

## 技術資料



## Technical Data

## 自動車用部材向け外観検査技術

渡邊裕之\*

## Visual Inspection Techniques for Automotive Parts

Hiroshi Watanabe

**Synopsis**

Automotive parts mainly are manufactured with specialty steels. The steels are used for engine parts such as engine valve, turbochargers, and mechanical construction parts such as gears, bearings and joints.

Automakers have improved those parts toward saving weight and increasing strength. And they demand to assure those qualities more rigorous year after year, because of most significant components for car safety.

Those parts are mainly manufactured by rolling, casting and die forging. Thereafter those are subjected to machine by press working and cutting. Each part has independent inspection criterion based on the operations. We developed machine vision systems by using CCD cameras, Laser scanners or other sensors instead of visual inspections by operators, and made those systems more appropriate for each part. We optimize their inspection conditions by the shapes, materials, target defects, inspection speeds and others. This report introduces those techniques and features for inspecting parts by the die forging, precision casting, press working and hot-deformed magnest.

**1. 緒言**

特殊鋼の主要な用途の一つは、自動車の構造用部材であり、棒鋼・線材、鍛造品、鋳造品を中心に、エンジン回り、足回りといった最重要部品に数多く用いられている。自動車の環境対応を推進するため、自動車メーカ各社は、燃費向上や排ガス低減に躍起になり、部材の軽量化や高強度化、また、内燃機関の効率向上、さらには、電気自動車、燃料電池車といった従来の内燃機関を用いないゼロエミッション車の開発を競い合っている。また、このような次世代の自動車開発とともに、グローバル市場での競争力確保のため、部材の共通化によるコスト低減にも注力している。しかし、部材の共通化は、コスト低減のメリットだけでなく、万が一不具合が見つかったときに影響が及ぶ範囲が膨大となり、経営基盤を揺るがす品質リスクとなり得る危険性を併せ持つ。

そのため、素材や部材供給メーカに対する品質保証の要求は年々厳しくなっており、メーカは、従来、目視で対応していた出荷検査を機器化するという対策を行っている。従来の目視検査は、本来検出すべき欠陥かそうでないかを瞬時に見分ける判断力に優れる一方で、検査員ごとに経験やスキルのばらつきがあること、検査員の疲労などによる見逃しの発生が懸念されること、さらに、検査結果を定量的に残すことが難しいことなどが課題として挙げられる。

そこで、機器検査化を指向するのであるが、一朝一夕に目視検査を機器化することは困難である。検査項目ごとに適用する検査手法を見極める必要があり、また、検出すべき欠陥かそうでないかを判定するロジックにノウハウが必要になるなど、技術課題が多いことが理由である<sup>1)</sup>。自動車部材の機器検査化については、今までにも、多くの開発事例が報告されており<sup>2)~5)</sup>、各部材、各検

2014年 10月 31日 受付

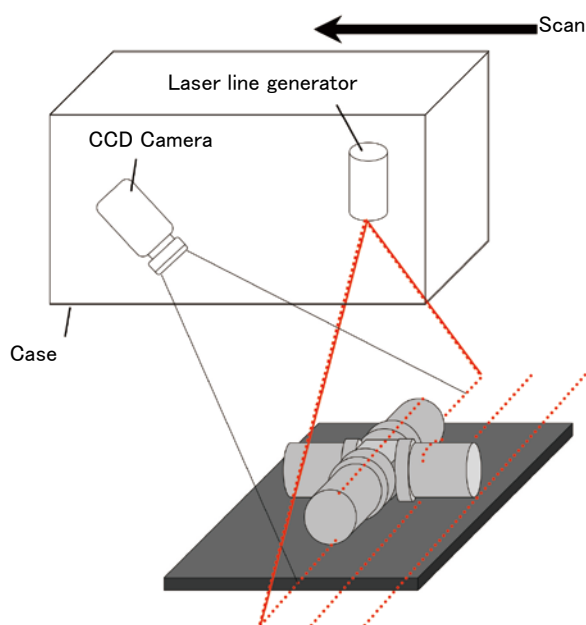
\* 大同特殊鋼(株)研究開発本部 (Daido Corporate Research &amp; Development Center, Daido Steel, Co., Ltd.)

査対象の特徴を考慮した上で各社が検査技術の開発に取り組んできたことがうかがえる。

その中で、本稿では、主に CCD カメラやレーザスキャナーを利用し、検査対象、検査項目ごとに自社開発で外観検査の機器化に取り組み、実用化にこぎつけた事例をいくつか紹介する。

## 2. 検査対象と検査手法

検査対象を丸棒や線材といった長尺の素材と、鍛造、鋳造、プレス加工などで成形される部材に分けると、長尺素材は、主に、超音波探傷や渦流探傷、漏洩磁束探傷といった非破壊検査手法が中心となり、素材が直線搬送される間に検査する方法が一般的で検査装置の構成に各社大差はない。一方、成形部材は、X線検査や画像処理、3次元計測といった手法を用いることが多く、また、検査方法は、静止した部材に対して多数のセンサを配置したり、センサ又は部材を移動させて全面検査したりと、多様な構成が考えられるため、個々に、検出精度、タクトタイム、コスト、設備サイズなど各種条件を勘案して検査仕様を決定する必要がある。



