

核 磁 力 計 の 試 作 研 究

—特に連続記録装置について—

駒 井 二 郎*

On the Continuous Recording System of Nuclear
Magnetometerby
Jirō Komai

Abstract

The nuclear magnetometer and its recording system has been constructed for geophysical prospecting, especially for marine survey. In consideration of serving for various ways, we obtained the accuracy of ± 10 gammas and maneuverability on land operation which consists with indispensable function (auto programmer, self recording etc.) in marine or aerial measurements.

Although this system is a development of "free precession" conventionally, the most remarkable feature of this apparatus is the application of saturable core type frequency to D. C. current converter (magnetometer) in order to get the analog recording.

It makes possible the continuous profiling of absolute values apparently by driving the self balancing recorder having high response speed.

Since 1957, successfully we have carried out many projects in this Survey.

要 旨

1954年、Packard-Varian によつて“核誘導磁力計”が発表されて以来、内外各機関によつて各種核磁力計の試作、研究が活発に行なわれてきたが、一般にどちらかといえば相当の高精度を要求する測地学的な目的をもつたものが多いようである。しかし、陸上の探鉱用としては、特に顕著な磁気異常を示す磁性鉱床調査の場合にはそれほどの高い精度は必要とされず、むしろ、ほかの性能を多少、犠牲にしても測定作業の機動性に重点がおかれなければならない。一方、主として低品位鉄鉱を対象とした海上磁気探査、あるいは基盤構造の解析を目的とする空中磁気探査のような場合には数ガンマ程度のかなり微弱な変動をも考慮に入れることが必要であり、かつ、自動記録も不可欠の条件となる。ここに地質調査所では昭和32年以来、測定装置の試作、改良に努力してきたが、昭和37年度末、“自記記録装置”の完成をもつてほぼ一連の計画を終了した。これらは“free precession”の平凡な応用であり、核磁力計としては古典的な範ちゆうに属するが、上記の諸点を考慮しつつ、陸上移動調査に便なるよう機器の小型軽量化をはかるとともに、ペンレコードによる精度 ± 10 ガンマのアナログ記録がえられた。

昭和32年度以降、本装置は地質調査所の諸事業計画に基づき調査に使用され、多くの有益な資料が提供されつ

つある。

1. 緒 言

昭和33年度より低品位鉄鉱調査の一環として海上磁気探査が実施されてきたが、調査の実施にあたりそれまで一般に使用されていた各種磁力計をそのまま船上に搭載するにはいくつかの難点があつた。

そのころ“核磁気共鳴吸収”の一つの応用として核磁気モーメントの自由才差運動を利用した“核誘導磁力計”がアメリカの Packard Varian¹⁾によつて発表され、画期的な利点によつて急速に応用分野をひろげ、各国でも相次いで実験、研究が行なわれた。特にレベリングを必要としないことは動揺のはげしい船上、機上での測定を容易に可能ならしめ、さらに鈍感な方向性は従来、この種の用途を独占していた flux-gate type にも優越するものであつた。

地質調査所においてもこれらの点に注目し、昭和32年、各種機関と協力して「プロトン磁力計試作研究グループ」に参加、以後、測定器の試作とともに核磁力計は海上磁気探査において大きな役割を果たしてきた。すなわち核磁力計による海上調査は昭和33年度以降、銚子、外川海域をはじめとして北海道内浦湾・指宿周辺・東京湾南部・淋代沖など10カ所近くに及んでおり、昭和36、37年度は関東平野中部の基盤構造を対象とした空中探査にも試

* 物理探査部

験的に使用されている。すでに核磁力計に関する報告は数多く^{21)~23)}「地質ニュース」²⁴⁾にも簡単ながら数回にわたってその紹介が散見されるので、いま、ここにあらためて詳述するまでもないと思われるが、特に強調されるべき点はそれが計測技術として現在、もつとも高い精度の期待できる“時間(周波数)測定”に帰しうることである。これが雑音対策、ドリフト補償などの繁を免れ、装置が比較的簡単な割に、高精度のえられる理由でもあるが、その反面、最終表示としての読取、記録方式には実に多くの種類が考案される因をなしている。地質調査所が日本電子光学K. K.の協力をえて最初に試作したものはペン書きオシログラフによるビート波形の直接記録であり、別の一成分に同時記録される刻時信号によりその周波数を読取る方式であつたが、この方式は調査測点数の増加とともにデータの処理にぼう大な作業量を必要とし、この点に関してなんらかの解決が必要であつた。

