

大気汚染観測用全自動レーザレーダシステム

Automatic Laser Radar System For Measurement of Atmospheric Pollutants

木村 博一
Hiroichi Kimura

嶋田 隆司
Takashi Shimada

東京芝浦電気株式会社 電子事業部
Electron Tube & Device Div., Toshiba Corporation

1. まえがき

大気中のスモッグ、排気ガス等の分布や、これらの汚染物質の停滞の原因となる逆転層の発生などを立体的に観測するには、レーザレーダは有効な手段である。しかしながら、実用化という点では、測定精度の悪さや、測定範囲の狭さ等において、まだ不十分な点が多く、従来得られる膨大なデータ量を必ずしも定量的に取扱い得ていない。

われわれは、このような現状の装置を、より実用的なものとするを目的に、電算機による自動観測とリアルタイムでのデータ処理の機能を持ったレーザレーダシステムを試作した。またこのシステムを用いてフィールドテストを行い、その実用面での有効性も確認できたので報告する。

2. レーザレーダシステムLAY-555の構成と基本機能

システム構成のブロックダイアグラムを図1に示す。

受光光学系には、レーザパルスの発射とは無関係に、太陽光による雲等からの反射の背景光が入射し、ノイズの原因となる。

測定距離の上限は信号光の背景光によるショット・ノイズの比 S/N がある値以上あり信号光が識別できるところで決まるが、多くのデータの統計的処理を行うことにより、 S/N 比を向上させることができる。すなわち、 N ショットのデータの平均操作により

$$(S/N)_N = \sqrt{N} (S/N)_1$$

本システムは、このように、多量のデータの解析とグラフ表示を電算機により、リアルタイムで行わせることを基本的な機能として構成されている。

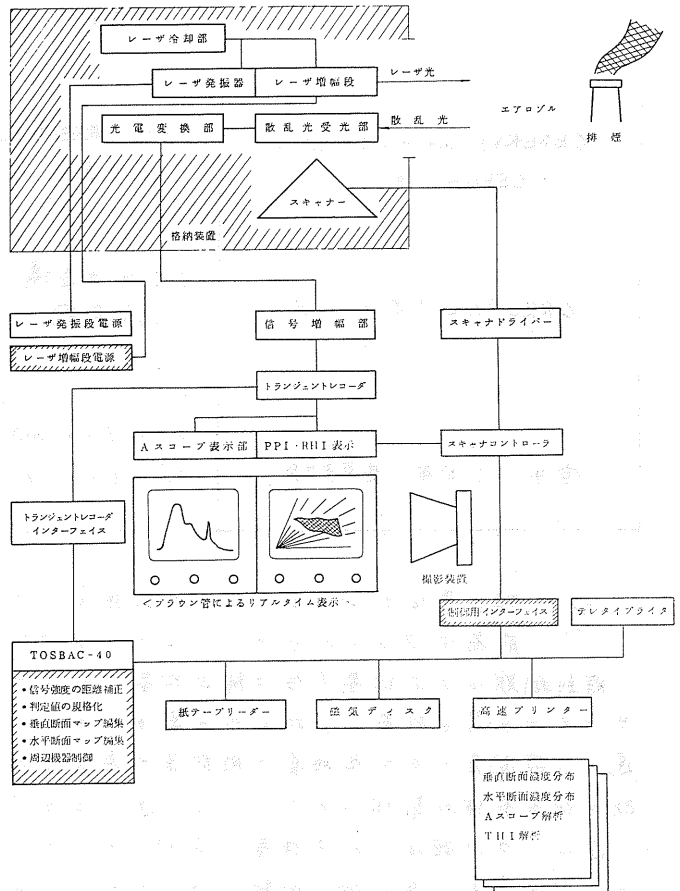


図1 機能構成図

レーザは出力10MWのG.P.YAGレーザ発振部と、それに続く増幅部より成り、最大出力25MW、最大繰返し速度60ppsが得られるが、信号処理速度の制限で15ppsで現在は使用している。

本システムでは、信号を高速でデジタル化するため、トランジェントレコーダを採用している。そして、データをCPUを経由させずに直接メモリーに転送する方式を採用したため専用のインターフェイスを開発した。

3. 測定データ処理装置

レーザレーダでの観測情報の表示方法として、一次元観測 (A スコープ)、空間の垂直断面 (RHI) またある仰角に対する円錐面 (PPI) の二次元観測をブラウン管上に画像としてリアルタイムに表わすことが多く用いられているが、従来の画像表示では、粉じん濃度として定量化することがむずかしい。本システムではトランジェント・レコーダのデジタルデータを電算機にて数値処理を行い、定量データとして出力とするとともに、パターンとしても表示し解析が可能なものとしている。

