

## ショートノート

## 副生フェライトを用いた誘導標識システム

正員 平野 雅弘<sup>†\*</sup> 正員 岩波 保則<sup>†</sup>非会員 石原準一郎<sup>†</sup> 正員 池田 哲夫<sup>†</sup>An Inductive Radio System of Ferrite By-Product  
Masahiro HIRANO<sup>†\*</sup>, Yasunori IWANAMI<sup>†</sup>, Members, Jun'ichirou  
ISHIHARA<sup>†</sup>, Nonmember and Tetsuo IKEDA<sup>†</sup>, Member<sup>†</sup> 名古屋工業大学工学部電気情報工学科, 名古屋市Faculty of Engineering, Nagoya Institute of Technology, Nagoya-shi, 466  
Japan

\* 現在、三菱重工業株式会社

あらまし 工業排出物の低品質副生フェライトを表面波線路に加工し、視覚障害者等の誘導標識に利用することについて検討し、試作・実験を行ったので報告する。

## 1. まえがき

重金属排水処理、製鉄所のアーケ炉等から多量に発生する産業副産物の中でも、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$  を主成分とした副生フェライトの特性を生かして再利用しようとする試みが、10年以上前から進められている。その利用法として、制振材料・GHz 帯用電波吸収材料・磁気標識体などが現在までに検討されている<sup>(1)</sup>。しかし、まだ大量の副生フェライトが、有効利用されることなく放置・廃棄されている。なかでも、製鉄所のアーケ炉から発生する低品質副生フェライトは、他の副生フェライトに比べフェライトの純度が低い上に重金属酸化物が多く含まれる等の問題があり特に利用が遅れている。

そこで、前回の報告においては、この低品質副生フェライトの一利用法とし、表面波伝送線路に加工した場合の線路の基礎的な諸特性を実験的に検討した<sup>(2)</sup>。

その結果、比較的短距離の誘導線路・誘導標識として本材料を利用できることが実験的に確認された。そこで、この線路の実用化案とし、舗装路面下に埋設された誘導線路に給電誘導されたFM信号を、一般FMラジオで受信する実用誘導標識システムを提案する。

本論文では、その線路特性を理論的・実験的に検討する。

## 2. 誘導線路の電気的特性

本論文では、副生フェライトとして製鉄所のアーケ炉内で発生するダストを用いた。ダストは、直徑数  $\mu\text{m}$  程度の微小粉末で、その約 60% 以上がフェライト以外の金属酸化物で構成されている。また、表面波線路への加工にあたり、経済性・強度の面を考慮してセメントを用いた固形化法を採用了。

本材料の電気的特性について以下に検討する。測定には、外径 39 mm 内径 19 mm のドーナツ状試料を作製し、これを十分乾燥させた後 WX-39 D 同軸線路中に挿入する。このとき、試料端から見た反射係数を測定することより図式的に S (散乱) 行列を求める S パラメータ法<sup>(3)</sup>を用い測定した。ここで、ダストとセメントの混合重量比をいくつか変化させた場合の電気的特性を比較する。また、セメントと水の混合重量比は、試料の強度および作業能率の面から 3 : 2 を採用した。図 1 に、ダスト対セメント対水の混合重量比が、6 : 3 : 2 と 3 : 3 : 2 の試料について複素誘電率・複素透磁率の測定結果をそれぞれ示す。

また、粉末マグネタイト混合体の透磁率は、1GHz 以下でほぼ一定となる性質が報告されている<sup>(1)</sup>。本性質を用い、低い周波数における Q メータ法での測定結果を、本測定結果と対比する。そこで、6 : 3 : 2 の試料について測定したところ、7.9 MHz 時において比透磁率が約 1.44 となった。この結果、S パラメータ法で求めた同成分の透磁率とよく一致し、同測定法で求めた透磁率が、周波数によらずほぼ一定となる測定結果と合わせ、本測定値の妥当性を得た。また、誘電率についても、コンクリートのそれが 100 MHz 時におい

