



東海大學

工業工程與經營資訊系所

談產品可靠度保證的 幾項實務問題

柯煒耀 主講

產品研製合約之可靠度規格條款範例之一

(1)可靠度需求

依產品特性之不同，一般合約可靠度需求條款可以下列兩種方式敘述：

- (a)在本規格第 xx 節所律定之環境條件及持續工作 xx 小時/循環的要求下，〔產品〕必須具備第 xx 節所訂定之功能水準，且其成功機率(R)須高於 $.xx$ 的水準。
- (b)在本規格第 xx 節所律定之環境條件下，〔產品〕必須具備第 xx 節所訂定之功能水準，且其平均失效間隔時間(MTBF)須達〔 xx 〕小時/循環的要求。

(2)〔產品〕驗收確認之前，供應商應提供得自於各硬品層次、各類試驗所得之所有數據、失效及改正資料，以佐證〔產品〕的符合性。〔產品〕功能或性能正常與否之研判作法與準則，應依據本規格第 xx 節之規定，或於供應商可靠度工作計畫(Reliability Program Plan; RPP)第 xx 節中，詳細予以說明。

(3)可靠度驗証(Verification)及/或確認(Validation)需求

- (a)當可行時〔可依實際狀況，由交易雙方協商確定之〕，供應商應規劃並執行一項可靠度成長試驗計畫，以促進〔產品〕可靠度可符合本規格之要求。試驗所採用之試驗應力水準應足以激發試件失效，供應商應分析、追蹤研製件可靠度的成長趨勢，並作成報告，以確認改正作業的有效性。
- (b)〔產品〕可靠度特徵或指標達成之確認作法，應於供應商可靠度工作計畫(RPP)第 xx 節中詳予規定。

產品研製合約之可靠度規格條款範例之二

為參與某大眾運輸系統〔以下簡稱 XX 系統〕之公共工程開發建設案，某公司組成 XX 系統籌備小組，針對發包單位所公佈之承製建議書邀請函(Request for Proposal; RFP)內容需求進行研究。經籌備小組工程專家之研究，並與主管單位研討、協商之後，為符合大眾運輸系統安全與穩定之營運需求，達成下列幾項有關系統可靠度需求之工作條款協議：

- (1)根據此大眾運輸系統〔XX 系統〕之操作特徵，系統可靠度宜以平均失效間隔時間(MTBF)作為量化的指標
- (2)在合約規格第 xx 節所律定之工作環境條件下，〔XX 系統〕必須具備第 xx 節所訂定之功能水準，且其平均失效間隔時間(MTBF)之遠程目標，須達〔 θ_0 小時〕的運轉要求。
- (3)基於專案的急迫性及此系統的複雜程度，主管單位在實際需要及系統安全與穩定的雙重考量下，可接受系統初始營運(Initial operation)之可靠度需求為〔 $0.6 \times \theta_0$ 小時〕。
- (4)為達 XX 系統之遠程可靠度目標〔 θ_0 小時〕，應規劃並執行一項可靠度成長試驗(RDGT)計畫，以促進 XX 系統可靠度可符合本規格之要求。試驗預計執行 xx 小時，並採用複合環境應力(Combined environmental stress)，應力水準則應足以激發試件失效，並加強分析、追蹤研製系統可靠度的成長趨勢，並作成報告，以確認改正作業的有效性。

產品研製合約之可靠度規格條款範例之三

在汽車規格中，可靠度的需求多敘述如下

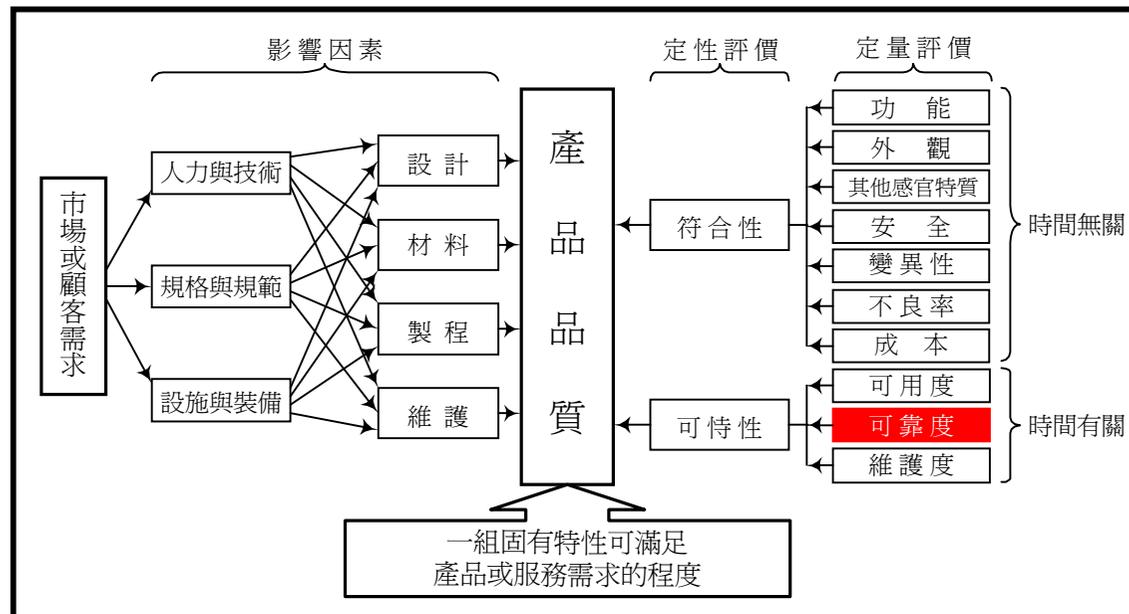
$$R_L(60,000 \text{ 公里}) = R_o$$

具有 $100\gamma\% = 0.95 - 0.99$ 之信賴水準

針對此要求，典型的汽車可靠度驗證條款即記述為

“證明汽車在 60,000 公里壽限內，於 $100\gamma\%$ 信賴水準之要求下，使用可靠度須高於既訂的可靠度下限值 $R_{L\gamma}$ ”

