

二、經驗分享

(一)液晶面板產業機器人安全設計分析探討

近年來液晶顯示器(TFT-LCD) 產業為台灣主要的發展工業，面板尺寸不斷放大，發展至今有第6 代、第7.5 代。目前技術大多仰賴國外引進，設備亦由不同國家或國內本土廠商製造，故安全規範及標準不一。加上LCD 生產設備具有大型化、高速化、自動化等特性，複雜的生產設備存在著各種型態且可能造成嚴重傷害的危害源。在無塵室中一旦發生設備安全問題可能造成人員傷亡或自動化生產線立即停止等情況，除了人員暴露於機械危害源的風險與威脅，生產線停工造成之損失更無法估計。尤其在無塵室中許多製程必需仰賴機器人擔任傳送工作。傳輸產品的機械也需要更大的力量、速度與能量，所以相關之安全防護更顯重要。

本研究提供國內擬定機器人專用安全法規，提升國內液晶面板製造產業之工業安全。藉由收集國際上對機器人的安全規範要求及認證程序的相關資料，分析國內液晶面板製造產業機器人的使用現況，並擷取安全設計的相關法則，擬定出本土液晶面板產業機器人的安全要求，希望能提高從業人員操作時之人身安全，並期將研究之結果對我國液晶面板製造產業機器人的學術研究、科技發展及產業應用提供良好之基礎。

● 各國機器人安全之國家標準：

近年來安全要求的不斷提高，已是不可抵擋的趨勢與潮流。在各先進工業國家都訂有機器人安全防護之國家標準。我國CNS 國家標準沿用內政部於民國76年頒佈工業用機器人危害預防標準，由於機器人科技進步快速，一般業者對於機器人的引進往往只注意是否達到功效，對於相關之安全防護措施不是忽略了就是未具這方面的知識，使得國內液晶面板產業機器人安全防護措施並未確實的落實與施行。

表2.1 各國機器人安全之國家標準

歐盟	EN 775
國際標準組織	ISO 10218
美國國家標準	ANSI/RIA(分類號 R15.06)
日本	JIS (分類號 B8433)
西德	VDI-2853
SEMI半導體國際組織	SEMI S2 SEMI Draft Document #3814e

● 機械人造成的職災與危害：

瑞典、美國、日本等國外工業先進國家曾發生許多因工業用機器人導致傷亡案例報告，分列如下：

1. 瑞典在1976至1983 年間調查研究發現，36 件意外事件中，16 件發生於操作機器人時，13 件則發生於維修教導時。

2. 美國在1984 年發生第一件死亡案例，一個擁有15 年工作經驗的鑄造工人遭機器人撞擊致死。1986 年發生第二件死亡意外，一位操作員進入機器人之工作區域，遭機器人撞擊胸部致死。兩者共通之處皆為操作員進入運行中的機器人工作區域進而導致意外發生。

3. 日本在1978 年，有一勞工被機械手臂從背部夾死，同年另一勞工因機械人運轉中動作不順，進入其動作範圍內檢修，腰部被機械臂打傷造成失能傷害。

國內近年來不管是電子產業或是傳統產業也常發生機械人職災案例，簡述如下：

1.作業人員未經許可擅自進入機械人作業區而導致死亡

竹科某半導體工廠於85 年1 月即發生機械手臂壓死工程師的慘痛事件，事件發生當時化學清洗槽正進行試機運轉，但設備人員正忙著討論事情無暇看顧，製程工程師欲窺槽內狀況而開門伸頭進入，此時自動送料之機械手臂瞬間升起，將頭及脖子壓擠在清洗槽門邊而氣絕身亡，一旁之設備人員發現已來不及搶救，可見機械人的傷害是快速而嚴重的。

2. 因機械人作業順序錯誤導致死亡

在搬送零件之機械人與切削機的自動化生產線上，因切削機械故障，維護人員進入危險地區內將故障的機械改為手動操作，於調整裝置後按下啟動開關，機械人手臂伸長，而將該員的背部壓住致死。

