

# 交流磁界によるトラクタ誘導のための検出装置について

池見 隆男\*・板原 啓文\*\*・清水 茂\*\*\*

(\*農学部農業機械学研究室・\*\*土佐市役所・\*\*\*四国ダイキン設備K. K.)

## On a Detection System for Tractor Guidance by Alternative Magnetic Field

Takao IKEMI\*, Hirofumi ITAHARA\*\* and Shigeru SHIMIZU\*\*\*

\* Laboratory of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture;

\*\* Tosa Municipal Office; \*\*\* Shikoku Daikin Setsubi K. K.

**Abstract:** An experimental apparatus for detecting alternative magnetic field was made and tested. The results of tests are as followed.

- (1) The height of detection coils should be as low as possible and the distance about 20 cm.
- (2) The spacing of cables should be as large as possible. It is desirable that it is not less than about 50 cm.
- (3) The lateral inclination may be allowed up to about 15° for the small distance of coils.
- (4) The influence to detection of soil was little in underground cable.

### 緒 言

機械作業における労働強度の軽減、安全化などのため、運転の自動化や部分的自動化が一部の農用車両に取り入れられつつある。この研究は、自動車の自動運転に試みられた単線誘導ケーブル方式<sup>1)</sup>を一例として歩行用トラクタへの応用を試みる目的で、試験を行ったものである。

農用車両の場合自動車と異り、ある作業幅をもって隣接走行しなければならないので、隣接するケーブルの影響を受ける恐れがある。これは作業幅の小さい歩行用トラクタにおいて特に問題となる。

そこで、誘導ケーブルまわりの交流磁界を検出する装置を試作し、その特性および隣接ケーブルの影響等について試験を行ったので報告する。

### 誘導ケーブル方式の誘導原理<sup>1)</sup>

車両誘導の原理は、地上または地中に設置したケーブルに交流電流を流して交番磁界を発生させ、ケーブルに対する車体の横方向変位を一对以上の検出コイルに発生する起電圧の差によって検出し、かじ取り制御して、ケーブルに追従させるものである。

Fig. 1 において、ケーブルに  $I \sin \omega t$  の交流電流を流した場合、コイル  $C_1$ 、 $C_2$  の起電圧  $e_1$ 、 $e_2$  の差は、

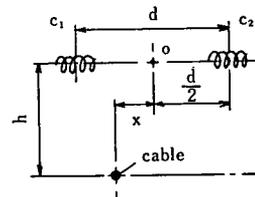


Fig. 1.

$$e_1 - e_2 = C \omega I \left\{ \frac{h}{\left(x - \frac{d}{2}\right)^2 + h^2} - \frac{h}{\left(x + \frac{d}{2}\right)^2 + h^2} \right\} \cos \omega t \quad \dots \dots \dots (1)$$

で表される。ただし、 $C$  はコイル  $C_1$ 、 $C_2$  によって決まる係数である。すなわち、 $e_1 - e_2$  を検出す

ることによって車体の横方向変位 (O点の変位 $x$ ) が得られる。

実際の場合,  $e_1 - e_2$  は小さいので 検波増幅され演算された出力がかじ取り制御装置を 作動させる。

実 験 装 置

この実験に使用した誘導ケーブルシステムは Fig. 2 に示すように、長さ 50 m の単心 ( $2\text{mm}\phi$ ) ビニール銅線と交流を供給するための RC 発振器および自作のオーディオ用 50 W IC メインアンプで構成されている。磁界検出用のセンサは Fig. 2 のようにケーブルに対し直角に 2 個配置したコイルで、Fig. 3 のようにフェライトを心にしたコイルを使用した。

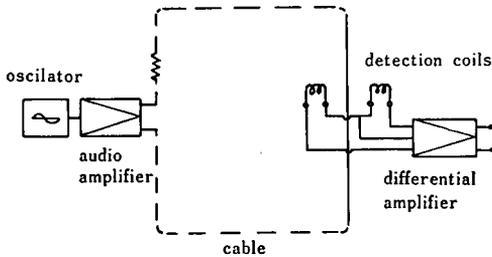


Fig. 2. Experimental apparatus for alternative magnetic field detection.

