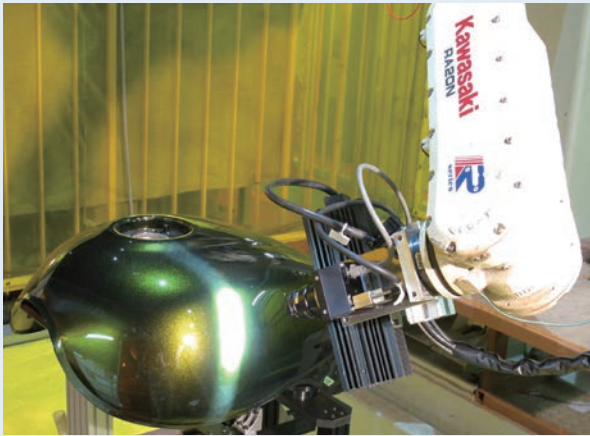


計測・画像処理技術による外観検査の自動化

Automation of Visual Inspection with Measurement and Image Processing Technologies



梶	裕	樹①	Yuki Hanawa
原	一	範②	Kazunori Hara
前	川	通高③	Michitaka Maegawa
川		智明④	Tomoaki Kawa
三	井	崇嗣⑤	Takashi Mitsui
細	見	勇貴⑥	Yuki Hosomi
山	角	覚⑦*	Satoru Yamasumi

製品品質への顧客要求は、機能面だけでなく、キズのない美しい表面であることなど外観に対するものも多くなってきている。品質を確保するため、作業者の目視による外観検査を全数実施している。さらなる品質安定化や脱技能化のため、高解像度カメラとロボットによる撮影技術、画像処理やAIによるデータ処理技術等を組み合わせた検査自動化技術の開発に取り組んでいる。

Customers are increasingly demanding product quality not only from a functional aspect but also from a visual aspect, including flawless, beautiful surfaces. To ensure quality, we are conducting full inspection through a visual check by operators. To achieve more stable quality and deskilling, we are working to develop inspection automation technologies with the combination of photographing technologies using high-resolution cameras and robots, image processing and artificial intelligence (AI), and other technologies.

まえがき

製品の品質に対する顧客の要求は、機能面だけでなく、表面が美しくキズなどが無いといった外観に対するものも多くなってきている。外観品質確保のために、製品の外観を目視で全数検査することが一般的である。

1 背景

当社でも外観の目視検査工程が数多くあり、取付部品の状態や溶接部の外観、表面に存在する異物や汚れ・キズ・変形・欠けを確認している。これらは目視で明らかに判断がつくものもあれば、作業者の感覚や経験に基づく官能的な評価で判断しているものもあり、判定にばらつきがあり定量化ができていない。また、検査作業は高い集中力を要したり目を酷使したりする高負荷な作業であり、対象の中には、高度な技能を持った作業者でなければ判断が難しいものも存在する。

2 開発方針

このような官能評価による判定のばらつきや高負荷な作業を無くして、安定した品質を確保するため、属人化した

検査の自動化が、当社製品のさまざまなものづくり現場での共通したニーズとして挙がっている。

当社製品の中でも、機能だけでなく、外観の美しさも特に要求されるモーターサイクルでは、海外を含めた量産工程の中で属人的な目視検査が多い。そこで、まずはモーターサイクルを対象に検査自動化の技術を確立し、それらを全社に展開していく方針で開発を進めている。

モーターサイクルの目視検査の中で、図1に示すような①組立検査、②溶接ビード検査、③外観キズ検査の3つが

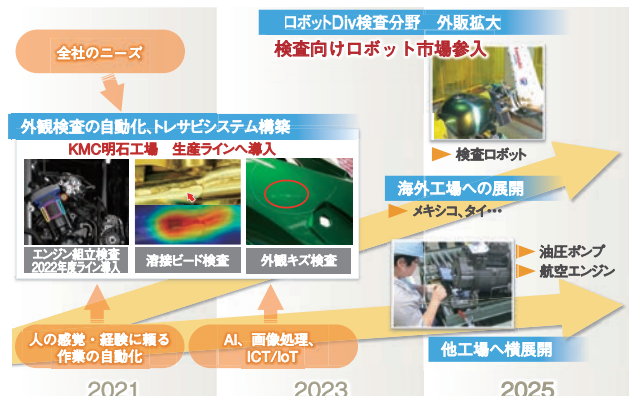


図1 外観検査自動化の開発方針
Fig.1 Roadmap for automating visual inspection

他の当社製品、たとえばジェットエンジンや油圧機器および鉄道台車などでも共通するニーズと考えている¹⁾。どれも検査対象や項目が多いだけでなく、量産工程の中で非常に短時間で検査を要求されている。

