

東 海 大 學

工業工程與經營資訊學系

碩士論文

The seal of Tung Hai University is a circular emblem with a scalloped outer edge. It features the university's name in Chinese characters '東海大學' at the top and 'TUNG HAI UNIVERSITY' in English around the bottom. In the center, there is a cross symbol above a series of horizontal lines.

工業機器人應用於精實製造之
準則發展

研究生：陳盛皇

指導教授：黃欽印 教授

陳武林 教授

中華民國一〇七年六月

Application Guidelines for Industrial Robots in Lean Manufacturing

By
Sheng Huang Chen

Advisors : Prof. Chin-Yin Huang
Prof. Wu-Lin Chen

A Thesis
Submitted to the Institute of Industrial Engineering and
Enterprise Information at Tunghai University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
in
Industrial Engineering and Enterprise Information

June 2018
Taichung , Taiwan

工業機器人應用於精實製造之準則發展

學生：陳盛皇

指導教授：黃欽印教授

陳武林教授

東海大學工業工程與經營資訊學系

摘 要

隨著科技發展，人們的生活日益富裕，需求逐漸轉為以個人化為主，製造商則根據末端顧客的需求採取適當的生產方式。由於產品種類多樣少量，故大量生產已不適用，而是以具生產彈性的精實製造更為適合。根據文獻所述具備靈活多樣性的工業機器人是精實的，其應用於精實製造可達到一加一大於二的效果。但以往製造商在導入工業機器人時皆沒有一套參考依據可遵循，導致失敗的可能性大增，本研究欲探討在精實製造的環境下導入工業機器人其設計準則。

本研究準則設計分為四類，分別為工業機器人與作業之關聯、運輸搬運規劃、手臂之選擇、以及友善的環境，每項準則皆有對應到的文獻加以佐證或依現有文獻做推論，而部分準則以案例加以說明使其可視化程度提高。最後根據本研究設計準則應用於案例並以機器人編程與模擬軟體 OCTOPUZ 做一說明。案例公司現況產線過於冗長，過多的人員、零件、在製品充斥製造現場，過多的搬運也造成人員作業十分費力，在應用準則改善後加入了八台工業機器人及一台機構，減少了九位作業人員，週期時間改善幅度為 44%，工作使用空間改善幅度為 41%。本研究設計之準則為通用性準則，有別於既有針對個案之研究。

關鍵字詞：精實製造、工業機器人、準則設計、機器人編程與模擬軟體 OCTOPUZ

Application Guidelines for Industrial Robots in Lean Manufacturing

Student: Sheng Huang Chen

Advisors: Prof. Chin Yin Huang
Prof. Wu Lin Chen

Department of Industrial Engineering and Enterprise Information
Tunghai University

ABSTRACT

With the advent of science and technology, people's living has become increasingly affluent. Their demand gradually shifts to personalization, which results in a large variety and small quantity of products in production. Traditional mass production is no longer applicable. On the other hand, it is more suitable for production with flexible lean manufacturing. Although robotic automation is a turn-key solution for flexible lean manufacturing, there is no guideline to lead the application of robotic automation in production. Hence, a design guideline is needed.

The design guidelines of this study are divided into four categories, namely, the relationship between industrial robots and operations, transportation planning, robotic arm selection, and friendly environment. Each guideline is supported by the corresponding studies in the literature or inference from existing literature. Some of the guidelines were illustrated by examples. Finally, the design guidelines were applied to a case study. The robot programming and simulation software OCTOPUZ was used to demonstrate how the production line is robotic-automated. In the case study, eight industrial robots and one mechanism device are added in accordance with the suggestions by the guidelines, which results in a reduction of nine workers. The improvement of cycle time is 44%, and the improvement of working space is 41%. The

guidelines developed in this research are generic to any production system, rather than case-oriented in the literature.

Keywords: Lean Manufacturing, Industrial Robots, Guidelines Design, Robot Programming and Simulation Software OCTOPUZ

致謝

又到了鳳凰花開的季節，碩士生活兩年不長，卻也不短，在這兩年間受到許多老師、同學、朋友、家人的協助與鼓勵，實在令我感激不盡。論文得以順利完成，首先，我要感謝我的指導教授黃欽印老師與陳武林老師，在一路上受到老師的指導與包容，老師總是充滿耐心的聽我報告，並適時地提供我寶貴的建議。很謝謝老師在研究之外也教導我許多做人做事的道理，兩年來使我變得更為成熟與自信。感謝口試委員邱顯俊老師、林育儒老師，在百忙之中抽空前來指導，並給予我許多論文方面的意見，使本論文更加完整。

在研究所其間非常感謝我的好夥伴謝其承、錢建銘、謝家豪、陳誌皓、呂建寬，一路充滿歡笑的陪伴與支持，且在我有問題時給我建議。感謝研究室施顏晁學長總是熱情的教我許多事情，謝謝古兆廷、張瀟方給我的意見或提供我可以詳讀的資料，也感謝學弟妹高宜禎、謝耀宇、藍賜濱、陳政憲、覃之凡、魏詩璇等人每週開會的相伴，預祝各位未來在指導老師的帶領下滿載而歸。

最後，特別感謝我的家人，在我就讀研究所這兩年百分之百的支持我，讓我得以專心於課業上，生活上有甚麼問題也給我最大的幫忙與協助，你們的支持鼓勵與無微不至的關懷，使我得以完成學業，非常謝謝你們。

陳盛皇 謹誌於

東海大學工業工程與經營資訊學系

中華民國一〇七年六月

目錄

摘要.....	i
ABSTRACT.....	ii
致謝.....	iv
目錄.....	v
表目錄.....	vii
圖目錄.....	viii
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究動機.....	1
1.3 研究目的.....	2
1.4 研究貢獻.....	2
1.5 論文架構.....	2
第二章 文獻探討.....	4
2.1 精實生產(Lean Production).....	4
2.2 工業機器人(Industrial Robot).....	5
2.3 工業機器人種類.....	6
2.4 工業機器人於精實製造.....	10
2.5 模擬與機器人離線編程軟體 OCTOPUZ.....	11
2.6 工作研究.....	12
2.6.1 動作研究.....	12
2.6.2 動作經濟原則.....	14
2.6.3 動作經濟原則中之啟發.....	15
第三章 研究方法.....	17
3.1 準則分類.....	17
3.2 準則通用性.....	20
3.3 準則的歸納步驟.....	21

第四章 工業機器人應用於精實製造之準則發展.....	22
4.1 歸納準則發展.....	22
4.1.1 工業機器人與作業之間之關聯.....	24
4.1.2 運輸搬運規劃.....	32
4.1.3 手臂之選擇.....	36
4.1.4 友善的環境.....	44
4.2 導入準則對應於精實之階段.....	52
4.3 應用案例.....	56
4.3.1 現況描述.....	56
4.3.2 現況問題.....	58
4.3.3 改善後模擬說明與呈現.....	59
第五章 討論.....	69
參考文獻.....	71

表目錄

表 2.1 工業機器人種類及特點.....	10
表 2.2 動作經濟原則.....	15
表 3.1 細則對應製造現場七大浪費.....	20
表 4.1 七大浪費對應精實與機器人解決方案.....	23
表 4.2 工業機器人與作業之間之關聯準則.....	30
表 4.3 運輸搬運規劃準則.....	35
表 4.4 手臂之選擇準則.....	42
表 4.5 友善的環境準則.....	46
表 4.6 工業機器人應用於精實製造準則.....	48
表 4.7 對應於程序二.5S 之準則	54
表 4.8 對應於程序三.加工流程化之準則.....	54
表 4.9 對應於程序四.裝配節拍化之準則.....	54
表 4.10 對應於程序五.標準作業化之準則.....	54
表 4.11 對應於程序六.人本工作模式之準則.....	55
表 4.12 案例改善對應準則及其說明.....	61
表 4.13 改善前後比較結果.....	63

圖目錄

圖 1.1 研究架構圖.....	3
圖 2.1 直角座標結構.....	7
圖 2.2 關節型結構.....	8
圖 2.3 SCARA 機器人結構.....	8
圖 2.4 Delta 機器人結構.....	9
圖 2.5 工作研究及其要項.....	12
圖 2.6 動素及其分類.....	14
圖 3.1 各項準則及其分類.....	18
圖 4.1 機器人在飲料搖勻後將其拿起.....	28
圖 4.2 拿起飲料杯的機器人向自身方向縮.....	28
圖 4.3 機器人於停頓過後向外推.....	29
圖 4.4 工業機器人工作單元佈置.....	39
圖 4.5 分度盤旋轉 180 度後正進行去毛邊作業.....	40
圖 4.6 兩自由度同時使用以利作業.....	40
圖 4.7 實踐精實變革的七項程序.....	53
圖 4.8 現況點焊製程佈置圖.....	57
圖 4.9 改善後點焊製程佈置圖.....	65
圖 4.10 工站一、二、三經合併過之模擬動作前.....	66
圖 4.11 工站一、二、三經合併過之模擬動作後.....	66
圖 4.12 改善後 U 型線及工站四、五、六作業.....	67
圖 4.13 工站五機構翻轉作業以及其下方連接之箱形夾治具.....	67
圖 4.14.工站七、八、九模擬作業狀況.....	68
圖 4.15.工站七箱體內側 I 型治具.....	68

第一章 緒論

1.1 研究背景

基於工業 4.0 的衝擊，許多公司紛紛思考如何邁向全自動化工廠，以及如何以機器人取代操作人員，以節省不必要之人力，並減少公司營運費用。

以台灣製造業為例，製造業目前面臨的最大難題是「人力短缺」，二是「流動率高」，三是「品質不穩」，四是「變化快速」(謝名或，2015)。由於工業機器人得以取代操作人員，且具有準確度高，靈活性佳等特點，故導入工業機器人是解決台灣製造業痛處的最佳方案之一。

以鴻海科技為例(鍾榮峰，2016)，自動化分為以下三個階段：第一階段是工作站自動化，用機器人去代替人，去做人們不願意做、沒有興趣的工作、或是危險的工作。第二階段是整條生產線的自動化，優化生產線後，可以減少機器人的使用量。第三階段是整廠自動化，在生產、物流、檢測等落實無人化或少人化。

「特斯拉 (Tesla) 執行長 Musk 受訪時坦言，在汽車工廠太多機器人，過度使用機器人是使 Model 3 產量受限的原因之一(林奕榮，2018)。」若未能在精實的思維下，使用過多機器人與過度的自動化，則是製造現場的浪費。若未經正確設計，自動化則有助於加速浪費的產生，在人工作業時如要導入自動化設備則必須於製造現場落實精實化，故在精實環境下的人機協作為邁向全自動化工廠的必經之路。

1.2 研究動機

以往許多製造商在導入工業機器人時並不太倚靠模擬，仍憑經驗判斷，以及缺乏一套準則來規範，導致導入工業機器人時，往往以失敗收尾，其結果導致操作人員必須被設限於工業機器人旁，進而無法減少人力支出，使操作人員無法進行其他具有附加價值之工作，製造現場徒增的設備使得原先的動線更為混亂，使製造商需增加額外添購

工業機器人等自動化設備之費用。最後不但無法邁向一流之工廠，反而還落入三流製造現場之窘境。

1.3 研究目的

導入工業機器人可為公司省下諸多人力，但之前導入的方式只適用於個案而缺乏一套準則。若具有一套建置工業機器人工作單元之準則，於設計階段時則易於讓設計者快速把這些元素帶入而避免錯誤，且製造工廠於建置自動化機器人產線時便有一套參考依據。

1.4 研究貢獻

現有研究大多以個案研究為主，本研究提供之準則是考量適用於各個產業製造商的通用準則，考量自投料到產出會經過的每個階段，分為工業機器人與作業之間之關聯準則、運輸搬運規劃準則、手臂之選擇準則、友善的環境準則，本研究所設計之準則可使製造商於導入工業機器人時有一參考依據，降低其失敗風險。

1.5 論文架構

本研究於第二章文獻探討中分為以下六個部分，分別為精實生產、工業機器人、工業機器人種類、工業機器人於精實製造、機器人離線編程軟體，以及工作研究。第三章研究方法中將其細分為各類別及其細項，以方便日後歸納。第四章工業機器人於精實製造之準則發展中分為兩個部分，第一部分詳細介紹各發展之準則加入文獻佐證或依現有文獻做推論，並歸納發展準則；第二部分為應用案例，將準則應用於案例中，並搭配機器人模擬軟體做說明。最後，第五章將做結論與未來課題。研究架構圖如下圖 1.1 所示：

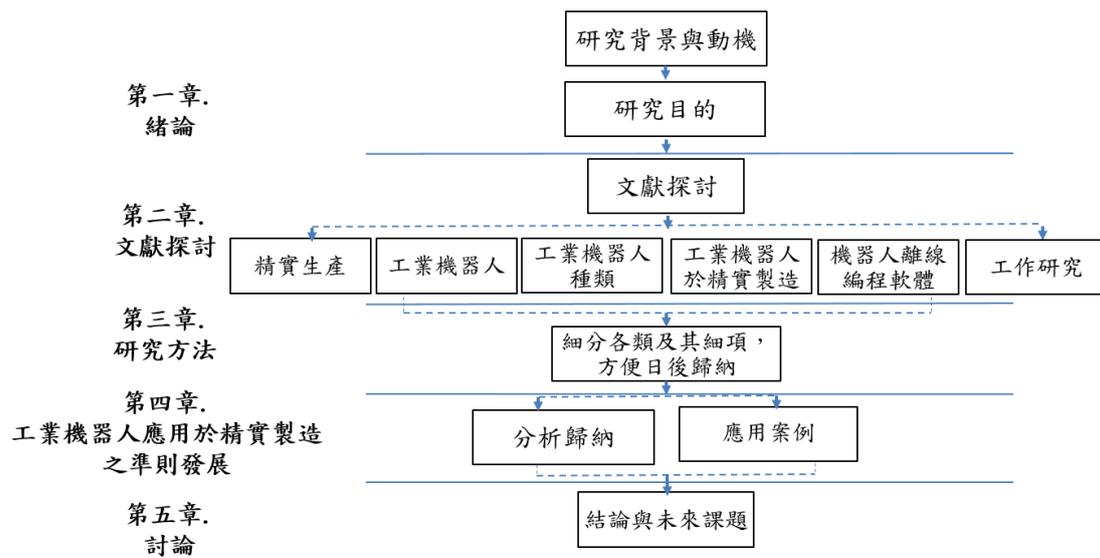


圖 1.1 研究架構圖

第二章 文獻探討

2.1 精實生產(Lean Production)

西元 1973 年世界爆發第一次石油危機，全球景氣低迷不振，各產業皆受到莫大衝擊，日本的豐田汽車公司秉持著歷代經營者留下的智慧，逆風飛翔，在景氣低迷之時仍然持續成長，頃刻吸引眾人目光，他們的製造方式被稱為豐田生產方式(Toyota Production System, TPS)。西元 1985 年，西方國家注意到了這股崛起的力量，便由美國著名大學麻省理工學院(Massachusetts Institute of Technology, MIT)歷時五年，籌資五百萬美元研究豐田生產方式，並將其定名為精實生產(Lean Production)。

當時 MIT 計畫主持人之一的詹姆斯·沃馬克他與丹尼爾·瓊斯於西元 1996 年出版 *Lean Thinking*，而 2004 年翻譯版命名為**精實革命**，譯者鍾漢清於譯序寫到「『精』是指其精神在『追求全面品管，止於完善』；『實』是指其主旨在『消除各種浪費，創造真實價值及財富』(Womack & Jones, 1996/2004)。」「精實系統的精神，便是消除所有生產過程中，不必要的動作與浪費，強調附加價值的動作，浪費大致可分為七大浪費：等待、搬運、不良品、動作、加工、庫存、生產過多/早的浪費(劉仁傑、巫茂熾，2012)。」精實為消除七大浪費而有許多手法因應而生，並以即時化(Just In Time, JIT)與自働化(Jidoka)為兩大支柱。

「在豐田生產方式中，所謂的『即時化』生產，就是必要的東西，在必要的時候，對生產工程提供必要的數量，因而不會有過剩的物料，也不需要庫存(大野耐一，1978/2010)。」這是即時化的主旨，在實行 JIT 之前則須將製造現場流程化，按工程先後排列，避免孤島式生產，一來減少搬運的浪費，又方便施行一人多工程的運作，藉此將省下來的人力，安排到真正需要的地方，還有重疊作業區塊可使從業員於交接工件時互助，為落實 JIT，豐田公司以反向思考想到，以往採少樣多量的大量生產方式皆為前工程做好往後工程送，往往製程間的在製品堆積如山，而若現在為多樣少量，那應該以最後的顧客需求為考量，

