

Primary Experiments on the Ground for Satellite Attitude Determination Using a Laser

有賀 規, 上田恭市, 五十嵐 隆

Tadashi Aruga, Kyoichi Ueda and Takashi Igarashi

郵政省電波研究所

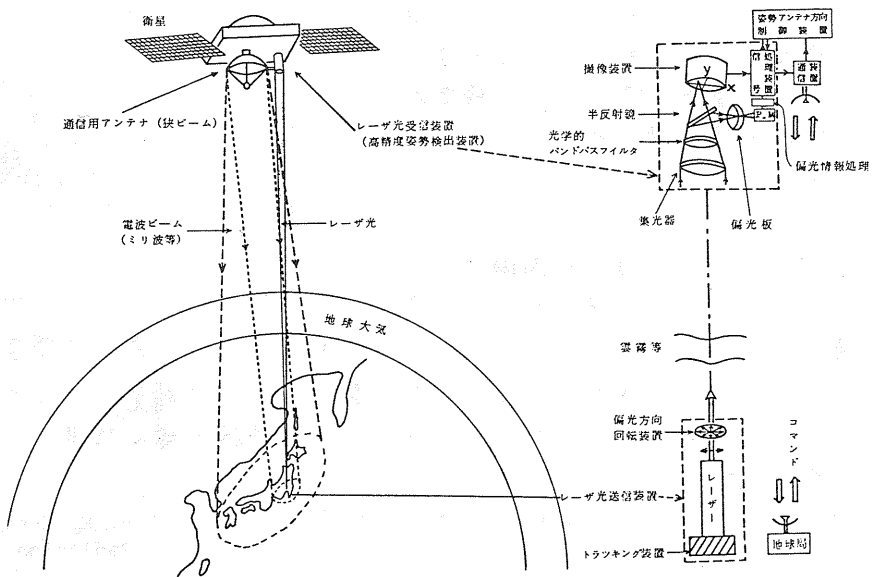
Radio Research Laboratories, Koganei, Tokyo

§はじめに

人工衛星の姿勢は三つの要素によって表わされ、一般に三つの角(例えばロール, ピッチ, ヨー角)が定まれば姿勢が一意的に定まる。従来姿勢検出器として、地磁気センサ, 地平線センサ, 太陽センサ, スターセンサ, RFセンサ等があり、これらの各センサだけでは姿勢は一意的に求められないのでこれらを組合せて姿勢が求められている。衛星を用いた通信量の増大と多様化に対応して、衛星-地球間通信に高利得で指向性の鋭いアンテナが用いられるようになると、衛星の姿勢変動によるビームの偏りを抑え目的とする方向にアンテナを向け、効率よく通信を行いかつ混信を少なくするために衛星の高精度姿勢決定とアンテナの制御システムが必要となる。最も精度の高いスターセンサも星は地球に固定された座標系に対して動くので衛星のアンテナを地球上の定められた点に向けておく目的には不都合であり、他のセンサでは上記の目的に必要な精度が得られない。この目的に応じて「レーザを用いた飛翔体の姿勢決定法」が1976年に提案され⁽¹⁾以来基礎実験、伝搬実験、地上衛星追尾装置の開発を行ってきた。ここでは基礎実験、伝搬実験の結果を簡単に述べる。

§レーザを用いた姿勢決定システム

レーザを用いた新しい姿勢決定法では、一点からのレーザ光の送信により飛翔体の姿勢の三要素を高精度に決定できる特徴をもっている。第1図に示すように、このシステムは地上のレーザ光送信部と衛星上のレーザ光受信部とから構成される。レーザ光送信装置では、直線偏光したCWレーザ光の偏光方向を適当な周期で回転してやり、同時に偏光方向がある標準方向に一致した時、標準パルスを出し、このパルスでレーザ光を変調する。衛星上では撮像装置により地上のレーザ光送信点の像を二次元座標として検出し、ロール, ピッチ角に相当する姿勢の二要素を求める。偏光板を通ったレーザ光を検出すると、偏光方向が回転しているためにsin波になるが、同時に標準パルスをレーザ光より検出し、両者の位相差を求めてヨー角に相当する残りの一要素を求め、姿勢を一意的に決定する仕組みである。



第1図 レーザを用いた衛星アンテナの高精度方向制御システム図

§ 地上基礎実験の結果

(1) ロール、ピッチ角を撮像装置で検出する時、撮像面の分解能を δ とし、撮像装置の焦点距離を f とすると、回折条件で決まる限界内ではロール、ピッチ角の精度を Δ とすると、 Δ は幾何学的に $\Delta = \delta / f$ として得られる。この他誤差としては地球大気擾乱によるImage Dancingが主として問題になる。Image Dancingの大きさは、実験的に数 $10 \mu\text{rd}$ 以下である⁽²⁾と言われている。我々の開発したブレードボードモデルを用いて実際に実験を行った結果、 $\delta = 25 \mu\text{m}$ の撮像装置で、 $f = 10 \text{cm}$, 30cm の場合、 $\Delta = 2.5 \times 10^{-4} \text{rd}$, $0.8 \times 10^{-4} \text{rd}$ という理論値にほぼ等しい結果が得られ、この程度の精度の領域では大気の擾乱の影響をほとんど受けないことが分った。

