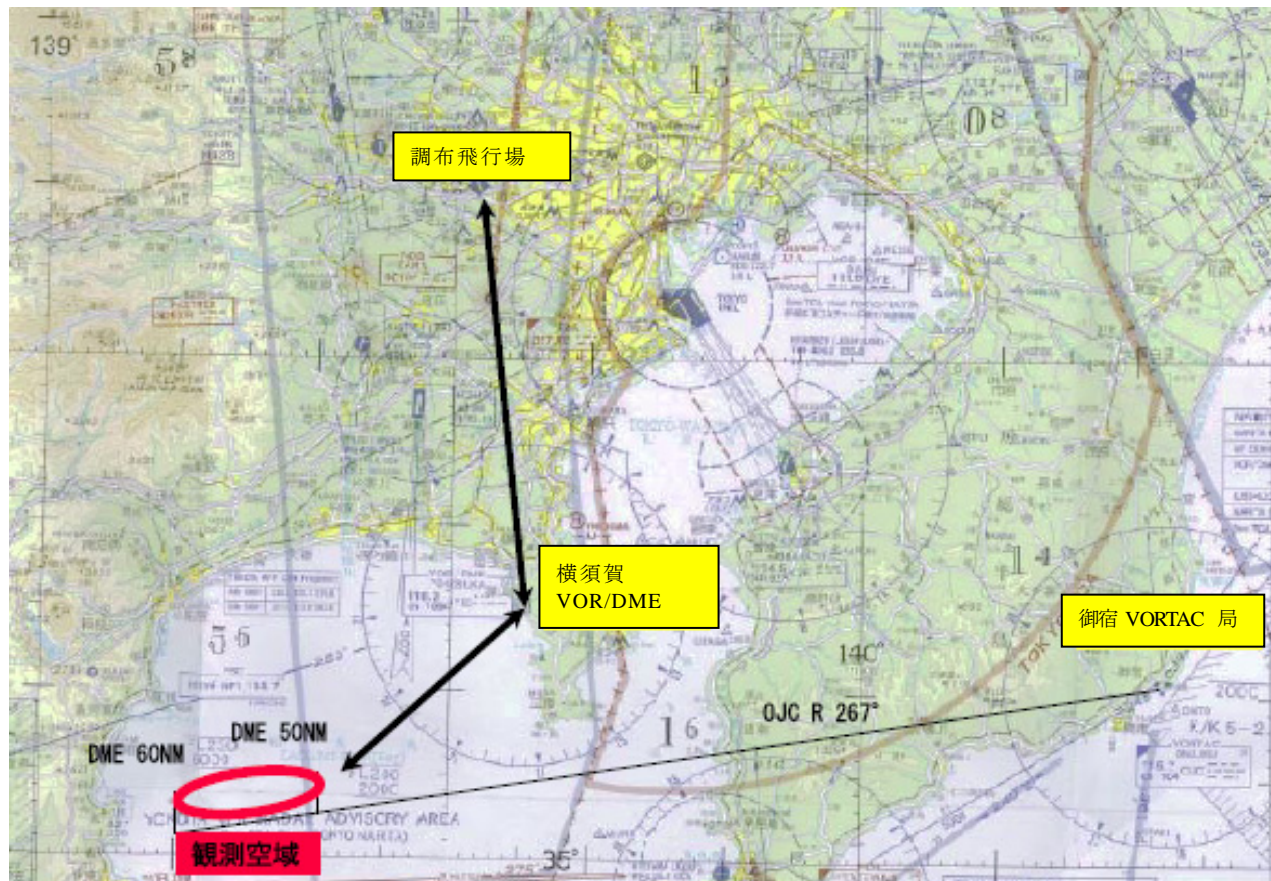


図 11 観測飛行の経路およびエリア

現在の調整内容（飛行条件）は以下の通りである。

- (1) 飛行目的：大気・環境観測飛行の目的と必要性
- (2) 飛行期間：1年間、飛行日時：2週間毎の24回、
毎回13時30分から16時00分の間
- (3) 飛行経路（図11参照）、高度及び飛行方式：
飛行経路と観測域：調布飛行場離陸－横須賀VOR経由で観測域－観測域：相模湾（御宿VORTAC局から方位R-267°で、DME距離50NMから60NMの範囲）－横須賀VOR経由で調布飛行場－調布飛行場着陸
飛行高度：気圧高度23,000ft(7,010m)までの上昇後、観測を行いながら気圧高度1,600ft(500m)への降下。観測高度は、23,000ft(7,010m)/18,000ft(5,486m)/13,200ft(4,023m)/10,000ft(3,048m)/6,500ft(1,981m)/5,000ft(1,524m)/3,300ft(1,005m)/1,600ft(487m)、とする。
飛行方式及び気象条件：有視界飛行方式により有視界気象条件下
- (4) 使用航空機と登録番号：B-65機、JA5111
- (5) 飛行時間：毎飛行2時間30分以内
- (6) 搭載無線機及びATCトランスポンダ：
VHF無線装置：714波 オールチャンネル（118.0～135.95MHz）
ATCトランスポンダ：4096コード、
モードA及びC
- (7) 操縦士氏名及び資格：JAXA操縦士名等
- (8) 連絡調整先：JAXA飛行システム技術開発センター
航空機運航セクションリーダー名等
- (9) その他：注意事項等

また、調整内容ではないが、観測飛行速度を120kt（IAS）（222km/h）とした。

4.1.3 飛行手順及び注意

実際の観測飛行では以下の手順で運航が行われる。

- (1) 飛行約1時間前に電話にて、東京航空管制部に飛行の事前連絡を行い、ATCトランスポンダのコードを貰う。その際、事前に調整した資料の受理番号により東京管制部側では飛行内容が周知される。
- (2) 同様に、電話にて羽田空港の東京航空局東京空港事務所航空管制情報官室へ事前連絡を行い、参考情報として東京航空管制部から貰ったATCトランスポンダのコードを通知する。
- (3) 調布飛行場離陸後、直ちに横田RAPCONと交信し、レーダによる監視を依頼しながら高度を上げ、横須

