

平成 22 年度戦略的基盤技術高度化事業

「ユーザビリティ向上、低コスト化を実現するための
革新的な 3D スキャニング技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成 24 年 5 月

委託者 経済産業省北海道経済産業局

委託先 株式会社ノア

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
1-2	研究体制	2
1-3	成果概要	5
1-4	当該研究開発の連絡窓口	6

第2章 本論

2-1	総合画像からライン光反射像を抽出するプレ画像処理開発およびデバイス開発	6
2-2	抽出されたライン光反射画像と実画像（2D 画像）の位置合わせ精度向上開発	13
2-3	異なる角度から撮影したライン照射光 OFF 時の画像の統合の高速化	18
2-4	3D データアプリケーションシステム開発	24
2-5	ミドルウェア開発	29
2-6	パネルスイッチング方式の検討	32
2-7	光源及びドライブ回路の検討	37
2-8	試作および評価	40
2-9	プロジェクトの管理・運営	44

第3章 全体総括

3-1	研究開発後の課題	46
3-2	研究開発後の事業化展開に際する取り組み	48

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

昨今、国内外で 3D スキャナが開発、販売されているが、オーダーメイドの靴や枕、製造現場における検査、リバーエンジニアリングなど限られた用途にしか利用されていないのが現状となっている。一方で、3D スキャナ自体に対する有用性は、アパレル業界、一般的な靴屋、医療機関、警察などから認識されつつある。これら各業界における 3D スキャナに対するニーズと採用されていない理由（課題）の調査を進めてきた結果、

- ・ 機器が高額
- ・ 長時間静止している測定対象しか扱えない
- ・ 測定に手間がかかる
- ・ 高度な測定技術や解析技術が必要

などの理由から 3D スキャナを導入していないことが分かった。3D スキャナは川下産業において有用性が認識されているため、上述のような課題の克服が待ち望まれている。

（２）研究開発の目的および目標

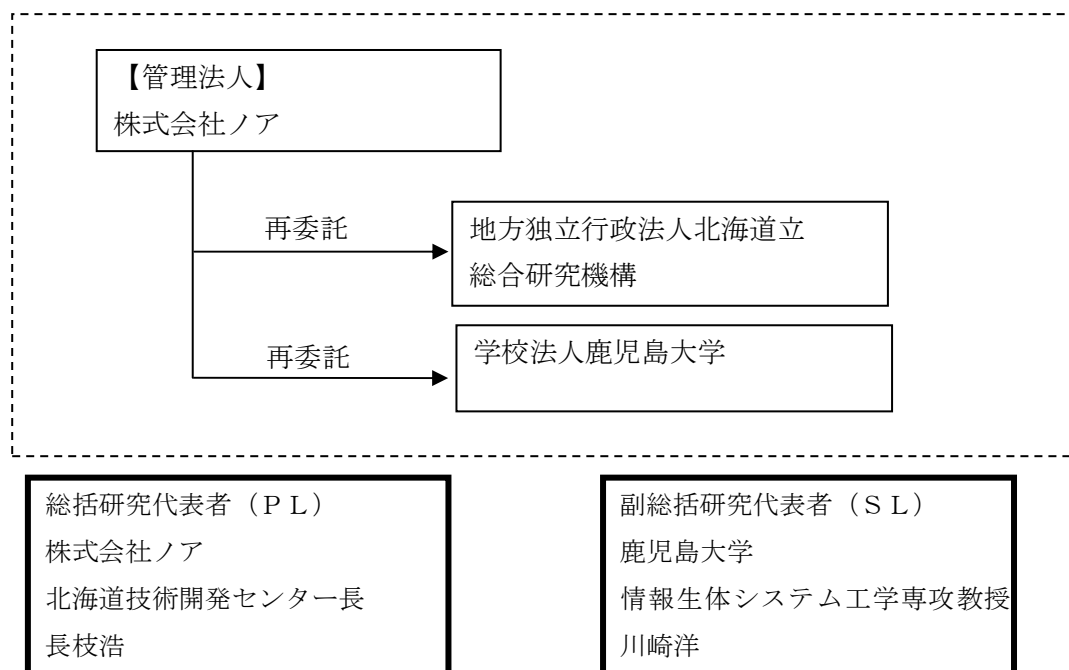
顧客ニーズから抽出された課題を技術開発により克服することを目的として、組み込みソフトウェア技術を有する株式会社ノア、最先端の 3D スキャニング技術の研究を行っている鹿児島大学、FPGA による高速画像処理研究を行っている北海道立総合研究機構を中心とした研究開発チームにより、プロジェクトが立ち上がった。各機関の得意技術を持ち寄ることにより、ユーザニーズにマッチした 3D スキャニングシステムを作り上げることを目標として研究開発が進められることとなった。この「ユーザニーズ」とは、上記の課題から抽出される下記の要素として設定した。

- ①低コスト化
- ②測定の簡易化、測定装置の簡易化
- ③瞬時に撮影可能であること
- ④3D データを利用したシステム構築の簡易化

最終的に上記のユーザニーズを満たした 3D スキャニングシステムを試作品として具現化することを目標に掲げ、研究開発を進めることとした。

1－2 研究体制

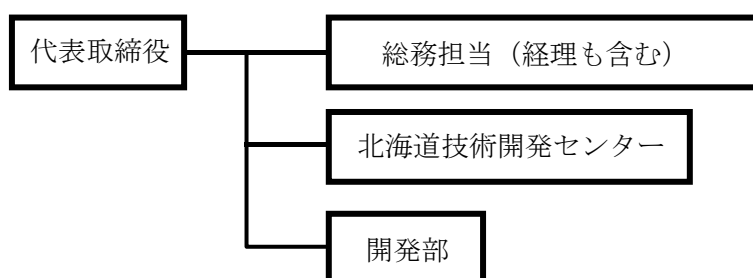
(1) 研究組織（全体）



(2) 管理体制

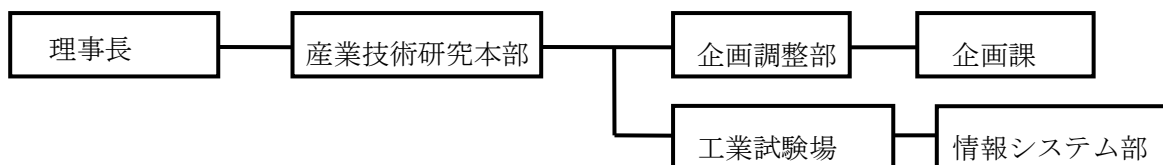
①事業管理者

[株式会社ノア]

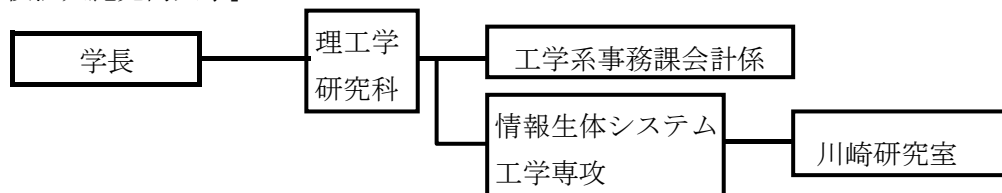


②(再委託先)

[地方独立行政法人北海道立総合研究機構]



[学校法人鹿児島大学]



(3) 管理員及び研究員

【事業管理者】株式会社ノア

①管理員

氏 名	所属・役職
太田初	代表取締役社長
太田里美	総務担当取締役
長枝浩	北海道技術開発センター センター長

②研究員

氏 名	所属・役職
長枝浩 (再)	北海道技術開発センター長
石井智	エンジニア
松井直美	エンジニア
松本一成	エンジニア
渡邊治	エンジニア
大久保徹也	エンジニア
塩沢慶尚	エンジニア
佐藤博	エンジニア

【再委託先】※研究員のみ

地方独立行政法人北海道立総合研究機構

氏 名	所属・役職
大村功	情報システム部 主査

学校法人 鹿児島大学

氏 名	所属・役職
川崎洋	理工学研究科情報生体システム工学専攻 教授
福元伸也	理工学研究科情報生体システム工学専攻 助教
Amaël Delaunoy	理工学研究科情報生体システム工学専攻 PhD

(4) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理者)

株式会社ノア

(経理担当者) 総務担当取締役 太田里美

(業務管理者) 代表取締役 太田初

(再委託先)

地方独立行政法人北海道立総合研究機構

(経理担当者) 産業技術研究本部 企画調整部 企画課 主査 中谷 哲夫

(業務管理者) 産業技術研究本部 工業試験場 情報システム部長 波 通隆

学校法人鹿児島大学

(経理担当者) 理工学研究科等工学系事務課会計係 会計係長 若松重之

(業務管理者) 理工学研究科 情報生体システム工学専攻 助教 福元伸也

1-3 成果概要

本研究開発では、ユーザビリティ向上、低コスト化を実現するための 3D スキャニング技術の開発を実施して、目標とする 3D スキャニングシステムを実現することができた。研究開発当初に掲げた研究サブテーマについても、下記に示す通り、概ね目標が達成された。

サブテーマ① 総合画像からライン光反射像を抽出するプレ画像処理開発およびデバイス開発

担当機関	株式会社ノア、北海道立総合研究機構
目標	撮影開始からデータ処理完了まで 1 秒以内 (800x600 ピクセルの画像)
成果	撮影開始からデータ処理完了まで 1.65 秒を達成
目標達成度	1/1.65=61%達成(目標未達)

サブテーマ② 抽出されたライン光反射画像と実画像(2D 画像)の位置合わせ精度向上開発

担当機関	株式会社ノア、鹿児島大学
目標	位置分解能 1/300 以下 (例えば、撮影最大領域幅 300mm の場合、分解能 1mm 以下)
成果	分解能 0.5mm/150mm=1/300 を達成
目標達成度	100%達成

サブテーマ③ 異なる角度から撮影したライン照射光 OFF 時の画像の統合の高速化

担当機関	株式会社ノア、鹿児島大学
目標	人間の手を 360 度スキャンした場合の画像統合に要する時間 3 分以内
成果	人間の手を 360 度スキャンした場合の画像統合に要する時間 69 秒を達成
目標達成度	100%達成

サブテーマ④ 3D データアプリケーションシステム開発

担当機関	株式会社ノア
目標	長さ測定、形状照合、比較等、詳細かつ複雑な 3D データの解析可能な機能を付加する。
成果	長さ測定、形状照合、比較の機能に加え、断面表示、オブジェクトの結合の機能を有するアプリケーションを実現した。
目標達成度	100%達成

サブテーマ⑤ ミドルウェア開発

担当機関	株式会社ノア
目標	ライブラリ、プラグイン等、追加モジュール形式とすることによる Web、PC アプリケーションへ容易な組み込み、および組み込んだモジュールの使用により 3D データを直接加工することなくワイヤーフレーム、ポリゴン等必要な形式での 3D 表示可能とするミドルウェアを実現する。

成果	サブテーマ④で検討したアプリケーション開発に際して、開発支援となるミドルウェアを実現した。
目標達成度	100%達成

サブテーマ⑥ パネルスイッチング方式の検討

担当機関	株式会社ノア
目標	光学システム（光源からレンズまで）の部材コスト 4 万円以内（300 セット見積時）を満たすこと
成果	1 台当たりの光源の部品コストは、24,555 円を達成
目標達成度	100%達成

サブテーマ⑦ 光源及びドライブ回路の検討

担当機関	株式会社ノア
目標	撮影時の平均電力 50W 以下を実現
成果	光源照射時の電力は 19.8W を実現（連続駆動時）
目標達成度	100%達成

サブテーマ⑧ 試作および評価

担当機関	株式会社ノア
目標	試作品においても上記①～⑦の目標値をクリアすること
成果	サブテーマ①については、目標データ処理時間 1 秒以内に対し、1.8 秒となり、達成度は $1/1.8=56\%$ となり、目標未達。 サブテーマ②については、画像範囲 300mm に対し、1mm 程度の段差を検知できていることから、試作品においても、目標達成している。 サブテーマ③～⑤については、個別項目にて達成済み。 サブテーマ⑥、⑦については、試作品によって部分評価を行うことが困難であるため、評価不能。
目標達成度	試作品において、サブテーマ①～⑤の目標については <u>91%の達成</u>

1-4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社ノア 北海道技術開発センター 長枝 浩

Tel./Fax. : 011-717-9001

E-mail : nagaeda@kknoa.co.jp

第2章 本論

2-1 研究サブテーマ①

総合画像からライン光反射像を抽出するブレ画像処理開発およびデバイス開発

2-1-1 実施内容および実施担当

実施内容	撮影する画像としては、通常の 2D 画像、対象物上に照射されたライン光の反射 2D 画像となるが、このうちライン光反射像のみが 3D のデータ処理に用いられる。従って、3D データ処理の前に、総合画像からライン光の反射像の抽出処理が必要となる。目標値を達成するためには、抽出処理の高速化が必須となる。処理高速化のための開発要素としては、「新しい抽出処理方法の検討」および「高速抽出処理システムの開発」の 2 つのアプローチから開発を行う。 (1) 新しい抽出処理方法の検討 ・ライン光照射 OFF 時の画像と総合画像の差分を取る方法 ・明るさのしきい値を設定した画像処理方法 ・グラフカット処理を利用した線分抽出方法 (2) 高速抽出処理システムの開発 線分抽出処理を 3D の計算を行うデバイス (CPU) とは別のデバイス (FPGA) により処理するシステムを構築することにより、画像処理の高速化を図る独自手法を開発した。
実施担当	(1) 新しい抽出処理方法の検討：ノア (2) 高速抽出処理システムの開発： 北海道立総合研究機構、ノア

2-1-2 個別項目の結果

(1) 新しい抽出処理方法の検討

ライン光 OFF 時の画像と総合画像の差分をとる方法では、入力画像として、同一環境でグリッドパターンを ON (画像 1)、OFF (画像 2) としたときの画像を撮影し差分画像を作成したが、これだけでは縦ライン光・横ライン光を分離して得られないため分離のための後処理が必要となるため、不十分であることが分かった。

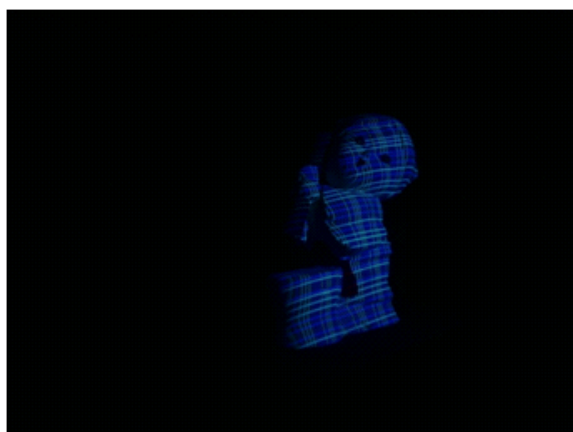


図 2-1-2-1 総合画像

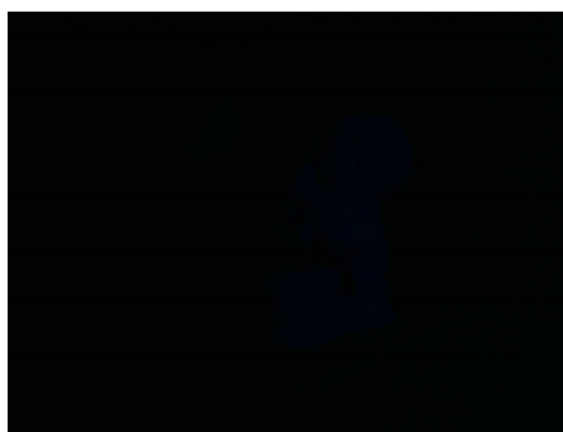


図 2-1-2-2 ライン光 OFF 画像



図 2-1-2-3 差分画像

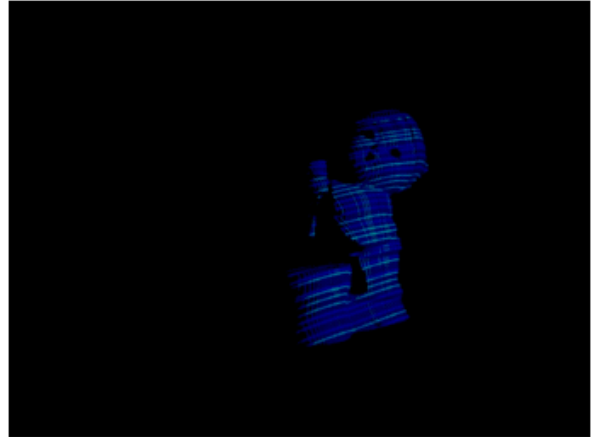


図 2-1-2-4 閾値処理

また、明るさの閾値を設定し画像処理をする方法でも、低レベルノイズ除去はできるものの、閾値の設定によってはライン光まで除去してしまうことや、前述と同様に後処理が必要となることが分かった。このため、別のアプローチによりライン検出を行うこととした。

