

目次

- 性能評価

★7 性能評価 (つづき)

★7.4 CPU 実行時間とクロックサイクル

現代のコンピュータでは、ほとんどの演算やデータ転送は、**クロック**に同期して行われる (☆1) したがって、クロック 1 周期分の時間が実行時間の基本単位となる。クロック信号の周期のことを、**クロックサイクル時間**と呼ぶ。

☆1) 第5回 p.3「[注]クロック周波数と動作周波数」も参照。

$$(\text{クロックサイクル時間 [sec]}) = 1/(\text{クロック周波数 [Hz]}) \quad (1)$$

同じ回路であれば、クロックサイクル時間が短い (=クロック周波数が高い) 方が単位時間あたり多くの処理を行える。

クロック周波数の例:	発表年	CPU 名称	クロック周波数	
	1971	4004 (世界初のマイクロプロセッサ)	数百 KHz	1MHz = 1 × 10 ⁶ Hz = 百万 Hz,
	1993	Intel Pentium	> 60 MHz	1GHz = 1 × 10 ⁹ Hz = 十億 Hz
	2000	Intel Pentium 4, AMD Athlon 等	> 1 GHz	

あるプログラムの実行に要したクロックサイクル数 (☆2) (何クロックかかったか) を N_C とおくと、次の関係が成り立つ。

☆2) 「クロックサイクル数」は長いので、「クロック数」と略記することがある。

$$(\text{プログラムの実行時間 [sec]}) = N_C \times (\text{クロックサイクル時間 [sec]}) \quad (2)$$

$$= N_C / (\text{クロック周波数 [Hz]}) \quad (3)$$

この式から、実行時間を短くして CPU の性能を向上させるためには、次のいずれかの工夫をすればよいことがわかる。ただし、実際には一方を減らそうとすると他方が増えてしまうので、CPU 設計者は頭を悩ませることになる (☆3)。

☆3) クロック周波数を上げると発熱・消費電力量が大きくなる、クロックサイクル数を減らす工夫をしようとすると必要な論理素子数が増えて高価になる、etc. といった問題もある

- クロックサイクル時間を短縮する (クロック周波数を高くする)
- 同じプログラムをより少ないクロックサイクル数で実行できるようにする

CPU のアーキテクチャが異なれば、同じことをするプログラムでもその実行に必要なクロックサイクル数は違ってくる。したがって、**異なるアーキテクチャの CPU の性能をクロック周波数のみで比較しても意味がない。**

Q1. クロック周波数が 800MHz のマシン A 上であるプログラムを実行すると、CPU 時間は 5 秒だった。これを 3 秒で実行できるマシン B を開発したい。プロセッサの設計が異なるため、このプログラムをマシン B で実行するにはマシン A に比べて 1.2 倍のクロック数が必要だという。マシン B のクロック周波数はいくら以上でなければならないか。

★ 7.5 実効命令数と CPI

今度は、プログラム全体がいくつの命令でできているか、一つの命令の実行に何クロックサイクルかかるか、という視点から考えてみよう。

通常、CPU は全ての命令を 1 クロックサイクルで実行できるわけではない。実行に必要なクロックサイクル数は命令の種類毎に異なる場合がほとんどである (☆4)。したがって、「実行した命令の数」と「実行に要したクロックサイクル数」は一致しない。

例えば、あるプログラムの中に、1 クロックサイクルで実行できる命令が 80%、4 クロック必要な命令が 20%含まれているとしたら、このプログラムの実行時には、1 命令あたり平均 1.6 クロックサイクルを要することになる。このような「1 命令の実行に要するクロックサイクル数の平均」を、**CPI** という。

あるプログラムの CPI がわかったとすると、後はそのプログラムの実行に必要な命令数がわかれば、クロックサイクル数を割り出すことができる。ただし、このときの命令数は、プログラムの見ための命令数ではなく、「実際に実行された命令の数」であることに注意しよう (☆5) このような命令の数のことを、**実効命令数** (☆6) という。クロックサイクル数は、CPI と実効命令数の積となる。

$$\begin{aligned} & (\text{あるプログラムの実行に必要なクロック数}) \\ & = (\text{そのプログラムの実効命令数}) \times (\text{そのプログラムの CPI}) \quad (4) \end{aligned}$$

プログラムが異なれば、CPI も異なることに注意しよう。例えば、整数演算と浮動小数点演算とで必要なクロック数が異なる CPU があつたとすると、ほとんど整数演算命令ばかりのプログラムと、両者を均等に含むプログラムでは、CPI が違ってくる。また、同じ命令セットアーキテクチャの CPU であっても、同じプログラムに関する CPI が異なる場合もある。

次の問題からもわかるように、たとえ 2 つの CPU の命令セットアーキテクチャが同じでも、同じプログラムに要する CPI が異なる場合もあるので、やはり CPU の性能をクロック周波数のみで比較しても意味がない。

Q2. 同じ命令セットアーキテクチャの 2 種類のマシン A,B がある。マシン A のクロック周波数は 600MHz、マシン B のクロック周波数は 1.2GHz とする。あるプログラムの CPI を両者で計算してみると、マシン A では 1.2 であり、マシン B では 2.0 であった。このプログラムに関しては、どちらのマシンがどのくらい速いか。

☆4) 例えば、CPU 内で処理の完結する加減算等の命令は、メモリアクセスの必要なロード/ストアのような命令に比べて少ないクロックサイクル数で実行できることが多い。

