

コンピュータ
サイエンス
シリーズ

数値制御のソフトウェア

研野和人著



数値制御のソフトウェア

研野和人著

産業図書

< 著者略歴 >

とど の かず と
研 野 和 人

昭和24年 東京大学工学部卒
工業技術院機械試験所入所
昭和36年 工学博士
昭和43年 同所物理制御部長
現在に至る。

数値制御のソフトウェア

定価 1600 円

昭和45年2月27日
昭和46年7月5日

初 版
第 2 刷

© 1970

著 者 研 野 和 人

発 行 者 森 田 勝 久

発 行 所 産業図書株式会社

東京都千代田区外神田 1-4-21

郵便番号 101-91

電話 東京 (253) 7821 (代)

振替口座東京 27724 番



乱丁本・落丁本はお取り換え致します。

文弘社印刷・関口製本

ま え が き

1970年代は、わが国の国際的な地位も高まり、先進国の仲間入りをする年代といわれる。重化学工業中心の資本集約型産業から、アセンブリ工業中心の研究集約型産業への移行が、わが国にとって直面する課題となったことを意味するものである。

第1次産業製品をプロダクトするプロセスは、しだいに大型化、オートメ化が進行し、先進諸国に匹敵するまでの近代化が達成されつつある。しかし、わが国の70年代の担い手と目される第2次産業製品である電気機械、一般機械、輸送機械、精密機械をプロダクトするアセンブリ工業は、大型化、オートメ化の緒についた段階にあるといっても過言ではない。

少ない部品でアSEMBルされる製品生産技術から、多部品製品生産技術へと進行するに従って、構成部品は多様化し、製品の機能は複雑化するとともに、ハードウェアとしての加工技術よりも、むしろ部品を構成し、組立てるソフトウェア技術がクローズアップされてくる。

アセンブリ工業（機械工業）の生産額は、昭和43年に約14兆円をうわまわり、同年の実質国民総生産の約3分の1に達した。国民総生産が10年前の約3倍になったのに比し、機械工業の生産は約6.6倍という急速成長を示している。高い成長率を示すアセンブリ工業は、70年代に向かって、労働力不足に対する適応性（省力化）と国際化への適応性を持つ必要があり、コンピュータの導入によって大幅な変革が可能であると期待されている。

個々のハードウェア・サイエンスの発達を織物の縦糸にたとえるならば、これらの糸を横からたくみに連係し、調和させながらみごとな織物をつくりだすソフトウェア・サイエンスの展開によって、機械工業の生産性の向上はもちろん、従来のパーツ・メーカの域を脱却し、あわせてシステム化への実現が見込まれるわけである。

約15年前に機械試験所において行なわれた工作機械のオートメーションの特別研究

が、現在開花し、最近、省力化の担い手としてその重要な位置を占めるにいたった。しかし現在までの数値制御工作機械の開発研究は、ハードウェアに重点がおかれていて、ソフトウェアの観点からの研究は軽視されてきた。

1969 年の国際生産者加工会議(CIRP)主催のコンピュータの機械工業への応用に関する 세미나、国際自動制御連合(IFAC)と国際情報処理連合(IFIP)との共催の数値制御のソフトウェアに関する会議において、数値制御を生産システムの中でとらえるべきことが討議され、つぎのような IMS ということが定義された。

「IMS は Integrated Manufacturing System の略である。IMS はクローズド・ループのシステムであり、その入力は製品の要求(ニーズ)と製品のコンセプトであり、その出力は十分に検査され実用しうる完成品である。IMS はソフトウェアとハードウェアとからなり、その要素には生産のための

設計(デザイン)

生産計画(プロダクション・プランニング)

生産管理(プロダクション・コントロール)

生産用機器(機械やコンピュータ)

加工プロセス(切削、成形、組立)

がある。IMS はシステムズ・エンジニアリング的アプローチにより実現され、融通性のあるオートメーション化と最適化の可能性をもっているシステムである。このようなシステムを完成する道具は、コンピュータに関係したテクノロジーである」。

この IMS の中核技術が数値制御のソフトウェアなのである。

IMS のコンセプトは、各国の数値制御のエンジニアやコンピュータのエンジニアに強い刺激となった。システムの志向から機械の研究をみなおし、70 年代の機械工業のシステム化の先導的役割を果たすことが、ソフトウェア・エンジニアの直面するひとつの課題となりつつある。

