

光ファイバを用いた周波数標準の供給・比較技術の開発

簡便に利用できる普及技術と超高精度な将来技術の追究

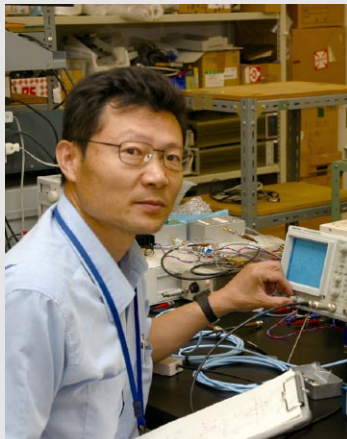
発振器の校正を簡易に安価で行うため、光ファイバ通信の同期網を利用した標準の供給技術を開発中である。現在、 1×10^{-12} (1日平均)の周波数安定度(アラン標準偏差という)が得られており、一般の利用者の要求を満たすものである。この技術により、発振器を持ち込まなくても、簡易に校正できるようになる。また、現在、急速に進展している超高安定な原子発振器の周波数比較や供給を可能とする将来技術の開発状況にもふれる。

An economical remote calibration technique is being developed using existing synchronous optical fiber communication networks. The measured frequency stability (the Allan deviation) is 1×10^{-12} for an averaging time of one day. The result shows the method is promising for the simple frequency calibration service. An ultra precise two-way optical fiber frequency transfer method is also under developing for ultra stable future atomic clock comparison.

雨宮 正樹 あめみや まさき
amemiya-masaki@aist.go.jp

計測標準研究部門 時間周波数科 周波数システム研究室 (つくばセンター)

産総研入所以前は、通信分野において時間、周波数、波長といった標準を利用する側であった。2004年4月から、大嶋新一科長、今江理人室長のもとで周波数標準の維持、供給という業務に従事している。周波数標準における不確かさレベルは、一般的な利用者で 10^{-12} 、また世界最先端の不安定原子発振器では 10^{-15} レベルと突き進んでいる。前者に対しては、より簡易で安価な供給法を、また後者に対しては光ファイバを用いて超高精度な周波数比較と供給ができるよう取り組みたい。



研究の背景

発振器は、最も普及している水晶発振器から高価なセシウム原子発振器まで多種多様である。これらの発振器の出力周波数を校正するには、通常、校正を実施している機関へ発振器を運び込まなければならない。この器物の運搬という不便を解消するため、われわれは基準周波数を必要とするユーザに対して安価で簡便に標準を供給する技術を開発している。

また、一方で、最先端の超高安定原子発振器は、物理定数の不変性の検証や相対論などの実験的検証といった学術的分野でも用いられており、そこで必要とされる高精度周波数比較についての技術開発も行っている。

周波数標準の簡易供給法

周波数安定度が 10^{-12} オーダーで、低コストに周波数標準の供給を行う方法として光ファイバ通信における従属同期網(電話やインターネット等の信号の多重分離用クロック網)を利用する方法を図1に示す。光通信における従属同期網は、各局のルビジウム原子発振器が主局の不安定セシウム原子発振器に従属して同期する形になっており、これは日本全国に導入されている。ただし、そこで使われる周波数は通信同期網に独自のものであり、周波数の校正を受けたいユーザの発振器の基準周波数信号である10 MHz(あるいは5 MHz)とは異なる。そのため利用者サイドで通信のクロック信号からまず基準信号を生成し、さらにその値

