

## 2 画像処理技術を活用した自動車部品等の表面状態高速検査技術の開発

佐野 誠, 打田澄雄, 大賀 誠, 石津任章, 弓場憲生, 小池 明

Development of rapid image processing inspection for state on surface about some of automotive parts

SANO Makoto, UCHIDA Sumio, OHGA Makoto, ISHIZU Hideaki, YUBA Norio and KOIKE Akira

Automotive parts are tested by visual inspection in many factories. However, visual inspection is unstable in measuring a fixed quantity. So we attempt to develop an automatic inspection using image processing. This research is composed of three subthemes. First is the development of the model driven support technique in image processing, second is the development of image processing IP with high-speed and high-density performance, and third is the development of the defect inspection technique.

The products of the research are as follows: (1) The data base which has a lot of hardware and software information of image processing. (2)The design support system for image processing algorithm, that applied Genetic Algorithm. (3) The FPGA system for the built-in developing equipment. (4) The low cost thermography.

キーワード:モデルドリブン, 知識データベース, 遺伝的アルゴリズム, FPGA, 赤外線, サーモグラフィ

### 1 緒 言

自動車部品等, 製造業においては, 高品質の製品を安定して生産することが重要であり, 欠陥検査工程は不可欠になっている。これまでも検査工程の自動化のために, さまざまな画像処理検査装置などが開発されてきたが, 信頼性や処理時間, 高価格等の理由で, インライン化が難しく, 拡大鏡や内視鏡を用いての熟練検査員による目視検査に頼っているのが現状である。

そこで, ①検査員の目視による主観的な官能検査を装置化する, ②低価格の装置ながら高精細な検査を短時間で行う, ③熟練検査員による経験則を定型化したり理論的に検証する, ことが達成できれば, 検査工程を自動化・省力化して, 検査品質の向上, コスト削減を図ることができ, 安価ながらも精度よく短時間で製品の欠陥検査を実現することが可能となる。

本研究では, 上記①~③の課題に対応した3つの研究テーマ, ①画像処理システムの構築など画像処理技術を円滑に導入・活用するためのツール開発(モデルドリブン画像処理設計支援技術の開発), ②高速・大容量化に

対応し, 所定時間内に欠陥を検出することが可能な画像処理 IP(Intellectual Properties, 知的財産)などの技術開発(高速高精細画像処理用 IP の開発), ③欠陥検出の経験則を定型化した知識ベースの構築と傷検査装置の開発(欠陥検出技術の開発)を行う。

### 2 モデルドリブン画像処理設計支援技術の開発

画像処理技術を応用した検査システムの開発において, 設計期間短縮及び検査対象や機器等の変更に伴う仕様変更へ迅速に対応できるように, 画像処理における基本構成要素である照明, カメラ, 画像入力ボード, 画像処理アルゴリズム等のデータベースを開発する。

図1にシステムの概念図を示す<sup>1)</sup>。要求仕様(対象物の種類, ワークサイズ, 分解能, 階調, 検出項目, タクトタイム等)を入力することで, ハードウェア仕様(照明の種類, 台数, カメラの台数等)やソフトウェア仕様(画像処理 IP, C ソースアルゴリズム等)を基本仕様書として出力するシステム機能になっている。

このシステム機能を実現する上でいくつかの解決すべき課題があるが, カメラ出力の画像など対象となる画像(以下, 入力画像と記す)からどのような処理をして欠陥検出等を行うかの画像処理手法(以下, 画像処理アルゴリズムと記す)を導き出すことは, 大きな課題の一つである。一般には画像処理の専門家がこれを担当しており, 知識, 経験が必要になる。そこで, この画像処理アルゴリズム作成が, 専門的経験や知識がなくても対応で

