

## 平成15年度 研究開発成果報告書

「空中撮影データによる地上任意視点の実時間3次元動画生成システムの研究開発」

### 目 次

1	研究開発課題の背景	3
2	研究開発分野の現状	4
3	研究開発の全体計画	5
3-1	研究開発課題の概要	5
3-2	研究開発目標	5
3-2-1	最終目標	5
3-2-2	中間目標	6
3-3	研究開発の年度別計画	7
3-4	研究開発体制	8
4	研究開発の概要（平成15年度まで）	10
4-1	研究開発実施計画	10
4-1-1	研究開発の計画内容	10
4-1-2	研究開発課題実施計画	14
4-2	研究開発の実施内容	16
5	研究開発実施状況（平成15年度）	21
5-1	基本技術のサブシステム化に関する研究開発	21
5-1-1	序論	21
5-1-2	多視点画像からのシーンの距離計測サブシステムの開発	21
5-1-3	シーンの幾何モデル生成サブシステムの開発	21
5-1-4	多視点画像からの動物体の距離計測サブシステムの開発	28
5-1-5	多視点画像からの動物体の距離計測サブシステムの開発	28
5-1-6	シーン／動物体の形状計測とテクスチャマッピングサブシステムの開発	29
5-1-7	3次元地図作成サブシステムの開発	31
5-1-8	対象物（ターゲット）の認識サブシステムの開発	37
5-1-9	3次元動画表示サブシステムの開発	37
5-1-10	まとめ	37
5-2	シミュレーションシステムに関する研究開発	38
5-2-1	序論	38
5-2-2	飛行体シミュレーションシステムの開発	38
5-2-3	注視用小型アクティブステレオカメラシステムの開発	51

5-2-4	まとめ	5 1
5-3	シミュレーションシステムに関する実験の研究	5 2
5-3-1	序論	5 2
5-3-2	注視システムの開発	5 2
5-3-3	視点の異なる部分データの統合法の開発	5 7
5-3-4	赤外ステレオカメラシステムによる3次元表面温度分布の計測法の開発	5 8
5-3-5	基準データ(モデル)に基づく観測データの変化の検出法の開発	6 1
5-3-6	まとめ	6 1
5-4	総括	6 2

#### 参考資料、参考文献

(添付資料)

#### 1 研究発表、講演、文献等一覧

#### 1 研究開発課題の背景

我が国においては、各々の地域の生活空間が地震・台風等の天災、火災、

放射能による災害、テロ等の人的災害にいつ見舞われてもおかしくない状況下にある。

斯かる災害が発生した時に、人々への影響及び経済的打撃を最小限に食いとめる対策に関する技術開発は、生活している人々の安心の為にもまだまだ必要とされている。実際、災害発生時にその被害の状況や避難の方法等の情報がより詳しくしかも実時間で得られるシステムを開発できれば、防災にとって非常に有用であろう。

では、このようなことを可能にする技術とは何だろうか？それは、地上の詳しい3次元地図情報の常時取得技術と、地図情報に含まれる対象を認識する技術、更にそれらを実時間で処理できるシステムの開発である。

「実時間性」については、全く遅れなしの実時間を目標とすることが理想であるが、本研究開発では人にとって「いらいら感」のない程度の「ほぼ実時間であること」を目指している。

我々は、現在、これらのブレークスルーとなる技術を開発中であり、すでに一定の成果を上げている。

本テーマと関連する研究開発テーマとして、IT中継基地としてデジタル情報の無線中継及び地表部の観測等を目的とした、高度20km~30kmの成層圏に位置させる無人の飛行体（飛行機タイプ、飛行船タイプ、気球タイプ等があるが、これらは現在、研究・実験段階である。以後これらを「高高度飛行体」という。）がある。

高高度飛行体の研究・実験について、国外の代表的な例としては米国NASAが飛行機タイプに対して技術援助を行っている飛行機タイプがあり、現在も実験中である。その他、国内で飛行船タイプ（成層圏プラットフォーム構想）、気球タイプがあるが、どのタイプも、近々に我々が必要とする「空中撮影データ」を送信することのできる段階になると想定できないので、本研究開発では、「空中撮影データ」を送信することのできる「飛行体」として「無人ヘリ」を購入して、独力で独自の3次元地図情報の取得技術を開発する。

## 2 研究開発分野の現状

現在、GISのキーテクノロジーとして、空中撮影による立体測量システムの開発が、国土地理院のPRISMの他、NTT、NEC、パスコ、テラ・マトリクス、センサ情報研究所、宇宙情報技術研究所など、多くの機関、企業で活発化している。しかし、いずれも特殊で高価なラインセンサやミリ波、レーザセンサによる走査型観測システムを利用しているが、ラインセンサにはカメラキャリブレーションや適用範囲と測定精度に限界がある単純な相関法による距離計測等の問題が未解決であり、ミリ波、レーザセンサには低分解能に起因するデータの補間等の技術的問題に加えて安全性の問題もあり、いずれも（高度な技術が必要な）3次元画像処理の自動化ができず、処理の多くを人海戦術、人手作業に頼っているのが現状である。

本研究開発によって実用化されたシステムの優位性として、産総研が開発している他に類を見ない高度な3次元画像処理技術を利用、増強させることにより、通常の市販のカメラからの画像を利用することができるので低コストであり、何よりも全自動化、オンライン（実時間）、高精度処理ができる利点がある他、走査型観測だけでなく、特定のターゲットを注視観測できる融通性があり、さらに、単なる表示だけでなく、観測時期の異なるデータの比較による変化の検出や、個々の対象物の意味や対象間の関係も理解できる多機能な知的GISの実現が可能である。

従って、競業技術の抱えている問題の根本的問題を解決するのが本研究開発の目標でもある。

### 3 研究開発の全体計画

#### 3-1 研究開発課題の概要

飛行体内に設置された観測カメラからの空中撮影によって得られる多視点画像から広域の環境の3次元地図を自動作成し、任意の視点からの動画として生成表示するシステムと、作成した地図に基づいて、環境の変化の検出や目標物を探索し認識するシステムに関する研究開発を行う。

本システムは、高機能GISとして、また、災害発生時には、災害状況の把握や、災害発生の源（火山、原子力設備等）、損傷した、またはしつつかある建造物等をほぼリアルタイムで表示、認識することにより、レスキュー作業の支援等に利用できることが期待される。

#### 3-2 研究開発目標

##### 3-2-1 最終目標

「空中撮影データによる地上任意視点の実時間3次元動画生成システムの研究開発」

- (A) 3次元生活空間のデータベース（幾何モデル）構築を行い、その生活空間上の静止物体の認識が可能なこと。
- (B) 「(防災用)空中撮影による地上任意視点の実時間3次元動画生成システム」のメインシステムとサブシステムであること。
- (C) 「飛行体」から実用に耐え得る四方八方からの生活空間連続映像を受信できるようになった時点で、すぐこの連続映像を本開発システムの入力データとして扱えば済むような汎用性のあること。
- (D) 撮影から3次元動画生成までが、自動的且つ高速に実行できるシステムであること。

(1) 基本技術のサブシステム化に関する研究開発 [再委託先：産総研]

- ・3次元動画生成する為のサブシステムとしてメインシステムに組み込みが可能なこと。

(2) シミュレーションシステムに関する研究開発 [再委託先：(株)知識情報研究所]

- ・「(防災用)空中撮影による地上任意視点の実時間3次元動画生成システム」のメインシステムであること。

(3) シミュレーションシステムに関する実験の研究

- ・本システムのソフトウェアのプロトタイプとなるべき実験を行うこと。

(4) 無人ヘリを用いたシステム実験

- ・本研究開発のプロトタイプシステムの検証実験を実施する。

### 3-2-2 中間目標

- (1) 基本技術のサブシステム化に関する研究開発
  - ・「シミュレーションシステム」に組み込み可能であること。
- (2) シミュレーションシステムに関する研究開発
  - ・実験用の対象物を観測できるシステムであること。
- (3) シミュレーションシステムに関する実験の研究
  - ・通常の撮影条件下での評価実験を行うこと。
- (4) 無人ヘリを用いたシステム実験
  - ・野外実験の為にシステムを設計すること。

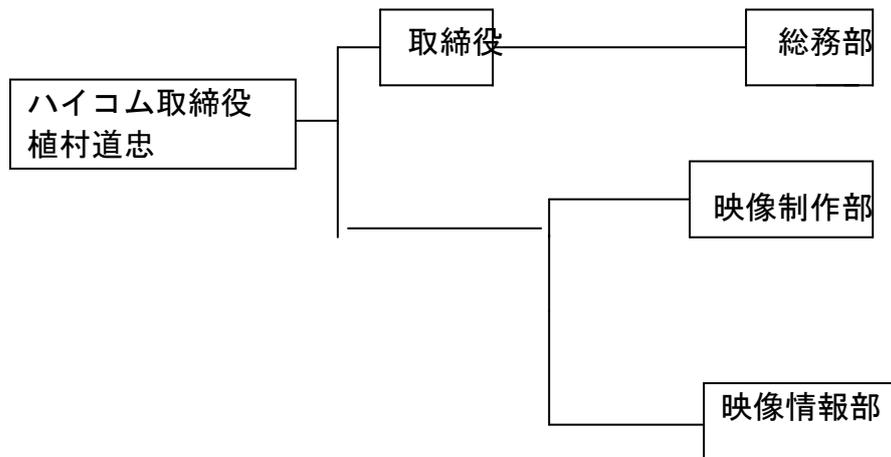
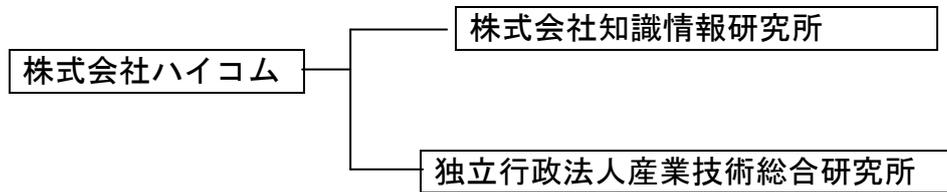
3-3 研究開発の年度別計画

(金額は非公表)

研究開発項目	14年度	15年度	16年度	計	備考
空中撮影データによる地上任意視点の実時間 3次元動画生成システムの研究開発【テーマ】					
(1) 本技術のサブシステム化に関する研究開発【サブテーマ】	→	→	→		(再委託先) 独立行政法人 産業技術総合研究所
(2) シミュレーションシステムに関する研究開発【サブテーマ】	→	→	→		(再委託先) 株式会社 知識情報研究所
(3) シミュレーションシステムに関する実験の研究【サブテーマ】	→	→	→		
(4) 無人ヘリを用いたシステム実験【サブテーマ】			→		

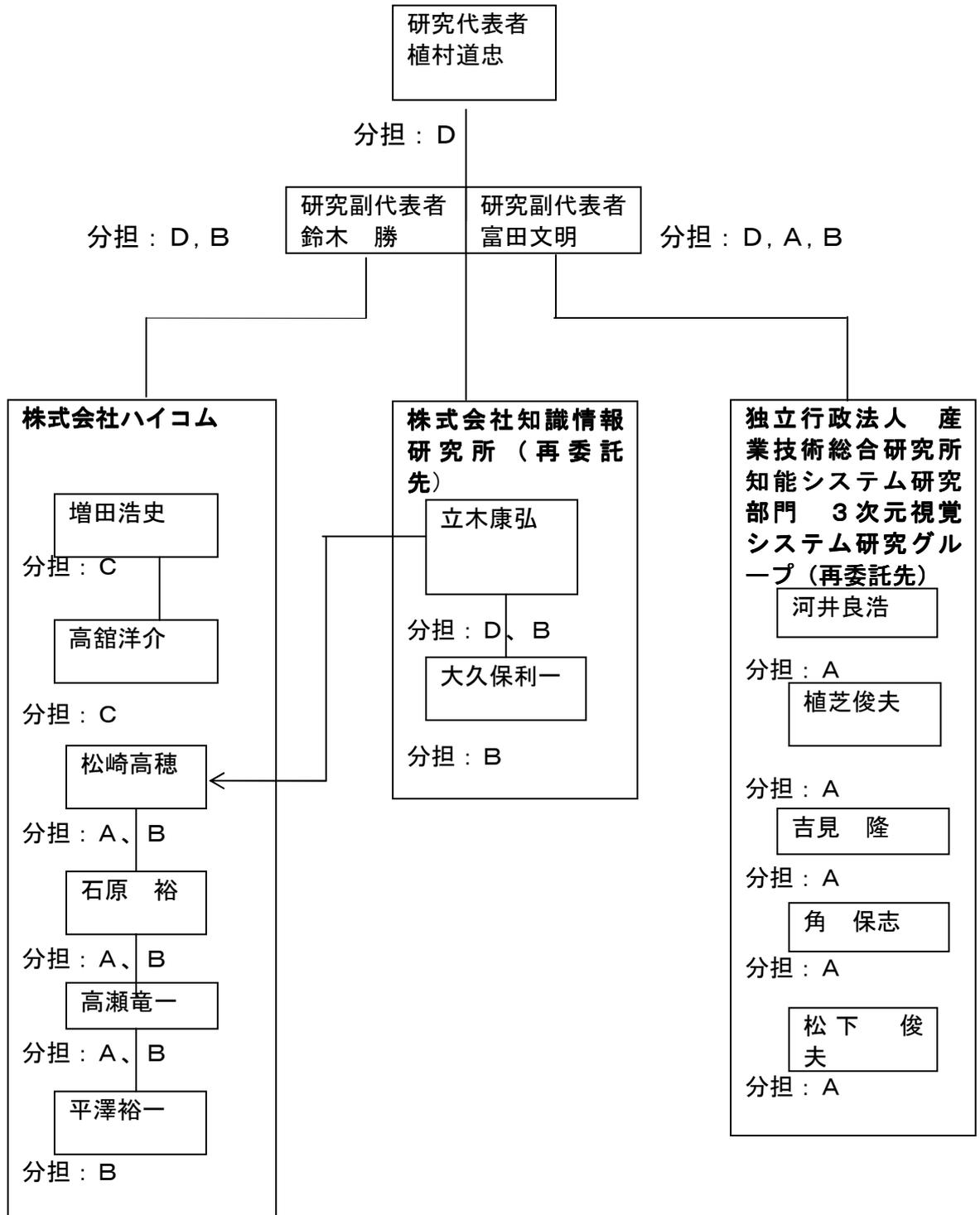
### 3-4 研究開発体制

#### 3-4-1 研究開発管理体制



### 3-4-2 研究開発実施体制

- \* 分担A：基本技術のサブシステム化に関する研究開発
- \* 分担B：シミュレーションシステムに関する研究開発
- \* 分担C：シミュレーションシステムに関する実験の研究
- \* 分担D：研究開発総括



