

博士学位論文

生産終息を迎えるコンポーネント代替えのための
品質評価プロセスと設計変更マネジメント
The Quality Verification Process and Design Change Management
for Components Replacement in Case of End of Life

2012年3月

慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科
システムデザイン・マネジメント専攻

都丸 孝之

要旨

本論文では、製品を構成する部品の生産の終息（以下、EOL(End of life)と呼ぶ）時に、代替え部品の品質評価期間を短縮化し、製品と代替え部品の不適合問題を短期間で解消するための方法について論じている。EOL 時における代替え部品の品質評価は、電子部品など、設計変更が頻繁に発生する業界において、コストや製品品質を左右する重要な問題である。本論文では、まず、EOL 時における代替え部品の物理テストを最小限に抑えるため、信頼性が高く、かつ技術力の高いサプライヤーを見極めるための技術評価指標を示している。次に、部品トラブルの再発防止のため、膨大な品質確認項目となりやすい FMEA (Failure Mode Effect Analysis) の評価項目をスリム化するための方法を提案している。さらに、以上のような方策によっても製品と代替え部品との間に不適合が生じた場合に対応できる設計変更マネジメント手法について論じている。

本論文は 6 章からなり、1 章では、部品の品質評価プロセスを分析し、EOL 時における代替え部品の品質評価期間が長くなる原因を調査している。サプライヤーの技術アセスメントが不足しているため、部品品質を確認するための FMEA や物理的テストの負荷が大きくなってしまふこと、さらには、製品と代替え部品の間で機械的、電氣的な不適合問題が発生した場合、不適合の原因調査と設計対策に大きな時間がかかることを明確化している。

2 章では、部品 EOL 時における代替え部品の品質評価を効率化するためのシステムティック品質評価プロセスを提案している。これは、従来の品質評価プロセスに、サプライヤーの技術アセスメント、物理的な部品の品質評価を最小限にするためのリーン品質評価プロセス、EOL 時における代替え部品と製品の適合性を向上させるための設計変更マネジメントを追加した新しい品質評価プロセスである。

3 章では、代替え部品の物理テストを最小限に抑えるために、信頼性が高く、かつ技術力の高いサプライヤーを見極めるための技術評価指標を提案している。部品設計や故障解析等の情報開示能力、部品トラブルが発生した際の迅速な対応といった新たな評価指標を用いることで、サプライヤーを定量的に評価している。評価点の高いサプライ

ヤーは市場品質に優れているという仮説をたて、実際にサプライヤーの部品を製品に組み込み、部品の市場品質を長期間に渡り検証することで、提案したサプライヤーの評価指標の妥当性を証明している。

4章では、EOL までの期間の短い部品を対象に、リーンで効率的な品質評価プロセスを提案し、FMEA の膨大な評価項目をスリム化するための具体的な方法について述べている。具体的には、QFD (Quality Function Deployment) の併用、部品の技術変更点の考慮により大幅な品質評価期間の短縮化を図っている。本プロセスを複写機等に搭載されているハードディスクドライブ (HDD) へ適用し、品質評価項目のスリム化と品質評価期間の短縮化が実現されることを確認している。

前章までの方法をとってもなお、製品と代替え部品との不適合問題が生じてしまう可能性がある。そこで、これを短期間で解消し、なおかつ代替え部品の選択の幅を広げておくことを目的とし、5章では、適合コンポーネントを用いた製品の設計変更マネジメント手法について述べている。適合コンポーネントを組み合わせた HDD と複写機との適合性を検証した結果、不適合問題を短期間で解消し易くなること、代替え部品の選択の幅を広げることができることを示している。

最後に6章では、本論文の結論と、今後の展開について述べている。

Abstract

This paper proposes three methods in order to make quality test for components more efficient and fix an incompatibility problem between a product and a component in case of component EOL (End of Life). First, this paper proposes new measures for supplier assessment and a systematic approach to select suppliers that have in-depth knowledge of component reliability and technology. Second, this paper proposes lean verification process to streamline FMEA (Failure Mode Effect Analysis) which tends to be enormous and minimize physical test. Third, this paper proposes the design change management to fix an incompatibility problem between a product and a replacement in case of component EOL.

Chapter 1 investigates existing quality verification process and factors to cause long terms test in component EOL. In the result, insufficient supplier's technology assessment causes enormous verification items of FMEA and long term physical test to prevent component quality problems. Furthermore, if an incompatibility problem between a product and a replacement in component EOL such as mechanical and electrical problem occurs, it takes long time to investigate cause of an incompatibility and fix the design change for an incompatibility. That's reason three area research need.

Chapter 2 proposes systematic verification process to streamline physical test and quality check of a replacement in component EOL. This is new verification process and adds supplier's technology assessment, the lean verification process to minimize component's physical test and the design change management to easily integrate a product and a replacement in component EOL.

Chapter 3 proposes new measures to select suppliers that have in-depth knowledge of component reliability and technology to minimize component's physical test. The measures for selection include information disclosures from suppliers which consist of details of the component design, failure analysis and prompt action in case of component problems. The proposed measures are applied to real data of photocopier manufacturing enterprises. Experiments show that proposes new measures enable selecting appropriate suppliers with a lower component failure rate and the result of experiments also shows that proposed new measures for supplier's selection are appropriate.

Chapter 4 proposes lean quality verification process to streamline FMEA which tends to be enormous test items. This process focus on short life cycle's electronics components and lead to reduction of component's verification items by utilizing QFD (Quality Function Deployment), FTA (Fault Tree Analysis) and by identifying the design and technology changes in a component replacement. By applying this process to a HDD (Hard Disk Drive) in photocopier machines it results in reducing quality verification items in FMEA and saved quality verification time.

It is possible to happen to incompatible problems between a product and a replacement in component EOL even though product engineers verify component quality using FMEA. Therefore Chapter 5 proposes the design change management ultizing the component adaptation to easily integrate a product and a component replacement in an incompatibility problem. By intoroducing the HDD module integrating the component adaptation in photocopire machines, the author results in improving the compatibility between a replacement HDD and a photocopier machine and reducing the verification time.

Chapter 6 describes the result of three area researches proposed in Chapter 1 and future researches.

目次

1章	序論	1
1.1	研究の背景と目的	
1.1.1	一般的な部品調達の問題	1
1.1.1.1	在庫問題	1
1.1.1.2	部品調達コストの問題	4
1.1.1.3	製品の生産維持の問題	5
1.1.2	部品 EOL 時における部品調達の課題	6
1.1.3	研究目的	12
1.2	サプライヤー選定と部品品質評価の課題	13
1.2.1	一般的なサプライヤー選定プロセスと課題	13
1.2.2	部品品質評価プロセスの課題分析	15
1.2.3	先行研究	19
1.2.4	研究目標	27
1.3	本研究の適用フェーズ	29
1.4	本論文の構成	30
2章	システマティック部品評価アプローチ	31
2.1	従来の部品品質評価プロセス	31
2.2	システマティック品質評価プロセス	35
2.3	ブラックボックス部品導入の課題	37
2.4	ブラックボックス部品導入のための品質評価プロセス	41
2.5	まとめ	48
3章	サプライヤー技術アセスメント	49
3.1	ブラックボックス部品導入のためのサプライヤー選定プロセス	49
3.2	サプライヤーの技術評価指標	52
3.3	技術アセスメントの実施	59

3.4	技術アセスメント結果	61
3.5	まとめ	69
4章	リーン品質評価プロセス	70
4.1	電子部品のリーン品質評価プロセス	70
4.1.1	FMEA	70
4.1.2	QFDを用いたリーン化	81
4.1.3	代替え部品の技術変更点を考慮したリーン化	91
4.1.4	FTAを用いた複合試験の導入	95
4.2	評価項目・評価期間の効率化見積り	98
4.3	まとめ	100
5章	設計変更マネジメント	101
5.1	部品と製品との適合性検証による評価の限界	101
5.2	品質問題が発生した際に実施する部品および製品側の対応	104
5.3	適合コンポーネントを用いた設計変更マネジメント手法	108
5.4	適用事例	111
5.5	まとめ	120
6章	結論と今後の展開	121
	参考文献	125
	研究業績	133
	謝辞	134

1 章 序論

1.1 研究の背景と目的

1.1.1 一般的な部品調達の課題

ここ数十年、さまざまな民生機器メーカーが、部品調達コストを低減するため、取引先であるサプライヤーの見直しや製品や生産用部品の在庫の低減を試みている。しかしながら、デルコンピュータなど、ごく一部を除き、日本国内の大手民生機器メーカーにおいては部品調達コストの低減および製品や生産用部品の在庫低減が思うようにできていないのが現状である。部品調達コストの低減を実現するため、サプライヤーの大幅な見直しを行っている民生機器メーカーも多いが、取引先であるサプライヤーを見直すためには、サプライヤーから調達する部品の品質と調達コストのバランスを考慮する必要があり、単純に海外から安価な部品を購入するだけではうまくいかないのが現状である[1][2][3]。

また最近発生した 2011 年の東日本大震災やタイの大洪水によって、民生機器メーカーは、震災したサプライヤーからの部品調達が困難になり、製品の生産が困難になっている。そこで、民生機器メーカーは製品の生産を維持するための、部品の入手性向上のための取り組みが求められている。以下にさまざまな民生機器メーカーが抱える、在庫問題、部品調達コストの問題、製品の生産維持の問題の 3 つをそれぞれ説明する。

1.1.1.1 在庫問題

在庫の膨れあがる原因には、一般的にいくつかの理由が考えられるが、中村[4]によると、在庫が発生するのは、図 1-1 に示すように市場からの製品需要に対して生産供給との間に数量差や時間差が生じるためであり、数量と時間の差を補うために、民生機器メーカーは、在庫をもたざるをえないと述べている。また中村は、製品受注、生産、出

荷のプロセスの流れで、生産を継続するために在庫を増やす人為的な力が働くと述べている。その理由は、次の通りである。

- ・ 部品の調達担当者は、大量購入による部品調達価格のメリットを優先してしまう。そのため、1回あたりの部品の購入数量が必然と大きくなる。
- ・ 製品の生産を維持するため生産部門からの在庫要求（部品仕入れ要求）に対して、調達部門は適正な部品の在庫数量の検証なしで生産部門からの要求を受け入れてしまう。
- ・ 部品の納期遅れで、製品の生産が維持できなくなるリスクを回避するために、調達部門は部品在庫を抱えてしまう。

また、在庫の膨れあがる要因は、他にも考えられる。製品毎に搭載されている部品の共通化ができていない場合、部品の調達担当者は、それぞれ仕様の異なる部品を購入しなければならない。もし不況の影響等により製品の需要が少ない場合は、製品に搭載されている部品が在庫として残ってしまう。この問題は、1990年代に数多くの民生機器メーカーが経験しており、原因として製品に搭載する部品を共通化するための製品モジュールの設計の共通化ができていないことが考えられる[5][6]。

また、市場から要求される製品の数量を見誤り、生産に必要な部品をより多く発注してしまうケースも発生している[7][8][9]。民生機器メーカーが、製品の売れ行きを過大評価し、市場から要求される製品の数量を大きく見積ってしまうことが原因である。また、市場から要求される製品の数量をリアルタイムに見える化し、生産に必要な部品の数量管理がリンクされていないといった問題も指摘されている。現在では、多くの民生機器メーカーで、市場から要求される製品の数量と生産に必要な部品の数量がリアルタイムで管理できる IT の導入を行っており、製品や部品の在庫管理がしやすくなった [10] [11][12][13]。

しかしながら、製品や部品の在庫管理のための IT 導入だけでは十分とは言えず、IT を導入する民生機器メーカー側の運用の課題も指摘されている[14][15]。さらに、民生機器メーカーが部品在庫を抱えざるをえない状況として、納入された部品の中に不良品

が混入していた場合に備え、民生機器メーカーは部品在庫のバッファをもたなければならない。民生機器メーカーは、当然ながら不良部品混入を防ぐための品質改善活動を仕入先であるサプライヤーと協業で行っているが、民生機器メーカーはある程度の部品の不良数を見込んだ上で、部品を発注しなければならない[7]。

また、製品の生産リードタイムが長いといった課題も指摘される[11][16][17][18]。製品組立のための生産の各工程において、工程と工程の間に待ちが発生してしまうため、製品に組み込む部品の在庫がなかなか減っていかないといったタイムラグの問題である。こうした課題に対し、トヨタの生産方式は、徹底的に生産工程のムダを排除するための生産プロセスであり、つくりすぎ、作業待ちのムダをなくすための生産プロセスを構築している[13][17][19][20]。

トヨタの生産方式は、全ての生産工程において、待ち時間をなくすための部品供給のシステムを確立している。そのため、取引先であるサプライヤーに対しても、必要などきに必要な部品数量を供給するよう求めている。製品の生産工程全体を考え、前工程と後工程の生産量と常に同期させることで、生産工程間の待ち時間を極力おさえている。

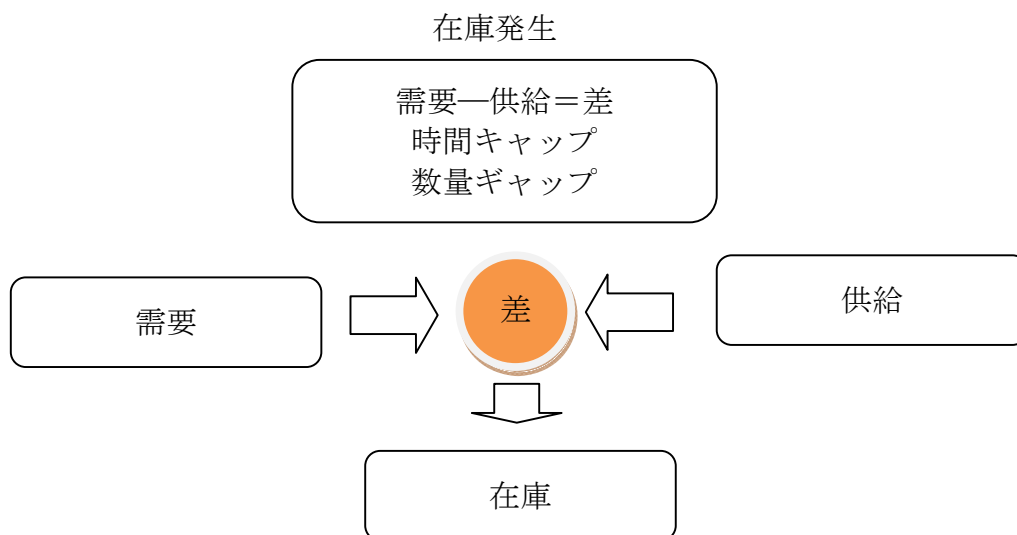


図 1-1 在庫発生の一般的なメカニズム
(適正在庫のノウハウ：中村著より抜粋)

1.1.1.2 部品調達コストの問題

在庫問題同様、民生機器メーカーにとって部品調達コストも解決すべき重要な問題の1つである。例えば、調達担当者の業務が属人化されており、製品を生産するために必要となる部品の購入数量が調達部門全体で管理されていないことから、調達担当者が自らの判断で生産用の部品を過剰発注、また、電子部品などの生産終息(EOL: End of Life)に備え生産維持のための部品を大量発注、部品調達のリードタイムの見誤りや、販売、生産計画に適した部品の調達計画をたてていないといった問題が発生している[8]。

また、数多くの民生機器メーカーが部品の調達コストをおさえようとしているが、十分な成果をあげることができていない。その原因を以下に述べる。

まず第1に、東南アジアといった部品コストの安いサプライヤーからではなく、日本国内のサプライヤーから購入しなければならない実情がある[6]。例えば、ディスプレイ産業で使用される液晶フィルム等の機能部材は、日本製の方が生産品質に優れていることから、製品全体の品質を考慮した場合、民生機器メーカーは日本国内での部品調達を余儀なくされる。1990年代に、海外のサプライヤーから安価な部品を調達し、製品へのコストダウンを試みた多くの民生機器メーカーも、海外サプライヤーから調達した部品の品質問題に悩まされ、取引先を海外のサプライヤーから国内のサプライヤー戻す動きもでている。

2番目の理由として、民生機器メーカーの各事業部門の購買部門がそれぞれ独立して部品を調達するため、購入数量のスケールメリットを生かせないといった問題があげられる[2][21]。例えばソニーでは、2009年に調達本部を設置し、事業部門毎に設置されていた購買機能の統合を図り、部品調達のスケールメリットを生かそうとしている。2008年に2500社あった部品調達先を1200社に半減させることで、サプライヤー1社あたりからの部品購入数量を増やし、部品の調達コストの低減を試みている。

また3番目の理由として、民生機器メーカーの製品群において、各製品群に搭載されている部品の共通化ができていないことがあげられる。製品毎に異なった仕様の部品を購入しなければならず、部品の購入数量のスケールメリットを妨げている。原因として、

製品に搭載する部品を共通化できるような、製品側のプラットフォームの設計に問題があることが多い[5][6]。

4番目の理由として、民生機器メーカーが一般市販部品ではなく、カスタマイズされた部品を購入しなければならない場合、単価あたりの部品の調達コストが高くなってしまふ。カスタマイズされた部品に関しては、一般市販部品と異なり部品の大量販売が見込めないことから、通常の一般市販品の価格に比べ高い価格を設定する傾向にある。

1.1.1.3 製品の生産維持の問題

2011年以降、東日本大震災やタイの大洪水の影響によるサプライヤーの工場被災の影響で、民生機器メーカーが製品の生産維持するための、部品が入手できないといった問題が発生している。例えば、国内の大手の富士通やNECは、PC (Personal Computer) に搭載する HDD(Hard Disk Drive) をタイの工場から入手している。しかしながら、タイの大洪水の影響によって、大手 HDD メーカーである、米ウェスタンディジタルや、日立グローバルテクノロジーズの工場が被災してしまった影響により、HDD の入手が困難になり、その結果、2012年度のPCの生産を減産せざるをえない状況に陥っている[22][23]。

今回のタイの洪水は、HDD を生産するための部品にも影響を及ぼしている。例えば、HDD の主要部品である、磁気読み取りヘッド、電子基板、磁気記録メディア、モーターのうち、モーターを製造している日本電産のタイ工場が被災していることから、HDD メーカーは、モーターの代替品を模索しなければならない状況に陥っている。

このように、民生機器メーカーが製品を作るためには、1次、2次、3次サプライヤーから部品を仕入れる必要があり、どれか1つでも途切れてしまうと製品の生産が継続できないといったリスクを抱えている。

国内の大手民生機器メーカーである、ニコンや村田製作所においては、製品をつくるための部品調達のデータベースの作成、すなわち、製品を完成させるために必要となる部品供給網のリスト化を行っている。また、大手民生機器メーカーは、今回のような災害時に部品供給が途絶えたときのリスクに備え、製品に搭載する代替部品の品質評

価を事前に行い、複数のサプライヤーから部品を入手できるような体制を整えることで、部品入手性の問題に対処している[24]。

1.1.2 部品 EOL 時における部品調達の課題

前節では、民生機器メーカーの抱える一般的な在庫問題、部品調達コストの問題、更には製品の生産維持に関する問題について述べた。本節では、民生機器メーカーがライフサイクルの短い部品を購入する際に発生する、部品の EOL(End of life)時の調達上の課題を述べる。EOL は、一般的に製品や部品の生産終了または、生産終息という意味で使われる。近年、半導体を含む電子部品の開発競争が激化しており、部品のライフサイクル、すなわち部品の EOL までの期間が短くなっている傾向にある。当然ながらサプライヤーは、収益のあがらない部品の生産を打ち切り、なるべく付加価値の高い部品の開発にリソース（人、モノ、金）を投入する傾向にある。部品のライフサイクルが短くなることで、その部品を購入している民生機器メーカーは、部品の EOL 時に代替え部品の導入を迅速に行わなければならない状況にある[1][2]。

部品の EOL 時においても、前節で述べたような部品の在庫問題、部品調達コストの問題、製品の生産維持の問題が発生している。そこで、図 1-2 に示す問題構造ツリーを用い、部品の EOL 時に発生している、部品在庫の問題、部品調達コストの問題、製品の生産維持に関する問題を分析する。

まず、部品在庫が膨れあがる要因として、部品の EOL に備え、調達部門が製品の生産を維持するための部品を一括購入することが考えられる。調達部門が一括購入しなければならない理由として、部品の EOL 時に代替え部品の切り替え期間が非常に長いことがあげられる。EOL 時に代替え部品の切り替え期間が非常に長くなってしまう理由を以下に述べる。

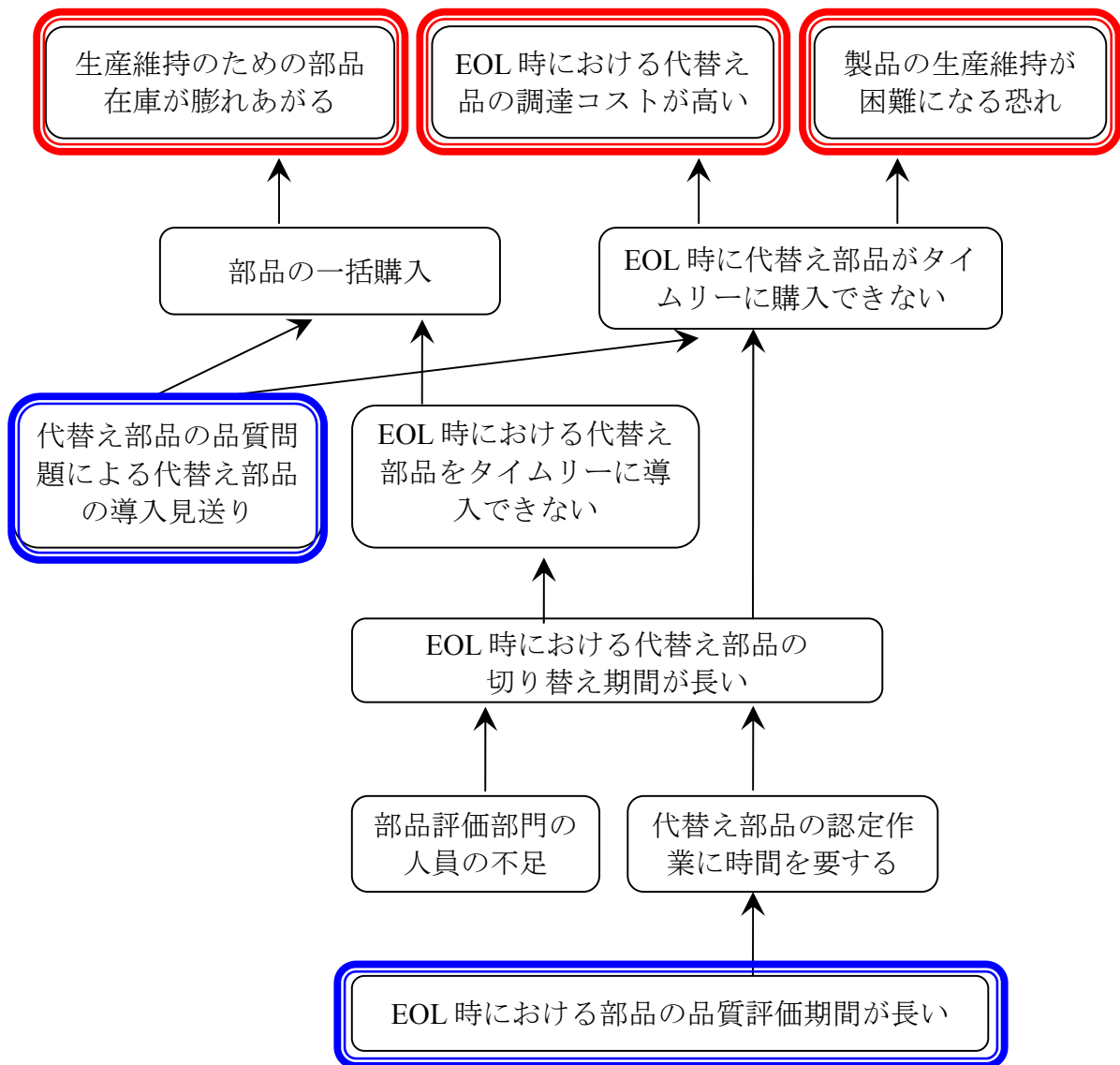


図 1-2 部品 EOL 時における部品調達の問題分析

まず1つめの理由として、部品のEOL時における、代替え部品の品質確認のためのリソースが不足しており、代替え部品を短期間で導入できないことがあげられる。民生機器メーカーは、部品のEOLが発生する度に、代替え部品の品質を確認するための製品との適合性検証や、部品の信頼性を検証しなければならない。

しかしながら、民生機器メーカーは、新製品の開発に人、物、金のリソースを集中的に投入するため、EOL時の代替え部品の品質評価のための人員を十分に割り当てることができない。そこで図1-3に示すように、民生機器メーカーは、少ない評価人員のリソースを考慮し、部品A, B, C, Dをすべて品質検証するのではなく、部品Aから部品Cへの切り替えを検討し、部品Bの品質評価を見送ることで、部品の品質評価のためのリソースを最小限におさえようとする。

本ケースにおいては、部品Bの導入を見送り、部品Cに切り替えるまでの期間も製品の生産を維持しなければならないことから、部品Aを一括購入しなければならない状況に陥る。その結果、民生機器メーカーは、より多くの部品在庫を抱えることになる。また、民生機器メーカーでは、サプライヤー1社から独占して部品購入することは、極めてまれであり通常、複数のサプライヤーから購入することが一般的である。従って、部品の品質評価のための人員の限られた民生機器メーカーにおいては、複数のサプライヤーの部品に対して、部品EOL時に部品の一括購入を行わなければならない、その結果、非常に多くの部品在庫を抱える事態になる。

また2つめの理由として、民生機器メーカーでは、部品のEOL時における代替え部品の認定作業に3ヶ月～6ヶ月と非常に多くの時間をかけている[25]。部品の認定作業は、製品と部品の仕様の適合性検証だけでなく、過去の部品の採用実績や過去の部品の不具合情報、更に部品コストや、部品のリードタイムといった総合的な検証を必要とする。当然、過去に品質の不具合があった部品に関して、民生機器メーカーは、採用に対して消極的になり、より多くの品質検証を再度行うことになる。

また、新しい技術を搭載した部品に関しては、部品内部に潜在的な不具合がないかどうか、サプライヤーから提供される技術情報の精査と、その技術情報に関するサプライヤーとの打ち合わせが必要となり、結果、より多くの時間を費やすことになる。当然、調達部門においては、製品の生産維持を第1に考えなければならない、代替え部品の品質

検証が不十分な場合、代替品の導入を見送り、従来部品の一括購入を検討しなければならない。

3つめの理由として、代替部品と製品との不適合問題があげられる。通常、民生機器メーカーは製品と代替部品の適合性を確認するため、部品仕様書およびDVT(Design Verification Test)レポートをサプライヤーから入手する。これら技術データに基づき、代替部品の製品への適合性を予め検証する。しかしながら、代替部品と製品の不適合問題が発生した場合、代替部品と製品の不適合問題の原因調査に時間を費やすことになり、代替部品の採用を見送るケースが発生する。その結果、調達部門は、製品の生産維持のため、従来部品の一括購入を行わなければならない状況に陥る。

次に、EOLまでの期間が短い部品を購入する際に、部品の調達コストが高くなる原因を分析する。図1-4はEOLまでの期間の短い代表的な電子部品、半導体やHDDの市場価格の推移を示したものである。半導体やHDDは、市場導入後しばらくしてから市場価格が下降する傾向にあり、部品A→部品B→部品Cのようにモデル変更が頻繁に発生する。その際、部品メーカーは、記憶容量の増加やインターフェースのスピードアップなど付加価値を加えることで、部品の市場価格の維持を図る。従って、これらの部品を搭載する民生機器メーカーは、部品の市場価格が高い段階で部品を購入するのではなく、部品の市場価格が下降したタイミングで部品を調達することが望ましい。

しかしながら、多くの民生機器メーカーが、部品の市場価格が下がるベストなタイミングで部品を調達できずにいる。これも上述のように、部品のEOL時における代替部品の品質確認のための認定作業に時間を要するため、調達部門が部品の購買時期をコントロールできないと考えられる。

次に、部品のEOLが発生した際、製品の生産維持が困難になる原因を分析する。これも、部品のEOL時に代替部品の切り替え期間が非常に長いことが原因で、製品に導入する代替部品の調達がタイムリーに実施できないことによる。部品EOL時における代替部品の切り替え期間が非常に長くなる原因として、部品のEOL時における代替部品の品質確認作業に非常に多くの時間を要することが考えられる。具体的には、図1-3に示すように、サプライヤーA社の部品Aの品質評価に多くの時間を費やしてしまった場合、部品AのEOLが間近になってしまい、部品Aを購入できる期間が殆どな

くなってしまう。もし、部品 A の品質評価時に品質問題が発生し、迅速に問題解決できない場合、部品 A を製品に導入することができず、製品の生産維持ができなくなってしまう。

以上より、EOL までの期間が短い部品を調達する際に発生する、部品在庫の原因、EOL 時における代替え部品の調達コストが高くなる原因、更には製品の生産維持が困難になる原因を以下にまとめる。

1. 部品の EOL 時における、代替え部品の品質評価期間が長い代替え部品を短期間で効率的に導入できない。
2. EOL 時に実施する代替え部品の品質評価時に製品と代替え品の不適合問題が発生した場合、代替え品と製品の不適合問題の原因調査に時間を費やすことになり、代替え部品の導入が遅れてしまう。
3. 部品の EOL 時における、代替え部品の品質確認のためのリソース（人員）不足により、代替え品を短期間で導入できない。

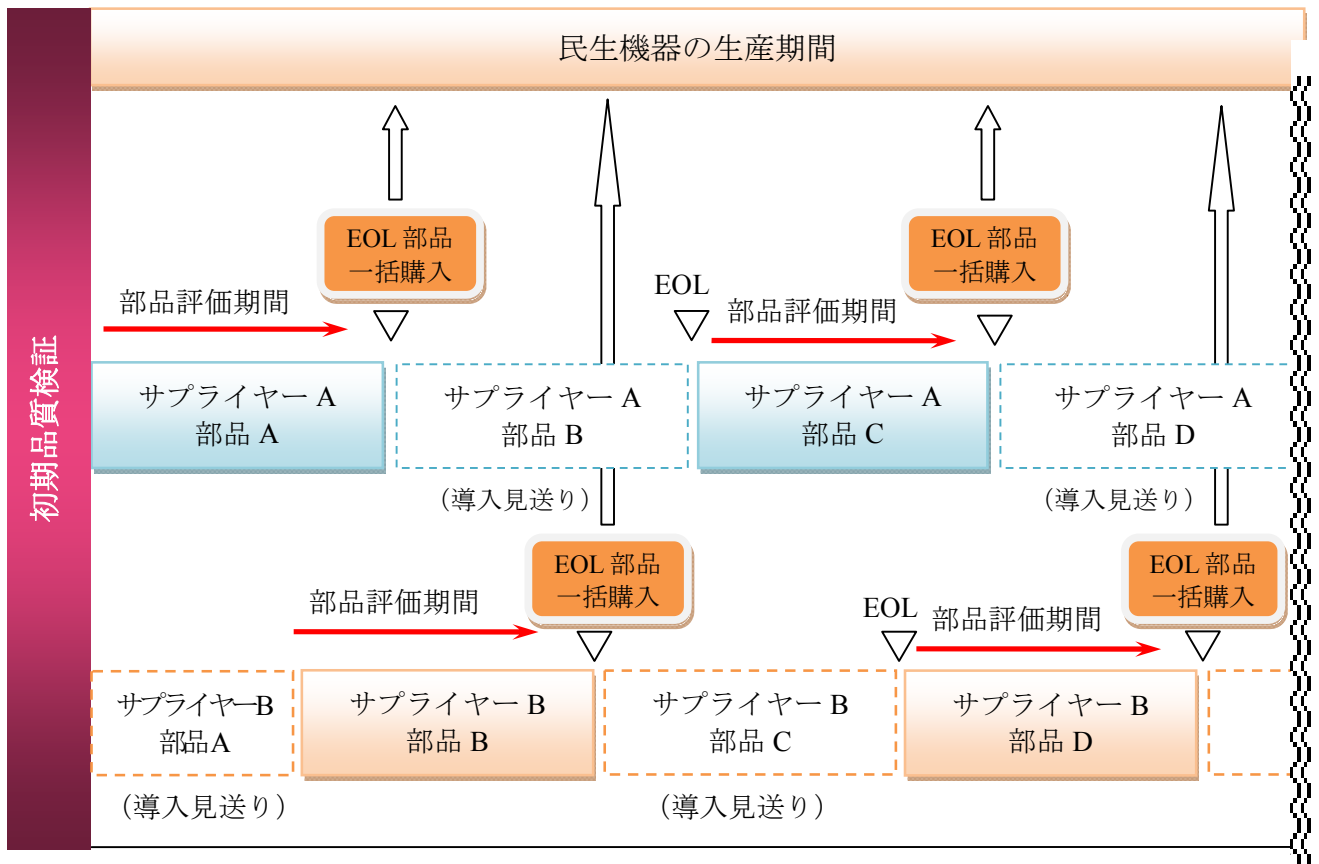


図 1-3 部品 EOL 時における部品調達の課題

期間

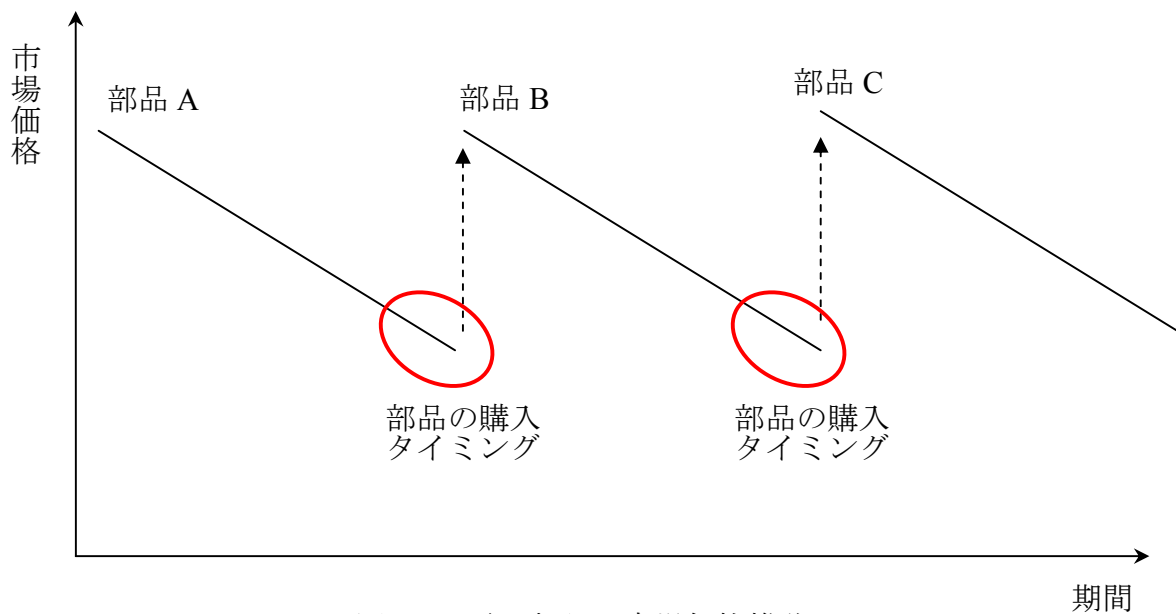


図 1-4 電子部品の市場価格推移

1.1.3 研究目的

前節にて、EOL までの期間の短い部品を購入する際に発生している、民生機器メーカー側が抱える部品の在庫問題の原因、部品調達コストが高くなる原因、更には、製品の生産維持が困難になる原因について述べた。本論文は、これら課題を解決するべく以下のような研究目的を設定した。前節で述べた3つめの課題である「代替え部品の品質確認のためのリソース（人員）不足」については、民生機器メーカーの組織運用上の課題であり、技術的な問題を含んでいない。そこで、本論文では前節にて述べた課題1、2を解決することに主眼を置く。

1. 部品の EOL 時における、代替え部品の品質評価期間を短縮化するための評価プロセスを開発することで、民生機器メーカーの抱える製品の生産維持の問題、部品調達コストの問題、部品の在庫問題を解決する。
2. EOL 時に実施する代替え部品の品質評価時に製品と代替え部品の不適合問題が発生した場合に、適合性を向上させるための製品側への設計変更アプローチを行い、代替え品の導入を確実にする。

また、部品 EOL 時における代替え部品の導入が遅れ、製品の生産を止めてしまうことが、民生機器メーカーにとって最も大きな脅威となることから、民生機器メーカーの抱える問題解決の優先順位として、1. 製品の生産を維持し続けること、2. 部品 EOL 時における代替え部品の調達コストを抑えること、3. 部品在庫の低減とした。

1.2 サプライヤー選定と部品品質評価の課題

1.2.1 一般的なサプライヤー選定プロセスと課題

前節では、問題構造ツリーを用い、部品 EOL 時に発生している部品の在庫問題、部品調達コストが高くなる原因、更には代替品の導入ができないことによる製品の生産維持の問題について述べ、これら問題を解決するための研究目的を設定した。本節では、一般的なサプライヤーの選定プロセス及び部品の品質評価のプロセスを分析することで、これら一連の問題を引き起こす原因を調査する。

西[26]らは、部品調達には大きく、調達方針の策定と、サプライヤーの選定の二つの作業を行う必要があると述べている（図 1-5）。部品の調達担当者は、調達方針の策定を行うにあたって、過去の取引情報の精査、過去サプライヤーから購入した部品名、部品型番、購入価格を調査し、当時の部品購入価格の妥当性について検証する必要がある。また、民生機器メーカーの生産計画に基づく部品の需要予測と、部品の市場価格を参考に、購入すべき適正価格を割り出す。また、部品に要求する基本仕様、品質を明らかにしておくことも大事になる。購入を検討している部品毎にこの確認作業を行うことで、部品全体の調達戦略を完成させることが重要となる。

次に、サプライヤーの選定作業にはいる。最初に調達担当者は、複数のサプライヤーから相見積もりを取ることで、サプライヤー間の価格競争力を事前に確かめておく必要がある。また、部品の市場価格を事前に精査しておくことで、サプライヤーが提示した価格の相対的な価格競争力を見極めることが重要となる。最終的には、サプライヤーのコスト競争力、部品のリードタイム、サプライヤーの資本構成などの財務状況、サプライヤーと取引するにあたって安定性を検証した上で、サプライヤーの候補を決定する。その際、震災の影響等により部品の入手性に問題が発生した場合に備え、サプライヤーを 3 社～4 社ほど事前に選定しておくことが望ましい。

次に、民生機器メーカーは、サプライヤーのアセスメントを行う。具体的には、過去購入した部品の市場不良率データや、部品の品質トラブルが発生した際の迅速な対応力を検証する。過去に取引実績がないサプライヤーをアセスメントする場合は、サプライ

ヤーから入手した部品の信頼性試験データの精査や、物理的な部品の品質テストを行い、最終的に開発部門、品質部門と協議した上で、部品購入するサプライヤーを決定する。

しかしながら、大手民生機器メーカーでは、部品購入に対してコストや部品リードタイムを重視する調達部門にくらべ、技術力のある設計部門や品質部門の力が強いため、サプライヤーを選定する際に、部品コストよりむしろ部品品質に優れたサプライヤーを選ぶ傾向にある[27]。前節で述べたように、民生機器メーカーの多くは部品品質の評価期間が非常に長いため、最終的なサプライヤー決定までの期間も当然長くなる傾向にある。

近年、こうした問題を解決するために、民生機器メーカーは、調達部門に設計部門出身の人員を配置、もしくは部品評価部門と調達部門一体化させることで、部品品質検証の効率化とサプライヤー選定期間の短縮化を図っている。しかしながら、国内の大手民生機器メーカーでは、部品の品質検証を重要視する傾向が根強く残っており、部品品質を評価し、サプライヤーを決定するまでに、半年～1年かけているのが実情である[27]。

