

宇宙光通信用地上装置の開発：恒星観測による大気擾乱の測定  
 Development of space optical communication ground station:  
 Beam wandering measurement by fixed star tracking

豊田雅宏 高見英樹 荒木賢一 有賀 規  
 Masahiro TOYODA Hideki TAKAMI Kenichi ARAKI Tadashi ARUGA  
 通信総合研究所  
 Communications Research Laboratory

**Abstract** An optical communication experiment between a geostationary satellite (ETS-V) and a ground station is planned in 1993. In order to examine an effect of atmospheric turbulence on laser beam propagation, we measured variation of intensity and position of a star light spot image produced on a quadrant detector by a 20cm telescope. The results indicated a beam propagation direction variation of about  $47\mu\text{rad}$  (peak to peak).

**1. はじめに** 通信総合研究所では、宇宙光通信の基礎技術の確立を目的として、1993年に打上げられる技術試験衛星V型(ETS-V)を用いて光通信実験を計画している。この実験では、地上一静止衛星間でレーザー光の送受信を行なうレーザーリンクを構成する。大気中を伝搬する光は、散乱、減衰と共に伝搬方向の変動を受け、それらは受光強度の変化(シンチレーション)および受光位置の変化(スポットダンシング)として測定できる。そこで、今回はレーザーリンクの送受信光(Up link: Arレーザー[ $0.51\mu\text{m}$ ], Down link: LD[ $0.83\mu\text{m}$ ])が大気中を伝搬するときの強度及び伝搬方向の変化の推定をするために、恒星からの光を送信用望遠鏡で受光し大気による影響の測定を行った。

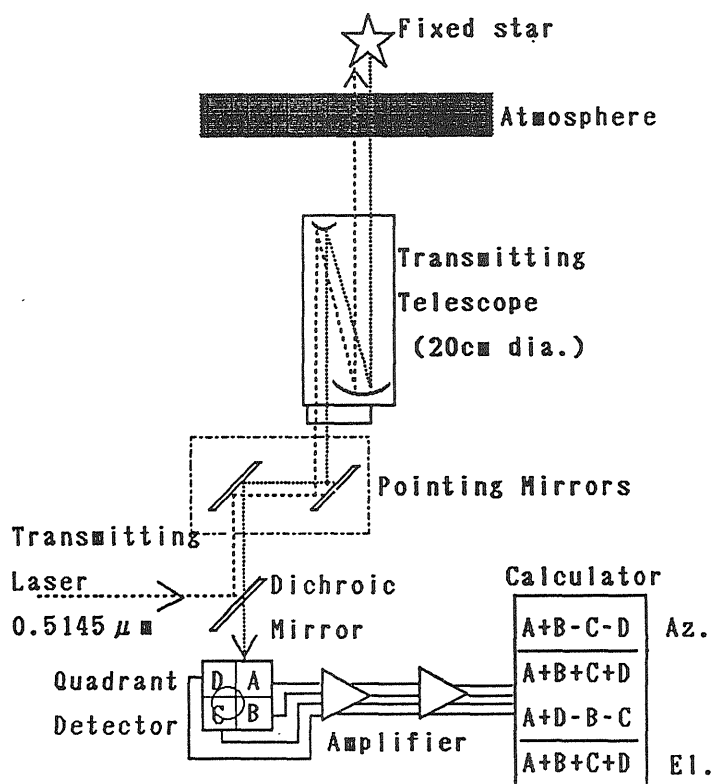


Fig.1 Configuration of the measurement system.

**2. 測定系** Fig.1に測定系の概念図を示す。測定では、はじめに送信望遠鏡の指向方向を調整してQD:Quadrant detector(Si-PIN Photodiode)のほぼ中央で恒星を受光した。QDにスポットを結像する光学系を付録[1]に示す。測定時には、ポインティングミラーは静止させ、図中の点線で示した送信レーザは発振を止めている。ダイクロイックミラーの透過特性は、メレスグリオ社カタログより  $0.83\mu\text{m}$ で約85%である。恒星Betelgeuse(実視等級0.4, スペクトル型M1:約 $1\mu\text{m}$ の波長が最大)からの光を受光した(望遠鏡仰角: $25.9^\circ$ , 日時:'91/3/3 23:30, 天候:快晴)。