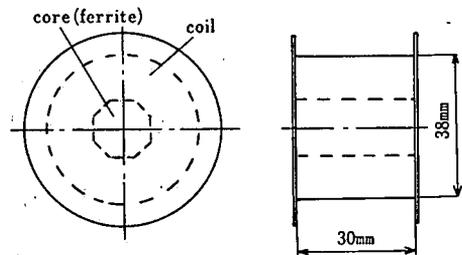


Fig. 3. Detection coil.

コイルは素線径 0.13 mm のマグネットワイヤ (ポリウレタン銅線) を約 1 万回巻いたもので、純抵抗  $700\ \Omega$ 、共振周波数 5.75 kHz である。

2 個のコイルに発生する電圧は Fig. 4 に示す試作の差動増幅器に印加し、その差動出力をデジタルマルチメータで測定した。この差動増幅器は IC OP アンプ 4 個で構成され、両コイルからの入力 は初段で一度増幅された後検波され、一方の入力だけ符号変換して、最終段で加算される。Fig. 5 は 5.75 kHz の交流入力を  $e_1$ ,  $e_2$  それぞれ単独に加えた場合の差動増幅器の特性である。本来入力零であれば出力も零となるべきであるが、IC のバラツキや製作の不具合により約 0.075 V の誤差を生じた。

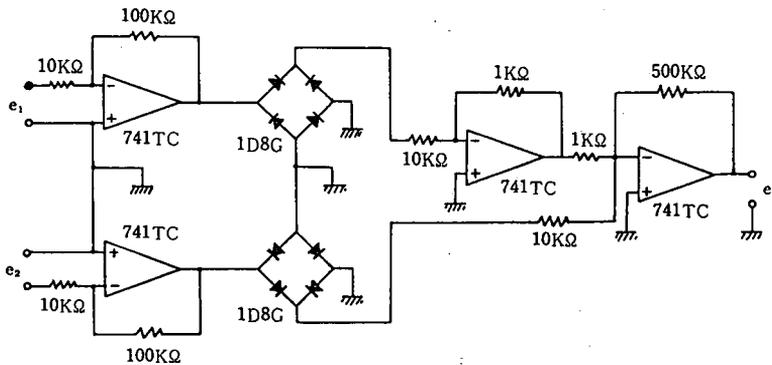


Fig. 4. Experimental differential amplifier.

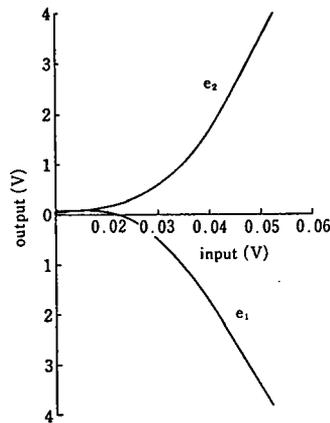


Fig. 5. Input-output characteristics of the differential amplifier.

実験方法

Fig. 6 における2個のコイル  $C_1$ ,  $C_2$  の間の中心  $O$  をケーブル上より左右に水平に変位させ、この横方向変位に対する両コイルの増幅された差動出力を測定した。

パラメータはコイル  $C_1$ ,  $C_2$  の間隔  $d$ , ケーブルに対するコイルの高さ  $h$ , ケーブル間隔  $l$  およびコイル傾斜角  $\theta$  (Fig. 6(b)) をとった。なお、コイル間隔  $d$ , コイル高さ  $h$  および傾斜角  $\theta$  をパラメータにとる場合はケーブルは単線とした。

