

パルス応答による直線状アンテナの等価回路の推定

A Study of the Equivalent Circuit Based on Analysis of Pulse Response
of a Linear Antenna

久保田賢二*, 福井啓文*, 越後宏**, 佐藤利三郎**

Kenji Kubota*, Hirohumi Fukui*, Hiroshi Echigo** and Risaburo Sato**

*岩手大学, **東北学院大学

*Iwate University, **Tohokugakuin University

キーワード: パルス応答(pulse response), 直線状アンテナ(linear antenna), 等価回路(equivalent circuit), 時間領域(time domain)

連絡先: 〒020-8551 盛岡市上田4-3-5 岩手大学工学部電気電子工学科 久保田賢二
Tel.&Fax: (019)621-6385, E-mail: kubota@dragon.elc.iwate-u.ac.jp

1. はじめに

無線通信においてはアンテナは必要不可欠なものであり、これは電源から給電線を経て供給される電気エネルギーをできるだけ効率よく電磁波のエネルギーに変換し、外部の希望する方向へ希望する分だけのエネルギーを放射することを目的として設計されるものである。

また一方、現在我々が社会生活を営む上で欠くことのできない電気電子機器から、非意図的に放射される電磁エネルギーによる電磁界は常時存在し、この電磁エネルギーは時として有害な影響を与える場合がある。

従ってアンテナと他の電気電子機器とは、前者は電気エネルギーを電磁波のエネルギーに効率良く変換してエネルギーを外部へ放出するエネルギー変換回路と考えることができ、後者は電気エネルギーをその回路の中で他のエネルギーに変換してできるだけ効率よく消費するように設計されるエネルギー変換回路と考えるこ

とができる。アンテナの場合に外部へ放出されるエネルギーは電源から見ると消費電力となるわけであるから、電力消費という観点でみるとアンテナと他の電気電子機器とは同様の電氣的等価回路で表現できる筈であると考えたい。

しかしながら、アンテナの入力インピーダンス(電力損失が無視できるときには放射インピーダンスに等しい)はアンテナの寸法を決めると周波数によって変化する放射抵抗と放射リアクタンスの直列回路として表現されるのが一般的である。

我々はアンテナの電氣的等価回路を周波数の変化に依存しない電気回路素子である電気抵抗、インダクタンスおよびキャパシタンスを用いて表現することを試みている¹⁾が、今回十分大きなアース平板上に直線状のモノポール素子をアース平板と角度を持たせて設置したときの矩形波パルス応答を測定し、その応答波形²⁾の解析結果に基づいてその電氣的等価回路を推定しようと試みた。

2. 2素子回路のパルス応答

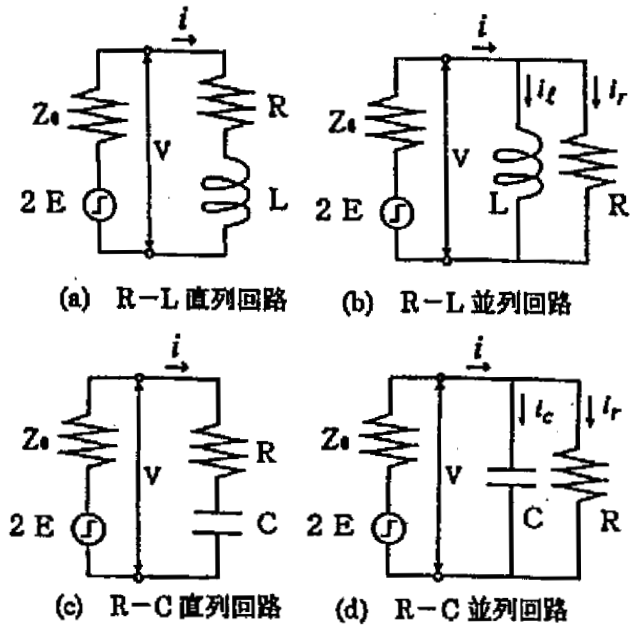


図1 2つの回路素子からなる回路

電気抵抗RとインダクタンスLまたはRとキャパシタンスCとの2種類の電気回路素子からなる回路に、出力インピーダンスが Z_0 である電源を接続したときの回路を図1に示す。図1で(a), (b), (c)および(d)はそれぞれ