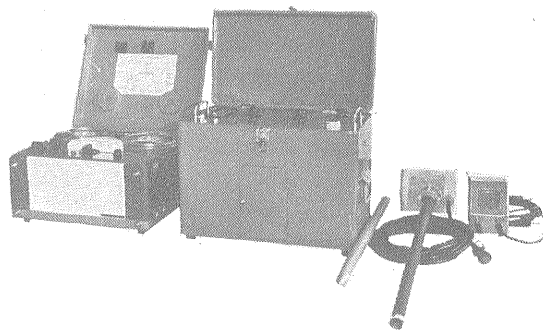
このころ、トランジスタの電子機器への進出がようやく活発となり、1957年、アメリカの Varian-Associates より全トランジスタ化された可搬式の M-49 型核磁力計が発売された。この型の出現によつて核磁力計による山地などでの能率的な移動測定が可能となり、従来の field-balance 型の磁力計の使用分野にも核磁力計がひろく用いられるようになった。現在でもこの型式の核磁力計はこのような用途に対してはほとんど完成に近いものと思われる。ややおくれて地質調査所でもほぼ同型式の PM-10 (NEC)注が開発され、調査能率の向上には寄与するところはなほ大であつた。しかし、空中磁気探査に対してこの型の核磁力計を適用するためにはより高度の性能が要求され、そのためにはなおいくつかの技術的問題を解決する必要がある。今後はこのような観点から核磁力計の機構、その他について検討を進めてゆくことになるので、この際、一応、これまでの経過をとりまとめて簡単に報告する次第である。

本装置の試作にあつて日本電気K. K.有線研究室宮坂宗次主任らの協力に負うところが大きく、ここに謝意を表する。

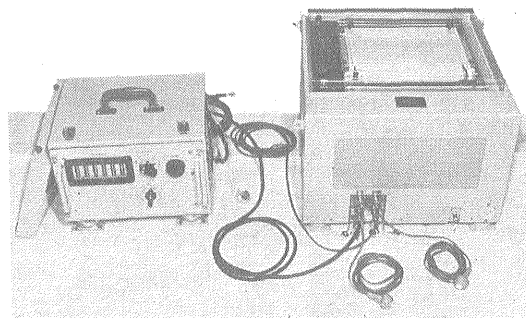
2. PM-10

周知のように核磁力計は検出コイル内の核集団のもつ巨視的磁気モーメントが、地球磁場の方向を軸として行なう才差運動による誘導電圧の周波数を測定し、簡単な関係から全磁力の絶対値を求めるものである。この才差周波数は日本では大体、1,980~(40,500 γ)~2,140~(50,000 γ)の付近にあるのでこれに局地異常分として±5,000 γ を考え、PM-10の測定範囲は35,000~55,000 γ

注) PM-10はその後、NST-129, 187型として商品化された。



図版 1 PM-10



図版 2 核磁力計連続記録装置

とした。なお精度は±10 γ を目標とし、構成は要求される精度によつて当然、異なるが、特殊な用途をのぞけば一般に才差周波数を測定器に内蔵する標準周波数と混合しててい降し、周波数測定を容易ならしめているものが多い。第1図はPM-10のブロック図であるが、ほかの型式の核磁力計もその構成は大同小異である。以下、各部の動作の概要とその問題点を説明する。

2.1 検出部

検出素子として300ccの蒸留水をアクリル樹脂ケース内部に充てんし、1.2m/m ϕ ホルメツト銅線を800回巻いてそのインダクタンス27.6mHをえている。地上観測の場合は地表面による不均一磁場の影響をさけるため、一般に地表面よりやや離して測定する必要がある。海上または空中調査では同じく船体(機体)磁気の影響を避けるため、検出コイルを収納したボン(bird, fish)を船(機)尾より一般に相当距離を離して曳航しなければならない。もちろん、検出器およびボンには磁性の釘または鉄などを使うことはできない。

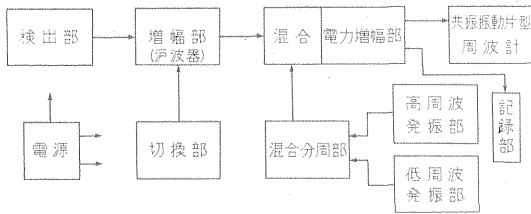
いま、直流約2.7Aを通じてコイル内部に約100ガウスの磁場 H_0 を生じれば、試料は

