



國立雲林科技大學工業工程與管理所

Graduate school of Industrial Engineering & Management,
National Yunlin University of Science & Technology



» Development of worksystem safety capability index (WSCI)

出處：SDOL Safety Science 48
(2010) 1369–1379

作者：J. Maiti

報告學生：田馥華

指導老師：童超塵教授



系統可靠度實驗室 System Reliability Lab.

<http://campusweb.yuntech.edu.tw/~qre/index.htm>

Abstract

- ❖ 提出工作系統安全能力指標(WSCI)。
- ❖ 關鍵特色為有效的把品質工程概念和安全研究同化。
- ❖ 變數為傷害的發生時間間隔(TBO)和每月的傷害數量(NOI)。
- ❖ 使用機率模型、管制圖、期望損失函數和WSCI去分析估計工作系統安全，鼓勵應用於安全，並探討其潛力以及未來研究範圍。



Contents

Keywords :

Worksystem safety 、 Work injuries 、 Safety capability index 、
Control chart 、 Loss function and process approach

1

Introduction

2

Methodology

3

Case study

4

Discussion

5

Conclusions and future scope
of research



Introduction

- ❖ 傳統上，使用長期意外/傷害率，或其他如不安全情況或活動來衡量工作系統安全成果。
- ❖ 長期風險評估(Arunraj and Maiti 2007 ; Tixier et al. 2002 ; Arendt 1990)有可能發生不希望出現的後果(Nieuwhof 1985)。
- ❖ 根據Tixier等人指出風險評估方法通常可分為：
 - 定性法(風險矩陣； Dey et al. 2004)
 - 定量法(定量風險分析； Krishna et al. 2003)
 - 半定量法(半定量失效樹； Hauptmanns, 2004)。
 - 性質分析
 - 確定性(風險指數預測； Chen and Yang, 2004)
 - 機率性(派翠網路； Nivolianitou et al. 2004)
 - 結合性(安全分析； Khan and Abbasi 1998)



Introduction

- ❖ 最常使用的風險基準標準為ALARP，也就是在合理要求下把風險盡可能減至最低(Melchers 2001)。
- ❖ 探討另一議題為使用風險管制決定風險評估。
- ❖ 兩個重要決定必須選擇適當的風險評估技術和風險管制措施(Arunraj and Maiti 2009; Kjellen et al. 2009)。



- ❖ 儘管風險管理是必須深思熟慮和既定的程序，但它具一定局限性。對於日亦惡化的工作系統元素，傳統風險評估不能成為首選。
- ❖ 人們也許認為WSC可以維持安全的理想水平。



Introduction

- ❖ 考慮WSC在線衡量的優勢為：
 - WSC可監測較小的時間間隔
 - 可開發考慮的安全成果以及原因
 - 可以成為簡單的基準
- ❖ 此文中，探討WSC的數學基礎和發展WSC I，並提出case study操作。



