

平成24年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「三次元めっき処理評価技術開発による高精度ICリードフレームの製造」

研究開発成果等報告書

平成25年 3月

委託者 九州経済産業局

委託先 一般財団法人九州産業技術センター

目 次

第1章 研究開発の概要	1
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、管理員及び研究員、協力者)	2
1-3 成果概要	5
1-4 当該研究開発の連絡窓口	7
第2章 本論一(1)	8
2-1 ICリードフレームの各部高さ計測技術の確立	8
2-2 プロジェクト全体における本研究開発部分の位置付け	8
2-3 高度化目標と技術的目標値	8
2-4 研究方法、条件および装置	9
2-5 研究結果と研究成果	11
2-6 参考文献	13
第3章 本論一(2)	15
3-1 ICリードフレーム表面不具合検出技術の開発	15
3-2 プロジェクト全体における本技術の位置付け	15
3-3 高度化目標と技術的目標値	15
3-4 研究方法、条件および装置	15
3-5 研究結果と研究成果	18
3-6 研究開発後の課題	19
3-7 参考文献	19
第4章 本論一(3)	21
4-1 薄板材の非変形搬送方法の開発	21
4-2 プロジェクト全体における本研究開発部分の位置付け	21
4-3 高度化目標と技術的目標値	21
4-4 研究方法、条件および装置	23
4-5 研究結果と研究成果	24
4-6 装置全景	28
4-7 コントロールパネル	30
4-8 参考文献	30
第5章 本論一(4)	31
5-1 めっき処理工程の評価技術の開発	31
5-2 プロジェクト全体における本研究開発部分の位置付け	31
5-3 高度化目標と技術的目標値	31
5-4 研究方法、条件および装置	32
5-5 研究結果と研究成果	32
5-6 研究開発後の課題	35
5-7 参考文献	35

第6章 本論一（5）	35
6-1 評価システムの統合と評価	35
6-2 プロジェクト全体における本研究開発部分の位置付け	36
6-3 高度化目標と技術的目標値	36
6-4 研究方法、条件および装置	36
6-5 研究結果と研究成果	36
第7章 最終章（全体統括）	38
7-1 研究開発成果	38
7-2 研究開発後の課題	38
7-3 事業化展開	39

第1章 研究開発の概要

半導体デバイスのパッケージ技術と実装技術は、現在の産業に限らず広く生活基盤の根幹を為し、驚異的速度で発展を続けている。その背景にあるニーズとして、半導体素子の飛躍的な高集積化とパッケージの高密度な実装が挙げられる。例えば、情報家電産業・自動車産業等において使用される半導体はダウンサイジングによる小型化・高密度化が進み競争力強化のために低コスト化が求められている。

半導体パッケージは、従来のリードピンが外部にでた QFP (Quad Flat Package) タイプからリードピンが下面に埋め込まれたコンパクトな QFN (Quad Flat Non-leaded Package) タイプが増加していくことが見込まれ、それに伴い、半導体チップはもとより、半導体パッケージに用いる IC リードフレームにおいても、ダウンサイジングと低コスト化に資する「高精度なめっき技術」の確立が課題となっている。

QFN タイプ用の IC リードフレームは、板材の厚さ、チップ搭載部の微細化、立体的な加工、大型化などの特徴がある。従って、量産ラインではパターン数が多く変形しやすい大型フレームに高精度めっきを実現したいとする要求があり、従来の目視と経験による工程改善では対応できず、人手を介しない効率的な工程改善を確立する必要がある。これに対して、従来の評価技術は高さ方向の変形の認識、低コントラストの欠陥認識、大型薄板フレームの搬送が困難であり、これらの課題を解決することが求められる。

本年度は「IC リードフレームの各部高さ計測技術の確立」「IC リードフレーム表面不具合検出技術の開発」「薄板材の非変形搬送方法の開発」「めっき処理工程の評価技術の開発」の各研究テーマに沿って 22 年度、23 年度に実施した基礎研究および基礎開発から構築・開発されたシステムを統合し、実用化に向けた評価を実施し、課題の抽出やその解決方法について検討した。

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1-1-1 研究開発の背景

情報家電産業・自動車産業等において使用される半導体はダウンサイジングによる小型化・高密度化が進み、競争力強化のため、低コスト化が求められている。半導体パッケージは、従来のリードピンが外部に出た QFP タイプからリードピンが下面に埋め込まれたコンパクトな QFN タイプが増加していくことが見込まれ、それに伴い、半導体チップはもとより、半導体パッケージに用いる IC リードフレームにおいても、ダウンサイジングと低コスト化に資する高精度なめっき技術が求められている。

新しい QFN タイプ用の IC リードフレームは従来のものと比べ

- フレームの板材が薄くなっている。
- チップ搭載部が微細化されている。
- パッケージ構造上の変化から立体的な加工が施されている。
- 低コスト化のため、1枚のリードフレームが大型化している。

等の技術的变化が生じており、川下製造業者から、このような技術変化に迅速に対応可能で、より高精度なめっき処理技術が求められその対応が急務となっている。

但し、これまでの評価技術では

- 高さ方向の変形を認識することができない。

○低コントラストの欠陥を認識することができない。

○大型化・薄板化及び立体的加工が施されたフレームの搬送に対応していない。

等の課題があり、これらの問題を解決する必要がある。

従来、ICリードフレームの高さ計測には、光切断法や共焦点法などの技術が用いられているが、長時間を要する。そのため、全数検査をおこなうためには人海戦術に頼らざるをえず、人件費の低い海外に生産拠点が移っていくという問題があった。本研究では微細加工ICリードフレームの高さ計測に関して、実用的な精度と速度を兼ね備えた技術を開発し「微細加工ICリードフレームに対応しためっき処理システム」への統合を目標とする。

このようなICリードフレームに対応する為には、新しいめっき処理の評価技術が必要であり、その評価内容を製造工程に反映させることにより、迅速なめっき処理技術の開発が可能となる。

1-1-2 研究目的

小型化・高密度化が進む情報家電において、使用されるICリードフレームもダウンサイジングに資する高精度なめっき技術が必要とされている。しかし現状のめっき技術ではそのニーズに充分応えることができず、品質及び生産性の低下が懸念されている。そこでパターンの高密度化及びICリードフレームの大型化等に対応するめっき処理技術構築のため、めっき処理評価システムを開発し高精度なICリードフレームの製造を実現する。

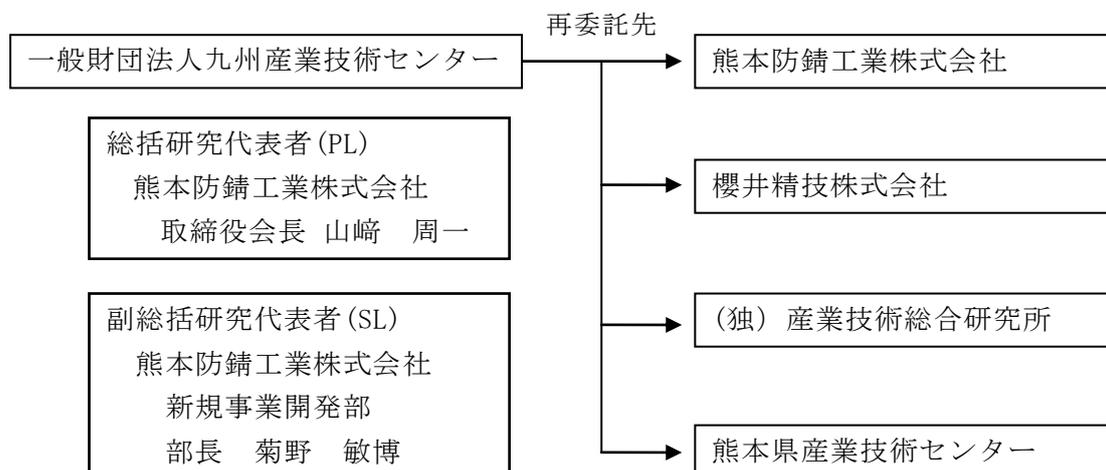
1-1-3 研究目標

微細化するICリードフレームに対応した技術の向上・開発を迅速に行う必要（ダウンサイジングに資する技術の開発）があるが、新しいICリードフレームに対応しためっき処理の評価技術が必要であり、その評価内容をめっきの製造工程に反映させることにより、めっきの高精度化、品質の安定化及び迅速な歩留まり向上が可能となる。

本研究開発において、このようなめっき評価技術の開発を目指す

1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究員及び管理員、協力者）

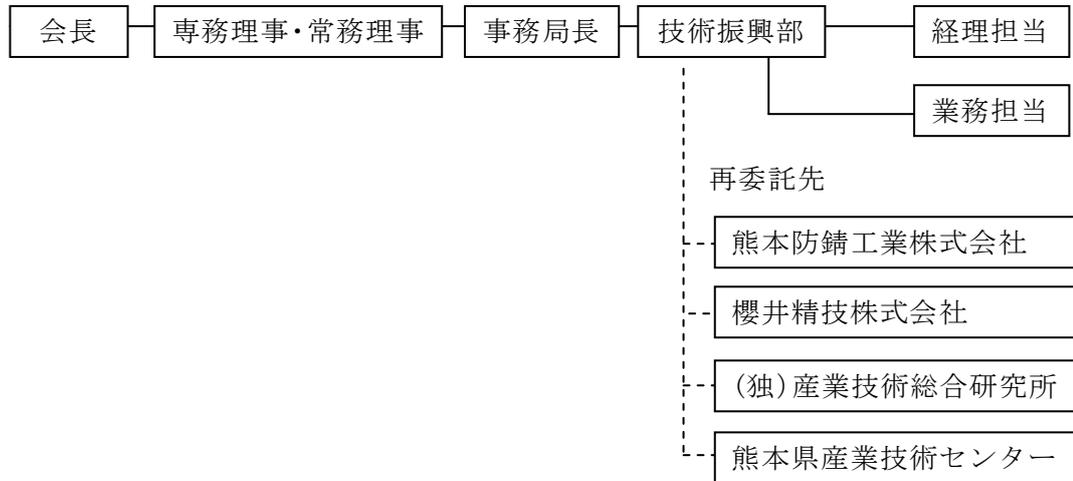
1-2-1 研究組織



1-2-2 管理体制

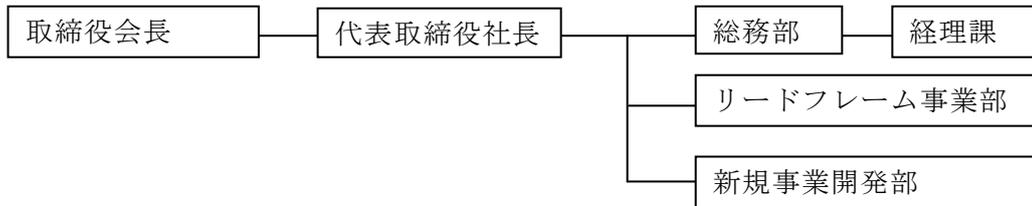
① 事業管理者

[一般財団法人 九州産業技術センター]

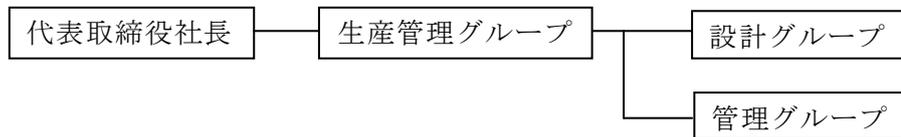


② 再委託先

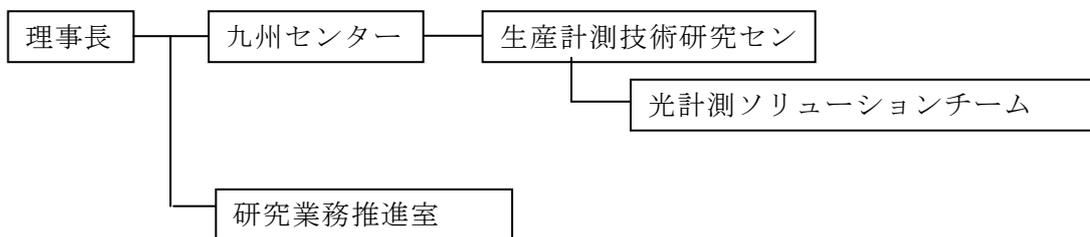
熊本防錆工業株式会社



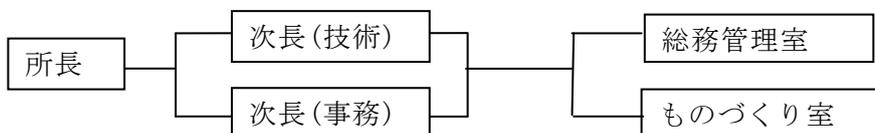
櫻井精技株式会社



独立行政法人 産業技術総合研究所



熊本県産業技術センター



1-2-3 管理員及び研究員

① 管理員

【事業管理者】 一般財団法人 九州産業技術センター

氏名	所属・役職
二階堂 正憲	技術振興部長
徳淵 久人	技術振興部 部長

② 【再委託先】 研究員

熊本防錆工業株式会社

氏名	所属・役職
山崎 周一	取締役会長
菊野 敏博	新規事業開発部 部長
村山 恭一	リードフレーム事業部 品質保証1課 主任

櫻井精技株式会社

氏名	所属・役職
神田 誠	設計グループ グループマネージャー
田口 智弘	生産管理グループ チームリーダー

独立行政法人 産業技術総合研究所

氏名	所属・役職
野中 一洋	生産計測技術研究センター 主幹研究員 (兼) 光計測ソリューションチーム 研究チーム長
蒲原 敏浩	生産計測技術研究センター 光計測ソリューションチーム テクニカルスタッフ

熊本県産業技術センター

氏名	所属・役職
重森 清史	ものづくり室 研究参事
城戸 浩一	ものづくり室 研究参事

1-2-4 協力者（アドバイザー他）

氏名	所属・役職
井上 道弘	独立行政法人 産業技術総合研究所 九州産学官連携センター イノベーションコーディネータ
池永 知加雄	大日本印刷株式会社 電子デバイス事業部 製造第二本部 技術部 部長
手島 寅浩	独立行政法人 産業技術総合研究所 生産計測技術研究センター 光計測ソリューションチーム 研究員

