

10 M ~ 110 GHz の信号伝搬を
動画で観察できる！

電界カメラの動作原理と観測例

土屋 昌弘
Masahiro Tsuchiya

1 はじめに

1.1 電気信号の「観察」

「高周波の信号が伝わってゆくようすを目で追うことができれば…」本誌読者の多くの方々、このように考えた経験をお持ちではないでしょうか？電気信号は不可視情報の筆頭ですが、回路を扱う上では、その伝搬のようすをイメージすることが求められます。通常は、脳内イメージを構築し、できる限り多くの間接的情報を得て補完してゆくという手間の掛かる作業となります。この頭の中のイメージを「もっと手軽に」「目で見える形として」と考えるのは回路にかかわる技術者が共通に抱く願望ではないでしょうか？

従来は、もちろん「信号伝搬の直接観察」は不可能でした。「よくよく考えて見えたような気になる。そのために方程式を理解して想像する。または数値計算により信号をコンピュータに描かせる」…このような選択肢しかなかったはずですが、

電界カメラ⁽¹⁾⁽²⁾には、このような情況を一変させる潜在力が秘められているかもしれないと考えていま

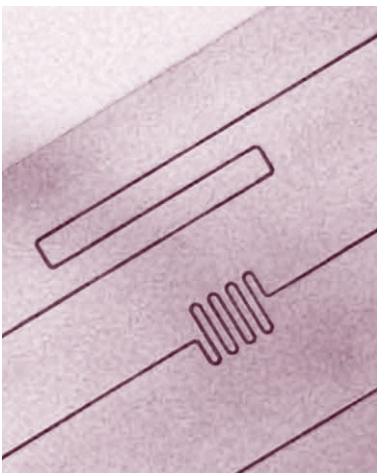
す。私たちが提案し原理を実証した電界カメラは、マイクロ波の電界分布を一瞬のうちに2次元の映像にする装置です。時間とともに波の位相が進展してゆく動画映像も実時間表示できます。これらの機能により、写真1のような平面回路やアンテナ、さらには一部の媒質中の信号伝搬をその場で目視できるようになりました。Wバンド(75 G ~ 110 GHz)までの動作も確認しています。

本稿の副題を「10 M ~ 110 GHz の信号伝搬を動画で観察できる！」としたのは、これらの結果に基いたものです。以下では誕生して間もない新技術「電界カメラ」のしくみと構成、および観察例を紹介します。

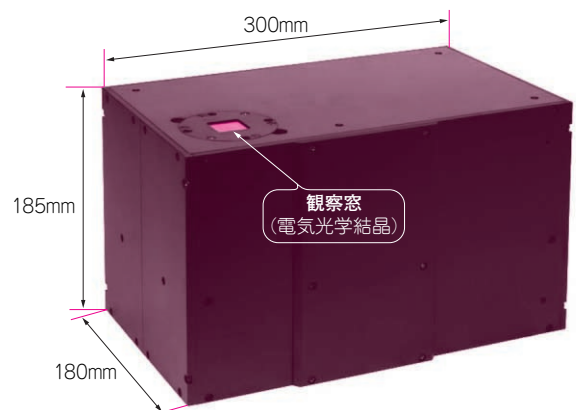
1.2 電界カメラとは？

電界カメラは、情報通信研究機構の研究者が独自に開発した技術です。類するものはほかにありません。英名を“Live-Electrooptic-Imaging Camera”(LEI-Camera)と名付けました⁽³⁾⁽⁴⁾。電界カメラの原理実証の結果を報告したのがハワイで開催された国際会議でした。当地の名物であるレイ(花の首飾り)に倣った命名でした⁽³⁾。

写真2に電界カメラ試作機を示します。情報通信研究機構研究者の手作りによるアセンブリです。実用上



〈写真1〉マイクロ波平面回路の例



〈写真2〉電界カメラ試作機の外観

の利便性を考慮して、A4判大の設置面積としました。この写真から「カメラ」の印象を受け取る方は少ないでしょう。電界カメラには、そもそもレンズがありません。被写体に観察窓を近接させる接写専用カメラです。その意味では非常に特異なカメラです。一方、電界カメラを使うことにより、静止画も動画も瞬時に撮ることができます。その観点から見れば普通のデジタル・カメラと同じです。見た目の形よりもこれらの機能を重視し、装置をカメラと位置付け、「電界カメラ」と名付けました。