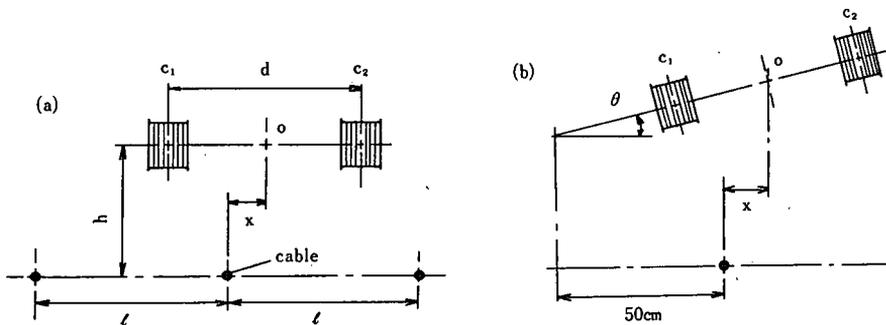


Fig. 6.

結果および考察

1. 検出コイルの取付け高さおよび間隔の影響 ケーブル電流 1 A, 5.75 kHz において、検出コイルの取付け高さを変えた場合の結果を Fig. 7 に示す。 $x$  はコイル間中心のケーブルに対する横方向変位,  $e_0$  は両コイルの Fig. 4 に示す差動増幅器で増幅された差動出力を表す。以下同様である。

出力は取付け高さが増すほど低下し、変位に対し緩やかな曲線となる。これは検出感度が低下することを示し、差動増幅器に誤差を持つ場合問題となる。 $e_0$  と  $x$  は直線関係にないが、歩行用トラクタのようなオンオフ式のかじ取りには問題とならない。すなわち、ある横方向変位に対する出力でかじ取り装置が作動するようコンパレータを設定すればよい。

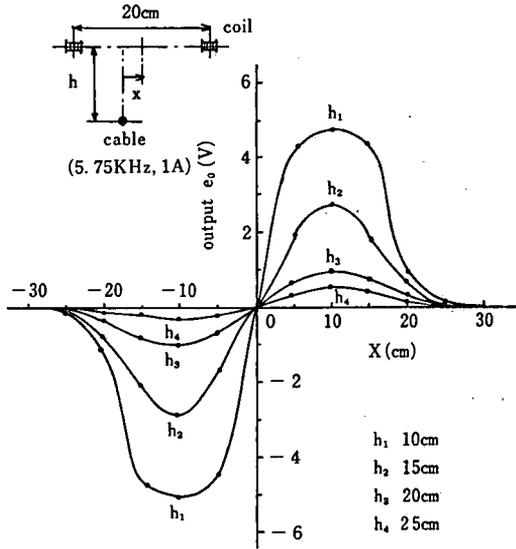


Fig. 7. Effect of the height of coils on differential output amplified.

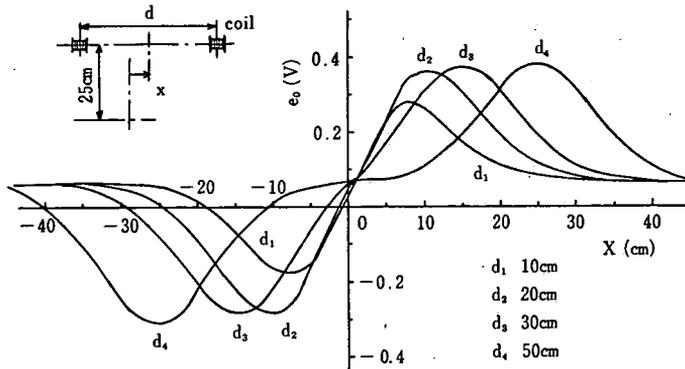


Fig. 8. Effect of the distance of coils on differential output amplified.

