

工業機器人協作應用安全規範—國際標準 ISO 10218 系列發展

社團法人臺灣智慧自動化與機器人協會(TAIROA)標準委員會委員
原見精機股份有限公司董事長 蘇瑞堯



壹、工業機器人概況

機器人本質來說就是由電腦控制的機械，藉由機電整合的各項技術進行控制，使其執行各種指派的任務動作。根據國際機器人聯合會 (International Federation of Robotics, IFR) 定義，機器人分為工業機

器人 (Industrial Robots) 及服務型機器人 (Service Robots)。其中，工業機器人是在工廠內使用，具有多功能的機械手臂，操作者透過程式編排控制其運行，讓機器人順利精準的執行移動物料、工件、工具，或其它特殊裝

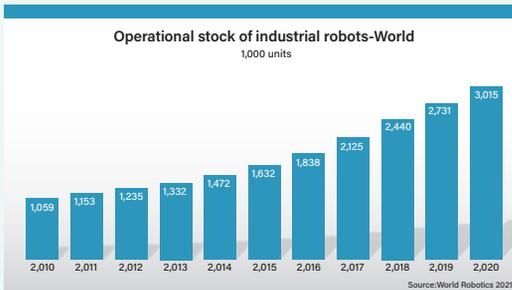


圖 1 IFR 統計全球累積安裝量的工業機器人總數，於 2020 年已達 301.5 萬臺（資料來源：IFR）。

置的工作。若以機械結構來看，工業機器人可區分為單軸機器人、座標機器人、水平多關節機器人（SCARA）、垂直多關節機器人以及並聯式機器人（DELTA）等。

根據國際機器人聯合會（IFR）統計，目前工業機器人仍占全球機器人 80% 的市占率，遠高於服務型機器人。最新的《2021 年世界機器人報告》（The new World Robotics 2021 Industrial Robots）顯示¹，受到全球經濟情勢影響，2020 年工業機器人發貨量為 38.4 萬臺，約與 2019 年相當，但預期 2020~2022 年將呈現先蹲後跳，呈現每年平均 13% 的高速成長。至 2020 年，全球累積安裝量的工業機器人高達 301.5 萬臺（圖 1）。國際機器人聯合會（IFR）主席 Milton Guerry 表示：「在智慧生產和自動化的成功故事的推動下，在世界各地的工廠中執行的工業機器人的總量是歷史最高水平。」

由於世界各地的缺工問題不斷，機器人漸取代低階勞動力，讓人類得以從事更高價值的活動，工廠製造也從「自動化」邁向「智慧

化」。工業機器人技術和產業的迅速發展，在製造領域中應用日益廣泛，已成為現代製造生產中重要的高度自動化裝備。

機器人從剛開始執行裝配、搬運等簡單的工作，到目前用來執行高精密、高困難、高危險性的工作。伴隨著工業 4.0 到來，機器人的能力也需不斷提升，從單純執行重複動作到具有智慧化功能的設備，例如具有辨識、判斷、學習、思考與溝通的智慧機器人。科技的發展常常導致了兩極化的觀點：有些人高估機器人模仿人類的能力，認為機器終將取代人類，有些人則對新研究和技術的潛力過於保守，許多場所還沒有導入機械手臂的打算。

若透過產業來看我國製造業機器人的分佈，可以發現其中以電子製造業使用最多的工業機器人，其次為汽車產業。從科技政策研究與資訊中心的研究報告可以發現，我國電子製造業擁有 38,000 臺工業機器人，占全體製造業工業機器人的 71%，且近 5 年的複合成長率達 22%。其次，汽車製造業有 6,450 臺工業機器人，近 5 年的複合成長率更高達 38%²。綜合來看，我國工業機器人的採用密度近年來快速提升，從 2013 年的平均 72 臺 / 每萬人到 2020 年製造業的平均工業機器人密度為 248 臺 / 每萬人，已高於同年全球平均值 126 臺 / 每萬人（圖 2）。顯示出工業機器人的運用已為我國製造業生產製程中相當重要的設備。

此外，過去長期以大量生產、標準化的自

1. World Robotics 2021, https://ifr.org/downloads/press2018/2021_10_28_WR_PK_Presentation_long_version.pdf。

2. 市場報導：人機協作成主流 - 科技產業資訊室 (iKnow) (narl.org.tw)。

動化生產模式，已無法滿足智慧製造趨勢強調的彈性化以及客製化生產。由人類負責決策以及靈活性要求較高的生產作業，機器人運用其效率、精準的優點來輔佐人類，透過人機協作模式，讓全手動或全自動的生產流程組合出不同的變化，帶動各種製程效益差距以及靈活的產線配置。能讓機器人與人類相互配合的人機協作模式，儼然成為未來工業機器人發展的新主流。

