

平成28年度
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「複合材パネルのトリム作業自動化を目的としたトリムライン自動検出法の開発」

研究開発成果等報告書

平成29年3月

担当局 近畿経済産業局

補助事業者 株式会社 ダイイチテクノス

間接補助事業者 株式会社 マルイ

株式会社 エムキューブ

国立大学法人 福井大学

国立大学法人 和歌山大学

目 次

第1章 研究開発の概要	-----	4
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	-----	4
1-1-1 研究開発の背景	-----	4
1-1-2 研究目標	-----	4
1-1-3 研究開発の取り組み、評価	-----	5
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	-----	7
第2章 本論	-----	8
2-1 全空間テーブル化手法	-----	8
2-1-1 位相解析手法の概要	-----	8
2-1-2 全空間テーブル化手法の概要	-----	9
2-2 試験装置	-----	10
2-2-1 計測装置	-----	10
2-2-2 ロボットによる計測装置	-----	11
2-3 計測を行うために開発されたソフトウェア	-----	12
2-3-1 計測ソフトウェアのキャリブレーション画面	-----	12
2-3-2 計測ソフトウェアの計測画面	-----	12
2-4 任意位置にセットした3次元曲面パネルのトリムライン計測能力の確立	-----	13
2-4-1 試験方法	-----	13
2-4-2 実測データ(三次元測定器による測定値)	-----	14
2-5 ロボットによる大型3次元曲面パネルの形状及びトリムライン計測法の確立	-----	15
2-5-1 試験装置	-----	15
2-5-2 試験方法	-----	15
2-5-3 重実測データの算定	-----	16
2-6 任意の位置にセットした大型3次元曲面パネルの形状及びトリムライン計測法の確立	-----	17
2-6-1 試験装置	-----	17
2-6-2 計測データの算定	-----	17
2-6-3 実測データの算定	-----	18

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

1-1-1 研究開発の背景

基盤技術の高度化が求められる航空機産業は成長産業のひとつと期待されている。この航空機産業の民間機部門に対し日本の機体メーカーは1978年に開発が始まったボーイング767から機体開発に本格参入し、767ではそのワークシェアを15%獲得した。

その後、1990年に開発がスタートした777ではワークシェアを21%に伸ばし、さらに2004年に開発がスタートした787では航空機において最も重要な部位である主翼や胴体を含め35%までワークシェアを伸ばしてきた。

今後開発される機体についても継続して受注し、更にワークシェアを伸ばすには非常に厳しい国際的な価格競争に確実に勝つことが必須条件になっている。

この価格競争に打ち勝つには生産工程の自動化技術確立することが必要であり、近年の航空機で多用されている複合材部品の原価低減を図るには、製作工程において未だ自動化が充分ではないトリム工程、塗装工程、及び完成後の製品の計測作業等について自動化技術の確立を行うことが求められている。

1-1-2 研究目標

製造工程は多岐にわたるが、当該研究開発では、完成後の製品の計測作業での省力化を目指す。

航空機の構成部品の内、現在、あるいは、今後もっとも主要な素材は複合材である。

複合材パネルは、通常、必要サイズよりも若干大きめに製造され、その後、製品サイズにトリムされる。その後、検査工程で規定通りのサイズか否かを検査することになるが、複合材パネルは形状が均一な曲率にはなっておらず、また、計測精度も要求されるため、手作業での計測は難しく、また、機械測定を行うにも、製品のセットなど手作業が多く発生する。

当該研究開発では、出来る限り手作業を低減できる3次元計測装置の開発を目指すことで、複合材パネル製造コストの削減を実現しようというものである。

この3次元計測装置では、

- ① 任意位置、任意方向にセットされた
- ② サイズの大きな製品を
- ③ 規定された公差内で(トリムラインの公差 0.1mm、曲面形状の公差 0.4mm)

計測できることを目的とする。

なお、この自動計測技術確立のために、和歌山大学・福井大学で研究開発された「全空間テーブル化手法」による形状計測手法を用いることとする。

1-1-3 研究開発の取り組み、評価

ソフトウェアの開発や機器の設定は若干日程の遅れはあったものの、すべて計画通りに完了し、結果を出すことができた。

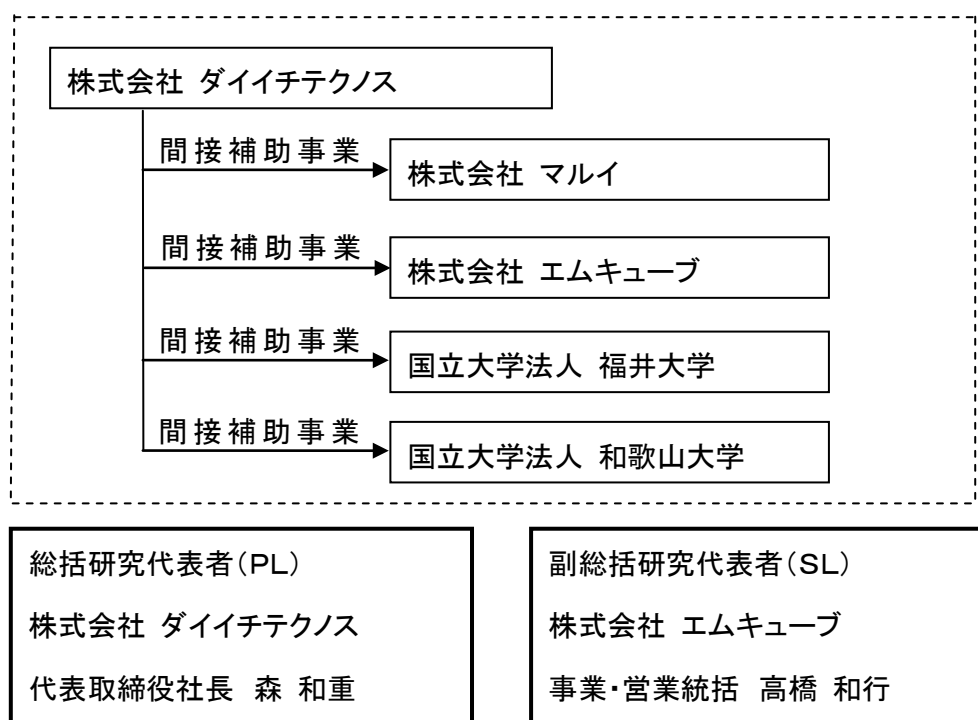
これを用いた計測試験もすべての項目について完了することができ、当初立てた目標に対して良い成果を得るとともに、今後、事業化に向けて継続する研究開発に確実につながる見通しも得られた。

