

實用産業機器人全集

INDUSTRIAL ROBOTS

渡 辺 茂 監修

日本産業用ロボット工業会 編

賴 耿 陽 譯著

復漢出版社印行

中華民國 七十年 五月 出版

產業機器人全集

版權所有
翻印必究

元〇六三裝精^B

原著者：渡 辺

茂

譯著者：賴

耿

陽

出版者：復 漢 出 版 社

陽

地址：台南市德光街六五一號

郵政劃撥三一五九一號

發行人：沈

岳

林

印刷者：國 發 印 刷 廠

廠

地址：台南市安平路五五六號

本社業經行政院新聞局核准登記局版台業字第〇四〇二號

序

產業用機器人初次引入日本以來，只十多年，却陸續開發日本國產的產業用機器人、製品化。現在，製造業界用機器人及其應用系統的企業數或其普及部數，日本已領先世界各國。

支持產業用機器人發展的基礎工學、技術研究開發正在日本的大學、公立研究機關及民間研究機構全力推展。各國產業用機器人及其關連技術的權威者、研究者每年召開的國際產業用機器人座談會中，日本發表的論文在技術水準上，也獲很高的評價。

因日本引進產業用機器人的初期正當經濟高度成長時期，產業界期望用來解決當時勞工不足的問題。

其後為安定成長的時代，產業結構起變化，擴大產業用機器人的目的；從防止勞動災害、防止職業病、回復人性的觀點，並配合高學歷化的社會環境，工廠現場白領階級化，須預備愉快的勞動環境，向來的員工至今已高齡化，更有此必要性。

但是，產業用機器人為知識密集、技術密集的系統製品，基礎技術普及廣泛的工學技術各種分野。

遺憾的是目前尚未有體系的技術解說書平易介紹產業用機器人的機構、控制技術、系統設計、機器人技術的未來展望前景等。

本書恰好能在技術上解說，介紹產業用機器人，介紹關連的基礎工學技術，相信可促進有關產業用機器人的技術教育或產業用機器人的正確利用、促進技術發展。

本書的宗旨在教育工業專科學校、大學工學系的學生、企業中的技術者、關心產業用機器人的人士，學習技術，淺易解說產業用機器人的構造等硬體、控制系統等軟體。

為使各階層人士瞭解產業用機器人，特別組織「機器人讀本編集委員會」，動員最前線的精英，編寫解說書，分為原理篇、應用篇。可使

讀者有全面性、具體性的認識，但願大家以各種角度評價產業用機器人，開拓更有建設性的用途。

我國目前在學理方面已步入研究的起始，而產業界亦即將由半自動，進入自動化，更進而必然地為生產線全自動化達到使用“機器人”，以求生產更精密化，高速化的境界。本書的出版，相信對“產業機器人”的原理及應用，必有助益。對於技術者、企業界決策者、工場現場領導者，都是必須研讀的好書，而學校方面如將之採用為二學期的教材，當可先期訓練一些新的科技人才。

產業用機器人(基礎篇)/ 目次

第1章 產業用機器人的背景	1
1.1 前言	1
1.2 非機器人的機器人	1
1.3 發揮特色的用法	2
1.4 編製系統的基礎	3
第2章 產業用機器人的機構	5
2.1 前言	5
2.2 構成	7
2.3 依輸入情報・教導分類(主分類)	9
2.4 依動作形態分類(副分類的Ⅰ)	9
2.5 依自由度分類(副分類的Ⅱ)	12
2.6 依可搬重量與作動領域分類	13
2.7 依順序情報分類(參考分類)	14
2.8 依動力源分類	15
2.9 機構例	16
2.9.1 電動的產業用機器人	16
2.9.2 空氣壓驅動的產業用機器人	17
2.9.3 油壓驅動的產業用機器人	17
2.9.4 使用機械式連桿機構的產業用機器人	19
2.10 特性的表示	21
第3章 產業用機器人的手	28
3.1 所謂的手	28