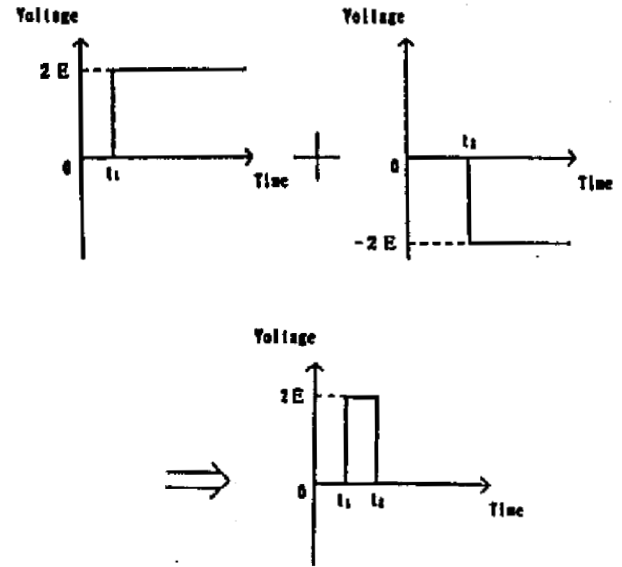


図2 矩形波パルスの合成

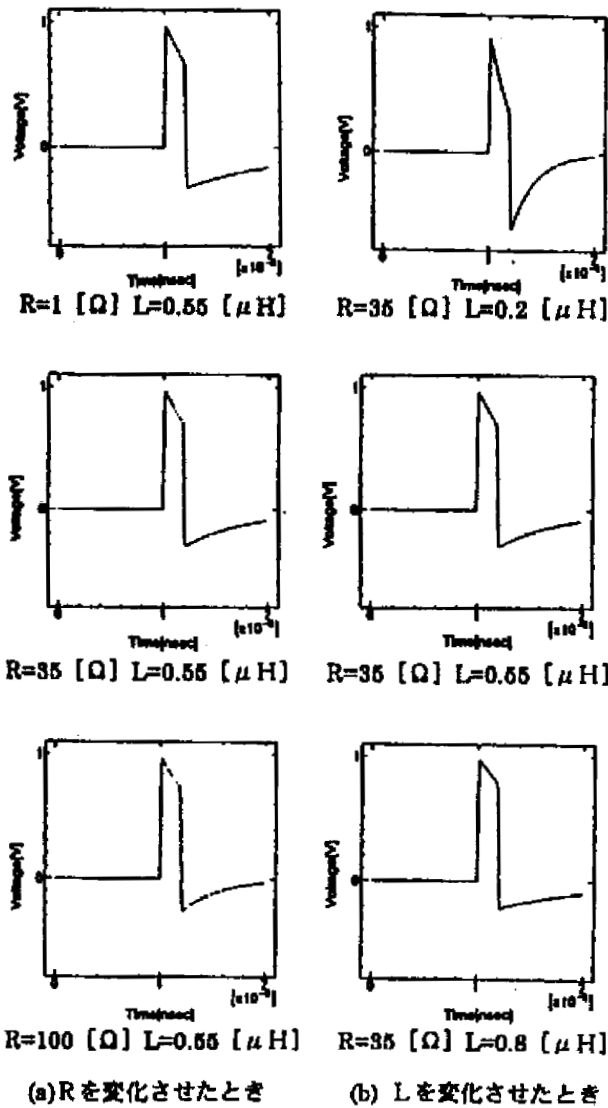


図3 R-L直列回路のパルス応答波形

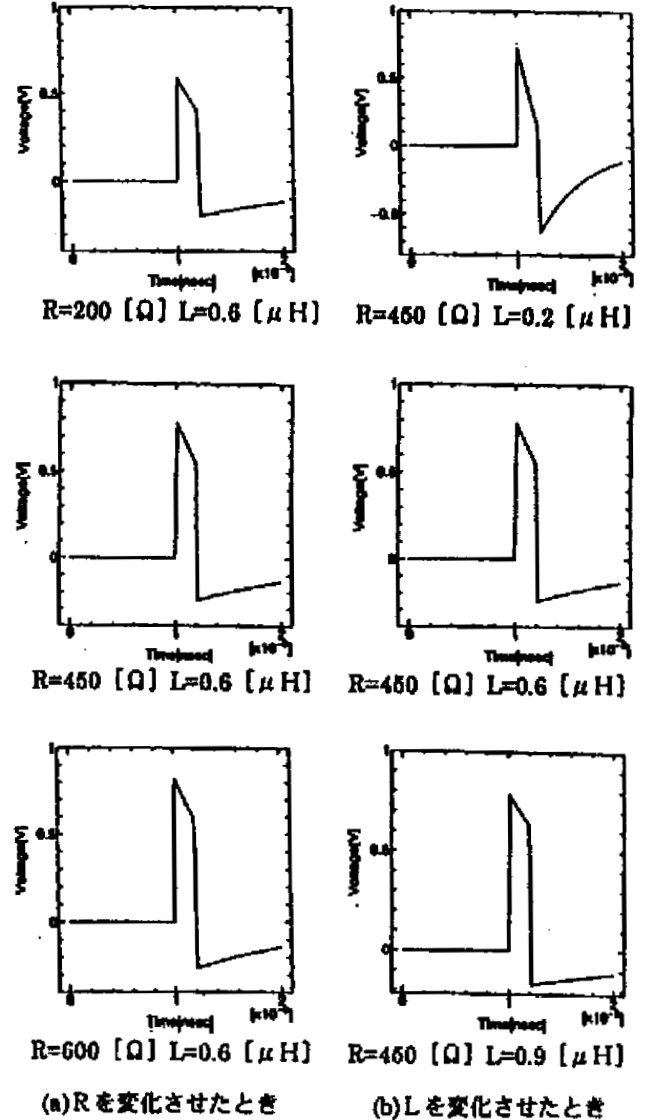


図4 R-L並列回路のパルス応答波形

R-L直列, R-L並列, R-C直列, R-C並列接続回路である. 図1の電源は時刻 $t=t_1$ で立ち上がる大きさ $2E$ のステップ電圧として示してある. 時刻 t_1 で立ち上がり, 時刻 t_2 で立ち下がる大きさ $2E$ の矩形波パルスは, 図2に示すように, 時刻 t_1 で立ち上がり大きさ $2E$ のステップ電圧と時刻 t_2 で立ち下がる大きさ $-2E$ のステップ電圧の和で与えられると考えることができる.

また, 端子電圧 V は, 入射波電圧を V_i , 反射波電圧を V_r とすると

