

# 光キャリアを用いる超高精度周波数比較技術

SATテクノロジー・ショーケース2014

## ■ はじめに

近年、時間周波数標準を実現するための周波数安定化技術は目覚ましい発展を遂げており、光格子時計による周波数領域(数百THz)においては $10^{-17}$ レベル以下の高い周波数安定度が達成されている。この性能は、現在の秒の定義であるセシウム原子時計( $10^{-16}$ レベルの安定度)を超えつつあることから、メートル条約関連会議では、秒の再定義を視野に入れた検討が開始されている。しかしながら、光格子時計を将来の時間標準器とするためには、2つ以上の標準器間の周波数を正確に比較しその同等性や信頼性を評価する必要がある。光格子時計は極めて精密な装置であるため移動させることは一般に困難であり、そのため、遠隔地間にある光格子時計の周波数比較技術が重要となってくる。そこで、本研究では、光キャリアそのものの位相を利用する光キャリア伝送に注目し、波長 $1.5\ \mu\text{m}$ の光キャリアと光ファイバリンクを用いた $100\ \text{km}$ 程度の長距離間における超高精度周波数比較システムの開発を行っている。

## ■ 活動内容

### 1. 光キャリア伝送システムの立ち上げ

通常、長距離リンクにおいては環境による雑音(温度変動による光ファイバの伸縮及び振動等による伝送周波数のドップラーシフト)がファイバ長にわたって積分されて位相雑音となる。これにより、位相スペクトルが劣化しながら伝送していき、 $1\ \text{Hz}$ の狭帯域の線幅で送信したとしても受信側では線幅は例えば $100\ \text{Hz}$ 以上にも拡大してしまう。そのため、周波数比較を正しく行うためには、リンクに起因する雑音を取り除き、元の信号品質を遠隔地においても再現できるようにしなければならない。我々は光時計クラスの周波数比較を目的として、雑音キャンセルシステムの研究開発を開始した。このシステムの概要を図1に示す。

### 2. 比較システムの性能評価

本システムでは、レーザ光を光ファイバに入射し、遠方へ伝送する(図1の左端から右端へ)。そして、その光の一部を反射して、同一の光ファイバを通して元の場所に送り返す。この返送光と、元の参照光の差周波を取ることで、伝送路に起因する位相雑音の2倍(往復分)を検出し、これがゼロになるようにアクチュエータを制御する。すると、遠端においても片道分の位相雑音はゼロになり、周波数源のスペクトルが再現できる(図1)。一方、光が長距離を行き来する間にかかる遅延時間が制御帯域の制限となり、

除去しきれない雑音として残る。よって、他の雑音要因を、この遅延による雑音よりも十分小さく抑えることが重要となる。これらの雑音要因について検討し、遅延以外の雑音を十分低減することで、高精度な伝送のための解決策を見出した。

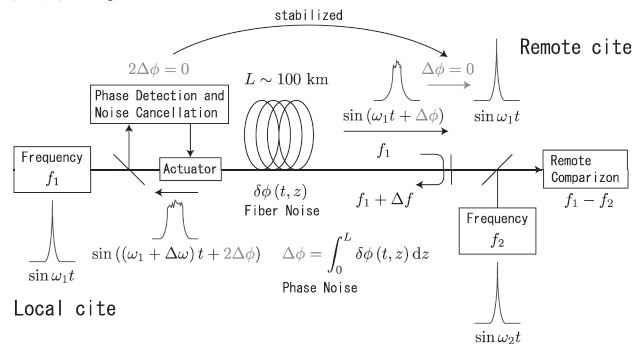


図1 光ファイバを用いた周波数比較の概念図

### 3. 超高精度比較の実現

我々は、上記の原理を実証するために、室内で巻きファイバを伝送路として用いた実験を行っている。正確な比較を実現するには、長時間( $\sim 1\ \text{h}$ )にわたり安定な伝送を行う必要があり、突発的なノイズにも耐えなければならない。図2は $90\ \text{km}$ のファイバで伝送される信号の周波数安定度であり、比較システムによる不確かさが、ある平均時間でどの程度であるかを示している。積分時間 $1000\ \text{秒}$ の不安定性は、今回開発した雑音キャンセルシステムを用いた場合、光時計の性能を1桁上回っており、超高精度な比較を達成していることが分かる。現在、実際の伝送路に適用すべく、ロバストなシステムを検討している。

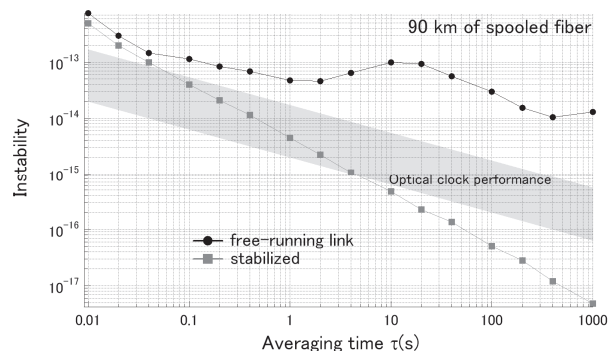


図2 ファイバリンク長  $90\ \text{km}$  における周波数安定度

代表発表者 和田 雅人(わだ まさと)  
 所属 (独)産業技術総合研究所  
 計測標準研究部門  
 時間周波数科周波数システム研究室  
 問合せ先 〒305-8563 茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第3  
 TEL: 029-861-4158 FAX: 029-861-4245  
 masato.wada@aist.go.jp

■キーワード: (1)時間周波数標準  
 (2)光ファイバ  
 (3)高精度比較技術