賀VOR/DME局へ向かう。横須賀VOR/DME局を通過後は、御宿VORTAC局からの信号を受け、磁方位267°距離50NM(92.6km)の所定の観測空域へ向かう。

- (4) 横田の管制高度範囲は3,000ft(914m)から20,000ft(6,096m)までであるが、実際には3,000ft(914m)から12,500ft(3,810m)までの監視で、それ以上は東京航空管制部との交信に切り替え、予め貰ったATCトランスポンダのコードで監視をして貰い、観測高度である23,000ft(7,010m)まで上がる。
- (5) 所定の観測空域、高度22,960ft(7,000m)から大気採取作業を始め、徐々に高度を下げ、所定の高度での大気採取を行う。
- (6) 高度10,000ft(3,048m)から横田RAPCONと交信し、観測最低高度である1,600ft(487m)までレーダによる監視を依頼する。
- (7) 大気採取終了次第、横須賀VOR/DME局に向かう。その後、調布飛行場に向かい、着陸する。

その他、大気・環境観測飛行において、機長が通常の飛行時以上に最も気をつけていることは、以下に示すように高々度飛行に対する配慮である。

- (1) 高度23,000ft(約7,000m)付近では100kt(51m/s)以上の風が吹いていることがしばしばある。このため、所定の観測空域を逸脱しないように操縦に気をつける必要がある。逸脱すると、他機の航空路を妨害しかねず、安全にも係わることになる。
- (2) また、通常外気温は冬季には-30℃以下になるので、ヒータを作動させ、客室内の温度に気をつける必要がある。同様に、エンジンの作動状況（回転数、燃料等）、プロペラの凍結には常に気をつけておく必要がある。
- (3) B-65機は与圧機能を持たないため、10,000ft(3,048m)以上ではパイロット及び計測員とも常時酸素マスクの装着が義務づけられるので、気をつける必要がある。同時に、降下時には気圧が上がるため搭乗員の鼓膜への影響が考えられる。そのため、風邪気味の搭乗は許されない。
- (4) 従って、搭乗員の体調管理、運航時の気象判断には特に気をつける必要がある。

4.2 大気採取手順と飛行パターン

4.1項では機長が行う飛行の手順等を記したが、本項では調布飛行場離陸から着陸までに第3章に記した大気・観測計測システムを基に計測員が行う、大気採取等の手順とその内容を記す。