何謂產品可靠度



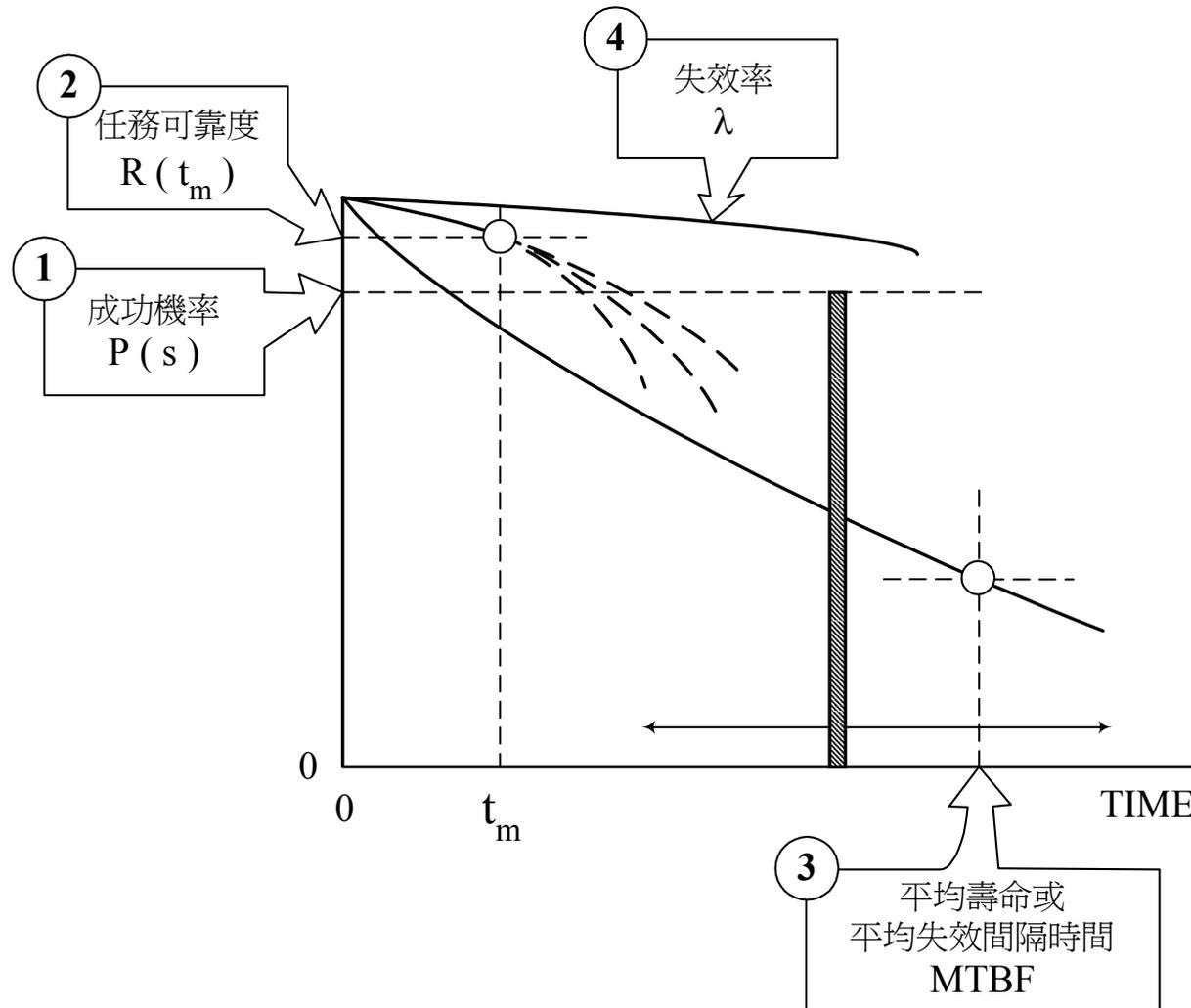
產品品質之影響因素與評價

定性產品可靠度描述

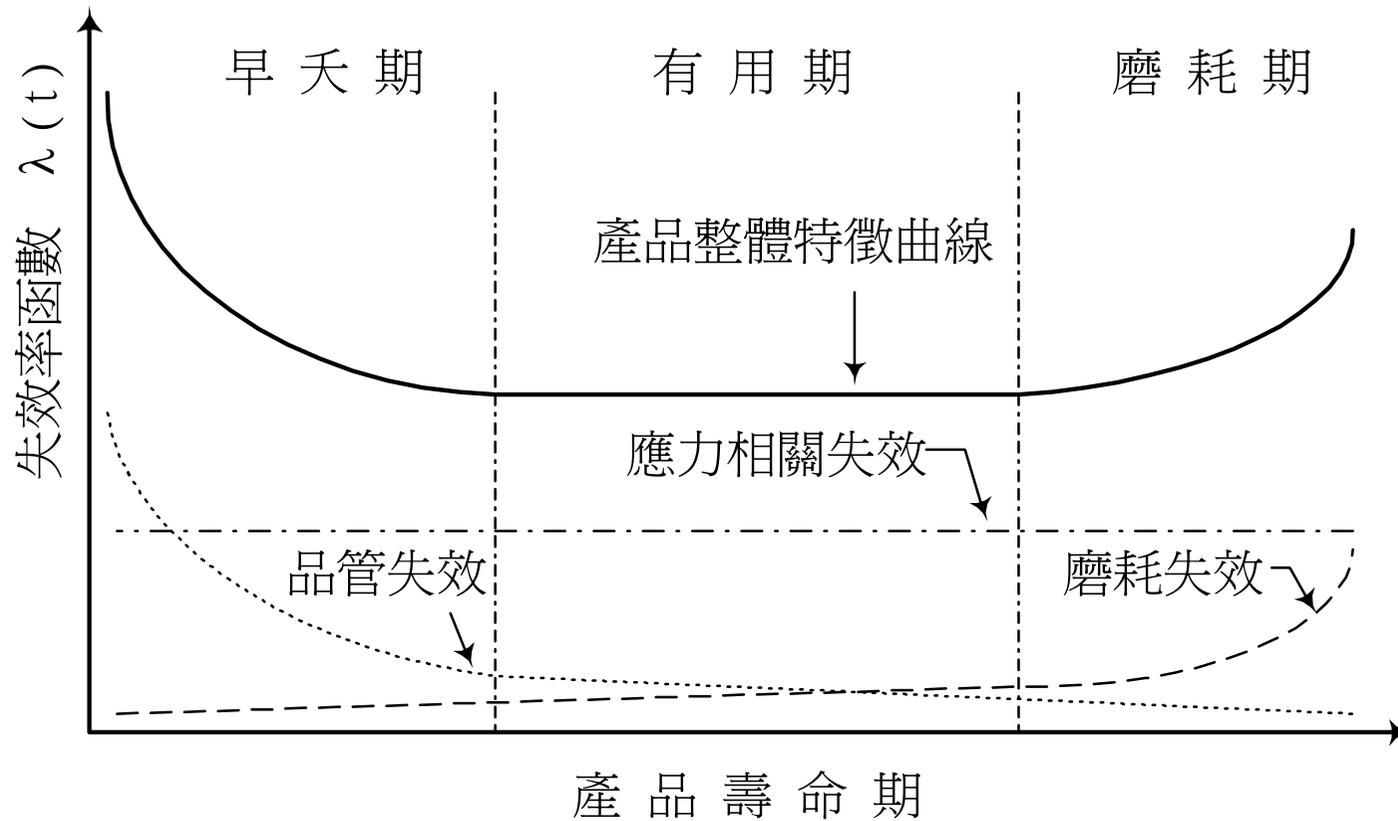
可靠度為產品於既定的時間內，在特定的使用〔環境〕條件下，執行特定性能或功能，成功達成工作目標的機率。

由此定義可看出可靠度是由「功能」、「使用〔環境〕條件」、「時間」及「成功機率」等四個要素所組成。在這四個要素中，以成功機率為產品可靠度的整體指標。

不同特性產品之可靠度指標

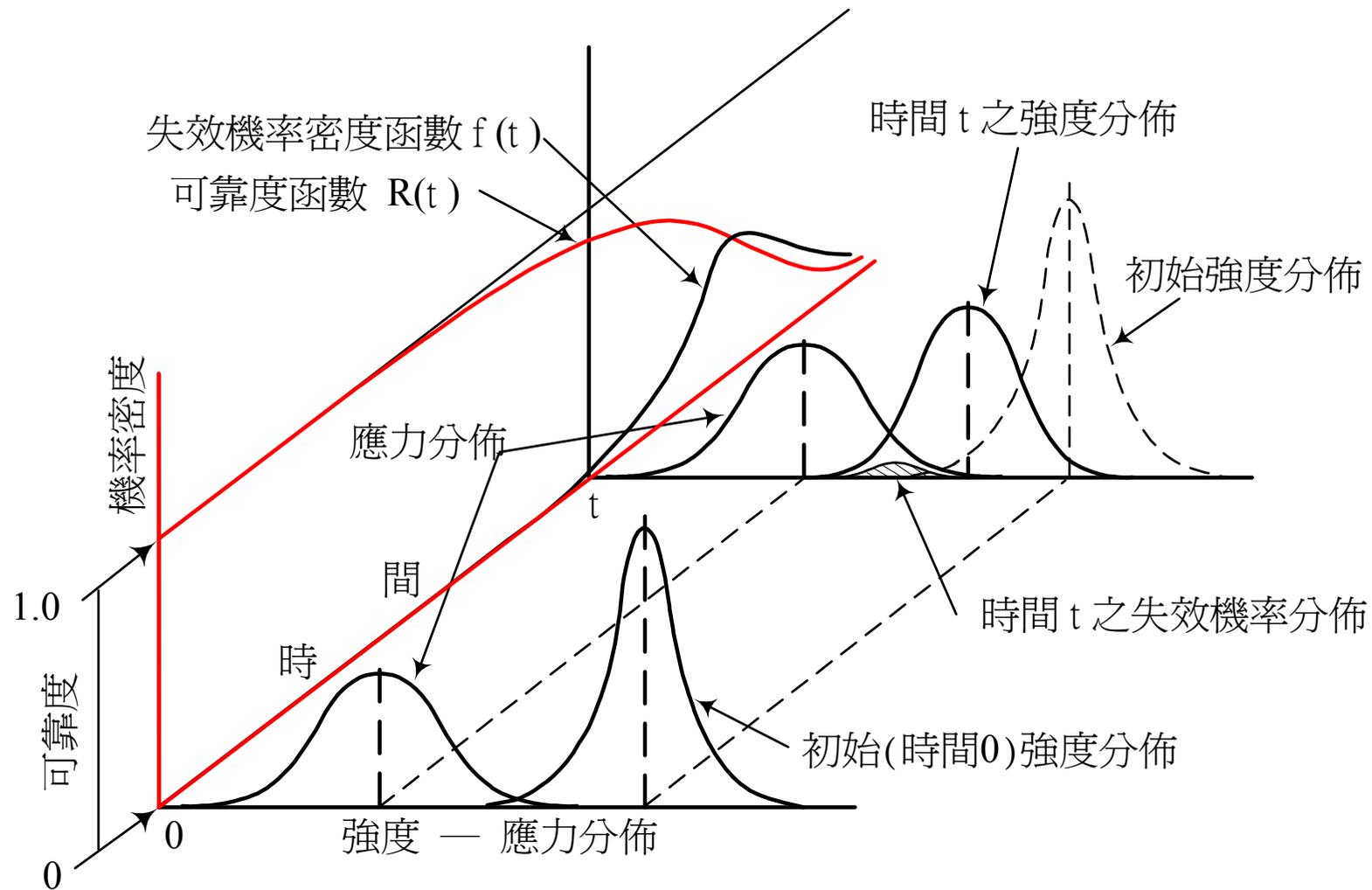


浴缸曲線(Bathtub curve)



