

ミス防止のための原理と方法  
- あなたの職場にもありますか、こんなミス、こんなエラー -

2000.7.7

中央大学工学部  
経営システム工学科  
中條 武志

## 目 次

1 . 作業における人のミスとフルプルーフ .....	1
1 . 1  人のミスとは .....	1
1 . 2  フルプルーフとは .....	1
2 . フルプルーフ化の原理 .....	2
2 . 1  排    除 .....	3
2 . 2  代 替 化 .....	3
2 . 3  容 易 化 .....	4
2 . 4  異常検出 .....	5
2 . 5  影響緩和 .....	6
3 . フルプルーフ化の方法 .....	6
3 . 1  排除によるフルプルーフ化 .....	8
3 . 2  代替化・容易化によるフルプルーフ化 .....	9
3 . 3  異常検出によるフルプルーフ化 .....	12
3 . 4  影響緩和によるフルプルーフ化 .....	15
4 . 未然防止の立場からのフルプルーフ化 .....	17
4 . 1  作業の区分 .....	18
4 . 2  エラーモードの列挙 .....	19
4 . 3  フルプルーフ化の必要性の評価 .....	21
4 . 4  フルプルーフ化の立案と実施 .....	23
5 . フルプルーフ化の適用例 .....	23
5 . 1  最終組立作業のフルプルーフ化 .....	24
5 . 2  部品組立作業のフルプルーフ化 .....	26
5 . 3  部品出庫作業のフルプルーフ化 .....	27
6 . 作業ミス防止活動の組織的推進 .....	28
6 . 1  作業ミスから見た作業管理システムの評価 .....	28
6 . 2  作業管理システムの改善の例 .....	30
6 . 3  作業管理システムの改善の原則 .....	32
7 . まとめ .....	33
参考文献 .....	34

## 1. 作業における人のミスとフルブルーフ

### 1.1 人のミスとは

作業と人的ミスとは、昔から、切っても切れない縁があった。うっかりボルトを締め忘れた、間違った種類の部品を組み付けた、つい治具をすべらせて手を挟んだ等の話はどこの職場でも聞かれるのが普通であり、これらは「単純ミス」として片付けられてきた場合が多かった。しかし、近年、技術的な面における工程の改善・管理が急速に進むにつれて、人のミスによる品質トラブルや安全の問題が次第に無視できなくなりつつある。また、ミス防止のための活動もこのような変化にともなってより積極的に行われるようになってきた。

#### 【事例】

ある組立職場での話である。この職場では電気部品の両側に樹脂を塗布している。時々片方に樹脂を付けていないまま出荷するという問題が起こり、納入先から至急改善するように通告された。そこで、課長のAさんはまずミスの発生件数を模造紙に書いてはりだし、ミスによるクレームがどれほど重要かを作業員全員に話し、「みんなの注意でミスを無くそう」とポカミス防止のキャンペーンを実施した。この効果は予想以上で、樹脂の付け忘れは半分ほどに減少し、問題は解決するよう思われた。ところが、2箇月もするとミスの件数が徐々に増えて結局もとに戻ってしまった。そこで業を煮やしたAさんは、各ラインに1名づつミスによる不良がないかどうかを確認する専門の作業員を増員し、よく注意して検査するように指示した。1箇月ほどは納入先でのクレームもなく無事に過ぎたが、しばらくするとまた時々発生するようになり、しかも次第に件数が増えるようになってしまった。

ミスに対する一つのアプローチは「ミスは起こした人の責任」と考え、作業者に注意して作業するよう指導・教育する方法である。例えば、作業員別にミスの件数を張り出したり、ミス防止月間を設ける等がこれに当たる。これらの活動は、作業員にミスの危険を理解させる上で非常に有効であるが、効果が必ずしも長続きしない欠点がある。

### 1.2 フールブルーフとは

#### 【事例（続き）】

先の組立職場の例である。困りはてたすえに課長のAさんは、思い直して作業員の作業をもう一度よく観察し直してみることにした。ラインから部品を取る。樹脂を片方に塗布する。乾くまでラインサイドの台の上に置いて次の部品の作業に移る。しばらくすると横に置いた部品を取りもう片方の側に樹脂を付けて再度台の上で乾かす。最後に台からラインにもどす。ここでAさんはハタと気が付いた。1回目に樹脂を塗布した部品の乾燥場所と2回目を塗布した部品の乾燥場所が同じなのである。これでは1回目の塗布しか済んでいない部品を誤ってラインにもどすのも当然である。そこでさっそく当該ラインのQCサークルに協力を依頼し、1回目と2回目を色分けした置台を作ってもらった。Aさん自身こんな単純な方法で解決するだろうかという不安をいただいていたが、1箇月が過ぎ2箇月がたってもクレームは発生しなかった。

多くの企業で取られている作業ミスに対するもう一つのアプローチが『フルブルーフ』である。現実の製造現場では多種多様なフルブルーフが行われており、その名称も、バカヨケ、ポカヨケ、FPなど職場によって色々である。ここではこれらを総称して『フー

ルプルーフ』と呼ぶことにし、次のような意味で用いることにする。

**【フルプルーフ】**

作業ミス及びそれに起因する種々のトラブルを防止するための作業方法に関する総合的な工夫である。

ただし、ここで言う『作業ミス』及び『作業方法』とは、それぞれ

**【作業ミス】**

次の3つの条件を満たしている作業において、散発的に発生する記憶・知覚・判断・動作における標準作業からの逸脱である。

- (1) 標準作業が確立している。
- (2) 標準作業通り行なえば、目的通りの成果が得られ、しかも作業に伴う人的・物的損傷が生じない。
- (3) 標準作業通りに作業することは、普通の状態であれば、大多数の人にとって簡単である。

**【作業方法】**

作業を行なう手順であり、次の要素から構成される。

- (1) 作業の対象となる部品・材料・半完成品、及びこれらの投入法
- (2) 作業を行なうために使用する治工具・設備、及びこれらの配置
- (3) 指示票・標準書・記録票・チェックリストなど、作業に必要な情報及びその提示法
- (4) 作業の手順・順序
- (5) 作業場所の広さ・照度・騒音・障害物・危険物など

である。また、『標準作業』とは、“作業の前に予め定めた”作業方法に関する計画であり、「標準作業が確立している」というのは、どのような作業方法に従って作業を行なうかということが作業の前に事前に定まっており、それが作業員及び作業管理者に周知・徹底している状態を指す。

## 2. フルプルーフ化の原理

一つ一つのフルプルーフの事例をそれがどのような考え方で行なわれているか分析すると作業や作業ミスの種類に依らずに汎用的に適用できる共通の定石が存在することが分かる。これらは、ミス及びそれに起因するトラブルを防止するためには作業方法をどのように改善すべきかを方法論的に表したものであり、以下では総称して「フルプルーフ化の原理」と呼ぶことにする。

フルプルーフ化の原理はまず大きく性格の異なる2つのグループに分けられる。第一のグループは事故や品質トラブルの原因となる作業ミスが発生するプロセスに着目した上でそれらが起こらないようにするという考え方であり、未然防止の立場に立つものである。これに対して第二のグループは作業ミスの影響が波及するプロセスに着目した上でミスの結果である不具合が大きくなるようにするという考え方であり、言わば事後処理の立場に立つものである。

作業ミスの発生を防ぐ最も効果的な方法は「作業を行なわなくてもすむようにすること」である。次に、これが困難な場合の方法としては「作業を人間に任せないようにすること」が考えられる。さらに、これが経済的でない場合には「作業を人間にとって容易なものにすること」が考えられる。以上の3つが第一の発生防止のためのフルプルーフ化の原理

であり、ここではそれぞれ『排除』、『代替化』、『容易化』と呼ぶことにする。

作業ミスの波及を防ぐ一つの方法としては「ミスを検出し処置すること」が考えられる。また、もう一つの方法としては「ミスの影響を緩和するような作業や緩衝物を組み込んでおくこと」が考えられる。以上の2つが第二の波及防止のためのフルプルーフ化の原理であり、ここではそれぞれ『異常検出』、『影響緩和』と呼ぶことにする。

## 2.1 排除

### 【排除】

作業が必要となる要因や作業上の制約を生じる要因を取り除き、作業や注意を不要にする。

例えば、製品をワイヤーで吊る時に当て木（製品にきずを付けないため）をし忘れるミスに対するフルプルーフ化の具体的な方法としては、ワイヤーの代わりにナイロン製の带状の吊具を用いることが考えられる。これは当て木をするという作業を必要ならしめている吊具の特性を変えて当て木をする必要をなくしており、排除の考え方に基づくフルプルーフ化の例である。

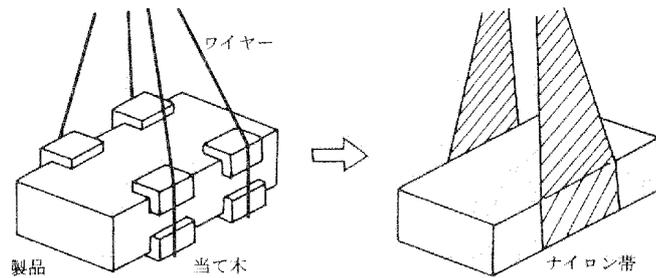


図1 排除によるフルプルーフ化

水気のあるところで交流式のライトを用いて感電するというミスに対して乾電池式のライトを用いるというのは、水気のあるところで使用してはならないという制約を生じる要因となっているランプの危険な特性を排除しているわけであり、この考え方に基づくフルプルーフ化の一例と言える。

## 2.2 代替化

### 【代替化】

作業者が行っていることをより確実な何等かの方法で置き換え、作業者が作業しなくともよいようにする。

代替化には大きく分けて

(1) 完全代替化

(2) 一部代替化

の2つが含まれる。

『完全代替化』とは「設備や治工器具を工夫することによりミスを犯し易い作業を作業者が行なわなくてもすむようにする」という考え方である。

例えば、電源を切らずに機械のカバーをあけるミスに対して、カバーの開閉状態をリミットスイッチによ

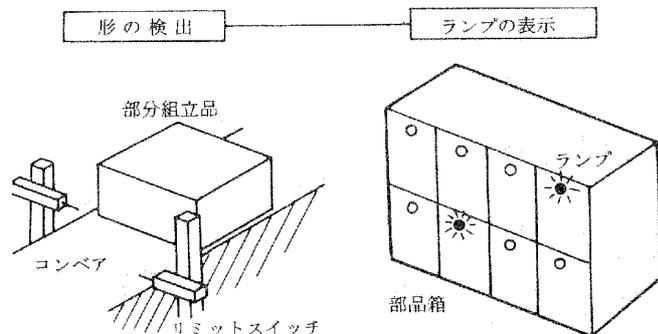


図2 代替化によるフルプルーフ化

って検知し、機械を自動的に止めるという方法が考えられる。

作業指示票の見間違いによる誤品組付に対する方法としては、送られてきた部組品の形状を治具やセンサーで検知し対応する仕様の部品箱にランプをつける等が考えられる。これは検知装置による代替化である。

組付用のボルトをうっかり締め過ぎてしまうミスに対する例としては、一定トルク以上になると空転するような電動式のナットランナーを用いるというのがある。この場合、締め付けトルクに関する知覚や判断を代替化するとともに、規定のトルクになったら止めるという動作も工具に代替化させている。

『一部代替化』とは「作業の主体はあくまで作業者に残しておき作業上必要となる記憶、知覚、判断、及び動作の機能の一部を補助する手段を用いる」という考え方である。

例えば、手順の抜けや回数不足等のミスに対する一部代替化の具体的な方法としては、作業の内容と順序の一覧表を作成するということが考えられる。これは一覧表により作業の内容を覚えておくという作業者の仕事を代替化させているわけである。

出庫作業における部品の数え間違いを防止するために、内部を仕切って入る部品の数を一定にした専用の通い箱を用いるというのもこの考え方に基づくフルプルーフ化の一例である。これは数えるという作業を箱に行なわせていると考えることができる。

### 2.3 容易化

前の2つの『排除』と『代替化』が作業者が作業を行なわなくてもいいようにするという考え方であるのに対し、『容易化』は

**【容易化】**

作業を作業者の行ないやすいものにしてミスを低減させる。

という考え方である。これには次の3つの要素が含まれている。

- (1) 共通化・集中化
- (2) 特別化・個別化
- (3) 適合化

『共通化・集中化』とは「作業上の変化や相違を少なくするために、作業の内容や対象がなるべく共通なものになるようにする、あるいは関連する作業や対象は続けて作業する一箇所に集める」という考え方である。

例えば、仕様Aにおいては部品Xが必要であるが仕様Bにおいては不要である場合、Xの組付け忘れを防止するには、仕様Aを続けて生産し次に仕様Bを作るようにしたり、仕様Aと仕様Bを別々のラインにすることが考えられる。前者は仕様を空間的に集中化しており、後者は仕様を時間的に集中化している。

機械に給油するのに1の容器で5回入れたのを5の容器を用いて1回で済むようにし、記憶間違いによる給油量の過不足を防止するというのは、ドラム缶から容器に入れる、容器から機械に入れるという二種類の作業を時間的に集中化していると考えられる。

組付ける部品を選び間違えるミスに対する例としては、作業指示票の記号と部品箱の記号を共通なものにする、同じ仕様の部品は一箇所にまとめておく等がある。前者は記号を共通にす

