

平成22年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「全自動3D映像プラットフォームBinoQシリーズの開発」

研究開発成果等報告書

平成23年 9月

委託者 関東経済産業局

委託先 国立大学法人 東京工業大学

目 次

第1章 研究開発の概要

- 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標
- 1-2 研究体制
- 1-3 成果概要
- 1-4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 B i n o Q-Rシステムの開発

- 2-1 ハードウェア機構の設計と製造
- 2-2 モータコントローラとモータドライバ基板作成
- 2-3 制御アルゴリズムの開発
- 2-4 F P G Aでの両眼モデル実装のためのアルゴリズム改良
- 2-5 動作テスト・検証

第3章 B i n o Q-P1のハードウェア化

- 3-1 ハードウェア化の全体構想
- 3-2 S/Wの改良・高速化・最適化
- 3-3 F P G A開発
- 3-4 アプリケーション開発
- 3-5 誤差計算開発
- 3-6 基板開発
- 3-7 システム統合
- 3-8 動作テスト・検証

第4章 マスター・スレーブ・スレーブ式3DカメラリグB i n o Q-P2システムの開発

- 4-1 基本機構の設計・製造
- 4-2 両眼カメラ自動キャリブレーションアルゴリズムの開発
- 4-3 制御アルゴリズムの開発
- 4-4 実機テストと評価

第5章 基線長自動調節可能な全自動3D撮影リグB i n o Q-P3システムの開発

- 5-1 機能要求とシステムアーキテクチャ構築
- 5-2 リグ機構の設計・製造
- 5-3 画像処理リアルタイム化と両眼キャリブレーションアルゴリズム開発

- 5－4 基線長制御アルゴリズム開発
- 5－5 画像系デバイスAPI開発
- 5－6 制御系デバイスAPI開発
- 5－7 統合GUI開発
- 5－8 実機統合テストと評価

第6章 全体総括

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1) 研究開発の背景

メディア業界では、3D映画や3Dテレビの撮影は盛んになっているが、眼の疲れや頭痛といった3D映像特有の問題も注目され始めた。3D映像に関する安全基準が最近続々と制定されている。人間の眼に優しい安全な3D映像を撮影するためには、3D撮影装置は非常に高価になり、カメラの設置や調整に非常に手間が掛っている。また、遠距離のシーンの3D撮影は立体感を出すために、カメラ間距離を離さなければならない。例えば100m先のシーンの3D撮影にはカメラ間を3m以上離す必要がある。カメラ間距離が長くなるとカメラ同士の相対位置・姿勢の精確な設定が困難になり、人間の眼に優しい安全な3D撮影ができ難くなる。従って、サッカーや野球のような近距離撮影のできないスポーツの生中継では、遠距離からの立体感のある3D映像の撮影は未だ実現できない状態である。より安全でより良質な3D映像を得るために、人間の眼球運動に基づいた“全自動3D映像撮影システム”が有効であり、3D撮影の自動化が現場のニーズになっている。

また、メディア業界以外のサービスロボット、例えば自律サービスロボットの場合、全自動3D映像撮影システムの導入によって、立体空間の構築と視覚認識率の向上が期待でき、ロボットの自律走行の安全性を高めることが可能である。特に、ロボット自身の運動により生じたカメラ画像のズレの補償や、危険物体に対する高速正確の視線照準など本研究開発グループ独自の特許技術によって、良質な両眼画像を得ることができ、視覚認識の成功率を高めることが可能であり、衝突防止、危険感知などより信頼性・安全性が高いものにできる。また、危険作業ロボットの遠隔操作では、ロボット装着カメラからの3D映像は人間の眼が現場にいるような立体情報を得られる事で、より安全性を高めるのに有効である。これからの様々なサービスロボットの『眼』として発展進化し、高性能で信頼性・安全性の高いサービスロボットの実現が期待できる。

2) 研究開発の目的

本研究開発の目的は、人間の眼球運動と両眼相対関係を実現する両眼視覚制御システムの原理を3Dカメラ制御システムに応用し、人間の眼に優しい安全な全自動3D映像を撮影できるプラットフォームを実現することである。更に、同両眼視覚制御原理を用いて、これまでにない遠距離被写体の3D映像を撮影できる3D撮影リグを実現し、サッカーや野球のような近距離撮影のできないスポーツの生中継を可能にする。

また、自律サービスロボットの自律走行の安全性を向上させたり、危険作業ロボットの、より安全性の高い遠隔操作を可能とするような3D映像プラットフォームを実現することを目的とする。

3) 研究開発の目標

本研究開発では、全自動3D映像プラットフォームBinoQシリーズを開発する。具体的には、BinoQ-R, P1, P2, P3の4つのプラットフォームを開発する。各々の目標は以下のとおりである。

①BinoQ-Rシステムの開発

既存両眼視覚制御システムプラットフォームBinoQ-Rの性能を落とさず、安価で、小型な商品にするために組み込みソフトの開発を行う。更に、FPGAを用いたモータコントローラの開発を完了し、同コントローラを用いた両眼眼球運動制御モデルを実現させる。

②BinoQ-P1のハードウェア化

現在、パソコンでしか使えないBinoQ-P1をDSPに書き込み、セキュリティ性の高い組み込みユニットにすることにより、海外でも販売出来る商品を開発する。

③マスター・スレーブ・スレーブ式3DカメラリグBinoQ-P2システムの開発

マスター一台、スレーブ2台方式のカメラ雲台を設計し、遠距離3D撮影できるように組み込み制御ユニットの開発を行う。

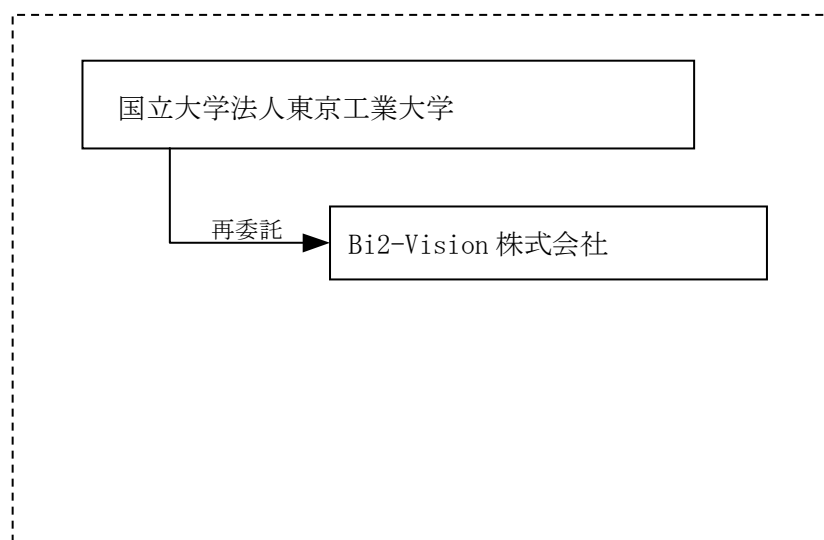
④基線長自動調節可能な全自動3D撮影リグBinoQ-P3システムの開発

初期設定が必要なく、左右のカメラは被写体に追従しながら標準輻輳姿勢に保ち、カメラのズームに合わせて最適な基線長を自動的に調節することのできる全自動3D撮影カメラリグBinoQ-P3システムの開発を行う。

1-2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

1) 研究組織（全体）

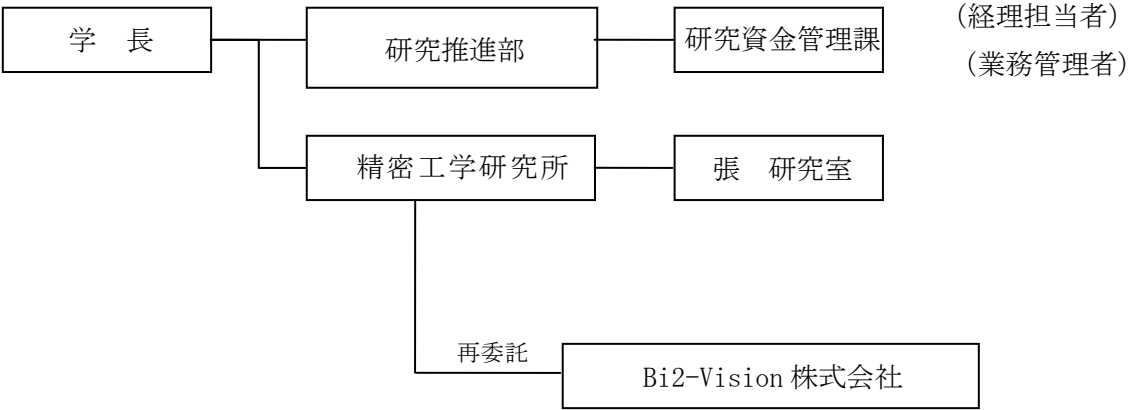


統括研究代表者（P L） 東京工業大学 准教授 張 曉林	副統括研究代表者（S L） Bi2-Vision 株式会社 取締役常務 久保川 俊彦
------------------------------------	--