3.2	何謂把持	29
3.3	把持機能	30
3.4	動力源與驅動源	33
3.5	把持的構成	34
3.6	結語	39

第4章 產業用機器人的控制技術 41

4.1	前言	41
4.2	偵知・計測機構	41
4.2.1	產業用機器人偵知器的分類	41
4.2.2	內部計測用偵知器	46
4.2.3	外界計測用偵知器	46
4.3	驅動機構	46
4.3.1	定位方式	46
4.3.2	伺服技術	49
4.3.3	電系伺服	54
4.3.4	油壓伺服	60
4.4	動作控制方式	64
4.4.1	機能分類	64
4.4.2	運動控制方法	67
4.4.3	動作順序控制方式	72
4.4.4	教導機能	75
4.4.5	play-back 方式	75
4.4.5	產業用機器人	76
4.5	利用計算機控制	80
4.5.1	計算機的功能	80
4.5.2	產業用機器人的	81
4.5.3	產業用機器人的	81
4.5.4	直接控制	83
4.5.4	總合生產系統	86
4.5.5	未來的動向	88

第5章 產業用機器人人工智能化的基礎 89

5.1	前言	89
5.2	機器人與知覺	90
5.3	觸覺	90
5.3.1	接觸覺	92
5.3.2	壓覺	95

5.3.3 力覺·····	97	5.3.5 重量覺·····	100
5.3.4 滑動覺·····	99	5.3.6 觸覺的開發·····	100
5.4 視 覺·····			102
5.4.1 物體認識·····	102	上的應用·····	109
5.4.2 視覺處理在產業			
5.5 積體比系統·····			115
5.5.1 手眼系統·····	115	例·····	117
5.5.2 總合化系統的實			

第6章 產業用機器人系統設計 ····· 122

6.1 前 言·····			122
6.2 產業用機器人在生產線內的地位·····			123
6.2.1 產業用機器人與		6.2.5 可靠性·····	125
真人的對比·····	123	6.2.6 經濟性·····	125
6.2.2 泛用性·····	123	6.2.7 產業用機器人的特	
6.2.3 耐環境性·····	124	色·····	125
6.2.4 耐久性·····	124		
6.3 模組構成的產業用機器人·····			126
6.3.1 產業用機器人的		6.3.3 模組構成產業用機	
機能性質·····	126	器人的特色例·····	127
6.3.2 模組構成的基礎		6.3.4 規範例·····	128
·····	126		
6.4 系統構成·····			133
6.4.1 總合生產系統·····	133	6.4.3 系統的控制·····	138
6.4.2 系統的整合化·····	134	6.4.4 系統的設計觀念·····	138
6.5 產業用機器人與其周邊裝置·····			139
6.5.1 產業用機器人與		與注意事項·····	140
周邊裝置的功能		6.5.3 系統例·····	142
·····	139	6.5.4 介面的注意事項與	
6.5.2 周邊裝置的種類		安全對策·····	144
6.6 可靠性、安全性的評價·····			145

6.6.1 設計、製造的立場.....145	6.6.3 保養性的重要性...147
6.6.2 可靠性設計的基 本.....146	6.6.4 安全性.....148
	6.6.5 製品的評價.....148

第7章 產業用機器人技術的未來.....150

7.1 前 言..... 150	
7.1.1 現狀與需要的動 向.....150	7.1.2 技術課題與實現時 期的預測.....155
7.2 支持機器人的技術——模仿生體的機能..... 162	
7.2.1 以人的機能為模 範.....162	7.2.3 機構要素.....164
7.2.2 感覺機能.....163	7.2.4 驅動機構.....165
	7.2.5 控制裝置.....166
7.3 追求新式機器人的可能性..... 168	
7.3.1 真人 - 機器人系 統.....168	7.3.2 產系統的途徑.....169
7.3.2 將來邁向智性生	7.3.3 人的重估.....176

第1章 產業用機器人的背景

1.1 前言

本書旨在研討產業用機器人 (robot) 全般的基礎技術與知識，從工學技術立場解說產業用機器人的機構、機能、控制及產業用機器人系統。實用形態請參考姊妹作“產業用機器人 (應用篇)”。