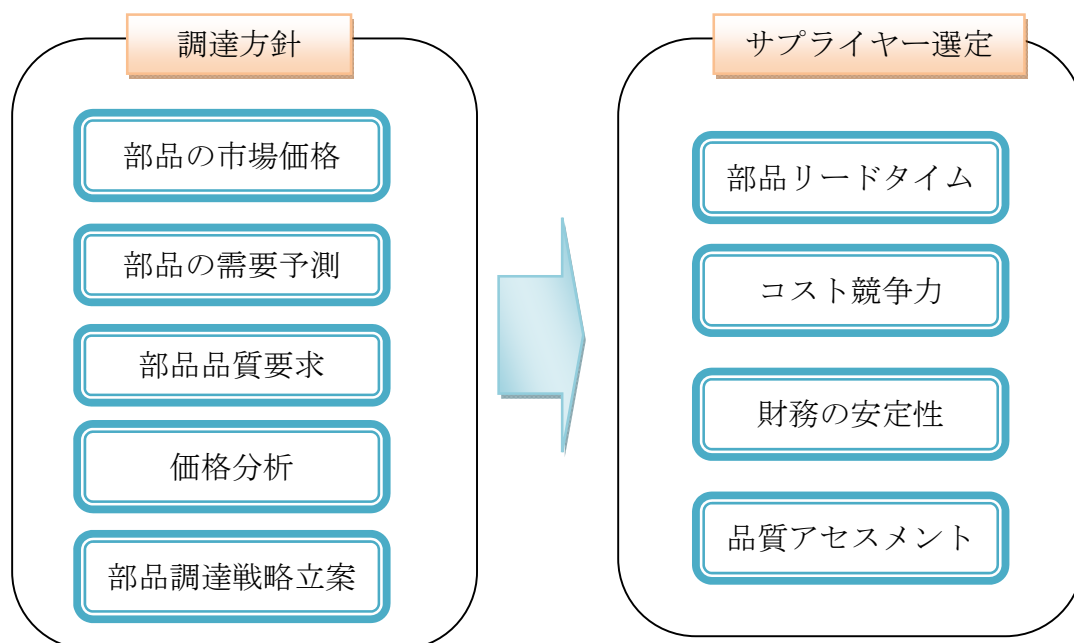


図 1-5 調達方針とサプライヤーの選定

(西ら「緻密なサプライヤー選定で原価を引き下げる」より一部改訂)

1.2.2 部品品質評価プロセスの課題分析

本節では、図 1-2 に示した「部品 EOL 時における代替部品の品質確認のための検証期間が長い」という課題の深掘り分析を行う。前節で述べたように、大手民生機器メーカーでは、設計部門や品質管理部門の意見が調達部門に比べ強く、部品品質の検証に重点をおくことから、EOL 時の代替品の品質評価に、非常に多くの時間をかけているのが現状である。民生機器メーカーでは、部品の EOL 時の際に迅速な代替部品の導入ができないため、部品の生産期間を延長するようサプライヤーに働きかけるケースも多い。

しかしながら、半導体や HDD といった一般市販部品については、部品を大量に購入する大口の民生機器メーカーを除き、部品の生産延長の了承を得られることは殆どない。そのため、民生機器メーカーでは、製品の生産を維持するため、部品 EOL の直前に部品を一括購入せざるをえない状況になっている。

図 1-6～図 1-8 は、部品 EOL 時における代替部品の品質評価のプロセスであり、品質評価期間が長くなる原因を分析したものである。品質評価プロセスは、サプライヤーのアセスメント、過去の部品の不具合の情報収集、部品故障メカニズムの解明、不具合再発防止のための FMEA(Failure Mode Effect Analysis)の検証を行い、その後、部品品質を実際に確認する物理テストを行う。物理テストは、主に部品の長期信頼性を検証する耐久性試験と製品と部品の適合性試験の 2 つからなる。

この品質評価プロセスは、大きく 3 つの課題を抱えている。1 つめは、図 1-6 に示したサプライヤーのアセスメントである。前節で述べたように、サプライヤーの選定のための活動は、調達部門が主導しており、部品コスト、部品のリードタイムを重視したアセスメントとなっている。そのため、サプライヤーの品質や技術に関するアセスメントは、ほとんど行われていない状況である。こうしたことから、民生機器メーカーは、部品の品質を網羅的に検証する FMEA と、耐久性試験などの物理テストを行うことで、サプライヤーアセスメントの不足を補っている状況である。言い換えれば、サプライヤーの技術アセスメントが不足していることから、民生機器メーカーは、部品の物理的な品質検証に力を入れざるをえない状況にある。

また 2 つめの課題は、図 1-7 に示した FMEA である。民生機器メーカーの技術者は、過去の部品の不具合の情報や、部品の故障メカニズム解明によって明らかになった品質問題の再発防止のため、品質点検項目を FMEA に網羅的に盛り込む傾向にある。また、部品耐久性試験や、部品と製品の適合性試験時に発生した不具合もまた、FMEA にフィードバックされるため、FMEA は膨大なチェック項目になりやすい。こうしたことから、民生機器メーカーは、部品品質を網羅的に検証するための FMEA に非常に多くの時間を費やさなければならない。

また、FMEA の課題についても述べる。本来、FMEA は製品設計や生産工程の品質を検証するツールであり、過去発生した品質問題や、これから発生するかもしれない品質問題を未然に防止するのに非常に役立つ[28][29][30]。FMEA は、故障モードを列挙することからはじまり、その故障が発生したときの、影響度、発生頻度、故障の検出の難しさを精査することで、それぞれの故障モードの重要性を定量化する手法である。本手法は、上述のようにトラブルの未然防止という観点では非常に有効であるが、品質に責任をもつ設計部門、品質管理部門、生産部門のメンバーが集まって再発防止のためのブレインストーミングを行い品質不具合の予測も行うため、品質確認のための作業項目が必然的に大きくなってしまふといった課題を抱えている。

FMEA で実施する品質検証の項目としては、部品の基本仕様はもちろん、温度や湿度等の過酷な外部ストレスに耐えられるかどうかの長期的な信頼性、更には、製品と部品の適合性を確認するための電気、機械、ソフトウェアの検証が含まれる。FMEA の具体的な内容については、2 章にて述べる。

3 つめの課題は、図 1-8 に示した設計変更マネジメントである。部品 EOL 時における代替え部品の品質検証時に代替え部品と製品の不適合問題が発生した場合、民生機器メーカーは、不適合の原因追及と不適合を解消するための製品側の設計変更に多大な時間をかけている。こうした問題に対処するため、民生機器メーカーは、サプライヤーに対し、製品と代替え部品の適合性を向上させるための部品側の設計変更を要求するケースがある。しかしながら、複数の民生機器メーカーに部品供給しているサプライヤーが、ある特定の民生機器メーカーだけに部品設計変更を行うことは極めて希である。

また、民生機器メーカーは、EOL 時における代替部品と製品の不適合問題を改善するため、製品側の設計改善を試みるものの、一度設計が終了し、生産フェーズに移行した製品においては、製品の設計変更コストが製品の設計初期に比べて割高になることから、製品の設計変更に対しては消極的にならざるを得ない。また、民生機器メーカーは、新製品の開発にリソース（人、物、金）を集中させるため、生産フェーズに移行した製品においては、設計変更するためのリソースを十分に割り当てることができない。

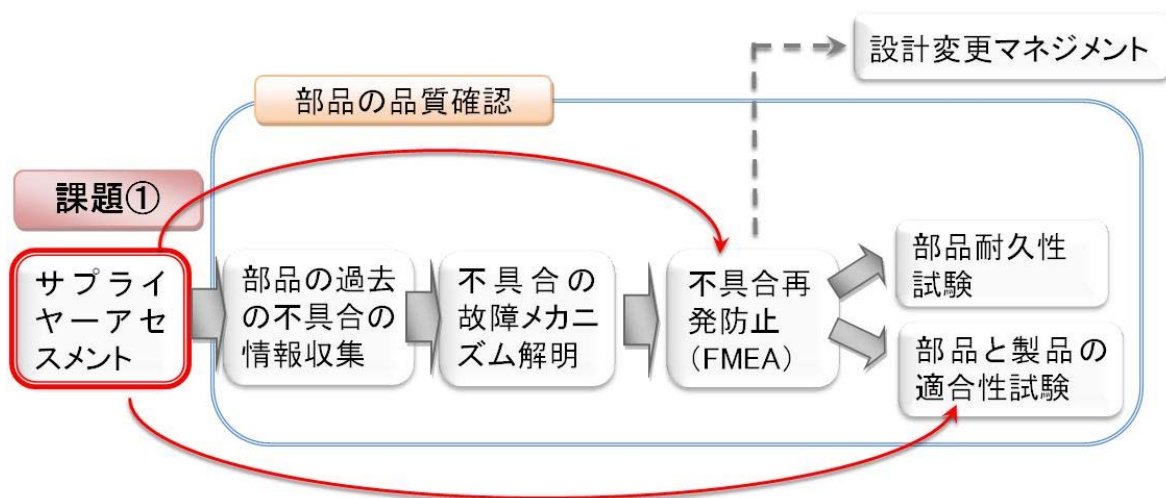


図 1-6 部品品質評価プロセスの課題分析（サプライヤーアセスメント）

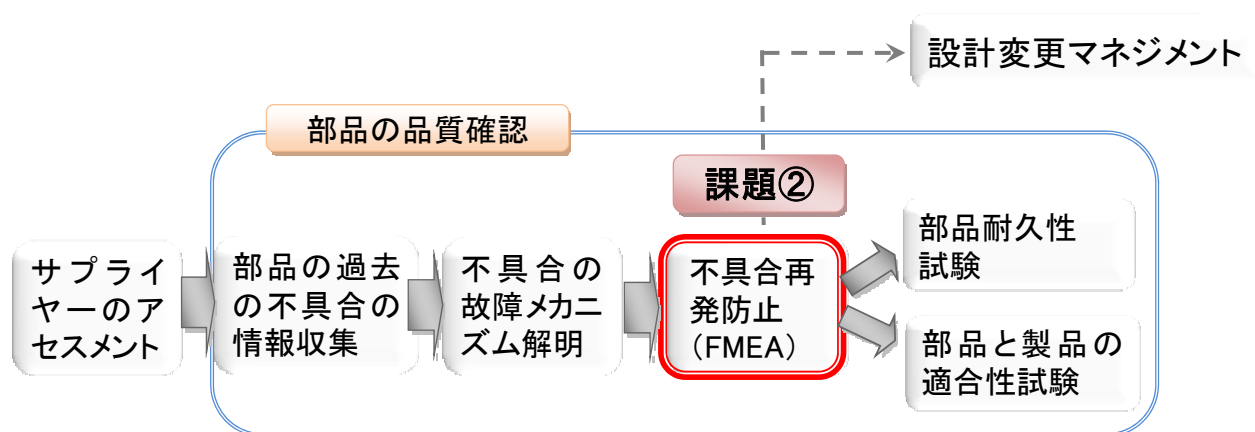


図 1-7 部品品質評価プロセスの課題分析（FMEA）

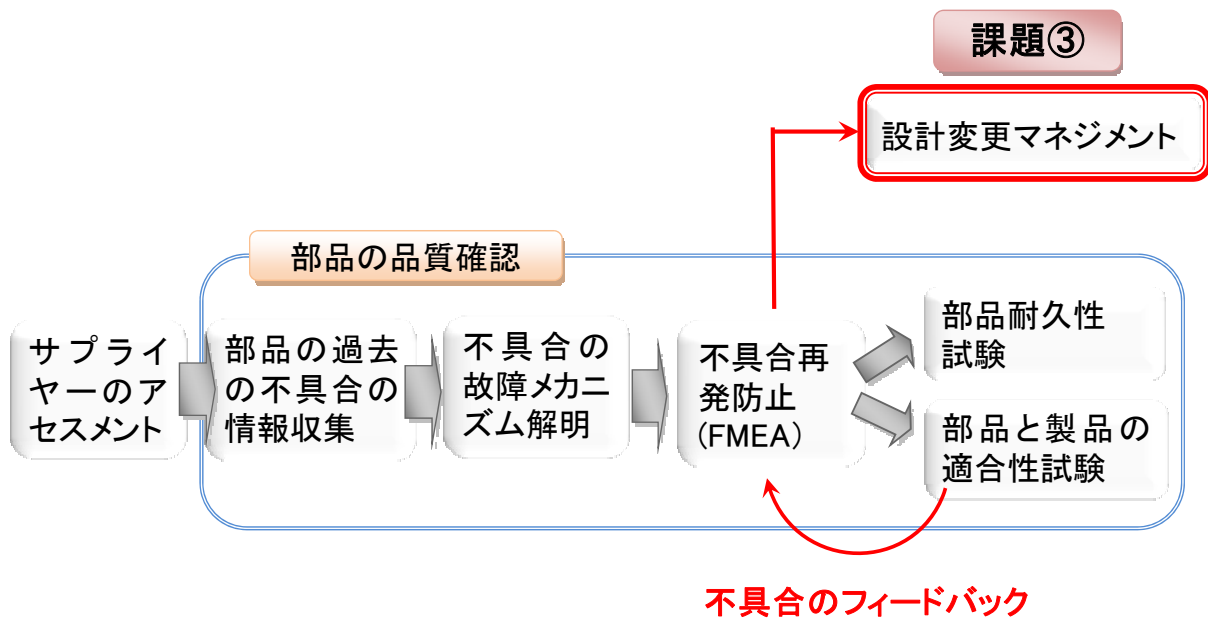


図 1-8 部品品質評価プロセスの課題分析（設計変更マネジメント）

以上より、部品 EOL 時における部品の品質評価期間が長いという課題の本質的な原因を以下にまとめる。

1. サプライヤーの保有している技術力を含めたアセスメントが不足していることから、民生機器メーカーは、部品の物理的な品質検証に力を入れざるをえない。
2. FMEA は、部品の品質トラブルを網羅的に防ぐのに非常に有効なツールであるが、膨大なチェック項目になりやすい。そのため、民生機器メーカーは、FMEA を用いた部品評価に非常に多くの時間を費やさなければならない。
3. 部品 EOL 時に実施する代替え部品と製品との間で不適合問題が発生した場合、不適合の原因追及に時間がかかる。また、不適合を解消するための製品側の設計変更に多大な時間を要する。

1.2.3 先行研究

前節では、部品 EOL 時における部品の品質評価期間が長いという課題に対して分析を行った。その結果、サプライヤーのアセスメント、FMEA など部品の品質問題を未然に防止するための品質評価、製品と部品の設計マネジメント、それぞれの分野の課題が浮き彫りになった。本節では、今述べた 3 つの分野の先行研究について述べる。

サプライヤーのアセスメントに関する先行研究

サプライヤーのアセスメントに関する先行研究については、図 1-9 に示すように大きく 3 つの分野からなる。まず第 1 に、海外の部品調達やリバースオークションなど部品コストを重視した研究、2 番目にサプライヤーを選定する際の新しい評価指標を提案する研究、3 番目に自動車メーカーが行っているような、品質とコストのすりあわせに関する研究分野である。

Carter[31]、森[32]、加藤ら[33]は、電子商取引の 1 つであるリバースオークションにおけるサプライヤーの選定の有効性について述べている。一般的なネットオークションでは、売り手が買い手を競わせて価格を引き上げるのに対し、リバースオークションは、買い手が売り手を競わせ、部品価格を引き下げる方式である。また、石井[34]、豊田[35]、若槻[36]が述べるように、電子商取引システムは、部品の買い手にとって部品購買の時間削減に寄与し、低コストで部品供給できる海外のサプライヤーと取引する際に非常に有効である。

しかしながらリバースオークションなどの電子商取引は、主に部品コスト、部品リードタイムに注目した評価システムとなっており、顧客要求の対応力や、部品の品質などサプライヤーの品質をアセスメントすることはできない。

そこで、菱山ら[37]は、現在インターネット上で行われている部品調達取引システムに、部品の仕様の取り決めなど行う調整機能を組み入れることで、サプライヤーから供給される部品品質の確保を試みた。しかしながら部品の品質確認はあくまでも、部品

メーカーから出されるカタログレベルの検証であり、部品設計など詳細な品質を見極めるには至っていない。

また、サプライヤーを選定する際の新しい評価指標を提案する研究として、Leeら[38]、Handfieldら[39]による、AHP(Analytic Hierarchy Process)を用いたサプライヤーの評価手法がある。AHPとは、複数ある評価基準の中から、それぞれを一対比較し、それぞれの評価指標の重要度を定量化し相対的に順位付けする方法である。AHPは、人の嗜好を定量化できることから、意思決定手法の一つとして使用される。彼らは、従来の部品コストや部品のリードタイムだけでなく、サプライヤーの組織力、環境対応力を含めたサプライヤーの総合的な評価指標を提案した。

また、Shinら[40]は、サプライヤーを選定する基本的な3つの評価指標である、部品コスト、部品リードタイム、部品品質に顧客要求に対するサプライヤーの柔軟性といった評価指標を追加し、それぞれを定量的に評価している。

Kannanら[41]は、サプライヤーアセスメントの評価指標を、従来の部品コスト、部品リードタイムにサプライヤーのコミュニケーションスキルといった評価指標を導入し、買い手とサプライヤーの情報共有の重要性を示すとともに、民生機器メーカーの部品調達戦略をサプライヤーに理解させることの重要性を述べている。

一方、Vermaら[42]は、複数の民生機器メーカーにアンケートを送付し、調達担当者のサプライヤー選定に関する意識調査を行った。その結果、調達担当者がサプライヤーを選定する上で重要視するのは、部品品質、部品リードタイム、部品コストの順であることを示した。

また、Olsen[43]やEllram[44]は、調達担当者とサプライヤーの関わり合いの緊密さを示すポートフォリオモデルを構築した。このモデルを用いることで、部品の調達担当者は、魅力的なサプライヤーがどのような資質、スキルを持ち合わせているか、視覚的に理解することができる。

これらいずれの研究もサプライヤーの評価指標として、部品コスト、部品リードタイム、顧客対応といった一般的な評価指標を用いており、サプライヤーの保有する技術力を見極めるには不十分である。

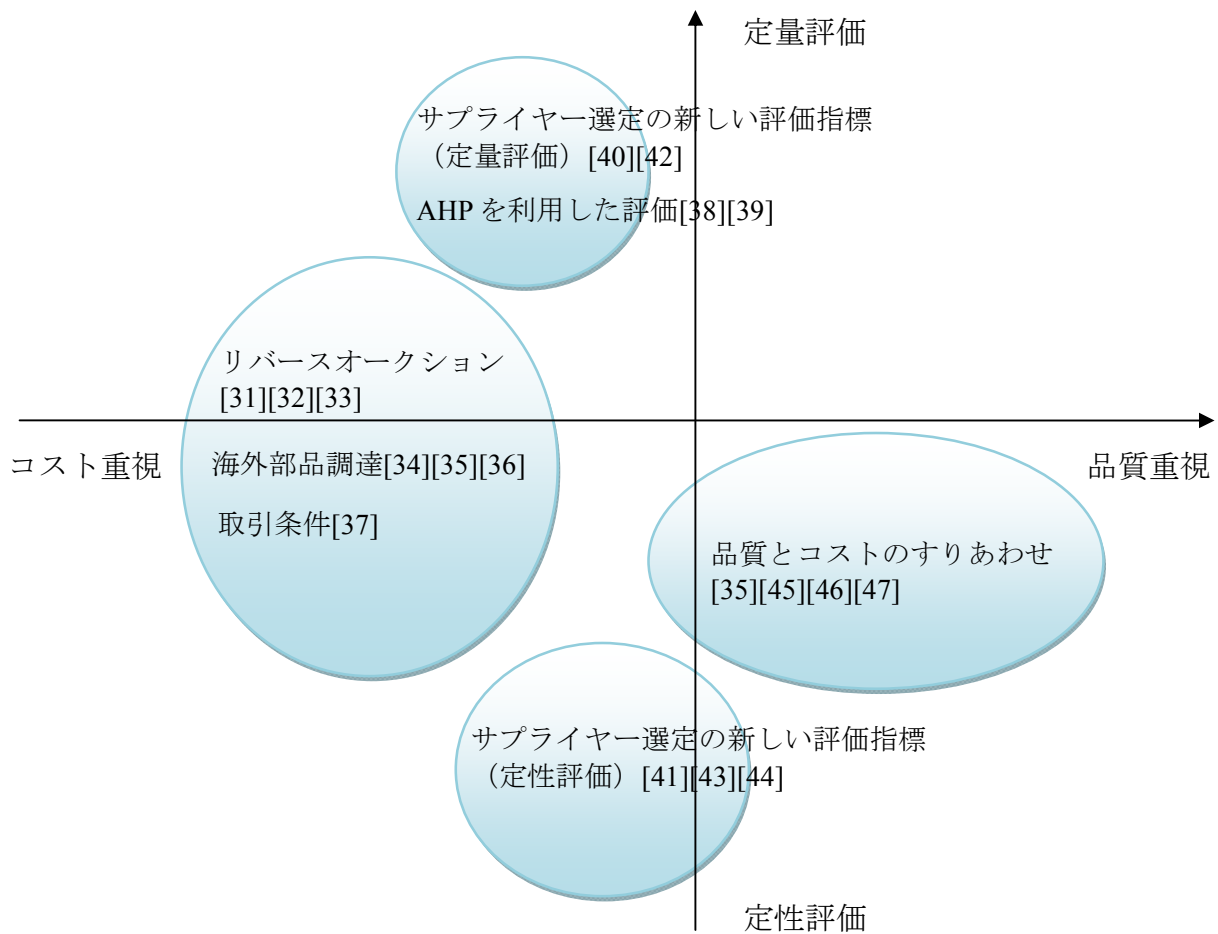


図 1-9 サプライヤーのアセスメントに関する先行研究

次に、自動車メーカーが行っているような、品質とコストのすりあわせに関する研究について述べる。自動車メーカーは、製品開発の初期段階から様々なサプライヤーと部品の作り込みを行っている。通常、自動車メーカーは、自社製品に組み込むための部品の要求仕様を複数のサプライヤーに事前に提供し、サプライヤーは自動車メーカーの要求仕様に沿って、部品の設計仕様と開発コストの見積もりを行う[35][45][46][47]。

サプライヤーから入手した設計仕様書、開発コスト見積りに基づき自動車メーカーは、自社にふさわしいサプライヤーをコスト、リードタイム、品質、といった総合的な視点でサプライヤーを2~3社に絞り込む。製品開発の初期段階で様々なサプライヤーを巻き込み部品を共同開発することから、自動車メーカーは、製品に部品を組み込んだ際の品質トラブルを最小限におさえることができる。また、自動車メーカーは、部品の仕様

検討、部品設計、部品の信頼性テストと、サプライヤーと協業して部品品質をつくり込むことから、サプライヤーの保有する技術力や、顧客要求に対する対応力の見極めが十分可能である[45][46]。

しかしながら、一般汎用部品である半導体メモリやHDDのような、共同開発することのないサプライヤーと取引する場合、上述の方法を適用しサプライヤーの技術力をアセスメントするのは難しいと言える。

品質評価に関する先行研究

品質評価方法に関する先行研究については、図 1-10 に示すように大きく 3つの分野からなる。1つ目は、FMEA手法などを使い、部品や製品の品質トラブルの再発防止を図るもの、2つ目は、部品や製品の信頼性試験に関するもの、3つ目は、品質評価の効率化に関するものである。

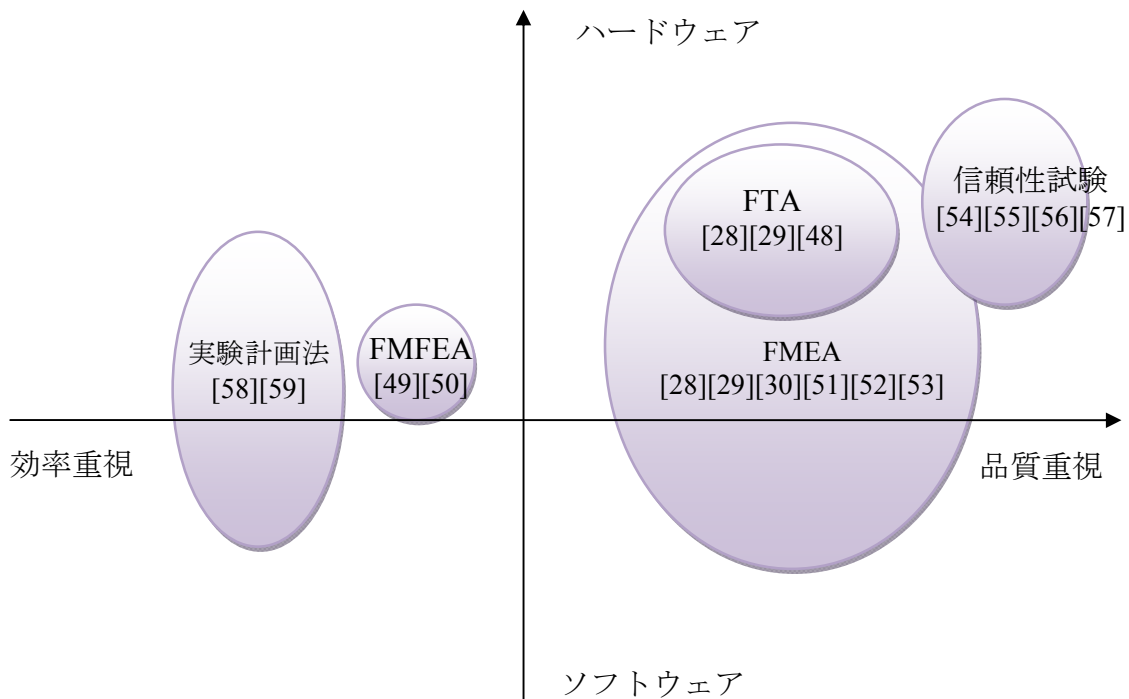


図 1-10 品質評価に関する先行研究

部品や製品の品質検証方法に関する従来研究として、前節で述べた FMEA が最もよく知られている方法である[28][29][30]。本手法は、部品や製品の故障メカニズムを解明するための、FTA(Fault Tree Analysis)と組み合わせることで、より確実な品質検証が可能になる[28][29]。また、FMEA は製品の設計品質や、部品品質を検証するだけでなく、生産工程への適用も可能である[48]。FMEA は品質トラブルの未然防止という点では非常に有効であるが、設計、生産工程とそれぞれ FMEA を実施しなければならないため、品質確認の為の作業が必然的に大きくなってしまふ。

FMEA の効率化のため、和田[49][50]は、FMFEA を提案した。これは、FMEA、FTA、ETA(Event Tree Analysis)を組み合わせた複合型解析手法であり、故障モードを初期事象として、製品故障に結びつくプロセス（中間事象）を詳細に展開することができる。本手法も評価の効率化というよりは、むしろ品質トラブルの未然防止に力を入れている。

山科ら[51][52]は、既存ソフトウェアに機能追加を繰り返しながらリリースするソフトウェアシステムを対象に、FMEA 手法を適用した。特に FMEA の故障モード、影響解析結果を再利用することで既存ソフトウェアの機能追加によるソフトウェアの品質検証コストの低減を実現した。また、本手法を大規模な既存ソフトウェアに適用できることを確認し、ソフトウェア保守のためのコスト低減に貢献した。

宮村[53]は、製品における複数のモジュール間の機能と構造の関係を明らかにし、製品の対象部位に加わる環境ストレスや加重といった外的要因が、製品にどのような故障をもたらすのか、その故障モードのメカニズムを明らかにした。しかしながら、複雑大規模なシステム、モジュールにおいては、製品のストレス要因を見つけることは容易ではない。

一方、部品や製品の品質を検証するための信頼性試験に関する研究も盛んに行われている[54][55][56][57]。例えば、温度サイクル試験や熱衝撃試験は、部品や製品の信頼性を確認するのに有効な手段であるが、これら信頼性試験を行う上で、設定温度や温度勾配などのストレス条件を見つけることが非常に難しい。また信頼性試験は、部品や製品の寿命を見極めるため、長期的な試験になる傾向がある。

また、上述の信頼性試験を効率化するために、実験計画法を用いるケースも多い[58][59]。一般に多元配置の実験では、因子×水準数の積の回数だけ実験数が必要にな

り、因子の数が多くなると実験回数は膨大になってしまう。そこで、任意の2因子について、その水準のすべての組合せが同数回ずつ現れるという性質を利用し、ストレス試験を効率化することができる。

これら品質評価に関する従来の研究の共通点は、あくまで製品や部品の品質トラブル再発防止という視点で議論されている。特に、FMEAは、品質トラブルを網羅的に防ぐのに非常に有効な手法であるが、品質チェック項目が膨大になる傾向にあり、EOLの期間の短い部品に対して適用しづらいといった課題が残る。

設計マネジメントに関する先行研究

設計マネジメントに関する先行研究については、図 1-11 に示すように、製品設計の初期段階での品質の作り込みを行う研究と、新製品の開発を効率よく進めるための研究に大別できる。

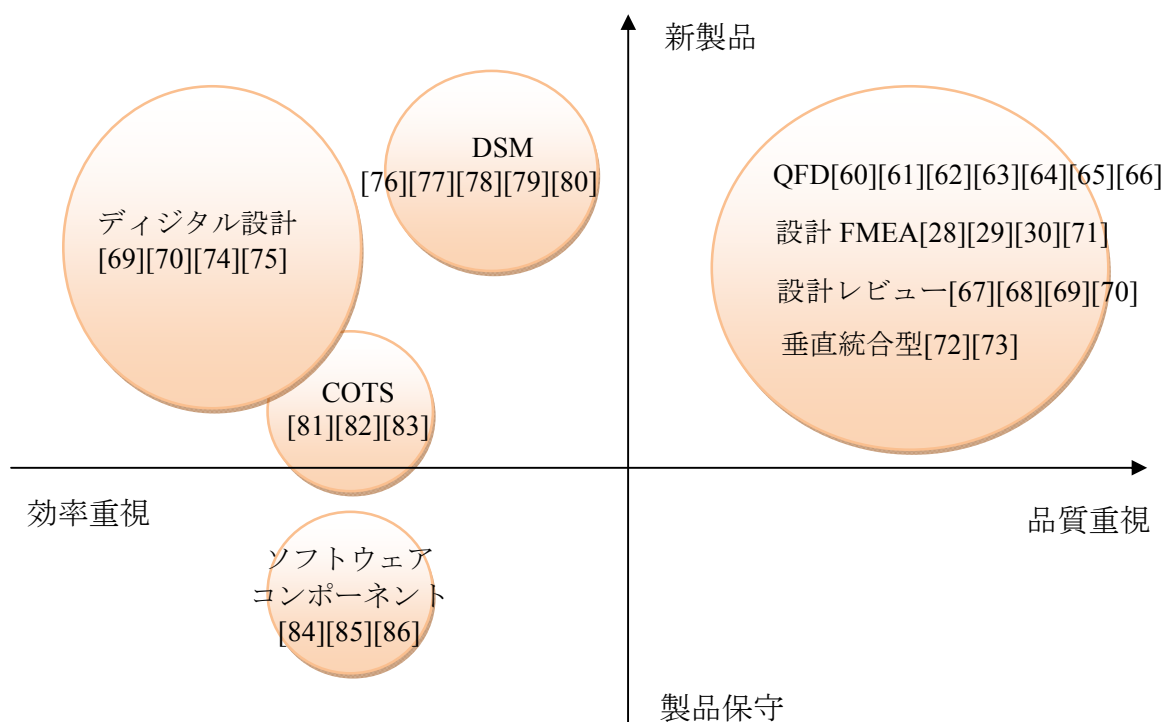


図 1-11 設計マネジメントに関する先行研究

製品設計の代表的な手法として、QFD(Quality Function Deployment) が最も知られており、国内外問わず多くの民生機器メーカーで使用されている[60][61][62]。QFDは、顧客の声を製品やサービスの開発につなげるための手法であり、最終的には機能、設計品質、生産品質にブレークダウンすることで製品品質を大きく向上させる[63][64][65][66]。

また、製品設計の初期段階での品質の作り込みに関して、西浦ら[67]、向原[68]、相模ら[69]、橋本ら[70]は、過去の不具合情報の分析を行った上で、製品開発の初期段階にフィードバックし、製品の生産時に予期しえない不具合をできるだけ減少させる設計レビューの重要性を述べた。特に西浦[67]は、過去発生した製品の不具合現象を分析し、部品と部品の間で発生する不具合の関連性を可視化したことで、製品開発の初期段階での品質の作り込みに貢献した。また、相模ら[69]、橋本ら[70]は、3D CAD(Computer Aided Design)を利用することにより、製品を試作する前段階での、視覚的なデザインレビューを行うことの重要性を示した。

更に、製品の不具合をできるだけ未然に防止するための、設計 FMEA は、製品の品質作り込みに対し有効な手法である[28][29][30][71]。しかしながら、設計部門、品質管理部門、生産部門といった複数の技術者によって、製品設計のための FMEA が作り込まれるため、設計品質検討のためのチェック項目が膨大となってしまう傾向にある。

藤本[72][73]は、製品設計には大きくインテグラル（擦り合わせ）型とモジュラー型の二つに分類できると述べている。インテグラル型の製品開発は、モジュラー型製品に比べ、機能要素、構造要素、工程要素の間の相互依存関係が複雑であるため、それら個々の設計要素を開発する企画部門、設計部門、試作部門、評価部門の間で、より緊密な連携が必要になる。これは、主に自動車メーカーが従来実施してきた製品開発の手法であり、部品を供給するサプライヤーを巻き込んだ、垂直統合型の製品開発プロセスと言える。ただし、自動車メーカーの要求に沿った形で部品がカスタマイズされるため、製品と部品の不適合問題は防止できるが、部品単価が高くなってしまったといった課題が残る。

新製品の開発を効率よく進めるため、相模ら[69]、橋本ら[70]、延岡[74]、田村[75]は、製品の試作前段階でデジタル設計情報（3D CAD 設計）を活用することによる、視覚

的なデザインレビューを行うことで、複数部品、複数モジュール間で統合するフロントローディングの重要性を示した。また、企画、概念設計、詳細設計、生産準備といった製品の開発プロセスをオーバーラップさせた形で、さまざまな組織が横断的に製品を作り込む、いわゆるコンカレントエンジニアリングの重要性を示した。

更に、設計の手戻り最小限におさえるため、DSM(Design Structure Matrix)を活用した設計事例も数多く紹介されている。DSMは、設計段階での開発期間の短縮に大きく貢献した[76][77][78][79][80]。

また、COTS(Commercial Off The Shelf) 流用による製品設計、製品評価の効率化を行うアプローチも行われている[81][82][83]。これらは、製品設計、製品評価の短縮化と製品コストの低減、更には製品保守のコスト削減に大きく貢献している。しかしながら、民生機器メーカーは、サプライヤーから提供される部品の詳細な設計仕様を知ることができないため、部品と製品の不適合問題に対処できない、または適合試験により多くの時間を費やすといった問題も指摘されている。

EOLまでの期間の長い製品を維持するための、部品保守を考慮した製品設計マネジメントについて Bosch[84]、Beckerら[85]、Mouakherら[86]は、ソフトウェアコンポーネントを既存システムで再利用するための設計技術を提案している。彼らは、ソフトウェアコンポーネントと製品システムの不適合を引き起こす原因を分類すると共に、システムのインターフェースの変更やソフトウェアコンポーネントの構成が変更になった際に迅速に対応できるよう、プログラム設定を調整するコンポーネントアダプターを提案している。しかしながら、これらはソフトウェアに限定して議論されており、ハードウェアについては論じられていない。

いずれの研究も、製品の設計初期段階で製品品質を作り込むためのアプローチとしては有効であるものの、EOLまでの期間の短い部品を製品に組み込み、これら部品を保守、運用するアプローチになっていない。

1.2.4 研究目標

以上のことから、研究目標として以下の3つを掲げる。また、EOL時における代替え部品導入の課題、研究目的と研究目標の関係を図 1-12 に示す。

① サプライヤー技術アセスメント

物理的な部品の品質テストを最小限に抑えるため、信頼性の高く技術力のあるサプライヤーを見極めるための技術評価指標を提案する。複写機の中に搭載されている HDD メーカーに本指標を適用し、HDD の市場不良率を検証することで、我々の提案するサプライヤーの技術評価指標の妥当性を証明する。

② 代替え部品導入のためのリーン品質評価プロセス

EOL 時における代替え部品の品質検証期間の大幅な短縮化を目指すため、EOL までの期間の短い部品を対象に、リーンで効率的な品質評価プロセスを提案する。提案したプロセスを複写機、プリンタに搭載されている HDD へ適用し、品質評価項目のスリム化と品質検証期間の短縮化を確認する。

③ 代替え部品の適合性向上のための設計変更マネジメント

製品と代替え部品の不適合問題を短期間で解消し、代替え部品の選択の幅を大きく広げるための設計変更マネジメント手法を提案する。本手法を複写機、プリンタに搭載されている HDD へ適用することで、HDD と複写機システムの不適合問題を短期間で解消する。

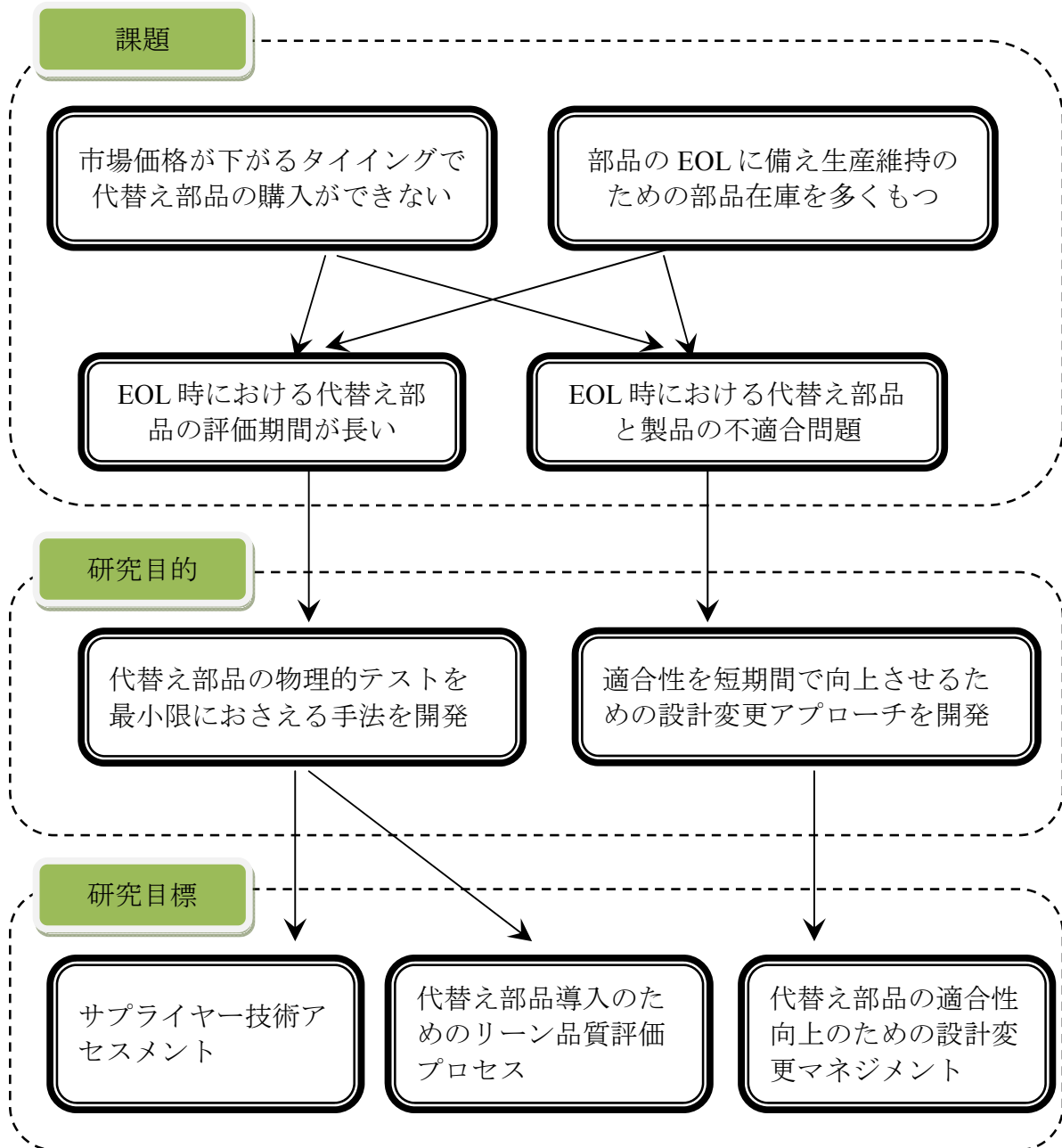


図 1-12 研究目的と研究目標の関係

1.3 本研究の適用フェーズ

製品開発における本研究の適用フェーズを図 1-13 に示す。製品開発は、主に製品企画、概念設計、詳細設計、試作評価、生産部品の購買保守、生産、EOL 時の部品評価、販売、製品回収、リサイクルといった一連のフェーズからなる。研究目標である、サプライヤー技術アセスメント、代替え品導入のためのリーン品質評価プロセス、代替え部品の適合性向上のための設計変更マネジメントは、それぞれ、生産部品の購買フェーズ、製品の生産フェーズで適用する。これら 2 つは、製品開発が終了した後も製品の生産を維持するためのフェーズであり、1.1 節で述べた部品 EOL 時における製品の生産維持の問題、代替え部品の調達コストの問題、部品の在庫が膨れあがる問題は、この 2 つのフェーズで発生している。そのため、本研究の適用フェーズを、生産部品の購買フェーズ、製品の生産フェーズとした。

