

宇宙航空研究開発機構研究開発資料

JAXA Research and Development Memorandum

D-SENDプロジェクト用boom計測システムの 開発と運用(その1)

川上 浩樹, 進藤 重美, 中 右介

2013年3月

宇宙航空研究開発機構

Japan Aerospace Exploration Agency

D-SEND プロジェクト用ブーム計測システムの開発と運用(その1)

川上 浩樹^{*1}, 進藤 重美^{*2}, 中 右介^{*1}

Development and Operation of Boom Measurement System for D-SEND Project (Phase 1)

Hiroki KAWAKAMI^{*1}, Shigemi SHINDO^{*2} and Yusuke NAKA^{*1}

Abstract

JAXA developed the boom measurement system (BMS) as a part of JAXA's low sonic-boom concept demonstration project (D-SEND project). The objectives of BMS are to obtain the sonic boom data to validate JAXA's low sonic boom design concept, and to check JAXA's airborne boom measurement technology. In D-SEND#1 drop test, the sonic boom has been measured in the air and the ground by BMS. This report describes the development result of BMS and the result of the operation of BMS in D-SEND#1 drop test.

Keywords: sonic boom measurement, airborne measurement, D-SEND project, BMS

概要

低ソニックブーム設計技術の実証データ取得と空中ソニックブーム計測技術の確認を目的とする低ソニックブーム設計概念実証 (D-SEND) プロジェクトにおける落下試験時の供試体から発生するソニックブームを計測するブーム計測システム (Boom Measurement System: BMS) を開発した。これにより D-SEND#1 落下試験では、ソニックブームを空中及び地上で計測できた。ここでは、ブーム計測システムの開発結果と D-SEND#1 落下試験における運用について報告する。

1. はじめに

JAXA は、「静粛超音速機技術の研究開発」(Silent Supersonic Technology Demonstrator; 以下 S3TD) プログラムにおける飛行実証として、豪州ウーメラ実験場において行う静粛超音速研究機 (以下、研究機と言う) による飛行実験時、空中および地上におけるソニックブーム (以下ブームと言う) 計測と離着陸時の騒音計測を行うための地上計測システムの概念検討を進めてきた。

S3TD プログラムの実証計画の変更により、ソニックブーム設計コンセプト実証に特化した D-SEND プロジェクト¹⁾をまず実施することとなった。

D-SEND の飛行試験は落下試験であり離着陸時のフェーズは無いため、S3TD において離着陸騒音計測を含めて検討していた地上計測システムは、供試体からのブームのみを計測するブーム計測システム (Boom Measurement System, 以下 BMS という) として再構成を行った。

D-SEND における BMS では、試験領域、計測地点数、準備・運用環境条件に適合するように予備検討を行い、設計製作を実施した。プロジェクト計画では D-SEND#1 試験後、D-SEND#2 落下試験前に BMS の改修を行うため、本来の開発完了はこの改修が終了した時点となる。

* 平成 24 年 11 月 12 日受付 (Received 12 November 2012)

*1 航空プログラムグループ D-SEND プロジェクトチーム (D-SEND Project Team, Aviation Program Group)

*2 航空プログラムグループ 超音速機チーム (Supersonic Transport Team, Aviation Program Group)

BMS の構成部分の一部である空中計測システム（ABBA システム: Airborne Blimp Boom Acquisition System）について、研究機用の地上計測システムの概念検討の成果を基に、大気乱れの少ない上空約 1,000m までの空中ブームを計測するためのシステムを試作し、平成 21 年 9 月に実施した超音速機の実飛行試験（ABBA テスト 1²⁾）によりその実現性を確認した。

また、①D-SEND#1 試験における試験実施の必須条件である空中でのブーム計測を確実に実施するための空中ブーム計測の冗長化、②D-SEND#2 落下試験におけるダイブ飛行時のブーム波面に対する係留気球の影響（ブーム波面が係留気球を通してマイクに到達する）、および③供試体と計測点との距離をより近付けるために計測点を上空 1,500m まで上昇できることの確認、等を行うため、平成 22 年 9 月に ABBA テスト 2-1³⁾ を実施した。ただし、空中計測システムを懸吊して上昇していた係留気球が、地表高度 1,000m を越えたところで破裂したため、地上計測のみを実施した。なお、この空中計測については、D-SEND#1 試験後の平成 23 年 6 月に ABBA テスト 2-2⁴⁾ として、地上の屋外、屋内計測と併せて実施した。この時のシステムは、D-SEND#1 試験の計測地点 1 地点分の空中及び地上計測システムと従来から保有する計測機器を併せて用いた。

2. 落下試験

D-SEND#1 落下試験では、推力の無い軸対称の供試体（低ブーム設計技術を適用したものとしていないものの 2 体）を、大気球により高度約 30km へ揚昇・落下させ、低ブーム設計条件である高度・マッハ数に達した時点で供試体から発生するブームを BMS により大気乱れの少ない上空約 1,000m と地上、およびその間数点で計測した。

D-SEND#2 落下試験は、供試体として推力を持たないほぼ実機形状（前端から後端まで低ブーム設計）に近いものを用い同様の計測を行う。なお、この供試体は舵面を持っているため、計測点へ向かってある程度飛行を制御することが出来る。

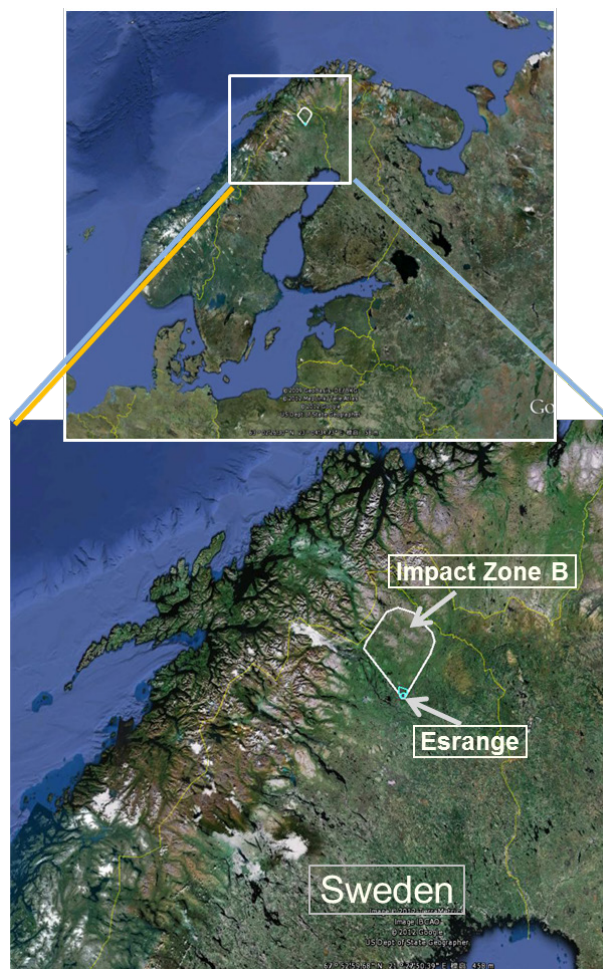


図 3-1: エスレンジ実験場

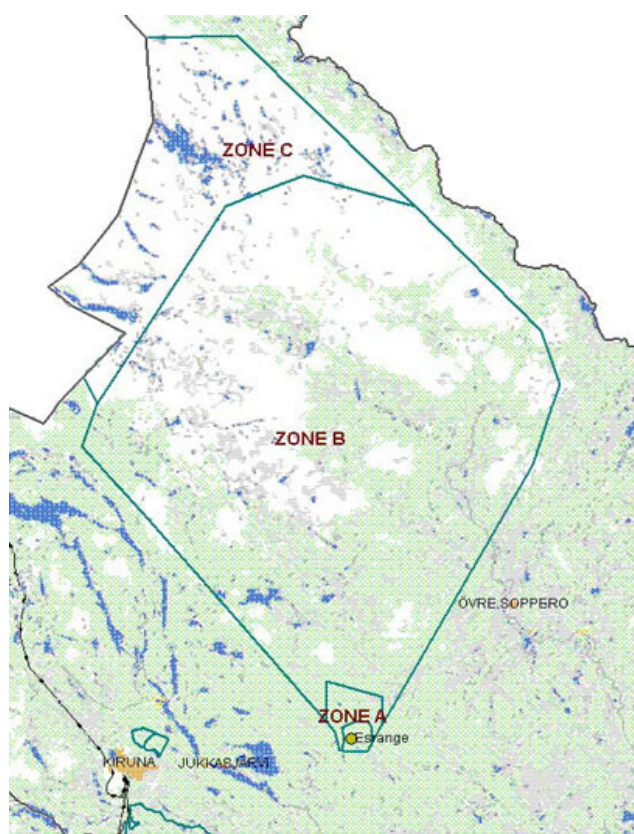


図 3-2: 落下可能範囲（ゾーン A, B, C）

3. 試験場所・時期

D-SEND#1 及び#2 の両落下試験を実施する場所として、スウェーデンのキルナ近郊に位置するスウェーデン宇宙公社（Swedish Space Corporation: SSC、以下 SSC）のエスレンジ実験場（Esrangle Space Center, 以下 Esrangle）を選定した。D-SEND は、大気球からの落下試験であり、また BMS は係留気球と共に運用するため、大気球および係留気球の運用実績があり、かつ広い落下可能領域を有するという条件に、観測ロケットの落下許容領域（南北約 100km, 東西約 70km, SSC が管理・運営）を持つ SSC が適合したものである。

図 3-1 に Esrangle の位置、図 3-2 に Esrangle と落下可能領域（Rocket Impact Zone）を示す。なお、落下可能領域はゾーン A, B, C と別れているが、D-SEND で使用を許可されているのはゾーン B の範囲である。

試験時期については、落下許容範囲が放球場所から北方向にあるため、この方向に卓越した上空風のある季節であること等から 4 月～5 月に実施することとなり、BMS の運用温度条件もここから決まっている。

ゾーン B への試験要員の移動は、ヘリコプターを使用し、供試体の分離前にゾーン B から退避する。

4. 開発方針

BMS は短期間（約 10 か月）での開発のため、基本方針としてスケジュール、コスト、リスクを抑えるために特別な新規開発を行わず、ブーム波形を確実に取得し、無人で制御・監視できることとした。また、D-SEND#1, D-SEND#2 の両落下試験で使用出来るものとした。

本開発は、衛星やラージサイズの無人機等のフライト品ではなく、また短期間の開発のため、過大な管理プログラム（信頼性プログラム、品質保証プログラム、コンフィギュレーション管理プログラム、システム安全）を開発メーカーに要求していない。ただし、プロジェクトの一環であるため、プロジェクトマネジメント規程に則り、BMS のシステム要求、システム仕様をシステム要求書⁴⁾、システム仕様書⁵⁾としてそれぞれ定め、設計の入力文書とし、メーカーにおける設計審査を実施し、航空プログラムグループ（以下 APG と言う）内での開発完了審査、システム安全審査を受審した。

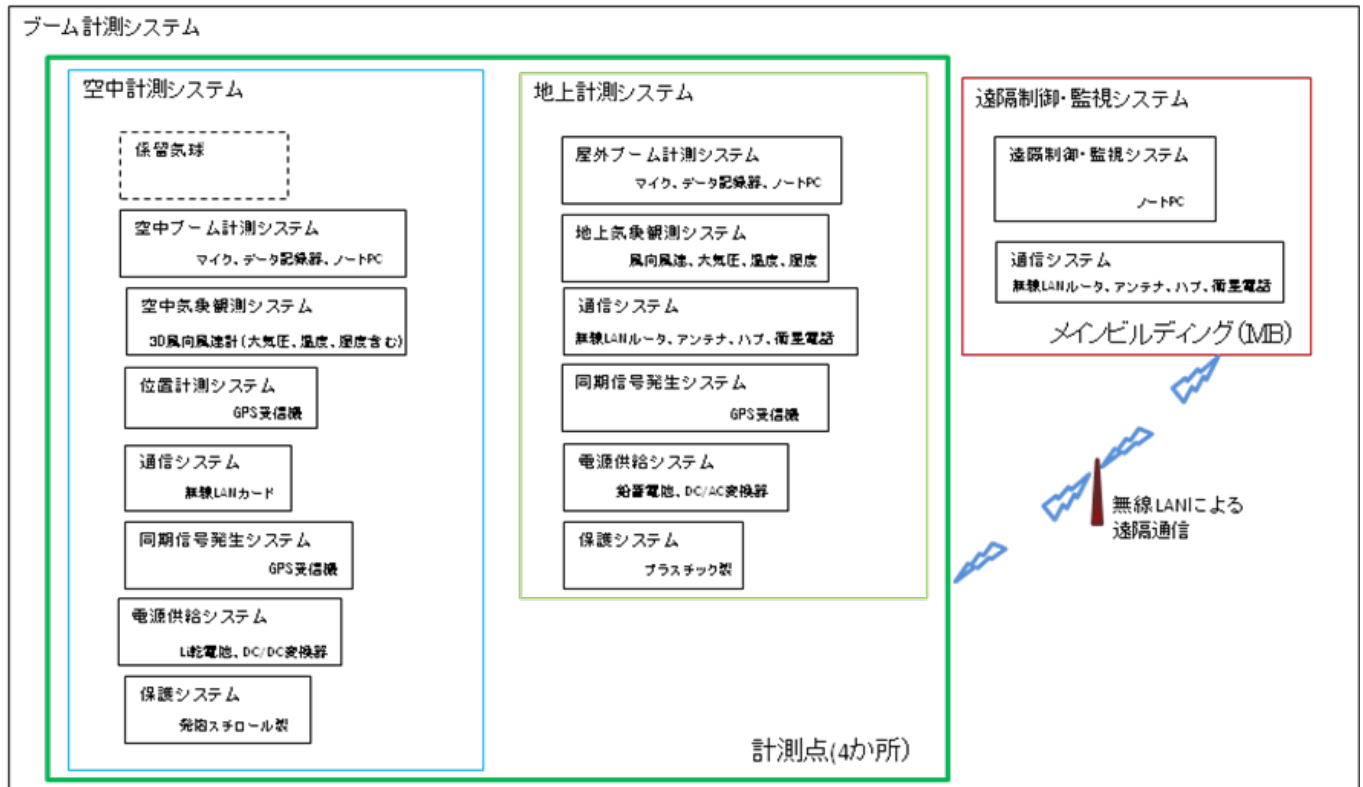


図 6-1: ブーム計測システムブロック図

5. 主要要求と対策

BMS についての主なシステム要求は、以下の通りである。

- (1) 地上及び大気乱れの少なく供試体との相対距離比（供試体までの距離／供試体長）を大きく取った上空約 1,500m におけるブームを計測出来ること。特に上空における最高地点で確実に計測できること。
- (2) また、計測場所の環境として、温度、湿度、大気圧、風向風速などの気象条件を計測できること。
- (3) 上空の風で決まる供試体の落下位置（気球からの分離位置）がゾーン B 内のほとんどの場所で計測できること。
- (4) ゾーン B への移動は、ヘリコプターを用いるため、搭載可能な重量、大きさであること。
- (5) 試験場における降雪、風雨、気温等の環境条件に耐え得ること。
- (6) 供試体分離前に試験要員が退避することからゾーン B 外の放球場やメインビルディングの有る区域で遠隔制御・監視が出来ること。
- (7) 少人数による準備から計測終了までの安全に運用が可能であること。

これらの要求に対して、以下のような設計結果となった。

- (1) 係留気球によって上空 1,500m, 1,250m, 1,000m の計測を保てるように ABBA テストの実績から空中計測システムの総重量を 25kg 以下とした。確実な計測のために上空 1,500m では、通信系を含めて冗長化した。
- (2) 上空 1,500m の空中計測と地上で気象観測出来る気象観測装置を設けた。
- (3) 計測地点については、低ブーム設計の設計高度で供試体から発生するブーム波形が有意に計測できる領域を半径 10km として、ゾーン B 内にゾーン B の形状に合わせて、南端 MP1 (E)、北端 MP2 (I)、東端 MP3 (G)、西端 MP4 (L) の 4 計測地点を設けた（地点名称については後述）。
- (4) 各システムは、最大二人で運べる大きさ、重量としてヘリコプターへも搭載できる。
- (5) 各システムは屋外仕様の機器がそれ以外は保護ケースを用いている。なお、雨天等では試験を実施しない。
- (6) 計測地点とメインビルディング間を無線 LAN によるネットワークを構築して、遠隔制御・監視を

可能とした。

- (7) 運用時間は、計測準備時間、係留気球の上昇時間、供試体を上昇させる大気球の上昇および滞空時間等を考慮して10時間とした。
- (8) 計測地点の要員として、SSC 2名、JAXA 1名をあて、係留気球準備時に3名で行い、試験時の計測準備はJAXA 1名で行えるようにした。

6. システム構成

BMS のシステム構成は、係留気球を用いた大気乱れの少ない上空までの高度方向のブームを計測する空中計測システム、地上のブームを計測する地上計測システム、供試体の落下許容範囲外から遠隔により両システムを制御及び監視を行う遠隔制御監視システムからなる。ブロック図を図 6-1 に示す。

4 か所の計測地点と遠隔制御監視場所（本部：Esrange メインビルディング内サイエンティフィック・センター）を図 6-2 に示す。図 6-3 に計測地点

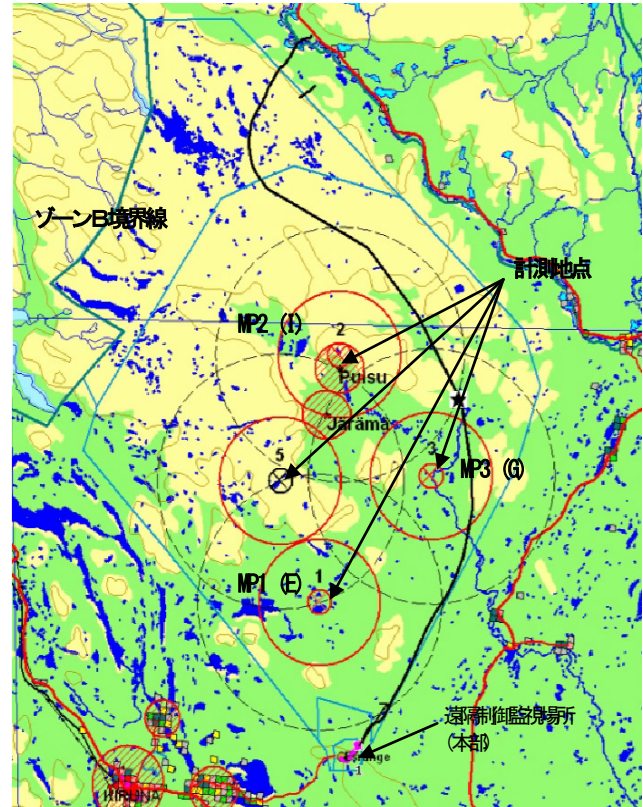


図 6-2: 計測地点と遠隔制御・監視場所

音響計測共通事項(空中・地上計測)

周波数範囲(-3dB)	0.2 Hz ~ 20 kHz
音圧範囲	0.0001 ~ 300 Pa (0.000002 ~ 6 psf)
音圧分解能	0.0001 Pa (0.000002 psf)
防風	ウィンドスクリーン装着
待機時間	10時間
計測可能時間	7時間

係留気球 (Blimp)



空中計測(高度1000m点)

重量	13 kg
通信系統数	2(冗長)
計測システム数	2(冗長)
マイク数	2(各システム1)
気象計測	気圧、温度、湿度、 風向(3次元)、風速
GPS	緯度、経度、高度、 時刻

空中計測(高度750m, 500m点)

重量	4.1 kg
通信系統	1
計測システム数	1
マイク数	1
気象	なし
GPS	緯度、経度、高度、 時刻

ウインチ

空中-地上間通信(Wi-Fi無線通信)

