



Crusoeは成功するか？

村上 和彰／九州大学

シリコンバレー界隈で噂的だったCrusoe (クルーソ) が遂にそのベールを脱いだ。「ソフトウェアでx86互換を実現」する「低消費電力型のVLIWプロセッサ」だ。バッテリー駆動8時間以上の薄型超軽量ノートPC市場、および、ウェットパッド等の携帯情報端末市場への進出を狙う。しかし、期待とは裏腹にCrusoeのビジネス面での成功は難しいのではないかと、薄型超軽量ノートPC市場に向けてはインテルが必死の巻き返しを図ってくるだろう。また、携帯情報端末市場では「インターネットレディの携帯電話」が主流となり、そこでは非x86互換プロセッサが台頭してくると見る。とは言え、Crusoeがその実用化に挑戦した2つの主要技術、すなわち「動的バイナリ・コード変換」と「動的電源電圧最適化」は今後も基盤技術として生き続けるであろう。

Crusoe遂にベールを脱ぐ

- 「Transmeta Breaks the Silence, Unveils Smart Processor to Revolutionize Mobile Internet Computing」(Transmeta社のプレス・リリース, 2000年1月19日)
- 「X86-Compatible Microprocessors Offer Lower-Power, Lower-Cost Alternative to Intel's Pentium - Transmeta Roils Mobile Market with Crusoe Chips」(EE Times, 2000年1月24日)
- 「Transmeta Breaks x86 Low-Power Barrier」(Microprocessor Report, 2000年2月14日)
- 「Crusoeの船出 - ポスト・パソコン時代のマイコン像」(日経エレクトロニクス, 2000年3月13日)
- 「Transmeta's Magic Show」(IEEE Spectrum, 2000年5月)

2000年1月19日、1995年夏の会社設立以来4年半にわたって秘密のベールに包まれていた米Transmeta社のx86互換プロセッサ「Crusoe」の全貌が明らかになった。上記はそのニュースを伝えたものである。

Crusoeって何？

とは言え、「そんなニュースなんか知らない」という方に、Transmeta社ならびにCrusoeプロセッサについて簡単に紹介しよう。

• Crusoeは、今までに星の数ほど現れては消えて行ったx86互換プロセッサ

の新手の1つ。

•ただ、従来のx86互換プロセッサ、それからもちろんご本家のIntel Pentiumプロセッサとは異なり、OOO (Out-of-Order) 型スーパースカラ・アーキテクチャではなく、VLIW (Very Long Instruction Word) アーキテクチャを採用、x86互換性は、Code Morphing Softwareと呼ばれるランタイム・プログラムによりx86オブジェクト・コードを実行時にVLIWコードに変換(動的バイナリ・コード変換: Dynamic Binary Translation)し、VLIWプロセッサでエミュレーションすることで実現。

•さらに、本家Intelの弱みとする低消費電力性を謳い文句に、モバイル市場(ノートPC, 携帯情報端末, 等)を主ターゲットとする。IntelのMobile Pentium III (650MHz)の消費電力が14~21Wに対して、700MHzのCrusoe (M5400)の消費電力が1~2W。この低消費電力性は、以下の技術で実現している。まず、複雑なOOOスーパースカラに代えて単純なVLIWとしたことで、必要とするトランジスタ数を半減。古典的な低消費電力化技術であるClock Gating(現在の命令実行に不要な回路部分に対するクロック供給を停止)に加えて、「LongRun Technology」と同社が呼ぶ、いわゆるDynamic Voltage Scaling(動的電源電圧最適化: アプリケーションが要求する性能に応じて、クロック周波数および電源電圧を適応的

に多段階調整)技術を採用した。Intelの新しい低消費電力化技術である「SpeedStep Technology」でも、2段階のクロック周波数調整能力しか持たない。

•当のTransmeta社は、著名な論文「The Case for the Reduced Instruction Set Computer」(David Pattersonと共著)を発表しRISC旋風の口火を切ったDavid Ditzelが、1995年にSun Microsystems社のCTOを辞任して設立。また、あの「Linuxの父」であるLinus Torvaldsも在籍。約1億ドルのベンチャー資金を調達した。チップ製造パートナーはIBM Microelectronics社。

