

BGA実装基板検査の最新動向 フライングプローブテストと JTAGテストのハイブリッド検査

アンドールシステムサポート(株) / 谷口 正純、タカヤ(株) / 柳田 幸輝

1 はじめに

BGA(Ball Grid Array)部品は、民生品から産業機器、近年では車載機器まで、あらゆる電子機器に使用されるようになった。一方でBGA部品が実装された基板(以下、BGA実装基板と呼ぶ)を確実に検査する方法は確立されていない。これはどのような検査手法にもメリットとデメリットが存在し、1つの検査手法のみで完全なテストを行うことはできないためである。したがって現在、多くの企業でBGA実装基板の検査が課題となっている。今回はそれに対する1つの解として、フライングプローブテストとJTAG(ジェイタグ)バウンダリスキャンを組み合わせたハイブリッド検査についての最新の技術動向を紹介する。

2 BGA実装基板の検査と課題

BGA実装基板の検査手法には「画像検査」と「電気検査」の2つがある。BGA部品は、底面にある端子と基板の電極をボールで接続する。そのため一度実装されてしまうとボールは部品の下に隠れてしまい、状態を確認することができない。

X線は物質を透過する性質があるため、ボールの結合状態や部品内部の欠陥・不良など、本来見ることのできない箇所を撮影し、検査することができる。そのため、特に画像検査の一つである3次元X線検査が多くの企業で採用されている。この検査手法では、欠陥がある場合には良品とは異なる影が現れる。しかし撮影結果から下される合否判定は、検査担当者のスキルに大きく依存する。精度の高い合否判定を下すには、熟達した検査担当者の存在が不可欠となる。

人の問題をクリアしたとしても、モノの問題がある。微細なはんだクラックを検出するには、それを撮影できるだけの非常に高い解像度が必要となること、またX線の照射自体が困難な場所に実装されているケースもあることなどから、3次元X線検査のみに頼ることは厳しい。そのため、最終検査ではファンクションテストを検討する企業は多い。しかし、ファンクシ

ョンテストとは実際に基板を動作させ、動きを見る検査であり、実施するためには、基板の動作をコントロールする仕組み、そして動作が正しいか動的に判断するための仕組みが必要となる。近年の高機能化、複雑化している製品では、ファンクションテストは開発規模の増大、開発工数の増加、開発リソース不足、故障解析の複雑化が課題となっている。

3 電気検査の可用性

基板検査の目的は、主に最終検査における不良品の市場流出防止と、市場クレーム品の故障解析による再発防止である。検査結果に基づき正確な故障診断ができないと、製造ラインと設計への正確なフィードバックができなくなり、再発防止を行うことはできない。

電気検査の場合、構成部品ごとに電気的な性能としての測定値が得られる。そのため曖昧さはなく、基本的には部品元来の性能値と、測定値との比較を行えば良い。これには検査担当者のスキルに依存せず合否判定ができること、また故障箇所を的確に特定することができるというメリットがある。そのため、信頼性が求められる産業機器、工作機械、製造装置、車載機器、複合機などでは電気検査を行い、製品の信頼性を高める取り組みが進められている。

次章では、電気検査のインサーキットテスト、JTAGバウンダリスキャンテストを扱う各社とその取り組み、製品紹介を行う。

4 インサーキットテスト

1. タカヤ(株)のフライングプローブテストの取り組み

タカヤグループは1894年に織物業を創業後、アパレル、電子機器の組み立て、産業機器の製造、半導体産業への進出を果たし繊維と電子を両輪とする企業グループとして進化してきた。その活動の場は、販売は全世界へ、生産はベトナム、

タイ、中国へと広がっている。

タカヤ(株)は岡山県井原市に本社(図1)があり、「ものづくり力」を礎とするタカヤグループの中核企業として、開発、製造、ITソリューションをグローバルに展開する「サービス・ソリューションクリエイター」を目指している。仕事の成果を通して、お客様やエンドユーザ様に満足して頂くべく、繋がりを大切に、あるべき姿の実現に取り組んでいる。

1987年には、電子機器を制御する基となる電子回路基板の製造中に生じる様々な不良をいち早く、確実に検出する検査機「フライングプローブテスト」を世界で初めて開発し、販売を開始した。「フライングプローブテスト」は、現在でも業界

