

寒冷地型高度除雪自動化技術

— 除雪機周辺の環境認識 —

多田達実, 北村欣也, 小林政義, 三戸正道

Intelligence Snow Remover Project

-Environment Recognition of Snow Remover-

Tatumi TADA, Kinya KITAMURA
Masayoshi KOBAYASHI, Masamichi MITO

抄 録

北国の冬の生活環境をより快適にし、産業の活動の活性化を実現するために『空からの手紙』である積雪を効率良く速やかに道路から取り除く事が現在のモータリゼーション社会では最も重要な課題である。その手だてとして除雪車の自動化を目標に、『高速除雪のための前方障害物のセンシング, 除雪機周辺の環境認識, 自動走行除雪機と雪の移送と雪氷計測技術』をテーマに北海道工業開発試験所(国), 北海道立工業試験場(道)と民間企業13社が共同で実施したプロジェクトであり, 当試験場は『除雪機周辺の環境認識』技術の研究開発を担当し, 【エリア・スキャンニング光学式距離センサー】を開発した。

1. 緒 言

車を交通手段の中心として生活範囲が拡大されてゆくモータリゼーションの高まりのなかで, 道路の除雪体制強化の必要性や, 除雪作業を行う熟練技術者の不足, 高齢化に伴う除雪作業の自動化の将来的必要性が今日強く要求されている。このような背景から通商産業省の重要地域技術研究開発プロジェクトのテーマとして『寒冷地型高度除雪自動化技術』が取り上げられ, 昭和62年度より5ヶ年計画で進められてきた。本研究開発は, ①前方障害物の検知技術, ②除雪機周辺の環境認識技術, ③制御系のシステム設計技術, ④冷風力による雪の移送と雪氷計測技術の4つのサブテーマからなり, 産学官の15機関による共同研究で進められてきた。その技術開発の取り組みの関係を図1に示す。

本研究は, 前述の②『除雪機周辺の環境認識』技術に位置づけられ, 雪を含めた除雪機周辺の物体の認識技術の確立を目指すものである。また, 最近のトピックとして, 開発局建設機械工作所では, 冬期の道路の積雪量や雪質などの路面情報を集め, 路面の状況に適した除雪車を即時に出動させる新しい除雪システムの開発が始めることが報じられており, 近い将来, 『寒冷地型高度除雪自動化技術』が目指すインテリジェントな除雪機械の開発により除雪作業のトータルな自動化, 高速化が実現されることが期待される。

2. 研究目標

本研究では, 『除雪機周辺の環境認識』技術として, 除雪機の周辺約10mの範囲の種々の物体「人間, 障害

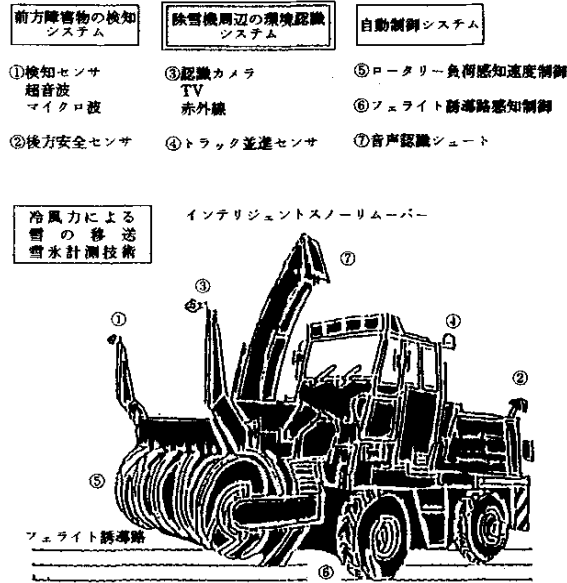


図1 技術開発取り組みの概要

物、雪等」を除雪機から直接計測・認識すると共にその情報を使って除雪機を直接制御することを目標としたシステムの研究開発である。環境認識技術においては、物体の3次元位置測定の高速度、高精度化及び認識の基本方法の研究とその開発がテーマであり、現在考えられる

最も望ましい方法の検討とその装置の研究と試作をし、その性能を評価する事である。

3. 除雪環境認識システムの概要

3.1 認識対象と必要機能

一般道路の除雪作業は、ロータリー除雪車、スノーブ라우、グレイダー等の除雪機によって行われているのが現状であり、本研究では「ロータリー除雪車」の除雪作業の自動化における、危険回避、除雪進路の決定、除雪速度や除雪作業装置である「オーガー高さ、シューター角度」の調節等の自動化を具体的な目標として考え、これらの自動化装置開発のための必要な技術として、3～10mの範囲での障害物や雪山を認識する【エリア・スキャンニング光学式距離センサー】の開発を取り上げて研究を行った。装置の必要機能を表1に、装置の概要図を図2に示す。

表1 装置の必要機能

対象物：雪山と人間を含む障害物
測定距離：3～10m
測定精度：全域で100mmの大きさの物体の認識

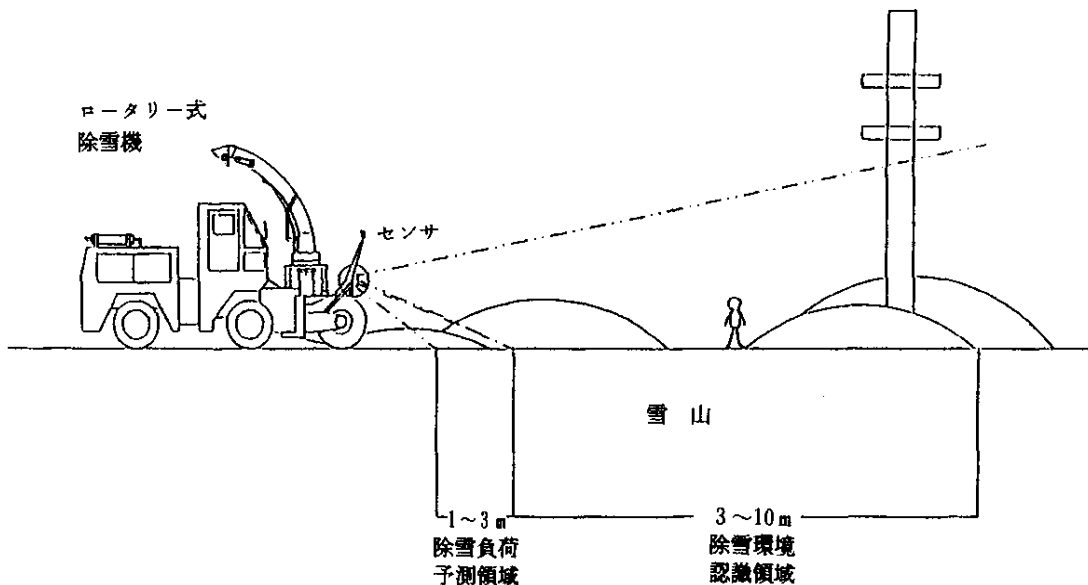


図2 除雪環境認識システム概要図

4. 研究内容

開発研究の項目を「測定原理」、「対象物の光学的性質」、「光学系の設計」、「測定機構」と「計測システム」について述べる。

4.1 測定原理

本システムの基本となる距離センサーの測定原理は三角測量法であり、以下、図3の測定原理図で測定距離算出のための計算式を説明する。

基準位置から目標物までの距離を X 、光源とレンズ中心までの距離を D 、CCD ラインセンサー上で反射光の結像位置を Z 、CCD ラインセンサーのレンズ中心から素子までの距離を L 、光源軸と CCD ラインセンサー軸のなす角を α_0 、光源軸と反射光のなす角を α 、CCD ラインセンサー軸と反射光のなす角を β とすると、 $\triangle PoPIPe$ において三角関数の定義により、

$$\tan \alpha = D / (X - S) \quad \therefore X = D / \tan \alpha + S \cdots \textcircled{1}$$

