

平成 2 3 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「高速・高分解能で製品のばらつきに強い外観検査技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成 2 4 年 3 月

委託者 東北経済産業局

委託先 財団法人あきた企業活性化センター

目 次

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
1－2	研究体制・・・・・・・・・・・・・・・・ (研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)	3
1－3	成果概要・・・・・・・・・・・・・・・・	7
1－4	当該研究開発の連絡窓口・・・・・・・・・・・・・・・・	8

第 2 章 本論

2－1	ワークの伸縮や変形に対応し不感帯を必要としない高感度・・・・・・・・ 検査技術の開発	9
2－2	リアルタイムカラー画像処理技術の開発・・・・・・・・・・・・・・・・	11
2－3	自動欠陥分類技術の開発・・・・・・・・・・・・・・・・	14
2－4	外観検査装置の構築と実証・・・・・・・・・・・・・・・・	19

・

最終章 全体総括

3－1	全体総括・・・・・・・・・・・・・・・・	20
3－2	事業化に向けた取り組みについて・・・・・・・・・・・・・・・・	21

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) 研究開発の背景

情報関連機器の小型化・高密度集積化と高機能・多機能化の要求に対応するために、実装レベルでも各種 I C パッケージ用基板、高密度プリント基板、マルチチップモジュール基板等の高密度化、微細化が加速し、それらに見合った高度な外観検査技術が要求されている。しかし、レジスト塗付後やめっきが施された実装基板の最終外観検査において既存の外観検査装置では以下の課題が存在する。

- 製品の製造上のばらつき（ワークの伸縮や変形）を許容しつつ欠陥のみを高感度に検出することができないため、「過検出」と「見逃し」のトレードオフになる。対応策としてパターン等のエッジ付近に不感帯を設ける技術が開発されているが、エッジ付近の感度は大幅に低下するため、見逃しにつながっている。
- 3次元構造や多層構造のワークに対し、特定の層（レイヤー）に正確な位置合わせができないことから、安定した検査が行えず、上記と同様に不感帯を設けて対応せざるを得ない。多層構造のワークの特定の層に対して高精度に位置合わせができる技術は開発されていない。
- 高速・高解像度のカラー画像処理は、処理するデータ量が膨大になることから、一般化されておらず、白黒で十分なコントラストがある欠陥しか検出できない。カラー処理の装置も開発されてはいるが、RGB（赤、青、緑）の3原色を用いたソフトウェアによる単純な処理が主流であり、ばらつきへの対応と解像度、速度、コスト面で不十分である。
- 簡単な操作で欠陥の種類を分類し、真の欠陥のみを抽出できる外観検査装置が存在しない。例えば、許容できる異物とパターン不良を区別できず、目視によるベリファイ件数を減らすなどの省人化が達成できていない。
- 微小な欠陥を検出するのに十分な解像度、検査速度を兼ね備えた低コストな外観検査装置が存在しない。最新の画像処理装置でもソフトベースのものは処理速度が遅く、扱える画像サイズも小さい。ハードベースのものは専用ハードが必要なため高コストであり、上記の課題をクリアできていない。

特に超細線パターンの高密度基板では課題が顕著になる。結果的に目視検査を主とし自動外観検査装置の感度を下げて補助的に運用するか、自動外観検査装置での膨大な過検出の発生を許容し、ベリファイ（検査後の欠陥確認）に人手をかけて行うかの選択を迫られているのが現状である。この課題に対応し、製品の伸縮、変形、層ずれなどに対し不感帯を必要としない高感度検査技術、HSV変換を用いて部位抽出を行なうリアルタイムカラー処理技術、統計処理を用いた自動欠陥分類技術の開発を行なう。また、これらの成果を搭載した高速・高分解能で低コストの外観検査装置を構築する。

(2) 研究目的及び目標

電子実装基板の微細化、多層化、3次元実装化に対応し、目視検査に代わる高精度で製品のばらつきに強い自動外観検査装置を開発するために以下の研究開発に取り組む。

- ① ワークの伸縮や変形に対応し不感帯を必要としない高感度検査技術の開発
 検出感度：2～3画素以内（エッジ部）
 補足範囲：±8画素（カラー、白黒）
 機能：多層構造内の指定した特定の層に対して局所位置合わせを行なう。
- ② リアルタイムカラー画像処理技術の開発
 カラー処理：全面に渡るHSV変換、高度な色抽出機能やマスク機能の実現、特定の部位の抽出、色の違いの判定等を行なう。
- ③ 自動欠陥分類技術の開発
 統計的手法を用い、簡易な操作で欠陥の自動分類を行なう。
 ベリファイ数の低減：1次処理でNG判定された許容できる欠陥の80%以上を良品判定として救済し、ベリファイ対象件数を80%以上低減する。
- ④ 外観検査装置の構築と実証
 解像度：16000×56000画素以上（白黒）8000×28000画素以上（カラー）
 処理速度：320 MB/s 以上（カラー画像の欠陥集計を含めた全ての機能の動作確認）
 コスト：80万円以下（画像処理装置単体原価）

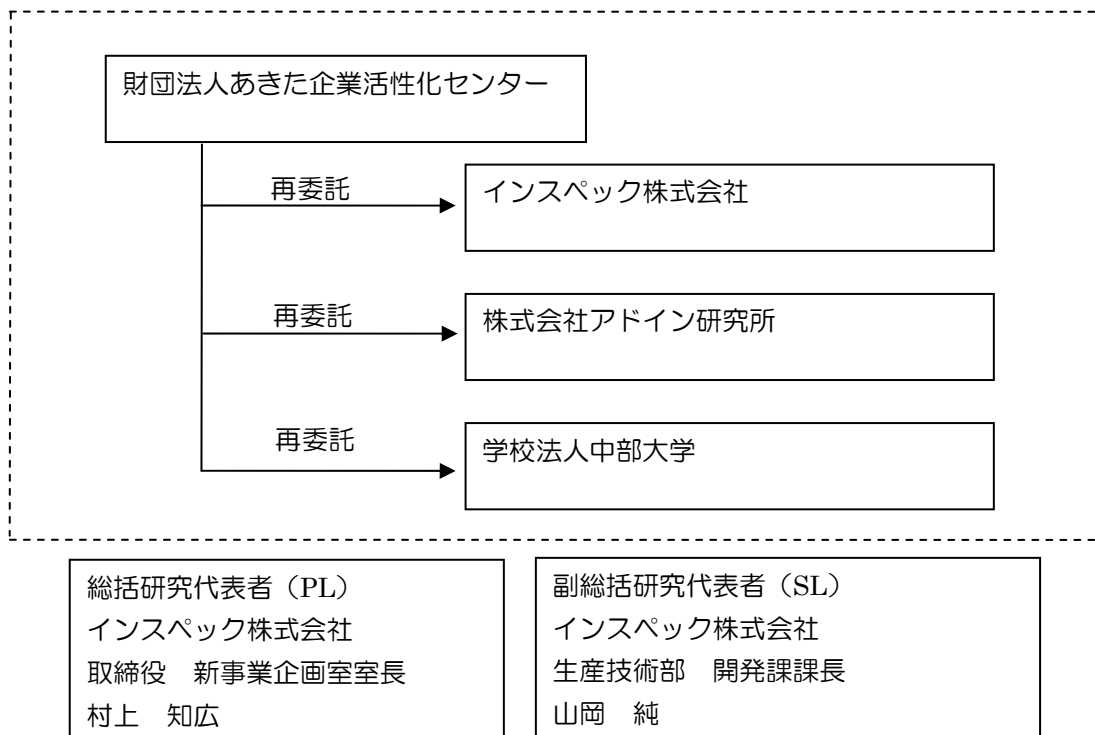
表 1－1 技術的目標値

開発目標 (関連項目番号)	最終年度目標	目標達成度
サブテーマ1 ワークの変形に対する対応	多層構造に対応 補足範囲±8画素(白黒、カラー)	達成済
サブテーマ1 実用検出感度	平成22年度目標達成済み 2～3画素以内（白黒、カラー）	平成22年度目標達成済み
サブテーマ2 リアルタイムカラー画像処理	対応	達成済
サブテーマ3 自動欠陥分類	対応	達成済
サブテーマ3 ベリファイ件数の低減率	80%以上減少 全数の20%以下が対象	達成済
サブテーマ4 処理速度（処理レート）	処理速度：320 MB/s 以上	平成22年度目標達成済み
サブテーマ4 処理装置単体原価	80万円	達成済（白黒について）
その他	多層構造の層ずれにも対応、 汎用カラー画像処理に対応	達成済