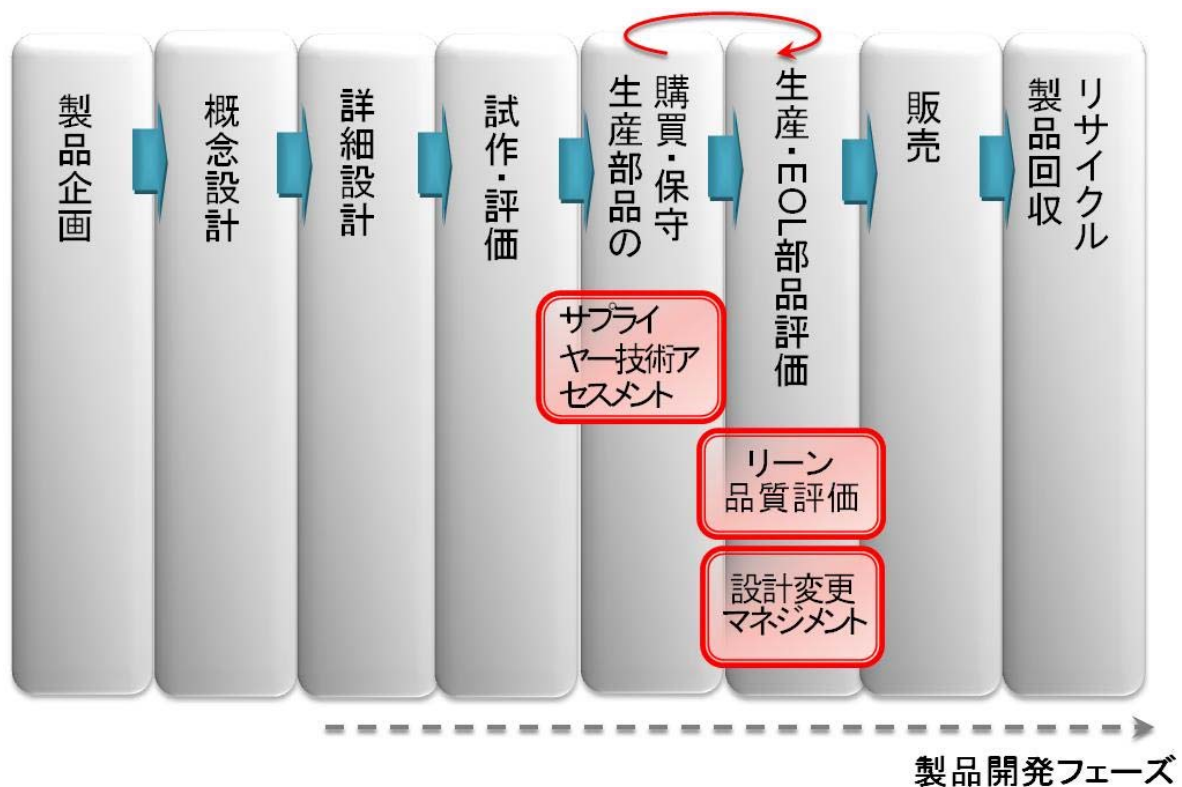


図 1-13 製品開発における本研究の適用フェーズ

1.4 本論文の構成

本論文の構成は次の通りである。

2章では、部品 EOL 時における代替え部品の品質評価を効率化するためのシステムティック品質評価プロセスを提案している。これは、従来の品質評価プロセスに、サプライヤーの技術アセスメント、物理的な部品の品質評価を最小限にするためのリーン品質評価プロセス、部品 EOL 時における代替え部品と製品の適合性を向上させるための設計変更マネジメントを追加した新しい品質評価プロセスである。

3章では、代替え部品の物理テストを最小限に抑えるために、信頼性が高く、かつ技術力の高いサプライヤーを見極めるための技術評価指標を提案している。部品設計や故障解析等の情報開示能力、部品トラブルが発生した際の迅速な対応といった新たな評価指標を用いることで、サプライヤーを定量的に評価している。評価点の高いサプライヤーは市場品質に優れているという仮説をたて、実際にサプライヤーの部品を製品に組み込み、部品の市場品質を長期間に渡り検証することで、提案したサプライヤーの評価指標の妥当性を証明している。

4章では、EOL までの期間の短い部品を対象に、リーンで効率的な品質評価プロセスを提案し、FMEA の膨大な評価項目をスリム化するための具体的な方法について述べている。具体的には、QFD(Quality Function Deployment)の併用、部品の技術変更点の考慮により大幅な品質評価期間の短縮化を図っている。本プロセスを複写機等に搭載されている HDD へ適用し、品質評価項目のスリム化と品質評価期間の短縮化が実現されることを確認している。

前章までの方法をとってもなお、製品と代替え部品との不適合問題が生じてしまう可能性がある。そこで、これを短期間で解消し、なおかつ代替え部品の選択の幅を広げておくことを目的とし、5章では、適合コンポーネントを用いた製品の設計変更マネジメント手法について述べている。適合コンポーネントを組み合わせた HDD と複写機との適合性を検証した結果、不適合問題を短期間で解消し易くなること、代替え部品の選択の幅を広げることができることを示している。

最後に 6章では、本論文の結論と、今後の展開について述べている。

2章 システムティック部品評価アプローチ

1章では、EOL 時における代替えのための部品品質評価の期間が長いことから、製品の生産を維持するために部品を一括購入しなければならない現状と、電子部品など市場価格の下降するタイミングに合わせ、タイムリーに部品購入できないという調達上の課題を述べた。国内の大手民生機器メーカーが、部品の品質評価期間が長くなってしまおうという課題を抱えており、この品質評価期間が長くなってしまおう課題を分析した。

その結果、サプライヤーの技術アセスメントが不足していることから、物理的な部品の品質検証に力を入れざるをえないこと、部品の品質トラブルを網羅的に防ぐため、FMEA を用いた部品評価に非常に多くの時間を費やしていること、更には、代替え部品と製品の不適合問題が発生した場合に、不適合を解消するための製品側の設計変更に多大な時間を要することが判明した。

本章では、従来の部品評価プロセスと問題点をレビューし、部品評価の効率性を追求したシステムティックな部品評価プロセスについて説明する。また、民生機器メーカーが一般市販部品の品質検証を行う際に問題となる点、すなわち、部品の内部設計が分からないブラックボックス部品の品質評価の難しさを述べ、そのブラックボックス部品を導入するための品質評価プロセスを述べる。

2.1 従来の部品品質評価プロセス

従来の EOL 時における部品評価を図 2-1 に示す。大きく 3 つの評価プロセスからなり、まず 1 つ目は、サプライヤーを選定し部品の導入計画を決めるサプライヤー選定プロセス、2 つ目は、過去のトラブル事例をもとに、故障メカニズムを解明し部品の品質不具合の再発防止策を決める、品質評価項目を決めるプロセス、3 番目は、製品と部品の適合性検証のプロセスからなる。

1. サプライヤー選定プロセス

サプライヤー選定プロセスは、サプライヤーのコスト競争力、部品のリードタイムの調査を行い、複数のサプライヤーの候補をあげるプロセスである。部品コストについては1章で述べたように、サプライヤーの選定を行う前段階で、購入したい部品型番及びその市場価格を事前に調査しておき、購入してもよい価格の範囲をあらかじめ設定しておく。また、従来価格に比べ大きく部品価格がアップしないかどうか同時に検証する。その後、複数のサプライヤーから相見積もりを取ることで、サプライヤー間の価格競争力を総合的に検証する。

また、近年では、リバースオークションの導入が一般化している[26]。一般的なネットオークションでは、売り手が買い手を競わせて価格を引きあがるのに対し、リバースオークションは、買い手が売り手を競わせ、価格を引き下げる方式である。近年、この方法を導入する民生機器メーカーも数多くあらわれ、価格競争力のあるサプライヤーを簡単に見つけ出すことができるようになった。ただし、コストだけでなく、民生機器メーカーの急な製品の増産にあわせ、部品供給が可能なサプライヤーをあらかじめ検証しておくことも大事になる。

最終的には、サプライヤーのコスト競争力と、部品のリードタイム、製品の増産に対応できるだけの部品供給能力を見極めつつ、サプライヤーの財務状況や資本構成などサプライヤーの安定性を検討した上で、サプライヤーの候補を決定する。

次に、EOL 時における代替え部品の導入計画について説明する。ここで重要なことは、民生機器メーカーの現在開発している新製品及び、開発が終了し現在生産している現行製品との部品共通化を図ることである。民生機器メーカーは、部品共通化を図ることで、部品の大量購入を見込めるため、部品の購入単価を下げることができる。

更に、民生機器メーカーは、サプライヤーから入手する部品の EOL 情報と、製品側の EOL 情報に注意を払う必要がある。この情報を基に、製品の生産を維持するために、どの程度の部品数量を購入すればよいのか、どの程度部品在庫をもてばよいのか、これらの情報から部品の導入計画をたてることが可能になる。

2. 品質評価項目を決めるプロセス

2番目の品質評価項目を決めるプロセスは、過去のトラブルの事例の収集と、そのトラブルの原因を探るためのFTA(Fault Tree Analysis)を用いた故障解析の実施、更には設計者や生産技術者を交えたブレインストーミングの実施により品質トラブル防止のためのFMEAを完成させていくプロセスである。品質トラブルの発生度、影響度、検出難易度の見積もりを行い、RPN(Risk Priority Number)を算出し、不具合対策の優先順位付けをする。品質検証項目の例として、安全性、環境、長期信頼性、部品と製品の適合性、部品の製造品質、部品の設計品質の検証を行う。また、部品の設計品質を検証するため、サプライヤーと定期的に部品の設計レビューを行い、部品内部の技術的特性を把握するといったやり方も有効である。

3. 製品と部品の適合性検証

3つ目は、製品と部品の適合性検証である。製品と部品の適合性検証は、部品 EOL時に製品の生産を維持するために必ず実施しなければならない、適合性検証は、代替え部品が、製品の要求する仕様に合致しているか、また環境規制や安全規格に合致しているかを精査するアクティビティーである。また、部品を製品に組み込み、機械的、電氣的、ソフトウェア上の不適合がなく製品が正常に動作することを確認する。

例えば、機械的適合性を評価する項目として振動検証が挙げられる。部品に加わる振動の大きさ、周波数帯域が定められているが、もし製品の要求仕様に合致していない部品が組み込まれた場合、導入された部品の十分な性能を得られなくなる可能性がある。

電氣的適合性の評価例として、製品側と部品側の電気信号の波形検証が挙げられる。製品と部品側のインピーダンスが不適合の場合は、電氣的波形による反射波の影響によるリングング、またはオーバーシュート、アンダーシュートといった問題が発生する。

ソフトウェアの適合性事例として、製品に代替え品を組み込んだ際に安定的な動作を確認するケースである。例えば、部品を製品組み込み、電源 ON 時に部品を認識するか、

また製品を動作させた際に、部品側も正常に動作するかを確認し、製品側のソフトウェアドライバとの適合性を確認する。

この従来の EOL 時の部品品質評価プロセスの問題点は、図 2-1 に示すように、サプライヤーの技術アセスメントが不足しているため、部品品質を確認するための FMEA や物理的テストの負荷が大きくなることである。そのため、部品の品質確認のための評価項目は必然と大きくなり、評価期間がより長くなってしまう。

また、2 つめの問題点は、製品と代替え部品の適合性検証において不適合問題が発生し、代替え部品の導入を見送った場合、新たにサプライヤーを探さなければならないといった手戻りが発生することである。この場合も、サプライヤーアセスメントと部品の品質確認のための FMEA、物理テストを新たに実施しなければならないため、代替え部品を導入するまでの期間がより長くなってしまう。

サプライヤー選定プロセス

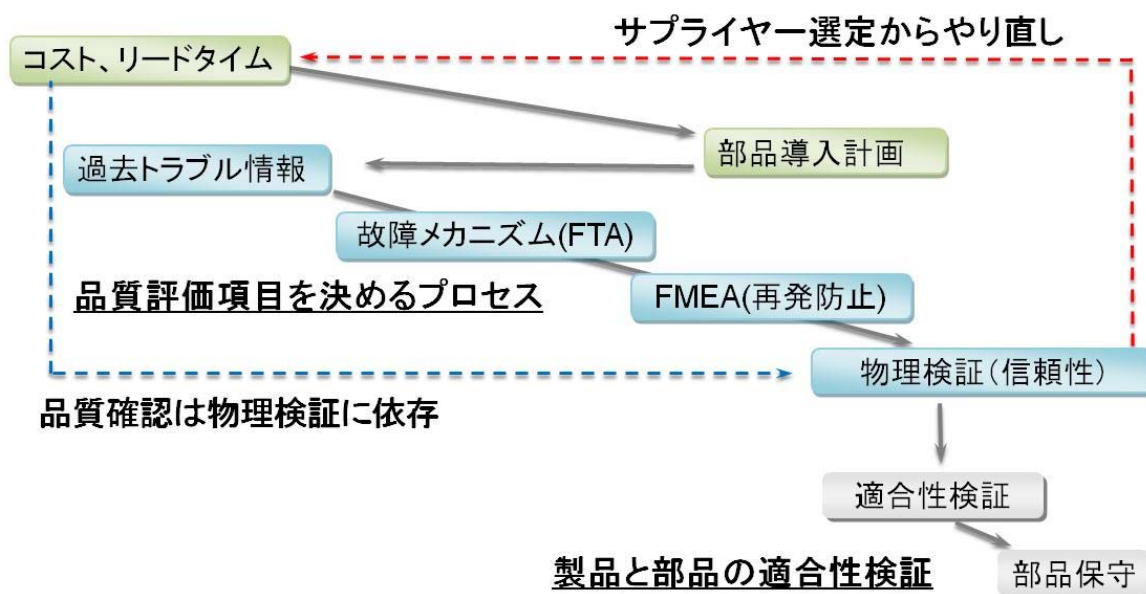


図 2-1 従来の EOL 時の部品品質評価プロセス

2.2 システムティック品質評価プロセス

前節で述べた EOL 時の部品品質評価プロセスの問題点を解決するため、本節では新しい部品品質評価プロセスである、システムティック品質評価プロセスを提案する（図 2-2）。本評価プロセスは大きく 4 つに大別することができる。

- ① サプライヤー選定プロセス
- ② 評価項目を決めるプロセス
- ③ リーン品質評価プロセス
- ④ 設計変更マネジメント

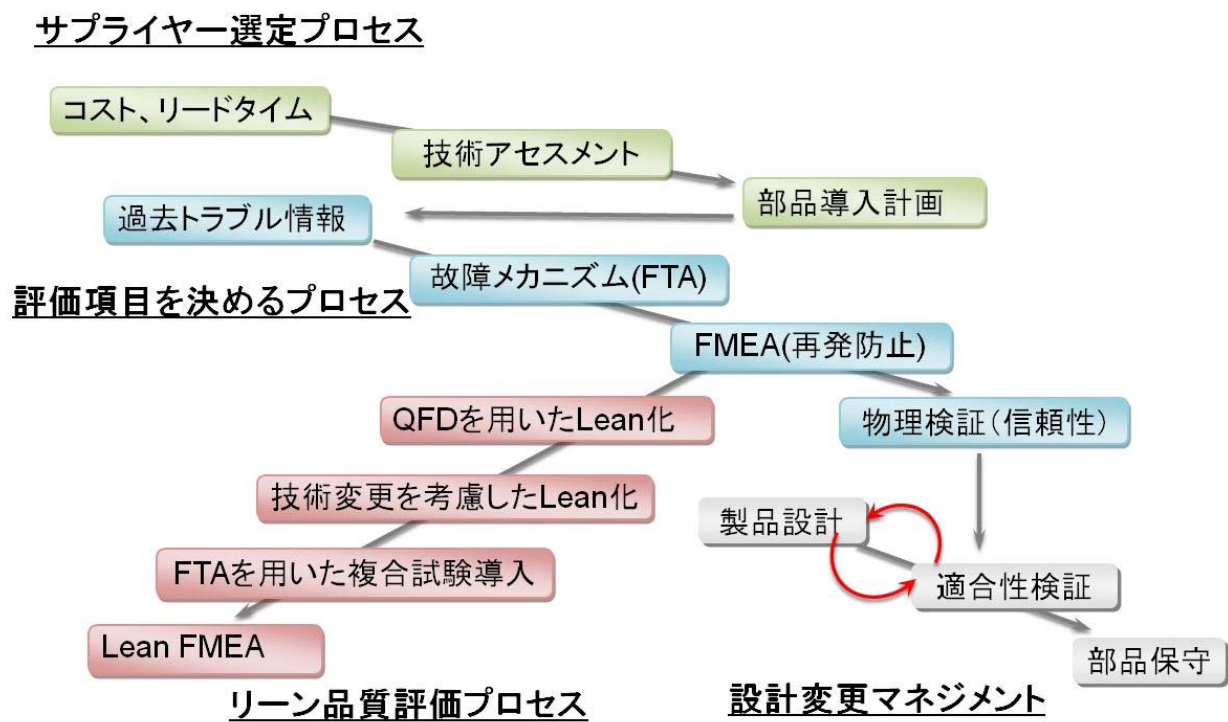


図 2-2 システムティック品質評価プロセス

本節では、図 2-1 に示した従来の EOL 時の部品品質評価プロセスとの違いについて述べる。

まず 1 つめの違いは、サプライヤー選定プロセスにてサプライヤーの技術アセスメントを強化している点である。従来プロセスでは、部品コスト、部品リードタイムを重視するサプライヤーアセスメントを行っており、技術的なアセスメントとしては、部品のインターフェース仕様や、部品サイズ、部品が正常動作する温度の範囲といった、基本的な内容でしかなく、部品品質検証は、その後に実施する部品の FMEA や物理的なテストに委ねられていた。

本プロセスに、サプライヤーの保有する技術力を明らかにするための技術アセスメントを追加することで、その後に実施する部品の品質確認のための FMEA や物理テストを軽減することができる。また、サプライヤーの技術アセスメントを、定期的実施しておくことで突発的な部品 EOL に対応することができ、安心して取引のできるサプライヤーの確保が可能になる。詳細については、3 章にて述べる。

2 つめの違いは、部品内部の不具合を検出するために膨れあがった、FMEA の品質確認項目を効率化、スリム化するためのリーン品質評価プロセスを提案したことである。1 章で述べたように、FMEA は数多くの民生機器メーカーで利用されているものの、不具合の再発を防止するための FMEA を検討する際、設計部門、品質管理部門、生産部門といった数多くの部門が参加しブレインストーミングすることで、品質トラブルを未然に防ぐための品質検証項目が膨れあがってしまう傾向にある。本プロセスのユニークな点は、リーン品質評価プロセスを提案することで、この膨れあがった品質検証項目をスリム化することにある。詳細については 4 章にて述べる。

3 つめの違いは、部品 EOL 時の代替部品と製品の適合性を検証する設計変更マネジメント手法を導入したことである。従来プロセスは、部品と製品の間で不適合問題が発生した場合、代替部品の採用をあきらめ、新たなサプライヤーを探し出すといった大きな手戻りがあった。また、部品と製品の不適合問題が発生した場合、不適合の原因の追求に時間がかかること、部品と製品の適合性を向上させるための、製品側の設計変更を行うためのリソース（人員）が十分でないことがあげられる。

従来プロセスでは、適合性の不具合を解消するための設計変更はあくまで、現在開発

中の新製品に対して適用され、現在生産中の製品に対しては、開発部門のリソース不足を理由に、なかなか適用されないといった問題があった。設計変更マネジメントは、部品と製品の不適合問題が発生した場合、短期間で部品と製品の不適合問題を解消できることから、代替え部品の導入を見送らざるを得ない、もしくは、サプライヤーを選定し直すといった手戻りを解消することができる。詳細については、5章にて述べる。

2.3 ブラックボックス部品導入の課題

前節にて著者は、従来の EOL 時における部品評価プロセスとその従来プロセスの問題を解決するためのシステマティック評価プロセスについて述べた。本節では、民生機器メーカーが一般市販部品の品質検証を行う際の問題点を述べる。

図 2-3 と表 2-1 は、民生機器メーカーが購入する部品の 3 つの特徴を示したものである。著者は、サプライヤーから供給されるハードウェア部品に対して、ホワイトボックス、グレイボックス、ブラックボックスの 3 つを定義した。ホワイトボックス、ブラックボックスは、ソフトウェアテストで一般的に用いられている用語であり、ホワイトボックスは、部品の内部仕様、すなわちソースコードの中身が明らかになっており、ソフトウェア設計者がバグを洗い出すための、ソフトウェアテストの内容をより明らかにしやすいという特徴をもっている[87][88][89][90][91]。

一方、ブラックボックスは、ソフトウェア部品の内部の仕様が明らかになっていない分、外部の仕様通りに機能が動作するかどうかを確認する方法が一般的である。具体的なテストとしては、入力に対して、正しい出力がなされているかどうかの動作確認テストがある[90][91][92][93][94]。

これは、ハードウェアの領域に対しても同じことが言える。特に、民生機器メーカーが自社開発した部品（ホワイトボックス部品）に関しては、設計の詳細仕様が分かるため、信頼性検証のためのストレステストの条件の設定を行いやすい。また、民生機器メーカーが自社開発した部品に関しては、当然、部品のもつ信頼性上の弱点を把握しやすい。そのため、民生機器メーカーは、部品を製品に組み込んだ際に、部品の誤動作を防止するための製品側の制御設計もしやすくなる。

一方、ブラックボックス部品に関しては、部品内部の設計仕様が分からないため、インターフェースを中心にした動作検証に委ねざるをえない。

例えば、ハードディスクやステッピングモーター、半導体のような一般市販購入部品に関しては、部品のインターフェースの仕様は明らかになっているが、部品内部の設計仕様については明らかにされていない。民生機器メーカーは、ブラックボックス部品内部または、インターフェースに潜んでいる技術的な問題を部品の品質評価時に検出できず、製品が市場に出たから、不具合が発生するといったことも少なくない(図 2-4)。

ブラックボックス部品を導入する民生機器メーカーが、サプライヤーと協業で部品の設計レビューに参加できれば、機械的、電氣的、ソフトウェアといった部品内部の不具合を事前に検出できる可能性は高まる。また、部品の設計段階で試作品を入手することができれば、それを製品に組み込み、様々なテスト条件を設定することで部品内部の品質検証をすることができる。

しかしながら、部品を開発するサプライヤーにとって、彼らの部品内部の設計技術やノウハウは他社の開発する部品との差別化になるため、容易に民生機器メーカーに部品内部の設計情報や、設計初期段階での試作部品を渡すことはできない。こうした背景が、ブラックボックス部品の品質評価時に、部品内部の不具合の検出を難しくさせ、また、製品と部品の不適合問題が発生した場合に、短期間で不適合問題を解消できない理由となっている。

一方、グレイボックス部品とは、ホワイトボックス部品とブラックボックス部品のそれぞれの特徴をあわせもった部品である。グレイボックス部品とは、民生機器メーカーの部品に対する要求機能、要求性能、設計仕様をベースに、部品を開発するサプライヤーが詳細設計、部品の生産工法などを独自で決めることのできる部品である。

例えば、自動車メーカーでは、自動車に組み込む部品の要求機能、要求性能、設計仕様を作成するが、部品内部の構造設計や部品の生産工法まで入り込むことで、部品を開発するサプライヤーと協業で部品の品質を作り込んでいく。

一方、サプライヤーは、自動車メーカーの要求に従い、部品の詳細設計を行うだけでなく、部品の信頼性を確保するための技術開発、更には、品質不具合を防止するための

生産技術に関するノウハウを蓄えることができるが、自動車メーカーは、サプライヤー以上の設計技術やノウハウを蓄積することが難しくなる[95]。

以上が、グレイボックス部品の特徴であるが、グレイボックス部品は、EOL 時における代替え部品と製品との間で不適合問題が発生した場合、民生機器メーカーの要求変更にあわせて、部品自身をカスタマイズしやすいといった利点がある。ただし、民生機器メーカーの要求変更にあわせて部品をカスタマイズすることから、HDD や半導体メモリのようなブラックボックス部品に比べ部品の価格が割高になってしまう。



図 2-3 部品設計のタイプ

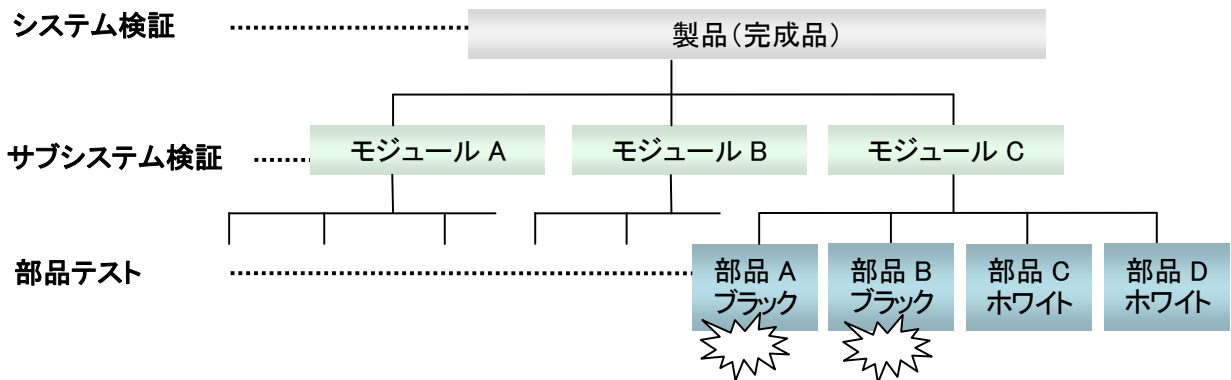


図 2-4 ブラックボックス部品と製品の不適合問題

表 2-1 部品設計の特徴

	ブラックボックス部品	グレイボックス部品	ホワイトボックス部品
欠点	1) 部品内部の詳細設計を把握することが難しく、製品と部品の不適合問題が発生した際に迅速に改善することが難しい。 2) 部品内部の設計や信頼性に問題があったとしても、民生機器メーカーが行う通常の品質テストで部品内部の不具合を検出することは難しい。	1) 部品の設計仕様をカスタマイズすることで、ブラックボックス部品に比べ部品の価格が割高になってしまう。 2) 部品の詳細仕様については把握できるものの、部品の詳細設計や部品の信頼性を把握することは難しい。	1) 部品設計、試作、テスト、生産といった一連の活動を行うため、より多くの部品開発費用を必要とする。
利点	1) 標準化された一般市販部品を製品に導入することで、製品の開発コストを抑えることができる。	1) 独自に部品を開発するより、部品の設計コストを低く抑えることができる。 2) 部品の設計仕様をサプライヤーに要求しカスタマイズすることで、製品と部品の不適合問題を最小限におさえることができる。	1) 独自に部品設計することで、競合他社に比べ優れた機能、性能をもちあわせた部品を開発することができる。 2) 独自に部品設計することで、部品の生産工法含む部品品質全体をコントロールしやすい。

2.4 ブラックボックス部品導入のための品質評価プロセス

前節では、民生機器メーカーがブラックボックス部品を導入する際、部品の内部に潜在する不具合を検出することの難しさを述べた。本節では、民生機器メーカーが、HDD や半導体メモリのような一般購入部品の品質を見極めるための品質評価プロセス、すなわち、ブラックボックス部品導入のための品質評価プロセスについて述べる。今回、ブラックボックス部品として、複写機やプリンタに組み込まれている、HDD を用いた品質検証の事例を紹介する。

図 2-5 は、ブラックボックス部品導入のための品質評価プロセスを示したものであり、次の 4 つのアクティビティからなる。

1. 過去トラブル事例の収集
2. FTA を用いた故障メカニズムの解明
3. FMEA の検討（部品単体の信頼性を見極めるための FMEA、部品と製品の適合性を検証するための FMEA、部品の製造品質を検証するための FMEA）
4. 部品内部の不具合を検出するための物理テスト（信頼性試験、適合性検証）

まず部品の品質評価項目を決めるにあたって、以下に示すような、部品の品質トラブルの情報を収集する。民生機器メーカーが過去経験した部品の品質トラブル情報が、部品の品質評価項目を決める上での基礎となる。

- 民生機器メーカーの工場内で発生した部品トラブル
- 顧客クレーム
- 製品開発時に発生した部品トラブル
- 部品 EOL 時における代替え部品と製品の不適合問題
- 部品内部の信頼性の不具合による部品の短期故障
- 一般的な文献に掲載されている部品のトラブル事例

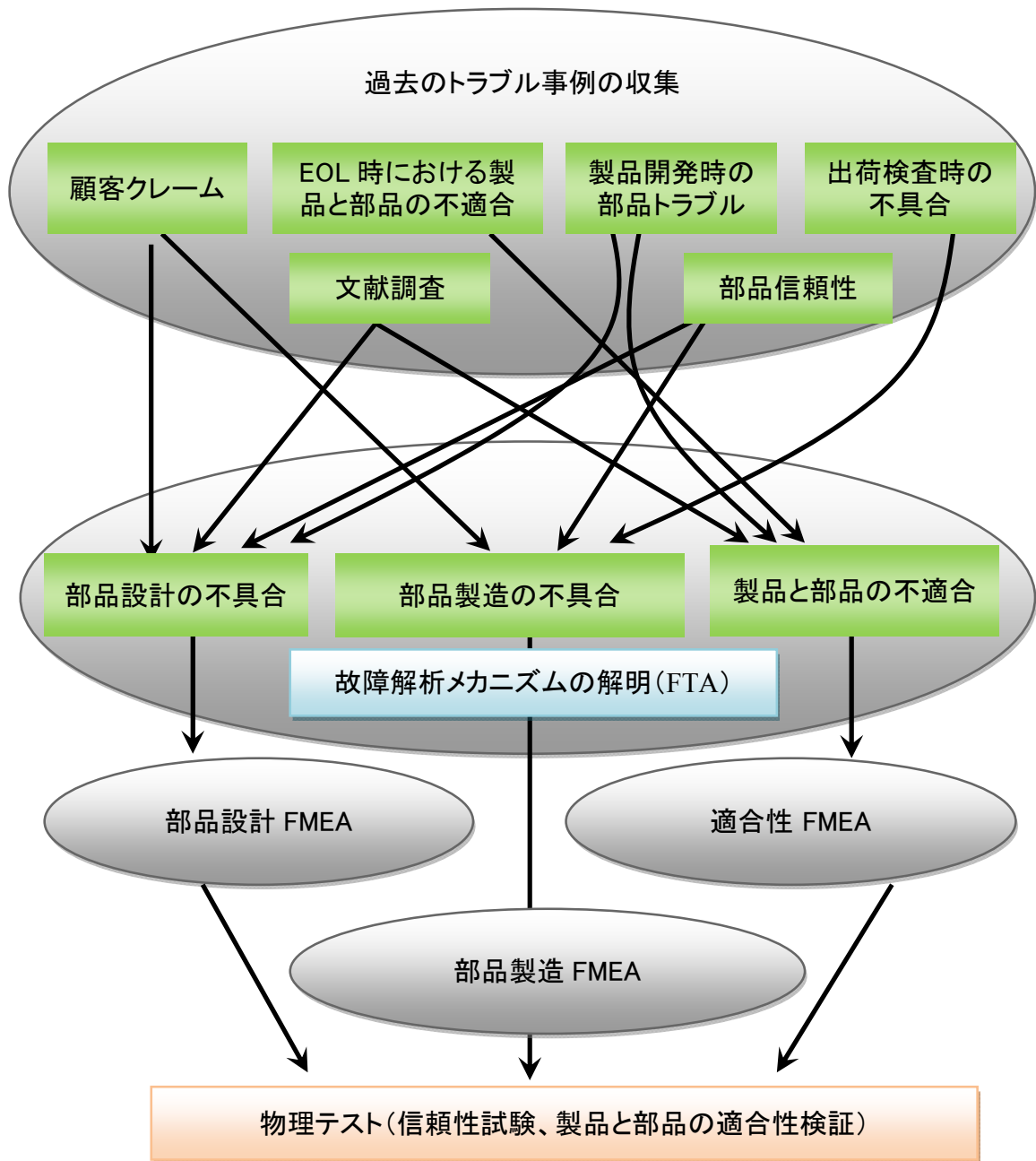


図 2-5 ブラックボックス部品導入のための品質評価プロセス

次に、収集された過去の部品トラブル事例の情報をもとに、FTA(Fault Tree Analysis)などの故障原因追求のための解析手法を用い、部品故障のメカニズムを追及する。図2-6は、ブラックボックス部品であるHDDの故障メカニズムを、FTAを用いて調査したものである。図2-6のようなFTAを用いることで、パソコンに内蔵されているHDDの読み出し不良の原因を、以下のように説明することができる。

1. 衝撃により HDD 内部の重要部品である磁気記録メディアと磁気を読み込むためのヘッドが接触
2. 読み取りヘッドを支えるスライダという部品が破損
3. スライダの破損により生じた欠片が、読み取りヘッドと磁気メディアとの間に入り込む
4. スライダの欠片が読み取りヘッドの素子部分を傷つける
5. 読み取りヘッドの素子が傷つくことによって、HDD の読み出し不良が発生する

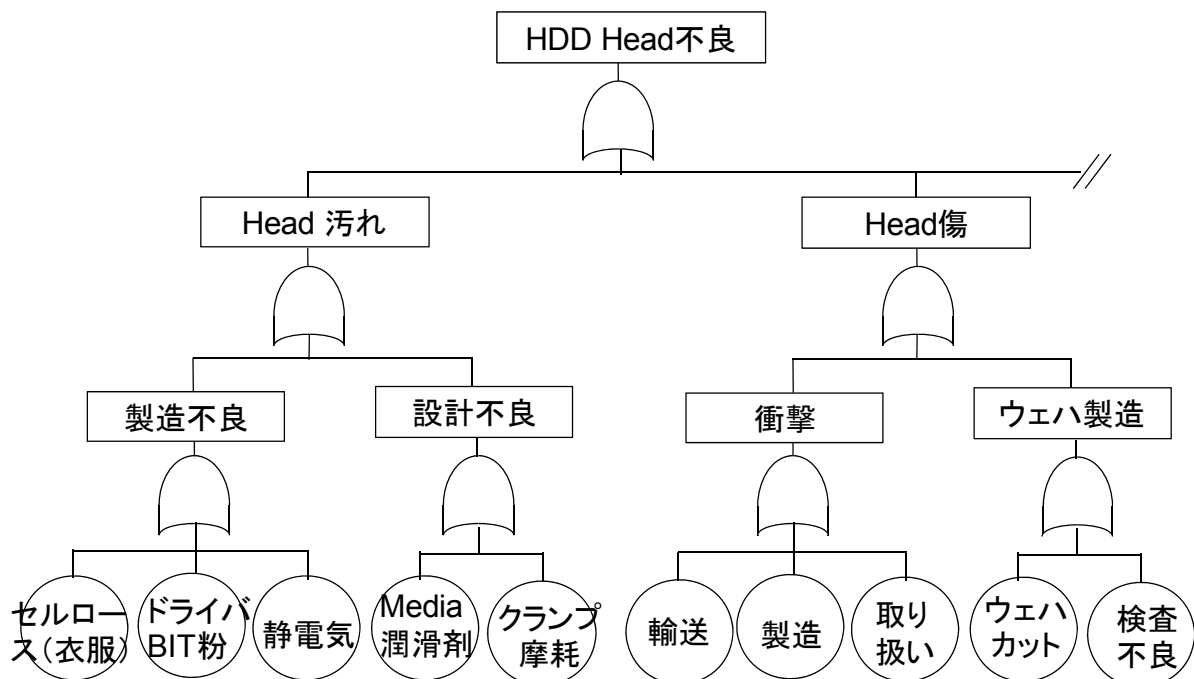


図 2-6 FTA を用いた HDD の故障メカニズムの解明

このように、HDDの読み出し不良が発生した場合、HDDからの情報を読み出せないため、HDDを内蔵しているパソコンの電源をONしても起動しないといった現象が発生する。このように、FTAを用いることで、さまざまな部品の故障メカニズムを明らかにすることができる。

次に、トラブルの再発防止のためのFMEAの検討に入る。上述のFTAを用いた部品の故障メカニズムを明らかにすることで、どのようにしたら部品トラブルを未然に防止できるのか、また、これから発生するかもしれない部品トラブルの予測を行っていく。その際、設計部門、品質管理部門、調達部門、部品評価部門など、さまざまな技術者とブレインストーミングを行うことで、より効果的な部品のトラブル防止策を検討することができる。

図2-7に示すように、FMEAを検討する上で大事なことは、部品の故障モード、部品の故障によるシステムの影響度（製品を使用するユーザーサイドの影響）を考慮することである。また、部品の品質トラブルを防止するための対策、例えば、製品側の設計対策や部品側の設計対策を明記しておくことよい。FMEAを検討する上で、想定される部品トラブルは多岐に及ぶため、PRN(Priority Risk Number)を算出し、部品トラブル再発防止の優先順位をつけることが重要となる[28][29]。

特に、HDDのようなブラックボックス部品の品質を見極めるためには、次の3つのタイプのFMEAを作成し、部品内部の潜在的な不具合を検出することが重要となる。

1. 部品の設計品質、部品の信頼性を見極めるためのFMEA
2. 部品と製品の適合性を検証するためのFMEA
3. 部品の製造品質を確認するためのFMEA

部品の設計品質や信頼性を見極めるためのFMEAを実施し、部品内部の潜在的な不具合を検出した場合、部品を開発しているサプライヤーに対し不具合情報をフィードバックし、部品の設計品質を向上させることが重要となる。また、部品と製品の適合性を検証するためのFMEAを実施し、部品と製品と間で不適合問題が見つかった場合、製品設計者に不具合情報をフィードバックし、部品と製品の適合性を向上させるための製品側の設計対策を行う必要がある。

HDD 故障 部位	機能	故障 モード	製品側の故 障の影響	故障原因	評価			RPN	担 当	品質評価項目	
					影 響 度	検 出 難 易	発 生 頻 度			品質検証 項目	分類
モー ター	磁気記 録メ ディア の回転	モー ター 回転 せず	製品起動せ ず	連続運転によ るベアリング 焼きつけ	設計部門、 品質管理部 門、生産部 門と協議の 上、スコアを 決定					モー ター 回 転 耐 久 試 験	信頼性
モー ター	磁気記 録メ ディア の回転	異音	データ読み 出しfail	製造時オイル 不足によるベ アリング焼き つき						オイ ル注 入工 程の 検証	部品 製造
Head	磁気記 録メ ディア 読出し	Read リト ライ	データ読み 出しfail	Head共振によ るトラッキ ングミス						共 振 周 波 数 の 測 定	信頼性

図 2-7 FMEA の適用例(HDD)

同様に、部品の製造品質を確認するための FMEA を実施し、部品の製造品質に関する不具合を見つけた場合は、部品の製造工程を検証し、部品の不具合を引き起こす工程の改善を必要とする。

