

製品のライフサイクル全体に コスト削減をもたらす JTAGテストの活用方法

アンドールシステムサポート(株) / 谷口 正純

1 はじめに

IEEE Std 1149.1 バウンダリスキャンおよび関連規格に基づくJTAGテスト(ジェイタグテスト)は、現在の複雑なプリント基板のアセンブリにおける困難なテスト課題を解決するために、電子機器製造業界で広く使用されるようになった。

高密度実装基板では従来の試験方法の効率を大きく低下させたが、バウンダリスキャンテストが検査対象の基板へのアクセスの問題を克服したことにより、21世紀の卓越した実装テスト手法の1つになった。この成長は、JTAGテスト専用ソフトウェアの改善と、JTAGテストツールプロバイダによる機能拡張によってさらに促進されている。

今回は、JTAG Technologies社のJTAGテスト統合ソフトウェア「JTAG ProVision」を用いて、バウンダリスキャンとバウンダリスキャンの派生的な使用方法により、製造テストだけでなく、製品のライフサイクル全体にメリットをもたらすことができる活用例を紹介する。

2 JTAGテスト統合ソフトウェア「JTAG ProVision」

JTAG ProVisionは、実装基板および複数基板で構成されたシステムのバウンダリスキャンテストおよびインシステムプログラミングアプリケーションを生成するために使用される。この専門的な開発ツールは、完全に自動化されており、

30を超える異なるEDAおよびCAD/CAMシステムからの設計データのインポートをサポートしている。その他の重要なデータ入力は、JTAG対応デバイスのBSDLモデルとメモリ、バスロジック、およびパッシブパーツを含む29万種類を超えるJTAG非対応デバイスの動作を記述しているモデルライブラリがある。

JTAG ProVisionは、次の5つの特徴がある。

- ① 最小限のトレーニングで使いこなすことができる
- ② ウィザードで簡単にテストアプリケーションを生成できる
- ③ ボードテストと故障診断が自動化できる
- ④ インシステムプログラムができる
- ⑤ テストカバレッジの評価が短時間でできる

3 製品ライフサイクルにおけるバウンダリスキャンの役割

電子製品が開発からプロトタイプ、製造、そして最終的にサービスと修理のフェーズにいたるまで、ライフサイクルが進むにつれて、図1のように製品の責任も組織全体に移ってくる。ただし、ある部門次の部門への引き継ぎでは、さまざまな問題によって引き起こされる遅延や混乱が発生する可能性がある。これらの問題の1つは、部門によってさまざまなテスト手法とツールが使用されていることである。これは部門間の関係にストレスをかけ、問題の共通理解のためのコミュニ

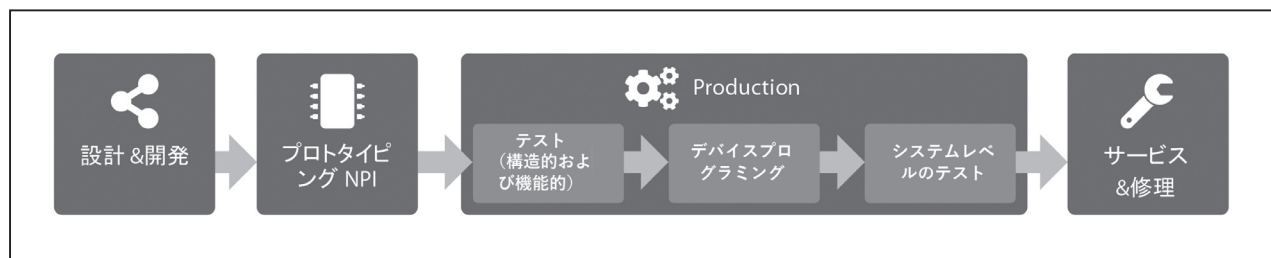


図1 製品のライフサイクル

ケーションが失敗する可能性があることを意味している。

問題が迅速に理解および解決されない場合、市場投入までの時間、修理の所要時間、製品の品質と信頼性などの重要な側面が許容範囲を超えてしまうことが考えられる。問題のある可能性と結果には、次のものが考えられる。

