

光周波数コムによる光原子時計のコヒーレントなマイクロ波変換

Coherent optical clock down-conversion via optical frequency comb dividers

National Institute of Standards and Technology, Time and Frequency Division¹,

Department of Physics, University of Colorado Boulder²,

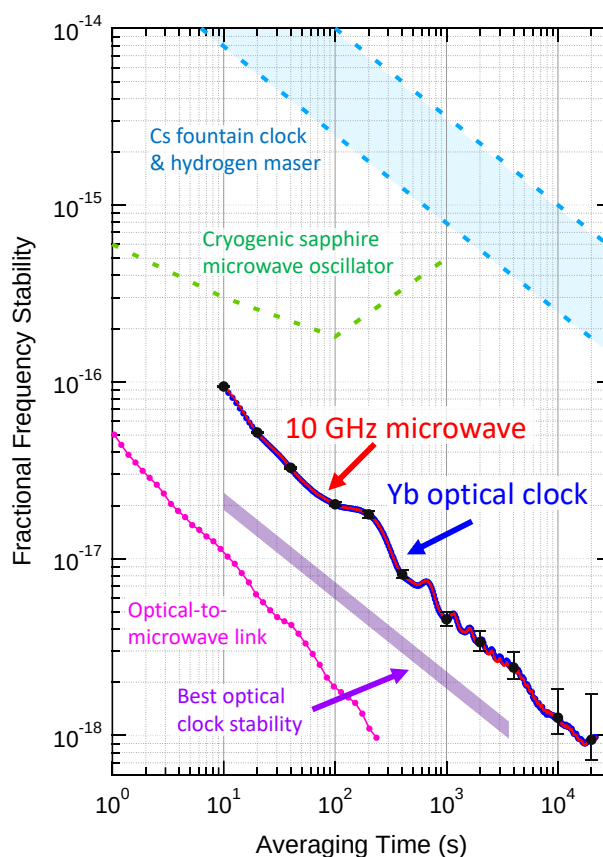
Department of Electrical and Computer Engineering, University of Virginia³

○中村卓磨^{1,2}, Josue Davila-Rodriguez¹, Holly Leopardi^{1,2}, Jeff A. Sherman¹, Tara M. Fortier^{1,2}, Xiaojun Xie³, Joe C. Campbell³, William F. McGrew^{1,2}, Xiaogang Zhang^{1,2}, Youssef S. Hassan^{1,2}, Daniele Nicolodi^{1,2}, Kyle Beloy¹, Andrew D. Ludlow^{1,2}, Scott A. Diddams^{1,2}, Franklyn Quinlan^{1,2}

E-mail: takuma.n1022@gmail.com

2000 年前後における光周波数コムの発明は光周波数計測に革命をもたらした。このことは光原子時計の発展に大いに寄与し、2021 年現在では 18 桁またはそれ以上の不確かさ、安定度をもつ光原子時計が報告されており、一秒の再定義の議論が活発になっている。一方で、従来のマイクロ波による原子時計は不確かさ、安定度ともに 15~16 桁程度で頭打ちに近い状況にあり、最先端の光原子時計とは 100 倍以上の開きがある。したがって光現時計の不確かさ、安定度をそのままマイクロ波領域に変換する研究はマイクロ波の周波数標準とその応用に対して極めて重要である。

この光—マイクロ波変換は光周波数コムを“変換ギア”として用いることで”理論上“可能であり、比較的容易に達成できると当初は考えられていた。しかし、光周波数コムの発明以来 20 年間誰一人、十分な精度での光—マイクロ波変換を成しえなかった。このことは、光周波数コム、フォトダイオードによる光検出、マイクロ波の周波数測定、かつロバストでなければならないことに起因する。本研究では、この 3 つの要素をすべてを自前で構築し、変換システム全体が付加する安定度、不確かさともに 1×10^{-19} レベルを達成した。この値は最先端の光原子時計と比較しても一桁小さい値である。実際に NIST の Yb 光原子時計をマイクロ波に忠実に変換することに成功し、光—マイクロ波の時間領域での高精度位相比較と共に、マイクロ波領域において、世界で初めて 1×10^{-18} の安定度を実現した(右図)。これは従来のマイクロ波標準から 100 倍以上の改善に相当する[1]。



[1] T. Nakamura, *et al.*, Coherent optical clock down-conversion for microwave frequencies with 10^{-18} instability. *Science*. **368**, 889–892 (2020).