しかし、その一方で当初計画時には見通せなかった各種の新たな技術課題が明らかになった。

明らかになった技術課題については、今後、独自に研究開発に取り込み、事業化に結び付けていく予定である。

1-2 研究体制

研究組織(全体)



〔PL〕

株式会社 ダイイチテクノス

代表取締役社長 森 和重

〒557-0063 大阪市西成区南津守5丁目 6 番25号

TEL:06-6655-3224、FAX:06-6656-7272

E-mail:k.mori@d-technos.co.jp

〔SL〕

株式会社 エムキューブ

事業・営業統括 高橋 和行

〒530-0001 大阪市北区梅田1丁目 1 番3号 大阪駅前第3ビル25F

TEL:06-6344-6206、FAX:06-6347-0660

E-mail:k.takahashi@mqb.co.jp

1-3 成果概要

① 技術目標

任意の形状、任意の大きさの複合材料パネルを任意の位置にセットされた状態で、そのトリムラインを、全空間テーブル化手法を適用して高精度で検出する計測手法の確立。

[成果]

全空間テーブル化手法の基礎技術をベースに、位相接続の技術確立により高さのある製品の計測、また画像重ね合せの技術確立により大きな製品の計測を精度良く実施できる手法を確立した。

② 検出精度目標

- ・トリムライン：公差 0.8mm に対し、**測定精度の目標値：0.1mm**
- ・曲面形状：公差 0.8mm に対し、**測定精度目標値：0.4mm**

[成果]

- ・トリムラインの計測精度は最大で 0.8mm を超え、目標達成はできなかった。
また、計測条件によってはこれを超えるケースも発生し、引き続き「安定した計測技術の確立と精度向上」の検討が必要と思われる。
- ・曲面形状の計測精度は誤差のうち、目標値の 0.4mm を超えるデータが全体の約 19%に上り、目標達成はできなかった。
計測条件によっては目標値を外れた比率がこれより少ないケースもあり、上記トリムラインの計測と同様、引き続き「安定した計測技術の確立と精度向上」の検討が必要と思われる。

なお、いずれの課題も原因究明はできており、検討した対策を推し進めることで精度目標の達成は可能と考えている。

③ コスト低減目標

- ・現状のパネルの寸度及び形状の計測に対する**原価低減目標値：80%**

[成果]

- ・全空間テーブル化手法の適用により計測時間の短縮化が達成でき、また作業内容も被計測物を所定のテーブルに置くだけになり作業工程が簡略化したため、設定した原価低減目標は充分達成できる見通しができた。