これらの課題に対して、高解像度カメラや3次元センサによる撮影・計測を行い、高度な画像処理やAI技術を用いた分類・検出処理によって、高速な自動判定を目指す²⁾。また、取得データを蓄積することでトレーサビリティや工程改善にも活用することができるようになる。

3 開発状況

(1) エンジン組立工程での外観検査

(i) 背景

モーターサイクルのエンジンは、走行に関わる重要な構成品であり、組立後には専門の検査員によって全数検査が行われている。部品の付け忘れ、取付方向・取付部品間違い、ネジの締結状態など、1台につき100種類以上の項目を目視や手で触って検査している。

(ii) 対応

2020年度より、Z900RS用エンジンを対象に検査117項目の自動化検討を行い、カメラを使った外観画像撮影装置や画像処理による合否判定ソフトの開発を進めてきた。2022年度上期に装置・ソフトウェアを完成させ、現場組立ラインへの試適用を開始した。

外観画像撮影装置は、図2で示すようなエンジンを上面と側面から撮影する高解像度カメラ・照明・回転機構から構成される。図3は画像処理判定の一例で、あらかじめ登録された部品形状を基にマッチング度合いや色の識別などの処理ロジックで合否判定を行う。これにより、さまざまな形状や色の状態を短時間で正確に判定することが可能となった。現在、カメラでの平面的な認識で処理可能な44項目の検査が可能で、目視検査結果との比較を行いながら性能評価や処理の改良を行っていく。今後他の機種や車体組立状態の検査へ適用拡大を図る。

(2) 溶接構造フレームのビード外観検査

(i) 背景

モーターサイクルのフレームは、図4のようなロボットの3次元的な動作で、パイプ同士やブラケットなどの小部品を溶接して製造されている。車体の骨格となる重要な部品であるため、溶接部には十分な強度・剛性が求められる。さらに、近年の機種では魅せるフレームとして製品の意匠性に関わり、ビードの美しさも要求されることがある。

フレームの溶接部は1台当たり100カ所以上存在し、部材の組合せや表面状態によって、正常な溶接ビードでもばらつきが大きいという特徴がある。決められたサイクルタイムの中、技能を持った検査員が目視による判断で瞬時に

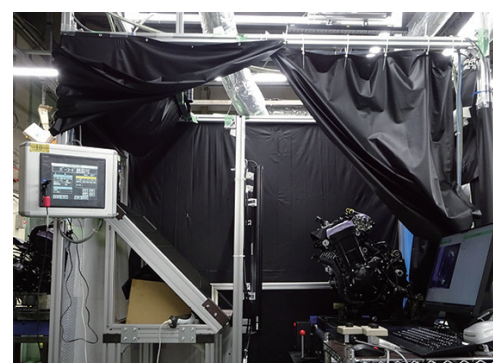
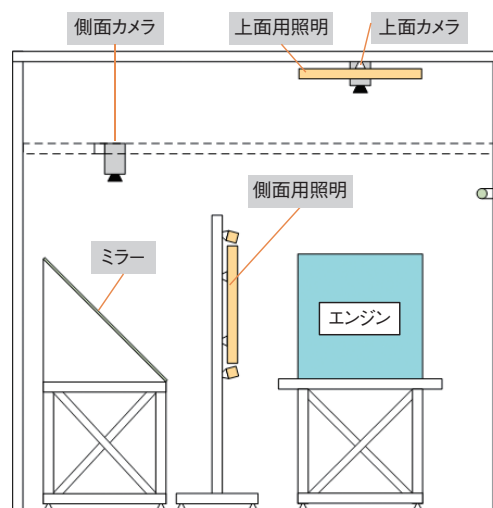
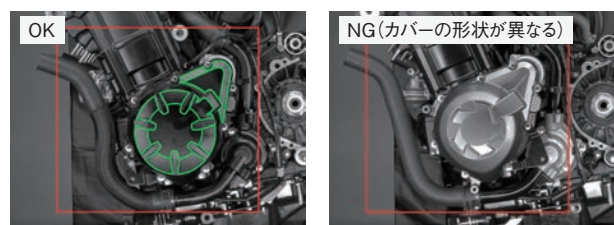
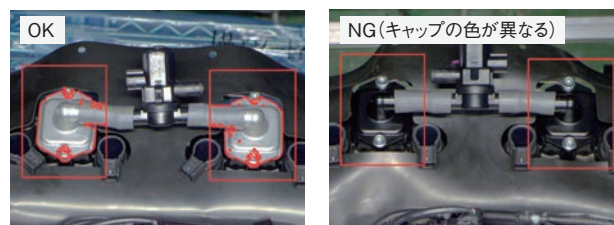