#### 4 研究開発の概要（平成 15 年度まで）

##### 4-1 研究開発実施計画

##### 4-1-1 研究開発の計画内容

###### (A) 平成 14 年度

サブテーマ（１）基本技術のサブシステム化に関する研究開発、（２）屋外シミュレーションシステムに関する研究開発、（３）屋外シミュレーションシステムに関する実験の研究について記述する。

###### (1) 基本技術のサブシステム化に関する研究開発

「実験用シミュレーションシステム」に必要なサブシステムに関する研究開発を行う。具体的には、サブテーマを更に次のサブテーマの細目に分割して、研究開発を行う。

- ア. 多視点画像からのシーン（静止物）の距離計測サブシステムの開発
- イ. シーンの幾何モデル生成サブシステムの開発
- ウ. 部分的幾何モデル統合サブシステムの開発
- エ. テクスチャマッピングサブシステムの開発
- オ. 3次元画像表示サブシステムの開発

###### (2) 屋外シミュレーションシステムに関する研究開発

「(防災用) 空中撮影による地上任意視点の実時間 3次元動画生成システム」のプロトタイプに繋げる核となる「実験用シミュレーションシステム」の研究開発 及び実験環境構築を行う。

サブテーマを更に次のサブテーマの細目に分割して、研究開発を行う。

- ア. 上記（１）の基本技術を統合した実験用システムの開発
- イ. 実験用ハードウェアの構築

###### (3) 屋外シミュレーションシステムに関する実験の研究

屋外シミュレーションシステムによりシミュレーションを行う。

複数の固定カメラで模型被写体を撮影して、3次元映像として画質が良好であることの性能評価実験を行う。実験場としては、(株)ハイコム内で予備実験を行ない、産総研にて、本実験を行う。

サブテーマを更に次のサブテーマの細目に分割して、実験を行う。

- ア. 複数固定カメラ撮影実験
- イ. 3次元映像の品質実験

(B) 平成 15 年度

サブテーマ (1) 基本技術のサブシステム化に関する研究開発、(2) シミュレーションシステムに関する研究開発、(3) シミュレーションシステムに関する実験の研究について記述する。

(1) 基本技術のサブシステム化に関する研究開発

サブテーマを更に次のサブテーマの細目に分割して、研究開発を行い、サブシステムとしての完成度を更に高める。

- ア. 多視点画像からの各視点の相対的位置の計測サブシステムの開発
- イ. 多視点画像からのシーン (静止物) の距離計測サブシステムの開発
- ウ. 多視点画像からの各動物体の抽出と相対的動きの計測サブシステムの開発
- エ. 多視点画像からの動物体の距離計測サブシステムの開発
- オ. シーン/動物体の形状計測とテクスチャマッピングサブシステムの開発
- カ. 3次元地図作成サブシステムの開発
- キ. 対象物 (ターゲット) の認識サブシステムの開発
- ク. 3次元動画表示サブシステムの開発

但し、ウ、エ、オの動物体関連の開発は他の進捗状況次第とする。

参考として、TLSによる走査型空中撮影画像からの距離計測を図示 (図 1 参照) する。

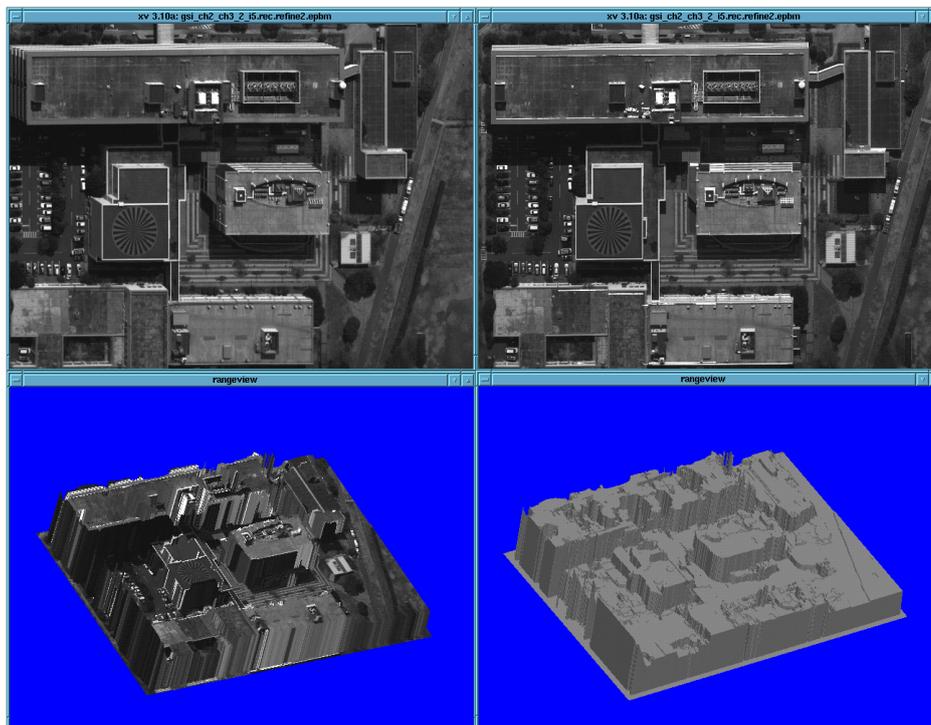


図 1 TLSによる走査型空中撮影画像からの距離計測

## (2) シミュレーションシステムに関する研究開発

基本技術のサブシステムの成果を受けて、平成14年度より更に進んだ「(防災用) 空中撮影による地上任意視点の実時間3次元動画生成システム」のプロトタイプのコアとなる「実験用シミュレーションシステム」の研究開発及び実験環境構築を行う。

「実験用シミュレーションシステム」は当然、被写体の3次元動画に関する位置補正、時間補正、解像度を考慮している。

サブテーマを更に次のサブテーマの細目に分割して、研究開発を行う。

### ア. 飛行体シミュレーションシステムの開発

- ・ 回転舞台 (ターゲットの回転=飛行体の回転移動の模擬)
- ・ クレーン (飛行体の水平移動の模擬)
- ・ 昇降機 (飛行体の垂直移動の模擬)

### イ. 注視用小型アクティブステレオカメラシステムの開発

パン、チルト、輻輳、ズーム、フォーカス、アイリスの制御

飛行体シミュレーションシステムを下図 (図2参照) に示す。

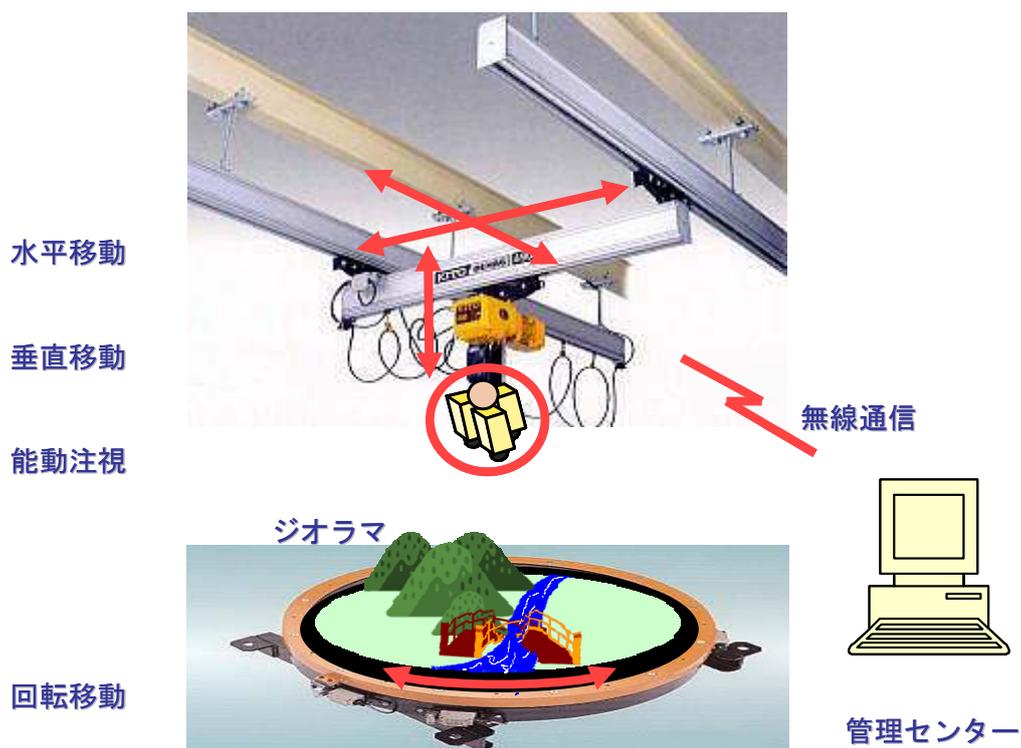


図2 飛行体シミュレーションシステム

(3) シミュレーションシステムに関する実験の研究

実験用シミュレーションシステムシステムによりシミュレーションを行う。

サブテーマを更に次のサブテーマの細目に分割して、実験の研究を行う。

ア. 注視システムの開発

- ・ターゲットを注視するための移動制御法、カメラ制御法の開発
- ・カメラの移動パラメータの推定法（セルフキャブレーション）の開発
- ・輻輳、ズーム等によるカメラパラメータの誤差の補正法（セルフアジャストメント）の開発

イ. 視点の異なる部分データの統合法の開発

実際の視点の異なる部分的3次元距離データの重ね合わせを下図（図③参照）に示す。

ウ. 赤外ステレオカメラシステムによる3次元表面温度分布の計測法の開発

エ. 基準データ（モデル）に基づく観測データの変化の検出法の開発

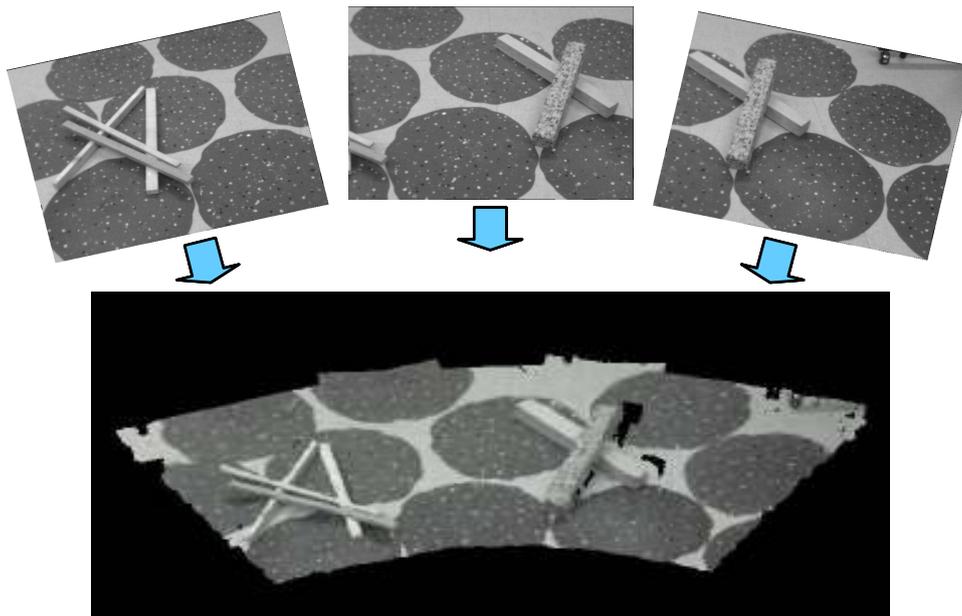


図3 視点の異なる部分的3次元距離データの重ね合わせ

4-1-2 研究開発課題実施計画

(A) 平成14年度

(金額は非公表)

研究開発項目	第3四半期	第4四半期	計	備考
空中撮影データによる地上任意視点の実時間3次元動画生成システムの研究開発【テーマ】				
(1) 基本技術のサブシステム化に関する研究開発【サブテーマ】	→	→		<ul style="list-style-type: none"> <li>・メイン (再委託先) 独立行政法人 産業技術総合研究所</li> <li>・サブ (再委託先) 株式会社 知識情報研究所</li> </ul>
(2) 屋外シミュレーションシステムに関する研究開発【サブテーマ】	→	→		<ul style="list-style-type: none"> <li>・メイン (再委託先) 株式会社 知識情報研究所</li> <li>・サブ 株式会社 ハイコム</li> </ul>
(3) 屋外シミュレーションシステムに関する実験の研究【サブテーマ】	→	→		株式会社 ハイコム

(B) 平成 15 年度

(金額は非公表)

研究開発項目	第 1 四半期	第 2 四半期	第 3 四半期	第 4 四半期	計	備 考
空中撮影データによる地上任意視点の実時間 3次元動画生成システムの研究開発【テーマ】						
(1) 基本技術のサブシステム化に関する研究開発【サブテーマ】	→	→	→	→		(再委託先) 独立行政法人 産業技術総合研究所
(2) シミュレーションシステムに関する研究開発【サブテーマ】	→	→	→	→		(再委託先) 株式会社 知識情報研究所
(3) シミュレーションシステムに関する実験の研究【サブテーマ】	→	→	→	→		