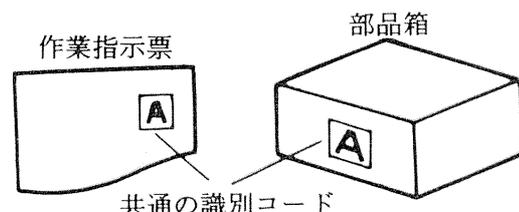


図3 容易化によるフルプルーフ化

ることにより、後者は部品を集中化することによりそれぞれ部品上の相違や変化を少なくしている。

部品の向きを間違えて逆向き取付けるミスに対して、部品を上下対称な形にするというのは、部品形状を共通性の多いものに行っているわけでありやはりこの考え方に基づくフルプルーフ化の例である。

以上のような方法で変化や相違を少なくすることは間違いを減らすための有効な方法ではあるが、これらはある程度までは可能としても完全に行なうことは一般に困難である。この場合は逆に「異なるものの差を鮮明にすることによってミス減らす」ということが考えられる。これが『特別化・個別化』である。

例えば、前出の仕様間違いの例に対しては、仕様Aと仕様Bの作業順序を全く別にするのが考えられる。これは両方の作業の類似性を取り除き混同の可能性を少なくしていると考えられる。

作業を抜かさないように、行なったかどうか記憶に残りやすいよう声を出して作業するというのも特別化・個別化の例である。

組付け部品の種類を間違えるミスに対する例としては、部品を色分けする、似た部品をできるだけ隣合わせにしないように並べておく等がある。前者は色によって違いを大きくしており、後者は配列の仕方によって違いをわかりやすくしている。

計測値が異常かどうかの判定を間違えないように計器に正常範囲を緑色のマジックで印を付けておく（正常範囲と異常範囲の違いを明確にしている）、部品の左右を間違えないようにわざと非対称な形にしておく（左右の違いを明確にしている）、製品をクレーンで移動中に壁にぶつけて破損しないように壁に黄色のペンキを塗っておく（障害物の有無を明確にしている）等も全てこの考え方に基づくフルプルーフ化の例である

『適合化』というのは、見易くするために小さな文字を大きくする、運びやすくするために重い物を分割して軽くする、持ち易くするために取手をつける等であり、「作業の対象を人間の能力に合ったものにする事」である。これらの配慮は能率や疲労の問題にも共通するものであるが作業ミスを少なくするという観点からも必要である。

## 2.4 異常検出

### 【異常検出】

作業ミスが発生しても、引き続く作業系列の中でそれに起因する標準状態からのずれが検出され是正されるようにする。

異常検出は、どのような標準状態からのずれを検出するかによって

- (1) 動作による異常検出
- (2) 物による異常検出

の2つに分けられる。

『動作による異常検出』は「作業員、ワーク、治工具、特性値等の動きに注目した場合の回数や順序の異常を検出するという考え方である。

例えば、ある加工を忘れて抜かすミスに対するフルプルーフとしては、その加工に使用する工具の作動をセンサーで検知するようにしてワークが流れてきた後一定時間の間に工具が使われたかどうかを判定し、使われていないと警報ブザーを鳴らす方法が考えられる。また、工具の作動後一定時間だけ次の工程への搬送装置の電源をONにする方法もある。

る。この場合、加工を抜かすと次工程に製品を送ることができずミスに気付くわけである。使用する工具をセットで用意し、使った順に片付けて最後に工具が残っていないか確認するのも異常検出の例と言える。

作業指示票を見間違える、部品を選び間違える等のミスに対する例としては、部品の取り出し口に光電管を取り付けて取り出し動作を検知するようにし、他の部品あるいは前工程の作業内容と対応のある部品を選んだかどうかを判定して異常があれば組付用の工具が作動しないようにするという方法がある。

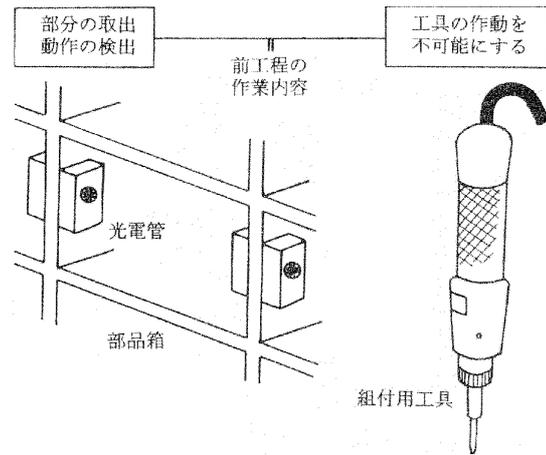


図4 異常検出によるフルプルーフ化

(2)の『物による異常検出』は「製品、治工具等の形状、寸法、位置、方向、数量、その他の特性における異常を検出する」という考え方である。

例えば、先の部品の選び間違いに対して、部品の形状を工夫して誤部品は組付かないようにする方法が用いられる。また、次工程の搬送途中で部組品の形状を検出し基準と比較して異常ならラインストップするのもこの考え方に基づくフルプルーフ化の例である。

## 2.5 影響緩和

### 【影響緩和】

作業ミスの影響をその波及過程で緩和吸収することを目的とし、作業を並列化するあるいは緩衝物や保護を設ける。

例えば、装置の電源を切り忘れてモータが焼き付くことに対する方法としては、作業者に装置の手元電源を切らせ班長に職場の主電源を切らせる、ヒューズを付けてモータ温度が上がると電源が切れるようにする等が考えられる。前者は作業者と班長が同時にミスしない限り正しい結果が得られるように作業を並列化しており、後者は電源を切り忘れても焼き付かないようにモータを保護している。

製品を棚に乗せる時に誤って支柱にぶつけるミスに対して、ぶつけても大きなきずが付かないように棚の支柱に緩衝材をまいておくというのもこの例である。

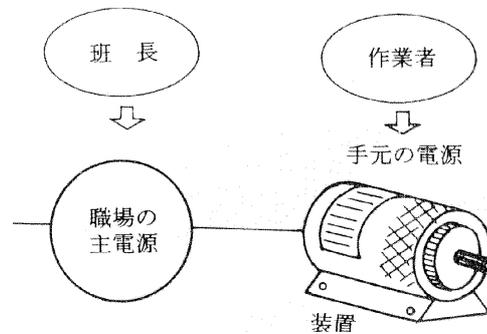


図5 影響緩和によるフルプルーフ化

## 3. フールプルーフ化の方法

前章では、フルプルーフによる対策を立てる場合に基本となる5つの原理、即ち、「排除」、「代替化」、「容易化」、「異常検出」、及び「影響緩和」について述べた。これらは場合場合の思い付きで行なわれてきた多種多様なフルプルーフの背後に共通する改善の考え方をまとめたものであり、このような考え方を頭に置いておくことは、フルプルーフ化の対策を考えたり、作業に潜むミスの危険を見つけ出す際に有効である。しかし、

個々の問題に対して効果的な対策を行うためには、さらに、これらの基本的な考え方を具体化するための方法やハードウェアについて知っておかなければならない。

フルブルー化の対策を具体的に検討する場合、現場の観察や作業経験の豊かな作業者の意見などに基づいて対象となる問題を詳細に分析し、その特徴や性質に合った適切な対策を選択することが重要である。表1はこのような視点から、フルブルー化の具体的な方法を整理したものである。

表1 フルブルー化の実現方法

原 理	問 題		実現方法	例	
発 生 防 止	排 除	作業の 目的	組合せる	一体化	・部品の組付け忘れに対し、一体成形品とする
			切り替える	汎用化・固定化	・クランプ操作忘れに対し、固定式の治具とする
			移動する	配置の変更	・高所からの墜落に対し、操作物の位置を変える
			確認する	ばらつきの除去	・検査誤りに対し、工程を変え不良品が発生しないようにする
		作業の制約		本質安全化	・感電しないよう、交流式を乾電池式に変える
				危険物の遮蔽	・巻き込まれないよう、稼働部にカバーをかける
				作業点の分離	・先につないだ線を外さないよう、結線箇所を別々にする
	代 替 化	完全 代替化	記憶ミス	連結	・スイッチを切らずにカバーを開けないよう、カバーを開けると自動的に切れるようにする
			知覚・判断ミス	機械化	・部品を選び間違わないよう、組付けるべき部品の箱だけが自動的に開くようにする
			動作ミス		
		一部 代替化	記憶ミス	指示・記録	・組付け忘れに対し、部品を必要な数だけ支給するようにする
			知覚・判断ミス	見本・ゲージ	・操作誤りに対し、必要なボタン以外は隠れるパネルをかぶせる
			動作ミス	ガイド	・材料を曲げ過ぎないように、加工用のあて治具を用いる
	容 易 化	共通化 集中化	記憶ミス	規則化	・塗装もれがないよう、常に一定の順序で吹き付けを行う
				グルーピング	・点検忘れに対し、点検はまとめて別に行うようにする
			知覚・判断ミス	統合・対象化	・部品の選び間違いに対し、部品を共通化して種類を減らす
				整合化	・部品の選び間違いに対し、指示票と部品箱の記号を一致させる
				分業化・専門化	・逆向き組付けに対し、組付ける部品の向きを予めそろえておく
			動作ミス	均一化	・取り出すとき落とさないよう、置く位置や向きをそろえる
		分業化・専門化		・精度を必要とする部品はまとめて組付けるようにする	
特別化 個別化		記憶ミス	注意の喚起	・点検忘れに対し、指さしや喚呼しながら作業する	
		知覚・判断ミス	ラベリング	・部品の選び間違いに対し、部品箱を色分けする	
		動作ミス	動作の特殊化	・取り出しにくい物は、別の場所に置いておく	
適合化		記憶ミス	量・時間の適正化	・作業忘れに対し、ゆったりやらなかったりする作業は先に行う	
		知覚・判断ミス	表示の適正化	・指示票を見間違えないよう、文字や記号を大きく見やすくする	
	動作ミス	物・空間の適正化	・締め付け不足に対し、工具を締め付けやすい形にする		
波 及 防 止	異常検出	動作の 異常	動作の検知・記録・照合・表示	・ボルトの締め付け忘れに対し、工具の使用を検知・カウントし、規定数に達していないと警報ブザーが鳴るようにする	
			不要な動作	動作の検知・表示	・プレスの作動中に手を近づけると急停止するようにする
		物の異常		不要動作の禁止	・間違った材料を入れないよう、不要な装置の電源を切っておく
			物の検知・照合・表示	・部品の選び間違いに対し、間違った物は付かない形にしておく	
影 響 緩 和	機能の連鎖		冗長化	・分析誤りに対し、3回測り最も近い2つの平均を分析値とする	
	安全性 の連鎖	不安全状態	フェイルセーフ	・金型の交換中は、セーフティ・ブロックをはさんで作業する	
		損傷	保護具	・他の人が落とした物で怪我しないよう、ヘルメットを着用する	

### 3.1 排除によるフルプルーフ化の方法

#### 3.1.1 問題の分析

『排除』はミスが発生する可能性のある作業を工程から取り除いてしまうものであり、これを実現するには

- (1) 作業の目的：部品や工具をどのような状態からどのような状態にするか
  - (2) 作業の制約：部品や工具をどのような状態にしてはならないか
- にかかわる条件を変える必要がある。ただし、(1)はその内容によってさらに
- (a) 組付け：複数の物を一つにする
  - (b) 切替え：対象や条件に応じて状態を変更する
  - (c) 運搬・移動：物や人をそれが必要となる場所に移す
  - (d) 修正・保守：目標あるいは理想の状態からのずれを修正する

等に分けられる。

例えば、部品の選び間違いについて考えてみると、このミスは多くの種類の部品がおいでであるところから、指示票にあった適切な部品を取ってくるという「作業の目的」に関連している。また、機械に手をはさまれて怪我をするというミスは、機械が動いている時に手を近付けてはならない、あるいは手を避ける前に機械を作動させてはいけないという「作業の制約」に関連している。すなわち、これらの条件を変えることでミスの危険を完全に排除することが可能となる。

#### 3.1.2 対策の選択

上に述べた問題の分析の仕方に基づいて、『排除』によるルールプルーフ化の具体的な方法について検討すると、表1のように整理できる。

作業が必要となる原因を取り除くことで作業そのものを不要にする方法は作業の目的によって異なる。「一体化」は幾つかの物を組み合わせて使用する代わりに、それらの機能を合わせ持つような一つの物を使用する方法であり、「固定化・汎用化」は切替えの必要な設備や個別の条件を用いる代わりに、固定式の設備や汎用の条件を用いる方法である。また、「配置変更」は運搬や移動を行なう代わりに、設備・部品等の設置場所・置場を変えることで、「変動・劣化原因の除去」は点検・検査や手直しを行なう代わりに劣化や不良の生じない設備や作業方法にすることで、作業を不要にしている。

作業の制約を排除するためには、その制約の原因となっている人的・物的損傷の原因を取り除くことが必要になる。これには3つの方法がある。「安全化」は設備や部品に内在する作業や他の物に対する危険性を取り除き、本質的に安全なものにする方法である。また、「遮蔽」は損傷を与える危険性を有する物と損傷を受ける可能性のある物の間に仕切を設けることで、「隔離」は損傷を与える物や受ける物を作業の場所から遠ざけることで、作業における注意を不要にしている。

#### 3.1.3 対策実施上の注意

『排除』は、問題となる作業を工程から取り除いてしまうものであり、完全な効果を期待できる。ただし、一般にこれを実現するためには製造方法や作業方法の抜本的に変更してしまうことが必要な場合が多く、コストや品質についても大きな影響を及ぼす可能性が少なくない。したがって、単にフルプルーフ化の観点だけから考えることは実際の的でなく、多くの他の要素に対する考慮を払いつつ、問題に応じて個別に対処することが重要となる。

### 3.2 代替化・容易化によるフルブーフ化の方法

#### 3.2.1 問題の分析

『代替化』は作業を人間よりも間違いの少ない機械や装置で置き換えることによって、『容易化』は作業を人にとって容易にすることでミスが発生を防止する考え方である。これらはどちらも発生するミスそのものに着目した考え方である。この考え方に基づく具体的な対策を考える場合には、問題を引き起こしているミスの種類、作業方法とミスとの因果関係の点から問題を分析する必要がある。

