

航空磁力計の更新

宮崎 進^{*1}, 緒方克司^{*1}, 小山 薫^{*1}, 熊川浩一^{*2}, 加藤正治^{*2}, 斉藤昭則^{*3}

Renewal of the airborne magnetometer

Susumu MIYAZAKI^{*1}, Katsushi OGATA^{*1}, Kaoru KOYAMA^{*1}

Koichi KUMAKAWA^{*2}, Shoji KATO^{*2}, and Akinori SAITO^{*3}

Abstract

Japan Coast Guard has carried out aeromagnetic surveys of the marine volcanoes in the adjacent seas of Japan, especially in the Nanpo-shoto and Nansei-shoto area for the safety of ships and airplanes to the volcanic explosion. Now, with renewal of the airplane, the magnetometer is also renewed. We introduce the system and specification of the new airborne magnetometer.

1 はじめに

海上保安庁では、船舶の航行安全や航空機の安全運航のため 2005 年（平成 17 年）まで全国磁気測量を実施し、海図や航空図に磁針偏差や年差を掲載してきたところである。

また、海域にある火山島や海底火山の火山噴火予知調査の目的で航空機による南西諸島や南方諸島の火山監視観測時におのおの年各 1 回を目途に航空磁気測量も実施している。これらの測量に 1969 年（昭和 44 年）から使用してきた航空機 LA 701（日本航空機製造式 YS-11 A 型）を、MA 725（ボンバルディア式 DHC-8-315 型）に更新することとなり、これに併せ、今まで使用してきた航空機用磁力計（プロトン磁力計）、磁気データ表示装置、航空機位置表示器を更新することとした。

航空機、航空磁力計等の更新にあたり、新規に

導入した航空磁力計等の性能や航空機に搭載するために追加した内容等について紹介する。

2 航空機の概要

航空機は、海上保安業務に使用するために、速度性能、高度性能、航続性能等が検討され、ボンバルディア式 DHC-8-315 型を導入することが決定された。

Photo. 1 にこれまで使用してきた航空機 LA 701



Photo. 1 LA 701 (Nihon Aircraft Manufacturing Corporation YS-11).

*1 航法測地室 Geodesy and Geophysics Office

*2 大陸棚調査室 Continental Shelf Surveys Office

*3 海洋情報課 Oceanographic Data and Information Division



Photo. 2 MA 725 (Bombardier Inc. DHC-8-315).

Table 1 The essential point of LA 701 and MA 725.

LA701 (YS-11)		MA725 (DHC-8-315)	
Item	Standard	Item	Standard
Full length	26.67m	Full length	25.68m
Span	32.0m	Span	27.43m
Total height	9.00m	Total height	7.49m

を、Photo. 2 に新しく導入した航空機 MA 725 を、また Table 1 にそれぞれの航空機の要目を示す。

3 航空磁気測量と火山監視観測のための装備

航空磁気測量等を実施するために、特に次のような装備等についての検討を依頼した。

- ①非磁性のテールスティンガーを機体最後部に設け磁気検出器を取納できること。
- ②検出器はなるべく振動が少ない場所に格納できること。
- ③検出器や敷設ケーブル付近に直流電流が流れないこと。
- ④専用の GPS データを受信できる機能があること。
- ⑤磁気検出器から観測席までのシールドケーブルが敷設できること。
また、火山監視観測も併せて実施することから、
- ⑥熱映像装置を臨時積載できること。
- ⑦熱映像装置と可視カメラを合わせて投下口に臨時積載できること。
- ⑧与圧隔壁を通してのモニター用ケーブル接続が可能なこと。
- ⑨観測機器を固定するための取り付け架台を有すること。

- ⑩目視観測用窓でカメラや VTR の撮影が可能であること。
- ⑪できる限り直下の撮影が可能であること。
- ⑫観測機器の操作に必要な員数が搭乗できること。

4 航空磁力計等の性能

4.1 航空磁力計の機種選定とテールスティンガーの構造

新しい航空磁力計等の機種選定は、外気温度、気圧、湿度、高度等の影響が少なく、航空機のスピード等を考慮して可能な限り計測間隔が短い機種を選択し、計測間隔に対応可能な GPS 受信機を選定した。