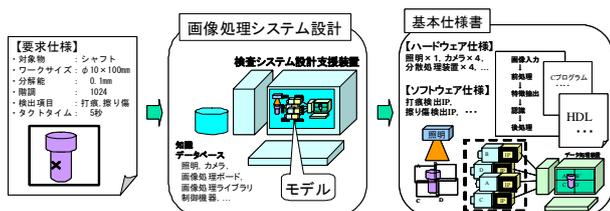


図1 画像処理設計支援技術の概念図

きるよう、アルゴリズムの自動生成、あるいは作成の補助をする機能が実現できれば、画像処理技術を応用した検査システムの開発に大きな支援となる。

そこで本研究では、組み合わせ最適化の手法である遺伝的アルゴリズム（以下、GA と記す）を応用した画像処理アルゴリズム作成支援技術の開発を行った。一般に画像処理アルゴリズムの開発は、単体で機能する画像フィルタ（関数、モジュール）を組み合わせることで実現する 경우가多い。これを組み合わせ最適化問題として捉えることで、最適解をGAによって求めることができる<sup>2)</sup>。

利用者は入力画像と、その処理結果の目標である目標画像を用意する。目標画像は描画エディタ等を使い手作業で作成する。入力画像は複数枚あってもよい。目標画像とシステムが提示する結果画像がどの程度似通っているかを示す指標を適応度と呼び、通常は0.0~1.0の実数で示す。この適応度が高くなるように、システムは画像フィルタの組み合わせを最適化していく。使用した画像フィルタは、当センターでこれまでに開発した画像処理IP<sup>2)</sup>と等価の機能を有し、組み合わせ最適化に利用できるように変数を固定させたGA用のフィルタで、30種類を用意した<sup>3)</sup>。

実施例として、自動車の補強材等に利用される高張力鋼板の溶接部とその周辺の抽出を試みた結果を図2に示す。(a)は入力画像、(b)は目標画像で、抽出したい溶接部とその周辺部分を手作業で作画した。(c)は本システムが求めた最適解の結果画像である。結果画像の適応度は0.931であった。課題にも因るが一般に適応度は0.95程度以上を目標とするので、GAのパラメータ調整等を行いながら試行を繰り返し、適応度の改善を図ることが望ましい。

実施例の結果から言えることは、本システムで用意した30種類の画像フィルタを組み合わせた場合では、(c)の結果画像程度を求める画像処理アルゴリズムが、作成できるアルゴリズムの限界であろうということである。また、この結論が短時間で推定できることに意義がある。

GAは遺伝子が進化する過程を模倣したアルゴリズムであり、図3にそのパラメータの入力画面を示す。世代

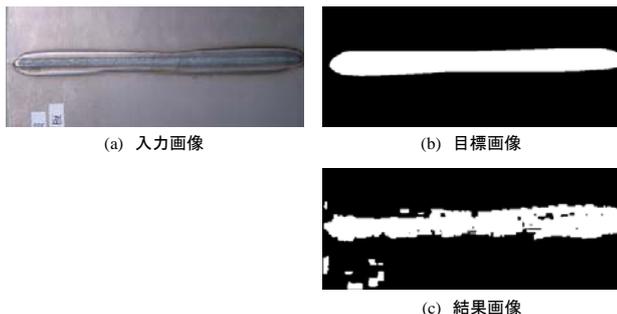


図2 実施例（高張力鋼板の溶接痕抽出）

数（実施例では80）、遺伝子の個体数（同60）、遺伝子の初期最大個体長（同16）、遺伝子の制限個体長（同30）、交叉率（同0.4）、突然変異率（同0.25）等を入力する<sup>3)</sup>。

システムが求めた画像処理アルゴリズムの木構造を図4に示す。図中の0番が入力画像を示し、それ以外は画像フィルタの識別番号を示している。表1に画像フィルタと識別番号との対応を示す。

