

2000万年に1秒の誤差を実現

## 原子泉方式の高精度原子周波数標準器の開発

セシウム原子は周波数が9 192 631 770ヘルツのマイクロ波と相互作用すると、違うエネルギー状態へ遷移を起こす。この共鳴現象を利用した安定な周波数の発生により、正確な時を刻む装置が原子時計である。その中でも特に、秒の定義を実現できる正確さを持つものは1次周波数標準器として使われる。原子は通常、毎秒数百メートルという高速度で不規則に飛び回っているため、その共鳴周波数は正確に知ることができない。近年、光の圧力を用いて原子の運動を制御するレーザー冷却技術が開発され、この問題が克服できるようになった。当研究部門ではレーザー冷却を原子時計に応用し、正確さを従来方式より約20倍向上させることに成功した。新しい装置は、原子が噴水の様に吹き上げられる様子から原子泉周波数標準器と呼ばれている。

原子泉周波数標準器で共鳴信号の観測に使われる真空装置の構成を図1に示す。中央のトラップ領域はセシウム原子の蒸気で満たされており、中心で6本のレーザー光が交差する。ここで絶対温度100万分の1度という極低温原子が生成され、真上に打ち上げられる。原子

は相互作用領域でマイクロ波共振器を上昇・下降時の2度通過した後、最下部で状態別に検出される。遷移を起こした原子の割合からマイクロ波の共鳴周波数からのズレを判別し、マイクロ波周波数にフィードバック制御が施される。原子の冷却、打ち上げ、検出はすべて、周波数や強度を巧みに調整されたレーザー光によってなされている。

現在、原子泉周波数標準器の安定度は、平均時間を $\tau$ として水素メーザと同程度の $\sigma(\tau) = 4.7 \times 10^{-13} \times \tau^{-1/2}$ が得られている(図2)。また、原子泉方式では原子の速度が遅くなったため、様々な要因によって生じる周波数シフトの大きさが従来方式より格段に小さくなった。1次周波数標準器では、あらゆる要因に対して周波数シフトの大きさの見積もりが行われ、それを基に総合的な不確かさが決定される。産総研では約3年前からこの確度評価と呼ばれる作業を進めており、現時点で原子泉周波数標準器の不確かさは $1.4 \times 10^{-15}$ と見積もられている。今後、詳細な研究を積み重ねて不確かさの低減を図ると共に、国際原子時(TAI)の校正に寄与していく予定である。

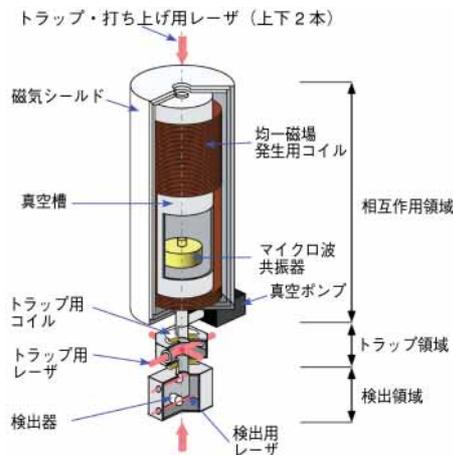


図1 原子泉周波数標準器の構成

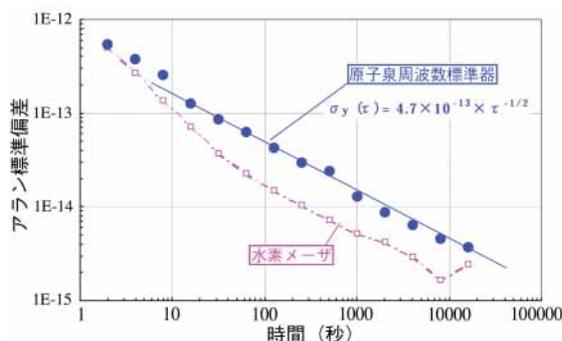


図2 原子泉周波数標準器の安定度

くろすたかゆき  
黒須隆行t.kurosu@aist.go.jp  
計測標準研究部門

## 関連情報

- 黒須隆行, 小野晃: ニュートン, 10月号, 76-83 (2003).
- 福山康弘: AIST Today, Vol. 2, No. 8, 7 (2002).