1-3 成果概要

各研究機関の成果と今後の課題を以下に記載する。

1-3-1 ICリードフレームの各部高さ計測技術の確立（担当：（独）産業技術総合研究所）

成果として次の①～④を確認した。

① 高さ計測精度

特殊フィルター・デザインの検討を行い、ピクセル精度 $125\mu\text{m}/\text{pixel}$ を実現し、標準偏差 $10\mu\text{m}$ を達成した。

② 高さ異常の判別

高さ異常部の判別プログラムにより変形ピンが検出されることを確認した。

③ 処理速度

並列演算処理を取り入れることにより高さ計測システム単体における1ショット当たりの処理速度 0.35 秒を達成した。

④ 周辺機器との統合による高さ計測システムの完成

搬送装置・統計評価システムとの統合を行い、搬送装置とタイミングを合わせたデータの取り込み、高さ異常判別結果に基づく OK・NG ボックスへの振り分け、およびフレームセット ID 毎の測定結果が CSV ファイルとして統計評価システムへの出力を確認した。

1-3-2 ICリードフレーム表面不具合検出技術の開発（担当：熊本県産業技術センター）

成果として次の①～③を確認した。

① 高解像画像入力システムの構築

本年度は、評価システムの統合の準備実験として、昨年度までに構築した表面側および裏面側の画像入力システムを用い、合計4台のラインセンサーカメラによるリードフレームの両面を同時入力可能とする高解像画像入力システムとして統合した。更に、認識率向上を実現するため、ICリードフレームの加工痕等に見られる正常ではあるが、画像処理によって、めっき処理不具合検出の妨げになるノイズを低減するため、しみ、光沢ムラ検出用カメラの画像入力用としてスポット光を付加し、加工痕の低減を行った。

今後の課題として、ラインセンサーカメラが調整位置からずれる現象が生じ、位置決めが困難となるケースが発生しており、ラインセンサーカメラの固定方法を今後改善する必要がある。

② めっき処理不具合検出用照明技術の構築

本年度は、評価システム統合に際し、搬送装置に組み込んだ状態での光量等のパラメータ調整を行い、欠陥検出のための最適な照明環境構築及び光量設定を行った。

③ 複雑形状におけるめっき不具合検出技術の開発

仮想良品画像を構成するために、あらかじめ設定して製品毎に保存したサンプリング点のデータから、高速にサンプリング点を決定し、スプライン面を構成するシステムを構築した。

今後の課題として、実験データが充分でなく認識率等については今後検証し、最適なパラメータ調整等を行う必要がある。また、処理時間についても、現在は、当初目標の10秒以内を達成しておらず、改善する必要がある。これについては、画像入力装置として、現在使用している32ビットマシンではなく、64ビットマシンを使用することにより、処理の並列化が容易となるので、実用化の際には、64ビットマシンを用いることにより実現可能と考える。

1-3-3 薄板材の非変形搬送方法の開発（担当：熊本防錆工業株式会社、櫻井精技株式会社）

成果として次の①～③を確認した。

① 薄板チャック機構の開発

開発したチャック機構が、平面度0.05mm以内でリードフレームを把持していることを確認した。

② 上下中空搬送ステージの開発

開発した上下中空搬送ステージが真直度±5ミクロン以内で搬送できていることを確認した。

③ 高さ計測、表面不具合検出のカメラ・照明システムの組み込み

薄板材の非変形搬送装置に高さ計測、表面不具合検出のカメラ・照明システムを配置し、高さ計測／表面不具合検出の動作確認を行った。

1-3-4 めっき処理工程の評価技術の開発（担当：熊本防錆工業株式会社、熊本県産業技術センター）

成果として次の①～②を確認した。

① 統計評価システムの構築

本システムにより、めっき処理装置や製品評価装置から各種データを収集し、データベースに蓄積できること、このデータベースを Web 画面から検索することにより、工程改善等の分析評価に必要なデータを CSV ファイルとして出力することができること、及びめっき処理工程の異常を検出するために必要なデータをオンラインで異常検出ソフトに提供できることを確認した。

② オンライン方式によるめっき処理工程異常検出ソフトの開発

本ソフトは主成分分析に基づく多変量統計的工程管理技術（PCA-MSPC）によりデータベースからオンラインで取得した多変量データを主成分分析により低次元の変数に変換し、それらの変数からホテリングの T^2 統計量及び Q 統計量（二乗予測誤差 SPE）という 2 つの統計量に変換し、これらの統計量がそれぞれの管理限界内にあるかどうかを監視すること、及び一定時間毎にデータベースから取得した多変量データのトレンドグラフと T^2 統計量 及び Q 統計量の管理図が表示されることを確認した。

1-3-5 評価システムの統合と評価（担当：熊本防錆工業株式会社、櫻井精技株式会社、（独）産業技術総合研究所、熊本県産業技術センター）

成果として次の①～③を確認した。

① 評価システムの統合による検査装置駆動の確認

搬送装置に高さ計測システム、表裏検査システム、統計評価システムを統合した状態で本システムのローダーからアウトローダーまで自動的に IC リードフレームがトラブル無く搬送できる事を確認し、IC リードフレーム自体に変形等の不具合発生が無いことを確認した。

② 評価システム統合による評価フレームの判定確認

高さ計測システム、表裏検査システム、搬送装置、統計評価システムとの統合を行い、搬送装置と検査した IC リードフレームのタイミングを合わせたデータの取り込みを行い、高さ異常判別結果及び表裏検査異常判別結果に基づいたデータにより評価装置アウトローダーにて良否の判定が行われ良品専用収納 BOX または 不良品専用収納 BOX に収納されることを確認した。

③ 評価結果のデータ出力確認

高さ計測システム、表裏検査システムから得られた IC リードフレームの検査結果 および 搬送装置からのフレームセット ID が統計評価システムへ CSV データとして出力されたことを確認した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

一般財団法人 九州産業技術センター

〒812-0013 福岡市博多区博多駅東二丁目 13 番 24 号

TEL(092)411-7394 FAX(092)472-6688

（経理担当者）技術振興部 次長 濱田和彦 E-mail:k-hama@kitec.or.jp

（業務管理者）技術振興部 部長 徳渕久人 E-mail:tokubuchi@kitec.or.jp

第2章 本論一（1）

2-1 ICリードフレームの各部高さ計測技術の確立

高精度と高スループットを備えたQFNパッケージ用ICリードフレームの高さ計測技術を開発し、計測した高さ情報に関するデータ（3次元座標）を総合評価用パソコンに自動的に送信・処理を行うことにより「微細加工ICリードフレームに対応しためっき処理評価システム」として構築する。

2-2 プロジェクト全体における本研究開発部分の位置付け

本研究開発部分の位置づけは、ICリードフレームのめっき処理工程に於ける高さ方向の変形を検出し、それをめっき処理工程の評価システムへフィードバックすることにより、高精度ICリードフレームの品質安定性と生産性を向上させるものである。

2-3 高度化目標と技術的目標値

2-3-1 照明技術の開発

(1) 高度化目標

高さ計測には産総研のシーズ技術である分光位相差検出法^{(1),(2)*}を用いる。これまで分光位相差法の研究では高さ計測対象のエッジ部分、またはハイライト部分など、対象物の形状に由来する点や線からの光を使って高さ情報を求めていた。そのために、平面上の任意の点に対する高さ情報は得られなかった。

本テーマでは、照明自身に点や線の情報を持ったパターン照明を最適化して用いることにより、対象物の形状に依存せず高密度で高さ情報の取得が可能となる照明を開発する。また、くり抜き部分が多いICリードフレームの特徴を利用した透過光照明の開発も行う。

(2) 技術的目標値

80mm×300mmのQFNパッケージ用ICリードフレームの各部（パッド部、リード部及びフレーム部）全ての高さ計測に適した照明技術を開発する。

2-3-2 高さ情報の高精度取得技術の開発

(1) 高度化目標

分光位相差検出法は、通常撮像系におけるレンズ付近に2つの孔が空いた特殊なフィルターを導入することにより、高さ方向（光軸方向）の情報を横方向（像面方向）の情報に変換するものであり、同一点に対応する像のずれ量から高さを求める方法である。

本テーマでは、従来2孔からなる分光位相差検出法の特殊フィルターを改良し、パターン照明と透過照明に対応したフィルターを開発する。また、像のずれを求める方法として従来は単純に平面上の距離を求めていたのに対し、今回は位相相関を用いる。これによって、従来よりも高精度でロバスト性の高い分光位相差検出法による高さ計測技術を開発する。

(2) 技術的目標値

QFNパッケージICリードフレームの各計測ポイントに対して±50μmの高さ精度で計測する技術を開発する。

2-3-3 撮像及びデータ処理システムの構築

(1) 高度化目標

CMOS イメージセンサ*を用い、1 軸の X ステージと連動させながら高解像画像を取り込むことが可能な画像システムを構築する。そして、照明装置と高さ計測装置と組み合わせて IC リードフレームの各部（パッド部、リード部及びフレーム部）全ての高さ情報の計測が可能となる撮像、およびデータ処理システムを構築する。

(2) 技術的目標値

照明装置、高さ計測装置、搬送装置を組み合わせた撮像、及びデータ処理を IC リードフレーム 1 枚当たり 10 秒以内の速度で実現するシステムを構築する。

2-4 研究方法、条件および装置

2-4-1 分光位相差検出法の原理

分光位相差検出法は位相差検出法*と色情報を組み合わせた方法で、カラー撮像素子の赤・緑・青それぞれの素子により得られる異なる画像の結像位置の違いから対象物の高さを測定することができる技術である。図 2-1 に分光位相差検出法の概略を示す。

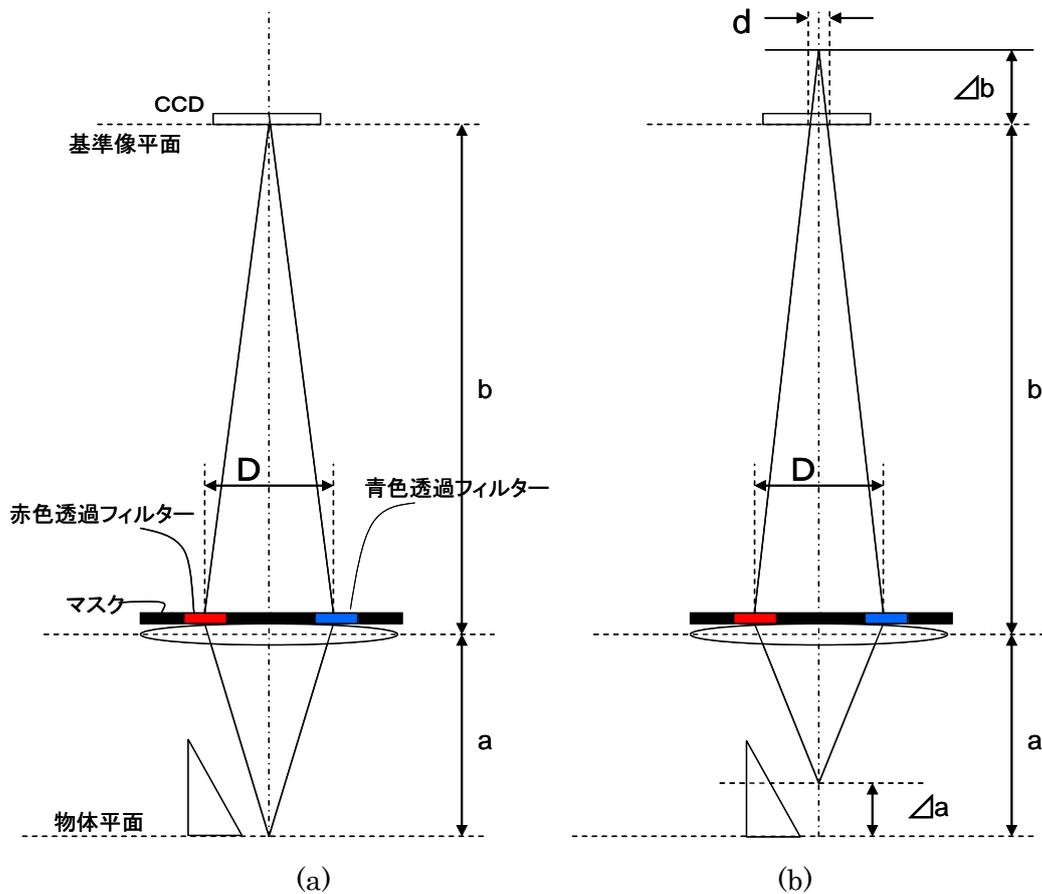


図 2-1 分光位相差検出法による高さ測定の原理

分光位相差検出法の機器構成は図 2-1 に示すように、レンズの直後にフィルター付マスクを配置しただけの簡単な構成である。図 2-1 (a) は物体平面の像を基準像平面上に結像したものである。(レンズの焦点距離を f 、レンズから物体平面までの距離を a 、レンズから基準像平面までの距離を b とする) このような場合、物体平面からの光はそれぞれのフィルターで透過され、基準像平面上に結像することになる。

一方、図 2-1 (b) はそれぞれフィルターを透過した光が基準像平面より Δb だけ離れた位置で合焦した図である。この場合、基準像平面(撮像素子位置)ではそれぞれのフィルターを透過した光は一つの画像にはならず、距離 d だけ離れた色画像が得られる。このような、結像位置からはずれた像は若干のボケが生じるが、本技術では輝度確認ができればよく、およそ焦点深度の 3 倍程度までは測定できる。

図 2-2 はフィルター付マスクの平面図である。マスク自体は遮光性の材料であり、図のように光軸に対し一対の窓を設けフィルターが装着されている。ここでは赤色透過フィルターと青色透過フィルターとし、中心間距離を D とする。

