

JTAGテストの活用事例 村田機械(株)の生産革新への挑戦

アンドールシステムサポート(株) / 谷口 正純

1 はじめに

狭ピッチBGA(Ball Grid Array)部品が市場に広がり、0.8mmピッチのBGAパッケージでは製造不良が発生していなかった企業が、0.5mmおよび0.4mmピッチを使うようになり実装不良が急増している。0.8mmピッチから0.4mmピッチになると、はんだ量が12.5%になってしまうため、実装の難易度が劇的に高くなり、基板表面の汚れや異物、基板のひずみの影響を大きく受けるため、実装基板の不良が増えている。

最近、設計部門、製造部門、品質保証部門、保守部門など、あらゆる部門からBGA実装基板のテストと故障解析の方法について相談を受けている。JTAGテスト(バウンダリスキャンテスト)は、高密度実装基板のテストに使われるようになってきているが、具体的にどのような検査手法であるか、どのように

使われているか知らない方が多い。そこで、今回はJTAGテストを活用してBGA実装基板の実装保証を行っている村田機械(株)の活用事例を解説する。

2 海外と日本の市場動向の違い

JTAGテストは、1993年にIEEE1149.1スタンダードとして規格化されて以降、世界中の電子部品に部品実装後のテストを可能にするためにJTAGテスト用のロジックが組み込まれてきた。欧米では、1990年代から現在に至るまで、一般的な検査手法の一つとしてJTAGテストが使われてきた。

日本国内では、日本で主に使われているルネサス社のマイコンは、JTAGテストに非対応だった歴史があり、JTAGテストは海外のように普及してこなかった。しかし、この10年

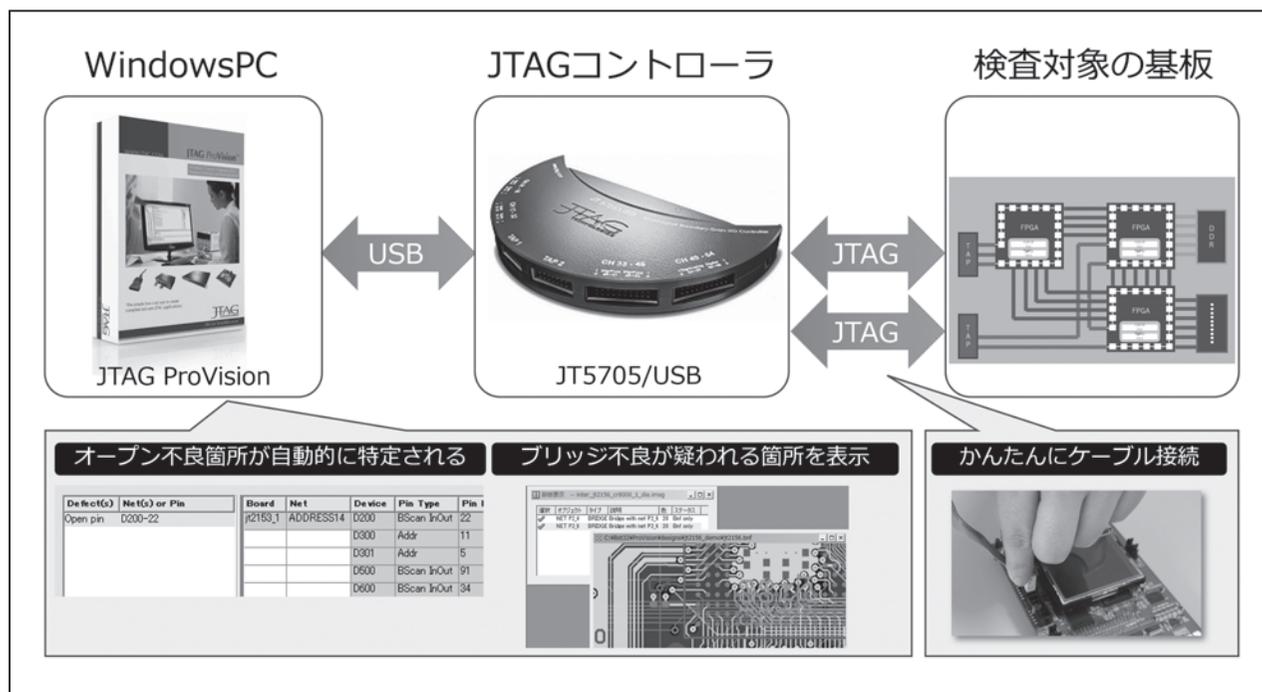


図1 JTAGテストのシステム構成

で状況が変化し、Armマイコンが世界中のあらゆる製品で使われるようになり、JTAGテストが組み込まれたマイコンとFPGAが一般的なものになった。

JTAGテストを行うためのインターフェースは、JTAGポートと呼ばれ、マイコンのソフトウェアを開発する際に使用するデバッグポート、FPGA書き込み用のポートをそのまま使用することができる。基本的に基板上には特別な回路は必要なく、JTAGテストモードに移行するための最小限の処理だけで、基板全体をテストできる仕組みである。