3-1 ハードウェア構成

自動解析を行うためには、レーザレーダのエコー信号の他に、測定方法、測定日時、レーザ出力等のデータおよび架台やレーザ発射の制御信号が必要である。これらの系統図および信号処理のハードウェアの構成を図2に示す。

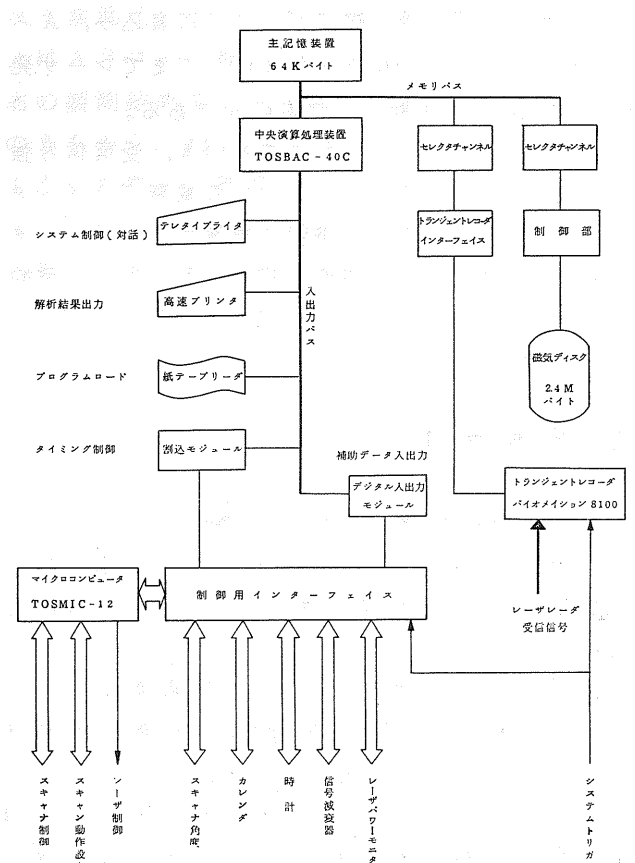


図2 測定データ処理装置の構成

3-2 ソフトウェアの概要

プログラムはミニコンピュータ TOSBAC-40 のアセンブラー言語で製作したものであり、システムの制御や各種パラメータ値を入力するテレタイプ対話ルーチン、レーザの発射と同期してレーザレーダ信号を読み込む測定ルーチン、メモリーに読み込まれたデータを解析して高速プリンターに出力する解析ルーチンおよび共通のサブルーチン群から成っている。プログラムの主仕様を表1に示す。

システムの運転は時計を参照しながら指定された時刻に自動的に測定、解析を行う全自動無人運転方式 (AUTモード) とした。また詳細な解析を行えるようにデータの収集を行ったり (TSTモード)、すでにデータメモリーに記録されているデータを用いて解析を行う (ANLモード) ことができる機能も持っている。

表1 解析プログラムの仕様

項目	仕様	備考
プログラム語	アセンブラー	
プログラム容量	プログラムエリア約22Kバイト データエリア 約24Kバイト	(バルクメモリを除く)
測定データ記憶容量	A スコープ換算で 1200 点 (2048ポイント/ASCOOPのとき)	RHI, MULTI解析の場合
システム制御	ASR-33テレタイプによる対話形式	
解析結果出力	高速インパクトプリンタによる印字作表	20字/秒
距離分解能	A スコープ: TH1: 1.5m (MIN.) RHI, MULTI: 6m x 10m (MIN.)	
演算精度	32ビット浮動小数点演算	A スコープ, TH1のデータ積算は16ビット整数
測定処理時間	A スコープ: TH1: 約30m sec/レーザパルス RHI, MULTI: 約60m sec/レーザパルス	レーザくり返し 30 PPS レーザくり返し 15 PPS
解析演算時間	約1msec/ポイントデータ	2秒/A スコープ (2048ポイント)
運転方式	AUT: 測定時間ごとに測定・解析・出力 TST: 任意時に測定 ANL: 任意時に解析・出力	
測定解析方式	ASP: A スコープ測定・解析 TH1: TH1 RHI: RHI MULT: MULTI	
設定パラメータ	時計に關するもの 3 演算パラメータ 8 浮動小数点パラメータ 7	
コマンド	RUN: 動作スタート PRM: パラメータ書込み LST: パラメータ表示出力	

レーザーレーダ信号は磁気ディスクに書き込み、A スコープ（一次元 2000 点）を 2400 本までレーザー発射（15 pps）に同期して収集可能である。

解析はレーザーレーダ方程式に基づき、受信信号強度を測定点までの距離、大気中での減衰パラメータ値で正規化の後、粉じん濃度に換算するパラメータを乗じて定量化した。解析の結果は測定方式、目的によって、数値または数字で構成されたパターンとして印字できる。