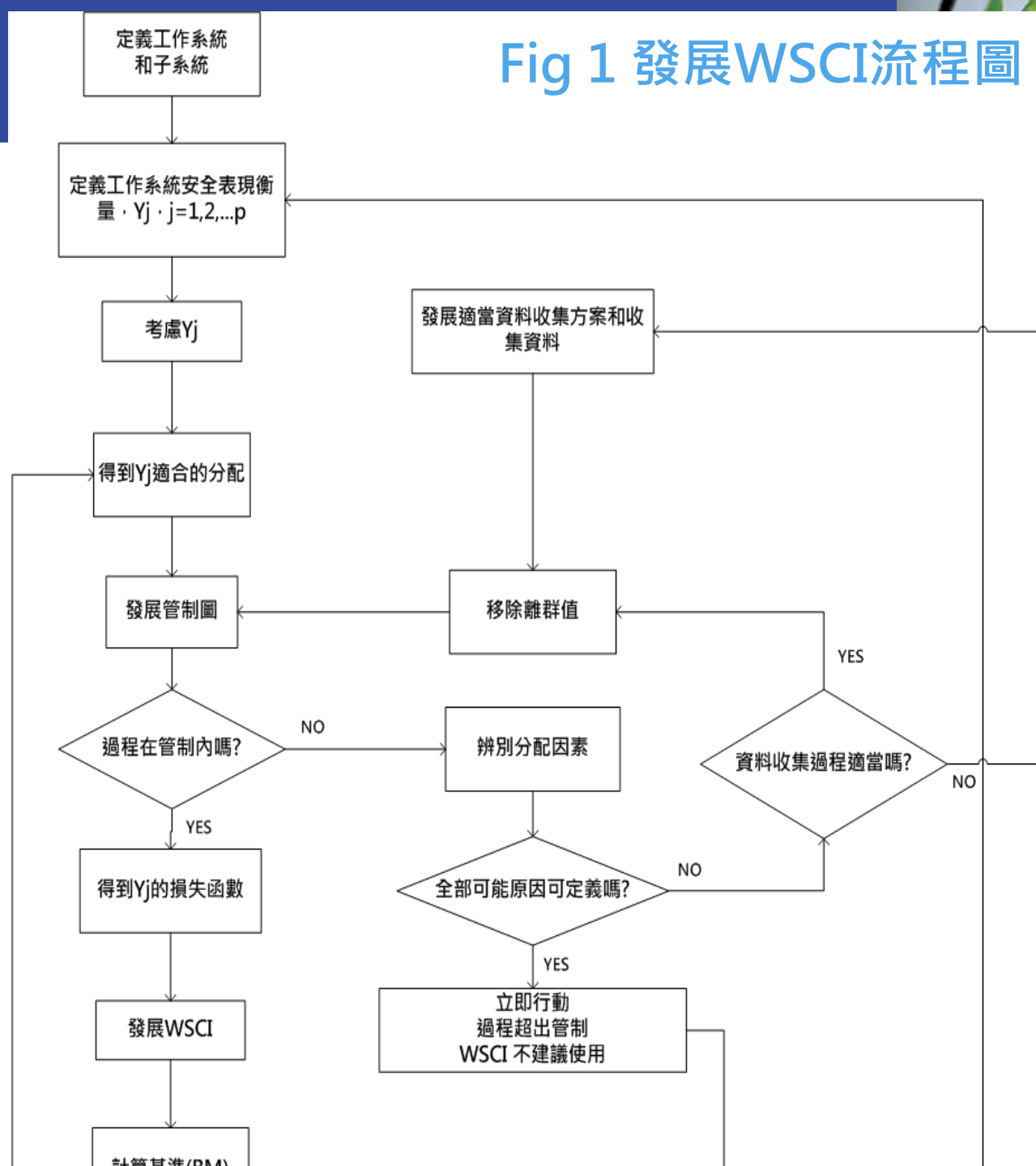
Methodology

Fig 1 發展WSCI流程圖

❖ 變數有兩種類型：

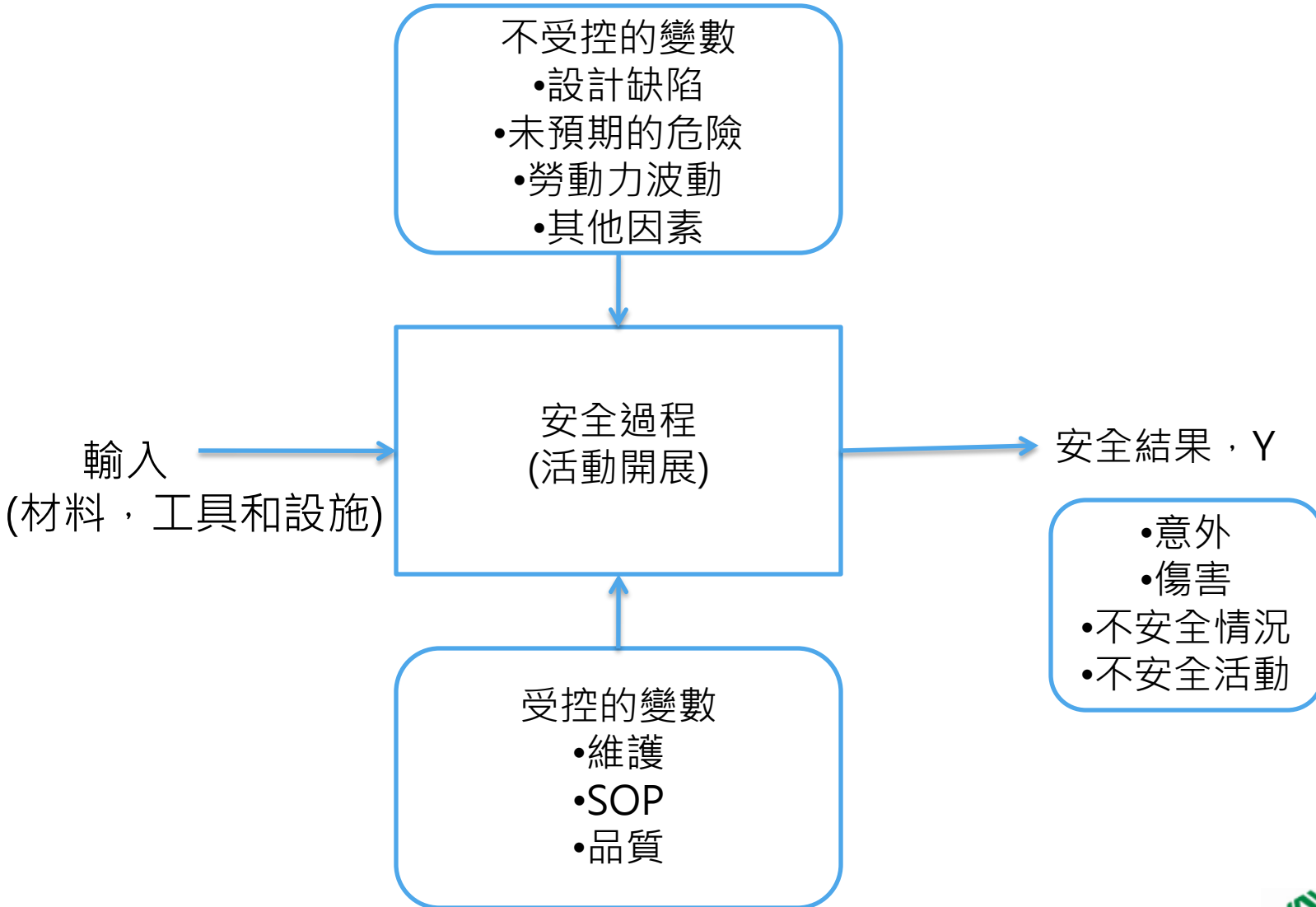
- 離散和連續

❖ 管制內狀態也帶來隨機變數，除了平均狀態，可以考慮計算管制內的工作系統安全水平。田口損失函數方法是用於此目的。



- ❖ 過程模型： $Y = f(I, X, Z) \sim f(X, Z)$
 - Y-安全相關結果
 - X-可控變數，包括輸入(I)
 - Z-不可控變數
- ❖ 安全相關結果可分為2種類型：
 - 過程/系統相關，例如不安全行為和/或情況也許確定和移除及時。
 - 結果不佳的過程或系統情況，如意外，傷害和有驚無險。
- ❖ WSCI可合併變數或兩者同時測量，可採用單一y或變量向量y同時進行。前者視為單因素WSCI，後來視為多元WSCI。





Sl. no.	安全相關結果	離散Y	連續Y
1	不安全情況(UC)	每月UC數量	UC的TBO
2	不安全活動(UA)	每月UA數量	UA的TBO
3	意外發生(AO)	每月AO數量	AO的TBO
4	傷害發生(IO)	每月IO數量	IO的TBO



- ❖ 安全表現衡量考慮傷害發生時間間隔(TBO)和每月傷害數量(NOI)。

- ❖ 概率密度函數：
$$f(\text{TBO}) = \frac{\beta(\text{TBO})^{\beta-1}}{\eta^\beta} e^{-\left(\frac{\text{TBO}}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{for TBO} > 0$$
$$= 0 \quad \text{otherwise}$$

- ❖ β 為形狀參數，服從Weibull分配； η 為規模參數，稱為特徵壽命。

- ❖ 平均TBO(MTBO)及標準差(STBO)為：

$$\text{MTBO} = \mu_{\text{TBO}} = \eta \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right)$$