とくにハードウェアは特許料だけ支払えば技術の導入ができるが、ソフトウェアには特許権が与えられないために、ソフトウェアの技術の導入は資本や人材の導入によってしか実現できないという点を重視する必要がある。70 年度のコンピュータのコストは 70% がソフトウェアのコストになるであろう。数値制御を中核とする生産システムのコストも、ソフトウェアの占める比率が増大することになるものと期待される。

アメリカのシンク・タンクである IITRI (イリノイ工科大学の研究所)、イギリスの

NEL（国立機械技術研究所）や PERA（プロダクション・エンジニアリング研究組合）、スウェーデンの国立機械技術研究所や生産技術研究所などが、数値制御のソフトウェアの研究を進めつつあるのも、上記の理由からである。

本書は、数値制御のソフトウェアとは何かを知ってもらうためにまとめたもので、大部分は、数値制御工作機械用のソフトウェアである APT（Automatically Programmed Tools）についてのべた。現在約 2000 台の数値制御工作機械が実用化されているものの、まだ十分に将来を見通した利用技術（ソフトウェア）の重要性は認識されていないようであるが、本書の読者であるようなシステム志向のエンジニアの重要度が叫ばれる日が 10 年先にはやってくるであろう。

APT の言語の利用という低いレベルの解説書に終わらぬように、第 7 章にはさらに高いレベルの言語についてもふれている。同時に全体を通じてコンピュータの中での言語の処理の概念にもふれ、コンピュータを含めた機械や生産システムにおいて、人間と機械との会話の手段に必要であるマン・マシン・システムのソフトウェアを理解する上に役立つように細心の配慮を行なって執筆したつもりである。

本書の読者の対象は、機械工業の情報化の担い手となることを志向するエンジニアで、大学を卒業後、ある程度のコンピュータや数値制御についての実務経験者である。しかしこの程度のことが大学などの 세미나 で討議されるような日もそう遠くはないのではなかろうか。

本書を書き終えてから、筆者は 3 ヶ月余にわたって欧米諸国の機械工業の情報化についてのシステム工学的接近を調査する機会を得た。この調査から、機械試験所におけるこの方面の研究は、今後さらに重要性がましてくるものと予測している。現在微力ながら機械工業のシステム化について研究を行なっているが、本書においてつくせなかった、さらに高いレベルのソフトウェアを含めて、いずれ

「システム設計のためのソフトウェア」

といったテーマのもとにまとめてみようと考えている。

昭和 45 年 1 月

研 野 和 人

目 次

1. 数値制御機械概要	1
1.1 数値制御機械の種類	1
1.2 NC 機械の原理	3
1.3 指令パルス発生器	7
2. NC テープ上の情報	11
2.1 NC テープにおけるコード	11
2.1.1 EIA コード	11
2.1.2 ISO コード	11
2.2 NC 機械の座標軸の記号と運動の向き	13
2.3 NC テープのフォーマット	18
2.3.1 アドレス	18
2.3.2 ブロック	18
2.3.3 ワード	19
2.3.4 送りと主軸回転速度のコード化	20
2.3.5 特殊機能を示すキャラクタ	21
2.3.6 フォーマット・スペシフィケーション	22
2.3.7 G と M のコードとその機能	24
2.4 NC テープの作成	29
3. NC テープの自動作成のための APT システム概要	31
3.1 APT の研究開発	31
3.2 APT 言語によるパート・プログラム	33
3.2.1 ジオメトリ・ステートメント	35

3.2.2	カット・ステートメント	36
3.2.3	モーション・ステートメント	36
3.2.4	パート・プログラム	38
3.3	APT システム	39
3.3.1	セクション 1	39
3.3.2	セクション 2	42
3.3.3	セクション 3	43
3.3.4	ポストプロセッサ	44
3.3.5	APT IV	44
4.	APT 言語とその構文の意味	47
4.1	超言語表現	47
4.2	基本記号	48
4.2.1	APT 言語	48
4.2.2	文 字	48
4.2.3	数 字	48
4.2.4	区切り記号	48
4.3	名前, 数, 記号列	49
4.3.1	名 前	49
4.3.2	数	49
4.3.3	記号列	50
4.3.4	注 記	50
4.4	式	50
4.4.1	変 数	50
4.4.2	関数呼出し	51
4.4.3	算術式	51
4.4.4	ジオメトリック式	51
4.5	文	53
4.5.1	代入文	54
4.5.2	カット位置ぎめ文	54
4.5.3	明確な位置ぎめ文	54
4.5.4	連続運動起動文	55
4.5.5	連続運動文	56

