

平成 1 6 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

委託先：(株)ハイコム

平成 1 7 年 4 月

情報通信研究機構

平成16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」

受託者：(株)ハイコム

目 次

1	研究開発課題の背景	1
2	研究開発分野の現状	2
3	研究開発の全体計画	3
3-1	研究開発課題の概要	3
3-2	研究開発目標	3
3-2-1	最終目標	3
3-2-2	中間目標	4
3-3	研究開発の年度別計画	5
3-4	研究開発体制	6
4	研究開発の概要（平成16年度まで）	7
4-1	研究開発実施計画	7
4-1-1	研究開発の計画内容	7
4-1-2	研究開発課題実施計画	17
4-2	研究開発の実施内容	20
5	研究開発実施状況（平成16年度）	27
5-1	基本技術のサブシステム化に関する研究開発	27
5-1-1	序論	27
5-1-2	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	27
5-1-3	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	43
5-1-4	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	52
5-1-5	3次元地図作成（レジストレーション）サブシステムの開発	54
5-1-6	対象物（ターゲット）の認識サブシステムの開発	58
5-1-7	3次元動画画像（任意視点）表示サブシステムの開発	61
5-1-8	まとめ	63
5-2	シミュレーションシステムに関する研究開発	64
5-2-1	序論	64
5-2-2	飛行シミュレータの開発	64
5-2-3	注視システムの開発	79
5-2-4	無線通信システムの開発	82
5-2-5	まとめ	102

5-3 シミュレーションシステムに関する実験の研究	103
5-3-1 序論	103
5-3-2 ターゲットの指示法の開発	103
5-3-3 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	105
5-3-4 視点の異なる部分データの 統合法の開発	107
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	111
5-3-6 まとめ	114
5-4 無人ヘリを用いたシステム実験	115
5-4-1 序論	115
5-4-2 ターゲットの指示	115
5-4-3 ターゲットを注視するための移動制御、カメラ制御	119
5-4-4 視点の異なる部分データの統合	124
5-4-5 基準データ（モデル）に基づくターゲットの変化検出	124
5-4-6 まとめ	124
5-5 総括	125
参考資料、参考文献	128

(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いく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 20 km～30 km 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

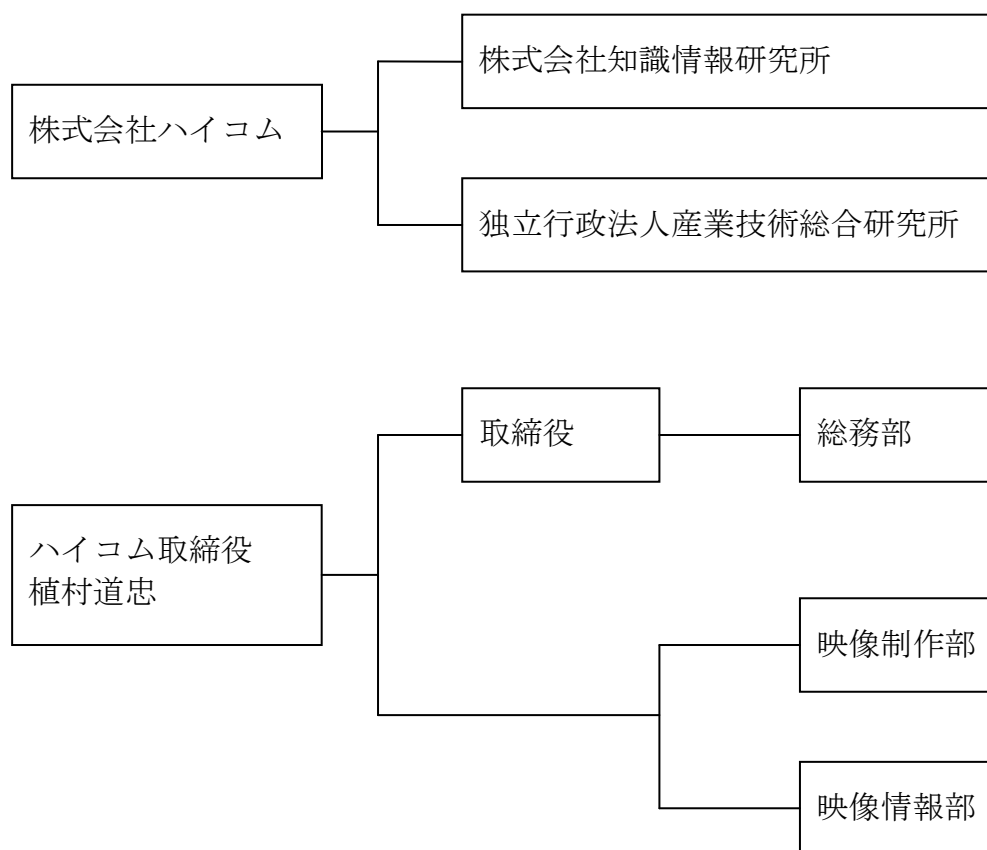
- (1) 基本技術のサブシステム化に関する研究開発
 - ・「シミュレーションシステム」に組み込み可能であること。
- (2) シミュレーションシステムに関する研究開発
 - ・実験用の対象物を観測できるシステムであること。
- (3) シミュレーションシステムに関する実験の研究
 - ・通常の撮影条件下での評価実験を行うこと。
- (4) 無人ヘリを用いたシステム実験
 - ・野外実験の為のシステムを設計すること。

3-3 研究開発の年度別計画

研究開発項目	1 4 年度	1 5 年度	1 6 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】			→		

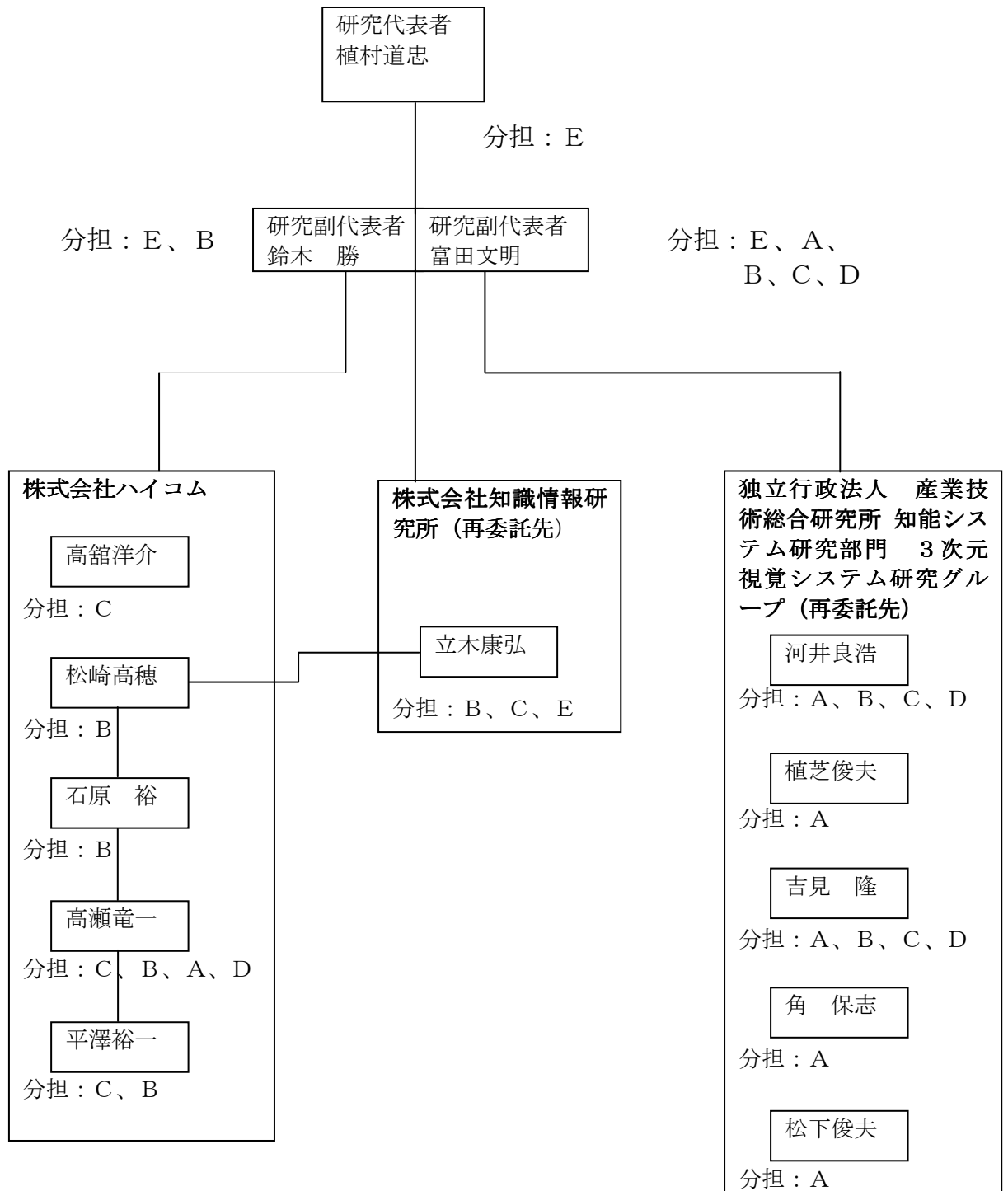
3-4 研究開発体制

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：無人ヘリを用いたシステム実験
- * 分担E：研究総括



4 研究開発の概要（平成16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 4-1-1-1 参照）する。

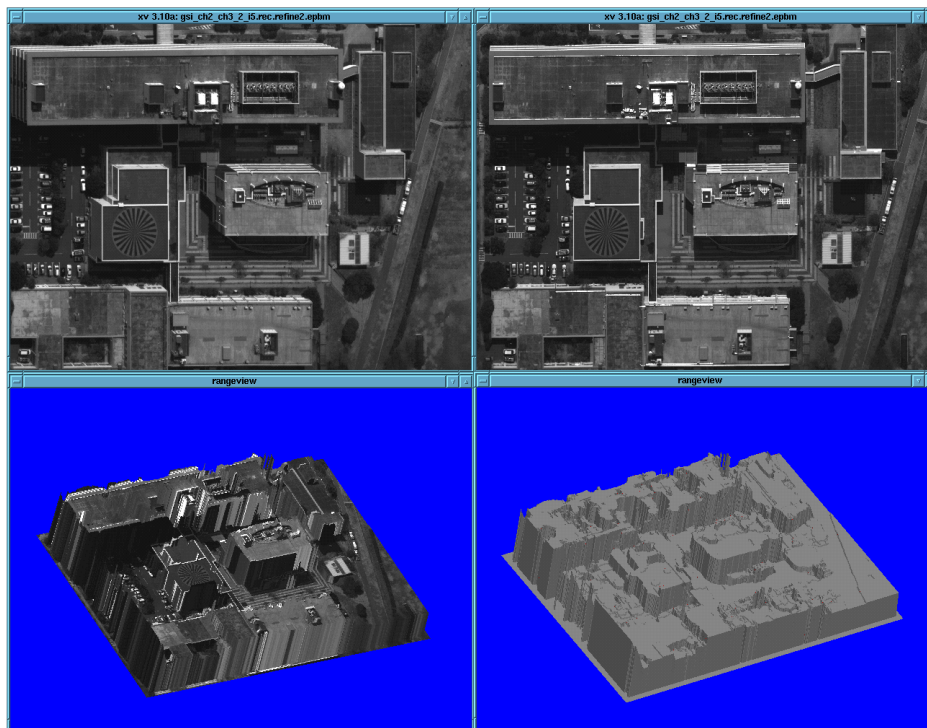


図 4-1-1-1 TLS による走査型空中撮影画像からの距離計測

(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4-1-1-2 参照）に示す。

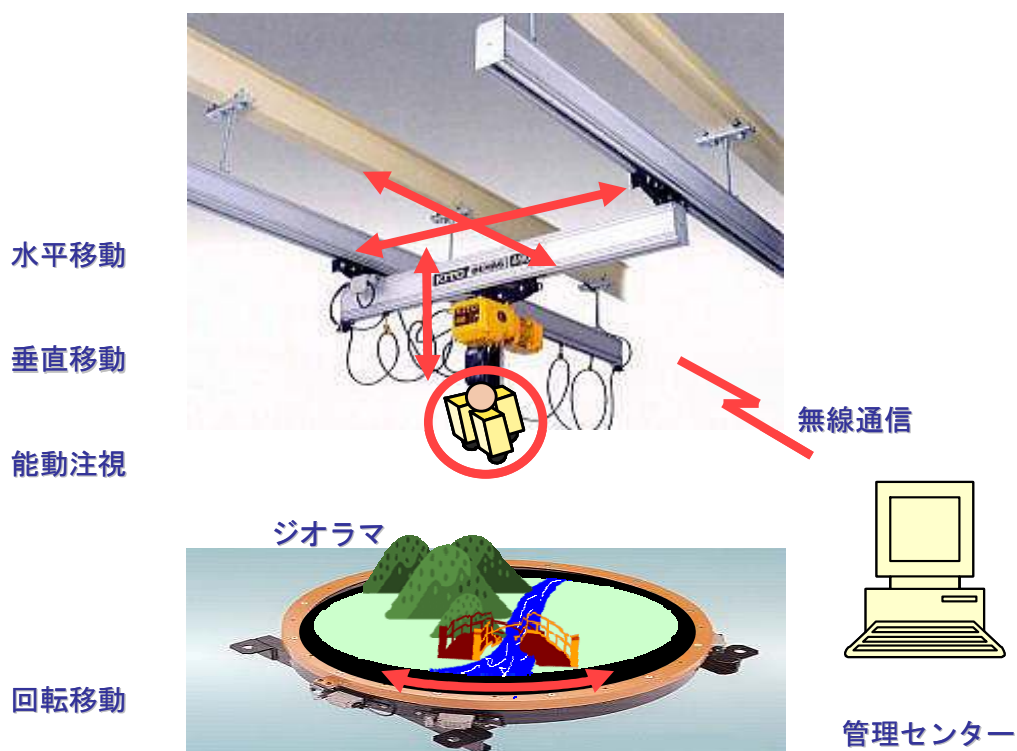


図 4-1-1-2 飛行体シミュレーションシステム

(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
- ・SSS (Small-Scale-Stereo)-to-LSS (Large-Scale-Stereo)法による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4-1-13 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

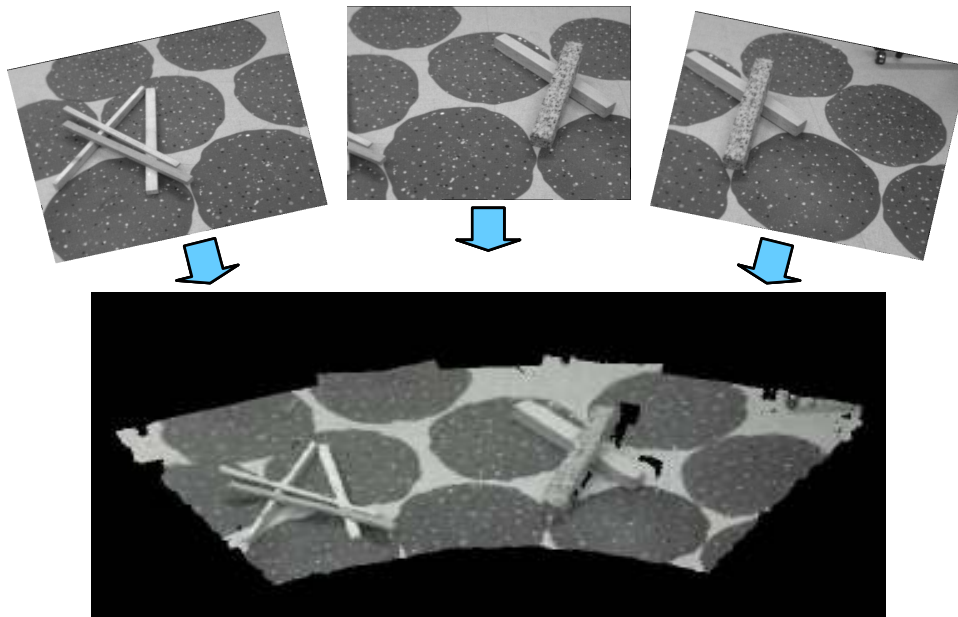


図4-1-1-3 視点の異なる部分的3次元距離データの重ね合わせ

(C) 平成16年度

(1) 本研究開発の実験等との連携により進化し続けている要素技術の確立を含む、基本技術のサブシステム化に関する研究開発、(2) ヒューマンインターフェースを加味し、サブシステムを統合する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、(4) 無人ヘリを用いたシステム実験、以上の4項目に分けられたサブテーマについて記述する。

(1) 基本技術のサブシステム化に関する研究開発

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

- ・SSS (Small-Scale-Stereo)-to-LSS (Large-Scale-Stereo)法によるカメラの移動パラメータの推定法 (セルフキャリブレーション) 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. 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. 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

- ・研究開発内容の一例として「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」の関連図 (図 4-1-1-4 参照) を示す。

エ. 3次元地図作成 (レジストレーション) サブシステムの開発

オ. 対象物 (ターゲット) の認識サブシステムの開発

カ. 3次元動画像 (任意視点) 表示サブシステムの開発

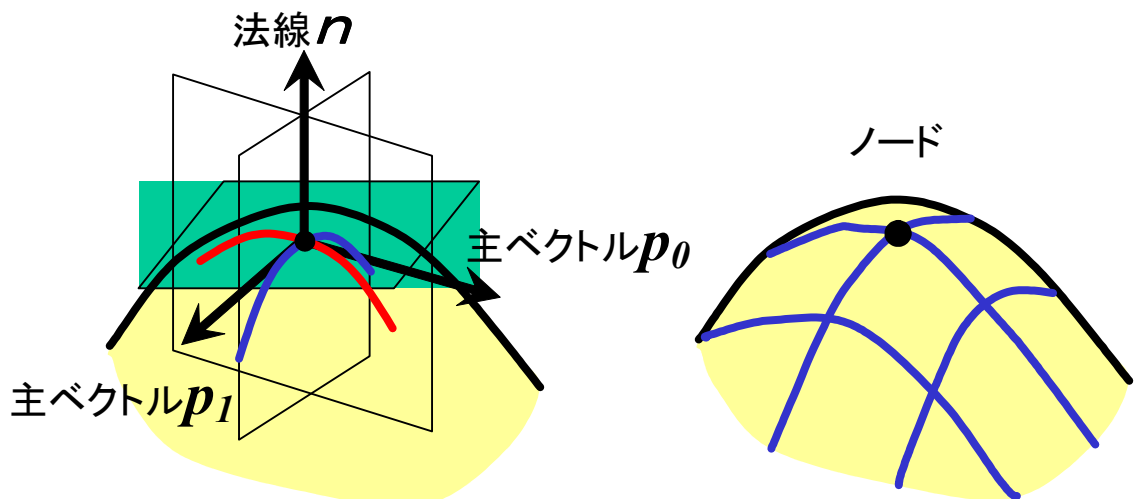


図 4-1-1-4 曲面の曲率線ネットによる形状計測と表現

(2) シミュレーションシステムに関する研究開発

平成15年度から開発している飛行シミュレーションシステムとアクティブステレオカメラシステム(図4-1-1-5参照)を用いて、下記のソフトウェアシステムを実装する。

ア. 飛行シミュレータの開発

コンピュータによる移動制御ができるシステムを開発する。

イ. 視システムの開発

コンピュータによる注視制御(パン、チルト、輻輳、ズーム、フォーカス、アイリスの制御)ができるシステムを開発する。

ウ. 無線通信システムの開発

基地局と飛行体間の対話システムを開発する。



電動ズームレンズ



小型カメラ

図 4-1-1-5 小型軽量アクティブステレオカメラシステム

(3) シミュレーションシステムに関する実験の研究

飛行シミュレーションシステムを用いて下記の実験を実施する。

ア. ーゲットの指示法の開発

イ. 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

・研究内容の関連図（図 4-1-1-6 参照）を示す。

ウ. 点の異なる部分データの統合法の開発

エ. 準データ（モデル）に基づくターゲットの変化検出法の開発

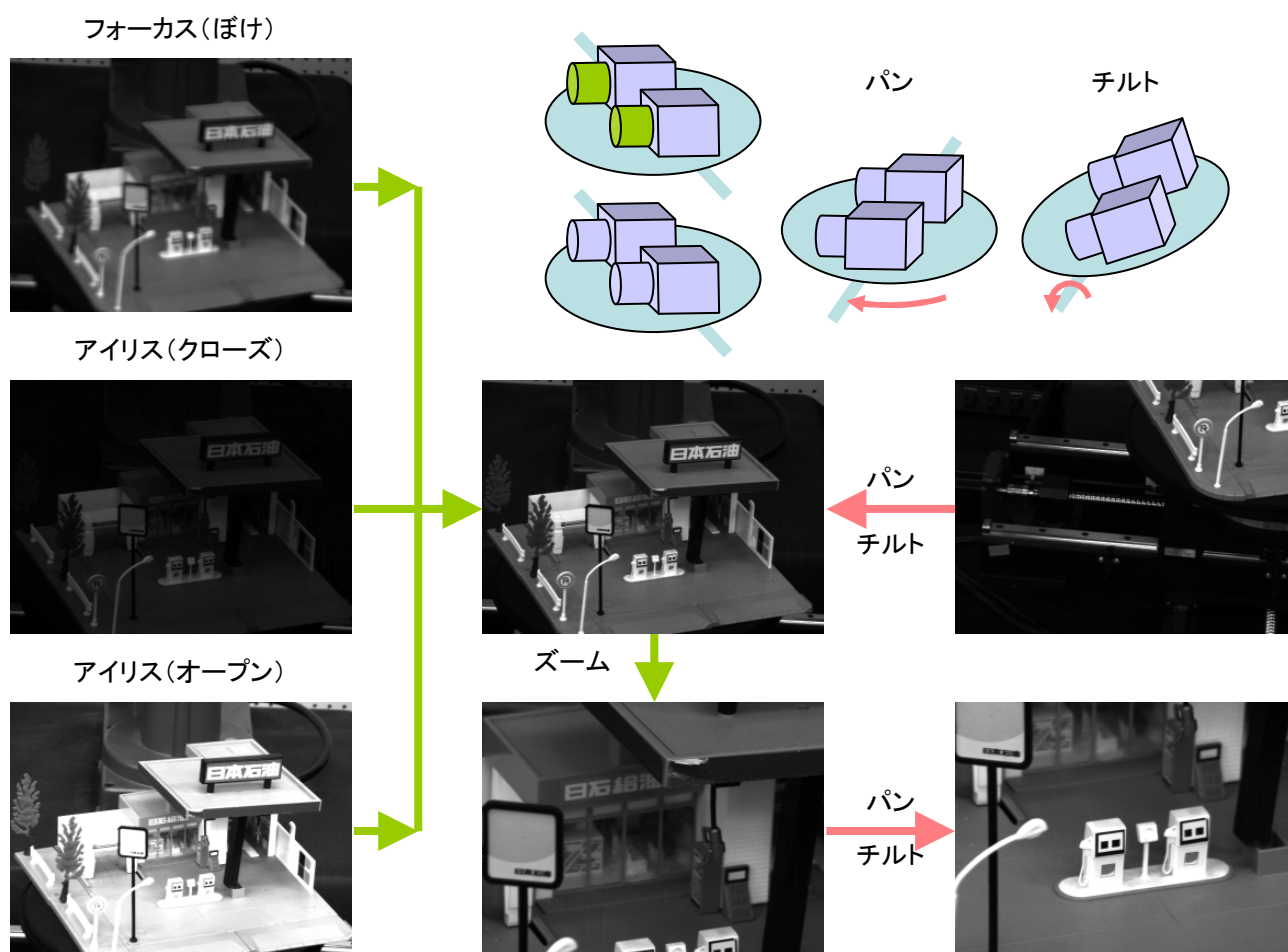


図 4-1-1-6 注視制御

(4) 無人ヘリを用いたシステム実験

(2) 及び (3) の成果物(システム、方法等)を無人ヘリに搭載して、下記の実験を屋外で実施する。実験内容の関連図 (図 4-1-1-7 参照) を示す。

- ア. ターゲットの指示
- イ. ターゲットを注視するための移動制御、カメラ制御
- ウ. 点の異なる部分データの統合
- エ. 準データ (モデル) に基づくターゲットの変化検出

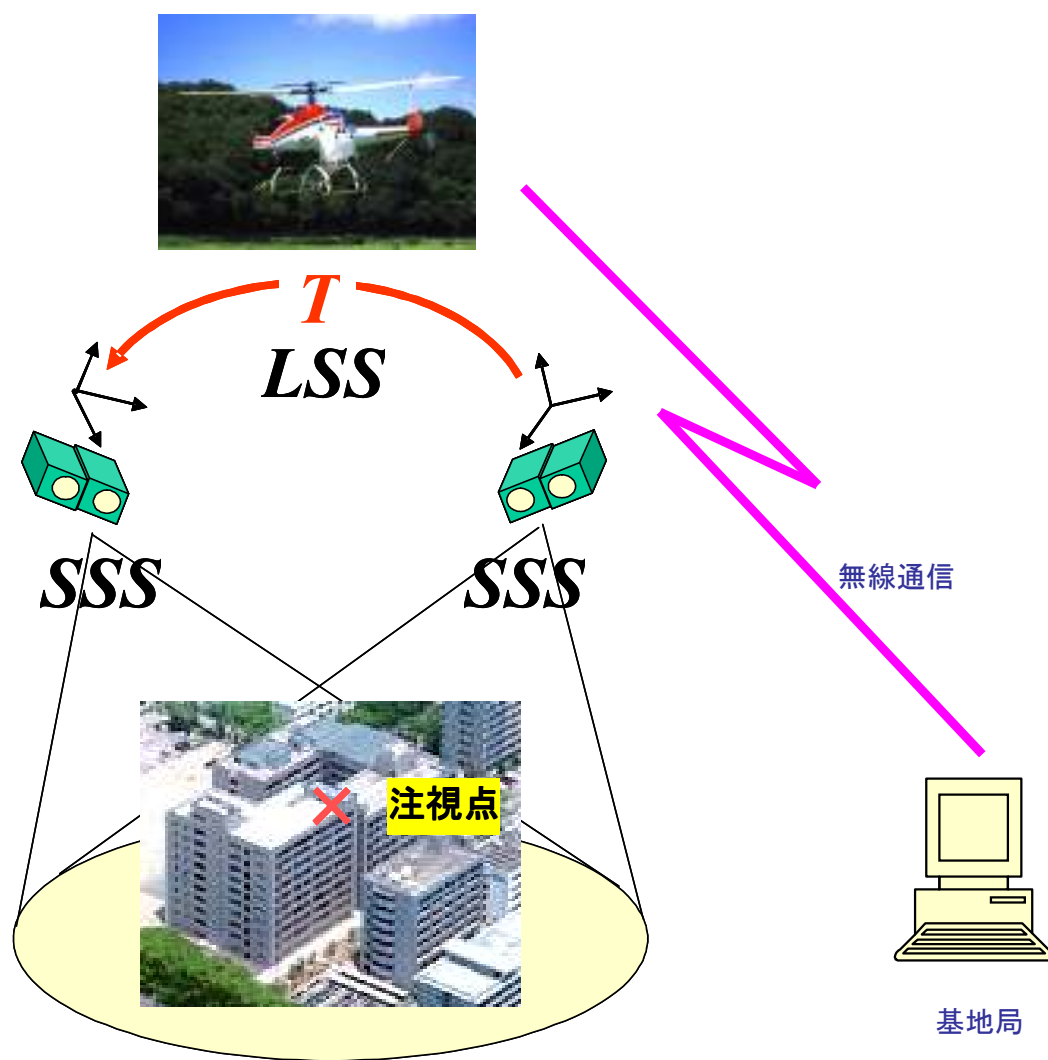


図 4-1-1-7 無線ヘリによる注視型空中撮影システム

4-1-2 研究開発課題実施計画

(A) 平成 14 年度

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】	→	→		・メイン (再委託先) 独立行政法人 産業技術総合研究所 ・サブ (再委託先) 株式会社 知識情報研究所
(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】	→	→		・メイン (再委託先) 株式会社 知識情報研究所 ・サブ 株式会社 ハイコム
(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

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】	→	→	→	→		

(C) 平成16年度

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						
(4) 基本技術のサブシステム化に関する研究 開発	→	→	→	→		(再委託先) 独立行政法人 産業技 術総合研究所
(5) シミュレーションシステムに関する研 究開発	→	→	→	→		(再委託先) 株式会社 知識情報研 究所
(6) シミュレーションシステムに関する実 験の研究	→	→	→	→		
(4) 無人ヘリを用いたシステム実験	→	→	→	→		

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
(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】 「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。 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】 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】 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】 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】 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】	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、当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。 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。 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、等輝度線に基づいて抽出する処理を開発中。 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。 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。 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。
(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】 「(防災用) 空中撮影による	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手した。

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。 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】 イ. 実験用ハードウェアの構築【サブテーマの細目】	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。 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。
（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】 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。 ア. 複数固定カメラ撮影実験 イ. 3次元映像の品質実験	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呼び実験を行っている。 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。 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、小領域として検出することによって除去する処理を開発した。 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。

(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
（1）基本技術のサブシステムに関する研究開発【サブテーマ】 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】 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】 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】 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】 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】	ア．SSS(Small-Scale-Stereo)による第1視点での3次元データと移動後の第2視点での3次元データを照合することにより、移動の座標変換を求める方法に関して、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)。 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、移動の座標変換が既知の（誤差が小さい）場合の、LSS(Large-Scale-Stereo)による距離計測実験を行った。4)また、TLS 空中撮影画像を用いて、LSS の誤差評価を行った(継続中)。 ウ．別の課題と置き換えることを検討した。 エ．別の課題と置き換えることを検討した。 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。

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】 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】 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】 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。	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（非テクスチャ領域のマスキ処理、位置可変ウィンドウ等）を開発した(継続中)。 キ. 来年度の課題とする為の準備を行った。 ク. 来年度の課題とする為の準備を行った。
(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】 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】 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】	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。 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)。 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ーを開発した。 イ. 小型ズームレンズとパン・チルト機構を設計・製作した。

(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】 ア. 注視システムの開発【サブテーマの細目】 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】 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】 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】	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)。 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。 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。 エ. 来年度の課題とする為の準備を行った。
--	--

(C) 平成16年度

16年度における研究開発の内容(計画)	16年度に実施した研究開発内容
(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】 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】 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】 ウ. 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】 エ. 3次元地図作成(レジストレーション)サブシステムの開発【サブテーマの細目】 オ. 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】 カ. 3次元動画画像(任意視点)表示サブシステムの開発【サブテーマの細目】	ア. SSS(Small-Scale-Stereo)による第1視点での3次元データと移動後の第2視点での3次元データを照合することにより、移動の座標変換を求める方法に関して、セルフアジャストメント法によりピンホールパラメータを補正する処理方法を改良し、実証実験による確認を行った。 イ. 距離画像にあらわれる波状の標本化誤差を回避する技術を実装した。また、合成したステレオ画像を用いて精度の評価実験を行なった。 ウ. 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開発を行った。 エ. 計測結果の3次元データを自動的にGISに入力するために必要なデータ変換処理の開発を行った。 オ. 物体認識技術を応用して対象のモデルを観測データの座標に変換するための開発を行なった。また建築模型の計測結果とCADシステムを用いて作成したモデルデータを使って、3次元地図上に配置する実験をした。 カ. IEEE1394カメラから高速転送されるステレオ画像をほぼ実時間で距離計測し、3次元表示することによって任意視点の3次元動画を表示可能なシステムを開発した。