復元処理においては、交点情報を使用している。縦横のラインが分離して検出することができれば、簡単にその情報を取得できる。このような理由から縦ライン光・横ライン光を分離して検出する方法を検討した。

ライン光が当たっている部分では、その周辺画素間において輝度が大きく変化することから、その変化量の変動（増減）をもとにライン光の位置を検出することとした。

ライン検出のフローを図 2-1-2-5 に示す。

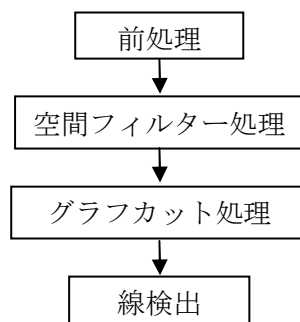


図 2-1-2-5 ライン検出フロー

縦線を検出する場合の処理を説明する。

始めに、各画素の輝度がある程度小さい場合には反射などによるノイズと考え、その影響を消去するために閾値を設定し、それ以下の値を持つ画素の輝度値を 0 とする前処理を行った。

その後、空間フィルタリング処理を行った。その結果を、図 2-1-2-6～7 に示す。ここでは、画像の左から右へスキャンし、隣り合った画素の輝度変化の状態を、微分フィルターを使用することでとらえることとした。結果では輝度変化が増加方向なら青、減少方向なら赤、ほぼ変化なしの場合は黒で表示してある。

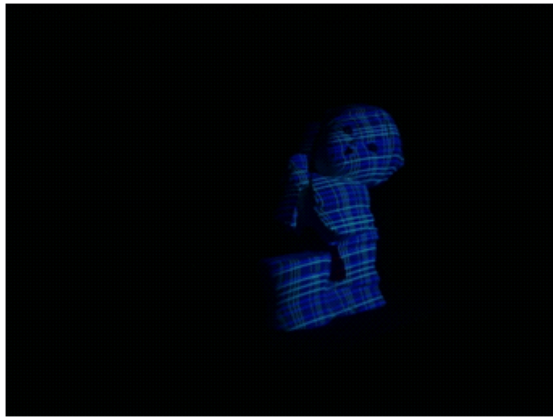


図 2-1-2-6 入力画像

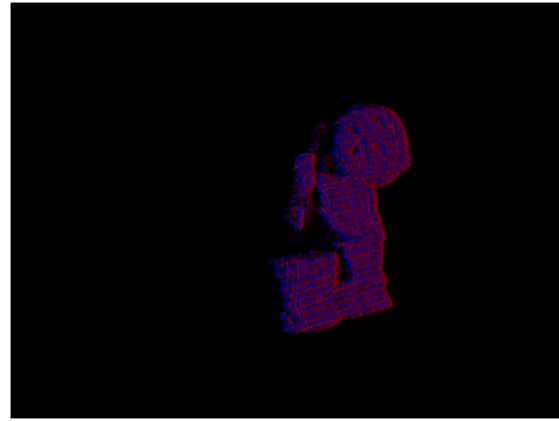


図 2-1-2-7 空間フィルタリング結果

このままでは、横線の影響により縦線が分断されてしまうので（横線の部分では輝度変化がとらえにくい）、先の処理データから輝度の3つの状態（増加、変化なし、減少）に分類し、グラフカット処理を行い線の接続処理後、線検出（確定）を行った。横線を検出する方法も同様となる。

グラフカットとは、画像 X に対して

$$E(X) = \sum_{v \in V} g_v(Xv) + \sum_{(u,v) \in E} h_{uv}(Xu, Xv)$$

で与えられるエネルギーを最小化するための手法である。 V は画素を表すサイトの有限集合、 $E \subset V \times V$ は、サイト間の隣接関係を表す集合である。通常、 $g_v(X)$ の総和をデータ項、 $h_{uv}(Xu, Xv)$ の総和を平滑化項と呼ばれている。データ項、平滑化項を適切に設定することにより、画像に対してのノイズ除去や領域分割など様々な効果を得ることができる。

今回の線検出で利用する際、いくつかの実験を経て、分断されたラインが縦方向（ないし横方向）に接続するように、個々の式を設定した。（詳細はサブテーマ②-（3））

入力画像とそれに対するライン検出結果を図 2-1-2-8～9 に示す。ライン検出結果は、縦線（青）・横線（赤）それぞれを検出したものを合成して表示してある。

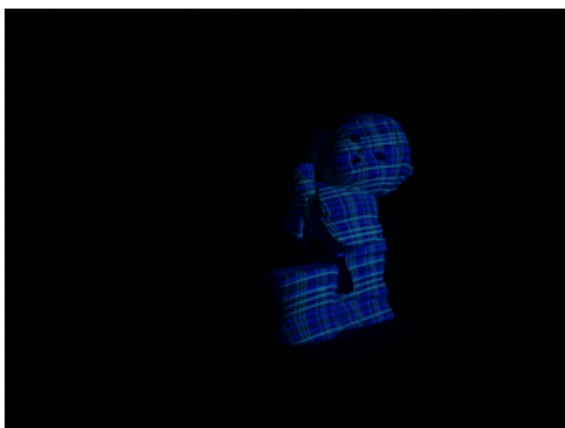


図 2-1-2-8 入力画像

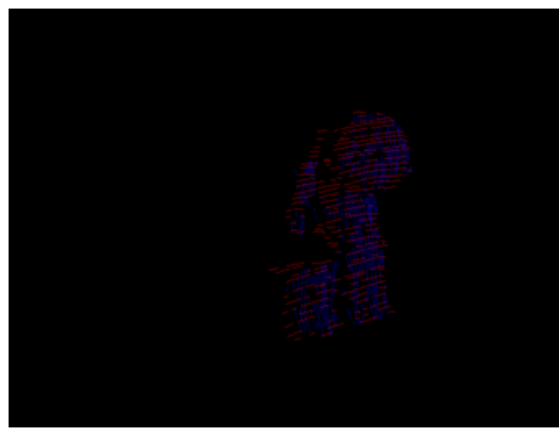


図 2-1-2-9 ライン検出結果

参考文献

コンピュータビジョン最先端ガイド1 アドコムメディア(株)
デジタル画像処理 CG-ARTS 協会

(2) 高速抽出処理システムの開発

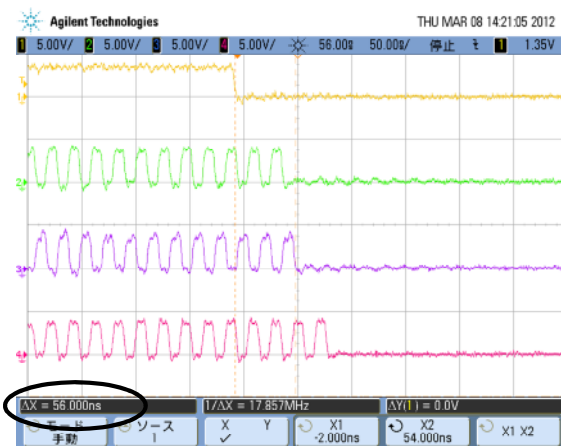
3D スキャンニングでは、まず、計測のベースとなるライン光の位置を求めることが重要である。そのための前処理として、画像の明度の変化を調べる微分フィルタ処理が必要となる。本項では、プレ画像処理として、微分フィルタを FPGA に実装し、処理時間の削減について検討した。

使用したオペレータは、注目画素を中心とした 3×3 画素を取り出し、それぞれに係数を乗じて合計を採る比較的簡単な処理であるが、その係数の取り方によりさまざまなフィルタとなることから、画像処理では前処理として多用されている。

本開発では、係数をコンパイル時に与えることで、さまざまな画像フィルタとして利用できる汎用性の高いハードウェア画像フィルタ回路とした。開発したフィルタ回路は、異なった処理を自由に組み合わせて使用できるなど、プレ画像処理において有用な処理回路である。

・ 処理時間

実際に FPGA 上に実装して、処理した結果を図 2-1-2-10 に示す。



(a) 処理時間計測結果1



(b) 処理時間計測結果2

図 2-1-2-10 入力画像処理時間の計測結果

FPGA の動作クロックは 96MHz、イメージセンサモジュールの動作クロックはその半分の 48MHz で試験を行った。図 2-1-2-10 ではオシロスコープにより、画像中の最後の画素の処理の出力の遅れが示されており、

最上段：イメージセンサモジュールから FPGA に入力された画素の有効信号

2 番目：入力された画素データの取り込み後の出力信号

3 番目：現像処理後の出力信号

4 番目：微分フィルタによる処理後の出力信号

を示している。なお、2 番目以降の信号では、1 つの'H'パルスが 1 つの画素の出力を示している。

又、ラインごとの処理時間を 1 万回サンプルした測定結果が以下となる。

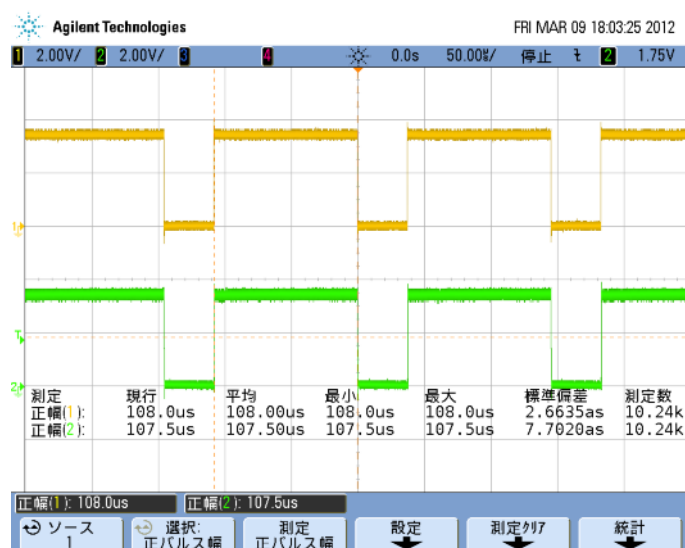


図 2-1-2-1 1 FPGA によるラインごとの処理時間を 1 万回サンプルした測定結果

処理時間のばらつきが 1μ 以下と一定時間で処理を行えているのがわかる。この結果から、現像処理に関しては、イメージセンサモジュールが画素データを出力してから 56nsec (FPGA の動作クロック数で 5 クロック程度)、微分フィルタの処理に関しては 85nsec (FPGA の動作クロック数で 8 クロック程度) と、FPGA 処理による遅延はほとんど無視できる値であり、非常に高速な処理が実現できていることがわかる。

FPGA で実装した処理と、同様の処理を CPU のみで行った場合の時間をグラフにしたものが以下となる。

- ・イメージセンサモジュール動作クロック：48MHz
- ・イメージセンサモジュール出力画像サイズ：800x600pixel

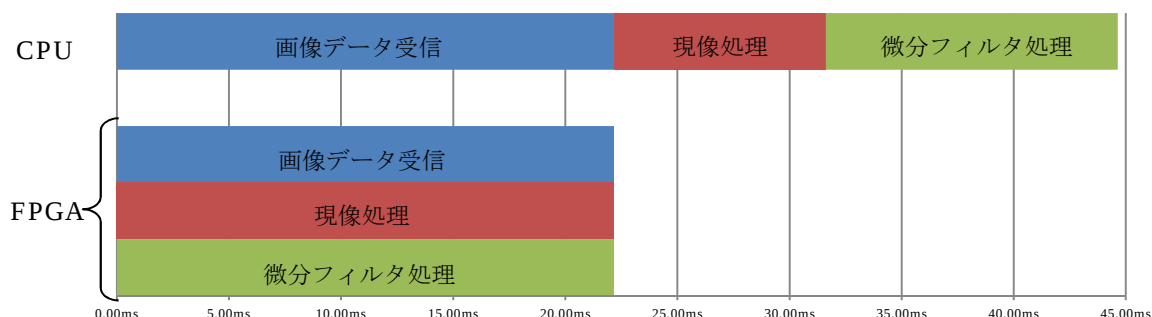


図 2-1-2-1 2 FPGA と CPU の処理時間の比較

処理時間単独で見ると FPGA での現像処理、微分フィルタ処理は CPU による処理時間より長くかかっているが、FPGA の全体の処理は画像データ受信完了後、現像処理 56nsec、微分フィルタ処理 85nsec で終了しているため、非常に高速な処理システムを実現できていることがわかる。

しかし、抽出処理は上記以外にグラフカット、線分抽出、交点抽出処理までを行う必要があるが本開発期間で FPGA に実装できたのは、現像処理、微分フィルタ処理までである。そのため本

抽出処理システムを適用した処理全体の時間は以下になる。

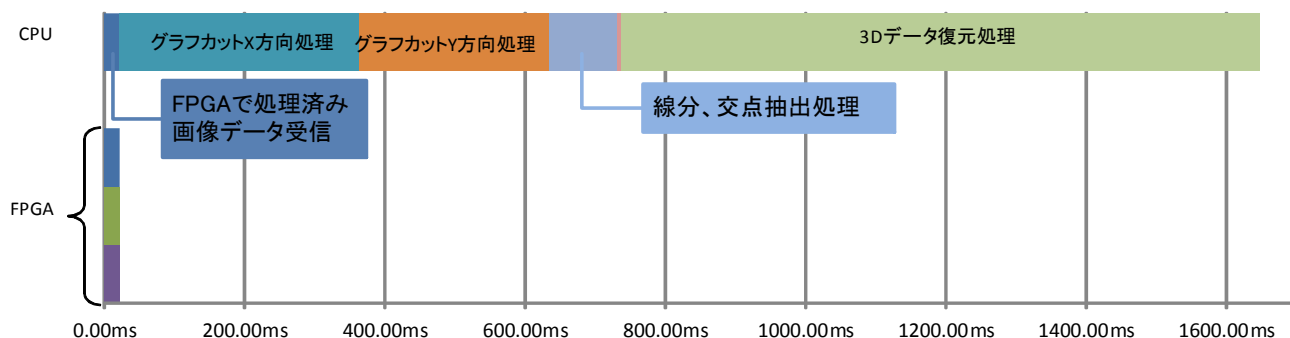


図 2-1-2-13 全体の処理時間のグラフ

グラフカット X 方向、グラフカット Y 方向、線分、交点抽出などが 715.43ms、3D データ復元処理が 910.37ms の合計 1.65 秒となり目標である 1 秒以下を満たすものとはなっていない。

グラフカット X 方向、グラフカット Y 方向、線分、交点抽出処理は FPGA に実装した微分フィルタ処理同様、画像データ受信処理とそれぞれ並行して行える処理であるため、FPGA へ実装することでデータ受信と並行に処理を行わせる事で処理時間を短縮させる目処が立っているため、今後、開発を進めて行き FPGA へグラフカット処理、線分、交点抽出処理をデータ受信処理と並行に行えるよう実装し処理の高速化を行う。