● 機械人造成傷害之原因：

機械人引起的傷害與機械人不當之設計、操作，工廠佈置及作業人員安全管理等有關。而機械人本身的設計、動作的可靠度、防護與佈置、警告標示及信號、控制人員的訓練與熟悉程度、人員對機械人安全觀念的認知，都可能引起機械人的危害。

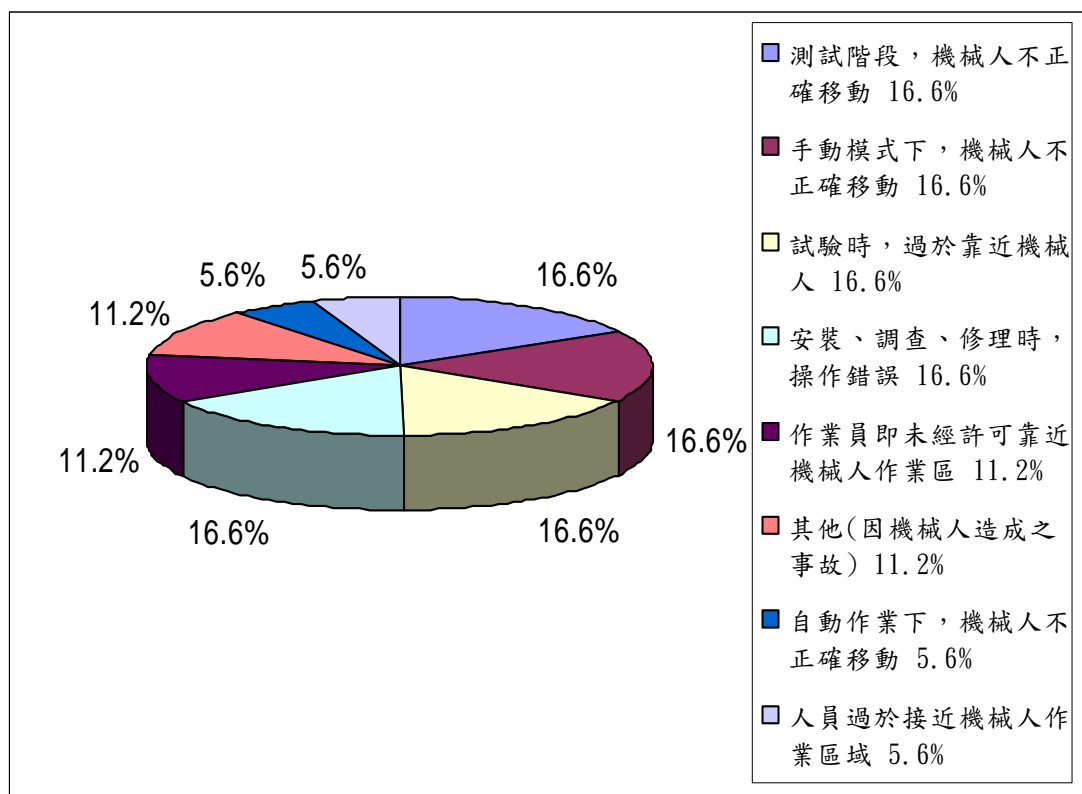


圖2.1 機械人傷害原因分類圖

表2.2 各類型作業人員遭機械人傷害原因分類表

作業 類型	發生原因	危害類型			案例 件數
		A	B	C	
線上 作業 員	當機器人在作業時，操作員仍在工作區內	◎	◎		9
	當機器人作業停止，而操作員在工作區域內，作業員不慎碰觸開關，使得機器人啟動	◎	◎		1
	當操作員進入工作區域內，機器人在生產線上的空氣壓縮閘或真空源停止			◎	2
	操作員在設定時將工件放置在輸送帶上，輸送帶或感應器啟動了機器人		◎	◎	1
	相鄰工作站之工作區位於機器人的工作區域內		◎		2
	機器人超越欄柵上緣部分		◎		1
	當機器人仍握持著工件時，工人仍在進行工作	◎			1
維修 人員	維修人員在機器人工作區域內，而同事卻啟動了機器人	◎	◎		1
	維修人員在維修後進行測試時進入工作區域內	◎	◎	◎	2
	機器人仍在運作時，在機器人活動區域內進行維修工作		◎		2
程式 設計 人員	在教導模式時，程式設計人員的手被夾在機器人的零件中間			◎	1
	在教導模式時，程式設計人員的身體被夾在機器人的零件中間			◎	1
總計		14	19	7	24

A：人為錯誤 B：工作場所設計不當 C：機械設計不當

● 機器人安全保護空間：

EN775中對機器人安全保護空間定義為：由保護裝置限定的空間。且安全保護空間包含限制空間。

● 機器人空間定義：

在ISO 10218與美國機器人標準ANSI/RIA 15.06中，對機器人空間定義如下：

1.最大空間（maximum space）：

依製造商所界定的機器人活動部件所掃掠過的空間，加上末端受動器和工件所能掃掠過的空間。

2.限制空間（restricted space）：

最大空間內受限制器所限制的部份，此限制器建立界限，使得萬一機器人系統發生任何可預見的故障，不會超越此界限，包括極限過行程之最壞情況下(圖2.2)。在啟動限制器之後，機器人所能行走的最大距離被視為界定此限制空間的依據。

