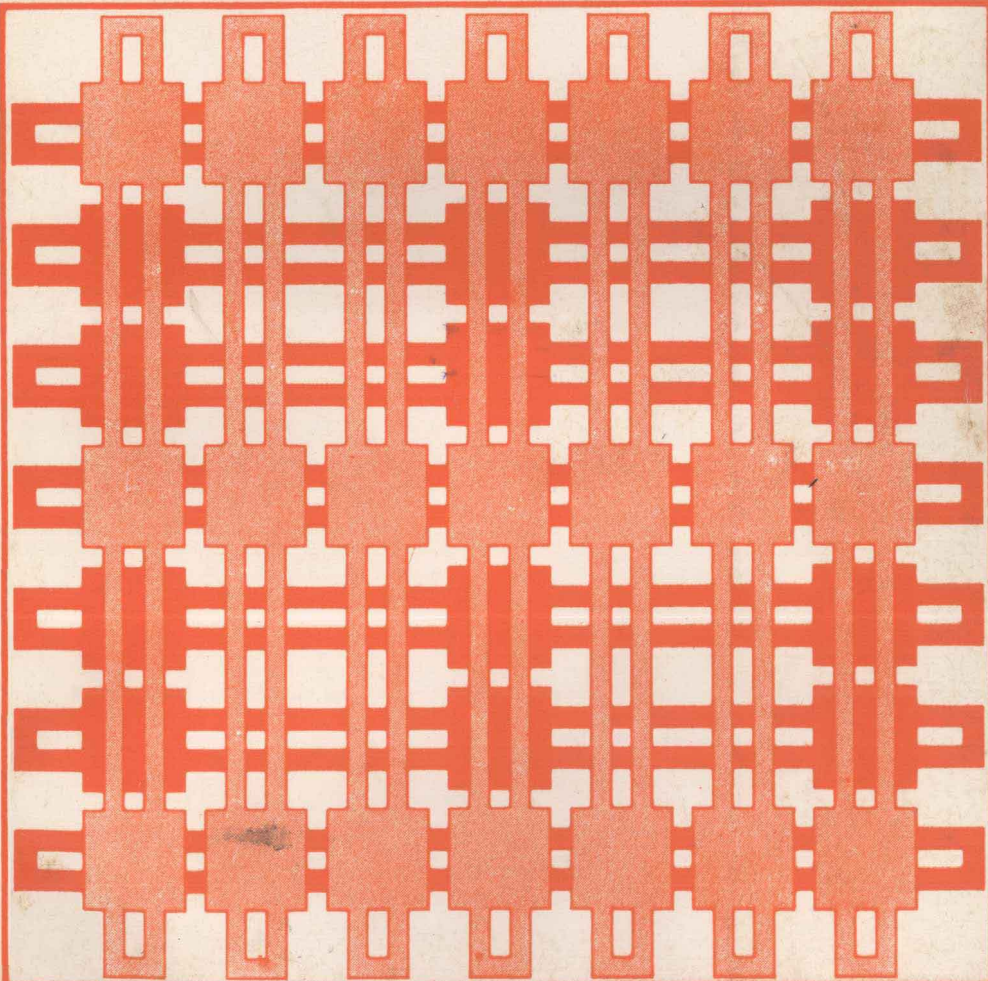


科技用書

微電腦工業應用技術

電氣学会 マイクロコンピュータ応用技術調査専門委員会 編

張明基譯著



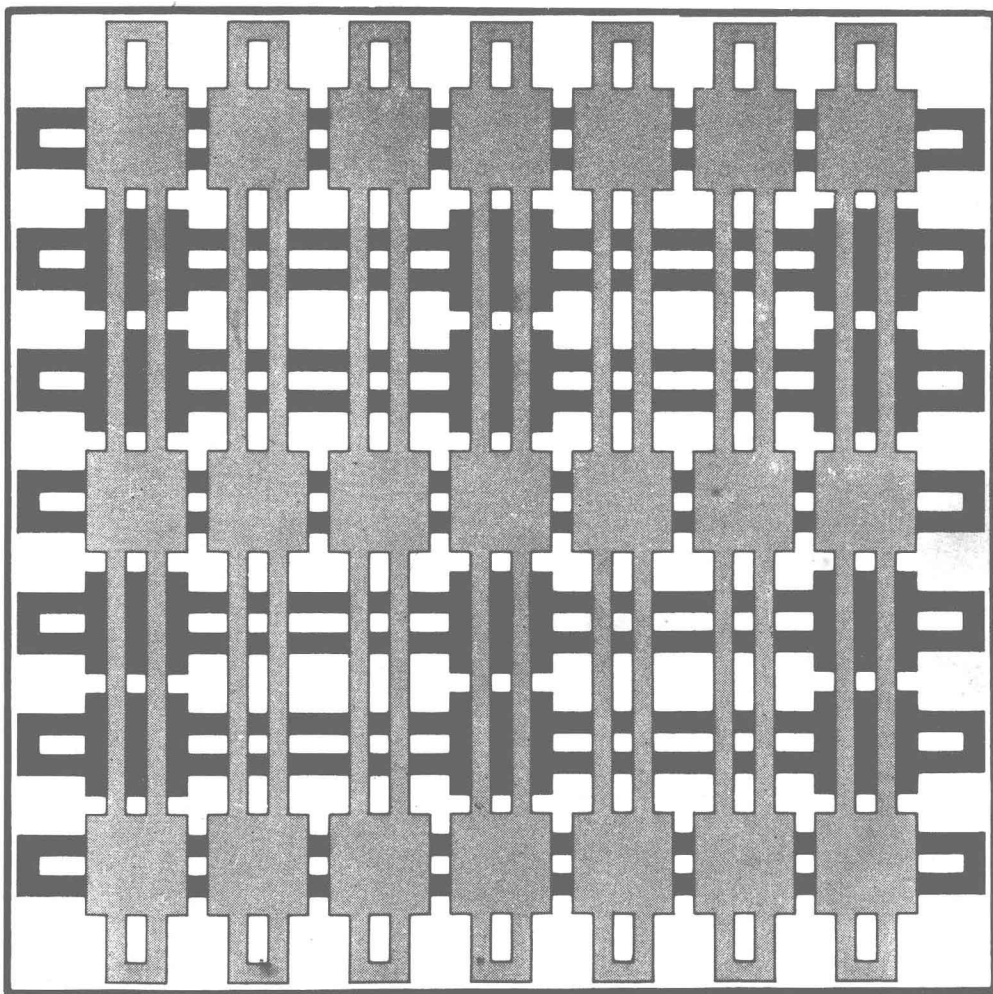
復漢出版社印行

科技用書

微電腦工業應用技術

電氣学会 マイクロコンピュータ応用技術調査専門委員会 編

張明基譯著



復漢出版社印行

版權所有
翻印必究

七十二年 五月一日出版

微電腦工業應用技術

原著者：日本電氣學會微電腦應用技術調查專門委員會

譯著者：張明基

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

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

日本經高度經濟成長為世界有數的工業國，GNP已占西方國家的第2位。支撐高度經濟成長的最重要技術之一為自動化技術。步入石油危機以後的安定成長期，仍藉高生產性、優秀品質維持日本超群之國際競爭力的是各企業的自動化技術、省力化技術。另一方面，由於省資源、省能源的觀點及國際企業的傾向，重新調整產業結構，日本今後為持續經濟的繁榮，須推展知識密集產業，計算機產業即其代表，由於日本努力積極追及歐美，軟、硬體都長足進步，而成世界一流的國家。

微電腦在控制系統的利用技術處於日本所須上示兩尖端技術的結合點，重要性可想而知，微電腦是近年電子技術—特別是積集化（積體化）技術的最大成果，有極小形、廉價，高性能的特色。急速滲透計算、事務處理、計測控制等擴大分野。也盛用為終端機，乃實現真資訊報化社會不可缺少的工具。

隨著控制對象的大規模化、複雜化、控制系統漸成利用計算機的數位控制。微電腦出現後，計算機介入計測控制機器，輕易實現高級而富融通性的控制、爆炸性推展數位化的動力。避免使用單一控制用計算機時的負荷集中增高高速性、安全性的分散控制方式也因微電腦的進步而實現。

