



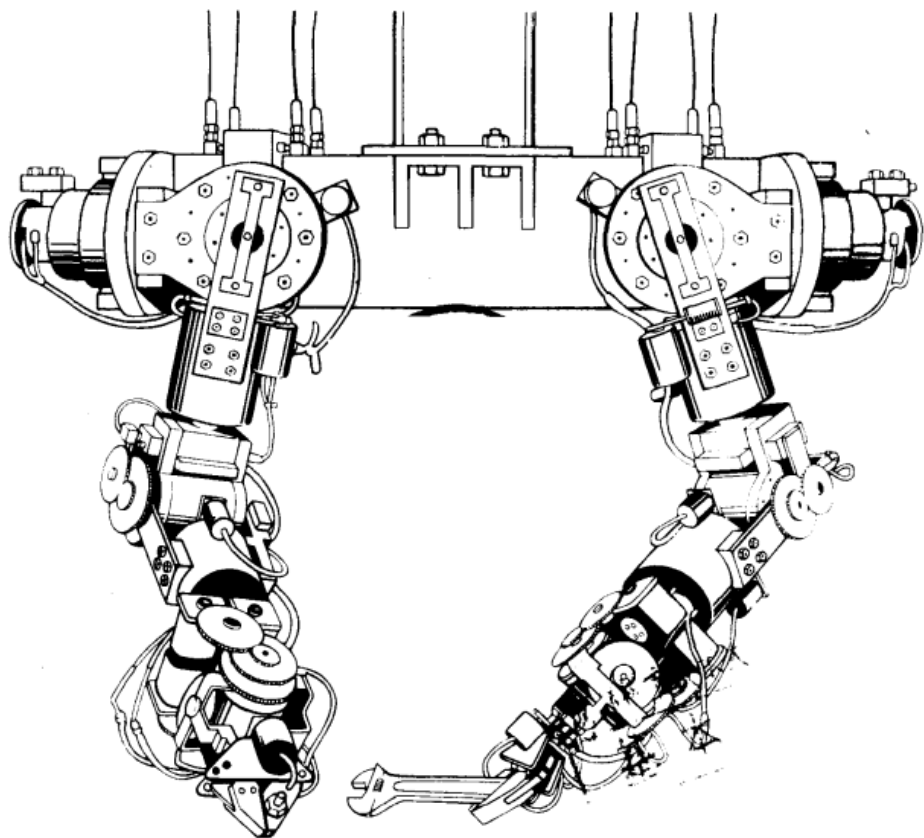
数据加载失败，请稍后重试！

機器人製作工學

自動化無人化技術導入・製造實務

中野榮二 編著
佐藤茂信

復漢出版社印行



中華民國七十三年六月出版

機器人製作工學

原著者：中野 榮二・佐藤 茂信

譯著者：賴 耿 陽

出版者：復 漢 出版 社

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

版權所有
翻印必究

平裝 B
精裝
二六〇元
三〇〇元

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

高度經濟成長時代的工廠流傳生產方式是「依工程順序把工作分割成簡單的作業，由多人分担，使各人的工作進度同步化」，各作業者分担的作業極單純化，在此種生產形態，各人只發揮有限的能力，為增大生產量，只好延長作業時間或用人海戰術。

1973年石油危機威脅世界以來，經濟社會大變化，開發新商品、開拓新市場成為急務，顧客要求多樣化，改變工廠的生產形態。商品壽命短，競爭激烈，須確立多品種少量生產方式。高學歷化也使年輕人不願參加勞動生產，工人高齡化，生產設備高級化後熟練勞工不足，人性的提升要求擺脫單調的作業或危險作業，於是機器人應運而生。

機器人工學包括機械、電子、電腦、材料、情報工學等多方面學問。因而，本書也匯集多人的研究精華。盡量解說最新的技術，特別詳述直接關連機器人動作部份的技術要素——引動器與其控制、操縱器或移動部的機構與控制手法等，但願有助於讀者瞭解時髦的機器人。