而生產方式改為後工程往前工程拉貨的後拉式生產，為確實做到則充分利用看板管理，看板為資訊傳遞的方法，也用作生產指示，沒有看板不得自行生產，而看板的運作方法為後工程自前工程取件，但取件時間、數量皆不固定，造成前工程需投入更多人力來應付突如其來的生產指示，時間、數量變異越大，對前工程造成的負擔越重，受影響的還不只公司內部，其供應鏈的協力廠商亦受其影響，為避免惡性循環，則要緩和生產流程的流速，降低生產的高低落差，生產的平準化因此孕育而生。

精實的另一大支柱為自働化，有人字旁的働，意即賦與機械如同人一般的智慧，發想自豐田企業的始祖豐田佐吉所發明的自動織機。「佐吉翁所發明的自動織機，在運轉中途，即使斷了一根經紗，或少了一條緯紗，機械馬上就會自動停機。也就是說，佐吉翁在機械中建構了『能夠判斷機械運作情況是否正常』的裝置。因此，佐吉翁的自動織機是不會產出不良品的(大野耐一，1978/2010)。」不會產出不良品十分重要，這是自働化與自動化的一大差別，再來就是因為有不良品而機械就會自動停機，這使生產效率大幅提高，以往機械運作需要人在旁顧著，以防製品一錯再錯，但自働化機械發明後可以一個人顧很多機械，不但省下人力，效率自然變好。豐田的副社長大野耐一將其構想應用在汽車生產上，於機械設備上加裝感應器，並連接異常警示燈，使機械停機，警示燈就會亮，製造現場的幹部與從業員便可一目了然，並協力設法將問題排除，也形成目視管理的代表性裝置安燈系統(Andon System)。

2.2 工業機器人(Industrial Robot)

美國機器人協會(Robotics Institute of America, RIA)對工業機器人下過的正式定義為「一個工業機器人為可再程式，多功能的操縱器，其設計用來搬運材料、工件、工具或特定儀具以執行各種不同工作(Groover, Weiss, & Nagel, 1986)。」同樣的英國機器人協會，日本機器人協會也採用相類似的定義，而「機器人最簡單的定義是：透過電腦

程式做運動的機器（宋開泰、張志玲，2009）。」

如上述定義所說，現今工業機器人具有可再程式、具多功能的特點，華中科技大學出版社所出版的**工業機器人**書中提及工業機器人具有以下幾點特色，分別為可再程式、擬人化、通用性、以及機電一體化。可再程式為工業機器人用於製造現場可因應不同產品種類型號進行再編程，其生產靈活性高，適用於多樣少量的生產環境；擬人化指工業機器人模擬人類關節動作，且搭配感測器例如：視覺感測器、觸覺感測器，或距離感測器等.....，使動作更為精簡，作業更為準確；工業機器人的通用性高，若執行不同作業，只需更換其末端效應器(end effector)如：夾爪、焊槍、噴漆用噴嘴，即可應用於執行各種不同作業；工業機器人書中對於機電一體化的描述為「智能機器人不僅具有獲取外部環境訊息的各種感測器，而且還具有記憶能力、語言理解能力、圖像辨識能力、推理判斷能力等人工智慧，這些都和微電子技術的應用，特別是計算機技術的應用密切相關(吳振彪、王正家，1996)。」

「工業自動化主要分為三大類：固定自動化、可程式自動化與彈性自動化(Groover et al., 1986)。」根據上段所述工業機器人的各項特點，自動化機器人設備與可程式自動化最為吻合，有別於固定自動化，工業機器人具有的高靈活性特別適用於現今採小批量多品種的製造模式。

2.3 工業機器人種類

工業機器手臂有各種不同的尺寸、型態及物體結構。而最常見於工業界之機器手臂為下列四種：直角座標結構、關節型結構、SCARA 機器人、Delta 機器人，而以往常見的極座標結構與圓柱座標結構由於工作空間與精度不比上述機器手臂而市場漸漸不太使用了。以下對上述四種工業機器人進行介紹。

首先介紹到的是直角座標結構之工業機器人(Cartesian Coordinate Robot)，由三個互相垂直的滑動軸 X，Y 和 Z 構成，也稱為 XYZ 機器手臂或直角線性機器手臂。由於三個滑動軸相互垂直，

使工作空間形成一矩形體，似箱狀(box) (Groover et al., 1986)。主要用於夾持材料、裝卸零組件、小系統的組合等工作，惟其機構空間較大，電子控制設備不易保養(楊啟杰，1999)。直角座標結構之工業機器人如圖 2.1。

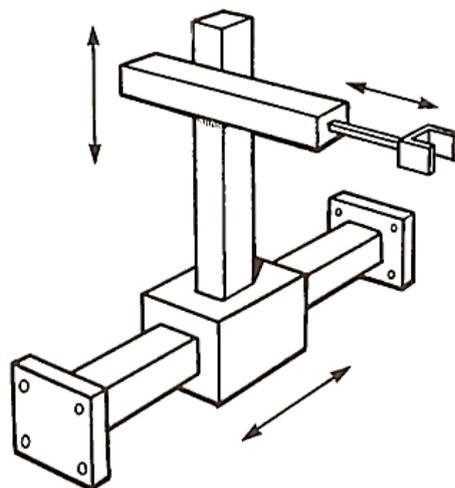


圖 2.1 直角座標結構

圖片來源: William B. Gevarter(1982).” *An Overview of Artificial Intelligence and Robotics. Volume II -. Robotics.*”

接著介紹的是關節型結構之工業機器人(Articulated Robot)，其結構近似於人類手臂。許多上市之商業化機器手臂均屬此關節結構式 (Groover et al., 1986)。此種機器人之優點為占地空間小、水平伸展深、定位機動性高，惟控制要求精確，製造成本較高，且抓取力較弱(楊啟杰，1999)。關節型結構之工業機器人如圖 2.2。

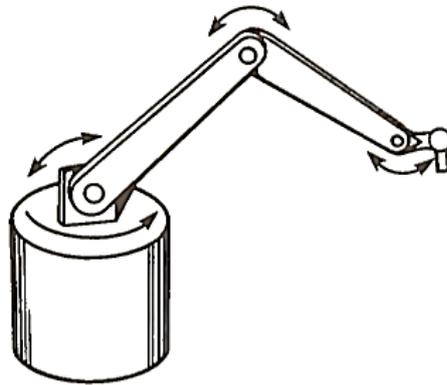


圖 2.2 關節型結構

圖片來源: Gevarter(1982).” *An Overview of Artificial Intelligence and Robotics. Volume II -. Robotics.*”

SCARA(Selective Compliance Assembly Robot Arm)機器人又稱為水平多關節機器人，一般有四個自由度，包括 X、Y、Z 方向，以及以 Z 方向旋轉的自由度。SCARA 機器人由於其構造簡單，在移動上能達到最短行程，機構也容易小型化，容易達到高速高精度的控制(賴祥民，2013)，SCARA 機器人大量應用在 IC 產業的晶圓、面板搬運、電路板運送與電子元件的插入組裝，為電子產業使用最多的機器人類型(賴祥民，2013)。SCARA 機器人結構如圖 2.3。

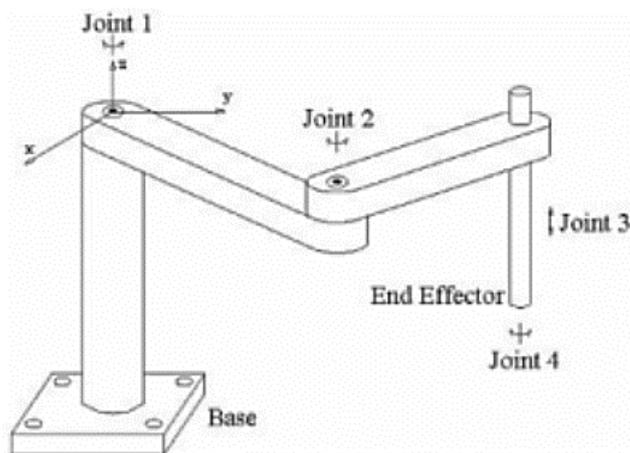


圖 2.3 SCARA 機器人結構

圖片來源：偲捷科技(2017)，自動化知識庫。

最後介紹到的是 Delta 機器人結構，Delta 機器人外型看似倒掛的三角形，故得其名，又因其外型也類似蜘蛛，又稱為蜘蛛型機器人。Delta 機器人為一種並聯型機構設計，由於是並聯型機構，在控制上較無需擔心碰撞問題(賴祥民，2013)。Delta 機器人的優點在於有較大的工作範圍與高速能力，並具備穩定的運動性能、最短的週期時間與高準確度(布斯特機械股份有限公司，2016)。Delta 機器人結構如圖 2.4。

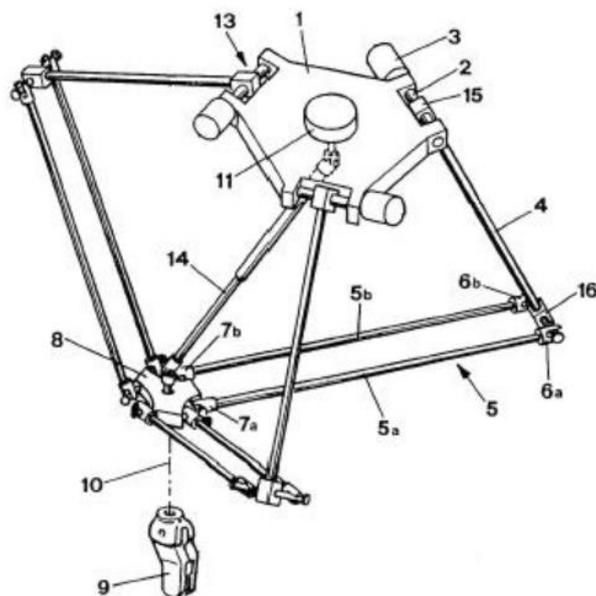


圖 2.4 Delta 機器人結構

圖片來源：機器人科技論壇(2017)，Delta 並聯機器人簡介。

表 2.1 整理自上述各段之工業機器人各有何優缺點，可提供給需導入工業機器人之製造商參考，以水平伸入工作區而言，關節型結構較佳，直角坐標結構由於剛性佳，負載重，適合用於上下料作業，SCARA 機器人則由於高速高精度而被大量應用於電子產業，Delta 機器人由於速度快，常被用於組裝與包裝。

表 2.1 工業機器人種類及特點

類型	直角座標	關節型	SCARA 機器	Delta 機器
特點	結構	結構	人結構	人結構
優點	主要用於夾持材料、裝卸零組件、小系統的組合等工作	占地空間小、水平伸展深、定位機動性高	構造簡單、在移動上能達到最短行程、容易達到高速高精度的控制	高速、具備穩定的運動性能、最短的週期時間、高準確度
缺點	機構空間較大，電子控制設備不易保養	控制要求精確 製造成本較高 抓取力較弱		

2.4 工業機器人於精實製造

過去企業大都以大量生產方式來因應少樣多量的產品種類，藉此降低每一產出的單位成本，雖說可以降低成本，但高產量的地方往往以專用機來提高生產效率，當產品種類更換時，專用機則不再適用，必須被迫更換，而採用大量生產方式較著名的例子則為福特汽車公司。

「然而，隨著科技的躍進與社會日益富裕，人們也越來越傾向追求個性化發展，P、Q、C、D、S也成為影響生產方式的重要要素(劉仁傑、巫茂熾，2012)。」(P、Q、C、D、S依序分別為產品、品質、成本、交期、安全)這使得定位傾向大眾化的大量生產方式可應用的空間越來越少，具備彈性的精實生產方式較占優勢，若要在多樣少量的情況之下導入自動化生產設備，具備高生產彈性的工業機器人則顯得較為符合與適用。

工業機器人用於製造可省下人員的培訓時間以及更換產品型號時所需的換模時間，更能達到單分鐘換模甚至是單鍵換模。生產工業機器人十分著名的ABB公司所發布的白皮書*Ten Ways Robots Enhance Lean Manufacturing Environments*提到工業機器人可提升精實製造環境的十個理由，內容皆表示若精實與工業機器人相輔相成應用於製造

現場，對公司企業的助益是不容小覷的。

「沒有機器人天生就是精實的，若沒有經過正確的設計則加速浪費的產生，並降低盈利能力（Calderone, 2015）。」故一開始設計端的考量則顯得十分重要，需考慮的問題包括：使用之工業機器人種類、空間與設施規劃、運輸搬運物流、工業機器人與其他設施結合上，再再都是需要考慮的要素，本研究欲探討在這些要素之下導入工業機器人於精實製造環境之中，應用成功其指導準則發展為何。

2.5 模擬與機器人離線編程軟體OCTOPUZ

「在改變現有系統或構建新系統之前使用模擬，以減少故障達到規範界線的機會、消除不可預見的瓶頸、防止資源的不足或資源過度利用，與最佳化系統性能(Maria, 1997)。」如同上述所言，現今多數製造業使用模擬以減少成本，節省時間，事前預見問題以及尋求最佳化之結果，也是使用模擬的原因。若未經模擬仍憑經驗判斷則無章法，似乎也顯得不夠周全，本研究應用模擬軟體則為教導工業機器人與作業之間之關聯、運輸搬運規劃、和手臂之選擇使其可視化，模擬軟體選用機器人離線編程軟體OCTOPUZ將其呈現出來。

「OCTOPUZ是智能離線機器人編程和模擬軟體，適用於任何理想的途徑，軟體由In-House Solutions創建，該公司採取革命性的方法，結合機器人的離線編程於模擬製造過程(OCTOPUZ Inc., 2016)。」機器人離線編程軟體OCTOPUZ提供多家廠牌之機器手臂，如：FANUC、ABB、KUKA、YASKAWA等，各廠牌又含有多種不同種類、型號的工業機器人，並且提供製造現場所會使用到的設施與物件，輔助模擬各種製程之所需，整體來看其功能齊全為選用之主要原因。

本研究將發展工業機器人應用於精實製造環境其成功之指導準則，以模擬軟體OCTOPUZ建置出符合指導準則之工業機器人工作單元，除了驗證其可行性之外，也可供企業於導入工業機器人於精實工作環境時之參考依據。

2.6 工作研究

從生產系統設計觀念來看，工作研究為生產流程改善技術之一，是一種以作業系統為對象的工程活動，可分為方法研究(Method study)與工作衡量(Work measurement)兩個大項(王貳瑞、王來旺，2010)。方法研究又被稱為動作研究，用以制定最佳的工作方法，動作研究以吉爾博斯夫婦(F.&L.Gilbreth)的貢獻最為顯著，吉爾博斯因而被稱為動作研究之父；工作衡量則為時間研究，時間研究是用來設計適當的標準時間，以作為管制基礎，其貢獻以科學管理著名的泰勒(F.W.Taylor)最為顯著。下圖2.5中說明了工作研究所包含之要項。本研究設計之準則皆建立於動作研究的基礎上，故動作研究為本研究準則發展密不可分之要素，本節後將對其進行更詳細之說明。



圖 2.5 工作研究及其要項

2.6.1 動作研究

動作研究的目的是在於去除不必要的動作，並確定動作之最佳順序已達到最大效率，因此動作研究為改進生產力的重要管道(Stevenson, 2010)。其目的具體可分為以下五點(王貳瑞、王來旺，2010)：

1. 操作及程序之改進。

2. 工廠及工作位置佈置之改進與設備設計之改進。
3. 動作經濟及降低疲勞程度。
4. 材料、機器及人力運用之改進。
5. 實際工作環境之改善與發展。

動作研究可以採用許多技術來發展有效的程序，最常使用的技術如：動作經濟原則、動素(Therblig)分析(Stevenson, 2010)。動作經濟原則將於下一節2.6.2節中介紹。動素為吉爾博斯夫婦發現，為所有「動作」(Movement)之基本分劃單位，是組成「動作」之基本要素(陳文哲、葉宏謨，2011)，總計可細分為十七種動素，其中，十七種動素又可分成以下三類，第一類:進行工作之要素，第二類:阻礙第一類工作要素之進行，第三類:對工作無益之要素，而動素分析是將作業細分成各項動素，動素中有些具有附加價值，有些則無附加價值，對於有附加價值的動素應設法使時間縮短，無附加價值的動素則可透過動作研究之技術逐項剔除。動素及其分類如圖2.6動素及其分類所示。