3.操作空間（operating spaceoperational space）：

為限制空間之一部份，當實際執行所有移動程式指令。

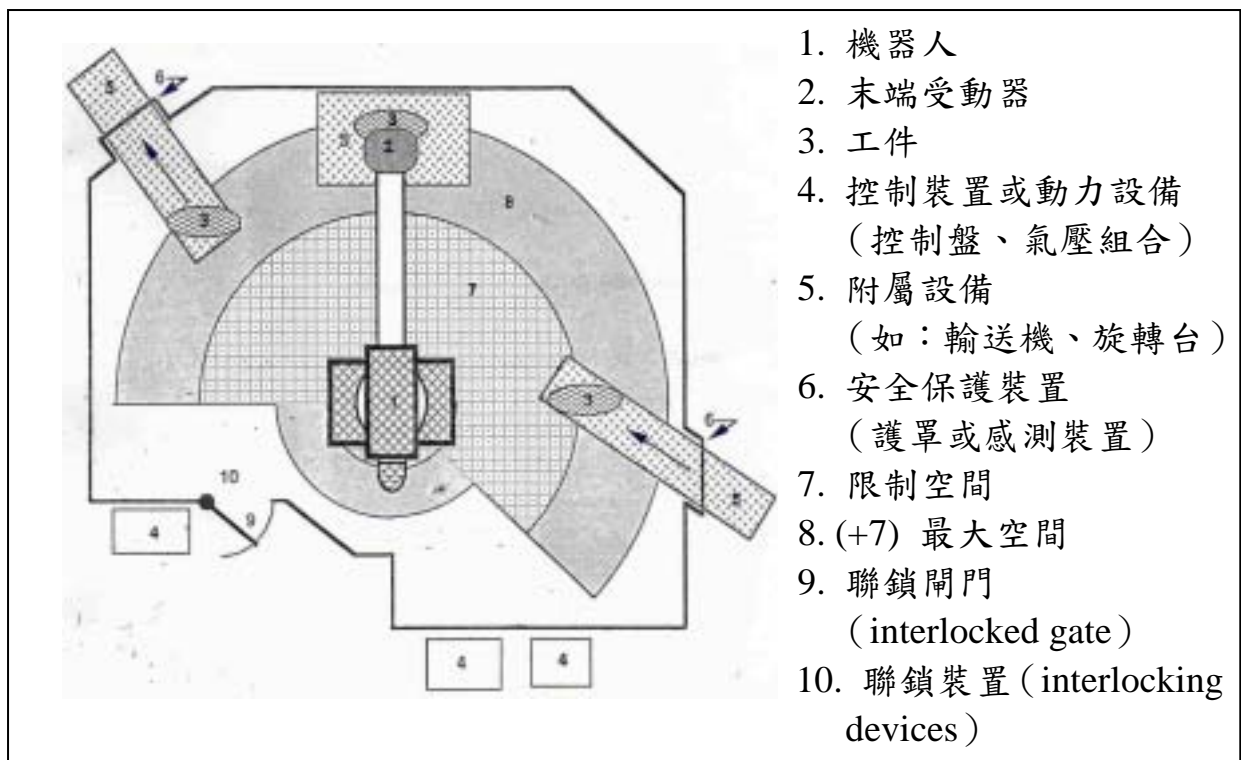


圖2.2 機器人安全保護裝置示意圖

● 安全之相關項目要求：

在手動模式下，Robot或機械傳動設備的Teaching Box 設計要有Dead-man-key design (三段式開關)，若有緊急狀況發生時放掉或重壓Dead-man-key即可讓機械傳動立即停止。

