

IA-32 命令のレイテンシ とスループット

本付録には、IA-32 命令のレイテンシ、スループット、および実行ユニットのそれぞれについてまとめた表をいくつか収録した。各表には、Intel Pentium 4 プロセッサに固有のデータを記載した。Intel NetBurst マイクロアーキテクチャの詳細、および命令のスループットやレイテンシといったデータがコード・チューニングにどのように関係してくるかについては、[第 1 章「実行コアの詳細」](#)と[第 2 章「浮動小数点/SIMD オペランド」](#)を参照のこと。

本付録は、以下の各節で構成されている。

- 概要 - 命令の選択とスケジューリングに関する問題の概要を記載している。
- 用語説明 - 「レイテンシとスループット」の節に収録した各表の見出し行について説明する。
- レイテンシとスループット - IA-32 命令のスループット、レイテンシ、実行ユニットを命令別に各表にまとめた。

概要

Pentium 4 プロセッサでは、動的なスケジューリングやバッファ操作を行うとともにアウトオブオーダー実行を使用しているため、不適切な命令選択や不適切なスケジューリングが従来のコードの中にも含まれていても問題なく作動できる。また、いくつかのマイクロオペレーション (μ OP) を再整理することで、レイテンシによる遅延時間を見えなくしたり、リソースの競合を防いだりできる。場合によっては、IA-32 命令をいくつかうまく配置することによって、そうした遅延を防ぐマイクロアーキテクチャの機能をより強化することもできる。IA-32 命令をいくつか再整理することで有益なこともあるが、マイクロオペレーション (μ OP) の最終的な実行スケジュールを決めるのは命令実行コアである。

アセンブリ言語のプログラマやコンパイラ開発者は、本付録の情報を読むことにより、依存関係チェーンに起因するレイテンシの最も小さくなる命令シーケンスを選ぶ作業を容易に行うことができる。また、命令をどのような順番に並べれば各命令の処理がハードウェアで効率的に実行でき、なおかつリソース競合を防ぐことができるかもわかる。パフォーマンスに関する以下のような要素にアプリケーションが完全に支配されているのであれば、本付録の情報を活用することで、パフォーマンス面に数パーセント台の効果が現れることがわかっている。

- キャッシュ・ミス・レイテンシ
- バス帯域幅
- I/O 帯域幅

第 2 章では以下のようなパフォーマンス問題について論じたが、コンパイラやアセンブリのプログラマがこれらの問題を解決した後最も大きな問題となるのが、命令の選択とスケジューリングである。

- ストア・フォワードに関する制約事項を守る。
- キャッシュ・ラインの分割もメモリ・オーダー・バッファの分割も避ける。
- 分岐予測を禁止しない。
- メモリ・ロケーションでの `xchg` 命令の使用回数を最小限に抑える。

上記の各項目は、いかにして適切な命令を選ぶかという問題だが、本付録では以下の問題点に焦点をあてる。重要と思われる順番に挙げたが、どの項目がパフォーマンスに大きく影響するかはアプリケーションによって異なる。

- 実行コアへのマイクロオペレーション (μ OP) の流入を最大にする。5 つ以上のマイクロオペレーション (μ OP) から成る IA-32 命令はマイクロコード ROM から実行される。マイクロオペレーション (μ OP) の長く連なったこのような命令では、実行トレース・キャッシュとマイクロコード ROM を相互に切り替えるときにオーバーヘッドがわずかに生じてしまう。マイクロコード ROM に移行すると、多くの場合、複数のマイクロオペレーション (μ OP) をトレース・キャッシュにパックするときの効率が低下する。可能な場合は、マイクロオペレーション (μ OP) が 4 つ以下の命令を選択する。例えば、1 つのメモリ・オペランドを対象にして 32 ビットの整数乗算を実行するときは、マイクロコード ROM へ移行せずにトレース・キャッシュに収まるが、メモリを対象にして 16 ビットの整数乗算を実行するときは収まらない。
- リソースの競合を避ける。同じポートや同じ実行ユニットの奪い合いが起きないように複数の命令をインターリーブすることで、スループットが改善できる。例えば、`PADDQ` 命令と `PMULUDQ` 命令を交互に配置した場合は、どちらの命令についてもクロック・サイクル 2 回につき発行は 1 回というスループットになる。インターリーブを適用すると、クロック・サイクル 1 回につき命令 1 つという、効率の良いスループットが得られる。その理由は、ポートが同じでも別の実行ユニットが使用されるからである。発行