1-2 研究体制

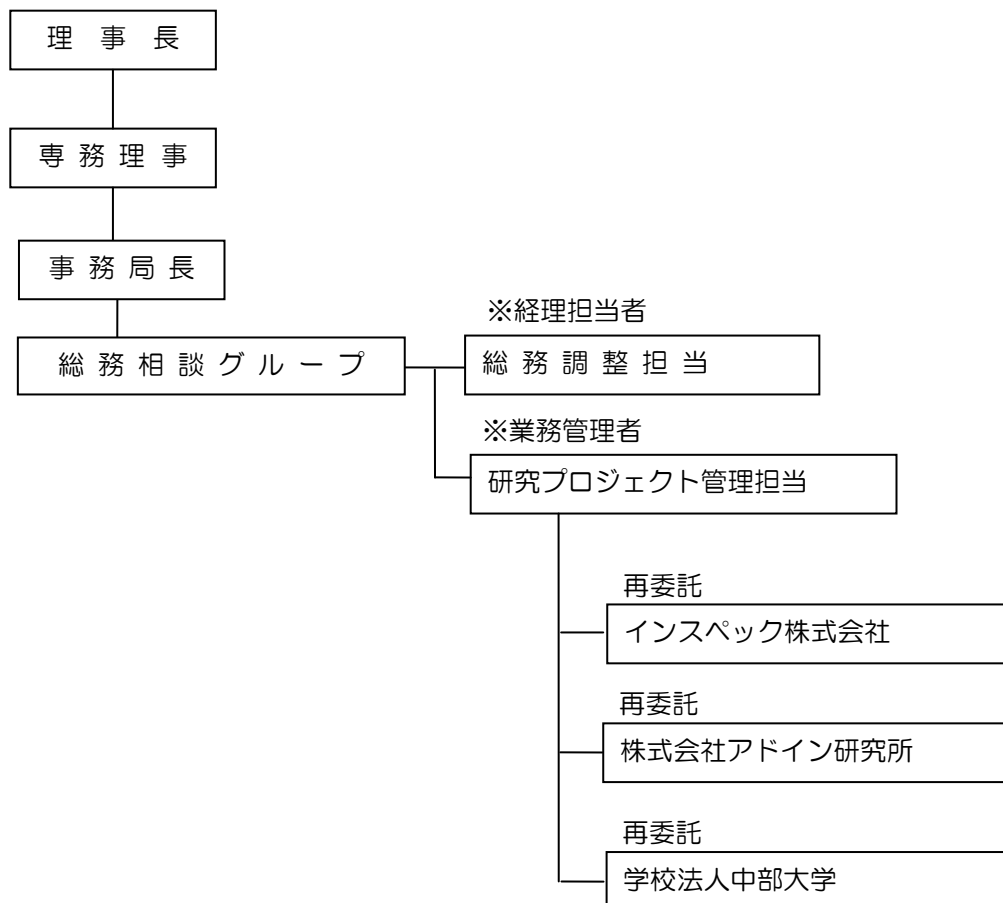
(1) 研究組織及び管理体制

1) 研究組織（全体）

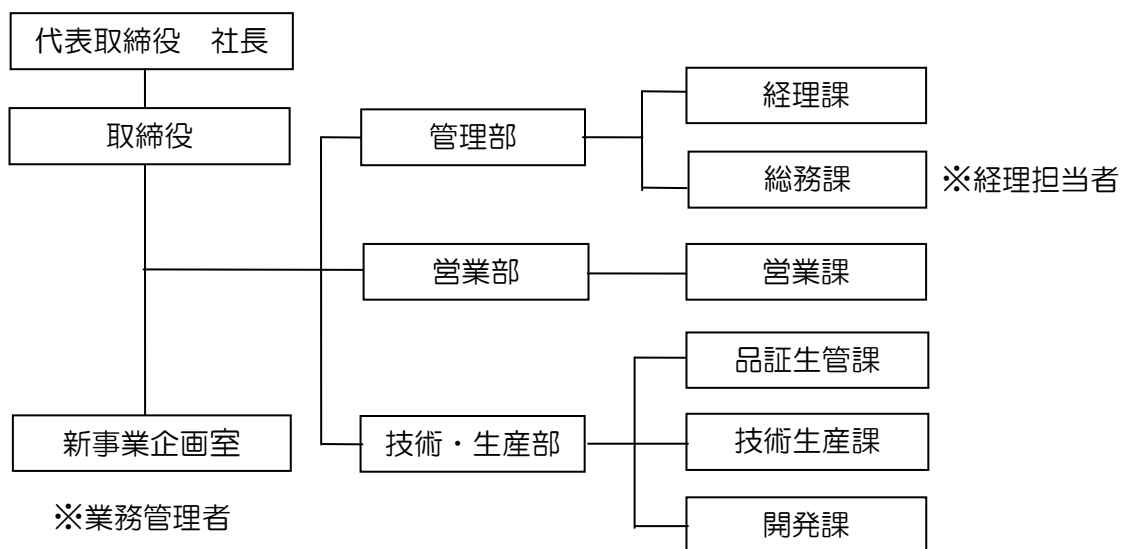


2) 管理体制

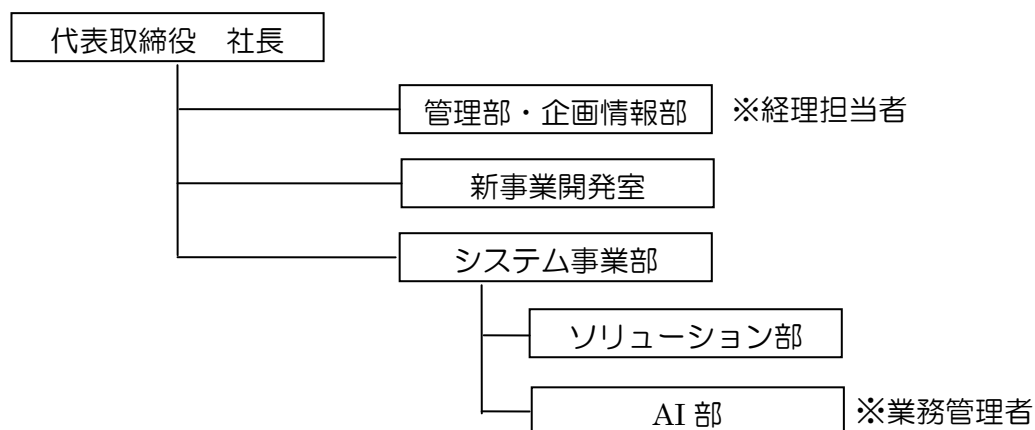
① 事業管理者 [財団法人あきた企業活性化センター]



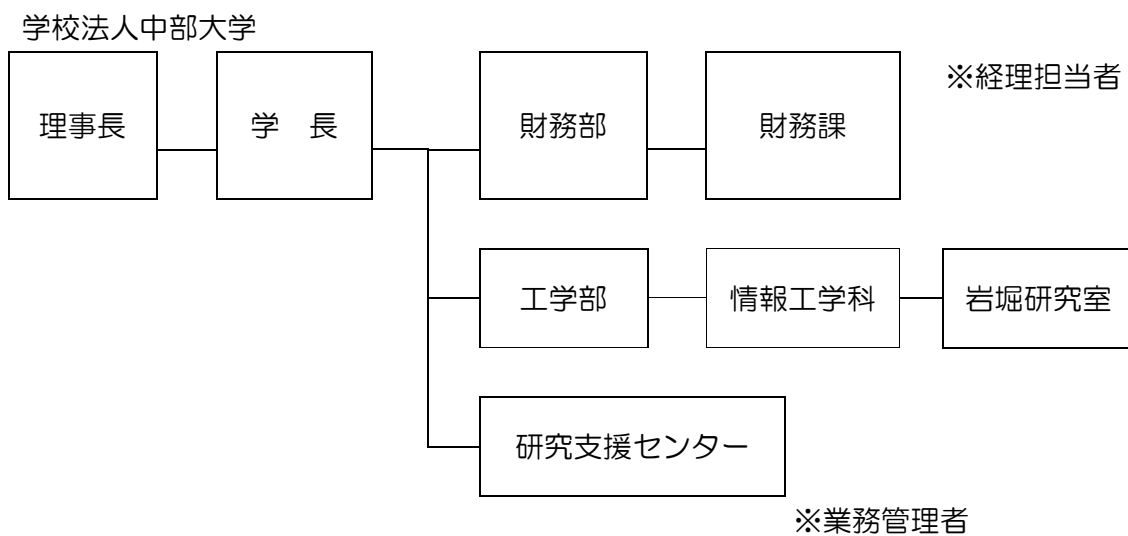
② (再委託先) [インスペック株式会社]



(再委託先) [株式会社アドイン研究所]



(再委託先) [学校法人 中部大学]



(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】

財団法人あきた企業活性化センター

① 管理員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
松橋 亨	総務相談グループ	⑤-2
千蒲 能	研究プロジェクト管理サブリーダー 総務相談グループ	⑤-2、⑤-3、⑤-4
特別任用職員	研究プロジェクト管理 主査 総務相談グループ	⑤-2、⑤-3、⑤-4
	研究プロジェクト管理 スタッフ	

【再委託先】

インスペック株式会社

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
村上 知広	取締役 新事業企画室長	①、②、③、④、⑤-1
山岡 純	技術・生産部開発課 課長	①、④
辻 義憲	技術・生産部開発課 技師	①、②、③
多田 裕彦	技術・生産部開発課 主任技師	①、②、④
村田 敦	技術・生産部開発課 技師長	① ②、④