トップクラスのシェアを誇り、実装基板検査機業界の草分け的存在になっている。

2. インサーキットテストの仕組み

インサーキットテストとは、インサーキットテスト(プリント回路板の実装不良を電氣的に検出する検査)を行う装置である。検査対象の基板のポイントにプローブを接触させ微小な測定信号(電圧または電流)を印加、電流または電圧を測定することで、図2に示すように「電子部品と基板との接続信頼性」「実装された個々の電子部品の定数」「極性」などを検査する。検査対象の基板に負荷をかけることなく、目視検査・AOI・



図1 タカヤ(株) 上空写真

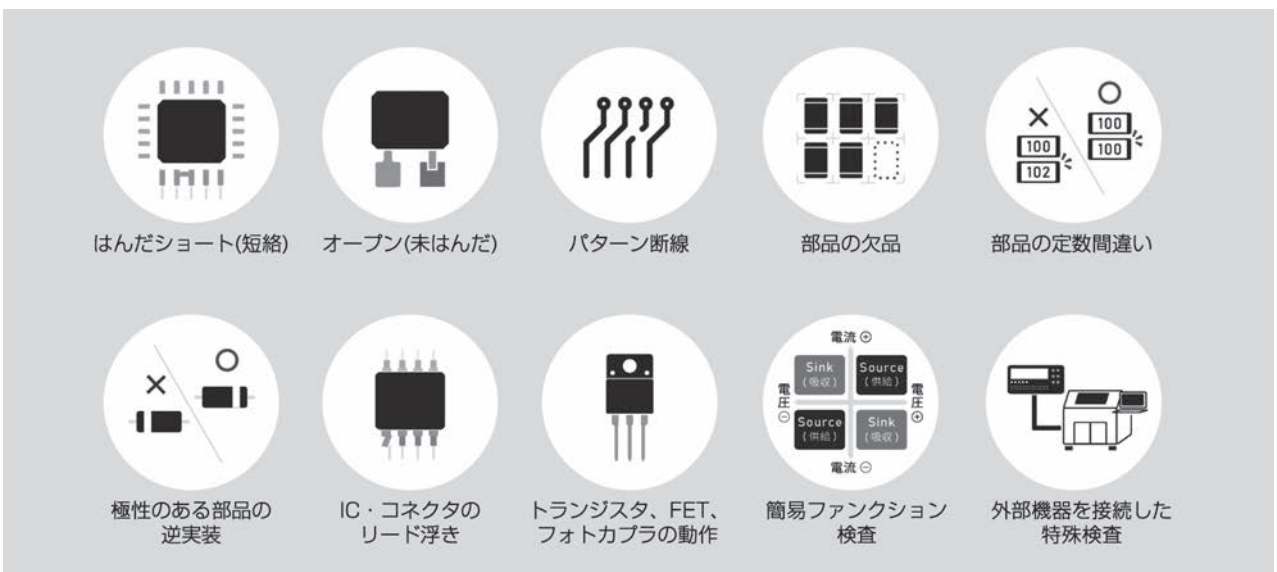


図2 インサーキットテストの不良検出能力

FEATURE

X線検査では発見困難な不良を定量的かつ確実に検出できる検査手法である。

3. インサーキットテストの種類

インサーキットテストには、治具式テストとフライングブ

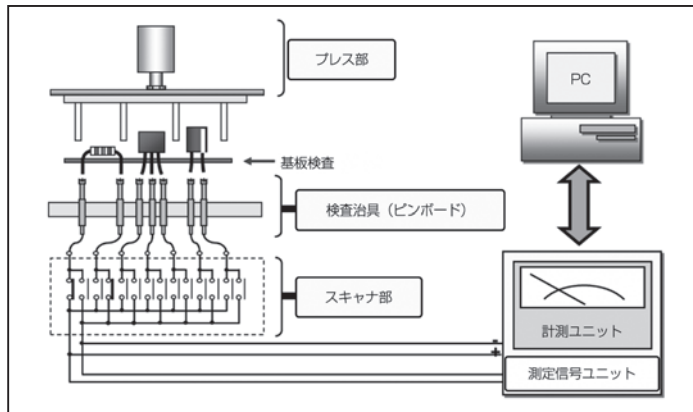


図3 治具式テストの仕組み

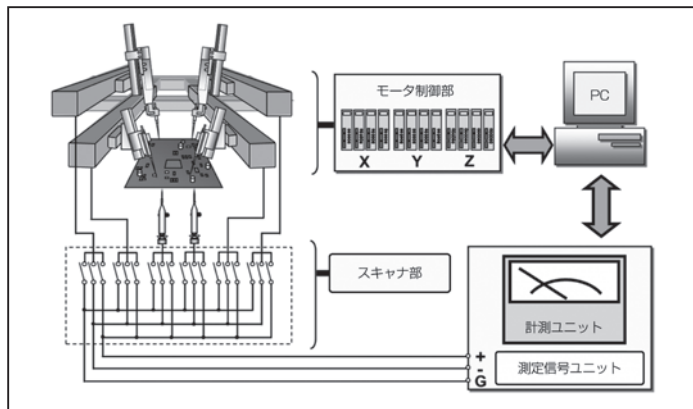


図4 フライングプローブテストの仕組み

ローブテストの2種類がある。

治具式テストは、図3のようにプレス機構によって検査治具の全プローブを基板の所定テストポイントに同時接触させ、計測ラインをスキャナ部(リレー回路)で切り替えながら各電子部品の検査を実行する。治具は「フィクスチャ」「ピンボード」とも呼ばれ、検査対象の基板に合ったものを専用に製作する必要がある。治具製作にコストがかかる一方、検査が必要な箇所に必要なプローブが全て接触しているため検査時間が短い。したがって、大量生産基板の検査に用いられることが多い。