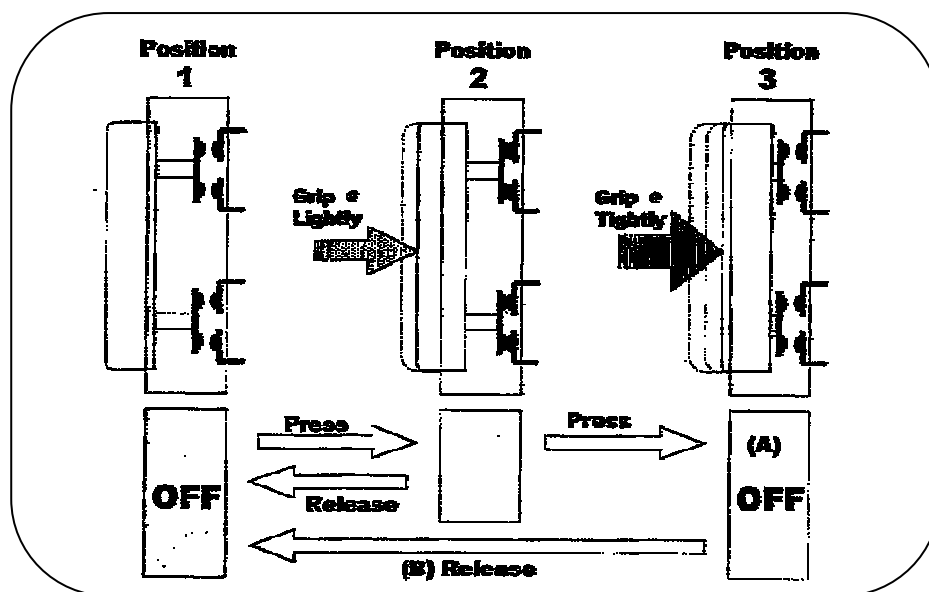


圖2.3 ISO/DIS 10218 : Annex C : Functional characteristics of 3-position enabling devices

設備維修保養時，應隔離能量來源，如：上/下游 Robot停止動作；當無法停止Robot動作可能異常突擊時，必須使用shutter作保護措施。利用Shutter為保護措施時，Shutter必須安裝開閉檢知Sensor；Shutter未開啟時Robot不可作動，防止Robot直擊Shutter。