1－4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社 ダイイチテクノス

代表取締役社長 森 和重

〒557-0063 大阪市西成区南津守5丁目 6 番25号

TEL:06-6655-3224、 FAX:06-6656-7272

E-mail:k.mori@d-technos.co.jp

第2章 本論

2-1 全空間テーブル化手法

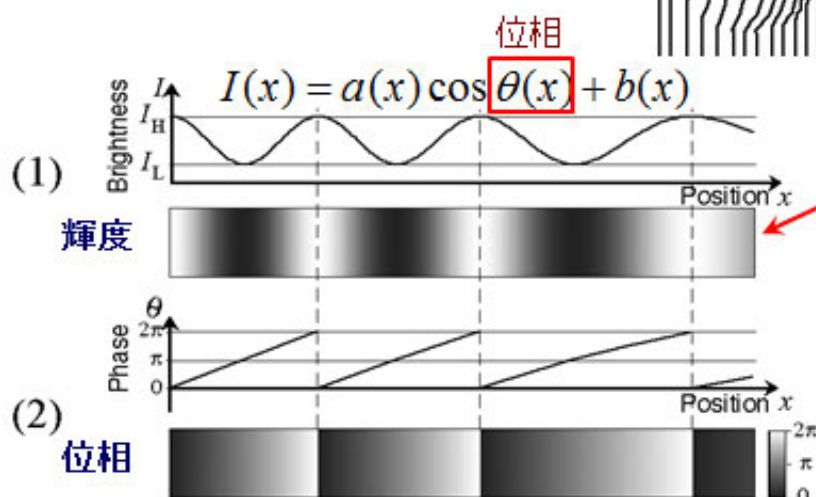
2-1-1 位相解析手法の概要

全空間テーブル化手法の基礎には、位相解析手法がある。

位相解析手法の概念を図 2-1-1 に示す。

三次元形状計測における 位相解析手法

明るさの変化を波とみなす
→ 波の位相を求める



- ・ 位相は1画素ごとに独立に得られる。
- ・ 数十分の1～数百分の1の分解能

高精度な形状計測

図 2-1-1 位相解析手法の概念

2-1-2 全空間テーブル化手法の概要

全空間テーブル化手法の概念を図 2-1-2 と図 2-1-3 に示す。

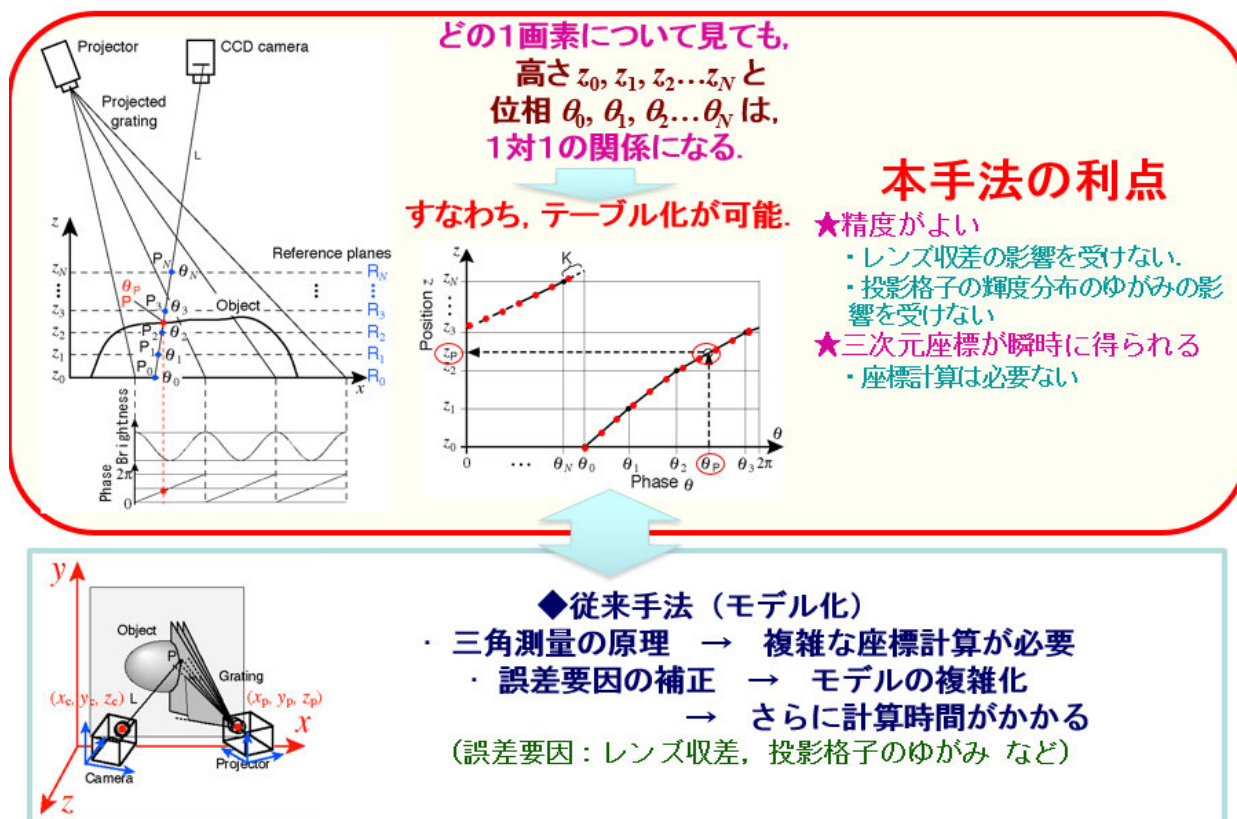


図 2-1-2 全空間テーブル化手法の概念(1)

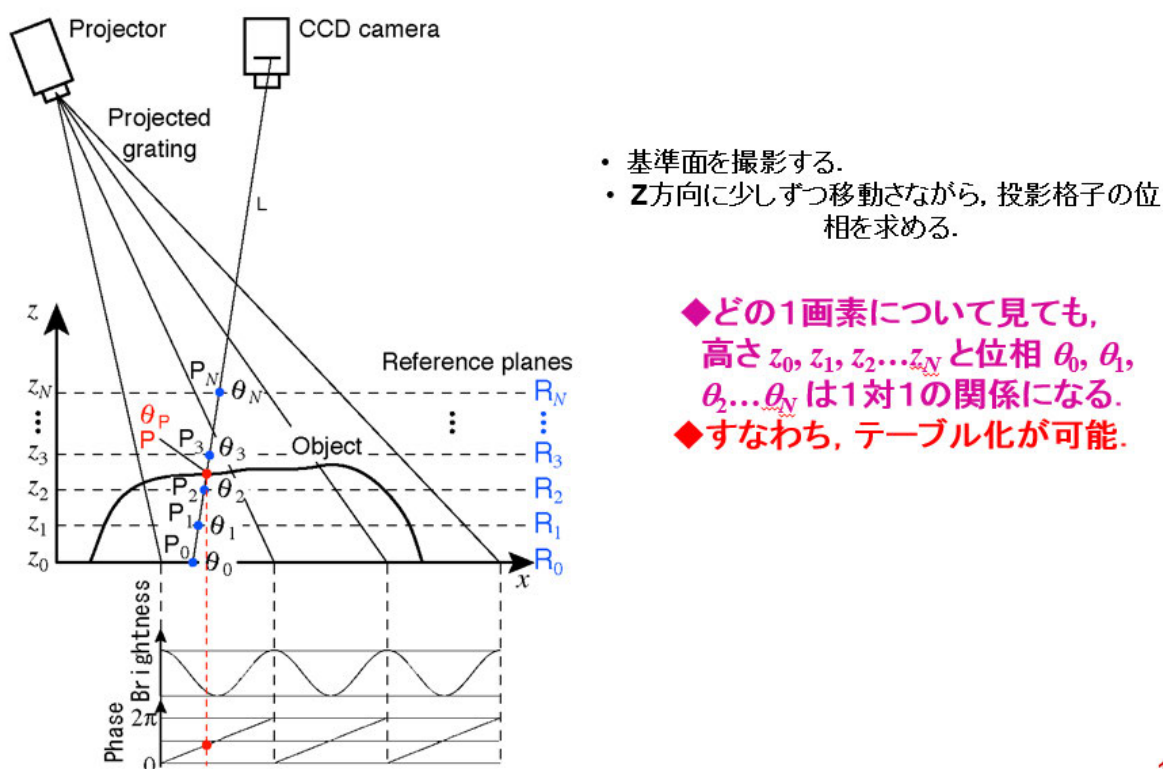


図 2-1-3 全空間テーブル化手法の概念(2)

2-2 試験装置

2-2-1 計測装置

計測装置のハードウェアとして、以下のものを製作した。

- ① 計測深度を高める目的で行う位相接続のための青色 LED デバイス
- ② 青色ライン LED デバイスの制御を行うコントローラ
- ③ カメラ等のキャリブレーションを行うための実践型計測装置
- ④ ロボットアームの先端に装着して計測を行うための、計測装置

