

四半世紀を越えて使われ続ける業界標準アーキテクチャ 古くて新しい“8051”マイクロコントローラのすすめ

■ わずか3 mm角のマイコン “C8051F300” との出会い

本書をお手に取られたみなさんの中には、“H8”や“PIC”をご存じの方も多いと思います。H8、PICはそれぞれ日立製作所(現ルネサス テクノロジ)、マイクロチップ・テクノロジー社から発売されている、とても大きなマイコン・ファミリーです。PICは、数量ベースで今やマイコンの世界シェアNo.1となりました。

実のところ私も、処理内容や規模に応じてこれらを使い分けながら、今までにさまざまな組み込み機器を開発してきました。

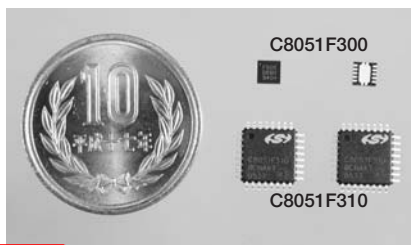
そんなある日「トランジスタ技術」誌の広告で、Cygnet Integrated Products社(当時、現在はシリコン・ラボラトリーズ社)によるC8051F300(写真1)という新しいデバイスの登場を知りました。2001年の暮れか2002年初頭だったと記憶しています。マイクロコントローラでありながら、わずか3 mm角という小さなパッケージは衝撃的でした。そのときは「パッケージが小さい

分、機能もそれなりなんだろう」などと勝手な勘繰りをしたのですが、然^もら^あらず、24.5 MHz 2%精度のクロック源、フラッシュ・タイプのプログラム・メモリ、複数のタイマ、SMBus、UARTやA-Dコンバータなどを内蔵し、リアル・タイムのソース・レベル・デバッグができる開発環境まで用意されていて「これは使える!」と感じました。そして、そのCPUコアが“8051”だったのです。

■ 8051の誕生前後

8051の説明を始める前に、簡単にその歴史などを紹介しておきましょう。図1は主なマイクロコントローラやマイクロプロセッサのリリース年です。

インテル8051(写真2)、つまりMCS-51アーキテクチャが登場したのは1980年でした。インテルのマイクロコントローラとしては第2世代になります。初代は1976年発表の8048(MCS-48)です。MCS-51は、このMCS-48の成果を踏まえて、大幅に改良されたアーキテクチャとして誕生しました。



見本 写真1 わずか3 mm角のマイコン
“C8051F300”(シリコン・ラボラトリーズ社)
<http://www.silabs.com/>

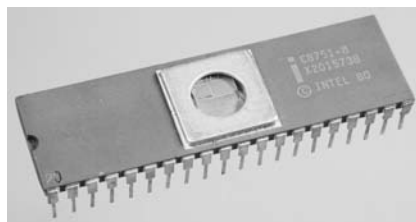


写真2 8051ファミリの始祖i8051(写真はEP-ROM版のi8751)

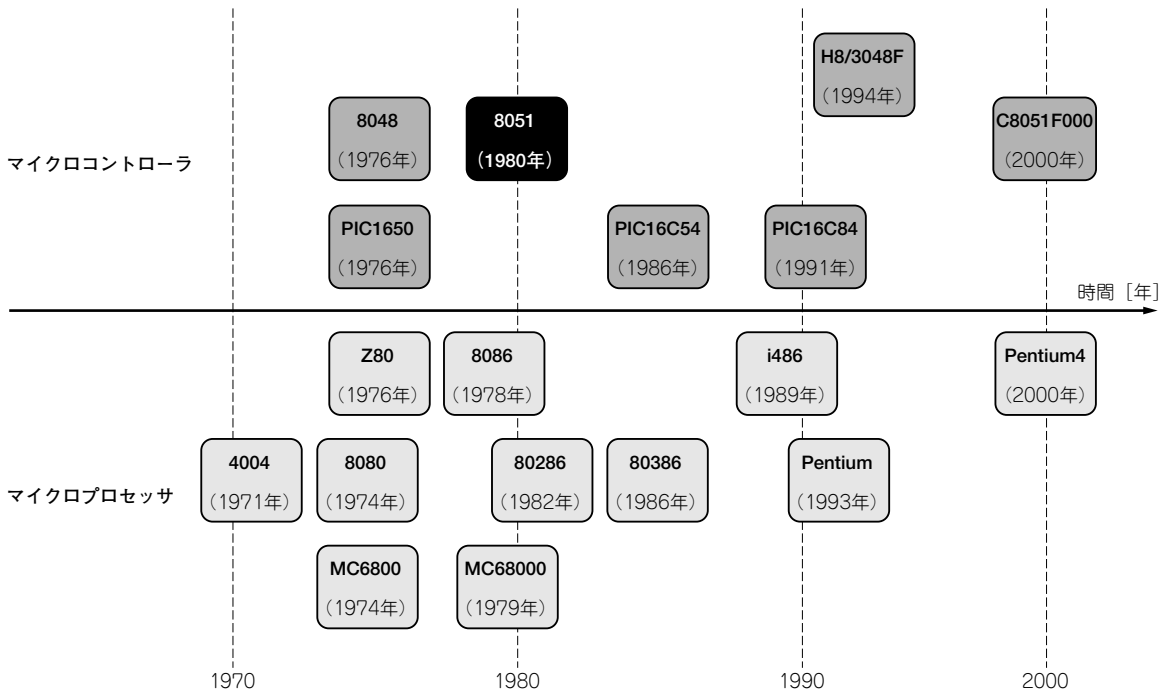


図1 おもなマイクロコントローラとマイクロプロセッサの発売年

8051が登場した1980年は、世界初のマイクロプロセッサであるインテル4004からわずか9年後にあたります。歴史の中では早期のアーキテクチャであることは間違いありません。ですがこの4004以降の約10年間という時代は、今に続く大きな流れの起源ともいえるデバイスが、各メーカーから次々とリリースされた時期であることがわかります。現在のインテルx86系マイクロプロセッサの原点である8086も、8051より2年早い1978年にリリースされています。

