

## 大容量3.5型HDDを実現する プリント基板の高密度実装技術

High-Density Mounting Technologies for Printed Circuit Boards in Large-Capacity 3.5-inch HDDs

徳田 孝太 TOKUDA Kota 梶 桂子 KAJI Keiko 石崎 聖和 ISHIZAKI Kiyokazu

ハードディスクドライブ(HDD)に搭載されるプリント基板には、大容量化に対応する高密度実装技術が求められる。特に、FPC(フレキシブルプリント基板)は、外形の制約が厳しい一方で、プリアンプICの多ピン・大型化によって、実装の難易度が高くなっている。工場でのHDD製造品質や生産性に影響することから、構想設計段階からの仕様最適化が重要である。

東芝デバイス&ストレージ(株)は、3.5型HDDの大容量化に対応し、設計上流段階で部品仕様を決定するとともに、製造品質や、実装性、信頼性などを考慮した最適化設計を実施し、更に信頼性検証を行うことで、高密度・高信頼性基板を実現している。

As a consequence of the increase in data storage capacity of hard disk drives (HDDs), there is a growing need for high-density mounting technologies for the printed circuit boards installed in them. In particular, flexible printed circuit boards (FPCs) incorporated in HDDs are facing critical issues including not only severe external restrictions but also the difficulty of mounting preamplifier integrated circuits (ICs) due to the increase in the number of pins and the size of packages. From the standpoints of both quality and productivity in HDD manufacturing, it is therefore necessary to optimize the specifications of FPCs from the conceptual design phase.

Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation has been taking the initiative in developing high-density printed circuit board mounting technologies to increase the capacity of 3.5-inch HDDs. We are promoting determination of the specifications of key parts at the initial stage of the design phase and optimization of design in consideration of manufacturing quality, mounting processes, and reliability, as well as reliability verification tests. These efforts are making a major contribution to the realization of high-density, high-reliability printed circuit boards suitable for 3.5-inch HDDs.

### 1. まえがき

東芝デバイス&ストレージ(株)は、サーバーシステムや監視カメラシステムなどに対応した、大容量3.5型HDDを製品化している。HDDに搭載するプリント基板は、構想設計からユニット組立まで、自社で設計・製造している。

図1に、HDD用プリント基板とFPCを示す。プリント基板は、複数のCPUや、磁気ヘッドから読み出されたアナログ信号の信号処理回路、ホストインターフェース回路などが組み込まれたSoC(System on a Chip)、DRAM、スピンドルモーターとボイスコイルモーターを駆動するモータードライバーICなどが搭載されるメイン基板である。

FPCは、磁気ヘッドとプリント基板を接続し、磁気ヘッドによるデータの書き込み、読み出しを行うプリアンプICが搭載される。FPCには、高速で動作するHDDのシークによる繰り返し折り曲げ動作に対する良好な柔軟性や、耐久性、清浄性などが求められる。

近年では、HDDの更なる大容量化を実現するため、磁

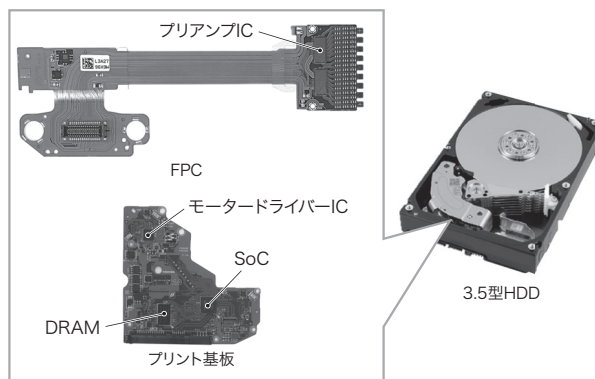


図1. 3.5型HDDに使用するプリント基板とFPC

大容量HDD用のプリント基板とFPCは、微細化・高密度実装技術への要求が厳しい。

Printed circuit board and FPC for 3.5-inch HDD

気ディスク枚数・磁気ヘッド本数の増加や、TDMR(Two Dimensional Magnetic Recording)、マイクロ波アシスト記録(MAMR: Microwave Assisted Magnetic Record-

ing)などの新しい記録方式により、プリアンプICは信号線数・ピン数の増加、多機能化、及び大型化が進んでいる。そのため最新のプリアンプIC向けに、FPCへの高密度実装技術が必要不可欠になっている。またプリアンプICは、多ピン化が可能なフリップチップ実装構造を採用しており、高品質で高信頼性のFPCを実現することは難しくなっている。

