管理資訊計算 2013 年第 2 卷第 1 期第 71-91 頁

# 設計失效模式影響分析結合德菲法應用於機上盒之研究
# Application of DFMEA with Delphi Method on the Design of Set-Top Box

杜雅蘭[1]　　林永仁[2]


## 摘要

假若產品設計開發階段就能及早發現潛在的風險，進而採取有效的改善措施，將可避免生產製造時失效的發生，或後續出貨至客戶端因為產品失效而導致商譽損失等影響。因此，在設計階段即考量到潛在風險為研發設計的重要課題。

本研究以個案公司生產之機上盒(Set Top Box，STB)的設計開發為例，先利用部分專家列舉FMEA因素，然後以開放式問卷對其他專家訪談，以發掘更多失效模式之因素，並應用修正式德菲法和模糊德菲法凝聚所有專家對於失效因素之共識並獲取每一因素之嚴重度、發生頻度、偵測度的估計值，建立一套機上盒設計開發時應考量到的設計潛在風險因素。

本研究結果顯示，專家對於設計 STB 失效模式分析的重要因素看法高度一致，主要可以歸納成六個構面，分別為安全性、電磁相容、電源電路、性能、功能及可靠度。安全性設計主要是法規與生命安全的考量如雷擊、過溫保護；五成的重要因素，皆屬於電磁相容如：射頻干擾(RF)與電源電路的構面，這些失效模式可能導致機台無法使用。其他的重要因素為性能、功能及可靠度。本研究建構機上盒 DFMEA 的模型範本，供產業界設計機上盒時的參考。


**關鍵詞：**失效模式和影響分析、修正式德菲法、模糊德菲法、灰關聯、機上盒。

## 1. 緒論

### 1.1 研究動機

追求品質卓越的企業通常會經由國際標準化的認可，而通訊電子業中，有一套專為通訊電子業設計的品質管理標準 TL9000，此標準是建構在 ISO9001 之上但另外再增添特別關於通訊電子業的品系統標準條文及衡量指標的要求。其中 TL9000 在 2009 年 11 月第四次的修訂新增了風險管理計畫的要求，成為本論文案例企業所新增的一項課題。

本研究案例企業於研發部門導入的風險管理，在產品設計開發階段時如果能及早發現潛在的風險進而採取有效的改善措施，可以避免失效的發生及連帶產生的影響，其中研發設計產品的各項風險項目的評估及優先順序的建立，使用產業界常見的方法失效模式和影響分析(Failure Mode and Effect Analysis, FMEA)作為工具，然而 FMEA 在使用上有著主觀意識的問題，不同的研發團隊(以 FMEA 的語言謂之核心小組)，對於相同產品且相同的失效模式及其影響有不盡相同的看法，進而直接影響到 FMEA 中用以量化的三個評分等級：嚴重度(S)、發生頻度(O)、難檢度(D)及其三者乘積所得的風險優先數(RPN)。有鑑於此，如何有效的應用 FMEA 手法，始成為本研究的動機。

### 1.2 研究目的

失效模式和影響分析(Failure Mode and Effect Analysis, FMEA)手法簡單易用所以廣泛的使用於產品設計開發，雖如此，FMEA 實施步驟中，失效模式因素的蒐集及量化的標準因個人觀點不一，故本論文將運用修正式德菲法(Modified Delphi Method)與模糊德

[1]大同大學工程管理碩士在職專班研究生
[2]大同大學材料工程學教授

菲法(Fuzzy Delphi Method, FDM)，並進一步與傳統 FMEA 比較，以達到下列目的:

(1)依據實務經驗建構機上盒(Set-top Box)設計失效模式與影響分析(DFMEA)的因素。

(2)探討修正後機上盒(Set-top Box)的 FMEA 的 RPN 與傳統 FMEA 的 RPN 之差異。

(3)提供一個可供產業界使用的機上盒設計失效與影響分析(DFMEA)參考範本。

### 1.3 研究流程與方法

本論文將結合 FMEA 和德菲法，先蒐集相關文獻佐證本研究論點，並透過問卷調查與專家評估，最後將得到的資料進行統整建立機上盒的 DFMEA 架構，研究流程分別列為下列幾個階段，如圖 1.1 所示：

步驟一：研究主題確認，包含研究問題的定義研究動機及研究目的。

步驟二：相關文獻探討，文獻領域包含專案風險管理、失效模式和影響分析(Failure Mode and Effect Analysis, FMEA)和德菲法(Delphi Method)的期刊、論文等資料蒐集。

步驟三:研究設計,闡述設計失效模式和影響分析(DFMEA),修正式德菲法(Modified Delphi Method)與模糊德菲法(Fuzzy Delphi Method) 的實施步驟。

步驟四：運用研究方法，以個案之研發設計之產品機上盒進行設計失效模式和影響分析(DFMEA)，並利用修正式德菲法與模糊德菲法做專家問卷調查之分析，達到客觀並有效的研究分析結果。

步驟五：針對研究結果提出結論及建議。

## 2. 文獻探討

本章針對本論文所應用的理論探討文獻，包含風險管理、失效模式與影響分析(FMEA)與德菲法(Delphi Method)。

### 2.1 風險管理

辨識風險的工具與技術

辨識風險是風險管理中其中一個重要的步驟，是判斷哪些風險會影響專案目標並且將其風險特徵記錄下來的一個過程。

本研究所提出的觀點是由風險管理做為起始，透過風險管理的的概念更能延伸本文論點所應用的工具及方法：設計失效模式與影響分析及德菲法。

### 2.2 失效模式和影響分析(Failure Mode and Effect Analysis, FMEA)

DFMEA 程序及步驟 JEDEC JEP131B(2012)及 SANKAR, N(1001)等整理之步驟如下：

DFMEA 屬於動態的文件，在設計時產品成型前就需開始，而且在之後產品開發的各階段中，當發生更改或獲得更多的資訊時，應及時、持續、不斷地修改和更新。

定義系統功能

列舉所有潛在的失效模式及其影響

評估失效的模式的嚴重程度

列出潛在失效原因

評估失效發生的頻率

描述失效的偵測方法

評估風險優先數（RPN）

確定矯正設計或採取其他行動，以消除失效或控制風險所需的矯正措施的建議

經適當控制評估改善成果完成 FMEA 分析表格並持續修改及更新

RPN (Risk Priority Number):風險優先指數，說明如下：

(1)風險優先指數(RPN)=嚴重度計點(S)＊發生頻度計點(O)＊偵測度計點(D)

### 2.2.1FMEA 缺點

FMEA 手法簡單廣泛使用於各行各業，但在量化嚴重度計點(S)＊發生頻度計點(O)＊偵測度計點(D)並乘積得到風險優先指數(RPN)時，雖 FMEA 定義為核心小組成員根據標準評分，但卻存在因評分者的經驗或認知不同的主觀意識導致評分差異的缺點。另外，楊麗伶(2009)提到，RPN 可能淪為應付稽核的工具，例如不想針對失效模式進行對策改善即降低評度，使得 RPN 乘積不超過門檻值。

## 2.3 德菲法(Delphi Method)

德菲法(Delphi Method)中文亦稱德爾菲法、德菲爾法或有稱做為懷德術皆為中文翻譯上差異，皆為相同的方法，張紹勳(2012)。德菲法是美國蘭德公司(RNAD corporation)發展為預測蘇聯欲癱瘓美國所需的原子數量，利用專家群體對未發生的事共同進行預測，在過程中凝聚共識以做為最終供決策者參考的一種分析方法。張紹勳(2012)傳統德菲法步驟：