(a) Structure of 3D measurement by light-section method

## 3. 鍛造部材の検査技術

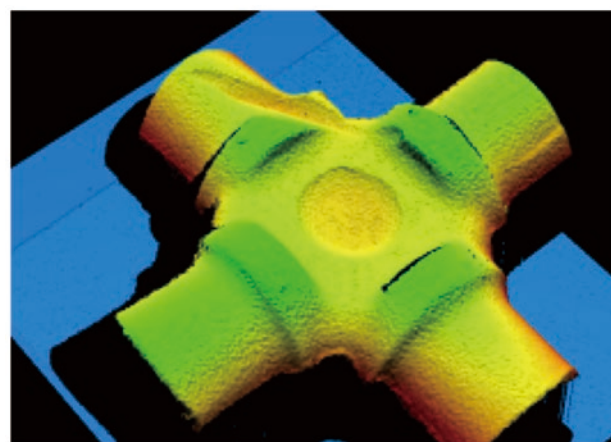
### 3. 1 足回り用ジョイント部材

熱間鍛造で成形される自動車用部材には、足回り部材やトランスミッション部材、エンジン部材などがある。これらは、自動車の駆動系を構成する部材であり、高い品質保証レベルが求められる。鍛造品の外観不良には、欠肉、型ズレ、バリ、打痕、汚れ、錆などがあり、形状変化を伴う欠陥（欠肉、型ズレ、バリ、打痕）と表面上の欠陥（汚れ、錆）に分けられる。そこで、形状変化を伴う欠陥検査には、レーザを利用した3次元形状測定を適用し、表面上の欠陥には、CCDカメラで撮影して画像処理する方法を適用した<sup>6)</sup>。

#### 3. 1. 1 3次元形状測定を利用した欠陥検査

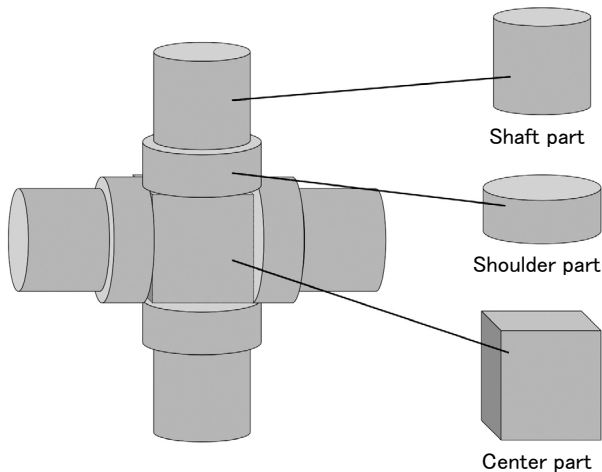
3次元形状測定の原理としては、三角測量法、焦点法、Time of Flight法などがあるが<sup>7)</sup>、今回対象の足回り用ジョイント部材は、表面状態がショットブラスト肌であるためラインレーザ光をワークに照射して、その反射光を CCD カメラで撮影して形状を求める三角測量法の一つである光切断法を採用した。光切断法での検査方法および得られた検査画像を Fig. 1 に示す。ここで検査画像は、高さ情報を色で表現している。

ワークを単純形状のブロックの集合体と見なして、測定した3次元データをそのブロックごとに分割し、そのブロックごとにパターンマッチング処理を行って欠陥検出する手法を用いた (Fig. 2)。これにより、鍛造時の個体ばらつきを考慮することができ、過検出を抑制した検査を実現することができた。

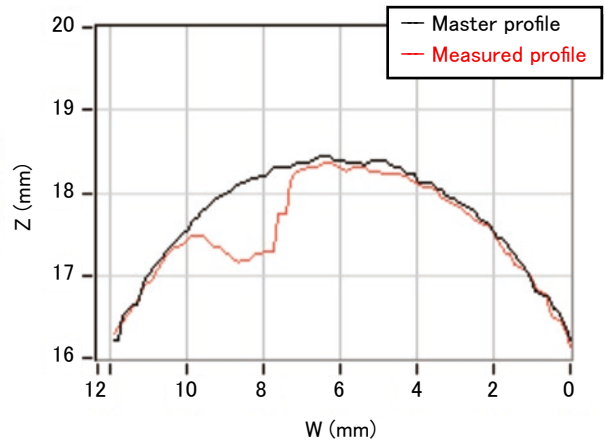


(b) 3D scanning image

Fig. 1. Three-dimensional measurement for die forged part.



(a) Simplified model of joint part



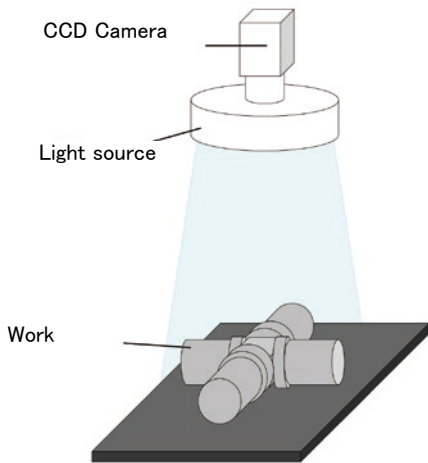
(b) Master profile and measured profile of shoulder part

Fig. 2. Simplified model and pattern matching.