符號 Γ 代表
gamma分配

$$\text{STBO} = \sigma_{\text{TBO}} = \eta \sqrt{\Gamma\left(\frac{2}{\beta} + 1\right) - \Gamma^2\left(\frac{1}{\beta} + 1\right)}$$

- ❖ 當形狀參數 β 的 $f(\text{TBO})$ 近似1時， $f(\text{TBO})$ 服從指數分配在工作系統建立期間。



❖ TBO的機率密度函數為：
$$f(\text{TBO}) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda(\text{TBO})} & \text{when TBO} > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

❖ λ 為MTBO和STBO分配參數 $1/\lambda$

❖ 如果TBO數據服從指數分配，那麼NOI服從Poisson分配給定

$$f(\text{NOI}) = \frac{\mu^{\text{NOI}} e^{-\mu}}{\text{NOI}!}$$

❖ MNOI為 μ ，SNOI為 $\sqrt{\mu}$ ， μ 為分配的參數。

❖ 大部分TBO和NOI服從Weibull分配，但當不適用此分配情況時，使用經驗分配。



- ❖ TBO為連續，NOI為離散。並且假設TBO服從Weibull和/或指數分配和NOI服從Poisson分配。

- ❖ 當TBO服從Weibull分配
$$LCL = \eta \left[\ln \left\{ \frac{1}{1 - \frac{\alpha}{2}} \right\} \right]^{\frac{1}{\beta}}$$

$$UCL = \eta \left[\ln \left(\frac{2}{\alpha} \right) \right]^{\frac{1}{\beta}}$$