また、航空機自身から発生する磁気雑音を少なくするために、約 2 m 程度の非磁性素材のカーボン製円筒形「テールスティンガー」を取り付け、その先端部分に検出器を取り付けることとした。Fig. 1 に非磁性のテールスティンガーの構造を、Photo. 3 に MA 725 最後部のテールスティン



Fig. 1 The structure of the tail stinger (non-magnetism).



Photo. 3 The tail stinger attached to after most part of MA 725.

ガーの状況をそれぞれ示す。

Photo. 4 にテールステインガーに取り付けた検出器を、Photo. 5 に回路部を取り付けた点検口の位置、Photo. 6 に点検口付近に取り付けた回路部の状況をそれぞれ示す。

4.2 新規導入航空磁力計等の主な仕様

今回導入した GPS アンテナとカナダ GEM システム社製の航空磁力計の主な仕様等を以下に示す。

4.2.1 GPS アンテナ

S 67-1575-96 (SensorSystemsInc.製)

周波数：1567-1585 MHz (L1),
1217-1237 MHz (L2)

電圧安在波比：2.0 : 1

インピーダンス：50 Ω

空中線利得：3 dBic@Zenith

電圧：DC 4~24 V

電流：65 mA

温度：-80~+ 203° F

振幅：10 Gs

高度：70,000 ft

4.2.2 検出器 (センサー)

方式：カリウム蒸気による光ポンピング型

感度：1.5 pT@1 Hz

分解能：0.1 pT

測定範囲：20000~100000 nT

許容磁気勾配：10000 nT/m

測定可能センサー角：10~80° 及び 100~170°

b (センサー長軸に対して)

使用温度範囲：-30~+ 55°C

外形：φ 64×148

重量：0.7 kg

4.2.3 回路部

データ出力：RS 232 C

使用温度範囲：-30~+ 55°C

外形：223×69×240

重量：0.9 kg

サンプリング周波数：20 Hz

使用電源電圧：DC 22~32 V

消費電力：50 W (起動時) 12 W (通常時)

4.2.4 磁気データ収録器

記録媒体：USB メモリー

記録周波数：最大 20 回/秒

記録項目：時刻・緯度・経度・高度・磁力

内蔵 GPS レシーバー：Hemisphere Crescent GPS

L1 OEM モジュール

・タイプ：L1, C/A code

・チャンネル数：12 CH 並列



Photo. 4 The detector installed in the tail stinger.



Photo. 5 Location of the inspection hole.



Photo. 6 The circuit part attached near the inspection hole.

- ・位置精度：<2.5 m
- ・適合アンテナ：S 67-1575-96 (SENSOR SYSTEMS 社)
- ・外部出力：RS 232 C 1チャンネル
- ・位置情報出力：RS 232 C 2チャンネル
- ・表示器：7 インチ液晶
- ・外形：430 W×149 H×350 D
- ・重量：2.5 kg
- ・使用電源：AC 100 V±10% DC 28 V (0.4 A) 約 10 W データ収録器のみ
- ・FUSE：AC 2 A DC 5 A ミゼット型
- ・電源出力：AC 100 V時 DC 24 V DC 入力時 DC と共通
- ・FUSE：5 A ミゼット型

5 航空機に搭載するための条件

航空機に磁気データ収録器、磁気データ表示器、航空機位置表示器をまとめて搭載可能な収録機器搭載ラック (Photo. 7) 等の観測機器を積込むためには、第一の条件として Table 2 に示す条件に耐えうる必要がある。これらの条件も合わせて発注仕様書に織り込んだ。

ここでは、一例として観測機器の制御、データ



Photo. 7 Equipments attached in the rack (①: Rack with equipment, ②: Airplane position indication equipment, ③: Magnetic data indicator, ④: Infrared camera data collection container, ⑤: Magnetic data collection container).