フライングプローブテストは、図4のように部品を検査する際、プローブの付いた複数のアームを検査に必要なポイントに都度移動させる。プローブが任意の位置へ自由に動けるため基板専用の治具は不要である。どの位置にプローブを移動させ、どのように検査するか定義したものを検査プログラムと呼ぶが、これをあらかじめ作成しておく、検査プログラムの切り替えのみで段取り替えが可能となる。

一方で検査部品ごとにプローブの移動が行われるため、治具式テストと比べると検査時間自体は長くなる傾向にある。したがって、多品種・少量生産基板の検査に用いられることが多い。なお検査プログラムを修正することで検査位置を自由に変更できるため、設計変更への対応も柔軟かつ容易であり、試作基板の実装検査や、不良解析にも利用されている。

タカヤ(株)が主力とするフライングプローブテストAPT-1600FDモデルの全体像と、その内部プローブ機構の一部を図5に載せる。実際に中央に検査基板がセットされており、上下のプローブが検査箇所へと降下し検査を行っている。

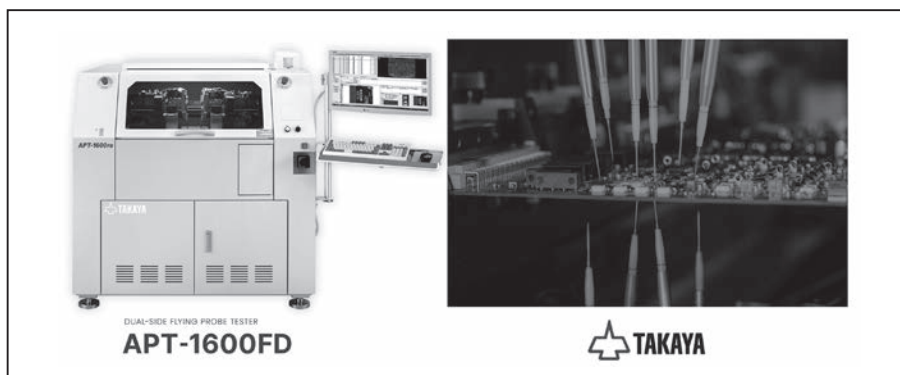


図5 フライングプローブテストの装置写真

まとめとして、治具式テストとフライングプローブテストの違いを表1に示す。

5 JTAG バウンダリスキャンテスト

1. JTAG Technologies社の

JTAGバウンダリスキャンテストの取り組み

JTAG Technologies社(ジェイタグ・テクノロジーズ社)は、1993年にオランダのアイントホーフェンを拠点とするバウンダリスキャンテストの専門会社として設立した。JTAG社のバウンダリスキャン製品は、世界中の50か国以上の開発部門や製造工場で使用され、何千機種もの基板テストの問題解決をサポートしてきた。現在まで、JTAGテスト製品とサービスは、たえず進化する実装技術、市場変化、IEEE 1149規格に沿って成長してきた。