$$M_0 = \chi \cdot H_0 \dots\dots(1)$$

なる分極磁気モーメントをもつて平衡に達する。ここに帯磁率 χ は

$$\chi = \frac{I+1}{3I} \cdot \frac{N\mu^2}{kT} \dots\dots(2)$$

である。 I は試料のスピ量子数(水の場合 $1/2$)、 N は試



第 1 図

料単位体積中の核の数, μ は核磁気モーメント, k, T はそれぞれボルツマン定数および絶対温度をあらわす。

平衡に達する過程は縦(スピン-格子)緩和時間 T_1 に支配されて, 次のように表わせる。

$$M = M_0 [1 - \exp(-t/T_1)] \dots \dots (3)$$

T_1 は水の場合, 周知のように約 2.7 秒である。磁化 M が分極磁場 H_0 に対して飽和したのち, H_0 をきわめて短時間内に消滅させれば, M はその変化に追従できず, 地球磁場 F のまわりに同一位相でいわゆるラーモア才差運動を行なう。その周波数 f は磁気回転係数を γ とすれば

$$\omega = 2\pi f = \gamma \cdot F \dots \dots (4)$$

となる。この f が F の大きさのみに比例してほかの要因, たとえばコイルの orientation などに全く影響されないことが核磁力計の動作原理であり, またその特色をなすものである。しかし, 誘起電圧の振幅 E_0 は次式であらわされるように種々の条件によつて決定される。

$$E_0 = 4\pi \left((a+b)^2 + l^2 \right)^{-1/2} N \cdot V \cdot M_0 \cdot \gamma \cdot F \cdot \sin^2 \theta \times 10^{-8} \text{ボルト} \dots \dots (5)$$

ここに a, b および l はそれぞれ検出コイルの内径, 外径および長さ, N はコイル巻数, V は試料の容積, および θ は全磁場 F と分極磁場 H_0 とのなす角である。この E_0 は試料の磁気能率 M が格子系とエネルギー交換して熱平衡にもどることにより

$$E = E_0 \cdot \exp(-t/T_2') \dots \dots (6)$$

となる。 T_2' は有効横緩和時間で内外の変動する不均一磁場の影響による位相の分散や, 検出回路によるエネルギーの吸収 (radiation damping) などがあるため, 試料自身のスピン-スピン (横) 緩和時間 T_2 よりも短い場合が多い。粘性の少ない液体試料 (たとえば水) の場合は分子の熱運動が相当はげしいので, いわゆる motional narrowing が起こり, T_2 は T_1 にほとんど等しい。試料の攪拌などの手段によつてさらに擾乱を活発にすれば T_2' もある程度の延長が期待できるが, コイルの機構上, 実用はむずかしく, 究極において T_2' は T_1 に一致するものである。また(5)式において N, V, M_0 などが大なるほどえられる信号電圧は大きいけれども, 連続移動測

定を目的として実用上, これらの値にいずれも制限があることはいうまでもない。要するに検出コイルに誘起した後, かりに印加される才差信号電圧 E は他の設計諸元がきまれば時間波形として

$$E(t) = K \cdot \exp(-t/T_2') \cdot \sin^2 \theta \cdot \cos(\gamma F) t \dots \dots (7)$$

の形に要約されるもので, 測定にあたり, 常に具体的な影響を与えるものは T_2' と θ である。

2.2 増幅部

(7)の信号電圧 E を増幅する部分で 4 段の CR 結合により約 120db を得ている。回路の間には LC 帯域フィルタを挿入し, 被測定磁場すなわち入力周波数の変化に応じて適宜, その帯域を選択, 切換える。これは当然, レンジ切換と連動するものであり, 前述の測定範囲に対して 20 段階に分割している。帯域幅は各段 100~ ($\sqrt{3}$ db 低下) で隣接レンジとは若干, 重畳させ, 測定の便を図る。

2.3 切換部

測定の一サイクルは“励磁”と“観測”の二段階を必要とするが, 海上 (空中) 調査のような連続移動測定ではこの過程の自動化が望ましい。タイマーの時間誤差はカム機構の方が少ないが, 測点位置マークとの同期さえ確保できれば必ずしも高い精度を必要としないので, 簡単な自走マルチトリレー回路により構成される。かつ, 種々の場合に便なるよう, 時間間隔は自動 (5, 15, 30 秒) および手動の 4 段階に切換えるようにしたが, 時間誤差はたとえば電源電圧 12V, 5 秒自動の連続 30 分動作において約 20 秒のズレを認めたとにすぎない。