ポートの帯域幅が狭くならないようにしたり、レイテンシを隠蔽したり、ソフトウェアのパフォーマンスをより高くしたりするためには、スループットの高い命令を選ぶのも有効である。

- クリティカル・パスに乗っているいくつかの依存関係チェーンのレイテンシを最小にする。例えば、2 ビットだけ左へシフトする操作の場合は、2 つの加算命令としてエンコードしたときのほうが、1 つのシフト命令としてエンコードしたときよりも実行速度が速い。レイテンシが問題でない場合は、このシフト命令を実行するとバイト・エンコーディングの密度がより高くなる。

本書には、一般的な規則、特殊な規則、コーディングに関するガイドライン、および命令に関するデータを収録したが、そのほかにも、<http://www.intel.co.jp/developer/Vtune/> で入手できるソフトウェア分析およびチューニング・ツール群が利用できる。このツール群には、さまざまなパフォーマンス監視機能を備えた VTune 性能アナライザや Intel® グラフィックス・パフォーマンス・ツールキットなどが含まれている。

用語説明

IA-32 命令のパフォーマンス・データをいくつかの表に列挙した。各表には、以下の情報が記載されている。

命令名： 各命令のアセンブリ・ニーモニック

レイテンシ： IA-32 命令を構成しているすべてのマイクロオペレーション (μOP) の実行が実行コアで完了するのに要するクロック・サイクル数。

スループット： 発行ポートが同じ命令を再度自由に受け入れられるようになるまで待たなければならないクロック・サイクル数。多くの IA-32 命令は、命令のスループットのほうがレイテンシよりもかなり小さい。

実行ユニット： 実行コアにおける、実行ユニットの名前。実行ユニットを用いて命令ごとにすべてのマイクロオペレーション (μOP) を実行する。この情報が関係するのは、最高でも 4 つのマイクロオペレーション (μOP) にデコードされる IA-32 命令だけである。5 つ以上のマイクロオペレーション (μOP) にデコードされる命令に使用されるマイクロオペレーション (μOP) は、マ

マイクロコード ROM から提供される。FP_EXECUTE クラスタの FP_ADD、FP_MUL や MMX_SHFT など一部の実行ユニットについては、同じポートが共有されることがあることに注意されたい (図 1-4 を参照)。

レイテンシとスループット

この節に記載しているレイテンシとスループットに関する情報は、IA-32 命令セットを対象としたものである。IA-32 命令セットには、ストリーミング SIMD 拡張命令 2、ストリーミング SIMD 拡張命令、MMX テクノロジー命令が含まれるほか、整数命令や x87 浮動小数点命令についても、よく使用される汎用のものは大半が含まれている。

ダイナミック・エグゼキューションは複雑であり、また命令列の実行順序にかかわらず実行するという特徴 (アウトオブオーダー) が実行コアに与えられているため、ここに示したレイテンシ・データを用いるだけでは実際のコード・シーケンスの現実的なパフォーマンスを正確に予測するには十分ではない。

- この節に示したレイテンシ・データは、Intel NetBurst マイクロアーキテクチャを基本とする IA-32 命令の、命令レベルでのパフォーマンスを相対的に比較するためだけに用意されたものである。
- 以降各表に挙げたすべての数値データを読むときは、以下の点に注意されたい。
 - 数値はすべて概算値である。Intel NetBurst マイクロアーキテクチャの実装方式が将来変われば、この数値も変わる可能性がある。
 - この数値は、命令レベルでのパフォーマンス評価基準をいくつか比較するときの基準値として使用するためのものではない。別のマイクロアーキテクチャに基づいて作られたマイクロプロセッサのいくつかについて、そのパフォーマンスを命令レベルで比較する作業は、本書で扱っている以外の情報を必要とする複雑なテーマである。

