

ADEOS 衛星搭載リフレクタ (RIS) を用いた
レーザー長光路吸収システムの開発

Development of an earth-satellite-earth laser long-path
absorption system using the Retroreflector in Space (RIS)
for ADEOS

杉本伸夫¹, 笹野泰弘¹, 湊 淳², 板部敏和³, 青木哲郎³,
R. Nordstrom⁴

N. Sugimoto¹, Y. Sasano¹, A. Minato², T. Itabe³, T. Aoki³,
R. Nordstrom⁴

国立環境研¹、茨城大²、通信総研³、レーザーサイエンス社⁴
National Institut. Environ. Studies¹, Ibaraki University²,
Communications Research Laboratory³, Laser Science Inc.⁴

Abstract

Development of a ground system for the long-path absorption experiment using the Retroreflector in Space (RIS) is reported. The system employs single-longitudinal-mode TEA CO₂ lasers with ¹²C¹⁶O₂ and ¹³C¹⁶O₂ isotopes, and their second and third harmonics for measuring O₃, CO₂, CHCl₂, HNO₃, CO, N₂O, and CH₄.

1. はじめに

1996年打ち上げ予定の地球観測衛星 ADEOS に地上から送信したレーザー光を反射するリフレクター (Retroreflector in Space) が搭載される。RIS を用いた観測では、地上からレーザー光を送信し、RIS によって反射された光の強度を地上で測定することによってレーザー光が通過した地上と衛星の間の大気による吸収を測定する。RIS 計画では、狭帯域のパルス炭酸ガスレーザーの基本波 (10 μm)、第二高調波 (5 μm)、第三高調波 (3 μm) の3つの波長帯を用いて、オゾン、フロン12、HNO₃、炭酸ガス、一酸化炭素、N₂O、メタンなどの観測を行う¹⁾。RISを用いた観測により、これらの分子の経年変化等が高い精度で観測できると期待される他、レーザー長光路吸収法に基づく大気計測技術に関する基礎的データが得られるものと期待される。

2. RIS 搭載システム

RIS は有効口径約 50cm の単一素子の空洞型コーナーキューブリフレクターである。ADEOS衛星が高速で進行することによって反射光の方向が入射光の方向とずれる光行差を補正するために、RIS では3枚の鏡の一枚にわずかな曲面を用い、鏡面間の角度も直角からわずかにずらせる手法を用いた²⁾。3枚の鏡面板は軽量化された構造を持つ石英ガラスで作られ、互いに接着されて一体化されている。鏡の一辺は約 35cm あり、宇宙用のリフレクターの中で最大である。鏡面は銀をベースとするコーティングで、350nm から14 μm の波長域で高い反射率を持つ。

RISは ADEOSの前方に、光軸の方向余弦がADEOSの座標系で(0.508, -0.279, 0.815)となるように取り付けられ、地上局から RIS を仰角約 30度から 90度で捉えるときにRISから

の反射が得られる。観測実験の頻度は昼夜合わせて平均1日1回程度で、1回の測定時間は約200秒である。

3. 分光計測用地上システム

RIS 測定のための地上システムは、高精度の光学追尾装置と分光観測用のレーザー送受信装置から構成される。Fig.1 に概念を示す。追尾装置には通信総合研究所の口径1.5mの望遠鏡を用いる。RIS 測定では ADEOS 衛星を高精度で追尾する必要があるため、NASDA から提供される軌道予報値によるプログラム追尾と同時に、SH Nd:YAGレーザー光の RIS による反射を画像として捉えて追尾する能動的な手法を併用する。