4.2.1 大気採取手順

大気の採取手順は以下の通りである。

- (1) 離陸前に B-65 機に接続された地上電源により、機内の実験用電源から搭載機材を作動させる。
- ア) 機体の静止状態で慣性航法センサーである GAIA もしくは IRU のアライメントをとる。
- イ) FDASB のシステムの立ち上げを行い、高度、速度、姿勢及び飛行位置などの基本飛行データの収集が行える準備をする。
- カ) 大気採取システム (CO₂/ハロカーボン採取システム) の動作確認として、バルブの確認や大気取り込みポンプの確認を行う。
- ク) エアロゾル採取計測システムを作動させ、パーティクルカウンタによるエアロゾル観測を開始する。
- コ) CME 計測システムの電源を入れ、作動開始状態にする。これにより高度約 8,000ft (2,438m) から自動的に大気採取が開始される。
- カ) FDASB の計算機と GAIA 及びエアロゾル採取計測システムの計算機との時間同期を GPS 時刻により実施する。
- (2) B-65 機離陸後、観測空域までの間に、下記の作業を行う。
- ア) B-65 機の離陸から FDASB による飛行データの計測を開始する。
- イ) 離陸後、大気採取システムの電源を入れる。
- ウ) 適宜、各計測システム全体の動作を確認し、モニターを実施する。
- エ) 高度 10,000ft (3,048m) で機長の指示により酸素マスクを装着する。
- (3) エアロゾル採取及び CME 計測は自動的に行われるので、観測空域に到着したら、機長の指示により大気採取システムでの計測を開始する。
- ア) 観測空域で、B-65 機は図 12 の大気採取飛行パターンに従って飛行をする。
- イ) 4.1 項の調整内容の (3) 項に記した各指定高度で大気採取を実施する。採取方法は前述のように CO₂、ハロカーボン用の採取システムに大気を規定圧にて加圧して貯気する。このシーケンスは各制御器により達成されるので計測員はスイッチの投入動作によるだけでよい。パイロットにより指定高度に達し、かつ観測飛行の飛行形態に入った旨の連絡を受けた計測員は制御器のスイッチを順次投入する (3.3 項及び図 5、6 参照)。但し、このときの時刻は記録しておく必要がある。

- ウ) 観測中は、FDASB のバックアップとしてモニター画面に表示させている高度、速度等の飛行データおよび飛行の状況 (雲、風の特記メモ) を記録する。
- エ) 各指定高度における大気採取終了後、大気採取システムの電源を切る。
- (4) 観測空域を離脱後、着陸するまで FDASB による飛行データ収集、エアロゾル採取、CME 計測は行う。
- (5) 着陸後、各計測システムの立ち下げ作業を行い、実験用電源を切断する。

表 3 観測高度と採取量

高度	採取ボトル数(本)	
	CO ₂	ハロカーボン
23,000ft (約 7,000m)	1	2
18,000ft (約 5,500m)	1	—
13,200ft (約 4,000m)	1	1
10,000ft (約 3,000m)	1	—
6,500ft (約 2,000m)	2	1
5,000ft (約 1,500m)	2	—
3,300ft (約 1,000m)	2	1
1,600ft (約 500m)	2	1

4.2.2 飛行パターン

大気・環境観測での飛行で最も気をつけなければならない事の一つに、自機 (B-65 機) の出すエンジン排出ガスを大気サンプルとして取り込まないことがあげられる。即ち、自機が飛行した経路を時間が経たない間に同じコースを飛行したり、排気ガスの流れているエリアを飛行したりしないよう注意を要する。そのため、横須賀 VOR/DME 局から観測空域に到達後、高度 23,000ft (約 7,000m) で偏西風を考慮し、自機のエンジン排ガスが後方に流れるように、西方向への飛行を行いながら大気採取を実施する。また、エリア内で旋回をして向きを変更しなければならない場合においてもやはり風の向きを考慮して実施する。表 3 に示す観測高度および図 12 に示す飛行パターンで水平飛行を行い、その高度での大気採取が終了したら、徐々に高度を下げ、次の観測高度において上記と同様の飛行方法により大気採取を行う。その間パイロットは、常に管制 (東京管制、横田管制) のコントロールの下で運航を行う。

