

テレビゴースト障害対策用ガラスカーテンウォール組み込み型広帯域電波吸収パネルの開発

山根 俊博 沼田 茂生 金子 巧 九々 正武 水本 哲弥 内藤 喜之
(技術研究所) (技術研究所) (設計本部) (建築本部) (東京工業大学) (東京工業大学)

Development of Wide Band Electromagnetic Wave Absorber Panel Put in Glass Curtain Wall for TV Ghost Problem

by Toshihiro Yamane, Sigeo Numata, Takumi Kaneko, Masatake Kuku, Tetsuya Mizumoto and Yoshiyuki Naito

Abstract

A ferrite fin electromagnetic wave absorber is developed for a glass curtain wall. The ferrite fin absorber has been studied as a component structure of the ferrite grid absorber. Structure of the absorber is designed by calculation with transmission line method for oblique incidence. The characteristics are measured using mock-ups for glass curtain wall with time domain method. The developed absorber suppresses reflection below -17dB in the frequency range between 80MHz and 800MHz for incident angle of 60 degrees. The absorber can be applied to TV ghost problem in both of VHF and UHF bands.

概要

高層建物によるテレビ放送波の反射によって引き起こされるテレビゴースト障害を抑制するため、広帯域電波吸収体として知られる棧形フェライト吸収体を利用し、ガラスカーテンウォール組み込み型電波吸収パネルを開発した。14dB以上の吸収性能が得られる周波数帯域が最も広くなるように棧形フェライト吸収体を設計し、電波吸収パネルのモックアップを製作してタイムドメイン法によって吸収性能を評価した。入射角が30°、60°の場合、それぞれ80MHz～492.2MHz、80MHz～800MHzの周波数帯域において14dB以上の吸収性能を有することが明らかになった。本電波吸収パネルは、特にUHF、VHF帯双方を利用する都市部でのテレビゴーストの低減に大変有用である。

§ 1. はじめに

近年、高層建物によって引き起こされるテレビゴースト障害が問題となっている。テレビゴースト障害対策として、建物壁面にフェライト吸収体を用いて放送波の反射を14dB以上に抑制することが一般的に行われている¹⁾。都市部のテレビ放送にはVHF、UHF双方の周波数帯域が用いられるため、広帯域において電波の反射を効果的に抑制する電波吸収体が求められている。しかし、フェライト吸収体は、そのほとんどがVHFまたはUHFどちらか一方に対する狭帯域電波吸収体である。また、現在開発されつつある数種の外壁用広帯域電波吸収パネルも重量が非常に大きいため、建物の片側だけに使用すると片加重となってしまう、建物全体の構造に影響を与えてしまうという問題点がある。

軽量の広帯域電波吸収体としては、グリッド形フェ

ライト吸収体²⁾が知られている。グリッド形フェライト吸収体は、水平、垂直両偏波の吸収に有効であり、従来電波暗室で広く利用されている。都市部におけるテレビ放送には主に水平偏波が用いられているため、テレビゴースト対策には水平偏波のみを吸収し、ステイック状のフェライトをある一定の間隔で並べた構造である棧形フェライト吸収体³⁾を用いれば十分である。そこで、テレビゴースト対策用建物外装パネルに用いる電波吸収体として棧形フェライト吸収体を適用する。

本開発では、棧形フェライト吸収体を用いてガラスカーテンウォール組み込み型の電波吸収パネルを開発した。棧形フェライト前面の建築部材の影響を考慮に入れて電波吸収体の構造を設計し、電波吸収パネルのモックアップを作成して電波吸収性能を評価した。

§ 2. 吸収体の設計

2.1 電波吸収パネルの構造

今回開発した電波吸収パネルの構造を図-1に示す。椋形フェライト吸収体を用いた電波吸収パネルは図に示すI～IVの4層の部材で構成されており、その前面に間隔を置いてガラス(層VI)が配置されている。図中の椋形フェライトの幅 t 、厚さ d はそれぞれ8mm、17mmとし、椋形フェライトのピッチ b は、計算結果から決定する。

