

光周波数コムが提供する物差

Length ruler provided by a femtosecond optical frequency comb

長岡技大工¹ 〇韋 冬¹, 明田川 正人¹Nagaoka Univ. of Technology¹, 〇Dong Wei¹, Masato Aketagawa¹

E-mail: weidong@mech.nagaokaut.ac.jp

2009 年 7 月、日本の計量法に定められた長さの国家標準（特定標準器）がフェムト秒光周波数コム（以下、光周波数コム）へと変わった。光周波数コムの周波数 f が安定しているため、波長 $\lambda = c / f$ がメートルの実現に使われている。 c は真空中の光速である。光周波数コムの繰返し周波数 f_{rep} も安定しているため、隣接したパルス繰返し間隔長（adjacent pulse repetition interval length, APRIL） $\Lambda = c / f_{\text{rep}}$ もメートルの実現に応用できる。本研究は、波長と APRIL と比較しながら、APRIL を用いた長さ計測の可能性を探索している^[1,2]。

光が光ファイバーで伝搬するとき、特定の周波数が分散の影響を受けない。ゼロ分散周波数が存在する。光周波数コムにより、広範囲にわたって、周波数標準を提供できるようになった。空気中にもゼロ分散が存在するかどうかを調べた。

真空中の波長と空気中の波長とは $\lambda_{\text{air}} = \lambda_{\text{vac}} / n_p$ の関係がある。 n_p は位相屈折率である。真空中の長さ $L_{\text{vac}} = (M + N) \times \lambda_{\text{vac}}$ と空気中の長さ $L_{\text{air}} = L_{\text{vac}} / n$ の関係がある。変換された真空中の長さに存在する屈折率による不確かさは $u_{\text{np}}(d) = (n_p(n) / n_p) L_{\text{vac}}$ になる。^[3,4] まだ、位相屈折率が持つ不確かさは

$$u(n_{p,\text{air}})^2 = K_{T,np}^2 u^2(T) + K_{P,np}^2 u^2(P) + K_{H,np}^2 u^2(H) \text{ になる。}^{[3,4]} \quad K_T, K_P \text{ と } K_H \text{ は } K_{T,np} = \frac{\partial n_p}{\partial T}, K_{P,np} = \frac{\partial n_p}{\partial P}$$

と $K_{H,np} = \frac{\partial n_p}{\partial H}$ で定義される。 T 、 P と H を計測する計測器が持つ不確かさ $u(T)$ 、 $u(P)$ と $u(H)$ であ

る。APRIL をモノサシとした時、群屈折率にも、同様なことを考えることができる。群屈折率が持つ不確かさは $u(n_{g,\text{air}})^2 = K_{T,ng}^2 u^2(T) + K_{P,ng}^2 u^2(P) + K_{H,ng}^2 u^2(H)$ のようになる。 $K_{T,ng}$ 、 $K_{P,ng}$ と $K_{H,ng}$ は

$$K_{T,ng} = \frac{\partial n_g}{\partial T}, K_{P,ng} = \frac{\partial n_g}{\partial P} \text{ と } K_{H,ng} = \frac{\partial n_g}{\partial H} \text{ で定義される。上記の屈折率による不確かさの大きさを示す。}$$

謝辞 本研究の一部は JSPS 若手研究 B (No.25820171) の助成により実施したものです。ここに感謝の意を表します。

参考文献 1. D. Wei and M. Aketagawa, Optics Express 22(6), 7040-7045 (2014) 2. D. Wei and M. Aketagawa, Optical Engineering 53(5), 051502-051502 (2013) 3. H. Kevin, Handbook of Optical Dimensional Metrology. (Taylor & Francis, 2013). 4. J. D. Ellis, Field Guide to Displacement Measuring Interferometry. (Society of Photo Optical, 2014).