(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】 ア. 飛行シミュレータの開発【サブテーマの細目】 イ. 注視システムの開発【サブテーマの細目】 ウ. 無線通信システムの開発【サブテーマの細目】	ア. コンピュータにより回転舞台（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）の移動制御が可能な、飛行シミュレータの構築を行なった。 イ. コンピュータによりアクティブステレオカメラのコンバージェンス（輻輳）、チルト（上下振り）、パン（左右振り）の制御が可能なグラフィカルユーザーインターフェースシステムの開発を行った。 ウ. 空中撮影に標準的に利用するアクティブステレオカメラから、ステレオ画像を無線LANを用いてデータを送受信するシステム及び、対話処理でモデルの作成を行うグラフィカルユーザーインターフェースシステムの開発を行った。
(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】 ア. ターゲットの指示法の開発【サブテーマの細目】 イ. 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【サブテーマの細目】 ウ. 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】	ア. シミュレーション実験時に画面上で注視対象（ターゲット）の位置として指示される画像座標を入力とし、その3次元座標を出力するプログラムを開発した。 イ. 算出された3次元座標をもとに、シミュレーションシステム（クレーンおよびアクティブステレオカメラ）のカメラが移動したとき、自動的に指示されたターゲットにカメラを向けるシステムを開発した。 ウ. 異なる視点から観測された部分データを、重ね合わせたとき位置や方向が一致するように座標変換する処理を開発した。これはカメ

エ. 基準データ（モデル）に基づくターゲットの変化検出法の開発【サブテーマの細目】	ラの移動量を、シミュレーションシステムから得られたクレーンの平行移動、ターンテーブルの回転、アクティブステレオカメラの首振り・うなずき動作による回転を元に算出する。 エ. 相関法によって得られた距離画像から、座標が大きく変化した箇所を検出するためのプログラムを開発した。
(4)無人ヘリを用いたシステム実験【サブテーマ】 ア. ターゲットの指示【サブテーマの細目】 イ. ターゲットを注視するための移動制御、カメラ制御【サブテーマの細目】 ウ. 視点の異なる部分データの統合【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【サブテーマの細目】	ア. G P S機能を備えた無人ヘリを開発し、地上局からその位置・姿勢情報を獲得できる通信システムの開発を行った。 イ. ヘリに搭載可能で、パン・チルト制御が可能なカメラ雲台システム、及び、制御システムの開発を行った。 ウ. 異なる視点から観測された部分データを、重ね合わせたとき位置や方向が一致するように座標変換する処理の開発を行った。 エ. 相関法によって得られた距離画像から、座標が大きく変化した箇所を検出するためのプログラムの開発を行った。

5 研究開発実施状況（平成16年度）

5-1 基本技術のサブシステム化に関する研究開発

5-1-1 序論

平成14年度・平成15年度のサブテーマ「基本技術のサブシステム化に関する研究開発」の研究結果を受けて、最終年度としての研究を実施した。

5-1-2 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

5-1-2-1 SSS-to-LSS 用照合処理の統合と対応点探索処理の改良

・概要

前年度の成果報告のように、3次元復元の精度を上げるために、画像上の対応点の組からセルフアジャストメント法によりピンホールパラメータを補正し、有効性を確認することができた。しかし、そこでの問題点として、従来の対応点探索処理を用いた場合、積み木より複雑な物体において特徴点の対応に誤対応を生じてしまい、その結果として復元精度の向上に限界があることが確認された。

そこで、この問題の対策として、我々は物体照合処理の結果を利用した対応点探索処理を考案した。この対応点探索の基本的処理の構成は、流れ図（図5-1-2-3）の上半分の部分のようになる。残りの下半分が、セルフアジャストメントに相当する。

・対応点探索処理のアルゴリズムについて

この対応点探索は3次元空間において行われる。基本的な考え方は、単純である。1回のステレオ対応による3次元復元が誤対応を含んでいても、SSSの間で3次元物体照合によって照合が与えられれば、物体の頂点間の対応が正しいものとそうでない誤対応を分離できることを利用する。図5-1-2-1は、正しい対応の場合の3次元境界の照合であり、照合により対応点の組に対し、他方が一方のある一定範囲の近傍に必ず含まれる場合である。図5-1-2-2は、誤対応の場合の3次元照合であり、照合により対応点の組に対し、他方が一方のある一定範囲の近傍に必ず含まれない場合である。

- ・基本技術を利用した対応点探索処理の実装方法について

この対応点探索処理の詳細な構成が図 5-1-2-4 に与えられる。このように「特徴点の近傍探索」以外は、基本技術から構成される。このようにやや冗長な構成となった理由は、物体照合で使われている 3 次元構造体からは 2 次元画像上の境界線を表す構造体を参照できなかったことによる。

物体照合の結果は、アフィン変換行列のみが利用される。3 次元境界復元における頂点の座標を得るには、画像から直接に、まずセグメント対応探索処理を行い、次いで 2 次元境界上の頂点の対応探索処理を利用して対応する 2 次元座標の組を得る。3 次元境界復元上の頂点は、それとピンホールパラメータから直ちに推定できる。

最後に、他方の復元の頂点をアフィン行列で移して、一方の復元の頂点に「一致」するかどうかを判定する「近傍探索」を行っている。

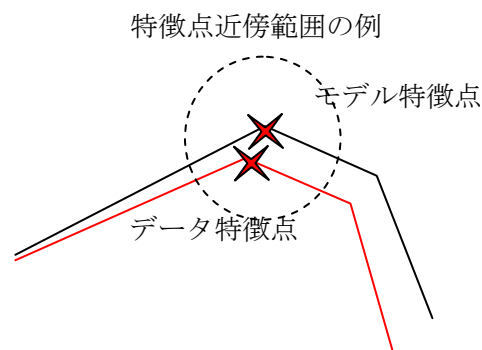


図 5-1-2-1 照合処理後の特徴点近傍の対応点探索(誤対応なしの場合)

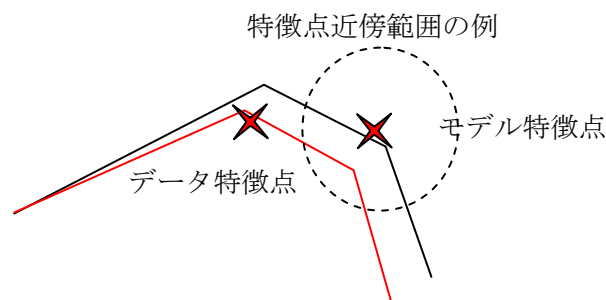


図 5-1-2-2 照合処理後の特徴点近傍の対応点探索(誤対応ありの場合)

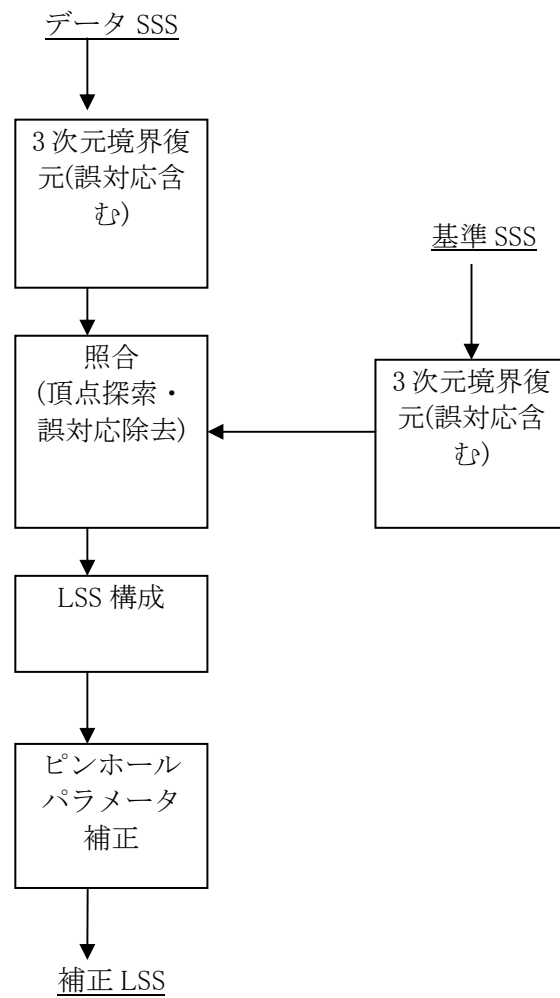


図 5-1-2-3 セルフキャリブレーションの全体の流れ

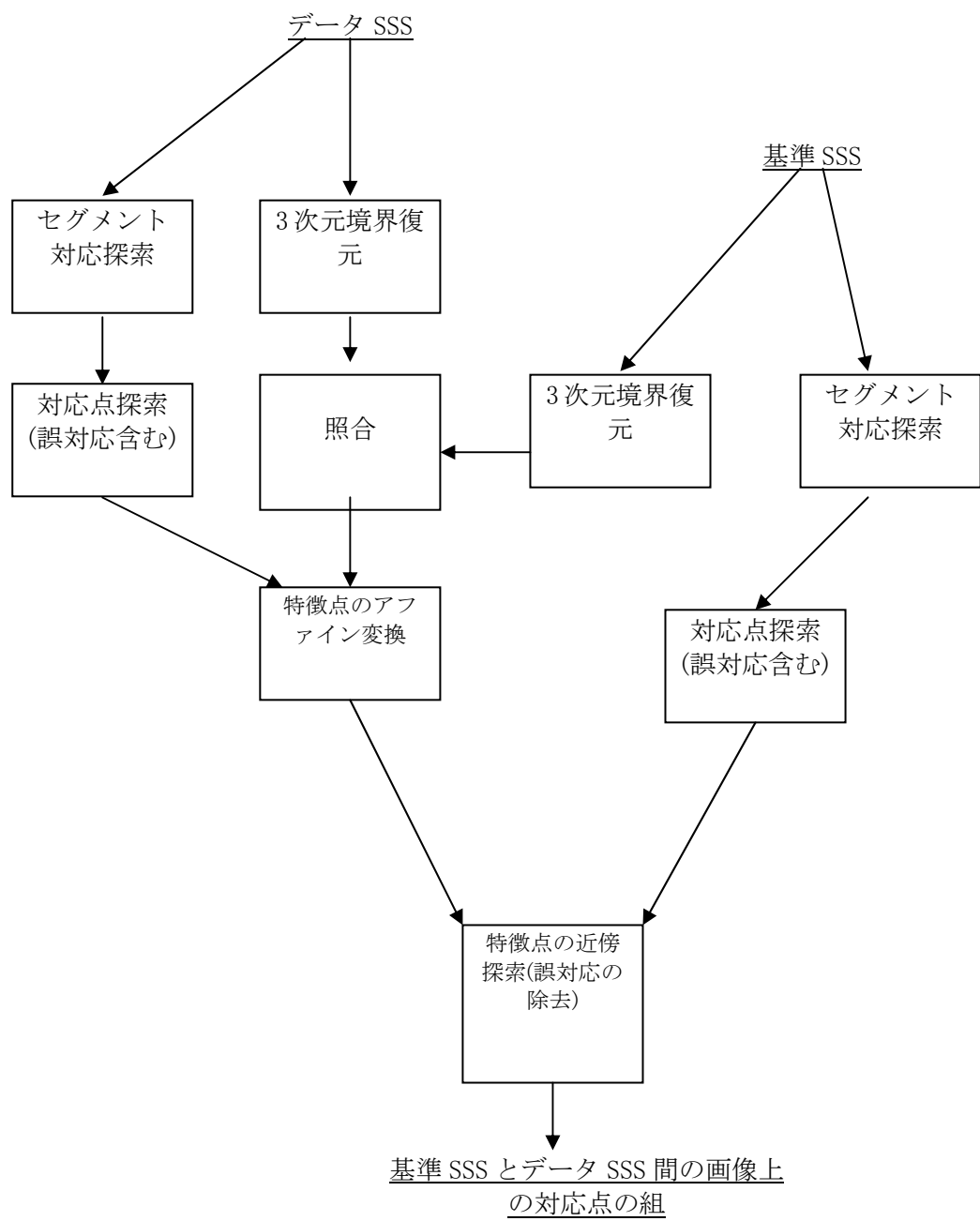


図 5-1-2-4 照合処理と対応点探索処理の流れ

5-1-2-2 外部パラメータのセルフアジャストメント法による補正処理の実装

・概要

ここでは、5-1-2-1 で得られた対応点をもとにピンホールパラメータの補正を行う。これまでは、11 個のピンホールパラメータ全体を同時に補正していたが、内部パラメータが固定している場合のみ扱うので、ここでは 5 個の内部パラメータを固定し、6 個の外部パラメータ(並進と回転)のみの補正を行っている。また、これまでのように 11 個のピンホールパラメータ全体を同時に補正すると、固定しているはずの内部パラメータが大きくずれてしまい、数値的な不安定性を示していることから、内部固定の方が望ましいと考えられる。

セルフアジャストメントの基本的処理の構成は、流れ図(図 5-1-2-3) の下半分の部分のようになる。

・外部パラメータのセルフアジャストメント法による補正処理のアルゴリズムについて

11 個のピンホールパラメータを同時に補正する場合、連立方程式は、線形方程式となったので定型の数値解法を採用することによって、6 組以上の 2 次元画像上の対応点に関して投影点との誤差が最小値になるように最適化することができた。

今回の外部パラメータの場合では、角変数を含むので、連立方程式は非線形となる。従って、ニュートン法による繰り返し解法が必要となる。

まず、x 軸、y 軸、z 軸周りの 3 次元回転行列をそれぞれ $R(\alpha)$ 、 $R(\beta)$ 、 $R(\gamma)$ とすると、角変数 α 、 β 、 γ 煮よって以下に定義する。

$$R(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R(\beta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & -\sin \beta \\ 0 & \sin \beta & \cos \beta \end{bmatrix}$$

$$R(\gamma) = \begin{bmatrix} \cos \gamma & 0 & \sin \gamma \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \gamma & 0 & \cos \gamma \end{bmatrix}$$

以上の各変数を用いて任意の回転行列 R は

$$R = R(\alpha)R(\beta)R(\gamma)$$

とパラメトライズできる。

次に基本技術におけるピンホールパラメータ P 行列はカメラパラメータを表す A 、 R 、 T 行列によって以下のように分解できる。

$$P \equiv AR^T[I, -T]$$

ここで P は 3×4 行列で $P_{34}=1$ となるように規格化してある。 R^T は行列 R の転置行列であり、 I は 3 次元単位行列である。 $\equiv$ は、両辺が定数倍を除いて等しいことを示す。

これを以下の式のように変形する。

$$p \equiv [r, -t]$$

ここで、 $p = A^{-1}P$ 、 $r = R^T$ 、 $t = R^T T$ である。

これらの関係を使って、カメラモデルの式 $\lambda m = P[X, 1]^T$ を

$$\lambda \mu = rX - t$$

と変形する。ここで、 $\mu = A^{-1}m$ 、 $X = [X, Y, Z]$ とおいた。

また、定数 λ は $\mu_3=1$ から、 $\lambda = r_{31}X + r_{32}Y + r_{33}Z - t_3$ となる。

以上によって外部パラメータ α 、 β 、 γ 、 t_1 、 t_2 、 t_3 を求めるには、十分多くの X と μ の組みが与えられたとき、次の非線形連立方程式

$$f(\alpha, \beta, \gamma, t) = rX - t - \lambda \mu = 0$$

の解の最適値を推定すればよいことが分かった。

これを解くには、 $f(\alpha, \beta, \gamma, t)$ の 1 階偏微分を求める必要がある。これらは以下のように求まる。

$$\partial f_1 / \partial \alpha = -X(\sin \alpha \cos \gamma + \cos \alpha \sin \beta \sin \gamma) + Y(\cos \alpha \cos \gamma - \sin \alpha \sin \beta \sin \gamma) - \mu_1(X(-\sin \alpha \sin \gamma + \cos \alpha \sin \beta \cos \gamma) + Y(\cos \alpha \sin \gamma + \sin \alpha \sin \beta \cos \gamma)),$$

$$\partial f_1 / \partial \beta = -X \sin \alpha \cos \beta \sin \gamma + Y \cos \alpha \cos \beta \sin \gamma + Z \sin \beta \sin \gamma - \mu_1(X \sin \alpha \cos \beta \cos \gamma - Y \cos \alpha \cos \beta \cos \gamma - Z \sin \beta \cos \gamma),$$

$$\partial f_1 / \partial \gamma = -X(\cos \alpha \sin \gamma + \sin \alpha \sin \beta \cos \gamma) + Y(-\sin \alpha \sin \gamma + \cos \alpha \sin \beta \cos \gamma) - Z \cos \beta \cos \gamma - \mu_1(X(\cos \alpha \cos \gamma - \sin \alpha \sin \beta \sin \gamma) + Y(\sin \alpha \cos \gamma + \cos \alpha \sin \beta \sin \gamma) - Z \cos \beta \sin \gamma),$$

$$\partial f_1 / \partial t_1 = -1, \quad \partial f_1 / \partial t_2 = 0, \quad \partial f_1 / \partial t_3 = \mu_1,$$

$$\partial f_2 / \partial \alpha = -X \cos \alpha \cos \beta - Y \sin \alpha \cos \beta - \mu_2 (X(-\sin \alpha \sin \gamma + \cos \alpha \sin \beta \cos \gamma) + Y(\cos \alpha \sin \gamma + \sin \alpha \sin \beta \cos \gamma)),$$

$$\partial f_2 / \partial \beta = X \sin \alpha \sin \beta - Y \cos \alpha \sin \beta + Z \cos \beta - \mu_2 (X \sin \alpha \cos \beta \cos \gamma - Y \cos \alpha \cos \beta \cos \gamma - Z \sin \beta \cos \gamma),$$

$$\partial f_2 / \partial \gamma = -\mu_2 (X(\cos \alpha \cos \gamma - \sin \alpha \sin \beta \sin \gamma) + Y(\sin \alpha \cos \gamma + \cos \alpha \sin \beta \sin \gamma) - Z \cos \beta \sin \gamma)$$

$$\partial f_2 / \partial t_1 = 0, \quad \partial f_2 / \partial t_2 = -1, \quad \partial f_2 / \partial t_3 = \mu_2.$$

これらの行列要素を使うと、連立線形方程式が得られるので、これから通常の方法で解の最適値が求まる。その最適値を用いて新たに行列要素を計算すれば新しい連立線形方程式が得られるので、何回でもこれを繰り返すことができ、 α 、 β 、 γ 、 $\mathbf{t}$ が次第に真の値に近づく。

5-1-2-3 検証結果

以下では、本システムのセルフキャリブレーションの機能の有効性を検証するための実験結果を示す。

ここでは、基準画像からの SSS、データ画像からの SSS、それらから得られた LSS、それをさらにセルフアジャストメントして改善した LSS の結果を LCM 形式の 3 次元境界表現にて確認した。

・基準画像とデータ画像

基準画像は、図 5-1-2-5 の物体を利用した。

データ画像は、図 5-1-2-6 のように、図 5-1-2-5 と同一物体で、物体を中心にカメラシステム全体を右側に 35 度回転させて撮影した。

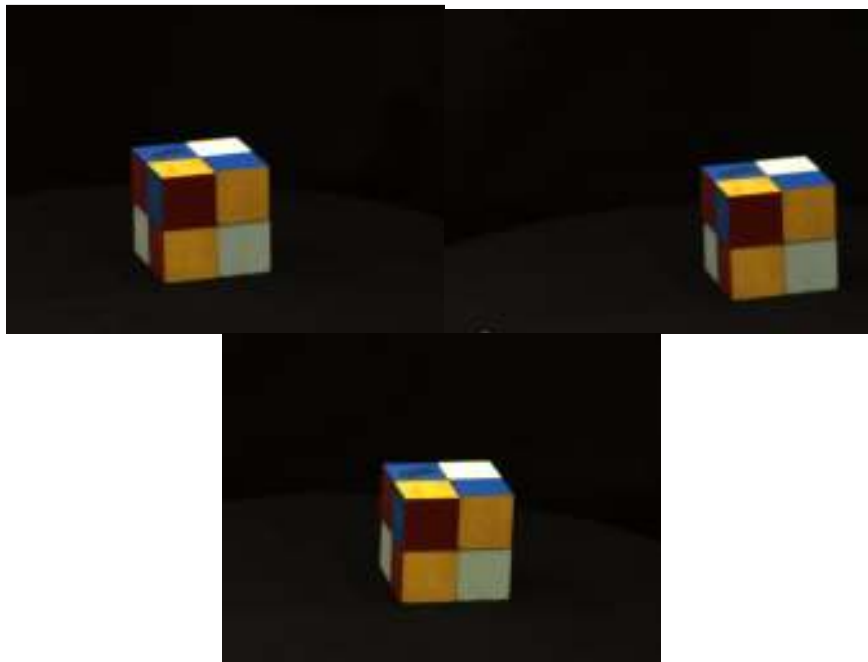


図 5-1-2-5 基準原画像(左、右、中央カメラ)

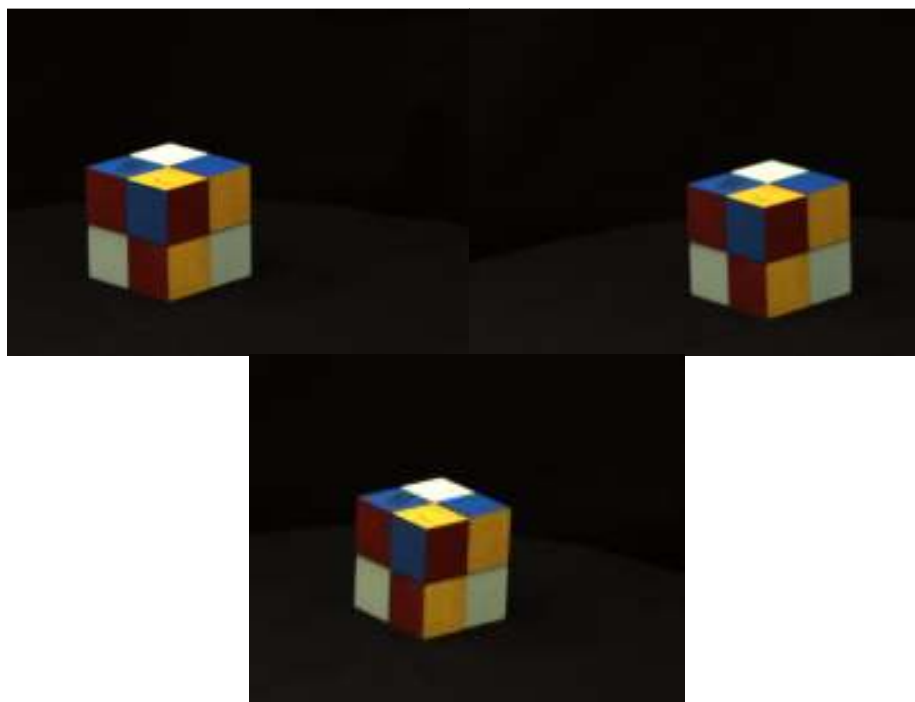


図 5-1-2-6 データ原画像(左、右、中央カメラ)

- ・ 基準画像からの SSS とデータ画像からの SSS の結果

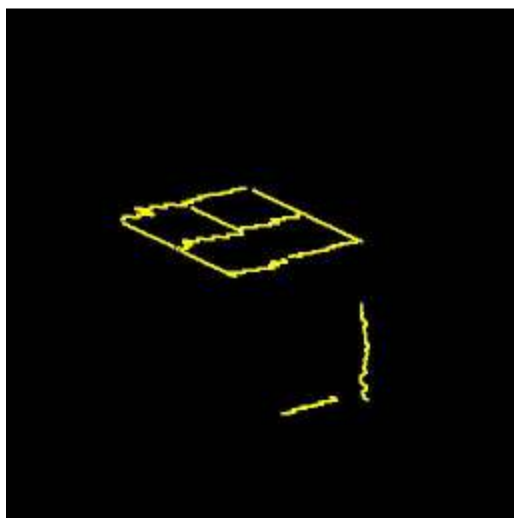


図 5-1-2-7 基準原画像からの SSS による LCM

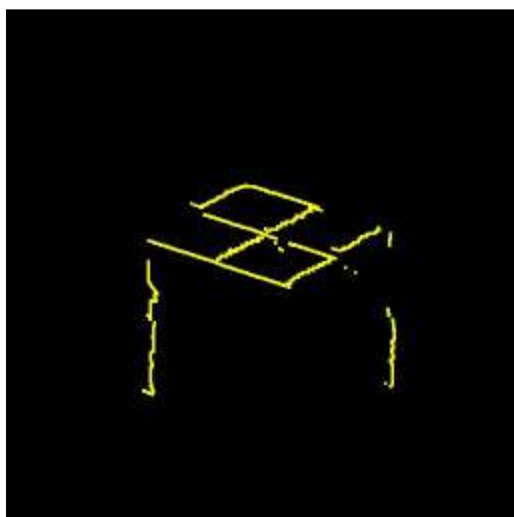


図 5-1-2-8 データ原画像からの SSS による LCM

- 2つの SSS から得られた LSS の結果

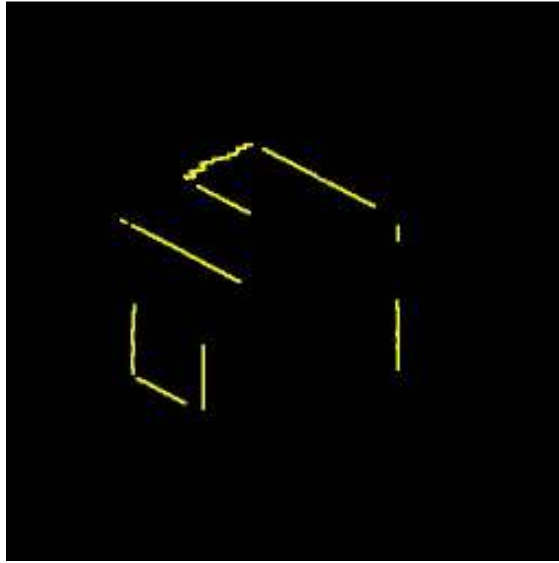


図 5-1-2-9

- 外部パラメータをセルフアジャストした LSS の結果

上記のセルフアジャストする前の対応に比較して、セルフアジャスト後は、明らかに正しい対応に改善が見られる。また、SSS の場合に比較しても下部において改善が見られる。(図 5-1-2-7、5-1-2-8、5-1-2-9、5-1-2-11 参照)

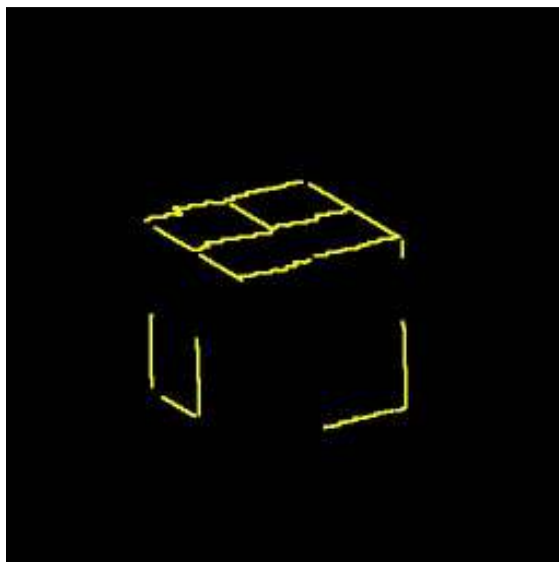


図 5-1-2-10

5-1-2-4 実用化に向けて

今後とも実用化に向けた検証が重要となる。本システムは、以上に述べてあるように、照合処理、特徴点对応探索処理、セルフアジャストメント処理から構成されるが、各処理の性能評価とその結果に基づいた例外処理の実装が必要である。特に特徴点对応探索処理の結果として得られる対応する特徴点の配置が3次元において同一平面上にあるなどの特殊な場合は、その後のセルフアジャストメント処理で正しい値を出力できないことがわかっている。(図 5-1-2-11 参照) このような場合、セルフアジャストメント処理の前で配置の特殊性を判定し例外処理を行う必要がある。

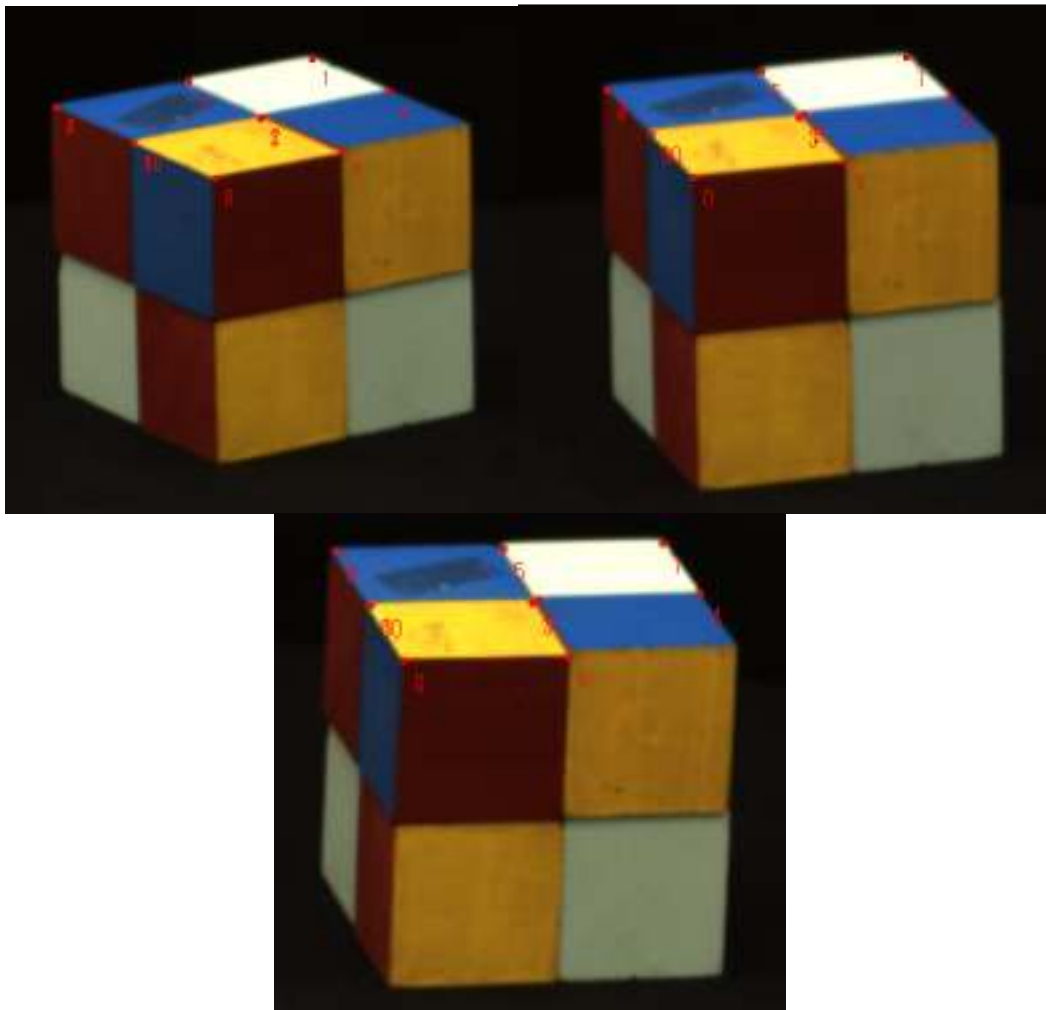


図 5-1-2-11 原画像(左、右、中央カメラ)とその同一平面上のみにある対応点

5-1-2-5 セルフアジャストメントの定量的評価

ステレオカメラによる距離計測では、カメラ間の距離（基線長）に対して対象までの距離が遠いほど、奥行き方向の精度が低下する。飛行体にステレオカメラを搭載する場合、物理的な制約のため空中撮影に十分な長さの基線長を確保することは困難である。そこでカメラを移動し、別な位置から撮影された画像によって基線長の長いステレオ画像を得ることが考えられる。例を図 5-1-2-12 に示す。ステレオカメラの参照カメラ（カメラ 2）で撮影した画像の代わりに、より遠くの別な位置から撮影したカメラ（カメラ 2'）の画像に置き換えて距離を計測する。このようにして長い基線長でステレオマッチングを行うことを、ここではラージスケールステレオと呼ぶ。