1984年4月

編者

· 機器人製作工學/ 目次

第 1 章 機器人的背景與功能	1
1.1 自動化的需要	1
1.2 各系統的機器人化課題	5
1.3 機器人系統的要素技術與其課題	5
1.4 產業用機器人與安全	5
1.5 機器人工程	11
第 2 章 機器人工學的基本概念	14
2.1 機器人必要的機能	14
2.2 機器人工學的地位	15
〔1〕 感知器工學	15
〔2〕 人工智能	16
〔3〕 義手、義足等義肢 工學	17
〔4〕 產業用機器人技術	16
〔5〕 人工頭腦科學或生物科 學	17
2.3 利用機器人的簡單作業與必要機能——與人的動作比較——	17
第 3 章 機器人的手部動作	20
3.1 伺服機構	20
〔1〕 伺服機構的定義與 概要	23
〔2〕 機器人控制的伺服	20
〔3〕 伺服機構的解析	24
〔4〕 伺服機構的形式與種類	25
3.2 電氣伺服系	25
〔1〕 電氣伺服系的概要	25
〔2〕 伺服放大器	28
3.3 電氣油壓伺服系	31

3.4 空氣壓伺服系	35
3.5 多關節操縱器的控制	36
〔1〕多關節操縱器的定義	36
〔2〕多自由度的控制	38
〔3〕多關節操縱器的位置計算	39
〔4〕由指尖位置、方向求各關節角度的方法	53
〔5〕輸入指尖移動速度的速度	59
〔6〕操縱器的軌道計算	61
3.6 有力感覺機構的操縱器	63
〔1〕力回饋在作業的重要性	63
〔2〕雙向伺服系	64
〔3〕導入力之概念的控制系统	65
〔4〕有力感覺的機器人例(1)	66
〔5〕有力感覺的機器人例(2)	68
〔6〕手腕部有力感覺的機器人	71
3.7 可控制力的操縱器	72
〔1〕有扭矩控制機能的多關節操縱器	72
〔2〕用力控制形油壓引	77
〔3〕有直動形驅動機構的操縱器	77
3.8 機器人臂的動作形態	78
3.9 機器人的手	84
〔1〕人手的把持	84
〔2〕旋轉開閉形手	85
〔3〕平行連桿機構形手	85
〔4〕平行滑動機構形手	86
〔5〕3指手	86
〔6〕5指手	87
〔7〕順應形手指機構	88

第4章 移動機器人 9

4.1 移動機能概要	91
〔1〕移動機能的重要性	91
〔2〕移動機能的分類	92
4.2 實際使用的移動機器人	93
〔1〕生產工廠使用的移動機器人	93
〔2〕用移動機器人的FMS	93
〔3〕醫院內自動搬送系統	96
4.3 特殊移動機器人	97

〔1〕 跨越階差的機器人 97	〔3〕 壁面上下用機器人…… 100
〔2〕 上下樓梯的機器人 99	〔4〕 其他的特殊移動機器人 101
4.4 步行機器人…………… 102	
〔1〕 步行時的安定性…102	〔5〕 5腳步行機械…………… 110
〔2〕 步行過程的腳相…105	〔6〕 4腳移動機器人…………… 111
〔3〕 步行系的解析 … 107	〔7〕 2腳步行機器人…………… 114
〔4〕 6腳步行機械 … 108	

第5章 機器人的感覺…………… 121

5.1 機器人感知器的分類…………… 121	
〔1〕 內界感知器 …… 121	〔2〕 外界感知器…………… 121
5.2 機器人的手部感覺…………… 122	
〔1〕 觸覺感知器 …… 124	〔3〕 壓覺感知器…………… 128
〔2〕 指尖外側觸覺的作 用 …………… 126	〔4〕 滑動覺感知器…………… 130
5.3 視覺…………… 131	
〔1〕 視覺的概要 …… 131	〔5〕 由畫面全體察知的方法 136
〔2〕 多面體之線畫的抽 出 …………… 132	〔6〕 線畫的解釋…………… 137
〔3〕 雜訊的除去與線素 的抽出 …………… 135	〔7〕 利用距離情報…………… 139
〔4〕 線畫的作成 …… 136	〔8〕 簡易的形狀認識手法… 142
	〔9〕 產業用式樣認識技術… 144
5.4 聽覺…………… 148	
〔1〕 聲音的特色與其認 識 …………… 149	〔2〕 聲音認識系的構成…… 151
	〔3〕 聲音認識技術的未來… 152
5.5 超音波感知器…………… 152	
〔1〕 超音波距離感知器 的原理 …………… 152	〔2〕 超音波距離感知器的特 性與其改善…………… 153
5.6 移動機器人用感知器…………… 156	
〔1〕 移動機器人用感知 器的特色與分類 156	〔2〕 經路誘導感知器…………… 157
	〔3〕 位置方向感知器…………… 166