分類	動素名稱	文字符號	形象符號	定義
第一類	1.伸手	RE		接近或離開目的物之動作
	2.握取	G		為保持目的物之動作
	3.移動	M		保持目的物由某位置移至另一位置之動作
	4.裝配	A		為結合 2 個以上目的物之動作
	5.應用	U		藉器具或設備改變目的物之動作
	6.拆卸	DA		為分解 2 個以上目的物之動作
	7.放手	RL		放下目的物之動作
	8.檢驗	I		將目的物與規定標準比較之動作
第二類	9.尋找	SH		為確定目的物位置之動作
	10.選擇	ST		為選定欲抓取目的物之動作
	11.計畫	PN		為計畫作業方法而遲延之動作
	12.對準	P	9	為便利使用目的物而校正位置之動作
	13.預對	PP	8	使用目的物後為避免「對準」動作而放置目的物之動作
第三類	14.持住	H		保持目的物之狀態
	15.休息	RT		不含有用的動作而以休養為目的之動作
	16.遲延	UD		不含有用的動作而作業者本身所不能控制之遲延
	17.故延	AD		不含有用的動作而作業者本身可以控制之遲延

圖 2.6 動素及其分類

資料來源: 陳文哲, 葉宏謨(2011)。工作研究, 163。

2.6.2 動作經濟原則

作業若有適當安排, 且有一定原則可供遵循, 就可以使工作人員的各項動作能有經濟有效的效果, 此即為吉爾博斯所提之動作經濟原則(王貳瑞、王來旺, 2010)。動作經濟原則之目的在於減少人員疲勞及縮短作業時間, 經修正改進後可分為二十二項, 其中又可歸納為下面三大分類, 分別為一·關於人體之運用, 二·關於工作場所的佈置, 三·關於設備工具的設計, 詳細之動作經濟原則如表2.2動作經濟原則所示。

表 2.2 動作經濟原則

一.關於人體動作之運用
1. 雙手應同時開始並同時完成其動作。
2. 除規定休息時間外，雙手不應同時空閒。
3. 雙臂之動作應對稱，反向並同時為之。
4. 手之動作應以最低等級而能得滿意結果者為妥。
5. 物體之運動量應儘可能利用之，但如需用肌力制止時，則應將其減至最小程度。
6. 連續曲線運動較含有方向突變之直線運動為佳。
7. 彈道式運動較受限制或受控制之運動輕快確實。
8. 動作應儘可能順應輕鬆自然之節奏，因節奏能使動作流利及自發。
二.關於工作場所的佈置
9. 工具物料應置放於固定處所。
10. 工具物料及裝置應佈置於工作者之前面近處。
11. 零件物料供給，應利用其重量墮送至工作者邊。
12. 「墮送」方法應儘可能利用之。
13. 工具物料應依照最佳之工作順序排列。
14. 應有適當之照明設備，使視覺滿意舒適。
15. 工作枱及椅之高度，應使工作者坐立適宜。
16. 工作椅式樣及高度，應使工作者保持良好姿勢。
三.關於設備工具的設計
17. 儘量解除手部之工作，而以夾具或足踏工具代替之。
18. 可能時，應將兩種工具合併為之。
19. 工具物料應儘可能預放在工作位置。
20. 手指分別工作時，其各個負荷應按照其本能，予以分配。
21. 手柄之設計，應儘可能使與手之接觸面增大。
22. 機器上槓桿、十字槓及手輪之位置，應能使工作者極少變動其姿勢，且能利用機械之最大能力。

資料來源: 陳文哲，葉宏謨(2011)。工作研究，181。

2.6.3 動作經濟原則中之啟發

本研究根據動作經濟原則發想出部分準則，將動作經濟原則中的部分原則應用於工業機器人工作單元，其具有的通用性舉例來說，

不只人員作業時會有動作上的浪費，動作的浪費也時常發生於工業機器人作業之中。這些浪費在每一循環中看似顯得微不足道，伴隨著作業時間拉長，無價值的動作佔據掉的工業機器人工作時間則變得不容小覷，因此，將無附加價值的動作自流程中剷除則顯得十分重要，另外使其動作流暢與減少閒置也是機器人作業需特別注意之要項。

第三章 研究方法

本研究透過蒐集文獻或依現有文獻做推論並歸納出建置工業機器人工作單元時所需考量之準則，於本章第一節中將對準則進行分類，以便於第四章歸納；第二節中說明準則之通用性；第三節則說明準則之歸納步驟。

3.1 準則分類

本研究根據 Muther 提出的 SLP 圖(systematic layout planning)發想出導入工業機器人於工作單元中需考量到的問題，從物料的進料、供料，到站與站之間的搬運而分類出運輸搬運規劃準則。從投料到產出，工業機器人於其中作業，則分類出工業機器人與作業之間之關聯準則，以及選用對工作適合之機器人結構及其末端效應器分類出手臂之選擇準則。在規劃工業機器人工作單元的同時，應考量到工作單元內之機器人與人員和環境是否友善，而將其分類為友善的環境準則。

基於以上考量因素故將準則規劃分為以下四大部分，而後再將各部分細分成各小點。第一部份考慮工業機器人與作業之間之關聯，細分為 1.1 自動調整的夾治具、1.2 如何定位、1.3 考慮替換的末端效應器、1.4 工作範圍之考量、1.5 動作之運用；第二部份考慮機器人工作單元間之運輸搬運規劃，細項分為 2.1 前後站間的搬運、2.2 進料/供料之規劃；第三部份考慮手臂之選擇，其細分為 3.1 選用結構、3.2 手臂荷重、3.3 夾爪設計、3.4 手臂間的相互協作；第四部份考慮友善的環境，在設計時應考慮到工業機器人之工作單元是否與人、環境、設備友善，細分為 4.1 易用性、4.2 標準化、4.3 穩健操作、4.4 可視化。圖 3.1 各項準則及其分類將上述本研究之各項準則分類列於圖中。

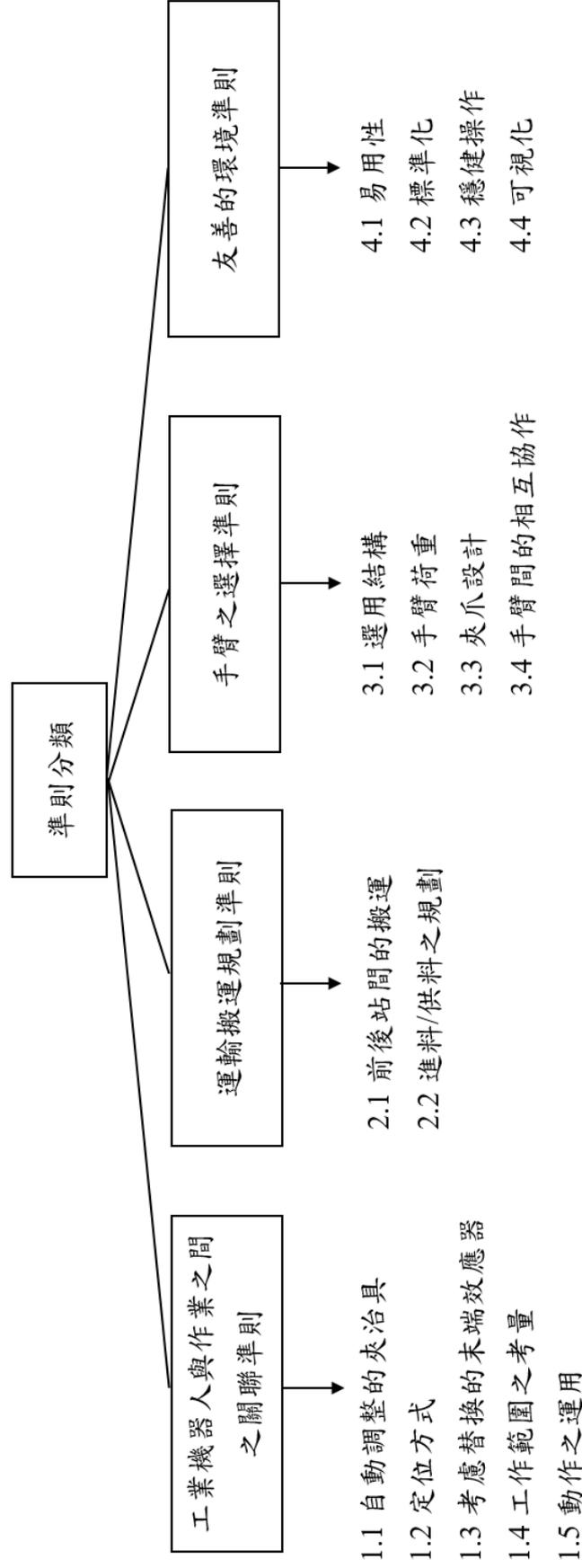


圖 3.1 各項準則及其分類

在製造現場中皆充斥著七大浪費，七大浪費如前面文獻探討第 2.1 節中所述之等待、搬運、不良品、動作、加工、庫存、以及生產過多/早的浪費，製造現場中的七大浪費佔據了製造現場創造價值的速度。本研究所分類之四大部分準則及其細項，除第四部份考慮較為廣泛未列出對應到之浪費外，以上列出的各項細則皆能對應到製造現場中的浪費，若公司在建立工業機器人工作單元同時也能將對應到之七大浪費一併消除，則能加快其創造價值的速度，各項細則所對應之七大浪費如表 3.1 所示。

在準則第一部分，工業機器人與作業之間之關聯中，對應到之七大浪費為加工上及動作上的浪費，加工上的浪費來自於人員把無法對產品創造價值的加工動作誤當成是必要的動作；動作上的浪費則是在生產過程中不經濟的種種動作，其中細則 1.5 動作之運用之三項準則皆是自動作經濟原則發想出來。準則第二部分運輸搬運規劃，細則前後站間的搬運、進料/供料之規劃對應之七大浪費皆為等待、搬運以及庫存上之浪費，等待的浪費如零部件供料不順暢、缺料時而造成創造價值的過程需等待；搬運的浪費則為除了必要的搬運外其餘需搬運的動作皆視為浪費；庫存的浪費常被視為首要消除的目標，庫存的浪費則是像製造現場在製品或零部件的堆積、放置。準則第三部分手臂之選擇，選用適當之結構、夾爪、以及手臂間的相互協作，對應消除的七大浪費為動作上的浪費，在手臂荷重上考慮完善則不易造成不堪使用而出現不良品的狀況。

表 3.1 細則對應製造現場七大浪費

部分	細則	對應之七大浪費
一. 工業機器人與作業之間之關聯	1.1 自動調整的夾治具	加工
	1.2 定位方式	動作
	1.3 考慮替換的末端效應器	加工
	1.4 工作範圍之考量	動作
	1.5 動作之運用	動作
二. 運輸搬運規劃	2.1 前後站間的搬運	等待、搬運、庫存
	2.2 進料/供料之規劃	等待、搬運、庫存
三. 手臂之選擇	3.1 選用結構	動作
	3.2 手臂荷重	不良品
	3.3 夾爪設計	動作
	3.4 手臂間的相互協作	動作

3.2 準則通用性

本研究希望發展出一套具通用性之準則，在考慮到手臂與作業間之關聯時，各個產業別都應會面臨到思考選擇的末端效應器，其作業若需要夾治具時，無法自動調整則作業上仍保有些許限制，以及作業是否需要定位，若需定位則該依賴什麼方式；在物料流的移動上則會考慮到運輸搬運的規劃，分為進料/供料之規劃以及站與站之間的搬

運，在這裡則會特別注意到機器手於作業上是否因為等待而處理時間過長，又或是避免等待而具過多不必要的搬運，也應避免製造現場出現大量庫存，這都是以往常出現的通病；接著，各個產業在其規劃工作單元時都會視其需求選擇手臂，依作業需求選擇適當的荷重，在這裡考慮到末端效應器的設計以及是否因製程的需要選用雙夾爪，然後是考慮手臂與人員或是手臂與手臂間的相互協作；最後要考慮的是友善的環境，機器手臂作業的工作單元對於人、環境、設備是否友善，必須考慮到其易用性以及標準化，其作業是否穩健，以及可視化的程度。

3.3 準則的歸納步驟

以下列出本研究之準則歸納步驟，分為以下三階段：

步驟一：將導入工業機器人於製造中所需考量到之問題細分為各部份以及其細項以便日後歸納。

步驟二：蒐集文獻將其整理為建置工業機器人工作單元之準則或依據現有文獻推論出各項準則。

步驟三：將整理出準則歸納至以上列出各部份之細項下。

第四章 工業機器人應用於精實製造之準則發展

於前面第 2.3 節裡講到工業機器人適用於精實製造，本章開頭整理精實以及工業機器人對應製造現場中的七大浪費解決方案，而後是歸納準則發展，本章中準則分類分為一．工業機器人與作業之間之關聯；二．運輸搬運規劃；三．手臂之選擇；四．友善的環境。

4.1 歸納準則發展

製造現場充斥著七大浪費，在圖解豐田生產方式中則提到對應到七大浪費，精實的解決方案為何，如下表 4.1 所示，另外，本研究自文獻中整理出導入工業機器人於精實製造現場可消除七大浪費的原因，工業機器人與精實對應到七大浪費的解決方案皆列於表 4.1 中。

表 4.1 七大浪費對應精實與機器人解決方案

製造現場的七大浪費		精實解決方案	機器人解決方案
一.生產過剩/早	善用看板；單件流		機器人靈活性高，換模時間短，方便於更換不同批產品，故不需要先大量生產出過剩的產品。
二.等待	製程流程化；單件流		工業機器人傳輸速度快，可以縮短等待時間，更可使作業時間被充分利用。
三.搬運	駕駛員轉機方式；租賃車、計程車方式；零件成套搬運		機器人可以比人更有效地移動產品，而不至於在製程中過度移動
四.加工	研發技術；不需加工不必要的部分		機器人相較於人員作業除了準確度高之外，由於不需加工不必要的部分，能有助於減少廢料的產生。
五.庫存	善用看板；徹底平準化		機器人可以被編程以及時生產產品，從而減少庫存與在製品量。
六.動作	標準作業的設定與改善		機器人作業的重複性高，經過完善編程後，與人工作業相比能大幅減少不必要的動作。
七.生產出不良品	以自動化徹底根除		機器人用於製造上帶動產品的一致性和提升其品質，並可搭配感測器徹底落實自動化生產。

資料來源：本研究自行整理

如表 4.1 所示，精實與機器人皆可解決製造現場惱人的七大浪費，以下提出工業機器人應用於精實製造現場之各項準則，使欲透過工業機器人解決製造現場七大浪費的製造商可循以下準則進行設計，避免在設計端造成錯誤而導致失敗的可能性。

4.1.1 工業機器人與作業之間之關聯

於工業機器人與作業之間之關聯準則中將考慮自動調整的夾治具、定位方式、替換的末端效應器，以及考量工作範圍與動作之運用。

1. 自動調整的夾治具：

準則一. 夾治具須具備自動調整的能力

製造現場常以夾治具來輔助作業的運行，但伴隨著換模，夾治具也時常需要人員做調整，每調整一次則需要中斷作業且耗費大量時間。當製造現場在導入工業機器人時，若夾治具仍須以人員去做調整，作業在工業機器人的高效率下會更加凸顯出人員調整夾治具所需耗費的大量等待時間，更重要的是導入工業機器人若還需要人員從旁協助調整夾治具，則機器人無法獨立作業，對現今採小批量多品種的生產方式恐怕也難以適應。

故選用之夾治具應具備自動調整的能力，自動化夾治具的定義為以下敘述，自動化夾治具為採用電磁力、氣壓、油壓、彈簧力等方式，可自動鎖緊工件的夾治具(張宗賢，2017)。故上段所述之問題點可藉由上述方式來設計自動化夾治具，以省去操作人員以工具鎖緊、調整等動作。

2. 定位方式：

準則二. 工業機器人作業需定位時應搭配機器視覺較易實行

工業機器人在作業上對於工件是否需要放置於固定位置，與會不會造成作業上的一些限制再再都是需要思考的問題，若定位需要放置於固定位置則可能面臨到需要搭配一些工作單元外圍設備的設計，外圍設備例如：供料機、輸送帶等設備。

根據研究指出，視覺感測器使得像供料機及其配備這些傳統的外圍設備成為不必要的裝置，故使用視覺感測器並不必要受傳統定位上的限制(Sakakibara, 2003)，於另一篇文章中則提到「所謂機器視覺，是整合了環境攝影機、嵌入式系統與影像處理功能，機器人精準的動作與定位都仰賴著它(劉建宏，2014)。」根據以上敘述，於機器手臂搭載攝影鏡頭，以視覺感測器判斷感測範圍內，若有符合形狀之物件則機器手臂自動進行夾持作業，工業機器人作業在需定位時應搭配機器視覺較易實行。