となる。

また、 $\triangle PoPzPl$ について幾何学的関係より、

$$\alpha_0 = \alpha + \beta \cdots \textcircled{2}$$

となり、 $\triangle PIPcPs$ についても同様に、

$$\beta = \tan^{-1} Z / L \cdots \textcircled{3}$$

となる。この①・②・③式より

$$X = D / \tan(\alpha_0 - \tan^{-1}(Z / L)) + S \cdots \textcircled{4}$$

が導かれる。

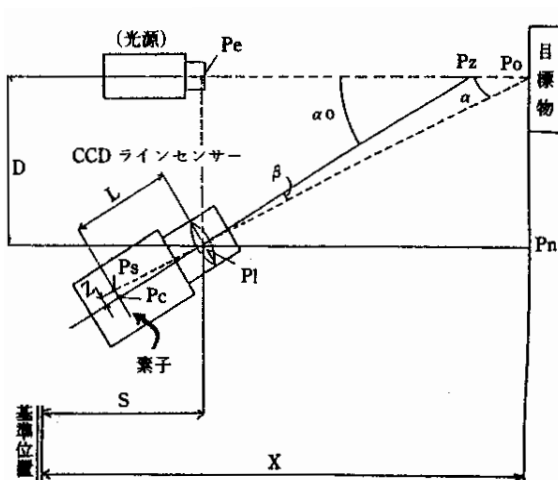


図3 光学式測定原理図

本システムは測定範囲を大きくとるため、光源と CCD ラインセンサーが平行な状態、すなわち $\alpha_0 = 0$ にセッティングしているため、上式④は、

$$X = K \cdot (1 / Z) + S \cdots \textcircled{5} \quad (\text{ただし } K = -LD \cdots \textcircled{6})$$

となり、原理的には距離 X と結像位置 Z の逆数は 1 次式の関係となる。

4.2 対象物の光学的性質

本研究では、種々の除雪環境を考慮して明暗色（つやけし仕上げ）の色板を、また表面形状の違いや屋外自然の状況等の光学的性質を測定し光源、センサー、光学フィルター等の種類の検討を行い最適な部品を選択する事とした。

4.2.1 明暗色の色板

白から黒までを五段階に分けた色板を製作しこれに半導体レーザー光等を投射してその反射強度を測定する。この実験によって光源、センサーとフィルターの種類の中で最も適した物を選択する。

4.2.2 表面形状

雪の表面状態をシミュレーションするために数種類の試験片を製作し装置の光学的性質を雪のない期間でも室内実験を実施して装置の性能を把握する。

4.2.3 自然状況

屋外の自然状況を（昼 [晴れ, 曇り], 夜）を光学的に測定し各種のデータを集めて装置研究開発に使用する。

4.3 光学系の設計

本システムの基本となる距離センサーについては、光学系の選定が測定性能を左右するため、光源、受光部について十分な実験と検討を行い、光学系の設計を行う。

4.3.1 基線長さ

距離測定の基本となる三角形の底辺の長さであり、測定精度、センサーの解像度、光源の種類と強度等から最適な長さを決定する。

4.3.2 光源の選定

光源は最も重要な要素でありこれによって測定装置の

最大測定長さ、測定環境への対応、測定精度・速度等に直接影響するところであり種々の光源について実験を行って決定する。

4.3.3 受光センサーの選定

受光センサーは距離測定で特に測定感度（明暗の測定限界、光波長感度、最大測定長さ等）と測定精度に関与する最大の部品であり、測定速度等も考慮して決定する。

4.3.4 光学フィルターの選択

測定感度は受光センサーの波長感度との関係で投光光源の波長に合わせた光学特性を待ったフィルターを選択する。

4.4 測定機構

測定機構は3次元空間の縦と横を走査し、そのときの測定距離を走査した3次元空間の方向（縦・横の角度）と対応させることにより3次元の位置データとして求める。その走査方法は横の位置を回転ミラー、縦の位置を自動雲台の回転運動で行う。

4.4.1 横走査機構

水平方向の位置を走査する方法は距離測定装置の基線方向を垂直に立て、それと平行にセットされた回転ミラーを垂直軸で回転することによって走査し、その角度は回転ミラー軸にセットしたロータリーエンコーダーの角度から求める。

4.4.2 縦走査機構

垂直方向の位置の走査は自動雲台の前後回転機構をコンピューターで計測制御して行う。傾斜角度計測には傾斜センサーを使用する。

4.5 計測システム

本システムでは、全ての装置をパーソナルコンピューターによって制御・計測・計算・表示を行う。

4.5.1 光源

光源の半導体レーザーはレーザー発光制御用インターフェースを自作し、システムプログラムで制御する。

4.5.2 CCDラインセンサー

距離計測の位置検出はCCDラインセンサーをCCDラインセンサー信号入力ボードによってデータを取り込みシステムプログラムによって位置計算・表示を行う。

4.5.3 水平位置走査

回転ミラーをパソコン入出力インターフェース、姿勢制御インターフェースとミラー回転制御ユニットによってパルスモーターを駆動し、その角度データはロータリーエンコーダーによって検出してシステムプログラムによって水平角度を計算する。

4.5.4 垂直位置走査

垂直（縦方向）位置は、パソコン入出力インターフェース、姿勢制御インターフェースと雲台チルト制御ユニットによってモーターを駆動し、傾斜センサーによって垂直角度を検出してシステムプログラムによって垂直角度を計算して求める。

4.5.5 CCDカメラ

計測されるエリアの可視光による映像を写す装置であり画像入力ボードによってTVに映し出すと共にデジタルデータとしてパソコンに入力しシステムプログラムによって距離測定データとのスーパーインポーズによる画面表示を行う。

5. 基礎実験

前項、「4.2 対象物の光学的性質」、「4.3 光学系の設計」についての実験結果を述べる。

5.1 明暗色色板の物理的性質

光源の反射性能を測定するために写真1の反射板を製作しその物理的性質を測定したのが表2である。

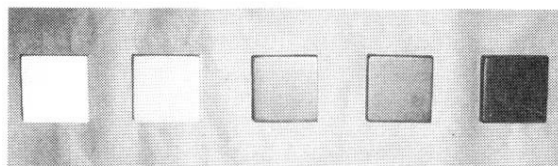


写真1 明暗5段階の色板

表2 基準明暗板の光学的性質

目標板 No	表面粗さ Rmax(μm)	反射率(%) 60°鏡面光沢	色差 (Lab 表色系)		
			L	a	b
1	4.63	11.2	93.16	-0.34	-0.24
2	4.68	10.3	72.75	-0.62	-0.54
3	5.55	9.8	37.98	-0.59	-1.01
4	5.03	9.6	25.77	-0.28	-0.93
5	4.43	8.9	15.73	-0.11	-0.58

L: 明度指数 a, b: クロマトキネス指数

表2から表面粗さは基準明暗板でRmax約5μmあり、色差の明度指数「L」は明暗板を白の93, 73, 38, 26, 16の黒へ1~5段階に変化させ雪の色を模擬したものである。