JTAGテストを行うための装置は、他の検査設備とは異なり、**図1**のようにノートパソコンと一緒に持ち運びができるコンパクトな構成になっている。検査対象の基板にJTAGポートのコネクタがあればケーブル接続でテストができ、コネクタが実装されていない基板の場合にはピン治具からコンタクトしてJTAGテストを実行することができる。

3 JTAGテストの仕組み

JTAGテストは、**図2**のように基板上に実装されている

JTAG対応部品の端子をバーチャルプローブとしてパソコンから制御して通電試験をする仕組みである。このバーチャルプローブとして利用して、JTAG対応部品間の配線テスト、JTAGテストに非対応のDDRメモリに対してリードライトテストを行うことができる。JTAGテストではBGA部品の真贋判定、実装方向、ボンディングワイヤのテストと実装基板のはんだオープン、ブリッジ不良、基板のパターン不良を検出することができるため、近年の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。

以前は、JTAGテストは難しいというイメージがあったが、JTAGテストツールの進化により一変した。テストプログラムの作成が自動化されるようになり、誰でも簡単にJTAGテストパターンを生成できるようになった。JTAGテスト用のデータを生成するためには、基板を製造するために使用するネットリスト(回路CADから生成される配線情報)、JTAG対応部品の内部のテスト回路情報が記載されているBSDLファイル(デバイスメーカーより提供されるファイル)、JTAGテストに非対応の部品ライブラリ(JTAGテストツールのライブラリ)を使用する。

