

# TOPPERS BASE PLATFORM のポーティングの検討

## ～ USB ミドルウェアの解析 ～

創価大学 理工学部 共生創造理工学科 伊与田健敏

近年、組み込みマイコンも機能が豊富になり、マルチメディア機能や USB のホスト機能を持つものが多くなり、TOPPERS においても組み込みシステム技術者の育成を目指した教材として、マルチメディア機能やファイルシステム、USB 機能をサポートするミドルウェアを備えた「TOPPERS BASE PLATFORM」が開発された。今後の幅広い利用を考え、そのポーティングを検討する上で最も困難と考えられる USB ミドルウェアのポーティング作業の第一段階として、その USB 機能を担うミドルウェアの機能や構成について解析する。

### 1. はじめに

組み込み機器用のリアルタイムOSとして、オープンソースのTOPPERSは  $\mu$ ITRON 準拠の JSP カーネルの開発に始まり、ASP カーネルや FMP カーネルなど発展を続けており、様々な機器に組み込まれ利用されている。また、組み込みシステムのソフトウェア開発を担う人材育成にも活用されている。

組み込みシステムにおいても、応用分野によってはヒューマンインターフェースが必要となる場合がある。TOPPERSプロジェクトの公式の成果物の中で、ヒューマンインターフェースを構成するために必要となる音声入出力、グラフィックス表示、ポインティング入力などを担うミドルウェアは、TOPPERSプロジェクトの公式の成果物の中には見当たらなかった。

TOPPERSプロジェクトにおいては、リアルタイムカーネルをはじめとする様々なソフトウェアは開発されてきたが、それらを動作させる土台となるハードウェアについては規定されておらず、それぞれの開発者が身近にあるハードウェアを前提にしてソフトウェアが開発されてきたと考えられる。そして、今まで用いられてきたハードウェアで音声入出力やグラフィックス表示、ポインティング入力

などを備えたものが存在していなかった。そのために、ヒューマンインターフェースやマルチメディアに関するミドルウェアの開発が進まなかったのではないかと考えられる。

このような状況に対して、私の研究室では、今までに開発されたTOPPERSの公式成果物(ソフトウェア)を同時に使用して試すことができ、さらにマルチメディア機能などに関するミドルウェアを開発するための土台となる「TOPPERS用参照ハードウェア(TOPPERS Reference Hardware、以後TRHと略記)」を2011年に提案し、作製に取り組んできた。

TRH- $\alpha$ 1は図1のような構成で、H8マイコンを中心に、パソコンと同等なファイルシステムやマルチメディア機能などを有している。図2が実際に作成したTRH- $\alpha$ 1の基板である。このTRH- $\alpha$ 1は、マウスやキーボードなどのヒューマンインターフェース機器やUSBメモリーなどの周辺機器を接続するためにUSBのホスト機能を備えている。