製造作業において発生するミスは一般に

- (1) 記憶ミス
- (2) 知覚・判断ミス
  - (a) 種類・数量の誤認
  - (b) 状態の誤認
  - (c) なすべき動作の誤認
- (3) 動作ミス

の3つに分類できる。作業を抜けなく進めるためには、どの作業が残っておりどの作業が終わったかを正しく憶えていなければならない。(1)はこのような作業の進捗に必要とされる記憶の誤りによってもたらされるミスである。また、作業を間違いなく行なうためには、どの対象に対して作業を行なうか、対象及びその周辺がどうなっているか、対象にどのような動作を行なうかを外部から与えられる情報に基づいて正しく判断しなければならない。(2)はこのような情報を受け取る際の知覚・判断の誤りによりもたらされるミスである。最後に、記憶や判断が間違っていなくとも、それに基づいて外部に対して正しい作業がなされなければ意味がない。(3)は作業を実施する際の動作の誤りによりもたらされるミスである。

例えば、部品の組み付け忘れ、間違った順序で作業する、不要な作業をするなどのミスは(1)の記憶ミスにあたる。また、部品の選び間違い、数え間違い、逆向き取り付け、取り付け位置の間違い、あるいは作業指示票の見間違い、計器の読み間違いなどは(2)である。部品を多少ずれた位置に組み付ける、ラベルを多少ずれた位置にはる、ボルトを締めすぎる、工具を落とすなどは(3)にあたる。

#### 3.2.2 記憶ミスに対する対策

作業の抜けや順序の間違いを防止するために作業の進捗を作業者が行なわなくてもすむようにするには、状況に応じて自動的にその作業が開始されるようにしなければならない。このためには他の物や機械の動き及び状態を問題としている物や機械に作業者を介することなく伝えるようにすればよい。これが「連結」である。連結の方法には電気的な方法と機械的な方法の両方がある(例えば表2の例1は前者の、例2は後者にそれぞれ対応する事例である)。

作業の進捗に関する作業者の記憶を助けるためには、行なうべき作業を外から示してやればよい。しかし、この場合に作業者は示された作業がどこまで終わったは自分で憶えておかななければならない。したがって、さらに作業の結果が外に残るようにする必要がある。このためには「指示・記録」が有効である。指示や記録になるものとしてはチェックリストなどの表、部品などの物の有無、チョークなどによる印、ランプ、ブザー等がある。これらは見落としにくく紛らわしくないものにすべきである。

人は不規則なことや関連の薄いことは忘れやすい。「規則化」は作業の順序や場所を決めていつも同じ方法で作業する方法である。この場合、作業Aの後に必ず作業Bを続けることによって、作業Aと作業Bの間に強い結び付きができ作業Bを抜かすことが少なくな

るわけである。これに対して、「グループ化」は関連のある作業をまとめて行なう、あるいは続けて使用する部品や治工具は一箇所にまとめておく方法であり、連続する作業の間に何等かの関連性を持たせることにより作業の抜けを防ごうとするものである。

人はやってもやらなくても余り大きな変化が生じないことには注意がおろそかになる。例えば、点検や検査作業は体を動かさないで抜かしやすい。これらの作業については、同時に指差し、喚呼、チョークによるチェック等の能動的な動作を行なうことが重要である。これが「注意の喚起」である。また、非常に類似したあるいは同種の作業を多数回繰り返して行なうと抜けや回数の不足が起こりやすい。このような場合には、作業の順序や方法を変えてそれぞれの作業に特徴を持たせることも必要である。

人は多くのことを憶えたり長い間憶えておくのも苦手である。「量・時間の適正化」は忘れやすい作業を先に行なったり語呂合わせ等の方法方法を用いて、作業の内容や順序を憶え易くする方法である。

### 3.2.3 知覚・判断ミスに対する対策

部品の選び間違いや逆向き組み付けを防止するために知覚・判断を作業者が行なわなくてもすむようにするためには、適切な「機械化」を行なうのがよい。「機械化」とは、フルブルー化しようとしているミスの発生する作業について、作業者が行なっていることを機械で置き換え、作業者はそれらの始動や簡単な操作を行なえばすむようにするものである（例えば、“選び間違い”を防止するために“選ぶ”という作業を機械に行なわせる、“作業指示票の見間違い”を防ぐために“読み取り”装置を用いる等である）。作業者の知覚・判断を助けるためには、作業指示票の内容、部品の種類や数、セットの向きや位置、あるいは設備の操作方向や操作量等を判断する際の基準を外から与えてやればよい。この基準としては一定の個数しか入らない通い箱や材料のセット位置を示すテープなどの判断の手本になるものと計測器や位置決め用のスケールなどの判断のための情報をさらに与えるものがある。これが「見本・ゲージ」である。見本についてはなるべく現物と同じ大きさや形にするのがよく、ゲージについては専用のものを用意するのが好ましい。

人は外部情報の知覚・判断において情報の解釈の仕方が様々であったり複雑であったりするとミスを犯しやすい。「統合・対称化」は類似した幾つかの部品や治工具の形や特性を一種類に統一する、あるいはそれらの形を対称にする方法であり、「整合化」は対応を間違えないように、部品や治工具の色、記号、置場、形、大きさ、向き、距離等を一致させる方法である。また、「分業化・専門化」は同種の作業をまとめて別々に行なう方法であり、「グループ化」と同じ群に属する。これは「統合・対称化」や「整合化」が紛らわしい情報の種類の絶対数を本質的に減らすというものであるのに対して、作業配分や作業順序の入れ換えによって作業者が一時に取り扱う情報の中の紛らわしいものの数を減らすものである。

人は一時に扱う情報の中に紛らわしい情報が多いと混同を起こしやすい。「ラベリング」は「統合・対称化」の逆である。類似した部品や治工具の外観、置場、表示等を大きく異なるものにしたりそれらの形を非対称にして、混同しやすい種類、数、状態、位置、向き、量等の差を大きくする方法である。

知覚・判断ミスを防止するためには、個々の情報が受け取りやすく、取り扱いやすい形になっていることも重要である。「表示方法の適正化」は表示する情報の種類に適した感覚を用いたり表示の大きさ、位置、背景との対比等を工夫して、表示を見易く受け取り易いものにするのである。

### 3.2.4 動作ミスに対する対策

ボルトの締めすぎ、工具を落とすといった動作ミスを防止するために、それらの動作を作業者が行なわなくてもすむようにするためには、外部情報の受け取りと同様に適切な「機械化」を行なうのがよい。また、作業者の動作を助けるためには、外から動作を規制するための物理的な基準、すなわち「ガイド」が有用である。

動作を人にとって容易にするためには、動作の種類を少なくし、常に一定の動作を行うようにすることが重要となる。「均一化」は、「規則化」、「統合・対称化」、及び「整合化」と同じ群に属するものであり、取り扱う部品や治工具の形、置き方等を統一し、作業に必要な動作の種類を絶対数をできるだけ少なくしようというものである。また、「分業化・専門化」は、外部情報受け取り上のミスの場合と同じであり、同種の作業をまとめて行なうことにより作業者が一時に行なう動作の種類を減らして混同を防止する方法である。

動作ミスを減らすためには、反射的に間違った動作が行われることを防止する意味で紛らわしい動作が無いようにすることも重要となる。「動作の特殊化」は、「注意の喚起」や「ラベリング」と同じ群に属し、それぞれの動作を特徴的なものにして動作における混同を防止する方法である。

ミスを防止するには動作を楽にすることも重要となる。「物・空間の適正化」は、部品や治工具の大きさや形、それらの取り扱いに必要な力、作業を行なう足場等を人間に適したものにすることである。

### 3.2.5 対策実施上の注意

先の例のように一つのミスに対しては幾つものフルプルーフ化の案が考えられるが、これらの内どの案を採用するかは

- (1) ミスの発生を防止する効果
- (2) 他のミスを引き起こす可能性
- (3) 作業性に与える影響を含めた対策のコスト

の3つを考慮して決める必要がある。

作業の抜けや順序の間違いなどの記憶ミスに対して最も有効と考えられるのは「連結」である。「指示・記録」も余裕のある作業の場合には有効である。ただし、作業性に与える影響をできるだけ少なくする工夫を行ったり、指示を誤認したり記録を抜かししたりするなどの別のミスを引き起こす可能性がでてくるのでこれらに対してもフルプルーフ化を行なっておく必要がある。例えば先の例では、作業リストを用意して作業者がそれをチェックするのでは作業性が甚だしく悪化するとともに、チェックを抜かす危険がある。そこで、各々の動作を光電管等で検知しこれとランプを「連結」したわけである。ただし、この場合もまだランプを見間違えるという可能性が残っているので、「表示方法の適正化」等を十分に行なっておく必要がある。「量・時間の適正化」、「規則化」、「グループ化」、及び「注意の喚起」の4つは、確実性は薄いものの一般に他と比べると経済的であり、組み合わせで徹底的に行なうことによりかなりの効果が期待できる。

部品の選び間違いや逆向き組み付けなどの外部情報受け取り上のミスに対して最も有効と考えられるのは「機械化」である。ただし、機械を操作し間違えるミスについて配慮しておくべきである。また、「見本・ゲージ」を用意するとともに、これらの基準及び現物に対して「統合・対称化」、「ラベリング」、及び「表示方法の適正化」を行ない、さらにそれらに対して「指示や基準と現物との整合化」を行なうことにより、ミスの発生を相当押さえ込むことができる。例えば先の例では、治具に絵を書く（絵が材料のセットにおける基準となる）、この絵や現物を対称あるいはより非対称にするとともに、絵と現物を

同じ大きさや形にする、さらに絵は明確で見易くしておく等を組み合わせて行なう。この方法は経済性や他のミスを引き起こす可能性の点に関しても優れている。

動作に関するミスについても、「機械化」や「ガイド」が有効である。また、「物・空間の適正化」、「均一化」、「分業化・専業化」、及び「動作の特殊化」を平行して行なうのも効果がある。

以上のように、『代替化』や『容易化』の考え方に基づいたフルブルーフ化を行なう場合には、一つの方法を単独で用いるのではなく種々の方法を組み合わせたり反復して適用することが重要である。

### 3.3 異常検出によるフルブルーフ化の方法

#### 3.3.1 問題の分析

『異常検出』はミスの発生を確実に検出して適切な処置を取ることによってミスが発生した時にそれが後工程での品質トラブルや事故に発展・波及するのを防止することを目的としており、ミスが引き起こす異常を対象としている。したがって、これに基づいた対策を考える場合、「問題にしている作業ミスが結果として引き起こす異常現象を総て洗い出し、この内のどの異常を検出するのかを決める」ことが必要となる。

ミスにより引き起こされる様々な異常をフルブルーフ化の視点から分類すると

(1) 動作の異常：作業に関わる動作に関する標準からの逸脱

a) 負の異常：必要な動作の抜け、動作の回数や量の不足

b) 正の異常：不要な動作の実施、動作の回数や量の過剰

(2) 物の異常：動作の結果である製品、部品、治工具、設備等の状態に関する標準からの逸脱に分けられる。

例えば、材料を機械にセットして孔をあける作業を考える。起動ボタンを押し忘れるミスによりどのような異常が引き起こされるであろうか。この場合には「起動ボタンの未操作」が起こるが、これは「負の異常」である。また同様の作業において、セットする材料を選び間違えるミスは、「必要な材料を取らない」という負の異常と、「不要な材料を取る」という正の異常の両方を引き起こす。さらに、これらのミスは「穴のない部品」などの物の異常を引き起こす。

#### 3.3.2 負の異常に対する対策

「負の異常」は先行動作が総て完了していないにも拘わらず後続動作が行なわれる異常である。この種の異常を検出するためには、基本的には後続動作が行なわれる以前の先行動作の実施の有無を完全に記録しておき後続動作を行なう時点で確認すればよい。したがって、負の異常を動作を介して直接検出するためには

(1) 必要な動作の検知

(2) 検知結果の記録

(3) 記録の照合

(4) 照合結果に基づく処置

の4つの機能が必要となる。ここで、これらの機能を実作業方法の中に組み込む一つの方法は、(1)の機能を果たすセンサ、(2)の機能を果たすカウンタやリレー、(3)の機能を果たす電気回路や機械的機構、及び(4)の機能を果たす表示装置の4つのコンポーネントから構成された設備を導入することである。表2は(1)のセンサによる動作の検知方法について整理したものである。また、(2)の記録用のカウンタやリレーについては、生産中の製品の台数分用意するのは経済的でなく、さらにそうすると検知された動作がど

の製品に関するものかを判断する機能が必要になる。したがって、カウンタやリレーは1台分のみ用意し適切な時点でリセットするのが普通である。すなわちリセットと照合を適当なサイクルで繰り返すわけである。このサイクルの長さは1台ごとでもよいし、10台ごとでもよい。一日の生産分ということでもよい。ただし、サイクルが長くなればなるほど異常を検出した時の是正のコストは大きくなる。(3)の照合を行なう時点は基本的には後続動作が開始された時ということになるが、生産性の点も考慮してタイマを用いてある動作が行なわれてから一定時間後にすることもある。最後の(4)の異常の場合の表示方法については表3にまとめて示す。処置をシーケンス制御によって完全に無人で行なうことも考えられるが、技術的な面や経済的な面からの是正処置の一部あるいは全部を人が行なっているのが現状である。なお、(1)~(4)の機能を人間が行なう方法もある。ただしこの場合、手順通り作業すれば(1)と(2)が作業者が意識することなく自動的に行われる工夫が重要となる。