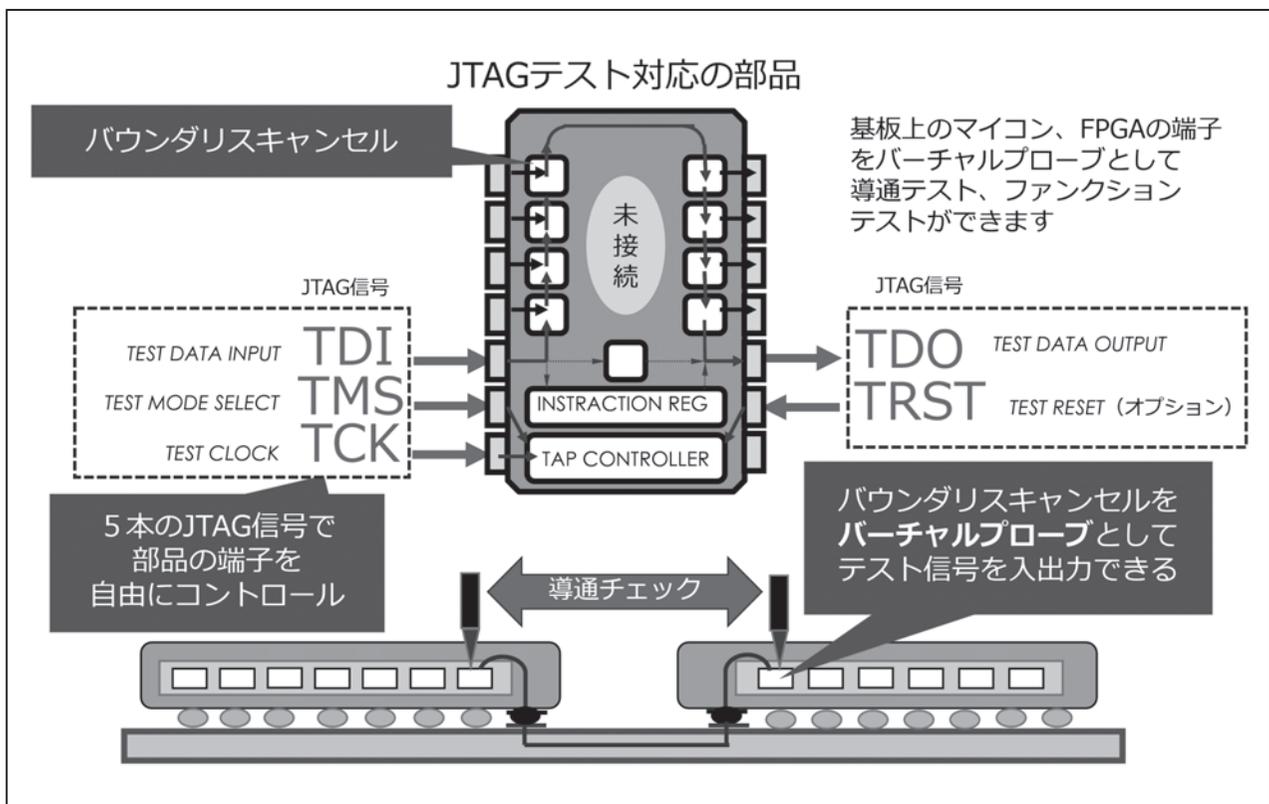


図2 JTAGテストの仕組み

最新のJTAGテストツールでは、**図3**のようにJTAGテスト対応部品間のテストであるインターコネクトテストの他に、32万種類を超えるJTAGテストに非対応部品のライブラリが用意されている。この部品ライブラリを利用して、DDRメモリ、周辺ロジック回路、フラッシュメモリなどのテストデータが自動生成できるようになり、飛躍的にテストカバレッジは拡大し、さらにテストデータ作成にかかる工数を大幅に削減できるようになった。

4 村田機械(株)のJTAG活用事例

今回は、JTAGテストを導入された村田機械(株)の活用事例を紹介する。村田機械(株)は、京都市伏見区に本社(**図4**)があり、繊維機械、ロジスティクスシステム、FAシステム、半導体工場向け搬送システム、工作機械、情報機器などを開発、製造販売している。企業の理念「つねに新しい技術を創造し、お客さまに喜ばれる製品の提供を通じて、社員ひとりひとりの幸せと豊かな社会の実現をめざす」のもと、高い顧客満足と高い製造品質を実現している。

ムラテックグループの企業理念を見つめ直し深化する一環

として、コーポレート・スローガン「革新の分岐点」を2023年4月に定めた。企業理念にある「新しい技術の創造」や「お客さまに喜ばれる製品の提供」という言葉の本質を直感的に表すと同時に、これまでが生み出してきた革新的な技術を振り返り、より具体的なイメージを育てて未来へ投射するためのキーワードとした。**図5**に示す彩度の高い放射線状の形状は、スローガン「革新の分岐点」を視覚的に表現している。ラインの収束点は革新の分岐点を経た先にある未来、または過去からつながる革新を表す広がり、そのどちらも表現したデザインであり、時代・業界の分岐点を生みだすプロダクトを、提供し続けるムラテックの姿勢を示している(**図5**)。

ムラテックのロジスティクス・ソリューションは、**図6**のように多岐にわたって日本の物流を支えている。自社製のマテハン機器とソフトウェアを核とし、必要に応じてカスタマイズ機器の開発や調達機器を最適に組み合わせ、お客さまの生産物流および流通物流の生産性と品質の向上を実現している。