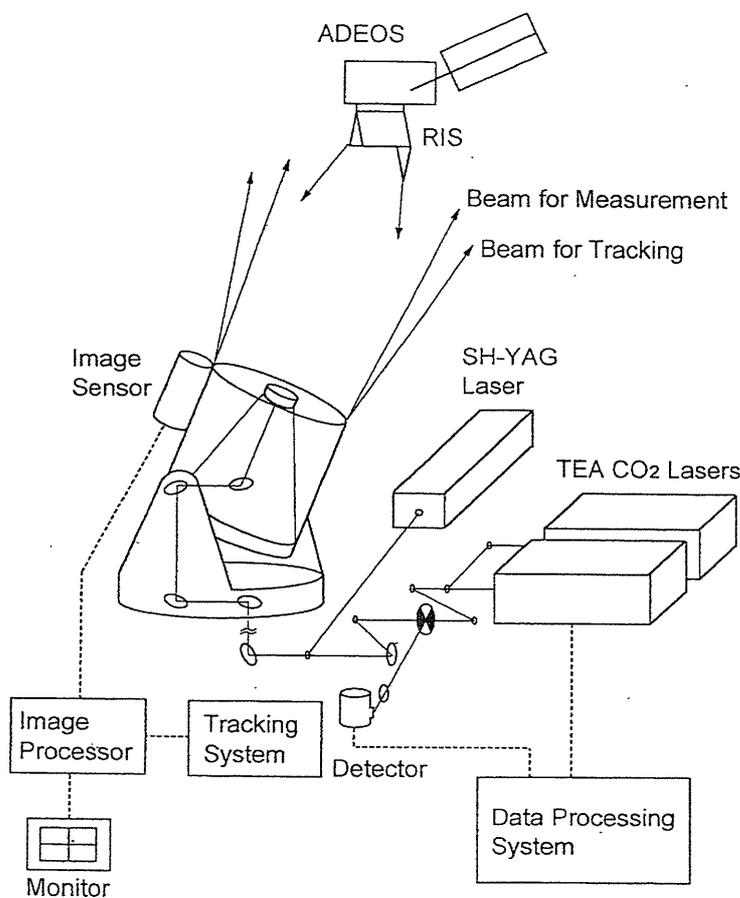


Fig. 1 RIS 地上システムの概念

RIS 計画では、炭酸ガスレーザーを光源とし、衛星の進行に伴う反射光のドップラーシフトを利用する手法を採用した。観測時には地上局に向かって進行するのでRISによる反射光は送信したレーザー波長よりも短波長側にシフトする。また、この波長シフトの大きさは衛星の位置に依存して変化する。そこで、レーザー波長を測定対象の吸収線の近傍の適当な波長に設定しておけば反射波長の変化を利用して高分解の吸収スペクトルが測定される。測定では2台のパルス炭酸ガスレーザーを用いる。1台のレーザーは測定対象の吸収線に近い発振線に同調し、ドップラーシフトを利用して大気吸収を測定する。もう1台は吸収の少ない発振線に固定して大気効果などを取り除くための参照信号を測定する。

また、適当な吸収線がある場合、一回の測定の中で吸収測定用のレーザーをいくつかの発振線の間で切り替えることによって広い範囲のスペクトル情報を測定する。

炭酸ガスの同位体 ($^{12}\text{C}^{16}\text{O}_2$, $^{13}\text{C}^{16}\text{O}_2$) を用いたパルス炭酸ガスレーザーとその第二、第三高調波を用いる場合、この手法を用いて O_3 , CO_2 , CHCl_3 , HNO_3 , CO , N_2O , CH_4 などが測定可能である。

炭酸ガスレーザーを光源とするレーザー送受信部のブロック図を Fig.2 に示す。狭帯域でかつ発振線をすばやく切り替えることが可能な TEA 炭酸ガスレーザーを新たに開発した。このレーザーでは発振線の切り替えと単一縦モード動作を両立させるために時間ゲートゲインセルを用いた^{3,4)}。また、非線形光学結晶 AgGaSe_2 を用いて第二、第三高調波を発生する。