規格に沿って成長してきた。

JTAG Technologies社は、テスト業界で実績のある専門家チームによって形成され、実装基板のテストおよびインシステム・プログラミングに関連する物理アクセスの問題の解決を専門とし、バウンダリスキャン技術(IEEE規格 1149.1)に基づくテクノロジーを使用している。JTAG社の創設者は、1980年代には当時革新的だったIEEE 1149.1を先駆者として使用した。今日においても、強力な経験に基づく継続的な革新により、業界の最前線での地位を維持している。

2. JTAGバウンダリスキャンテストの仕組み

JTAGテストは、図6のように4本もしくは5本のJTAG信号(TDI, TDO, TMS, TCK, TRST(オプション))を利用して、JTAGテストに対応した部品をPCから自由にコントロールできる仕組みである。JTAG未対応の部品とJTAGテスト対応の部品を比較すると、部品がもつ本来のコアロジックと部品の

評価項目	治具式テスト	フライングプローブテスト
検査準備	検査治具製作(検査プログラム作成込み)	検査プログラム作成
検査準備期間	15~30日	0.5~1日
ランニングコスト	約20~100万円治具本体 ・検査プログラム作成費用 ・治具メンテナンス費用 ・治具保管、管理	殆ど不要 ・消耗品:コンタクトプローブ
最小プローブ間ピッチ	1.27mm	0.15mm
最小コンタクトパッド	0.8mm	0.06mm
基板の設計変更対応	検査治具の再製作が必要	検査プログラムの修正・変更で対応
基板の誤差・位置ズレ	対応不可	位置補正機能有り
検査速度	平均4~10msec(調整時間は含まない)	平均30~60msec

表1 治具式テストとフライングプローブテストの比較

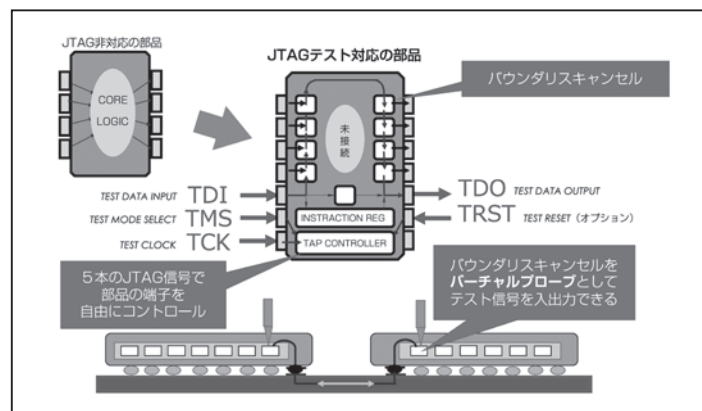


図6 JTAGバウンダリスキャンテストの仕組み

端子の間に、バウンダリスキャンという信号を入出力させるためのロジックが追加されていることが分かる。バウンダリは日本語で「境界」という意味であり、コアロジックと部品の端子の境界をスキャンできることを意味している。

このようにJTAGテストとは、バウンダリスキャンを制御して、部品の端子を利用して通電試験ができるテスト手法である。テスト中はJTAGテスト対応部品のコアロジックが切り離され、部品の端子から自由に信号を入出力することができる。そのため、JTAGテストのメリットは、マイコンのプログラム開発やFPGAのロジック開発をせずに基板のテストができることである。

このテストの仕組みは、基板上のマイコン、FPGAなどの主要部品に予め内蔵しているため、BGA基板のテストカバレッジをあげることができる。JTAGテストによって見つけれられるBGA基板の不具合には、図7に示すGNDとのブリッジ故障、電源とのブリッジ故障、信号線同士のショート故障、「はんだ不良(オープン不良、ブリッジ不良)」、「プリント基板のパターン不良(断線、ブリッジ)」、「部品内部のボンディングワイヤの断線」、「部品の型番違い」、「実装方向のミス」などがある。JTAGテストは、測定器ではプロービングできない不良を検出できることから、近年の高密度実装基板に対する有効なテスト手法の1つとなっている。

