

マイコン組み込みOSの利用動向と必要とされる技能

株式会社エンベデッド・システム 東京事業所 望月 亮治

1. はじめに

筆者は昨年度の研究発表会において「マイコン組み込み開発の現状と必要とされる人材」というテーマで発表を行った。特にリアルタイムOS（以下RTOS）の動向に焦点を合わせた内容で、1996年から2000年に社団法人トロン協会が行った「組み込みシステムにおけるリアルタイムOSシステムの利用動向とITRON仕様OSに関するアンケート調査結果」のデータを分析し、現在のマイコン開発現場における技術動向や必要とされている（もしくは必要とされるであろう）技術に関してまとめたものである。本研究発表はその続編というべきものであり、特にマイコン組み込みOSとしての「Linux」に焦点を当て、その利用動向と問題点、必要とされている技術に関して述べる。また現在わが国においてほぼスタンダードといっても過言ではない「ITRON系OS」との共存、融合などについても、マイコン組み込み業界の動向などと合わせて発表を行う。

2. 最新のRTOS利用動向

2.1 各種OSの利用状況

まずは表1をご参照いただきたい。こちらも社団法人トロン協会が毎年1回開催する「組み込み総合技術展（略称：Embedded Technology）」において行われたアンケートの結果であるが、ITRON仕様のRTOSの利用が伸びており、かつPOSIXおよびUNIX互換のRTOSに関しても、微増ではあるが増加傾向を示している。アンケートの対象分母が毎年小さい

表1 利用したOSのAPI

| OSのAPI | 00年 | 01年 | 02年 |
|----------------|-------|-------|-------|
| ITRON仕様 | 40.9% | 41.4% | 42.6% |
| POSIXおよびUNIX互換 | 7.1% | 7.3% | 9.9% |
| Win32API | 8.5% | 6.5% | 6.7% |
| MS-DOSおよびDOS互換 | 3.5% | 3.7% | 2.5% |
| OSEK/VDX OS仕様 | 0.8% | 0.5% | 1.8% |
| JTRON仕様 | 0.5% | 0.5% | 1.4% |
| その他独自API | 18.3% | 23.6% | 17.4% |
| 不使用（必要なし） | 20.4% | 17.3% | 17.7% |

（約200～300名）ため本当の正確な値とは言い難いが、この表には記載していない99年の「ITRON仕様」の利用者は36.5%、同「POSIXおよびUNIX互換」が5.3%という結果からも、右肩上がりでのこの両OSが利用者を伸ばしているのがうかがえる。さらに「その他独自API」と「不必要」という回答者の数が減少傾向にあるのは、前述の2種類のOSが利用者を伸ばしている反作用とも考えられる。また「POSIXおよびUNIX互換」のなかでは、「組み込みLinux」の割合が高くなっていく傾向がある。

2.2 組み込みLinux利用の増加

表ではまとめていないが、実際に利用したOSとして「組み込みLinux」が増加している。2001年に5.3%と回答があったものが、2002年では10.9%とほぼ倍に増加している。2002年に調査されたアンケート結果である『今後採用予定のAPI（表2）』では、「POSIXまたはUNIX系」を採用する予定と回答したパーセンテージが16.9%となった。実際には「組み込みLinux」を除くPOSIX/UNIX系OSのパーセンテ

表2 今後採用予定のAPI

| OSのAPI | 02年 |
|----------------|-------|
| ITRON仕様 | 51.1% |
| POSIXおよびUNIX互換 | 16.9% |
| Win32API | 13.3% |
| MS-DOSおよびDOS互換 | 2.2% |
| OSEK/VDX OS仕様 | 1.3% |
| その他TRON仕様 | 3.1% |
| その他独自API | 12.0% |

ジは年々減少する傾向にあるため、今後「組み込みLinux」を採用する予定の企業は、明らかに増加していくと考えられる。

筆者の私感ではあるが、2003年4月以降より、組み込みOSとしてLinuxを採用した（またはすることに決定）というニュースを聞くことが、公式にも非公式にも多くなってきた。「組み込みLinux」が日本でも採用されはじめてはや数年になるが、一時期は話題性が先行した「組み込みLinux」も、やっと本格的に普及する機が熟したのではないと思われる。

