

アンテナ間結合の変化を利用した物体検知

木 谷 博*

Object Detection by means of Deviation Analysis in Coupling Level Between Two Antennas

Hiroshi KITANI

When an object approaches a transmitting antenna and a receiving antenna which are located nearby, the receiving level will change. If this change is recognized, object detection or intruder detection will be realized.

Theoretical calculation, small size test and field test have been conducted in order to confirm this concept.

The receiving level deviation versus metal rod position on metal plate has been theoretically calculated in the case that the transmitting unipole antenna, the receiving unipole antenna and the metal rod the length of which are one quarter wavelength. The result of the small size test in 1000MHz coincides well with the theoretical value.

The field test in 40MHz has been done for body detection. The height of the body nearly equal to one quarter wavelength in 40MHz. System design, configuration and the test results are reported.

1. 序論

人の検知には、赤外線、マイクロ波、超音波などを人体に当ててその透過特性や反射特性などを利用したもの、人が電線に近づいたときの電界変化を利用したもの、人が電線に触れた結果導通が断になるのを利用したものなど、様々なものがある。

互いに近距離にある送信アンテナと受信アンテナの近傍に物体を近づけると受信アンテナの受信信号レベルが変化する。この変化を認知すれば、物体検知や侵入者検知ができると考えられる。この考えを実際に確認するため、理論検討、実験を行った。以下 侵入者検知センサの現状、本研究でいう侵入者検知の原理、検知領域（エリア）、縮小モデル実験結果、実物モデルでの実験結果などについて述べる。

* 電気工学科

2. 侵入者検知の原理

2. 1 従来の侵入者検知

人の侵入検知センサは検知エリアによって、表2. 1に示すように小エリア，線状エリア，場所限定型に分類できる。

表2. 1 検知エリアによるセンサの分類

	小エリア	線状エリア	場所限定型
センサ名	<ul style="list-style-type: none"> ・焦電センサ ・マイクロ波ドップラセンサ ・テレビ画像処理センサ ・超音波センサ 等 	<ul style="list-style-type: none"> ・透過式赤外線センサ ・断線センサ ・音響式センサ ・電界式フェンスセンサ 等 	<ul style="list-style-type: none"> ・ガラス破壊音検知センサ ・リミットスイッチ ・振動センサ ・透過式光センサ 等

小エリアのセンサは直径2～3m位のエリアのセンサであり，代表なものとして人体から放射される赤外線を検知する焦電センサがある。線状エリアのセンサは守りたいエリアの周囲にセンサを線状に配置するものであり，主なものとして，赤外線が侵入者によって遮断されるのを検知する透過式赤外線センサなどがある。場所限定型のセンサには，ガラス窓の切断や破壊音などだけを検知するガラス破壊音検知センサなどがある。

本研究の「アンテナ間結合の変化を利用した侵入者検知」は2本のアンテナを囲む，上記の分類にはどれにも属さない大エリアの侵入者検知と思われる。

2. 2 アンテナ間結合の変化を利用した侵入者検知の原理

図2. 1に示すように大地上に2本のアンテナを数波長（以下，波長を λ と書く）の間隔で立てる。アンテナの近傍に侵入者が来ると、送信アンテナから受信アンテナへ直接受信される信号のほかに、送信アンテナから侵入者へ行き、その侵入者から反射されて来た信号が加わり、

受信アンテナで受信される信号は図2. 2に示すようにベクトル \dot{A}_0 から \dot{A} へ変化する。その変化分 \dot{U} の割合が大きいと「侵入者あり」とするものである。