Fig. 8 はケーブルに対するコイル取付け高さを 25 cm にして、コイル取付間隔を変えた場合の結果である。ケーブル電流は 1 A, 5.75 kHz である。

コイル間隔  $d$  を大きくするほど  $x=0$  (ケーブル直上) 近傍で正負両側にわたって出力  $e_0$  の勾配は小さくなり、零に近づく。勾配の低い範囲も広くなる。このことは走行中横方向変位を小さい範囲に止めるよう制御するためには不利になるので、コイル間隔を大きくすることはできない。逆に間隔が小さすぎると勾配は大きくなるが出力が低下し、極値の位置も  $x=0$  の位置に接近するので、制御範囲が狭くなる。

結局、歩行用トラクタに対しては、コイル取付け間隔は  $h=30$  cm ていどにおいて 20~30 cm にとるのが適当である。ただしケーブル設置間隔の影響も考えねばならないので後に考察する。

なお、 $x=0$  において  $e_0=0$  とならず  $e_0 \approx 0.07$  V の出力が存在するのは前述のように試作の差動増幅器に製作上の誤差があるためである。これが  $d=20$  cm の場合で  $e_0$  最大値の 17% にもなるのは好ましくないが、差動増幅器の精度を上げるか、ケーブル電流を大きくすることにより解決される。

2. ケーブル電流の影響 ケーブルに流す電流の周波数はコイルの共振周波数に一致させれば最大の起電圧が得られる。試作コイルの共振周波数は 5.75 kHz であった。また電流の大ききさによりコイル検出電圧は大きな影響を受ける。

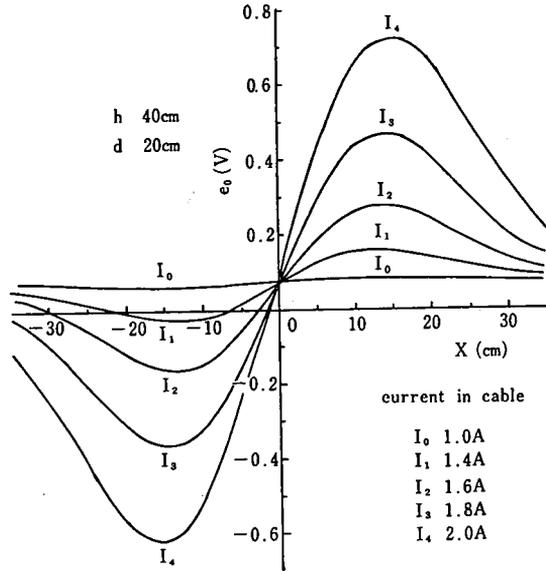


Fig. 9. Effect of electric current in cable on differential output amplified.

Fig. 9 はコイル高さ  $h=40$  cm においてケーブル電流を変えた場合の結果を示す。コイル取り付け高さが 40 cm においてケーブルを地中に 30 cm ていど埋設するとしてコイル地上高が 10 cm ということである。これはほぼ実用の高さと考える。

この試作検出装置に対してはコイル取り付け高さを 40 cm にした場合、ケーブル電流は少なくとも 1.4 A 以上必要であることが分かった。

3. ケーブル配置間隔の影響 隣接するケーブルの配置間隔を変えて出力電圧の測定を行った結果を Fig. 10 に示す。ケーブル電流は 1 A, 5.75 kHz, コイル間隔 20 cm, コイル取り付け高 25 cm である。

両側に隣接するケーブルによる磁界の影響は検出電圧に大きな影響を及ぼし, Fig. 10 にみられるように, ケーブル間隔を小さくするほど  $e_0$  の極値は低下する。

