

シャープにおける

ワンチップ・マイクロコンピュータの設計思想

禿 節史 齊藤寿士 佐野建二 木村征二

(シャープ株式会社 半導体事業部)

1. はじめに

1971年末にインテル社から、翌1972年にロックウェル・インタアクション社から相次いでマイクロプロセッサが世に発表されてから約5年になる。ともにPチャンネルMOSプロセスによる4ビットのマイクロプロセッサであった。その後、8ビットのマイクロプロセッサや16ビットのマイクロプロセッサが開発され、製造プロセスもNチャンネルMOS、ショットキー・バイポーラ、CMOS及びI²Lと、多様化してきた。現在の汎用マイクロプロセッサは8ビットのNチャンネル・シリコンゲート・プロセスによるものが主流を占めている。しかし、このような汎用マイクロプロセッサとは別に、専用マシン用としてワンチップ・マイクロコンピュータが数年前から世の中にあられ、電子キャシュ・レジスタ、プリンタ電卓、POS端末から電子レンジ・コントロールやコンピュータ・ミシンの家電製品にまで使用されるようになってきた。その応用分野と使用数量は拡大の一途をたどっている。この傾向は当分続くものと考えられる。シャープも4ビットのワンチップ・マイクロコンピュータ・SMシリーズ3機種を発表し、すでに多くの製品に使用されている。これらのシャープ・ワンチップ・マイクロコンピュータの設計思想とSMシリーズの概要について述べる。

2. シャープ・ワンチップ・マイクロコンピュータの設計思想

(2-1) シャープ・ワンチップ・マイクロコンピュータの開発経過

シャープは現在ワンチップ・マイクロコンピュータとしてSMシリーズ、SM-1、SM-2及びSM-3の3機種に限りプログラムを開放している。これらのワンチップ・マイクロコンピュータの設計思想は、その開発経過を知ることでよってはつきりすると思うので、まず開発経過について述べる。

シャープは電子卓上計算機(以下、電卓と省略)のパイオニアとして、常に特長のある電卓を開発し、世の中に送り出してきた。また同時に、電卓用LSIの開発にも力を注いできた。新しい電卓用LSIの開発があつて、はじめは新しい電卓が出現することはよく知られていることである。最近のよい例として、手帳形電卓をあげることが出来る。すなわちフィルム・キャリア方式のパッケージ技術及び低消費電力・低電圧動作の電卓用CMOS・LSIの開発が、この手帳形電卓を実現させたといえる。

シャープのワンチップ・マイクロコンピュータも電卓用LSIの開発に、その端を発している。シャープは1974年末から1975年始めにかけてROM、RAM及びALUを持つ回路方式(ROM/RAM方式と呼ぶ)の電卓用LSIを開発した。それまでの電卓用LSIに採用されていた回路方式は〔シフト・レジスタ+ランダム・ロジック〕方式及び〔シフト・レジスタ+ROM〕方式が主流であった。両方式とも、処理データ及び演算結果はシフト・レジスタに保持されている。シフト・レジスタにデータが入っているの、情報の転送及び演算処理は1ビット毎におこなわれる。これに対してROM/RAM方式では、処理

データ及び演算結果がRAMに格納されている。RAMは1ワードが4ビットで構成されており、演算論理部(ALU)も4ビットを並列処理できる。この結果、他の方式と比較して演算処理スピードは大巾に改善された。

このROM/RAM方式の電卓用LSIのアーキテクチャは、ワンチップ・マイクロコンピュータのアーキテクチャそのものである。我々は、その後にもROM/RAM方式のLSIを次々と開発した。しかし、これらとすぐにはワンチップ・マイクロコンピュータとして世の中に発表しなかった。その主な理由はふたつある。まず内蔵ROMがマスクROMであるので、大量生産品でなければ実用化が困難であり、当時、電卓以外に大量生産される応用を見い出し得なかったからである。もうひとつの理由は、もしワンチップ・マイクロコンピュータとしてプログラムを開放する場合には、注文の有無及び注文の多少にかかわらずソフトウェア及びハードウェア両面からのサポートをしなければならないことであった。

