

科學技術用書

機械工學

電子計算機應用

工學博士

谷口 修監修

玉手 統校閱

復漢出版社印行

中華民國六十八年七月一日出版

機械工學電子計算機應用

原著者：谷

口

修

譯著者：孫文成、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

地址：台南市安平路五五六號

打字者：克林照相植字排版打字行

地址：台南市海安路和平街一二七巷二號

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

版權所有
翻印必究

平裝 一〇〇元
精裝 一五二元

出版者言

現代科技的進展，步調急速，其未來前景正快速膨脹向着更廣更深的領域擴張。就以發明蒸汽機到展現太空船，這中間科學經驗中資訊的累積，新的理論與新的技術發展多如汪洋大海，而科學技術新進展乃在一日千里。科學從業人員真不知由何著手駕御之。幸而電子計算機為科技人員提供新知識的“鞍具”，讓科技人員得以駕驅科學新知。但是有“鞍具”是一回事，如何使用“鞍具”是另一回事，本社為讀者提供一套此“鞍具”的使用法。

本社在此以前，已出版了不少種“電子計算機”有關的書籍，具教學及參考價值，不僅蒙廣大讀者群爭相採用，也博得不少的好評。而本書之出版，我們也覺得深具意義，因為，本書雖然也是一本教學教材，或參考書，由於原著為日文本，當前日科技用書的一般特點，是配合新的學術知識而求其實用性，因而本書在此時提供給讀者們，至少顯現以下優點：

- ▲ 本書具備學術的普遍性，本書的編寫，顧到電子計算機及其操作使用，並有全般性的討論，故本書也可以採用為電子計算機教學的基本教材。
- ▲ 本書有實際上應用價值：一般電子計算機有關的書籍，不論其區分為工程或商用，都以計算機本身為主，而本書由計算機本身之討論為出發，而導引至機械工學的學者如何使用計算機為目的。透過解題方法，實用例題和練習題，對大專機械工程相關科系的教學，確有由理論到實用的境地。
- ▲ 對於現在已從事機械工程的人員，本書更是一冊好的指導書供您透過電子計算機去解決實際問題。