- ① テスト容易性や製造可能性の低さによって引き起こされる「試作基板の複数回のレイアウト変更とやり直しによる余分な設計サイクル」
- ② 設計の問題を発見を遅らせる製造上の欠陥に起因する「プロトタイプのデバッグ期間の長期化」
- ③ テストカバレッジの低さ、故障診断の不備による「製造上の障害における修理の問題」
- ④ 製造テストが間に合わないことによる「ファンクションテストへの過度の依存」と「ファンクションテストのトラブルシューティングに費やされた時間」
- ⑤ HASSまたはHALT環境テストでの原因不明の失敗「室温で消失する拡張応力と温度での破損」
- ⑥ 工場の故障診断能力低下による「修理時間の長期化と時間の損失」

部門間をまたがって、一貫してJTAGテストツールを提供することにより、様々な課題の解決ができ、さらにコスト削減と品質向上のメリットが得られる。JTAGバウンダリスキャン技術は、製品のライフサイクル全体にわたって「企業全体」で活用された場合に、特に効果的であることが世界中で証明されている。製品サイクルの早い段階でバウンダリスキャンのテ

ストカバレッジ分析ツールを使用すると、市場投入までの時間が短縮され、製品の品質が向上する。

回路設計者は、プロトタイピングの前に、製品で達成されるテストカバレッジを知ることができる。テストカバレッジが不十分であると見なされた場合は、部品選定や回路設計を変更してカバレッジを再検討し、後続のすべてのプロセスにおいて発生する遅延を回避できる。設計フェーズにテストカバレッジの要件を満たすため、テスト容易化設計 DFT (Design for Test) 分析を含めるという社内ルールを採用することにより、組織は無駄なレイアウトのやり直しと無駄な試作基板の製作を回避することができる。製品開発サイクルの早い段階でJTAGバウンダリスキャンのテストカバレッジ分析ツールを使用すると、市場投入までの時間が短縮でき、さらに製品の品質が向上する。

テストカバレッジの分析は、従来は検査手法ごとに蛍光ペンで回路図にマーキングしたり、スプレッドシートにマーキングしたり、手作業で確認していた。しかし、JTAG ProVisionでは、**図2**のように(本誌では1色なのでわかりづらいが)自動的に色分けされた回路図やスプレッドシート形式で表示できるため、すばやく簡単に分析できる。回路設計エンジニアは、基板レベルでカバレッジを評価でき、不十分であると見なされた場合は、部品の変更と回路設計を変更してテストカバレッジを再検討できる。テスト容易化設計 DFT (Design For Test) および製造容易化設計 DFM (Design For Manufacturing) の問題を早期に把握することにより、回路設計とレイアウト設計のやり直しによって引き起こされる遅延を回避することができる。