試作基板の受入検査でJTAGテストを活用することにより、モノづくりに問題が無いことを確認した上で、設計のデバッグに注力でき、開発期間を短縮できた事例もある。また、国内では量産テストの導入事例が多くあり、JTAGテストを活用することにより、BGA実装不良品を市場に流出さない取り組みで使われている。

6 ハイブリッドテスト

1. 課題解決のためのハイブリッドテストの可能性

先述のように、BGA部品の検査には様々な検査手法があるが、1つの検査手法だけで確度の高い合否判定を下すことは困難である。単純に、BGA基板の実装保証をし辛い状況となっている。

各検査手法のメリットとデメリットを図8にまとめた。「ムリ・ムラムダ」のないハイブリッド検査を構築するためには、どのテスト手法を組み合わせ、求める品質を保証するか検討して、検査機の設備導入コスト、検査時間などの検査コスト、保守メンテナンスなどの運用コストとのバランスが良い検査手法を組み合わせることが重要となる。

実装基板検査で使用されるフライングプローブテストとJTAGバウンダリスキャンテストの強みと弱みについて表2にまとめた。

フライングプローブテストは、実装基板の検査においては特にアナログ回路のテストに強みがある。電気特性検査、部品の定数測定、はんだオープン・ショート検査、部品の逆実装、ICとコネクタのリード浮きなどの検査ができる。また、機能の拡張により、簡易ファンクション検査とAOI検査による部品の欠品検査も行うことができる。

JTAGバウンダリスキャンテストは、デジタル回路をテストするための規格であり、FPGAとマイコンなどのBGA部品を中心としたデジタル回路をテストすることに強みがある。BGA部品間の導通テストだけではなく、故障解析が困難なDDRメモリのテスト、フラッシュメモリのテストをデータの書き込みと読み込みを繰り返して、故障診断まで自動化すること

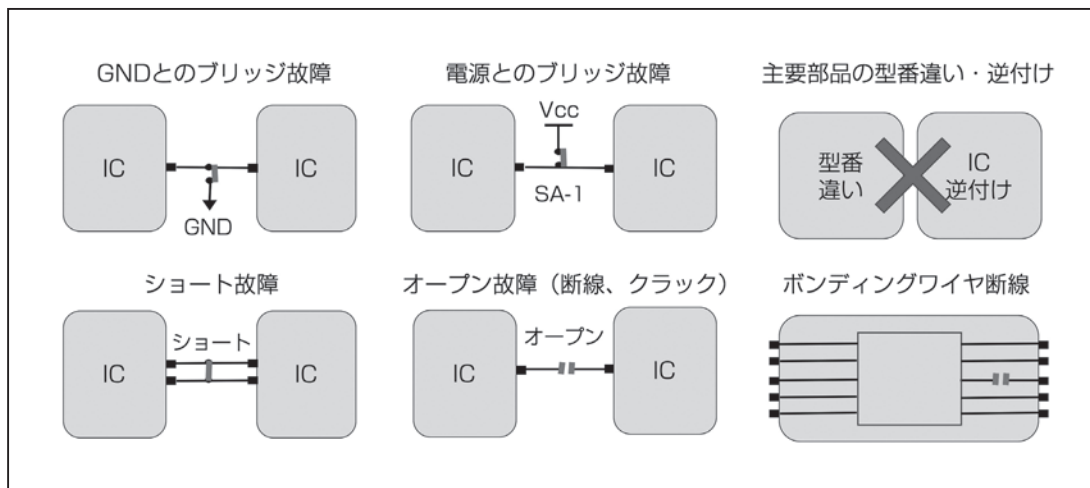


図7 JTAGバウンダリスキャンテストの不良検出能力

ができる。

一方でフライングプローブテストは、BGA部品で構成されるデジタル回路の検査を苦手とする。特に複数のBGA部品間が基板の内層のみで接続されている回路構成の場合、プローブピンを接触させることができず、検査不可能となってしまう。JTAGバウンダリスキャンテストは、電源、アナログ回路

の検査を行うことができない。

アナログ回路のテストに強いがデジタル回路の検査が困難なフライングプローブテスト、デジタル回路の検査に強いがアナログ回路の検査が困難なJTAGバウンダリスキャンテスト、これらの相互補完関係は、まさに最高のコンビネーションを生み出すと言える。