由於大勢所趨，產業技術必然大量普遍採用微電腦，相關技術者須瞭解其趨向，進而適時加以利用。

本書由日本電氣學會的微電腦應用技術調查專門委員會動員群體力量，收集資料編輯而成，有助於讀者瞭解基本技術，把握現在的動向和問題、掌握未來的展望。

尤其電子資訊界得與工業生產體系界面接觸，為當今科技整合中重要的一環，願讀者善予重視，不然只為電腦而電腦，即無由為人類造福也。

微電腦工業應用技術 / 目次

第1章 總論	1
--------------	---

第2章 微電腦的硬體技術	5
--------------------	---

2.1 VLSI 技術與微電腦的結構	5
--------------------------	---

2.1.1 MOS VLSI 元 件技術的現狀與 動向	6	2.1.2 邏輯VLSI 設計、 檢查技術	8	2.1.3 微電腦的結構	12
---	---	--------------------------------	---	--------------------	----

2.2 微處理機的發展	13
-------------------	----

2.2.1 16bit 微處理機	15	2.2.2 32bit 微處理機	16
------------------------	----	------------------------	----

2.3 半導體元件的可靠性	18
---------------------	----

2.3.1 可靠性的動向與 範圍	18	2.3.5 半導體元件的可靠 性、集積化、成本 推移	26
---------------------------	----	--	----

2.3.2 半導體元件的故 障特色	19	2.3.6 從半導體元件的製 造立場看今後的問 題	28
----------------------------	----	---------------------------------------	----

2.3.3 半導體元件的故 障模式	21	2.3.4 增高半導體元件 可靠性	25
----------------------------	----	----------------------------	----

2.4 微電腦系統的性能評價與問題	28
-------------------------	----

2.4.1 前言	28	2.4.4 各種性能評價指標 與其問題	30
----------------	----	------------------------------	----

2.4.2 性能評價的目的	29	2.4.5 結語	33
---------------------	----	----------------	----

2.4.3 性能評價項目與 手法	29	2.4.4 各種性能評價指標 與其問題	30
---------------------------	----	------------------------------	----

2.5 微電腦應用系統的可靠性	33
-----------------------	----

2.5.1 PC 的可靠性	33	2.5.2 系統的構成	36
---------------------	----	-------------------	----

2.5.3 設置環境條件.....	38	2.5.4 故障診斷.....	39
-------------------	----	-----------------	----

第3章 控制用微電腦的軟體技術..... 40

3.1 控制用高級語言的動向.....	40
3.1.1 微電腦用高級語言的歷史	41
3.1.2 高級語言處理系的動作與要求條件	41
3.1.3 高級語言機能的概略	43
3.1.4 資料形式	45
3.1.5 演算、比較機能	46
3.1.6 程式構造	48
3.1.7 程式控制機構	48
3.1.8 實時控制機能	49
3.1.9 程式設計系統	50
3.2 高級語言在計測控制上的應用.....	51
3.2.1 計測控制用程式語言要求的機能	51
3.2.2 計測控制用問題語言實例	53
3.3 開發支持工具.....	57
3.3.1 軟體的開發方式	58
3.3.2 self 系的開發支持工具	60
3.3.3 CROSS 系的開發支持工具	63
3.3.4 incircuit emulator 用開發工具	64
3.3.5 動作系統	64

第4章 分散控制系的系統結構與要素 65

4.1 微控制器與 PC	65
4.1.1 控制用微電腦	65
4.1.2 PC	69
4.2 單一迴線控制器.....	74
4.2.1 類比調節計	74
4.2.2 利用微電腦的單一迴線數位控制器	76
4.2.3 單一迴線控制器的構成	77
4.2.4 內藏機能與程式設計	84
4.2.5 應用例	87
4.2.6 全系統的構成	88
4.2.7 單一迴線控制的今後發展	89
4.3 分散形控制系統.....	89

4.3.1 前言	89	4.3.4 構成系統的代表性 機能	91
4.3.2 計裝方式的推移	89		
4.3.3 分散形控制系統 的結構	90	4.3.5 分散形控制系統的 未來	101

第5章 控制Algorithm 102

5.1 利用微電腦的系統控制	102
5.1.1 數位系統控制與 控制理論	105
5.1.2 微電腦的處理能 實行時間的評價	107
5.1.3 控制 algorithm	
5.2 控制系的自動設計 (CAD)	110
5.2.1 前言	111
5.2.2 控制系設計理論	111
5.2.3 CAD 開發的現狀	115
5.2.4 DPACSF 的概要	117
5.3 自動調諧	119
5.3.1 前言	119
5.3.2 數位控制器的特 色	119
5.3.3 自己調諧的概念	122
5.3.4 方法 1	122
5.3.5 方法 2	123
5.3.6 方法 3	124