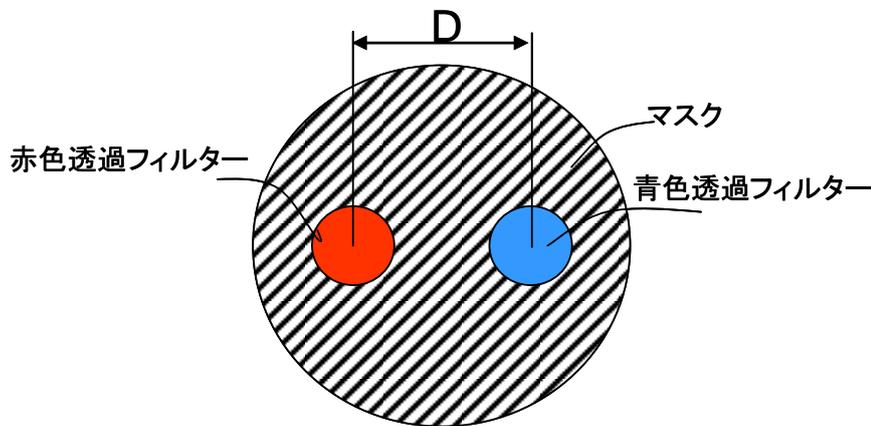


図 2-2 フィルター付マスクの平面図

分光位相差検出法の精度は、レンズの公式を出発点として導いた式 (2.1) による見積もることができる。

$$d = \frac{\Delta b \cdot D}{b + \Delta b} \approx \frac{\left(\frac{b}{a}\right)^2 \Delta a \cdot D}{b + \left(\frac{b}{a}\right)^2 \Delta a} = \frac{b \Delta a \cdot D}{a^2 + b \Delta a} \approx \frac{b}{a^2} \Delta a \cdot D \quad (2.1)$$

式 (2.1) により、距離 d は微小な高さ Δa に比例することが分かる。 d と Δa との比例関係を示す換算係数は a 、 b 、 D の値から概算できるが、実際の計測ではレンズ収差等を含めた光学系全体の校正を行う意味でも校正曲線を実測することによって換算係数を求める。これまでの実績では画像処理によりサブピクセル精度でずれ量を計測することにより、画素精度(高さ/画素)に対し標準偏差 (σ) ののばらつきを概略 1/10 まで抑えることが可能である。

さらに、式 (2.1) を変形すると

$$d \approx \frac{b}{a^2} \Delta a \cdot D = M \frac{\Delta a}{a} D \quad (\because M = \frac{b}{a}) \quad (2.2)$$

$$\therefore \Delta a \approx \frac{d \cdot a}{M \cdot D} \quad (2.3)$$

が得られる。よって測定可能な高さは光学倍率 M やフィルタの間隔 D などによって決まる。

2-4-2 高さ計測システムと周辺機器の統合

搬送装置との統合では、検査用リードフレームを高さ計測システムが撮像するタイミングを搬送装置 PLC から受信し、高さ測定終了を搬送装置へ通知する必要がある。その為、新たに高さ計測システム用の PLC を導入した。高さ計測システム用の PLC と搬送装置 PLC の接続には CC-Link*による接続方式を採用した。高さ計測 PLC と高さ計測 PC は RS232C で接続し、常に高さ計測 PLC を監視することにより測定のタイミングを待つ。

高さ計測システムはエリアセンサを用いているので、搬送装置に測定するリードフレームを撮像位置まで搬送して貰う必要がある。測定位置までリードフレームを搬送して貰い、画像撮像が終わって高さ計測システムでの計算が終わった後、所定のピッチ(搬送装置により設定される)で次の搬送を行なう。予め設定された測定回数分搬送が終われば計測は終了となる。なお、複数回の測定で一箇所でも NG があった場合、そのフレームを NG フレームとみなし、収納時に正常フレームと分別する。

統計評価システムとの統合において、高さ計測システムから統計評価システムに渡すデータは、フレームセット ID 毎に集計されたリードフレームの高さ不良情報である。

フレームセット ID 毎に測定された結果を集計して、所定のフォーマットで CSV ファイルを作成する。作成した CSV ファイルは、イーサネットを経由して自動的に統計評価システムが収集する。収集したデータは統計評価システムで利用される。

2-5 研究結果と研究成果

2-5-1 焦点面からのずれ量と位相差量

図 2-3 に本高さ計測システムにおける、焦点面からのずれ量と分光位相差像の平均ずれ量を示す。変化量が 0.6mm 以下の領域ではレンズの被写界深度の範囲内であるために赤・青像の位相差は生じなかった。0.8~5mm の領域では焦点面からの距離に対し分光像のずれは直線的に増加した。図 2-3 の傾きから、この設定での画素あたりの高さ精度は 125 μ m/pixel である。また、サブピクセル精度での位置検出を行うことにより、標準偏差は 10 μ m へと小さくなり、3 σ でも 30 μ m となり高さ精度の目標 \pm 50 μ m を十分クリアできることを確認した。

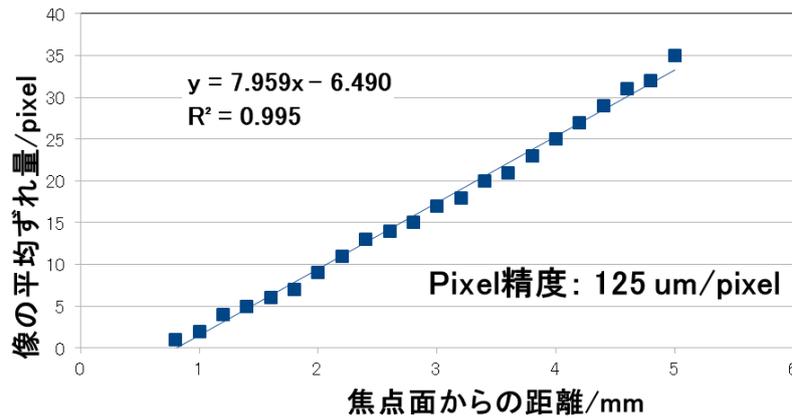


図 2-3 焦点面からのずれ量と分光位相差像の平均ずれ量

2-5-2 高さ異常部の判別

本装置を高さ検査装置として機能させるためには、高さ画像の中から異常がある部分を判別する必要がある。そこで、高さ異常検出のためのプログラムを開発し、故意に変形させたピンの異常検出を確認した。

2-5-3 処理速度の向上

高さ計測システムは撮像した画像をピクセル単位で処理する。画像の解像度は 3488 × 2616 ピクセル、約 900 万画素であり、これを全て処理するために約 900 万回の演算を必要とする。最近の CPU はマルチコア(一つのプロセッサに複数のプロセッサを封入したもの)であり、高さ計測システムに用いている PC の CPU は 4 コア 8 スレッドで、実質 8 つの CPU に相当するスペックを有する。そのマルチコア CPU を有効利用し、演算処理を複数の CPU に分散して処理を行う事で演算速度の向上が可能である。今回用いたのは OpenMP*と言うもので、これにより高さ計測の演算処理が短時間で終わるようになった。具体的には、一回あたりの撮像及び計測処理(以降 1 ショットとする)が、分散処理前は 0.8 秒だったのに対し、処理後は 0.35 秒と、倍程度の改善を達成した。

2-5-4 周辺機器との統合

図 2-4 に高さ計測システムを搬送装置・統計評価システムと統合した全体の統合概念図を示す。高さ計測システムを搬送装置・統計評価システムへ統合し、実際に想定されている形での運転試験を実施した。運転の結果、高さ計測が問題なく行われ、計測結果に応じてワークが OK・NG ボックスに振り分けられることを確認した。また、測定結果がフレームセット ID 毎に CSV ファイルとして出力されることを確認した。

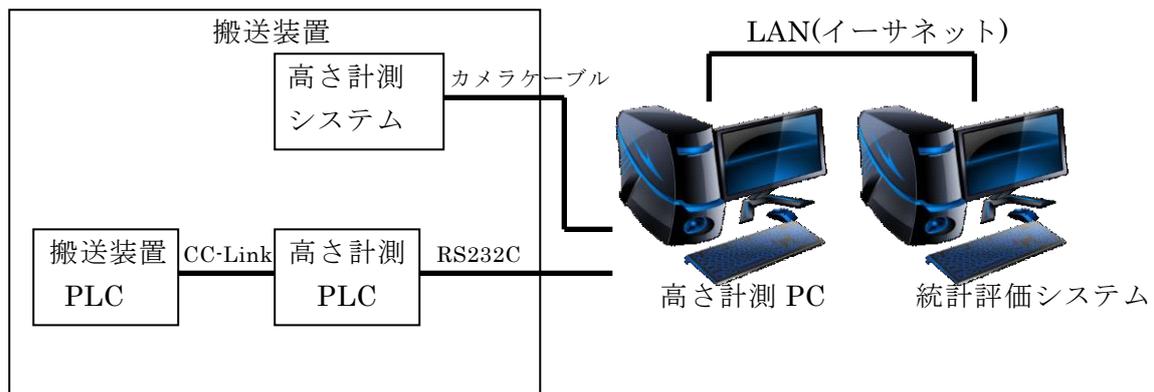


図 2-4 システム全体の統合概念図

2-5-5 研究成果のまとめ

- (1) リードフレームの高さ計測原理の基本に関わる特殊フィルターの検討を行うことにより、ピクセル精度を $161\mu\text{m}/\text{pixel}$ から $125\mu\text{m}/\text{pixel}$ へと約 23% 向上させ、高さ計測精度（標準偏差）を $21\mu\text{m}$ から $10\mu\text{m}$ へと向上させた。これによって、技術目標値としての高さ分解能（ $\pm 50\mu\text{m}$ ）を達成した。
- (2) リードフレームの高さ異常部の判別プログラムを開発し、リードフレーム変形ピンが検出できることを確認した。なお、本開発システムの量産設備への本格的な導入には、高さ異常部の判別における誤検出の課題が一部残っている。今後は、さらに精度の高い異常判別アルゴリズムについて、光学系の改善・改良による計測精度の向上と並行して応用研究を進める。
- (3) 分散演算処理を取り入れることにより、高さ計測システム単体（統合前）における 1 ショット当たりの処理速度を 0.8 秒から 0.35 秒に短縮した。
- (4) 高さ計測システムと搬送装置および統計評価システムとの統合を行い、搬送タイミングを合わせたデータの取り込み、高さ異常判別結果に基づく OK・NG ボックスへの振り分け、および測定結果（フレームセット ID 毎）の統計評価システムへの出力（CSV ファイル）を確認した。これら一連の動作確認によって、本高さ検査システムの実用について基本的な目処を得ることができた。
- (5) 検査速度については、システム全体として運用した場合、現在のところ 40 秒/リードフレームを要している。今後は、本開発システムの量産現場適用に向けて、当初目標の 10 秒/リードフレームの達成と、上記誤検出の改善など、応用研究に取り組む。

2-6 参考文献

- (1) 坂井一文 高さを測定する方法及び高さ測定装置 特開 2010-38788
- (2) 坂井一文、蒲原敏浩、野中一洋 分光位相差検出法による高さ測定 高精度・高スループット 2D-3D インспекション技術マニュアル, 第 3 章 (2010)

分光位相差検出法

H20 年度～H21 年度に実施した九州産業技術イノベーション創出共同体形成事業・研究開発環境支援事業（経済産業省）の「高精度・高スループット 2D-3D インスペクション技術の開発」において確立された技術。

CMOS イメージセンサ

CMOS（相補性金属酸化膜半導体）を用いた固体撮像素子。CCD イメージセンサと同様に、フォトダイオード(PD)を使用するが、製造プロセスと信号の読み出し方法が異なる

位相差検出法

一眼レフカメラで広く使われているオートフォーカス（AF）の仕組みで、レンズを通して入力される被写体の画像情報から、センサ内のセパレータレンズで2つの像を生成し、その像間隔をラインセンサで計測して、ピントのずれ（位相差）の量を検出する。

CC-Link

詳細については CC-Link 協会の Web ページを参照の事。

<http://www.cc-link.org/jp/index.html>

OpenMP

今回は、Microsoft Visual Studio 2010 で C++を用いてソフトウェアの開発を行った。Microsoft Visual Studio 2010 の C++では標準で OpenMP 2.0 をサポートしている。

第3章 本論一（2）

3-1 IC リードフレーム表面不具合検出技術の開発

QFN パッケージ用の IC リードフレームは、パターン形状が複雑で 1 枚あたりのパターン数が多いのが特徴であるが、現在の外観検査装置等の評価ではこのような複雑形状のリードフレームにおいて、しみ、光沢ムラなどの濃淡が薄い不具合を検出することは難しい。本研究テーマでは QFN パッケージ用の IC リードフレームに生じる不具合検出技術の開発を行う。

3-2 プロジェクト全体における本技術の位置付け

本研究テーマでは、特に、しみ、光沢ムラ等の検出を行うことにより、めっき処理過程での不具合を検出し、工程監視制御への不具合データ送信を行うことで高精度の IC リードフレームの製造を実現する。

3-3 高度化目標と技術的目標値

3-3-1 高解像画像入力システムの構築

QFN パッケージ用 IC リードフレームに対応するため、10cm の幅を 1 画素当たり $13\mu\text{m}$ 程度の解像度が実現可能なラインセンサーカメラ⁽¹⁾を用いた高速画像入力システムを構築する。

3-3-2 めっき処理不具合検出用照明技術の構築

QFN パッケージ用 IC リードフレームのめっき処理不具合検出に有効な照明技術の開発を行う。しみ、光沢ムラ等の色の薄い不具合検出、めっき部の検出及びリード曲がり検出を効率的に行う画像データ取得のため、照明方法及び角度の最適化を行う。また、照明色を検討し、効果的で短時間の画像取り込みが可能な照明技術を構築することを目標とする。

3-3-3 複雑形状におけるめっき不具合検出技術の開発

パッケージ用 IC リードフレーム表面のパッド部及びフレーム部におけるしみ・光沢ムラ等のめっき処理不具合とリード曲がり、そして、裏面における同様の不具合に有効な画像処理を用いた検出技術の開発を行うことを目標とする。

3-4 研究方法、条件および装置

3-4-1 高解像画像入力システムの構築

QFN パッケージ用 IC リードフレームの微細欠陥検出のため、高解像画像が入力可能なラインセンサーカメラを用いる。しかし、ラインセンサーカメラは、1 回の画像取り込みでは、1 ラインの画像しか取りこむことができないため、X ステージと組み合わせた高解像画像入力システムの構築を行った(図 3-1)。

