

令和元年5月25日現在

機関番号：32407

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2018

課題番号：15K12478

研究課題名(和文) マイクロ波帯パッシブレダを用いた空中高圧送電線検知法の開発

研究課題名(英文) Development of high voltage-transmission line detection method using microwave passive radar

研究代表者

服部 邦彦 (HATTORI, kunihiko)

日本工業大学・共通教育学群・教授

研究者番号：90261578

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：低高度で有視界飛行する小型飛行機やヘリコプタなどの空中高圧送電線の衝突防止方法として、送電線を検知するためには、アクティブレダ法が従来用いられていた。この方法にくらべ安価で小型なシステムを構築するため新たにパッシブレダ法を用いた手法を提案し、実験的な検証を行った。製作した受信機は、市販のBS放送用アンテナおよび検波器と汎用電子部品を使用し、安価で小型のシステムである。この受信機を用いて、放射体として蛍光灯を用いた室内シミュレーション実験を行い、アンテナと放射体の受信強度の距離依存と空間分布測定を行った。受信信号はガウス分布となったが、放射体の形状を分解できるまでには至らなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、給電線探査のために従来から用いられていたアクティブレダではなく、この目的のためのレーダ装置としてこれまで研究されていなかった計測法である。通常のレーダ計測では、送信した電波が対象物に反射され、その反射波を受信し信号解析を行なうため受信機の構成、および解析が複雑になる。しかし、放射体からの電波を受信する本方式では受信波強度のみを計測するため安価で小型の装置が構築でき、信号処理も容易になる。

これは従来の方法にはないメリットを有し、電磁波計測の応用分野の拡大や発展性を得るばかりでなく、実用化されれば事故防止や非破壊検査などの社会的貢献度は大きいと考えられる。

研究成果の概要(英文)：The active radar method has been conventionally used to detect a high-voltage transmission line as a collision prevention method for small airplanes and helicopters visual flying at low altitude. We proposed a new method using the passive radar method to construct a small and inexpensive system compared with this method, and conducted an experimental verification.

The manufactured receiver is an inexpensive and compact system using a commercially available BS broadcasting antenna, detector and a general electronic component. Using this receiver, we conducted indoor simulation experiments using a fluorescent lamp as a radiator, and measured the distance dependence and spatial distribution measurement of the reception intensity of the antenna and the radiator. The received signal has a Gaussian distribution, but it has not been possible to resolve the shape of the radiator.

研究分野：プラズマ理工学

キーワード：マイクロ波 送電線検知 パッシブレダ アクティブレダ リモートセンシング

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

小型飛行機やヘリコプタは、輸送、監視、防災、救難等のために低飛行で有視界飛行することが多い。安全な航路を確保するためには樹木や建物などの前方障害物をいち早く検知することが接触事故防止において非常に重要である。特に高圧送電線はもっとも危険な障害物の一つである。送電線の接触事故は、送電線が細いために山林の背景色に埋もれて視認することが難しい。そこで、この障害物の検知法の一つとしてマイクロ波やミリ波を用いたレーダの開発が進められている。特に現在では、波長の短いミリ波帯（35GHz および 94GHz）のアクティブレーダ研究開発が進められている。ここで、アクティブレーダとは電磁波の送受信を行うが、パッシブレーダは受信のみを行う方法である。本研究で提案するマイクロ波帯を用いたパッシブレーダは、国内外で小型飛行機やヘリコプタのレーダに応用するような研究がされている実例はない。報告者は、これまで電磁波（マイクロ波、ミリ波、レーザー）を用いて磁場閉じ込めプラズマ密度のイメージング測定法の開発を行ってきた。これは、プラズマ中に電磁波を入射し、その透過波や散乱波を測定するアクティブレーダ計測やプラズマから放射された電磁波を検波し、密度揺動や電子温度を測定するパッシブレーダ計測を行ってきた。さらに、この技術の応用研究として、マイクロ波による建物壁面内のイメージング計測も試みた。本研究の着想に至った経緯は、マイクロ波帯（12GHz）を用いた教育用太陽電波観測装置のアンテナを高圧送電線に向けてと 50Hz（または 60Hz）の商用電力周波数が観測されることから遠隔で給電線の認識ができるのではないかということからこの手法に着目した。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、マイクロ波帯のパッシブレーダを製作し、それを用いて空中高圧送電線や壁面内埋設給電線を検知するための基礎実験を行い、その有用性を検討・評価する。