第6章 對產業系統的應用 125

6.1 對生產系統控制的應用動向	125
6.1.1 應用分類	125
6.1.2 市場動向	126
6.1.3 應用形態	126
6.1.4 應用系統構成法	127
6.1.5 應用上的問題	130
6.2 汽車生產設備的微電腦應用	131
6.2.1 在機械加工組合 工程的應用	132
6.2.2 對可撓性自動化 的應用	134
6.2.3 汽車的裝配與生 產管理	137
6.2.4 汽車的試驗和檢 查	140
6.3 對鐵鋼業的應用	141
6.3.1 鐵鋼製造設備的 微電腦使用狀況	142

6.3.2 對熱軋工廠的應用例	143	6.3.3 對焦炭製造設備的應用例	148
6.4 對電力事業的應用	152		
6.4.1 微電腦與電力事業	152	6.4.3 保護繼電裝置	155
6.4.2 微電腦在電力事業的應用	153	6.4.4 蒸氣輪機的升速、負荷控制	159
		6.4.5 資料中繼裝置	161
6.5 對水處理廠的應用	163		
6.5.1 前言	163	6.5.6 最適控制	168
6.5.2 對水處理廠的應用形式	164	6.5.7 自動調諧	169
6.5.3 順序控制	166	6.5.8 人機介面	169
6.5.4 感知器	167	6.5.9 階層控制方式與控制器	170
6.5.5 DDC	167	6.5.10 結語	171
6.6 對功率電子機器的應用	171		
6.6.1 功率電子機器分野的特色和應用	171	6.6.2 系統控制機能的擴大與對閘控制	175
6.6.2 系統控制機能的擴大與對閘控制		6.6.3 對電動機速度控制系的應用	175
6.7 對熔接的應用	178		
6.7.1 前言	178	6.7.3 今後的課題	185
6.7.2 應用例	179		
6.8 對圖形認識的應用	185		
6.8.1 前言	185	6.8.3 微電腦的應用例——膠囊檢查器	187
6.8.2 圖形認識的應用分野	186	6.8.4 結語	195

第7章 歐美應用微電腦的現況

第1章 總論

以電子桌上計算機邏輯回路的LIS化發端的Intel 4004 (MCS-4)出現以來，經過10年多，80年代可說是以微電腦為中心的微電腦電子工學導向時代。在數量上，各種民生用機器利用的LSI平均存在於家庭中的數量已超過冰箱、洗衣機、空調等所用小形電動機在家庭內的總數。

微電腦 (micro computer) 的直譯為“超小形計算機”，但實際上，微電腦的應用形態與其說是進行數位計算等的計算裝置，不如說是以邏輯判斷為中心的控制裝置 (事實上，有的微電腦不具備乘除算命令)，現在所謂的main frame電腦也常是，由多部微處理機複合構成，雖不能遺漏微電腦當成計算處理要素的用途，不過，本書重視微電腦控制機能的活用。本章就產業用微電腦應用技術，概述硬體技術、軟體技術、控制技術及應用事例。

微電腦技術的進展在硬體方面，與邏輯回路的積體化技術 (LSI技術，VLSI技術) 密切關連。從第1代的4004等微處理機到最近集積40萬~60萬電晶體 (gate數10萬~20萬gate) 的VLSI元件，積體化技術顯著進展，約每2年就增高2倍的集積度。gate速度也以同樣的比率高速化，出現1ns/gate程度的單晶方 (one-chip) 微電腦。積體電路 (IC) 的製造技術也從初期的PMOS變遷為nMOS或CMOS。

此種大型積體電路的開發當然需要龐大人力 (man power)，中型LSI (1萬~2萬電晶體) 是100人月，大型VLSI (10萬~20萬電晶體) 是1000人月。此種規模單靠人海戰術必然吃力，邏輯回路的模擬或佈置 (lay-out) 設計以使用電腦補助設計 (CAD, Computer Aided Design) 系統為前提。

