

未然防止実現のための工程 FMEA 実践アプローチ

辻本 靖

(株)日本能率協会コンサルティング

要旨

昨今、企業の品質問題が頻繁に取り上げられている。その影響は企業の存続を脅かすまで大きくなっており、品質を確保するための取組みが様々行われるようになってきた。その中で、QCサークルをはじめ今まで製造業が取り組んできた「問題解決の取組み」だけでなく、問題発生の際を事前に取り除く「未然防止」の取組みが重要課題として位置づけられてきている。特に生産準備段階では、不具合を生じさせない製造工程と管理の仕組みを早期に確立することが課題であり、その課題を解決するアプローチの一つに「工程 FMEA」がある。

しかし、工程 FMEA の実務の実態としては、「過去の経験からの振り返りによる再発防止」の域を脱しておらず、これまでに起きていない事象も含めた「品質不具合の予測」が不十分なため、真の未然防止を実現できていない。本論文は、これらの問題を解決するための工程 FMEA の進め方について、実践で得られた結果をもとにまとめたものである。

まず、工程 FMEA の実務の実態として、以下の3点が問題点であると認識した。

- 1 生産時に起こりうる品質不具合（以下リスク）とその要因を十分に洗い出せていない
- 2 網羅的かつ優先順位付けされた形でリスク対策の検討ができていないため、有効な対策になりえていない
- 3 工程 FMEA 検討結果を対策実施まで落としこめていない

これらの問題に対して、以下の取組みを推進した。

- 1 リスク網羅性確保を狙った、検討枠組み設計によるリスク抽出
- 2 リスク要因の深掘レベル向上を狙った、作業条件定義からのリスク要因抽出
- 3 投資対効果最大化を狙った、リスク対策立案
- 4 リスク対策に関する関連部門の効率的合意形成を狙った、チームによる推進

これらの取組みの結果、過去の不具合事象からのリスク抽出に留まらず、新たなリスクの発見と対策立案につながった。また、リスク、対策、その対策反映先を明確にすることで、対策実施の根拠が明確になり、複数の関連部門に分担される対策も実施まで落としこめた。

工程 FMEA 自体はこれまでの多くの企業で取り組まれている手法であるが、実務におけるポイントを確実に遂行することによって、想定される全てのリスクの予測が可能となり、未然防止レベルを向上させることができる。

◆目次

- I. はじめに
- II. 工程 FMEA の位置づけと実務の実態
- III. 工程 FMEA の革新ポイント
- IV. 具体的アプローチ
- IV. まとめと今後の課題

I. はじめに

昨今、企業の品質問題が頻繁に取り上げられている。その影響は企業の存続を脅かすまで大きくなっており、品質を満足するための取組みが様々行われるようになってきた。

一方、製品ニーズの多様化や環境制約から製品の複合度は高まり、要求精度は厳しくなっている。その中で企業は新たな技術の採用を強いられ、自社での新規技術開発だけではなく、外製対応化も進んでおり、開発・製造におけるマネジメントも複雑化している。また、企業の体制面に目を向ければ、ベテラン技術者や熟練者の退職、若手、非正社員化の増大に伴い、製造現場の能力低下も見られる状況である。

このように、品質問題による影響度とその発生可能性が大きくなる中、製造・生産部門としては、QCサークルをはじめ今まで取り組んできた「問題解決」の取組みだけでなく、問題を起す前にその兆候を取り除く「未然防止」の取組みが必要不可欠となってくる。

特に生産準備段階では、不具合を生じさせない製造工程と管理の仕組みを早期に確立することが課題であり、その課題を解決するアプローチの一つに「工程 FMEA」がある。しかし、工程 FMEA の実務の実態としては、「過去の経験からの振り返りによる再発防止」の域を脱しておらず、これまでに起きていない事象も含めた「品質不具合の予測」が不十分なため、真の未然防止を実現できていない。そこで本論文では、起こりうる品質不具合を網羅的に洗い出し、真の未然防止を実現する工程 FMEA のアプローチについて述べる。