一方, Fig. 11 において O を対象とするケーブル, A, B を隣接行程のケー

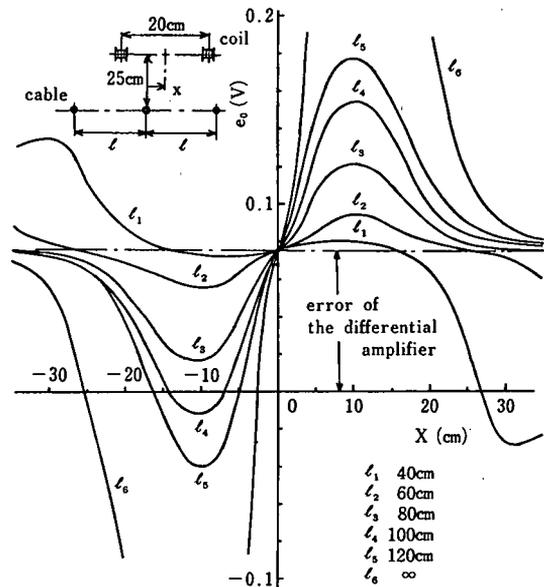


Fig. 10. Effect of the distance of cables on differential output amplified.

ブルの断面とすれば、瞬時における各ケーブルの電流の方向はOが向う向きとすればA、Bは手前向きとなるので、任意の点Pの磁界のX方向成分は次のように表される<sup>2)</sup>。

$$H_x = \frac{Ih}{2\pi} \left\{ \frac{1}{x^2+h^2} - \frac{1}{(x+l)^2+h^2} - \frac{1}{(x-l)^2+h^2} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

したがって、Fig. 6 (a)における高さ  $h$  に横置きのコイル  $C_1, C_2$  に対する磁界の  $x$  成分  $Hx_1, Hx_2$  は、 $x$  をそれぞれ  $x - \frac{d}{2}, x + \frac{d}{2}$  と置き換えることにより得られる。各コイルの起電圧は  $Hx_1, Hx_2$  に対すると考えられるので、起電圧の差は

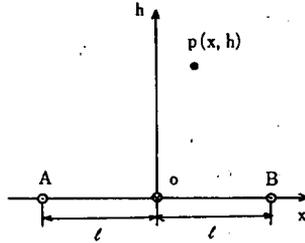


Fig. 11.

$$e_1 - e_2 = k \frac{Ih}{2\pi} \left\{ \left| \frac{1}{\left(x - \frac{d}{2}\right)^2 + h^2} - \frac{1}{\left(x - \frac{d}{2} + l\right)^2 + h^2} - \frac{1}{\left(x - \frac{d}{2} - l\right)^2 + h^2} \right| - \left| \frac{1}{\left(x + \frac{d}{2}\right)^2 + h^2} - \frac{1}{\left(x + \frac{d}{2} + l\right)^2 + h^2} - \frac{1}{\left(x + \frac{d}{2} - l\right)^2 + h^2} \right| \right\} \dots\dots\dots (3)$$

で表される。ただし、 $k$  は係数、 $I$  は電流の大きさである。

(3) 式において  $d$  および  $h$  が一定の場合、 $l < 40$  cm では  $e_1 - e_2$  の極値は急激に小さくなるが、 $l > 60$  cm においては漸減する。実験では  $l$  が大なるほど  $e_0$  が大きくなって矛盾するが、これはコイルおよび差動増幅器の特性によるもので、 $l$  が小なるほど隣接ケーブルの干渉により単独コイルの起電圧は低下するので Fig. 5 に示すように、低入力に対する増幅度が低いことによると考えられる。

したがって、実験結果より  $l$  は大きいほどよいが、作業幅を考慮して少なくとも 60 cm 以上は必要である。

4. 傾斜の影響 圃場面の凹凸による機体の傾斜は検出電圧に影響を及ぼすと考えられる。Fig. 12 は両コイルを通る中心線の延長線上に支点を設けて横傾斜角  $\theta$  を与えた場合の結果を示したものである。

出力  $e_0$  は  $\theta$  を増すほどケーブルからコイルが離れるので減少し、検出感度が低下する。これは  $\theta$  が増すほど不感帯を広げることになり、機体の蛇行を増加させる。この傾向はコイル間隔  $d$  を増すとさらに助長される。したがって  $d$  をできるだけ小さくとることが必要である。この例では、傾斜角  $14^\circ$  において  $e_0 = 0$  となる  $x$  は約 3 cm であり、これが誘導誤差となる。