図2 エンジン外観の自動撮影装置
Fig. 2 Automated photographing system for engine appearance



(a) 部品形状のマッチングによる判定例



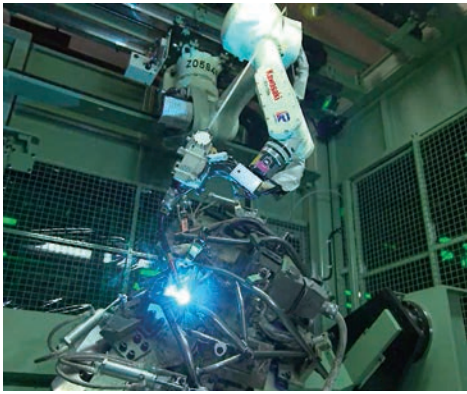
(b) 色の識別による判定例

図3 画像処理によるエンジン組立状態の検査
Fig. 3 Inspection of engine assembly with image processing

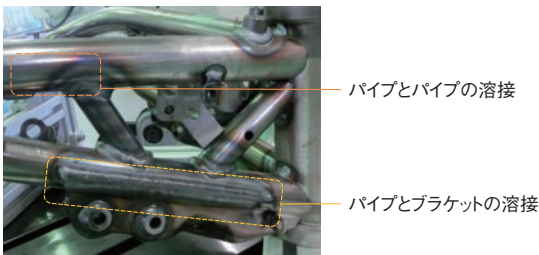
不良の有無を検査している。しかし、検査員の確保の難しさが問題となっており自動化が求められている。

(ii) 対応

溶接欠陥は、ビードずれや穴あきといった比較的判断し



(a) フレーム構造のロボット溶接



(b) フレーム構造

図4 モーターサイクルのフレーム構造とロボット溶接
Fig. 4 Frame structure of motorcycle and robot welding

やすいものや、アンダーカットのような微細で判断に技能が必要なものなどさまざまである。自動化の検討にあたり、エンジン組立検査のようなルールベースと呼ばれる画像処理では、ビードのばらつきやさまざまな欠陥に対応した検出が難しいため、AIでの画像判定に取り組んでいる。

複数台の高解像度カメラ・照明を架台に取り付け、ロボット溶接後に自動で特定の溶接ビードを撮影するシステムを構築した。量産を行いながら画像を蓄積し、AIで異常度を算出することで、図5で示すような画像判定に取り組んでいる。