2) 管理体制

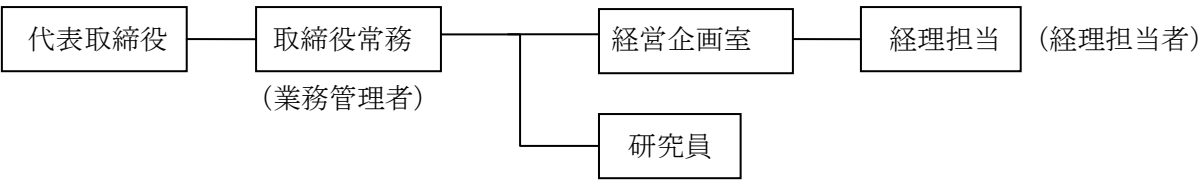
①事業管理機関

[国立大学法人東京工業大学]



② 再委託先

[Bi2-Vision 株式会社]



(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】 国立大学法人東京工業大学

① 管理員

氏名	所属・役職	実施内容
太田 邦之	研究推進部研究資金管理課 受託研究契約グループ長	管理運営
鷹司 綾子	研究推進部研究資金管理課 受託研究契約グループ 担当	管理運営
張 曉林	精密工学研究所 准教授	管理運営

② 研究員

氏名	所属・役職	研究開発内容（番号）
張 曉林（再）	精密工学研究所 准教授	①②③④

【再委託先】

(研究員)

Bi2-Vision 株式会社

氏名	所属・役職	研究開発内容（番号）
久保川 俊彦	取締役常務	②④
西井 悟	主任研究員	①④
鄭 承珠	主任研究員 博士(工学)	②④
谷 宇章	主任研究員 博士(工学)	③
高 岩	研究員 博士(工学)	③④
甄 梓寧	研究員	①②

1-3 成果概要

① BinoQ-Rシステムの開発

まず、Bi2-Vision で BinoQ-R のハードウェア機構を設計・組み立を行い、同時に FPGA を用いたモータコントローラ基板の開発を行った。次に、モータコントローラ基板を用いて、制御アルゴリズムの開発を行ったが、API、サンプルソースは作成したが、マニュアルは作成できなかった。更に、モータコントローラ基板に両眼眼球運動制御モデルを内蔵することを実現するために、C 言語の両眼眼球運動制御モデルから FPGA 用言語への書き換え、FPGA の長所を発揮するためのアルゴリズムの改良を行った。カメラ部とモータ部の単体テストは実施出来たが、BinoQ-R のハードウェア機構を用いた実機総合テストは実施できず今後の課題として残った。

② BinoQ-P1 のハードウェア化

BinoQ-P1 が必要とする画像処理と映像キャリブレーション専用 DSP+FPGA ボードの開発を行った。具体的には、評価用 DSP ボードを用いて市販 DSP チップ処理能力のテストを行い、ソフトウェア式の BinoQ-P1 システムを基に、機能を DSP と FPGA に分散し、ハードウェア式の BinoQ-P1 システムの仕様書を作成した。仕様書を基に、DSP チップの選定とボードの回路設計を行い、基板を製造するとともに基本アルゴリズムの開発を行った。

次に、BinoQ-P1 アルゴリズムの DSP への書き込みを行った。具体的には、C++から DSP 用 C 言語の書き換えを行い、アルゴリズムの高速化と最適化を図り、GUI、画像取り込みと書き出しソフトウェアの開発を行った。しかし、Genmap 機能の実現、ハードウェア化した BinoQ-P1 アルゴリズムとソフトウェア式コンピュータアルゴリズム機能との比較および API とマニュアルの作成はできなかった。

③ マスター・スレーブ・スレーブ式 3D カメラリグ BinoQ-P2 システムの開発

BinoQ-P2 に適用するための両眼カメラ自動キャリブレーションアルゴリズムを開発した。また、画像処理及び両眼キャリブレーションアルゴリズム、両眼モデルの制御システムの PC への導入は実施した。このシステムを用い P2 コンセプトを実証するための超遠距離

3D撮影に成功した。この結果を踏まえ、超遠距離3D撮影システムに必要な基本機構を設計し、ハードウェアを製造した。しかし、実機での総合テスト及びテスト撮影までは実行できなかった。その結果、テスト映像の編集、結果の評価、システムの見直しも実行できず今後の課題として残った。

④ 基線長自動調節可能な全自動3D撮影リグBinoQ-P3システムの開発

基線長制御可能なBinoQ-P3の基本設計を行い、ハードウェア機構を組み立て、BinoQ-P3の統合制御ユニットの開発を行った。

統合制御ユニットのモータ制御部はBinoQ-R用両眼モデル内蔵FPGAモータ制御コントローラを適用した。統合制御ユニットは、具体的には、画像処理とキャリブレーションアルゴリズムの高速化を図り、リアルタイムで画像変換を行えるようにすることを目標としたが、開発の結果、画像変換のリアルタイム処理を達成した。次に、CPUマザーボード+FPGAコントローラ+GPUでBinoQ-P3の制御ユニットを組み立てることができた。更に、テスト実験及びAPIとマニュアル案の作成を行うとともに実機で撮影を行い、映像を編集し、結果を用いて、システムの修正と見直しを行い当初の開発計画を完遂した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

所属 : 国立大学法人 東京工業大学 精密工学研究所 准教授

氏名 : 張 曉林

電話 : 045-924-5083

FAX : 045-924-5083

Eメール : zhang@pi.titech.ac.jp

第2章 BinoQ-R システムの開発

両眼運動制御のために各眼球（カメラ）はパン・チルト方向2自由度を持ち、ズームとフォーカス制御し、両眼協調運動制御が機能するテストベッド用のプラットフォームを開発する。

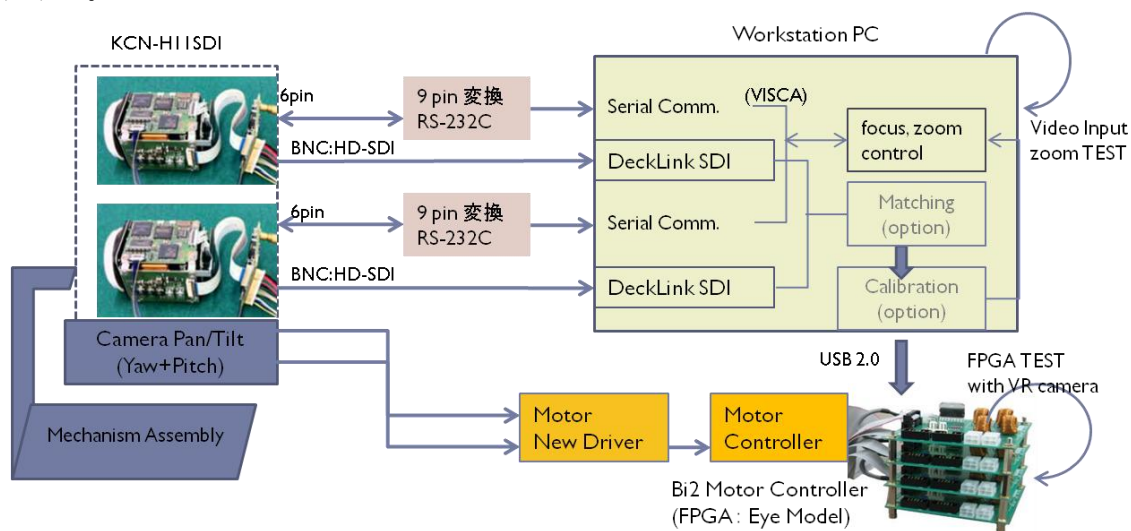


図 2 - 1 BinoQ-R 全体システム図

2 - 1 ハードウェア機構の設計と製造

カメラを動かす可動部分は両眼モデルの眼球運動の最大可動範囲を考慮して、各カメラの YAW と PITCH はそれぞれプラス 45 度から、マイナス 45 度までにした。また、その可動範囲でカメラが相互当らないように工夫し、BinoQ-R のハードウェアの機構部を設計した。

- 外形寸法：H<230mm、W<341mm、D<212mm
- 動作範囲：Pitch: $\pm 45^\circ$ 、Yaw: $\pm 45^\circ$ 、基線長：137mm~167mm