2.4 発振部

増幅部の出力信号を周波数変換, beat down するための標準キャリアを発生する部分で, 発振周波数が 97.368 KC を中心としてその前後 4 段の高周波発振部と 27.875 KC を中心としてその前後 5 段の低周波発振部から構成される。この標準周波数の精度は核磁力計の精度をきめるもつとも基本的な要素で, 発振周波数には高度の安定性が要求されるが, 現在の水晶発振子の安定度からみて必要とする 2 KC 前後を直接, 発振するよりも, このように高周波からてい降していつた方が有利である。またいかなる記録方式をとるにせよ, 自動測定レンジ切換機構によらないかぎり, 現在の段階では 1 レンジのカバーする範囲はせいぜい 1,000 γ 程度を相当とするので, 前記の 20 段階切換を実現するためにはこのような“組合せ方式”の方が発振子の総数が少なくすむ。さらに機器の小型化という見地からも, 発振子自体の形状の大きい低周波用を使用するよりはこの方式は次の混合分周部を含めてもおすすぐれているといえよう。

2.5 混合分周部

発振部の高周波発振回路の出力信号と低周波発振回路の出力信号とをそれぞれリング変調回路に入れ、両信号の和の周波数のみを取り出して6段縦続の双安定マルチにより1/64に分周する。これが標準周波数で、42.8 γ (1,000 γ) 間隔の配列となる。

2.6 混合、電力増幅部

混合分周部と増幅部の出力信号を周波数変換し、電力増幅して最終段の磁界指示部へ供給する。

2.7 磁界指示部

電力増幅部からの出力信号周波数を測定する共振振動片型周波数計 (vibrating reedmeter) で、直接、 γ で目盛り、測定器前面パネルに埋込んだ20 γ 間隔のモニター用と、外部に接続された延長ケーブルにより遠隔測定のできる10 γ 間隔の精密用のもの2種を製作した。全磁力直読であり、かつ計器の特性上、きわめて堅牢、取り扱い簡便ではあるが、精度に関しては必ずしも充分ではなかった。リードメータにかぎらずこの種の周波計は定常特性に対して設計されるものであり、入力波形によってはその過渡応答が満足なものとなるのもやむをえない。すなわち、構造のほか基本的な面での検討なくしてただ、リードの間隔のみを細分しても、読取精度の向上は期し難いものと思われる。

2.8 電源部

回路全体のトランジスタ総数は37個 (うちパワートランジスタ3個) でその消費電力は僅少であるが、極端な磁場をつくるための励磁電流 (12V, 2.7A) はかなりの負担である。いま、5秒間隔 (うち励磁時間2.6秒) で1日実働7時間動作とすると少なくとも約10AH強が必要であり、PM-10 筐体内に自蔵するためには最近、ロケット用電池として開発された酸化銀電池 HR-1, HR-10 (湯浅) が適当と考えられた。しかし、用途が特殊なだけに長期にわたる保守にはなお若干の問題があり、海上、機上、あるいは車載の場合のようにある程度、重量、スペースに余裕のある時は普通の鉛蓄電池により外部から供給する方が実際的には便利、かつ経済的と考えられる。現在、使用のものは時に応じて内部電源と外部電源を任意に切替えて使用できる。なお自蔵電池使用の場合、とくに長時間連続動作または低温動作では容量または電圧の増大をはかるため補助電池を用意した。

2.9 記録部

連続測定において自動記録は不可欠であり、リードメータの欠陥をおぎなうべく暫定的にテープレコーダを付属して電力増幅部よりの出力を記録、再生した。そのさい、特殊設計を施さずに市販のRM-35型 (NEC) を使用したため再生精度は不充分にならざるをえず、あまり良好な結果はえられなかった。さらに才差信号そのものがさしあたり、才差周波数以外に特に“情報”を持たな

