

光周波数

(独) 産業技術総合研究所計測標準研究部門
時間周波数科波長標準研究室 大苗 敦

1. はじめに

つい最近まで光の周波数を測定することはマイクロ波や電波の場合と違って非常に困難なことであった。精密形状計測などのために干渉計を使い「長さ、波長」をはかる光領域の技術と、通信や回路の中で使われる「周波数」を測る電波・マイクロ波領域の技術はそれぞれ別々の形で進展していた。ごく最近、モード同期レーザから発生する超短パルスとフォトニッククリスタルファイバと呼ばれる非線形性の強い光ファイバの組み合わせでマイクロ波を基準として直接に可視領域の光の周波数が測定できるようになった。この技術は、メートル条約に基づく国際単位系において長さの単位「m」が、時間・周波数の単位「s・Hz」から定義されていることをより明確に実証したことでも意義深い。光の（真空）波長の測定がマイクロ波と同じようにより精密にできるようになったという意味で実用的な意味も大きい。

2. 光周波数測定の実理

モード同期レーザからの超短パルスの性質を光周波数軸上で考えると、図1のようにたくさんの等間隔にならんだモード構造を持っていることになる。この姿を櫛の歯にたとえて「光コム (Comb)」と呼ぶ。各モードの間隔を例えば 1 GHz、光コムのスペクトルの広

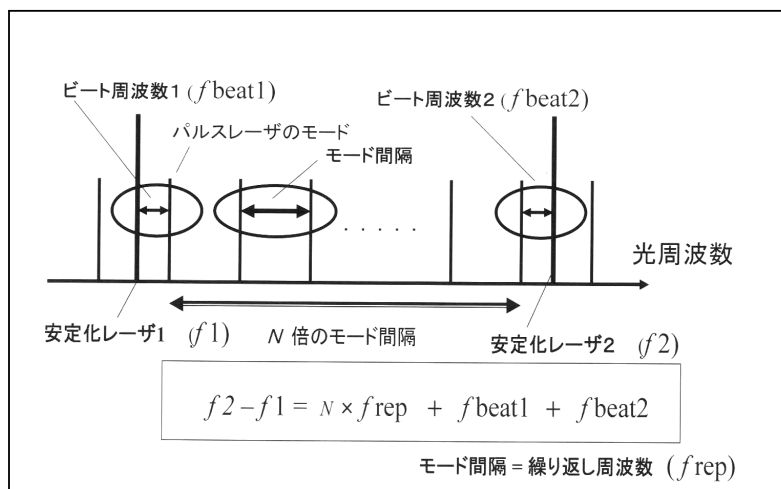


図1 光周波数計測の実理

がりが数十 nm に及ぶとすると、「約5万台の連続発振のレーザー」がその周波数が等間隔になるよう制御されて光っていると考えられる。

そこでこれを「光周波数のものさし」として基準の安定化レーザーと測定対象である安定化レーザーの光周波数の差を極めて正確に測定することができる。超短パルスレーザー、基準レーザー、被測定レーザーを3つ重ねて適当な帯域の光検出器で受光すれば、1 GHz に対応するモード間隔の光ビート、基準レーザーと近隣のモードとの光ビートなどが観測される。そこで図に示す簡単な式により被測定レーザーの光周波数を、基準レーザーの光周波数と測定した3つの光ビート周波数から求めることができる。

3. 波長計測から光周波数計測へ

精密長さ計測分野などの他に、波長分割多重 (WDM) システムなどの光通信分野でも、通常の干渉計をベースにした波長計の精度 (6桁程度) を越えた基準設定の要求がある。図2に示すように、可視領域の基準で干渉計を用いたフリンジカウンティングの比から2つの波長比を求める市販の波長計と異なり、通信帯の基準を用いた分散などの影響を受けない周波数測定で2つの光周波数の差を測定する方法により、精度を一挙に9桁から10桁にあげることができる。すなわち、波長計測から光周波数計測に移行することで光周波数 (波長) の管理精度を1000倍以上改善することができる。

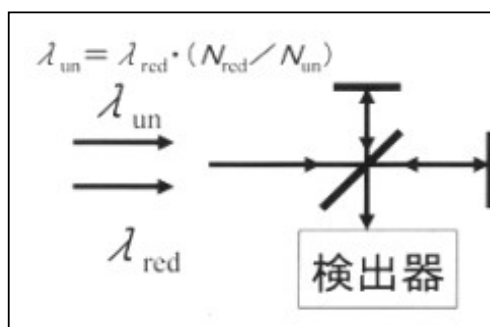


図2 波長比計測の原理

4. 光通信帯での光周波数計測のための製品

図1で説明した原理に基づいて高精度な「光周波数計」を考えることができる。このような製品はまだ市販品として出回っていないがその要素である「基準レーザー」と「光コム」について、いくつかの製品がすでにある。横河電気 (株) のHCN分子の線形吸収を利用した安定化レーザーは確度10 MHzの製品である。ネオアーク (株) は、電気通信大学と産総研の研究成果をベースに、アセチレン分子の飽和吸収を利用した確度100 KHzの安定化レーザーの製品化に成功している。アイシン精機 (株)・IMRA アメリカで開発されたモード同期ファイバレーザーは「光コム」として利用できる信頼性の高い装置である。NTT エレクトロニクス (株) のスーパーコンティニューム (SC) コムは、モード同期半導体レーザーと特

殊な非線形ファイバを組み合わせた装置で通信帯の 100 nm の範囲をカバーする「光コム」である。また、モード同期レーザの他にも電気光学結晶を用いてマイクロ波で深く変調する（変調指数を高くする）装置も光のものさしとして利用できる。（株）光コム研究所が製品にしている光コム発生装置は 5 THz のスペクトル幅を持ち、レーザと違って ASE ノイズが少なく信号の S/N がよいのが特徴である。

5. 通信帯における光周波数の標準供給

産総研計量標準総合センターでは 2004 年度中に、安定化レーザの光周波数（波長）の校正サービス（通信帯 C バンド、依頼試験）を開始する予定である。計量標準に関する国際相互承認（MRA）の枠組みの中で、新しい原理に基づく日本発の高精度な光周波数計測器等の製品が SI トレーサブルであることを明示することで差別化され、国際的にも競争力が上がる：この望ましいシナリオが実現するよう、これからもこの方面の校正サービスに力を入れていきたい。