5.7 裝配用感知器.....	170
〔1〕 利用感知器回饋精	〔2〕 利用可撓手腕機構插入172
密嵌合時的插入	170

第6章 人工智能176

6.1 何謂人工智能.....	176
〔1〕 人工智能的歷史與	〔2〕 人工智能與機器人的關
定義	連.....
176	176
6.2 推論與解決問題.....	177
〔1〕 何謂推論	〔3〕 用狀態空間解決問題之
177	例.....
〔2〕 解決問題	179
178	
6.3 學習.....	185
〔1〕 學習的概念與定義	〔2〕 倒立擺子的學習控制..
185	187

第7章 產業用機器人的軟體.....191

7.1 軟體的分類.....	191
7.1.1 控制程式(Con- nslator Program)	
trol Program)	192
191	7.1.3 實用程式(Utility
7.1.2 翻譯程式(Tra- Program)	194
194	
7.2 軟體的設計手法.....	194
7.3 機器人用軟體.....	198
7.3.1 機器人用軟體	應用程式例.....
198	213
7.3.2 機器人語言 ...	7.3.4 精密裝配機器人NRC
199	-200(MODEL-B)
7.3.3 精密裝配機器人	的應用程式例
NRC-410(	215
MODEL-A)的	
7.4 生產系統與機器人.....	215
7.5 機器人用軟體的未來動向.....	219

第8章 機器人的進化222

8.1	現在機器人技術的地位·····	222
8.2	機器人世代論·····	223
〔1〕	第一世代的機器人 223	器人 ····· 224
〔2〕	第二世代的機器人 224	〔4〕 產業用機器人技術發
〔3〕	第三世代以後的機	展中應注意的事項··225
8.3	次世代產業用機器人的開發與系統機器人的概念·····	225
〔1〕	對作業機器人的需	概念····· 226
	要與其技術要素 ··· 225	〔3〕 極限作業機器人計劃
〔2〕	自立作業機器人的	的概要····· 228

第 1 章 機器人的背景與功能

本書主要解說構成產業用機器人的廣義機構（硬體、軟體）之現狀（state-of-the-art），除了狹義的機構外，也討論控制它的控制器及軟體，更述及左右今後機器人技術方向的感知器（sensor）。最後解說若干市售機器人的應用例。

本章先在計劃利用機器人進行自動化的立場、選擇機器人的立場、設計機器人的立場共通必要的預備事項。

1.1 自動化的需要

要求利用廣義機器人（機器人在一設備中所占比率可廣範圍變化者）進行自動化的背景有下列種種。

(1)來自勞動力供需的要求（量的方面）

先進國家的人口增加率持續下降，西元 2000 年以後會負成長，勞動力人口（15 歲到 64 歲稱為生產年齡人口）的總數也持續減少，職種轉換的可能性少，生產性有由高年齡層占主體的傾向。

為彌補支持經濟成長的勞動力之相對不足，自動化的必要性日高。

(2)來自勞動力供需的要求（質的方面）

支持產業界高度成長的技能勞動者在近年的低成長經濟中也顯不足，今後會更嚴重。

青年層的勞動價值觀變化、高中大學就學率上升，不良作業環境的勞動力不足、熟練勞動力後繼乏人，今後自動化投資的努力須彌補這些方面。

(3)改善生產性的要求

產業界的生產性可從勞動生產性與資本生產性兩方面考慮，勞動生產性可用物質勞動生產性與附加價值勞動生產性二尺度衡量。

支持日本經濟競爭力的勞動生產性（物質）的成長近年急速鈍化，

表 1-1 先進國家的勞動生產性比較

(人年基準, 變化率%)