さらに8048と同じ1976年に、やや遅れてPIC1650が登場しています。これが後に続くPICシリーズの初代です。開発したのはGeneral Instrument社のマイクロエレクトロニクス部門で、この部門が1989年に独立してできたのが現在のマイクロチップ・テクノロジー社です。したがって、PICシリーズは8051よりも4年先輩ということになりますね。いずれもこの技術革新と世代交代の連鎖の中で現代まで生き残ってきたツロモリといえます。でもそれは現代にも通用す

るアーキテクチャがあつてのことでしょう。そして、シリコン・ラボラトリーズ社の最初のマイクロコントローラC8051F000は2000年、つまり8051から実に20年後に、その流れを汲む新たなファミリとして登場しています。

■ 四半世紀を越えて使われ続ける 業界標準の8051

MCS-48の改良を受けたMCS-51は、強力なビット操作など制御用途での高い処理能力と、幅広いシステム構成に適應できる柔軟性を特徴として、今を遡ること四半世紀前の1980年にリリースされました。その後のラインアップの拡充(図2)により、MCS-51アーキテクチャは一大ファミリに成長し、「業界標準」といわれるまでに普及しました。海外のデバイスのアプリケーション・ノートには「8051による制御例」などと書かれたサンプル・プログラムが少なくありません。8ビット・マイクロコントローラの代表的なデバイスの一つとして、今なおその地位を確立しています。

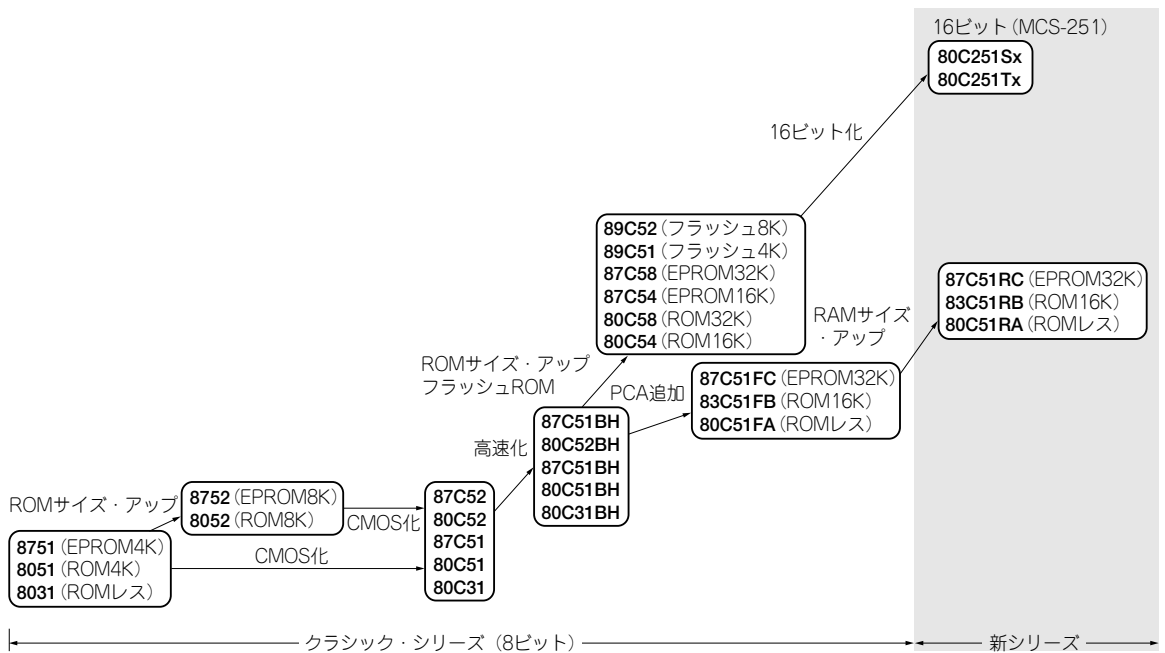


図2 インテル社製8051ファミリのおもな系譜

ここでもうひとつ、8051の長い歴史を支えている大きな要因として挙げられるのが、MCS-51アーキテクチャへの上位コンパチブルを謳った多種多様な派生デバイスの存在です。H8やPICは、それぞれルネサステクノロジー社やマイクロチップ・テクノロジー社単独の製品です。一方の8051は、インテルだけでなく、10社を超えるさまざまな半導体メーカーから供給されています。これらを表1に示します。

これらはセカンド・ソースではありません。「8051相当」の機能を内包し、さらにメーカーごとに独自の改良や機能拡張が加えられた“8051”なのです。前述のC8051F300もその一つで、シリコン・ラボラトリーズ社独自のさまざまな工夫が織り込まれています。興味のある方は、8051の開発ツールを手がけているKeil Softwareのページ (<http://www.keil.com/dd/8051chips.asp>)などを参照してみてください。表1に挙げたものはごく

見本
部で
ます。

さらに多くのデバイスがあることがわかります。

また、「8051コントローラ」としてではなく、特定用途向け専用コントローラとして発売されているものもあります。これらを表2に示します。たとえばサイプレス社が発売しているEZ-USBシリーズのCPUコアが8051であることをご存じの方も多いでしょう。

さらに、HDLで記述されたIPコアとしての8051コアも各種発売されています。表3はその一例です。

■ 8051系デバイスを使うことのメリット

このような状況により、本来の性能とは別に、8051にはH8やPICとは異なる独特のメリットが生まれています。これらの8051系派生デバイスは、どれもオリジナルの8051と同じ命令セットをサポートしています。つまりソース・レベル、オブジェクト・レベルでの互換性があります。アセンブラやコンパイラも共通して使えます。さらに、メモリ構成や割り込みシステム、タイマやシリアル・ポートに至るまで、オリジナル8051