ステレオマッチングや距離の計算を行う上で、カメラの校正精度は大きく影響する。カメラを移動する場合、カメラパラメータのうち焦点距離など内部パラメータは変化せず、焦点の位置と回転を表す外部パラメータが変化する。このとき、与える移動量に誤差が多いほど、距離計測の精度がより低下することになる。

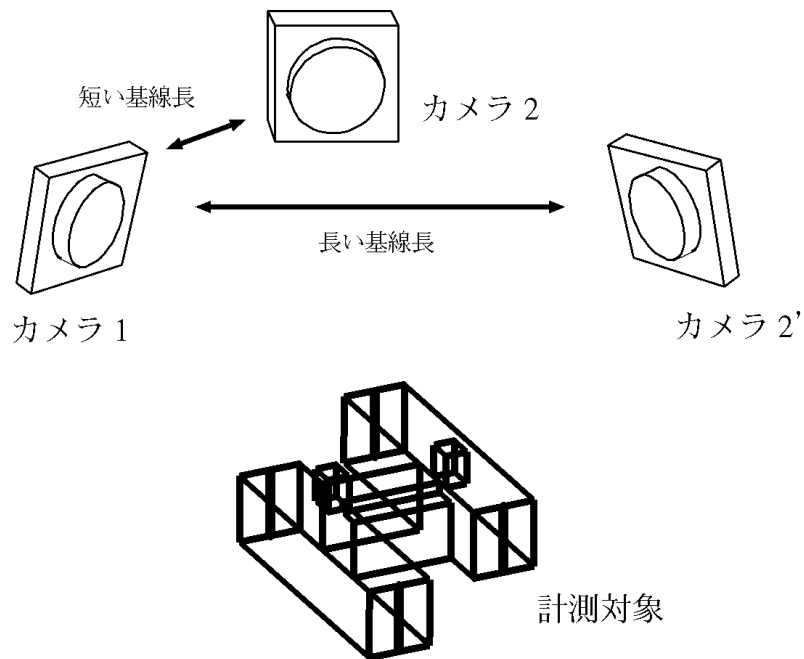


図 5-1-2-12 カメラ間距離(基線長)

装置の機械的な作動や振動などによる校正精度の低下は、校正器具を用いてステレオカメラをキャリブレーション（校正）し直すことで修正できる。しかしカメラの移動によるものは校正器具を用いることは当然できないので、他の方法が必要である。セルフアジャストメント技術を用いることによって、カメラパラメータの誤差をステレオ画像から自律的に補正することができる。

セルフアジャストメントによるカメラパラメータの補正前後について、3次元復元の計測精度を調べる実験を行った。実験は、ステレオカメラ装置自身の短い基線長で撮影した場合と、クレーンによってカメラを移動してクレーンに与えた移動量から算出した長い基線長で撮影した場合について行い、それぞれ補正の前後での計測誤差を測定した。

対象として大きさが既知の立方体(99mm×99mm×99mm)を用いた。これをカメラから約3.3mの距離において撮影した。短い基線長のとき左右のカメラ間距離は101.465 mmで、長い基線長のとき188.341 mmである。

図 5-1-2-13 の短い基線長における実験データである。左絵は、立方体を境界線に基づくステレオマッチングによって3次元復元した結果である。右絵は、撮影された画像中の対象物の位置を緑色で表している。この位置は物体認識技術を用いた結果による。図 5-1-2-14 はセルフアジャストメントによる補正を行った短い基線長における実験データである。同様に図 5-1-2-15 は補正しない長い基線長、図 5-1-2-16 は補正を行った長い基線長における実験データである。

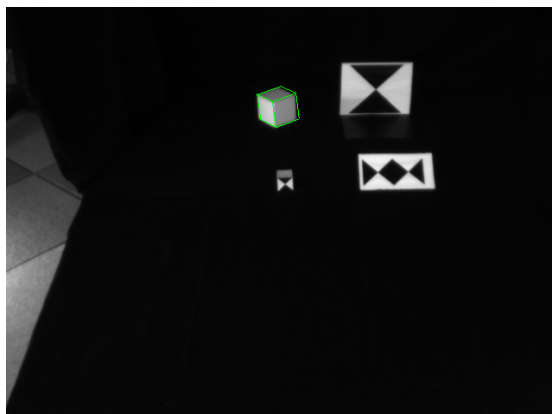
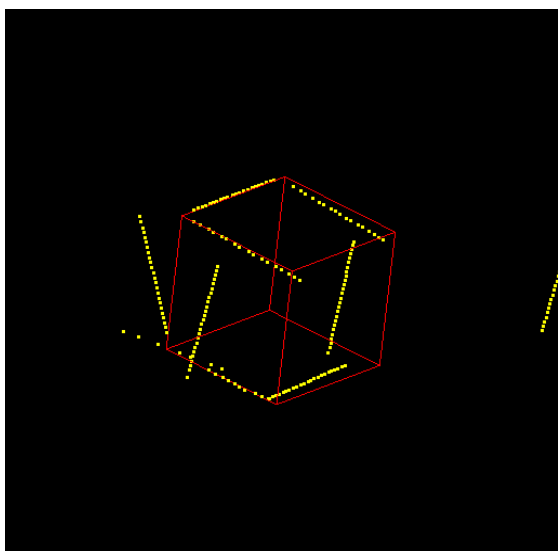


図 5-1-2-13 短い基線長での復元結果（補正なし）

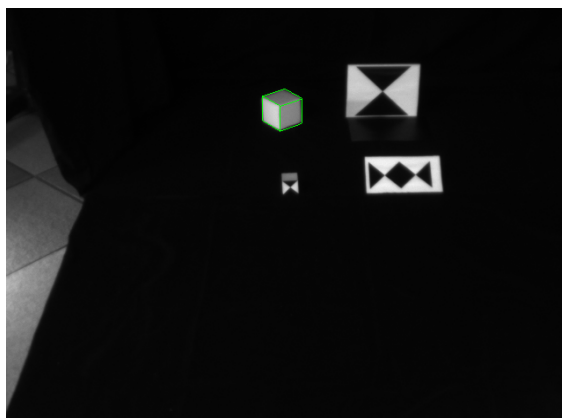
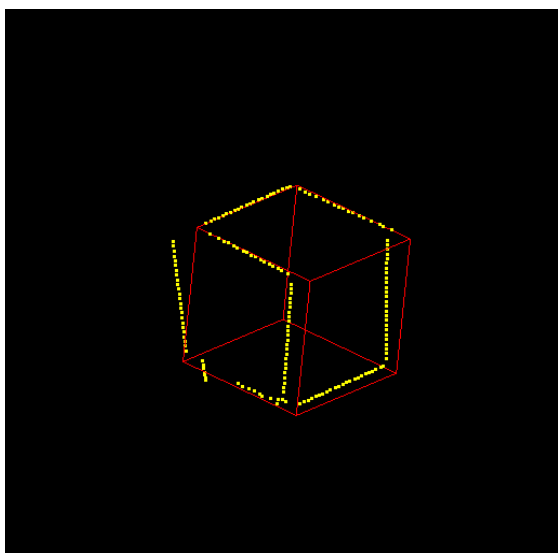


図 5-1-2-14 短い基線長での復元結果（補正あり）

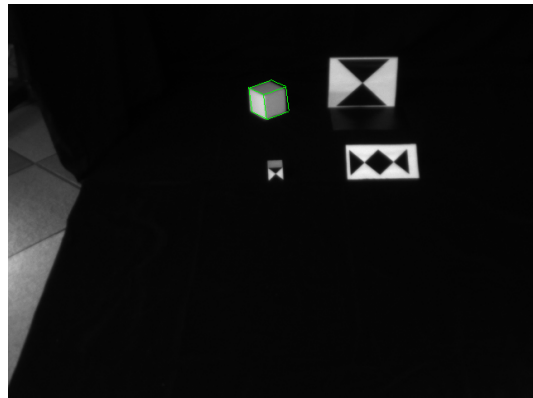
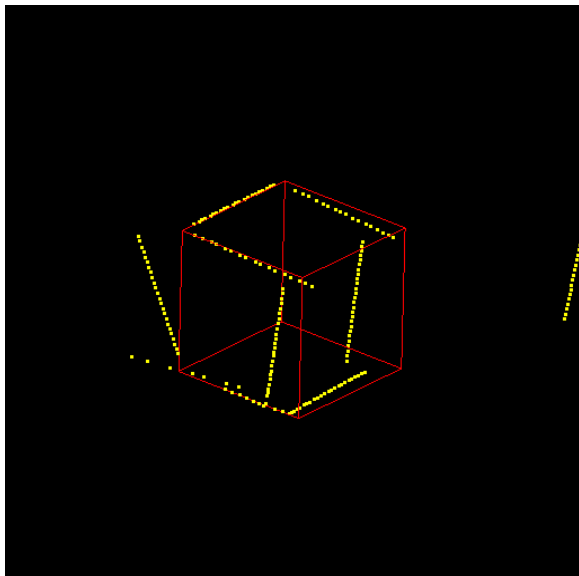


図 5-1-2-15 長い基線長での復元結果（補正なし）

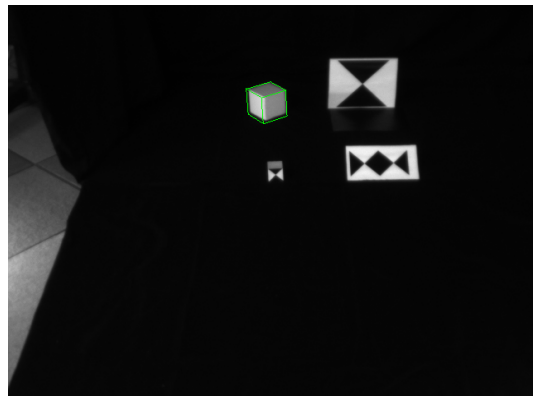
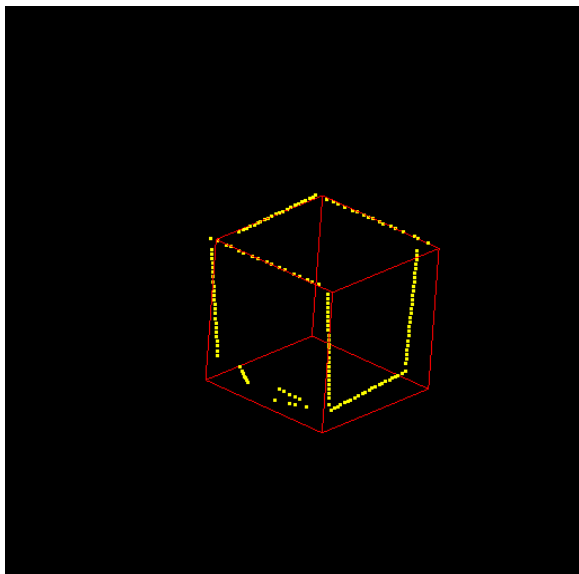


図 5-1-2-16 長い基線長での復元結果（補正あり）

CAD システムを用いて立方体の完全なモデルデータを作成し、誤差を算出するための基準とした。物体認識技術を用いて観測データから対象物の位置姿勢を割り出し、座標変換によってモデルデータと観測データを重ね合わせたのち、観測データのサンプル点からモデルデータの境界線までの距離の平方平均二乗誤差を計算した。

このとき十分に近い境界線同士のみを比較対照とした。まず比較される側（観測データ）の境界線の中央のサンプル点から最も近い距離にあるモデルデータの境界線を選ぶ。その距離は、サンプル点間隔未満であり、かつその2つのうち片方の境界線の始点（もしくは終点）と、もう一方の境界線との距離が 3mm 未満であるもの同士に限った。

表 5-1-2-1 は、以上の方法で求めた誤差である。基線長が短い場合も長い場合ともに、補正によって誤差が小さくなった。さらに基線長が長い場合は、モデルデータと比較可能なサンプル点の数も増加している。補正がない場合、短い基線長と長い基線長で誤差に差がないが、これは基線長が長い場合でもモデルデータと比較可能な境界線については、それ以上正しい対応が求められなかったためと考えられる。

	比較したサンプル点の合計数 (境界線の数)	誤差(mm)
短い基線長（補正なし）	54 (2)	1.014111
短い基線長（補正あり）	58 (2)	0.840646
長い基線長（補正なし）	54 (2)	1.014111
長い基線長（補正あり）	110 (4)	0.769389

表 5-1-2-1 計測結果の誤差

5-1-3 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

ステレオ画像から左右の対応点を求めるステレオマッチングによって、3 角測量の原理による非接触の受動的な距離の計測が可能となる。以下に、今年度開発したこのステレオマッチングの精度を向上させる手法について説明する。この手法は、相関法を用いるステレオマッチングに対して適用される。

相関法によるステレオマッチングでは、ステレオ画像の対応点を探すために 2 つの画像の局所領域（ウィンドウ）における明るさを比較する。そして 2 つのウィンドウが最もよく一致するとき、それらの点を対応点として検出する。一般にこのウィンドウは矩形で、比較する 2 つの画像で同じ大きさ・同じ形状のものを用いる。

しかし、左右のカメラの位置は当然異なり、それぞれのカメラに対する物体表面の向きも異なる。したがってカメラの撮像面の 1 つの画素に写る領域が、左右のカメラで完全に一致することは非常にまれである。物体表面が平面であるとする、一方のカメラ画像に正方形に投影される領域は、もう一方にはしばしば正方形ではない四角形として投影される。このため、2 つの画像に同じ形のウィンドウを適用するステレオマッチングは、一様ではない標本化の誤差を含む。

よってステレオ画像からより精度よく対応点を求めるためには、ステレオマッチングに用いる左右のウィンドウの一方の大きさ・形状を、物体表面の向きに応じて変えれば良いと考えられる。すなわち、局所領域内の輝度の比較を常に 1 画素単位の対で行うのではなく、参照される方の画素の位置を物体表面に基づく基準の画素からの投影によってサブピクセルレベルで求め、その輝度を補間によって算出する。これをウィンドウ内の全ての画素について繰り返すことで、同じ大きさ・形状のウィンドウ同士で比較する場合より、正確に一致する対応点を求めることができる。

以下に投影されたウィンドウの形状を求める手順を示す。対象となるステレオ画像は、視差の探索範囲が画像の水平方向になるよう平行化されているものとする。

1. あらかじめ通常の相関法（左右ともウィンドウが正方形）による 3 次元復元を行い、復元された仮の物体表面の法線ベクトルを計算しておく。
2. 撮像面の行ごとにその行を通るエピポーラ面を求める。エピポーラ面は、左右のカメラのカメラ中心の座標と、それぞれの行における任意の視線ベクトルから、エピポーラ面の法線を計算することで求められる。カメラ中心の座標は、カメラキャリブレーションの結果から既知である。

ここでエピポーラ面を XY 平面とする新しい 3 次元座標系を考える (図 5-1-3-1)。この座標系の X 軸方向は、右カメラ中心 C' から左カメラ中心 C へ向かうベクトルに一致する。Z 軸方向は、左カメラの視線ベクトル V と右カメラの視線ベクトル V' の外積によって定められる。この座標系は以下の式によって与えられ、画像の 1 行につき 1 つ存在する。

$$\tilde{x} = \overline{C'C}$$

$$\tilde{y} = \tilde{z} \times \tilde{x}$$

$$\tilde{z} = V \times V'$$

この座標系の原点は、カメラキャリブレーションによって与えられるワールド座標系の原点に一致する。

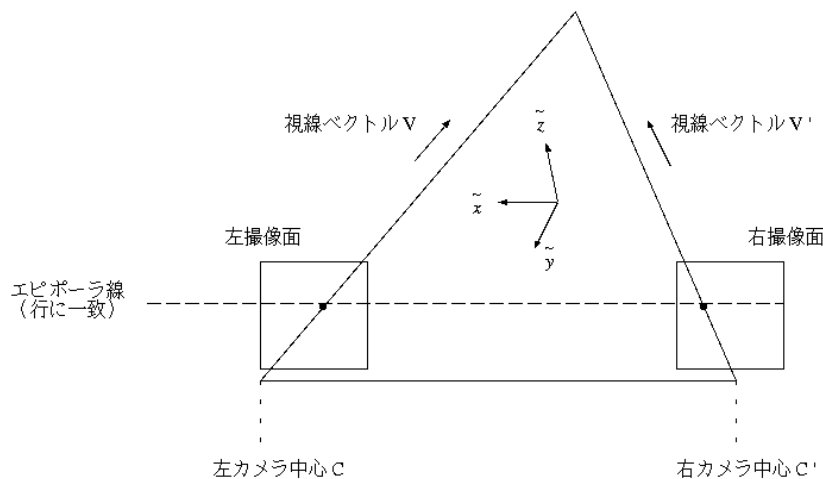


図 5-1-3-1 エピポーラ面を XY 平面とする座標系

3. 次に、物体表面の候補となる全ての点の 3 次元座標を求める。これは、注目している左画像の 1 画素を通る視線ベクトルと、右画像の探索すべき視差の範囲内にある画素を通る視線ベクトルとの交点である。以下の式の k を解けば、交点を決定できる。

$$C + kV = C' + k'V'$$

$$\begin{pmatrix} C_0 \\ C_1 \\ C_2 \end{pmatrix} + k \begin{pmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C'_0 \\ C'_1 \\ C'_2 \end{pmatrix} + k' \begin{pmatrix} V'_0 \\ V'_1 \\ V'_2 \end{pmatrix}$$

このとき左右の視線ベクトルの交点を、先に作成した座標系の XY 平面（エピポーラ面）で計算する。XY 平面上の交点は以下の式で求められる。 $(\tilde{c}_0, \tilde{c}_1)$, $(\tilde{c}_0', \tilde{c}_1')$ はエピポーラ面上の左右のカメラ中心の座標を、 $(\tilde{v}_0, \tilde{v}_1)$, $(\tilde{v}_0', \tilde{v}_1')$ はエピポーラ面上の左右の視線ベクトルを表す。

平面上で計算することで、視線ベクトルが平行である場合を除き、確実に交点を求めることができる。

$$\begin{pmatrix} C_0 \\ C_1 \end{pmatrix} + k \begin{pmatrix} V_0 \\ V_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C'_0 \\ C'_1 \end{pmatrix} + k' \begin{pmatrix} V'_0 \\ V'_1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} \tilde{c}_0 &= C \cdot \tilde{x} & \tilde{c}'_0 &= C' \cdot \tilde{x} \\ \tilde{c}_1 &= C \cdot \tilde{y} & \tilde{c}'_1 &= C' \cdot \tilde{y} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tilde{v}_0 &= V \cdot \tilde{x} & \tilde{v}'_0 &= V' \cdot \tilde{x} \\ \tilde{v}_1 &= V \cdot \tilde{y} & \tilde{v}'_1 &= V' \cdot \tilde{y} \end{aligned}$$

$$\begin{cases} \tilde{v}_0 k - \tilde{v}'_0 k' = -\tilde{c}_0 + \tilde{c}'_0 \\ \tilde{v}_1 k - \tilde{v}'_1 k' = -\tilde{c}_1 + \tilde{c}'_1 \end{cases}$$

4. あらかじめ計算しておいた物体表面の法線ベクトル N と、視線ベクトルの交点座標 X から平面を決定する。

$$N \cdot X = d$$

物体表面を近似するこの平面に、左画像上の正方形のウィンドウを投影する。左ウィンドウ内の全ての画素について、視線ベクトルと平面との交点 X を求める。以下の式より、 k が決まれば X が求められる。

$$C + kV = X$$

$$N \cdot (C + kV) = d$$

$$N \cdot C + k N \cdot V = d$$

$$k = \frac{d - N \cdot C}{N \cdot V}$$

$$X = C + \frac{d - N \cdot C}{N \cdot V} V$$

5. 交点について、今度は右撮像面上のどの画素に投影されるかを計算する。交点 X が求められていれば、右カメラにおける画像座標が求められる。左ウィンドウの全画素について右画像の画素への対応づけが得られたとき、右ウィンドウの形が得られる。対象のステレオ画像は平行化されているので、左ウィンドウが正方形のとき、右ウィンドウは台形になる。

以上で、投影されたウィンドウの形状を求める手順は完了する。

図 5-1-3-2 は今回開発した方法で投影されたウィンドウの例である。画像の一部を拡大し、正しい対応点の位置を左右に赤色で、正方形の左ウィンドウの形を緑色で、投影された右ウィンドウの形を黄色で表している。

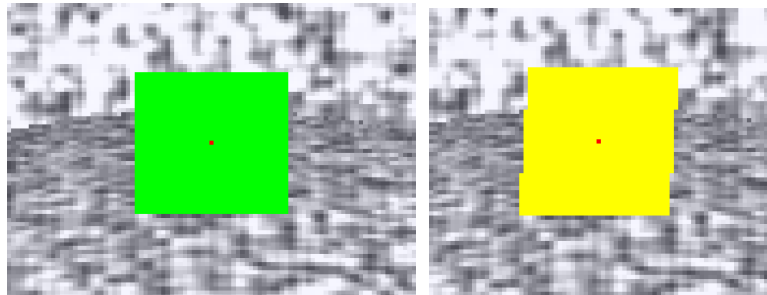


図 5-1-3-2 開発手法によって投影されたウィンドウの形状
(正方形の左ウィンドウ：緑) (投影された右ウィンドウ：黄)

次にこの方法で求めたウィンドウを使った場合と、使わない場合のステレオマッチングの精度について評価した結果を示す。

図 5-1-3-3 は、実験のために人工的に作成した CG のステレオ画像である。表面にテクスチャをかぶせた球面（半球）を作成し、同様のテクスチャを持たせた平面上に配置している。平面は、カメラに対して真正面を向いている。

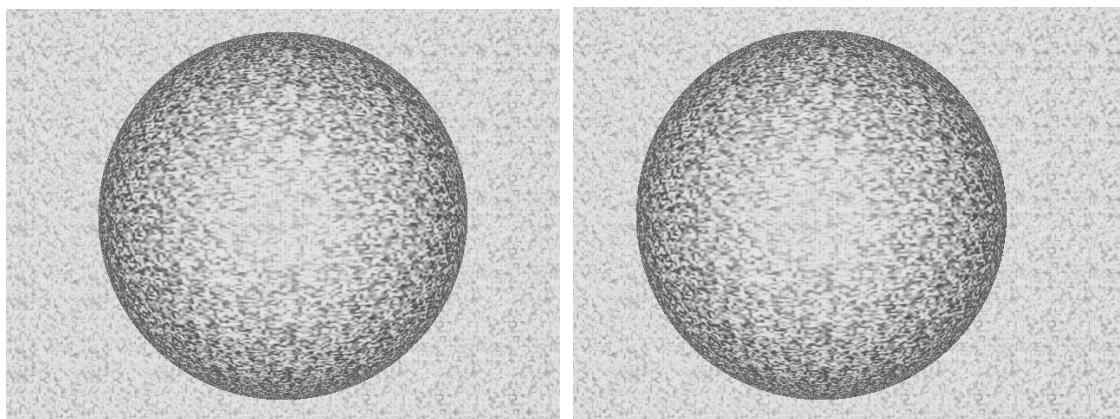


図 5-1-3-3 球面（半球）の合成ステレオ画像

このステレオ画像に対して 3 次元復元を行った結果を、従来の手法（左右とも同じ形のウィンドウ）の場合、それに補間処理を追加した場合、開発した手法の場合についてそれぞれ図 5-1-3-4，図 5-3-1-5，図 5-3-1-6 に示す。復元結果は赤色で表示されている。図の左側は、ステレオマッチングによる算出結果のみを、右側は正しい距離を白色で表示し、算出結果に重ねている。

また表 5-1-3-1 は、同様にそれぞれの方法を適用した場合について、計測結果と正しい値を画素ごとに比較したものである。表の左側の欄は正しい座標との距離の誤差が 2.0mm 以上あった画素の数を示している。右側は画像全体の画素について計測誤差の平均を計算した結果である。

表より従来手法で補間を行わない場合、他の場合よりもかなり誤差が大きいことが分かる。図のように距離が整数倍で算出されるため、滑らかなはずの曲面の表面が階段状になってしまう。従来手法で補間を行う場合、行わない場合に比べ誤差 2.0mm 以上の画素の数は 40% 近く減り、誤差の平均は半分以下となって精度が向上している。しかしウィンドウの標本化誤差のため、図のように周期的に誤差が増減し、滑らかなはずの曲面の表面が波打っている。今回開発した手法による結果では、補間する場合と比べて誤差の大きい画素数がさらに全体の 20% 以上減っている。誤差の平均も若干小さくなっている。図を見ると、周期的な誤差が目立たなくなっており、標本化の誤差を取り除いて期待されたとおりの効果を上げていることが分かる。

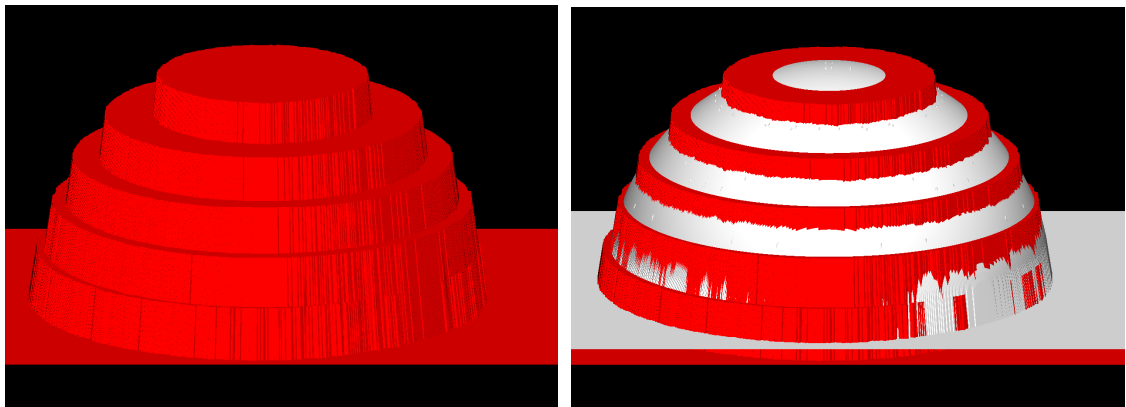


図 5-1-3-4 従来手法による復元結果

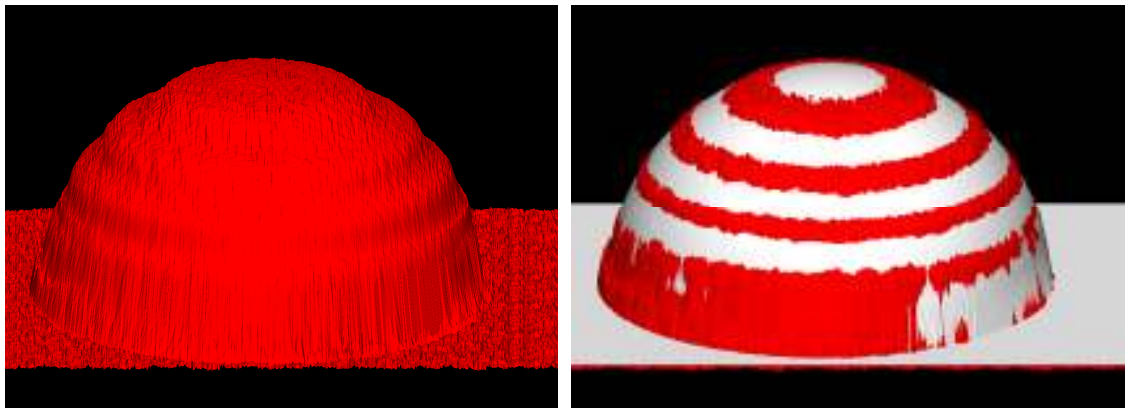


図 5-1-3-5 従来手法に補間処理を追加した復元結果

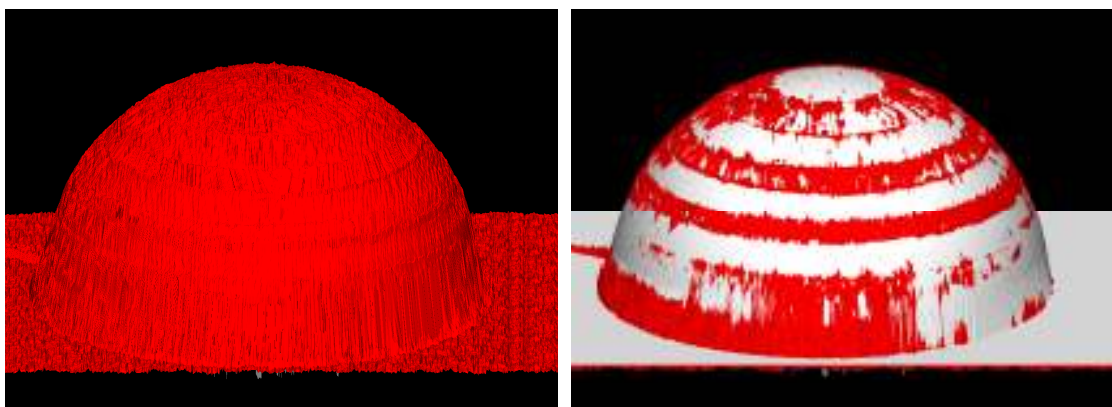


図 5-1-3-6 本手法を適用した復元結果

	誤差 2.0mm 以上の画素数	計測誤差の平均
同じ形のウィンドウを適用し 補間処理を行わない場合	149729 / 176400 pixels (84.88%)	7.08449 mm
同じ形のウィンドウを適用し 補間処理を行う場合	85418 / 176400 pixels (48.42%)	2.46705 mm
本手法を適用した場合	45999 / 176400 pixels (26.08%)	1.88139 mm

表 5-1-3-1 計測結果の誤差

5-1-4 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

5-1-4-1 テクスチャマッピング

撮影されたシーンから相関ステレオ法によって生成される距離データに画像の輝度情報を付加する開発をした。距離データとは、図 5-1-4-1 のように表示されるような計測対象の 3 次元座標の集まりである。テクスチャマッピングによって、これをより分かりやすく写実的に表示できる。ステレオカメラで撮影された濃淡画像には、テクスチャマッピングに必要な対象の輝度情報がある。このステレオ画像のうち基準とする左カメラの画像(図 5-1-4-2)の画素から輝度情報をコピーし、3 次元の空間中でその画素に写っている箇所に該当する座標を求め、その点データに輝度情報を付加した。図 5-1-4-3 は、このようにしてテクスチャマッピング処理を加えて表示した図 5-1-4-1 の距離データである。