株式会社アドイン研究所

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
泉水 雄二	システム事業部AⅠ部 副部長	②

学校法人中部大学

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
岩堀 祐之	工学部 情報工学科・教授	③

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

【管理法人】

財団法人あきた企業活性化センター

（経理担当者）総務相談グループ 総務調整担当 サブリーダー 大西 勝

（業務管理者）総務相談グループ 研究プロジェクト管理 サブリーダー 松橋 亨

【再委託先】

インスペック株式会社

(経理担当者) 管理部総務課 薄田 亨

(業務管理者) 取締役 新事業企画室室長 村上 知広

株式会社アドイン研究所

(経理担当者) 管理部 金子 禎義

(業務管理者) システム事業部A I 部 泉水 雄二

学校法人中部大学

(経理担当者) 財務部 財務課 課長 岡畑 満孝

(業務管理者) 研究支援センター 課長 高島 昌明

研究推進委員会 委員

氏名	所属・役職	備考
村上 知広	インスペック株式会社 取締役 新事業企画室 室長	PL ☐
山岡 純	インスペック株式会社 技術・生産部開発課 課長	SL ☐
辻 義憲	インスペック株式会社 技術・生産部開発課 技師	☐
多田 裕彦	インスペック株式会社 技術・生産部開発課 主任技師	☐
村田 敦	インスペック株式会社 技術・生産部開発課 技師長	☐
泉水 雄二	株式会社アドイン研究所 システム事業部A I 部副部長	☐
岩堀 祐之	学校法人中部大学 工学部 情報工学科・教授	
名取 隆英	株式会社イースタン パッケージ基板事業部 製造センター 製造一部 部長	アドバイザー
菅井 和利	東北パイオニアE G株式会社 代表取締役常務	アドバイザー

(4) 他からの指導・協力者名及び指導・協力事項

アドバイザー 氏 名	主な指導・協力事項
名取 隆英	検査装置を使う立場から基板検査に必要な機能、性能の仕様確定における指導を頂く。
菅井 和利	システム装置を開発、製造、販売する立場から検査装置としてのトータルの必要要素の指導を頂く。

*インスペック株式会社の組織、メンバーの役職は採択時の状態を記載

1-3 成果概要

(1) 研究成果のまとめ

以下に進捗状況について記述する。

研究開発項目(サブテーマ)	達成目標	成果
実施者 【1-1】ワークの伸縮や変形に対応し不感帯を必要としない高感度検査技術の開発 インスペック	・局所位置合わせ捕捉範囲±8画素 ・±8画素の補足範囲において、特定の層に対して位置合わせを行う機能の開発 ・実用検出感度：2～3画素	局所位置合わせについてはカラーも含め±8画素の補足範囲での設計、実装済。 位置合わせ精度(±1画素以内)の検証にて実用検出感度も確認済 カラー画像にて全動作確認済
インスペック 【1-2】リアルタイムカラー画像処理技術の開発	・カラー画像の同時化、リアルタイムHSV変換 ・HSVの色差による差分処理 ・部位抽出、変色検査、集計処理等	全ての機能の設計、実装済。 カラー画像にて全動作確認済
インスペック、アドイン研究所、中部大学 【1-3】自動欠陥分類技術の開発	・自動分類に適した特徴量の選定 ・自動分類のための前処理等に整備 ・分類精度向上のための分類方法の研究 ・欠陥の分類精度を80%以上に高める。 ・自動分類ソフトの画像処理装置への組み込み	自動欠陥分類に有効な特徴量(パラメータ)を決定。SVMを複数用いることで約300個の欠陥候補を用いたテストで最終的な正答率が90%以上に達した。分類ソフトの画像処理装置組み込みも完了した。
インスペック、アドイン研究所(初年度) 【1-4】外観検査装置の構築と実証	・ユニバーサルFPGAボードへの回路の実装 ・関連ハード、ソフト、GUIの開発 ・検証用可変分解能光学系、メカ系等の整備 ・自動外観検査装置への画像処理装置搭載 ・実際のワークを使つてのN増しテスト ・目標材料コスト80万円以内(装置単体)	全ての設計開発作業が終了。 自動外観検査装置に本件で開発した画像処理装置を搭載してのN増しテストも完了 目標材料コストもクリアした(白黒の場合)

研究開発項目(サブテーマ)	初年度				第二年度				第三年度			
	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
実施者 → 計画 → 実績 【1-1】ワークの伸縮や変形に対応し不感帯を必要としない高感度検査技術の開発 インスペック	補足範囲±4画素 範囲拡大				補足範囲±8画素				補足範囲±8画素(カラー)			
インスペック 【1-2】リアルタイムカラー画像処理技術の開発	詳細仕様の企画				基本動作				部位抽出、変色検査			
インスペック 【1-3】自動欠陥分類技術の開発					カラー画像処理装置の仕上げ、評価							
インスペック、アドイン研究所、中部大学 【1-4】外観検査装置の構築と実証	欠陥のパラメータ化、欠陥の分類区分				ハード、ソフトの開発				装置組み込み、評価			
インスペック、アドイン研究所 【1-4】外観検査装置の構築と実証					N増し試験準備、実施、まとめ							

全体的に予定どおり目標を達成した。画像処理については、企画した全ての機能の作成と動作確認が終了した。自動欠陥分類についても中部大の成果を実際の画像処理装置へ組み込む作業が終了した。さらに自動外観装置でのN増しテストも順調に終了し動作状態のVideo撮影も行った。

(2) サブテーマごとの成果概要

1) ワークの伸縮や変形に対応し不感帯を必要としない高感度検査技術の開発 (インスペック株式会社)

カラー画像および白黒画像において最終目標である補足範囲±8画素にて層ずれに対応する局所位置合わせをユニバーサルFPGAボード上で実装し、実際のカラー画像をおよび白黒画像を用いて性能を確認した。

2) リアルタイムカラー画像処理技術の開発 (インスペック株式会社)

最終目標であるリアルタイムHSV変換、色差による差分処理、部位抽出および変色検出などカラー処理全てに関するFPGAの設計が完了し、実際のカラー画像を用いて動作を確認した。

3) 自動欠陥分類技術の開発 (インスペック株式会社、株式会社アドイン研究所、学校法人中部大学)

自動欠陥分類に有効な特徴量(パラメータ)を24種決定し、SVMを複数用いることで真欠陥を疑似欠陥、疑似欠陥を真欠陥と誤認識する数を少なくするとともに判別が困難なクラスに属するデータ数の削減を達成した。さらに認識率の向上、パラメータの自動決定、特徴量の増加に伴う分類精度を向上させる各手法を確立した。結果的に約300個の欠陥候補を用いたテストで最終的な正答率が90%以上に達した。さらにアドイン研究所が開発してきた自動欠陥分類テストプログラムをベースに中部大学の最新の研究成果を加え、実際の検査装置に組み込む作業を行った。

4) 外観検査装置の構築と実証 (インスペック株式会社)

ユニバーサルFPGAボード上に、当初企画した全ての処理を行える各機能を実装し、実際にカラーおよび白黒画像を用いて動作を確認した。同時にハードウェアを制御するBIOS、操作や設定のためのGUIなどのホストプログラムも開発し、実際の検査装置に搭載できるレベルに至った。また動作確認後も継続して完成度を高めコストダウンのための回路規模の圧縮に努め、白黒画像については目標コストを達成した。一方、N増し試験については社内保有の搬送機に開発した画像処理装置を搭載し自動外観検査装置を構築した。実際のワークを用いて40フレームのN増しテストを行い、クロスチェックの結果妥当な検査結果が得られていることを確認した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

財団法人あきた企業活性化センター(最寄り駅:JR東日本奥羽本線秋田駅)

〒010-8572 秋田県秋田市山王三丁目1番1号

TEL:018(860)5624(ダイヤルイン)

FAX:018(863)2390

総務相談グループ研究プロジェクト管理担当 サブリーダー松橋 亨

第2章 本論

2-1 ワークの伸縮や変形に対応し不感帯を必要としない高感度検査技術の開発

(インスペック株式会社)

1) 研究目的

一般的な外観検査に使われている「パターンマッチング」において、位置合わせ精度を向上し不感帯を設けずにエッジ近傍の検出感度を維持する手法を開発する。

実際のワークでは伸縮や変形などのばらつきがあり、マスター画像との単純な全体位置合わせだけでは正確に位置合わせができず、過検出が発生してしまう。対応策としてインスペックで開発した「局所位置合わせ」を拡張し、カラー画像において補足範囲の拡大と多層構造への対応を図る。

2) 研究成果

①-1 捕捉範囲の拡大

平成21年度に補足範囲±4画素にて基本動作確認後、平成22年度に2段階のサーチ技術開発に取り組み、最終目標である±8画素の捕捉範囲を白黒画像において達成（検出感度2～3画素）した。平成23年度にて±8画素の捕捉範囲をカラー画像において達成した。

①-2 多層構造のワークへの対応

平成22年度に±8画素の捕捉範囲において白黒画像の多層構造のワークへの対応を行った。平成23年度には、最終目標であるカラー画像の多層構造内の指定した特定の層に対して局所位置合わせを行う対応を行った。