当社は、3.5型HDD用プリント基板の設計上流段階で、プリアンプICの仕様決めと合わせて、製造品質・実装性・信頼性を考慮した最適化設計及び信頼性検証を実施し、高密度及び高信頼性を実現している。

ここでは、大容量HDD用プリント基板の最新技術について述べる。

## 2. プリント基板開発

### 2.1 プリント基板開発の流れ

図2に、プリント基板開発の流れを示す。プリント基板開発は、回路設計、機構設計、プリント基板設計、生産設計、製造確認・実機検証の順に進め、各工程でシミュレーションによる検証を行う。

設計は、構想設計と詳細設計に分かれている。構想設計は、回路設計、機構設計、プリント基板設計であり、基本設計仕様を確立するプロセスである。詳細設計は、製造性や信頼性を検証しながら構造を具体化させて、寸法などの最終設計仕様を確立するプロセスである。

### 2.2 HDD用FPC開発への適用

FPC開発では、一般に設計段階で製造のしやすさを考慮した構想設計を実施する。HDD用FPC開発では、それに加えて高密度実装を実現するため、DFM (Design for

Manufacturability) や事前シミュレーションにより、プリアンプICパッド配置の最適化や、FPC配線パターン信頼性と品質の確保、仕様最適化によるコスト検証などを行う。自社工場で実施する製造性確認や実機検証結果を、設計ルールやシミュレーションモデルにフィードバックして、設計手法の妥当性を確認し、見直すことで、設計精度を高めている。

## 3. 半導体部品仕様決め及び設計事例

### 3.1 設計上の懸念点

半導体部品仕様はプリント基板仕様に影響し、プリント基板の製造性や、コスト、部品実装時の製造性、はんだ接合信頼性などに影響する。製造性・信頼性を確立するには長期評価が必要になるため、構想設計段階で、半導体外形などの部品仕様とプリント基板仕様を擦り合わせる事が重要である。特に、HDD用FPCにフリップチップ実装されるプリアンプICは、開発費や購入価格も高い重要部品であるため、構想設計時に仕様の最適化が必須となる。

例えば、プリアンプICが大型化した場合、はんだ接続の信頼性向上を目的としたアンダーフィル樹脂の塗布エリアと隣接部品との距離が短縮されることで、製造性が低下することが懸念される。また、熱負荷による変形が大きくなることによる、信頼性低下も懸念される。このとき、接続ピン数が増加すると、接続ピンからのパターンレイアウトが制限されるため、高密度で製造難易度の高い、高価なFPCが必要になる懸念がある。