在各行各業推動智慧轉型的趨勢中，如何落實人類與機器人、機器手臂協同作業時之安全防護，已成為政府與企業在法規訂定與技術革新上的重要課題。2018年，勞動部修正「工業用機器人危害預防標準」、發布「協同作業機器人作業安全評估要點」，增訂「因工作者碰觸致對操作機產生衝擊力時，能自動停止運轉」等規定，展現對人機協作安全的關切。

確保作業人員安全的前提下，協助企業引進工業機器人，建立新型態自動化系統，轉型邁向「人機協作時代」。

貳、由傳統自動化轉向協同作業自動化（臺灣發展人機協作具優勢）

如果將勞動生產方式在一條光譜上展開，一端是完全機械化生產，另一端是完全人力作業。人機協作就是光譜上不同程度人與機器共同合作完成的自動化作業。

過去製造業強調的是建構高度自動化的工作場域，透過自動生產模式優化製造的速度與成本。高度自動化環境是基於相當確定的參數，只能在特定層面發揮作用。例如，作為生產流程預先確定的一部分，機器人執行一系列重複功能，在製造過程中，使用機器人技術可提供極高一致性和可重複性。機器人在圍欄後

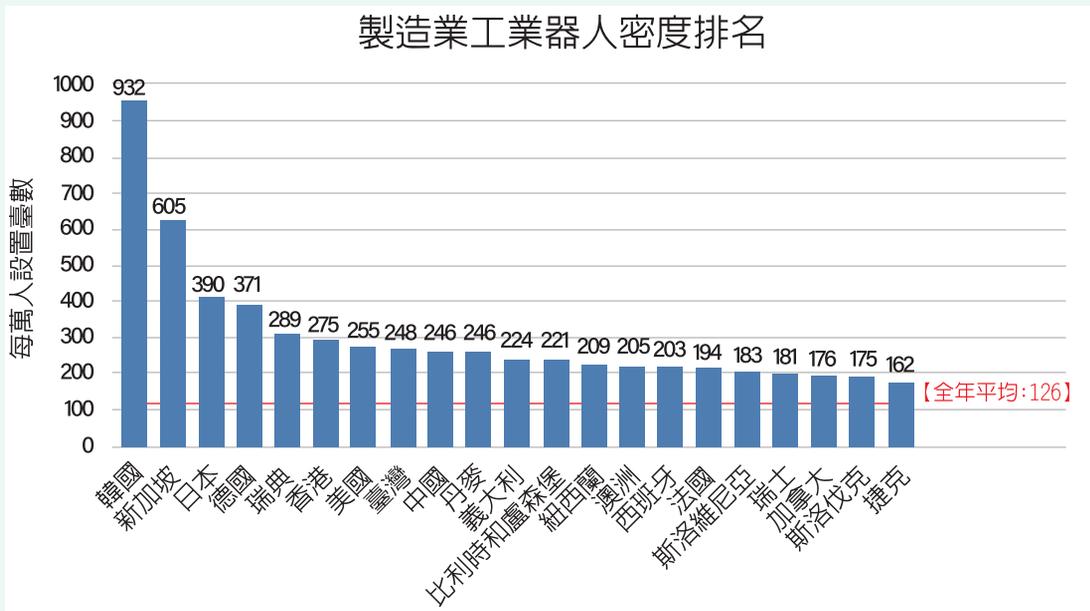


圖2 IFR 統計世界各國工業機器人的採用密度，2020年全球平均值為126臺/每萬人，臺灣製造業密度為248臺/每萬人，排名第八（資料來源：IFR）。

面執行任務，需要建置的空間大等等限制因素，有部分的自動化需求無法利用傳統工業機器人來實現；而人機協作模式正好填補了此一區塊，讓所有能夠實現的自動化的範圍更廣，整體解決方案也能更加完整。

從實際製造場域來看，絕大部分的生產作業同時需要人和機器，利用機器人擔任無聊、笨重及危險的工作；至於人可以做細緻、多變或調整工作，當生產線可以更好地融合人與機器時，智慧製造就能達到最佳狀態。

顯而易見的是，機器人協作應用在許多產業中都具有很大大潛力。儘管根據產業不同，其應用範圍和程度相差很大，但有一個問題必須共同考量：這就是需要改變對自動化的態度。在協同作業模式，機器人和人類雙方必須作為合作者，而不是競爭者/取代者，並基於心態完全轉變來建立一種新型關係。