4.5.6	シーケンス制御文	57
4.5.7	ポストプロセッサ制御文	58
4.5.8	手続き文	58
4.5.9	入出力制御文	59
4.6	宣 言	59
4.6.1	配列の宣言	60
4.6.2	座標変換の宣言	60
4.6.3	Z平面の宣言	61
4.6.4	手続きの宣言	61
4.6.5	APT 用語のワードのよびかえ宣言	62
4.6.6	カッタ・オフセット計算の宣言	62
4.6.7	向きの宣言	62
4.6.8	計算パラメタ宣言	63
4.6.9	許容誤差規定	63
4.6.10	カッタの形状規定	64
4.6.11	計算定数制御	64
4.6.12	工具位置宣言	65
4.7	超言語表現	65
5.	APT 言語とその意味	67
5.1	APT 言語のワードと同義語	67
5.2	カッタ・モーションに関するステートメント	68
5.2.1	許容誤差	68
5.2.2	ツール・エンド	70
5.2.3	初期位置指定とスタート・アップ	70
5.2.4	INDIRP と INDIRV	74
5.2.5	SRFVCT	75
5.2.6	PS と DS に対するカッタ位置	75
5.2.7	連続運動文	77
5.2.8	位置ぎめ運動用	79
5.3	ジオメトリック式	80
5.3.1	POINT	80
5.3.2	LINE	80
5.3.3	CIRCLE	80

5.3.4	PATERN	84
5.3.5	VECTOR	87
5.3.6	PLANE と ZSURF	87
5.3.7	CYLINEDR	88
5.3.8	ELLIPS と HYPAB	88
5.3.9	GCONIC	88
5.3.10	CONE	89
5.3.11	LCONIC	89
5.3.12	SPHERE	90
5.3.13	QADRIC	90
5.3.14	TABCYL	92
5.3.15	MATRIX	94
5.3.16	RLDSRF	95
5.3.17	TRACUT	97
5.3.18	REFSYS	98
5.4	繰返しプログラミング言語	99
5.4.1	ルーピング	99
5.4.2	無条件ジャンプ	101
5.4.3	MACRO	101
5.4.4	COPY	105
5.5	POCKET	106
5.6	5 軸 NC 機械用プログラミング	109
5.6.1	MULTAX	109
5.6.2	TLAXIS	109
5.6.3	VTLAXS	111
5.6.4	リニアリゼーション	113
5.7	ポストプロセッサ	114
5.7.1	共通のポストプロセッサ・ワード	115
5.7.2	使用 NC 機械に特有なポストプロセッサ・ワード	116
5.8	関数計算と算術演算	123
5.9	ジオメトリの標準形	124
6.	カッタ軌跡の計算法 (ARELEM)	127
6.1	ARELEM とは	127

6.2 スタート・アップの問題	127
6.2.1 解析的アプローチ	128
6.2.2 イテラティブ・アプローチ	128
6.3 連続運動の問題	130
7. NC 用人工言語のプロセッサとオンライン APT	135
7.1 オンライン APT システム	135
7.2 AED アプローチとは	137
7.3 ある実験	138
7.4 プロBLEM・ソルビング・プロセスの4つのフェーズ	140
7.5 AED-1 コンパイラ	144
7.6 AED RWORD システム	146
7.7 AEDJR システム	147
7.8 NC ソフトウェア用のコンパイラ・コンパイラ	152
7.8.1 人工言語の例	152
7.8.2 上手な人工言語の定め方	157
7.8.3 システム・プログラム	158
7.8.4 GULP の概要	162
7.8.5 ASP 7	171
7.9 INSCAN	171
7.10 オンライン APT	174
7.11 実験の答	175
8. AUTOSPOT, 2CL, EXAPT 言語およびその他の言語	177
8.1 AUTOSPOT	177
8.1.1 ツール・ステートメント	177
8.1.2 基準点	178
8.1.3 深穴加工とチップ・ブレイク	178
8.1.4 クリアランス	179
8.1.5 ジオメトリの定義	179
8.1.6 加工ステートメント	185
8.1.7 加工作業名	186

