

空中磁気探査のシステム化について (I)

—ハードウェアシステム—

中塚 正*

NAKATSUKA, Tadashi (1984) Systematization of aeromagnetic survey(I)—Measurements, data acquisition, and reproduced data inspection—. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 35(8), p. 341-364.

Abstract: As a result of the developed electronics, airborne and base-station magnetometers of higher resolution became available, which enabled us to extract more precise information of underground from the aeromagnetic survey. However, this higher resolution of airborne magnetometer was accompanied with the necessity of compensating aircraft's magnetic field, because the magnetic sensor was installed in the "tail-boom" in turn for the "bird" considering the security. The theory and the methodology for this compensation were studied, and the compensation was accomplished using a three-axis-coil system and permalloy chips.

Data acquisition techniques for three kinds of position fixing, that is, photogrammetric position finding, relative fix by doppler radar, and passive radiometric positioning, were developed. For the purpose of the positional data acquisition from the doppler radar, a "doppler counter" was produced, which counts the along-track and the cross-track distances from the starting point utilizing speed signals from the doppler radar. Then, all data from equipments on board were recorded on magnetic tapes by the data acquisition system.

A "reproduced data inspection system" was constructed in order to check the missed recording and the validity of magnetic tape data. Hardware configurations of this system in early years and at present are illustrated in Figs. 10 and 13. Softwares were also developed to enable various kinds of operation of hardwares. The system including both hardwares and softwares has been improved and extended into the present apparatus to yield man-machine interactive communication in the processing of magnetic tape data inspection.

Above developments in hardwares and techniques enabled the fully computerized data processing of aeromagnetic survey, and improved the efficiency of operation and the accuracy of survey.

1. はじめに

地質調査所において空中磁気探査の研究が本格的に開始されたのは昭和39年であり、以後今日までにすでに20年近い年月が経過している。

初期の研究では、主として測定技術確立のための研究が行われた。昭和41年頃には陸域の空中磁気探査の基礎が固められ、引きつづいて社会的要請にこたえるべく、沿岸海域を対象とする探査技術の研究が進められた。海域の探査においては、磁場測定技術とともに航空機の時々刻々の位置を正確に知り航空機を予定測線に沿って正しく誘導するための航法技術の研究が重要となる。このため、ドップラーレーダ・デッカ・ロランCなどの電波

* 物理探査部

航法装置を用いた海域探査の実験が進められ、昭和45年頃までに海域空中磁気探査における位置決定技術の基礎固めが行われた。

こうして確立されてきた探査技術により、日本周辺大陸棚の炭化水素資源の賦存可能性評価のための基礎データをを得ることを目的として、広く日本周辺海域の空中磁気探査が行われるに至った。

この時期の空中磁気探査のデータ処理の方法は、膨大な量のデータの読取りをはじめとしてすべて手作業によって、いわゆる磁気原因(残差計算を行う前の磁力値コンター図)の作成および各種フィルター計算・各種解析のための格子点データ作成が行われていた。

空中磁気探査に関するその後の研究では、データ収録およびデータ処理解析の合理化・省力化の技術開発に力

が向けられるようになり、探査精度の向上と高信頼性の追求が開始された。すなわち、昭和45年度には磁気テープデータ収録装置(機上用)が導入され、昭和46年度には、デジタルデータ収録に適し精度のより高い空中磁力計および地上定点磁力計が導入された。しかし、当時の電子計算機の普及状況は今日とは隔世の感があり、ミニコンピュータ HITAC-10 が地質調査所の所有する唯一の電子計算機であった。これは膨大な量の空中磁気探査データを処理するには程遠いものであったため、上記の装置の性能は充分には生かされなかった。磁気テープデータ収録装置が有効に利用されるに至ったのは、昭和48年度に中型電子計算機 TOSBAC-3400/51 が地質調査所に導入されて以後である。

筆者は、昭和47年以後、空中磁気探査における探査精度の向上と信頼性の高い省力化システム開発の研究に従事してきた。一連の本報告は、約10年に亘るこの研究の経過とその成果をまとめたものである。本編では、空中磁気探査に使用される測定器類およびデータ収録・再生検査等のハードウェア(ハードウェアに密接に関連するソフトウェアを含む)に関するものを取扱った。測定データから磁気図作成に至るデータ処理のソフトウェアおよび磁気図の解析手法等については続編で述べることとする。

なお、本研究は工業技術院特別研究「広域深部物理探査技術に関する研究」(昭和44-48年度)、同「陸棚海域地下資源賦存に関する基礎研究」(昭和44-53年度)、同「高分解能空中物理探査技術の研究」(昭和49-53年度)および同「空中磁気探査による大陸斜面の海底地殻構造に関する研究」(昭和54-56年度)の中で実施された。

本研究の実施にあたっては、当時の各特別研究の担当部長・グループ長および空中磁気探査グループに参加された方々の指導・助言・協力を戴いた。多くの助言・協力を下さった陶山淳治・小野吉彦・中井順二・馬場健三・駒井二郎・小川克郎・津宏治・斉藤友三郎・堀川義夫・渡辺史郎の各氏に対して心から謝意を表する。

また本研究の遂行に際しては、丸文株式会社・日本航空機輸送株式会社・中日本航空株式会社の関係者の御協力を戴いた。ここに記して謝意を表する次第である。

2. 磁場測定と位置測定

磁気探査においては、場所のちがいで磁場強度の変化を測定する。このため、磁場の時間的な変化は磁気探査にとってはノイズであり、これを除去するために磁場の定点観測を行い、移動観測との差をとって場所的な変化を抽出する。空中磁気探査では航空機を利用するこ

とにより、広い範囲にわたる測定が迅速且つ経済的に行われる。

磁場強度の測定器(磁力計)には種々の形式のものがあるが、その一種であるプロトン磁力計の出現により、全磁力測定が非常に簡単且つ正確にできるようになった。その後に出現した光ポンピング磁力計も全磁力測定を容易に行えるものである。磁場は元来ベクトル量であり、各方向成分を正確に測定できれば、情報量としては3倍になり、磁気探査結果による地下構造解析にも役立つ管である。しかし測定の容易さのみならず経済性は非常に大きく、今日では専ら全磁力のみを測定する方式がとられている。

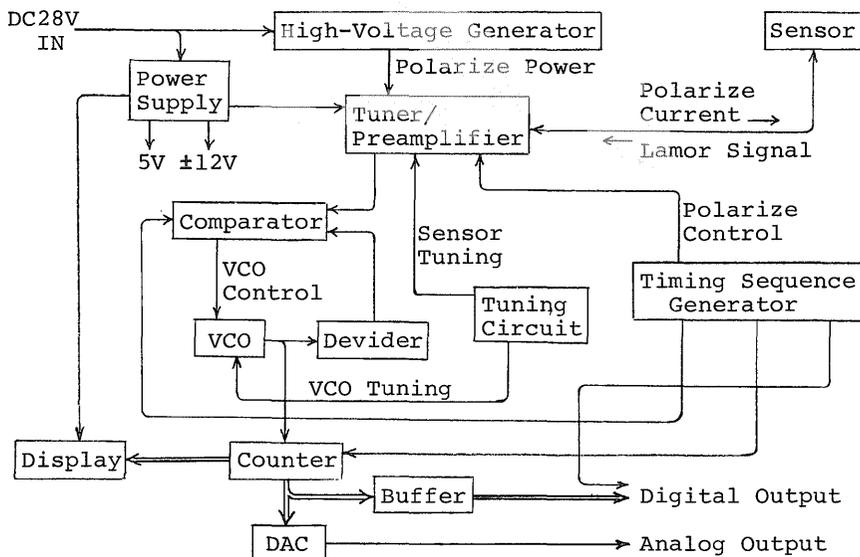
空中磁気探査では、航空機を予定測線に沿って飛行させながら時々刻々の磁場測定を行うが、同時に、航空機の位置を正確に知ることも必要である。プロトン磁力計の出現により、全磁力測定の精度は著しく向上したが、位置測定に関してはそれほど卓抜した技術は開発されておらず、従来の各種の航法装置に依存している。そして、位置決定精度の向上のために多くの努力が払われてきており、その結果、今日では複数の航法を組合せて位置標定が行われるようになっている。

2.1 空中磁力計

地質調査所では、空中磁気探査の研究の本格的開始以来、プロトン磁力計を空中磁力計として採用している。当初は、米国 Varian 社製の4914型磁力計(V4914と略称)が使用された。これは、真空管による2進カウンタによってプロトン歳差信号の周期測定を行い、磁力値(正確にはその逆数)をアナログ化して記録計に表示するものであった。この磁力計のセンサー部は、直径約20cm高さ約25cmの円柱形をしており、これをバードと呼ばれる非磁性の容器に入れ、航空機からつり下げ曳航して空中測定が行われた。

第2世代の空中磁力計は、昭和46年度に購入された米国 GeoMetrics 社製 G804 型の高感度プロトン磁力計(G804と略称)である。G804ではIC化も進み、PLL(Phase Locked Loop)回路技術がとり入れられて1秒周期で分解能6桁の周波数測定を行い、磁力値が10進数値として直読できるもの(第1図)となった。この磁力計の最大の特長は、センサーに近い位置にブリアンプが置かれる点である。前述のV4914では、センサーからの微弱な信号がそのままの形で機体内の計測部に送られるため、外来ノイズに弱く、往々にして原因不明のランダムな変動が記録され、磁場測定精度の低下を招いていたが、G804の採用はこの問題を解決した。一方、G804では、センサーを収容するバードの大型化が不可欠となった。これは、

Maker : GeoMetrics (USA)
 Model : G804
 Detecting Principle : Proton Precession
 Sensitivity / Minimum Sampling Interval :
 0.1 or 0.05 nT / 0.9 Sec. , 0.2 or 0.1 nT / 0.5 Sec.
 0.5 or 0.25 nT / 0.3 Sec. , 1.0 or 0.5 nT / 0.2 Sec.
 Output : Display - 6 Digits Decimal
 Analog - 2 Channels for Strip Chart Recorder
 (Coarse and Fine)
 Digital - 6 Digits BCD for Data Acquisition



VCO : Voltage Controlled Oscillator
 DAC : Digital to Analog Converter

第1図 空中磁力計 G804 の構成と仕様

Fig. 1 Configuration and specification of airborne magnetometer G804 (GeoMetrics, USA).