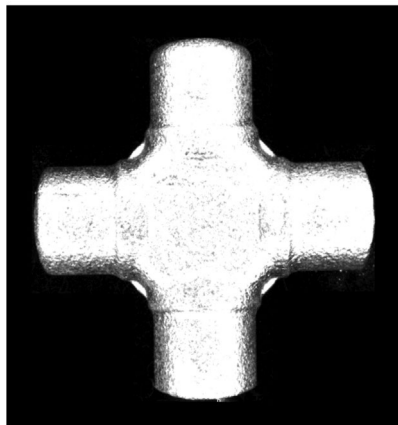
### 3. 1. 2 画像処理を利用した欠陥検査

表面上の欠陥は、鍛造部材を CCD カメラで撮影し、画像処理で検査することとした。表面のショットブラスト肌は、細かい凹凸があり、また、その状態には個体差が発生するため、撮影画像のばらつきとなり、誤過検出の要因となる。そこで、まず、できる限りショットプラス

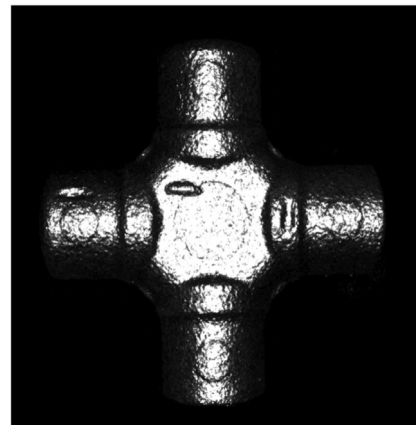
ト肌の影響を受けにくく、かつ錆や汚れの視認性が良いリング照明を選択した。また、撮影した画像から画像処理範囲（検査範囲）を決定するために、部材部分の輝度を飽和させた画像を撮影してその輪郭を求める方法を採用した (Fig. 3)。これにより、検査対象ごとに自分自身の輪郭を用いて適切な検査範囲を設定することができた。



(a) Structure of image processing equipment



(b) Outline Emphasis image



(c) Inspection image

Fig. 3. Visual inspection technique for die forged part.

### 3. 2 エンジンバルブ

エンジンバルブは、燃焼室の吸排気を司るエンジンの中核部材であり、高い耐熱性、耐食性、耐摩耗性が要求される。バルブは、主に熱間鍛造、搾出工程でバルブ形

状に成形後、一貫ラインで加工、寸法計測、リークテストなどを経て、最後に外観検査が行われる。バルブの外観不良には、軸部や傘部のケズレ、軸部のレールキズ、傘裏フェース部分の加工不良などがある。

### 3. 2. 1 複数台のCCDラインセンサによる欠陥検査

エンジンバルブは細径長尺で、片側先端に傘部があるため、単一の CCD カメラでは焦点を合わせることができず全範囲をカバーして検査することは難しい。また、エンジンバルブのフェース部は、シリンダヘッドのバルブシートと密着して燃焼室を密閉する部分であるため研磨加工されている。研磨部と黒皮部では、光の反射率は大きく異なり、同一の撮影条件で研磨部と黒皮部とを同

時に検査することは困難である。そこで、検査部位を軸部、傘部、およびフェース部の3部位に分割し、CCD ラインセンサを3台配置して検査を行うこととした。さらに、軸部については、対象欠陥の方向性や形態を考慮して、照射方向の異なる複数の照明を配置した (Fig. 4)。検査は、バルブを回転ステージで複数回回転させながら、回転に同期して照明とカメラを切り替えて撮影した。これにより、単一ステージで全ての検査を完了させることができ、装置の簡素化、省スペース化を実現した。検査結果の一例を Fig. 5 に示す。

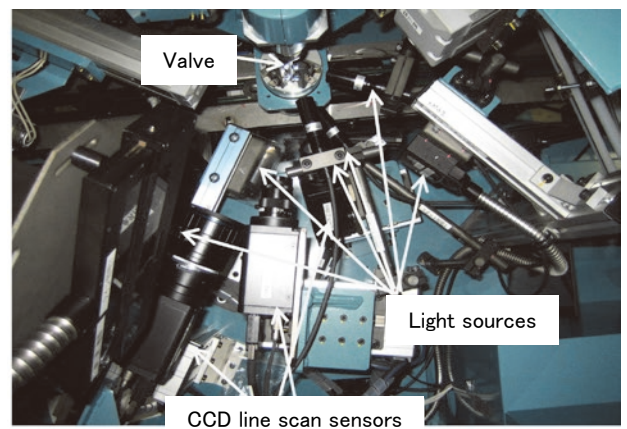
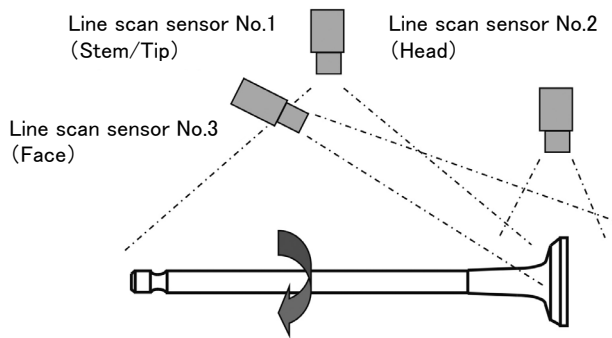


Fig. 4. Visual inspection technique for engine valve.