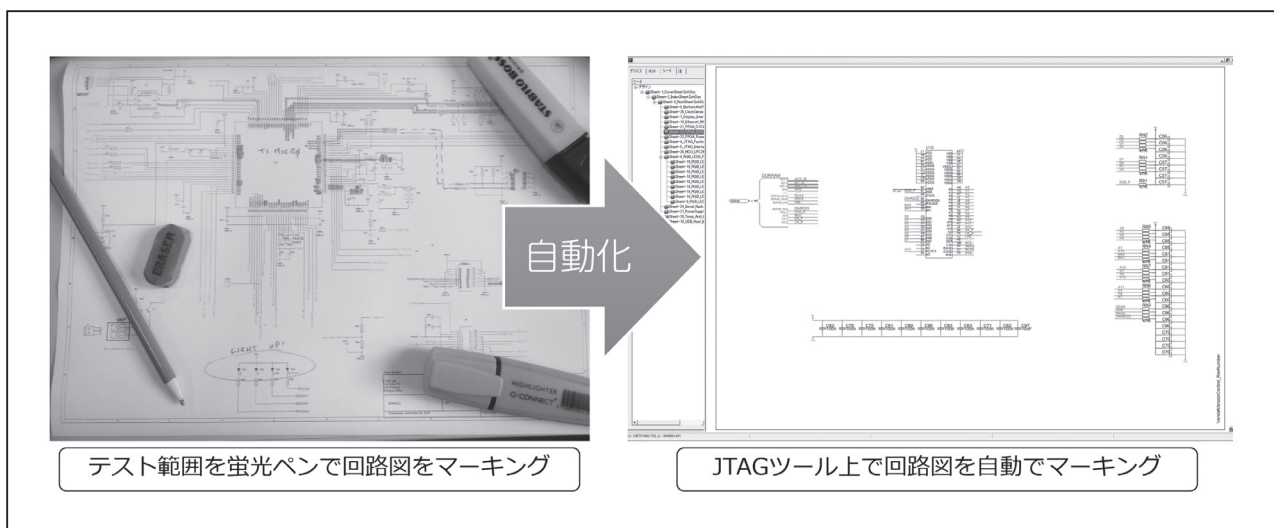


図2 テストカバレッジの評価方法

FEATURE

設計が完了すると、製造テストを必要とする試作基板が作成されるが、従来は検査治具やプログラムが必要な製造テストは実施されてこなかった。しかし、JTAGテストはケーブル接続による最小限のフィクスチャでテストを実行できるため、小規模な試作基板の受入検査や設計者の回路デバッグにも簡単に適用できる。開発初期の段階で実装上の欠陥をテストできるため、設計者はプロトタイプ的设计上の問題に集中して開発ができる。

デバッグにJTAGテストツールを使用すると、基板上的JTAG対応デバイスに簡単にアクセスして、信号を出力したりスキャンしたりすることができる。また、JTAG ProVisionには、ユーザーはPythonプログラムでデバイスのピンを容易に制御でき、ファンクションテストを抽象化して容易に開発できる。さらに、これらのツールは、ファームウェアの検証中にボード上のフラッシュプログラムとFPGA、PLDの書き込みができる便利なツールを提供している。JTAGテストアプリケーションを簡単に開発できるため、回路設計に変更があったときにも、テストおよびプログラミングにすばやく対応できることを意味している。

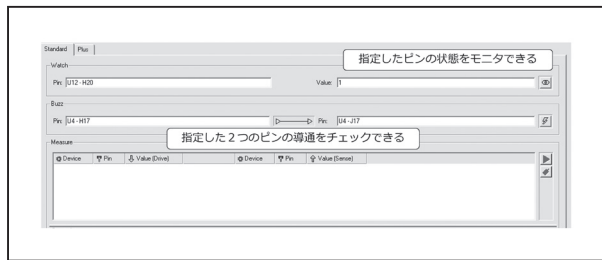


図3 デバッグツール「Buzz」

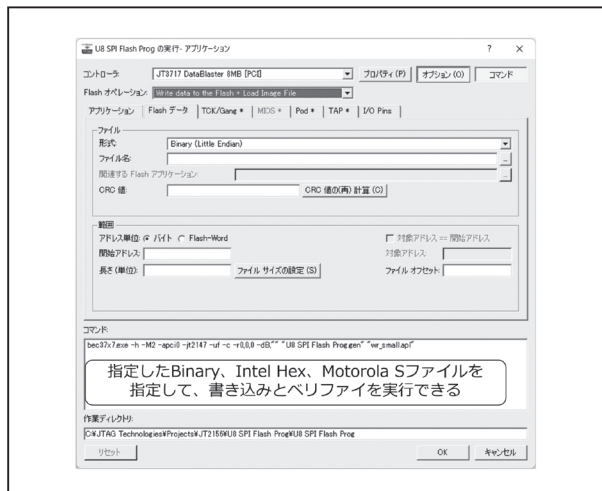


図4 フラッシュ書き込み機能

4 設計部門における JTAGテストの役割

1. 試作基板の早期立ち上げ

市場投入までの時間は非常に重要であり、新製品はできるだけ早く生産できるようにする必要がある。生産歩留まりを最適化するためには、回路設計時に十分に「テストが容易にできること」を検討する必要がある。テスト容易化設計のポイントは、当社が提供する小冊子「JTAG技術レポート2号」を参考にさせていただきたい (<https://www.andor.jp/jtag/download/jtag-report/>)。