表2 動作の検知方法

動作	方法
物を取り出す動作	<ul style="list-style-type: none"> <li>・取り出し口に光電管、弓形スプリングスイッチ等を付ける</li> <li>・物の入れ物や置台に重みで作動するリミットスイッチやマイクロスイッチを付ける</li> <li>・物が金属性の工具等の場合には置台に正負両極の金属板を付ける(物を取ると回路が切れる)</li> </ul>
セットする動作	<ul style="list-style-type: none"> <li>・セットする時に必ず触れる箇所にタッチスイッチ等を付ける</li> </ul>
物を移動する動作	<ul style="list-style-type: none"> <li>・物や運搬具の経路にリミットスイッチや光電管等を付ける</li> </ul>
物を操作する動作	<ul style="list-style-type: none"> <li>・操作レバー等にリミットスイッチを抱かせる</li> <li>・操作スイッチから並列の回路を引く</li> <li>・工具の作動をリミットスイッチ、マイクロスイッチ、近接スイッチ、ワイヤレスマイク、ナゲット電流計等で検出する</li> </ul>
物を調べる動作	<ul style="list-style-type: none"> <li>・先端にマイクロスイッチ等を付けたチエック棒を使用する</li> </ul>

【注】リミットスイッチ等の選定に当たっては使用頻度や環境条件等を考慮して、信頼性の高いものを選ぶべきである。

### 3.3.3 正の異常に対する対策

「正の異常」はそのような動作をすべきでない状態であるのにも拘わらず実施する異常である。この種の異常を検出するためには、基本的には現在の作業員、設備・治工具、材料等の状態から行なってはならないと判断される動作を検知するだけでよい。すなわち不要・過剰な動作を検知

した瞬間に処置を起こせばよく、検知した動作の内容を記録しておくことは本質的には必要でない。ここが負の異常の検出と大きく性質の異なる点である。したがって、正の異常を動作を介して直接検

表3 異常の表示方法

注意を与える	<ul style="list-style-type: none"> <li>・工具が元に復帰しない</li> <li>・情報が得られない(検査結果が出ない)</li> <li>・警報、ブザー、警報ランプ</li> <li>・不良品が残る</li> </ul>
次の動作が行なえないようにする	<ul style="list-style-type: none"> <li>・取り出せない(蓋があかない等)</li> <li>・運べない(リフトが降りてこない等)</li> <li>・組み付け、セットできない</li> <li>・加工、操作できない(起動しない等)</li> </ul>

出するためには

- ( 1 ) 不要・過剰な動作の検知
- ( 2 ) 検知結果に基づく処置

の2つの機能で十分である。これらを自動的に行うには、不要・過剰な動作を検知するためのセンサとその結果を表示する装置の2つをコンポーネントとして持つ設備が必要である。また、予め不要・過剰な動作の対象となる物の動きを制限しておき、作業者がそのような動作が行えないのでその時点でミスに気付くようにする方法もある。前者の方法の場合、実際には検知結果を記録しておき後で結果を表示することもあるが、これは単に作業の都合上処置をとる時点を遅らせているだけであり、本質的に必要なものではない。なお、( 1 ) と( 2 ) の機能を人間が行なう場合、上で述べた機械による検出の場合とは多少事情が変わってくる。他の作業者の動作や自分の動作を連続的に監視するというのは人間の能力から言って本質的に無理がある。したがって、負の異常の場合と同様に動作を記録しその記録を確認する必要がある。

### 3.3.4 物の異常に対する対策

「負の異常」も「正の異常」も、結果として累積的に物に反映されていく。すなわち作業の結果である製品、治工具、設備等の状態はある意味でそれまでの動作の記録である。例えば、先に示した起動ボタンの押し忘れの例では、「起動ボタンの未操作」という負の異常は結果として取り出した製品中に孔の未加工として残る。また、材料の選び間違いの例では、「不要な材料を取る」という正の異常は材料置場の数量不足として現われる。したがって、それらの形、数量、状態等を作業後の適当な時点で検知し、正常な場合と比較照合することによっても異常を検出できる。このためには

- ( 1 ) 物の検知
- ( 2 ) 検知結果の比較照合
- ( 3 ) 照合結果に基づく処置

の3つの機能が必要となる。ここで、これらの機能を自動的に行なわせるには、( 1 ) の機能を果たすセンサ、( 2 ) の機能を果たす電気回路や機械的機構、及び( 3 ) の機能を果たす表示装置を組み合わせた設備が必要となる。表4はセンサを用いた物の検知方法について整理したものである。異常の場合の表示方法は「動作による異常検出」の場合と同じである。また、( 2 ) のやり方には大きく分けて基準と比較照合する方法と対応する物同士を比較照合する方法の2種類がある。なお、( 1 ) ~ ( 3 ) の機能を人間が行なうこともある。この場合には確認ミスの可能性が考えられるので、現物と重ね合わせて確認する等の『容易化』を十分行なっておく必要がある。

### 3.3.5 対策実施上の注意

『異常検出』による対策において重要な点は、どの時点で異常を検出するかである。このためには

- ( 1 ) 検出の難易度
- ( 2 ) やり直しに要する損失

の両方を考慮する必要がある。一般に、( 2 ) はミスの発生時点より遅くなればなるほど大きくなる。したがって、できるだけミスの発生時点に近いところで起こる異常を検出するように努力すべきである。一般に動作で異常を検出する方が物で異常を検出するよりも早くやり直せるので、動作の検知技術を確立しておくことが効果的な異常検出を行なうために不可欠である。

表 4 物の検知方法

物	方 法
取り出した物・残った物	・物の入れ物や置台、あるいは取り出した物を一時入れておく箱や容器に重量を計るための歪みセンサやレベルゲージを付ける
組付け・セットしようとしている物	・間違った種類や向きの物とぶつかるようなピンやコマを治具に付ける、あるいは組付け・セットしようとしている物に相手の物とぶつかるようなピンやコマを付ける ・組合せる物同士の色を特殊にして間違った物は組付かなくする (注)この方法は不要なものが付いている場合には使用できるが、あるべきものが欠けている場合には使えない
位置決めされた物	・治具等にリミットスイッチ、マイクロスイッチ、近接スイッチニューマティックバルブ等を組み込む
操作された物	・液面レベル、振動、温度等をレベルスイッチやサーモスイッチで検出する ・作動部の動作範囲等をリミットスイッチや光電管で検出する
加工中の物	・加工工具の接触位置等をリミットスイッチで検出する
移動中の物	・移動経路にリミットスイッチや光電管を付ける ・シュートに近接スイッチを付ける ・ピンを接触させその位置をリミットスイッチ等で検出する ・ピンや鎖を接触させて通電の有無を検出する ・シュートの形を工夫して異常なものは引っ掛かったり落ちるようにする ・エアを吹き付けて重さの異常なものを吹き飛ばす ・マグネットにくっつけて運び金属物が付いていない物を除く
完成した物	(様々な方法がある)

『異常検出』においてはハードの面がかなりの重要なウェイトを占めるので、それらの信頼性をいかにして確保していくかということが重要な課題となる。点検のやり方に関する工夫や故障に対する機構上の工夫が必要である。

『異常検出』はあくまでも事後処理である。したがって、できるだけ異常検出の装置や仕組みが作動することのないようにする努力をすべきであり、発生防止の対策を平行して行なうことが重要である。このため、異常検出装置の作動回数や見付けた作業不良の個数は改善を行なうための資料として記録しておくのがよい。

### 3.4 影響緩和によるフルプルーフ化の方法

#### 3.4.1 問題の分析

『影響緩和』は作業を並列化したり緩衝物を予め工程の中に組み込んでおくことによって、したがって、これらに基づく対策を立てる場合にはどのような影響がどのようにして引き起こされるのか分析することが重要となる。

一つのミスの影響は

(1) 機械が起動しない、製品が作動しない等の目的機能の未達成

(2) 製造、据付、保守、運用における人の死傷、設備や治工具の破損、使用の際の物品の破損等の人的・物的損傷

など、様々な形で現れてくる。これらはミスの影響を現象としてとらえたものであるが、

経済的な立場からすればこれらの現象は

- ( 1 ) 能率の低下や売上減等による機会損失
- ( 2 ) 不良の手直しやクレーム対策のための費用
- ( 3 ) 人的・物的損失に伴う医療費や修理費

等の損失としてとらえられる。すなわちミスによって引き起こされる「影響」は、現象的側面と経済的側面の両面を持っていると言える。したがって、これに対応してミスの影響を緩和する方法としても

- ( 1 ) ミスが機能の未達成や人的・物的損傷などの現象を引き起こさないようにする
- ( 2 ) 機能の未達成や人的・物的損傷などの現象にともなう経済的損失を少なくするという2つを考えることができる。( 2 ) の例としては、壊れてもいいような安い工具を用いるとか手直しを効率化する等の方法があるが、これらは完全に事後的な対策である。したがって、( 2 ) についてはここではとりあげず、以下では( 1 ) に着目してその具体的な対策の立て方について述べる。

ミスが上で述べたような現象を数多く連鎖的に引き起こす過程を細かく見てみると、例えば、先にあげた「起動ボタンの押し忘れ」が引き起こす影響は 図6 のように模式的に表わされることがわかる( 図中の影響緩和の方法については後述する)。ミスが「機械を動かす」という機能の未達成を引き起こし、このことが次の「材料に穴をあける」という加工機の機能を未達成に終わらせる。さらにこの影響は加工部品に転化され組立部品としての部品の機能を損ない、それがそのまま使われると、市場でのクレームを引き起こす。これに対して、「材料に穴をあける」という機能の未達成は、後工程の工具に過剰な負荷がかかるという不安全的状態を生じさせ、工具の破損や作業者の怪我を引き起こすわけである( これにより工具の持つ機能も失われる)。すなわち、このような連鎖は

- ( 1 ) ミスが機能の未達成を引き起こしこれがさらに次の機能の未達成を起こす過程
- ( 2 ) 機能の未達成が不安全的状態を生じさせこれにより人的・物的損傷が起こる過程の2つの過程から構成されていることがわかる。ここでは、( 1 ) を「機能に関する連鎖」、( 2 ) を「安全性に関する連鎖」と呼ぶことにする。

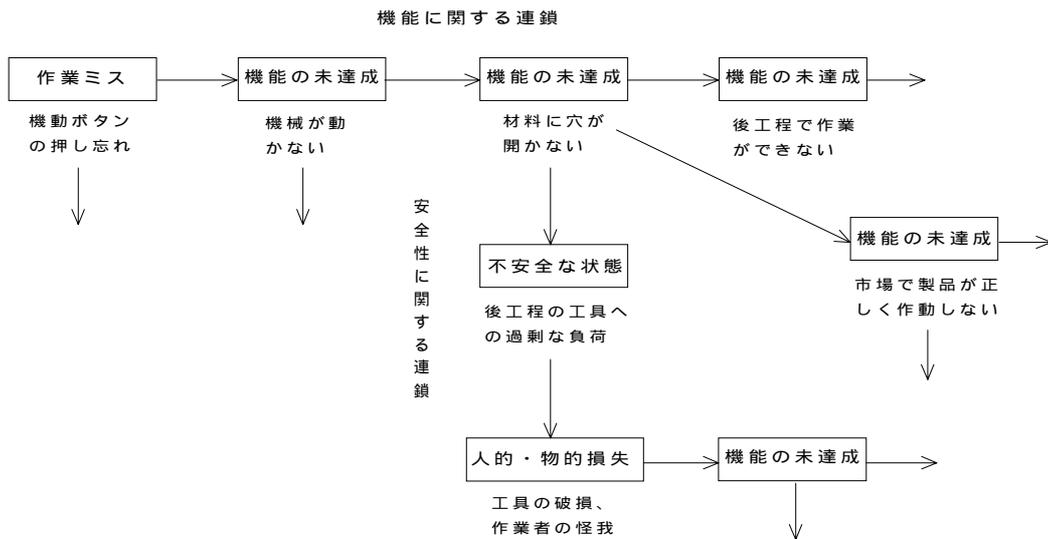


図6 作業ミスによる影響の連鎖

### 3.4.2 対策の選択

『影響緩和』の方法は、図6の影響の連鎖をどこかで断ち切ることによってミスが大きな問題に発展するのを防ぐものである。一つのミスが引き起こす影響の中には、重大なものや軽微なもの等程度の様々なものが混在している。したがって、この中から致命的なものを選び出しそれに至る連鎖を断ち切るようにすべきである。断ち切る位置は問題となる影響が生じる以前であれば何処でもよく、できるだけ簡単に対策のとれる場所が選ばれる。また、対策の内容は影響そのものよりも問題としている影響がどの連鎖の何処に位置するか依存する。

「冗長化」は、機能に関する連鎖を切る方法であり、一つの機能の未達成が次の機能の未達成を引き起こさないように、個々の部品、設備、作業の持つ機能を十分余裕のあるものにする、あるいは同様な機能を持つ部品、設備、作業を並列冗長、待機冗長、多数決冗長などの形に組み合わせる方法である。

安全性に関する連鎖を切る一つの方法としては、機能の未達成が起こっても不安全な状態が生じないように、そのような状態への移行に対する緩衝物や回避装置などを設けることが考えられる。これが「フェイルセーフ」である。また、「安全率・保護具」、すなわち、万一不安全な状態を生じてそれが致命的な人的・物的損失を引き起こさないように、保護具を着用して作業する、あるいは設備の構造や設置間隔を不安全な状態から生じるストレスに対して強度的・距離的に十分余裕のあるものにすることも重要となる。