センサーの近くに置くべきプリアンプは、バード内に収容せざるを得ず、プリアンプの位置は磁場測定には影響を与えない程度にセンサーから遠ざける必要があるためである。G804のバードは、長さ約2.9m、重量約65kgにも及んだ。もともとバードにセンサーを収容するのは、航空機自体に由来する磁場の影響を避けるためにとられた手段であるが、安全性の上からは航空機自体にとって望ましいとは言えないばかりか、不測のバード落下という事態も可能性皆無とは言いきれない。当時使用していた航空機はYS-11型(第2図)であり、航空関係者によれば大型バードの曳航も充分安全であるとされてはいたものの、G804の採用によってバードが大型化したことは、不測の事態に対する不安材料を増すものであった。また、探査の経済性の面でも、バード曳航時は飛行速度

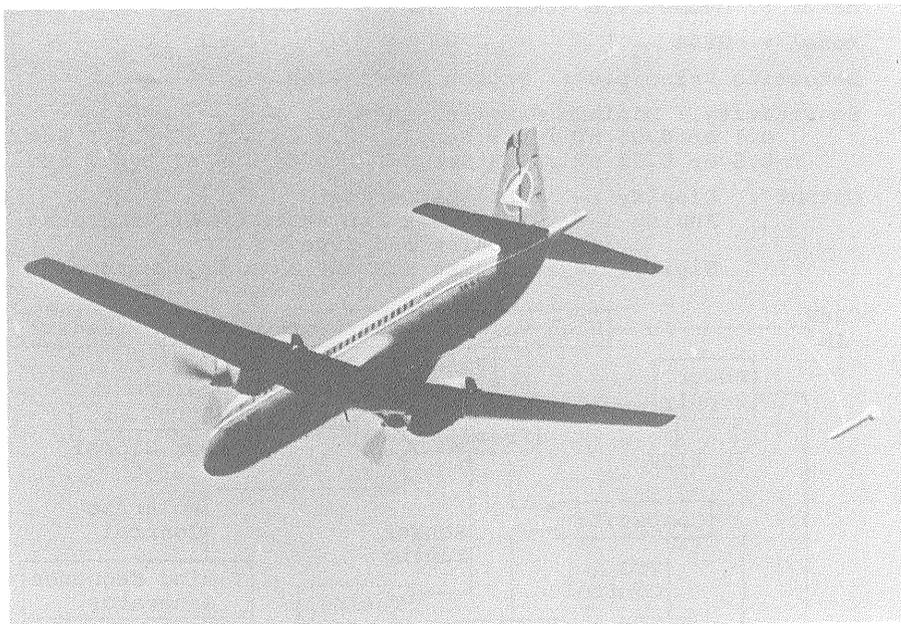
に制約があり、バードのあげおろしに余分の手間がかかるといった短所があった。

こうした背景のもとで、昭和47年より、バード方式にかわって、センサーを機体から突出したテイルブームの先端に固定するスティンガー方式を採用することとなった。スティンガー方式の場合には、機体磁気の影響を補償することが必要となるが、これについては次章で述べる。

なお、空中磁力計は、G804の老朽化に伴い昭和57年に、同じくGeoMetrics社製G813型に更新され、機能・性能の一層の向上が実現している。

2.2 地上定点磁力計

空中での磁場測定値から経時変化分を除くために地上で定点観測を行うことはすでに述べた。当初の定点磁力



第2図 YS-11型探査機 JA8612

計は米国 Varian 社製 4938 型の光ポンピング型磁力計 (V4938と略称)で、最初は Rb(ルビジウム)センサーが続いて Cs(セシウム)センサーが用いられるようになった。この磁力計のセンサーは、セルフオシレータ(自己発振器)と呼ばれ、本体とは一本の同軸ケーブルのみで結ばれる。この同軸ケーブルを通して、電源の+28Vが直流でセンサー側へ送られると同時に、センサーからは周波数信号が交流分として本体側へ送られる構造になっている。磁力計の本体内では、基準磁力値に対応した水晶発振器の信号とセンサーからの信号とのミキシングを行い、ビートによる差周波数を抽出し、これをディスクリミネータと呼ばれる周波数電圧変換器に入力して、基準磁力値からのズレの値を電圧として出力し、アナログ記録している。

第2世代の定点磁力計は、V4938と同じセンサーを用いながらも、計測部をデジタル化し、デジタルデータ収録の機能も備えたものとなった。これは MDA 7101 型磁力計データ収録装置と呼ばれ、地質調査所物理探査部渡辺史郎技官の基本設計をもとに、昭和46年に丸文㈱が設計製作したもの(第3図)である。本装置は定点観測に必要な各種機能を内蔵し、磁力センサーと本装置および汎用のアナログレコーダのみで完全な定点観測が行える。本装置は、昭和47年から56年までの空中磁気探査の定点観測に用いられたほか、その他の研究の磁場測定に

も用いられた。

さらに昭和55年度には、MDA 7101型磁力計データ収録装置の老朽化に対応して、定点磁力計の更新が行われた。新しい装置は、同じく丸文㈱製のM8002型磁力計およびM8003型データ収録装置であり、磁力センサーには引続き同種のものを使用している。データ収録装置部は、従来のオープンリール磁気テープ装置にかわってカセット磁気テープ装置を、プリンタも超小型の放電式のもの内蔵し、データ収録装置の操作も簡易化されているほか、磁力計部独自のアナログ化モニタ出力を含めデータ収録の多重化を実現しており、多少の故障が発生しても欠測とならない定点観測が行える。

2.3 位置測定装置

空中磁気探査においては、航空機を予定測線上へ誘導し、また、時々刻々の航空機の位置のデータを取得するため、種々の航法装置が用いられる。各航法はそれぞれの特徴をもっており、探査区域の条件に応じて取捨選択されるが、経済的で且つ精度のよい位置標定を行うための技術開発が行われてきた。その結果、今日の日本周辺地域の探査では、3種類の位置測定装置を組合せて使用するようになっている。この3種類とその特徴は、次の通りである。

④ 対地写真撮影装置

陸上において航空機直下の地形写真を撮影し、これと

Maker : MARUBUN Corp. (Japan)

Model : MDA7101

Detecting Principle : Optical Pumping

* Sensor : Varian (USA) 49-554 or
Varian of Canada VIW-2321A1

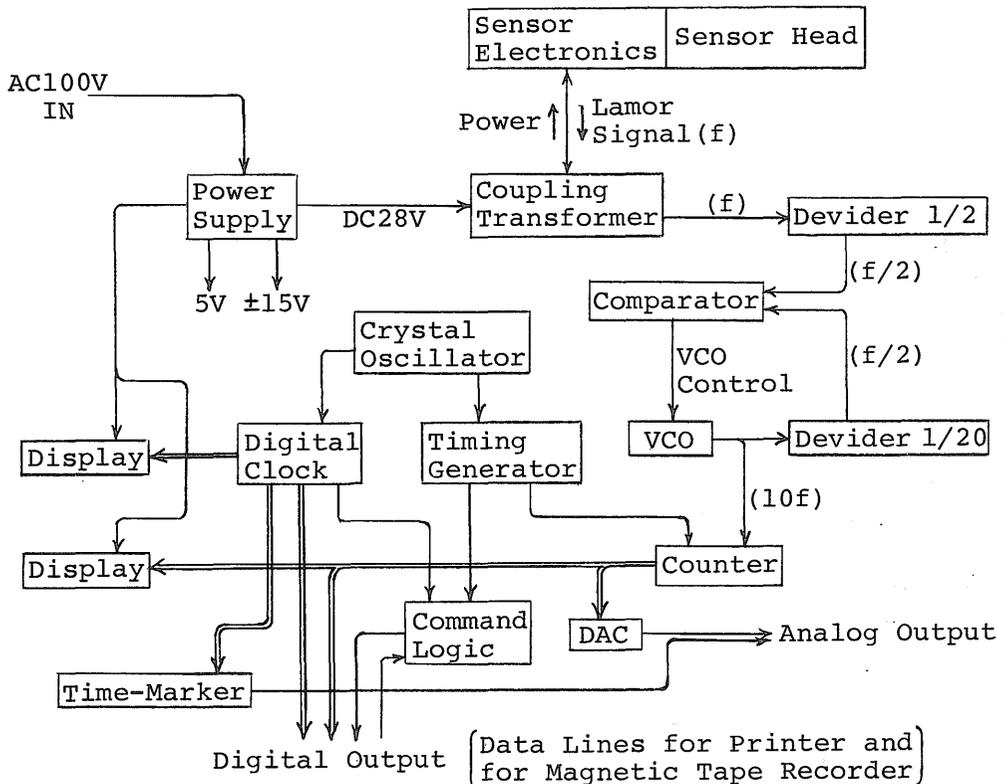
Sensitivity : 0.1 nT

Sampling Interval : 0.5 Sec.

Internal Functions :

- *Digital Clock
- *Printer Control
- *Magnetic Tape Recorder Control
- *Time-Marker Circuit for Strip Chart Recorder

- Output :
- Display - 6 Digits, and 9 Digits Clock
 - Analog - 2 Channels for Strip Chart Recorder
(Coarse and Fine)
 - Printer - 12 Digits (Data Column)
in every 10, 30, or 60 Sec.
 - Magnetic Tape Recorder (7Tr., 200BPI Incremental)
- 16 Digits in every 1, 10, or 30 Sec.



第3図 定点磁力計 MDA7101 の構成と仕様

Fig. 3 Configuration and specification of base-station magnetometer MDA 7101 (Marubun, Japan).



第4図 Cessna 404 型探査機 JA5264

地形図との対応から位置を決定するもの。精度が高いが、反面、標定作業は人手に頼る部分が多く自動処理化しにくい。また、海上では無力である。

⑧ ドップラーレーダ

ドップラーレーダは空中磁気探査では、航空機を効率よく予定測線上へ誘導するため、法規上では航法装置ではなく補助装置として使用されているが、これから航空機の数が増え、速度情報が得られ、速度を積分することによって相対位置標定ができる。これは、あくまで相対位置標定であり、誤差累積型であるため、他の位置標定と組合せて使用する必要があるが、自立航法として他の援助設備を必要としない利点もある。

⑨ 電波航法装置

ここにいう電波航法は、地上の援助施設から発射される電波を受信することにより絶対位置を得るもので、使用する電波の種類と送受信方式・サービスエリアの広さおよび位置決定精度を異にする種々の航法が存在する。そのうち空中磁気探査に用いられているのは、サービスエリアと位置決定精度の点から、主としてロランCおよびデッカである。これによる位置標定は陸上・海上に関係なく使用できるが、精度は対地写真位置標定より劣り、気象条件等の変化に伴う誤差も含むため、陸域のみの探査では使用されない場合が多い。

こうしたそれぞれの得失のため、陸域探査では④と⑧の組合せを用い、海域探査では主として⑨を用いて④に

よる誤差補正を行い⑧を補助として用いている。

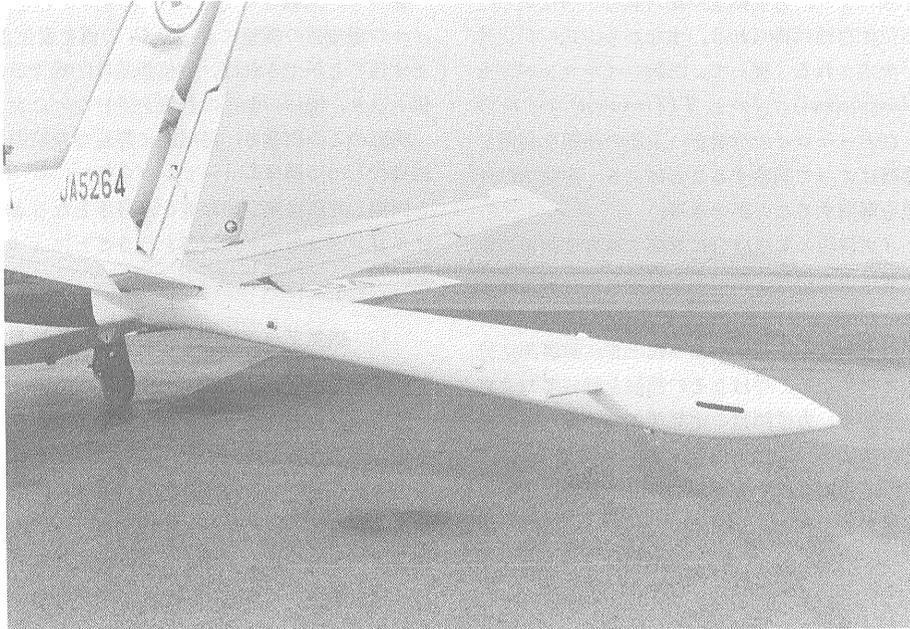
なお、近年新しい航法装置としてINS(慣性航法装置)が注目をあびているが、高精度のものは非常に高価なため、今のところ空中磁気探査には用いられていない。また、これを用いるにしても、誤差累積型であるため他の絶対位置標定の手法と組合せて使用するのが適当であろう。