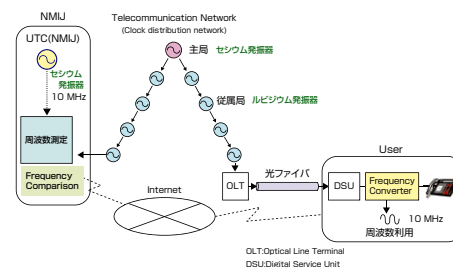


図1 光通信ネットワーク(従属同期網)を利用した簡易周波数標準供給法

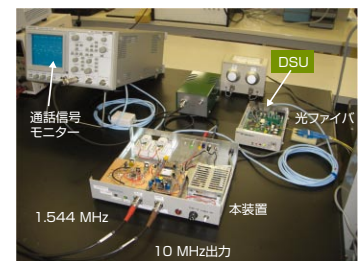


図2 簡易周波数標準供給用の試作装置

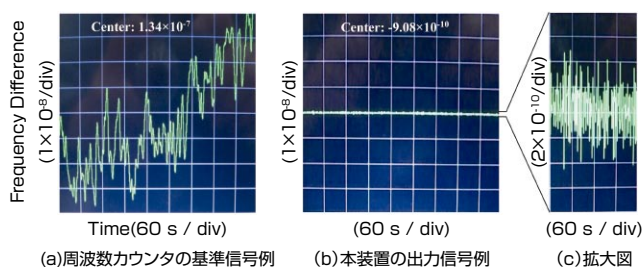


図3 通常の周波数カウンタの内部基準信号とUTC (NMIJ) との周波数差 (相対値) の測定例及び本装置の出力信号の測定結果

と当所で設定している国家標準 (UTC (NMIJ)) の周波数とをインターネットを介して比較することにより校正できるしくみを開発している。

図2は、ユーザ側に設置される開発中の基準信号生成装置である。この装置で得られる10 MHzとUTC (NMIJ) との周波数差 (相対値) の測定結果を図3に示す。図3 (a) は通常の周波数カウンタのタイムベース (時間軸の基準) になっている内部基準信号 (この例では水晶発振器の10 MHz) の一例であるが、時間経過とともに温度変動などの影響により周波数が変化していく。また、このときの周波数値は9.999 986 257 MHz (10秒ゲートで測定) であった。このような10 MHzからの差分はカウンター表示の不確かさの要因となる。これに対して、この装置の場合 (図3 (b) (c))、周波数安定度が非常に高いことがわかる。図3 (a) のように、低域成分を含む周波数変動の分散は発散することがあるため、周波数標準においては、アラン分散と呼ばれる分散が発振器の安定度評価の尺度として用いられる。図4に平均化時間 τ とアラン分散 (ここではその平方根であるアラン標準偏差 σ_y) の測定結果を示す。前述のカウンタの場合 (水晶発振器)、 $\sigma_y (\tau)$ は τ の増加とともに増加し、 10^8 から 10^7 と劣化する。これに対して、この装置の場合、1日平均で $\sigma_y (\tau)$ は 10^{-12} 以下と安定であった。ここで利用した通信のクロック信号と

しては、一次群インターフェースの1.544 MHzを使用した (通信サービス: NTT提供のINS1500を使用)。この結果は、通信網を用いた遠隔校正が可能であることを示している。

超高精度比較技術

世界のトップレベルの一次周波数標準器の周波数の不確かさは $1 \sim 2 \times 10^{-15}$ のものが実現されており、約10年に1桁のペースで精度が高くなっている。究極的な原子泉標準器では、 10^{-16} オーダーの可能性もある。このため、トップレベルの周波数標準器間の比較手段として、より高精度な周波数比較技術が必要となりつつある。そこで産総研では、光ファイバの一心双方向伝送と波長多重双方向光増幅技術の開発を進めている。図5は、100kmの光ファイバを用いた周波数比較実験の結果 (システム雑音) を示している。通常では、光ファイバの温度変動による位相変動が発生してアラン標準偏差は劣化する

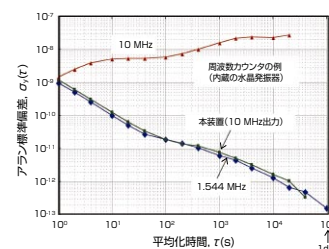


図4 本装置と通常の周波数カウンタの内部基準信号 (10MHz) との周波数安定度比較

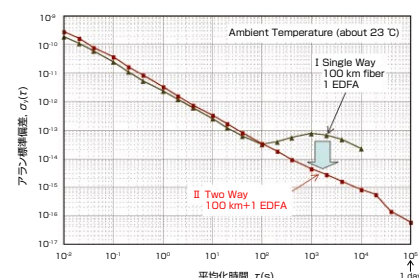


図5 一心双方向光伝送路 (100 km) のシステム雑音測定結果

(図5の I : 黒線) が、この方法 (図5の II : 赤線) では 10^{-16} の比較 ($\tau = 1 \text{ day}$) が可能である。

今後の展開

周波数標準の簡易供給法については、今回の実験結果をさらに発展させ、装置の製品化に向けた技術開発と遠隔校正システムの構築を進め、実用化を目指したい。また、超高精度比較技術については、国際間の原子発振器の比較ができることを最終目標に、長距離化を進めていく予定である。

関連情報:

- 簡易周波数標準供給法の研究は、現在、産総研「地域中小企業支援型研究開発制度」により進めている。
共同研究先: ジオファイブ (Geo 5) (株): <http://www.geo5.co.jp/>
- 今江理人: 「日本国外への周波数国家標準の遠隔校正実験」産総研 TODAY Vol.5, No.8, pp.20-21, (2005)
- 雨宮正樹*, 今江理人*, 藤井靖久*, 鈴木智也*, 大嶋新一* (* 産総研) 原 雅巳 (日本大学) 青柳 慎一**, 滝川 好比郎**, 福田 晴元** (** NTT): 「光ファイバネットワークを用いた時間・周波数比較及び供給方法の検討」電気学会研究会資料、計測研究会、IM-06, pp.1-5, (2006)
- 大嶋新一 「時間・周波数標準器開発の最近の動向」: 電気学会研究会資料、計測研究会、IM-05, pp.1-4, (2005)