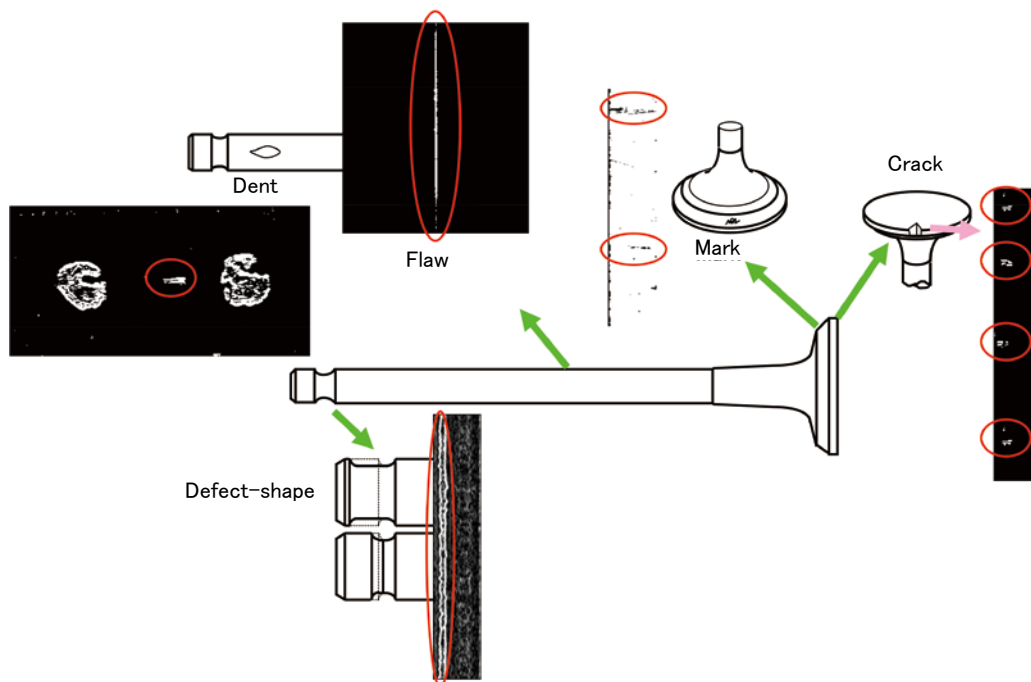


Fig. 5. Example of visual inspection result for engine valve.

## 4. 鋳造部材の検査技術

### 4. 1 ホットホイール

鋳造は、曲面や中空孔を有する複雑形状部材をニアネット成形可能な工法であり、その中でも減圧吸引鋳造法は、鋳型内部を減圧することで、溶湯が鋳型内に吸引されて確実に充填されるため、薄肉形状部材などの成形に適している。その減圧吸引鋳造法で製造される自動車部材の中に、ホットホイールがある。ホットホイールは、ターボチャージャに搭載される部材で、近年では、ターボチャージャが低燃費に貢献する技術として改めて注目されており、ホットホイールの生産量も増加傾向にある。ホットホイールはターボチャージャ内で高速回転するものであり、高度な品質保証が要求される部材である。

#### 4. 1. 1 複数台のCCDカメラによる死角レス検査

ホットホイールには、曲率のある翼が円周状に配置されており、その翼の表裏、および翼間の軸部、さらに上下面を含めて全面が検査対象である。そこで、11台のCCDカメラでワークの上下面、および測部（翼部、翼間）を狙うとともに、翼部についてはワークを翼間隔に合わせて回転しながら検査することで、全面検査を実現した。また、検査項目は、鋳出文字、翼形状、鋳造欠陥の3項目とした。ここでは、そのうち翼形状の検査について紹介する。

### 4. 1. 2 翼形状検査方法

翼形状検査については、上面あるいは下面の撮影画像を用い、ホイール中心と同心の円を描き、半径方向のラインとして認識される翼との交点を求めて、交点間の距離から翼形状の異常を判定することとした。Fig. 6において円領域Pの重心であるC点によりホイール中心位置を算出する。ここでA2で示す部分に変形している場合、A2とその隣接部位であるA1およびA3との各々の距離には差が発生する。この方式では、翼の位置がどこにあるかに関わらず検査することが可能である。

また、翼形状検査項目のひとつである端部の凹欠陥の検査方法をFig. 7に示す。本方式では、検査エリア内の画素について上下双方向にスキャンしたときの画素の不連続性を算出することにより欠陥を検出している。

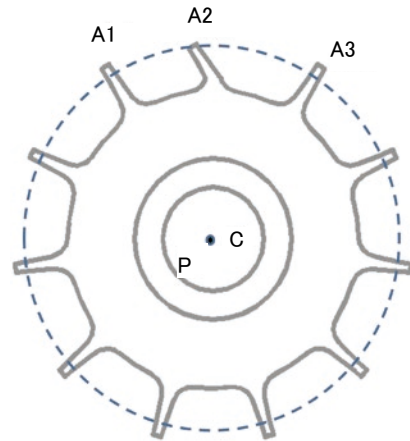


Fig. 6. Inspection technique for shape of blades.

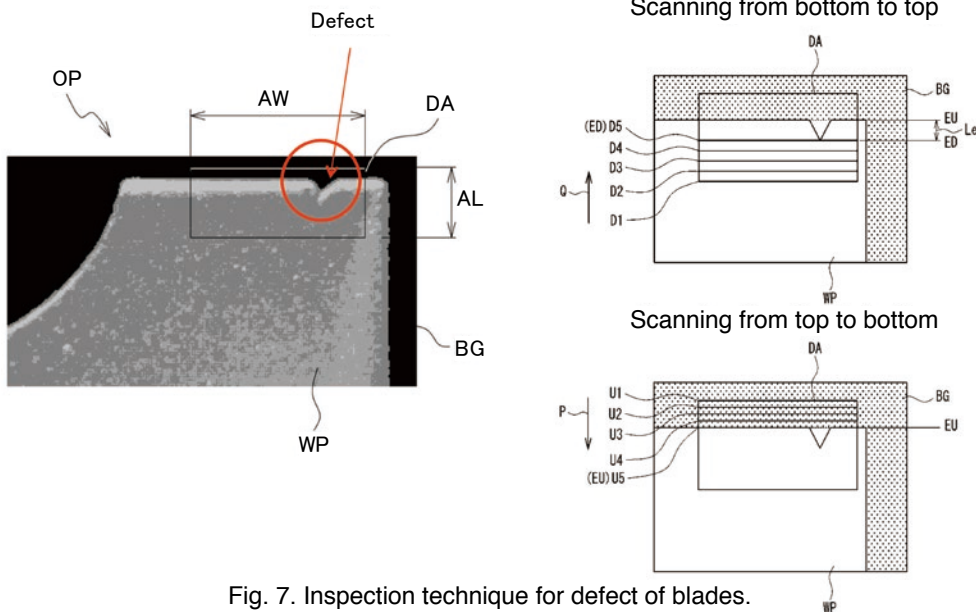


Fig. 7. Inspection technique for defect of blades.