CPI: Clock Per Instruction

☆5) 例えば 5 命令から成るサブルーチンを 10 回繰り返し実行したならその実効命令数は 50 である。

☆6) 「実行」ではなく「実効」であることに注意

Q3. ほげお君は、ゲームソフト「龍探検九」を高速に実行できる PC を手に入れようとして、2 台の PC 「Nyororon」と「Funya2」のどちらにするか迷ったあげく、何となく「Funya2」の方を購入することに決めた。彼のこの選択は正しいと言えるかどうか、理由をつけて答えなさい。ただし、「龍探検九」は多量の計算を必要とするソフトウェアであり、その性能は CPU 実行時間で評価できるとする。また、

- この 2 台の PC は、CPU 以外の部分は全く同じである
- どちらも同じ命令セットアーキテクチャの CPU をひとつずつ搭載している
- 二つの CPU は以下の表に示す点のみが異なっている

	Nyororon	Funya2
クロック周波数	2GHz	1GHz
整数演算の CPI	1	1
浮動小数点演算の CPI	5	3
その他の命令実行での CPI	4	5

とする。さらに、「龍探検九」のプログラムをこれらの PC で実行する際の実効的な命令数は、(整数演算命令数) : (浮動小数点演算命令数) : (その他の命令の数) = 1 : 3 : 2 であったとする。

★ 7.6 様々な性能指標

CPU の、あるいはコンピュータシステム全体としての性能評価の指標としてよく知られたものをいくつか紹介しておく。

MIPS ある CPU が 1 秒間に実行できる命令の数を 100 万単位で数えたもの。速いマシンほど値が大きい。しかし、プログラムが異なればこの値は変化するし、アーキテクチャの異なるマシン同士の比較にも使えないのでほとんど役に立たない (☆7)。

FLOPS 1 秒あたりの浮動小数点演算命令の実行数。スーパーコンピュータのように科学技術計算に特化したマシンの評価によく用いられる。速いマシンほど値が大きい。最近では、GFLOPS (ギガフロップス, 10 億命令/秒) や TFLOPS (テラフロップス, 1 兆命令/秒) が使われる。MIPS と同様正確な指標ではない。

これらの指標は CPU 性能のごく大ざっぱな見積もり程度にしか役立たない。結局、CPU 性能を評価したければ、実際にプログラムを動かして実行時間を測定し、それを比較してみるのが最もよい。その際には、自分の使うプログラムを実行してみるのが一番であるが、より簡単に、**ベンチマーク**と呼ばれるプログラムを利用して性能評価することも多い。ベンチマークとは、コンピュータの性能評価を目的として作られたプログラムのこと (あるいはそれをを用いて性能を評価すること) である。

MIPS: Million Instructions Per Second, ミップス

☆7) 7×100 を 1 命令で実行するマシン A と、加算を使って 100 命令で実行するマシン B があり、どちらも 1 万分の 1 秒でこの計算をできるとすると、この計算に関する MIPS 値は A が 1 で B が 100 になってしまう。

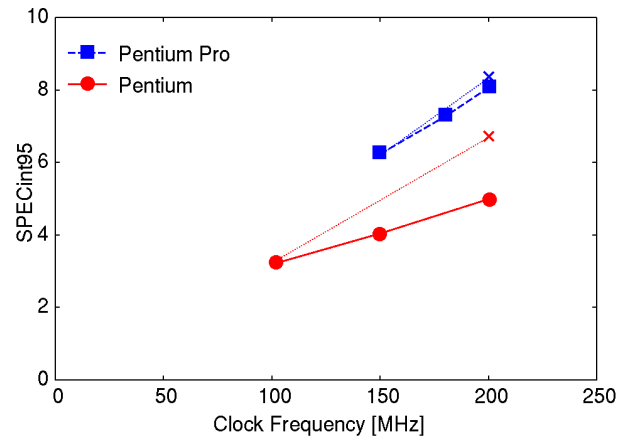
FLOPS: Floating point number Operations Per Second, フロップス

コンピュータ業界では、SPEC という組織が提供しているベンチマークがよく利用されている。整数演算を多用するプログラムを想定したもの、浮動小数点演算をバンバン行うプログラムを想定したものなど、コンピュータの利用形態ごとにいくつものベンチマークがあり、代表的なコンピュータについて実際に測定した結果が公開されている。

SPEC: Standard Performance Evaluation Corporation
<http://www.spec.org/>

右図に、実際のベンチマーク結果の例を示す。

●と■は実際のベンチマーク値であり、X のついた点線は、100MHz の Pentium および 150MHz の Pentium Pro の値を基準とし、ベンチマーク値がクロック周波数に比例すると仮定してひいた線分である。この結果からは、次のことが読み取れる: (1) Pentium に比べて Pentium Pro の方が同じクロック周波数でより性能が高い。 (2) どちらもクロック周波数の向上から期待されるほどは性能は向上していないが、Pentium Pro の方が性能向上度は高い。ただし、このようなベンチマーク結果には、メモリのアクセス速度、CPU とメモリをつなぐバスの転送速度、など様々な要因がからむので、純粋な CPU 性能の比較にはなっていないことに注意が必要である。



●おまけ

- 現在のスーパーコンピュータのトップ 500 ランキング <http://www.top500.org/>
- 様々なコンピュータの浮動小数点演算性能 <http://ja.wikipedia.org/wiki/FL OPS>