### 3.4.3 対策実施上の注意

『影響緩和』による対策を前節で述べた『異常検出』と比較すると、特に緊急性を要する場合などは有用と考えられる（例えば、先の機械に手をはさむミスの例で、作動中の機械への手の接近という動作の異常を検出してブザーで知らせても作業者がすぐに気づくかどうか疑問である）。しかし、工程管理や作業管理の面からすればミスの発生が明確にならない恐れがあり好ましいとは言えない。したがって、『影響緩和』を用いるかどうかは

(1) 緊急性

(2) 影響の重大さ

の両方を考慮して決めるべきである。また、影響緩和が必要な場合でも、何等かの検出方法を別に設けてミスの発生を検出するようにすることが望ましい。

## 4. 未然防止の立場からのフルブルー化

前章で示したフルブルー化は作業ミスに起因する品質や安全上の不具合を防止する対策の一つであり、近年多くの企業が実施し大きな成果を得ている。しかし、これらの多くは「起こってしまった不具合」に対して再発防止の立場から行われている。即ち、事故や品質クレームが起きて初めてその原因となったミスの危険性に気付く場合が少なくない。

#### 【作業ミスの潜在危険性】

(1) 一般に、作業ミスの発生頻度は100～1000ppmのオーダーで出るのが多く、試作評価や抜取試験により発見することは殆ど不可能であり、ミスの発生がそのまま重大なクレームや災害につながるものが少なくない。

(2) 個々のミスの発生が非常に稀で多種多様なミスが代わる代わる顕在化している場合には、表面に現われてきた作業ミスの一つ一つ発生の都度フルブルー化しても（これは現場の改善活動としては重要であるが）早急な効果を期待できない。

したがって、作業ミスの問題を扱う場合には、未然防止の考え方に基づいた取り組み、即ち、作業ミスの危険を事前に予測することが必要となる。

**【作業ミスに関する予測の問題】**

- (1) 作業ミスの洗い出し：作業方法を分析し、その作業を行った場合に作業者が犯す可能性のある作業ミスを明らかにする。
- (2) 作業ミスの影響の評価：作業方法を分析し、所与の作業ミスが単独又は複合して発生した際の品質、安全、能率等の面への影響を明らかにする。

作業ミスの洗い出しを行う一つの方法としては、作業FMEAがある。この方法は、FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) の考え方を作業ミスの問題に応用したものである。FMEAは、製品設計の場において、製品を構成する部品やサブユニットの故障の危険性をそれらが製品の機能に与える影響の面から解析するために開発された手法であり、次の手順で行われるのが普通である。

- (1) 製品をその機能の観点から分析し、幾つかの構成要素に分解する。
- (2) 各要素ごとに起こり得る総ての故障モードを列挙する。
- (3) 列挙された故障モードごとに、その影響や起こり易さ等を考え、対策の必要性を評価する。
- (4) 危険性の高い故障モードに対する対策を立案・実施する。

という手順でこれに対して、作業の設計や改善では、ある作業を行なった場合に起こり得る作業ミス、及びそれが作業目的の未達や作業に伴う損傷の発生にどう影響するかを解析することが問題となる。したがって、手順としては以下の通りとなる。

**【作業FMEA】**

- (1) 作業をその流れに沿って幾つかの要素に区分する。
- (2) 各要素ごとに起こり得る総てのエラーモードを列挙する。
- (3) 列挙されたエラーモードごとに、その影響や起こり易さ等を考え、「フルプルーフ化の必要性」を評価する。
- (4) 「フルプルーフ化の必要性」が高いエラーモードに対してフルプルーフ化を立案・実施する。

#### 4.1 作業の区分

作業FMEAの第一段階は、『作業をその流れに従って区分すること』である。この区分の目的は、作業ミスの洗い出しを容易にし抜け落ちの無いものにあることである。ところが、一般に作業は階層構造をしており、何種類ものレベルの異なった区分の仕方が可能である。例えば、「組付」、「運搬」、「検査」といった工程レベルの区分もできるし、「選ぶ」、「位置決め」、「使用」といったより細かなサブリックレベルに分けることもできる。しかし、工程レベルの区分では

(a) 作業の内容が不明確になる

(b) 一つの区分に対して列挙すべきエラーモードが非常に多くなる

等の理由により、列挙における抜け落ちの可能性が大きい。また逆に、サブリックレベルを用いると区分が細くなり解析に時間を要する。したがって、ここでは、何が作業の対象になっているかという点に着目した上で、次の『作業要素』を基本単位として作業の区分を行う。この方法はあくまでも実際の適用を通して試行錯誤的に導出されたものであるが、多くの場合、有効な作業区分を与えてくれることが分かっている。

#### 【作業要素】

( 1 ) 作業の対象を決める

( 2 ) その状態 ( 形・位置・特性等 ) を変える、又は認識する

例えば、「作業指示票を見て部品を選んで部組品と仮組みする」という作業は、次の三つの作業要素に区分される。

( a ) ( 1 ) 作業指示票に着目する

( 2 ) 記述内容を認識する

( b ) ( 1 ) 組付ける部品に着目する

( 2 ) 部品箱から取り出す

( c ) ( 1 ) 部品と部組品に着目する

( 2 ) 仮組みする

#### 4.2 エラーモードの列挙

『エラーモードの列挙』において最も重要なことはいかに抜け落ちを防止するかということである。エラーモードとして、「誤品」、「欠品」、「位置不良」等の現象的表現を用いたり、また逆に、「部品の種類が多い」、「品名の表示が小さい」等の原因系の表現を用いると、作業によってその内容がまちまちとなり抜け落ちの危険性が大きくなる。しかし、ミスの発生原因やその影響の現われ方が様々であるにしても、それら原因から結果に至る過程には、多くの作業を通じて何等かの共通項が存在する。“エラーモード”とはそれらを作業ミスに関するモードとして括り出したものでなければならない。表5は、組立を中心とした製造作業における1000余りのミスを分類し、エラーモードとして整理したものである。2.1節で述べた作業要素のそれぞれについて、この16のエラーモードが起り得るかどうかを考えて可能性のあるものを列挙していくことにより、その作業に関する事前の知識が無くとも潜在的に存在する作業ミスを機械的に調べあげることができ、潜在ミスの列挙における抜け落ちの危険性が非常に小さくなる。

例えば、先に述べた「作業指示票を見て部品を選んで部組品と仮組みする」という作業について発生する可能性のあるエラーモードを考えると、( a ) については

抜け ( 指示票を見忘れる )

選び間違い ( 間違った指示票を見る )

認識間違い ( 指示票の内容を見間違える )

等が、( b ) については

抜け ( 部品を取り忘れる・仮組みも抜ける )

選び間違い ( 部品の種類を間違える )

不確実な保持動作 ( 部品を落として破損させる )

等が、( c ) については

抜け ( 仮組みを忘れる・部品はその場に残る )

選び間違い ( 組付ける部組品を間違える )

位置の間違い ( 仮組みする位置を間違える )

方向の間違い ( 仮組みの向きを間違える )

保持の間違い ( 部組品の間違った箇所をつかむ )

不正確な動作 ( 位置がずれた状態で仮組みする )

等がそれぞれ挙げられる。さらに、他の部品の仮組みも同時に行うとすれば、それとの順序の間違い ( 仮組みの順序を逆にする ) も起り得るし、多数回繰り返すとすれば、回数間違い ( 作業の回数が足りない ) が起こる可能性もある。

表5 製造作業におけるエラーモード

分類		エラーモード	対応する作業ミスの具体的な内容	
作業要素を間違えるミス	作業の進捗に関する記憶ミス	抜け	<ul style="list-style-type: none"> <li>・部品や材料の取り忘れ、セット忘れ</li> <li>・ボタン、バルブ、スイッチ等の操作忘れ</li> <li>・検査や計測のし忘れ、記録のとり忘れ</li> </ul>	
		回数間違い	<ul style="list-style-type: none"> <li>・重複して作業を行なう</li> <li>・作業回数の過不足</li> </ul>	
		順序間違い	<ul style="list-style-type: none"> <li>・前後の作業の順序を逆行なう</li> </ul>	
		実施時間間違い	<ul style="list-style-type: none"> <li>・決められた時間よりも早く作業する</li> <li>・決められた時間よりも遅れて作業を始める</li> </ul>	
		不要な作業の実施	<ul style="list-style-type: none"> <li>・品質の劣化や怪我、事故に至るような禁止された作業を行なう</li> <li>・不必要な作業を行なう</li> </ul>	
各々の作業要素の内容を正しく行なうことに関するミス	作業要素の(1)に関するミス	種類・数量の誤認	選び間違い	<ul style="list-style-type: none"> <li>・部品、材料、工具、作業指示表、記録用紙等を選び間違える</li> </ul>
			数え間違い	<ul style="list-style-type: none"> <li>・部品、材料、製品等の数量を間違える</li> </ul>
	知覚判断ミス	状態の誤認	認識間違い	<ul style="list-style-type: none"> <li>・作業指示表等の内容を誤認する</li> <li>・計器や記録を読み間違える</li> <li>・製品の品質、設備の状態、作業者の有無等を誤認する (認識内容を記憶の薄れとともに取り違えるミスも含む)</li> </ul>
			危険の見逃し	<ul style="list-style-type: none"> <li>・怪我等に至らないように回避すべき危険物や危険箇所を見逃す</li> </ul>
		為すべき動作の誤認	位置間違い	<ul style="list-style-type: none"> <li>・部品や材料等の運搬場所、セット位置を間違える</li> <li>・加工する部位を間違える</li> <li>・バルブやスイッチ等の設定位置を間違える</li> </ul>
			方向間違い	<ul style="list-style-type: none"> <li>・部品のセット方向を間違える</li> <li>・バルブの操作方向を間違える</li> <li>・部品の加工方向を間違える</li> </ul>
			量間違い	<ul style="list-style-type: none"> <li>・材料を間違った角度に曲げる、間違った長さに切断する</li> <li>・バルブの操作量を間違える</li> </ul>
			保持間違い	<ul style="list-style-type: none"> <li>・部品や工具等の誤った箇所を持つ、あるいは間違った持ちかたをする</li> </ul>
	動作ミス	不正確な動作	<ul style="list-style-type: none"> <li>・部品や材料等を多少ずれた位置にセットする</li> <li>・角度の不正確な曲げやトルクが不正確な締付けを行なう</li> </ul>	
		不確実な保持	<ul style="list-style-type: none"> <li>・部品や工具の保持、固定を不正確に行なう</li> <li>・部品、材料、工具、製品等を誤って落とす、離す</li> </ul>	
		不確実な回避	<ul style="list-style-type: none"> <li>・部品や工具をぶつける、落ちる、つまづく</li> <li>・他の作業中にスイッチに誤ってふれる</li> </ul>	

#### 4.3 フールプルーフ化の必要性の評価

作業FMEAの第三段階は、『エラーモードの影響を考え、“フールプルーフ化の必要性”を評価すること』である。一般に、簡単な作業でも列挙されるエラーモードの数は非常に多く、これらを総てフールプルーフ化することは経済的でない。したがって、何等かの基準を設けてフールプルーフ化の必要性の順序付けを行う必要がある。

一般には、各エラーモードについてそれが起こった場合の影響を明確にした上で、次の三項目をそれぞれ独立に評価し、その結果を用いて「フールプルーフ化の必要性」を判断するのが良い。各項目ごとに評点を与えて(詳細については後述する)その積を用いる。また、引き起こされる影響が一種類でない場合には、考え得る総ての影響を列挙し、その各々についての評価値を加え合わせて総合的なフールプルーフ化の必要性とするのが普通である。なお、検討の対象としている影響を明確にしておくことは、「影響の致命度」及び「波及の防止度」を評価する場合に特に重要となる。

##### 【作業FMEAのための評価項目】

- (1) 発生の可能性：列挙された各エラーモードの起こりやすさ
- (2) 影響の致命度：各エラーモードが引き起こす影響の重大さ
- (3) 波及の防止度：各エラーモードが影響を引き起こさないよう施されている対策の確実さ

(1)の「発生の可能性」については定量的に評価するのが困難であるが、前節で挙げた～のエラーモードの各々についてそれが発生しやすい状況をチェック項目としてまとめておき、それに基づく評価を行えば客観性の高いものとなる。チェックリストの一例を表6に示しておく。該当する項目が0～1個の場合は発生の可能性が小さく、2～3個の場合は中程度、4個以上の場合は大等の評価を行うことになる。また、従来既に経験のある作業については、そのエラーモードが実際に発生したかどうかの「実績」も考慮すべきである。この場合、両者別々に評点を与えその合計で「発生の可能性」を評価する場合が多い。

表6 発生の可能性を評価するためのチェックリスト

作業の進捗に関する記憶ミス	<ul style="list-style-type: none"> <li>・作業すべき物・箇所が外から見えない</li> <li>・使用する部品・工具・材料が作業場所から離れた所に置いてある</li> <li>・行うべき作業を示すチェックリストになるものが無い</li> <li>・作業を行なったかどうか外観では不明である</li> <li>・作業一覧表にどこまで終了したかを示すチェックがなされていない</li> </ul>	代替化
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・作業指示を受けてから実際に作業するまでの間に他の作業が入る</li> <li>・関連する部品・工具・材料の一部が少し離れた場所に置いてある</li> <li>・仕様等によりゆったりやらなかったりする、順序や時間が変わる</li> <li>・作業順序や作業時間が一定していない</li> <li>・関連の無い作業を掛け持ちで行なっている</li> <li>・付随的な作業であり、その作業を行なわなくても次の作業ができる、又は前後とのつながない</li> </ul>	共通化 集中化
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・動作を伴わない作業である(確認作業である)</li> <li>・同種の作業を多数回繰り返す</li> </ul>	特別化 個別化
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・作業項目が多い</li> <li>・指示を受け取ってから作業するまでの時間が長い</li> </ul>	適合化