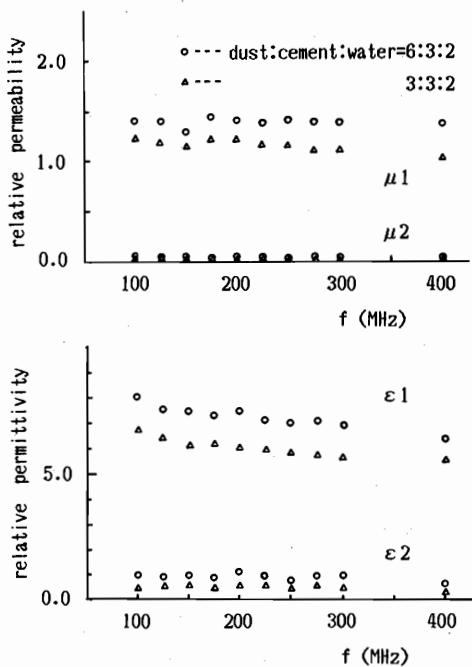


Fig. 1  $\epsilon \cdot \mu$  の周波数特性  
Fig. 1 Frequency characteristics of relative permittivity and relative permeability.

て約 5.0 となる結果<sup>(4)</sup>ともよく一致している。

### 3. 数値解析

前章で求められた媒質定数を用い、表面波線路の解析を行う。数値解析は、『一般化された伝送方程式による数値解析』<sup>(5)</sup>を用いて行った。本解析法は、元々導波管中での線路特性の解析に用いるため導き出されたもので、Ogusu らが開放形誘電体線路の解析に応用し有益な結果を得ている<sup>(6)</sup>。

解析モデルは、図 2 に示した歩道等のアスファルト舗装路面下に伝送線路を埋設し、線路保護のため線路回りをアスファルトでコーティングしたものを考える。

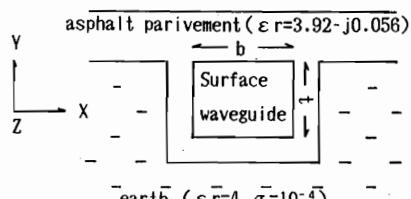
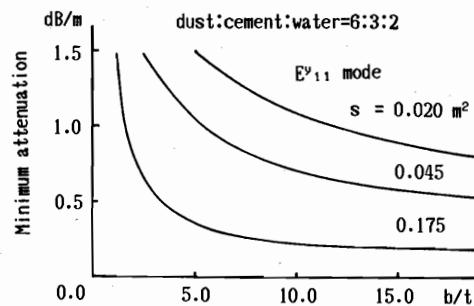
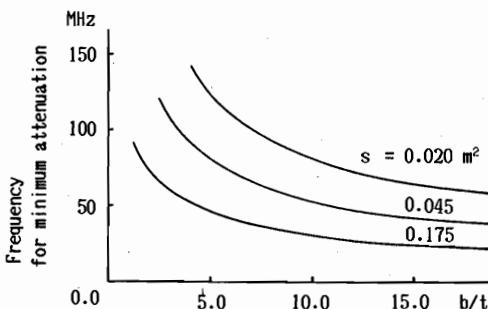


図 2 誘導標識の断面  
Fig. 2 Guide line.



(a) Minimum attenuation characteristics



(b) Frequency characteristics for minimum attenuation

図 3 線路特性の解析例  
Fig. 3 Analytical results of guide line model.

る。

解析を行うモードとしては、表面波基本伝搬モードで、線路損の最も少ないと考えられる  $E_{y1}^+$  モードを用いた<sup>(5)</sup>。なお、伝搬モード名におけるスーパースクリプト  $y$  は、線路断面内における主要電界の向きを表し、サブスクリプト 11 は、 $x$  方向・ $y$  方向に電界の極値を、一つずつ持つことを表している。

モデル線路の特性解析例として、線路断面積一定とし縦横の寸法比を変化した場合において、線路の最小減衰量とそのときの周波数の様子を図 3 に示す。また、各種条件において解析を試みた結果から、本図と同様に、線路損が比較的大きくなることが確かめられた。

このため、本線路は長距離の伝送には向かず、比較的短距離の誘導線路に限り応用可能な結果を得た。そこで、十数メートル程度の誘導を目指した誘導標識システムの設計条件を以下に述べる。

- ・一般 FM 受信機で受信可能な周波数を使用する。
- ・線路減衰量を 1.0 dB/m 以下に抑える。
- ・広範囲に信号が漏えいし、外部システムに影響を及ぼさない。
- ・安定条件にてシステムを運用できる。
- ・できるだけコストを抑える。