収録機器等を取り付けた機器搭載ラックの強度計算について紹介する。

なお、強度計算は、Autodesk 社 Inventor 2011 の構造計算プログラムを用いて計算しており、安全率の評価には『ラックやフレームを構成する部材の降伏強さ』と、『強度計算により得られたフォンミーゼス応力・最大主応力・最小主応力のうち、最も大きくなる値』を使用している。

機器搭載ラックに、Table 3 の資機材を搭載して、Table 2 に示す前方荷重 9 G, 側方荷重 4 G, 上方荷重 3 G, 下方荷重 6 G, 後方荷重 1.5 G を加わえた場合の安全率の解析結果を Fig. 2, Fig. 3 及び Fig. 4 に示す。

Fig. 2 (左) は、安全率 5 つまり $5 \times 9 \text{ G} = 45 \text{ G}$ がくわえられたときラックの柱部分が損壊する可能性を示している。

計算による最低の安全率は、それぞれ、前方 2, 側方 1.2, 上方 2.8, 下方 1.4, 後方 6 となり、当該ラックは前方で 18 G, 側方 4.8 G, 上方 8.4 G, 下方 8.4 G, 後方 9 G の荷重に耐えうることとなる。

Table 2 Maximum G factor in each axis.

Direction	G Force
Forward	9.0G
Lateral axis	4.0G
Upward	3.0G
Downward	6.0G
Backward	1.5G

Table 3 Dimension and weight of components.

Description	Size (mm) W×D×H	Weight (kg f)
Rack	1050×550×600	22.1
Display	441×58×288	4.6
Notebook Computer	298×209×240	1.6
Desktop PC	181×445×415	15.0
Data Logger	430×350×133	4.0
	Total	47.3

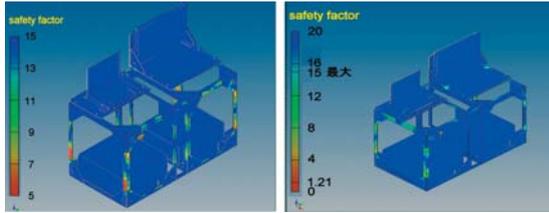


Fig. 2 Safety factor (left side figure : forward 9 G, right side figure : lateral axis load 4 G).

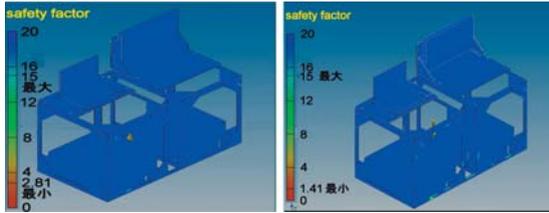


Fig. 3 Safety factor (left side figure : upward load 3 G, right side figure : downward load 6 G).

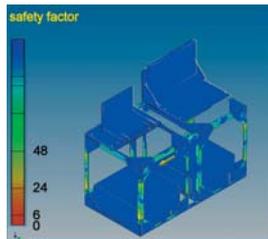


Fig. 4 Safety factor (backward 1.5 G).

6 航空機の機体磁気測量

航空機を用いて地磁気測量を実施する場合、航空機自体から発生する磁気雑音も測定することとなることから、前述したように航空機に非磁性（カーボンファイバー製）の円筒形のテールステイナジャーを取り付け Photo. 4 に示すとおりその先端に磁力計検出器を固定することとした。

航空機の機体磁気はそれ自体の残留磁気と地球磁場によって機体に誘導される磁気の合成である。（小山・他，2007）誘導磁気は地球磁場を切る方向によって異なる。そのため測定は磁気異常の変化が少ない場所の上空で 8 方位の観測を実施して、観測結果を方位角による周期関数で近似する。Fig. 5 に新島上空で実施した測線図を示す。また、Table 4 に旧観測システム（磁力計：プロトン磁力計，航空機：LA 701）で 2000 年 11 月