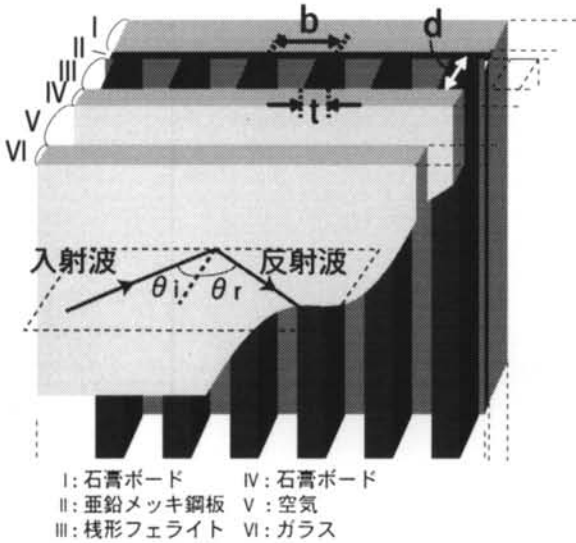


図-1 電波吸収パネルの構造

2.2 電波吸収性能の計算手法

多層構造の電波吸収体の吸収性能は、以下の伝送線路法⁴⁾を用いて計算した。

図-2のように平板 n 層電波吸収体に対して左側から平面波が入射するものと仮定する。第 k 層の材料定数を ϵ_r 、 μ_r 、厚さを d_k とする。椋形フェライト吸収体の層は、等価材料定数を持つ均一な平板で近似した。第 k 層表面から右側を見込むインピーダンスは、

$$Z_{in(k)} = Z_{(k)} \frac{Z_{in(k-1)} + Z_{(k)} \tanh(\gamma_k d_k)}{Z_{(k)} + Z_{in(k-1)} \tanh(\gamma_k d_k)} \quad (1)$$

$$\gamma_k = \omega \sqrt{\epsilon_{rk} \mu_{rk}} \times \sqrt{\epsilon_0 \mu_0} \quad (2)$$

$$Z_{(k)} = \sqrt{\frac{\mu_{rk}}{\epsilon_{rk}}} \times \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \quad (3)$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \quad (4)$$

である。式(1)の漸化式を $k=1$ から n まで繰り返すことによって平板 n 層電波吸収体表面インピーダンスが得

られる。ただし、第1層の右側は導体板なので $Z_{in(0)}=0$ である。表面インピーダンス Z_{in} を持つ電波吸収体に平面波が入射した場合、空気の特異インピーダンス Z_c を用いて反射係数 S 、吸収性能はそれぞれ以下の式で表される。

$$S = \frac{Z_{in} - Z_c}{Z_{in} + Z_c} \quad (5)$$

$$\text{吸収性能(Return Loss)} = -20 \log_{10} |S| \quad (6)$$

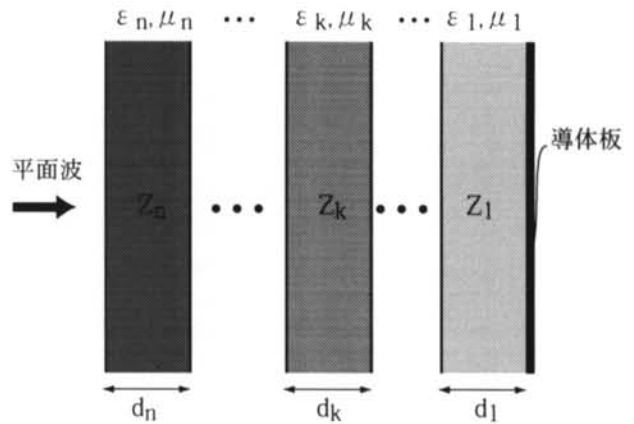


図-2 平板 n 層電波吸収体

椋形フェライト吸収体に使用したフェライトの複素比透磁率 μ_r は、式(7)に示す分散の方程式で与えられるものとした⁵⁾。

$$\mu_r = 1 + \frac{k}{1 + j \frac{f}{f_r}} \quad (7)$$

ただし、 f [MHz]は動作周波数を表す。2つの定数 k 、 f_r [MHz]は、その積が磁性材料としての良さを表す量の1つとして知られており、今回の計算では $k=1071$ 、 $f_r=6.3$ MHzとした。フェライトの比透電率 ϵ_r は周波数によらず12.5一定とした。その他の層I、II、IV、V、VIの比透磁率 μ_r は1.0とし、複素比透電率 ϵ_r は表-1に示す値を用いた。