低高度で有視界航行する小型飛行機やヘリコプタなどは、衝突防止のために、事前に前方障害物を検知し安全な航路を確保することが極めて重要である。この衝突防止法としてマイクロ波やミリ波帯を用いたアクティブレーダ計測が研究開発されているが、非常に高価なシステムである上、散乱波の反射波信号の解析処理などが複雑である。そこで、本研究では従来のアクティブレーダにくらべ安価なシステムで小型軽量の装置を構築すべく、新しい手法としてパッシブレーダ法を用いた検知方法を提案する。この手法を用い空中高圧送電線や埋設給電線の検知を試みる。

### 3. 研究の方法

#### (1) 受信器の製作と評価

先の研究目標を達成すべく、安価に市販されている汎用電子部品であるBS放送用周波数帯（12GHz）を使用しシステムを構築した。図1に示すように市販のBS用アンテナ（口径 37cm、TDK 製(BS-TA352)）で受信した電磁波を局部発信波と受信波を混合（ミキシング）しヘテロダイン検波を行いRFアンプで増幅する。その後、低周波アンプによって 50Hz（もしくは 60Hz）の周波数帯のみを増幅し、ヘテロダイン検波した後、その信号をスペクトルアナライザで観測する。そして、その受信強度をパソコンで取得し、アンテナ方向と受信信号強度から放射源（給電線）の位置と空間分布測定を行う。

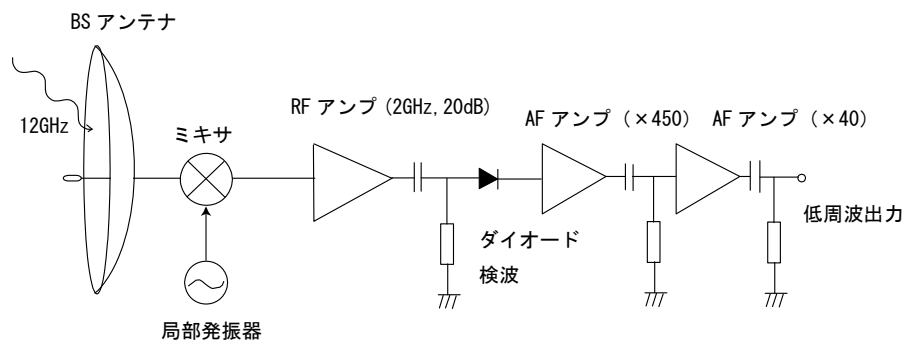


図1 パッシブレーダの受信回路

## (2) 給電線検知のシミュレーション実験

屋外の高压送電線に適用する前に実験室内で図2のようなシステムを構築し基礎実験を行う。給電線を空中に張り受信アンテナの距離や方向を変え、給電線のイメージングを試みる。パッシブレーダの問題点は、微弱な電磁波強度の変動をいかに検出できるかということである。この基礎実験により、屋外で使用できる受信機性能の評価を行う。

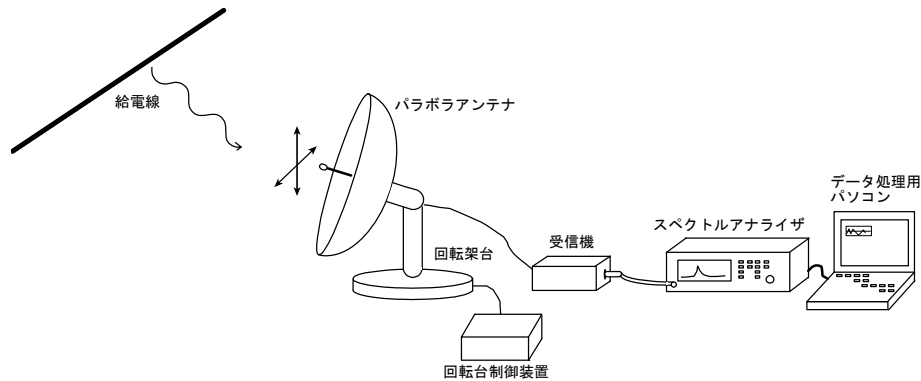


図2 給電線を用いた高压送電線のシミュレーション実験

## 4. 研究成果

助成期間中は、パッシブレーダの受信機を作成し特性評価を行った。そして、この受信機を使用し室内実験を行った。屋外実験を行うためのシステムは構築したが実施までには至らなかった。