II. 工程 FMEA の位置づけと実務の実態

工程 FMEA とは、「作業工程において、製品品質を損なう不具合事象（以下リスクという）を特定し、定量的に重み付けをした上で、対策・管理をしていく元情報を生成すること」と定義することができる。つまり、作業工程におけるリスクを抽出し、そのリスクを軽減させる対策を効果的に製造システム（ここでは、製造工程と製造の 4M 管理）に反映する作業である。単に工程設計のインプット情報ではなく、適合品質を満足するために製造現場で実施する全ての活動の要件を導き出すものである。（図 1 参照）

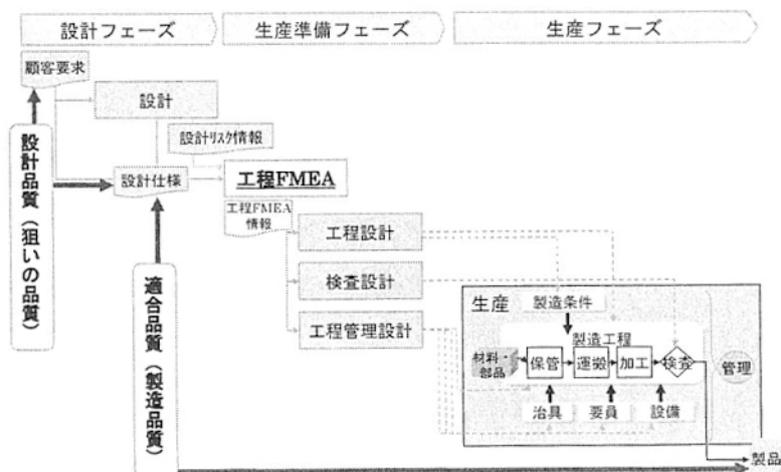


図 1. 工程 FMEA の位置づけ

この定義に照らして、現在の工程 FMEA の実務の実態を整理した。問題を層別すると、生産時に起こりうる品質不具合とその要因を十分に洗い出せていない点、網羅的かつ優先順位付けされた形でリスク対策の検討ができていないため、有効な対策になりえていない点、工程 FMEA 検討結果を実施まで落としこめていない点の 3 点が挙げられる。

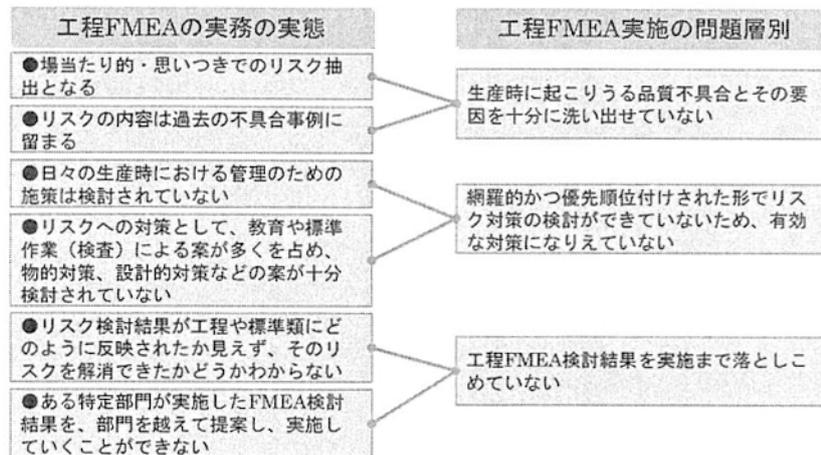


図 2. 工程 FMEA 実施上の問題点

Ⅲ. 工程 FMEA の革新ポイント

これらの問題に共通することは、「これまで起こった品質不具合事象」や「これまで取り組んだことのある対策」については検討できているが、それ以外のリスク発生可能性や対策内容についての検討が不十分であることである。つまり、「再発防止」の検討はできているものの、真の「未然防止」の取組みになっていない、ということである。これらの問題に対して、これまでに発生した不具合事象も含め想定される全ての可能性を予測し、様々な角度からの対策が立案・実施されなければならない。そこで、工程 FMEA の実務においては、以下の 4 点が重要なポイントとなる。