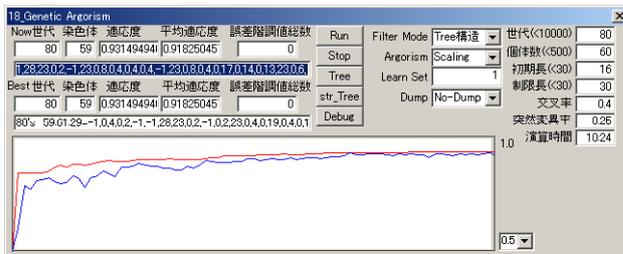


図3 パラメータ入力画面

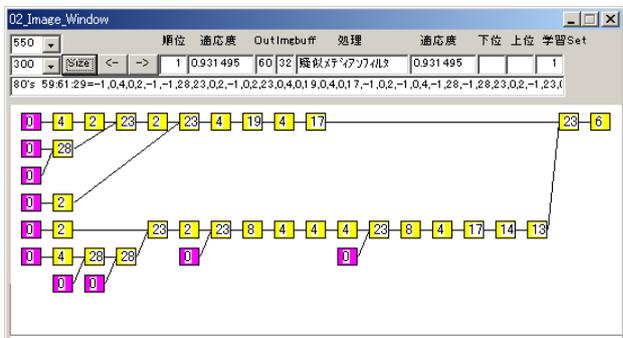


図4 求めた画像処理アルゴリズムの木構造

表1 画像フィルタと識別番号の対応表

No.	フィルタ名	No.	フィルタ名
1	Laplacian	16	階調変換_1.5倍
2	鮮鋭化	17	階調変換_0.6倍
3	移動平均	18	階調変換_反転
4	擬似メディアンフィルタ	19	暗い画素→0
5	Prewitt	20	明るい画素→255
6	Sobel	21	2乗/Vmax
7	Sobel横方向	22	加算
8	Sobel縦方向	23	減算
9	近傍max(膨張)	24	最大
10	近傍min(収縮)	25	最小
11	2値化_しきい値 50	26	一致度
12	2値化_しきい値 100	27	AND (ビット間)
13	2値化_しきい値 150	28	OR (ビット間)
14	2値化_しきい値 200	29	差の絶対値
15	2値化_しきい値 任意	30	積/Vmax

### 3 高速高精細画像処理用 IP の開発

画像処理用 IP の開発については、局所的2値画像/濃淡画像処理 IP の開発、欠陥検出処理 IP の開発、カメラを仮想化する分散処理装置の開発、検査システムを統合

制御するデータ処理装置の開発を主要な開発目標としている。本研究は主として検査システムを統合制御するデータ処理の開発を中心に行った。

近年、組み込み機器への需要は大きな伸びを示し、提供される実装手段も選択の幅が広がっている。FPGA を搭載した各種組み込みボードについては、FPGA 内に CPU を内蔵したものが主流になりつつあり、チップ内でハードウェア処理とソフトウェア処理を組み合わせるシステム構築ができるようになってきた。これは中小企業においても導入しやすい開発手段であり、当センターにおいても本研究で活用した。

図5に組み込み用FPGAによる画像処理システムの概要を示す。パソコン上の画像データをFPGAシステムへFTPで転送を行い、FPGA内でハード的にLaplacianフィルタ(2次微分フィルタ)処理を行ったものをパソコン画面上で画像を確認するという処理の流れを説明したものである。処理自体は単純なものを実行しているが、簡易にハードウェア処理が実現できることを示している。

デジタルカメラ(カメラリンク規格)をこのシステムに接続するための入力基板を作成した。外観を写真1に示す。この基板をインターフェイスとしてデジタルカメラからの画像を直接本システムに入力してハードウェア処理やソフトウェア処理を行うことが可能である。