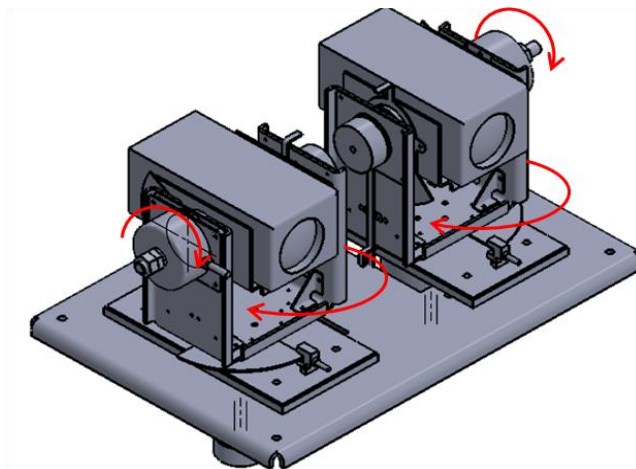


図 2 - 2 機構部の3Dモデル完成イメージ

2-2 モータコントローラとモータドライバ基板作成

2-2-1 モータコントローラ基板の開発

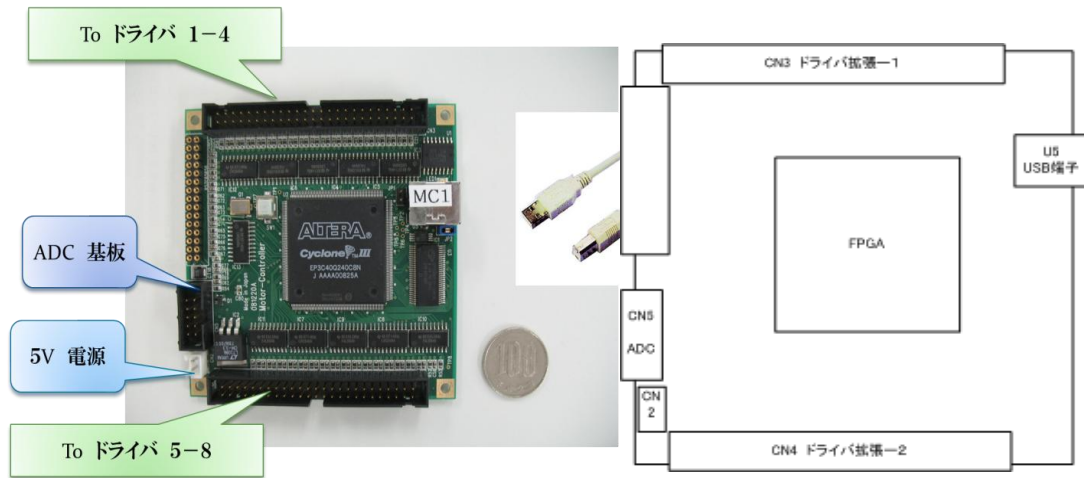


図 2-3 モータコントローラ基板

高速制御周波数（1KHz 以上）、高トルク（最大定常電流 4A）、多関節（最大 16 個）のモータ制御システムを実現するためのモータコントローラは FPGA を用いて、上図の基板を開発した。この基板の外形寸法は 900x900[mm]で、部品数：259 点、最大で 16 個のモータを同時に 1KHz で位置制御することが出来る。

モータ制御やテストするための API の機能として、以下のような関数を作成している。

- モータエンコーダの読み取り、リセット
- モータのラインセンサ読取、有効無効設定
- モータの PWM DUTY 比調整
- モータの PID 制御する時、PID ゲイン調整

2-2-2 モータドライバ基板の開発

ブラシレスモータの制御にブラシレスモータドライバ IC を用いる必要がある。まず、IC に入力する PWM 信号のためのローパスフィルタの特性（抵抗およびコンデンサの値）の決定、モータへの出力電流を制限するための抵抗値の設定を行った。ブラシレスモータドライバ IC の周辺回路図をもとに実装する基板における部品のレイアウト図を描き、使用する基板が比較的小さなものであったため、抵抗やダイオードを垂直に配置するなどスペースをできる限り削減した。1 チャンネル分のモータドライバ周辺の回路ができた時点で、ブレッドボードに配置して、PWM 信号およびモータ用電源（5[V]）を入力して、モータ制御信号出力ピンからパルス信号が出力されていることをオシロスコープにて確認できたため、残り 3 チャンネル分のドライバ回路の作成をはじめ、必要となる 4 チャンネル分の基板が完成した。

2-3 制御アルゴリズムの開発

FPGA デバイス用に制御アプリケーションをコンパイルすると、専用ハードウェア回路の性能と信頼性を備えた真の並列処理を可能にする最適な実装となる。また、FPGA チップ上にはオペレーティングシステムがないため、コードは性能と信頼性を最大限に高めるよう実装される。

2-3-1 FPGA でのモータ制御

FPGA デバイスは、高い信頼性に加え、確定的な閉ループ制御を超高速のループレートで実行できる。FPGA ベースのほとんどの制御アプリケーションでは、速度は FPGA の処理性能ではなくセンサ、アクチュエータ、I/O モジュールによって制約を受ける。例えば、FPGA モジュールに含まれている比例/積分/微分 (PID) 制御アルゴリズムは、わずか 300 ナノ秒 (0.000000300 秒) で実行する。FPGA ベースの制御システムは、1MHz を超える速度で確定的な閉ループ制御の性能を発揮する。 実際、多くのアルゴリズムは FPGA のクロック (40MHz) の 1 サイクルだけで処理される。処理は並列で実行されるため、マルチレート制御システムの実装も簡単である。FPGA デバイスが浮動小数点演算ではなく整数演算を使用するので、PC (CPU) で作成したモジュールを移植する時に、精度が落ちないように工夫する必要があった。モータの電流を正確に制御するには、制御システムが電流をすばやくサンプリングし、アクチュエータ出力を頻繁に調整した。

2-3-2 カメラの制御

今回使用した小型カメラは、リアルタイムでハイビジョン映像の取り込み (Full HD : 1080i) が可能で、プロ用のカメラと同様に SDI ビデオ信号伝送規格を採用しており、BNC コネクタと同軸ケーブル 1 本で伝送できる。レンズは光学 10 倍のオートフォーカスズームレンズを内蔵しているため、デジタルズーム機能 12 倍と合わせると最大 120 倍までにズーム可能である。また、VISCA という RS232C プロトコルによる PC からカメラコントロールが可能である。しかし、光学 WIDE 端から TELE 端までにズーム移動時間が約 1.0 秒かかることや、ズーム指令はズーム移動完了の命令が戻るまでに次の指令ができない問題がある。

2-4 FPGA での両眼モデル実装のためのアルゴリズム改良

眼球運動の中で、興味ある対象を中心視で捉え、滑らかに追跡することができる眼球運動 (SP) や頭の動きに応じて、頭の動きを補償するように起きる反射性眼球運動 (VOR) などの両眼運動モデルを FPGA 内で実装することで、CPU より安定、および高速追従運動が期待できる。すなわち、モータ駆動通信の遅延は少なく、高速ハードウェア制御のカスタマイズが容易である。そして、モータの PID 位置制御・PWM モードを開発した上で、両眼制御モデルを追加し、改良した。両眼モデルを FPGA で実装することによって、実行速度が上がり、タイミング制御も良くなった。

その機能要件は以下の三つである。

- ① USB 通信で PC と FPGA の間で安定な 1KHz で通信する

- ② 16 個の DC ブラシ付きモータに対し、PID/PWM モードで制御可能
4 個のブラシレス DC モータに対して、PWM モードで制御可能に変更
- ③ 両眼制御モデルが FPGA に内蔵されているため、両眼協調運動、及び回転前庭動眼反射運動を実現可能

2-4-1 両眼モデルの実装

眼球運動制御システムのよせ運動と共役運動の伝達関数を誘導する過程から、左右それぞれの情報を加減算した結果を運動制御に用いる特徴が工学的に単純でかつ効率的に運動制御が実現できる。

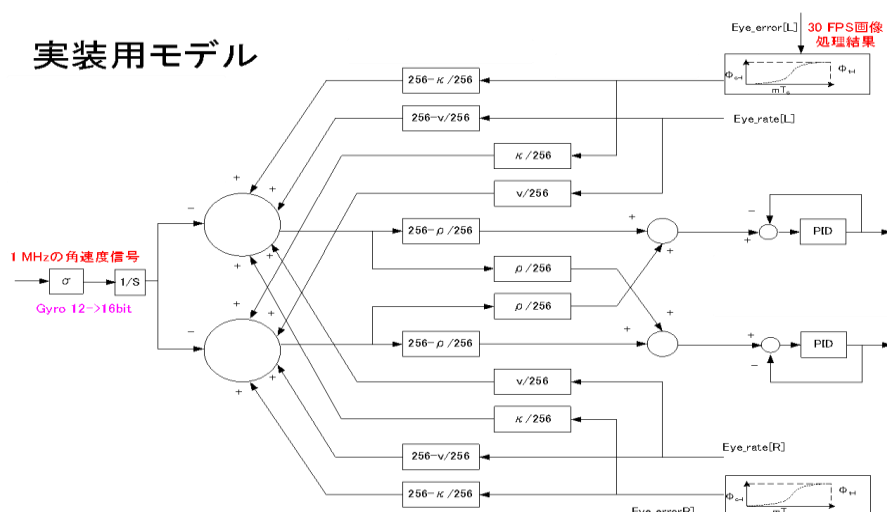


図 2-4 両眼モデルの実装図

2-4-2 機能

目標値の設定、パラメータの設定、現在モータやエンコーダ状態の読取機能を実現した。モータコントローラはモータの位置制御モードと PWM モード、両眼モデルによる運動制御機能を実現した。ドライバ側は使用するモータに合わせて、必要な制御信号を増幅する機能を実現した。