なお、これら製作した装置を図 2-2-1 及び図 2-2-2 に示す。

図 2-2-2 の写真は青色ライン LED デバイスである。

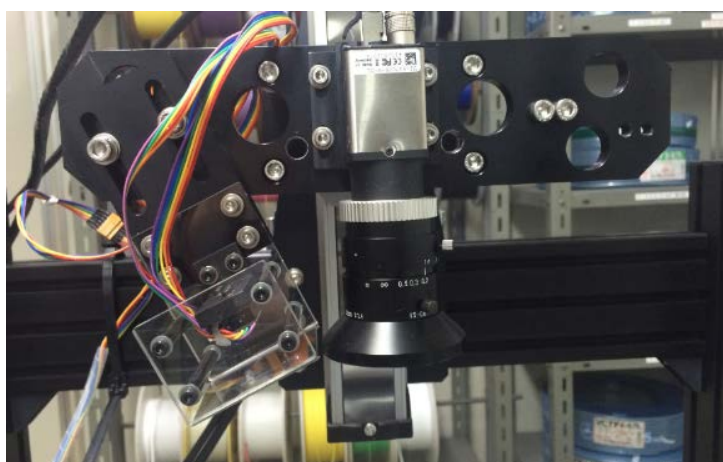


図 2-2-1 実践型計測装置

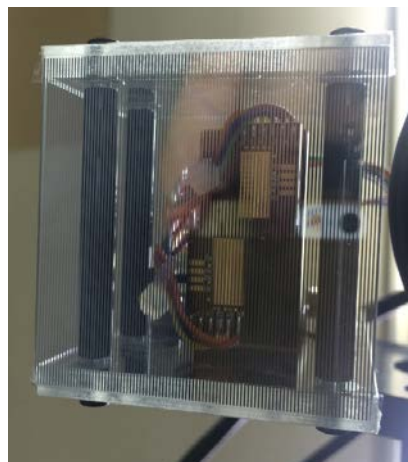


図 2-2-2 青色ライン LED デバイス

また、青色ライン LED デバイスを制御するためのコントローラを図 2-2-3 に示す。



図 2-2-3 青色ライン LED コントローラーおよび設置状況図

2-2-2 ロボットによる計測装置

1)ロボットの性能

当該研究開発の計測に用いたロボット:KR-16(ドイツ KUKA 社製)の性能を表 2-2-1 に、またロボット外観の写真を図 2-2-3 に示す。

表 2-2-1 ロボットの性能

ロボット本体	性 能 ・ 仕 様
最大可搬重量	16kgf
最大リーチ	1,611mm
使用環境温度	10℃～55℃
軸数	6 軸
絶対位置精度	0. 7mm
繰返し位置精度	0. 05mm
コントローラ関係	
コントローラ	KRC4
標準ソフトウェア	KSS8. 3
インターフェイス	EtherNet IP 通信ユニット

2)ロボットに装着した計測装置

ロボットアームの先端に装着した計測装置はカメラ、LED(コントローラを含む)をアダプタと一体にしたものを適用した。

その理由は実践型計測装置の方がキャリブレーション作業の実施が容易であり、さらに全空間テーブル化手法ではカメラと LED の位置関係を変えなければキャリブレーションで得られた仮想空間上にあるリファレンス・テーブルも1対1で対応している理論に基づいたものである。

ロボットアーム先端に装着した計測装置の写真を図 2-2-4 に示す。



図 2-2-4 KR-16 ロボットの外観

2-3 計測を行うために開発されたソフトウェア

『計測ソフトウェア』は、キャリブレーションと計測」の2ブロックから構成される。

キャリブレーションとは、計測対象物のない状態でカメラを一定距離ごとに移動させて、それぞれの位置での位相状態をテーブル化させることで、計測を高速に行うための準備を行うものである。

また、計測は、キャリブレーションで作成されたテーブルを用いて計測を行うものである。

2-3-1 計測ソフトウェアのキャリブレーション画面

計測ソフトウェアの機能の内、キャリブレーションを行う画面を図 2-3-1 に示す。

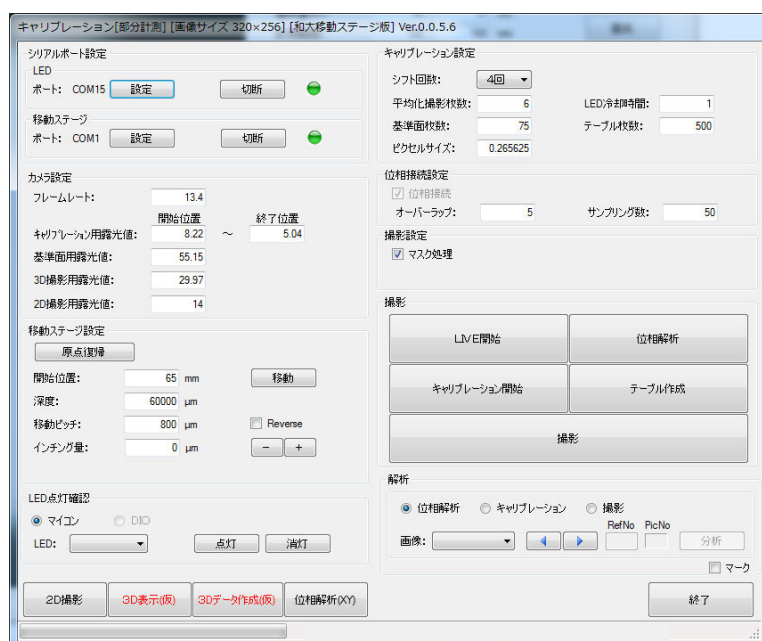


図 2-3-1 キャリブレーション画面

2-3-2 計測ソフトウェアの計測画面

計測ソフトウェアの機能の内、計測を行う画面を図 2-3-2 に示す。



図 2-3-2 計測画面

2-4 任意位置にセットした3次元曲面パネルのトリムライン計測能力の確立

昨年度製作した実践型計測装置を用いて測定した供試体の高さを嵩上げし、D-shaped 形状のものを製作して供試体とした。なお、今回のD-shaped 供試体は、長さを 55mm としたものに 20mm の高さを嵩上げたものを製作して供試体とした。製作した供試体を図 2-4-1 と図 2-4-2 に示す。

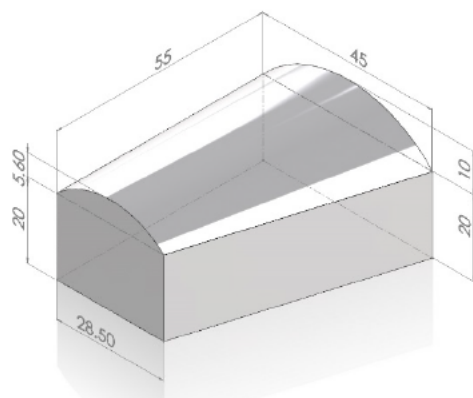


図 2-4-1 D-shaped 供試体 寸法図

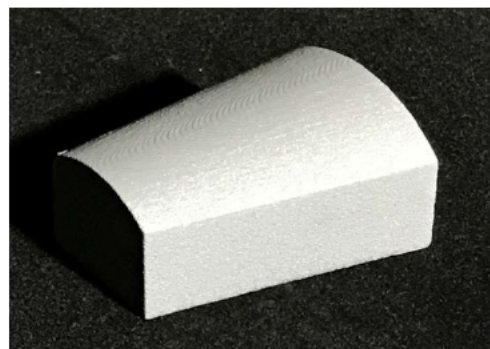


図 2-4-2 製作した供試体

2-4-1 試験方法

製作した実践型計測装置を用い全空間テーブル化手法によりD-shaped 供試体を計測した。この計測データと、2-4-2項で算定した実測データを比較することとした。

