

平成22年度 戦略的基盤技術高度化支援事業

「インタラクティブなロボット操作のための  
3D動画処理組込みソフトウェアの開発」

研究開発成果等報告書概要版

平成24年 2月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人名古屋産業科学研究所

# 目 次

第1章 研究開発の概要	・・・	1
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 当該プロジェクト連絡窓口		
第2章 高速 DP マッチング処理による投光ステレオ 3D 計測の開発	・・・	6
2-1 研究目的及び目標		
2-2 実験方法		
2-3 研究成果		
第3章 ホログラフィック 3D 表示の開発	・・・	9
3-1 研究目的及び目標		
3-2 実験方法		
3-3 研究成果		
第4章 高速 DP マッチング処理及びホログラフィック 3D 表示の品質向上	・・・	13
4-1 研究目的及び目標		
4-2 実験方法		
4-3 研究成果		
第5章 ロボットによる 3D 計測システムの開発	・・・	16
5-1 研究目的及び目標		
5-2 実施内容および結果		
5-3 研究成果		
第6章 GPU 高速演算システムの開発	・・・	18
6-1 研究目的及び目標		
6-2 実施内容および結果		
6-3 研究成果		
第7章 3D 計測及び 3D 表示システムの評価	・・・	21
7-1 研究目的及び目標		
7-2 実施内容および結果		
7-3 研究成果		
第8章 インタラクティブな 3D 表示システムの開発	・・・	23
8-1 研究目的及び目標		
8-2 実施内容および結果		
8-3 研究成果		
第9章 全体総括	・・・	25
9-1 成果の総括		
9-2 工業所有権の取得状況及び対外発表等の状況		
9-3 今後の事業化に向けた取組み		

# 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) 研究背景

近年，産業用ロボットでは，画像センサによるモニタリングが行われている。

この技術は工場内のロボットによって，限られた種類の物体を認識し規則だった操作を行わせる目的で主に利用されている。

しかし対象が未知であったり，複雑な操作が必要であったりする場合においては，認識と数値制御だけによる方法は困難である．やはり人がその対象や空間を把握し，経験に基づいた的確な操作を指示しなければならない場面が多く存在しているのが現実である。

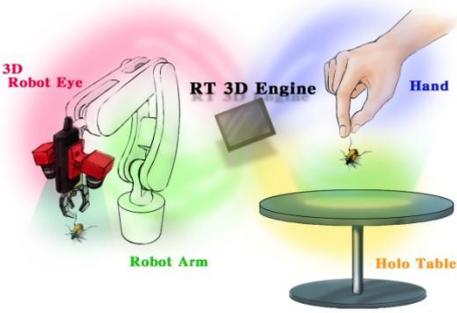
具体的には，モニタリングによるロボット操作は，量産組立ロボットへの適用ではなく，作業者の労働環境上，間接作業となる工程（危険作業・遠隔作業）への適用が，まず急がれる．このとき，問題になるのは，2次元画像センサでは直感的な空間把握が困難なことである。

本研究開発では，ロボットによる間接作業において，3D動画像を活用することを提案する．このことによって操作に重要な距離・位置情報が直感的に得られるようになる．ロボットの間接操作における従来の2次元モニターの問題点を解消し，さらに3D画像の表示に，より直感的な認識を可能にするホログラフィック表示を用いる．このことによるロボットの機能向上は，作業効率が向上することによって示される。

### (2) 研究目的及び目標

従来，ロボットの遠隔操作では2次元モニターが利用されているが，奥行きを持つ複雑な形状には対応できず，リアリティのある表示システムが求められている。

本研究開発では3Dカメラと3D表示装置を用いて観察者の空間把握を可能にし，インタラクティブなロボット操作を実現することで操作精度と速度を向上させ負担を軽減する．その実現にはリアルタイム動画処理が必要な為，超高速な組込みソフトウェアとシステムを開発する。

従来技術の課題	新技術の特徴
	
<ul style="list-style-type: none"> <li>○対象が未知であり複雑な形状や操作が必要な場合に数値制御するのは困難 2次元画像を得て手操作を行う</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○3Dカメラの画像処理機能によって，プログラムやティーチングを削減または自動化することも可能</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>○2次元モニターによる画像表示のため，人の感覚的な位置推定にたよる作業効率が悪くなる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○3Dモニター（ホロ・テーブル）による対象物表示によって距離・位置がわかる</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>○距離情報が必要な場合はレーザーレンジセンサなどで距離計測を行う</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○距離情報を含む3D画像なので，別の計器は要らない．人が直感的な空間把握</li> </ul>

表示手段が増えて操作性が低下する	握が出来，作業の効率がよくなる
○画像情報に対してロボットの操作は別系統で行う インタラクティブな操作が困難	○3D情報の処理を高速化するシステムによって，インタラクティブなロボット操作を可能にする

図 1-1 新旧技術の比較

新技術（本システム）を利用したとき，間接作業の高信頼性が実現し，作業効率が向上する．結果として作業時間の短縮が可能になる．

技術的には，3D計測・表示装置（3Dメディア）の全体制御を行う，インタラクティブな3D動画処理組込みソフトウェアを開発する．

図中の『3Dロボットアイ』、『ホロ・テーブル』は，開発メンバーがすでに開発済みであり，追加開発を加えることで，本研究開発に適用可能である．

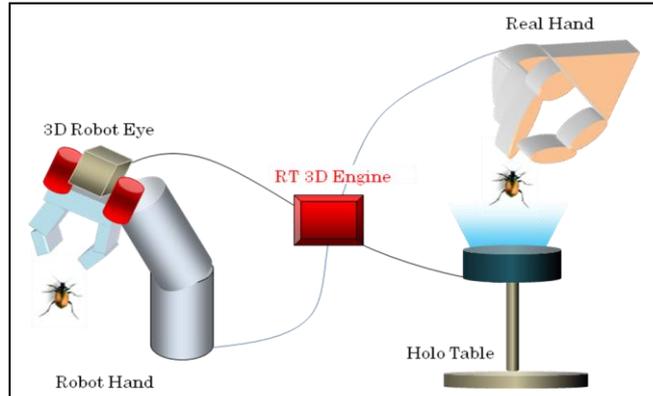


図 1-2 インタラクティブのイメージ

(技術的課題)

- 【1】 3D画像センサにおいては，処理時間を高速化しなければならない．また安定した撮影を行うために高輝度LEDフラッシュの採用も必要である．
- 【2】 3D表示装置（ホロ・テーブル）も，現段階においては膨大なサイズとなるデータの処理方法や，表示駆動系にまつわる諸問題など解決すべき課題がある．
- 【3】 インタラクティブなロボット操作を実現するためには，3D計測と3D表示のリアルタイムな連動技術が必要である．
- 【4】 3D計測と3D表示とのリアルタイム性を実現するGPUコンピューティングを活用して開発することである．

今回の開発においては，GPUを積極的に組み込んだシステム構築を狙う．GPUコンピューティングとは，従来は画像処理に利用されていたGPU（Graphics Processing Unit）の演算性能を，画像処理以外の汎用的な処理に応用しようとするものである．

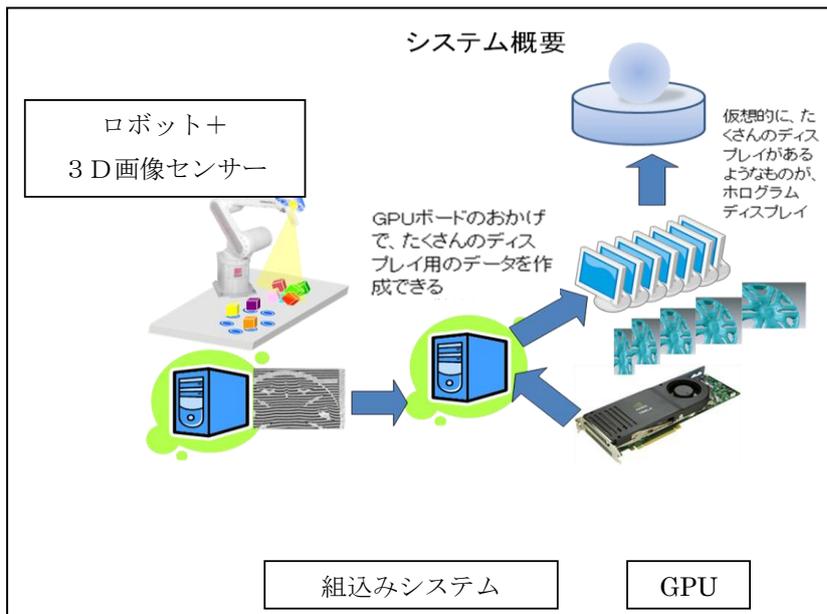


図 1-3 GPGPU によるシステムの概要

この技術が効果を発揮すれば，現状で過大な負荷がかかる演算はほとんどが単純繰り返しの多いループ計算であるため，GPUの並列処理によって3D計測と3D表示の間のボトルネックであったリアルタイム処理が可能となる．

