

プリント基板ユニット開発における DFM の取組み

Application of DFM to the Development of Printed Circuit Board Units

杉野一仁 *
Kazuhito Sugino

吉江 啓 **
Akira Yoshie

村田英一 **
Eiichi Murata

* ProDeS グループ プラットフォーム開発事業部 第一技術部

** 基盤技術グループ テクノロジ開発部 開発部

近年の新製品開発では、「垂直立ち上げ」のキーワードに代表されるとおり、ものづくりのトータルのスピードアップ、品質、利益の確保が必要となっている。製造業である PFU も例外ではなく、その必要度合いは益々強くなってきている。PFU では、その解決策のひとつとして生産技術要件を設計段階に織り込む開発手法を積極的に取り入れ、ものづくりの効率化に取り組んでいる。

As is well expressed in the recently used key term "full production from the start", the key to product development has been the shortening of the entire manufacturing cycle and assurance of better quality and profit. Aware of this tendency, PFU as a manufacturer recognizes the growing importance of full production from the start.

PFU is actively promoting one of the solutions to this issue - namely, the adoption of a method of incorporating production technology requirements into design processes for manufacturing efficiency.

1 まえがき

「量産コストの削減」を新製品の初回出荷時から適用したい。これは筆者らが意図した目的であり、具体的には次のとおりである。

「量産製造のための準備期間を短縮したい。」

「製造コストを削減したい。」

「製造の品質向上など生産効率を上げたい。」

その解決策のひとつとして、製造性を考慮した「ものづくり易さ」の要件を設計段階から織り込む手法 DFM (Design for Manufacturing の略) を、約 6 年前からプリント基板ユニット開発に適用をはじめ成果を挙げてきた。

今回富士通ストレージシステム ETERNUS8000^{※1)} のコントローラユニットに実装されたプリント基板ユニット開発では、DFM の対象範囲をさらに広げた取組みを行った。

本論文では、これら DFM の取組についての活動状況、及び成果について紹介する。

2 DFM とは

DFM とは、新製品の開発期間を短縮することや製造コストを削減することなどを目的に「開発の上流工程である設計段階にて製造し易い設計を行う」ことである。プリント基板ユニット開発に当てはめると、製造工程の一部であるベアボード（プリント基板）製造やベアボードへの部品実装を行うアセンブリ時の量産製造ノウハウを、設計時に取り入れることである。

プリント基板ユニット開発工程は、回路設計、実装設計（配置・配線設計）を主とする設計工程と、ベアボード製造、ベアボードへの部品実装工程に代表される製造工程から成る。DFM 開発手法を適用する以前は、本来実現すべき機能や性能にのみ着意した設計・検証作業を行っていた。その後試作品を造り、機能・性能の実機検証を行いながら、ベアボード製造の面、ベアボードへの部品実装の面から量産時の製造容易性の検討、検証をはじめていた。その検証の結果、目標とした製造コストの達成が著しく困難と判断した場合には、ふたたび設計、

試作品製造を繰り返し、ある程度達成している場合は、量産後の改善を行ったりしていた。

このような「もの」(試作品)を作ってから製造性改善やコストダウン活動から脱却し、製造品質向上(Quality)、製造原価低減(Cost)、量産の早期安定(Delivery)、いわゆる QCD をより優れたものとするための開発手法のひとつが DFM である。

3 製造性検証を取り入れた DFM の取組み

PFU におけるプリント基板ユニットに関わる DFM の取組みは約 6 年前に遡る。設計段階におけるベアボード製造性チェックのための目視確認の工数削減や、チェック漏れによるベアボード製造メーカーからの差し戻し防止など、ベアボード自体の製造品質の向上を目的に、ベアボード製造性検証環境を立上げ、製品開発に適用を開始した。以降に詳細を説明する。

(1) 概要

製造性検証とは、ベアボードそのものの製造時に発生しうる問題をルール化し、設計段階で検証するための設計手法(検証環境)である。ここでいう問題とは、ベアボード製造工程での銅箔エッチングや穴あけ加工、シルクスクリーン印刷などで支障をきたすものを指す。この問題のほとんどは設計段階で検証、是正することにより回避可能なものであり、ベアボード製造メーカーからの差し戻しを予防した開発期間の短縮だけでなく、製造品質、歩留まりの向上が期待できる。