4-2 研究開発の実施内容  
 (A) 平成 14 年度

14年度における研究開発の内容(計画)	14年度に実施した研究開発内容
<p>(1) 基本技術のサブシステム化に関する研究開発【サブテーマ】</p> <p>「実験用シミュレーションシステム」に必要なサブシステムに関する研究開発を行う。</p> <p>ア. 多視点画像からのシーン(静止物)の距離計測サブシステムの開発【サブテーマの細目】</p> <p>イ. シーンの幾何モデル生成サブシステムの開発【サブテーマの細目】</p> <p>ウ. 部分的幾何モデル統合サブシステムの開発【サブテーマの細目】</p> <p>エ. テクスチャマッピングサブシステムの開発【サブテーマの細目】</p> <p>オ. 3次元画像表示サブシステムの開発【サブテーマの細目】</p>	<p>注視型空中撮影による高精度な距離計測を実現する為に必要な機能の改良と増強を図っている。従来の微分エッジに基づくステレオ法に加えて、等輝度線ステレオ法と相関ステレオ法の高性能化によりステレオ法による距離計測の有効性が拡大している。</p> <p>ア. テクスチャ面の距離を高速に計測する再帰相関ステレオ法を開発した。</p> <p>イ. 従来の空間微分法では検出できない輝度変化の緩慢な境界線を、抽出する処理を開発中。</p> <p>ウ. 曲面体を対象として、相対的な移動によって変化する見かけの輪郭線を検出し、逐次的に曲面ネットを生成する処理を開発中。</p> <p>エ. 相関ステレオ法によって生成される距離画像データに画像の輝度情報を付加した。</p> <p>オ. 等輝度線ステレオ法によって生成される多重 B-Rep 距離データを距離画像データにコンパクト化することにより、面パッチによる3次元画像表示を可能とした。</p>
<p>(2) シミュレーションシステムに関する研究開発【サブテーマ】</p>	<p>注視型空中撮影に有効な小型軽量3次元視覚センサーとして、デジタルステレオカメラのドライバーを開発した。また、3次元の距離情報だけでなく、表面温度情報を得る為の赤外線ステレオカメラシステムの開発にも着</p>

<p>「(防災用) 空中撮影による地上任意視点の実時間 3次元動画生成システム」のプロトタイプに繋げる核となる「実験用シミュレーションシステム」の研究開発及び実験環境構築を行う。</p> <p>ア. 上記(1)の基本技術を統合した実験用システムの開発【サブテーマの細目】</p> <p>イ. 実験用ハードウェアの構築【サブテーマの細目】</p>	<p>手した。</p> <p>ア. 空中撮影に標準的に利用するステレオデジタルカメラから同期的時系列ステレオ画像を25フレーム/秒で入力、蓄積するシステムを開発した。</p> <p>イ. 3次元表面温度分布の計測をするための赤外ステレオカメラシステムを開発中。</p>
<p>(3) シミュレーションシステムに関する実験の研究【サブテーマ】</p> <p>シミュレーションシステムによりシミュレーションを行う。複数の固定カメラで模型被写体を撮影して、3次元映像として画質が良好であることの性能評価実験を行う。</p> <p>ア. 複数固定カメラ撮影実験</p> <p>イ. 3次元映像の品質実験</p>	<p>マルチカメラシステムを用いて、多視点から距離データを計測し、統合する予備実験を行っている。また、TLS (Three Line Scanner) による走査型空中撮影ステレオ画像を用いて、通常のカメラを用いる注視型空中撮影による距離計測の予備実験を行っている。</p> <p>ア. 3台×8セットのマルチカメラサークルにより、相関ステレオ法による全方位距離計測の予備実験を行った。</p> <p>イ. 1) 相関ステレオ法によって不可避免的に発生するスパークノイズを、除去する処理を開発した。</p> <p>2) TLS による空中撮影ステレオ画像を用いて、相関ステレオ法による3次元復元の予備実験を行い、通常のカメラによって高精度な距離データを得るために有効な撮影の高度と移動距離の目安を得た。</p>

(B) 平成 15 年度

15年度における研究開発の内容(計画)	15年度に実施した研究開発内容
<p>(1) 基本技術のサブシステム化に関する研究開発【サブテーマ】</p> <p>ア. 多視点画像からの各視点の相対的位置の計測サブシステムの開発【サブテーマの細目】</p> <p>イ. 多視点画像からのシーン(静止物)の距離計測サブシステムの開発【サブテーマの細目】</p> <p>ウ. 多視点画像からの各動物体の抽出と相対的動きの計測サブシステムの開発【サブテーマの細目】</p> <p>エ. 多視点画像からの動物体の距離計測サブシステムの開発【サブテーマの細目】</p> <p>オ. シーン/動物体の形状計測とテクスチャマッピングサブシステムの開発【サブテーマの細目】</p> <p>カ. 3次元地図作成サブシステムの開発【サブテーマの細目】</p>	<p>ア. 対象物との距離を変えた場合の誤差の評価実験を行った(継続中)。</p> <p>イ. 1) テクスチャ面の距離を高速に計測する再帰相関ステレオ法の開発をした。 2) 従来の空間微分法では検出できない輝度変化の緩慢な境界線を、等輝度線に基づいて抽出する処理を開発中。 3) コンピュータ制御のできる回転台を用いて、距離計測実験を行った。 4) また、TLS 空中撮影画像を用いて、誤差評価を行った(継続中)。</p> <p>ウ. 別の課題と置き換えることを検討した。</p> <p>エ. 別の課題と置き換えることを検討した。</p> <p>オ. 1) 相関法によって得られる距離画像に輝度情報を付加するデータ構造を開発した(継続中)。 2) また、曲面体を対象として、相対的な移動によって変化する見かけの輪郭線を検出し、逐次的に曲面ネットを生成する処理に関する研究を行った。 3) 動物体に関しては、別の課題と置き換えることを検討した。</p> <p>カ. 相関法による距離計測に固有のノイズを除去する方法を開発した(継続中)。</p>

<p>目】</p> <p>キ. 対象物（ターゲット）の認識サブシステムの開発【サブテーマの細目】</p> <p>ク. 3次元動画像表示サブシステムの開発【サブテーマの細目】</p> <p>但し、ウ、エ、オの動物体関連の開発は他の進捗状況次第とする。</p>	<p>キ. 来年度の課題とする為の準備を行った。</p> <p>ク. 来年度の課題とする為の準備を行った。</p>
<p>(2) シミュレーションシステムに関する研究開発【サブテーマ】</p> <p>ア. 飛行体シミュレーションシステムの開発【サブテーマの細目】</p> <p>イ. 注視用小型アクティブステレオカメラシステムの開発【サブテーマの細目】</p>	<p>ア. 1)回転舞台（ターゲットの回転＝飛行体の回転移動の模擬）、クレーン（飛行体の水平移動の模擬）、昇降機（飛行体の垂直移動の模擬）を行うシステムを開発した。</p> <p>2)また、来年度の課題予定である『無線通信管理システム』については、検討の結果、前倒しして、行うべきとの見方が強かったので、空中撮影において飛行体から地上へのデータ送受信する方法として、空中撮影に標準的に利用する3眼ステレオデジタルカメラから、同期的時系列ステレオ画像を無線 LAN を用いてデータを送受信する実験システムを開発した(継続中)。</p> <p>3)更に [GPS システム] に関して空中撮影時において、飛行体の位置を GPS から検出するシリアル通信ドライバを開発した。</p> <p>イ. 小型ズームレンズとパン・チルト機構を設計・製作した。</p>
<p>(3) シミュレーションシステムに関する実験の研究</p>	

<b>【サブテーマ】</b>	
<p>ア. 注視システムの開発【サブテーマの細目】</p>	<p>ア. ターゲットを注視するための移動制御法、カメラ制御法の開発を行った(継続中)。</p>
<p>イ. 視点の異なる部分データの統合法の開発【サブテーマの細目】</p>	<p>イ. 視点間の移動が既知の場合の(相関法による)距離画像を統合する方法を開発した上で、統合の実験を行った。</p>
<p>ウ. 赤外ステレオカメラシステムによる3次元表面温度分布の計測法の開発【サブテーマの細目】</p>	<p>ウ. 2台のサーモカメラによる距離計測に必要なカメラキャリブレーション法と輝度補正法を開発した上で実験を行った。</p>
<p>エ. 基準データ(モデル)に基づく観測データの変化の検出法の開発【サブテーマの細目】</p>	<p>エ. 来年度の課題とする為の準備を行った。</p>

## 5 研究開発実施状況（平成 15 年度）

### 5-1 基本技術のサブシステム化に関する研究開発【サブテーマ】

#### 5-1-1 序論

本サブテーマの研究開発全体からみた位置づけは、本研究開発に関連する基礎研究の結果、或いは基礎研究の中途段階の成果を得ることと、これらの結果或いは成果に、必要に応じてソフトとしてのサブシステム機能を持たせることの研究を行い、基本技術を確立するということにある。

注視型空中撮影による高精度な距離計測を実現するのに必要な機能の改良と増強を昨年に較べ更に強化した。例えば、従来の微分エッジに基づくステレオ法に加えて、等輝度線ステレオ法と相関ステレオ法の高性能化によりステレオ法による距離計測の有効性を更に拡大した。

#### 5-1-2 多視点画像からのシーンの距離計測サブシステムの開発【サブテーマの細目】

対象物との距離を変えた場合の誤差の評価実験を行った（継続中）。

#### 5-1-3 シーンの幾何モデル生成サブシステムの開発【サブテーマの細目】

従来の空間微分法では検出できない輝度変化の緩慢な境界線を、抽出する処理を開発中。

コンピュータ制御のできる回転台を用いて、距離計測実験を行った。

また、TLS 空中撮影画像を用いて、誤差評価を行った（継続中）。

以上の「5-1-2 多視点画像からのシーンの距離計測サブシステムの開発」及び「5-1-3 シーンの幾何モデル生成サブシステムの開発」の項目に関する現時点に於ける具体的に示せる成果について述べる。

[セルフキャリブレーション (SSS-to-LSS)]

(A) システム構成 (実装部と未実装部)

(B) 実装と成果

(C) ステレオ対応のデータ

(D) 今後の課題

セルフアジャストメントを施し、更に高精度でステレオ対応を行う。

上記(A)～(D)は、15年度上期(4月～9月)の報告である。  
引き続き、下期(10月～3月)の報告を(E)～(G)として行う。

(E)画像に対するセルフアジャストメント部の実装

① 更に高精度にステレオを行うにはわずかにずれたピンホールパラメータを補正する必要がある。これをセルフアジャストメントと呼ばれる方法で実装した。

この方法を使うためには、画像ペア間の特徴点の対応を求める必要がある。

ここではステレオ対応探索を用いて、ピンホールパラメータがわずかにずれた状態でも有効にセグメント間の対応がとれることを利用していることが重要である。

セグメント間の対応から対応点探索によって頂点間の対応をとることは容易である。

今回は図6-1の点線部のように対応点の情報を使ってピンホールパラメータを補正する処理部を実装した。

これにより、わずかにずれていたピンホールパラメータを補正した補正を得ることができ、この補正によってより高精度での3次元復元が可能となる。この実装の有効性を見るため、②に実験結果を示す。

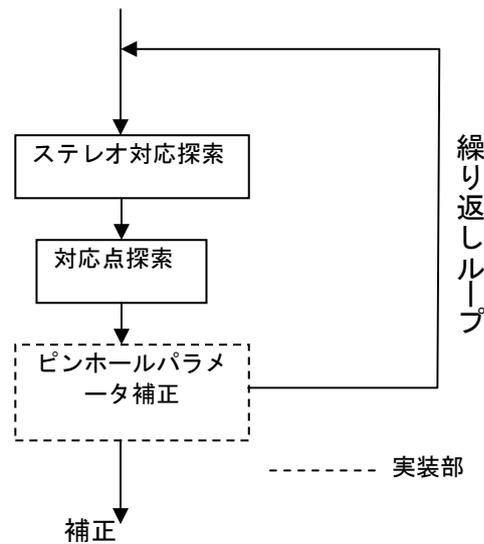


図6-1 セルフアジャストメント部の内部構成

②セルフアジャストメントの有効性を示す実験

以下の図6-2は、キューブ型積み木を使用したとき 3 眼の原画像である。

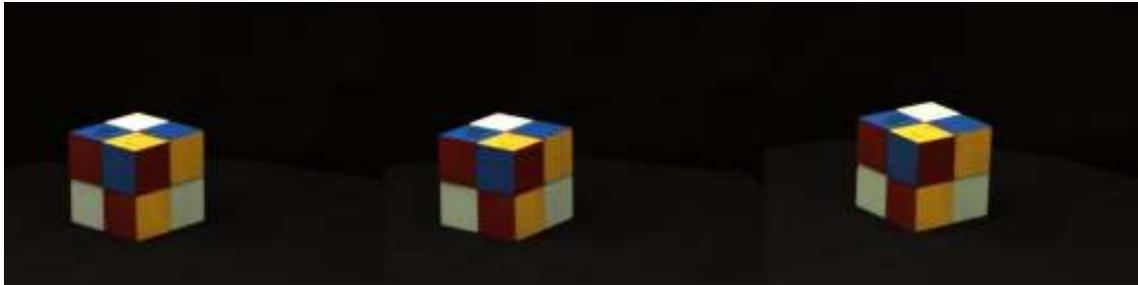


図6-2 3眼の原画像

これをセルフアジャストメントにかけずに、そのまま 3 次元復元するとピンホールパラメータがずれているため、図6-3のようにステレオ対応の結果が拙く、正確に復元されない結果となる。

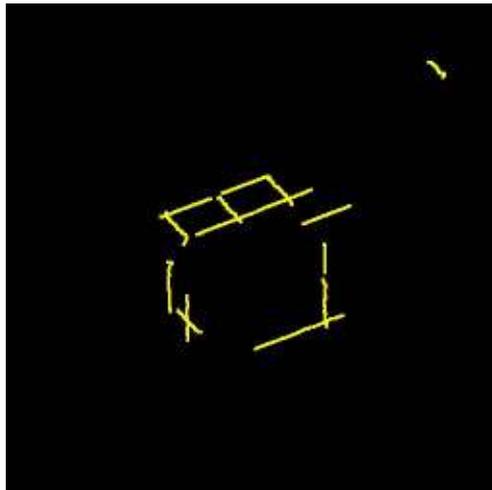


図6-3 セルフアジャスト前(鳥瞰図)のデータ

次に、これをセルフアジャストにかけ、補正を得た場合には、ピンホールパラメータが正確となるため、ステレオ対応の結果が良好となり、3次元復元結果は良好である。(図6-4、図6-5参照)