表1① 8051 およびMCS-51 互換コアをもつ8ビット・マイクロコントローラ

型名	メーカー	最大動作 クロック [MHz]	最大命令 実行速度 [MIPS]	内蔵 ROM *1 [バイト]	内蔵 RAM [バイト]	内蔵 XRAM *4 [バイト]	特徴的なデジタル I/O *2
●インテル直系の 8051							
80C31BH	インテル	12	1.0	なし	128	-	タイマ/カウンタ, UART
80C32-24	インテル	24	2.0	なし	256	-	タイマ/カウンタ, UART
80C51BH	インテル	12	1.0	4 K	128	-	タイマ/カウンタ, UART
80C52-24	インテル	24	2.0	8 K	256	-	タイマ/カウンタ, UART
87C51-24	インテル	12	1.0	U4 K	128	-	タイマ/カウンタ, UART
87C52-24	インテル	24	2.0	U8 K	256	-	タイマ/カウンタ, UART
87C54-24	インテル	24	2.0	U16 K	256	-	タイマ/カウンタ, UART
80C58-33	インテル	33	2.8	32 K	256	-	タイマ/カウンタ, UART
87C58-33	インテル	33	2.8	U32 K	256	-	タイマ/カウンタ, UART
80C51FA-33	インテル	33	2.8	なし	256	-	タイマ/カウンタ, UART, PCA
83C51FA-33	インテル	33	2.8	8 K	256	-	タイマ/カウンタ, UART, PCA
87C51FA-33	インテル	33	2.8	U8 K	256	-	タイマ/カウンタ, UART, PCA
80C51FB-33	インテル	33	2.8	なし	256	-	タイマ/カウンタ, UART, PCA
83C51FB-33	インテル	33	2.8	16 K	256	-	タイマ/カウンタ, UART, PCA
87C51FB-33	インテル	33	2.8	U16 K	256	-	タイマ/カウンタ, UART, PCA
80C51FC-33	インテル	33	2.8	なし	256	-	タイマ/カウンタ, UART, PCA
83C51FC-33	インテル	33	2.8	32 K	256	-	タイマ/カウンタ, UART, PCA
87C51FC-33	インテル	33	2.8	U32 K	256	-	タイマ/カウンタ, UART, PCA
80C51RA	インテル	24	2.0	なし	256	256	タイマ/カウンタ, UART
83C51RB	インテル	24	2.0	8 K	256	256	タイマ/カウンタ, UART
83C51RC	インテル	24	2.0	16 K	256	256	タイマ/カウンタ, UART
●各社の MCS-51 互換 8 ビット・マイクロコントローラ							
ADuC812	アナログ・デバイ セズ	16	1.3	F8 K	256	-	タイマ/カウンタ, UART, SPI, I ² C
ADuC845	アナログ・デバイ セズ	12.6	12.6	F62 K	256	2 K	タイマ/カウンタ, UART, SPI, I ² C
AT89C51AC2	アトメル	20	3.3	F32 K	256	1 K	タイマ/カウンタ, UART, PCA
AT89C2051	アトメル	24	2.0	F2 K	128	-	タイマ/カウンタ, UART
AT89C5121	アトメル	16	2.7	F16 K	256	256	タイマ/カウンタ, UART, SmartCard
AT89C5122	アトメル	48	4.0	F32 K	256	512	タイマ/カウンタ, UART, USB2.0, SmartCard, SPI
AT89EB5114	アトメル	40	3.3	F4 K	256	-	タイマ/カウンタ, UART
AT89LP2052	アトメル	20	20.0	F2 K	256	-	タイマ/カウンタ, UART, SPI, 乗算器
AT89LV55	アトメル	12	1.0	F20 K	256	-	タイマ/カウンタ, UART
C8051F060	シリコン・ラボラ トリーズ	25	25.0	F64K	256	4 K	タイマ/カウンタ, UART × 2, SMBus, SPI, PCA, CAN2.0B
C8051F121	シリコン・ラボラ トリーズ	100	100.0	F128 K	256	8 K	タイマ/カウンタ, UART × 2, SMBus, SPI, PCA, 乗算器
C8051F310	シリコン・ラボラ トリーズ	25	25.0	F16 K	256	1 K	タイマ/カウンタ, UART, SMBus, SPI, PCA
C8051F320	シリコン・ラボラ トリーズ	25	25.0	F16 K	256	2 K	タイマ/カウンタ, UART, SMBus, SPI, PCA, USB 2.0
DS89C420	マキシム (Dallas)	33	33.0	F16 K	256	1 K	タイマ/カウンタ, UART × 2
DS89C450	マキシム (Dallas)	33	33.0	F64 K	256	1 K	タイマ/カウンタ, UART × 2
DS89C430	マキシム (Dallas)	33	8.3	U16 K	256	1 K	タイマ/カウンタ, UART × 2

注1: *1: E を前置したものはフラッシュ・メモリ, 同様に E は EEPROM, U は UV-EPROM. *2: 機能のうち特徴的なものを抜粋して示した.
*3: PGA (プログラマブル・ゲイン・アンプ), Comp. (コンパレータ), Tsens. (温度センサ). *4: MOVX 命令でアクセス可能な RAM.

表1② 8051 およびMCS-51 互換コアをもつ8ビット・マイクロコントローラ

型名	メーカー	最大動作クロック [MHz]	最大命令実行速度 [MIPS]	内蔵ROM *1 [バイト]	内蔵RAM [バイト]	内蔵XRAM *4 [バイト]	特徴的なデジタル I/O *2
DS87C550	マキシム (Dallas)	33	8.3	U8 K	256	1 K	タイマ/カウンタ, UART × 2, PWM
DS80C323	マキシム (Dallas)	18	4.5	なし	256	-	タイマ/カウンタ, UART × 2
MSC1200Y3	テキサス・インスツルメンツ	33	8.3	F8 K	256	-	タイマ/カウンタ, USART, SPI, I ² C
P89LV51RD2	フィリップス	33	5.5	F64 K	256	768	タイマ/カウンタ, UART, PCA, SPI
P89LPC904	フィリップス	12	6.0	F1 K	128	-	タイマ/カウンタ, UART
SST89V564RD	Silicon Storage Technology	33	2.8	F64 K + F8 K	256	512	タイマ/カウンタ, UART, PCA, SPI
uPSD3234BV	ST マイクロ	24	2.0	F256 K + F32 K	8K		タイマ/カウンタ, UART × 2, I ² C, PWM
uPSD3454E	ST マイクロ	40	10.0	F256 K + F32 K	32K		タイマ/カウンタ, UART × 2, PCA, SPI, I ² C, IrDA, USB2.0(FS)
XC866L-4FR	インフィニオン	80	13.3	F16 K	256	512	タイマ/カウンタ, UART, SPI