- ❖ 當TBO服從指數分配

$$LCL = \frac{1}{\lambda} \ln \left(\frac{1}{1 - \frac{\alpha}{2}} \right)$$

$$UCL = \frac{1}{\lambda} \ln \left(\frac{2}{\lambda} \right)$$

- ❖ 當NOI服從Poisson分配
$$LCL = \mu - k\sqrt{\mu}$$
$$UCL = \mu + k\sqrt{\mu}$$

- ❖ k表示spread常數為3，99.73%spread，錯誤率為0.27%。其他K值，可以根據不同需要考慮。例如，95%spread的k值為1.96。



- ❖ 田口提出3種損失函數為了3種類型品質變異
 - 名義上是最好的
 - 越大越好
 - 越小越好
- ❖ 對於安全研究，TBO為越大越好，而NOI為越小越好類型的變量。L(TBO)為二次遞減函數，數學式為

$$L(\text{TBO}) = k_t \left[\frac{1}{\text{TBO}^2} \right]$$

- ❖ K_t 為損失係數可以決定依據系統可接受的最小TBO。期望值L(TBO)決定依據TBO的分配。

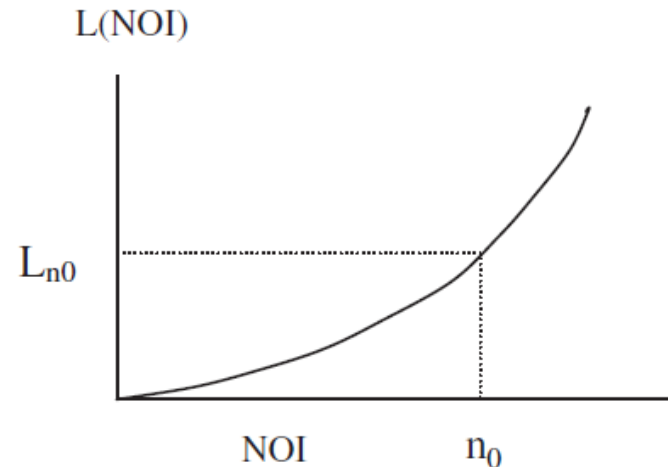
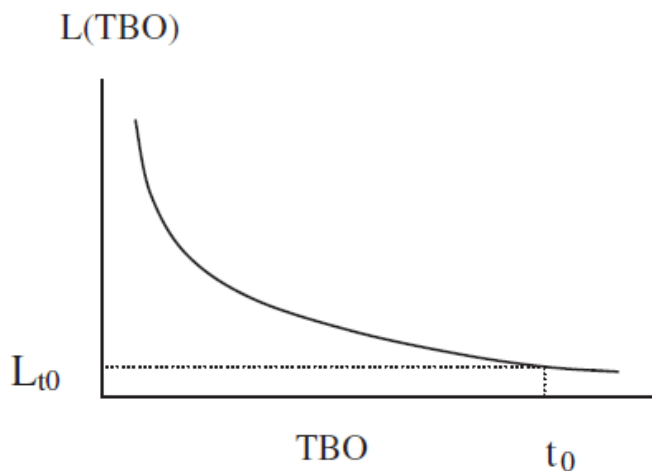


- ❖ 當TBO服從Weibull分配， $L(TBO)$ 為

$$LA = E\left[k_t \left\{ \frac{1}{TBO^2} \right\}\right] = k_t \left[\frac{1}{MTBO^2} \left\{ 1 + 3 \left(\frac{STBO}{MTBO} \right)^2 \right\} \right]$$

- ❖ 當TBO服從指數分配($STBO=MTBO$)， $L(TBO)$ 為

$$LA = E\left\{ k_t \frac{1}{TBO^2} \right\} = k_t \lambda^2 (1 + 3) = 4k_t \lambda^2$$



- ❖ NOI的相應損失函數 $L(\text{NOI}) = q_0(\text{NOI})^2$
- ❖ q_0 為損失係數決定依據工作系統可接受最大NOI。
- ❖ 損失期望值為 $LB = q_0(S\text{NOI}^2 + M\text{NOI}^2)$
or $LB = q_0(\mu + \mu^2)$



- ❖ 安全性研究客戶是利益相關者。要求零事故，從未實現。因此相信表現基準。
- ❖ 定義工作系統基準能最好或達到類似條件。
 - TBO，基準系統MTBO將最大比起較低的STBO。
 - NOI，MNOI將是最小。

❖ WSCI的一般公式為：

- 為了越大越好類型的TBO
- 為了越小越好類型的NOI

$$WSCI_A = \frac{LA(\theta)}{LA(\theta_{bm})}$$

$$WSCI_B = \frac{LB(\theta_{bm})}{LB(\theta)}$$

工作系統
的期望損失

基準系
統的期望損失



- ❖ 當TBO服從Weibull分配

$$WSCI_A = \left(\frac{MTBO_{bm}}{MTBO} \right)^2 \left[\frac{1 + 3 \left(\frac{STBO}{MTBO} \right)^2}{1 + 3 \left(\frac{STBO_{bm}}{MTBO_{bm}} \right)^2} \right]$$

- ❖ 當TBO服從指數分配

$$WSCI_A = \left(\frac{MTBO_{bm}}{MTBO} \right)^2 = \frac{4k_t \lambda_{bm}^2}{4k_t \lambda^2} = \frac{\lambda_{bm}^2}{\lambda^2}$$

- ❖ 當NOI服從Poisson分配

$$\begin{aligned} WSCI_B &= \frac{q_o (SNOI_{bm}^2 + MNOI_{bm}^2)}{q_o (SNOI^2 + MNOI^2)} = \frac{(\mu_{bm} + \mu_{bm}^2)}{(\mu + \mu^2)} \\ &= \frac{(\mu_{bm} + \mu_{bm}^2)}{(\mu + \mu^2)} \end{aligned}$$



❖ 根據以上公式，WSCI可解釋為

WSCI = 1, work system safety performance is OK,

WSCI < 1, work system safety performance is to be improved,
and

WSCI > 1, work system safety performance is improving.