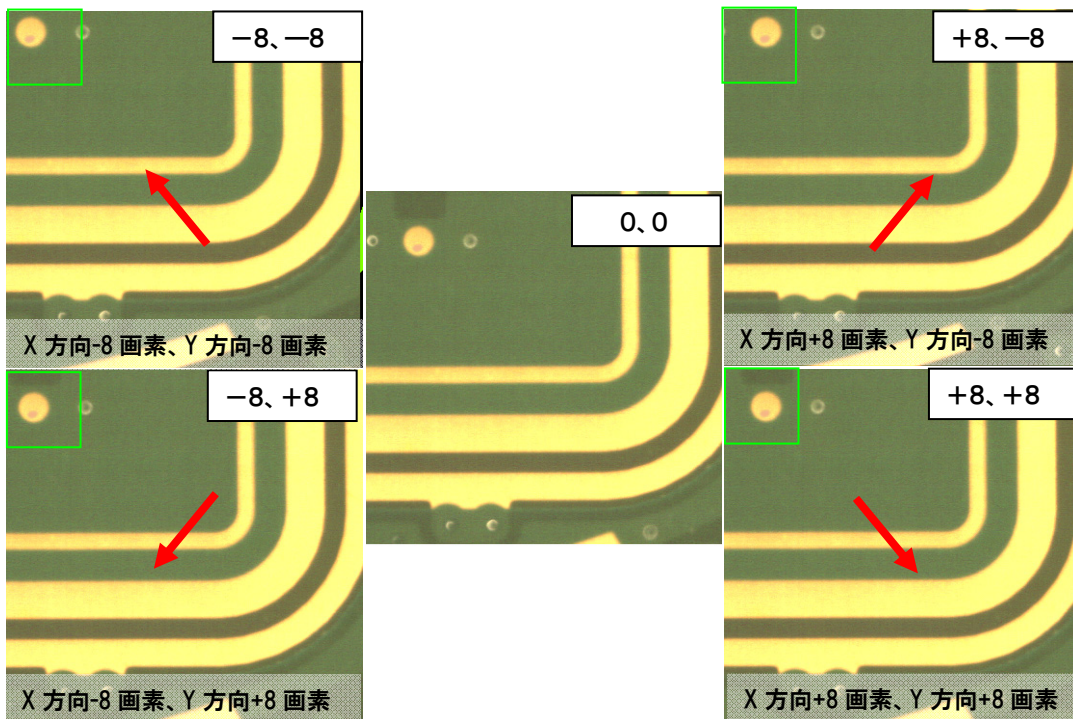


図2-1-1 位置ずれのあるテスト画像

図のようにマスター画像に対し、相対的に±8画素ずれた画像を人為的に作成し局所位置合わせの性能評価を行った。

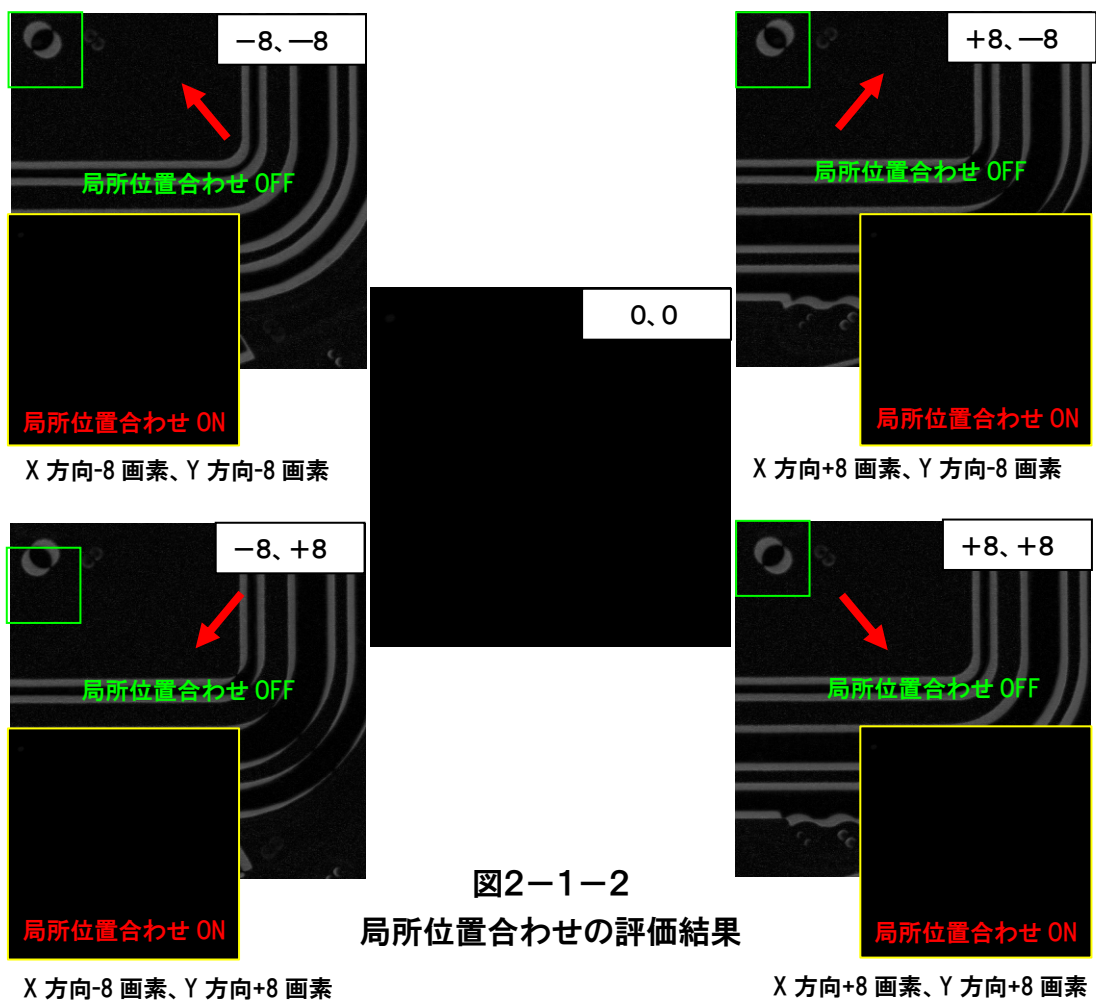


図 2-1-2 にマスター画像との差分画像による局所位置合わせの評価結果を示す。局所位置合わせ OFF では、ずらした画素数に応じて差分画像が見えるのに対して、局所位置合わせを ON にすると位置ずれは 1 画素以下であり差分はほとんど見えない。結果的に目標である（エッジ部の検出感度 2～3 画素以内）を達成していることが確認された。

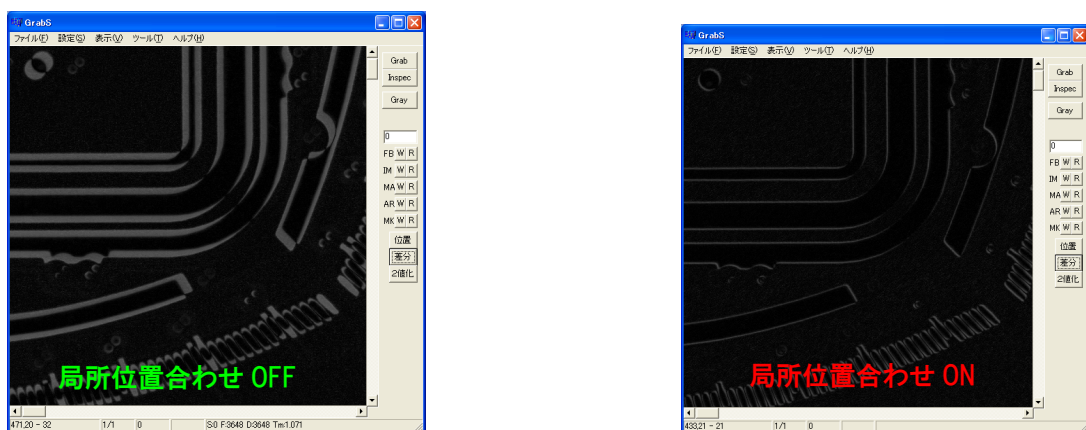


図2-1-3 補足範囲を越えた局所位置合わせの評価結果

図 2-1-3 に設計上の補足範囲を越えた場合（X、Y 各方向に 10 画素以上）の局所位置合わせの評価結果を示す。図のように局所位置合わせ ON でもわずかに差分画像が残っているが、局所位置合わせの効果で、ずれが最小限に抑えられていることが判る。

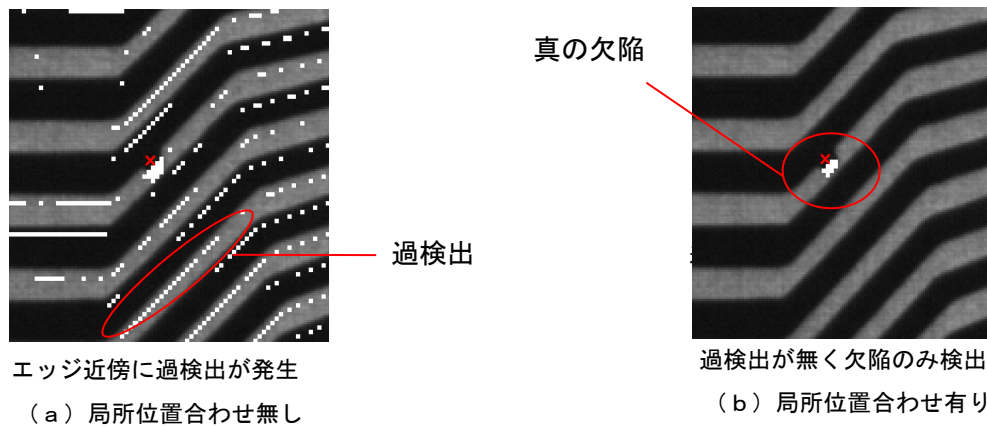


図2-1-4 局所位置合わせによる高精度パターンマッチング

図2-1-4に局所位置合わせを用いた実際の欠陥の検査例を示す。局所位置合わせが無い場合はエッジ近傍に過検出が多発している。一方局所位置合わせ有りではエッジ近傍の過検出は全く無く欠陥のみが検出されている。

