

平成23年度第3次補正予算事業 戦略的基盤技術高度化支援事業

「形状デザインを高効率化するカメラベース小型軽量形状計測システムの開発」

研究開発成果等報告書

平成25年2月

委託者 東北経済産業局

委託先 公益財団法人みやぎ産業振興機構

目 次

第1章 研究開発の概要

1-1	開発の背景、研究目的及び目標	
(1)	研究開発の背景	3
(2)	研究目的	3
(3)	技術的目標値	4
1-2	研究体制	5
1-3	成果概要	6
1-4	当該研究開発の連絡窓口	6

第2章 研究成果

2-1	3次元形状計測の実現および測定安定化	
【1-1】	部分形状計測における精度向上	7
【1-2】	全体形状計測の精度および安定化の向上	9
2-2	機器の小型化	
【2-1】	機器の小型化および軽量化の構造設計とカメラ選定	10
【2-1】	基板のはんだ付け強度、冷熱サイクル耐久性の両立	16
【2-3】	光学的設計の小型化と安定した実装の実現	20
2-3	計測の迅速さと簡易さの実現	22
	(次年度以降)	
2-4	プロトタイプシステム構築および評価	
①	プロトタイプの開発	23

第3章 全体総括

3-1	総括	27
-----	----	----

第 1 章 研究開発の概要

1-1 開発の背景、研究目的及び目標

(1) 研究開発の背景

近年、自動車業界や家電業界では製造不具合だけではなく、使い勝手が悪い等の「設計不具合」(ユーザーの不満)に関してのユーザー評価が大きく反映される。使い勝手に関する評価を向上させるためにはさまざまなユースケースを想定してデザインを実施する必要がある、自動車メーカーでは自動車内で使用する可能性がある様々な物品(サードパーティ製品オプション、ゴルフバック、スーツケース、ドリンク容器、傘等)の自動車での使用・収納方法を想定した設計を行う必要にせまられている。家電メーカーでも同様に様々な使用方法を想定し設計を行う必要がある。使い勝手を効果的に検証するためには、全世界にある様々な物品の形状データを用いて、多様なユースケースでのシミュレーションを実施する必要がある。この多種多様な物品の形状データを得るため、毎日のように 3 次元計測を実施しているが、既存のレーザー形状計測器では 1 品毎の計測に数時間を要するという課題があり、効率的な形状計測を実施できていない。さらに、ベンチマークと呼ばれるライバル他社の新車種の形状を計測したいというニーズも存在する。現時点においては、腕を基準にして長さを計測する等の原始的な手法による計測にとどまっている。このような用途で形状計測器を用いて計測するためには、装置を小型・軽量化して手持ちによる移動計測を可能にする必要がある。

我々はこの 2 つのニーズに着目し、軽量・小型で簡易かつ短時間で計測可能な 3 次元形状計測システムの開発および販売を目標とする。

3 次元形状計測は、多くの設計・製造プロセスで実施されている重要な要素技術であり、その用途を大別すると①製造ライン等での組立精度検証、②デザインレビューによる設計妥当性検証、③他社製品のベンチマークという 3 つに分類される。前述したように、これらの用途のうち②デザインレビューと③ベンチマークにおいては測定の迅速さと簡便さが強く求められ、装置の小型・軽量化が必要とされている。

(2) 研究目的

自動車・家電等の製造分野におけるデザインレビューでは、迅速かつ簡便な 3 次元形状計測に対する強いニーズが存在する。既存のレーザー方式の形状計測システムは大型な上に計測に長時間を要し、この計測ニーズを満たすことができなかった。

本計画では、設計工程における形状計測コストを低減する軽量・小型で簡便な 3 次元形状計測システムを開発し、自動車業界等における形状デザイン工程の高効率化と製品の高品質化を目的とする。

3) 技術的目標値

メインテーマ	サブテーマ	現状値	目標値	関連 No.
3次元形状計測の実現および測定の安定化	部分形状計測における精度向上	SN比:27dB (測定誤差±2mm)	SN比:30dB (測定誤差:±1mm)	【1-1】
	全体形状計測の精度および安定化の向上	SN比:25dB (測定誤差±3mm)	安定した形状位置合わせ手法の開発 SN比:27dB (測定誤差:±2mm)	【1-2】
	テクスチャが不足している対象物の計測実現	—	パターン投光装置の開発	【1-3】
機器の小型化	機器の小型化および軽量化の構造設計とカメラ選定	15kg A3 (レーザー)	重量:1.5kg 未満 最大面面積:A4 未満 重量:1kg 未満(最終目標) 最大面面積:A5 未満(最終目標)	【2-1】
	基板の小型化とはんだ付け強度、冷熱サイクル耐久性の両立	(A3 相当)	約 25%の小型化 (A5)	【2-2】
	光学的設計の小型化と安定した実装の実現	計測前に校正作業あり	校正なしで1年間使用	【2-3】
計測の迅速さと簡易さの実現	計測処理の高速化	全体計測: 数時間	1回の部分計測:5秒以内 全体計測:10分以内	【3-1】
	カメラパラメータ校正の自動化	自動校正なし	自動パラメータ校正機能の開発	【3-2】
	簡易な操作系の実現	専門のオペレータ	デジタルカメラ並みの操作性	【3-3】
プロトタイプシステム構築及び評価	プロトタイプの開発			【4-1】
	様々なユースケースでの本体システムの評価			【4-2】

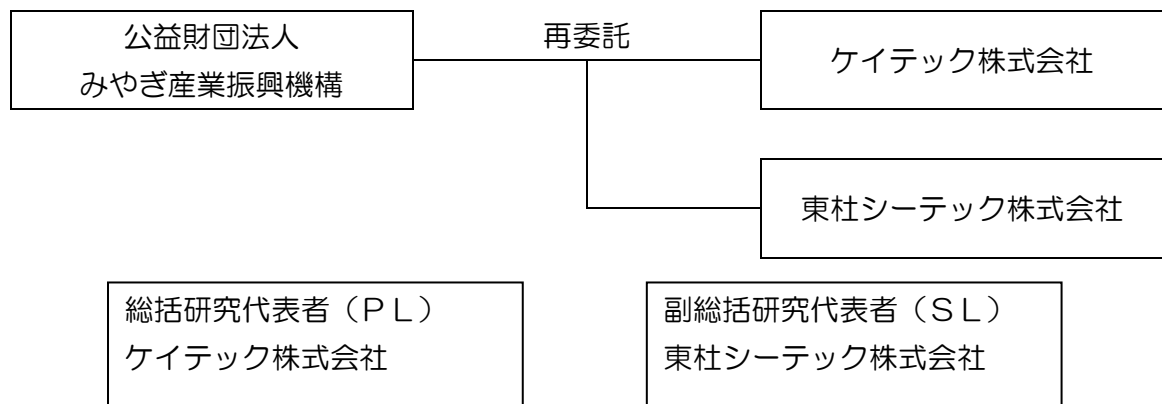
注) 関連 No. 【1-3】【3-1】【3-2】【3-3】【4-2】は平成25年度以降の目標である。