產品失效率函數 $\lambda(t) \left(= \frac{f(t)}{R(t)} \right)$ 與壽命之關係曲線

產品可靠度保證的實務問題

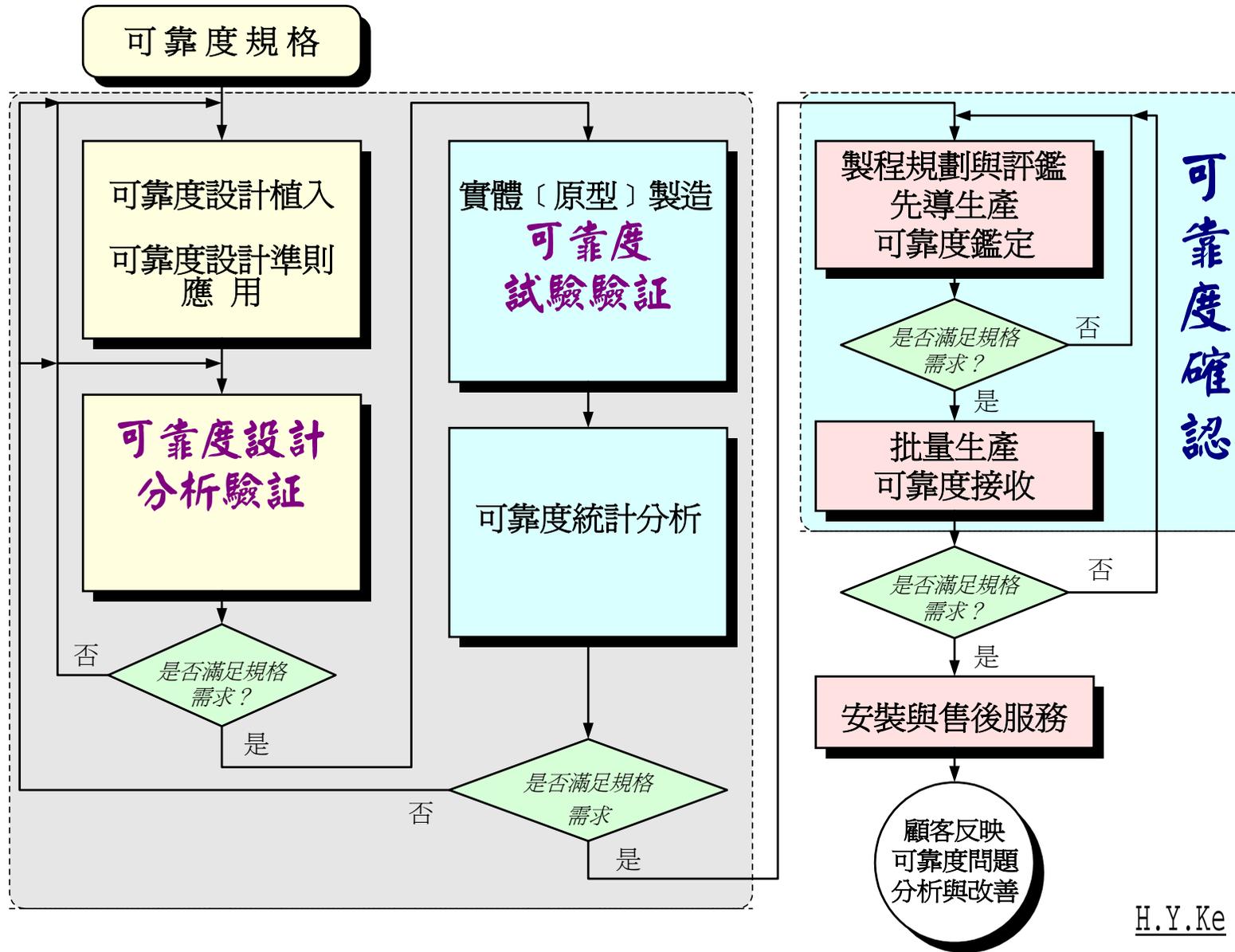


強度應力干擾與失效時間模式之關係示意圖

ISO 9001(2000) 「7 產品實現」條文摘述

7.1	產品實現之規劃
7.2	顧客相關之流程
7.2.1	<p>產品相關需求之決定</p> <p>組織應決定</p> <p>a)顧客指定之各項需求，包括各項交貨與交貨後活動之需求；</p> <p>b)非為顧客所述明，但為已知之明定或意欲使用所必須之各項需求；</p> <p>c)與產品相關的法令與法規需求；以及</p> <p>d)由組織所決定之任何額外的需求。</p>
7.2.2	產品相關需求之審查
7.2.3	顧客溝通
7.3	設計與發展
7.3.1	<p>設計與發展規劃</p> <p>組織應規劃及管制產品之設計與發展。</p>
7.3.2	<p>設計與發展輸入</p> <p>應決定與產品相關需求之輸入且紀錄應予維持。</p>

7.3.3	<p>設計與發展輸出</p> <p>設計與發展之輸出應以一種可針對設計與發展輸入予以驗證的形式提出，且應於釋出前經核可。</p>
7.3.4	設計與發展審查
7.3.5	<p>設計與發展驗證(Verification)</p> <p>驗證應依據已規劃之計畫予以執行，以確保設計與發展輸出已達到各項設計與發展輸入需求。驗證結果以及任何必要措施之紀錄應予以維持。</p>
7.3.6	<p>設計與發展確認(Validation)</p> <p>設計與發展確認應根據已規劃之計畫予以執行，以確保所得產品可達成已知之既訂應用或意欲使用的各項需求。確認結果以及任何必須之措施的紀錄應予以維持。</p>
7.3.7	設計與發展變更之管制
7.4	採購
7.5	生產與服務提供
7.6	監督與量測裝置之管制



H.Y.Ke

可靠度保證實務概觀

可靠度設計植入(Design-In) — 設計指引之應用

項 目	設 計 指 引		
<p>簡單化 與 模組化</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 系統設計不要太複雜。 • 減少零件及介面連接數量。 • 對現場使用人員，應儘量減少所需使用的手工具種類。 • 在使用現場時，應儘量減少所需特殊支援設備或工具的需求。 • 減少支援工具與器材。 • 使用經過實際應用，且經證實為備高可靠度的線路設計。 		
<p>標準化 與 可替換性</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 使用標準扣件和零件。 • 使用一致的尺寸和形狀。 • 使用導銷和鍵、槽連結設計。 • 容易檢查與測試。 • 拆卸與組合方便且迅速。 • 減少功能數目。 		
<p>材料與零件 選 用</p>	<p>材料選用</p> <ul style="list-style-type: none"> • 材料特性符合使用目的。 • 加工成本。 • 成本適中。 	<p>電子零件</p> <ul style="list-style-type: none"> • 品質等級。 • 零件獲得是否穩定。 • 減額定設計。 	<p>機械零件</p> <ul style="list-style-type: none"> • 使用適當的材料。 • 進行適當的設計。 • 進行適當的熱處理。
<p>其 他 一般設計</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 減額定(De-rating)設計 • 複聯(Redundancy)設計 • 環境(Environment)分析與防制 • 可測試(Testability)性設計 • 操作、儲存與運輸需求之考量 • 人因工程技術之引用 • 容錯(Fault Tolerance)分析 • 進手性(Accessibility)設計 • 預防保養設計 		

可靠度分析驗證 — 可靠度預估、FMECA 及 FTA

設計構想具體化之後，便須進行可靠度驗證(Verification)。在針對原型試製件(Prototype)進行可靠度試驗驗證之前，可採用的分析驗證技術很多，包括可靠度預估、失效模式、效應與關鍵性分析(FMECA)及故障樹分析(FTA)等都屬於有效的分析驗證技術，更是ISO 9004 (2000)提列建議為設計與發展潛在風險評價的主要工具。