1.2 非機器人的機器人

1962年在美國開發產業機器人 (industrial robot)，歷史很短，却已在業界形成一分野，日本在此技術分野居世界之首。

1962年以前也有衝床用物料裝卸 (material handling) 用機器，大量生產用的 transfer-line (自移生產線) 也有具備機器手指 (mechanical finger) 的臂形裝卸用機器，因而，新命名的產業用機器人並非特別新奇的機械。但不稱為自動操縱器 (auto-manipulator)，而以新構成、設計思想命名產業用機器人，自別具意義。

產業用機器人的開發思想在將單純的反覆作業機械化，將生產現場占很大比重的 Take and Place 的作業機械化，因取代人的作業，故稱機器人 (人造人)。

機器人尚未有學術、技術性的定義，各種解釋都成立，有各種定義。無論如何，機器人的前身就是人！人不是機械，人的地位在人的智能、機能。在無法完全取代的今天，若不將產業用機器人視為產業用的機器人，若不當成機器人般的產業用機器人，在研討產業用機器人的構成、機能時，會引起誤解。目前的機器人還不算是機器人！

美國命名 Industrial Robot 的自動操縱器在日本起初譯為「工業用機器人」，後來才改稱「產業用機器人」，但並非從設計思想命名。

因出發點為自動操縱器，產業用機器人依據人體的手臂零件，以其

前端的手抓持對象物而移動。此型式在日本是從1967年開始製造，在1971年的製造廠大致已告飽和，改善機能，使用數是日本居世界第一多，進而編製系統。

1970年在美國召開第1屆產業用機器人國際座談會，以後在歐洲、日本、美國三區輪流舉行，表示世界各國已認識產業用機器人的重要性，致力於開發、實用化。

以簡單控制系構成的自動操縱器在機能面仍嫌不足，已蛻變為利用電腦的軟體控制，這是時代的潮流，而且設各種外界偵知器(sensor)，改善機能。

1.3 發揮特色的用法

機械工廠也可說是容易整備條件的場所，所以產業用機器人起先是用為將被加工物裝卸於工作母機等的機器。有1家日本工廠約有2千部產業用機器人在運轉中，破世界記錄。

高溫的作業環境不適合人類，也很危險。從熱處理爐取出火紅的工件而移送到次一工程的作業可委派產業用機器人。壓鑄、射出成形等從模具取出成形品的作業也屬其例。

就危險而言，美國的勞動安全衛生規制成為起跑的槍聲，產業用機器人廣用為衝床的裝卸器，改善作業環境，結束斷手要命的血淋淋鏡頭。

點熔接的焊槍操作在1整天會成為重勞動，汽車車體的點熔接作業線改由產業用機器人自動化，也延長工具前端的壽命。發揮定向、加壓力一定化的機械特性。增大作業的可靠性。

車體的點熔接已用多點自動熔接機自動化，但車形改變時的設定很費事。縮短設定變更時間，不必更改生產線本身也是產業用機器人的用途。最近一條生產線通行不同機種的多樣化生產更能發揮產業用機器人的特色。

產業用機器人在事先由人教導作業，控制工作程序的再生，這是產業用機器人比傳統自動機擴大利用分野的關鍵。不用數學式指定位置，依據實物教導動作的方式可說是產業用機器人的新技術。電弧熔接的自動化也可由產業用機器人達成，此應用例也顯示產業用機器人再現數學

式無法正確表現之作業經路的特性。在銲接槍前端裝間偵知器，可有更高的機能。

產業用機器人在塗裝作業上也可模仿人的動作。以廣大的噴霧面積處理細小的對象物會浪費塗料。最好以狹小的面積沿工件而移動。箱形工件的內面塗裝需要複雜的噴槍運動，都能發揮產業用機器人的特色。

努力的途徑有引用各種偵知器、利用電腦、開發人工智能軟體，但尚未充分，目前經濟性仍有未盡理想的問題。

也開發人-產業用機器人系統，重點在借人腦、感覺的判斷，用力的行動作業由機械執行。這種人操縱形早見於原子能方面的magic hand等以人直接操作的操縱器，此時需要人的驅動力，操作性也不好。