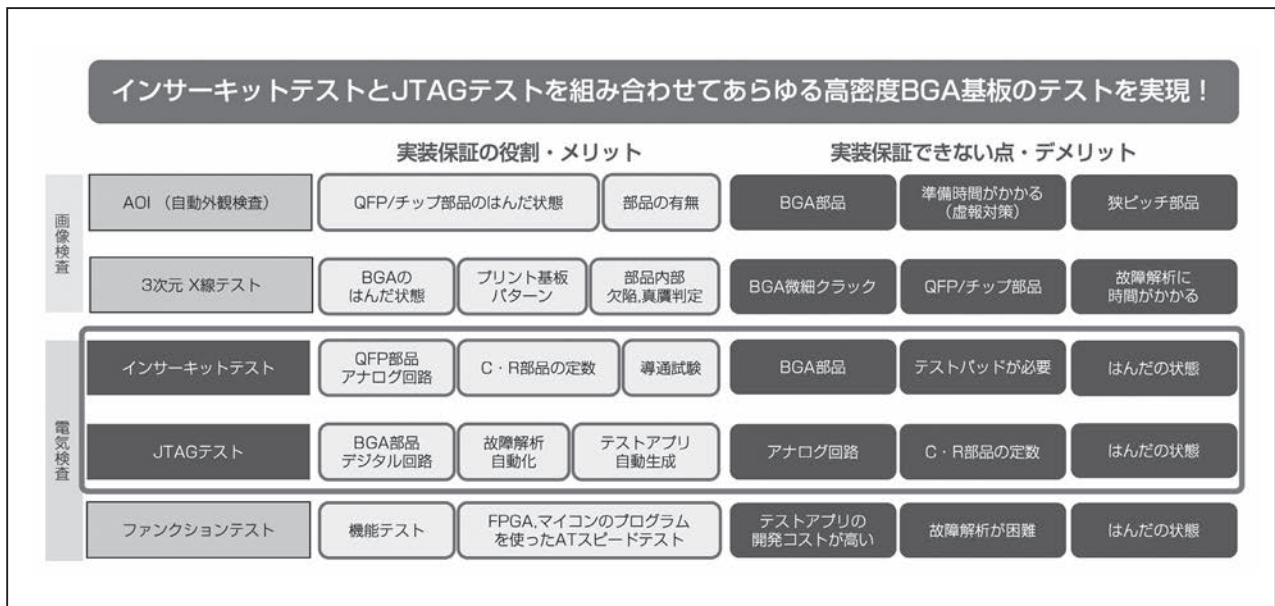


図8 さまざまな検査手法の特長と課題

強みと弱みを知り相互補完によりテスト範囲を最大化

検査手法	フライングプローブテスト	JTAGバウンダリスキャンテスト
強み ○	<ul style="list-style-type: none"> 電気特性検査、部品の定数測定 はんだオープン・ショート検査 極性がある部品の逆実装の検査 IC、コネクタのリード浮き トランジスタ、FET、フォトカプラの検査 AOI検査による部品の欠品検査 簡易ファンクション検査 	<ul style="list-style-type: none"> BGA部品のはんだオープン・ショート検査 テストデータの自動生成 デジタル回路の機能検査 機械的な動作が無く検査タクトが短い DDRメモリの検査と故障診断 Python言語によるファンクションテスト フラッシュメモリのオンボード書き込み
弱み ×	<ul style="list-style-type: none"> プロービングできないBGA部品は検査が困難 BGAを含むデジタル回路の検査が困難 機械的動作を伴うため検査タクトが長い 	<ul style="list-style-type: none"> JTAGでアクセスできない回路は検査困難 テスト範囲を拡大するための検査治具が必要 アナログ回路、電源回路の測定が困難 電気特性、部品の定数測定ができない

表2 フライングプローブテストとJTAGバウンダリスキャンテストの相互補完

F E A T U R E

2. フライングプローブテストと

JTAGテストハイブリッド検査装置

電気検査のフライングプローブテストとJTAGテストのハイブリッドテストの構成を図9に示す。フライングプローブテストの可動プローブは上側で最大6本、下側で最大4本を使用し実装基板の両面を同時に検査することができる。フライングプローブテストに内蔵されたJTAGコントローラを、BGA部品の標準のJTAGポートと接続すると、プローブを接触させることができないBGA部品から直接信号を出力することができる。この出力信号をプローブと連動するJTAG I/Oユニットで読み取ることにより、BGA部品の実装検査を行うことができる。