❖ 應該注意獲得基準表現是WSCI的關鍵要求。

❖ 基準表現可得到得到藉由專家意見或過去數據分析設置選擇適當d值(最好的問題改善指標)。



- ❖ 該工作系統為位於印度東部的地下煤礦。員工數量大約是900人，而煤礦產量約為每天1000公噸。
- ❖ 一連串的煤礦採集面對的問題：
 - 檢查安全相關問題
 - 鑽洞在表面
 - 使用炸藥和爆破出洞
 - 煙的清除和檢查裝載
 - 使用側卸式裝載(SDL)機裝載爆破煤
 - 支撐屋頂和兩側
- ❖ 過去 25個月，報告經歷232的煤礦事件，輕微型和急救型受傷其中包括了有驚無險。



❖ 選擇採礦產業有幾個原因

- 採礦是個工人遭受高衝擊危險的工作，如火災、爆炸和洪水，很少發生但影響日常危害(如，滑倒和被目標物擊中)
- 大量工人揭露每日風險
- 採礦業管理非常樂觀藉由這項研究幫助改善安全採礦水平



- ❖ 從採礦管理事件資料庫收集**24個月**的資料。
- ❖ 這些記錄包含
 - 事件日期
 - 姓名
 - 指定的受害者
 - 潛在和現實的傷害
 - 參與代理人



❖ 受傷分類依據

致命的

嚴重的(永久喪失任何身體部位)

可報告的(受傷結果失蹤24小時以上)

輕微的(受傷結果失蹤少於24小時)

和急救的(受傷但沒有失蹤)

❖ 分別計算TOB和NOI的編碼資料

❖ 事件的分佈是：

- 所有受傷包括嚴重的232人
- 輕微的33人
- 急救的159人
- 有驚無險的40人



TBO(天)資料的分配適合度

Sl. no.	傷害/意外類型	Weibull分配適合度		指數分配適合度(1/λ)
		規模(η)	形狀(β)	
1	全部傷害	4.28(3.75-4.88)	1.16(1.05-1.29)	4.03(3.51-4.68)
2	輕微傷害	23.81(15.49-36.59)	0.89(0.67-1.19)	25.14(18.01-37.53)
3	急救	5.85(5.00-6.84)	1.16(1.02-1.31)	5.52(4.68-6.60)
4	有驚無險	17.87(11.42-27.97)	0.78(0.60-1.02)	20.63(15.20-29.62)

TBO 當 $\beta > 1$ 時 表示系統惡化
 當 $\beta = 1$ 時 表示維持現狀
 當 $\beta < 1$ 時 表示系統改善

顯示了Weibull分配優於指數分配在 β 值不等於1時

95%信賴區間



Case study

3.4 安全表現變數的管制圖

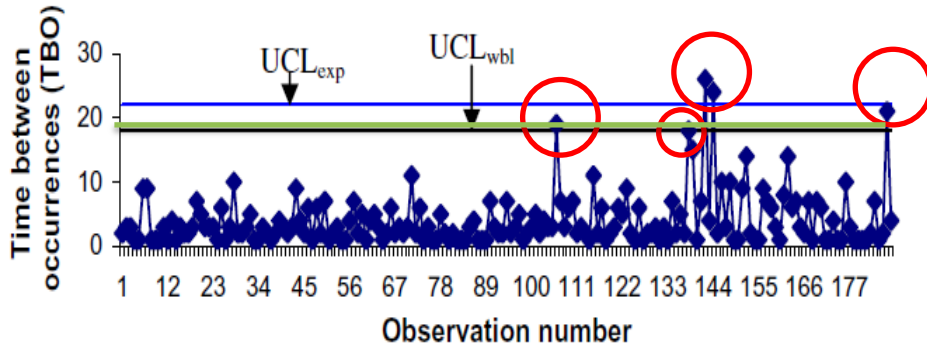


Fig. 5. Control chart for TBOs for all-injury case.