	日本 (1980)	美 國 (1980)	西 德 (1979)	英 國 (1980)
每 1 人 (級 差)	100	139	119	84
GDP (年變化率)	3.3	2.0	2.6	1.9
國民生產性 (級 差)	100	140(196)	129	83
(年變化率)	4.0	0.7	3.5	1.4
農林水產業 (級 差)	100	391(532)	153	248
(年變化率)	4.0	0.6	5.0	2.9
鑛 業 (級 差)	100	71(67)	18	60
(年變化率)	5.6	-5.0	-6.5	12.2
製 造 業 (級 差)	100	100(111)	90	48
(年變化率)	6.7	2.5	4.3	1.8
電氣・瓦斯 (級 差)	100	93(122)	159	67
・自來水 (年變化率)	2.2	0.4	4.4	4.3
建 設 業 (級 差)	100	129(171)	154	106
(年變化率)	-0.2	-2.7	2.3	-1.6
運輸・通信 (級 差)	100	177(229)	167	102
・倉庫 (年變化率)	3.9	3.2	3.9	2.5
服 務 (級 差)	100	145(171)	141	88
(年變化率)	2.3	0.2	2.5	0.5

(注) ①西德爲 1979 年, 其他爲 1980 年, ②服務業爲商業、金融、不動產、服務業的合計, ③購買力評價是對應於 1973 年 GDP 的多國間比較方式, 1 美元 = 257 日圓, 3.09 西德馬克, 0.341 英鎊, ④括弧內爲人時基準

國際優越性下降(表 1.1)。

同時, 產業構造變化, 業種間的勞動生產性發生級差(圖 1.1), 對未來日本經濟全體的效率有不良影響, 日本難望藉移動勞動力獲得效果, 今後各業種都須改善。

資本生產性在國際上也顯著下降, 長期觀點的改善乃當前急務(表 1.2)

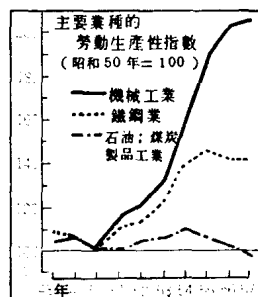


圖 1-1 主要業種之勞動生產性指數的推移

表1-2 日美製造業的總生產性與關連指標

(年變化率%, 1971-80年)

	日 本				美 國			
	勞 動 生產性	資 本 生產性	資本-勞 動比率	T F P	勞 動 生產性	資 本 生產性	資本-勞 動比率	T F P
製造業平均	7.0	-0.5	7.5	2.8	2.3	-0.3	2.6	1.6
食品製造業	5.5	-2.0	7.5	1.3	2.3	-0.6	2.4	1.6
纖維製造業	6.6	0.6	6.0	3.9	3.9	1.0	2.8	3.3
紙漿・紙	5.1	-4.2	9.3	-0.7	2.1	-1.4	3.5	0.9
化學工業	7.9	0.7	7.2	3.2	3.2	0.0	3.2	1.8
1次金屬工業	7.8	-1.7	9.5	0.6	-0.6	-2.6	2.0	-1.1
金屬製品製造業	3.5	-6.8	10.3	-1.5	1.7	-1.8	3.5	1.0
一般機器製造業	7.9	0.0	7.8	4.7	1.7	-0.3	1.9	1.2
電氣機器製造業	14.5	8.1	6.4	10.9	3.8	1.4	2.4	3.3
輸送用機器工業	8.3	0.9	7.3	4.4	2.0	-1.2	3.2	1.1
其他製造業	3.1	-4.6	7.7	-0.9	2.3	-0.5	2.9	1.6

表1-3 總要素生產性(TFP)的日美比較(年率%)