(1) 確認研究主題
(2) 問卷蒐集方式確保為匿名，一般問卷採郵寄方式
(3) 選擇專家
(4) 編製第一回合問卷
(5) 進行郵寄問卷調查
(6) 回收問卷及催促問卷
(7) 彙整分析第一回合問卷，做為第二回合問卷設計的基礎
(8) 編製第二回合問卷，將第一回合分析的結果及其他專家意見在第二回合問卷中顯示，以便讓受訪者了解其他專家看法異同再次做評估。
(9) 第二回合問卷郵寄及回收，分析第二回合問卷評分結果並編製第三回合問卷
(10) 第三回合問卷郵寄及回收，分析第三回合問卷評分結果。

參與德菲法的專家：

Listone(1978)認為德菲法的專家，應為擁有相同經驗的人，對於該領域有相當的熟悉度。專家人數的部分因各學者看法不一至今無定論，Listone(1978)認為熟悉該領域 7 位，如果太多的專家反而會導致效率降低。Adler＆Ziglio(1996)認為同性質的專家人數 10 位至 15 位即可，若有非同質性的專家則應依狀況增加專加人數；但也認為如果專家人數超過 15 人對於分析結果的可信度會隨著專家人數增加而減少。Parente & Anderson(1987)則提到在研究結束前，持續參與的專家需維持在 10 人以上。另外也有學者提出專家數量越多越好，如 Wild & Torgersen(2000)建議 300 到 500 份才具備代表性。

德菲法的統計與分析：

德菲法蒐集群體意見求一致性，會將所得到的資料經由統計量化呈現專家對評估主題的看法及分布情況。朱經明(1997)常見的統計方法：

四分位差(Quartile deviation)：是 Q3, Q1 差距的一半，可呈現專家意見分布情況，並用以判斷專家一致性。且四分位差較全距穩定，較不受極端值的影響。(註：全距亦稱極差，最大值與最小值的差距，也是統計學中計算離散程度的一種方法，為最簡單的計算值，亦受極端值影響)。

四分位差以公式表示：QD=(Q3-Q1)/2。

一致性的統計與判定：

專家意見的一致性檢定以四分位差顯示，Faherty(1979)認為四分位差小於或等於 0.6 以下視為高度一致性，且題項 85%一致才算完成問卷。Murry & Hammons(1995)則為題項 75%一致就算完成問卷。Michael C.＆John F.(1993)專家對於該題項四分位差小於或等於 0.6 以下視為高度一致，四分位差介於 0.6~1.0 之間為中度一致，而四分位差大於 1.0 則未達到共識一致，視為低度一致。

德菲法的缺點：

雖德菲法廣泛的運用在各種範圍，但仍有部分缺點 Ishikawa(1993)：

為了得到專家一致可能需要重覆問卷耗時，問卷回收率低，且未處理語意模糊的問題。

2.3.1 修正式德菲法

因傳統德菲法的缺點在問卷往返費時，因此發展出的修正式德菲法(Modified Delphi Method)其原則及統計分析均同傳統德菲法，僅步驟上的些許差異。Murry& Hammons(1995)提出修正德菲法，其步驟大致上與傳統德菲法相同，最大的差異在於第一回合開放式問卷的改變，可以改以專家訪談，文獻蒐集或是研究者的規劃主題直接發展出結構問卷進行調查，省去了第一回合使用開放式問卷專家對於主題的臆測，且可以讓參與者直接將注意力集中在研究的範圍，提高問卷回收率。

2.3.2 模糊德菲法

模糊德菲法的步驟：張紹勳(2012)

評估因素建立

蒐集專家及決策群體意見

進行模糊德菲法估計值之運算

## 3. 研究方法

本研究欲探討分析經由實務經驗所建立機上盒(Set-top Box)設計失效模式與影響分析(DFMEA)的因素。本章節研究方法包含：研究架構、DFMEA 建立步驟、修正式德菲法與模糊德菲法的實施步驟及三個階段所實施的問卷專家遴選說明。

### 3.1 研究架構

本研究以個案公司生產之機上盒(Set Top Box，STB)的設計開發為例，先利用部分專家列舉FMEA因素，然後以開放式問卷對其他專家訪談，以發掘更多失效模式之因素，並應用修正式德菲法和模糊德菲法凝聚所有專家對於失效因素之共識並獲取每一因素之嚴重度、發生頻度、偵測度的估計值，目的為建立一套機上盒設計開發時應考量到的設計潛在風險因素，並加以探討傳統 DFMEA 評分方式的不足。

### 3.2 DFMEA 建立步驟

實際使用 DFMEA 通常會使用表格文件持續的修訂，故本節以表 1DFMEA 評估表格並且對應詳細步驟：

表 1. DFMEA 評估表

| 功能 | 要求 | 潛在失效模式 | 失效之潛在效應 | 嚴重度(S) | 失效之潛在成因 | 目前狀態 | | | | 風險優先數(RPN) | 建議之改善行動 | 負責人及完成目標日期 | 行動結果 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 現行設計控制預防 | 發生頻度(O) | 現行設計控制偵測 | 偵測度(D) | | | | 採取之行動 | 嚴重度(S) | 發生頻度(O) | 偵測度(D) | 風險優先指數(RPN) |

・功能

填入系統、子系統及零組件的功能。

・要求

每一個功能的設計要求，如設計規範等明確的語言。

・潛在失效模式

預測可能會發生但還沒發生且不一定發生的失效。

以技術性的語言填寫，才能表現具體的規格。

・失效潛在效應

以顧客語言來填寫如果潛在失效的發生會產生的後果(效應)。

・嚴重度(S)

針對評分準則，小組共識決定的分數。(如表 2)

・失效之潛在成因

失效的起因。設計過程中因何導致的失效。

導致失效模式發生的過程如：物理、化學、電性、熱能。

・現行控制預防

針對失效模式目前可以做的控制預防，為降低失效起因發生的機率，或消除失效模式的出現所做的控制方法。

・發生頻度(O)

針對發生頻度評分準則，小組共識決定的分數。(如表 3)

・現行控制偵測

產品在設計階段進入量產前，是透過如何的分析或物理方法，辨別偵測出失效的起因,例如：可靠度測試、破壞性測試、效能測試等方法。

・偵測度(D)

針對偵測度評分準則，小組共識決定的分數。(如表 4)

・風險優先指數 (RPN)