レイテンシとスループットに関するデータを Pentium 4 プロセッサと Pentium III プロセッサとのあいだで比較すると、誤解を招くことがある。なぜなら、Pentium 4 プロセッサでの 1 サイクルと、Pentium III プロセッサでの 1 サイクルが等しくないからである。Pentium 4 プロセッサは Pentium III プロセッサよりも高いクロック周波数で作動するように設計されている。多くの IA-32 命

令は、レジスタをそのオペランドとして使用した場合でも、またレジスタ / メモリ・アドレスの組み合わせをそのオペランドとして使用した場合でも、いずれも作動する。その両者のどちらであるかによって、命令のパフォーマンスは異なる。

次の「[レジスタ・オペランドの場合のレイテンシとスループット](#)」では、レジスタ - レジスタ方式の命令タイプについて、レイテンシとスループットに関するデータを示す。「[メモリ・オペランドの場合のレイテンシとスループット](#)」では、レジスタ - メモリ方式の命令タイプと、メモリ - レジスタ方式の命令タイプについて、レイテンシとスループットの要求値の調整方法について説明する。

場合によっては、レイテンシやスループットの数値が半クロックであることもある。これは倍速の ALU の場合のみである。

レジスタ・オペランドの場合のレイテンシとスループット

IA-32 命令のレイテンシとスループットについて、そのデータを[表 B-5](#) から[表 B-11](#) に示す。ストリーミング SIMD 拡張命令 2、ストリーミング SIMD 拡張命令、MMX テクノロジ命令についてはすべて収録し、頻繁に使用される IA-32 命令の大半についても収録している。

表 B-5 ストリーミング SIMD 拡張 2 の 128 ビット整数命令

命令名	レイテンシ ¹	スルーブット	実行ユニット ²
CVTDQ2PS ³ xmm, xmm	5	2	FP_ADD
CVTPS2DQ ³ xmm, xmm	5	2	FP_ADD
CVTTPS2DQ ³ xmm, xmm	5	2	FP_ADD
MOVD xmm, r32	6	2	MMX_MISC,MMX_SHFT
MOVD r32, xmm	10	1	FP_MOVE,FP_MISC
MOVDQA xmm, xmm	6	1	FP_MOVE
MOVDQU xmm, xmm	6	1	FP_MOVE
MOVDQ2Q mm, xmm	8	2	FP_MOVE,MMX_ALU
MOVQ2DQ xmm, mm	8	2	FP_MOVE,MMX_SHFT
MOVQ xmm, xmm	2	2	MMX_SHFT
PACKSSWB/PACKSSDW/ PACKUSWB xmm, xmm	4	2	MMX_SHFT
PADDB/PADDW/PADDD xmm, xmm	2	2	MMX_ALU
PADDSB/PADDSW/PADDUSB/ PADDUSW xmm, xmm	2	2	MMX_ALU
PADDQ/PSUBQ mm, mm	2	1	MMX_ALU
PADDQ/ PSUBQ ³ xmm, xmm	6	2	MMX_ALU
PAND xmm, xmm	2	2	MMX_ALU
PANDN xmm, xmm	2	2	MMX_ALU
PAVGB/PAVGW xmm, xmm	2	2	MMX_ALU
PCMPEQB/PCMPEQD/PCMPEQW xmm, xmm	2	2	MMX_ALU
PCMPGTB/PCMPGTD/PCMPGTW xmm, xmm	2	2	MMX_ALU
PEXTRW r32, xmm, imm8	7	2	MMX_SHFT,FP_MISC
PINSRW xmm, r32, imm8	4	2	MMX_SHFT,MMX_MISC
PMADDWD xmm, xmm	8	2	FP_MUL
PMAX xmm, xmm	2	2	MMX_ALU
PMIN xmm, xmm	2	2	MMX_ALU
PMOVBMSKB ³ r32, xmm	7	2	FP_MISC