表2 MCS-51 互換コアをもつ特定用途コントローラ

型名	メーカー	説明
● USB		
AN2131	サイプレス (Anchor Chips)	EZ-USB. USB1.1 ターゲット・デバイス・コントローラ
CY7C64613	サイプレス	EZ-USB FX. USB2.0 ターゲット・デバイス・コントローラ. 12 MIPS@48 MHz
CY7C68013	サイプレス	EZ-USB FX2. USB2.0 ターゲット・デバイス・コントローラ. 12 MIPS@48 MHz
TAS1020B	テキサス・インスツルメンツ	USB1.1 ストリーミング・コントローラ. AC'97 コーデック・インターフェース
TUSB2136	テキサス・インスツルメンツ	USB1.1 ハブ内蔵キーボード・コントローラ
USB2005	スタンダード・マイクロシステムズ	USB2.0 ATA/ATAPI コントローラ. デジタル著作権管理付き
USB97C202	スタンダード・マイクロシステムズ	USB2.0 ATA/ATAPI コントローラ
USB97C242	スタンダード・マイクロシステムズ	USB2.0 フラッシュ・ドライブ・コントローラ. スマートメディアおよび各種 NAND フラッシュ対応
● Ethernet		
CS6201	Myson Century (Century Semiconductor)	10/100BASE-T Ethernet MAC&PHY 内蔵. 15 MIPS @ 60 MHz, 電源電圧 3 ~ 5 V
DS80C400	マキシム (Dallas)	10/100BASE Ethernet-MAC 内蔵. 18.75 MIPS @ 75 MHz, 電源電圧 3 V
● 無線モデム		
CC1010	ChipCon Semiconductor	モノリシック UHF データ・トランシーバ. 300 M ~ 1 GHz, 76.8 kbps
CC2500	ChipCon Semiconductor	モノリシック UHF データ・トランシーバ. 2.4 GHz, 500 kbps
nRF24E1	Nordic Semiconductor	モノリシック UHF データ・トランシーバ. 2.4 GHz, 1 Mbps
● 有線モデム		
CMX850	CML Microcircuits	モデム内蔵コントローラ. 対応 ITU-T 規格: V.22 bis, V.22, V.23, V.21

(MCS-51アーキテクチャ)の概念を踏襲しています。各派生デバイスはその概念を踏襲しながら、機能拡張や高速化などの改良を施すことで、それぞれ独自の個性を出しています。すなわちこれは、8051という大きなファミリを、複数のメーカーで

構成しているといえるかもしれません。

一般に新しいデバイスを使うためには、多くの新しいことを理解しなければなりません。その点8051は、MCS-51アーキテクチャを理解しておくことで、比較的少ない負担で多くの派生デバイス

特徴的なアナログ I/O *2*3	電源電圧 [V]	パッケージ	備考
10 ビット ADC	5 ± 10 %	CLCC68, PLCC68, PQFP80	
なし	2.7 ~ 5.5	DIP40, PLCC44, TQFP44	
24 ビット ADC, 8 ビット DAC, PGA	2.7 ~ 5.5	TQFP48	ブート ROM : 1 KB
なし	2.7 ~ 3.6	DIP40, PLCC44, TQFP44	
8 ビット ADC, 8 ビット DAC, Comp.	2.4 ~ 3.6	SO8	少ピン・パッケージ, 7.4 MHz クロック内蔵, リアルタイム・クロック (RTC)
なし	2.7 ~ 3.6	DIP40, PLCC44, TQFP44, WQFN40	
8 ビット ADC	3.0 ~ 3.6	TQFP80	16 マクロセル PLD 内蔵, 内蔵 SRAM はバックアップ可能, 5 V 版は 3.3 MIPS @ 40 MHz
10 ビット ADC	3.3 + 5	TQFP52, TQFP80	16 マクロセル PLD 内蔵, 内蔵 SRAM はバックアップ可能
10 ビット ADC	3.3 ~ 5	TSSOP38	ブート ROM : 8 K バイト, 10 MHz クロック内蔵

表3 MCS-51 互換のIPコア

型名	メーカー	説明
C8051	Evatronic SA	オリジナル 8051 と命令セット互換, マシン・サイクル数互換
D80530	Evatronic SA	Dallas 社 (現マキシム社) 80530 互換 IP
Dalton 8051	University of California	命令セット互換, マシン・サイクル数は非互換, VHDL 記述
DW8051	Synopsys, Inc.	DesignWare 8051 Macrocell. 1 命令 4 マシン・サイクル
Inventra 8051W	Mentor Graphics Corp.	VHDL および Verilog. 1 命令 2 マシン・サイクル
PB8051	Roman-Jones, Inc.	PicoBlaze 8051. ザイリンクス社 FPGA 用 8051CPU コアのマクロセル. 実行サイクル数非互換
R8051	Evatronic SA	RISC 型命令セットの 8051IP コア. 周辺機能は 80C31 互換
T51	Opencores.org	VHDL 記述. Wishbone 対応
TSK51	Altium Ltd.	Nexar Soft core. 1 命令 1 マシン・サイクル

を選択肢にできる可能性をもっています。これはユーザにとって大きなメリットになります。同時にメーカーにとっても、ユーザに受け入れられやすいというメリットになります。先ほどの8051によるサンプル・プログラムの例もそうですし、またSTマイクロエレクトロニクスからリリースされている μ PSD シリーズのプレゼンテーション資料⁽³⁾では、デバイスの特徴の一つとして、“8051 based, everybody knows how to use” (誰もが使い方を知っている8051コアを採用)と謳われています。これも「業界標準」としての8051を象徴している一例でしょう。

見本

■ C8051 は「PICとH8の中間に位置するマイコン」

ではC8051がどんなマイコンなのかを一言で表すと「PICとH8の中間に位置するマイコン」といえると思います。H8は高性能で非常に使い勝手のいいマイコンですが、パッケージ・サイズや価格などの面で、小ぢんまりとまとめたいときにはやや重いです。簡単なアプリケーションでは、その能力があり余ってしまうこともあります。一方のPICは、ピン数も少なく低価格ですが、RAM容量や内蔵ペリフェラル、処理速度などの制限のために、採用が難しい場合がままあります。