本社前已出版電子計算機方面的書，一併刊列如下，或許也能提供一些參考上的助益！

電子計算機語法

電子計算機PL/1語法

簡易COBOL語法

電子計算機科學

電子計算機基本工學

8080 A/8085 微電腦組

合語言程式計劃

計算機組織與微程式計劃

數位系統設計基本原理

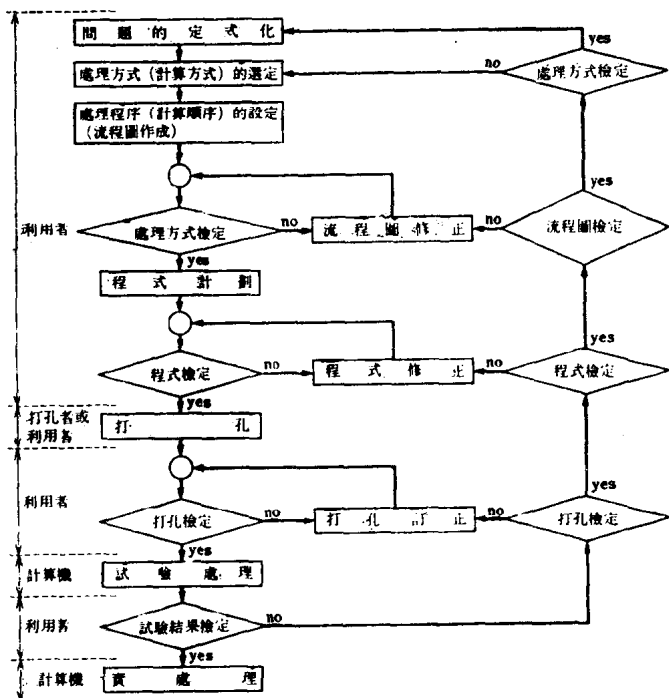
數位原理與應用

數位邏輯與計算機操作

電子計算機數值分析及應用

序

本書的特性有二：其一，提供讀者從設計上瞭解電子計算機及周邊機器，敘述計算機及周邊機器的構造，機能及設計上的問題與相關的研究成果。其二，利用計算機解明機械工學の各種問題。亦即為利用計算機進行數值計算及資料處理的入門書，以大學工學院及工專機械工學科的學生為主對象，考慮這些機械技術者工作時接觸計算機的形態，兼述未來可能的發展。



各章的執筆者分別為

第1章及第7章 坂田眞人（大型計算機中心研究開發部工學博士）

第2章 松田孝子（大型計算機中心研究開發部）

第3章 高橋理（大型計算機中心研究開發部長）

第4章～第6章 阿部博之（東北大學助教授，工學博士）

第8章 大泉充郎（電通大學教授，工學博士）

本書所用的計算機一詞是指電子性數位、程式記憶方式資料處理機械爲中心的資料處理系與其利用技術（硬體與軟體）全體。程式計劃語言以FORTRAN爲主。第4章以下的數值計算方法以流體力學、熱傳導學、材料力學（構造力學）、振動學等爲例題。

從利用計算機處理問題的觀點來看計算機時，計算機的特色爲高速動作、記憶正確、忠實再現等，可忠於利用者的指令，但不會瞭解利用者的意向而補指示之不足，也不會修正指令內容的錯誤，所以，能否充分發揮計算機的能力，問題都在利用者。

將某問題的處理視爲利用者與計算機的共同作業時，可由作業的流程瞭解利用者與計算機間的作業分擔，圖中爲一般問題處理作業的流程，利用者分擔的作業占很大的份量，而且內容爲處理方式的選定、處理作業進行順序的設定、處理結果正否的判定、更正指示等高級頭腦勞動。

本書以用計算機處理問題時利用者分擔作業的必要事項爲主內容。若能燃起讀者利用計算機的意欲，適切活用計算機，促進科學技術的發展，則屬本書執筆同仁殊榮。

1979年

編者

機械工學電子計算機應用

目 次

第 1 章 電子計算機	1
1.1 計算機概說	1
1.2 計算機系統	9
(1) 語言處理程式	9
(2) 工作處理與動作系統	11
(3) 計算機系統的構成	13
1.3 邏輯演算	15
(1) 情報的記憶單位	15
(2) 演算邏輯回路	18
(3) 機械命令與實行	21
1.4 程式計劃語言	23
第 2 章 程式計劃語言FORTRAN	28
2.1 程式的構成要素	28
(1) FORTRAN用文字	28
(2) 符號名	28
(3) 資料的型式	28
(4) 算術式	31
(5) 文與文的番號	32
2.2 文	35
(1) DIMENSION文	35
(2) 算術代入文	36
(3) 輸入出用文	37
(4) STOP文	45
(5) GO TO文	46
(6) IF文	46
(7) DO文與CONTINUE	48
(8) DATA文	52
2.3 程序	53
(1) 文函數	54
(2) 函數副程式	55
(3) 副常式副程式	57
(4) 與副程式授受資料	60
2.4 程式的構成與實例	62
習題二	66
第 3 章 利用計算機的數值計算	67

3.1 資料的內部表現	67
3.2 誤差	69
(1) 捨入誤差	70
(2) 截止誤差	75
3.3 數值積分	77
(1) 梯形公式	77
(2) Simpson $\frac{1}{3}$ 公式	79
習題三	83

