

1. 適用範囲

1.1. 目的

本文書は早稲田大学にて開発中の超小型人工衛星「WASEDA-SAT3」において実施が計画された、コーナーキューブリフレクタによる存在確認ミッションについての検証結果を報告するものである。

2. 検討内容

2.1. ミッション内容

本ミッションは超小型人工衛星「WASEDA-SAT3」（以下衛星）のトップカバー部に設置されたコーナーキューブリフレクタ（以下 CCR）に対して地上からレーザー光を照射し、CCR において反射された反射光を望遠鏡にて視認するというミッションである。この際レーザー光および望遠鏡は自動追尾されるものとする。本書では CCR 面が地上設備方向を向いている状態であるとしている。

2.2. ミッション成功率の計算

本ミッションではレーザー光に関するパラメータがクリティカルである。レーザー光の必要出力を算出するために以下の式を適用した。なお、この式は参考文献にて用いられている式であり、本ミッションにおいても妥当であると判断したため使用した。それぞれのパラメータと値の対応を表 1 に示す。

$$P_r = P_0 \cdot T^2 \left[\frac{\sigma}{\pi \left(\frac{R\theta_t}{2} \right)^2} \cdot r \right] \cdot \left[\frac{S}{\pi \left(\frac{R\theta_s}{2} \right)^2} \right] \cdot T_r \quad (1)$$

表 1 パラメータ値

パラメータ	名称	値
P_r	反射光の出力	—
P_0	レーザー光出力	—
T	大気透過率	0.9
σ	CCR 有効断面積	$67.76 \times 10^6 m^2$
R	地上一衛星間距離	$400 \times 10^3 m$
θ_t	レーザー光拡がり角	—
r	CCR 反射率	0.95^3
S	望遠鏡面積	$0.09897 m^2$
θ_s	CCR 回折角	—
T_r	望遠鏡倍率	2581

- A) 反射光の必要出力はレーザー光のクラス 1 相当である **0.2mW** を妥当であるとした。ただし、これを下回っていても出力をルクスに変換した際に夜間環境光 (2lx) を超えた場合には視認ができる可能性があるため別途計算 (下式) を行う。

$$0.683 \times 1000 \times P = \text{lm} \quad (2)$$

$$\text{lx} = \text{lm}/m^2 \quad (3)$$

ただし m^2 は受光部の面積である。

- B) ミッション実施日は夜間かつ晴天日とし、大気透過率は **0.9** とする。
 C) レーザー光の拡がり角は原則的に以下の式で算出されるが、製品仕様に指定がある場合はそちらを参考にする。拡がり面積はこの角度と距離を乗じたものを半径として計算したものである。

$$\theta_t = \frac{\lambda}{\pi \omega_0} \quad (4)$$

λ : レーザー光波長 ω_0 : ビームウェスト

- D) CCR 反射率は特殊電解研磨を行い、鏡面加工をしたものとする。
 E) 望遠鏡は Celestron 社の C14AL-XLT を使用する。以下に仕様を示す。

表 2 Celestron C14 仕様

Focal Length	3910mm F/11
Eyepiece	40mm – 2”(98x)
Star Diagonal	90° - 2”
Finderscope	9x50
Optical Tube	Aluminum
Faster Compatible	Yes

- F) CCR の回折角は以下の式に基づく。

$$\theta_s = 1.22 \times \frac{\lambda}{D} \quad (5)$$

D : CCR 直径

2.3. 計算結果

以上を元に計算した結果が以下である。下表では **220mW**、**400mW** の現存のレーザー光の製品のパラメータを使用したものとミッション達成に最も有効であると考えられる独立行政法人情報通信研究機構 (NICT) の通信用レーザーのパラメータを使用したものである。

表 3 レーザー計算結果（上から 220mW, 400mW, 30W(NICT 所有の施設))

レーザー光 出力 mW	波長 nm	レーザー拡がり角 mrad	CCR 回折角 mrad	レーザー拡がり面積 m^2	CCR 拡がり面積 m^2	反射光出力 mW
220	532	1.2	3.74713×10^2	16.015	176.44	7.1800×10^{-8}
400	532	1.2	2.16347×10^{-2}	6.4059×10^5	58.818	5.6503×10^{-7} (0.0030622lx)
30000	808	9	3.2859×10^{-2}	4.0715×10^7	135.68	2.8821×10^{-7}

全ての結果で反射光出力が 0.2mW および 2lx よりも著しく低いことが確認された。

3. 結論

以上を検討すると現存のレーザー光およびレーザー施設では地上にて視認することができないという結論に至った。今回クリティカルなのは CCR の面積に依存する部分である。CCR 反射時に面積の小ささに起因し反射光の出力が著しく低下し、CCR 回折角が大きくなる。これを踏まえ、現在開発中の衛星では CCR ミッションの達成が非常に難しいと判断し、ミッション自体の取り下げを行う。

4. 参考文献

板部敏和, 新型レーザーレーダー計測技術の開発に関する研究, 地球環境研究成果データベース, available from< <https://www.env.go.jp/earth/suishinhi/wise/j/pdf/J94A0312.pdf> >.