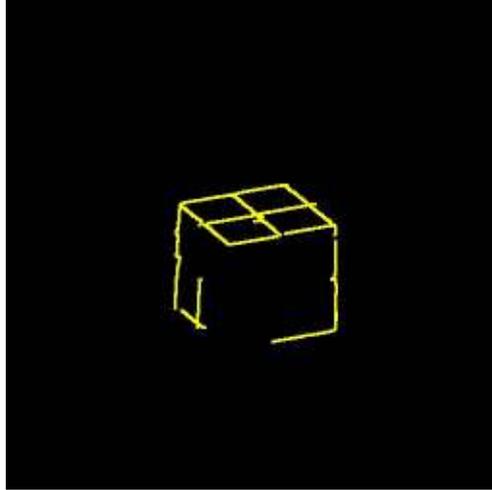


図6-4 セルフアジャスト後(鳥瞰図)の補正データ

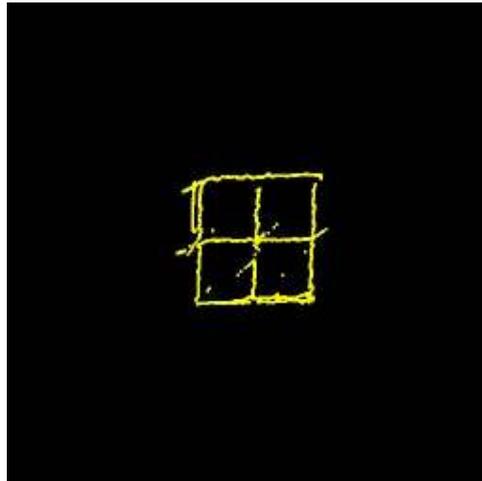


図6-5 セルフアジャスト後(上面図)の補正データ

(F) これまでの構成のまとめと問題点

実際のより複雑な画像に応用した場合の問題点を示す。

①全体構成

②問題点

積み木のような簡単な物体のみであれば、本方法によるセルフキャリブレーションは有効であることが確かめられたが、より実際に近い建物のモデルのような複雑な物体がある場合は、次のいくつかの問題が生じる。

ア. 物体が複雑になるほど、ステレオ対応探索において誤対応を起こす割合が増加する。

イ. セルフアジャストメントにおける誤対応除去(図5-1参照)によって、大きい誤対応は除去できるが、小さい誤対応は除去できない。

例えば、図7-2~7-4の家のモデルでは、窓の縁にある対応番号 7,8 の点が誤対応を起こしている。

(図7-2で窓の左端に位置する 7 番が、図7-3,7-4では窓の中央に位置する 7 番に対応し、図7-2で窓の中央に位置する 8 番が、図7-3,7-4では窓の右端に位置する 8 番に対応している。)

ウ. セルフアジャストメントにおいて BREP 化とステレオ対応処理を繰り返すので、物体の複雑度によって処理に最大数十秒の処理時間を要する。

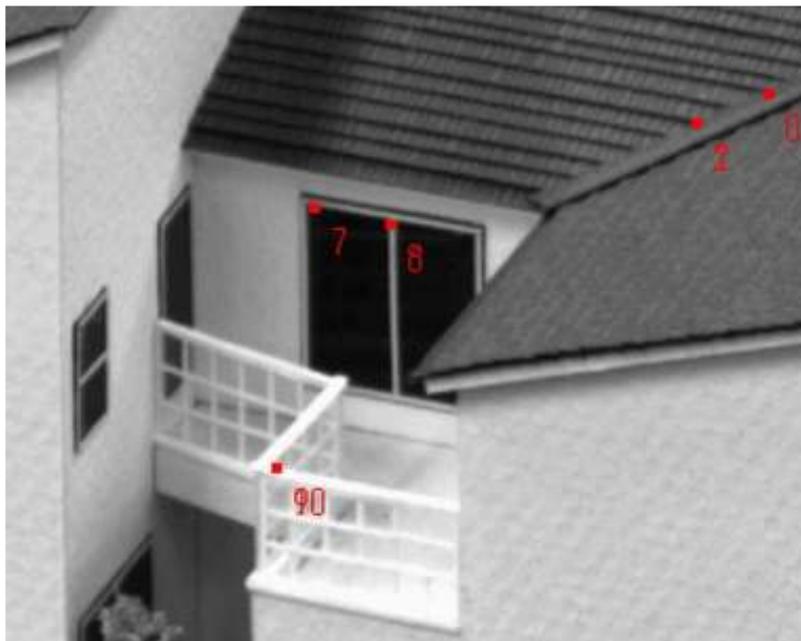


図7-2 左原画像 7,8 番が窓左上

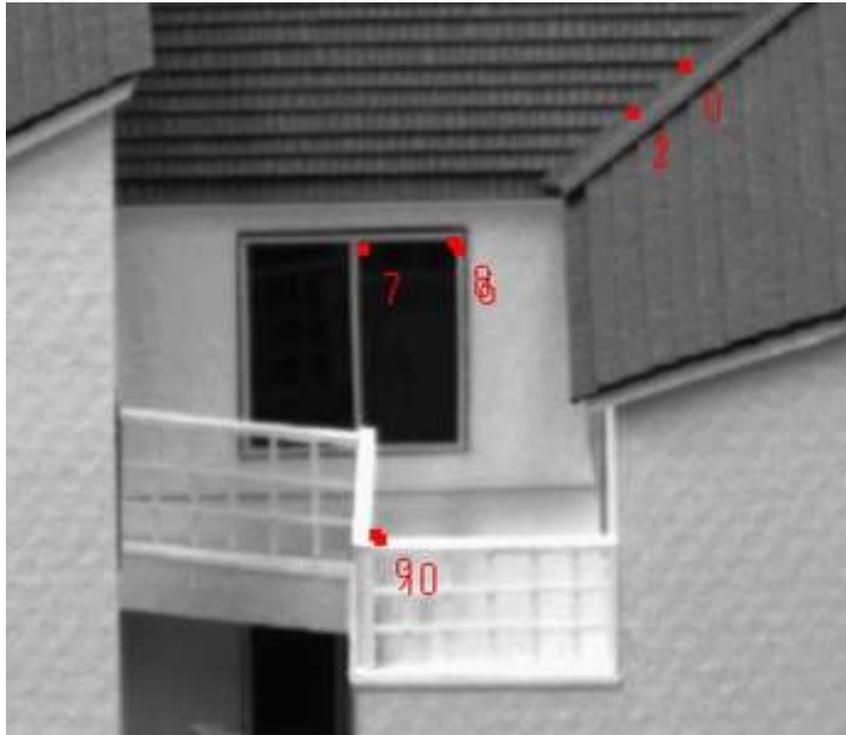


図 7 - 3 右原画像 7,8 番が窓右上

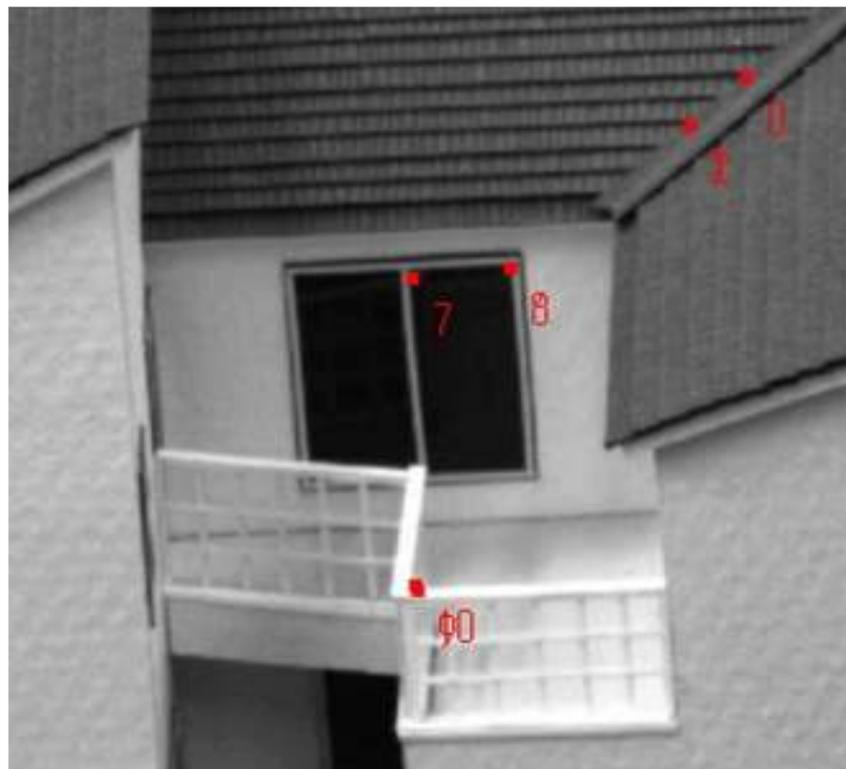


図 7 - 4 中央原画像 7,8 番が窓右上

(G) 今後の課題

上記問題点ア、イ、ウを同時に解決するために、対応点探索処理として照合処理を利用することが重要である。

これは、照合によって誤対応を削減でき、また、BREP 化とステレオ対応探索の繰り返し処理を省略できるので高速化が可能となるためである。

現在、照合を利用してモデル頂点に対応するデータ頂点を探索する処理を実装中である。これが完了すれば、最終的に全体構成が簡略化され、問題点ア、イ、ウが改善できる見込みである。

5-1-4 多視点画像からの各動物体の抽出と相対的動きの計測サブシステムの開発【サブテーマの細目】

検討の結果、本サブテーマの細目は、来年度以降、サブテーマ：(4) 無人ヘリを用いたシステム実験のサブテーマの細目；ア. ターゲットの指示及びイ. ターゲットを注視するための移動制御、カメラ制御と置き換える。

5-1-5 多視点画像からの動物体の距離計測サブシステムの開発【サブテーマの細目】

検討の結果、本サブテーマの細目は、来年度以降、サブテーマ：(4) 無人ヘリを用いたシステム実験のサブテーマの細目；ウ. 視点の異なる部分データの統合と置き換える。

#### 5-1-6 シーン／動物体の形状計測とテクスチャマッピングサブシステムの開発【サブテーマの細目】

相関法によって得られる距離画像に輝度情報を付加するデータ構造を開発している（継続中）。

また、曲面体を対象として、相対的な移動によって変化する見かけの輪郭線を検出し、逐次的に曲面ネットを生成する処理に関する研究を行い、この基本技術の開発を行っている。

検討の結果、本サブテーマの細目の内、動物体に関しては、来年度以降、サブテーマ：（４）無人ヘリを用いたシステム実験のサブテーマの細目；エ．基準データ（モデル）に基づくターゲットの変化検出と置き換える。

次に具体的に示せる成果について述べる。

#### [曲面の表現と照合]

##### ・ 2次曲面データ作成

曲面の表現と照合するプログラムのための検証用の2次曲面データを作成した。

作成できるデータは、カメラから2m先の50cmの大きさを対象とし、512×512の大きさである。カメラが平行移動して取得したデータを作成した。

次に得られたデータを成果として、表2に示す。

楕円面	(図9-1参照)
楕円放物面	(図9-2参照)
双曲放物面	(図9-3参照)
一葉双曲面	(図9-4参照)
二葉双曲面	(図9-5参照)
円柱面	(図9-6参照)
円錐面	(図9-7参照)
双曲柱面	(図9-8参照)
放物柱面	(図9-9参照)