3-4-2 めっき処理不具合検出用照明技術の構築

フレーム全体のしみ、光沢ムラ及び異物等のフレーム全体における表面上の欠陥に対しては、ラインセンサーカメラに対応したライン照明により上方から照射し(疑似同軸落射照明)、めっき部の不良検出については、ライン状の集光照明を用いて、ラインセンサーカメラの画像取り込みラインに平行に前方及び後方から45度の角度で照射するようにした。いずれも青色LEDを用いた。

3-4-3 複雑形状におけるめっき不具合検出技術の開発

QFN用ICリードフレームのしみ、光沢ムラの欠陥検査を行う手法として、通常用いられる良品サンプル画像との濃度差分ではなく、スプライン関数⁽²⁾⁽³⁾により構成される仮想良品画像との差分を行う方法を用いる⁽⁴⁾。本手法では、欠陥部の大きな濃度変化に注目し、また、スプライン関数の補間機能を用いて、検査対象毎に仮想の良品画像を生成し、その仮想良品画像と検査対象画像との濃度差分により欠陥検出を行う。なお、この手法は、濃度が同レベルの平坦な画像を対象としているため、本研究においては、フレーム部とめっきが施されているパッド部を分けて、仮想良品画像となるスプライン面を構成する。そのために、それぞれのエリアに対応するマスクを設定し、このマスク上のエリアからサンプリングを行い、仮想良品画像となるスプライン面を構成する。そして、あらかじめ登録した良品サンプル画像を基に、スプライン面の型抜きを行い、仮想良品画像を構成する。図3-2にマスクの例、そして、図3-3に処理フローを示す。この仮想良品画像により、しみ・光沢ムラの検出及び水平方向の変形検出が可能である。

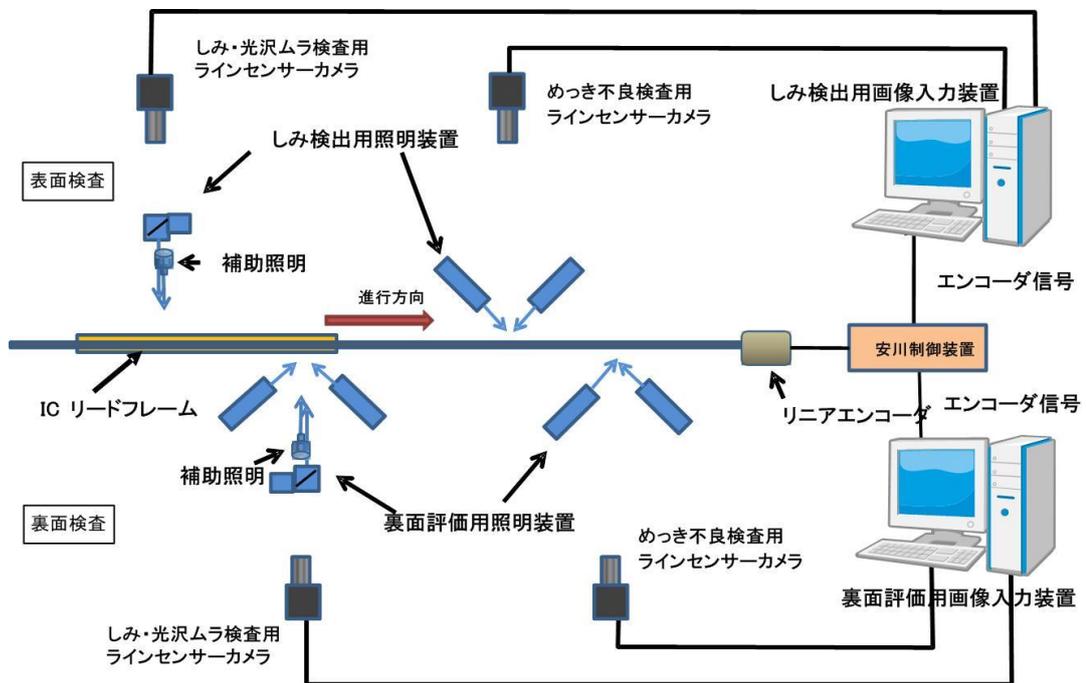
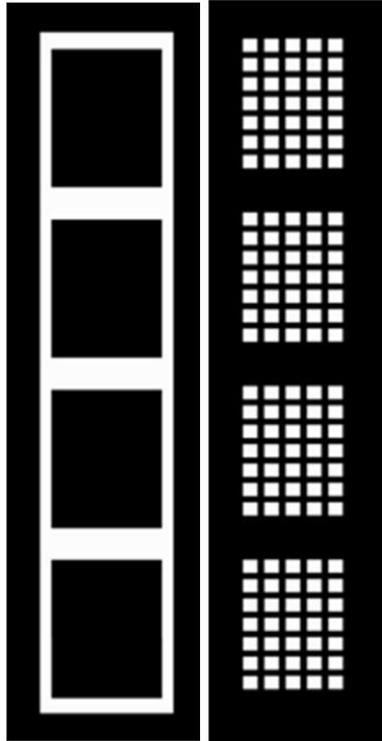


図 3-1 高解像画像入力システム

一方、めっき不良に関しては、斜光照明によりめっき部が強調されるので、通常用いられる登録した良品画像との濃度差分で検出を行う。



(a) フレーム部用マスク (b) パッド部用マスク

図 3-2 マスクの例

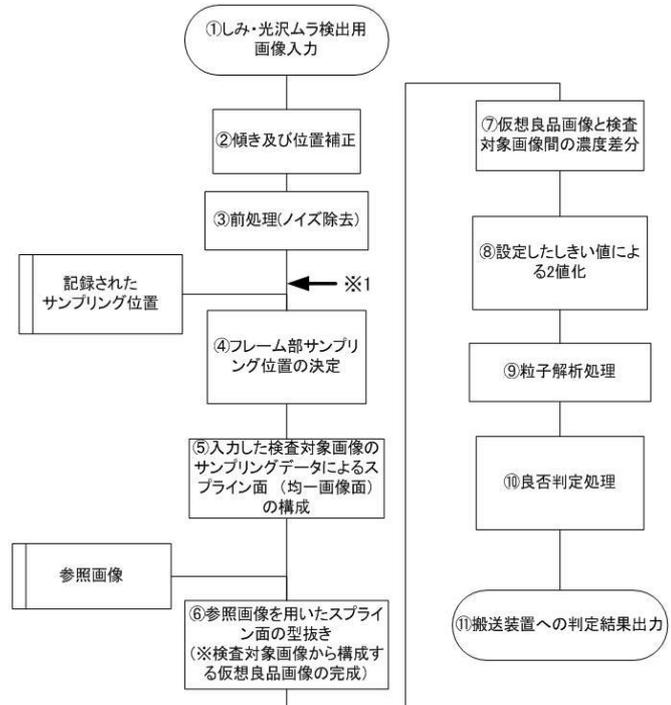


図 3-3 しみ、光沢ムラ検査処理フロー

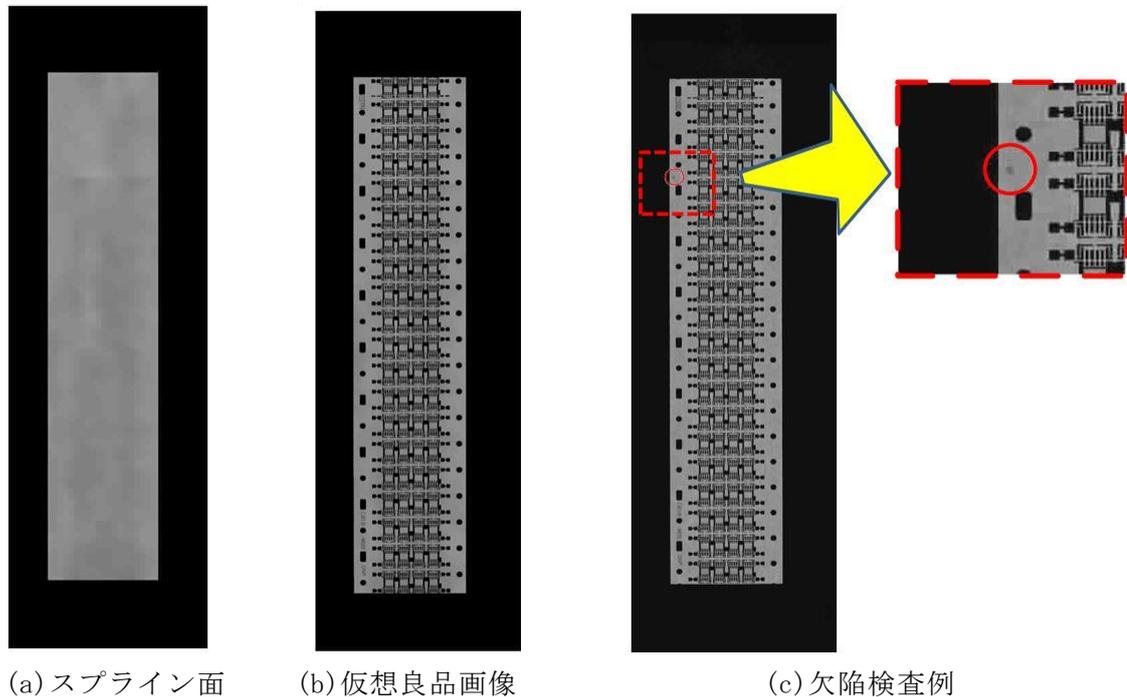


図 3-4 欠陥検査例

図 3-4 に欠陥検出例を示す。裏面の画像であり、マスクは 1 枚で行っている。

図 3-4(a) が検査対象画像のサンプリングデータから構成したスプライン面であり、図 3-4(b) は、スプライン面を参照画像から型抜きして作成した仮想良品画像である。そして、図 3-4(c) に、この仮想良品画像を元に欠陥検出を行った例を示す。

処理時間について、およその処理時間は、画像入力開始から 14 秒程度で処理可能である。この処理時間は、画像の濃度変化の多さに応じて変化する。

今回の研究において、QFN 用 IC リードフレームのしみ、光沢ムラ検出及びめっき不良に関する表面不具合検出システムの構築を行った。認識率については、十分な実験データがないが、90%程度が見込まれる。また、処理時間についてもおよそ 14 秒程度で検査可能である。実用面での評価は今後の検証が必要であるが、本研究において、しみ、光沢ムラ及びめっき不良に関する欠陥検出技術を構築することができた。

3-6 研究開発後の課題

今後の課題について、以下に述べる。

(1) GUI の改善

表面不具合検出するためのシステムを構築することはできたが、図 3-2 に示した検査のためのマスク画像は、現状では、画像解析ソフトを用いて手作業で作成しているため、少なくとも半自動で作成できるようにする必要がある。

(2) 認識率の検証

表面不具合検出技術は構築したが、検証作業は充分とは言えない。今後は、様々なリードフレームを流し、検査員の方の協力を得て十分な検証を行い、パラメータ等の更なる最適化等により認識率の向上を行う必要がある。

(3) カメラ固定方法の検討

ラインセンサーカメラは、照明箇所との位置合わせが重要であるため、現在、位置及び角度調整機能付きの固定治具を用いているが、使用を繰り返す内に上下方向の位置ずれが生じている。縦方向 13,000 画素に対し数画素ではあるが、精密な位置あわせを行っているため、ラインセンサーカメラの固定方法を改善する必要がある。

(4) 処理時間の改善

現在、目標の 10 秒に達していないが、実用化の際には、64 ビットマシンを使い、処理の並列化を行うことにより改善できると考える。その理由として、現状用いている 32 ビットマシンは、利用できるメモリ領域が 4GB に制限され、システム等が使う領域を差し引くと、実際に利用できるメモリは 3GB 程度となってしまふ。しかし、今回使用する画像は、解像度を上げるため、1 枚の画像で 115MB 程度必要であり、参照画像の保存や画像取り込みのためのメモリ領域確保等を考えた場合並列化が厳しい状態である。そのため、実用化の際に 64 ビットマシンを用いることにより、並列化が可能となり、目標とする 10 秒以内の検査も実現できると考える。

※本事業が始まる頃は、64 ビットマシンに対するソフトウェアが整っておらず、32 ビットマシンにせざるを得なかったが、実用化の際には、64 ビットマシンを用いることにより、処理時間の改善が期待できる。

3-7 参考文献

- (1) (社)精密工学会画像応用技術専門委員会編：「画像処理応用システム」，東京電機大学出版局(2000)
- (2) 菅野敬祐・吉村和美・高山文雄(桜井明 監修)：「C によるスプライン関数」，東京電機大学出版局(1993)
- (3) 桜井明：「スプライン関数入門」，東京電機大学出版局(1981)
- (4) 重森清史・菊野敏博・井上高宏：「スプライン関数を用いた IC リードフレームの低コントラスト欠陥検査方法の提案」，電気学会論文誌 C, Vol. 130, No. 9, pp. 1546-1553(2010)

関連用語の解説

スプライン関数

「スプライン」という言葉は、製図のとき滑らかな曲線を描く道具(自在定規)を意味している。スプライン関数で曲線を当てはめることは雲形定規や自在定規によって曲線を描くかわりに数式的に行っていることに当たる。スプライン関数は、サンプリングされたデータ点から、計算により曲線や曲面を当てはめるものである。

リーゼンフェルトスプライン

通常のスプライン曲線は、与えられたデータ点を補間するものであるが、リーゼンフェルトスプラインでは、データ点を制御点として働くスプラインであり、他のスプラインと異なり、連立方程式を解く必要がないという特徴がある。

第4章 本論一（3）

4-1 薄板材の非変形搬送方法の開発

本プロジェクトでは微細加工 IC リードフレームの変形計測技術と表面不具合検出技術を開発し、高精度 IC リードフレームに対応しためっき処理システムへの統合を目標とする。

本論において、高さ計測技術と表面不具合検出技術を正確に実施できるための機構である IC リードフレーム等の薄板材の非変形搬送法を開発する。

4-2 プロジェクト全体における本研究開発部分の位置付け

本プロジェクトの目標である微細加工 IC リードフレームに対応しためっき処理システムへの統合を達成するために、次の4つの課題に取り組み、最終的に統合と評価のシステム化を行う計画である。