JTAG テストツールには、設計エンジニアが設計の問題に集中し、はんだ付け不良やその他のアセンブリエラーによって引き起こされる可能性のある製造不良の問題を検出することで、貴重な開発時間を失うことを回避するのに役立つ。

また、基板の起動中にエラーが発生したときに、「設計ミス」と「はんだ不良」を切り分けるための便利なデバッグツール「Buzz」が提供される(図3)。基板上的JTAGデバイスのバウンダリスキャン機能を使用して、指定したピンの信号をモニタしたり、指定した2つのピンが導通しているかをインタラクティブにチェックしたりできる。

2. オンボードのデバイス書き込み

新製品の開発段階では、デバイスの書き込みとコンフィグレーションが重要になる。FPGAおよびCPLDでは、多くの場合、これらのデバイスのベンダーが提供する書き込み用のハードウェアとソフトウェアツールが使用される。また、フラッシュメモリおよび内蔵フラッシュメモリを備えたマイクロコントローラ、DSPの場合には、組み込みソフトウェアを開発するための開発ツールとJTAGデバッグプローブ (JTAG ICE)を

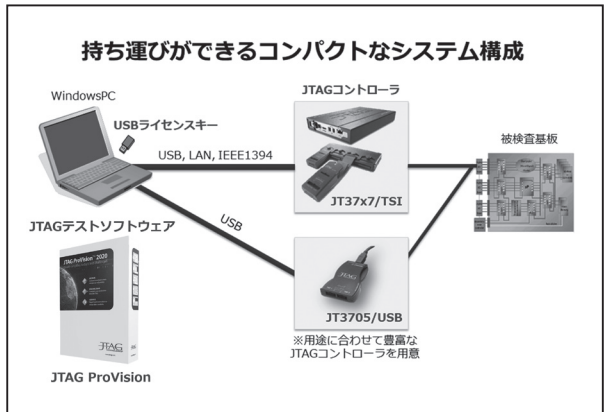


図5 コンパクトなJTAG検査装置

使用してプログラムされるが、JTAG ProVisionでは図4のインシステムプログラミングツールをオプションで提供され、JTAGテストから書き込みまで、1つのツールで実行することができる。

3. テストの容易性を最大化

量産時には、バウンダリスキャン機能を使用して、実装基板の製造上の欠陥をテストできる。基板のテスト容易化設計(DFT)を適用することにより、基板のバウンダリスキャン機能を十分に活用して、最適なバウンダリスキャンのテスト容易性を最大化できる。

複数基板のシステムの設計者は、JTAG ProVisionで複数基板を結合したプロジェクトを容易に作成して、回路図レベルでテストカパレッジをマーキング表示して、設計のアクセシビリティ、テスト容易性をすばやく評価できる。

4. 小規模の製造テスト

少量の実装基板テストの場合には、検査対象基板のマイコンのJTAGデバッグポート、もしくはFPGA、PLDのJTAG書き込みポートを使用して、JTAGコントローラをケーブル接続でテストを実行できる。図5のように大掛かりな検査治具は必要とせず、接続ケーブルを用意するだけで試作基板、量産試作、少量多品種の検査で活用できる。

5. 試作基板の改造結果のテスト

試作基板のデバッグ時に、設計ミスにより基板を改造することが頻繁にある。基板改造の結果を回路図に反映して、JTAGテストアプリケーションを再生成すれば、改造した結果に誤りがないかテストすることもできる。



