

平成 2 6 年度採択

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

「内面欠陥検査・径測定・真円度測定を同時に可能にするレーザー

3 次元内面検査装置の実用化開発」

研究開発成果等報告書

平成 2 9 年 5 月

担当局 中国経済産業局

補助事業者 公益財団法人ひろしま産業振興機構

目 次

第1章 研究開発の概要

初年度である平成 26 年度は、各テーマの研究開発において、基礎検証プロト装置を具現化し、それによる基礎技術の実証評価を行った。

2 年目である平成 27 年度は、各テーマの研究開発において、開発プロト装置を製作し、量産装置開発に向けたキー技術の実証評価を行った。

最終年度である平成 28 年度は、各テーマの研究開発において、量産プロト装置を製作し、量産装置開発に向けたキー技術の実証評価を行った。

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・研究目的	1
1-1-2 研究開発の概要	1
1-1-3 研究開発の目標	2
1-1-4 研究開発の実施内容	3
1-1-5 研究開発の期間	5

1-2 研究体制

1-2-1 研究体制	6
1-2-2 研究等実施機関	6

1-3 成果概要

1-4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論

2-1 複数波長/距離データ収集のためのプローブヘッド機構の開発

2-1-1 レーザー照射機構の開発	10
2-1-2 レーザーによる超小型距離測定機構の開発	11
2-1-3 欠陥画像取得機構の開発	14

2-2 ビッグデータを超高速に画像処理する技術の開発

2-2-1 ハードウェア処理装置の開発	16
---------------------	----

2-3 欠陥検査・測定を同時に実現するアルゴリズムの開発

2-3-1-1 処理アルゴリズムの開発	18
2-3-1-2 欠陥種別判定アルゴリズムの開発	19
2-3-1-3 欠陥種別判定アルゴリズム	21
2-3-2 データ通信機構の開発	23

2-4	量産モデルの開発	24
2-5	マーケティング調査	25
2-5-1	Automotive TestingExpo2016 Europe	25
2-5-2	日本ものづくりワールド 第20回 機械要素技術展	27
2-5-3	Automotive TestingExpo2016 NOVI MICHIGAN	28
第3章 全体総括		
3-1	研究開発の成果	30
3-2	今後の課題及び解決策	30
3-3	事業化展開について	31

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・研究目的

川下企業（製造業）において、競争力を高める為には、品質向上とコスト低減は必須の条件である。機械部品の加工工程で生ずる円筒形状の内壁の鑄巣、傷やバリなどの欠陥は、製品の重大な問題の原因になることがあり、多くは人海戦術による検査員の目視検査・測定に頼っている。国内川下企業（製造業）においては、コスト低減の為、多くの人手がかかっている目視検査・測定の自動化は大きな問題である。また、海外の日系メーカーにおいても、品質のバラツキを抑える為の検査・測定の自動化は最重要課題となっている。但し、多くは検査員による検査・測定が実施されている為、検査・測定のバラツキ、見逃しが発生する可能性があり、2重・3重検査を実施している川下企業（製造業）等もいる。その為、内面欠陥検査・径測定・真円度測定の自動化に向けた個別の装置化開発が行われているが、現状では、装置価格が高額な事と検査・測定精度（更にワークにキズを付けてしまう可能性も含め）が低い為、自動化できずに従来通りの検査員による検査・測定が主となっている。また、現行の自動化装置開発は、検査員が装置及び治具を使用し実施している作業の自動化を目指しており、個別検査・測定装置の開発に留まっている。現行、内径測定と真円度測定を同時に実現する装置も存在しない。

本研究開発は、内面欠陥検査と同時に径測定及び真円度測定の自動化を可能にする装置を開発することで、検査・測定精度の向上と共に検査・測定コストの大幅な低減が可能となることを目的とする。

1-1-2 研究開発の概要

自動車部品エンジンブロック、バルブボディ等において、内面欠陥検査や測定には多くの工数がかかっており、その上、欠陥の見逃しや測定精度のバラツキが発生している。また、生産数の増加に伴い検査・測定コストは増加してしまっている。但し、川下企業各社において検査・測定に関しては投資負担が大きい為、抜本的解決方法を見出すことは出来ず、従来技術の組合せ・改善に留まっている。

本研究開発では、内面欠陥検査と同時に径測定及び真円度測定を実施することにより、「検査精度の向上」と共に「設備コスト・検査員コストの削減」「サイクルタイムの短縮」が可能なオンリーワン検査装置を実用化開発し、そのニーズに応えようとするものである。

1-1-3 研究開発の目標

【高度化目標】

(十一) 測定計測に係る技術に関する事項 (3) 川下分野横断的な共通の事項の
ア. 計測機器の感度上昇 イ. 計測結果の信頼性向上 ウ. 評価 (分析・解析)
の効率性向上 エ. 低コスト化 に基づく。

自動車分野における製品品質の要求レベルは年々高まっているが、グローバル生産化によるコスト競争も同時に厳しくなっている。大量生産工程を持つ客先要求は1ケタ上の計測感度、検査・測定精度による安心安全の担保と、スペース/生産性向上による省力化とコスト低減である。これに対応する高機能なインライン検査・測定の自動化技術向上を図るべく、「内面欠陥検査」「径測定」「真円度測定」を同時に行うことが可能な検査装置を開発し、検査・計測技術の高度化と製造コスト低減を両立させる。

【技術的目標値】

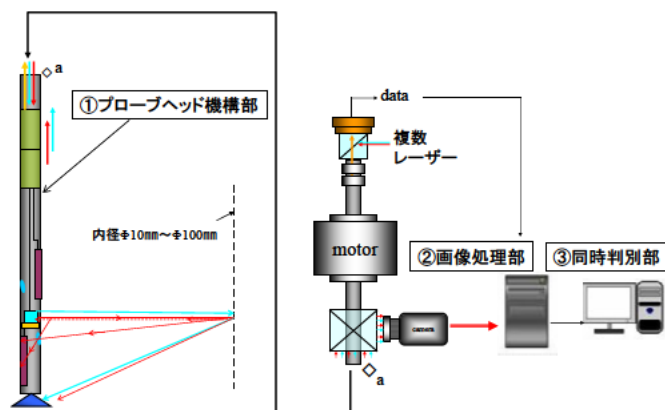
自動車分野の主部品としてエンジンブロックやオートマチックトランスミッションに使用されるバルブボディなどの穴加工は高精度穴と呼ばれており、図面寸法規格値はミクロン公差 (例: 穴 $\phi 10_{-0}^{+0.01}$) となっている。開発する検査装置は、これら製品の検査/測定に対応する精度が求められる。同時に製品1台当りの生産効率 (サイクルタイム) と、量産ラインで故障することなく生産対応可能な耐環境性を要求される。これら課題を解決するための技術的目標値を次のように示す。

<目標値>

- ・製品対応内径 : $\phi 10 \text{ mm}$ (小径) $\sim \phi 100 \text{ mm}$ (大径)
- ・最小欠陥検出サイズ : $\phi 0.1 \text{ mm}$ (鑄造巣)
- ・内径測定精度 : 0.01 mm 以下
- ・分離精度 : 誤判定 10% 以下
- ・真円度測定精度 : 0.1 mm 以下
- ・検査/測定時間 : 10 秒/個以内 (前提条件 : $\phi 100 \text{ mm}$ $L=100 \text{ mm}$ の検査/測定)
- ・位置ズレ許容値 : $\pm 0.1 \text{ mm}$ 以内
- ・サンプリング速度 : 7.85 MB/S
($\phi 100 \text{ mm} \times 3.14 \times 250 \text{ 回転/S} \div 0.01 \text{ mm} = 7,850,000 \text{ B}$)
- ・使用環境 : 温度 50 度以内 / 湿度 90% 以内
- ・耐久性 : 24 時間 30 日連続使用テストに耐えうる事

1-1-4 研究開発の実施内容

シグマが独自開発し、製造・販売しているこれまでの製造現場向けのレーザー傷検査装置のレーザー反射光活用技術をベースにし、検査と測定を同時に実現する下記構成の検査装置（図－１）を開発するものである。



図－１ 装置構成概要

【１】複数波長/距離データ収集のためのプローブヘッド機構の開発

複数波長照射、超小型変位計ヘッドおよび距離データ収集の構想は、シグマと産総研が共同で構築した基本構成を基に開発を進める。基本的なデータ収集方法は、プローブヘッドからレーザー光を照射し、その反射光を得てデータ化を行う。プローブヘッドをモーターで高速回転させることにより、ワーク内径を螺旋状に限なくスキャンすることで連続的なデータを得ることを可能としている。そこで、選定したレーザー波長を $\phi 10\text{ mm} \sim \phi 100\text{ mm}$ の内面にスポットレーザーを均一に照射する機構、その反射光を CCD もしくは、C-MOS カメラにて受光可能な機構、及びレーザー変位計を複数備えたプローブヘッド機構を開発する。

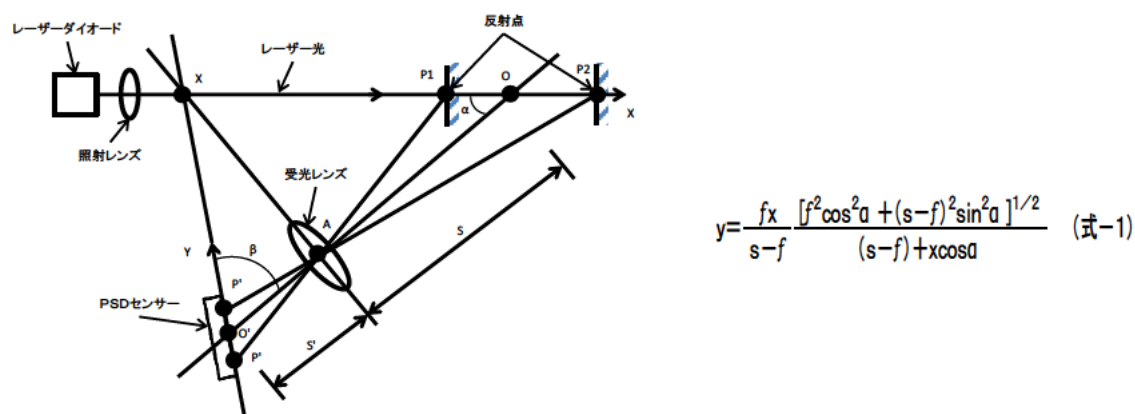
【1-1】レーザー照射機構の開発

プローブ内を通して複数のレーザー光を円周面方向に 90 度間隔で同時に照射する機構とする。散乱光の重なりを避けるために必要な光学部品として、誘電体膜を使用して波長毎にビームを所定の方向へ分配するレーザービームスプリッターの開発を行う。