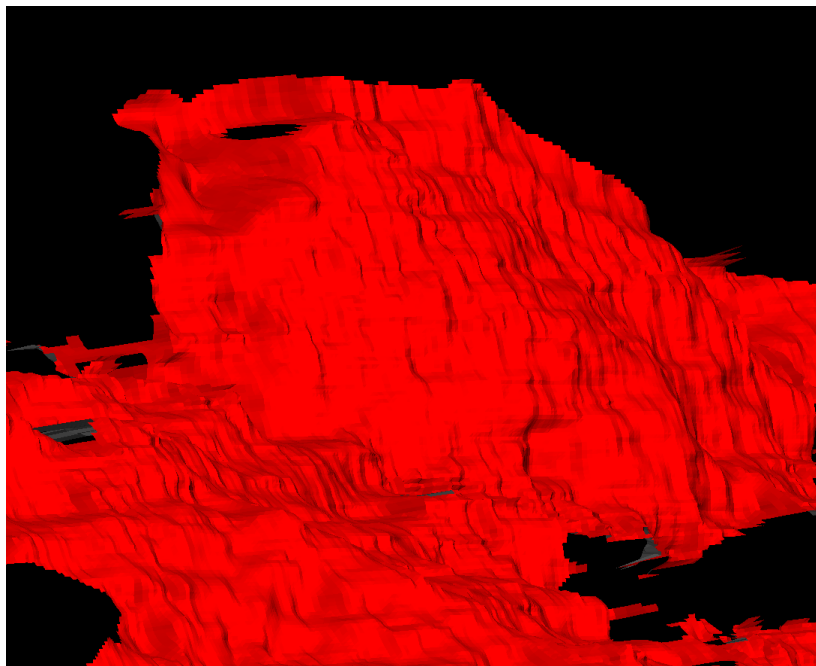


図 5-1-4-1 距離データ



図 5-1-4-2 濃淡画像

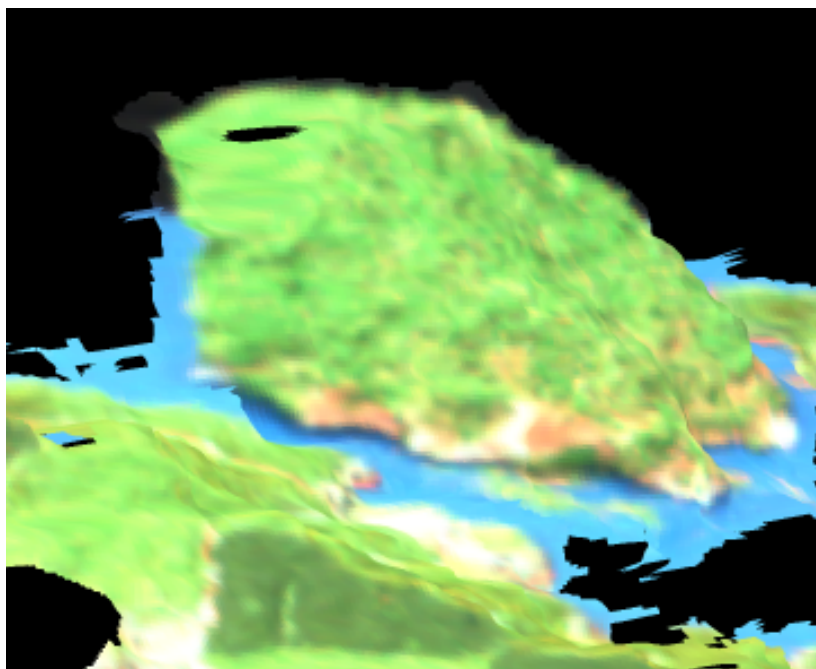


図 5-1-4-3 テクスチャーマッピングした距離データ

5-1-5 3次元地図作成（レジストレーション）サブシステムの開発

ステレオカメラから得られた境界線に基づくシーンの3次元情報を元に、3次元地図を構築するための開発を行った。実在する建物の建築模型を元にした3次元データを地図上に配置するシミュレーションを行った。配置する際は、模型から復元した3次元情報を実物大に拡大し、GPSから得られた実際の建物の位置情報を元にした。

3次元データを配置するための基盤となる地図には、国土地理院発行の数値地図2500（地図画像 水戸）および50mメッシュ（標高 日本-II）を用いた。また表示には、3次元情報を扱うことのできる既存のGISソフトウェア(TerraVision)を用い、このソフトウェアに入力可能な形式へ地図データおよび3次元データを変換するソフトウェアを作成した。

実際に作成した3次元データを図5-1-5-1に、これを地図上に配置した結果を図5-1-5-2に示す。GPSによって取得した実際の位置と、模型上のその位置の3次元座標を合わせGISソフトウェアに取り込んで地図とともに表示した。その結果は、位置に実寸で4,5メートルに相当するずれが見られたが、建物や道路の形状はほぼ地図と一致した。以上の一連の作業において、GPSによる測定やスタジオ環境の設定等は人の手で行ったが、撮影から地図上の配置までは、ステレオマッチングや物体認識のパラメータ調整を除き、自動化されている。

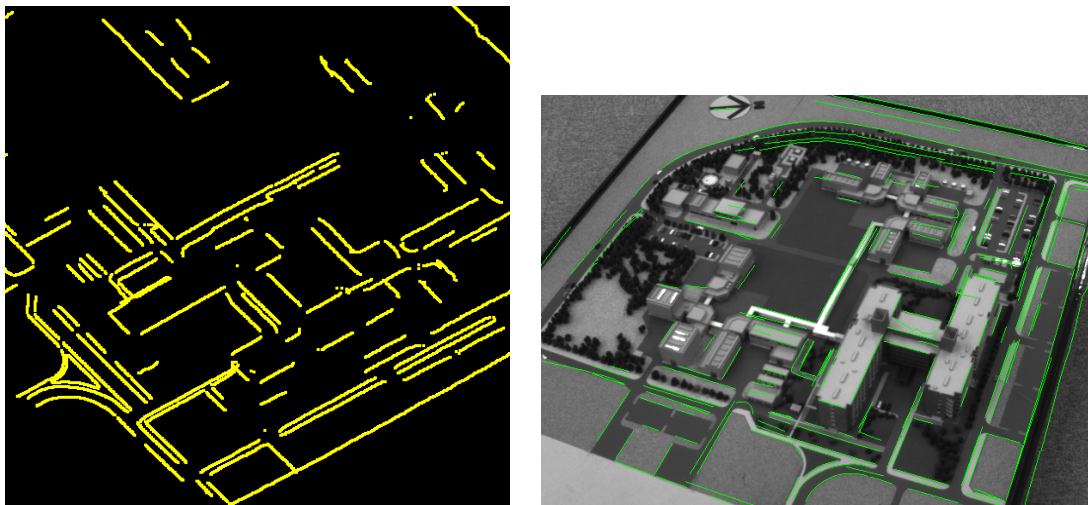


図 5-1-5-1 建築模型の3次元データ

図 5-1-5-2 の 3 次元データは 1 つの視点から撮影したステレオ画像のみから作成されているが、図 5-1-5-3 のように他の視点から取得した 3 次元データを追加していくことによって、3 次元地図の範囲を広げていくことが可能である。また、CAD ソフトウェア等で作成した建造物のモデルデータが入手できる場合、後述する対象の認識によって、周囲の雑多な情報やノイズを含まない 3 次元データを自動で配置し、表示することも可能である。(図 5-1-5-4)



図 5-1-5-2 地図上に配置した 3 次元データ



図 5-1-5-3 他の視点から作成したデータを追加

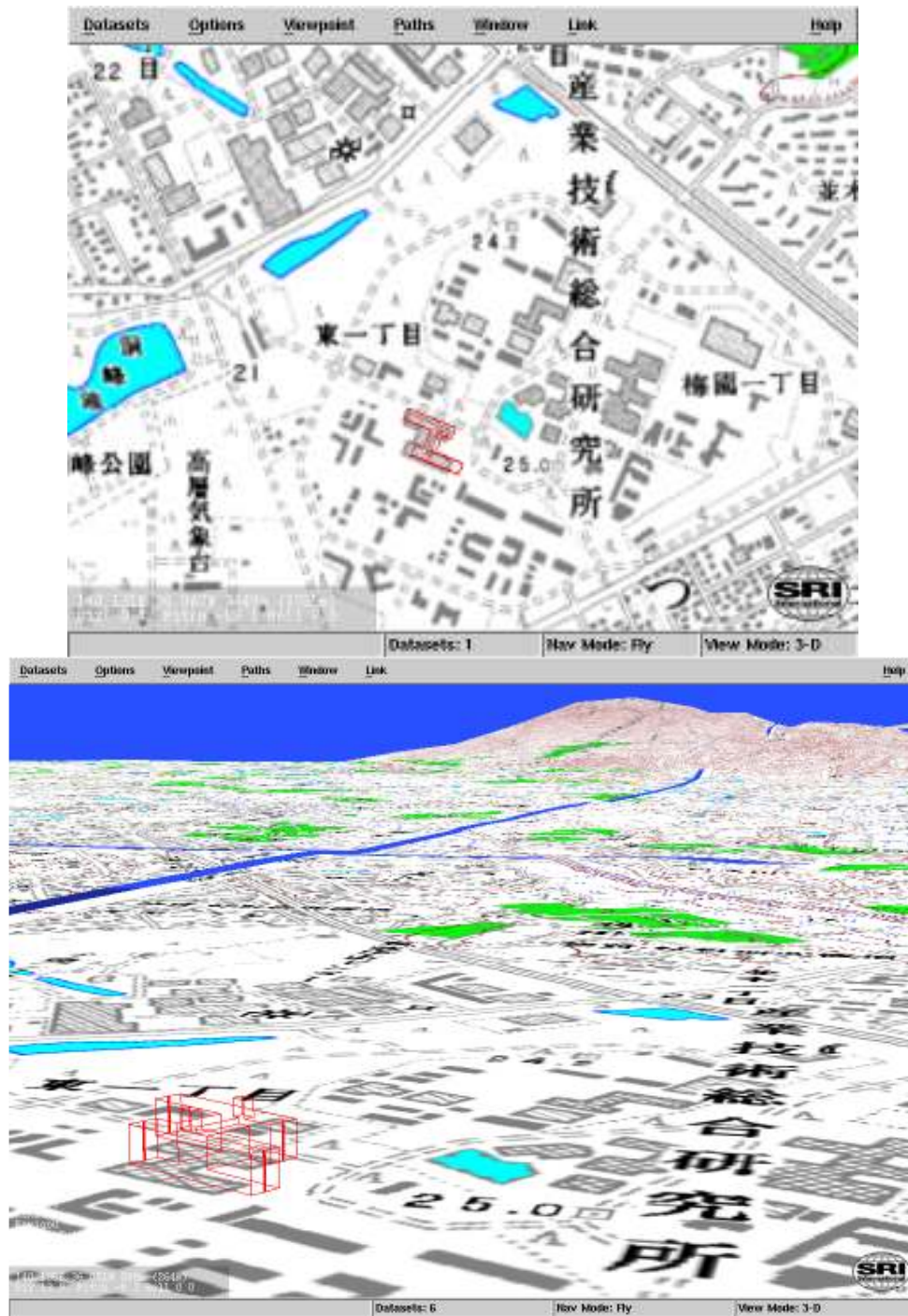


図 5-1-5-4 建物モデルを配置

5-1-6 対象物（ターゲット）の認識

特定の対象について、ステレオカメラで撮影したシーンからその対象を認識する方法について説明する。

まず、特定したい対象のモデルデータを用意する。図 5-1-6-1 は、あらかじめ対象のサイズを測定しておき、CAD システムにサイズを入力して作成した対象のモデルデータである。この例では、高さ 50mm ほどの大きさの建築模型 (1/500 スケール) をモデリングした。図の左側は視点が建物を上方向から見下ろす位置にあり、同じく右側は建物の横斜め上方向から見る位置にある。

次にシーンを境界線に基づくステレオマッチングによって 3 次元復元し、シーンの 3 次元情報を得る。図 5-1-6-2 は、モデリングした建築模型をその周囲の建物模型を含めて撮影した画像(上)とそれを 3 次元データに変換したもの(下)である。そして 3 次元データ化された境界線群と照合し、モデルデータの形状によく一致する組み合わせを探索する。その結果、シーンにおけるモデルの位置姿勢が検出される。(図 5-1-6-3)

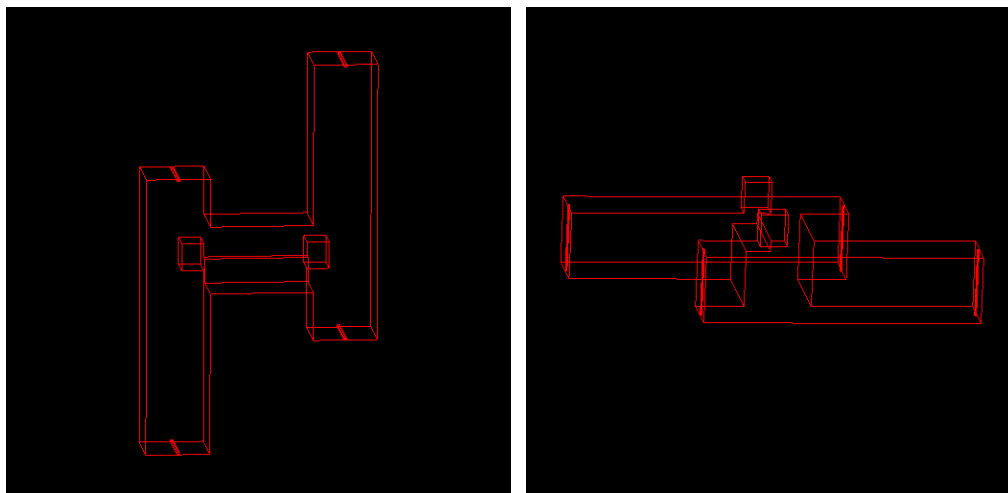


図 5-1-6-1 モデルデータ



図 5-1-6-2 シーンの画像(上)と 3 次元データ(下)

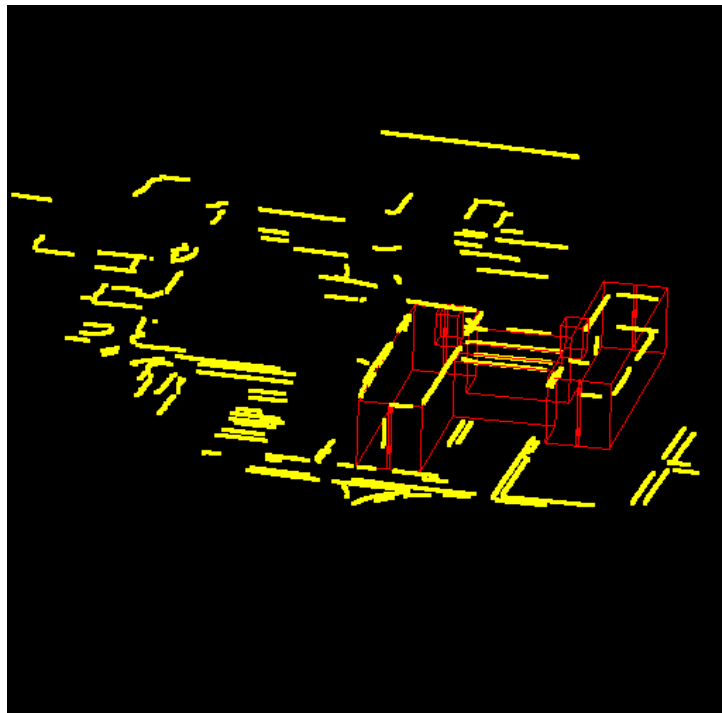


図 5-1-6-3 対象の認識結果

5-1-7 3次元動画像（任意視点）表示サブシステムの開発

実時間に準じる性能で3次元の動画像を生成し、それを表示するソフトウェアを開発した（図 5-1-7-1, 図 5-1-7-2）。これは、プログラムが終了するまでステレオカメラから画像を取り込み、相関ベースのステレオマッチングを用いて常に距離計測を繰り返し、表示中の3次元データを更新し続けることで3次元動画像の表示を実現している。

取り込まれた画像は、1組のステレオ画像ごとに平行化の画像処理が適用される。この処理はステレオマッチングの計算量を少なくするために必ず行う必要があるが、浮動小数点演算が入るためこの処理自身もやや計算コストが高い。そこで、ステレオ画像のカメラパラメータの変更がなければこの処理は常に同じ幾何変換であるので、最初の1回のみ実際に平行化に必要な計算を行なう。このとき参照した各画素のアドレスと補間係数を記録しておき、2組目以降のステレオ画像はそれらを用いて同じ変換を行うことで計算コストを抑えている。ただしこの方法では、動画の表示中はカメラパラメータに変更を加えても表示に反映されない。

なお、ステレオマッチングの処理についても、相関演算の冗長性を排除した再帰相関演算アルゴリズムとCPUに依存するマルチメディア用の命令(SSE2)を用いて高速化を図っている。

プログラムはステレオマッチングによって生成された視差画像を3次元の点データに変換し、これに輝度情報を付加して3次元表示する。視点の位置、視線の方向はマウスの操作によって自由の位置・方向を変えることができる。図中の黒い表示部分は、カメラに写らない部分に3次元データが存在しないため、中空(黒)として何も存在しないかのように表示されている。

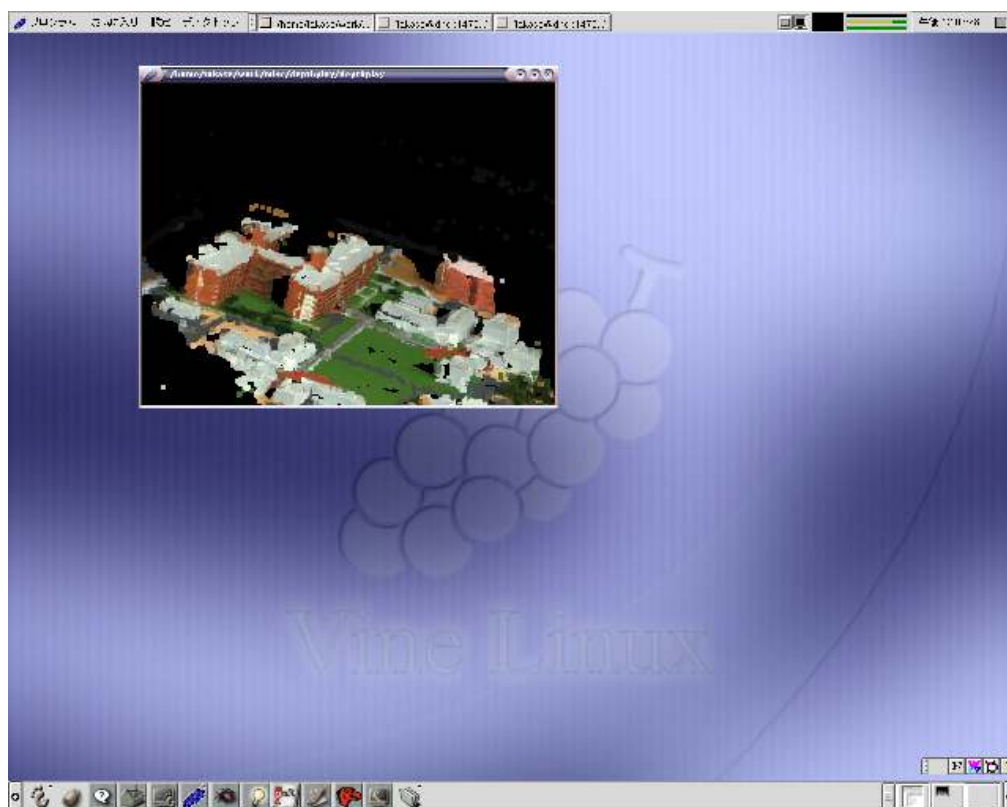


図 5-1-7-1 3次元動画の表示画面

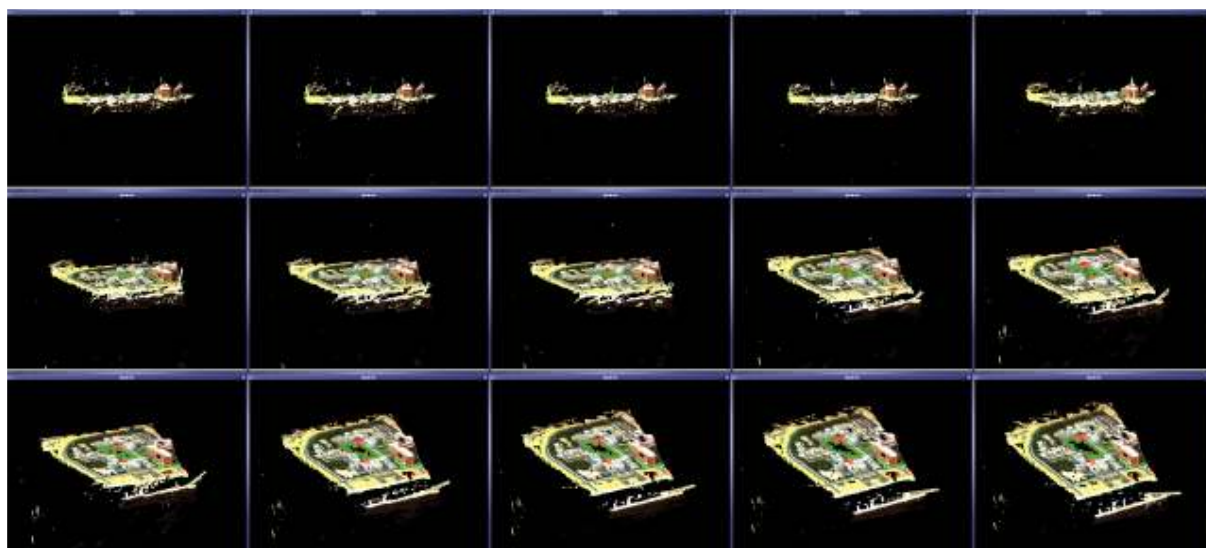


図 5-1-7-2 3次元動画(左から右の順に、視点を上方に移動)

5-1-8 まとめ

研究結果を成果物（ソフト）として纏める事ができた。

5-2 シミュレーションシステムに関する研究開発

5-2-1 序論

平成14年度・平成15年度のサブテーマ「シミュレーションシステムに関する研究開発」の研究結果を受けて、最終年度としての研究を実施した。

5-2-2 飛行シミュレータの開発

コンピュータにより移動制御が可能な飛行シミュレータの構築を行った。システムの仕様を記す。

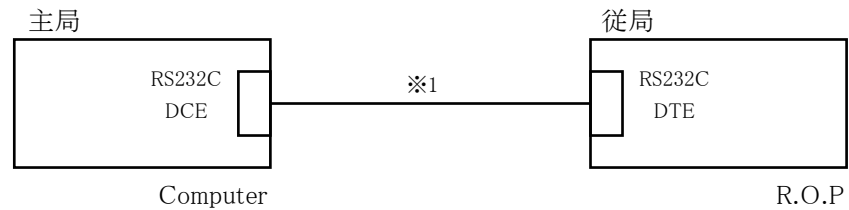


図 5-2-2-1 クレーン全景

・ クレーン

クレーンの走行（前後）・横行(左右)・昇降（上下）を制御するソフトウェアを本年度開発した。以下にハードウェア仕様を記す。

【ハード構成】



※1 ケーブルは、主局側手配とする。

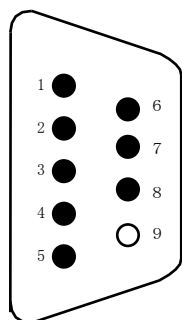
注) 制御盤側RS232C I / Fは、DTEモードとなりますので、

CPU側は必ずDCEモードとして下さい。

DTE : DATA TERMINAL EQUIPMENT

DCE : DATA COMMUNICATION EQUIPMENT

【従局側コネクタ詳細】



ピンNo.	名称	信号略号	信号方向 制御盤⇄計算機
1	受信キャリア検出	CD	←
2	受信データ	RD (R×D)	←
3	送信データ	SD (T×D)	→
4	データターミナルレディ	ER (DTR)	→
5	信号グラウンド	SG	←
6	データセットレディ	DR (DSR)	←
7	送信要求	RS (RTS)	→
8	送信可	CS (CTS)	←

(1) 各信号の内容について説明します。

RS ……制御盤がハードウェアレディでON。従ってデータ送信中はONを保持します。

DR ……OFF時は制御盤から外部へ送信しません。従って通常はDRは常にONするよう計算機側から信号を送って下さい。

CD ……OFF時伝送シーケンスを初期化します。従って、通常はCDは常にONするよう、計算機側から信号を送って下さい。

ER ……制御盤がデータ受信可能にてONします。

(2) 各信号のON及び、OFF状態とは、次の条件の時を示します。

ON DC5V～15V

OFF DC-5V～-15V

(3) インターフェース用コネクタ

RS232C用コネクタは、下記形名のものを使用していますので、このコネクタに合った相手コネクタを使用して下さい。

25ピンDサブ（メス）ネジ止めタイプ

DDK製17L-10090-27-D9AC相当

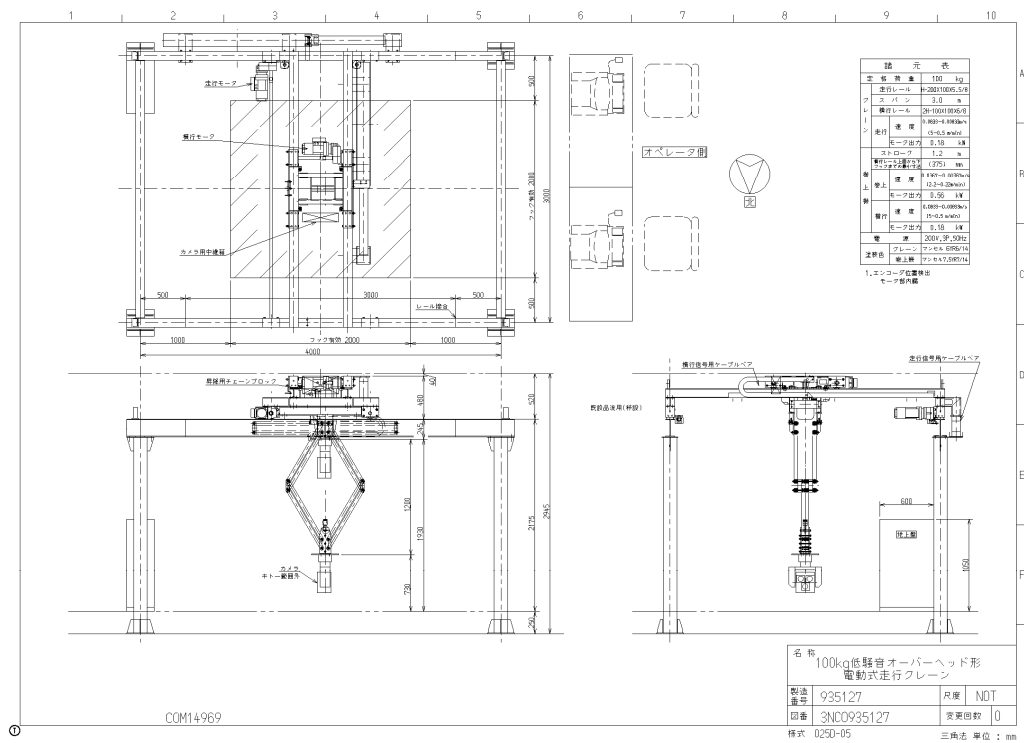
【通信基本仕様】

項目	仕様
主局	Computer
従局	制御盤
通信方式	ポーリング方式
入力インターフェイス	RS232C
同期方式	調歩同期方式
転送速度	9600bps
スタートビット	1ビット
データビット	8ビット
ストップビット	1ビット
パリティビット	偶数パリティ
伝送コード	アスキーコード

※ ポーリング方式

主局（Computer）より、定期的に従局（制御盤）にメッセージの送信を勧誘（ステータス情報の送信他）する通信方式

【外形図】

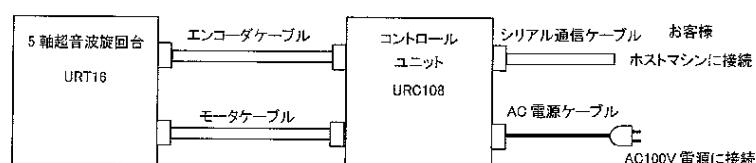


・アクティブステレオカメラ

アクティブステレオカメラのコンバージェンス(輻輳)・チルト(上下振り)・パン(左右振り)を制御するソフトウェアを本年度開発した。以下にハードウェア仕様を記す。

【ハード構成】

本システムは5軸超音波旋回台本体「URT16」とコントロールユニット「URC108」の2つから構成される。接続されるケーブル類も付属する。

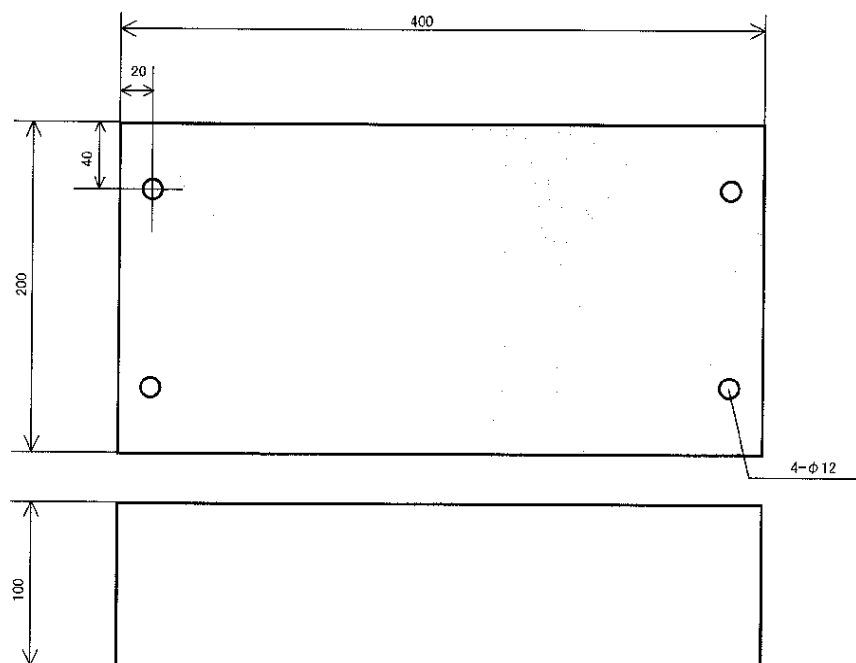


【全体仕様】

	項目	内容
5軸旋回台 URT16	使用環境範囲	動作温度: 0~+50℃ 保存温度: -20~+70℃ 湿度: 90%RH 以下 (結露なきこと)
	外形、取り付け寸法	別図参照
	重量	7.0 kg
	旋回角度	PAN軸: -165~+165° TILT軸: 0~180° S1軸: -25~+5° S2軸: -5~+25° S3軸: -25~+5° いずれも原点センサを中心とする
	エンコーダ分解能	PAN軸: 0.015° TILT軸: 0.015° S1~3軸: 0.015°
	起動トルク	PAN軸: 411.6mN・m(4200gf・cm) ギア比 1/6 TILT軸: 411.6mN・m(4200gf・cm) ギア比 1/6 S1~3軸: 68.8mN・m(700gf・cm) ダイレクト
	保持力	PAN軸: 411.6mN・m(4200gf・cm) ギア比 1/6 TILT軸: 411.6mN・m(4200gf・cm) ギア比 1/6 S1~3軸: 68.8mN・m(700gf・cm) ダイレクト
	停止位置精度※	各軸エンコーダ ±1パルス以内 (±0.015° 相当)
	最大旋回速度	PAN軸: 65°/Sec (モータ軸上で 65r/min) TILT軸: 70°/Sec (モータ軸上で 70r/min) S1~3軸: 20°/Sec (モータ軸上で 3.3r/min)
コントロールユニット URC108	使用環境範囲	動作温度: 0~+50℃ 保存温度: -20~+70℃ 湿度: 90%RH 以下 (結露なきこと)
	外形、取り付け寸法	別図参照
	重量	4.6 kg
	制御軸数	5軸 (PAN軸、TILT軸、S1軸、S2軸、S3軸)
	電源	AC100V 1A 以下 (5軸同時動作時)
ケーブル	通信方式 / ポート数	RS485 / 1ポート
	線長/芯数	モーターケーブル 3m / 37芯 エンコーダケーブル 3m / 50芯 シリアル通信ケーブル 3m / 9芯 AC電源ケーブル 3m / 3芯