C8051シリーズには、ちょうどその両者のすき間を埋めてくれる規模と能力を持ったユニークなデバイスが揃っています。表7-1(156ページ)は現在のラインアップです。併せて第1章では、8051らしい部分を紹介しています。参照してみてください。

要は「適材適所」です。これをきっかけに、新たな持ち駒として、技術の引き出しを増やしてみたいかがでしょうか。「H8では大きすぎけど、PICではちょっとツライ」というときに、きっと役立つくれることでしょう。

■ 「マイクロプロセッサ」と「マイクロコントローラ」の違い

図1で示したように、1976年にはザイログ社からZ80が発表されています。もしかすると若い方はご存じないかもしれませんが、8ビット・マイクロプロセッサとして長い間市場を席捲したデバイスです。MS-DOSよりも前の時代、パソコンのCPUはほとんどがこれでした。

マイクロプロセッサの変遷について見ると、4ビットの4004に始まり、8ビット、16、32、64ビットと進化してきています。最近のパソコンはほとんどが32ビット・マシンですね。先のZ80マシンは悲しいかな今やアンティーク扱いです。これとは対照的に、マイクロコントローラの世界では、今でも4ビットのデバイスが現役で使われています。

ここで「マイクロプロセッサ」と「マイクロコントローラ」の違いについて考えてみましょう。

みなさんが使っているパソコンのCPUは「マイクロプロセッサ」です。そのCPUはメモリ・モジュールなどとともにマザー・ボードに載っています。マザー・ボードには、アプリケーション・プログラムなどがインストールされているハード・ディスクが接続されていて、さらにキーボードやモニタ、USBなど、外部とのインターフェースが付属していますね。

「マイクロコントローラ」は、このパソコン本体の機能の一つのチップに集積したものと考えられます。つまり、CPUのほかにRAM、ROM、外部インターフェース回路をすべて内蔵しています。したがって、マイクロプロセッサは周囲の助けがないとコンピュータとして機能しないのに対して、マイクロコントローラはデバイス単体でコンピュータとして成立している点が大きく異なります。

■ マイクロコントローラは脇役

テレビやエアコン、電子レンジ、炊飯器などの家電品はもちろんのこと、玩具、携帯電話や、目に付きにくいところではガス・メータ、自動車や人工衛星など、電気を使う製品は数え切れません。「マイコン炊飯ジャー」などと銘打った家電製品という「マイコン」とは、まさに「マイクロコントローラ」を意味しています。それら家電製品を

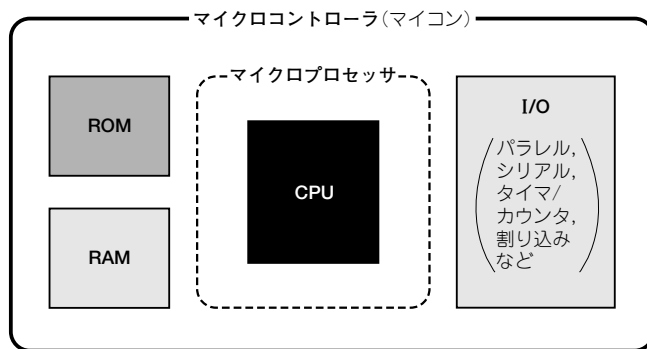


図3 マイクロプロセッサとマイクロコントローラの違い

見本

制御するために、小さなコンピュータであるマイクロコントローラは、まさにうってつけのアイテムです。

しかし、ここでの主人公は、あくまでもその制御対象である製品であることに注意してください。マイクロコントローラは、その製品の機能を実現するための一手段に過ぎません。どんなに高性能なマイクロコントローラが組み込まれていても、そのこと自体が製品の「売り」になることはありません。したがって、マイクロコントローラに求められるスペックは、その製品の機能を実現できる「必要最小限」で十分なのです。今でも4ビットのマイクロコントローラが現役たり得るのは、4ビットで対応できる用途があるからです。

■ マイクロコントローラの種類が多い理由

ここでもう一度表7-1を参照してみてください。内蔵ペリフェラルやメモリ・サイズが少しずつ違うデバイスが取りそろえられていることがわかります。PICやH8も同様のラインアップをもっています。ペリフェラルが同じでも、メモリ・サイズだけが違ったりします。

なぜこんなに細かく作り分ける必要があるのでしょうか。これは上記の「必要最小限」に対応するためなのです。例えばプログラム・サイズが2Kバイトしかないのに、デバイスが16KバイトのROMを内蔵していたらもったいないですね。もしラインアップに4Kバイトのデバイスがあるのなら、そちらを検討するべきです。多くの場合、後者のほうが安価でしょう。極端な例ですが、16Kバイト品と4Kバイト品のデバイス単価の差が仮に1円だったとしても、もしその製品を100万台出荷するならば、100万円のコスト・ダウンにつながります。

マイクロコントローラは何かを制御するために

使われますが、一口に制御といっても、その内容は千差万別ですね。その制御内容の多様性に加えて、さまざまなレベルの「必要最小限」にも対応するために、実に多種多様なマイクロコントローラが製品化されることになるわけです。

設計者はその多種多様なデバイスの海から、最適なものを選択し、使い分けなければなりません。コストは多くの要素が絡む複雑な問題なので一概にはいえませんが、とりあえず「いつも使っているから」とらわれないデバイス選定を心がけてみてください。関連情報を収集する機会にもなりますし、システム的な視点を養う効果もあると思います。

■ 古くて新しい8051の世界への導入に

役立つ解説書

適材適所と必要最小限を考える上で、8051系マイコンは独特の魅力をもつ、検討に値するデバイスです。しかし、いざチャレンジとなると、現在入手可能な和文の情報源がとても少ないように思われます。過去に出版された8051関連書籍は絶版になっているようですし、またインターネット上には8051に関する情報が星の数ほどもありますが、ほとんどは和文ではありません。これらの点も、日本において8051の敷居を高くしている一因のように思います。

本書は、そんな状況を少しでも和らげることを目的とした8051の解説書です。古くて新しい8051の世界への導入にあたって、本書がわずかでも皆さんのお役に立つことができれば、それに勝る喜びはありません。また私の浅学ゆえの誤りなどもあろうかと思えます。ご指摘いただければ幸いです。