1 - 2 研究体制

(1) 研究組織・管理体制

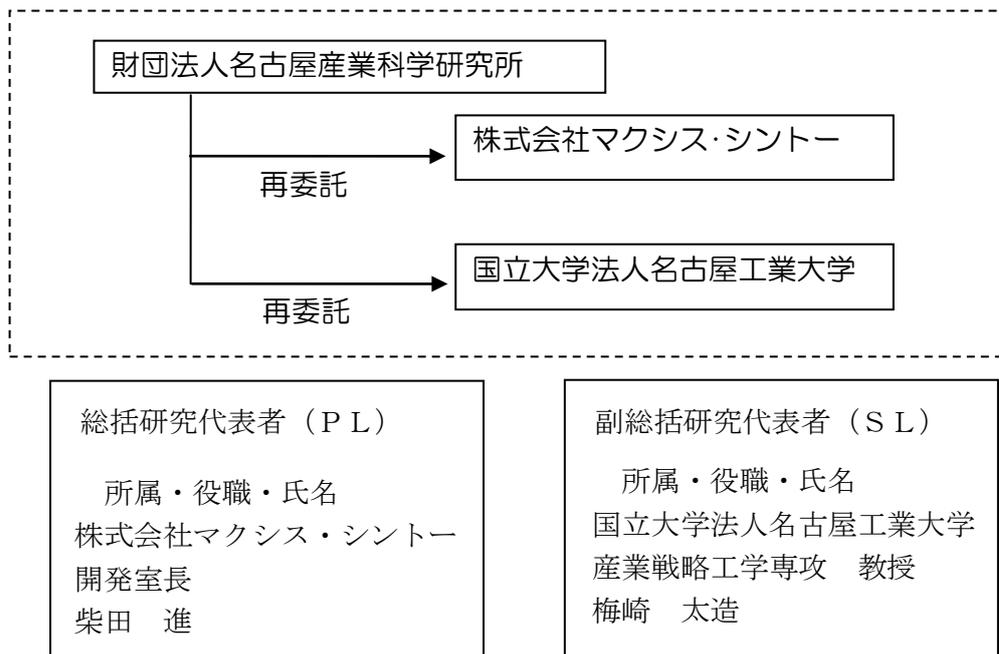


図 1-4 研究組織

① 事業管理者

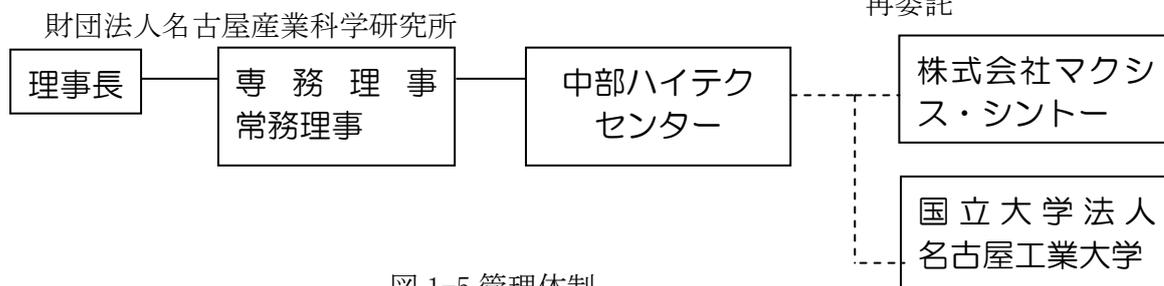


図 1-5 管理体制

② 再委託先

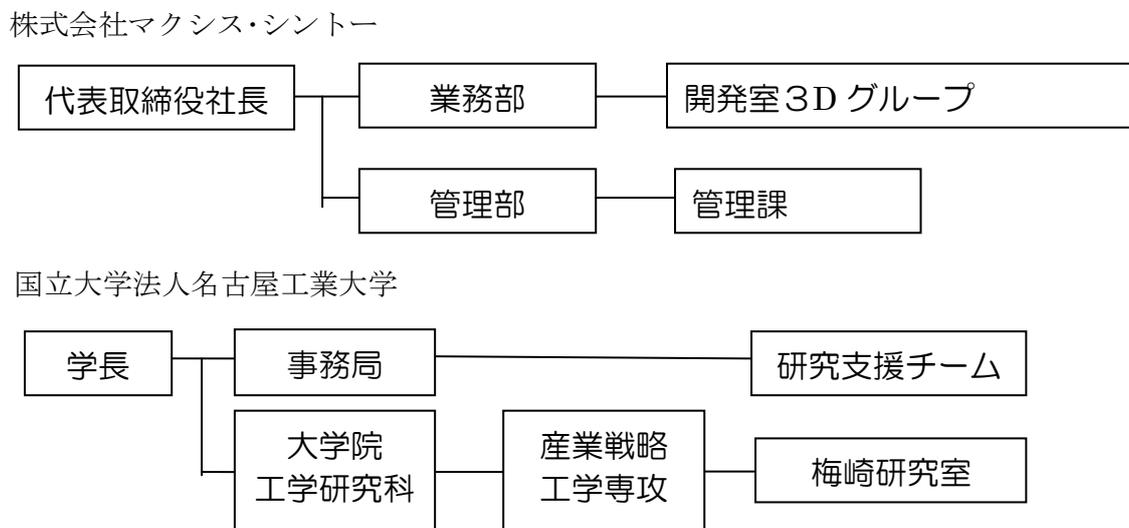


図 1-6 再委託先組織図

(2) 研究者氏名

【事業管理者】 財団法人名古屋産業科学研究所  
管理員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
坪内 秀樹	中部ハイテクセンター 事務局長	【 5 】
藤根 道彦	中部ハイテクセンター 産学連携支援部長	【 5 】
浅田 節子	中部ハイテクセンター	【 5 】
森加 なつ美	中部ハイテクセンター	【 5 】
滝澤 智美	中部ハイテクセンター	【 5 】
蟹江 祥子	中部ハイテクセンター	【 5 】

【再委託先】

研究員 株式会社マクシス・シントー

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
柴田 進	開発室長	【 1 】 【 2 】 【 3 】 【 4 】
西山 直希	開発室員	【 1 】 【 2 】 【 3 】 【 4 】
西郷 知泰	開発室員	【 1 】 【 2 】 【 3 】 【 4 】
林 真司	開発室員	【 1 】 【 2 】 【 3 】 【 4 】
小島 研吾	開発室員	【 1 】 【 2 】 【 3 】 【 4 】
鈴木 道雄	開発室員	【 1 】 【 2 】 【 3 】 【 4 】
近藤 千雄	開発室員	【 1 】 【 2 】 【 3 】 【 4 】
馬場 貴浩	開発室員	【 1 】 【 2 】 【 3 】 【 4 】
小池 一郎	業務部長	【 1 】 【 2 】 【 3 】 【 4 】

国立大学法人名古屋工業大学

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
梅崎 太造	産業戦略工学専攻・教授	【 1 】 【 2 】 【 3 】 【 4 】
田口 亮	産業戦略工学専攻・助教	【 1 】 【 2 】 【 3 】 【 4 】
服部 公央亮	産業戦略工学専攻・博士課程2年	【 1 】 【 2 】 【 3 】 【 4 】

(3) 協力者

事業者名	住所	業務の範囲
株式会社テージー	愛知県名古屋港区須成町三丁目 31	ロボット制御システム開発
株式会社電子設計	愛知県西春日井郡豊山町豊場流川 117	LEDユニットの製作
有限会社アイ・ティー・オー	愛知県名古屋市守山区小幡南 1-9-15	3Dデータの評価及び指向性画像の作成
有限会社ホーリーマイン	神奈川県厚木市妻田東 1-6-48-709	カメラユニット開発製作

【履行体制】

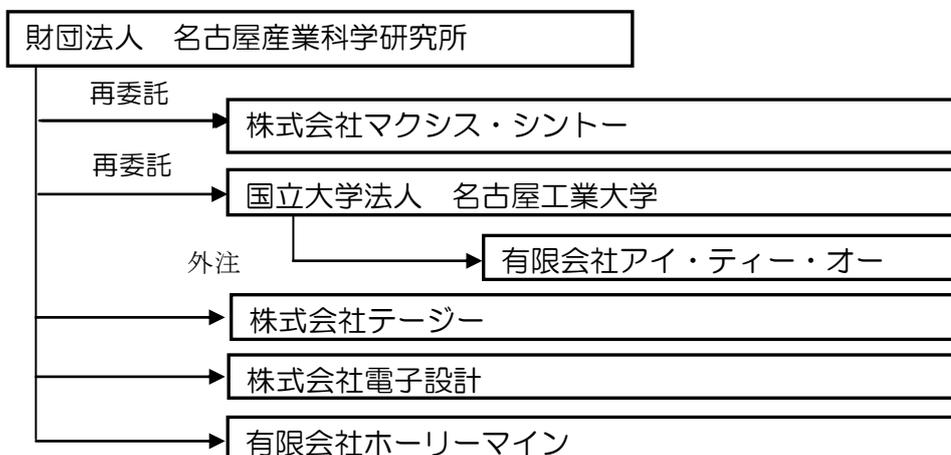


図 1-7 組織関連図

### 1-3 成果概要

#### <研究開発の成果>

本研究開発のテーマ・課題は、簡潔に言えば、①「いかに早く3D計測を行い、いかに早く3D表示を行なうか」である。また同時に、②「3D表示(ホログラフィ)された対象物を、観察者がどの程度に立体認識できるか」である。

最初の課題①は、3D計測器と3D表示装置(ホロ・テーブル)のタイムギャップを埋めて、研究開発開始時点で数十分だったタイムギャップを、リアルタイムに近づけ数秒程度に短縮することができるかどうかであった。

本研究開発では、3D計測器と3D表示装置を統合して制御することを実現し、動きのある被写体を3D動画計測し、そのデータをダイレクトに高速伝送することを可能にしたため、理論上3D表示画像生成完了後の数10秒で、ホロ・テーブル上へ3D動画を表示することに世界史上初めて成功した。

また、現在3D動画データは、ホロ・テーブルの高速プロジェクションユニットに内蔵された高速RAMメモリに転送・蓄積されたのちに表示されるため、動きを伴う3D物体でも任意のシーンで静止させたりスロー再生させたりできるため、3D計測・表示された立体像を異なる視野角度から正確に把握・認識することも可能となった。

次の課題②であるクオリティについては、たとえ素早く計測・表示することが可能になったとしても、ユーザーに立体に見えなかったり、ちらついて凝視できなかったり、見る角度によって大きくひずんでしまったり等々の品質上の問題が大きければ、事業化に対する開発残項目として残ってしまう。

そこで本研究開発では、一般の方々による感性評価を2回に分けて行い、それをシステム全体の品質評価とした。結論から言えば、3D計測データのホログラフィによる3D表示は、十分に対象物の立体表示がされているとの認識結果を得ることができた。特に、3D表示装置(ホロ・テーブル)を囲む形で多視点での観察を行い、多視点間の立体的位置関係が一致したことは意義深い。これは、あたかも現実の対象物を囲んでいるかのように複数の観察者達(たとえば手術を遠隔地で観察する医師たち)が指差しながらディスカッションすることが可能だということを意味している。それこそがまさに本研究開発の目標であった。

今後は、見えてきた課題に取り組みながら補完研究を続け、本システムを実用レベルに持っていかなければならない。

個別研究テーマの達成度は以下の通りである。

- |     |        |     |                  |
|-----|--------|-----|------------------|
| 【1】 | 100%達成 | ・・・ | 課題：パターンフィルタの劣化対策 |
| 【2】 | 100%達成 | ・・・ | 課題：大型化ユニットの品質向上  |
| 【3】 | 100%達成 | ・・・ | 課題：シームレスな動画表示の実現 |
| 【4】 | 100%達成 | ・・・ | 課題：ディザリング処理の画質向上 |

### 1-4 当該プロジェクト連絡窓口

#### <問い合わせ担当者>

- ・所属 財団法人 名古屋産業科学研究所
- ・氏名 産学連携支援部長 藤根道彦
- ・電話 (052) 223-6639
- ・FAX (052) 211-6224
- ・E-mail fujine@nisri.jp

## 第2章 高速 DP マッチング処理による投光ステレオ 3D 計測の開発

対象となる研究テーマ：【1-1】光源ユニット開発，【1-2】高速 DP マッチング処理開発

### 2-1 研究目的及び目標

すでに(株)マクシス・シントーが開発してきた 3D カメラ『3D ロボットアイ』では、LED フラッシュ光源を用いた 1/1000 秒という高速シャッターにより外乱光やブレに強い、ロバストで高精度な 3 次元計測が可能である。しかし、リアルタイムという点を考えると、現状においては処理の高速性、LED 光源の光量、発光サイクル等が課題であり、リアルタイム 3 次元計測を実現するためには、計測処理の高速化と安定し高速点灯する LED フラッシュ光源の開発が必須である。そのためここでは処理の高速性と LED 光源の高度化を目的とした。

(目標値)

- ①光源ユニット：秒間 30 回の LED フラッシュ点灯が実現可能な光源を開発する。
- ②高速計測：秒間 10 回の 3 次元計測処理が可能な計測手法を開発する。

### 2-2 実験方法

◆テーマ【1-1】光源ユニット開発：

#### (1)LED 素子の発光実験と回路試作

幾つかの LED 素子 (100W LED, 8.7W LED 等) の発光テストを行い、十分な光量での発光が得られること、コンデンサを用いて瞬間的な発光 (ストロボ発光) もできることが分かった。



