

雲・エアロゾル観測用の衛星ライダー（MDS-lidar）計画の概要

Overview of NASDA Mission Demonstration Satellite Lidar Project

長澤親生（東京都立大）、笹野泰弘、杉本伸夫（国立環境研究所）、
浅井和弘（東北工業大学）、川村恭明（宇宙開発事業団）

要 旨

宇宙開発事業団は人工衛星の基盤技術の開発を目的として、平成13年度の打ち上げを目指したライダー実証衛星（MDS-2）の開発を行っている。これは、衛星搭載のライダー技術の実証を目的としているが、同時に科学的な利用についてもその有効性を高めるべく、研究者グループを組織し、支援を行っている。本ライダーは、雲・エアロゾルの空間分布を測定対象とし、特に、巻雲、多層雲、エアロゾル等の分布状況、光学的厚さ等を、約一年間にわたって測定する予定である。講演では、現在、設計が進められているライダー機器の概要、データ取得計画立案状況、データ利用研究計画等について紹介する。

1. はじめに

宇宙開発事業団（NASDA）は将来のミッション要求に合致した新しい技術を試験するため実証衛星ミッションの打ち上げを計画している。この中で、大気科学へのデータ提供の可能性を実証するための実証衛星（MDS）の一つとしてMDSライダー（MDS-2）を開発している。MDS-2は単一ミッション衛星であり、搭載ライダーはExperimental Lidar In Space Equipment（ELISE）と命名されている。ELISEは雲・エアロゾルの3次元分布の観測を目的とする後方散乱ミーライダーであり、将来、打ち上げが予想される大型の衛星搭載ライダーのための技術的データの取得および各種の検証を目的とする。

2. ELISEのシステム概要

レーザーは半導体レーザー励起Nd:YLFレーザーで波長は1053nmと527nmが用いられる。基本波（1053nm）は雲とエアロゾルの観測のために用いられる。第二高調波（527nm）はエアロゾルと空気分子からの散乱を観測するために用いられる。レーザーパルスの繰り返しは100pulse/sec、出力は1053nmで84mJ/pulse、527nmで10mJ/pulseである。これらの出力は地上におけるeye safetyによって制限されている。受信鏡の直径は1mである。図1にELISEのレイアウト図を、図2にシステム設計図を示す。また表1にELISEの諸元を示す。