### 4. 1. 3 検査ステージ

検査装置は、検査箇所ごとにステーションを設け、さらに、翼部・翼間の検査のステーションでは、ホイールを回転させて検査する必要があるため、ステーション送り機構とは独立したホイール回転機構を設けて、ステーションに到着したホイールを回転させることとした (Fig. 8)。また、ステーション間送り機構で送られて

きたホイールが回転機構にセットされたときや回転中に芯ずれを起こさないようにチャッキング素材や機構を工夫するとともに、パターンマッチングにより微妙な位置ずれを修正している。これらにより、位置決め精度が高く、安定した画像を撮影することができ、高精度な検査が実現できている。

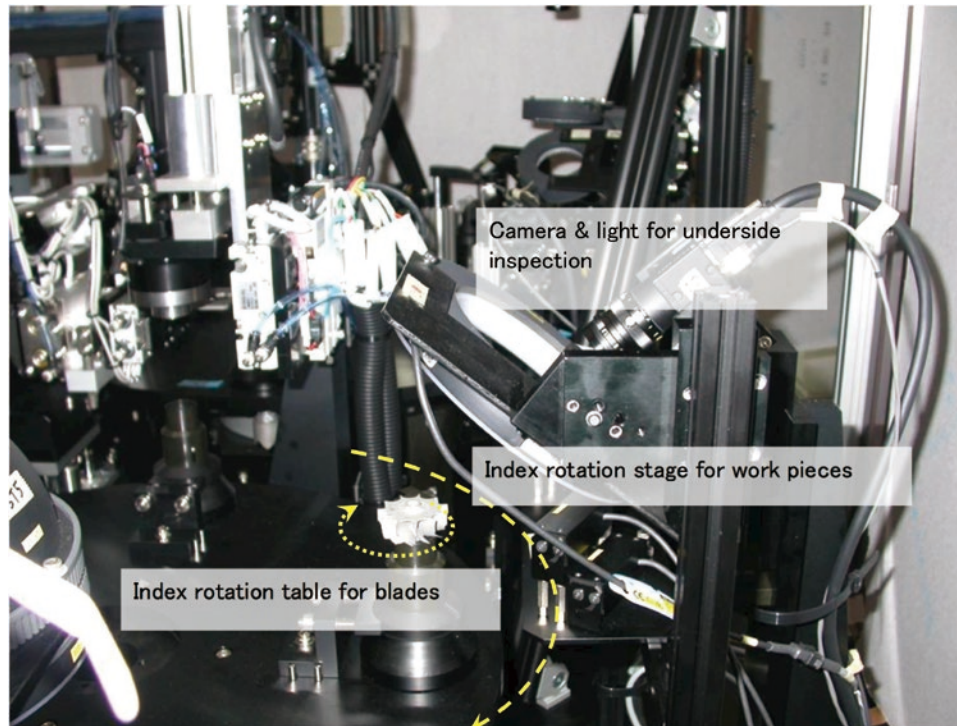


Fig. 8. Machine vision system for wheel.

## 5. 加工製品の検査技術

### 5. 1 アームベーン

ホットホイールと同様、ターボチャージャーに用いられるアームベーンは、冷間プレス加工で成形される小型精密部材である。このアームベーンは、ターボチャージャーの可変翼部分にある排気量調節弁の部材で、高い加工精度が要求される。とくに、穴内径寸法は、シャフトとの嵌め合い箇所であるため、内径公差が厳しく、バリ、変形、異物などによる公差外れを厳しく管理しなければならない。従来は、ピンゲージでの検査を行っていたが、個数も多く大変な作業であるため、画像処理による寸法測定装置を開発した<sup>8)</sup>。

### 5. 1. 1 穴内径測定方法

画像処理による寸法測定は、テレセントリック光学系を用いることが多く、本検査においても背光照明と組み合わせた同光学系を採用した。しかし、プレス加工穴は、打ち抜き方向によりエッジ部の曲率が微妙に異なるため、光の回り込みの影響で測定誤差を生じる。検査前に、部材の上下方向を揃えることは困難なため、どちらの方向でも確実に判定できるように、1個の部材に対して、カメラと照明の配置を上下入れ替えた2方向から穴内径を撮影した (Fig. 9)。撮影した画像から、最大内接円直径、および最小外接円と最大内接円の直径差の2項目で判定し、どちらか一方でも判定しきい値から外れた場合に不良と判定することで、見逃のない検査を実現した (Fig. 10)。

