

組み込み用のUSBホスト/ デバイス・スタック TinyUSB

関本 健太郎

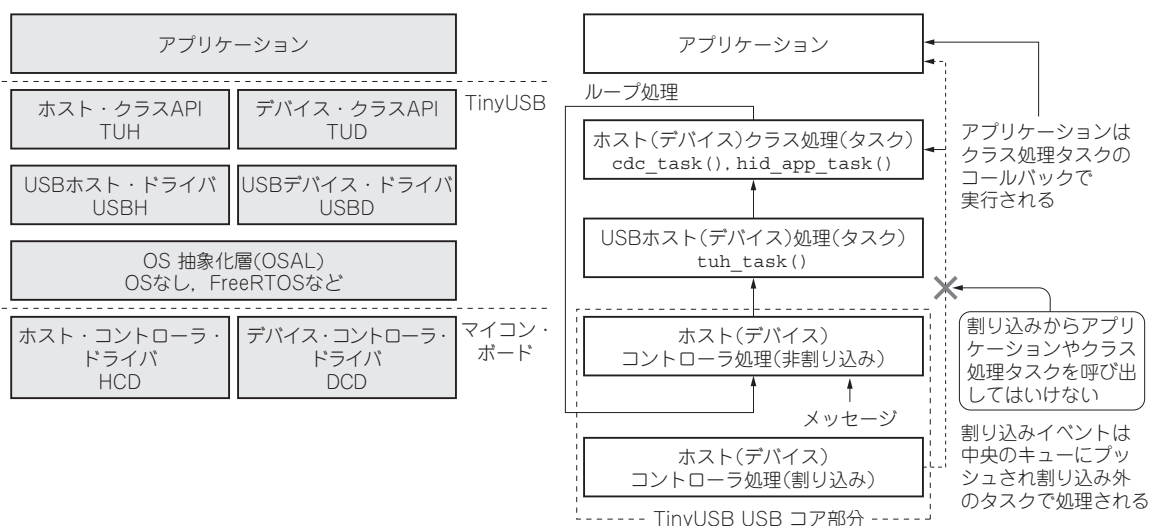


図1 (1) TinyUSBのソフトウェア・スタック

TinyUSBは、組み込みシステム用のオープンソースのUSBホスト/デバイス・スタックです。動的なメモリ割り当てをしないので、メモリ・セーフを確保できるという特徴があります。

割り込みで発生するイベントは、割り込み内での処理を最小限にとどめ、割り込み外で処理する(イベントを1つのキューに取り込む)ように設計されています。これによりスレッド・セーフを確保できるという特徴もあります。キューはセマフォやミューテックスを利用し、USB CDC (Communication Device Class) FIFO用途などで共有リソースとしてアクセスされます。

全体構成とサポート対象のデバイス

TinyUSBのAPIを分類すると、図1のように低レベル層から以下のように構成されます。

- マイコンごとのハードウェアを処理するAPI部であるコントローラ・ドライバ
- OSの抽象化層 (OS Abstraction Layer)
- USBプロトコルを処理するUSBドライバ
- USBクラスごとのAPI部

現時点でUSBホストのソフトウェア・スタックと

してはHID (Human Interface Device) デバイスとMSC (Mass Storage Class) デバイスのみサポートされています。USBハブの接続も1階層のみとなっています。

● ホスト・スタック

USBホストとして次をサポートします。

- Human Interface Device (HID) … キーボード、マウス、その他
- Mass Storage Class (MSC)
- Hub 複数レベルの階層のサポート (2022年6月)

なお、現在、ラズベリー・パイ PicoではバグによりMSCが動作しません。

● デバイス・スタック

USBデバイスとして次をサポートします。

- Audio Class 2.0 (UAC2)
- Bluetooth Host Controller Interface (BTH HCI)
- Communication Class (CDC)
- Device Firmware Update (DFU) … DFUモード (開発中) およびランタイム・モード
- Human Interface Device (HID) … Generic (In & Out), キーボード、マウス、ゲームパッド、その他