1-2 研究体制

1. 研究体制

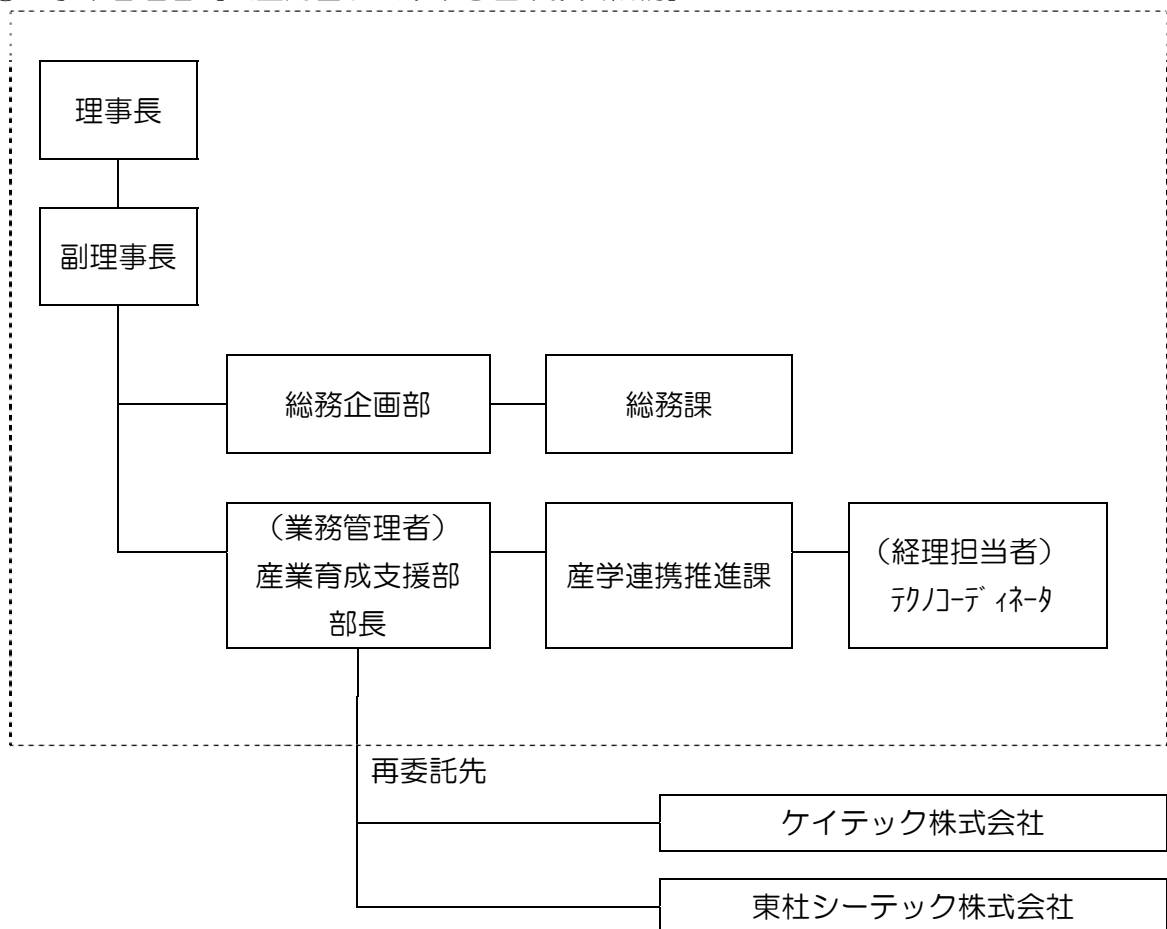
(1) 研究組織及び管理体制

1) 研究組織（全体）



2) 管理体制

① 事業管理者〔公益財団法人みやぎ産業振興機構〕



1-3 成果概要

メインテーマ	サブテーマ	成果内容		関連 No.
3次元形状計測の実現および測定の実定化	部分形状計測における精度向上	8M ピクセルカメラで、計測精度 0.25mm を実現した	○	【1-1】
	全体形状計測の精度および安定化の向上	形状の自動位置合わせを実現	○	【1-2】
	テクスチャが不足している対象物の計測実現	Q-VGA カメラでも目標値に近い 0.27mm	○	【1-3】
機器の小型化	機器の小型化および軽量化の構造設計とカメラ選定	240mm×170mm 1.47kg	○	【2-1】
	基板の小型化とはんだ付け強度、冷熱サイクル耐久性の両立	ランド3種類作成 評価試験にて問題なし	○	【2-2】
	光学的設計の小型化と安定した実装の実現			【2-3】
計測の迅速さと簡易さの実現	計測処理の高速化		—	【3-1】
	カメラパラメータ校正の自動化		—	【3-2】
	簡易な操作系の実現	撮影ガイド機能	○	【3-3】
プロトタイプシステム構造及び評価	プロトタイプの開発	プロトタイプシステム 1×1 台 プロトタイプシステム 2×4 台	○	【4-1】
	様々なユースケースでの本体システムの評価		—	【4-2】

注) 関連 No. 【1-3】【3-1】【3-2】【3-3】【4-2】 は平成25年度以降の目標であるが、実施内容を記載

1-4 当該研究開発の連絡窓口

公益財団法人みやぎ産業振興機構

〒980-0011 宮城県仙台市青葉区上杉一丁目14-2

Tel : 022-225-6638 Fax : 022-263-6923

e-mail : koudo@joho-miyagi.or.jp

産業育成支援部 部長 中塚 朝夫

産業育成支援部産学連携推進課 千葉雄三、石川宙生、八重樫順一

第2章 研究成果

2-1 3次元形状計測の実現および測定の実定化

3次元形状計測の実現および測定の実定化を目標として、

①部分形状計測における精度向上【1-1】【1-3】

②全体形状計測の精度および実定化の向上【1-2】

を実施した。

本項の精度評価には、3次元形状解析システムを用いている。また、精度基準となる3次元形状データには、コニカミノルタ製非接触3次元デジタイザVIVID910で計測したスキャンデータを3Dスキャンデータ処理ソフトウェアである3DSystem社のRapidformXOMで統合したものを使用している。

①部分形状計測における精度向上【1-1】【1-3】

ステレオカメラで撮影した画像から3次元計測を行うソフトウェアを開発し、(1)カメラ評価、(2)レンズ評価、(3)ベースライン選定を実施した。

目標精度を実現するために、(4)カメラの高解像度化、(5)パターン投光による精度向上を実施し、高解像度カメラとパターン投光を併用した場合で撮影距離0.5mで計測精度0.20mmを実現し、本年度の精度目標である0.5mm(撮影距離1mで精度1mm相当)を達成した。

(1) カメラ評価

実定した3次元計測が可能なカメラとして1.3Mピクセルの画素数を持つ表2-1-1の3機種を選定し、計測精度の比較を行った。

その結果、3機種とも最大解像度と奥行き空間分解能に則した精度での計測が確認でき、目標精度である距離1000mmで1.0mmをほぼ満たす結果が得られた。機能評価用ハードウェアおよびプロトタイプシステムでは、インターフェースの制約からUSB2.0で接続できるChameleonを選定した。

表2-1-1 カメラ仕様

カメラ名	メーカー	I/F	fps	最大解像度
F22	CIS	CameraLink	20	1360x1024
Flea2	Pointgrey	IEEE1394	30	1296x964
Chameleon	Pointgrey	USB2.0	18	1296x964

(2) レンズ評価

機能評価用ハードウェアおよびプロトタイプシステムで使用するレンズとして

以下の3機種(表2-1-2)を選定し、精度比較を行った。

焦点距離の長いLM12JC1Mが最も精度がよく、平均誤差で0.65mmとなり、最も精度が悪かったLM5JC1Mでも平均誤差は1.3mm以内に収まることが確認できた。ただし、焦

点距離の長いレンズには画角が狭く計測範囲が狭くなるため使い勝手が悪くなるという問題がある。機能検証用ハードウェアおよびプロトタイプシステムで使用するレンズ選定については、(4)レンズ歪みを考慮した共通撮影範囲の検証結果とあわせて検討を行う。

表 2-1-2 レンズ仕様

型番	メーカー	焦点距離[mm]	絞り値
LM12JC1M	KOWA	12.5	F1.4
LM5JC1M	KOWA	5	F2.8
FV0814-2	μ Tron	8	F1.4