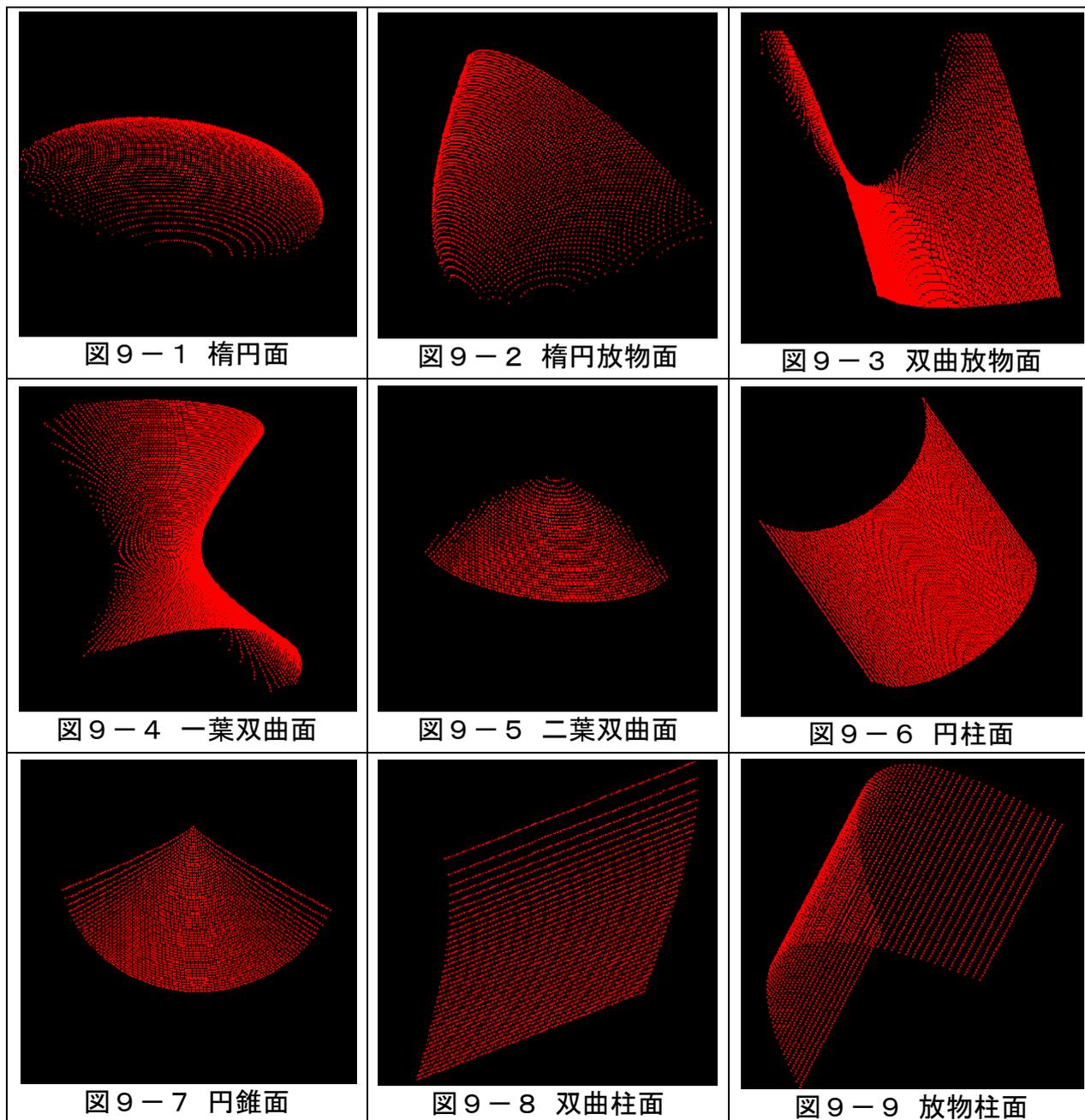


表 2 作成できる 2 次曲面

### 1) 2 次曲面サンプルデータ作成ツール機能追加

2 次曲面の表現と照合を行うプログラムの検証のためのサンプルのレンジデータを作成するツールの機能追加を行った。

2 次曲面のサンプルは、楕円面、楕円放物面、双曲放物面、1 葉双曲面、2 葉双曲面のデータに加え、円柱面、円錐面、双曲柱面、放物柱面が作成できるようにした。

さらに、 $x$ 、 $y$ 、 $z$  軸に対する平行移動、回転移動による任意視点からのデータ作成を可能にしました。

## 2) 法線ベクトル計算プログラムの検証

サンプルデータを使って、法線ベクトル計算プログラムの検証を行った。

計算した結果を表示プログラムで表示した図を図10に示す。

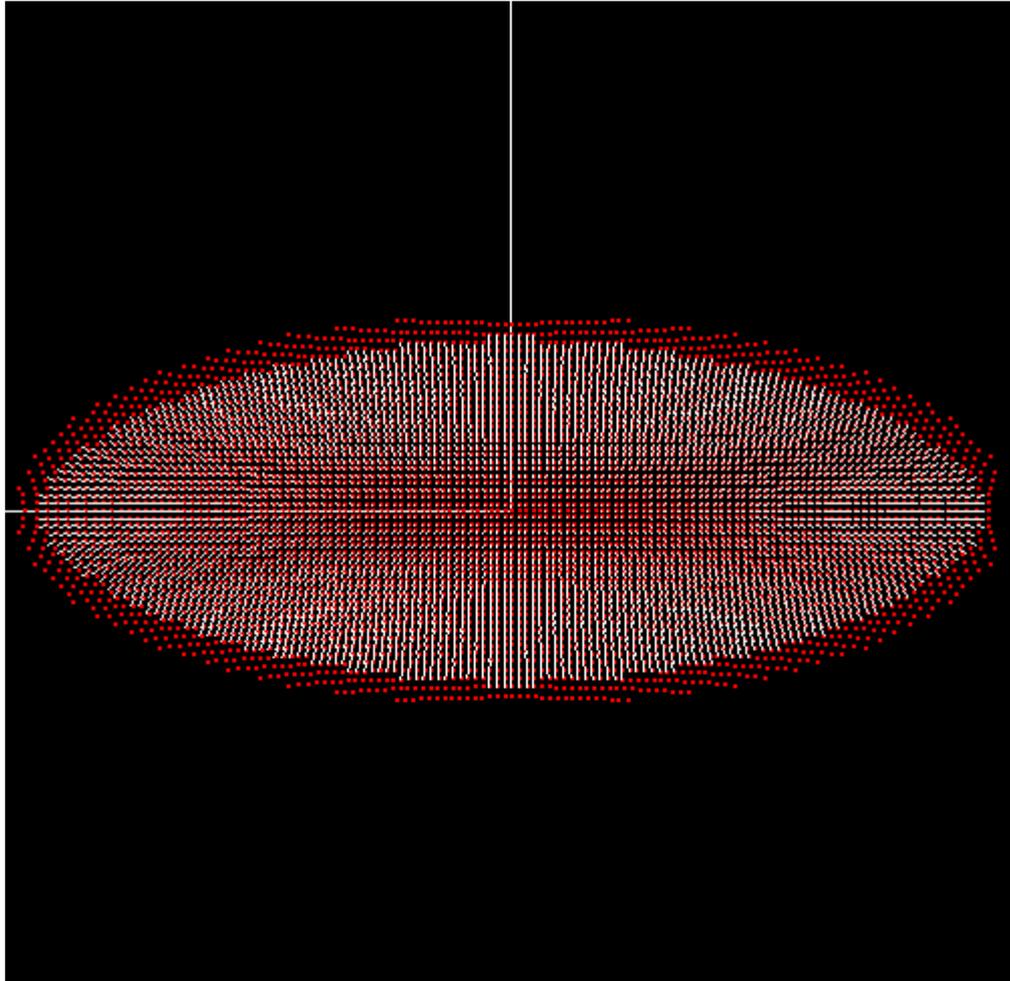


図10 法線ベクトル

### 5-1-7 3次元地図作成サブシステムの開発【サブテーマの細目】

相関法による距離計測に固有のノイズを除去する方法を開発している(継続中)。

次に具体的に示せる成果について述べる。

[相関ステレオの改良]

- ・最適な相関値の探索範囲を拡大する

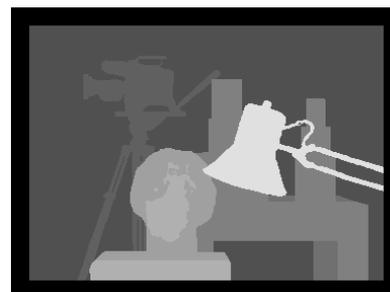
相関ステレオ法による距離計測において、距離が大きく変わり奥行きが連続しない箇所では、よりテクスチャの強い(模様のはっきりしている)

側へ奥行きがかたよる誤差が現れる。この誤差を軽減した。

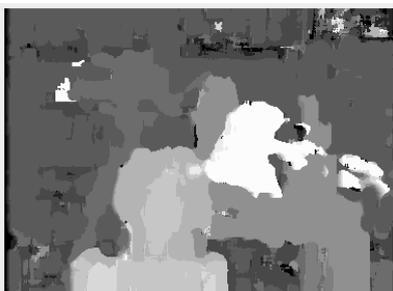
図11の a はステレオマッチングの結果の評価に標準的に利用されているステレオ画像である。b はその期待される計算結果（視差）を画像にしたものがある。そして、作成したプログラムによる視差の計算結果は c, d, e であり、結果が改善されている。図12に別な画像による3次元データの計算結果を示す。、手首付近の誤差が改善されている。



a. ステレオ画像



b. 期待される視差の計算結果  
(近い場所ほど明るく、遠い場所は暗い)



c. 通常の照明による視差の計算結果  
bad pixels : 10.14 %  
(期待されない計算結果の画素数の割合)



d. bad pixels : 9.51 %

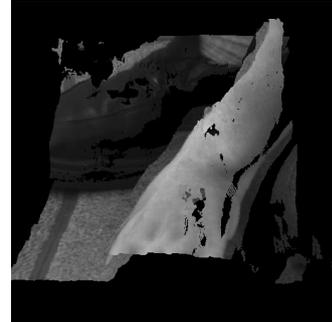


e. bad pixels : 9.45 %

図11比較



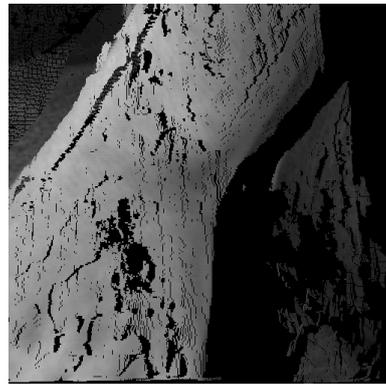
a. 手足を写したステレオ画像



b. 距離画像（通常の探索）  
a より作成した 3 次元データ



c. 通常の探索による結果  
(b の一部を拡大)



d. 適用した結果

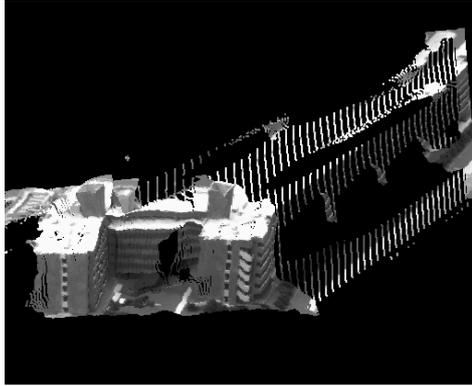
図 1 2 探索範囲を拡げた効果

- ・ 画像の端に生じる階段状のノイズを消す

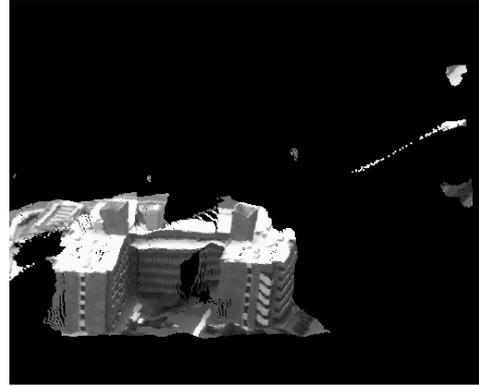
左画像のある画素に対する右画像の真の対応点が、右画像の外に存在する場合（あるいは逆に右の画素への対応点が左画像内に無い場合）に、その画素で算出された相関値は不適切な値になる場合が多い。これによる誤差は、画像の端に近づくにつれて対象までの距離が奥から手前へ近づく、階段状のノイズになって現れる。

このノイズが発生させる原因は、対応点が画像外にあるとき、画像端のすぐ内側に偽りの対応点を作ってしまう相関の極小値である。この極小値を採用すると予想される画素について、その奥行きを無効な値と置き換えて結果から排除するフィルタ機能を追加した。

図13にこのフィルタを適用した結果を示す。図左側の画像では、建物の右奥が画面端に接して対応点が片方の画像の外にあるため、崖のようなノイズが現れている。図右側では、フィルタが適用され、このノイズがほとんど削除されている。



a. 画像端に現れた階段状のノイズ



b. aにフィルタを適用した結果

図 1 3 階段状のノイズを消すフィルタ

以上が「[相関ステレオの改良]」に関して上期（4月～9月）に行ったことの報告であるが、引き続き下期（10月～3月）に行ったことを報告する。

- ・ マスク処理の改良

- 開発した相関ステレオのマスク処理について、改良を加えた。

5-1-8 対象物（ターゲット）の認識サブシステムの開発【サブテーマの細目】

来年度以降の課題としている。

5-1-9 3次元動画像表示サブシステムの開発【サブテーマの細目】

来年度以降の課題としている。

5-1-10 まとめ

多視点画像からのシーンの距離計測サブシステムの開発【サブテーマの細目】、シーンの幾何モデル生成サブシステムの開発【サブテーマの細目】、シーンの形状計測とテクスチャマッピングサブシステムの開発【サブテーマの細目】、3次元地図作成サブシステムの開発【サブテーマの細目】は、来年度は更に完成度をあげる事となるが、来年度の新たな課題として、対象物（ターゲット）の認識サブシステムの開発【サブテーマの細目】、3次元動画像表示サブシステムの開発【サブテーマの細目】がある。

これらの【サブテーマの細目】の課題を解決すべく、来年度は飛行体シミュレーションシステム、及び無人ヘリを用いたシステムより得られる空中撮影データを基にして、ほぼ実時間で任意視点からの3次元動画を生成する為の基本技術の研究開発を終了する予定である。

## 5-2 シミュレーションシステムに関する研究開発【サブテーマ】

### 5-2-1 序論

本サブテーマの研究開発全体からみた位置づけは、基本技術を基に、「(防災用) 空中撮影による地上任意視点の実時間 3 次元動画生成システム」の、プロトタイプの核に繋げる「実験用シミュレーションシステム」の研究開発及び実験環境構築を行うことにある。

本サブテーマの研究において、注視型空中撮影に有効な小型軽量 3 次元視覚センサーとして、デジタルステレオカメラシステムを開発した。また、センサーとして、3 次元の距離情報だけでなく、表面温度情報を得る為のサーモ（赤外線）ステレオカメラシステムの開発を行い終了した。

サブテーマを更に次の細目に分割して研究しているので、サブテーマの細目毎の成果について述べる。

### 5-2-2 飛行体シミュレーションシステムの開発【サブテーマの細目】

- ・回転舞台（ターゲットの回転＝飛行体の回転移動の模擬）
- ・クレーン（飛行体の水平移動の模擬）
- ・昇降機（飛行体の垂直移動の模擬）

のハードに関しては、設置済みである。

回転舞台、クレーン、昇降機各機能の仕様検討をした上でのシステム（図 2 参照）を開発している（継続中）。

空中撮影シミュレーションにおいて回転による多視点からの撮影を行うための、大型のターンテーブルを制御するプログラムを開発した。

このターンテーブルは、直径が 1.8m あり、重さ 2 トンまでの模型を、 $\pm 0.1$  度の精度で回転させることができる（図 17-1、図 17-2 参照）。

必要とされるターンテーブルの操作は全て、PC から開発したプログラムによって行うことができる。

なお、ターンテーブルには緊急時のための非常停止ボタンと、手でターンテーブルを操作するための操作盤が備えられている（図 17-3 参照）。

プログラムの開発はハードウェアの制御に関する部分を実装し、プログラムを実行するためのインターフェースは、既に多視点からの撮影を実現している小型のターンテーブルの制御プログラムと同一になるよう実現した。