8.1.8 障害物からの回避	189
8.2 2 CL	190
8.2.1 カッタ	190
8.2.2 ジオメトリ	190
8.2.3 運動文	200
8.3 EXAPT 1	202
8.3.1 工作物の記述	202
8.3.2 加工作業の定義	203
8.3.3 座標系の変換	206
8.3.4 テクノロジカル情報	207
8.4 EXAPT 2	210
8.5 その他の言語	222
8.5.1 FAPT	222
8.5.2 HAPT	224
8.5.3 ARP-III	227
8.5.4 LOFTRAN, KFAPE, その他	230
9. 機械工場の無人化計画	231
9.1 多種少量生産のシステム化	231
9.2 システム化の必要性	236
9.2.1 スポットの NC 機械の限界	236
9.2.2 スポットの NC 機械の経済性	238
9.2.3 機械工場のコンピュータ・コントロール化	239
9.3 NC 機械群の群制御の諸実例	241
9.3.1 VMM 1	241
9.3.2 システム 24	243
9.3.3 OMNICONTRON システム	246
9.3.4 FANUC システム	248
9.4 鉄道工場におけるトータル・システム	249
9.5 NC のソフトウェアの将来	252
9.6 ソフトウェア開発レベル	255
索引	259

1. 数値制御機械概要

1.1 数値制御機械の種類

数値制御機械は、機械の運動が数値情報によって制御される機械である。現在最も広く普及しているのが、数値情報（数値データとの差は明確でないが、数値データともいう人も、また単に数値という人もいる）が穴あきテープ上に与えられていて、穴あきテープ上の数値情報を1ブロックずつ読み込んで、機械の制御が行なわれるものである。

図 1.1 に数値制御機械の構成をブロック・ダイアグラムで示した。以降数値制御機械（numerically controlled machines）

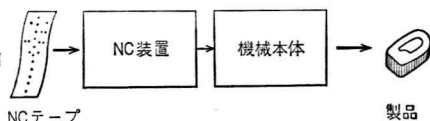


図 1.1 NC 機械の構成

を、NC 機械と略し、穴あきテープを NC

テープと称することにする。NC テープ上の情報は NC 装置（特殊なリアルタイム・コンピュータ）によって処理されて、機械の駆動モータを制御するのに適した指令になる。機械の動きは指令通りに制御される。

NC 機械には、機械の動きの制御からつぎの3つに大別される。

位置ぎめ制御（point-to-point control, or positioning control）この形式の制御は、機械のある目的物（工作機械なら工具、プロッタならプロット用ペン、スポット溶接機なら電極など）を対象物のある特定の位置に位置ぎめしてから加工する形式のもので、特定の位置から、他の特定の位置へ動いている間には、目

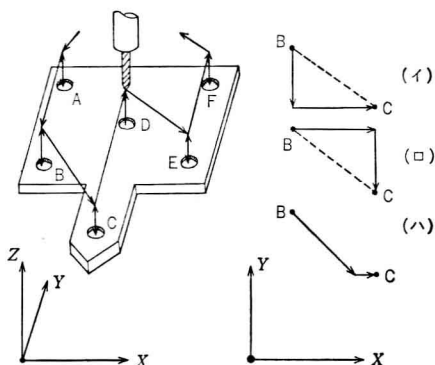


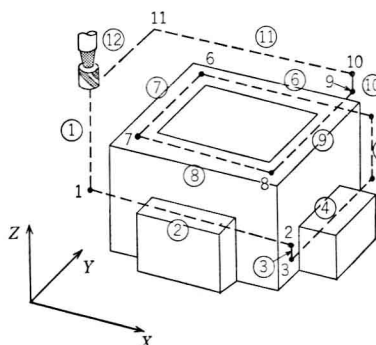
図 1.2 位置ぎめ制御とカット通路

的物是对称物に対してなら加工操作は行なわない。最も簡単な位置ぎめ制御の NC 機械は、ボール盤（ドリリング・マシン）である（図 1.2）。

同図の右に示すように、たとえば点 *B* から点 *C* へのカッタの動きには、*X* 軸も *Y* 軸も同一速度と考えたとき、同時に 1 軸のみが制御される場合の（イ），あるいは（ロ），および同時に 2 軸が制御される場合の（ハ）の 3 種がある。