(3) ベースライン評価

カメラベースの 3 次元計測システムの計測精度は、カメラ間の距離であるベースライン長が計測精度に大きな影響を受ける。適切なベースラインを選定するために 60mm, 90mm, 120mm, 150mm の 4 種類のベースライン長で計測精度を比較し、計測誤差が最小となるベースラインとして 120mm を選定した。

(4) レンズ歪みとベースラインを考慮した共通撮影範囲

ステレオカメラにおいて測定精度を補償できる共通撮影範囲について調査を行った。

歪み量が規定値以下の領域を計測可能範囲として、焦点距離 5mm レンズでの計測可能範囲を調査した。歪み量の規定値として、12mm レンズの最大歪み量を用いた。

焦点距離 5mm のレンズでは歪み量を考慮した場合でも、ベースラインによって増減はあるものの、焦点距離 12mm のレンズと比較して約 4 倍の面積を計測できることが確認できた。

(5) カメラの高解像度化による精度向上

(1)で使用した 1.3M ピクセルカメラでは目標精度である撮影距離 500mm で 0.5mm (距離 1000mm で 1.0mm 相当) をほぼ実現しているが、更なる精度向上を検討するため、高解像度カメラを使用した場合の計測精度について調査を行った。高解像度カメラとして表 2-1-3 に示す Flea3-88 (8M ピクセル)、Flea3-32 (3M ピクセル) を選定した。3M ピクセル級カメラ (Flea3-32) では計測精度 0.35mm、8M ピクセル級カメラ (Flea3-88) では計測精度 0.25mm を実現し、カメラの高解像度化による精度向上効果を確認することができた。

表 2-1-3 高解像度カメラの仕様

カメラ名	メーカー	IF	fps	有効画素
Flea3 -88	Pointgrey	USB3.0	21	4096x2160
Flea3 -32	Pointgrey	USB3.0	60	2080x1552

(6) パターン光投光による精度向上

更なる計測精度の向上とテクスチャレス (模様なし) 対象での計測安定化を目的として、ランダムドットパターンを投光した場合の計測精度を調査した。プロジェクタを用いてランダムドットパターンを投光することによって、1.2M ピクセル級カメラである Chameleon でも計測精度 0.28mm を実現し、計測目標を達成できることが確認できた。また、8M ピクセル級カメラでは 0.20mm まで精度を向上することができた。また、テクスチャ不足で計測ができない計測対象でも、パターン投光を行うことで上記精度での計測が可能であることも確認できた。

②全体形状計測の精度および安定化の向上【1-2】

全体形状計測のための形状位置合わせ手法として、2次元特徴点ベースの形状位置合わせ手法 (以下 2次元特徴点ベース手法) を開発し、形状位置合わせの自動化を実現した。

2次元特徴点ベース手法は計測回数が増えるにしたがって位置合わせ誤差が蓄積する傾向があるため、この問題を解決するために全体最適化手法を導入した。

これにより、撮影距離 500mm において、1.3M ピクセル級カメラである Chameleon で精度 0.8mm、8M ピクセル級カメラである Flea3-88 で精度 0.6mm を実現し、精度目標である撮影距離 500mm 精度 1.0mm (距離 1000m で 2.0mm 相当) の達成を確認した。

2-2 機器の小型化

① 機器の小型化および軽量化の構造設計とカメラ選定【2-1】

〈要約〉

・手持ちで自由に計測できる機器を想定し、重量 1kg 未満、最大面の面積 A5 サイズ未満を目標とする。この課題についてはケイテック㈱がカメラの選定および機構の設計を行い、東杜シーテック㈱はカメラモジュールの評価を実施する。機器の筐体や内部構造物には樹脂成型品を用いて、機器全体の軽量化を図る。また、カメラについては形状復元・形状位置合わせ作業に必要な解像度、画角、画像歪み等の検証を行い、性能、価格、容積等を基準として選定を行う。

・契約日から平成 24 年度の目標として、最大面面積 A4 未満を目指し、重量は 1.5kg 未満を目指す。これらを達成するために最適なカメラとレンズの選定を行う。