3. 組み込みLinuxの普及理由と問題点

3.1 なぜ「組み込みLinux」なのか？

前章でも述べたが、「組み込みLinux」は現在各種の製品に搭載（あるいは搭載が決定）されている。よく耳にするのは「セット・トップ・ボックス」や「PDA」等であるが、そのほかに「携帯電話」、「カーナビ」、「交換機」、「ホームサーバ」、「データストリーミングサーバ」などでも採用され始めている。ではなぜこのように組み込みLinuxが普及し始めたのだろうか？ それは組み込みLinuxの利点（および欠点）を紹介することにより、ご理解いただけると思う。
 <参考：組み込みLinuxのメリット>

- ・オープンソースである
- ・各種のネットワーク機能を備えている
- ・利用できるドライバやミドルウェアが豊富
- ・OS自体の安全性が高い
- ・ロイヤリティがかからない など

OSI (Open Software Initiative) の管理するOSD (Open Source Definition) で定義されている条件を満たしたものを一般的に「オープンソース」と呼び、

OSDにのっとったオープンソースコードとしてOSIより正式に認められているものは、数十あることが知られている。GNUなどがこの代表的な例として、最も知名度が高いと思われる。ただしオープンソース=フリーソフトウェアではなく、「ユーザがソースコードを読み、修正し、共有することができ、それらを行う方法についての制約がない」という基本的な条件を満たしているうえで、X-Windowのようなライセンス形式を取っているものや、商用ライセンスを付加しているものも多くなっている。したがって使い放題という考え方は、必ずしも当てはまらない。

ちなみにGPLのライセンスでは、Linuxカーネルに静的／動的に限らずリンクされたプログラムは、そのバイナリコードを入手している第三者から請求があった場合、ソースプログラムを公開しなければならないこととなっている。

<参考：オープンソースライセンスの例>

- ・Artistic
- ・BSD
- ・GPL
- ・LGPL など

実装面でのメリットを考えてみよう。周知のようにLinux自体にはリアルタイム性^{注)}がないといえるが、各社の「組み込みLinux」は、スケジューリングをはじめとするリアルタイム性を実現するためのさまざまな機能が追加されている。しかしITRON系OSでは数～数十 μ secで行っているタスクのスイッチング動作も、「組み込みLinux」では（リアルタイム性があるとはいえ）最低でも数msecを必要としている。したがって非常にシビアなタイミングで制御を行っているアプリケーションでは組み込み用のLinuxは採用することができないという問題点を持っている。しかしこの問題点を逆に考えると、極論ではあるが「シビアなスケジューリングを必要としないアプリケーションであれば、何にでも採用することが可能（実際にはハードウェアリソースに制限があるが）」ということになる。しかも大半のマイコン組み込み機器は、必ずしも割り込み遅延時間が μ sec以内で終了することを必要とはしていないのである。したが

って、今後組み込みLinuxの採用事例は加速度的に増えていくであろうと予想される。

組み込みLinuxを採用する開発者があげる最も多い採用理由は、「ネットワーク機能やミドルウェアが充実し、しかも使用時にロイヤリティがかからないこと」だそうである。確かにほかの組み込みOSを使用した場合、各種ネットワーク用のプロトコルスタックは有償となっているものが大半であり、すべてのプロトコルスタックを無償で手に入れることができる例は皆無である。特にUSB2.0用プロトコルスタックなど、いわゆる「旬の技術」に関しては、有償でも概して高めになっているのが一般的である。これに対して組み込みLinuxでは、下記のようなプロトコルスタックがカーネルソースに含まれるため、すべて無償で利用できることになる。

- ◇ 『USB』
- ◇ 『IEEE1394』
- ◇ 『Bluetooth』
- ◇ 『IPv6』

ただし、有償のプロトコルスタックのようにメーカーのサポートが期待できるものではないため、問題が起きた場合はすべて自分で解決するか、各種情報を手に入れることができるwebサイトなどから情報を取得し、解決していくということになる。この場合プロトコルスタックに限ったことではないが、そういった情報を取得できるwebサイト上で必要な情報を得るための検索（技術）や、英語で書かれているサイトから必要な情報を読み取る力も要求される。しかしそういったことが苦にならない技術者であれば、組み込みLinuxは非常に扱いやすいものとなるで

<参考：LinuxとITRONの構造の違い>



あろう。参考までにいくつかのwebサイトを紹介しておく。

- ◇Linux Documentation Project
(<http://tldp.org/>)
※Linuxに関する解説文書・FAQなどを作成収集・配布するプロジェクト
- ◇Linux JF Project
(<http://www.linux.or.jp/JF/>)
※上記の日本語版
- ◇Linux Online
(<http://www.linux.org/>)
※Linuxの各種情報
- ◇The linux-kernel mailing list FAQ
(<http://www.tux.org/lkml>)
※Linuxカーネルや、その他に関するメーリングリスト
- ◇Linux kernel source finder
(http://www.treblig.org/Linux_kernel_source_finder.html)
※各種プロセッサ向けのカーネルとパッチの入手