理論検討，模擬実験を1000MHzで行い，その後40MHzで人間の検知を行った。

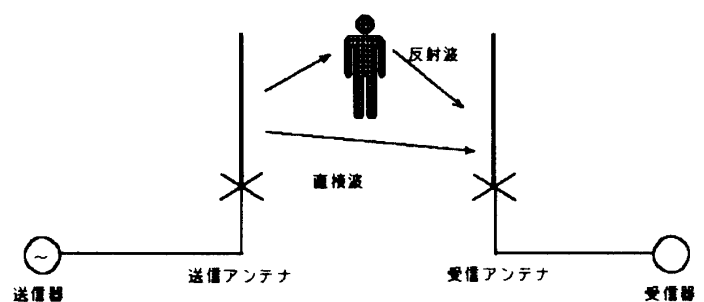


図2. 1 概念図

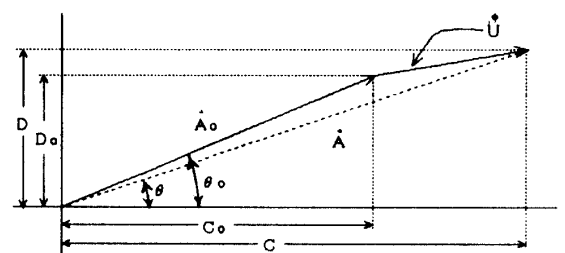


図2. 2 ベクトル図

3. 1000MHzでの模擬実験

3.1 理論

図3.1に示すように金属板上に距離Dの間隔で 0.25λ のユニポールアンテナ#1, #2を立て, その近傍に 0.25λ の金属棒#3を置く。#3が存在しないときの#1~#2, 存在するときの#1~#3は図3.2(a)や

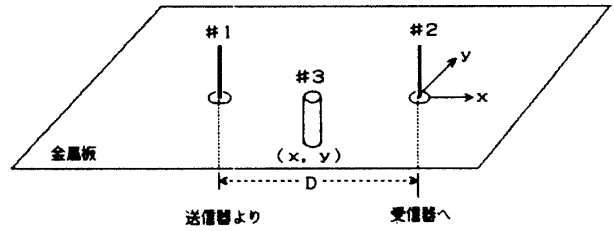


図3.1 アンテナ・金属棒・配置図

(b)のように半波長ダイポールアンテナの等価回路に置き換えられる。

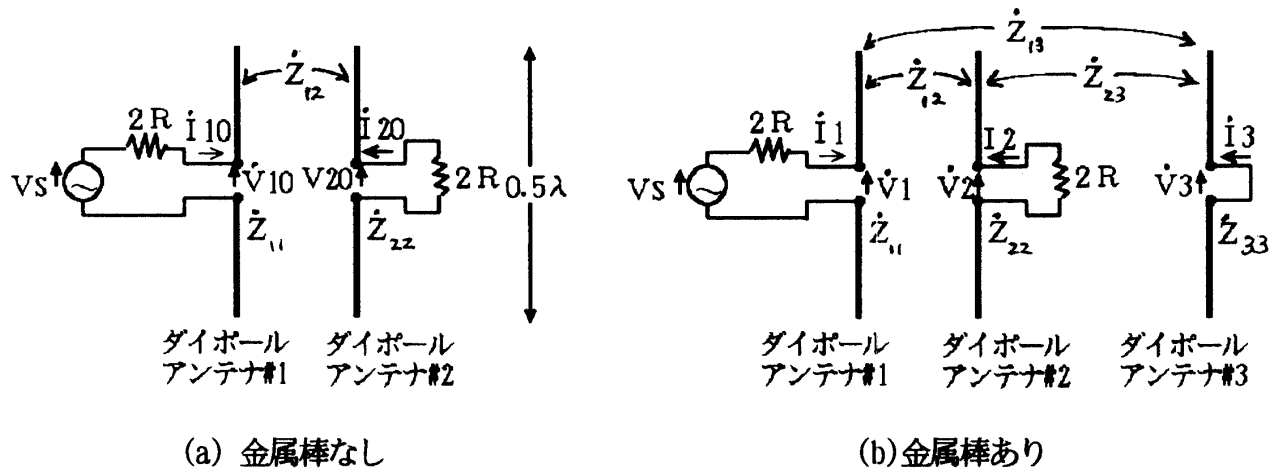


図3.2 等価回路

図3.2(a)は次に示す連立方程式が成立する。

$$\begin{aligned}\dot{V}_{10} &= \dot{Z}_{11} \dot{I}_{10} + \dot{Z}_{12} \dot{I}_{20} \\ \dot{V}_{20} &= \dot{Z}_{21} \dot{I}_{10} + \dot{Z}_{22} \dot{I}_{20} \\ \dot{V}_{10} &= \dot{V}_s - 2R \dot{I}_{10} \\ \dot{V}_{20} &= -2R \dot{I}_{20}\end{aligned}$$