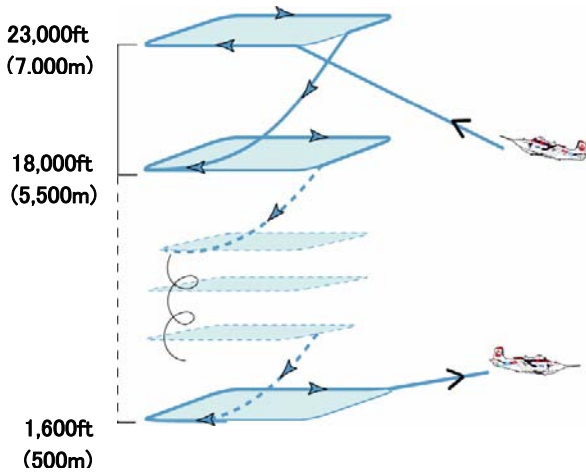


図12 観測飛行パターン

5. 観測飛行評価と結果例

5.1 飛行状態量データ

B-65機に搭載された、飛行関連センサから出力される飛行データがFDASBにより取得される。その一例として観測飛行時の飛行軌跡図を図13に示す。

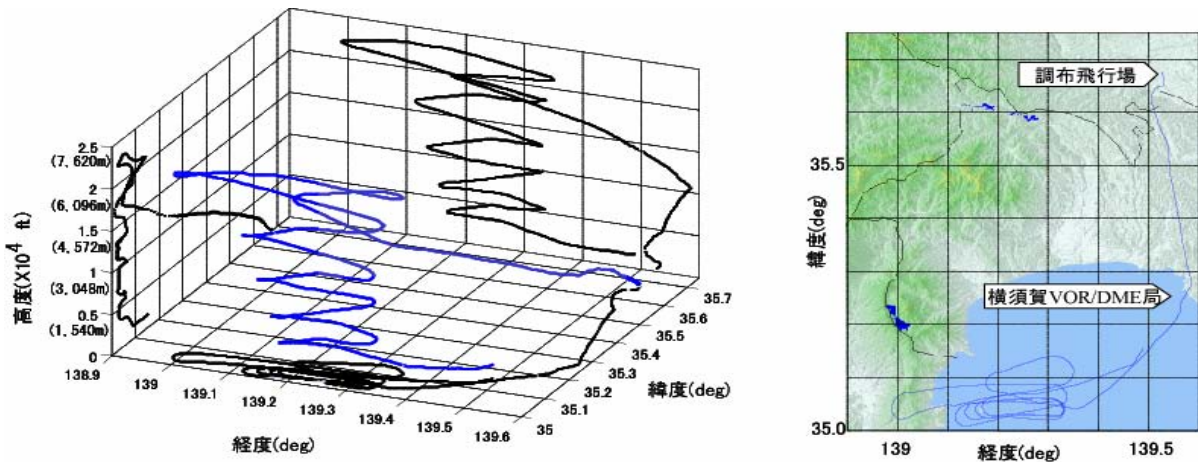


図13 飛行軌跡データ例

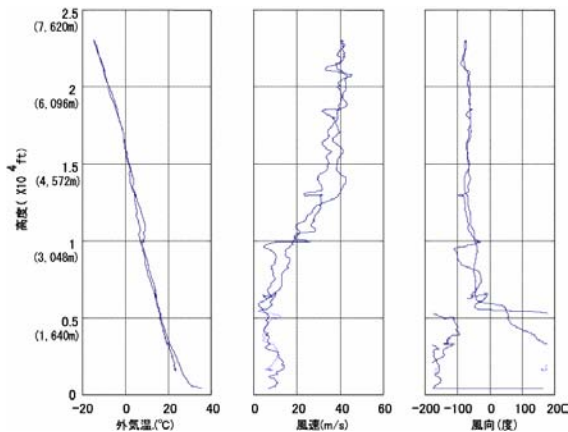


図14 風向・風速データ例

図13の左の図は緯度・経度・高度を三次元空間にあらわしており、青線の三次元空間の飛行軌跡を経度—高度、緯度—経度、緯度—高度に投影した飛行軌跡を黒線で表した。右図は緯度-経度平面の飛行軌跡を地図上に表している。B-65機は調布飛行場を離陸して横須賀VOR/DME局を目指して上昇飛行し、横須賀VOR/DME局から観測エリアに向かいながら約23,000ft(約7,000m)まで上昇し、そこで水平飛行に移って大気採取を実施し、その後高度を下げながら順次指定高度での大気採取を実施している様子が判る。また、図14は超音波風速計およびエアデータセンサによって得られた飛行高度に対する気温、風向・風速を示したものである。

このケースでは、高度約5,000ft(約1,600m)を超えると西風の成分(-90度)が卓越していることがよく判り(偏西風)、高度約23,000ft(約7,000m)付近では西風40m/s程度の風が吹いていたことが判る。外気温も約-15°Cまで下がっていることがこの図から判る。これらの収集データは、採取された大気サンプルなどと共に環境研へ引き渡され、大気採取時の位置/風データとして用いられる。エアロゾル観測でも同様に使われている。