以機械能補助驅動力的早期作品為操縱桿形式，用於重物搬運，最近已開發高溫的爐前處理作業用機械。亦即直接利用人之熟練度、經驗的人-機（man-machine）系統。

也開發直接拾取人之動作的主奴方式（master-slave），供太空作業用，或人無法直接參與的海中作業用。

1.4 編製系統的基礎

吾人天生有手有腳，自然會舉手投足，表現各種行動，因是「自然會」，無法將其控制數學輸入電腦。這也表示人無法以機械性意義瞭解手的作業性。不瞭解最貼身的人體機能乃製造機器人時的一大缺憾。機器人技術的最大基礎研究之必要性在此。

人本身無法改變，因而人操作機械時，製造適合人的機器，重點不在其操作性，以機械的精密性強力性為目標。機械本身既是適合人而製成，欲以產業用機器人參加機械組成作業系統時，有必要研究產業用機器人的作業性，如此才能增高產業用機器人的利用度。

產業用機器人的機器構成手段之一為modular（模數）構成思想，這可使設計、製造簡易化，降低成本。但主要目的在具備符合各種作業要求的機能。將工件裝着於工作母機時，2自由度的操縱器可達成80%。因只有5自由度，設置起來頗嫌冗長。追求的模數構成是累積自由度少者而適合作業。

即使限定於較易自動化的一般工廠內作業，也可說產業用機器人技術尚未確立。來自作業對象的生產秘訣(know-how)乃大大左右產業用機器人的利用度。

目前正努力改善產業用機器人在機器、系統上的可靠性。

現在的產業用機器人不只是一般工廠內的作業，也欲發展於勞動福祉、社會福祉，並試作新系統供身體殘障者用、消防作業用、農事作業用，此時需要更超穎的新基礎技術。

產業用機器人可說是今後的新技術、機器，其利用界限依存於開發者的、利用者的智慧，在機器、系統上並無限度。

第2章 產業用機器人的機構

2.1 前言

提到「產業用機器人」，或許令人有新奇感，其實只其構造異於傳統的機械，所用的零件、材料、裝配手法等與現有的其他機械完全相同。定位、路線決定、作動速度等的控制手法也幾無異於其他系統的方法。雙動形伺服機構仍在研究、開發階段，操縱器等只用於特殊用途，在一般的產業用機器人仍未達實用階段。

現在實用者大都是「懸臂梁」(cantilever beam)形構造，有5~20 kg(包含手部構造體)或有更高的負荷施加於自由端。約伸縮1 m，保持50cm~2 m長度而旋轉或旋迴，這是傳統機械罕見的特色。「產業用機器人」的形象在此，但以此構造裝配機械的零件、材料在目前仍嫌不夠。例如長1 m的臂旋迴180度時，若以1 mm的精度控制其位置，其精度約0.3%，需要精度0.1%以下的位置偵知元件，而且此元件在相當不好的條件下使用。對1 m懸臂梁的前端施加20kg負荷時，撓曲度很成問題(這是產業用機器人「粗獷」的理由之一)。即使解決零件或材料的問題，也有裝配技術(包含控制技術)的問題，用相同的零件或材料作成同樣的構造時，是否有同樣的性能？答案是否定的(實際測定作業確認的結果)。

現在的「產業用機器人」在機能上仍未達完成的狀態，但前述的缺點已在改善中。本章解說現用產業用機器人的機構。

表2-1是日本產業用機器人工業會受工業技術院委託調查研究產業用機器人標準化時的分類案。表2-2~表2-5為副分類或參考分類。術語已JIS化，圖文記號也已編成JIS原案。

本章主要說明「臂部」，「臂」有某種程度的泛用性，但「手」在目前仍依用途個別設計，種類極多。圖2-1為產業用機器人機能的分類

表 2・1 產業用機器人的主分類(依輸入情報、教導分類)