図. 2-1 100W LED の発光テスト

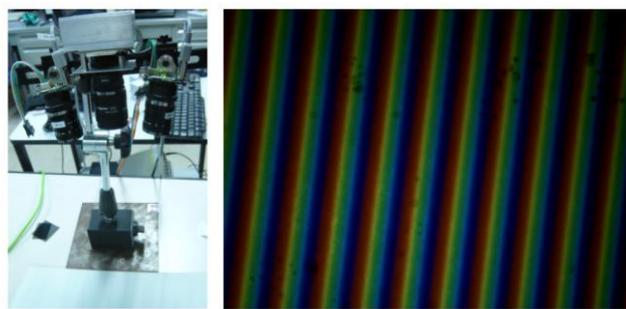


図. 2-2 LED 投光部の試作とパターン投光の様子

#### (2)DLPLightCommander プロジェクタの評価と検討

DLPLightCommander の光学系などを調査・検証し、開発する LED パターン投光部に反映できるかどうかの検討を行なっていくこととした。

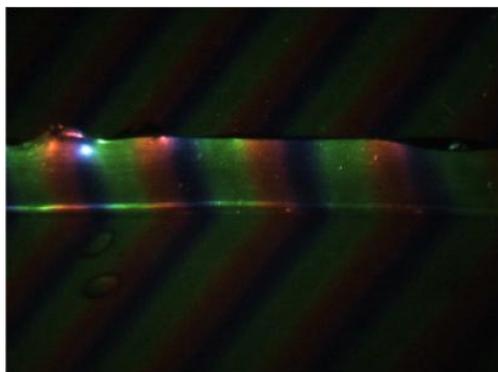


図. 2-3 従来品 7.8W LED によるパターン投光

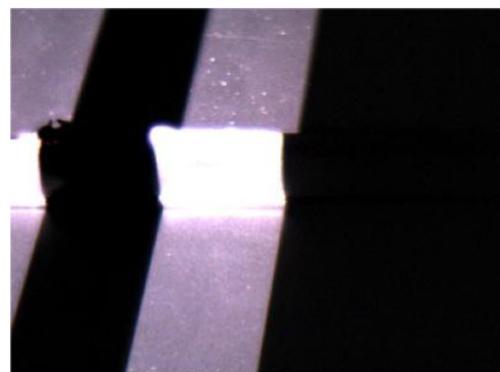


図. 2-4 DLPLightCommander によるパターン投光

#### (3)スライダックを用いた電源と LED スイッチング回路の製作

3kVA (AC100V/30A) のスライダックと整流回路を用いて約 0~130V/30A までの直流電源が得

られる電源システムと、それに合わせ LED を制御する回路（スイッチング回路）を検討，製作した。

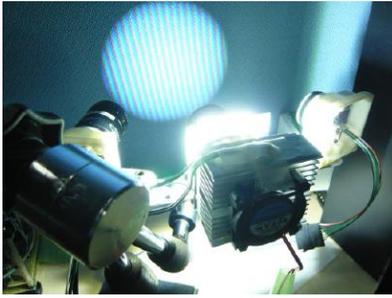


図.2-5 スwitchングによるパターン点灯試験

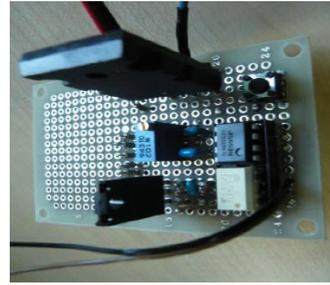


図.2-6 LED スwitchング回路

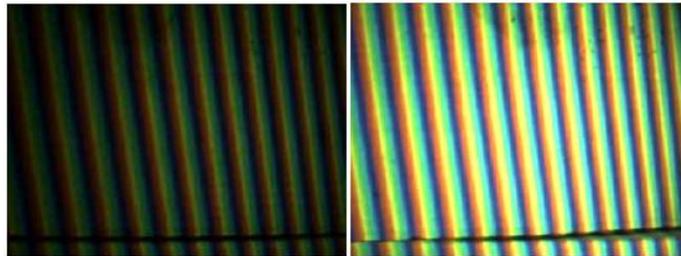


図.2-7 30fps 点灯の光量比較（左：従来 右：大電流）

#### ◆テーマ【1-2】高速 DP マッチング処理開発：

##### (1) DP マッチングの高速化案の実装・検証

ステレオ 3 次元計測における DP マッチングによるマッチング手法において，計測対象には極端な高さ変化が無いものとし計測できる奥行き範囲を制限する（視差制限）ことで計算量を減らすことが可能と予測され，検証した結果，テストデータにおいては計算時間を通常の 1/3 まで減らすことができた。

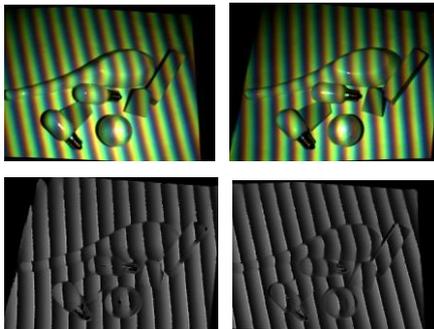


図.2-8 DP マッチング検証用画像

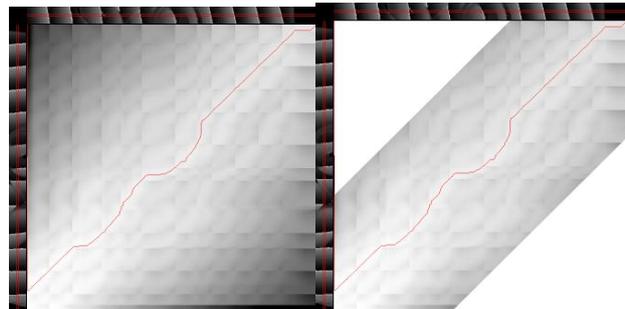


図.2-9 視差制限有無による DP マッチングの結果比較

※DPマッチングとは，異なる二つの時系列信号の類似度と最適な対応を求める手法をさす。

##### (2) 高速 3 次元計測手法の実装・検証

実装した 3 次元計測処理を用いて，実際に撮影された検査対象物画像データから 3 次元復元したデータを取得し，評価した。概ね良好に 3 次元計測出来，また手動による評価ではあるが，実寸に近い測定結果が得られていることが分かった。

また，処理時間に関して検証したところ，1 回の 3 次元計測処理で約 70ms，検査対象物認識と高さ寸法評価処理で約 210ms となり全体で 280ms となった。3 次元計測処理のみで言えば目標とする 10fps（1 回の処理 100ms 以内）を達成した。

表 2-1 処理時間の内訳

処理内容	平均処理時間[ms]	処理時間全体に対する割合[%]
位相演算	27.8	9.8
3Dテーブル演算	41.5	14.7
マスク作成	47.4	16.7
頂点推定	10.3	3.6
位相エラー補正	10.2	3.6
認識	122.2	43.1
高さ計算	1.0	0.4
結果受け渡し	19.4	6.8
その他	3.6	1.3
合計	283.3	100.0

## 2-3 研究成果

### ①光源ユニット開発について

リアルタイム 3次元計測を実現するため、秒間 30 回 (30fps) のフラッシュ発光が可能な LED 光源ユニットを開発することを目標として開発を進め、100W クラスの大きな LED 素子を用い、スライダックを用いた大容量電源・大電流をスイッチングできる回路を試作し、評価した。結果、30fps での発光で光量の低下なく、高輝度・高速・高サイクルのフラッシュ発光できる光源ユニットが実現した。

今後の検討課題として、熱処理・パターンフィルタ劣化の問題等があり、また回路、電源部の再設計を検討しより小型化・安価・高効率な光源ユニットを開発したい。

### ②高速 DP マッチング処理開発について

DP マッチング処理について、視差制限によるデータ削減と GPU による並列化を用いて処理の高速化が実現し、目標である 10fps (1 回 100ms 以内) の処理が達成できた。しかし、画像の解像度を極端に低くしなくてはならないため、精度の点で課題が残った。

より高速に 3次元計測を行なう手法として、メモリテーブル参照による 3次元計測処理を実装し、こちらも処理時間 70ms と、目標を達成した。また精度の面でも奥行き計測値の繰返し精度 (標準偏差) 0.1mm と高い精度が得られた。

どちらの計測手法でも目標が達成され、計測対象によって最適な方法を選択することで様々な用途に適用できることが考えられる。

3次元計測についての課題として、高速に得られた 3次元データをどの様に処理・認識するかが課題であり、特に処理時間の面で課題が多いだろうと予想される。

### 第3章 ホログラフィック 3D 表示の開発

対象となる研究テーマ：【2】ホログラフィック 3D 表示

#### 3-1 研究目的及び目標

RGB カラー 3D ディスプレイシステム「Holo-Table」（以下、ホロ・テーブル）は、高臨場感 3D ディスプレイ装置であり、インタラクティブなロボット操作には欠かせない機器である。また、表示処理速度の高速化を実現するために、ホロ・テーブルのデータ転送用通信インターフェースの改良が必要であり、3D 画像データ高速 I/F カスタムボード①（以下、カスタムボード①）は、データ転送アルゴリズムを改良することで高速データ転送を可能とするものである。毎秒 1400 枚の画像転送ができ、3D の表示が可能な最低限のスペック（ホロ・テーブル 1 周 360 枚の画像で、動画の表示が 20 フレーム/秒で、DMD の表示フレームレートが 7200 フレーム/秒となる）を基準とした場合に、ほぼ 5 フレーム以内に動画像用のビットマップデータが転送できるようになる。（目標）

視点分割処理により生成された 60 方向×60fps＝毎秒 3,600 枚のホログラフィック 3D 画像を 5 fps 以内（約 84msec 以内）で転送ができるシステムを構築する。また、フレーム落ち、同期ズレが発生しない表示応答性を検証する。

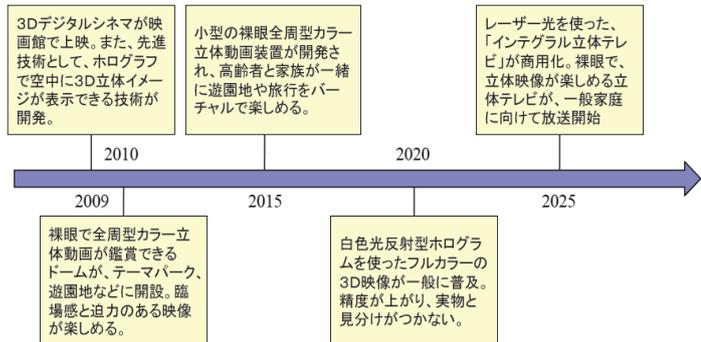
※DMDとは、Digital Micromirror Device で、吊り橋に中心だけ固定された鏡のようなもの。

#### 3-2 実験方法

##### ◆テーマ【2】ホログラフィック 3D 表示：

##### (1) 3D 表示装置に関する他社技術及び技術的な課題の調査

経済産業省が 2009 年 4 月に公開したロードマップのように、まさしく近年では 3D 映画が興行的に成功を収めているなど、三次元立体映像が本格的な普及の兆しを見せている。現状での 3D ディスプレイシステムでは、異なる自由な視点から見た映像情報の表現は難しいという欠点もある。複数の観察者が 3 次元物体を自由な視点から観察することが可能な、いわゆる滑らかな運動視差を持った高臨場感 3D ディスプレイと呼ばれる装置の研究開発も急速に加速してきている。



※経済産業省 2009.4.30 技術戦略マップ2009より引用

図 3-1 3D 表示装置のロードマップ

研究開発も急速に加速してきている。

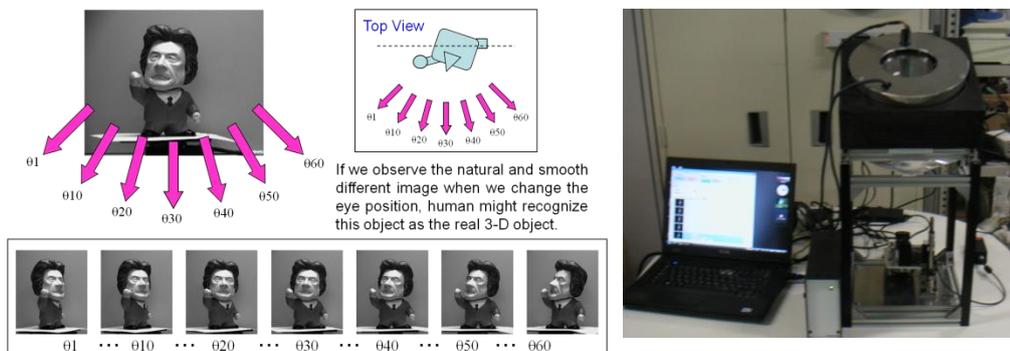


図 3-2 従前のホログラフィック 3D 表示試作機

今回実際に採用しているのは、空間光変調デバイスと1枚のホログラムスクリーンで高密度指向性画像をタイムシーケンシャルに表示する「ダイレクト光スキャニング方式」である。