3. 機体磁気補償

バード方式では、バードを機体から充分遠ざけて曳航することにより航空機自体の発生するノイズ磁場の影響からのがれられるが、スティンガー方式ではその影響を何らかの方法で除去することが必要となる。この機体磁気補償の方法については、その原理と当時の探査機であったYS-11型JA 8612機での結果をすでに報告した(中塚ほか、1976)。

その後、この機体以外に空中磁気探査に利用されたものとしては、同じYS-11型のJA 8611機と、昭和54年度以降の探査に就役したセスナ404型(第4図)のJA 5264およびJA 5267の機体がある。

JA 8611機の機体磁気補償については、JA 8612機の場合と方法・結果とも大差がないのでここでは述べない。一方、セスナ404型機の場合はかなり様相を異にしている。機種が変わったことによる最大の状況変化は、G804のバードの曳航が困難であり、従ってYS-11型機の機体磁



第5図 Cesna 404型探査機スティンガー部。磁力計センサーは先端近くの両側にある突起(ひれと呼ぶ)の中間に置かれている。機体磁気補償のための三軸コイルがスティンガーの根本近くに、パーマロイ片がひれの中に取付けられる。

Fig. 5 Stinger of survey aircraft (Cesna 404). Magnetic sensor is located between two fins near the end of stinger. Three-axis-coil unit and permalloy chips are installed near the fuselage and inside the fins, respectively, in order to compensate aircraft magnetic field.

気補償のときに利用していたバード・スティンガーによる同時並行測定ができなくなった点にある。機体磁気補償を行うためには、磁場測定値に機体磁気がどれだけ影響しているかを知る必要があり、バードによる測定が併用できればその評価は容易であった。セスナ404型のような小型機の場合には、別の評価基準が必要となり、機体磁気補償の手順もちがったものにせざるを得ない。

昭和54年度以降の空中磁気探査では、こうした小型機の機体磁気補償の方法として新たな手順を導入し、良好な結果を得ている。以下にその手順と結果について述べる。

航空機の機体に由来するノイズ磁場は、中塚ほか(1976)が示したように、永久磁気成分と誘導磁気成分が主要であり、その影響は機首方位角 ϕ に依存し、機体が水平を保つ場合のノイズ磁場の影響(方位誤差と呼ぶ)は、

$$G(\phi) = A_1 \cos \phi + A_2 \sin \phi + B_1 \cos 2\phi + B_2 \sin 2\phi + C \quad (1)$$

で表わされる。ここに、 $A_1 \cdot A_2 \cdot B_1 \cdot B_2 \cdot C$ は、機体内の磁性体および電流の状態変化がない限り一定である。機体

磁気補償の基本的な考え方は、人工的に機体の磁性体および電流に変更を加えることによって、上式の $A_1 \cdot A_2 \cdot B_1 \cdot B_2 \cdot C$ をいずれも0に近づけようとするもので、それが完成すれば機首方位に関係なく方位誤差は当然0となる。

これを実現するための装備としては、YS-11型で用いたと同様、三軸コイルコンペンセータとスティンガー内センサ部の両翼にとりつけるパーマロイ片を用いた(第5図)。これらの装備の調整のためには、方位誤差の検出が不可欠であり、これを見積るために次の方法をとる。

- ① 磁場変化のゆるやかな陸上目標点を選び、その上空を一定高度の下に、多様な機首方位(最低8方位)で飛行し、目標地点通過時の磁場測定値を得る。
- ② 同時に、目標点の近くで磁場の定点観測を行い、経時変化分の補正を行う。
- ③ 目標地点の正確な上空通過は、現実的には難しいので、目標点から機首方位と直交する方向の位置ズレを対地写真によって測定し、直交する方向に飛行したときの目標点付近での磁場測定値の変化率から、位置ズレによる磁場変化分を見積り、補正する。

以上の手順により、方位誤差の絶対値は不明ながら、相対的な方位依存性は得られる。すなわち(1)式のC以外の項の値が決定される。従って、三軸コイルコンペンセータのL(Longitudinal)コイルとT(Transverse)コイルの電流値およびパーマロイの位置を、上記の手順を利用してつつ試行錯誤によって調整することにより、定数項以外の方位誤差を解消することができる。

一方、ノイズ磁場の鉛直成分に対応する方位誤差の定数項は、位置による磁場変化のみを対象とする磁気探査においては、一見あまり問題ではないように思われるが、ローリングなどの機体の揺動があったときに磁場測定値に変化をもたらすため、やはりその補償を行っておく必要がある。そこで、方位誤差の定数項について、その補償の原理と方法について以下に述べる。

方位誤差の定数項Cは中塚ほか(1976)の解析によると近似的に次式で表される。

$$C = -C_1 \sin \theta + N \cdot C_2 \left(\frac{3}{2} \cos^2 \theta - 1 \right) \quad (2)$$

$$C_1 = \oint \frac{\rho_z}{r^3} dV \quad (3)$$

$$C_2 = \oint \frac{\kappa}{r^3} dV \quad (4)$$

ここでは、(3)・(4)式の記号の説明は省略するが、 C_1 ・ C_2 はいずれも機体に固有な値となり、 N は地球磁場の絶対値、 θ は機体の機首方向と両翼方向とで張られる平面に対する地球磁場の傾きを表わしている。(2)式は当然のことながら機首方位 ϕ の関数ではないが、機体がローリングしたときに θ に現れる変化は、機首方位 ϕ に依存し、 $\phi = \pm 90^\circ$ のとき最大となる。 $\phi = \pm 90^\circ$ において微小角 $\Delta\theta$ のローリング($\theta = \theta_0 + \Delta\theta$)を行った場合を考えると、

$$\begin{aligned} C &= -C_1 \sin(\theta_0 + \Delta\theta) \\ &\quad + N \cdot C_2 \left[\frac{3}{2} \cos^2(\theta_0 \pm \Delta\theta) - 1 \right] \\ &= -C_1 \sin \theta_0 + N \cdot C_2 \left(\frac{3}{2} \cos^2 \theta_0 - 1 \right) \\ &\quad \mp (C_1 + 3N \cdot C_2 \sin \theta_0) \cos \theta_0 \cdot \Delta\theta \end{aligned} \quad (5)$$

となる。ここに θ_0 は地球磁場の伏角である。そこで、

$$C_3 = C_1 + 3N \cdot C_2 \sin \theta_0 \quad (6)$$

とおくと、(5)式は、 C_3 の値が0であれば、機首方位にかかわらずローリングの影響が磁場測定に現れないことを示している。そして $C_3 = 0$ のとき(5)式は、

$$C = N \cdot C_2 \left(2 - \frac{3}{2} \cos^2 \theta_0 \right) \quad (7)$$

となる。

従って、三軸コイルコンペンセータのV(Vertical)コイルの電流値の調整によって C_1 の値を変化させ $C_3 = 0$ とすることができれば、方位誤差は(7)式で示される一定値となり、機体の動揺の影響を受けないこととなる。

実際のこの調整は、磁氣的に静謐な空域内を東西方向に飛行しつつ機体のローリングを行い、ローリング動作と同期した磁場測定値の変化が最小となるように三軸コイルコンペンセータの調整を行うことにより完成される。

4. 磁気テープデータ収録装置と位置測定データ取得

空中磁気探査のデータ処理・解析をコンピュータ自動処理化するためには、まず、測定データをコンピュータ入力に適した形で収録する必要がある。空中磁気探査の測定装置の多くはデジタル計測を行っており、また、探査データの量は膨大であることから、そのデータ収録は、磁気テープへのデジタル記録が最適である。

4.1 磁気テープデータ収録装置

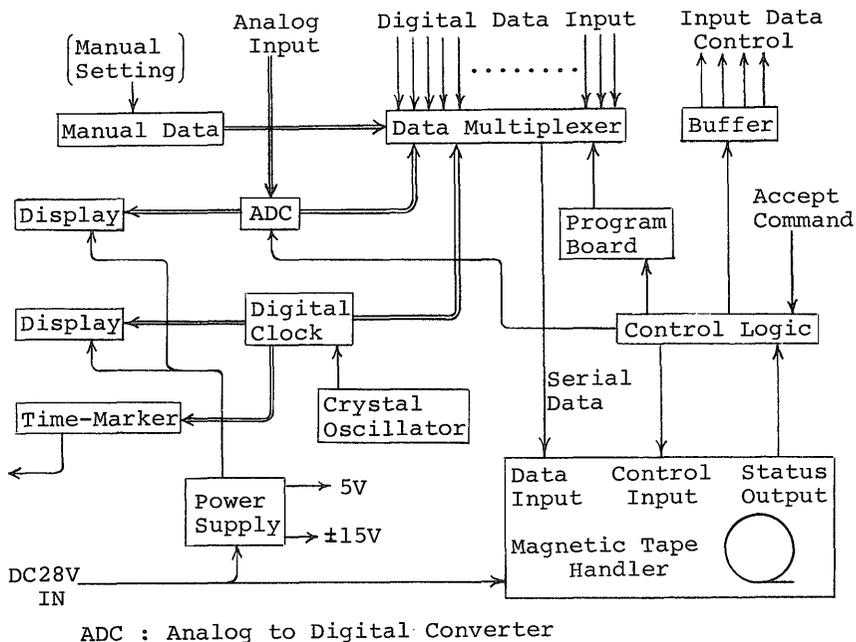
磁気テープデータ収録装置(米国GeoMetrics社製G704型)は、昭和45年度に導入されたが、前述のように実地調査のデータ収録に本格的に活用されるようになったのは昭和49年以降である。本装置では、第6図に示すように、外部から与えられるデータ収録命令に従って、並列する多数の入力ポートから得られる時々刻々のデータを磁気テープに記録している。

データ収録命令は、空中磁力計の測定周期と同期されるようになっており、通常磁力計自体を1秒周期で動作させるため、1秒ごとのデータが収録される。また、プログラムボードの機能により、1秒ごとのデータの内容は、収録すべきデータの種類とその数に応じて容易に変更することができる。

空中磁力計G804は、上記データ収録装置G704との接続を考慮してつくられているので直結可能であるが、他の装置からのデータはインターフェースを介して接続する必要がある。

なお、写真位置標定のためのデータは、映像情報であり、デジタル磁気テープへの収録が適切でないため、このデータ収録装置には入力されない。写真位置標定のためのデータ収録は、以前は、長巻フィルムの装填可能なストリークカメラ(スリットカメラともいう)またはパルスカメラ(自動巻上げ連写カメラ)を用いて、写真フィルムに記録を行っていたが、昭和54年度以降は、中日本航空術の開発によるテレビカメラとビデオレコーダを使用した対地VTRシステムを使用している。いずれの場合

Maker : GeoMetrics (USA)
 Model : G704
 Recording Medium : Magnetic Tape (7-inch Reel)
 Recording Format : 7-Track, 200BPI Incremental
 Input Capacity : Digital - 32 Digits
 Analog - 8 Channels
 Internal Data : Digital Clock - 6 Digits
 Manual Data - 5 Digits
 Special Character - 4 Digits
 Scanning Capacity : 48 Digits or
 47 Digits + Analog
 * Analog - 5 Digits × 8 Channels Max.
 Supplementary Function : Time-Marker Circuit



第6図 磁気テープデータ収録装置 G704 の構成と仕様

Fig. 6 Configuration and specification of data acquisition system G704 (GeoMetrics, USA).