メイン系通信	1000mメイン系計測装置, 750m, 500m
サブ系通信	1000mサブ系計測装置

地上計測

マイク数	3
マイク設置方法	フラッシュマウント
反射板寸法	1 m × 1 m
反射板材質	アルミ
反射板設置方法	砂の上に設置(振動抑制)
気象計測	気圧、温度、湿度、風向、風速
GPS	緯度、経度、高度、時刻
通信系統数	2(Wi-Fi通信、衛星電話通信)
上空観測	ネットワークカメラ

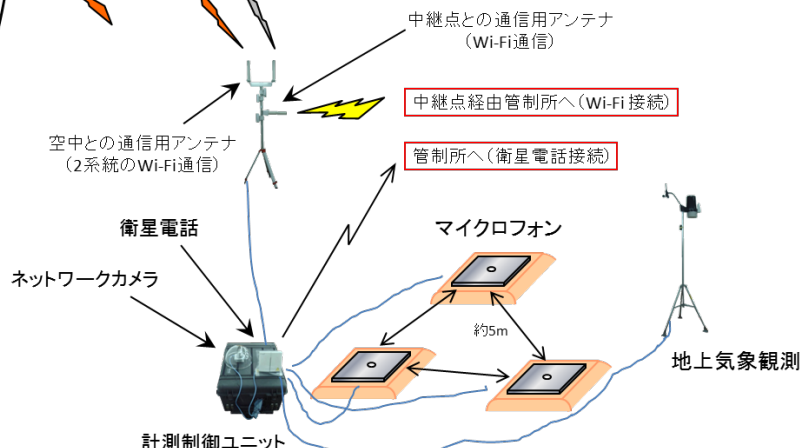


図 6-3: 計測地点に配置したシステム

に配置したシステムを示す。

構成は係留気球システム、空中ブーム計測システムからなる。

配置した計測システムと遠隔制御監視システムは、無線 LAN による中継で接続している。特に性能を要求される機器の性能を表 6-1 に示す。

6.1 空中計測システム

供試体からのソニックブームを大気擾乱の少ない地上から約 1,000m の上空で計測、記録する係留気球を用いたシステムである。上空で計測を実施するシステムとしては、飛行船、ヘリコプター、小型パラシュート等が考えられたが、落下試験に伴う無人化、定点保持の必要性、低騒音等により、係留気球を選定している。なお、開発は上空 1,500m を条件（要求(1)）として設計したが、係留気球の運用者である SSC が、1,500m まで係留気球を上昇させた時の破裂のリスクを負えないことから D-SEND#1 落下試験では上空 1,000m までの計測を実施した。

表 6-1: 代表機器の性能 (1/4)

番号	名 称	項 目	性 能	備 考
空中計測システム，地上計測システム				
1	空中マイクロフォン (GRAS 社 40AZ-S1) 地上マイクロフォン (GRAS 社 40AZ-S2)	下限周波数 上限周波数 最大音圧レベル ノイズフロア 感度	0.09Hz@-3dB 20kHz@-3dB 150dB (632Pa) 15dBA (0.0001Pa) 6.5mV/Pa 以上	
2	データ記録器 (ナショナルインスツルメン ツ社 NI9234, USB 9234)	チャンネル数 ADC 分解能 データレート AC カットオフ周波数	4ch (アナログ入力) 24 ビット 51.2kS/s 0.1Hz 程度 (ソフトウェア補正)	USB 接続
3	GPS 受信機 (古野電気社 GT-80)	受信信号 測位方式 最大追尾衛星数 測位更新周期 出力データフォーマット パルス出力 精度	L1 (1575.42MHz) SPS 単独測位, DGPS 測位 GPS12ch+SBAS2ch 1 秒 NMEA 1PPS 1 秒±24.9ns	RS232C

番号	名 称	項 目	性 能	備 考
空中計測システム				
4	3次元風向風速計 (Delta OHM 社 HD2003.R)	出力レート 温度 測定範囲 分解能 精度 相対湿度 測定範囲 精度 大気圧 測定範囲 精度 風速 測定範囲 精度 風向 測定範囲 精度 磁気方位コンパス 精度	1～50Hz -40～+60℃ 0.1℃ ±0.2℃ 5～98%RH ±2.5%RH (@23℃) 800～1100hPa ±0.4hPa (@20℃) 0～60m/s (216km/h) ±1%rdg 水平：0～360° 鉛直：±60° ±1° 0～360° ±1°	RS232C センサ： Pt100 静電容量 センサ： H6100 ピエゾ抵抗素子
5	ノート PC (SONY VGN-G3ABVSA)	OS CPU 動作周波数 液晶画面 HDD PC カードスロット バッテリー駆動時間 質量 温度条件 消費電力	Windows XP Core2Duo 1.60 GHz TFT12.1' 1024x768 160GB Type II ×1 約 12 時間 約 1.198kg 5℃～35℃ 約 8W	地上計測システムも同じ
6	無線 LAN カード (CISCO 社 AIR-CB21AG)	PC カードバス 通信速度 通信距離	1Mbps 610m (2.2dBi ダイポールアンテナ対向使用時)	

表 6-1: 代表機器の性能 (3/4)

番号	名 称	項 目	性 能	備 考
地上計測システム				
7	地上気象観測システム センサ (デービスインスツールメ ンツ社 VantagePro2)	温度 測定範囲 分解能, 精度 湿度 測定範囲 分解能, 精度 気圧 測定範囲 分解能, 精度 風速 測定範囲 分解能, 精度 風向 測定範囲 分解能, 精度	-40～+65℃ 0.1℃, ±0.5℃ 0～100% 1%, ±3%RH 880～1080hPa 0.1hPa, ±1.0hPa 1～68m/s 0.5m/s, ±1m/s 0～360° 1°, ±7°	センサ部, ロガー付 コンソール USB 接続
8	ノート PC (SONY VGN-G3ABVSA)	空中計測システムに同じ		ブーム, 気 象 PC
9	無線 LAN アンテナ (CISCO 社 AIR-ANT1949)	16 エlement 八木アンテナ 帯域 ゲイン 半値ビーム幅	2.4 GHz 13.5dBi 30 度	空中, 中継 点との 3 系統の通 信用
10	無線 LAN ルータ (CISCO 社 AIR-BR1310G-E-K9-R)	遠隔制御・監視システム 15 に同じ		
11	ネットワークカメラ (コレガ社)	センサ 画素数 画角 パン範囲 チルト範囲	1/4 インチカラー CMOS センサ(640×480pixel) 30 万画素 垂直:44.8° 水平:58.1° -165 度～+165 度(330 度) -15 度～+90 度(105 度)	
12	衛星電話 (BGAN EXPLORER500)	隔制御・監視システム 16 に同じ		通信冗長 用

表 6-1: 代表機器の性能（4/4）

番号	名 称	項 目	性 能	備 考
遠隔・制御監視システム				
1 3	無線 LAN アンテナ (CISCO 社 AIR-ANT2506)	全方向性マストアンテナ 帯域 ゲイン	2.4 GHz 5.2 dBi	地上計測システムとの対向
1 4	無線 LAN アンテナ (CISCO 社 AIR-ANT3338)	パラボラアンテナ 帯域 ゲイン 半値ビーム幅	2.4 GHz 21dBi 12 度	長距離中継用
1 5	無線 LAN ルータ (CISCO 社 AIR-BR1310G-E-K9-R)	ブリッジモード 電波インターフェース チャンネル 受信感度 到達距離	IEEE 802.11g 13ch 1 Mbps : -94 dBm 22 km@ 11 Mbps, 上記 1 2 使用時	地上設置の通信用
1 6	衛星電話 (BGAN EXPLORER500)	インターフェース 回線サービス 連続通話時間	USB, Bluetooth, LAN (Ethernet) , RJ11 音声通話 パケットデータ通信(送信最大 448kbps/受信最大 464kbps) ストリーミングデータ通信(最大 128kbps) 3 時間	衛星回線による地上計測システムとメインビルディング間の通信（冗長系, レンタル品）
1 7	ノート PC (SONY VPCEB2AVJ)	OS CPU 動作周波数 液晶画面 HDD	Windows XP Core i7-620M 2.66GHz TFT15.5' 1920x1080 640GB	VNC 用 (各計測地点 4 台, 衛星 1 台)

表 6-2: 係留気球の仕様

項目	諸元	備考
容積	184m ³ (6500ft ³)	
全長	15.2m (50ft)	
最大径	5.2m (17ft)	
気室数	1 室	※ABBA テスト 2-1 では 2 室 (隔壁あり)
リリース弁	3 基	※ABBA テスト 2-1 では 2 基 (+隔壁に 2 基)
ペイロード	約 120 k g (無風時)	上空 1,000m において風速 15m/sec で運用するためにペイロードの総重量を 25kg に制限
運用風条件	最大 45kts	ガス充填時は 13kts

※ABBA テスト 2-1 では SSC が Aerostar 社製の係留気球をオランダ Vigilance 社よりリースして使用。容積等の諸元は共通だが一部仕様が異なる。

1) 係留気球システム (Blimp)

ブーム計測機器を上空 1,000m に懸吊するためのシステムであり、主に係留気球 (エンベロプ)、テザー (係留索)、ウィンチ、保護シート、ヘリウムガス (カードル) からなる。これら機材の調達及び運用は SSC が担当した。



図 6-4: 係留気球

(1) 係留気球本体

D-SEND#1 落下試験では、米 Aerostar 社製 TIF-6500 を使用した。

これは三枚の尾翼を持つ飛行船形状の気球であり、表 6-2 に主な仕様を、図 6-4 に外観を示す。気囊 (エンベロプ) 内外の差圧で形状を保持する構造であるが、エンベロプに用いられている膜材は殆ど伸縮しないため、図 6-5 の様なエンベロプの一部にショックコードを用いた伸縮部分 (膨脹機構, dilation panel) を備え、上昇/降下に伴う外気圧変化や内部ガスの温度変化に対して差圧を所定の範囲 (運用マニュアルによれば 1.5~5in.WC (イン

チ水柱)) に維持する設計となっている。また、膨脹機構の作動範囲を超えた (すなわちエンベロプ体積が最大となった) 状態での破裂を防止するため、一定以上の差圧でヘリウムを放出するリリース弁を備えている。ただし、リリース弁の排気能力を超える急激な状態変化は避けなければならない。また、ヘリウムを放出すると浮力が減少する上、降下時に差圧を維持できず運用が困難になる。したがって、基本的には膨脹機構の作動範囲内で運用を行う必要がある。

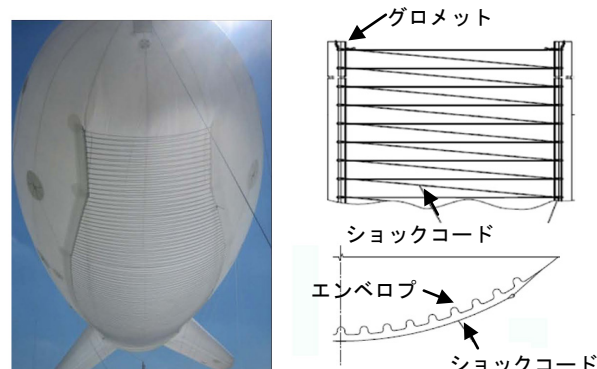


図 6-5: 膨脹機構

(2) テザー

テザー (係留索) には高強度ポリエチレン繊維ダイニーマを用いた Dynex SK 75 という製品を使用した。図 6-6 にテザーの写真を示し、主な諸元を表 6-3 に示す。テザーにはブーム計測機器の取付け位置を示すマークが先端から 250m, 500m, 750m の各位置に付けられている。



図 6-6: 係留索 (テザー)

表 6-3: テザー仕様

項目	諸元	備考
直径	6mm	
長さ	1,500m	(最大製品長 3,200m)
総重量	34.50kg	23g/m
破断強度	4.2ton	

(3) ウィンチ

ガソリンエンジンを用いたウィンチを SSC が新規に調達して使用した。図 6-7 に外観を示す。ABBA テスト 2 で使用したものに比べて小型化されている。また、ABBA テスト 2-1 ではテザーを直接繰出す/巻取る方式であったが、今回は図 6-8 に示すようにアンカーウェイトで固定された滑車を用いて水平に繰出す/巻取る方式となっている。なお、テザーの繰出し/巻取り速度は毎分約 8～11m であった。



図 6-7: ウィンチ



図 6-8: アンカーウェイト

(4) 保護シート

係留気球の展開・組立て及び撤収作業に際しては、地面や石、樹木からエンベロプの損傷や汚れを防ぐために保護シートを使用した。

2) 空中ブーム計測システム

空中計測システムは、上空約 1,000m の擾乱の少ないブーム計測と地上へのブーム伝播過程を計測するために上空 750m, 500m で計測・記録するものである。計測出来ることが必須の上空 1,000m については通信を含めて冗長性を確保して、要求を満足させている。重量 (Li 電池 112 本等含む) は約 13.2kg, 保護ケースは縦約 550mm, 幅約 600mm, 奥行き約 280mm であり、要求値を満足している。なお、係留気球の機首は風向きを向くことから幅方向を正面に向けて風の抵抗を極力受けないように吊下げられる。

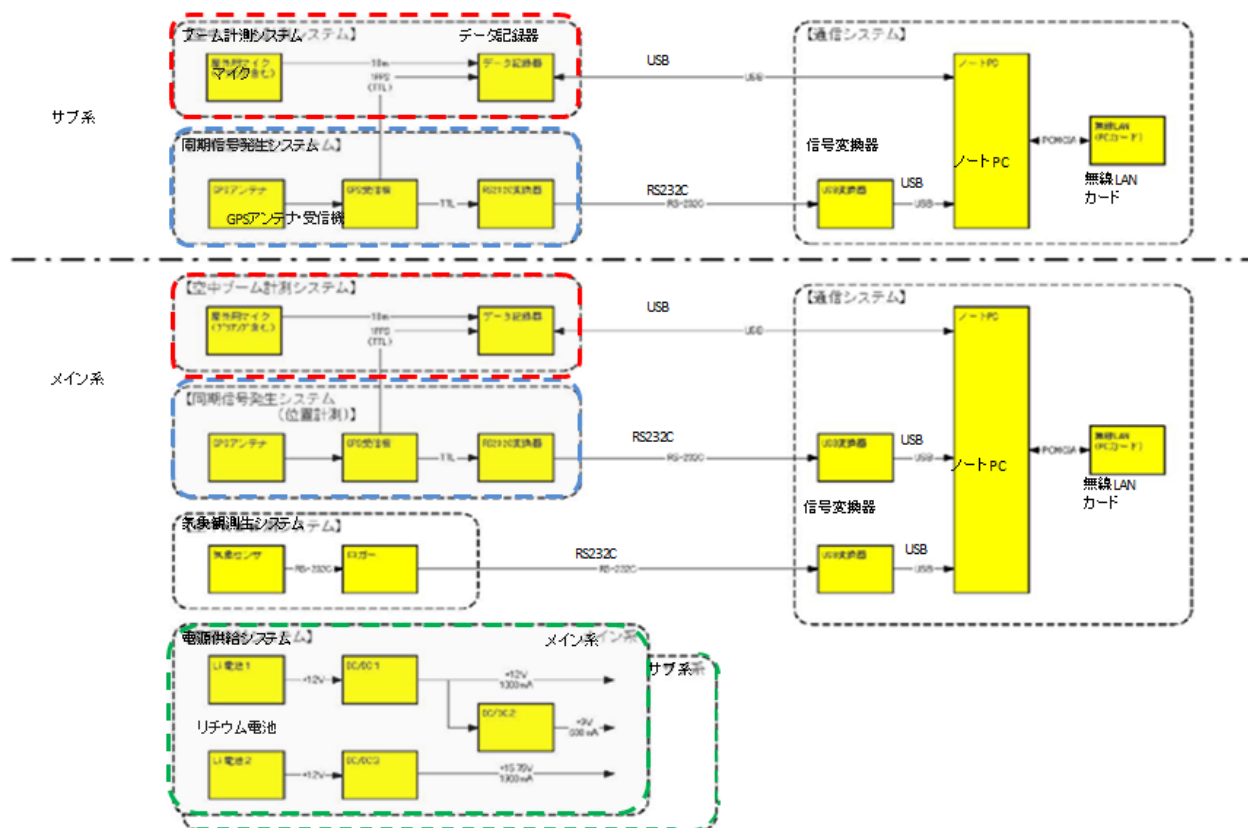


図 6-9: 空中計測 (1) ブロック図

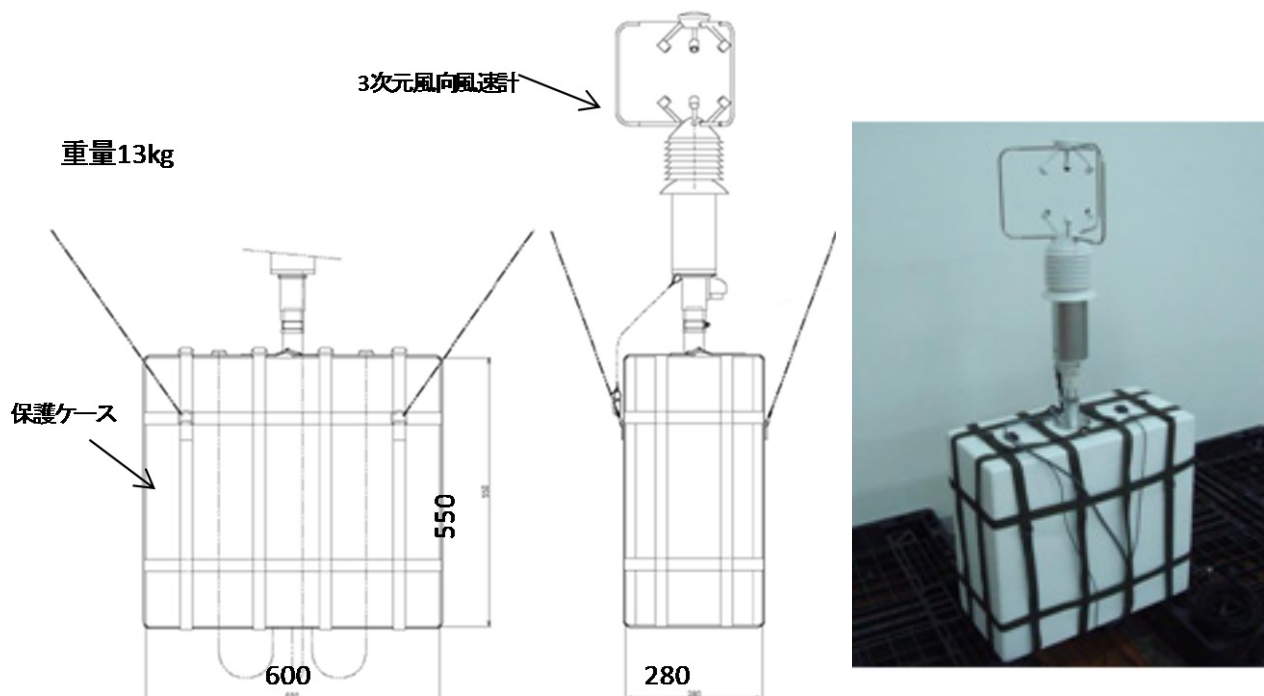


図 6-10: 空中計測 (1)

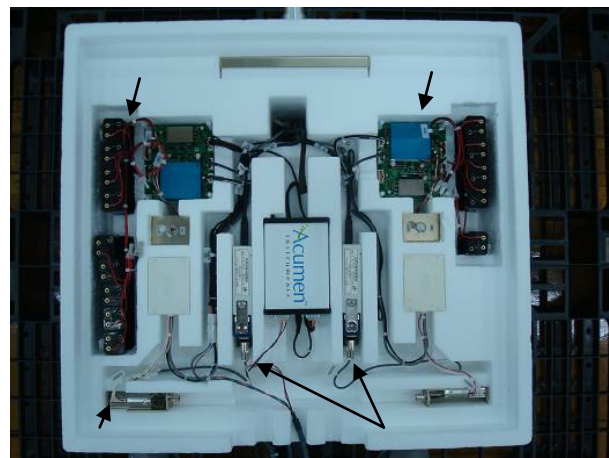
(1) 空中計測 (1)