廣義的可靠度試驗驗證

產品品質特性主要包括：

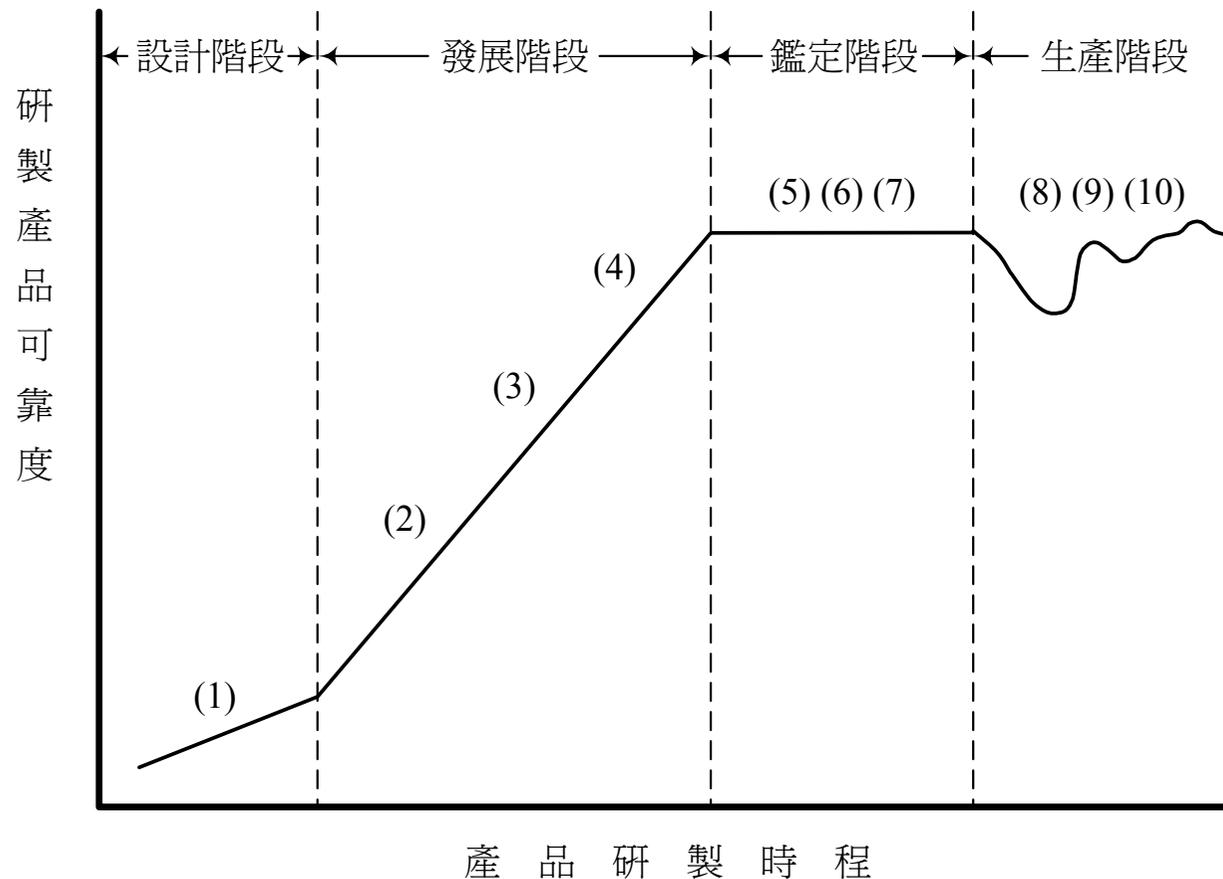
- (1)性能或功能(Performance or Function)；
- (2)環境或堅韌性(Environment or Robustness)；
- (3)可靠度或耐久性(Reliability or Endurance)。

廣義的可靠度試驗則應包括

- (1)性能試驗：固定時間和使用條件兩項要素，而且是在標準的環境條件，測試產品性能範圍與變化情形。
- (2)環境試驗：固定時間與性能，而探討環境條件對產品之影響。
- (3)壽命試驗：主要是固定性能與環境，探討時間對產品的影響。

其中壽命試驗即狹義的可靠度試驗。

整體可靠度試驗規劃

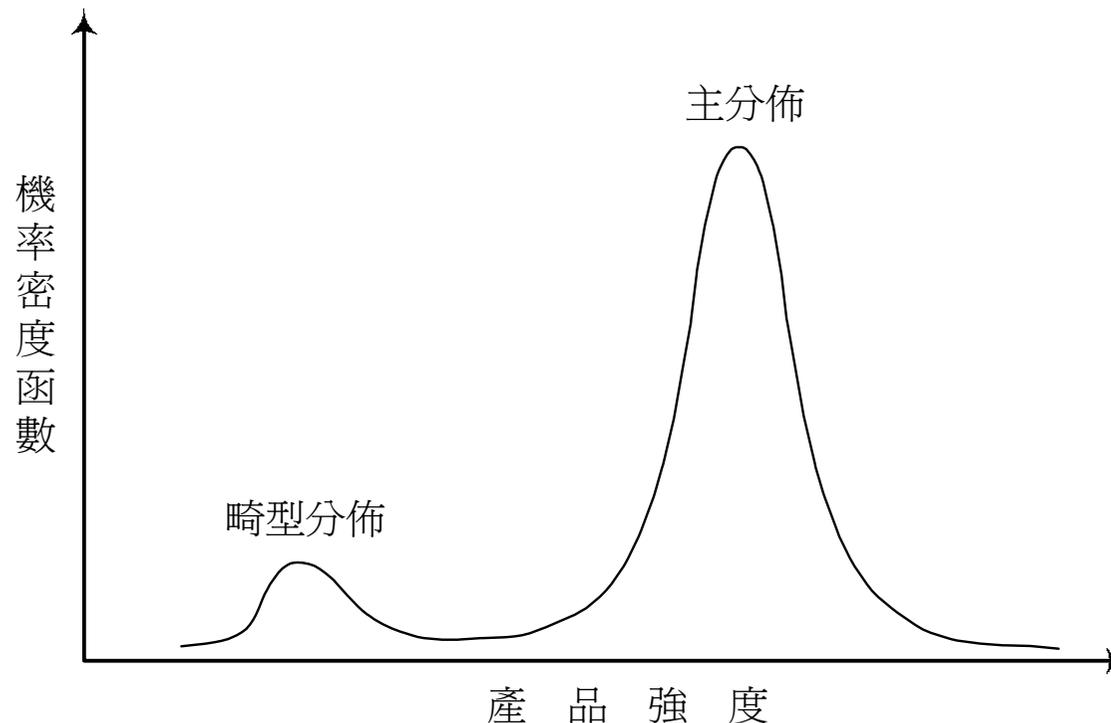


可靠度試驗與研製產品可靠度成長關係圖

- (1) 性能試驗 (Performance Test)
- (2) 環境應力篩選 (Environmental Stress Screening)
- (3) 環境發展試驗 (Environmental Development Test)
- (4) 可靠度發展/成長試驗 (Reliability Development/Growth Test)
- (5) 環境應力篩選 (Environmental Stress Screening)
- (6) 環境鑑定試驗 (Environmental Qualification Test)
- (7) 可靠度鑑定試驗 (Reliability Qualification Test)
- (8) 環境應力篩選 (Environmental Stress Screening)
- (9) 環境接收試驗 (Environmental Acceptance Test)
- (10) 生產可靠度接收試驗 (Production Reliability Acceptance Test)