図3.2(b)は次に示す連立方程式が成立する。

$$\begin{aligned}\dot{V}_1 &= \dot{Z}_{11} \dot{I}_1 + \dot{Z}_{12} \dot{I}_2 + \dot{Z}_{13} \dot{I}_3 \\ \dot{V}_2 &= \dot{Z}_{21} \dot{I}_1 + \dot{Z}_{22} \dot{I}_2 + \dot{Z}_{23} \dot{I}_3 \\ \dot{V}_3 &= \dot{Z}_{31} \dot{I}_1 + \dot{Z}_{32} \dot{I}_2 + \dot{Z}_{33} \dot{I}_3 \\ \dot{V}_1 &= \dot{V}_s - 2R \dot{I}_1 \\ \dot{V}_2 &= -2R \dot{I}_2 \\ \dot{V}_3 &= 0\end{aligned}$$

これらの連立方程式から金属棒が存在しないときの受信電流 \dot{I}_{20} 、存在するときの受信電流 \dot{I}_2 が計算される。ここで R は送受信器の出入力インピーダンスである。また \dot{Z}_{mn} (ただし $m=n$) は半波長ダイポールの自己インピーダンス, \dot{Z}_{mn} (ただし $m \neq n$) は半波長ダイポールの相互インピーダンスであり, これらは文献⁽¹⁾による値を用いた。なお, 相互インピーダンスはアンテナや金属棒相互の距離の関数である。

物体が存在しないときの受信レベルの大きさを A_0 , 受信ベクトルの変化分の大きさを U とおくと, これらの間に次式が成立する。

$$\frac{U}{A_0} (\text{dB}) = 20 \log \left| \frac{\dot{I}_2 - \dot{I}_{20}}{\dot{I}_{20}} \right|$$

$U/A_0(\text{dB})$ を物体検知量と名付ける。

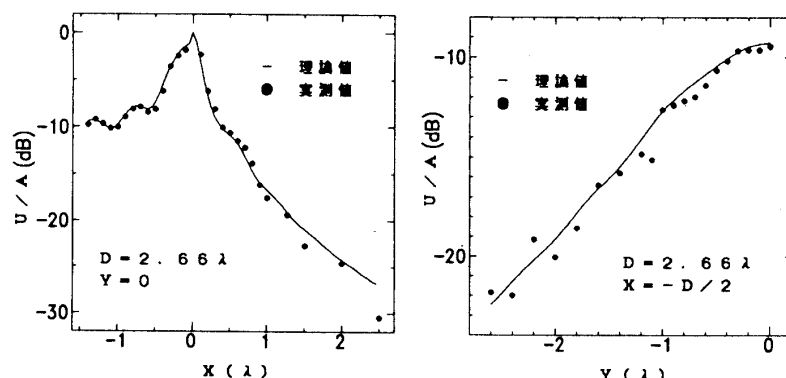
3.2 模擬実験

周波数 1000MHz で $6.6\lambda \times 6.6\lambda$ のアルミ板の上に, 0.25λ の2本のアンテナおよび金属棒 (直径 0.016λ) を置き, 金属棒の存在位置を変えながら金属棒の有無による受信信号の振幅変化を $\Delta A(\text{dB})$, 位相変化を $\Delta\theta$ をネットワークアナライザにより測定した。