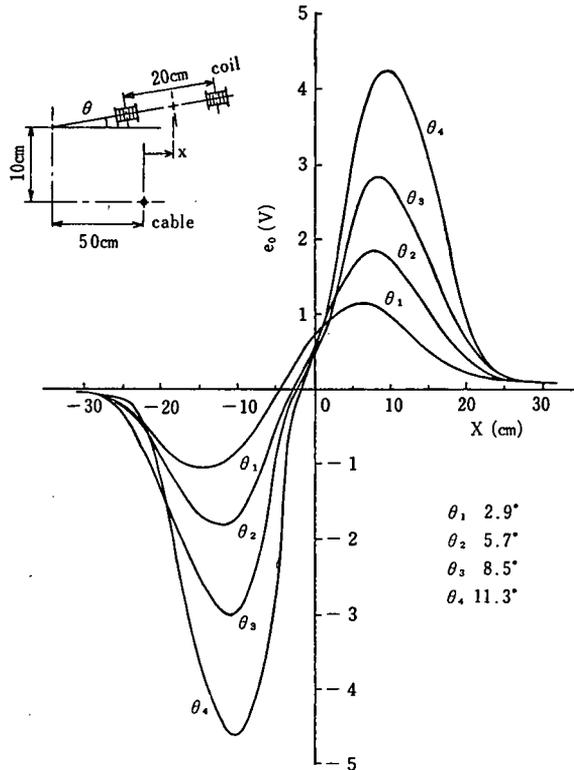


Fig. 12. Effect of the angle of inclination on differential output amplified.

5. ケーブル埋設の影響 Fig. 13 は、含水比 2.7% の砂質ロームを充てんした土槽において、深さ 10 cm に埋設したケーブルに対する結果である。

地上ケーブルとの差はわずかである。図は省略したが、含水比、充てん密度の影響もほとんどなかった。

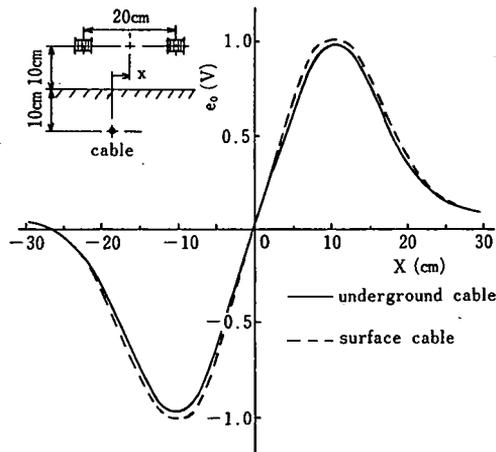


Fig. 13. Comparison of differential outputs amplified on buried cable and surface cable.

## 結 言

装置自作のため、精度のよい検出はできなかったが、概ね次のような結果を得た。

- (1) 検出コイルの取付け高さをできるだけ小さくし、両コイルの取付け間隔は 20 cm ていどにする。
- (2) ケーブル間隔はできるだけ大きい方法が望ましく、少くとも 50 cm 以下にすべきでない。
- (3) 横傾斜の影響は コイル間隔を小さくすることにより少くなり、 $15^{\circ}$  ていどまでは許容できる。
- (4) ケーブルを土中に埋設しても、土の影響はほとんどなかった。

## 文 献

- 1) 松本俊哲・猪俣真三郎・鈴木康夫, 自動操縦車のための計測ならびに誘導方法, 自動車技術, 22 (5), 415-419 (1968).
- 2) 二村忠元, 電磁気学, p. 246, 丸善.

(昭和54年 8 月 8 日受理)

(昭和54年12月21日発行)