$$V = V_i + V_r$$

だから, 応答電圧すなわち反射波電圧 V_r は

$$V_r = V - V_i$$

となる. ここで, 電源の開放電圧は $2E$ であるので,

$$V_i = E$$

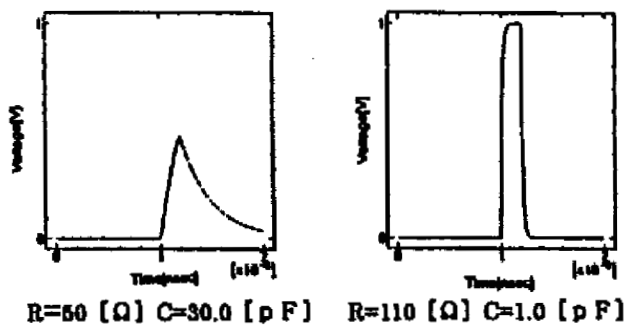
となる.

以上のことを考慮して, 図1の (a) ~ (d)

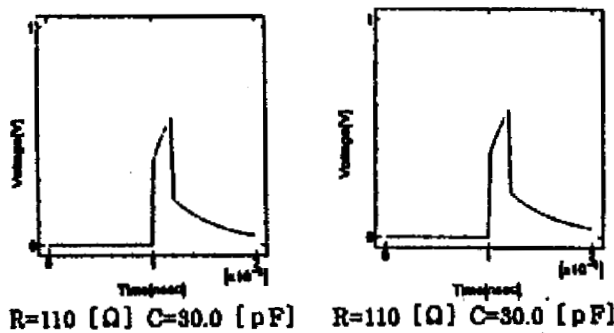
の電源電圧を大きさが2の矩形波パルスであると仮定したときの応答波形(負荷からの反射波形)を計算によって求めるとそれぞれ図3~図6のようになる. 図3と図4において(a)はLの値を一定にしてRの値を変化させたときであり, (b)はRの値を一定にしてLの値を変化させた場合の波形である. 図5と図6において(a)はCの値を一定にしてRの値を変化させた場合の, (b)はRを一定にしてCを変化させた場合の波形である.