合にも、上記のデータ収録装置との間では、刻時信号により時刻データの同期がとられている。

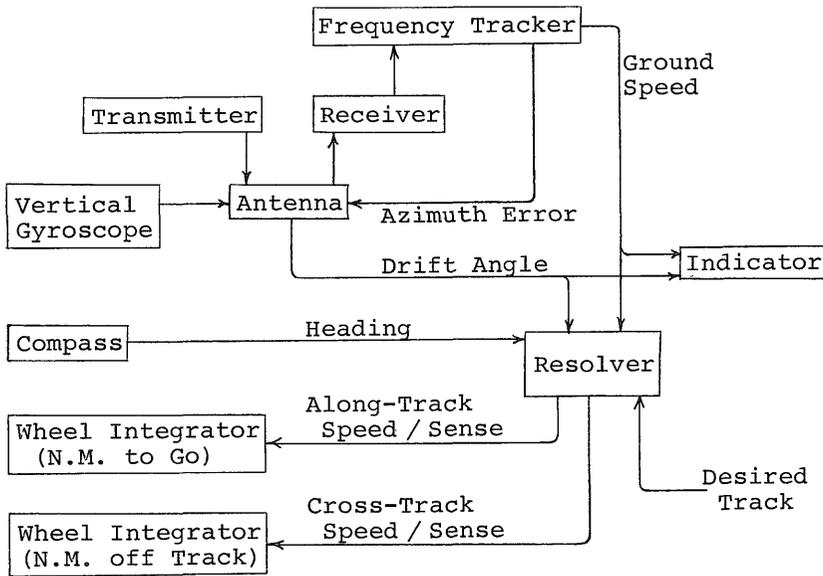
4.2 ドップラーレーダによる位置情報の取得

ドップラーレーダは、電波のドップラー効果を利用して航空機の対地速度を知るための装置で、航路計算機(Track Line Computer)に接続されている。第7図にその構成を示すが、動作原理等については文献(例えば岡田, 1972)に詳しいので、ここでは位置情報の取得の方法について述べる。

ドップラーレーダから直接得られる情報は速度であり、位置情報にするためには積分の操作を必要とする。

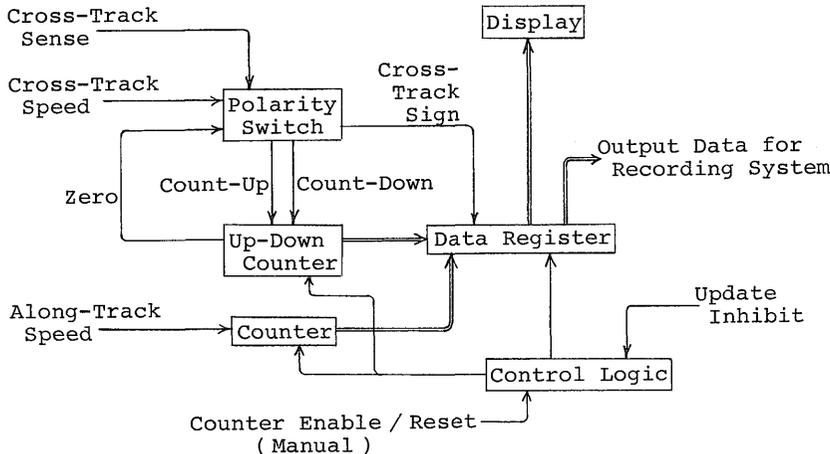
航路計算機では、希望進路に対して並行(Along)および直交(Cross)する2方向への速度に比例した2つの周波数信号と、各々の向き(前後および左右)を示す2つの信号(Sense)とが、レゾルバーから出力されており、シンクロナスモータを利用した積分表示器へ接続されている。この信号をとり出して周波数カウンタに入力すれば、カウンタは一種の積分器として働き、カウンタの表示値として位置情報を得ることができる。この原理に基づいて、ドップラーレーダによる相対位置標定のための装置(ドップラーカウンタと呼称)を昭和51年に開発した。

このドップラーカウンタ(丸文機製M762型)は、第8図



第7図 ドップラーレーダの構成

Fig. 7 Configuration of doppler radar navigation system.



第8図 ドップラーカウンタの構成

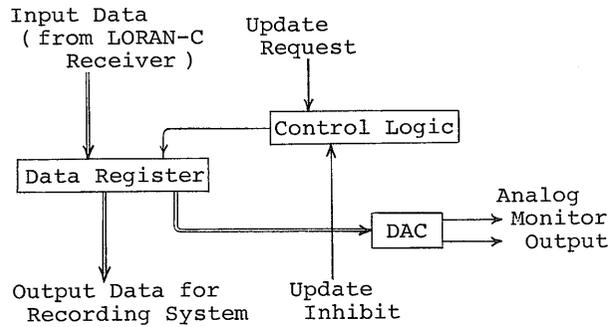
Fig. 8 Configuration of "doppler counter" to get relative positional data.

に示す構成をもち、各測線毎にその始点からの相対位置を、表示すると同時にデータ収録装置へのデータとして出力する。希望進路方向の座標(Y)は一般的に単調増加であるが、それに直交する方向の座標(X)は当然増減があるので、X座標についてはアップダウンカウンタが使用されており、符号と10進絶対値の表示形式を用いている。

探査機のドップラーレーダシステムのレゾルバーから出力される速度信号は、0.417 Hz/Knot の周波数をも

ち、1周期あたり1.234mの変位を表わす。ドップラーカウンタでは、この信号を8分周したものを単位として計測データとしている。これは、ドップラーレーダによる測位精度と要求される位置標定分解能との関係から決めたものであるが、同時に、表示値の最小桁は、約1.3%の誤差を無視すれば10m単位となっており、飛行距離の概略値を知るためにも便利である。

このドップラーカウンタは、昭和51年以降の陸域の探査においてデータ収録に駆使され、写真位置標定の作業



第9図 ロランC用データ入力インターフェースの構成
Fig. 9 Configuration of interface adapter for LORAN-C.

量の軽減と位置決定の迅速処理に貢献した。

4.3 ロランC受信データの収録

電波航法装置(ロランC, デッカ)による位置標定データは、従来はプリンタおよび紙テープパンチャーに出力されており、データ処理は、人手により印字記録を讀取ってチャート上に標定する作業として行われてきた。データ処理のコンピュータ化にあたっては、紙テープ出力を利用することが考えられるが、紙テープへの出力は低速であるため、実際には10秒毎のデータしか記録されておらず、データのばらつきに対するスムージングなどの処理を自動化するためにはデータ量が不足である。この点の解決のためには、より高速の紙テープパンチャーに置きかえるなどの方法も考えられるが、磁気テープデータ収録装置がすでにあり、その入力容量に余裕があること、データ収録が一元化されれば処理の上でも利点があることを考慮の上、電波航法位置標定データをも磁気テープデータ収録装置へ送り込んでデータ収録する方式を採用した。そして、このためのハードウェアとして、ロランC用データ入力インターフェースをドップラーカウンタ内に増設した。その部分の構成を第9図に示す。これは一応ロランC用に設計されているが、データ形式が同じであれば、他のデータ入力用としても利用でき、ロランC用というよりはむしろ汎用データ入力インターフェースと呼んだ方がよいかも知れない。

このインターフェースは、昭和52年度末に製作され、昭和53年度前期の動作テストの段階を経て、昭和53年度後期以後の海域探査においてロランC受信データの磁気テープ収録に活用されることとなった。これにより、データ処理ソフトウェア開発とも相まって、昭和52年度より研究開始した海域探査におけるデータ処理のコンピュータ処理化の完成を見た。

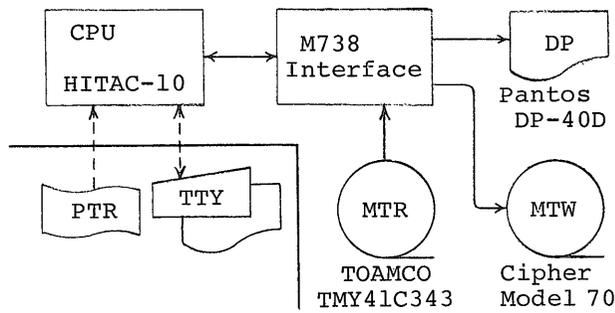
5. 収録データ再生検査システム(1)

空中磁気探査のデータ収録用磁気テープ装置が、昭和48年の中型電子計算機 TOSBAC-3400/51 導入を待って本格的データ収録に活用されるに至ったことはすでに述べた。そのため昭和48年までは、磁気テープにデータが誤りなく記録されているか否かの検査を行う方法も確立していなかった。

一方、機上の磁気テープ装置はかなりの動揺・振動のもとにおかれ、温度・湿度・塵埃等の点では、電算機室内とは較べるべくもない悪条件にあり、故障・誤動作の可能性が高い。また、アナログレコーダやプリンタの記録は目に見えるが、磁気テープ上のデータは、目に見えないため、磁気テープの記録装置が故障していても、その故障が発見できない場合もありうる。このような弱点を補うためには、現地において磁気テープの記録を、最低限1測定飛行ごとにチェックすることが必要である。

磁気テープ記録装置の故障には、大別して2通りの場合があり、一方はデータロジックの部分の故障で、他方は磁気テープ装置自体の故障または保守不良である。後者の場合はハードウェアにより記録チェックによってエラーが検出されるが(ハード的エラー)、前者の場合は数字が他の数字または文字に置きかわる(ソフト的エラー)だけで、ハードウェアによる記録チェックによってはエラーが検出されない。磁気テープ装置自体に Read after Write の記録チェック機能をもつものもあるが、これもハード的エラーの検出ができるだけで、ソフト的エラーは検出できない。

これら双方のエラー検出を含むデータチェックを行うため、磁気テープデータ再生処理装置を開発した。この装置は、昭和48年度に製作し、付随するソフトウェアの開発増強を行いつつ、翌年度以降の陸域探査および昭和



第10図 初期の磁気テープデータ再生処理装置の構成

Fig. 10 Configuration of reproduced data inspection system in early years.



第11図 初期の磁気テープデータ再生処理装置

Fig. 11 Reproduced data inspection system in early years (1st Generation).