また、組み込みOSにLinuxを採用する技術者の多くが各種の無償のドライバやミドルウェアを利用している。先程紹介したwebサイトや、ここからリンクされているwebサイトで、一般的に使われている各種デバイスのドライバは手に入りやすく、しかも特殊なデバイスドライバなども、丹念に探せば手に入る可能性は非常に高い。またRTOS上でデバイスドライバを開発した経験のある技術者であれば、Linuxでのドライバ開発の手法が理解できれば、特殊なI/Oコントローラなどのデバイスドライバも開発することは可能であると考えられる。

ミドルウェアに関しては、RTOSを利用した開発においても、「買い物で済むミドルウェアは、開発しないで積極的に利用する」という方向が一般的になっている。例えばμITRON上でWebサーバの機能を開発するためには、以下の技術や知識が必要になる。

- ① ITRONでのソフトウェア開発技術
- ② TCP/IPプロトコルスタックに関する知識
- ③ HTTPプロトコルに関する知識

- ④ CGI/Perl/XMLなどに関する知識
- ⑤ 一般的なネットワークに関する知識

こういった技術や知識をすでに習得している技術者がプログラム開発を行ったとしても、製品を市場に投入しても問題を起ささないプログラムとするには、最低でも3～4ヵ月を要するはずである。また上記①程度の技術を有している者が開発を行ったとすると、間違いなく半年以上は必要とし、場合によっては最終製品に搭載できるほどには完成しないケースも十分にあり得る。この場合のコストは数百万円に達し、万一市場に投入後問題を起こした場合はその損害は計り知れない。しかも開発期間は圧倒的に購入したほうが短く済み、その間の期間損失も抑えられるわけである。こういった理由で、数十万円から手に入るwebサーバのミドルウェアを購入することになるわけである。HTTPd (webサーバ) だけでなく、最近の機器によく搭載されているwebブラウザやWindowシステム、メールシステム等の開発などに関しても、自社で行うことは最近ほとんどありえないといっても過言ではないが、こういった機能をすべて搭載した場合、いくら自社開発するよりコストが抑えられるとはいえ最低でも数百万円から、上は2～3千万円のコストは必要となる。企業としてはさらにこのコストを抑えるために、組み込みOSをLinuxにし、必要なミドルウェアは無償で入手する方向性を取り始めているため、組み込みの技術者にも、Linuxやそのハードウェアへの実装、ミドルウェアを利用したアプリケーション開発スキルが求められているのが現状である。

3.2 組み込みLinuxに関する教育

以上、組み込みLinuxの普及理由に関して述べてきたが、現在、組み込みソフトウェア技術者に必要なスキルとは何かを以下に述べていきたい。

まずは組み込みLinuxを使ううえで技術者に必要なスキルとして考えられるポイントを、以下に簡単にまとめてみる。

<必要な知識>

- ① 組み込みハードウェアの知識
- ② デバイスドライバに関する知識

<参考：Linux用ミドルウェアの例>

◇GUI

『QT/Embedded』

- ・ROM: 800K～4MB
- ・RAM: 1M～8MB



『Micro Windows』

- ・ROM: 1M～2MB
- ・RAM: 1M～2MB



◇ブラウザ関連

『Mozilla』



『Opera』



参考: Operaのモジュールとサイズ比較表

| | モジュール | サイズ(Byte) |
|-----------|----------|-----------|
| 画面描画モジュール | HTMLレンダラ | 65K～1M |
| | HTMLレンダラ | 50K～90K |
| コアモジュール | HTMLレンダラ | 240K～300K |
| | GUIユーザ | 4K～12K |
| | HTMLレンダラ | 120K～180K |
| | HTMLレンダラ | 90K～120K |
| | HTMLレンダラ | 90K～120K |
| | HTMLレンダラ | 90K～120K |