3D データ復元処理は現状、910.37ms と全体の処理時間から見ると非常に時間のかかる処理となっている。これについては本開発期間で処理の高速化の検討を行えていない。これについても本開発で行った抽出処理システムと同様に、FPGA との並行処理による高速化をマルチコア CPU の使用とあわせて検討し開発を進めていく。

2-1-3 成果

目標	撮影開始からデータ処理完了まで 1 秒以内
成果	撮影開始からデータ処理完了まで 1.65 秒を達成
目標達成度	1/1.65=61%達成(目標未達)

2-2 研究サブテーマ②

抽出されたライン光反射画像と実画像(2D 画像)の位置合わせ精度向上開発

2-2-1 実施内容および実施担当

実施内容	位置分解能に関する目標をクリアするためには、照射光の縞模様を細かく、シャープにすることに加えて、データ処理（計算）された 3D データとテクスチャ（2D 画像）の位置ずれを小さくする必要がある。また、データの分解能の向上により 3D データの再現性が劣化することから、3D データ復元の安定化開発も同時に行う。 （１）照射光の縞模様を細かく、シャープにする 分解能は照射光の縞模様の間隔よりは良くなることから、300 本以上の縞を視野内に照射する必要がある。できるだけ低コストに固定パネルを形成するために、OHP シートによるパネル、アナログカメラフィルムによるパネルにより 300 本以上のシャープな縞模様が得られることを確認し、より最適な方式を採用する。 （２）3D データとテクスチャの位置ずれ向上検討 プレ処理時に特定のライン光と実画像の位置関係情報をキャリブレーションすることにより、テクスチャマッピング時の位置合わせ精度の向上を図るアイデアを検証する。テクスチャマッピングについては、既存技術を調査の上、最新手法を設計に反映させる。 （３）3D データ復元の安定化開発 照射ライン光の色の違いや組み合わせによる復元安定化を検討する。照射ライン光の色（波長）について 4 波長以上を検討し、復元性の最適化を図る。 （４）取得される 3D データの分解能評価 上記の検討を行った結果、得られた 3D データの分解能評価を行う。
実施担当	（１）照射光の縞模様を細かく、シャープにする： ノア （２）3D データとテクスチャの位置ずれ向上検討： ノア、鹿児島大学 （３）3D データ復元の安定化開発： ノア、鹿児島大学 （４）取得される 3D データの分解能評価： ノア

2-2-2 個別項目の結果

(1)照射光の縞模様を細かく、シャープにする

照射光の縞模様を細かくしたとしても、撮影対象が Z 方向（深度方向）にある程度の大きさを有する場合、ピントのずれによりライン光がにじみ、撮影画像上で認識しにくくなる。対象物の大きさにより、はっきり写る部分と、そうでない部分が出てきて、安定した復元ができなくなる。また、照射するライン光が密になると、隣り合ったものが一体化してしまい、判別しにくくなる。（(図 2-2-2-1～4)

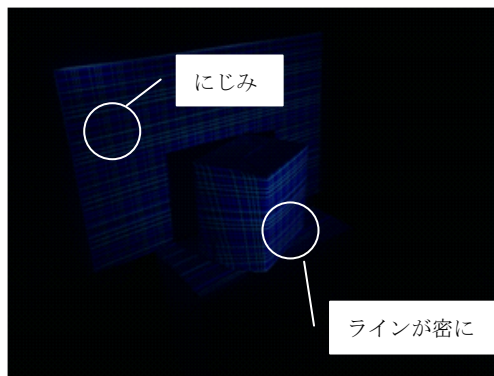


図 2-2-2-1 撮影画像

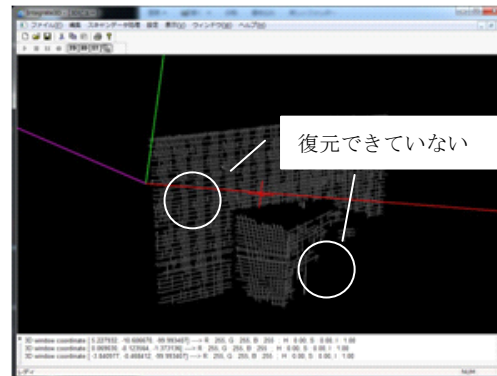


図 2-2-2-2 復元結果

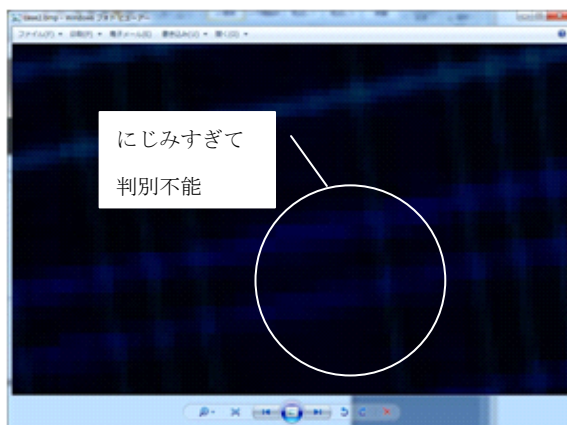


図 2-2-2-3 にじみ部分の拡大

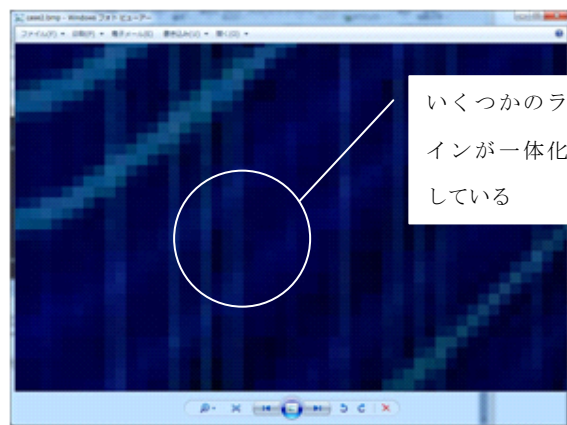


図 2-2-2-4 ライン密部分の拡大

このような問題をふまえて、焦点深度が深く、より細いライン光を投影できる光源が必要であることが認識された。しかし、焦点深度の深さと分解能は一般的にはトレードオフの関係となるため、最適化設計が必要になる。また、高分解を有する投影レンズは、性能に比例して高価になるため、投影レンズの設計時には、焦点深度、分解能、コストを考慮して行うことが必要となった。ここで得られた認識は、サブテーマ⑥における、光源開発の投影レンズの検討に反映されている。(本課題の解決に際しては、最終的には特許出願を行っている)

(2) 3D データとテクスチャの位置ずれ向上検討

3D データとテクスチャ用画像において、その両者の相対位置が誤って認識されると、合成時にテクスチャの貼り付け位置がずれてしまう。今回の設定では、1 秒間（サブテーマ①で設定している撮影時間）撮影対象物（者）に静止してもらう前提でいるため、3D データ撮影とテクスチャ撮影に画像上のずれは生じないことになる。従って、3D データ撮影時に得られた画像とテクスチャ画像を重ね合わせるにより、取得された 3D データとテクスチャ画像を一致させることはできる。従って、高度なテクスチャマッピング技術を用いることなく、3D データとテクスチャ画像のずれを解消することができることが判明したことから、本項目の検討要素が無くなり、検討を中断することとした。

(3) 3D データ復元の安定化開発

安定した復元を行うためには、解析画像から縦横の各ライン光を正確に抽出する必要がある。サブテーマ①－（１）で示したように縦横それぞれでスキャンを行っていく際に、輝度の変化に着目するだけでは、交点付近ではライン光が分断されてしまうことが多い。交点付近で分断されてしまうと、復元に必要な交点情報が得られなくなり、それらを元に行う復元処理を行う際に問題となるため、接続された形で抽出できるようにする必要がある。

そこで、分断されたライン光を本来の１つの線分として認識するため、グラフカットを利用することとした。先の述べたように、グラフカットを適用することにより、画像に対してのノイズ除去や領域分割など様々な効果を得ることができる。また、様々な理由で分割された２つの領域を再び結合することも可能である。

このことを利用して、画像上の輝度変化を増加・変化無・減少３つに分類し、それをもとに作成したデータに対してグラフカットを適用することとした。

データ項、平滑化項のパラメータの設定（データ項の影響が強くなるパラメータ設定、平滑化項の影響が強くなるパラメータ設定、最適なバランスの設定）による挙動の変化の違いを確認するために、実験を行った。その結果を、図２－２－２－５～８に示す。

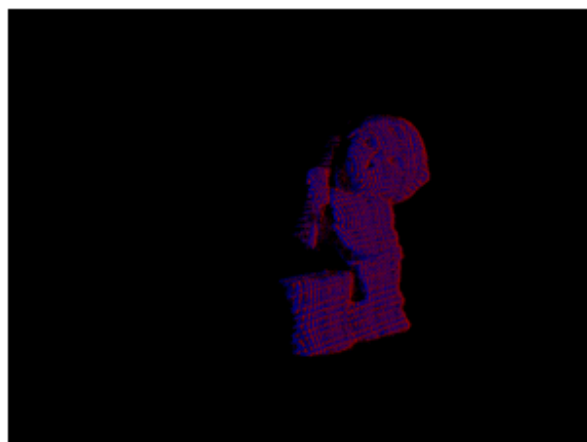


図２－２－２－５ 入力画像

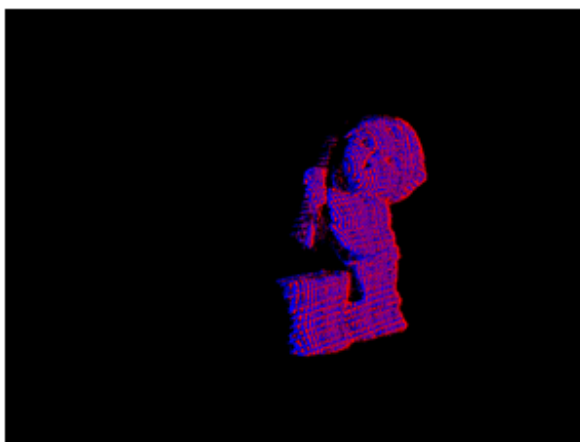


図２－２－２－６ 最適バランス

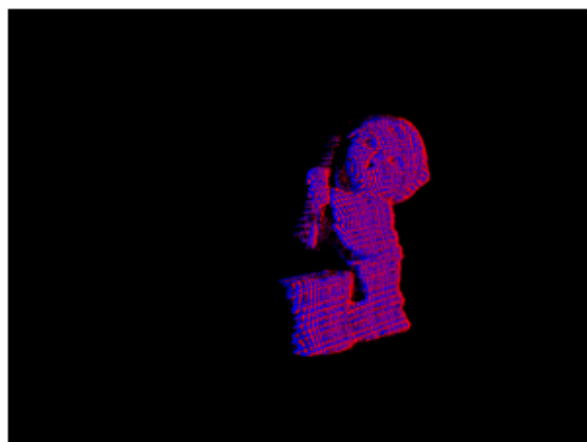


図２－２－２－７ データ項の影響強

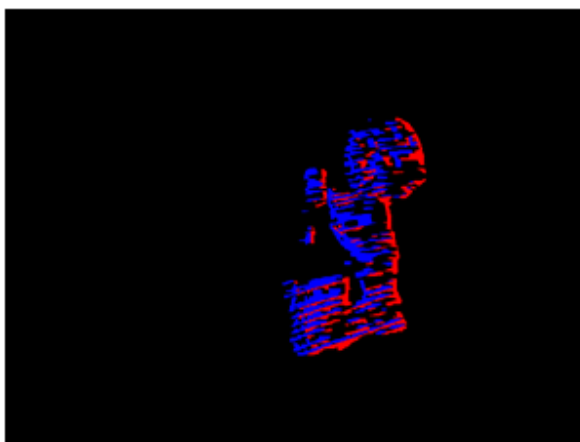


図２－２－２－８ 平滑化項の影響強

データ項の影響が強くなると、入力画像とほぼ同じになり、平滑化項の影響が強くなると、周

りの影響にかなり左右され、最もこの影響が強くなった時、1色で塗りつぶされた画像になってしまう。

入力画像を図2-2-2-9に、横ラインの検出結果を図2-2-2-10に示す。検出結果から、良好にライン光が検出されたことが分かる。このような良好なライン検出により、3Dデータ復元の安定化が実現される。

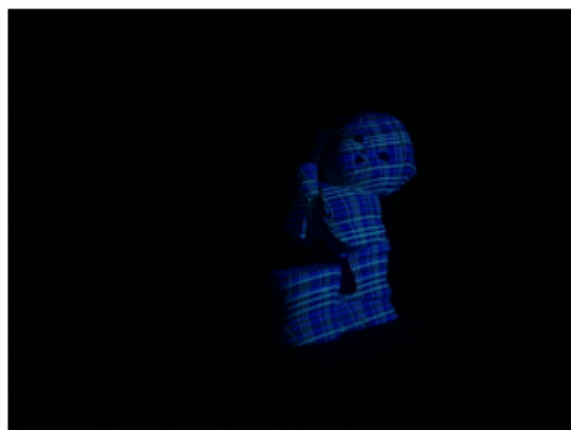


図2-2-2-9 入力画像



図2-2-2-10 横ライン検出結果

参考文献

コンピュータビジョン最先端ガイド1 アドコムメディア(株)

(3)取得される3Dデータの分解能評価

150×150mm、段差が0.5mmおよび1mmの測定対象物(下図)について、3D復元を行った。

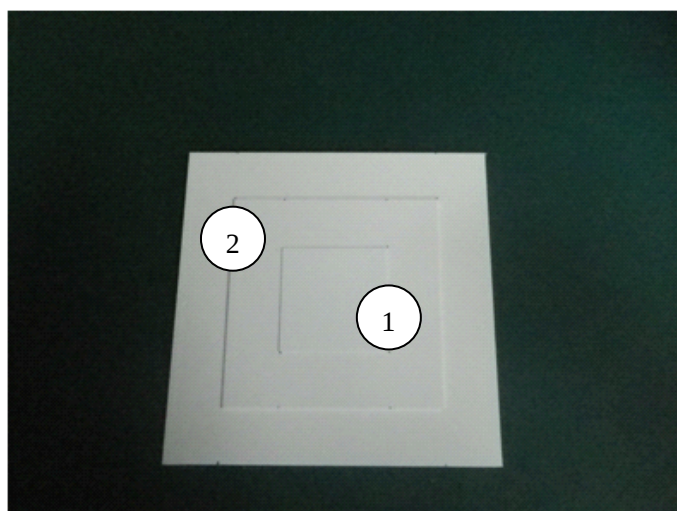


図2-2-2-11 測定対象物

各位置での段差は次の通り

- ① 0.5mm (内側の段差)
- ② 1mm (外側の段差)

撮影画像と復元結果は次の通り。

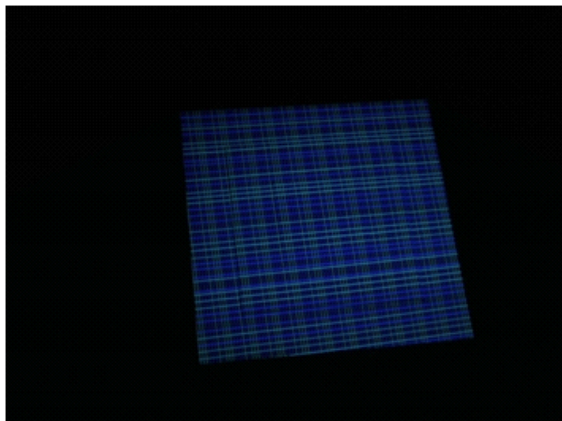


図 2-2-2-1-2 ライン光照射像

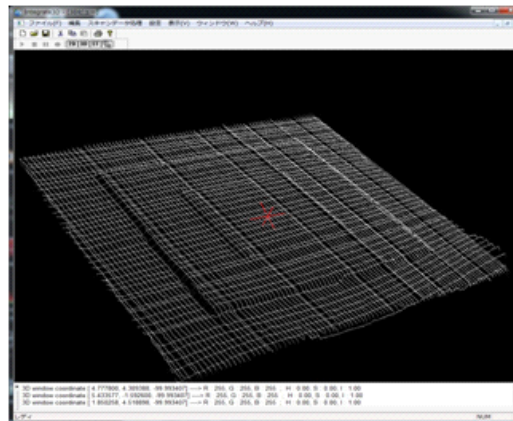


図 2-2-2-1-3 復元結果

0.5mm の内側の段差も復元結果で認識されているのがわかる。従って、 $0.5\text{mm}/150\text{mm}=1/300$ の分解能が実現されていることが確認された。