最近になり、ようやく電子レンジのような家電製品、電子キャッシュ・レジスタ及び電子玩具などがワンチップ・マイクロコンピュータの新しい応用としてクローズアップされるようになり、シャープもワンチップ・マイクロコンピュータとしてSMシリーズSM-1、SM-2及びSM-3の3機種に限ってプログラムを一般に開放した。

(2-2) シャープ・ワンチップ・マイクロコンピュータの基本設計思想

シャープが開発し、発表しているワンチップ・マイクロコンピュータは、全て開発時点において、それを応用する製品が明確になっている。その応用製品に最も適したインストラクション・セット、アーキテクチャ及びI/Oの構成となっている。すなわち、シャープのワンチップ・マイクロコンピュータの設計思想を一言で表現するならば、特定品種オリエンティド・デザインであると言える。一方、これに対する設計思想としては、汎用品種オリエンティド・デザインをあげることができる。すなわち、特定の応用製品を考えるのではなく、汎用性のあるアーキテクチャにし、汎用性のあるインストラクション・セットを備えているようなマイクロコンピュータである。

次に両者の設計思想を簡単に較べてみる。特定品種オリエンティド・デザインのワンチップ・マイクロコンピュータを、その品種の製品に应用する場合には、マイクロコンピュータの外部回路が極力少なくなるようなI/O構成となっており、しかもアーキテクチャ及びインストラクション・セットも、その製品に適した設計になっているので、少ないプログラム・ステップ数で効率のよいプログラムが組めるようになっている。この結果、できあがった製品はコンパクトで安価な理想に近いものとなるであろう。しかし、この同じワンチップ・マイクロコンピュータを、全く違う品種の製品に使用すると、場合によっては簡単な仕事にもかかわらず、適当なインストラクションやI/Oがないために、複雑なプログラムになることもある。すなわち効率のわるいプログラムになるわけである。

一方、汎用品種オリエンティド・デザインのワンチップ・マイクロコンピュータを使って製品を作る場合を考えると、どのような品種の製品であっても、まあまあこなすことができる。しかし、どこかぎくしゃくした所があって、しつくりとはいかない。外付け部品もある程度必要になる。たとえば、表示を必要とする製品に、ワンチップ・マイクロコンピュータを使用することとを考えてみる。

特定品種オリエンテッド・デザインの場合には、当然のことながらセグメント・デコーダを内蔵しており、蛍光表示管やLED数字表示素子のセグメントを直接駆動する能力を持つセグメント用出力ポートを備えているであろう。これに対して汎用品種オリエンテッド・デザインの場合には、おそらくセグメント用出力ポートはなく、最低4ビットの汎用出力ポートを備えていることであろう。なぜなら、汎用品種オリエンテッド・デザインのマイクロコンピュータにおいて、使用されるか使用されないかわからないセグメント・デコーダを内蔵して、セグメント出力用のケーブルの出力端子を持つことは無駄であり、そのかわり汎用出力ポートを持つのが普通である。したがって表示を必要とする場合、マイクロコンピュータの外部にセグメント・デコーダ及びドライバを付加しなければならない。

この辺の事情をもう少し直感的に表現すると、特定品種オリエンテッド・デザインのマイクロコンピュータを、その品種の製品に使用する時のトータル効率を100%と仮定すると、全く品種の違う製品に使用する場合の効率は約40~60%程度と悪くなる。これに較べて、汎用品種オリエンテッド・デザインのマイクロコンピュータを使う場合、どのような品種の製品に對しても、ほぼ同じで60~80%程度である。極端に悪くならないかわりに、製品にぴったりということもない。どちらの設計がベターであるかという点については意見の分かれるところである。シャープの巻表しているワンチップ・マイクロコンピュータは特定品種オリエンテッド・デザインを採用したわけであるが、これまではワンチップ・マイクロコンピュータの応用製品の種類が非常に限られており、そのような状況において、特定品種オリエンテッド・デザインを採用するのが当然であった。しかし、LSIの端子数やチップ・サイズの許す範囲で、できる限り汎用性を持たせ、全く品種の異なる製品に使用する場合にも、それほど効率を落さないように考慮した。

