

氏名	ヤマダ コウタ 山田 康太
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	博第977号
学位授与の日付	平成27年3月23日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当 課程博士
学位論文題目	輝度温度分布推定のための広帯域マイクロ波放射計の開発に関する研究 (Study on Development of Broadband Microwave Radiometer for Estimating Distribution of Brightness Temperature)
論文審査委員	主査 教授 榊原 久二 男 教授 菊間 信 良 教授 王 建 青

論文内容の要旨

近年、快適性と省エネの観点から、居室空間において個人単位での空調制御をするパーソナル空調システムのニーズが高まっている。ヒトは皮膚表面から少し内部の領域において温度を感じているが、その温度を直接計測することは困難なため、現状では赤外線センサや周囲温度、湿度からヒトの温冷感を推定し空調制御に活用している。物体内部の温度を計測する技術としては、放射計による物体内部の輝度温度分布推定がある。輝度温度分布を推定するには、少なくとも二つの周波数帯域の熱雑音を放射計で受信する必要があるが、一つのアンテナで受信した熱雑音を各周波数帯域の受信機にスイッチ等で切り換えた場合、各周波数帯域の計測時間が短くなるために推定精度の劣化要因となる。また、温度センサとして放射計を使用するためには、放射計の小型化が必須である。そこで本研究では、輝度温度分布の推定精度向上と放射計の小型化を図り、「一つのアンテナで異なる二つの深さの輝度温度を同時に計測可能なアンテナ」と「アンテナと受信機の一体化を可能にする広帯域な伝送線路変換器」について提案した。

第2章では、まず、放射計による物体の温度計測と輝度分布推定の原理、ヒトの温度の感じ方について説明した。そして、透過性の高いマイクロ波帯を使用することで、衣服などの遮蔽物越しにヒトの感じる温度を計測できる本研究の必要性について述べた。さらに、

放射計の初段に位置するアンテナの課題と要求される性能を示した。

第 3 章では、輝度温度分布推定のための広帯域受信アンテナとして、一般的な同軸線路給電型のクアドリッジホーンアンテナを改良し、動作周波数帯域の低域と高域に直交する偏波を振り分けた 2 ポートアンテナを提案した。まず、従来構造と提案構造のクアドリッジホーンアンテナについて概説し、試作したそれぞれのアンテナを定量的に評価した。その結果、提案構造は従来構造の半分の体積にもかかわらず、従来構造と同等の受信周波数帯域幅を維持できることを示した。また、各アンテナの低域と高域におけるビーム幅の差異について述べ、各周波数帯域の受信範囲がアンテナから見て計測する物体の横方向に均一で、深さ方向にのみ変化する提案アンテナの有用性を明らかにした。

第 4 章では、放射計のアンテナと受信機を接続する、一層基板で構成されたマイクロストリップ線路・クアドリッジ導波管変換器を提案した。まず初めに提案した変換器の構成を示し、基板上の金属パターンの変更のみで広帯域に線路変換部分のインピーダンス整合を可能にする新構造の設計手法について述べた。次に、試作した変換器単体の特性を定量的に評価した上で、提案の変換器を適用した平面線路給電型クアドリッジホーンアンテナを試作し、第 3 章の同軸線路給電型クアドリッジホーンアンテナと比較した結果、提案構造の方がやや広帯域な変換特性を得られることを明らかにした。

第 5 章では、第 3 章で提案したクアドリッジホーンアンテナと、第 4 章で提案したマイクロストリップ線路・クアドリッジ導波管変換器を備えた、直交偏波 2 帯域割り当て平面線路給電型クアドリッジホーンアンテナについて述べ、アンテナ構造と基本特性、遠方界と近傍界における受信範囲について電磁界シミュレーションにより評価した結果を示すことで、輝度温度分布推定に適したアンテナであることを明らかにした。

第 6 章では、本研究を総括し、結論および今後の課題を述べる。

論文審査結果の要旨

近年、快適性と省エネの観点から、居室空間において個人単位での空調制御をするパーソナル空調システムのニーズが高まっている。ヒトは皮膚表面から少し内部の領域において温度を感じているが、その温度を直接計測することは困難なため、現状では人感センサや周囲温度、湿度からヒトの温冷感を推定し空調制御に活用している。物体内部の温度を計測する技術としては、放射計による物体内部の輝度温度分布推定がある。輝度温度分布を推定するには、少なくとも二つ以上の周波数帯域の熱雑音を放射計で受信する必要があるが、一つのアンテナで受信した熱雑音を各周波数帯域の受信機にスイッチ等で切り換えた場合、各周波数帯域の計測時間が短くなるために推定精度の劣化要因となる。また、温度センサとして放射計を使用するためには、放射計の小型化が必須である。そこで本研究では、輝度温度分布の推定精度向上と放射計の小型化を図り、「一つのアンテナで異なる二つの深さの輝度温度を同時に計測可能なアンテナ」と「アンテナと受信機の一体化を可能にする線路変換器」について提案した。

第2章では、まず、放射計による物体の温度計測と輝度分布推定の原理、ヒトの温度の感じ方について説明した。そして、透過性の高いマイクロ波帯を使用することで、衣服などの遮蔽物越しにヒトの感じる温度を計測できる本研究の必要性について述べた。さらに、放射計の初段に位置するアンテナの課題と要求される性能を示した。

第3章では、輝度温度分布推定のための広帯域受信アンテナとして、一般的な同軸線路給電型のクアッドリッジホーンアンテナを改良し、受信周波数帯域の低域と高域に直交する偏波を振り分けた2ポートアンテナを提案した。まず、従来構造と提案構造のクアッドリッジホーンアンテナについて概説し、試作したそれぞれのアンテナを定量的に評価した。その結果、提案構造は従来構造の半分の容積にもかかわらず、従来構造と同等の受信周波数帯域幅を維持できることを示した。また、各アンテナの低域と高域におけるビーム幅の差異について述べ、各周波数帯域の受信範囲がアンテナから見て計測する物体の横方向に均一で、深さ方向にのみ変化する提案アンテナの有用性を明らかにした。

第4章では、放射計のアンテナと受信機を接続する、一層基板で構成されたマイクロストリップ線路・クアッドリッジ導波管変換器を提案した。まず初めに提案した変換器の構成を示し、基板上の金属パターンの変更のみで広帯域に線路変換部分のインピーダンス整合を可能にする新構造の設計手法について述べた。次に、試作した変換器単体の特性を定量的に評価した上で、提案の変換器を適用した平面線路給電型クアッドリッジホーンアンテナを試作し、第3章の同軸線路給電型クアッドリッジホーンアンテナと比較した結果、提案構造の方がやや広帯域な変換特性を得られることを明らかにした。

第5章では、第3章で提案したクアッドリッジホーンアンテナと、第4章で提案したマイクロストリップ線路・クアッドリッジ導波管変換器を備えた、直交偏波2帯域割り当て平面線路給電型クアッドリッジホーンアンテナについて述べ、アンテナ構造と基本特性、近傍界における受信範囲について電磁界シミュレーションにより評価した結果を示すことで、輝度温度分布推定に適したアンテナであることを明らかにした。

以上の成果により、輝度温度推定に適した、超広帯域なクアッドリッジホーンアンテナを実現するとともに、マイクロストリップ線路・クアッドリッジ導波管変換器を開発することで、高周波回路との集積化に適した、低損失かつ実用化も見据えた、広帯域マイクロ波放射計を実現した。これらの成果は学術誌論文としてフルペーパー2篇、国際会議論文1篇に公表されている。よって、本論文は、博士（工学）の学位論文に値するものと認める。