5.2 大気・環境観測データ

大気・環境データのうち、地球温暖化気体のデータ解析は環境研が担当している。

5.2.1 大気観測成果例(環境研との共同研究成果)

長期に渡る相模湾上空での定点観測により、図15、図16に示すようなCO₂濃度およびハロカーボン濃度の経年変化結果が得られた。環境研の所見によれば、図15はCO₂の結果で横軸は西暦年、縦軸がCO₂の濃度(ppm: parts par million, 1/10⁶)である。これらのデータはそれぞれ高度約1、2、7kmでの採取した大気を分析して得られた

観測値である。赤点が実際の観測値（分析値）で、黒線がそれぞれの観測値をカーブフィッティングしたものである。この結果によれば夏に低く、冬に高い、陸上植物の活動を反映した季節変動をくりかえしながら年々CO₂の濃度が増加していることが見てとれる。図 16 に示すハロカーボンの観測結果においてはやはり横軸は年、縦軸はそれぞれの成分の濃度 (ppt: parts per trillion, 1/10¹²) である。

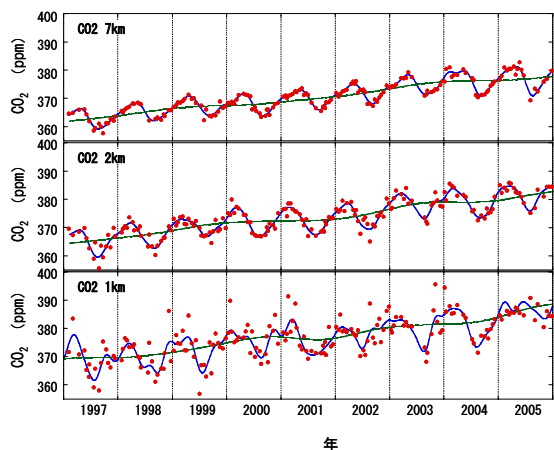


図 15 CO₂濃度の経年変化（環境研提供）

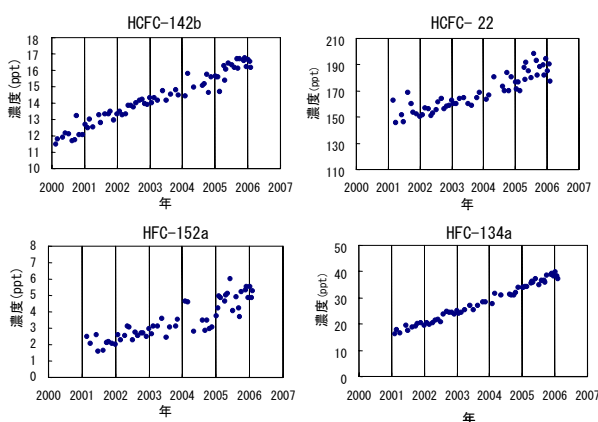


図 16 ハロカーボン濃度の経年変化:7,000m
(環境研提供)

ここではモントリオール議定書において成層圏オゾン破壊物質として規定されている HCFC-142 b、HCFC-22、そして京都議定書において温室効果気体として規定された HFC-152 a、HFC-134a、の観測データである。これらはともに強力な温室効果気体であり全廃、もしくは削減の対象になっている。CO₂と同様に年々濃度が上昇している状況のなかで、HFC-142b がやや頭打ちになりつつあることや、自動車のエアコンなどに使われている代替フロンである HFC-134a は直線的に増加していること、スプレーに使われている HFC-152a の平成 16 年 (2004 年) と平成 17 年 (2005 年) の冬の間急増していることが見て

とれる。これらの観測結果から温室効果気体である CO₂ やハロカーボンの大気中濃度の長期に渡るトレンドがわかる。

このように、長期に渡る同一エリアでの定期観測データを蓄積することは現在の地球温暖化問題の原因究明や解決にとって非常に有用なデータとなっている。地上に設置された定点観測装置による観測とともに同一エリアでの定期的な観測飛行による継続的な大気観測が行える体制を整え、地球温暖化の要因である温室効果気体のモニタリングシステムが実現した。

