

冷凍機方式低温サファイア発振器を用いた高い周波数安定度を有する 原子泉時計

Atomic Fountain Clock with High Frequency-Stability Employing a Cryocooled Sapphire Oscillator

産総研計測標準¹, アデレード大² ◦高見澤 昭文¹, 柳町 真也¹, 田邊 健彦¹, 萩本 憲¹,
平野 育¹, 渡部 謙一¹, 池上 健¹, John G. Hartnett²

NMIJ¹, Univ. Adelaide² ◦Akifumi Takamizawa¹, Shinya Yanagimachi¹, Takehiko Tanabe¹, Ken
Hagimoto¹, Iku Hirano¹, Ken-ichi Watabe¹, Takeshi Ikegami¹, John G. Hartnett²

E-mail: akifumi.takamizawa@aist.go.jp

現在、 $<1 \times 10^{-15}$ の不確かさを当面の目標として、原子泉一次周波数標準器 NMIJ-F2 を開発している[1]。不確かさ低減のためには、まず統計的な不確かさに相当する周波数安定度を向上させる必要がある。また、周波数安定度が高くなれば、原子間衝突やマイクロ波の漏れなどによるシステマティックな周波数シフトを精密に見積もることが可能になる。

通常の原子泉の場合、冷却原子集団の生成などに要する周波数測定に関わらない時間が 1 シーケンスに約 1 s 生じる。そのため、ラムゼー共振器にマイクロ波を与える局所発振器の 1 s での周波数安定度により、原子泉の周波数安定度が制限されてしまう (Dick 効果)。水晶発振器を局所発振器として用いた場合には、周波数安定度は $\approx 1.5 \times 10^{-13} \tau^{-1/2}$ (τ : 平均時間 (s)) にリミットされるが、より高い短期安定度をもつ低温サファイア発振器(CSO)を用いれば、無視できるレベルまで Dick 効果を低減することが可能である。通常 CSO には、近年価格が高騰している液体ヘリウムを定期的に補充する必要があるが、気化したヘリウムを再液化する冷凍機を用いることにより、こうした難点は克服された[2]。本講演では、世界で初めてとなる冷凍機方式低温サファイア発振器 (cryoCSO) の原子泉への適用とともに、磁気副準位 $m_F = 0$ への光ポンピングなどによる原子数の増大により、周波数安定度を $8.3 \times 10^{-14} \tau^{-1/2}$ まで向上させた実験について報告する[3]。

図 1 の赤い丸と黒い四角は、cryoCSO を局所発振器およびリファレンスとして用いて測定した原子泉の周波数のアラン偏差を示す。ただし、赤い丸は光ポンピングを行った場合、黒い四角は行わなかった場合を示す。光ポンピングによって検出原子数が 3.8 倍増加したことにより、周波数安定度が $2.0 \times 10^{-13} \tau^{-1/2}$ から $8.3 \times 10^{-14} \tau^{-1/2}$ まで向上した。光ポンピングありの場合、検出原子数の平方根で決まる周波数安定度の量子雑音限界 $7.5 \times 10^{-14} \tau^{-1/2}$ にほぼ到達したといえる。

青の三角は、液体ヘリウム補充型 CSO をリファレンスとした cryoCSO の周波数のアラン偏差を示す。1 s での周波数安定度は 3×10^{-15} に達しているため、Dick 効果が無視できることがわかる。また、 10^3 s 程度まで高い周波数安定度を維持しており、原子泉の周波数安定度評価のためのリファレンスとしても有用であることがわかる。

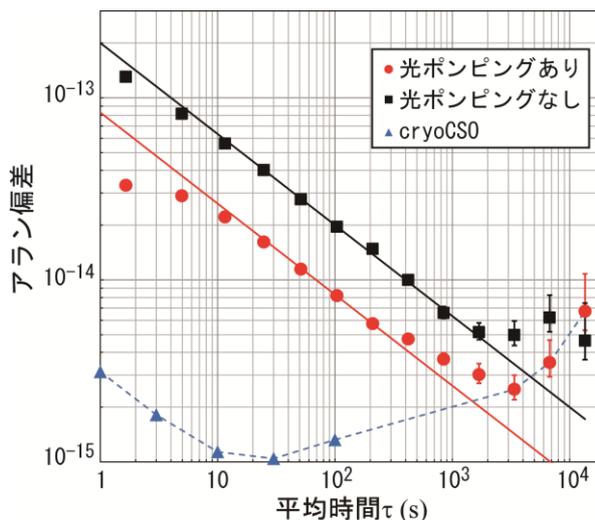


図 1 周波数安定度

[1] 高見澤昭文他、第 61 回応用物理学会春季学術講演会 19p-PA6-4 (2014). [2] 池上健他、第 74 回応用物理学会秋季学術講演会 16a-C8-8 (2013). [3] A. Takamizawa et al., IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control, to be published.