5.2 光学系の設計

本項では装置の光学系「光源, センサー (CCDラインセンサー), 光学フィルターと自然光計測」について述べる。

5.2.1 光源の選定

表3は、高輝度LED, 連続発光3mWレーザー, パルス発光10Wレーザー, ハロゲンランプの4種類の光源の計測結果をもとに、本センサーとしての光源の性能比較を行ったものである。

本センサーの光源として、光量, 場積, 同期入力への適応性, 人体安全性から総合的に評価して、3mW赤外レーザーを選定した。

表3 光源性能比較表

評価項目	光量	場積	同期入力	安全性	総合
光源					
高輝度LED	×	○	○	○	×
連続発光3mWレーザー	○	△	○	△	○
パルス発光10Wレーザー	×	×	○	×	×
ハロゲンランプ(5W)	×	○	×	○	×

5.2.2 CCDラインセンサーの選定

図4は、本システムに使用した日本電気製「SC-2048E」CCDラインセンサーの感度特性を示したものであり、横軸は波長, 縦軸は相対感度を示している。使用している光源の中心波長780nmのところでの相対感度は約80%であり、分割能(識別出来る数)も2048画素と高く、本システムのCCDラインセンサーとして選定した。

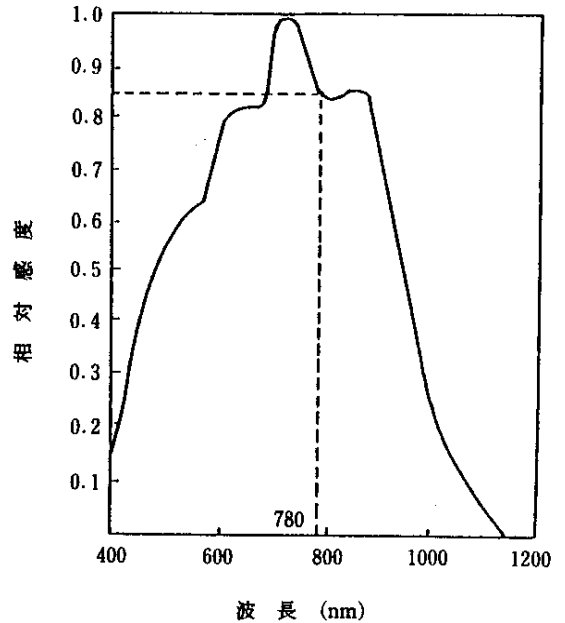


図4 CCDラインセンサーの波長感度特性

5.2.3 光学フィルターの選定

本システムでは、光源として中心波長780nm出力3mWの半導体レーザーを使用しているが自然光にも多くの同波長の成分が含まれているため、屋外計測を行うためには信号成分のみを透過させ、外乱光に対するS/N比を高くするための光学フィルターが必要になる。図5は、2種類の赤外透過フィルターの特性を示したもので、本システムでは可視光の遮断性能, 780nmレーザー光の高透過率を考慮してメレスグリオRG9を選定した。

5.2.4 自然光計測

実際の除雪作業では、昼夜を問わず作業が行われるため、本システムにおいては、自然光下での計測性能が問題となる。そこで本研究では、自然光の計測を行った。

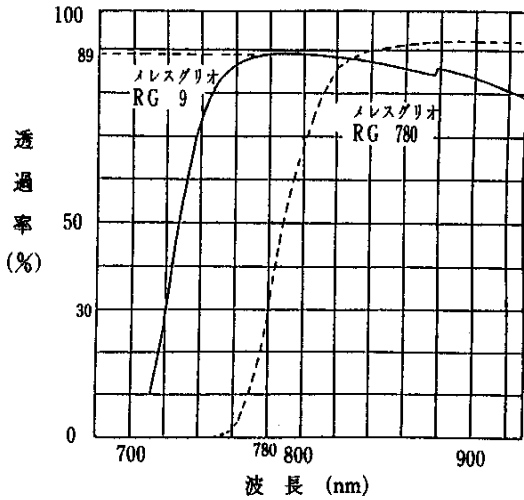


図5 光学フィルターの透過特性比較図

5.2.4.1 照度計測

図6は、1991年4月6日、晴天時の太陽光による日中の照度変化をグラフにしたもので、横軸が時刻、縦軸が照度 (lx:ルクス) である。

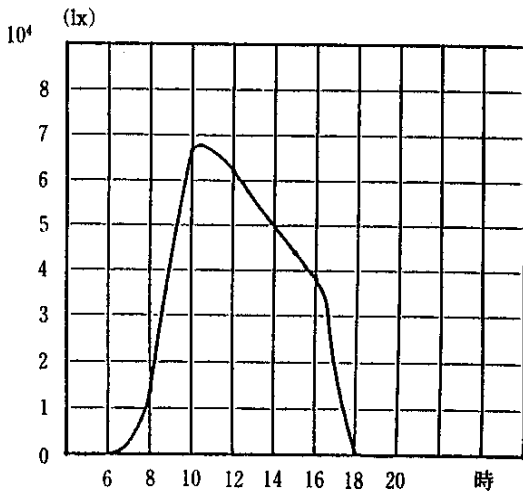


図6 日中の照度計測図 (日時 1991/04/06)

日中の快晴のときの照度は約 67000lx であり波長成分は測定出来なかった。

5.2.4.2 CCDカメラ映像

写真2は、日中、屋外での雪山を前記の可視光遮断フィルター(メレスグリオRG9)付きのCCDカメラを通して白黒テレビで見た映像である。

高精度の可視光遮断フィルターを通しての映像であるが雪山からの赤外反射光は強く、山のシルエットがはっきりと映し出されている。日中の快晴時の太陽光に含まれる赤外光成分が非常に大きい事が認識出来た。

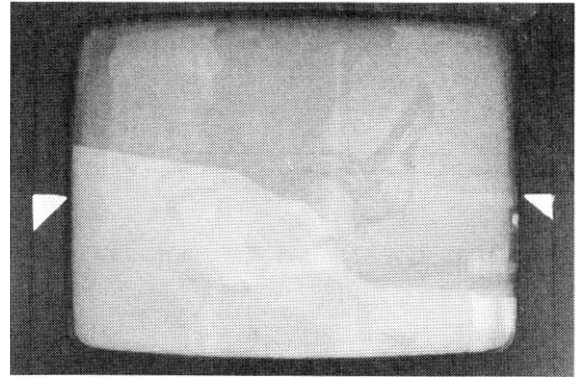


写真2 日中の CCD カメラ映像

5.3. 測定距離計算方法

CCDラインセンサーの反射光の検出レベルと距離計算方法について述べる。

5.3.1 反射光中心決定方法

光源から発射されたレーザー光線は目標物表面で反射し、ラインセンサーで受光されるが、その受光強度を CCDラインセンサー信号入力ボードを介してパソコンに取り込み、反射光の位置を受光強度からノイズと分離し計測する事が必要である。一般に、パソコンに入力される受光強度分布は、図7のように反射光が当たったスポット中心の所でピークを持つ分布となる。そこで CCDラインセンサーから得た受光強度分布を適当なスレッシュールド値で2値化してノイズ成分をカットする事が必要であり、スレッシュールド値の最適値を決める