	日 本				美 國			
	勞 動 生產性	資 本 生產性	T F P	勞 動 分配率	勞 動 生產性	資 本 生產性	T F P	勞 動 分配率
國內私人企業部門的平均	4.7	-3.4	0.3	48	1.5	-0.2	0.8	61
農・林・漁業	3.6	-8.3	0.3	76	0.2	-3.7	-3.2	14
鑛 業	7.8	-0.7	1.8	31	-4.9	-2.3	-3.6	42
製 造 業	7.0	-1.4	2.4	49	2.7	-0.2	1.7	75
建 設 業	0.5	-8.5	-3.9	54	-2.6	-2.4	-2.8	76
電氣・瓦斯・自來水	1.9	-4.9	-2.2	44	1.3	-2.1	-0.9	40
批發・零售業等	4.1	-4.3	-0.3	51	1.7	-0.1	1.0	71
運輸・通信	3.5	-2.1	2.2	77	3.8	1.0	2.8	69
服 務 業	2.3	-5.3	3.1	31	0.8	1.2	1.1	47

勞動生產性=粗附加價值÷勞動(人時)

資本生產性=粗附加價值÷資本 stock

TFP=粗附加價值指數+[勞動投入指數(人時)×1973年的勞動分配率÷資本 stock指數×(1-1973年的勞動分配率)]

勞動分配率=1973年勞動費用對粗附加價值的比率

日本近年來的勞動力漸集中於服務部門，但這方面的日美生產性級差大，今後期待包括自動化的效率改善。

(4) 勞動安全的要求（表 1.3）

製造業的大出功機械、發生振動的機械之操作、高溫系統的作業、化學危險物的處理、建設業寒暑顯著的環境、高處、高噪音的作業等苛刻作業在勞動安全對策上的成本問題、後繼者難求的問題上，都期望自動化。

(5) 要求擺脫單調作業

不必判斷的單調作業使作業者不必力求熟練，缺乏邁向較高層次業務的意欲與能力。這些單調作業的自動化有經濟利益以外的效果。

(6) 要求極限作業自動化

人不易進行的作業之一為近年的半導體工業，諸如人手辦不到的微細加工、為防止人所產生的不純物混入、為降低成本而增高速度，自動化的巧拙影響事業的成敗。

災害現場的救人作業、高放射能場的檢查作業、太空、海中的作業等都是以往技術上不易自動化的分野。

(7) 要求通融性高的生產系統

一般置於生產線中的機器人比起設計成專用的周邊機構，有下示二特色。第 1，因是量產化的標準品，對潛在機能為低價格。第 2 是變更程式即可適用於異種作業。機器人部份可用為季節性改裝生產線的傾斜生產體制的核心單元，可緩和因製品壽命週期所致設備實質耐用年數縮短化的傾向。

(8) 要求生產與情報的一元化

在低成長經濟環境中，製造業的競爭力取決於是否能及時生產質量都符合用戶要求的製品。以最小時間差結合營業情報與生產，變更條件將是今後活用機器人軟體的方向。

(9) 第 3 次產業與機器人

不直接參與生產活動的機器人今後會很活躍，零售店舖的展示、對店內顧客配送訂購品等第 3 次產業將大大利用機器人。

(10) 要求改善品質

日本工業力的特色之一是製品品質良好而均勻，食品工業等以往不

用機器人的場所也出現機器人，可提供衛生、均質的製品。

以上列舉藉廣義機器人化進行自動化的需要，由其他觀點視其要因，則如下示

- ①可用人作業，但因經濟要因而自動化
- ②因社會要因而不易用人作業
- ③人不易或不可能作業

今後的機器人化除了技術會進步外，也會受社會背景變化的影響。

1.2 各系統的機器人化課題

日本產業技術振興協會問卷調查統計出下示機器人化課題。

- (1)裝配作業自動化系統
- (2)不良環境作業自動化系統
- (3)介助作業自動化系統
- (4)保全作業自動化系統
- (5)危險作業自動化系統
- (6)檢查作業自動化系統
- (7)搬送作業自動化系統

在此簡述檢查作業的自動化。

製造業的檢查作業為維持製品品質，在工程各階段發見不良或缺陷，以往依賴熟練的目視作業，但因製品的微細化、生產線的高速化，作業者的負擔增大，期望檢查自動化。判定主要依賴視覺的高度判斷，更須開發自動化。