2-2-3 成果

目標	位置分解能 1/300 以下
成果	分解能 $0.5\text{mm}/150\text{mm}=1/300$ を達成
目標達成度	100%達成

2-3 研究サブテーマ③

異なる角度から撮影したライン照射光 OFF 時の画像の統合の高速化

2-3-1 実施内容および実施担当

実施内容	360 度スキャン画像を得るためには、測定対象物をあらゆる方向から撮像する必要があり、複数枚の画像を統合する技術が必要とされる。 今回検討する画像統合の手法は、特徴点を利用する方法を採用する。 1 枚の 3D 画像を取得する際に、ライン光照射画像とライン光 OFF 画像を 2 枚撮影し、OFF 画像の特徴点を基準として画像照合し、位置合わせを行うシステムを開発する。ワンショット特有の高速スキャンが可能となることから、時系列の画像間の角度ずれは小さい。この特性を利用して、特徴点の微小なずれを高速に照合する技術開発を行う。開発要素は、「特徴点の抽出方法の検討」および「画像枚数と処理速度のトレードオフ関係の最適化」が挙げられる。 (1) 特徴点の抽出方法の検討 特徴点抽出方法に関して、色、形、明るさの 3 つのパラメータうち最も広く適用可能なパラメータを検討する。 (2) 画像処理速度の検証 単位時間のショット数（画像枚数）が増えると視点の限定を高確率で行えるため取り直しが減る一方で、画像処理に時間がかかることから、目標の統合処理時間を考慮した上で、最適化を検討する。
実施担当	(1) 特徴点の抽出方法の検討： 鹿児島大学 (2) 画像処理速度の検証： 鹿児島大学、ノア

2-3-2 個別項目の結果

(1)特徴点の抽出方法の検討

複数の形状から元の形状を復元するために、進化計算の一種である、差分進化アルゴリズム [1]と、差分進化と Trimmed 評価を組み合わせた位置あわせ手法 [2]を実装する。また、使用のために必要な、「パラメータ設定用のユーザインタフェース」の開発もあわせて行った。なお、それぞれのプログラムの開発は外注した。

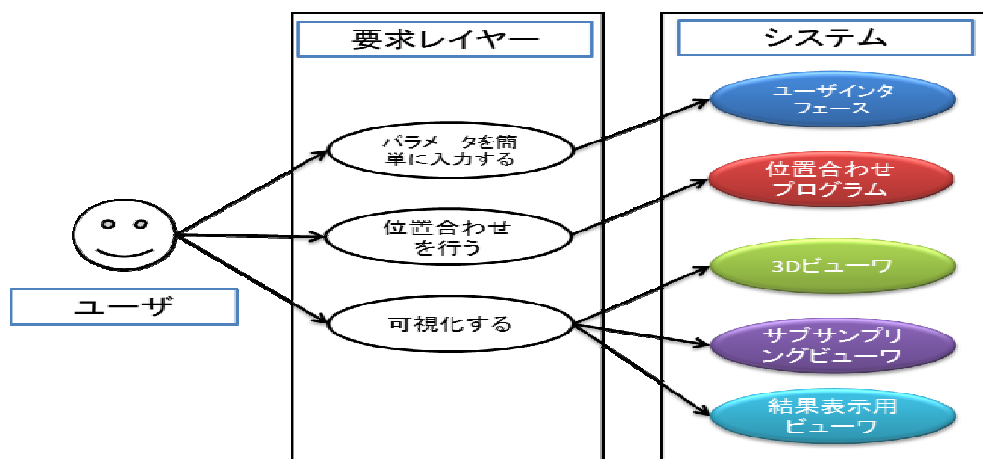


図 2-3-2 ユースケース

本システムのパッケージ図（モジュール図）、およびインターフェイスを以下に示す。

色が付いているのが今回実装したモジュールである。それぞれのモジュールは独立して動作することができるため、インタフェースを切って、CUIで位置合わせ用プログラムのみ動作させることができる。これは、複数台の計算機でまとめて処理させる場合に、非常に有効である。また、位置合わせプログラムが動いている間に、3Dビューワでモデルを見ることがきる。

参考文献

1. StornPrice,KR. Differential evolution - a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. : Journal of Global Optimization, 1997.
2. Evgeny LomonosovChetverikov, Aniko EkartDmitry. Pre-registration of arbitrarily oriented 3D surface using a genetic algorithm.: Pattern Recognition Letters, Photorealistic Models 21 Special Issue on Evolutionary Computer Vision and Image Understanding, 2006.

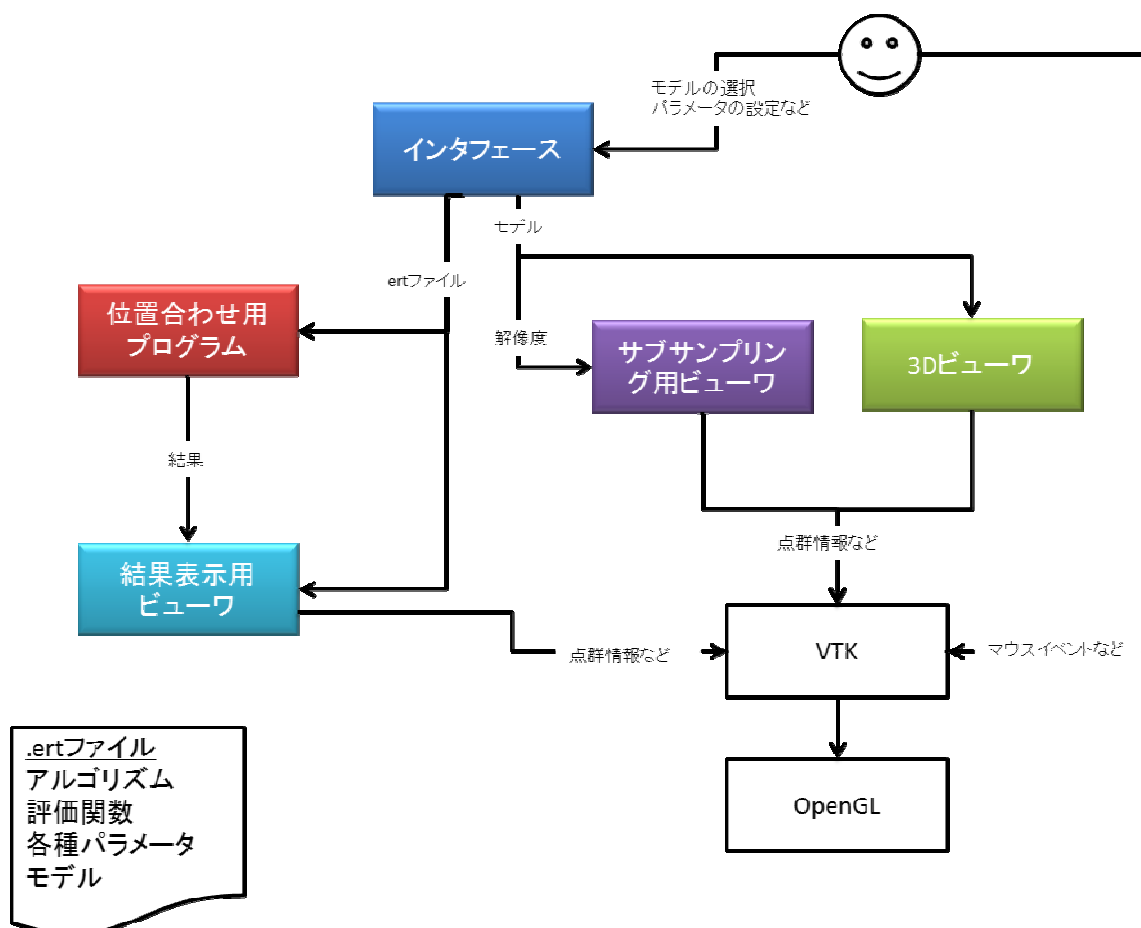


図 2 - 3 - 2 - 1 本システムのパッケージ図

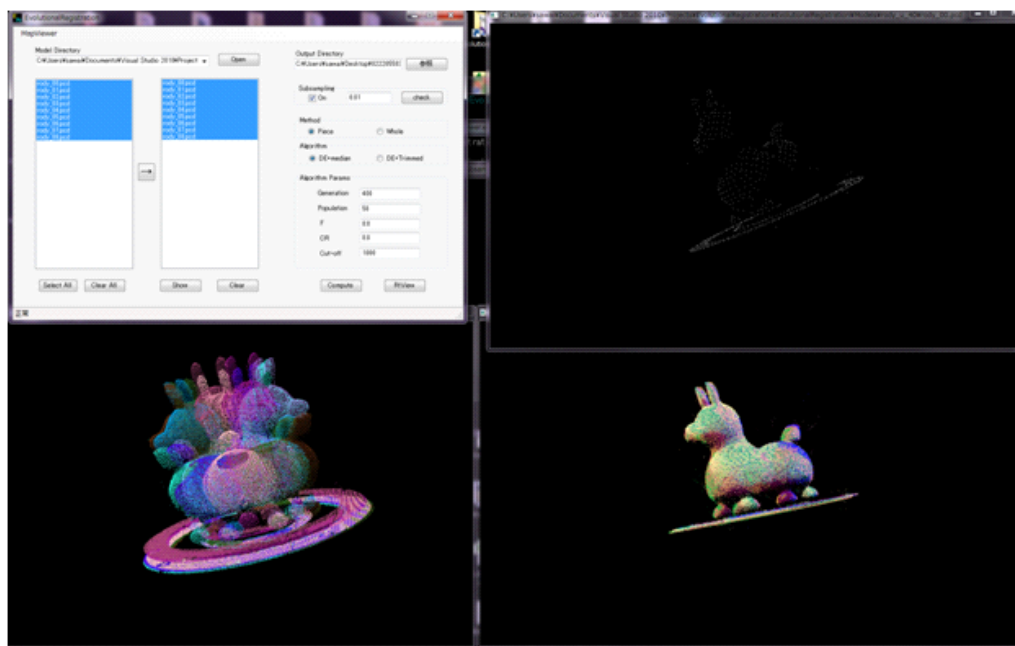


図 2-3-2-2 インターフェイスの全体像

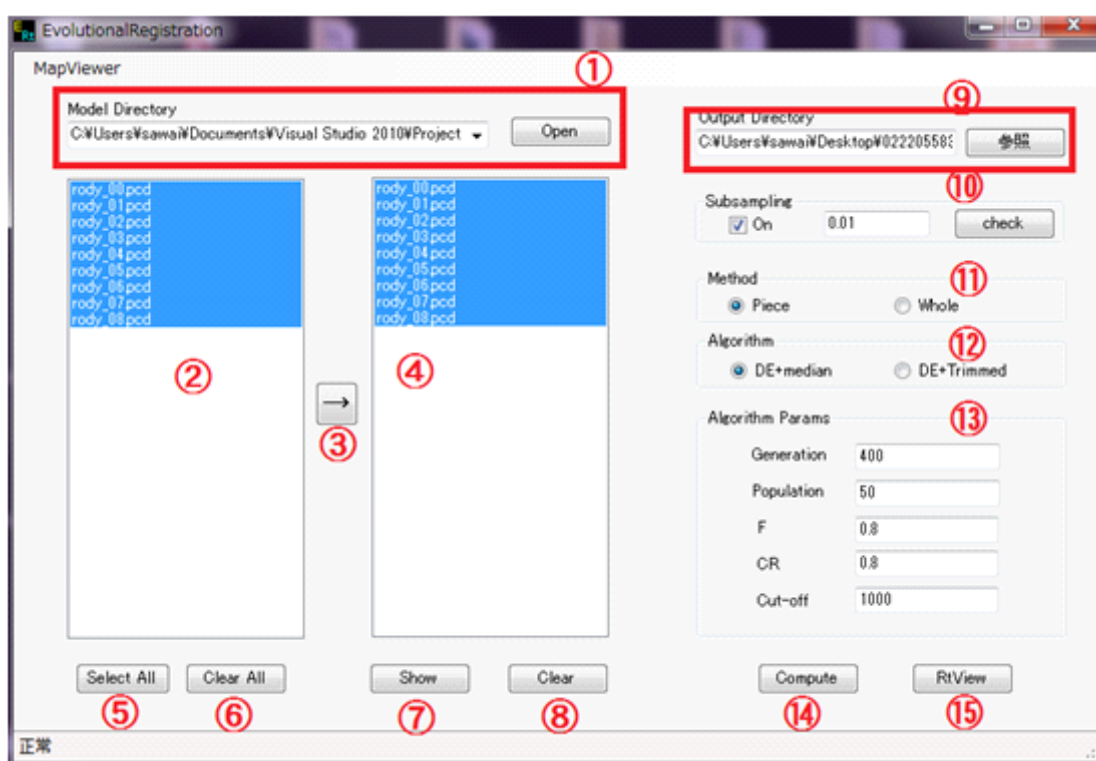


図 2-3-2-3 操作用インターフェイス

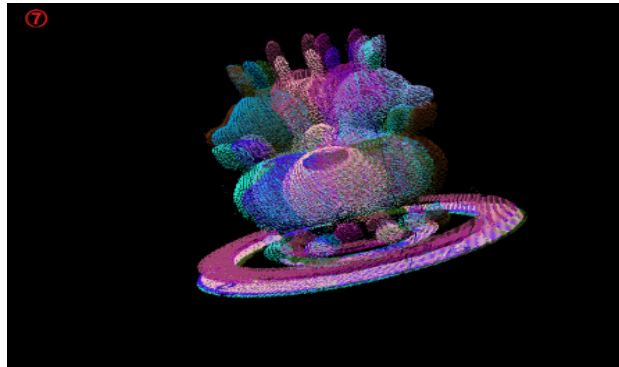
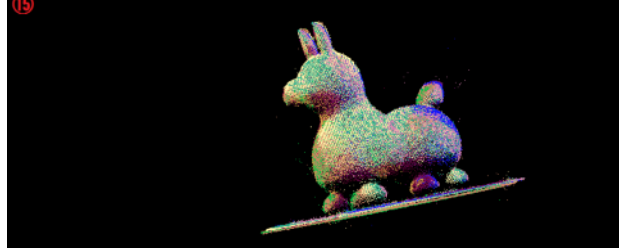
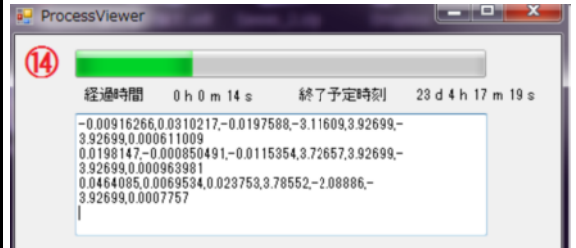
	
初期値確認用ビューワ	サブサンプリング確認用ビューワ
	
結果表示用ビューワ	進捗状況確認ウィンドウ

図 2-3-2-4 可視化用インターフェイス

次に、シミュレーションデータより、位置合わせを行った結果を以下の図 2-3-2-5 に示す。開発成果により、事前情報の無い複数の計測データ（左）から、位置あわせされた結果（右）を得ることが出来た。