〈結果〉

・表 2-2-1 に示す通り、機器の小型化開発の結果、外形、重量共に中間目標値をクリアした。

	中間目標値 ※本年度	プロトタイプシステム 1
外形(mm)	297×210	240×170
重量(kg)	1.50	1.47
外観		

表 2-2-1 外形・重量測定結果

＜研究内容＞

・最適な部品レイアウトと部品少数化

内部構造はカメラ、基板の外形、および部品高さの制約を基準として、以下の項目に留意した構造とした。

a) 部品レイアウト

3D-CAD を用いて、外形・重量・作業性・価格を留意したレイアウト設定。

プロトタイプ構成と外観を以下に記す。

プロトタイプシステム1を図2-2-1、図2-2-3、プロトタイプシステム2を図2-2-2、図2-2-4に記す。

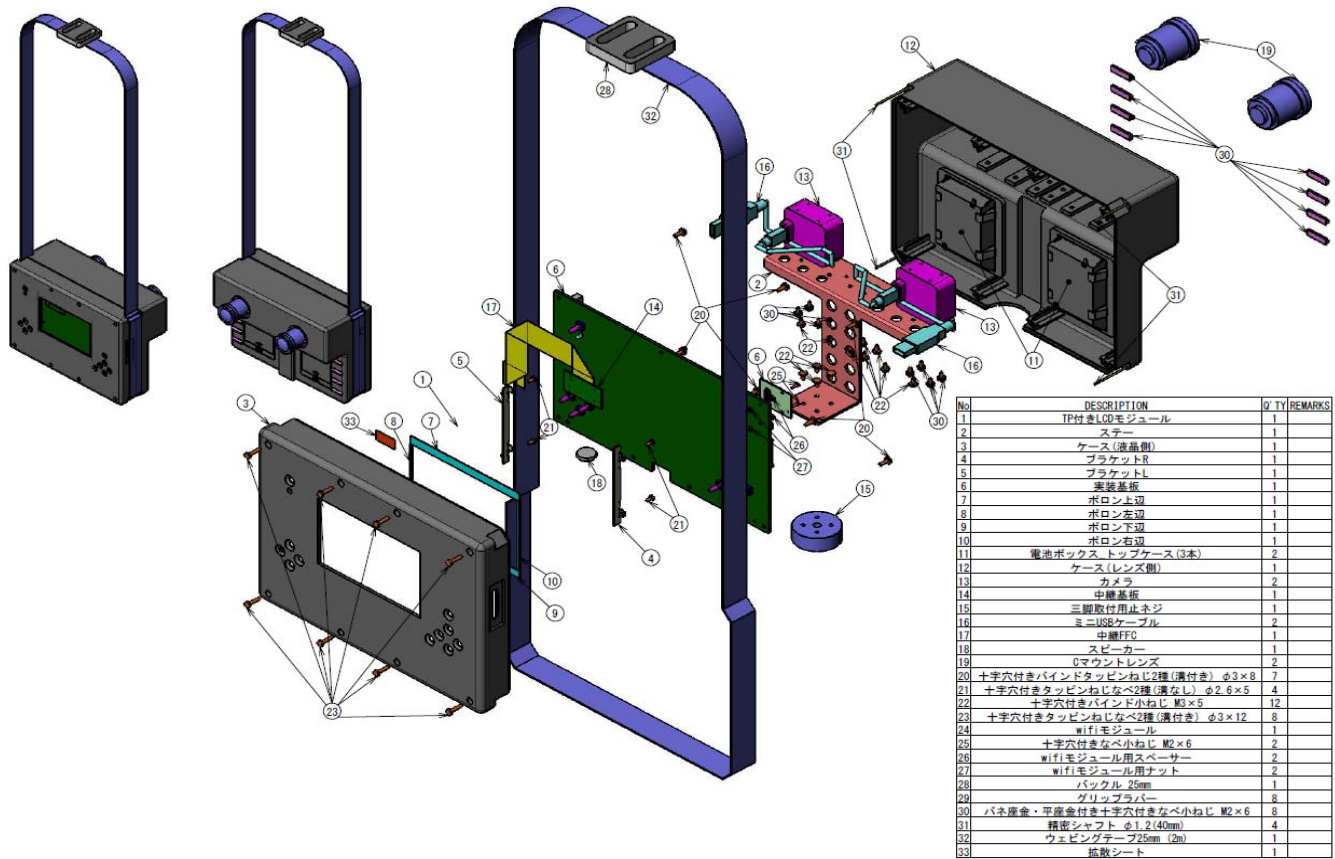
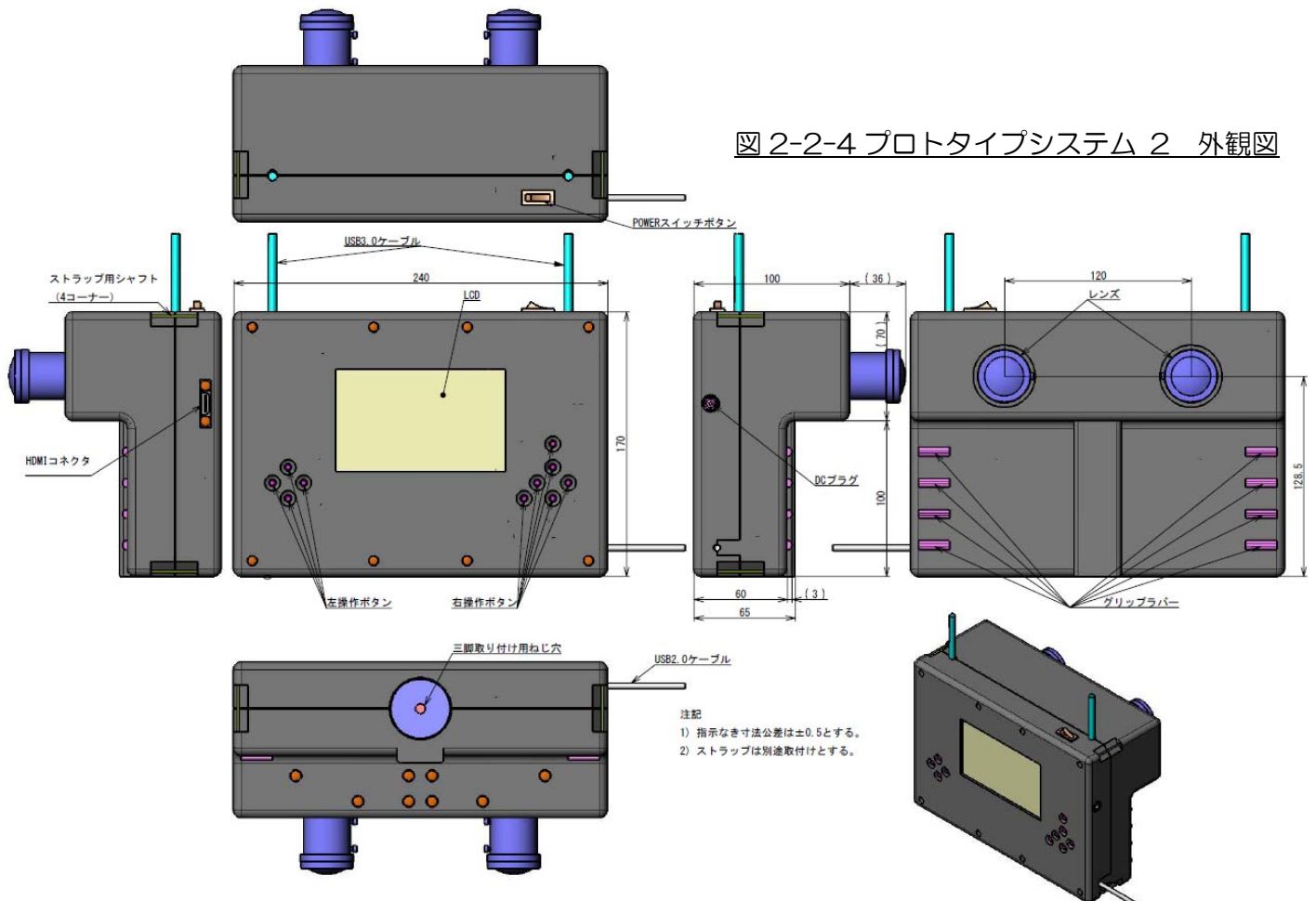
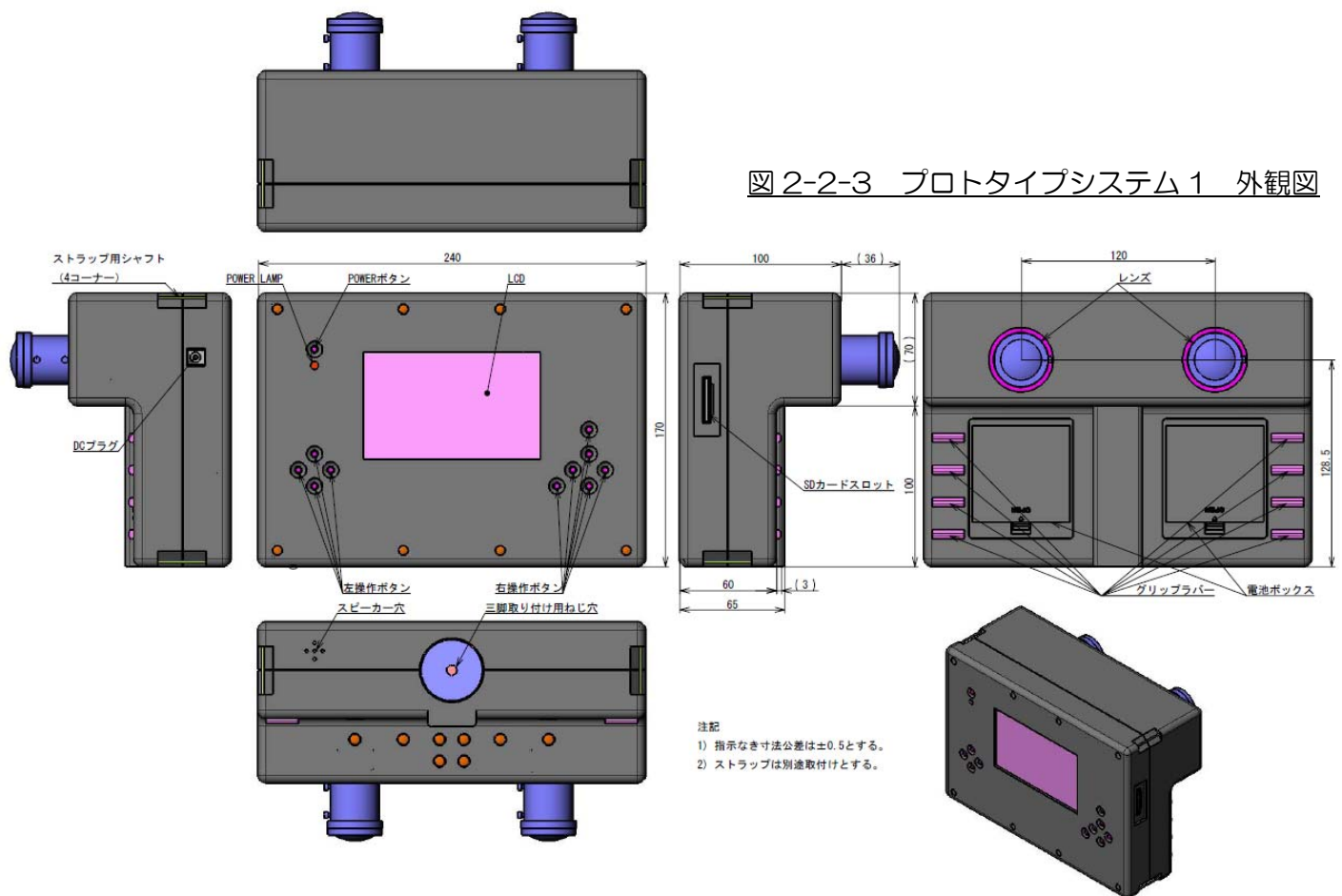