在結構 (architecture) 上，素來以8bit, 4bit為主流，如今，高性能的長bit微電腦已漸一般化。目前，16bit或32bit的微處理機

也有的將現在小型電腦的 CPU 單晶方化者，不過，最近發表的大都是在結構上有獨自的方式，特別是 Intel 公司的 IAPX 432 (3 - chip 構成，稱為 micro main frame) 等大幅採用微程式方式，將 operating 系統，高級語言 (Ada) 等積體化而內藏，through-put 方面也超越中型 main frame 電腦。

至於軟體技術，早期微電腦的應用上，數體以對應於 Assembler 語言等命令 set 的低級語言作成。當時，微電腦本身的能力也低，位地址間也有限，所以認識高級語言的必要性，也開發 PL/M 等微處理機用者，不過 Assembler 語言為主流，至今仍有此傾向。特別是 8bit 時，高級語言處理系有時也超過記憶空間。除了開發 cross 之外，不可能正式使用 compiler 語言，唯一的例外是控制用 BASIC，這不是 compiler 語言，不過，隨 BASIC 本身的一般化，儘管有缺點，仍用於計測或簡單的控制應用。控制用的應用軟體開發用程式設計 (Programming) 語言經可行構造化程式設計，file 處理，I/O 處理，module 別分割 compile 機能等，real time (實時) 處理，擠入 (斷續，interrupt) 處理機能須優秀。

目前也常將 BASIC、FORTRAN 等慣用語言用於微電腦，也檢討依據逆伯里希記法的 FORTH、PASCAL、Ada、C 等有近代程式設計概念的語言系。前述的 iAPX 432 預定採用 Ada，以 BASIC 使外部副程式 (CALL 文) 可能化的工業用 BASIC — 特別是將 PL/M 擴張為順序控制用者 (PL/H-C)，以 PASCAL 為基礎而便於控制用者 (WEMAP) 等泛用語言處理系也祇擴張為控制用。另也整理 Fill-in-the- FORM 等問題用語言。

軟點開發效率依存於程式設計語言，支援軟體開發的各種 Support tool，以目的系統本身開發軟體的方式不需特別設備，不過，通常效率差，需要專用的軟體開發系統 (MDS)。通常用與目的系統之微處理機異種的上位電腦系統，開發軟體 — cross 方式。特別是在於控制用系統中，有與控制對象輸出入資料或時限 (timing) 等問題，用直接模擬所用微電腦之命令實行機能的 ICE (in circuit emulator) 較方便。

其次從各種角度檢討實際系統控制中微電腦的應用形態。產業系統控制應用微電腦時，最能發揮微電腦特色的是順序控制用 PC (Progra-

mmable Controller)〔又稱PLC(Programmable Logic Controller)〕。占生產現場自動化中心角色的順序(Sequence)控制以前是用繼電器回路,70年代後改爲用IC的無接點繼電器,PC將此邏輯回路置換爲微電腦,增高機能。這由美國General Motors公司催生。現在已有以通信回線結合PC間的大規模生產線用控制系統。

活用微電腦特色的另一代表性系統控制應用例有程序(process)控制的各種數位控制器。以後,程序控制是以PID(比例、積分、微分)調節計爲代表的類比計裝方式爲主流,後來,改用以微電腦爲核心的分散形數位計裝控制系統,因其與管理用數位電腦的通信機能、控制algorithm的高度化、分批控制與連續控制(DDC,Direct Digital Controller)可混存,人機介面機能等方面較優秀。這是總合監視控制數Loop乃至數十Loop的控制Loop,特別是控制一個程序變數的數位控制器稱爲單一迴線數位控制器(SLDC,Single Loop Digital Controller),爲分散形DDC的極限,或取代類比調節計。這些都是將控制algorithm機能模組化者組合而成,使計裝技術者無特別的數位電腦知識,也可接受。

但目前已可廉價取得處理能力不亞於main frame的微電腦,控制方式,控制algorithm都能充分活用微電腦的能力,特別是在控制理論方面,從現代控制理論的立場,開發各種高級控制(advanced控制)的algorithm,檢討實用化。但在程序控制的分野,素來的類比PID三項動作方式有長年實績,在前述的分散形計裝控制系統中,控制algorithm以PID爲基礎,將它變形、擴張若干者占大部份。但是,本質上安定性有問題的系統,有較長浪費時間的系統等只靠PID控制器的參數調整(tuning)得不到所望控制性能時,雜音多的系統,控制對象的變動大而要求系統同定的系統等,以微電腦實行advanced控制、各種推定,同定機構,可得較好的控制成效。也研擬所需控制系的電腦補腦用設計系統(CAD)。

