

## 論文要旨

経済の発展や社会の成熟のなかで、産業構造の変化が進んでいる。近年では産業、そして企業が競争力を維持し、更には強化するために生産性の向上や新たな価値の創造が求められている。これらの要素の根本にあるものは、顧客の求める物やサービスに対する要求の高度化であり、全ての価値の基盤は「品質」にあることは論を待たない。

社会や産業における各種製品は、小型軽量化、精密化、機能高度化が進んでいる。製品の外観について考えると、大型の製品が小型化されることにより、外観における瑕疵の影響は相対的に増加する。つまり今までは許容されてきたサイズの欠陥が、製品の大部分を占めることとなり、当然その影響は商品価値だけではなく、製品機能に対しても増加する。よって製品一つ一つの信頼性が求められる昨今、製品機能への影響という面からも外観の品質を問われるケースが多くなっている。また製品外観の品質は、見ればわかるというものであるだけに、製品機能には全く影響のない問題であっても、品質管理に対して不信感が持たれる。従って製品の外観は目に見える「実感品質」であり、例え製品の機能に影響が無いとしても、企業としての信頼を確保するためには最も重要な品質項目の一つである。

このような状況下において、「ものづくり」の現場における検査は欠く事のできない工程である。対象は金属、ガラス、機械・電子部品、食品、医薬品など素材から成形物・組み立て品まで多岐に渡り、あらゆる分野に及ぶ。また検査項目はキズ、割れ、汚れ、ムラ、変形、異物、組み付け不良など対象に応じて様々である。これに対して多くの製造現場では、品質安定の向上などを背景とした製造システム自動化の流れを受け、検査工程についても信頼性・効率性向上を目的とした、自動化が求められている。中でも外観検査は品質保証のための重要な課題であり、古くから画像処理応用による検査工程の自動化が図られてきた。近年ではスマートフォン関連の製造装置や自動車関連の検査装置に代表される需要が拡大している通り、単純な検査であれば人間より遙かに高速かつ精密な検査が可能となって久しい。

しかし、必ずしも目視検査の自動化は容易ではない。検出対象が明瞭で、結果的には画像処理の基本技法によって自動化が達成できるような場合でも、そのロジックや撮像環境の設定は、対象に応じた一品一様の調整・設計が必要である。そのため、現在運用されている実用的なアプリケーションの多くは、主となるアルゴリズムに対して、画像処理技術者の知識や経験に基づくノウハウに依存する部分が多く、場合によっては、導入までの開発期間が長期化する。また導入後も、検査環境や検査対象の変化に対して、それが軽微であってもいちいち画像処理技術者による調整が必要となる。結果として、外観検査装置の導入には、多くの場合メーカーオプションを超えるカスタマイズまたはオリジナル装置の開発を行う必要があり、導入の妨げとなっている。

以上のような外観検査システムの状態を踏まえ、本研究では、様々な検査対象における検査項目を整理し、任意の検査対象についての撮像条件の設計と、外観検査のための画像処理アルゴリズムの開発をトータル的に支援し、更には自動化するシステムの構築について提案する。具体的には画像取得に係る物理的な撮像系の設計と、得られた画像に対する適切な処理手法の設計を互いにフィードバックを掛けながら、システム全体を自動的に構築するシステムである。

提案するモデルは、検査対象物体の撮像を行う撮像系と、撮像された画像から画像処理アルゴリズムの自動設計を行う主に2つの要素からなる。

初めに撮像系によって一先ず得られたサンプル検査画像と出力要件などを教示データとし、画像処理系に入力する。画像処理系では、教示データを参照し、画像処理アルゴリズムと各種パラメータを最適化す

る。検査結果出力を要求スペックと比較して画像処理アルゴリズムを最適化すると同時に、画像処理系の計算コスト・時間がより軽減される撮像条件を推測し、撮像系に入力する。撮像系では要求された新たな条件でサンプル検査画像を取得する。以上の流れを検査システム全体の要求スペックを満たすまで繰り返す事によって、対象物の検査に適する撮像条件と画像処理アルゴリズムが出力されるシステムである。

ところで、ものづくりの現場において画像検査システムの構築を考えた時、撮像装置は既に用意されており、装置と現場の環境に合わせたアルゴリズムの作製やチューニングが必要な場合が多数存在する。これには、製造ライン構成上の都合である場合や、ワーク自体が複雑で拡張の余地がない場合など様々な要因が存在する。よって、本研究では外観検査システムの開発手順に即した画像処理手法を提案し、結果として理想的なシステム構成において、検査性能を向上させることを試みる。

2章 生産技術者のための品質工学に基づく検査画像処理ソフトウェア生成支援システムにおいては、生産技術者の持つ製品（検査ワーク）や製造現場に対する知識を画像処理アルゴリズムに変換するためのシステムを開発した。本システムを用いることにより、製造ラインの稼働以前など、ワークの画像を取得するのが困難な場合においても、アルゴリズムの生成過程において品質工学に基づく実験が行われる。よって、画像処理アルゴリズム構築の難度が後述の画像検査手法と比較し低い課題において、予め想定した撮像環境に対するロバスト性が高い検査ソフトウェアを自動的に構築する事が可能となった。

3章 画像処理ネットワークプログラミングに基づく画像処理プログラム自動生成手法においては、検査を行いたい対象物体のみの2値画像と対象物体を含む検査画像を1セットとして、入力された複数セットの教示画像から検査のための画像処理プログラムを自動的に構築するアルゴリズムを開発した。アルゴリズム内部において、背景や欠陥の状態によって自動的に処理が変化するプログラムが自動的に構築されることから、製造ライン稼働時における環境変動に、生成されたプログラム自体が既に対応する機能を有する。よって2章において提案したシステムにおいてはユーザが選択していた「色」や「形状」といった検査項目を指定せずとも、アルゴリズムが生成される。また生成されたアルゴリズムはネットワーク構造によって記述されていることから、ノードに割り当てられた画像処理関数を追うことが可能であり、一般的な機械学習を用いた空間フィルタ構築手法とは異なり、内部の構造を明らかにしたまま、環境変動やワークの変動にロバストな画像処理アルゴリズムを構築可能である。

4章 人間の実装プロセスに学ぶ検査画像処理ソフト自動生成手法においては、3章にて示した画像処理アルゴリズム構築手法を「人間のアルゴリズム構築過程」を参考にした、ノードの構造とアルゴリズム構築手法の導入によって、従来手法における課題を解決すると共に、近年その性能が注目されているConvolutional Neural Network との比較実験を実施し、性能を確認した。提案手法においては、人間の思考プロセスに学ぶアルゴリズムの構築過程によって、従来検出が困難であった細かな欠陥形状のみの抽出が可能となった上で、ネットワークプログラムの規模は抑制された。また1つ1つのノードの見た目は抽象化されているため、具体的な画像処理コマンドではなく、抽象化された処理の機能によってアルゴリズムを理解する事が可能となった。よって必ずしも画像処理に関する知識が十分では無い人にとっても、自動生成されたアルゴリズムを解する事が容易になり、出来上がりのソフトウェアの説明責任が、ユーザがより理解し易い形で果たされるようになった。

以上の成果により、本研究では外観検査自動化のための画像検査システムの自動構築技術において、特に検査用画像処理アルゴリズム構築の自動化手法を開発した。