第4章 行列・聯立1次方程式 84

4.1 聯立1次方程式	84
(1) 行列(矩陣)	84
(2) Gauss 的消去法	89
(3) 逆行列	85
(3) 行列式	89
例題 4.1 平面構架的解析	89
例題 4.2 平面 frame 的解析	93
4.2 大聯立1次方程式	96
(1) 反覆法	96
(2) 帶對角行列的方法	97
(3) wave front (波	98
前)法	98
(4) block 消去法	99
4.3 行列的固有值問題	100
(1) Danilevski 法	100
(2) Householder 法	111
(3) 冪乘法 (power method)	111
・QR法	104
例題 4.3 多自由度質點彈簧系的固有振動數	113
習題四	115

第5章 微分方程式 117

5.1 差分近似	117
5.2 常微分方程式	122
(1) 初期值問題	122
(2) 邊界值問題	129
例題 5.1 梯形散熱片的輻射傳熱	131
例題 5.2 圓板的彈塑性彎曲	132
5.3 橢圓形偏微分方程式	134
(1) 用差分法的解法	134
(2) 利用有限要素法的解	137
(3) 固有值問題	137

5.4 非橢圓形偏微分方程式.....	146
(1) 熱傳導方程式.....	146
例題 5.3 軸對稱熱傳導問題.....	150
(2) 黏性流動的方程式.....	152
問題.....	155
(3) 波動方程式的初期值.....	
習題五.....	157
第 6 章 代數・超越方程式.....	160
6.1 Newton-Raphson 法.....	160
例題 6.1 直交異方性圓筒曲面板因外壓所致的挫曲.....	162
6.2 Hitchcock-Bairstow 法.....	166
6.3 平野晉保的方法.....	170
6.4 係數的誤差.....	173
習題六.....	175
第 7 章 或然率及統計.....	177
7.1 擬似亂數與 Monte Carlo 法.....	177
(1) 均勻擬似亂數的生成.....	177
(3) 任意分佈亂數.....	180
(2) 亂數的檢定.....	179
(4) Monte Carlo 法.....	181
例題 7.1 使用準亂數進行下示的多重積分.....	185
7.2 模擬.....	185
例題 7.2 單一窗口等待行列模型 (圖 7.2).....	186
7.3 統計計算.....	189
(1) 直線適用.....	189
析.....	191
(2) 最小平方方法與回歸分.....	
例題 7.3 重回歸分析.....	192
習題七.....	196
第 8 章 計算機應用的展望.....	198
8.1 應用範圍與其展望.....	198
8.2 應用的形態與其展望.....	201
(1) 用為奴隸.....	202
(3) 用為教師.....	203
(2) 用為顧問.....	202
習題解答.....	207

第 1 章 電子計算機

用計算機為數值性科學計算的工具時，常用FORTRAN作成程式而計算，利用者只要知道如何作成程式交給計算機，求得所希望的結果即可，至於具備計算機內部邏輯及組織之知識並非必須條件。1.1 說明何謂程式，處理程式用的處理機（processor）概要，所以，只關心數值計算の利用者在1.1之後，瞭解第2章用FORTRAN寫程式的方法即可。對計算機暗箱內如何組織化，以何種邏輯動作有興趣的人可由1.2，1.3得概略的頭緒。計算機的應用不限於數值計算，也可處理文字資料或圖形等非數值資料，1.3，1.4簡單說明這些應用所用的輸入出機器或語言。

1.1 計算機概說

計算機（computer）通常指利用電子（electronic）的數位（digital）及程式記憶式（stored program）的計算機械。本書即討論此種計算機。計算機處理的對象為數值或文字系列等的情報，本質上異於變動能量的引擎或馬達。數值為情報的代表，以數字表現數值時，稱為以數位（digital）表現。以長度或電壓等物理量表現數值時，稱為類比（analogue）表現。用數位表現法的優點是容易記憶數值（通常為情報），而且可以任意位數表現數值。例如 π 值可求到10萬位以上。

計算機的構成元件利用二極體、電體、IC等電子半導體元件才能滿足計算處理的高速性、高可靠性及大量生產的經濟性，也是計算機普及社會的大要因，現在的計算機每秒可進行 $10^5 \sim 10^7$ 次加減乘除演算，而且幾無錯誤，這種卓越的數值計算能力遠非人類所及。