5 生産革新への挑戦

ムラテックは、絶え間ない生産革新を通じて、モノづくりを

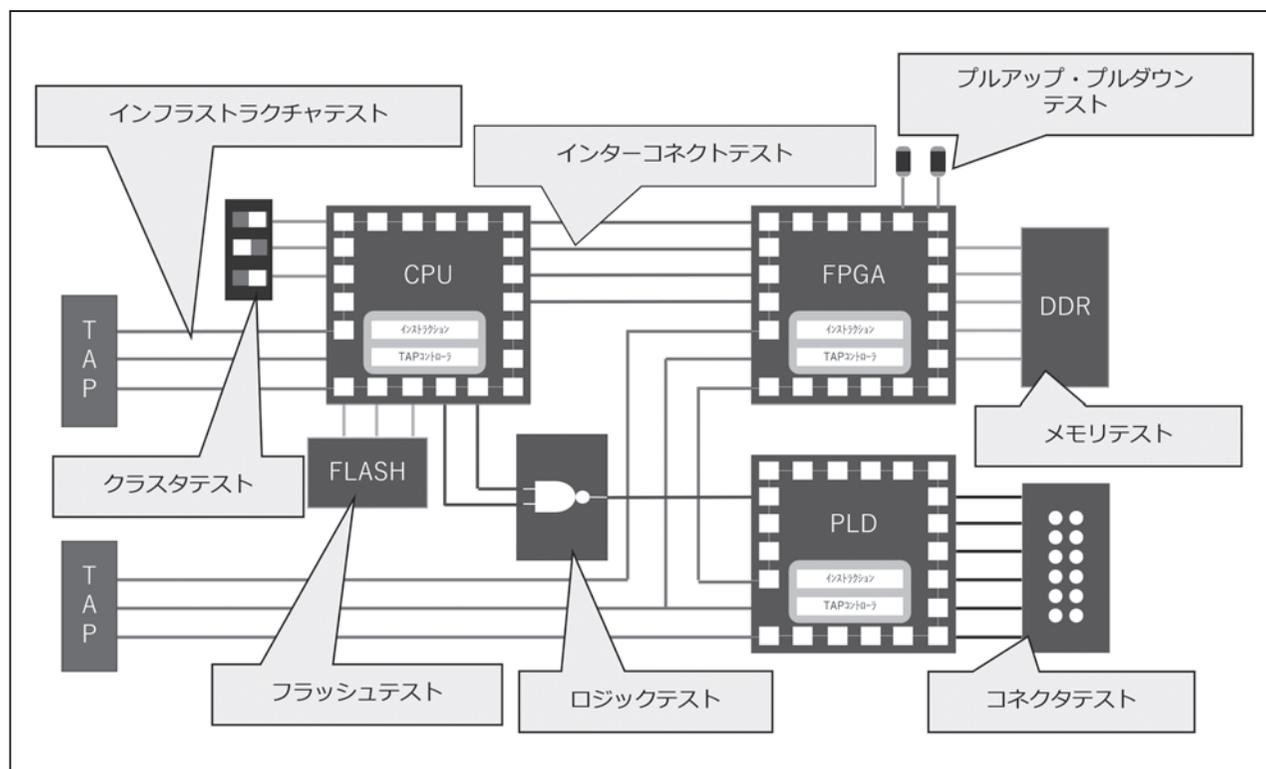


図3 JTAGテストツールによる範囲の拡大

進化させ続けている。1981年には犬山事業所で日本初のFMSの無人化工場を実現するなど、50年以上にわたり



図4 村田機械株式会社

生産革新の実績を蓄積している。1996年には国内でも最初の例として、大分工場の情報機器のセル生産を開始した。1999年には加賀工場の繊維機械にセル生産を導入し、2002年には本格的に展開した。当時は、ほとんど例のなかった大型産業機械でのセル生産の取り組みとして注目を集めた。さらに2004年工作機械、2005年ロジスティクス&オートメーション機器と、個別仕様・個別受注生産を特徴とする大

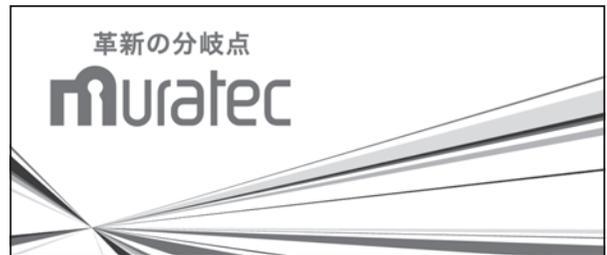


図5 ログマークのデザイン



図6 ムラテックの物流ソリューション

F E A T U R E

型産業機械においてもセル生産を導入して成功している。

現場の一人ひとりの創造性を生かして進化し続ける「セル生産方式」をベースに、「1 台流し」で需要変動に対応し、変種変量の「混流生産」を行う「単品生産方式」を、それぞれの製品特性、市場特性に合わせたバリエーションを展開しながら、各製造部で確立してきた。さらにITの活用では、販売や部品調達はもちろん、海外工場や外部協力会社とも連携した「見える化」を推進し、モノづくりのサプライチェーン・マネジメントを進化させている。

ムラテックは、お客さまの価値創造をお手伝いするモノづくりメーカーとして、ご注文をいただいてから出荷するまでの一連のサイクルをスピードアップすることで、仕掛り在庫や部品在庫の極小化を図り、需要変動に柔軟に対応できる納期対応力を強化し、つねにお客さまに満足いただけるQCD(品質・コスト・納期)を提供することを理想としている。お客さまの期待に応えるために、モノづくりを常に進化させ続ける取り組みを行っている。