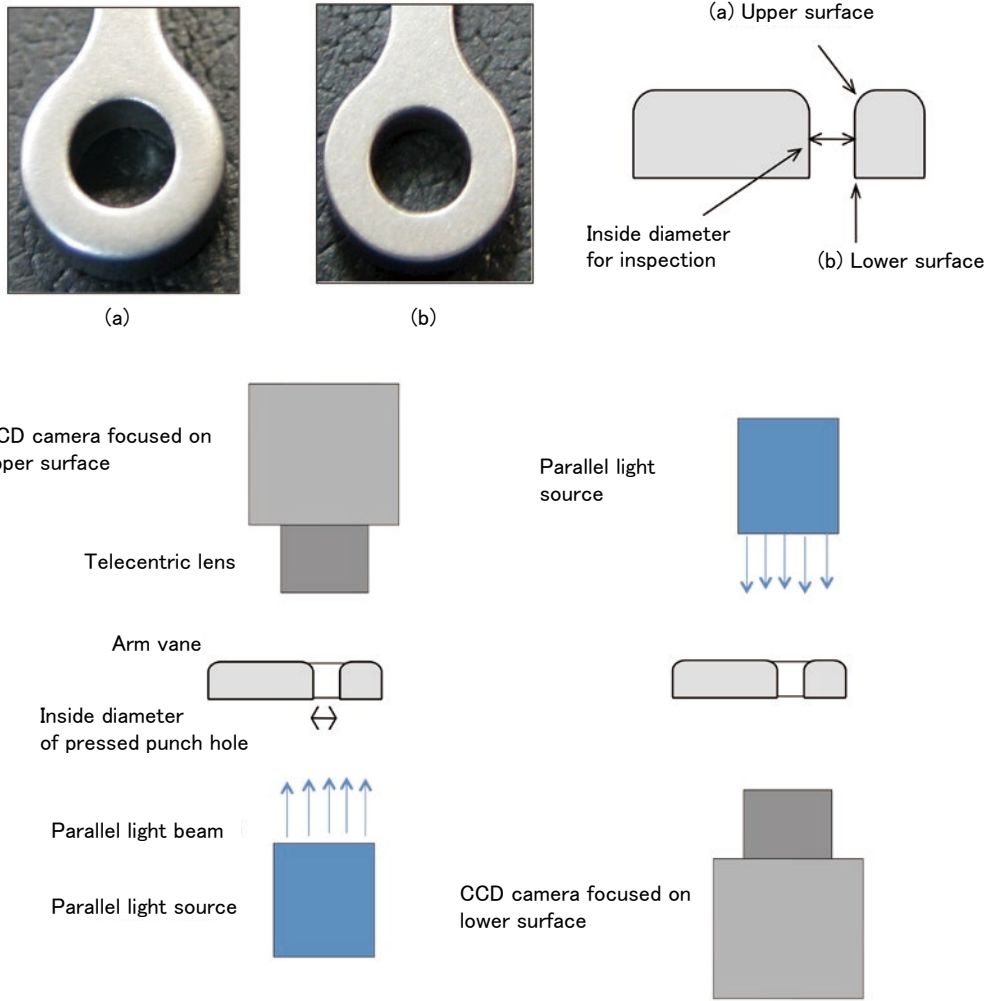
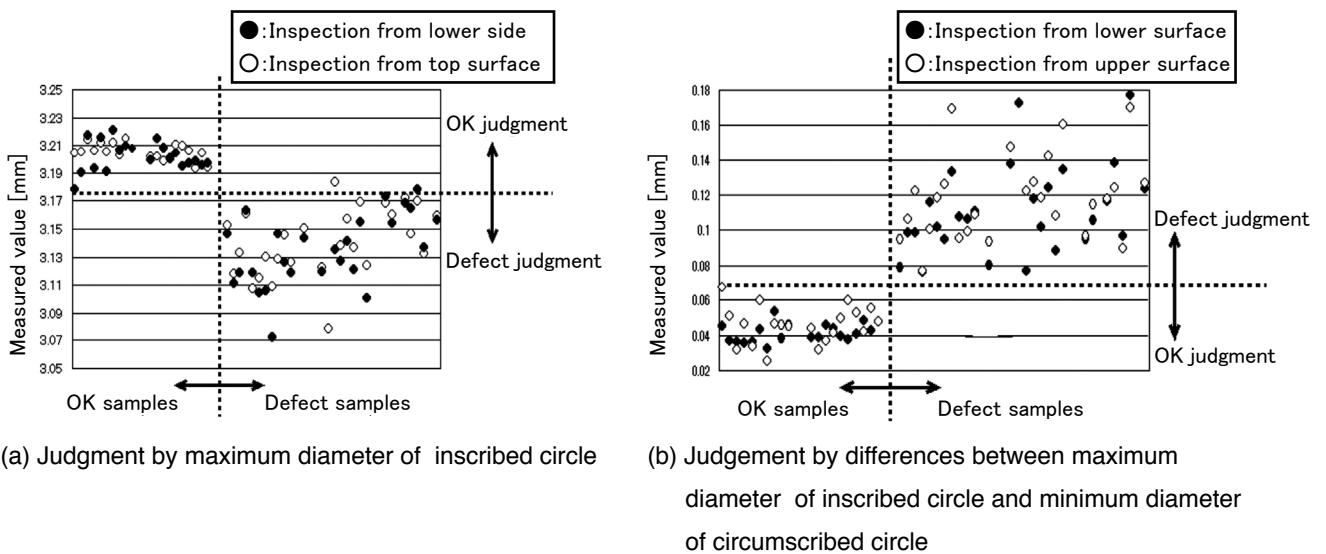


Fig. 9. Inspection technique for pressed punch hole.