続く

表 B-5 ストリーミング SIMD 拡張 2 の 128 ビット整数命令 (続き)

命令名	レイテンシ ¹	スルーブット	実行ユニット ²
PMULHUW/PMULHW/PMULLW ³ xmm, xmm	8	2	FP_MUL
PMULUDQ mm, mm	8	2	FP_MUL
POR xmm, xmm	2	2	MMX_ALU
PSADBW xmm, xmm	4	2	MMX_ALU
PSHUFD xmm, xmm, imm8	4	2	MMX_SHFT
PSHUFHW xmm, xmm, imm8	2	2	MMX_SHFT
PSHUFLW xmm, xmm, imm8	2	2	MMX_SHFT
PSLLDQ xmm, imm8	4	2	MMX_SHFT
PSLLW/PSLLD/PSLLQ xmm, xmm/imm8	2	2	MMX_SHFT
PSRAW/PSRAD xmm, xmm/imm8	2	2	MMX_SHFT
PSRLDQ xmm, imm8	4	2	MMX_SHFT
PSRLW/PSRLD/PSRLQ xmm, xmm/imm8	2	2	MMX_SHFT
PSUBB/PSUBW/PSUBD xmm, xmm	2	2	MMX_ALU
PSUBSB/PSUBSW/PSUBUSB/ PSUBUSW xmm, xmm	2	2	MMX_ALU
PUNPCKHBW/PUNPCKHWD/ PUNPCKHDQ/PUNPCKHQDQ xmm, xmm	4	2	MMX_SHFT
PUNPCKLBW/PUNPCKLWD/ PUNPCKLDQ xmm, xmm	2	2	MMX_SHFT
PUNPCKLQDQ ³ xmm, xmm	4	1	FP_MISC
PXOR xmm, xmm	2	2	MMX_ALU

「表を参照する際の注意」を参照のこと。

表 B-6 ストリーミング SIMD 拡張 2 の倍精度浮動小数点命令

命令名	レイテンシ ¹	スループット	実行ユニット ²
ADDPD xmm, xmm	4	2	FP_ADD
ADDSD xmm, xmm	4	2	FP_ADD
ANDNPD ³ xmm, xmm	4	2	MMX_ALU
ANDPD ³ xmm, xmm	4	2	MMX_ALU
CMPPD xmm, xmm	4	2	FP_ADD
CMPSD xmm, xmm, imm8	4	2	FP_ADD
COMISD xmm, xmm	6	2	FP_ADD, FP_MISC
CVTDQ2PD xmm, xmm	8	3	FP_ADD, MMX_SHFT
CVTPD2PI mm, xmm	11	3	FP_ADD, MMX_SHFT, MMX_ALU
CVTPD2DQ xmm, xmm	9	2	FP_ADD, MMX_SHFT
CVTPD2PS ³ xmm, xmm	10	2	FP_ADD, MMX_SHFT
CVTPI2PD xmm, mm	11	4	FP_ADD, MMX_SHFT, MMX_ALU
CVTPS2PD ³ xmm, xmm	10	4	FP_ADD, MMX_SHFT, MMX_ALU
CVTSD2SI r32, xmm	8	2	FP_ADD, FP_MISC
CVTSD2SS ³ xmm, xmm	16	4	FP_ADD, MMX_SHFT
CVTSI2SD ³ xmm, r32	15	3	FP_ADD, MMX_SHFT, MMX_MISC
CVTSS2SD ³ xmm, xmm	14	3	
CVTTPD2PI mm, xmm	11	3	FP_ADD, MMX_SHFT, MMX_ALU
CVTTPD2DQ xmm, xmm	9	2	FP_ADD, MMX_SHFT
CVTTSD2SI r32, xmm	8	2	FP_ADD, FP_MISC
DIVPD xmm, xmm	62	62	FP_DIV
DIVSD xmm, xmm	35	35	FP_DIV
MAXPD xmm, xmm	4	2	FP_ADD
MAXSD xmm, xmm	4	2	FP_ADD
MINPD xmm, xmm	4	2	FP_ADD
MINSD xmm, xmm	4	2	FP_ADD
MOVAPD xmm, xmm	6	1	FP_MOVE
MOVMSKPD r32, xmm	6	2	FP_MISC
MOVSD xmm, xmm	6	2	MMX_SHFT