図6 JTAGテストを組み込んだファンクションテスタ

5 製造部門における JTAGバウンダリスキャンの役割

1. 製造テスト

JTAG バウンダリスキャンは、いくつかの方法で量産テストを効率化させる。バウンダリスキャンのデバイス相互接続テスト(インターコネクトテスト)は高速で実行でき、わずか数秒でピンレベルの故障診断ができる。その結果、実装テスト用の検査治具は、基板とアクセスするためのプローブピンを削減して簡素化できるようになる。さらに、JTAGバウンダリスキャンツールは、小型のモジュールでありインサーキットテストやフライングプローブなど、図6のように工場で使用している実装検査装置と組み合わせて使用することができる。

2. JTAGファンクションテスト

従来の実装テストでは検出されない障害のあるボードは、通常のファンクションテストで簡単に合否判定はできるが、故障診断は難しいことが多い。バウンダリスキャンを活用したJTAGファンクションテストでは、故障診断が可能な機能テストを追加することができ、検査工程の初期の段階で製造上の欠陥がないことが保証されるため、廃棄基板を最小限に抑えることができる。

3. 故障診断

バウンダリスキャンからの正確な診断により、実装基板の修理を迅速に行うことができる。障害のあるデバイス、ピンを見つけるために試行錯誤するのではなく、1回のテストで故障診断結果が表示される。この精度は、製品の品質と製品から市場への時間の短縮にプラスの影響を及ぼす。図7のようにオペレーターにとって使い慣れたファンクションテストのGUIに



図7 ファンクションテスト用のGUIサンプル

FEATURE

統合してJTAGテストを使用できる。したがって、テスト時間の削減、テストステーションの削減、フロアスペースの削減、トレーニング要件の削減ができる。

4. プログラムの書き込み

インシステムデバイスプログラミング(オンボード書き込み)は、実装基板の生産のもう1つの重要な側面である。JTAG バウンダリスキャンは、さまざまなデバイスタイプ(NOR、NAND、シリアルフラッシュメモリ、FPGA、PLDなど)のテストと高いスループットのインシステムプログラミング(ISP)の両方を同じツールで実行できる。プログラミングは製造、検査工程の最適なポイントで実行され、再プログラミングが必要となる場合にも、ボードからデバイスを取り外すことなく簡単に実行できる。したがって、使用するツールの数を減らし、プロセスフローを簡素化することができる。

5. システムレベルのテスト

JTAGバウンダリスキャンの技術では、テストプログラミングとインシステムプログラミングの両方にシステムレベルで適用できる。JTAGコントローラにより、システム全体の同期をとりながら、基板間の相互接続をテストすることができる。また、JTAGコントローラをシステムに搭載することにより、システムを「セルフテスト」することができる。このような高度なアーキテクチャは、データコムや防衛・航空宇宙アプリケーションのように複雑なシステムへのテストおよびプログラミングアクセスを維持するのに有利になる。

6. 環境ストレステスト

製品の高い品質を実現するためには、環境ストレステスト(HASSおよびHALT)が重要である。図8のようにJTAG ProVisionは、エスペック株式会社の装置と連携して、製品基

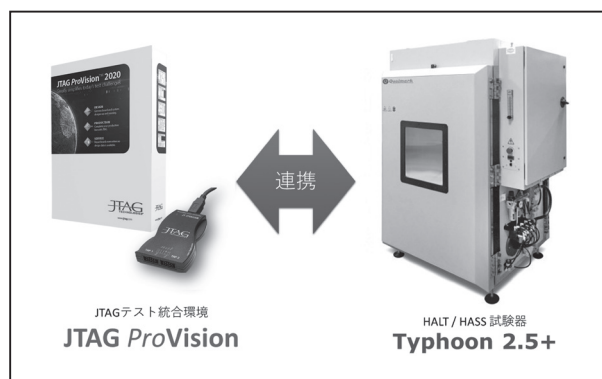


図8 環境試験とJTAGテストの連携

板の環境ストレステストを強力にサポートしている。ターゲットインターフェースは、干渉の影響をほとんど受けないコンパクトかつ少ないピン数のケーブルを使用して実装されているため、テストのセットアップは容易であり、バウンダリスキャンテストを連続実行しながら、環境に起因する障害を短時間で検出できる。テスト結果はタイムスタンプが付くため、後で診断することもできる。したがって、たとえば高温でのみ発生する可能性のある断続的な障害が確認されると、障害が検出されない状況が回避され、コストのかかるフィールドへの流出が防止される(環境ストレステストの詳細は、本誌の2020年9月号を参照)。