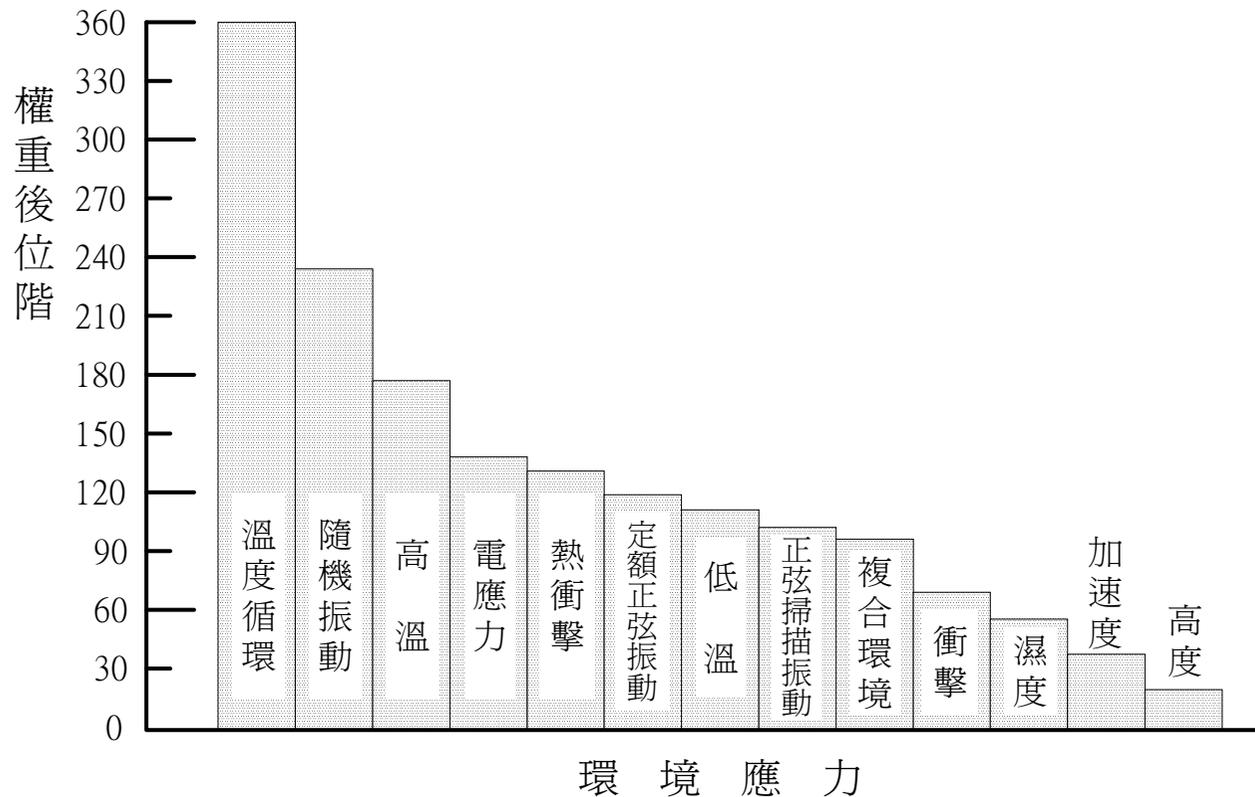
環境應力篩選(ESS)

顧名思義，ESS 乃利用外加的環境應力使潛存於產品中的瑕疵提早曝露，然後利用各種檢驗或試驗方法將這些帶有疵病的產品找出來，將之剔除或檢修，確使通過篩選的產品都具有優良品質與高可靠度。ESS 之目的即在篩除其中的早夭及畸型(Infant and freak population)群體部份，而保留主群體(Main population)。