1 つ目は、「リスク網羅性確保の視点」である。工程 FMEA で特に重要な点は、いかにリスクを網羅的に洗い出すかである。リスクが洗い出せなければその対策も検討できず、製造の品質保証レベルは向上しない。そこで、リスクを洗い出す検討の枠組みを設計することによって、思いつきや過去の経験にとらわれず、リスクを予測することが可能となる。工程の特性把握と工順展開、及びリスク種類の観点によりこの枠組みを設計するので、どの工程に対しても同じ考え方で展開できる。

2 つ目は、「リスク要因の深堀レベル向上の視点」である。洗い出したリスクから有効な対策を導き出すためには、そのリスクを引き起こす要因を漏れなく洗い出すことが必要となる。そこで、原理原則を踏まえて、品質を確保する作業条件を定義し、リスク要因を展開するアプローチをとる。静的な正しい作業条件を損なう要因、及びその条件を変動させる要因を挙げていくアプローチである。正しい作業条件を漏れなく構造化できれば、リスク要因も漏れなく抽出でき、予測レベルを向上させることが可能となる。

3つ目は、「投資対効果最大化を狙った対策立案検討の視点」である。全てのリスクを網羅した後は、優先順位を付けてより有効な対策を展開する必要がある。上記リスク抽出同様、思いつきや過去の経験から対策を検討するのではなく、4Mの視点、設計的対策から管理系対策まで網羅性を確保する必要がある。また、RPNや対策検討順序の視点により、有効な対策を選定し、投資対効果の最大化を狙っていくことが重要である。

4つ目は、「リスク対策に関する関連部門の効率的合意形成」である。工程FMEAによる対策を立案実施する部門は複数部門にまたがるのが通常である。このとき、ある一部門が工程FMEAを実施し、その対策を合意していくステップを踏むよりも、工程FMEAの情報を必要とする部門が集まりチームで推進するほうが、はるかに効率的に対策実施まで落とし込むことが可能となる。

以上4つのポイントを挙げたが、不具合を発生させない製造工程、管理の仕組みを構築するためには、「いかにリスクを予測できるか」にかかっている。ゆえに、「リスク網羅性確保の視点」と「リスク要因の深堀レベル向上の視点」は工程FMEAの要であると言える。

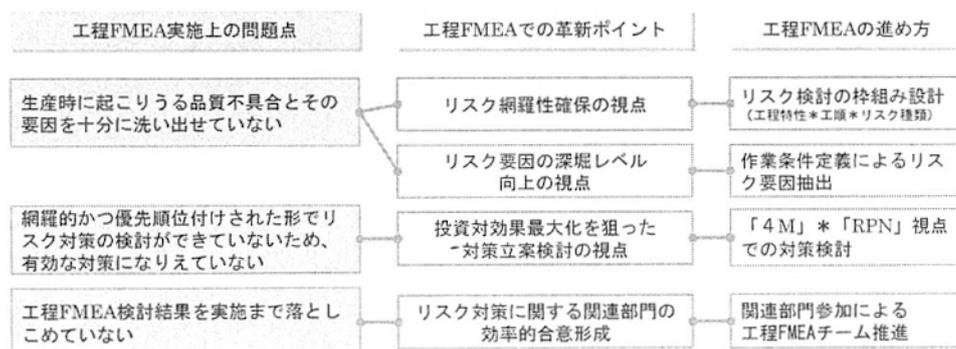


図3. 工程FMEA実施上の問題点と革新ポイントの関係

IV. 具体的アプローチ

1. リスク網羅性確保を狙った、検討枠組み設計によるリスク抽出

リスク抽出に当たって、「リスクを出しましょう」と単純に投げかけてもリスクは出ないものである。どんな考え方で、どんな視点でリスクを出せばよいか、まずリスクを検討する枠組みを明確にすることが重要となる。工程特性、工順情報、及びリスク種類の観点より検討の枠組みを設計する。