計算機的能力取決於計算機可對何種指示反應及其指示的組合可解何種問題。利用者委託專家解問題時，因專家對解題法有高度知識，可用最適當的解法導出所希結果，甚至指出問題不完全的地方。計算機對

此則毫無專門知識，只忠實執行使用者的指示，指示內容為四則演算或比較二種數值等簡單的基本操作。下面舉例說明如何使計算機計算問題。

例 1.1 試求各邊長 5, 6, 7 的三角形面積。

因計算機不懂中文，無法直接瞭解題意，利用者須先研究如何計算，此計算方法及手續稱為演算法 (algorithm)。

因已知三邊長，故可用赫隆公式，設三邊長為 a , b , c ，則赫隆公式設，

$$d = \frac{a + b + c}{2}$$

面積 S 成為

$$S = \sqrt{d(d-a)(d-b)(d-c)}$$

依據此公式，例如分解為下列指示。

- ① 設 a , b , c 的值各為 5.0, 6.0, 7.0。
- ② 計算 $\frac{a+b+c}{2}$ ，以其為 d 值。
- ③ 計算 $d(d-a)(d-b)(d-c)$ ，以其為 e 值。
- ④ 計算 $\sqrt{e}$ ，以其為 S 值。
- ⑤ 印出 S 值。
- ⑥ 計算終了。

FORTRAN 處理機可進行①~⑥的操作，不過其指示為數學式表現法，可用的文字只有大寫的英文字母、數字及 +, -, *, /, = 等記號，所以變數 a , b , c 改稱 A , B , C ，②的指示須寫成下示的一行

$$D = (A + B + C) / 2.0$$

+, / 記號與數學上的加算，除算符號同義，但記號 = 為代右邊式中值代入左邊變數之指示，並非數學上表示同值的等號。④指示的 $\sqrt{\quad}$ 記號無法使用，故以 $f(x)$ 函數表示法寫或 $S = \text{SQRT}(E)$ 。

```

A=5.0
B=6.0
C=7.0
D=(A+B+C)/2.0
E=D*(D-A)*(D-B)*(D-C)
S=SQRT(E)
WRITE(6,60) S
STOP
60 FORMAT(1H0,F15.2)
END

```

■ 1.1

SQRT () 指示求 () 內式子值之平方根，故此例須以圖 1.1 的形式計算。處理機可解讀的指示種類、表現規則詳第 2 章。如此圖所示，精密記述計算作業手續者稱為程式 (program)，作成程式之事稱為程式計算 (programming)。例 1.1 用赫隆公式為最適當的計算方法。對問題應採用何種演算法乃計式計劃上須詳研的課題。不適當