続く

表 B-6 ストリーミング SIMD 拡張 2 の倍精度浮動小数点命令 (続き)

命令名	レイテンシ ¹	スループット	実行ユニット ²
MOVUPD xmm, xmm	6	1	FP_MOVE
MULPD xmm, xmm	6	2	FP_MUL
MULSS xmm, xmm	6	2	FP_MUL
ORPD ³ xmm, xmm	4	2	MMX_ALU
SHUFPD ³ xmm, xmm, imm8	6	2	MMX_SHFT
SQRTPD xmm, xmm	62	62	FP_DIV
SQRTSD xmm, xmm	35	35	FP_DIV
SUBPD xmm, xmm	4	2	FP_ADD
SUBSD xmm, xmm	4	2	FP_ADD
UCOMISD xmm, xmm	6	2	FP_ADD, FP_MISC
UNPCKHPD ³ xmm, xmm	6	2	MMX_SHFT
UNPCKLPD ³ xmm, xmm	4	2	MMX_SHFT
XORPD ³ xmm, xmm	4	2	MMX_ALU

「表を参照する際の注意」を参照のこと。

表 B-7 ストリーミング SIMD 拡張の単精度浮動小数点命令

命令名	レイテンシ ¹	スループット	実行ユニット ²
ADDPS xmm, xmm	4	2	FP_ADD
ADDSS xmm, xmm	4	2	FP_ADD
ANDNPS ³ xmm, xmm	4	2	MMX_ALU
ANDPS ³ xmm, xmm	4	2	MMX_ALU
CMPPS xmm, xmm	4	2	FP_ADD
CMPSS xmm, xmm	4	2	FP_ADD
COMISS xmm, xmm	6	2	FP_ADD, FP_MISC
CVTPI2PS xmm, mm	11	4	MMX_ALU, FP_ADD, MMX_SHFT
CVTPS2PI mm, xmm	7	2	FP_ADD, MMX_ALU
CVTSI2SS ³ xmm, r32	11	2	FP_ADD, MMX_SHFT, MMX_MISC

続く

表 B-7 ストリーミング SIMD 拡張の単精度浮動小数点命令 (続き)

命令名	レイテンシ ¹	スループット	実行ユニット ²
CVTSS2SI r32, xmm	8	2	FP_ADD,FP_MISC
CVTTPS2PI mm, xmm	7	2	FP_ADD,MMX_ALU
CVTTSS2SI r32, xmm	8	2	FP_ADD,FP_MISC
DIVPS xmm, xmm	32	32	FP_DIV
DIVSS xmm, xmm	22	22	FP_DIV
MAXPS xmm, xmm	4	2	FP_ADD
MAXSS xmm, xmm	4	2	FP_ADD
MINPS xmm, xmm	4	2	FP_ADD
MINSS xmm, xmm	4	2	FP_ADD
MOVAPS xmm, xmm	6	1	FP_MOVE
MOVHPS ³ xmm, xmm	6	2	MMX_SHFT
MOVLHPS ³ xmm, xmm	4	2	MMX_SHFT
MOVMSKPS r32, xmm	6	2	FP_MISC
MOVSS xmm, xmm	4	2	MMX_SHFT
MOVUPS xmm, xmm	6	1	FP_MOVE
MULPS xmm, xmm	6	2	FP_MUL
MULSS xmm, xmm	6	2	FP_MUL
ORPS ³ xmm, xmm	4	2	MMX_ALU
RCPPS ³ xmm, xmm	6	4	MMX_MISC
RCPSS ³ xmm, xmm	6	2	MMX_MISC,MMX_SHFT
RSQRTPS ³ xmm, xmm	6	4	MMX_MISC
RSQRTSS ³ xmm, xmm	6	4	MMX_MISC,MMX_SHFT
SHUFPS ³ xmm, xmm, imm8	6	2	MMX_SHFT
SQRTPS xmm, xmm	32	32	FP_DIV
SQRTSS xmm, xmm	22	22	FP_DIV
SUBPS xmm, xmm	4	2	FP_ADD
SUBSS xmm, xmm	4	2	FP_ADD
UCOMISS xmm, xmm	6	2	FP_ADD, FP_MISC
UNPCKHPS ³ xmm, xmm	6	2	MMX_SHFT