位置ぎめ/直線切削制御（positioning / straight cut control） 位置ぎめによる穴あけ加工だけでなく直線切削によるフライス加工

の能力を同時に備えることによって、NC 機械の能力を飛躍的に伸ばすことができる。ただしフライス加工の制御は、直線切削の名が示すように、1 軸のみの制御が各制御軸を切りかえて行なわれる。このような NC 制御によって図 1.3 に示す加工が行なえる。このような工作物の加工には、ドグとリミット・スイッチによる自動定寸装置を *X*, *Y*, *Z* の



各機械の軸にセットし、定寸装置のリミット・スイッチの選択と運動シーケンスをプログラムする、プログラム制御フライス盤が用いられていた。このフライス盤がプロコンつきフライス盤とよばれている。これは後述するように、ロット・サイズが約数百個の中量生産にむいている。少量生産の場合は、ここ

図 1.3 位置ぎめ/直線切削制御と工作物

輪郭制御（contouring control, or continuous path control） 位置ぎめ制御とは違って、カッタの移動中の通路の制御によって対象物（工作物）の形状を加工する NC である。

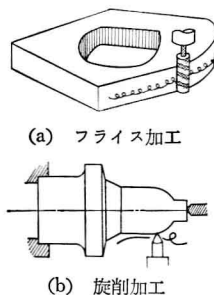


図 1.4 輪郭制御と工作物

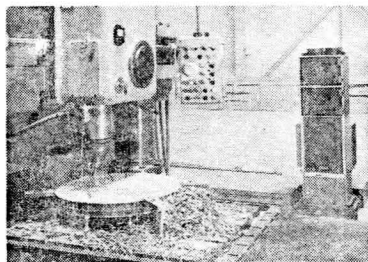


図 1.5 管板穴あけ NC ボール盤

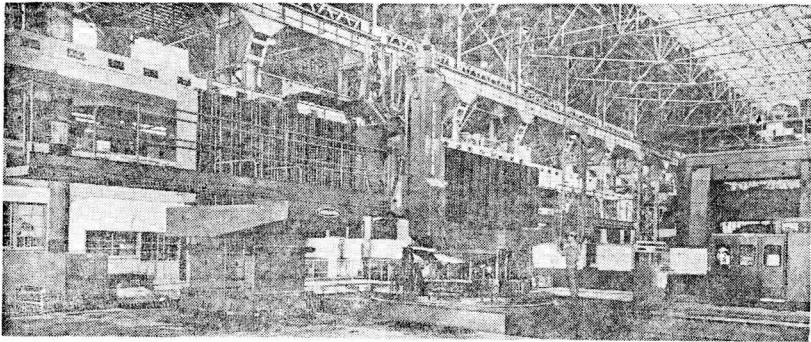


図 1.6 推進器用ブレード加工 NC 機械

したがって、輪郭制御とか連続通路制御とかよばれる。図 1.4 に示すように、カッタは工作物のまわりや内部を動き、前もって定めた通路に沿う切削を行なう。工作物に対するカッタの位置と移動速度(送り速度)は絶えず精度よく制御される。したがって、NC 装置は一般に前 2 者に比して複雑となり高価である。

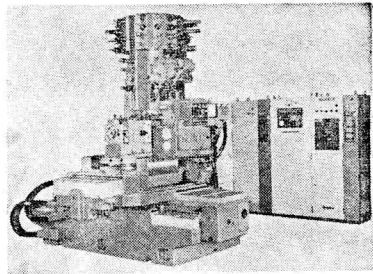


図 1.7 ATC つきマシニング・センタ

現在では、フライス盤の NC が最も普通の輪郭制御として知られている。最も巨大輪郭制御の機械は、航空機の翼 (YS 11 など国産機) の翼桁(全長十数メートル)や、水車のランナや翼などの曲面を加工するものである。これら機械の 1 時間あたりの価値は、1~2 万円(これをマシン・アワー・レートという)である。

1.2 NC 機械の原理

NC 機械の機械本体を駆動する装置を、NC 装置というが、これらには種々の原理のものがあるが、ここに代表的なもののみについてのべておく。

大別して 2 つの方式がある。

- (1) インクレメンタル方式
- (2) 絶対値方式

前者は座標系(直交座標系)において、 V 点の位置が、任意のある点からの増分量によって

規定される方式で、図 1.8 (a) に示す。後者は座標系において、点の位置が、座標原点とよばれる固定した点を基準にして規定される方式で、図 1.8 (b) に示す。

