

Abstract-A Satellite Laser Ranging (SLR) system using 1.5 μm (Nd:YAG/Raman-shifted) have been developed to eye-safe ranging. Range errors and differences of arrival time between 2 wavelenghtes were estimated about 4km target. Errors in the measurements were investigated using measured data.

1. 緒言

衛星レーザ測距(SLR)は、その高い測定精度から、衛星の軌道決定および測地・地殻変動量の観測や大気海洋力学の研究等、多分野で応用されている。測距精度は、主にレーザ発振タイミングの安定性、発振および受信時刻の決定精度など測距システムの機械固有精度と、大気中で発生する光伝播遅延の補正精度に依存する。システム固有精度については電子回路の高帯域化、レーザの短パルス化、衛星形状の球形化等の改善が図られてきているが、総合的な測距精度改善のためには大気遅延補正精度の向上を図ることが必須課題となっている。一方、地殻変動観測などでは測定の長期・連続運用化が望まれているが、自動運用に向けて克服すべき問題の一つとして、アイセーフに関する運用制限がある。しかしJIS等に見られるように1.5ミクロン帯の波長は角膜による吸収効果のあることが知られており、この波長帯をSLRへ適用すれば様々な運用制限が緩和され、自動化への大きなステップとなる。

日立製作所と通信総合研究所は、レーザ、送受信光学系、タイミング測定系、大気伝搬路補正を含めアイセーフ波長を用いた測距システムの総合的な検討を行なってきた。通信総合研究所に設置されているレーザ測距装置に付加装置を設け、従来用いてきた可視波長帯の0.5ミクロン帯とアイセーフ帯の1.5ミクロン帯での衛星測距が可能なシステムを構築した。

伝播路大気遅延の高精度補正方法として、各観測局固有の気象を考慮して補正を行なう方法と、2波長を用いて測距する方法とを比較検討するため、アイセーフ波長と可視波長を用いて地上ターゲットの測距と、低高度における各波長の測距誤差および伝達時間差の算定を行なった。可視波長帯との比較データを蓄積し、2波長測距の解析手順を確立することが目的である。

2. 到達時間差の検討

SLRにおいては大気遅延補正法としてMarini & Murray¹による方法が用いられている。これは地表(観測局)の気象から上空気象変化を近似し、大気遅延量を算出するものであるが、日本のような海洋付近の場合と内陸の場合では気象高度分布の違いによる誤差の生ずる可能性がある。特に地表付近においては気象変動の大気遅延量補正に寄与する割合が大きい。そこで観測局上空大気を平行平面かつ多層からなると仮定し、その気象分布変化が測距値補正量に与える影響を考察した。距離補正量は次により求める。

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{k-1} \left(\frac{h_i}{\tan \varphi_i} \right) + v_k(\lambda) \cdot \left(t - \sum_{i=1}^{k-1} \left(\frac{\sin \varphi_i}{h_i \cdot v_i(\lambda)} \right) \right) \cos \varphi_k}{\cos \varphi} \quad (1)$$

$$\varphi_i = \frac{\pi}{2} - \sin^{-1} \left(\sin \left(\frac{\pi}{2} - \varphi_{i-1} \right) \cdot \frac{v_i}{v_{i-1}} \right) \quad (i = 2, 3, \dots, k), \quad \varphi_1 = \varphi'$$

$$v_i(\lambda) = c_0 / N_{gi}(\lambda)$$

$$N_{gi}(\lambda) = 1 + \left\{ \left(77.53174 + \frac{1.31727}{\lambda^2} + \frac{0.018331}{\lambda^4} \right) \frac{P_i}{T_i} - 11.26836 \cdot \frac{e_i}{T_i} \right\} \cdot 10^{-6}$$

$$e_i = \frac{Rh_i}{100} \times 6.11 \times 10^{\frac{7.5(T_i - 273.15)}{237.3 + (T_i - 273.15)}}$$

c_0 : 真空中光速[m/s] λ : レーザ波長[μm] φ : 観測仰角[$^\circ$] t : 片道伝達時間[sec]
 T_i : 大気層iの気温[K] P_i : 大気層iの気圧[hPa] Rh_i : 大気層iの湿度[%Rh] h_i : 仮定大気層iの厚さ[m]
 これにより見積もられるそれぞれの波長での補正量とその差を Table 1 に示す。

3. 観測結果

今回 1.5 ミクロン帯の波長を得るために、既存のシステムから比較的容易に高出力のアイセーフ波長が得られる誘導ラマンセルによる方法を用いた。また検出器には単一フォトンアバランシェダイオードを用いた。地上ターゲットは、通信総合研究所から約 4 km 離れた場所(田無タワー)に設置している。レンジング計測値の例を Fig.1 に示す。また、計測された 2 波長の伝達時間差を Table 2 に示す。取得した 2 波長測距データから測距値を決定するために信号強度解析、局内遅延の精密測定等を行なう必要があるが、今回の測定では約 210[ps]の差違が測定された。また更に測距データを取得して比較検討を行なう必要があるが、今後、光路上の気象についてはターゲット点および光路上の一点に設置した気象計のデータを解析し、大気モデルの検討を行なうことによって精度改善に寄与できると考える。

装置概要

レーザー: Nd:YAG 基本波励起ラマンシフト 1.54 μm , および第二高調波 0.532 μm

送受信光学系: 1.5m 望遠鏡(クーデパス) コーティング 0.53 μm /1.5 μm 共用仕様

検出器: Ge:SPAD/Si:SPAD(単一フォトンアバランシェダイオード)

Table 1 Estimated Correction for ground target ranging

波長	補正量	補正量差	伝達時間差
1.54 μm	1.0832[m]		
		0.061[m]	200.5[ps]
0.53 μm	1.1433[m]		
仮定条件: 気温 23.3 $^\circ\text{C}$ /気圧 1004.5hpa/湿度 50%			

Table 2 Measured difference for ground target

波長	往復伝達時間	受信器	時間差(片道)
1.54 μm	2.790550e-5[sec]	Ge:SPAD	
			210[ps]
0.53 μm	2.790075e-5[sec]	Ge:SPAD	
気温 23.3 $^\circ\text{C}$ /気圧 1004.5hpa/湿度未計測			
局内遅延 5.17[ns] (Ge:SPAD 受信時のトータル)			

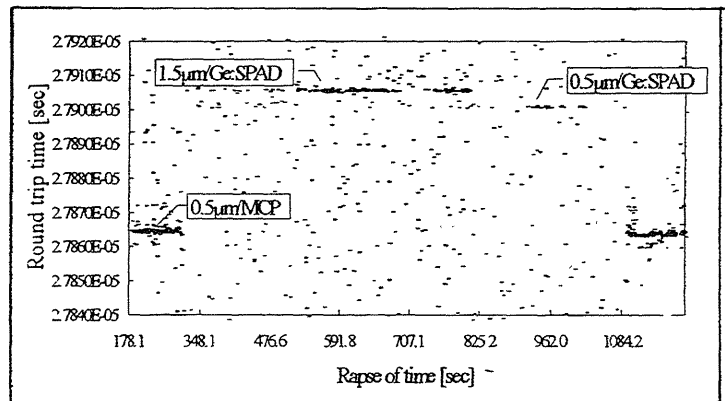


Fig. 1 Ground target 1.54mm/0.532mm ranging

1. J.W.Marini & C.W.Murray,Jr., "Correction of Laser Range Tracking Data for Atmospheric Refraction at Elevations above 10 Degrees," GSFC Report X-591-73-351, 1973.

2. M. Born, E.Wolf, "Principles of Optics," Pergamon Press. 1974.