名 稱	定 義	備 考
手動操縱器	人操作的操縱器	
固定順序機器人	依循預先設定的順序與條件、位置逐步推行動作各階段的操縱器，不易變更設定情報	
可變順序機器人	依循預先設定的順序與條件及位置，逐步推行動作各階段的操縱器，容易變更設定情報	
play back 機器人	先由人驅動操縱器而教其作業，令其記憶作業順序、位置及其他情報，使它再生，反覆作業的操縱器	
數位控制機器人	可藉數位指令順序、位置等情報而作業的操縱器	例如利用打孔紙帶卡或數位開關等
智能機器人	能以感覺機能及認識機能決定行動的機器人	

表 2・2 產業用機器人的副分類 I (依動作形態分類)

名 稱	定 義	備 考
圓筒座標機器人	臂的自由度主要為圓筒座標形式的操縱器	
極座標機器人	臂的自由度主要為極座標形式的操縱器	
直角座標機器人	臂的自由度主要為直角座標形式的操縱器	
關節機器人	臂的自由度主要為關節的操縱器	
其他座標形式的機器人		以上形式以外者

圖。作業機能是實際活動工作部份的機能，為本章解說的對象。控制機能是指示如何活動而實現作業機能(控制機能是機械本體的活動，並非人設定於機械)。計測認識機能是收集情報而實現控制機能，詳 4 章。

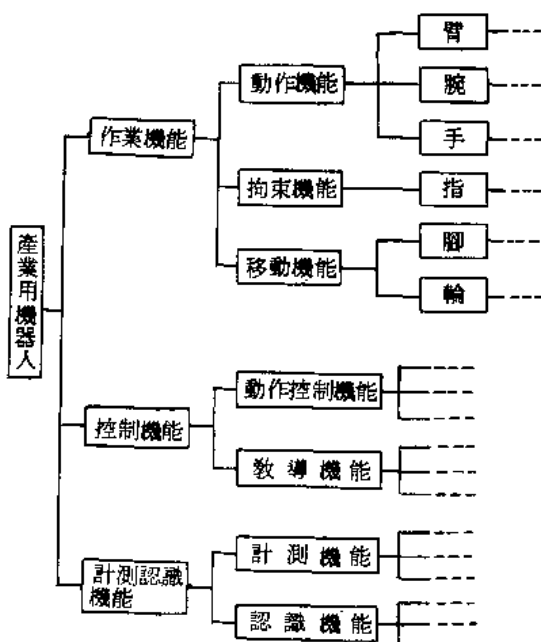


圖 2.1 產業用機器人機能的分類

2.2 構成

產業用機器人的機構如何構成？以取代人手機能者為例，這是目前實用的主要形式。

「手」把持對象物體（把持＝把握＋保持），以手腕部連接於臂。「腳」負責移動全體。腳可為動物的步行形態或車輪形態。不少產業用機器人無腳，但大都有手和臂。手、臂、腳一亦即負責動作的部份全體稱為可動部或驅動端，亦即引動器（actuator）與其關連部份，有時稱為操作端。

動作有控制的必要。為了驅動「驅動端」，需要「控制部」，在任何產業用機器人都一定需要。只靠「驅動端」不可能達成有機性動作。「控制部」為了達成其機能，需要「偵知部」，有時不需要。偵知部的功能是判斷①本身可動部的狀態如何？（內部計測機能），②作業對象如何？（外界計測、認識機能），③其他機械裝置或產業用機器人的周邊機器如何？（控制情報交換機能），④本身是否正常？（診斷機能），沒有這些功能時，控制只為開環式（open-loop）。

欲驅動「驅動端」時，當然需要能量，利用某種媒體供給能量，負

責此事的部份稱為動力源，控制用裝置也需要動力源。

「驅動端」，「控制部」，「偵知部」，「動力源」各依必要而以電線或管連結。圖2·2為全體的構成。

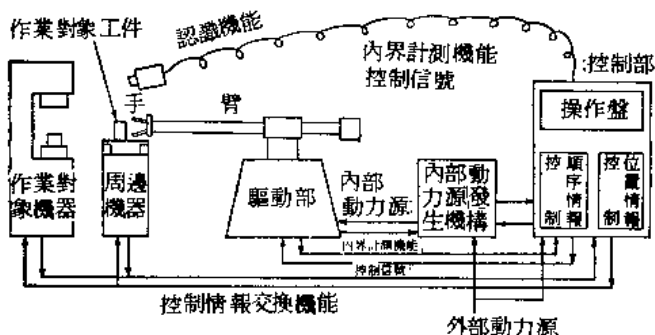


圖2·2 產業用機器人的構成例

(以此全體或部份構成，作業對象機器當然不包含於產業用機器人，
但是否包含周邊機器仍未定論)