2-2 リアルタイムカラー画像処理技術の開発（インスペック株式会社）

1) 研究目的

H S V変換を用いたリアルタイムカラー画像処理技術により、高度な色抽出機能を実現する。また、H（色相）の違いの少ない変色などもS（彩度）を用いて確実な検出を行う。処理では、まずR G B（赤、緑、青）で表現された画像全面をハードウェアによりH S V画像に変換する。その後パッドなどの部位の認識を行う（部位抽出）。次に抽出された部位内でHまたはSを用いてわずかな変色を検出する。この方法により、パッドの形状が変化してしまう場合でも、めっき部分の変色を確実に検出するリアルタイムカラー画像処理技術を開発する。同時に色差に基づいた欠陥検査も開発する。

2) 研究成果

平成22年度から本格的に研究に着手し、同時化などの前処理、ハードウェアによるH S V変換、色差による差分処理等の基本部分を開発した。平成23年にH S Vによる部位抽出機能や変色検出機能を実現し、色差による差分検査とマージしてカラー処理を完成させ、実際のカラー画像にて動作を確認した。

2-2-1 部位抽出による変色検査

図2-2-1のように金メッキ上に僅かな変色がある画像を用いて、部位抽出と抽出された部位上の欠陥（変色）の検出を試みた。まず比較のため元画像を単純に2値化して金メッキ部分の抽出を試みた。しかしながら図のように金メッキ以外の部分も2値化されてしまい、実用的ではない抽出画像しか得られなかった。



図 2-2-1 金メッキ上に変色があるワークの画像



図2-2-2 金メッキ部分を抽出した部位抽出画像と設定メニュー

次にカラーのHSV 成分を用いた部位抽出を試みた。図 2-2-2 は検査画像に対して、H：18～52、S：100～170、V：145～255 として部位抽出にて金メッキ部分を抽出した例である。

図のように白黒では判別のつきにくい同じ明るさを含む画像において、安定した部位抽出が実現できた。（この場合は金メッキ部分のみ抽出） 設定メニューでは HSV のパラメータに対して、任意の部位の色の部位を抽出できる。



図 2-2-3 金メッキ部分を抽出した部位抽出画像と設定メニュー

最後に抽出された金メッキ部分のみに存在する「変色」の検出を試みた。(図2-2-3) 変色部分の検出のために閾値を H : 22~52 とすると変色部分のみが検出された。この処理の場合、金メッキ以外の場所で変色と類似した色の部位が存在する場合でも、部位抽出した領域上だけに存在する変色を検出することができる。さらに比較のため通常の2値化により変色の検出を試みたが、安定検出は難しかった。結論として上記の処理により安定した変色の検出が可能であることを確認できた。

2-2-2 実際の画像を用いた色差による欠陥抽出

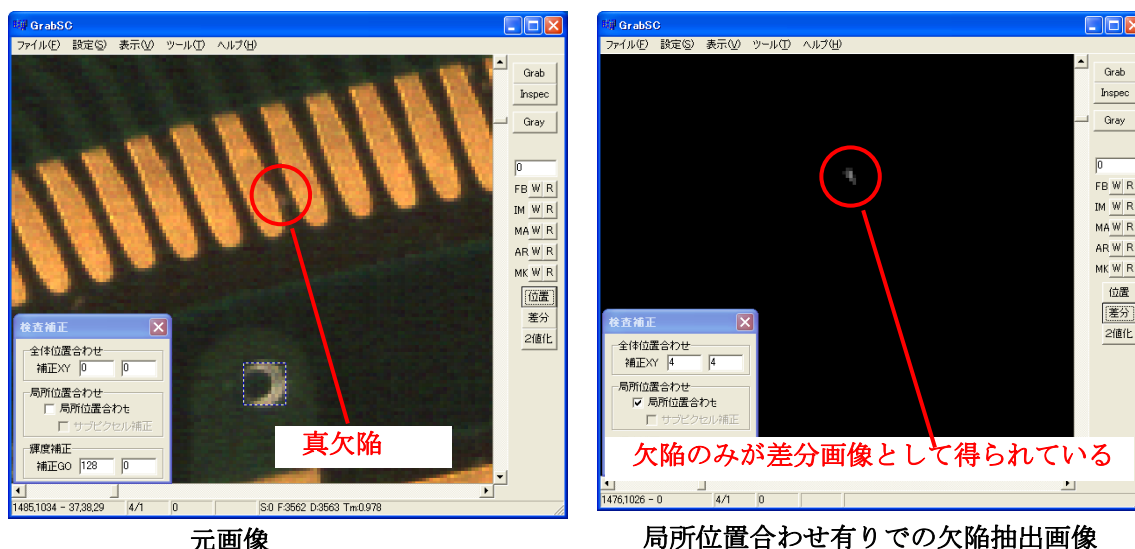


図2-2-4 色差による欠陥抽出

カラーでの欠陥検査の最終確認を行い、以下の各処理の正常動作を確認した。

(図2-2-5)

- ・カラーでの局所位置合わせを行った後、入力画像をHSV変換する。
- ・HSVの各成分を指定範囲内にクリッピング。
- ・マスター画像と検査画像のHSV空間上の色差を3次元距離で算出し、色差画像を生成。
- ・色差画像を所定の閾値を用いて2値化し、フィルタリング後欠陥画像として抽出。
- ・欠陥画像をラベリングし、大きさ判定後、最終良否判定を行う。

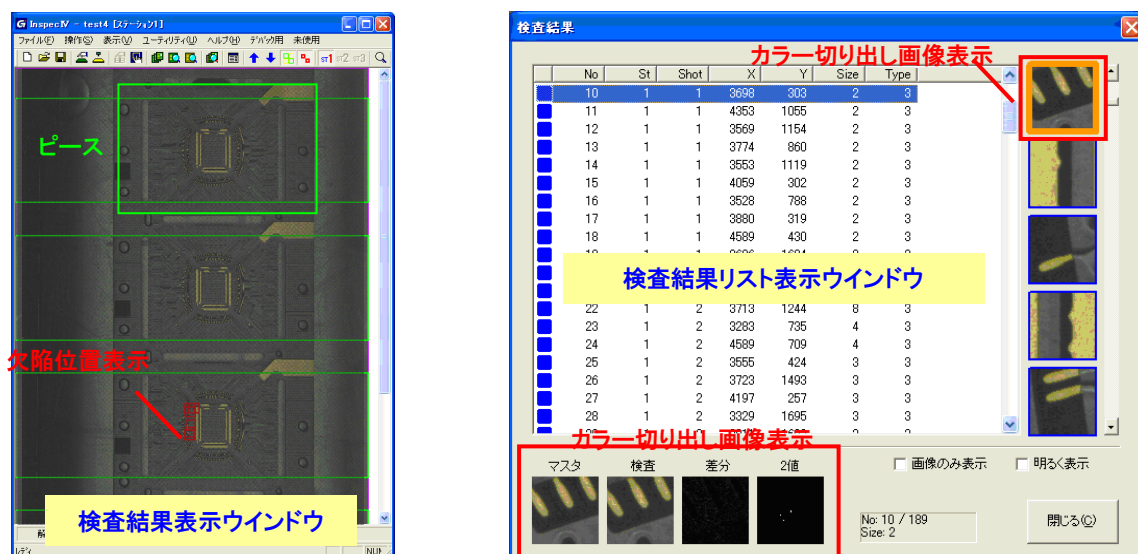


図2-2-5 カラー画像処理装置検査結果

2-3 自動欠陥分類技術の開発

(インスペック株式会社、株式会社アドイン研究所、学校法人中部大学)

1) 研究目的

既存の外観検査装置では行なわれていない欠陥の分類を統計的な手法で自動的に行う技術を開発する。自動外観検査装置で検出された欠陥には、パターン欠け、パターン突起、ピンホール、シミ、変色、めっき不良などの検出すべき欠陥（真欠陥）と、ごみ、異物、錆、変色などの検出すべきでない欠陥（疑似欠陥）があり、それらを自動的に分類する。最終年度にてベリファイ対象件数80%以上低減を目標にした。

2) 研究成果

平成21年度から中部大にてSVMを用いた欠陥の自動分類の研究に着手した。またアドイン研究所にて簡易的な分類方法と一般的な特徴量の抽出を行うテストプログラムを作成した。平成22年度には分類法および特徴量の改良を行いSVMを用いることで欠陥分類精度が60%以上に向上した。テストプログラムでは前処理を整備して欠陥候補の切り出し画像を用いて分類動作ができるようになった。平成23年度には特徴量を24種に増やし、SVMを複数用いる多クラス分類を用いることでベリファイ対象件数80%以上（テスト条件にて90%以上）の低減を達成した。またアドイン研究所が開発してきた自動欠陥分類テストプログラムをベースに中部大学の最新の研究成果を加え、実際の検査装置に組み込む作業を行った。