2005年 冬

中島 千明

見本

強力なビット処理, 高速割り込み応答, 十分な演算能力, 小さなオブジェクト・サイズ

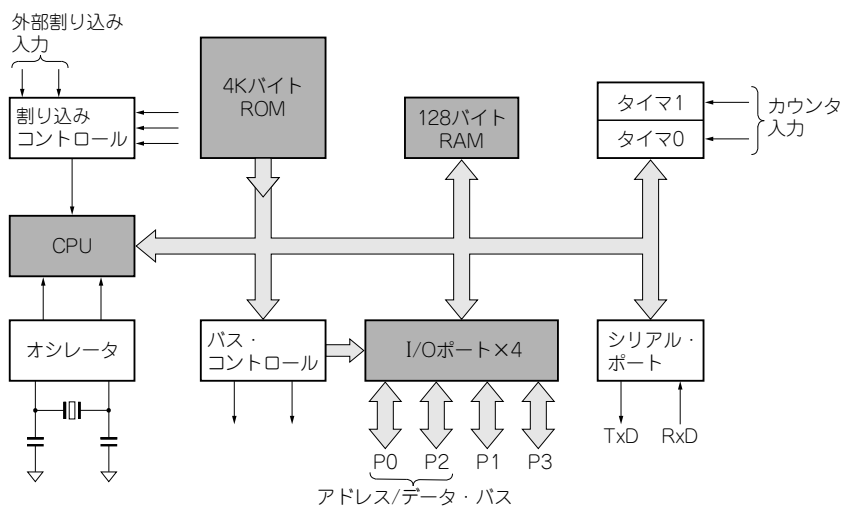
MCS-51アーキテクチャの概要

1-1 MCS-51アーキテクチャの概要

それではいよいよ、8051の説明を始めましょう。図1-1は、元祖であるインテル8051のブロック図です。この図が示すとおり、8051はデバイス単体で動作するマイクロコントローラとして、下記に挙げる機能をすべて内蔵しています。

- CPUコア
- プログラム・メモリ (ROM)
- データ・メモリ (RAM)
- 複数の動作モードをもつ2組の16ビット・タイマ
- 8ビット×4ポートの平行ル・ポート
- 全二重通信が可能なシリアル・ポート
- 割り込みコントローラ
- システム・クロック生成用のクリスタル発振回路

これら8051デバイスがもつ主な機能は、一括して「8051コア」と呼ばれます。



見本

図1-1(4) 8051のブロック図

1-2 外観とピン・アサイン

オリジナルのパッケージは図1-2のような40ピンDIPです。表1-1は各ピンの簡単な説明です。派生品

表1-1 各ピンの説明(40ピンDIP)

ピン番号	名称	説明
1	P1.0	I/Oポート1のビット0
2	P1.1	I/Oポート1のビット1
3	P1.2	I/Oポート1のビット2
4	P1.3	I/Oポート1のビット3
5	P1.4	I/Oポート1のビット4
6	P1.5	I/Oポート1のビット5
7	P1.6	I/Oポート1のビット6
8	P1.7	I/Oポート1のビット7
9	RST	リセット入力
10	P3.0/RXD	I/Oポート3のビット0またはシリアル入力ポート
11	P3.1/TXD	I/Oポート3のビット1またはシリアル出力ポート
12	P3.2/INT0	I/Oポート3のビット2または外部割り込み0
13	P3.3/INT1	I/Oポート3のビット3または外部割り込み1
14	P3.4/T0	I/Oポート3のビット4またはタイマ/カウンタ0外部入力
15	P3.5/T1	I/Oポート3のビット5またはタイマ/カウンタ1外部入力
16	P3.6/ \overline{WR}	I/Oポート3のビット6または外部メモリ・ライト・ストロープ
17	P3.7/ \overline{RD}	I/Oポート3のビット7または外部メモリ・リード・ストロープ
18	XTAL2	インバータ発振回路の出力
19	XTAL1	インバータ発振回路の入力
20	V_{SS}	グラウンド
21	P2.0/A8	I/Oポート2のビット0またはアドレス・バスのビット8
22	P2.1/A9	I/Oポート2のビット1またはアドレス・バスのビット9
23	P2.2/A10	I/Oポート2のビット2またはアドレス・バスのビット10
24	P2.3/A11	I/Oポート2のビット3またはアドレス・バスのビット11
25	P2.4/A12	I/Oポート2のビット4またはアドレス・バスのビット12
26	P2.5/A13	I/Oポート2のビット5またはアドレス・バスのビット13
27	P2.6/A14	I/Oポート2のビット6またはアドレス・バスのビット14
28	P2.7/A15	I/Oポート2のビット7またはアドレス・バスのビット15
29	\overline{PSEN}	プログラム・ストア・イネーブル。外部プログラム・メモリのリード・ストロープ。
30	\overline{PROG}/ALE	アドレス・ラッチ・イネーブル。外部メモリ・アクセス中にアドレスの下位バイトをラッチするためのパルス出力。EPROM デバイスではプログラム・パルス入力。
31	V_{DD}/\overline{EA}	外部アクセス・イネーブル。内部プログラムを実行するときは V_{CC} 、外部プログラムを実行するときは V_{SS} へそれぞれ接続すること。
32	P0.7/AD7	I/Oポート0のビット7または外部メモリ・アクセス中の下位バイト・アドレス/データ・ビット7
33	P0.6/AD6	I/Oポート0のビット6または外部メモリ・アクセス中の下位バイト・アドレス/データ・ビット6
34	P0.5/AD5	I/Oポート0のビット5または外部メモリ・アクセス中の下位バイト・アドレス/データ・ビット5
35	P0.4/AD4	I/Oポート0のビット4または外部メモリ・アクセス中の下位バイト・アドレス/データ・ビット4
36	P0.3/AD3	I/Oポート0のビット3または外部メモリ・アクセス中の下位バイト・アドレス/データ・ビット3
37	P0.2/AD2	I/Oポート0のビット2または外部メモリ・アクセス中の下位バイト・アドレス/データ・ビット2
38	P0.1/AD1	I/Oポート0のビット1または外部メモリ・アクセス中の下位バイト・アドレス/データ・ビット1
39	P0.0/AD0	I/Oポート0のビット0または外部メモリ・アクセス中の下位バイト・アドレス/データ・ビット0
	V_{CC}	電源入力