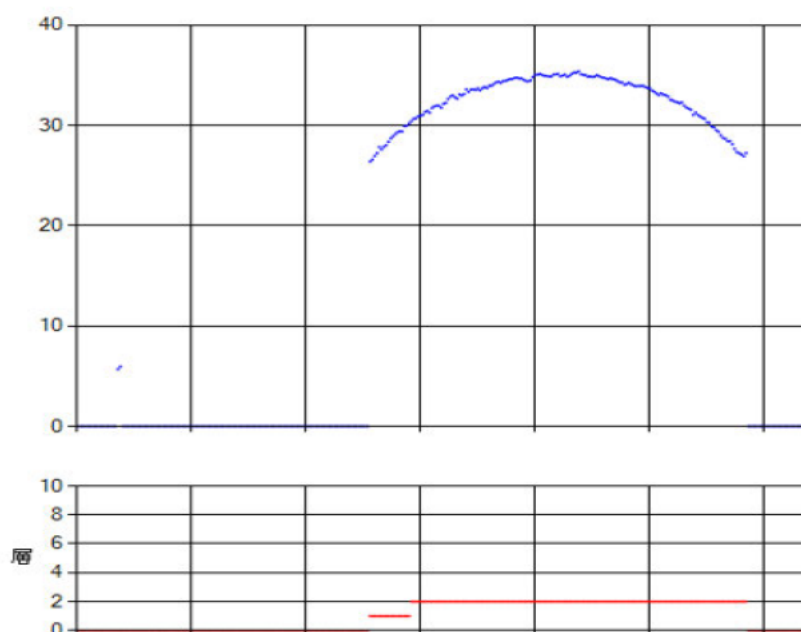


図 2-4-3 位相図の断面における位相対輝度および3層の位相接続と Z 座標の関連図

2-4-2 実測データの算定(三次元測定器による測定値)

計測データを評価するため、接触型3次元計測装置を用いて実測を行った。

図 2-4-4 は実測データを XY 座標にプロットしたもので、縦方向を X、横方向を Y としている。

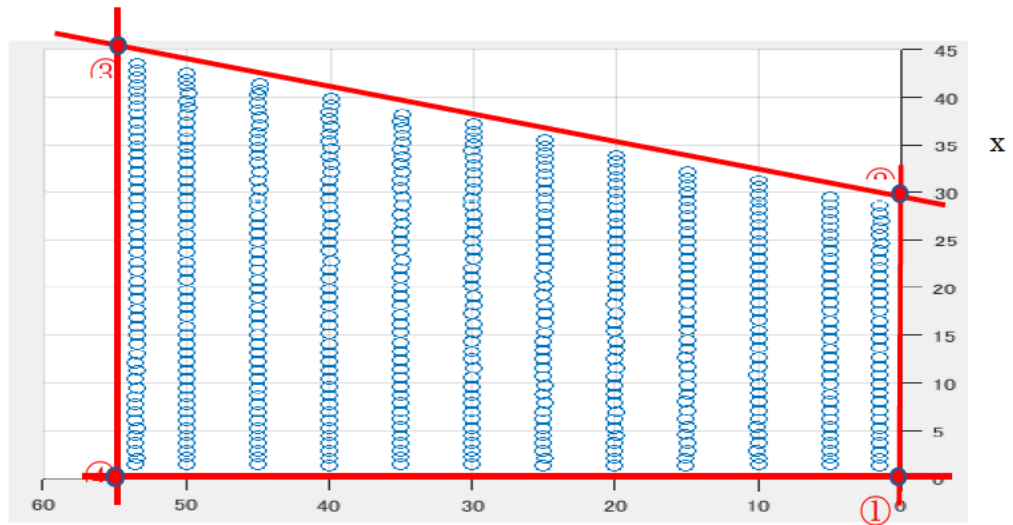


図 2-4-4 D-shaped 供試体の実測データ

3次元測定器により実測した 4 コーナーの (X、Y) 座標を下記に示す

- ① (x, y)=(0.00, 0.00)
- ② (x, y)=(28.27, 0.00)
- ③ (x, y)=(44.63, 55.15)
- ④ (x, y)=(-0.25, 55.21)

$$\begin{aligned} \text{①}-\text{②} & \sqrt{(28.27-0.00)^2 + (0.00-0.00)^2} = 28.27 \\ \text{②}-\text{③} & \sqrt{(44.63-28.27)^2 + (55.15-0.00)^2} = 57.52 \\ \text{③}-\text{④} & \sqrt{(-0.25-44.63)^2 + (55.21-55.15)^2} = 44.88 \\ \text{④}-\text{①} & \sqrt{(0.25-0.000)^2 + (55.21-0.00)^2} = 55.21 \end{aligned}$$