【1-2】レーザーによる超小型距離測定機構の開発

細長のプローブ内に超小型の変位計を持つ光学系を配置するため、効率的な集光に必要な特殊レンズを開発する。それと合わせてプローブ軸の中心軸ずれや傾きデータの取得を可能にするセンサーとして 2 分割の PSD (Position Sensitive

Detector；半導体位置検出素子）を開発する。なお中心軸ずれや傾きデータの取得は以下（図－2）に示す PSD での変位計測原理を応用し具現化を図る。



図－2 PSDでの変位計測原理

【1-3】欠陥画像取得機構の開発

細長穴には反射光受光用のカメラを挿入することは難しいため、プローブ先端に配した反射コーンを介して穴端（穴外部）に固定したカメラで画像を取得できるような構成とし、これに必要な長焦点レンズの開発を行う。

次に P/S 偏光画像原理を用いて、欠陥検出のために反射光から得られる P 偏光と S 偏光を分離し、同一画面に結像させる光学系の開発を行う。細長穴の場合、円状に照射された画像をそのまま重ねると照射円が受光面（カメラ画素位置）で重なってしまうため 1 次データとして切り分けができず欠陥の見落としが発生する。そこで照射円一周ごとの円画像を取得データとして転送する。その具現化のため毎秒 1 0 0 0 画像（画素数は 1 画像 1280×640）の高速転送機構の開発を行う。またカメラに対して中心軸の裏側になった画像が隠れてしまうことのないように中心軸を避ける光学系の開発も合わせて実施する。

【2】ビッグデータを超高速に画像処理する技術の開発

【2-1】ハードウェア処理装置の開発

前述のプローブから 7.85MB/S のサンプリング変位計データ 2 個（内径及び中心軸ずれ）と軸情報データ 2 個（傾き）が転送され、且つ画像装置からは毎秒 1000 枚の画像（P/S 偏光画像、蛍光画像）が送られてくる。この変位計関連データから真円度および内径の計算を行い、画像データからは欠陥や汚れを判別するために画像分離（色画像分離および P/S 偏光画像分離）を行う。さらに欠陥を判別するために P 偏光画像と S 偏光画像の演算処理を行う。実画像の中で必要とするエリアは限定的であるがソフトウェア処理ではこの大量のデータ処理は達成できないため、FPGA と DSP の専用 IC を用いてハードウェア処理を行うために必要な

装置を開発する。さらに本装置では傷の分類のための特徴量抽出や判別分析の処理を合わせて行い PC へ出力する。

【3】欠陥検査・測定を同時に実現するアルゴリズムの開発

【3-1】処理アルゴリズムの開発

欠陥検査に関してはカメラによって得られた色画像を分離し前述の画像処理装置で演算、画像は P 偏光画像と S 偏光画像を分離後に演算して特徴量および判別分析を行う。検出したい欠陥や汚れは、それぞれの製品やユーザー個々で異なるため、判定基準となる特徴量の選択や分析結果を、事前に準備した汎用モデルで学習し判定する機能を持ったアルゴリズムの開発を行う。

【3-2】データ通信機構の開発

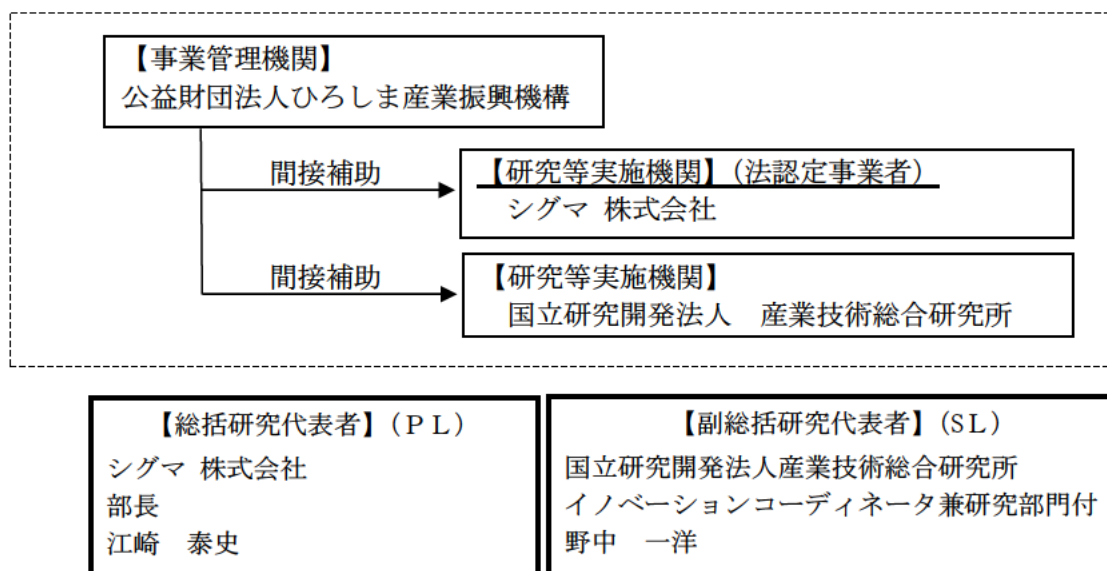
内径測定と真円度測定に対しては 2 個のレーザー変位計データを軸ずれ及び傾きを判定するためのデータとして利用する。距離データから内面 3 次元データを作成すると同時に、測定時の平面方向ズレもしくは傾きによる影響によって数値が変化したものか、測定対象物自体の物理的差異によるものかを判断・補正する事により内径と真円度測定を実施する。また変位計データおよび軸ぶれの 4 種類のデータを、プローブから変調方式の光通信で転送する機構を開発する。

1-1-5 研究開発の期間

平成 26 年 9 月 17 日から 平成 29 年 3 月 31 日まで

1-2 研究体制

1-2-1 研究体制



1-2-2 研究等実施機関

研究等実施機関 (機関名)	代表者 役職氏名	連絡先	企業 チェック	法認定 チェック	備考
シグマ株式会社	代表取締役 下中 利孝	① 〒737-0012 広島県呉市警固屋9丁目2番28号 ② 江崎泰史 ③ (0823) 28-0121 ④ (0823) 28-4326 ⑤ esaki@sigma-k.co.jp	○	○	
国立研究開発法人産業技術総合研究所	理事長 中鉢 良治	① 〒100-8921 東京都千代田区霞が関一丁目3番1号 <u>〒841-0052 佐賀県鳥栖市宿町807-1</u> ② 野中一洋 ③ (0942) 81-4016 ④ (0942) 81-3672 ⑤ k.nonaka@aist.go.jp	□		

中小企業：○、小規模事業者：◎、大学・公設試等：□

1-3 成果概要

【1】 複数波長/距離データ収集のためのプローブヘッド機構の開発

【1-1】 レーザー照射機構の開発

26年度は光学部品であるレーザービームスプリッターの設計試作が完了。基礎検証プロト装置に実装しレーザー照射検証を行うことで、円周方向に90度間隔で紫外、赤色レーザーの2波長同時照射が可能なることを確認できた。

27年度は前年度の課題であった干渉に対して、プローブ内部の光学系を見直したことにより最適なレーザースポット照射が可能となった。

28年度は量産プロト装置として、プローブヘッド内蔵の照射機構に構造変更を行い計測レーザーの照射実証が完了した。計測に対して安定したレーザースポット照射を実現した。

【1-2】 レーザーによる超小型距離測定機構の開発

26年度は超小型変位計の設計試作が完了。外径8mmのス핀ドル内へのセンサー実装ができた。また、変位信号が取れることを確認し、そのデータを用いてテーブルの作成ができた。

27年度は前年度の課題であったプローブ内でのレーザー干渉とサーボ系ノイズによるPSD信号への影響はクリアとなり、ワーク内径と真円度の計測データ取得が可能となった。

28年度は量産プロト装置として受光センサーをCMOS化し、ワーク内径と真円度の計測精度の実証が完了した。内径計測精度は目標値：0.01mm以下、芯ズレ許容は目標値：±0.1mm以上、傾き許容も含め、目標値に達する成果が得られた。真円度の計測精度は目標値：0.1mm以下、芯ズレ許容は目標値：±0.1mm以上、傾き許容も含め、目標値に達する成果が得られた。

【1-3】 欠陥画像取得機構の開発

26年度は欠陥画像取得機構の設計試作が完了。高速カメラを実装することで毎秒1000撮像が可能なることを確認できた。

27年度は前年度の課題であった画像取得機構構造の堅牢化と光学系の見直しによりマスターTPの欠陥画像を取得ができた。

28 年度は量産プロト装置として画像取得機構構造の再現性確保とシステム改良により欠陥画像の取得レベル向上が完了した。文字を書いた紙を撮像し、それが十分に認識できるレベルまで画像精度は向上した。

【2】 ビッグデータを超高速に画像処理する技術の開発

【2-1】 ハードウェア処理装置の開発

26 年度はハードウェア処理装置の設計試作が完了。PSD から送られてくるデータ転送状態と処理能力の確認ができた。また、制御プログラムの設計試作が完了。基礎検証プロト装置に実装し、モーター回転制御、スライドユニット位置制御、レーザー照射制御など問題なくシステム動作することを確認。大容量データの基礎検証としては、画像取得機構を用いて連続データを取得する実機の検証にてデータ抜け、飛びを確認した。

27 年度は開発プロト装置製作により PSD・画像データがそれぞれ単独ではあるが正常に取得できていることを確認した。また、量産プロト装置製作に向けて、PC1 台で対応するための通信仕様が作成完了した。

28 年度は量産プロト装置として、計測データと欠陥画像を同時に取得し検査処理する実証が完了した。内径と真円度の検査と同時に、CMOS の受光量を画像データ化することで実ワークの欠陥判定ができることを確認した。