6 修理部門におけるバウンダリスキャンの役割

集中型および分散型の修理施設では、工場と同じJTAGバウンダリスキャンベースのテストを使用できるため、図9のようにテスト結果から故障診断結果が表示される。さらに、バウンダリスキャンはセットアップと接続が簡単であるため、修理部門は、段取りに時間をかけず、迅速に検査対象のテストアプリケーションに切り替えることができる。

したがって、テスト容易化設計の原則を遵守することを含め、製品が適切に計画されている場合、企業は多くの利点がある。製造部門から修理部門への責任の移行が合理化され、部門間のコミュニケーションが強化され、共通のテスト方法を使用することで部門をまたがる様々な問題が回避される。

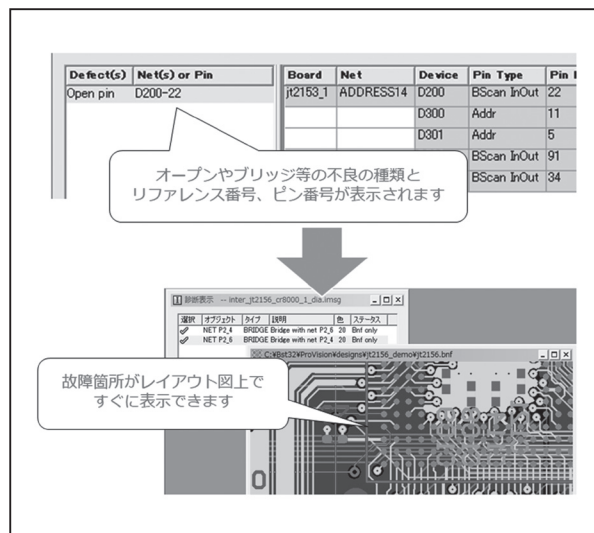



図9 JTAGテストによる故障診断結果

① 設計部門または製造部門のテストを再利用

製品の設計中に使用されたテストアプリケーション、または製造時に使用されたテストアプリケーションを再利用して、修理用のテスト準備期間を大幅に削減できる。

② 実装基板の修理

JTAG ProVisionの自動故障診断の結果を活用して、実装基板の修理を迅速に実施できる。また、JTAG対応部品の端子をインタラクティブにスキャンできるツール「Buzz(バズ)」では、BGA端子間の接続を容易にチェックできる。また、の「Active Test(アクティブテスト)」を使用して一連のテストパターン、テストベクターをマウス操作で設定し、非スキャンデバイスを簡単にテストできる。

③ デバイスプログラミング

稼働中のデバイスは、修理後、またはシステムアップグレードのために、すぐに利用できるプログラミングファイルを使用して再プログラミングできる。あらゆるタイプのデバイスが搭載されている可能性があるため、デバイスとデバイスタイプの全範囲がJTAG社のサービス機器によってサポートされている。

7 保守サービス部門におけるバウンダリスキャンの役割

保守サービスにおいて、障害発生時には迅速に対応することが求められる。しかし、今日の高密度実装基板においては、故障箇所を特定することは難しく、従来のテスト方法では故障診断に時間を要することが多い。しかし、JTAGテストでは、自動的に故障診断が実行されるため、短時間で故障箇所を特定することができ、迅速な保守サービスを提供できる。