層	ϵ_r	層	ϵ_r
I	2.5-j0.02	IV	2.5-j0.02
II	-----	V	1.0-j0
III	12.5-j0	VI	7.0-j0.1

表-1 各層の誘電率

2.3 椋形フェライトの間隔

椋形フェライト吸収体の椋の間隔は、14dB以上の吸収性能が得られる周波数帯域が最も広くなるように

計算結果から決定した。具体的には、電波吸収パネルに入射角が 30° と 60° である電波が入射した場合の吸収性能を伝送線路法によって計算した。

図-3(a)、(b)はそれぞれ、入射角 30° 、 60° の場合の吸収性能の計算値を示している。ここでは、棧形フェライト幅 t と棧の間隔 b の比 t/b を設計パラメータとして図中に示した。これらの計算結果から、入射角 30° の場合はパラメータ $t/b=0.30$ 、入射角 60° の場合はパラメータ $t/b=0.18$ とすれば最も広帯域な吸収特性が得られる。したがって、入射角 30° 、 60° の場合の棧形フェライトのピッチ b は、それぞれ 27mm 、 44mm とした。

計算結果から、入射角 60° の場合の最適な棧形フェライトの間隔は、入射角 30° の場合の間隔よりも広いことがわかった。電波吸収体の使用フェライト量は、入射角が大きいくほど低減できる。したがって開発した吸収パネルは入射角が大きいくほど、軽量化の面で有利である。

§ 3. 吸収性能評価実験

図-1 に示した構造のガラスカーテンウォールのモ

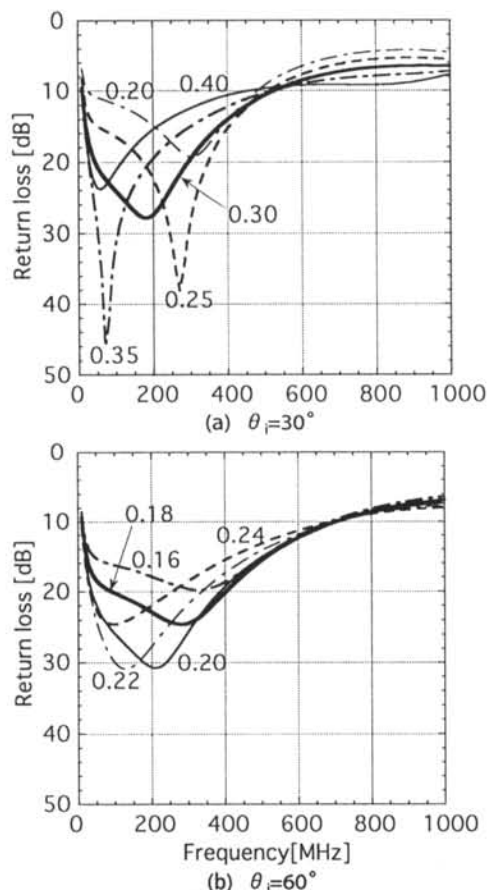


図-3 吸収性能の計算値

ックアップとして、図-4 に示す断面構成の試験体を作成し、電波吸収性能を評価した。モックアップは鋼製ベッドを終端板としてのその上に構成した。入射波に対して鋼製ベッドの背面に位置すべき石膏ボードは、吸収性能に影響しないために省略した。

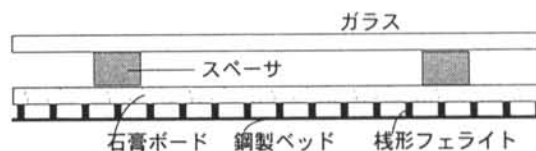


図-4 試験体の断面

評価実験は、郊外のサイトにて周波数帯域 $80\sim 1000\text{MHz}$ の対数周期アンテナを用いて行った (図-5 参照)。電波吸収パネルは棧形フェライトの棧の方向が磁界と平行となるようし、地上面での反射波の影響を除去するために地上 3m の高さに設置した。また入射波が平面波領域となるようにするため、評価を行う全周波数領域において試験体から 2λ (λ : 評価する電波の波長) 以上となるようにアンテナを設置した。電波吸収パネルの大きさは、 $x > \lambda$ (x は図中に示す試験体のアンテナからの見かけ上の長さ) の条件を満たすように、入射角 30° 、 60° で、それぞれ $3.5 \times 4.0\text{m}$ 、 $3.5 \times 6.5\text{m}$ とした。