上記で述べた 3 つの FMEA の具体例を、ブラックボックス部品である HDD を用いて説明する。1 つ目の部品の設計品質や部品の信頼性の検証例として、外部振動の影響による HDD の転送速度の低下率の検証があげられる。HDD の転送速度低下の原因は、HDD 内部の読み取りヘッドが、外部振動の影響で磁気記録メディアに記録されているサーボ情報を読み出すことができず、読み取りヘッドが、サーボ情報を何度も読み直すリトライという現象が発生するためである。このリトライという現象が発生すると、HDD 内部の読み取りヘッドが、磁気記録のデータを正確に読み出すことができないため、読み取り速度の低下、すなわち転送速度の低下を引き起こす。

このように、HDD の転送速度が低下するメカニズムを、FTA を用いて明らかにした上で、外部振動に対する HDD の設計品質を見極めるための FMEA の検討を行うと良い。

例えば、HDD の製品仕様書[96][97][98][99]によると、HDD へ加えることのできる振動の周波数帯域と大きさはそれぞれ、5-500Hz, 1G (0 to Peak)と記載されている。ここで、HDD の仕様書に記載されている振動の周波数 500Hz 以上の周波数を HDD に加えながら、HDD の転送速度をリアルタイムにモニタリングすることで、転送速度の低下する周波数を明らかにすることができる。

こうした試験を実施することで、HDD の耐える振動の周波数帯域を明確にすることができるのと同時に、異なるサプライヤーの相対的な部品信頼性の差を把握することができる。これは、HDD の信頼性を検証するための FMEA の事例であり、様々な種類 (1.8inch, 2.5inch, 3.5inch) の HDD に適用することができる。

2つ目の部品と製品の適合性を検証例として、HDD のインターフェース信号と製品側のコントローラーのインピーダンスの適合性があげられる。HDD は、年々転送速度が増加し、10年前の Multi word DMA の転送速度が 16.6MB/s であったのに対し、現在の Ultra DMA Mode は、133MB/s の高速な転送速度を実現している[100]。

高速な転送速度を実現している背景には、インターフェース電気信号の高速化がある。インターフェース電気信号の高速化に伴い、HDD と HDD を制御する製品側のコントローラーとの間で不適合が発生し、反射波やクロストークといった波形問題が発生するようになった。HDD と HDD を制御する製品側のコントローラーいずれも、インターフェースの規格にあわせた電気信号の設計となっている。

インターフェース規格に基づいて、製品設計をおこなうものの、実際はこうした電気的な不適合問題が発生している。これは HDD のようなブラックボックス部品を製品に組み込む際の典型的なトラブル事例である。このような不具合を検出するため、民生機器メーカーは、電気信号の品質検証、すなわちオーバーシュートやアンダーシュートの品質検証項目を FMEA に盛り込む必要がある。

また3つ目の部品の製造品質の検証例として、HDD の内部に存在する塵、埃が、HDD 内部の読み取りヘッドに付着していないかを見極めるものである。塵、埃が、HDD 内部の読み取りヘッドに付着することで、HDD 内部の磁気記録メディアから正確に情報を読み出すことができないといった問題が発生する。

通常クラス 100~200 の湿度と温度を一定に管理されたクリーンルーム内で HDD は、製造されている。しかしながら、製造工程の作業員の衣服の成分であるセルロースといった有機化合物が、HDD の内部に混入するといった問題が発生している。そのため、民生機器メーカーは、HDD の製造工程を直接確認し、作業員の衣服だけでなく、他にも HDD 内部に埃、塵が混入される可能性がないかどうか検証する必要がある。

また、HDD の製造品質を検証するため、HDD 製造工程内の 4M2S (Man / Machine /Material /Method /System /Space) に変更がないか定期的に HDD の製造現場に足を踏み入れ、確認する必要がある。そのため、サプライヤーから入手した HDD の製造工程表をベースに、作業毎にどのような品質確認を行うべきか、FMEA に盛り込むべき品質検証内容は何か、事前に検討しておく必要がある。

以上が、ブラックボックス部品の一つである HDD の品質検証を行う一連のプロセスである。ブラックボックス部品の不具合を未然に防ぐためには、数十~数百に及ぶ品質の確認項目が発生するため、FMEA の品質検証項目の優先順位付けを行うだけでなく、部品と製品の適合性を検証するための試験条件、合格基準を決めておくことも大事になる。

また、図 2-5 に示した、ブラックス部品を導入するための品質評価プロセスは、部品に内在する設計、製造上の不具合を検出するには非常に有効である。しかしながら、上述のように、FTA を用いた故障メカニズムの解明、FMEA の実施、更には、信頼性などの物理テストの実施、これら一連の品質検証を行うには、非常に多くの時間を費やさなければならないといった課題が残る。

2.5 まとめ

本章では、EOL 時における部品の品質検証期間を効率化するためのシステムティック品質評価プロセスを提案した。本品質評価プロセスの特徴は、物理的な品質テストを軽減するためのサプライヤーの技術アセスメント、FMEA の品質確認項目を効率化するためのリーン品質評価プロセス、更には、製品と部品の不適合問題を短時間で解消するための設計変更マネジメントであり、従来の部品評価プロセスの問題点を解消したものである。

また、民生機器メーカーが一般市販部品の品質検証を行う際に問題となる点、すなわち、部品の内部設計が分からないブラックボックス部品の品質評価の難しさを述べ、ブラックボックス部品の内部に潜む不具合を検出するための品質評価プロセスを述べた。本品質評価プロセスは、さまざまな部品に内在する設計、製造品質の不具合を検出するには非常に有効である。しかしながら、FTA を用いた故障メカニズムの解明、FMEA の実施、更には、信頼性などの物理テストの実施、これら一連の品質検証を行うには、非常に多くの時間を費やさなければならないといった課題が残る。

3章 サプライヤー技術アセスメント

1章では、従来の部品の品質評価プロセスの問題点を指摘し、2章では部品の品質検証期間を効率化するためのシステムティック品質評価プロセスについて述べた。本品質評価プロセスの特徴は、物理的な品質テストを軽減するためのサプライヤーの技術アセスメント、FMEAの品質確認項目を効率化するためのリーン評価プロセス、更には、製品と部品の不適合問題を短期間で解消するための設計変更マネジメントであり、従来の品質評価プロセスの問題点を解消するものである。

一方、民生機器メーカーが一般市販部品の品質点検を行う際に問題となる点、すなわち、部品の内部設計が分からないブラックボックス部品の品質評価の難しさと、そのブラックボックス部品を導入するための品質評価プロセスを述べた。しかしながら、ブラックボックス部品を導入するための品質検証は、非常に多くの時間を費やさなければならない。

そこで本章では、半導体メモリやHDDのような一般市販部品、すなわち、ブラックボックス部品の物理的な品質テストを最小限に抑えるため、信頼性の高く技術力のあるサプライヤーを見極めるための技術評価指標を提案する。また、本技術評価指標を用い、サプライヤーを定量的に評価する。評価点の高いサプライヤーは部品の市場品質に優れているという仮説をたて、実際にサプライヤーの部品を製品に組み込み、部品の市場品質を長期間に渡り検証することで、提案したサプライヤーの技術評価指標の妥当性を証明する。

3.1 ブラックボックス部品導入のためのサプライヤー選定プロセス

図3-1は、民生機器メーカーが一般市販部品、いわゆるHDDのようなブラックボックス部品を導入のためのサプライヤー選定プロセスである。このサプライヤー選定プロセスは、HDDや半導体といったブラックボックス部品を製品に組み込んでいる、大手民生機器メーカーへのインタビューの結果に基づいて作成したものである。

最初に、民生機器メーカー内の部品の調達計画に基づき、部品の購入数量、部品のリードタイム、部品購入コストのターゲット値を算出し、これらの要求事項に適合するサプライヤーを選定する。部品調達計画は、製品の開発スケジュール、既存製品の生産スケジュールを考慮し、製品へ部品供給が途絶えないよう調整する。

サプライヤーを選定する上で重要なのは、民生機器メーカーの要求する部品数量とリードタイムに対して、サプライヤーが柔軟に対応できるか、また他のサプライヤーに比べてコスト競争力があるかどうかを、複数社の相見積りの実施やリバースオークション等によって決定することである。リバースオークションは、民生機器メーカーにとって部品の調達コストを抑えることができることから、近年、このリバースオークションを導入する民生機器メーカーも増えている。また、ある特定のサプライヤーから部品が入手できなくなった場合に備え、サプライヤーを数社選定しておくことが望ましい。

2番目に、製品と部品の適合性のため、民生機器メーカーの要求する部品仕様に、適合した部品を供給できるサプライヤーを見つけ出す。たとえば、ブラックボックス部品である HDD を製品に組み込む場合、民生機器メーカーは、転送速度、インターフェースの適合性、振動、衝撃の耐久性、消費電力、部品平均故障間隔を検証しなければならない。製品の要求仕様と部品の仕様が適合することで、製品の安定した動作が保証される。

3番目に、民生機器メーカーは、欧州で規定された有害物質環境規制、RoHS (Restriction of Hazardous Substances)や REACH (Registration Evaluation Authorization and Restriction of Chemicals) に適合した部品を安定供給できるサプライヤーを見つけ出す必要がある。もし、サプライヤーから有害物質データを入手できない場合、民生機器メーカーは、蛍光 X 線等の装置を用い、自ら検査をすることで有害物質の有無を検証しなければならない。

更に、安全性、いわゆる UL (Underwriters Laboratories) 等で規定された安全基準を満たした部品を供給できるサプライヤーを選定しなければならない。具体的な安全性の検証項目としては、電子部品のオープン、ショートによる発煙発火、EMI (Electro Magnetic Immunity)等があげられる。通常、民生機器メーカーは、サプライヤーから入

手する安全性データのみで部品の安全性を判断するが、場合によっては部品を製品に組み込み安全性のテストを行うことも必要である。

4番目は、部品の信頼性に優れたサプライヤーを選定する。サプライヤーによっては、部品の仕様書に記されていない技術情報、例えば、温度に対する部品の耐久性、湿度に対する部品の耐久性などの情報を開示しないケースも多い。その場合、民生機器メーカーが、部品の信頼性を確かめるため温度や湿度などのストレスを加えた信頼性試験を実施し、部品に内在する信頼性の不具合を検出することで、部品の信頼性を確かめる必要がある。こうした、部品の信頼性試験のための期間、試験コストは民生機器メーカーの負担になってしまうため、このような部品の仕様書に記されていない信頼性情報を提供できるサプライヤーを選定することが大事になる。

最後は、部品と製品との適合性テストを行い、適合性テストに合格したサプライヤーを選定する。民生機器メーカーは、部品の開発コストをおさえるため、HDDのような市販されているブラックボックス部品を導入し、製品の開発や品質評価期間の短縮化を試みるが、実際は機械的、電氣的、ソフトウェアの適合性問題が発生する。こうした不適合問題が発生した場合、民生機器メーカーは、部品と製品との適合性を向上させるため製品側の設計を変更、もしくは、サプライヤーに部品設計変更を要求し、製品と部品の不適合問題を解消させなければならない。

以上より、民生機器メーカーは、部品コストや部品リードタイムだけでなく、部品の仕様書から判別できない、部品品質を見極めることが重要となり、こうした部品の信頼性情報などを開示することのできるサプライヤーを選定する必要がある。また、上述のように部品と製品の不適合問題が発生した場合は、サプライヤーに部品設計変更を要求しなければならないケースも発生する。

次節では、部品の信頼性に関する情報開示や、サプライヤーの保有する技術に関して高いナレッジをもったサプライヤーを見極めるための技術評価指標について述べる。

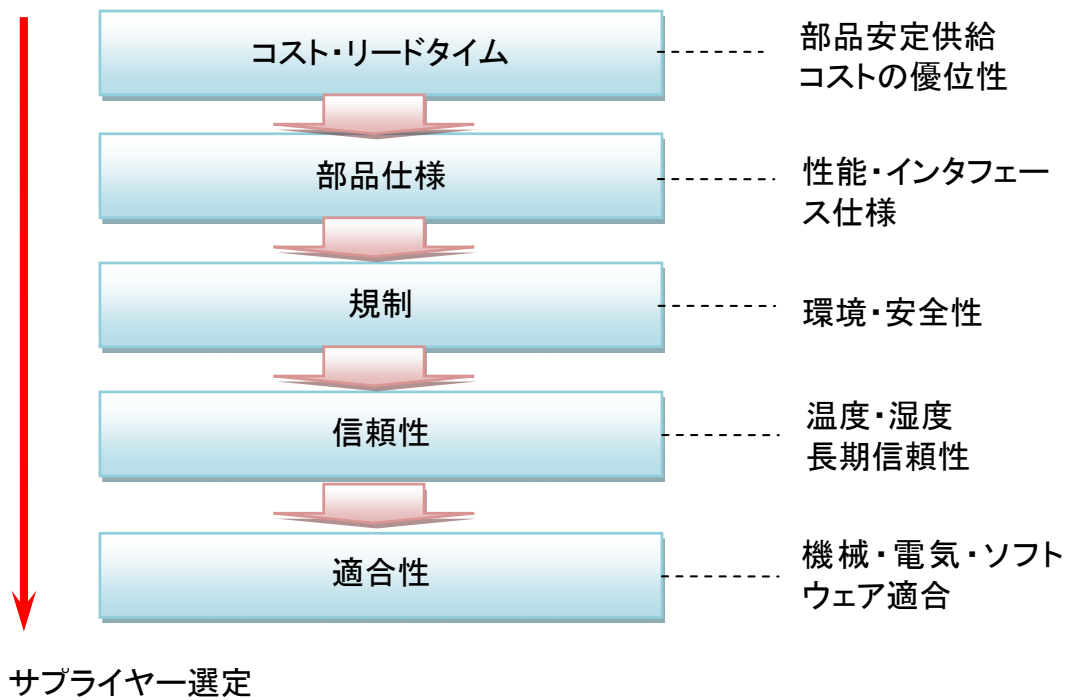


図 3-1 ブラックボックス部品導入のためのサプライヤー選定プロセス

3.2 サプライヤーの技術評価指標

前節では、ブラックボックス部品導入のためのサプライヤーの選定プロセスについて述べた。その中で、民生機器メーカーは、部品コストや部品リードタイムだけでなく、部品の仕様書から判別できない、部品品質を見極めるための信頼性情報などを開示してくれるサプライヤーを選定しなければならないと述べた。そこで本節では、部品の信頼性や技術に関して高いナレッジをもったサプライヤーを見極めるための技術評価指標について述べていく。

2章で述べたように、過去の部品の品質不具合の情報収集や、FTA を用いた部品の故障メカニズムの解明は、部品不具合の故障の真の原因を追求し、部品不具合の再発防止を検討する有効な手段といえる。ただし、部品の品質不具合を再発防止するには、部品

の詳細な設計仕様、部品の信頼性、安全性、有害物質の含有等、これらの情報をサプライヤーから入手する必要がある、また、サプライヤーと品質問題の再発防止について多くの議論を要する。

部品コストや、部品リードタイムの調査を主眼に置く調達部門だけでは、品質や技術に関するサプライヤーアセスメントが難しい。彼らは、部品コスト、部品のリードタイムに関してはサプライヤーを詳しく評価することができるが、サプライヤーから購入する部品品質に関しては、製品設計部門や品質管理部門などの技術部門に委ねざるをえない。

しかしながら、製品設計部門や品質管理部門でさえも、サプライヤーから提供された部品品質に関する技術レポートに基づいて、部品の設計品質や信頼性の善し悪しを議論するものの、サプライヤー選定に関してどのような技術評価指標を設定してよいか分からない。そのため、サプライヤーの技術アセスメントに関しては、設計者や品質管理部門の担当者の経験に頼っている状況である。

そこで、信頼性の高く技術力のあるサプライヤーを見極めるための技術評価指標を決めなければならない。その技術評価指標を決めるためのプロセスを図 3-2 に示す。このプロセスを適用することで、サプライヤーの技術評価指標を導き出すことができる。技術指標の導き出し方は、過去の部品トラブル事例の収集と、FTA を用いた部品トラブルの故障メカニズムの追求、更には、部品トラブル再発防止のための FMEA を実施することで、サプライヤーに要求した部品品質に関する様々な技術情報を洗い出す。実際にサプライヤーに要求した技術情報を、関連性のある項目同士でグループ化することで次の 5 つの技術評価指標を導き出すことができる。実際に HDD メーカーに対して適用した結果を、図 3-3 に示すとともに、詳細を以下に述べる。

- 1) 部品の故障解析に関する情報開示
- 2) 部品の信頼性情報の開示
- 3) 部品設計や部品製造プロセスの情報開示
- 4) 顧客要求による部品設計変更対応
- 5) 部品の品質トラブルが発生した際の迅速な対応

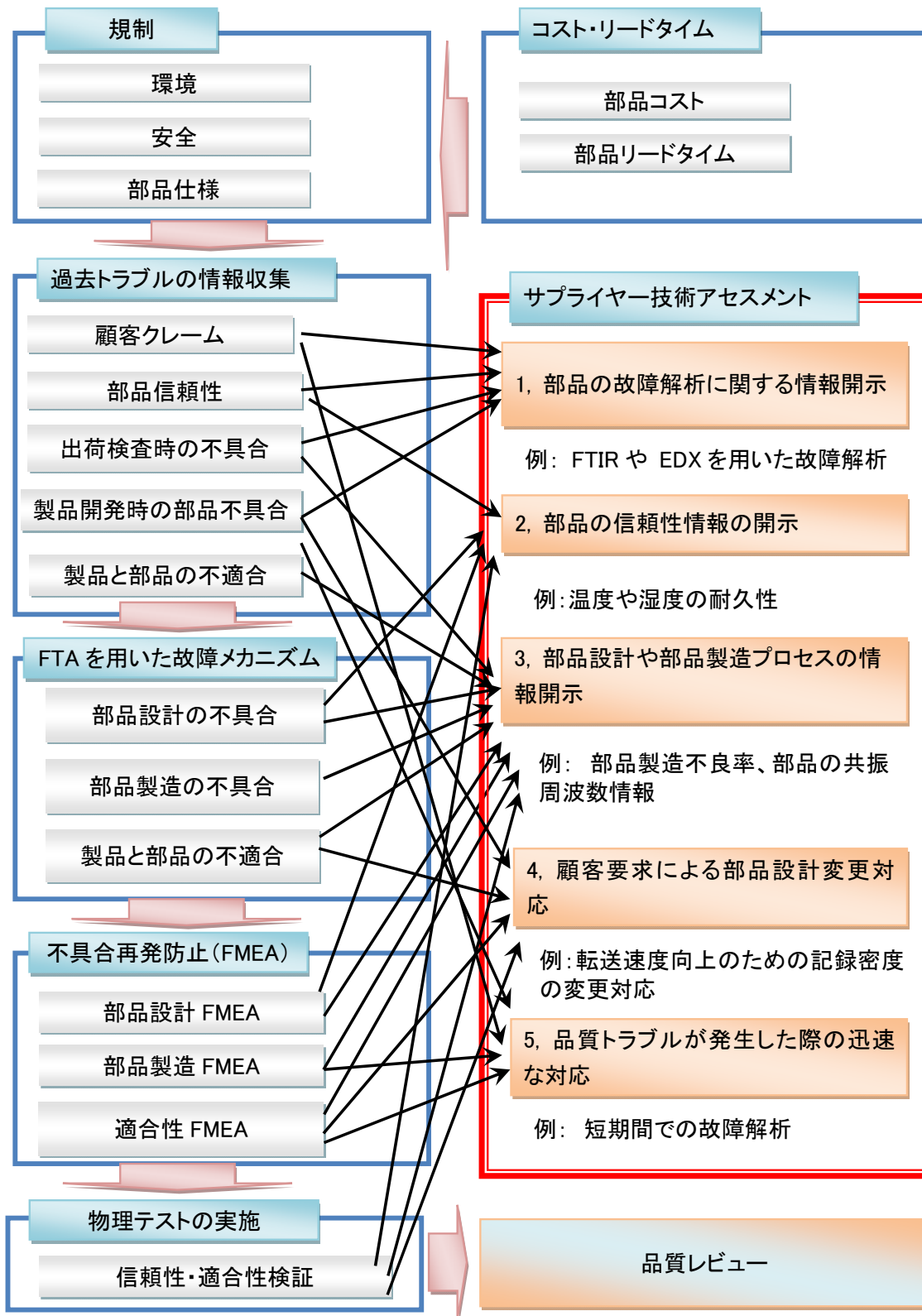


図 3-2 技術評価指標を決めるためのプロセス



図 3-3 サプライヤーの技術評価指標（適用例）

HDD の過去トラブル事例として、HDD の読み出しエラーによる転送速度低下があげられる。HDD の読み出しエラーの原因を調査するためには、HDD メーカーに電子基板の回路情報を要求する必要がある、その回路情報をもとに、オシロスコープ等で HDD 内部の Head の出力波形を調査する必要がある。

また、近年の HDD の制御回路の中身はブラックボックスとなっていることから、HDD の Head の出力情報をオシロスコープで確認するだけでは不十分な場合もある。そこで、HDD 内部の故障原因を明らかにするために、民生機器メーカーは、HDD メーカーに対して故障診断ツールを要求する必要がある。HDD メーカーは、通常、自社で開発した故障診断ツールを用い、HDD 内部の故障ステータスを把握するため、民生機器メーカーがこの故障診断ツールを利用することで、HDD 内部の故障状況をより詳細に調査することができる。

また、HDD の読み出しのエラーレート（読み出しデータの誤り率）を把握するためには、HDD メーカーの用意する SMART(Self-Monitoring Analysis and Reporting Technology)が役に立つ。SMART 情報は、通常 12 の信頼性パラメータからなり、この情報を解析することで、HDD の読み出しのエラー情報が明らかになる。ただし、このパラメータの形式は、HDD メーカー毎にカスタマイズされていることから、詳細を把握するためには、HDD メーカーに詳しい情報を要求しなければならない。

また、HDD の読み出しエラーが、HDD の製造の出荷段階で発生していたのか、顧客が HDD を使用しているうちに劣化したのか切り分けるために、HDD メーカーに磁気記録メディアの不良ブロックの情報を求める場合もある。これは、プライマリーリスト、グローンリストと呼ばれている。

これらの情報を入手し、HDD の読み出しエラーの原因を本格的に調査することができる。HDD の読み出しエラーは、いくつかの故障原因が考えられるが、2 章の図 2-6 に示すように、HDD 内部の Head の汚れが原因となるケースもある。その場合は故障した HDD を開封し、Head の汚れを分析することで、HDD の読み出しエラーの原因を追及しなければならない。通常、民生機器メーカーがこれを単独で行うことは難しく、HDD メーカーに対して、FTIR(Fourier Transform Infrared Spectrometer)や、SEM-

EDX(Scanning Electron Microscope Energy-Dispersive X-ray Spectrometer)といった分析装置を用いて解析するよう要求する。

これらは、サプライヤーに要求する部品の故障解析に関する情報開示の一例である。同様に、図 3-2 のプロセスに基づいて、HDD メーカーに対して実際に要求した技術情報をグループ化すると、「部品の信頼性情報の開示」「部品設計や部品製造プロセスの情報開示」「顧客要求による部品設計変更対応」「部品の品質トラブルが発生した際の迅速な対応」といった5つに大別することができる。次に、サプライヤーから入手する信頼性情報について述べる。

部品の信頼性に関して通常は、部品仕様書に温度、湿度、振動、衝撃といった内容が記載されているが、サプライヤーから、DVT(Design Verification Test) を入手することで、これら部品仕様書に記載されているデータの妥当性を確認することができる。また、DVTに記載されている情報だけでなく、部品寿命を把握するため、部品仕様書に記載されているより高い温度や湿度を部品に加えながら長期ランニング試験を実施することで、民生機器メーカーは、部品本来の信頼性を確認することができる。こうした、部品仕様書に記載されていない信頼性情報、例えば、寿命の加速試験のデータをサプライヤーから入手することで、部品のもつ本当の意味での信頼性が確認できる。こうした情報は、サプライヤーにとって機密情報となるが、これらの信頼性情報を積極的に情報開示してくれるサプライヤーを見つけ出すことが重要となる。

3番目に、部品設計や部品製造プロセスの情報開示について述べる。この情報はサプライヤーにとって最も大きな機密事項となるため、情報開示できるサプライヤーと、情報開示できないサプライヤーと大きく別れる。例えば、部品の回路図を入手し、インターフェースに使われているノイズ除去のためのコンデンサの容量や抵抗値、また、電気信号波形を検証するためのテストピンの位置情報などは、民生機器メーカーにとって、製品と部品の適合性を検証する上でとても有益な情報となる。

また、部品の製造工程内における不良率や製造工程内での不具合の原因、これらの情報をサプライヤーから入手することで、民生機器メーカーは不良部品の混入を防ぐことができる。また、サプライヤーが部品の製造工程を明記した QC 工程図や、部品製造の

FMEA、更には、部品出荷時のテスト内容を開示することができれば、民生機器メーカーは、部品製造に関するサプライヤーの品質管理体制を知ることができる。

4番目に、顧客要求による部品設計変更対応について述べる。HDDや半導体などの一般市販部品について言えば、民生機器メーカーが部品の設計変更を要求しても、サプライヤーが設計変更に応じることはほとんどない。こうしたことから、製品に適合するよう部品側の設計変更要求に対し、柔軟に対応してくれるサプライヤーを見つけ出すことが非常に重要となる。

HDDを組み込んでいる複写機や、プリンタを開発している民生機器メーカーにとって、HDDの転送速度は最も重要な品質評価項目として考えられている。しかしながらHDDは、振動や衝撃の影響を受けやすいといった部品構造上の弱点を抱えている。そのため、複写機やプリンタを開発している民生機器メーカーは、振動の影響によるHDDの転送速度の低下を防ぐため、HDD内部の磁気記録メディアに記録されている記録密度を大きくするようサプライヤーに要求する。これは、HDDにおける設計変更要求の一事例であるが、サプライヤーによっては無償で、設計変更に応じてくれるケースもある。こうした設計変更要求に対する柔軟性をもつサプライヤーを探し出すことが、民生機器メーカーにとって重要となる。

最後に、品質トラブルが発生した際のサプライヤーの迅速な対応について述べる。通常、部品の品質問題が発生した場合、民生機器メーカーからサプライヤーに部品の故障解析依頼を行い、解析結果がでるまで1ヶ月～2ヶ月を要することが一般的である。もし、その部品の不具合が部品設計に絡む重大なものであれば、迅速に部品設計変更等の品質改善を行わなければならない。

優れたサプライヤーは、即座に顧客側で発生している品質問題の本質を理解し、民生機器メーカーと協業で部品不具合の原因を調査する。更に、彼らは、顧客である民生機器メーカーに対して、部品の故障解析状況、不具合の原因となりうる部品製造工程の不良率や工程監査のレビューの結果等を都度、民生機器メーカーに情報提供する。

その結果、民生機器メーカーは、欠陥のある部品の導入を未然に防ぐことが可能になり、また、部品の設計レビューや部品製造工程の査察を通じて、部品品質の向上に貢献することができる。

このように、民生機器メーカーは、部品仕様、環境や安全性といった当たり前の品質確認だけでなく、サプライヤーによって提供される様々な技術情報を検証することで、部品内部に存在する不具合を認識することができる。そのため、部品の信頼性や設計に対する深い技術ナレッジをもつサプライヤーを見極めるための技術アセスメントがより重要となるのである。

3.3 技術アセスメントの実施

本節では、部品の信頼性や技術を見極めるための5つの技術評価指標を用い、サプライヤーの技術アセスメントを実施する。今回、アセスメントの対象となるのは、HDDメーカー6社である。

HDDは、パソコンに搭載されている基幹部品の1つであり、HDDレコーダーや、カーナビゲーション、複写機、プリンタといった様々な製品に使われている。HDDは一般市販部品であり、部品内部の設計仕様が明確でないことから、ブラックボックス部品と見なすことができる。また、HDDは、機械、電気、ソフトウェア、ナノテクノロジーなど、様々な技術を複合的に用いて開発された部品であり、品質検証するにあたって最も難しい部品の1つである。従って、今回のケーススタディーに用いる部品として相応しいと考える。

サプライヤーの技術アセスメントは、上述のように部品の故障解析に関する情報開示、部品の信頼性情報の開示、部品設計や部品製造プロセスの情報開示、顧客要求による部品設計変更対応、部品の品質トラブルが発生した際の迅速な対応からなる。

調査方法として、HDDメーカー6社に対して、技術評価指標の調査シートを事前に送付し、HDDメーカーからの回答を受け取った後、評点付けの精度をあげるためHDDメーカーに直接インタビューを行った。HDDメーカーの回答書およびインタビュー結果に基づき、民生機器メーカーの複数の技術者が集まり議論をし、最終的な評点付けを行った。

また、サプライヤーのスコアは、(3-1)式で示すように、それぞれの評価項目の重み付けを行い(W_i)、サプライヤーから入手した技術情報に基づき評点付けをし(X_i)、これらを掛け合わせた合計点を算出する。評点及び重み付けは、それぞれ 0~3 の範囲とした。

$$\text{Total score} = \sum_{i=1}^n w_i x_i \quad (3-1)$$

表 3-1 に示した結果は、技術評価指標の 1 つである故障解析の情報開示に関するものである。故障解析に関する情報開示については、①電気回路情報、Head 信号の出力情報の提供、②故障診断ツールの提供、③プライマリーリスト、グローイングリストなど不良ブロックの情報提供、④FTIR や SEM-EDX 装置を使った故障解析情報の提供、⑤ SMART(Self-Monitoring Analysis and Reporting Technology)情報からなる。

HDD メーカーは、大口の顧客を除き、FTIR や EDX など特殊な装置を用いた故障解析情報をあまり公表しない。HDD メーカーによっては、故障解析のための人員、時間を削減したいため、このような専用の解析装置を使用せず、簡易的な解析装置で故障解析を済ませるケースも多くみられる。従って、FTIR や SEM-EDX 等の解析装置を使って、故障解析の深掘りを実施してくれるサプライヤーを見つけ出すことが重要となる。

表 3-1 サプライヤーの技術アセスメント (故障解析に関する情報開示)

部品の故障解析に関する情報開示	検証項目	重み	A	B	C	D	E	F
	電気回路情報、Head 信号の出力情報の提供	1	0	1	1	1	0	1
	故障診断ツールの提供	1	0	0	0	2	0	0
	不良ブロックの情報提供	1	2	2	2	1	1	1
	FTIR、SEM-EDX を用いた故障解析情報の提供	3	2	2	2	1	1	0
	SMART Attribute の情報提供	2	2	2	2	1	1	1

更に、HDD メーカーが開発した故障診断ツールの入手や、電気回路図などのような設計情報を入手することは非常に重要である。これらの情報は、民生機器メーカーの設計者が部品の故障メカニズムを解明する際に、非常に有益な情報となる。これらの情報は、製品と部品の不適合問題に対処するための製品への設計対策、更には、サプライヤー側へ部品改善を促す重要な情報源となる。

また、HDD の SMART 情報の入手も重要である。HDD の製品仕様書[96][97][98][99]によれば、SMART 情報は 12 個のパラメータからなり、HDD スピンドルモーターの起動時間、不良セクタ数、読み出し、書き込みのエラーレート等の信頼性情報を取り出すことができる。これらの情報は、HDD 内部の潜在的な不具合や、部品の現在の劣化状況を確認する上で非常に有効的である。ただし、この SMART 情報は、HDD メーカー毎にカスタマイズされていることから、詳細を把握するためには、HDD メーカーに詳しい情報を要求しなければならない。

今回、故障解析情報に焦点を当てたが、次節では、部品信頼性、部品設計や部品製造プロセス、部品の設計変更要求対応、トラブル時の迅速な対応といった総合的な技術アセスメントの結果について説明する。

3.4 技術アセスメント結果

本節では、サプライヤーの技術アセスメントの結果について述べる。サプライヤーの技術アセスメントを正確に実施するため、まず、最初に図 3-2 のプロセスを通じて決定した、トータル 22 の技術評価項目を 6 社の HDD メーカーに事前に送り、情報開示に関する結果を入手した。その後、全ての HDD メーカーに対し、技術インタビューを実施することで、22 の技術評価項目をより正確に評点付けした。

図 3-4 と 図 3-5 は、サプライヤーの技術アセスメントの結果である。トータルスコアは、HDD メーカー間で大きく異なることが判明した。特に、信頼性情報の開示、部品設計、部品製造プロセスの情報開示については、HDD メーカー間で顕著に差が出た。

第1の理由として、部品設計や部品製造技術に関する情報は、HDDメーカーにとって上位に位置する機密情報であり、この技術で競合他社との品質を差別化しているためと考えられる。

例えば、Wei[101]は、HDD内部にある磁気記録を読み出すための、ヘッドスライダの形状が、磁気記録メディアとヘッドの浮上量を決定するものとして、非常に重要だと述べている。それはまた、衝撃や振動の耐久性に深く関わり、更にはHDDの転送速度に大きな影響を与える。それ故、衝撃や振動に耐えうる部品設計技術や、部品内部の転送速度を向上させるための技術は、全てのHDDメーカーにとって上位に位置する機密情報となる。

次に、設計変更要求に対するHDDメーカーの柔軟性の違いについて説明する。前節で述べたようにHDDの転送速度は、複写機やプリンタ、カーナビゲーションといった製品において、非常に重要な品質評価項目となる。そのため、これら民生機器メーカーは、HDDの転送速度を向上させるため、HDD内部の磁気記録密度を大きくするようHDDメーカーに設計変更要求を行う、もしくは、HDDのキャッシュメモリの書き込み、読み込みのアルゴリズムを変更するようHDDメーカーに要求する。

HDDメーカーは、部品を大量生産しなければならないため、特定の顧客に対する設計変更に対してはネガティブであるものの、今回の技術アセスメントで、こうした設計変更要求に対応できるHDDメーカー数社を確認することができた。

次に、品質トラブルが発生した際のHDDメーカーの対応力の差について述べる。今回、我々が調査した結果によると、海外のHDDメーカーに比べ、日本国内のHDDメーカーの方が、故障解析の期間が短く、迅速に対応できることが分かった。例えば、ある海外HDDメーカーの部品故障の原因追及と解析報告は、約1ヶ月かかったのに対して、国内HDDメーカーは、半分の約2週間であった。また、部品不良を調査するために、HDDメーカーの製造工程の立ち入りを要請したところ、日本国内のHDDメーカーは、受入により柔軟性があることが分かった。

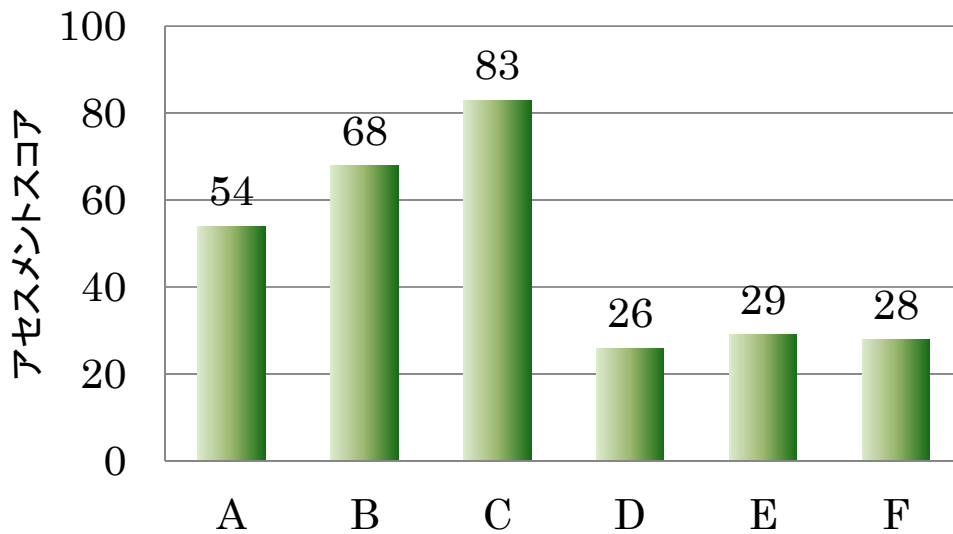


図 3-4 サプライヤー技術アセスメントの結果（トータルスコア）

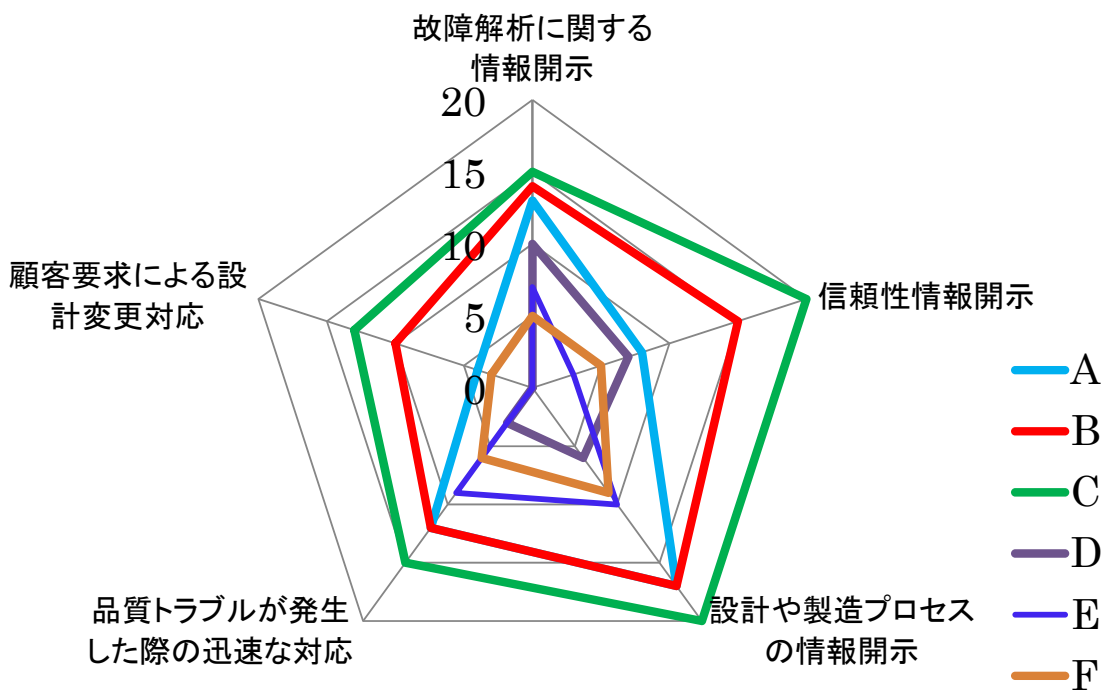


図 3-5 サプライヤー技術アセスメントの結果（5つの技術評価指標）

次に、技術アセスメントのトータルスコアと、それぞれの HDD メーカーの市場不良率の関係について考察する。今回、HDD の市場不良率を調査するにあたって、複写機に搭載されている 72000 個の HDD を用いて集計した。

図 3-6 に示すように、HDD メーカー 6 社のアセスメントの結果、トータルスコアの高い HDD メーカーは、市場での不良率が低い、すなわち、部品品質が優れていることが分かった。相関係数は-0.74 であり、これは、HDD メーカー各社の評価点と、HDD メーカー各社の部品不良率の間に相関があることを示している。例えば、HDD メーカー A,B,C,D,E,F のスコアはそれぞれ、54, 68, 83, 26, 29, 28 であるが、HDD の市場不良率はそれぞれ、0.12%, 0.16%, 0.06%, 0.2%, 0.5%, 0.6% という結果であった。すなわち、トータルスコアの高い HDD メーカーは、彼らの保有する技術の情報開示能に前向きであるのと同時に、部品の市場品質に良い影響をもたらしているものと考えられる。

HDD メーカーの技術情報の開示力が、部品の市場品質へどのような影響を与えているか詳しく調査するため、図 3-7~図 3-11 に示すように、故障解析情報に関するアセスメントスコア、信頼性情報開示に関するアセスメントスコア、設計や製造プロセスの情報開示に関するアセスメントスコア、品質トラブルが発生した際の迅速な対応力、顧客要求に対する設計変更対応力と HDD の市場不良率との関係を検証した。その結果、故障解析力に関する情報開示のアセスメントスコアと HDD 市場不良率との間には-0.96 という強い相関性を示していることが分かった。

これは、民生機器メーカーで発生した HDD の品質トラブルの原因を HDD メーカーがしっかりと追及し、その原因追及のための故障解析の結果を HDD メーカー内の部品設計や製造プロセスにフィードバックするという品質改善のためのプロセスが確立されていることを意味している。言い換えれば、サプライヤーが部品の故障解析した結果を無駄にせず、品質トラブルを未然に防ぐための部品設計にフィードバックすることができれば、自然と部品の市場品質は向上する。