筆者觀察，由傳統自動化轉向協同作業自動化，是一個很適合臺灣發展的方向（圖3）。首先，隨著製造業趨勢發展，彈性靈活製程成為許多廠商首要改造目標。以需求面來看，臺灣製造業主要生產利基以少量多樣為主，因此會特別強調機器人的彈性化功能，以及高投資報酬率部分，以滿足臺灣產業高速變化需求。而以市場應用面來看，臺灣目前採用工業機器人主要為組裝和協助物料搬運。讓工業機器人在產線上扮演更靈活的角色，也進一步擴大應用領域，因此像是泛用性、高彈性等都將是廠商發展重點。

其次，從人機協作的導入場域來看，臺灣也擁有優勢。由於近年來臺投資的臺商及外商很多，臺灣本地製造業過去多以人力組裝，如今開始經歷轉型，也願意多方嘗試，因此人機協同的試驗場域很多。另一個對臺灣有利的因素是，臺灣製造業掌握很大的下游出口市場，從半導體、面板、電子OEM到傳統紡織、製鞋等民生產業等，都是發展智慧製造技術的有力推手。

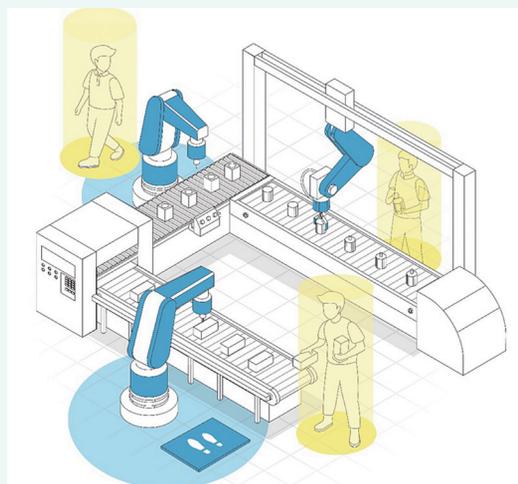


圖3 由傳統自動化轉向協同作業自動化，是一個很適合臺灣製造業發展的方向（資料來源：原見機械）

參、國際標準與工業機器人協作應用安全需注意的內容

職業災害的產生是自動化工業進步的指標之一，「安全」一直是機器人或機器設備業者所面臨的最大挑戰。為了確保機器人使用安全性，國際標準組織機器人技術工作委員會 (ISO /TC 299) 於 2011 年公佈了工業機器人安全標準 (ISO 10218-1、ISO 10218-2)，分別討論了機器人、機器人系統和整合應用的安全規

範，並於 2016 年發佈了 ISO/TS 15066 協作機器人標準 (圖 4)，做為 ISO 10218 的補充文件。目前工業機器人安全要求文件正在修定中，預計於 2021 年將會公佈新版 ISO 10218 標準規範文件。國際上先進國家如歐盟、美國或日本皆以此標準為主要架構，來制定各自的國內標準。

新版 ISO 10218-2 和 ISO/TS 15066 技術規範列出了幾種協作模式，可根據具體應用需求和機器人系統設計單獨或組合使用：

- 距離與速度監控：機器人的速度和運動軌跡必須受到監控，並根據操作人員在防護區域內的速度與位置加以調整。
- 手動引導：在安全減速的情況下由人員手動引導機器人，保障教導調整時的安全性。
- 功率和力量限制：機器人系統 (包括工件) 與人員 (操作人員) 之間可能存在有意或無意

的物理接觸。ISO/TS 15066 技術規範規定了機器人與身體部位碰撞時不得超過的最大值 (人體生物力學負荷限值)。以防造成傷害或危險，從而實現所需的安全防護。

機器人運動部件與人體可能出現的接觸被分為以下兩類 (圖 5)：

(1) 准靜態接觸 (夾擊)：包括人體在機器人系統運動部件間的擠壓或碰撞，這種情況下，機器人系統將會在情況解除前對被困人體部分持續施加一定時間的力或壓力。

(2) 瞬態接觸 (撞擊)：這種情況也被稱作動態衝擊，人體被機器人系統的移動部件所撞擊，但人體不會像第 (1) 種情況那樣被機器人系統夾住或困住，而是相對短時間的接觸；