2-4-3 VR 環境を用いた両眼モデル機能の動作テスト

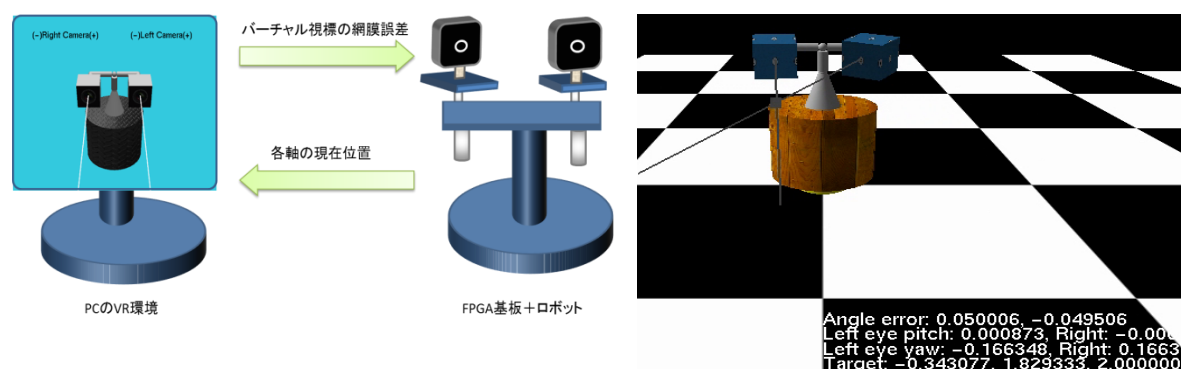


図 2-5 両眼モデルの機能テストのための VR システム

FPGA に実装した両眼運動モデルが正しく動作するのを検証するために、自由にパラメータの設定が可能で、モータやセンサ、カメラなどのデバイス環境シミュレーションが可能なVRシステムを構築してテストを行った。指標に対して滑らかに追跡するモータ制御ができたのを確認した。

2-5 動作テスト・検証

2-5-1 カメラ部の動作テスト



図 2-6 カメラから映像取り込みとズームとフォーカス制御テストの結果

カメラ制御部の動作テストを行い、HD-SDI を通して 2 台の小型ハイビジョンカメラから、映像の読み込みとズーム・フォーカス制御の動作検証を確認した。ズームレンズの制御は、指令後に機械的にレンズを動かせるので、反応が遅れる。しかし、映像の読み込みとズーム制御動作は問題なく成功した。

2-5-2 モータ部の動作テスト

■ USB データ通信のテスト

新規作成した USB ドライバを用いてモータ制御APIが、デバイス（モータコントローラ基板）との通信を正しく初期化できるかどうか、デバイス（モータコントローラ基板）との通信が 1kHz の速度で可能かどうか、長時間の通信に対して、データのロスなく安定に動作するかどうかをテストした。テストした結果、1KHz モータ制御が成功し、その転送（更新）時間は、0.2～0.5ms 以内であるのが確認できた。

2-5-3 実機での総合テスト

今回は、新規機構の設計と組み立てや新規モータドライバ基板の製作の時間がかかったため、カメラ部とモータ部を組み合わせた BinoQ-R システムの実機総合テストまでに達成できなかったが、各デバイスの動作テストで正常に機能が動いたことが確認できたため、BinoQ-R システムの全体動作にも問題ないと想定される。



図 2－7 カメラ部とモータ部を組み合わせた BinoQ-R システム

第3章 BinoQ-P1のハードウェア化

3-1 ハードウェア化の全体構想

3-1-1 機能の定義

BinoQ-P1の基本機能として、以下の項目が要求される。

1. 2つ同期されているHD-SDI画像入力に対し、リアルタイムの画像修正を行う。
2. 修正時のパラメータは、GUIによって、ユーザが指定可能。
3. 修正後の画像をHD-SDIで同期出力される。

以上によって、BinoQ-P1のハードウェア化イメージを以下のように描く。

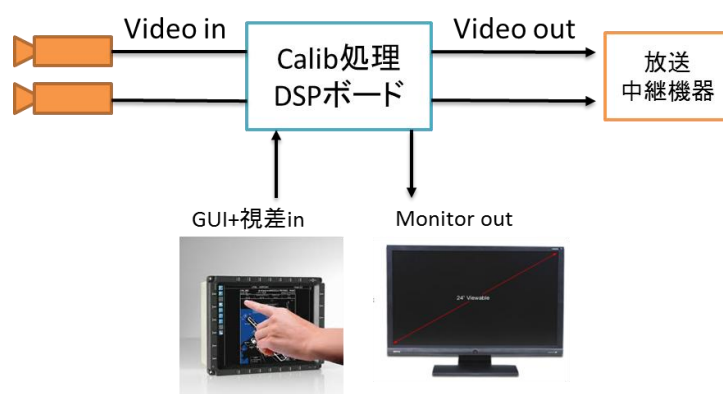


図3-1 BinoQ-P1機能イメージ

3-1-2 ハードウェアの構想

BinoQ-P1には、高フレームレート画像入出力を可能にするリアルタイムの画像処理が要求されている。この処理は、PC上では不可能であるため、組み込み技術を活かした基板開発が一番重要となる。

はじめはDSP(Digital Signal Processor)を用いて、3-1-1で定義されるBinoQ-P1の基本機能を果たすつもりだったが、TI社の高速DSPが搭載されるDM6467評価基板を用いて評価した結果、目標であるリアルタイム処理を実現するまで、あと13倍速くしなくてはならないことがわかった。

よって、シングルDSPの考案を諦め、マルチDSPや、FPGA等を検討した結果、FPGAとDSPで構成するプラットフォームを採用した。

GUI：グラフィカルユーザインタフェースの略。

HD-SDI：シリアルデジタルインタフェースの一種で、ビデオ信号転送に使われている。

TI：テキサスインスツルメンツ。大手半導体メーカーである。

FPGA：Field Programmable Gate Arrayの頭文字をとったもので、現場(Field)で、書き換え可能(programmable プログラマブル=プログラム可能な)、LSI(論理ゲート(Gate)が格子(Array)状に並んでいるセミカスタムLSI)という意味である。

SW：ソフトウェアの略語。

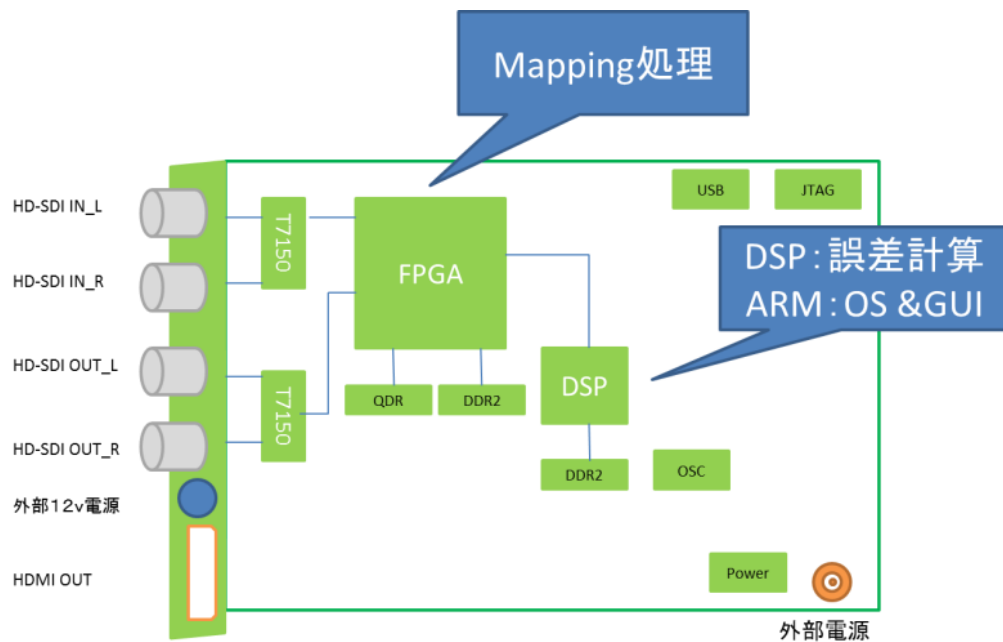


図 3-2 基板構成イメージ

このプラットフォームを利用することで、**DSP** の柔軟性を生かしアルゴリズム移植時の変更を最低限に抑え、かつ **GUI** 開発も可能となった。また、**FPGA** の並列処理能力を生かして、演算量が膨大なリアルタイム画像処理を実現することができる。

3-2 S/Wの改良・高速化・最適化

PC 上で開発されたアルゴリズムをそのまま **DSP・FPGA** に移植しては、高速にすることはできない。アルゴリズムの特徴をみて、高速化・最適化を行う必要がある。

まず、並列処理可能な処理（**GenMap** 処理及び **Mapping** 処理）と誤差計算処理を大きく 2 つに分けて、並列処理可能な処理は **DSP** で並列処理できるように高速化・最適化を行い、30FPS（フレーム毎秒）処理を目標とする。誤差計算処理は並列処理以外的高速化最適化手法を行い、高速化を果たす。

次に、PC 上のアルゴリズムを **DSP&ARM** プラットフォームに移植し、以下の手法を用いて高速化・最適化を行った。

1. アルゴリズム最適化
2. 高速ライブラリの使用（RTS,IMG）
3. ループ展開
4. キャッシュ最適化
5. インライン関数の使用
6. コンパイラによる最適化
7. 浮動小数点数の整数化
8. DSP 内部指令