図 17-1 ターンテーブルの外観



図 17-2 ターンテーブル制御盤



図 1 7 - 3 机上操作盤（中央）および非常停止ボタン（右下）

以下にこのターンテーブルの制御によって可能になった、大型の被写体（建築模型）の多視点撮影の実例を示す。

図17-4は、2つの視点から撮影し、セグメントベースステレオによって作成されたモデルを統合した結果である。

被写体の建築模型はターンテーブル上に載せられており、視点1から視点2へ時計回りに90度回転させている。

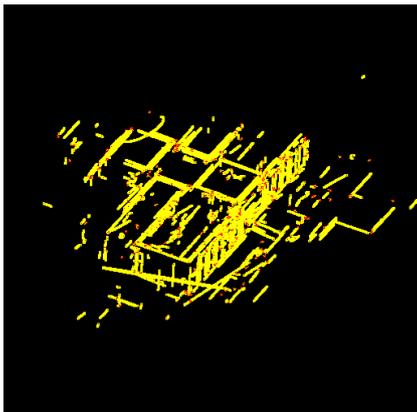
図の上段(a)左側は視点1の模型のステレオ画像、同じく右側はそのセグメントベースステレオの結果である。



a. 視点1のステレオ画像とセグメントベースステレオの結果



b. 視点2（90度回転）のステレオ画像とセグメントベースステレオの結果



c. 視点1と視点2の結果を統合したモデル

図17-4 2視点のステレオと結果の統合

同様に、中段(b)の左側が視点2（90度回転）のステレオ画像、右側がセグメントベースステレオの結果である。

下段(c)の画像は、2つの結果を統合して作成されたモデルデータである。

ここでターンテーブルを使って行った多視点データの統合は、カメラの位置を固定して撮影し、回転した角度が既知（この場合は90度）の対象に限った方法である。

なお、データの統合は2視点のみに限らず、異なる視点から撮影した結果を順次追加することが可能である（図17-5 参照）。



a. 視点3（180度回転）のステレオ画像と視点1～3の結果の統合



b. 視点4（270度回転）のステレオ画像と視点1～4の結果の統合

図17-5 多視点のデータの統合

次に「無線通信」に関する具体的成果について述べる。  
この課題については、来年度の課題を前倒しして、行った。

#### [無線通信管理システム]

空中撮影において飛行体から地上へのデータ送受信する方法として、空中撮影に標準的に利用する3眼ステレオデジタルカメラから、同期的時系列ステレオ画像を無線LANを用いてデータを送受信する実験システムを開発した。

実験システムの構成を図10に示す。  
転送した撮影画像を図11から図13に示す。



図18 実験システムの構成

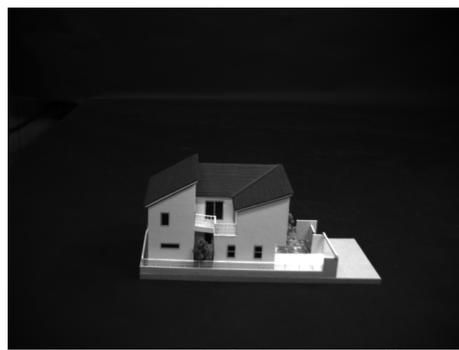


図19 中央カメラ画像



図20 左カメラ画像

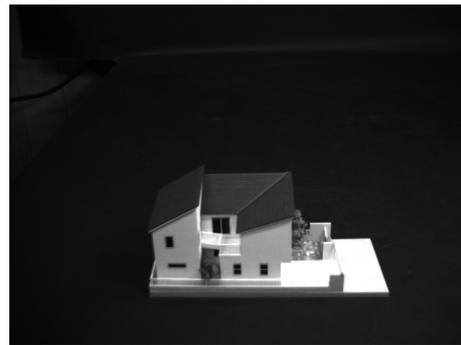


図21 右カメラ画像

- ・無線LAN  
平成14年度の調査結果を踏まえて、無線通信には以下の無線LANを利用した。  
無線LANの仕様は以下の通りである。(表4-1)

アンテナタイプ	ダイバシティアンテナ
周波数帯域	【IEEE802.11g】 2.412GHz~2.472GHz (中心周波数表示) 【IEEE802.11b】 2.412GHz~2.484GHz (中心周波数表示)
チャンネル数	【IEEE802.11g】 13ch 【IEEE802.11b】 14ch
伝送方式	DS-SS (直接拡散スペクトラム拡散方式) OFDM (直交周波数分割多重変調方式)
伝送速度	54/48/36/24/18/12/9/6Mbps (IEEE802.11g通信時) 11/5.5/2/1Mbps (IEEE802.11b通信時)
伝送距離	屋内100m/屋外300m (54Mbps時: 屋内30m/屋外40m) ※外部ユニットにより数kmも可能。
セキュリティ	ESSID (IEEE802.11: ID(文字列)による識別) WEP (IEEE802.11: 64/128bitの鍵による暗号化) WPA PSK (パーソナル) AES (WPAの設定内に含む)
インタフェース	PCカードスロット TypeII

表4-1 無線LAN仕様

- ・無線LANドライバ  
本実験で使用した無線LANは、Linux用に提供されているドライバで動作しないため、ドライバを修正した。
- ・転送速度  
転送速度の測定には、133MBのファイルをFTP転送で転送し、コマンドプロンプトにて表示された速度を表4-2に示す。  
(1) FTPサーバには、ProFTPD  
(2) セキュリティは、128bitのWEP暗号化  
(3) IEEE802.11g通信 (54Mbps)

距離	上り (飛行体側 ⇒ 地上側)	下り (地上側 ⇒ 飛行体側)
屋内 1~10m	1.6Mbps	2.4Mbps

表4-2 転送速度

なお、上りと下りの転送速度の違いは、利用したPCのスペックによるものである。

- ・ 実験システム  
空中撮影に標準的に利用する3眼ステレオデジタルカメラから、同期的時系列ステレオ画像を無線LANを用いてデータを送受信する実験システムをWindows上で開発した。  
実験システムを図22に示す。  
Linux版は開発中である。



図22 実験システム

- (1)サーバ起動 サーバとの通信を開始する。
- (2)データ送信開始 サーバへデータ受信要求を送信する。
- (3)データ送信停止 サーバへデータ送信停止要求を送信する。
- (4)切断処理 サーバとの通信を切断する。

#### [GPS システム]

空中撮影時において、飛行体の位置を測定することは重要なことであり、位置検出には GPS が使われる。現在、GPS の主な民生市場は、自動車、船舶、地理計測分野であり、航空機は市場が狭いこともあって、一般に市販されている安価なシステムはないようである。GPS の種類としては、

- ・ GPS

誤差は 10 m 程度

- ・ DGPS (ディファレンシアル GPS)

誤差は 1 m 程度

- ・ RTK-GPS (リアルタイムキネマティック-GPS)

誤差は 10 cm 程度、設置運用面に難

- ・ WAAS (Wide Area Augmentation)

誤差は数 m 程度、高価

本研究開発で使用する GPS を精度、計測頻度、重さ、アンテナの種類とサイズ、価格、運用面などから比較して、DGPS を最も有望と判断した。

飛行体の位置を検出する GPS システムを構築し位置情報取得用のシリアル通信ドライバーを開発した。GSP の仕様を以下に示す。(表 4-3)

## 受信機

GPS 部	
周波数	1.575GHz
受信チャンネル	12 チャンネル、L1・C/A コード
精度	1mRMS
ビーコン部	
周波数帯	283.5~325kHz
チャンネル数	2
取得時間	1 秒以下
周波数選択	マニュアル、もしくはオート
周波数選択周波数間隔	±5Hz
ダイナミックレンジ	100db
デコード	RTCM6/8
復調方式	MSK 方式
諸般	
インターフェース	RS-232C、RS-422
コネクタ	9 ピンメス
ボーレート	2400、4800、9600bps
データ出力フォーマット	RTCM SC-104、NMEA0183
データ入力プロトコル	NMEA0183
最短データ更新間隔	0.2 秒
電圧	9~40VDC
消費電力	4.8W 以下
アンテナコネクタ	BNC ソケット
保存温度	-40°C~+80°C
動作温度	-30°C~+70°C
湿度	95%
寸法	135 (W) × 163 (D) × 51 (H) mm
重量	0.64kg

## アンテナ

諸般	
ビーコン周波数帯	283.5~325kHz
プリアンプ	低ノイズ増幅器
GPS 周波数	1.575GHz (L1)
入力電圧	4.9~13VDC
入力電流	50~60mA
材質	PVC プラスティック
アンテナコネクタ	TNC-S
保存温度	-40°C~+80°C
動作温度	-30°C~+70°C
湿度	100%
寸法	128 (W) × 128 (D) × 84 (H) mm
重量	450g

表 4 - 3 GPS 仕様

・ GPS システム構成図

GPS システム構成と GPS システムを図 2 3、図 2 4 に示す。

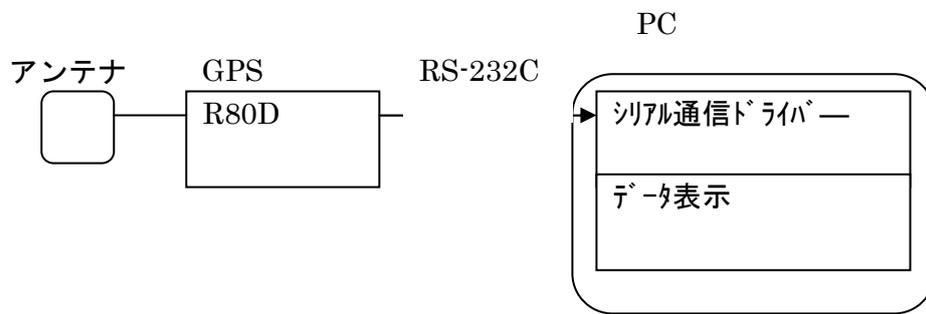


図 2 3 GPS システム構成



図 2 4 GPS システム

・シリアル通信ドライバー

飛行体の位置を 20 ミリ秒間隔で GPS から取得するシリアル通信ドライバーを以下の通信条件により開発した。GPS から取得した位置データを図 25 に示す。

取得した位置データを空中撮影で撮影したステレオ画像に組み込む処理を開発する予定である。

【通信条件】

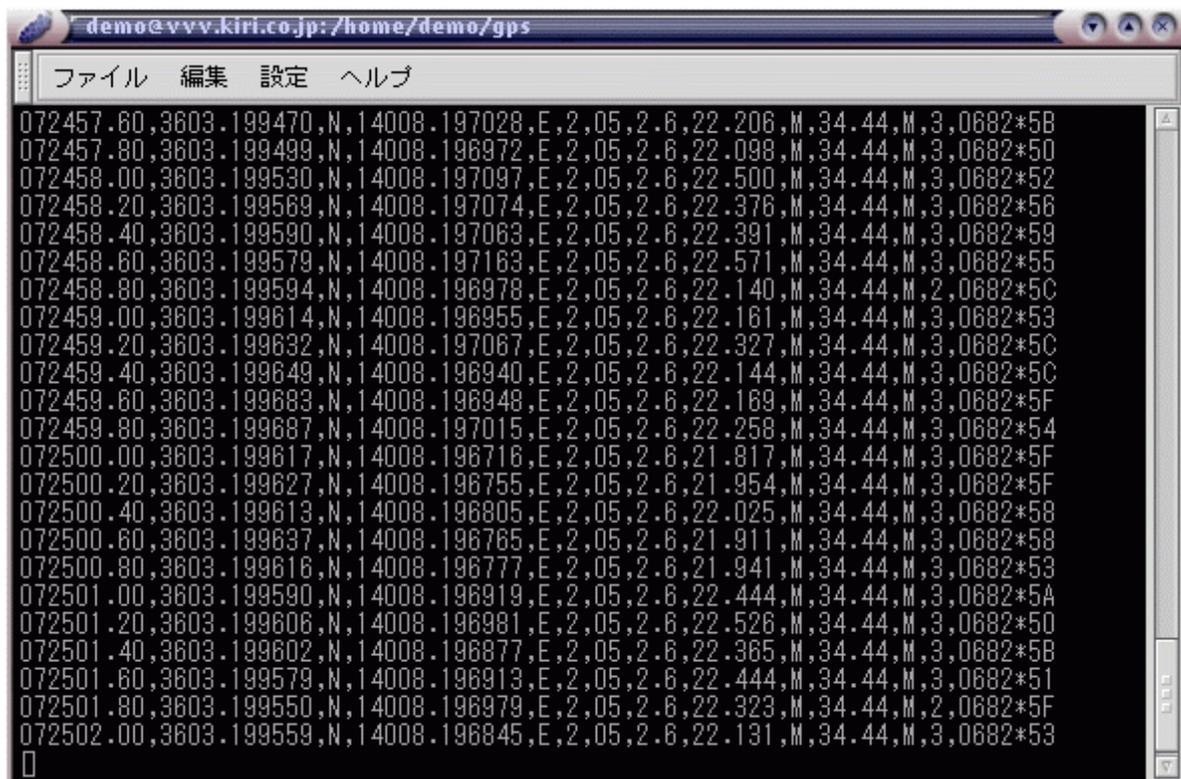
ボーレート : 9600

ストップビット : 1

パリティ : なし

データ長 : 8

フロー制御 : なし



```
demo@vvv.kiri.co.jp:/home/demo/gps
ファイル 編集 設定 ヘルプ
072457.60,3603.199470,N,14008.197028,E,2,05,2.6,22.208,M,34.44,M,3,0682*5B
072457.80,3603.199499,N,14008.196972,E,2,05,2.6,22.098,M,34.44,M,3,0682*50
072458.00,3603.199530,N,14008.197097,E,2,05,2.6,22.500,M,34.44,M,3,0682*52
072458.20,3603.199569,N,14008.197074,E,2,05,2.6,22.376,M,34.44,M,3,0682*56
072458.40,3603.199590,N,14008.197063,E,2,05,2.6,22.391,M,34.44,M,3,0682*59
072458.60,3603.199579,N,14008.197163,E,2,05,2.6,22.571,M,34.44,M,3,0682*55
072458.80,3603.199594,N,14008.196978,E,2,05,2.6,22.140,M,34.44,M,2,0682*5C
072459.00,3603.199614,N,14008.196955,E,2,05,2.6,22.161,M,34.44,M,3,0682*53
072459.20,3603.199632,N,14008.197067,E,2,05,2.6,22.327,M,34.44,M,3,0682*5C
072459.40,3603.199649,N,14008.196940,E,2,05,2.6,22.144,M,34.44,M,3,0682*5C
072459.60,3603.199683,N,14008.196948,E,2,05,2.6,22.169,M,34.44,M,3,0682*5F
072459.80,3603.199687,N,14008.197015,E,2,05,2.6,22.258,M,34.44,M,3,0682*54
072500.00,3603.199617,N,14008.196716,E,2,05,2.6,21.817,M,34.44,M,3,0682*5F
072500.20,3603.199627,N,14008.196755,E,2,05,2.6,21.954,M,34.44,M,3,0682*5F
072500.40,3603.199613,N,14008.196805,E,2,05,2.6,22.025,M,34.44,M,3,0682*58
072500.60,3603.199637,N,14008.196765,E,2,05,2.6,21.911,M,34.44,M,3,0682*58
072500.80,3603.199616,N,14008.196777,E,2,05,2.6,21.941,M,34.44,M,3,0682*53
072501.00,3603.199590,N,14008.196919,E,2,05,2.6,22.444,M,34.44,M,3,0682*5A
072501.20,3603.199606,N,14008.196981,E,2,05,2.6,22.526,M,34.44,M,3,0682*50
072501.40,3603.199602,N,14008.196877,E,2,05,2.6,22.365,M,34.44,M,3,0682*5B
072501.60,3603.199579,N,14008.196913,E,2,05,2.6,22.444,M,34.44,M,3,0682*51
072501.80,3603.199550,N,14008.196979,E,2,05,2.6,22.323,M,34.44,M,2,0682*5F
072502.00,3603.199559,N,14008.196845,E,2,05,2.6,22.131,M,34.44,M,3,0682*53
```