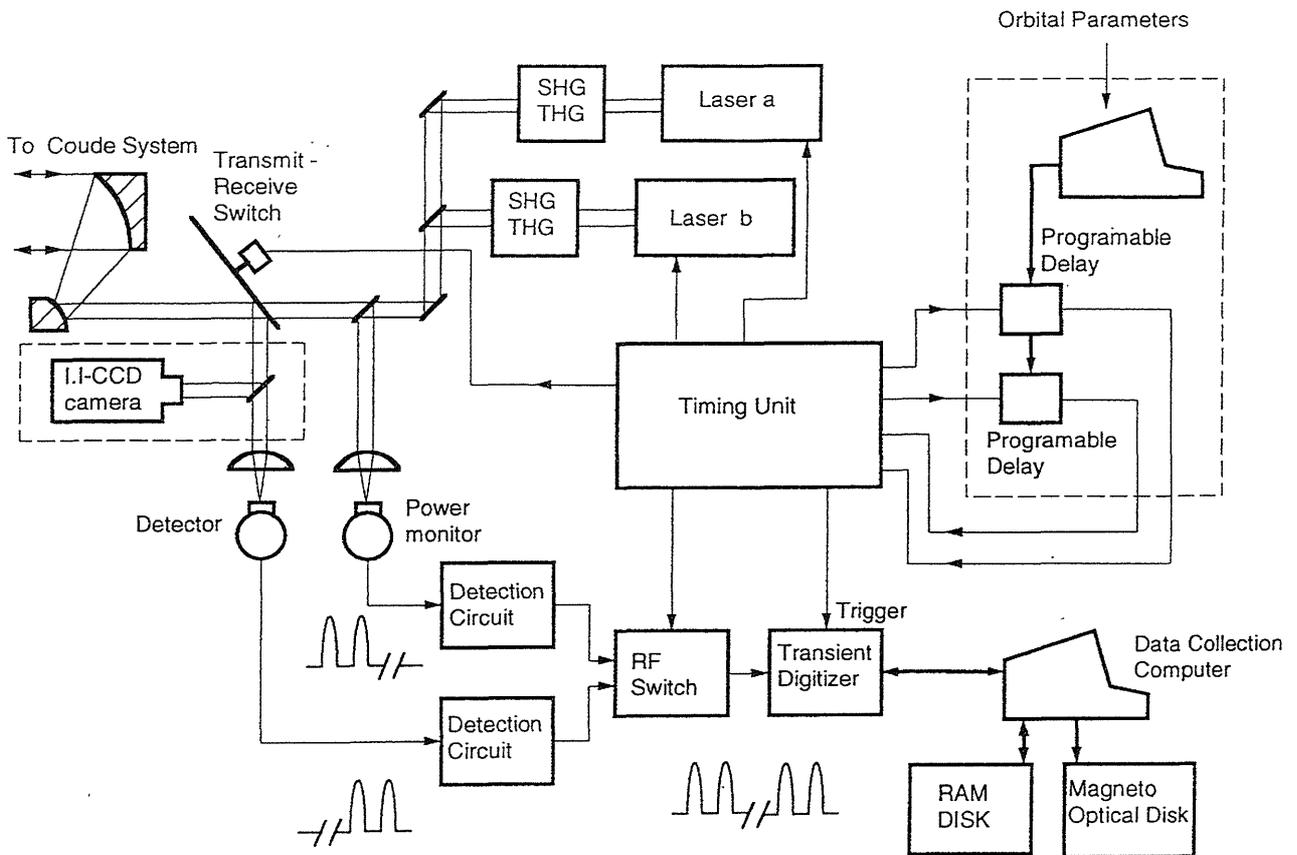


Fig. 2 レーザー送受信システムのブロック図

測定では、信号用、参照用の2台のレーザーから送信されるパルスの波形とそれぞれの受信信号波形の合計4つの波形を記録する。レーザーの繰り返しは50Hzと高速とした。そこで、メモリー長の長いディジタイザを2台切り替えて、レーザーの1ショット毎に4つの波形を記録する。受信信号の検出は直接検波で行ない、基本波(10 μm 帯)では HgCdTe 、第二高調波(5 μm 帯)、第三高調波(3 μm 帯)では InSb を用いる。冷却した光学バンドパスフィルターを用いることによって雑音を低減している。

衛星からの反射光の受信ではレーザーパルスが地上に戻るまでの時間遅れを考慮してデータ収集システムにトリガ信号を与える必要がある。そこで、衛星の軌道情報に基づいて

各時刻に対応するタイミングを発生する。衛星軌道予測値の誤差が衛星の進行方向に大きいことを考慮し、時間遅れを実測して、予測値を補正する機能を持たせた。

分光計測用レーザー光は追尾用レーザー光とともに追尾システムを通して衛星に送信され、反射光も追尾システムを通して検出器に導かれる分光用レーザー、追尾用レーザーとともに口径 1.5m の主望遠鏡から送受信する。赤外の送信ビーム拡がりは約 0.1 mrad である。追尾用レーザーはクーデパスの中で拡げ、送信ビームの拡がりは約 0.3 mrad とする。追尾用には 2 台のゲート付きのイメージインテンシファイアカメラを用いる。素追尾用カメラの視野は約 1 mrad, 精追尾用カメラの視野角は約 0.2mrad である。Table 1 にレーザー送受信システムの主な諸元をまとめて示す。

Table 1 レーザー送受信システムの諸元

レーザーパルスエネルギー (mJ)	100 (10 μm), 10 (5 μm), 5 (3 μm), 100 (532nm)
ビーム拡がり角 (mrad)	0.1 (3-10 μm), 0.3 (532nm)
パルス繰り返し数 (Hz)	50 (10, 5, 3 μm), 16.7 (532nm)
受信望遠鏡口径 (m)	1.5
光学系の効率	0.01
検出器の検出能 D^* ($\text{cmHz}^{1/2}/\text{W}$)	7×10^{10} (10 μm) 1×10^{11} (5 μm) 6×10^{10} (3 μm)
検出器面積 (cm^2)	0.001
検出器量子効率	0.6
信号処理時定数 (μs)	1

引用文献

- 1) 杉本伸夫, 地上衛星間レーザー長光路吸収測定用リトロリフレクター(RIS), 日本リモートセンシング学会誌 **13**, (1994) 376-380.
- 2) A. Minato, N. Sugimoto, and Y. Sasano: Optical Design of Cube-Corner Retroreflectors Having Curved Mirror Surfaces, Appl. Opt. **31** (1992) 6015-6020.
- 3) R. J. Nordstrom, L. J. Berg, A. F. DeSimone, and N. Sugimoto, Time-Gated Gain Cell for Frequency-Stable, Single-Longitudinal-Mode Operation of a TEA CO₂ Laser, Rev. Sci. Instr. **64** (1993) 1663-1664.
- 4) R. J. Nordstrom, L. J. Berg, A. F. DeSimone, and N. Sugimoto: Single-Longitudinal-mode Operation of a TEA CO₂ Laser Using a Time-Gated Gain Cell, Rev. Laser Engineering **22** (1994) 54-61.