

モード同期ファイバレーザを用いた広帯域光コム ファイバコム



稲場 肇

いなば はじめ

h.inaba@aist.go.jp
計測標準研究部門
時間周波数科 波長標準研究室
主任研究員
(つくばセンター)

1993年に旧工業技術院計量研究所に入所、現在はファイバコムの製作、およびそれを用いた光周波数計測の研究を行っています。長時間測定し続けなくては見えない現象の観察や、所望の光周波数をいつでもどこへでも供給できる装置やシステムの構築を目指しています。

関連情報：

● 共同研究者

中嶋善晶 (産総研、福井大学)、
美濃島 薫 (産総研)、洪 鋒雷
(産総研)、大苗 敦 (産総研)、
中沢正隆 (東北大学)、松本
弘一 (産総研)

● 参考文献

[1]H. Inaba et al., "Long-term measurement of optical frequencies using a simple, robust and low-noise fiber based frequency comb." Optics Express, Vol.14-12, pp.5223-5231, 2006.

● プレス発表

2005年3月23日「原子時計と光周波数コムを利用した光周波数の校正サービスを開始ー従来の1000倍以上の精度を実現ー」

光コムとは

光周波数コム (以下光コム) は、電氣的に扱えるマイクロ波帯の周波数 (100 GHz以下) を基準にして、光の周波数 (200 ~ 600 THz) を正確に測るために使われます。この技術の登場で、水晶発振器のようなマイクロ波発振器の周波数と、光周波数発振器であるレーザの周波数を直接比較できるようになりました。2000年頃にフェムト秒モード同期レーザが発生する光コム技術が発明され、この成果により2005年のノーベル物理学賞が米国のHall博士とドイツのHänsch博士に授与されました。

光コムは、図1に示すように、等しい周波数間隔 (モード間隔周波数: f_{rep}) で色の成分が並んだものです。光コムが実際に存在する範囲を超えて仮想的に低周波数方向に拡げていくと、ちょうどゼロにはならず、キャリア・エンベロープ・オフセット周波数 (f_{CEO}) と呼ばれる「余りの周波数」になります。 f_{CEO} をゼロ番目にする、光コムのN番目の周波数 $f(N)$ は $f(N) = f_{CEO} + Nf_{rep}$ という簡単な式で表すことができます。Nは数十万~数百万の整数です。つまり、マイクロ波周波数である f_{rep} と f_{CEO} を正確に測定できれば、N番目の光コムの周波数を計算することができることとなります。 f_{rep} は光コムのマイクロ波周波数の入力であり、N番目の光コムの周波数 $f(N)$ が光周波数の出力といえます。実験的には、 f_{rep} と f_{CEO} を原子時計などの基準周波数に同期させることで、正確な光周波数を発生させることができるのです。

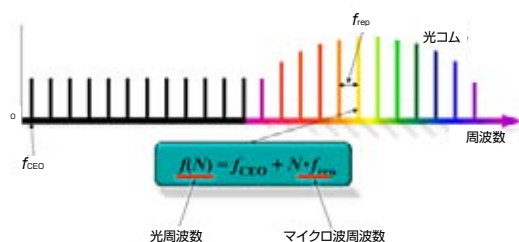


図1 等しい周波数間隔で並ぶ光コム。陰のあるモードは実際に存在する光コムで、ほかは仮想的に拡げた光コム

ファイバコムの長所と今後の展開

f_{CEO} 信号を検出するには光コムの広帯域化が必須の条件です。光コムが登場した頃は、広帯域化が可能なレーザはチタンサファイアレーザなどの固体レーザしかありませんでした。しかし、当時使われていた固体レーザは移動が困難で、標準研究所だけが保有する特殊な装置でした。

これに対して私たちが世界をリードして研究しているファイバレーザを用いた光コム「ファイバコム」は、小型、軽量、安価であり、信頼性の高いものです。図2に示すように、ファイバコムはエルビウム添加光ファイバを増幅媒体とするファイバレーザと光増幅器で構成されています。小型で安価な半導体レーザで励起できること、10兆分の1秒という超短光パルスが発生できること、また、調整や保守の必要がほとんどなく、長時間連続で運転できるという長所を持っています。

産総研では、これらの長所を十分に引き出すための研究を進めており、これまでにファイバコムを用いた世界初の光周波数の測定や、1週間連続(世界最長)の光周波数測定などを行っています。また、計測器メーカーと共同で光周波数計を開発し、製品化の研究を行っています。近年の社会の情報化やハイテク化により、光通信の大容量化のための高密度波長多重光通信や、製造業における長さ基準の高精度化などで、正確な波長(光周波数)管理が必要になってきています。これらのニーズに的確に応えていくためにも、光コム技術の研究を進めていくことが重要です。

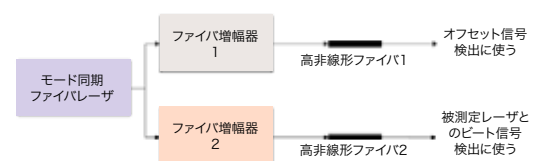


図2 光コムの構成。モード同期ファイバレーザにより発生した光コムは2つの増幅器で増幅され、高非線形ファイバで広帯域化される。