5 章で詳しく述べるが、HDD と製品の不適合問題の対応として、民生機器メーカーは、HDD の転送速度低下のトラブル情報を HDD メーカー側に情報展開している。今回、技術アセスメントスコアの最も優れている HDD メーカー C 社は、民生機器メーカーから提供された HDD の転送速度低下の事例を詳しく分析し、HDD の振動設計対策の強化

を行っている。サプライヤー技術アセスメントの最も優れた HDD メーカーCは、こうした一つ一つの品質問題の原因を地道に調査し、部品設計や製造品質に確実にフィードバックする企業文化であることも判明した。

また、図 3-10 に示したように、品質トラブルが発生した際の迅速な対応と HDD の市場不良率との相関係数は-0.54 と大きな相関が見られなかった。これは、上述のようにトラブル時の迅速な対応だけでは不十分で、故障解析の深掘りと、その結果を確実に部品設計や部品製造に役立てることが重要であることを示唆している。

また、技術アセスメントスコアの高い HDD メーカーがスコアの低い HDD メーカーに比べ、部品の市場品質に優れている理由を 2 つあげてみた。

- ✓ 民生機器メーカーの部品設計変更要求を HDD メーカーが、受け入れることによって、製品と部品の不適合問題が解消すると考えられる。例えば、HDD の転送速度を重要とする製品については、HDD 内部の磁気記録メディアの記録密度を大きくするといった部品設計変更を行うことで、HDD の転送速度が安定し、製品の要求する転送速度を満足させる。
- ✓ 民生機器メーカーの要求による部品製造工程の査察の受入れと、製造工程に関する品質レビューを民生機器メーカーと HDD メーカーが協業で実施することで HDD の製造品質改善ができたのではないかと考えられる。例えば、HDD の製造工程内の、クリーンルーム内の塵、埃の管理、静電気を防ぐ為の静電気対策など、HDD の製造工程の改善を行うことで、HDD の市場品質が向上する。

今回、A～F の HDD メーカーの技術アセスメントを実施する前段階で、価格競争力のある部品メーカーをスクリーニングしたため、部品メーカー毎に大きな価格差はない。そのため、図 3-6～図 3-11 の検証結果に基づき、技術アセスメントスコアに優れ、かつ、部品品質に優れている A 社、B 社、C 社の HDD 導入を検討すると良い。

また、もしサプライヤーの技術アセスメントを行う時間が十分とれない場合、相関係数の最も高い、故障解析に関する技術アセスメントを中心に行うことで、市場品質に優れているサプライヤーを効率的に選び出すことができる。

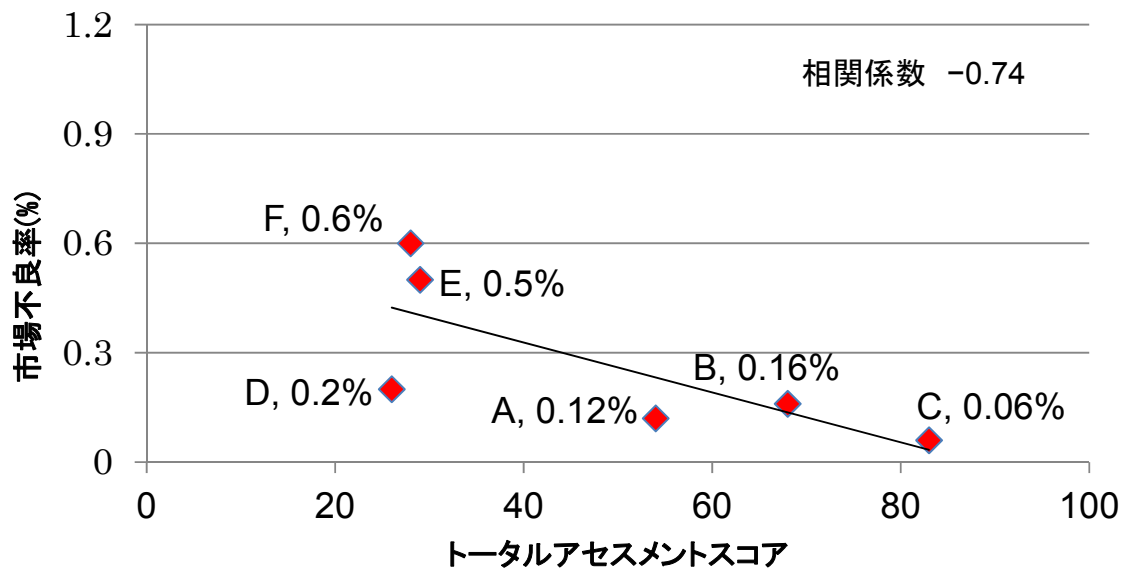


図 3-6 アセスメントスコアと部品の市場不良率の関係
(トータルスコア)

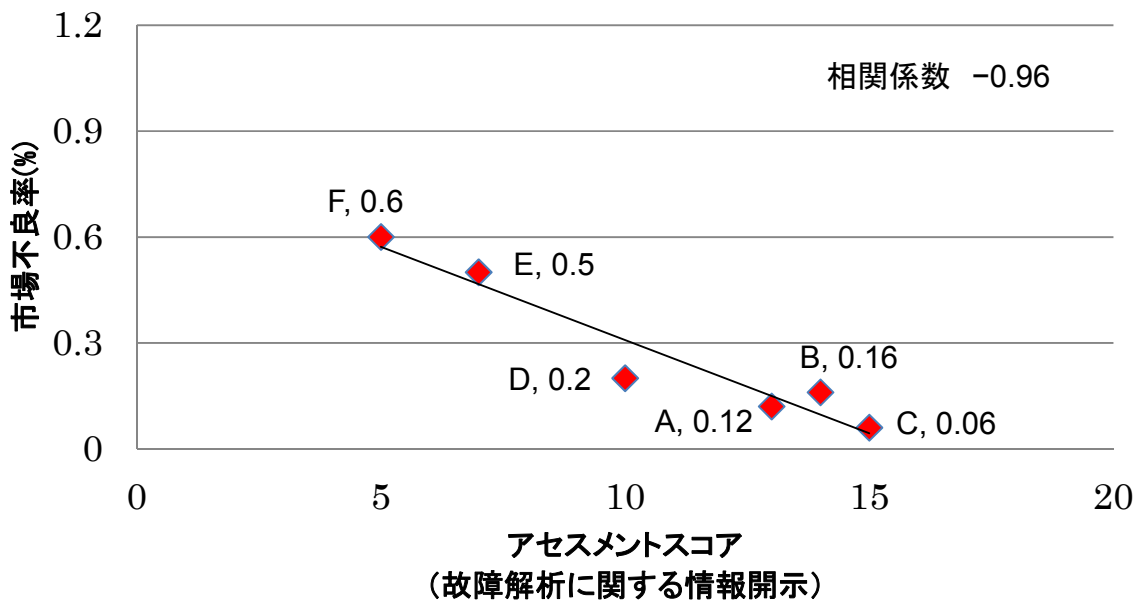


図 3-7 アセスメントスコアと部品の市場不良率の関係
(故障解析に関する情報開示)

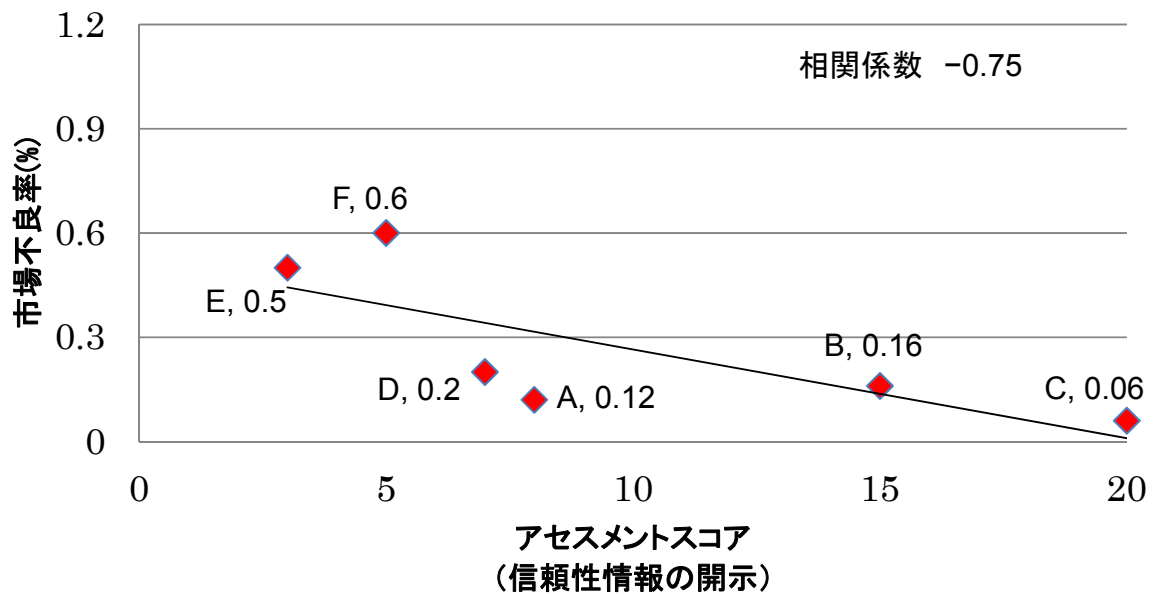


図 3-8 アセスメントスコアと部品の市場不良率の関係
(信頼性情報の開示)

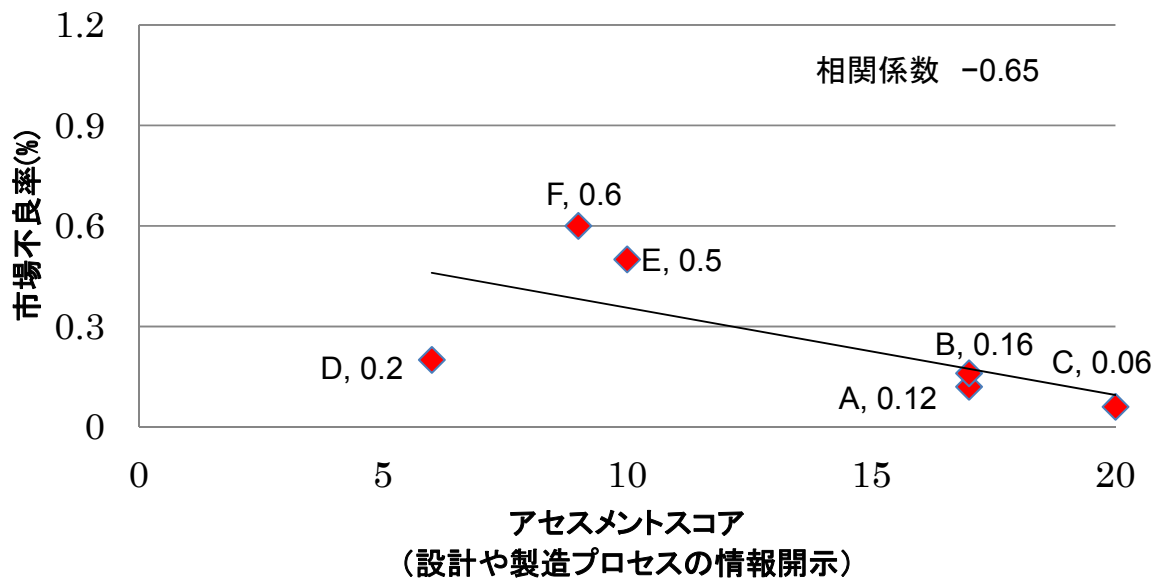


図 3-9 アセスメントスコアと部品の市場不良率の関係
(設計や製造プロセスの情報開示)

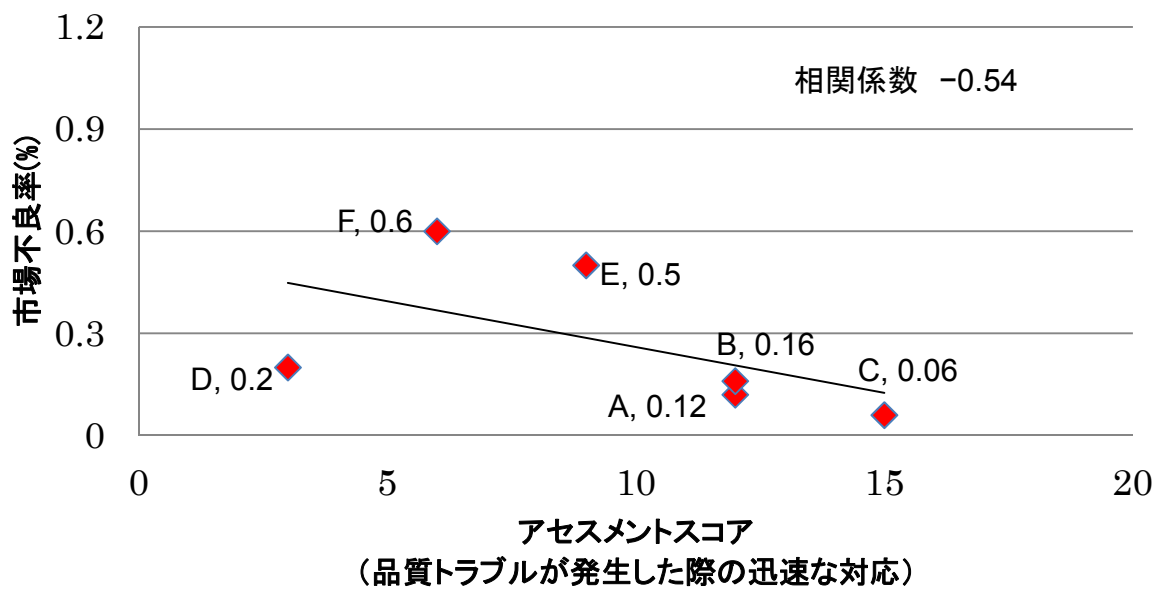


図 3-10 アセスメントスコアと部品の市場不良率の関係
(品質トラブルが発生した際の迅速な対応)

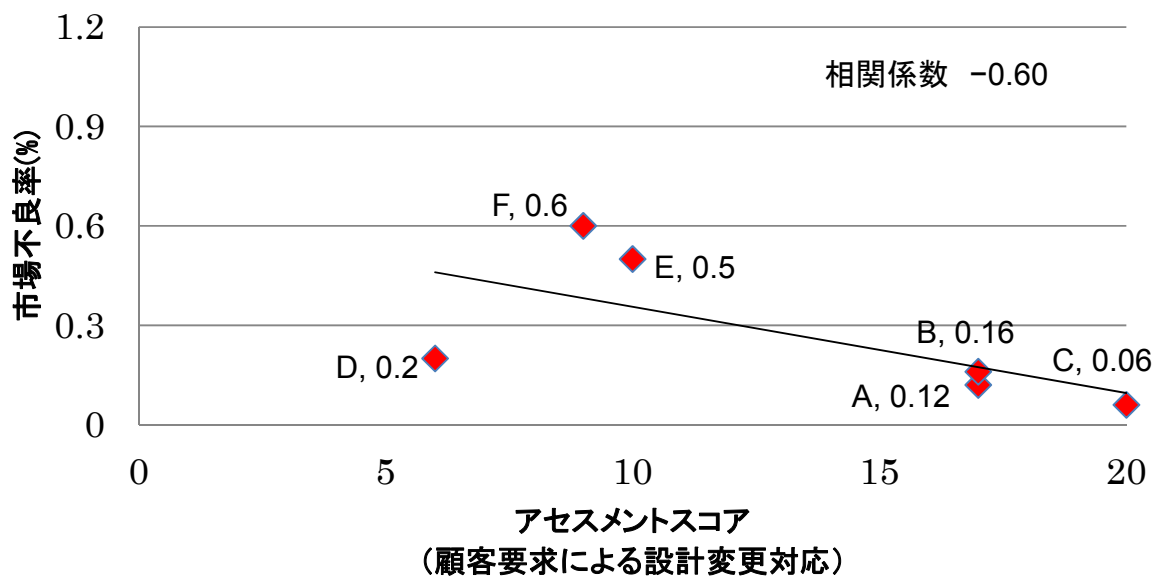


図 3-11 アセスメントスコアと部品の市場不良率の関係
(顧客要求による設計変更対応)

3.5 まとめ

本章では、半導体メモリや HDD のような一般市販部品、すなわち、ブラックボックス部品の物理的な品質テストを最小限に抑えるため、信頼性の高く技術力のあるサプライヤーを見極めるための技術評価指標を提案した。これは、従来から行われている部品コスト、部品リードタイムだけでなく、今まで十分に行われていなかったサプライヤーの保有する技術力を見極めるための技術評価指標を、部品のトラブル事例や、部品の故障メカニズムの追求、さらに FMEA を実施することで導き出すことができた。

実際、HDD メーカーに対し、著者の提案した技術評価指標を適用した結果、評価点の高い HDD メーカーは HDD の市場不良率が低く、逆に、評価点の低い HDD メーカーの HDD 市場不良率は高いことが判明した。この結果は、著者の提案するサプライヤーの評価指標の妥当性を証明するものである。

提案したサプライヤーの技術評価指標を適用することで、サプライヤー選定後に行う部品品質確認のための物理的テストを減らすことができ、また、部品の品質トラブルの少ないサプライヤーを選定できるようになる。

また、本章で述べたサプライヤーの技術アセスメントを、定期的を実施しておくことで突発的な部品 EOL に対応することができ、安心して取引のできるサプライヤーを常に確保しておくことができる。

4章 Lean 品質評価プロセス

3章は、部品の信頼性や技術に関して高いナレッジをもったサプライヤーを選定するための技術評価指標を提案した。サプライヤーの技術アセスメントを行い、技術力のあるサプライヤーを選定することで、その後に実施する部品品質確認のための物理的テストの負荷を軽減することができる。しかしながら、それだけでは十分とは言えず、部品の品質トラブルを防ぐための FMEA を用いた部品品質評価に非常に多くの時間を費やしているのが現状である。

本章では、EOL までの期間の短い電子部品を対象に、リーンで効率的な品質評価プロセスを提案し、FMEA の膨大な評価項目をスリム化する為の具体的な方法について述べていく。また、適用事例として、複写機、プリンタに搭載されている HDD を用い、FMEA の品質評価項目のスリム化を試みる。

4.1 電子部品のリーン品質評価プロセス

4.1.1 FMEA

本節では、リーン品質評価プロセスを説明する際の最初の起点となる FMEA について述べる。FMEA は、1章で述べたように、部品や製品の品質検証に関する代表的な手法として知られている[28][29][30]。本手法は、部品や製品の故障メカニズムを解明するための、FTA と組み合わせることで、より確実な製品や部品の品質検証が可能になる[28][29]。また、FMEA は製品の設計品質や、部品品質を確認するだけでなく、生産工程への適用も可能である[48]。本節では、複写機やプリンタ、カーオーディオに搭載されている HDD に対して FMEA の適用を試みる。

まず、HDD に FMEA を適用するにあたって、HDD の内部の構造について説明する。図 4-1 に示すように、HDD は、機械、電気、ソフトウェア、ナノテクノロジーといった複合技術からなりたっており、民生機器メーカーの技術者が HDD 内部の構造や動作原理を把握するのは、非常に難しいとされている。

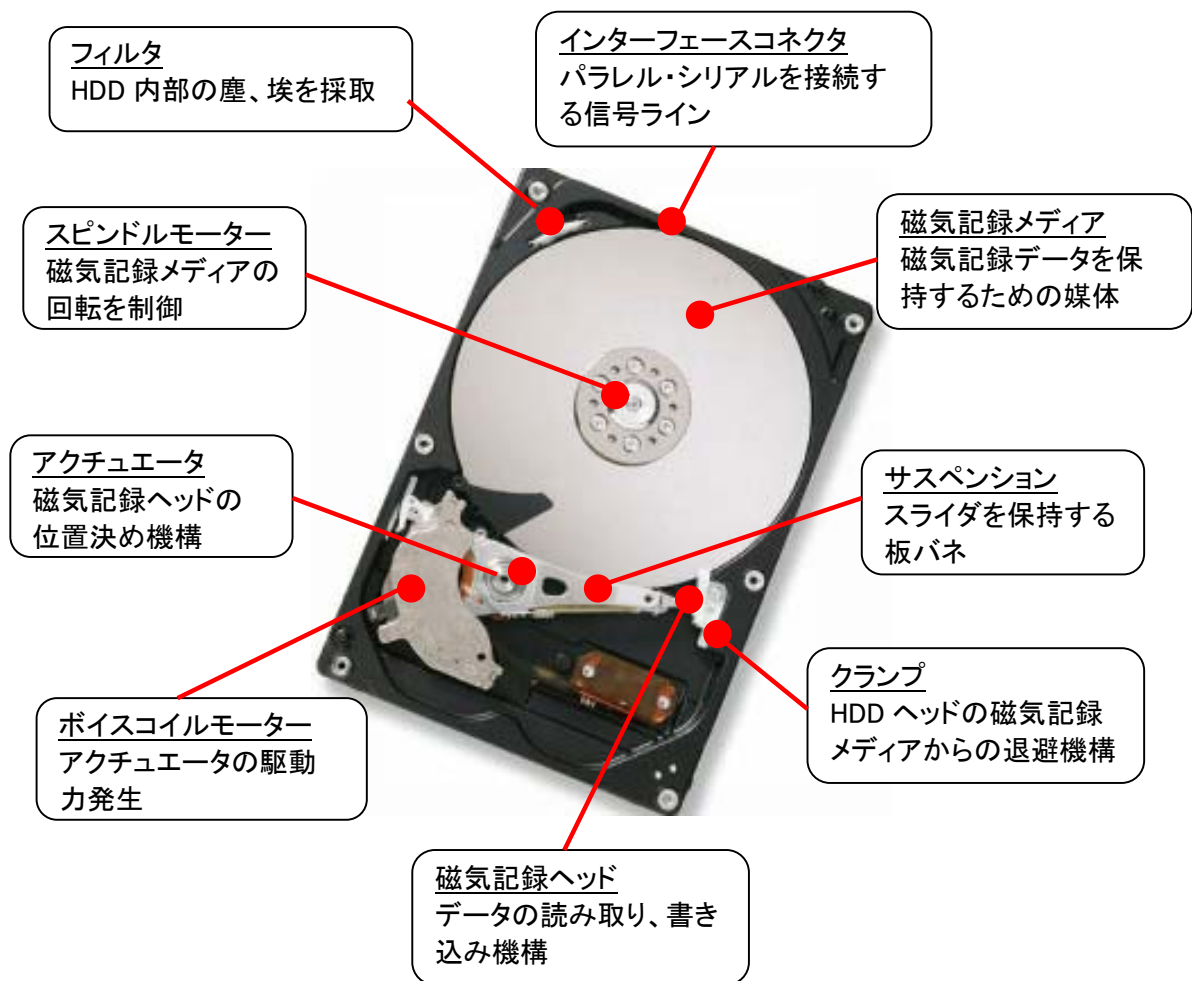


図 4-1 HDD 内部の構造

HDD の内部は、主に信号ラインを制御するインタフェース、HDD 内部のデータを保持する磁気記録メディア、磁気記録メディアを回転させるためのスピンドルモーター、磁気記録メディアのデータの読み取り、書き込みのための磁気記録ヘッド、磁気記録メディアへの位置決めを補助するアクチュエータ（ボイスコイルモーター）、外部からの衝撃や、振動を緩和させるためのサスペンション、HDD 内部の塵、埃を取り込むためのフィルタからなっている。

HDD のトラブルの多くは、読み取り、書き込みのためのヘッド、磁気記録メディアを回転させるためのスピンドルモーター、データが保持されている磁気記録メディア、

更に、HDD の読み書きを制御する電子基板から発生する。なぜならば、これら HDD を構成する部品は、湿度や温度、振動や衝撃、乾燥時における静電気発生といった外的な環境の影響を受けやすいためである。

もし、HDD の品質トラブルが発生した場合、必ず表 4-1 に示すような品質トラブル事例のリストにまとめておくことが大事になる。その際、品質トラブルの内容を機械、電気、信頼性などのように、カテゴリ別に分け、更に品質トラブルの内容と原因、サプライヤーに確認すべき内容を明記しておくが良い。

表 4-1 品質トラブルの事例 (HDD)

過去トラブルの分類	内容	原因	HDD メーカーへの品質確認事項
部品信頼性	定点浮上による HDD の短寿命化	HDD 内部の読み取りヘッドが磁気記録メディア上に長時間トラッキングしていたため、磁気記録メディアに塗布されている潤滑剤が摩耗。そのため、ヘッドの浮上量が不安定となり、ヘッドと磁気記録メディアが接触。	HDD の読み取りヘッドが、磁気記録メディア上で一定時間トラッキングしている場合、パトリールシーク機能（ヘッドを微小移動）もしくは、ヘッドをアンロード（ヘッドを磁気記録メディアの外に退避）する機能を持った HDD を採用する。本機能は仕様書/DVT にも記載されていないケースもあるため、HDD メーカーに直接確認する必要がある。
部品信頼性	マイグレーションによる電気ショート	外気の湿度の影響で IC チップに含まれる難燃剤である燐を触媒とし、IC のリード部に使用されている銅、銀の成分と結合し、ショート状態となる。特に大電流を制御するモーター IC においては、電源系と、GND 間でショートし、発煙・発火が発生する。	モーターなどの大電流を制御するパワー IC を使用する際は、IC チップに使用されている材料を確認する。特に、燐系の難燃剤を使用していないかどうか、HDD メーカーに確認する。もし IC に使用されている材料が不明な場合は、温度、湿度サイクルテストのデータを HDD メーカーから入手し、マイグレーションによる発煙・発火がないことを確認する。

例えば、HDD の信頼性トラブルの代表例として、定点浮上による HDD の短寿命化がある。これは、HDD 内部の読み取りヘッドが磁気記録メディア上の同一トラックに長時間オントラックすることで、磁気記録メディアに塗布されている潤滑剤が摩耗するトラブルである。磁気記録メディアに塗布されている潤滑剤が摩耗することで、磁気記録メディア上に浮上している読み取りヘッドが不安定となり、ヘッドと磁気記録メディアが接触してしまう。ヘッドと磁気記録メディアが接触することで、ヘッドの読み取り素子に傷がつき、その結果、HDD の読み取りエラーが頻繁に発生するようになる。

こうした、不具合を防止するためには、パトロールシーク機能（読み取りヘッドが一定時間、磁気記録メディアの同一トラック上で浮上していた場合に、定期的にヘッドが微少移動する機能）もしくは、アンロード機能（読み取りヘッドを磁気記録メディアの外に退避）を持った HDD を採用するとよい。本機能は仕様書や DVT（Design Verification Test）にも記載されていないケースもあるため、EOL 時の代替え HDD を採用する際は、HDD メーカーに確認する必要がある。

過去の品質トラブル事例をまとめた後、2 章の図 2-6 で説明したような FTA を用い故障のメカニズムを解明すると良い。例えば、外部から衝撃による HDD の故障メカニズムは、HDD 内部の重要部品である磁気記録メディアと磁気を読み込むためのヘッドが接触 → 読み取りヘッドを支えるスライダという部品が破損 → スライダの破損により生じた欠片が、読み取りヘッドと磁気メディアとの間に入り込む → スライダの欠片が読み取りヘッドの素子部分を傷つけるといったシーケンスになる。読み取りヘッドの素子が傷つくことにより、磁気記録メディアからデータを読み出せないといった現象が発生する。

このように、過去の品質トラブルの事例を集めるのと同時に、FTA を用いた故障メカニズムの解明を実施することで、表 4-2、表 4-3 に示すような不具合再発防止のための品質検証項目、すなわち FMEA を作り込みが可能になる。表 4-2 は、実際に複写機メーカーで行われている HDD の FMEA の事例であり、表 4-3 は、表 4-2 で抽出された FMEA を、基本仕様の検証、信頼性評価、設計品質検証、製造品質検証、適合性検証にそれぞれ、カテゴリー分けしたものである。表 4-3 に示すように、複写機に搭載されている HDD の FMEA の品質評価項目数は、トータル 81 となった。

表 4-2 部品設計品質確認のための FMEA (HDD)

故障部位	機能	部品の故障モード	部品を搭載する製品側の故障の影響	故障原因	評価			RPN	担当	FMEA 品質評価項目	
					影響度	検出難易度	発生頻度			小項目	大項目
モーター	磁気記録メディアの回転	モーター回転せず	製品起動せず	連続運転によるベアリング焼きつけ						モーター回転耐久試験	信頼性
モーター	磁気記録メディアの回転	異音	データ読み出し fail	オイルシーリング設計ミス						シーリング構造の検証	部品設計
モーター	磁気記録メディアの回転	異音	データ読み出し fail	製造時オイル不足によるベアリング焼きつき						オイル注入工程の検証	部品製造
モーター	磁気記録メディアの回転	起動遅い	起動遅い	スピンドルモーターの起動時間が長い						スピンドルアップの計測値	部品仕様
Head	磁気記録メディア読み出し	Read リトライ	データ読み出し fail	Head 共振						共振周波数の計測	信頼性
Head	磁気記録メディア読み出し	Read リトライ	データ読み出し fail	高い湿度による Head 汚れ						温度・湿度限界値	信頼性
Head	磁気記録メディア読み出し	Read エラー	データ読み出し、書き込み fail	Head がメディアの一定に位置に長期滞在						定点浮上限界試験	信頼性
Head	磁気記録メディア読み出し	Read エラー	データ読み出し、書き込み fail	外部からの衝撃による Head 破損						衝撃耐久性の確認	部品基本仕様
Media	磁気データの保持	Read リトライ	データ読み出し fail	スパッタリングのミスによるピンホール発生						スパッタリング工程検証	部品製造
Media	磁気データの保持	Read リトライ	データ読み出し fail	メディア潤滑剤の減り						連続ランニング試験	信頼性
基板	読み出し、書き込み制御	起動せず	起動 fail	波形問題(オーバーシュート)						Read 波形検証	適合性
基板	読み出し、書き込み制御	発煙 発火	起動 fail	タンタルコンデンサ破損						コンデンサ耐圧検証	部品設計

製品設計部門、品質管理部門、購買部門、生産部門と協議の上、スコアを決定する

表 4-3 HDD の FMEA 評価項目の例

FMEA 品質評価項目 (大項目)	FMEA 品質評価項目 (小項目)
部品の基本仕様の検 証 (16 項目)	記憶容量、Read/Write エラーレート、5V/12V 消費電流、振 動、衝撃の耐久性、インタフェース、温度・湿度、 MTBF(Mean Time Between Failure)、ヘッドのロードアンロ ード回数、5V/12V 電圧変動、梱包材の衝撃の耐久性、 EMI/EMS、電源瞬断による HDD ファイルシステムの保護、 電源 ON 時のモーターのスピンアップタイム、モーターロ ックによる発煙発火、短絡解放による発煙、ROHS 適合
信頼性評価 (12 項目)	Read/Write 転送速度、ヘッドのロードアンロード耐久性、 5V/12V 電圧変動の耐久性、モーターON/OFF 回数の限界値、 モーター連続回転時間、温度耐久性、湿度耐久性、耐久試験 後の開封分析 (潤滑剤厚み、ヘッド汚れ)、低温時のモー ター起動時間、HDD 共振試験、振動による HDD 転送速度低 下率
部品の設計品質検証 (22 項目)	クランプ耐久性、フィルタ性能、HDD 構成部品の共振デー タ、ZONE・記録密度データ、定点浮上の限界値、不良ブ ロック検証のための G-LIST/SMART、温度・湿度限界値、 ヘッドのロードアンロードによるクランプ摩耗、モーター回 転の限界値、磁気記録メディアの熱揺らぎ温度、FPC 外力補 正データ、軸受け構造確認 (オイル漏れ防止のためのシー リング構造)、軸受け素材、軸受けオイルのキャビテーション 温度、軸受けオイル蒸発温度、流体軸受けの NRRO データ、 軸受けスリーブ表面張力、電子部品の耐圧確認、サージ保護 回路確認、残留磁化による消磁、ウイスカ対策、GND 設計
部品の製造品質検証 (20 項目)	スパッタによるピンホール、完成品の保管管理 (温度湿度管 理)、ウェハ切り出しによるヘッド傷、軸受けオイル液面管 理、軸受けオイル気泡管理、部品洗浄管理、クリーンルーム 管理、ドライバビット粉、LPC 管理、ヘッド組み立て工程管 理、軸受けメッキ処理、衝撃管理、静電気管理、工程不良率 管理、品質保証体系 (QC 工程管理)、アートワークコンタ ミ管理、リフロー炉温度プロファイル、コネクタ接触、FPC への異物混入、コネクタ誤挿入
適合性検証 (11 項目)	コピー機搭載時の転送速度試験、VCCI、電源瞬断と起動確 認、波形検証、温度上昇確認、スリーブ、スタンバイ復帰、 消費電流、プロトコル検証、衝撃検証、製品動作確認、JOB データストレス試験

表 4-4 FMEA の評価の重み付け

影響度	定義
5	市場設置部品全数交換
4	製品の交換
3	部品だけの交換
2	製品の設定変更で対応可(部品交換なし)
1	製品の電源オフ・オンで対応可
検出難易度	定義
5	信頼性試験・部品設計検証でも検出できない
4	信頼性試験での検出可
3	製品と部品の適合性検証で検出可
2	部品メーカーの出荷時の検査で検出可
1	民生機器メーカーの受け入れ検査で検出可
発生頻度	定義
3	市場故障発生率 1%以上
2	市場故障発生率 0.05～1%
1	市場故障発生率 0.05%以下

HDD の主要な構成部品である読み取り・書き込みのためのヘッド、磁気記録メディアを保持し回転させるためのスピンドルモーター、データが記録されている磁気記録メディア、HDD の読み込み書き込みを制御する電子基板、それぞれの FMEA を作り込んだ結果、FMEA の品質評価内容は、表 4-3 に示すように次の 5 つに大別することができる。

- ・ 部品の基本仕様の検証
- ・ 信頼性評価
- ・ 部品の設計品質検証
- ・ 部品の製造品質検証
- ・ 適合性検証

ここで大事なのは、表 4-4 に示すように部品を搭載する製品側の故障の影響度、部品品質の不具合の検出難易度、部品品質の不具合の発生頻度を定量化することである。部

品を搭載する製品側の故障の影響度を例にあげると、製品の電源オンオフで復帰するような簡単なトラブルの場合は、顧客に与える影響度が少ないことから、重み付けを1と定義づけできる。同様に、部品交換を伴わない製品側の簡単な設定変更で対応できる場合は2、短時間でできる部品の交換対応の場合は3、部品の不具合が原因による製品の交換対応が必要な場合は4、部品不具合によって市場に設置されている部品の全数交換が必要な場合は最もインパクトが大きいことから5と、それぞれ、重み付けを定義できる。

今回の事例では、5段階で影響度を定義しているが、定義は製品や部品の特性によって定義する内容を変えることができる。また、3段階で重み付けを行っても良い。検出難易度は、その部品の内在する不具合の検出の難しさを定量化するものであり、部品を搭載する製品側の故障の影響度と同様に、製品や部品の特性によって様々な定義付けが可能である。

今回の事例では、民生機器メーカーの受入検査で部品不具合の検出が可能、部品メーカーの出荷検査で検出が可能、製品と部品の適合性検証で検出が可能、部品の信頼性試験で検出が可能、部品の信頼性試験、部品の設計検証では検出できないという5つに分け、それぞれの検出難易度を1～5と定義した。同様に、不具合の発生頻度に関しては、市場で発生する故障率を3段階で定義している。

その後、部品故障による製品に与える影響度、部品の不具合の検出難易度、不具合の発生頻度をそれぞれ掛け合わせて、RPN (Risk Priority Number)を算出し、品質トラブル再発防止策のための優先順位をつける [28][29]。FMEAの品質評価項目とRPNを決めるにあたって、製品設計部門、品質管理部門、調達部門、生産部門と協議の上、最終的に決定することが望ましい。

次に、上述の5つのFMEAの評価項目について、実際の複写機に搭載されているHDDの適用例を述べる。部品の基本仕様は、製品と部品の適合性を確認するための基本的な検証である。HDDの場合、シリアル転送、パラレル転送といったインタフェース仕様、12V/5Vの消費電力、温度や湿度の耐久性、記憶容量、HDDの読み取りのエラーレート、振動、衝撃に対する耐久性、平均故障間隔などがあげられる。これらは、部品と製品の適合性を確認する、最も基本的な項目であり、HDDメーカーから部品の

仕様書を入手することで簡単に検証できる。

また部品仕様には、安全性と、環境に対する適合性も含まれる。安全性の例として、米国の UL(Underwriters Laboratories)に規定されているような、電気回路内におけるオープン、ショート、モーターロックによる発煙、発火に関する内容も含まれている。また、EMI(Electro Magnetic Interference)や EMS(Electro Magnetic Susceptibility)などの電磁的な不干涉性や放射レベルに関する規制もある。部品自身の発する電磁波によって、他の機器に与える誤動作を防ぎ、かつ人体の健康に悪影響を与えないためである。

また、環境に関する適合性としては、RoHS(Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment)や REACH(Registration Evaluation Authorization and Restriction of Chemicals)など EU 規制対応のため、部品内部に含まれる Pb (鉛)、Cd (カドミウム)、Cr6+ (6 価クロム)、Hg (水銀)、PBB (ポリブロモビフェニル)、PBDE (ポリブロモジフェニルエーテル) の有害物質の含有量を確認しなければならない。

RoHS 規制は民生機器だけでなく、電子部品なども対象となるため、上記の 6 種類の有害物質の規制に反した製品、部品は EU 内では販売することができない [102][103][104][105]。もし、民生機器メーカーがこれら有害物質データをサプライヤーから入手できない場合、民生機器メーカーは、蛍光 X 線等の装置を用い、自ら検査を行うことで部品の有害物質の有無を検証しなければならない。

また、信頼性評価については、部品の仕様書からでは把握できない長期的な部品の信頼性を確認するためのランニング試験が考えられる。例えば、モーターの場合は、長期でモーターを回転させることにより、内部のベアリングに充填されている潤滑剤がどの程度の劣化するのか、また、回転ムラが発生しないかを実際、様々な条件（温度、湿度、モーターの回転数の変化）で検証する。信頼性評価のデータは、サプライヤーから入手することはもちろん、サプライヤーから入手したデータの妥当性を検証するために、民生機器メーカーが自ら信頼性試験を行うことも重要となる。

HDD の場合、民生機器メーカーが実際に実施すべき信頼性評価項目として、HDD 内部の読み取りヘッドを磁気記録メディアから退避させるロードアンロードの耐久性、HDD の入力電源である 12V/5V 系の電圧変動試験、HDD モーターの連続回転時間、温

度や湿度の耐久性試験、信頼性試験後に実施する開封試験（磁気記録メディアの潤滑剤の厚みと読み取りヘッドの汚れの分析）、低温時のモーター起動時間、HDD のヘッド、磁気記録メディア、電子基板、HDD を支えるフレームの共振周波数試験、振動による HDD 転送速度低下試験などがあげられる。

次に、部品メーカーの設計品質の確認方法について述べる。部品の長期ランニング試験の結果、部品内部の潜在的な設計不具合を発見することが重要である。例えば上述のモーターの場合、長期ランニング試験を行い、モーターベアリングの潤滑剤の耐久性温度や、潤滑剤の漏れを検証するためのモーターベアリングのシーリングに問題がないか、部品の設計上の問題点を検証する。部品の設計情報は、3 章で述べたように、情報開示できるサプライヤーと、情報開示できないサプライヤーがあるため、事前にサプライヤーの技術力をアセスメントしておき、情報開示力の優れたサプライヤーを事前に選定しておくことが望ましい。

HDD の場合、部品の設計品質検証の項目として、読み取りヘッドを退避させるためのアンロード用のクランプの耐久性、HDD 筐体内部の塵、埃を除去するためのフィルタの性能、HDD 内部のヘッド、磁気記録メディア、電子基板、フレームの共振周波数と共振倍率、HDD の磁気記録密度を検証するための Zone データ、HDD ヘッドの定点浮上の限界値、磁気記録メディアの不良ブロックを確認するための G-LIST や SMART 情報、HDD の読み取りエラーや書き込みエラーが発生する温度や湿度の耐久性、HDD 内部の読み取りヘッドを磁気記録メディアから退避させるロードアンロードの耐久性、モーターの連続通電による連続回転と HDD のモーターベアリングの劣化状況を計測するための NRRO データとの比較検証、磁気記録メディアの磁化が不安定になる熱揺らぎの温度等があげられる。