嚴重度計點(S)＊發生頻度計點(O)＊偵測度計點(D)，RPN 為三個評分的乘積。

・建議改善行動

建議以改善降低嚴重度的設計優先，但嚴重度除非改變設計，否則很難降低。其次考慮發生頻度跟偵測度的降低。

・負責人及完成目標日期

・採取之行動

實際做的改善行動，不一定是建議改善行動；可能是建議改善行動無效，而最終所

做的行動。

非所有 DFMEA 皆需採取行動，但如果嚴重度與法規安全相關(大於 9 分)，通常為優先改善的項目

・行動結果

重新依照採取的行動評分嚴重度計點(S)＊發生頻度計點(O)＊偵測度計點(D)，並計算峰先優先數(RPN)。

如果改善的結果是有效的，RPN 的分數應與改善前的 RPN 不同。

嚴重度、發生頻度及偵測度評分準則以 JEDEC JEP131B(2012)的原則改編，並加入個案公司現行使用的語言做為評分標準，如表 2 至 4。

表 2. 嚴重度評分準則

| 後果 | 準則：對產品影響的嚴重度<br>(顧客影響) | 級別 |
|---|---|---|
| 不符合安全和／或法規要求 | 潛在失效模式影響產品安全和/或包含不符合政府法規情形。無預警的失效發生。 | 10 |
| | 潛在失效模式影響產品安全和/或包含不符合政府法規情形。失效發生有預警。 | 9 |
| 主要功能喪失或降級 | 喪失基本功能。產品/零組件不能運作。 | 8 |
| | 主要功能降級。產品/零組件可以運作，但效能下降，客戶非常不滿意。 | 7 |
| 次要功能喪失或降級 | 次要功能喪失。產品/零組件可以運作，但效能下降，客戶不滿意。 | 6 |
| | 次要功能降級。產品/零組件可以運作，但效能下降，客戶有些不滿意。 | 5 |
| 干擾 | 外觀或噪音等項目不合格，產品可操作但是大多數顧客會發現這些缺陷。 | 4 |
| | 外觀或噪音等項目不合格，產品可操作但是許多顧客會發現這些缺陷。 | 3 |
| | 外觀或噪音等項目不合格，產品可操作但是少數顧客會發現這些缺陷。 | 2 |
| 無後果 | 沒有可識別的影響。 | 1 |

表 3. 發生頻度評分準則

| 失效的可能性 | 準則：<br>(設計項目／產品的壽命／可靠性) | 級別 |
|---|---|---|
| 非常高 | 無歷史的新技術／新設計 | 10 |
| 高 | 失效是不可避免的，有新設計，新應用或職責循環／操作條件的變更。 | 9 |
| | 失效可能發生，有新設計，新應用或職責循環／操作條件的變更。 | 8 |
| | 失效是不確定的，有新設計，新應用或職責循環／操作條件的變更。 | 7 |
| 中等 | 頻繁失效發生在類似的設計或設計模擬和試驗中 | 6 |
| | 有時失效發生在類似的設計或設計模擬和試驗中 | 5 |
| | 只有單次失效發生在類似的設計或設計模擬和試驗中 | 4 |
| 低 | 只有單次失效發生在幾乎相同的設計或設計模擬和試驗中 | 3 |
| | 無明顯失效發生在幾乎相同的設計或設計模擬和試驗中 | 2 |
| 非常低 | 透過預防控制失效被清除。 | 1 |

表 4. 偵測度評分準則

| 偵測機率 | 評價準則：<br>被設計控制偵測的可能性 | 偵測可能性 | 級別 |
|---|---|---|---|
| 無偵測機率 | 無現行設計控制，無法偵測或無法分析 | 幾乎不可能 | 10 |
| 在任何階段偵測皆很難偵測 | 設計分析／偵測控制偵測能力較弱，仿真分析(如 CAE、FEA 等)與期望的實際操作件不是相互關聯的 | 很微小 | 9 |
| 設計定型後和設計量產前 | 用通過／不通過測試(用接收準則如行駛和操縱，運輸評估等的子系統或系統測試)進行設計定型後設計量產前產品驗証／確認 | 微小 | 8 |
| | 用測試到失效測試(直到失效發生的子系統或系統測試，系統相互作用的測試等。)進行設計定型後設計量產前產品驗証／確認 | 非常低 | 7 |
| | 用降級測試(耐久性測試後的子系統或系統測試，例如：功能檢查)進行設計定型後設計量產前產品驗証／確認 | 低 | 6 |
| 設計定型前 | 用通過／不通過測試(如耐性能，功能檢查等的接收準則)進行設計定型前的產品確認(可靠性測試，設計驗證測試) | 中等 | 5 |
| | 用測試到失效測試(如直到漏洞，變形，裂縫等產生)進行設計定型前的產品確認(可靠性測試，設計驗證測試)。 | 中上 | 4 |
| | 用降級測試(如，數據趨勢，之前／之後的數值等)進行設計定型之前的產品確認(可靠性測試，設計驗證測試)。 | 高 | 3 |
| 仿真分析相互關聯性 | 設計分析／偵測控制的偵測能力非常強，仿真分析(如 CAE、FEA 等)與設計定型前實際的或期望的操作條件是相互關聯的。 | 很高 | 2 |
| 偵測不適用，失效預防 | 失效起因或失效模式不會發生，因為它們透過設計解決方案(如：驗証了的設計標準，最佳實踐或一般材料等)。 | 幾乎肯定 | 1 |

### 3.3 開放式問卷說明

本研究以個案公司生產之機上盒建立 DFMEA，為避免因素來源的不客觀，在核心小組所列舉 DFMEA 後，加入第一階段的開放式問卷。

### 3.4 修正式德菲法實施步驟

修正式德菲法的特性可以研究規劃主題直接發展出結構問卷進行調查。經過 DFMEA 因素的蒐集，直接匯整為第二階段的修正式德菲法問卷，此階段在於蒐集彙整及修正專家的意見，並求得各專家對於機上盒所列舉之失效模式的共識一致性，達到本研究欲蒐集機上盒範本因素的目的。

#### 3.4.1 修正式德菲法問卷規劃

為瞭解專家群體對各題項敘述之同意程度，問卷使用的是五等分式量表評分表(李

克特量表 Likert Scale) 1、2、3、4、5 五項代碼，分別代表「非常不同意」、「不同意」、「沒有意見」、「同意」、「非常同意」，在這個階段專家可以針對題目中的失效模式與影響分析提出修正意見。

### 3.4.2 修正式德菲法統計與判定標準

本階段修正德菲法的採用朱經明(1997)統計求取四分位數、四分位差。

判定標準引用 Michael C.＆John F.(1993)整理為：

| 一致程度 | 高度一致 | 中度一致 | 低度一致 |
|---|---|---|---|
| 四分差(Q) | Q≦0.60 | 0.60≦Q≦1.00 | Q＞1 |

### 3.5 模糊德菲法實施步驟

經過 DFMEA 建立及利用開放式問卷與修正式德菲法凝聚專家共識因素後，這個步驟使用模糊德菲法來獲取每一個因素的嚴重度、發生頻度、偵測度的估計值。根據張紹勳(2012)的步驟：評估因素建立->蒐集專家及決策群體意見->進行模糊德菲法估計值之運算，本研究規劃如下：

### 3.5.1 建立各準則之三角模糊數

本研究使用三角模糊數求各準則的評估值，

定義：張紹勳(2012)

### 3.5.2 模糊德菲法估計值之運算

經由模糊德菲法的問卷回收可以得到每一個失效因素之嚴重度、發生頻度、偵測度的三角模糊數，但三角模糊數非明確的數值，故需解模糊。張紹勳(2012)解模糊化就是要找出最佳解模糊化之績效值(Best Nonfuzzy Performance value, BNP)，本研究使用最常見的重心解模糊化法，以線性公式表示：

$$BNP=DF=\frac{(Mi-Li)+(Ui-Li)}{3}+Li$$

DF:解模糊化後的明確值

Mi:三角模糊數的平均值

Li:三角模糊數的最小值

Ui:三角模糊數的最大值

其中，平均值本研究採用幾何平均數，較不受極值的影響。

## 4. 案例分析與研究結果

本章將依第三章的研究方法應用於個案中，首先 DFMEA 因素經兩階段統整及分析得到專家共識，再以模糊德菲法得到嚴重度、發生頻度、偵測度的估計值並計算其乘積風險優先數(RPN)，並進一步與傳統 DFMEA 的 RPN 做比較。