表6 発生の可能性を評価するためのチェックリスト(続き)

知覚	<ul style="list-style-type: none"> <li>・判断の基準となる見本・ゲージ・計測器・マニュアル等が無い</li> <li>・目視や触覚により寸法やトルク等の官能的な判断を行なっている</li> </ul>	代替化
・判断ミス	<ul style="list-style-type: none"> <li>・仕様等により選択すべき部品・工具・材料の種類・数量(セットする位置・向き、操作する方向・量、指示票の見方や点検・検査のやり方、危険の有無や危険の種類)が異なる</li> <li>・物を置く場所、並べ方が決まっていない</li> <li>・同種の部品・工具・材料をまとめて置いていない</li> <li>・指示票の書き方が決まっていない</li> <li>・作業指示に記号とか文字だけを使って、絵を併用していない</li> <li>・指示票と棚や物の記号・色が一致していない(物とセットする場所との間に表示・形・色等の対応が無い)</li> <li>・数箇所見なければ指示の内容、設備の状態、製品の品質が判断できない</li> </ul>	共通化 集中化
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・作業指示票の文字や記号が紛らわしい</li> <li>・物や置場の識別表示が無い、あるいは紛らわしい数字・文字・記号等を使っている(長さや面積による識別を行なっている)</li> <li>・向きや方向の識別表示が紛らわしい(物の形状が対称に近い)</li> <li>・別々の似通った部品・工具・材料を近くに置いている(似たような穴やセット箇所が隣接している)</li> <li>・危険物や危険箇所の表示が無い、あるいは見落としやすい</li> <li>・危険物や危険箇所が作業場所から分離されていない</li> </ul>	特別化 個別化
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・めったに起こらないことの認識を行なっている</li> <li>・表示の記号・文字が小さい</li> <li>・表示の位置が見にくい場所にある(見えにくい角度になっている)</li> <li>・複雑な情報や緊急を要する情報の伝達に聴覚を使っている</li> </ul>	適合化
動作	<ul style="list-style-type: none"> <li>・動作を規制するようなガイドやストッパが無い</li> <li>・作業中に部品や工具を空中で保持する必要がある</li> </ul>	代替化
・ミス	<ul style="list-style-type: none"> <li>・部品・工具・材料の配列の仕方が一定でない</li> <li>・仕様等により取り扱う物の形・大きさ・重さ・位置等が異なる</li> </ul>	共通化 集中化
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・別々の似通った動作が混在している</li> <li>・注意を要する動作であるのに普通の動作方法と変わらない</li> </ul>	特別化 個別化
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・つかみにくい形・大きさ・配列である</li> <li>・動作に必要な力が大き過ぎる、あるいは小さ過ぎる</li> <li>・動作の量が大き過ぎる、あるいは少な過ぎる</li> <li>・動作の軌跡が直線的でない</li> <li>・高い所、足場の悪い所で作業する必要がある</li> <li>・危険物や障害物のために不自然な姿勢で作業する必要がある</li> <li>・動作の結果が目で見えない</li> </ul>	適合化

次に、(2)の「影響の致命度」について考える。一つの作業ミスはその影響として、製品の動作不良、機械の故障などの様々な現象を引き起こす。また、これらの現象は、経済的な立場からすれば、不良の手直し費用や能率の低下などの損失としてとらえられる。したがって、「影響の致命度」を評価するためには、各エラーモードによって引き起こされる影響の現象的側面を明確にした上で、それらに伴う経済的損失の有無及び程度をチェ

ックし、ミスが引き起こす影響の重大さをランク付けするのがよい。

最後の(3)の「波及の防止度」の評価には、次の2つが関連する。

(a) 影響が生じる前に未然に異常を検出できる能力

(b) 影響を緩和するための並列化・保護の度合

ここで、(a)については表7(a)の例のような、(b)については表7(b)の例のような定性的なランク付けを行う。両者別々に評点を与えた上で、その合計を用いて「波及の防止度」を評価するのが普通である。

上で述べた『フルプルーフ化の必要性』の評価方法は一般論であり、実際に適用する時には場合々々で状況に即した形に変形させるのが良い。

表7(a) 波及の防止度(異常検出度)の評価

1	設備や治工具等により確実に発見される
2	マーシャリングや照合見本等の工夫がなされており、目視によってほぼ確実に発見される
3	目視でチェックしているが見逃しの危険性がある
4	発見のための処置は皆無である

表7(b) 波及の防止度(影響緩和度)の評価

1	二つ以上の他のエラーモードと重なって始めて影響を生じる、あるいはその影響にとまなうような損失を大幅に減少させる保護処置が取られている。
2	他のもう一つのエラーモードと重なって始めて影響を生じる、あるいはその影響にとまなう損失をある程度減少させる保護処置が取られている。
3	そのエラーモード単独で影響を生じ、またその影響を緩和する保護処置は取られていない

#### 4.4 フルプルーフ化の立案と実施

作業FMEAの最後の段階は、『フルプルーフ化の必要性が大きいエラーモードに対して、フルプルーフ化を立案・実施すること』である。この場合、2章で述べた「フルプルーフ化の原理」の適用が有用である。ここで、この内のどの原理を用いるべきかという一般的な優先順位はないし、一つだけで十分とも限らない。「異常検出」に偏ったフルプルーフ化を行えばクレーム等は確実に防止できるがラインストップは一向に減らないということになるし、「代替化」や「容易化」だけでは確実な保証は不可能である。したがって、フルプルーフ化すべきエラーモード及びその影響が明らかになったならば、その各々について5つの原理に基づくフルプルーフ化の案を総て考えてみるのがよい。その上で、発生防止のフルプルーフ化をねらいとする「排除」、「代替化」、「容易化」の各案については、それにより「発生の可能性」がどの程度減少するかを予想し、波及防止を目的とする「異常検出」と「影響緩和」の各案については、それにより「波及の防止度」がどの程度向上するかを予想して実施すべきかどうかを決めるのがよい。

#### 5. 製造におけるフルプルーフ化の適用例

本章ではいくつかの実際の製造工程にフルプルーフ化を適用した結果について述べる。ここには3つの適用例を紹介するが、それらは

(1) 最終組立作業におけるフルプルーフ化

- ( 2 ) 部品組立作業におけるフルプルーフ化
  - ( 3 ) 部品出庫作業におけるフルプルーフ化
- の例である。

### 5 . 1 最終組立工程のフルプルーフ化

#### 【事 例】

工程は典型的な多品種小ロット生産であり、一ロット数台を一人の作業者が組立てている。大部分の部品は台数分だけセット支給されるが、ネジ、ワッシャー、ラベル等の小物類については作業場所に部品箱が設置されている。また次工程では製品の最終検査が行なわれており、そこで発見される不良の55%が作業ミスによるものであった。

表8に作業FMEAの結果の一部を示す。ただし、ミスの影響としては不良品の発生にともなう市場クレームのみを問題とし、「影響の致命度」に関する評価においてはクレーム一件の重要度を同等とした。また、「波及の防止度」については「異常の検出能力」だけを問題にし、自工程及び後工程で発見できるかどうかのみにより評価した。解析の結果として、全作業が約200の作業要素に区分され、フルプルーフ化の必要なエラーモード約50が洗い出された。これらの中には共通するものが多く、それらをまとめると

- ( 1 ) ネジ・ワッシャー類の取り忘れ
- ( 2 ) ネジ・ワッシャー類の選び間違い
- ( 3 ) 仮組みネジの本締め忘れ
- ( 4 ) 締付トルクの不足

等が主要な項目となった(これは次の検査工程における不良内容と対応するものであった)。したがって、その各々について表9のようなフルプルーフ化を実施した。結果として、検査工程では図7に示すような作業ミスによる不良の減少が見られた。

表9 フールプルーフ化の適用例(1)

作業ミス	フルプルーフ化の方法
ネジ・ワッシャー類の取り忘れ及び選び間違い	1) 作業標準書に番号を記入して作業の順序を固定し、その順序に従ってネジ・ワッシャー類を配列する 2) 作業標準書の図及びそれと対応する現物(ネジ・ワッシャー類の箱)とに同色同形のラベルを貼付する 3) 一台分のネジ・ワッシャー類を区分けされたパレットに用意し、作業終了後に余りの有無を確認する(このパレットに対して上記の2つの対策を行った)
仮組みネジの本締め忘れ	4) 外観上明らかに仮組みネジとわかる専用の治具を用いるようにし、仮組みネジで組立てた後一本一本普通のネジと交換して締め付けていくようにする 5) 電気ドライバーの使用回数をカウントし、それを基準値と比較して異常ならブザーを鳴らすようにする
締付トルクの不足	6) トルクドライバーを用いる 7) 手順を締付けが行ないやすいように入れ替える
ラベルの貼付間違い、位置ずれ	8) 作業標準書の図に現物表示をする 9) 位置決め用の専用貼付け治具を用いる

表8 作業FMEAの例

No	作業要素	エラーモード	影響	発生原因	発生可能性		影響の致命度	波及防止度		F P 化 必 要 性
					実績	可能性		異常度検	影響緩和	
1	部品Aを取る	抜け	A欠品		0	0		2		0
2	部品箱から ネジを取る	抜け	A欠品	類似作業の繰り返し	0	0		2		0
		選び間違い	Aの緩み	種類不明確、標準書との対応が複雑	0	1		4		4
3	良否を確認する	抜け	外観不良	付随的作業、動作を伴わない	0	1		3		3
4	部品箱から スプリングを取る	抜け	Aの緩み	類似作業の繰り返し、付随的作業	2	1		3		9
		選び間違い	Aの緩み	種類不明確、標準書との対応が複雑	0	1		4		4
5	良否を確認する	抜け	外観不良	付随的作業、動作を伴わない	0	1		3		3
6	ネジにスプリングを入れる	抜け	Aの緩み	実施結果が外観で不明、付随的作業	2	1		3		9
7	ネジで部品Aを 本体に仮組みする	抜け	A欠品		0	0		2		0
		位置の間違い	Aの作動不良		0	0		2		0
8	電気ドライバーのトルク設定	抜け	Aの緩み	やったりやらなかったりする、付随的作業	0	1		3		3
9	電気ドライバーで本締めする	抜け	Aの緩み	実施結果が外観で不明、類似作業の繰り返し	2	1		4		12

実際の  
ミスの有無

ミスの起こる  
可能性

有 : 2      大 : 2  
無 : 0      中 : 1  
                 小 : 0

「実績」と「可能性」の合計を  
「発生の可能性」とする

ミスを見える  
可能性

大 : 0  
中 : 1  
小 : 2

自工程と後工程の評価点の  
合計を「発見の可能性」とする

フルプルーフ化  
(FP化)の必要性

「発生の可能性」×  
「異常検出能力」

(注)「影響緩和度」と  
「影響の致命度」は評価しない

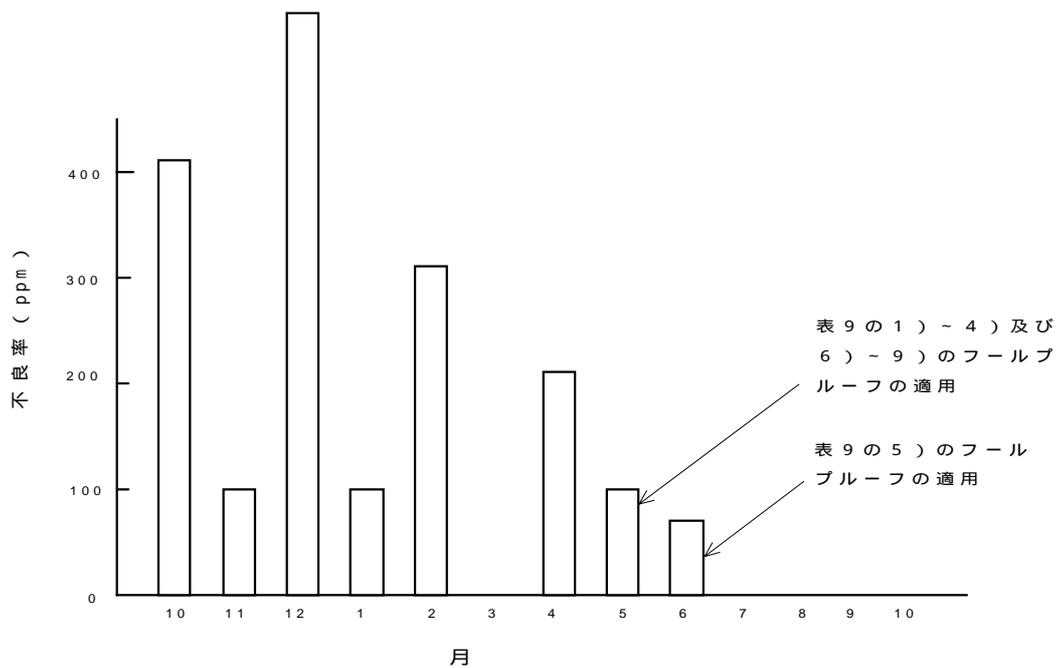


図7 フールプルーフ化の効果(1)

## 5.2 部品組立工程のフルプルーフ化

### 【事例】

基板に部品を手挿入する工程である。1ロット数枚を一人の作業者ですべて組立てる。1ロット分の基板を回転式テーブルに固定する。支給された部品の中から一つを取ってそれぞれの基板に順次挿入していき、一通り終わったら次の部品に進む。全不良の内の75%が作業ミスによるものであり、ミスの発生割合は350ppmであった。