3-3 FPGA開発

3-2に述べたように、PC上のアルゴリズムを並列処理可能かによって分離し、FPGA部分はGenMap処理とMapping処理をターゲットにした。

設計したFPGA内部モジュール構成は略すが、その構成から以下のモジュールを開発する必要があることが分かる。

1. SDI入出力モジュール
2. 画像変換マップの生成 GenMap モジュール
3. 画像のリアルタイム Mapping モジュール
4. DSP と FPGA の通信 (I2C) モジュール
5. SDI の入力画像を縮小し、DSP に転送する Video Port モジュール

3-4 アプリケーション開発

今回のBinoQ-P1アプリケーション層はARM上で実現する。CPUにはARM (CPUアーキテクチャの一種)、OSとしてリナックスを採用した。よって、BinoQ-P1のアプリケーション層はARM CPUによって実現し、そこに含まれるモジュールは

1. FPGA Comm : ARM と FPGA 通信用モジュール
2. Image Calibration : キャリブレーションを行うモジュール
3. GUI : ユーザとのインタフェース
4. DSP Comm : ARM と DSP 通信用モジュール

3-5 誤差計算開発

誤差計算は二枚の画像を用いて、画像の歪み情報を計算するモジュールである。誤差計算開発はPC上の誤差計算ソフトをDSPコアで高速に実行できるように開発することである。最適手法は3-3章で記述した手法を用いて高速化を行った。算出した誤差の精度はPCの誤差との比較によって確認した。

3-6 基板開発

基板開発は今回のBinoQ-P1プロジェクトの重要課題である。開発は回路図の作成と基板製造の2つのステップに分けて進行した。回路図の作成はBi2-Vision (株)で、基板製造は株式会社K&F Computing Researchに委託した。

回路図作成は、FPGA部分の回路図作成とDSP部分の回路図作成2つに分けて作成した。使用するツールはD2CADというソフトである。設計した回路図の規模は表3-1回路規模に示す。

表 3－1 回路規模

最終バージョン	P1_ver1.6.7
回路枚数	47 枚
PIN 数	7611 ピン
部品点数	1535 点
配線総数	6438

基板に使用する部品の点数が多く、その中、入手が難しい部品も多くあって、製造開始まで時間がかかりかかった。株式会社 K&F Computing Research によって、基板が製造された。

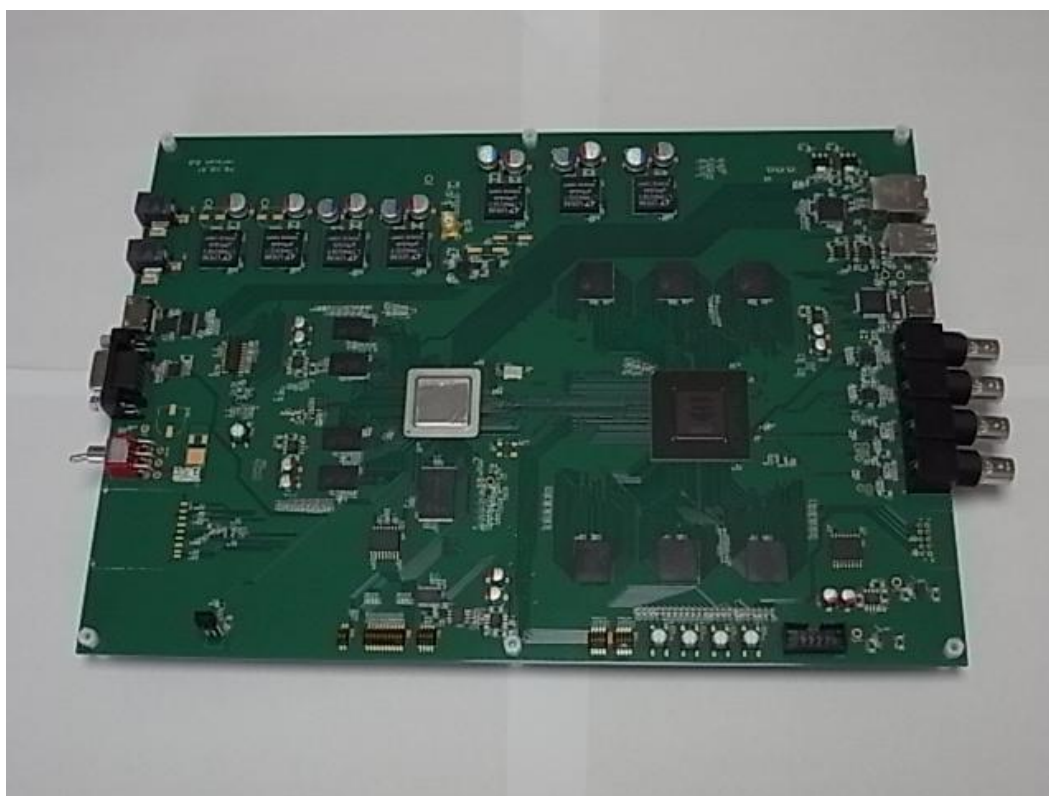


図 3－3 作製した BinoQ-P1 基板

3－7 システム統合

ここでは DSP に実装したアプリケーション及び誤差計算と、FPGA 基板上で開発したモジュールを BinoQ-P1 基板に統合し、実際の撮影環境と近いテスト環境を整えた。

3-8 動作テスト・検証

システムを統合した後に、機能テストのため、以下のテスト項目でテストを行った。

表 3-2 動作テスト項目とテスト結果の一覧表

No	テスト項目	方法	設備	テスト結果
1	基板電源システムテスト			
1.1	電源モジュール	テスターによる TP0~6測定	テスター	○
1.2	FPGA、DSP 電源	IC 動作時 IC 電源安定性	オシロスコープ	○
1.3	SDI、QDR、HDMI 周辺電源	IC 動作時 IC 電源安定性	オシロスコープ	○
2	FPGA			
2.1	FPGA LED、SW 制御	回路で LED を制御する	ない	○
2.2	I2C 通信	DSP と通信し、LED 制御		○
2.3	QDR 読み書き	Counter 値の読み書き		未確認
2.4	SDI PHY Loopback	Loopback 画像確認	カメラ+SDI Monitor	○
2.5	SDI 画像読取	Singnal tapII で波形確認	Pro 用カメラ	○
2.6	SDI 画像出力	Color bar を Monitor で画像確認	カメラ+SDI Monitor	○
3	DSP			
3.1	Jtag テスト	CCS による Jtag Link 確認	Debugger PC	○
		CCS による DDR,ROM,I2C,Flash		○
3.2	DSP 周辺 IC の認識	,RTC,UART の認識	Debugger PC	
		Jtag で Boatload を書き込み		○
3.3	Bootloader 起動	、UART で確認	Debugger PC	
3.4	Linux 起動	Uart で Linux 起動画面確認	PC	○
3.5	Linux 内部確認(FS)	Uart で Linux 起動画面確認	PC	○
		EZSDK 付き Test Program での		○
3.6	Linux application test	application 実行確認	PC	
	Linux based HDMI USB test		PC HDMI monitor	○
3.7	P1 GUI test	実行結果で確認	PC HDMI monitor	○
3.8	I2C test	FPGA の LED を点滅させる	PC FPGA	○
3.9	誤差テスト	実行して結果みる	PC	○
		Test program で Framework 関数		○
3.10	Framework test	実行確認	PC	
4	GenMap	略		未確認
5	統合テスト	略		未確認

第4章 マスター・スレーブ・スレーブ式3DカメラリグB i n o Q-P 2 システムの開発

4-1 基本機構の設計・製造

現在の3D映像撮影は、安全性を考慮するため、基線長を大きくしない傾向があり、ほとんどの撮影は基線長を65mm以下で行う。広い基線長での撮影の場合は、光軸の調整が難しくなり、独自の機材も設計しなければならない。また、基線張が広くなればなるほど二つのカメラの手動調整は難しくなり、動く被写体を追いかけての撮影を手動で行うことはほぼ不可能となる。これを可能ならしめるには、動く被写体を追いかけてながら二つのカメラの光軸を全自動調整できるアルゴリズムが必要となる。また二つのカメラの光軸を自動調整できるアルゴリズムに従ってカメラ位置をリアルタイムに動かす制御アルゴリズムとそのアルゴリズムに従い動作をする機構部が必要となる。そのため、今まであったマスター・スレーブ式では、マスターの動きに追従するスレーブに遅れがあるので、新たにマスター・スレーブ・スレーブ式3Dカメラリグを考案し、B i n o Q-P 2システムとして超遠距離3D撮影システムに必要な基本機構を設計しハードウェアとソフトウェアを開発した。

B i n o Q-P 2システムはこれまでにない遠くのシーンを3D撮影できるシステムで、人間の肉眼では認識することができない遠景被写体の位置関係をはっきりと認識することが可能なシステムである。

このシステムは以下の四つの特徴がある。

(ア)基線長1mから100mまで調整できる。

(イ)手作業による精密な光軸調整は不要である。

(ウ)一人のカメラマンによるカメラ操作が可能である。

(エ)マスター・スレーブ・スレーブ方式を採用することによって、両カメラ間の動作の同期が取れるので、カメラマンによるカメラ操作に遅れることなく、被写体の追跡が可能となる。