続く

表 B-7 ストリーミング SIMD 拡張の単精度浮動小数点命令 (続き)

命令名	レイテンシ ¹	スルーput	実行ユニット ²
UNPCKLPS ³ xmm, xmm	4	2	MMX_SHFT
XORPS ³ xmm, xmm	4	2	MMX_ALU

「[表を参照する際の注意](#)」を参照のこと。

表 B-8 ストリーミング SIMD 拡張の 64 ビット整数命令

命令名	レイテンシ ¹	スルーput	実行ユニット ²
PAVGB/PAVGW mm, mm	2	1	MMX_ALU
PEXTRW r32, mm, imm8	7	2	MMX_SHFT,FP_MISC
PINSRW mm, r32, imm8	4	1	MMX_SHFT,MMX_MISC
PMAX mm, mm	2	1	MMX_ALU
PMIN mm, mm	2	1	MMX_ALU
PMOVMASKB ³ r32, mm	7	2	FP_MISC
PMULHUW ³ mm, mm	8	1	FP_MUL
PSADBW mm, mm	4	1	MMX_ALU
PSHUFW mm, mm, imm8	2	1	MMX_SHFT

「[表を参照する際の注意](#)」を参照のこと。

表 B-9 MMX® テクノロジーの 64 ビット命令

命令名	レイテンシ ¹	スループット	実行ユニット ²
MOVD mm, r32	2	1	MMX_ALU
MOVD ³ r32, mm	5	1	FP_MISC
MOVQ mm, mm	6	1	FP_MOV
PACKSSWB/PACKSSDW/ PACKUSWB mm, mm	2	1	MMX_SHFT
PADDB/PADDW/PADDD mm, mm	2	1	MMX_ALU
PADDSB/PADDSW/PADDUSB/ PADDUSW mm, mm	2	1	MMX_ALU
PAND mm, mm	2	1	MMX_ALU
PANDN mm, mm	2	1	MMX_ALU
PCMPEQB/PCMPEQD PCMPEQW mm, mm	2	1	MMX_ALU
PCMPGTB/PCMPGTD/ PCMPGTW mm, mm	2	1	MMX_ALU
PMADDWD ³ mm, mm	8	1	FP_MUL
PMULHW/PMULLW ³ mm, mm	8	1	FP_MUL
POR mm, mm	2	1	MMX_ALU
PSLLQ/PSLLW/PSLLD mm, mm/imm8	2	1	MMX_SHFT
PSRAW/PSRAD mm, mm/imm8	2	1	MMX_SHFT
PSRLQ/PSRLW/PSRLD mm, mm/imm8	2	1	MMX_SHFT
PSUBB/PSUBW/PSUBD mm, mm	2	1	MMX_ALU
PSUBSB/PSUBSW/PSUBUSB/ PSUBUSW mm, mm	2	1	MMX_ALU
PUNPCKHBW/PUNPCKHWD/ PUNPCKHDQ mm, mm	2	1	MMX_SHFT
PUNPCKLBW/PUNPCKLWD/ PUNPCKLDQ mm, mm	2	1	MMX_SHFT
PXOR mm, mm	2	1	MMX_ALU
EMMS ¹	12	12	