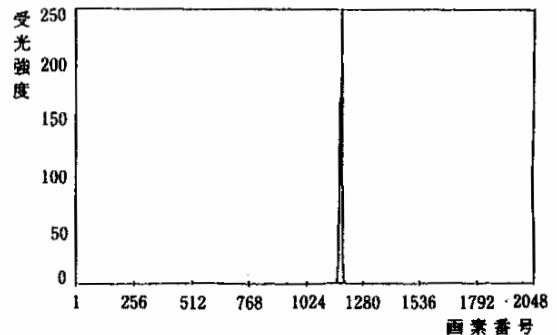


図7 CCDラインセンサー受光強度(白布、測定距離5.5m)

ために3種類の試験片(白い布, 黒い板と白い発泡スチロールを接着した板)を用いて実験を行った。その実験結果を表4に示す。

表4 CCDラインセンサー受光強度表
(測定距離5.5m, 白布, 測定値はピーク強度)

材 質	反射光・ピーク強度
白 い 布	256
黒 い 板	60
発泡スチロール	200

この結果から低い値の黒い板を検出出来るピークレベルの1/2(受光強度30)をデーター2値化のスレッシュホールド値に設定した。つぎに, 2値化された受光強度データーの最大値(スレッシュホールド値)の画素の番地から反射光の中心位置を求める方法を図8に示し, その計算式を下記に述べる。

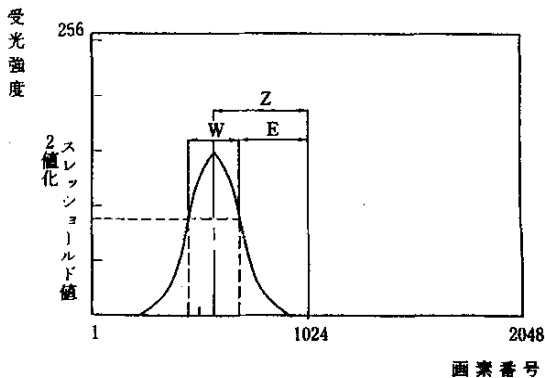


図8 反射光中心計算記号図

計算方法は, 図8から2値化した最大値の幅の画素数(W)と中心からの右肩までの画素数(E)から下記の式によって中心からの画素数(Z)ととして計算する。

$$Z = E + 1 / 2W$$

5.3.2 距離計算式と測定精度

反射光中心位置(Z)から, 距離を求める計算式を決定するため白布を目標物とした室内計測実験を行い, スポット中心位置と距離の関係を1次式近似を図9, 2次

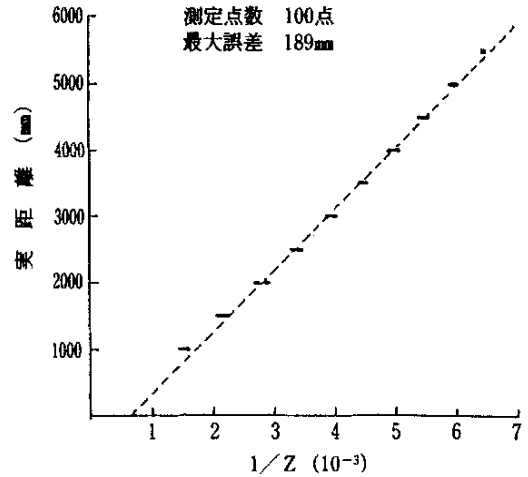


図9 反射光中心位置と測定距離(1次式)

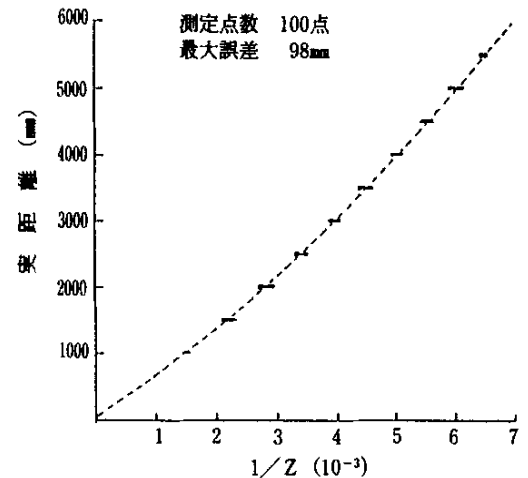


図10 反射光中心位置と測定距離(2次式)

式近似を図10に示す。横軸は反射光中心位置(Z)の1/逆数, 縦軸が実距離である。図には測定値を点で記入しそれぞれの一次と2次の最小自乗法によって当てはめた計算値を破線で記入した。図から明かなように, 2次式の方が計算誤差が少ないので反射光中心位置の逆数1/Zの2次式で距離計算を行うこととした。

6. 装置開発

装置開発は各年度毎の研究開発目標を設定し, 前記の項目を達成するための基礎研究, 装置とシステム開発を実施した。

初年度研究開発(昭和62年)は1次元の距離計測の

ための基本装置を設計製作し、測定限界と精度の試験を実施し、室内で測定最大距離 6m、精度±0.5mを達成した。

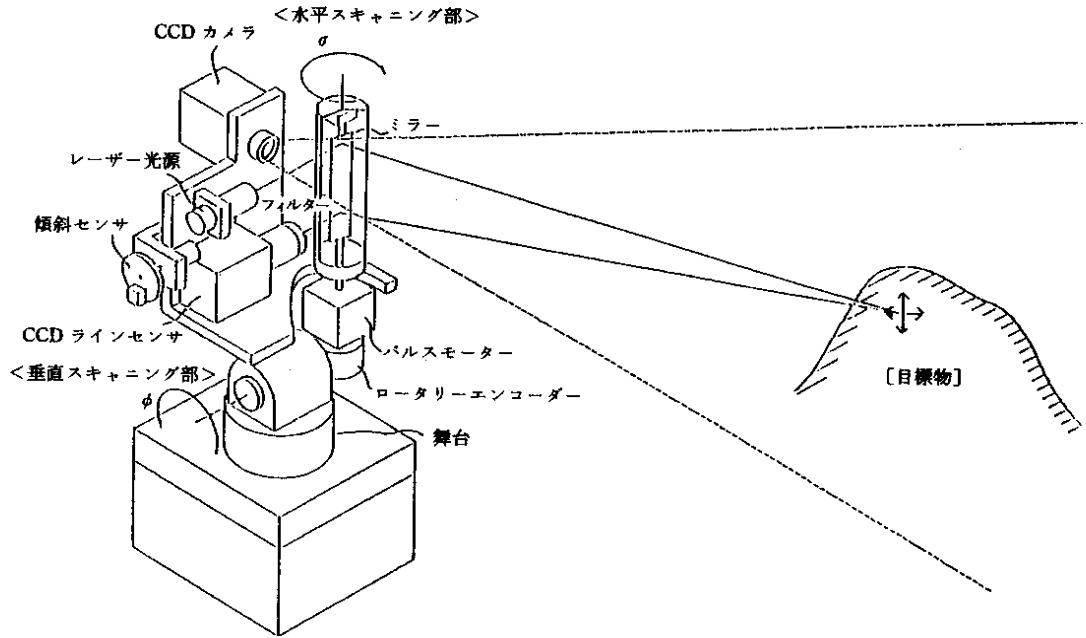
2年度は、水平走査機構を設計製作し、走査角度の測定精度と走査範囲の実験を実施し、水平走査範囲±30度、角度測定誤差±0.5度を実現した。