Crusoeは成功するか？

さて、テーマは、「このCrusoeが成功するか否か？」である。もう少しブレイクダウンしてみよう。

•最初のCrusoeプロセッサとしてTM5400(最大クロック周波数700MHz, ノートPC向け)とTM3200(最大クロック周波数400MHz, 携帯情報端末向け)の2種類が発表されているが、これらが「ビジネス」的に成功するか。すなわち、2年以内にノートPC向けおよび携帯情報端末向けのプロセッサ市場をある程度(たとえば10%以上)獲得できるか。

•仮に「ビジネス」的には「？」であったとしても、上記プロセッサが「製品として技術」的に成功するが。たとえば、TM5400搭載ノートPCを競合す

る Mobile Pentium III 搭載ノート PC とベンチマーク評価した結果、性能あるいは消費電力あたりの性能で TM5400 搭載機が優位に立てるか。

・仮にプロセッサ自身が「製品として技術」的には「？」であったとしても、そこで培われた技術が基盤技術として成功するか。すなわち、Code Morphing Software による動的バイナリ・コード変換技術、さらには「VLIW プロセッサ + 動的バイナリ・コード変換」という設計思想が今後も技術として有効か。また、LongRun Technology なる動的電源電圧最適化技術が今後も技術として有効か。

それで、私の主張（予想）は以下の通りである。

1. 「ビジネス」的には、ノート PC 向けプロセッサ市場でも携帯情報端末向けプロセッサ市場でも成功しない（心情的には、成功して欲しい）。
2. 「製品としての技術」面でも成功は危うい。
3. 「基盤技術」的には、「動的バイナリ・コード変換」技術、「動的電源電圧最適化」技術ともに有望である。

一般的に、この手の話は「成功する」確率より「成功しない」確率の方が断然高い。したがって、「成功しない」と予想する方が的中する確率も高い。という理由で安易に「成功しない」と予想しているわけではない（繰り返すが、心情的には成功して欲しい）。「成功しない」とするそれなりの理由を以下に示す。

Crusoe は「ビジネス」的に成功しない！

まず、「ビジネス」面だが、問題は x86 互換戦略にある。ノート PC 向けプロセッサ市場は当然 x86 互換プロセッサの牙城だが、その低消費電力化がこれまで進まなかったのはひとえに

Intel の怠慢に原因がある。今後は本気で Intel は Mobile Pentium や Mobile Celeron の低消費電力化を図ってくるだろう。すでに、6月19日に5種類の低消費電力版の Mobile Pentium III、等を発表した。最も低消費電力の Mobile Pentium III (600MHz) のバッテリー駆動動作時の消費電力は 1W 以下（電源電圧 1.1V）。数字の上では、700MHz 動作の TM5400 と並ぶ。これにはまだ LongRun Technology と同様の動的電源電圧最適化機能は採用されていないが、そのうち、Intel の SpeedStep Technology でも採用されるであろう。そうすると、Crusoe の「低消費電力版高性能 x86 互換プロセッサ」という錦の御旗も神通力を失ってしまう。

一方の携帯情報端末向けプロセッサ市場だが、こちらは逆に x86 互換を謳う必然性が見当たらない。今後この市場を支配するのは、x86 「非」互換の携帯電話向け低消費電力組込みプロセッサと見る。つまり、Crusoe (TM3xxx シリーズ) の主要アプリケーションである Web tablet よりも次世代携帯電話だ。この分野は、ARM を筆頭に多数の低消費電力組込みプロセッサがひしめき合っている。しかも、Crusoe より 1桁は低消費電力である。

つまり、「低消費電力 + 高性能 x86 互換プロセッサ」という戦略が有効なのは、ある程度成熟した感のあるノート PC 向けプロセッサ市場向けであり、今後爆発的な成長が確実な携帯情報端末向けプロセッサ市場においてはその有効性が疑問である。

Crusoe は「技術」的にも成功は危うい！

次に「製品としての技術」面。Transmeta 社のホームページに公開されているベンチマーク結果によれば、TM5400 は Mobile Pentium III と比べて性能面では若干劣るが、「消費エネルギー

対性能比」では完全に圧倒している。しかしながら、しかもそれ以上の詳細な評価データが公開されていないのであくまでも推測の域を出ないものの、Crusoe は以下の技術上の問題を抱えていると私は見る。

問題点とは、Code Morphing の時間的および空間的オーバーヘッドである。時間的オーバーヘッドとは、x86 オブジェクト・コードをネイティブの VLIW コードに変換するのに要する時間。また、空間的オーバーヘッドとは、Code Morphing Software 自身が主記憶に占める大きさ、および、変換後の VLIW コードを主記憶上にキャッシングするのに要するメモリサイズである。x86 コードを VLIW コードに変換、最適化するが、1個の x86 命令を変換し最適化するのに、平均で数百個の VLIW 命令を要するのではなからうか。また、空間的オーバーヘッドも数十 MB 程度に及んでいるようだ。これらは、無視できないほどに大きいのではなからうか。

そして「基盤技術」だけが残る...