JTAGテストは、フライングプローブテストが行う検査項目の1つとして自動実行され、検査基板全体の合否判定に含めることができる。

3. 基板の構成とテストカバレッジ

実装密度が低い(スペースに余裕のある)アナログ回路では、テストのための電極を基板へ盛り込むことができるため、問題なくインサーキットテストを行えることが多い。しかし、高速デジタル回路やBGA部品周辺回路は高密度かつ集積化されており、プローブを接触させること自体が困難である。デジタル回路の検査はJTAGテストで補完することができる

め、BGA実装基板全体の検査を行うことができるようになる。

インサーキットテストとJTAGテストは、ファンクションテストと比較して、どちらもテスト時間が短時間であり、機能レベルの合否判定ではなく、故障箇所をピンポイントで特定することができる。そのため、製造ラインへのフィードバックも的確に行うことができ、不具合の再発防止に繋げることができる。また、テストを行うために、テストプログラムをフラッシュメモリに書き込む必要がなく、量産検査に有効なハイブリッド検査手法の一つとなる。

最近の産業機器、IoT機器の基板は、図10のようにBGA部品を中心としたデジタル回路とチップ部品を中心としたアナログ回路、電源回路で構成されており、回路の構成比率は様々である。たとえば、画像処理基板であればデジタル回路が70%、アナログ回路が30%程度、モータ制御基板であれば、デジタル回路が30%、アナログ回路が70%程度の比率となる。このように基板の機能によってその比率は変化したが、デジタル回路とアナログ回路はいかなる回路構成にも存在しているため、その両方に対応しておくことが不可欠と言える。

デジタル回路は、マイコン、FPGAなどのJTAGバウンダリスキャン規格に対応したBGA部品を中心として構成され、JTAGテストで検査できる。アナログ回路は、電源回路を中心としているため実装密度が比較的low、テストパッドを配置