3. パルス応答波形の測定

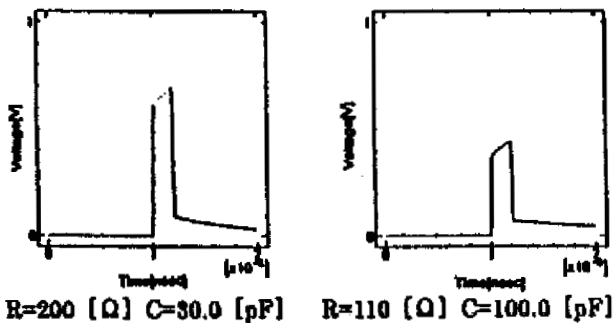
図7にパルス応答波形の測定に用いた装置の概要を示す. 地板の上に直線状の導体棒を地板と角度 θ を保たせるように設置する. 導体棒は地板の下側に取り付けられたレセプタクル同軸接栓の中心導体にハンダ付けしてある. レセプタクル同軸接栓は同軸線路を介してパルス電源を



R=50 [Ω] C=30.0 [pF] R=110 [Ω] C=1.0 [pF]



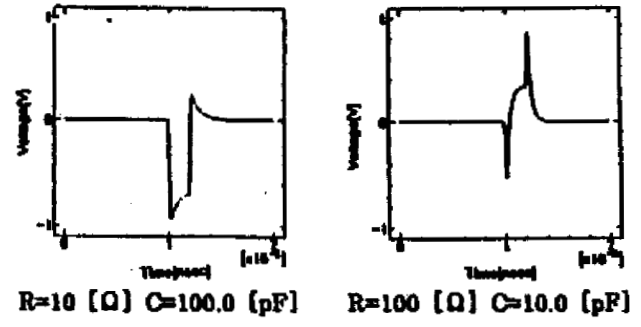
R=110 [Ω] C=30.0 [pF] R=110 [Ω] C=30.0 [pF]



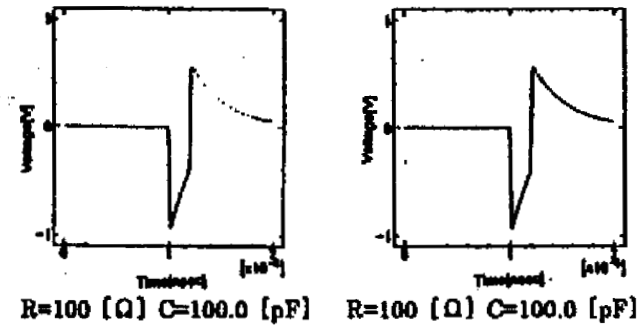
R=200 [Ω] C=30.0 [pF] R=110 [Ω] C=100.0 [pF]

(a) Rを変化させたとき (b) Cを変化させたとき

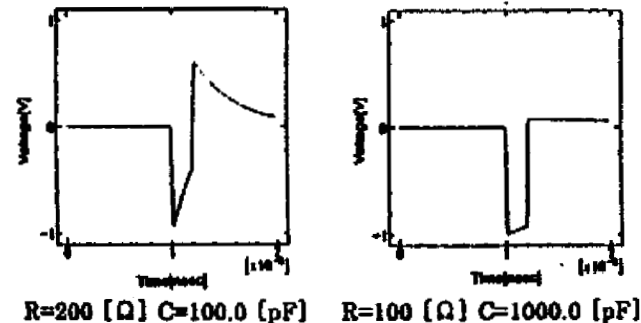
図5 R-C直列回路のパルス応答波形



R=10 [Ω] C=100.0 [pF] R=100 [Ω] C=10.0 [pF]



R=100 [Ω] C=100.0 [pF] R=100 [Ω] C=100.0 [pF]



R=200 [Ω] C=100.0 [pF] R=100 [Ω] C=1000.0 [pF]