3年度は、垂直走査機構を自動雲台をもちい、パソコン入出力インターフェース、姿勢制御インターフェース

と雲台チルト制御ユニットによって製作し、走査角度±30度、走査角度誤差±1度を実現した。

4年度は、この装置の立体物形状物の計測試験を実施し距離測定精度±0.35mの性能を確認した。

5年度は、これまでに研究開発した【3次元エリア・スキャンニング光学式距離センサー】の測定速度と精度の改善と屋外における性能の向上目指して距離受光センサーの CCD カメラを CCD ラインセンサーに変更し、



除雪環境認識装置

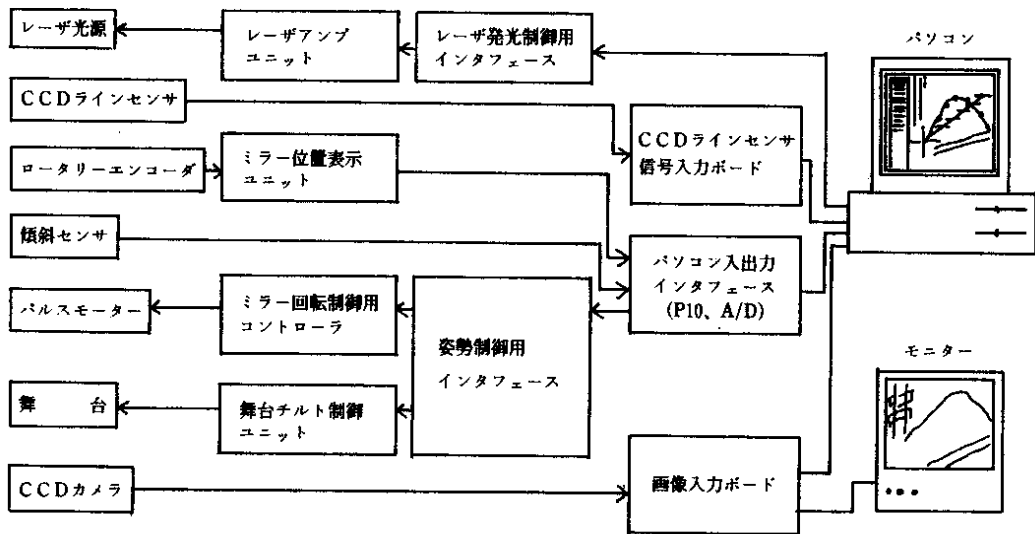


図11 エリア・スキャンニング光学式距離センサー構成図

CCD ラインセンサー信号入力ボードによるパソコンとのインターフェースを使った距離測定装置の改良を行い性能評価試験を実施し、測定範囲水平方向 ± 30 度、垂直方向 ± 20 度、測定最大長さ7m、測定精度 0 ± 0.098 m : 距離5mを実現すると共にデータの3次元表示、TVカメラ画像とのスーパーインポーズを製作し、【3次元エリア・スキャンニング光学式距離センサー・3次元画像データ表示システム】を完成させた。

6.1 装置の構成

装置は図11の装置構成図に示す計測機構部とデータ処理部からなり、計測機構部は「レーザー光源」から発射された近赤外線のスポットが物体に当り反射してきた光を検出する「CCDラインセンサー」、そのレーザー光を左右振らせる「回転ミラー」とそれを駆動する「パルスモーター」、そのミラーの回転角度を検出する「ロータリーエンコーダー」、これらの光学系全体を前後方向へ傾ける「自動雲台」、雲台の傾き角を検出する「傾斜センサー」、計測環境をとらえる「CCDカメラ」から構成されている。データ処理部は、パーソナルコンピューター(PC)を中心に構成されており、「レーザー光源」

はレーザー発光制御用インターフェースを介してPCにより発光制御され、「CCDラインセンサー」はCCDラインセンサー信号入力ボードを、「CCDカメラ」は画像入力ボードをそれぞれ介して、また、認識領域のスキャンニングのためのミラー回転及び雲台の傾斜制御は、PC用入力インターフェース(PIOボード、A/D変換ボード)を介してリモートコントロールされ、全てPCにより統合して自動制御されてデータが取り込まれ処理される方式である。

【エリア・スキャンニング光学式距離センサー】を構成する装置を表5に示す。

除雪環境認識システムの装置全景を写真3,4に、装置の機構部分を写真5に示す。写真3にはシステムの制御・データ処理部でありPCと映像モニター、半導体レーザー発信機が、写真4には機構部は上から半導体レーザー発光部、スキャンニング回転ミラー、角度センサー、CCDラインセンサー、CCDカメラ、自動雲台、インターフェイス類が移動ラックにセットされている。

写真5は機構部みのを示しており、装置構成図とは左右逆向に装置がセットされている。上の左からスキャンニング回転ミラー、半導体レーザー発光部、角度センサー、中段にはCCDラインセンサー、CCDカメラそ



写真3 データ処理部

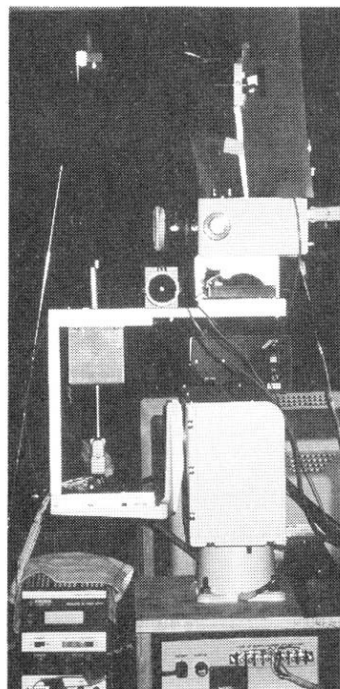


写真4 計測機構部

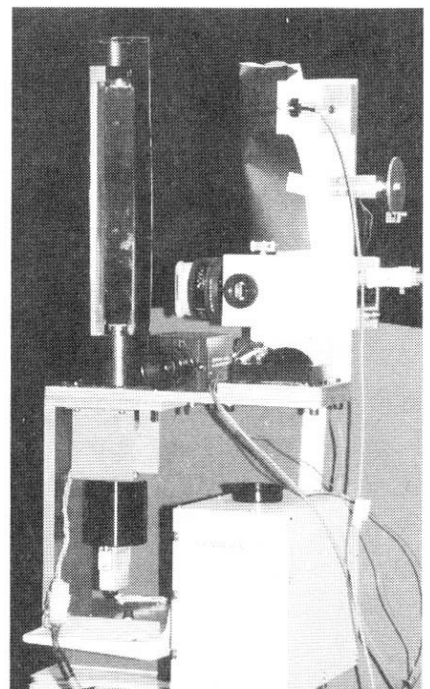


写真5 機構部構成装置

表5 エリア・スキャンニング光学式
距離センサーを構成装置

構成装置名	仕様・品名・メーカー・その他
半導体レーザー光源	型式 LD-7820-UNT、LD-21H 製造 SAKAI GLASS ENG.
スキャンニング 回転ミラー装置	型式 KS-IR-02 設計 道工試 製造 新栄プラント
回転ミラー駆動 パルスモーター	型式 PXD34-B02B 製造 オリエンタル モーター
回転ミラー位置検出 ロータリーエンコーダー	型式 光電式 67型 製造 富士計測器製作所
CCDライン センサー	型式 SC-2048E、SC-4KE 製造 NEC
CCDカメラ	型式 KP-140 製造 HITACHI
傾斜センサー	型式 CP-2U 製造 村田製作所
垂直スキャンニング 自動雲台	型式 APTO-8PC 製造 DAIWA
制御・データ処理 パーソナル・コンピューター	型式 PC-9801 VX 製造 NEC
レーザー発光制御用 インターフェース	型式 自作 製造
PC入出力 インターフェース	型式 EP-98 PIO、DAC-1989 XPC 製造 エルムデータ
CCDカメラ画像入 力インターフェース	型式 MT-98-CVFM01 製造 マイクロテクニカ
姿勢制御用 インターフェース	型式 自作 製造
モニターTV	型式 KV-9AD1 製造 SONY