### 3.2 設計事例

設計上の様々な懸念事項を解決するために、部品仕様

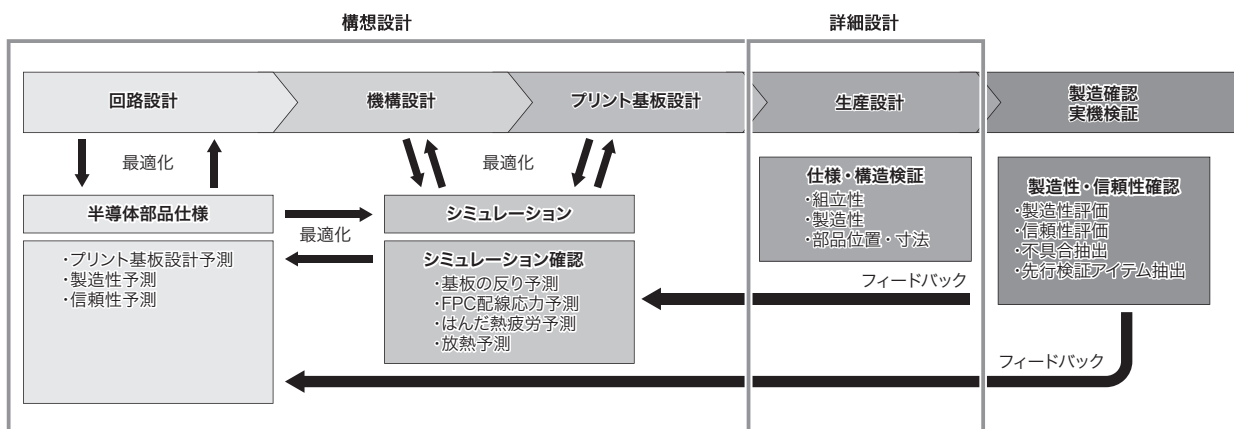


図2. プリント基板開発のフロー

半導体部品仕様を決める際に、プリント基板の製造品質や、生産性、信頼性などにも配慮する。

Flowchart of development of printed circuit boards

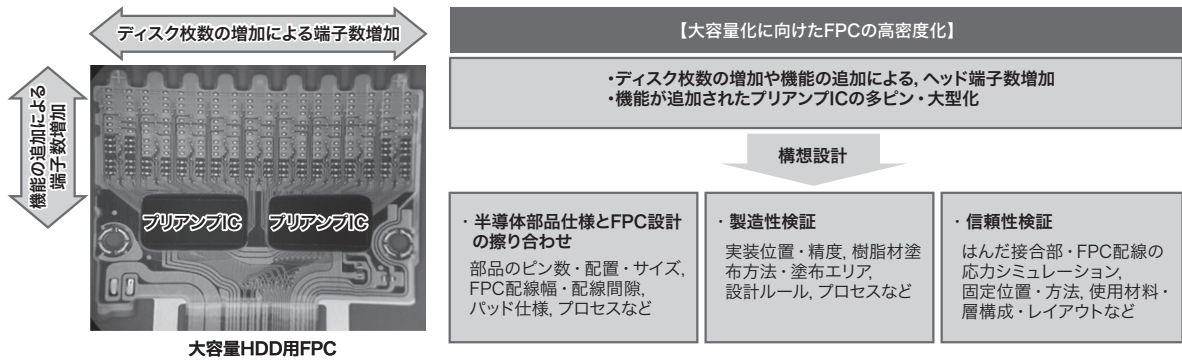


図3. 大容量HDD用FPCの設計最適化

多ピン・大型化する半導体部品仕様とFPC設計を擦り合わせ、製造性・信頼性を最適化した構想設計を行う。

Design optimization of FPC for large-capacity HDDs

は、FPC上の実装位置や、パターンレイアウトの自由度、FPCの信頼性などを、設計ルールや製造時の制約に配慮して決め、シミュレーションによる応力確認などで検証する。このように、上流の構想設計で、製造品質や、信頼性、コストなどを考慮している。

図3に、FPCの設計事例を示す。これらを実施するためには、社外の部品メーカーや基板メーカー、並びに国内外の製造拠点や関連部門との、先行した連携開発体制が必要である。

#### 4. シミュレーション事例

構想設計段階で、プリント基板やFPCの実装信頼性を確保するために各種シミュレーションを行い、抽出したリスクを回避するため設計にフィードバックする。

##### 4.1 基板の反りシミュレーション

HDDのプリント基板は、筐体(きょうたい)へのねじ止め固定で固定する。基板上の発熱部品と筐体の間には、放熱シートを圧縮して挟み込むため、基板には反り変形が生じる。過大な基板の反りは、HDD寸法の制約やはんだ接合部の実装信頼性に大きく影響することから、設計段階早期にユニット全体(筐体、基板、主要部品)をモデル化した基板ねじ止めのシミュレーションを行う(図4)。得られた基板の反り形状や部品のはんだ応力分布を確認し、基板の反りやはんだ応力を低減するような部品レイアウト・筐体設計を行う。

##### 4.2 FPC配線応力シミュレーション

HDD用FPCの熱負荷による変形は、機械部品へのねじ止めやICの配置の影響を受ける。例えばFPCのプリアンプIC実装部付近の配線は、配線に高い引っ張り応力が発生する場合に、断線故障のリスクがあることが分かっている。そのため、温度負荷に対する配線引っ張り応力を、設計段

階早期にシミュレーションにより評価し(図5)、配線レイアウト設計を改善する。更に、各機種のシミュレーション及び評価結果から得られた知見を蓄積していくことで、より断線リスクの少ない設計を実現している。

##### 4.3 はんだバンプの応力・ひずみシミュレーション

プリント基板に実装した部品のはんだ接合部では、HDDの動作により、部品と基板の熱膨張率の差に起因する繰り返し応力負荷が生じ、熱疲労破壊が起こるリスクがある。疲労信頼性の評価には温度サイクル試験が行われるが、結