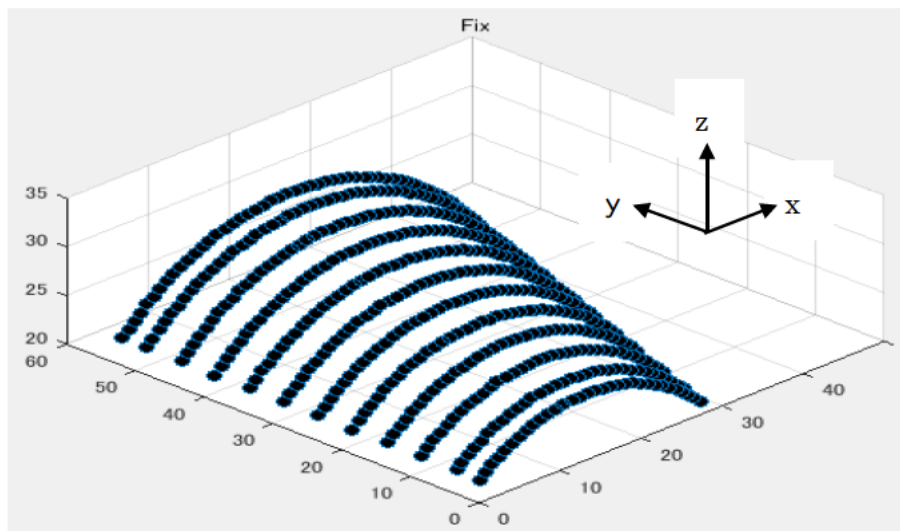


図 2-4-5 D-shaped 供試体の3次元実測データ分布

2-5 ロボットによる大型3次元曲面パネルの形状及びトリムライン計測法の確立

計測用の大型3次元曲面パネルとして図 2-5-1 に示す計測用供試体#02を用いる。

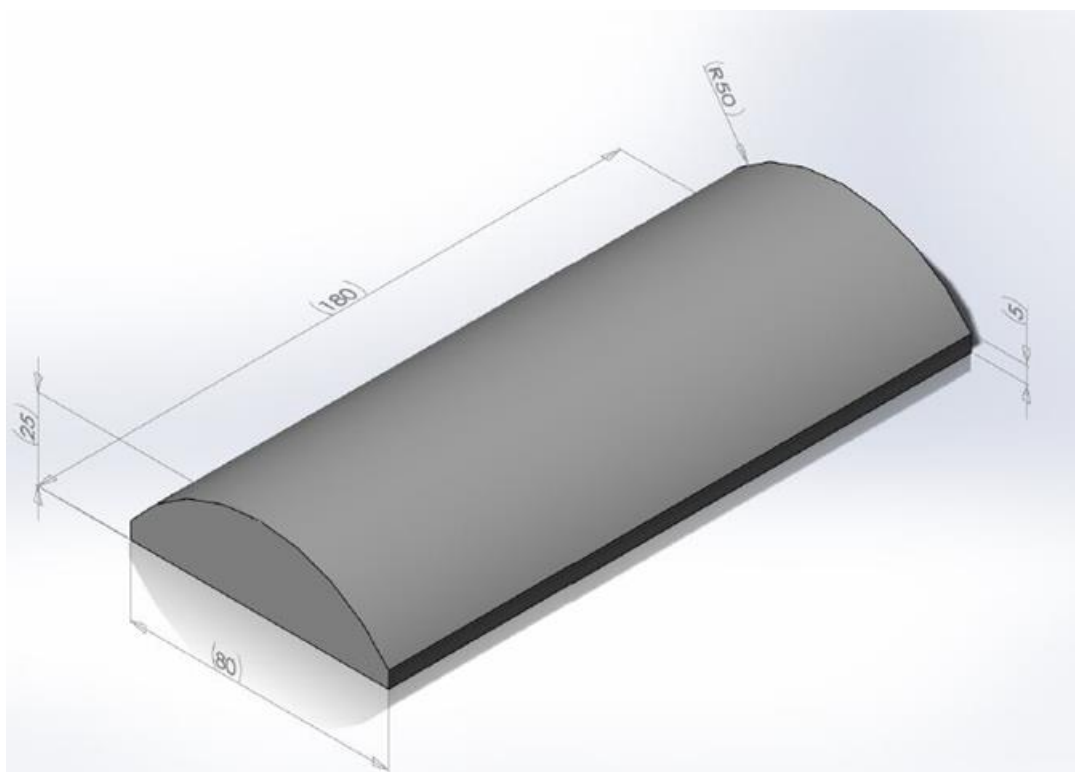


図 2-5-1 計測用供試体#02

2-5-1 試験装置

2-2項の『試験装置』と、2-3項の『計測を行うために開発されたソフトウェア』を用いた。

2-5-2 計測データの算定

全空間テーブル化手法により得られた計測データについてノイズ除去及び平滑化を行った全体画像のデータを作成した。このデータに基づき MATLAB により供試体パネルの曲面形状を算定するとともに、手計算も加えてエッジ(トリムライン)間の寸度を算定した。

この計測データと2-5-3項で算定した実測データを比較した。

2-5-3 実測データの算定

計測データを評価するため、接触型3次元計測装置を用いて実測を行った。

① (0.00, 0.00) ② (0.00, 80.10)

③ (180.04, 80.12) ④ (180.05, 0.02,)