また、実稼働している製品の故障診断結果は、設計部門と製造部門へフィードバックできる重要なデータとなり、設計品質と製造品質を改善することができる。

1. 故障診断

製造現場のテストステーションおよび修理ステーションの場合、故障診断ツールが検出した障害を分析し、障害のタイプと関連するネットおよびピンをレポートする。Visualizer(ビジュアライザー)のグラフィカル表示ソフトウェアを使用すると、レイアウト図で障害の場所を強調表示できるため、工場の修理技術者はボード上の障害を簡単に見つけ出すことができる。

2. デバイスプログラミング

多くの場合、デバイスはボード構成プロセスの一部として

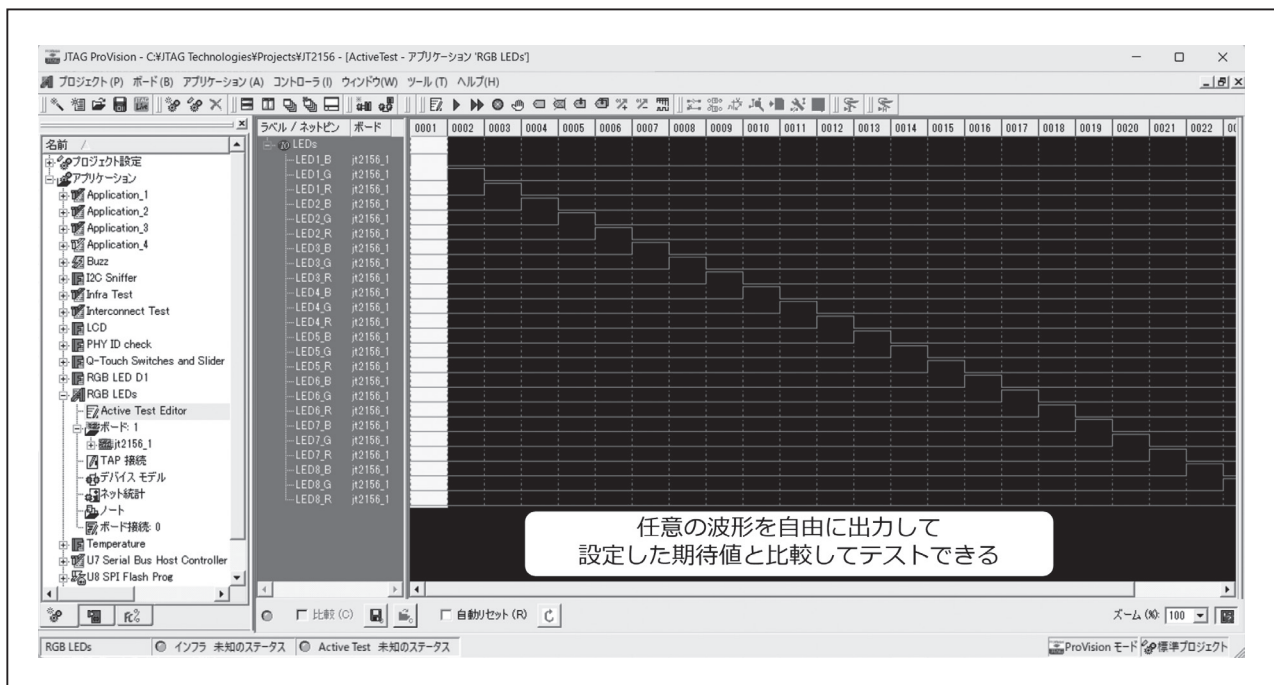


図 10 任意の波形を出力できるアクティブテスト

プログラムされる。利用可能なプログラミングソリューションは、デバイスタイプごとに異なるが、デバイスのタイプに応じて、プログラミングアプリケーションファイルは、JTAG ProVisionによって自動的に生成される。すべてのデバイスタイプのアプリケーションファイルは、スタンドアロンまたは他のシステムと統合されたJTAG社のランタイムパッケージで実行できる。

対応するデバイスは、フラッシュメモリ (NOR、NAND、シリアル)、マイクロコントローラとDSP (埋め込みフラッシュ)、FPGA、CPLD、PMBusデバイスなどがある。

3. フィールドの保守サービス

JTAGテストツールは、ノートパソコンと一緒に持ち運べる小型の検査装置のため、フィールドサービスで利用することができる。製造部門、設計部門で利用したテストアプリケーションを再利用できるため、質の高い検査をフィールドで実施でき、フィールドで故障診断結果を得ることができる。

8 テストは「付加価値のないムダ」なのか?