いため、録音再生することの意義が希薄なことも否めない。

3. 自記記録装置

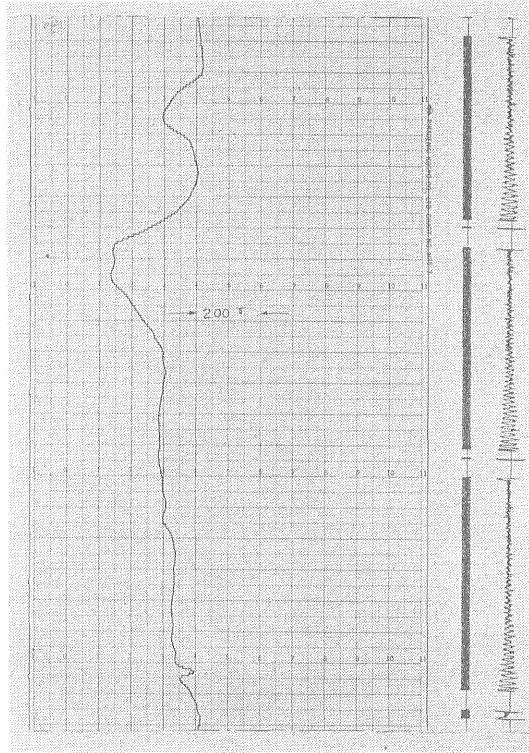
PM-10 は昭和35年度、北海道内浦湾の砂鉄調査に旧型式の核磁力計に代わつてはじめて使用されて以来、前記のとおり、調査能率の向上、作業条件の改善には多大の寄与をなし、かつ信頼性も高かったが、海上 (機上) 調査用核磁力計としてみるかぎりなお不満な点も少なくなく、それ自体決して完成されたものではない。とくに記録方式の遅延は早急に解決しなければならない問題であった。

さきに昭和34年にはエレクトロニツクカウンタ (タケダ理研) によるデジタル表示が試みられ、同方式の実用化について基礎資料をえたが、一方、新たな構想のもとに昭和36~37年度にわたり、ペンレコーダによるアナログ記録の“自記記録装置”を試作した。これらはよく知られているように計測の基本方式であり、核磁力計に適用する場合にもその得失は実用面から慎重な検討を必要とした。

才差信号自体が周波数の形で与えられている以上、まずデジタル方式を考えるのが自然であり、装置の複雑化を考えてもなお高精度その他の捨て難い魅力をもつ。目的が周波数であつてもかかるエレクトロニツクカウンタによる測定法としてはいわゆる“周期測定”に属する。もつとも初期に用いられたペン書きオシログラフによる読取もこの範ちゆうに入るもので、その記録の一例を第2図右側に示す。刻時信号はペンモータの周波数特性に制限されるためせいぜい100 γ が限度であり、信号周波数の高い時には読取誤差が大きくなる。これを免れるためには比較周期数の増加をはかるよりほかないが、信号の減衰による読みにくさを無視しても必然的に作業量の急増を伴うものであつた。いま、才差周波数を f_0 ($F=2\pi f_0/\gamma$) \sim 、参照周波数 (刻時信号, fast counter) を P \sim 、指定した誤差を Δf \sim 、比較周期数 (slow counter) を K 個とすれば、fast counter における誤差計数 N は

$$N=K \cdot P \left\{ \frac{\Delta f}{f_0 (f_0 + \Delta f)} \right\} \dots \dots (8)$$

と表わせる。たとえば $\Delta f=0.428$ \sim (10 γ)、 $P=100K$ (10 μ s) とし、 $f_0=2K$ を直接、カウントしたとすると $N=0.012K$ であり、 $K=100$ にしてようやく1パルスの計数差をうる。これに反してビート周波数 $f_0=100$ \sim を選べば $K=1$ でもすでに4発以上のパルス差が生じて beat down の有利さが明らかに認められる。(8)式から Δf を一定として N を大きくするには K または P を大きくしなければならないが、 P は現在、商用では1MCが

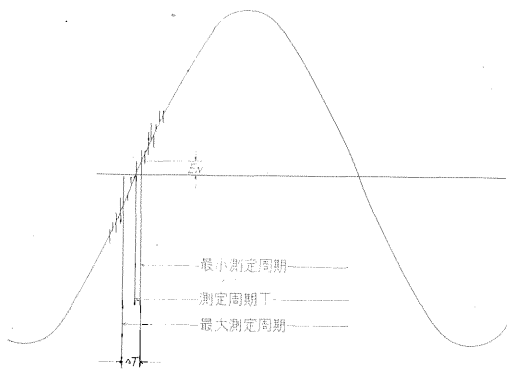


第 2 図

限度であり、 K は才差信号の減衰から本質的にそう大きくはとれないものである。“周期測定”としてのカウンタのパーセント誤差 M は⁹⁾

$$M = \text{水晶発振子の安定度} \pm \frac{1}{\text{全カウント数}} \pm E \quad \dots\dots\dots(9)$$

参照周波数を発生する水晶発振子の安定度の重要性についてはふれるまでもない。右辺第2項はゲートの開閉時に生ずるいわゆる“±1 カウント誤差”で、 N は少なくともこれを無視できるほど大でなければならないわけである。第3項は前2者がカウンタ自身に内在するものであつたのに比較し、外来雑音に左右される“周期測定”