図 2-2-1 プロトタイプシステム1 構成図



b) カメラの固定は簡素化された形状で強度のある固定方法

カメラの固定は、カメラ専用のネジ穴で固定することを前提にし、2つのカメラが平行に取り付けられ、かつ軽量で耐衝撃・耐振動に対して強い部品(ステー)を使用した。

カメラ固定の形状は単部品構成で平板の鉄を使用し、三脚取付用止ネジと一体構造になるZ曲げ形状とした。(図 2-2-5)

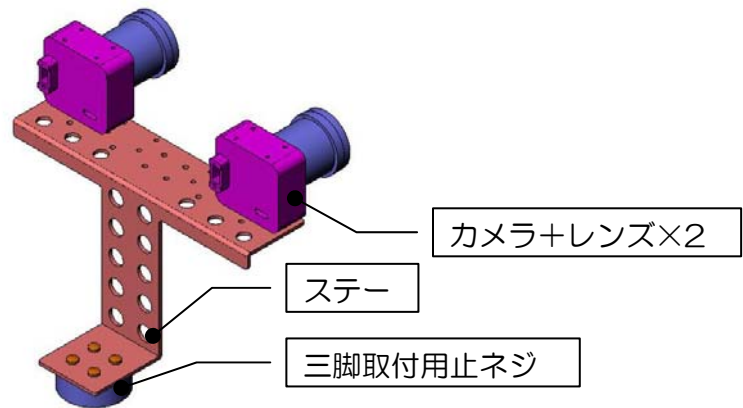


図 2-2-5 ステー形状部

c) 直置きした際の重心

プロトタイプシステム1を直置きした際の重心バランスに留意し、カメラ、レンズ、および電池ボックスの配置は筐体前面とし、サイズ感は厚み方法で吸収する構造とした。

さらに、傾き防止対策として筐体に凸形状を設けることで補強を図った。(図 2-2-6)

d) 手で持ちやすい形状

b)の内容を留意しながら、筐体の段差形状を利用することで手に持ちやすくなり、かつ筐体の前面にグリップラバーを取り付け、指にかかりやすい構造とした。(図 2-2-7)

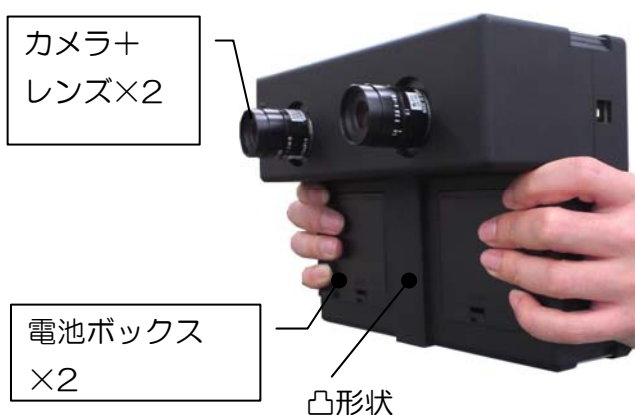


図 2-2-6 プロトタイプシステム1 測定状態



図 2-2-7 グリップラバー取り付け状態

・樹脂筐体による薄肉設計

本研究の外形サイズにて、金属筐体(アルミ)ではなく樹脂筐体(ABS)を採用することで、約60%の軽量化を図った。(図 2-2-8)

筐体の肉厚を薄肉設計とし、強度が弱いコーナー部はボスと筐体をリブで支える形状とすることで強度アップを図り、変形しづらい構造とした。(図 2-2-9)

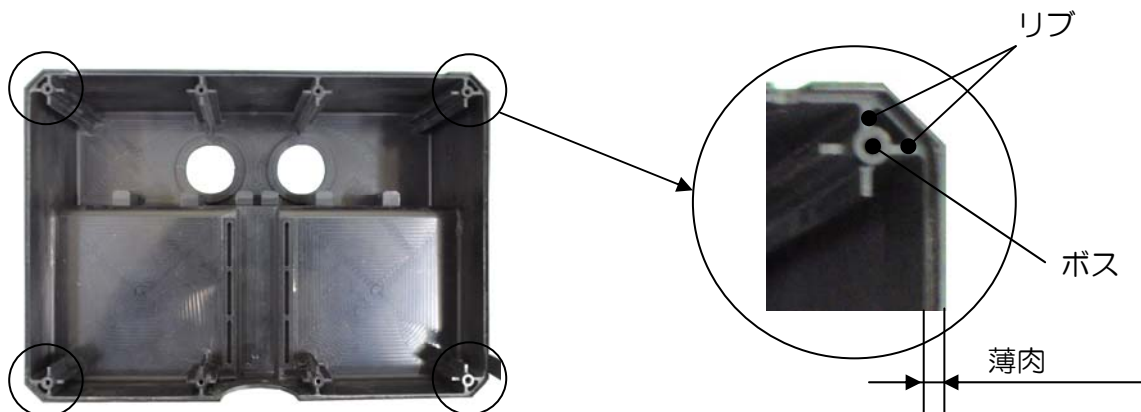


図 2-2-8 筐体裏面

図 2-2-9 ボス・リブ形状

・小型カメラの選定

プロトタイプシステム1用は、解像度と使用するレンズの画角、測定物までの距離から実現可能と考えられるカメラ、および重量も軽量であるカメラを選定した。プロトタイプシステム2用は、精度をより上げる為に高解像度である物と画像転送時間の短縮を目指してUSB3.0である物を選定。

なおかつ、小型を目的として29mm角の物をその中から選び、4種類選定した。(表 2-2-2)

	プロトタイプシステム①	プロトタイプシステム②			
解像度	1296*964	4096*2160	2080*1552	2560*1920	1280*1024
Mount	CS マウント	C マウント	CS マウント	C マウント	C マウント
Size	25.5*41*44mm	29*29*30mm	29*29*30mm	29*29*29mm	29*29*29mm
選定	部分形状計測 中間目標値 ±1mm の実現	高解像度化 USB3.0	高解像度化 USB3.0	高解像度化 USB3.0	USB3.0

表 2-2-2 カメラ選定一覧

② 基板のはんだ付け強度、冷熱サイクル耐久性の両立【2-2】

〈要約〉

・契約日から平成24年度の目標として、主要部品となっている1005サイズのチップ抵抗のフットプリントサイズを弊社基準のものから縮小したものを新規で3種類開発を行い、その中で最も基板のはんだ付け強度と冷熱サイクル耐久性に優れているものを研究成果とすることとする。その際に弊社基準のフットプリントと新規開発したフットプリントを比較したときに、実装占有面積として25%削減できることを目標としている。

〈結果〉

・研究の結果、弊社基準のフットプリント(図2-2-10)と、今回プロトタイプシステムで採用したフットプリント(図2-2-11)を実装占有面積で比較した結果、約25%削減することができ、目標を達成することができた。

