

アセチレン安定化レーザーの絶対周波数測定

光通信帯周波数標準の確立におけるフェムト秒光コム

光通信の大容量化に向けて、高密度波長分割多重方式 (DWDM) をはじめ新しい技術の実用化が進んでいる。このように進化する光通信技術においては、光源の周波数の管理がますます重要になっている。われわれは、最新方式の「フェムト秒光コム」を用いて、1.5 μm 帯のアセチレン安定化レーザーの周波数の絶対測定を行った。この測定値は、国際度量衡委員会で採択され、光通信帯周波数標準の確立に大きな役割を果たした。

To upgrade the capacity of existing optical fiber networks, technologies like dense wavelength-division-multiplexing (DWDM) are advancing rapidly. The management and control of optical frequencies in telecommunication are becoming more and more important. We have measured the absolute frequency of an acetylene-stabilized laser at 1.5 μm using a femtosecond optical frequency comb. The measured result was adopted by the International Committee for Weights and Measures (CIPM) for determining the absolute frequency of the optical frequency standard.

光通信ネットワーク上の周波数管理

近年、インターネットの普及や動画などのコンテンツの充実が、光通信の大容量化に拍車をかけている。これをまかなう技術の一つとして波長分割多重方式 (WDM) が実用化され、様々な所で使用されている。また、ますます増加する通信量に対応するため、波長多重のチャンネル間隔を狭めて、全体のチャンネル数を増やす高密度波長分割多重方式 (DWDM) が開発されている。チャンネルの周波数間隔は、従来

の200 GHzから、実験室のレベルでは25 GHz以下まで狭まっている。このような通信システムでは、光源などの光部品についての周波数の管理が重要で、光周波数標準が大きな役割を果たす。こうした状況で産総研では、通信帯の光周波数標準の確立を目指して、1.5 μm 帯のアセチレン分子吸収線にもとづく安定化レーザーの研究を行っている。

光コムを利用した周波数測定

安定化レーザーを光周波数標準とし

洪 鋒雷 Feng-Lei Hong

f.hong@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

波長・光周波数標準、光周波数計測を担当し、高分解能レーザー分光、レーザー周波数安定化、光周波数標準の開発、超短パルスレーザーの制御とその光周波数計測における応用などの研究に従事している。

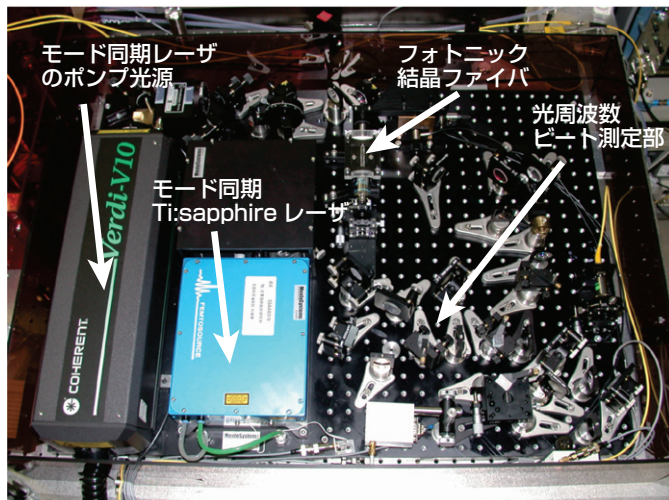
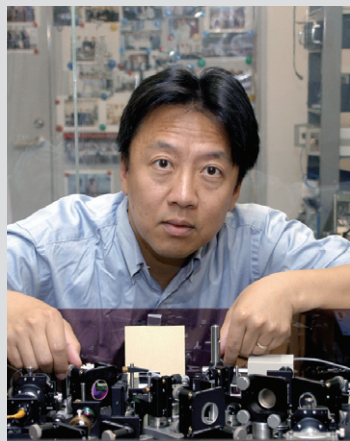