従って、各コーナー間の直線距離は以下の通りとなる。

①-② 80.10mm ②-③ 180.04mm

③-④ 80.10mm ④-① 180.05mm

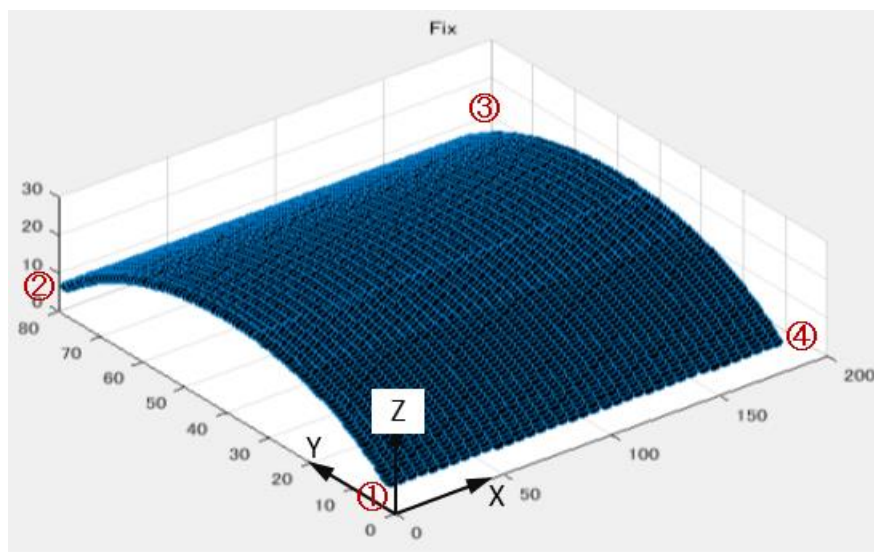


図 2-5-2 実測した各コーナーの番号

2-6 任意の位置にセットした大型3次元曲面パネルの形状及びトリムライン計測法の確立

大型3次元曲面パネルのトリムラインを計測するため、ロボットにカメラおよびLEDを装着し、複数個所の計測(撮影)データを重ね合わせる計測手法を確立する。

また、Z方向の計測範囲を広げることを目的に行っている位相接続を併用し、位相接続と重ね合わせを共に用いた場合の大型計測物の計測手法を確立することを目的とする。

計測用の大型3次元曲面パネルとして図 2-6-1 に示す翼型供試体#01を用いる。

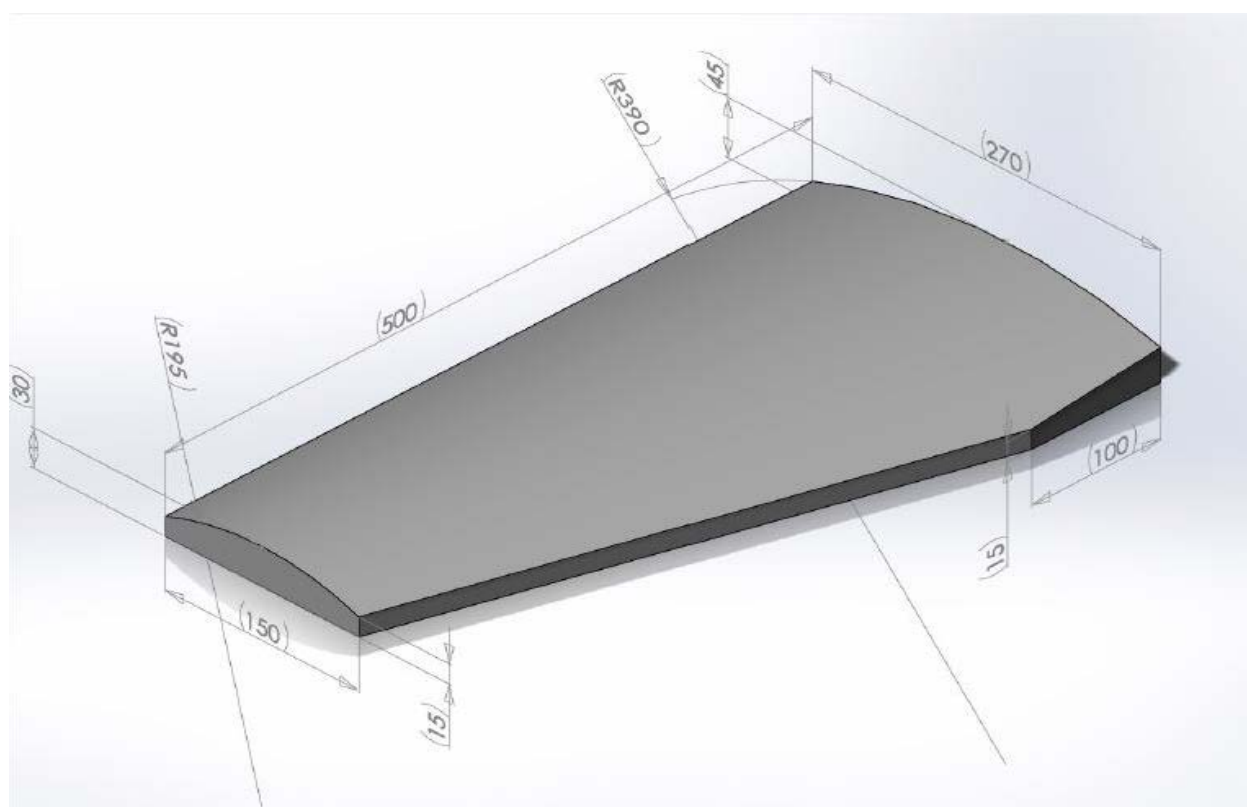


図 2-6-1 計測用翼型供試体#01

2-6-1 試験装置

2-2項の『試験装置』と、2-3項の『計測を行うために開発されたソフトウェア』を用いた。

2-6-2 計測データの算定

上記2-6-1項で規定した試験装置を使用して、計測データの算定を行った。

2-6-3 実測データの算定

供試体の正確な寸度を計測するために、接触型の3次元計測装置を用いた。

実測に当たっては、外周から1mmの内側を、X方向に1mm間隔、Y方向に5mm間隔で測定し、その全てのデータについて、計測データと比較することとする。

接触型3次元計測装置によって計測された曲面データから得られた、実測データの座標点と各コーナー間(トリムライン)の寸度を図2-6-2に示す。

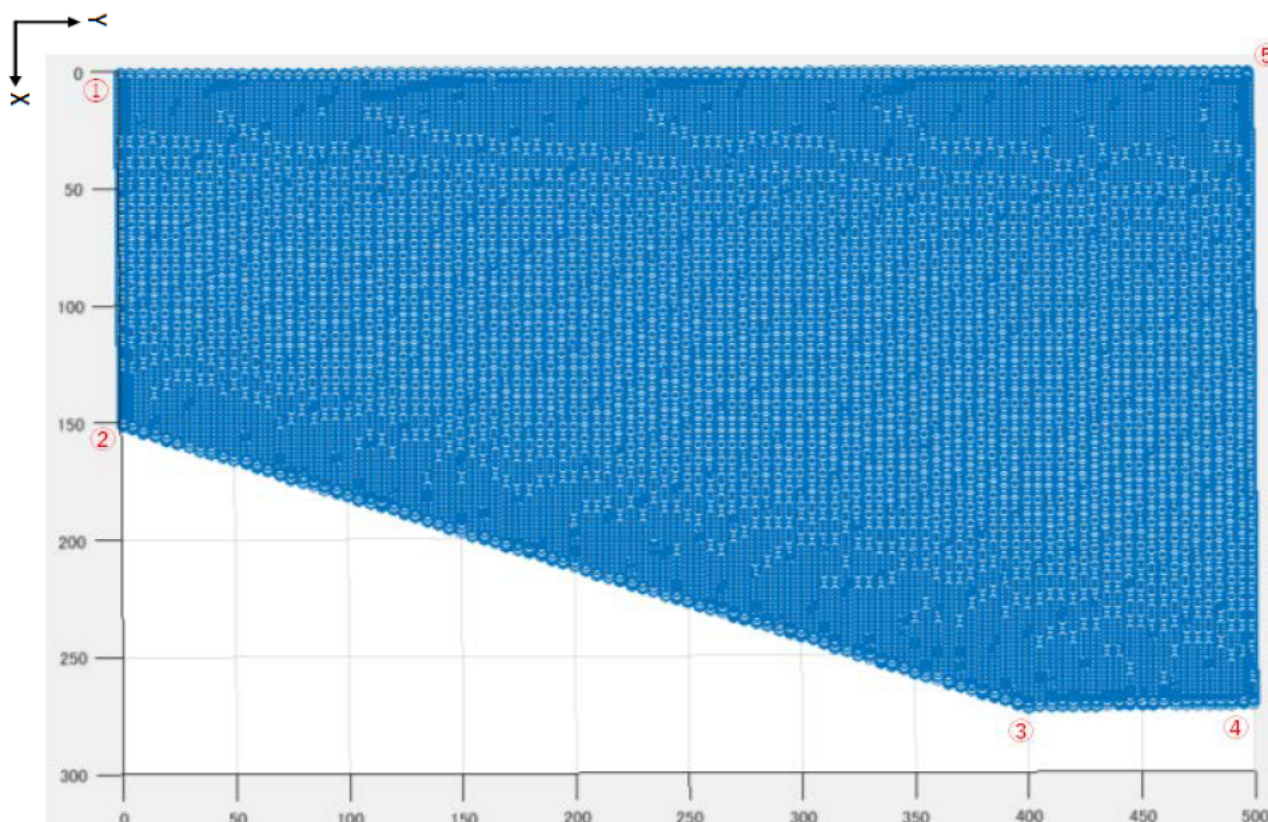


図 2-6-2 実測データの寸度

◆座標点

- ① X:0.000、Y:0.000
- ② X:150.884、Y:0.000
- ③ X:271.943、Y:399.324
- ④ X:271.022、Y:499.828