当時、PFU で運用していた汎用プリント基板ユニット設計 CAD システムは、配線パターンの幅や間隙、パターン配線長といった電気的なデザインルールチェック機能は充実していたものの、ベアボードの製造性を検証する機能は不十分であり、設計完了後の製造性確認のための目視チェックが必須作業となっていた。この目視

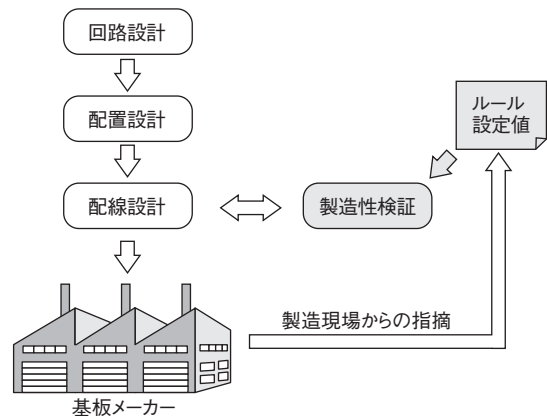
チェックに莫大な時間を必要とするだけでなく、検証漏れも生じ易いなど、ベアボード品質の向上や開発期間の短縮における大きな課題となっていた。さらに、ベアボード製造メーカーでも同様の検証が行われ、校正作業量の増加やその見込み誤りによる請負納期の遅延を引き起こす要因にもなっていた。

開発期間の短縮と品質向上を実現するために、ベアボード製造性検証ツールを導入し、図-1に示すプリント基板ユニット設計フローへの作業追加を図り、2001年度下期より製品開発への適用を開始した。

(2) 主な検証内容

製造性検証では、信号層、電源・グランド層検証、シルクスクリーン分析、ソルダーマスク検証、ドリル検証など、約 150 項目以上の自動検証を実施している。自動検証による具体的な不良検出例を図-2に挙げる。

製造性検証の立上げにあたり、検証を実施する項目を選定し、その各項目におけるルールの設定値を PFU 標準ルールとして策定した。従来から運用していた PFU ベアボード設計規格をベースに、複数のベアボードメーカーの製造基準や過去の指摘事項などのノウハウ



●図-1 製造性検証を織り込んだ設計フロー●
(Fig.1-Design flow incorporating manufacturability verification)



●図-2 自動検証結果例●
(Fig.2-Automatic verification result example)

を反映することにより実態に即したルールとすることを心掛けた。

(3) 実績

適用をはじめた 2001 年度では、ベアボード製造メーカーへ発注した基板全体に対して、製造性検証の適用率は 11.3 % だった。しかし、その後の普及活動により適用率は年々向上し、2003 年度には 46.1 %、2006 年度上期は 76.1 % となり、「製造性検証」作業が確実に設計フローに定着したと判断している。2007 年度には適用率 100 % を目指している。

図-3 に DFM 適用実績推移を示す。

(4) 効果

1) 製造性チェック時間短縮

これまで目視確認していた製造性チェックの作業を大幅に自動化したことにより、1 回当りの目視チェック時間を 60 % 短縮した。図-4 は、あるベアボードに対して、DFM 自動検証の適用前後での 1 回のチェック時間を比較したものである。この例では、4 時間 → 1.5 時間に短縮したことを表している。

2) 品質向上

製造性検証が普及した頃あいを見はからい、約半年間分のプリント基板ユニット開発について、製造性検証での不具合の有無と、そこで検出された不具合内容を分析した。その結果を図-5 に示す。

製造性検証を適用したプリント基板ユニット全体の 33 % には、内層分断やショート、内層分割ライン上のビアなどの致命的な欠陥が検出され、即時リメイクが必要となるケースであった。この欠陥を事前に発見することにより、実機評価の開始遅延による開発全体

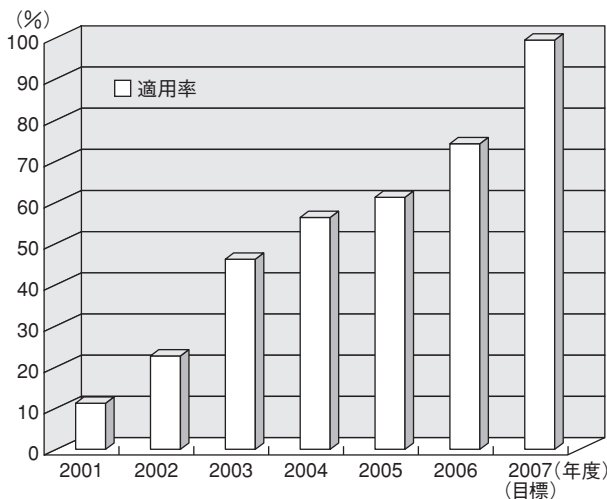
の遅れを回避した。また、即時リメイクには至らないが、サーマル接続の減少や同一ネットスペース不足など、動作不安定、歩留まり低下を引き起こすケースが全体の 48 % に含まれていた。つまり全体の 81 % が量産までにリメイクを必要としていたことが分かった。製造性検証の導入により、ベアボードに起因するリメイク作業量を削減し、ベアボード品質の向上と開発コストの低減が可能となった。