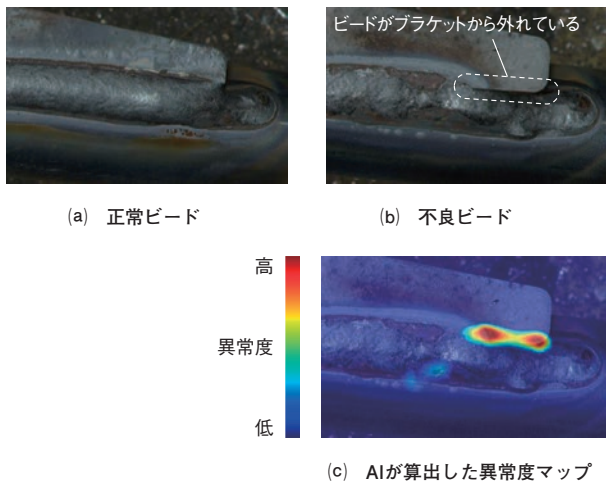


図5 AIによる溶接ビード画像の評価例

Fig. 5 Evaluation example of weld bead image by AI

(3) 燃料タンク・樹脂カウルの外観キズ検査

(i) 背景

モーターサイクルの燃料タンクや樹脂カウルなどの部品は意匠性が高く、現在は特別な照明環境下で作業者がキズや打痕などの有無を全数くまなく目視検査している。不良はとても小さい上に大きなワークのどこに生じるか予測できないため、熟練の検査員でなければ見つけることは困難である。また、部品表面が曲面を含む複雑な形状のため、さまざまな角度から光の反射度合いの違いを見て検査する必要があり、自動化の難易度が極めて高いと言える。

(ii) 対応

表面をくまなく、かつ不良が鮮明に写るような撮影をするためには、カメラ・照明・検査ワーク表面との角度を一定に保ち、光の反射を常に同じ状態にすることが必要になる。表面が曲面で複雑な形状の燃料タンクや樹脂カウルを対象としているため、1ラインのみの画像を取得するラインセンサによるスキャン撮影方式を用いることとした。ラインセンサと照明とを組み合わせた撮影装置をロボットで把持し、表面との距離、角度が一定になるように連続的に走査し撮影する。その画像を処理することで判定を行う。

ラインセンサを使い、撮影装置あるいは対象ワークを動作させて表面状態を撮影する技術は従来から存在したが、動作が直線状に限定される、あるいは一定な低い速度での動作に限定されるなど、複雑形状部品の検査においては適用困難な面があった。