3. 考慮替換的末端效應器：

準則三. 工業機器人應具備快速替換不同末端效應器的能力

「幾乎在每一個工作場所，多能工都是必需的技能，現在機器人也有同樣的能力(Camillo, 2015)。」多能工是讓人員配置富有彈性的一種前提，若要使機器人能靈活使用於不同製程上，只有一組末端效應器可能較缺乏生產彈性。

因此於設計時，便應視製程需求同時搭載多組電磁閥與設備，控制不同末端效應器，然而機器人在更換不同末端效應器時，若像人員作業時需換模一樣耗費大量時間，則在製程中造成了等待的浪費，故工業機器人具備快速的替換末端效應器的能力，也就如同精實生產方式所追求的快速換模，甚至於單分鐘換模一樣重要，因此工業機器人應具備快速替換不同末端效應器的能力。

4. 工作範圍之考量：

準則四. 機器人工作範圍不足時應善用行走軌道增大工作距離

工業機器人用於輔助時，時常一台機器人需要服務於多處地方，進行上下料或目標作業，但機器人工作範圍十分有限，若機器人處於原地不動，其終究只能服務在周圍的項目，其應用大大受限在機器人的周圍。

在機器人不夠行程的時候也可以通過附加軸的方式增大工作範圍(朱潤廷, 2017)。附加軸例如機器人的行走軌道, 軌道就如同賦予機器人行走的能力, 增大工作距離。比如一台機器人同時管理四台或更多機床上下料時, 往往會通過將機器人安裝在直線軸上, 來增加機器人的運動範圍(朱潤廷, 2017)。

5. 動作之運用：

準則五. 於工作循環中，應去除工業機器人之間置時間

前面文獻探討中2.6.2節介紹到動作經濟原則, 其中第二項原則為「除規定休息時間外, 雙手不應同時空閒(陳文哲、葉宏謨, 2011)。」作業中的閒置在動素分類表中, 屬於第三類對工作無益之要素, 如持住、休息、遲延、故延, 無附加價值的動素則應將其逐項剔除。

在運用工業機器人製造時, 常於製造現場看到的是許多工業機器人相互配合, 整個現場看似很忙, 隨時都有不少工業機器人在動作, 但若只專注看其中某一台機器人, 會發現它的動作完成後即處於停等狀態, 而這停等狀態甚至達其真正有價值的時間的數倍之多。這種製造現場如同人工作業時, 每個人皆看似很忙, 但實為窮忙, 其中必然充斥著許多動作與等待之浪費, 非常的不精實。

故作業雖然為工業機器人取代人類工作, 但於工作循環中, 仍應去除工業機器人之間置時間, 使工業機器人於製造上之運用更具有價值。

準則六. 工業機器人之動作應以最低等級達到結果，以節省每一循環動作上之浪費

於動作經濟原則中之第四項原則「手之動作應以最低等級而能得滿意結果者為妥(陳文哲、葉宏謨, 2011)。」如上所述, 倘若手之動作換為機器手臂之動作, 最低等級的動作應為使其運動最為簡化, 盡可能的只動用到機器手臂最少的自由度, 以及可以只動腕端能達成結果就盡可能不動到臂端, 以達到動作經濟之效果。

時常於工業機器人用於製造中的影片可以看到，工業機器人在完成一項工作時，過程中常出現些多餘的動作，這些多餘的動作可能因為點位設置不夠簡化而出現。多餘的動作在每一循環中反覆出現，將工業機器人作業時間拉長，動作上的浪費，將導致工業機器人的效率無法有效發揮出極致。

故在運用工業機器人作業時應注意其有價值的作業時間中是否被多餘的動作給佔據而無法縮短。工業機器人之動作應最為簡化達到結果，以節省每一循環動作上之浪費。

準則七. 工業機器人動作應盡可能使其流暢，並且有適當的作業距離

動作經濟原則中第八項原則提到「動作應儘可能順應輕鬆自然之節奏，因節奏能使動作流利及自發(陳文哲、葉宏謨，2011)。」

在工業機器人作業時，若目標物處於機器人工作範圍的極限位置，則動作上會顯得緊繃，且可能碰到超出作業範圍的異常警示；若受限於工作空間狹小，與目標物沒有適當的距離，則機器人在沒有足夠的伸展空間作業，動作上會有許多限制與不協調。

機器人的動作流暢應為與人類的動作越來越像。不流暢的動作有些可避免，有些則不可避免，不可避免的不流暢如機器人在負載重物時，動作也會受重量牽制，這與人類搬重物時相似，而可避免的不流暢的動作如在設計時考慮最適當作業距離，盡可能在工作空間的中間工作，而不在工作空間邊緣工作，在工作空間的邊緣工作機器手臂的關節會被拉伸到極致而造成損害之外，也會使準確度下降。

對於動作的不流暢，下面以一個工業機器人應用於手搖飲料的例子做說明，在影片中可看到機器人的作業空間與一般手搖飲料店的作業空間類似，但對於工業機器人來說則過於窄小，機器人所製作的一杯飲料從開始到結束約耗時兩分鐘，製作時間為人員作業的數倍之多，且一個鐘頭也只能做約三十杯的數量，影片中有許多多餘的動作之外，也充斥著諸多無價值的等待與停頓，因而形成動作的不流暢，整個製程十分的不精實。於其中找了一個動作的不流暢在下面說明，以下介

紹的動作為機器人在飲料搖勻之後將其拿起並倒入飲料杯中，下圖 4.1 為機器人在飲料搖勻後將其拿起，但拿起後的動作是先向機器人自身方向內縮，如圖 4.2 的動作所示，在停頓過後又將其向外推如圖 4.3 所示，接著才水平平移至飲料杯邊倒入。



圖 4.1 機器人在飲料搖勻後將其拿起

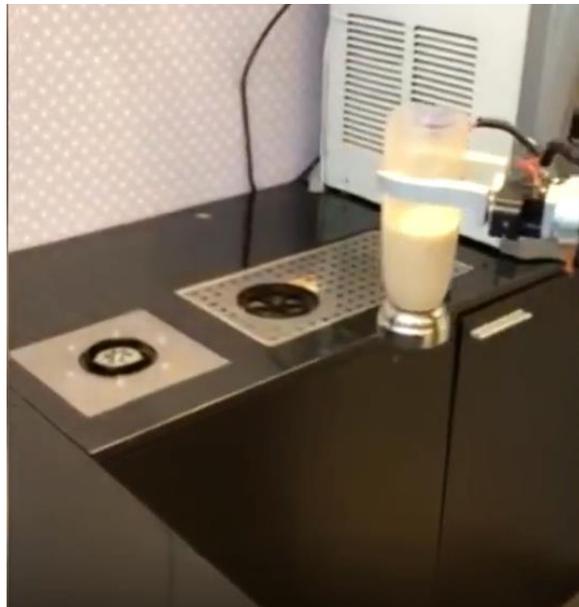


圖 4.2 拿起飲料杯的機器人向自身方向縮



圖 4.3 機器人於停頓過後向外推

表 4.2 中彙整工業機器人與作業之間之關聯準則，自表中可得知每條準則對應到佐證之參考文獻。

表 4.2 工業機器人與作業之間之關聯準則

準則編號(ID)	分類(細項)	準則敘述	參考文獻
準則一	自動調整的夾治具	夾治具須具備自動調整的能力	(張宗賢, 2017)
準則二	定位方式	工業機器人定位應搭配機器視覺	(Sakakibara, 2003) (劉建宏, 2014)
準則三	考慮替換的末端效應器	工業機器人應具備快速替換不同末端效應器的能力	(Camillo, 2015)
準則四	工作範圍之考量	機器人工作範圍不足時應善用行走軌道增大工作距離	(朱潤廷, 2017)

準則編號(II)	分類(細項)	準則敘述	參考文獻
準則五	動作之運用	於工作循環中，應去除工業機器人之間置時間。	(陳文哲、葉宏謨，2011)
準則六	動作之運用	工業機器人之動作應以最低等級達到結果，以節省每一循環動作上之浪費。	(陳文哲、葉宏謨，2011)
準則七	動作之運用	工業機器人動作應盡可能使其流暢，並且有適當的作業距離。	(陳文哲、葉宏謨，2011)

4.1.2運輸搬運規劃

於運輸搬運規劃準則中將考慮前後站間的搬運，以及進料/供料之規劃。

1. 前後站間的搬運：

準則八. 需考慮物料的流動，以避免造成工作單元的瓶頸

在人工作業時，前後站間不連結則製程屬孤島式生產，其會造成工作站前與工作站後堆積大量在製品庫存，若沒考慮物料的流動，這種現象在機器人取代人力作業之後也會發生。

另外，在工業機器人作業時，若前工站之作業週期時間較後工站短，則在製品會在兩工站間造成堆積，消化不掉在製品的後工站也就形成工作單元之瓶頸。在工業機器人的高效率下，會更加速這種堆積的狀況形成令人不得不重視的問題。

在設計工業機器人工作單元時應設法避開上述狀況，盡可能使其平準化，且考慮物料的流動，以避免造成工作單元的瓶頸 (Calderone, 2015)。

準則九. 工作單元中之設備經設計使其互相靠近，使機器人工作範圍內得以涵蓋最大量之設備

工業機器人書中指出工作單元佈置可由適當的設計使單元中設備互相靠近(Groover et al., 1986)。

於前面文獻探討工業機器人種類中介紹到，關節型結構之機器人工作空間與球型類似，直角坐標結構之機器手臂工作空間與箱型類似，每種機器手臂之工作空間皆有其適用的地方。

在選擇適用之結構外，使單元中設備相互靠近應是使機器人應用最為經濟之前提，以利工業機器人設置時在其工作空間內，得以涵蓋最大數量之設備與機構，在機器人工作範圍內之設備皆可供其使用，

也易於形成如交接互助區的區塊，適當的配置也可減少投入機器人的數量。

2. 進料/供料之規劃：

準則十. 落實店面管理，盡可能降低機器人等待物料而造成的生產延宕

導入工業機器人之後仍可能還是以批量運送，而不精實 (Calderone, 2015)，以小批量運送，製造現場自然不容易堆積大量在製品庫存，但若沒做好配套供料則會造成以下文章中所敘述的窘境，在文章 *A Lean-Mean Welding Cell* 裡有提到一段這樣的敘述，「製造工程師 Wuebker 說：起初我們並沒有保留一個庫存於線上，但這卻造成機器人等待的浪費，現在根據我們靈活的生產計劃，我們為每個焊件保留一個單件的庫存，這可以最大限度地減少機器人的處理時間 (Yaskawa Motoman, 2011)。」故應避免機器人可用零件缺料而造成生產延誤 (Calderone, 2015)。

由以上敘述可知大批量運送則不精實，容易造成製造現場的諸多浪費，但若一個庫存也不留的話則造成機器人等待的浪費，製造現場在供料方面應落實店面管理，在落實店面管理後，應視自身情況保留最適當的數量，且供料應保持靈活，盡可能降低機器人等待物料而造成生產延宕的狀況。

準則十一. 工業機器人應盡可能佈置於工具及裝置之近處。

動作經濟原則中第十項原則為「工具物料及裝置應佈置於工作者之前面近處(陳文哲、葉宏謨，2011)。」使減少多餘的動作，以及減少移動與搬運距離。

人工作業轉換成工業機器人作業時，作業人員的手拿取之工具就如同機器手之末端工具，其末端工具若因製程而有所變換，除須具備能快速替換末端工具的能力外，機器手與替換之末端工具也應盡可能的使距離縮短，對於工作單元內之裝置也應如此，故工業機器人應盡

可能的使其佈置於離工具與裝置近距離之位置，以減少移動距離。

準則十二. 零件物料供給應盡可能墜送至工業機器人之近處。

動作經濟原則第十一項原則為「零件物料供給，應利用其重量墜送至工作者邊(陳文哲、葉宏謨，2011)。」以及第十二項原則為「墜送」方法應儘可能利用之(陳文哲、葉宏謨，2011)。墜送方式為達省力化之方法，例如：無動力自働移載裝置，以位能轉動能的方式，利用高度差並以滾輪做輸送。

在以人員作業時，人員搬運及運輸皆費力，墜送方法可達到人員省力的結果，以及減少人員還需搬運輸送等動作，在機器人作業後由於機器人不會感到疲憊，故看似不需省力裝置，但在零件與物料供給時若還需輔助機器人協助作業，或是需要人員協助作業，則善用墜送方式可減少需搬運或運輸的動作，故得以減少輔助機器人的用量以及需人員從旁協助的機會。

以墜送方式輸送，要不使機器人動作撲空，則可藉由感測器於感測到範圍內有物料時，傳送訊號給機器人，則機器人才做動作，另外，若不搭配感測器，在製程穩定的前提下，供料的速度需快於機器人，才不至使機器人取不到料。

表 4.3 彙整運輸搬運規劃準則，自表中可得知每條準則對應到佐證之參考文獻。

表 4.3 運輸搬運規劃準則

準則編號(II)	分類(細項)	準則敘述	參考文獻
準則八	前後站間的搬運	需考慮物料的流動，以避免造成工作單元的瓶頸	(Calderone, 2015)
準則九	前後站間的搬運	工作單元中之設備經設計使其互相靠近，使機器人工作範圍內得以涵蓋最大量之設備	(Groover et al., 1986)
準則十	進料/供料之規劃	落實店面管理，盡可能降低機器人等待物料而造成 的生產延宕	(Calderone, 2015) (Yaskawa Motoman, 2011)
準則十一	進料/供料之規劃	工業機器人應盡可能佈置於工具及裝置之近處。	(陳文哲、葉宏謨，2011)
準則十二	進料/供料之規劃	零件物料供給應盡可能墜送至工業機器人之近處。	(陳文哲、葉宏謨，2011)

4.1.3 手臂之選擇

於手臂之選擇準則中將考慮選用結構、手臂荷重、考量末端效應器設計，以及手臂間的相互協作。

1. 選用結構：

準則十三. 於夾持材料、裝卸零組件時適合選用直角座標結構機器人

直角坐標結構的工業機器人沿直角坐標三個軸 X 軸 Y 軸與 Z 軸做直線移動，工作空間為一矩形體，其結構簡單，定位精度佳。主要用於夾持材料、裝卸零組件等工作(楊啟杰，1999)，但機體所占空間體積大，動作範圍小，靈活性差，難與其他工業機器人協調工作(孫春光，2016)。

準則十四. 於空間小、水平伸展深時適合選用關節結構機器人

關節結構機器人之優點為占地空間小、水平伸展深(楊啟杰，1999)。關節結構分為多個臂端，而手臂端接連處的轉軸如同人的關節，與人類手臂類似，其可完成之動作也與人類手部動作近似，現今關節型結構之工業機器人應用最為廣泛。關節結構機器人能與其他工業機器人協調工作，但位置精度較低，有平衡問題(孫春光，2016)。

準則十五. 於快速分揀、精密裝配時適合選用 SCARA 機器人

SCARA 機器人大量應用在 IC 產業的晶圓、面板搬運、電路板運送與電子元件的插入組裝，為電子產業使用最多的機器人類型(賴祥民，2013)。SCARA 機器人的特點為水平定位準確、負載小、速度快。主要應用在快速分揀、精密裝配等 3C 行業、食品行業等領域(機器人時代，2016)。

準則十六. 於從事精密取放作業、組裝、整列與包裝時適合選用 Delta 機器人

Delta 機器人適用於從事精密取放作業、組裝、整列與包裝(布斯特機械股份有限公司，2016)。於前面第 2.3 節講到 Delta 機器人的優點在於有較大的工作範圍與高速能力，並具備穩定的運動性能、最短的週期時間與高準確度(布斯特機械股份有限公司，2016)，由於其具備的各項特點，包裝行業成為 Delta 機器人常被運用的優勢產業。

2. 手臂荷重：

準則十七. 手臂荷重應考量其末端效應器、夾治具、夾持工件、外部載荷力、扭矩等，而後選擇可負荷之手臂

機器人負載包括工裝夾具、目標工件、外部載荷力、扭矩等(朱潤廷，2017)。工業機器人若抓取大於荷重則易造成物件不穩掉落或馬達損壞。故選擇機器手臂時應考量其末端效應器、夾治具、夾持工件，以及外部載荷力與扭矩等，而後選擇可負荷之手臂。

3. 夾爪設計：

準則十八. 若工件因製程而發生形狀上的改變，則視情況選用雙夾爪

在製造現場使用工業機器人可能碰到一種狀況，工業機器人夾持材料而後放至加工，加工完成後的工件可能形狀、尺寸皆改變了，這時若還是使用單一夾爪則難以適應其變化，因此這種情況需考慮使用雙夾爪。

於工業機器人書中指出，雙夾爪使機器人可同時搬運未加工工件與成品工件(Groover et al., 1986)。工件於上下料前後尺寸的改變，可能導致單一夾爪無法適應其變化，於導入工業機器人時應評估其工件是否因製程而發生形狀上的改變，若是則視情況選用雙夾爪。