図 25 GPS 位置データ

・ GPS 位置データフォーマット

上記で取得した GPS の位置データフォーマットを示す。詳細は表 4-4 に示す。

hhmmss.ss, ddmm.mmmmm, s, dddmm.mmmmmm, s, n, qq, pp.p, ±aaaaa.aa, M, ±xxxx.xx, M, Sss, Aaaa<CR><LF>

hhmmss.ss	現在の UTC 時間 時:hh 分:mm 秒:ss.ss
ddmm.mmmmm	位置の緯度 度:dd 分:mm.mmmmmm
s	緯度 北緯:s=N 南緯:s=S
dddmm.mmmmmm	現在の経度 度:ddd 分:mm.mmmmmm
s	経度 東経:s=E 西経:s=W
n	測位モード 測位不能:n=0 一点測位:n=1 DGSP 測位:n=2
qq	測位計算に使われている衛星数
pp.p	HDOP 範囲:pp.p=0.0~99.9
±aaaaa.aa	高度(WDS84 楕円体面からアンテナまでの高さ) 範囲:0~30000m
M	高度の単位 M はメートルを表す。
±xxxx.xx	ジオイド高
M	ジオイド高の単位 M はメートルを表す。
Sss	補正情報の生成からの経過時間(秒)
Aaaa	基準局 ID

表 4-4 フォーマット詳細

5-2-3 注視用小型アクティブステレオカメラシステムの開発【サブシステムの細目】

小型ズームレンズとパン・チルト機構の設計・製作中。

5-2-4 まとめ

来年度の最も大きな課題は、全 GUI を実装して全てのサブシステムをバランスよく、統合した最終成果物としての「実用化の為のプロトタイプ」を創り上げることである。

### 5-3 シミュレーションシステムに関する実験の研究【サブテーマ】

#### 5-3-1 序論

本サブテーマの研究開発全体からみた位置づけは、実用化の観点で実験結果を評価し、必要に応じてシステムの開発部隊、基本技術の研究部隊へフィードバックすることにある。

対象物の複数視点から距離データを計測し、統合する予備実験を終了している。

また、TLS (Three Line Scanner) による走査型空中撮影ステレオ画像を用いて、通常のカメラを用いる注視型空中撮影による距離計測の予備実験を終了している。

サブテーマを更に次の細目に分割して研究しているので、サブテーマの細目毎の成果について述べる。

#### 5-3-2 注視システムの開発【サブテーマの細目】

ターゲットを注視するための移動制御法、カメラ制御法の開発を行っている（継続中）。

次に具体的に示せる成果について述べる。

##### [認識処理プログラムの精度向上]

遠距離にある物体の認識時の精度の向上を図る。

##### ・内容

物体認識を行う場合、カメラと物体との距離が離れれば離れるほど精度が落ちる。この問題を解決する為の調査を行う。下記の表は、回転台に乗せた箱の画像をモデル、モデルを回転台で 20 度回転させた画像をデータとして、「3次元視覚システム（産総研の元々のシステムで本研究開発の為のサブシステム化がされてないシステム）」を使用し認識処理を行った時の、レンズ・カメラー物体間の距離事の認識処理結果を記したものである。8mm レンズのみ各距離で回転台が一周するまで、計 13 回の認識処理を調査している。3次元視覚システムの認識に関係する設定等は、初期設定のままで行った。

結果を表 5、参考図を図 26、図 27 に示す。

距離 レンズ	1m	2m	3m	4m	5m
8mm	○	△	×	△	△
25mm	△	○	○	○	○
50mm	△	○	○	○	○

- . . . . 全一致
- △ . . . . 認識不可・ご認識あり
- × . . . . 全不一致

—表 5—

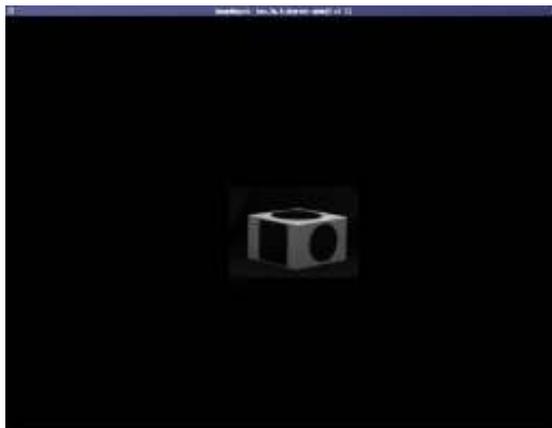


図 2 6 モデル画像(8mm・2m・0度)

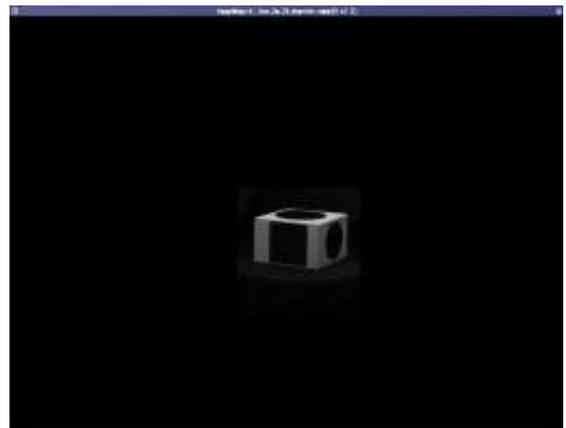


図 2 7 データ画像(8mm・2m・20度)

以上は「認識処理プログラムの精度向上」に関して上期（4月～9月）に行ったことの報告であるが、引き続き下期も行った。

## [汎用ロボット (PA10)]

注視型ステレオ空中撮影において、アクティブカメラによる注視制御を行うべく、その実験用に 7 軸制御の汎用ロボット PA-10 を使用している。

- ・ ロボットアーム設置および、制御  
汎用ロボット PA10 (図 3 2 参照)  
の設置及び安全用の柵の設置を行った。  
柵は 8 本の支柱から成り、それをバンドで固定して PA10 の周囲を囲む形になっている。  
制御は開発済みのクライアントプログラム「pa10」を使用し、稼動範囲を検証した。



図 3 2 汎用ロボット PA10

- ・ Web カム設置  
PA10 に 3 眼カメラを設置するために、機器の安全を検証するためにアームの先に Web カムを設置。そこから得られる画像をもとに注視処理の稼動範囲を検証した。
- ・ 制御用テーブル作成  
PA10 はクライアントプログラムに各軸の角度を入力する形で制御するのが基本なため、撮影に際し操作を簡略化する必要がある。  
よって、ユーザ側が簡便に利用できるように、稼動範囲内の点を指定できるプログラムを作成することを目標とし、そのための点をテーブルにまとめる作業を行っている。  
軸制御で稼動範囲内に移動させ、その絶対座標を測定。その座標から対象物までの距離と移動した角度を三角関数を利用して求めるプログラム「pa10\_theta」を作成し、使用している。  
また、軸移動でカメラを損傷させないためのリミットをかけるシェルスクリプト「pa10safe」も作成し、併せて使用している。  
なお、対象物への距離はアームの中心から 2m の条件で測定を行っている。  
参考として、アーム先端の Web カム画像を図 3 3 に示す。



図 3 3 アーム先端の Web カム画像 (図左から、カメラ左寄、正面、右寄)

## [汎用ロボット PA10 制御システム]

注視型ステレオ空中撮影において、アクティブカメラによる注視制御を行うべく、その実験用に 7 軸制御の汎用ロボット PA-10 (図 3 2 参照) を使用した。また、このロボットシステムは画像撮影の際の、正確な移動距離、移動角度等の取得にも利用される。

### ・ロボットアーム設置および、安全対策に関して

汎用ロボット PA10 の設置及び安全用の柵の設置を行った。柵は 8 本の支柱から成り、それをバンドで固定して PA10 の周囲を囲む形になっている。また、制御プログラム自体に稼動限界を設けた。これは極端な稼動による事故や器物破損を防ぐものである。

### ・制御プログラムの作成

汎用ロボット PA10 をコンピュータ制御する為、Linux 用通信プログラム pa10ctrl を作成した。

PA10 はプログラムに 7 軸の角度を入力する形で制御するのが基本なため、ユーザーから見ると被写体との任意の撮影角度に制御するのが困難である。

そこで撮影に際し操作を簡略化する必要があった。今回作成した pa10ctrl は被写体との角度を値とした座標軸をもつ PA10 簡易制御プログラムである。また、注視の検証に関しては PA10 の先端にウェブカムを設置して行った。

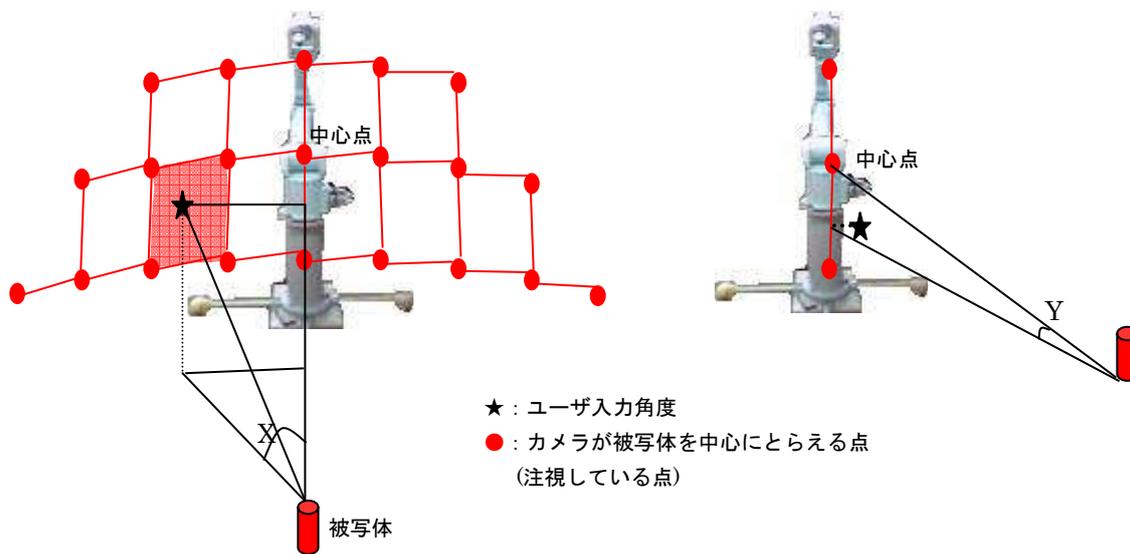


図 3 4 被写体を中心に捉えるカメラの向きの補間方法

移動角度の取得に関しては、PA10 が固有にもつ持つ X, Y, Z のステータスと被写体までの距離から三角関数を使用することによって求めた。

また、ユーザーの入力した角度への正確な移動を実現する為、一定間隔の 7 軸情報を持つ注視サンプル点を設け、そこから得られた値からユーザー入力角度への 7 軸制御が行われるという補間方法 (図 3 4 参照) を採用した。

これによって、ユーザーがサンプル注視点以外の角度に制御した場合でも全て 1 度以内の精度で PA10 を制御することに成功した。

## [クレーン制御システム]

アクティブカメラシステムの室内実験用に、カメラ注視システムを設置して制御するクレーン（図35 参照）がある。このクレーンの遠隔制御を実現させる為にクレーン制御システムを作成した。

- ・クレーン設置および、安全対策に関して対策を施した。



図35 クレーン装置

- ・制御プログラムの作成

クレーンにはコントローラによる押釦式の制御方法があるが、ここではLinux PC を利用したRS232C の遠隔制御の方法を採用し、その為のプログラムを作成した。

まず、クレーン制御盤には伝送制御コマンドが用意されており、このコマンドを送信する為の関数部分を作成した。重要なものとしてENQ+ステータス受信のコマンドとENQ+制御コマンドの2つがある。問題となったのはENQ+制御コマンド部分に移動距離を指定するといったパラメータを全く持たないということである。そこで、主局（PC）側で従局側から得られるステータスに対応した「ユーザー入カステータス」を設け、その2つを比較してステータスを満たすまで制御コマンドをループさせるという方法をとった（図36 参照）。