52年度以降の海域探査のデータ再生検査に活用されることとなった。

5.1 磁気テープデータ再生処理装置の構成(1)

磁気テープデータ再生処理装置は、磁気テープ読取装置(MTR)・磁気テープ記録装置(MTW)・デジタルプリンタ(DP)および制御装置から成り、制御装置としては、以前より当所所有のミニコンピュータでTOSBAC-3400/51導入により使用頻度の減少したHITAC-10を使用した(第10, 11図)。また、このためデータタイプライター(TTY)が接続できるが、TTYは重量・体積が過大で動作速度も遅く、現地携行にはなじまない。各入出力装

置の仕様は第1-3表に示す通りである。なお、機上のデータ収録装置に組込まれている磁気テープ記録装置も、本装置のMTW部と同仕様のものである。

本装置の入出力機器を制御するため、MTR用5個、MTW用4個、DP用4個の合計13個のHITAC-10機械語命令が新たに定義されている。それらの内容は第4表に示す通りである。

MTR部においては、IRG上で停止していた磁気テープがFMTR命令またはBMTR命令によって走行を開始し、ハンドラーが1文字のデータを読み出すとMTRフラグはONになりデータが読込可能であるこ

第1表 磁気テープ読取装置の仕様

メーカー・型名	東芝アンパクス㈱ TMY41C343
使用磁気テープ	幅 0.5 インチ, 厚さ 1.5 ミル, リール径 7 インチ
トラック数	7 トラック
記録形式・密度	NRZI 200~800 BPI
駆動方式	キャプスタン・サーボ
テープ速度	12.5 インチ/秒
データ出力	7 ビット並列
入出力論理	負論理
IRG	0.75 インチ
パリティチェック	なし(外部処理)
オフライン動作	Load, Forward, Reverse, Rewind

第2表 磁気テープ記録装置の仕様

メーカー・型名	Cipher 社(米国) Model 70
使用磁気テープ	幅 0.5 インチ, 厚さ 1.5 ミル, リール径 7 インチ
トラック数	7 トラック
記録形式・密度	NRZI 200 BPI
駆動方式	インクリメンタル(ステップモータ 使用)
記録速度	0~100 列/秒
データ入力	6 ビット並列 NRZ
入出力論理	正論理
IRG	0.75 インチ
ファイルマーク	IBM 標準
垂直パリティ	奇数または偶数(内部生成)
水平パリティ	偶数(内部生成)
マニュアル動作	Load, File Mark, Rewind

とを示すので、これを KMTR 命令によって検出し、RMTR 命令で 1 文字のデータを読み込む。MTR フラグはハンドラーが 1 文字のデータを読み出すごとに ON になり、RMTR 命令によって OFF になるので、KMTR 命令と RMTR 命令の組合せによって連続的なデータが読み取られる。また IRG は、記録密度に対応した一定時間 MTR フラグが ON にならないことによって検出され、このとき HMTR 命令によって磁気テープの走行を停止する。このような操作によって、1 ブロックの読取動作を完了する。

また、MTW 部においては、WMTW・IRG・FMG の各命令は KMTW 命令によって MTW が動作中でないことを確認してから実行される。

DP 部は、磁気テープデータの内容の表示とデータチェック結果の出力を行うもので、現地において結果を目に見える形で保存できる唯一の装置である。この出力の

第3表 デジタルプリンタの仕様

メーカー・型名	日本電子科学㈱ DP-40D
記録紙	幅 89 mm 折畳式
印字文字種類	16 種類
印字容量	19 桁/行(16 桁使用)
印字方式	ドラム・ハンマーインパクト
印字速度	最大約 3 行/秒
データ入力	各桁 4 ビット並列 BCD
制御入出力	印字指令, 紙送り指令, 赤印字選択指令, 印字中
入出力論理	正論理
マニュアル動作	印字, 紙送り

第4表 特殊入出力機器制御用の HITAC-10 機械語命令

命令コード (16進)	記号	動作
7404	FMTR	MTR 磁気テープの順方向への走行を開始させる。
7408	BMTR	MTR 磁気テープの逆方向への走行を開始させる。
7400	HMTR	MTR 磁気テープの走行を停止させる。
7401	KMTR	MTR フラグが ON のとき次の命令をスキップする。
7402	RMTR	MTR からのデータを受取り MTR フラグをクリアする。
7601	KMTW	MTW が動作中でなければ次の命令をスキップする。
7602	WMTW	MTW にデータを出力する。
7604	IRG	MTW に IRG を生成させる。
7608	FMG	MTW にファイルマークとファイルギャップを生成させる。
7201	KDP	DP が動作中でなければ次の命令をスキップする。
7202	XDP	DP への出力データの 1 桁分をセットさせる。
7204	PDP	DP に 1 行印字させる。
7208	FDP	DP に 1 行分の紙送りを行わせる。

ためには、インターフェース部に1行分のデータバッファを持っており、データ出力は1桁づつの逐次出力(XDP 命令)と行印字(PDP 命令)との命令組合せによって行われる。なお、XDP・PDP・FDP の各命令の実行に先立ち、KDP 命令による DP の動作完了の待機・確認が行われる。

空中磁気探査の機上で記録される磁気テープデータは、TOSBAC-3400/51の磁気テープとコンパチブルであるが、TOSBAC-3400の磁気テープ装置はハードウェアによる記録チェックの機能を有し、さらにエラーチェックおよびエラーリカバリをオペレーティングシステム(OS)が管理しているため、記録チェックによってエラーとなったデータを読み出すことが困難である。一方、本装置では、記録チェックをハードウェアで行わずソフトウェアに委ね、エラーリカバリの処理も、OSのように画一的な処理を行うのではなく、プログラミングにより自由な扱いができるようになっている。このため、本装置によって磁気テープのエラー箇所のデータを読み出し、エラー原因の追跡等を行うことができる。

5.2 磁気テープデータ処理のソフトウェア(1)

前節で述べたように、各周辺装置のハードウェアはプログラミングのフレキシビリティを大きくするよう設計されており、各々の装置を制御するためには、そのソフトウェアが大きな役割を果す。すなわち、プログラミングによる多様な動作が可能である反面、それに応じた複雑なプログラミングが必要とされる。しかし、一般的には標準的な動作で足りる場合が多く、標準動作についてはパッケージ化したサブルーチン群を備えて必要に応じてそれを組合せて使用し、特殊動作については、目的動作に応じたプログラムを必要となった時点で作成するのが実用的である。本装置のソフトウェアはこのような観点で作成され、基本的にはサブルーチン群とアプリケーションソフトウェアに分かれる。なお、前節に述べた本装置特有の機械語命令は、高級言語ではサポートされないため、上記のソフトウェアはいずれも機械語またはアセンブリ言語で記述されている。

HITAC-10では、主記憶装置としてコアメモリが使用されているので、電源切断時にもその内容は保存されるが、何らかの原因で内容が破壊された場合や、プログラムの内容を入れかえたい場合に、プログラムをローディングする必要がある。HITAC-10では、通常紙テープからプログラムをローディングするようになっているが、現地処理では紙テープ読取装置がないためこれが使用できない。このため、磁気テープ読取装置からプログラムをローディングするソフトウェア(MIPL, MTPL)をも

第5表 HITAC-10におけるソフトウェアとメモリ領域割当ての一覧

アドレス(16進)	ソフトウェア
0000-0010	IPL
0011-00B7	OML
00B8-00BF	Constants
00C0-00CF	Communication Region
00D0-00DF	DP 用 Buffer
00E0-00FF	Constants & Working Area
0100-010D	MIPL
010E-013F	MTPL
0140-01FF	基本サブルーチン群
0200-03FF	アプリケーションプログラム
0400-	磁気テープ用 Buffer

開発した。

各ソフトウェアの一覧とメモリ内での領域の割当てを第5表に示す。

(1) 磁気テーププログラムローダ

磁気テープからプログラムをメモリ内にローディングするためのプログラムが MTPL である。また、この MTPL 自身も磁気テープ上に存在し、これをローディングするプログラムが MIPL である。MIPLは、わずか14ステップから成るので、手でデータスイッチ等を操作することによってセットする。この方式は HITAC-10 標準の紙テープからのプログラムローディング(IPL, OML)と類似の手続きであり、IPL(Initial Program Loader)を MIPL(Modified IPL)に、OML(Object Module Loader)を MTPL(Magnetic Tape Program Loader)にそれぞれおきかえたものである。

MIPL は、MTPL をローディングするためのプログラムであり、誤動作等に対するチェック機能ももたないが、MTPL は、その形式に合致していればいかなるプログラムでもいかなるメモリ領域にもローディングが可能であり、さらにワード単位の区切りチェックおよび水平パリティチェックを行い、誤動作等によるミスを防止できる。

(2) 基本サブルーチン群

各端末装置に対する標準的な入出力動作をパッケージ化したサブルーチン群で、そのルーチン名および機能を第6表に示す。これらの中には磁気テープ記録部の動作に関するサブルーチンが含まれないが、磁気テープ記録部を使用する必要があるのは重大なハードエラーの発生した場合であり、その場合には、状況に応じて特殊なプログラミングをすることが必要で、標準的な動作を準備

第6表 HITAC-10 による磁気テープデータ再生処理の基本サブルーチン

入口アドレス (16進)	ルーチン名	機能
0120	CHR*	動作中の MTR から 1 文字読取る. IRG を検出したときはスキップリターンする.
0140	BLK	MTRから 1 ブロックを 0400 番地以降に読込む. 水平パリティチェック結果をレジスタに入れてリターンする.
0150	RD	同上. 但し, 水平パリティエラーのときエラーリカバリを 10 回目まで試みる.
0160	PECT	BLK または RD で読込まれた 1 ブロックの垂直パリティのチェックを行いエラーの計数を行う. そのブロックの字数をレジスタに入れてリターンする.
0170	DLS	DP にページ区切りを出力する.
0180	DEC1	1 データ (2 進数) を 10 進数にして DP に出力する.
0182	DEC2	2 データ (2 進数) を 10 進数にして DP に出力する.
0190	PBI	DP 用 Buffer を初期化する.
01A0	DPO	DP 用 Buffer の内容を DP に出力する.
01B0	PCH	1 文字データのパリティチェックを行う. 偶数パリティのときスキップリターンする.
01C0	BWR	BLK または RD で読込まれた 1 ブロックを文字変換して DP に出力する.
01DA	CONV	1 文字データの文字変換 (DP 出力用) を行う.**
01F0	PF	DP に 1 行分紙送りを行わせる.
01F7	WT	約 23 ミリ秒のタイムディレイを発生する.

* このルーチンは MTPL 内にある.

** DP には 16 種類の文字しか印字できず, 数字以外は 1 対 1 には対応しない.

しておいても利用価値があまりなかったためである.

(3) アプリケーションソフトウェア

現地におけるデータチェック等に際しては, その目的にあったソフトウェアが必要であり, こうしたアプリケーションプログラムは前述の基本サブルーチンを組合せて使用しながら目的に応じて作成されなければならない. しかし, アプリケーションにおいても標準的な処理や比較的単純な動作を行うプログラムを備えておくことと便利である. 例えば, 磁気テープの先頭から 582 番目のブロックのみを DP に出力したい時には, 後述のようなアプリケーションソフトウェアがあれば, プログラム 207 によって 581 個のブロックを読みとばして停止した後, プログラム 200 を実行し, 1 ブロックの DP への出力を終った時点でプログラムを手動で停止してやればよい.

現地でのデータ処理用として備えた標準アプリケーションソフトウェアは, 第 7 表の通りである. ここでプログラム番号は, そのプログラムのスタート番地をも示しており, プログラムの選択は, 本体のデータスイッチによって行える. このうち, 200 から 204 のプログラムはハード的エラー検出のための標準動作, 205 から 207 のプログラムは単純動作を行う. 208 以降のプログラムは, 単一機能の応用プログラムであるが, データ収録機能の拡張・変更等を行ったときには, プログラムの修正を必要とする.