つねに知恵を出し続け、進化し続ける人の集団であること。それが、ムラテックの考える「現場力」であり、現場の技能や知識を、改善に生かせる知恵へと変えるのが、「生産技術力」である。生産技術力をつねに発揮し続けられるためには、意欲とプロセスを評価し、失敗を恐れない動機付けが欠かせない。そのためには、問題が見える仕組みや、全員が知恵を出しやすくするための仕組み、技能や知識を組織の財産として継承する仕組み、つまり「管理技術力」が必要になってくる。管理技術力は、生産技術力の成果によって、また高められる。「現場力」とは、管理技術力と生産技術力、このサイクルを回し続けることで、つねに知恵を出し続け、進化し続ける人の集団となれることである。

ムラテックでは、現場力の向上を目指して、「小集団活動」と「自主研」を核に、さまざまな活動を展開している。50年以上の蓄積がある「小集団活動」は、現場の一人ひとりの問題解決力を向上させるプロセス学習の場として、人材育成の成果が求められる。一方、製造部長から現場リーダーまでの「タテ」と現場リーダー同士の「ヨコ」のネットワークで問題点と改善手法を共有する「自主研」は、トップダウンで課せられたテーマに取り組み、具体的なQCD向上の成果を追求している。「現場力」は、すべてのモノづくりの出発点であり、「モノづくりは人づくり」を合言葉に、ムラテックは現場力の向上を目指している。

6 JTAGテスト導入による生産革新の狙い

近年、実装基板の高密度化と高機能化が急速に進展している。この進化は新たな機能の実現と製品の小型化が求められる、同時に製造部門において新たな検査準備と故障解析の課題が出てきた。これらの課題を解決するためにJTAGテストを導入して生産プロセスの革新を推進している。

図7の基板は、村田機械(株)の自動倉庫向けクレーン、シャトル台車、AGV(無人搬送台車)、有軌道台車、天井搬送台車などに搭載されている制御基板で、自走する機器のほぼすべてに搭載されている。様々な業界、業種のお客様が使用している物流システムの保管、搬送、仕分けの各システムで、品物のハンドリングを担っている重要な基板のため、長期間にわたり高い品質が求められる。基板をみて分かるように、基板のサイズが小さく、BGAパッケージの部品を中心に、実装密度が非常に高くなっていることが分かる。

7 検査準備における課題とJTAGテスト導入メリット

搬送制御基板のような高密度基板の検査準備において、図8のように、おもに3つの課題があった。まず製品の高機能化と小型化に伴い、開発部門の負担が増えていることである。さらに、製品の開発だけではなく、量産検査の準備も担っているため、量産検査の準備工数を削減する必要があった。JTAGテストを導入したことにより、テストデータを自動生成ができるため開発者の負担を軽減し、製品開発にリソースを

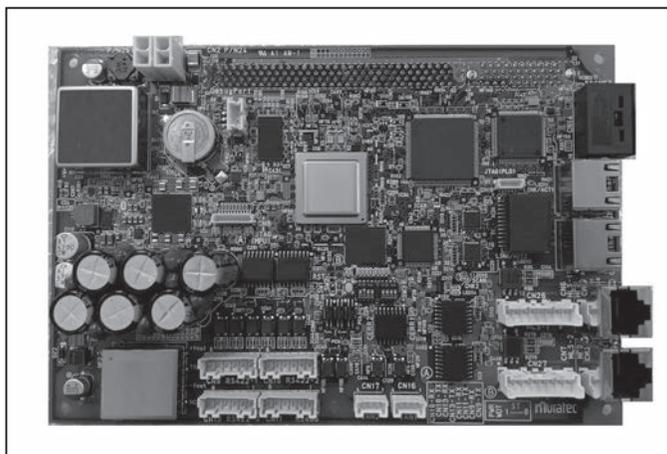


図7 テスト対象の搬送制御基板

集中することにより、製品の開発サイクルを短縮できるメリットが得られた。

次に、基板の高密度化の影響で、伝統的なプローブピンでコンタクトする検査手法であるインサーキットテストのピンアクセスが難しくなっていることが挙げられる。JTAGテストは、プローブピンでコンタクトすることができないBGAパッケージ部品を中心にテストができる。そのため、プローブピンを大幅に削減でき、テストカバレッジを拡大することができた。

また、製品の高機能化が進み、ファンクションテストが複雑化したことが挙げられる。製品のソフトウェアとは別に、製造検

査用のファンクションテストのソフトウェア開発は開発部門にとって負担が大きくなってきている。JTAGテストはバウンダリスキャンを使って、ファンクションテストを行うことができるため、バウンダリスキャンから制御できる回路の機能テストはJTAGテストに置き換えることができる。したがって、ファンクションテストの開発規模を大幅に削減することができた。