4. 手臂間的相互協作：

準則十九. 工業機器人與人員協作應具備防撞機制，產生碰撞能及時停止動作

以往工業機器人皆於安全圍籬內作業，但工廠因此浪費許多空間做為作業隔離區，同時也限制人類與機械並肩協作可能性(劉尚昫，2017)。

工業機器人若與人員一同協作，可能發生機器手臂與人員之間產生的碰撞，操作人員的安全令人擔憂，人機協作應當特別注意到人員作業是否安全無虞，劉尚昫（2017年7月10日）在電子時報（DIGITIMES）報導中指出，目前在手臂內部建立防撞機制，減少撞擊的傷害程度，機械手臂內建電容感測器(capacitive sensor)，當手臂感受到不同於空氣的導電物質即會停止運作。

由上段所述，工作單元導入工業機器人於設計端時，應具備防撞機制，搭載感測器使其產生碰撞時及時停止動作。

準則二十. 機器手臂搭配機構協作以減少人員從旁協助與機器手臂的使用數量。

「多個機器人可以處理重量超過每個機器人最大有效負荷的工件，或者一台機器人一邊旋轉工件，另一台機器人一邊執行工件的弧焊(Sakakibara, 2003)」，上述的情況，或是需以人員從旁進行翻轉或旋轉工件的輔助，現今已有許多機構可替代並協助工業機器人作業，例如：以分度盤機構取代旋轉，翻轉，或以旋轉工作台取代旋轉動作。

下面以工業機器人與分度盤機構進行協作案例做介紹，其作業為自行車零件花鼓的去毛邊作業。以下對工業機器人工作單元的佈置進行描述，工作單元內有三支機器手臂，以及兩張桌子及上頭放置的tray盤，tray盤內的工件為自行車零件花鼓，這個工作單元左右兩邊的機器手臂進行去毛邊的加工作業，在它們前面的是兩台分度盤機構，提供額外的兩個自由度給進行作業的工業機器人，分度盤機構上各設計一組治具固定於轉盤上頭，被分度盤機構與桌子圍在中間的第三支

機器手臂作業為，自 tray 盤中夾取待加工工件而後放置於治具上，以及將已加工工件自治具取下放置回 tray 盤內，治具的設計使取放機器人一次可將四個工件一同上料與下料，治具凹槽中間的圓柱突出以氣壓方式自花鼓內側撐開固定加工件，使工件在加工時不產生晃動，其工作單元的佈置如下圖 4.4 所示。

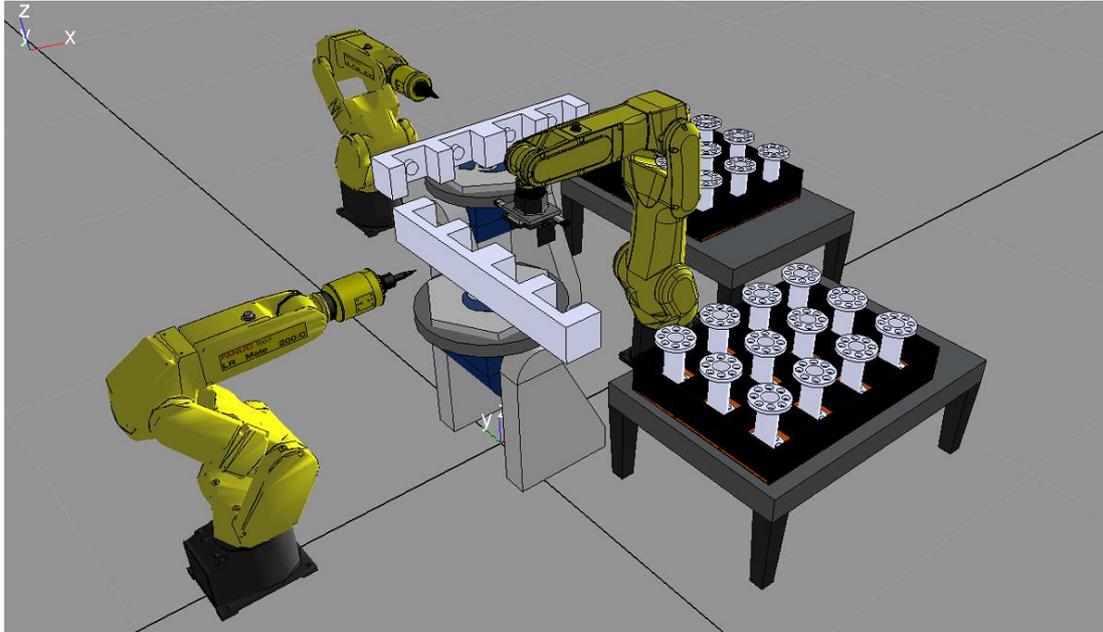


圖 4.4 工業機器人工作單元佈置

取放機器人為兩台機構上料後，機構會旋轉 180 度進行去毛邊作業，如下圖 4.5 所示。

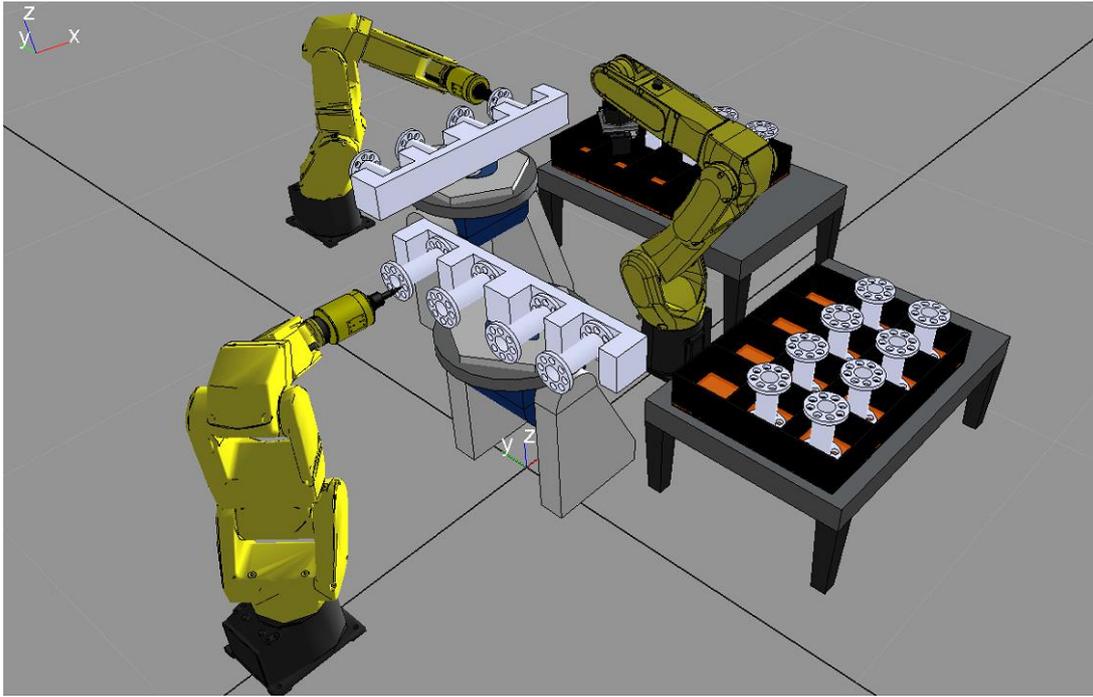


圖 4.5 分度盤旋轉 180 度後正進行去毛邊作業

作業在花鼓正面外側完成後機構則會兩個自由度同時使用，以利於正面內側進行去毛邊的作業，在正面左內側完成後會轉向加工正面右內側，如下圖 4.6 所示。

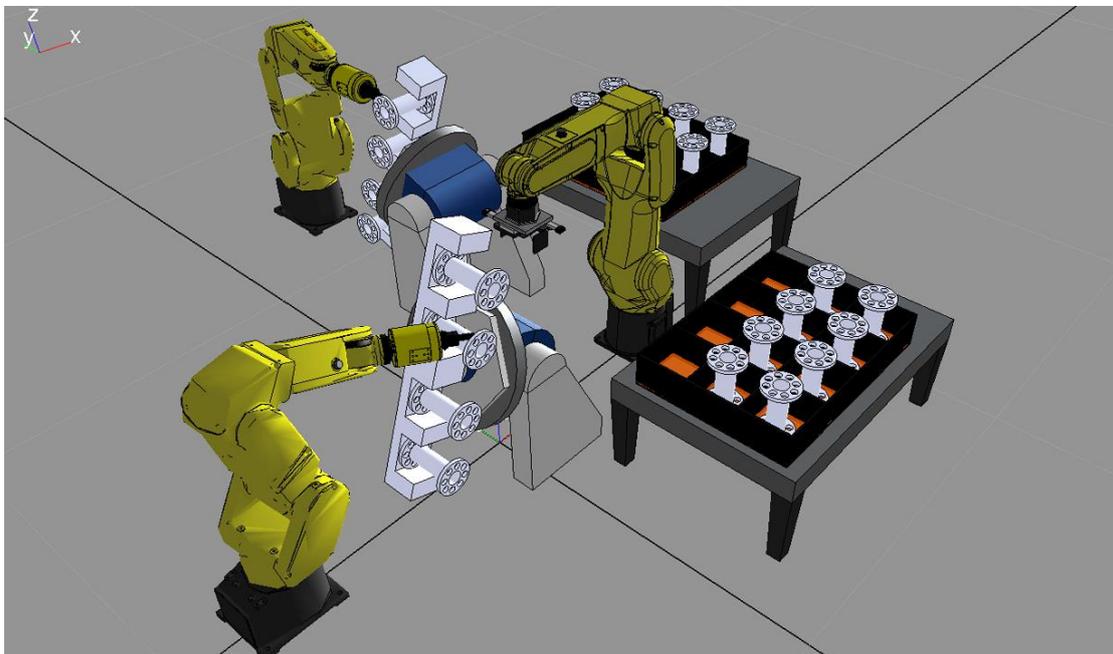


圖 4.6 兩自由度同時使用以利作業

在正面的內外側作業完成後，工作單元中間的取放機器人會將花鼓取下，放置於 tray 盤內工件原先的位置，而後將已加工過的面固定在治具上，並加工還未去毛邊的面，其作業與前述相同，在花鼓的兩面各兩側皆加工過後即完成作業，而後換 tray 盤內下一行的花鼓零件進行加工。

表 4.4 彙整手臂之選擇準則，自表中可得知每條準則對應到佐證之參考文獻。

表 4.4 手臂之選擇準則

準則編號(ID)	分類(細項)	準則敘述	參考文獻
準則十三	選用結構	於夾持材料、裝卸零組件時適合選用直角座標結構 機器人	(楊啟杰, 1999) (孫春光, 2016)
準則十四	選用結構	於空間小、水平伸展深時適合選用關節結構機器人	(楊啟杰, 1999) (孫春光, 2016)
準則十五	選用結構	於快速分揀、精密裝配時適合選用 SCARA 機器人	(賴祥民, 2013) (機器人時代, 2016)
準則十六	選用結構	於從事精密取放作業、組裝、整列與包裝時適合選用 Delta 機器人	(布斯特機械股份有限公司, 2016)

準則編號(ID)	分類(細項)	準則敘述	參考文獻
準則十七	手臂荷重	手臂荷重應考量其末端效應器、夾治具、夾持工件、外部載荷力，扭矩等，而後選擇可負荷之手臂	(朱潤廷，2017)
準則十八	末端效應器設計考量	若工件因製程而發生形狀上的改變，則視情況選用雙夾爪	(Groover et al., 1986)
準則十九	手臂間的相互協作	工業機器人與人員協作應具備防撞機制，產生碰撞能及時停止動作	(劉尚昀，2017)
準則二十	手臂間的相互協作	機器手臂搭配機構協作以減少人員從旁協助與機器手臂的使用數量	(Sakakibara, 2003)

4.1.4 友善的環境

這個部分並不特定只適用於機器人自動化，然而，機器人自動化在設計製造系統時特別需要注意這些方面(Bjurstrom & Jackson, 2011)。於友善的環境準則中將考慮易用性、標準化、穩健操作，以及可視化。

1. 易用性：

準則二十一. 工業機器人的程式設置應利於及時更改

現今顧客的需求多變，台灣廠商面臨到的是多樣少量的問題，故導入工業機器人於工作單元內則面臨到同樣的問題。

在人員作業時每更換一種不同型號，則需耗費大量換模時間，但精實為了減少時間上的浪費，則提到快速換模，快速換模的方法則例如：將機台需停機才可執行的內換模轉變為機台運行中可同時進行的外換模，這樣做都是為了利於更換產品型號，而最終目標為達到單鍵換模。

機器人程式如何設置，以便於在更換產品型號時可及時更改(Bjurstrom & Jackson, 2011)，對於機器人來說好比是快速換模的方法，對於操作人員來說程式設置利於即時更改，可能只需要按幾個按鍵即設置完成程式師已事前寫好的程式。

2. 標準化：

準則二十二. 工業機器人單元採相似方式設計，有利於人員作業於不同單元內

確保製造系統中所有機器人工作單元都以相似的方式設計，有利人員作業於不同單元內(Bjurstrom & Jackson, 2011)，製造現場容納著許多不同的工作單元，每個不同單元若都採用不同設計，在落實人員多能工的難度也會因此增加不少，若有一個標準，使工作單元採相似的方式設計，則可以解決前面所述的問題，並可減少人員作業於不同單元內所需的適應時間。

3. 穩健操作：

準則二十三. 平時應落實機器人工作單元的維護工作，以確保製造系統的高可用率

機械化生產對機器人具有依賴性，一旦機器人出現問題，生產線就必須暫停等待維修(向思諾、方藝文、陳茁、徐爽雙，2013)。穩健操作為系統化的維護方法，以確保製造系統的高可用率(Bjurstrom & Jackson, 2011)。製造現場應關注的點為設備是否具高可用率，高可用率即是機台在想用時及可使用，而不是處於故障或停機，要確保高可用率平時應確實落實設備的維護與保養，這個問題在導入機器人自動化後顯得格外重要。

4. 可視化：

準則二十四. 清楚的向製造系統中任何一個人顯示目前發生的事件與原因

製造現場的可視化程度高表示系統應清楚的向製造系統中任何一個人，顯示目前發生的事件與原因(Bjurstrom & Jackson, 2011)。但最重要的是因為可視化程度高，使人員更容易看出系統的問題點，挑出問題後並做改善，對複雜的機器人系統來說也是需要注意的地方。

表 4.5 彙整友善的環境準則，自表中可得知每條準則對應到佐證之參考文獻。

表 4.5 友善的環境準則

準則編號(ID)	分類(細項)	準則敘述	參考文獻
準則二十一	易用性	工業機器人的程式設置應利於及時更改	(Bjurstrom & Jackson, 2011)
準則二十二	標準化	工業機器人單元採相似方式設計，有利於人員作業於不同單元內	(Bjurstrom & Jackson, 2011)
準則二十三	穩健操作	平時應落實機器人工作單元的維護工作，以確保製造系統的高可用率	(Bjurstrom & Jackson, 2011) (向思諾、方藝文、陳茁、徐爽雙, 2013)
準則二十四	可視化	清楚的向製造系統中任何一個人顯示目前發生的事件與原因	(Bjurstrom & Jackson, 2011)

最後總結前面所提到的各項準則分類，並將準則彙整於表 4.6 工業機器人應用於精實製造準則，表中準則一至準則七為工業機器人與作業之間之關聯準則、準則八至準則十二為運輸搬運規劃準則、準則十三至準則二十為手臂之選擇準則、準則二十一至準則二十四則是友善的環境準則。

表 4.6 工業機器人應用於精實製造準則

準則編號(II)	分類(細項)	準則敘述	參考文獻
準則一	自動調整的夾治具	夾治具須具備自動調整的能力	(張宗賢, 2017)
準則二	定位方式	工業機器人定位應搭配機器視覺	(Sakakibara, 2003) (劉建宏, 2014)
準則三	考慮替換的末端效應器	工業機器人應具備快速替換不同末端效應器的能力	(Camillo, 2015)
準則四	工作範圍之考量	機器人工作範圍不足時應善用行走軌道增大工作距離	(朱潤廷, 2017)
準則五	動作之運用	於工作循環中，應去除工業機器人之閒置時間。	(陳文哲、葉宏謨, 2011)
準則六	動作之運用	工業機器人之動作應以最低等級達到結果，以節省每一循環動作上之浪費。	(陳文哲、葉宏謨, 2011)
準則七	動作之運用	工業機器人動作應盡可能使其流暢，並且有適當的作業距離。	(陳文哲、葉宏謨, 2011)