これらの成果は世界に発信され、注目を浴びている (14-、20)。

5.2.2 CME 観測成果と STC 取得寄与

CME を B-65 機に搭載することにより得られた CO₂ 測定の結果を図 17 に示す。横軸が CO₂ の濃度、縦軸が高度である。この図において赤線が CME で計測された CO₂ 濃度、青点が大気採取システムによって同時に採取した大気試料 (ボトル) を分析して得られた CO₂ の濃度データである。これから両者が良く一致していることが判る。このことは開発した CME が設計性能を満足することを実飛行環境において証明したこととなる。また、B-65 機に搭載した CME 計測システムを運用していくことによりいろいろな問題点の抽出が行われ、B-747-400 型機及び B-777-200 型機に搭載している CME の改良・改善が図られた。

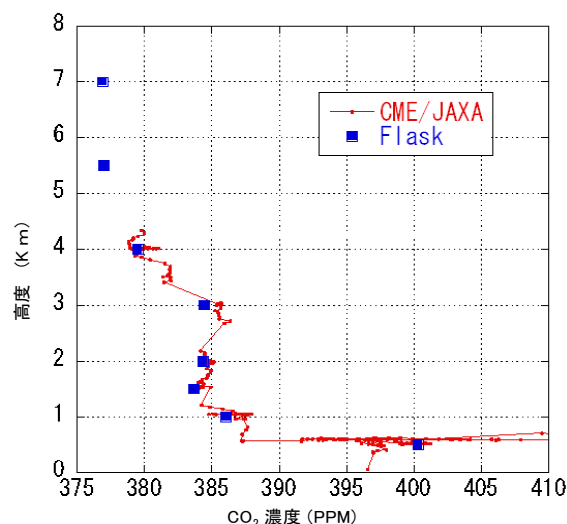
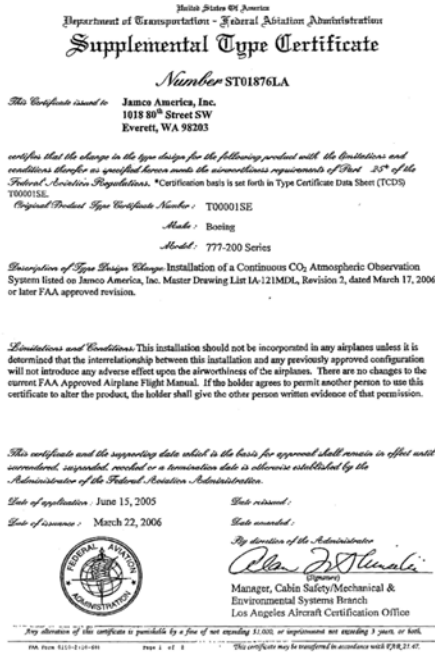


図 17 CME による計測結果（環境研提供）

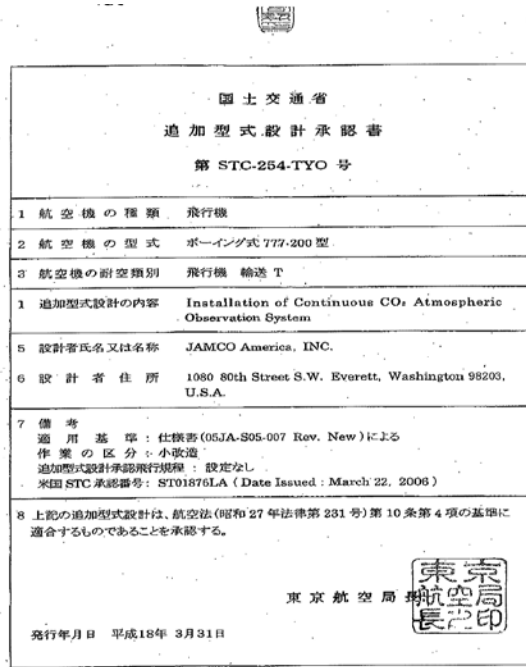
この CME などの開発成果により、B-747-400 型機の CME 搭載に掛かる STC が取得され、次いで B-777-200 型機の STC 取得がなされた (図 18 参照)。それにより JAL の B-747-400 型機及び B-777-200 型機への CME 搭載が行わ

れ、民間旅客機による世界的規模での CO₂ の観測が開始された。これにより、平成 17 年度で初期目的である B-65 機による先行評価は目的を果たしたが、現在も引き続き