### 4.1 機上盒之失效模式與影響分析(DFMEA)

為了解 DFMEA 這套工具的在使用及操作上的優缺點，探討不同專家對於 RPN 的判定及其影響，本研究直接擬定由個案公司的一組的機上盒開發做為範本，進行機上盒的電子設計做失效模式與影響分析(DFMEA)。

專家的遴選為熟悉 DFMEA 工具及準則之機上盒領域背景之研發設計專家經由專家訪談並按照 DFMEA 步驟實施，得到九個機上盒電子設計的失效因素，經了解，這些因素為設計規格的基本考量，故列於 DFMEA 做風險評估表 5。

### 4.2 開放式問卷統計及結果

為避免因素取得的不客觀，加入開放式問卷蒐集更多專家對於設計機上盒的失效模式的考量。本階段開放式問卷如附錄一。

本研究以熟悉機上盒電子設計之課長級以上專家為對象，本階段共發出10份問卷，共回收6份，回收率60%。

#### 4.2.1DFMEA 因素回收統計

如表 6，經過統整範本與開放式問卷所得到的專家因素回收，一共有 27 個失效模式因素。在本階段整理出電子研發設計機上盒時所會考量到的因素做不同構面的分類：

安全性相關[3]：

(1)Electrostatic Discharge 靜電

(2)雷擊

(23)過溫保護

電磁相容相關[8]：

(3)RF Susceptibility 射頻抗干擾

(4)RF Input Return Loss 射頻輸入回波損耗

(5)RF Input Level Requirements 射頻輸入電平要求

(6) RF Output Level Requirements 射頻輸出電平要求

(12)RF adjacent channel interference

(13)Sensitivity

(14)RF frequency offset

(15)RF conductive throughput 資料傳輸

電源電路相關[6]：

(16)~(21)一共六項對於電源電路不同程度失效的考量

性能相關[6]：

(10) worst case and reliability

(11) PHY throughput

(22)省電開關電路

(25) DDR timing optimizes 記憶體參數調整最佳化"

(26) (27) DDR3 signal quality 不同程度的兩種失效

功能相關[3]：

(7)Video performance requirements 視頻性能要求

(8)Audio performance requirements 音頻性能要求

(9)IR Receiver Sensitivity 紅外線接收器的靈敏度

可靠度相關[1]：

(24) I/O Inter face

表 5. 計劃書衡量表

| 功能 | 要求 | 潛在失效模式 | 失效之潛在效應 | 嚴重度 | 失效之潛在成因 | 現行設計控制預防 | 發生頻度 | 現行設計控制偵測 | 偵測度 | 風險優先指數 RPN |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (1) Electrostatic Discharge | The STB-D MUST NOT be damaged or have performance impacted by an ± 8KV direct contact discharge or ± 15 KV air discharge to any point on the exterior of the unit. | The STB-D be damaged or performance impacted. | The STB-D doesn't work or the performance be degraded. | 8 | The STB-D doesn't have the good ESD immunity. | To add the suitable ESD protector on the DAT2 tuner and RF modulator. | 6 | Test by Electrostatic Discharge Simulator - Noise Ken | 4 | 192 |
| (2) Line Surge Test | The STB-D MUST comply with [UL 60065]. | The STB-D be damaged. | The STB-D doesn't work. | 10 | The DAT2 doesn't have the good Surge immunity. | To add the suitable Surge protector on the DAT2 tuner and RF modulator. | 2 | Test by Surge Simulator - H66.10 | 4 | 80 |
| (3) RF Susceptibility | The STB-D MUST NOT provide degraded performance when subjected to an RF field of 5V/M from 5 MHz to 1 GHz continuous wave and also a continuous wave gated on-off at a 1 second rate. | The STB-D exhibits perceptible video, audio or data faults. | The STB-D video or audio performance be degraded. | 7 | The shielding of STB-D tuner doesn't have the good contact between the frame and the cover. | To work together with the shielding vender to get the good contact between the frame and the cover. | 6 | Test in RS Chamber | 5 | 210 |
| (4) RF Input Return Loss | The return loss MUST be 6 dB minimum from 54 to 864 MHz. 依照客戶要求測試頻段干擾測試(ex:6 dB minimum from 54 to 864 MHz.) | The STB-D exhibits perceptible video, audio or data faults. | The STB-D doesn't present video and audio or the performance of video and audio be degraded. | 8 | The filter of STB-D tuner doesn't have the good impedance matching. | Use the default filter of the tuner. | 7 | Measure by Network Analyzer - E5062A | 2 | 112 |

表 5. 計劃書衡量表(續)

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (5)<br>RF Input Level Requirements | The STB-D MUST be able to function within its full performance parameters, under all operating conditions within the specified input levels of -15 dBmV to +15 dBmV. | The STB-D exhibits perceptible video, audio or data faults. | The STB-D doesn't present video and audio or the performance of video and audio be degraded. | 8 | The filter of STB-D tuner doesn't have the good insertion loss. | Use the default filter of the tuner. | 2 | Test by Broadcast Test System - SFU | 5 | 80 |
| (6)<br>RF Output Level Requirements | The RF Output Level MUST be +10 to +15 dBmV. | The STB-D exhibits perceptible video, audio or data faults. | The STB-D video or audio performance be degraded. | 7 | The filter of STB-D RF modulator doesn't have the good insertion loss. | Use the default filter of the RF modulator. | 2 | Measure by spectrum Analyzer - MXA | 5 | 70 |
| (7)<br>Video performance requirements | The STB-D video output MUST meet all the requirements given in the Hardware Requirements Specifications. | The STB-D exhibits perceptible video faults. | The STB-D video performance be degraded. | 7 | The video register doesn't use the suitable value | Use the default video register. | 6 | Measure by Video Measurement set - VM700T | 5 | 210 |
| (8)<br>Audio performance requirements | The STB-D audio output MUST meet all the requirements given in the Hardware Requirements Specifications. | The STB-D exhibits perceptible audio faults. | The STB-D audio performance be degraded. | 7 | The audio register doesn't use the suitable value | Use the default audio register. | 5 | Measure by Audio Measurement Equipment - Audio Precision | 5 | 175 |
| (9)<br>IR Receiver Sensitivity | The STB-D IR receiver MUST meet all the requirements given in the Hardware Requirements Specifications. | The STB-D IR receiver doesn't get the correct command. | The end users can't control the STB-D correctly. | 5 | The STB-D front panel doesn't uses the suitable lanes. | To select the suitable lanes. | 2 | Measure the distance at any angle | 3 | 30 |