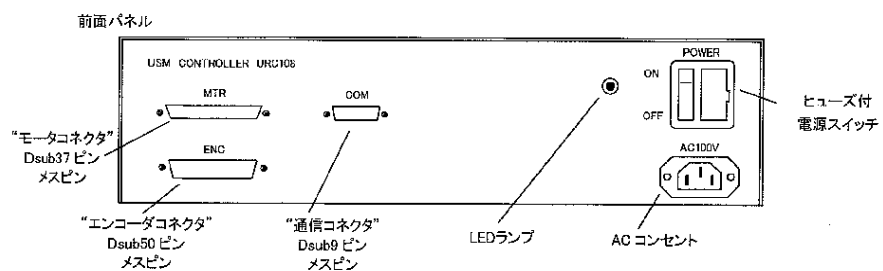
※ 精度保証としては内蔵エンコーダパルスを基準とする

【URC108 外形、取り付け寸法】



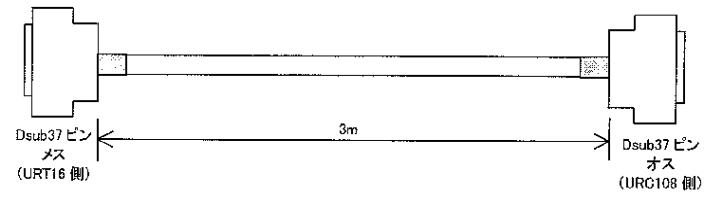
上図取り付け穴を使用してのネジ止めの際、ボックスカバーをとりはずす必要があります。
その際、ネジによって内部配線を巻き込まないよう注意してください。

【URC108 各部説明】

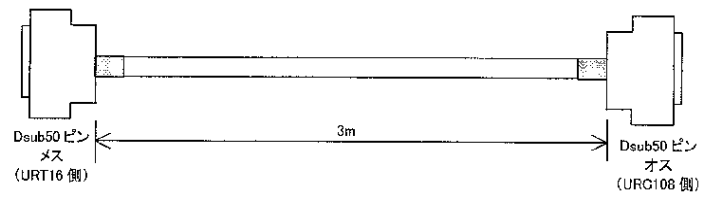


【付属ケーブル】

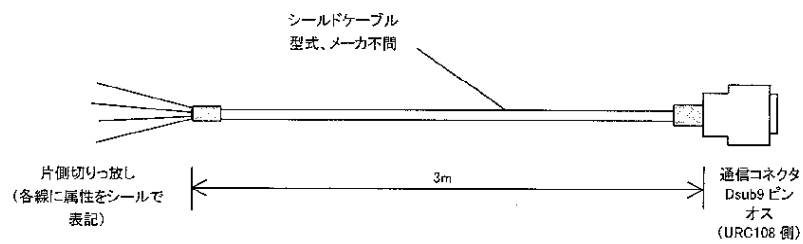
○モーターケーブル



○エンコーダケーブル



○通信ケーブル

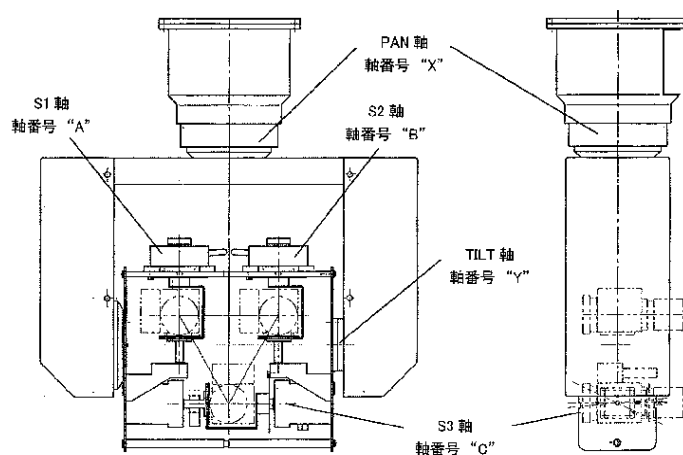


【操作手順】

- 1) 各付属ケーブルを接続し、URC108 の電源スイッチを「ON」にします。
- 2) LED が点灯後、2 秒以上たってからコマンド送信します。
コマンド詳細は後記「コマンド一覧」を参照してください。

【各旋回軸の識別】

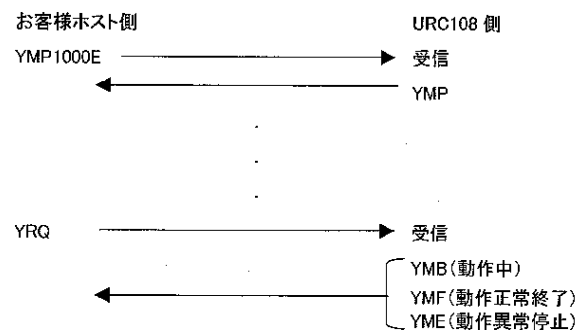
5 軸旋回台 URT16 の各旋回軸には X、Y、A、B、C の軸番号が定義され、通信の際にはコマンド先頭に付加することによって任意旋回軸を選択します。



【コマンド送受信の流れ】

通信はお客様ホスト側からのコマンドを受信した場合のみ URC108 はホスト側へ送信します。

・(例) 軸番号 Y の旋回軸に絶対座標自動位置決め動作(目標位置 1000)を指令した場合



【通信基本仕様】

【通信仕様】

○通信方式 RS485 調歩同期式

○通信速度 19200bps

○通信フォーマット

データ長 : 7bit
 ストップビット : 1bit
 パリティ : なし
 ハンドシェイク : なし
 デリミッタ : CR+LF(固定)

【通信コマンド一覧】

ホスト ⇒ URC108 動作指令コマンド

コマンド名	機能	コマンド書式
MP	絶対座標自動位置決め動作スタート 加減速パターンを自動演算し、位置決め動作を実行	MP 位置決め目標値 E 位置決め目標値はエンコーダパルス数で定義する
MI	相対座標自動位置決め動作スタート 加減速パターンを自動演算し、位置決め動作を実行	MI 相対移動量目標値 E 相対移動量目標値はエンコーダパルス数で定義する
MH	原点復帰動作スタート エンコーダ原点位置へ移動後位置オフセット値をゼロにする SHコマンドでオフセット値設定が可能(デフォルト=0) すでに原点位置に到達している場合には動作しない	MH
F	モータ停止・実行中の動作モード脱出	F

①コマンド先頭に軸番号(X、Y、A、B、C)を付けること

②受信完了後に軸番号+送信コマンド先頭 2 文字が返信される

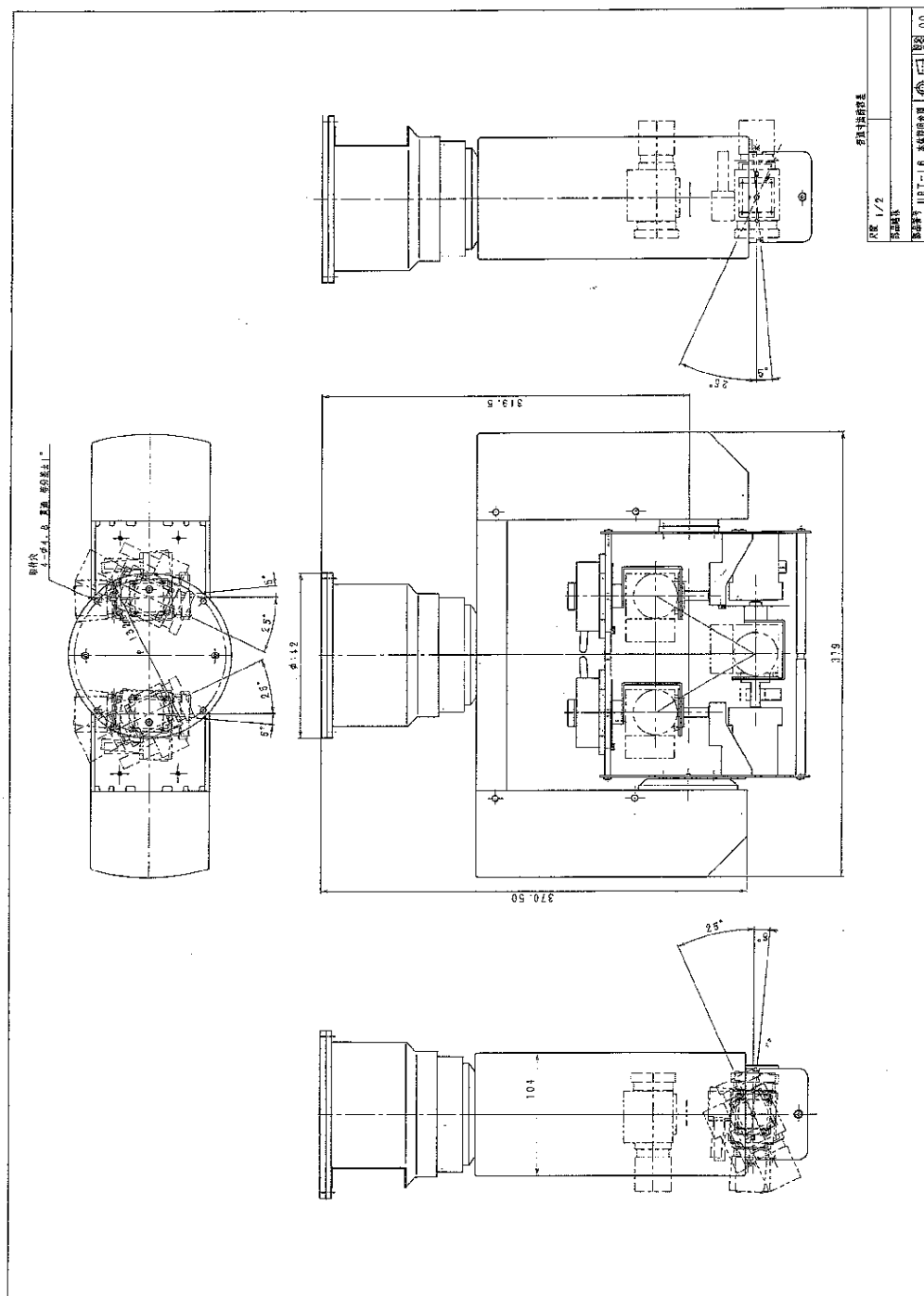
ホスト ⇒ URC108 動作条件設定コマンド

コマンド名	機能	コマンド書式
SH	原点オフセット値設定 原点センサ位置から論理原点までの オフセットパルス数	SH 原点オフセット値 E 原点オフセット値はエンコーダパルス数で定義する デフォルト値=0

①コマンド先頭に軸番号(X、Y、A、B、C)を付けること

②受信完了後に軸番号+送信コマンド先頭 2 文字が返信される

【外形図】



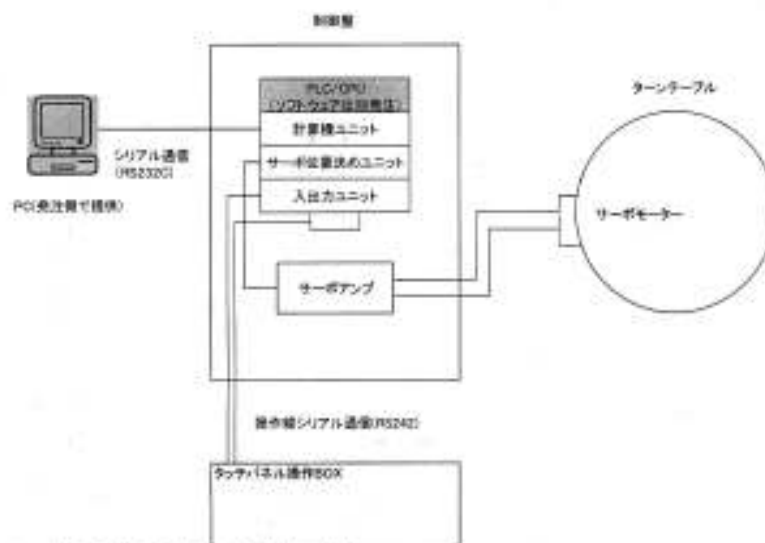
- ・ ターンテーブル

昨年度開発したターンテーブル制御用ソフトウェアの仕様を以下に記す。

【ハード構成】

3-1 サーボモーターを備えたターンテーブル

3-2 制御盤(手動操作を行うためのタッチパネルつき)



4. 装置全体の性能もしくは各部の仕様

4-1 ターンテーブル

直径：1800mm

耐過重：2 トン

高さ：300mm

角度精度：±0.1 度以下

速度範囲：0 ～ 2.0 rpm

速度単位：0.01 rpm 以下

4-2 制御盤

発注組提供の PC との間で送受信するための RS232C 端子を有し、別途発注の制御ソフトウェアを実行するための PLC/CPU によって動作を制御する機能を有する。また、タッチパネル操作ボックスによって手動で操作可能にする。

中国书画函授大学肇庆分校

附錄 1 中國出口貿易 - 運輸保險

11

电压	10AET100V-8W
额定功率	10AET100V-10Hz 5A W-6-E-9=
额定电压	3C24V 10Hz

三

規格電圧 100・200V・115V
 定格電流 30・15・18A
 動作方式 手動、自動運転、停止復帰運転、停止待機
 動作時間 自動運転時、最大7分・手動、動作7分・停止

[illegible]

【注】 環境を認識した時、我々の心と身体は、サービスマンが戦場の野に散らばる人達に似て居る。我々の身体はサービスマンに似、子供、我々の心は大人に似る。】

1000

現在、東京の「千鳥園」に居る。千鳥園は東京に在る
鳥類の研究所である。

[illegible]

江蘇省

● 1990年10月、日本銀行と協定し、日銀が本紙に発行する現金の流通状況を0.01日単位で提示する約束を、本紙に記載し、公表したことが、

以上三項試驗，第一、二項的劑量均比一般劑量大，其電擊一次後即能產生強而迅速之收縮，故其收縮力尚在比較範圍內，至於第三項試驗則在開始時，電擊一次後即能產生收縮，但收縮力則比前兩者為小，且其收縮力亦隨電擊次數而增加。

現在配置例は、同様に有数の船は二隻を（互角に運用）

7-75558: AD-A2-7- AD-PLM 269.

[illegible]

列區表示 = 獨立配置列區グラフを生成: 3 通り, 0 通り

2000

株式会社新井物産「アロヒ、アロヒ」に譲渡した

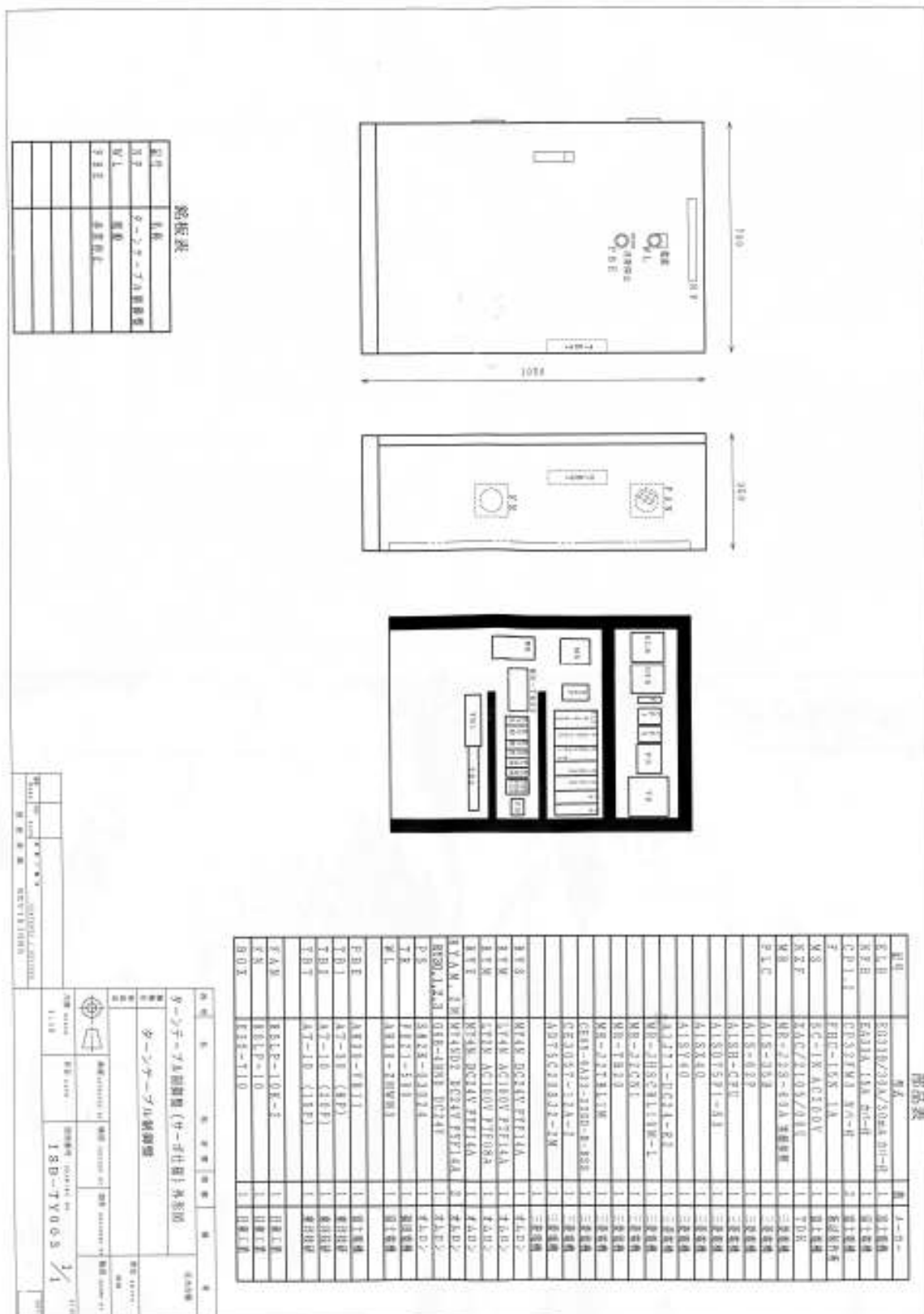
[illegible]

1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0

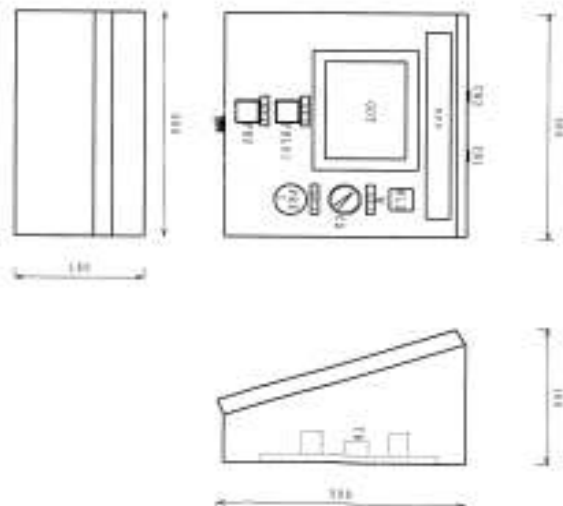
第一、支出と収入。その二は、植物の生長を規定して来るもの、

(1) 3 反に改定する案件、3 反、0 反と訂正品のみです)
決定された、監査はブータナモリーに記録され、変更後、ブータナモリーを発行します。

[illegible]



色-5Y7/1

[illegible]

類別	種別
W1.2	建築
W1.9	建築
W1.1	建築
W1.2	建築
W1.3	建築
W1.4	建築

[illegible]

5-2-3 注視システムの開発

コンピュータによる注視制御（コンバージェンス・チルト・パン）ができるグラフィカルユーザーインターフェース（以下 GUI）システムの開発を行った。（図 5-2-3-1）これはクレーンに取り付けたアクティブステレオカメラシステム（図 5-2-3-2）を制御する為の物である。



図 5-2-3-1 カメラ調節 GUI



図 5-2-3-2 アクティブステレオカメラ

カメラ調節 GUI (図 5-2-3-1) では、GUI 左側のスケールとエントリを使用しアクティブステレオカメラのコンバージェンス 1・2・3、チルト・パンの制御を行う事が出来る。コンバージェンス 1・2・3、チルト、パンに設定出来る値と可動範囲は、図 5-2-3-4 のようになっている。図 5-2-3-5 と図 5-2-3-6 はそれぞれ、チルトとパンを制御して撮影した画像である。

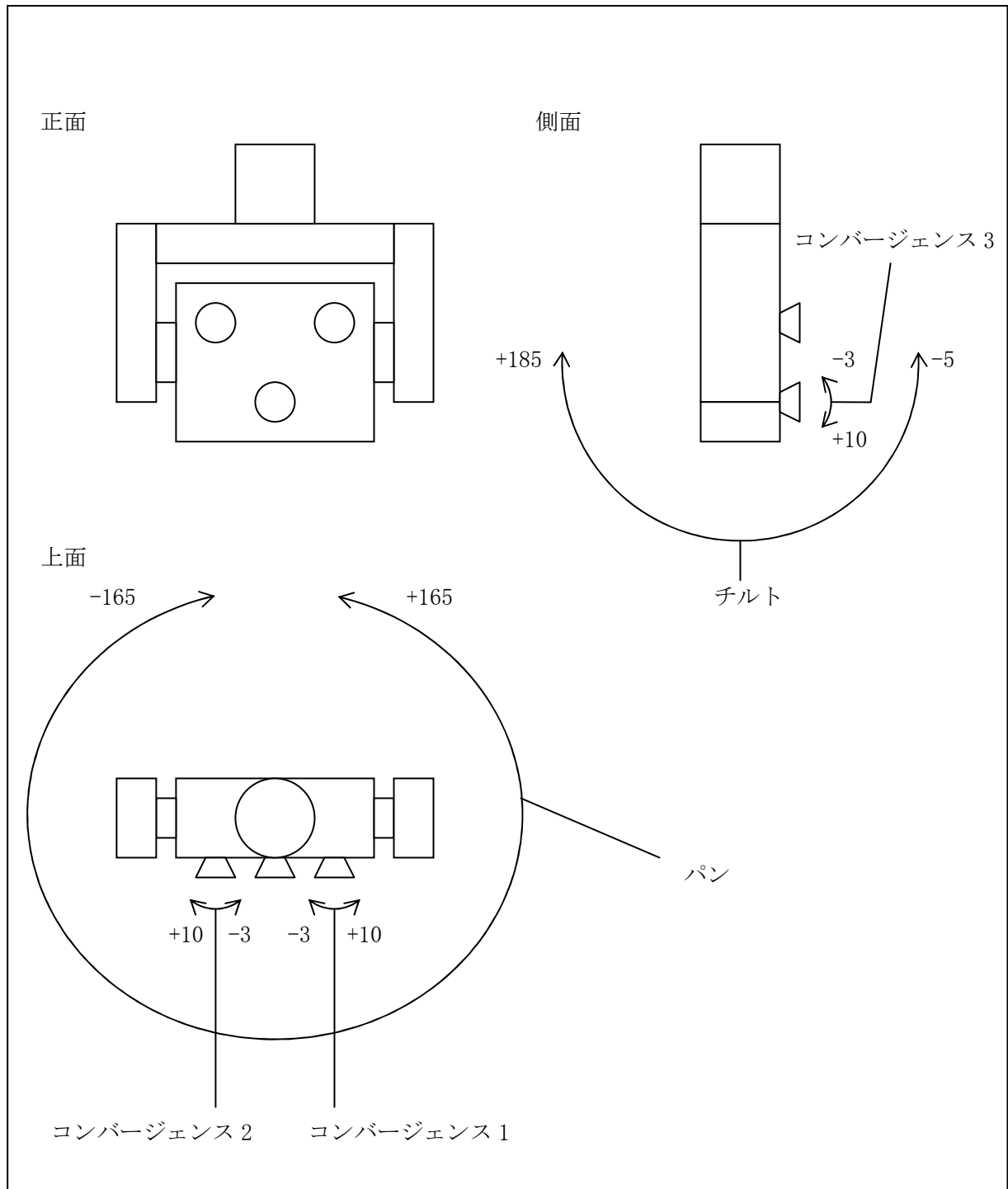


図 5-2-3-4 アクティブステレオカメラ可動範囲図

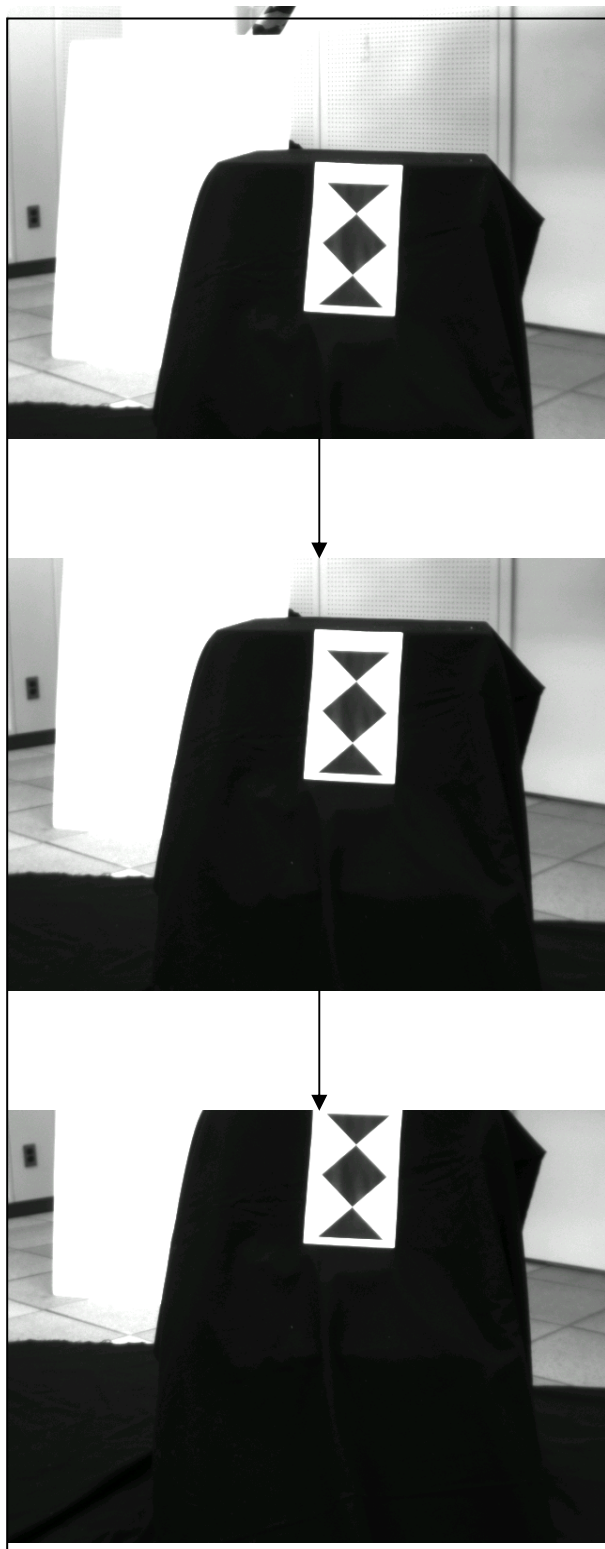


図 5-2-3-5 チルトを制御しての撮影画像

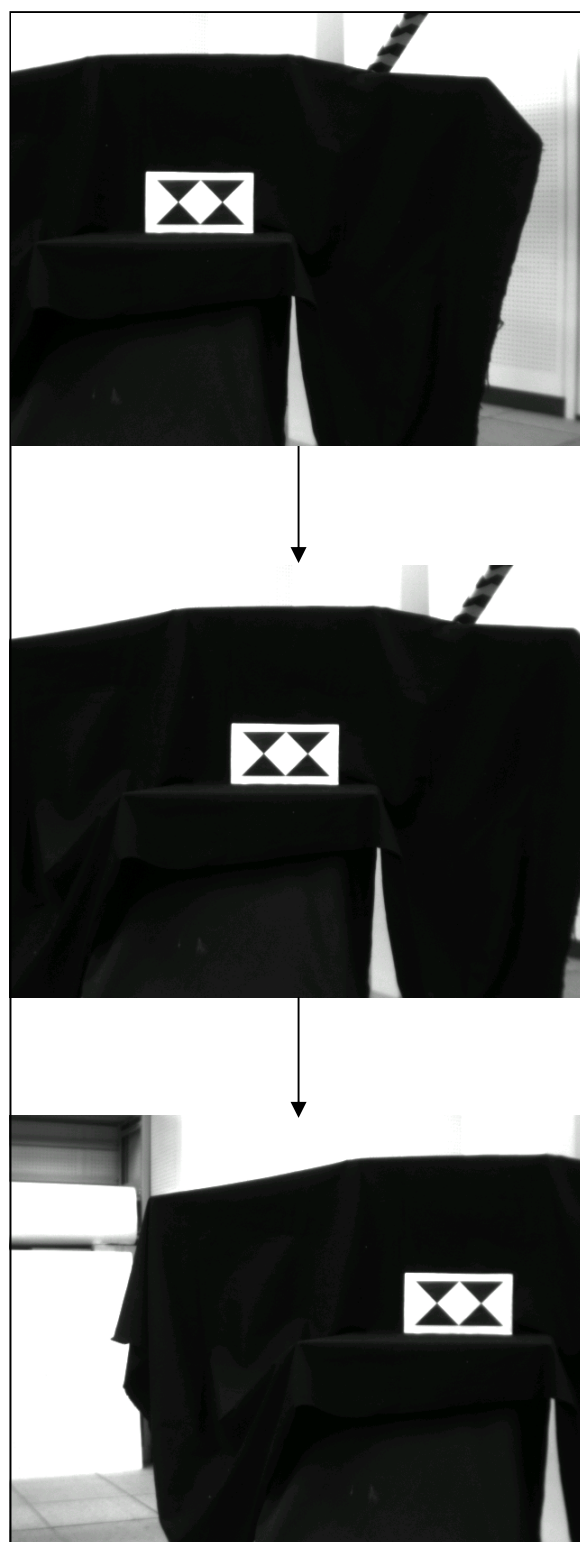


図 5-2-3-6 パンを制御しての撮影画像

5-2-4 無線通信システムの開発

基地局と飛行体間を無線 LAN を用いて対話するシステムを開発した。このシステムはプロジェクト作成 GUI・カメラ調節 GUI・プロジェクト実行 GUI・モデリング GUI の 4 つで構成されている。GUI の説明を交え一連のシミュレーション手順を記す。

・飛行体シミュレーションシステム

図 5-2-4-1 はシミュレーションシステムのスタートとなる GUI である。①[プロジェクト作成]・②[カメラ調節]・③[プロジェクト実行]・④[モデリング]の各ボタンを押す事により、それぞれの GUI を起動する事が出来る。シミュレーションを行う為には、一番初めに①[プロジェクト作成]を起動し、プロジェクトファイルの作成を行う。