【3】 欠陥検査・測定を同時に実現するアルゴリズムの開発

【3-1】 処理アルゴリズムの開発

26 年度は処理プログラムの設計試作が完了。ボア内壁に垂直にレーザーを入射し、上方から観察する光学系シミュレーターを作成し、色画像分離演算での P/S 偏光特徴量抽出が可能な事を確認できた。また、データ分析、判別の基礎評価のため、検査・測定の基本アルゴリズムを作成した。

27 年度は前年度の課題であった PSD データの検査・測定アプリケーションを装置へ実装し動作的入力による実証評価を行った。それにより新たな課題としてレーザー条件と PSD 感度の影響が確認された。また、P/S 偏光画像処理については欠陥判定が実験装置により可能なことを確認した。

28 年度は量産プロト装置へワーク内径の変位量と CMOS 素子上の受光位置の相関をテーブル化するアルゴリズムと、ミラー及びプローブ軸の傾きの計測影響を補正するアルゴリズムの組合せ実装により判定実証が完了した。並行して特徴量と学習

アルゴリズム等の判別分析を用いた欠陥種別判定の実証により、その有効性を確認した。

【3－2】データ通信機構の開発

26年度は信号データ通信機構の設計試作が完了。基礎検証プロト装置に実装しデータ抜け、飛びを確認することができた。ただし、アナログ回路の配線構造、及びノイズに対する脆弱性が顕著であったため、通信機構のデジタル化を再検討した。

27年度は前年度の課題であった通信機構の見直しにより無線給電・通信機構を新たに開発した。データ送受信の確認を行い、ノイズに対する脆弱性の問題はクリアになった。

28年度は量産プロト装置として、低速でのデータサンプリングによる実証が完了した。

【4】量産モデルの開発

量産プロト装置として、検証用装置として販売可能なプロト装置製作が完了した。

【5】マーケティング調査

国内外の展示会に開発装置を参考出展したことにより、100社以上の来訪を受けた。エンドユーザーの潜在的なニーズの高さを確信すると同時に、装置に対する要望と課題を多く抽出することができた。

1－4 当該研究開発の連絡窓口

(公財) ひろしま産業振興機構 研究開発支援センター

参事 神田 敏和

電話：(082)240-7712 FAX：(082)242-7709

E-mail：t-kanda@hiwave.or.jp

第2章 本論

2-1 複数波長/距離データ収集のためのプローブヘッド機構の開発

2-1-1 レーザー照射機構の開発

26年度の実施内容から順に説明する。レーザーを2方向に分離するプリズムおよび紫外レーザーと可視レーザーを分離する光学系は数mmサイズと小さいが、一般の光学部品と同様に扱うことが可能である。本機構ではプリズムを6mm角の中に構成し、入射したレーザー光を円周方向へ90度間隔に分離する構造設計とし試作を実施した。なお、本プローブヘッド機構はスペースの制約上、光軸に対する調整機構は入れることができないため、目視によって調整した後に接着する方法をとった。

評価の結果、円周方向90度間隔で2波長同時にレーザー照射可能なことを確認できた。ただし、赤色レーザー出力を上げた際に干渉が発生し、紫外照射側へ赤色レーザーが回り込むため、レーザー分離用プリズム（プローブ内）など光学系の再検討が必要である。これについては組付け調整精度と合わせて、設計的に対策する必要がある。

27年度はPSDに最適なレーザースポットを再検討し、光学系の見直しを行ったことで前年度課題であった干渉の問題をクリアし、適正なレーザービーム径の照射を実現することができた。

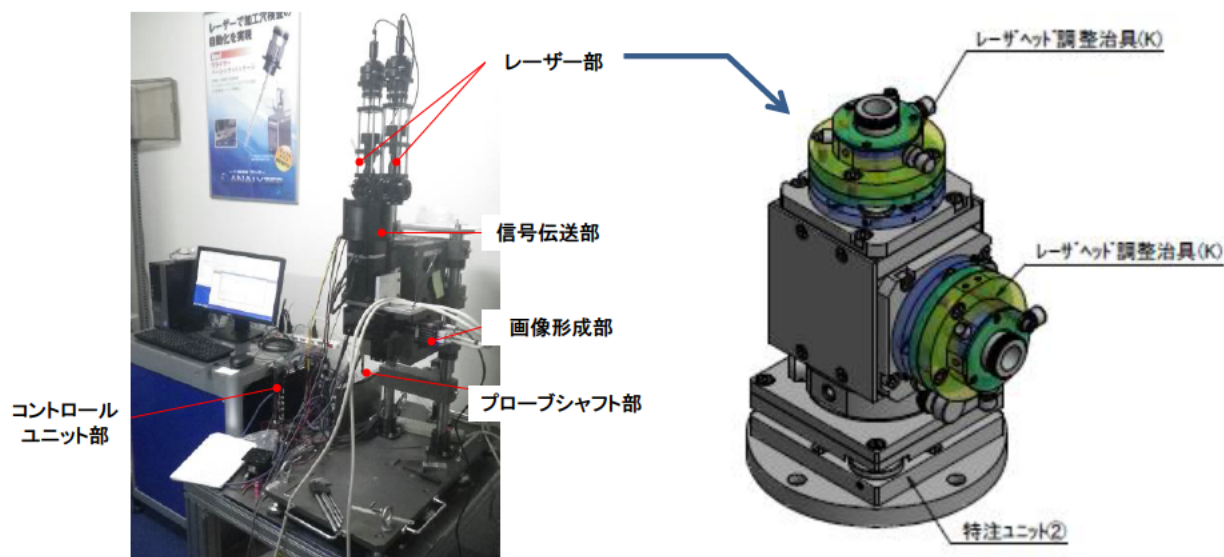


図-3 2波長レーザー合成ユニット

本装置では2波長のレーザーを同時に照射する構造を持っているが、その中でも2

波長レーザーを合成する機構（図-3）の見直しにより、従来に比べ光軸合わせが正確に調整可能になったことと、プローブ内部構造の基板配置を見直したことにより、レーザー光路に必要な空間を確保したことが上げられる。これにより、開発プロト装置のプローブ先端から赤・紫外とそれぞれ最適な状態で照射が可能となった。

28年度は前年度まで応答性、造りの簡素さやコスト面などのメリットから PSD による内径、真円度の計測実証を進めてきた。しかし、実証を進めていく中で外乱光の影響や2次反射の影響などのデメリットが大きいことが明らかになった。そこで計測精度の向上を最優先に考えた結果、CMOS を採用することとした。デジタル式なので位置が正確に画素精度で保証できることがそのメリットである。反面、造りの複雑さやコスト面で多少のデメリットはあるが、ワーク内径 $\Phi 60$ を目先ターゲットとして本年度はプローブヘッド機構の開発を進めた。

レーザー照射精度を確保するため、ヘッド内蔵のレーザー照射機構とし、計測に対して安定したレーザースポット照射を実現した（図-4）。

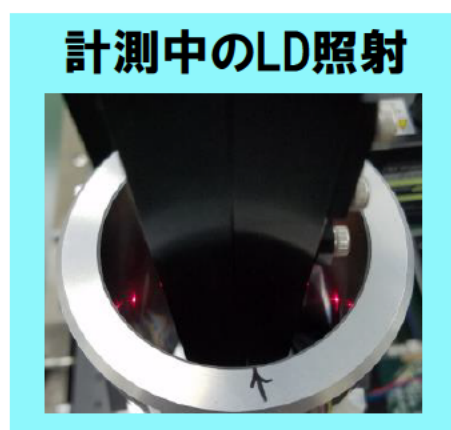


図-4 計測中のレーザー照射状態

2-1-2 レーザーによる超小型距離測定機構の開発

26年度の実施内容から順に説明する。変位計に用いたレンズは直径3mmである。レーザー照射によってボアの壁面から散乱される拡散光がレンズに入射する光量は数 μW であり、使用したPSDの効率を考慮すると $1\mu\text{A}$ 程度の電流が発生する。この電流をオペアンプの電流電圧変換によって数Vの電圧に変換し、アナログ演算用ICによって位置換算されて電圧を出力する回路を設計、試作した。製作した光学部は樹脂で直径7mmである。電子回路部は長さ100mm、幅5mmの片面基板上に全高約2mm以下となるように製作した（アナログ回路）。これを外径8mmのスピンドル内へのセンサー実装し、変位信号が取れることを確認、そのデータを用いてテーブルの作成を行

った。ただし、プローブ内でのレーザー干渉とサーボ系ノイズにより PSD 信号への影響が見られたため、プローブ内光学系とノイズ低減の検討が必要である。

26 年度はノイズの影響により装置での実ワークデータの取得にまで至らなかったが、27 年度実施したノイズ対策（後述のデータ通信機構の開発を参照）により、ワーク内径と真円度の計測が可能であることを確認した。

具体的には、開発プロト装置でプローブとワークの軸芯ズレ、及びワークの傾斜有無で検証を行い、図-5に示すようなデータを取得することができた。プロットした点群は内径を示すサークル（基準径）に対する実際の計測値を表している。

データを見てわかるように部位によってはデータ欠けが発生している。また、精度としても目標値に対しては未達の状況であることが確認できた。今回、新たな課題として、開発プロト装置へ実装したアルゴリズム（後述の処理アルゴリズムの開発を参照）にプローブの回転振れ、つまり機械的にゼロにはできない誤差要因を加味して見直すことが必要ことがわかった。加えてワーク材質によっては反射強度が高い材質だと部分ハレーションによりデータ欠けが発生することも明らかとなった。この2点について、検討する必要がある。なお、もう1つの誤差要因として PSD とレンズの組付位置精度もあるが、これについては見直し設計は完了した。（後述の量産モデル装置の開発を参照）