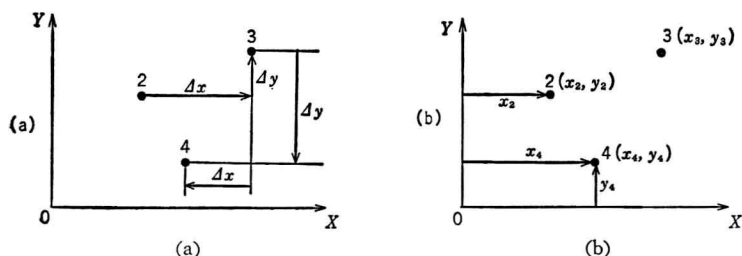


図 1.8 (a) インCREMENTAL方式, (b) 絶対値方式

INCREMENTAL方式のNC装置は、図 1.9 に示すように、INCREMENTALな指令数値 ($\Delta x, \Delta y$) がNCテープから読み込まれ、この数値によって機械の運動を制御する。機械の動きが、パルス発生器 (単位距離移動すごとに単位パルスを発生する検出器) からのフィードバック・パルスでチェックされて制御されるものがある。

他の1つに図 1.10 に示すように、1パルスごとに単位角度回転するパルス・モータへのパルス数を、指令数値だけ発生するように工夫したものがある。

図 1.9と図 1.10に示したNC装置について、ややくわしく例をあげてのべる。指令数値 $\Delta x, \Delta y$ などの処理の方法に2つある。

- (1) バッチ処理的方法
- (2) リアルタイムの方法

前者は図 1.11(a)に示すようにプリセット・カウンタに指令数値を各軸 (x とか y) 独立にセットし

正負の運動の向きに応じた始動をして指令数値と一致したときに停止させる方法である。

後者は図 1.11 (a) に示すように指令パルス発生器によって、 Δx に比例したパルス列 (指令パルス) を発生させたのちに、これをレバースイッチ・カウンタに加え、このレバース

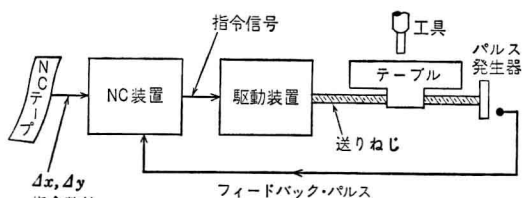


図 1.9 インCREMENTAL NC 機械
(クローズド・ループ制御)

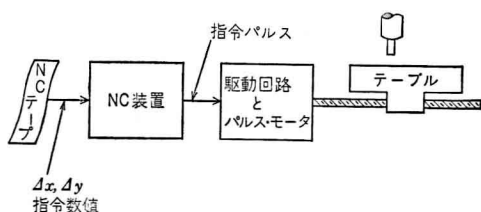


図 1.10 インCREMENTAL NC 機械
(オープン・ループ制御)

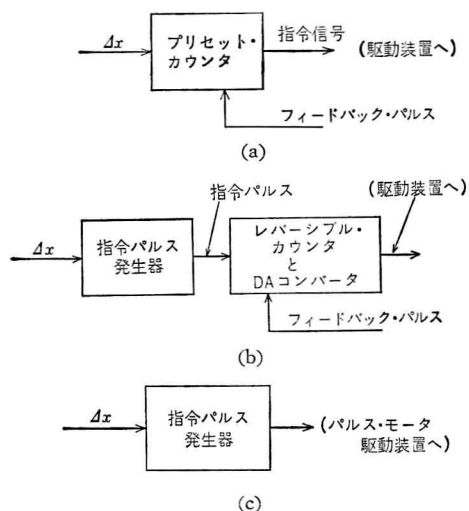


図 1.11 (a) バッチ処理の方法, (b) リアルタイムの方法
(c) リアルタイムの方法(オープン・ループ制御)

ブル・カウンタの偏差(指令パルス数とフィードバック・パルス数の差)によって,これに比例したアナログ電圧で駆動装置を制御する方法である。上述の2方法ともクローズド・ループ制御である。図 1.11 (c) はパルス・モータを用いるオープン・ループ制御によるリアルタイム的方法を示す。

指令パルス発生器については次節にプログラミングとの関係もあるので説明する。

純2進符号

	a_3	a_2	a_1	a_0
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
10	1	0	1	0
11	1	0	1	1
12	1	1	0	0
13	1	1	0	1
14	1	1	1	0
15	1	1	1	1