1.3 機器人系統的要素技術與其課題

前述7項機器人化的課題中，目前尚無實用化者，這是由於各系統必要的要素技術中，技術尚未完成或無經濟效益。

圖1.2為構成機器人系統的要素技術。

表1.4，表1.5，表1.6為各分野的開發課題。

1.4 產業用機器人與安全

- (1)機器人的潛在危險性——能量的分類

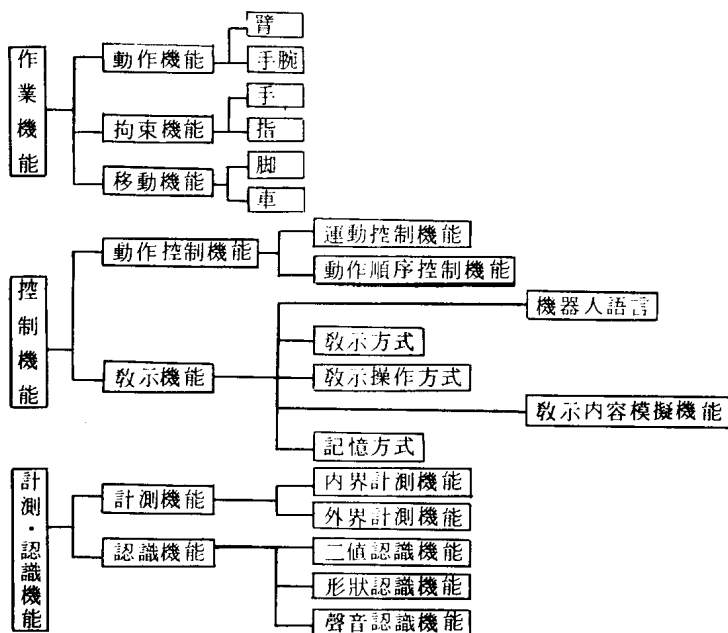


圖 1-2 機器人系統的要素技術

表 1-4 控制機能的開發課題

動作控制機能……	協調控制，分散控制，階層控制，遠隔控制，多變數控制，圓滑動作控制，學習機能，環境變化對應機能，問題解決智能機能
表示機能……	機器人語言
	容易的動作教示與修正方式
	教示內容的模擬

產業用機器人可取代以往人所做的危險有害作業，有助於作業的安全化，但機器人本身另有新的危險性。

機器人有下列四項特質時，可能有危險性

- ①有自由度大的臂時
- ②臂的出功大時
- ③藉程式自律控制時
- ④系統（包括環境）保有的能量

表 1-5 作業機能的開發課題

動作機能……	小形，輕量化	高可靠化
	高精度化	高出功化
	多自由度化	高效率化
	高剛性化	
	高速化	
拘束機能……	小形，輕量化	
	高精度化	
	多自由度化	
	可變扭矩化	
移動機能……	平面內移動機能	
	多段面移動機能	
	高侵入性	

表 1-6 計測・認識機能

計測機能……	測定機器人系諸物理量
	測定工件系的諸物理量
	看視機能
認識機能……	利用式樣匹配而認識
	抽出特色學習認識

人一機器人作業系統的潛在危險性可依能量形式分類如下

- ①位能……位置的能量、電能、高壓能
- ②機械性動能……與機器臂衝撞、放出工件
- ③生物、化學能……機器人導致可燃物氣氛着火
- ④熱能……接觸異常高低溫物
- ⑤放射能……曝露於紅紫外線、放射線

機器人系統的設計者及使用者要考慮系統萬一的異常狀態而設計及運用，分別講求對策。

(2) 機器人的潛在危險性——作業的分類

機器人的危險性不只在自動運轉中，也存在於機器人特有的教示作業中。

有危險性的作業可分類如下：

- ①搬運、設置作業……臂的鎖定不良、固定於地板面前滾倒
- ②設定作業……高處的定位、電源 ON 時的回路調整、變更程式後的動作等
- ③教示作業……用教示盒教示、提臂移動的直接教示等密切人一機器人系的作業
- ④試行作業……以異於教示的速度作業，人趨近觀察的實際作業
- ⑤起動作業……將按下起動鈕前，檢查危險領域