特集 USBホスト&デバイス ラズパイPico虎の巻

- Mass Storage Class (MSC) …複数のLUN (Logical Unit Number)
- Musical Instrument Digital Interface (MIDI)
- Network with RNDIS, CDC-ECM (開発中)
- USB Test and Measurement Class (USBTMC)
- ベンダ独自クラス・サポート (標準InおよびOut エンドポイント) …INFファイルなしのWinUSB 互換ディスクリプタの使用
- ベンダ独自クラスのWebUSB

マルチスレッド (並行処理) の対応

並行処理の観点では、TinyUSBのライブラリは、マルチスレッド・アプリケーションを念頭に置いてシングル・コアのマイコンで動作するように設計されています。もともとは、OSなし環境がメインでサポートされていましたが、オプションとしてFreeRTOSなどといったRTOSでもサポートされています。

● アプリケーション・コード

TinyUSBでは、割り込みコンテキストではアプリケーションのコールバックを実行してはいけません。その代わりにアプリケーション・コードの呼び出しは、TinyUSBのタスク・コンテキスト内から行われます。また、アプリケーションは、独自のタスク内からTinyUSBのクラス・ドライバを呼び出します。

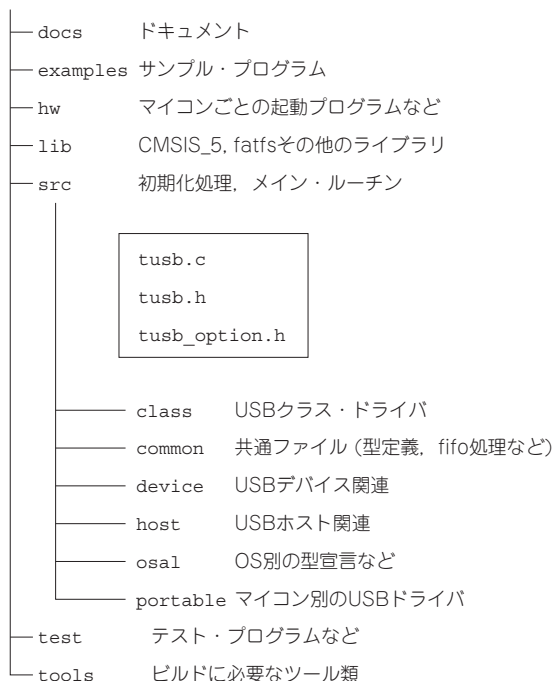


図2 TinyUSBのフォルダ構成

● クラス・ドライバ

アプリケーションは、アプリケーション自身の割り込みコンテキストからクラス・ドライバ関数を呼び出すことができますが、TinyUSBのUSBコアの割り込みコンテキストからクラス・ドライバ・コードを呼び出してはいけません。USBコア機能は、複数のタスクによって同時に呼び出される場合があるからです。この場合には、USBコア機能を保護するために適切なロックを使用する必要があります。例えば、USBデバイス処理のクラス・ドライバは、アプリケーション・コンテキストでusb*_関数を呼び出せますが、割り込みコンテキストで呼び出されるdcd_* functionsを呼び出せません。USBホスト処理の場合は、アプリケーション・コンテキスト向けはusbh_*という関数名となり、割り込みコンテキスト向けにはhcd_*という関数名になります。

● USBコア

USBコアの割り込みコンテキストから呼び出される可能性のある全ての関数には、割り込み処理中であることを示すin_isrというブール値の変数があります。実装者はこの変数を適切に処理する必要があります。割り込みハンドラは直接クラス・ドライバのコードを呼び出してはいけません。その代わりに割り込みハンドラは、メッセージをUSBコアのタスクに渡します。

usb*_関数は予告なしで割り込みから呼び出されます。また複数のタスクから同時に呼び出される可能性もあります。

● デバイス・ドライバ

USBスタックの処理の多くは割り込みコンテキストで行われるため、コンパイラと最適化マイザによって変数が適切な方法で処理されるように注意する必要があります。特に、全てのメモリ・マップド・レジスタ (パケット・メモリを含む) がvolatileとして宣言されていることを確認します。ポインタをvolatileとして宣言しない場合、GCCの最適化マイザが不適切にメモリ・アクセスを最適化する (2つの16ビットを32ビットにするなど) 可能性があります。また、全てのグローバル変数はstaticで宣言します。