とは言い、Crusoe がその実用化に挑戦した 2つの主要技術、すなわち、動的バイナリ・コード変換と動的電源電圧最適化は今後も生き続けるであろう。動的バイナリ・コード変換技術は特にコンパイラによる静的最適化技術を補完する目的で、今後さらに技術開発が進むと予想する。一方、動的電源電圧最適化技術も、最適な電源電圧を効率よく求めるためのアルゴリズム開発が活発にならう。

結局、Crusoe はその精神 (= 基盤技術) だけを残すのか？ 本エッセイに対する審判は早ければ 1年後に下る。

(2000.8.15)





児玉 祐悦 / 電子技術総合研究所

Crusoeは第二のVAIOになる！？

まず、「ビジネス」として成功するかどうかである。私もCrusoeが発表された当初は、各PCメーカーが採用してくれるのだろうかと心配した。しかし、6月にニューヨークで開催されたPC ExpoでのIBM、NEC、日立、富士通のデモや、つい先週のSonyの採用の発表など、出足は好調のようである。

確かにIntelの動きが気になるところであるが、Mobile Pentium IIIの消費電力はバッテリー寿命のためのベンチマーク時の結果であり、ほとんどCPUはアイドルであると聞く。さらに、Pentium IIIの場合は、メモリ制御等を行うチップセットの消費電力が必要であるが、Crusoeではこの部分をチップに統合しており、すでにプロセッサの消費電力に含まれている。Intelもチップセット統合型プロセッサは準備しているであろうが、今のアーキテクチャのままどこまで電力を下げられるか疑問であり、低消費電力の面でのCrusoeの技術的優位は続くであろう。さらなる低電力化をIntelが狙うとすると、SOI等の新たなデバイス技術を採用することが必須であろう。しかし、この点でもCrusoeは、1) 回路構成が単純なため新たなデバイス技術にも対応しやすい、2) 現在のファブであるIBMはSOIで世界トップの技術力を持っている、3) Transmeta社はファブレスであり、そのときの最適なファブを選択して製造することが可能である。このほか、ビジネスの面では、最近のAMDの活躍により各PCメーカーの互換PCに対するバリアが低くなっているのもCrusoeに有利であろう。

ただ、携帯ノートPC市場がニッチであることは否めず、携帯情報端末と液晶デスクトップPCとの狭間でそ

れほど絶対数は伸びないかもしれない。しかし、一方で我々研究者やビジネスマン向けには、PCのフルの機能をサポートする携帯ノートPCに対して一定のニーズは得られると思う。市場規模がそれほど大きくないため、先にVAIOにより薄型ノートPCが流行ったように、Crusoeが長時間バッテリー寿命により新たなムーブメントを起こす可能性もあるのではないかと。

携帯情報端末向けに関しては、私も同感である。この分野では、Code Morphingの空間的オーバーヘッドが無視できないのも不安な点である。

一方、それ以外の市場もPC Expo等を見ていると見受けられる。最近のPCはデスクトップはもちろん、ノートPCでも熱対策のためにファンがついており、結構うるさくて気になる。これが低消費電力化によりファンレスPCを構成できる。また、環境の変化などにも強いという利点もあり、24時間稼働させるネットワークサーバ等への適用も考えられているようだ。

「技術的」問題は使い勝手次第

次に「技術的」に成功するかどうかである。CrusoeはCode Morphingが特に注目されているが、それを補助するハードウェア機構をいくつか備えている。これらは主に投機的実行をサポートし、エミュレーションをより高速に行えるようにするものである。

Code Morphingのオーバーヘッドはご指摘の通りであるが、要は使い勝手としてどうであるかが重要ではないか？ 空間的オーバーヘッドとしては8~16MBであるが、最近のノートPCのメモリサイズなどからすれば、問題ない。空いているメモリの多くがディスクキャッシュとして使われる現状では、Code Morphing用のmemoryがその役割を補完するとも考えられる。