### 3. 測定結果

#### (1) シンチレーション

QDからの四出力の和の信号電圧 $[(A+B+C+D)/4]$ を測定した。Fig.2に時間変化、Fig.3に周波数スペクトラムを示す。受光電圧の変化は、 $0.2\sim 3.1\text{V}$ の範囲にあり、平均受光電圧の $1.6\text{V}$ を100%とすると13~194%の変化となっている。周波数成分については、 $10\text{Hz}$ まではほぼフラットでそこから $100\text{Hz}$ を肩にして減衰している。

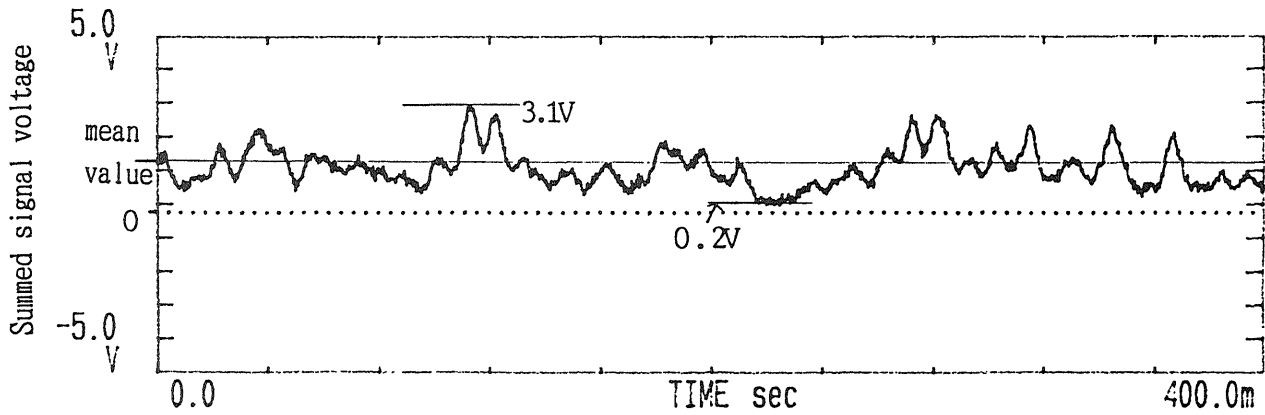


Fig.2 Time variation of received light intensity.

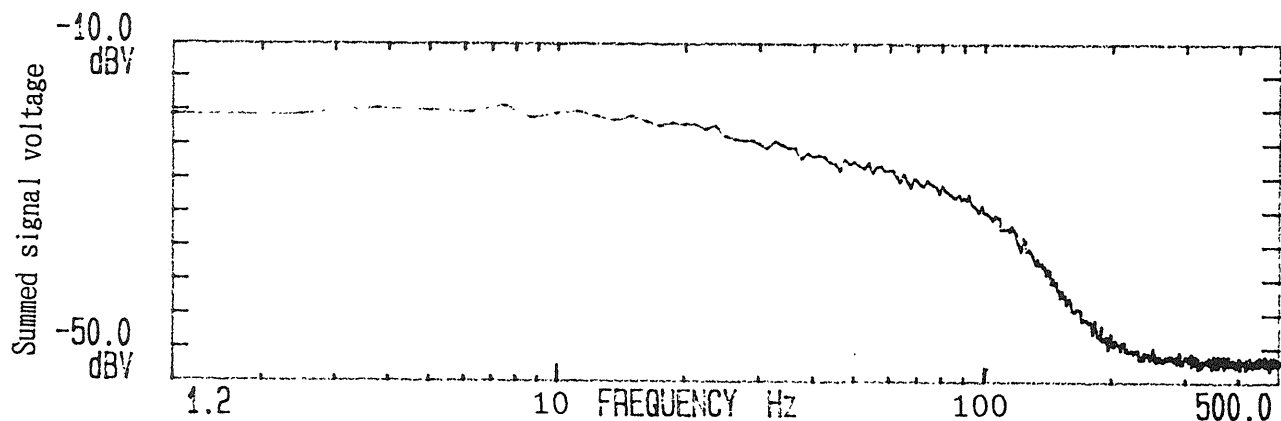


Fig.3 Frequency spectrum of received light intensity variation.