圖2.4 Shutter Open



圖2.5 Shutter Close

設計及架構機械人：必須避免失去電力、或電壓變動、油、氣壓改變時，而造成危害。在維修時，Z軸機構需有安全治具與插銷，提供機械式防範。

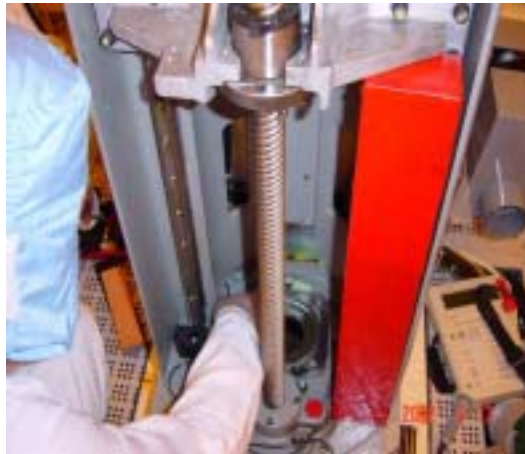


圖2.6 預防Z軸沉降支撐架



圖2.7 Z軸機構之安全防護措施

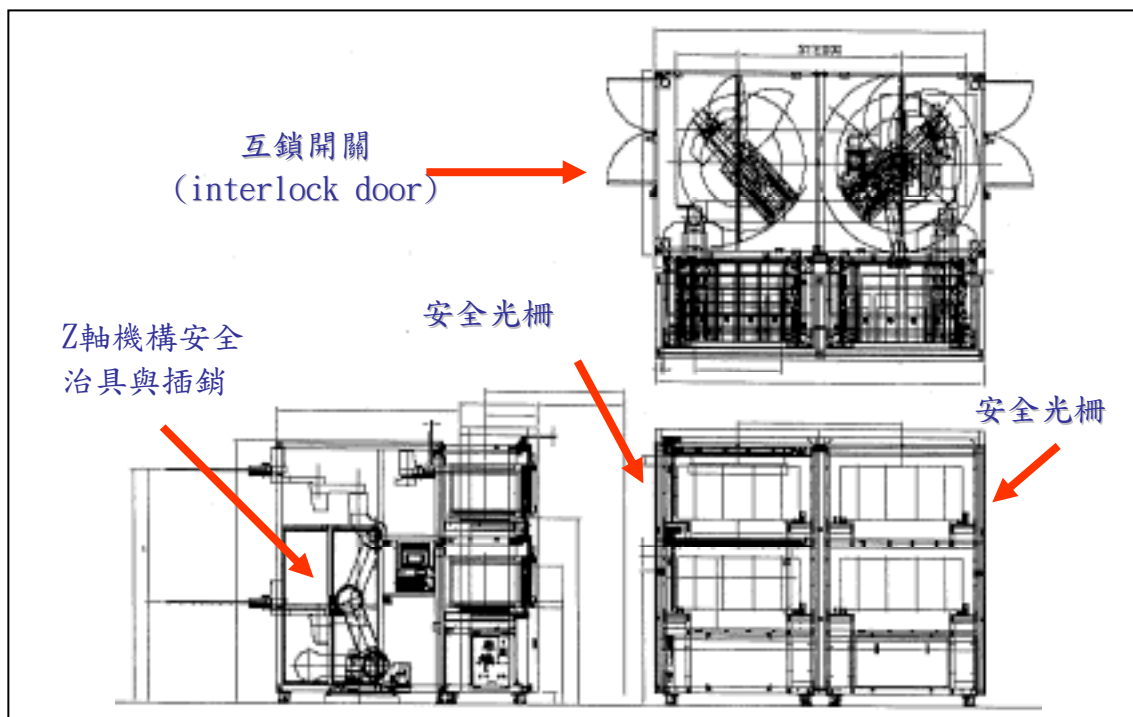


圖2.8 系統的安全保護措施 例(1)