また、時間的オーバーヘッドは、4月に開かれたCool Chips IIIでのDitzel氏の講演によれば、単純な変換の場合で1命令あたり100サイクルということであった。これが大きいかどうかは難しいところであるが、これが必要となるのは最初にハードディスクからプログラムを読み出し、実行するときであるので、この読み出し時間を考慮に入れるとそれほど気にならないのではないかと。先のPC Expoの記事でも、デモ機を使ってみた感想を「それほど違和感はなかった」と述べているものが多かった。

一方、GPUだけ低消費電力にしてノートPCのバッテリーの駆動時間を長くできるか、という問題がある。ちょっと前まではCPU、ディスプレイ、その他でほぼ1/3ずつ電力を消費していたと聞く。現在のCPUの高速化により、CPUの消費分が5割近くに上がっているのではないかと。したがってCPUだけでも2倍近くまで伸ばせるかもしれない。しかし、それ以上伸ばすには、液晶など他の部品の低消費電力化が必須である。ただこれに関して私は楽観視している。これまではどうせ頑張ってもCPUがその分多く消費してしまうという思いがあっただけで、いざ自分の出番と分かれば競って何とかしようとするのが技術者魂ではないだろうか。携帯電話の低消費電力化を見ているとその思いを強くする。

これからはプロセッサ・アーキテクチャが面白い

最後に「基盤技術」が残るかどうかであるが、これは村上氏の言う通りであろう。特に動的バイナリ変換技術は新たなアーキテクチャを考える際の1つのバリアであったプログラムの互換性に大きなインパクトを与え

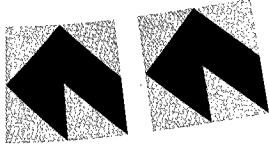
と思う。低電力技術も、携帯向けはもちろんのこと、高性能計算機向けでも今後はますます重要になる。たとえば、NECの1チップ制御並列プロセッサであるMerlotの説明でも、1CPUあたりの性能は落としてでも積極的に低電力化し、その分をチップ内並列性で取り返し、総合的に消費

電力あたりの性能を大幅に向上せるとある。最近の発表されたプロセッサでは、CompaqのPiranhaはシングルイシューのAlphaコアを8個オンチップに搭載したビジネスサーバ向けプロセッサであるし、IBMが昨年末に発表したBlue Geneは1チップに32プロセッサを搭載し、全体で100万個以上の

プロセッサを結合したベタフロップスマシンを目指している。

あと半年くらいで一通りのPCの機能を持った1日中(8時間くらい)持ち歩いて(1kg以下)使えるPCがCrusoeにより実現されることを願っている。

(2000.8.21)



x86アンドロイドは電気牛の夢を見るか

松岡 聡 / 東京工業大学

筆者はハードウェアアーキテクトでもなく、チップデザイナーでもなく、あくまでもソフト屋である。であるからして、今回のエッセイもソフト屋の立場からのTransmeta Crusoeに関する技術的およびビジネス的なfeasibilityの予測である。ちなみに筆者は過去11年周年1回以上のペースでノートPCを買い換え、常に最新のサブノートを愛用している。

It's the Legacy x86 Networking Software, Dammit!

まず、なぜx86互換CPUのビジネスか、である。村上氏はCrusoeの低消費電力x86互換路線に対して、「今後爆発的な成長が確実な携帯情報端末向けプロセッサ市場においてはその有効性が疑問」と述べているが、これはまだ「携帯情報端末≒低機能」「低機能なシステムのソフトはハードのおまけ」という、失礼ながらいわば「ハード屋さん」の発想であると思う。否、いまや指先サイズの486ベースの計算機でLinuxが動き、あらゆる家電がBluetoothにてWebワイヤレスアクセスができ(つまり、すべての家電にWeb Serverが載る)、携帯電話が今のノートパソコンの代替で使われるようになる、という時代である。このような状況では、現在のPCレベルのネットワークコンピューティングのソフトウェア資産やツール群が重要になり、それゆえx86互換性は重要な武器とな