他にも、HDD のアクチュエータに取り付けられている FPC（フレキシブルな電子回路基板）の外力を制御するための補正データ、モーターのベアリング構造確認、モーター内の潤滑剤のシーリング方法、ベアリングの素材の確認（黄銅、SUS 系）、ベアリングのオイルのキャビテーション温度、ベアリングオイルの蒸発温度、ベアリングのスリーブの表面張力、電子基板にマウントされているタンタルコンデンサ等の耐圧確認、サージ保護の回路の検証、磁気記録メディアの残留磁化による消磁の検証、半導体チップ

プに使われているリード部分の材質の確認とウイスカの発生の有無の検証、電子機基板における GND 強化設計の確認などがあげられる。

同様に、部品の製造品質を確認するためには、サプライヤーから製造品質を確認するための QC 工程図を入手するだけでなく、実際に部品の製造現場を訪れ、部品の材料の受入検査、製造ラインへの材料の払い出し、組み立て、完成部品の出荷検査、完成部品の保管状況など、一連の製造プロセスを検証することが望ましい。部品製造工程の査察受け入れについても、サプライヤー毎に対応力が異なるため、事前にサプライヤーをアセスメントしておき、対応力に優れたサプライヤーを事前に選定しておくことが望ましい。

HDD の場合、製造品質の確認内容として、磁気記録メディアを製造する際のスパッタリングによるピンホール発生の有無、特に、磁気記録表面上に塗布される DLC（ダイヤモンドライクカーボン）のピンホールの検証が重要となる。さらには、HDD の完成品の倉庫における保管状況、特に湿度や温度の管理状況の徹底、HDD の組み立て工程内のクリーンルームの管理、HDD の組立の際に使用するドライバのビット粉やドライバの欠けの対策、HDD の読み取りヘッドを製造する際の半導体ウェアの切り出しによる傷の管理、HDD 内部に異物が混入していないか確認するための LPC 管理（リキッドパーティクルカウント）、モーターベアリングのメッキ処理の管理、モーターベアリングに注入するオイル液面管理と気泡の混入防止などがあげられる。

他にも、電子回路基板を製造する際の、露光工程における塵や埃の管理、半田付けにおいて熱ひずみによるそりを管理するためのリフロー炉温度プロファイル、電子基板の信号用コネクタの極を間違えないようにするための誤挿入の管理、HDD の組み込み工程における部品取り扱い（衝撃対策、静電気管理）、製造工程内で突発不良が発生した際の対応方法が記載されている QC 工程管理の検証が必要となる。

適合性検証は、製品と部品を組み合わせた際に、機械的、電氣的、ソフトウェア上で不適合がないかどうかの確認である。詳細については、5 章にて述べる。

4.1.2 QFDを用いたリーン化

QFD(Quality Function Deployment)は品質機能展開という名で知られており、1978年に赤尾洋二、水野滋の両博士によって提案され、現在、製品を開発する多くの民生機器メーカーで本手法が活用されている[61][62][64][106][107]。

品質機能展開は、顧客の声(VOC: Voice of Customer)を収集することから始める。顧客の声を収集する方法としては、一般的に知られている顧客へのインタビュー、アンケート調査、顧客行動調査、社内情報の活用、業界ニュースなど、さまざまな方法によって収集することができる。収集した顧客の生の声を分析して、品質に関する要求を「要求品質」として抽出する。要求品質はできるかぎり具体的に記述するようにしてラベルに書き出し、これらを親和図法などによってグルーピングして顧客の要求事項をまとめあげる。

次に、顧客要求事項をそのまま製品を作ることはできないため、顧客要求を満足するためには、どのような機能を要するのか、また必要な技術的要素を検討し、製品などの設計品質に求められる要素をそれぞれ、ブレイクダウンしていく(図4-2)。

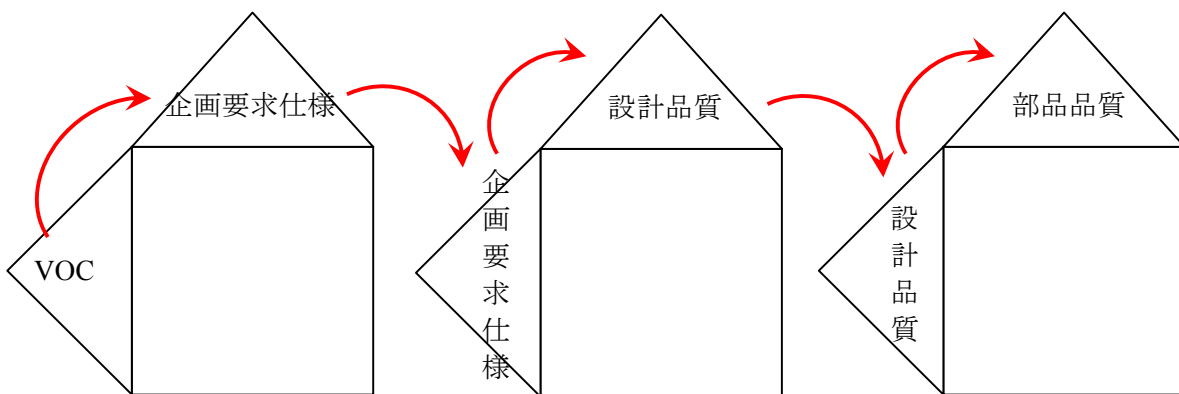


図 4-2 品質機能展開 (QFD)

特に、各要求品質に対する市場の要求の強さを重要度として表し、競合他社の要求品質に対する充足度も調査して製品やサービスの企画をすることが大事になる。一般的には、各要求品質に対する重要度とマトリックスの記号を数量化した値を用いて、市場の要求の強さを定量化する。この操作によって、どの品質要素が重要な特性であるのかを判断することができ、重要な品質要素を設計品質に展開していくことが可能になる。

設計品質設定後の進め方についてはさまざまな手順があり、一般的な製品の場合、対象製品が備えるべき機能を展開した機能展開表を作成し、さらに機能を具現化するための機構展開、機構を具体的に展開するユニット、部品展開表へと発展させていく。

本節では、肥大化した FMEA の品質評価項目をどのようにして Lean（スリム化）するのか、スリム化の為にプロセスの方法について述べる。ただし、本プロセスを実施するにあたって、過去の部品品質トラブルの事例収集と、部品の故障メカニズムが十分検証されていないなければならない。FTA や FMEA を用いた部品の品質検証が十分できているという前提で、はじめて本プロセスの実施が可能になるからである。

最初に、上述の QFD を用いた FMEA のスリム化について説明する。EOL 時における代替え部品の品質要求項目を、次の 4 つに分類することができる。この 4 の品質要求項目は、EOL 時の代替え部品に要求される品質特性として最も重要な項目となり、この 4 つを満たすことで、代替え部品を組み込む製品の安定的な動作が保証される。

- 機能、性能、信頼性
- 過去のトラブル
- 環境、安全性
- 保守性

機能、性能、信頼性は製品が部品に求める最も基本的な要求項目となる。例えば HDD の場合、機能、性能の要求事項として、転送速度(MB/s)やリトライ時間(ms)等があげられる。もし HDD が組み込まれている複写機やプリンタに、これらの要求事項を満たすことができない HDD が導入された場合、コピーやプリントスピードの低下といった問題が発生する。

また、機能、性能の要求事項として部品に電源を入れた際の部品の起動時間も重要である。パソコンを含む電気製品に関しては、電源 ON 時の起動時間を重視する製品も少

なくない。パソコンに関して言えば、電源 ON 時の立ち上がり時間が競合他社製品との差別化にもなる。そのため、EOL 時における代替え部品を、パソコンなどの製品に導入する際には、部品の電源 ON 時の起動時間を必ず確認しておく必要がある。

更に、EOL 時に要求される品質要求事項としては、機能、性能、信頼性だけでなく、表 4-1 に示すような過去のトラブル事例の再発防止策を、要求事項に加えることも重要である。HDD の場合、定点浮上による短期寿命問題が有名である。定点浮上とは、HDD の記録メディアが回転している間、読み取りヘッドが磁気記録メディアの同一トラック上に浮上している状態である。

この現象が発生すると、HDD の磁気記録メディアに塗布されている潤滑剤が摩耗し、読み取りヘッドと磁気記録メディアが接触し、磁気記録メディアに記録されている HDD データが失われてしまう。

このような過去のトラブルは、表 4-1 のように必ずリストにまとめておき、EOL 時の部品の品質評価の要求事項として盛り込んでおく必要がある。その際、品質トラブルの内容を機械トラブル、電気トラブル、信頼性トラブルなどのように、カテゴリ別に分け、更にトラブルの内容と原因を明記しておく。

また、環境や安全性の特性を品質要求項目に盛り込むことも大事になる。例えば、EU（欧州連合）が 2006 年に施行した有害物質規制である RoHS 規制は、電気製品や電子部品への特定有害物質の含有を禁止するものである。さらに、安全性の要求事項の例としては、米国の UL に規定されているように、感電など人体への安全が配慮されているか、また、電磁波のような他の電子機器への影響度がないかを考慮しなければならない。

次に、EOL 時における代替え部品の保守性について述べる。製品に搭載されている部品の不具合が発生した際に、早期に部品交換した方がよいか、部品をそのまま継続して使用し続けるかを判断しなければならない。また、製品に搭載されている部品をリユースする場合、一度使われた部品の余寿命を検証し、もう一度製品に使っても問題ないかどうか検証する必要がある。こうした部品交換のタイミングや、リユース可否に関する判断を行うためには、部品自身のもつ故障診断機能の活用が重要となり、こうした内容を部品保守の要求事項に盛り込んでおくと良い。

図 4-3 に示す QFD に、上述の 4 つの品質要求事項を加え、それぞれの要求事項を重み付けすることで、表 4-3 に示す FMEA の評価項目、具体的には、部品の基本仕様、信頼性評価、部品の設計品質、部品の製造品質、部品と製品の適合性検証の評価項目をスリム化することができる。

具体例について説明する。表 4-5 に示すように、EOL の品質要求項目は、「機能、性能、信頼性」「過去の品質トラブルの防止」「環境、安全性」「保守性」に分けることができ、それぞれの要求事項に対して重み付けを行う。今回の事例では、重み付けを 1, 3, 9 の 3 段階で行っている。1, 2, 3 の 3 段階での重み付けも可能だが、重み付けに差をつけることで、図 4-3、表 4-5 に示す FMEA のそれぞれの評価項目のトータルスコアの差別化が可能になる。

トータルスコアの差別化の結果、民生機器メーカーの技術者は、FMEA から削除できる品質評価項目をより明らかにすることができる。また、QFD のトータルスコアは、(4-1)式で示すように、EOL 時における代替え部品の品質要求事項の重み付け (W_i)、と FMEA の各評価項目の重み付け (X_i) を掛け合わせ、それらの合計点で計算することができる。EOL 時における代替え部品の品質要求事項の重み付けと同様、FMEA の評価項目の重要度を 1,3,9 の 3 段階で設定した。

$$\text{Total score} = \sum_{i=1}^n w_i x_i \quad (4-1)$$

表 4-5 に、QFD を用いた FMEA のリーン化の適用事例を示す。今回は、複写機、プリンタに搭載されている HDD を使い、FMEA の品質評価項目のリーン化を試みる。例えば、HDD を搭載する複写機やプリンタ製品の場合、HDD に求める要求事項として、スピーディーなデータ処理がある。複写機やプリンタは、複数のユーザーから出力されたプリントデータを同時に処理しなければならないため、HDD に求める転送速度は必然的に厳しくなる。そのため、重み付けは 1,3,9 のうち最も重要度の高い 9 を指定した。

また、HDD の転送速度は、HDD に加わる外部からの振動周波数に大きく依存することから、HDD を構成する部材の共振データの検証が重要となってくる。そのため、HDD 共振データの検証の重み付けを同様に 9 に設定した。さらに、HDD の転送速度は、HDD の磁気記録密度と密接に関わりがあるため、同様に重み付けを 9 に設定した。

HDD の転送速度は、HDD の塵・埃を除去するフィルタの性能や、Head を磁気記録の外に退避させるためのクランプの耐久性とはなんら関わりがない。関わりのない項目に対しては、重み付けを 0 とした。同様に、81 ある FMEA の全ての品質評価項目に対して重み付けを行い、トータルスコアを算出した（表 4-6）。

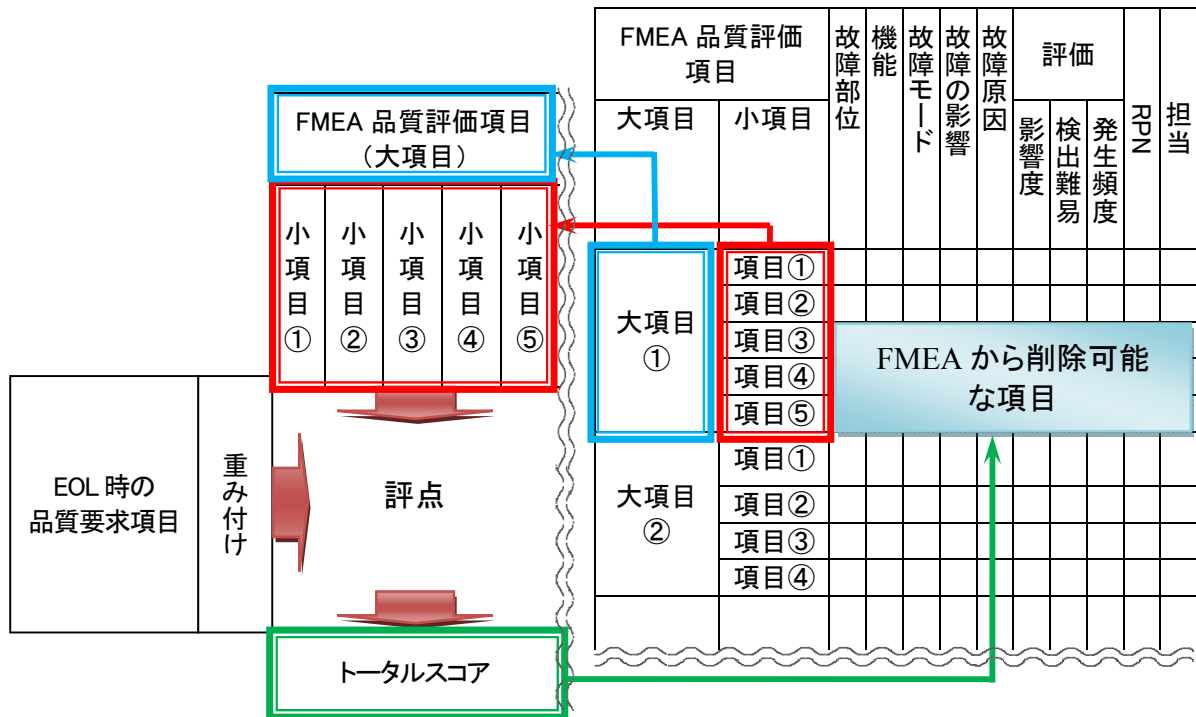


図 4-3 QFD を用いた FMEA のリーン化

表 4-5 QFD を用いた FMEA のリーン化 (HDD 適用例)

			FMEA 品質評価項目(小項目)									
			-HDD 設計品質確認-									
EOL 時の 品質 要求項目	具体的内容	重み	クランプ 耐久性	フィルタ 性能	各部材 共振デー タ	ZONE・記 録密度デー タ	定点浮上 限界値	GLIST/ SMART	温度・湿 度限界値	ロータア ンロード限 界値	MOT 回 転限界値	熱揺らぎ 温度
機能 性能 信頼性	スピーディーなデータ 処理	9										
	短時間での起動・スタ ンバイからの復帰時 間	3										
	複合機能対応 (Copy/Printer/Fax)	3										
	顧客のデータ保護	9										
	24 時間連続稼働対応	9										
	環境ストレス対する耐 久性	9										
過去 トラブル	定点浮上による Head 故障	3										
	モーターベアリング不 良	3										
	振動による転送速度 低下	9										
	電源シャットダウンに よるファイル破損	1										
	マイグレーションによ る電子基板不良	1										
	インタフェースプロコ ルエラー	3										
保守性	部品交換のし易さ	3										
	故障診断のし易さ	3										
環境 安全性	省エネ(消費電流)	3										
	有害物質(RoHS 規 制)	9										
	発火・発煙なきこと	9										
トータルスコア												

製品設計部門、品質管理部門、調達部門、生産部門と協議の上、スコアを決定する

表 4-6 QFD を用いた FMEA のリーン化 (HDD の適用結果)

FMEA 品質評価項目 (大項目)	FMEA 品質評価項目 (小項目)	トータルスコア
HDD の基本仕様の検証 (16 項目)	HDD 記憶容量(GB)	117
	読み込み、書き込みエラーレート	220
	12V/5V 消費電流	109
	振動・衝撃の耐久性	306
	パラレル・シリアルインタフェース	216
	温度・湿度の耐久性	267
	EMI/EMS	232
	Head のロードアンロード仕様	219
	12V/5V 電圧変動	171
	梱包材の衝撃耐久性	90
	MTBF(Mean time between failure)	81
	電源瞬断によるファイルシステム保護	127
	電源 ON 時のモーターのスピンアップタイム	210
	モーターロックによる発煙・発火	162
	短絡解放による発煙、発火	171
	ROHS 適合	162
HDD信頼性評価 (12 項目)	読み込み、書き込みの転送速度	336
	Head のロードアンロードの耐久性	210
	12V/5V 電圧変動の耐久性	144
	スピンドルモーター ON/OFF 回数限界値	216
	スピンドルモーター連続回転の限界時間	207
	温度耐久性	318
	湿度耐久性	336
	開封分析(磁気記録メディア潤滑剤厚み)	279
	開封分析((Head の汚れ)	288
	低温時のスピンドルモータースピンアップタイム	192
	HDD共振周波数試験	192
	振動による転送速度低下試験	255
HDD 設計品質確認 (22 項目)	Head 退避用のクランプ耐久性	192
	フィルタ網の目データ	72
	HDD を構成する各部材の共振データ	198
	転送速度のための ZONE・記録密度データ	198
	定点浮上の限界時間	198
	G-LIST/SMART	72
	温度・湿度限界値	228
	Head ロードアンロード設計上の限界値	198
	スピンドルモーターの設計上の回転時間の限界	261
	熱揺らぎ温度	165
	FPC 外力補正データ	75
	スピンドルモーター軸受け構造確認(シーリング)	117

	スピンドルモーター軸受け素材	174
	スピンドルモーターオイルキャビテーション温度	129
	スピンドルモーター軸受けオイル蒸発温度	102
	スピンドルモーターNRRO データ	72
	スピンドルモーター軸受けスリーブ表面張力	72
	電子部品の耐圧確認	120
	サージ保護回路確認	126
	残留磁化による消磁(垂直記録)	135
	ウイスカの発生を検証するための材質検証	225
	GND 強化設計	36
HDD 製造品質確認 (20 項目)	スパッタリング製造ミスによるピンホール	225
	完成品の保管(温度湿度管理)	171
	ウェハ切り出しによるヘッド傷	225
	スピンドルモーター軸受けオイル液面管理	102
	スピンドルモーター軸受けオイル気泡管理	75
	HDD 構成部材の部品洗浄管理	45
	HDD 製造工程のクリーンルーム管理	81
	HDD 製造時のドライバビット粉	90
	LPC 管理(リキッドパーティクルカウント)	54
	Head の組み込み工程	108
	スピンドルモーター軸受けメッキ処理	192
	HDD 製造工程の衝撃管理	90
	静電気管理	99
	工程不良率管理	27
	品質保証体系(QC 工程)	27
	制御基板のアートワークの塵・埃管理	27
	制御基板のリフロー炉温度プロファイル	27
	制御基板のコネクタの破損防止	189
	FPC への異物混入	162
	制御基板のコネクタ誤挿入	126
製品と部品の適合性検証 (11 項目)	HDD の転送速度試験	327
	VCCI	97
	12V/5V の瞬断後の正常な起動確認	106
	波形検証(IOR/IOW/割り込み信号)	156
	HDD の温度上昇の確認	207
	Sleep・スタンバイからの正常な復帰	210
	製品に搭載時の 12V/5V の消費電流	46
	バスアナライザによるプロトコル検証	180
	衝撃検証	63
	単純プリント・コピー	327
	JOB ストレス試験	234

今回、QFDを用いたFMEAのリーン化の結果を、表4-7に示す。HDDの基本仕様の検証に関しては、QFD適用前のFMEA品質評価項目は16であったが、QFD適用後は11項目になった。同様に、HDDの信頼性評価項目は12項目から11項目、HDD設計品質確認は22項目から10項目、HDD製造品質確認は20項目から6項目、製品とHDDの適合性検証に関しては、11項目から7項目に評価項目を削減することができた。ただし、今回の検証では、過去の品質トラブルの規模や、市場に部品不良が流出した場合の顧客へのインパクトを考慮し、トータルスコア150以下を評価項目からの削減の対象とした。

また、削減前後の評価項目を分析した結果、HDD故障率と関係性の深い、安全性や信頼性に関する重要なFMEAの評価項目はスコアも150以上となっており、削減対象となっていないことを確認した。例えば、HDDの信頼性評価項目は12項目から11項目とわずかに、1項目だけの削減となっている。これは、HDDに内在する不具合を検出するためには、HDDの仕様書だけではなく、民生機器メーカーが自ら行う信頼性テスト（物理テスト）や、HDDメーカーから入手する、耐久性テストの結果を入手することの重要性を示している。

例えば、信頼性評価項目の1つであるHDD共振周波数試験は、HDDの転送速度低下と密接に関わっており、HDDを製品に搭載した際にHDDへ加わる周波数と、HDDの転送速度の関係を調査する上で重要な試験内容となる。また、温度や湿度の耐久性試験は、HDDの読み取りヘッドの汚れと密接に関わっている。もし、温度や湿度の影響で、HDDの読み取りヘッドが汚れた場合、読み取りエラーや書き込みエラーが頻繁に発生し、そのHDDを搭載した製品の性能に大きく影響を与えてしまう。

また、HDDの製造品質確認項目は、20項目から6項目と大きく削減できることが分かった。例えば、電子基板の半田付けの工程であるリフロー炉温度プロファイルや、制御基板の回路を形成するアートワークにおける製造不良率は非常に低く、また部品メーカーの出荷検査で検出可能であることから、民生機器メーカーが改めて品質検証する必要がないことを意味している。同様な理由から、HDDのスピンダルモーターの軸受けのオイル注入工程、HDD構成部材の部品洗浄管理などが削減の対象となる。

表 4-7 QFD を用いた Lean 化後の評価項目 (HDD の適用結果)

FMEA 品質評価項目 (大項目)	FMEA 品質評価項目 (小項目)	トータルスコア
HDD の基本仕様の検証 (11 項目)	読み込み、書き込みエラーレート	220
	振動・衝撃の耐久性	306
	パラレル・シリアルインタフェース	216
	温度・湿度の耐久性	267
	EMI/EMS	232
	Head のロードアンロード仕様	219
	12V/5V 電圧変動	171
	電源 ON 時のモーターのスピンドルアップタイム	210
	モーターロックによる発煙・発火	162
	短絡解放による発煙、発火	171
	ROHS 適合	162
HDD信頼性評価 (11 項目)	読み込み、書き込みの転送速度	336
	Head のロードアンロードの耐久性	210
	スピンドルモーター ON/OFF 回数限界値	216
	スピンドルモーター連続回転の限界時間	207
	温度耐久性	318
	湿度耐久性	336
	開封分析(磁気記録メディア潤滑剤厚み)	279
	開封分析(Head の汚れ)	288
	低温時のスピンドルモータースピンドルアップタイム	192
	HDD共振周波数試験	192
	振動による転送速度低下試験	255
HDD 設計品質確認 (10 項目)	Head 退避用のクランプ耐久性	192
	HDD を構成する各部材の共振データ	198
	転送速度のための ZONE・記録密度データ	198
	定点浮上の限界時間	198
	温度・湿度限界値	228
	Head ロードアンロード設計上の限界値	198
	スピンドルモーターの設計上の回転時間の限界	261
	熱揺らぎ温度	165
	スピンドルモーター軸受け素材	174
	ウイスカの発生を検証するための材質検証	225
HDD 製造品質確認 (6 項目)	スパッタリング製造ミスによるピンホール	225
	完成品の保管(温度湿度管理)	171
	ウェハ切り出しによるヘッド傷	225
	スピンドルモーター軸受けメッキ処理	192
	制御基板のコネクタの破損防止	189
	FPC への異物混入	162
製品と部品の適合性検証 (7 項目)	HDD の転送速度試験	327
	波形検証(IOR/IOW/割り込み信号)	156
	HDD の温度上昇の確認	207
	Sleep・スタンバイからの正常な復帰	210
	バスアナライザによるプロトコル検証	180
	単純プリント・コピー	327
	JOB ストレス試験	234

4.1.3 代替え部品の技術変更点を考慮したリーン化

次に、EOL 時における代替え部品を採用するにあたって、図 4-4 のように代替え部品の技術変更点を検証する。具体的には、代替え部品と代替え前の部品の部品設計上の変更箇所を精査する。部品設計上の変更箇所が見つかった場合、FMEA 内で品質上の影響を及ぼす範囲、すなわち、故障モードと故障原因との関連性を見つけ出す。部品設計の変更箇所が、部品品質に影響を及ぼす範囲を絞り込み、部品品質に影響を及ぼさない項目については、FMEA から削除する。

今回の適用事例では、代替え HDD の技術変更点が、読み取りヘッドのみという前提でリーン化を説明する。

HDD の場合は、記録密度とインタフェースの技術進歩が激しく、それに伴い HDD 内部の構成部品であるヘッド、磁気記録メディア、モーター、コントローラー用の MPU(Micro Processing Unit)の技術進歩を伴う。HDD メーカーではヘッドの記録密度を向上させるため、磁気記録メディアからの浮上量を低下させる為の工夫、すなわち、ヘッドスライダ(ABS: Air Bearing Surface)の形状を HDD のモデル毎に最適化している。

技術変更点	機能	故障モード	故障原因	評価			RPN	品質評価項目 (対策)		担当
				影響度	検出難易	発生頻度		大項目	小項目	
A										
FMEA から削除可能な項目										

図 4-4 技術変更点を考慮したリーン化

技術点変更点	機能	故障モード	故障原因 (外乱)	評価			RPN	品質評価項目 (対策)	担当
				影響度	検出難易度	発生頻度			
Head ABS	FLY HEIGHT 保持	ABS正圧負圧 変化による、 負圧部の汚れ	高湿度	1	3	1	3	高湿度（80%以上）環 境下における長期ラン ニングと分解分析	
		ABS圧力変化 による浮上量 の不安定	高温・低温	3	3	2	18	温度サイクル環境下 における、ランニン グと分解分析	
		Head読み取り SN比の低下	振動	3	2	3	18	外部振動（Seep振 動）下での転送速度 変化率	

FMEAから削除可能な項目

図 4-5 技術変更点を考慮したリーン化（HDD 適用例）

例えば図 4-5 に示すように、HDD 内部の読み取りヘッドの ABS に変更が発生した場合、ABS 正圧、負圧変化による ABS 負圧部の汚れ、ABS 圧力変化による浮上量の不安定、ヘッドの読み取り悪化による SN 比の低下といった故障モードが考えられる。この、故障モードを検出するためには、温度や湿度、振動といったストレスを HDD に加えなければならない。

具体的な品質評価の内容として、高湿度（80%以上）環境下における長期ランニング試験と、その後に HDD の内部に潜在的な不具合がないかどうか検証するための HDD の開封分析、温度サイクル環境下における、長期ランニング試験と HDD の開封分析、更には、外部から HDD に振動を加えながらリアルタイムで HDD の転送速度の低下率を測定する。

また、技術変更点及び、その変更点に対する信頼性データを事前にサプライヤーから入手しておくことが望ましいが、3 章で述べたようにサプライヤーからの情報入手が難しい場合は、民生機器メーカーの技術者が自ら HDD 筐体の開封調査を行い HDD の

ヘッドの形状を光学顕微鏡等でチェックする必要がある。本技術変更による、製品への影響については、HDDの転送速度の低下やHDD転送速度のばらつきが考えられ、関連のない品質項目、例えば、インタフェースの信号処理等の検証については、FMEAから取り除くことができる（図4-5）。

今回、HDDの記録容量増加に伴うHDDの読み取りヘッドの技術変更点という条件でリーン化を行った。その結果、HDDの基本仕様の検証は、QFDのリーン化適用後の11項目から6項目に削減することができた。同様に、HDDの信頼性評価項目は11項目から8項目、HDD設計品質確認は10項目から7項目、HDD製造品質確認は6項目から3項目、製品とHDDの適合性検証に関しては、7項目から5項目に評価項目を削減することができた（表4-8）。

今回の技術変更点を考慮したリーン化では、HDDの基本仕様の検証の項目数を大きく減らすことができた。例えば、電子基板の電圧の変動の検証などは、読み取りヘッドの技術変更とは直接関係のない項目である。同様に、電源ON時のスピンドルモーターのスピニアップタイム検証（HDDの電源をONにしてから、5400rpmになるまでの時間）、スピンドルモーターロックによる発煙・発火の検証も、読み取りヘッドの技術変更とは関係がなくFMEAから削除することができた。

また、HDD信頼性評価項目については大幅な評価項目削減とはならなかった。今回のようなHDDの記録密度向上によるヘッドの技術変更は、ヘッドと磁気記録メディアとの間の浮上量に非常に大きな影響を与えるため、浮上量と密接な関係のある信頼性評価項目を削除できなかったものと考えられる。また、湿度や温度はHDDのヘッド浮上量に大きな影響を与えることが知られており、信頼性評価を実施す際のストレス条件として欠かせない存在である。

また、HDDの記録密度向上により読み取りヘッドと磁気記録メディアの間の浮上量が低下することから、HDDの開封分析によるヘッドの負圧部の汚れや、磁気記録メディアの汚れの確認も重要となる。HDD信頼性評価項目については、低温時のスピンドルモーターのスピニアップタイムといったヘッドの技術変更とは関係のない信頼性評価項目をFMEAから一部削減できたものの、上記理由により、全般的に大きな削減効果が得られなかった。

HDD の製造品質確認項目は、6 項目から 3 項目に削減できた。これも、上述のように、スピンドルモーターの軸受けメッキ処理の確認、制御基板のコネクタの破損防止、FPC への異物混入確認といった、いずれもヘッドの技術変更と関係のない評価項目を削減することができた。

表 4-8 技術変更点を考慮したリーン化後の評価項目

FMEA 品質評価項目 (大項目)	FMEA 品質評価項目 (小項目)
HDD の基本仕様の検証 (6 項目)	読み込み、書き込みエラーレート
	振動・衝撃の耐久性
	温度・湿度の耐久性
	EMI/EMS
	短絡解放による発煙、発火
	ROHS 適合
HDD 信頼性評価 (8 項目)	読み込み、書き込みの転送速度
	Head のロードアンロードの耐久性
	温度耐久性
	湿度耐久性
	開封分析(磁気記録メディア潤滑剤厚み)
	開封分析(Head の汚れ)
	HDD 共振周波数試験
	振動による転送速度低下試験
HDD 設計品質確認 (7 項目)	Head 退避用のクランプ耐久性
	HDD を構成する各部材の共振データ
	転送速度のための ZONE・記録密度データ
	定点浮上の限界時間
	温度・湿度限界値
	Head ロードアンロード設計上の限界値
	熱揺らぎ温度
HDD 製造品質確認 (3 項目)	スパッタリング製造ミスによるピンホール
	完成品の保管(温度湿度管理)
	ウェハ切り出しによるヘッド傷
製品と部品の適合性検証 (5 項目)	HDD の転送速度試験
	波形検証(IOR/IOW/割り込み信号)
	HDD の温度上昇の確認
	バスアナライザによるプロトコル検証
	単純プリント・コピー

4.1.4 FTA を用いた複合試験の導入

代替え部品の技術変更が及ぼす影響、故障モードについては FTA (Fault Tree Analysis) を用いることで更に精度を高めることが可能となる。本節では、FTA を用いた複合試験を導入することで、FMEA のリーン化を試みる。

図 4-6 に示すように、EOL 時における代替え部品もつ技術特異点（代替え前と後の技術変更箇所）が事象 C の不具合現象を起こす可能性が高いと判断された場合は、上位の不具合事象である B をターゲットに外的ストレスを印加した複合試験を行い、代替え部品の品質の見極めを行う。その際、ストレス要因として FTA を用い C から F の要因を洗い出すことが重要となる。

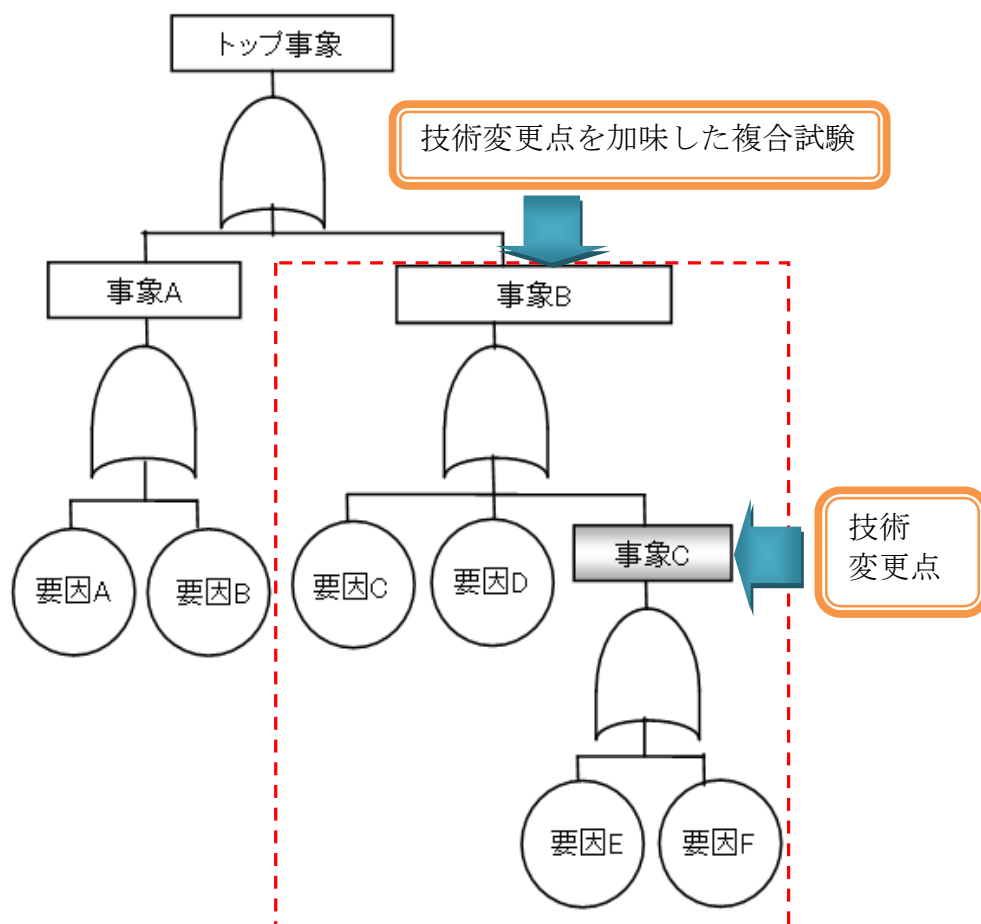


図 4-6 FTA を用いた複合試験の導入

複数のストレスを部品に同時に加えることで、1つ1つのストレスを個別に部品に加えるより、より大きな評価の効率化が期待できる。例えば HDD の記録密度向上によるヘッドの形状変更の場合、ヘッドのスライダ(ABS: Air Bearing Surface)の圧力変化によりヘッドの浮上量が不安定になる可能性がある。HDD のヘッドの浮上量が不安定になると、磁気記録メディアからの読み取り、書き込みのエラーが発生し、その結果、転送速度の低下が発生する。安定した転送速度を実現するためには、ヘッド ABS の中央部に形成した1~2 μm 段差面により負圧を発生させ、その負圧をコントロールすることで安定したヘッドの浮上量を確保しなければならない[100][108]。

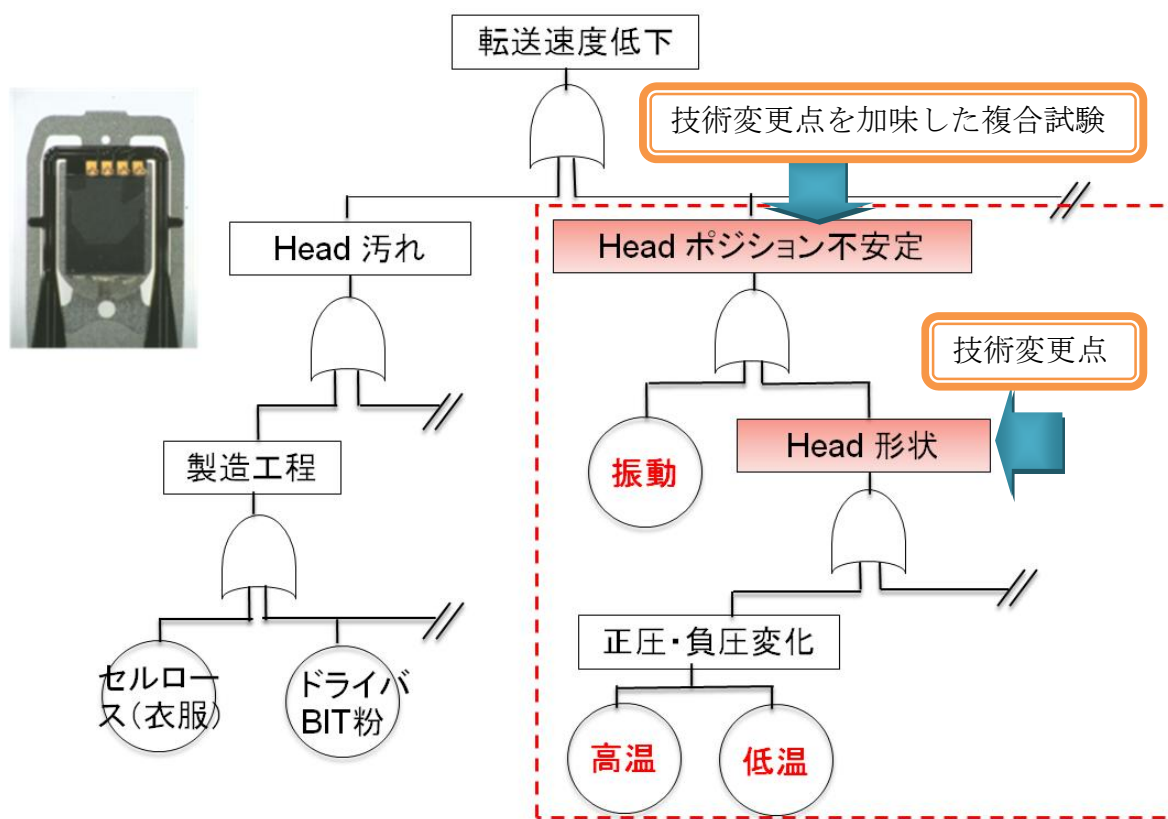


図 4-7 FTA を用いた複合試験の導入(HDD の適用例)

図 4-7 に示すように、HDD の読み取り、書き込みの転送速度の低下、すなわち、HDD のヘッドと磁気記録メディアの浮上量を不安定にさせる要因は、外部から HDD に加わる振動や温度の影響が考えられる。そこで、温度と振動のストレスを同時に HDD に加えた複合試験を導入することで、代替え HDD におけるヘッド部分の品質検証が可能になる。また温度、振動を同時に HDD に加えた複合試験のため、1 つ 1 つのストレスを個別に HDD に加えるより、より大きな評価の効率化が期待できる。