「表を参照する際の注意」を参照のこと。

表 B-10 IA-32 の x87 浮動小数点命令

命令名	レイテンシ ¹	スループット	実行ユニット ²
FABS	2	1	FP_MISC
FADD	5	1	FP_ADD
FSUB	5	1	FP_ADD
FMUL	7	2	FP_MUL
FCOM	2	1	FP_MISC
FCHS	2	1	FP_MISC
FDIV(単精度)	23	23	FP_DIV
FDIV(倍精度)	38	38	FP_DIV
FDIV(拡張精度)	43	43	FP_DIV
FSQRT SP	23	23	FP_DIV
FSQRT DP	38	38	FP_DIV
FSQRT EP	43	43	FP_DIV
F2XM1 ⁴	90-150	60	
FCOS ⁴	190-240	130	
FPATAN ⁴	150-300	140	
FPTAN ⁴	225-250	170	
FSIN ⁴	160-180	130	
FSINCOS ⁴	160-220	140	
FYL2X ⁴	140-190	85	
FYL2XP1 ⁴	140-190	85	
FSCALE ⁴	60	7	
FRNDINT ⁴	30	11	
FXCH ⁵	0	1	FP_MOVE

「[表を参照する際の注意](#)」を参照のこと。

表 B-11 IA-32 の汎用命令

命令名	レイテンシ ¹	スループット	実行ユニット ²
ADC/SBB reg, reg	8	3	
ADC/SBB reg, imm	6	2	ALU
ADD/SUB	0.5	0.5	ALU
AND/OR/XOR	0.5	0.5	ALU
CMP/TEST	0.5	0.5	ALU
DEC/INC	1	0.5	ALU
IMUL r32	14	3	FP_MUL
IMUL imm32	14	3	FP_MUL
IMUL	15-18	5	
IDIV	56-70	23	
IN/OUT ¹	<225	40	
Jcc ⁶	適用外	0.5	ALU
LOOP	8	1.5	ALU
MOV	0.5	0.5	ALU
MOVSB/MOVSX	0.5	0.5	ALU
MOVZB/MOVZX	0.5	0.5	ALU
NEG/NOT/NOP	0.5	0.5	ALU
POP r32	1.5	1	MEM_LOAD,ALU
PUSH	1.5	1	MEM_STORE,ALU
RCL/RCR reg, ¹⁶	4	1	
RCL/RCR reg, ¹⁷	4	1	
ROL/ROR	4	1	
RET	8	1	MEM_LOAD,ALU
SAHF	0.5	0.5	ALU
SAL/SAR/SHL/SHR	4	1	
SCAS	4	1.5	ALU, MEM_LOAD
SETcc	5	1.5	ALU
STOSB	5	2	ALU, MEM_STORE
XCHG	1.5	1	ALU

続く

表 B-11 IA-32 の汎用命令 (続き)

命令名	レイテンシ ¹	スループット	実行ユニット ²
CALL	5	1	ALU, MEM_STORE
MUL	14-18	5	
DIV	56-70	23	

「表を参照する際の注意」を参照のこと。

表を参照する際の注意

本付録に収録されている表を参照する際は、以下の点に注意すること。

- 5 つ以上のマイクロオペレーション (μ OP) から成る複合命令の多くについては、控えめに見積もった推定値ないしは最悪の場合を考慮して見積もった推定値を示した。そのような命令をアウトオブオーダー・コア実行ユニットで実行したときの実際のパフォーマンスは、各表に示した標準的なレイテンシ・データよりも若干速いという程度のものから、著しく速いという程度のものまで幅がある。
- 実行ユニットの名前には、ALU、FP_EXECUTE、FPMOVE、MEM_LOAD、MEM_STORE が含まれる。アウトオブオーダー・コアの実行ユニットとポートについては、[図 1-4](#) を参照のこと。以下の点に注意されたい。
 - FP_EXECUTE ユニットは実際には複数の実行ユニットから成る 1 つのクラスタである。およそ 7 つの独立した実行ユニットで構成されている。
 - FP_ADD ユニットでは、x87、SIMD 浮動小数点の両方について加算と減算が実行される。
 - FP_MUL ユニットでは、x87、SIMD 浮動小数点の両方について乗算が実行される。
 - FP_DIV ユニットでは、x87、SIMD 浮動小数点の両方について除算と平方根計算が実行される。
 - MMX_SHFT ユニットでは、シフトとローテートが実行される。
 - MMX_ALU ユニットでは、SIMD 整数の ALU 演算が実行される。
 - MMX_MISC ユニットでは、相互の MMX 計算と一部の整数演算が実行される。