表 6. 計劃書衡量表

| 功能 | 要求 | 潛在失效模式 | 失效之潛在效應 | 嚴重度 | 失效之潛在成因 | 現行設計控制預防 | 發生頻度 | 現行設計控制偵測 | 偵測度 | 風險優先指數 RPN |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (10) worst case and reliability | 高低溫full loading測試所有function是否正常運作 | 當機, 丟封包, memory失效 | 機台無法正常工作 | 10 | 元件可靠度 | 選擇合適的元件 | 2 | 恆溫恆濕可靠度測試 | 5 | 100 |
| (11) PHY throughput | 通訊產品傳輸量必須符合規範 | 丟/漏封包 | 馬賽克, 水波紋, 聲音斷斷續續 | 3 | PHY的 I/O port 設計不良 | 確認Ethernet PHY等端口的規格並確認maclayer的設定 | 3 | DDR Flash 資料由PHY port進入, smart bit(儀器)比較封包 | 5 | 45 |
| (12) RF adjacent channel interference | 主頻不能受鄰頻干擾 | 訊號不穩定 | 馬賽克 | 5 | filter 設計不良 | 進行SFU的adjacent channel測試, 調整filter | 4 | SFU測試 | 3 | 60 |
| (13) RF sensitivity | RF tuner 接受訊號的靈敏度 | 會導致板子失效 | 無法正常接收訊號 | 9 | RF front end 設計不良 | 以SG傳輸適當的訊號來驗證sensitivity | 3 | SFU SG 測試 | 2 | 54 |
| (14) RF frequency offset | RF tuner 對於有頻偏的主訊號是否可以鎖頻 | 頻率不正確的訊號容易產生雪花 | 無法正常接收訊號 | 5 | filter 匹配性 | 改善tuner的設計 | 3 | SG 打頻偏訊號做測試 | 3 | 45 |
| (15) RF conductive throughput 資料傳輸 | the STB must meet all the requirement given in hardware SPEC | RX接收到的資料量太少 | 使用者會覺得上網等待時間過長 | 7 | 因功率放大器匹配不加所致 | 量測前先確認功率放大器最佳化 | 4 | 使用網路分析儀模擬測試 | 5 | 140 |
| (16) 電源電路 | 電壓供電正常 | 無電壓輸出 | 客戶完全無法使用 | 8 | 電源IC內建過電流保護 | 注意工廠產線過錫情況和Layout擺件走線間距 | 5 | 治具量測負載端等校阻抗 | 1 | 40 |
| (17) 電源電路 | 電壓供電正常 | 輸出電壓不穩 | 功能不穩定無法正常使用 | 6 | 電源相關，選用耐高溫、高精準度元件 | 選用適當且易生產之高精準度元件 | 3 | 治具量測各組直流輸出端電壓 | 1 | 18 |

表 6. 計劃書衡量表(續)

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (18)<br>電源電路 | 電壓供電正常 | 輸入電壓過高 | 造成產品損壞 | 8 | 加入過電壓保護電路 | 輸入接頭有防呆保護設計和工廠測試落實 | 5 | 過電壓保護測試 | 1 | 40 |
| (19)<br>電源電路 | 電壓供電正常 | 電解電容失效 | 功能不穩定無法正常使用 | 6 | 選用耐高溫、高壽命的電解電容 | 注意電容擺放位置，別靠近溫度過高的地方 | 2 | 電容壽命計算和可靠度測試 | 3 | 36 |
| (20)<br>電源電路 | 電壓供電正常 | 電感失效 | 功能不穩定無法正常使用 | 7 | 要求電感廠商出貨前百百測，並且加入高頻絕緣測試 | 慎選電感包裝，選擇生產不易造成線傷之電感 | 4 | 治具量測各組直流輸出電壓準確度 | 6 | 168 |
| (21)<br>電源電路 | 電壓供電正常 | 電源IC失效 | 客戶完全無法使用 | 8 | 選用易生產元件包裝，並且注意Layout走線設計 | 注意工廠產線過錫情況和Layout擺件走線間距治具量測電源 | 3 | IC端等校阻抗 | 3 | 72 |
| (22)<br>省電開關電路 | 減少待機功耗 | 省電開關失效 | 無法節省待機功耗 | 4 | 注意漏電問題，驗證每路開關電路控制設計 | 設計電路前須有效掌握省電路徑以及漏電情況 | 3 | 開關機可靠度測試和漏電電壓偵測 | 2 | 24 |
| (23)<br>過溫保護 | 溫度過高斷電 | 溫度過高燒毀 | 功能不穩定無法正常使用 | 6 | 加入過電壓保護電路或者選用具有過溫保護IC | 注意過溫保護IC擺放位置，需靠近溫度最高的地方 | 2 | 高溫可靠度測試 | 3 | 36 |
| (24)<br>I/O Inter face | All inter faces are foolproof, avoid users plug the wrong cause damage<br>所有接口都需有防呆功能,避免使用者插錯導致損壞 | Interface damage<br>接口損壞 | Product non-functional<br>導致產品無作用 | 7 | The connector no effective foolproof design<br>連接器沒有有效的防呆設計 | To select foolproof design connector選用有防呆設計的連接器 | 3 | Destructive testing so I can not test techniques to detect<br>因為是破壞性測試所以無法用測試手法偵測 | 7 | 147 |

表 6. 計劃書衡量表(續)

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (25)<br>DDR timing optimizes<br>記憶體參數調整最佳化 | STB must pass all SCD test@TA:500oc for 500 Hr<br>設計STB,必須能夠通過500hr的高低溫測試,並符合規範(測試標準依規範或客戶標準,內容為範例). | 機台可能不穩定產生當機或是重開機 | 機台無法正常工作 | 8 | PCB trace 設計信號在傳輸過程中出錯<br>CPU to DDR參數未最佳化 | 設計前之信號模擬<br>信號量測DDR R/W timing<br>IRT可靠度測試<br>CPU to DDR參數調整 | 3 | 使用allegro PCB SI做信號模擬<br>使用示波器確認與調整DDR信號 | 3 | 72 |
| (26)<br>DDR3 signal quality | DDR Setup time<br>(測試標準依規範或客戶標準). | Data 過慢出現,<br>Data Strobe 出現過早 | 當機/重新開機; 播放影片lag or 當機 | 8 | Data 走線過長,<br>Clock 線沒對稱 | Follow BRCM layout DDR design guide：DQ 和 DQS 走線長度差距在6mm 以內 | 3 | Check all trace length, width, impedance | 3 | 72 |
| (27)<br>DDR3 signal quality | DDR Hold time<br>(測試標準依規範或客戶標準). | Data Strobe 後,<br>Data 過早結束 | 當機/重新開機; 播放影片lag or 當機 | 8 | 搭配系統的DDR軟體參數需要再調整 | 請BRCM double check相同CPU / Code 的公版, 假使有問題需調整參數 | 3 | Check all trace length, width, impedance | 3 | 72 |

智慧藏

### 4.3 修正式德菲法分析

#### 4.3.1 修正式德菲法問卷回收分析

專家的遴選以熟悉機上盒電子設計之課長級以上專家為對象

問卷回收率：

| | 第一回合 | 第二回合 |
|---|---|---|
| 發出數量 | 17 | 17 |
| 回收數量 | 17 | 12 |
| 回收率 | 100.00% | 70.59% |

本階段透過修正式德菲法可以得到專家的意見修正，如此可更蒐集到專家不同的看法，並做為後續分析的依據。

#### 4.3.2 第一回合資料分析

| 第一回合 | | | |
|---|---|---|---|
| **一致程度** | **四分差(Q)** | **題項數** | **百分比%** |
| 高度 | Q≦0.60 | 26 | 96.30% |
| 中度 | 0.60≦Q≦1.00 | 0 | 0.00% |
| 低度 | Q＞1 | 1 | 3.70% |
| 合計 | | 27 | 100.00% |

專家意見並包含統計結果之意見分佈情況顯示於第二回合的問卷以利其他專家做意見再修正。

#### 4.3.3 第二回合資料分析

| 第二回合 | | | |
|---|---|---|---|
| **一致程度** | **四分差(Q)** | **題項數** | **百分比%** |
| 高度 | Q≦0.60 | 27 | 100.00% |
| 中度 | 0.60≦Q≦1.00 | 0 | 0.00% |
| 低度 | Q＞1 | 0 | 0.00% |
| 合計 | | 27 | 100.00% |