- ① IC リードフレームの各部高さ計測技術の確立
- ② IC リードフレーム表面不具合検出技術の開発
- ③ 薄板材の非変形搬送法の開発
- ④ めっき処理工程の評価技術の開発

課題①、②では IC リードフレームの高さ計測と表面不具合検出を正確に実施するためには、リードフレームを平面形状に確実に保持することが要求され、またリードフレーム両面の検査が必要なためカメラ・照明を配置できる装置を具備する必要がある。このため、固定テーブルにリードフレームを移載して検査処理を行うことは不可である。また、インラインでの検査・評価装置とするため、所定の搬送面に沿って滑らかに搬送できる信頼性の高い薄板材の搬送方法および装置を開発する必要がある。課題③はこの目的で取組むものであり、本プロジェクトで目指す高精度なめっき処理システムの実現とその性能に大きく影響する重要な研究開発である。

注) 本プロジェクトでの直接のターゲットは IC リードフレームであるが、本論で開発する技術は単に IC リードフレームに限らず液晶表示パネルやプラズマディスプレイパネルなど大型で薄いガラス基板のような薄板状材料の搬送等にも適用が期待されるため、以降、対象を薄板材として表現することとする。

4-3 高度化目標と技術的目標値

薄板材を全面において可能な限り平面に近い形状に保持して搬送でき、かつ薄板材の高さ計測と表面不具合検出を可能ならしめる技術と装置の研究開発課題を以下のように設定する。

まず本研究開発の課題を達成すべく、次の二つの小課題を設定する。

- 薄板材を変形させずに把持する方法の確立
- カメラ・照明を配置できる高精度中空搬送ステージ技術の確立

薄板材の非変形搬送装置の全体図を図 4-1 に示す。

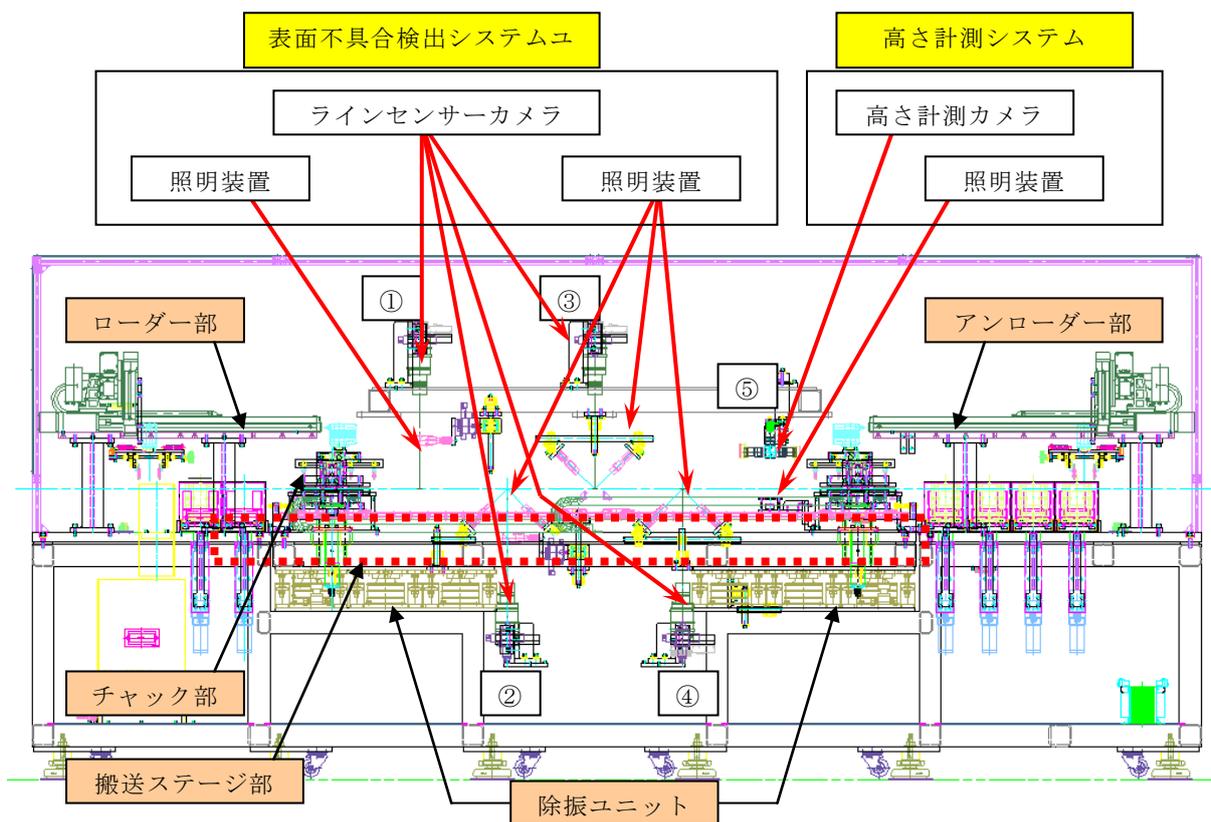


図 4-1 薄板材の非変形搬送装置の全体図

4-3-1 薄板チャック機構の開発と検証

(1) 高度化目標

金属製薄板材を中央部分がたわまず、全体が変形しないチャック方式の研究開発を行う。

実験用のチャック機構を製作しデータ収集と改善・改良を行う。

(2) 技術的目標値

厚さ 0.1mm~0.3mm で幅 25mm~80mm の金属製薄板材を上下方向両面から照明を当てられる状態で、0.05mm 以内の平坦度で把持出来るチャック機構を開発、検証する。

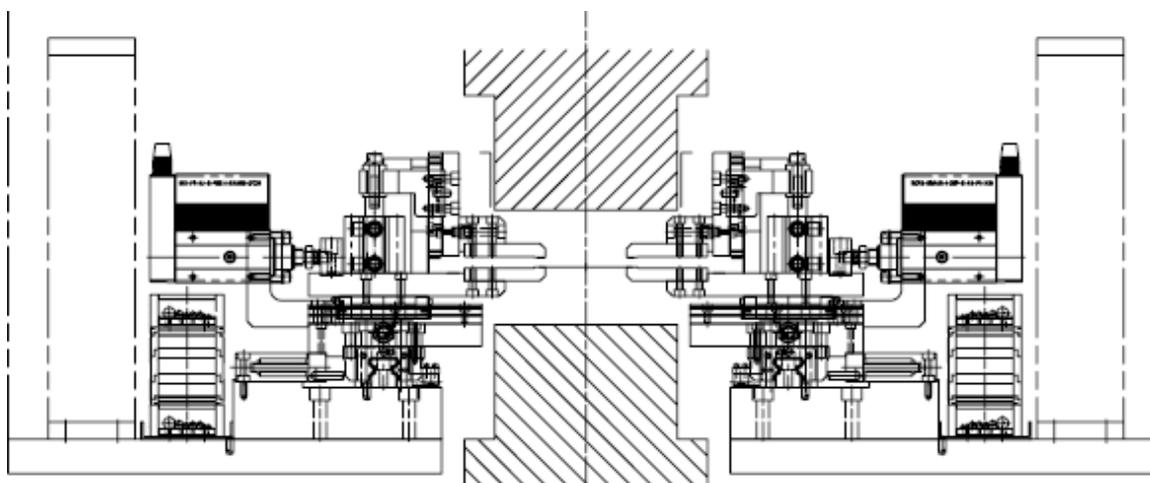


図 4-2 チャック機構図

4-3-2 上下中空搬送ステージの開発と検証

(1) 高度化目標

上下両方にカメラ・照明が配置できる搬送ステージを開発する。4-3-1 で装置開発するチャック機構と組み合わせて、画像取り込みステージとして完成させる。

(2) 技術的目標値

ワークの上下方向両面に機構部を持たず、1500mm のストロークを左右真直度 $\pm 5\mu\text{m}$ 、上下真直度 $\pm 5\mu\text{m}$ で最高速 800mm/sec で移動できる搬送ステージを開発、検証する。

図 4-3 に開発する薄板材の非変形搬送装置の仕様を描く。

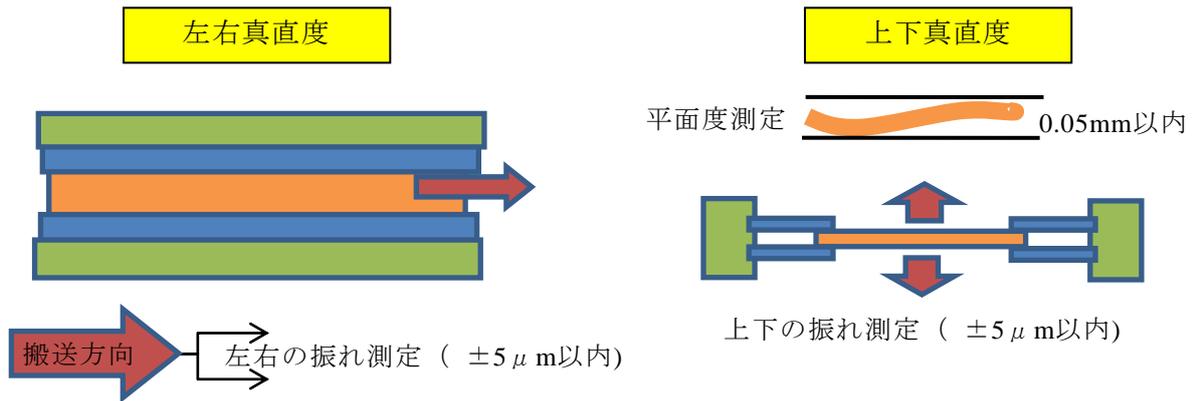


図 4-3 薄板材の非変形搬送装置の仕様

4-4 研究方法、条件および装置

4-4-1 薄板チャック機構の開発

3次元メッキに対応する金属製薄板材を、積み重なっている状態から、検査用上下中空搬送ステージへ移載するチャック機構を開発する。中央部分がたわまず、全体が変形しないチャックの方法を設計製作し、実際に動作と実験を行って技術を確立する。また、実用上全ての機械要素は他品種に対応する必要がある。

ターゲットとなる微細加工 IC リードフレームを数種類に絞り、これに対するチャック機構の方式を考案して実験用装置を設計製作し、最終年度までに全ての IC リードフレームに対応できるよう基本的な機能の検証と基礎データの収集を行い、改善・改良の方向性を探る。

4-4-2 上下中空搬送ステージの開発

本研究開発で実現を目指す3次元メッキの検査・評価のためには、検査対象である金属製薄板材を上下両方からカメラで検査することが可能で、さらに検査位置で重力や把持機構で歪んだり撓まないようにする必要がある。したがって、検査位置では空中に浮かんだ状態で、ゆがみ・たわみの発生しない搬送方法の技術開発が要求される。

そこで、薄板材を幅方向の両端から挟み込むように把持し、移動機構が上下に位置せず、上下両方にカメラ・照明が配置できる搬送ステージを開発する。また、様々な種類の微細加工 IC リードフレームに対応出来るように、把持位置を可変できるような仕組みも必要である。