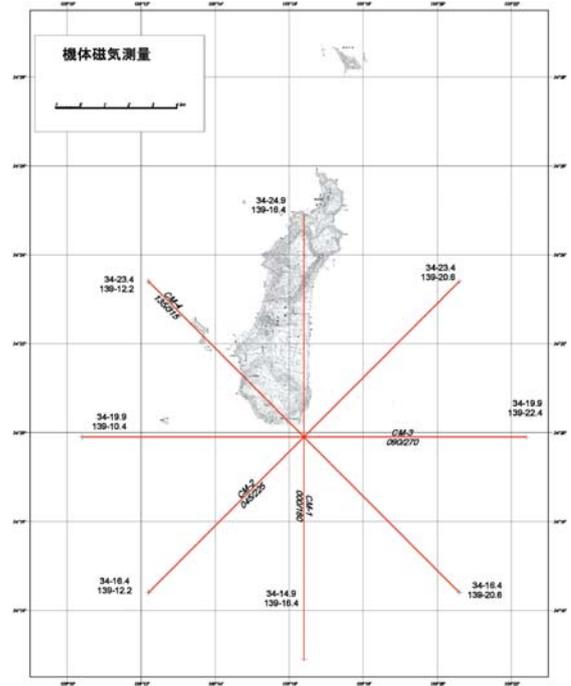


Fig. 5 Track lines for measurement of aircraft's magnetic field.

25 日に実施した結果と今回の新システム（磁力計：光ポンピング磁力計，航空機：MA 725）で 2011 年 2 月 10 日に実施した機首方位における平均値からの差を示す。

また、観測結果から得られた機体磁気補正の近似曲線を Fig. 6 に示す。旧システムでは、機首方位角 H による機体磁気補正曲線 DF は、

$$DF = -11.69 - 71.94 \times \cos(H) + 28.43 \times \sin(H) + 7.61 \times \cos(2H)$$

で表すことができる。

新システムでは、有効桁数を下 4 桁とした。

$$DF = -0.1045 - 18.5991 \times \cos(H) - 10.5438 \times \sin(H) + 6.4313 \times \cos(2H)$$

となり、振幅は、旧システムでは約 ± 70 nT にもおよび、新システムでは約 ± 20 nT 程度であり、約 3.5 倍の差がある。観測値に補正する量が新システムのほうがはるかに少ないことが一目瞭然である。

今後も、測量の都度、機体磁気測量は必要であるが、天候等の都合により実施できない場合は、今回の値を基準として、補正値を求めることも可能である。

Table 4 The aircraft's magnetic field in eight direction for the LA 701 and the MA 725.

LA701 (Nov. 25, 2000)		MA725 (Feb. 10, 2011)	
Derection of movement (°)	Difference with the mean (nT)	Derection of movement (°)	Difference with the mean (nT)
0	-75	0	-12.9
50	-42	46	-21.5
100	19	91	-17.7
130	63	135	7.9
180	72	180	25.2
230	11	225	18.1
270	-42	269	4.0
310	-76	315	-3.1
--	--	360	-12.9



Photo. 8 Calibration house in the premises.

7 航空磁力計の校正

新規に導入した航空磁力計を 2011 年 3 月 10 日～11 日の間、茨城県石岡市柿岡にある気象庁地磁気観測所の比較校正室 (Photo. 8) にて、気象庁所管の MO-PK (B) プロトン磁力計 (基準器) との比較観測を実施した。その結果を紹介する。

Photo. 9 にあるように比較校正室の E 台に基準器プロトン磁力計を、その反対側に被検査器である今回導入した光ポンピング磁力計検出部を乗せ約 2 分間 5 秒間隔でデータを取得した。その後、基準器を W 台に乗せ被検査器を E 側として同様の観測を実施した。その結果、器差 = 1.5881 nT, 磁力計精度 = 0.0287 を得た。次に被検査器を E