### (1) 受信機について

図3に作成した測定装置を示す。基本的な回路は、BS受信機の既存技術を用いており、アンテナで受信した電磁波をヘテロダイン検波しRFアンプで増幅した。このとき、最終的には3つの出力信号（音で確認できる可聴音信号、生のRF信号、100Hzバンドパスフィルタを用いたDC検波出力）を取り出した。実験によりこれらの出力信号測定を使い分けられるが、実用的には100Hzの検波出力はDC出力し電圧計やオシロスコープで容易に測定できる。実験では商用電源周波数は明確であったため、スペクトルアナライザを使用せず、バンドパスフィルタを用いて



図3 作成した測定装置



図4 測定対象（蛍光灯）

100Hz(商用電源の2倍波)の信号を直流に変換し直接検波するようにした。この受信機サイズは、23cm×20cm×5cmの小型である上、すべての測定装置は、受信器、アンテナ、計測器(オシロスコープ)、データ取得用PCを一台の台車の上に設置し、バッテリー駆動で可搬型に構築した。

この受信回路で取得された受信信号の時間変化の測定結果を図5に示す。受信機のノイズレベルは十分低いが、室内実験において天井に点灯している蛍光灯ノイズ(ON時)を直接受けるため、高感度で受信できることが確認できた。実験では、SN比は10倍以上であるため、受信機自体のノイズは問題ないが、室内灯などのノイズが問題になるため、測定時は消灯して行なった。

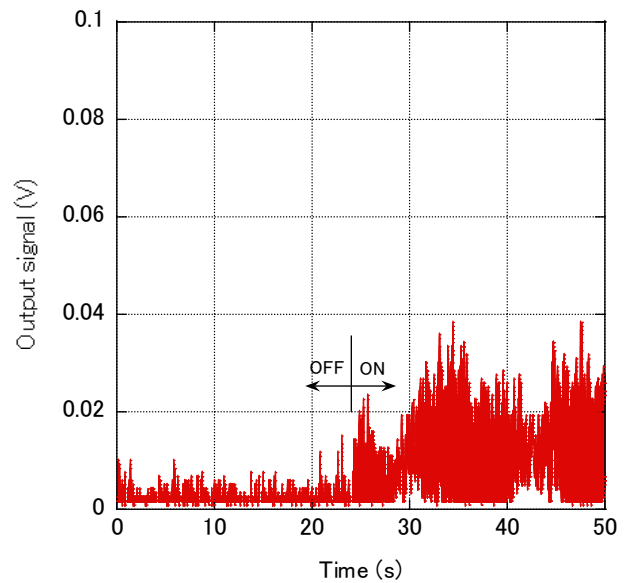


図5 受信機ノイズ

(2) 室内におけるシミュレーション実験

B S用パラボラアンテナ(直径37cm)をリニアモータの掃引装置(速度可変、測定範囲500mm)に載せ、横方向(1軸方向)のみの掃引を行った。アンテナの掃引測定位置は、超音波距離計を用いた。測定に用いた放射体を図4に示す。室内測定では、送電線に代わり測定対象として市販の蛍光管(長さ120cm、直径4cm)を用いた。左側(1本)と右側(2本)を縦方向に取り付けてある。1本あたり40Wである。背景には電波吸収体を取り付けた。右下の床に置かれているのは実際に使用されている送電線の断片である。ケーブルの直径は38mmであるので、今回用いた市販の蛍光灯の太さとはほぼ同じである。図6は、上記の蛍光灯とアンテナ間を1m離れた場合の受信信号波形である。