ターゲットとなる微細加工 IC リードフレームを数種類に絞り、上限中空ステージの

方式を考案して実験用装置を設計製作する。その後、4-4-1 で研究開発するチャック機構と組み合わせて、実験用画像取り込みステージ検証を行う。

4-5 研究結果と研究成果

4-5-1 薄板チャック機構の開発

製作したチャック機構で IC リードフレームを保持して、両側から挟んで引っ張った状態で搬送を行い、0.05mm 以内の平面度で把持出来ているか検証した。

図 4-4 に設計製作した薄板用チャック機構の写真を示す。この機構でリードフレームを両側から挟み外側へ引っ張りながら搬送する。

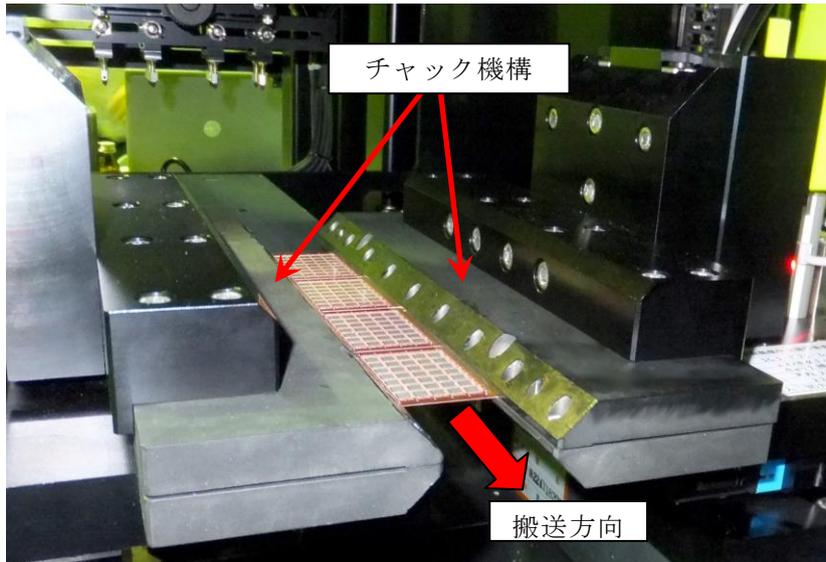


図 4-4 チャック機構による搬送写真

チャック機構によるリードフレーム把持時の平面度を測定した結果、平面度 0.05mm (50 μm) 以内であることを確認した(図 4-5)。

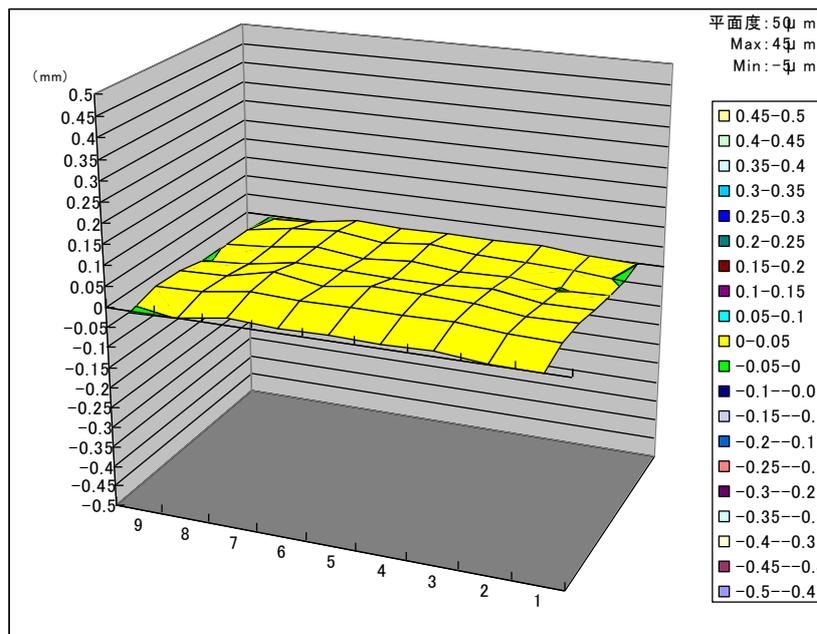


図 4-5 リードフレーム平面度測定結果

4-5-2 上下中空搬送ステージの開発

製作した上下中空搬送ステージが、1500mm のストロークを左右真直度 ±5 μm、上下真

直度 $\pm 5\mu\text{m}$ でICリードフレームを搬送出来ているか検証した。

設計製作した上下中空搬送ステージの機構図（図 4-6）と写真（図 4-7）を示す。

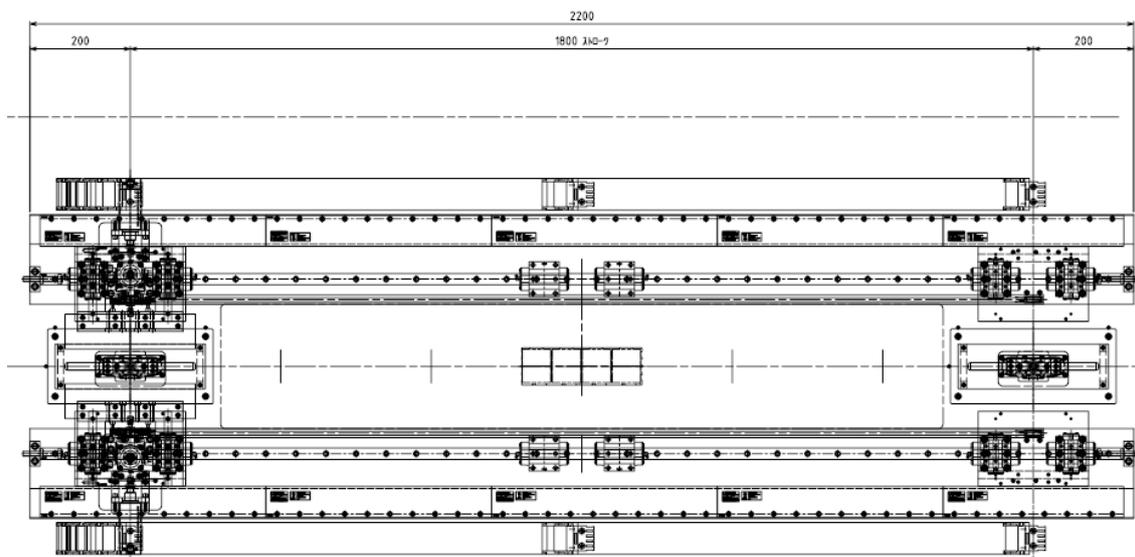


図 4-6 上下中空搬送ステージの機構図

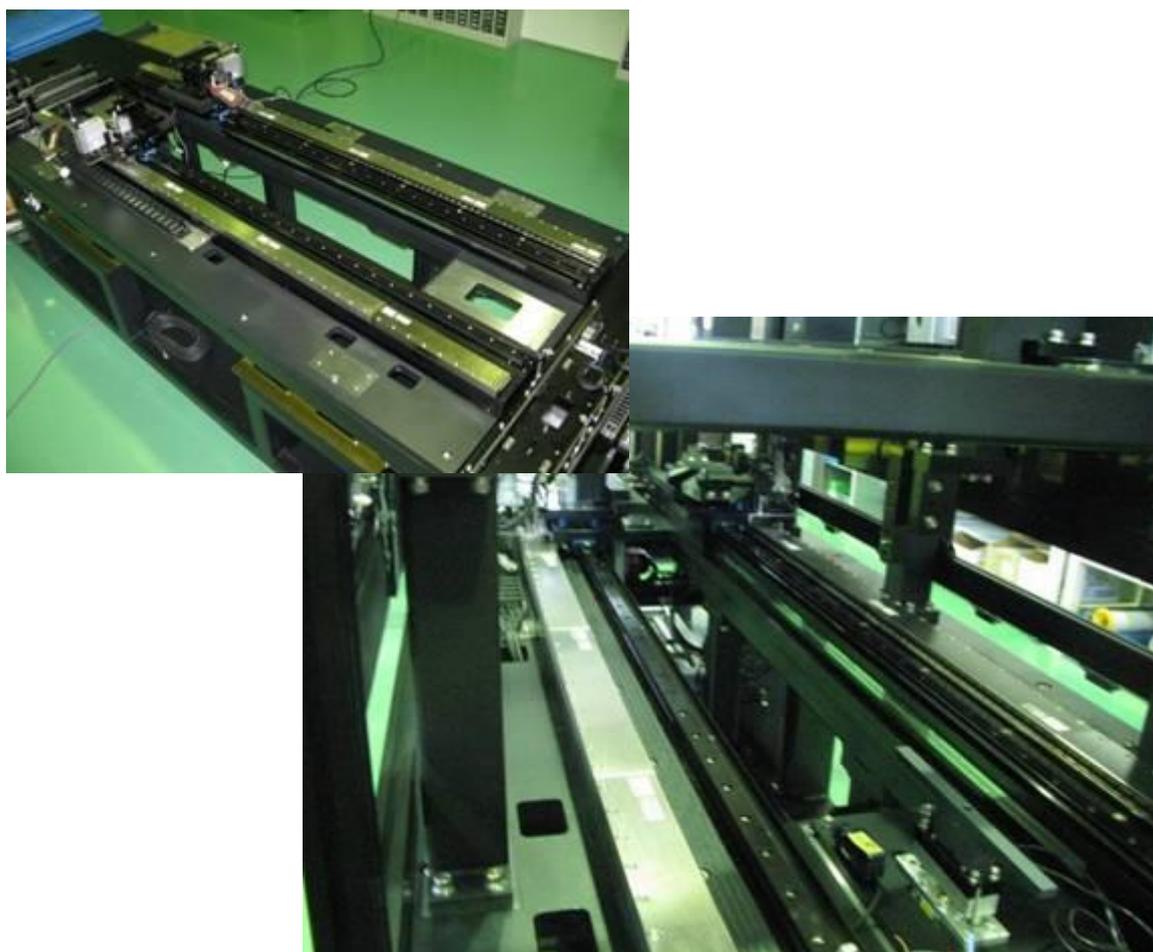


図 4-7 上下中空搬送ステージの写真

(1) 静的なステージ真直度測定

測定結果を表 4-1 に示す。撮像に必要なストローク 300mm あたりの真直度は、目標値±5 μm (P-P 10 μm) に対し、十分小さいことを確認した。

表 4-1 静的ステージ真直度測定結果表
(μm)

	全 1500mm ストローク	300mm ストローク
左右真直度	3	3
上下真直度	40	1

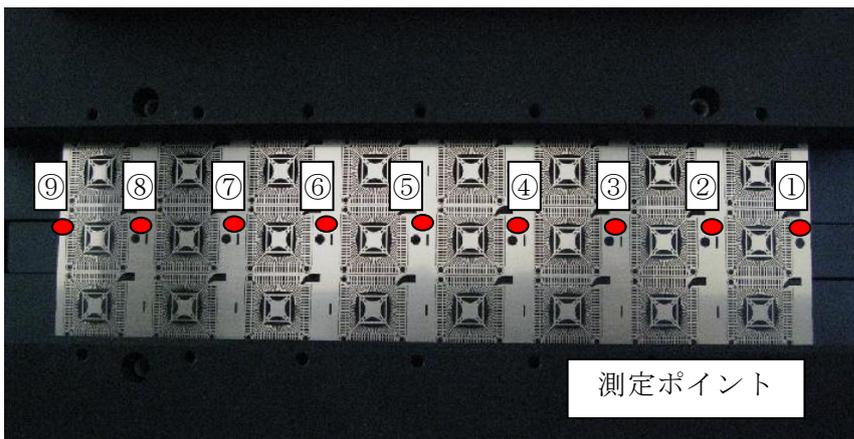
表 4-2 搬送時の左右真直度 (振れ) 測定結果
(μm)

ワーク	搬送速度		
	400mm/s	600mm/s	800mm/s
A	1	3	2
B	3	2	3
C	1	1	0
D	0	3	3
E	2	1	2
F	2	2	1
G	1	1	0
H	-	-	-
I	2	1	1
最大値	3	3	3

(2) 搬送時の真直度測定

搬送時の左右真直度 (左右の振れ) の測定結果を表 4-2 に示す。結果、目標値±5 μm (P-P 10 μm) に対し、十分小さいことを確認した。また、搬送時の上下真直度 (上下の振れ) の測定結果を表 4-3 に示す。結果、目標値 10 μm をクリアしていることを確認した。

表 4-3 搬送時の上下真直度 (振れ) 測定結果



(搬送速度 400mm/sec)

(mm)

測定 ポイント	測定値
①	0.002
②	0.002
③	0.002
④	0.002
⑤	0.002
⑥	0.002
⑦	0.002
⑧	0.001
⑨	0.001

4-5-3 高さ計測、表面不具合検出のカメラ・照明システムの組み込み

薄板材の非変形搬送装置に高さ計測、表面不具合検出のカメラ・照明システムを配置し、高さ計測動作・表面不具合検出の動作確認を行った。図 4-8 に表面不具合検出システムの配置を示す。

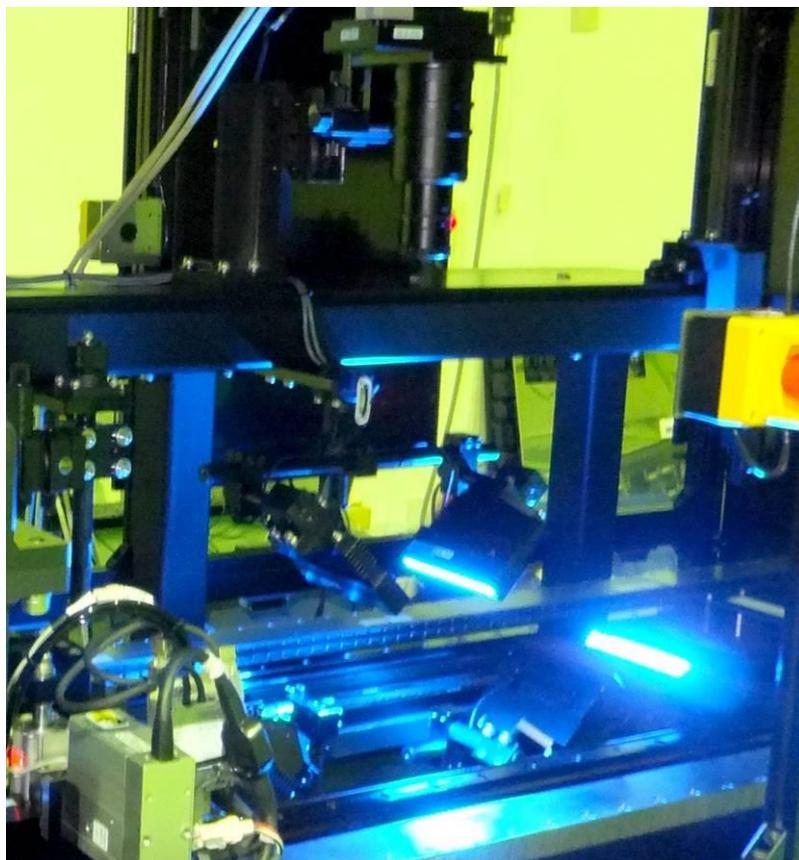


図 4-8 表面不具合検出システムの配置

4-6 装置全景

製作した薄板材の非変形搬送装置の全体写真を図 4-9 ～10 に示す。また、図 4-11 ～13 に各部の写真を示す。



図 4-9 装置の全体写真



図 4-10 装置の全体写真(カバー解放状態)



図 4-11 供給部 (ローダー部)



図 4-12 収納部 (アンローダー部)



図 4-13 装置下部 (電装部)

4-7 コントロールパネル

非変形搬送装置のコントロールパネル（タッチパネル）の画面の表示例を図 4-14～16 に示す。



図 4-14 コントロール画面 1



図 4-15 コントロール画面 2

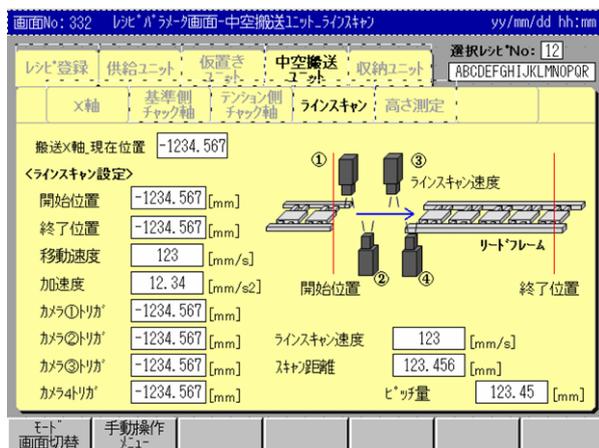


図 4-16 コントロール画面 3

4-8 参考文献

開発した薄板チャック機構および上下中空搬送ステージは全く独自のものであり、モータ等の購入した機構のカタログ以外は、設計思想、設計図、製作方法などに関し参考とした文献はない。