4-1-1 設計の方針

① 製品概要

- 1) マスター/スレーブ/スレーブ方式3D撮影装置
- 2) 基線長：1m～100m範囲内調整可能
- 3) 二つのカメラは一人のカメラマンによるカメラ操作に従い遅れることなく被写体を追跡しながらの撮影が可能

② 対象3Dコンテンツ(例)

- 1) 世界遺産を巡る紀行番組：今までの近くだけが立体的で遠くは2Dという絵柄から、遠くも立体的に撮影できる。川沿いに造られた古都を丘の上から撮影す

れば、古都の街並みが手前の流れる川も含めて立体的な大パノラマ映像を撮ることができる。

2) オリンピック番組：冬季オリンピックではスキー場という広い空間で繰り上げられるスキー競技を3Dという全く新しい映像で見ることにより迫力が何倍も増す映像を撮ることができる。夏のオリンピックでも、カヌー競技やヨットレースなど広い自然の中で行われる競技をあたかも目の前で見ているような映像を撮ることができて、競技自体にも新しいファンを作ることができる。

3) 映画：歴史ドラマで繰り上げられる広大な大地や、入り組んだ山間部で繰り上げられる戦いの場で臨場感あふれる大パノラマ映像を撮ることができる。

4-1-2 システム要件

1) パン・チルトモータ分解能、繰返し位置決め精度

1 ピクセル当たりの横（縦）画角 = 横（縦）画角 / 横（縦）方向ピクセル数

① PMW-350L（カメラ） + HJ23x7.6（レンズ）望遠端：1 ピクセル当たりの画角 $\simeq$ 0.001.703 度

② Red One（カメラ） + 300MM（レンズ）：1 ピクセル当たりの画角 $\simeq$ 0.00135 度
日機電装 NMR-FADBA2C-061A の分解能は 0.0005 度、繰返し位置決め精度は諸条件によるが、メーカーの社内評価値は ± 0.000417 度である。

2) YAW モータ分解能、繰返し位置決め精度

1 ピクセル相当最大ロール角 = $\text{atan}(1 / \text{横方向ピクセル数})$

① PMW-350L：1 ピクセル相当最大ロール角 $\simeq$ 0.02984 度

② Red One：1 ピクセル相当最大ロール角 $\simeq$ 0.01399 度

ハーモニックドライブ RH-5A-4420-E050AL の分解能は 0.0072 度、繰返し位置決め精度は ± 0.025 度である。

3) 耐荷重

耐荷重は 15kg とする。

4) 可動範囲

Pitch 方向： ± 60 度

Roll 方向： ± 2 度

Yaw 方向： ± 50 度

5) 最大回転速度

Pitch 方向：40 度／秒

Roll 方向：5 度／秒

Yaw 方向：40 度／秒

6) 使用環境温度範囲

-20 $\sim$ 40 $^{\circ}\text{C}$

4-1-3 システムの構成図

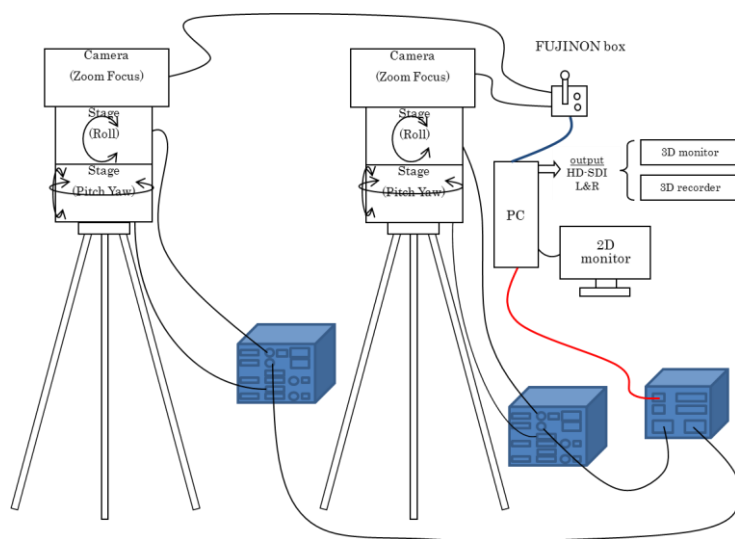


図4-1 マスター・スレーブ・スレーブ式P2システム構成図

図4-1に示したように、システムは三脚二つ、三自由度雲台二つ、カメラ二つ、カメラ制御ボックス一つ、モータドライブボックス二つ、モータコントローラボックス一つ、パソコン一台、モニター一台、3Dモニター一台、記録機一台で構成される。

4-1-4 制作した実験機

図4-2に示したように、システムの要件通りに設計した三自由度雲台を設計し、制作した。モータからパソコンまでの配線も完成した。カメラ一台と三自由度雲台一つと三脚一つをワンセットでスレーブカメラとして使う。



図4-2 P2実験機

4-1-5 最適基線長の自動算出とユーザインタフェースの設計

視標の立体感最適化の基線長と安全性（暫定3%）を満たす基線長を自動的に算出するソフトを開発した。パソコンをマスターとして使い、ユーザインタフェースを設計した。

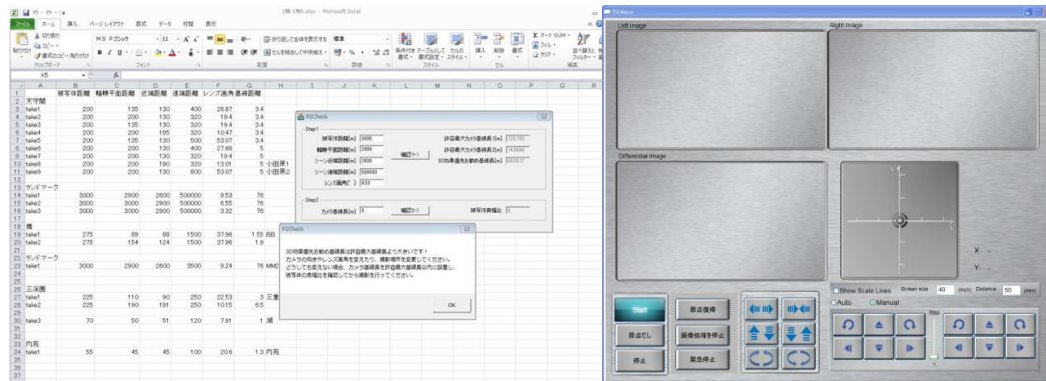


図4-3 最適基線長の算出とGUIの画面

4-2 両眼カメラ自動キャリブレーションアルゴリズムの開発

遠距離被写体を3Dで撮影するためには、基線長（両カメラ間距離）を大きく離す必要がある（数メートルから百メートル）。この場合は、カメラ間の相対位置の手動によるキャリブレーションは不可能になる。P2に適用するための両眼カメラ自動キャリブレーションアルゴリズムを開発した。また、画像処理及び両眼キャリブレーションアルゴリズム、両眼モデルの制御システムのPCへの導入をした。

4-3 制御アルゴリズムの開発

P2DM（デバイスマネージャー）の構成では、三自由度のモータは自社開発したBi2MSCモータコントローラで制御し、カメラの焦点距離などのパラメータはFUJINON社のコントローラボックスで制御を行う。

日機電装製DDモータをBi2MSCで制御するとき、中継の変換回路が必要となる。その変換回路を設計した。制作した回路を使い、シミュレーションを行った。電圧の振幅と立ち上がり時間は制御に十分使えることを確認した。

4-4 実機テストと評価

4-4-1 目的

- ① 超遠景3D映像撮影のアルゴリズムと両眼カメラ自動キャリブレーションを検証
- ② 撮影機材の構成を検証
- ③ 超遠景3D映像の効果を検証：安全性と3D表現のトレードオフについて

4-4-2 撮影ロケーションとデータ

撮影対象まで50メートルから3000メートルまでのシーンを五つに選んで、3日間で撮影した。それぞれのシーンは画角と基線長を変更し、複数のビデオを撮った。図4

ー 5 はみなとみらい 2 1 撮影するときのシステム構成である。

■三溪園(2011. 3. 11)

シーン 1 - 池から東屋 ターゲット 50m 基線長 1m 画角 8°
シーン 2 - 内苑 ターゲット 55m 基線長 1.3m 画角 20.6°
シーン 3 - 三重塔 ターゲット 225m 基線長 3m 画角 22.5°

■小田原城(2011. 3. 9)

シーン 4 - 小田原城 ターゲット 200m 基線長 3.4m 画角 13°
シーン 5 - 小田原城 ターゲット 200m 基線長 3.4m 画角 55°

■センター南 (2011. 3. 11)

シーン 6 - 歩道橋から車道 ターゲット 564m 基線長 3m 画角 3.3°

■ベイブリッジ (2011. 3. 10)

シーン 7 - ベイブリッジ ターゲット 275m 基線長 1.5m 画角 38°

■みなとみらい 2 1 (2011. 3. 10)