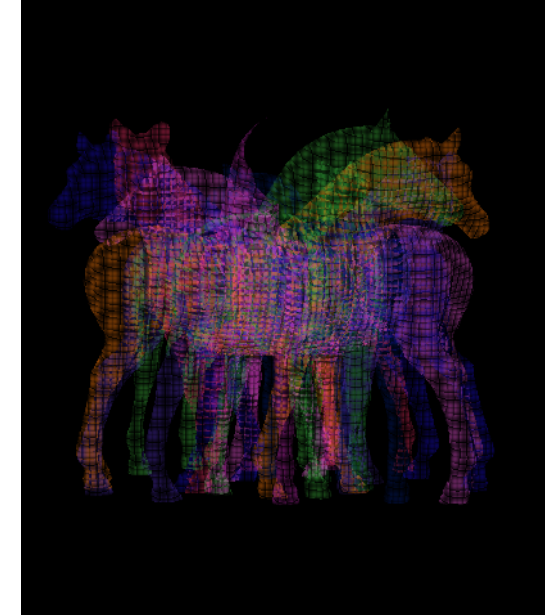
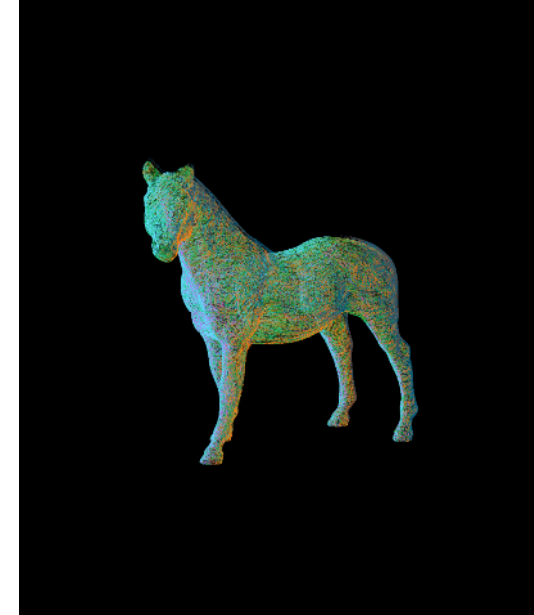
	
(入力) ホース	(出力) ホース

図 2-3-2-5 シミュレーションデータ

(2)画像処理速度の検証

人の手に対応する測定モデルを作成し、3Dデータの取得および画像の合成を行った。撮影対象物画像を図2-3-2-6に示す。他方向からの撮影により得られた3Dデータを図2-3-2-7に示す。これら9個のデータを用いて合成を行った。

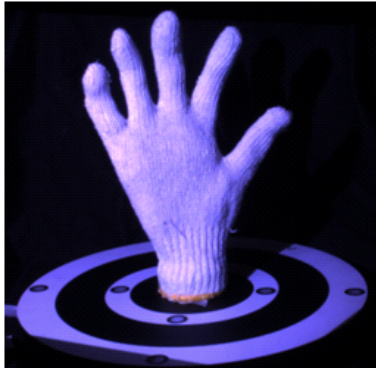


図2-3-2-6 撮影対象物画像



図2-3-2-7 3Dデータ

画像合成を行った結果を図 2-3-2-8 に示す。欠損点なく 360° 像が再現していることが分かる。

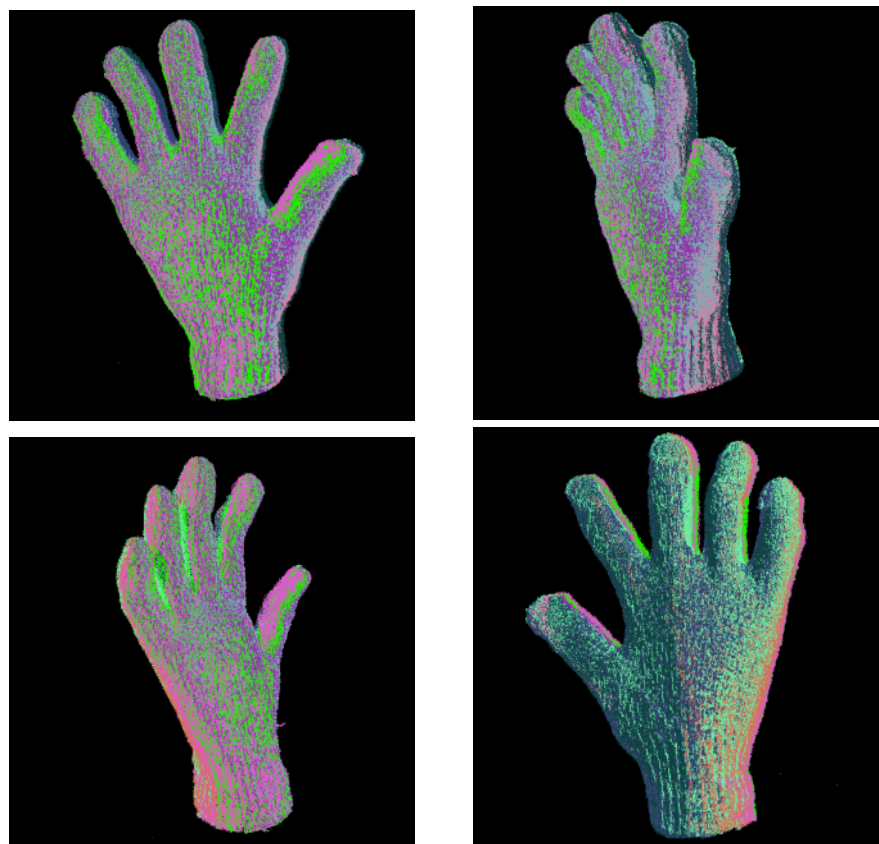


図 2-3-2-8 3D 統合データ

また、位置合わせの処理に要する時間の測定を 10 回行い、平均時間を算出したところ、69 秒となった。

	時間(s)		時間(s)		時間(s)		時間(s)		時間(s)
実験 1	73	実験 2	69	実験 3	70	実験 4	69	実験 5	68
実験 6	70	実験 7	66	実験 8	66	実験 9	68	実験 10	70

(使用した PC の主な仕様 : OS; Windows7 64bit、CPU; Intel(R) Xeon(R) CPU E5607 @2.27GHz 2.26GHz (2 プロセッサ)、メモリ; 32.0GB)

2-3-3 成果

目標	人間の手を 360 度スキャンした場合の画像統合に要する時間 3 分以内
成果	人間の手を 360 度スキャンした場合の画像統合に要する時間 69 秒を達成
目標達成度	100%達成

2-4 研究サブテーマ④

3D データアプリケーションシステム開発

2-4-1 実施内容および実施担当

実施内容	3D データの形状照合などを行うためには、背景と分離することにより、測定対象物形状として認識出来るようにしなければならない。既存技術としての2D 画像での形状認識手法を応用し、さらに 3D データ特有の奥行き情報を利用することにより 3D データの形状認識（背景との分離）方法の検討を行い、長さ測定、形状照合、比較を行えるアプリケーションプログラムを実現する。
実施担当	ノア

2-4-2 個別項目の結果

当初の開発目標に掲げていた 3D データの表示関連機能、長さ測定、形状照合、比較の機能に加え、ユーザ候補者へのヒアリングの結果から、断面表示、オブジェクトの結合に関しても検討を行った。これらのアプリケーションを実現するための、課題と実施作業工程について、下記表 2-4-2-1 にまとめた。

表 2-4-2-1 アプリケーション実現のための課題とその作業工程

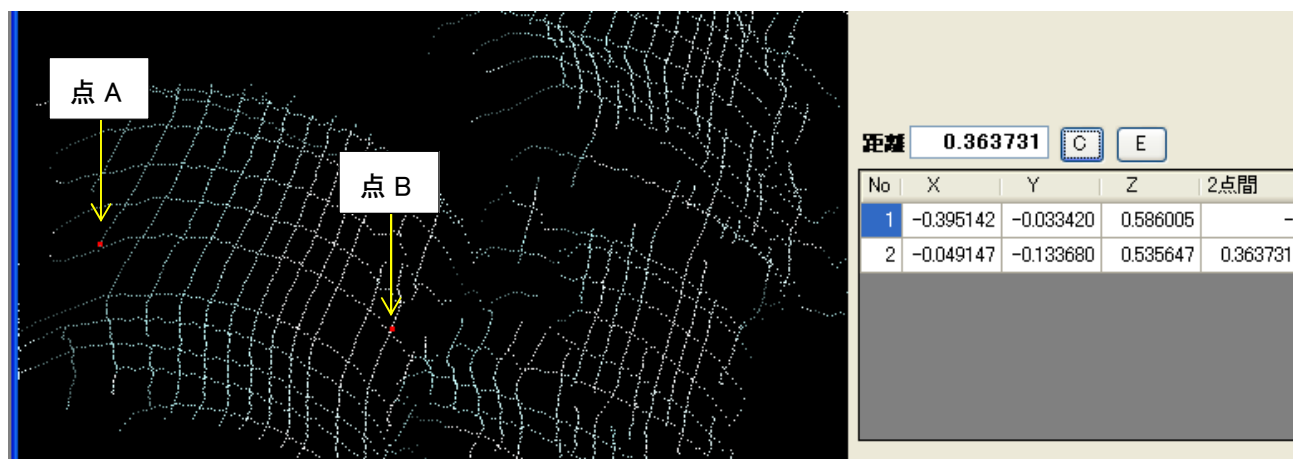
課題	工程
3D モデル生成機能の実現	本体部データの活用手段の検討
	3D モデル生成に必要な情報の定義
3D モデル描画機能の実現	OpenGL における 3D モデリングの概要を把握する
	視体積を設定する
	ビューポート変換を行う
	複数モデルを扱うための視体積を確保する
	アプリケーションフレームワークを決定する
	描画ルーチンを作成する
描画切替機能の実現	描画の基本形状を決定する。
	描画状態を切り替える
3D モデルの回転機能の実現	回転の実現方法を決定する
	3D モデルを 360 度回転表示する
	回転方向をユーザー任意とする
	ジンバルロック現象への対応
	クォータニオンによる回転の実装
	複数のモデルの個別回転に対応する
3D モデル選択機能の実現	OpenGL における選択処理について把握する
	選択処理の実装
	常にもっとも手前のモデルを選択する

3D モデル移動機能の実現	実装方法を検討する
	移動処理の実装
	移動方向の切替処理
3Dモデル表面の凹凸を陰影で表現	OpenGL での陰影表現方法を把握する
	法線情報を生成する
	陰影表現（ライティング）の実装
	データ構造体への追加
3D モデルにテクスチャを表示	OpenGL におけるテクスチャ表示方法を把握する
	テストデータの生成
	テクスチャ表示処理の実装
	本体部出力データを使った表示確認
	実機でのテクスチャ非表示問題への対応
3Dモデルを拡大/縮小して表示	拡大/縮小の実現方法を検討する
	拡大縮小処理の実装
3Dモデル計測機能の実現	計測処理の実現方法を検討する
	ウィンドウ上で計測したいポイントを指定する
	2点間の距離を計測する
	多点間の位置を計測する
	計測結果の表示
3D モデル呼出機能の実現	本体出力データをアプリケーション画面に呼び出す方法を検討する
	ディレクトリ構造とファイル名の決定
	単体モデルデータを指定する仕組みを検討する
	指定された単体モデルデータをアプリケーション画面に呼び出す
作業環境管理機能の実現	作業環境管理方法を検討する
	ディレクトリを決定する
	ファイル出力するデータを決定する
	作業環境保存機能を実装する
	作業環境復元機能を実装する
3D モデル比較機能の実現	3D モデルの形状比較の方法を検討する
	頂点の分布状況を取得する
	特徴点グラフ作成処理を実装する
	類似率計算処理を実装する
3D モデル結合機能の実現	3D モデルの結合の方法を検討する
	空間全体を操作対象として結合を実現する
	任意のモデルをグループ化して結合を実現する
	結合機能の課題とビューワ機能

3Dモデル断面表示機能の実現	3Dモデルの断面表示の実現方法を検討する
	断面表示機能を実現する
3Dモデル照合機能の実現	3Dモデル照合方法を検討する
	3Dモデル照合機能を実装する

また、代表的な機能として、長さ測定、形状比較、断面表示、形状照合の機能について、実現結果を下記図で示した。

例) 点 A と点 B の直線距離



例 2) 点 A から点 B に至る累計距離

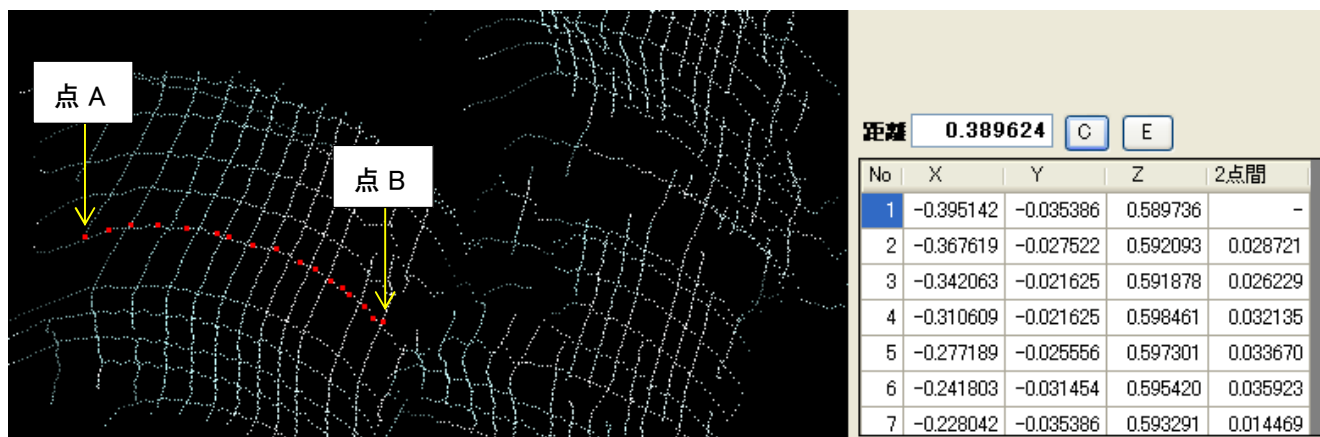
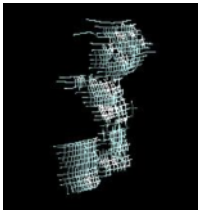
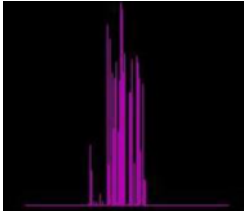
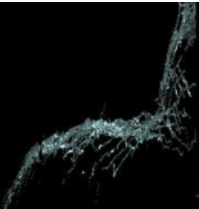
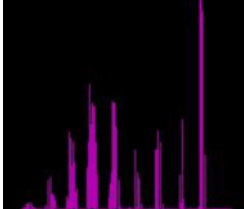
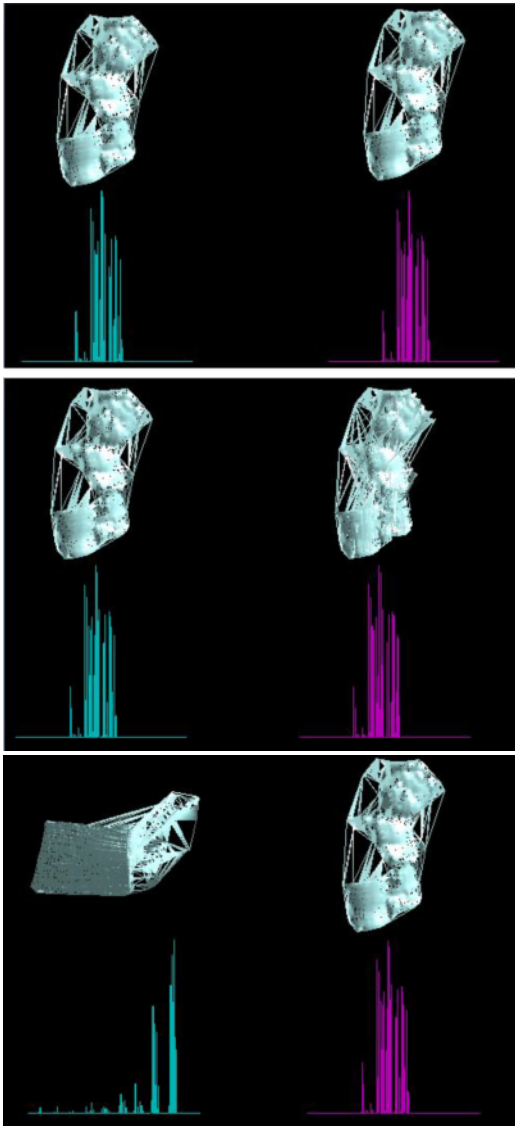