また、クレーンのような大型機械という特質で1~7まである速度を上げすぎてしまうと急な停止に対応しきれない。この問題に関しては、2つのステータスを比較したとき、目的のステータスに近づいたときに自動的にスピードを落とすという方法で対処する予定である。

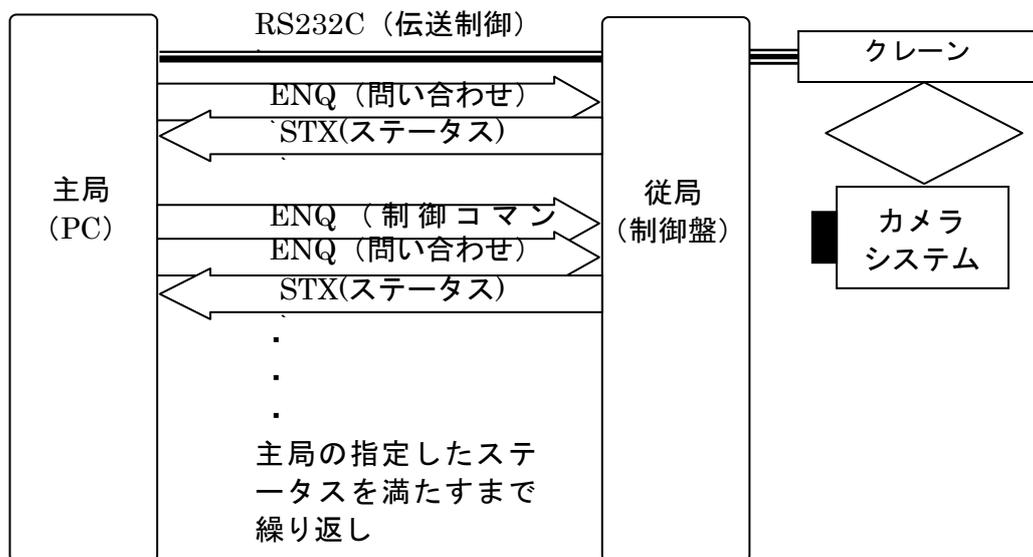


図 3 6 クレーン制御

### 5-3-3 視点の異なる部分データの統合法の開発【サブテーマの細目】

視点間の移動が既知の場合の（相関法による）距離画像を統合することができている。

具体的成果は図 3 である。

- 5-3-4 赤外ステレオカメラシステムによる3次元表面温度分布の計測法の開発【サブテーマの細目】  
2台のサーモカメラによる距離計測に必要なカメラキャリブレーション法と輝度補正法を開発した。  
次に具体的に示せる成果について述べる。

#### [サーモステレオカメラシステム (TS73029)]

2枚の熱画像をステレオカメラシステムにより取得する。ステレオシステムのそれぞれの熱画像は、基本技術のサブシステムの処理によって3次元データを構成することを主眼としている。そのため、サーモカメラを2台使用しステレオカメラシステムを構築した(図40参照)。

#### ・サーモカメラシステムの設置、制御

画像はS入力端子(専用ケーブルを発注)から入力され、カメラ制御はRS-232C経由で行い、制御用にプログラム「thermotracer」を作成し、使用した。



図40 サーモカメラシステム

・サーモカメラ画像撮影

VVision を使用して epbm 画像を撮影し、その画像をそれぞれ、range、lcm、BREP 画像に変換し、検証した。図 4 2～図 4 5 は光源の筒を撮影したものである。

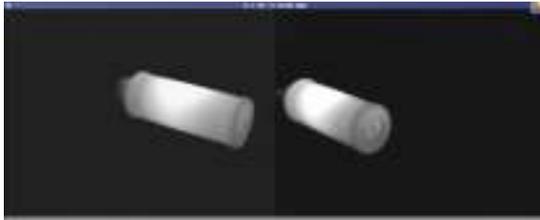


図 4 2 epbm 画像



図 4 3 range 画像

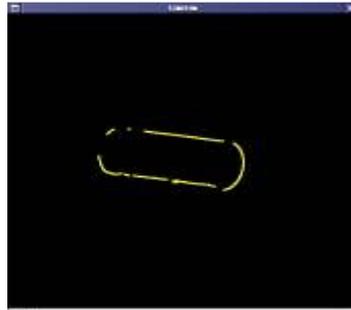


図 4 4 lcm 画像



図 4 5 BREP 画像

5-3-5 基準データ（モデル）に基づく観測データの変化の検出法の開発【サブテーマの細目】  
来年度課題としている。

5-3-6 まとめ

赤外ステレオカメラシステムによる3次元表面温度分布の計測法の開発【サブテーマの細目】については、研究を完了したが、注視システムの開発【サブテーマの細目】、視点の異なる部分データの統合法の開発【サブテーマの細目】については、来年度も更に完成度を上げる為に継続課題であり、来年度は新たな課題として、基準データ（モデル）に基づく観測データの変化の検出法の開発【サブテーマの細目】が加わる。

これらの課題を解決するには、本研究開発期間内に満足のいくまで、繰り返し実験を行うことである。

5-4 総括

まず、本研究開発の実用化イメージを図46に示し、引き続き総括する。

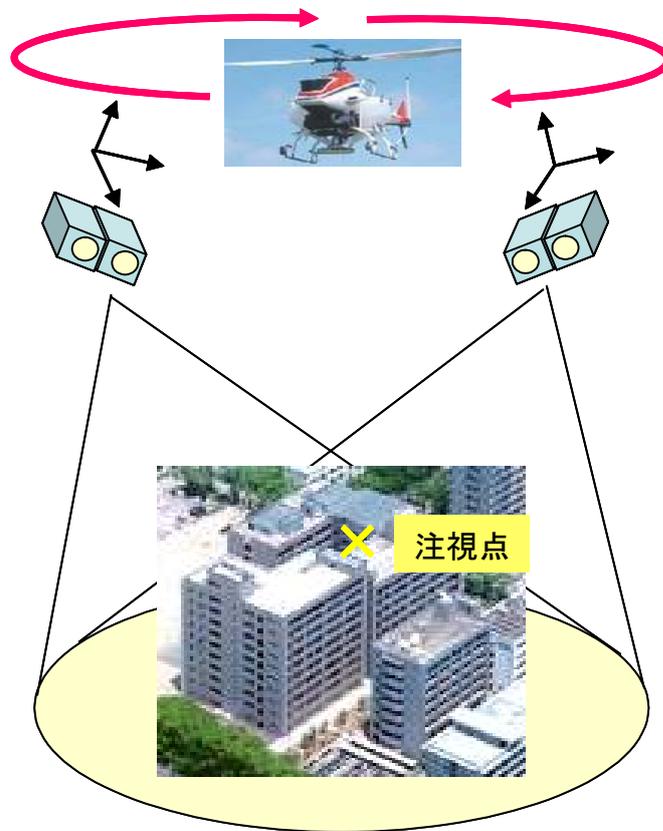


図46 注視型空中撮影

本研究開発の最終的な課題は、「空中撮影によって得られる多視点画像から広域の環境の 3 次元マップを自動作成し、任意の視点からの動画として生成表示するシステムに関する研究開発を行うことと、作成したマップに基づいて環境の変化の検出や、目標物を探索し認識するシステムに関する研究開発を行うことにより、これらの研究開発の成果をアプリケーションソフトとしてのプロトタイプ段階まで仕上げる。」ことにあるが、上のイメージ図は、このプロトタイプが競合する他社と差別化される為に必要不可欠なデータを取得しつつ本研究内容に沿ったマップを自動作成しているイメージ図である。

図 26 で行われることが、実際にできるようにする為に、平成 15 年度の研究開発は実施したことと、次の（実用化に関して）を記述することをもって締め括りとする。

（実用化に関して）

（1）経済・社会上の環境変化や技術的な前提条件の変化等による研究開発の位置づけの変化

（i）ニーズの強さの変化

本研究開発開始段階においては、天災（大地震、台風、火山活動等）、人が起こす災害（テロ、火災等）に対する防災、不審船監視等のニーズであったが、現在では特にテロ対策のニーズが強まっている。

提案時点では挙げなかったが、次に列挙するニーズが高まっている。

- ・案内＝次世代ナビ（カーナビ等）等
- ・測量＝土木、建設等
- ・保存＝文化遺産等
- ・シミュレーション＝建築等
- ・エンターテインメント＝ゲーム、CG映画等

(ii) 開発の意義の変化

本研究開発の内容そのものについては、全く提案時と変わりはないが、何に対して適用するかと言うことでの意義の変化を敢えて求めると、現時点では、何に対しても応用できるといった一言で片付けるのではなく、具体的に示す段階にきていると判断しているので、プライオリティーと対象カテゴリの特定の内容が一部変化したとみている。

次に特定の内容(若い番号のカテゴリほど、優先される)を示す。

- (ii) - 1. 大災害(天災、テロ等)の防災
- (ii) - 2. 次世代ナビ(カーナビ等)等の案内
- (ii) - 3. 建築等のシミュレーション  
例えば、新規建造物(マンション等)の景観面での影響、付近住民への日照権等について、3次元画像でのシミュレーション
- (ii) - 4. 文化遺産等の保存  
例えば、次世代の人々への必要に応じた象徴的な建造物、自然等の保存
- (ii) - 5. その他(不審船監視、エンターテインメント、測量、農作物収穫支援等)

本研究開発の成果がどの程度の地上高さからの多視点画像(=データ)を成果の対象の基にするかについては、現在すでにある「ヘリコプター等の飛行体」からのデータを成果の対象の基にして行うことで、解決することとするが、各適用対象カテゴリのアプリケーション範囲が、成層圏からの長時間(6ヶ月以上)データを基にするのと較べて狭くなるのは止むを得ない。

成層圏プラットフォーム等の高高度飛行体からのデータ受信がいつ実用化されるか、不透明なので、本研究開発プロジェクトは、現行の飛行体(ヘリコプター等)からのデータを基にして高さの変化(高度2万メートル等への変化)に対してもデータ入力インターフェイス部を研究開発することによって、汎用性を持たせて置く。

この前提条件の基でデータを送ってよこす高さが成層圏でなくとも成り立つ実用化を目指す。

### (iii) 実用化時期

- ・ 大災害(天災、テロ等)の防災————— 平成19年4月
- ・ 次世代ナビ(カーナビ等)等の案内————— 平成20年4月
- ・ 建築等のシミュレーション————— 平成21年4月
- ・ 文化遺産等の保存————— 平成22年4月
- ・ その他————— 平成22年5月以降、  
必要に応じて

### (iv) 目標の難易度の変化等

研究開発の内容そのものに対する難易度については、提案時想定した、「環境の変化の検出(=物体の認識技術の応用)、環境マップの自動作成(セルフキャリブレーション、セルフアジャストメント、相関ステレオ法の改良等による)」がかなり難しいことに変わりがない。

## (2) 競合技術の研究開発・実用化状況との比較における研究開発の位置づけの変化

現在、GISのキーテクノロジーとして、空中撮影による立体測量システムの開発が、国土院のPRISMの他、NTT、NEC、パスコ、テラ・マトリクス、センサ情報研究所、宇宙情報技術研究所など、多くの機関、企業で活発化している。しかし、いずれも特殊で高価なラインセンサやミリ波、レーザセンサによる走査型観測システムを利用しているが、ラインセンサにはカメラキャリブレーションや適用範囲と測定精度に限界がある単純な相関法による距離計測等の問題が未解決であり、ミリ波、レーザセンサには低分解能に起因するデータの補間等の技術的問題に加えて安全性の問題もあり、いずれも(高度な技術が必要な)3次元画像処理の自動化ができず、処理の多くを人海戦術、人手作業に頼っているのが現状である。

本プロジェクトで提案するシステムの優位性として、産総研が開発している他に類を見ない高度な3次元画像処理技術を利用、増強させることにより、通常の市販のカメラからの画像を利用することができるので低コストであり、何よりも全自動化、オンライン(実時間)、高精度処理ができる利点がある他、走査型観測だけでなく、特定のターゲットを注視観測できる融通性があり、さらに、単なる表示だけでなく、観測時期の異なるデータの比較による変化の検出や、個々の対象物の意味や対象間の関係も理解できる多機能な知的GISの実現が可能である。

従って、競業技術の抱えている問題の根本的問題を解決するのが本研究開発の位置づけであることに変わりはない。

参考資料、参考文献

特になし。

(添付資料)

## 1 研究発表、講演、文献等一覧

### (1) 研究論文 (査読あり)

- [1] 角保志, 石山豊, 富田文明: Hyper Frame Vision: 移動物体の 6 自由度位置決めシステム、電子情報通信学会論文誌, J86-D-II, 9, 1320-1328, 2003.
- [2] 植芝俊夫, 富田文明: 平面パターンを用いた複数カメラシステムのキャリブレーション, 情報処理学会 CVIM 論文誌, 第 8 号, 2003.

### (2) 外国発表予稿等 (査読あり)

- [1] T. Ueshiba, F. Tomita: Plane-based Calibration Algorithm for Multi-camera Systems via Factorization of Homography Matrices, Proc. Int. Conf. on Computer Vision, 2003.
- [2] Y. Sumi, Y. Ishiyama, F. Tomita: 3-D Localization of Moving Free-Form Objects in Cluttered Environments, Proc. Asian Conf. on Computer Vision (ACCV), 2004.

### (3) 収録論文

- [1] 吉見隆, 富田文明: 境界追跡型ラベリングの円筒状画像への拡張, 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会, 2003.
- [2] 角保志, 植芝俊夫, 富田文明, 3眼ステレオによる移動物体位置決め手法の実装と評価、電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会, 2003

### (4) 一般口頭発表

- [1] 河井良浩、富田文明、新世代視覚技術の多様な実用化に向けて、平成 14 年度 NEDO 先端技術講座, 2003.
- [2] 富田文明、高機能 3 次元視覚技術とその多様なニーズ、(財)イメージ情報科学研究所 第 7 回デジタルイメージング技術実用化研究会, 2003.
- [3] 富田文明、任意視点 3 次元動画生成システムの開発、高高度飛行体 IT 基地推進会議シンポジウム, 2003.