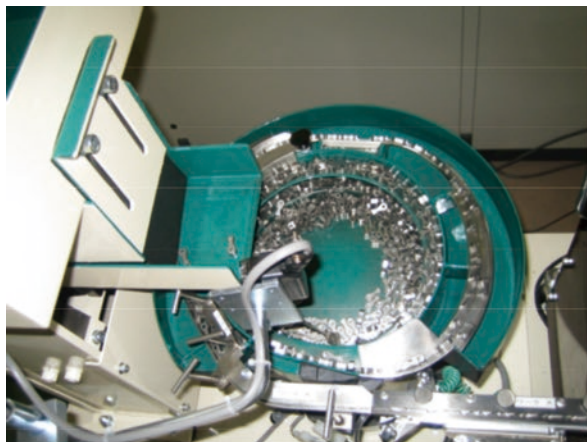
(a) Judgment by maximum diameter of inscribed circle

(b) Judgment by differences between maximum diameter of inscribed circle and minimum diameter of circumscribed circle

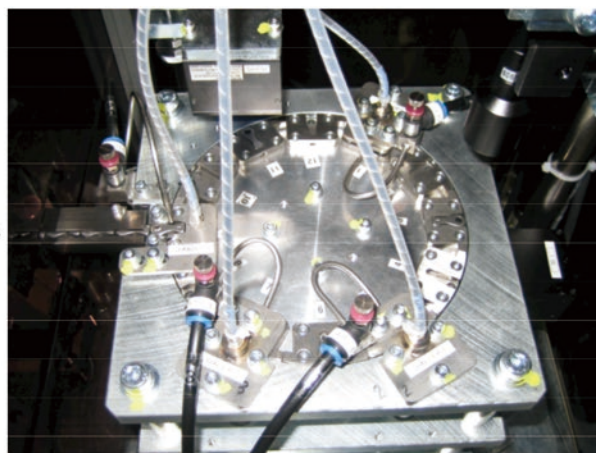
Fig. 10. Judgement example for inspection of pressed punch hole.

## 5. 1. 2 自動検査装置

自動検査装置は、パーツフィーダで部材の向きを揃えて検査部に給材する方式とし、検査部は、位置決めされ



(a) Parts feeder



(b) Inspection stage by index table

Fig. 11. Main units of auto inspection system.

## 6. 電磁部材の検査技術

### 6. 1 モータ用磁石

自動車の燃費向上対策として、従来、油圧制御されていたものが電動化されたり、エンジンへの燃料供給を効率的に行うために電動制御を採用したりと、HV、EVだけでなく従来のガソリン車にも非常に多くのモータが用いられるようになってきた。モータ用磁石には、セグメント磁石を円形配置したものやリング形状磁石が用いられるが、この中で、リング形状磁石には、NdFeB粉末から熱間押出成形でリング状に成形された世界最高の磁気特性をもつ異方性ラジアルリング磁石のMQ3が利用されている。

### 6. 1. 1 内周面検査方法

リング磁石表面は、全面全周に電着塗装されているため、出荷時の外観検査は、塗装状態での目視検査となる。この磁石の塗装表面の外観は画像で検査し、塗装下のきずは渦流探傷で検査する画像&渦流探傷一体型の検査装置を開発した。ここで、外観検査は、外周だけでなく内周検査も必要であるため、特殊レンズを装着したエリアカメラで内周面を撮影し、展開図に変換してきず判定を行った (Fig. 12)。