準則編號(II)		分類(細項)		準則敘述		參考文獻	
準則八	前後站間的搬運	前後站間的搬運	需考慮物料的流動，以避免造成工作單元的瓶頸		(Calderone, 2015)		
準則九	前後站間的搬運	前後站間的搬運	工作單元中之設備經設計使其互相靠近，使機器人工作範圍內得以涵蓋最大量之設備		(Groover et al., 1986)		
準則十	進料/供料之規劃	進料/供料之規劃	落實店面管理，盡可能降低機器人等待物料而造成 的生產延宕		(Calderone, 2015)		(Yaskawa Motoman, 2011)
準則十一	進料/供料之規劃	進料/供料之規劃	工業機器人應盡可能佈置於工具及裝置之近處。		(陳文哲、葉宏謨, 2011)		
準則十二	進料/供料之規劃	進料/供料之規劃	零件物料供給應盡可能墜送至工業機器人之近處。		(陳文哲、葉宏謨, 2011)		
準則十三	選用結構	選用結構	於夾持材料、裝卸零件時適合選用直角座標結構 機器人		(楊啟杰, 1999)		(孫春光, 2016)
準則十四	選用結構	選用結構	於空間小、水平伸展深時適合選用關節結構機器人		(楊啟杰, 1999)		(孫春光, 2016)
準則十五	選用結構	選用結構	於快速分揀、精密裝配時適合選用 SCARA 機器人		(賴祥民, 2013)		(機器人時代, 2016)

準則編號(ID)	分類(細項)	準則敘述	參考文獻
準則十六	選用結構	於從事精密取放作業、組裝、整列與包裝時適合選用 Delta 機器人	(布斯特機械股份有限公司, 2016)
準則十七	手臂荷重	手臂荷重應考量其末端效應器、夾治具、夾持工件、外部載荷力, 扭矩等, 而後選擇可負荷之手臂	(朱潤廷, 2017)
準則十八	末端效應器設計考量	若工件因製程而發生形狀上的改變, 則視情況選用雙夾爪	(Groover et al., 1986)
準則十九	手臂間的相互協作	工業機器人與人員協作應具備防撞機制, 產生碰撞能及時停止動作	(劉尚昀, 2017)
準則二十	手臂間的相互協作	機器手臂搭配機構協作以減少人員從旁協助與機器手臂的使用數量	(Sakakibara, 2003)
準則二十一	易用性	工業機器人的程式設置應利於及時更改	(Bjurstrom & Jackson, 2011)
準則二十二	標準化	工業機器人單元採相似方式設計, 有利於人員作業於不同單元內	(Bjurstrom & Jackson, 2011)

準則編號(ID)	分類(細項)	準則敘述	參考文獻
準則二十三	穩健操作	平時應落實機器人工作單元的維護工作，以確保製造系統的高可用率	(Bjurstrom & Jackson, 2011) (向思諾、方藝文、陳茁、徐爽雙，2013)
準則二十四	可視化	清楚的向製造系統中任何一個人顯示目前發生的事件與原因	(Bjurstrom & Jackson, 2011)

4.2 導入準則對應於精實之階段

於 4.2 節中介紹到的是本研究發展之準則分別對應到精實系統中的哪些階段，首先介紹到實踐精實系統的各個階段，而後將前面準則分別以表列出其對應之階段。

實踐精實系統可分為多個步驟，以下引用自工具機產業的精實變革書中所提到之七項程序，如圖 4.7 所示，下面將分別對這七項程序做簡單的介紹。

程序一為意識改革，在於拋棄固定的觀念，及打破舊有作業習慣的決心，核心概念在於洞察現場浪費(劉仁傑、巫茂熾，2012)。由上述可知此一階段在於意識形態的改革，本研究提供之準則大都著重於製造現場之各項考量因素，較無關注於此一階段，下列的表便無列出此一階段之對應準則。

程序二·5S，「5S 是精實變革的基礎」，用 5S 觀點排除工作場所的不合理和不方便(劉仁傑、巫茂熾，2012)，5S 分別是整理(seiri)、整頓(seiton)、清掃(seisou)、清潔(seiketsu)、素養(shitsuke)，下表 4.7 列出對應於 5S 之準則，其中對應以將物品適當的擺放使工作順利進行的整頓居多。

如圖 4.7 表示，程序三至程序五為並列同一階段，程序三為加工流程化，此一階段在於連結製程流程化規劃作業，對應於此一階段準則於表 4.8 列出；程序四為裝配節拍化，雖然產業間的裝配型態有所差異，然而在精實系統觀點下，都能夠融入接近流程生產的節拍化觀念，著手進行改革(劉仁傑、巫茂熾，2012)。對應節拍化之準則於表 4.9 表示；程序五為標準作業化，將人、物與設備做最有效的組合是標準作業的重要任務(劉仁傑、巫茂熾，2012)。對應於程序五之準則於表 4.10 表示。

程序六·人本作業模式，於**工具機產業的精實變革書**中提到一段敘述，信任、自豪與群體感，奠定企業在升級與轉型過程的人力資源基礎。導入工業機器人於精實製造，機器人取代了部分工作，在人機協作的環境下，人力資源處於非常重要的位置，創造出機器與作業人

員友善的工作環境，則為本研究之準則對應於精實改善程序六之重點，於表 4.11 列出對應之準則。

程序七.組織與策略調適，精實變革的核心是製造現場，但是如果組織管理與經營策略不能發揮積極誘導或配合調適，將使合理化推行事倍功半(劉仁傑、巫茂熾，2012)。本研究準則核心在於製造現場，故下面便無列出對應此階段之準則。

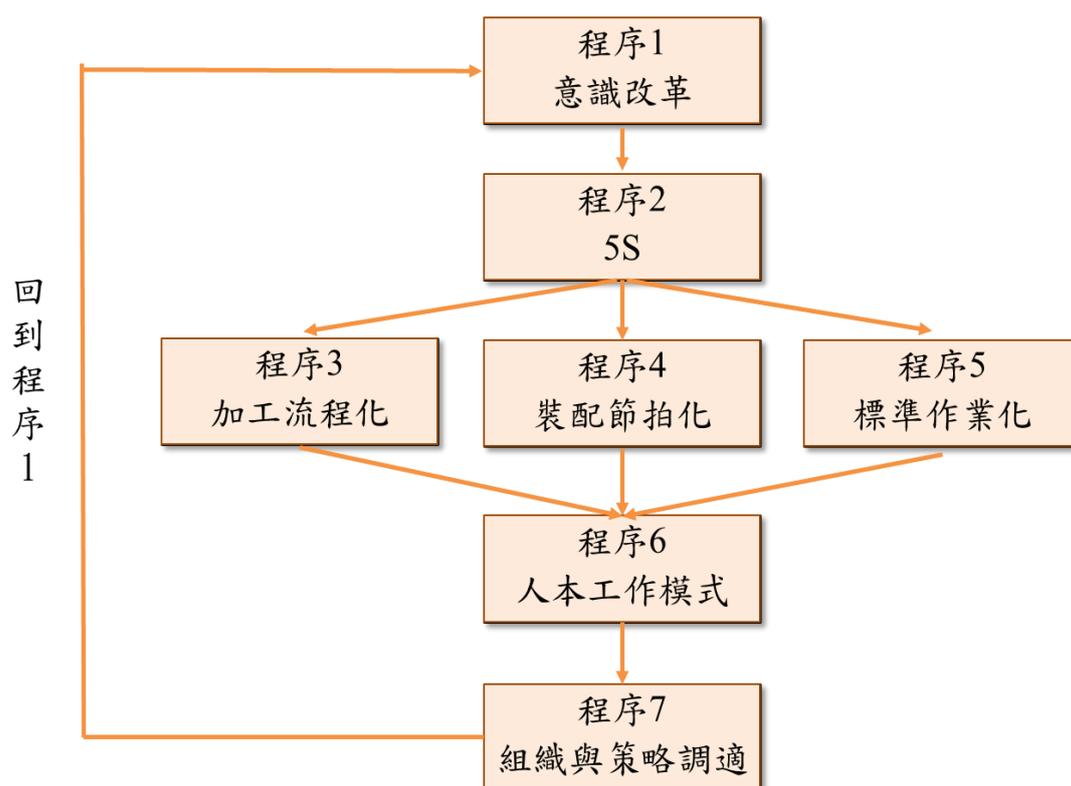


圖 4.7 實踐精實變革的七項程序

資料來源: 劉仁傑、巫茂熾(2012)，工具機產業的精實變革。

「整頓」則進一步讓物品在需要的時刻能在最短的時間被拿到(劉仁傑、巫茂熾，2012)。

工業工程學中的動作研究，可作為物品擺放位置選擇的重要基礎理論依據，以符合動作經濟原則(劉仁傑、巫茂熾，2012)。

表 4.7 對應於程序二.5S 之準則

準則編號(ID)	準則敘述
準則九	工作單元中之設備經設計使其互相靠近，使機器人工作範圍內得以涵蓋最大量之設備
準則十一	工業機器人應盡可能佈置於工具及裝置之近處。
準則十二	零件物料供給應盡可能墜送至工業機器人之近處。

表 4.8 對應於程序三.加工流程化之準則

準則編號(ID)	準則敘述
準則三	工業機器人應具備快速替換不同末端效應器的能力。
準則七	工業機器人動作應盡可能使其流暢，並且有適當的作業距離。
準則八	需考慮物料的流動，以避免造成工作單元的瓶頸。
準則十	落實店面管理，盡可能降低機器人等待物料而造成的生產延宕

表 4.9 對應於程序四.裝配節拍化之準則

準則編號(ID)	準則敘述
準則二	工業機器人定位應搭配機器視覺。
準則五	於工作循環中，應去除工業機器人之閒置時間。
準則十九	工業機器人與人員協作應具備防撞機制，產生碰撞能及時停止動作。
準則二十	機器手臂搭配機構協作以減少人員從旁協助與機器手臂的使用數量。

表 4.10 對應於程序五.標準作業化之準則

準則編號(ID)	準則敘述
準則一	夾治具須具備自動調整的能力。
準則四	機器人工作範圍不足時應善用行走軌道增大工作距離。

準則編號(ID)	準則敘述
準則六	工業機器人之動作應以最低等級達到結果，以節省每一循環動作上之浪費。
準則十三	於夾持材料、裝卸零組件時適合選用直角座標結構
準則十四	於空間小、水平伸展深時適合選用關節結構
準則十五	於快速分揀、精密裝配時適合選用 SCARA 機器人
準則十六	於從事精密取放作業、組裝、整列與包裝時適合選用 Delta 機器人
準則十七	手臂荷重應考量其末端效應器、夾治具、夾持工件、外部載荷力，扭矩等，而後選擇可負荷之手臂。
準則十八	若工件因製程而發生形狀上的改變，則視情況選用雙夾爪。

表 4.11 對應於程序六.人本工作模式之準則

準則編號(ID)	準則敘述
準則二十一	工業機器人的程式設置應利於及時更改。
準則二十二	工業機器人單元採相似方式設計，有利於人員作業於不同單元內。
準則二十三	平時應落實機器人工作單元的維護工作，以確保製造系統的高可用率。
準則二十四	清楚的向製造系統中任何一個人顯示目前發生的事件與原因。

4.3 應用案例

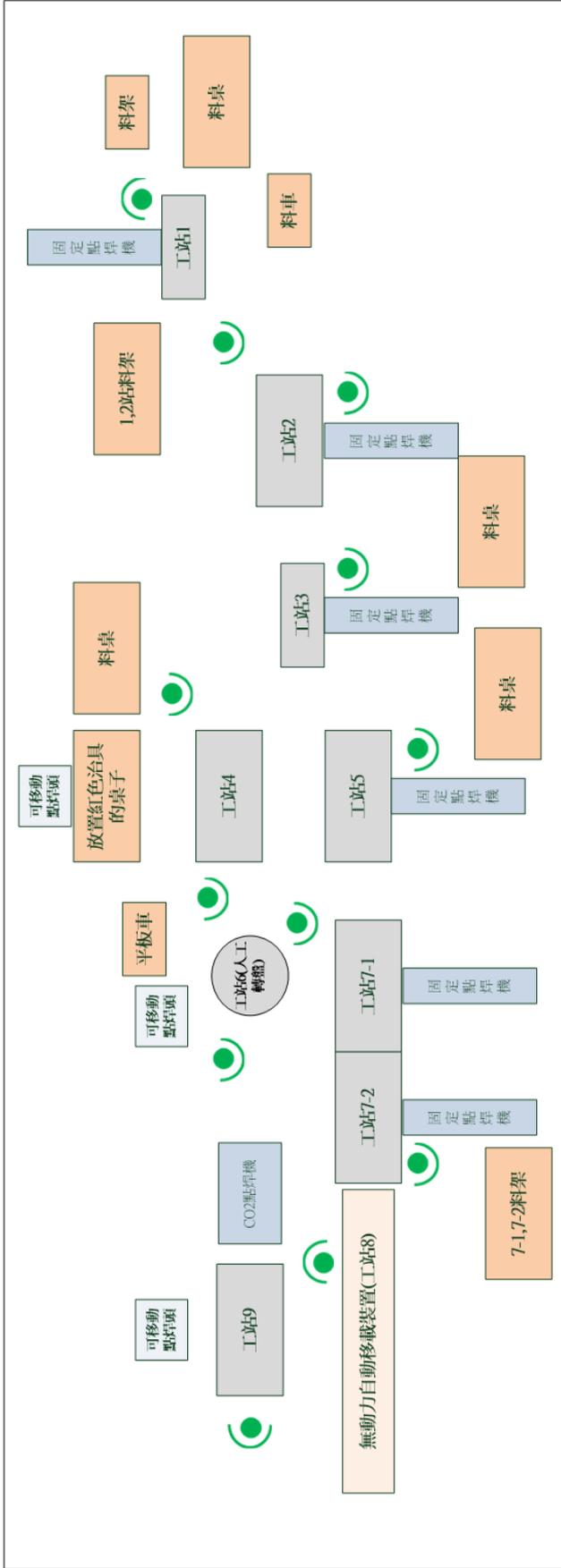
本研究之應用案例將以台中市某金屬容器製造業為例，該公司目前積極導入精實製造，依照前述準則將其點焊製程導入工業機器人，並以模擬軟體 OCTOPUZ 建置出可視化結果，以此案例說明準則之可行性。

4.3.1 現況描述

現況點焊製程佈置圖如下圖 4.8 所示，於這小節中將對圖中現況進行描述，而無法自圖中得知之資訊下面也將以文字進行較詳細之敘述。

現場分為工站一至工站九，其作業內容為組裝工具櫃之箱體，將鐵板以及零件等藉由組裝焊接使其成形。現況工作檯高矮不一，站與站之間皆需要以人力做搬運，較不同者為工站六於一旋轉盤上作業，因其作業需旋轉；工站七有兩站但其作業內容相同；工站八則於無動力自動裝置上進行研磨工具櫃表面；工站九則於一鐵板上作業。

現場作業人力約莫十二人充斥於點焊製程間，有些作業人員以打游擊的方式於站與站之間幫忙，現況焊接多以固定位置之點焊機器進行焊接作業，其中也有垂吊式可移動焊接頭，現況因受其焊接機器之限制需翻轉加工件進行加工作業，需翻轉之工站及其次數為工站三、五皆需翻轉四次，以及工站六需翻轉一次。現況物料放置的狀況並無統一標準，以料車、料架、平板車(烏龜車)，以及將料件隨意放置於一般桌上等。綜觀其現場，於下一小節 4.3.2 中將現況之問題點一一提出。



	人員		無動力自動搬運裝置(滾輪)
比例尺	1:60cm		物料暫存區(推車、料架、料桌、平板車)
點焊線工作範圍	長:18.6m 寬:6.68m		工作站(高桌子、矮桌子、轉盤、鐵板)
	焊接機器		

圖 4.8 現況點焊製程佈置圖

4.3.2 現況問題

以下列出案例公司點焊製程現況幾點問題：

1. 現場作業並無定容、定量、定位。例如:定容:現場充斥料車、料架、存放物料的桌子、平板車(烏龜車)等裝置並無任何標準與統一;定量:所需零件皆呈現一堆堆放置於周圍;定位:現場某些工站在焊上零件時仍憑經驗做事,若有誤差則影響後續製程。
2. 現場人員工作費力。現場可分成九站,站與站之間都需要搬運,其製造現場桌子高矮不一,甚至只於一塊鐵板上作業,加工中的工具櫃被搬上搬下,除造成搬運的浪費外也十分耗費作業人員力氣。
3. 產線規劃並不周詳,現況點焊線過於冗長,過多的人員,零件與在製品充斥現場。
4. 現況受點焊機器與加工方向限制,人員需旋轉及翻轉工具櫃,造成製造現場動作上的浪費。未來思考如何以機構取代人員旋轉、翻轉等動作,以及如何以夾治具協助製造等問題。
5. 現場工作人員太多、太雜,其中有許多不必要之人力,現況作業看似無標準化,其作業現場每個人看似很忙,實為窮忙。未來將思考以工業機器人取代部分人力,而人員動作複雜作業仍保持人員操作,以工業機器人取代作業如:上下料、點焊、固定(扶著)工件。