図 2-4-2-1 長さ測定の実施例

特徴点グラフの例	3Dモデル(点描画)	特徴点グラフ	備考
			グラフデータが中央部分のみに密集し、山型に突出している。輪郭のはっきりしたモデルが正規化空間中央部に存在するときの特徴である。
			グラフデータの推移に一定のパターンが見られるのは、正規化空間の一部にデータが偏在している場合の特徴である。数のばらつきから点の散開が予測できる。



A 同一モデルを比較した場合
類似率：100%

B 同一モデルから一部の頂点データを削除して比較した場合
類似率：99.7%

C まったく形状の異なるモデルを比較した場合
類似率：8.3%

図2-4-2-2 形状比較の実施例

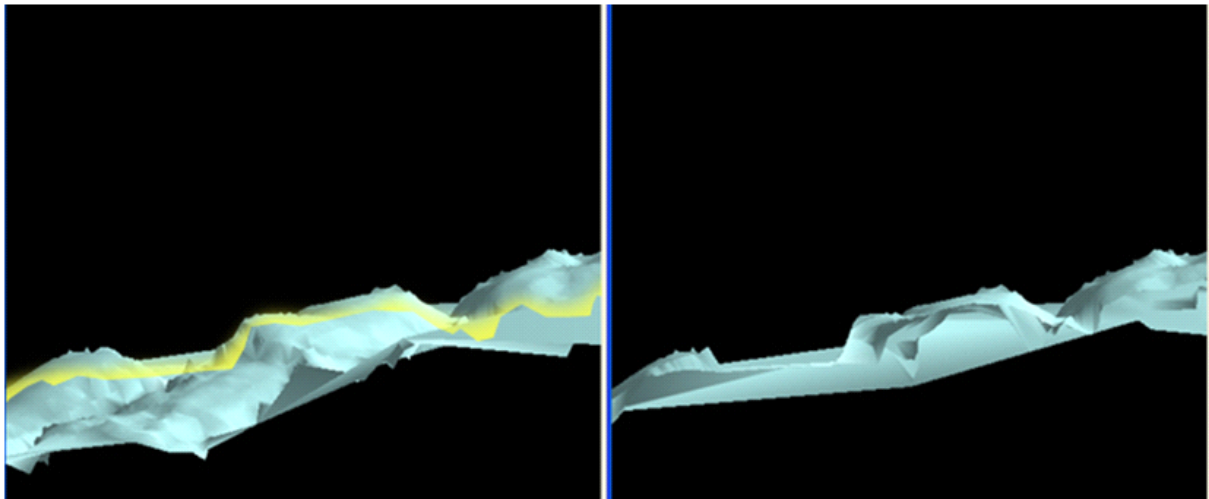


図 2－4－2－3 断面表示の実施例（黄色で記したライン位置でモデルの断面を表示）

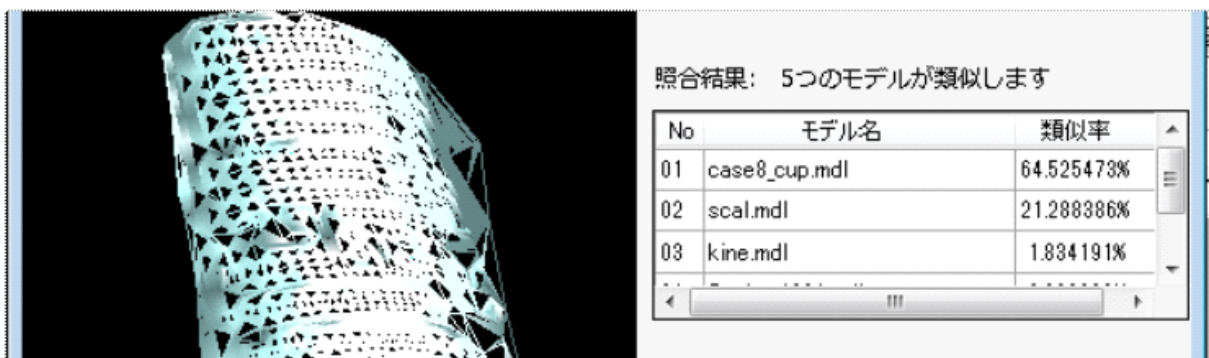


図 2－4－2－4 形状照合の実施例（グリッドには類似率の高いモデルから順に表示）

2－4－3 成果

目標	長さ測定、形状照合、比較等、詳細かつ複雑な 3D データの解析可能な機能を付加する。
成果	長さ測定、形状照合、比較の機能に加え、断面表示、オブジェクトの結合の機能を有するアプリケーションを実現した。
目標達成度	100%達成

2-5 研究サブテーマ⑤

ミドルウェア開発

2-5-1 実施内容および実施担当

実施内容	ミドルウェアの仕様調査により得られた仕様に基づき、ライブラリ、プラグイン等追加モジュール形式の検討により、客先における3Dシステムの開発から導入までの期間を短縮し、既存のシステムへの組み込みを支援するミドルウェアを実現する。
実施担当	ノア

2-5-2 個別項目の結果

I. 全体構造

ユーザは、フォームアプリケーション上のパネルプロパティ・ボタンプロパティを介して3Dモデルに対して操作を行う。アプリケーションは3DscanSDKを呼出し、3DscanSDKは、操作内容に対応するクラスに処理を渡す。処理結果は3DscanSDKを経由してフォームアプリケーションに返される。

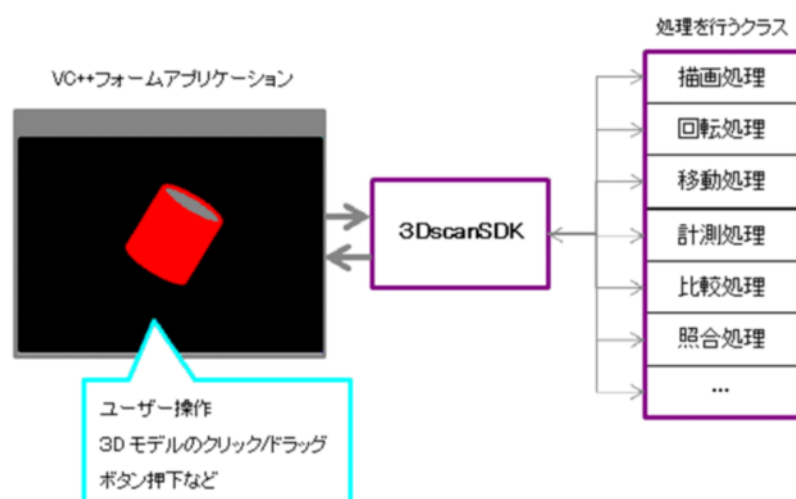


図2-5-2-1 システム概要

II. 3DscanSDK メソッド一覧

下記表2-5-2-1 参照。

III. 3DscanSDK 利用による効果

3DscanSDK メソッド一覧に示す通り、3Dモデルに対する各種の操作機能は、3DscanSDKに装備されている。そのため、フォームアプリケーション側で必要とされる処理は、ユーザーの指示を受け取る、処理結果を提示する、の2つのみである。今後、Web上で3Dモデルを扱うアプリケーションなど、新しい3Dモデリングアプリケーションを開発する際、3DscanSDKを用いることで大幅に工数の削減が可能である。

実際に、今回のアプリケーションにおいても、全体のソースコードに対して、フォームアプリケーション側の実装コードが占める割合は25%以下に収まっている。

表 2-5-2-1 3DscanSDK メソッド一覧

クラス名	メソッド名	処理内容
3DscanSDK	lightChange	光源（1方向/8方向）を切り替える
	modeChange	描画(点/線/面)を切り替える
	pickVertex	計測 ON-OFF を切り替える
	viewONOFF	ビューワモード ON-OFF を切り替える
	isCompareMode	比較機能を ON-OFF を切り替える
	zoomUp	描画空間を拡大する
	zoomDown	描画空間を縮小する
	getModelTotal	3D モデルの総数を取得する
	getSelectModelName	選択されている 3D モデルの名前を取得する
	GetPathToModels	単体モデルデータへのパスを取得する
Draw3D	render	3D 空間にモデルを描画する
	pickModels	3D モデルを選択する
	getDrawInfo	描画空間情報を取得する
	setMeasurePointsForDraw	着色描画する点の座標をセットする(計測機能用)
	getTexMaxSize	テクスチャメモリ最大サイズを取得する
	setLeftAngle	Y 軸方向モデル回転角を調整する
	setCutVolume	切出し位置を指定して断面を表示する
	controlCutVolume	切出し位置を調節する
	clearCutVolume	切出し位置をクリアして断面表示を終了する
Create3D	add3D	3D モデルを新規生成する
	delete3D	3D モデルを削除する
Rotate3D	motion	3D モデルの回転を行う
	finish	3D モデルの回転姿勢を更新する
	clear	3D モデルの回転をクリアする
	motionMove	3D モデルの移動を行う
	finishMove	3D モデルの位置情報を更新する
	motionWorld	空間全体の回転を行う
	finishRotateWorld	空間全体の回転姿勢を更新する
	motionMoveWorld	空間全体の移動を行う
	finishMoveWorld	空間全体の位置情報を更新する
	clearRotateAll	空間全体の回転/移動をクリアする
	motionCombine	グループの回転を行う
	finishRotateCombine	グループの回転姿勢を更新する
measure3d	measure	計測を行う
	getMeasureVector	計測情報をアプリケーション側に渡す
	resetMeasureVector	計測情報をクリアする

クラス名	メソッド名	処理内容
File	saveCommonData	全体データを保存する
	savePersonalDatas	単体モデルデータを保存する
	loadCommonData	全体データを読み込む
	loadPersonalDatas	単体モデルデータを読み込む
	loadFirst	起動時に表示するモデルを指定する（実機用）
	loadAnotherModel	ダイアログで選択された単体モデルを読み込む
	loadTextureBuffer	テクスチャ画像をテクスチャバッファに読み込む
	getModelName	モデル番号を取得する
	setModelName	モデル番号を更新する
	checkFile	設定ファイルを読み込む
	GetPathToProject	プロジェクトフォルダまでのパスを取得する
Compare3D	compare	3D モデル 1 対 1 の比較を行う
	makeCmpGraphModel	特徴点グラフデータを生成する
	culcPercent	モデルの類似率を計算する
	collation	3D モデル 1 対多の照合を行う
	collationResult	照合結果をアプリケーション側に渡す

2-5-3 成果

目標	ライブラリ、プラグイン等、追加モジュール形式とすることによる Web、PC アプリケーションへ容易な組み込み、および組み込んだモジュールの使用により 3D データを直接加工することなくワイヤーフレーム、ポリゴン等必要な形式での 3D 表示可能とするミドルウェアを実現する。
成果	サブテーマ④で検討したアプリケーション開発に際して、開発支援となるミドルウェアを実現した。
目標達成度	100%達成

2-6 研究サブテーマ⑥

パネルスイッチング方式の検討

2-6-1 実施内容および実施担当

実施内容	安価な部材構成を実現するためには、固定パネルの使用が不可欠となる。その策として、複数の固定パネルと複数の光源を利用する新システムがノア社で考案されている。具体的には下記の方法を検討し、特許出願を目指す。 ・色により識別する方法 ・光スイッチで切り換える方法 ・複数光源を用いる方法
実施担当	ノア

2-6-2 個別項目の結果

(1) 固定パネル光源の方式検討

当初実施予定として掲げた、色により識別する方法、光スイッチで切り換える方法、複数光源を用いる方法の3方式について、具体的な設計を行い、長所・短所を比較することにより、方式の決定のための検討を行った。

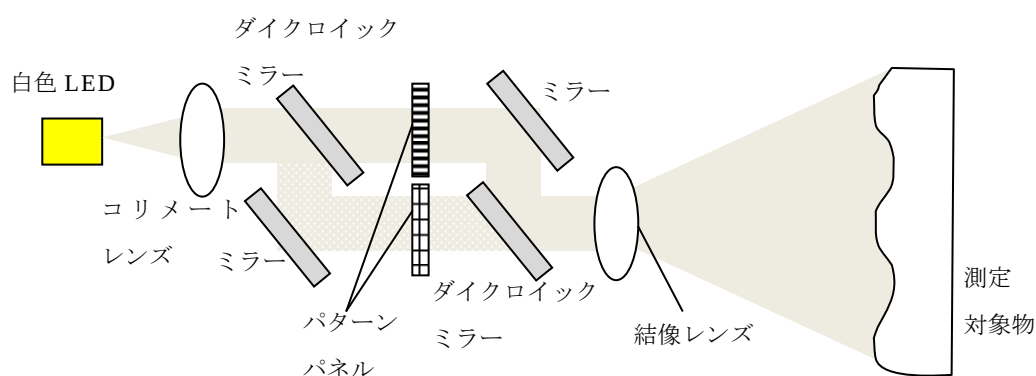


図2-6-2-1 色により識別する方法による構成図

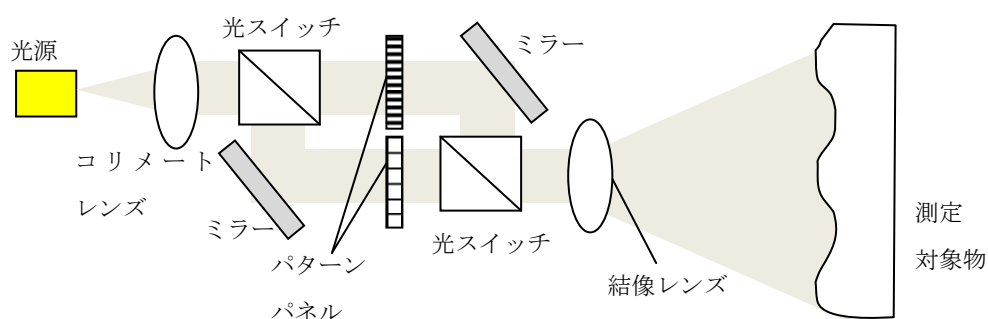


図2-6-2-2 光スイッチで切り換える方法による構成図

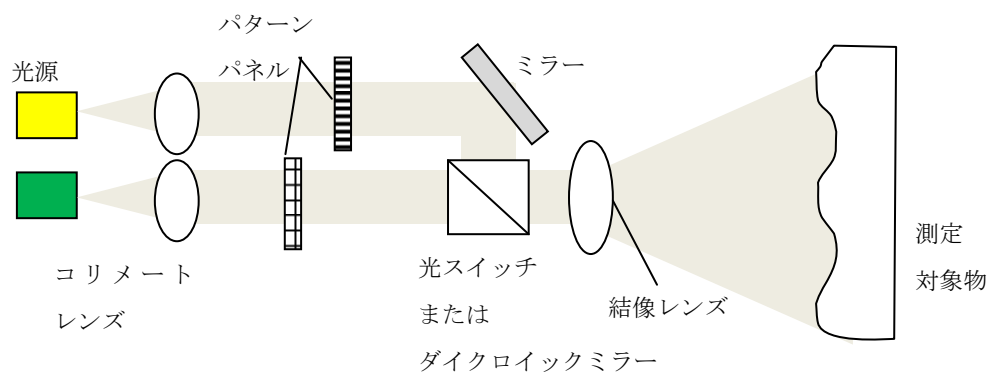


図 2-6-2-3 複数光源を用いる方法による構成図

表 2-6-2-1 検討項目

方式	想定される短所（検討項目）
色により識別する方法	検討項目 1：ダイクロイックミラーによる光量損失 検討項目 2：ダイクロイックミラーのコスト
光スイッチで切り換える方法	検討項目 3：光スイッチのコスト
複数光源を用いる方法	検討項目 4：光源のコスト