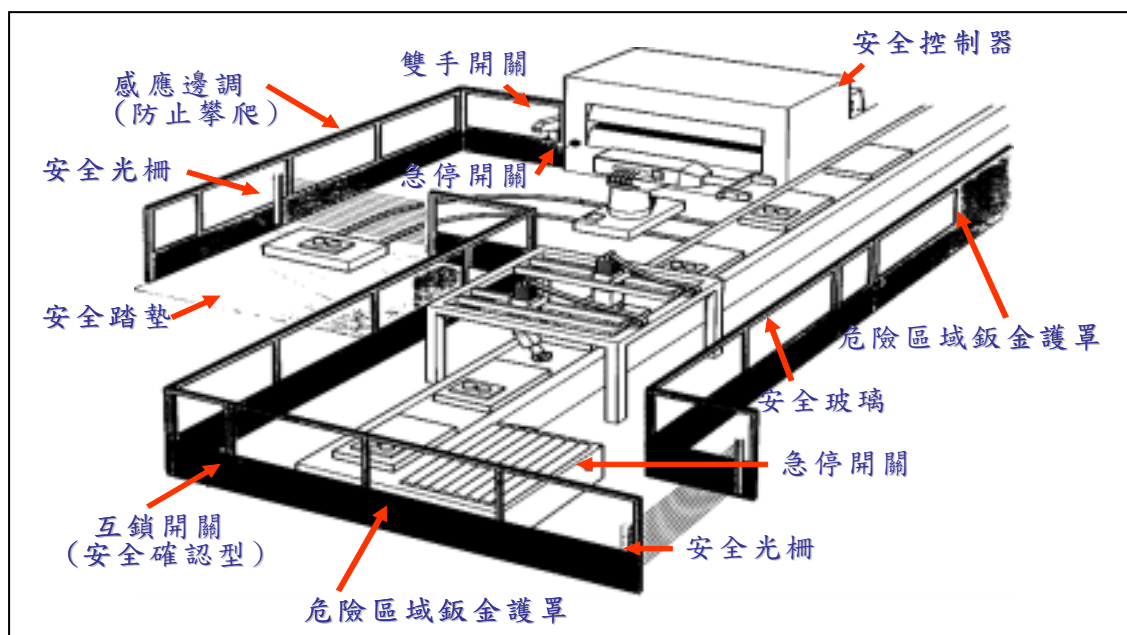


圖2.9 系統的安全保護措施 例(2)

經由危險分析，適當的對策可將風險等級降低。目前設備商雖然在設計時將部份機器人產生之危險列入考量，但對於是否為正確設計缺乏依據。本研究結果，綜合安全之各項資料，製訂「本土液晶面板產業機器人安全設計規範」可做為國內液晶面板製造產業，機器人安全設計之參考，以提昇液晶面板產業機器人安全水準。

表2.3 本土液晶面板產業機器人安全設計規範

一般設計	參考國際標準設計機器人 (EN 775, EN 999, ISO 10218)
	提供Z軸機構安全治具，如千斤頂或插銷等機械式機構，維修時防範。
	機械性的停止裝置，在額定負載、最高速和最大伸長量時將機械人停止。
控制系統	當緊急停止開關 (EMS、EMO) 被壓下後應該保留24V DC控制迴路 (如PLC迴路) 保留Data，避免參數喪失。
	緊急關機需視機台狀況，待可移動式機構處於鎖死或煞車狀態再將動力移除，避免慣性作用或震動導致玻璃基板掉落。
	機台關機(shutdown)後，另外提供電源，以防止故障發生時，提供脫困的方法。
	手動操作時速度應設定250 mm/ sec以下。
	緊急關機(EMO)除外；Teaching Box之操控權應為最高。
	當Robot對Load Ports進行傳送工作，按下任一個EMO或EMS後，Robot與Load Ports立即停止或傳送完成後停止。
安全防護	工作區保護，應參考EN294設計具有隔離作用的安全護罩並包覆全部危險區域
	護罩材質，應使用耐燃材質UL94 (V-0)，並提供證明。
	護罩強度，應足夠抵抗機器人最大突擊能量，提供測試、計算證明。
	移動式護罩需裝互鎖開關 (interlock)，必要時應設計Interlock with guard locking，並設計機械式保護 (lockout /tagout) 於維修時使用。
	光柵(Light Curtain)防護，至少選用Type III或IV等級，並計算安全距離 (EN999)。
	危險區內應裝有緊急停止開關。
	應考慮侷限空間(人體工學之規劃)，足夠之維修空間可在緊急狀況時提供躲避的空間。