第5章 本論一（4）

5-1 めっき処理工程の評価技術の開発

本開発の目的は、「ICリードフレームの各部高さ計測技術の確立」及び「ICリードフレーム表面不具合検出技術の開発」の成果であるめっき表面評価技術によって得られる製品評価結果を実際のめっき製造工程にフィードバックすることにより、高精度のめっきに適合した管理システムを構築することである。本開発では、製造工程データ及び製品評価データを収集・蓄積しめっき製造工程の状態を評価することができる「統計評価システム」を構築するとともに、高精度めっき処理のための「工程管理手法」について検討する。本開発には、半導体製造工程において使用されている AEC/APC 技術を応用し、得られたデータに対して多変量統計的工程管理手法等を用いて処理することによりめっき処理工程での異常発生を検出し異常の発生原因や発生箇所を特定するシステムを開発する。

【AEC/APC】AEC:Advanced Equipment control（先進的装置制御）、APC:Advanced Process Control（先進的プロセス制御）。

5-2 プロジェクト全体における本研究開発部分の位置付け

本研究開発部分は、「ICリードフレームの各部高さ計測技術の確立」及び「ICリードフレーム表面不具合検出技術の開発」部分における開発の成果を実際の IC リードフレームのめっき処理工程に反映させる役割を担う。それにより、めっき処理装置及びめっきプロセス処理の問題点を解決することが容易になり、高精度 IC リードフレームの品質の安定化と生産効率の向上が期待できる。

5-3 高度化目標と技術的目標値

5-3-1 統計評価システムの構築

<高度化目標>

「ICリードフレームの各部高さ計測技術の確立」及び「ICリードフレーム表面不具合検出技術の開発」より抽出された評価データ及び製造ラインからのプロセスデータをめっきラインの問題点解決に利用するため統計データ処理システム（統計評価システム）を構築する。

<技術的目標値>

IC リードフレームの立体的および平面的な加工状態を認識させ、標準品との比較または数値的に不具合判定を行ったデータや撮像（統計的データ）をめっき技術向上に反映させるためのソフトを構築する。

5-3-2 評価データによるめっき技術の構築

<高度化目標>

半導体製造工程で注目されている AEC/APC 技術によってめっき装置及びめっきプロセスの問題点を解決することで、パターンの高密度化及び大型化する IC リードフレームの品質安定と生産効率の向上に対応した高精度めっき技術を構築する。

<技術的目標値>

5-3-1 にて判定された統計的データを AEC/APC 技術を用いてめっき装置・めっきプロセスへの品質向上のためのアクションとする。高精度めっきに適合した管理システムの構築をおこなう。

5-4. 研究方法、条件および装置

5-4-1 統計評価システムの構築

1年目はめっき製造工程データを収集する部分を構築した。2年目にめっき処理装置や製品評価装置等から LAN を介してリアルタイムに製造工程データ及び製品評価データ等を取得し、Web 画面からデータの検索等が行えるように統計評価システムを改造した。3年目はめっき液流量データの収集、めっき処理装置で発生する工程警報データの収集、及び、フレームセット（統計評価システム内の製品管理単位：約 50 枚）としてケースに収納する IC リードフレーム枚数の自動計数等が行えるように統計評価システムを改造した。

5-4-2 評価データによるめっき技術の構築

1年目に高精度めっき処理のための工程管理手法として AEC/APC 技術の中の FDC（異常の検出と分類）で用いられる主成分分析に基づく多変量統計的工程管理技術（PCA-MSPC）¹⁾²⁾³⁾について基礎的な検討を行い、工学技術計算ソフト Mathcad⁴⁾上で PCA-MSPC 計算プログラムを試作し、PCA-MSPC を用いた異常検出方法の計算手順を確認するためのシミュレーション実験を行った。2年目は試作したプログラムを用いて、実際の工程から得られたデータに対して PCA-MSPC を適用しめっき処理工程の異常を検出できるかどうか検討した。3年目は統計評価システムからオンラインでデータを取得し、PCA-MSPC によりめっき処理工程の異常を工程管理図上で自動検出することができるオンライン方式の異常検出ソフトを開発した。

【PCA-MSPC】 Principal Components Analysis - Multivariate Statistical Process Control（主成分分析に基づく多変量統計的工程管理）

【FDC】 Fault Detection and Classification（異常の検出と分類）

5-5 研究結果と研究成果

5-5-1 統計評価システムの構築

図 5-1 に構築した統計評価システムの概要を示す。本システムは、めっき処理装置や製品評価装置から各種のデータを収集し、データベースに蓄積する。また、このデータベースを Web 画面から検索することにより、工程改善等の分析評価に必要なデータを CSV ファイルとして出力することができる。さらに、めっき処理工程の異常を検出するために必要なデータをオンラインで異常検出ソフトに提供することができる。

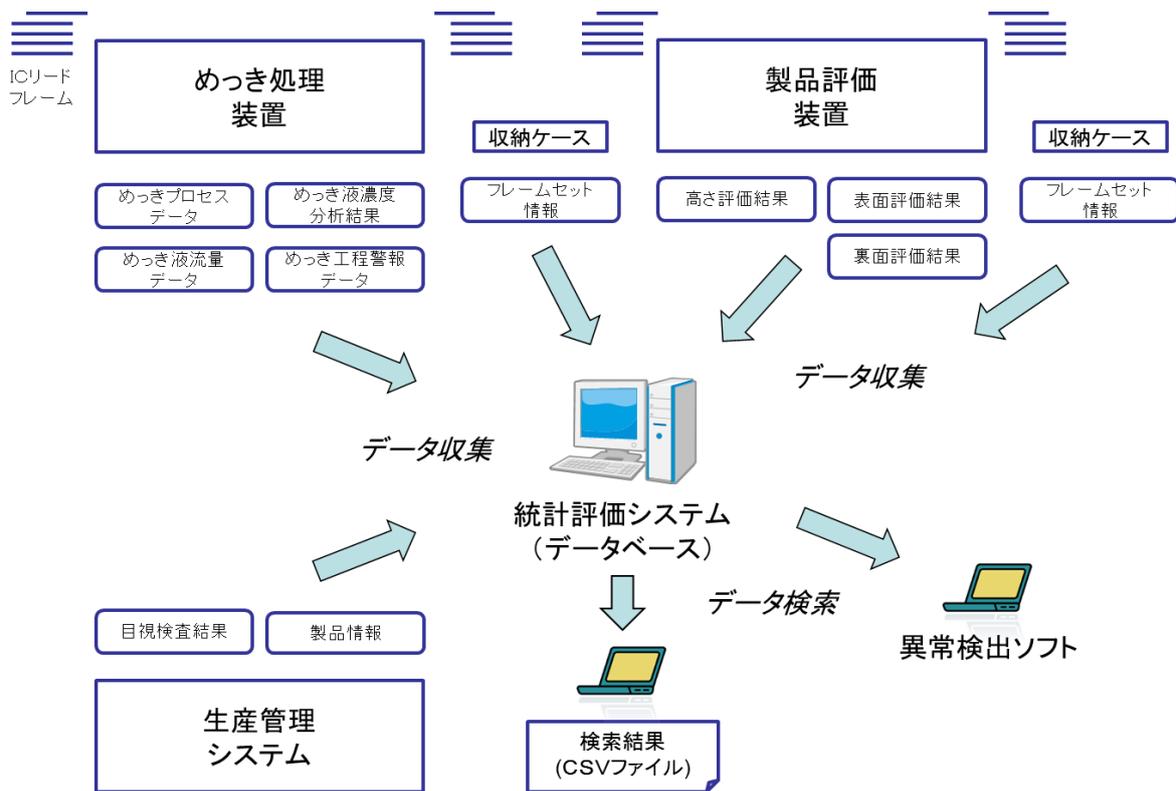


図 5-1 統計評価システムの概要

5-5-2 評価データによるめっき技術の構築

5-5-2-1 オンライン方式によるめっき処理工程異常検出ソフトの開発

本ソフトは、主成分分析に基づく多変量統計的工程管理技術(PCA-MSPC)により、データベースからオンラインで取得した多変量データを主成分分析により低次元の変数に変換し、さらにそれらの変数から T^2 (ホテリングの T^2 統計量) 及び Q (Q 統計量 (二乗予測誤差 SPE)) という 2 つの統計量に変換し、これら 2 つの統計量がそれぞれの管理限界内にあるかどうかを監視する。管理限界値は、正常動作時のデータからオフライン処理により求める。

図 5-2 に開発したオンライン方式の異常検出ソフトの構成を示す。本ソフトは、統計処理用のフリーソフトである R⁵⁾ 及び R Studio⁶⁾ を用いて実装した。図 5-3 に本ソフトのデモ動作画面を示す。本ソフトは、一定時間毎にデータベースから取得した多変量データのトレンドグラフと T^2 統計量及び Q 統計量の管理図を表示する。

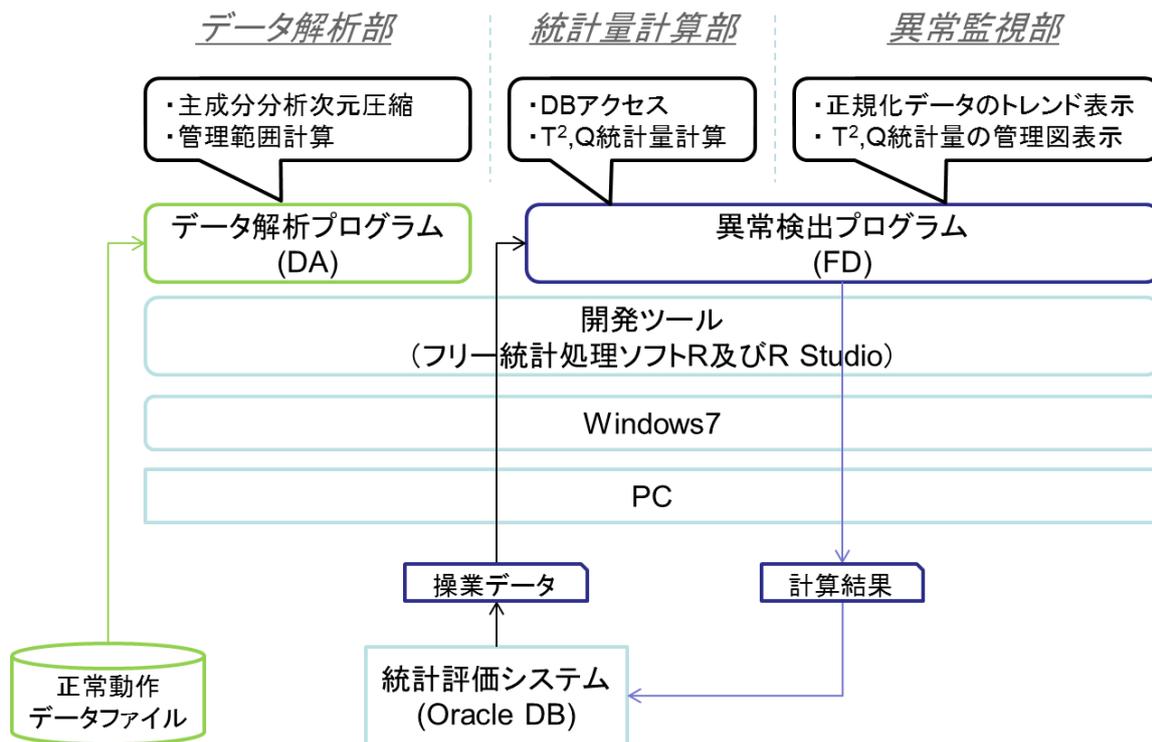


図 5-2 異常検出ソフトの構成

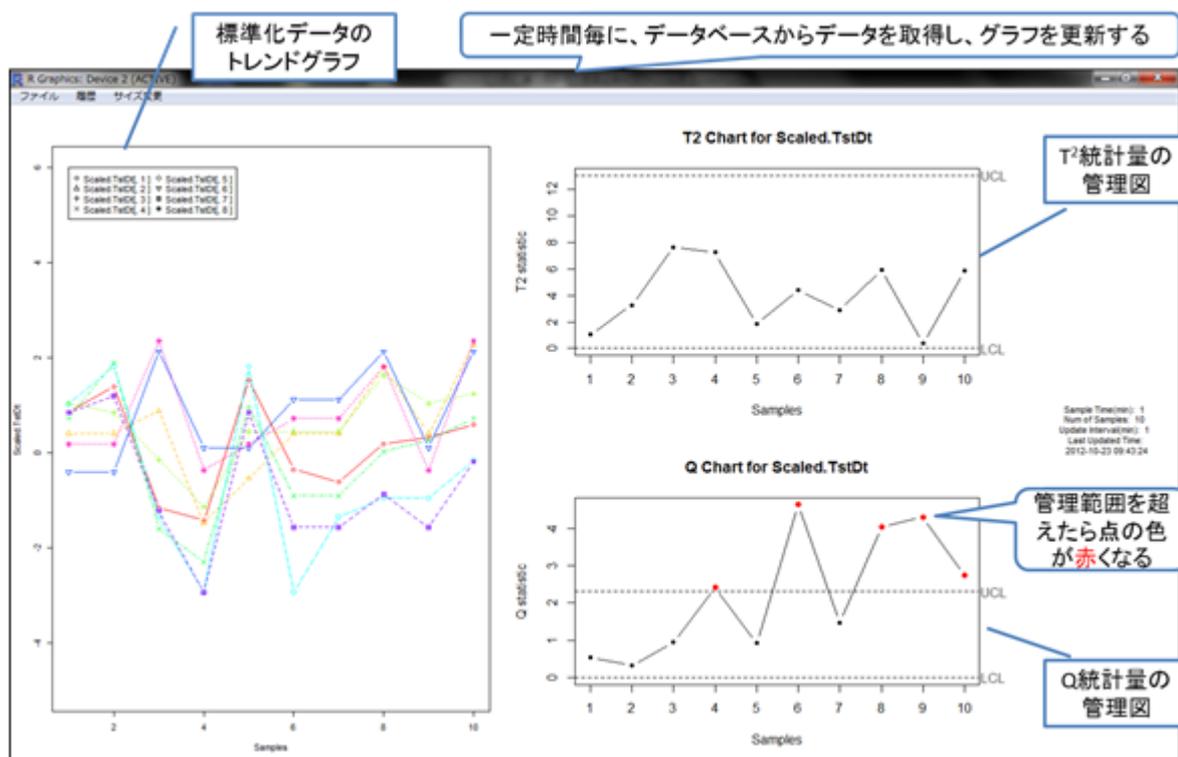


図 5-3 異常検出ソフトの動作画面

5-6 研究開発後の課題

今後の課題は、実際に長期間に亘ってめっき処理工程データや製品評価データ等を収集し、製品不良発生時とそうでない時のデータを比較分析しながら異常検出ソフトを改良していくことと、併せてめっき処理工程の改善を行い品質と生産効率の向上を図ることである。