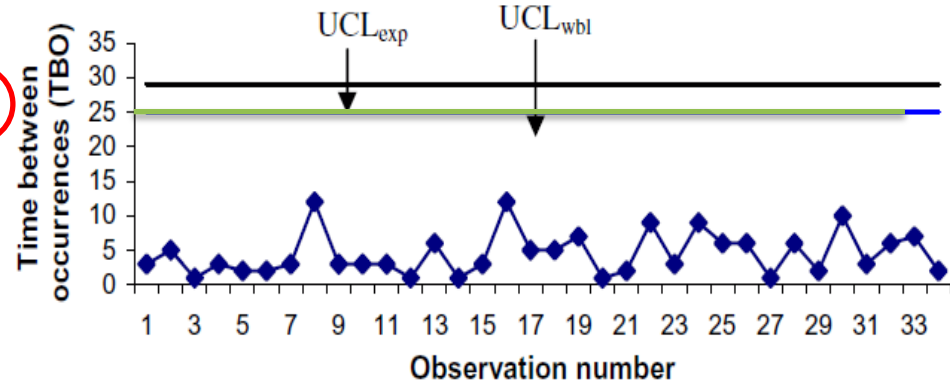


Fig. 7. Control chart for TBOs for first-aid case.

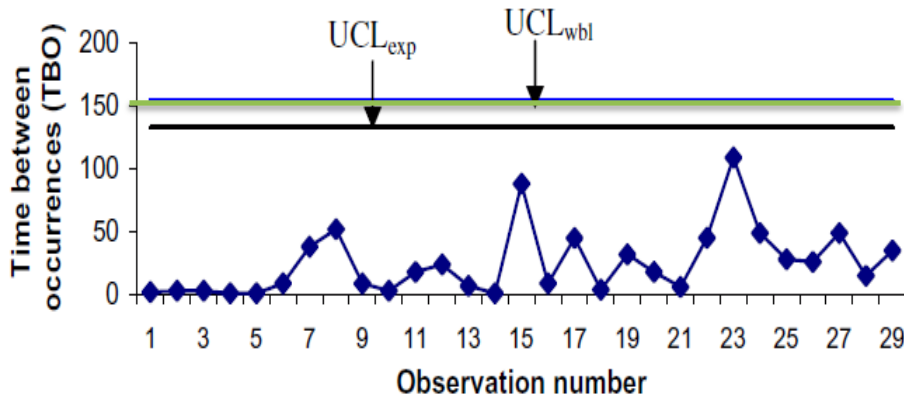


Fig. 6. Control chart for TBOs for minor injury case.

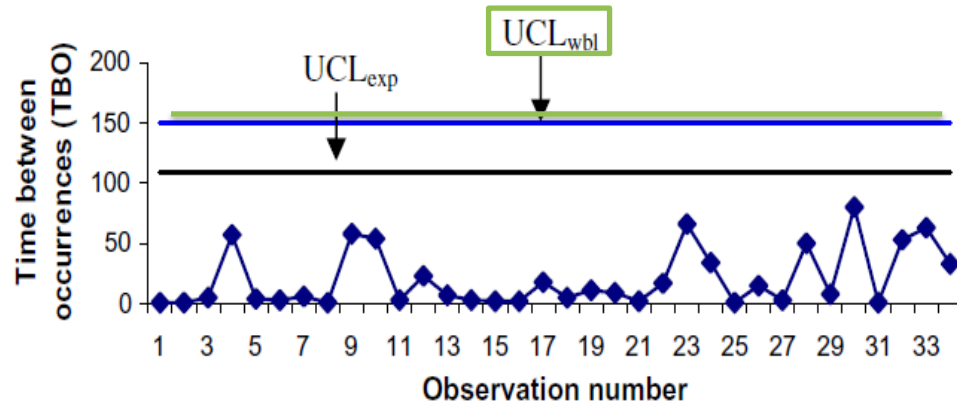


Fig. 8. Control chart for TBOs for near-miss case.

$\alpha = 0.01$



Case study

3.4 安全表現變數的管制圖

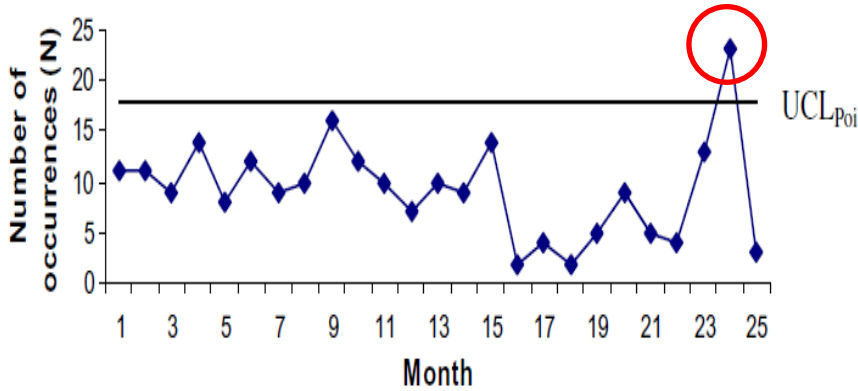


Fig. 9. Control chart for number of occurrences per month for all-injury case.