相模湾上空の CO₂ データを蓄積しながら CME の経年評価のための観測飛行が続けられている。



(a) アメリカ合衆国 FAA



(b) 日本国 JCAB

図 18 STC

5.2.3 エアロゾル観測成果例

風計測ライダの開発の基礎データ収集のために実施しているエアロゾル観測の観測データの例を図 19 に示す。このデータは生データであり、観測日によるエアロゾルのばらつきが大きいこと、高度を増すごとにエアロゾル量が減少する定性的な傾向や、一定高度(約 1,000m)まではエアロゾル量の変化が少ない様子がみられる。今後も継続して観測を実施することで、季節によるエアロゾルの変動や地上近辺における対流や風による拡散によって形成される境界層の厚さ、高度によるエアロゾル分布などライダの開発における回線設計にとって基礎的なデータを提供することが期待される。

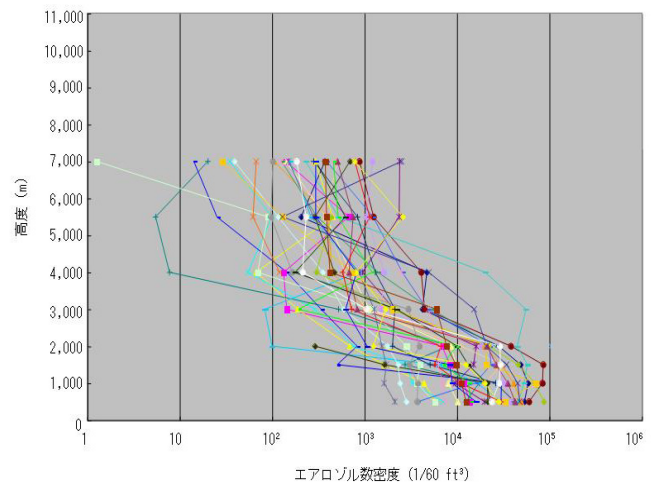


図 19 エアロゾル濃度測定例

6. おわりに

環境研との共同研究に始まる大気・環境観測飛行により、(1)温室効果気体のメカニズム解明への寄与が上げられる。また、(2)CME 開発・先行評価により、世界的な大気環境調査への寄与と B-747-400 型機及び B-777-200 型機への機器搭載の STC 取得への技術的寄与がある。これに

より、汎用的に CME の民間旅客機への搭載が遅滞なく行うことが可能となり、観測データの質と量が大幅に改善されると予想される。さらに、(3)エアロゾル観測により JAXA の風計測ライダ開発における技術的課題が明確になり開発が加速することが期待される。

今後の課題として、大気観測飛行技術の向上のために
 (1)大気観測システムの効率的な小型、自動化の検討、
 (2)大気観測に適した飛行方法・運航方法の検討、(3)飛行データ収集システムの小型・自動化に加え、(4)大気観測に必要なセンサシステムの検討をしていく必要がある。

最後に、本大気・環境観測飛行にあたっては、国土交通省航空局東京航空局、横田管制区等の多大な協力と支援を受けて実施されているものである。また、運航に関して JAXA 飛行システム技術開発センター航空機運航セクション、計測員として B-65 機搭乗に協力して頂いた、三菱電機株式会社 浅香公雄氏(元 JAXA 航空プログラムグループ、運航・安全技術チーム)、JAXA 飛行システム技術開発センター穂積弘毅主任研究員、航空プログラムグループ、運航・安全技術チーム田中久理主任開発員にこの場を借りて、深く感謝の意を表します。尚、本レポートまとめるにあたって同センター小野孝次氏の協力を得た。