4.3.3 改善後模擬說明與呈現

原先過於冗長的製程易於藏匿製造現場的浪費，看似連貫的各項製程實為孤島般的隔海相望，製程中必然充斥著許多等待、搬運與庫存的浪費，改善後依據準則八. 需考慮物料的流動，以避免造成工作單元的瓶頸將點焊製程原先孤島式的工作站改為以 U 型線設計，並依據準則九. 工作單元中之設備經設計使其互相靠近，使機器人工作範圍內得以涵蓋最大量之設備，使製程工站間相互靠近，單元中之設備與人員也更易於相互協作。

改善後製程長度約為原先的一半，人員搬運距離皆能縮短，原先之工站一、工站二、工站三，合併為兩站，而原先工站七的兩個工位也合併為一站作業，以縮短製程長度。

改善後將桌子高度統一，並依據準則十二. 零件物料供給應盡可能墜送至工業機器人近處，以無動力自動移載裝置連結站與站之間，將原先人員工作十分費力之作業改為以推送即可送至下一工作站，改善後仍有搬運，但減少許多不必要之搬運且達到人員省力之效果。而無動力自動移載裝置之長度決定站與站之間在製品量可容納多少，進而限制在製品堆積，類似於精實所提之 AB 控制。

改善前為十二人的製造現場，改善後加入八支工業機器人，並留下三位作業人員與工業機器人相互協作。人員作業內容為以下幾點，於站與站之間推送與搬運在製品、放置治具使工業機器人易於加工、於現場的料桌進行補料，而原先工站八為研磨，改善後仍保留原先人員作業。

改善前製造現場充斥料桌、料架、推車、平板車(烏龜車)等，且上頭零件皆無上限的堆放於現場，庫存為七大浪費之首，高庫存水位下藏匿的製造現場七大浪費實為不容小覷，改善後依據準則十. 落實店面管理，盡可能降低機器人等待物料而造成的生產延宕，物料皆統一放置於桌子上，現場料桌類似於店面管理，需做好配套供料，放置適當數量並以不使機器人待料為主。改善後依據準則二十. 機器手臂搭配機構協作以減少人員從旁協助與機器手臂的使用數量，工站五的

工作桌改以機構取代，機構類似於分度盤的結構，依據準則一.夾治具須具備自動調整的能力，機構上方設計一可調整邊框大小的箱型夾治具，可依照加工件的底面大小作調整，將加工件固定於機構上方以便工業機器人進行加工作業，機構也提供作業中之工業機器人額外兩個自由度，並取代原先需人員翻轉的動作達到省力化的效用。

第 4.3.3 節後半部將以機器人離線編程軟體 OCTOPUZ 將改善後加入工業機器人作業做一可視化模擬，於佈置規劃時依據準則十一.工業機器人應盡可能佈置於工具及裝置之近處。於選用手臂結構時由於機器手需深入工具櫃中做焊接動作，且盡可能減少工廠使用空間，依據準則十四.於空間小、水平伸展深時適合選用關節結構機器人。於教導時依據之準則為準則五.於工作循環中，應去除工業機器人之閒置時間、準則六.工業機器人之動作應以最低等級達到結果，以節省每一循環動作上之浪費、準則七.工業機器人動作應盡可能使其流暢，並且有適當的作業距離。

下面將改善後所依據之準則與改善說明整理如表 4.12 案例改善對應準則及其說明。

表 4.12 案例改善對應準則及其說明

準則編號(ID)	準則敘述	改善說明
準則一	夾治具須具備自動調整的能力。	機構上方設計一可調整邊框大小的箱型夾治具，可依照加工件的底面大小作調整，將加工件固定於機構上方以便工業機器人進行加工作業。
準則五	於工作循環中，應去除工業機器人之間置時間。	於教導時，盡可能去除工業機器人之間置時間。
準則六	工業機器人之動作應以最低等級達到結果，以節省每一循環動作上之浪費。	於教導時，使動作達經濟有效之結果。
準則七	工業機器人動作應盡可能使其流暢，並且有適當的作業距離。	於教導時，使機器手於工作空間中間作業，而不在邊緣作業，使動作流暢。
準則八	需考慮物料的流動，以避免造成工作單元的瓶頸。	將點焊製程原先孤島式的工作站改為以流線型設計的 U 型線，並以無働力自動移載裝置連結站與站之間。
準則九	工作單元中之設備經設計使其互相靠近，使機器人工作範圍內得以涵蓋最大量之設備。	製程工作站與設備間相互靠近，單元中之設備與人員也更易於相互協作。

準則編號(ID)	準則敘述	改善說明
準則十	落實店面管理，盡可能降低機器人等待物料而造成的生產延宕。	物料皆統一放置於桌子上，現場料桌類似於店面管理，需做好配套供料，放置適當數量並以使機器人待料為主。
準則十一	工業機器人應盡可能佈置於工具及裝置之近處。	於佈置規劃時，盡可能將工業機器人佈置於工具及裝置之近處。
準則十二	零件物料供給應盡可能墜送至工業機器人之近處。	以無働力自動移載裝置連結站與站之間。
準則十四	於空間小、水平伸展深時適合選用關節結構機器人。	選用手臂結構時，由於機器手需深入工具櫃中做焊接動作，且盡可能減少工廠使用空間，故選用關節結構機器人。
準則二十	機器手臂搭配機構協作以減少人員從旁協助與機器手臂的使用數量。	工站五的工作桌改以機構取代，機構類似於分度盤的結構，提供作業中之工業機器人額外兩個自由度，並取代原先需人員翻轉的動作達到省力化的效用。

上段所述之各項改善前後評估整理於表 4.13 改善前後比較結果，改善幅度計算方式以(改善前數值－改善後數值)/改善前數值*100%做計算。

前置時間改善前自開始到結束，時間為 16.75 分鐘；改善後模擬自結束並加上第八站研磨保留人員作業的作業時間，以及現況人員作業搬運時間約為 5 秒鐘，改善後的一次搬運也以 5 秒鐘計算，總共為 8.46 分鐘，前置時間的改善幅度為 49%。

週期時間改善前點焊線的瓶頸站為工站一，作業時間為 2.52 分鐘；改善後的瓶頸站仍為工站一，作業時間為 1.40 分鐘，改善後週期時間的改善幅度為 44%。

作業使用空間改善前 18.6 公尺乘上 6.68 公尺為 124.25 平方公尺；作業使用空間改善後 10.98 公尺乘上 6.68 公尺為 73.35 平方公尺，改善幅度為 41%。作業人員數量由改善前的十二人降至改善後三人，改善幅度為 75%。

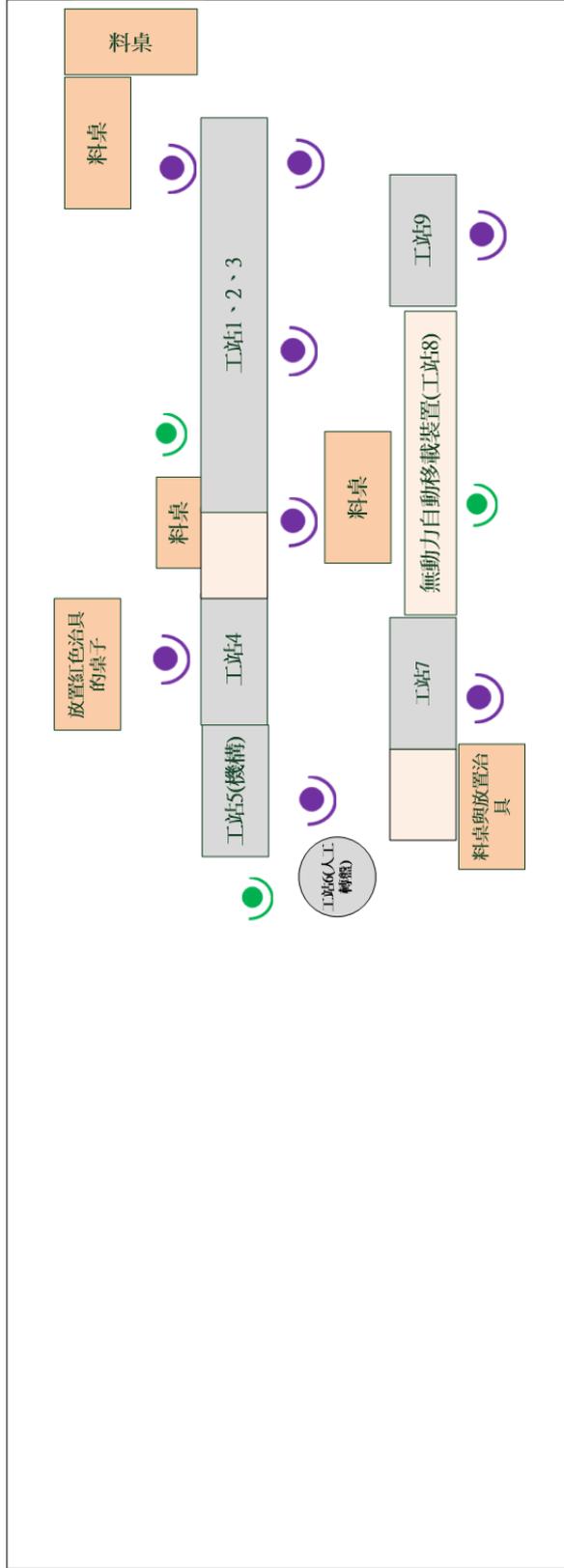
另外，改善前後成本的增減，增加的部分為投入工業機器人數量八台、機構數量一台，減少的部分為九位作業人員，以及工作單元的效率提高。以此案例來看，若工業機器人以一台約八十萬的價格，加上機構成本增加的部分約為七百萬元；人員以一人年薪三十五萬，則九人一年減少的人力支出為三百一十五萬元，且加入改善後效率提高的部分來看，若產量不變，只需花費約以往一半的時間即可達到相同產出，預估大約兩年內即可回本。最後是改善後工作單元內的作業人員，相較於改善前，其作業得以省力而較不費力。

表 4.13 改善前後比較結果

改善項目	改善前	改善後	改善幅度(%)
前置時間 (Lead Time)	16.75 分鐘	8.46 分鐘	49%
週期時間 (Cycle Time)	2.52 分鐘	1.40 分鐘	44%
作業使用空間	124.25 m ²	73.35 m ²	41%

改善項目	改善前	改善後	改善幅度(%)
人員數量	12 人	3 人	75%
工業機器人數量	0 台	8 台	—
機構數量	0 台	1 台	—
成本增減	減少九位作業人員、效率提高。	八台工業機器人、一台機構。	—
省力或費力	人員作業十分費力	人員作業得以省力	—

改善後之點焊製程佈置圖如下圖 4.9 所示。



人員	無動力自動搬運裝置(滾輪)
工業機器人	物料暫存區(料桌、料架)
比例尺 1:60cm	工作站(高度一致的桌子、轉盤、鐵板)
點焊線工作範圍	實際使用範圍 長:18.6m 寬:6.68m
	長:10.98m 寬:6.68m

圖 4.9 改善後點焊製程佈置圖

改善後以機器人離線編程軟體 OCTOPUZ 模擬之模擬圖於後面呈現，改善後的模擬分成三個部分，分別為工站一至工站三；工站四至工站六；工站七至工站九。圖 4.10 為工站一、二、三經合併過之模擬動作前，圖 4.10 工站一於鐵板上焊上側板時於桌子後方設計左右兩伸縮可調式治具，提供兩個面的定位，且可依箱體的不同做左右以及上下的調整。圖 4.11 為工站一、二、三經合併過之模擬動作後。

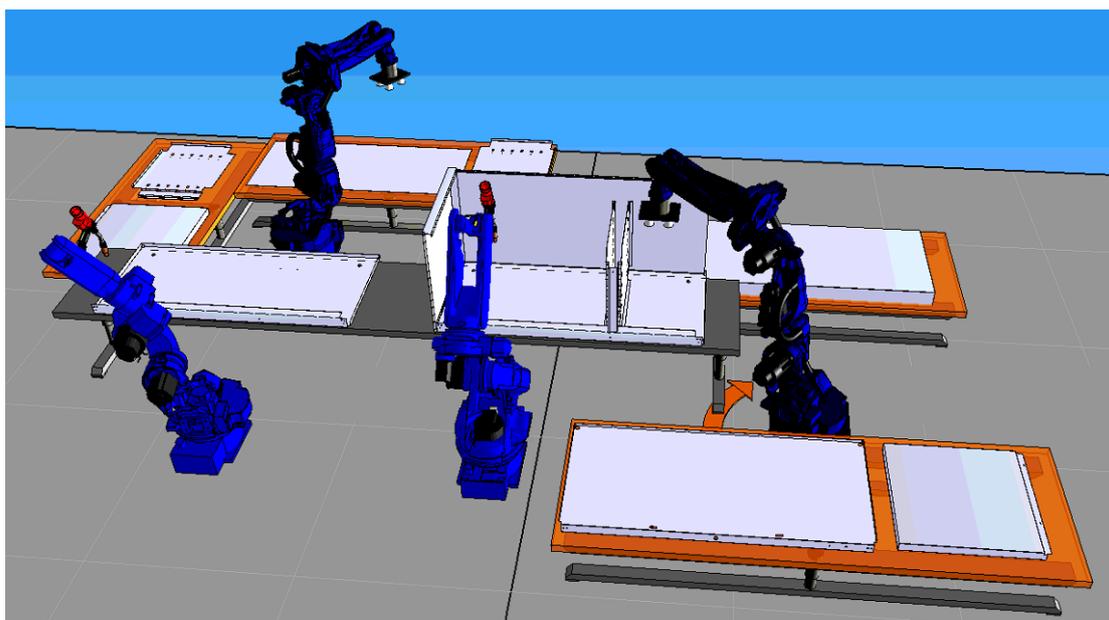


圖 4.10 工站一、二、三經合併過之模擬動作前

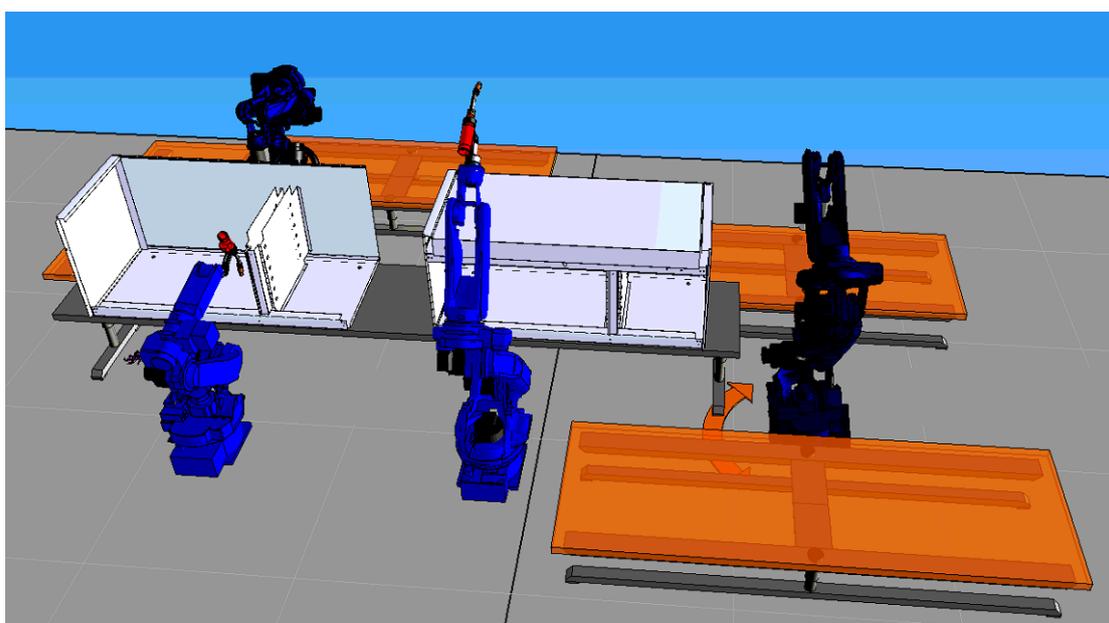


圖 4.11 工站一、二、三經合併過之模擬動作後

圖 4.12 為改善後 U 型線及工站四、五、六作業，圖 4.13 為工站五機構翻轉作業以及其下方連接之黑色箱形夾治具，工站六改善後仍保留於一旋轉盤上作業，因 U 型線的設計使工業機器人於工站五作業完向右轉即可於工站六作業。