本評価実験ではタイムドメイン法⁶⁾を用いて、平面波入射に対する電波吸収パネルのみからの反射波を計測した。まずパネルの上面を金属シートで覆い、反射波をリファレンス値として計測する。次に金属シートを取り除いた時の反射波の強度を計測し、両者の差をとることによって電波吸収性能とした。

§ 4. 結果とその検討

入射角 30° 、 60° の場合の金属シートと吸収パネルからの反射波の強度の比較を図-6 (a)、(b) に示す。縦軸の attenuation は、ネットワークアナライザの出力に対する

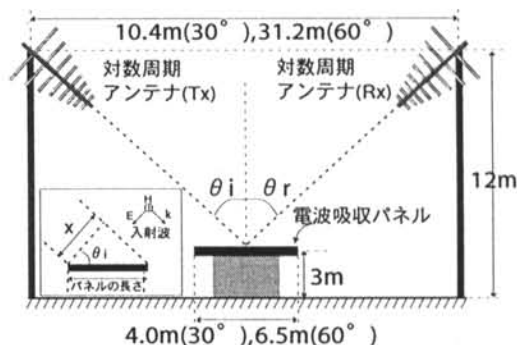
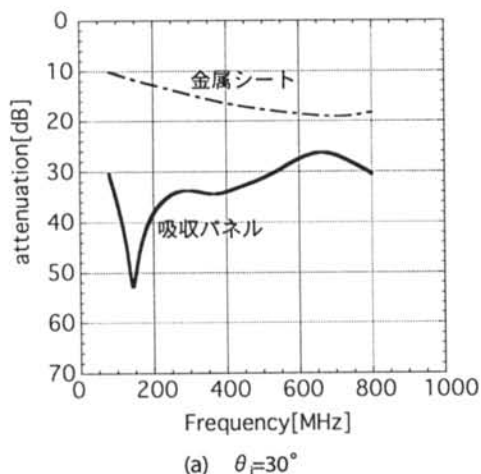


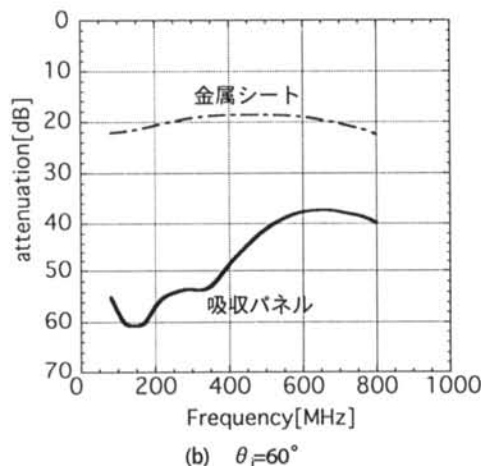
図-5 タイムドメイン法による吸収性能評価

入力強度の比を表している。両入射角ともにリファレンス値である金属シートの反射波の変動が、全評価周波数帯域において 10dB 以内となっており、吸収パネルが吸収性能を評価するのに十分な大きさであることがわかる。

図-7は入射角 30° の場合の吸収性能の計算値と実測値の比較を示している。開発した電波吸収パネルは周波数 80~492.2MHz の領域において吸収性能が 14dB を上回っており、VHF、UHF 両周波数帯域において十分な



(a) $\theta=30^\circ$



(b) $\theta=60^\circ$

図-6 反射波の強度

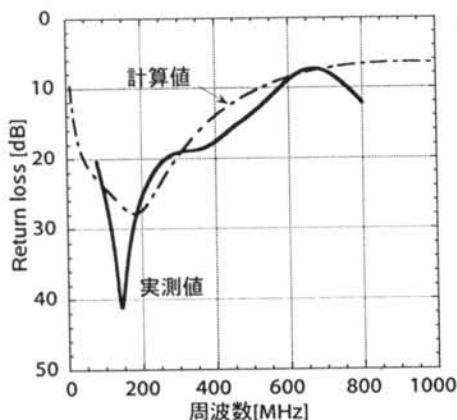


図-7 吸収性能 ($\theta=30^\circ$)

電波吸収性能を有することが明らかになった。

周波数 150MHz 付近において、計算値と実測値との間に 10dB 程度の差がある。この原因は、図-8に示すように本評価実験の測定系のダイナミックレンジが 20~25dB 程度であるため、吸収性能 20dB 以上の実測値はある程度の誤差を含んでいることに起因すると考えられる。