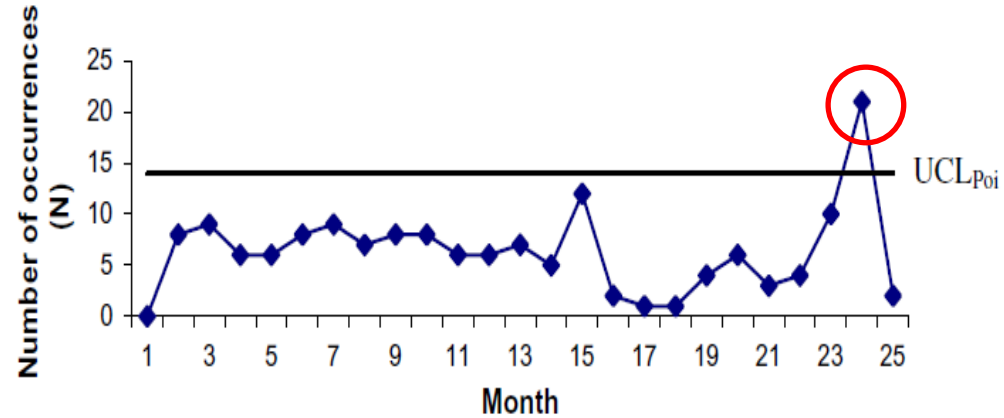


Fig. 11. Control chart for number of occurrences per month for first-aid case.

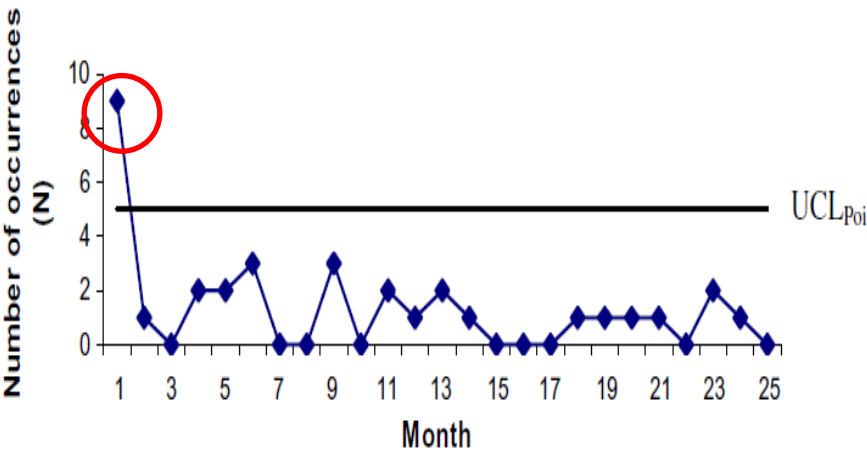


Fig. 10. Control chart for number of occurrences per month for minor injury case.

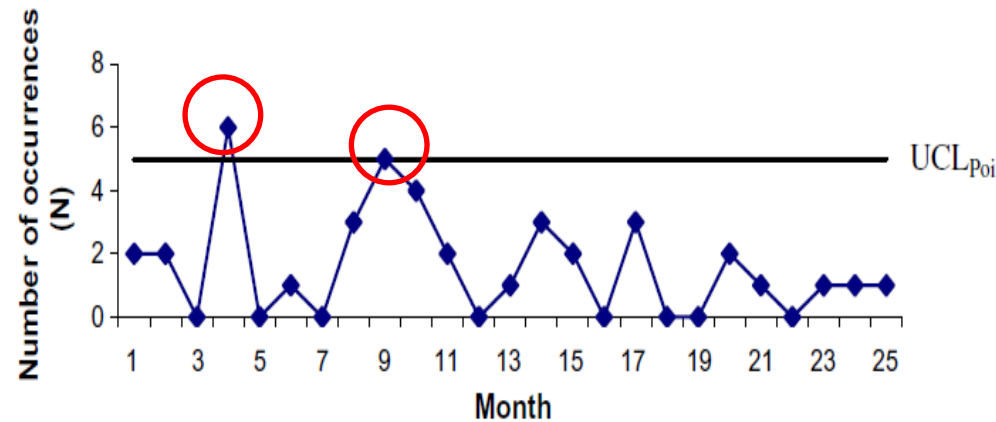


Fig. 12. Control chart for number of occurrences per month for near-miss case.