(a) Rを変化させたとき (b) Cを変化させたとき

図6 R-C並列回路のパルス応答波形

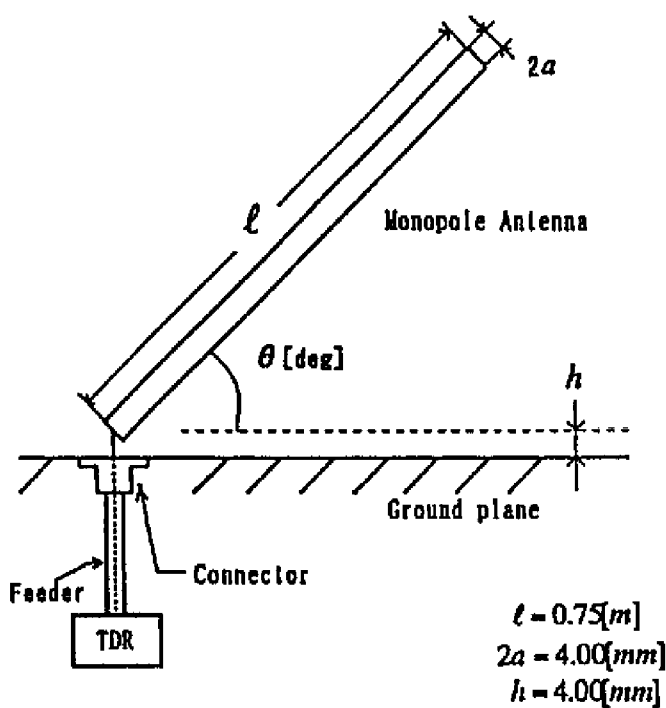


図7 実験装置の概要

内蔵した時間領域反射波測定器 (TDR) に接続する。地板は 2×3 [m²] の広さのアルミニウム平板であり、直線状導体棒には直径 4 [mm]、長さ 75 [cm] の銅棒を用い、導体棒は地板の上 4 [mm] の高さに設置してある。

導体棒の設置角度 θ を 0° から 90° の間で変化させて測定した応答波形の写真を図 8 に示す。縦軸は電圧であり、 20 [mV/div] である。横軸は時間であり、 5 [nsec/div] である。入力パルスのパルス幅は 2 [nsec] である。それぞれの写真の中の左端のパルスは測定器から送出されたパルスの波形である。各写真の左から 2 番目、3 番目、… のパルスはそれぞれ同軸給電線と導体棒との接続端での反射パルス、導体棒の先端 (遠端) での反射パルスのうちの導体棒と同軸給電線の接続点を透過して測定器へ到達した成分、… と考えられる。

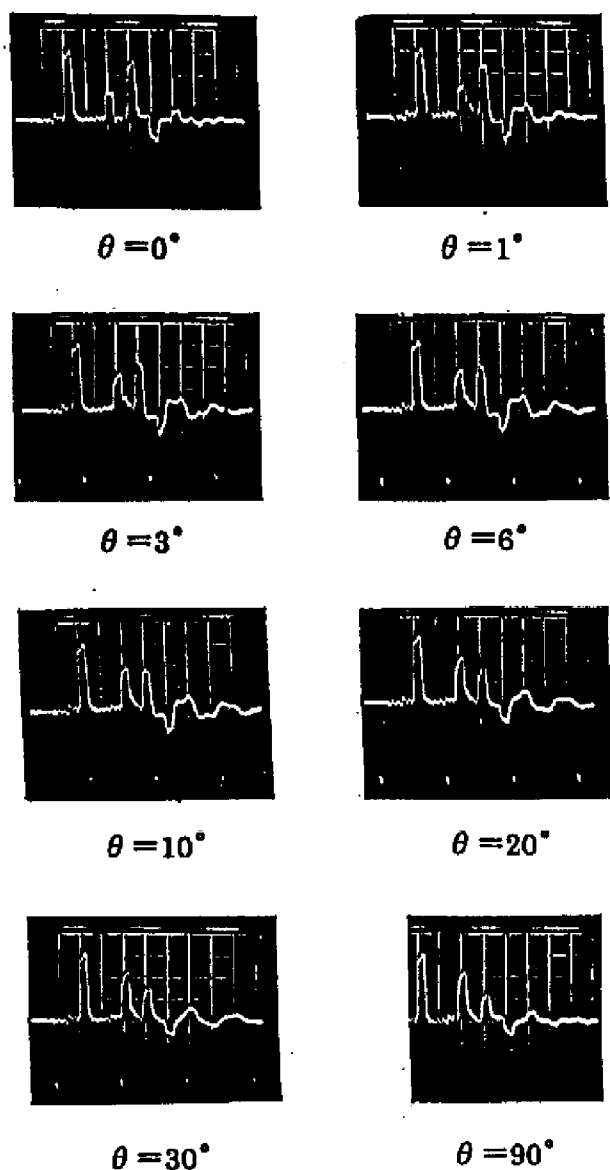


図8 パルス応答波形 (測定値)