①工程特性の把握

工程FMEAの検討にあたって、まず実施しなければいけないことは、「工程の特性をおさえる」ことである。「対象工程の特性」をチェックすることにより、想定されるリスクがイメージでき、今後詳細にリスクを検討していく上で見るべきポイントを獲得できる。特性の項目としては、モノの特性、作業上の特性、及び時間的経過に伴う変動特性の3つの特性を考える。モノの特性は、扱う製品（材料）の大きさ、部品の組合せ度、異材質の組

合せ度など、形態情報のことである。作業上の特性は、作業への払い出し・準備作業有無、作業の並行度、作業の単調度（繰り返し性）、作業の空間制約大小、などが挙げられる。そして変動特性とは、あるべき状態からの時間的推移に伴う変動可能性のことである。モノと工程だけを見ていると、この変動要素の視点が抜けてしまう。特に作業員や環境条件など、製造現場の「4M+E」における変動可能性を見極めておくことが重要である。

図4は、組立工程と塗装工程の特性把握と想定されるリスク洗い出しの事例である。これらの特性情報を工程 FMEA 検討のシートに織り込んでおくと、リスク検討場面において検討視点を忘れず確認できる。（次ページ図5参照）

工順情報整理		工程の特性把握 (モノ*作業)			
工順	治具	作業特性			モノ特性 (製品形態)
		空間制約	並行度	繰り返し	
→					
作業1	A	●		●	
作業2	A		●		
作業3	B		●	●	
作業4	B		●	●	
検査					
停滞					

考慮すべき特性	塗装	組立	リスク抽出時ポイント
モノ			
大きさ	—	大きい	・モノのたわみ・ひずみ
部品組合せ度	—	大	・形態変化後、たわみ・ひずみ (重量)
異材質組合せ度	—	大	・モノ固有リスクの発生
作業			
加工・作業前の準備作業 (払出作業) 有無	有	有	・塗料 (液) や材料の状態不備 (保管条件逸脱) ・ファスナーキット化誤り 払い出し誤り
作業並行度 (加工主体への関与人数)	大	大	・外乱 (振動・音・重力変位) による正しい作業の阻害
作業の単調さ (繰り返し性)	—	極	・組立：単調作業によるヒューマンエラー
作業の空間制約	有	有	・作業方向、スペースの問題
考慮すべき特性	塗装	組立	リスク抽出時ポイント
変動要素			
作業員変動		有	・作業員の入れ替わりによるミス発生
環境条件変動	有		・温度変化による保管条件逸脱 ・製造場所変更による隣接域からの悪影響

図4. 工程特性把握と想定されるリスク洗い出し事例（組立工程と塗装工程）

②工順情報の把握

次は工順情報の把握である。工順情報は、「工程記号」を使って、リスク抽出に適切な粒度の要素単位に分割する。特に運搬・保管工程の定義と加工工程の中の「主作業」と「補助作業」に分割することが重要である。工程 FMEA が対象とする「作業工程」とは、工程に材料や半製品が投入されてから、その工程での製品ができるまでの活動全てをあらわすので、検討すべき範囲は、加工や組立作業など、本来の製造行為（主作業）だけでなく、それ以外の工程も含める必要がある。

例えば、製造工程が複数部門で構成されている場合や工程 FMEA 検討チームが異なる場合など、モノの流れ上抜けが発生しやすいので、工程記号により工順の網羅度を確認することが重要である。（工程の始まりは「運搬」、終了は「停滞」記号を使うなど）