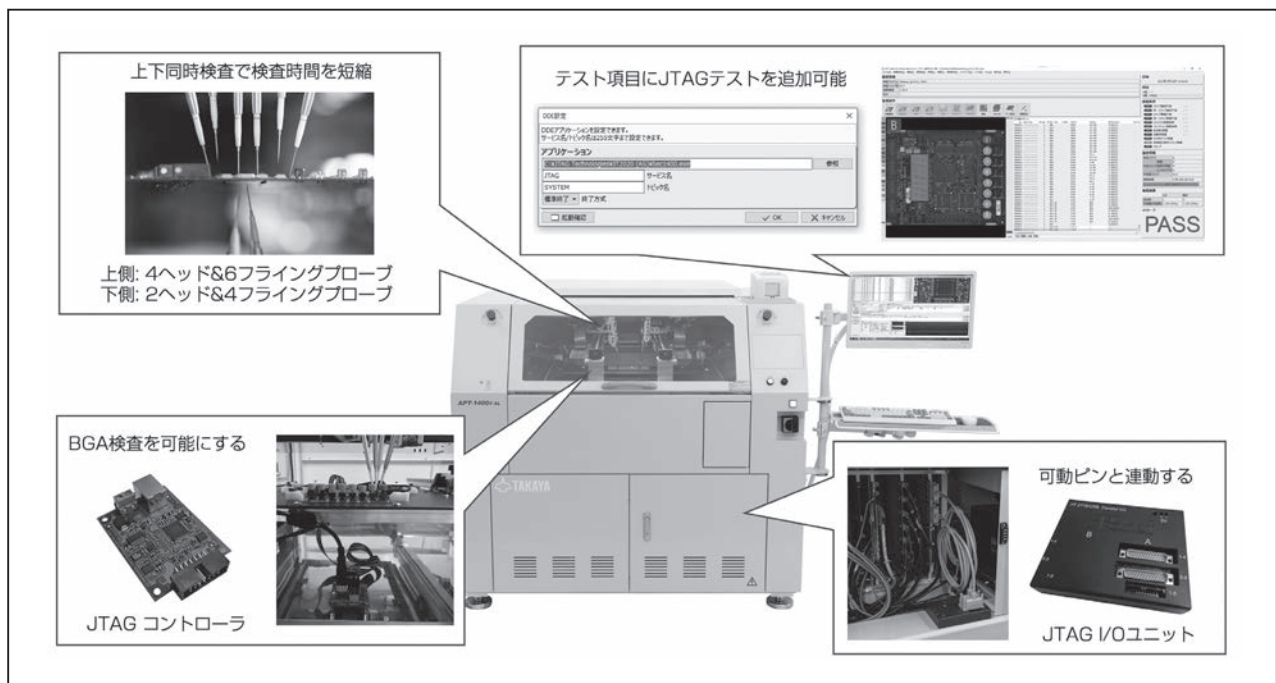


図9 ハイブリッドテスト装置の構成

することによりプローブを接触させることができる。すなわち、インサーキットテストで検査できる。このように、テストカバレッジを最大化するためには、複数の検査手法を効率よく組み合わせることでテストすることが重要になる。

会は増えており、検査が困難になってきているため、今後、国内でも多くの企業で利用されるのではないだろうか。

7 まとめ

フライングプローブテストとJTAGテストを組み合わせたハイブリッドテストは、それぞれの検査機のメリットを組み合わせることで、デメリットを補完することができる。すなわち、電気検査のみでテストカバレッジを最大化することができる。

また、検査治具を製作する必要がなくなり、試作基板の検査から量産、保守、市場不具合品の故障解析まで、実装基板のすべてのライフサイクルのシーンでメリットが得られる。通電試験のためテストカバレッジが高く、短時間で確実に不良箇所を特定し、製造ラインへの的確なフィードバックが可能となる。製品の品質が向上すると、企業にとっては品質保証の無駄なコストを削減できることになり、検査が利益を生み出せるようになる。

これまで日本国内では、フライングプローブテストとJTAGテストは、別々の工程で実施されることが多く、ハイブリッド検査は注目されていなかった。しかし、欧米ではフライングプローブテストとJTAGバウンダリスキャンテストを組み合わせたハイブリッドテストは一般的な検査手法の1つとして活用されるようになってきている。BGA部品が基板に実装される機

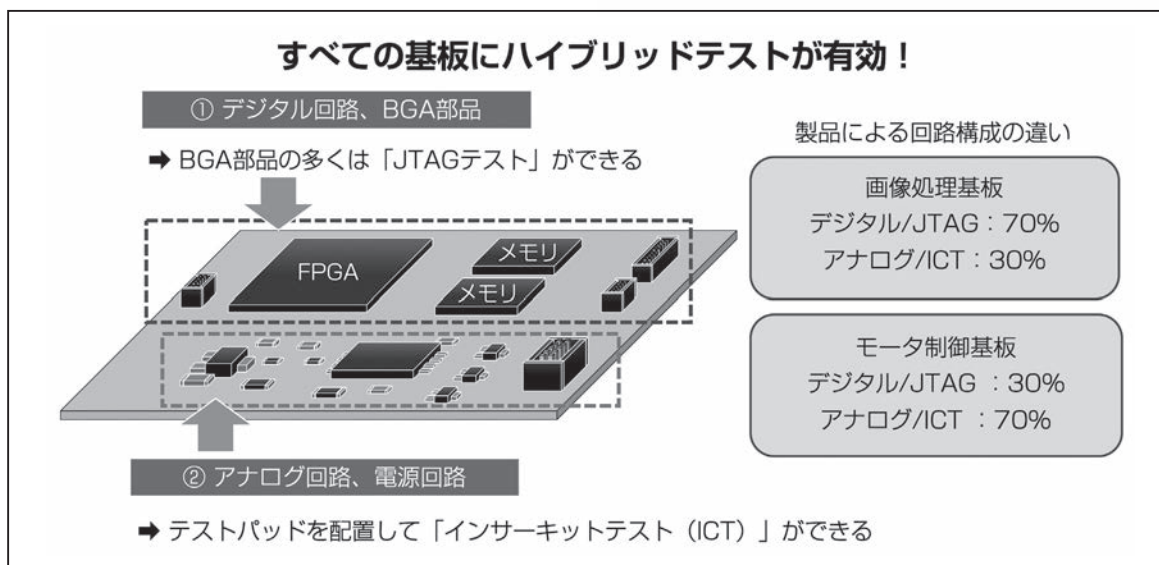


図10 基板構成例とテスト範囲