(2) RGB カラー 3D ディスプレイシステム「Holo-Table」による3D表示開発



図 3-3 ホロ・テーブル

試作開発されたホロ・テーブルの概観およびダイレクトスキャン方式の光学系配置を図3-5に模式的に示す。指向性スクリーンを水平配置で面内回転させ、その回転角度位置（視差方向）に同期させて、下側から指向性画像（2次元の視差画像）を高速投影することで、高密度指向性画像投影による3次元立体画像の表示を実現している。

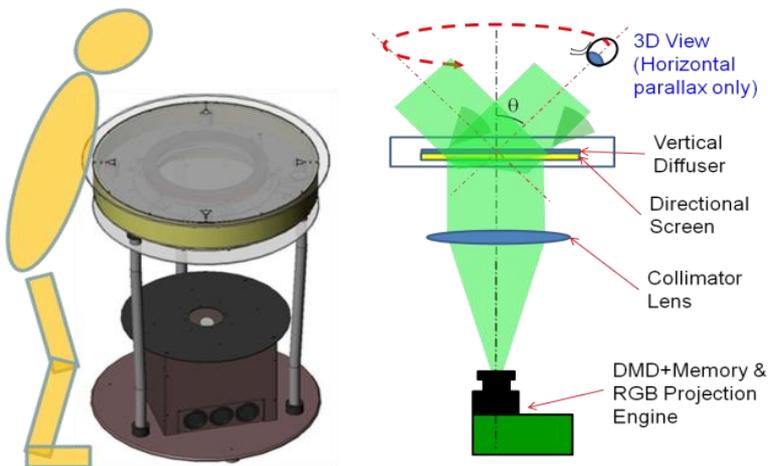


図 3-4 ホロ・テーブル概観および光学系配置模式図

このフォーマットに従って撮影し、ホロ・テーブルで表示された実写撮影立体画像の一例を示す。

右：実写撮影物体の立体表示画像  
 ↓  
 左：比較のために置いた被写体



↑ 右：比較の被写体を反対側から観察  
 左：立体表示画像も反対側が観える

図 3-5 ホロ・テーブル実写撮影コンテンツの3次元立体表示例

(3) 3D画像データ高速I/Fカスタムボード①による3D表示装置の高速化

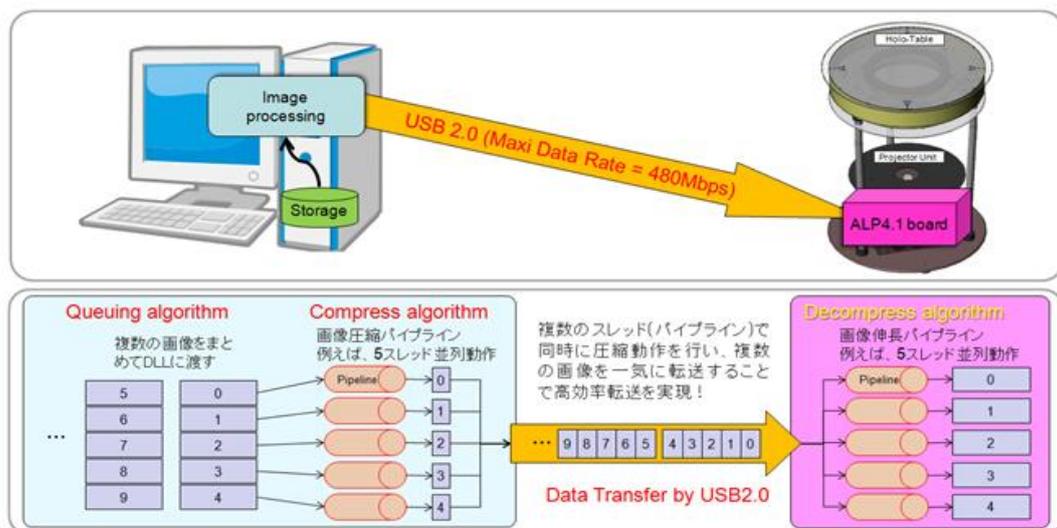


図 3-6 カスタムボード①

3D表示では、ホロ・テーブルに画像を投影させるために360度分の画像データが必要となる。通常のディスプレイが秒間60枚の画像を表示するのに対し、ホロ・テーブルでは、秒間2500枚の画像が必要となるため、ホロ・テーブル専用のデータ転送の高速化が課題となる。また、CPUとGPUのメモリ間およびホロ・テーブルのデータ転送量自体が膨大であるため、3D画像データ高速I/Fカスタムボード①を用いて総合的にデータ自体の圧縮を行なう事によって転送レートの向上を図っている。

	<従来の3D画像転送状況>	<改良後の3D画像転送状況>
平均値	76.25秒	28.6秒
画像転送速度	236 frame/sec	629 frame/sec
データ転送レート	186 Mbps	495 Mbps

表 3-1 データ圧縮転送速度

(4) 大型化ユニット及びカスタムボード②による3D表示装置の高速化

インタラクティブな計測と表示の融合性を目標とし、LAN経由での同期生成を行なうための標準インターフェイスの protokol を作成した。

また、表示する3D動画データは、カスタムボード②内の高速RAMメモリに転送・蓄積されたの

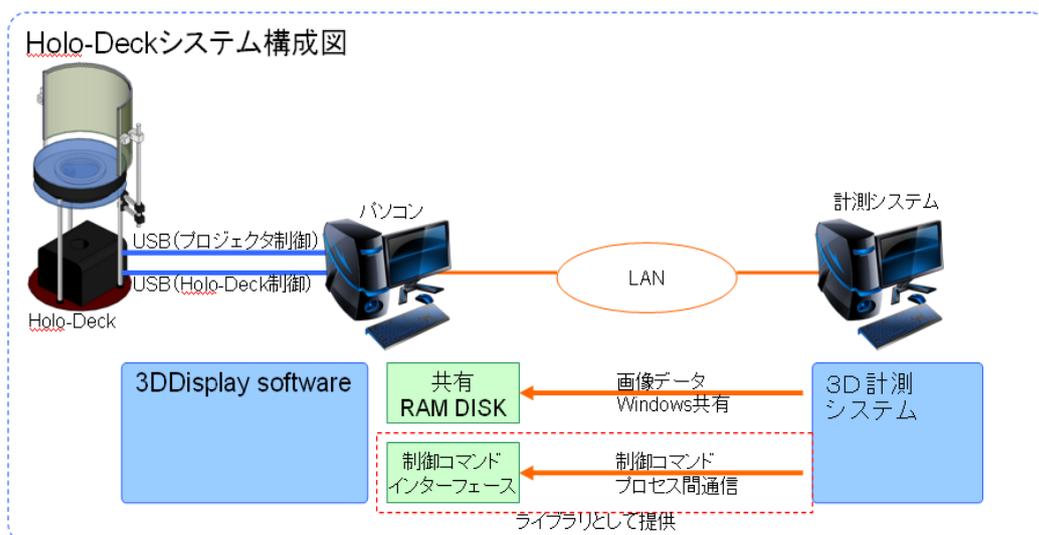


図 3-7 大型化ユニットシステム構成図

ちに表示されるため、動きを伴う3D物体でも任意のシーンで静止させたりスロー再生させたりできるため、3D計測・表示された立体像を異なる視野角度から正確に把握・認識することも可能となった。

これまでは、ホロ・テーブルのレンズ面に映った3D画像を覗き込んで、コンテンツが浮かび上がるシステムであったため、レンズの直径以上の高さを表現することが難しかった。

そこで、3Dの画像をレンズで屈折させ、視野角120度のスクリーンに投影させることで、高い視点に3Dコンテンツを表示することが可能となるユニットを開発し、大型化ユニットによる3D視認性の向上を行なった。

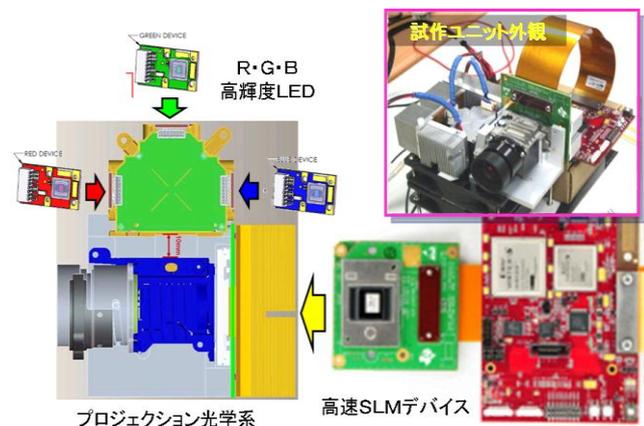


図 3-8 カスタムボード②

#### <大型化ユニット仕様>

- ・スクリーンサイズ：  
高さ 500mm 直径 650mm
- ・横視野角変動： 120 度
- ・角度ピッチ： 1.0 度
- ・方向イメージ：  
120 画像／1 回転
- ・3D 解像度：  
700 ピクセル
- ・フレームレート： 10 fps.

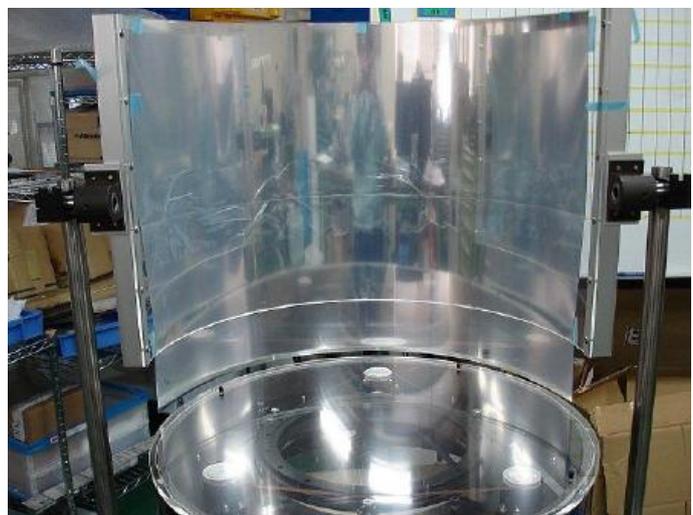


図 3-9 ホロ・テーブル大型化ユニット

### 3-3 研究成果

指向性画像をダイレクトにスキャニング放射投影して3D画像を表示する高空間解像度3Dディスプレイシステムによる、高臨場感ディスプレイ実用化の可能性が示された。現段階では示す事が出来なかったが、本プロジェクトで試作開発した2台の高速プロジェクションユニットを1台のホロ・テーブルに統合すれば、一方のユニットを表示に使っている間にもう一方のユニットへ3D動画表示データを転送し、これを切り替えながら投影表示を行うことで、3D計測から3D表示までのタイムギャップを0秒とする実時間動作も原理的には可能となる事も提案として考えられる。