典型的產品強度機率密度函數

篩選外加環境應力之選擇



各種外加環境應力之相對篩選效益

(1)零件可靠度篩選

- a. 常用的電子零組件篩選方法為：穩定烘烤、溫度循環、離心加速度、密封測試、高溫或低溫測試

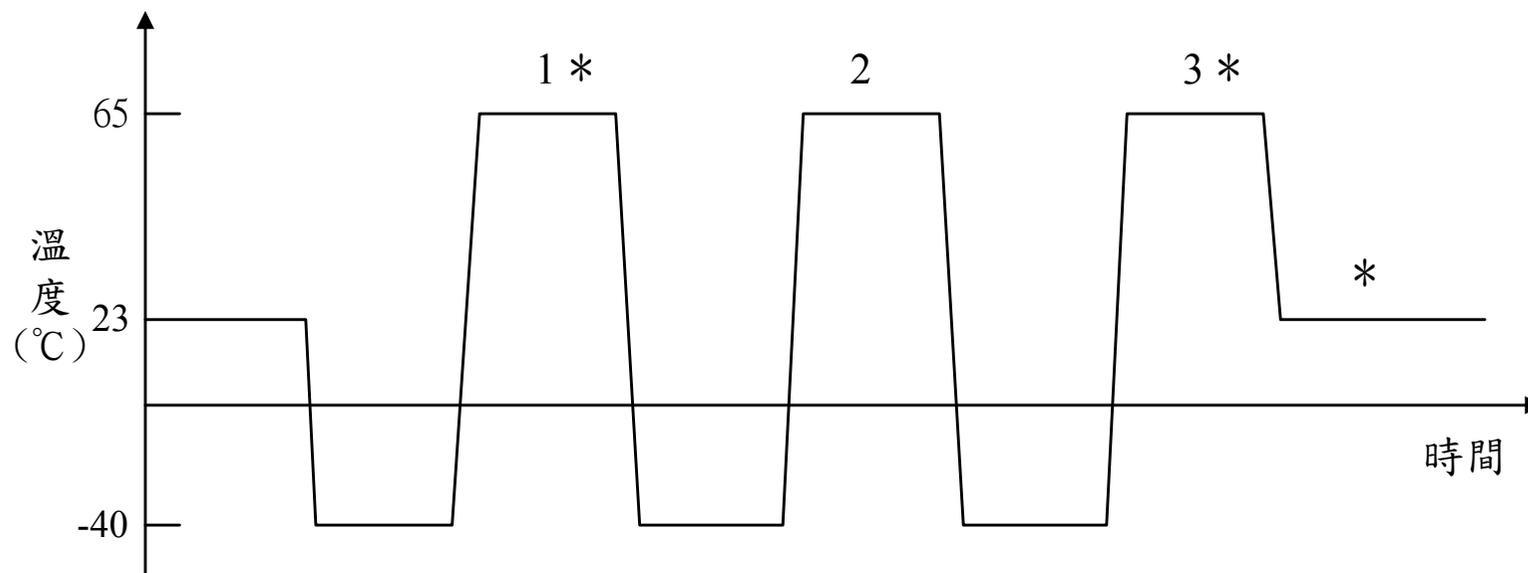
(2)製程環境應力篩選

- a. 常用的 PCB 與佈線線帶篩選方法為：溫度循環
- b. 常用模組篩選方法為：溫度循環及隨機振動

(3)成品可靠度保證試驗

- a. 常用的成品篩選方法為：預燒、溫度循環、隨機振動

環境應力篩選(ESS)範例

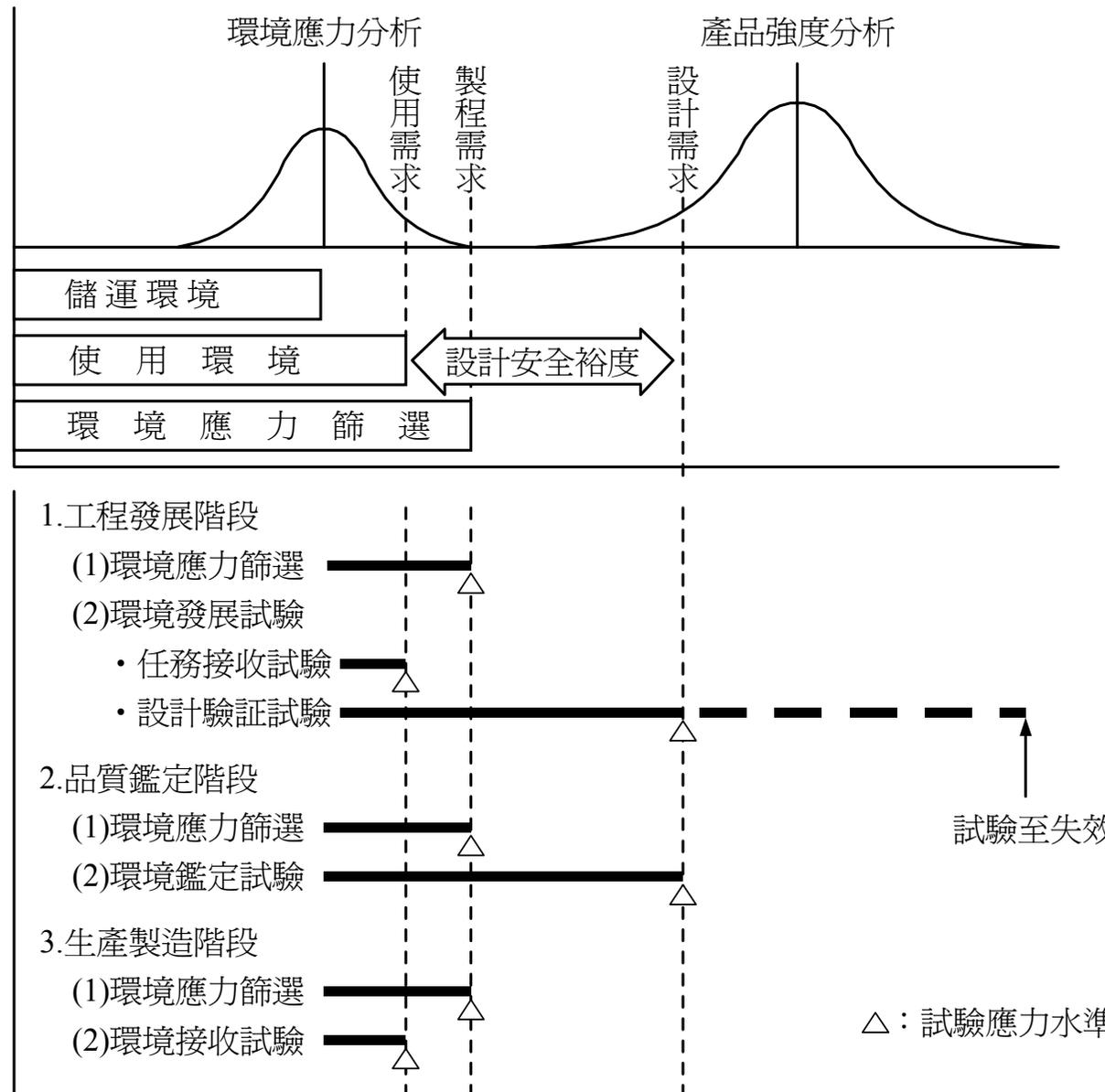


- 註：1.符號"*"表示執行功能測試。
 2.溫度變率為 $\geq 10^{\circ}\text{C} / \text{分鐘}$ ，循環次數3次。
 3.保溫時間：高、低溫各三小時，每循環需6小時。
 4.功測循環：第一、三循環功測。
 5.失效處理：失效時，補做該循環。
 6.加電電源採極值電壓：
 [低溫功測時，採規格下限；高溫功測時，採規格上限]

- (1)高低溫極值範圍愈大，所需循環數愈少，成本愈低，但以不破壞正常硬品為限。
- (2)溫度變化率愈高，所產生之熱應力愈大。但對於焊接點而言，溫度變化過快時，時間往往不足以使裂縫完全成長〔裂開〕，因此，須再加一段駐留〔保溫〕(Dwell)時間。
- (3)駐留時間包括溫度穩定及持續時間。穩定時間視試件及設定標準而訂；持續時間則建議須達足以執行功能測試之時間〔 ≥ 5 分鐘〕。
- (4)循環數則須依實際試件特性，以可暴露疵病又不傷害試件為原則。可依統計方法或規範訂定之。

篩選成本效益是問題的另一個重點

環境試驗規格擬訂原則



可靠度試驗驗證

為執行有效的可靠度試驗驗證，工程師必須同時考慮工程規劃的適切性與試驗抽樣計畫的符合性，才可達到試驗驗證之目的。

可靠度試驗之目的與種類

依據執行試驗之時機與目的，可靠度試驗〔此處係指狹義的可靠度試驗，又稱為壽命試驗(Life test)或耐久性試驗(Durability test)〕主要可區分為以下三類：

- (1)量測型可靠度試驗；
- (2)改善型可靠度試驗；
- (3)鑑定、確認或履約型可靠度試驗。

就可靠度工程的觀點而言，任何階段所執行之可靠度試驗，所採用的試驗規格都必須“儘可能與實際使用環境相符合之模擬環境”。在可靠度保證作業上之所以有可靠度發展/成長試驗(RDGT)、可靠度鑑定試驗(RQT)或生產可靠度接收試驗(PRAT)等各類試驗，主要是針對不同研製階段，就試驗結果所採行之分析研判方式與目的不同所致。

可靠度試驗之執行

可靠度試驗所採用的環境條件及應力水準〔或位準(Level)〕與時間之關係稱為可靠度試驗輪廓，可靠度試驗輪廓之訂定原則如下：

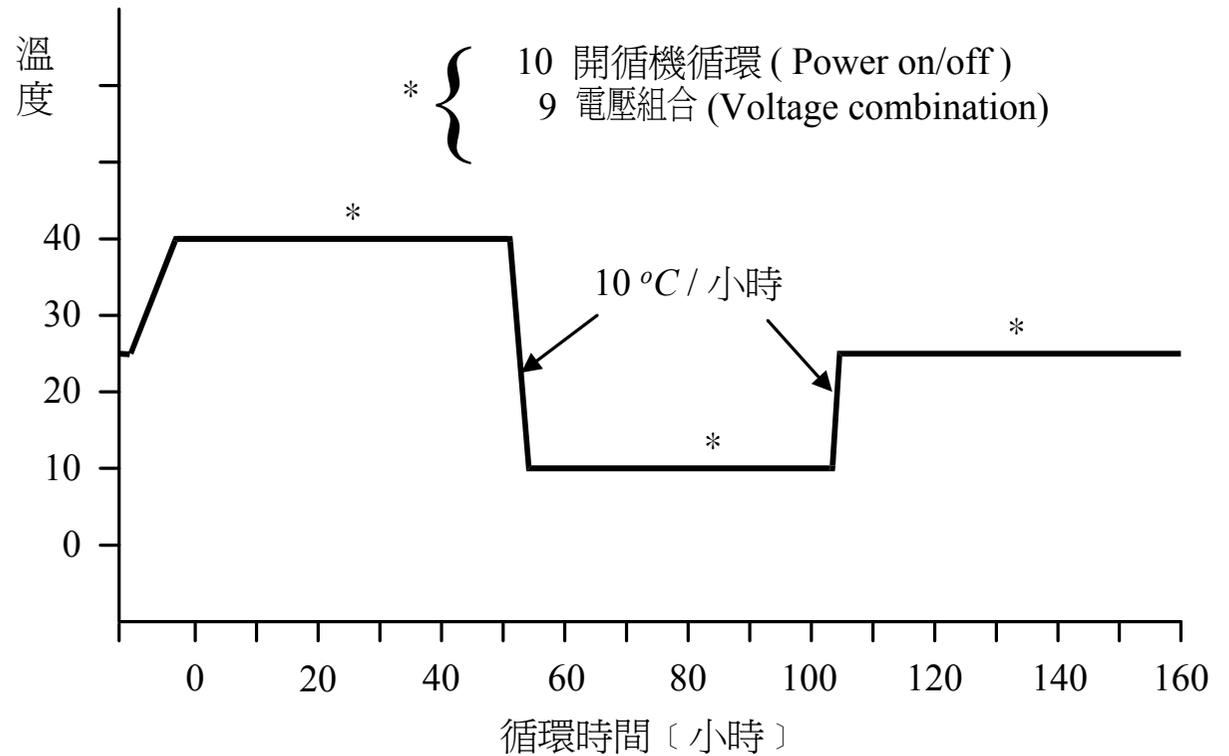
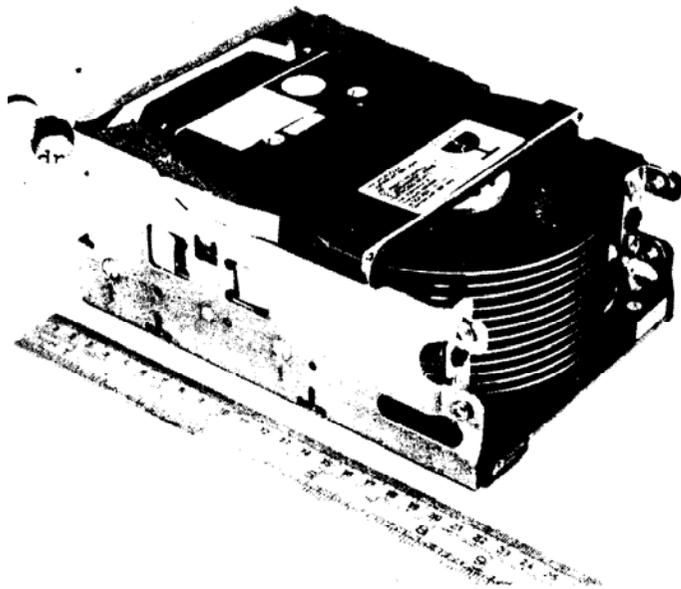
- (1)若產品之設計僅應用於一次操作或單一型式之重複操作，則試驗輪廓與工作、壽命週期輪廓為一對一的關係，試驗條件則模擬操作的實際應力水準。
- (2)若產品之設計為應用於多種操作需求與多項環境條件，且試驗輪廓須以多種操作需求經組合後決定，其試驗應力水準和時間則依據產品壽命週期之不同操作型式百分比而定。
- (3)可靠度試驗基本輪廓週期多以 24 小時或其分數為基本單元，按各項應力的特性及其可能效應加以規劃安排。一般試驗輪廓的規劃以溫度與時間的變化關係〔即溫度輪廓〕為主。

