

## レーザー測距における大気ゆらぎの影響と補償光学系の効果 Performance Evaluation of Laser Ranging System with an Adaptive Optics

一ノ瀬 祐治、妹尾 誠、洲崎 保司\*

Yuji Ichinose, Makoto Senoo, Yasuji Suzaki\*

(株) 日立製作所 電力・電機開発本部(P.I.S R&D Div., Hitachi Ltd.)

同 情報通信事業部(Telecommunications Div., Hitachi Ltd.)\*

Abstract : A satellite laser ranging system (SLR) with an adaptive optics (AO) which corrects wavefront distortions induced in a beam propagating through turbulent atmosphere is proposed and computer simulation results are presented. A laser intensity received on a satellite is computed by using simulation model which adopts the Kolmogorov turbulence and has transmitting telescope with 0.2m diameter, 0.53  $\mu$ m laser wavelength. When the coherence length is 10cm and the propagation distance is 6,000km, the intensity of SLR with AO which has a deformable mirror with 64 actuators is improved from 0.22(arb.unit) to 0.97 .

### 1. はじめに

地上と衛星間の距離をレーザーの伝播時間から測定するレーザー測距装置では、大気ゆらぎの影響により受信強度が変動し、これが測距精度低下の要因の一つとなる。補償光学系は大気ゆらぎにより発生する波面歪みを補正できるため<sup>1)</sup>、我々はレーザー測距装置への応用を検討している。本報では、補償光学系の導入効果をシミュレーションにより解析した結果について述べる。

### 2. 補償光学系を用いたレーザー測距装置の構成

Fig. 1 に示すレーザー測距装置では、測距用レーザー1の衛星への送信時に生じるビームの拡散を抑えるために、補償光学系を設けている。測距用レーザーの反射波からも波面歪みは検出できるが、大気ゆらぎの時間変動に追従するために高度90km付近に存在するNa共鳴散乱層にレーザー2を送信しその反射波から波面歪みを検出する。波面歪みと形状可変鏡のミラー面が位相共役の関係になるように制御されるため、形状可変鏡に反射させて測距用レーザー1を送信することで、レーザー1の大気伝播時の波面歪みを補正できる。

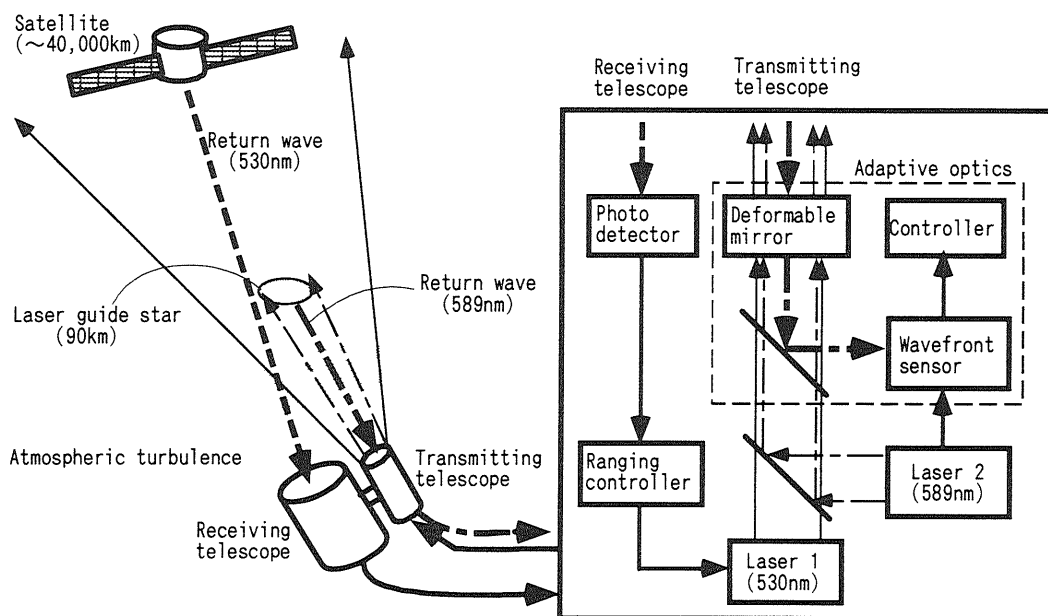


Fig. 1 Conceptual system configuration of a laser ranging system by using adaptive optics