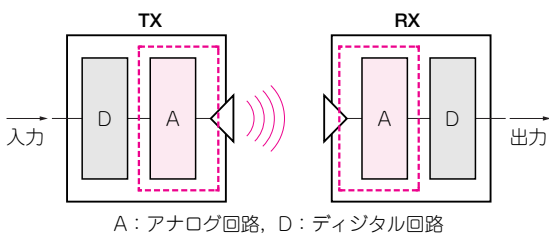
現時点では実施していませんが、対象となる電波の波長によっては結像光学系(すなわちレンズやミラーからなる光学系)を装着することも不可能ではありません。次のフェーズではトライしてみたいと考えています。

電界カメラではマイクロ波電界の位相情報も映像化されます。画素一つ一つにおいてマイクロ波の振幅と位相とが正確に計測されるためです。この機能により、波動として伝搬する電波を位相を分解した形で映像化できます。また、その位相を進める映像とし、それによって波動が伝搬してゆくようすを動画とすることもできます。

1.3 電界カメラによって見えるもの

自由空間を伝搬する電波の映像化が実現できれば大変に素晴らしいのですが、残念ながら、電界カメラを使ってもそれはできません。電界カメラには、光を利用してマイクロ波電界を映像化するしくみを採用しています。光とマイクロ波の相互作用が不可欠です。自由空間ではこの相互作用が生じないので、それを生じさせる物質が必要となります。このために「電気光学結晶」と呼ばれる結晶プレートが使われます。電気光学結晶の存在しない自由空間では、したがって、電波の伝搬は映像化できないのです。

現状の電界カメラでは25mm四方の電気光学結晶プレートを利用しています。これがすなわち観察窓となります。この電気光学結晶の内側を伝搬する電界が映像化の対象です。信号の主体が電気光学結晶の外部に存在していてもかまいません。どのようなものの電界が映像化され得るのか、無線通信機の送受信回路を



〈図1〉無線通信システムの概念図

具体例として取り上げて説明します。

図1は一般的な無線通信システムの概念です。まず、送信機(TX)に着目します。よく知られているように、デジタル信号が搬送波に載せられて電波としてアンテナから放出されます。この部分がアナログ回路が担当する役割であり、図では点線で囲まれた領域が相当します。受信機(RX)では、この逆のプロセスが行われます。

電界カメラによる映像化の主要な対象は、これらの点線領域の中のアンテナを含めたアナログ回路です。将来のシステムとして期待の高いマルチアンテナ・システムでは、この部分の開発力がメーカーの雌雄を決する可能性があります。電界カメラの活躍の場の一つは、そこになるかもしれません。他方、アンテナ間は電波が自由空間を伝搬する領域であり、先述のように、電界カメラの「守備範囲」からは外れます。

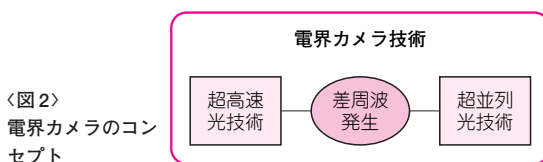
2 電界カメラの具体論

2.1 研究開発の経緯と現状

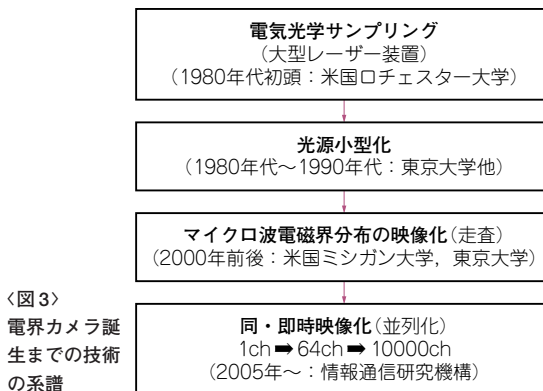
電界カメラは、光による電界計測を高い並列度を以って実施する装置(図2)です。この並列度に着目し、その増大が試みられた歴史を紹介します。これは電界カメラ研究開発の経緯と重なります。

● 大型設備を使い、計測並列度が“1”の時代

図3は電界カメラ誕生に至る技術の系譜です。超高速性をもつ光電界計測の端緒は1980年代初頭に遡ります。米国ロチェスター大学のグループが電気光学サンプリング技術を創出しました⁽⁵⁾。当時の多くの実験



〈図2〉電界カメラのコンセプト



〈図3〉電界カメラ誕生までの技術の系譜