ΔA と $\Delta\theta$ を使って物体検知量は次式で与えられる。

$$\frac{U}{A_0} (\text{dB}) = 10 \log \left\{ 1 + 10^{\frac{\Delta A}{10}} - 2 \cdot 10^{\frac{\Delta A}{20}} \cos \Delta\theta \right\}$$

アンテナ間隔 $D = 2.66\lambda$ のときの物体位置と物体検知値の関係を図3.3に示す。同図では理論値も示している。理論値と実測値はほぼ一致している。



(a) X方向

(b) Y方向

図3.3 物体位置と $U/A_0(\text{dB})$

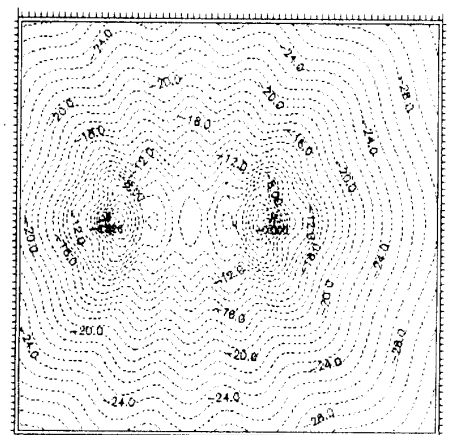


図3.4 $U/A_0(\text{dB})$ 等高線図

図3.4は物体検知値 U/A_0 (dB)の等高線図である。等高線は U/A_0 (dB)が大きいときは送信アンテナ，受信アンテナをそれぞれ別々に囲むようになっている。 U/A_0 (dB)が小さいときには2つのアンテナを囲む領域となる。アンテナ間隔 $=2.66\lambda$ で U/A_0 (dB) $=-12$ dBを例にとると，その領域はX方向に約 4λ ，Y方向に約 2λ が検知領域となる。

もし後述の40MHzを使うと $\lambda=7.5$ mなのでその領域はX方向は約30m，Y方向は約15mの範囲が検知領域となり極めて大きい。

4. 40MHzでの野外実験

4.1 実験装置

図4.1に実験装置の全体構成を示す。実験装置は送信器，アンテナ，受信器などからなる同期検波部，A/D変換部，D/A変換部，パソコンなどからなるデータ処理部から成る。以下各部の説明を行う。

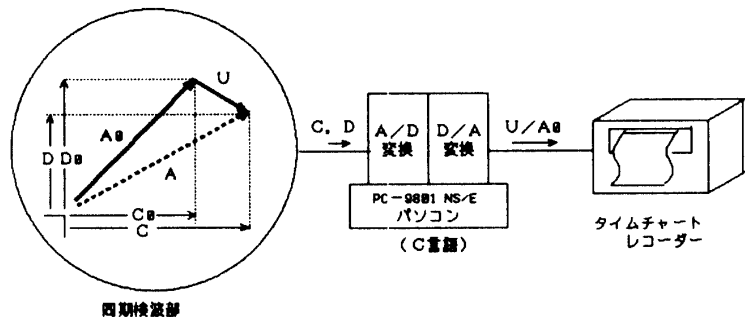


図4.1 実験装置の構成

4.1.1 同期検波部

同期検波部は受信信号ベクトルを求めるために設けた直交成分検出回路⁽²⁾である。

同期検波部は受信器の局部発信信号源の周波数と受信信号の周波数とを同じにする。2つのミキサーを置き，一方には送信信号の一部をそのまま局部発信信号源とし，他方は 90° 移相器を経た信号を局部発信信号源とする。このようにすると，受信ベクトル E を直交する2つの直流成分 C および D として検出できる。