る。つまり、ネットワークコンピューティングの世界ではx86のコードがLegacyソフトなのである。たとえば、RISC CPUベースのインターネット用セットトップボックス(STB)がいまいち普及しないのは、ブラウザのプラグインがほとんどx86用のものであることがよく指摘される。したがって、何らかのアドバンテージがある互換チップが作れば、現在のPC+将来のSTB、Web端末、家電など、あまねく市場をカバーできる可能性があり、消費電力と性能とコストのバランスがとれば、PC/WS市場でx86がRISCを駆逐したように組込みRISCを駆逐する可能性すらある。

x86のマーケットはチップのASP(Average Selling Price)が勝負である。Desktop PCのマーケットではASPが\$100を切るとビジネスとして成立しない、といわれる。過去にはAMDのいくつかの互換CPUが存在したが、その性能の低さからやはりメインストリームとはなれず、著しく低いASPゆえ撤退・統合・売却が相次いだ。ASPが高くなるとはならないというのは、単に企業の利潤が高く、それによって開発生産を進めることができるだけではない。ASPの高さはいわば一種のブランドイメージの高さであり、DellやGatewayのような自己のブランドイメージと維持したい“Tier one”大手PC専業メーカーは、ASPのある程度高いプロセッサしかなかなか採用しない。

逆にそれらのメーカーに採用されることは、そのプロセッサが商業的に成功したことを意味する。たとえばAMDは、K6-2で米国Gateway社に初めてIntel以外の互換プロセッサとして採用されたが、後継のK6-IIIは駄目であり、再びGatewayのPCはIntelの独占状態となった。AMDが\$100を大幅に切るASPで大赤字を出して企業自身の危機存亡にあったとき、起死回生の逆転ホームランを放ったのがAthlonである。それでも当初GatewayはなかなかAthlonを採用しなかったが、Intel Coppermineの供給とチップセットのゴタゴタで再び採用したのは記憶に新しい。この時点でAthlonは成功した、と見なす業界アナリストが多いようである。

ASPを高めるには、Intelのプロセッサより優れた何らかの付加価値がなくてはならない。AMD Athlonは性能が付加価値であった。Transmetaは(知る人ぞ知る)Elbrus x86超高性能互換プロセッサと関連が深く、当初はAthlon同様に性能を指向していたが、その後諦めて低消費電力に方向転換したと憶測されている。低消費電力は今後x86にとって重要なベクトルであり、そこでIntelに対して十分な付加価値が得られれば、商業的成功を得るのに十分なASPが確保できる。問題は、Crusoeの技術がそれに十分足るものが、である。Crusoeの低消費電力技術のうち、ソフトウェア的に重要なのはバイナリ変換(CrusoeではCode Mor-

ping と呼ぶ) による低トランジスタ数 VLIW コアアーキテクチャの採用であり、それを検討してみよう。

It's the Software Technology, Dammit!

まったく異なる ISA のターゲットプロセッサのバイナリエミュレーションを実プロセッサで行うには、いくつかの手法がある。ソフトウェアのいけば、最近の Java の JIT コンパイラ技術もその1つと見る事ができよう。

過去にも、バイナリエミュレーションを高速に行う商業レベルの試みはあった。有名なのはアップル社が Motorola 68K アーキテクチャから PowerPC アーキテクチャに移行したときの、PowerPC による 68K のバイナリエミュレーションであろう。ほかに、DEC (現 Compaq) の FX32 は Windows NT for Alpha 上で、x86 の NT アプリケーションを動作させるためのシステムであり、x86 から Alpha のバイナリへの変換を行っていた。

JIT コンパイラや、これらの過去のエミュレータと比較して、Crusoe はいくつかの困難さがある。まず、x86 ネイティブコードの低レベルさにより、従来のコンパイラが行うプログラム変換のための高度な解析技術の適用が困難か、あまり役に立たない。したがって、通常のプログラム言語や Java バイトコードの場合と比較して、Crusoe はいくつかの効果のある最適化は行えない可能性がある。これまでのエミュレータでは、多くの場合エミュレーションされるのはアプリケーションコードの部分のみであり、OS のシステムコールや高レベルシステム API (GUI 部分など) の主要なものは実装プロセッサでネイティブ実行される。GUI や File I/O を中心とした一般のアプリケーションの場合、Macintosh の場合で 8 割以上、Windows でも 7~8 割の実行時間はシステム API 側のものであり、エミュレーションの速度は実はこれで稼いでいる。ところが Crusoe では内部の VLIW では BIOS 内以外ではプログラミングは行われず、