図-9は、入射角 60° の場合の吸収性能の計算値と実測値の比較を示している。吸収性能は、評価した全周波数領域において 17dB を上回っている。しかし、計算値と実測値には大きな差がある。この原因について実験上の誤差が考えられるパラメータについて計算によって検討したが、各パラメータの変化は吸収性能の計算結果に大きく影響しないことがわかった。計算値と実測値の差の原因は今後の検討課題である。

§ 5. おわりに

椋形フェライト吸収体を用いたガラスカーテンウォール組み込み型電波吸収パネルを開発した。この電波吸収体は伝送線路法を用いて設計し、入射角 30° と 60° に

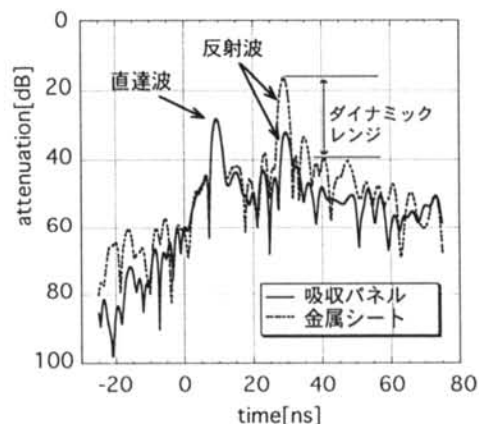


図-8 時間領域の反射波 ($\theta=30^\circ$)

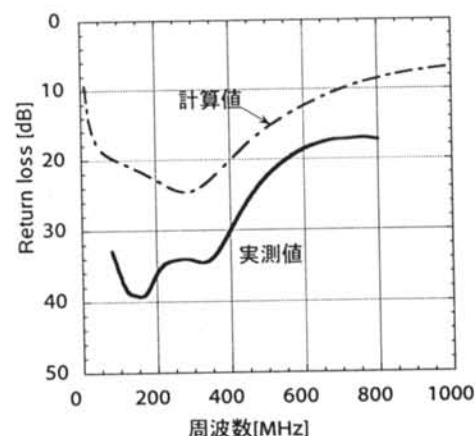


図-9 吸収性能 ($\theta=60^\circ$)

対して、吸収性能が 14dB 以上となる周波数帯域が最も広くなるように、棧形フェライトの棧の間隔を最適化した。タイムドメイン法によって電波吸収パネルの吸収性能を評価したところ、吸収性能が 14dB 以上となる周波数帯域は、入射角 30° の場合、80.0~492.2MHz、入射角 60° の場合、80.0~800.0MHz という結果が得られた。したがって開発した電波吸収パネルは、UHF、VHF 両帯域において電波の反射を効果的に抑制できることが明らかになった。

実測値と計算値との比較より、伝送線路法に基づいた設計手法が有効であることが明らかになった。開発した電波吸収パネルは入射角が大きい場合に広帯域性能が特に優れており、軽量化の面でも有利であることが明らかになった。

今回開発したガラスカーテンウォール組み込み型広帯域電波吸収パネルは、今後 5 年程度以内に発生する超高層建物の案件の技術営業上も非常に有用である。

<参考文献>

- 1) 山崎滋：“複数ゴースト妨害の主観表か定量化に関する一考察”，テレビジョン学会誌，Vol. 33-8，1979
- 2) Yoshiyuki Naito, Hiroki Anzai and Tetsuya Mizumoto：“FERRITE GRID ELECTROMAGNETIC WAVE ABSORBERS”，IEEE EMC Symp., 1993
- 3) 内藤喜之，高橋道晴，水本哲弥，野瀬浩之：“棧形フェライト電波吸収体の広帯域特性”，電子情報通信学会論文誌，B-II Vol. J76-B-II，No.7，1993
- 4) 清水康敬ほか：“電磁波の吸収と遮蔽”，日経技術図書，1989.
- 5) Yoshiyuki Naito, et al.：“A note on permeability dispersion of spinel ferrite”，Trans. IECE Japan, vol.56-C, 1989.
- 6) 橋本修：“電波吸収体入門”，森北出版，1997.