③リスク種類抽出の観点

リスクを挙げるときは、大きく3つの観点から検討する。

1つ目は「要求品質未充足リスク」である。これは、設計仕様として製品に要求される条件が損なわれる可能性がないか、という視点である。これは既に要求事項として文書化

2. リスク要因の深堀レベル向上を狙った、作業条件定義からのリスク要因抽出

リスクが特定されたら、そのリスクの発生要因を検討する。(図5 リスクマップ上の“○”のこと)。このとき重要なことは、リスク要因を網羅的に出し切ることである。

例えば、「穴径過大」というリスクがあったとする。この「穴径過大」の要因を検討するとき、「過去の不具合要因」からの思いつきで要因を出し、検討を終了してしまうことが多い。もちろん過去の不具合要因をインプットにすることは非常に重要なことであるが、これまで起こった要因以外に何かないか、という視点が欠けてしまう。

そこで、要求仕様を満たす製品(半製品)をつくるための「正しい作業条件」について、原理原則を踏まえて定義する。まず静的に正しい条件を定義した後、その静的条件をぶらしてしまいう要因はないか、動的変動要因も含めて検討することが重要である。このような考え方によって、リスク要因と想定できるものはこれまでの発生有無に関わらず全て洗い出すことが可能となる。図6は、正しい作業条件定義を行うときの視点例である。

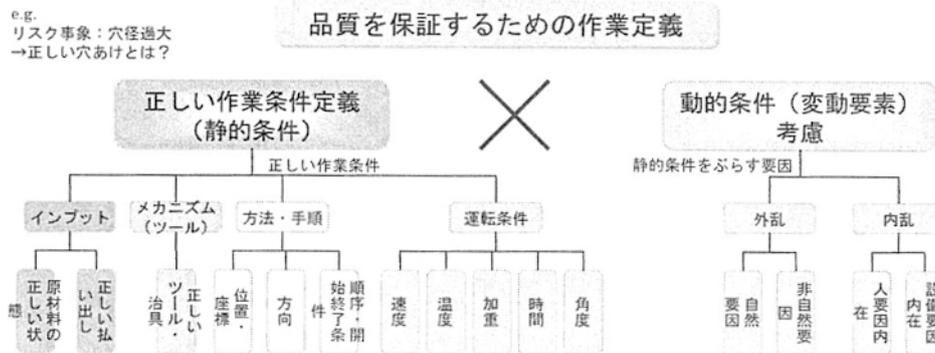


図6. 正しい作業条件定義の視点例

3. 投資対効果最大化を狙った、リスク対策立案

対策検討にあたって重要なことは、優先順位をつけて、有効な対策を立案・選択していくことである。RPN(リスクの影響度、発生可能性、検出度より算出される)という定量化されたリスク値により対策が必要なリスクを特定し、対策の具体的検討を行う。このとき、「4M視点」と「RPN視点」の2つの視点により、網羅的かつ有効な対策立案が可能となる。

(1) 4M視点での対策検討

① 4Mの「設計」観点からのリスク対策

まず検討すべきは、リスクを発生させない4M(Man, Machine, Material, Method)の観点から検討することである。そのリスク要因を発生させないために、「必要な作業員の能力レベルは?」「設備の仕様は?」「治具の仕様は?」「工順・作業手順は?」「製造条件は?」という投げかけを一つ一つしていくことである。このときの注意ポイントは、検討の順番である。「変動要素の小さい」対策から「変動要素の大きい対策」という順番である。「変動要素の大きい」対策とは「人が介在する対策」である。教

育をする、作業標準に織り込む、などの対策は、もちろん重要な対策であるが、「人」は誤りを犯すものである、という特性を踏まえ、できるだけ「物的対策」や「設計面での対策」事項がないかを検討した後、最後に「人系」の対策で対応していくことを考える。

