

# 論文審査の結果の要旨

氏名 木下 基

本論文は10章からなる。第1章は序論であり、現行のカロリーメータに基づくマイクロ波電力標準の概要が述べられている。第2章では、次世代型のマイクロ波電力測定の原理および本研究が解決すべき課題が述べられている。第3章では、本研究の基本的な実験手法であるレーザー・マイクロ波二重共鳴分光に関する理論および実験系の詳細、続く第4章では、本研究の基本原則であるアトミックキャンドル信号の理論および検出方法が述べられている。第5章では、アトミックキャンドル信号の最適化について、第6章ではアトミックキャンドル信号を用いたマイクロ波の絶対電力測定の実験結果が提示されている。第7章では、第6章で実現されたアトミックキャンドル信号に基づく絶対電力測定値と、現行標準であるカロリーメータを用いた測定値との比較がなされている。第8章では、本研究で実現されたアトミックキャンドル信号に基づくマイクロ波の絶対電力測定の不確かさが定量的に評価されている。第9章は各章のまとめにあてられ、第10章において今後の展望が述べられている。

これまで、マイクロ波の絶対電力測定は、カロリーメータを代表とする熱測定によって実現されてきた。しかし熱測定には、装置の熱平衡状態を実現するために長い時間を要し、また熱伝導シミュレーションの不確かさによって測定精度が数パーセントに制限されるという欠点があった。1秒の定義が、地球の公転運動からセシウム原子のマイクロ波共鳴周波数へと移行したように、マイクロ波電力標準も、測定が容易な周波数計測を基準とした量子標準に移行することが望まれている。

アルカリ原子の基底状態の2つの超微細構造準位に共鳴するマイクロ波を照射すると、占有数は振動し、その周波数（ラビ周波数）はマイクロ波の振幅、つまり強度の平方根に比例する。したがって、ラビ周波数を正確に測定できれば、マイクロ波の強度を正確に求めることができる。しかしながら、ガラスセル内で熱運動している個々のアルカリ原子のラビ振動の位相はランダムで、ガラスセルを用いたマイクロ波・レーザー二重共鳴法では、マイクロ波によるラビ振動を観測することは困難であった。

1996年に米国のAerospace社のJ. C. Camparoのグループは、マイクロ波・レーザー二重共鳴法において、マイクロ波に加える位相変調周波数の2倍がラビ周波数に一致すると、上準位の占有数がラビ周波数と同じ周波数で変調されることを発見した。この現象はアトミックキャンドルと呼ばれ、これまでマイクロ波の相対強度安定化などに利用されてきた。本研究は、このアトミックキャンドルをマイクロ波の絶対電力測定に世界で初めて

適用し、その動作条件や不確かさについて定量的に議論している。

本研究では、アルカリ原子としてセシウムを採用し、導波管内のマイクロ波の強度を、導波管内に埋め込まれたセシウムガラスセルのアトミックキャンドル信号を観測することによって計測した。セシウム原子を用いたアトミックキャンドル信号の観測は前例がなく、また、観測されたアトミックキャンドル信号が、理論曲線と一致することも本研究によって初めて確認された。これは、ガラスセル内のバッファガスの圧力やレーザー光の強度と周波数などの各種パラメータを緻密に最適化した結果である。測定されたマイクロ波電力が、カロリメータ方式の電力測定の値と、不確かさ約4%の範囲で一致することも初めて確認された。不確かさの主要な要因は、ガラスセルを含む導波管内のマイクロ波強度分布の電磁界シミュレータの不確かさであり、アトミックキャンドル方式の精度の原理的な限界は、現行のカロリメータ方式を凌駕することが本研究によって初めて明らかになった。これは、マイクロ波絶対電力の標準が、量子標準へ移行できる可能性を示す重要な結果である。

本論文の第4章、第5章、第6章の内容は、3編の論文として印刷公表済みである。なお、本論文の第4章および6章は島岡一博氏、小見山耕司氏、第5章は島岡一博氏、島田洋蔵氏との共同研究であるが、論文提出者が主体的に研究を遂行したものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、審査委員全員一致で博士（理学）の学位を授与できると認める。