距離測定の実証結果 360° 分のデータをプロット

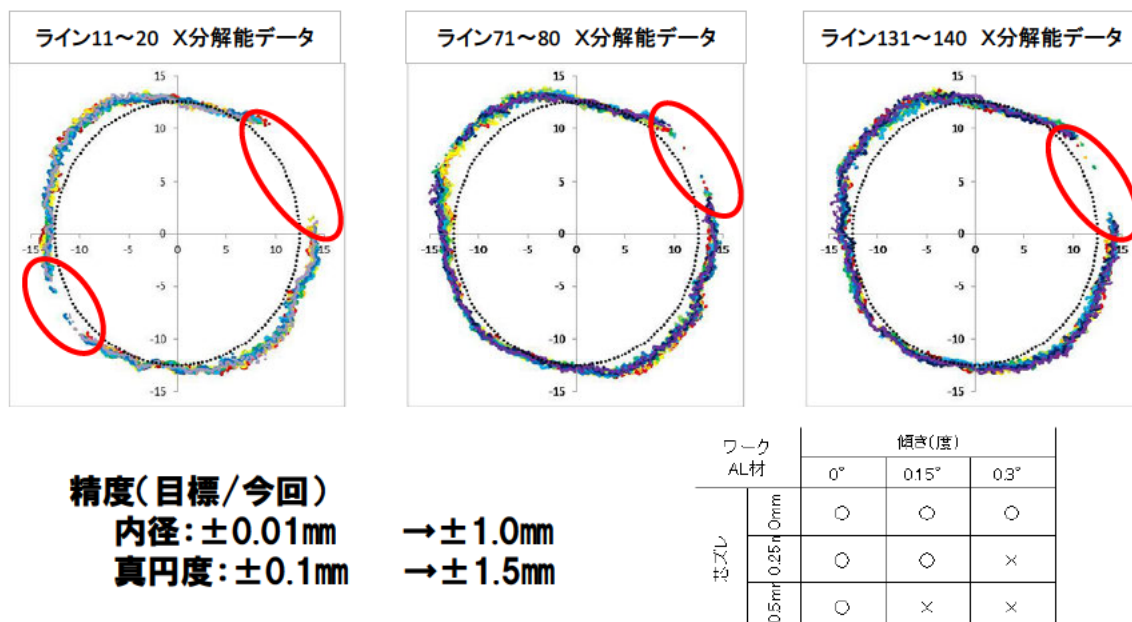


図-5 PSD による内径、真円度の計測結果

28 年度はプローブヘッド機構を CMOS 化した。プローブシャフトの両側から照射したレーザー光がワーク内壁に当り、その反射光が CMOS に入光しているイメ

ージである。ワーク内径の変化によりCMOSに当たる反射光の位置の変化から、ワーク内径とその真円度を計測することを具現化した。

なお、計測精度の実ワーク検証に先立ち光学解析ソフトによるシミュレーションを内径計測と真円度においてそれぞれ実施した。対向に照射したレーザーがワーク反射を經由しCMOSに入光した位置から、理論上どの程度の精度が出せるかワーク径 $\phi 60\text{mm}$ の場合で評価した。

前提として、ワーク内径とプローブシャフトが同軸（芯ズレ0）になり、且つその傾きがない状態（傾き0）を基準として、芯ズレありで傾き0の状態と、芯ズレ0で傾きがある状態を評価することとした。これは実際の量産現場では基準の状態で計測できることが現実的に困難であることから、実際に想定される計測時のワークとプローブの配置状態を鑑みてのことである。

結果から、CMOS1素子あたりの分解能と、径の計測精度である目標値：0.01mm以下が得られ、シミュレーション上は目標に達する値となった。

次に真円度計測のシミュレーション結果を実施した。方法は内径同様である。結果から、CMOS1素子あたりの分解能は内径と同じく、計測精度は目標値：0.1mm以下が得られ、シミュレーション上はこちらも目標に達する値となった。

表-1 実ワークの測定概略

これを踏まえて実ワークでの計測精度を実証した。まずは表-1に示すように3次元測定器で実測した結果を基準データとする。それと比較する形で穴ライザVによりワーク計測を実施した。

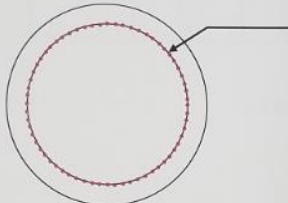
その結果、内径計測精度は目標値：0.01mm以下、芯ズレ許容は目標値： $\pm 0.1\text{mm}$ 以上となり、目標値に達する成果が得られた。なお、内径算出方法はいずれも64点の計測値から「最小二乗円」を用いた。

機械器具等の試験 広西工技 第5269号-2

ワーク番号 : _____

Serial No	Part No	内径仕上げ	表面処理
1	TP1102-9	6.3a	-
2	TP1102-10	0.4a	-
3	TP1102-12	0.4a	白色アルマイト（膜厚10 μm ）

測定箇所 : 下図参照



直径：

$\phi 60$ の内円を周囲64カ所測定し、求まる直径とする。

真円度：

$\phi 60$ の内円を周囲64カ所測定し、求まる真円度とする。

次に真円度計測の結果について、計測精度は目標値：0.1mm以下、芯ズレ許容は目標値： $\pm 0.1\text{mm}$ 以上となり、目標値に達する成果が得られた。但し、3次元計測器でのデータとの乖離が大きいことが課題である。なお真円度算出方法はいずれも64点の計測値から「最小二乗中心法」を用いた。

2-1-3 欠陥画像取得機構の開発

26 年度の実施内容から順に説明する。画像形成部の目的は、プローブの影になる散乱像を取得するための光学系と 2 つの偏光状態の画像を同時に取得し欠陥を検出するための画像を得ることである。画像形成部はプリズムミラーの組合せによって構成する設計とし試作を行った。画像の位置ズレの調整機能の追加などを行い画像の合成を可能としている。また P 偏光と S 偏光の分離は偏光ビームスプリッターと $1/4\lambda$ 板の組合せで実現した。製作した画像合成機構に高速カメラを取り付けることで、P、S 像が得られる。高速 C-MOS カメラを用い、画像処理などを行う FPGA を付加して、1 秒間に取得・処理する画面数は毎秒 1 0 0 0 撮像が可能なことを確認した。26 年度はプローブの動作確認のため低速回転を行ったため、本カメラの撮像検証は画像確認にとどまる。処理検証は光源を作成し、画像処理 (FPGA) の確認を行った。画像形成部とカメラを組み合わせ得られたリング画像を線状に展開し、連続して撮影される画像を面のデータとして保存する。さらに偏光強度比の演算処理を行い、欠陥検出用画像を出力することを確認した。ただし、撮像される画像に歪みとノイズ(ゴースト)が生じるため、構造の堅牢化と光学系の再検討が必要である。

27 年度は画像形成部構造の見直しにより、マスター TP の画像取得を確認した。前年度の課題であった、受光効率向上と組付け再現性確保のため構造改良を実施した。これにより、良好な P/S 偏光画像が取得できるようになった。この画像形成部を開発プロト装置に組み込み、装置にてマスター TP の欠陥画像を取得し評価した。更にユーザーのワークに擬似欠陥を付与したサンプルでも評価を行った。この 2 つの結果から見えた新たな課題として、ワークからの反射光の受光量が少なく、判定に適した画像データにならないこと、カメラの円画像を積層処理するのに必要な高輝度画像になっていないことが確認できた。また、実証実験の段階では組付けのわずかなズレが画像形成に大きく影響することも確認できていることから、更に画像形成部とカメラ受光ロスを低減していく必要がある。

28 年度は P / S 欠陥検査に対応するため、撮像データの取得レベル向上が昨年から課題であった。図-6 に示すようにワーク内径面からの拡散反射光を、画像形成部を通して、P / S 偏光画像を検査用に取得する方式である。この方式はワークから上がってきた反射光の光路の調芯を高精度に確保する必要があることがわかったため、この再現性を確保する構造とした。レンズの位置決め精度を微調整できるようにしたことでカメラでのライブ画像では十分な反射光が得られていることを確認した。

プロト方式(画像形成部)

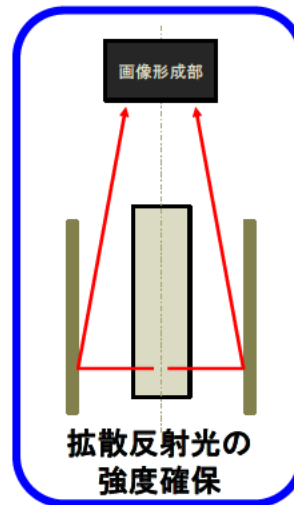
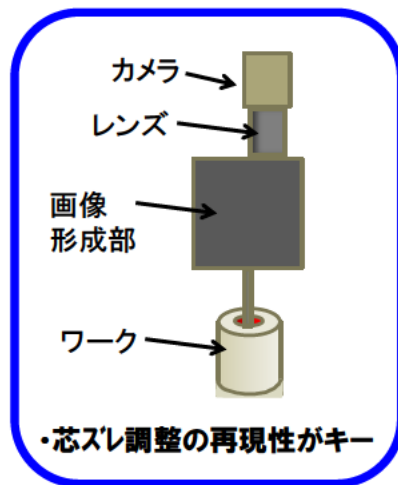


図-6 欠陥画像取得機構 概略図

この状態から取得したリング状のデータを欠陥検査用に平面展開画像にするために、システムの改良もおこなった。評価をわかりやすくするため、図-7のように文字を書いた紙を撮像し画像を行った。その結果、文字が十分に認識できるレベルまで画像精度は向上した。但し、画像上に縦縞が現れているため、この状態では判定時に誤報となる懸念が大きく、この縦縞の解消が次の課題となった。



上記の懸念から、カメラとは異なる受光方式のバックアップ方式を検討し、その有効性を検証した。この方式はワーク内径面からプローブシャフト側への直接的な反射光を受光し検査用画像データにする方式である。受光部でP/S偏光に分離し、それぞれ個別のフォトダイオード(PD)で受光する。なお、簡易実験装置は画像の特徴量変化を主目的とした検証のため、ここでは外径面での実証評価を行った。

図-7 実験イメージ

その結果を図-8に示す。P/S分離した画像を左右比較すると、それぞれ面性状や縦筋などの写り方が異なり、特徴的な画像データが得られたことで、この方式の有効性を確認することができた。合わせてWDの差による特徴もあることを確認した。今後、前述の縦縞解消を進めていくことと合わせて、バックアップ方式も含めて、より現実的な量産仕様を固めていくこととする。