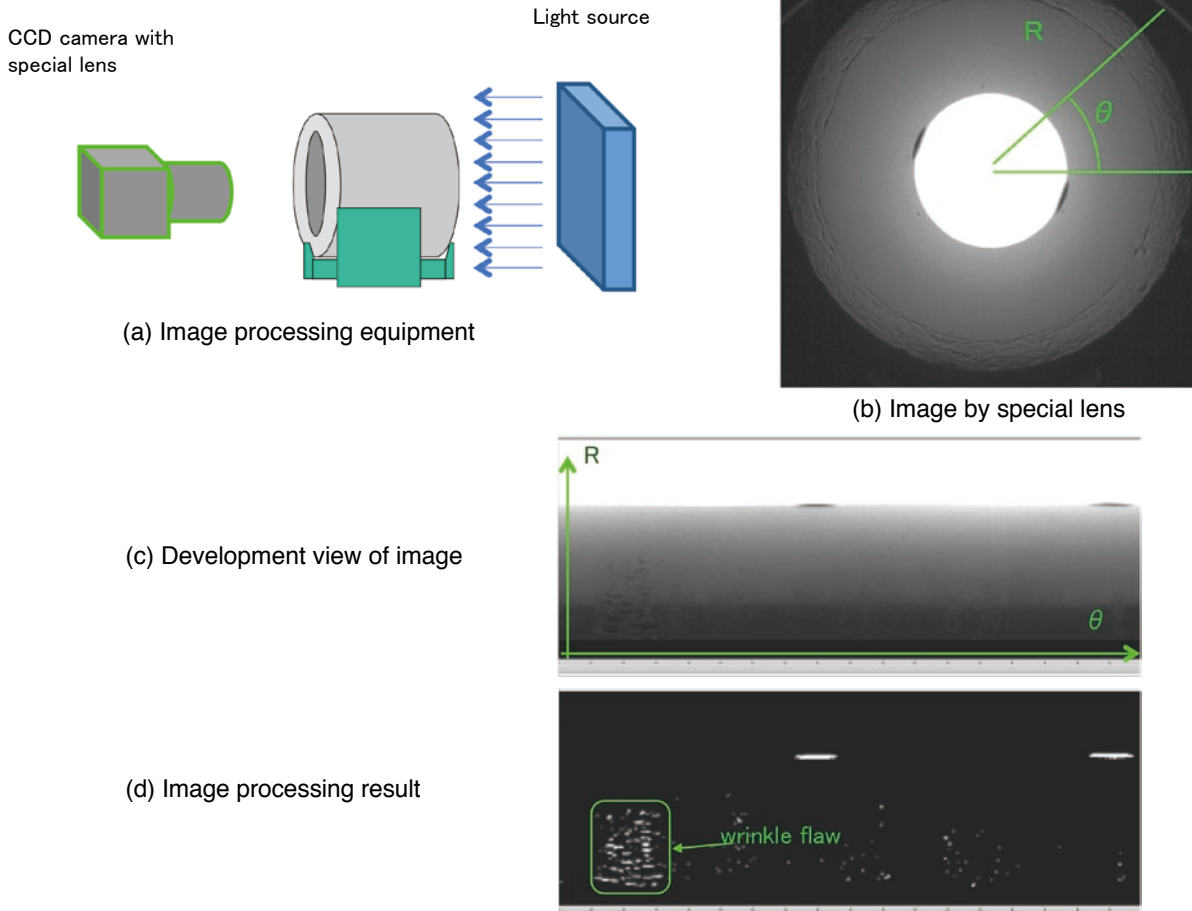


Fig. 12. Inspection technique for inner surface of ring magnet.

## 7. 外観検査以外の自動車部材検査

前章まで、自社開発した各種自動車用部材の外観検査事例を紹介してきたが、最後に、外観検査以外の最近の検査技術動向について簡単に紹介する。

### 7. 1 内部欠陥検査

内部欠陥検査は、基本的に超音波探傷、または、X線透過試験によって行われている。超音波探傷は、比較的単純形状の棒鋼や帯鋼などの内部欠陥検査に適用されており、インライン自動検査化されている。さらに、最近では、アレイプローブを用いたフェーズドアレイ探傷法を利用し、被検査材の任意の位置に超音波をフォーカスすることで、より高精度な検査を実施している事例がある<sup>9), 10)</sup>。

鍛造品や鋳造品のような複雑形状品の内部欠陥検査には、X線透過試験が一般的である。X線透過試験は、X

線撮影したフィルムを目視判定する必要があるが、最近では、X線撮影画像のデジタル化も進み、画像処理による判定も試みられている<sup>11)</sup>。また、CT (Computed Tomography) により、被検査材を断層撮影して、より微小な欠陥を検出することも行われている<sup>12), 13)</sup>。

### 7. 2 表面きず検査

目視検査困難な素材起因の表面きず検査は、主に磁粉探傷や漏洩磁束探傷、渦流探傷、浸透探傷が用いられる<sup>14) ~ 17)</sup>。超音波探傷と同様、棒鋼のインライン検査に用いられるのは、漏洩磁束探傷と渦流探傷で、磁性材は漏洩磁束探傷、非磁性材は、渦流探傷が主流である。鍛造品や鋳造品は、磁粉探傷や浸透探傷を適用する機会が多く、その判定は一般的に目視検査で行われる。ただし、これらについても、外観検査同様、CCDカメラを利用して指示模様を撮影し、画像処理判定する技術が開発されている。

## 8. まとめ

自動車部材の品質保証として実用化されている検査技術を中心にいくつかの事例を紹介した。自動車部材は、用途に合わせて鍛造、鋳造、機械加工など、多様な工法で製造されており、形状や、それらの部材に発生する外観不良も多種多様である。従って、適用する検査技術は、まず、検査すべき対象の形状、材質、肌状態、検査部位、検出対象欠陥、及び不良ではないが検査に影響を及ぼすものなどをよく観察した上で、開発を進めることが望ましい。近年では、CCDカメラやレーザ計測器の高速化や高画素化、或いは画像処理装置の処理能力アップなど、ハードウェアの性能向上が目覚ましい<sup>18), 19)</sup>。それらを上手く利用して、目的に適した機器検査化を目指していくことで、今後も、より信頼性の高い検査技術の開発、実用化が進み、グローバル化する自動車社会を支えていくことを期待する。

(文献)

- 1) 山田龍三: 電気製鋼, 79(2008), 313.
- 2) 会田翔, 秋田恭祐, 井上慎太郎: VIEW2013ビジョン技術の実利用ワークショップ, 2013, AL-21.
- 3) 久野耕嗣, 犬塚克也, 山本正樹, 河内優, 長田宏幸: 日本機械学会年次大会講演論文集, 2007, 49.
- 4) 佐藤諒一, 加藤邦人, 原田耕太: VIEW2013ビジョン技術の実利用ワークショップ, 2013, OS4-H5.
- 5) 野上良治, 山田和明, 森川仁司: Koyo Engineering Journal, 165(2004), 70.
- 6) 片岡克仁, 湯藤隆夫, 武田輪喜夫: 電気製鋼, 83(2012), 133.
- 7) 高井利久: 電気製鋼, 79(2008), 305.
- 8) 森大輔, 渡邊裕之, 佐藤栄: 電気製鋼 79(2008), 337.
- 9) 森大輔, 兼重健一: 電気製鋼, 83(2012), 97.
- 10) 西谷豊: 自動車技術 62(2008), 70.
- 11) 兼松佳弘: 検査技術, 日本工業出版, 2011, 11, 62.
- 12) 相田健二: 検査技術, 日本工業出版, 2013, 12, 49.
- 13) 山岡亮介, 山本輝夫: 検査技術, 日本工業出版, 2013, 12, 68.
- 14) 内藤理: ツールエンジニア, 大河出版, 2008, 10, 37.
- 15) 逢坂俊治: 検査技術, 日本工業出版, 2011, 11, 58.
- 16) 掘充孝: 検査技術, 日本工業出版, 2013, 11, 73.
- 17) 津村俊二: 検査技術, 日本工業出版, 2013, 12, 54.
- 18) Christian Hruscha, 山口新: 電気製鋼, 83(2012), 109.
- 19) 新田雅康: 電気製鋼, 79(2008), 299.