第 3 図

に特有な誤差である(第3図)。トリガ位置での信号分の傾斜(ボルト/秒)は $S = \tan \alpha$
雑音のピーク値を E_N とすれば、図より

$$S = 2 E_N / \Delta T$$

ゆえに雑音によるパーセント誤差 E は

$$E = \frac{\Delta T}{T} = \frac{2 E_N}{S \cdot T} \quad \dots\dots\dots(10)$$

したがって E は入力 S/N に逆比例し、同一周期でも立上りの早い点をトリガ位置とする波形ほど少ない。すなわち同じシュミットトリガ回路を使用しても矩形波の方が正弦波よりもよく、また同一波形を同一瞬時にトリガしても周期数の大なるほどよいことは前と同じである。才差信号では幸い波形歪がほとんど問題にならないので(数サイクルの帯域で無歪伝送できる)増幅器を狭帯域とすることが比較的、容易である。しかし、実際にはレンジ切換の便宜からもあまり狭くすることはできず、また測定周波数近傍の雑音は所詮、いかんともしがたい。結局、このような高利得増幅では回路要素の固有雑音、あるいは才差信号自体が本質的にもつ“ゆらぎ”よりも、送配電線などによる商用周波数50、60~の第20次前後の高調波の混入、空電など外来雑音の影響が最終的な制限を与えるもので、その度合は使用環境に応じて千差万別である。むしろ(9)式における前2者はとくに高精度を要求されないかぎり、ほぼ無視しうる場合が少なくなく、 M はほとんど E によって支配される。かつて PM-10 よりの出力をそのまま直接にカウンタに供給して計数値に相当のパラツキを生じたさい、適当な低域フィルタを段間に挿入することによって大幅に改善されたことがあるが、前述のとおり、このような手段には限界が考えられる。非磁性金属によるシールドが困難なことも痛いところである。

これに対して今回、試作したペンレコーダによるアナログ記録で精度に影響するのは、可動コイル型計器としての本来の静的誤差のほかに才差信号に対する過度応答、およびペン先と記録紙との固体摩擦による非線型誤差などが主たるものになる。最初に試験された Esterline Angus AW 記録計は昭和31年以来、地質調査所の放射能探査に多く賞用され、比較的、ゆつくりした変動値の記録には国産品に比較して堅牢で取扱も至便であるが、急激な変化を記録する場合にはその動特性は問題である。とくに核磁力計の場合には動作信号自身がペンのフルスケール移行にほぼ同程度な時間内に減衰する可能性をもっている。たとえば AW 記録計の臨界制動抵抗 35 kΩ としてフルスケールまで約0.5秒を要し、信号の継続時間を 2.7秒以下とすればそれだけでもすでに苦しく、かつ振動の多い船上、機上で主として使用する関係上、ペンのバランスウエイトをある程度以上軽くできないこ

とは、同記録計の値を半減せしめるものであつた。よく知られているように固体摩擦を軽減する手段として記録紙送り的高速化が考えられるが、実際の作業過程としてその影響を無視できるほどの早送りは到底、不可能に近い。さらに致命的なのは駆動トルクの小さいことで¹⁰⁾、これは記録計自身の内部抵抗を小さくして消費電力を少なくできる点、応答速度をとくに要求されない場合には有利であつても、摩擦が指示点の近傍で大きく作用するためとくに低レベルにおいて誤差が著しい。かくてAW記録計はそれ自体すぐれたものではあつてもかかる用途には不適であることが結論され、これらの障害はYEW. KR-1型レコーダの採用によつて一応、解決をみた。KR-1は記録計自身の電力消費量が多い反面、外部臨界制動抵抗をほとんど必要としないので全体としての電力消費はかえつて少なく、かつトルクの増大によつて摩擦を相当程度に抑えたものである。これらの実験の結果、昭和37年度、強大なペントルクと高感度の電子管式自動平衡記録計(理化電機工業、B-30)の使用によつてはじめてこの一連の方式が完結した。第4図にそのブロック図、第2図左にその記録の一例を示す。図は千葉県明鍾岬沖の測線で、約500mにわたり、250 r前後の異常が明瞭に

んにかかわらず不変である。したがつて積分回路による直流電圧の発生が可能で、適宜、電力増幅されたのち終段のレコーダを駆動する。単に入力波の飽和増幅からの積分ではスライスレベルの不安定から実用は難しい。また以上の過程からレコーダの過渡応答に対しては必然的に苛酷な要求があることも明らかであろう。ただ、この種型式はアナログ記録としたため、既述の核磁力計の長所がある意味では失われ、現在の目的には充分であるとしてもさらに開発を意図するには疑問が残る。たとえば第3図上部の“標準発振器”の存在がそれで、水晶発振器(40~、65.5~および91~)からの出力により記録計の零点およびフルスケール点を校正するが、かなりひんぱんな、事実上、測線ごとに校正操作を必要とするものである。