今後は、設計段階で検査の容易性を評価する「テスト容易化設計」を推進して、JTAGテストのテストカバレッジを最大化させて、ファンクションテストの準備期間を従来の1か月から

1週間に短縮することを目指している。この目標を実現できれば、開発部門の負担が軽減され、製品の市場投入が迅速化されることが期待される。

検査準備における課題とJTAGテスト導入メリット

- ① 製品の高機能化と小型化
製品開発と検査準備のための開発部門の負担増大
➡ JTAGテストはテストデータが自動生成でき、開発部門の負担を低減可能
- ② 基板の高密度化
インサーキットテストのピンを立てるのが困難
➡ JTAGテストはBGA部品を中心にテスト可能になりテストパッドを削減可能
- ③ ファンクションテストの開発規模が拡大
機能が複雑になり、検査ソフトウェアの開発期間が長期化
➡ JTAGテストは機能テストも行うことができファンクション

図8 検査準備における課題

8 JTAGテストの
実行結果

搬送制御基板(図7)のJTAGテストを実行した結果を図9に示す。テスト内容は、インターコネクトテストによる

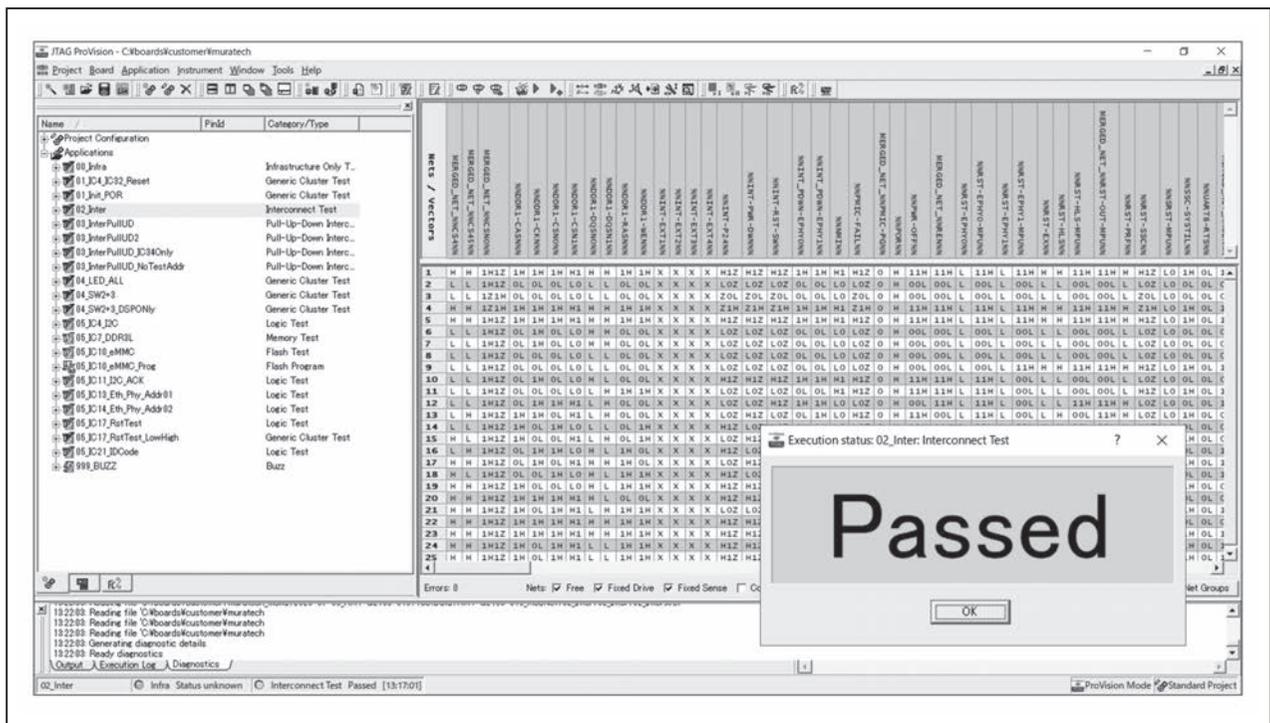


図9 JTAG ProVisionのJTAGテスト実行結果例

導通テストをはじめ、DDRメモリやeMMCメモリのテスト、プルアップ・プルダウン抵抗のテスト、I2Cのテストなど多岐にわたっていることが分かる。この結果は、Passedと表示されることから、検査に合格し良品基板として実装保証できたことになる。