上空 1,000m の冗長の空中計測システムを空中計測 (1) と称し、メイン系 (空中計測 (1-1)) とサブ系 (空中計測 (1-2)) とに分離した冗

長系とした。ブロック図を図 6-9、外観を図 6-10 に示す。保護ケースは、メイン系とサブ系を収納し、上空 1000m の温度環境 (D-SEND#1 落下試験



PC 側



機器側

図 6-11: 空中計測（1）内部

の 1 回目が低温となり、約 -4.4°C ）から保護するため発泡スチロールで作られ、要求を満足させている。また地上との通信を遮断しないように図 6-10 の右図のような幅約 25mm の綿製のバンド 8 本で作られた網（システム上はバンドと呼称）に収納し、バンドに付けた 4 本の鉄環で係留気球のペイロード策から吊り下げられる。このバンドは保護ケースの蓋の開け止めを兼ねている。図 6-11 に保護ケースの内部の状況を示す。

①メイン系（空中計測(1-1)）

メイン系の構成は、保護システムに入ったブーム計測システム、通信システム、位置計測システム、同期信号発生システム、空中気象システム、電源システムからなる。

■ブーム計測システム

低周波マイクロフォン、USB 接続の 4ch の A/D 変換器、計測（データ収録）ソフトをインストールしたノート PC からなる。この構成は、地上も含め各ブーム計測システム共通である。マイクロフォンは、IEEE 1451.4 規格のトランスデューサ電子データシート (TEDS: Transducer Electronic Data Sheet) よりセンサ固有の識別情報や固有情報を A/D 変換器で自動的に検出し、構成 (Configuration) を行うことができる。マイク出力と後述する同期信号の 2ch は A/D 変換後にノート PC のハードディスクに保存される。マイクのケーブルは 10m で

あり、A/D 変換器から保護ケースを出て係留気球のテザーに沿って下方に降ろし、テザーへの固定は内側にセレーション（ギザギザ）の無い結束バンド（インシュロック）を用いた。マイクロフォンは、マイクホルダに取付け、マイクホルダをテザーにインシュロックで固定する。この方法は全ての空中計測で同じである。図 6-12 にマイクロフォンをマイクホルダに取り付け状況、テザーへの取り付け状況を示す。なお、ノート PC は位置計測、空中気象のロガーや通信機器としても使用する。

■通信システム

ノート PC の PCI スロットに挿入する無線 LAN カードで地上と TCP/IP 接続し、地上から制御・監視を行う。これは、空中計測（1-1）、（1-2）、空中計測（2）、（3）も同じであり、空

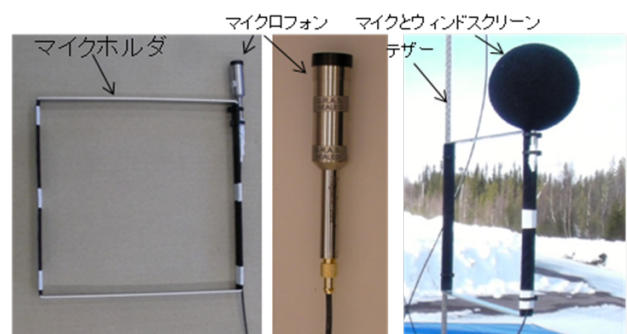
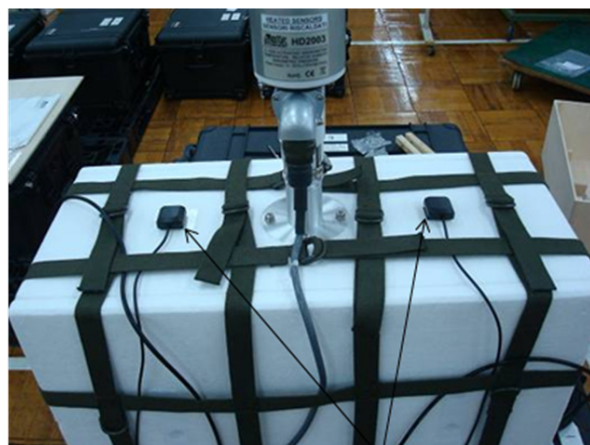


図 6-12: 空中計測マイクロフォン

中計測（1－2）のみサブネットを別にして、通信の冗長を確保している。通信の規格として、後述する地上や遠隔制御監視システムを含めて試験場所であるスウェーデンで使用出来る無線 LAN 規格で屋外、長距離通信向きである IEEE802.11b を選定した。この無線 LAN カードによる通信距離は、カタログ上 1Mbps の設定で、ゲイン 2.2dBi のダイポールアンテナとの通信で 610m であり、地上側に 13.5dBi の八木アンテナを用いることで 11.3dB 改善（距離にして 3.67 倍）することから 2,200m となり、1,500m 以上を満足している。

■位置計測システム

後述の同期信号を発生する GPS（アンテナ、コア）により、緯度経度、海拔高度を計測し、NMEA 出力を RS232C 変換器と RS232-USB 変換器で PC に取り込み、テキスト形式のログファイルで保存される。アンテナは、保護ケースの上面にベルクロテープで固定する。図 6-13 に同期信号システムと併せて外観を示す。



GPSアンテナ



RS232C変換器



GPSコア

図 6-13: 位置計測・同期信号発生システム
およびマイクロフォン

■同期信号発生システム

位置計測システムの GPS コアであり、他の計測点の計測データとの時刻同期をとるために、位置

計測システムに付加された GPS 時刻に同期した 1 秒ごとのパルスを出力する機能を用い 1PPS のアナログ出力を上述の A/D 変換器に入力し、ブーム波形と共に PC に同じファイルに記録される。ABBA テスト 1 では、時刻情報を持つ IRIG-B 信号を発生する機器を用いたが、重量制限から 1PPS の小型軽量な物を選定した。

■空中気象システム

気温、湿度、大気圧等を観測・記録する機能と RS232C 出力を持つ三次元風向風速計を用い、RS232C 出力を記録するロガー、ロガーからのスルー出力を同じ PC にテキスト形式でログ記録する。センサ部は、保護ケースの上面に取付け、係留気球に吊下げる際もセンサ部が上になるようにしている。図 6-14 にセンサ部を示す。この機種は、磁気方位コンパス機能を持っているため、センサがどの方位を向いていても、北を 0 度とする風向を出力できる。

■電力供給システム

重量軽減のために地上からの供給を行わず、リチウム電池（Li 電池）を用いている。リチウム電池は、他の電池と比較して電力密度が大きく、低温でも出力低下が起こり難い。充電の不確かさを避けるために一次電池を選定し、入手性から単三リチウム一次電池（1.5V 約 3Ah）を用いた。直列 8 本接続を運用時間 10 時間稼働するためにメイン系では 9 組並列（72 本）接続した DC12V を作成し、三種の DC/DC 変換器を実装した電源ボードで、PC の外部電源（DC15.75V）、位置計測シ

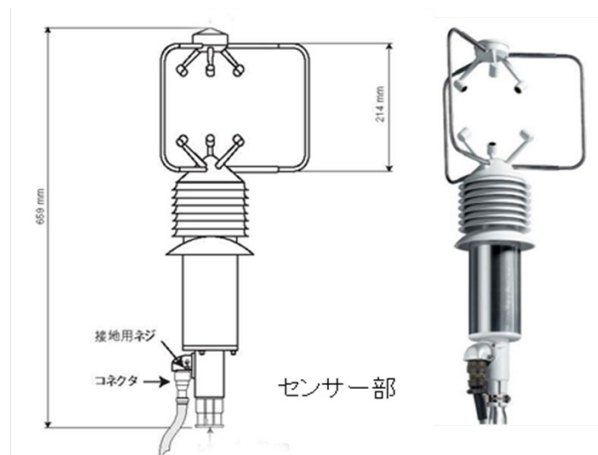


図 6-14: 空中気象観測システム

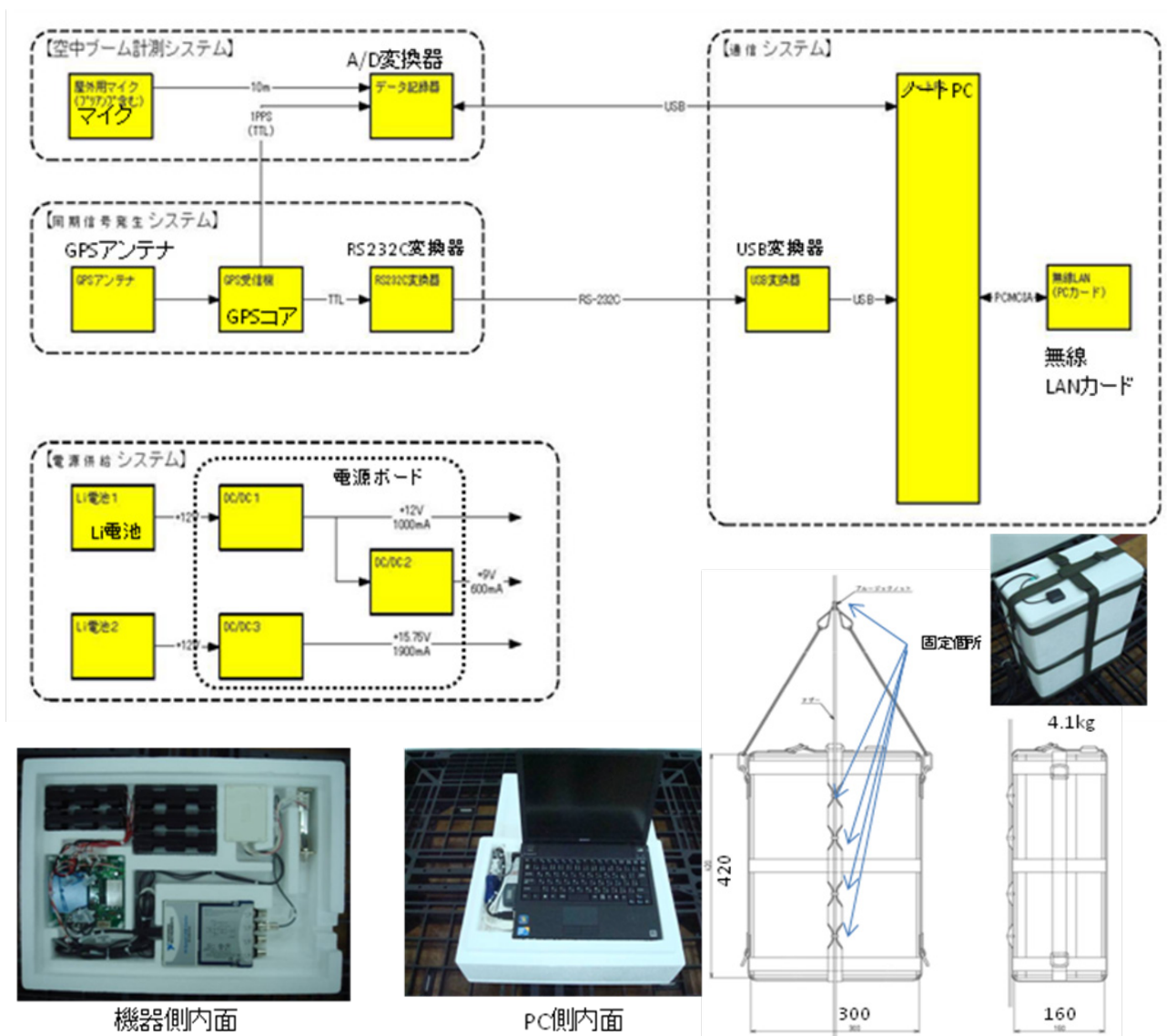


図 6-15: 空中計測（2）ブロック図，内面，外観

テム (DC9V)，同期信号発生システム (DC9V)，空中気象システム (DC12V)，気象用データロガー (DC12V) のそれぞれに応じた電圧に変換し供給する。図 6-11 の青い (DC/DC コンバータ) 部分が電源ボードである。マイクロフォン、A/D 変換器は PC (内臓バッテリー 5200mAh) の USB バス、無線 LAN カードは PCI バスパワーから供給される。なお、電池直列 8 本接続を行う電池ボックスが、納入後の国内の訓練課程で電池間の接触不良を起こしたことから、地上計測システムを含む全ての電池ボックスの出力電圧を確認できるように出力電線のコネクタ化を現地試験までに実施することとした。

②サブ系（空中計測（1-2））

上述のメイン系から空中気象システムとこれに

必要な機能・機器を除いたものである。通信系を冗長にするために無線 LAN カードの IP アドレスのセグメントをメイン系と違えている。

以上のメイン系、サブ系の機器配置は、両系の A/D 変換器、GPS コア、データロガー、電源を保護ケース内の片側に配置し、計測ソフトウェアを操作する両系の PC を反対側に配置している。

(2) 空中計測（2）

上空 750m でブーム計測するシステムを空中計測（2）と称している。構成は、空中計測（1）のサブ系と同じである。ただし、保護ケースはメイン系の機器が無い分小型になっており、通信系のネットワークのセグメントを空中計測（1-1）と同じにしている。図 6-15 にブロック図と外観、内面を示す。使用した電池の本数は、空中計測（1

ー 2) と同じ 40 本である。空中計測 (2) は重量約 4.1kg, 縦約 420mm, 幅約 160mm, 奥行き約 300mm であり, 要求値を満足している。機器は, 空中計測 (1) と同様に操作性を考慮した配置にしている。保護ケースの蓋の開け止めやテザーへの吊下げのために空中計測 (1) と同様のバンド 5 本を縫い合わせた網を使用している。テザーへの取付けは, ずり落ちず, 回転してマイクケーブルを切断しないように固定しなくてはならないため, 図 6-15 の右下の様に固定箇所を設けており, テンションの掛ったテザーへの吊下げ法として, テザーに登山に用いられる図 6-16 のブルージック結び

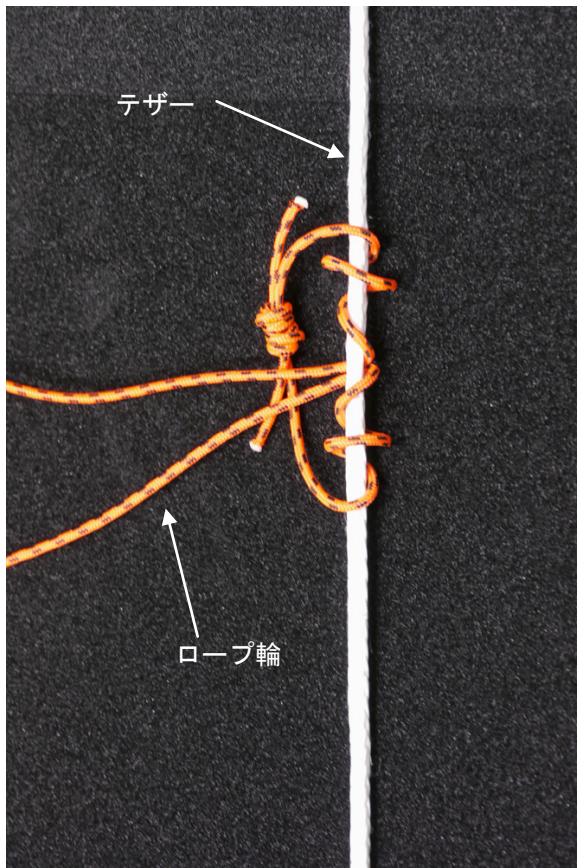


図 6-16: ブルージック結び

で細いロープ輪を締め付け, このロープ輪とバンドの鉄環を, チェーンの連結などに用いるリングキャッチで接続する。

(3) 空中計測 (3)

空中計測 (3) は, 上空 500m でのブーム計測を行うもので, 構成は空中計測 (2) とは, IP アドレスのみ異なる。

6.2 地上計測システム

地上計測システムは, 地上における屋外のブーム計測システム, 地上の気象観測システム, 空中計測システムや遠隔監視システムとの通信を行う通信システム, 他のブーム計測システムと時刻同期をとる同期信号発生システム, 電力供給システム, 保護ケースからなる。図 6-17 に地上計測システムのブロック図を, 図 6-18 に試験準備で計測点 MP2(I) に展開した様子を示す。

1) 屋外ブーム計測システム

地上屋外でのブーム計測を行うため, 3 個のマイクロフォンを有する。マイクの設置は, ABBA テスト 2-1 での設置方法の検討から 1m 角のアルミ製の反射板 (板厚 5mm) の中央にマイクロフォンを表面と同一面に取り付けるフラッシュマウント方式を用いている。反射板は, 地表に 10cm 程度の厚さの砂を盛り, その上に水平に設置する。この時マイクロフォンは, 砂の中になるため, アルミのマイクケース内に収められ, 反射板の裏面に取り付けられる。この時の砂の厚みを抑えるためにマイクロフォンは 90 度に曲げられたタイプを選定している。設置時の様子を図 6-19 に示す。このシステムの基本構成は空中計測と同じであり, A/D 変換器の使用チャンネル数がマイクロフォン 3ch, 同期信号 1ch と A/D 変換器 4ch と全てのチャンネル数を使っている。A/D 変換器と繋がるノート PC (ブーム計測 PC) は, ブーム計測用であるが, LAN ハブを経由して中継点, 気象用 PC と接続しており, 遠隔制御・監視システムとの中継機能を持たせている。

2) 地上気象観測システム

計測地点の地上気象観測は, 市販の小型で比較的安価な製品を選定している。矢羽根と風力カップの風向風速計, 大気圧計, 温度, 湿度, 露点を気象センサが計測し, このセンサを三脚式支柱に取り付け, センサの出力は, 保護ケースに納められた専用のコンソールにケーブルで接続され, その

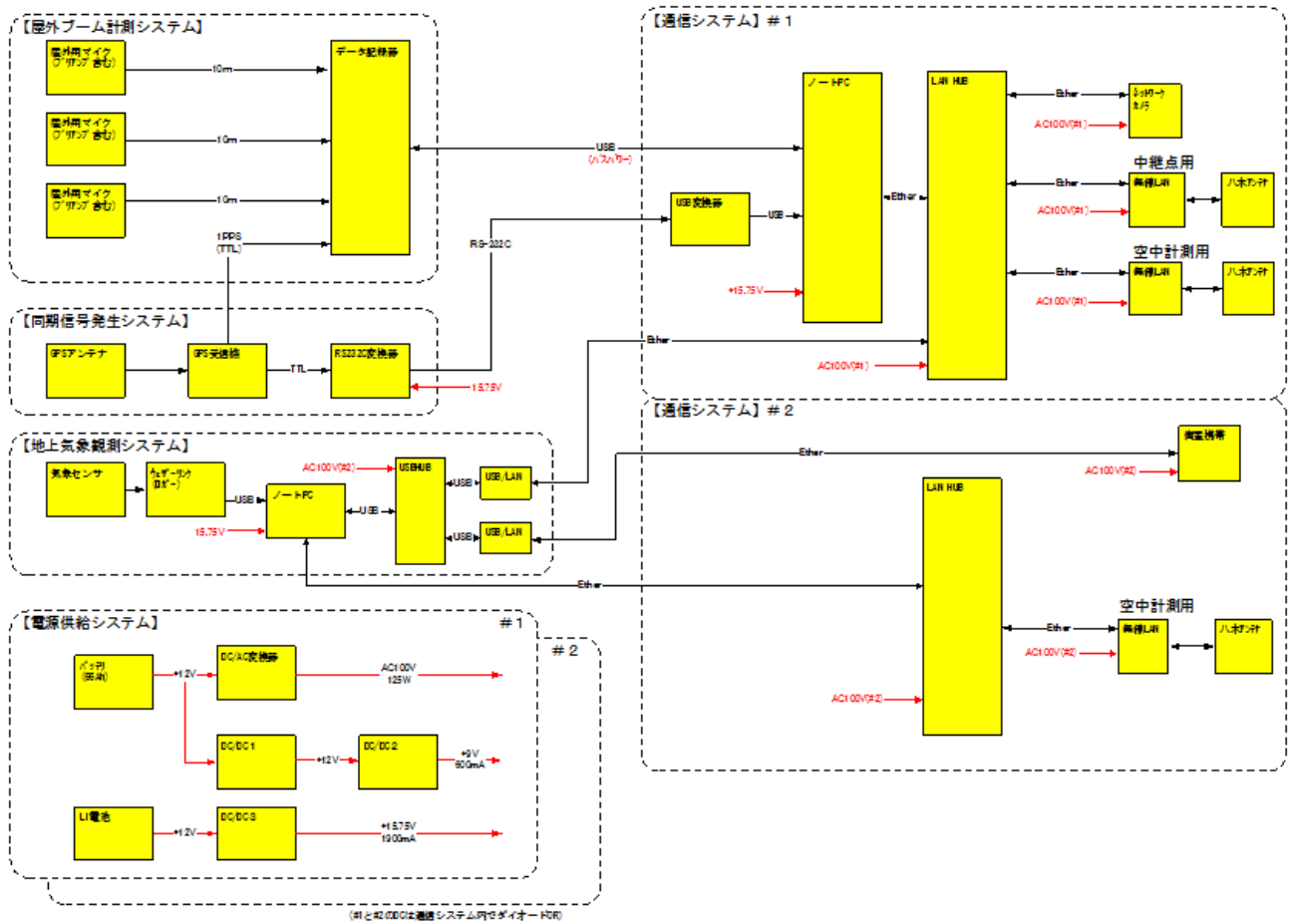


図 6-17: 地上計測システムブロック図



図 6-18: 地上計測システムの計測地点での展開 (MP2(I))