4. 等価回路

測定で得られた図 8 の応答波形の中の $\theta = 90^\circ$ の特性と、2 回路素子として計算して得られた図 3 ~ 図 6 の特性とを比較すると、測定された波形と最も傾向の一致しているのは図 5 であることから、直線状アンテナの等価回路には R と C との直列接続回路が含まれるものと類推される。そして、図 8 の中の $\theta = 0^\circ$ の特性と図 3 ~ 図 6 の特性とを比較すると、波形の傾向が最も近いのは図 4 であることから、直線状アンテナの等価回路には R と L との並列接続回路の要素も含まれるものと類推される。

R と C との直列接続回路だけでは、抵抗分が周波数に無関係で R 一定となり、アンテナの放射抵抗が周波数によって変化することの説明ができない。従って R と C との直列回路の他に何

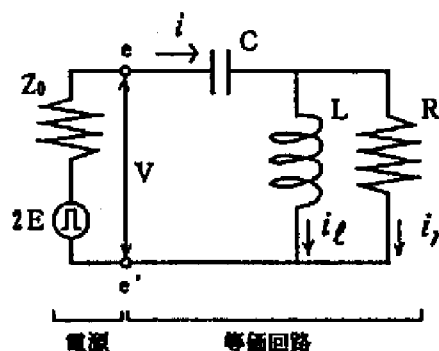


図9 モノポールの等価回路

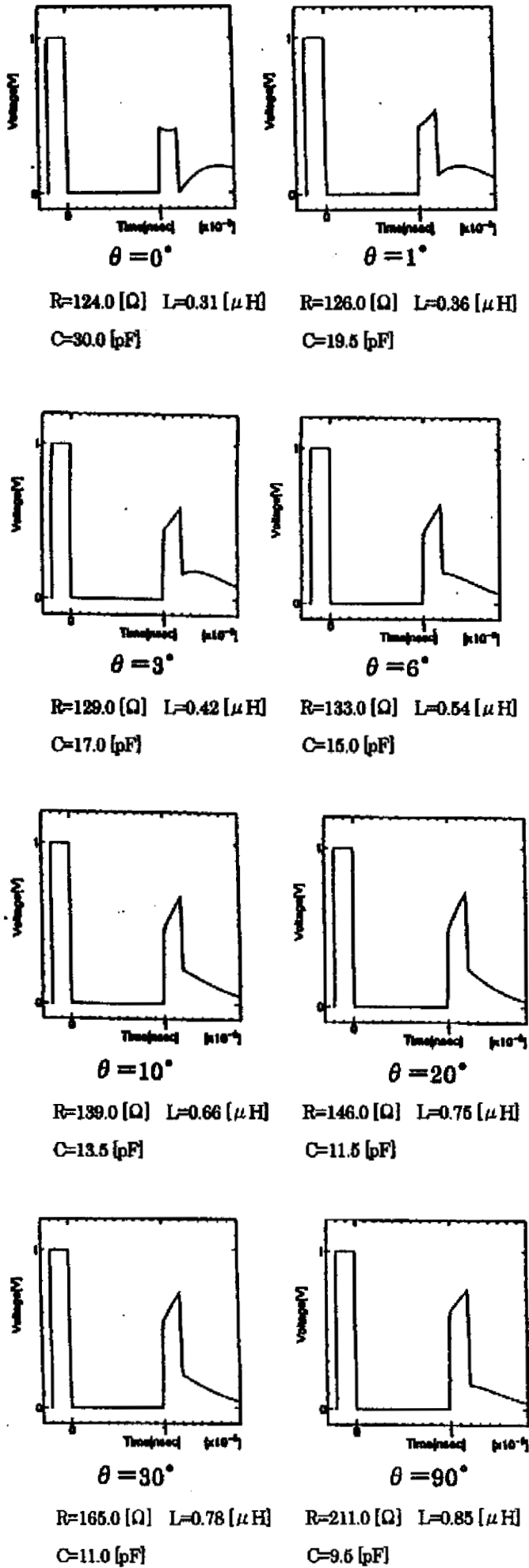
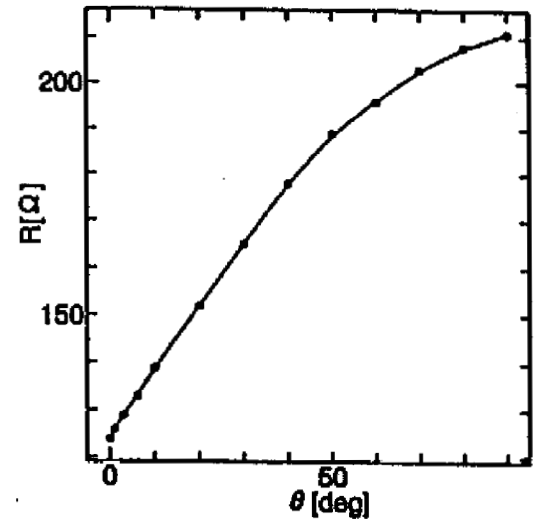
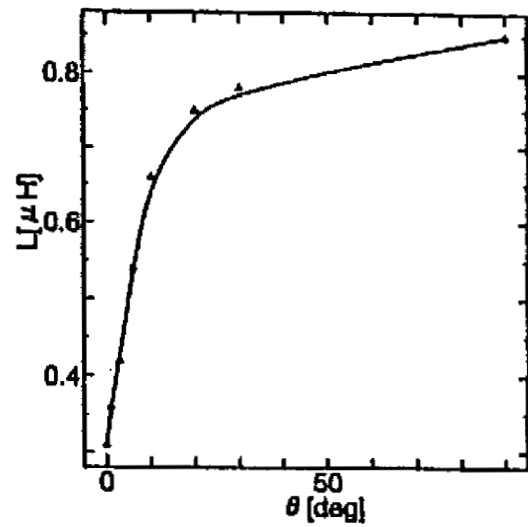