●検討項目 1: ダイクロイックミラーによる光量損失

下記の構成にてダイクロイックミラーによる光量損失の実測を行った。緑、赤の 2 色分離として、カットオフ波長 605nm のダイクロイックミラーを選択した。また、LED は下記の波長特性を有する暖色系の白色 LED を用いた。（ハイパスフィルタ透過後のスペクトルを提示）

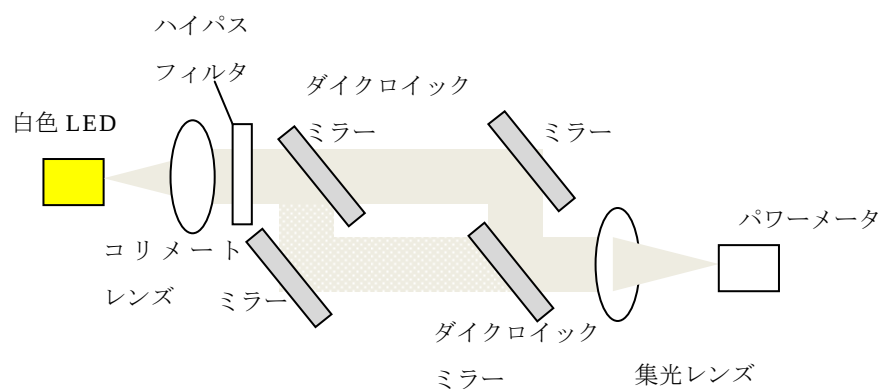


図 2-6-2-4 ダイクロイックミラーによる光量損失測定の実験系

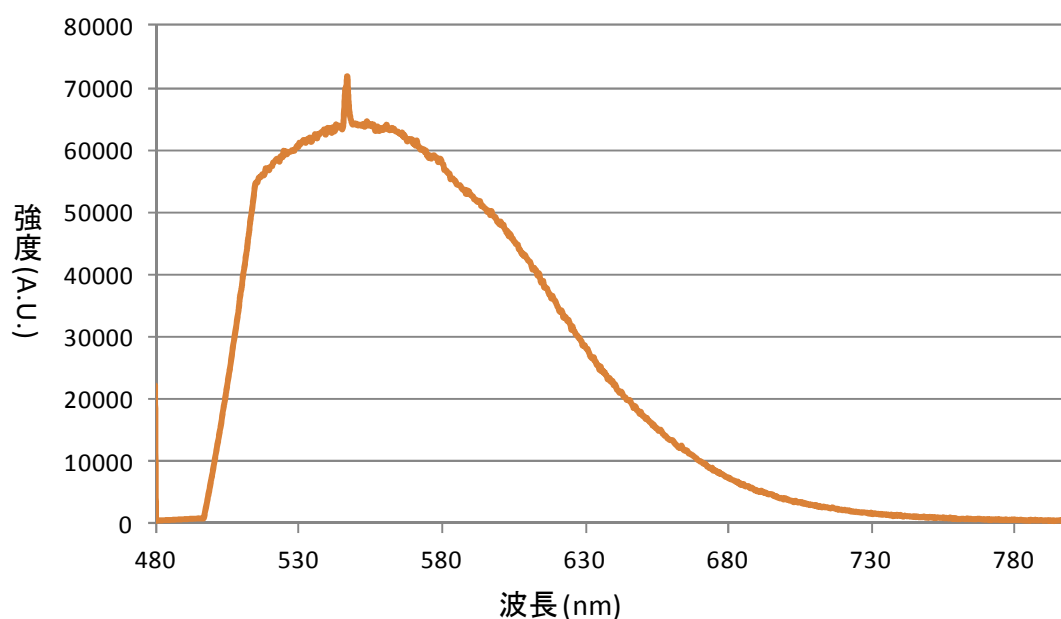


図 2－6－2－5 ハイパスフィルタ透過後の光線のスペクトル

上記の実験系にて、パワーメータにおける検出光量／ハイパスフィルタ透過後の光量を測定したところ、81%となった。この結果得られる損失値 19%の値は、光線が透過する 2 枚のレンズ、2 枚のミラー、2 枚のダイクロイックミラーが元々持っている損失値の累積とみなすことができる程度であることから、ダイクロイックミラー系における重大な損失は無いことが分かった。今回用いた 2 枚のダイクロイックミラーの相性が良かったことが原因として挙げられるが、製造ロットの異なるダイクロイックミラーは使わないなどの工夫により、ダイクロイックミラーによる損失は、今後も問題にならないと思われる。

●検討項目2～4:ダイクロイックミラー、光スイッチ、光源のコスト検討

上記で行った光学システム設計を元に、それぞれ、各デバイスの主要特性（仕様）の設計を行った。それらの仕様および300 台分を1ロットとして得た見積もり結果を表 2－6－2－2 に示す。

表 2－6－2－2 ダイクロイックミラー、光スイッチ、光源のコスト比較

	主要な仕様	見積もり単価
ダイクロイックミラー	・カットオフ波長：605nm ・透過および反射損失 10%以下 ・サイズ：20mm×20mm 以上 (ビームサイズφ10mm 以上)	4, 125 円
光スイッチ	・反射損失：5%以下 ・応答速度：15ms 以下 ・光学面サイズ：20mm×20mm 以上	34, 125 円

	(ビームサイズ ϕ 10mm 以上) ・ドライバ込み (ドライバ入力 5V 以下)	
LED 光源	・赤または緑色 LED ・出力 100lm 以上	20 円

以上の結果から、光スイッチを用いる方法はコスト面で不利であることが判明した。また、LED の価格が十分に低いことから、コスト面から考えて、複数光源を用いる方法にダイクロイックミラーを適用する方式が最も有利であると言える。また、特性の面でもダイクロイックミラーによる重大な光量損失が無いこと、複雑な駆動・制御が不要であり設計の簡易化、信頼性の向上の観点から、複数光源を用いる方法にダイクロイックミラーを適用する方式を適用することに決定した。

(2) 色による識別方式の詳細検討

構成設計の結果は、図 2-6-2-3 で既に示している。2 色の配色について、検討を行った。汎用のイメージセンサには、赤、緑、青のフィルタが付いていることから、配色は赤または緑または青で行うことがコスト的に有利となる。できるだけハイパワーの照射が可能な LED を選択し、赤、緑、青の 3 色の LED について、発光スペクトルの調査を行った。その結果を図 2-6-2-6 に示す。青が 450nm、緑が 540nm、赤が 640nm 付近に中心波長をもつことが分かった。選定した結像レンズの仕様範囲が、480nm 以上であることから、青色 LED が使用できないこととなった。従って、配色を赤と緑に決めた。また、発光スペクトルの測定結果から、赤と緑の LED 発光スペクトルのクロスポイントである 605nm でダイクロイックミラーのカットオフ波長を設定した。

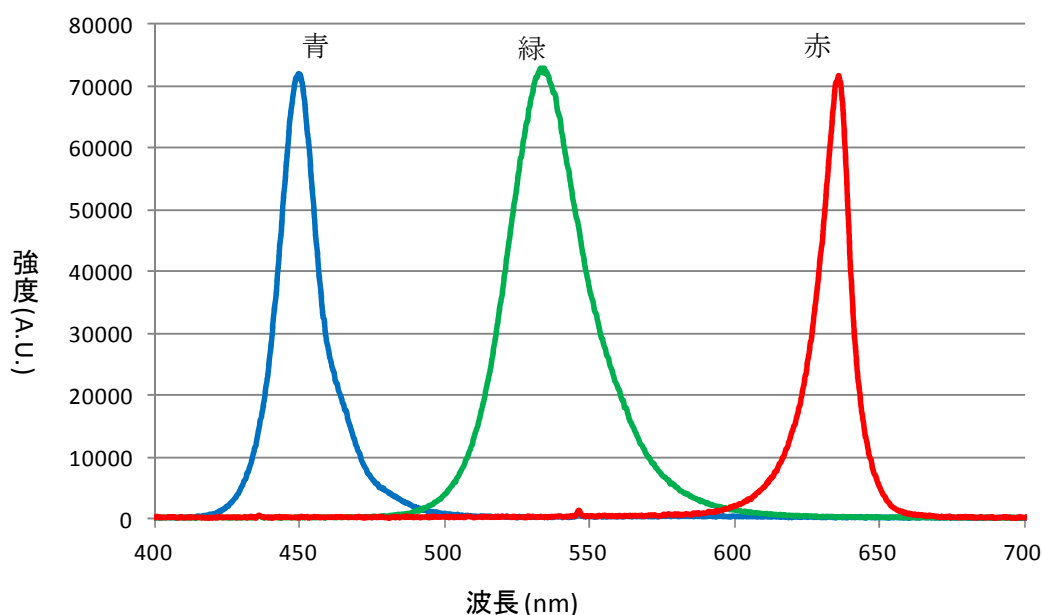


図 2-6-2-6 3 色の LED の発光スペクトル

(3) 部品コストの検討

図2-6-2-3に複数光源を用いる方法による構成図に示したが、その構成部品をまとめ、(1)と同様に300台分の部品を1ロットとして、見積もりを行った結果を、表2-6-2-3に示す。

表2-6-2-3 部品のコスト見積もり

部品	数量	単価(円)	合計(円)
LED 光源	2 台	20	40
コリメータ	2 個	745	1,490
パターンパネル	2 枚	2,000	4,000
結像レンズ	1 台	7,000	7,000
ダイクロイックミラー	1 枚	4,125	4,125
ミラー	1 枚	1,900	1,900
筐体 (各種マウント含む)	1 式	6,000	6,000
合計			24,555

結像レンズは特注すると初期費用で1000万円近くが必要となり、300台程度のロットではコスト効率が悪いことが分かった。(1台あたりに割り振られる初期費用が3万円以上)

この結像レンズについての選択が目標のコストの達成を決めることから、当初予定していた特注の方針を転換し、必要な仕様を絞り込み、希望サイズ要件を緩和して、10品種以上のレンズを検討した結果、要求した特性を満たす市販品の結像レンズを見つけることができた。

本検討の結果、1台当たりの光源の部品コストは、24,555円となり、目標としていた4万円以内を達成することができた。

2-6-3 成果

目標	光学システム(光源からレンズまで)の部材コスト4万円以内(300セット見積時)を満たすこと
成果	1台当たりの光源の部品コストは、24,555円を達成
目標達成度	100%達成

2-7 研究サブテーマ⑦

光源及びドライブ回路の検討

2-7-1 実施内容および実施担当

実施内容	必要なときにのみ光照射を行うことで省電力化を図る。ストロボランプの検討に加え、LED 単パルス駆動の独自設計技術を駆使した省電力設計を行い、実証により電力、発熱性を確認する。
実施担当	ノア

2-7-2 個別項目の結果

(1) 選択された LED の駆動回路の設計および消費電力の見積もり

2-6 項の検討結果により選択された LED は、最大 1 A の電流、2.7V の印加電圧となることから、LED で消費される電力は最大 2.7W となる。この LED を駆動するための、回路設計を行った結果を、図 2-7-2-1 に示す。回路の安定化のために 4~8Ω の抵抗を LED と直列に接続することが有効であり、今回は 6Ω (10W) の抵抗を接続している。この抵抗で消費される電力 (最大 6W) に、LED で消費される電力、回路自体で消費される電力を足しても、10~15W 程度となる。LED は 2 台使用することから、連続点灯したとしても最大で 30W 以下となるような設計となった。

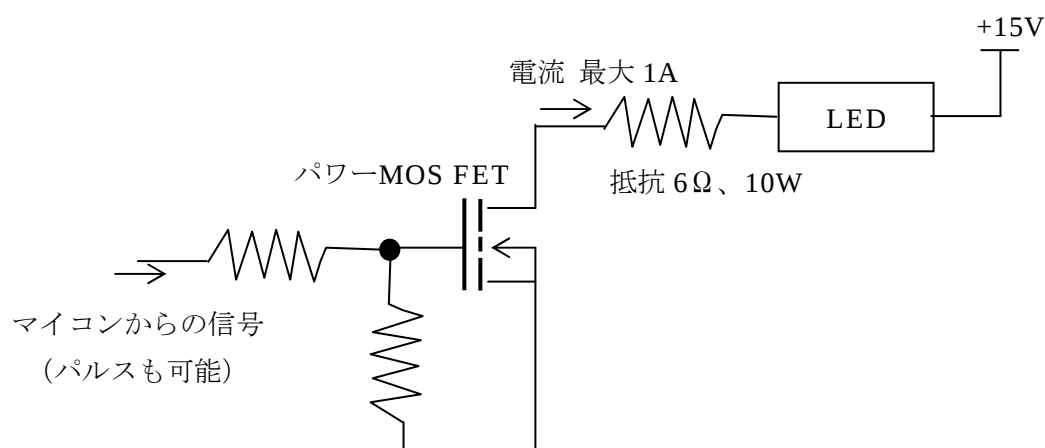


図 2-7-2-1 LED 駆動回路

（２）LED のパルス駆動の検討

パルス駆動に際して重要な回路部品は MOS-FET であり、この応答性により、パルス駆動の可否が決まる。（１）で検討した回路において、パルス幅 $10\mu\text{sec}$ の短パルス信号を入力した際の、出力応答をシミュレーションにて確認した。その結果を図 2-7-2-2 に示す。

横軸は時間、縦軸は入力電圧および出力電圧を表している。出力電圧は入力パルス波形に対して劣化はしているものの、 μsec オーダでの応答となっており、ミリ秒程度の応答が求められる用途では全く問題とならないことが分かった。

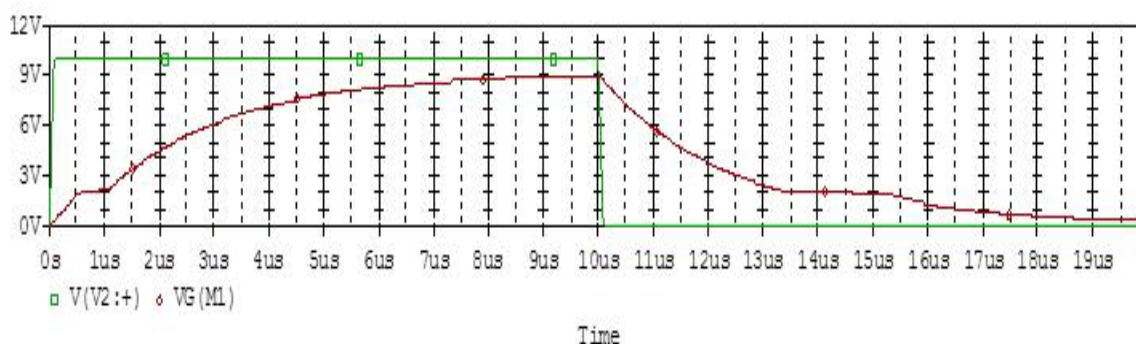


図 2-7-2-2 FET 入力パルス（緑）と FET ゲート（赤）電圧グラフ

イメージセンサの画像取得レートは 30 フレーム/s なので、1 フレームはおおよそ 33ms となる。MOS-FET の応答は上記のように、 μsec オーダであることから、1 フレーム分をパルス照射することは十分可能であることが証明された。