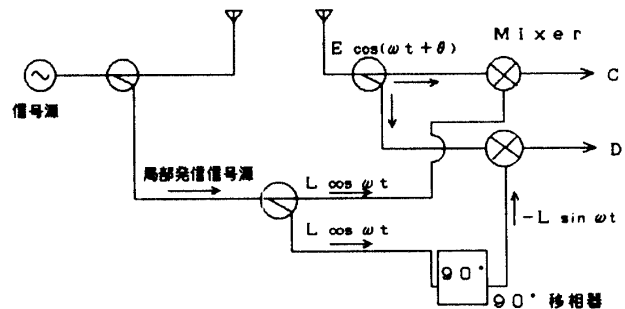


図4.2 同期検波部

[0° 方向成分 (出力C)]

$$C = \frac{EL}{2} \cos \theta$$

[90° 方向成分 (出力D)]

$$D = \frac{EL}{2} \sin \theta$$

ここで， E は受信信号の振幅， L は局部発信信号源の振幅， ω は角周波数， θ は位相角である。

4.1.2 ベクトル計算

図2. 2に示すベクトル A_0 、ベクトル A の大きさ、および方向は直交出力 (C_0, D_0) 、 (C, D) から次式で求められる。

$$\begin{aligned} A_0 &= \sqrt{C_0^2 + D_0^2} & \theta_0 &= \tan^{-1} (D_0 / C_0) \\ A &= \sqrt{C^2 + D^2} & \theta &= \tan^{-1} (D / C) \end{aligned}$$

これを用いて物体検知量は次式のように計算される。

$$\frac{U}{A_0} \text{ (dB)} = 10 \log \left\{ 1 + \frac{C^2 + D^2}{C_0^2 + D_0^2} - 2 \sqrt{\frac{C^2 + D^2}{C_0^2 + D_0^2}} \cos (\theta - \theta_0) \right\}$$

人が居ないときの直交出力 (C_0, D_0) はコンピュータ処理により直交出力 (C, D) から取り出す。

4.1.3 データ処理

前述のベクトル計算と、人が居ないときの直交出力の抽出のため本実験ではパソコンを使った。プログラムにはC言語を採用した。図4. 3および図4. 4に処理のフローを示す。

パソコンでは直交出力 (C, D) と直交出力 (C_0, D_0) を用いて物体検知量 U/A_0 (dB)を計算すると共に、 (C, D) から (C_0, D_0) を選び出し、これをメモリに記録する。現時点での U を計算するときは、1分前の (C_0, D_0) を取り出して使う。

(C_0, D_0) は1秒毎の値とする。すなわち、 (C_0, D_0) の各配列の寸法を60とし、1秒毎のデータを入れる。現時点での U/A_0 (dB)を計算するときは、1分前のデータが入っている配列から取り出して計算する。