$\alpha = 0.01$



Sl. no.	傷害/意外類型	為了TBO資料		為了NOC資料	
		期望損失函數	期望損失	期望損失函數	期望損失
1	全部傷害(a)	$k_{at} \left[\frac{1}{MTBO_{at}^2} \left(1 + \frac{3STBO_{at}^2}{MTBO_{at}^2} \right) \right]$	0.76kat	$q_{ao} (\mu_a + \mu_a^2)$	85.54qno
2	輕微傷害(m)	$k_{mt} \left[\frac{1}{MTBO_{mt}^2} \left(1 + \frac{3STBO_{mt}^2}{MTBO_{mt}^2} \right) \right]$	0.19kat	$q_{mo} (\mu_m + \mu_m^2)$	2.00qno
3	急救(f)	$k_{ft} \left[\frac{1}{MTBO_{ft}^2} \left(1 + \frac{3STBO_{ft}^2}{MTBO_{ft}^2} \right) \right]$	0.59kat	$q_{fo} (\mu_f + \mu_f^2)$	38.81qno
4	有驚無險(n)	$k_{nt} \left[\frac{1}{MTBO_{nt}^2} \left(1 + \frac{3STBO_{nt}^2}{MTBO_{nt}^2} \right) \right]$	0.29kat	$q_{no} (\mu_n + \mu_n^2)$	2.85qno



- ❖ 利用MTBO和STBO增加改進可以得到藉由

$$MTBO_{bm} = MTBO + d \times STBO \quad d \text{ 可以變化從 } 0 \text{ 到 } 3$$

- ❖ 基準表現可以得到藉由

$$MNOI_{bm} = MNOI - d \times SNOI$$

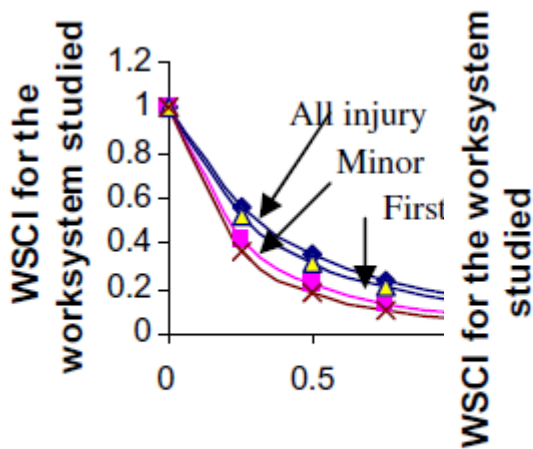


Fig. 13. Plot of W

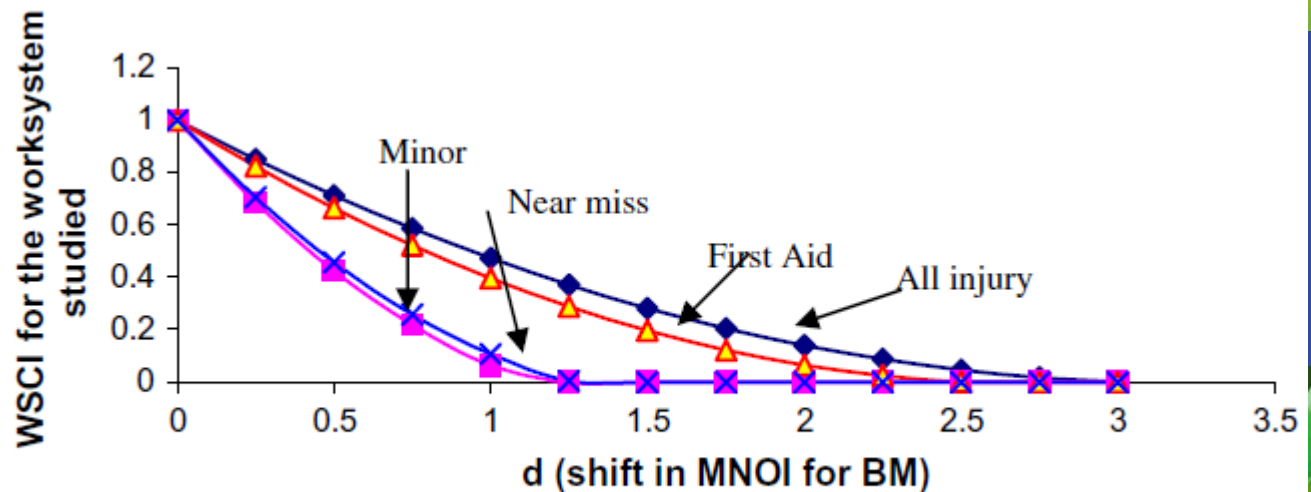


Fig. 14. Plot of WSCI for different benchmark values of MNOI.



❖ 最終WSCI的發展，兩方面是最重要的

- 工作系統必須在統計管制內
- 現有的安全水平必須依照客戶需求詳細計畫

❖ 未來研究

- 沒有探討工作系統安全作為過程模型。鑑定過程變數和貢獻應徹底加以探討。
- 有效利用控制圖原理並修改開發
- 發展損失函數加上多重安全性能變量
- 評估工作系統安全狀況通過三方面整合(原因、努力和成果)
- 使用別的產業不同嚴重程度的意外傷害跨行業和跨工種歷史數據決定損失常數
- 簡化 WSCI使可廣泛使用在工業規模的可能性
- 多元發展 WSCI。





國立雲林科技大學工業工程與管理所

Graduate school of Industrial Engineering & Management,
National Yunlin University of Science & Technology



Thank You !