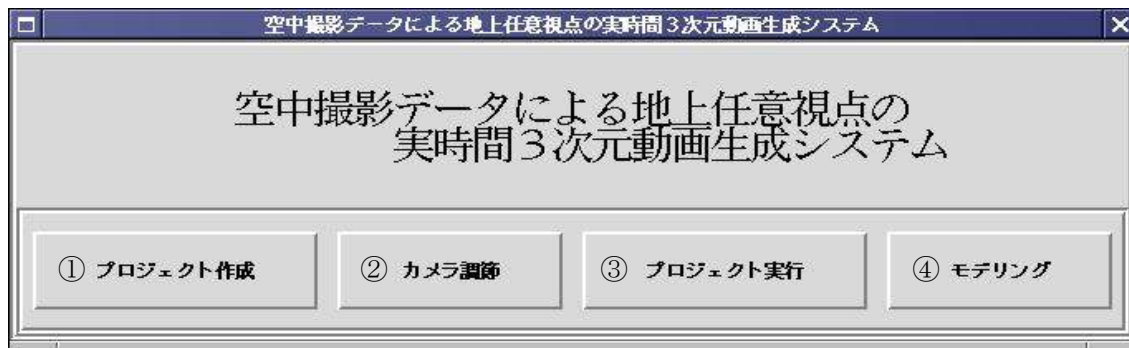


図 5-2-4-1 飛行体シミュレーションシステム

- ・プロジェクト作成 GUI

図 5-2-4-2 がプロジェクト作成 GUI である。①・②・③の各ボタンを押すと図 5-2-4-3 のようなダイアログボックスが開き、作成するプロジェクトファイル名を指定する事が出来る。プロジェクトファイルとは、アクティブステレオカメラ・ターンテーブル・クレーンの制御、撮影地点の設定等の撮影に関する情報と、撮影したデータの処理方法に関しての設定が記されているファイルである。プロジェクトファイルの作成が完了したならば、次にカメラ調節 GUI を起動する。

①は、カメラが被写体の周囲を旋回し 6 点での撮影を行う注視制御プロジェクト。

②は、クレーン 1 軸上を平行移動し 2 点での撮影を行う平行移動プロジェクト。

③は、ターンテーブルを回転させ 0 度・120 度、240 度 3 点での撮影を行う回転プロジェクトである。Save ボタンを押すとファイルが作成される。

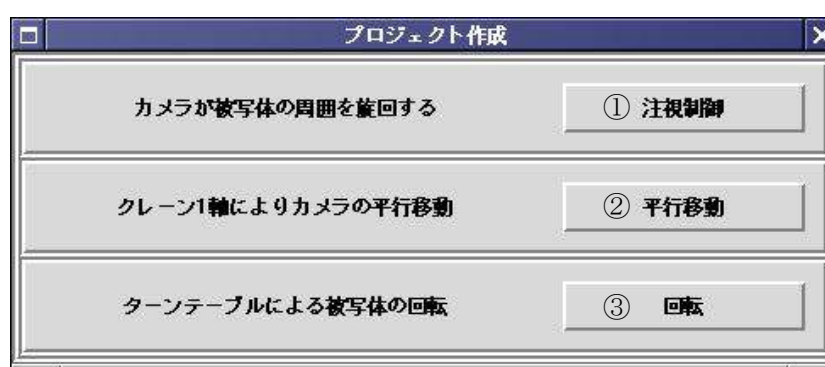


図 5-2-4-2 プロジェクト作成 GUI

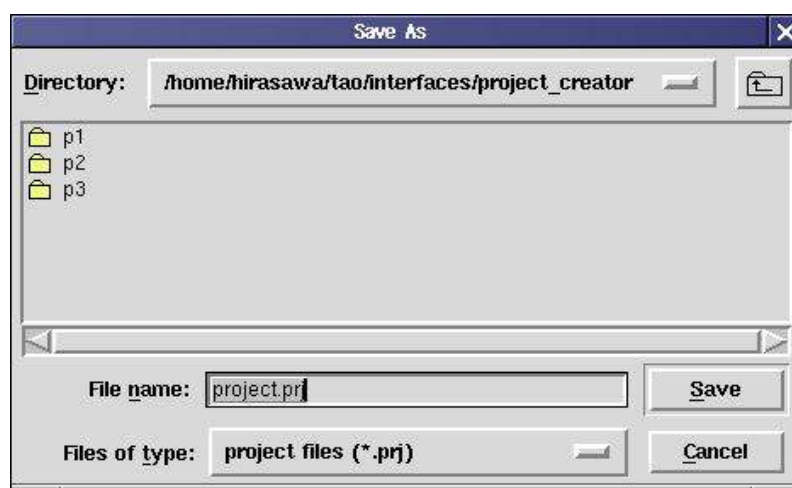


図 5-2-4-3 プロジェクトファイル指定ダイアログ

・カメラ調節 GUI

図 5-2-4-4 がカメラ調節 GUI である。この GUI では対象物をモニターしながら、アクティブステレオカメラの調節（コンバージェンス・チルト・パン）を行う事が出来る。

まず始めにモニターを開始させる。①[モニター開始]ボタンを押すと、モニターウィンドウ上にアクティブステレオカメラの画像が映し出される。モニターを行うカメラはデフォルトではカメラ 1 である。しかし②[モニター切り替え]ボタンでカメラを切り替える事により、カメラ 2・カメラ 3 でもモニターを行う事が出来る。

次に、アクティブステレオカメラのリセットを行う。③[リセット]ボタンを押すと図 5-2-4-5 の様なダイアログボックスが表示される。OK ボタンを押すと、コンバージェンス 1・2・3、チルト、パンの値を初期位置にリセットする。次にモニターウィンドウを見ながら、注視したい対象がモニターに入る様にアクティブステレオカメラを調節する。コンバージェンス、チルト、パンに設定出来る値は 5-2-3 で前述した通りである。



図 5-2-4-4 カメラ調節 GUI



図 5-2-4-5 カメラ制御 GUI アンドゥ機能ダイアログ

この GUI ではシミュレーションを容易に行う為に、アクティブステレオカメラの各部の値をセーブ・ロードする機能(④[メニュー]・図 5-2-4-6・図 5-2-4-7)や、誤った動作を防ぐ為のエントリ・スケールのロック・アンロック (④[メニュー]・図 5-2-4-6)、1 動作前の状態にアクティブステレオカメラの状態を戻す機能 (⑤[アンドゥ]ボタン) 等が実装されている。

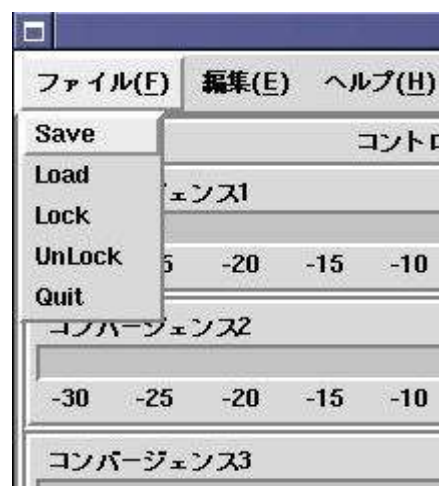


図 5-2-4-6 カメラ制御 GUI メニュー

・プロジェクト実行 GUI

図 5-2-4-8 がプロジェクト実行 GUI である。この GUI ではプロジェクト作成 GUI で作成したプロジェクトファイルを元に、アクティブステレオカメラ・ターンテーブル・クレーンを制御して対象物の撮影を行う。注視制御プロジェクトの場合、モニターウィンドウ上で注視したい場所をクリックする事により注視点の設定を行う。

まず始めにモニターを開始させる。①[モニター開始]ボタンを押すとモニターウィンドウ上にアクティブステレオカメラの画像が映し出される。モニターしているカメラの切り替えは、②[メニュー]の[表示]（図 5-2-4-9）から切り替える事が出来る。注視点候補の対象物が全てのカメラに写っている事を確認する。



図 5-2-4-8 プロジェクト実行 GUI



図 5-2-4-9 プロジェクト実行 GUI 表示機能

注視点候補が写っている事を確認後、プロジェクトファイルの選択を行う。③[プロジェクトファイル選択]ボタンを押す事により、プロジェクトファイル選択ダイアログ（図 5-2-4-10）が開きプロジェクトファイルを選択する事が出来る。選択されたプロジェクトファイル名は④[プロジェクトファイル名ラベル]に表示される。

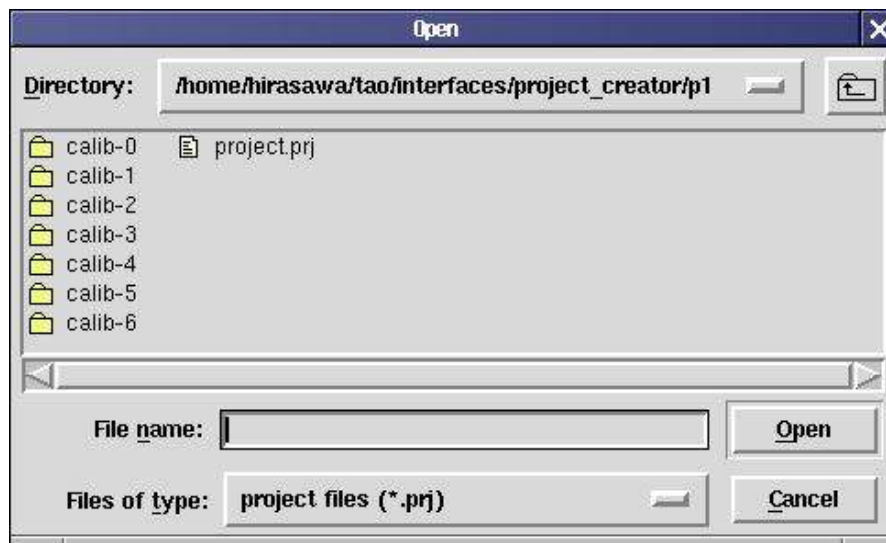


図 5-2-4-10 プロジェクト実行 GUI プロジェクトファイル選択ダイアログ

プロジェクトファイルの選択後、プロジェクト実行の準備を行う。⑤[初期位置]ボタンを押すとプロジェクトファイルの設定に従い、アクティブステレオカメラ・ターンテーブル・クレーンを制御しプロジェクトの開始初期位置への移動を行う。

注視制御プロジェクトの際には、初期位置移動の後注視点の設定を行う。モニターウィンドウ上で注視したい箇所をマウスでクリックすると、注視点座標設定ダイアログ(図 5-2-4-11)が表示される。OK が押されるとクリックされたモニターウィンドウ上の座標 (COL, ROW) から、3 次元の注視点座標を算出し⑥[注視点座標ラベル](図 5-2-4-12)に表示する。

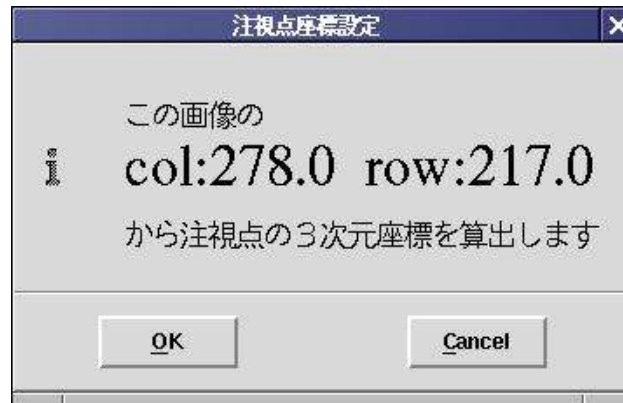


図 5-2-4-11 プロジェクト実行 GUI 注視点座標設定ダイアログ

注視点座標 X: 131.963 Y: -318.658 Z: -258.433

図 5-2-4-12 プロジェクト実行 GUI 注視点座標ラベル

注視点座標の算出が行われた後、対応点の確認を行う。⑦[対応点確認]ボタンを押すと、カメラ 1・カメラ 2 の対応点計算を行いモニターウィンドウ上に対応点を四角い枠として表示する。(図 5-2-4-13、図 5-2-4-14) カメラの切り替えは、②[メニュー]の[表示] (図 5-2-4-9) から行う。



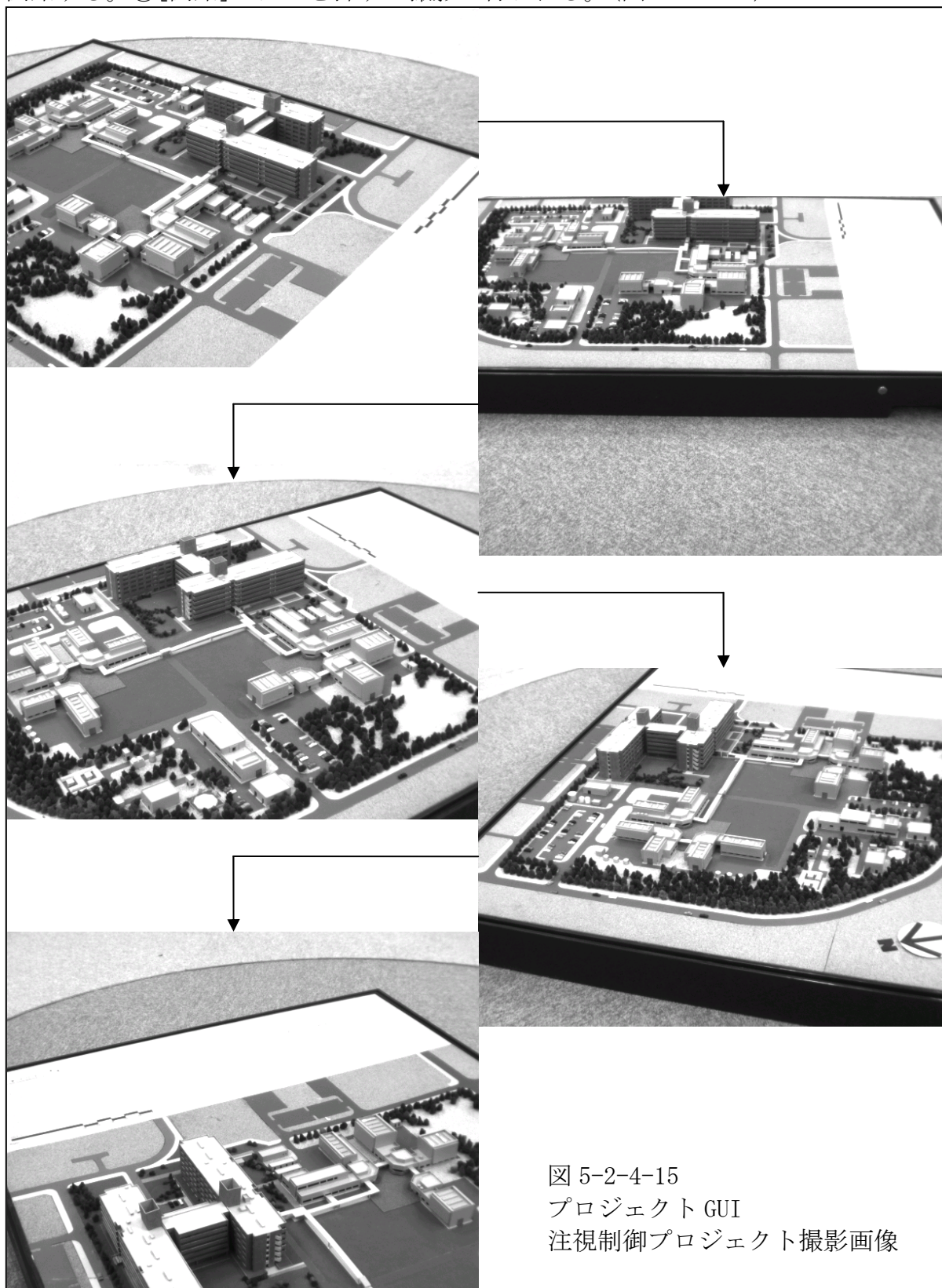
図 5-2-4-13 プロジェクト GUI 対応点確認画面 (カメラ 1)

対応点



図 5-2-4-14 プロジェクト GUI 対応点確認画面 (カメラ 2)

注視制御プロジェクトの場合、対応点が正しく取れているか確認後プロジェクトを開始する。⑧[開始]ボタンを押すと撮影が行われる。(図 5-2-4-15)



- ・モデリング GUI

図 5-2-4-16 がモデリング GUI である。この GUI はプロジェクト作成 GUI で作成したプロジェクトファイルと、プロジェクト実行 GUI で撮影した画像を使ってのモデリング機能。指定画像のセグメント表示、相関表示、ラージスケールステレオ化の実行、セルフアジャストメント処理の実行等の機能を持っている。

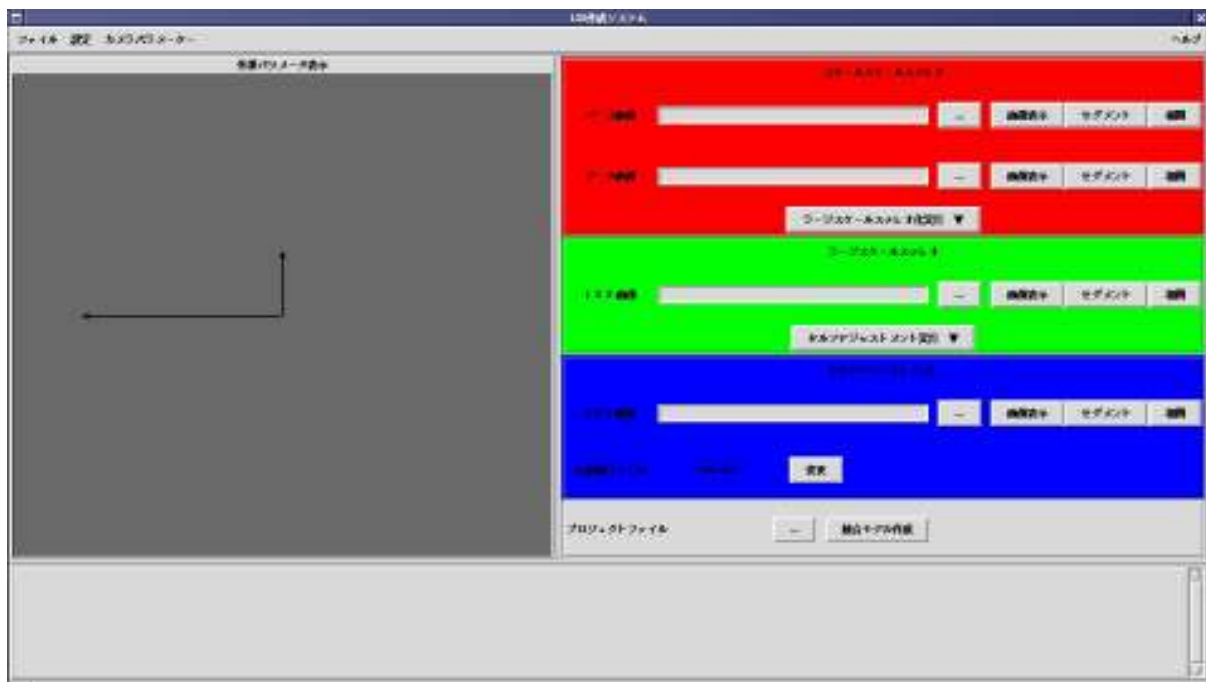


図 5-2-4-16 モデリング GUI 全体図

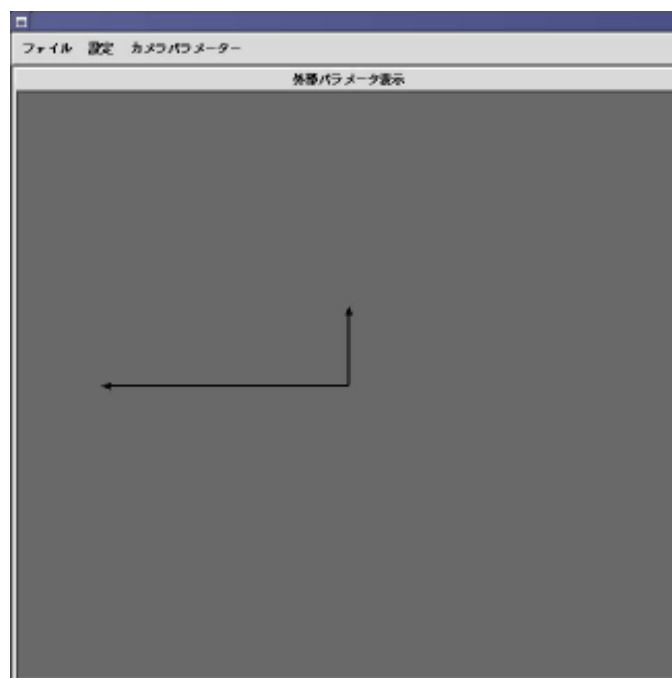


図 5-2-4-17 モデリング GUI 外部パラメータ表示部

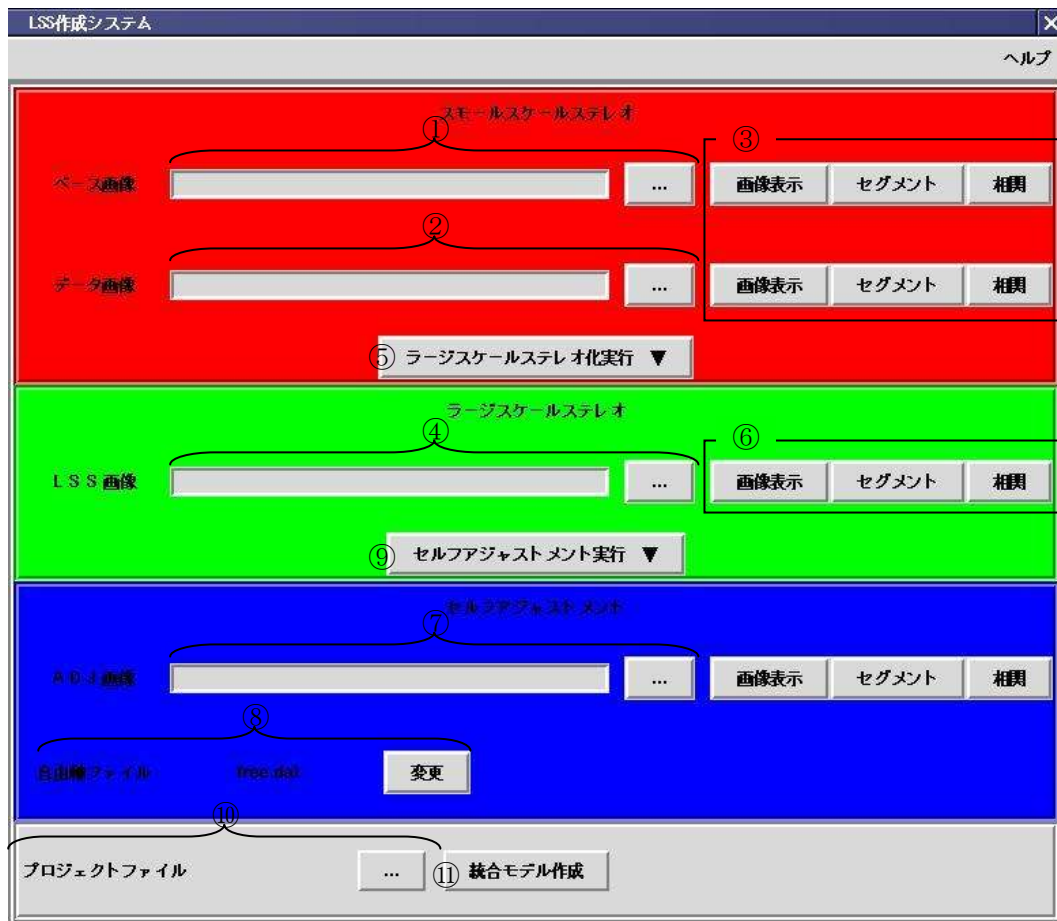


図 5-2-4-18 モデリング GUI モデル作成部

ベース画像、データ画像を指定しラージスケールステレオ化、セルフアジャストメント処理等を行う時の手順を記す。

①[ベース画像指定用エントリ]・[ベース画像選択用ボタン](図 5-2-4-19)と、②[データ画像指定用エントリ]・[データ画像選択用ボタン](図 5-2-4-19)を使い画像を選択する。

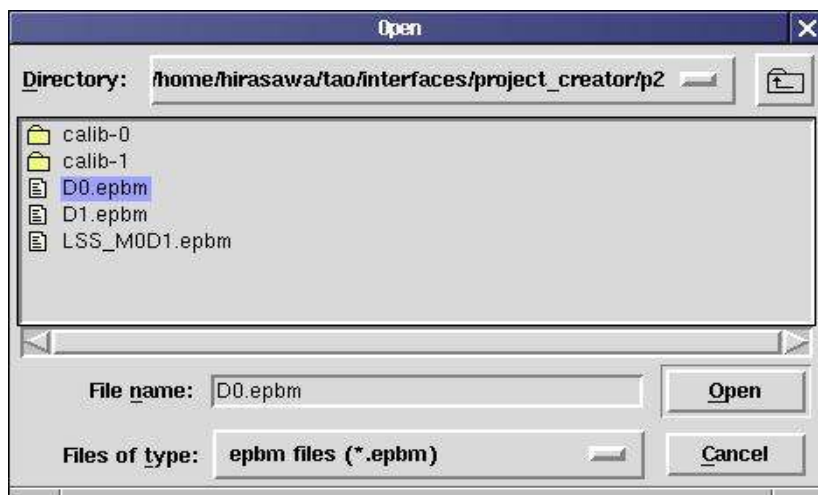


図 5-2-4-19 モデリング GUI ベース・データ画像選択用ダイアログ

ベース画像が選択されると外部パラメータ表示部(図 5-2-4-17)に、図 5-2-4-20 のようなベース画像のカメラ位置と視線の向きを表した赤矢印が表示される。

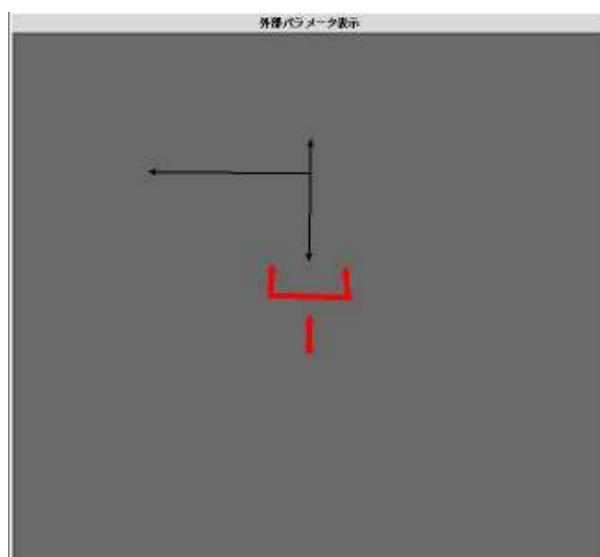


図 5-2-4-20 モデリング GUI ベース画像外部パラメータ表示

選択したベース画像・データ画像ファイルは、③[画像表示]ボタン・[セグメント]ボタン・[相関]ボタンでそれぞれ、epbm 画像表示・LCM 画像表示・RNG 画像表示が出来る。

次にラージスケールステレオ化を行う。④[LSS 画像指定用エントリ]・[LSS 画像選択用ボタン]の、[LSS 画像指定用エントリ]に作成する LSS 画像のファイル名を入力する。ベース画像・データ画像・LSS 画像名を指定し、⑤[ラージスケールステレオ化実行]ボタンを押すと LSS ファイルが作成される。LSS ファイルの作成後、作成された LSS ファイルを④[LSS 画像指定用エントリ]・[LSS 画像選択用ボタン]の、[LSS 画像選択用ボタン]で選択すると図 5-2-4-21 のような LSS 画像のカメラ位置と視線の向きを表した緑矢印が表示される。

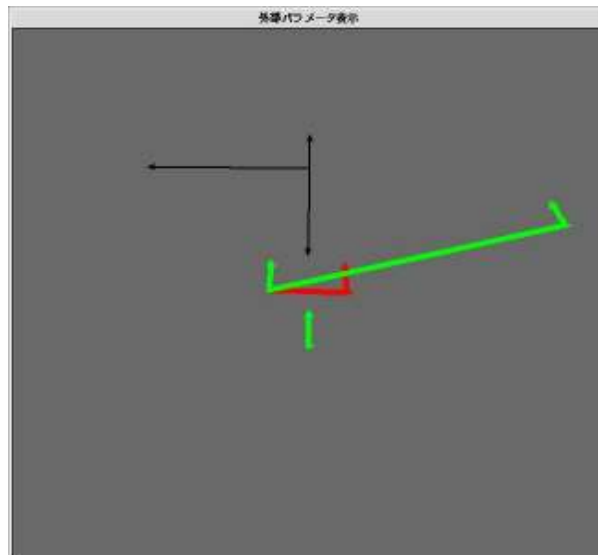


図 5-2-4-21 モデリング GUI LSS 画像外部パラメータ表示

作成した LSS 画像は、ベース画像・データ画像と同じように⑥[画像表示]ボタン・[セグメント]ボタン・[相関]ボタンでそれぞれ、epbm 画像表示・LCM 画像表示・RNG 画像表示が出来る。

次にセルフアジャストメントを行う。⑦[ADJ 画像指定用エントリ]・[ADJ 画像選択用ボタン]の、[ADJ 画像指定用エントリ]に作成する ADJ 画像のファイル名を入力する。図 5-2-4-22 の[自由軸]を選択すると図 5-2-4-23 が表示される。図 5-2-4-24 の[セルフアジャストメントパラメータ図]を選択すると表示される図 5-2-4-25 を参考に自由軸の設定を行う。設定完了後⑧[自由軸ファイルラベル]・[変更ボタン]の[変更ボタン]を押す。図 5-2-4-26 が表示されるので、自由軸設定の情報を書き込むファイル名を入力する。