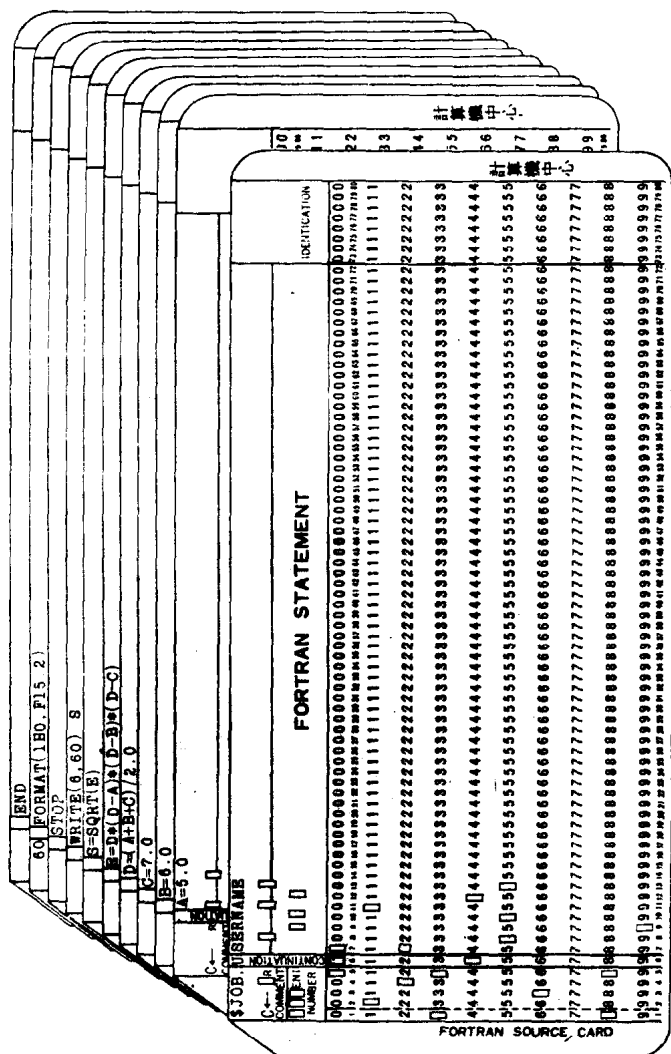


圖 1.2 卡片組一例

的演算法不只增加程式計劃的勞力，有時也造成不正確的結果，所以第3章以後說明數值計算——特別是機械工學問題的演算法。

程式通常寫於程式計劃用紙，紙上的程式常打孔於卡上（punch card），圖1.2的卡片組（card deck）成為計算機的輸入（其他的輸入出媒體詳1.2），卡片組的第1張卡片打出利用者的名字或特別番號等情報，以使該程式有別於其他利用者的程式，將印刷委託計算的程式或計算結果的印刷用紙分界，以免誤交他人，此卡片通稱控制卡，卡片形式因計算機或計算機中心而異，必要的卡片張數未必只1張。卡片組構成的程式由卡片讀取機讀入計算機內，圖1.3為卡片讀取機一例。另一方面，印刷程式表及計算結果的一系列印刷用紙成為計算機的輸出，圖1.4為印刷用輸出機器之代表的線印刷器（line printer）一例，前言中有程式計劃作業及處理手續的全體流程表。計算機的輸入為程式及資料（data），輸出為計算結果或錯誤電文（error message）的輸出。