システム API 側のコードもすべてエミュレーションで実行される。

また、エミュレータは、性能の勝るプロセッサで互換性確保のためにより遅い性能のプロセッサをエミュレーションするのが通常だが Crusoe は整数性能に関しては最速のプロセッサを本質的に性能の低いプロセッサでエミュレーションしようとしている。実行ユニットの数などからすると、Intel や AMD と比較して Crusoe の絶対的な演算性能は低いと予想される。つまり、仮に Crusoe の VLIW を直接プログラミングできたとしても、Intel の高性能プロセッサに性能的にはかなわないであろう。その上にエミュレーションのオーバーヘッドが加わる。

無論 Crusoe では、上記の問題点を解決するためのさまざまな手段を講じている²⁾。まず、フラグや制御レジスタの挙動を x86 互換としている。さらに変換時の上記の問題を解決するためにいくつかのハードウェアの補助機能を追加している。まず、speculation 時の exception を正確に行うための shadow x86 state をサポートする。また、IA-64 によく似た alias detection のメカニズムを持つ。さらに、自己可変コードに対応するため、各ページに translated bit を持つ、などである。詳細は文献²⁾に譲るが、全体としては近年の Java の複雑な VM と JIT コンパイラテクノロジーと比較すると、プログラム解析が複雑で困難なので、複雑な最適化はあきらめるゆえ変換技術やハードウェア補助は逆に単純となり、それゆえ、(個々の細かい技術は別として) ソフトウェア技術としての目新しさはそれほどない。

It's the Performance, Dammit!

ソフトウェア変換技術としてはそれほど目新しさはないので、その目新しさは全部エミュレーションで行うというスキームであり、それゆえ結局 Crusoe が商業的に成功するか否かということと技術として残るかはほぼ同一であると考えられる。で、結局、性能の bottom line はどうなのであろうか。文献¹⁾ や文献³⁾ によると、

Crusoe TM5400 の性能は同一クロックの Mobile Coppermine Pentium III と比較して 50% 程度であると推測される。無論、計算機の性能は CPU だけで決まらず、むしろ近年は I/O 性能やメモリスループットが重要なので、50% でも悪くはない。しかしながら、たとえば Intel が SpeedStep をさらに改良し、低クロック・さらなる低電圧 (1.0V 以下) で LongRun 並みに細かく調整して駆動すれば、その程度の性能/パワー比は十分得られる可能性がある。ただし、TM5x00 シリーズもダイシュリンク、L2 キャッシュの増加、DDR メモリの活用 (一説によると Code Cache を DDR メモリに載せるだけで 20% 性能が向上するという) などで、性能向上する可能性がある。研究レベルのコンパイル技術が貢献するのは難しい可能性があるが、少なくとも個別の OS やアプリケーションに変換器をチューニングするのも可能であろう。また、Crusoe の変換器に「分かりやすい」コード生成を x86 側のコンパイラが行うことも重要になるかもしれない。

Crusoe は電気牛となれるか

今後 Crusoe がターゲットとするマーケットで重要となる汎用性のある ISA は x86、Java Bytecode、および Microsoft .NET の VM のバイトコードである。このうち、後者 2 つは今後割合が増えていくと思われ、その点では Low Power RISC と土俵は一緒だが、x86 のレガシおよびローレベルのコードドライバ類が動く、などの点で、有利となるだろう。

このカラムを書いているとき、2 つの重要なニュースが飛び込んできた。1 つは AMD と Crusoe が低消費電力技術でパートナーを組むことである。もう 1 つは、Intel が Intel Developers Forum 2000 にて、低消費電力版プロセッサのための専任部隊を編成することをアナウンスしたことである。今までは Intel は AMD と激しい速度競争を繰り広げていたが、Intel が本気となった今、

これからは消費電力という別なベクトルでAMD+Transmeta陣営との激戦が展開されることであろう。これにより、速度面においてギガヘルツ超のためのさまざまなプロセッサ技術が出てきたように、消費電力面でもさらなる技術が生まれてくるに違いない。

結局、Crusoeは、少なくともソフトウェア的には目新しさはそれほどな

いが、ソフトウェアのチャレンジとしては大変興味深い。ただし、これが成功するかどうかは、筆者を含めて、比較的新しもの好きな日本人向けの製品が主な日本のノートブックPCメーカーではなく、Athlon同様Gatewayのような米国のTier oneベンダにまあなく採用されるか否かにかかっていると考える。GatewayはTransmetaの株主であり、すでにTM3x00を使ったWeb