當機器人整合至系統中 (整合手臂與末端機構等) 實施協同作業，必須對整個機器人系統 (整機) 進行風險評估，以確定的風險降低措

國際標準組織 工業機器人安全標準

ISO 10218-1, ISO 10218-2, ISO/TS 15066

<p>ISO 10218-1</p> <ul style="list-style-type: none"> Robots and robotic devices — Safety requirements for industrial robots — Part 1: Robots Scope <ul style="list-style-type: none"> Industrial use Controller Manipulator Main references <ul style="list-style-type: none"> ISO 10218-2 – Robot systems and integration Common references <ul style="list-style-type: none"> ISO 13849-1 / IEC 62061 – Safety-related parts of control systems IEC 60204-1 – Electrical equipment (stopping fnct.) ISO 12100 – Risk assessment 	<p>ISO 10218-2</p> <ul style="list-style-type: none"> Robots and robotic devices — Safety requirements for industrial robots — Part 2: Robot systems and integration Scope <ul style="list-style-type: none"> Robot (see Part 1) Tooling Work pieces Periphery Safeguarding Main references <ul style="list-style-type: none"> ISO 10218-1 – Robot ISO 11161 – Integrated manufacturing systems ISO 13854 – Minimum gaps to avoid crushing ISO 13855 – Positioning of safeguards ISO 13857 – Safety distances ISO 14120 – Fixed and movable guards 	<p>ISO/TS 15066</p> <p>Robots and robotic devices — Collaborative</p> <ul style="list-style-type: none"> Scope <ul style="list-style-type: none"> Collaborative industrial robot systems Work environment, Guidance on collaborative industrial robot operation given in ISO 10218-1 and ISO 10218-2. 
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

圖 4 國際標準組織工業機器人安全標準 (資料來源：國際標準組織機器人技術工作委員會)

ISO/TS 15066 人體衝擊極限 ISO 10218-2 Annex M

- The guidance provides Limits for quasi-static and transient contact for PFL applications.

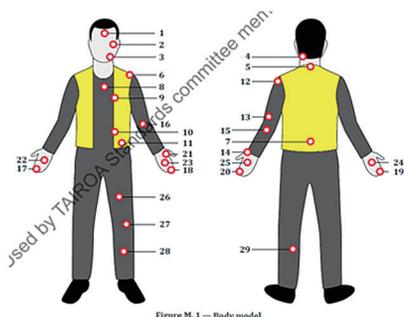


Figure M.1 — Body model

Body region	Specific body area	Quasi-Static Contact		Transient Contact	
		Maximum permissible pressure Ps [N/cm²]	Maximum permissible force [N]	Maximum permissible pressure Ps [N/cm²]	Maximum permissible force [N]
Skull and forehead	1 Middle of forehead	130	130	130	130
	2 Temple	110	110	110	110
Face	3 Masticatory muscle	110	65	110	65
	4 Neck muscle	140	150	230	300
Neck	5 Seventh neck muscle	210	210	420	420
	6 Shoulder joint	160	210	320	420
Back and shoulders	7 Fifth lumbar vertebra	210	210	420	420
	8 Sternum	120	140	240	280
Chest	9 Pectoral muscle	170	170	340	340
	10 Abdominal muscle	140	110	280	220
Abdomen	11 Pelvic bone	210	180	420	360
	12 Deltoid muscle	190	150	380	300
Upper arms and elbow joints	13 Humerus	220	150	440	300
	14 Radial bone	190	160	380	320
Lower arms and wrist joints	15 Forearm muscle	180	160	360	320
	16 Arm nerve	180	160	360	320
Hands and fingers	17 Forefinger pad D	300	270	600	540
	18 Forefinger pad ND	270	270	540	540
	19 Forefinger end joint D	280	280	560	560
	20 Forefinger end joint ND	220	220	440	440
	21 Thenar eminence	200	200	400	400
	22 Palm D	260	260	520	520
	23 Palm ND	260	260	520	520
	24 Back of the hand D	200	200	400	400
	25 Back of the hand ND	190	190	380	380
	26 Thigh muscle	250	250	500	500
Thighs and knees	27 Kneecap	220	220	440	440
	28 Middle of shin	220	130	440	260
Lower legs	29 Calf muscle	210	130	420	260

圖 5 新版 ISO 10218-2 和 ISO/TS 15066 技術規範規定了機器人與身體部位碰撞時不得超過的最大值 (人體生物力學負荷限值)，以防造成傷害或危險。(資料來源：國際標準組織機器人技術工作委員會)