微電腦的應用範圍單在產業系統分野也很分歧,不可能一一詳述,系統控制(所謂的自動化)可分爲控制連續系統的程序自動化、以不連續、離散性加工處理的製造工程爲對象的製造自動化(manufacturing automation)(包括material handling的控制),各典型的控制器

爲前述的分散形DDC與PC。本書所舉的代表性應用例有：汽車產業、鐵鋼業、電力事業、水處理場、功率電子工學、熔接、圖形認識等，介紹應用實態，它們對其他產業分野的應用也有共通的要素，可掌握微電腦的應用上的代表特性。

微處理機技術的進展無止境，最近積極採用於辦公室自動化分野，其利用技術或一般化所致成本的低廉化也回饋到產業系統控制分野，也密切關連通俗技術。現在的產業系統擺脫個別控制特定物理量的階段，成爲將計算機技術，控制技術，通信技術一體化的總合系統，相信在不久的將來，微電腦會宛如電阻，電容器之類電路元件，普遍應用。

第2章 微電腦的硬體技術

2.1 VLSI 技術與微電腦的結構

1971年美國 Intel 公司開發 4bit 微電腦以來，由於 MOS 半導體技術的進步，開發很多微電腦。圖 2.1 的橫軸為年次，縱軸為相對性能，表示 10 年來開發的代表性微電腦等級。

由圖可知微電腦在結構上朝向 1) 低成本、多機能化、2) 高性能、高機能化，3) 專用化。微電腦的開發史即為 MOS LSI 技術進步史。本節從 1) 裝置技術，2) 設計、檢查技術研討邏輯用 MOS 半導體技術，並介紹微電腦結構的特色及今後的發展方向。

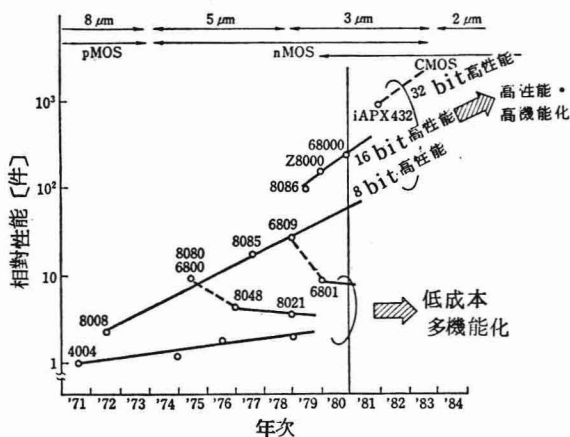


圖 2.1 微電腦的開發歷史與動向（微電腦的歷史為 MOS LSI 技術的歷史，分為高性能化與多機能化）

2.1.1 MOS VLSI 元件技術的現狀與動向

評價邏輯MOS VLSI 技術的代表性指標為在1晶方(chip)上集積化的元件數(電晶體數)與gate速度。圖2.1的微電腦開發史從4bit開始,推展為8bit,16bit,32bit結構,微電腦的性能逐年高速化,圖2.2表示各年度代表性微電腦的集積度〔電晶體數/晶方〕與gate速度〔ns/gate〕的實績。

由圖2.2看來,支持微電腦開發的MOS技術在集積度,性能都以約2倍/2年的比率進步,假定未來仍保持此比率,1986年將實現集積度 6×10^5 電晶體, gate速度0.7ns/gate的單晶方微電腦。

6×10^5 電晶體相當於 $10^5 \sim 2 \times 10^5$ gate程度的規模, gate速度0.7ns/gate(實裝狀態的速度)為今日ECI級的速度。