- ⑤ X:1.363、Y:500.025

◆寸度

- ①－② $\sqrt{(0.0 - 0.0)^2 + (0.0 - 150.884)^2} = 150.884$
- ②－③ $\sqrt{(271.943 - 150.884)^2 + (399.324 - 0.0)^2} = 417.271$
- ③－④ $\sqrt{(271.022 - 271.943)^2 + (499.828 - 399.324)^2} = 100.508$
- ④－⑤ $\sqrt{(1.363 - 271.022)^2 + (500.025 - 499.828)^2} = 269.659$
- ⑤－① $\sqrt{(0.0 - 1.363)^2 + (0.0 - 500.025)^2} = 500.027$

第3章 全体総括

1) 計測装置の性能向上、あるいは、応用範囲拡大に向けた継続実施

A) 航空機の炭素系複合材パネル類のトリムライン、および、曲面形状等の寸度計測関連商品の開発、あるいは、新素材による形状計測等の市場開拓をする。

そのため、さらなる性能向上(計測精度アップ)を目指して改良を行っていく必要がある。

B) 出来る限り軽量化・小型化を目指した安価な商品の開発を行う。

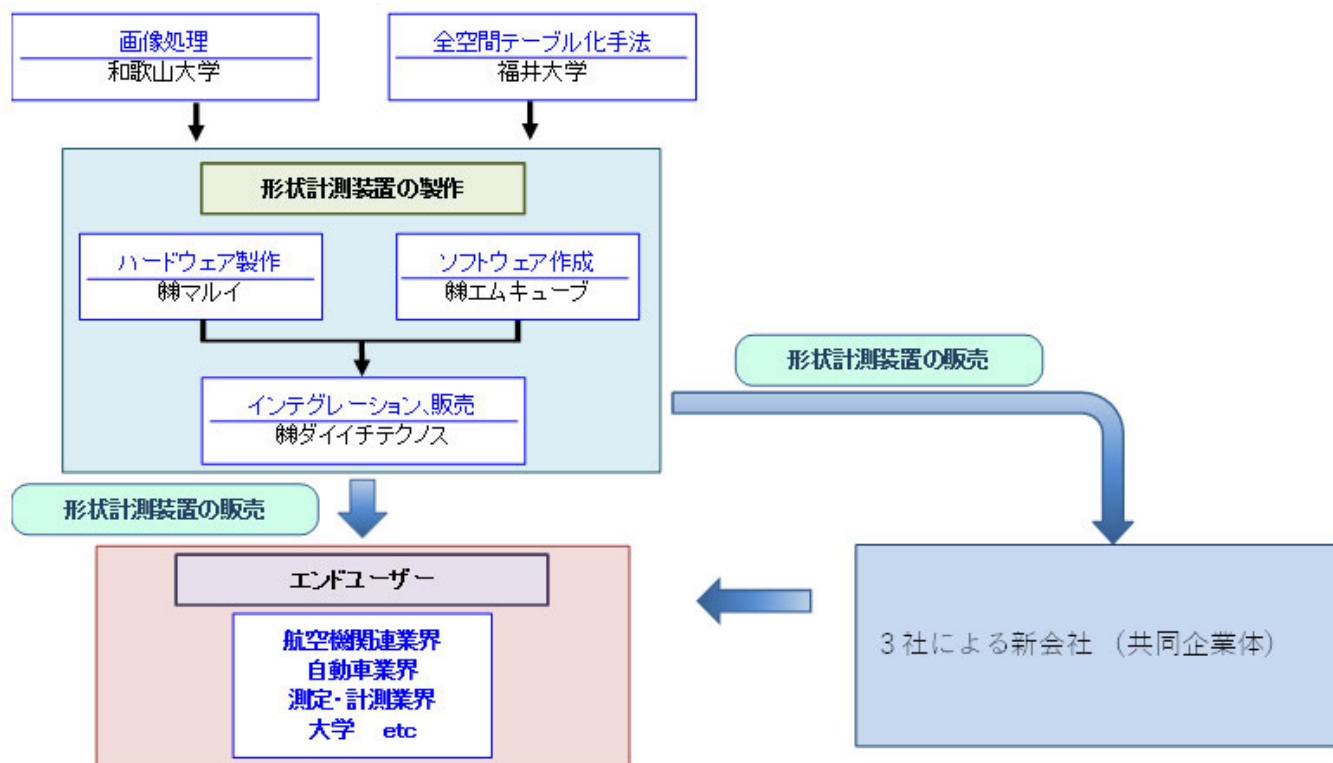
ハンディタイプの製品を開発することで市場が広がり、航空機業界以外の製造分野にも活用が出来る。

例えば、従来では手作業による採寸を行っていた製造分野(例:服飾業界、靴製造業など)でも、本計測技術を応用することで、より正確な採寸が可能となり、デジタル化されたデータを製造機械に繋げることも可能となる。

C) ロボットを応用した計測装置の開発を行う。

CADデータと連携することで、設計データと計測データの比較が正確に、素早く可能となり、従来には計測装置による精度の良い計測が実現できていなかった業界にも、経験や勘でないデジタル化された品質管理が可能となる。

2) 今後の研究開発および事業体制



※) エンドユーザーへの販売は、各社独自で行う場合と、3社での共同企業体で行う場合がある。