図 6-19: 地上マイクロフォンの取付け

時の状態量が表示される。データの記録は、このコンソール内面に後付けされたデータロガーに記録される。

データの吸い上げは、ロガーの RS232C 出力を USB 変換により、気象用 PC にインストールされた専用ソフトウェアで行う。図 6-20 にセンサ、コンソール、ロガーを示す。この気象用 PC は、空中計測（1－2）の通信システムの一部を担う。

3) 通信システム

地上計測システムの通信システムは、空中計測（1－1）、空中計測（2）、空中計測（3）のセグメント（172.16.*.*系）間の通信と、空中計測（1－2）との通信（172.17.*.*系）を行う冗長系を持つ。図 6-21 の地上計測システムブロック図に通信系統を識別した。通信形式は、通信制御に汎用性を持つ TCP/IP を用いた。主な構成は、PC、LAN ハブ、無線 LAN ルータ、ルータに電力を供給するパワーインジェクター、アンテナからなる。ブーム計測用 PC は、LAN ハブ（172.16.*.*系）を経由して空中計測（1－1）、（2）、（3）のブーム計測 PC と接続する。気象用 PC は別の LAN ハブ（172.17.*.*系）を経由して空中計測（1－2）と接続し、中継用無線 LAN 通信の冗長（バック



図 6-20: 地上気象観測システム

アップ）系であるインマルサット衛星電話（BGAN）を経由して遠隔制御・監視用の PC と接続する機能を持つ。本電話は、音声と同時に TCP/IP の通信を行う機能、ポートを持ち、気象 PC に増設したネットワークポート（LAN-USB 変換）に接続される。従って、両通信系統に接続している気象用 PC に、計測地点内の 4 つのブーム計測 PC を制御するソフトウェア（統合アプリ）を搭載している。なお、BGAN は短期間の使用であるため試験期間中のみのレンタル品とした。

アンテナは、空中計測用 2 本と中継用 1 本の 3 本あり、空中計測との通信で 1,500m、中継点との通信で 1,000m 程度としたことから 13.5dBi の八木アンテナを用い、無線 LAN ルータ（IP アドレス付与）、通信ケーブル、保護ケース内のパワーインジェクター、LAN ハブ、LAN/USB 変換器を経由してブーム計測 PC、気象用 PC に接続する。図 6-22 にこれらの機器を示す。

無線 LAN ルータは、後述の遠隔制御・監視システムと共通であり、長距離無線 LAN を構成で

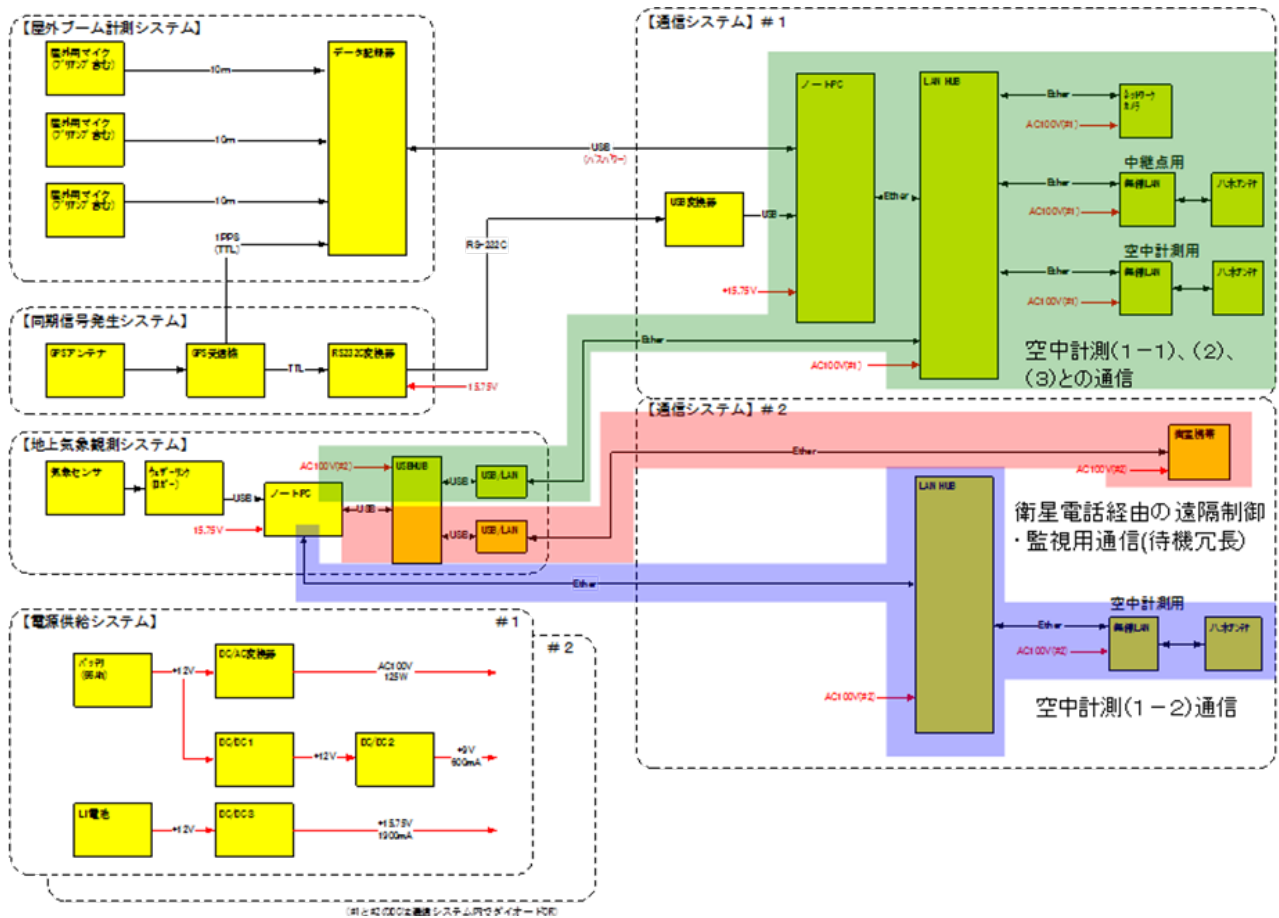


図 6-21: 地上計測システムブロック図

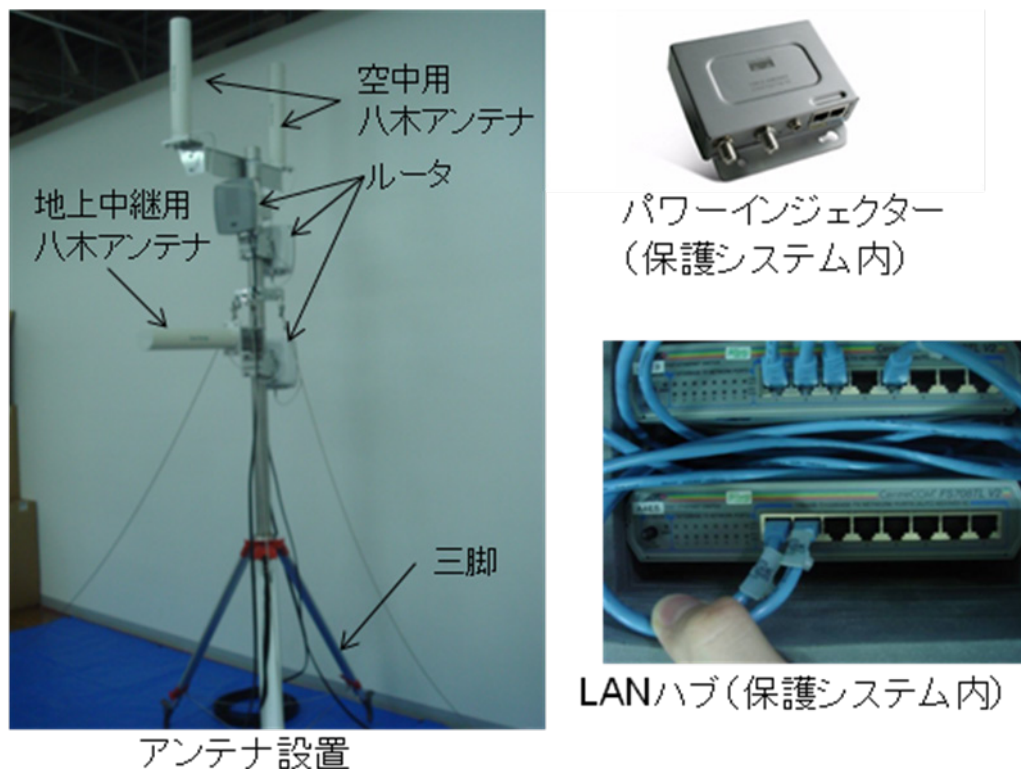


図 6-22: 地上計測システム通信機器

きる能力を持つ。なお、無線 LAN 機器は日本及びスウェーデンで利用できる機種を選定している。

パワーインジェクターは、天候の影響を受けないエリアに適した標準の 10BASE-T/100BASE-TX イーサネットインターフェースを、屋外環境に適した無線 LAN ルータの同軸ケーブル対応のデュアル F 型コネクタインターフェースに変換するものである。このパワーインジェクターの電源は AC アダプター (AC100~240V) で行われる。これらは、遠隔制御・監視システムのものと同じである。

空中計測 (1-1) との通信は、LAN ハブ (172.16.*.*系) を経由して地上ブーム計測 PC のネットワークポートに接続され、空中計測 (1-2) は、別の LAN ハブ (172.17.*.*系) を経由して気象用 PC のネットワークポートに接続される。中継点との通信は、地上ブーム計測に繋がる LAN ハブ (172.16.*.*系)、通信ケーブル、ルータ、八木アンテナを経由して接続される。空中計測 (1-2) と Erange との通信 (172.17.*.*系) は気象用 PC に増設したネットワークポート (LAN-USB 変換) と LAN ハブ (172.16.*.*系) を経由して行う。

4) 同期信号発生システム

空中計測システムの位置計測システム、同期信号発生システムと同じものを用いた。1 PPS の出力は、空中計測と同様 A/D 変換器に接続している。

5) 電力供給システム

2 つのネットワークハブ、1 つの USB ハブ、3 つのパワーインジェクター、衛星電話 BGAN、ネットワークカメラの AC100V と、2 つのノート PC の DC15.75V、同期信号発生システムの DC9V を供給する。地上気象システムは、内蔵電池で長期間駆動するため、電力を供給していない。運用時間 10 時間を賄うための鉛蓄電池容量と可搬性を考慮して、鉛蓄電池、電源ボード、DC/AC インバータを 2 式用意し、並列使用している。

電力供給能力とヘリコプター輸送時の重量、大きさを考慮した電源用保護ケースに収めている。

図 6-23 に外観および接続図を示す。

国内で用意した鉛蓄電池の海上輸送が出来ず、航空輸送を検討したが、輸送料金が高額なため、同一タイプの鉛蓄電池を現地で調達した。

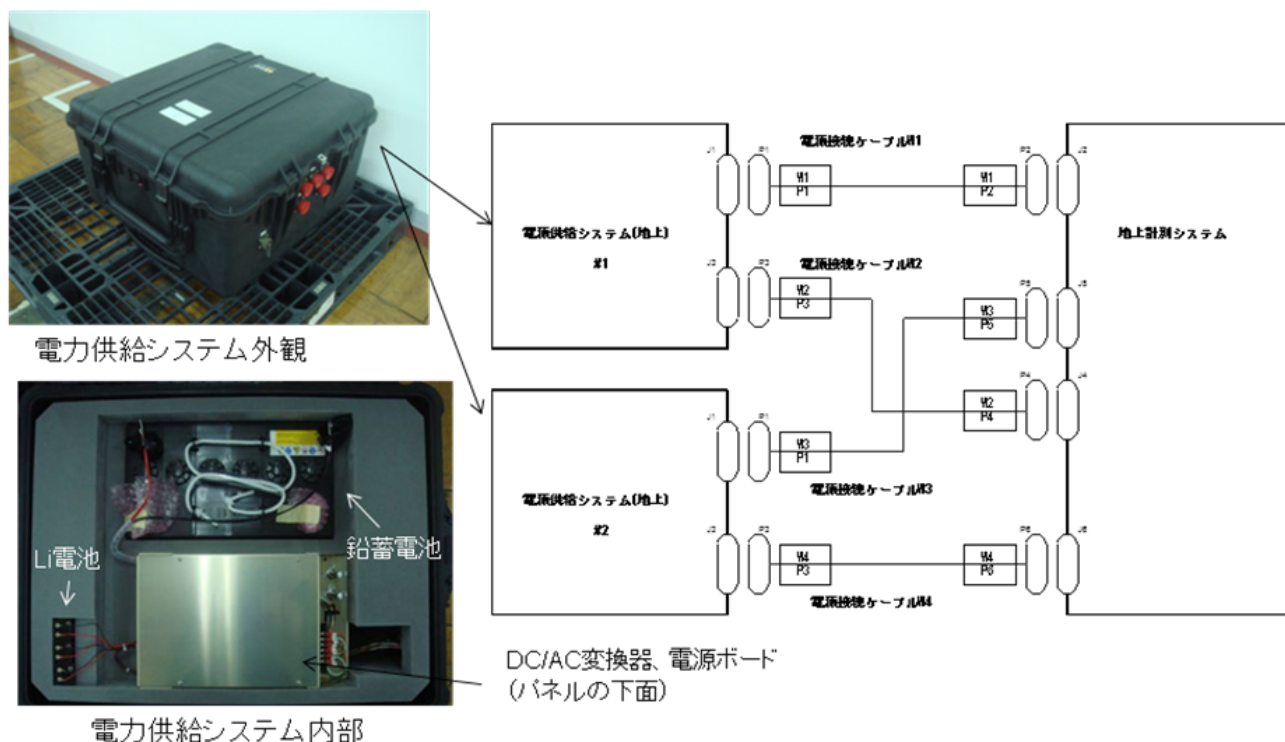


図 6-23: 電力供給システム

Li 乾電池は、2 回の落下試験と 1 回の予備分を用意した。後述の遠隔制御・監視システムの電源系も Li 乾電池を除いて同じ物を使用している。

6) ネットワークカメラ

ブーム計測システムに必須な機能では無いが、計測地点の状況等を監視することを目的として設計に付加した。しかし現地での準備作業中、衛星電話にネットワークの干渉を起こしていると思われる挙動が有ったため、カメラの使用を中止した。固定焦点（電子ズーム付）で広角なために、5m 程度の範囲内であれば十分な性能であるが、距離のある係留気球等を監視するには不向きであった。

7) 保護システム

地上計測システムの内、屋外に設置するものと屋内ブーム計測システムを除く P C 等の機器を収納し、気象条件から保護する目的で、市販品の輸送等に耐えられるペリカンケースと言うプラスチックケース（黒色）を使用している。ケースの側面には、電力やネットワークケーブル等の配線を行うためのコネクタ等の加工をしており、運搬のための取手、キャスターが付いている。地上計測システムの保護ケースの大きさは、幅約 850mm、奥行き約 725mm、高さ約 440mm で、内部の機器を含む重量は約 15.3kg である。ヘリコプターの後部座席に幅方向を縦にして載せることが出来た。電力供給システムも同じ製品のサイズの異なる物を使用している。その大きさは、幅約 635mm、奥行き約 500mm、高さ約 352mm で、重量はバッテリーを含むと約 40.8kg であり、計測地点への移送は鉛蓄電池を入れない状態で行う。なお、遠隔制御・監視システムの電源系の保護ケースも同じものを用いている。

8) 屋内ブーム計測システム

屋内計測を実施するための計測小屋（ブームハウス）を各計測点に施工することは非常に高額になることから D-SEND プロジェクトのサクセスクライテリアに屋内計測を含めなかったため、BMS の設計製作に含めていない。しかし、計測地点 MP1(E)に屋内計測を実施できる小屋が有ることから、この中の一部屋を計測対象に割り当て、



図 6-24: 屋内でのブーム計測

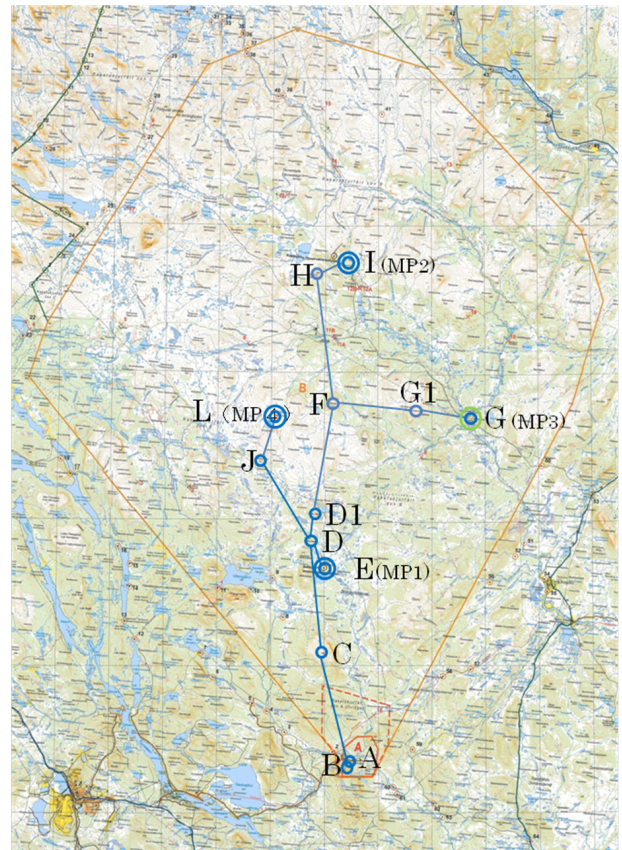


図 6-25: 無線 LAN 中継レイアウト

ABBA テスト等で用いたマイク、アンプ、PC、同期信号発生システム等を用いて、計測を行うこととした。ただし遠隔制御・監視は行えないため、

計測地点からの退避前に計測をスタートさせた。
落下試験 1 回目では、ブーム到達地点が MP3(G)
であったため屋内計測は行えなかったが、落下試験
2 回目のブーム到達地点は MP1(E)であったため
に室内計測を行うことができた。図 6-24 に室内
の様子を示す。

6.3 遠隔制御・監視システム

落下試験中の無人化のために、Esrange のメイン
ビルディング (MB) に設置した本部から各計測
地点の計測機器を遠隔で制御、監視するためのシ
ステムである。ゾーン B 内は、広大であり、通信、
電力等のインフラが限られていることから、BMS
単独で通信、電力確保を行うシステムとした。