して下段にはミラー回転用パルスモーターとロータリーエンコーダーと装置を傾ける自動雲台がある。

7. システムの制御とデータ処理

システムの制御とデータ処理は、図11の装置構成図下段のブロック図に示す構成であり、これらを全てPCで制御・処理を行った。そのソフトウェアの構成はOS「MS-DOS Ver3.1」で使用言語は、マイクロソフト社製「QUICK C」を用いて開発し、制御・測定処理速度の高速化をはかった。

システムのフローチャートを図12に示す。

プログラムは、ファンクションキー (f-1 ~ f-8) を押すことにより、それぞれの項目処理が実行される。以下にファンクションキーに割付られた機能について説明

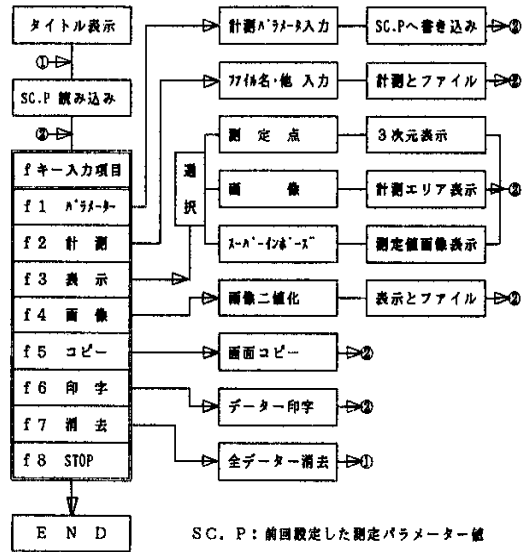


図12 システムのフローチャート

する。

[f-1] パラメーター

計測パラメーターの設定と変更を行う。下記に項目と対応する記号を示す。

変更計測パラメータ項目	記号
ミラー回転角度の範囲	: θ
雲台の傾斜角度の範囲	: φ
2次近似計算パラメータ	: MK1・MK2
基準点から CCD ラインセンサー レンズ中心までの距離	: MS
CCD ラインセンサーと光源との距離	: DD