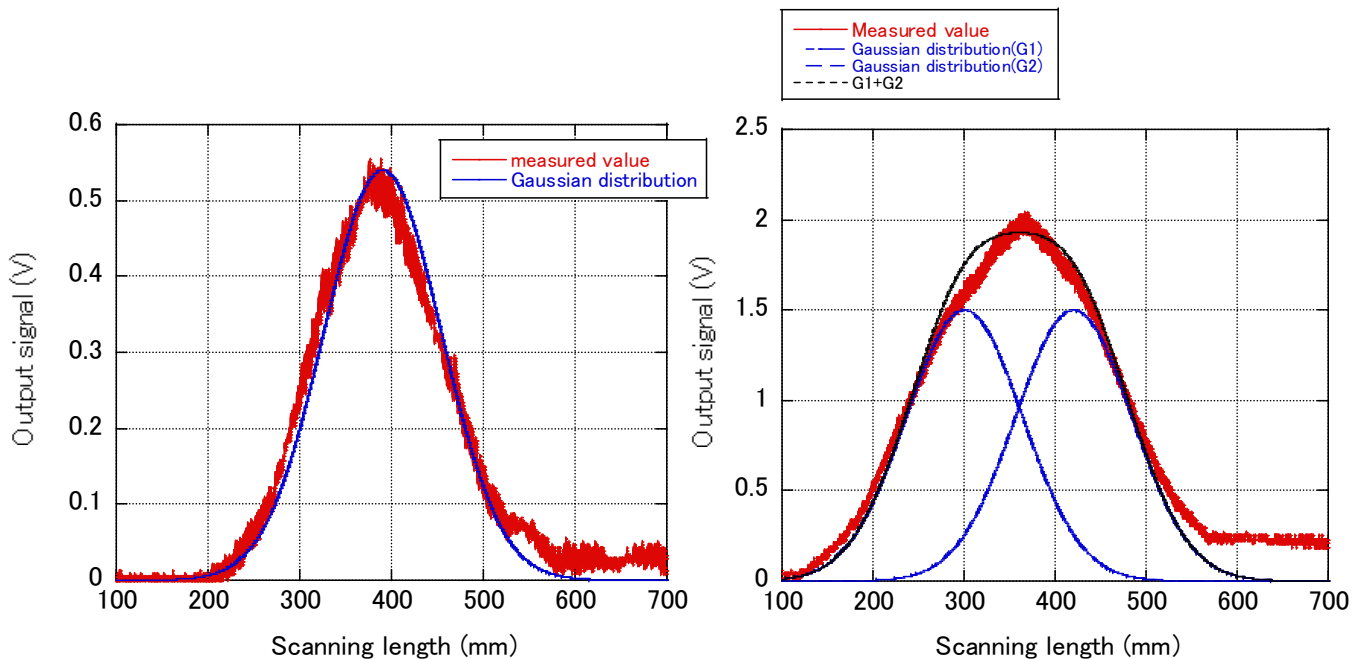


図6 受信信号(蛍光管-アンテナ間隔1m)  
(左: 蛍光管が1本の場合、右: 蛍光管が2本の場合)

蛍光灯からの放射された電磁波の受信強度は、ほぼガウス分布になることが分かる。図中のガウス分布曲線 I は、

$$I = a \cdot \exp\left(-\frac{(x - b)^2}{2c^2}\right) \quad (1)$$

で表わし、a は最大値、b は中心位置、c は分布幅に相当する。ここで、幅は半値全幅 (FWHM : Full Width at Half Maximum) である。FWHM と c の関係は以下で表せる。

$$\text{FWHM} = 2c\sqrt{2\ln 2} \quad (2)$$

図 6 左に示した受信信号強度の測定値は、式 (1) でフィッティングするとガウス分布とほぼ一致した。半値全幅は、蛍光灯からアンテナまでの距離が 1 m では蛍光灯の直径に比べ 5 倍程度である。

パラボラアンテナの指向性 (3dB 幅 Bw) と開口直径 D との関係は、

$$\text{Bw}(\text{rad}) \sim 1.1 \frac{\lambda}{D} \quad (3)$$

となる。ここで、 $\lambda$  は波長である。この式に今回用いたパラボラアンテナの仕様を当てはめると、 $\lambda = 0.025\text{m}$  (12GHz)、 $D = 0.37\text{m}$  より、 $\text{Bw} = 0.074 \text{ rad}$  となる。このことから、1 m 先から放射された電磁波は、アンテナでは 7 cm 程度の放射を受けることになり本実験でのシステムでは十分な空間分解を得られることはできないと考えられる。それを改善するためには、アンテナ口径を大きくするか、アンテナ形状を変えるか、受信信号を短波長化することで、アンテナの指向性を向上させることで改善できると考えられる。