② 4Mの「管理」観点からのリスク対策

上記においては、4Mの「設計」に焦点を当てて検討した。次は、「時間経過に伴い発生するリスク」への対策、すなわち管理系対策についてである。どんなに当初リスクを発生させない製造工程を作り込んだとしても、常に「正しい状態」を維持できるわけではない。時間経過に伴う様々な変動要素がないか、その変動要素をどのように管理していけば正しい状態を維持できるか、という視点で抽出することが重要である。

例えば、切断作業に使用する「カッターの刃」について考える。何度も切断作業をしていると、刃は磨耗し、切断面の凹凸や変形などを引き起こしてしまう。このリスクに対して、「刃の状態を監視し、磨耗状態がある基準に達したときに、刃を交換する仕組み構築」という管理系の対策が必要となる。

管理系の対策としては、磨耗、摺動など治具や設備が使用される上でかかるストレスと、環境変化（自然現象）によりかかるストレス（ゴミ、汚れ、温度・湿度など）を考慮した対策が求められる。このように正しい状態維持を可能にする管理の仕組みを構築することも重要な対策の一つである。

(2) RPN 視点でのリスク対策検討

RPN 視点とは、影響度、発生可能性、検出度のどのリスク値低減を狙うか、ということである。このときも(1)同様、ポイントは検討順序である。

リスク防止の対策としてすぐに思いつくのが、「検査」による対策である。検査は、リスクの顕在化を許容し、その流出防止を実現するための策である。確かに最終製品としての品質保証の実現は可能となるが、流出防止策はコストがかかるため、最後の手段と考えたい。つまり、検討すべき順序は、「発生可能性を抑える策、つまり発生要因を断ち切る策はないか」が第一ステップ、次に発生した場合の影響度を抑える策はないか、最後に「リスク顕在化の確認による流出防止策はないか」という順番となる。(図7参照)

4M観点 (4M設計+ 4M管理)	変動要素大			変動要素小			
	人	製造条件	設備	治具	モノ・ 材料	環境面	設計面
RPNの3つ観点							
検出可能性を上げられないか	検出力を高める手段(但し、検出コストが上がってしまう) ・検査ポイント設定・検査ボカよけ対策 ・測定機の管理、予防保全						
影響度を下げられないか	安全面での対策 ・安全停止装置、異常停止						
発生可能性を下げられないか	発生頻度を下げれば、検出手段は必要としない ・継続的改善 ・4M管理の徹底 ・ボカよけ(ヒューマンエラー防止)						

図7. リスク対策の検討視点

4. リスク対策に関する関連部門の効率的合意形成を狙った、チームによる推進

工程 FMEA の位置づけからもわかるように、工程 FMEA の情報は様々な生産活動設計のインプットになる。工程設計は生産技術、現場の管理は製造部門、検査は品質保証部門など、様々な部門が関係している場合が殆どであると考えられる。しかし、実際は、ある一部門が工程 FMEA を推進していることが多い。ある一部門（例えば製造部門）が工程 FMEA を推進した場合、対策を確実に実施まで落とし込むためには、対策実施の PDCA を回していくことはもちろん、部門の壁を越えて、対策の打診をしていく必要も出てくる。これが工程 FMEA 検討結果を対策実施まで落とし込むことを妨げる大きな要因である。

そこで、対策の打診を必要とせず、対策の必要性を全員が認識し、実施まで落とし込んでいく手段として、関連部門によるチーム推進が挙げられる。チームによる工程 FMEA の進め方（ディスカッション）のポイントは以下のとおりである。

①チーム編成

チーム編成は、単に複数人集まればよいと言うものではない。工程 FMEA の情報を活用して活動設計を行う部門は確実に参加が必要である。また、より議論の活発化を狙った場にするのであれば、扱う技術領域別の有識者、製造部門においては、前工程からの制約条件や、後工程からの要求事項なども議論できる工程の有識者の参画も有効である。工程 FMEA の情報をどのような活動に展開していくか、目的を踏まえて召集すればよい。