参考文献

- 1) 稲垣敏治、石川和敏：実験用航空機 B-65 による大気観測飛行、第 44 回飛行機シンポジウム講演集、2006.10
- 2) 田丸 卓、矢澤健司、田頭 剛、町田敏暢、井上 元：航空機を用いた相模湾上空温室効果ガス等の鉛直濃度分布測定、航空宇宙技術研究所資料 TM-745、2000.1
- 3) 町田敏暢、矢澤健司、田頭 剛、井上 元、田丸 卓：相模湾上空における大気中二酸化炭素濃度の航空機観測、航空宇宙技術研究所報告 TR-1422、2001.1
- 4) 矢澤健司、井之口浜木、稲垣敏治、中村 勝、照井祐之、鎌田幸男、白井正孝、田丸 卓、井上 元、町田敏暢：飛行データ取得用超音波風速計の改良と航空機による温室効果ガスフラックスの測定法開発、航空宇宙技術研究所報告 TR-1444、2002.6
- 5) 長田真司：航空機搭載型大気観測装置の開発について、航空技術 No.613、2006.4
- 6) 岡 孝秀：民間航空機による大気観測の現状（上）、（下）、航空技術 No.623 及び No.624、2007.2 及び 2007.3
- 7) 浅香公雄、張替正敏：航空事故の低減に貢献する乱気流探知システムの開発、JAXA 第 1 回総合技術研究本部公開研究発表会前刷集、2004.3
- 8) 浅香公雄、藤原 健、稲垣敏治、張替正敏：航空機搭載風計測ライダー飛行試験結果、第 52 回応用物理学関連連合講演会講演集、2005.3
- 9) 浅香公雄、又吉直樹、亀山俊平、古田 匡、平野嘉仁、奥野善則、張替正敏：航空安全のための搭載型風計測ライダーの開発、第 24 回レーザーセンシングシンポジウム講演集、2005.9
- 10) 浅香公雄、藤原 健、稲垣敏治、張替正敏、亀山俊平、安藤俊行、平野嘉仁：航空機搭載風計測ライダー飛行試験結果について、第 43 回飛行機シンポジウム講演集、2005.10
- 11) K. Asaka, T. Fujiwara, T. Inagaki, S. Kameyama, T. Ando, Y. Hirano, and M. Harigae : 1.5 μ m Airborne Coherent Doppler Lidar for CAT sensor -Flight Test Results, 13th Coherent Laser Radar Conference, 2005.10
- 12) 国土交通省航空局監修：AIM-J (Aeronautical Information Manual Japan)
- 13) 稲垣敏治、増位和也、井之口浜木、岡田典秋、石川和敏、小野孝次：ドルニエ機用飛行データ収集システムおよびダウンリンク・システムの飛行評価実験、航空宇宙技術研究所資料 TM-699、1996.9
- 14) T. Machida, H. Matsueda, Y. Nagakawa, M. Tomosawa, K. Ishikawa, T. Inagaki, T. Nakazawa, T. Ogawa, T. Suenaga : FREQUENT MEASUREMENTS OF ATMOSPHERIC CO₂ AND OTHER TRACE SPECIES USING COMMERCIAL AIRLINES, Seventh International Carbon Dioxide Conference, National Oceanic and Atmospheric Administration Climate Monitoring and Diagnostics Laboratory, 2005.9
- 15) Y. Yokouchi, D. Toom-Sauntry, K. Yazawa, T. Inagaki, T. Tamaru : Recent decline of methyl bromide in the troposphere, ATMOSPHERIC ENVIRONMENT 36(2002)
- 16) 田口彰一、横内陽子、稲垣敏治：相模湾上空で観測された HCFC22 の濃度 日本気象学会 2004 年秋季大会、2004.10
- 17) 榎本孝輝、横内陽子、泉克幸、稲垣敏治：PFC, HFC を含むハロカーボン分析システムの開発と大気観測への応用、大気環境学会誌 40, 1-8(2005)
- 18) Y. Yokouchi, T. Inagaki, Y. Yazawa, T. Tamaru, T. Enomoto, K. Izumi : Estimates of ratios of anthropogenic halocarbon emissions from based on aircraft monitoring over Sagami Bay, JAPAN, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL110, doi:10.1029/2004JD005320(2005)

19) 榎本孝輝、横内陽子、稲垣敏治：相模湾上空における大気中 PFC, HFC, SF₆, HCFC, CFC 類の鉛直分布観測、第 44 回大気環境学会 2003. 11

20) 横内陽子、和田誠、稲垣敏治ほか：大気中クロロホルムの分布と発生源について、第 9 回大気化学討論会、2003. 5

宇宙航空研究開発機構研究開発資料 JAXA-RM-07-001

発行日 2007年11月30日
編集・発行 宇宙航空研究開発機構
〒182-8522 東京都調布市深大寺東町7-44-1
URL: <http://www.jaxa.jp/>
印刷・製本 ケーティエス情報株式会社

本書及び内容についてのお問い合わせは、下記にお願いいたします。

宇宙航空研究開発機構 情報システム部 研究開発情報センター

〒305-8505 茨城県つくば市千現2-1-1

TEL: 029-868-2079 FAX: 029-868-2956

© 2007 宇宙航空研究開発機構

※ 本書の一部または全部を無断複写・転載・電子媒体等に加工することを禁じます。

この用紙は地球環境・森林資源のため再生紙を使用しています。