③-1 欠陥のパラメータ化への対応

インスペック株式会社は、画像データの提供や評価を行った。学校法人中部大学は、分類精度改善に効果がある特徴量（パラメータ）を研究しアドバイスを行った。

株式会社アドイン研究所は、自動分類に必要な前処理の開発と特徴量の抽出プログラムの開発を行った。

③-2 欠陥の分類区分の自動的線引きへの対応

インスペック株式会社は、画像データの提供や評価を行った。学校法人中部大学は、SVMをベースとした分類精度の改善についての研究とアドバイスを行った。株式会社アドイン研究所は、テストプログラムに中部大の成果を取り入れ分類精度の改善に取り組んだ。最終的に、実際の検査装置に組み込む作業を行った。

2-3-1 複数識別器を用いた電子基板の欠陥分類（中部大）

SVMを複数用いる多クラス分類を通して、判別が困難なクラスに属するデータ数の削減と誤認識する個数を少なくすると同時にパラメータの自動化と特徴量の追加による分類精度の向上をさせる手法の手順を提案した。提案手法の流れは以下の手順で行っている。

[手順1] 電子基板の画像から欠陥候補領域の検出

[手順2] 欠陥候補領域から特徴量の取得

[手順3] 多クラス分類で用いる識別器を構築する

[手順4] 構築した識別器で欠陥分類を行う

2-3-2 真欠陥と疑似欠陥の特徴 (図2-3-1)

真欠陥は接続：ショート(図(a))、単独：残銅(図(b))、突起(図(c))、欠け(図(d))、断線(図(e))、濃い錆(図(f))に分けられる。接続、単独、突起は輝度値が高く基板を構成しているパターンとの輝度差が少ない特徴がある。逆に、欠け、断線、濃い錆は輝度値が低くベース(画像の暗い部分)との差が小さい特徴がある。一方疑似欠陥は埃(図(g))、薄い錆(図(h))に分けられる。埃は輝度値が比較的明るく様々な形状があるが中には輝度値が低いものもある。薄い錆はリード線とベースとの輝度値の差が真欠陥と比べると全体的に大きいという特徴がある。これは、薄い錆の輝度値が関係しており、輝度値が低くなると濃い錆と判断されるため必然的に差が大きくなる。

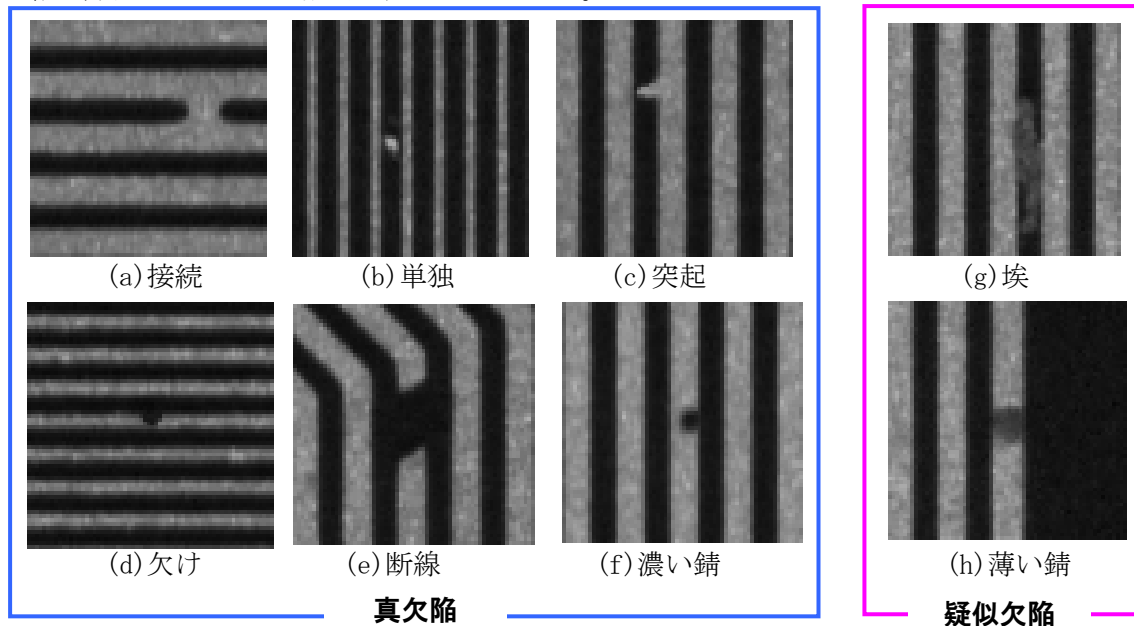


図2-3-1 真欠陥と疑似欠陥の種類

2-3-3 クラス分け (図2-3-2-3)

多クラス分類を用いた手法ではクラスが3クラス以上必要になる。そこで、真欠陥のクラスを接続、単独、突起などのリード線の輝度値に似ている欠陥と断線、欠け、濃い錆などのベースの輝度値に似ている欠陥の2クラスにすることで対応を行う。

2-3-4 特徴量の取得

検出された欠陥候補領域より特徴量の取得を行う。特徴量は真欠陥と疑似欠陥の輝度値や形状情報を元に取得を行っており、取得した特徴量をSVMを通して学習および分類するために使用する。図2-3-2に使用した特徴量を示す。

- | | |
|---------------------|--------------------|
| ① 輝度値の平均 | ⑬ 周囲長 |
| ② 最大輝度値 | ⑭ 対角線の長さ |
| ③ 最小輝度値 | ⑮ 輝度値の重心と最大輝度値とのずれ |
| ④ 最大輝度値の割合 | ⑯ 複雑度 |
| ⑤ 円形度 | ⑰ 滑らかさ |
| ⑥ アスペクト比 | ⑱ コントラスト |
| ⑦ 分散 | ⑲ 近傍の画素間の相関 |
| ⑧ 欠陥候補領域とベースの輝度値の比 | ⑳ 角度2次モーメント |
| ⑨ 欠陥候補領域とリード線の輝度値の比 | ㉑ 均質性 |
| ⑩ 面積 | ㉒ 最頻値 |
| ⑪ x方向のサイズ | ㉓ 歪度 |
| ⑫ y方向のサイズ | ㉔ 尖度 |

図2-3-2 使用した特徴量

2-3-5 識別器の構築

識別器としては one-versus-the-rest 方式(以下 1-v-R)を用いる。1-v-R の場合は、M クラスのデータを学習するためには、すべてのデータを用いた $SVM_{\{i\}}$ ($i=1, 2, \dots, M$) 個を構築する必要があり、その結果を統合することでどのクラスに属するかを判断する。

しかし、M 個の 2 クラス識別器の内の 2 つ以上で同じ値が出力されるときもある。このような問題を避けるために一般的には超平面からの距離(最近傍決定則)が最も大きくなるクラスへ識別することで分類を行っているが、本研究では判別が困難なクラスとして扱う。

本手法では各識別器ごとに特徴選択を行う独立特徴選択方式を用いている

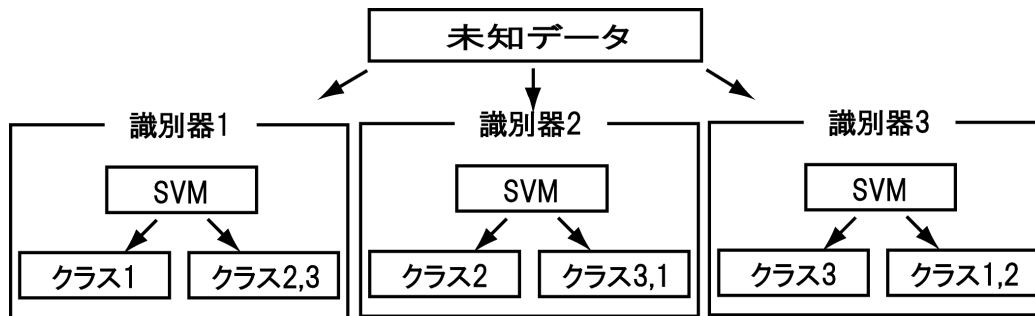


図2-3-3 one-versus-the-rest 方式

2-3-6 検証と評価方法

実物の電子基板から画像を取得し、前述した手法の実験を行う。

まず、画像より欠陥候補領域の検出し特徴量を取得する。その後、ベースの輝度値に似ている欠陥、リード線の輝度値に似ている欠陥、疑似欠陥の 3 クラスの判別実験を行い、出力結果を元に真欠陥、疑似欠陥、判別が困難なクラスの評価を行う。また未知データと学習データを最初の段階で分けて評価を行った。

2-3-7 評価と評価結果

手法の有効性を確認するために、文献[3]の手法との比較実験を行った。

また、その他の手法との比較実験も行った。従来までは真欠陥と疑似欠陥の 2 クラスで分類を行っていたが、多クラス分類を用いた手法ではクラスが 3 クラス以上必要になる。そこで、断線、欠け、濃い錆で構成されるベースの輝度値に似ている真欠陥、接続、単独、突起で構成されるリード線の輝度値に似ている真欠陥、埃、薄い錆で構成される疑似欠陥の 3 クラスで 1-v-R を用いて識別器を構築している。データセットは、未知データ 300 個と学習データ各 120 個ずつを使用し、特徴量は従来手法で使用している特徴量と追加した特徴量の合計 24 種類とし、RBF カーネルを用いた SVM に学習させることによって識別器を構築した後に前向き逐次選択法を用いて正答率を算出した。また、本研究では真欠陥と疑似欠陥の誤分類を減らすことを目的としているため、出力結果がリード線の輝度値に似ている欠陥とベースの輝度値に似ている欠陥のとき真欠陥とし、同じ投票数が複数ある場合には判別が困難な欠陥とし残りを疑似欠陥として表記している。クラス分類の各識別器ごとの分類精度を表 1 に示す。クラス 1 はクラス数が 1 つ、クラス 2 はクラス数が複数を表しており、識別器 1 はベースの輝度値に似ている真欠陥を 1 クラスとし、識別器 2 はリード線の輝度値に似ている真欠陥を 1 クラスとし、識別器 3 は疑似欠陥を 1 クラスとしてい