經由意見修正後回饋的資料顯示，第二階段第二回合的專家對於 27 項因素皆同意為高度一致，即為專家同意當設計機上盒之 DFMEA 時，這些因素皆為必須考量之風險因素。本研究在第二回合即達到 100%共識，得到專家高度一致認可的失效模式因素，遂於兩回合即結束修正式德菲法。相較於文獻整理中德菲法及修正式德菲法階有問卷往返費時不易回收的缺點，本研究認為，因於因素取得以接為專家所意見集合，故可在兩回合便達到凝聚專家共識的效果。

### 4.4 模糊德菲法結果分析

經過兩個階段的因素蒐集並取得各專家對於機上盒所列舉之失效模式的共識一致性，第三階段採用模糊德菲法來獲取每一個因素的嚴重度、發生頻度、偵測度的估計值，並計算風險優先順序(RPN)。本階段模糊德菲法問卷如附錄三。

### 4.4.1 模糊德菲法問卷回收分析

第三階段專家的遴選仍同前兩階段以熟悉機上盒電子設計之課長級以上專家為對象，本次問卷發出 15 份，回收 10 份，回收率 66.67%

### 4.4.2 模糊德菲法之風險評估值

經由三角模糊數後解模糊，所得之每一個失效因素之嚴重度、發生頻度、偵測度及風險優先數(RPN)，考量到極端值的影響，譚克平(2008)為避免問卷蒐集時因研究對象參與不高或隨便作答還有鍵入數據錯誤之失誤影響問卷分析結果，故在資料統計時取消極端值(最大值、最小值)的計算，本研究統計結果如下表所示：

| 功能 | 嚴重度 | 發生頻度 | 偵測度 | 風險優先指數 RPN |
|---|---|---|---|---|
| (1)Electrostatic Discharge | 8.53 | 3.59 | 2.62 | 80.17 |
| (2)Line Surge Test | 7.91 | 3.45 | 2.57 | 70.10 |
| (3)RF Susceptibility | 6.94 | 5.42 | 4.53 | 170.44 |
| (4)RF Input Return Loss | 6.18 | 4.23 | 2.47 | 64.51 |
| (5)RF Input Level Requirements | 6.38 | 4.12 | 2.68 | 70.39 |
| (6)RF Output Level Requirements | 5.85 | 3.98 | 2.60 | 60.46 |
| (7)Video performance requirements | 6.47 | 3.86 | 3.60 | 89.96 |
| (8)Audio performance requirements | 6.39 | 3.78 | 3.50 | 84.68 |
| (9)IR Receiver Sensitivity | 6.20 | 4.22 | 1.85 | 48.38 |
| (10)worst case and reliability | 7.10 | 3.90 | 2.61 | 72.38 |
| (11)PHY throughput | 6.50 | 3.24 | 2.56 | 54.01 |
| (12)RF adjacent channel interference | 6.43 | 4.29 | 2.62 | 72.26 |
| (13)RF sensitivity | 6.61 | 3.51 | 2.59 | 60.04 |
| (14)RF frequency offset | 6.37 | 3.53 | 2.64 | 59.41 |
| (15)RF conductive throughput 資料傳輸 | 6.53 | 3.98 | 3.63 | 94.31 |
| (16)電源電路 | 7.69 | 3.66 | 2.29 | 64.43 |
| (17)電源電路 | 6.59 | 3.63 | 2.32 | 55.53 |
| (18)電源電路 | 7.70 | 4.04 | 2.61 | 81.12 |
| (19)電源電路 | 7.10 | 3.34 | 2.62 | 62.05 |
| (20)電源電路 | 7.52 | 4.00 | 3.62 | 108.79 |
| (21)電源電路 | 8.45 | 3.53 | 2.62 | 78.11 |
| (22)省電開關電路 | 5.48 | 3.45 | 2.69 | 50.85 |
| (23)過溫保護 | 7.47 | 3.48 | 2.59 | 67.35 |
| (24)I/O Inter face | 7.98 | 3.49 | 2.70 | 75.25 |
| (25)DDR timing optimizes 記憶體參數調整最佳化 | 6.65 | 3.53 | 2.67 | 62.67 |
| (26)DDR3 signal quality | 7.07 | 3.41 | 2.67 | 64.29 |
| (27)DDR3 signal quality | 7.07 | 3.46 | 2.64 | 64.67 |

RPN 即為風險優先順序，在傳統 DFMEA 語言中，當 RPN 乘積值越大時，建議優先考量做改善對策並執行改善對策。

### 4.4.3RPN 的比較與差異

綜合以上，經由模糊德菲法所計算出的 DFMEA RPN 與傳統 DFMEA RPN 排序結果。模糊 DFMEA RPN 與傳統 DFMEA RPN 的排序結果，首先會看到排列不一致，然而模糊德菲法是經過多數專家針對每一個失效模式做評分所得之排序；而傳統 DFMEA 僅為每一個專家對自己的經驗所評分，是不同經驗的各個專家排序所得到的結果。模糊 DFMEA RPN 的分數，在最低 48.38 到最高 170. 43 相差 127 的分數範圍而傳統 DFMEA RPN 是在最低 18 到最高 210 相差大到有 192 分的範圍落差，再加上傳統 DFMEA RPN 的部分有 14 個分別高低分(210、210、80、80、72、72、72、72、45、45、40、40、36、36)的分數皆為相同的數值所以在排序上無法顯示出真正的順序，顯示傳統 DFMEA RPN 落差大較模糊 DFMEA RPN 主觀，所以模糊 DFMEA RPN 較傳統 DFMEA RPN 客觀且具有公信力。