可靠度試驗環境條件與應力水準

一般而言，環境應力水準之取決，應依下列順序循序進行之：

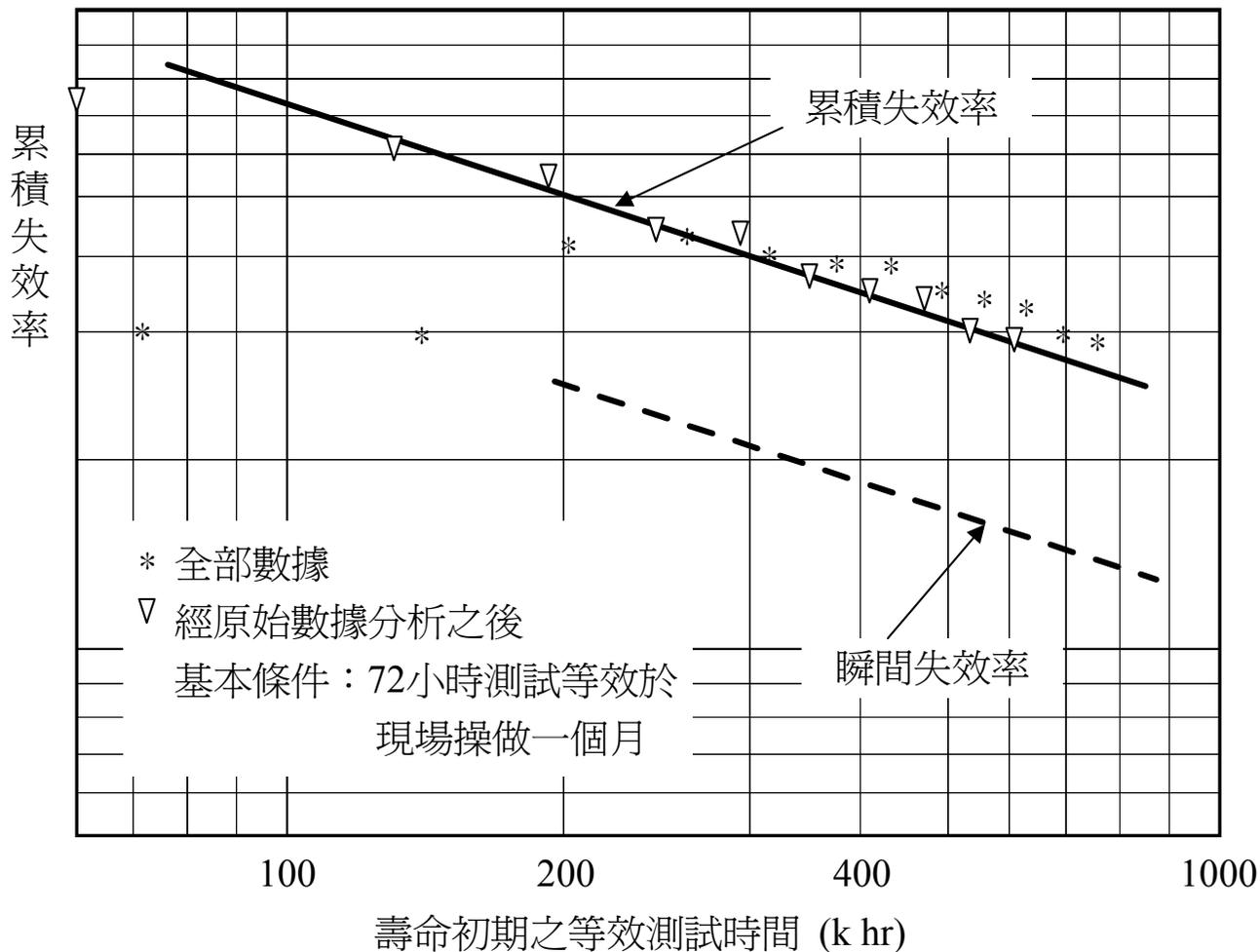
- (1)量測應力：可靠度試驗時所加環境應力型式與水準，應基於實際工作輪廓內、預定的應用情形與現場(Field)遭遇之環境應力量測數據。
- (2)預估應力：如無法獲得環境應力之實際量測值，則可參考工作輪廓、使用情形與現場相類似產品的環境資料，決定試驗所加應力型式與水準。
- (3)規範應力：按照產品之分類及使用特性，參考諸如 IEC 605 系列、MIL-STD-810 及 MIL-HDBK-781 等相關標準及參考資料。