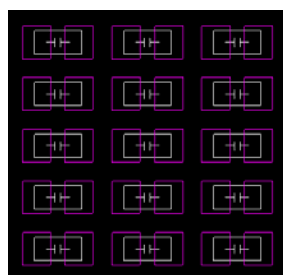


図 2-2-10 (5.3×5.1=27.03 mm²)

⇒
25%削減

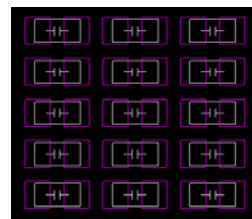


図 2-2-11 (4.8×4.2=20.16 mm²)

〈研究内容〉

・比較検討条件

弊社基準で使用しているフットプリントと本研究で3種類小型のフットプリントを新規開発し下記項目にて比較検討を行う。

- 1) Z:ランドパターン全長
- 2) G:ランドパターン間隔
- 3) X:ランドパターン幅

・選定部品詳細

フットプリントを開発するにあたり、本研究で使用した1005サイズのチップ抵抗の寸法と許容誤差を以下の表2-2-3と図2-2-12に示す。

L(長さ)	W(幅)	T(電極幅)	S(電極内側寸法)	H(高さ)
1 $\begin{smallmatrix} +0.1 \\ -0.05 \end{smallmatrix}$	0.5 ± 0.05	0.2 ± 0.1	$0.25 \begin{smallmatrix} +0.1 \\ -0.05 \end{smallmatrix}$	0.35 ± 0.05

単位 (mm)

表2-2-3 部品寸法

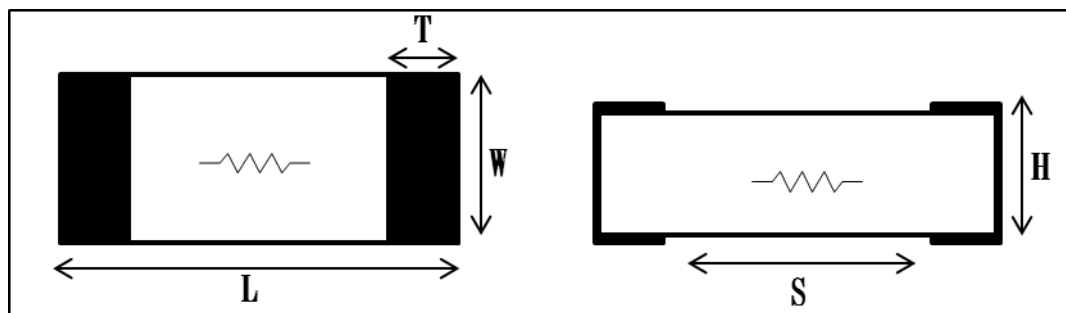


図2-2-12 部品寸法図

・フットプリントサイズ算出

フットプリントの算出式を用いて新規で3種類のフットプリントを新規で開発した。部品寸法にはんだフィレット部の要求寸法及び許容差を加算する方法だが、今回は先にフットプリントのサイズを決めてからフィレット部の寸法を求めることとした。フットプリントとフィレットのイメージは図2-2-13に示す。

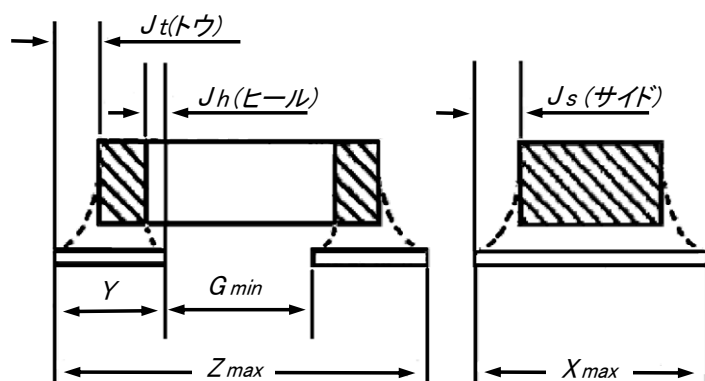


図2-2-13 フットプリントとフィレットイメージ

・新規開発フットプリント

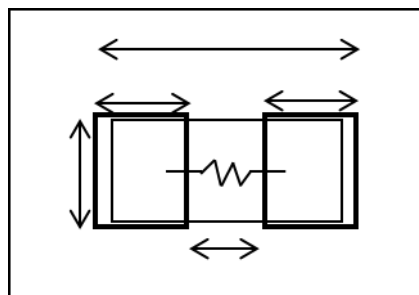
本研究で新規開発したフットプリントを図2-2-14に示す。

弊社基準フットプリントは、部品形状に対してすべてのフィレットが形成できるものになっている。

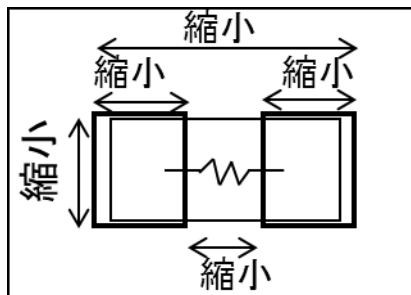
新規開発フットプリント1は、部品形状に対してすべてのフィレットが形成でき、弊社基準フットプリントより小さいものとなっている。

新規開発フットプリント2は、部品形状に対して部品幅許容差を確保でき、弊社基準のフットプリントより小さいものとなっている。

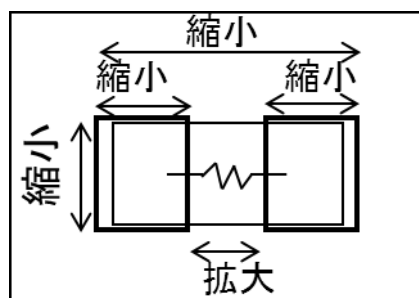
新規開発フットプリント3は、部品形状に対して部品端子間の間隔許容差を確保でき、弊社基準のフットプリントより小さいものとなっている。



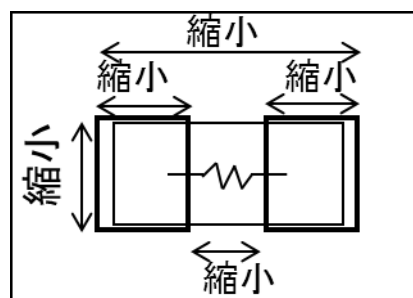
弊社基準フットプリント(3RMZ)
基準



新規開発フットプリント 1 (3RX)
Z・X 方向縮小



新規開発フットプリント 2 (3RS1)
Z・X 方向縮小



新規開発フットプリント 3 (3RS2)
Z・X 方向縮小 正方形

図2-2-14 フットプリント寸法

・新規開発フットプリントフィレット寸法

フットプリント算出の項で述べたように、フットプリントサイズから各フィレットを求めた。

・新規開発フットプリント評価基板

100×100mm基板に4種類のフットプリントを20×3個を均等に配置し評価を行った。

・フットプリント評価条件

1) はんだ接合評価

基板上に実装された部品のはんだ接合部は、基板との線膨張係数の違いにより、温度変化によってひずみを生じる。このひずみが繰り返しかかる事により、はんだ接合部の寿命を主に支配している。そこで、冷熱サイクル試験によりはんだの破断寿命を検証し、試験後にはんだの断面観察を行いはんだ状態を細部まで確認する。

2) 冷熱サイクル耐久性

はんだ付け寿命の予測としては、算出式に代入し導き出された加速係数AFから算出したところ、1498cycleとなった。従ってはんだの良否判定の判断基準を1500cycleに決定し、経過サイクルとして2000cycleまで実施することとした。