この表示装置は現状では評価機であるが、構造は極めてシンプルであるため構成部品の点数としては多くない。量産化を伴うことで光学部品、特にDMDデバイスおよびドライバ基板のロット生産さえ伴えば低価格化も可能であり、ポータブル3Dビューアとしての商品化を検討していきたいと考えている。ただし、商品化を進める為の課題としては、回転駆動にまつわる騒音の低減やデータストレージの容量問題など、解決すべき課題が残されている事も現実である。今後も引き続き研究開発を続けながら、これらの課題を一つずつクリアしていく。

## 第4章 高速 DP マッチング処理及びホログラフィック 3D 表示の品質向上

対象となる研究テーマ：【1-2】高速 DP マッチング処理開発，【2】ホログラフィック 3D 表示

### 4-1 研究目的及び目標

本章は，2章【1-2】高速 DP マッチング処理開発及び3章【2】ホログラフィック 3D 表示で紹介された開発技術に対して，処理の高速化及び品質向上を目的に述べたものである。

### 4-2 実験方法

#### ①GPU による DP マッチング処理の高速化について

2006年11月に NVIDIA 社が公開した Compute Unified Device Architecture (CUDA, クーダ) は GPGPU 向けのフレームワークで，CUDA を用いたソフトウェアは CPU を用いたものと比べ，数倍あるいは数十倍に速度向上する場合がある。しかし，条件分岐が多いプログラムには並列処理ができないため，CUDA を使用するメリットはない。DP マッチング処理のどの部分が並列化可能かということに注目して検討した。

#### ②赤外光による 3D 計測の精度向上について

不可視の赤外光を用いた計測を実現することで，計測対象や用途の拡大が見込まれる。ここでは，可視の RGB だけでなく赤外パターンを投光可能な DLPLightCommander を使用して，正弦波パターンを投光した場合の特性を検討した。

#### ③ホログラフィック 3D 表示の品質向上について

ホログラフィック 3D 表示で用いられる平行光の精度を向上させるために，光学系アライメント用光路を構築し画質改善を行った。

また，ホロ・テーブルでは 45 度視点の映像データが必要になるため，高感度高機能なカメラユニットを活用して 3D 表示の品質向上を行った。

### 4-3 研究成果

#### ◆テーマ【1-2】高速 DP マッチング処理開発：

##### (1) 3D ロボットアイ用高速 DP マッチングアルゴリズムの改良

3D ロボットアイの 3次元計測は，縞パターン投光によるステレオカメラ+位相シフト法により行われる。

※位相シフト法とは，サイン波画像を複数回投影し，位相を求めること。

DP マッチングは，経路構築を効率よく高速に行う信号処理方法ではあるものの，画素間対応を逐次処理するために多大な時間を要してしまう。縦方向に関しては独立した処理として扱う事が出来るため，各ラインの処理を効率的に並列演算処理出来れば相当な高速化が達成できると考えられる。

DP マッチングアルゴリズムは，大きく分けて 3 ステップにより構成される。ローカルディスタンスの算出は，完全に独立であるため，GPU ではこの演算を並列して行うことが出来るが，グローバルディスタンスの算出は，演算に隣り合うグローバルディスタンスの情報が必要なため，ローカルディスタンスとは異なり単純に並列化することは出来ない。そこで，部分的に並列処理を可能にする方法を編み出し適用することにした。

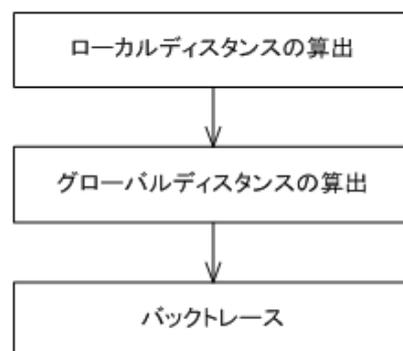


図 4-1 DP マッチングの処理フロー

## (2) DLPLightCommander による赤外パターン投光実験

DLPLightCommander と 3D ロボットアイを使用して赤外パターン投光実験を実施した。撮影は下図の通り設置した上で行った。このとき、同時に赤外除去フィルタの搭載されていないグレースケールカメラ (FireFly) によるデータ採取も行うこととした。投光パターンには RGB および IR の正弦波パターンを使用した。

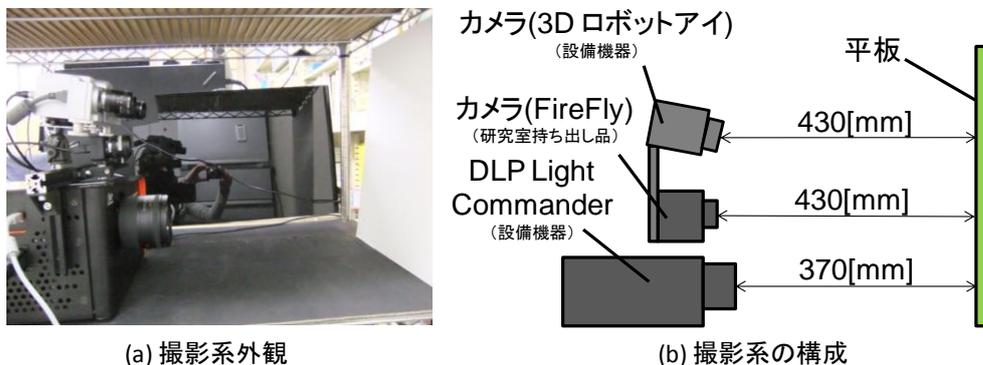


図 4-2 撮影実験の撮影系概要

3D ロボットアイのカメラはカラーカメラであるため、赤外除去フィルタの影響で IR の投光パターンが受光出来ないことが確認されたため、FireFly を用いて、赤外域での色認識について調査を行った。

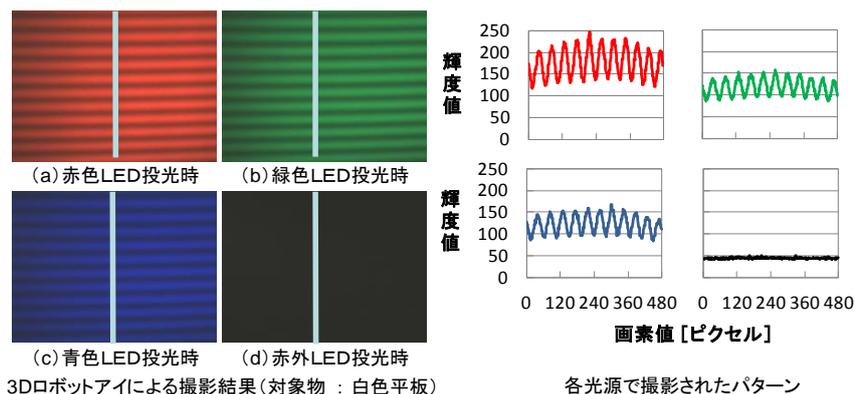


図 4-3 3D ロボットアイによる撮影結果

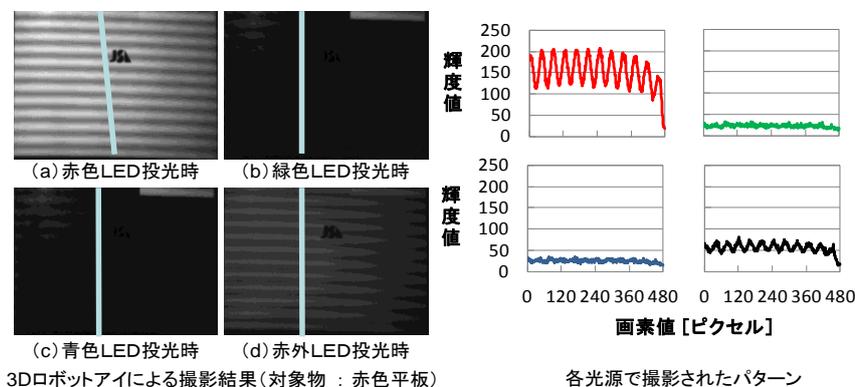


図 4-4 FireFly による撮影結果 (赤色平板)

赤色平板などの暖色などに対しては赤外光によるパターンは有効なため、人体計測などで利用可能だと考えられる。

## ◆テーマ【2】ホログラフィック 3D 表示：

### (1) 光学系アライメント用光路によるホログラフィック 3D 表示の精度向上

ホロ・テーブル に使用される光学フィルタにより回折された回折光をホロ・テーブルのスクリーン上に正確に投影するには、入射光を光学フィルタに対してある角度を持たせて入射する必要がある。ホロ・テーブルに使用する光学フィルタの検証のため、光学系アライメント用レーザー光路を製作した。

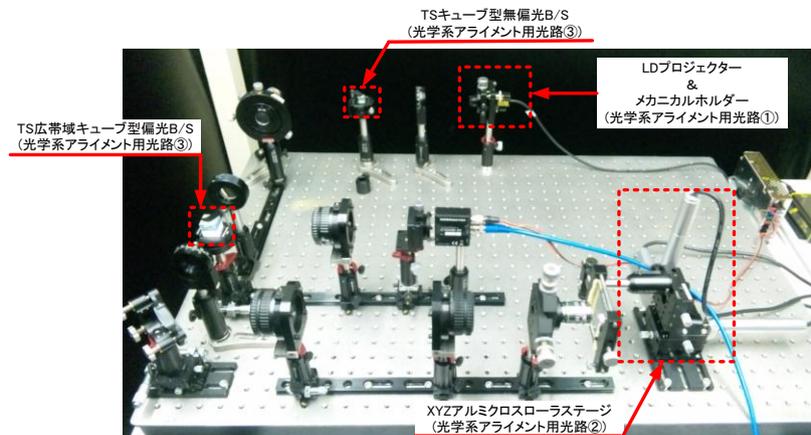


図 4-5 Holo-Table 光学系アライメント装置概観

動作検証として、XYZ 軸アルミクロスローラステージに Holo シートを固定して、Holo シートの回折効率を測定した。

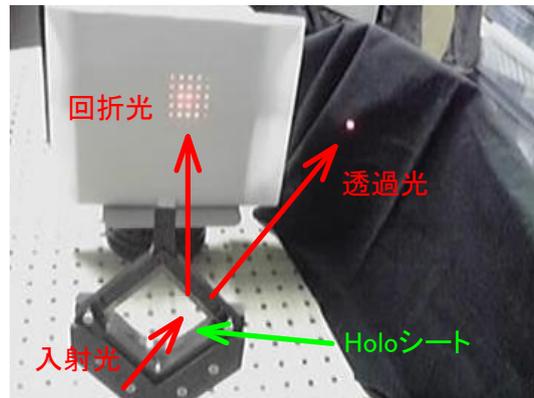


図 4-6 Holo シートにより回折された回折光

このアライメント装置を用いてフィルタの検証を行い、その結果を新型機に反映した。画質の改善効果については、第 7 章の官能評価において述べる。

※アライメントとは、取り付け具合を調整することを意味する。

### (3) 3D 表示システム用カメラユニット開発

ホロ・テーブルに投影する画像の撮影を目的としたカメラユニットの開発を実施した。センサより取り込まれたデータに FPGA で画像処理を施して、画像データを USB もしくは DVI で出力する。

今後は、ホロ・テーブルのデータ作成のみならず、3D 計測機器への展開も視野にしている。



図 4-7 カメラユニット概観

## 第5章 ロボットによる3D計測システムの開発

対象となる研究テーマ：【3】ホログラフィック3D表示

### 5-1 研究目的及び目標

既存の3次元計測技術を軸に、RGBカラー3Dディスプレイシステム「Holo-Table」（以下、ホロ・テーブル）での表示に適した撮影システムを構築することを目的とし開発を行った。開発内容は大きく2つに分かれる。ホロ・テーブルに表示するための360度画像を取得するための撮影システムである。これは、30cmサイズの物体を撮影可能な試作機、人間サイズの撮影が可能な実証機の2段階に分けて開発を進めた。2つ目の開発項目は3次元画像を元に次の移動座標をロボットにフィードバックする機構である。この2つの開発により、3次元計測技術と3次元表示技術とをシームレスに融合することを目的とする。