図 5-2-4-22 モデリング GUI 設定メニュー

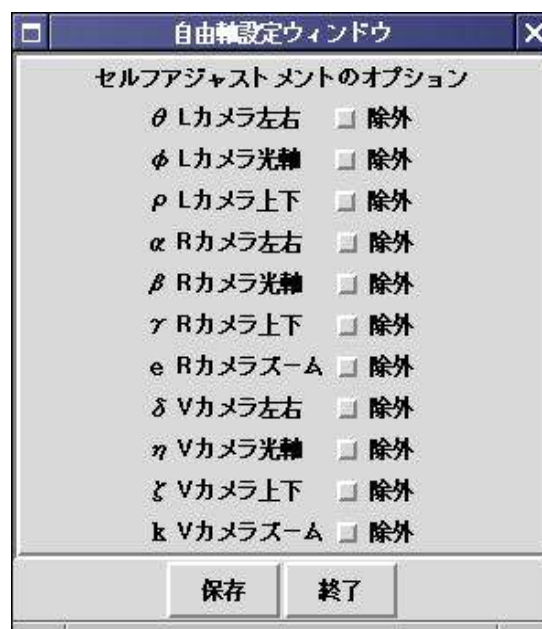


図 5-2-4-23 モデリング GUI 自由軸設定ウィンドウ

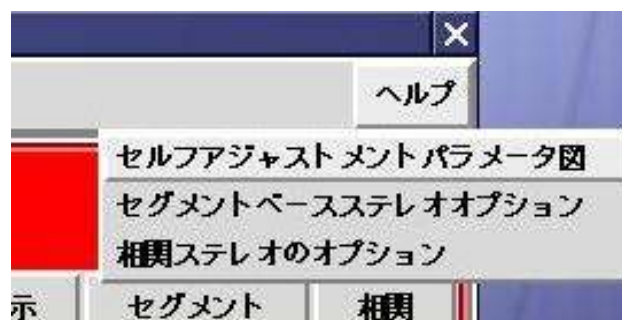


図 5-2-4-24 モデリング GUI ヘルプメニュー

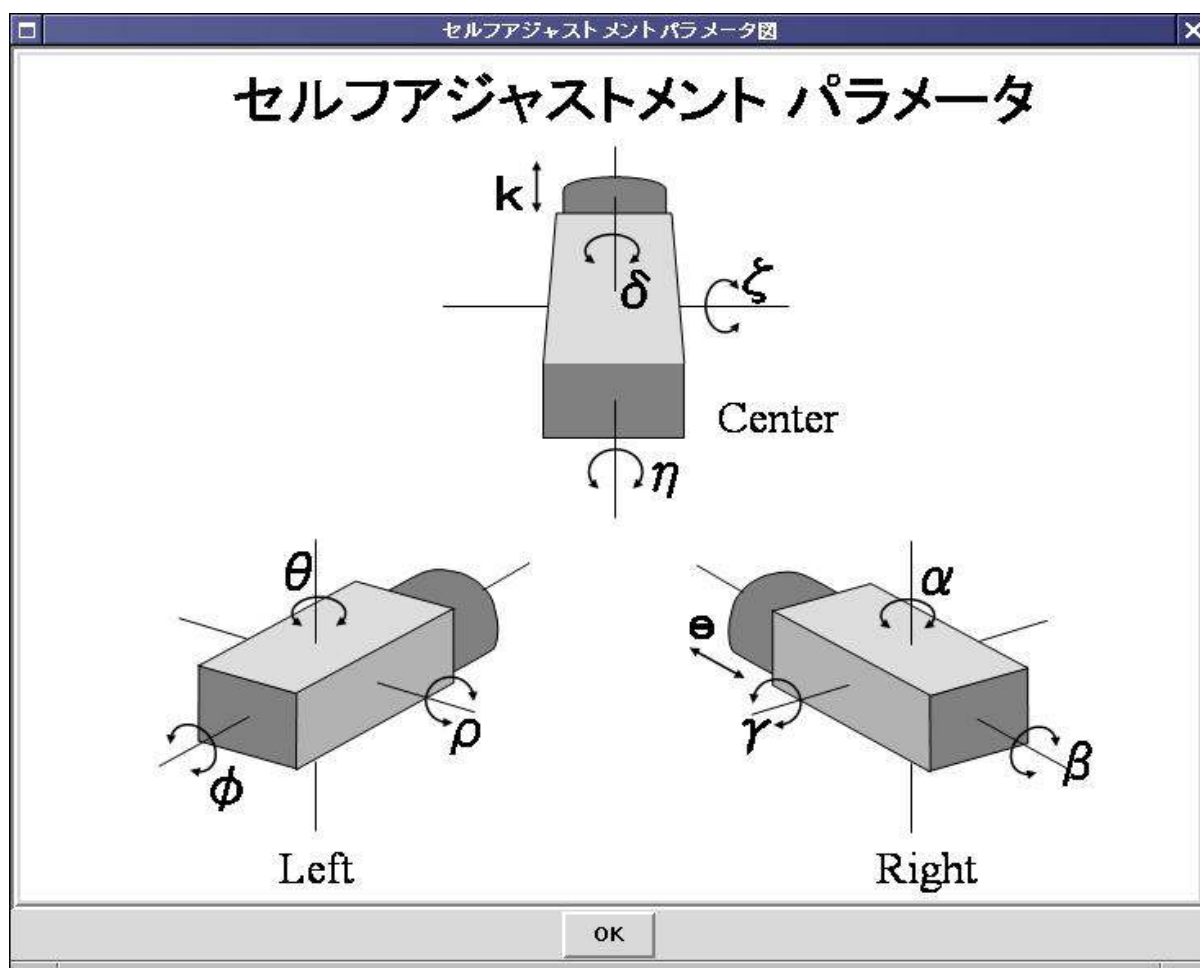


図 5-2-4-25 モデリング GUI セルフアジャストメントパラメータ図

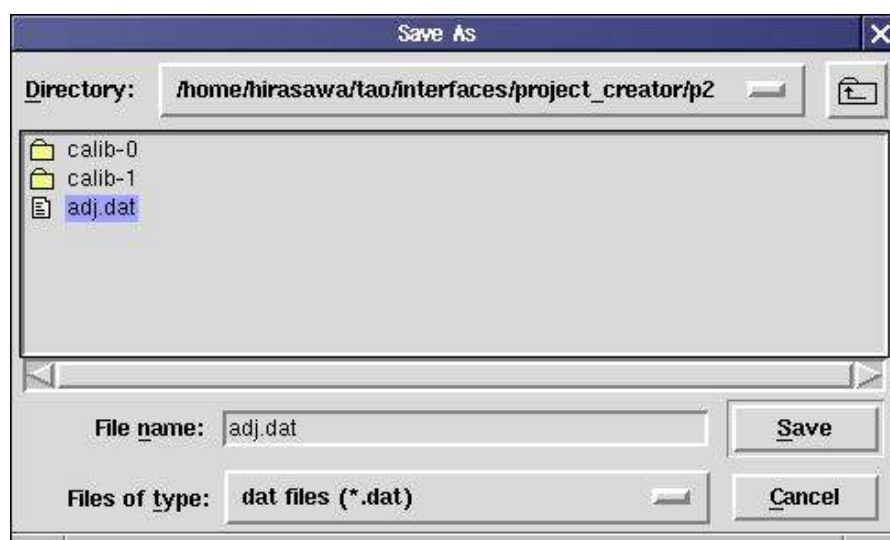


図 5-2-4-26 モデリング GUI 自由軸ファイル変更ダイアログ

LSS 画像ファイルの指定、ADJ 画像ファイル名の入力、自由軸ファイルの設定が出来たら⑨[セルフアジャストメント実行ボタン]を押し処理を実行する。ADJ ファイルの作成後、作成された ADJ ファイルを⑦[ADJ 画像指定用エントリ]・[ADJ 画像選択用ボタン]の、[ADJ 画像選択用ボタン]で選択すると図 5-2-4-27 のような ADJ 画像のカメラ位置と視線の向きを表した青矢印が表示される。視線が広くなり良くなっている事が分かる。

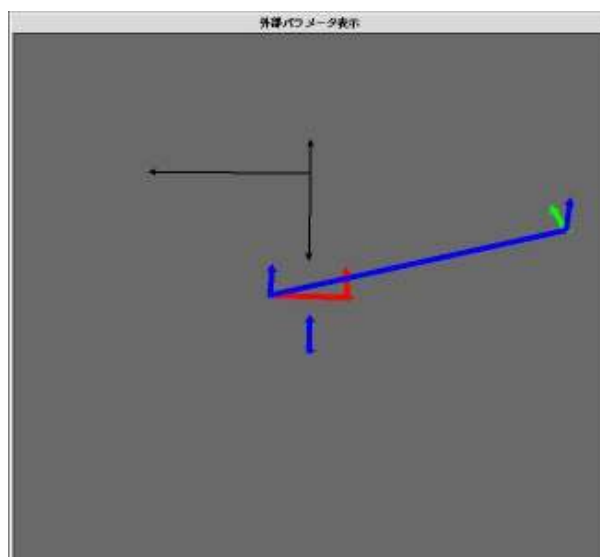


図 5-2-4-27 モデリング GUI ADJ 画像外部パラメータ表示

次にこの GUI のもう一つの主な機能、統合モデル作成機能の処理手順を記す

⑩[プロジェクトファイル名ラベル]・[プロジェクトファイル選択ボタン]の[プロジェクトファイル選択ボタン]を押すと、図 5-2-4-28 のダイアログが表示される。統合モデル作成を行いたいプロジェクトファイルを選択する。選択されたプロジェクトファイルは、⑩[プロジェクトファイル名ラベル]に表示される。⑪[統合モデル作成ボタン]を押すと、選択したプロジェクトファイルの設定に従って統合モデルの作成が行われ統合した画像（図 5-2-4-29）が表示される。

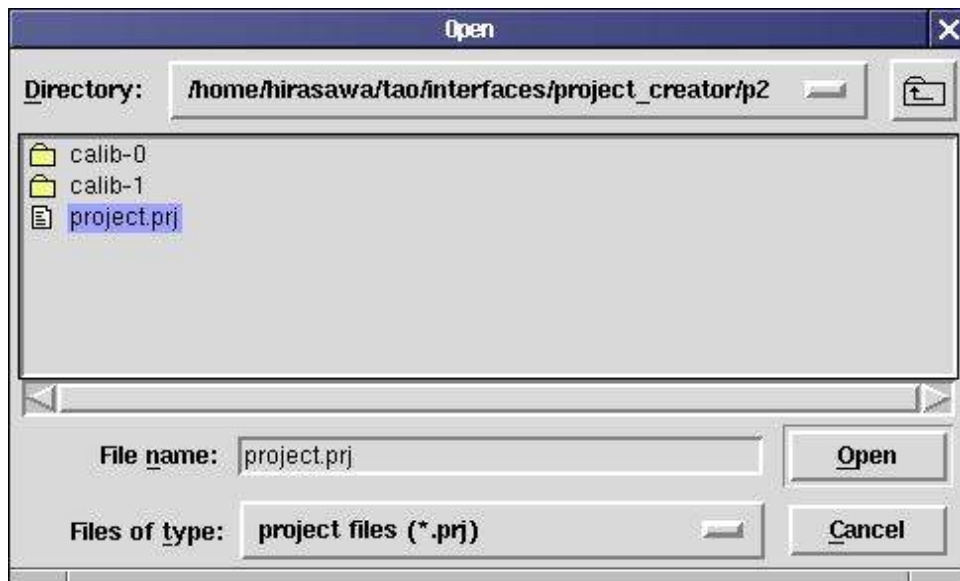


図 5-2-4-28 モデリング GUI プロジェクトファイル選択ダイアログ



図 5-2-4-29 モデリング GUI 統合モデル

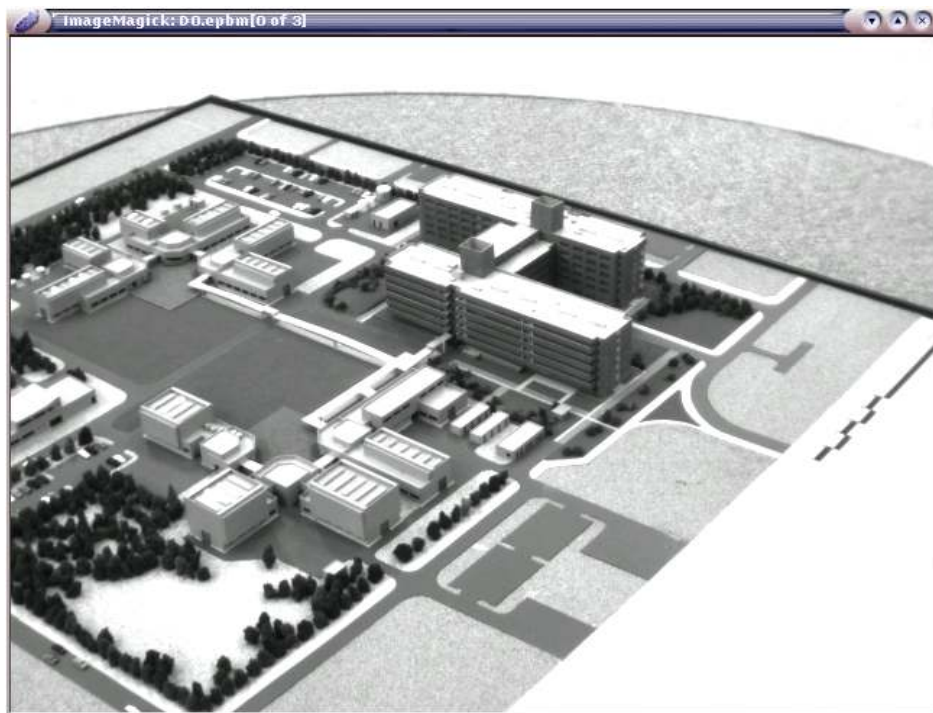


図 5-2-4-30 モデリング GUI 画像表示ボタン実行時

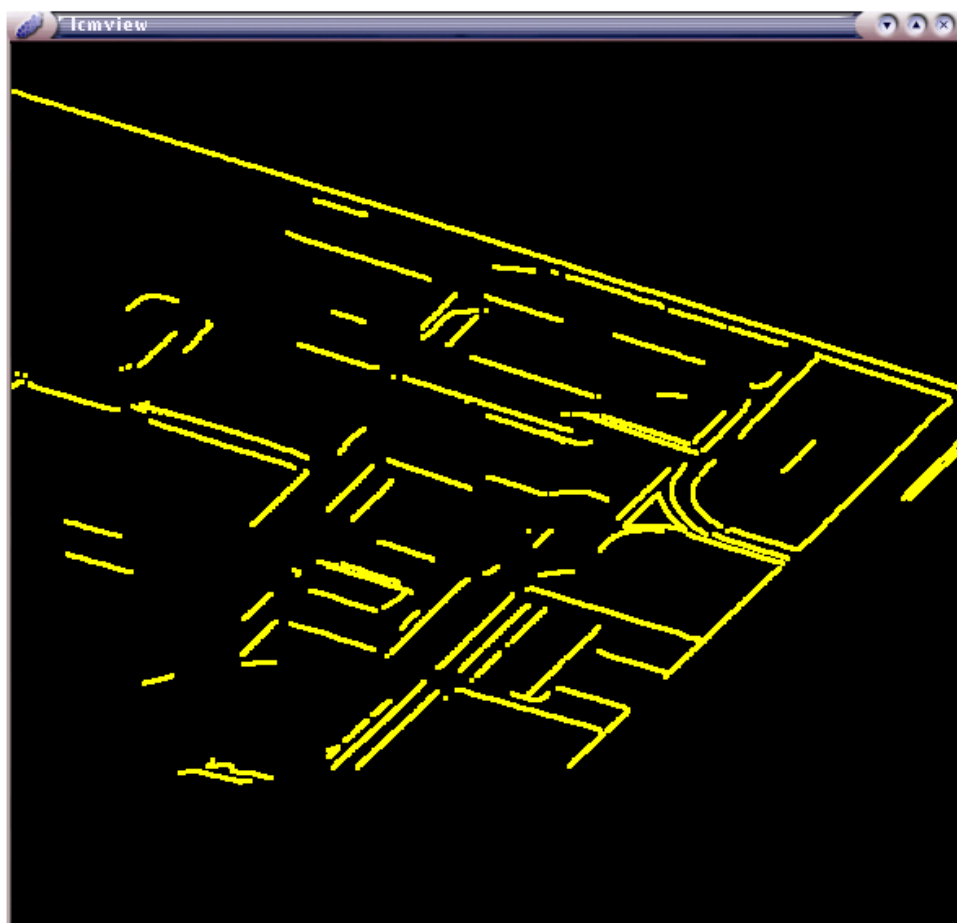


図 5-2-4-31 モデリング GUI セグメントボタン実行



図 5-2-4-32 モデリング GUI 関連ボタン実行時

5-2-5 まとめ

研究結果を成果物（ソフト）として纏める事ができた。

5-3 シミュレーションシステムに関する実験の研究

5-3-1 序論

平成14年度・平成15年度のサブテーマ「シミュレーションシステムに関する実験の研究」の研究結果を受けて、最終年度としての研究を実施した。

5-3-2 ターゲットの指示法の開発

カメラからの撮影によって一度に獲得できるデータには限りがある。建物や地形の陰に隠れた部分は画像に写らないため、距離を計測することはできない。1つの視点から獲得できない部分については、多視点からの撮影によって取得したデータによって補うことができる。カメラの位置を変えて多視点から同じ対象について撮影するために、まずその対象の位置を求めなければならない。以下では、今年度開発したシミュレーションシステムにおけるデータ化すべき対象の指示についての実現方法を述べる。

3次元復元すべき対象が何であるかという判断は、画面を見ながらオペレーター自身が行う必要がある。対象が操作画面に映し出されたとき、オペレーターからシステムへの対象の指示が可能になる。このときシステムに対する入力、オペレーターが選んだ画像上の対象の位置を示す任意の2次元座標である。

システムは、指示された2次元座標を元に相関ベースのステレオマッチングを用いて左右画像の対応点を探索する。その対応する点同士の情報を元に対象の3次元座標を測定する。オペレーターはシステムから返される左右の対応点の表示によって、正しく対象の位置が特定されたことを確認する。(図5-3-2-1)

左右の相関値の計算には、コントラストやカメラ間の輝度変化に影響されにくい正規化相互相関を用いる。左右の画像の画素(x, y)について、輝度をそれぞれ $I_1(x, y)$, $I_2(x, y)$ 、視差を-d とするとき、相関値は以下の式で与えられる。

$$S(x, y, d) = \frac{\sum_i \sum_j \{I_1(x+i, y+j) - \bar{I}_1(x, y)\} \sum_i \sum_j \{I_2(x+i+d, y+j) - \bar{I}_2(x+d, y)\}}{\sqrt{\sum_i \sum_j \{I_1(x+i, y+j) - \bar{I}_1(x, y)\}^2} \sqrt{\sum_i \sum_j \{I_2(x+i+d, y+j) - \bar{I}_2(x+d, y)\}^2}}$$

こうして求められた対象の3次元座標は、次節で述べる方法によってアクティブステレオカメラが対象を注視するために利用される。



図 5-3-2-1 対応点の確認用ステレオ画像
(対応点の位置が赤枠で示されている)

5-3-3 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

注視すべき対象の位置が確定されたら、次にこの対象の表面を可能な限り完全に走査できるよう、まんべんなく様々な方向から撮影する。このとき、カメラの位置を変えて同じ対象を撮影しなければならない。よってステレオカメラが能動的に動き、対象が注視されるように制御する必要がある。以下に、座標を与えられたとき、その対象を注視するためのアクティブステレオカメラの制御方法について述べる。

対象を注視するためにパン(左右の首振り)を制御する場合、まずパンの回転軸と直交する平面を考える。この平面上にカメラの視線と、カメラ中心から対象へと向かう線を投影したとき、両者が同じ方向を向いて重なるようにカメラを回転させるための角度を求める。本プロジェクトの空中撮影シミュレーションシステムの場合、アクティブステレオカメラは垂直に取り付けられているのでパン軸の正方向のベクトルはほぼ真上を向く。よってパン軸と直交する平面は、床面に対してほぼ平行な面となる。

注視させるカメラの光軸をカメラの視線と考え、カメラ中心からカメラの前方向へ向かうベクトルを視線ベクトルとする。視線を前述の平面に投影し、視線方向を正とする平面のY軸とする。パンの回転軸と視線に直交する直線を求め、これを同様に平面のX軸とする。X軸の方向は、パンの回転軸のベクトルと視線ベクトルによって決定される。平面座標の原点はカメラ中心を平面に投影した点とする。

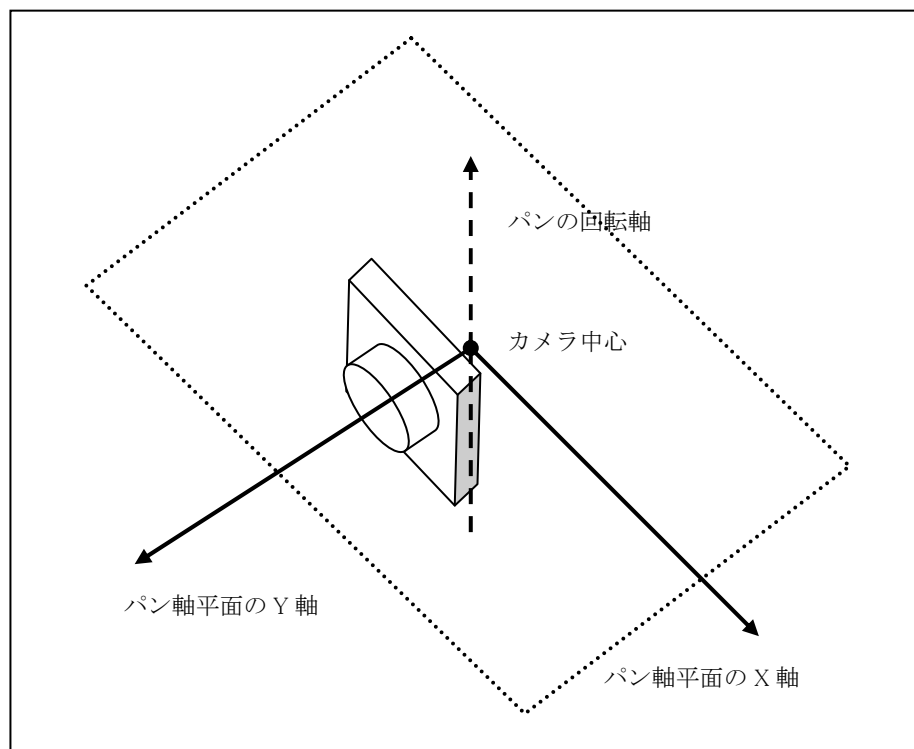


図 5-3-3-1 パン軸の平面

この2次元平面に対象の位置を投影したとき、X座標の値が正負のどちらであるかによって、パン動作の回転方向を決定する。今年度開発したシミュレーションシステムの場合、アクティブステレオカメラは上から見下ろしたとき反時計回り(左への首振り)がパンの正回転、時計回り(右への首振り)が負回転なので、X座標が正のとき左へ負のとき右へカメラを振る。

パンの回転角度は、平面上の視線ベクトルと原点から対象へ向かうベクトルの内積によって求められる。ただしアクティブステレオカメラのパンやチルトは、ハードウェア上の制限により無限回転させることはできない。シミュレーションシステムの場合、安全のため配線のコードが延びきってしまうことがないように+140度未満から-140度より大きい角度までにソフトウェアによって制限している。(ハードウェアの限界値は+165度以下、-165度以上)

ここで仮にパンの現在角度が120度で、対象がカメラからみて左斜め後方に位置しているものと想定する(図5-3-3-2)。このとき上記の方法でパンの回転角度を求め、+120度と算出されたとしても、上限を超えるので単純に240度に回すことはできない。よって、その場合は回転後の角度(この場合は240)から360をマイナスし、もう一度角度の限界をチェックして稼動範囲内であればその角度位置へ回転させ、やはり稼動範囲外であれば命令を無視する。符合が反対の場合も同様に処理する。

チルト(上下の首振り動作)も同様にして注視制御できる。

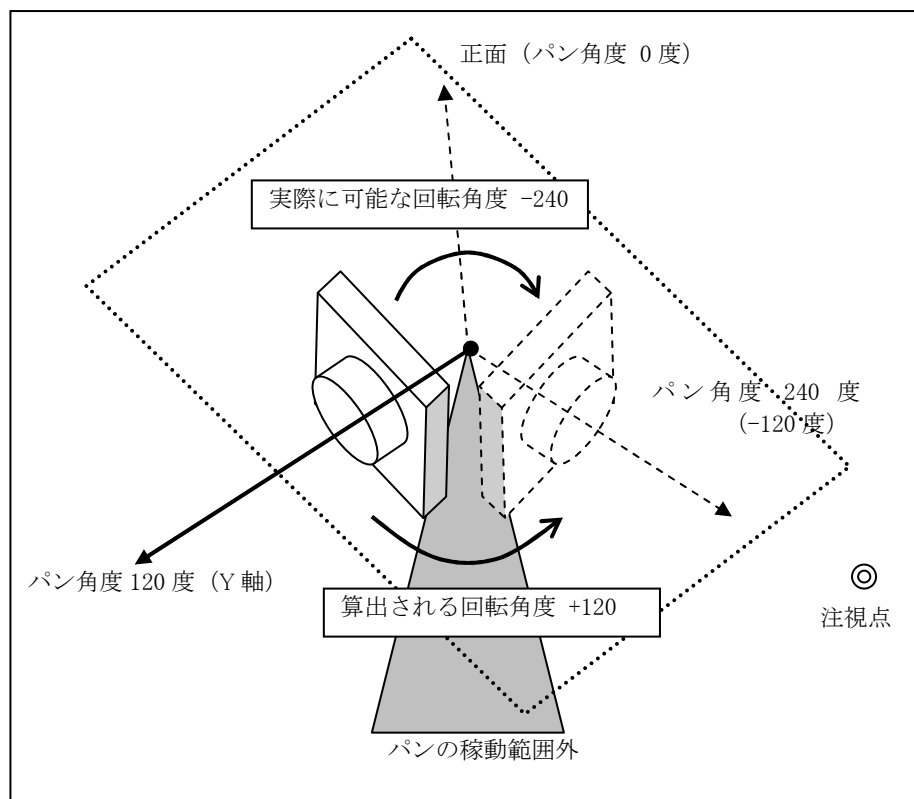


図 5-3-3-2 パンの回転

5-3-4 視点の異なる部分データの統合法の開発

異なる視点からある対象についての複数の 3 次元データを得られたとき、それらのデータを統合して、対象の記述をより完全なものに近づけることができる。ステレオカメラから得られるデータの座標は、カメラからの相対的な位置によって表される。そのため、そのままデータを統合しても、同じ部分から獲得したデータの座標が同じ位置にはならない。複数のデータを統合するためには、何らかの方法によってカメラの移動量を知り、一方のデータがもう一方の同じデータに重なるよう座標変換を行う必要がある。

カメラの移動量は、今年度開発したクレーンおよびアクティブステレオカメラの制御プログラムに与えるパラメータから知ることができる。クレーンならば 3 軸にそって平行移動するので、その軸方向 (X 軸、Y 軸、Z 軸) をあらかじめ計測しておく。アクティブステレオカメラの場合は、首振り (パン) および傾き (チルト) の回転をするので、カメラに対するそれぞれの回転軸の位置と方向を計測しておく。そして、制御するさいにどれだけ平行移動または回転したかによって座標変換行列を求めることができる。

異なる視点の部分データの統合によって逐次的にデータが増えていく様子を図 5-3-4-1、図 5-3-4-2、図 5-3-4-3 に示す。これらのデータは相関法による距離計測によって獲得したものである。上は輝度情報を載せて斜めから見下ろした 3 次元データであり、下は輝度情報を除いた同データについて追加部分のみを赤で強調したものである。

空中撮影する場合は、GPS による位置の測定によって平行移動のパラメータを知ることができる。またカメラの移動パラメータが未知の場合でも、十分に精度良く 3 次元復元できる物体が画像に写されていれば、物体認識技術によって座標変換行列を求めることも可能である。

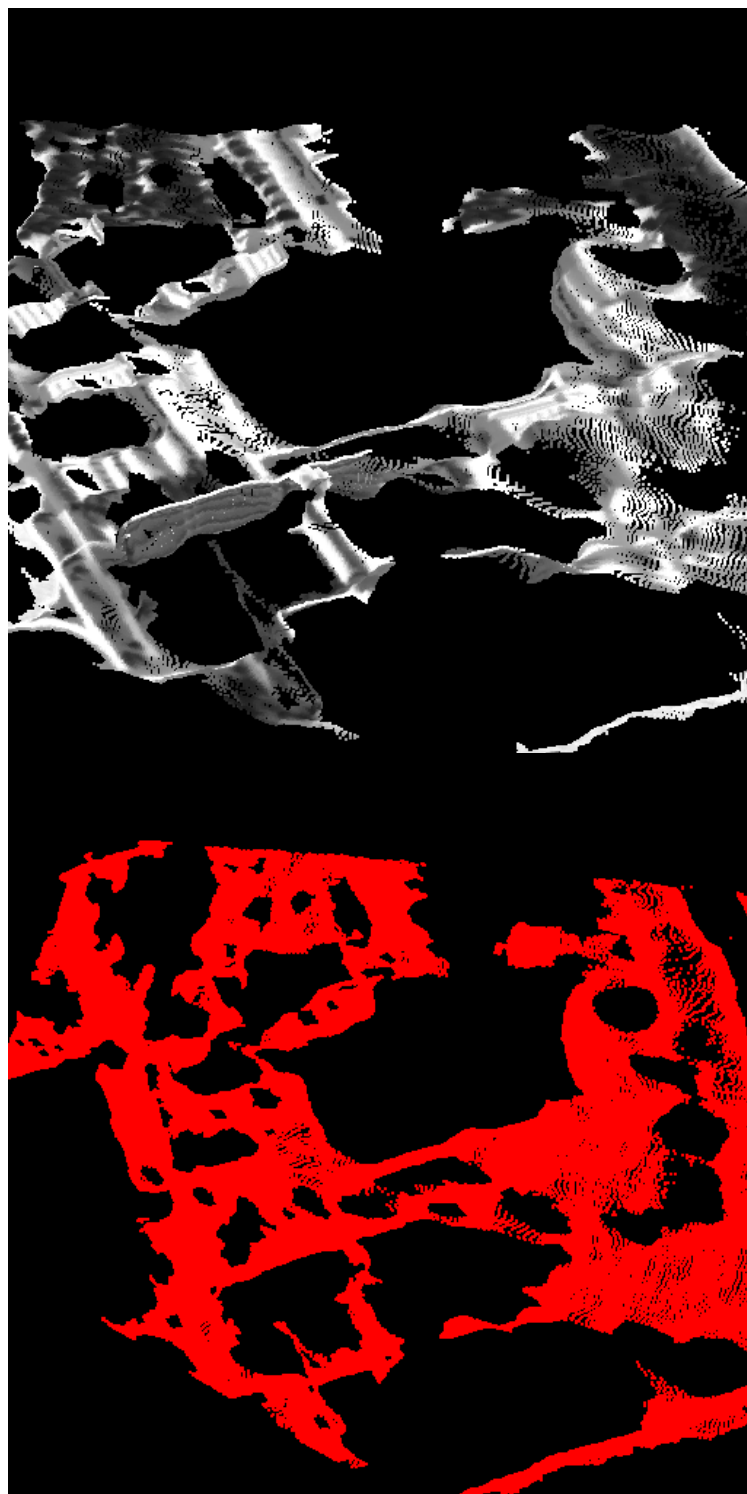


図 5-3-4-1 視点 1 の部分データ

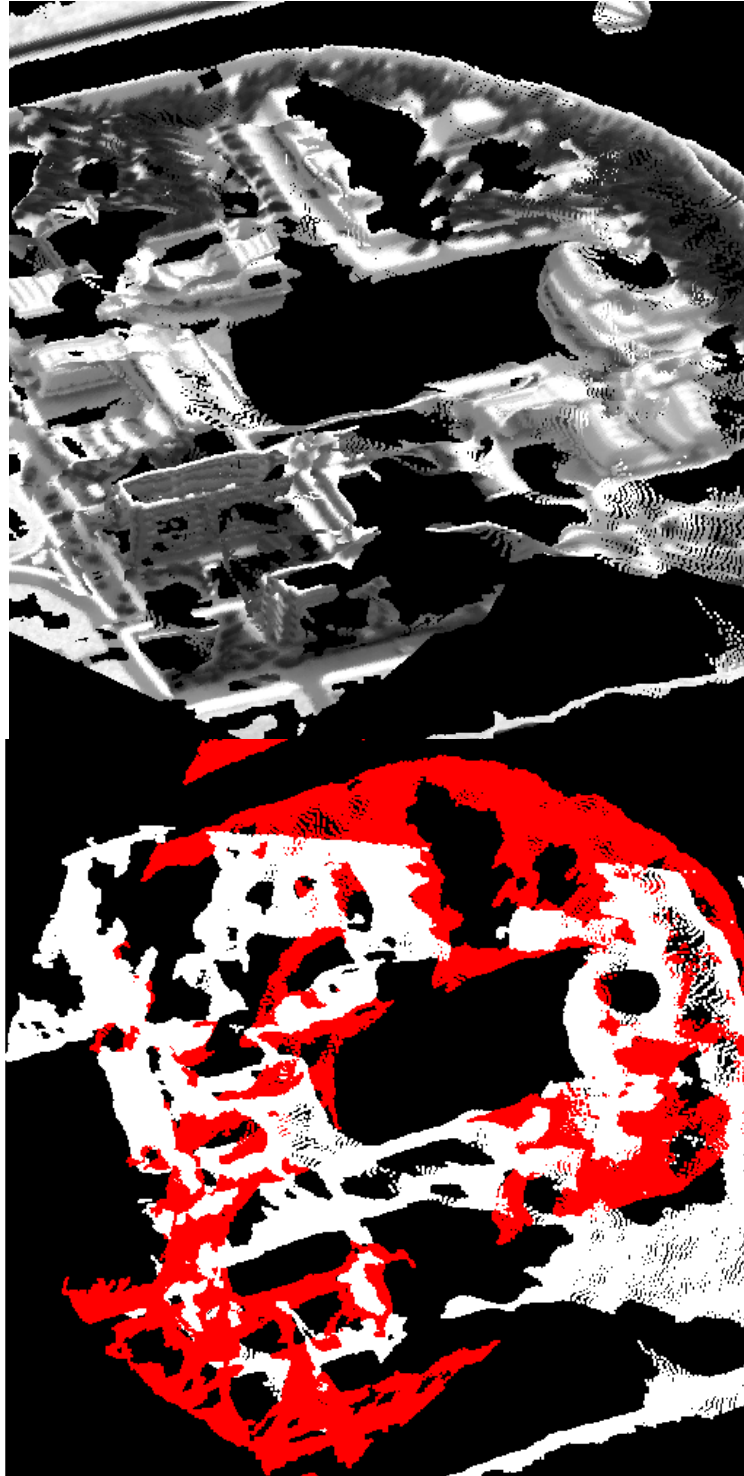


図 5-3-4-2 視点 1 と視点 2 の統合データ

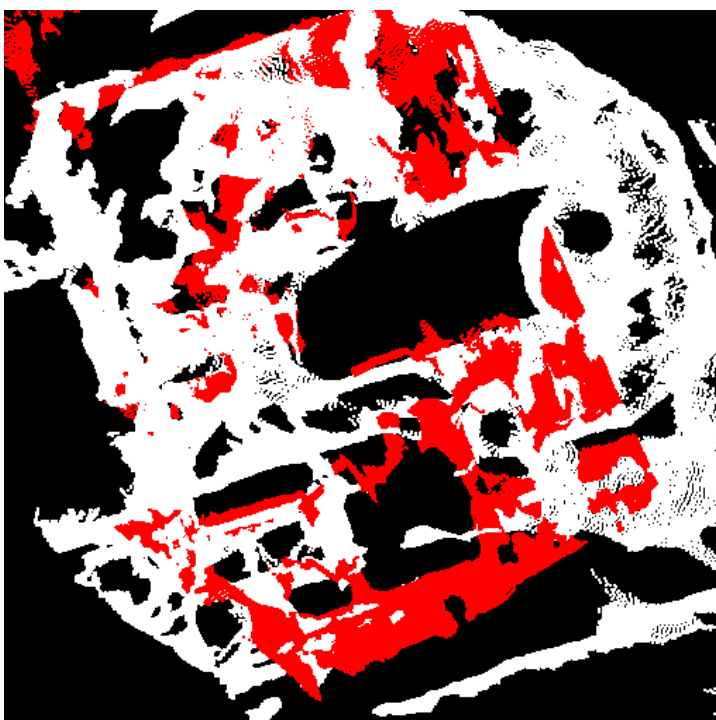
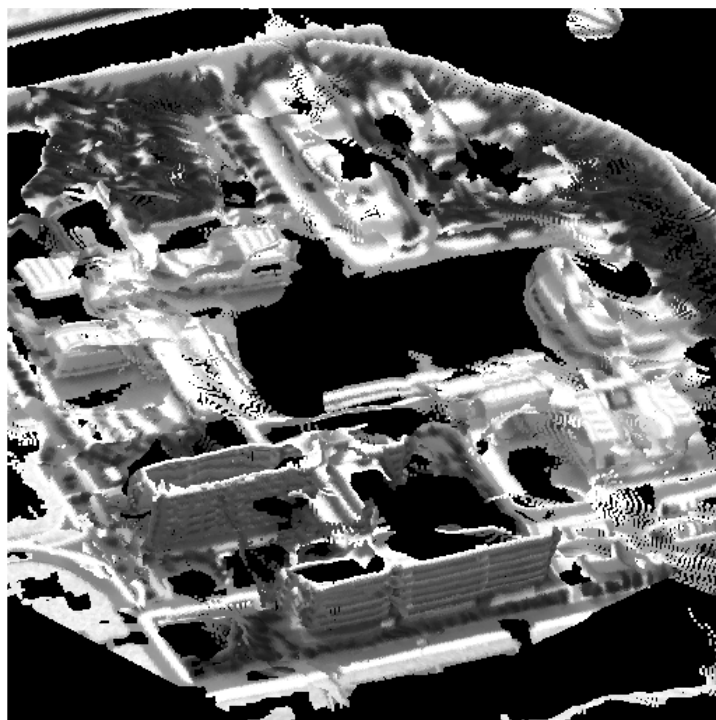