表 4-9 は、FTA を用いた複合試験の導入例である。今回も、HDD の記録容量増加に伴う HDD の読み取りヘッドの技術変更点という条件でリーン化を行った。その結果、HDD の信頼性評価項目は 8 項目から 5 項目と評価項目の削減ができたものの、HDD の基本仕様の検証、HDD の設計品質確認を含む品質評価内容については、いずれも大きな削減には至らなかった。

これは、HDD の信頼性評価を除く、基本仕様の検証、設計品質確認や、製造品質確認については、温度や、振動を同時に印加するような複合試験が実施しにくい評価項目のためだと考えられる。ただし、表 4-11 に示すように、振動と温度ストレスを HDD に加えた複合試験を導入することで、評価期間は 21 日から 13.9 日と大きな短縮化を実現している。温度や振動といった 1 つ 1 つのストレスを個別に HDD に加えた信頼性試験を実施するよりも、複数のストレスを同時に HDD に加えたことで、より大きな成果に結びついたと考えられる。

以上から、QFD、代替え部品の技術変更点の検証、FTA を用いた複合試験を行うことで、Lean FMEA を完成させることができる。

表 4-9 FTA を用いた複合試験の導入(HDD の適用後)

FMEA 品質評価項目 (大項目)	FMEA 品質評価項目 (小項目)
HDD の基本仕様の検証 (6 項目)	読み込み、書き込みエラーレート
	振動・衝撃の耐久性
	温度・湿度の耐久性
	EMI/EMS
	短絡解放による発煙、発火
	ROHS 適合
HDD信頼性評価 (5 項目)	Head のロードアンロードの耐久性
	温度耐久性
	開封分析(Head の汚れ)
	HDD共振周波数試験
	振動による転送速度低下試験
HDD 設計品質確認 (7 項目)	Head 退避用のクランプ耐久性
	HDD を構成する各部材の共振データ
	転送速度のための ZONE・記録密度データ
	定点浮上の限界時間
	温度・湿度限界値
	Head ロードアンロード設計上の限界値
	熱揺らぎ温度
HDD 製造品質確認 (3 項目)	スパッタリング製造ミスによるピンホール
	完成品の保管(温度湿度管理)
	ウェハ切り出しによるヘッド傷
製品と部品の適合性検証 (3 項目)	HDD の転送速度試験
	バスアナライザによるプロトコル検証
	単純プリント・コピー

4.2 評価項目・評価期間の効率化見積り

今回提案した、リーン品質評価プロセスを HDD に適用した結果を述べる。今回適用事例として用いた HDD は主に、ヘッド、磁気記録メディア、モーター、電子基板の 4 つの主要構成部品からなっており、ヘッドの技術変更を想定した上で品質評価の効率化の見積もりを行った。評価の効率化は、評価項目数及び、評価期間（関係部門への助言、関係部門への審議時間、仕入れ先への技術情報の提供依頼、評価結果の技術レポートの

作成といった民生機器メーカー内で実施している一連の評価活動)で全体的な効率化がなされているかを定量的に調査した。

ある民生機器メーカーのEOL時に実施するFMEA評価項目数は81であったが、リーン品質評価プロセスを導入することで、評価項目数では73%の効率化(表4-10)、評価期間では67%の効率化を実現した(表4-11)。また、本プロセス導入後、複写機に搭載された1000個あたりのHDDの品質についても、導入前・導入後で大きな差はなく本プロセスの有効性が確認できた。

表 4-10 評価項目数の効率化(HDD)

	FMEA初期評価項目数	QFDを用いたLean化後	技術変更点を考慮したLean化後	FTAを用いた複合試験の導入後
基本仕様の検証	16	11	6	6
信頼性評価	12	11	8	5
設計品質確認	22	10	7	7
製造品質確認	20	6	3	3
適合性検証	11	7	5	3
評価項目数合計	81	45	29	24

表 4-11 評価期間の効率化 (days)

	FMEA初期評価期間	QFDを用いたLean化後	技術変更点を考慮したLean化後	FTAを用いた複合試験の導入後
基本仕様の検証	1.7	1.2	0.4	0.4
信頼性評価	36.6	33.6	21.0	13.9
設計品質確認	6.0	2.8	1.9	1.9
製造品質確認	5.1	1.5	0.8	0.8
適合性検証	2.6	1.6	1.3	0.6
評価項目数合計	52.0	40.7	25.4	17.6

4.3 まとめ

本章では、EOL までの期間の短い部品を対象に、リーンで効率的な品質評価プロセスを提案し、FMEA の膨大な評価項目をスリム化するための具体的な方法について述べた。リーン品質評価プロセスは、トラブルの再発防止のため膨大な品質確認項目となりやすい FMEA の評価項目をスリム化するため、QFD を用いたリーン化、代替え部品の技術変更点を考慮したリーン化、FTA を用いた複合試験を導入することで FMEA の大幅な評価項目の削減と評価期間の短縮化を狙った品質評価プロセスである。

本プロセスを複写機やプリンタに搭載されている HDD へ適用した結果、品質評価項目の削減と品質検証期間の短縮化、更には EOL 時の部品切り替が迅速になることでコストの安い代替え品を増やすことができた。また、本プロセスの適用前後で複写機に搭載された HDD の不良率に変化がないことから、本プロセスの品質検証のあり方に対し問題ないことを確認できた。

5章 設計変更マネジメント

4章では、EOLまでの期間の短い電子部品を対象に、リーンで効率的な品質評価プロセスを提案し、FMEAの膨大な評価項目をスリム化する為の具体的な方法について述べた。リーン品質評価プロセスを用いることで、品質トラブルの再発防止のため膨大な品質確認項目となりやすいFMEAの評価項目の効率化を実現した。

しかしながら、4章までの取り組みをおこなってもなお、製品と代替え部品との不適合問題が生じてしまう可能性がある。そこで、製品と代替え部品の不適合問題を短期間で解消し、なおかつ代替え部品の選択の幅を広げておくことを目的とし、本章では、適合コンポーネントを用いた製品の設計変更マネジメント手法について述べていく。

5.1 部品と製品との適合性検証による評価の限界

本節では、EOL時に行う代替え部品の適合性評価の手順について説明し、部品と製品との適合性検証による評価の限界について述べる。

適合性検証の最初のステップとして、製品に導入する部品メーカー、部品型番を選定する。1章でも述べたように、部品リードタイムはもちろんのこと、部品コストは従来購入していた価格に比べ大幅にアップしないかを確認し、様々な製品に搭載可能か事前に検証することが大事になる。製品間で部品の共通化を図ることで、大量購入を見込めることから、民生機器メーカーは、部品の購入単価を下げることができる。

2番目に、購入する部品が、製品の要求する仕様に合致しているか、また環境規制や、安全規格に適合しているか精査する。サプライヤーによっては、有害物質データの情報提供が不十分な場合もあり、民生機器メーカーが自ら蛍光X線等の装置を用いて有害物質を分析しなければならないケースも発生する。

3番目は、部品の信頼性検証である。サプライヤーから部品の信頼性データを入手して精査することはもちろん、場合によっては民生機器メーカーが独自で信頼性試験を行うことで、部品仕様書に記載されていない信頼性情報を把握することも重要となる。例

えば一般的な電子部品の場合、Read/Write しながら、高温、高湿度の環境下で長期ランニング試験を行うことで部品の信頼性を検証する。

本節に最も関係があるのは、4番目の部品と製品との適合性検証である。通常、汎用部品を採用することで適合性トラブルを最小限に抑えようとしても、実際は適合性評価を行う際に機械的、電氣的、およびソフトウェアインタフェースの適合性問題が発生してしまう。

2章では、部品と製品の不適合問題の原因を調査するためのFTAの活用方法について述べた。また、不適合の故障メカニズムを解明しFMEAを作成、その後、品質評価項目の優先順位付けを行うことで、表5-1に示すような適合性検証のための品質評価項目を決定することができる。品質評価項目を決める際は、代替え部品の製品のシステムに適合させるための試験条件、合格基準を決めておくことが重要である。

例えば、機械的適合性を評価する項目として振動検証が挙げられる。部品に加わる振動の大きさ、周波数帯域が定められているが、もし製品の要求仕様に合致していない部品が組み込まれた場合、導入された部品の十分な性能を得られなくなる可能性がある。そこで、駆動系が多く組み込まれている製品においては、部品に加わる振動の大きさ、周波数を明らかにするとともに、代替え品の機械的適合性を向上させるための、製品側の設計改善が必要である。

次に電氣的適合性の評価例として、製品側と部品側の電気信号の波形検証が挙げられる。製品と部品側のインピーダンスが不適合の場合は、電氣的波形による反射波の影響によるリングング、またはオーバーシュート、アンダーシュートといった問題が発生する。こうした問題が発生した場合は、適切なバッファを部品もしくは製品側に組み込むことでトラブルを解消することができる。

ソフトウェアの適合性事例として、製品に代替え品を組み込んだ際に安定的な動作を確認するケースである。パソコンでさえも代替えHDDを取り付けた際に、HDDを認識しないといった不具合が発生する。その場合、バスアナライザ等で、起動時、Read時、Write時のステータスのモニタリングを行い、不適合の原因を調査するとともに、製品側のソフトウェアドライバの設計改善を行うことで不適合問題を解消することができる。

以上のように、EOL 時における代替え品を導入するためには、インタフェースの設計改善を行わなければならない状況も発生する。そこで、次節では、製品と部品の不適合問題が発生した際の品質改善対応について述べる。

表 5-1 製品と HDD の適合性検証例

評価項目	試験内容	適合評価基準
転送速度検証 (MB/sec)	振動の影響を確認するため、製品ランニング中の HDD 転送速度低下率(WRITE, READ)をリアルタイムに計測する。転送速度低下時には、HDD に加わる振動の大きさと周波数を測定し、HDD 転送速度低下の原因を特定する。	製品要求仕様を満たすこと。HDD 転送速度低下率 \leq 10%が望ましい。
論理 Format 検証	システム上における論理 Format 実施と、正常にディレクトリおよびパーティションが作成されていることを確認する。	製品を立ち上げ、正常に boot できることを確認する。
製品動作確認	コピー、プリント動作試験。製品仕様の限界までデータをスプールさせたときの処理を確認する。	各動作試験正常終了すること。
電気信号波形	P-ATA 重要信号 (IOR/IOW/ACK/CS) の波形確認。リングング、オーバー、アンダーシュートの確認。PIO/DMA 両モードで確認する。SATA の場合、ホスト側のコンプライアンスデータを入手する。また、BIST FIS によるループバック転送モードでの波形確認を行う。	ATA 規格に合致すること。
バスモニタ検証	コピー、プリント動作試験中のコマンド処理後のステータスが正常処理されていることを確認する。	コマンド終了後、Status Register 「50」を確認する。

5.2 品質問題が発生した際に実施する部品および製品側の対応

前節では、部品と製品との適合性検証による評価の限界について述べた。本節では、製品と部品の不適合問題などの品質問題が発生した際に、その部品の採用をあきらめるのではなく、製品側もしくは部品を提供するサプライヤー側へ働きかける品質改善の対応について述べる(図 5-1、図 5-2)。

部品品質改善を行うにあたって、ここでは大きく2つのステークホルダーを考える。1つ目は部品を開発するサプライヤー、2つ目は民生機器メーカーである。民生機器メーカーにおいては、調達部門、設計部門、生産部門、評価部門、故障解析部門、品質管理部門といった様々な部門があるが、製品や部品の品質問題の発生時にどの部門が起点となって品質改善を主導するか決めなければならない。通常、部品や製品に関する不具合の情報は、品質管理部門や故障解析部門といった部門に情報が集中することから、民生機器メーカーではこうした部門を起点にすると良い。

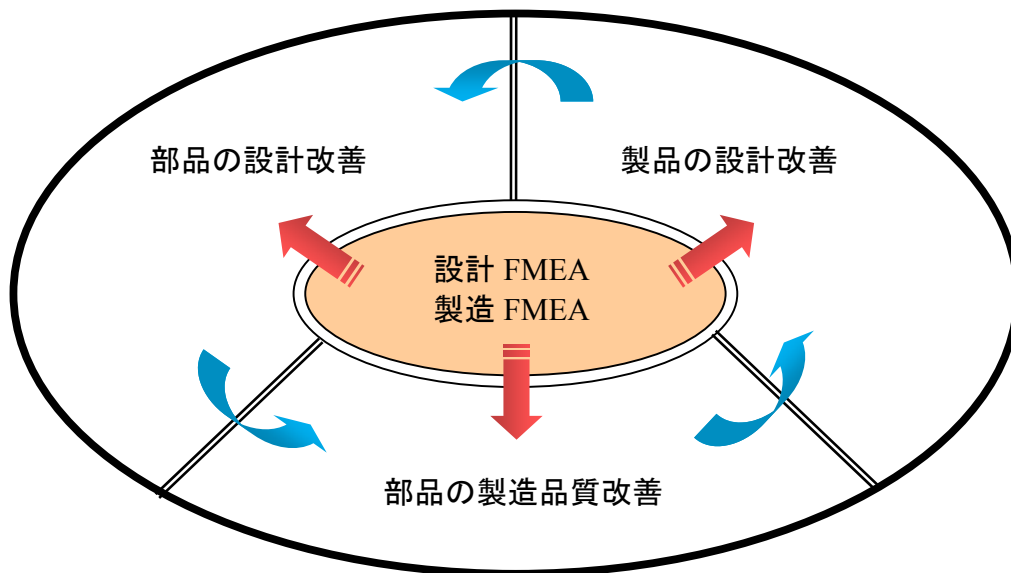


図 5-1 製品と部品の品質改善アプローチ

ただし、部品と製品の不適合問題を含む品質改善を行うにあたって、これらトラブル情報を基に故障メカニズムの深堀を行い、部品のどの部位に問題があるのか事前にはっきりさせておく必要がある。ここで有益となる情報は、2章で述べた FTA を用いた不具合原因のメカニズムの解明である。

故障メカニズムの解明によって、部品の設計に問題があるのか、または製品の設計に問題があるのか大きく大別することが可能である。特に、部品の設計品質に問題がある場合は、製品に部品を導入した後に、顧客先で大きなトラブルとなりかねないので、ここで部品を設計するサプライヤーと協業で品質レビューを行うことが重要である [109][110]。

例えば、カーナビゲーションに組み込まれている HDD の場合、HDD は車載に搭載されているため、常に温度や湿度変化といった環境ストレスにさらされる。そのため、部品の信頼性上大きな不安を抱えることになる。特に、HDD は高い湿度に弱く、HDD 内部の磁気記録メディアに塗布されている潤滑剤の特性に大きな影響を与え、HDD 内部の磁気読み取りヘッドと磁気記録メディアの間の浮上量に、大きな影響を与えることが知られている [100][108]。

こうした、湿度環境変化に対応するための信頼性上の設計改善指標をサプライヤーに提示することは非常に大きな意味をもつ。特に、2章、4章で述べたように、部品の過去トラブル事例の収集と、FTA を用いた部品の故障解析、更には、部品品質を検証するための信頼性試験と製品と部品の適合性試験を行うことで、部品の内在する不具合を検出することができる。こうした部品の物理的なテストにおいて、検出された不具合は、図 5-2 に示した部品設計や部品製造に関するサプライヤーとの品質レビュー時の会合で必ず議題として取り上げる必要がある。

仮に、現行生産されている部品に直接反映できなくとも、現在開発中の新しい部品に対して設計品質のフィードバックをすることが大事になる。

次に、製品側の設計変更の事例を述べる。事例として、複写機やプリンタに搭載している HDD の振動による転送速度低下問題を取り上げる。複写機を開発している民生機器メーカーにおいては、HDD の転送速度低下の原因となる振動周波数、振動の大きさを解明し、それが HDD 内部に構成されている部品、例えば磁気記録メディアや、読み

取り・書き込みヘッド、磁気記録メディアを保持しているスピンドルモーターに、どのような影響を及ぼすのか、その周波数帯域を減衰させるためには、どのような設計対策を行うべきなのか十分に精査する必要がある。

例えば、HDD に直接、緩衝材を取り付ける、振動発生源であるモーターやクラッチ付近に緩衝材を取り付ける、更に製品内にある HDD の取り付け位置を変更して振動の影響を最小限にする、更には、HDD を支えるフレーム厚を変え剛性を変更するといったことが考えられる。

これら設計対策には、当然部品コストの増加、設計対策のための検証コストの増加が考えられ、コストと設計対策による効果の大きさを十分精査しなければならない。それと同時に、上述の設定対策による 2 次的な弊害も考えなければならない。今回例に挙げた複写機やプリンタに搭載されている HDD の場合は、振動対策によって画質のずれや、画質の色に問題がないか検証しなければならない。

これは、民生機器メーカーが行う設計改善の事例であるが、この段階で終わりにせず必ず民生機器メーカー内の設計部門、生産部門、品質管理部門といった関係者を集め、不具合再発防止のための製品設計の品質レビューを行う必要がある。何故、このような不具合を事前に発見できなかったのか、また、こうした品質問題は、次の新製品開発でも起こりうるのか、更にはサプライヤーに対して部品の設計仕様の変更を要求できないか、この段階で議論する必要がある。品質不具合の再発防止の検討結果は、民生機器メーカーが蓄えている過去トラブルのデータベースへ登録し、不具合再発防止のため、FMEA へ展開する。

また、品質トラブルが再発しないよう部品と製品の適合性向上のための従来設計の見直しを行うとともに、製品と部品の適合性設計を標準化し、他の製品でも同様の不具合を発生させないための仕組み作りを行うべきである[111]。今述べた、これら一連の部品品質および製品側の品質改善のプロセスを図 5-2 に示す。

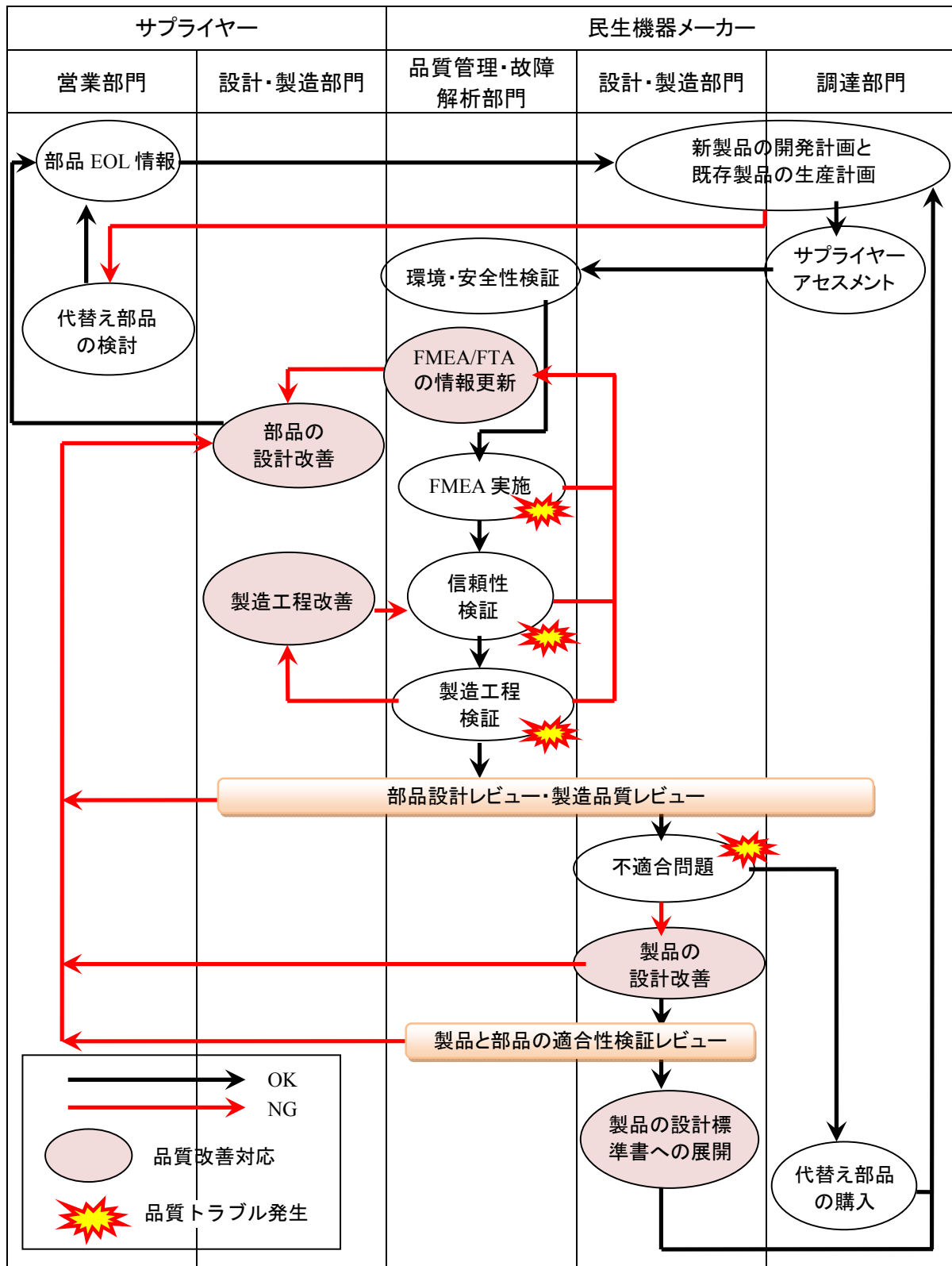


図 5-2 品質トラブル発生時における品質改善プロセス

5.3 適合コンポーネントを用いた設計変更マネジメント手法

5.1 節では、部品と製品の間で不適合問題が発生した際の、品質評価の限界について述べた。5.2 節では、製品と部品の不適合問題などの品質問題が発生した際に、製品側もしくは部品を開発するサプライヤー側へ働きかける品質改善の対応について述べた。本節では、EOL 時における代替え部品の品質評価時に、機械、電気等のハードウェア上の不適合問題が発生した場合に、短期間で不適合を解消するための、製品側の設計変更マネジメントについて述べていく。

1 章では、ライフサイクルの長い製品を維持するための、部品保守を考慮した製品の設計マネジメントの研究は殆どなされていないと述べた。しかしながらソフトウェアの領域において、ソフトウェアコンポーネントを既存システムで再利用するための設計技術が提案されている[84][85][86]。

本研究の特徴は、製品システムのインタフェースの変更やソフトウェアコンポーネントの構成が変更になった際に対応できるよう、プログラム設定を調整するコンポーネントアダプターにある。しかしながら、これらの研究は、ソフトウェアに限定して議論されており、ハードウェアに関しては全く論じられていない。そこで、ソフトウェアコンポーネントアダプタを参考に、ハードウェアに対する本手法の適用を試みる。

図 5-3 に示すように、EOL を迎えた部品と製品との適合性を向上させるための設計変更マネジメント、すなわち部品の変更による上位サブシステムへの影響度を最小限にするための適合コンポーネントを組み合わせた部品モジュール化を提案する。

適合コンポーネントとは、代替え部品に付随するインタフェース適合のためのバッファとして定義することができる。代替え部品を導入した際に発生する電氣的、機械的トラブルに備え、代替え部品とバッファを組み合わせたモジュール化を形成することで、代替え品の上位サブシステムとの適合性を向上させる。

例えば、機械的な不適合問題として、駆動系が多く搭載されている製品に代替え部品を組み込む際、振動の影響により代替え部品のパフォーマンスが低下するといった問題が発生する。また、電氣的な不適合問題として、製品と代替え部品との間のインピーダ

ンスが適合しないため、代替え部品が動作しないといった問題が発生する。いずれのケースの場合も、代替え部品とその上位サブシステムとの間に、適切な適合コンポーネントを組み込むことで、その問題を解消することができると思う。

すなわち、代替え部品と適合コンポーネントを組み合わせたモジュール化を形成することで、上位サブシステムとの間で発生するハードウェア上のインタフェース問題を解決する。

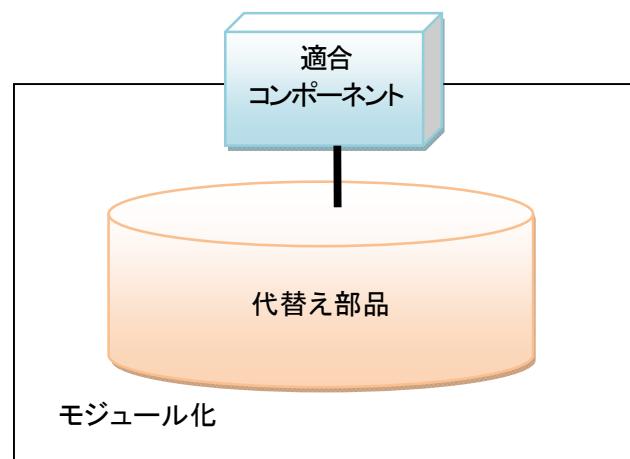


図 5-3 適合コンポーネントによるモジュール化

表 5-2 適合コンポーネントを組み合わせた代替え部品と上位サブシステムとの適合性

		適合コンポーネント X	適合コンポーネント Y	適合コンポーネント Z	サプライヤー技術アセスメント
代替え部品	A	○ 適合可	× 適合不可	○ 適合可	△
	B	× 適合不可	○ 適合可	× 適合不可	○
	C	× 適合不可	× 適合不可	○ 適合可	◎

ここで注意したいのは、代替え部品の特性にあわせ、適合コンポーネントのコンフィギュレーションマネジメントが必要となることである。

適合コンポーネントは上位サブシステムとのインタフェースとなることから、安価な部品で、かつ取り付けが簡易な部品で構成されることが望ましい。例えば、電気的特性で言えば、インピーダンスを整合させるためのバッファとしてのコンデンサ、機械的特性としてバッファの一つである防振用の緩衝材等である。

次に、適合コンポーネントを組み合わせた代替え部品と上位サブシステムとの適合性を表 5-2 に示す。ある製品に搭載されている部品が EOL を迎え、サプライヤーのアセスメントを実施した結果、代替え候補 A,B,C が評価の対象となったと仮定する。

その場合、上位サブシステムとのインタフェースとなる適合コンポーネント X,Y,Z を用意しておき、代替え品の特性を考慮した適合可能な組み合わせを事前に用意しておく。

適合コンポーネント X,Y,Z のコストがいずれも同じ場合には、適合可能な部品 A,B,C のうち最も安価な部品を調達することが可能になり製品全体のコスト面においても有利になる。また、代替え部品を導入する際には、3 章で述べたサプライヤーの技術アセスメントの結果を表 5-2 のように、並記しておくが良い。これにより、代替え部品 A,B,C と適合コンポーネント X,Y,Z の最も良い組み合わせを選択できる。

また表 5-2 の場合、第 1 候補として、適合コンポーネント Z とサプライヤーの技術アセスメントで最もスコアの良かった部品 C の組み合わせ、第 2 候補として、適合コンポーネント Y とサプライヤー技術アセスメントで 2 番目にスコアの良かった部品 B の組み合わせを行うことで、上位サブシステムとの適合が可能になる。ただし、部品 A,B,C は、2 章で述べたサプライヤーのコストアセスメントによるスクリーニングを終え、部品コスト差がないという前提である。

このように、適合コンポーネントを用いた代替え部品のモジュール化を行い、上位サブシステムとの適合性検証を行うことで、EOL 時の代替え部品の導入の可否を容易に判断することができ、部品が突然 EOL になった際にも、代替え部品の入手性が維持される形となる。

5.4 適用事例

本節では、適合コンポーネントを用いた設計変更マネジメント事例について述べる。具体的には、複写機・プリンタに搭載している HDD の代替え評価時に発生した、振動による転送速度低下問題を解消するための設計変更マネジメントである。図 5-4 に示すように、HDD+ブラケット+HDD 緩衝材からなるモジュール化を形成し、緩衝材を適合コンポーネントとした。

また、実際に複写機に搭載している HDD の転送速度低下の原因となる周波数を解析し、HDD に取り付ける緩衝材の特性を調査するための試験環境を構築した。本環境の特徴は、以下の 3 つである。

- ① 複写機振動の大きさ、周波数を入力できる加振器を開発することで、HDD の転送速度低下をリアルタイムでモニタリングすることができる。
- ② ささまざまな剛性、大きさの緩衝材を HDD に取り付けられる治具を作成し、その治具を加振器に取り付けることで、HDD 転送速度低下を防ぐための緩衝材の選定ができる。
- ③ 緩衝材自身のもつ振動特性、すなわち減衰帯域(Hz)、共振周波数(Hz)、倍率の測定ができる。

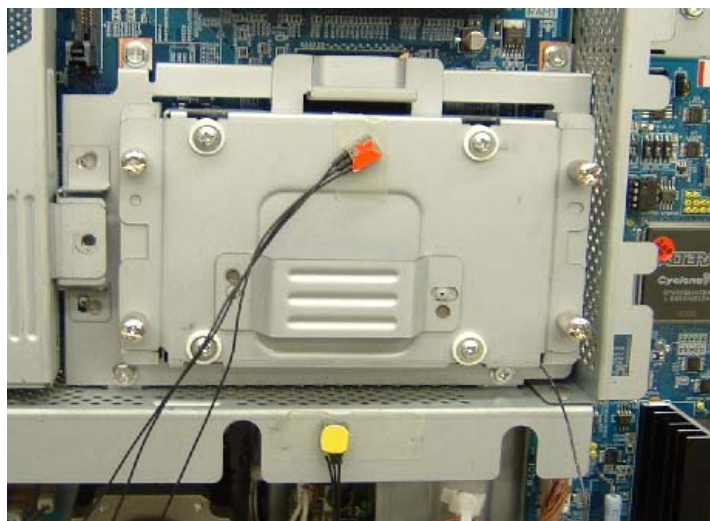


図 5-4 HDD モジュール

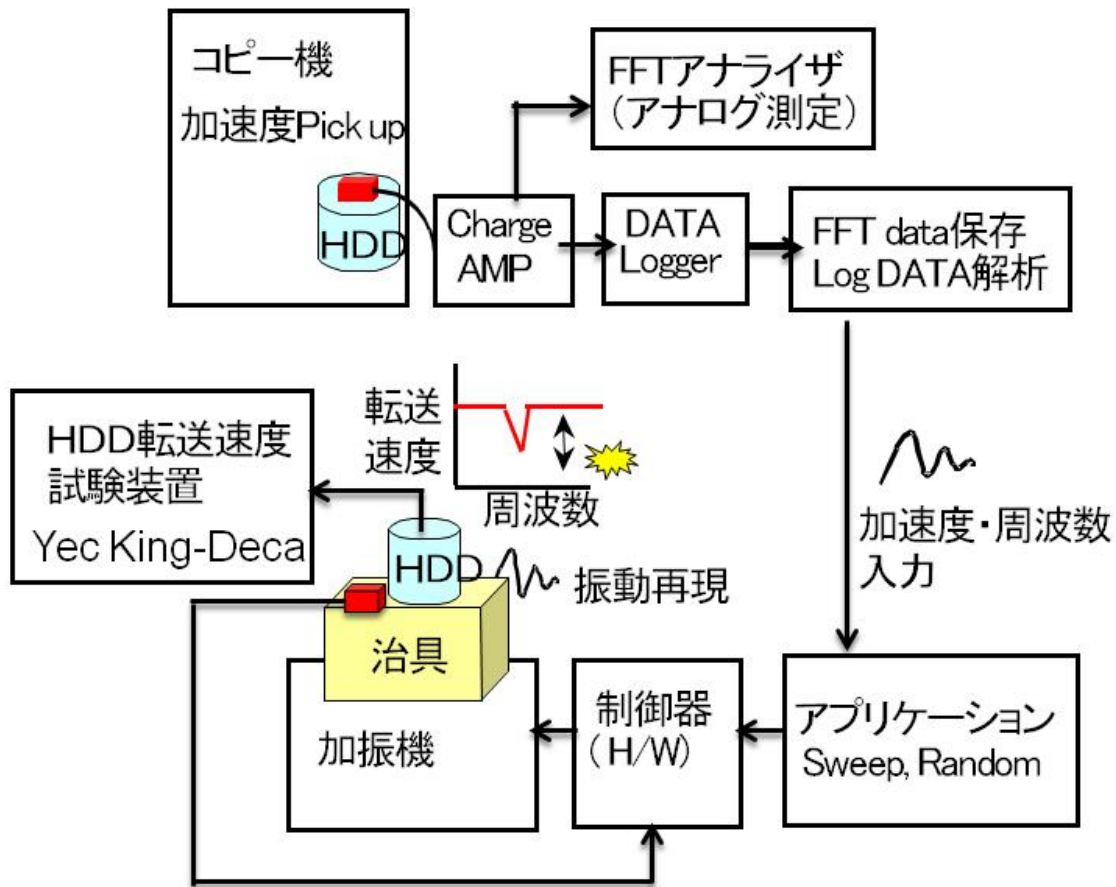


図 5-5 振動の試験環境 (ブロック図)

図 5-5、図 5-6 は、実際に複写機に搭載している HDD の転送速度低下の原因となる周波数を解析するための試験環境である。振動を計測するために、複写機に搭載した HDD のトップカバーの位置に、3 軸の振動センサーを取り付け、振動センサーからの信号をチャージアンプにて増幅する。その、増幅した信号を FFT(Fast Fourier Transform)アナライザとオシロスコープを用いて計測することにより、振動の加速度と、振動の周波数を分析する。

HDD は振動の影響により、書き込み時の転送速度が大きく低下することが知られている。そのため、複写機動作中に HDD の読み込みだけでなく、書き込み時の転送速度を同時に計測することにした。また、HDD の転送速度が低下した場合に、転送速度低下を引き起こす原因となる振動の加速度と、周波数を分析しなければならない。

この分析を行うために、図 5-7 に示すような試験装置を開発した。試験装置は、主に加振器と HDD の転送速度の低下を計測する転送速度試験装置からなっている。加振器は、ランダム振動、スイープ振動ができ、複写機振動を再現させるための、加速度、周波数を入力できるような装置である。正確な複写機振動を再現させるために、複写機振動を FFT アナライザで保存しておき、その周波数と加速度を、加振器に接続されている制御器に入力した。

また、HDD に加振中の転送速度をリアルタイムに計測するため、HDD 転送速度のアプリケーションを今回の試験のために 2 つ用意した。1 つは、転送速度における読み込みや書き出しのコマンドに対してコマンドの正常処理を確認し、割り込み信号までの時間を計測するアプリケーションである。もう 1 つは、HDD のパケット通信量（HDD の専門用語でセクタカウントと言う）を自由に変えられ、HDD の転送速度を計測することができるアプリケーションである。

Win Bench のような、市販されているアプリケーションとの違いは、HDD の転送速度を計測する際に、HDD の読み出し、書き込みキャッシュのオン・オフ、HDD のセクタカウントの指定、HDD の計測領域（論理アドレスの指定）、更には、エラーレートの計算（書き出しと、読み出しデータの誤り率）ができることにある。

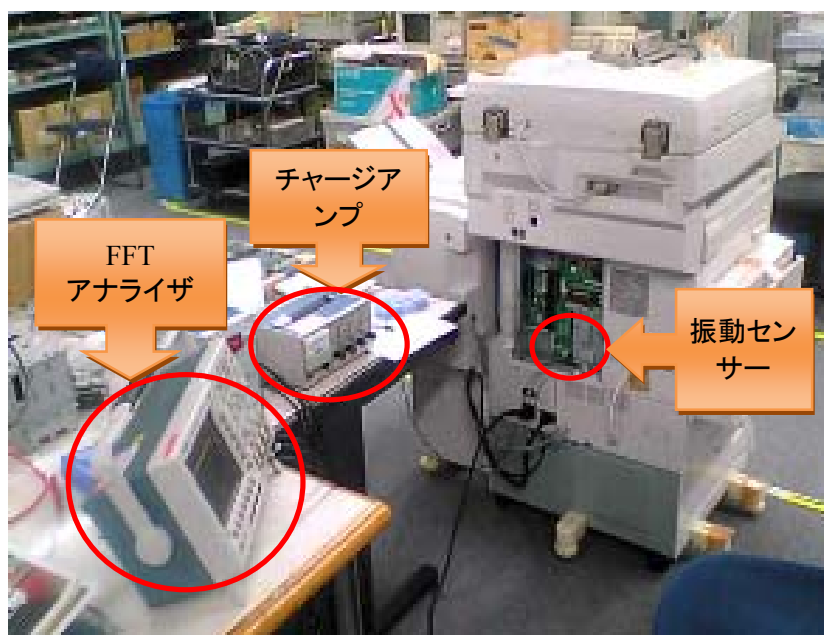


図 5-6 振動の試験環境（製品テスト）

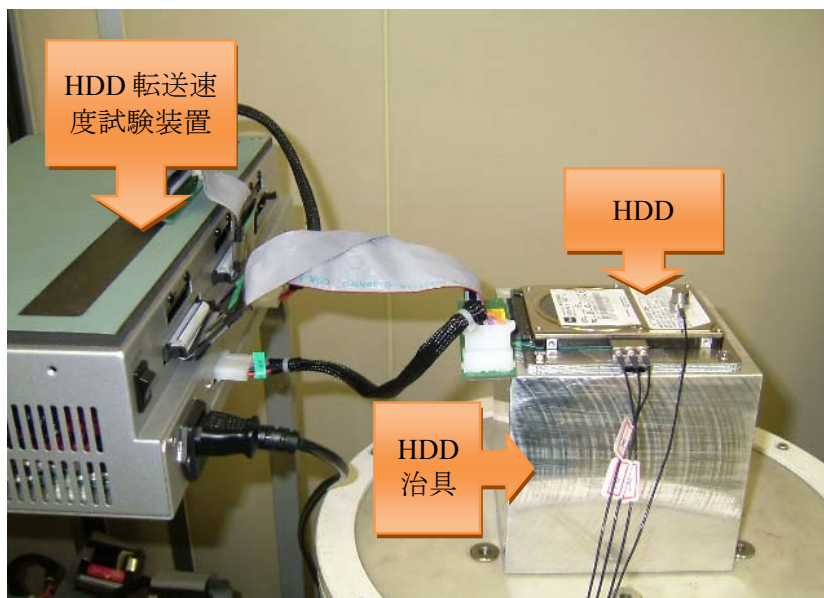


図 5-7 振動の試験環境（ベンチテスト）

また、図 5-8 に示すような、緩衝材の振動特性を調査できる環境も同時に構築した。試験治具の上には、2.5inch、3.5inch HDD と同じ 100g、400g の重さを搭載できるプレートを用意した。また、プレートは 4 カ所に緩衝材を取り付けられるように設計している。プレートの共振周波数は 1200Hz 以上であり、今回の緩衝材の振動特性を試験するための周波数帯域である 10~1000Hz(Sweep)ではプレート自身の共振は発生しないことを確認している。

また振動の制御に関しては、図 5-5 に示すように、入力された加速度と出力された加速度の比を自動計算できるような試験環境を構築した。振動の加速度の入力と出力、そのときの周波数をリアルタイムに測定することで、緩衝材の振動特性を検証することが可能となる。

また、2.5inch HDD に取り付ける緩衝材の振動特性を計測するための試験条件例として、0.5G (0 to Peak)の振動加速度を 100g のプレートに加え、振動の掃引速度を 1oct/min、10~1000Hz の周波数帯域で Sweep させることで、緩衝材の減衰帯域及び共振周波数、共振倍率を調査した。

緩衝材データは、緩衝材を開発しているサプライヤーから入手することも可能であるが、サプライヤーから入手したデータの妥当性を検証し、より正確な緩衝材の振動特性を把握するために、今回このような試験環境を新たに構築した。