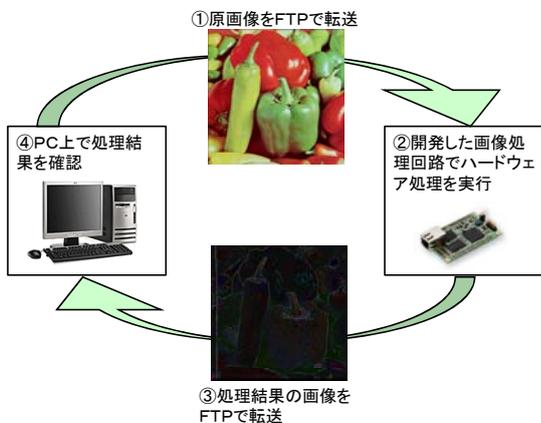


図5 組み込み用FPGA開発ボードとシステム概念図

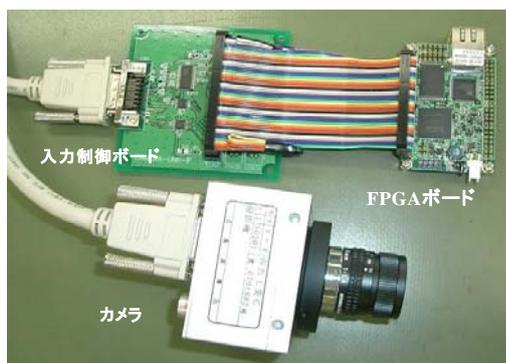


写真1 FPGA開発ボードのシステム構成の外観

## 4 欠陥検出技術の開発

欠陥検出技術の開発においては、欠陥を顕在化する照明技術の開発、欠陥画像入力技術、欠陥認識アルゴリズムの開発を主要な開発目標としている。

### 4.1 サーモグラフィの開発

本年度は幅広いニーズに対応可能とすることを目的として、赤外線領域の波長をセンシングする技術に取り組んだ。赤外線画像は、近赤外線から中赤外線、遠赤外線と波長帯域により画像の特徴が異なる。近赤外線および中赤外線(750nm~4,000nm程度)については、糖分やたんぱく質の分布把握、有機物の含有量や水分量の確認、さらには腫の検出などといった対象にも利用されている。一般にこの帯域は、赤外線を照射して被測定物から反射された赤外線を受光するアクティブ型のセンシング方式で利用される。

一方、遠赤外線(8,000nm~14,000nm程度)帯域は、被測定物の表面温度の推定に利用される。表面温度を求めるためには、非測定物の赤外線放射率がわかっている必要があるが、光沢のある金属以外の物質では、放射率をほぼ1.0とみなし、非接触の表面温度の計測に利用される。この波長帯域は、非測定物が直接放射する赤外線を受光するパッシブ型のセンシング方式で利用される。一般に遠赤外線の2次元センサは高価であり、利活用分野が限定される。建物や構造物、人体等の表面温度の測定などに利用される<sup>4)</sup>。

図6にポット苗の可視画像と赤外線画像の比較を示す。図中の白丸で囲んだ苗は他の苗と比較して白っぽく写っており、葉温が高いことを示している。これらの苗は葉が萎れた状態のもので、赤外線画像を活用すれば萎れ具合を把握できる可能性を示している。このように、

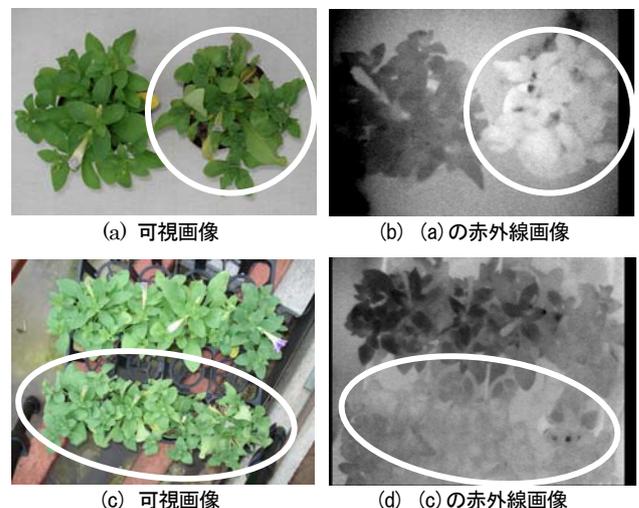


図6 ポット苗の可視画像と赤外線画像の比較

植物を非接触により温度測定することで生育管理が可能となるが、赤外線2次元センサは高価であり、なかなか導入できないのが現状である。

そこで本研究では、高価な2次元の遠赤外線センサの代替として、安価なサーモパイル（スポット計測用）を走査させることにより2次元センサとして機能する廉価版サーモグラフィの開発を行った。この装置の原理は、サーモパイルをマイコン制御により11（縦）×10（横）箇所の地点に走査させ、各地点の赤外線放射量を測定する仕組みとなっている。写真2に外観を示す。また、本装置で計測した測定例を図7に示す。