5.3 磁気テープデータ処理の会話形式化

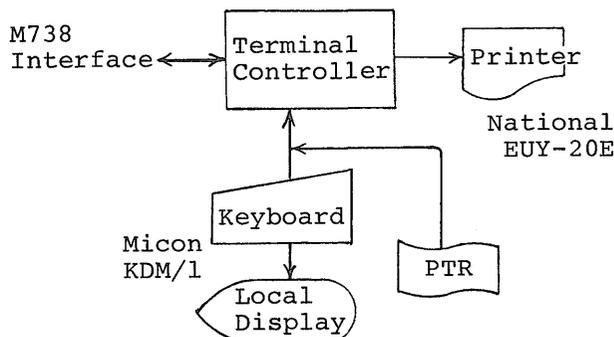
磁気テープデータの現地での再生検査のシステムは, 前述のような初歩的なものから出発し, 陸域探査データのコンピュータ処理化に活用されたが, 電波航法データを含む海域探査データの磁気テープデータ収録とコンピュータ処理化を推進するにあたり, 処理の多様化と印字出力機能の拡充が必要となった.

このため, 昭和 52 年度にハードウェアの拡張すなわちキーボードプリンタの増設を行った. そのハードウェア構成および仕様は第 12 図と第 8 表に示す通りである. このキーボードプリンタの増設により, 英文によるメッセージ出力とキーボードからの応答もしくはコマンド入力が可能となり, データ再生検査の会話処理化が可能となった.

キーボードプリンタを用いたアプリケーションおよびプログラム全般の会話形式化は, 昭和 53 年度にソフトウェア開発を行った. しかし, 次章で述べるように, 昭和 54 年度の CPU の更新 (マイクロプロセッサ化) によって, ソフトウェアも全面的に更新されることとなり, 結果として, 昭和 53 年度に開発されたソフトウェアは, CPU 更新後のソフトウェアへの過渡期的内容をもつものであった. 従って, ここではその内容には立ち入らないこととする.

第7表 HITAC-10 による磁気テープデータ再生処理の標準アプリケーションソフトウェア

プログラム番号	機能												
200 201 202	1ファイル(ファイルマークを検出するまでの)各ブロックについて、ハード的エラーのチェックを行い、結果をDPに出力する。DP出力は、各ブロックごとにHeaderとブロック内容からなり、出力様式は下記の通り。												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Header</th> <th>ブロック内容の出力</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>200</td> <td>……(ブロック番号)……</td> <td>全ブロック</td> </tr> <tr> <td>201</td> <td>……(ブロック内文字数)……(VPE数)</td> <td>ハード的エラーのブロックのみ</td> </tr> <tr> <td>202</td> <td>(LRCEのとき+10000)</td> <td>なし</td> </tr> </tbody> </table>		Header	ブロック内容の出力	200	……(ブロック番号)……	全ブロック	201	……(ブロック内文字数)……(VPE数)	ハード的エラーのブロックのみ	202	(LRCEのとき+10000)	なし
	Header	ブロック内容の出力											
200	……(ブロック番号)……	全ブロック											
201	……(ブロック内文字数)……(VPE数)	ハード的エラーのブロックのみ											
202	(LRCEのとき+10000)	なし											
203	1ファイルについて、ハード的エラーのチェックを行い、全ブロック数、水平パリティエラーのブロック数、垂直パリティエラーのあるブロックの数、垂直パリティエラーがあり水平パリティもエラーのブロックの数をDPに出力する。												
204	201と同様であるが、エラーのないブロックについてはHeaderもなく文字数のみをDPに出力する。												
205	1ブロック Forwardspace する。												
206	1ブロック Backspace する。												
207	データスイッチにセットされた数(BCD)のブロックを Forwardspace する。												
208 20A 20C	標準探査データ磁気テープの1ファイルについて、各ブロックのソフトのエラーを含むエラーのチェックを行う。異常のあるブロックは全ブロック内容をDPに出力し、正常なブロックについては下記のDP出力を行う。												
208	ブロック番号およびブロックの先頭時刻データ。												
20A	10秒ごとの時刻およびその時刻のドップラーデータ。												
20C	2秒ごとの時刻およびその時刻の磁力値データ。												
209	アナログチャンネルデータ付探査データ磁気テープに対して、208と同様の処理を行う。												



第12図 キーボードプリンタの構成
Fig. 12 Configuration of keyboard-printer unit.

6. 収録データ再生検査システム(2)

前章に述べた収録データの再生検査システムの開発を基礎として、昭和52年度以降、地質調査所で行うすべての空中磁気探査のデータ処理のコンピュータ自動処理化

が実現した。

一方、ミニコンピュータ HITAC-10は、昭和54年度に新機種に更新されることとなり、新機種は現地への携行が不可能なものとなった。収録データ再生検査システムのCPUでは、複雑な科学技術計算を要求されず論理的

処理が主体であり、近年とみに発展のめざましいマイクロコンピュータを利用するのが、経費の面でも、現地携行物品の小型軽量化の上でも最適であると考えられた。その結果、収録データ再生検査システムとしては、周辺装置には既存のものを利用しつつ、マイクロプロセッサを CPU に持つ第 2 世代のシステムへと更新されること

第 8 表 キーボードプリンタの仕様

メーカー	日新オートメーション(株)
*キーボード部 Micon KDM/1	
キー数	31 キー
使用コード	ASCII (7 単位)
入力可能コード	97 種
データ転送速度	30 文字/秒 (300 bps)
ディスプレイ機能	32 桁(自動復帰) 9 セグメント LED
*紙テープリーダー部	
使用紙テープ	1 インチ幅, 8 単位
記録様式	JIS 準拠
読取速度	30 文字/秒
読取駆動方式	センシングピン方式, スプロケット・マグネットドライブ
*プリンタ部 National EUY-20E	
記録紙	60 mm 幅ロール式放電記録紙
印字方式	7 × 5 ドットマトリクス(放電式)
印字文字種類	64 種 (ASCII)
印字容量	40 文字/行
印字速度	約 2 行/秒
使用コード	ASCII (7 単位)
*オフライン機能	
紙テープリーダー→プリンタ キーボード→プリンタ(スイッチ切換式)	

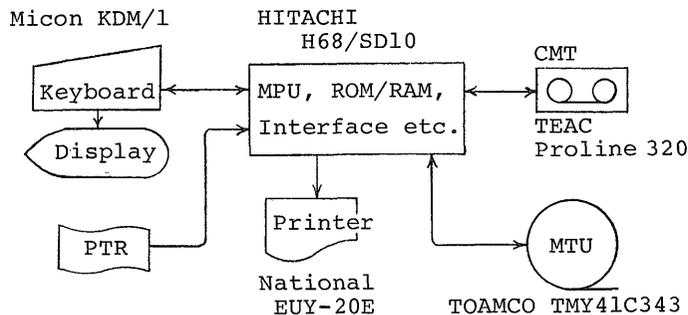
となった。

6.1 磁気テープデータ再生処理装置の構成(2)

第二世代の磁気テープデータ再生処理装置は、日立製作所製のシステム開発装置 H68/SD 10 と呼ばれるマイクロコンピュータを制御装置として、これに各種の周辺装置を接続したもの(第 13, 14 図)となった。周辺装置のうち、紙テープリーダー・キーボードおよびプリンタは前章に述べたキーボードプリンタの各構成部分であり、インターフェース回路の若干の改造を行って接続している。また、7トラック磁気テープ装置は、第一世代のシステムの MTR そのものであり、もともと読出書込両用のものを読出専用に使っていたもので、第二世代への移行に際し、両用に変更した。新システムでは、再生データに不良があり修正後の出力を行う場合には、一旦カセット磁気テープに出力し、後にカセット磁気テープを讀出して 7 トラック磁気テープに出力する方法をとる。

本装置の主記憶としては、読出し書込みとも可能な RAM(Random Access Memory)と読出し専用の ROM(Read Only Memory)とが装備され、それぞれの特質に応じた使い方がなされる。RAM の内容は電源切断によって破壊されるので、RAM 内に格納されるプログラムは、電源投入後にローディングを行う必要がある。本装置ではカセット磁気テープ装置からこれを行う。

本装置の CPU は、MPU(Micro Processing Unit)と呼ばれ、HD46800D なる型番の大規模集積回路(LSI) [米国モトローラ社 MC6800 の日立製セカンドソース] が用いられている。カセット磁気テープ装置(TEAC Proline 320)は、MC6800 系マイクロコンピュータ用のインターフェースを内蔵しているので、極く簡単な結合回路を通して MPU と接続されるが、その他の周辺装置の接続のためには、インターフェースを備える必要がある。本装置では、PIA(Peripheral Interface Adapter), ACIA(Asyn-



第 13 図 現在の磁気テープデータ再生処理装置の構成

Fig. 13 Configuration of reproduced data inspection system at present.



第14図 現在の磁気テープデータ再生処理装置

Fig. 14 Reproduced data inspection system at present (2nd Generation).

chronous Communications Interface Adapter)と呼ばれる LSI により, そのインターフェースを実現している. MPU・PIA・ACIA の詳細の説明は文献にゆずる.

MC6800 系マイクロコンピュータの入出力用周辺装置は, 主記憶装置と同一のアドレス空間に位置づけられ, メモリーマップド I/O 方式と呼ばれる. このため, 本装置では入出力用の特別な機械語命令を持たず, 一般のメモリー操作命令(Load, Store など)を特定のアドレスに対して実行することにより各種の入出力動作が行われる.

アドレス空間は, 16ビットで表現可能な 64K バイトの容量があり, 当初の構成では約 60% を使用していたが, 昭和 57 年度に機能増強のため RAM および PROM (Programable ROM) を増設したので, 使用率約 90% と

なっている. 第 9 表にそのソフトウェア等への割当状況を示す.

6.2 マイクロコンピュータの制御プログラム

本装置の基本部分は, 「システム開発装置」と呼ばれるように, MC6800 系のマイクロコンピュータシステムのハードウェアおよびソフトウェアの開発を容易に行うことを意図して製作されており, また, そのためのソフトウェアとして, EMS と呼ばれるデバッグ用ファームウェア, アセンブラ, テキストエディタが MROM (マスク ROM) の形で備えられている¹⁾. 以下に述べるソフトウェアはすべてこれらを使用して作成されたものであ

¹⁾ この他に 6.1 節では言及しなかったが, PROM ライタのハードウェアとソフトウェアがオプションとして装備されており, ソフトウェアは紙テープの形で供給されたが, 現在は PROM 化して実装してある.