可靠度試驗範例 — 硬碟可靠度試驗輪廓案例

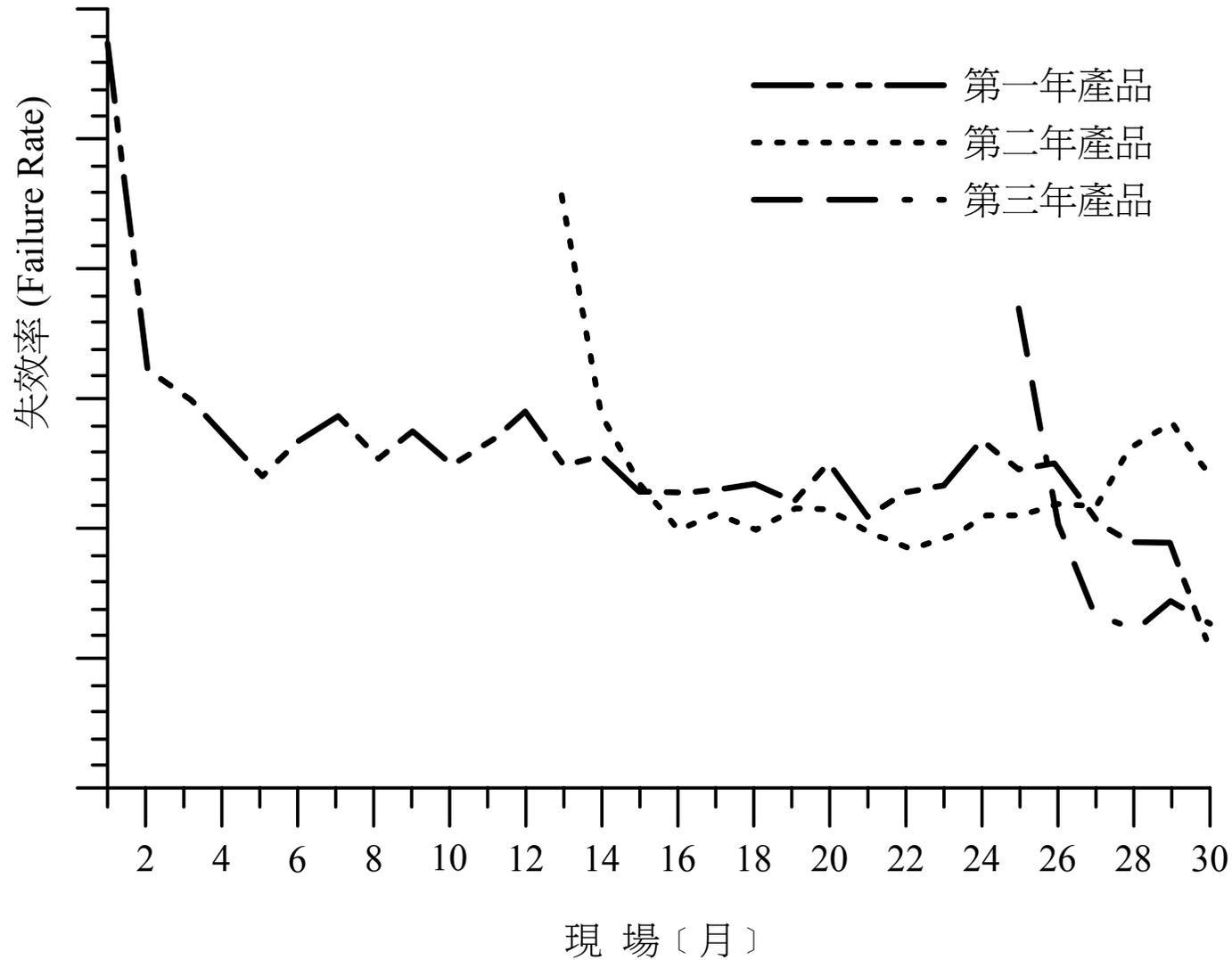


硬碟可靠度成長試驗範例

硬碟 Duane可靠度成長〔第一個月〕



硬碟可靠度成長試驗範例之二



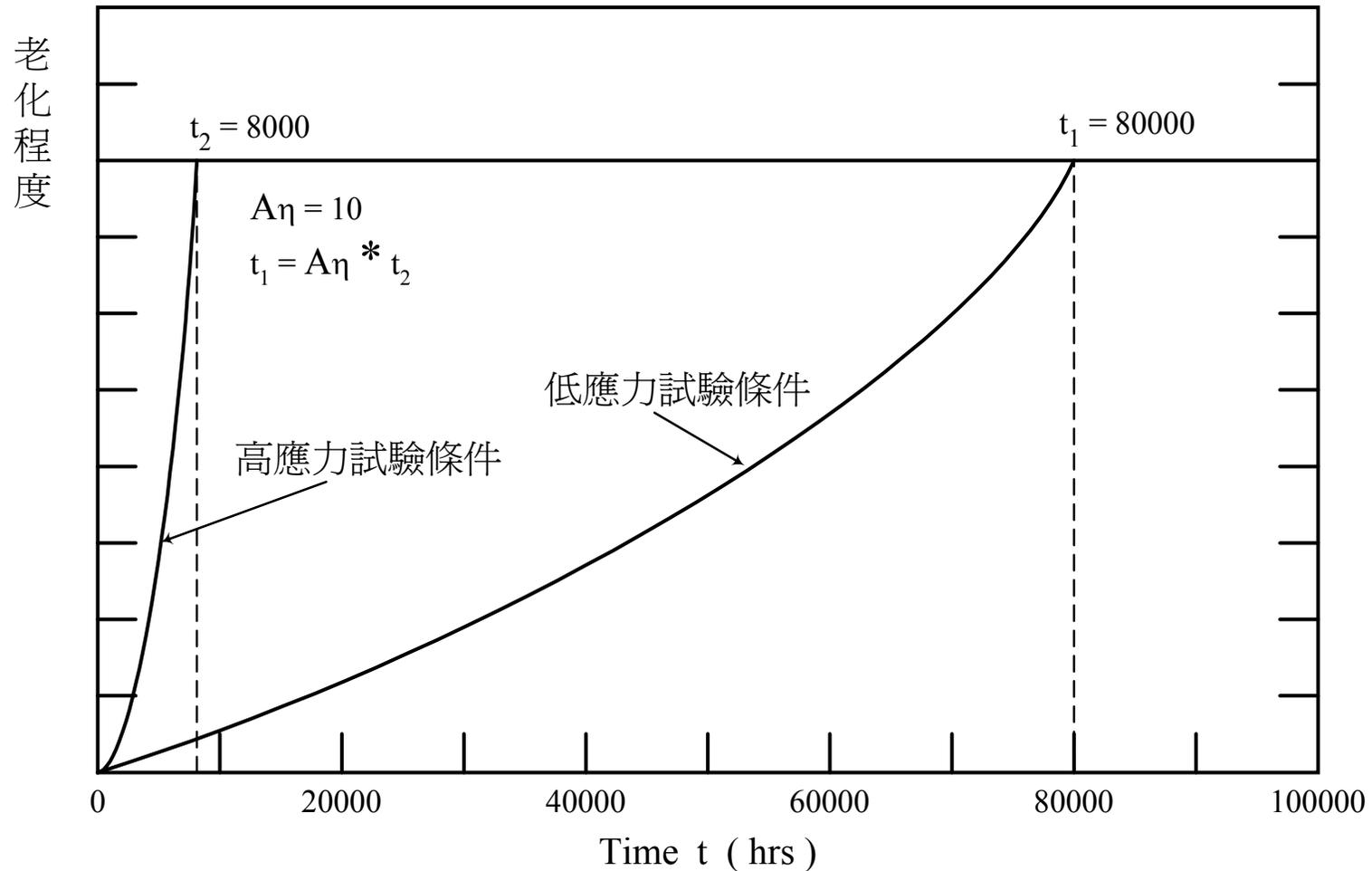
可靠度驗收試驗所面臨的問題

若客戶要求某產品之 MTBF 下限為 20000 小時，且至少須具備 80% 之信賴水準，則該產品之可靠度驗收計畫可訂定如下

失效數 r	總試驗時間 T 〔小時〕
0	$20000 \times 1.6094 = 32190$
1	$20000 \times 2.9943 = 59890$
2	85580
3	110300
4	134400
⋮	⋮

據此可訂定固定試驗時間之可靠度驗收試驗計畫。若訂定總試驗時間為 85580 小時，則失效數不得大於二個 ($r = 2$)，才能確認產品在 80% 信賴水準下，平均失效間隔時間為 20000 小時；若失效發生數在三個以上，則視為不合格。

加速壽命試驗的概念



加速壽命試驗範例

產品之正常操作溫度為 25°C ，為加速評估產品的平均壽命，工程師取 7 件產品為試件，執行 50°C 之加速壽命試驗，記錄其失效時間分別為：3000、3450、5000、6500、7850、8000、8500 小時。則該產品執行 50°C 加速試驗之加速因子，以及正常操作下之平均壽命可依下列方式計算之。

假設該產品在 25°C 至 50°C 的環境下，活化能 $E_a = 1.0 \text{ eV}$ ，則可運用阿氏(Arrhenius)加速壽命試驗模式，計算此型產品執行 50°C 加速試驗對實際 25°C 工作環境之加速因子為

$$A_{\eta} = e^{\frac{E_a}{K} \left(\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T_a} \right)} = e^{\frac{1.0}{8.623 \times 10^{-5}} \left(\frac{1}{273+25} - \frac{1}{273+50} \right)} = 20$$

又根據執行加速壽命試驗的結果，可計算該產品在 50°C 之平均壽命為

$$\eta_{50} = \frac{3000 + 3450 + 5000 + 6500 + 7850 + 8000 + 8500}{7} \\ = 6043 \text{ (小時)}$$

故該產品正常操作下(25°C)之平均壽命為

$$\eta_{25} = 6043 \times 20 = 120860 \text{ (小時)}$$

實施加速壽命試驗前須澄清的幾個問題

- (1) 加速試驗主要可加速提供某項產品的相關資訊，同時，亦可節省測試時間與成本。但由於加速試驗常是以加嚴測試條件(*Exaggerated conditions*)的方式執行，因此，加速測試亦可能同時擴大因假設錯誤，以及未明確律訂適用範圍即實施加嚴測試所產生的負面效應。
- (2) 理論上，若加速壽命與實用壽命的失效模式相同，即可運用加速壽命試驗。但實際上，有時失效模式相同，失效機構(*Mechanism*)卻不同，或即使失效機構亦相同，但失效判定條件或使用條件變動的話，加速性就產生變化，這些都可能造成無法利用加速壽命試驗。
- (3) 加速試驗所訂定之高應力位準，一般僅在特定的範圍內才適用；若事前未進行完整的規劃與工程分析，則試驗結果可能由一個原先“預期且確實”會發生的失效機制，轉換為另一種新的失效機制，而此新失效機制卻未必會在產品實際使用過程中發生。



Meeting the Reliability Challenge

Reliability is not new to AT&T. In a sense, **reliability and AT&T are synonymous**. During almost a century of product development, AT&T has enjoyed a reputation for providing dependable service and highly reliable equipment.

The pre-divestiture environment allowed AT&T to determine the appropriate product reliability for customers. It also allowed AT&T to determine the time and resources it would apply in **building reliability into its product** and thus to determine, to a large extent, what **the products must cost and what the customers must pay**. Today, the customer selects products and services in a competitive marketplaces and decides what the product and service reliability AT&T must provides and when it must be available. The competitive marketplace determines how much it may cost.

Thus, the new, competitive environment presents AT&T with the following challenge: to maintain our reputation for product reliability and remain the provider of choice. We stress that **the product must satisfy customer reliability requirements at a cost that the customer is willing to pay**. Finally, we emphasize, by our focus on reliability assurance activities during the different phase of the product life cycle, that **reliability must be managed end-to-end**, i.e., from product concept to deployment and use.

Ralph W. Wyndrum Jr
Director
AT&T Bell laboratories Quality Process Center
September 1990