付録1 タイムドメイン法

まず周波数領域において反射波の強度を測定し、フーリエ逆変換(IFFT)により時間領域に変換する。さらに不要な反射波をタイムゲート機構で除いた後、再び周波数領域にフーリエ変換(FFT)して測定試料の吸収量を評価する方法である(図-A1 参照)。このように、不要な散乱波を時間領域で分離して評価できるので高精度の評価が可能であるが、測定試料近傍からの反射波の影響を十分に除去するために、測定試料と他の反射体との距離をある程度離す必要がある。

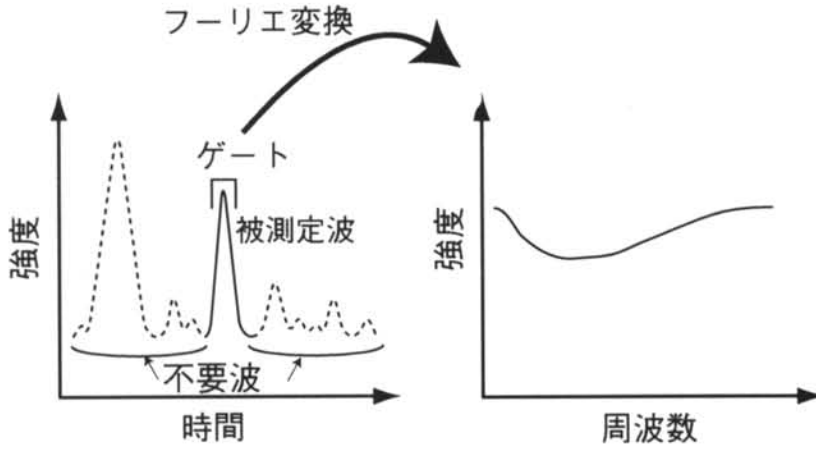


図-A1 タイムドメイン法の原理

付録2 計測状況

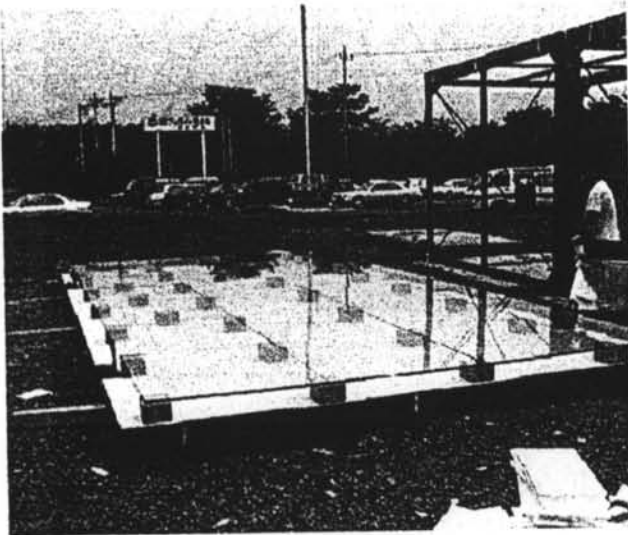


写真-1 試験体の外観

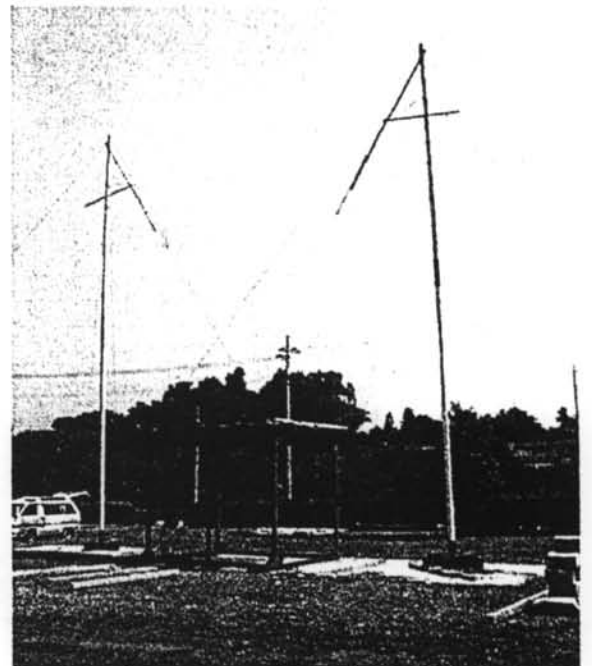


写真-2 計測の様子