作業FMEAを行なって110のエラーモードを洗い出した後、それぞれについて評点をつけ、一定点数以上のエラーモード(約半数)をフルプルーフ化することにした。これらのエラーモードについて表10のようなフルプルーフ化を行った結果、それぞれのミスが1/10程度になり、全体として図8に示すように50ppm近くまで低減することができた。

表10 フールプルーフ化の適用例(2)

作業ミス	フルプルーフ化の方法
極性のある部品の逆向き組付け	1) 極性のあるものは予め極性をそろえてテーピングしておく 2) 作業標準書の図の+極を示す赤マークに対応して+極の方のテープの片側に赤い線を引いておく 3) 作業順序を統一し極性が同じ向きのはまとめて挿入する
組付け忘れ	4) 必要な数量の部品だけを支給する 5) 回転式テーブルにスタート位置の表示を行なう
組付け穴間違い	6) 作業標準書に現物の絵を入れて挿入する穴位置を明記する
その他	7) 標準書の図と対応する部品箱とに同色同形のラベルを貼る

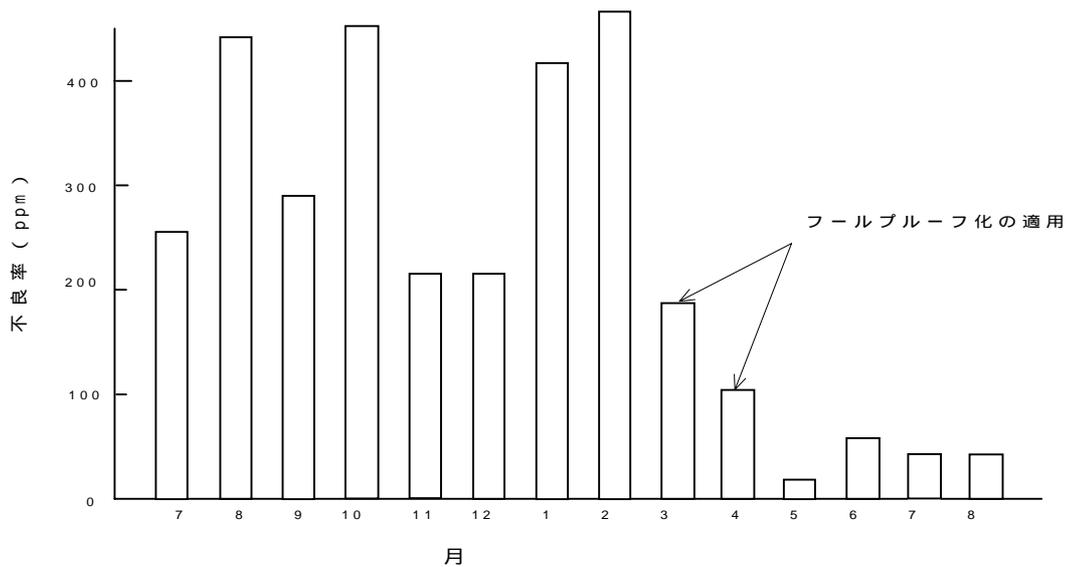


図8 フールブルーフ化の効果(2)

### 5.3 部品出庫作業におけるフルブルーフ化

**【事例】**

ある電気素子の出庫作業における品名違いが問題となっている。この工程では、作業者が端末から品名を入力すると、その部品のトレーの載ったパレットが自動的に正面に回ってくるようになっている。またそれと同時に、そのパレットの何番目のトレーかを示す番号が端末の画面に表示されるようになっている。したがって、作業者は番号を見てパレットの中の対応するトレーを取り出し必要な数の部品を出庫する。品名違いの原因としては、品名の入力ミスとトレーの取り間違いの両方が考えられましたが、過去の品名違いを解析した結果、同じパレットに載っている部品同士の取り違いであることがわかった。

表11のようなフルブルーフ化の検討・実施を行った結果、図9に示すように150 ppm程度あった出庫間違いが40 ppm近くまで少なくなった。

表11 フールブルーフ化の適用例(3)

原理	フルブルーフ化の方法(案)	効果	経済性
代替化	トレーの前にランプを取り付けて品名を入力すると対応するトレーのランプが点灯するようににする		×
容易化	パレットのそれぞれのトレーに対応する位置に番号を表示する		
異常検出	トレーにチェック用の1桁の数字を付けるとともに品名を入力するとこの数字が表示されるようにしておき両者を確認する	×	
影響緩和	品名が違う部品を出庫しても後工程で気付いた時にすぐに取り替えられるように、予備の部品を用意しておく	×	

注) 容易化に基づくフルブルーフ化を採用した。

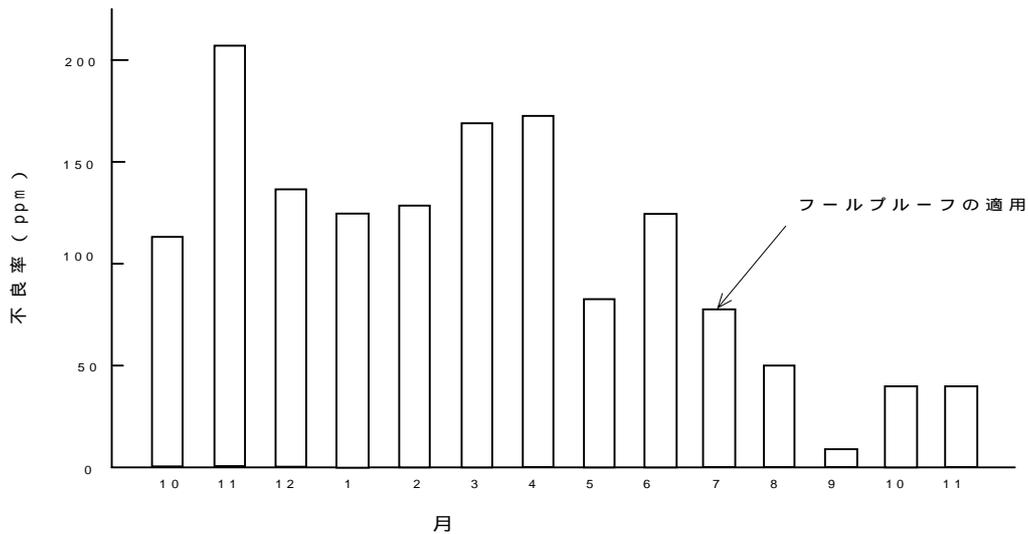


図9 フールプルーフ化の効果(3)

## 6. 作業ミス防止活動の組織的推進

### 6.1 作業ミスから見た作業管理の仕組みの評価

作業ミスに対する対策は大きく

- (1) ミスが発生した作業やミスを起こした作業者に対する対策
- (2) 類似の作業や他の作業者に対する対策
- (3) それらの作業や作業を生み出している作業管理の仕組みに対する対策

の3つのレベルに分けられるが、個々のミスの発生率が低く多種多様なミスがかかるがわる健在化している職場においては、これの事例をより総合的に分析し、(2)や(3)のレベルの対策にまでつなげることが重要となる。表12は、実際の製造現場における作業ミスの事例に基づいて、作業管理者の立場から品質や安全に関する作業ミスを解析する場合の分類方法、各々の場合に取りべきべき対策をまとめたものである。なお、ここで言う『作業管理の仕組み』とは、「作業の構成要素(標準、人、治工具、部品・材料、手順、生産計画など)を適正な状態に保つために組織によって行われる体系的活動」を指す。

分類項目 はどのような作業を行うべきかの基準、すなわち「標準作業」が定まっておらず、作業のやり方が作業者の自主的な判断に任されていた場合である。また、分類項目 は標準作業が定められていたにもかかわらずその内容や重要性が周知徹底されておらず、作業者が標準作業に沿って作業していなかった場合である。分類項目 は標準作業中に無意識に発生するミスに対応する。これは、作業管理者の視点から見れば、標準作業の内容の問題として捉えられる。なお、上記の3つの分類項目はその定義から明らかなように適用の順序がある。すなわち、項目 に当てはまるかどうかは項目 に該当しない場合に、項目 に当てはまるかどうかは項目 に該当しない場合に、初めて検討されることになる。

分類項目 の「標準作業が確立していない」場合はどのような作業を行うべきか明確に定まっていないのであるから、作業方法やその教育・訓練のどこに問題があったか議論するのは無意味である。作業の標準化に関わる管理システムの改善が重要となる。この項目に該当するミスは

表 1 2 作業管理の仕組みの評価のための作業ミスの分類とその対策

ミス発生時の作業状況			ミスの発生傾向	ミスに対する対策		
				個別の対策	水平展開による対策	仕組みに対する対策
) 標準作業が確立してなかった (どのような作業が正しい作業か決まらなかった)	a) 標準作業を決めてなかった	必要がないと判断した 作れなかった	<ul style="list-style-type: none"> <li>・同一作業者が行う作業全てに系統的に発生する</li> <li>・作業者の交替時又は新人作業者の時に発生する</li> <li>・量産立ち上がり時又は小量生産品に多い</li> <li>・1作業当たりの発生率が高い (数~0.1%程度)</li> </ul>	・ミスが起こった作業について標準作業を決める	・他の作業について標準作業が決まっているか見直す	・標準作業の設定に関する判断基準、手順、担当などを明確にする
	b) 正しく行なえば問題が発生しない標準作業にしてなかった	問題に気づいてなかった 十分な対策を取ってなかった		・ミスが起こった作業について生産技術の面から標準作業を再検討し、改訂する	・他の標準作業について内容を見直す	・標準作業の設定における技術上の注意点を明確にする(技術標準の作成)
	c) 適切な標準化を行ってなかった	使える形に保守してなかった 理解・実施しやすいものにしていなかった		・標準作業を最新のものにする ・手順を具体化する ・写真、図、見本等を活用する	・他の標準書について管理状態を見直す	・標準書の作成、管理、改訂の仕組みを改善
) 標準作業は確立していたがミスが起こった時、作業者はそれに従って作業してなかった	a) 正しい標準作業の方法を理解させてなかった	教育してなかった 作業者が正しく覚えているか確認してなかった	<ul style="list-style-type: none"> <li>・同一作業者が連続して行った作業の中、1回又は数回発生する</li> <li>・疲労時や作業負荷の大きい時に多い</li> <li>・1作業当たりの発生率が低い (0.1~0.01%程度)</li> </ul>	・ミスを起こした作業者に対して標準作業の教育を行なう	<ul style="list-style-type: none"> <li>・他の作業者について標準作業通り作業しているか、技能的に無理がないか見直し、必要な処置を取る</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・標準作業の教育・訓練の仕組みを改善する</li> <li>・技能の資格制度を制定又は改善する</li> <li>・職場配置の決め方を見直す</li> </ul>
	b) 標準作業通り作業するのに必要な技能を考慮してなかった	技能訓練を行ってなかった 作業者の技能に合った作業を与えていなかった		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ミスを起こした作業者に対して標準作業の実施に必要な技能の訓練を行なう</li> <li>・作業者の職場配置を替える</li> </ul>		
	c) 標準作業通り作業する重要性を理解させてなかった	標準作業通り作業するように指示・指導してなかった 標準作業通り行わない場合の危険を周知してなかった 標準作業通り作業するのに必要な時間を与えてなかった		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ミスを起こした作業者に標準作業通り作業するよう指導、指示する</li> <li>・ミスを起こした作業者に標準作業通り作業しない場合の危険について分からせる</li> <li>・標準作業通り作業する時間を与える</li> </ul>		
) 標準作業が確立しており、ミスが起こった時も、作業者はそれに従って作業していた	a) 作業に対する外部からの影響を考慮していなかった	作業計画について十分検討していなかった 作業環境についての配慮が欠けていた		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ミスが起こった作業について作業計画及び人員計画を変更する</li> <li>・ミスが起こった作業の作業環境及び余裕率を改善する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・他の作業について作業計画、環境について同様の問題がないか見直し、改善する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・作業計画の立て方を改善する</li> <li>・作業環境の評価・管理方法を見直す</li> </ul>
	b) 標準作業に対してミスの観点から改善を行ってなかった	ミスの危険性に気づいてなかった 作業方法の改善が不適切又は不十分であった		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ミスが起こった作業について当該のミスに対する作業方法の改善を行なう</li> </ul>		

- a) 標準作業は決まっていたか
- b) 決められた標準作業の内容は生産技術的に正しいものであったか
- c) 標準類の整備の仕方は適切であったか

によってさらに3つの場合に細分できる。a)の場合には、必要がないと判断したのか作れなかったのかを調べ、その結果に基づいて標準書作成の仕組みを改善すべきである。また、b)の場合には、標準書の保守方法や標準書の書き方を見直すべきである。さらに、c)の場合には、何故そのような標準書が作成されたのか調べ技術標準等に対する対策を取る必要がある。

分類項目の「標準作業の不履行」は教育・訓練・動機付けの問題である。この項目に該当するミスは

- a) 標準の内容を知らなかったのか
- b) 技能不足で行えなかったのか
- c) 標準通り作業する必要が無い思ったのか

によってさらに3つに細分できる。a)の場合には、標準書の内容を知らなかった原因を解析し教育方法を改善すべきである。また、b)の場合には、訓練が適切に行われていたか、職場配置を決める際に作業者の技能について検討していたか見直すべきである。さらに、c)の場合には、作業者が何故標準通り作業する必要がないと判断したのか調査し、指示や指導の仕方のどこに問題があったか明らかにする必要がある。

分類項目の「標準作業中のミス」については

- a) 作業者に対する負荷や環境条件等の外部からの影響を考慮した作業計画であったか
- b) ミスの危険性を考慮した作業方法であったか

検討すべきである。a)の場合には、生産計画の立て方や作業環境の管理方法を改善する必要がある。また、b)の場合、すなわち標準作業として決められた手順や設備がミスを起こしやすくミスの発生が分かりにくいものになっていると判断される場合には、何故そのような欠陥が見過ごされていたのか作業設計の方法を見直すべきである。