ファイル構成

TinyUSBのフォルダ構成を図2に示します。TinyUSBの基本機能のソース・ファイルはsrcフォルダ下にまとめられています。

第4章 組み込み用のUSBホスト/デバイス・スタック TinyUSB

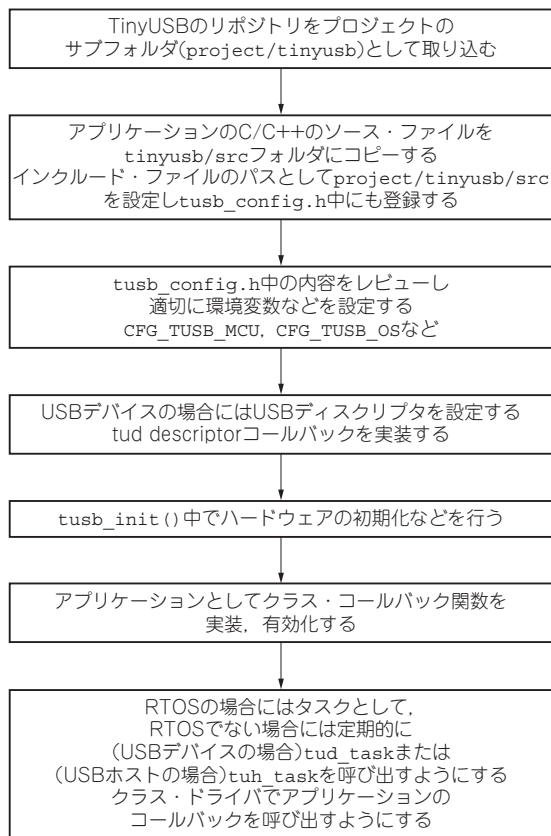


図3 TinyUSB アプリケーションの開発フロー

- osal...OSAL (Operating System Abstract Layer) 処理, つまり, 一般に OS でサポートされる処理のファイル
- portable...マイコンごとの低レイヤ処理のファイル

lib フォルダ下には, CMSIS_5, fatfs, FreeRTOS-Kernel, lwip, Pico-PIO-USB など (一部は Git のサブモジュールとして), TinyUSB で利用するライブラリが格納されています。hw フォルダ下には, マイコンごとの起動ルーチンや LED 表示のための GPIO 処理のファイルが格納されています。

使い方

TinyUSB を新規または開発中のアプリケーション

リスト1 TinyUSB での OS なし環境における main 関数 (メイン・ルーチン) の例

```

int main(void)
{
    your_init_code(); // アプリケーションの初期化
                    // rp2040 の場合は, PIO を使用しない限り,
                    // デバイスかホストのどちらか
    tud_init (BOARD_TUD_RHPORT); // TinyUSB の USB デバイス初期化処理
    tuh_init (BOARD_TUH_RHPORT); // TinyUSB の USB ホスト初期化処理

    while (1) // メイン・ループの処理
    {
        tud_task(); // TinyUSB のデバイスのタスク処理
        tuh_task(); // TinyUSB のホストのタスク処理
        your_class_task(); // ターゲットのクラスのタスク処理
        your_application_code(); // アプリケーション独自の処理
    }
}
  
```

に追加するには, 一般に図3のフローで行います。

RTOS を使わない OS なし環境では, 一般的にリスト1のようなメイン・ルーチンとなります。

作成したい USB デバイス, ホストのアプリケーションと同じ USB クラスのアプリケーションが TinyUSB のサンプルにあれば, 図3に示す開発フローに従えば, 容易に USB アプリケーションが作成できます。USB デバイス・タスク処理である tud_task 関数や USB ホスト・タスク処理である tuh_task 関数については, 第5章にて一部解説しています。また, your_class_task 関数や your_applicaition_code 関数, その他のコールバック関数群の具体例は, 第2部の TinyUSB のサンプル・アプリケーションおよび第3部以降の活用例で事例に合わせて解説しています。その他の詳細は TinyUSB のドキュメント⁽¹⁾の Getting Started ページを参照してください。

◆参考・引用*文献◆

- (1) Reference-TinyUSB.
<https://docs.tinyusb.org/en/latest/reference/index.html>

せきもと・けんたろう

特集

第1部

Pico
基礎知識

第2部

役立ち
サンプル
徹底解説

第3部

USB
デバイス
製作集

第4部

USB
ホスト
製作集