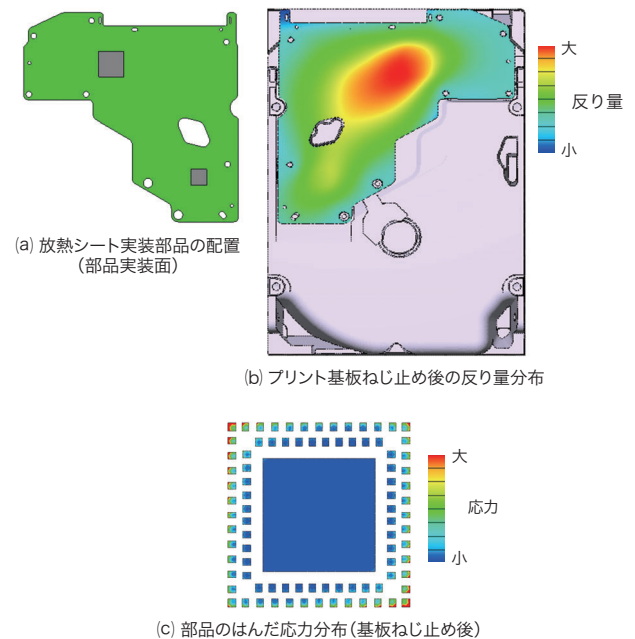
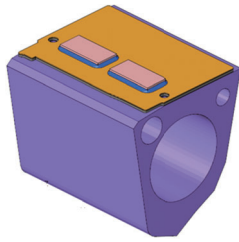


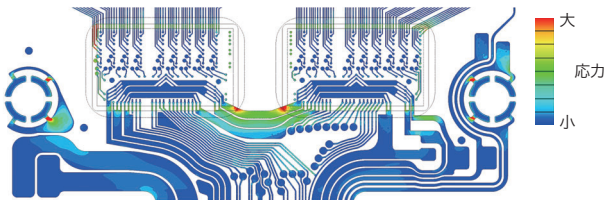
図4. プリント基板の反りシミュレーション結果

筐体にねじ止めた基板の、放熱シートによる反りと主要部品のはんだ応力を、構造解析で評価した。

Results of warpage simulation of printed circuit board



(a) メカ部品に取り付けられたプリアンプIC実装部のFPCモデル



(b) 温度負荷時のFPC配線の応力分布

図5. FPC配線の応力シミュレーション結果

機械部品にねじ止めたFPCの配線について、温度負荷時に大きな応力が発生する箇所を把握して、配線レイアウト設計の改善にフィードバックした。

Result of stress simulation of wiring patterns on FPC

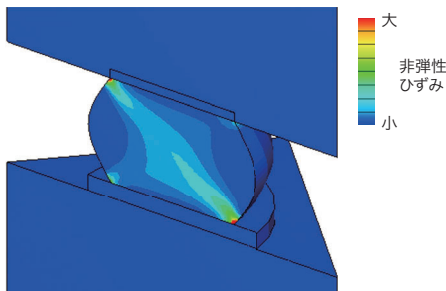


図6. 温度サイクル試験後のはんだバンプのひずみシミュレーション結果

HDDユニット全体に温度サイクル負荷を与えた後の、はんだバンプの非弾性ひずみ値から、はんだの熱疲労信頼性を予測した。

Result of strain simulation at solder bump after temperature cycle test

果が判明するまでには比較的長期間を要するため、図6のようにシミュレーションで得られたはんだの非弾性ひずみ値から、事前に熱疲労寿命を予測する。また、非弾性ひずみ値や分布を参考に、部品配置や、フットプリント設計、ねじ配置などの実装設計を検討する。

#### 4.4 熱シミュレーション

製品動作時の消費電力の見積もり値を使用した熱シミュレーションを行い、各部品の温度や温度に関する製品仕様を満たせるかどうかについて事前に評価する(図7)。その結果を基に、発熱部品のレイアウトや、基板のねじ止め位置、放熱シートの形状・材料などを検討する。ほかに、プリント基板のGND(接地)層の形状や位置など、放熱性に