### 5-2 実験方法

#### (1) 360度撮影システム試作機による3D表示テスト

ホロ・テーブルに表示する指向性画像を実サンプルから取得するためのステージを製作した。カメラ、照明は固定とし、サンプルを回転ステージ上にセットして撮影を行う。回転ステージの回転角度に合わせて3Dディスプレイでの投影角度を変化させることで3D表示を可能となる。本試作機を用い、実サンプルと表示との違和感を評価し、撮影システムに必要な条件出しを行った。



図.5-1 360°撮影システム 試作機

#### (2) ロボット制御システム開発による360度撮影テスト

撮影対象を固定とし、カメラを回転させる方式とした360度撮影システムを製作した。

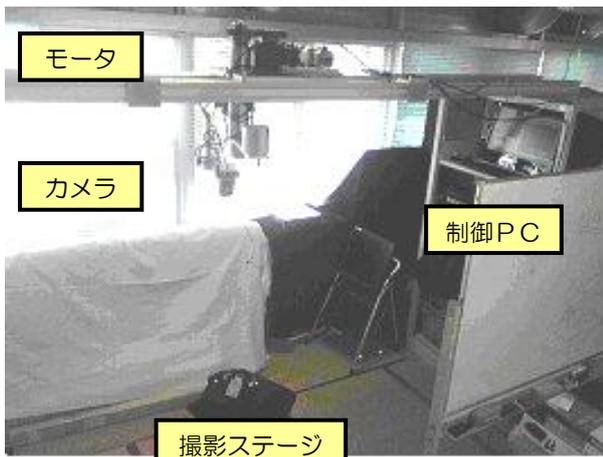


図.5-2 ロボット制御システム開発



図.5-3 360度撮影システム ブロック図

カメラ自体をモータ回転させることに加え、カメラ本体はパン/チルト調整機能を有しており、多自由度ロボットアームでの撮影と同様になっている。動作半径の大きいカメラ回転を保持するためのフレームは重量があるため、大型

のパルスモータを有しており，制御に Turbo-PMAC-Clipper を使用している。

### (3) 産業用ロボットを活用したインタラクティブ 3D 計測システムの開発

ステレオカメラを使って撮影された 3 次元の情報を，リアルタイムに多視点からの視覚情報に変換し，3D ディスプレイにその映像を表示するシステムにおいて，独自のカメラ撮影のためのロボット動作を実現する組み込み制御システムを開発することを目的として，産業用ロボットを用いた計測システムを構築している。

カメラを搭載するロボットは，振動防止のみならず，

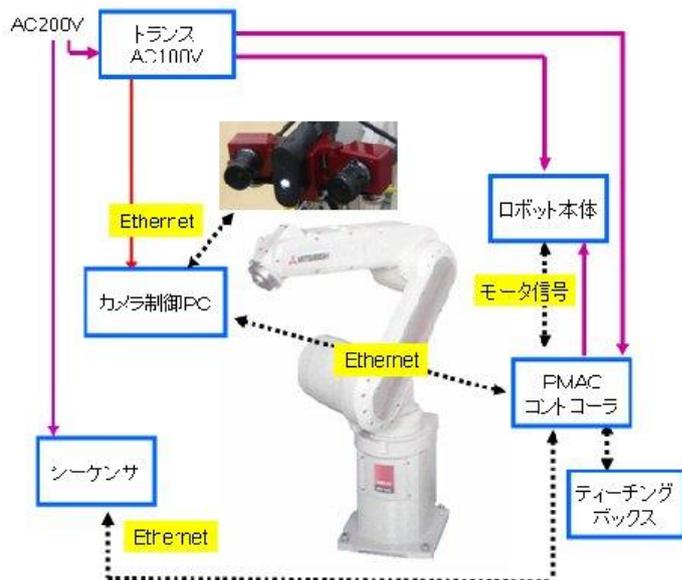


図. 5-5 インタラクティブ 3D 計測システム ブロック図



図. 5-4 インタラクティブ 3D 計測システム

対象物からの距離を固定してスムーズに移動するなどの映像撮影に特化したモーションを行う必要がある。また，ステレオカメラとロボットの座標情報を統合するための作業が簡潔に行えるような，自動キャリブレーション機能や自動補正機能を実現し，カメラとロボットのコンビネーションが可能となるシステム制御を構築した。また，ロボット操作に重要な 3D キャリブレーションの自動化にも組んだ。

### 5-3 研究成果

完全 360° 画像を取得するための撮影システムを 2 式構築した。これらシステムでの実験に加え，ロボットアームに取り付けたカメラを基準とした動作を実現したことで，対象範囲の広い 360° 画像表示システムを構築することができた。今回は床置き式の小型ロボットで実験を行ったが，ロボットの大型化や天吊り式ロボットへの拡張は容易であり，これらの構成にすることで大サイズの対象物でも表示可能である。

しかし，上記システムでは障害物があるため 360° 撮影できない場合や移動物体に対して適用することができない。これらの状況に対応するため，3D 計測により得られる点群データに基づいた 360° 画像表示システムも合わせて構築した。3D ロボットアイを用いたこの技術により，1 視点からの撮影しかできない場合であっても妥当な 3D 表示を 90° 範囲にて認識可能となる。また，カメラ基準のロボット動作技術により，計測不能領域に合わせた視点移動動作や，移動体に対する立体的な追跡も可能となった。

## 第6章 GPU 高速演算システムの開発

対象となる研究テーマ：【4-1】 GPGPU によるソフトウェア開発環境の構築，  
【4-2】 GPGPU による 3D 計測，【4-3】 GPGPU による 3D 表示

### 6-1 研究目的及び目標

弊社で開発を行なっている 3D ロボット・アイ（以下，ロボットアイ）では，ステレオカメラを用いた 3D 計測を行なっている．ロボットアイの課題として，3D 計測の高速化があげられている．課題を解決する方法としてはいくつかの手法が存在するが，今回は，GPU を画像処理以外に利用できる GPGPU（General-purpose computing on graphics processing units）に着目しており，ロボットアイの 3D 計測に適用した．ロボットアイの 3D 計測で処理時間を要している部分として<4-2>であげられている DP マッチングがある．DP マッチングを GPGPU で処理することにより高速化を検討した．

また，RGB カラー 3D ディスプレイシステム「Holo-Table」（以下，ホロ・テーブル）へ表示を行なうための画像生成についても同様に大幅な処理時間を要している．平面ディスプレイに表示をする場合は，GPU の標準機能のレンダリングを行なうことで作成可能であるが，3D ディスプレイでは，円周方向を向いた複数回のレンダリングとハーフトーン処理を行なう必要がある．ハーフトーン処理を GPGPU で処理し，1 秒間に数回表示可能となるシステムを開発する．

※GPGPU とは，General-Purpose computation on GPUs の略称で，GPU を使用して 汎用の数値計算を行うこと．

### 6-2 実験方法

◆テーマ【4-1】 GPGPU によるソフトウェア開発環境の構築：

#### (1)GPGPU についての調査

本研究では，NVIDIA のグラフィックカード GeForce と Tesla を使い，組み込みプログラムである CUDA の処理を効率化するためのプロファイラ「Parallel Nsight」を用いる．プロファイラを使用することにより GPU の関数で処理効率の向上や，処理時間の計測を行なった．



図 6-1 グラフィックカード GeForce GTX 470

#### (2)ロボットアイ計測処理システムの現状分析

弊社では，3D 計測装置であるロボットアイを開発している．このシステムは，中央のストロボにパターンフィルムを通し，パターン（2 章を参照）を両方のステレオカメラで視差マッチングを行うことで 3D 形状復元を行なっている．この方式では，左右のカメラ 1 枚ずつ撮影することで計測可能であるため，対象物が動いている場合でも計測が可能となる．



図 6-2 マクシス・シントー製 3D ロボット・アイ

◆テーマ【4-2】 GPGPU による 3D 計測：

#### (1) GPU による DP マッチング処理の開発

ロボットアイでは，三色のカラーパターンを投影し色相に変換を行なう．色相のパターンの歪みを DP マッチングでとらえることにより，左右のマッチング対象位置を特定することができる．DP マッチングでは，横向きに各ラインに対して行なう．主に 1 次元の処理を複数回

行なうのと同じである。そのため画像を短冊状に分割する。

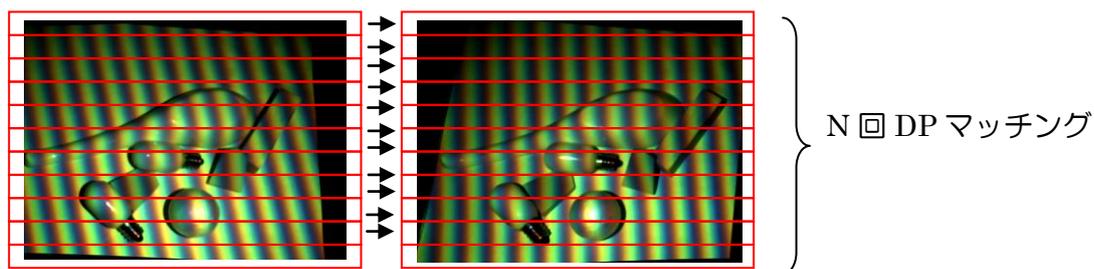


図 6-3 DP マッチング処理の改良

この分割により、画像サイズ VGA(640×480)では、480 分割可能であり GPU の各コアに割り当てることができる。ローカルディスタンスでは、各画素に処理を分割可能であるため、さらに並列化が可能となる。但し、GPU により分割数に限界があるため適した分割を行なった。下の表は、並列化を行なった場合の速度の比較表である。以下、表中のグローバルディスタンスを GD、ローカルディスタンスを LD と略す。

表 6-1 GPU と CPU の処理速度比較 単位:msec

VGA	CPU	GD の単体処理	GD の並列化処理
LD	3200.0	363.2	374.6
GD	780.0	1262.5	649.1
その他	80.0	17.3	17.1
総合	4060.0	1730.0	1060.0

CPU と比べローカルディスタンスは、並列化しやすいため 9 倍近く高速化されている。

### (2) シェアメモリの活用による処理の高速化

表 6-2 GPU と CPU の処理速度比較 単位:msec

VGA	CPU	GD の単体処理	GD シェアメモリ適用
LD	3200.0	363.2	364.3
GD	780.0	1262.5	633.9
その他	0.0	17.3	17.1
総合	4060.0	1730.0	1030.0

グローバルディスタンスの計算時間が半分になり、メモリへの参照回数が増える場合は、グローバルメモリよりもシェアメモリを使用することで高速化された。

### (3) GPU 処理におけるメモリのボトルネックへの対応

表 6-3 GPU と CPU の処理速度比較 単位:msec

VGA	CPU	GD の並列化	LD と GD の統合と並列化
LD	3200.0	374.6	統合のためなし
GD	780.0	649.1	317.2
その他	80.0	17.1	17.1
総合	4060.0	1060.0	350.0