組み込みシステムは、パソコンの周辺機器としてUSBのターゲットデバイスになる場合もあるが、同時にUSBのホスト機能を持つことが出来れば、様々なUSBデバイスを

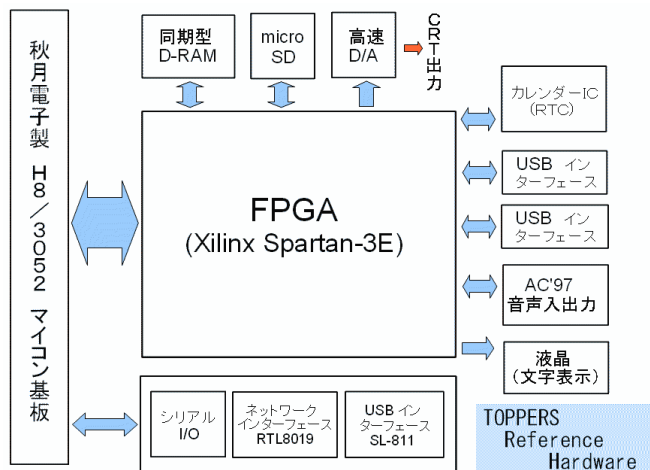


図1 TOPPERS 参照ハードウェア (TRH- $\alpha$ 1) の構成

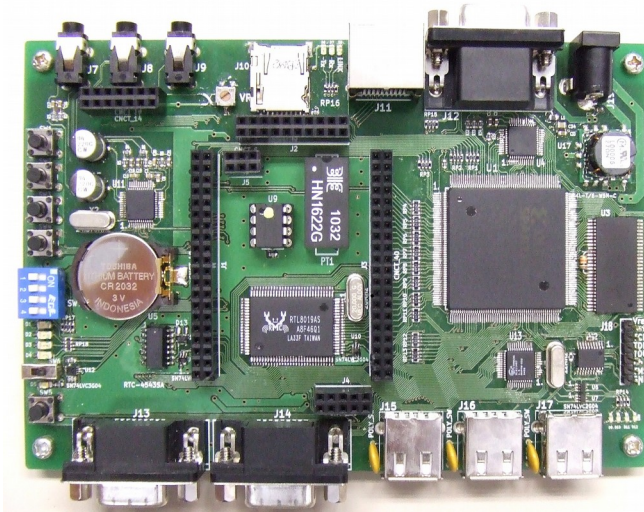


図2 TRH- $\alpha$ 1 (部品実装済み基板)

接続して活用することが可能になり、組み込みシステムの可能性を広げることが出来る。TRH- $\alpha$ 1にUSBのホスト機能を搭載したのも、そのような考えからである。

近年、組み込みマイコンのシステムも機能が豊富になり、マルチメディア機能やUSBのホスト機能を持つものが多くなってきた。同時に、その機能を活用するためのミドルウェアの重要性についても関心が高まってきたといえる。

そして、ついに、TOPPERSにおいても、組み込みシステム技術者の育成を目指した教材として、マルチメディア機能やファイルシステム、USBのホスト/ターゲット機能をサポートするミドルウェアを備えた「TOPPERS BASE PLATFORM」が開発された [1]。

TOPPERS BASE PLATFORM がサポートしているのは、今のところARMコアのマイコンで、USBの機能に関してはSYNOPTSYSが提供するUSBのIPに対してのみである。しかし、今後は様々なマイコンにおいて幅広く利用されていくものと考えられる。

そこで、本研究室では、TRH- $\alpha$ 1やルネサスのGRSAKURAボードを対象にTOPPERS BASE PLATFORMのポーティングに取り組み始めている。その中で、おそらく最も困難な作業がUSB機能を担うミドルウェアのポーティング作業だと考えており、本稿で、そのポーティング作業の第一段階として、TOPPERS BASE PLATFORMのUSB機能を担うミドルウェアの機能や構成について、現時点での解析して得られた内容について述べる。

## 2. USBは難しい!

組み込みシステムにUSBのホスト機能を搭載しようと何年にも渡って様々な取り組みを行ってきた。その中で痛感することは、「USBは本当に難しい」ということである。

USBもネットワークなどの通信規格と同じようにシリアル通信であり、パケットが基本となっている。有線LANの規格であるイーサネットにおいて、コントローラチップはイーサネットで規定されたパケットの送信と受信ができればよい。上位のプロトコルは、下位のプロトコルのペイロードとして入れ子になって運ばれるので、比較的理解は容易である。

一方、USBは、パケットを基本としてはいるものの複雑なプロトコルを使っている。その例として、図3に示されているのが、コントロール転送のプロトコルである [2]。USBのプロトコルは3つの段階(階層)で構成される。

まず基本になるのが、パケットである。パケットはトークンパケット、データパケット、ハンドシェイクパケットの3種類がある。実際にデータの転送を担っているのはデータパケットである。

次に、これらのパケットによって構成されるのがトランザクションである。トランザクションは基本的に、トークンパケット・データパケット・ハンドシェイクパケットの3つから構成され、これがデータ転送の基本単位となる。トランザクションは、SETUPトランザクション、INトランザクション、OUTトランザクションの3種類がある。