テストは、「付加価値のないムダ」と見なされることがよくある。しかし、この観点では「よく考えられたテスト戦略」において、大幅に削減される「実際のコスト」は無視されている。テスト戦略で考えられる製品のライフサイクルの問題を検討する場合、ファンクションテスト、インサーキットテストと組み合わせることで強化できるJTAGテストを使用することにより、測定可能なコストを大幅に削減できる。

製品のライフサイクル全体を通じて、JTAG バウンダリスキャンをテストおよびデバイスプログラミングに使用できるため、自動車、ヘルスケア、天文学、防衛、航空宇宙など、さまざまなハイテク業界が目指すべき品質とコストを実現するのに役立っている。近年のBGAパッケージ部品には、JTAG バウンダリスキャンの機能が内蔵されるようになり、**図11**のように基板上の多くの回路をテストできるようになった。製品のすべての

ライフサイクル (設計、製造、保守サービス) に携わる部門にJTAGテストツールを提供することで、あらゆる段階における検査品質の向上とコスト削減を実現できる。

9 まとめ

JTAGテストにより、企業全体で下記のメリットが得られるため、世界中のハイテク企業がバウンダリスキャンを使用し、下記のような様々な成功を経験している。

- ① 市場投入までの時間短縮
- ② 再利用可能なテストアプリケーション
- ③ テスト時間の短縮
- ④ 設計のやり直し削減
- ⑤ 効率的で経済的な生産

JTAGテストのテクノロジーの最大のメリットを得られるように、当社では、幅広い技術サポートとオンラインセミナー、YouTubeの動画などを提供している (<https://www.andor.jp/jtag/jtag-webinar/>)。経験豊富なテスト技術者が皆さまのテストの課題に向き合い、日々、テストの課題解決をサポートしている。BGAパッケージ部品が実装された高密度実装基板のテストでお困りの際には、お気軽にご相談いただきたい。

本内容が皆さまの実装基板検査の仕組みを再検討する機会になれば幸いである。

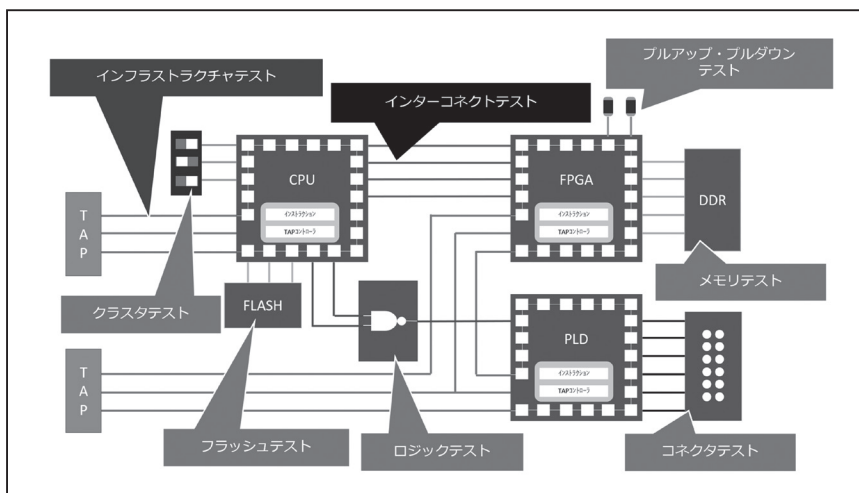


図11 JTAGテストの広いテストカバレッジ