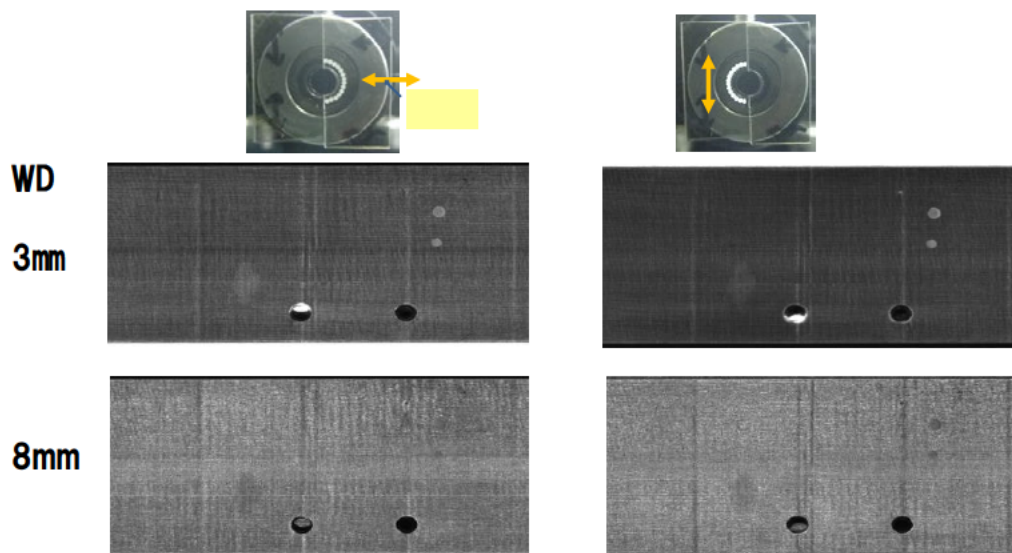


図-8 P/SとWDによる画像の特徴

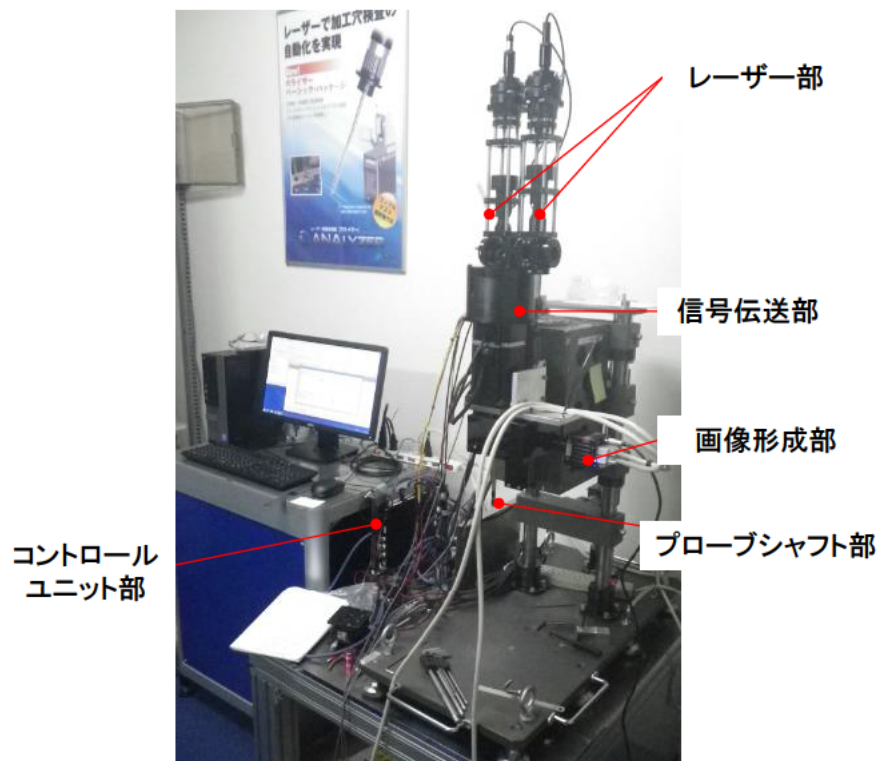
2-2 ビッグデータを超高速に画像処理する技術の開発

2-2-1 ハードウェア処理装置の開発

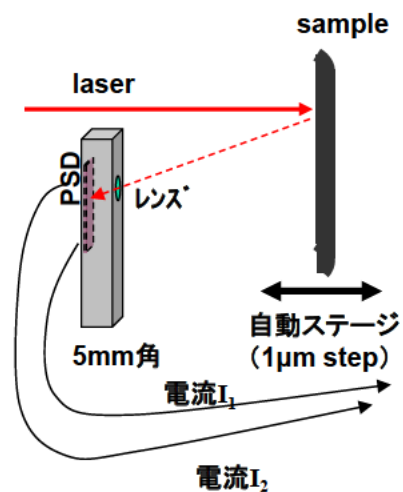
26年度は基礎検証プロト装置（図-9）を設計試作し検証を行った。実際の検査ではモーターを回転させ、ユニットを上下に動かしながらデータを取得していく。今回はまず各ユニット個々の動作を確認した。図-10のようにPSDへレーザー光を入れることで、PSDから送られてくるデータ転送状態と処理能力を確認した。ただし、サーボ系のノイズ影響を強く受けるため一連の検査動作までは至っていないが、これは次期の課題として取り組むこととする。

制御プログラム設計試作に関しては、装置全体を制御し、且つプローブから送られてくる変位データを演算処理するコントロールユニットを設計試作した。基礎検証プロト装置で個別のシステム動作を実施し問題ないことを確認した。

大容量データ処理は基礎検証として、2-1-3で説明した画像取得機構を用いて、今回試作した画像処理装置(FPGA)で検証を実施した。取得画像のリングになっている高輝度部を連続的に撮像し、画像処理で横軸に一元配置に変換後、縦軸に積層する方法でデータの飛び抜けを確認した。結果としてデータ飛び抜けはなかったが、各輝度のムラが生じていることがわかった。原因としては画素上の輝度状態によるものと推測されるため処理方法が課題である。



図－9 基礎検証プロト装置

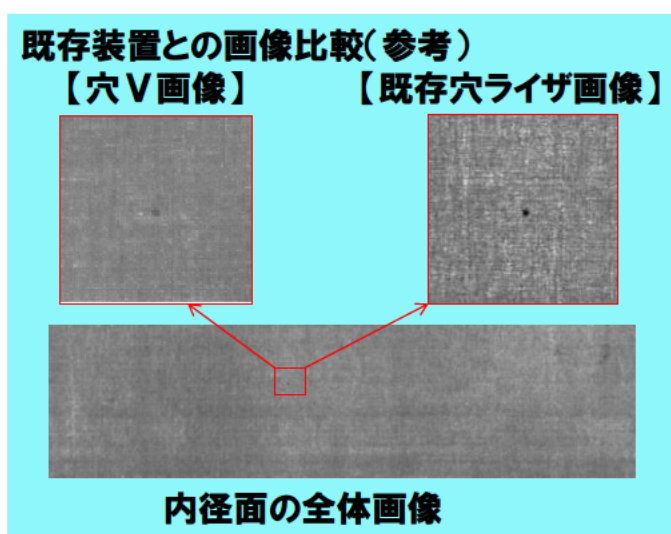


図－10 PSD 変位計測検証方法

27年度は開発プロト装置にて検証を行った。PSD・画像データに関しては、今回それぞれ個別の精度検証を優先させたので、同時取得までには至らなかったが、基本的

な装置機能は備わっているので、次年度はPCでのアプリ制御を一体化していく。なお、PC一体化の通信仕様は完了済である。

28年度は量産プロト装置として、計測データと欠陥画像を同時に取得し検査処理する実証を行った。今年度は、これまでに述べた内径と真円度の検査と同時に、CMOS全体の受光量を画像データ化する方式で実ワークの欠陥判定ができることを確認した。



この方法で撮像した結果を図-11に示す。現行の既存モデルとの画像比較である。彩度はやや劣るが中央の欠陥サイズ $\phi 0.1\text{mm}$ の判定は可能であることを確認した。

図-11 CMOSによる画像化イメージ

2-3 欠陥検査・測定を同時に実現するアルゴリズムの開発

2-3-1-1 処理アルゴリズムの開発

26年度はデータ分析、判別に関しては基本アルゴリズムの作成が完了した。PSDは径方向測定用に2つ、軸傾き用に1つをプローブ内に持っており、その3chデータをコントロールユニットへ入力することで内部演算する仕組みとしている。

27年度の実施内容を説明する。レーザー変位計でボア半径を測定する場合に、軸がボアの中心に位置しボアと平行であることを保証できないため、中心位置ズレおよび傾きの補正が必要となる。27年度は、中心ズレの座標を最初に補正することによって、近似式により数式処理する補正方法を開発した。

真円度計算アルゴリズム

真円度の計算方法（半径法）は、JIS B7451 の「附属書 1（規定） 真円度測定機による真円度の評価方法」に規定されている。この附属書には、

- (1)LSC 最小二乗中心：最小二乗平均円の中心
- (2)MZC 最小領域中心：最小領域円の中心
- (3)MCC 最小外接円中心：外側表面に最小で外接する円の中心
- (4)MIC 最小内接円中心：内側表面に最大で内接する円の中心

の 4 種類の方法が記載されており、いずれかの方法で中心の座標を求める。中心座標が分かれば、各点の半径が求められ、「真円度＝最大半径－最小半径」によって真円度が計算される。上記の 4 種類の中で (2), (3), (4) は、それぞれ

- (2)測定によって得られた形状を二つの同心円で挟んだとき、これらの円の間隔が最小になった場合の半径の差をもって、その形状の真円度とするもの。
- (3)測定によって得られた形状に対する最大の内接円と、同心で外接する円との半径の差をもって、その形状の真円度とする方法。
- (4)測定によって得られた形状に対する最小の外接円と、同心で内接する円との半径の差をもって、その形状の真円度とする方法。

である。(2)は演算方法が確立していない。また(3)と(4)は、1つの測定点が異常(エラー)な場合に、その半径は異常な大きさ(または小さく)になる。ボア壁面は、数十 μm の間隔で小さな窪みが無数に存在するため、レーザー変位計で半径を計測する場合には、光がその窪みによって干渉し、異常な散乱光を発生することがある。よって、上記の(3)と(4)は、本プロジェクトでは使用できないと判断し、(1)の最小二乗中心の方法を用いることにした。そのアルゴリズムを開発プロト装置へ実装完了し距離測定などのデータ検証を実施した。