## (2) スポットダンシング

Fig.1 内右下方に示しているQD差分信号の出力(Azimuth方向)を測定した。Fig.4 に時間変化、Fig.5 に周波数スペクトラムを示す。Fig.4 では、QDでの受光位置が中央から外れているために中央値の0Vからずれている。光伝搬方向変動の値はスポットダンシングの大きさから、Azimuth方向にpeak to peak値で33~47 $\mu$ radと推定できる。この算出の方法を付録[2]に示す。周波数成分は30Hz以下の成分が支配的であり、そこから約20dB/decで減衰している。なお、Elevation方向の差分信号でも同様の結果が得られた。

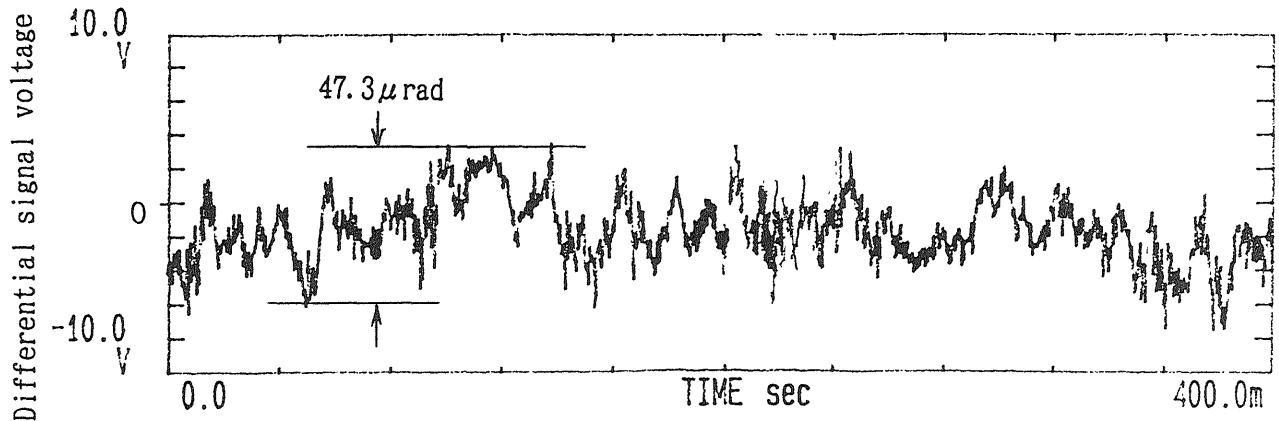


Fig.4 Time variation of spot position on QD(Azimuth:  $[A+B-C-D]/[A+B+C+D]$ ).

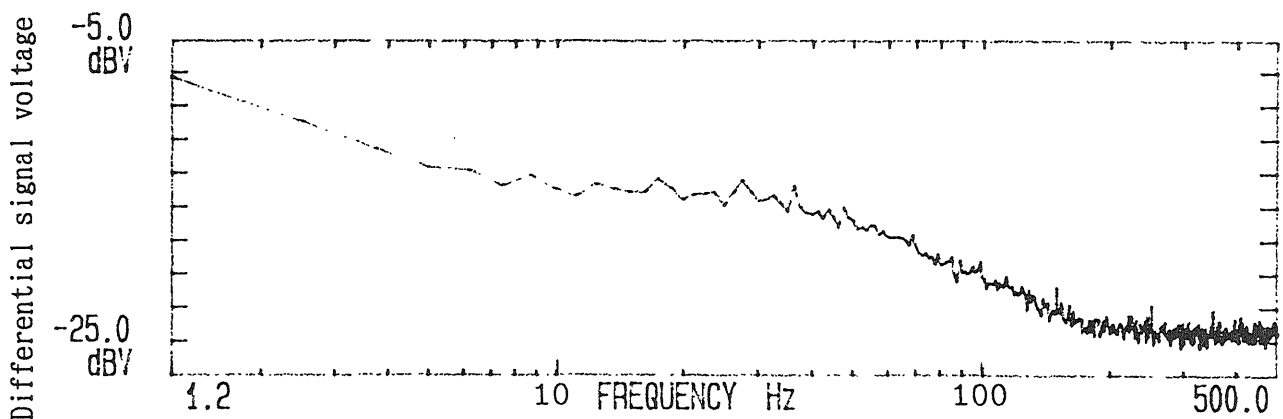


Fig.5 Frequency spectrum of spot position variations on QD(Azimuth:  $[A+B-C-D]/[A+B+C+D]$ ).