產業用機器人最好只以單體作業，不過目前無法如此，大都有其他的機械裝置，何方為主或從，仍未定論，理想與現實之間仍有一段距離。其中，產業用機器人所需要者稱為周邊機器或周邊裝置，例如衝床的給料需要收容工件的貯藏槽(magazine)或昇降器(lift)等，此為周邊裝置。否則，為作業對象機器或作業對象裝置。

以上解說構造部份(硬體)。下面介紹機能的構成(軟體)。位置情報表示手與臂在何位置(狀態)。將位置情報規定成某一定值之事即是將手的位置和姿勢決定於空間中的某一點。此稱定位控制。定位的場所隨時間的經過而依序連續變化時，亦即以時間為參數而在空間中移動時，稱為路線控制。這些控制常取閉環控制系「伺服機構」，只簡易形採用開環控制系(又稱碰撞停止)。另有動作順序控制，這對應於順序控制，控制以何種順序進行規定的工作，因而，在動作順序控制的各階段進行「定位控制」或「路線控制」。

在某點作業，在另一點進行次一作業，如此反覆者稱為「Point to Point Control」，亦即「PTP控制」，此為定位作業的反覆。另一方面，在路線控制下作業者稱為「Continuous Path Control」一亦即「CP控制」。例如點熔接作業是熔接一點後，熔接另一點...

，可行「PTP 控制」，但電弧熔接時，連續熔接規定的熔接部，故成「CP 控制」。

「CP 控制」須將大量位置情報收存於控制裝置內。若用標準形定位伺服機構，本質上會造成偏差（offset）—控制目標路線與實現路線之差—亦即精度劣化。為克服這些缺點，在「PTP 控制」可減小定位點的間隔，近似實現「CP 控制」的機能，這稱為擬似 CP 控制（Pseudo Continuous Path Control），控制的特性畢竟為 PTP，但兼有兩者的長短處，亦即偏差小，但易振動。為了消除「CP 控制」的偏差，也試對控制回路進行積分特性補償，但系統的次數增加 1，容易振盪。

2.3 依輸入情報・教導分類（主分類）

產業用機器人的分類案是依輸入情報、教導（在產業用機器人設定作業的順序、位置或路線等情報，亦即教導如何工作）而分類（表 2.1），操縱器的定義是有類似人體上肢的機能，其本身有旋轉、屈伸、左右移動、擺動等機能部份兩種以上，以把握或保持物品等的方法在空間移動。物品的把持包括將作業用工具固定於手部或指部或成一體的狀態。

2.4 依動作形態分類（副分類的 I）

組合若干單位動作，決定產業用機器人的動作形態，單位動作大都為「伸縮（直動）」「旋轉」「旋迴」，旋轉是指軸的方向不變，以軸方向為中心的旋轉運動。旋迴是改變軸方向的動作。以人手為例，扭轉手腕為旋轉，彎曲手腕為旋迴。圖 2.3 例示這些單位動作。

這些單位動作的組合決定動作形態，有各種組合，以臂部為例，設左側為固定端，常屬於下示之種類之一：

- ① 旋轉—旋迴—伸縮（一手）（極座標系）（圖 2.4）
- ② 旋轉—伸縮—伸縮（一手）（圓筒座標系）（圖 2.5）
- ③ 旋轉—旋迴—旋迴（一手）（關節形）（圖 2.6）

電動者也有部份例外。這些構造在走行形會移動。走行路線取決於旋迴、伸縮或兩者的組合。