程式表示的指示總括讀入於計算機內，將程式記憶於計算機內，依程式的指示自動處理，這大異於珠算或電動桌上計算器的計算。如此記

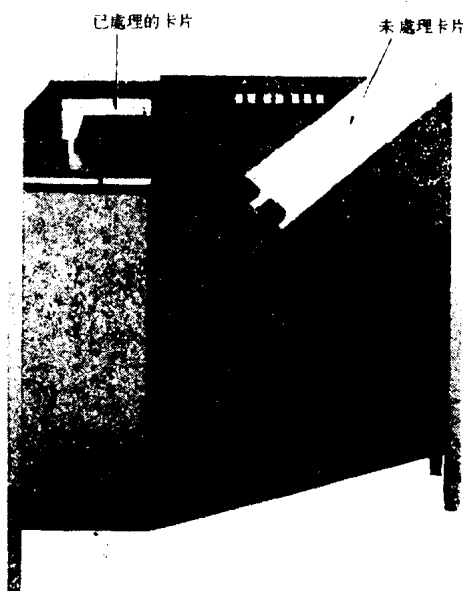


圖1.3 卡片讀取機

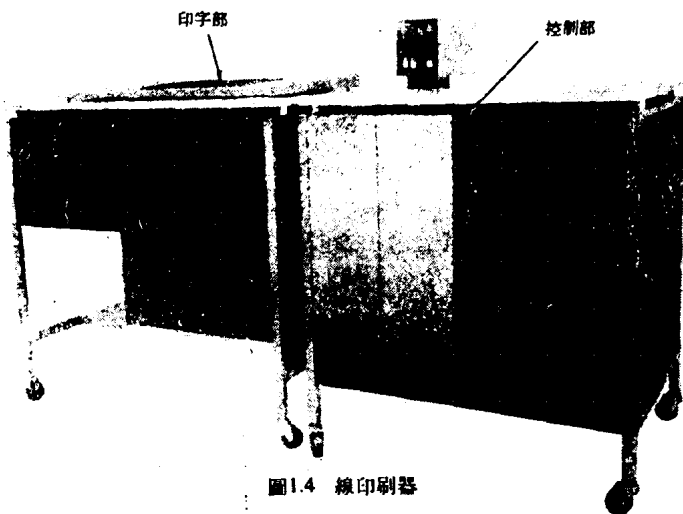


圖1.4 線印刷器

憶程式而處理的方式稱為程式記憶式。記憶程式而自動處理表示將逐次操作機械的繁雜工作機械化，利用者只須專心於以計算機可解讀的語言記述欲解的問題，雖可能是複雜的演算法或計算量多的程式，但總可正確高速計算。而且，程式若能將計算的數值或參數有別於後述的資料部份，則第二次以後，只須變更資料部份，簡化作業。

以 FORTRAN 計算數值時，不必瞭解輸入計算機內的程式如何處理或計算結果如何輸出。但是，先瞭解計算機為 FORTRAN 處理系 (processor) 暗箱時，在程式計劃上有益，FORTRAN 處理系先調查送入計算機內的程式有無錯誤，例如在程式例 1.1，若寫成

$$D = A + B + C) / 2.0$$

則處理系無法有計算什麼的高級判斷，無法判斷右式某處缺少“(”或插入不必要的“) ”，所以輸出錯誤電文，結束處理。將此例的文法錯

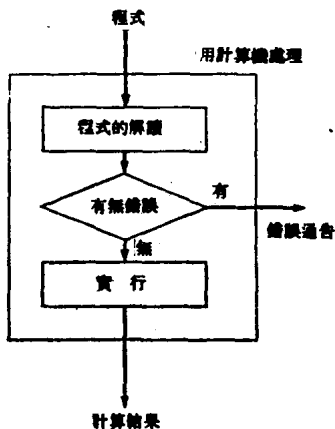


圖1.5

誤或將 $D = A + B + C / 2.0$ 改成 $D = (A + B + C) / 2.0$ 的作業稱為去錯 (debug)。程式若無不明確處，則處理系記憶程式上的所有變數 A, B, C, D, E, S 值，各變數各有記憶一數值的邏輯記憶單位——記憶胞 (memory cell, FORTRAN 稱為記憶單位 (storage unit))，為了簡單起見，記憶變數 A 值的記憶胞簡稱 cell-A，每 1 記憶胞可嚴密記憶 1980 或 -9 等整數，但 $1/3$ 或 $\sqrt{2}$ 等實數記憶成 0.333333, 1.41421356 等 10 進 (或 2 進等) 近似值。圖 1.1 程式最後的 END 行是通知處理系程式終了，其他行稱為文，文是解讀程式時的基本單位。

在開始計算的狀態，未決定變數 A, B, C, D, E, S 的值，故無特定值進入各記憶胞。

處理系先解讀程式的最初文 $A = 5.0$ ，此文指示 5.0 值為變數 A 的值，故將 5.0 值存入 cell A，接著依序解讀 $B = 6.0$, $C = 7.0$ 文，則 cell A, B, C 分別記憶 5.0, 6.0, 7.0。cell D, E, S 尚未存入數值，以 $D = (A + B + C) / 2.0$ 的文從 cell A, B, C 讀出各值，計算 $(5.0 + 6.0 + 7.0) / 2.0$ ，將其值 9.0 存入 cell D。其後依序實行而得 $E = 216.0$, $S = \sqrt{216.0} \div 14.6969 \dots$ 。其次的 WRITE (6, 60) S 指示將記憶於計算機內的變數 S (cell S) 值輸出於外部媒體。