4. 観測結果

4-1 粉じん測定器としての較正

ミー散乱形レーザーレーダの受信信号が大気中粉じん濃度と大きな相関があることはよく知られている。

レーザーレーダでは、一般に設置場所からある一定距離は光学系の性質から不感距離が存在し、本システムの場合は約 300 m である。そのため、川崎地区における約 1 ヶ月間の観測を行い、粉じん分布の均一に近い時を選んで平均値をとり、粉じん濃度算出パラメータを決定した。両データ間の相関係数は +0.89 となった。

ミー散乱形レーザーレーダでは、原理的に粉じんと水滴を区別することはできず、ラマン散乱等を同時に測定すれば区別が可能となる。しかしながら、実際には、信号のレベルが雲等では数桁大きいこと、また天候や湿度等の気象要素の観測から、両者を容易に区別できるため、実用上さしつかえないと考えられる。

4-2 平均化と信号処理機能の効果

レーザー光を一回発射すると、一次元的な粉じん濃度のデータが取れるが、背景光によるショットノイズがあるため、信号対雑音の比 (S/N) が小さく、粉じん濃度として定量化できない。

図 4 は同一の測定を繰返し行ない平均化処理を行った場合の効果を示したものである。図 3 - (a) はブラウン管表示によるレーザーレーダ受信信号の写真で、距離の 2 乗の補正は行っていない。従来、信号処理機能を持たないレーザーレーダでは、このようなブラウン管上

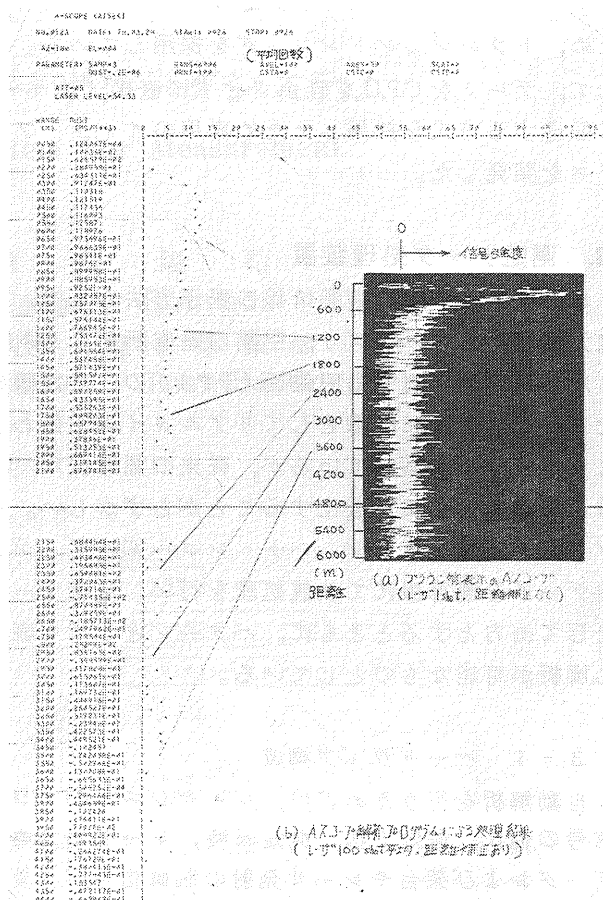


図 3 信号処理機能による平均化の効果

の写真から信号を読み取り、演算を行って粉じん濃度を算出していた。図 4 - (b) は図 4 - (a) と同等の信号を信号処理機能の A スコープ解析プログラムにより、100 回のショットを平均し、距離の 2 乗の補正し、粉じん濃度の算出を行ったものである。平均操作により、背景光ノイズにうもれた信号が取出せ、粉じん濃度としてすぐに読取ることができる。

4-3 測定可能範囲と精度

測定時と同様の条件でレーザー光の大気中への発射をさえぎって測定すると、理想的にはレーザーレーダ方程式から粉じん濃度の計算結果は零となる。しかし実際にはノイズや演算誤差に起因する値が記録される。系の直線性が保証されている範囲では、粉じん濃度によらず、この結果をそのまま測定誤差とすることができる。

環境基準である 0.1 mg/m^3 の 25% を測定目標

値とすると、 $\pm 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ までの誤差は許されることになる。

観測はレーザーのショット回数を種々変えて行って見た。昼間の測定では、ショット回数とともに誤差が減少していくが、最終的にはトランジェント・レコーダの分解能に制限されて、測定距離は飽和し、ある値以上は背景光のショットノイズで制限されて測定不可能となる。一例として晴天時の観測では $\pm 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の誤差範囲で測定できる距離は約4kmであった。また夜間の観測においては、ショットノイズによる誤差に関しては100ショット位でも6km以上測定可能であるが、本システムとしてはトランジェントレコーダの感度が不足し、約6kmが検出限界となる。