もし、基板に不具合があった場合には、JTAG ProVisionの故障診断機能により、図10のような診断結果が得られる。この診断結果では、「Open pin IC6_AB4」(IC6 AB4番ピンがオープン不良)、「Open pin IC34_13」(IC34 13番ピンがオープン不良)ということまで、不良個所を絞り込めていることがわかる。また、どのような部品が接続されているかを回路図グラフという機能により、図11のように簡易的に回路

図を確認できる。この機能により、故障解析時に計測するポイントを回路図で確認しながら、迅速に故障解析の作業を行うことができる。

9 村田機械(株)が求める品質実現に向けて

近年、使用する部品の小型化が進み、さらにBGAパッケージ部品のボール間のピッチが狭くなると一般的に実装不良が増加する傾向にある。そのため、不良基板を市場に流出させないためには、製造検査による全ネットの実装保証を行うこと

Defect(s)	Net(s) or Pin	Board	Net	Device	Pin Type	Pin Nr	Pin Id
Open pin	IC6_AB4	modify_1	I2C-PMIC-SCL	IC4	Ctrl In	L1	I2C1_SCL_SCK
Open pin	IC34_13			IC34	BScan InOut	13	L_I2C_PMIC_SCL
				IC54	Data InOut	C3	COM2
				R31	InOut	1	1
		modify_1	I2C3-PMIC-SCL	IC6	BScan InOut	AB4	gpio6_11
				IC54	Data InOut	B3	NO2

Number of defects: 2 Board for Visualizer: modify_1

図10 JTAG ProVisionの故障診断結果例

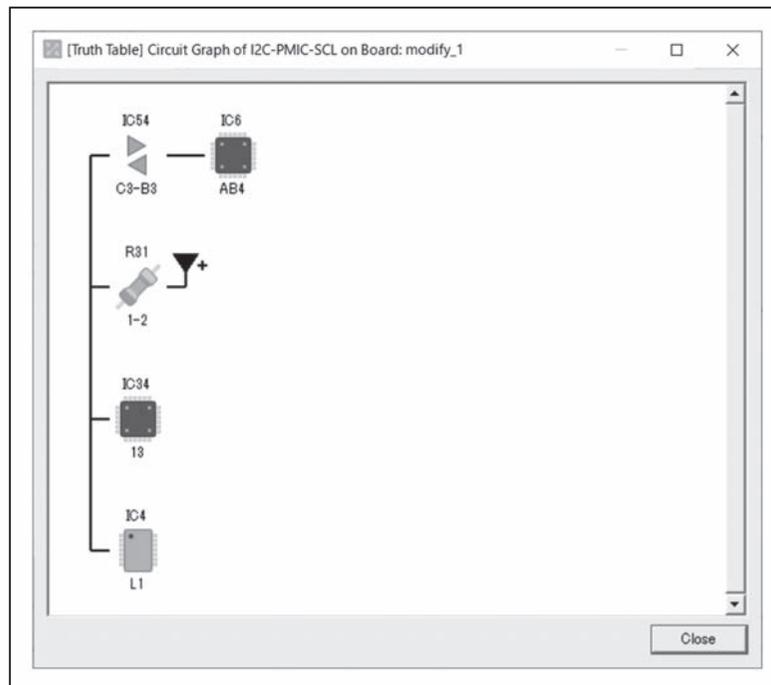


図11 回路図グラフ機能の表示例

非常に重要である。

JTAGテストを活用することにより、インサーキットテストやX線CT検査では特定できないBGA部品の不良個所を確実に特定することができるようになる。不良個所を特定した上で、統計解析や断面解析などを行い、真の故障原因を追及して、製造プロセスや設計プロセスへの的確なフィードバックを実現できるため、製造品質をさらに改善することができる。

このように、JTAGテスト導入により開発部門のデバッグの効率化と検査の準備工数を削減し、開発部門の開発サイクルを短縮できる。さらに、製造部門では効率的で迅速な検査準備と故障解析が可能となり、生産プロセスにおいて革新的な進化を遂げ、製品の競争力を飛躍的に向上させることが期待される。

10 まとめ

インサーキットテスト、ファンクションテストなどの従来の検査装置は、製造現場のみで活用されているが、JTAGテストはテスト準備に時間がかからないことから、開発初期の試作基板の受入れ検査から活用することができる。設計者は、試作