図 5-3-4-3 視点 1, 2, 3 の統合データ

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

3次元のデータから著しい変化を検出するプログラムを開発した。このプログラムは2つの距離画像を比較し、ある画素に写しだされる点について、与えられたしきい値を超える座標の変化(3次元座標での距離)が見つかった場合にその箇所を変化したものとみなす。図 5-3-5-1 にカメラ画像の例を、図 5-3-5-2 にそのカメラ画像から生成した距離画像の例を示す。変化前の画像では右端に写っている建物の模型が、変化後には取り除かれている。

比較する距離画像は、相関によるステレオマッチングによって物体表面の距離を密に求める。またノイズを減らすため、前年度開発した手法によってテクスチャの弱い領域についてマスク処理を施し、その領域はステレオマッチングの対象外とする。対象外となった部分は、距離が算出されないためデータが存在しない。

変化箇所として検出された領域が非常に小さい場合は、その領域はステレオマッチングの誤対応によるノイズや、補間時に推定された視差の誤差である可能性が高いので、そのような小領域を除去する処理を加えた。図 5-3-5-3 の左側は、図 5-3-5-2 の距離画像に対して変化箇所を求めた結果であり、右側はその結果から小領域を除去したものである。

上記の方法で求めた変化箇所を赤く強調し、それ以外の箇所を白く表示したものが図 5-3-5-4 である。取り除かれた建物が赤く表示されている。この模型は 1/500 のスケールであり、実際の高さは 5cm ほどのものを約 2.5m 離れたカメラから撮影した。

右上の建物以外の箇所で赤く表示されている箇所は、上記の処理では取り除けなかったノイズである。画像の右端近くと左端近くに見られるノイズは、ステレオマッチング処理の誤対応に起因するものである。



図 5-3-5-1 変化前（左）と変化後（右）の画像



図 5-3-5-2 変化前（左）と変化後（右）の 3 次元データ



図 5-3-5-3 変化箇所の抽出：小領域除去前（左）、小領域除去後（右）

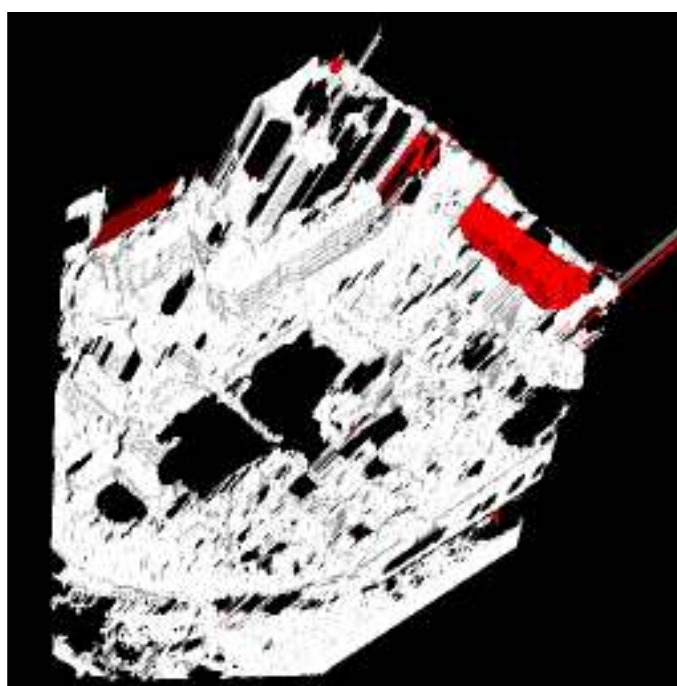


図 5-3-5-4 変化箇所の強調表示（変化検出箇所は赤）

5-3-6 まとめ

研究結果を成果物（ソフト）として纏める事ができた。

5-4 無人ヘリを用いたシステム実験

5-4-1 序論

最終年度として、事業化への足掛かりとするための無人ヘリを用いた空中撮影システムの実験を実施した。

本章では、無人ヘリのハードウェア選定理由と、5-3「シミュレーションシステムに関する実験の研究」で開発したソフトウェアを無人ヘリから撮影した画像に対して適用可能なことを示す。

5-4-2 ターゲットの指示

【ハード構成】

高高度産業用ヘリ

屋外において、実際にビジョンシステムを搭載して地上の撮影する実証実験をおこなうため、高高度産業用ヘリコプターを使用した。ヘリコプターとして、ヤマハ発動機製高高度産業用ヘリコプターRMAX L181を採用した。採用した機体は、カメラ雲台システム、制御用PC、通信装置などを搭載するために十分な20kg以上の搭載重量を有し、無線操縦が可能であり、高度15m以下で45分以上の連続飛行が可能である。その他、この機体には、自律飛行機能があり、電波状態が悪くなって地上からの制御が途絶えた場合でもその場でホバリングし、墜落しないという安全機能がある。また、GPSを搭載しているため、地上基地にあるPC上で正確な軌道の追跡が可能である。さらに、全長3.63m、幅0.72mと小型であるため、保管や実験場への運搬が簡便に行える。

類似品としてホビー用のラジコンヘリがあるが、搭載可能重量がほとんどなく、必要な実験機材を載せることが不可能である。そういう機種は、GPSや自律ホバリングなどの飛行支援機能もなく、実験につかうには安全上の問題もあり、RMAX L181を採用した。



高々度産業用無人ヘリコプタ

RMAX(L181型)

ヤマハRMAX L181型は、高高度での飛行を安全かつ確実にこなうことができます。従来、非常に高度な技量が必要とされた高高度への移動・ホバリングも容易に行うことができ、高高度での運用に適した産業用無人ヘリコプタです。

重量は、2人で持ち運び可能で、大きさは2000ccクラスのワンボックスカーや、軽トラックに搭載して運搬できます。



図 5-4-2-1 ヘリコプター

1. 2サイクル水平対向2気筒、水冷エンジン
2. アルミ&カーボン板製ボックス型フレーム
3. 油潤滑歯車式主減速機
4. シーソーダンパ入、ベル、ヒラー混合メインロータヘッド
5. ダイレクトサイクリックコレクティブピッチコントロール
6. 発電機及びセルフスターターの装備
7. 姿勢制御装置およびGPS制御装置の標準装備

(仕様諸元)

機 体 寸 法	全 長(mm)	3630	原 動 機	種 類	ガソリン・2サイクル	電 子 装 置	使用電波
	胴 体 長(mm)	2750		シリンダ数、配置	水平対向2気筒		産業ラジオ電波73Mhz帯
	全 幅(mm)	720		排気量(cc)	246		警報表示
	全 高(mm)	1220		最高出力(kw)	15.4(21PS)		表示パネル、警告灯
	燃料タンク容量(L)	6.0		冷却装置	水冷		警報内容
	メインロータ直径(mm)	3130		潤滑装置	混合潤滑		ガソリン残量、電圧、電波状況 過積載 他
	テールロータ直径(mm)	560		燃料供給	キャブレター(B27)	操 縦 支 援 装 置	制御対象
	最大離陸重量(kg)	94		点火装置形式	CDIマグネット点火		コレクティブピッチ/スロットル、エル ロン、エレベータ、ラダー 全4舵
	実用搭載重量(kg)	23		発電機	定格12V230W(大容量)		制御方式
				装備バッテリー	12V 7Ah		SCAS(Stability and Control Augmentation System)制御
				始動装置	ピニオン飛込式 電動スタータ		センサ構成
							ジャイロ(光ファイバジャイロ及び容 量式加速度計各3個) GPSセンサ・地磁気方位センサ搭載

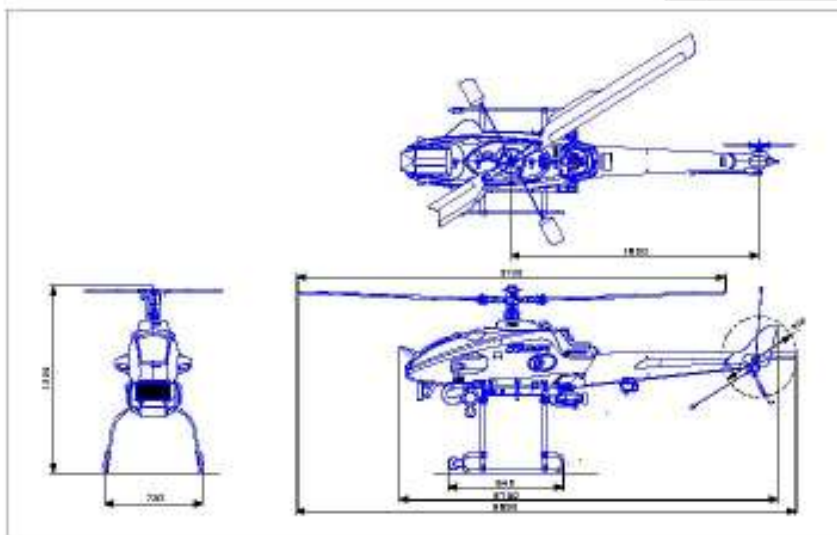


図 5-4-2-2 ヘリコプター仕様図

カメラシステム

ターゲットを注視できるよう、カメラシステムにはパン・チルト機構を有するカメラ雲台システムを設けた。各カメラに対して、パン・チルトがコンピュータから制御可能で、5-2「シミュレーションシステムに関する研究開発」で開発したソフトウェアにおいて、地上局からの指示で注視制御可能なシステム構成となっている。

カメラ系においては、5-2-3「注視システムの開発」で使用した小型デジタルカメラ Point Grey Research 社の IEEE1394 デジタルカメラ Flea を使用した。

以下にカメラ雲台の仕様を示す。

	項目	内容
旋 回 台 本 体 (URT-11B)	外形寸法	別図参照
	重量	125 g (カメラ、レンズを含まず)
	負荷重量	200 g 以下
	旋回角度	PAN軸 : $-180^{\circ} \sim +180^{\circ}$ TILT軸 : $0^{\circ} \sim 110^{\circ}$
	エンコーダ分解能	PAN軸 : 0.009° TILT軸 : 0.0045 (両軸ともエンコーダ 40000PPR)
	起動トルク	PAN軸 : $68.6\text{mN}\cdot\text{m}$ ($700\text{gf}\cdot\text{cm}$) ダイレクト TILT軸 : $137.2\text{mN}\cdot\text{m}$ ($1400\text{gf}\cdot\text{cm}$) 減速比 1/2
	保持力	PAN軸 : $68.6\text{mN}\cdot\text{m}$ TILT軸 : $137.2\text{mN}\cdot\text{m}$
	イニシャライズ時の 原点位置再現性	エンコーダ ± 1 パルス以内 (PAN 軸 $\pm 0.009\text{deg}$ / TILT 軸 $\pm 0.0045\text{deg}$ 相当)
	停止位置精度	エンコーダ ± 1 パルス以内 (PAN 軸 $\pm 0.009\text{deg}$ / TILT 軸 $\pm 0.0045\text{deg}$ 相当)
	旋回速度範囲	PAN軸 : $6^{\circ} \sim 60^{\circ}$ /Sec (モータ軸上で $1.0 \sim 10\text{r/min}$) TILT軸 : $3^{\circ} \sim 30^{\circ}$ /Sec (モータ軸上で $1.0 \sim 10\text{r/min}$)
コ ン ト ロ ール ユニット(URC109)	外形寸法	$300 \times 160 \times 100\text{mm}$ 以下 (スイッチ、コネクタ類を含まない)
	ボックス材質	アルミ
	重量	1500 g
	制御軸数	2 軸 (PAN 軸、TILT 軸) $\times 3$ 台
	電源	電圧 : $\text{DC}+24\text{V} \pm 5\%$ 電流 : 3.0A 以下 スタンバイ時 : 0.65A 以下 駆動時 : 旋回台 1 台 (2 軸)あたり 0.6A
	通信	RS232C(RS485 通信を外部アダプタにより RS232C に変換)
	通信ポート数	1
ブ ル ケ ー ル	線長	駆動ケーブル 2m 通信ケーブル 2m 電源ケーブル 2m

図 5-4-2-3 カメラ雲台仕様

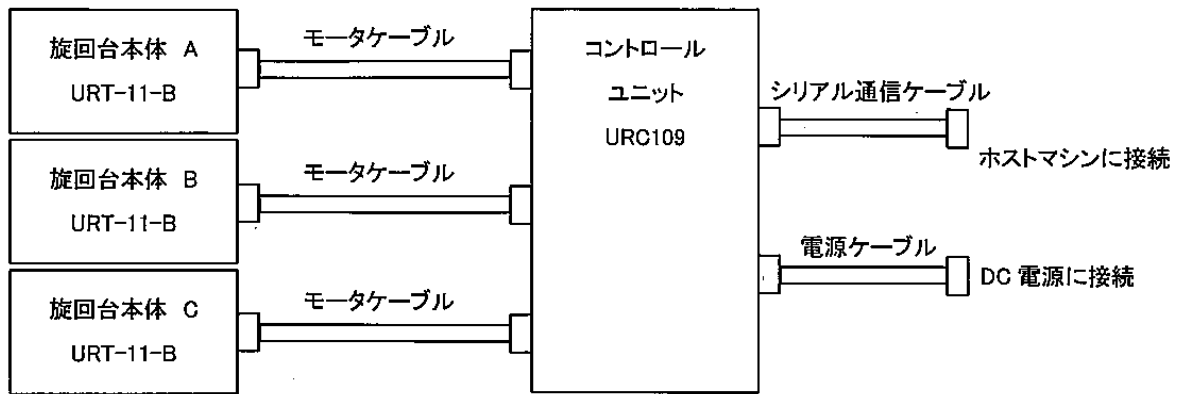


図 5-4-2-4 カメラ雲台構成図

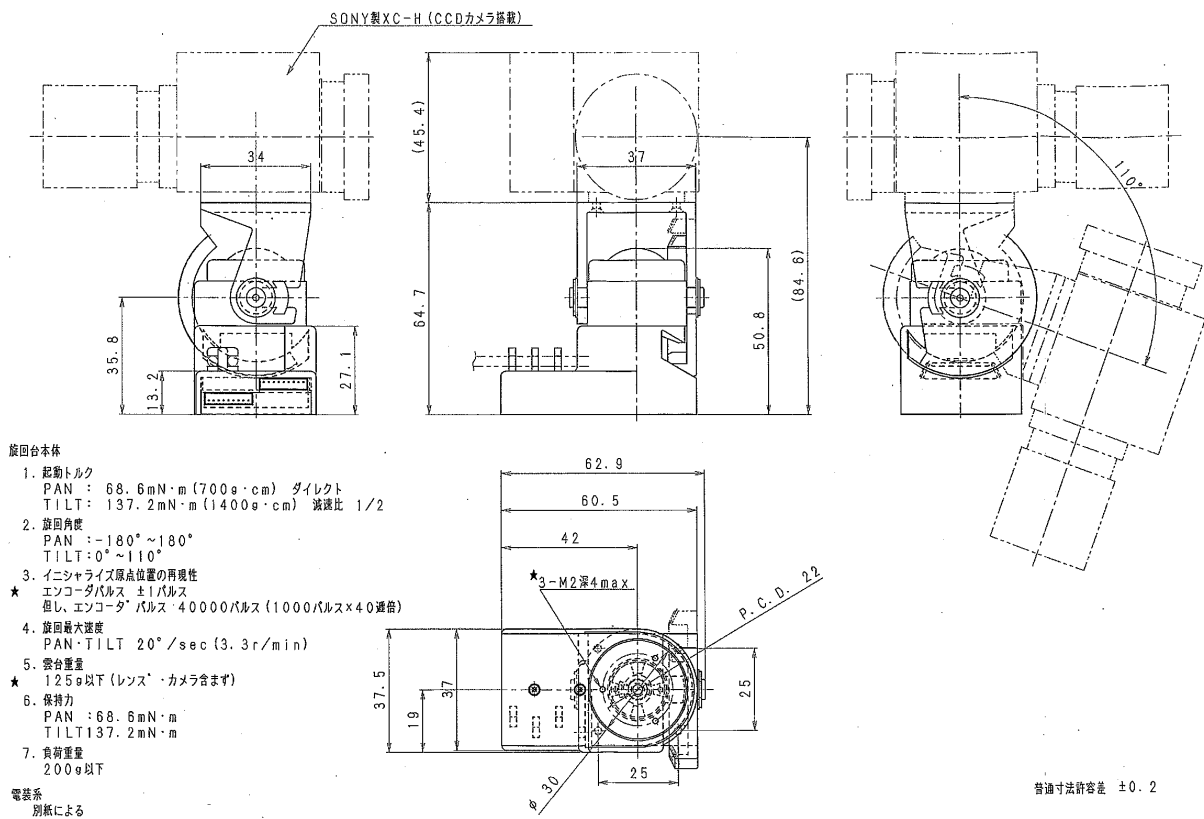


図 5-4-2-5 カメラ雲台機構図

5-4-3 ターゲットを注視するための移動制御、カメラ制御

5-4-2 で説明した無人ヘリ（図 5-4-3-1）を用いて、空中撮影の実験を行った。



図 5-4-3-1 実験に使われた無人ヘリ

本実験に先立ち、プレ実験として、デジタルムービーカメラ Victor GZ-MC200 に緩衝材を介してヘリに取り付け、どのような画像が撮影できるかの確認実験を行った。（図 5-4-3-2）

しかしながら、ヘリコプターの振動が予想以上に大きく、マイクロドライブへの動画の保存ができない現象が発生した。このため、ハードディスクでないメモリのコンパクトフラッシュを用いて撮影を行った。5-4-2 で説明したカメラ雲台においては、このヘリの振動が予想以上のものだったため、位置・姿勢保持ができない不具合が生じた。ダンパーなど振動を吸収する機構が必要なことが判明したが、この空中撮影実験には間に合わなかった。故に、以降の実験においては、単眼のカメラシステムで、ヘリコプターの位置・姿勢制御による注視制御を行い、移動ステレオによる 3 次元復元を行った結果を示す。

実験 1

前記のように、注視システムに不具合が生じたため、操縦者によるヘリの位置・姿勢制御で、高さ 2m 程度の砂山を上空約 10m から旋回しながら注視観測する実験を行った（図 5-4-3-2）。しかしながら、撮影した画像を確認したところ、予想以上にぶれが大きく、データ処理するには適当でないことがわかり、振動を吸収する緩衝材を増やす必要があることが判明し、次の実験ではその対策を行った。



図 5-4-3-2 無人ヘリによる実験

実験 2

実験 1 と同様に、操縦者によるヘリの位置・姿勢制御で、高さ約 6m の観測台の周りを約 20m の高度から旋回しながら注視観測する実験を行った。(図 5-4-3-3)

その観測データの一部を切り出し、ステレオ画像化したものが図 5-4-3-4 である。この画像から Harris のオペレーターにより特徴点を抽出し、画像間で対応付けすることで、2 視点間の位置・姿勢関係を計算し、エピポーラ線が水平になるように画像を平行化した結果が図 5-4-3-5 である。この画像に対して、相関法により対応関係を求め、視差を計算した結果が図 5-4-3-6 である。白い所ほどヘリ（カメラ）に近く、黒くなるほど遠くなっており、観測台の 3 次元形状を大体計測できていることがわかる。

図 5-4-3-7 は別の視点から観測したステレオ画像で、これを平行化した画像が図 5-4-3-8 である。この画像に対し、同様に相関法で視差を計算した結果が図 5-4-3-9 の視差マップで、ヘリから近い階段部分が背景の地面より近く計測できているのが示されている。



図 5-4-3-3 被写体の周囲を旋回する撮影



図 5-4-3-4 上空からのステレオ画像(1)



図 5-4-3-5 平行化されたステレオ画像(1)

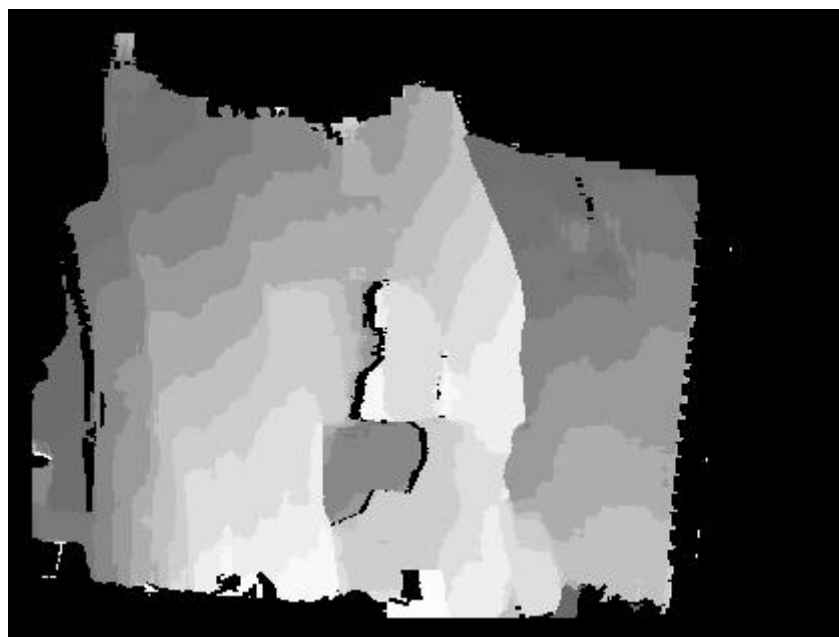


図 5-4-3-6 視差画像(1) (明：近い⇔暗：遠い)



図 5-4-3-7 上空からのステレオ画像(2)



図 5-4-3-8 平行化されたステレオ画像(2)

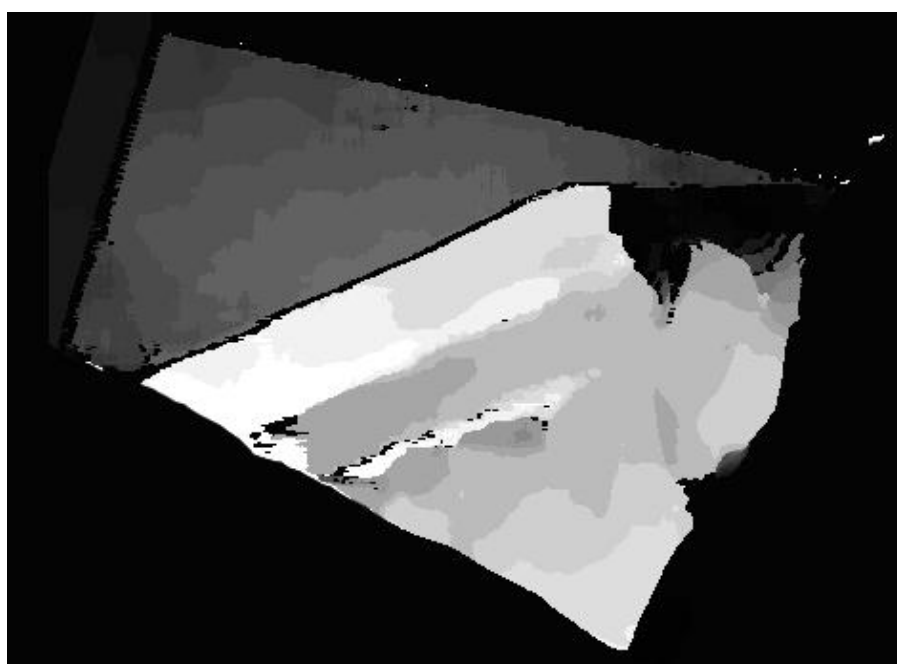


図 5-4-3-9 視差画像(2) (明：近い⇔暗：遠い)

5-4-4 視点の異なる部分データの統合

複数のデータを統合するためには、視点の異なるカメラ間の正確な相対座標を知る必要がある。おおよそのカメラの移動量は、ヘリコプターに搭載の GPS から得ることができ、姿勢はジャイロと別途開発したカメラ雲台のパン・チルト量から得られる。そして、微小誤差は先に述べたセルフアジャストメント法により補正する。これにより異なる視点で観測したデータ間の座標変換行列を求めることができる。

しかしながら、ヘリコプターの振動が予想以上に大きく、搭載したカメラ雲台の姿勢が想定以上に変動してしまう現象が生じたため、正確な 3 次元データを取得できず、異なる視点の部分データの統合実証実験の結果を出すことができなかった。ダンパーなどによる振動に対して頑健なカメラシステム系の開発は今後の課題である。ただし、統合ソフトウェアに関しては、5-3-4 で開発したものと同一であり、3 次元データを取得できれば、統合結果を出すことができる。

5-4-5 基準データ（モデル）に基づくターゲットの変化検出

過去の観測データ（基準データ）に対して、ターゲットの変化があるかどうかを検出するものである。事前に作成した基準データと新規に作成した観測データの 2 つの 3 次元データを比較し、変化有無を検出する。ソフトウェアに関しては、5-3-5 で開発し、検証したものと同様であり、入力するデータをヘリコプターから観測した 3 次元データで行えば良い。

しかしながら、5-4-4 と同様に観測システムの不具合から十分な 3 次元データを得ることができず、実証実験結果を出すことができなかった。

5-4-6 まとめ

研究結果を成果物（ソフト）に活かす事ができた。しかし、ハードウェアの問題として、ヘリコプターの振動が予想以上に大きく、搭載したカメラ雲台の姿勢が補正できない程変動してしまう現象が生じたため、正確な 3 次元データを取得できず、一部実証実験結果を出すことができなかった。今後の課題として、振動に対して頑健なカメラシステム系の開発が必要である。

5-5 総括

まず、本研究開発の実用化イメージを図 5-5 に示し、引き続き総括する。

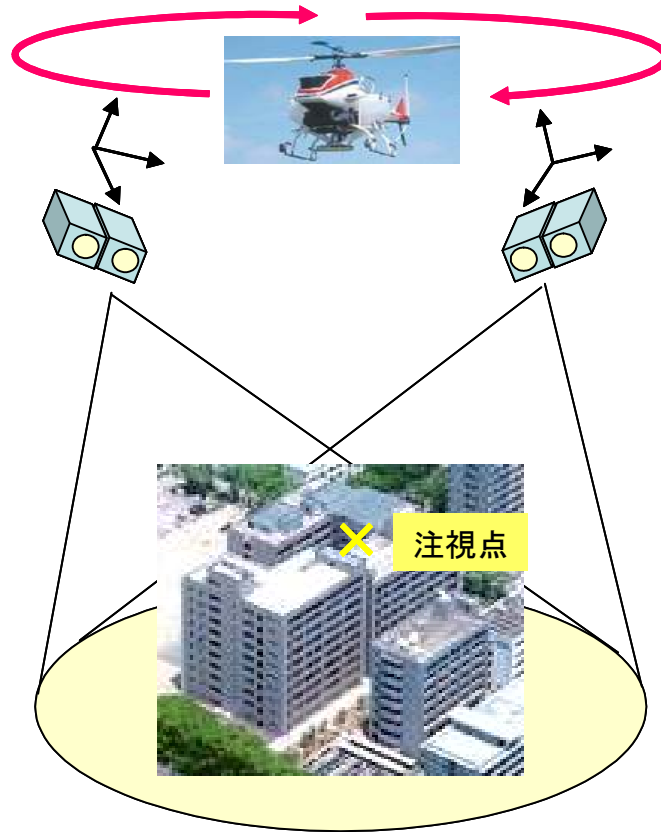


図 5-5 注視型空中撮影

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5-5で行われることが、実際にできるようにする為に、平成16年度の研究開発を実施したことをもって締め括りとする。

(1) 実用化へのステップ

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）」がかなり難しかったが、これらを実装しての、無人ヘリコプタによるシステム実験を実施して、実用化への第一ステップを完了した。

(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.