目前MOS LSI的技術進步得力於①微細加工技術,②從pMOS往MOS的裝置變遷。

在微電腦出現當時,為 $8\mu\text{m}$ 技術時代,亦即形成MOS的channel長 L_g 為 $8\mu\text{m}$ 的時代。

後來依據scaling理論一在橫、縱方向都比例縮小MOS構造,增高

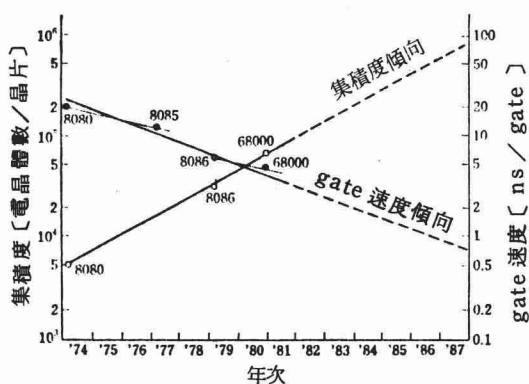


圖 2.2 微電腦的集積度gate速度的實績與傾向,集積度〔電晶體數/晶片〕gate速度都以約2倍/2年的比率進步

集積度和性能，致力於縮小化。

圖 2.3 假定 $5\mu\text{m}$ 、 $2\mu\text{m}$ 、 $1\mu\text{m}$ 各微細化技術，例示縮小化的程度，8bit 微處理機 i8080，M6800 等使用 $5\mu\text{m}$ 技術，已成 1 世代前的技術。今天的尖端技術製品大都用 $3\mu\text{m}$ 技術，目前尚無用 $2\mu\text{m}$ 技術的製品，尚在研究開發階段。

從 pMOS 變遷為 nMOS 主要實現高速化，微處理機當初是用 pMOS 技術，1974 年起採用 nMOS，至今大部份微處理機也採用 nMOS。比起 pMOS，nMOS 的 carrier 移動度約高 1 位數，適於高速化。但主流的 nMOS 也有問題，因隨著上述 scaling 技術所致的高積體化，每 1 晶方的消費電力成大問題，nMOS 任何回路的動作都有電流的直流經路，若增高 1 晶方的集積度，晶方消費電力當然成為問題。對此 nMOS 問題，最近很受注目的是 CMOS 技術。已有數種單晶方微電腦採用 CMOS，比起 pMOS，nMOS，CMOS 在回路中無電流的直流經路，可構成低電力回路。此特色在高集積 VLSI 時代為決定性的優點，可望為未來微電腦的主要技術。

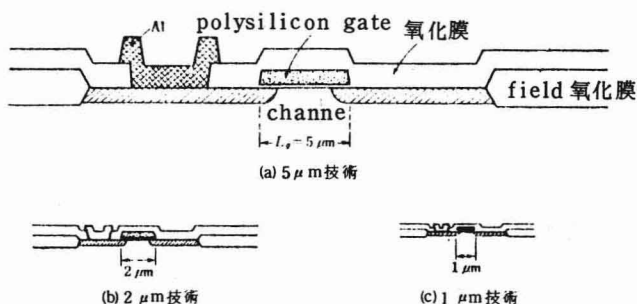


圖 2.3 從 scale 律所看 MOS 斷面構造的縮小（依 scale 律增高集積度，但相對於 $5\mu\text{m}$ 技術， $2\mu\text{m}$ ， $1\mu\text{m}$ 已很小形）

scaling 技術目前在 $3\mu\text{m}$ 時代，筆者預測 $2\mu\text{m}$ 技術最快要 1983 年商品化， $1.0\sim 1.5\mu\text{m}$ 技術最快 1986～1987 年商品化。圖 2.4 是保持微電腦集積度傾向（圖 2.2 的集積度直線）等，對各 channel 長（ $2\mu\text{m}$ ：1983 年， $1\sim 1.5\mu\text{m}$ ：1987 年）表示晶方內 gate 的遲延時間。

(1) nMOS 由於消費電力的限制， $3\mu\text{m}$ 技術（1980 年～）以後有性能飽和的傾向，gate 速度以 $3\text{ns}/\text{gate}$ 為界限。

(2) CMOS 在消費電力方面很有前途，性能在 $2\mu\text{m}$ 技術可達成 $2\text{ns}/\text{gate}$ ， $1\sim 1.5\mu\text{m}$ 技術可達成 $1.5\text{ns}/\text{gate}$ ，但只靠 scaling 技術無法保持一貫的性能傾向。

(3) nMOS 依據 scaling 技術在 1986 年可實現集積度 6×10^5 電晶體，gate 速度 $3\text{ns}/\text{gate}$ 的微電腦。