この設計条件を、満足するような最適線路の基本データの一例を表 1 に示す。

表 1 設計された線路定数の 1 例

使用周波数	85(MHz)
線路成分(アスファルト:水)	9:6:4
比複素誘電率	7.30-j0.75
比複素透磁率	1.30-j0.04
線路寸法(縦×横)	0.04(m) × 0.43(m)
線路コーティング幅(アスファルト)	0.02(m)
分散定数(kz/ko)	1.48
線路減衰量	0.96(dB/m)

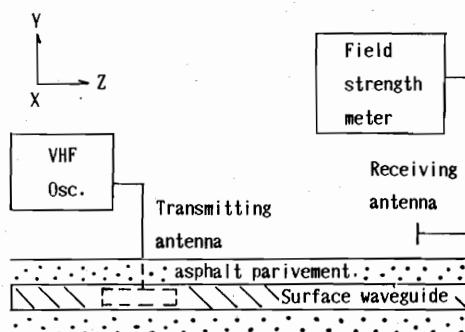
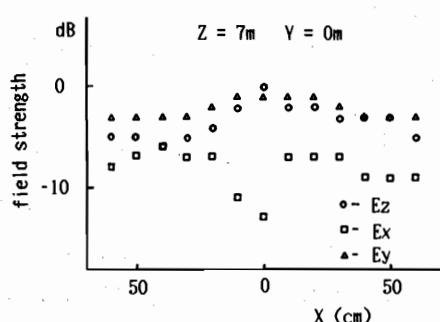
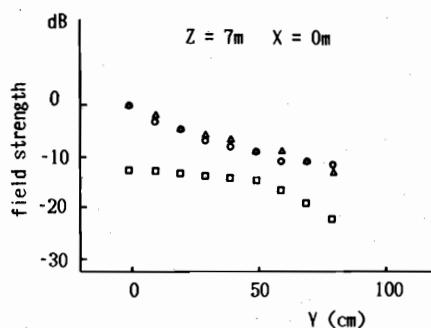


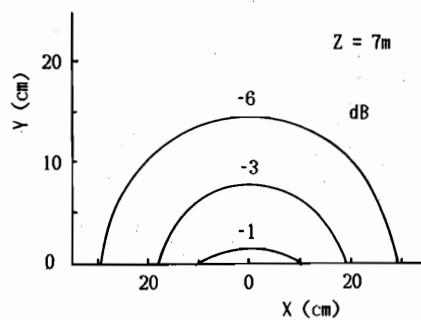
図 4 測定系  
Fig. 4 Experimental system.



(a) Electric field vs. X



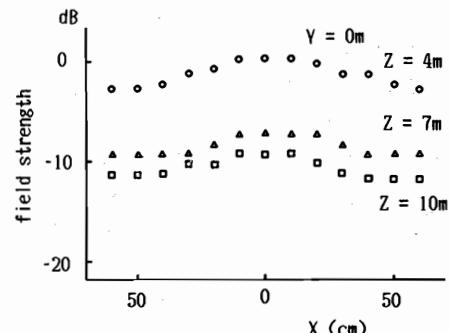
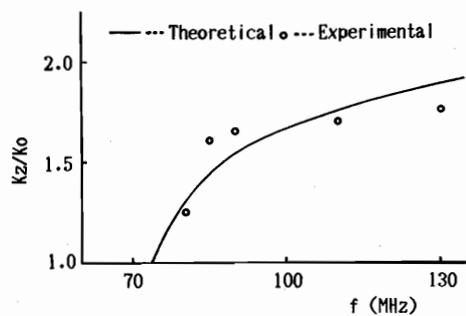
(b) Electric field vs. Y

図5 線路断面内における電界強度変化  
Fig. 5 Electric field vs. X and Y.図6 電力分布  
Fig. 6 Power distribution.