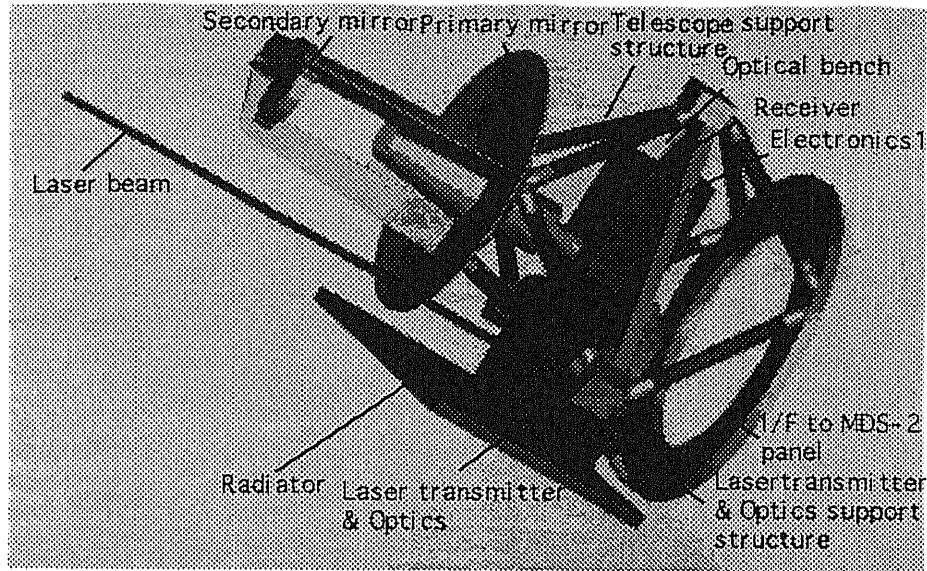


図1 ELISEのレイアウト

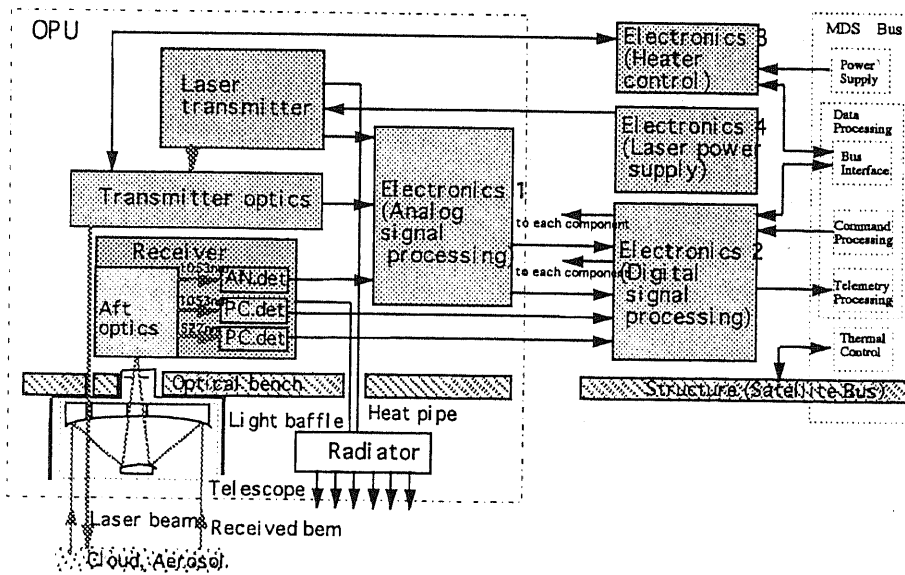


図2 ELISEのシステム設計図

表1 ELISEの諸元

Item	Specification (tentative)	Performance(Design]	
Satellite	Orbit/height	Circular/about 550 km	550±5 km
	Inclination angle	About about 30 deg.	30 deg.
	Period	About about 95.7 min.	95.645 min
	Ground speed	-	6.983 km/s
Performance	Laser	LD pumped Nd:YLF laser	LD pumped Nd:YLF laser
	Wavelength	1053.2 nm, 526.6 nm	1053.2 nm, 526.6 nm
	Detection	Photon Counting (PC), Analog (AN)	PC, AN
	Vertical res.	100 m (nominal)	100 m (nominal)
	Horizontal res.	1.5 km (AN,1053 nm) 150 km (PC,1053&527 nm)	0.4 km (Integration 5)
			1.45 km (Integration 20)
			1.45 km (Integration 20)
Meas. range	0 - 35 km	14.1 km (Integration 200)- Dist. from ELISE : 510 - 560 km < 0 km, > 35 km BG level	
Transmitter	Wavelength	1053.2 nm, 526.6 nm	1053.2 nm, 526.6 nm
	Output Energy	90 mJ (TBD), 4.4 mJ (TBD)	8.4 mJ, 10 mJ (nominal)
	Pulse width	40±10 ns	67 ns (maximum)
	Pulse Rep. Rat	100 pps	100 pps (nominal)
	Beam divergence	0.17 mrad	0.17 mrad (nominal)
	Beam quality	Low order Gauss	Low order Gauss
	Stability (Short range)	±3% / min	<±3% / min
Receiver	Eff. Diameter	1,000 mm	nom. 1,000 mm
	IFOV	0.21 mrad	nom. 0.22 mrad
	Filter band width	0.3 nm (AN), 10 nm (PC)	max 0.3 nm (AN)
			max 4 nm (PC)
	Transmission	-	40 % (AN)
			6.5 % (PC, 1053 nm)
			60 % (PC, 527 nm)
	Quantum efficiency	36 % (AN)	31.5 % (AN)
	Det. probability	1.5 % (PC, 1053 nm) 39 % (PC, 527 nm)	1.25 % (PC, 1053 nm)
			34 % (PC, 527 nm)
Dynamic range	AN: > 25 dB, PC: > 1 Mcps	25 dB (AN) (minimum)	
		4 Mcps (PC) (minimum)	
Data bits length	-	12 bits / Data	
Mass <250 kg	< 250 kg	250 kg	
Volume	-	1,600 x 1,430 x 2,600 mm	
Power required	< 250 W	295 W	