5. 観測例と大気汚染観測への実用性の検討

レーザーレーダを川崎地区の三階建の建物の屋上に設置し、フィールド試験を行なった。得ら

れた観測データのうち代表的なものを示す。図4はAスコープ解析による上空の粉じん垂直分布の観測結果で、5分間隔で自動観測したものの中から、約30分間隔でその推移がわかるように抜粋し、整理したものである。朝10時12分には、高度650mまで粉じんがたまり上方へ拡散できずに蓄積されているが、時間とともに上方へ拡散し、11時30分には上空1kmまで不連続点が上昇している。

このように、信号処理機能を備えたレーザーレダ装置は、粉じんの垂直分布が地上からリアルタイムで観測できるため、温度逆転や、大気安定度、粉じん蓄積のしくみ等の解明に有効な手段となると考えられる。

本研究は通産省、重要技術研究開発費補助金の交付を受けて行われたものである。

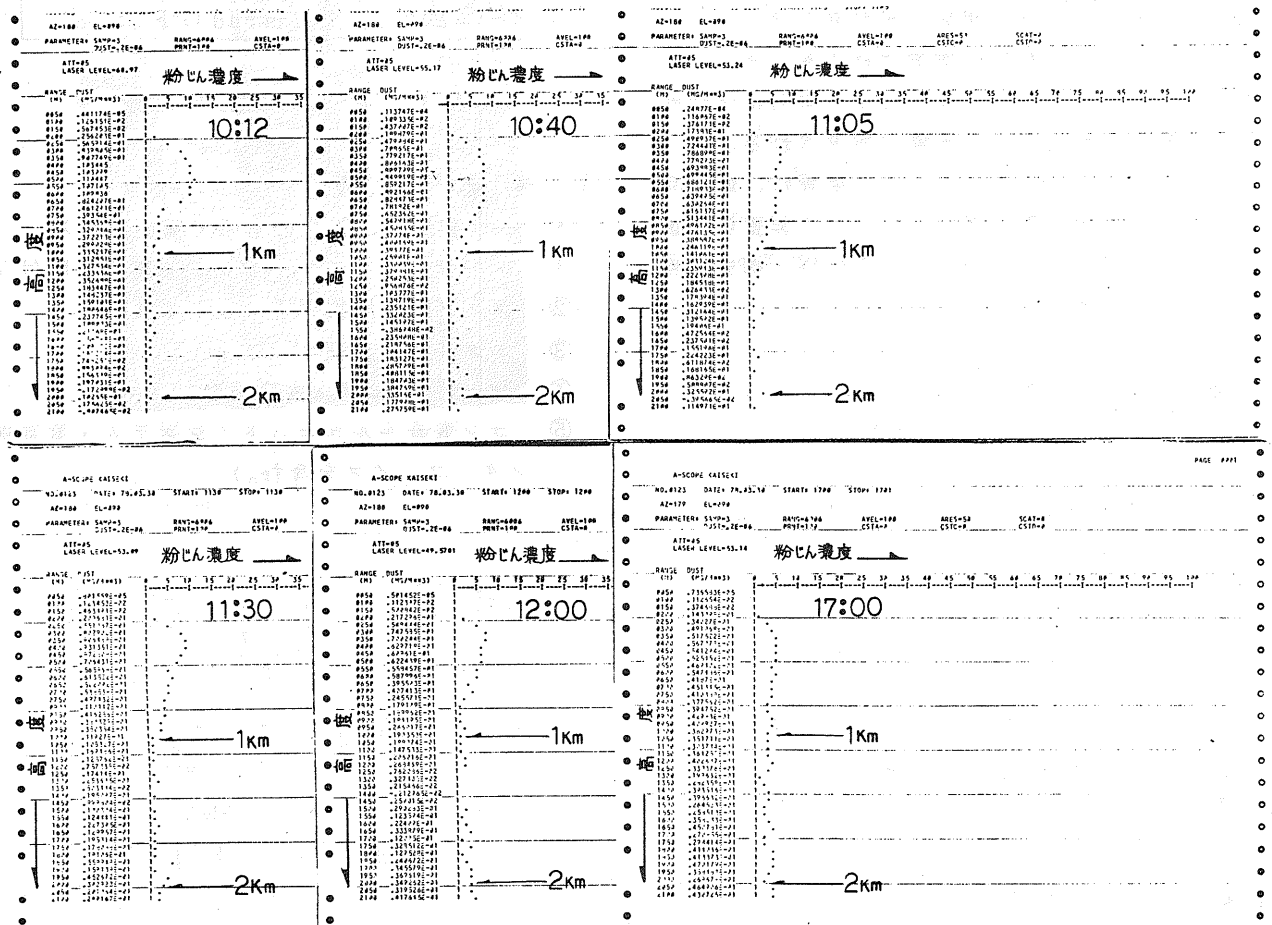


図4 Aスコープ解析による観測例