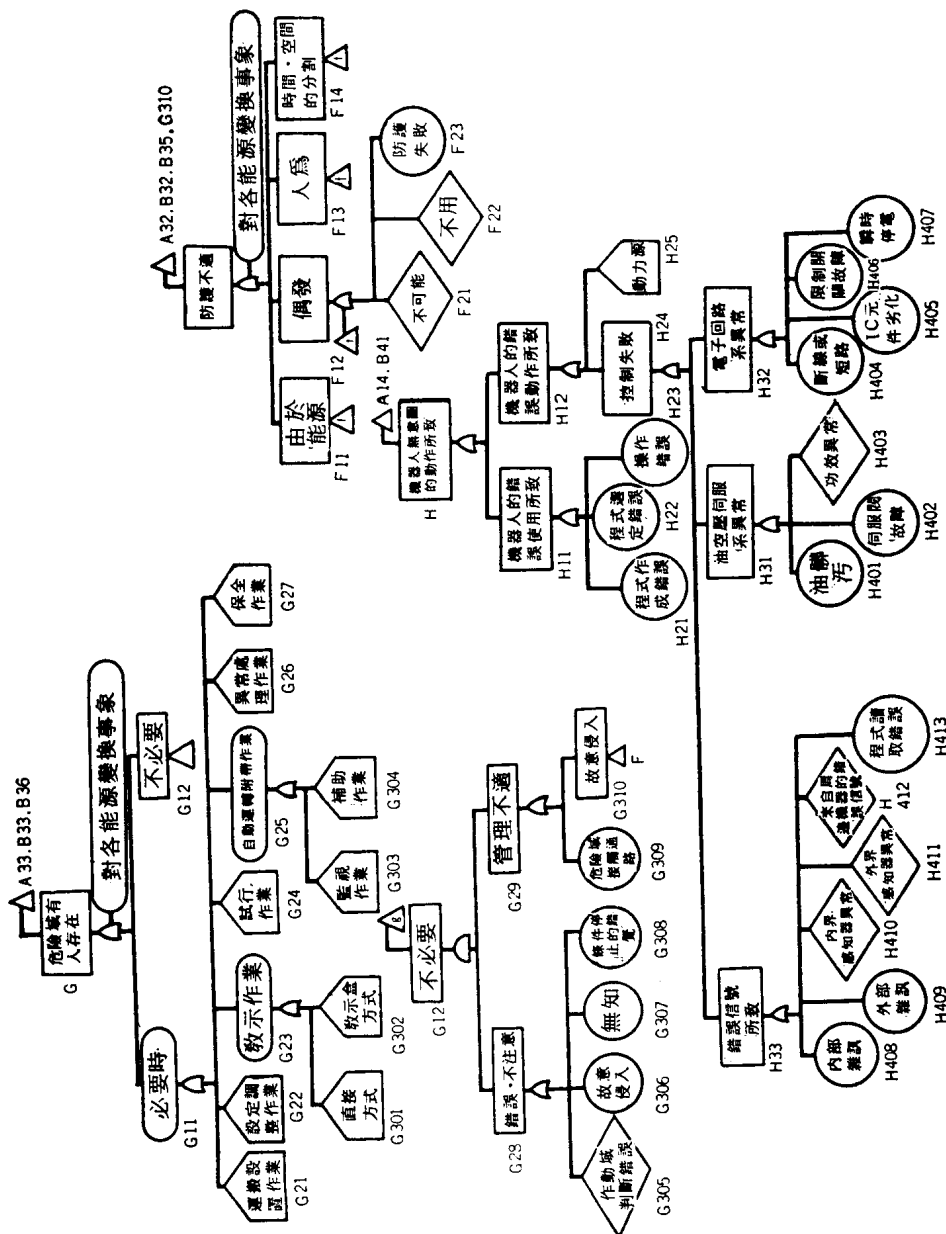


圖 1-3 (下續)