此文除了指示應輸出的變數外，也須指定以何種形式輸出於何一輸出裝置。WRITE (6, 60) 的番號 6 通常表示此輸出裝置為線印刷器，番號 60 指示依 60 號的 60L FORMAT (...) 文中 (...) 的指示輸出變數 S 的值。第 2 章說明如何寫 (...)。依此指定可將變數 S 的值控制為 14.697 或 14.7 或寫成下式而便於看清輸出結果。

$$S = 14.7$$

有此輸出後，解讀次後的 STOP 文，結束計算。

在圖 1.1 的程式中，三角形的三邊長以程式內的文表為 $A = 5.0$, $B = 6.0$, $C = 7.0$ ，若可從程式外部輸入這些數值，則不變更程式，即可以數組數值計算。從外部對程式賦予資料可視為將計算機內部變數值輸出於印刷用紙的相反動作將變數 A, B, C 值打孔於輸入媒體 (卡片)，例如以下示的文可讀取卡片上的數值，

```
READ(5,50) A,B,C
```

打出數值等資料的卡片稱為資料卡 (data card)，資料卡張數也可為複數張。程式需要資料時，在圖 1.2 的卡片組之後，以資料卡片組輸入，不過，為了區別程式部份與資料部份，有時要以特別的卡片介入其間。

通常程式內文的實行順序並非圖 1.1 的程式那麼單純，常須依某計算的值之大小，然後進行不同的計算。文的實行順序若無特別的指示，通常實行某文後，其次實行的文為以程式記載的次行所寫的文，處理系有在某時點指示解讀實行文的指示器 (indicator)。另一方面，程式的文可附註文番號，例如

```
IF(E.GT.0.0) GOTO 100
```

上文表示 E 值大於 0.0 時，其次實行文番號 100 的文，若不滿足條件，則實行程式內次行的文。所以處理系解讀 IF (...) 的 () 內條件

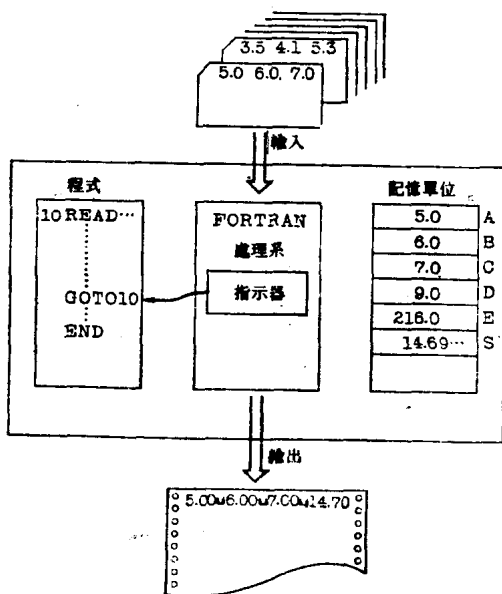


圖 1.6

E.GT. 0.0 (E is greater than 0.0), 亦即判定變數E (cell E) 的值是否大於 0.0, 若滿足此條件, 則解讀右方的 GO TO 100, 此 GO TO 100 爲了在其次實行文番號 100 的文, 將指示器移到文番號 100。GO TO 100 也可寫爲一文, 此時, 無條件接着實行番號 100 的文。下以例題討論這些文如何解讀實行程式。

