

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 中村 卓磨

2000年に光周波数コムが誕生し、原子の超精密分光が絶対周波数でできるようになり、光原子時計、デュアルコム分光、天文応用へと結びついた。光周波数コムの応用が順調に展開される中、コム自身の使いやすさが課題となってきた。複雑な制御系を動かし続けなければならない応用研究を展開するのは、レーザーの精密制御に長けた研究機関に限られてしまうという問題である。光周波数コムにはオフセット周波数と繰り返し周波数の二つの自由度があり、それらを高精度に制御する必要がある。通常これら二つの周波数制御にはクロストークがあり、光原子時計の応用にまで適用できる超精密制御は簡単ではない。二つの自由度のうち、一つの自由度が受動的に固定されていれば、光周波数コムを長時間高精度に安定化することが簡便になり、より複雑な応用への道が拓ける。例えば、光周波数コムはこれまでほぼ原子や分子の分光に限られてきたが、固体の分光への適用が可能になると期待される。

このような背景のもと、本論文では差周波光発生を用いることによりオフセット周波数が受動的に0に固定される光周波数コムを作りだし、その広帯域化を実現した。また、もう一つの自由度である繰り返し周波数を制御する方法として、二つの提案を行った。一つは磁気光学効果により光路長を高速に制御する方法であり、新しいデバイスの提案である。もう一つは従来から広く共振器長の制御に用いられているピエゾをより高速に動かす技術であり、共振を起こさずにDCから500 kHzまでの超広帯域に制御させることに成功した。さらに、オフセット周波数が受動的に制御された光周波数コム（オフセットフリーコム）を用いてダイヤモンド中の欠陥と窒素原子によりできるNVセンターの分光に取り組んだ。

本論文は7章から構成されている。

第1章では序論として本研究の背景や位置づけ、構成を述べている。

第2章ではモード同期レーザー、光周波数コムや周波数計測と安定化等の理論や実験方法について説明している。

第3章ではオフセットフリー光周波数コムについて記述している。非線形編波回転モード同期Ybファイバー発振器からの光を増幅し、フォトニッククリスタルファイバー(PCF)で波長を600 nm-1400 nmに渡る超広帯域に広げる。この短波長成分と長波長成分の差周波をとるとYbファイバーで再び増幅することが可能な1060 nm程度の光を発生させることが出来る。差周波があるので、もともと発振器が持っていたオフセット周波数はキャンセルされ、これ以降はオフセット周波数は完全に0 Hzとなる。これをさらに増幅した後にPCFで広帯域化することにより、超広帯域のオフセットフリー光周波数コムを実現することが出来た。これを用いてCWレーザーの絶対周波数測定をデモンストレーションした。

第4章では磁気光学変調器(MOM)の提案とその実証について記述している。スパムファイバーという特殊な光ファイバーを用いると、磁場によって右回り偏光と左回り偏光との位相差を

つけることができる。光ファイバーにコイルを巻き、電磁場により光ファイバーによる遅延を制御するという方法でレーザー共振器長を制御することにより、機械的共振がなく広帯域な制御が可能であることを示した。

第 5 章ではピエゾを用いて光路長を高速に制御する実証実験について記述している。従来、ピエゾを用いた共振器の制御では、200 kHz 程度の帯域に制限されてきた。これは機械共振によるものである。ここでは、ピエゾのマウントに特殊合金を用いて、その形をうまく設計することで 500 kHz 以上まで共振を起こさずにピエゾを動かすことが可能であることを示した。また、実際にフィードバック制御をして、500 kHz の帯域を確保できることを示している。

第 6 章では開発したオフセットフリー光周波数コムを固体の精密分光へと応用するべく、ダイヤモンドの NV センターの分光に取り組んでいる。ダイヤモンドの NV センターの分光は広く行われているが、その絶対周波数測定はなされていない。NV センターの密度が十分に低い場合、孤立原子のように固体中の NV センターの遷移周波数を標準に用いることができる可能性を探るべく、絶対周波数測定の実験系の構築に挑戦した。単一の NV センターの分光にまでは到達していないが、ある程度の密度がある状況でオフセットフリーコムに同期した cw レーザーにより、その精密分光が出来るようになった。十分長時間かけて絶対周波数測定ができる可能性を示している。

第 7 章では全体のまとめと今後の展望について述べている。

以上のように、中村卓磨氏は光周波数コムの自由度のうち、Yb ファイバーレーザーにおいてオフセット周波数を受動的に固定する系を提案し、実現した。さらに、もう一つの自由度である共振器長の制御について、磁気光学効果を用いた新しい制御法の実証と、ピエゾの広帯域化という多方面に適用可能な汎用的な技術改良を達成した。そのため本研究の成果は今後の物理工学の発展に大きく寄与することが期待される。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。