図1 レーザの絶対周波数の測定に用いられるフェムト秒光コム装置

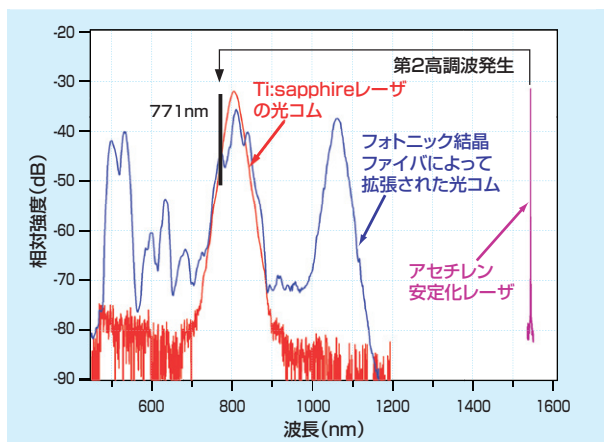


図2 フェムト秒光コムの包絡線(赤、青)及びアセチレン安定化レーザーのスペクトル

て用いるには、そのレーザーの周波数の絶対値をセシウム原子時計を使って測定すること(いわゆる絶対周波数測定)が不可欠である。20世紀の終わりまでは、レーザーの絶対周波数測定はきわめて困難であったが、近年「フェムト秒光コム」が開発され、絶対周波数測定が比較的容易に行えるようになった。光コムとは、周波数軸上に等間隔に並んだ成分(モード)からなる櫛(コム)形のスペクトルを持つ光信号である。われわれは、フェムト秒モード同期Ti:sapphireレーザーの光をフォトニック結晶ファイバに入射して、500~1000 nmまでの光コムを発生させ、この光コムを用いてアセチレン安定化レーザーの絶対周波数測定を行った。図1に、フェムト秒光コム装置の写真を示す。

得られたフェムト秒光コムと測定するレーザーのスペクトルを図2に示す。図中の赤い曲線はTi:sapphireレーザーで、青い曲線はフォトニック結晶ファイバによって拡張された光コムの包絡線である。拡張された光コムのスペクトルは1オクターブと広がっており、このことは光コムの周波数制御にとってたいへん重要である。1.5 μm波長帯のアセチレン安定化レーザーの光は、非線形結晶の第2高調波発生により、771

nmの光へ変換された。レーザーの周波数測定は、771 nmにおける光コムとのビート(うなり)の周波数測定によって行われた。

図3に、光コムで測定されたアセチレン安定化レーザーの周波数値を示す。比較のために、光コムを使わない従来の測定結果も図に記入した。今回の測定で得られた7個のデータの標準偏差は1.3 kHzで、今回の周波数測定の不確かさを表している。図3からわかるように、この測定の不確かさは1996年、2001年の結果と比べると、それぞれ約1/100と1/10へと減少しており、測定精度が大幅に向上している。また、この1.3 kHzの測定の不確かさは、アセチレン安定化レーザー自身の周波数再現性によるものである。フェムト秒光コムを用いるようになって、アセチレン安定化レーザーの周波数値の決定は、初めて周波数測定手段の不確かさから解

放されることになった。

国際的光通信周波数標準へ

以上の産総研で得られた測定結果は、2003年の国際度量衡委員会の長さ諮問委員会に報告され、イギリスの英国国立物理研究所(NPL)とカナダ国立研究協議会(NRC)の2つの研究所の測定結果とともに採択された。アセチレン安定化レーザーの周波数値はこの3研究所の測定値によって確定され、産総研は1/3の貢献を果たしたことになる。現在、アセチレン安定化レーザーは、1.5 μm帯の光周波数標準として、国際度量衡委員会から勧告されている。

われわれは、より安定な周波数の測定ができるように、光コムのさらなる改良を進めている。レーザーの周波数測定に関する研究は、光通信だけでなく、長さの測定や精密分光などの研究にも大いに役立っている。

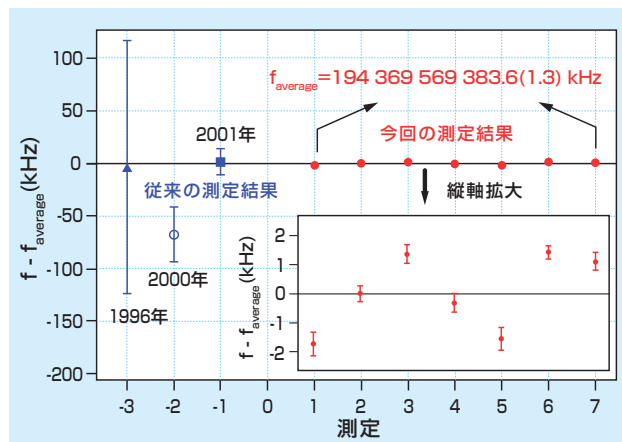


図3 フェムト秒光コムで測定されたアセチレン安定化レーザーの周波数値

関連情報：

- 共同研究者：大苗敦、蔣捷、稲場肇、美濃島薫、Thomas R. Schibli、松本弘一、中川賢一。
- F.-L. Hong, A. Onae, J. Jiang, R. Guo, H. Inaba, K. Minoshima, T. R. Schibli, H. Matsumoto, K. Nakagawa, Opt. Lett. Vol. 28, No. 23, p. 2324-2326 (2003) .
- J. Jiang, A. Onae, H. Matsumoto, F.-L. Hong, Opt. Express Vol. 13, No. 6, p. 1958-1965 (2005) .
- A. Onae, K. Okumura, K. Sugiyama, F.-L. Hong, H. Matsumoto, K. Nakagawa, R. Felder, and O. Acef, in Proceedings of 6th Symposium on Frequency Standards and Metrology (World Scientific, Singapore, P. Gill, Ed., 2001) pp. 445-452.