第9表 マイクロコンピュータ H68/SD10 内のアドレス割当て

Address (Hex.)	Device	Software
0000-03FF	RAM 1 KB	(TXED・ASMB・PW 用ワークエリア)
0400-07FF	RAM 1 KB	空 き
0800-0BFF	User I/O 1 KB	
0C00-1FFF	RAM 5 KB	空 き
2000-6FFF	RAM 20 KB	AMDP ほか応用プログラム
7000-7FFF	PROM 4 KB	KCI (Key Command Interpreter)
8000-9FFF	RAM 8 KB	(KCI 用バッファおよびワークエリア)
A000-B7FF	PROM 6 KB	KCI 拡張部
B800-BFFF	PROM 2 KB	PROM ライタ (PW)
C000-DFFF	MROM 8 KB	テキストエディタ (TXED), アセンブラ (ASMB)
E000-E3FF	System I/O 1 KB	
E400-E7FF	RAM 1 KB	空 き
E800-EBFF	RAM 1 KB	(EMS 用ワークエリア)
EC00-EFFF	RAM 1 KB	空 き
F000-FFFF	MROM 4 KB	EMS (Executive Monitor System)

第10表 KCI コマンドとその機能

コマンド名	機 能
INIT	CMT の書込みのための初期化を行う。
FSFT	CMT を 1 ファイル分 Forwardspace する。
RWDT	CMT を巻戻し先頭に位置づける。
EJCT	CMT をクリヤリダまで巻戻す。
SAVE	RAM 内容を CMT に保存する。
LOAD	CMT から RAM 内容を回復する。
TXED	テキストエディタを実行する。*
ASMB	アセンブラを実行しオブジェクトファイルを作る。*
ASML	アセンブラを実行しリスティングファイルを作る。*
LINK	オブジェクトファイルをメモリにロードする。
PRNT	指定された範囲のメモリ内容を印字出力する。
RDSP	レジスタ内容の表示更新を行う。
MCHG	指定されたアドレスのメモリ内容の表示更新を行う。
ASTP	ストップアドレスを指定する。
STEP	指定されたアドレスから命令の 1 ステップ動作を開始する。
GO	指定されたアドレスからの命令の実行を開始する。
SLOG	ロギング(キーボード表示部への出力をプリンタへも出力すること)を開始する。
NLOG	ロギングを終了する。
X	拡張コマンド(詳細は省略)

* H68/SD10標準装備のテキストエディタ・アセンブラを使用するが、入出力部分の一部改造により CMT からのファイル入出力を行う。

る。なお、本システムではアセンブリ言語(もしくは機械語)以外のプログラム言語はサポートされていない。

すべての目的実行プログラム(アセンブルされたもの)は、EMS の下で実行可能であるが、EMS の支配下で実行するための操作はやや複雑で実用的でない。ハードウェアの開発と関連するソフトウェアの開発にあたっては、EMS の利用が威力を発揮するが、ハードウェアが固定した段階での各種アプリケーションプログラムの作成実行時には、EMS とは別の制御プログラムがあった方がよい。

そこで、本装置のハードウェア構成を基本にし、ソフトウェア開発に便利な制御プログラムを開発した。この制御プログラムは、一種のコマンドインタープリタで、KCI(Key Command Interpreter)と名づけてある。

KCI のコマンドは、カセット磁気テープ操作コマンド・プログラム開発用コマンド・プログラムデバッグ援助コマンド・プログラム実行コマンド他に大別される。その概略の機能一覧を第10表に示す。TXED・ASMB・ASML の各コマンドは標準装備のテキストエディタ・アセンブラを使用するが、入出力部分を一部改造してある。テキストエディタ・アセンブラでの入出力は、本来紙テープに対して行われるようになっていたが、この改造によりカセット磁気テープに入出力され、紙テープの節約と処理の迅速化が実現した。

通常のソフトウェア開発は、

① カセット磁気テープ操作コマンドを併用しつつ TXED・ASMB コマンドによってプログラム作成を行う。

第11表 AMDP コマンドとその機能

項番	コマンド名	別名, 略称	機 能
1	RWND	RWD, RW	TMY を巻戻しブロック番号を0にする。
2	FSR	F	TMY を1ブロック前進させ、ブロック番号を1増やす。
3	FSF	FF	ファイルマークを検出するまで FSR を繰返す。
4	BSR	B	TMY を1ブロック後退させ、ブロック番号を1減らす。
5	BSF	BF	ファイルマークを検出するまで BSR を繰返す。
6	LOC	L	ブロック番号が指定した値になるまで FSR または BSR を行う。
7	INIT	I	ブロック番号を強制的に0にする。
8	NUMB	NC, N	ブロック番号を強制的に指定した値にする。
9	HALT	H, END, E	AMDP の処理を終了する。
10	STD	S	標準探査データ磁気テープの再生検査を行い、異常のある場合のメッセージ出力と指定されたモニタ印字出力を行う。その範囲は10・11ではダブルファイルマークが検出されるまで、12-15では指定された数のファイルマークが検出されるまで、16-19では指定された数のブロックである。また、モニタ印字出力としては、10・12・16では10秒ごとのデータ、13・17では5秒ごとのデータ、14・18では2秒ごとのデータ、15・19では全データが見やすく編集されて印字される。11ではモニタ印字出力はない。
11	SN		
12	CF10	CF	
13	CF5		
14	CF2		
15	CF1		
16	CR10	C	
17	CR5	C5	
18	CR2	C2	
19	CR1	C1	
20	ICMT		CMT を書込用に初期化する。
21	CCMT		TMY から CMT へのデータコピーを行う。
22	ECMT		CMT への出力を終了化する(テープマーク生成)。
23	ITMY		TMY を書込用に初期化する。
24	CTMY		CMT から TMY へのデータコピーを行う。
25	ETMY		TMY への出力を終了化する(ファイルマーク生成)。
26	GETA		ロランC円航法データの補正量を入力させる。
27	DUMP	D, DISP	指定された数のブロックを無編集印字出力する。

② LINK コマンドを用いてプログラムをメモリ上にロードする。

③ デバッグ援助コマンドを用いてデバッグを行う。という形で進められる。ここで必要があれば①-③のステップが繰返されるが、プログラムが完成すれば、

④ SAVE コマンドによってメモリ上のプログラムをカセット磁気テープにコピーして保存する。

保存されたプログラムは、任意の時点で、LOAD コマンドによってメモリ上に逆コピーした後、GO コマンドによって実行できる。

6.3 磁気テープデータ処理のソフトウェア(2)

空中磁気探査データの再生検査システムのソフトウェアは、5.3節で述べたように会話処理化が昭和53年度に完成しており、CPU 更新後のソフトウェアの移行は、前節に述べた KCI の使用により、比較的容易に行われた。新システムへの移行直後の昭和55年度のソフトウェアの

機能は移行前と全く同じのものであったが、その後、機能増強および改造が数次にわたって加えられている。ここでは現在のソフトウェアの内容について概説する。

(1) AMDP コマンドインタープリタ

AMDP と名づけた本ソフトウェアは、通常カセット磁気テープ上に保存されており、前節に述べたように KCI の下で、LOAD コマンドでメモリ上にロードされ GO コマンドで実行が開始される。AMDP 自体もコマンドインタープリタの形式になっており、AMDP に対する単一もしくは複数のコマンドから成るコマンド行を入力することにより、AMDP はこれを解釈して順次コマンドに従った処理を行う。AMDP は各コマンドの実行結果についてのメッセージを出力しつつ処理を進め、コマンド行の最後の処理を終えたと次のコマンド行の入力を催促するメッセージを出力する。

(2) AMDP コマンド

AMDP コマンドは、現在 27 種類あり、その機能概略を第11表に示す。各コマンドは、一般にコマンド名と1個の引数 n (符号なし 10 進数) の対によって表現されるが、引数 n は省略可能で、省略時は n=1 とみなされる。項番 1-6 では 7 トラック磁気テープ(以下 TMY と略す)の位置づけ操作を行う。AMDP 内部では、TMY のデータを先頭からのブロック番号で管理しており、項番 6 はこのブロック番号による位置づけを要求する。また、項番 7-8 は、TMY の動作なしにブロック番号を強制的に変更するものである。項番 10-19 は TMY データの再生検査とモニタ印字出力を行い、項番 20-25 は TMY から CMT(カセット磁気テープ)または CMT から TMY へのデータのコピー時に使用される。項番 20-25 はそのまま使用されることは少なく、データ不良の回復処理の場合には、状況に応じた特殊なデータ回復プログラムを作成し、これを CCMT(又は CTMY)の処理の一部に組み込んだ形に変更して使用される。なお項番 26 は、ロラン C 円航法の導入によって追加したコマンドで、ここでは詳述しない。項番 10-19 における TMY 再生データの検査内容については後述する。

(3) 処理の中断

TMY の動作を伴う AMDP コマンドはコマンドを実行開始したのちに、その実行を中断できる機能を持っている。この中断は、キーボードから特殊なコード(SOH)を入力することによって行う。コマンド実行プログラムでは、TMY に対する 1 ブロックの動作ごとに、キーボードからの SOH コード入力の有無を確認し、入力があった場合に中断処理を行う。中断処理の中では、新たなコマンド行を入力すると中断前の処理は忘れ去られるが、新たなコマンド行として空行を入力すると中断前の処理が続行できる。

この中断処理は、処理中に出されるメッセージに対する判断から、処理内容を変更する場合や、処理中にプリンタ用紙を交換する場合に使用される。なお、この中断処理によらずハードウェアによって実行を停止させると、処理の続行が不可能になる場合が多い。

(4) サブルーチンパッケージ

AMDP コマンドの多くは TMY の動作を伴う。この動作は共通する部分が多く、基本動作がサブルーチンの形でパッケージ化されている。その一覧を第 12 表に示す。この基本動作パッケージは、状況により現地で特殊な応用プログラムを作成する際にも有用である。

(5) データ再生検査

AMDP コマンドによる TMY データの再生検査(第 11 表の項番 10-19)においては、データブロックのハード

第12表 AMDP における基本動作サブルーチン

ルーチン名	機 能
RDBLK	TMY から 1 ブロックをバッファ領域に読込む。
BSBLK	TMY を 1 ブロック後退させる(入力用)。
FSBLK	TMY を 1 ブロック前進させる。
RWTMY	TMY を巻戻す。
WRBLK	バッファ領域の 1 ブロックデータを TMY に出力する。
FFTMY	TMY をファイルマークを検出するまで前進させる。
BSBLKW	TMY を 1 ブロック後退させる(出力用)。
PRBLK	バッファ領域の 1 ブロックデータを無編集印字出力する。
CONV	バッファ領域の 1 ブロックデータの BCD→ASCII のコード変換を行う。
DCONV	バッファ領域の 1 ブロックデータの ASCII→BCD のコード変換を行う。

的なエラーチェックの他に、記録されたデータの内容が妥当なものであるか否かの検査も行っている。現在、収録データは、1 秒ごとに日付・時刻・ロラン C 受信データ・磁力値・ドップラー相対位置標定データ・アナログ入力データおよび特殊文字列の合計 48 桁で構成され、最大 10 秒間のデータが 1 ブロックを形成する形となっている。従ってデータ内容の検査項目としては、

- ① ハード的なエラーがないこと
- ② ブロック長が 480 であること、480 でないとき 48 の倍数であること
- ③ 日付データに変更がないこと
- ④ 時刻データが 1 秒ずつ進んでいること
- ⑤ ロラン C 受信データ・磁力値データおよびアナログ入力データがすべて数字であること
- ⑥ ドップラー相対位置標定データ(XおよびY)の先頭桁が符号であり、下位桁が数字であること
- ⑦ 特殊文字列が正しいこと

に加えて、各 1 秒分のデータにおいて、

- ③ 日付データに変更がないこと
 - ④ 時刻データが 1 秒ずつ進んでいること
 - ⑤ ロラン C 受信データ・磁力値データおよびアナログ入力データがすべて数字であること
 - ⑥ ドップラー相対位置標定データ(XおよびY)の先頭桁が符号であり、下位桁が数字であること
 - ⑦ 特殊文字列が正しいこと
- の確認を行い、これらに違反するデータが発見されると警告メッセージを発生する。