結果からグローバルメモリへのアクセスが減ることで処理が高速化された。

◆テーマ【4-3】GPGPU による 3D 表示：

### (1) OpenGL による画像作成とハーフトニング処理の評価

ホロ・テーブルに画像を表示させるためには、3D データを 2 次元画像にレンダリングし、2 値化データにする必要がある。2 次元画像に変換した後、2 値データに変換する。単純な閾値処理ではなくハーフトニングを用いる。ハーフトニングを用いることで表示したときの印象のよさが大きく改善された。

今回のハーフトニング処理には、ディザと誤差拡散を行なった。ディザは、高速に処理を行なうことができるが、縞パターンが現れ違和感を受けた。それに対し、誤差拡散では、処理に時間がかかるがディザのような違和感は無かった。

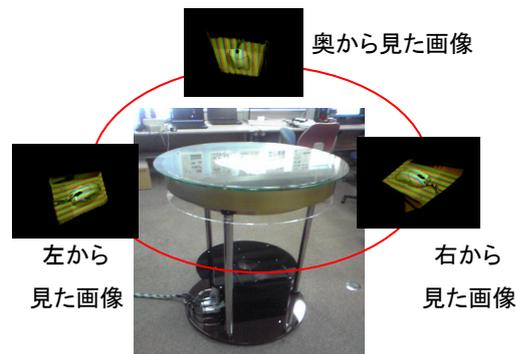


図6-4 ホロ・テーブル中心から外向きに見た画像

### (2) ハーフトニング処理の CUDA プログラムへの対応

CUDA と OpenGL はともに GPU を使用するため、互換性がある。OpenGL で作成したデータを直接 CUDA のメモリ領域へ送ることができる。直接転送することにより、CPU へデータ転送する必要なくなるため時間の短縮につながった。CUDA でディザと誤差拡散を行なった場合、CUDA の処理に適しているのはディザであり、誤差拡散はあまり適していない。そのためディザのほうが高速に処理を行なえた。

250 枚の画像を作成した場合、ディザの表示は 150msec であるが、3D データの適用などその他の処理を加えてい

ディザ 誤差拡散

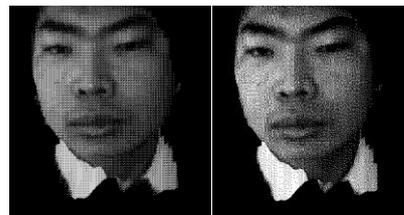


図6-5 ディザ及び誤差拡散処理の結果比較

表 6-4 各処理の所要時間

画像枚数	レンダリングのみ	ディザ(カラー)	誤差拡散 (グレースケール)
250 枚	54 msec	150 msec	300msec

※ハーフトニングとは、多値階調を持つ画像を 2 値(あるいは少ない階調)で表現する方法のこと

### (3) データ転送に関するボトルネックの分析

マザーボードのメモリと GPU メモリとの間のデータ転送に時間がかかっていたため、メモリ転送を調整した後、Visual Profiler を使用して転送時間を計測したところ、処理時間が 255msec から 120msec へと短縮された。

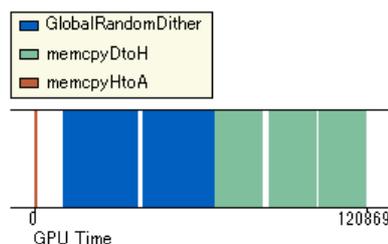


図6-6 GPU処理時間の計測結果

### 6-3 研究成果

ロボットアイの 3D 計測を CUDA で計測することにより、約 10 倍高速化となった。画像を QVGA にすることで、3D データの表示を 9.7fps にすることが可能となり、リアルタイムの処理が可能となった。そのため、CPU で処理していた場合、動いているものを撮影・計測を行うと数秒のタイムラグが発生していたものが、その場で結果を見ることができるようになった。結果が即時にできるため、撮影条件を最適にするための準備時間を短縮可能となり、作業効率の向上にもつながった。

また、ハーフトニング処理を CUDA で作成することにより、ホロ・テーブルに表示する画像を高速に作成することが可能となった。GPU の標準の機能で 1 秒間に数千枚の画像を作成することが可能である。その画像に対し、今回、CUDA を用いたハーフトニング処理を用いることで 5fps の画像生成が可能となった。

## 第7章 3D計測及び3D表示システムの評価

対象となる研究テーマ：【3】 3D計測・表示システム構築

### 7-1 研究目的及び目標

本章は、5章【3】 3D計測・表示システム構築及び6章【4-1】 GPGPUによるソフトウェア開発環境の構築、【4-2】 GPGPUによる3D計測、【4-3】 GPGPUによる3D表示の研究成果を客観的に評価することを目的として記述する。

本章に掲載した図表は全て有限会社アイ・ティー・オーの「3Dデータの感性評価報告書」より引用したものである。

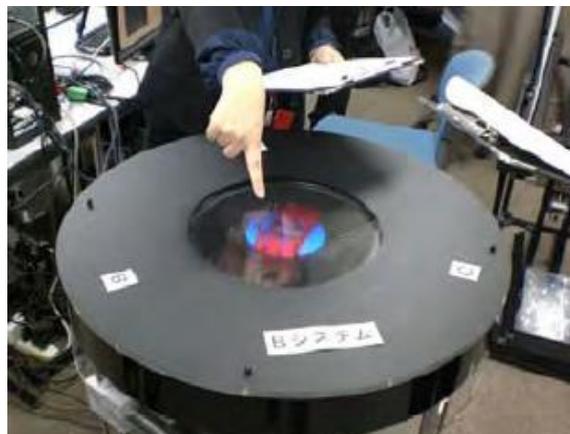


図7-1 多視点からの共有性能テスト

### 7-2 実験方法

#### ① 3D計測器と3D表示の官能評価テストについて

本プロジェクトで開発した3D計測器と3D表示の官能評価実験を実施した。実験より、表示系の違和感の無い視差数および計測・表示の課題点を検討する。

#### ② 視認性評価テストによる全周形状共有感について

新設計の表示系における視認性評価実験と全周形状共有感についての評価も実施した。

視差とは、二地点での観測地点の位置の違いにより、対象点が見える方向が異なること、または、その角度差をさす。

### 7-3 研究成果

#### ◆テーマ【3】 3D計測・表示システム構築：

##### (1) 3D計測と表示システムの官能評価

初年度は、3Dロボットアイ及びRGBカラー3Dディスプレイシステム「Holo-Table」（以下、ホロ・テーブル）の官能性評価実験を実施した。評価項目を以下に示す。

表 7-1 初年度の評価項目

項目	実験内容と評価項目
3D計測	目標数値（3D計測能力：10fps）の達成度
	様々な形状、色、材質で、開発した投光ステレオDPマッチング3D計測がストレスなく、正しく計測ができるか。 ○実験材料：様々な形状、色、材質 ○評価項目：計測時間、計測精度に対する操作感
3D表示	下記、ホログラフィック3D表示に関する感性評価 ・視差数と見え方の評価（500～60視差を比較・評価） ・視差データを削減して、補間した場合の視認性評価
	ホログラフィック3Dがストレスなく、きれいに表示されるか。 ○観察位置：360度 ○評価項目：見え方の「違和感」について評価

結果は、投光ステレオDPマッチング3D計測について、検査対象物の色の影響や物体の向きなどによる影響が気になるが、計測条件が安定している場合には計測結果はとても正確で、

速度に関しても申し分ないとの意見であった。また、3D表示については、250方向であれば、人の目にはほとんど違いは感じられないという結果を得た。また、125方向の場合にも大きな違いは見られなかった。

研究開発完了には、改良版ホロ・テーブルの画質評価および3D映像についての評価実験を実施した。評価項目は以下の通りである。

表 7-2 研究開発完了後の評価項目

	項目	実験内容と評価項目
(1)	ホログラフィック 3D 表示の性能向上	昨年度開発したシステム(A)と今年度開発したシステム(B)の性能を比較する。 ・評価項目：明るさ、鮮やかさ、解像度について 5 段階評価
(2)	多視点からの 3D 映像の共有性能	3 方向から見たときの空間位置の誤差 ・観察角度：45 度 ・評価項目：誤差を 5 段階評価
(3)	実時間の計測により生成された動画コンテンツの性能	実時間で計測した顔を表示した際に、その表情を読み取ることができるか。 ・計測対象：被験者の顔 ・評価項目：見え方について 5 段階評価

鮮やかさ（解像度）は明らかに初年度のシステム(A)に比べ、開発完了後のシステム(B)の性能が向上した。Bは改良により映像全体に乗るオフセット（映像に対する白色の加算）がカットされている。それにより、鮮やかさ（コントラスト）が改善されたという結果が得られた。

明るさについては、システム間の輝度をほぼ同じようにするため、Aでは最大輝度で表示しているのに対し、Bでは40%程度の輝度に落として表示した。全般的にはBのほうが明るいと感じた人が多かったのは、背景の黒の輝度レベルを引き下げる改良を施したためであった。

## (2) 多視点からの3D映像の共有性能

- ・誤差は3cm以内で収まっている。
- ・現在の表示システムでは、回転スキャン一周ごとに映像と回転を同期しており、極微小な一定角度で映像を表示していないエリアが存在する。その分だけ角度と映像にズレが生じていることが、基点A、Bに比べ基点Cの誤差が大きな値である原因だと考えられる。
- ・実験に使用したシステムBでは、3次元画像表示の歪を極力抑えるように改良しており、その効果が評価結果に現れたと思う。しかし、装置の構造上、基点C方向の歪補正が完全ではなかったが、評価においても基点A、Bに比べ基点Cの誤差が大きいという結果となった。

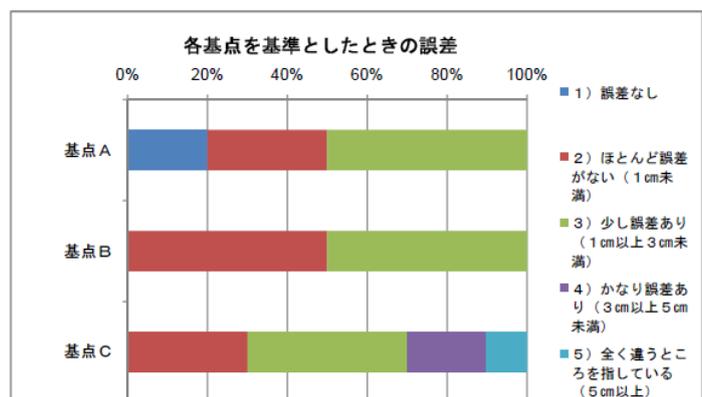


図7-2 感性評価テストの様子

## 第8章 インタラクティブな3D表示システムの開発

対象となる研究テーマ：【3】 3D計測・表示システム構築

### 8-1 研究目的及び目標

本研究のテーマにある「インタラクティブなロボット操作」によって作業時間や操作ミスを防ぐことのできる事例として、RGBカラー3Dディスプレイシステム「Holo-Table」（以下、ホロ・テーブル）に3D表示される対象ワークに手をかざすことで直感的にロボットを操作しながら、ロボットに搭載されている3Dカメラの視点を移動するシステム開発する。

※インタラクティブとは、「対話」または「双方向」を表し、ユーザーが画面を見ながら対話をするような形式で操作する形態を指す。

（目標）2つのモーションセンサを活用してホロ・テーブル上で直接ロボット操作を行い、3D表示されたワークの視点を自由に変えることができる。



図 8-1 インタラクティブなロボット操作事例

モーションセンサとは、周囲と温度差のある人(物)が動く際におこる赤外線の変化を検出するセンサ。

### 8-2 実験方法

◆テーマ【3】 3D計測・表示システム構築：

#### (1) ARM マイコンによる計測操作の簡略化

ホロ・テーブルの映像を見ながら、産業用ロボットの操作を感覚的に行うことができるよう、簡易ロボット操作コントローラの製作を行った。操作の内容としては、ロボットの起動・停止、アーム位置の前後左右移動、左右回転、ワークへの接近を用意した。