- FP_MISC では、ポート 1 に含まれている他の実行ユニットのうち、上に列挙した 6 つの実行ユニットから離れている実行ユニットが指定される。
- 3. コード・シーケンスの中で IA-32 命令をいくつか繰り返して呼び出すようにすると、この表に列挙した実際的な数値よりも 1 ~ 2 クロック・サイクルはレイテンシが短くなることもある。
- 4. 超越関数命令のレイテンシとスループットは、ダイナミック・エグゼキューション環境では相当大きく変わることがある。したがって、超越関数命令については、概算値か、ある程度幅を持った数値のいずれかのみを示している。
- 5. コード・シーケンスにおける FXCH 命令のレイテンシはゼロである。ただし、1 クロック・サイクル当たり 1 回の割合でしか命令を発行できない。
- 6. 分岐の予測的中率を高くするため、条件付きジャンプ命令を選択するときは、「[分岐予測](#)」の節の推奨事項に従う。分岐予測に成功すると、jcc のレイテンシは事実上ゼロになる。
- 7. シフト回数が 1 回の RCL/RCR が最適化されている。1 以外のシフト回数 of RCL/RCR を使用すると、実行速度が遅くなる。

メモリ・オペランドの場合のレイテンシとスループット

一般的に、ソース・オペランドとしてメモリ・アドレスを 1 つ持っている命令では、表 C-1 から C-7 に列挙した、レジスタ - レジスタ方式の命令にマイクロオペレーション (μ OP) があと 1 つ追加される。ただし、そのロード操作ではポート 0 にもポート 1 にも影響せず、ポート 2 が利用されるため、ほとんどの場合スループットは変わらない。

多くの IA-32 命令では、ソース・オペランドかデスティネーション・オペランドとしてメモリ・アドレスを 1 つ利用できる。一般的に、前者をロード操作と呼び、後者をストア操作と呼んでいる。

一般的に、ロード操作かストア操作を実行する IA-32 命令のレイテンシは、それに対応するレジスタ - レジスタ方式の IA-32 命令のレイテンシよりも長くなる。なぜなら、ロード操作やストア操作では、キャッシュ階層に (場合によっては、メモリ・サブシステムにも) アクセスする必要があるからである。

話を簡単にするため、要求されるデータがすべて 1 次データ・キャッシュに格納されているものとする (つまりキャッシュにヒットする)。一般的に、整数 ALU ユニットでロード操作を実行するような IA-32 命令の場合は、それに対応するレジスタ - レジスタ方式の同じ命令よりもクロック・サイクルが 2 つ以上多く必要になる。ロード操作を行うこのような命令のスループットは、レジスタ - レジスタ方式の命令の場合と変わらない。

浮動小数点命令、MMX テクノロジ命令、ストリーミング SIMD 拡張命令、およびストリーミング SIMD 拡張命令 2 のそれぞれでロード操作を行う場合は、レジスタしか使用しない命令の場合と比べて、レイテンシは 6 クロック・サイクル以上多く必要になるが、スループットは変わらない。

ストア操作がいくつかクリティカル・パス上にある場合は、通常わずかゼロ・サイクルでその実行結果を依存ロードの 1 つへ先送りできる。したがって、実行を完了してストアするのに要するレイテンシは、この場合は問題とならない。