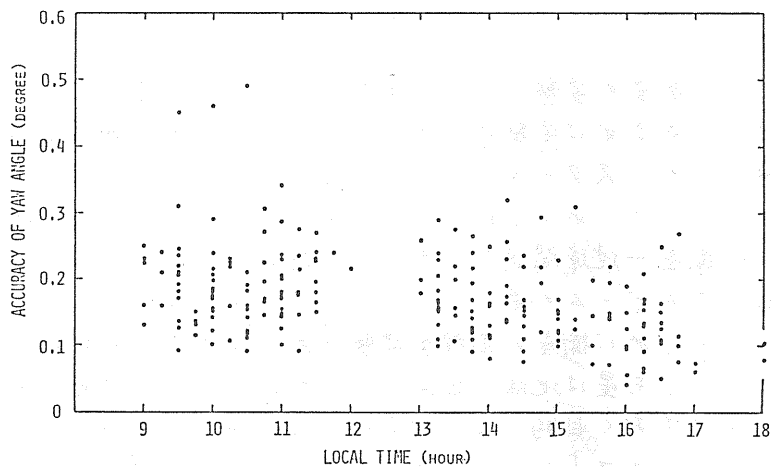
(2) ヨー角は位相検出器によってsin波と標準パルスとの位相差を求めて決定されるので、原理的に入射光の強度の変動(シンチレーション)の影響を受けることになる。1980年の7月~12月に行った実験結果の一例を第2図に示した。

レーザー光の偏光方向の回転速度を変えて実験を行った結果、平均値として、
 $1 \text{ round/sec} : 0.253^\circ \pm 0.097^\circ$, $2 \text{ r/s} : 0.225^\circ \pm 0.090^\circ$, $4 \text{ r/s} : 0.200^\circ \pm 0.074^\circ$, $8 \text{ r/s} : 0.168^\circ \pm 0.070^\circ$ が得られ、回転速度に依存することが分った。これらの値は測定周期を10秒とした場合である。ヨー角決定の誤差は、回転周期の平方根とその周期での大気によるシンチレーションの強度の積に比例するはずであるので検討した結果、回転数を上げる程精度は良くなるのではなく、数 10 r/s 付近で飽和することが推定される。

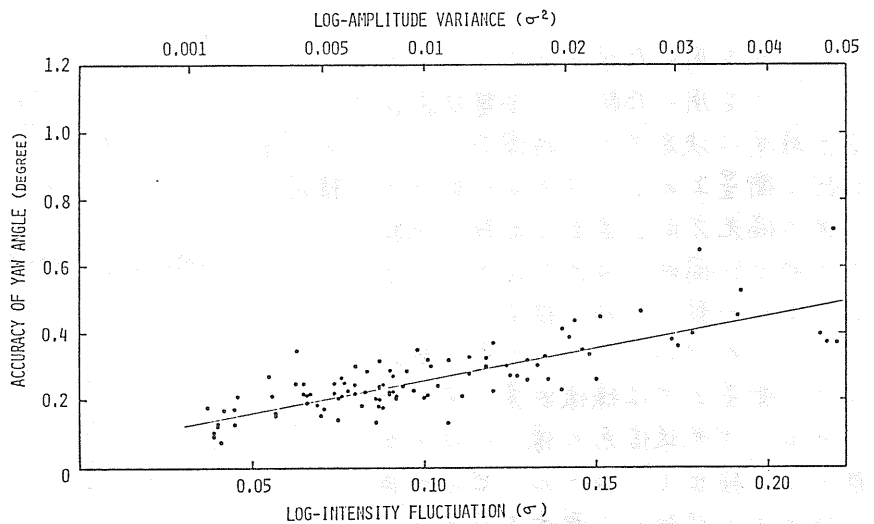
第3図には対数強度変動⁽³⁾(σ)とヨー角の決定精度との関係を示した。Minott⁽⁴⁾の報告によると、地上-衛星間の対数強度分散(σ^2)は $0.02 \text{ sec}^{1/6} \theta$ (θ :天頂角)で近似される。これと第3図から天頂で 0.3° 、天頂角 60° で 0.6° の精度が10秒間隔で得られることが予想される。

§ をすび

このシステムは種々の飛翔体を利用できるが、特に静止衛星には最適であり、ロール、ピッチ角 10^{-4}rd 、ヨー角を 0.5° に決定すれば、地表で数 km の指向精度でアンテナをレーザー光送信点の周りの目的とする方向に向けることが可能であり、地上基礎実験の結果この目標が達成できる見通しを得た。



第2図 ヨー角決定精度の時間変化(8r/sの場合)



第3図 ヨー角決定精度と対数強度分散(8r/sの場合)

参考文献

- (1) T. Aruga and T. Igarashi; IEEE, vol. AES-13, No. 5, 473(1977)
- (2) J. I. Davis; Appl. Opt., vol. 5, 139(1966)
- (3) V. E. Zuev; Propagation of Visible and Infrared Radiation in the Atmosphere, John Wiley & Sons(1974)
- (4) P. Minott; J. Opt. Soc. Am., vol. 62, 885(1972)