端末の開発は表明しているが、本当のメインストリームとなり得るかはまだ「？」である。

参考文献

- 1) Crusoe Processor Benchmark Report, Transmeta Corporation (Feb. 2000). <http://www.transmeta.com>
- 2) Klaiber, A.: The Technology Behind Crusoe Processors, Transmeta Corporation (Jan. 2000). <http://www.transmeta.com>
- 3) 本田雅一「低消費電力を武器とするTransmeta Crusoeプロセッサの性能」, PC User, 7-15 (No.108), pp.90-94, 2000年9月8日号. (2000.8.24)



私はCrusoeを使いたい

上田 和紀 / 早稲田大学

ソフトウェア研究者かつ大学教員という立場から、Crusoe—ないしはそれが目指す方向—を応援することにしよう。

Crusoeの上位機種が目指すサブノート市場は、本誌の読者層にはよく普及しているものの、全体ではノートパソコン出荷台数の20%にも達していない。だがこれをもって、サブノートはニッチ商品と断言できるだろうか？ 中途半端な設計で真のモバイルPCになりきれていないから、上位のオールインワンノートと下位の携帯端末に市場を奪われているだけではないか？ たとえば、新入生全員にノートPCを持たせる方針の大学は今後続出するであろう。マンモス大学の新入生は1万人、1大学だけで20億円の市場である。日本全体では年間70万人以上の大学新入生がいる。サブノートを全員携帯するようになれば、教科書や講義資料の電子化、さらにはレポートのみならず試験の出題解答のオンライン化も視野に入ってくる。つまりこれは単なるプロセッサ技術の話ではなくて、教育の場に変革的なインパクトを与える話かもしれないのだ。

ここで求められる要件は、節電モードにしたりこまめに電源を切ったりしなくても、ACアダプタなしで安心して(この点が教育上重要)1日中

使えることである。8時間では物足りず、最低10時間以上欲しい。キャンパス情報化と称して、教室の各座席に100Vアウトレットを備える動きもあるが、これは本末転倒。真のキャンパス情報化は、PCの省電力化によってのみ実現できるのである。個人的には、2泊3日の出張にACアダプタなしで連れて行けるPCが欲しい。

次に技術の話に行こう。Transmetaの出している諸レポートは、今年、趣味で読んだレポートの中でも大変面白いものであった(あと1つはVMWare)。Crusoeを尊敬したい点は2つある。

第1点は、ソフトウェアとハードウェアの境界を、x86を舞台にして移動させようとしていることである。x86アーキテクチャを“20世紀の遺産”にできないのではないかと危惧していたところに光明がさしたような気がする。

逆に心配なことは、VLIWエンジンとCode Morphing Softwareの層がどれだけプログラマに開放されるかである。開放するとVLIWエンジンのアーキテクチャ変更ができなくなると恐れたりせずに、完全開放してほしい。機械語レベルの最適化や検証技術の研究は近年急速に進展している。アーキテクチャ変更に対応して機械語を進化させる技術も進展するはずだ。Linus Torvaldsも参画している会社の

だから、下位レベルにもパズール原理で技術者を呼び込み、ハードウェアの性能を最大限活かすソフトウェア技術を蓄積してはどうか。x86コードのmorphingができることは出発点として大変重要だが、むしろ、そこからの新たなVM文化への道のりが楽しみである。

第2点は、Crusoeの性能のダイナミックレンジの広さである。Crusoeはピーク性能ではなくて、こっちを売りにすればよい。「超低速超低消費電力」から「そこそこ高速」までを連続的にカバーできることは、真に汎用でシームレスな個人用情報環境の実現に大変重要な特性である。それだけではなく、負荷変動の激しいサーバや高並列計算システムのシステムソフトウェア構築法にもインパクトがあらう。研究室の並列サーバが、負荷のほとんどないときに温風暖房機になってしまっているのを見るのは辛いものである。

計算機は、計算した分だけエネルギーを消費することが社会的に許される。オフ時やアイドル時の消費電力に対しては、政治が規制をかけることも可能だが、「アイドルしているわけでもないが、かといって使っているわけでもない」計算機のエネルギー消費に対しては無理であらう。つけているのに見ていないテレビと同



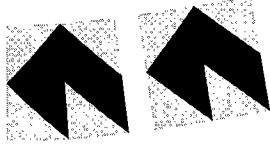
様に。だが、計算機システムは、このエネルギー問題に対処できるだけの知力を持つべきであり、持つことができるのである。その鍵となるのは、性能とエネルギー消費のダイナミッ