イメージセンサの画像取得レートよりも、短いパルスで照射することは無いことから、パルス照射の周期は最大でも 30 回/秒であることがわかる。今回、ワンパルス照射によるデータ取得を前提としているが、駆動回路の応答速度としては連続的にパルス照射することが可能であることが上記の検討結果からわかっている。従って、消費電力の問題さえクリアされれば、連続パルス照射（連射撮影）も可能となる。

消費電力に関しては、今回選択した LED では、パルス照射でない純粋な連続照射においても、30W 以内の消費電力であることがわかっていることから、目標値 50W 以内を実現することを考慮したとしても、自由に照射の周期を設定（連射設定など）ができる。

（３）発熱性の評価

（１）の回路において、最も電力の大きな、1A 電流の連続駆動時、および 1A 電流ワンパルス駆動時の消費電力および発熱（温度）、の評価を行った。

消費電力については、1 秒間の平均電力とし、温度については LED 直近の温度として熱電対にて測定を行った。LED は、 12°C/W のヒートシンクと熱抵抗の十分低い接続シートを用いて接続されている。測定結果は以下の通り。

●連続駆動時

消費電力：19.8W（連続駆動時）

LED 温度：40℃（室温 25℃時）

●ワンパルス駆動時

消費電力：1.1W（連続駆動時）

LED 温度：25℃（室温 25℃時）

連続駆動時においても 19.8W となったため、目標である 50W を十分下回る LED の選択、LED 駆動回路の設計ができた。

2-7-3 成果

目標	光源照射による撮影時の平均電力 50W 以下を実現
成果	光源照射時の電力は 19.8W を実現（連続駆動時）
目標達成度	100%達成

2-8 研究サブテーマ⑧

試作および評価

2-8-1 実施内容および実施担当

実施内容	最終的には、すぐに顧客候補者に評価してもらえる形状の試作品の設計・試作・評価を行う。試作品の設計に際し、国内外の競合品の最新情報（仕様）の調査を行い、設計仕様作成に反映させる。また、試作回数は、部品の組み合わせによる原理試作を1回行い、動作原理を実物で確認するとともに、最終的な製品形状試作のための課題抽出を行うことを目的とする。さらには、本事業のアドバイザーを始めとしたユーザ候補者に使用していただき、次に行う製品形状試作（最終試作）の仕様設計にユーザからの要望等を反映させる。最終試作としての製品形状試作は、最終製品にできるだけ近い形状として、3D スキャナとしての性能の他、放熱性、操作性、耐振動性の確認も行う。
実施担当	ノア

2-8-2 個別項目の結果

（1）試作

これまで要素毎に検討してきた部品を一つの筐体に納め、3D スキャニングシステムとして試作を行った。装置設計のポイントは下記の通り。

- ・液晶パネルは筐体上部へ取り付け
- ・カメラおよび光源の出力部は、前面パネルに並べて配置する
- ・装置の基本操作は液晶タッチパネルにて行うため、ボタン類は無し
- ・電源スイッチのみ側面に配置
- ・外部インターフェイスは、外部電源入力と USB 端子 2 個とする

これらを考慮して、筐体設計を行った結果、300mm×210mm×80mm に収納できることが分かった。筐体に部品を収納し完成した試作品の画像を図 2-8-2-1 に示す。



図 2-8-2-1 試作品外観

また、3D 画像撮影の際に使用する、3D スキャニング用ソフトウェアと、3D データ撮影後に 3D データ表示や処理に使用するソフトウェア画面のスナップショットを図 2-8-2-2 および図 2-8-2-3 に示す。

3D スキャニング用ソフトウェアでは測定対象をフレーム内に表示して、焦点調整を行った後は、画面をタッチするだけで撮影が行える簡単操作の設計としている。

また、データ処理ソフトウェアでは、2-4 項で説明したように、3D 画像表示（回転、拡大、移動）、長さ測定、形状照合、断面表示を行うことができる。



図 2-8-2-2 3D スキャニング用ソフトウェアの撮影時のスナップショット



図 2-8-2-3 3D データ処理ソフトウェアの画像表示機能のスナップショット

(2) 評価

今回作製した試作品により撮影された 3D 画像を図 2-8-2-4～図 2-8-2-7 に示す。これらの撮影時、および撮影データを用いて、サブテーマ①の評価項目：撮影開始からデータ処理完了まで 1 秒以内、および②の評価項目：位置分解能 1/300 以下、について評価を行った。

なお、ソフトウェアの評価（サブテーマ③、④、⑤）については、上記の個別検討項目と同じ結果となるため、達成状況は評価済みとして、試作品における評価は割愛する。また、光源のコスト（サブテーマ⑥）、光源の駆動回路の消費電力（サブテーマ⑦）についても、試作品では評価が難しいため割愛する。

●サブテーマ①の目標：撮影開始からデータ処理完了まで 1 秒以内、についての評価

処理時間の測定方法は、項目 2-1 と同様に、プログラム中に処理の開始直前と直後にポイントを吐き出すように設定し、それらの時間を CPU の内部クロックを利用して測定した。その結果、本撮影時の処理時間は、1.8 秒となった。（目標未達）

目標をクリアできなくなりましたが、大きな遅延ではないため、撮影時のストレスに影響することはないと考えられる。

●サブテーマ②の目標：位置分解能 1/300 以下、についての評価

図 2-8-2-6 における白丸部分の段差は 1mm であるが、この段差が 3D 画像として認識できていることが分かる。一方で、画像の端から端までが 300mm であるため、分解能 1/300 が達成できている。（目標達成）

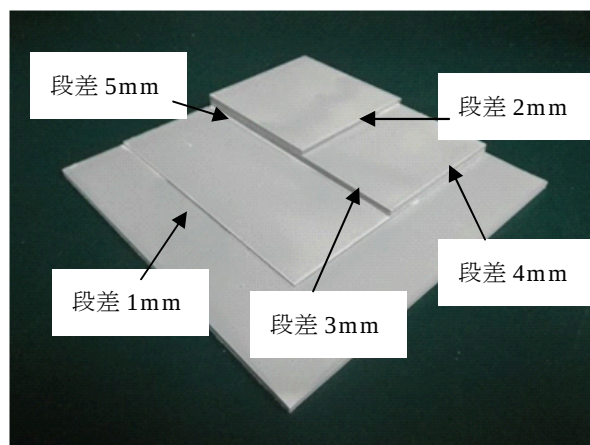


図 2-8-2-4 測定対象物 (300mm×300mm)

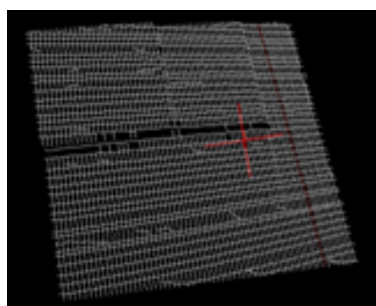


図 2-8-2-5 復元結果 (全体像)

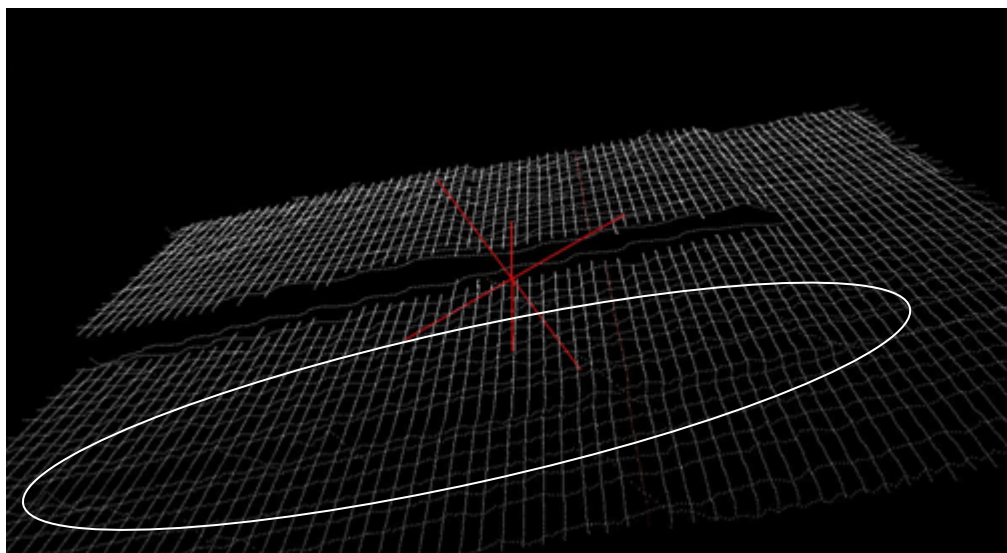


図 2-8-2-6 復元結果 (1mm 段差部拡大)

2-8-3 成果

目標	試作品においてもサブテーマ①～⑦の目標値をクリアすること
成果	サブテーマ①については、目標データ処理時間 1 秒以内に対し、1.8 秒となり、達成度は $1/1.8=56\%$ となり、目標未達。 サブテーマ②については、画像範囲 300mm に対し、1mm 程度の段差を検知できていることから、試作品においても、目標達成している。 サブテーマ③～⑤については、個別項目にて達成済み。 サブテーマ⑥、⑦については、試作品によって部分評価を行うことが困難であるため、評価不能。
目標達成度	試作品において、サブテーマ①～⑤の目標については <u>91%の達成</u>

2-9 プロジェクトの運営管理

本研究開発は、管理法人である株式会社ノアにより円滑にマネジメントが行われ、総括研究代表者や副総括研究代表者を中心とした、直接業務も問題を生じることなく実施された。

また、アドバイザーを含めた、本研究開発プロジェクト関係者が集まる委員会が3回実施され、進捗報告や技術・事業に関する活発なディスカッションが行われた。

第一回委員会	
日時	平成23年5月9日（月） 15時30分～17時30分
場所	北海道立総合研究機構 第1会議室
参加者	池田弘之 アルプス電気 特任顧問横浜国立大学 キャリアアドバイザー 加川英俊 日本ゼオン株式会社 顧問 元警視庁第七方面本部長 塚田茂 日本中央競馬会ウインズ札幌 主幹 元北海道警旭川方面本部 参事官 山本強 国立大学法人 北海道大学大学院 教授 情報科学研究科 川崎洋 国立大学法人 鹿児島大学 大学院 教授 理工学研究科 大村功 北海道立総合研究機構 産業技術研究本部工業試験場 情報システム部 電子・機械システムグループ 主査 近江栄治 北海道経済産業局 地域経済部情報政策課 課長補佐 太田初 株式会社ノア 代表取締役 長枝浩 株式会社ノア 北海道技術開発センター長
内容	1) 開発テーマの概要報告 2) 開発計画報告 3) 進捗報告 4) ディスカッション

第二回委員会	
日時	平成23年9月13日（月） 15時00分～17時00分
場所	北海道立総合研究機構 第1会議室
参加者	池田弘之 アルプス電気 特任顧問横浜国立大学 キャリアアドバイザー 加川英俊 日本ゼオン株式会社 顧問 元警視庁第七方面本部長 塚田茂 日本中央競馬会ウインズ札幌 主幹 元北海道警旭川方面本部 参事官 山本強 国立大学法人 北海道大学大学院 教授 情報科学研究科 川崎洋 国立大学法人 鹿児島大学 大学院 教授 理工学研究科 大村功 北海道立総合研究機構 産業技術研究本部工業試験場 情報システム部 電子・機械システムグループ 主査 小林弘和 北海道経済産業局 地域経済部 情報政策課 情報産業係長 遠峯良太 北海道経済産業局 地域経済部 製造産業課 製造産業係 太田初 株式会社ノア 代表取締役

	長枝浩 株式会社ノア 北海道技術開発センター長 石井智 株式会社ノア 開発部 技術開発課 課長
内容	1) 進捗報告 2) ディスカッション

第三回委員会	
日時	平成 24 年 3 月 2 日 (金) 15 時 00 分～17 時 00 分
場所	鹿児島大学大学院 情報科学研究科 会議室
参加者	池田弘之 アルプス電気 特任顧問横浜国立大学 キャリアアドバイザー 加川英俊 日本ゼオン株式会社 顧問 元警視庁第七方面本部長 山本強 国立大学法人 北海道大学大学院 教授 情報科学研究科 川崎洋 国立大学法人 鹿児島大学 大学院 教授 理工学研究科 大村功 北海道立総合研究機構 産業技術研究本部工業試験場 情報システム部 電子・機械システムグループ 主査 小林弘和 北海道経済産業局 地域経済部 情報政策課 情報産業係長 太田初 株式会社ノア 代表取締役 長枝浩 株式会社ノア 北海道技術開発センター長 石井智 株式会社ノア 開発部 技術開発課 課長 塩沢慶尚 株式会社ノア 開発部 技術開発課
内容	1) 鹿児島大学川崎研究室見学および研究内容プレゼンテーション 2) 進捗報告 3) ディスカッション

全体総括

3-1 研究開発後の課題

3-1-1 技術的な課題

(1) 撮影時間の短縮

今回やや未達となった撮影時間をさらに短縮することが課題となる。具体的には、3D 復元処理時間の短縮、グラフカット画像処理および線分抽出処理を FPGA に担当させることによる時間短縮を検討する。

今回の研究開発で得られた FPGA 技術導入の効果から推測すると、この FPGA 担当領域の拡大が実現できれば、目標としている 1 秒以内は実現できると考えられる。

(2) 光源パワーの向上

今回の研究開発では、測定対象物は比較的近距離 (30cm 程度) に設定して、分解能を重視するアプリケーションを想定した。今後、より汎用的なアプリケーションを想定した場合、対物距離が大きくなることが予想される。その場合、今以上に測定対象物が大きくなることから、光源のパワーを大きくしないと、今と同等の明るさを確保できない。

引き続き、ハイパワー LED の探索、光学的工夫による高密度化の開発は継続する必要がある。

(3) 小型サイズの実現

今回、A4 サイズを目標に実装設計を行ったが、ユーザはできるだけ小型な装置を希望している。小型化のための開発要素としては、放熱素子の小型化 (効率的な放熱方法の検討)、電子部品の高密度実装、FPGA の効率的な利用が挙げられる。

(4) 様々な OS に対応するアプリケーションソフトウェアの開発

アプリケーションソフトウェアは OS に依存することから、今回開発したアプリケーションソフトウェアをベースとして、様々な OS への対応を行う必要がある。

3-1-2 製品化に際する課題

(1) ユーザインターフェースの改善

今回の研究開発では、当初想定していた以上の機能が実現できているが、使いやすさについては、改善の余地を含んでいる。今後、試作品を多くのユーザに使用してもらうなどのアクションにより情報収集を行い、より使いやすいユーザインターフェースを実現する必要がある。

(2) 信頼性試験の実施

製品化のためには、耐久性を担保するための信頼性試験の実施は必須となる。振動試験、衝撃試験、ヒートサイクル試験、高温、低温放置試験は最低限必要な試験となる。

(3) コストダウン

コストダウンについては、製品化前に関わらず、製品化後も引き続き必要なアクションとなる。特に、ベンダーのマルチソース化、購入ロット数の最適化などによりトータルコストを下げる検討は、開発と並行して行うべき要素となる。

3-2 研究開発成果の事業化に向けた取り組み

(1) マーケティング

3D スキャニングは、まだ世間に認知されていないことから、これからの仕掛け（戦略）が非常に重要になる。世の中に認知されていない技術であることから、既存のマーケティング手法では通用しない場面も想定できる。地域、マスコミ、インターネットをキーワードとした新たな手法で仕掛ける必要がある。

(2) 製造先の確保

今回の研究開発のスキームでは、3D スキャナ装置の製造担当が含まれていないため、製造委託先を探す必要がある。

(3) 知的財産権（主に特許）の調査

特許に関しては、継続的に調査を進め、開発した技術要素については出願を重ねる必要がある。（クロスライセンスにより事業継続の可能性を高めるため）