施應確保安全協作。即使相應的機器人本體已具有設計性風險降低措施，這一點仍不可或缺。

人機協作與安全防護的風險主要依照兩項互動參數來考量：空間與時間。若人與機器人在不同時間處於不同的運作空間，那麼兩者沒有互動，機器人運動不存在風險。當人與機器人在特定應用中必須同時在同一工作區內互動，在這種所謂的協作場景中，機器人的力量、速度和運動軌跡必須受到限制以降低風險。為降低風險可使用固有保護措施，也可採取額外措施，例如透過系統控制器相關的安全機制來停止機器人運動或限制關節扭矩。風險程度也取決於人與機器人之間的距離，此場景需要可靠的感測器，用以偵測人員或確定其與危險區域的距離及速度。

我國勞動部也於 2018 年 2 月 14 日修正發布

「工業用機器人危害預防標準」，於第 21 條增列雇主使用協同作業之機器人時，應符合國家標準 CNS 14490，並於同年 3 月發布「協同作業機器人作業安全評估要點」，作為企業撰寫協同作業機器人安全評估報告參考指引。

以機器人搬運物料來減輕人力負擔為例，須先界定搬運區域的範圍，除了協同作業人員外，亦須有非協同作業人員進入的管制機制，包含要有安全驗證報告書 (即 CNS 14490-1/-2)，並請第三方團體 (third-party) 做完整的評估，確認機器人系統安全無虞。

安全評估報告的目的是確保協同作業人員 (工作者) 不會在機器人協同作業工作範圍內造成人員傷亡，可作為將來勞動檢查員檢核工廠時提出的說明依據。

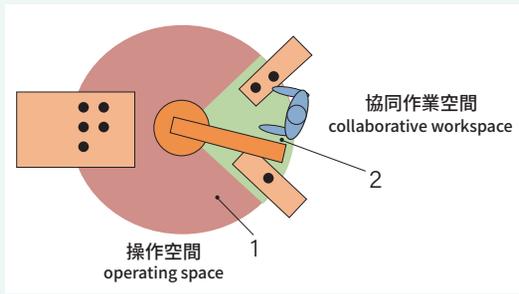


圖 6 安全評估報告：協同作業空間平面圖範例。(圖片來源：財團法人安全衛生技術中心提供)

安全評估報告依法留存於事業單位，雇主須要求製造 / 系統 / 組裝廠商配合法令修改部分予以協助。報告中應該敘明人機協同作業的使用範圍與運作目的為何，尤其協作人員若與機器人碰撞所造成之嚴重後果。因此在做系統評估時，機器人的可控範圍須涵蓋在內，業主或可於固定區域內設置一虛擬圍籬，如在地板上或移動軌道上標示紅線，讓人員可清晰辨識其位置以避免危害 (圖 6)。

肆、協作應用實際案例

身為全球半導體龍頭的臺灣積體電路製造股份有限公司，面臨工業 4.0 與智慧製造的發展，率先扮演著領頭羊的角色，導入機器人協同作業應用。早期 6 吋及 8 吋晶圓廠自動化程度受限於當時科技尚未成熟，生產過程需要作業人員在機臺間搬運晶片盒。隨著自動化設備成熟，12 吋晶圓廠已建置自動化物料搬運系統 (Auto Material Handling System, AMHS)，以大幅減低重複搬運晶圓所產生的人因傷害。然而 6 吋、8 吋廠房因原本空間限制，反而無法設置 AMHS 系統。有鑑於人機

協同已是國際趨勢，臺積電規劃將機器手臂設於自走車 (AGV) 上，過去需靠人員採料的品保 (QA)、品管 (QC) 工作，現在則交由協同式搬運機器人處理³，甚至許多檢查工作可透過工業照相機每日拍照比對，藉此找出異狀。

在電子製造業，佳世達桃園龜山廠在考慮空間有效利用、製程效率最佳化的情況下，選擇人機協作的產線設計方式。佳世達在人機協作產線中總共設有 3 道安全防護機制，第一道以劃分工作區域讓人機動作互相搭配，第二道則利用光學感應，當人員進入警戒區則自動減緩速度，而第三道則是導入原見精機開發的觸覺皮膚感知，當發生人員碰撞機器手臂時，手臂則會立刻自動停止。而透過三道防護機制，佳世達也在第三方單位精密機械中心 (PMC) 的認證下，以符合 ISO 10218 / TS 15066 國際安規，成為全臺第一家取得人機協作安全認證的高科技製造廠 (圖 7)⁴。



圖 7 取得人機協作安全認證之製造產線 (圖片來源：佳世達提供)

3. 臺灣積體電路製造股份有限公司導入協同式搬運機器人計畫，減少 6 吋及 8 吋晶圓廠人因傷害，<https://esg.tsmc.com/csr/ch/update/inclusiveWorkplace/caseStudy/12/index.html>

4. <https://www.benqbusinesssolution.com/8483>