	Load Ports (Load/Unload) 機構使用shutter作保護，維修保養時，隔離能量來源，防止Robot異常突擊。
	調校 (Teaching) 區應設計EMO/EMS保護，感應式停止裝置如壓條、拉繩、安全地毯、Scanner。
	機械人自動化設備應有防撞感應器(sensor)設計。(有明確獨立安全作業空間；當有圍牆作隔離，不在此限。)
氣壓系統	氣壓單系統加裝逆止閥。
	當動力移除，機械人(robot)上的真空持續保持吸著狀態(vacuum always on)
電氣設計	參考國際標準IEC60204-1國際電工法規。
	需通過機器人電氣安全 (SEMI S9) 測試。
	EMO、EMS、Interlock、光電感應之安全裝置迴路設計，安全類別使用EN954-1種類3或種類4之雙迴路與B接點之設計，防止失效。
	EMO、EMS、Interlock、光電感應之安全裝置，停止等級為0或1 (IEC60204-1)。
	安全迴路上需使用安全繼電器 (Safety relay unit)
	Interlock安全裝置，使用插鎖式Interlock或多極性磁簧開關(不容易by pass)。並有lockout / tagout設計
	安全開關使用正向開關。
	緊急停止EMO或EMS位置之間距 $\leq 6m$ 。
	電器箱，需符合IP54。外露接點、端子座，需符合IP2X。
	機台接地線徑需計算。
	馬達需選用安全型。
人機介面	機械人或自動化設備安裝顯示器，顯示操作狀態。
	Teaching Box 設計有Dead-man-key design(三段式開關)。
	機器人或自動化設備的電源、控制盤或門等需lockout /tagout設計。
	遙控裝置 (Teaching Box) 不能有切換 (Key) 手動/自動模式的動作功能。
	固定式控制面板應有切換手動/自動的開關狀態指示燈。
	操作權移轉：主、副控制盤，僅能單一操控(不能同時操控)設計，以鑰匙型式 (Key)設計。

教育訓練	操作者需通過認證才能操作設備，定期舉辦或派員參加訓練。
其他	殘留危險需貼警告標示，氣、電接點應貼相對應之標示，並貼銘牌。
	提供UPS設備及消防滅火設施。
	工作環境噪音大於85 dBA，應要求使用個人保護裝備。
	工作區光線亮度應大於500 Lux。
	機械人有足夠之資料說明其功能、控制開關所在位置、工作範圍和負載能力、伸舉程序和操作、維修、保養、校正注意事項。設備驗收時，需附有完整的使用說明手冊。

● 建議

目前國內積極發展機器人，並推行液晶面板設備本土化，將面臨更多設備上安全之問題與挑戰。本研究過程中發現下列幾個問題，可供後續研究：

1. 因為無塵室造價昂貴，通常業者為節省空間，縮小護罩範圍；為節省成本，多數使用強度不足之一般透明壓克力板做防護，以致機器人最大伸長量時可能突破護罩。目前國內外法規中，護罩使用之強度與機器人能量間之關係，並無規範或適當測試方法可依循，是一個目前急需解決的問題。
2. 機器人結合自動化設備間之介面設計及延伸出之安全問題有些未納入考量，因自動化流程屬於複雜及多樣，介面的聯結及控制需考量更多的議題，非本文一時所能全面顧及，其未來能加以深入探討。
3. 國內工業安全議題仍停留於廠務之環境安全，關於現今高科技之廠房，環境需求日益複雜及多樣性，時如能從自動化流程中加以考量，對於未來人機介面所遭遇之問題相信能找出更多之使用空間。