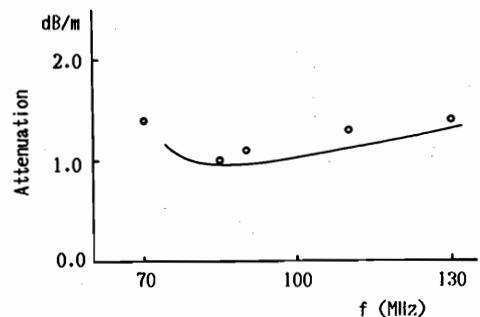
#### 4. 誘導標識モデルの実験

##### 4.1 測定系

モデル線路の実験として、表1で設計した定数の線路を、舗装路幅1.5 m、長さ約20 m製作した。線路諸特性の測定には、図4に示したような測定システムを用いた。受信アンテナは、電界測定用として全長約6 cmのダイポールアンテナを、磁界測定用として直径

図7 線路伝搬方向における電界強度(Ey)  
Fig. 7 Electric field (Ey) vs. X.

(a) Dispersion characteristic



(b) Attentation characteristic

図8 誘導線路の特性  
Fig. 8 Charactristic of guide line.

約3 cmのループアンテナをそれぞれ使用した。測定結果として、電界強度測定器の入力電圧を用い相対的に表現する。

##### 4.2 実験結果

線路を85 MHzで励振し、線路近傍の電磁界強度を測定したところ断面内主要電磁界は  $E_y \cdot H_x$  の組合せであることがわかった。そこで、電界成分に注目し表

面波線路の様子を測定した。

線路の伝搬モードを調べるため、舗装路上の電界分布を横方向 ( $x$ : 線路中央からの距離)・縦方向 ( $y$ : 舗装路面からの距離) で測定した結果を図 5 に、線路近傍の電力分布図を実験的に求めた結果を図 6 に示す。また、長手方向 ( $z$ : 送信アンテナからの距離) による電磁界変化の様子を  $E_y$  につき測定した結果を図 7 に示す。本測定結果から、電界の主要方向成分は  $E_y$  となり、 $x \cdot y$  方向に 1 個ずつピークを持つ表面波伝搬モード  $E_{xy}^{\pm}$  が長手方向に伝搬していることが認められた。

次に、実験線路の分散特性と減衰特性を設計値と対比した結果を図 8 に示した。本結果より、特性値に多少のズレは見られるが、外部環境の影響を受けやすい開放形線路の実験としては設計値と十分な一致がみられたと言える。

## 5. む す び

本報告では、低品質副生フェライトの利用法の一例として、本材料をセメントで固化しアスファルト舗装路下に埋設する実用化モデル線路を試作し、本線路の特性を理論的・実験的に考察した。また、線路減衰量と線路近傍への電力集中を示した測定結果等から、比較的短距離での誘導標識線路への利用について有用な結果を得た。

また、線路をアスファルトでコーティングする方式は、金属酸化物の外部土壤への流出を防ぐためにも有

効な手段である。

今後の課題としては、線路減衰量の低減および、線路近傍への電力集中を高めるため、線路形状の解析を行うと共に、給電・受信システムを含めた実用システムの考察を行う必要がある。また、線路の曲がり等による伝搬特性を理論的・実験的に考察する必要がある。

**謝辞** 本研究を進めるにあたり、試料の提供、試作について、多大な御協力を頂いた大同特殊鋼(株)に感謝する。

## 文 献

- (1) 乾, 嶋山, 原田：“電波吸収体”，NEC技報，37, 9, pp. 2-13(Sept. 1984).
- (2) 長瀬, 岩波, 石原, 池田：“副生フェライトを用いた表面波線路の標識等への応用”，信学論(B), J69-B, 9, pp. 1014-1016(昭61-09).
- (3) G. A. Deschamps : “Determination of reflection coefficients and insertion loss of waveguide junction”, J. appl. Phys., 24, 8, p. 1046(1953).
- (4) 秋田慶一：“コンクリートの電気定数とテレビ電波反射特性”，信学技報，EMCJ78-38(1978-11).
- (5) S. A. Schelkunoff : “Generalized telegraphist's equation for waveguides”, Bell Syst. Tech. J., 31, 7, pp. 784-801(July 1952).
- (6) K. Ogusu : “Numerical analysis of the rectangular dielectric waveguides and its modifications”, IEEE Trans. Microwave Theory & Tech., MTT-25, 11, pp. 874-885(Nov. 1977).

(昭和 63 年 3 月 8 日受付, 7 月 4 日再受付)