例 1.2 如圖 1.6 所示, 讀取在 1 張卡片打出三角形三邊長的複數張資料卡, 試求各組的面積, 但三邊長不能形成三角形時, 結束計算。

求此例面積的計算手續與例 1.1 相同, 不同的是依數組資料反覆此計算手續、檢查三邊長度是否矛盾、從卡片讀入資料等, 二邊長之和大於第三邊長的條件可表成。

$$e = d(d-a)(d-b)(d-c) > 0$$

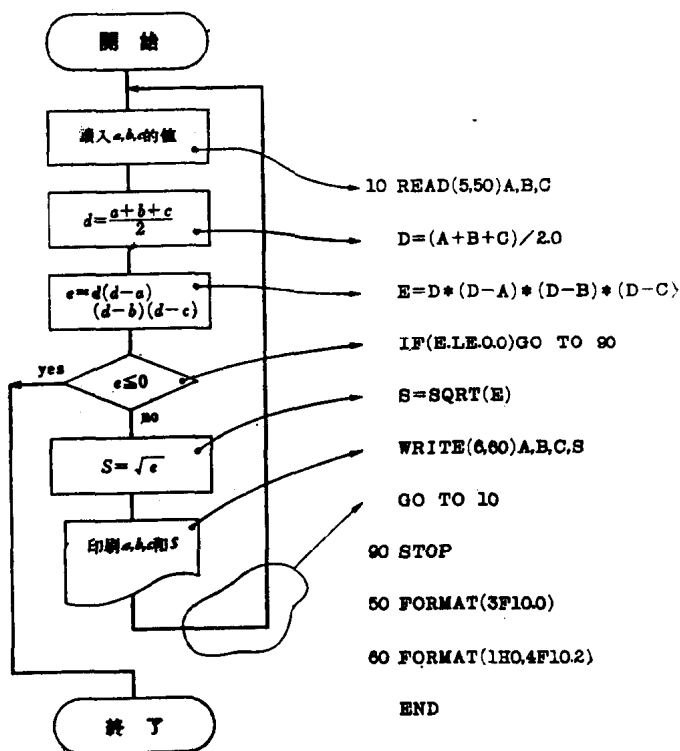


圖 1.7

圖1.7的流程圖為例1.2對處理系的指示，流程圖便於程式計劃。

處理系處理此程式時，以最初的READ文讀取資料卡片組的第一卡片數值，將其值送入cell A, B, C, 接著求變數D, E值，以其次的IF文調查E值是否為負或零，在圖1.6的最初資料中，因E值為214.0，不滿足條件，實行其次的 $S = \text{SQRT}(E)$ 文，以WRITE文印出結果。若實行其次的GO TO文，則文番號10的最初READ文成為其次實行的文。實行READ文，一度被讀入的資料卡片從資料組除去。

所以再實行READ時，實際讀入的數值為第二張資料卡上的數值3.5, 4.1, 5.3, 分別記憶於cell A, B, C, 實行此READ文前記憶的數值5.0, 6.0, 7.0被捨棄，置換為3.5, 4.1, 5.3, 這在以下實行 $D = (A + B + C) / 2.0$ 文時也同樣，變數D (cell D) 的值從9.0置換為6.45。如此讀入一組資料，對該資料求面積S, 印出結果，此計算反覆進行到E值成為負值或零。

在這些程式處理中，FORTRAN處理系的功能大別為：

① 從記憶胞讀出常數或若干變數的值，進行計算，將結果代入某變數的演算處理。

② 調查變數值，控制程式內文之實行順序，或STOP之類結束計算等程式控制。

③ 從資料卡片等外部媒體，讀入資料，將值送入記憶胞的輸入處理。

④ 將結果送出於印刷用紙等外部媒體的輸出處理。

計算機還須有記憶程式或數值的機能，所以計算機的基本機能要素有記憶、演算、控制、輸入、輸出。

1.2 計算機系統

(1) 語言處理程式 FORTRAN之類以使用者易用的語言寫成的程式稱為來源程式 (source program)，使用者解問題用的此種程式稱為問題程式。FORTRAN處理系逐次解讀實行來源程式的文，但不易製作直接解析這些文的機械。通常的計算機可直接解讀實行的指示為計算機固有的單純動作指示，此指示稱為機械語 (machine language)，機械語由指示演算及其他動作的基本單位——命令 (