5-7 参考文献

- 1) 加納学 多変量統計的プロセス管理とは？
URL <http://tech.chase-dream.com/spc/what.html>
- 2) 加納学 多変量統計的プロセス管理 (2005)
URL <http://tech.chase-dream.com/spc/report-MSPC.pdf>
- 3) Chiang, L.H., Russell, E.L., Braatz, R.D. Fault Detection and Diagnosis in Industrial Systems Springer (2001)
- 4) PTC Mathcad URL <http://www.ptc.com/products/mathcad/>
- 5) Paul Teeter 著, 大橋真也監訳, 木下哲也訳 R クックブック オライリー・ジャパン (2011)
- 6) 石田基弘 Rで学ぶデータ・プログラミング入門 共立出版 (2012)

第6章 本論一 (5)

6-1 評価システムの統合と評価

6-1-1 評価システムの統合

平成22年度から平成24年度に製作した高さ計測システム(撮像用カメラ、照明装置、高さ計測用PC)と表裏検査システム(しみ・光沢ムラ用ラインセンサーカメラ、めっき不良検査用ラインセンサーカメラ、しみ検出用照明装置、裏面評価用照明装置、しみ検出用画像入力PC、裏面評価用画像入力PC)と搬送装置(ローダー、中空搬送チャック機構、除振ユニットを備えた搬送ステージ、アンローダー)および統計評価システム(統計評価システムPC、めっき装置よりのめっき条件データ収集ソフト、高さ計測システムからのデータ収集ソフト、表裏検査システムからのデータ収集ソフト、搬送装置からのフレームIDデータ収集ソフト)を統合する。

6-1-2 評価システムの評価

6-1-1にて統合された評価システムにおいて、評価装置のローダーより自動的に搬送され高さ計測システムと表裏検査システムにより検査されたICリードフレームを搬送システムが評価結果に基づいたデータにより評価装置アウトローダーにて良否の判定が行われ良品専用収納BOXまたは不良品専用収納BOXに収納されることを確認する。又、高さ計測システム、表裏検査システムから得られたICリードフレームの検査結果および搬送装置からのフレームセットIDが統計評価システムへCSVデータとして出力されたことを確認する。

6-2 プロジェクト全体における本研究開発部分の位置付け

本研究開発部分の位置づけは、平成 22 年度から 24 年度に研究・開発・製作した高さ計測システム・表裏検査システム・搬送装置・めっき処理の評価技術の開発を統合することにより、統合前の事前評価と同様の評価結果が得られる事を確認するものである。また、得られた評価結果をめっき処理工程にフィードバックさせるデータの収集と解析技術を構築する。

6-3 高度化目標と技術的目標値

6-3-1 高度化目標

システム統合前の各研究テーマの高度化目標をシステム統合により本来の機能性を損なわず、システム全体として達成することを目標とする。

6-3-2 技術的目標

システム統合前の技術的目標値がシステム統合により予定した技術目標を達成するよう問題点等が発生した場合、解決に向けて新たな技術的改善をおこなう。

6-4 研究方法、条件および装置

6-4-1 研究方法

高さ計測システム・表裏検査システム・搬送装置・めっき処理の評価技術の開発を統合し、IC リードフレームを自動的に搬送させ、搬送スピードと高さ計測及び表裏検査のタイミングを確認しながら、検査されたデータが統計評価システムに CSV データとして出力されることを確認し、そのデータの正確性と検査結果（良否判定）判断の正確性も確認する。又、得られたデータの統計的手法による解析により IC リードフレームの不良品発生とめっき装置の条件等の関係性を明らかにする。

6-4-2 条件および装置

評価システムの統合については各システムの基本的仕様に合わせて条件設定を行い、装置全体のレイアウト・デザイン・装置環境等を決定した。また、搬送機構については IC リードフレームのデザインや寸法にある程度の汎用性を事前に考慮し設計を施した。

6-5 研究結果と研究成果

6-5-1 高さ計測システム技術の開発

IC リードフレームの各部高さ計測技術の確立では高さ計測精度について特殊フィルター・デザインの検討を行い、ピクセル精度 $125\mu\text{m}/\text{pixel}$ を実現し、平均化処理を取り入れることにより標準偏差 $10\mu\text{m}$ を達成した。結果として、技術目標値としての高さ分解能 ($\pm 50\mu\text{m}$) の達成見込みを得た。また、高さ異常の判別では高さ異常部の判別プログラムにより変形ピンが検出されることを確認した。

処理速度は並列演算処理を取り入れることにより高さ計測システム単体における 1 ショット当たりの処理速度 0.35 秒を達成した。

周辺機器との統合による高さ計測システムの完成度について、搬送装置・統計評価システムとの統合を行い、搬送装置とタイミングを合わせたデータの取り込み、高さ異常判別結果に基づく OK・NG ボックスへの振り分け、およびフレームセット ID 毎の測定結果が CSV ファイルとして統計評価システムへの出力を確認した。

6-5-2 ICリードフレーム表面不具合検出技術の開発

高解像画像入力システムの構築では評価システムの統合の準備実験として、昨年度までに構築した表面側および裏面側の画像入力システムを用い、合計4台のラインセンサーカメラによるリードフレームの両面を同時入力可能とする高解像画像入力システムとして統合した。更に、認識率向上を実現するため、ICリードフレームの加工痕等に見られる正常ではあるが、画像処理にとって、めっき処理不具合検出の妨げになるノイズを低減するため、しみ、光沢ムラ検出用カメラの画像入力用としてスポット光を付加し、加工痕の低減を行った。

めっき処理不具合検出用照明技術の構築では、評価システム統合に際し、搬送装置に組み込んだ状態での光量等のパラメータ調整を行い、欠陥検出のための最適な照明環境構築及び光量設定を行った。

複雑形状におけるめっき不具合検出技術の開発では、仮想良品画像を構成するために、あらかじめ設定して製品毎に保存したサンプリング点のデータから、高速にサンプリング点を決定し、スプライン面を構成するシステムを構築した。

6-5-3 薄板材の非変形搬送方法の開発

薄板チャック機構の開発では、開発したチャック機構が、平面度0.05mm以内でリードフレームを把持していることを確認した。上下中空搬送ステージの開発では上下中空搬送ステージが真直度±5ミクロン以内で搬送できていることを確認した。

高さ計測、表面不具合検出のカメラ・照明システムの組み込みでは、薄板材の非変形搬送装置に高さ計測、表面不具合検出のカメラ・照明システムを配置し、高さ計測／表面不具合検出の動作確認を行った。

6-5-4 めっき処理工程の評価技術の開発

統計評価システムの構築では、本システムによりめっき処理装置や製品評価装置から各種データを収集し、データベースに蓄積した。また、このデータベースをWeb画面から検索することにより、工程改善等の分析評価に必要なデータをCSVファイルとして出力することができた。更に、めっき処理工程の異常を検出するために必要なデータをオンラインで異常検出ソフトに提供することを確認した。

6-5-5 評価システムの統合と評価

評価システムの統合による検査装置駆動の確認では、搬送装置に高さ計測システム、表裏検査システム、統計評価システムを統合した状態で本システムのローダーからアウトローダーまで自動的にICリードフレームがトラブル無く搬送できる事を確認し、ICリードフレーム自体に変形等の不具合発生が無いことを確認した。

評価システム統合による評価フレームの判定確認では、高さ計測システム、表裏検査システム、搬送装置、統計評価システムとの統合を行い、搬送装置と検査したICリードフレームのタイミングを合わせたデータの取り込みを行い、高さ異常判別結果及び表裏検査異常判別結果に基づいたデータにより評価装置アウトローダーにて良否の判定が行われ良品専用収納BOX または 不良品専用収納BOX に収納されることを確認した。

評価結果のデータ出力確認では、高さ計測システム、表裏検査システムから得られたICリードフレームの検査結果 および 搬送装置からのフレームセットIDが統計評価システムへCSVデータとして出力されたことを確認した。

第7章 最終章（全体統括）

7-1 研究開発成果

今回の統計評価システムにおいて、中空搬送を備えたワーク移動方法によって自動的に IC リードフレームの表裏（しみ・ムラ検出・めっき不良）検査 及び高さ計測（光学的手法による検査）を一貫した工程の中で行うことが出来たことは大きな成果である。また、めっき処理工程と検査結果の紐づけにより、異常検出ソフトを使ったデータを IC リードフレームのめっき製造条件へのフィードバックによるめっき処理工程への改善が大きく期待される。

本システムの先進的要素技術として、高さ計測技術での分光位相差検出法とその高さ計算アルゴリズム、表面不具合検出技術でのスプライン関数の補正機能を用いた仮想良品画像生成による欠陥検出、薄板材の非変形搬送装置開発での静的かつ直進度に優れた中空搬送技術、めっき処理工程の評価技術での AEC/APC 技術を応用した多変量統計的手法の活用等が用いられたことは大きな成果である。

7-2 研究開発後の課題

システム全体としての検査速度のスピードアップを行うため、撮像方法やデータ処理時間の短縮方法など更に検討を行い当初の目標である 10 秒/リードフレームを実現させる。

現状では、実験データが充分でなく評価実験でのシステム全体のデバック中であり、更に多くのリードフレームの検査を積み重ね、めっき処理工程データや製品評価データを収集・比較分析を行い、課題の抽出とその解決を応用研究として取り組んでいく。

7-3 事業化展開

本事業の展開について IC リードフレームを使用される半導体川下企業への製品拡販を目標とし、本システムを利用しためっき処理工程の改善・製品の品質向上・技術力アップをはかり、IC リードフレーム（QFN）の国内市場・海外市場への販売拡大を目指します。

また、個々の研究テーマであった要素技術はその他業界への展開も期待される。図7-1 に期待される応用技術について表す。今回の成果としての薄板材搬送技術はフィルムディスプレイなどの搬送技術分野、高さ計測技術は太陽電池などの三次元計測、表面不具合検出技術は各種工業製品や農産物等の外観検査、工程改善技術は食品製造工程の改善等、多方面への活用が考えられる。

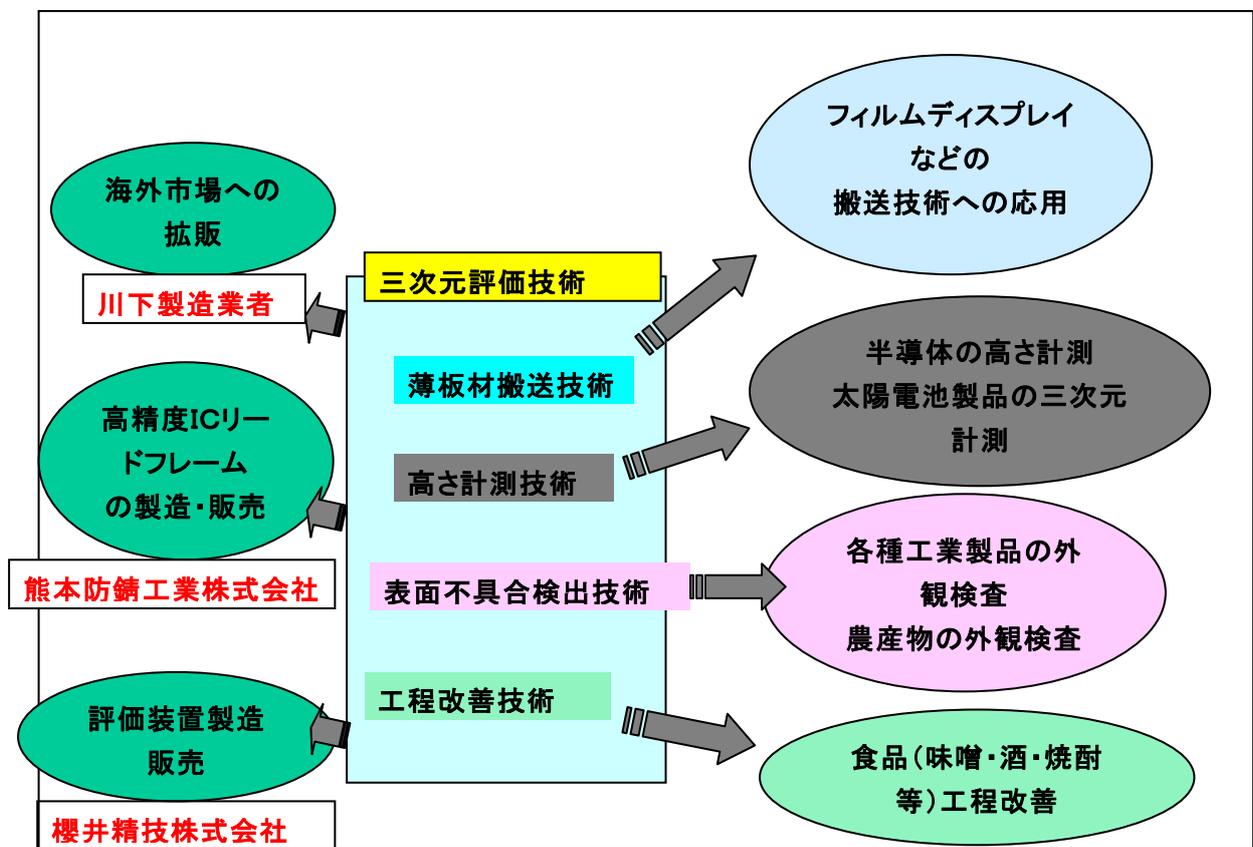


図 7-1 統計評価システム 及び 要素技術の応用展開