28 年度は量産プロト装置へのアルゴリズム実装による判定実証を行った。まず、内径、真円度の計測に関してはデータテーブルの作成を行った。ワーク内でのプローブの移動変位量と CMOS 素子上の受光位置の相関をテーブル化するものである。この実測値は上下センサーごとに取得し補正を掛けたものをデータテーブルとして計測に使用する。これを基準に実際の計測を行うのだが、ミラー及びプローブ軸の傾きの計測への影響があるため、補正アルゴリズムを実装している。

2-3-1-2 欠陥種別判定アルゴリズムの開発

26 年度の実施内容から順に説明する。表面上に傷やボイドおよび微小な凹凸が存在すると、散乱(拡散)光の偏光状態は入射ビームの偏光と異なることが知られている。26 年度は、まずボア内壁に存在する鋳巣による偏光の効果を確認した。実機の構成に合わせるために、ボア内壁に垂直にレーザーを入射し、上方から観察する光学

系を作成し、P 偏光と S 偏光の強度比を測定し、欠陥位置で強度比が大きく変化していることを確認した。結果、偏光強度比を欠陥検出（認識）の第一特徴量とすることができることを確認した。

27 年度は、ボア内壁に存在する鑄巣による偏光の効果をより実際の観察状態に近い状態で評価するための装置を構築した。装置は、ボア内壁の断片にレーザー光をライン状に照射させ、上下に移動するパルスステージを用いて、ボア内壁のレーザー散乱光を 1 ラインずつ読み取る装置である。そこで得られたボア内壁の各ライン状のデータを 2 次元画像として再構成し、P 偏光と S 偏光の強度を測定し、鑄巣検出アルゴリズムの作成及び汚れ等に対する特徴量による判別方法について検討した。

次に、得られた P 偏光画像及び S 偏光画像を用いて欠陥検出の評価を行う。まず、低周波成分を保存するガウシアンフィルタによりノイズ除去を行い、更に、あるしきい値以上の濃度レベルの画素のみを有効データとみなして、その評価値により欠陥部の判定を行う。今回の実験では、255 階調レンジにおいて、20 階調以上の濃度を持つ画素を有効データとし、濃度レベルで、125 階調以上のものを欠陥としている。今回のシステムで、 $100\mu\text{m}\phi$ の鑄巣まで検出可能であることを確認した。

また、P 偏光及び S 偏光画像の偏向強度を用いた欠陥部の抽出アルゴリズムの開発及び評価を行った。その結果、欠陥抽出に用いた P 偏光及び S 偏光を用いた画素単位毎の特徴量を用いて、欠陥部の抽出が可能であることを確認した。

28 年度は、抽出された欠陥をその種別を判定する方法を検討し、その有効性を確認した。その手法として、まず、昨年度検討した P 偏光及び S 偏光を用いた欠陥検出方法により、 $(P \text{ 偏光強度}/S \text{ 偏光強度})$ 等の画素単位の特徴量を用いて欠陥とみなされる画素を抽出する。その後、抽出された欠陥候補画素を欠陥候補部のブロック（塊）として捉え、ブロック単位毎の特徴量を用いて、欠陥種別判定を行うものである。即ち、昨年度行った画素単位の特徴量に対し、今年度は欠陥とみなされた部分のブロック（塊）を単位とした特徴量を設定している。また、解析には、通常、画像処理の粒子解析^{注 1)}で用いられる慣性モーメント等の形状を基にした特徴量の外に、P 偏光及び S 偏光データから計算される特徴量を含めたものとなっている。

そして、この特徴量を用いた判別分析法に依る学習を行い、欠陥種別の判定を行った。

また、欠陥判定アルゴリズムを実用機に実装することを前提とした操作プログラムも併せて開発した。（注 1 については、補足説明参照）

2-3-1-3 欠陥種別判定アルゴリズム

2-3-1-3-1 欠陥候補部の抽出

まず、特徴量を用いて欠陥部となる画素を抽出する。それぞれ P 偏光画像及び S 偏光画像における座標の偏光強度の特徴量から、それぞれの特徴量に基づく欠陥候補となる個所を抽出し、その演算による合成画像を作成し、これを欠陥候補画像とする。

2-3-1-3-2 欠陥種別判定のための特徴量

得られた欠陥部候補画像を基に欠陥種別判定を行う。欠陥候補画像において抽出された欠陥候補部に対して、ブロック単位の特徴量を決定し、その特徴量を基に欠陥種別判定を行う。欠陥種別判定のための特徴量計算として、まず、通常の画像処理で行われる粒子解析を実行する。

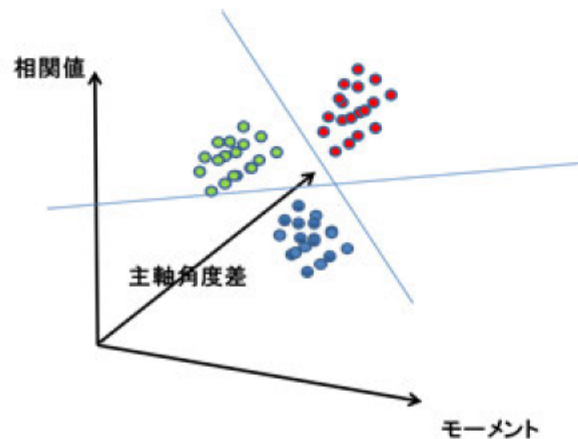
これにより、各欠陥候補部の重心座標、面積等の通常の粒子解析結果による特徴量データが得られる。次に、P 偏光及び S 偏光に基づく特徴量を付加し、欠陥種別判定のための特徴量とする。

この特徴量は、面積のような形状に依らない特徴量の外、形状の膨らみを表す【慣性モーメント】や粒子の傾き角度を示す【慣性主軸角度】等を用いている。これらは、通常の粒子解析でも用いられる特徴量であるが、それに加え、P 偏光画像及び S 偏光画像の特徴に基づく特徴量、例えば P 偏光画像及び S 偏光画像の濃度分布に関する類似性等を欠陥種別判定の特徴量としている。

2-3-1-3-3 学習と判定

欠陥には、鋳巣、錆、傷、異物等の種類があるが、様々な形態があるので、1 種類の特徴量だけの判定では困難である。そのため、図－12 に示すように、複数の特徴量を複合した判定を行う。

今回、これを実現するための手法として、統計的手法である判別分析手法により、欠陥種別の判別を行った。判定は、正常、鋳巣、錆、傷及び異物の 5 種類に分類することとする。そのために、各種別に対して、特徴量が一致した時に正解となる重回帰式を用いて判定する。



図－1 2 多次元空間による判別イメージ

2-3-1-3-4 実装用操作プログラムの開発

実用化に向けた判定プログラムの作成を行った。プログラムには、学習機能、判定機能及び対ホストプログラムと画像データの受け渡し及び結果送信を行うための通信プログラムから構成される。処理は学習部と自動判定部及びホストプログラムと画像データ情報及び結果処理を通信する通信部からなる。

2-3-1-3-5 学習と判定実験

学習は、サンプル画像による学習を行い、学習で用いた画像以外のデータにより、認識性能の検証を行った(サンプル画像は4枚用いた)。実験装置を用いた実験では専用のパラメータを用いて、判別分析の原理により学習を行った。検出用の式に応じた状態のとき、値「3」に、そして、それ以外の時は値「1」となるように学習した。(※この値は任意であるが、今回はこの値を採用した。)そして、学習サンプルのデータを用いて、最小二乗法の原理により、結果式を求めている。

そして、得られた式をもとに、各サンプルに対し、粒子解析を実行し、それぞれの粒子についての特徴量を求め、それを基に判定式に代入し、その粒子毎の値を計算し、欠陥毎の確からしさを計算している。

サンプル画像において実験を行う上で、誤判定したものがいくつかあったが、正解率は、8割程度であった。

今回、学習サンプル画像及び実験に用いたサンプル画像の数が十分でなかったため断定はできないが、その有効性を確認することができた。判別分析に限らず、学習を用いる方法は、サンプル数と正解率は比例するので、今後、学習のためのサンプル数を増やすことで、認識率を上げることが期待される。

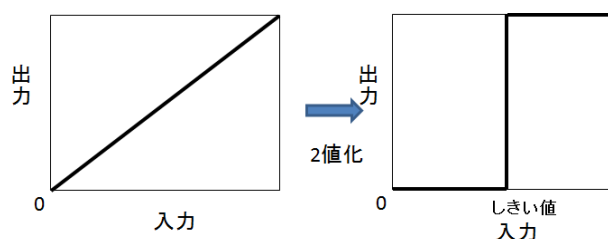
<補足>

注 1：粒子解析

粒子解析とは、画像処理において、2 値化等により塊として抽出した領域に対して、面積や縦横の長さの比等、形状等の特徴量の解析を行うこと。

※2 値化：設定した画像濃度等のしきい値により、強制的に白、黒の 2 つ領域に分類すること

<2 値化：あるしきい値を境に、強制的に 0or 1 等の 2 つの値にすること>



2-3-2 データ通信機構の開発

26 年度はプローブヘッドから送られてくる PSD 信号データは回転体であるプローブから固定体である筐体部の間にスリップリング配置することで検証を行った。結果としてデータ飛び抜けの確認ができる信号は得られたがアナログ信号ではノイズが多いことが問題となった。このため、プローブヘッド内に配置する基板回路をノイズに強いデジタル化の検討を実施した。デジタル通信には、UART (RS232C), SPI, I2C などがある。UART の通信距離は数メートル以上であるが、他は基板内通信用で通信距離が極端に短い。本事業ではプローブからコントロールユニットまで、1m 以上あるため、UART 通信を選択した。デジタル通信を行うには、アナログからデジタルに変換する AD コンバータや通信制御を行う機能を前述のアナログ回路に付加する必要がある。しかしスペースの制約上、基板を大きくはできないため、小型マイコン (PIC) を用いた回路を構成し基板を作成した。製作した回路を用いて PSD データ取得および通信、出力の動作確認を行い正常に動作することを確認した。ただし、サーボ系ノイズの問題は残ったため次年度で対策を行う。