通信は、現地での運用が可能で遠距離に向く
IEEE802.11b 規格の無線 LAN を採用し、市販品の
無線 LAN ルータとアンテナで本部から各計測点
まで中継する。中継点距離は、製品仕様の 1Mbps
における通信距離 20km 以内とし、丘や小山の頂
上を中継点として設定した。図 6-25 にそのレイア
ウトを示す。図中の記号が中継点で、E, I, G, L

は計測点の直近である。

中継点の機器の電力は太陽電池パネル光と鉛蓄
電池による。主な構成は、本部と各計測地点の計
測 PC 等の遠隔制御・監視を行う本部システム、
地上計測システムと本部システムを結ぶ中継点シ
ステムである。

1) 本部システム

本部 (サイエンティフィック・センター, 図 6-25
の A) で各計測地点の計測 PC 等の遠隔制御・監
視を行う PC 等の機器であり、図 6-26 にブロック
図と図 6-27 に構成図を示す。

(1) 通信系

各計測地点の計測 PC の制御・監視を容易にす
るために、無線 LAN 経由で接続する各計測地点
分のノート PC を用意した。これらのノート PC は、
LAN ハブ、パワーインジェクター、無線 LAN ル
ータ、21dBi のパラボラアンテナを経由して、中
継点と接続し、計測地点まで接続される。また、
通信の冗長を確保するために別の PC と衛星電話
BGAN を用意し、目的の計測地点の衛星回線で後
述の統合ブーム計測アプリケーションをインスト

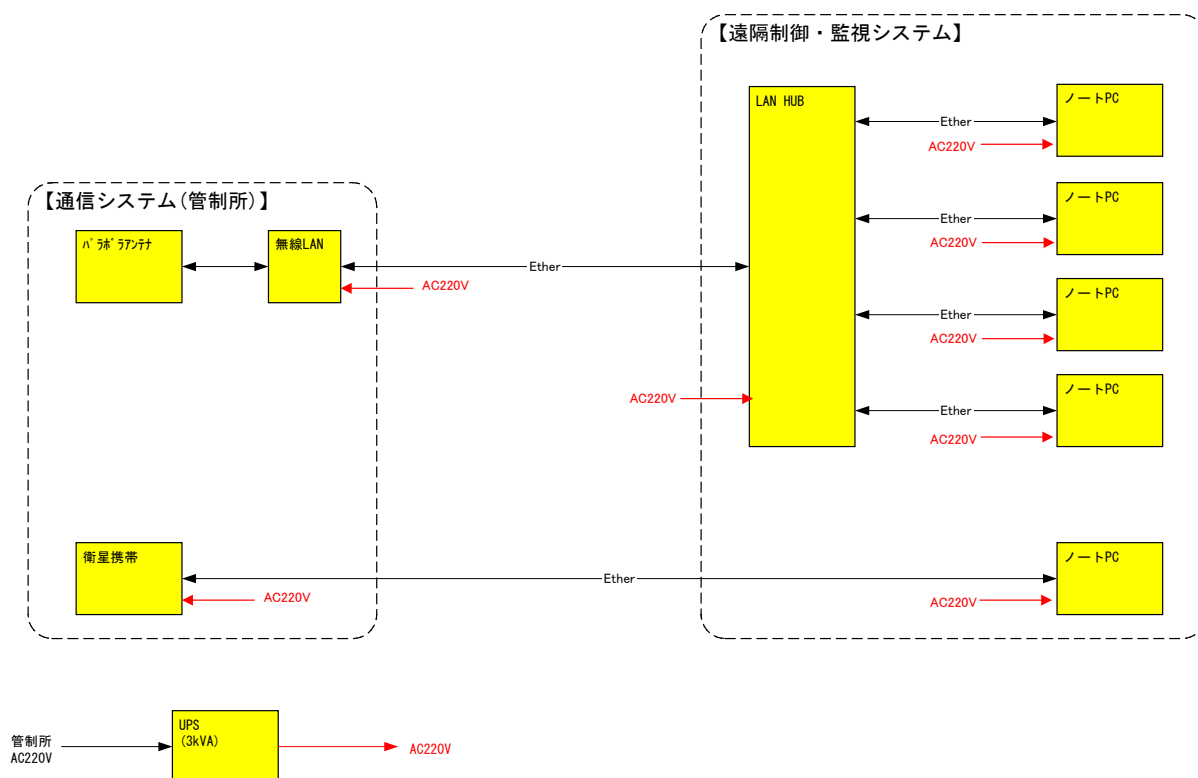


図 6-26: 本部システムブロック図

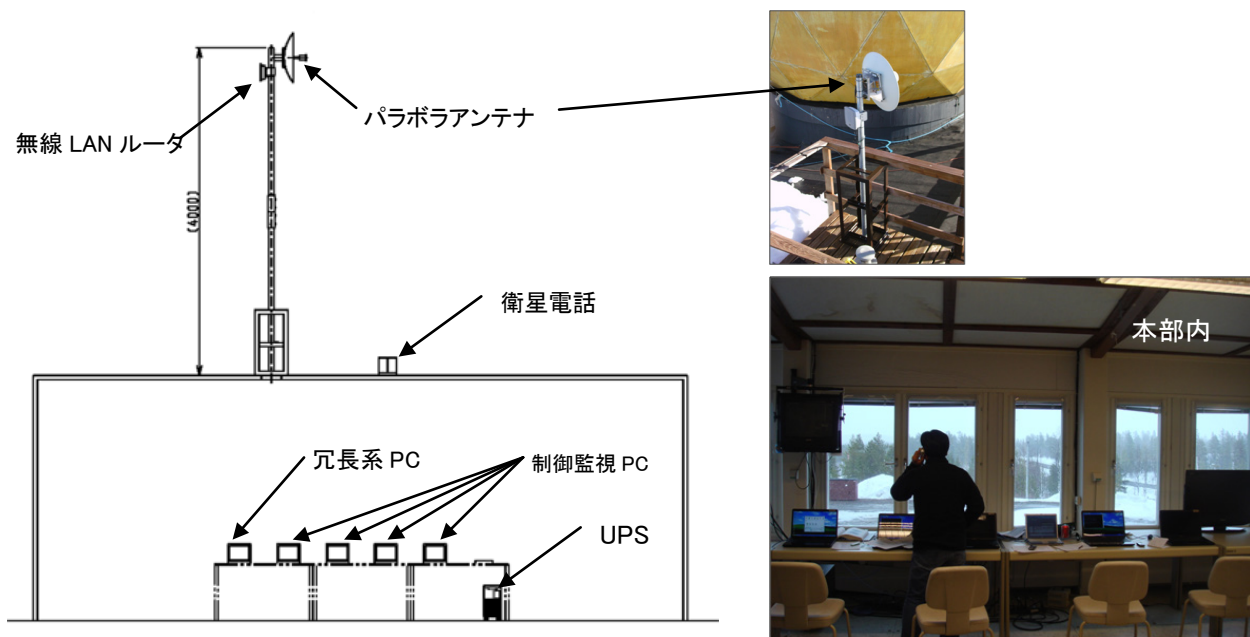


図 6-27: 本部システム構成

ールされた気象用 PC に接続し、この PC を経由して各計測 PC と接続する。本部内にも Erange のユーザー用に Guest Net として、インターネット接続が用意されているが、セキュリティ等の制限を考慮して用いないこととして設計している。なお、Erange 内で使用している無線 LAN 周波数との干渉やゾーン B 内の中継点同士の干渉を防ぐために、地点によってチャンネルを違えている。なお、衛星電話は、本部内の天井から上空を観測する既設の亚克力製ドーム室に設置し、準備期間から撤収までの間の屋外への出し入れ等の手間を省くこととした。

(2) 電源系

本部内の AC220V 電源の停電に備えて UPS を用意し、ここからノート PC、LAN ハブ、パワーインジェクター、衛星電話へ AC220V で供給した。

2) 中継点システム

本部と各計測地点とを結ぶ無線 LAN 設備で、計測地点に設置する中継点システム(中継点 1)、中継点システム(中継点 2)、中継点システム(中継点 3)、中継点システム(計測点)からなる。

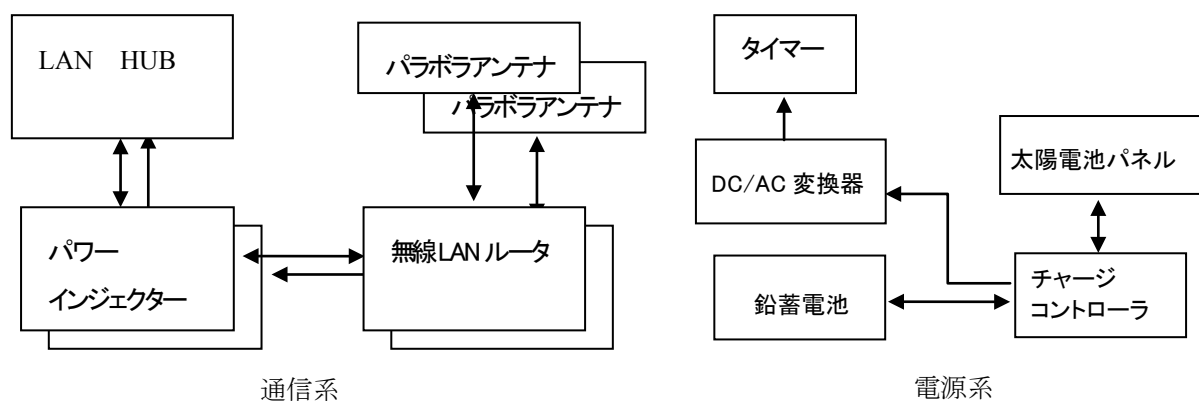


図 6-28: 中継点システム（中継点 1）ブロック図

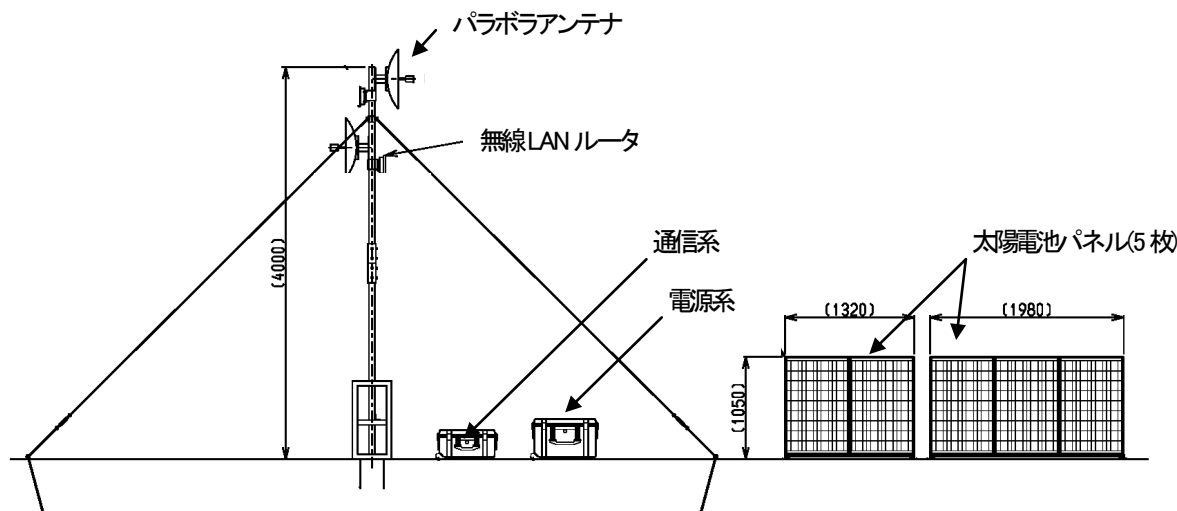


図 6-29: 中継点システム（中継点 1）構成

(1) 中継点システム（中継点 1）

図 6-25 の B, C, D1, G1, H, J の 2 対向を中継するシステムであり、通信系と電源系からなる。図 6-28 にブロック図、図 6-29 に構成図を示す。

①通信系

主な構成は、各対向分のアンテナ、ルータ、パワーインジェクターと LAN ハブで構成され、各中継点とは 21dBi のパラボラアンテナを用いている。無線 LAN ルータ、パワーインジェクター、LAN ハブは、地上計測システムの通信系や本部システムと同じである。無線 LAN ルータは屋外用で、アンテナ支柱に取り付けており、パワーインジェクター、ハブは保護ケースに収められている。保護ケースからルータまで屋外用の同軸ケーブルで接続している。

保護ケースは、幅約 625mm、奥行き約 500mm、高さ約 300mm の地上計測システムと同じ形式であり、機器も含めた重量は約 16.4kg である。

②電源系

通信系の各機器は、AC100V を電力とするため、太陽電池で作った電力を保護ケースに納められたチャージコントローラで鉛蓄電池に充電し、DC/AC 変換器で AC100V に変換後、タイマー及び接続ケーブルを経由して供給される。

太陽電池パネルは、運用時間要求の 10 時間を満たすために、1 枚 100W の物を 5 枚並列としている。現地緯度に合わせた太陽との傾きを保持するために中継点でボルト・ナットにより容易に組み

立てられるアルミ製のアングル材の架台を用意した。ただし、恒久的なものではない。

チャージコントローラは、太陽電池パネルの出力を鉛蓄電池に充電する際、過充電・過放電を行わないように最適制御し、電池の寿命を延ばす機能がある。

タイマーは、運用時間 10 時間を確保するために運用時間以外での電力消費を行わないために通信機器上流で供給電力を ON, OFF 制御するものである。1 日の内で通電を開始する時刻、停止する時刻等を設定する。ただし、タイムゾーンや夏時間の設定はできない。

鉛蓄電池は、地上計測システムと同じ物であり、12V65Ah を一個用いている。中継点 2, 3 も同じ物である。

DC/AC 変換器は、鉛蓄電池の DC12V を正弦波の AC100V に変換するもので、DC 入力 of 低電圧、高電圧時に自動遮断・復帰を行い、機器を保護する機能を持っている。

なお、図 6-25 の中継点 B は、サテライトステーションの屋上であり、外壁のコンセントの使用を許可されたことから太陽電池パネル等の電源系を使用せず、日本から持込んだ変圧器で 100V に変換して使用した。