(2-3) SMシリーズの基本設計

シャープのワンチップ・マイクロコンピュータSMシリーズに共通して採用されている特長を次にまとめておく。

(i) 複合命令の採用

プログラミングやハードウェアの設計の面からみると、1インストラクションで1動作というのが望ましい。しかし、ワンチップ・マイクロコンピュータの場合、マイクロコンピュータの内部に持っている限られたROMサイズの中で、できるだけ効率のよい仕事をさせる必要がある。そこで1インストラクションで幾種類もの動作を同時にこなさせようとする考え方があらわれ、そのようなインストラクションを複合命令と呼ぶ。SMシリーズには、この複合命令が採用された。複合命令を採用したマイクロコンピュータと、そうでないマイクロコンピュータのプログラム効率を比較すると、複合命令を採用したマイクロコンピュータの方が約30%程度有利であると言われている。

(ii) 1バイト・1サイクル命令の採用

SMシリーズのインストラクションは、2~3のインストラクションを除いて、基本的には1バイト・1サイクルのインストラクションである。1バイト・1サイクル・インストラクションの採用によって、プログラミングが容易になり、マ

マイクロコンピュータの動作時間をカウントしやすくなるなどの利点がある。

(iii) パワー・オン・リセット内蔵

外部にC/Rを付加するだけで、電源投入時に自動的に指定されたプログラム番地にセットされ、電源投入時のイニシャライズなどに使われる。

(iv) クロック・ジェネレータ内蔵

SMシリーズはクロック・ジェネレータを内蔵しており、発振周波数調整用の抵抗を外付けするだけで、外部クロックを必要としない。

3. SMシリーズの概要

シャープのワンチップ・マイクロコンピュータSMシリーズの機種の特性を表1に示す。次に各機種の概要を述べる。

(3-1) SM-1

SM-1はPチャンネルE/D MOSプロセスによる4ビット並列処理のワンチップ・マイクロコンピュータであり、システム構成を図1に示す。SM-1は8桁表示電卓オリエンテッド・デザインのマイクロコンピュータで、キーボードかスイッチ入力及び数字表示出力を備えたディスプレイ・コントローラである。I/Oとして、キーボードからの入力に適した3入力端子と8本のセグメント出力端子及び9本のタイミング出力端子を備えている。セグメント・デコーダ・ドライバが内蔵されているので、セグメント出力は蛍光表示管またはLED数字表示素子のセグメントを直接駆動することができる。電源は単一電源(-16V)で、

表1. SMシリーズ3機種の特性

項目	SM-1	SM-2	SM-3
並列処理ビット数	4ビット	4ビット	4ビット
製造プロセス	Pch. E/D MOS	Pch. E/D MOS	Pch. E/D MOS
ROM容量(ビット)	882 × 8	1008 × 8	2268 × 8
RAM容量(ビット)	48 × 4	64 × 4	128 × 4
拡張RAM容量(ビット)	—	—	256 × 4
基本命令数	32	45	57
平均実行時間	13 μs	10 μs	10 μs
パッケージ,ピン数	28 DIP	42 DIP	60 77ピンP.
スタック・レジスタ	1	1	2
電源電圧	-16V	-15V	-15V
クロック・ジェネレータ	内蔵	内蔵	内蔵
セグメント・デコーダ	内蔵	—	内蔵
入力端子数	3	8	8
データ入/出力端子	—	—	4
セグメント出力端子	8	—	7
アキュムレータ出力端子	—	4	4
ストローブ出力端子	9	7	10
その他の出力端子	1	16	23(セグメント出力を除く)

クロック・ジェネレータを内蔵している。SM-1の応用例として、電卓、カウンタ、九九練習機、多機能時計及び玩具などの各種ディスプレイ装置が考えられる。

プログラムはマスクROMとしてマイクロコンピュータ内部に作り込まれるので、量産システム用である。ROMサイズは882×8ビットと比較的小容量であるが、32の基本インストラクションは複合命令を含み、効率的なプログラミングを可能にしている。

SM-1の特徴を次にあげる。

PチャンネルE/D MOSプロセス

32種の基本インストラクション (複合命令を含む)

命令実行時間: 13 μs (TYP.)

