

組み込み OS を使って高度な制御をお手軽に実現しよう

TOPPERS OS の移植とライン・トレース・カーの製作事例

ここではフリーのリアルタイム OS である「TOPPERS/JSP」を利用したライン・トレース・カーの製作事例を紹介する。プログラム開発には GCC や Binutils を使用した。スタートアップ・ルーチンの作成や OS の移植，ハードウェア(拡張基板，センサ回路，モータ制御回路，電源回路など)の作成，アプリケーション・ソフトウェア作成について，順を追って解説する。
(編集部)

中野 俊和
赤星 博輝

本稿では，本誌 2007 年 5 月号に付属する V850 マイコン基板を使ったライン・トレース・カー(写真1)の製作事例を紹介します。V850 マイコンは組み込み機器向けの CPU (Central Processing Unit) で，自動車や家電製品の制御などに使われています^{注1}。

近年の家電製品や携帯電話，自動車，工業用ロボットは，いずれも CPU を用いて制御しているという点で共通しています。このような特定の機器に組み込まれるコンピュータ・システムを「組み込みシステム」，そしてその中で動作するソフトウェアを「組み込みソフトウェア」と呼びます。

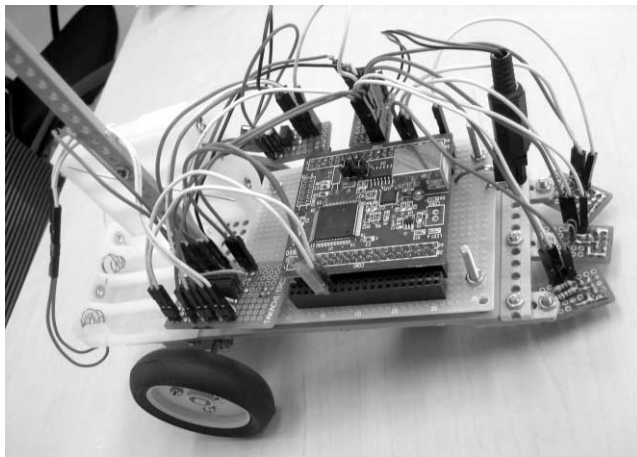


写真1 製作したライン・トレース・カーの外観

注1：米国の調査会社(Gartner Dataquest 社)の調べによると，2005 年の 32 ビット・マイクロコントローラ世界売上金額シェアで1位とのこと。
<http://www.necel.com/micro/ja/product/v850core.html> を参照。

一方，組み込みシステムとは対照的に，製品出荷段階では何をするか定かではないコンピュータ・システムがあります。例えば，パソコンがその代表です。パソコンも CPU を搭載していますが，ワープロや表計算ソフトウェアを使うユーザもいれば，計測機器をつないでデータを収集するユーザもいます。

パソコンと今回使用する V850 マイコン基板の違いは，いったい何でしょう？

表1を見ると，CPU のクロック周波数やメモリの搭載量が異なります。これは，組み込み機器では製造コストを抑えるために，必要最小限のハードウェア資源を使用するからです。同じことはパソコンでも行われており，低価格のパソコンには低価格の CPU が使われています。ただしパソコンの場合，Windows XP や Windows Vista の上でワープロや表計算ソフトウェアなどのアプリケーション・ソフトウェアを動かすために，最低でも 1GHz を超える動作周波数の CPU や 512M バイトのメモリ，さらにはネッ

表1 汎用のパソコンと V850 マイコン基板の違い

汎用のパソコンには最低限必要な性能のハードウェアや周辺装置が存在する。Windows XP や Windows Vista などの OS が動作し，その上でアプリケーション・ソフトウェアが動作することが前提となっている。これに対して組み込み応用などで使う基板では，必要に応じて使用する周辺機器などを接続する。

| | 最近のパソコン | 今回の V850 マイコン基板 |
|------------|-----------------------|---------------------------------|
| CPU の種類 | Core 2 Duo など | V850ES |
| CPU の動作周波数 | 2400MHz (2.4GHz) | 20MHz |
| 搭載メモリ | 1024M バイト (1G バイト) | ROM : 256K バイト RAM : 24K バイト |
| ハード・ディスク | 120G バイト | - |
| モニタ | 1280 ピクセル x 1024 ピクセル | - |