見本

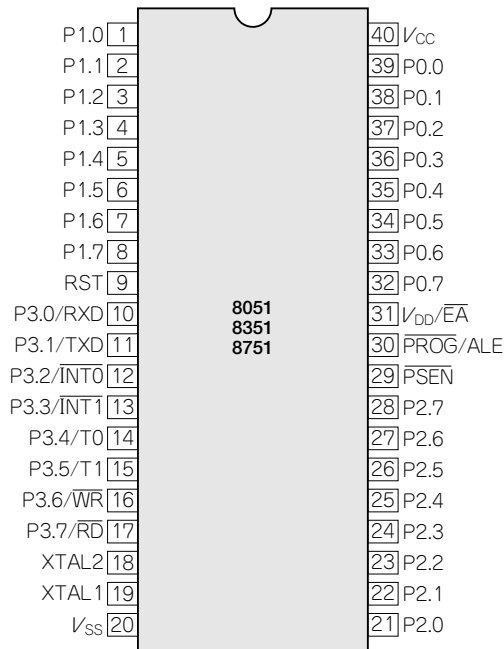


図1-2⁽⁵⁾
40ピンDIPのピン・アサイン

の中には、同じパッケージを採用してオリジナルと置き換え可能であることを特徴とするものと、独自パッケージを採用しているものの両方があります。

1-3 8051の特徴

■ 特徴一覧

以下に8051つまりMCS-51アーキテクチャの特徴を箇条書きでまとめて示します。マイクロプロセッサやマイクロコントローラに慣れている方は、ここで概略を掴んでいただければと思います。もし難しいようであれば、かまわず先へ進んでください。次の第2章から、一つずつ詳しく説明していきます。

● CPU

- ▶ 制御用途に最適化されている。
- ▶ 強力なブリーアン処理(1ビット単位の操作、演算)が可能
- ▶ アキュムレータへの依存度が低く、効率の良い命令セットになっている。
(メモリ-メモリ間データ転送、メモリと定数の直接論理演算など)
- ▶ 8ビット×8ビット→16ビットの乗算命令、8ビット÷8ビットの除算命令をもつ。
- ▶ 条件分岐命令を使ったループの構成として、制御変数を減算しながら0になるまでのループ(DJNZ命令)と、制御変数がある値になるまでループ(CJNE命令)が可能。このCJNE命令はCASE分岐にも使える。

● メモリ

- ▶ プログラム・メモリ空間とデータ・メモリ空間が分離しているハーバード・アーキテクチャである。

▶ プログラム・メモリは最大64Kバイト

▶ 8051は4Kバイト、8052は8KバイトのROMを内蔵

- 不足分は外付けで拡張可能
- ▶ データ・メモリとして、256バイトの内部データ・メモリと、最大64Kバイトの外部データ・メモリの、二つのデータ・メモリ空間をもつ。
 - 内部データ・メモリ空間は、機能によって、次の五つの領域に分けられる。
 - (1) R0～R7のレジスタ・バンク (4バンクで合計32バイト)
 - (2) ビット・アドレス可能領域 (128ビット分で16バイト)
 - (3) 直接アドレッシング可能メモリ領域 [(1)と(2)を含めて128バイト]
 - (4) 間接アドレッシング専用メモリ領域 (128バイト)
 - (5) スペシャル・ファンクション・レジスタ領域 (128バイト)
 - 内部メモリのアドレス空間は256バイトなので、8ビット幅(=1バイト)のアドレスで全域をカバーできる。このサイズに収まる処理は、非常に効率よく、かつ高速に動作する。
 - (1)のレジスタ・バンクは4バンクあり、PSWというステータス・レジスタの設定で切り替えられる。割り込み要因ごとにレジスタ・バンクを使い分ければ、レジスタのスタック退避/復帰を省略できるため、レスポンスが向上する。
 - バイト単位のアドレスとは別に、ビット単位にアドレスが付けられた領域が、(2)と(5)の中に合計32バイト(256ビット分)ある。そのビット・アドレスをオペランドとするプリアン処理命令が充実しており、ビットのセット/クリア/反転はもちろん、キャリ・フラグを1ビット・アキュムレータとしての論理演算(AND, OR)、ビット転送、ビットの状態による条件分岐が可能である。
 - (4)は間接アドレッシングでだけアクセスできるメモリ領域であり、動変数やスタックに適している。
 - (5)は内蔵ペリフェラル関連レジスタ、およびアキュムレータなどのCPU関連レジスタが配置されている領域であり、直接アドレッシング専用である。
- ▶ 内部データ・メモリでは容量が不足する場合には、外部データ・メモリとして最大64Kバイトまで外付けできる。アクセスには専用の転送命令(MOVX)を使用する。
- ▶ プログラム・メモリとデータ・メモリは分離されているが、専用の転送命令(MOVC)を使用することで、プログラム・メモリ領域へアクセスできる。
- **割り込み**
 - ▶ 2段階の優先レベルをもつ6要因/5ベクタをサポートする。
 - ▶ 外部信号入力による割り込みが2本用意されている。それぞれレベル・トリガ、エッジ・トリガを選択可能
 - ▶ ペリフェラルからの割り込みとして、タイマ0、タイマ1、シリアル・ポートからの割り込みが可能。8052デバイスではタイマ2も使用可能
 - ▶ 割り込みサービス・ルーチンの起動はベクタ・テーブル方式。要因ごとに決められたベクタ・アドレスがコールされる。
 - ▶ ベクタ領域にはジャンプ命令だけでなく、割り込みサービス・ルーチン自体を置くこともできる。高速な割り込み応答が可能
 - ▶ 2段階の割り込み優先度が用意されており、割り込み要因ごとに選択できる。これにより割り込みのネ

見本

● I/Oポート

- ▶ 8ビット4ポート(32本)のI/Oポートをもつ。
- ▶ すべてのピンが入力、出力どちらも可能
- ▶ 一部のポート・ピンは、ペリフェラルや外部メモリ増設用の機能と共用