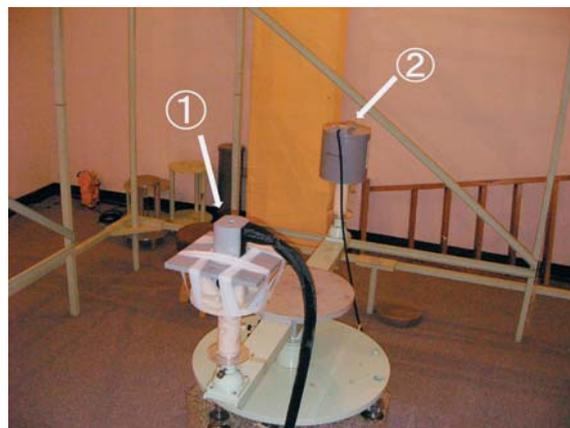


Photo. 9 Inside of the calibration house (① : Magnetic sensor of J.C.G, ② : Magnetic sensor of the J.M.A).

台にのせ、北から右回りにて 8 方位の観測をそれぞれ 50 秒間 10 秒間隔で実施した。その結果を Fig. 7 に示す。

新規に導入した光ポンピング磁力計には、方向によって差があり北のとき -1.61 nT～南のとき

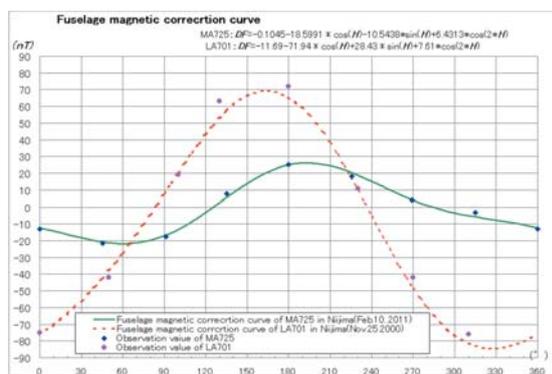


Fig. 6 The result of the measurement.

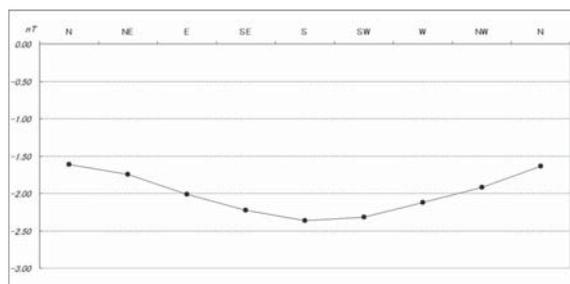


Fig. 7 Instrumental error to standard magnetmeter (The cable exit was made N).

-2.36 nT~北 のとき- 1.64 nT の凹状放物線の値を示すことが判明した。

これらは -2 ± 0.5 nT であり機体磁気測量を実施することによって補正可能である。しかし、今後、これらが増化する可能性もあることから、比較観測を実施し検討する必要がある。

8 おわりに

本システムの更新には、航空機の機種選定から約5ヶ年が経過している。この間、導入航空機の機体が増えになったことや担当職員の異動などもあり、引き継ぎが如何に重要であるかを新たに認識させられたところである。

関係者の皆様には多々御迷惑をお掛けした。御協力いただいた気象庁地磁気観測所、装備技術部航空機課、第三管区海上保安本部羽田航空基地の方々に対し、ここに記して感謝する。

そして、1969年（昭和44年）3月から解役までの41年間、火山監視観測、航空磁気測量に携わってきたLA701に「お疲れさまでした。たかさんの火山監視観測・磁気測量ありがとう!!」と言いたい。

参考文献

小山薫，熊川浩一，植田義夫（2007），最近の航空磁気測量について，*海洋情報部技報*，25，87-95.

要 旨

海上保安庁では、船舶及び航空機の航行安全のため、海域における火山噴火予知の基礎資料を得ることを目的として、南方諸島や南西諸島の航空磁気測量を実施している。

この度、航空機の更新に併せ航空磁気測量に使用してきた磁力計を更新したので、その性能や航空機への装備について紹介する。