トワーク・インターフェースやDVDドライブが必須です。組み込み応用では、これほど高機能なハードウェアが必要となる用途はまれです。

さらに、組み込み制御の分野では、使用する資源(メモリやネットワーク、ハード・ディスク、ディスプレイ、センサ、アクチュエータなど)が製品によってまったく異なるという特徴があります。例えばゲーム機の場合、ニンテンドーDSはARM946E-Sマイコンを使っています。動作周波数は67MHzで、メモリは4Mバイトです。一方、PLAYSTATION 3はCell Broadband Engineと呼ばれるマルチコアCPUを使っています。これは3.2GHzで動作する合計9個のプロセッサ・コアを内蔵し、256Mバイトのメモリを持ちます。このように、同じゲーム機であっても、どのような商品にするかで大幅に必要な資源が変わります。

CPUを搭載してソフトウェアで制御するという意味では、パソコンも組み込みシステムも同じです。しかしパソコンのプログラミングと組み込み機器のプログラミングには異なる点がいくつかあります。今回は、ライン・トレース・カーを作成しながら、組み込みシステム特有の開発手法について理解を深めていただきたいと思います。

LED、UARTを動作させてからOSを移植
今回の作業手順を図1に示します。

STEP1でLED(発光ダイオード)を点滅させて、V850マイコン基板の動作を確認します。LEDの点滅はライン・トレース・カーそのものとは関係ないように見えますが、V850マイコンの起動時に初期化などを行うためのプログ

ラム(スタートアップ・ルーチン)を作成するためにこの作業を行います。その後、C言語でプログラムを作成するための準備をSTEP2で行います。STEP3では、リアルタイムOSを動かすために必要なタイマを動作させ、割り込みを発生させます。

V850マイコン基板にはLEDが付いていますが、LEDだけではデバッグ作業などが行いにくいので、UART(Universal Asynchronous Receiver-transmitter; 非同期シリアル通信用送受信回路)をSTEP4で動作させます。このUARTによる通信は、リアルタイムOSの移植に利用します。STEP5でリアルタイムOSの移植を行います。STEP6とSTEP7ではリアルタイムOSを使用してライン・トレース・カーとその制御プログラムを作成します。

V850マイコンは2オペランド命令が基本

ここで、V850マイコンのレジスタ構成と命令セットについて、簡単におさらいしておきます。

V850マイコンは、プログラム・カウンタ(PC)と31本の汎用レジスタ($r1 \sim r31$)を持ち、さらにゼロ・レジスタ $r0$ とシステム・レジスタを備えています。 $r0$ は、名前のとおり常にゼロの値をもつレジスタです。システム・レジスタとしては、実行状態を示すプログラム・ステータス・ワードPSW、割り込み時に復帰するPCを保存する割り込み状態退避レジスタEIPC、割り込み時のCPUの状態を保持する割り込み状態退避レジスタEIPSWなどがあります。

V850マイコンの命令セットは二つのデータを使用する2オペランド命令が基本となっています。例えば、加算を行いたい場合は`add r8, r9`となり、実際の動作は、 $r9 = r9 + r8$ となります。減算を行うときは、 $r9 = r8 -$



◀ 図1
作業手順

いきなりライン・トレース・カーを動かして始めてもよいが、動作確認を行いつつ作業を進めていく方がトラブルが発生した場合に対処しやすい。

▶ 図2
算術命令と比較命令

2オペランド命令が基本なので、レジスタ1とレジスタ2を演算し、レジスタ2に入れるという動作が多い。比較の場合は、PSW内のフラグに結果がセットされる。

```

命令形式: add reg1, reg2
動作: GR[reg2] GR[reg2]

命令形式: add (5ビット即値), reg2
動作: GR[reg2] GR[reg2] + 符号拡張(5ビット即値)

命令形式: addi (16ビット即値), reg1, reg2
動作: GR[reg2] GR[reg1] + 符号拡張(16ビット即値)
  
```

(a) 加算命令

```

命令形式: cmp reg1, reg2
動作: PSW GR[reg2] - GR[reg1]

命令形式: cmp (5ビット即値), reg2
動作: PSW GR[reg2] - 符号拡張(5ビット即値)
  
```

(b) 比較命令