4. おわりに 今回の測定(恒星Betelgeuse, 望遠鏡仰角25°)での大気の影響は次の様に推定できた。

- ・ シンチレーション 13~194% (平均値を100%)
- ・ 伝搬方向変動 (Azimuth方向) 47 $\mu$ rad (peak to peak)

この結果については、Betelgeuseのスペクトル分布とQDの感度特性から、ほぼDown link光の伝搬特性を代表していると考えられる。ただし、望遠鏡の仰角がETS-VIでの光通信実験時の46°と比べて小さいために大気のパスが長くなっている。現在、この結果に基づいて、受信光と送信光の波長の違い、ビーム径と拡がりによる特性の違い、さらに、ポイント・アヘッド角印加時に起る送受信パスの違いについて、大気伝搬の影響を検討している。

《付録》

[1] QDにスポットを結像する光学系

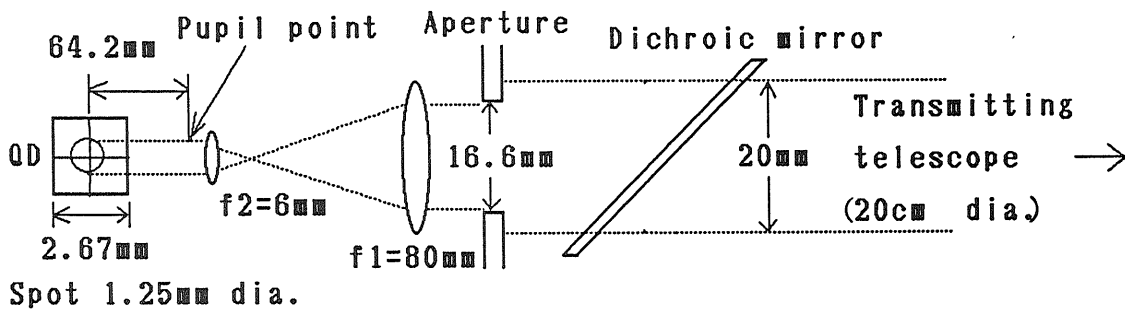


Fig.A-1 QD Optics.

[2] 伝搬方向変動の算出

QDでのスポットダンシングは二次元であるが、ここではAzimuthとElevationの二方向に分けて測定する。スポット半径  $r$  [mm] の値は次の様になる。

$$r = \frac{16.6}{2} \times \frac{6}{80} \doteq 0.62 \text{ [mm]}$$

QD中央からのスポット位置変位の Azimuth方向成分を  $x$  [mm] ( $-r \leq x \leq r$ ) とすると、 $x$  と受光強度で正規化した差分信号  $S$  ( $-1 \leq S \leq 1$ ) との関係は次式で与えられる。

$$S = \frac{1}{\pi r^2} [2r^2 \sin^{-1} \frac{x}{r} + 2x \sqrt{r^2 - x^2}]$$

QDでの変位  $x$  と天空での角度  $\phi$  [ $\mu\text{rad}$ ] には次式の関係がある。

$$\phi = \frac{6}{80} \times \frac{1}{10} \times \frac{x}{64.2} \times 10^6 \doteq 117x \text{ [\mu rad]}$$

差分信号  $S$  は、割算器出力において  $\pm 10\text{V}$  の範囲の電圧値に変換される。Fig.A-2に天空での角度  $\phi$  と差分信号出力電圧（負領域は省略した）の関係を示す。 $\phi$  が  $30 \mu\text{rad}$  程度までは、曲線は  $5.73 \mu\text{rad/V}$  の傾きの直線で近似できる。この関係を用いてQD差分信号の出力から伝搬方向の変動を推定した。Elevation 方向の差分信号についても同様である。

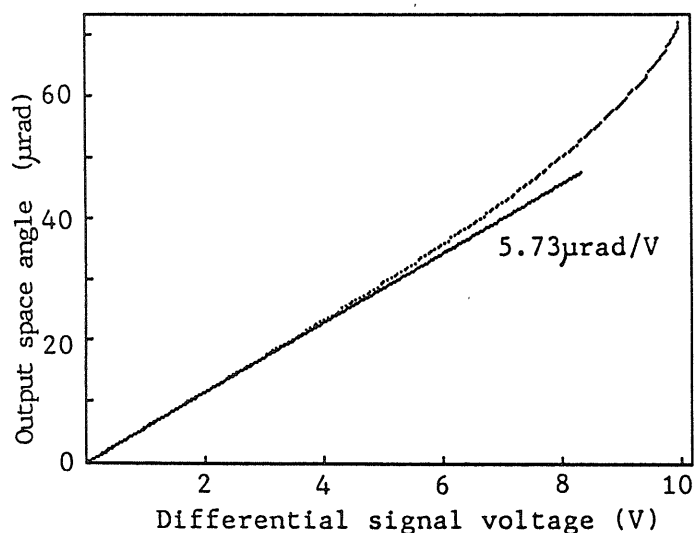


Fig.A-2 Calculated output space angle corresponding to differential signal voltage.