・試験確認結果

1) 導通抵抗確認結果

冷熱サイクル耐久性試験後の確認方法として導通抵抗確認方法を用いている。

評価基板に設けたテストパットに測定器を接続し評価対象のフットプリントの導通抵抗値を測定した。測定した結果、はんだの破断にまでは至っていない問題のない結果となっている。

2) 断面観察結果

冷熱サイクル耐久性試験後に、各フットプリントに実装した部品のはんだ付け状態を断面観察した。各フットプリントの結果として、3RX の場合は、クラックが非常に小さくはんだの破断もないため問題ない結果となっている。3RX1 および 3RS2 の場合は、クラックが大きく入っているがはんだの破断にまでは至っていないため問題ない結果となっている。

上記の確認結果から、新規開発したフットプリント全て問題のない結果となっているがその中でもクラックが小さく、部品形状に対してすべてのフィレットが形成できはんだ付け強度の信頼性を確保できる3RXをプロトタイプシステムに採用し開発することとした。

③ 光学的設計 の小型化と安定した実装の実現【2-3】

〈要約〉

・ 小型かつ安定したカメラ固定方法を研究・開発し、手動によるカメラパラメータ校正なしで 1 年間使用できる計測システムを実現する。光学的な 3 次元計測手法では、計測に際してカメラキャリブレーションと呼ばれるパラメータ校正作業を行う必要があり、この作業の実施には画像計測に対する深い知識と経験が求められる。特別な知識・スキルを持たないユーザーが計測を簡便に行うためには、極力このパラメータ校正作業を省略する必要がある。この課題に対し、カメラモジュールとレンズの小型かつ強固な固定方法について開発を実施する。

〈結果〉

・ 直接的な外力、熱が加わらなければカメラ固定が強固なため位置ずれしづらい。
そのため、通常毎回校正する必要はない。但し、今後、外力、温度条件を設定し、正規構造(カメラ仕様含む)、材料にて現物での評価を行い確認する。

〈研究内容〉

・ 強固な固定方法

カメラの強固な固定方法として、以下の項目を取り入れた構造とした。

(図 2-2-15, 図 2-2-16)

a) ネジの緩み防止

カメラ固定は、ばね座金・平座金付きネジ（緩み止め防止ネジ）で 4 点固定とする。

b) 固定側の強度

カメラの筐体を樹脂からアルミに変更し、ネジ穴の強度UPを図った。

c) カメラ固定受け側の強度

ステーは強度のある鉄材を採用。

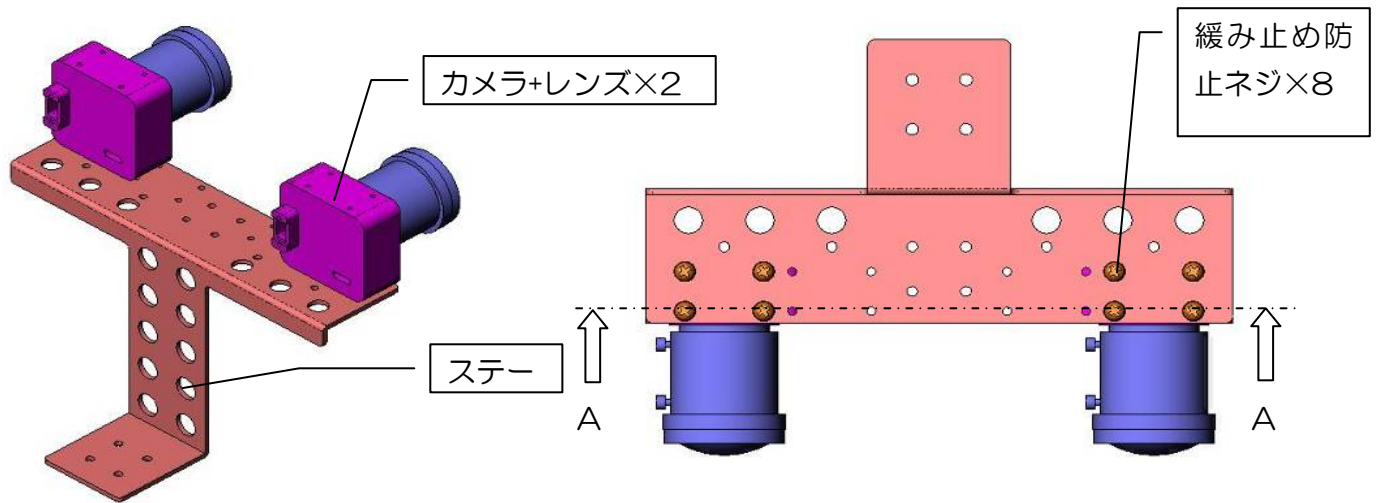


図 2-2-15 ステアASSY

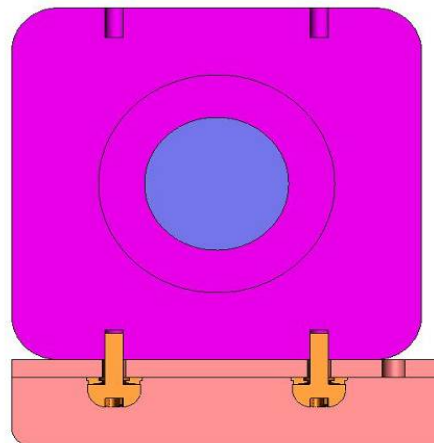


図 2-2-16 ステアASSY A-A 断面

2-3 計測の迅速さと簡易さの実現

①計測処理の高速化【3-1】

②カメラパラメータ校正の自動化【3-2】

③簡易な操作系の実現【3-3】

簡易な操作系の実現を目的として（１）形状位置合わせの自動化、（２）撮影ガイド機能を実現した。

既存の３次元形状計測システムの問題点として

（i）統合した３次元モデルを得るために手作業が必要

（ii）計測中に計測結果を確認することができない

がある。

（i）は、計測時間の半分以上をこの作業が占め、手軽な計測に対する大きな障害となっている。この問題に対し（１）形状処理の全自動化を実現し、計測中にリアルタイムでの結果確認を実現した。

（ii）は、計測データの不足を計測中に確認する手段がないという問題である。この問題に対しては、計測中のファインダー画像に計測済の形状データを重ねて表示し、計測不足部分をガイドすることで解決した。

（１）形状計測処理の全自動化

ユーザーが特別な操作をすることなしに、撮影から３次元形状モデルの確認まで全自動で処理する計測システムを構築した。これまで自動化の障害となっていた形状位置合わせ処理の初期位置指定の問題を 2-2-②で説明した２次元特徴量ベースの位置合わせ手法を開発することで解決している。

（２）撮影ガイド機能の実現

ユーザーに対し計測が足りない部分の情報を提示することを目的とし、リアルタイムでファインダー画像に３次元形状データを重ねて表示する撮影ガイド機能を実現した。

具体的には、あらかじめ計測された３次元形状データをファインダー画像の画像座標系に投影した『ガイド画像』を生成し、ファインダー画像と重ね合わせることで、計測された部分をユーザーに提示している。

2-4 プロトタイプシステム構築および評価

① プロトタイプの開発【4-1】

<要約>

- ・撮影機能、データ転送機能、表示機能を持つプロトタイプシステムの開発を行い、搭載するソフトウェアの開発を行う。それに加えて外部計算装置によって処理される3次元形状計測ソフトウェアの開発も行う。
- ・ケイテック(株)および東杜シーテック(株)の二社で撮影機能、データ転送機能、3次元形状計測機能、結果表示機能の各機能の実現と、機器サイズおよび機器重量に関する目標の達成を確認するため、部材を購入しプロトタイプシステムを製作する。
- ・プロトタイプシステムの作成台数は5台とし、ケイテック(株)にプロトタイプシステムを設置し、ケイテック(株)と東杜シーテック(株)が使用する。

