

論文の内容の要旨

論文題目 フェムト秒光周波数コム の時間コヒーレンス関数及び
その特性を用いた長さ計測技術に関する研究

氏 名 章 冬

2000年の初期から以来、フェムト秒光周波数コム技術は発展し、科学と工学の分野をカバーする多くの応用技術を提供して来た。2009年に日本における長さの特定標準はヨウ素安定化ヘリウムネオンレーザから光周波数コムレーザへと代わった。また、宇宙空間および空気中で、使用できる高精度かつ絶対的な長さ測定技術が広く要求されている。本研究では、これらの背景を踏まえて、長さ標準である光周波数コムによるフェムト秒周波数コム の時間コヒーレンス関数を研究し、その特性を用いた長さ計測法のモデルを構築し、光周波数コムを使用した高精度かつ絶対測長法の提案及びその方法を検証することを目的としている。

この目的を達成するために、パルスレーザを使用した測長法において、任意の絶対長さを計測できる TOF 法 (Time of Flight) と高精度の測定が可能な干渉法を融合することを検討し、以下の項目について理論的検討及び実験による検証を行った。

1. 光周波数コム の時間コヒーレンス関数
2. 異なったパルス列間の干渉縞の形成
3. パルス列間の間隔による任意長さの表現
4. アンバランス干渉計を用いた多パルス列間干渉による長さ計測
5. タンデム干渉計におけるパルス列間干渉による変位計測

各章の具体的な内容を以下にまとめる。

第 2 章では、光周波数コム の時間コヒーレンス関数を理論的に解析した。結果としては、高い時間コヒーレンスピークが、使用した光周波数コム に関する進行方向において、反復間隔と等しい期間で存在するのを示した。予想された時間コヒーレンス関数と干渉縞の理論的導出は、光学距離の差が最大 6 m であるアンバランスマイケルソン干渉計を使用した実験結果と一致した。

第 3 章では、多パルス列干渉を考えることによって、より一般的な場合における、干渉縞の構成を分析して、多パルス列干渉の潜在的な応用可能性を広げた。基本概念は、光の波長の代わりに光周波数コムを利用する場合は、長さの尺度として隣接しているパルスの反復間隔を用いることとなる。多パルス列干渉によって形成された多干渉縞を観測することによって絶対距離を測定する可能性を示した。分離した多パルス列干渉の分析では、干渉縞から切り離された干渉縞のピークと、絶対長さの測定にリンクされる干渉縞のキャリア位相ずれを計測することで距離を推定できることを示した。重ね合わせられた多パルス列干渉の分析で、パルス列の 2 組の間の完全なる弱め合いあるいは強め合い干渉を用いて長さ測定に応用できることを示した。この結果により、長さの計測ツールとして、多パルス列干渉を使用できることを示している。

第 4 章では、第 3 章で提案した方式に基づく光学的実験を実行した。まず、実験可能な光学システムを提案した。提案したシステムの予想される計測精度を比較した。次に、実験に係る測定装置や光学システム素子などを説明した。提案手法の実現性を確認するために、呼び寸法 500 mm のブロックゲージ 3 本を繋げた 1,500 mm のブロックゲージを用いて、その長さを光学実験により測定をした。実験結果からメートルオーダーの長さに対して、マイクロオーダーでの計測精度の検証ができ、提案法の有効性を確認できた。最後に実験の測定結果における不確かさを見積もり、実験精度の改良法とその精度などを議論した。

本研究では、長さ標準である光周波数コムによるフェムト秒周波数コムの時間コヒーレンス関数を研究し、その特性を用いた長さ計測法のモデルを構築した。さらに、光周波数コムを使用した多パルス列間干渉法を提案し、光学実験を行い、長さ計測を実行し、提案方法の可能性を確かめた。その結果、提案法は、任意の長さに対して、絶対かつ精密な計測技術への応用が可能なことを示した。