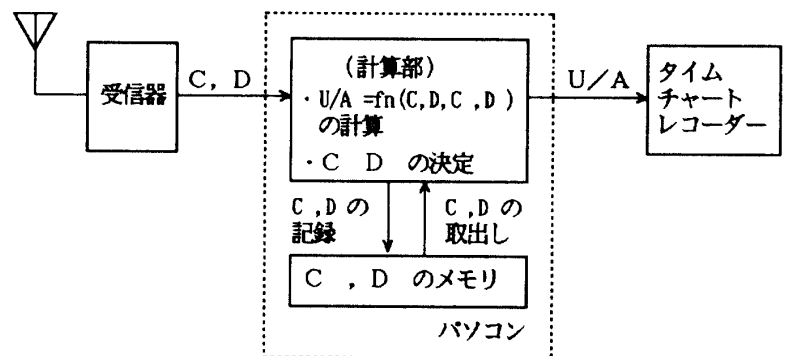


図4. 3 処理のフロー

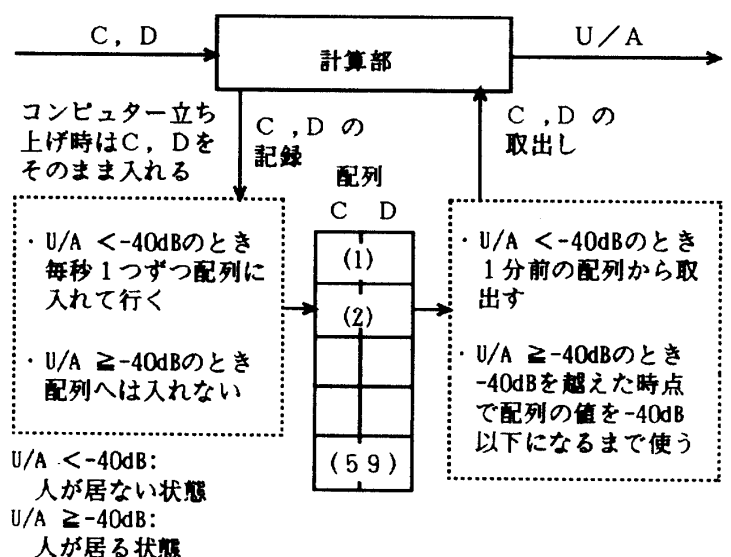


図4. 4 直交出力 (C_0, D_0) の扱い

$U/A_0(\text{dB})$ が -40 dB 以下の場合には配列を現時点のデータに更新するが、これ以外のときは人が居ると判断して配列を更新しない。

4.2 実験結果

大地上に 2.66λ の間隔で2本のユニポールアンテナ（半径方向への8本の大地線付き）を置き、野外実験を行った。

2本のアンテナを結ぶ方向（X軸方向）と、アンテナ間の中央を直角に横切る方向（Y軸方向）に人間が歩いたときの結果とそのときの理論値（×印で示す）を図4.5に示す。

実測値である人間と理論（金属棒）との間には $U/A_0(\text{dB})$ に約 10 dB の差があるが応答カーブは相似である。このことからプログラムは正常に動作していると言える。

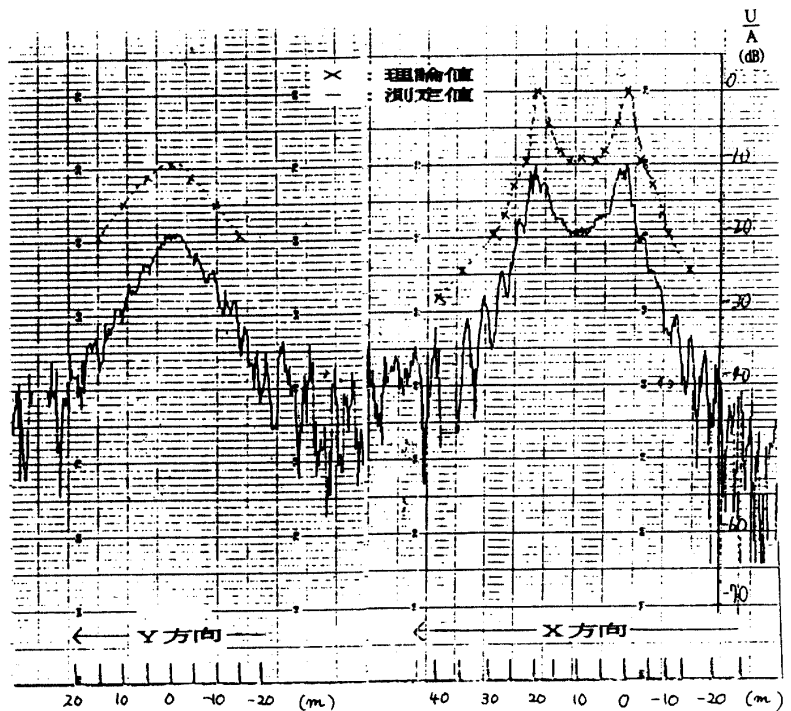


図4.5 X方向, Y方向歩行時の応答特性

侵入者が居ないときの経時変化を図4.6～4.7に示す。図4.7はパソコン立ち上げ時に配列に (C_0, D_0) を記憶させた後、故意にデータを更新しない場合である。この場合はアンテナと送受信器などを結ぶケーブルの特性（振幅及び位相）が温度によって変化するためか、 $U/A_0(\text{dB})$ が自然に大きくなってしまふ欠点がある。このような現象を避けるためにも配列の更新は必要である。