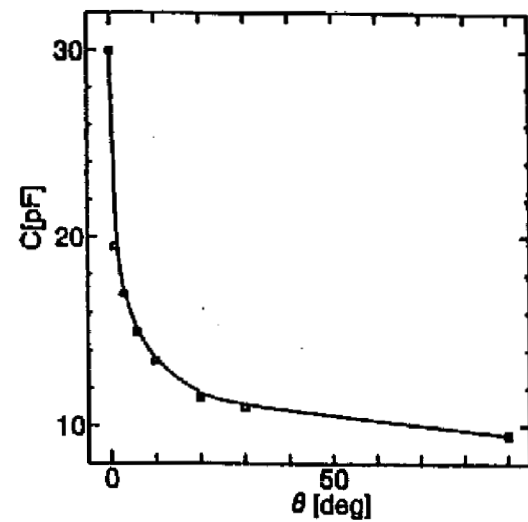
図10 パルス応答波形 (計算値)



(a) Rの変化



(b) Lの変化



(c) Cの変化

図11 θ に対する R, L, C の変化

か少なくとも一つ以上の回路素子がRと並列に入る必要がある。

ここで、Rと並列に入る回路素子として適切と考えられるのはLである。RとLとの並列接続回路にCが直列に接続された図9に示すような回路では、周波数が低くなるにつれてLのインピーダンスが小さくなり、やがてRは無視できるようになり、ほとんどCのみで決まるインピーダンスとなる。また、周波数を徐々に高くしていくとLを無視することができてRとCとの直列回路として決まるインピーダンスとなる。このような入力インピーダンスの振る舞いは全長が1/2波長よりも短い直線状ダイポールアンテナの傾向と類似するものであるから、図9の回路を直線状アンテナの等価回路と仮定して、角度 θ を変化させたときの測定値と合致するようなR、L、Cの値を求めて見ることにする。

図10は等価回路を図9の回路であると仮定して測定波形と合致するように回路定数を選定したときの応答波形の計算値である。図11はこのようにして得られた θ の変化に対する等価回路の定数R、LおよびCの値の変化の様子を示したものである。

5. 入力インピーダンスの検討

図12に周波数 f を100[MHz]としたときに、 θ の変化に対する図9の回路定数R、L、Cが図11のように変化するものと仮定したときの、図9の回路の入力インピーダンスの変化の様子を示す。このときの周波数は、導体棒の長さが丁度1/4波長になる場合に一致している。