保護ケースは、図 6-23 の地上計測システムの電源系の 1 つと同じである。

これらの機器も市販品で構成されている。

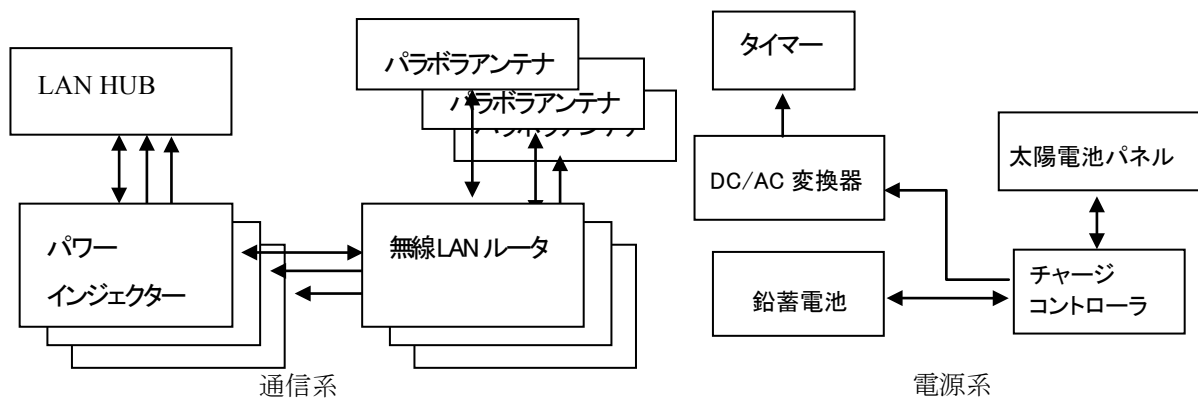


図 6-30: 中継点システム（中継点2）ブロック図

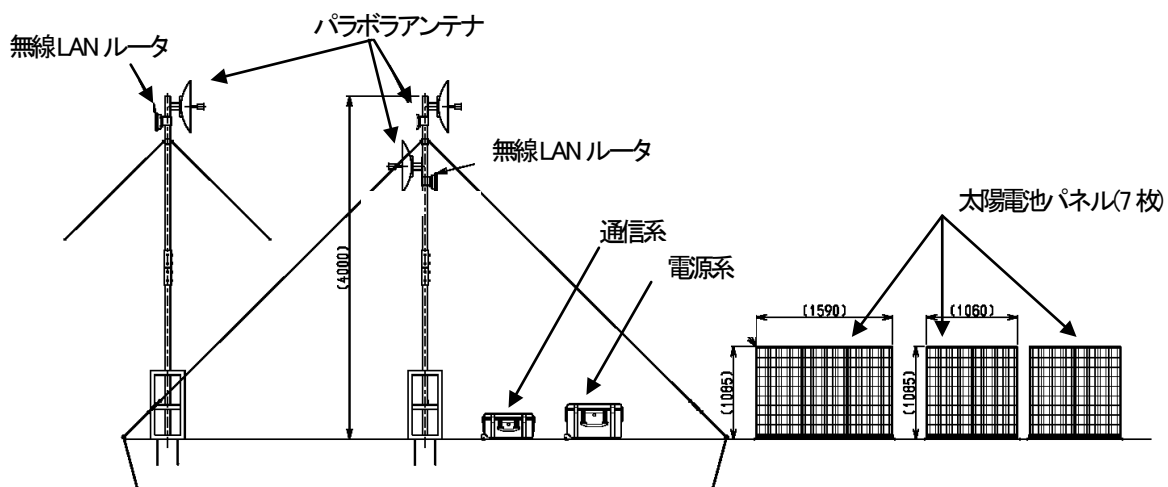


図 6-31: 中継点システム（中継点2）構成

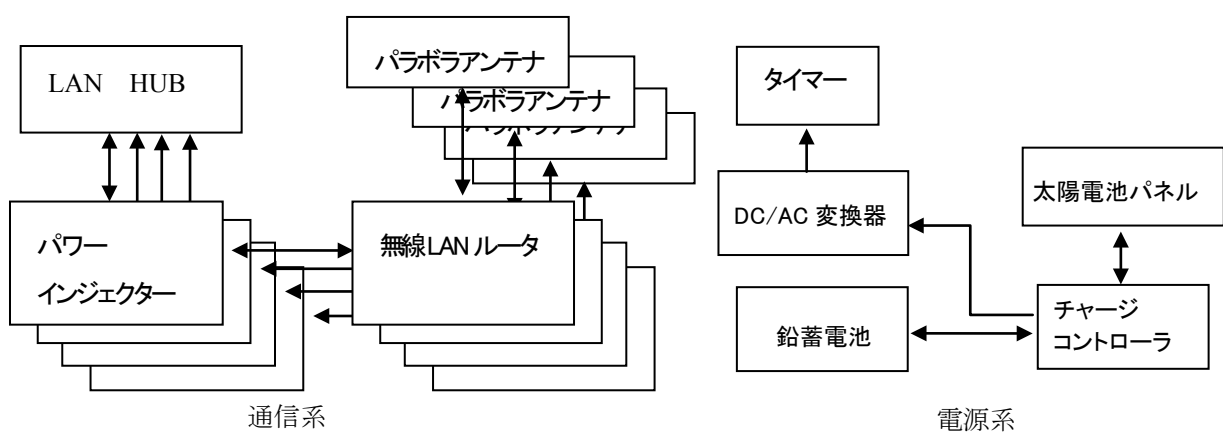


図 6-32: 中継点システム（中継点3）ブロック図

(2) 中継点システム（中継点2）

中継の受けと送りとをそれぞれ1対向ずつパラボラアンテナで3対向を行うタイプであり、中継点Fのシステムである。中継点1との相違は、3

対向分の通信機器であることと、太陽電池パネルは84Wの物を7枚用いていることである。図6-30にブロック図、図6-31に構成図を示す。

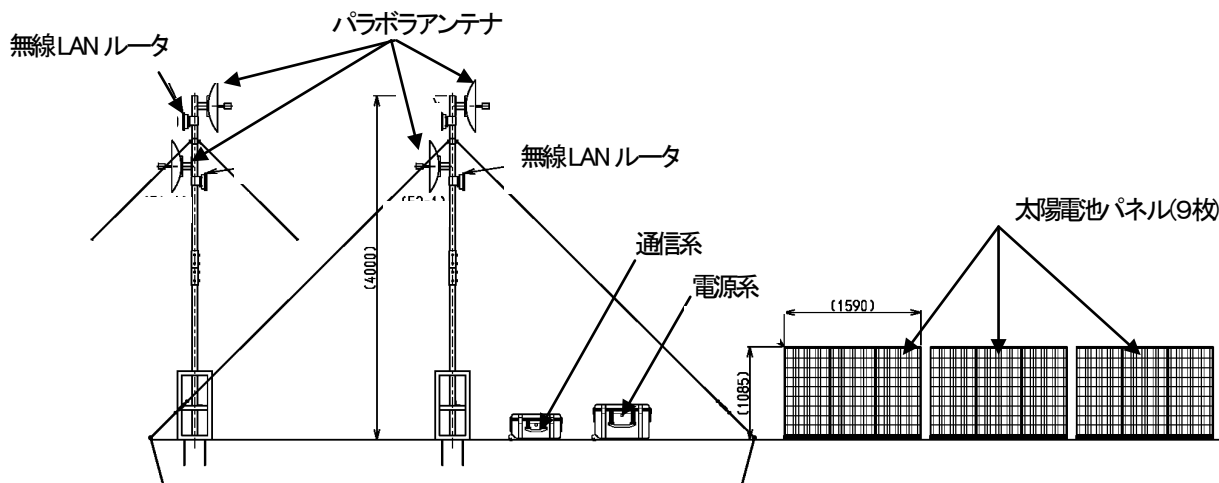


図 6-33: 中継点システム (中継点 3) 構成

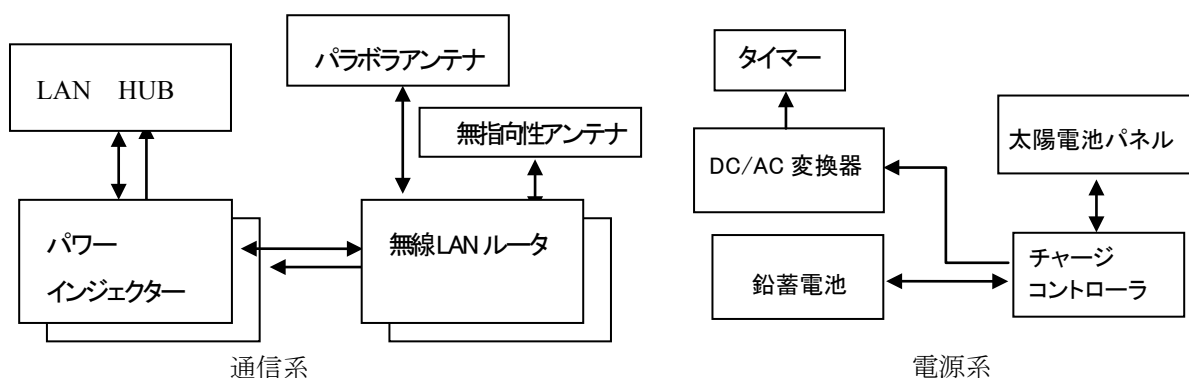


図 6-34: 中継点システム (計測点) ブロック図

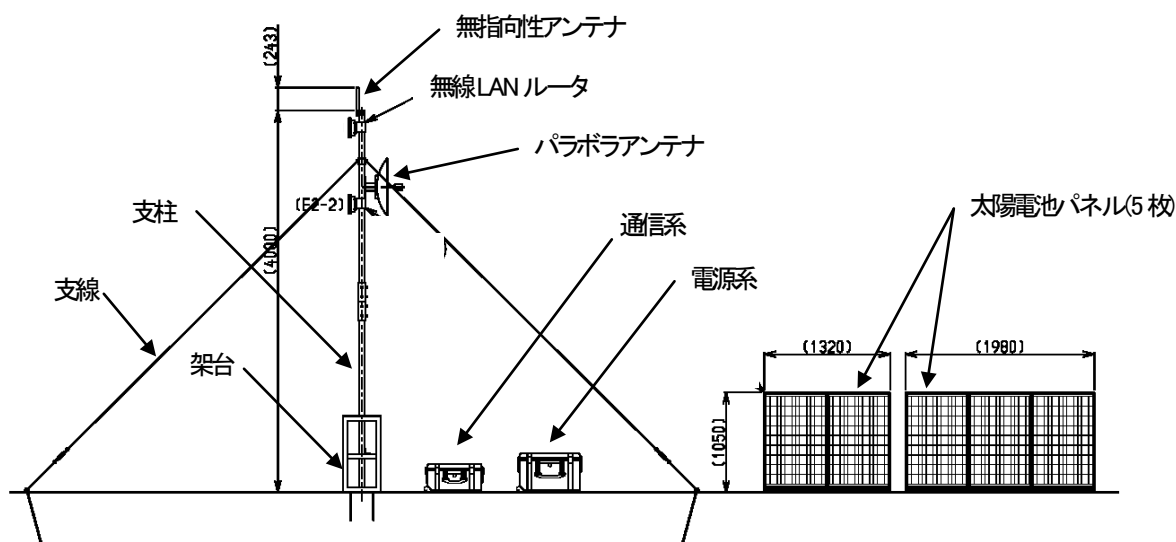


図 6-35: 中継点システム (計測点) 構成

(3) 中継点システム (中継点 3)

中継の受けと送りのそれぞれ 1 対向ずつ 4 対向を行うタイプで、中継点 D のシステムである。中継点 1, 2 との相違は、4 対向分の通信機器であることと、太陽電池パネルは 84W の物を 9 枚用いていることである。図 6-32 にブロック図と図 6-33 に構成図を示す。

(4) 中継点システム (計測点)

計測地点の地上計測システムと中継点とを中継する 2 対向のシステムである。図 6-34 にブロック図、図 6-35 に構成図を示す。

①通信系

アンテナは、地上計測システムとの対向に 5.2dBi の全方向性（無指向性）マストマウントを用い、地上計測システムの 13.5dBi の八木アンテナとで地上計測システムが周囲 1km 以内にあれば通信が可能となっている。中継点とは 21dBi のパラボラアンテナを用いている。無線 LAN ルータはアンテナ支柱に取付け、パワーインジェクターと LAN ハブは、保護ケースに収納されるなど他の中継点システムと保護ケースも含め同じである。

②電源系

保護ケースも含め、他の中継点システムと同じである。

6.4 ソフトウェア

ソフトウェアの構成は、ブーム計測ソフトウェア、制御ソフトウェア、監視ソフトウェア、解析ソフトウェア、その他のソフトウェアからなる。

1) ブーム計測ソフトウェア

計測地点で用いるソフトウェアであり、マイクロフォン出力を A/D 変換する A/D 変換器の製造メーカの「LabVIEW」をベースにマイクロフォンの認証（TEDS 情報の取得）、ブームデータ収録、同期信号（PPS : Pulse Per Second）収録用に開発されている。空中計測では、計測 PC1 台がブーム 1ch と同期信号 1ch の計 2ch のみであり、ソフトウェアは共通である。地上ブーム計測は、マイク 3ch と同期信号であり、4ch の取得、表示を行うようになっている。地上ブーム計測のソフトウェアも、空中計測用のものと共通であり、使用チャンネル数の設定を変更して使用した。

ブームデータ以外に、空中計測（1-1）では GPS データと空中気象のデータを毎秒ごとに取得し、テキストファイルのログファイルでデータを記録する。図 6-36 に空中計測の画面例を示す。

使用したマイクロフォンは、固有の校正データ等（TEDS 情報）を内蔵し、このデータを読み込み（認証）TEDS 情報の一部であるマイク感度を用いて音圧値に変換して記録している。ブームデータ等の取得データは、このソフトウェアがイン

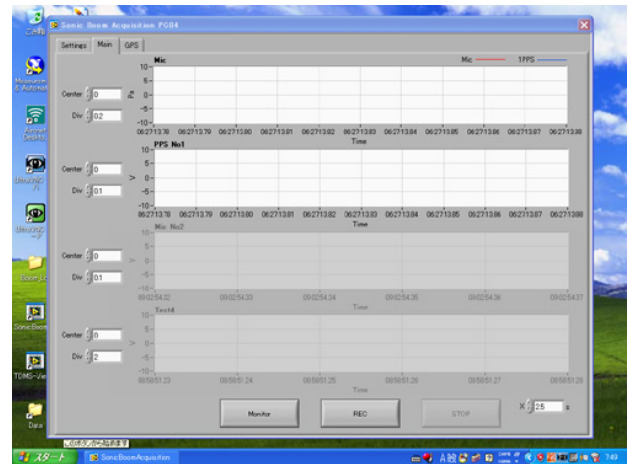


図 6-36: ブーム計測ソフトウェア画面

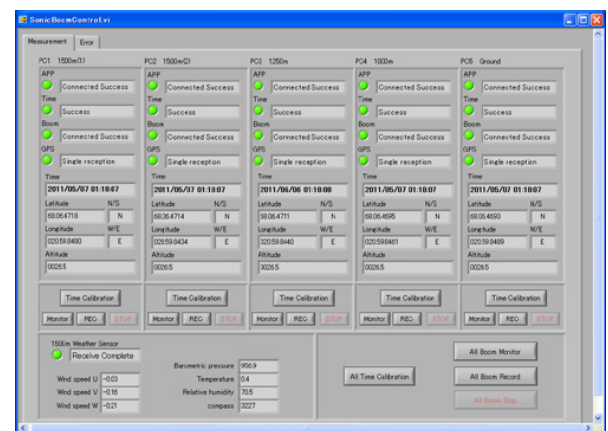


図 6-37: 制御ソフトウェア画面

ストールされた計測 PC にのみ記録される。

GPS のログデータファイルの内容は、記録 PC 時刻、NMEA GGA センテンスから生成された Sentence Identifier, Time (UTC), Latitude (度分), Longitude (度分), Fix Quality, Number of Satellites, Horizontal Dilution of Precision (HDOP), Altitude (m), Height of geoid above WGS84 ellipsoid (m), Time since last DGPS update, DGPS reference station id, Checksum である。

空中気象データファイルの内容は、現地時刻、風速 (m/s : 3 次元方向 (水平方向+鉛直方向) の風速), 風向 (deg), 水平面内の風向 (北 (北からの風) が 0°で時計回りに正), 気圧 (hPa), 気温 (°C), 相対湿度 (%), コンパス方位 (deg : センサの特定の部位の向いている方位で北が 0°で時計回りに正), 風速 U 成分 (東) (m/s : 風速の東西方向成分で東が正), 風速 V 成分 (北) (m/s : 風速の南北方向成分で北が正), 風速 W 成分 (上) (m/s : 風速の鉛直方向成分で上が正),

風速 UV 成分 (水平面内 (m/s : 風速の水平面内成分の絶対値), 風向仰角 (deg: $\pm 60^\circ$ の範囲で計測), 音響温度 ($^\circ\text{C}$), エラーコード (各トランスデューサのエラー状況), ヒーター稼働 (「0」は OFF, 「1」は ON), 無効な測定の数である。

2) 制御ソフトウェア

計測地点で用いるソフトウェアであり, 1 計測地点の 5 台の計測 PC を 1 台の PC で統合し, 制御するソフトウェア (統合アプリ) である。画面では各々の計測地点の空中計測 (1-1), (1-2), (2), (3), 地上ブーム計測のステータスを表示し, 各計測の個別の開始, 停止やまとめた開始, 停止を行うことができる。気象用 PC にインストールされており, この PC では地上気象データ以外は記録しない。各計測 PC の計測ソフトウェアを起動した後は, このソフトウェアでステータスを監視する。図 6-37 に表示画面の例を示す。左から空中計測 (1-1), (1-2), (2), (3), 地上ブーム PC を, 縦方向に無線 LAN, GPS 時刻校正, ブーム計測ソフト, GPS 受信の状況を表し, 緑の点が正常で赤の点は異常であることを示す。その下は, 時刻, GPS で取得した緯度経度, 標高を表示し, その下が時刻校正開始, モニタ, 計測開始のスイッチ, 最下欄左が空中気象センサの状況, 右がまとめて時刻校正, 計測モニタ・開始・停止スイッチである。

3) 監視ソフトウェア

本部において計測地点の計測開始, 停止, 状況監視を行うためのものである。通信負荷を抑えるために計測 PC の取得データ等を直接流さずに, 計測点の PC の画面を VNC (Virtual Network Computing) を用いてリモート表示および制御をおこなった。計測点の各 PC には, VNC サーバを, 本部の PC には VNC ビューアーをインストールしている。

本部からは目的とする PC の IP アドレス, ID, パスワードを入力して接続し, 図 6-36 等の計測画面や制御画面を表示し, 監視・制御できる。

4) データ解析ソフトウェア

ブーム計測データの内容確認, 必要な部分の切

り出し, フィルタ処理や解析, グラフ出力等を行うソフトウェアで, 当初はブーム計測の A/D 変換器メーカーが販売している「DIAdem」を使用予定であった。しかし, DIAdem で扱えるデータ量 (データファイル容量) には限界があり, D-SEND#1 の試験データはその限界よりも大きいものであり使用することができなかった。BMS の設計時には遠隔で計測の開始・終了を操作する計画であったためデータ計測時間は最大で 10 分程度としていたが, 実際の試験時には試験隊員が退避前に計測を開始して回収時に計測を終了したため, 計測時間は数時間におよび, データ容量が格段に増大した。DIAdem が使用できなくなったため, データ解析には LabVIEW および MATLAB コードを自作して使用した。

5) その他のソフトウェア

(1) 地上気象ソフトウェア

地上気象観測システムの情報の表示やコンソール設定, コンソール内に取得されたデータの取り込みを行う専用の市販ソフトウェアである。気象用 PC にインストールされ, 取り込まれたデータはこの PC に記録される。ただし, PC への取り込みは手動で行う必要がある。風向・風速のメータ表示や大気圧, 気温, 湿度等の履歴等をグラフ表示する機能を持つ。図 6-38 に表示例を示す。左上に風向メータ, 最高・最低気温の棒グラフ, 湿度の棒グラフ, 風速メータ, 左下に降雨量, 中央に大気圧グラフ, 右に月単位の降雨量が表示される。

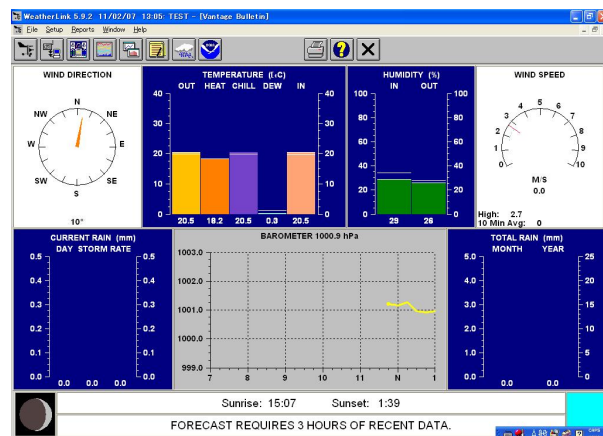


図 6-38: 地上気象ソフトウェア画面

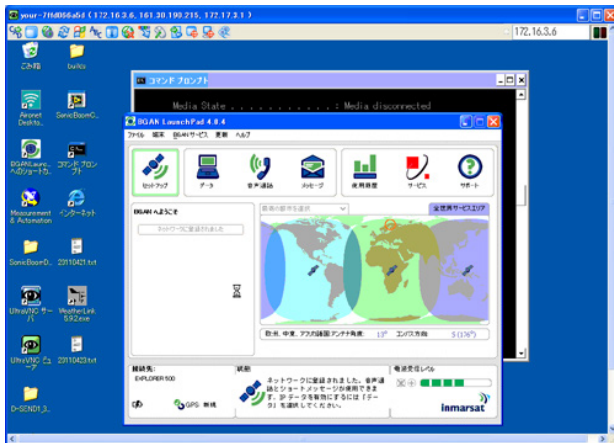


図 6-39: 衛星電話接続ソフトウェア画面例

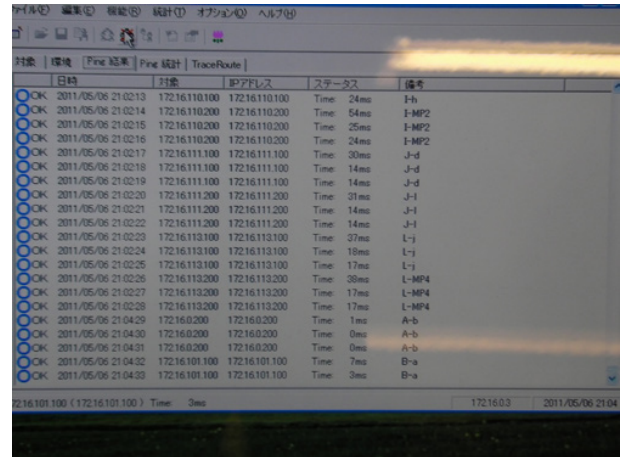


図 6-40: Ping による監視ソフトウェア画面

(2) 衛星電話接続ソフトウェア

衛星電話 BGAN をインマルサット衛星への接続や衛星電話固有の設定をするための専用ソフトウェアで、各計測点の気象用 PC と本部の通信系の冗長を担う PC にインストールされている。衛星との接続、状況等を示すものと固定 IP を設定する物の 2 種類が有る。図 6-39 に接続状況を示すソフトウェアの表示画面を示す。

(3) 連続 ping ソフトウェア

遠隔制御・監視システムの各中継点の無線 LAN ルータの状況監視を行うために複数の端末に一定時間ごとに Ping を発行し、記録するフリーソフトウェア「ExPing.exe」をダウンロードして用いた。図 6-40 にこのソフトによる監視中の画面例を示す。各中継点、計測地点の無線 LAN ルータの IP アドレスに ping コマンドを発行し、応答があった時に青い丸で表示され、発行時刻、対象名とその IP アドレス、ステータス、備考（ここでは中継点名称）を表示する。

(4) 動画キャプチャソフトウェア

本部において、供試体から発生したブーム波形の計測結果をモニタするが、本部において波形の記録を残すようには要求しておらず、急遽デスクトップ上に表示している動画を動画としてキャプチャし、avi 形式で記録するフリーソフトウェア「CamStudio」をダウンロードして用いた。

7. 機能確認

空中計測システムや地上計測システムの機能確認は、設計製造メーカーによって行われたものと、現地での総合試験で行った。メーカーでは機器を組み上げた状態で恒温槽内に要求運用時間機能するかを確認している。現地での総合試験は、無線 LAN 中継点の設置完了後に、計測地点に機材を配置して、計測システムが正常に動作することを確認し、本部においてその状況の監視およびシステムの制御ができることを確認した。ただし、計測システムの運用時間については、試験計画の変更により要求設定時より長くなるため、現地で低温環境を実現する夜間に空中計測（1-1）を用いて、バッテリーの持続時間を計測し、当初設計通りでも変更した運用時間を満足することを確認した。

8. 運用

8.1 BMS 設営

日本から輸送した BMS 機材は、落下試験までの試験準備期間中に設営を行った。無線 LAN 中継点が 13 か所あり、また深い雪や機材到着遅れのため、設営作業に多少の困難が伴った。