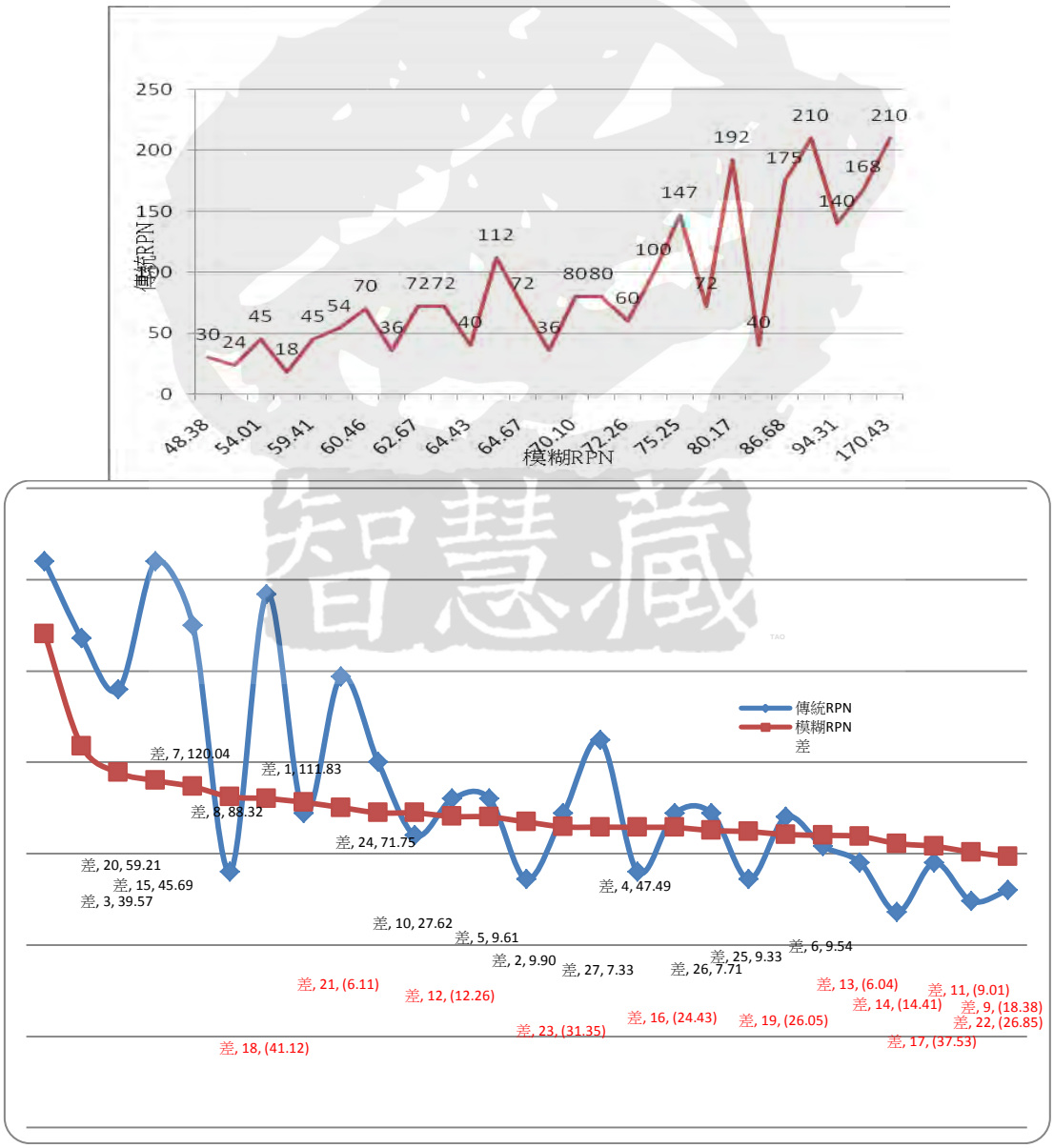


圖 1. 模糊 DFMEA RPN 與傳統 DFMEA RPN 比較圖

模糊 RPN 為基準由大至小排序可以見到傳統 RPN 的落差，本研究分數懸殊最大的三個因素做分析：

因素 1：Electrostatic Discharge 靜電，相差 111.83

因素 7：Video performance requirements 視頻性能要求，相差 120.04

因素 8：Audio performance requirements 音頻性能要求，相差 88.32

因素 1 模糊德菲的發生頻度 3.59 但傳統 6 分，說明在在 tuner and RF modulator 加適當的 ESD 保護”這樣的現行控制預防非每一位專家相同，同樣的失效模式每一位設計者可能用來控制的方法不同，就會又認知上的差異。

因素 7(視頻)與因素 8(音頻)，同樣的是說明多數專家在現行控制預防的經驗與手法不同，所導致分數差異。

## 5. 結論與建議

本研究依據實務經驗建構機上盒(Set-top Box)設計失效模式與影響分析(DFMEA)的因素。結果因素主要可以歸納成六個構面，分別為安全性、電磁相容、電源電路、性能、功能及可靠度。安全性設計主要是法規與生命安全的考量如雷擊、過溫保護；五成的重要因素，皆屬於電磁相容如：射頻干擾(RF)與電源電路的構面，這些失效模式可能導致機台無法使用。其他的重要因素為性能、功能及可靠度。本範本經過設計與統計可以提供給設計機上盒之研發團隊，在設計機上盒必需優先做風險管理的失效因素。並再展開對機上盒其他的失效因素做 DFMEA。

| | |
|---|---|
| 安全性相關： | Electrostatic Discharge靜電 |
| | 雷擊 |
| | 過溫保護 |
| 電磁相容相關： | RF Susceptibility射頻抗干擾 |
| | RF Input Return Loss射頻輸入回波損耗 |
| | RF Input Level Requirements射頻輸入電平要求 |
| | RF Output Level Requirements射頻輸出電平要求 |
| | RF adjacent channel interference |
| | RF sensitivity |
| | RF frequency offset |
| | RF conductive throughput 資料傳輸 |
| 電源電路相關： | 對於電源電路不同程度失效的考量：以電源供電壓正常而言考量電壓無輸出、電壓輸出不穩、電壓輸出過小、電壓輸出過大 |
| 性能相關： | Worst case and reliability |
| | PHY throughput |
| | 省電開關電路 |
| | DDR timing optimizes記憶體參數調整最佳化 |
| | DDR3 signal quality 不同程度失效 |
| 功能相關： | Video performance requirements 視頻性能要求 |
| | Audio performance requirements 音頻性能要求 |
| | IR Receiver Sensitivity 紅外線接收器的靈敏度 |
| 可靠度相關： | I/O Interface |

研究結果發現，模糊德菲法所計算出的 DFMEA RPN 較傳統 DFMEA RPN 客觀，乃因模糊德菲法為多位專家的綜合評比的結果，克服了 DFMEA 因評分者的經驗或認知不同的主觀意識導致評分差異的缺點，建議將來使用 DFMEA 當作風險管理的工具時可加入德菲法或是模糊德菲法做專家意見統整。

實際上 DFMEA 工具不應該只是一個”功能”對應一個失效因素與模式，舉例說明，每一個功能都應該去評估至少四個情況”功能過大、功能不穩、功能過小、沒有功能”這樣才會是 DFMEA 的意義，做到全方位的風險管理。在蒐集專家範本做分析的過程中發現，僅有一位專家針對同一個功能做多種失效考量(電源電路)，顯現 DFMEA 在個案公司的導入情況未臻完善，尚有需加強的空間供個案公司做參考。

FMEA 是一個動態文件，意即除了在設計階段核心小組成員對產品進行潛在風險分析，即使產品進入製程後所回饋的屬於設計階段產生的問題，應持續性的記錄於 DFMEA 表格並分析，並且在相同性質的延伸機種中可以藉由經驗的累積做傳承，以幫助設計開發者識別失效的優先順序，把握改善的機會。而本研究偏重於蒐集專家設計機上盒時必要考量的失效因素，未全面性蒐集所有失效模式因素。

本研究討 STB 在設計開發階段需辨別的風險因素。其通訊產業的規格與設計需有相當的專業背景，故本研究問卷範圍僅限制在具有機上盒設計開發能力之專家做為調查對象，以確保研究的準確度。

## 參考文獻


1. 王宗華(1986)，「可靠度工程技術的理論與實用」，中華民國品質學會。
2. 左美云、周彬(2002)，「實用項目管理與圖解」，清華大學出版社。
3. 先鋒可靠度小組譯(1981)，「FMEA、FAT 實施法」，先鋒企管。
4. 朱經明(1997)，「教育統計學」，台北：五南圖書公司。
5. 吳世芳(1993)，「設計 FMEA 之實施流程」，品質管理月刊，vol.29，No.9， pp.42~53。
6. 吳進榜(2005)，「運用 AHP 和 FMEA 改善產品設計之決策分析—以轉換式電源供應器為研究個案」，中央大學工業管理研究所碩士在職專班碩士論文。
7. 宋明哲(2001)，「現代風險管理”，五南圖書出版股份有限公司，。
8. 李永山(2008)，「以修正式德菲法探討台灣資訊軟體公司競爭策略之研究」，Journal of Informatics & Electronics, Vol.3, No.1, pp.39-50, November
9. 信懷南(1998)，「不確定年代的專案管理: 瞎拼豈會贏」，聯經出版事業公司。
10. 胡健華(2009)，「天線產品研發專案之風險管理」，華梵大學工業工程與經營資訊學系碩士論文。
11. 徐平国、王占锐(2006)，「汽车行业 ISO/TS 16949:2002 实用培训教程」，清华大学出版社有限公司。
12. 張紹勳(2012)，「模糊多準則評估法及估計」，五南圖書出版股份有限公司。
13. 許光華、何文榮(1998)，「專案管理-理論與實務」，華泰書局。
14. 許譽勝(2005)，「台灣中小型軟體公司關鍵成功因素之研究」，銘傳大學資訊管理學系碩士在職專班碩士論文。
15. 郭榮沛(1995)，「失效模式與效應分析及其應用案例研討」，機械工業雜誌，第 142 期，第 137~148 頁。
16. 陳建誠(2006)，「建立醫藥物流作業流程 FMEA 模式」，中原大學工業工程研究所碩士論文。
17. 陳耀茂(1996)，「可靠性分析與管理」，五南出版社。
18. 葉晉嘉;翁興利;吳濟華 (2007)，「德菲法與模糊德菲法之比較研究」，調查研究-方法