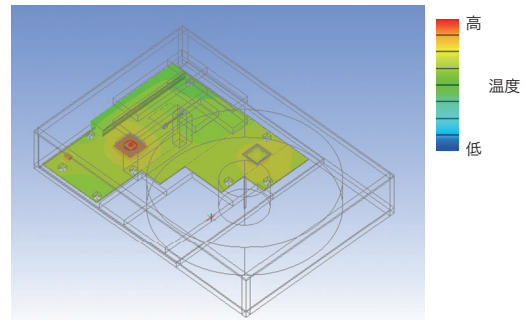


図7. HDD動作時のプリント基板の熱シミュレーション結果

発熱部品に、HDD動作時の消費電力を与えて温度上昇を評価し、部品や製品全体の温度仕様を満たすかどうかを確認した。

Result of thermal simulation of printed circuit board when HDD unit in operation

影響する電気的な設計にもフィードバックしている。

### 5. 実機による製造性確認

設計検証の効果を確認するため、実機を用いた製造性確認や信頼性試験を実施している。

#### 5.1 製造性

プリント基板の安定した量産品質を保つため、試作段階での問題点の洗い出しと早期改善が重要である。高密度化が進むFPCでは、回路配線パターンの微細化が進んでおり、実機検証による試作段階での製造条件の最適化が必要である。製造条件を検証することで、工程能力の改善を確認し、安定した量産品質を確保している。

#### 5.2 信頼性

回路配線パターンの微細化が進むに伴い、配線間の絶縁信頼性の低下などが懸念される。そのため、評価用のFPCを用いて絶縁抵抗試験を実施し、長期絶縁信頼性を確認している。

また、熱負荷によるはんだ接合及びFPC配線パターンの信頼性評価は、温度サイクル試験で検証している。ただし、この評価で用いるプリアンプIC及びFPCは実製品ではなく、外形寸法とはんだ形状が同じ疑似チップ、及び実製品を模擬したパターンのFPCを用いた。電気抵抗をモニタリングすることで故障サイクルを検出できるようにして、評価における劣化検出能力を向上させた。MG09シリーズにおける、温度サイクル試験後のはんだ接合部の断面を、図8に示す。温度サイクル試験後も、はんだ接合部に破断に至る劣化の発生は見られず、良好な状態であることを確認した。

このように、重要な部品については、実機検証による信頼性確認を早期に実施し、結果を設計やシミュレーションへフィードバックすることで、製品品質確保やシミュレーショ

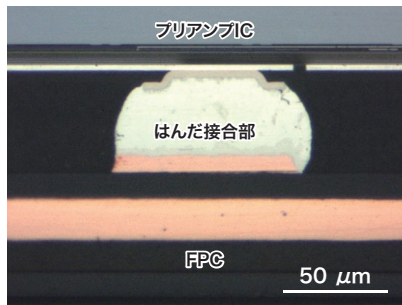


図8. 温度サイクル試験後のはんだ接合部の断面画像

温度サイクル試験後も、はんだ接合部に破断に至る劣化がないことを確認した。

Cross-sectional image of solder joint of preamplifier IC package mounted on FPC after temperature cycle tests

ンの精度向上を図っている。

## 6. MG09シリーズへの高密度実装技術適用

当社製ニアライン向け3.5型HDD MG09シリーズでは、スピントルク発振子を搭載するために、これまでになく多ピン・大型プリアンプICの搭載が必要になり、FPCの配線パターン幅、及び配線パターン間の間隔を、どちらも約20%縮小した。この際、DFMや事前シミュレーションによる、プリアンプICパッド配置の最適化や、FPC配線パターンの信頼性などの品質確保、実機による製造性確認などを実施することにより、高密度FPC実装技術を開発し、商品化を実現した。

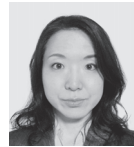
## 7. あとがき

HDDの技術進化に伴い、実装部品の多機能化、大型化、及び多ピン化が進み、高密度・高信頼性の実装技術も継続した進化が求められる。

今後もHDDの大容量化に向け、更なる高密度化を可能にする新規実装材料や実装構造などの検証を行い、高密度プリント基板の高品質・高信頼化を実現する技術開発を積極的に進めていく。



徳田 孝太 TOKUDA Kota  
東芝デバイス & ストレージ (株)  
デバイス & ストレージ研究開発センター  
パッケージソリューション技術開発部  
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.



梶 桂子 KAJI Keiko  
東芝デバイス & ストレージ (株)  
デバイス & ストレージ研究開発センター  
パッケージソリューション技術開発部  
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.



石崎 聖和 ISHIZAKI Kiyokazu  
東芝デバイス & ストレージ (株)  
デバイス & ストレージ研究開発センター  
パッケージソリューション技術開発部  
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.