### 3. 解析手法及び解析結果

地上から送信したレーザービームの衛星上の受信強度を、キルヒホッフの回折積分公式を数値積分により計算した。送信開口径Dから出力されるレーザービームは平坦な強度分布とし、位相分布として大気ゆらぎによる波面歪みを与えた。高度10km程度まで存在する大気には屈折率の異なる層がいくつも存在するが、大気ゆらぎの強さを表すコヒーレンス長 $r_0$ は全伝播経路の値として観測されるものであるため、このような計算体系とした。大気ゆらぎによる波面歪みはKolmogorov乱流に従うものとし<sup>2)</sup>、 $(D/r_0)$ を入力パラメータとしてツェルニケ係数の28項まで乱数により波面歪みを生成した。波面歪みを補正する形状可変鏡のミラー面は、その下面に格子状に配列された駆動素子より制御されるものとした。

D=0.2m、レーザー波長 $0.53\ \mu\text{m}$ 、伝播距離6,000km及び衛星上の受信開口7.5cmの解析条件で計算した。Fig. 2は $r_0=10\text{cm}$ で発生した波面歪みによる衛星上の受信強度を計算したものであり、歪み毎に受信強度が変化しているのが分かる。その変動幅は波面補正をしない場合が大きく、波面歪みの傾き成分のみの補正、形状可変鏡(駆動素子数64)による補正の順で小さくなっている。Fig. 3は50回の平均受信強度を $r_0$ 毎に計算したものであり、 $r_0=10\text{cm}$ のときの補正無しの強度0.22に対し、傾き補正で0.69に、形状可変鏡(64)による補正で0.97に強度が向上する。 $r_0$ は気象条件等により変化し、日本では5~15cm程度であり、送信開口径が0.2mと小さい場合には傾き補正のみでも充分効果がある。

### 4. まとめ

レーザー測距装置の送信レーザービームの大気による拡散を補償光学系により補正することで、衛星に到達するレーザーのエネルギー密度を向上できることを明らかにした。このため、衛星からの反射波の受信強度の増加が期待でき、測距性能の向上が可能となる。提案するレーザー測距装置では波面検出用に新たなレーザー発振器が必要としたが、天体光からの波面検出や気象条件による波面推定が可能であれば、補償光学系導入によるコストアップを抑えることができる。

#### 参考文献

- 1) 一ノ瀬祐治：“補償光学系の原理とその応用”，光学,24 (1995) 718-724
- 2) N.Roddier: Atmospheric wavefront simulation using Zernike polynomials Opt. Eng., 29 (1991) 1174-1181

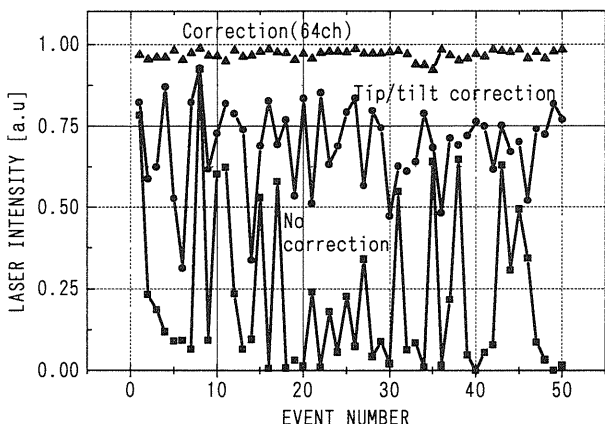


Fig.2 Comparison of laser intensity on a satellite of wavefront correction types

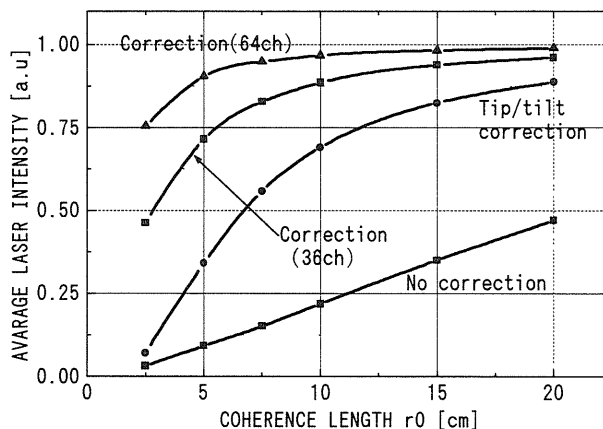


Fig.3 Comparison of average laser intensity on satellite of wavefront correction types