②チームディスカッションの進め方

工程 FMEA 検討過程を共有化することは、関係部門で対策要否を合意形成する最も効果的な手段である。これまでに述べてきたリスク網羅性確保の視点、リスク要因深堀レベル向上の視点、対策立案の検討視点が共有されていれば、取るべき対策について認識のズレは起こりにくい。検討を進めるにあたっては、その視点を一貫して確保することが重要である。今回紹介したフォーマットはその視点を確保する上でも有効である。(図5、図8)

また、リスク抽出の議論をするときは、対象とする材料や半製品、あるいは設備や治具の写真などを準備し、その特性を理解できるようにしておく。具体的な不具合事象であれば、ホワイトボードにスケッチを書くなども有効である。いずれも議論対象が見えるようにすることで、リスクや対策の認識ズレを防止することができる。

③ディスカッションの記録

工程 FMEA 検討結果として、リスク対策の実施状態、標準類への反映先が明確になっていないことが多く、その対策が実現されているか、標準類に反映されているかが見えないことがある。対策を確実に実施していくためにも、この記録は必要不可欠である。

そこで、工程 FMEA の検討結果の記録としては、最低限、リスク（不具合事象）、リスク要因、リスク値（RPN 値）、リスクへの対策（管理策も含む）、対策実施状態、対策反映する標準類を明確にしたい。これらの情報の関連が取れていれば、工程 FMEA 検討結果が製造工程設計、管理の仕組み設計の根拠となり、様々な部門を通じて議論するときのコ

コミュニケーションのツールとなる。

工程記号	作業内容 製品品質に影響を及ぼす作業工程上のリスク	リスク顕在化の要因	リスク抽出		リスク対応策							対策後リスク		管理(検査/工程管理)									
			発生可能性	検出可能性	変動要素大の対			変動要素小の対策				対策実施ステータス	発生可能性	検出可能性	RPN	RPN	是正系/結果系	いつ(タイミング頻度)	だれが(部署)	何を(管理項目)	基準値・判定基準	どのように(管理方法)	
					教育(委員)	作業手順	治工具	設備	モノ対策	環境	その他(設計など)												

図8. 工程 FMEA フォーマット例 (工程 FMEA の検討結果情報)

工程 FMEA の検討情報は、工程設計や製造の管理のための要件であり、生産部門が今後維持・更新していく重要な品質情報である。このようにチームによる検討がなされ、記録が展開されていると、その後の設計変更、4M変更などの環境に変化が起きたときでも各部門が実施すべき対策検討をスムーズに行うことが可能となる。

V. まとめと今後の課題

以上のように、工程 FMEA の実施上のポイントを抑えた推進により、新たなリスクの発見、新たな対策・管理策が挙げられた。また、検討結果を確実に記録し、リスクと対策、対策の反映先を明確にすることで、複数部門での議論が可能となり、対策実施までをスムーズに行うことができた。

今後工程 FMEA の適用場面は益々増えてくると思われるが、更に効率的かつ効果的に工程 FMEA を推進するためには、工程 FMEA 情報のインプットとなる品質情報の精査が必要であると認識しており、今後の課題としてあげておきたい。

1. リスク抽出を効率的に行うためのナレッジ情報の収集と活用

効率的にリスクを抽出するための一つの方法として、過去の不具合情報を活用することが挙げられる。これらの不具合情報は、各部門で収集しているものの、リスク抽出に適した形で収集されているわけではない。また、不具合事象として現れていなくても、その不具合発生の恐れがある「品質ヒヤリハット情報」などは収集コストがかかり、整理されていないことが多い。従って、これらの品質情報をいかに活用できるかの仕組み構築が必要である。

2. モノ固有リスク情報活用のための設計・製造部門の連携

モノ固有リスク情報は、製造や生産技術など生産部門では特定しきれないこともあり、情報が不足していることが多い。設計段階でのモノ固有リスクの特定と、その情報を工程 FMEA のインプットにするための情報変換・伝達の仕組みがリスク予測レベルの更なる向上にとって必要である。