これ以外に、データの値そのものの妥当性やデータ値の変化率をも検査の対象とすることも比較的容易である。しかし、値自体の妥当性はモニタ印字出力によって即座に確認でき、データ値の変化率の検査では、どの程度の変化までを妥当と判断するかの設定が難しいため、現状では上記の検査項目にとどめている。

(6) 実行例

最後に AMDP によるコマンドの実行例を第 15 図に示

```

# -----(READY)-----
---COMMAND---          SN RW <CR>
                        (Command Input)
[SN RW]
***** 0001 DATE 810802 - 000000 01
***** 0001 TIME 090447 - 000001 01
***** 0920 LRCC ERROR *****
810802113738350031610387450201+?2932-001
580000TT
***** 0920 DATE 010802 - 810802 03
***** 0920 DATE 810802 - 010802 04
# -----(BREAK)-----0924          <SOH>
                        (Intermission
                        Request)
---COMMAND---          BSR 5 D 2 SN <CR>
                        (Command Input)
[BSR 5 D 2 SN]
BACKSPACE END 0919
LRCC ERROR BLOCK 0920
810802113737350031610386450204+12925-001
420000TT810802113738350031610387450201+?
2932-001420000TT010802113739350031610388
450198+12940-001420000TT8108021137403500
30610390450198+12948-001420000TT81080211
3741350030610393450195+12956-001420000TT
810802113742350029610396450191+12964-001
420000TT810802113743350028610398450190+1
2971-001420000TT810802113744350028610400
450187+12979-001430000TT8108021137453500
27610401450186+12987-001420000TT81080211
3746350027610402450183+12995-001420000TT
BLOCK 0921
810802113747350027610403450180+13002-001
420000TT810802113748350026610405450178+1
3010-001430000TT810802113749350025610405
450177+13018-001430000TT8108021137503500
25610406450175+13026-001420000TT81080211
3751350025610407450173+13033-001430000TT
810802113752350024610408450174+13041-001
430000TT810802113753350024610408450173+1
3049-001430000TT810802113754350023610410
450173+13056-001430000TT8108021137553500
23610411450174+13064-001430000TT81080211
3756350022610412450175+13072-001430000TT
***** 0922 DATE 810802 - 000000 01
***** 0922 TIME 113757 - 000001 01
# -----(BREAK)-----1356          <SOH>
                        (Intermission
                        Request)
# -----(CONTINUE)-----          <CR>
***** 1567 NSCN = 07 *****
***** 1568 TAPE MARK *****
***** 1569 TAPE MARK *****
END 1569
# -----(READY)-----          B 5 CF5 RW <CR>
---COMMAND---          (Command Input)
[B 5 CF5 RW]
BACKSPACE END 1564
***** 1565 DATE 810802 - 000000 01
***** 1565 TIME 132527 - 000001 01
02132530 357437 605830 454246 00000+000
02132535 357411 605819 454275 00000+000
02132540 357386 605809 454300 00000+000
02132545 357360 605798 454322 00000+000
***** 1567 NSCN = 07 *****
02132550 357336 605787 454342 00000+000
***** 1568 TAPE MARK *****
END 1568
REWIND END 0000
# -----(READY)-----

```

第15図 磁気テープデータ再生検査の実行例
 Fig. 15 Example of reproduced data inspecting.

空中磁気探査のシステム化について(Ⅰ)—ハードウェアシステム— (中塚 正)

第13表 地質調査所における空中磁気探査の探査区域と使用された装置等の一覧

実施年度 (昭和)	区域名略称	航空機種種	空中磁 力計	スティン ガー使用	収録・ 処理*	定点磁力計	位置標定 方法	出版空中磁気図番号(発行年) および区域名
39~41	新潟平野	S55/PC-6	V4914	×	×	V4938	対地写真	(I-2の一部)
41	八郎潟	PC-6	"	×	×	"	"	(地調報告 No. 247, 1973)
42~43	佐渡(北)	DC-3	"	×	×	"	ドップラー	I-2(1972) 村上一弥彦海域
43	能代	"	"	×	×	"	"	(XXII の一部)
44	石狩	"	"	×	×	"	デッカ	II-4 (1972)留萌—札幌海域
"	佐渡(南)	"	"	×	×	"	ドップラー	I-3 (1972)弥彦—糸魚川海域
"	酒田	"	"	×	×	"	"	I-1 (1972)酒田—村上海域
45	利尻	YS-11	"	×	×	"	デッカ	II-1, 2, 3(1972)稚内—留萌海域
"	阿武隈	"	"	×	×	"	ロランC	VI(1974)気仙沼—日立海域
46	宗谷	"	"	×	×	"	デッカ	III(1973)宗谷—網走海域
"	天草	"	"	×	×	"	"	V(1973)長崎—川内海域
"	日立	"	"	×	×	"	ロランC	VII(1974)日立—鴨川海域
"	東海	"	"	×	×	MDA7101	"	IV(1973)御前崎—豊橋海域
47	道東	"	G804	×	×	"	デッカ	VIII(1974)厚岸—襟裳海域
"	道南	"	"	○	×	"	"	IX(1974)函館—襟裳海域
"	宮崎	"	"	○	×	"	"	XVI(1977)延岡—佐多岬海域
48	奥尻	"	"	○	×	"	"	X(1974)積丹—奥尻海域
"	北陸	"	"	○	×	"	ロランC	XI(1975)輪島—福井海域
"	下北	"	"	○	×	"	"	XII(1975)尻屋崎—気仙沼海域
49	鳥取	"	"	○	×	"	"	XIII(1977)福井—隠岐海域
"	熊野	"	"	○	×	"	"	XIV(1977)豊橋—串本海域
"	天北	"	"	○	○	"	対地写真	XVII(1977)天北地域
50	室戸	"	"	○	×	"	ロランC	XV-1, 2, 3(1977)串本—土佐海域
"	十勝	"	"	○	○	"	対地写真	XVIII(1977)十勝地域
"	足摺	"	"	○	×	"	ロランC	XV-3, 4(1977)土佐—延岡海域
51	日高	"	"	○	○	"	ドップラー	XIX(1979)日高地域
"	津軽	"	"	○	×	"	デッカ	X XI(1978)奥尻—津軽海域
"	五島	"	"	○	×	"	"	XXIII(1978)五島—甌島海域
52	大雪	"	"	○	○	"	ドップラー	XX(1978)大雪地域
"	秋田	"	"	○	○	"	デッカ	XII(1978)西津軽—酒田海域
"	種子島	"	"	○	○	"	ロランC	XXV(1980)大隅—種子島海域
53	北見	"	"	○	○	"	ドップラー	XXIV(1979)北見地域
"	富山	"	"	○	○	"	ロランC	XXVI(1980)佐渡—能登海域
"	房総	"	"	○	○	"	"	XXVII(1980)房総—伊豆海域
54	常盤沖	C404	"	○	○	"	"	XXVIII(1981)常盤沖東方海域
55	三陸沖	"	"	○	○	"	"	XXX(1982)三陸沖東方海域
56	関東沖	"	"	○	○	M8002	"	XX XI(1982)関東沖東方海域
57	沖縄北西	"	"	○	○	"	円航法	(未刊行)
58	沖縄西北西	"	G813	○	○	"	"	(未刊行)

* 磁気テープへのデータ収録およびコンピュータによる一貫データ処理

す。この図は、キーボードのディスプレイ部への出力とプリンタ印字出力を出力順に清書し直したものであり、先頭の#印がディスプレイ部への出力を示す。また、右側はキーボードの操作を示す。この例でも示されたように、オペレータのコマンド入力および中断要求とコマンド実行結果メッセージとの会話により、磁気テープデータの再生検査が行われる。

7. おわりに

空中磁気探査のデータ取得から磁気テープデータの再生検査に至る各種のハードウェアとそれに付随するソフトウェアについて、今日までの開発実施の状況について述べてきた。こうした技術開発により、空中磁気探査の作業能率と経済性の面では大きな進歩があった。同時に、探査精度についても着実に向上したものと確信する。

データ収録システムの開発によって探査精度がどれだけ向上したかについては、すでに探査済の区域を新システムによって再度探査実施するといった形で比較することは諸般の事情から不可能であり、厳密な比較は難しい。しかし、位置標定データの多重化により信頼性が増したことに加えて、電波航法データに関しては、誤差を生じやすい人手による位置標定の作業がなくなり、1秒ごとのデータ収録により統計的処理が可能になるなどの精度向上につながる成果を得ている。

一方、収録データ再生検査システムの開発は、諸外国に先駆けるものであったし、現実の探査においては、このシステムにより、

- ① 1測定飛行につき平均1-2回発生した磁気テープ記録エラーを復元した。
- ② ときおり発生したデータ収録装置の断線事故・誤接続や回路不良を発見した。
- ③ 近年では、人手による復元が不可能に近いデータ収録不良(収録装置の部分的故障が原因)のデータを特殊プログラミングにより復元した。

などの成果をあげている。

機上のデータ収録装置は、永年の使用により老朽化しており、昭和58年度中には更新される。これに伴い、収録データ再生検査システムも一部手直しが加えられる予定であるが、基本的には今後も検査データの品質管理の意味で重要な役割を担うものと思われる。

なお、昭和57年度より新たな航法位置標定装置として、ロランC電波を利用した円航法(ρ - ρ 航法)のシステムが空中磁気探査に用いられるようになってきているが、これについては別の機会に述べることにする。

最後に、昭和39年以来、地質調査所で実施されてきた

空中磁気探査の各探査区域ごとに、その時使用された装置の一覧(第13表)を参考までに末尾に掲げて本編の終りとする。

文 献

- GEOMETRICS (1971) *Guide to Passive Magnetic Compensation of Aircraft*. 7p.
- 濱野恒雄(1971) ミニコン・インターフェイスの徹底的解説 HITAC-10. 電子科学, vol. 21, no. 3, p. 13-28.
- 日立製作所(1970, 1971) HITAC-10マニュアル. H-1610 形処理装置および各種付加機構(10-2-001-20), 79p., ローダ(10-3-007-20), 6p., 入出力インターフェイス(10-1-003-20), 53p.
- (1978) 日立マイクロコンピュータHMCS 6800 ユーザーズマニュアル. システム開発装置H68/SD10(H68SD10-M), 48p., シングルボードコンピュータ(H68SB01-M), 80p., システムデバッグボード(H68DB03-M), 52p., EPROM ライタボード(H68PW02-M), 75p., EMS(68-2-06), 85p., テキストエディタ・アセンブラ(68-2-07), 63p.
- モトローラ・セミコンダクターズ・ジャパン(株)マーケティング部(1976) M6800マイクロコンピュータマニュアル. エレクトロニクスダイジェスト社, 285p.
- 中塚 正・田村芳雄・陶山淳治(1976) 空中磁気探査における機体磁気補償. 地調月報, vol. 27, p. 773-781.
- 小川克郎(1970) 空中磁気探査の装置. 物理探鉱, vol. 23, p. 291-300.
- 岡田 実(1972) 航空電子装置. 日刊工業新聞社, 394p.
- 陶山淳治(1966) 堆積盆地に対する空中磁気探査について. 物理探鉱, vol. 19, p. 206-216.
- (1968) 空中磁気探査. 最近における物理探鉱の進歩, 物理探鉱技術協会, p. 127-140.
- ・小川克郎(1970) 空中磁気探査におけるデータ処理と電子計算機の役割. 石油技術協会誌, vol. 35, p. 323-333.

(受付: 1984年3月16日; 受理: 1984年6月11日)