(iii) 曲面高速撮影技術の開発

そこで今回、複雑な曲面に沿った高速撮影を実現するため、当社製ロボットの新技术「ツール先端移動量出力機能」をロボットディビジョンと共同で開発した。

この「ツール先端移動量出力機能」とは、図6のように

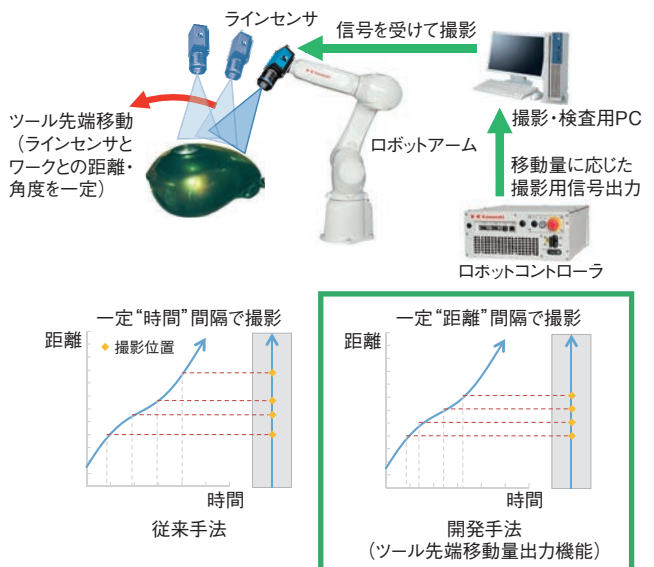


図6 ツール先端移動量出力機能

Fig. 6 Tool tip movement output function

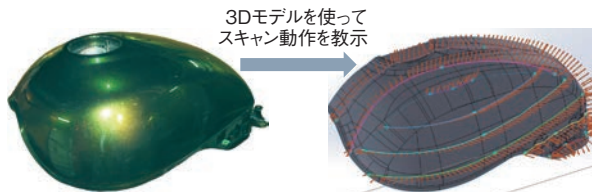


図7 燃料タンクのスキャン動作のオフライン教示
Fig. 7 Offline teaching of scanning points of fuel tank

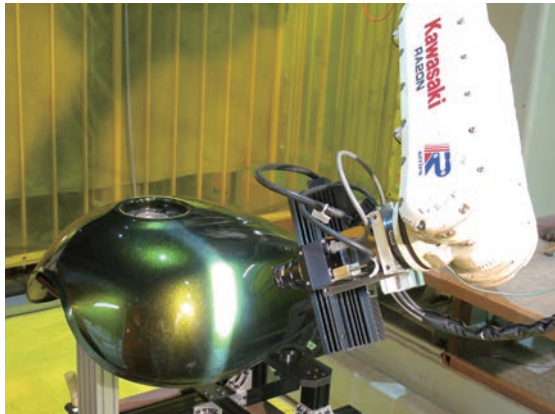


図8 ロボットによる表面外観のスキャン
Fig. 8 Scanning of surface appearance with robot

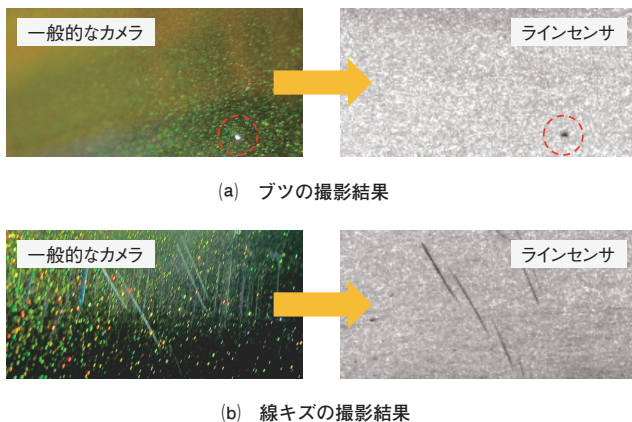


図9 ラインセンサによる欠陥撮影結果
Fig. 9 Results of photographing of defects with line scan camera

ロボットアームに取り付けたツールの先端（ラインセンサ撮像位置）の移動量に応じて、ロボットコントローラから自動的に撮影用の信号パルスが出力される機能である。曲面に沿った複雑なスキャン動作は、ロボット用オフライン教示ソフトである「KCONG³⁾」を用いて生成する。図7のように、燃料タンクの3Dモデルに対して、ラインセンサと照明が適切な位置・姿勢になるような動作経路を生成する。これらにより、複雑なワークを高速・高精度に連続撮影する動作を実現している。

ロボットによる曲面連続撮影の状況を図8に、欠陥部を撮影した際の画像を図9に示す。一般的なカメラで複雑形

状・高光沢な燃料タンクを撮影すると、図9の左側の写真のように一部がボケたり、表面の光沢の影響を受けるが、ラインカメラで曲面に沿ってスキャンすることで数百 μm 程度の微小欠陥を鮮明に撮影することができた。今後、欠陥検出を行う画像処理を開発し、さまざまなワークで試験検証をする予定である。

あ と が き

熟練作業者の減少に対応し、海外生産を含む安定した品質確保のため、最新のカメラ・センサ、画像処理・AI技術を活用し、検査自動化技術を開発している。まずはモーターサイクル向けに実用化・技術確立しつつあり、国内工場から海外工場へ展開し、さらに当社のさまざまな製品へ横展開していく。ロボット新技術による検査は、今後社内工場への適用とともに、社外への展開も積極的に進めていく。

参 考 文 献

- 1) 松永, 酒井, 太田, 國延, 牛ノ濱, 王子, 菅谷, 川野: “油圧機器生産における「ものづくり力」強化”, 川崎重工技報, No.168, pp.24-29 (2009)
- 2) 生田目, 堀元, 大谷, 岩永, 西野: “AIを用いた検査工程の精緻化・合理化への取り組み”, マツダ技報, No.38, pp.120-126 (2021)
- 3) 吉村, 渡邊, 北嵐, 川端, 藤森, 二之湯: “適用拡大に向けた教示作業自動化への取り組み - 3次元CADを活用したオフライン教示ソフトウェアの高度化-”, 川崎重工技報, No.178, pp.34-37 (2017)



埴 裕 樹



原 一 範



前 川 通 高



川 智 明



三 井 崇 嗣



細 見 勇 貴



山 角 覚