◇マルチメディア

『SDL (Simple DirectMedia Layer)』

※グラフィックフレームワークやオーディオやビデオデバイスなどには対応しない。ウインドウシステムを構築するために設計されたマルチメディアライブラリ



『GnomeMeeting』

※Gnomeデスクトップ用のクライアントで、フリーのビデオ会議ツール ※H323準拠

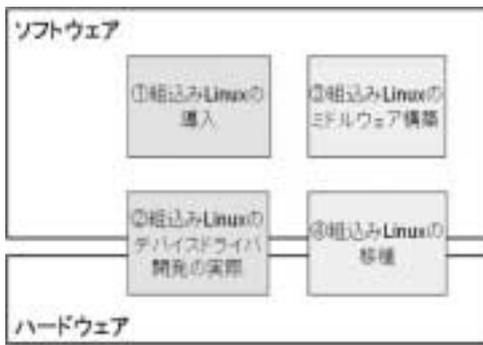


- ③ ネットワークに関する知識
- ④ 組み込みOSに関する知識
- ⑤ Linuxに関する知識 (ハードウェア実装)
- ⑥ Linuxに関する知識 (アプリケーション開発)
- ⑦ ミドルウェアに関する知識

<必要な技術>

- ① Linux実装技術
- ② デバイスドライバの開発技術
- ③ Linuxアプリケーション開発技術
- ④ 各種ミドルウェア利用技術

残念ながら、上記にあげるような知識や技術を習得している技術者は、現在の組み込み業界では極端に不足している。μITRONに関しては数年前からポリテクセンターやポリテクカレッジ、技術専門校な



どでセミナーや教育が行われている上、TRON協会などでもセミナーを行ったりしている影響で、専門的な知識や技術を持った技術者が増えているようであるが、組み込みLinuxに関してはまだ教育ができる技術者自体も圧倒的に足りていない状態である。

ただし、 μ ITRONのようにアプリケーション自体が特殊なOS上で動作するケースと違い、LinuxアプリケーションはPCのOS上で動作するアプリケーションがほぼそのまま組み込み機器でも動作するため、アプリケーション開発ができる技術者の裾野は、 μ ITRONに比べ圧倒的に広がっていると見受けられる。技術者不足が叫ばれて久しい組み込み分野でも、今後情報システム系技術者の流入がしやすくなるのではないかと予想される。また従来の組み込み分野で重要視される教育は、ハードウェアへのLinux実装やLinuxカーネル自体の移植技術、ドライバの開発技術等、組み込み分野の技術に加え、ミドルウェアを有効利用したアプリケーションの開発技術など、従来情報系で行ってきた技術の習得も重要視されると予想される。以下に、組み込みLinuxに関連して教育すべきと思われるテーマと、その内容を簡単にまとめる。

① 組み込みLinux導入

- ・ 組み込み機器とは
- ・ 基礎知識 (OS, Unix, Linux)
- ・ 組み込みLinuxの実際 (体験)
- ・ 組み込みLinuxの機能
- ・ アプリケーション開発 (実習)
- ・ ハードウェアへの実装 (実習)

② 組み込みLinuxのドライバ開発

- ・ 基礎知識 (OS, Unix, Linux)

- ・ デバイスドライバの構造
- ・ キャラクタデバイスドライバ
- ・ ブロックデバイスドライバ その他

③ 組み込みLinuxのミドルウェア構築

- ・ ミドルウェアの種類
- ・ 構造と特徴
- ・ PDSソフトの取得方法
- ・ 評価ボードへの移植 (実習)
- ・ アプリケーション開発 (実習)

④ 組み込みLinuxの移植

- ・ Linuxカーネルの構造
- ・ Boot programの作成
- ・ Linux kernelの移植
- ・ Flash ROMへの書き込み
- ・ その他、実際の機器に合わせたLinuxの移植、組み込み、起動の方法などを習得

4. おわりに

以上、組み込み用RTOSの現状について述べてきたが、今後組み込み業界においてLinuxがOSとして普及するのは明白であり、技術者不足が加速していくと予想される。こういったなかでどのような技術者教育を行っていくか、改めて考えさせられることは多い。

注) リアルタイム性

組み込みの世界での「リアルタイム性」とは、「一定の処理を速く行う」のではなく、「一定の処理を決められた時間で行う」ことであり、もちろん速く動作することはユーザーにとっては大きなメリットとなる。

<参考文献>

- 1) 社団法人トロン協会編集：『組み込みシステムにおけるリアルタイムOSシステムの利用動向とITRON仕様OSに関するアンケート調査結果』（2001年度版～2002年度版）。
- 2) 「組み込みLinuxとITRONの活用テクニック」、『Interface 2002年7月号別冊付録』、CQ出版社。