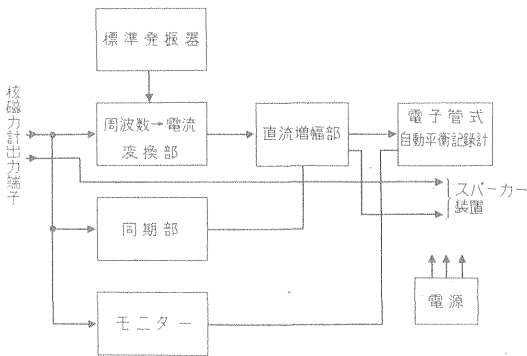
しかし、いかに記録計の応答特性を向上せしめても才差信号自体の記録計駆動力への利用しうる時間が短かければ、高い精度での測定は困難とならざるをえない。一般にリレー切換時の電氣的ショックをさけるため若干の遅延をもたせるのが普通なので、これは本来の有効横緩和時間 T_2' をさらに短縮する。これらに影響する原因としては次の二点が挙げられ、通常、核磁力計の欠点としてしばしば指摘されているものである。

(1) 検出コイルの占める空間に存在する測定磁場に不均一がある時、有効横緩和時間 T_2' はその度合に応じて減少し、陸上の測定ではそのために観測不能となることもめずらしいことではない。しかし、海上、空中調査に関するかぎり、特に問題とするには足りないであろう。

(2) 信号の初期振幅は(5)、(7)式に見るとおり検出コイルの軸方向(偏極磁場の方向)が測定磁場 F となす角 θ によつて増減する。 F を Z 軸にとれば才差運動する x, y 平面成分は全分極磁気モーメント M の $\sin \theta$ であり、単コイル方式ではその磁束は同一コイルを同じく $\sin \theta$ に比例して鎖交するから、全体としての誘起電圧は $\sin^2 \theta$ に比例することになる。しかし、通常はコイル軸を地表面に対して水平に保持する場合が多いから、その場合には伏角などの影響が加味されねばならない。いま、偏角を D 、伏角を I とすれば水平面での南北方向よりのコイル軸の回転角を ϕ として、

$$\cos \theta = \cos I \cdot \cos D \cdot \cos \phi \dots\dots\dots (12)$$

の関係が成立する。第5図に $I = D = 0$ 、 $I = 49^\circ 28'$ 、 $D = 0$ の場合を示した。すなわち後者の場合、 $\phi = 0^\circ$ においてもなお振幅57%をもつ。無論、実際には伏角の変化も多少はあり、また海上、機上調査では検出コイルを収納したボーンは若干の上下動、横ブレをするから信号の消滅する場合も少なくない。とにかく単コイルではある程度の指向性をもつことはさげがたいもので、調査にあつた

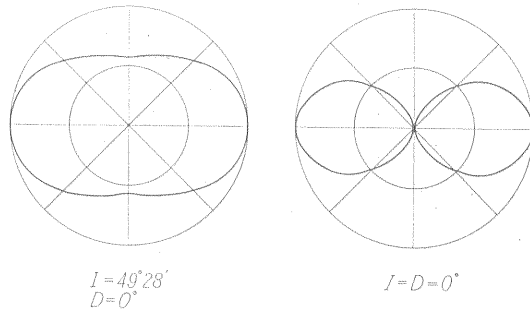


第4図

見られる。装置の中心をなすものは“周波数-電流変換部”で、PM-10よりの出力才差信号周波数をこれに比例した直流電流に変換する可飽和鉄心素子 (magmeter F5529)である。信号振幅がほぼ2V以上あれば正負それぞれ入力半サイクルによつて鉄心は最大磁束 $\pm \phi_m$ まで飽和し(角型ヒステリシス特性)、出力 $e(t)$ の波形は volt-second area 一定に保たれるパルス列となる。すなわち N を鉄心コイル巻数とすれば、

$$\int_{t_1}^{t_2} e(t) dt = -N \int_{t_1}^{t_2} \frac{d\phi(t)}{dt} \cdot dt = -N \cdot 2 \cdot \phi_m \text{ (const.)} \dots\dots\dots (11)$$