● タイマ0およびタイマ1

- ▶ 16ビットのカウンタ・レジスタをもつタイマ/カウンタである。
- ▶ システム・クロックをカウントするタイマ動作、または外部入力信号をカウントするカウンタ動作を選択できる。
- ▶ モードによって、16ビット・タイマ/カウンタや8ビットのオート・リロード・タイマ/カウンタ、シリアル・ポート用ポー・レート・ジェネレータとして使用できる。

● タイマ2

- ▶ 16ビットのカウンタ・レジスタをもつタイマ/カウンタである。
- ▶ システム・クロックをカウントするタイマ動作、または外部入力信号をカウントするカウンタ動作を選択できる。
- ▶ 16ビット・オート・リロード・モード、16ビット・キャプチャ・モード、シリアル・ポート用ポー・レート・ジェネレータ・モードがある。
- ▶ タイマ2は8052で盛り込まれた機能であり、8051にはない。

● シリアル・ポート

- ▶ 全二重通信が可能なシリアル・ポートである。
- ▶ モードによって、クロック同期型のシフト・レジスタ動作や、8ビット/9ビットの調歩同期が可能

● そのほかの機能

- ▶ 外付けクリスタル用の発振回路を内蔵
- ▶ 低消費電力モードをもつ。

■ 8051らしい部分のもう少し詳しい紹介

図1-1のブロック図を見る限り、8051は何の変哲もない普通のマイクロコントローラです。ここで「8051らしい」部分を紹介しましょう。たくさんありますが、中でも特徴的と思われるものを挙げてみます。

● ビット・データの処理が得意

センサやスイッチからの信号入力、リレーの駆動、LEDの点滅、モータの回転/停止など、制御用途ではビット単位の入出力処理が多用されます。8051は、このビット・データを効率よく取り扱えるように「ビット・アドレス」というビットごとに割り振られたアドレス空間をもっています。これは一般的なバイト単位のアドレスの考え方をビットに対して適用したものと考えられます。ビット・アドレスによって、データ・メモリ内の特定の1ビットをアドレスできます。

加えて8051では、図1-3に示すビット演算処理の例のように、キャリ・フラグ(Cフラグ)が、ビット操作命令におけるアキュムレータとして機能します。

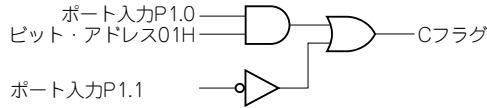
このビット・アドレスと、Cフラグの1ビット・アキュムレータ機能によって、図1-4のようにバイ

見本

データを扱うのと同レベルの処理が、ビット・データに対しても行えます。

この点はとくに「8051らしい」機能の一つで、“boolean processor”と呼ばれることもあります。これ

こんな処理をしたい：
 $C\text{フラグ} \leftarrow ((\text{ポート入力}P1.0) \text{AND} (\text{ビット・アドレス}01\text{H})) \text{OR} (\text{ポート入力}P1.1)$



↓ これをコーディングすると…

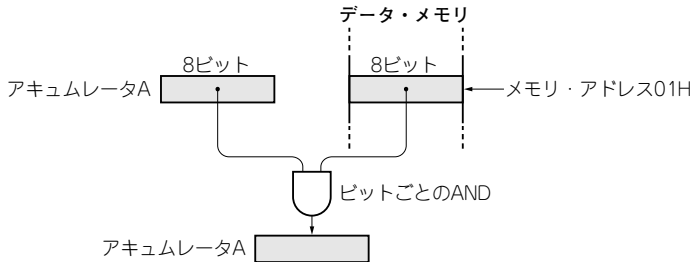
```
MOV C, P1.0 ;ポート入力P1.0をCフラグへ転送
ANL C, 01H ;ビット・アドレス01Hの内容とCの内容をAND演算し、結果をCにストア
ORL C, /P1.1 ;ポート入力P1.1のデータのNOTと、CをOR演算し、結果をCにストア
```

たった3行でOK!

図1-3 ビット演算処理の例(キャリア・フラグは1ビット・アキュムレータとして機能する)

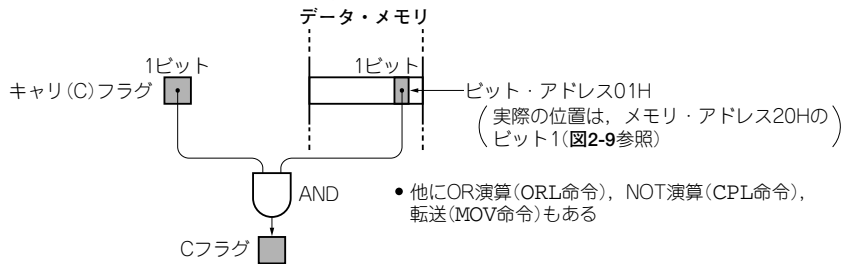
●8ビット(1バイト)データ同士のAND演算

- コード例：ANL A, 01H…アキュムレータAと、データ・メモリのアドレス01Hの内容をビットごとにAND演算して、結果をAにストア



●1ビット・データ同士のAND演算

- コード例：ANL C, 01H…Cフラグと、データ・メモリのビット・アドレス01Hの内容をAND演算して、結果をCにストア



•他にOR演算(ORL命令)、NOT演算(CPL命令)、転送(MOV命令)もある

図1-4 ビット・サイズのデータに対してバイト・データと同様の処理ができる

は後に現れる多くのマイクロコントローラに影響を与えたようです。

●ベクタ・テーブル方式の割り込みサービス

8051の割り込みサービスは、割り込み要因ごとに個別のエントリ・アドレスがコールされる、いわゆる「ベクタ・テーブル方式」です。例えばタイマ0割り込みが発生すると、タイマ0用のエントリであるプログラム・メモリ・アドレス000BHがコールされます。

要因ごとのベクタ・テーブルをもたない、つまり単一ベクタのプロセッサやコントローラでは、割り込みサービスルーチンの先頭でどの要因が割り込みを発生させたのかを調べる「ポーリング」という前処理(図1-5)が必要となります。このため、割り込みが発生してから、実際の割り込み処理が開始されるま