<結果>

- ・プロトタイプシステムを以下の内容で5台作成し、撮影機能、データ転送機能、表示機能を持つ3次元形状計測装置が実現できた。

作成した5台の内訳は表4-1-1した通り、プロトタイプシステム1で1台、プロトタイプシステム2として2種類を各2台作成し4台として、Total_5台の作成とした。

プロトタイプシステム		
プロトタイプシステム1	プロトタイプシステム2 ベース距離：120mm	プロトタイプシステム2 ベース距離：60mm
	 別途PCが付属	 別途PCが付属
1台	2台	2台

表4-1-1 プロトタイプシステム作成内訳

＜研究内容＞

【作成機器概要】

プロトタイプシステムを作成するのに目的を定め、目的別にプロトタイプシステムの作成を行った。

●プロトタイプシステム1 (ARMベース)

機能検証を行う為の装置。

組込みCPUを用いて専用基板を作成、

専用筐体を作成し、外部計算装置との通信を行い、3次元計測を行う。

●プロトタイプシステム2 (PCベース)

使い勝手の確認を行う為の装置。

外部にノートPCを接続し、装置の制御を行う。

プロトタイプシステム1 (ARMベース)の筐体と同寸とし、

使用感の比較を行う。

カメラのベース間距離の検証を行う為に、120mmと60mmの2種類を作成。

【作成機器詳細】

各装置の内容について、以下に詳細を記す。

●プロトタイプシステム1 (ARMベース)

全体構成としては、図4-1-1に記すが、装置を動作させるコアCPUとしてARMを用いてシステムを構成。

インターフェースとしては、無線LAN、USB2.0、シリアル、GPIOがあり、専用筐体内にすべて収める構成とする。

本装置に使用する基板は、専用で開発を実施している。

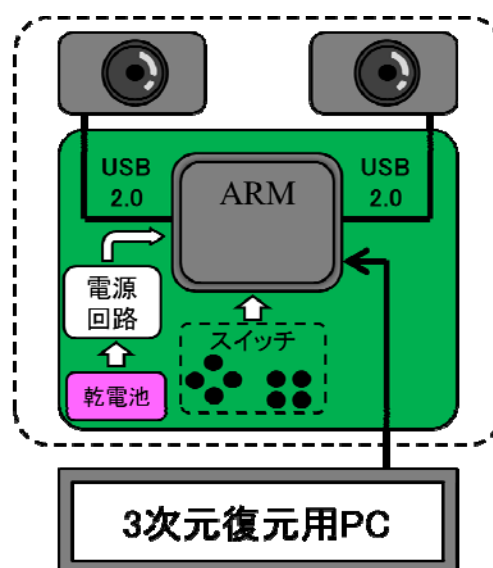


図4-1-1 プロトタイプシステム1 (ARMベース) 全体構成

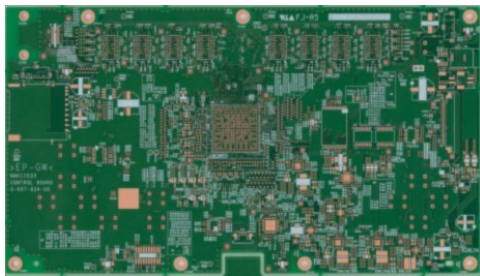


図4-1-2 作成基板 A面

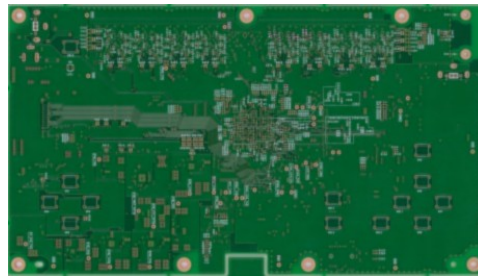


図4-1-3 作成基板 B面

- ・波形検証

作成した専用基板に対して、開発検証で波形確認を実施。
測定結果から問題なしの結果となっている。

◆機構

研究No【2-1】【2-3】にて実施した小型化筐体を用いて作成
詳細については、各項目で説明。

◆ソフト

プロトタイプシステム1 (ARMベース) のシステムを構築する上で、
以下の機能を実現させている。

- ・ ARMベース開発環境構築
- ・ 同期撮影
- ・ 3次元計測
- ・ 同期データ転送
- ・ 2次元特徴点ベース形状位置合わせ
- ・ LCD結果表示(2次元)

各機能の詳細については、研究No【1-1】【1-2】にて説明。

●プロトタイプシステム2(PCベース)

全体構成としては、図4-1-4に記すが、装置を動作させるCPUとして、外部にPCを準備しシステム全体の動作を実現する。

最終的な使い勝手を検証をする為に、画像転送スピード向上を目指しUSB3.0のカメラを選定しレスポンスを良くできる構成とする。

モニターやスイッチ類も同様に外部PCへ接続を行い実現させた。

筐体はARMベースの物と同寸とし、使用感の比較をできるようにした。

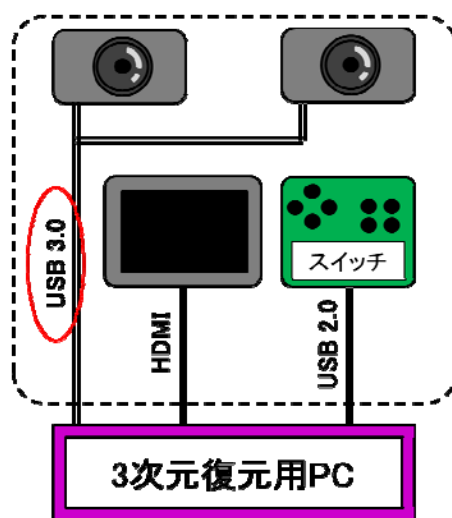


図4-1-4 プロトタイプシステム2(PCベース) 全体構成

◆機構

研究No【2-1】【2-3】にて実施した小型化筐体を用いて作成
詳細については、各項目で説明。

◆ソフト

プロトタイプシステム2(PCベース)のシステムを構築する上で、
以下の機能を実現させている。

- ・撮影ガイド機能
- ・同期撮影
- ・3次元計測
- ・非同期データ転送
- ・2次元特徴点ベース形状位置合わせ
- ・3次元点群ベース形状位置合わせ
- ・全体最適化（位置合わせ）
- ・3次元モデル表示

各機能の詳細については、研究No【1-1】【1-2】にて説明。

第3章 全体総括

3-1 総括

本年度の研究成果としては、項目【1-3】に記したとおり目標としていた内容を達成できている。

3次元形状計測については、部分計測、全体形状計測共に実現できており、本年度の目標ではなかったがパターン投光をした際の研究も行い、良好な結果が得られている。ただ、今後の課題としてはハードウェアの小型軽量化へ向けたカメラの検討と、投光システムの検討が必要となる。

機器の小型化としては、筐体作成を行う際に樹脂を用いて軽量化の実現をしており、カメラ部は強度を保つ為に重量が増えるが金属にて強度の確保もできている。ランドの小型化については、3種新規で作成しどのランドも問題なしであったが、一番条件が良い物を専用基板上で実現もしている。今後は筐体の小型化を進めるのに小型カメラの検証や回路の削減などが課題となってくる。小型カメラは樹脂レンズである事が多く、歪みや解像度の面で検証が必要となってくる。

これらの研究内容を踏まえてプロトタイプシステムを5台作成できている。大きく2種類のプロトタイプシステムを作成し、計測精度の検討だけでなく事業化を見据えての検証もできるようにしている。

今後事業化へ向けては、世の中のニーズを更に調査し、小型軽量で使い勝手の良い製品を目指して研究をする必要がある。誰でも簡単に使えれば自動車業界だけでなく他分野での応用も期待できる。