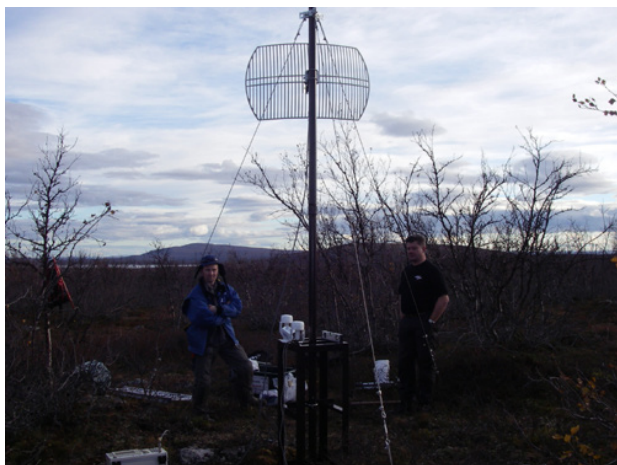


図 8-1: アンテナ支柱設営 (2010 年 9 月)

1) 中継点設営

(1) アンテナ支柱の設営

落下試験時期は 2011 年 4 月～5 月の期間と設定されており、この時期、中継点は降雪に見舞われることとなる。設計・製造メーカーに、雪の無い時期に事前に中継点システムの設営を依頼することを計画した。しかし、BMS の納期前で無線 LAN 機器の調達が出来ないため、ABBA テスト 2-1 の実施時期に合わせた 2010 年 9 月に、アンテナ支柱の設置と対向する中継点間の通信確認のみを行った。作業は、2 班各 3 名に分かれヘリコプターで対向する 2 点の中継点に向かい、アンテナ支柱を同時に設置し、両間の通信の確立を確認する。図 8-1 に設営状況を示す。両中継点に同一のパラボラアンテナ、信号発生器、スペクトルアナライザを用意し、送受信の信号レベルを確認している。この時のアンテナ方位、緯度経度を記録し、試験前の本設営に備えた。

(2) 中継点本設営

4 月上旬の機材到着から約 2 週間の準備期間で 13 カ所の設営を完了している。作業は、メーカー 2 名、JAXA 4 名、SSC 2 名の 8 名が 2 班に分かれて対向する中継点の設営を同時に行った。アンテナ、ルータの取付け、通信系配線・配置、電源系配線・配置を行い、アンテナ方位を合わせて通信の確認を行った。2011 年 3 月の東日本大震災の影響により太陽電池パネルの到着が遅れたため、この組み立ては後半に集中して行った。場所により、低樹木が密集し、ヘリコプターが傍へ降りることが出

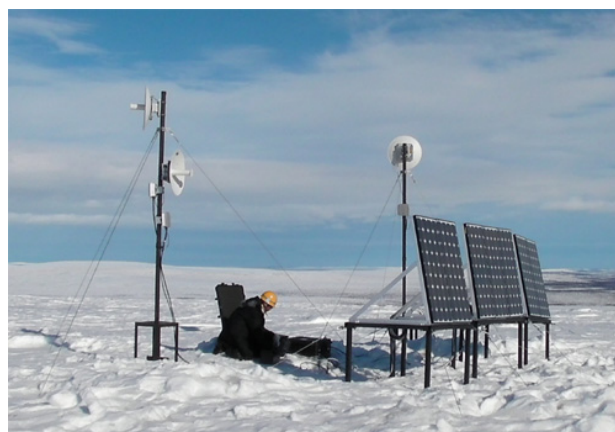


図 8-2: 中継点設営 (F 地点)

来ず、なおかつ雪が深いなどで、中継点に機材を運ぶことが容易ではない地点もあった。JAXA 要員が設営を行うことにより、試験における計測要員が、計測地点の状況理解、計測地点におけるシステムの設置・操作による習熟を行うことを兼ねている。図 8-2 に中継点 F の設営状況を示す。太陽電池パネルは、風雪によるパネル面への積雪を防ぐために、SSC の提案で製作した嵩上げの台に取り付けられている。中継点の設営に応じて、本部から ping コマンドにより通信経路の終端ルータまでの確認も行った。

電源系は、準備期間中に中継点 D (4 対向) の通信が途絶する事象が頻発し、その原因が電力量の不足とも考えられ、更に 3 対向と 4 対向の地点は、設計より運用時間を延ばしたこともあり、鉛蓄電池を各 1 個並列増設することとした。また、鉛蓄電池の充電量を把握できないことから、試験当日に全ての電池を交換することとした。

2) 計測点設営

(1) BMS 機材

各計測地点用の計測機材は、本部のある Esrange 内で、機器の操作習熟を行うために準備期間中の後半に計測地点へ移送することとした。習熟作業を行っていたこともあり、設営時間は比較的短時間であった。図 6-17 では MP2(I) の地上計測システムの設営状況を示している。

(2) 係留気球

係留気球の設営は、SSC により行われたが、試験日の間近に集中して本体、ウィンチ、ヘリウム



図 8-3 BMS 操作訓練

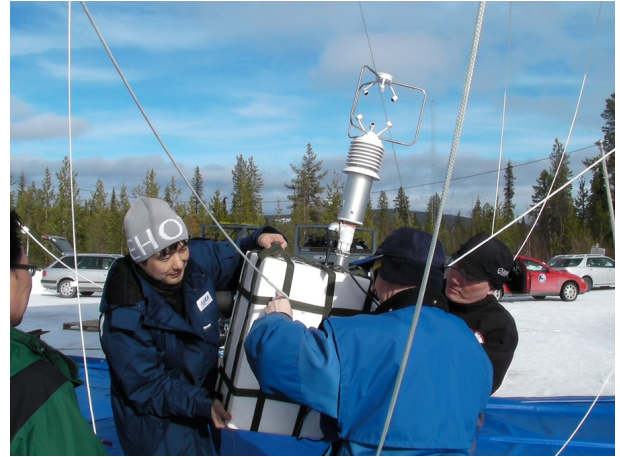


図 8-5: 空中計測（1）取付け訓練



図 8-4: 係留気球運用訓練

ガスカードル等の機材をヘリコプターやトラックで輸送し、前日から展開を行っていた。

8.2 訓練

ブーム計測システムの設営及び操作を JAXA 要員が行い、係留気球の設営支援も行うことから、各計測地点に配置する要員の訓練を行った。

1) 国内訓練

メーカーにおける審査に併せて、空中計測システムと地上計測システムの操作法の教授を受け、納入後から輸送までに 1 計測地点分の機材を展開し、操作訓練を行った。その際、使われていた Li 電池の電池ボックスの接触不良が起こることが判り、計測前の準備時に電池電圧を確認する必要が生じた。各電池ボックスの出力電圧を確認できる様にする改修を、現地の中継点設営作業の中で行った。

2) 現地訓練

(1) BMS

中継点設営等の準備期間中に昼及び試験当日準備を想定した夜間に操作訓練を実施した。また、各計測点の設営、BMS 総合試験時も各計測要員の訓練の機会とした。図 8-3 に Esrange での訓練の様態を示す。これらの訓練での時間読みや成果を基に落下試験のスケジュール、手順書の作成・改訂を行った。

(2) 係留気球

Esrange 内において全ての計測地点の要員が集合し、係留気球の展開、ガス注入、空中計測システム取付け、揚昇、降下、撤収の作業・運用の訓練を各計測地点の SSC と JAXA の要員の顔合わせも兼ねて実施した。図 8-4 は、ガス注入の過程を示し、図 8-5 は、MP4(L) の SSC 要員と JAXA 要員による空中計測（1）の取付け訓練の様態である。SSC の要員には、各計測地点に 1 名の地元住民が含まれていた。この方たちにより、試験当日の長い準備時間をより快適になるような心遣いを頂いた。なお、この訓練の合間に係留気球内圧と膨脹機構の伸びを毛遅くし、試験時における内部圧力設定値を決定した。

8.3 試験

D-SEND#1 落下試験結果全体の概要は、参考文献 7 を、取得ブームデータについては、参考文献 8 を参照されたい。なお、BMS については参考文献 9 でも紹介している。

表 8-1: 第 1 回試験時の BMS 試験準備タイムスケジュール

BMS timetable, ver. 2011-5-03

		Blimp	BMS	手順書該当項目	MB連絡内容
T-13	1500	MET BRIEFING * time in case of launch at 4:00			
T-12	1600				
T-11	1700				
T-10	1800		transportation of BMS personnel (80min)		
T-9	1900			1 鉛蓄電池交換(10) 2 地上計測地点の準備(20)	→MB連絡「作業開始」
T-8	2000	batt. exchange for relay points / transportation of Blimp personnel (100min)	BMS set-up	3.1 地上準備/配線(20) 3.2 空中1準備/配線(15) (1-2電源ON) 3.3 空中1気象センサ配線(5) 3.4 空中2準備/配線(10) 3.5 空中3準備/配線(10)	→MB連絡「配線接続完了」
T-7	2100	10 WIND BALLOON RESULT & PREL LAUNCH DIRECTION 10 DECISION TO START COUNTDOWN 10 EBASS PREP START 20 START OF COUNTDOWN 30 COM CHECK 40 PAD PREPARATION START 50 PAYLOAD PICK UP 60 P/L LOAD TEST AT CHAPEL	intermission for meal BMS set-up	4 発電機始動(5) 5 地上PC起動→マイク校正・GPS確認(25) 6 空中1-1PC起動→マイク校正(20) (電源OFFのまま) 7 空中1-2PC起動→マイク校正・GPS確認 (電源ON、ただしLPGには外部電源接続) 8 空中2PC起動→マイク校正・GPS確認(10) (電源ON、ただしLPGには外部電源接続)	
T-6	2200	70 PTU SOND LAUNCH	Blimp set-up step;1-4 (45min)		
T-5	2300	80 BALLAST, LOAD CELL & FLIGHT TERMINATION TEST 130 FINAL LAUNCH DIRECTION	Blimp set-up step;5-9 (1h15min)		
T-4	2400	140 PAYLOAD IN LAUNCH POS 145 FINAL PREP. DROP BOX ARM	(50min. margin)		
T-3	0100	150 GOING ON MEETING WITH METEO UPDA 160 UNFOLD BALLOON 165 VALVE TEST	hang 1000m-box hang 750m hang 500m system check		
T-2	0200	170 REPORT ATC CLERANCE 182 START OF INFLATION	system check		
T-1	0300	185 PTU SOND LAUNCH		13 【MB指示】→空中PC電源切替 14 空中1気象センサ/バンド装着(10) 15 空中1取付け 16 空中2取付け準備(バンド装着) 17 空中2取付け 18 空中3取付け準備(バンド装着) 19 空中3取付け 20 システム全体ステータス確認	→MB連絡「Blimp組立て支援完了+BMS進捗」 →MB連絡「マイク設置完了」 【MB指示】→地上電源ON、LPGには外部電源接続(20) 地上→ブーム計測ソフト・GPS確認 統合アプリ確認 →MB連絡「地上設定完了+BOANアドレス」 →MB連絡「全設定完了+計測状況報告」 →MB連絡「Blimp準備完了」
T-0	0400	198 COLLAR INSTALLATION 197 SERVICE MODULE ON INTERNAL 190 START OF CAMERA 200 LAUNCH		21 システム全体ステータス確認 【MB指示】→退避準備 22 地上電源切替 23 発電機停止 24 退避	→MB連絡「Blimp上昇完了」 →MB連絡「電源切替完了」 →MB連絡「退避完了」

表 8-2: 第 1 回試験時の BMS イベント

第1回落下試験(2011.5.7)					
手順番号	作業内容	MP1	MP2	MP3	MP4
1	作業開始	17:10	17:00	16:40	17:03
3	配線終了	18:25	18:30	21:07	18:15
	再開	21:50		21:45	
	マイク校正	23:11	22:50	23:54	23:22
9	地上マイク設置終了	0:28	0:30	0:42	23:55
	電源ON	0:45	0:50	0:44	0:53
12	統合アプリの状況 (係留気球準備完了)	1:19	1:23	1:27	1:31
13	PC電源切り替え開始	2:10	1:23	1:38	1:40
20	上昇完了	3:54	3:40	4:19	4:25
22	地上PC電源切替	4:37	4:37	4:32	4:45
22	計測開始	4:45	4:40	4:46	4:52
	(放球 5:43)				
	帰還	6:40	6:40	11:30	6:40
	(分離 7:02)				
	PC回収			7:20	

1) 第 1 回試験

(1) 試験直前準備

1 回目の試験は 2011 年 5 月 7 日に行われた。

気象条件より放球は午前 6 時頃が良好と予想され、午前 2 時放球を目標に作業を開始し、適宜カウントダウンをホールド（停止）しながら放球時刻を調整することが決定された。

BMS の試験時の運用は、準備期間中に前述の無線 LAN 通信途絶があったことから、供試体を揚昇する大気球の放球前までに計測をスタートし、



図 8-6: 試験前日準備開始



図 8-7: 計測システム準備 (MP2(I))



図 8-8: 係留気球ガス注入 (MP2(I))



図 8-9: 係留気球揚昇 (MP2(I))

退避することとした。この BMS の第 1 回落下試験までの試験準備タイムスケジュールを表 8-1 に、BMS の実イベントを表 8-2 に示す。

T-0 が供試体を揚昇する大気球の放球時間である。T-13（放球前 13 時間）の気象会議で準備開始の判断がされ、T-10.5 で準備を開始し、T-1.5 までに完了し、退避することとなる。放球時間を午前 2 時としたため、前日の午後 3 時 30 分に図 8-6 の様に計測地点へ向かう準備を開始している。

午後 5 時 (T-9.5) から図 8-7 の様に空中計測システム、地上計測システムの準備を開始している。MP4 (L) では、係留気球のシールの不完全部分が発見され、テープで塞ぐことによる応急処置で対応した。T-9 からは、中継点、計測地点の鉛蓄電池の交換作業を開始している。中継点 D の鉛蓄電池交換後の電源投入時にルータが正常起動しな

い不具合が再現したが、時間を置いて再起動することで正常起動し、その後の通信途絶は起こっていない。T-7.5 からの機器起ち上げでは、電力消費を抑えるために各計測地点に用意した発動発電機使用を開始する等、機器の電源投入時間を管理し、バッテリーの電力消費を極力避ける計画とした。T-6.5 から係留気球の準備を開始している。図 8-8 に MP2 (I) の準備状況を示す。図 8-9 に空中計測 (1) の取付けを完了し、揚昇中の係留気球を示す。

T-1 (午前 4 時 45 分) に各計測地点の準備を完了し、その 20 分後に計測開始とヘリコプターによる退避を開始している。なお、落下予定地点に近い MP3(G)では、降雪による視界不良のためヘリコプターが着陸できず、車両によるゾーン外への退避を行った。

この間、本部では各計測地点からの状況報告、VNC による進捗確認、放球までのカウントダウン中の大気球の放球条件が整うまでのカウントダウンホールドに対応した BMS 作業時間管理、Ping ソフトによる各計測地点までの通信確認、各計測地点からの問合せ対応等を行った。

(2) 第 1 回試験計測

各計測点の計測システムは、計測地点からの退避直前に計測をスタートさせており、その後は本部内での VNC による監視を行った。計測地点によっては、風による係留気球の移動が地上アンテナの半頂角外に移動したと思われる通信途絶があり、復旧時に計測を再スタートさせた。

試験は午前 5 時 43 分に放球、7 時 2 分に供試体を落下し、計測点 MP3(G)においてソニックブームが計測された。

落下地点近傍の計測点 MP3(G)の制御・監視用 PC では、空中計測 (1-1) のブーム計測ソフトウェアの画面を VNC でリアルタイムに表示させ、監視及び画面動画記録を行った。図 8-10 は、LBM (Low Boom Model: 低ブーム波形設計の供試体) から発生した低ブーム波形 (上部) を取得した時の画面キャプチャーである。図 8-11 は NWM (N Wave Model: N 波形供試体) から発生したブーム

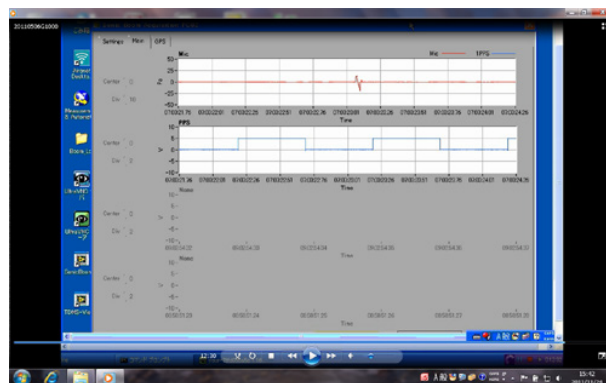


図 8-10: LBM の取得波形

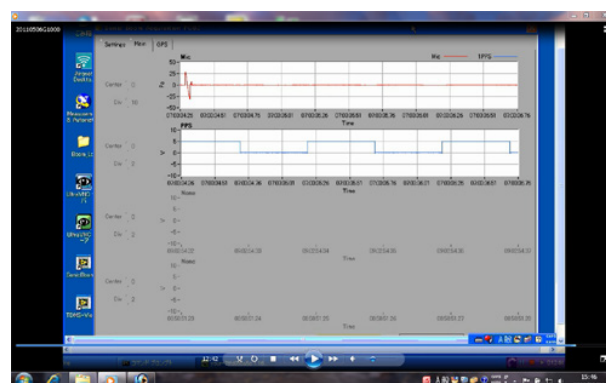


図 8-11: NWM の取得波形



図 8-12: LBM のブーム波形

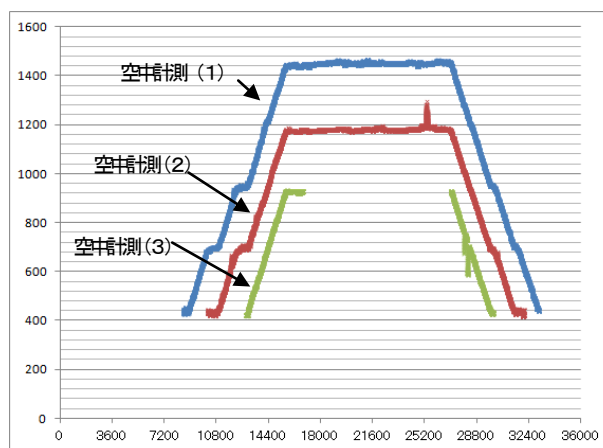


図 8-13: 空中計測 MP3(G)の計測高度

波形を所得したものである。グラフの縦方向は、音圧、横軸は時刻を表している。詳しい考察は参

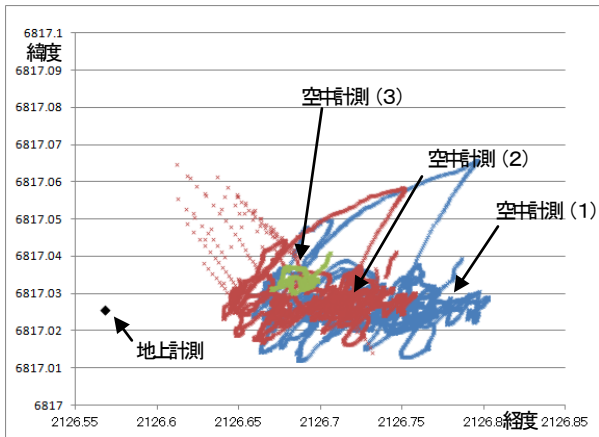


図 8-14: 空中計測 MP3(G) 緯度経度

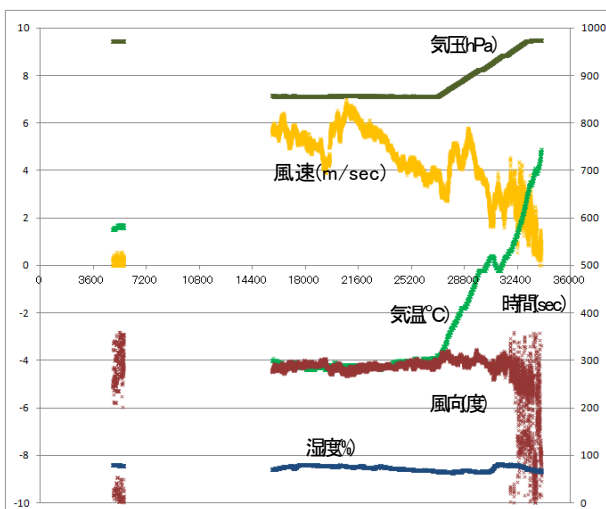


図 8-15: 1,000m 空中気象 MP3(G)