[f-2] 計測

スペースキーを押すと Start (測定開始) し、もう一度押すと Stop (測定終了) して、測定データを File に書き込む。

[f-3] 表示

Fileから計測データを読み込み CRT に、(1) 測定点、(2) 画像、(3) 両方を各々の図形 (3次元、2次元、合成画面) を表示させる。

[f-4] 画像

画像データは CCD カメラから取り込み CRT に表示し、二値化した画像データを File に書き込む。

[f-5] コピー

CRT 上に表示されているグラフィック画面をプリンターでコピーする。

[f-6] 印字

計測した数値データをプリンターで印字する。

[f-7] 消去

全てのデータと表示を消去しメニュー画面に戻る。

[f-8] STOP

プログラムを停止し終了する。

8. 距離計測実験結果

開発した【エリア・スキャンニング光学式距離センサー】による実験を行いその機能と性能を計測値から評価した。

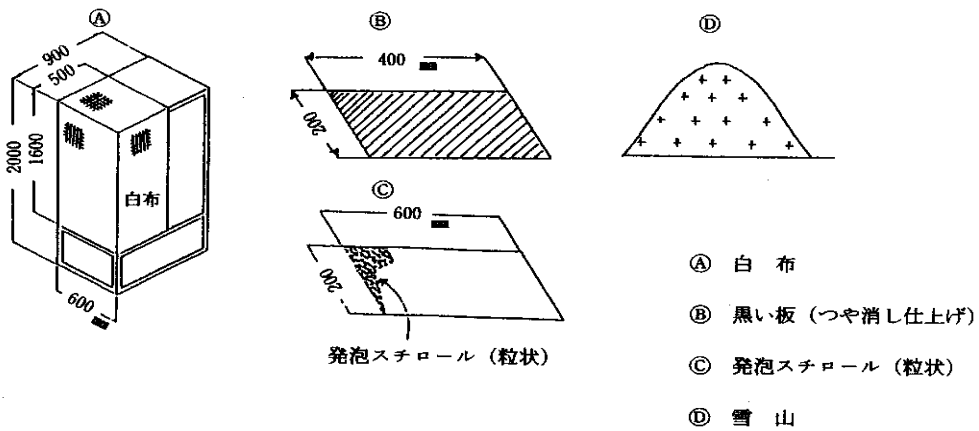


図13 計測対象物

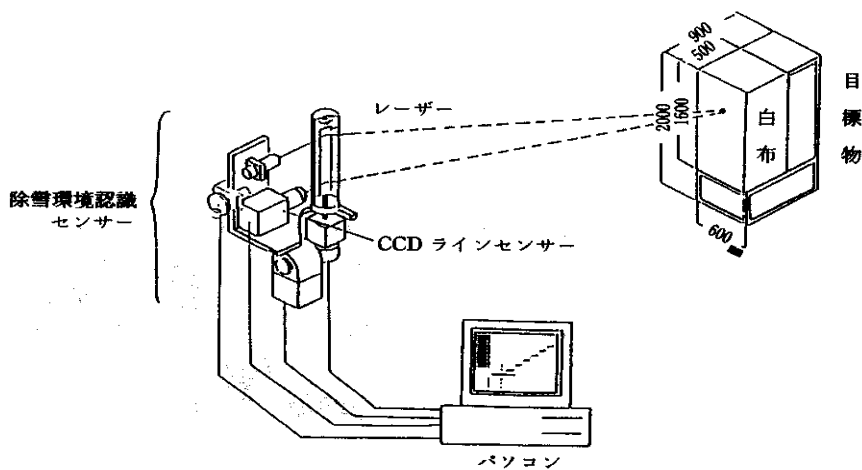


図14 室内の距離計測実験

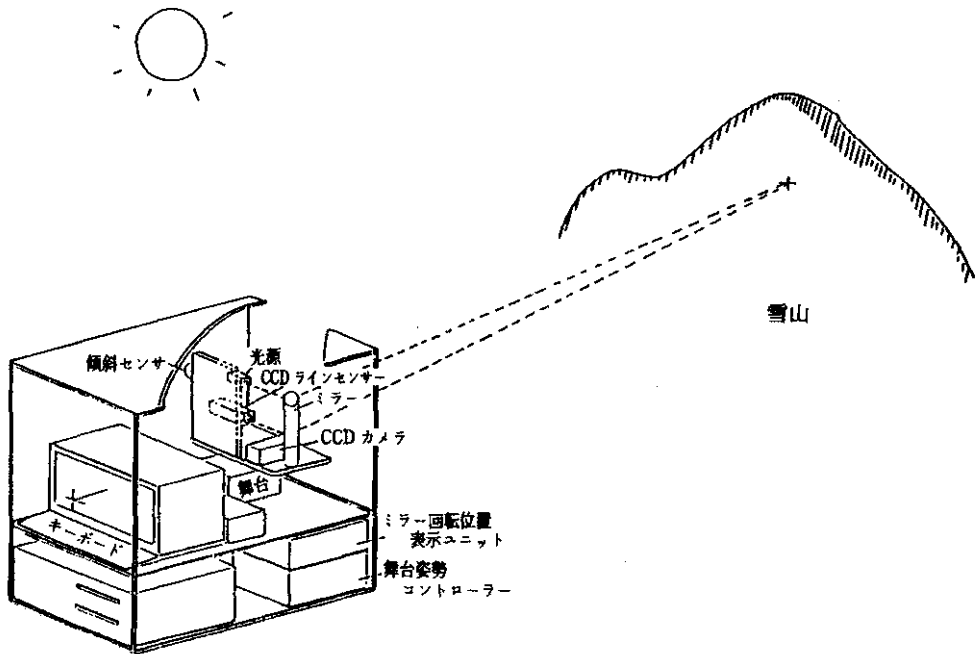


図15 屋外の距離計測実験

8.1. 計測対象物の試験

除雪環境にはさまざまな物体が存在するため、目標物の表面性状の違いが測定性能に与える影響を調べるために、図13に示す4種類の目標物を製作して試験した。それらは長方形の枠に張った白布、着色黒板、表面形状による性能変化を調べる為に発泡スチロールの粒を紙に貼合わせたもの(雪の表面を想定)と実物の雪を使って実験を行った。

8.2. 三次元エリア・スキヤニング距離計測結果

本システムの性能を計測するために、室内と屋外で実験を行った。実験方法を図14, 15に示す。室内実験では、図14の目標物の長方形白布を1~5mを1m毎に移動し、蛍光灯照明下において、ミラー回転による水平走査、雲台の傾斜による垂直走査をPCにより全自動制御で三次元距離計測を行った。

また、屋外実験では、図15のように3~10mを2m毎に測定装置を移動して測定実験を自然光の状態が変わる日中、夕方、夜間に分けて行った。

8.2.1 室内距離計測結果

室内三次元距離計測状況を写真6に示す。写真手前の中央が計測制御用PC(パソコン)で、右に距離計測セ

ンサーがあり左奥が計測目標物の長方形の白布である。

次に三次元距離計測結果を図16~図19に示す。この図は全自動で測定したデータをPCで計算処理し立体像としてCRTに表示した画面のプリンターによるコピーである。

図16~図19は、三次元空間を斜視図で表現したもので、水平方向をX、垂直方向をYとし、X-Y平面

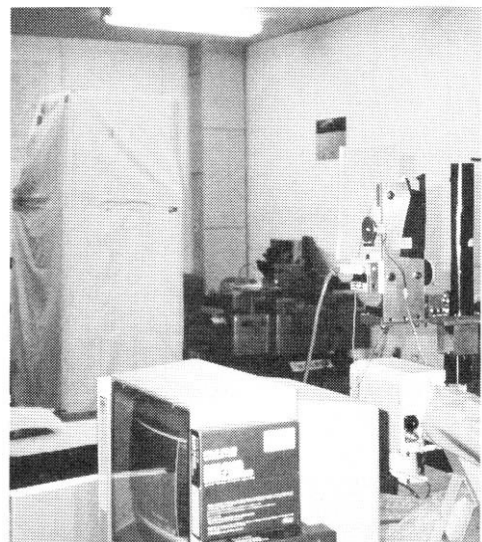


写真6 室内三次元距離計測状況

に垂直な奥行方向を Z とし距離単位は m である。

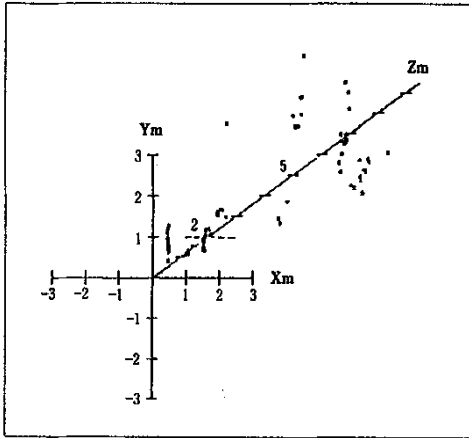


図16 室内三次元距離計測 (2m)

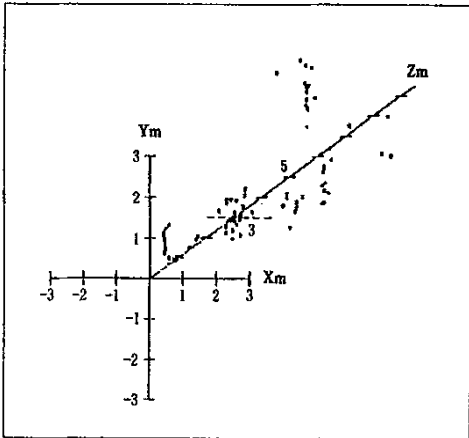


図17 室内三次元距離計測 (3m)

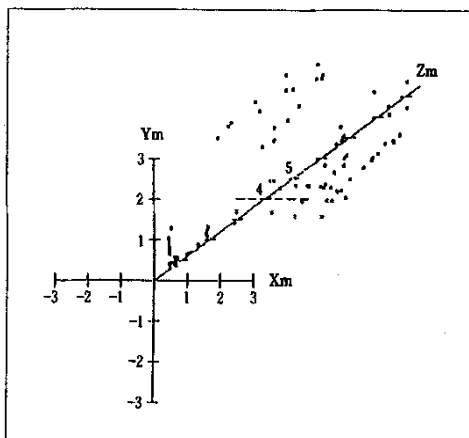


図18 室内三次元距離計測 (4m)

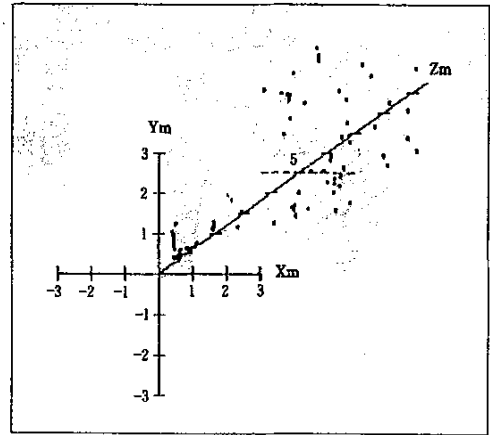


図19 室内三次元距離計測 (5m)

室内における計測実験では目標物以外の設置物があることで距離測定点が複雑であるが目標の長方形の距離センサーに面している部分がそれぞれの計測位置で検出されており、図の計測位置表示の Z 軸上の破線の部分付近の測定点がそれである。

8.2.2 屋外距離計測結果

屋外での計測状況を写真 7 (日中), 写真 8 (夜) に示す。

写真 7 の左が距離センサーで右奥が目標の雪山である。また, 写真 8 の右手前が距離センサーで左奥が雪山であり両方とも同じ日に実験を行った。

次に三次元距離計測結果を図 20 ~ 図 23 に示す。

屋外の距離計測では除雪された雪山を 3, 5, 7, 10m の距離で計測した。計測時間は日中, 夕方, 夜と自然光の強さが変化する時間帯を選んで計測を行った。測定距離を 10, 7, 5, 3m と近づけるほど測定の精度は向上