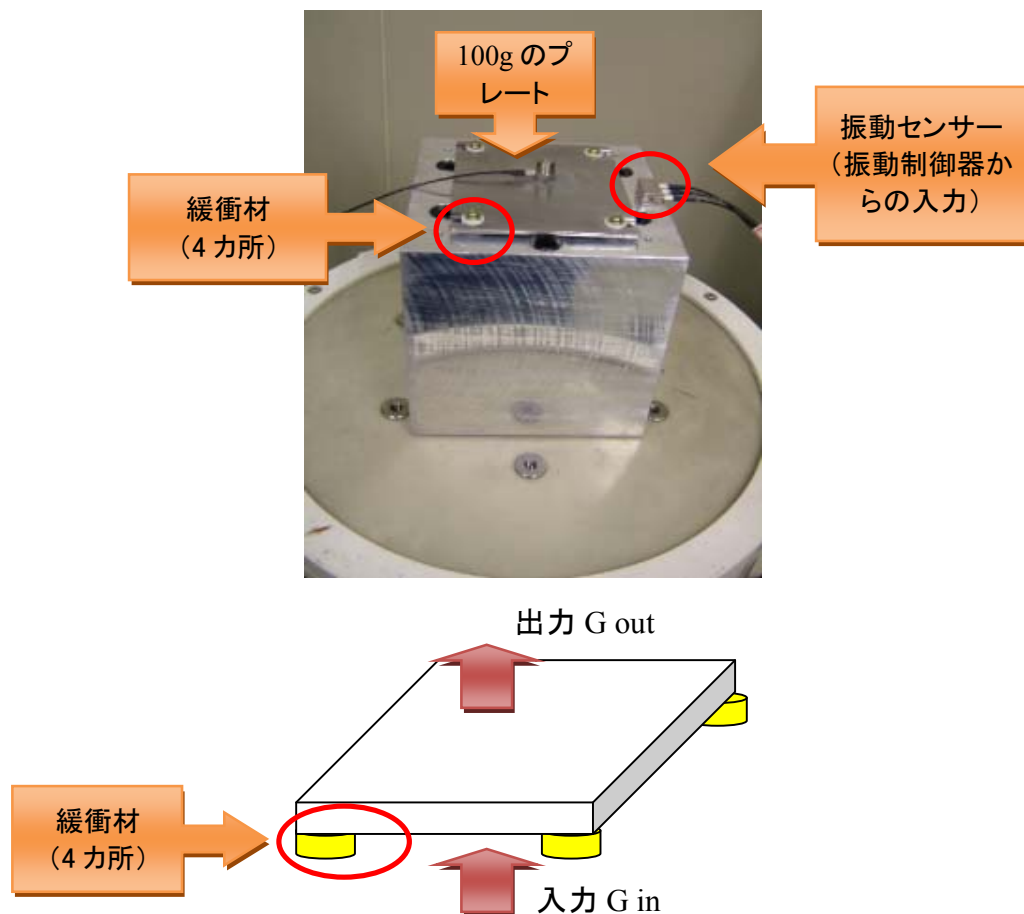


図 5-8 緩衝材の試験環境

表 5-3 複写機振動による HDD 転送速度低下率

周波数 (Hz)	加速度 0-Peak (G)	振動発生源	HDD 転送速度低下率 (%)
25.2	0.05~0.5	紙搬送用 Motor 感光体回転用 Motor	45.9 (A)
65.5			32.4 (B)
176.5			3.8 (C)
428.0			

表 5-3 は、複写機振動の加速度と周波数、複写機に搭載したときの HDD の転送速度低下率を示す。複写機振動の影響により HDD メーカー3 社の転送速度はそれぞれ、45.9%、32.4%、3.8% 低下した。そこで今回、以下のような手順で HDD の転送速度低下の原因を調査するとともに、HDD の転送速度低下を防ぐための設計対策を行った。

- ① HDD に加わる周波数の調査
- ② HDD 転送速度低下を引き起こす周波数の特定
- ③ HDD 緩衝材特性の評価
- ④ HDD と緩衝材を組み合わせたモジュールと上位サブシステムとの適合性検証

HDD に加わる周波数は、25.2 Hz、65.5Hz、176.5Hz、428.0Hz、振動の大きさは 0.05 ~0.5G(0 to Peak)であったが、図 5-7 の試験環境を用い、それぞれの周波数を個別に HDD に加えることで 428Hz の周波数が HDD の転送速度低下を引き起こしていることが判明した。この 428Hz は、複写機に搭載されている用紙搬送用ステッピングモーターの振動の周波数である。

また、HDD の製品仕様書[72][109][110][111]によると、HDD へ加えることのできる振動の周波数帯域と大きさはそれぞれ、5-500Hz、1G (0 to Peak)であるが、今回の複写機の振動検証では、428Hz, 0.05G~0.5G (0 to Peak) の周波数と加速度で HDD の転送速度低下が顕著に表れた。HDD に加わる加速度は小さいが、高周波数帯域においては、HDD 内部のヘッドと磁気記録メディア上に記録されているセクタとのポジショニングが難しいため、転送速度が大きく低下したと考えられる[100]。

次に、緩衝材の特性を評価するために、HDD の重量と同じ 100g のプレートを緩衝材に取り付け、垂直方向に振動の大きさ 0.5 G(0 to Peak)、周波数帯域 10~1000 Hz、速度 1oct/min で掃引させ、緩衝材の減衰帯域および共振周波数、倍率を調査した。図 5-9、表 5-4 に示すように緩衝材 X においては、減衰帯域が 119 Hz~、また共振周波数 82.5 Hz、倍率 7.6 という結果になった。また同様に、緩衝材 Y は減衰帯域が 550Hz~、共振周波数 320Hz、倍率 1.9、緩衝材 Z は減衰帯域が 875Hz~、共振周波数 454Hz、倍率 1.9 という結果になった。

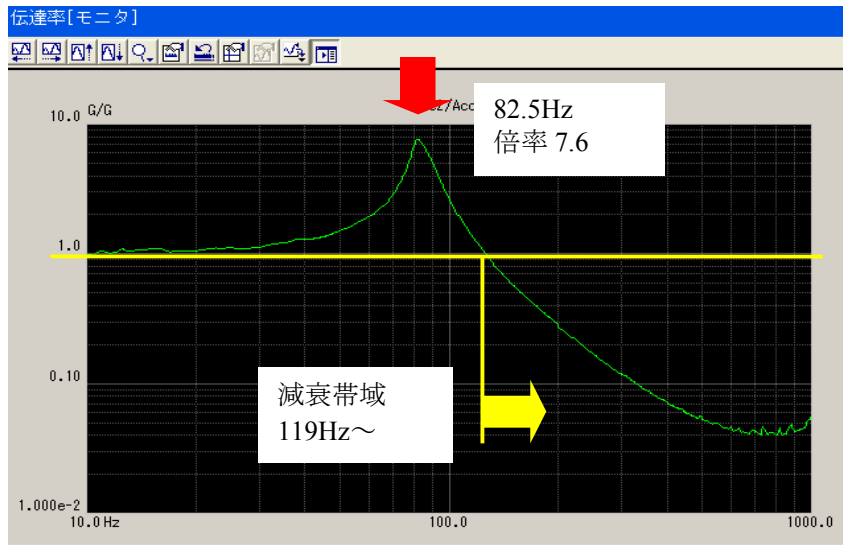


図 5-9 HDD の緩衝材特性

表 5-4 HDD の緩衝材特性

		減衰帯域 (Hz)	共振周波数(Hz) 2.5inch HDD 100g をマウント	倍率
緩衝材	X	119~	82.5	7.6
	Y	550~	320	1.9
	Z	875~	454	1.9

表 5-5 緩衝材を組み合わせた HDD モジュールと上位サブシステムとの適合性

		緩衝材 X	緩衝材 Y	緩衝材 Z	サプライヤー 技術アセスメント
HDD メーカー	A	○ 転送速度低下率 5%以下	× 適合不可	× 適合不可	△
	B	○ 転送速度低下率 5%以下	× 適合不可	× 適合不可	○
	C	○ 転送速度低下率 5%以下	○ 転送速度低下率 5%以下	○ 転送速度低下率 5%以下	◎

表 5-6 設計変更マネジメント手法導入による効果
(人員 3 名による検証期間)

機械的適合性検証	従来 (h)	設計変更マネジメント 適用後 (h)
複写機にHDDを実装した際の 転送速度検証(Read/Write)	8	8
転送速度低下時の原因調査	24	24
設計対策 (HDD実装位置の変更,緩衝材の設置, 画質への影響度の調査)	40	8
設計対策による効果検証 (HDD転送速度の効果検証)	8	8
Total	80	48

HDD A,B,C 社の部品を採用するため、緩衝材とそれぞれの HDD を組み合わせ、上位サブシステムとの適合性を検証した結果を表 5-5 に示す。緩衝材 X を採用することで、全ての HDD に対して転送速度低下率を 5%以下に抑えることができた。今回の事例では、サプライヤーの技術アセスメントの結果、最も優れている HDD C と緩衝材 X の組み合わせを優先的に導入することにした。HDD メーカー C の市場品質は他のサプライヤーと比べ最も優れていることが既に 3 章で証明されていることから、HDD C を製品に導入後も安定した部品品質を保つことができると考えられる。

また今回の HDD 転送速度改善の理由として、HDD の転送速度低下の原因となっていた 428Hz の振動の大きさを、複写機の実機上のテストで 1/5 に低減できたことが挙げられる。図 5-9 の結果から緩衝材 X は、428Hz の振動の大きさを約 1/10 に低減できると考えられたが、HDD モジュールと複写機フレームとの取り付けによるガタ等の影響によって、振動の大きさの低減に誤差が生じたものと考えられる。428Hz の振動の大きさを低減できたことで、HDD 内部のヘッドと磁気記録メディア上に記録されているセクタとのポジショニングが改善し、HDD 転送速度が大きく改善したと考えられる[100]。

また、表 5-6 に示すように、設計変更マネジメント手法を導入したことで、人員 3 名による検証期間は、従来に比べ 40%の短縮化を実現した。従来は、HDD に加わる振動の大きさを低減させるため、複写機内部での HDD 実装位置の変更や、振動発生源における緩衝材の取り付け、更には、設計対策による 2 次的な弊害を検証するためのコピー画質の評価を行っていた。これに対して、設計変更マネジメント手法を導入することで、これら設計対策による品質検証期間が大幅に改善されることが分かった。

また、品質評価期間の短縮化ができていない適合性検証項目、例えば複写機に HDD を実装した際の転送速度検証などは、4 章でも述べたように、部品 EOL 時に必ず検証しなければならない最も重要な評価項目と位置づけられているため、品質評価期間の短縮化には繋がらなかったものと考えられる。

以上より、適合コンポーネントを用いた設計変更マネジメントを行うことで、HDD の代替え評価時に発生した振動による HDD の転送速度低下問題を解決しただけでなく、代替え HDD の選択の幅を広げ、かつ HDD 適合性検証期間を短縮化することができた。

5.5 まとめ

本章では、部品 EOL 時において製品と代替え部品の不適合問題が発生した際に、代替え部品と製品の適合性を短時間で解消するための設計変更マネジメント手法を提案した。設計変更マネジメント手法とは、機械もしくは電氣的なインタフェース問題が発生した場合、適合コンポーネントを組み込んだ部品のモジュール化を行うことで、上位サブシステムとの適合性を向上させるものである。

適用事例として、複写機と HDD の不適合問題を取りあげ、振動に起因する HDD の転送速度低下を解消するため、緩衝材を適合コンポーネントとする HDD のモジュール化を行った。この設計変更マネジメント手法を適用したことで、HDD モジュールと上位サブシステムとの適合性が向上し、EOL 時に導入する代替え HDD の選択の幅を大きく広げることができた。また、設計変更マネジメント手法を導入したことで、設計対策による品質検証期間が大幅に改善できた。

6章 結論と今後の展開

本論文は、製品を構成する部品の EOL 時に、製品の生産を継続して維持し、部品の在庫と部品の調達コストを低減することを目的とし、代替え部品の品質評価期間を短縮化すること、製品と代替え部品の不適合問題を短期間で解消するための3つの方策を提案した。具体的には、1. 信頼性の高く技術力のあるサプライヤーを見極めるための技術アセスメント、2. リーンで効率的な品質評価プロセスの提案、3. 製品と代替え部品の不適合問題を短期間で解消するための設計変更マネジメントの3つであり、生産現場において2万点を超える実データにより検証したものである。

サプライヤーの技術アセスメントは、従来から行われている部品コスト、部品リードタイムだけでなく、従来十分に行われていなかったサプライヤーの保有する技術力を見極めるための技術評価指標を提案するものである。実際、著者の提案した技術評価指標を HDD メーカーに適用した結果、評価点の高い HDD メーカーは、HDD の市場不良率が低く、逆に、評価点の低い HDD メーカーは、HDD の市場不良率が高いことが判明した。この結果は、著者の提案するサプライヤーの技術評価指標の妥当性を証明するものである。提案したサプライヤーの技術評価指標を適用することで、サプライヤー選定後に行う部品品質確認のための物理的テストを減らすことができ、また、部品の品質トラブルの少ないサプライヤーを選定できるようになった。

サプライヤーの技術アセスメントは、部品の EOL 時だけでなく、民生機器メーカーがコストと品質に優れた国内外のサプライヤーを開拓する際にも有効な手段であると考えられる。今後は、本アセスメント評価指標を、こうしたコスト、品質に優れた国内外のサプライヤーの開拓に適用していきたいと考えている。

リーン品質評価プロセスは、品質トラブルの再発防止のため膨大な品質確認項目となりやすい FMEA の評価項目をスリム化するため、QFD や FTA を用いた複合試験、部品内部の設計技術変更点を考慮するなど大幅な評価項目の短縮化を狙った部品品質評価プロセスである。本プロセスを複写機やプリンタに搭載されている HDD へ適用した結果、品質評価項目のスリム化と品質評価期間の短縮化、更には EOL 時の部品切り替え

が迅速になることでコストの安い代替え部品を増やすことができた。また、本プロセスの適用前後で複写機に搭載された 1000 個あたりの HDD の不良率に変化がないことから、本プロセスの品質検証のあり方に問題ないことを確認した。

リーン品質評価プロセスは、製品設計の初期段階で実施する部品品質確認のための FMEA においても、適用可能であると考えられる。そこで、製品設計の初期段階で、本プロセスの適用を検討したいと考えている。

FMEA や FTA を含むさまざまな品質評価に関する取り組みをおこなってもなお、製品と代替え部品との不適合問題が生じてしまう。そこで、部品 EOL 時において製品と代替え部品の不適合問題が発生した際に、代替え部品と製品の適合性を短期間で解消するための設計変更マネジメント手法を提案した。

具体的には、機械もしくは電氣的なインタフェース問題が発生した場合、適合コンポーネントを組み込んだ部品のモジュール化を行うことで、上位サブシステムとの適合性を向上させるものである。

適用事例として、複写機と HDD の不適合問題を取りあげ、振動に起因する HDD の転送速度低下を解消するため、緩衝材を適合コンポーネントとする HDD のモジュール化を行った。この設計変更マネジメント手法を適用したことで、HDD モジュールと上位サブシステムとの適合性が向上し、EOL 時に導入する代替え HDD の選択の幅を大きく広げることができた。また、設計変更マネジメント手法を導入したことで、設計対策による品質検証期間が大幅に改善できた。

本手法は EOL 時の代替え部品の対応だけでなく、製品設計の初期段階においても適用可能であると考えられる。今後は、予め適合コンポーネントを用いた代替え部品のモジュール化を進め、製品設計の初期段階での適用を検討したいと考えている。

以上より、本論文は、サプライヤーの技術アセスメント、リーン品質評価プロセス、設計変更マネジメント手法といったそれぞれの研究分野を、実際の製品設計、製品の生産フェーズに適用することで、部品 EOL 時における代替え部品の品質評価期間の短縮化を実現した。その結果、製品の生産を継続して維持できるようになっただけでなく、部品在庫の低減および、部品の調達コスト低減に大きく寄与することができた。

しかしながら、民生機器メーカーが部品評価を行うにあたって、開発部門や、評価部門といった、さまざまな部門が使用する評価用装置の予約待ちや、品質評価のための実験装置の開発、更には EMI (Electro Magnetic Interference) 測定のような大規模な評価設備の予約待ちといったことが現場で日常的に発生している。部品の品質評価期間を短縮するためには、こうした評価装置の準備、評価設備の使用待ちを減らすための運用上の改善を行っていく必要がある。

また、部品の品質評価を迅速に行うためには、部品評価に対する技術スキルを解消しなければならない。特に、日の浅い技術者が迅速な部品評価を行うためには、その部品の特性（機械的な特性、電気的な特性等）を理解する必要がある、またその部品を組み込む製品側の設計仕様の理解、さらには部品の品質評価を行うための各種設備、評価装置の使用方法を理解する必要がある。本論文の事例で用いた HDD の場合、HDD に加わる振動と HDD の転送速度低下の関係を調査するためには、HDD の転送速度装置の操作法と、振動の周波数を調査する FFT(Fast Fourier Transform)アナライザを使いこなさなければならない。

また、電気信号の特性、例えば、HDD を制御するホスト側から、HDD に対して読み取り信号を送った際に、読み取りの完了を示す割り込み信号を調査するためには、HDD のコマンド制御を確認するバスアナライザや、電気信号を確認するオシロスコープなどの装置を使いこなさなければならない。部品の品質評価を迅速に行うためには、部品評価のための評価装置や設備を整えるだけでなく、こうした評価用装置を使いこなす技術者のスキルアップが必要である。

また、2章で提案した、システムティック品質評価プロセスでは、サプライヤーのコスト調査、部品リードタイム、技術アセスメント、また、部品の品質評価項目を決めるための FMEA の実施や、製品と部品の適合性を検証するための物理テスト、更には部品の品質評価をスリム化するための QFD や FTA を用いた複合試験の導入、これら品質評価のためのアクティビティーは、相互に関連している。EOL 時における部品の品質評価を迅速に行うためには、それぞれのアクティビティーをコンカレント（同時進行）で実施しなければならないケースや、DSM(Design Structure Matrix)を使い、部品の品質評価の手戻りが発生しないような品質評価プロセス全体を最適化する必要がある。

さらに、3章で提案したサプライヤーの技術アセスメントを運用するためには、定期的にサプライヤーの技術アセスメントを行い、アセスメント結果を常に最新の情報に更新しておく必要がある。技術アセスメント結果を常に更新しておくことで、突発的に部品 EOL が発生した際に、民生機器メーカーは、サプライヤーを短期間で評価することができる。

以上より、部品の品質評価期間を更に短縮するためには、こうした評価装置の準備や評価設備の使用待ちを減らすための運用上の改善、更には、技術者の部品に対する技術特性の理解や、評価装置を使いこなすためのスキルアップ、サプライヤーの技術アセスメントの定期的な実施と技術アセスメント結果の更新といった現場サイドでの運用の改善を必要とする。

参考文献

- [1] 部品調達体制を再構築：見える化と事業継続性がカギ，日経エレクトロニクス，pp.30-39，2011年6月.
- [2] スケール・メリットを徹底追求：部品メーカーとの関係を強化，日経エレクトロニクス，pp.40-44，2010年4月.
- [3] 取引先半減で5000億円削減調達業務の全社最適目指す，日経情報ストラテジー，pp.40-41，2010年1月.
- [4] 中村謙治，適正在庫のノウハウ：経営課題をブレイクダウンする，秀和システム，2011.
- [5] 過去の資産はなるべく流用：他部門の余計な業務を抑える，日経デジタルエンジニアリング，pp.84-91，2010年10月.
- [6] 佐藤嘉彦，実践的モジュラーデザイン，日経ものづくり，pp.79-85，2010年6月.
- [7] 徹底した原価削減を追求：在庫を減らせば問題点が見える，日経ものづくり，pp.138-142，2006年1月.
- [8] トヨタ生産方式の真髄と新展開：資材購買管理部門への展開，日経ものづくり，pp.134-138，2006年12月.
- [9] 若井吉樹，リードタイム短縮でITへの依存を最小に，日経情報ストラテジー，pp.124-127，2011年11月.
- [10] 若井吉樹，「みなし在庫」機能で部品在庫を自動管理，日経情報ストラテジー，pp.114-117，2011年5月.
- [11] 若井吉樹，ITは在庫を減らす縁の下の力持ち，日経情報ストラテジー，pp.90-93，2011年2月.
- [12] 若井吉樹，「先入れ先出し」で組み付け履歴を簡略化，日経情報ストラテジー，pp.106-109，2011年6月.
- [13] 若井吉樹，「見える化」だけでは改善にはつながらない，日経情報ストラテジー，pp.100-103，2011年9月.

- [14] 若井吉樹, IT は魔法の杖にあらずモノづくり改善が先決, 日経情報ストラテジー, pp.146-149, 2011年1月.
- [15] 若井吉樹, 工程と作業標準の見直し基準情報の精度を向上, 日経情報ストラテジー, pp.90-93, 2011年4月.
- [16] 工場の存続を懸けてセル生産の改革が始まる, 日経ものづくり, pp.40-45, 2004年7月.
- [17] 田村誠一, カンバンとMRPで理解するジャストインタイム生産, 日経ITプロフェッショナルズ, pp.130-13, 2004年3月.
- [18] 若井吉樹, ものの流れを見直してセル生産の効率向上, 日経情報ストラテジー, pp.84-87, 2011年8月.
- [19] 若井吉樹, 現場と情報システムの考えを合わせよう, 日経情報ストラテジー, pp.84-87, 2011年7月.
- [20] 若井吉樹, 整理整頓は現場の基本使いやすい環境を作れ, 日経情報ストラテジー, pp.82-85, 2011年3月.
- [21] 存在感増す部品メーカー供給不安は今後も続く, 日経エレクトロニクス, pp.32-39, 2010年10月.
- [22] アジア部品供給網、度重なる試練、日経ビジネス、pp.8-9、2011年7月.
- [23] タイ大洪水がPC生産に痛撃、日経コンピュータ、pp.13、2011年11月.
- [24] 供給網の源流の見える化を促進せよ、日経情報ストラテジー、pp.38-41、2011年9月.
- [25] 部品調達体制を再構カギ 日経エレクトロニクス, pp.30-39, 2011年6月.
- [26] 西裕志, 住原敏明, 緻密なサプライヤー選定で原価を引き下げる, 日経システムズ, pp.134-139, 2008年9月.
- [27] 坂本太郎, 部品購買だってアウトソース: 共同調達と委託調査で得るコスト競争力, 日経エレクトロニクス, pp.125-130, 2009年9月.
- [28] 石山敬幸, 新しい信頼性の技術 FMEA と FTA, 日本オペレーションズ・リサーチ学会, Vol. 21, No. 8, pp. 432-441, 1976.

- [29] 牧野鉄治, FMEA と FTA, 日本オペレーションズ・リサーチ学会, Vol. 27, No. 12, pp. 677-681, 1982.
- [30] McDermott. R, Mikulak. R, and Beaugard. M, The basics of FMEA, Business & Economics, 1996.
- [31] Carter. C, Kaufmann. L, Beall. S, Carter, P, Hendrick. T, and Petersen. K, Reverse auctions-grounded theory from the buyer and supplier perspective, Transportation Research, Part E, Vol. 40, No. 3, pp. 229-254, 2004.
- [32] 森浩典, 分業型生産体制における高度情報化の有効性—自動車部品取引を事例として—, 日本大学大学院総合社会情報研究科紀要, No.7, pp. 23-33, 2006.
- [33] 加藤智也, 横井茂樹, 安田孝美, インターネットにおけるバイヤードリブンビジネスモデルに関する考察, 情報文化学会全国大会講演予稿集, pp. 18-21, 2000.
- [34] 石井光二, 海外生産によるコスト低減: 品質確保の方策とともに進めた事例, 日本品質管理学会, Vol. 25, No.3, pp. 46-53, 1995.
- [35] 豊田健, 日系自動車サプライヤーの完成車メーカーとの部品取引から見た今後の展望, 開発金融研究所, No. 15, pp. 20-37, 2003.
- [36] 若槻直, 製造業のサプライチェーンマネジメントの設計と管理, 産業経営研究, No. 27, pp. 73-86, 2005.
- [37] 菱山玲子, 石田亨, e-調達基盤のための生産仕様のセマンティクスとその調整メカニズムの考察, 日本社会情報学会学会誌, Vol. 16, No. 1, pp. 59-75, 2004.
- [38] Lee. A, Kang. H, Hsu. C, and Hung. H, A green supplier selection model for high-tech industry, Expert Systems with Applications, Vol. 36, No. 4, pp. 7917-7927, 2009.
- [39] Handfield. R, Walton. S, Sroufe. R, and Melnyk. S, Applying environmental criteria to supplier assessment: A study in the application of the Analytical Hierarchy Process, European Journal of Operational Research, Vol. 141, No. 1, pp. 70-87, 2002.
- [40] Shin. H, Collier. D, and Wilson. D, Supply management orientation and supplier/ buyer performance, Journal of Operations Management, Vol. 18, No. 3, pp. 317-333, 2000.
- [41] Kannan. V, and Tan. K, Supplier Selection and Assessment: Their Impact on Business Performance, Journal of Supply Chain Management, Vol. 38, No. 4, pp. 11-21, 2002.

- [42] Verma. R, and Pullman. M, An Analysis of the Supplier Selection Process, International Journal of Management Science, Vol. 26, No. 6, pp. 739–750, 1998.
- [43] Olsen. R, and Ellram. L, A Portfolio Approach to Supplier Relationships, Industrial Marketing Management, Vol. 26, No. 2, pp. 101–113, 1997.
- [44] Ellram. L, The Supplier Selection Decision in Strategic Partnerships, Journal of Purchasing and Material Management, Vol. 20, No. 4, pp. 8–14, 1990.
- [45] 藤本隆宏, 西口敏宏, 伊藤秀史, サプライヤー・システム：新しい企業間関係を創る, 有斐閣, 1998.
- [46] 藤木邦彦, 変わる自動車部品取引—系列解体, エコノミスト社, 2002.
- [47] 仲本大輔, 下請け企業の顧客開拓戦略, 大分大学経済論集, Vol. 58, No.4, pp. 75–94, 2006.
- [48] 花村和男, 廣瀬幸雄, 生産革新に対応した工程の FMEA・FTA による品質問題の未然防止活動, システム制御情報学会誌, Vol. 52, No. 4, pp. 148-152, 2008.
- [49] 和田浩, 複合型解析技法 FMFEA の活用, 日本信頼性学会誌, Vol. 24, No. 8, pp. 799-802, 2002.
- [50] 和田浩, リスク解析に適応する複合型解析技法 FMFEA について, 日本信頼性学会誌, Vol. 24, No. 4, pp. 341-342, 2002.
- [51] 山科隆伸, 森崎修司, 大規模ソフトウェアの保守開発を対象とした故障モード影響解析(FMEA)適用の試み, Unisys技報, Vol. 28, No. 4, pp. 497-511, 2009.
- [52] 山科隆伸, 森崎修司, 飯田元, 松本健一, 保守開発型ソフトウェアを対象としたソフトウェア FMEA の実証的評価, ソフトウェア品質シンポジウム 2008 発表報文集, pp.157-164, September 2008.
- [53] 宮村鐵夫, 設計の思考プロセスにそった FMEA の概念整理と信頼性表への活用, 社団法人日本品質管理学会誌, Vol. 29, No. 1, pp. 91-103, 1998.
- [54] 松岡敏成, 品質工学を融合した信頼性評価への改善, 信頼性シンポジウム発表報文集, No. 22, pp. 69-72, 2009.
- [55] 松岡敏成, 電子部品の信頼性試験ガイド, 日本信頼性学会誌, Vol. 30, No. 3, pp. 280-285, 2008.

- [56] 戸井恵子, 最近の信頼性試験について, 日本信頼性学会誌, Vol. 21, No. 6, pp. 338-342, 1999.
- [57] 袖浦稔, 鈴木和幸, 信頼性寿命評価方式の検討とその応用に関する研究, 日本信頼性学会誌, Vol. 18, No. 7, pp. 597-600, 1996.
- [58] 論理力を鋭く組織的に正解を導く, 日経ものづくり, pp.49-53, 2009年12月.
- [59] 中里博明, 平栗昇, 川崎浩二郎, 大滝厚, 品質管理のための実験計画法テキスト, 日科技連, 1993.
- [60] Akao, Y, Eppinger, S, Quality Function Deployment QFD: Integrating Customer Requirements into Product Design, Productivity Press, 2004.
- [61] 赤尾洋二, 商品開発のための品質機能展開: 知識変換の SECI モデルと QFD, 日本規格協会, 2010.
- [62] 赤尾洋二, 品質展開入門, 日科技連出版社, 1993.
- [63] ReVelle, J, Moran, J, Cox, C, The QFD handbook, Wiley, 1998.
- [64] 石井浩介, 飯野謙次, 価値づくり設計, 養賢堂, 2008.
- [65] Xie, M, Tan, K, Goh, T, Advanced QFD applications, Amer Society for Quality, 2003.
- [66] Madu, C, House of Quality (Qfd) in a Minute: Quality Function Deployment, Chi Pub, 2006.
- [67] 西浦友子, 山田秀, 不具合情報に基づくデザインレビュー項目構築に関する研究, 日本品質管理学会誌, Vol. 40, No. 4, pp. 411-419, 2010.
- [68] 向原益次, 新製品開発における設計審査の仕組み: プロセス重視の仕組みづくり, 日本品質管理学会誌, Vol. 26, No. 4, pp. 18-23, 1996.
- [69] 相模静夫, 稲垣悟, 伊藤正博, 高橋正弘, 萩原正明, 村野浩, 市川与志彦, 高橋英俊, 富士ゼロックスはなぜ開発の手戻りを6割減らせたのか: ものづくり革新「デジタル・ワーク・ウェイ」の全貌, 日経BP, 2011.
- [70] 橋本昌嗣, 耿春, 平田哲也, 柿本正憲, 中村維男, リアルタイム・ビジュアル・デザインレビュー・システムの設計と実装, 情報処理学会研究報告, Vol. 117, pp. 75-80, 2003.
- [71] 清水浩和, 吉村達彦, 問題発見に着目した信頼性問題未然防止手法について, 日本機械学会論文集C編, Vol. 70, No. 689, pp. 243-250, 2004.

- [72] 藤本隆宏, 生産システムの進化論, 有斐閣, 1997.
- [73] 藤本隆宏, 自動車の設計思想と製品開発能力, 東京大学 COE ものづくり経営研究センター, MMRC Discussion Paper No.74, 2006.
- [74] 延岡健太郎, 新世代 CAD による製品開発の革新, 神戸大学国民経済雑誌, Vol. 176, No.6, pp. 63–76, 1997.
- [75] 田村誠一, 基幹業務の中核は「部品表」統合化に動くトヨタ自動車, 日経 IT プロフェッショナルズ, pp.116-119, 2004 年 2 月.
- [76] Browning. T, Applying the design structure matrix to system decomposition and integration problems: a review and new directions, Engineering Management IEEE, Vol. 48, Issue. 3, pp. 292–306, 2001.
- [77] Yassin. A, An introduction to modeling and analyzing complex product development processes using the design structure matrix (DSM) method, University of Illinois at Urbana-Champaign, Vol. 51, Issue. 9, pp. 1–17, 2004.
- [78] Carrascosa. M, Eppinger. S, Whitney. D, Using the design structure matrix to estimate product development time, Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conferences Design Automation Conference, pp. 1–10, 1998.
- [79] Zhong. P, Song. J, Liu. M, DSM based process analysis for concurrent product development and its implementation, Computer Supported Cooperative Work in Design 12th International Conference, pp. 619 – 624, 2008.
- [80] Smith. R, Eppinger. S, Identifying controlling features of engineering design iteration, Management Science Journal, pp. 276-293, 1997.
- [81] C. Alves and J. Castro, CRE: A Systematic Method for COTS Components Selection, Brazilian Symposium on Software Engineering, Brazil, 2001.
- [82] Jiang. XJ, Wang. ZH, Sun. HX, Chen. XM, Zhao. TL, Zhou. CY, Yu. GH and Zhang. L, Suitability analysis of commercial off-the-shelf components for space application, Proceedings of the institution of mechanical engineers part G-Journal of aerospace engineering, Vol. 220, No. G5, pp. 357-364, 2006.
- [83] Jain. R, Chandrasekaran. A, Erol. O, A Systems Integration Framework for Process Analysis and Improvement, Systems engineering, Vol. 13, No. 3, pp.274-289, 2010.

- [84] J. Bosch, Superimposition: a component adaptation technique, Information and Software Technology, Vol. 41, Issue. 5, pp. 257-273, 1999.
- [85] S. Becker, A. Brogi, I. Gorton, S. Overhage, A. Romanovsky, and M.Tivoli, Towards an Engineering Approach to Component Adaptation, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3938, pp. 193-215, 2006.
- [86] I. Mouakher, A. Lanoix, and J. Souquières, Component Adaptation: Specification and Verification, 11th International Workshop on Component Oriented Programming, France, 2006.
- [87] 日野三十四, 設計情報を「編集」して効率的に開発 社内に体制とシステムを整備するーMD成果の適用「編集開発」, 日経ものづくり, pp.82-86, 2010年2月.
- [88] 星山仁美, 山田祥寛, 工程で違う導入のしやすさテスト回数と準備に着目, 日経システムズ, pp.100-103, 2010年1月.
- [89] “基盤ありき”が最大の違い並列性高める工夫は必須, 日経システムズ, pp.34-45, 2009年12月.
- [90] 網羅性が重要な単体テスト 結合テストは処理結果で確認, 日経システムズ, pp.72-77, 2009年8月.
- [91] 箱嶋俊哉, 欠陥を見つける最後の砦“意地悪”な観点を持つ, 日経システムズ, pp.126-129, 2007年3月.
- [92] 専門家が使うテスト技法一覧, 日経エレクトロニクス, pp.68-69, 2007年4月.
- [93] 廣田豊彦, ソフトウェアのテストについて, 九州産業大学情報科学会誌, Vol. 3, No. 1, pp.40-43, 2004.
- [94] Dalal. S, Factor-Covering Designs for Testing Software, American Statistical Association and the American Society for Quality, Vol. 40, No. 3, pp.234-243, 1998.
- [95] Kojima. K, Japanese supplier relations: A comparative perspective, Kobe Economic & Business Review, No. 44, pp. 53-76, 1999.
- [96] Fujitsu Corporation, MHV2100AT hard disk drive product manual, Fujitsu, 2004.
- [97] Samsung Electronics, 2.5 Hard Disk Drive M40 Series Product Manual, SAMSUNG, 2004.
- [98] Toshiba Corporation, MK8032GAX / MK6032GAX / MK4032GAX Product Specification, Toshiba, 2005.

- [99] Hitachi Global Storage Technologies, Hitachi Travelstar 5K100 Hard Disk Drive Specification, Hitachi GST, 2004.
- [100] 岡村博司, ハードディスク装置の構造と応用, QC 出版社, 2002.
- [101] Wei. H, Ni. S, and Liu. B, ABS Designs for Load/Unload and Shock Resistance, IEICE Transactions on Electronics, E85C, No. 10, pp. 1789–1794, 2002.
- [102] RoHS 改正指令が 7 月 21 日に発効 対象範囲拡大と CE マーク導入へ、日経エコロジー、pp.99、2011 年 10 月.
- [103] 設計情報との一元管理で化学物質の含有状況に設計段階から配慮、日経ものづくり、pp.146、2010 年 7 月.
- [104] リスク管理へ化学物質規制が激変—今こそ「REACH 規則」に学べ、日経ものづくり、pp.69-74、2008 年 8 月.
- [105] WEEE 指令と RoHS 指令を見直し影響力強める EU 環境規制、日経エコロジー、pp.135、2009 年 3 月.
- [106] 大藤正, 小野道照, 永井一志, QFD ガイドブック、日本規格協会、1997.
- [107] 赤尾洋二、品質機能展開、日本品質管理学会、Vol.40, No.1 ,pp.37-40, 2010.
- [108] JY. Juang and DB. Bogy, Air-Bearing Effects on Actuated Thermal Pole-Tip Protrusion for Hard Disk Drives, Journal of Tribology-Transactions of the ASME, Vol. 129, No. 3, pp. 570-578, 2007.
- [109] 木谷晃久, 佐々波素子, 清板勝, 購入部品の品質保証活動, 富士通, Vol. 58, No. 4, pp. 354–359, 2007.
- [110] 廣畑賢治, 田窪知章, 高橋邦明, 高性能デジタル機器用エレクトロニクス実装の信頼性設計, 東芝レビュー, Vol. 60, No. 5, pp. 6–9, 2005.
- [111] 金子浩一, 中島健一, 能勢豊一, 製造業における品質保証の体系化に関する研究, 大阪工業大学紀要 理工篇, Vol. 50, No. 2, pp. 21–41, 2005.

研究業績

学術雑誌掲載論文

1. 都丸孝之, 中野冠, 西村秀和, 部品EOLによる代替え品導入のためのリーン品質評価プロセス, 日本設備管理学会, Vol. 22, No. 4, pp. 144-149, 2011.
2. T. Tomaru, M. Nakano, and H. Nishimura, Supplier quality assessment to identify depth technical knowledge of component reliability, Production planning and control, 2011. (Accept)
3. 都丸孝之, 西村秀和, 中野冠, コンポーネント EOL 時における代替え品の適合性向上のための設計変更マネジメント, 日本設備管理学会、Vol. 23, No. 3, pp. 155-161, 2011.

国際会議論文(査読付きの full-length papers)

1. Tomaru. T, Nishimura. H, and Nakano. M, A systematic approach of quality verification for efficient replacement in case of component EOL, Proceedings of the 3rd Annual Asia-Pacific Conference on Systems Engineering, Singapore, 2009.
2. T. Tomaru, M.Nakano, and H. Nishimura, Cost reduction project by applying systematic approach of component quality verification, Proceedings of the 4th Asia-Pacific Conference on Systems Engineering, Taiwan, 2010.

国内会議など発表

1. 都丸孝之, 西村秀和, 中野冠, コンポーネントEOL 時における代替え品の適合性向上のための設計変更マネジメント, 日本設備管理学会春季発表大会(2011)

謝辞

本論文は筆者が慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科システムデザイン・マネジメント専攻 博士後期課程に在籍中の研究成果をまとめたものである。同研究科教授 西村秀和先生には指導教員として、同研究科教授 中野冠先生には副指導教員として本研究の実施の機会を与えて戴き、その遂行にあたって終始ご指導を戴きました。

特に、西村秀和先生には、本研究科の入学前から研究計画の指導を頂くとともに、スタンフォード大学へのインターンシップのサポート、私自身が研究と会社の業務の両立について悩んでいたときに、いつも励ましのお言葉をかけて頂きました。研究に対する数々の叱咤激励がなければ、このような論文をまとめあげることはできませんでした。

また、中野冠先生には、私の会社の業務課題について常に親身に相談にのって頂いただけでなく、その業務課題を研究に落とし込むための方向性を指し示してくれました。私の初めての経験となる海外の学会誌に論文が掲載されたのは、まさしく中野先生の懇切丁寧な指導のおかげです。また、中野先生のおかげで、モノ作りに関する学外の研究者、大手企業、更にはヨーロッパ、アジアの留学生との人脈を築くことができました。

システムデザイン・マネジメント研究科 前委員長 狼嘉彰先生、同研究科 前副委員長 日比谷孟俊先生、同研究科委員長 前野隆司先生には研究はもちろんのこと、「木を見て森を見る」「T型からII型へ」「リーダーシップの重要性」等々、普段会社の業務を行う上で、ふと忘れてしまいがちな企業人として養うべき数々の心構え、ご助言を戴くことができました。特に、狼嘉彰先生には、私の博士審査会の審査員を快く受けて頂いただけでなく、会社の実務で悩んでいた際にも、暖かい励ましのお言葉をかけて頂きました。

慶應義塾大学大学院経営管理研究科 委員長 河野宏和先生には、ご多忙の中、私の博士審査会の審査員を受けて頂いただけでなく、本論文を作成するにあたって学術と実務の2つの視点で、数々のご指導を頂きました。特に、河野先生の講義を通じ、製造現場

に足を運び、ムダを認識することの重要性、また、現場改善を継続し続けることの重要性を改めて認識することができました。

また、故 スタンフォード大学機械工学科 教授 石井浩介先生は、大手自動車会社の製造現場に行く機会を私に与えて下さっただけでなく、モノ作りで最も大事な製造現場に何度も足を運ぶこと、製造現場の課題を現場の作業員、管理者と共に解決することの重要性を示して下さいました。

本研究科 システムダイナミクス&マネジメント研究室、並びに、ビジネスエンジニアリング研究室の各位には、私の研究の遂行にあたり日頃より有益な討論、ご助言を戴くことができました。

富士ゼロックス株式会社 基盤研究所、開発部門、生産技術部門、人事部門の協力のおかげで、途中で挫折することなく最後まで研究に集中することができました。また、私の家族の協力がなければ、こうして最後まで研究を遂行することはできませんでした。

本論文を作成するにあたって協力して下さいました全ての方々に、深く感謝申し上げます。

最後に、本研究の一部は文部科学省グローバル COE プログラム「環境共生・安全システムデザインの先導拠点」に依るものであることを記し、謝意を申し上げます。