シーン 8 - みなとみらい 21 ターゲット 3000m 基線長 76m 画角 9°

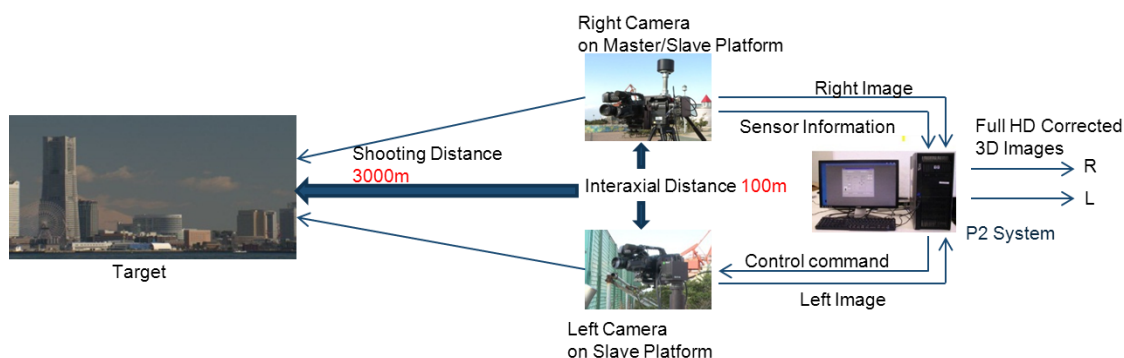


図 4 - 5 みなとみらい 2 1 撮影構成

4 - 4 - 3 映像の結果

3 日間に渡って撮影した映像から以下の結果が得られた。

- ① 世界初の基線長 7 6 m による超遠距離立体映像を撮った。世界で初めて超遠距離 3 D 撮影に成功し、これまでにない 3 D 映像が得られた。
- ② 最適基線長自動算出による基線長設定の効果を確認した。
- ③ 安全性基準と実際の映像の主観との差を確認した。

第5章 基線長自動調節可能な全自動3D撮影リグBinoQ-P3システムの開発

5-1 システム機能要求

BinoQ-P3(以下P3)の主要機能要件は以下3項目とした。

- ① RIG機構の手動初期調整を必要としない自動カメラ姿勢補正
- ② 左右のカメラは被写体に追従しながら標準輻輳姿勢に保つ
- ③ カメラのズームに合わせて最適な基線長を自動的に調節する

上記基本機能要求に加え、3D撮影装置リグとして、今回開発するP3システムの操作機能要求仕様を以下設定した。

起動モード

リグのメイン電源スイッチのオン、オフ操作をユーザが行う
モータコントローラとモータドライバの電源オン/オフ情報をPCモニタに表示する。
PCの電源スイッチ操作をユーザが行う。
コントローラのデバイス認識を行い、PCモニタに状態を表示する。
デバイスが認識されない場合は接続を促すコメントを表示する。

原点出しモード

PC画面上で原点出しルーチンの起動/停止操作を行う。
原点出しボタンが押されたとき原点出し動作を行う。
原点出し終了後、原点に各ステージを移動し保持する。
カメラの設置を促すコメントを表示する。

基線長下限設定モード

マニュアルモード操作でカメラがぶつからない基線長に移動させる。
PC画面の基線長下限ボタンを押すと下限値が設定され、画面に表示される。

マニュアルモード

PC画面上でリグ上の可動ステージ手動調整を行う。

自動キャリブレーションモード

PC画面上で自動キャリブレーションボタンを押すと、Yaw、Roll、Pitchの自動調整を行う。

基線長自動制御モード

PC画面上で基線長自動制御ボタンを押すと、ズーム操作に連動して基線長と視差角(Yaw)を制御する。

以上、機能を実現するシステム開発を行った。

5-2 リグ機構の設計・製造

5-2-1 高精度カメラ姿勢制御可変ステージ機構開発

左右画像の幾何学的な差の計算結果（誤差計算）によるカメラ姿勢制御を精度よく行うためにはリグの剛性、アクチュエータによる高精度可変ステージが必要とされる。カメラの姿勢制御（光軸制御）を完全に行うために、生体眼球運動モデルと同様、片眼3軸（Roll、Pitch、Yaw）のカメラ可動ステージを実現することとした。

可動範囲は左右の相対姿勢（光軸）差を修正する範囲でよいと、回転軸角範囲で 4° とした。

左右画像を重ね合わせた時のずれ量の目標値として1ピクセル以内を設定し、これに収めるための各軸回転制御精度を 0.02° 以下と定めた。

今回上記要求を満たすための機構としてリンク式可変ステージを設計、実験機を制作し性能評価を行った。

設計に先立ち、リンク機構による制御分解能を検証するため、モータエンコーダ値とステージ傾斜角の関係をシミュレーションした。結果、動作領域内 4° （ $\pm 2^{\circ}$ ）において、十分な分解能精度が得られることがわかり、設計着手した。

次に、リンク機構の1軸について試作を行い、制御分解能のテストを行った。結果、分解能精度は 0.0125° 以下であることが確認され、要求精度の 0.02° 以下が達成できることを実証した。

5-2-2 3Dリグユニット開発

前記、リンク式の可変ステージをベースとした、片側3軸（Roll/Pitch/Yaw）と基線長可変併進2軸、合計8軸構成の電動可変式リグ開発を行った。

開発の条件として、今回評価用で選定したカメラ、レンズが搭載できることとし、当該レンズで対応できる最小レンズ間幅250mm、三脚でのリグとり回しが可能な範囲として最大700mmと想定し、基線長可変範囲を250～700mmとした。また、三脚上のカメラとり回しはカメラ重心位置が三脚に対し高くなるほど操縦が難しくなることから、極力低重心となるよう構造設計を行った。

外観からは駆動部、制御部が露出しないよう、防滴、防塵に配慮した。

5-3 画像処理リアルタイム化と両眼キャリブレーションアルゴリズム開発

5-3-1 画像処理リアルタイム化

P3システムにおける画像処理アルゴリズムの目的は、誤差計算の安定性を高めるために、左右画像データを線形補完処理した後、再マッピングを行い誤差計算アルゴリズムへ引き渡すことにあるが、PCのCPU（中央演算処理装置）パワーでは処理が間に合わないため、本アルゴリズムについてはGPU（グラフィカル演算処理装置）にて構築し、リアルタイム化を図った。

アルゴリズムは最適化検討を重ね、最終的に GPU 処理の単体テストで処理時間 20ms まで実証され、画像フレームレート 30Hz(約 33ms 内)に十分収まり、本アルゴリズムのリアルタイム処理を実現した。

5-3-2 両眼キャリブレーションアルゴリズム

誤差計算は 3D 映像を作る上で一番重要な、左右画像のずれを補正する補正量を計算するアルゴリズムであり、自動キャリブレーションの根幹である。

CPU と GPU で統合アルゴリズム処理の分散化を図り、誤差計算を行うキャリブレーションアルゴリズムについては、CPU 処理とし、CPU 内での単体テストにて 15 回/秒を達成した。

5-4 基線長制御アルゴリズム開発

基線長制御アルゴリズムはズーム操作に連動して、レンズ画角情報から、最適な奥行感を得るための基線長と視差角を算出し、基線長、視差角を自動制御するものであり、従来、基線長と視差角をステレオグラファァーが主観的に 3D 映像を見ながら手動調整を行っていたものを自動化する試みである。

本アルゴリズムの評価は統合撮影テストにてリグシステムの実操作と撮影映像にて主観評価を行った。

映像評価は後述のテスト撮影におけるサッカー撮影映像（視標まで 100m 程度）や、再委託先の Bi2-Vision 株式会社社屋内からの遠景撮影映像について、一般者や映像制作者の映像視聴をしていただいた感想をヒヤリングし、概ね、立体感に対する好評価を得ることができた。

また、映像製作者サイドからは立体的な奥行感の創出は撮影意図によって可変したいとの要望もあり、製品化システムにおいてはパラメータの可変機能を今後の課題とした。ほか、ズームの操作感についても、ズーム操作と基線長の動きのレスポンス性に違和感を感じるとの指摘があり、レスポンス性改善を今後の課題とした。

5-5 画像系デバイス API 開発

画像キャプチャと出力ボード選定

一般にプロ用カメラの画像出力仕様は HD-SDI 規格であるため、P3 システムの画像入出力デバイスは HD-SDI 入出力を 2 系統かつ、入出力同時に行えることが必要である。本機能を備えた既存のキャプチャーボードを選定した結果、Black Magic Design 製 DeckLink HD Extreme 3D を組み込み、当ボードの API をシステムに組み込んだ。

5-6 制御系デバイスAPI開発

制御系デバイスは大きく、リグの姿勢制御、基線長制御用アクチュエータとエンコーダ、センサを制御する部分（モータ制御系）とレンズコントロール制御部分（レンズ制御系）に分かれる。モータ制御系は **BinoQ-R** で開発したモータ制御コントローラが制御対象デバイスとなる。レンズ制御系はフジノンレンズコントローラをデバイスとしてレンズ位置情報取得とレンズ駆動制御を行う。

