

原子泉型一次周波数標準器 NMIJ-F2 の開発 III

Development of the Atomic Fountain Primary Frequency Standard, NMIJ-F2, III

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, J. G. Hartnett²

NMIJ¹, Univ. Adelaide² ○Akifumi Takamizawa¹, Shinya Yanagimachi¹, Takehiko Tanabe¹, Ken
Hagimoto¹, Iku Hirano¹, Kenichi Watabe¹, Takeshi Ikegami¹, J. G. Hartnett²

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

一次周波数標準器の不確かさが低減されることにより、国際原子時の高精度化が進められてきた。また、近年急速な進歩を遂げている光格子時計などの光時計と現行の一次周波数標準器との高精度な比較が必要となっている[1]。こうした背景のもとに、我々は 1×10^{-15} 未満の不確かさを目指して原子泉二号器 NMIJ-F2 を開発している。前回の講演では、マイクロ波相互作用領域の磁場測定、光ポンピングによる検出原子数の増大、および衝突シフトの測定について述べた[2]。それ以後、冷凍機を用いた冷却サファイア発振器[3]を局所発振器として原子泉に適用し、周波数安定度を向上させた。さらに、磁場の均一性を高めるために磁気シールドを作り直して、再び磁場測定を行った。本講演では、こうした NMIJ-F2 の開発の現状について報告する。

図 1 に NMIJ-F2 の装置を示す。真真空度 10^{-7} Pa 程度の真空装置内に互いに垂直な 6 方向から負離調のレーザを照射して光モラセスを形成し、冷却セシウム原子集団を生成する。そして、上下方向からの冷却光の周波数に差を与えて冷却原子を打ち上げながら、偏光勾配冷却により温度 $1 \mu\text{K}$ 程度まで低温度化する。上基底状態 $F = 4, m_F = 0$ に光ポンピングした後、状態選択共振器での π パルス照射によって下基底状態 $F = 3, m_F = 0$ の原子を選択する。原子は約 1 m 打ちあがった後重力により落下するが、上昇時と下降時にラムゼー共振器において原子に対しマイクロ波 $\pi/2$ パルスを照射する。検出領域における蛍光観測により、2 度の $\pi/2$ パルスによる上基底状態への遷移確率を計測する。この遷移確率が最大となるように、ラムゼー共振器のマイクロ波の周波数を調節する。

通常の原子泉では、周波数測定に関わらない時間が 1 シーケンス当たり約 1 s 生じてしまうため、平均時間 $\tau = 1 \text{ s}$ 程度の領域において高い周波数安定度をもつ局所発振器が必要となる。実際、NMIJ-F2 の周波数安定度は、局所発振器として用いていた水晶発振器によって $2 \times 10^{-13} \tau^{-1/2}$ に制限されていた。今回、より短期安定度の高い冷却サファイア発振器を局所発振器に用いることにより、NMIJ-F2 の周波数安定度を改善した。図 2 は、冷却サファイア発振器を局所発振器として用いた NMIJ-F2 のアラン偏差である。ただし、リファレンスは冷却サファイア発振器であり、 $\tau > 900 \text{ s}$ では冷却サファイア発振器のドリフトが表れている。図 2 から、少なくとも $100 \text{ s} < \tau < 900 \text{ s}$ においては、NMIJ-F2 の周波数安定度は $1 \times 10^{-13} \tau^{-1/2}$ であり、水晶発振器を用いた場合に比べて 2 倍向上したことがわかる。

講演では、磁気シールド交換後の磁場測定についても述べる予定である。

[1] M. Yasuda et al., Appl. Phys. Express 5, 102401 (2012). [2] 高見澤昭文他、第 74 回応用物理学会秋季学術講演会 16a-C8-7 (2013). [3] 池上健他、第 74 回応用物理学会秋季学術講演会 16a-C8-8 (2013).

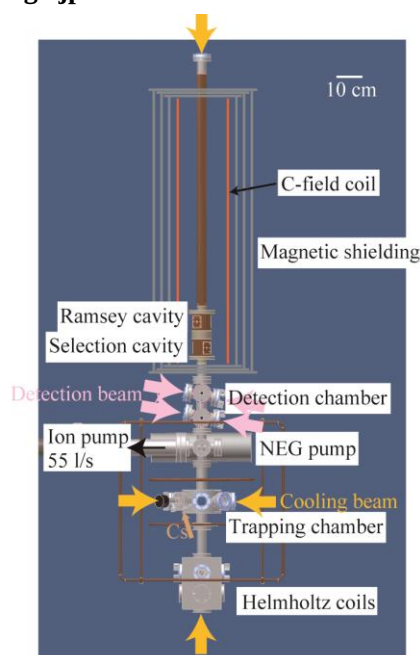


図 1 NMIJ-F2 装置図

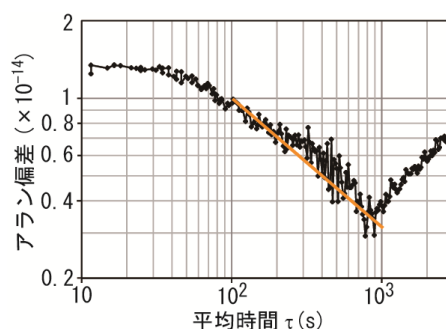


図 2 アラン偏差 (黒)。ただし、オレンジの線は $1 \times 10^{-13} \tau^{-1/2}$ を示す。