ARM マイコンはリナックス OSで制御されており、タッチパネルの操作も標準搭載されているため、画面の操作に合わせて数種類の信号を送るシステムの製作は比較的容易に実現した。また、LANによるコマンド通信機能も使用できるため、ロボットとのコマンド通信もPCと同様に行うことが可能であった。

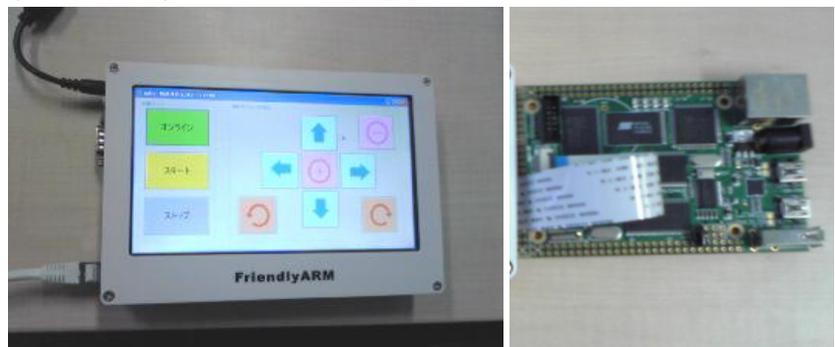


図 8-2 製作に使用した ARM マイコン

※ARM とは、英国のプロセッサ会社のことで、同社が開発した 縮小命令セットコンピュータ(RISC)の 32ビット固定長プロセッサのこと。

## (6) モーションセンサによるインタラクティブ操作の実現

ロボットオペレータの手の動きを簡易的に察知するために、モーションセンサを活用した。反応距離を 10cm に設定して、2つのセンサの状態変化を利用してロボットの状態をコントロールする仕様設計を行った。

ロボットに搭載したカメラの向きを前後とし、2つのセンサを左右の端に取り付け、正面から操作を行うロボットオペレータの腕の動きを捉えられるようにセンサの向きを調整した。簡易的な操作を前提としているため、ロボットに複雑な動きをさせることはできないが、オペレータの操作位置を限定して左右前後にロボット操作を行うことが可能であった。

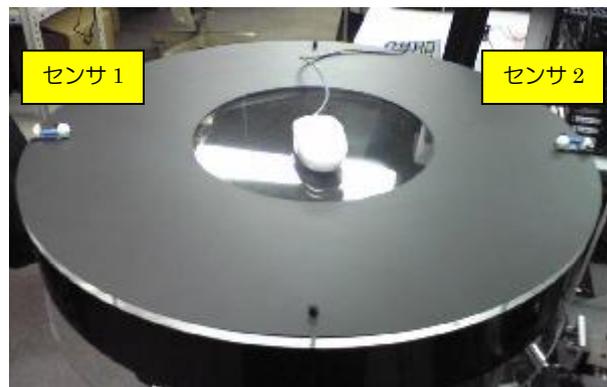


図 8-3 インタラクティブ操作モジュール設置

## 8-3 研究成果

産業ロボットの操作の効率性及び正確性の向上を目指し、モーションセンサによるインタラクティブ操作モジュールを作成することで、以下のような成果があった。

### <成果>

- ① ホロ・テーブルに写る作業ワークの位置情報を感覚的に取得しながら、直感的にロボットの操作を行うことができた。
- ② モーションセンサによるロボットの操作を導入することで、ホロ・テーブルに直接働きかけることが可能となり、正確かつ迅速的に産業用ロボットの操作が可能となった。

更なる操作の向上を目指すためのポイントは以下のとおりである。

### <操作向上のポイント>

- ① モーションセンサの数を増やし、移動方向を細かく識別できるようにする。
- ② エリアセンサ（WEBカメラなど）を使って、手の動きを識別する。
- ③ 指先で示した場所にマークを表示する。

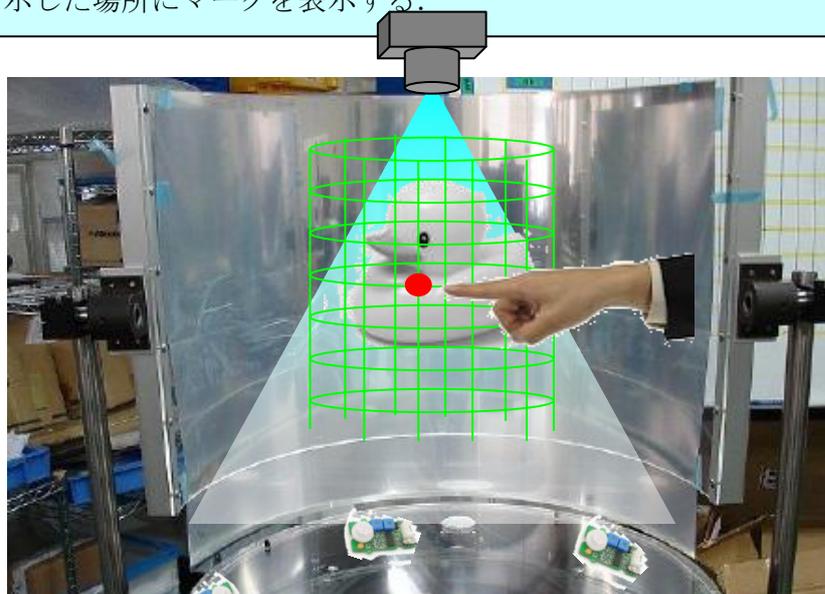


図 8-4 インタラクティブな操作の発展

## 第9章 全体総括

### 9-1 成果の総括

このたび想定されない東日本大震災の影響を受けたことで、高速データ転送を実現するために最も重要な装置である「3D画像データ高速I/Fカスタムボード②」及び、RGBカラー3Dディスプレイシステム「Holo-Table」大型化ユニットの調達が4ヶ月にわたっておくれる大きなトラブルに見舞われたが、機器納入業者を始め、このサポイン委託研究事業にかかわった皆様の御協力により、3D計測及び表示の高速化実現という大きな成果を挙げる事ができた。この場を借りて感謝申し上げたい。

本研究開発「インタラクティブなロボット操作のための3D動画処理組込みソフトウェアの開発」では、高速3次元計測と裸眼3次元表示機能が組み合わされたシステムであり、その中ではいくつもの画期的な開発成果物が組み合わせられて構築されている。

【1】「投光ステレオ DP マッチング3D計測」では連続3D動画が撮影可能な計測ユニットを開発した。これは従来の3次元計測器が大きく重たい為に自由度が少なかった事に対し、小型ロボットへの搭載を可能とする目的で非常にコンパクトな筐体に納まりながら、3次元動画像も撮影可能となる等、独立した製品としても特出した成果物として開発に成功している。

【2】「ホログラフィック3D表示」では昨今流行の立体テレビとは違って、全方位の視点方向から3次元物体を認識できる3D表示装置（ホロ・テーブル）である。単に立体的な画像が見られるだけではなく、空間上の物体の形状・姿勢データを的確に捉え、正確に人が認識可能となっている。この中では高度にカスタマイズされた光学設定だけでなく、圧倒的な量の3次元データを処理する事が可能なデータアクセス技術が効果を発揮している。

【3】「3D計測・表示システム構築」に於いては計測された対象物そのものを、いかに本物らしくバーチャルで表示できるのか、試行錯誤を繰り返しながら最適な計測表示条件の割り出しを行ってきた。3次元の認識性に関して単純な数値比較は困難であるため外部に感性評価を御願いし、展示会では一般人からの評価を集約してきた。これらをシステムとして必要とされるスペックの基準として活用することで、全体としてのコストパフォーマンスの向上に繋げてきている。

【4】「GPU高速演算システム」2次元データから3次元データに進化するだけで扱わなければならない情報量が飛躍的に増大する。これを高速に処理するためにGPUの持つ高い並列分散処理を今回採用し成果を出す事ができた。この技術は計測だけでなく表示用のデータ処理にも生かされ、本研究テーマにおいての基礎技術として活用された。市販の安価なコンピュータを用いてもシステムが構築できる理由に繋がっている。

空間上の物体の形状・姿勢データを的確に捉え、かつそれを正確に人が認識できる様に表示することで、人が現実的な状況把握と的確な操作指示を行うことが可能となる事を、3D計測と3D表示技術をリアルタイムで結合するシステムを構築する事で示す事が出来た。今後この有効性をより効果的に明示するためにも具体的に活用例を構築して行きたい。

### 9-2 工業所有権の取得状況及び対外発表等の状況

本研究で開発したノウハウに関しては、計測から表示まで多岐にわたるものであるが、現時点においては特許の取得等を行っていない。今後、外部発表等に対して公開が必要な技術情報があれば、事前に特許取得を検討していきたい。

### 9-3 今後の事業化に向けた取組み

本研究開発では主に産業用用途として開発を進めてきた経緯もあり、量産組立ロボットへの応用から、作業者の労働環境上、間接作業となる工程（危険作業・遠隔作業）への適用をまず急いでいる。更に昨年のように大きな震災が起こった場合、現実的に現場状況の把握手段として、今回のテーマは有効に活用されるべきだとの印象を感じさせられた。そのためにも今後1～2年以内に現状で残された課題を整

理し、完成度を高めていく事が重要である。

インタラクティブな3次元メディアはさまざまな用途の可能性を持っており、災害救援ロボットや宇宙・火口など悪環境の作業ロボットの遠隔操作、そして遠隔医療など医療用途などでの利用が期待されている。今後この分野の情報を積極的に収集し実用化戦略を作成して行く所存である。

+++++

## 参考文献

### 第2章

- 1) 井口征士,佐藤宏介,”三次元画像計測”,昭晃堂
- 2) 三高良介,濱田長生,”位相シフト法による高速高精度3次元計測技術”,松下電工技報,p10-15,Aug.2002
- 3) 内田誠一,”DP マッチング概説～基本と様々な拡張～”,IEICE Technical Report,p31-36,PRMU2006-166(2006-12)

### 第3章

- 4) 経済産業省 2009/4/30 技術戦略マップ2009 コンテンツ分野の技術ロードマップ p4

### 第4章

- 5) David Luebke, “Introduction-Overview and CUDA Basics,” NVIDIA, Supercomputing 2009 Tutorial 2009.
- 6) Fung James, “Advances in GPU-based Image Processing and Computer Vision,” SIGGRAPH 2009, 2009.
- 7) NVIDIA, “Whitepaper NVIDIA’s Next Generation CUDA Compute Architecture:Fermi,” 2009.

### 第5章

- 8) 出口光一郎(2000) ロボットビジョンの基礎 コロナ社
- 9) 西山学(2009) 対象物把握のためのロボットビジョン技術 東芝レビュー Vol.64 No.1

### 第6章

- 10) 奥富正敏ほか, デジタル画像処理, CG-ARTS 協会, 2004
- 11) 廣田隼, GPGPU を用いたグラウンド利用者計数システムの高速度化, 2011
- 12) NVIDIA,” CUDA\_C\_Programming\_Guide”
- 13) fixstars,”NVIDIA CUDA Information Site”, ”<http://gpu.fixstars.com/>”

### 第7章

- 14) 株式会社アイ・ティー・オー 3D データの感性評価報告書

### 第8章

- 15) デンソーロボット V\*シリーズ操作ガイド第3版(2011) p5-150,156,159 株式会社デンソー
- 16) Turbo PMAC2-Eth-Lite Hardware Reference(2008) p11,37-39 Delta Tau Data Systems