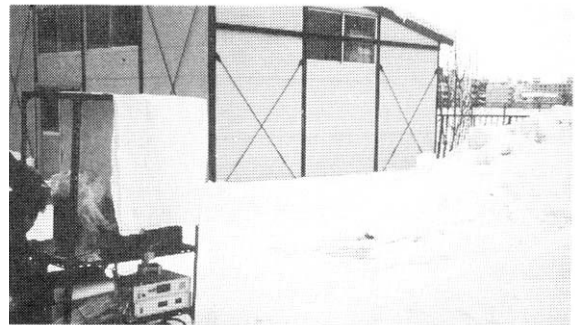


写真 7 屋外距離計測実験 (日中, 雪山照度 13500 lx)



写真8 屋外距離計測実験(夜間,雪山照度 41 x)

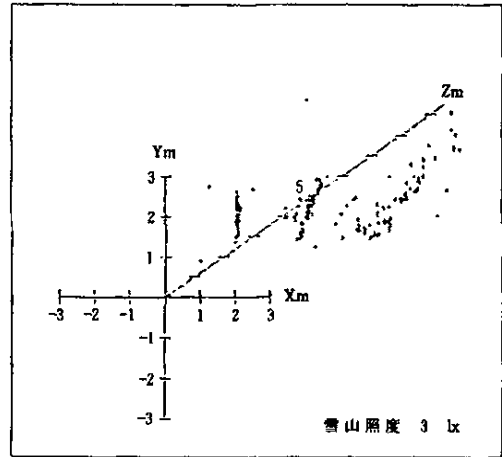


図22 屋外三次元距離計測
(pm 6 : 15 雪山の距離 5 m)

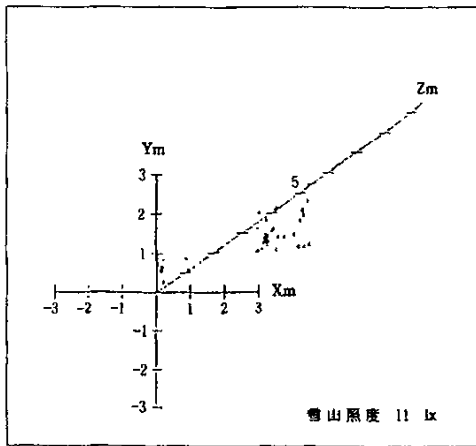


図20 屋外三次元距離計測
(pm 4 : 00 雪山の距離 10 m)

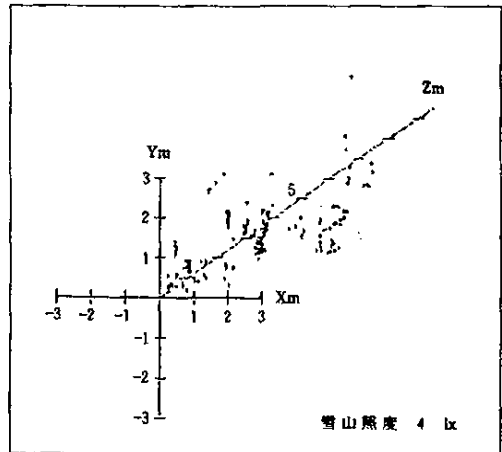


図23 室外三次元距離計測
(pm 7 : 00 雪山の距離 3 m)

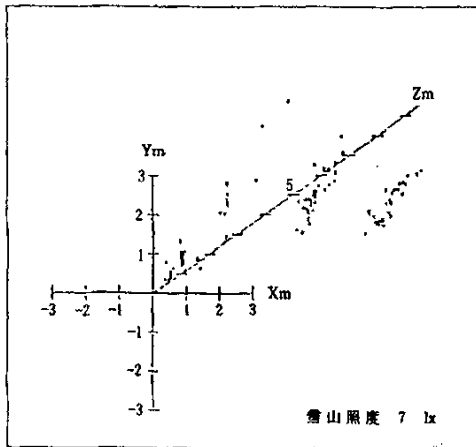


図21 室外三次元距離計測
(pm 5 : 30 雪山の距離 7 m)

すると共に雪山の形状を精度良く計測することが出来た。図の中で測定距離が括弧の距離表示付近の測定点の

密なところが計測された雪山である。

8.2.3 画像のスーパーインポーズ

測定点の表示画面を写真9に、表示画面とCCD白黒カメラの画像をスーパーインポーズして出力した画面を写真10に示す。

写真9は、屋外三次元距離計測において雪山までの距離を7mで計測した結果のCRTの表示を直接写真に写したものである。

写真10は距離計測時にCCDカメラから得た白黒画像(雪山)と計測結果をスーパーインポーズしたもので、測定距離の位置が視覚的に的確に捉えられる。

参考文献

- (1) 佐山惣吾 西川泰則 池上真志樹 他共著
寒冷地型高度除雪自動化技術の研究開発
『雪と道路』1989.1. No.18
- (2) テレビジョン学会編
『レーザーの基礎と応用』

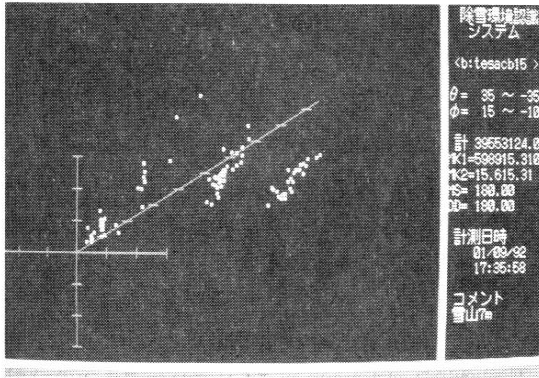


写真9 距離測定点の表示画面 (スーパーインポーズ無し)

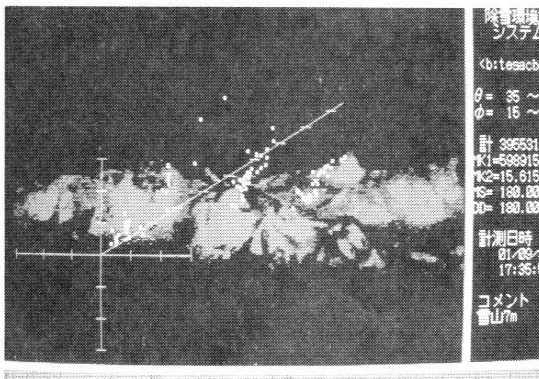


写真10 距離測定点の表示画面 (スーパーインポーズ)

9. 結論

目標であった【エリア・スキャンニング光学式距離センサー】の研究開発は測定原理、基本装置とそれらを統合して制御・測定・計算処理・表示を行うパーソナル・コンピューターによる全自動システムを完成させた。その性能も目標の『測定最大距離 10m・測定精度 0.1m に対して、測定達成最大距離 7m・測定精度 0.1m : 5 m 測定時』でありコストパフォーマンスを考慮すると所期の目標を達成できた。

今後は、この成果を基に実用機として改良（ミラー回転と雲台の高速制御性能の向上、日中屋外計測のための同期入力方式の採用、画像に対応する測定点の処理、計算処理のリアルタイム化と並列信号処理等）を行うことにより精度の高い高性能な装置の開発が可能となった。