基板に不良が無いことを前提に、デバッグを進めることができるため、はんだ不良による無駄なデバッグ期間を削減でき、設計者もJTAGテストの恩恵を受けることができる。

JTAGテストを導入して大きな効果を上げている企業では、会社全体の取り組みとしてJTAGテストを導入し、開発初期の段階からJTAGテストを意識したテスト容易化設計(Design For Testability)を推進している。

設計の段階で製造検査を意識した設計を進めることにより、製造現場では検査タクトの短縮、検査品質の向上、検査準備工数の削減を実現できる。さらに、サービスの現場では故障個所を迅速に検出することができ、修理工数を削減することができるなど、企業全体のメリットが多くなる。

JTAGテストは、開発から製造、保守のすべての製品ライフサイクルにおいて、品質向上とコスト削減ができることから、企業全体の利益に繋がる検査手法となる。(図12)

現在抱えている実装検査の課題解決のみではなく、将来のさらなる高密度実装基板の時代にも対応できるJTAGテストを活用して、多くの企業の「基板検査の明るい未来」を実現できることを願う。

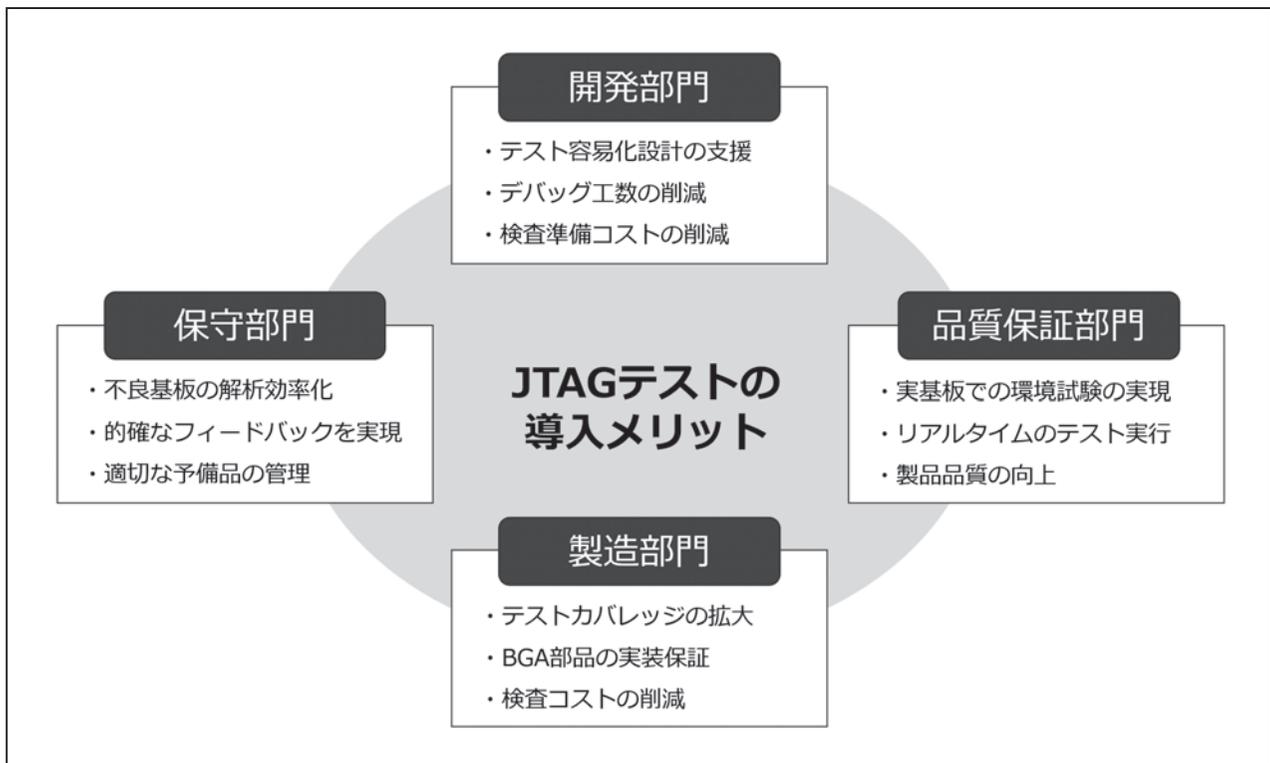


図12 企業全体の利益に繋がるJTAGテスト