27 年度の実施内容を説明する。本装置ではレーザーは固定されているが計測部 (PSD) はプローブの中に位置し、プローブと共に回転する。よって、電力の供給と計測データ (4 信号) を無線などによって供給および転送する必要がある。無線通信の手法には、WiFi (～54Mbps) や IrDA (～1Mbps)、ASK (～20kbps) などがある。これらの方式による 16bit のサンプリング点数を計算すると、最大でも 50ksps (samples per second) 程度である。また通信モジュール 1 個で数百 mA (～1W) の電流を必要とするため、無線給電の負担が大きくなる。このため、本プロジェクトでは PWM 波の幅によるデータ転送方式を考案した。この方式では、1Msps 程度の通信が期待され、消費電流も低減できる。

基準となる三角波を発生して、コンパレータで PSD データ（オペアンプで電流・電圧変換後）と比較する。この比較によって PSD 電圧に比例した幅の矩形波を発生させる。この矩形波を LED と PD によって通信し、外部回路によって矩形波の幅を電圧に変換する回路（積分回路とアナログスイッチ）を通してアナログ電圧に再変換する。

この機構を装置として具現化し、まずは給電状態を評価した。結果として、PSD や通信につかう LED 等に必要な電力を確保することができた。また、光通信の機構にて、PSD とのデータ整合状態を確認し通信が正常に行われていることを確認した。新たな課題としては、通信におけるフォトダイオード感度とオペレーションアンプ容量が不足していることで応答性が間に合わないことがわかった。

28 年度は量産プロト装置にて低速でのデータサンプリングによる実証は前述の計測、及び欠陥検査のとおりだが、高速でのデータサンプリングには至らなかった。今後は 4 0 0 0 0 rpm 対応のロータリートランスミッターを装置に組み込み実証を行う計画である。

2-4 量差モデルの開発

28 年度は量産プロト装置として、検証用装置として販売可能なプロト装置が完成した。前述の内径、真円度の計測精度実証、及び CMOS 全体の受光量を画像データ化する方式での実証はすべて本装置での実証結果である。

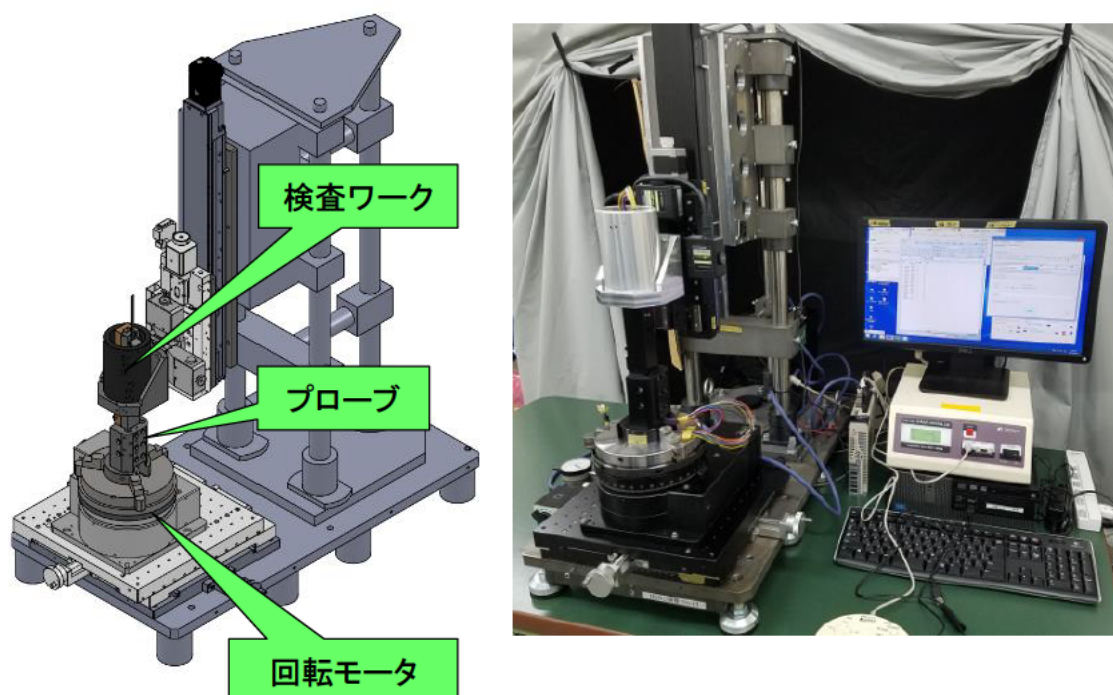


図-13 量産プロト装置

2-5 マーケティング調査

本年度は昨年までに完成した開発プロト装置を国内外の展示会に開発中の検査装置として参考出展した。その目的は、国内の場合、現行モデルである「穴ライザⅢ」を既に導入された顧客や今後導入を検討される潜在顧客から、実際の装置を見てもらうことでより具体的なウォンツ、ニーズをキャッチアップし量産化の課題を明確にすることにある。また、海外の場合、まずは日本の加工穴内径面の自動外観検査技術として現行モデルが大手自動車メーカー、および大手自動車部品メーカーに多くの導入実績があることをアピールしつつ、次世代モデルである「穴ライザⅤ」も含めたマーケットの可能性を現認することを目的とした。その結果、特に海外でのマーケットの可能性を確信するとともに、実際にドイツ拠点の大手自動車メーカー技術者と交わることができた。以下、その成果を順に示すこととする。

2-5-1 Automotive TestingExpo2016 Europe

【開催会場】 Messe Stuttgart , Germany

【会期】 2016年 5月31日～6月2日

【ブース来訪者数】 バーコードスキャニング数 : 34名

【主な来場者プロフィール】

EU圏、及び日系等の現地に工場を持つ大手自動車メーカー、大手自動車部品メーカーと担当商社

Company	Country	Company	Country
CMD SPA	Italy	Toyota Tsusho Europe	Germany
Catalytic Instruments GmbH	Germany	Continental Automotive GmbH	Germany
Air Liquide Spain	Spain	Scania	Sweden
Volvo AB	Sweden	EXEDY Co., Ltd.	Japan
Volvo Powertrain	Sweden	Robert Bosch GmbH	Germany
Ognibene Power SpA	Italy	Tenneco METC	Belgium
Nissan	Spain	Tenneco	Belgium
Ecoalliance LTD	Russian Federation	Daimler AG	Germany
INTAP	Poland	Lumag sp z o.o.	Poland
cetim-cermet	Germany	ENVILYSE GmbH	Germany
AMSS Motor Vehicle Centre	Serbia	Robert Bosch Kft.	Hungary
AMSS Motor Vehicle Centre	Serbia	Mitsuba Corporation	Germany
Hyundai Motor Company	Korea, Republic of	Mitsuba Germany GmbH	Germany
Daimler	Germany	Mitsubishi Corporation Technos	Japan
		EXEDY Corporation	Japan
		Toda Racing Co.LTD.	Japan
		Mahle	Poland
		AWTC Europe S.A.	Germany

【会場、及び展示ブース】

【シュツガルト メッセ会場】



【会場内】



【穴ライザV展示】



【穴ライザVに対する反応】

ドイツにおいては、穴ライザは非常にユニークな装置であるとの来訪者の評価であった。その理由は日本と異なり全数検査は前提としておらず、抜き取りなど定期検査で品質保証をしているためである。また、穴ライザのようなシステムで穴内部に特化し計測するような装置は他には類がなく、高い興味を持ってご覧いただけた。

【成果・課題など】

D社との話の中で、これまでの定期検査による保証から全数保証が必要になってくる傾向が伺えた。このことから、ドイツ（EU）圏でも、穴ライザVはマーケットに潜在的ニーズがある装置であると確信できたことは大きな成果であった。課題として、どこまでの分解能で計測できるかなど、計測精度に対する要求度は高かった。但し、単純に1ケタ上ということだけでなく、装置の使い方として最適な方法とその確からしさをいかに示していくか、根拠となるデータをどう積上げてユーザーに示していくかが課題になってくると考えられた。

2-5-2 日本ものづくりワールド 第20回 機械要素技術展

【開催会場】 東京ビッグサイト

【会期】 2016年 6月22日～24日

【ブース来訪者数】 名刺交換枚数 : 55名

バーコードスキャンニング数 : 206名

【主な来場者プロフィール】

自動車・部品メーカーはじめ、大手センサーメーカーなどの担当者・技術系担当

小間 /Booth Number	出展社 /Exhibitor	会社名(漢字)/Company Name	役職名/Job Title
W07-22	シグマ(株)	三菱重工業 株式会社	主席部員
W07-22	シグマ(株)	株式会社 キーエンス	チーフ
W07-22	シグマ(株)	富士重工業 株式会社	
W07-22	シグマ(株)	株式会社 岡村製作所	室長
W07-22	シグマ(株)	XINXIANG MASSWAY PRECISION MACHINERY CO., LTD	Vice General Manager
W07-22	シグマ(株)	双日(中国)有限公司	科長
W07-22	シグマ(株)	ミネベア 株式会社	主任
W07-22	シグマ(株)	株式会社 豊田自動織機	
W07-22	シグマ(株)	日本精工 株式会社	
W07-22	シグマ(株)	株式会社 スペースフォトン	代表取締役
W07-22	シグマ(株)	富士エンジニアリング 株式会社	
W07-22	シグマ(株)	株式会社 スギノマシン	
W07-22	シグマ(株)	独立行政法人 国立印刷局	
W07-22	シグマ(株)	株式会社 JVCケンウッド	
W07-22	シグマ(株)	キヤノン 株式会社	
W07-22	シグマ(株)	コベルコ建機 株式会社	チーフ
W07-22	シグマ(株)	株式会社 テラシステム	常務取締役
W07-22	シグマ(株)	NTN 株式会社	グループリーダー 主査
W07-22	シグマ(株)	日本精工 株式会社	主務
W07-22	シグマ(株)	Automotive Tech Consultant	
W07-22	シグマ(株)	三菱マテリアル 株式会社	センター長補佐
W07-22	シグマ(株)	コマツ	
W07-22	シグマ(株)	株式会社 野村総合研究所	上級コンサルタント 金融システムリスク管理部
W07-22	シグマ(株)	日本精工 株式会社	主務
W07-22	シグマ(株)	KYB 株式会社	
W07-22	シグマ(株)	三菱電機 株式会社	
W07-22	シグマ(株)	三菱マテリアル 株式会社	所長補佐 加工事業カンパニー製造本部 部長補佐
W07-22	シグマ(株)	株式会社 リケン	係長
W07-22	シグマ(株)	いすゞ自動車 株式会社	