(4) CMOS 在 1986 年可實現集積度 6×10^5 電晶體，gate 速度 $1.5\text{ns}/\text{gate}$ 的微電腦，但晶方尺寸為 nMOS 的 $1.2\sim 1.3$ 倍。

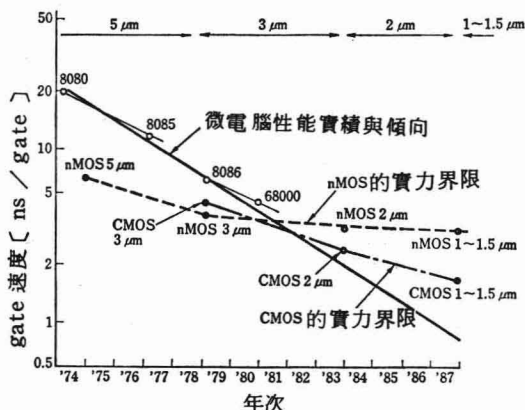


圖 2.4 微電腦性能實績與傾向，scaling 技術所致 MOS 性能的界限（將來在消費電力上，CMOS 較有利）

2.1.2 邏輯 VLSI 設計、檢查技術

以微電腦代表的邏輯 VLSI 之開發需要長時間，衆多設計者，龐大費用，特別是未來開發高積體化微電腦時，除了前述的 VLSI 元件技術外，本項的設計，檢技術也是一大技術障礙。圖 2.5 是開發 1 個邏輯 VLSI（2 萬電晶體級）時的手續與各階段必要的人口比率（以全體為 100），圖 2.6 是 Intel 公司報告開發 VLSI 所需人口的關係，亦即， $10^4\sim 2\times 10^4$ 電晶體級中型 LSI 需要 100 人月， $10^4\times 2\times 10^4$ 電晶體級的大型 VLSI 需要 1000 人月（83 人 $\times$ 1 年），如此，開來無法開發邏輯 VLSI。

解決問題的關鍵為 CAD, DA 的實用化, 邏輯模擬、回路模擬、邏輯證明、LSI artwork 等已由製造廠提供很多優秀的 CAD、或各廠獨自開發、已供實用化, 但有關 LSI 開發, 最需入口的設計開發內容為 layout (佈置), layout 在 CAD、DA 中為最困難的技術, 因而, 實用化最慢。

目前開發 LSI 的人手 layout 可分為若干階層, 最基本的階層是連接 MOS 電晶體構成回路, 一般稱為 cell layout, cell 的規模小自 1 個基本 gate, 大至數百 gate。次一階層是多種、多個 cell 彼此連接構成的複合 cell, 一般稱為 block layout。用配線連接多個 block, 才完成 LSI 的 layout。就現狀的 CAD 看來, 上位階層的 CAD (或 DA) 大都

比基本階層的 CAD 接近實用化。最近, 稱為 STICKS 的 CAD 是人與電腦對話而裝入電晶體, 人擔當 topological 設計, 電腦擔當 spacing 合成 (遵守 layout 規則, 裝入電晶體)。block 間的配線在基本上類似將素來大型電腦 package (印刷板) 上配線自動化的 DA, 在 LSI layout 上也不少接近實用化。

自動配線所致晶方面積的增加無法一概定量化, 一般為利用人手的 layout 之 40~50%。

比起素來的邏輯回路 (Bode 邏輯) 試驗, VLSI 試驗無法經由有限支數的 pin 端子輸入資料或觀察邏輯的內部狀態, 極度複雜化, 試驗效率也低。不過, 目前 1 晶方集積化的邏輯規模受限於集積度, 故屬可

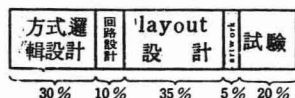


圖 2-5 邏輯 VLSI 的開發手續與各開發階段的必要人月比率 (layout 和試驗為將來技術瓶頸)

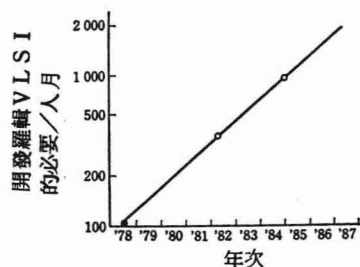


圖 2-6 開發邏輯 VLSI 必要的人月之推移