る。提案手法と文献[3]の手法を用いて未知データを分類した結果を表2に提案手法とその他の手法との結果を表3に示す。真欠陥と疑似欠陥の「困難」は投票数が複数のクラス同じになったもので、正答率は困難なデータを抜いて正分類と誤分類より算出しており、認識率はどれだけ困難なクラスに分類されなかったかを示している。

SVMのパラメータCは1、RBFカーネルの σ の値は識別器1で0.5、識別器2で0.15、識別器3で0.39を用いている。また、表の正答率を式3、認識率を式4の評価式によって算出している。

$$\text{正答率} = \{\text{正分類数}\} / \{\text{正分類数} + \text{誤分類数}\} * 100 \quad (3)$$

$$\text{認識率} = \{\text{正分類数} + \text{誤分類数}\} / \{\text{すべてのデータ数}\} * 100 \quad (4)$$

表2-3-1 識別器ごとの結果

	特徴量	クラス 1		クラス 2		正答率[%]
		正	誤	正	誤	
識別器 1	7, 8, 9, 19	96	4	195	5	97.0
識別器 2	8, 9	91	9	194	6	95.0
識別器 3	8, 9, 18, 21	88	12	188	12	92.0

表2-3-2 従来手法との比較

用いた手法	クラス 1			クラス 2			正答率 [%]	認識率 [%]	誤分類 数
	正	誤	困難	正	誤	困難			
提案手法	183	3	14	86	5	9	97.1	92.3	8
従来手法[3]	89	9	102	45	5	50	90.5	49.3	14

表2-3-3 クラスの分類結果

用いた手法	クラス 1			クラス 2			正答率 [%]	認識率 [%]	誤分類 数
	正	誤	困難	正	誤	困難			
提案手法	183	3	14	86	5	9	97.1	92.3	8
従来手法[3]	89	9	102	45	5	50	90.5	49.3	14
文献[4]	183	15	2	85	15	0	89.9	99.3	30

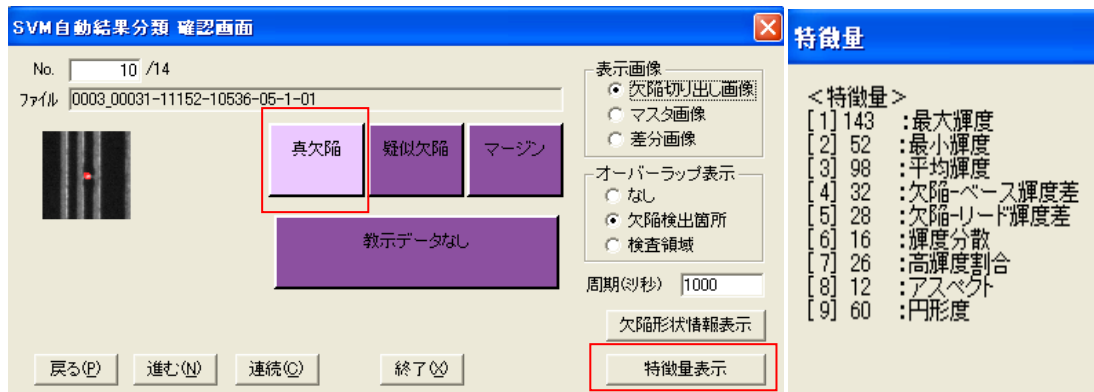
表2-3-1より各識別器ごとに用いられている特徴量が違うことから独立特徴選択を行ったため、各識別により適した有効な特徴選択がされているといえ、従来の特徴に加え追加した特徴量であるコントラスト(18)、近傍の画素間における相関(19)、均質性(21)が選択されていることから追加した特徴量は電子基板の欠陥分類には有効であるとわかる。

表2-3-2より従来手法である文献[3]の結果と比較すると正答率が6.6%上昇しており、認識率は43%上昇していることが確認でき、誤分類数も従来と比べる減少していることが確認できた。また、表2-3-3では文献[3]以外の手法である文献[4]の手法との比較を行っており、どの手法と比べても誤分類数が一番低くなっており、特に真欠陥を疑似欠陥と誤分類する個数が著しく減少していることが確認できる。

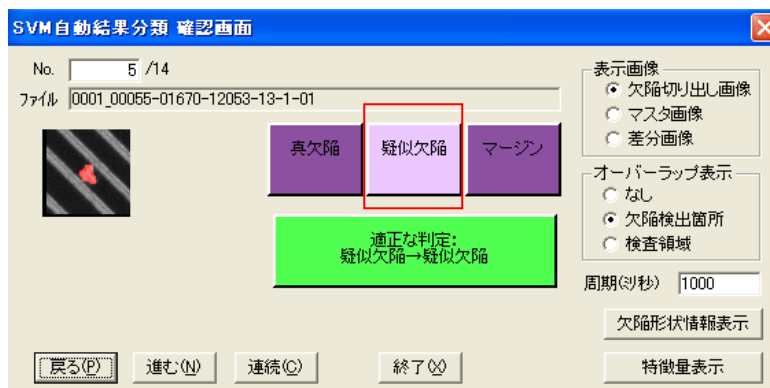
2-3-8 自動欠陥分類プログラムの実装 (アドイン研究所)

アドイン研究所が昨年度開発した「テストプログラム」をベースに中部大の成果を加え画像処理装置に実装した。以下の機能を実装し、分類状況を表示する GUI も作成した。

- ・ファイルからの欠陥切り出し画像の読み込み、欠陥部分の抽出などの一連の前処理
- ・分類のための各「特徴量」の使用、未使用、特徴量の追加、選択の設定
- ・SVM での分類調整用パラメータの設定
- ・SVM による自動分類、判別結果の表示等



真欠陥を「真欠陥」と判定した判定例と特徴量の表示例



疑似欠陥を「疑似欠陥」と判定した判定例

図2-3-4 自動分類用 GUI

参考文献

- [1] 二村和也、岩堀祐之、福井真二、河中治樹：“サポートベクターマシンの用いた電子基板の欠陥分類手法”、電気関係学会東海支部連合大会、0-126、2008。
- [2] 小野泰豊：“電子基板における錆欠陥を考慮した欠陥分類手法”、中部大学工学部情報工学科卒業論文、2011。
- [3] Yuji Iwahori et al.：“Discrimination of True Defect and Indefinite Defect with Visual Inspection Using SVM”、Lecture Notes in Computer Science、Volume 6884/2011、117-125、2011。
- [4] 胡 欣、クグレ マウリシオ、ヌグロホ アント サトリヨ、黒柳 奨、岩田 彰：“多クラスサポートベクターマシンにおける各 SVM モジュールの独立特徴選択”、電子情報通信学会、NC2005-86、2005

2-4 外観検査装置の構築と実証

(インスペック株式会社)

1) 研究目的

16000×56000 画素（白黒）、8000×28000 画素（カラー）以上の解像度に対応するリアルタイム画像処理装置を大規模FPGA搭載のユニバーサルFPGAボードを用いて製作する。また社内保有の搬送機に開発した画像処理装置を搭載し自動外観検査装置を構築し、N増し試験を行う。

2) 研究成果

平成21年度から開発に着手し、初年度は白黒画像での基本動作と通信機能の確認を行った。平成22年度では白黒画像での画像処理機能の開発作業が完了し、カラー画像処理の基本機能の動作確認を行った。平成23年度で全ての機能の開発と確認が終了した。

最終的に解像度：16000×56000 画素以上（白黒）、8000×28000 画素以上（カラー）
処理速度：320 MB/s 以上、コスト：80 万円以下（画像処理装置単体原価）を達成した。

さらに社内保有の搬送機に開発した画像処理装置を搭載し自動外観検査装置を構築した後、N増し試験と検査規準に適合したクロスチェックを行ない検査の有効性を実証した。

2-4-1 画像処理装置の開発

画像処理装置はユニバーサルFPGA（Field-Programmable Gate Array）ボードを用いてFPGA内の回路設計を行い、FPGAに回路データをダウンロードすることで実現した。またラインカメラのやり取りのためにインターフェイス用基板を製作した。材料原価の総計は回路規模の圧縮を行い717,610円（白黒、処理装置のみ）であった。