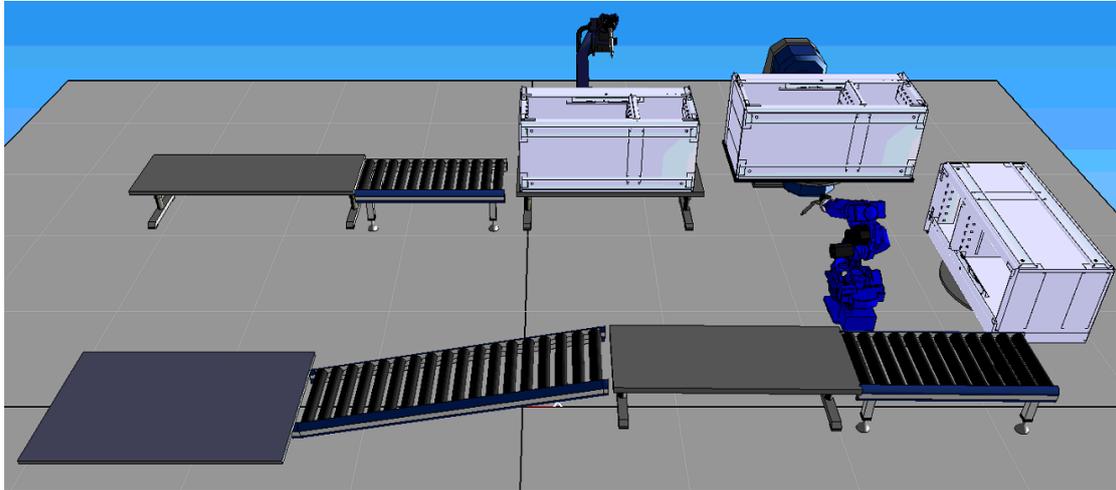


圖 4.12 改善後 U 型線及工站四、五、六作業

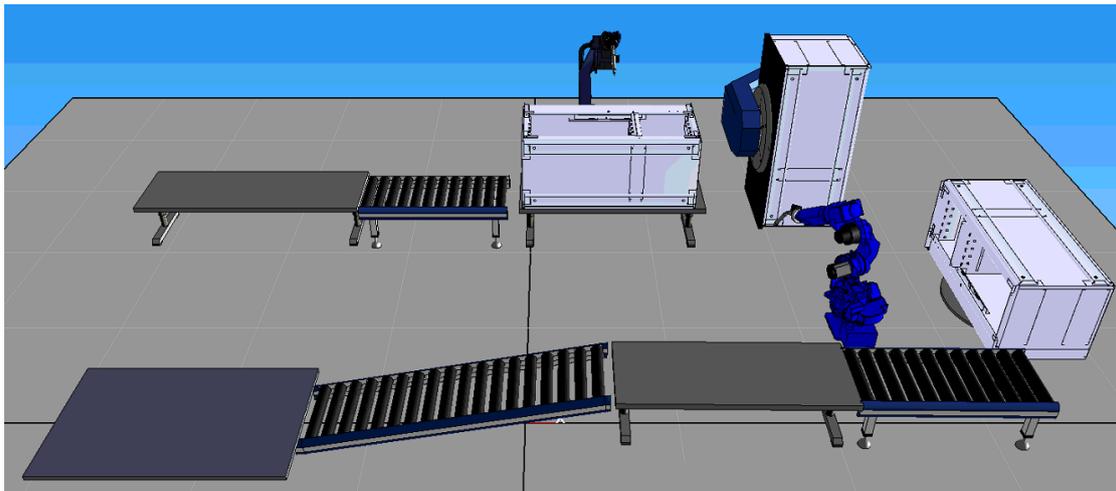


圖 4.13 工站五機構翻轉作業以及其下方連接之箱形夾治具

圖 4.14 為工站七、八、九模擬作業狀況，圖 4.15 為工站七工業機器人將於工具櫃內焊上右前箱道與右後箱道兩個零件，裡面以一 I 型治具將前後兩箱道抵住使其緊靠最內側與最外側以便工業機器人進行作業。

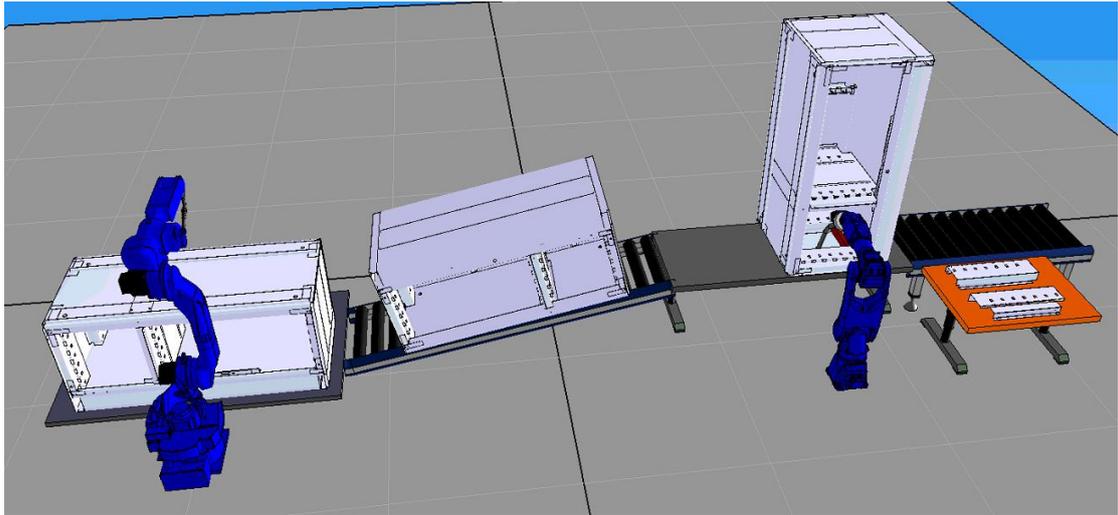


圖 4.14 工站七、八、九模擬作業狀況

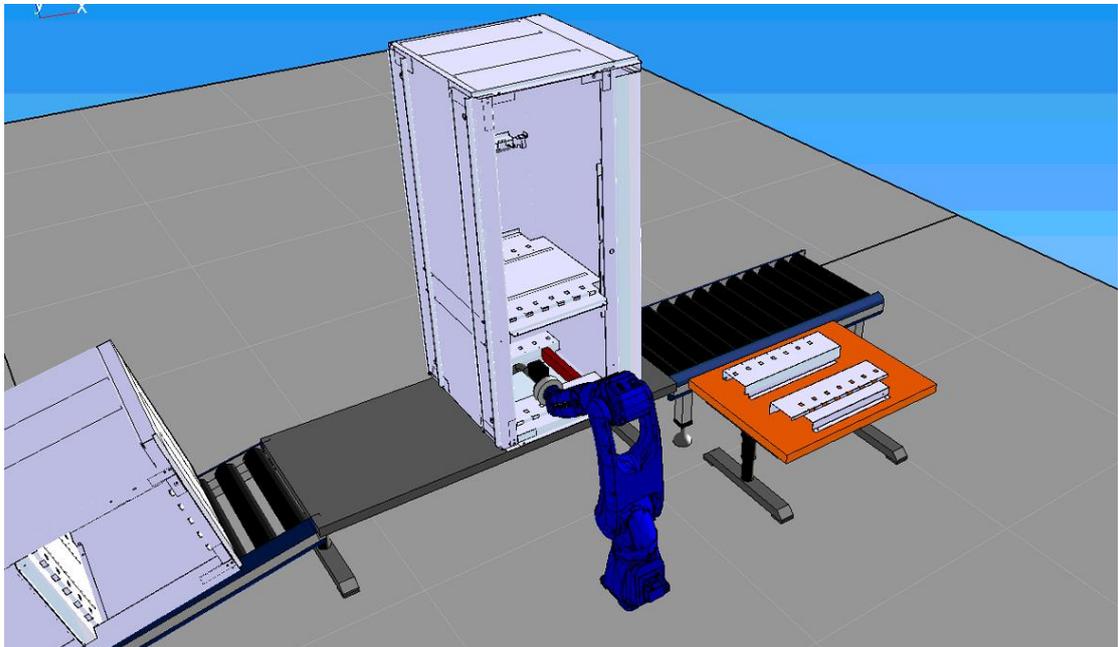


圖 4.15 工站七箱體內側 I 型治具

第五章 討論

工業機器人與精實製造都是可因應多樣少量的解決方案，且發展至今漸趨成熟，本研究將兩者合併討論，發展出一套將工業機器人應用在精實製造環境下的通用性準則，並將各項考量點分為以下四類準則，分別為：工業機器人與作業之間之關聯準則、運輸搬運規劃準則、手臂之選擇準則、友善的環境準則。

在工業機器人與作業之間之關聯準則中，為因應生產多樣少量的作業方式，夾治具應具備自動調整的能力，機器手臂也應具備快速替換末端效應器的能力，在定位上則應搭載視覺感測器較易實行。而機器手臂的動作應去除閒置，使其流暢，以及以最低等級的動作即可達到目的。

運輸搬運規劃準則中，在設施規劃的部份，設備應相互靠近使工業機器人作業範圍得以涵蓋最大數量之設備，且工業機器人應佈置於工具及裝置之近處，以利機器人作業，並考慮物料的流動，過多會造成工作單元之瓶頸，過低會造成生產的延宕，最後是墜送的方式應盡可能的利用到以使運輸搬運較為經濟。

在手臂之選擇準則中，對現今較為常見的機器手臂類型，直角坐標型結構，關節型結構，scara 結構，delta 結構分別具有的特色以及適合應用的地方做一討論，而後是負重以及是否需選擇雙夾爪，最後是在協作應搭配機構以減少機器人的使用量，以及協作應具備防撞機制。

在友善的環境準則中，設計準則則是以工業機器人對於從業人員是友善的為主，工業機器人應保持易用性，其程式的設置應利於及時做更改，以及在設計時應具標準化採相似方式設計，可利於從業人員作業於不同工作單元內，機器人的穩健操作則是應落實日常維護工作以確保機器人的高可用率，最後是高可視化程度，應使現場人員清楚了解目前發生的事件與原因，如此一來則可利於人員除錯。

本研究提供之準則為通用性準則，並不侷限於單一個案。準則提供製造商得以參考之依據，降低製造商導入工業機器人可能因未考量

到某些因素而造成失敗之風險。準則不須逐條遵守，製造商只需擇最符合其狀態之準則即可。

未來研究方向會隨著科技的進步而發展出更多準則，亦會修正現有準則以及刪除與當時候不適當之準則。

參考文獻

1. 王貳瑞，王來旺(2010)。工業工程與管理。屏東縣：睿煜。
2. 布斯特機械股份有限公司(民 105 年 12 月 14 日)。並聯式機器手臂簡介 Delta Robot。取自 http://www.booster-machine.com/article_detail_17.htm
3. 朱潤廷(2017)。淺談工業機器人選型。電氣工程與自動化，519，82-83。
4. 向思諾、方藝文、陳茁、徐爽雙(2013)。工業機器人應用對一線工人的影響初探。科技創業月刊，7，59-60。
5. 宋開泰、張志玲（2009）。追酷計畫—機器人與人的互動。科學發展，438，52-57。
6. 吳振彪、王正家主編;熊有倫主審(1996)。工業機器人。武漢市：華中科技大學。
7. 吳廣洋（譯）(民 99)。追求超脫規模的經營：大野耐一談豐田生產方式（原作者：大野耐一）。臺北市：中衛。(原著出版年：1978)
8. 林奕榮(民 107 年 4 月 15 日)。特斯拉生產慢...怪過度自動化。經濟日報。取自 <https://money.udn.com/money/story/5599/3087287>
9. 孫春光(民 105 年 10 月 7 日)。工業機器人全方位解讀。壹讀。取自 <https://read01.com/M7AL2N.html>
10. 偲健科技(民 106 年 9 月 5 日)。EPSON SCARA 機械手臂整合機器視覺應用在電子零件裝配。取自 <http://smasoft-tech.com/%E8%87%AA%E5%8B%95%E5%8C%96%E7%9F%A5%E8%AD%98%E5%BA%AB/>
11. 陳文哲，葉宏謨(2011)。工作研究。臺北市：鼎茂。
12. 張宗賢(民 106 年 11 月 10 日)。夾治具應用實務。取自 <http://www.jimmore.com.tw/archive/download/item/夾治具應用實務-第一章.pdf>
13. 楊啟杰(1999)。製造程序。臺北市：五南。
14. 劉尚昫(民 106 年 7 月 10 日)。機械手臂外掛套件加持 讓人機協作更順暢。DIGITIMES。取自 https://www.digitimes.com.tw/iot/article.asp?cat=158&cat1=&cat2=&id=0000506670_69f5nzd18nlw8bl0jqswa

15. 劉建宏(民 103 年 7 月 25 日)。沒有了它，機器人還能叫機器人嗎？。數位時代。取自 <https://www.bnext.com.tw/article/33178/BN-ARTICLE-33178>
16. 劉仁傑、巫茂熾(2012)。工具機產業的精實變革。臺北市：中衛。
17. 機器人科技論壇(民 106 年 3 月 22 日)。Delta 並聯機器人簡介。取自 <http://www.robotious.com/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=13&id=33>
18. 機器人時代(民 105 年 6 月 28 日)。機器人時代揭密多關節 SCARA 機器人。東方頭條。取自 <http://mini.eastday.com/a/160628105223278.html>
19. 賴祥民(2013)。機器人整機技術。智慧自動化產業期刊，5，3-9。
20. 鍾榮峰(民 105 年 12 月 29 日)。鴻海機器人大軍，攻自動化有 3 階段。TechNews 科技新報。取自 <https://technews.tw/2016/12/29/foxconn-foxbot-automation/>
21. 鍾漢清(譯)(民 93)。精實革命(原作者：James P. Womack & Daniel T. Jones)。臺北市：經濟新潮社。(原著出版年：1996)
22. 謝名彧(民 104 年 8 月 28 日)。機器人，這次為什麼成真？《30 雜誌》。取自 https://www.30.com.tw/article_content_29418.html
23. 豐田生產方式研究會(2013)。圖解豐田生產方式。臺北市：經濟新潮社。
24. ABB White Paper. (2017). *Ten Ways Robots Enhance Lean Manufacturing Environments*. Zürich: ABB Ltd.
25. Anu Maria. (1997). Introduction To Modeling And Simulation. *proceedings of the 1997 winter simulation conference ed*, Binghamton, NY.
26. Dr.Shinsuke Sakakibara. (2003). The Latest Robot Systems Which Reinforce Manufacturing Sector. *Published in 2003 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Taipei, Taiwan.
27. Erik Bjurstrom and Mats Jackson. (2011). Lean Robotics for Industrial Renewal. *Studies in Industrial Renewal*. Eskilstuna-Västerås: Printed by Mälardalen University
28. Jim Camillo. (2015). Does Your Robot Need a Tool Changer? (2017, August 16) ASSEMBLY MAGAZINE. Retrieved from <https://www.assemblymag.com/articles/93146-does-your-robot-need-a-tool-changer>
29. Len Calderone. (2015). Robots Help with Lean Manufacturing. (2017, June 29) Robotics Tomorrow. Retrieved from <http://www.roboticstomorrow.com/article/2015/06/robots-help-with-lean-manufacturing/6205/>

30. Mikell P. Groover, M. Weiss, Roger N. Nagel. (1986). *Industrial Robot*. McGraw-Hill Higher Education.
31. Shifting into the Future with OCTOPUZ Robotic Software. (2016, November 18). Retrieved from https://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-Case-Studies/Shifting-into-the-Future-with-OCTOPUZ-Robotic-Software/content_id/6321
32. William B. Gevarter. (1982). *An Overview of Artificial Intelligence and Robotics. Volume II - Robotics*. Washington, DC. : National Bureau of Standards.
33. William J. Stevenson, (2010). *Operations Management*. Whitby, Ontario: McGraw-Hill Ryerson, Limited.
34. Yaskawa Motoman, (2011). A Lean-Mean Welding Cell. (2017, July 6) Robotics Industries Association (Robotics Online). Retrieved from https://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-Case-Studies/A-Lean-Mean-Welding-Cell/content_id/3087