ROM容量: 882×8ビット

RAM容量: 48×4ビット

サブルーチン・ネスティング: 1レベル

入力端子: 3

セグメント出力端子: 8

タイミング出力端子: 9

独立出力端子: 1

セグメント・デコーダ内蔵

クロック・ジェネレータ内蔵

単一電源: -1.6V

パッケージ: 28ピン DIP

(3-2) SM-2

SM-2はPチャンネルE/D MOSプロセスによる4ビット並列処理のワンチップ・マイクロコンピュータであり、システム構成を図2に示す。SM-2は12桁のプリンタ電卓オリエンテッド・デザインのマイクロコンピュータで、キーボード入力、プリンタからの信号用入力及びプリンタ用出力を備えたプリンタ・コントローラである。

I/Oとして、キーボードからの入力に適した同期信号用5入力端子、プリンタからの信号に適した非同期信号用の3入力端子、アキュムレータの内容を外部に出力する4出力端子、タイミング用7出力端子及びプリンタ用出力に適した16出力端子を備えている。電源は単一電源(-

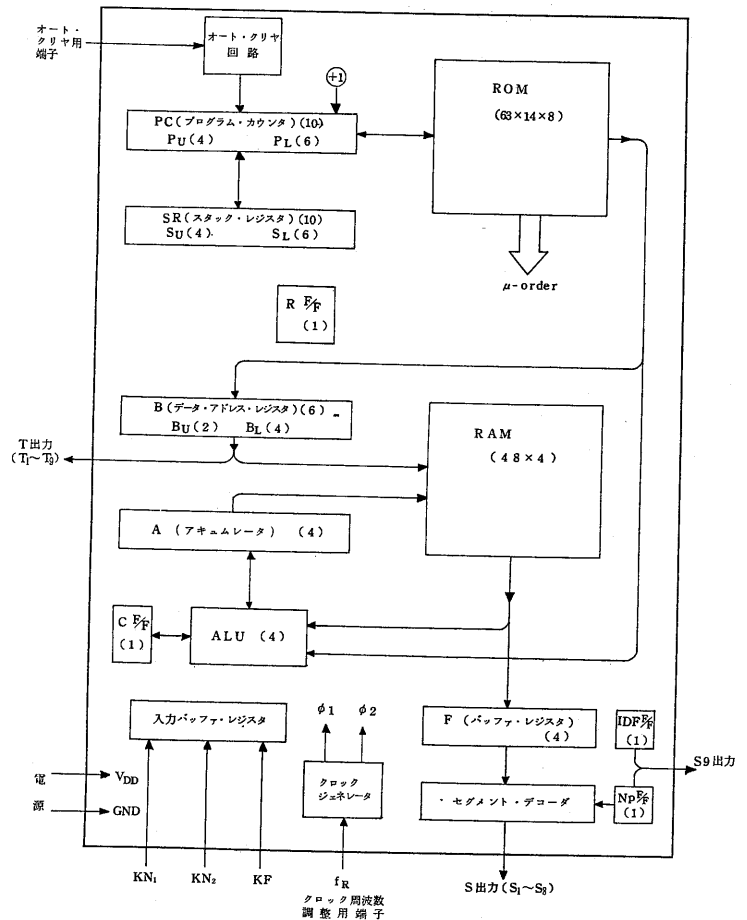


図1. SM-1のシステム構成

15V)で、クロック・ジェネレータを内蔵している。SM-2の応用例として、フォリタ電卓、電子キャッシュ・レジスタ、自動販売機及び各種家庭電気製品のコントローラなどが考えられる。ROMは1008×8ビットのマスクROMで、複合命令を含む45種の基本インストラクションによって効率的なプログラム作成が可能である。

- 次にSM-2の特徴をあげる。
- PチャンネルE/D MOSプロセス
- 45種の基本インストラクション (複合命令を含む)
- 命令実行時間: 10 μ s (TYP.)
- ROM容量: 1008 × 8ビット
- RAM容量: 64 × 4ビット
- サブルーチン・ネスティング: 1レベル
- 同期信号入力端子: 5
- 非同期信号入力端子: 3
- タイミング出力端子: 7
- アキュムレータ出力端子: 4
- 汎用出力端子: 16
- クロック・ジェネレータ内蔵
- 単一電源: -15V
- パッケージ: 42ピン DIP