波長1053nmと527nmの信号はそれぞれフォトンカウンティングモードで検出し、波長1053nmの信号はアナログモードでも検出される。アナログモードの検出は主に昼夜の雲

の観測に用いられる。受信システム図を図3に示す。波長1053nmと527nmでのフォトンカウンティングモードの信号には、エアロゾルの波長依存性が反映される。図4にELISEの外観図（現状案）を示す。

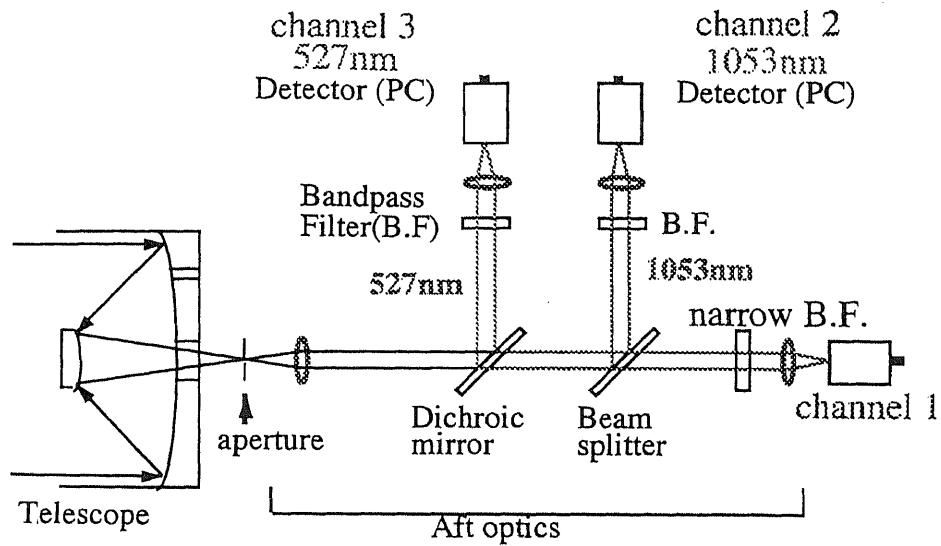


図3 受信システム図

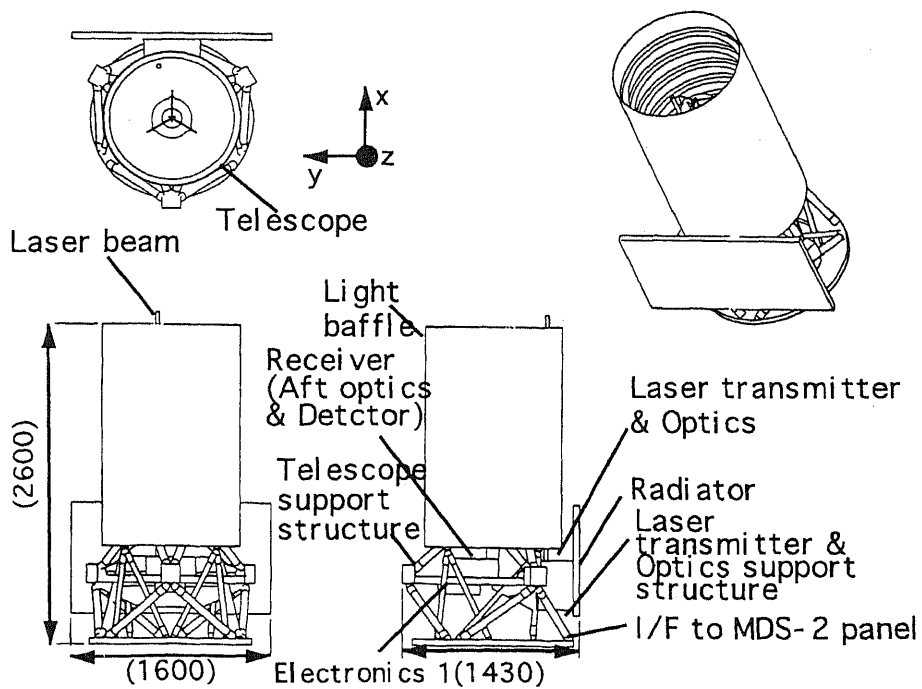


図4 ELISEの外観図

宇宙からのライダー実験において、特に以下のような技術的課題が考えられる。

- (a) レーザーから発生する熱を効果的に排熱するための熱設計
- (b) 宇宙環境における固体レーザー、ミラー設計・試験、
- (c) 超軽量ミラーの製作
- (d) 受信装置、検出器の性能

3. 観測意義

地球温暖化に関する研究において、地球規模での雲分布の観測情報が不足している。下層雲は太陽光を散乱させることによって下層大気のを温度を低下させる。一方巻雲や高層の雲は、このような効果だけではなく地表や低層雲からの長波長の放射光を吸収して温暖化を示す。雲の実際の効果は、まだよく知られていない雲粒の大きさ、出現高度分布、光学的厚さなどに依存する。したがって、モデル計算における雲の取り扱いによって気温上昇に大きな違いが予想される。これらの問題を正確に解くには、実際の雲出現状況や雲分布と放射平衡の関係を正確に理解することが重要である。特に雲の多層構造や高層雲の観測は重要である。また、雲の生成や光学的性質を理解するには雲とエアロゾルの相互作用を解明することも重要であり、したがって、地球規模での雲とエアロゾルの分布を観測することが重要となる。