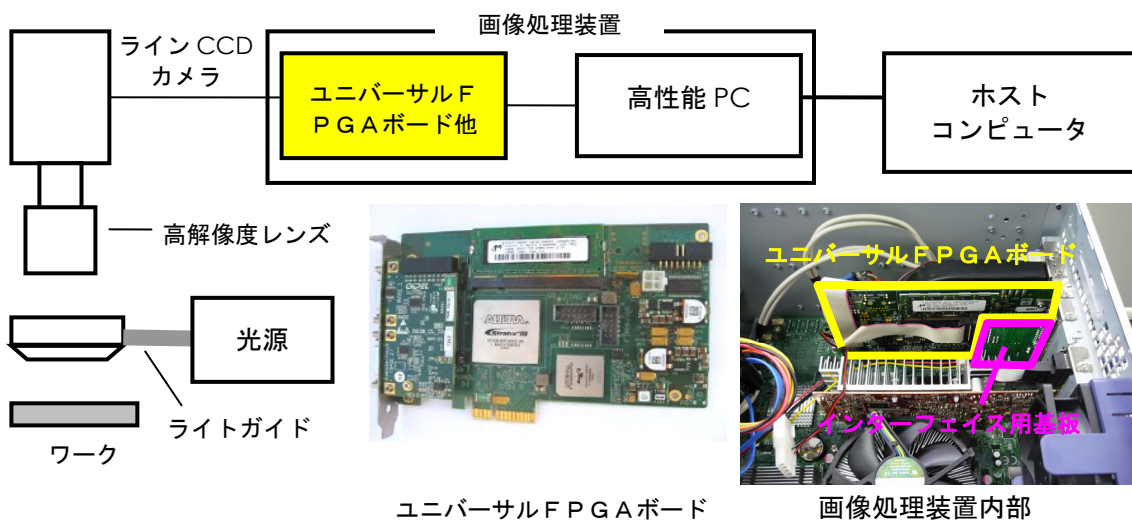


図2-4-1 画像処理装置の構築

2-4-2 自動外観検査装置による流動テスト

インスペック（株）が保有する搬送機を装備した自動外観検査装置に本研究で開発した画像処理装置を搭載し実際の生産現場での運用を想定した性能評価（N増し試験）を行った。自動外観検査装置に搭載するカメラは照明条件の異なる2基を装備した。流動試験は一般的なICパッケージである「BGA: Ball Grid Array」の基板を40枚連続して流動

し、得られた欠陥を集計した。検査結果においても欠陥の切り出し画像を集計し、目視検査との比較を行った結果、ほぼ想定どおりの結果が得られていることを確認できた。

図2-4-2に流動結果例と26フレーム目の切り出し画像の保存例を示す。

切り出し画像は欠陥ごとにマスター画像、撮像画像、差分画像、差分画像を2値化した画像、領域画像などの画像を出力して保存することができる。

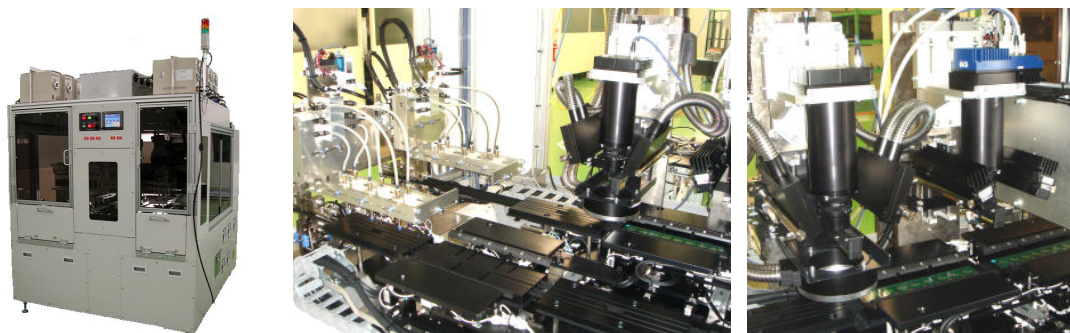


図2-4-2 自動外観検査装置内部

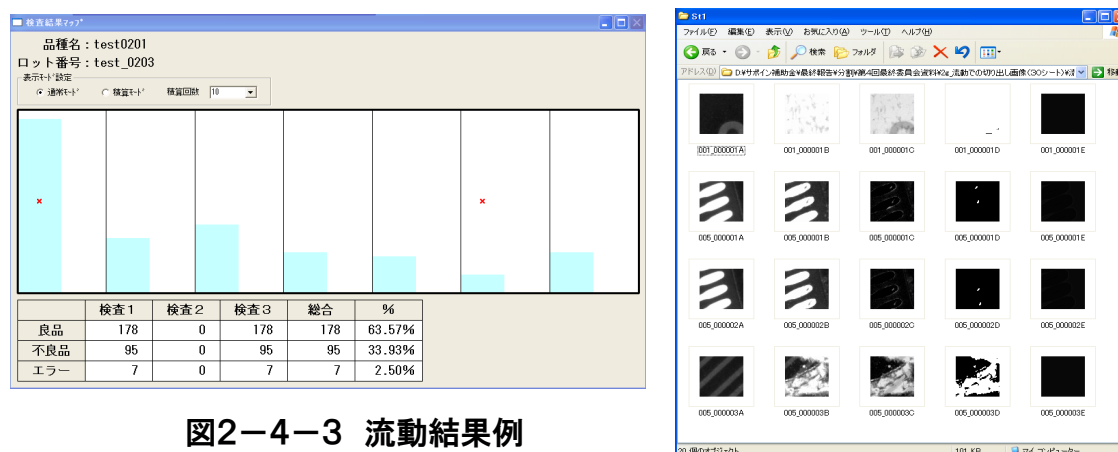


図2-4-3 流動結果例

最終章 全体総括

3-1 全体総括

- 1) ワークの伸縮や変形に対応し不感帯を必要としない高感度検査技術の開発
(インスペック株式会社)

カラー画像および白黒画像において最終目標である補足範囲±8画素にて層ずれに対応する局所位置合わせをユニバーサルFPGAボード上で実装し、実際のカラー画像をおよび白黒画像を用いて性能を確認した。

- 2) リアルタイムカラー画像処理技術の開発
(インスペック株式会社)

最終目標であるリアルタイムHSV変換、色差による差分処理、部位抽出および変色検出などカラー処理全てに関するFPGAの設計が完了し、実際のカラー画像を用いて動作確認を行い、有効性が確認できた。

3) 自動欠陥分類技術の開発

(インスペック株式会社、株式会社アドイン研究所、学校法人中部大学)

自動欠陥分類に有効な特徴量（パラメータ）を決定し、SVM を複数用いることで真欠陥を疑似欠陥、疑似欠陥を真欠陥と誤認識する数を少なくするとともに判別が困難なクラスに属するデータ数の削減を達成した。さらに認識率の向上、パラメータの自動決定、特徴量の増加に伴う分類精度を向上させる各手法を確立した。結果的に約 300 個の欠陥候補を用いたテストで最終的な正答率が 90 % 以上に達した。

さらにアドイン研究所が開発してきた自動欠陥分類テストプログラムをベースに中部大学の最新の研究成果を加え、実際の検査装置に組み込む作業を行った。

4) 外観検査装置の構築と実証

(インスペック株式会社)

ユニバーサル FPGA ボード上に、当初企画した全ての処理を行える各機能を実装し、実際にカラーおよび白黒画像を用いて動作を確認した。同時にハードウェアを制御する BIOS、操作や設定のための GUI などのホストプログラムも開発し、実際の検査装置に搭載できるレベルに至った。また動作確認後も継続して完成度を高めコストダウンのための回路規模の圧縮に努め、白黒画像については目標コストを達成した。一方、N 増し試験については社内保有の搬送機に開発した画像処理装置を搭載し自動外観検査装置を構築した。実際のワークを用いて 40 フレームの N 増しテストを行い、クロスチェックの結果妥当な検査結果が得られていることを確認した。

3-2 事業化に向けた取り組みについて

本件は予定どおり各テーマの開発が終了したが事業化に向けて以下の課題が想定される。

1) ワークの伸縮や変形に対応し不感帯を必要としない高感度検査技術の開発

(インスペック株式会社) 特に残件は無い

2) リアルタイムカラー画像処理技術の開発

(インスペック株式会社、) 特に残件は無い

3) 自動欠陥分類技術の開発

(インスペック株式会社、株式会社アドイン研究所、学校法人中部大学)

- ・自動外観検査装置に組み込んだ自動分類ソフトの高速なインライン動作
- ・パターン欠陥以外の欠陥項目への対応（特に BGA などの最終検査への対応）
- ・自動欠陥分類精度の更なる向上のための研究（継続）
- ・カラー画像を用いた自動欠陥分類技術への発展

4) 外観検査装置の構築と実証

(インスペック株式会社)

- ・具体的な製品化に向けた機能追加と完成度向上
- ・カラー画像処理装置の簡素化によるコストダウン

5) 応用システムと事業化の方向性

図 3-2-1 に本研究成果を搭載予定の応用システム例を示す。

応用システムは大別して全自動搬送の自動機タイプとワークを手動でセットするフラットベッドタイプがある。いずれも実績のあるベースマシンであるがシステム全体としては画像処理装置の差別化が重要課題になっていた。本研究成果を取り込むことで、今までの画像処理装置の課題をクリアすることが期待できる。具体的には平成 24 年度にリードフレーム検査装置への搭載から始めニーズと市場動向を見極めながら搭載機種を増やして行く計画である。



図3-2-1 応用システム例

謝辞

サンプルのご提供と検査の実際のニーズについての的確なご助言をいただいた株式会社イースタン パッケージ基板事業部製造センター 製造一部 部長 名取 隆英 様、装置化やシステムデザイン等について貴重なアドバイスをいただいた東北パイオニア株式会社 執行役員 FA 事業部事業部長 菅井 和利 様
ご多忙のおり 3 年の長きの渡りご対応いただきましてありがとうございました。