モータ制御系のインタフェースは画像誤差計算結果に基づくフィードバック制御を行うため 1kHz 周期通信を構築した。

レンズコントローラはフジノンのジョイントボックスプロトコルに則り、API をシステムに組み込んだ。

5-7 統合GUI（グラフィック・ユーザ・インタフェース）開発

統合 GUI は 5-1 で示したシステムの機能要求事項を実現した。

起動モード

原点出しモード

基線長下限設定モード

マニュアルモード

自動幾何学補正モード

基線長自動制御モード

5-8 実機統合テストと評価

統合制御アルゴリズムを実装した PC 環境下で以下の構成にて実機テストを行った。

リグ : 実験機

PC : Z800 WorkStation WIN7/64bit OS

GPU ボード : NVIDIA quadro 4000

キャプチャデバイス : DeckLink HD Extreme 3D

モータコントローラデバイス : Bi2 Motor Controller

レンズコントロールデバイス : FUJINON 3D Joint Box

カメラ : Sony PMW-350

レンズ : FUJINON HA23X7.6BEZD-T5DD

テスト項目と結果を表 5－1 に示す。

表 5－1 テスト項目と結果

項目	方法	実測値	総合評価	課題等
設置性テスト	システム機材の設置にかかる時間測定	15分	○	
映像の取得と GUI 表示	カメラの出力設定 1080/30p 1080/60i 1080/24p にて確認		○	
起動モード	GUI 上の操作して 正しく動作するか 確認		○	
原点出しモード			○	
基線長下限設定モード			○	
マニュアルモード			○	
自動幾何学補正モード			○	
基線長自動制御モード			○	
キャリブレーション性能	①画像誤差計測 ②画面上のずれを スケールにて測定	①0.5 ピクセル以下 ②検知不可	○	
映像撮影テスト	東工大グラウンドにてサッカー試合撮影を実施。 映像視聴デモによる主観評価を行う		○	

統合テストで顕在化した課題点

- (1) 実験機リグ可動ステージ部のガタ精度により、若干映像振動（特に Yaw 方向）が見られるケースがあったため、リンク可動部のスライダ機構を見直し、より精度の高いガイドブッシュからボール式のリニアガイド機構に変更し、最終リグ設計に反映したが精度の実機テストは未である。
- (2) リグの騒音大。騒音原因はモータ単体の機械/電気雑音と基線長用転造ボールねじ摺動音が主因であるため、モータのブラシレス化、精密ボールネジ化を検討し、部品選定まで行ったが、部品納期の関係で最終リグへの実装と評価にまでは至っていない。実際の撮影現場では静音性が重視されることも想定されるため改善が必要である。

- (3) テスト撮影に同行していただいたメディア・ガーデン様の使用意見として撮影現場での機材ハンドリングを考慮し、装置は極力小型化が望ましいとのことで製品化においてはリグの小型軽量化、PC システムの小型ハードウェア化が重要課題であることがわかった。
- (4) 基線長の自動設定については現アルゴリズムだと画角に対して一義に立体感が決まってしまうため、映像制作者側のイメージにより近づけるためのパラメータ設定機能が有用であることがわかり、今後のシステムに組み込んでいくことを検討する。
- (5) 同じく、統合テストにリグ操作のオブザーバとして立ち会っていただいた映像制作者様のご意見として、映像としては問題ないが、ズーム操作感と実際の基線長の動きのレスポンスに違和感を覚えるとの指摘があり、今後の課題としてズーム操作と基線長動きのレスポンス改善を図っていく。

最後に、今回開発した **BinoQ-P3** システム一式の写真を以下に添付する。



図 5 - 1 BinoQ-P3 システム一式

第6章 全体総括

本研究開発は、人間の眼球運動の原理をロボットビジョン及び3D撮影システムに応用し、その中核技術である視覚制御システムの組み込み化を開発の目標とした。東日本大震災により、部品調達の遅れや、開発者の一時帰国（半数以上が外国人）などの原因で、開発は予定より遅れていたが、全体的に主要な目標はほぼ計画通りに達成した。

本開発の成果は主に①ロボットビジョンの視覚制御プラットフォーム BinoQ-R の組み込みシステムを開発し、BinoQ-R の実験機的设计製作を行った。②3D映像自動修正システム BinoQ-P1 のリアルタイム組み込みシステムを完成した。③超遠距離3D撮影プラットフォームシステム BinoQ-P2 の試作機を完成した。④スポーツ撮影を主要目的とした運動の激しい被写体の3D撮影用中長距離全自動3D撮影システム BinoQ-P3 試作機を開発し、サッカー試合などの実機撮影を成功した。

これらのシステムは用途こそ異なるが基本原理が同じであり、同じ課題を解決する必要があった。具体的に、これらのシステム（ソフトウェアである BinoQ-P1 以外）の機構は全て平行型（両眼カメラが平行に設置されること）であり、共通課題は両眼カメラが3D映像を撮れる協調運動制御システムの構築とその組み込みである。以下、上記4つの成果を順次に説明する。

①BinoQ-R の組み込みシステム及びその実験機の開発

まず、両眼ロボット BinoQ-R 実験機を設計製造した。同実験機は各眼球に2自由度、頸に1自由度、計5自由度を持ち、様々な眼球運動機能をテスト可能である。

次に、弊社が所有するFPGAを用いたモータコントローラを改良し、両眼運動制御モデルを内蔵した。

②3D映像自動修正システム BinoQ-P1 のリアルタイム組み込みシステムの開発

画像の初期処理、特徴点抽出、誤差計算などの演算をDSPで行い、マッピングなど演算量が大きく、単純繰り返しのできる演算はFPGAで行うことによって、BinoQ-P1の全ての機能をボード一枚で実現可能のボードの開発に成功した。同開発が成功することによって、同ボードの画像処理と誤差計算部分を BinoQ-R、BinoQ-P2、BinoQ-P3 のそれぞれの特徴に合わせてパラメータ的な修正を行うのみで、それぞれの組み込みボードに移行することが可能になり、将来的にこれらの組み込みシステムの開発を加速させることが可能になった。

③ 超遠距離3D撮影プラットフォームシステム BinoQ-P2 の試作機の開発

遠距離被写体を3Dで撮影するためには、基線長（両カメラ間距離）を大きく離れる必要がある（数メートルから百メートル）。この場合は、カメラ間の相対位置の手動によるキャリブレーションは不可能になる。本研究開発では BinoQ-P2 試作機を完成させ、Bi2-Vision 独自の両眼カメラ自動キャリブレーションと両眼運動制御技術をその制御システムに取り入れ、世界で初めて遠距離3D撮影システムを完成した。しかし、東日本大震災により、部品調達が遅れ、同機の完成後の3D撮影実験に間に合わなかった。BinoQ-P2

を完成する前に、他社機種の機構と本開発システムのアルゴリズムで長遠距離固定シーンの3D撮影に成功し、これまでにない3D映像を得られた。本開発のBinoQ-P2 試作機はマスター・スレーブ・スレーブ式を採用することによって、両カメラ間の動作の同期を取れることに成功したので、カメラマンによるカメラの運動操作、対象物体の追跡などを可能になった。

④ 基線長自動調節可能な全自動3D撮影リグ BinoQ-P3 システムの開発

遠距離の被写体を高画質な3Dを撮影するために、被写体の距離に対応した基線長が必要である。BinoQ-P2 は基線長の自動調整ができないので、スポーツ中継など、撮影対象の選手の距離が激しく変動する場合、手動で基線長を選手の距離に合わせることができない。BinoQ-P3 はこの問題を解決するための3D撮影システムである。BinoQ-P3 の機能を実現するために、BinoQ-P1、BinoQ-P2 の両眼キャリブレーション及び誤差計算アルゴリズムを必要とするのみならず、両眼カメラ基線長制御アルゴリズムを新たに開発し、制御システムに取り入れた。期間中では、開発したBinoQ-P3 を用いて、サッカー試合などのテスト撮影を行い、従来機種より高い深度感と3D効果を得ることに成功した。

研究開発後の課題・事業化展開

本研究開発の成果であるBinoQ-P シリーズはこれまで3D業界では実現できなかった超遠距離3D撮影や、被写体の運動の激しいシーン、例えばスポーツ、の高立体感3D撮影を可能にした。

一方、近距離接写の多い映画やドラマの3D撮影に多く使われる3Dリグは短基線長または超短基線長（人間の眼間距離より短い）3Dリグである。今後は、これまでのBinoQ-P シリーズの開発ノウハウを活かし、0 視差を含む短基線長リグの開発にも着手し、3D撮影に必要とする全ての基線長を実現可能な3Dリグシリーズを製品化することを目標とする。更に、これまで実現できなかった3Dリグ自身が激しく運動する場合の高質3D撮影を可能にするために、リグ自身の振動補償機能を開発することも、もう一つの課題である。

事業展開に関して、BinoQ-R は研究開発者用画像捕捉システムプラットフォームとして開発したので、現段階では社内の研究開発にのみ利用する予定である。また、BinoQ-P1 とBinoQ-P2 は2012年早々に製品化・販売する予定である。

最も製品に近いのはBinoQ-P3 であり、2011年10月～12月に製品化・販売を開始する。当初は日本国内向けとするが、2012年からは中国、北米市場に販売を開始する。価格は検討中である。

今後はさらにBinoQ-P シリーズの優位性と特徴を生かし、新しい3D撮影の市場を開拓することと同時に、3Dリグの撮影機能を更に拡張し、3D映像の優位性を十分発揮できる3Dコンテンツの製作を簡単、安価に実現し、3D産業の発展に貢献する。