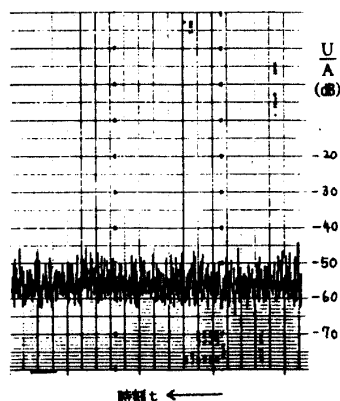


図4.6 (C_0, D_0) 値更新ありの経時変化
(経過時間: 20分)

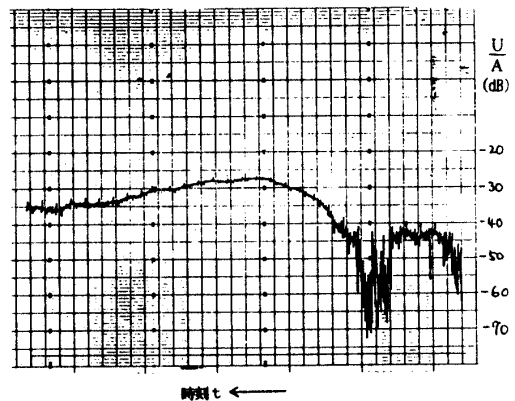


図4.7 (C_0, D_0) 値更新なしの経時変化
(経過時間: 30分)

5. 結論

物体がアンテナに近づくとアンテナ間の結合が変化する。この変化分から物体検知や侵入者検知を行うことが考えられ、1000MHzでの縮小モデル、40MHzでの人の検知を目的とした実物モデル実験を行った。

1000MHzでは金属板上に送受の0.25波長のユニポールアンテナ、ならびに0.25波長の金属棒を置き、金属棒の位置と結合の変化量(物体検知量と定義)との関係について測定した。一方、理論計算も行いその結果と実測値はほぼ一致した。

40MHzでは物体検知量 U/A_0 (dB)を自動的に計測できるシステムを構築した。これは次のようにして行った。すなわち、相互に位相が90度異なる局部発信信号源を用いて、アンテナ受信信号を同期検波し、受信信号ベクトルを2つの直交成分直流出力(C, D)として取り出す。人が居るときの直交成分(C, D)の他に人が居ないときの直交成分(C_0 , D_0)が分かっておれば、これらを用いて U/A_0 (dB)を計算できる。人が居ないときの直交成分(C_0 , D_0)はパソコンの判断で過去の(C, D)から取り出す。これらはC言語を用いてデータ処理を行った。

装置を構成し、プログラムを開発し、これを使って歩行実験を行った。2つのアンテナを結ぶ方向と、2つのアンテナの中央を直角に横切るような方向に人間が歩行し、 U/A_0 (dB)波形を記録した。その結果、金属棒の U/A_0 (dB)の理論値とはレベル的には約10dB低いが相似的な記録データが得られ、システムとして動作することが確認できた。

これらの研究を通じて2本のアンテナを立てその近傍に人が入ると U/A_0 (dB)が大きくなるシステムを作り上げることはできた。これを真の侵入者検知センサとするにはアンテナ間隔をいくらにすべきか、 U/A_0 (dB)の閾値がいくらであったらアラームを鳴らすか、など種々の検討が必要である。

参考文献

1. JOHN D. KRAUS, 谷村功訳: "空中線", 無線従事者教育協会, 昭和32年12月
2. 大森俊一, 横島一郎, 中根央: "高周波・マイクロ波測定", コロナ社
3. 木谷博, 石河伸一: "アンテナ間の結合変化を利用した物体検知の基礎検討"
平成5年度電気関係学会北陸支部連合大会 C-36
4. 木谷博, 林茂伸, 石河伸一: "アンテナ間の結合変化を利用した物体検知の検討(2)"
平成8年度電気関係学会北陸支部連合大会 C-29

(平成8年12月17日受理)