4 実装性検証による DFM 拡大の取組み

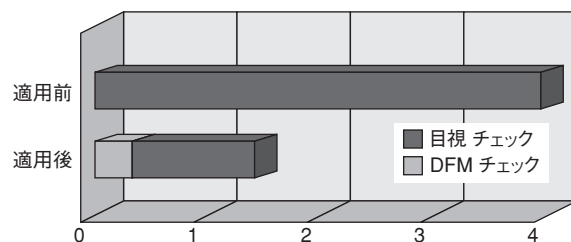
今回の富士通ストレージシステム ETERNUS8000 のコントローラユニットに実装されるプリント基板ユニット開発では、より広範囲な DFM の取組みを行った。さらに製造効率を高めることを狙いとし、ベアボードに部品を実装する際に起こりうる数々の問題を設計段階で発見するため、プリント基板ユニットの実装性検証（アセンブリ検証）を導入したのである。図-6 に実装性検証を織り込んだプリント基板ユニット設計フローを示す。

(1) 概要

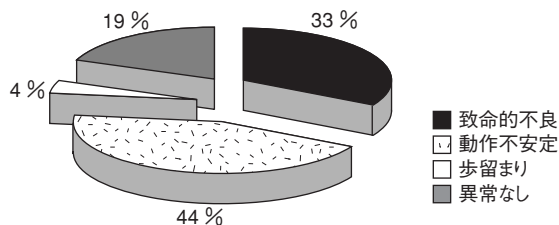
プリント基板ユニットの実装性に関する検証は、部門で蓄積したノウハウやアセンブリ・メーカーから入手した情報を元に作成したチェックシートによる検証を行



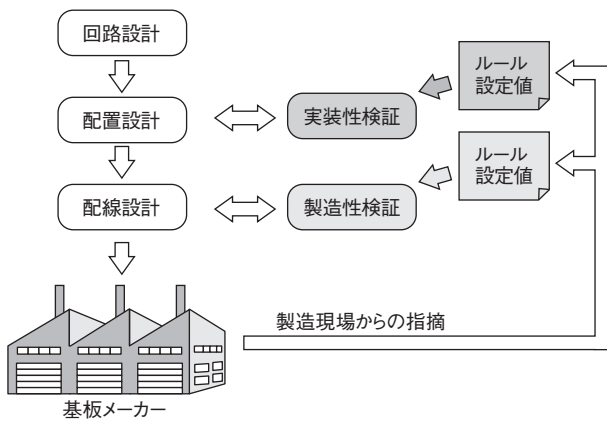
●図-3 DFM 適用実績推移●
(Fig.3-Chart of DFM applications)



●図-4 DFM 適用前後の製造性チェック時間比較●
(Fig.4-Comparison of time expended for manufacturability check before and after application of DFM)



●図-5 製造性検証の適用後における分析●
(Fig.5-Analysis after application of manufacturability verification)



●図-6 実装性検証を織り込んだプリント基板設計フロー●
(Fig.6-Printed circuit board design flow incorporating implementability verification)

っていた。しかし、プリント基板ユニットの集積度が向上し、増加の一途を辿る検証量に対して、検証時間の増大、検証漏れ、差し戻しの発生といった問題が発生していた。また、更なる製造コストの低減を目的とした新規アセンブリ・メーカーの採用が増える傾向にあり、アセンブリ・メーカー毎に管理値や許容値が異なるため、この問題はさらに開発への足かせとなる傾向にあった。

この課題を解決するため、実装性検証を導入し、チェック項目の見直しと再ルール化、及び、検証の自動化を図った。その結果、ベアボードに部品が実装される時の問題を事前に見つけ出すことや、プリント基板ユニットを装置筐体に組み込む作業効率の向上、さらに部品交換などのプリント基板ユニット修理時の作業性向上、といったプリント基板ユニットのライフサイクルまでも想定した検証が可能となった。