これらの目的のためにはスペースライダーは効果的な観測手段となる。1994年、NASAの研究グループは宇宙からのライダー観測を実証するためにスペースシャトル搭載のライダー観測実験（LITE）を行った。LITEによる雲とエアロゾルの3次元データを通して多くの価値ある情報が提供された。

ELISE実験の主目的はグローバルな高層雲、多層雲構造、エアロゾル分布の観測である。MDS-2は単一ミッション搭載衛星であるので、雲の光学的性質は、他の衛星や航空機、地表観測からのデータとともに解析されることが重要である。研究課題としては次のものが考えられる。

- (1) 雲の高度分布や多層構造の気候学的（統計的）解析
- (2) 上層雲、特に巻雲（cirrus）の気候学的（統計的）解析
- (3) 地上との同時観測による雲や放射平衡のidentification
- (4) 巻雲（cirrus）の生成過程の研究
- (5) 地球規模の対流圏エアロゾルの3次元分布と輸送
- (6) 地球規模の成層圏エアロゾルの3次元分布と輸送

データ提供方法や処理方法は現在検討中であるが、実証衛星という性質から衛星からのデータ伝送量などが大きく制限されるため、データ取得のための詳細な準備が重要である。

参考文献

1. Y. Sasano and T. Kobayashi (ed.) : Feasibility study on space lidars for measuring global atmospheric environment No.4 Final Report, F-82-'95/NIES, 1995 [available from NIES]
2. MDS Lidar Team (ed.) : Proceedings of the first workshop on Mission Demonstration Satellite Lidar, (Hakone, Japan, March 11, 1998), 97MOA2-D001, 1998 [available from ESTO]