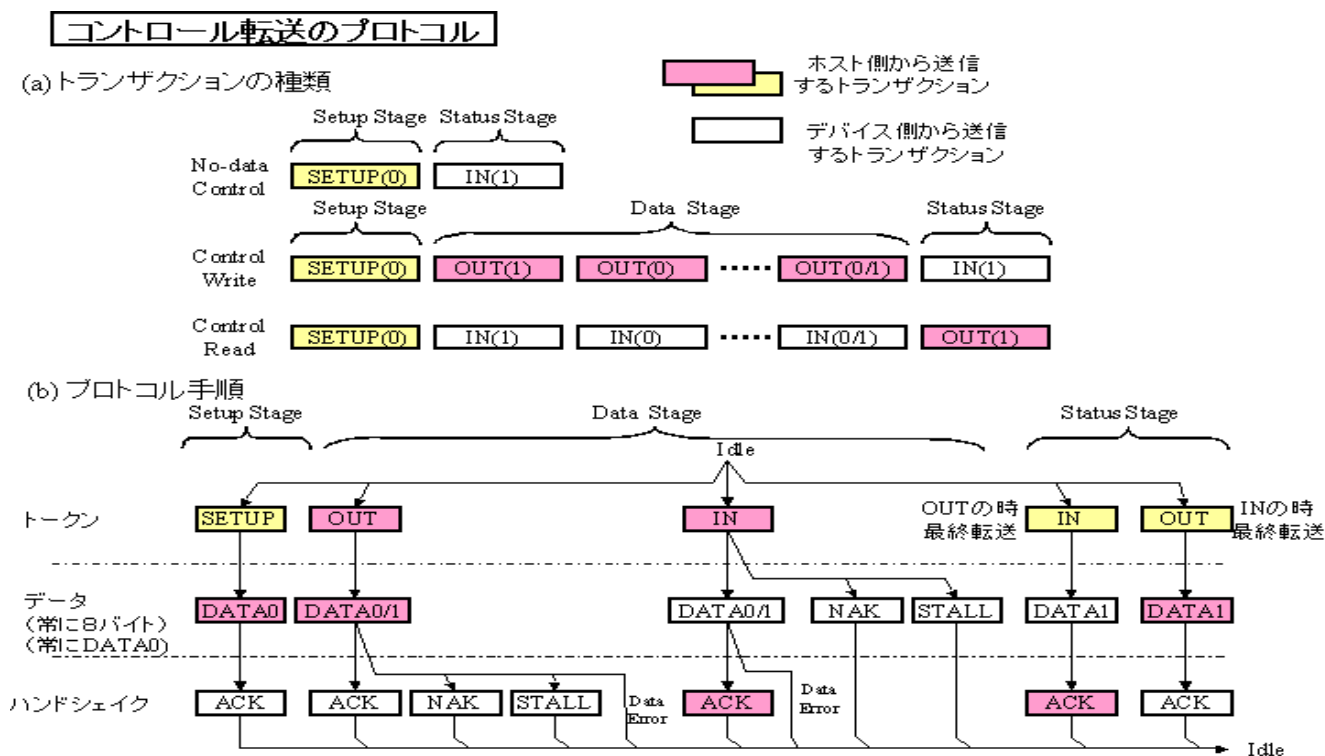


図3 USBのプロトコル(文献[2]より引用)

最後が、転送(トランスファー)である。転送は、複数のトランザクションから構成されている。図3の中で、(a)トランザクションの種類と書かれている説明のところで、細長い横長の長方形で書かれているのが「トランザクション」であり、それらが横一列で並んで構成されているのが「転送」である。(b)プロトコル手順とかかかっているところの図は、各トランザクションにおけるパケットが見えるように書かれている。このように複雑な3つの階層があるのがUSBのプロトコルであり、それを正しく認識して理解すること自体が大変である。

さて、組込みシステム用にUSBのミドルウェアを作成しようとするならば、USBのコントローラについて知らなければならない。この時に悩ましいのが、コントローラは上記の階層に照らして、どの単位で処理を担ってくれるのか、ということが見えにくいという点である。組込み機器用のいろいろなUSBコントローラを調べてみると、概ね「トランザクション」を単位として処理してくれるようである。

しかし、1つのトランザクションにおいてデータパケットが1つ含まれているので、そのデータパケットの送信や受信という意味で「パケットの送信」「パケットの受信」という言葉がよく出てくるが、惑わされてはいけない。USBにおけるデータ転送の基本単位はあくまで「トランザクション」であり、データ転送の際にUSBコントローラは自動的に「トランザクション」を構成してくれる、ということなのである。

### 3. TOPPERS BASE PLATFORM における

#### USB ミドルウェアの階層構造

いよいよ本題の TOPPERS BASE PLATFORM におけるUSBの機能を担うソフトウェアの構造について述べていく。