飽和動作に充分なまでに振幅があれば、それ以上の振幅の大小は磁束変化の立上りの相違のみとなつてあられ、微分される誘起二次電圧の直流分は印加波形のいか



第 5 図

つては測線のとりかたに注意がはらわれる。これをのがれるために種々のコイルシステムが提案されており¹⁾、もつとも素朴な考え方としては容易に想像されるごとくたがいに直交する三組のコイル系ならば完全にその影響から免れることができる。したがって寸法、重量の制限をある程度緩和すれば、改善の余地も多少は考えられるが、 S/N 比としてみればかなり複雑である。たとえばアンプの内部雑音はともかく、コイル自体の S/N 比はコイルの熱放散の度合に関係し、短周期の連続測定の場合には無視できぬものとなろう。したがって電源容量その他が許すとしても励磁電流はあまり大きくとれず、またコイルの Q 、試料の容積なども“Radiation Damping”に制限される。今後、特に機上測定の場合は飛行機、ヘリコプタなどの搭載量、作業環境などともならみ合せて、才差信号の“質”の向上をはからねばならない。ここに信号の“質”とは初期最大振幅とその実効継続時間の双方を考慮したもので、適宜、その定義を下すこともできよう。

このようにして検出コイルの出力はあらかじめ定められた一定時間において必ずしも magnetometer の動作に十分な振幅を常に有するとは限らず、見掛け上、低い全磁力値として記録される可能性が生じるのでこれと真の記録値とを弁別する機能が必要である。今回はレコーダ附属のマーカー・ペンを利用して単に一定レベル以下の poor な信号の場合のみを on-off 表示するモニターを附加した。

4. 結 語

昭和37年末、電子管式自動平衡記録計を使用した自記記録装置の完成によつて核磁力計に関する一連の業務は一段落した。当初に企図した使用上の要求はおおむね満足したが、はじめに述べたとおり、比較的、大きな磁気異常を対象とする陸地での磁気探査にかぎれば、すでに PM-10 型式でもほぼ充分の性能を有するものと考えられる。今回、おもに海上用として試作された自記記録装置は自動連続記録の実用化を主眼としており、精度の向上を目的として行なつたものではない。記録方式として

のアナログ方式とデジタル方式とを比較すれば後者のほうが精度の向上、測定間隔の短縮、あるいはデータ処理などにおいて空中用磁力計に最適と考えられるものではあるが、通常の磁気探査用測定器としては当然、要求される精度によつてその方式を選択すべきである。今後、特に空中探査を対象として考える時、精度のみならず、測定間隔、方向性、重量、占有面積などの点において相当の改良が必要であるが、いかなる記録方式をとるにせよ、デジタル的なプロセスは常に不可欠とされよう。特に精度と測定間隔との関連は必ずしも相補的とはいえないが相互に密接な関係をもっており、現在の装置においても採用した測定方式としてはもつともそれらの改善を計つたものである。最近、電子の常磁性共鳴を利用した Rubidium Vapour Magnetometer, および Metastable Helium Magnetometer などがアメリカで実用化されており、この課題に対してひとつの方向を示唆するものと予想されるが、空中用磁力計の採用にあたってはなお慎重な比較、検討が必要となろう。

(昭和38年7月1日稿)

文 献

- 1) Packard and Varian: Free Nuclear Induction in the Earth's Magnetic Field, Phys. Rev., Vol. 93, No. 4, 1954
- 2) Waters et al.: A New Method of Measuring the Earth's Magnetic Field, Geophys. Pros., Vol. 4, No. 1, 1956
- 3) Cahil, L. J. & J. A. Van Allen: High Altitude Measurements of the Earth's Magnetic Field with a Proton Precession Magnetometer, Jour. Geophys. Res., Vol. 61, No. 3, 1956
- 4) 坪川家恒外 2 名: 核誘導型磁力計について, 測地学会誌, Vol. 4, No. 1, 1957
- 5) 小島昌治外 3 名: 陽子共鳴による地磁気測定法について, 計測, Vol. 7, No. 8, 1957
- 6) 力武常次 (代表): プロトン磁力計の試作研究,

地震研究所彙報, Vol. 36, 1958

タ精度の問題, 電子工業, Vol. 9,
No. 4, 1960

- 7) プロトン磁力計による海上磁気探査, 地質ニュース, No. 52, 1958
- 8) 海底砂鉄の探査, 地質ニュース, No. 79, 1961
- 9) 後藤三男: 周波数および周期測定におけるカウン

10) 小林光男: NEC 所内報告, 1961

11) K. Whitham: Measurement of the Geomagnetic Elements, Methods and Technics in Geophysics, 1959