クレンジの広さと、それを観測制御するソフトウェア機能の公開である。

Crusoeが成功するか否かは、Crusoe自身ではなくて、それを核として新たなパラダイムの計算機システムを

構築できるかどうかにかかっているような気がする。

(2000.8.24)



Crusoeを超えるプロセッサを生み出そう！

村上 和彰／九州大学

まずは、児玉氏、松岡氏、上田氏に、急な原稿執筆依頼にもかかわらず、しかも締切（日でなく）時間が切迫している中でこれだけの反論を展開していただいたことに感謝したい。本来なら、ノートPCメーカー（特に、Crusoeの採用を表明しているIBM、NEC、日立、富士通、ソニー）等の技術者の方々、さらには、Transmeta社の（CEOのDitzel氏とまではいかななくても）技術者の方々にご意見を頂戴したいところである。また、ユーザサイドの読者の方にもぜひご意見を賜りたい。今後の議論は学会のホームページ（<http://www.ipsj.or.jp/magazine/interessay.html>）上で展開される予定である。

さて、3氏に軽くジャブを受けたので、体制立て直しも兼ねて論点を整理することでまとめにしたい。今後の議論を展開する上で役に立とう。

- みんなやはり、「長時間バッテリー駆動、薄型超軽量」のノートPCの登場を心待ちにしている。このようなノートPCがニッチ市場か否かが児玉氏と上田氏の議論にあがっていたが、これは本エッセイの論点ではない。間違いなく大きな市場を形成しよう。しかし、携帯情報端末市場はそれより1桁以上は大きな市場となろう。

- この大きな「長時間バッテリー駆動、薄型超軽量」ノートPC向けプロセッサ市場の覇者は誰か。x86互換プロセッサであることには異論はない。松岡氏は、ASP（Average Selling Price）を高

く維持できる技術力、戦略を有するところと説く。ASPは今までは「高性能（というよりは高クロック周波数）」により維持されていた。今後は、「低消費電力」「消費電力対性能比」「バッテリー駆動時間」といったディメンジョンが重要だ。現時点では、最新のIntel Mobile Pentium IIIを「消費電力対性能比」でTM5x00は上回っている。しかし、CrusoeのLongRun Technologyで実用化されている「動的電源電圧最適化」技術を今後Intelが採用してきたら状況は分からない。

- それよりもっと大きな「携帯情報端末」向けプロセッサ市場の覇者は誰か。また、ここではx86互換性は必須か。松岡氏は、x86互換性は重要な武器だと主張する。果たしてそうだろうか。私は支配的な製品は、iモード等の発展形である「インターネットレディの携帯電話」だと見る。これは、とても『「携帯情報端末≒低機能」という「ハード屋さん」の発想』とは相容れないくらい高機能な代物だ。だからこそ、そのソフトウェア資産が重要だ。現在の携帯電話市場の“Tier one”メーカーはNOKIA、それが採用するプロセッサはARM。この構図をx86互換プロセッサが崩せるか。

- 仮に「x86互換ビジネス」に勝機があるとして、その実現に対するCrusoeのアプローチ、すなわち「Code Morphing Software + VLIW」は果たして正解か。私は動的バイナリ・コード変換の時

間的、空間的オーバーヘッドを問題視した。児玉氏は、要は使い勝手次第と達観する。松岡氏は、x86よりもJava BytecodeとMicrosoft.NET VM Bytecodeと先を読む。上田氏は、VLIW ISAの完全開放とLinux型のネイティブ・ソフトウェアの共同開発を叫ぶ。兎にも角にもCrusoeが閉塞感のあったx86互換プロセッサ業界に風穴を開けたのは確かなようだ。でも、これって本当に将来性あるのか。

他にもまだまだ論点はある。紙面（と時間）の都合でここはいったん、「中締め」にしよう。読者の皆さん、上記の論点に限ることなく、どうか自由にご意見をお寄せください。そして、その議論の中から、新しいプロセッサ、新しい技術のアイデアが生まれれば幸いである。

(2000.8.24)

[編集者注：紙面の都合で、議論を大幅に削除せざる得なかったことをお断りしておく。興味のある方はWeb上の完全版を参考にされたい。また、残念ながら、準備の時間が短く、産業界からのコメンテータが得られなかった。Web上での議論・コメントをお待ちしております。]



議論の続きは、次のURLをご覧ください。 <http://www.ipsj.or.jp/magazine/interessay.html>