さらに 2 本の蛍光灯を 13 cm 離し (図 4 右の蛍光灯を使用) 同様の測定を行なった。この実験での信号強度は、4 倍になったが半値全幅は若干広がったものの受信強度はガウス分布となり、2 本の蛍光灯を明確に区別することはできなかった。しかし受信信号の両側に若干の変化がある箇所からガウス分布と仮定すると、2 つの分布が重なっており、この幅は 12~13 cm 程度である。これは、2 本の放射パターンが重畳していると考えるとほぼ、蛍光灯の位置を示しているようにも見える。

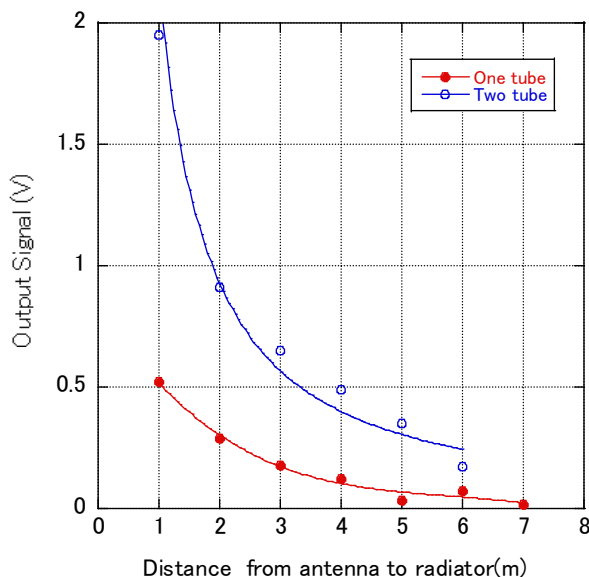


図 7 受信信号強度の距離との関係

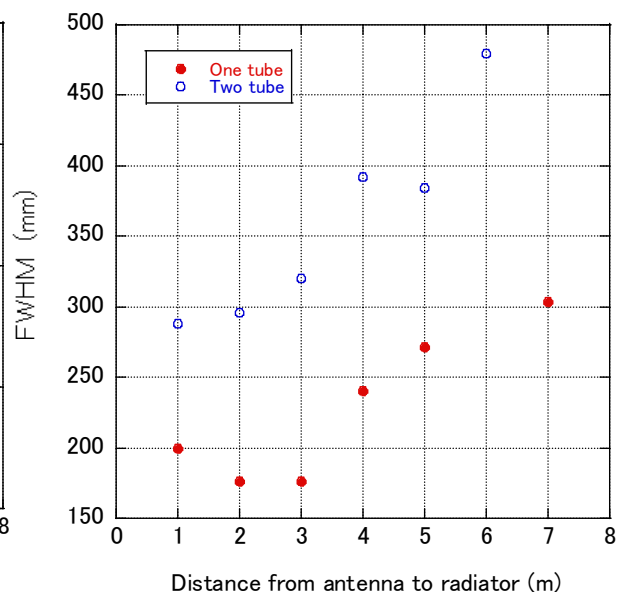


図 8 受信信号の半値全幅 (FWHM) の関係

図7は、蛍光管の距離と受信信号の最大値（受信信号分布の最大値）を表した結果である。蛍光管とアンテナ間の距離を徐々に離していき6mを超えると受信信号が弱く、信号分布が明確ではなくなり測定が困難になった。この間、受信強度は、おおよそ距離の2乗に反比例して減衰した。図8には、測定距離とFWHMの関係を示したが、5mを超えると分布形状も明確ではなくなる。

本研究において小型で安価な受信システムが構築できた。そして、今回の研究で得られた成果は、室内シミュレーション実験ではあったが、当初提案したパッシブレーダによる受信は可能であることは示された。また、受信距離および空間分解能の改善の指針もおおよそその検討を示せた。実用化までにはさらなる検討が必要ではあるが、高電圧送電線等の検出法の1つとして国内外でも初めて検討されたと考えられる。

## 5. 主な発表論文等

〔学会発表〕（計 1 件）

服部邦彦、螺旋プラズマ演示装置によるプラズマ生成とその特性、プラズマ・核融合学会年会、2019年

## 6. 研究組織

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名： 佐藤 杉弥

ローマ字氏名： (SATO, sugiya)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。