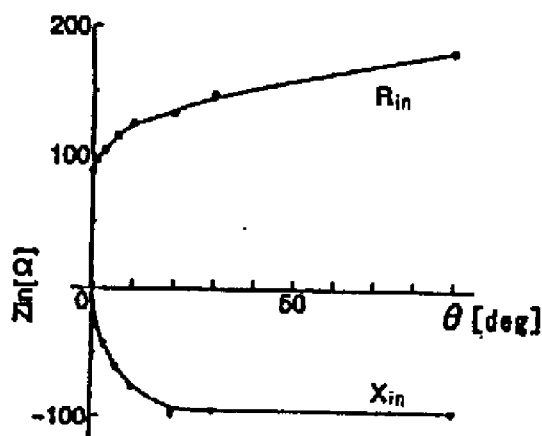


図12 θ に対する Z_{in} の変化

図13は、 θ を 90° としたときの入力インピーダンスの周波数特性を示したものである。等価回路から求めた特性を○印で示し、比較のために微小モノポールアンテナと仮定して起電力法によって求めた計算値を□印で、モーメント法を用いてモノポールアンテナとして求めた計算値を実線で示してある。

パルス応答波形から求めた等価回路を用いて得られる特性は、入力リアクタンスは微小アンテナと見なせる周波数領域ではかなりよく理論値と合致している。しかしながら入力抵抗分は低い周波数領域に於いても大きな差が認められる。

6. おわりに

アース平板の上にアース平板と 0° から 90° までのいくつかの角度で設置された直線状モノポールアンテナの第1反射パルス応答特性から電気的な等価回路を推定することを試みた。まず最も簡単な回路として2回路素子のみで表すことを考えたときには、設置角度が 90° のときはRとCとの直列回路として、また設置角度が 0° のときはRとLとの並列回路として近似するのが妥当であるとの結論に達した。このことから3個の回路素子で表すことができるかと仮定した場合にはR-C直列回路とR-L並列回路との両方の性質を含む回路である必要があると考えて、モノポールアンテナの等価回路はR-L並列回路にCが直列に接続され

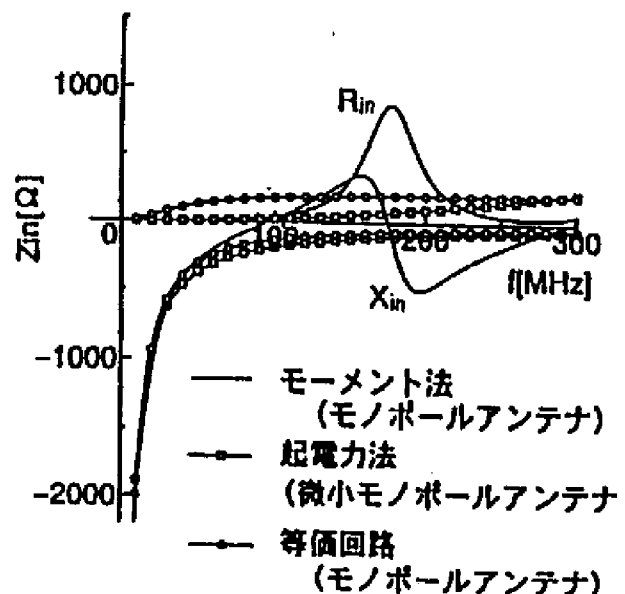


図13 Z_{in} の周波数特性

た回路で近似するのが妥当であると推論した。
そして図9の回路の回路定数をアンテナの設置
角度の変化に対して求め、設置角度が 90° の
場合の入力インピーダンスの周波数特性を求め
て、アンテナとして計算したときの理論値と比
較した。

その結果微小アンテナと考えられる周波数領
域ではリアクタンス分は理論値と良く合致する
結果が得られたが、抵抗分は理論値と大きな差
がある。

今後さらに検討を進めるつもりである。

終わりに実験データを提供していただいた東
北学院大学大学院修了生佐々木誠旗氏(現在東
北インテリジェント通信勤務)並びに実験に協
力いただいた岩手大学技術官栗田宏明氏に謝意
を表す。

参考文献

- 1) 佐々木誠旗：直線状アンテナの過渡応答と
正弦波応答に関する研究，東北学院大学修士論
文 (1995)
- 2) 福井，久保田，佐藤：パルス応答波形によ
る直線状アンテナの等価回路の推定，H9 電気
関係学会東北支部連大，2D6 (1997)
- 3) 佐藤利三郎：EMCからみた回路理論，電
磁環境工学情報，No.87，MIMATSU，120/136
(1995.7.5)
- 4) 星野，久保田，大場，佐藤：直線状微小素
子アンテナの等価回路，信学技報，EMCJ - 96
- 40 (1996.10)