## 6.2 作業管理の仕組みの改善の例

表13は表12に示した作業管理の仕組みの評価方法を

- (A) 大型機械の加工・組立作業
- (B) 設備機器の組立作業
- (C) 電気製品の組立作業
- (D) 機械部品の加工作業
- (E) 化学プラントの操作作業

を行っている5つの職場に適用した結果を示したものである。なお、評価のための作業ミス事例の収集にあたっては、組織的に蓄積された不具合報告書や工程異常報告書の中から特定期間のものを抜き出して調査し、作業者に関係すると判定されたものを分類の対象とした。また、必要と考えられる場合には作業者等に対するインタビューを適宜行った。

職場Aでは、標準作業の内容が作業者に周知徹底されていなかったことに着目し、作業者教育の見直しを組織的に行った。標準書の内容を分かりやすく示したポイントカードの作成とそれに基づく作業方法の教育、監督者と作業者が一体になって進める個人別指導管理、ミーティングやポスター等による具体的な作業ミス事例の紹介、ポケヨケ事例集に基づくミス防止の技術の教育などを実施した。結果として、図10に示すように、工程における単位作業時間当たりの作業ミスの発生率が約1/2となった。ただし、ここで言う「作業ミス」とは工程内検査において発見された製品不良の内、作業ミスに起因すると考えられるものである。

表 1 3 作業管理の仕組みの評価結果

職場		作業ミスの分析結果	作業管理の実状
A	大型機械の加工組立作業（多品種少量生産）	<ul style="list-style-type: none"> <li>標準作業の不履行が約 8 0 %</li> <li>教育の不適切さに起因するものが多い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>厳密な品質保証体制を取っており作業標準書は全て整っている</li> <li>社内の配置転換が行われ不慣れな作業者が多い</li> </ul>
B	設備機器の組立作業（小量不定期生産）	<ul style="list-style-type: none"> <li>標準作業中のミスが約 8 0 %</li> <li>標準作業の未確立が約 1 0 %</li> <li>作業方法の不適切さに起因するものが多い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>作業管理者にミスは作業者の責任という意識が強い</li> <li>一部作業標準書が未整備</li> </ul>
C	電気製品の組立作業（小量受注生産）	<ul style="list-style-type: none"> <li>標準作業の未確立が約 5 0 %</li> <li>標準作業の不履行が約 5 0 %</li> <li>標準作業が決まっていないもの、教育の不適切さに起因するものが多い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>製品のライフが短く、基本作業の標準書しか作れない</li> <li>作業に応用動作が要求される要素が大きい</li> </ul>
D	機械部品の加工作業（大量生産）	<ul style="list-style-type: none"> <li>標準作業の不履行が約 6 5 %</li> <li>標準作業中のミスが約 3 5 %</li> <li>教育、訓練、動機付けに関するものが同程度の割合で発生している</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>作業標準書が完全に整備されている</li> <li>女子のパートが多く、勤務時間のずれ等による配置転換が多い</li> </ul>
E	化学プラントの操作作業（大量生産）	<ul style="list-style-type: none"> <li>標準作業中のミスが約 6 0 %</li> <li>作業方法の不適切さに起因するものが多い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>主要な作業標準は完備している</li> <li>ミスはそれを起こした個々の作業者の観点からのみ解析されている</li> </ul>

職場 B では、ミス防止の観点からの作業方法の評価・設計が適切に行われていなかったことに着目し、作業方法の改善に対する組織的な取り組みを行った。従来、作業者の不注意として安易に片づけていた 1 件 1 件のミスについて作業方法のどこが悪かったのか解析するとともに、作業 F M E A を用いて工程に潜在するミスの危険を洗い出し、これらを通して明らかになった問題点に対して適切なフルプルーフ化の対策を実施した。結果として、図 1 1 に示すように、客先で発見された製品不良の内、作業ミスに起因すると考えられるものの件数が約 1 / 4 となった。

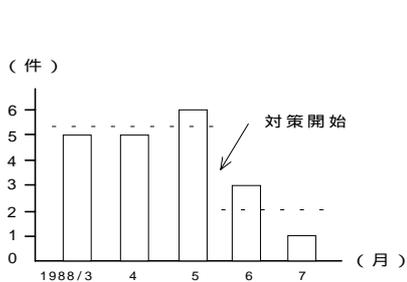


図 1 1 職場 B おける効果

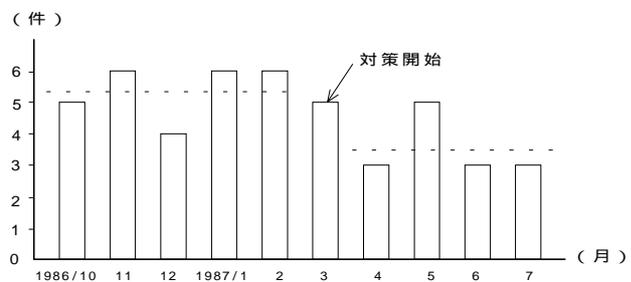


図 1 2 職場 C における効果

職場Dにおいては、「標準作業の不履行」に起因する作業ミスが大半を占めている点に着目し、「決めたこと、守って出すな不良品」というスローガンを設けて自主点検及び初物・終物・変更時の確認を含めた標準作業の遵守を推進した。結果として、図12に示すように、作業ミスに起因する客先不良件数を半減させることができた。

職場Eにおいては、作業方法が不適切なことに起因する「標準作業中のミス」が多いことに着目し、フルプルーフ化の組織的な推進を行った。発生したミスが作業方法の問題として捉えられるように作業ミス原因解析シートの様式を変更した上で、ミスを起こしやすい作業や過去にミスを起こした作業を全員で洗い出し、実施計画に基づく確実な対策の実施をはかった。また、フルプルーフ化事例集による水平展開、コンテストによる職場の意識の盛り上げも行った。結果として、4年間で214件のフルプルーフ化が行われ、図13に示すように、作業ミスに起因する工程異常件数が約1/3となった。ただし、ここで言う「工程異常」は工程異常報告書によって組織的に収集されたものであり、一定量以上の製品不良の発生、設備の故障、生産の中断等を含む。

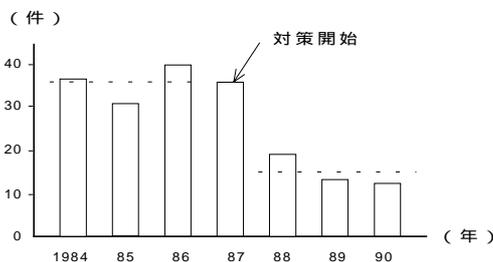


図13 職場Eにおける効果

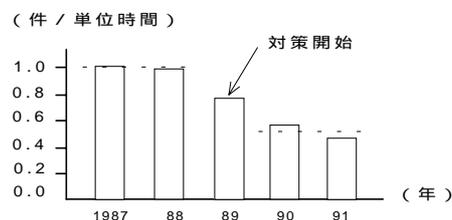


図10 職場Aにおける効果

### 6.3 作業管理の仕組みの改善の原則

作業管理の仕組みとミスの発生との対応は必ずしも単純ではない。以下の10項目は、多くの職場における作業管理の仕組みの現状とそのもとで発生しているミスの内容を詳細に解析した結果に基づいて、「作業管理の仕組みの改善の原則」をまとめたものである[11][12]。

(原則1) 標準の不備に起因するミス(型)を防止するためには、すべての作業について標準を作り、定期的に見直すことを原則とするのが有効である。標準の整備が進めば、作成した標準に基づいて意図しない標準からの逸脱の危険性について検討できるため、標準通り作業している状況で発生する意図しないミス(型)も少なくなる。

(原則2) 標準通り作業していない状況で発生するミス(型)を防止するためには、作業者の能力評価を行ったり、評価結果に基づく計画的な教育・訓練を実施するなど、作業員一人一人に対する個別の対応を強化することが有効である。これは、特に技能に関わる問題、すなわち標準通りできない状況で発生するミスの防止において重要となる。また、標準を守らない状況で発生するミス(c型)を防止するためには、作業を観察したり、不具合事例を用いて標準の重要性を教えるなど、作業員に対する指示・指導を徹底して行うことが有効である。

(原則3) 標準に従って作業している状況で発生する意図しないミス(型)を防止するためには、作業計画や作業方法をミスの視点からの評価することが有効である。逆に、ミス防止活動をこのような立場から進めることにより、標準の整備も徹底される。

(原則4) 標準を知らない、標準通りできない状況で発生するミス(a型、b型)を防止するためには、ベースとしてまず標準を整備することが重要である。これは、標準

が整備されていないと標準に基づいて作業者の知識・技能を評価するという方法論が生まれなためである。反面、すべてのものの標準を作るのは、標準を守らない（c型）という標準の軽視につながる。重要な作業について、抜けなく標準を作る姿勢が重要である。

（原則5）標準の技術的な誤りや作業方法が不適切なために発生する意図しないミス（b型、b型）を防止するためには、標準作成に作業者を参画させるなど現場との密着度を高めることが有効である。これによって、標準を知らないや標準を守らない状況で発生するミスなど、教育や動機付けに関連する問題も合わせて防止できる。

（原則6）教育・訓練・動機付けの効果は、自動化の割合、非定常作業の割合、品種の数、応援作業者の数等の職場の属性や標準化の状況によって大きく異なる。したがって、各々の職場の特徴を踏まえた活動を展開することが重要である。

（原則7）標準がどれだけ整備されているか、手順と条件を区分した標準を作っているか、作業者が標準の作成にどれだけ関与しているか等の標準化の状況は、教育・訓練・動機付けの効果に影響を左右するため、それぞれ個別に考えるのではなく、関係をもって進めることが重要である。これは特に教育について言える。

（原則8）標準を知らない状況で発生するミス（a型）を防止する目的で教育の計画面を強化する場合には、標準に含まれる手順と条件を区分することを合わせて考えるのがよい。また、教育の完全度をあげる場合には、作業者の標準作成への参画を合わせて考えるのがよい。これによって相乗的な効果が期待できる。応援作業者の多い職場、非定常作業が多い職場においては、教育の計画度や完全度に力をいれるのが特に効果的である。

（原則9）標準通りできない状況で発生するミス（b型）を防止するためには、標準の完全度と訓練の完全度を同時に改善することが有効である。訓練の効果を高めるためには、作業者を標準作成へ関わらせた方がよい。また、非定常作業が多い職場では、訓練の評価面に力をいれるのがよい。

（原則10）標準に守らない状況で発生するミス（c型）を防ぐ目的で標準を守ることの必要性の指導を徹底する場合には、標準の中に含まれている手順と条件を区分することも合わせて考えるのが効果的である。また、応援作業者が多い職場では、作業観察を徹底するのがよい。

## 7. ま と め

本書では、作業や作業ミスの種類に依らず汎用的に適用できるフルプルーフ化の5つの原理、すなわち「排除」、「代替化」、「容易化」、「異常検出」、及び「影響緩和」を示し、それらに基づく具体的な対策を立案・実施する方法について述べた。また、FMEAの考え方を作業方法に内在するミスの危険性を洗い出す問題に適用する場合の方法を、考慮すべき16のミスモードと有効な作業区分の単位とともに示した。さらに、作業ミス防止活動を組織的に推進する際に有効な作業管理の仕組みの評価方法についても述べた。これらは、現場の知恵や思い付きの域から脱した一般的なフルプルーフ化の方法論を確立するための一助となるものであると考えている。しかし、問題の性質上これをもって完全とすることはできない。実際の様々な問題に対する適用を通してその妥当性を検討するとともにさらに新しい方法を開発していく必要がある。

## 参考文献

- [ 1 ] 工場管理編集部(1979);"全員参加の品質保証マニュアル - ポカヨケ・ミス防止事例 90選", 「工場管理」, 25, [15].
- [ 2 ] 新郷重夫(1985);「源流検査とポカヨケ・システム」, 日本能率協会.
- [ 3 ] 平野裕之(1986);“ホカヨケ大図鑑”, 「工場管理」, 31, [8].
- [ 4 ] 平野裕之(1990);「ポカヨケ導入の実際」, 日刊工業新聞社.
- [ 5 ] 鐘淵化学工業ポカヨケ研究会(1991);「装置型職場のポカヨケ活動」, 日本能率協会.
- [ 6 ] 中條武志・久米均(1984);“作業のフルプルーフ化に関する研究 フールプルーフ化の原理 ”, 「品質」, 14, [2], 128~135.
- [ 7 ] 中條武志・久米均(1985);“作業のフルプルーフ化に関する研究 - 製造における予測的フルプルーフ化の方法 ”, 「品質」, 15, [1], 41~50.
- [ 8 ] 中條武志・久米均(1985);"作業のフルプルーフ化に関する研究 - 製造におけるフルプルーフ化の方法(1)", 「品質」, 15, [4], 350~359.
- [ 9 ] 中條武志・久米均(1986);"作業のフルプルーフ化に関する研究 - 製造におけるフルプルーフ化の方法(2)", 「品質」, 16, [1], 4~13.
- [ 10 ] 中條武志(1993);"ヒューマンエラー事例に基づく作業管理システムの評価", 「品質」, 23, [3], 105~113.
- [ 11 ] 中條武志・吉井克宜・菊地貴志(1999); "作業管理システムが作業ミスの発生に与える影響", 「品質」, 29, [2].
- [ 12 ] 菊地貴志・中條武志(2000);"作業者を教育・訓練・動機付けする方法と標準に従って作業していなかったミスとの関係", 「品質」, 30, [2].