(3-3) SM-3

SM-3はPチャンネルE/D MOSプロセスによる4ビット並列処理のワンチップ・マイクロコンピュータであり、システム構成を図3に示す。SM-3は表示付14桁フォリタ電卓オリジナル・デザインのマイクロコンピュータで、キーボード入力、フォリタからの信号用入力、フォリタ用出力及び表示用出力を備えたディスプレイ/フォリタ・コントローラである。I/Oとして、キーボードからの入りに適した4入力端子、フォリタからの信号に適した4入力端子、データ入/出力用の4端子、アキュムレータの内容を外部に出力する4出力端子、ストア用の10出力端子、独立出力用の1出力端子及びセグメント用の7出力を兼用した汎用の22出力端子を備えている。

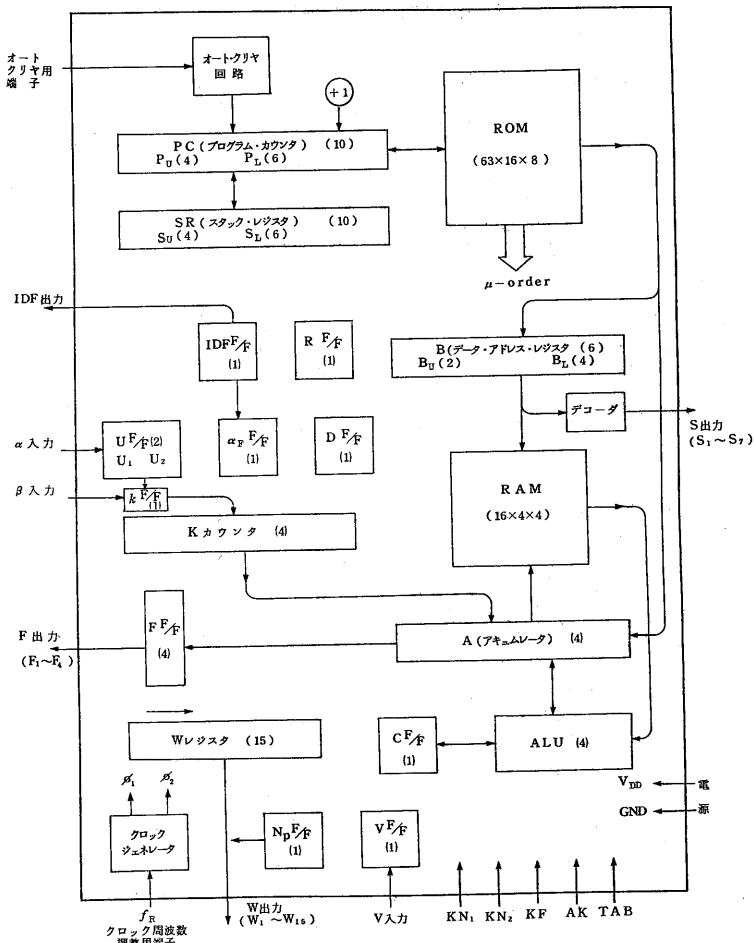


図2. SM-2のシステム構成

セグメント・デコーダ内蔵

クロック・ジェネレータ内蔵

単一電源：-15V

パッケージ：60ピン・クワッド・パッケージ

4. おわりに

シャープのワンチップ・マイクロコンピュータの基本設計思想が特定品種オリエンティド・デザインであることを、その開発経過を通じて述べ、最後にSMシリーズを概説した。今後、ワンチップ・マイクロコンピュータの新しい応用がますます増加する傾向にあり、新しい応用を模索する時期には汎用性のあるマイクロコンピュータの方が有利であると言える。しかし、一度製品に入ってしまうと、汎用性があるということは、とりもなおさず使用されない部分が相当あるわけで、その部分は全く無駄になる。したがって、その新しい応用分野がある程度確立すれば、それ専用にデザインされたより有効なマイクロコンピュータが開発されるだろう。結局、これが特定品種オリエンティド・デザインのマイクロコンピュータとなる。しかし、全てのワンチップ・マイクロコンピュータが汎用品種オリエンティド・デザインと特定品種オリエンティド・デザインとに完全に区別できるわけではない。実際には、お互いの利便を取り入れて設計されているわけで、その点が各社のワンチップ・マイクロコンピュータの特徴となっている。