(2) 検証内容

基板形状、パターン形状、部品実装配置（部品干渉、対筐体干渉など）、シルクスクリーン表示内容など約160項目についてのDFMチェック項目について検証を実施した。表-1にDFMチェック内容と自動検証による不良検出例を記す。

(3) 効果

この実装性検証を行ったプリント基板ユニット開発での効果は次のとおりで、大きな成果を得た。

1) 品質面 (Q)

製造したプリント基板ユニットは、その後工程にて外観検査やICT検査、機能検査などの検査を行い可否判定する。その不合格件数が1/7（85%の改善）に減少した。

2) コスト面 (C), 早期安定 (D)

製造治具、検査治具の開発期間やアセンブリ条件を洗い出し確定させるまでの作業時間などプリント基板ユニットの量産立ち上げ準備工数を短縮した。時間換算にて15%~20%の改善となった。

5 今後のDFM取組み予定

今後のDFMの取組みは次の三つの重点項目を中心に推進していく考えである。

(1) 3次元データの活用

プリント基板ユニットを組み込む筐体の開発では3次元CADを利用している。プリント基板ユニットの外形、実装部品の形状や位置情報、筐体の形状からくる部品や配線パターンの禁止領域など、プリント基板ユニット設計CADと3次元設計CADとの双方向のデータ連携を図ることにより、装置トータルとしてのDFM活動を推進していく。

(2) 自動チェック化の推進

今回の実装性検証では、設計データの目視確認が必要な項目が残っており、自動化への改善余地がある。より自動化を推進し、設計者の負担軽減、さらに設計工数の低減を推進して行く。

(3) 製造環境の進化への対応

昨今、ものづくり技術の進歩は著しく、技術、材料、装置などの製造環境はたゆまぬ進化を遂げている。その進化した製造環境に適したDFMチェック項目をタイムリーに連動していくことが大切である。その仕組みを業務フローに取り入れ、定着を図っていく。

6 むすび

プリント基板ユニット開発におけるDFMの取組みを過去に遡って紹介した。

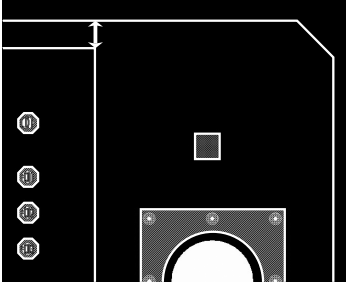
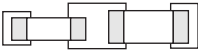
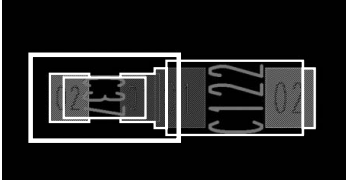
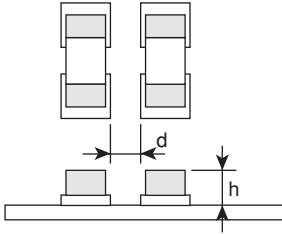
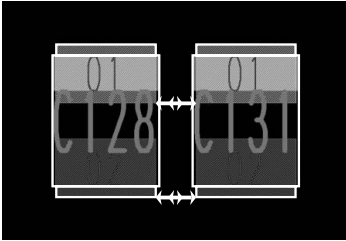
PFUでは、ベアボード製造制約条件や最適アセンブリ条件を系統立ててルール化し、設計段階での「ものづくり易さ」の検証、改善ができる開発環境を構築、運用し効果を挙げた。

今後も市場動向、顧客要求に合わせた製品をタイムリーに提供するため、開発環境を継続的に進化させて行きたい。

参考文献

参1) ストレージシステム ETERNUS 紹介ホームページ
<http://storage-system.fujitsu.com/jp/>

●表-1 DFM チェック内容と自動検証による不良検出例●

チェック項目	チェック内容	自動検証による不良検出例
部品と基板外形のクリアランス	部品配置は基板外形から規定以上のクリアランスをとること。 また、切り欠け部からも規定以上離すこと。	<p>部品と基板外形の接近</p> 
フットプリント共有不可 (部品立ち発生回避)		<p>部品立ちの発生</p> 
部品相互間の間隔 (高さ考慮)	<p>部品間隔 (d) と部品高さ (h) について、相関する規定条件を守ること。</p> 	<p>部品間スペース (高さを考慮)</p> 
部品方向	部品実装方向 (X-Y 座標) を統一すること。	