【会場、及び展示ブース】



【穴ライザVに対する反応】

主に自動車メーカー、自動車部品メーカーの方が多く足を止められてみていた。特に計測に関して質問が多く、分解能や補正方法など細かい部分まで興味を持ってきかれていた。また、実際に量産での使用をイメージされる方もおり、その際のメンテナンス性や故障時の再現性など突っ込んだ質問も多々あり今後の参考となった。販売時期や価格帯など具体的な質問もあり、高いニーズがあることが伺えた。現場で使う装置の価格は1000万円を超えると、Tire 2、3クラスは厳しいように見えた。

【成果・課題など】

非常に多くのお客様に穴ライザVを通して技術面や商品面でのシグマのアピールができたことが成果であった。また、欠陥判定と計測を希望するお客様から具体的な意見を多く頂けたことで穴径や真円度計測に対して課題が見えた。具体的には、取れるデータを全て使い円筒度なども見られると嬉しいなど、高精度な計測が量産現場でもニーズがあり、それに耐えうる装置、メンテナンス性も含めて機構を考えていくことがポイントであることが重要な課題である。開発段階の今時点からある程度は量産仕様のコストも考えていかなければならない。目先は精度を高めるのが課題だが量産プロト完成後のコスト低減は大きな課題と考える。

2-5-3 Automotive TestingExpo2016 NOVI MICHIGAN

【開催会場】 The Suburban Collection Showplace, Novi, Michigan, USA

【会期】 2016年 10月25日～27日

【ブース来訪者数】 バーコードスキャニング数 : 68名

【主な来場者プロフィール】

9割以上がミシガン周辺のメーカー（フォード、クライスラー、GMを始め、その部品メーカーなど日系含む）

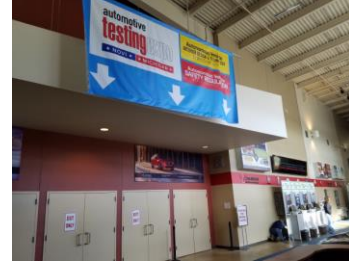
Company	Country	Company	Country
Gateway Analytical	United States	Lear Corporation	United States
Magnum Q.R.	United States	BorgWarner	United States
Magna Chek Inc.	United States	BorgWarner	United States
Pistones Moresa	Mexico	Honda R&D	United States
chongqing pingwei auto		Honda R&D	United States
Alpine Electronics	United States	Accurate Technologies Inc	United States
Nitto Automotive Inc.	United States	Acculogic Inc	Canada
DMMI	United States	FCA	United States
Horiba	United States	FCA	United States
Adcole Corporation	United States	US Army TACOM	United States
Polytec GmbH	Germany	Easy-Measure	Japan
Martinrea International	Canada	General Motors	United States
Aisin tech center of america	United States	General Motors	United States
Kyowa Industrial Co Ltd	Japan	General Motors	United States
TE Connectivity	United States	Shuill	United States
KOTRA	United States	Denso	United States
AMP-Cherokee	United States	GM	United States
FCA	United States	Acculogic Inc	Canada
FCA	Mexico	ConMet	United States
Dynamics Vibration Testing	United States	Koyo Bearings North America	United States
AdvanTech International	United States	Williams International	United States
GM	United States	Williams International	United States
FCA	United States	Williams International	United States
Exactration	United States	Hitachi America, Ltd.	United States
FCA	United States	FCA	United States
		AW Technical Center USA	United States
		Continental Automotive	United States
		Chassis	United States
		Chassis	United States
		Cataler North America	United States

【会場、及び展示ブース】

【サバーバン コレクション ショープレース会場ゲート】



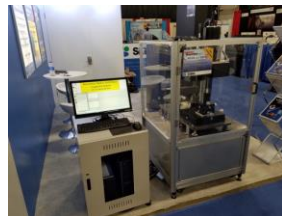
【会場内】



【会場内】



【穴ライザV展示】



【穴ライザVに対する反応】

アメリカにおいても非常に良いテクノロジーとの評価であり、早期に実用化して欲しいとの声もあった。量産向けのレベルより、もう1けた上のレベルなら開発向けに使えるとの提案もあった。また、非破壊、非接触で内径計測できることのメリットは非常に大きいとのこと。良い装置との評価であった。

【成果・課題など】

展示会内に類似装置はなく、他の検査装置メーカーが興味を持ってブースへ来られた。この地で導入させる前提として、現地拠点があることが求められる風土であることがわかったが大きな課題である。日系メーカーは日本マザーがOKなら導入するスタンスのため、日系は日本に注力し海外メーカーは海外で行うことが肝要である。現地メーカーは新しいモノを受け入れやすい文化がある様子。全数検査も実施しているとのことだが、コネクションが必要。

第3章 全体総括

3-1 研究開発の成果

完成した装置により各目標値に対して概ね達成したと考える。

<目標値>

- ① 製品対応内径 : $\phi 10 \text{ mm}$ (小径) $\sim \phi 100 \text{ mm}$ (大径)
→ 小径から大径まで対応可。
- ② 最小欠陥検出サイズ : $\phi 0.1 \text{ mm}$ (鋳造巣)
→ $\phi 60 \text{ mm}$ 以上で達成
- ③ 内径測定精度 : 0.01 mm 以下
→ $\phi 60 \text{ mm}$ 以上で達成
- ④ 分離精度 : 誤判定 10%以下
→ 今後 n 増し実証
- ⑤ 真円度測定精度 : 0.1 mm 以下
→ $\phi 60 \text{ mm}$ 以上で達成
- ⑥ 検査/測定時間 : 10 秒/個以内
(前提条件 : $\phi 100 \text{ mm}$ $L=100 \text{ mm}$ の検査/測定)
→ 今後高速サンプリング実証
- ⑦ 位置ズレ許容値 : $\pm 0.1 \text{ mm}$ 以内
→ $\phi 60 \text{ mm}$ 以上で達成
- ⑧ サンプリング速度 : 7.85 MB/S
($\phi 100 \text{ mm} \times 3.14 \times 250 \text{ 回転/S}$) $\div 0.01 \text{ mm} = 7,850,000 \text{ B}$
→ 処理システム単体では達成。今後実機で実証
- ⑨ 使用環境 : 温度 50 度以内 / 湿度 90%以内
→ 今後実機で実証
- ⑩ 耐久性 : 24 時間 30 日連続使用テストに耐えうる事
→ 今後実機で実証

3-2 今後の課題及び解決策

【内径、真円度計測】

補正アルゴリズムと繰返し精度が課題である。まずデータテーブルの最適な作成方法を n 増しにより補正チューニングを進めていく。精度を上げるために CMOS のサブピクセル処理を実施していく。

【P／S画像による欠陥検査】

撮像データ生成精度と特徴量での判定精度が課題である。カメラ画像の縦横解消の検討と同時にバックアップ案も視野に、量産装置としてより現実的な形にしていく。判定精度に関しては実ワークのn増しを通じてチューニングしていく。

【量産装置具現化】

プローブスピンドル製作と完成体での高速検査の実証が課題である。設計したモデルを具現化した装置で検査実証を進めていく。小径対応に関しては小型化に優位な PSD での開発、実証を継続していく。

3-3 事業化展開について

3-3-1 研究成果の事業化見通し

平成28年度は研究成果のプロトモデルをサンプルとして既存ユーザー（自動車業界）から提供していき、市場評価と位置付けた評価を進行する。また、ものづくり補助金等の公的資金を活用しながら、本格的量産対応モデル（高速化・ロバスト強化）の開発に着手する。平成30年度から自動車業界市場へ供給するための量産を開始し、以降、事業規模を拡大する。

3-3-2 量産化計画

平成29年度中に本格的量産モデルの開発を完了させ、平成30年度より生産を開始する。以降、受注に合わせ生産規模を拡大していく。

生産計画台数	平成30年：5台	平成31年：20台	平成32年：45台
	平成33年：87台	平成34年：178台	

3-3-3 事業化・量産化の戦略

1. ターゲット市場

主要ターゲット部品は、自動車用の自動変速機バルブボディ、同エンジンブロック、同エンジンのピストン、同ブレーキマスターシリンダー 等。
ターゲット地域は、日本、ヨーロッパ、北米、東南アジア、中国を予定。
その後、それぞれ順次拡大する。

2. 潜在市場規模

ターゲット市場*1 及び検査省力化・自動化ニーズの成長予測から検査装置の潜在市場規模とその成長性を予測した。
(備考)世界自動車販売予測数は HIS Automotive データを使用した。

3. 獲得シェア

新型検査装置による商品の差別化と認知度の向上を勘案し目標値を設定した。

4. 販売予定台数

潜在市場規模に獲得シェアを乗じたものである。

【経過年数】	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目
潜在市場規模(台)	538	555	567	584	595
獲得シェア (%)	1	4	8	15	30

5. 新型検査装置価格

既存商品に対する付加価値分を考慮し当面 2000 万円/台を設定した。

将来は原価低減を図る。

6. 標準化戦略

現在、新市場創造型標準化制度「JSA 標準化支援スキーム」を活用し、現行既存装置で進行中の JIS 標準規格化と同様に、本装置での内径・真円度の計測手法を新たな標準規格として JIS 化を進め、その後に国際標準規格の取得を進めていく。

3-3-4 販売計画

平成 30 年度に、既存ユーザーを中心に国内 2 社へ販売を開始し、売上規模 1 億円強を目指す。以降、平成 31 年度：4 億円、平成 32 年度：9 億円、平成 33 年度：17.4 億円、平成 34 年度：35.6 億円と目標値を定め拡販を目指す。

また、自動車業界での実績を基に他業界（建機・航空機業界等）への展開も、既存販売ルート（機械商社）を活用し進めて行く。

以上