與應用;21,p.31-58
19. 褚志鵬(2009)，「AHP 理論與實作」，國立東華大學企業管理學系。
20. 趙立隆 (2002)，「失效模式與效應分析在全面生產管理之初期管理的應用-以台灣愛普生工業公司為例」，朝陽科技大學工業工程與管理研究所論文。
21. 鄭燦堂(2007，「風險管理理論與實務二版」，五南圖書出版股份有限公司。
22. 謝財源、張忠孝、鍾清章、邱柏松、王英一等譯(1990)，「可靠度管理手冊」，中華民國品質管制學會，pp. 195-235。
23. 簡志郎(2003)，「模糊理論與 TOPSIS 法於失效模式與效應分析之應用」，逢甲大學工業工程學所碩士論文。
24. 藍元志(2003)，「專案風險管理回應策略選擇模式之建立」，中央大學工業管理研究所碩士論文。
25. 顧孟迪、雷鵬(2005)，「風險管理」，清華大學出版社。
26. Adler, M.andZiglio, E.(1996) , “Gazing into the Oracle :The Delphi Method and Its Application to Social Policy and Public Health”, London, Jessica Kingsley Publishers.
27. Arend, J. S., (1989), “Evaluating Process Safety in the Chemical Industry, ”A Manger’s Guide to Quantitative Risk Assessment, CMA, Washington, DC.
28. Arnold Kaufmann and Madan M. Gupta (1988), “Fuzzy Mathematical Models in Engineering and Management ”, Science Elsevier Science Inc. New York, NY, USA. ISBN:0444705015
29. Cantrill, J.A., sibbald, B. and Buetow, S.,(1996), “The Delphi and nominal group techniques in helth services research”, International Journal of Pharmacy Practice, Vol.4 No.2 p67-74.
30. CARBONE, T. ; TIPPETT, D. ,(2004), “Project Risk Management Using the Project Risk FMEA”, Engineering Management Journal, v16, No.4, December
31. Chang, C. L. and Tsai, C. H. and Wei, C. C.,2000 , “A New Evaluation Method for Failure Mode and Effect Analysis”, Journal of the Chinese Industrial Engineers, Vol. 17, No 1, pp. 51-64.
32. Chartered Semiconductor Manufacturing LTD.,(1996), “FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS FOR MANAGERS”, Singapore Technologies.
33. Chris Chapman, and Stephen Ward(1997), “Project risk management: processes, techniques and insights”, John Wiley and Sons, Chichester.
34. D. Berkeley, P. C. Humphreys & R. D. Thomas(1991), “Project risk action management”, Construction Management and Economics Volume 9, Issue 1.
35. David Baccarini(2001), “Risk Management Australian Style-Theory vs. Practice”, Proceedings of the Project Management Institute Annual Seninars & Symposium Movember, p1-10.
36. Dunn. W. N (1994) , “Public Policy Analysis: An Introduction (2nd ed)”, New Jersey: Prentice Dubois, D. and H pard
37. Faherty, V.(1979), “Continuing Social Work Education: results of a Delphi Survey”, Journal of Education for Social Work, vol.15(1), pp.12-pp.19
38. Flávio Roberto Souza dos SantosI; Sandro CabralII(2008), “FMEA and PMBOK applied to project risk management”, JISTEM J.Inf.Syst. Technol. Manag. (Online) vol.5 no.2 São Paulo On-line version ISSN 1807-1775.
39. "Ford Motor Company(1988), “Potential Failure Mode and Effects Analysis”, International manual.
40. Grant, W.,(1988), “Handbook of Reliability Engineering and management”, Mc Grew-hill Inc."
41. Harold Kerzner(2001),“ Project Management, A systems approach to planning, scheduling, and controlling”, 7th edition, John Wiley and Sons.

42. He Ren(1994), “Risk Lifecycle and Risk Relationship on Construction Projects”, International Journal of Project Management,Vol.13(No.4), p231-237
43. IEC 812(1985), “Analysis Techniques for System Reliability, Process for Failure Mode and Effect Analysis；FMEA”.
44. Ishikawa, A., Amagasa, M., Shiga, T., Tomizawa, G., Tatsuta, R. and Mieno, H.,(1993), “The Max-Min Delphi method and fuzzy Delphi method via fuzzy integration”, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 55, pp.241-253.
45. Knight, K. W.,(1999), “The Risk Management Process”, Risk Management Conference & Exhibition, p1-14,
46. Linstone, H.A.(1978), “The Delphi Method.InJ.Fowless(ED.).”, Hand-book of Futures Research pp.273-300. Londen: greenwood Press.
47. Mattsson, F.,(1995), “An Introduction to Risk Analysis for Medical Devices”, Compliance Engineering, Vol. 11/12, pp. 47~57.
48. Michael C. Holden, John F. Wedman(1993), “Future issues of computer-mediated communication: The results of a delphi study”, Educational Technology Research and Development , Volume 41, Issue 4, pp 5-24.
49. MIL-STD-1692A(1980), “Military Standard Procedure for performing a Failure mode, Effects and Criticality Analysis”, Department of Defense Washington, DC.
50. Murray, T. J., Pipino, L. L., & Gigch, J. P. V. (1985), “A pilot study of fuzzy set modification of Delphi”, Human Systems Management, 5(1), 16-80.
51. Murry J. W. & Hammons, J. O.,(1995), “Delphi: A versatile methodology for conducting qualitative research”, The Review of Higher Education 18(4), pp.423-pp.436.
52. Parente, F., & Anderson-Parente, J. (1987), “Delphi inquiry systems. In Wright, G., &Ayton.P. (Eds.)”, Judgmental Forecasting. NY: John Wiley &Sons.Quarterly, 53(3), 377-385.
53. PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI)(2008),. A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide 4th Ed.). Project Management Institute, Pennsylvania.
54. Robin E. ; Raymond J.(1996), “The Basics of FMEA”,Productivity Press.
55. SANKAR, N.; PRABHU, B.(2001), “Modified approach for prioritization of failures in a system failure mode and Effects Analysis”, The International Journal of Quality & Reliability Management; v.18, n.3 324-335.
56. SANKAR, N.; PRABHU, B.(2001), “Modified approach for prioritization of failures in a system failure mode and Effects Analysis”, The International Journal of Quality & Reliability Management; v.18, n.3, 324-335.
57. Steve McRoberts(2009)，「產品安全設計暨研發的風險管理」，UL 通訊 (UL News)，第 28 期.
58. Wild, C. and Torgersen, H.,(2000), “Foresight in medicine: lessons from three European Delphi studies”, European Journal of Public Health, Vol.10 No.2, pp.114-119.