考文献 10 に譲るが、明らかに LBM の音圧が低く、図 8-12 の拡大から判るように低ブーム設計の目的である立ち上りの波形形状が台形になっていることが判る。試験後のデータ解析は、計測 PC を回収した後、約 3 時間のデータから必要部分を切り出す等に多くの時間を要する。このため、試験結果の速報は、図 8-10 と図 8-11 の画面キャプチャ画像を使って行った。

ブーム波形を取得できた MP3(G) の空中計測システムの上空 1,000m, 750m, 500m の GPS 位置情報を図 8-13, 8-14 に示す。図 8-13 の横軸は現地時間試験日午前 0 時からの経過時間 (秒)、縦軸は標高 (m) を表す。なお、データは 1 秒間に 1 回で取得し、揚昇開始から回収までの全てをプロットしている。図中の上から空中計測 (1), (2), (3) であり、空中計測 (3) のデータ欠落は、ソフトウェアの停止によるものと思われる。空中計

測 (1) の揚昇中や降下中の段は、空中計測 (2), (3) の取付け、取り外し時の停止を表す。この図から計測地点の標高は約 430m で、上空 1,000m までの揚昇に約 2 時間要しており、各空中計測とも所定の高度に達していることが判る。図 8-14 は空中計測 (1) ~ (3) が所定の高さに達している時だけのデータを横軸に経度、縦軸に緯度で表したものである。縦横軸の距離比をほぼ同じに併せており、横軸の一目盛で約 35m である。図中の黒点は、地上計測システムの GPS データで、係留気球のアンカー・ウェイト (係留気球の固定点) から 20~30m 離れている。この図から係留気球は西風に流されていることが判る。また一時的に南西の風があったと思われる。

図 8-15 は同じ MP3(G) の空中計測 (1-1) の気象観測システムのデータを示す。横軸は現地時間試験日午前 0 時からの経過時間 (秒) を表している。途中のデータ欠落は、気象系のみによる原因不明の不具合によるものと思われる。風速は、ほぼ 3~6m/sec、風向は約 300 度で西北西の風となる。気温約 -4°C、湿度約 80% であり、ブーム計測のための試験の湿度条件を十分満足している。

試験後、SSC は係留気球を高さ 50m 程に停留させていたが、MP1(E) では風による樹木との接触破裂で、また MP3(G) では風によりアンカーウェイトが転倒し、この角でテザーが擦り切れたと思われる破断により喪失した。

2) 第 2 回試験

(1) 試験前準備

第 1 回試験後、第 1 回の BMS の準備作業や試験中の不具合、実績を反映して手順の改訂を行った。また、供試体関連の準備と放球条件成立までの待機期間に中継点 D の不具合部分を回収し、簡易的な再現試験を行い、パワーインジェクターの電源アダプターの出力電圧が低い場合に正常起動しないことが判り、電源アダプターの交換を行った。

第 2 回試験は、2011 年 5 月 16 日に行われた。

試験直前の準備作業については、表 8-3 のスケジュールに沿って進めた。主なイベントを表 8-4 に示す。手順の習熟と夜間も明るくなったために

表 8-3: 第 2 回試験時の BMS 試験準備タイムスケジュール

BMS timetable, ver. 2011-5-14		balloon launch time : 2:00			
time	Item# (SSC-count down list ver.6)	Blimp	BMS	手順書該当項目	MB連絡内容
T-13 13:00					
T-12 14:00					
T-11 15:00	PTU SOND LAUNCH				
			transportation of BMS personnel		
T-10 16:00					
				1 鉛蓄電池交換(10)	→MB連絡「作業開始」
				2 地上計測地点の準備(20)	
T-9 17:00	MET BRIEFING		BMS set-up	3.1 地上システム準備/配線(20)	
	10 DECISION TO START COUNTDOWN 10 WIND BALLOON RESULT & PREL LAUNCH DIRECTION (?) 10 EBASS PREP START 20 START OF COUNTDOWN 30 COM CHECK 40 PAD PREPARATION START 45 P/L LOAD TEST AT CHAPEL 50 P/L UNDRRESS	batt. exchange for relay points / transportation of Blimp personnel (100min)		3.2 空中1 準備/配線(15)	
				3.3 空中1 気象センサ配線(5)	
				3.4 空中2 準備/配線(10)	
				3.5 空中3 準備/配線(10)	→MB連絡「配線接続完了」
T-8 18:00			intermission for meal		
				4 充電機始動(5)	
				5 地上PC起動～マイク校正・GPS確認(25)	
T-7 19:00		intermission for meal	BMS set-up	6 空中1-1 PC起動～マイク校正(20)	
		Wi-Fi n/w check		空中1-2 PC起動～マイク校正・GPS確認	
	65 BLIMP SETUP START			7 空中2 PC起動～マイク校正・GPS確認(10)	
T-6 20:00	70 PTU SOND LAUNCH	Blimp set-up step:1-4 (45min)			→MB連絡「Blimp組立て支援完了 + BMS進捗」
				8 空中3 PC起動～マイク校正・GPS確認(10)	
				9 地上-マイク設置(30)	
T-5 21:00	80 BALLAST, LOAD CELL & FLIGHT TERMINATION TEST	Blimp set-up step:5-9 (1h15min)	BMS set-up	10 【MB指示】→地上電源ON (POC)は外部電源接続(20)	→MB連絡「マイク設置完了」
				地上-ブーム計測ノット・GPS確認 統合アプリ確認	
				BGAN設定	→MB連絡「地上設定完了 + BGANアドレス」
	130 FINAL LAUNCH DIRECTION			11 空中1～3電源ON 計測ノット・GPS確認(5)	→MB連絡「全設定完了 + 計測状況報告」
				12 統合アプリによる確認(5)	→MB連絡「Blimp準備完了」
T-4 22:00	140 PAYLOAD IN LAUNCH POS 142 MET BRIEFING / POSSIBLE HOLD	(50min. margin)	(30min. margin)		
			start using batt.	13 【MB指示】→空中PC電源切替	
		hang 1000m-box		14 空中1 気象センサ/バンド装着(10)	
				15 空中1 取付け	
	145 FINAL PREP DROP BOX ARM 146 BLIMP 1-4 ASCEND START 147 BLIMP 1-4 BMS REPORT			16 空中2 取付け準備(バンド装着)	
T-3 23:00	150 GO/NOGO MEETING WITH METEO UPDATE 160 UNFOLD BALLOON	Blimp ascend (100+10+10+*10min)	hang 750m	17 空中2 取付け	
			hang 500m	18 空中3 取付け準備(バンド装着)	
	165 VALVE TEST		hang 250m	19 空中3 取付け	* 空中追加分計測開始 * 空中追加分取付け準備(バンド装着) * =メイン及びサブターゲットのみ
T-2 0:00	170 REPORT ATC CLEARANCE 182 START OF INFLATION		*hang 250m	* 空中追加分(250m) 取付け	
			system check	20 システム全体ステータス確認	→MB連絡「作業完了」
	183 BLIMP 1-4 ASCEND FINISHED			21 システム全体ステータス確認	→MB連絡「Blimp上昇完了」
				22 【MB指示】→退避準備 地上電源切替	
T-1 1:00	185 PTU SOND LAUNCH 186 JAXA TRANSPORT TO ESC 188 SERVICE MODULE ON INTERNAL 190 START OF CAMERA			計測開始	
				23 充電機停止	→MB連絡「電源切替完了」
				24 退避	→MB連絡「退避完了」
T-0 2:00	200 LAUNCH				
	? = exact time is uncertain				

表 8-4: 第 2 回試験時の BMS イベント

第2回落下試験(2011.5.16)				
手順番号	作業内容	MP1	MP2	MP4
1	作業開始	16:50	16:50	16:48
3	配線終了	18:25	17:34	18:02
	再開	19:20	18:05	18:55
	マイク校正	20:29	18:56	19:53
9	地上マイク設置終了	22:13	19:18	20:15
	電源ON	22:27	22:12	22:18
12	統合アプリの状況 (係留気球準備完了)	23:05	22:50	23:03
13	PC電源切り替え開始	0:02	0:02	0:02
20	上昇完了	2:40		2:28
22	地上PC電源切替	3:25		3:34
22	計測開始	3:29	3:26	3:35
	帰還		4:43	
	(放球 5:30)			
	(分離 7:35)			
	PC回収		9:00	

余裕を待って進められた。主な変更点としては、予想落下地点が MP1(E) であったため、MP3(G) の計測を取りやめ、MP1(E) にその機材を移動して計測点数を増やしている。

係留気球は、予備品を MP1(E) へ、漏れのあった MP4(L) の物を MP2(I) へ、健全な MP2(I) の物を第 2 落下候補地点の MP4(L) へ移動した。MP2(I) では、漏れ部分の修理を実施したが、He ガスの準備不足により、この地点の空中計測を実施しないこととし、空中計測機材を MP1(E) とブーム音が届く本部へ移送し、計測することとした。

鉛蓄電池の交換作業では、無線 LAN 中継の不具合は発生しなかった。計測開始は、第 1 回と同様に退避直前に計測開始している。図 8-16 に MP1(E) における準備状況を示す。前述のように他地点の機材による計測点数増加のために準備時間を多く要した。

本部での作業は、第 1 回と同様に各計測地点の準備状況管理や放球までになされるカウントダウンのホールドへ対応すること等であった。



図 8-16: MP1(E) 準備状況

(2) 第 2 回試験計測

試験は午前 5 時 30 分に放球、7 時 35 分に供試体を落下した。

落下地点は MP1 (E) 近傍となり、LBM, NWM 両供試体のブーム波形を取得することが出来た。

図 8-17 は、空中 (1) 計測 PC と地上計測 PC の両画面を同時に監視した画面像である。上部が空中 (1-1)，下部が地上計測の 3 点である。ブームが 1,000m に達しても地上にはまだ到達していない。図 8-18 は地上でブームを捉えたものである。図 8-19 は図 8-17 の空中ブーム波形部分を拡大したものである。立ち上がり部分が潰れ、立下りの後端よりも音圧が低く、ここでも低ソニックブーム設計成果が表れている。

MP1(E)の空中計測 (1) の GPS 位置データを図 8-19, 8-20 に示す。図 8-19 は、横軸が現地時間試験日午前 0 時からの経過時間 (秒)，縦軸が標高 (m)を表す。図中の上からが空中計測 (1), (2), (3) と 250m 地点に取り付けた MP3(G) の空中計測(2)を表す。各データとも固定用 GPS のアルゴ

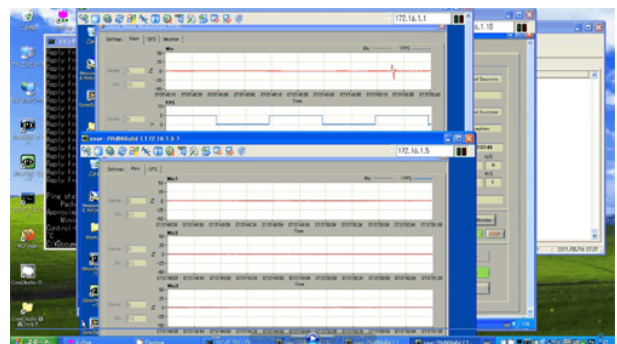


図 8-17: LBM 空中ブーム波形

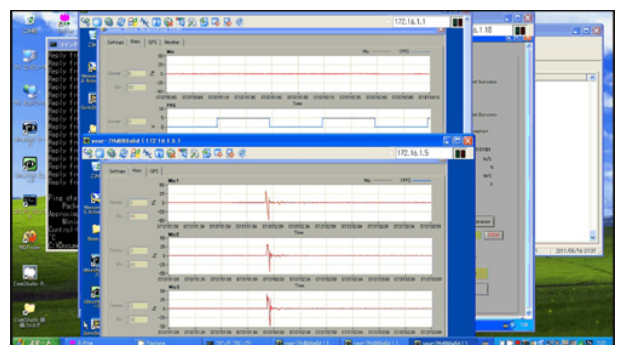


図 8-18: LBM 地上ブーム波形



図 8-19: LBM 空中ブーム波形 (拡大)

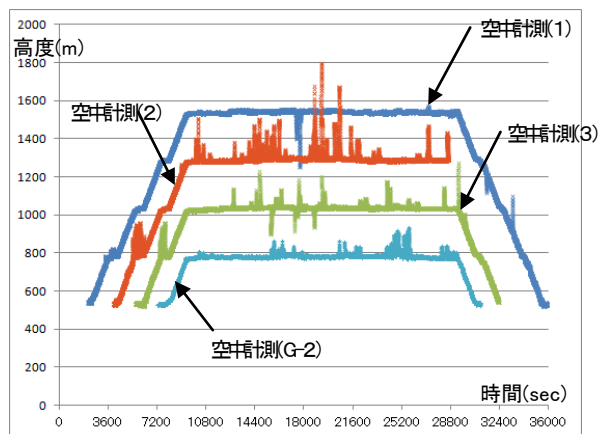


図 8-20: 空中計測 MP1(E) の計測高度

リズムの使用と思われる大きなノイズを含んでいる。図 8-21 は、横軸に経度、縦軸に緯度を表し、所定の高度に達している時の水平方向の軌跡を表す。黒点は地上計測点を表し、周囲への大きな移動のデータは、ノイズである。係留気球はほぼ真上に位置している。をまた、空中計測（2）は、係留気球の降下前からエラーでデータを記録されていない。

MP1(E)の空中計測（1）の空中気象データを図 8-22 に示す。分離時（7 時 35 分）の風速は約 3m/sec で、南風となっている。気温は、約-2℃、湿度は約 95%となっており、ブーム計測条件を満足している。

9. 不具合

8 章でも記述しているように、中継点設営から試験中に不具合を発生しているが、現地での対策により、試験の中止、延期などに至っていない。

設計製作過程では、不具合としていないが、環境試験中の空中計測システム内の内部温度が高めであったために、通気経路を設ける処置をしている。

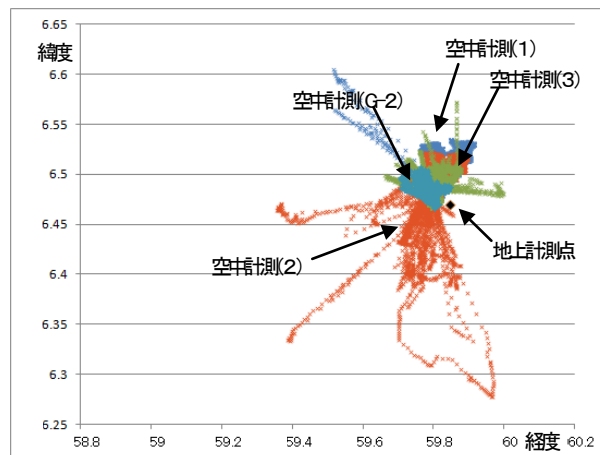


図 8-21: 空中計測 MP1(E) 緯度経度

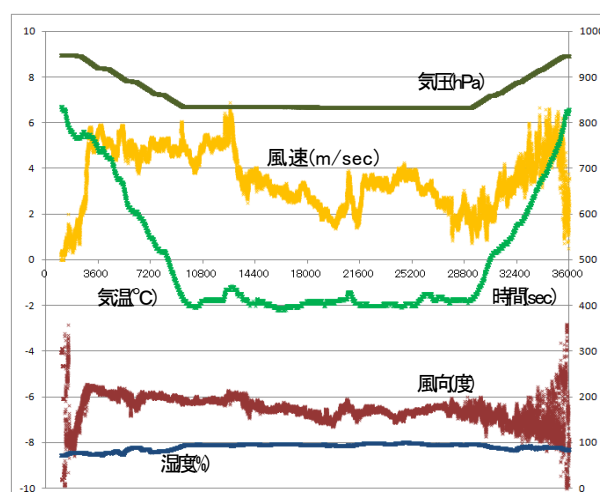


図 8-22: 空中計測（1）空中気象

準備中には、中継点のルータ用パワーインジェクターの電源アダプターの出力電圧が低いことによるルータの起動不良が Wi-Fi 中継の通信途絶を起こした。また、各中継点ルータの IP アドレスのリストをメーカー手順書に記載されていたが、誤記があり、前述の通信途絶とこの誤記が、ルータ経路の誤解釈や中継点電力供給システムへの電源制御系への疑いを生み、余分な対策時間を費やすこととなった。また、中継点電源に用いられたタイマーの時刻設定が国内での確認試験時のまま現地の時差と夏時間に合わせておらず、現地での設定手順にも時刻設定の項目が入っていなかったため、電源が入らず通信できない不具合が生じた。

試験直前の準備中には、ノート PC の作動温度より外気温が下がったため、液晶画面の動作不良などが起きている。SSC が行った係留気球に関する作業では、機材の準備不足による空中計測の

断念（落下地点では無い）や停留法のミスによる係留気球の損傷等を起こしている。

試験中は、空中計測との通信途絶等によるデータの欠如（供試体の落下時間帯では無い）を起こしている。

10. まとめ

無人遠隔で空中及び地上でのブーム波形計測をおこなうブーム計測システムを開発し、D-SEND#1 落下試験において、上空 1km までの空中と地上の屋外・屋内でのブーム計測に成功し、ソニックブーム計測技術を確立した。今後は、発生した不具合の是正、運用上に経験した改良すべき項目を検討し、D-SEND#2 落下試験に向けた BMS の改修を行う。

謝辞

本 BMS の現地での準備作業では、明星電気の大関貴之氏、柳沢卓氏、SSC の Juha Keinström 氏、Bobo Terraniemi 氏に大変お世話になった。試験での計測では、夜中に待機していただいた明星電気の佐藤祐一氏や係留気球の運用のために SSC に雇用された地元の協力者の方々に大変お世話になった。また、JAXA の BMS 計測要員として現地での準備・計測にあたった原田賢哉、渡辺安、永吉力（現富士重工業）の各氏には、現地での作業のみならず本稿執筆にあたってのデータ提供等協力いただいた。特に原田氏は、係留気球について、運用する SSC との調整にも尽力いただいた。末尾ではありますが、各氏には改めてお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 本田雅久, 牧野好和, 富田博史, 進藤重美: 「低ソニックブーム設計コンセプト確認落下試験 (D-SEND) 計画」日本航空宇宙学会第 41 期年会講演会講演集 pp.652-655, JSASS-2010-1115, 2010.
- 2) 中右介, 牧野好和, 進藤重美: 「空中ソニックブーム計測システム確認飛行試験 (その 1)」

JAXA-RM-10-012, 2010.

- 3) 中右介, 牧野好和, 進藤重美, 川上浩樹, 原田賢哉: 「空中ソニックブーム計測システム確認飛行試験 (その 2) 第 1 報」, JAXA-RM-11-004, 2011.
- 4) 中右介, 牧野好和, 進藤重美, 川上浩樹: 「空中ソニックブーム計測システム確認飛行試験 (その 2) 第 2 報」, JAXA-RM-12-004, 2012.
- 5) 超音速機チーム: 「『静粛超音速機技術の研究開発 (S3)』第 1 フェーズ (D-SEND) ブーム計測システム システム要求書」, XNS-09027, 2009.
- 6) 超音速機チーム: 「『静粛超音速機技術の研究開発 (S3)』第 1 フェーズ (D-SEND) ブーム計測システム システム仕様書」, XNS-10006, 2010.
- 7) 本田雅久, 富田博史, 高戸谷健, 進藤重美: 「D-SEND#1 落下試験結果概要」, 第 49 回飛行機シンポジウム, 2011.
- 8) 中右介, 牧野好和: 「D-SEND#1 試験におけるソニックブーム計測結果」, 第 49 回飛行機シンポジウム, 2011.
- 9) 川上浩樹, 中右介, 原田賢哉, 渡辺安, 永吉力, 進藤重美: 「D-SEND#1 試験におけるソニックブーム計測システムの構築と運用」第 49 回飛行機シンポジウム, 2011.10.26
- 10) Y. Naka: "Sonic Boom Data from D-SEND#1," JAXA-RM-11-010E, 2011.