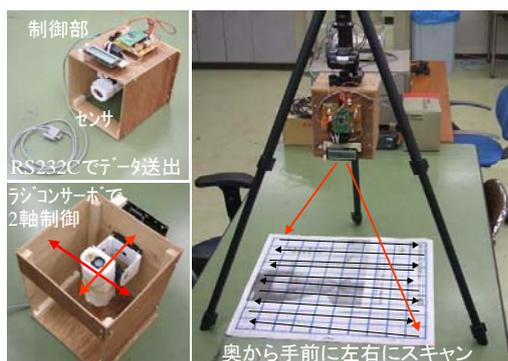


写真2 開発した廉価版サーモグラフィの外観

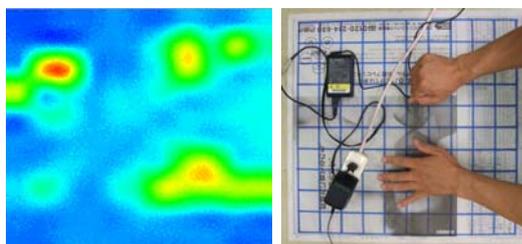


図7 サーモグラフィによる測定例

#### 4.2 分光特性画像

イメージ分光システムは、測定点の周波数領域における強度すなわち分光特性が解析できるシステムであり、欠陥の顕在化させるために、どのような波長の照明を利用すればよいかといった入力系の構築に有用な装置である。イメージ分光システムの外観を写真3に示す。

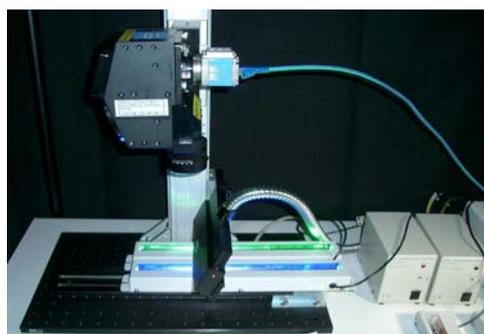


写真3 イメージ分光器の外観

本装置で4種類のLED照明（青色、緑色、赤色、白色）を分光測定した結果の2次元プロファイルを図8に示す。写真3においてLEDを載せたステージがLEDの長手方向に移動する。分光器は直下にあるLEDの奥行き方向の一ライン上を分光して各波長ごとの強度を求める。これはLEDを線光源の集まりと見たときに、その一線光源の分光特性を計測するものとみなすことができる。図8の横軸は波長（358nm～780nm）を、縦軸はLEDの奥行き方向を表している。図中のB、G、R、Wはそれぞれ青色、緑色、赤色、白色のLEDに対応する。

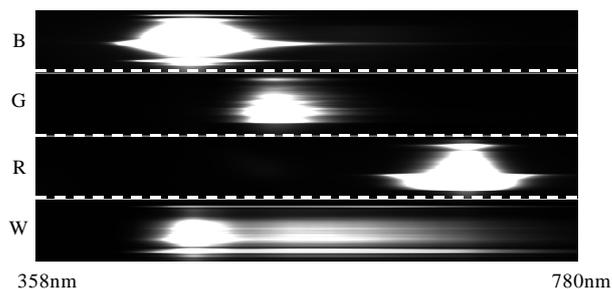


図8 LEDの分光特性

## 5 結 言

目視検査を代替あるいは補助することにより、主観的な検査を自動化・省力化して検査品質の向上、検査時間短縮、コスト削減を図ることを目的として、①モデルドリブン画像処理設計支援技術の開発、②高速高精細画像処理用IPの開発、③欠陥検出技術の開発に取り組むこととした。本年度の主な成果をまとめる。

- (1) GA を応用した画像処理アルゴリズム設計支援システムを開発した。
- (2) ハードウェア、ソフトウェア双方の処理を混載することが可能な、組み込み機器開発用のFPGAシステムを構築した。
- (3) 安価なサーモパイルとマイコン制御技術を組み合わせた廉価版のサーモグラフィを開発した。

## 文 献

- 1) 渡辺他：UML～動的モデルによる組み込み開発，オーム社，2003
- 2) 佐野他：広島西部工技研究報告 50，2007，pp. 1-3
- 3) 佐野他：第12回知能メカトロワークショップ講演論文集，2007，pp. 21-26
- 4) 久野：赤外線工学，電子情報通信学会，1998