

お客様各位

カタログ等資料中の旧社名の扱いについて

2010年4月1日を以ってNECエレクトロニクス株式会社及び株式会社ルネサステクノロジが合併し、両社の全ての事業が当社に承継されております。従いまして、本資料中には旧社名での表記が残っておりますが、当社の資料として有効ですので、ご理解の程宜しくお願い申し上げます。

ルネサスエレクトロニクス ホームページ (<http://www.renesas.com>)

2010年4月1日
ルネサスエレクトロニクス株式会社

【発行】ルネサスエレクトロニクス株式会社 (<http://www.renesas.com>)

【問い合わせ先】<http://japan.renesas.com/inquiry>

ご注意書き

1. 本資料に記載されている内容は本資料発行時点のものであり、予告なく変更することがあります。当社製品のご購入およびご使用にあたりましては、事前に当社営業窓口で最新の情報をご確認いただきますとともに、当社ホームページなどを通じて公開される情報に常にご注意ください。
2. 本資料に記載された当社製品および技術情報の使用に関連し発生した第三者の特許権、著作権その他の知的財産権の侵害等に関し、当社は、一切その責任を負いません。当社は、本資料に基づき当社または第三者の特許権、著作権その他の知的財産権を何ら許諾するものではありません。
3. 当社製品を改造、改変、複製等しないでください。
4. 本資料に記載された回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報は、半導体製品の動作例、応用例を説明するものです。お客様の機器の設計において、回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報を使用する場合には、お客様の責任において行ってください。これらの使用に起因しお客様または第三者に生じた損害に関し、当社は、一切その責任を負いません。
5. 輸出に際しては、「外国為替及び外国貿易法」その他輸出関連法令を遵守し、かかる法令の定めるところにより必要な手続を行ってください。本資料に記載されている当社製品および技術を大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的その他軍事事用の目的で使用しないでください。また、当社製品および技術を国内外の法令および規則により製造・使用・販売を禁止されている機器に使用することができません。
6. 本資料に記載されている情報は、正確を期すため慎重に作成したのですが、誤りがないことを保証するものではありません。万一、本資料に記載されている情報の誤りに起因する損害がお客様に生じた場合においても、当社は、一切その責任を負いません。
7. 当社は、当社製品の品質水準を「標準水準」、「高品質水準」および「特定水準」に分類しております。また、各品質水準は、以下に示す用途に製品が使われることを意図しておりますので、当社製品の品質水準をご確認ください。お客様は、当社の文書による事前の承諾を得ることなく、「特定水準」に分類された用途に当社製品を使用することができません。また、お客様は、当社の文書による事前の承諾を得ることなく、意図されていない用途に当社製品を使用することができません。当社の文書による事前の承諾を得ることなく、「特定水準」に分類された用途または意図されていない用途に当社製品を使用したことによりお客様または第三者に生じた損害等に関し、当社は、一切その責任を負いません。なお、当社製品のデータ・シート、データ・ブック等の資料で特に品質水準の表示がない場合は、標準水準製品であることを表します。

標準水準： コンピュータ、OA 機器、通信機器、計測機器、AV 機器、家電、工作機械、パーソナル機器、産業用ロボット

高品質水準： 輸送機器（自動車、電車、船舶等）、交通用信号機器、防災・防犯装置、各種安全装置、生命維持を目的として設計されていない医療機器（厚生労働省定義の管理医療機器に相当）

特定水準： 航空機器、航空宇宙機器、海中継機器、原子力制御システム、生命維持のための医療機器（生命維持装置、人体に埋め込み使用するもの、治療行為（患部切り出し等）を行うもの、その他直接人命に影響を与えるもの）（厚生労働省定義の高度管理医療機器に相当）またはシステム等

8. 本資料に記載された当社製品のご使用につき、特に、最大定格、動作電源電圧範囲、放熱特性、実装条件その他諸条件につきましては、当社保証範囲内でご使用ください。当社保証範囲を超えて当社製品をご使用された場合の故障および事故につきましては、当社は、一切その責任を負いません。
9. 当社は、当社製品の品質および信頼性の向上に努めておりますが、半導体製品はある確率で故障が発生したり、使用条件によっては誤動作したりする場合があります。また、当社製品は耐放射線設計については行っておりません。当社製品の故障または誤動作が生じた場合も、人身事故、火災事故、社会的損害などを生じさせないようお客様の責任において冗長設計、延焼対策設計、誤動作防止設計等の安全設計およびエージング処理等、機器またはシステムとしての出荷保証をお願いいたします。特に、マイコンソフトウェアは、単独での検証は困難なため、お客様が製造された最終の機器・システムとしての安全検証をお願いいたします。
10. 当社製品の環境適合性等、詳細につきましては製品個別に必ず当社営業窓口までお問合せください。ご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制する RoHS 指令等、適用される環境関連法令を十分調査のうえ、かかる法令に適合するようにご使用ください。お客様にかかる法令を遵守しないことにより生じた損害に関し、当社は、一切その責任を負いません。
11. 本資料の全部または一部を当社の文書による事前の承諾を得ることなく転載または複製することを固くお断りいたします。
12. 本資料に関する詳細についてのお問い合わせその他お気付きの点等がございましたら当社営業窓口までご照会ください。

注 1. 本資料において使用されている「当社」とは、ルネサスエレクトロニクス株式会社およびルネサスエレクトロニクス株式会社がその総株主の議決権の過半数を直接または間接に保有する会社をいいます。

注 2. 本資料において使用されている「当社製品」とは、注 1 において定義された当社の開発、製造製品をいいます。

SH7705グループ USB ファンクションモジュール

アプリケーションノート

ルネサス32ビットRISC マイクロコンピュータ

SuperH™ RISC engine ファミリ／SH7700 シリーズ

ご注意

安全設計に関するお願い

1. 弊社は品質、信頼性の向上に努めておりますが、半導体製品は故障が発生したり、誤動作する場合があります。弊社の半導体製品の故障又は誤動作によって結果として、人身事故、火災事故、社会的損害などを生じさせないような安全性を考慮した冗長設計、延焼対策設計、誤動作防止設計などの安全設計に十分ご注意ください。

本資料ご利用に際しての留意事項

1. 本資料は、お客様が用途に応じた適切なルネサス テクノロジ製品をご購入いただくための参考資料であり、本資料中に記載の技術情報についてルネサス テクノロジが所有する知的財産権その他の権利の実施、使用を許諾するものではありません。
2. 本資料に記載の製品データ、図、表、プログラム、アルゴリズムその他応用回路例の使用に起因する損害、第三者所有の権利に対する侵害に関し、ルネサス テクノロジは責任を負いません。
3. 本資料に記載の製品データ、図、表、プログラム、アルゴリズムその他全ての情報は本資料発行時点のものであり、ルネサス テクノロジは、予告なしに、本資料に記載した製品または仕様を変更することがあります。ルネサス テクノロジ半導体製品のご購入に当たりましては、事前にルネサス テクノロジ、ルネサス販売または特約店へ最新の情報をご確認頂きますとともに、ルネサス テクノロジホームページ(<http://www.renesas.com>)などを通じて公開される情報に常にご注意ください。
4. 本資料に記載した情報は、正確を期すため、慎重に制作したものです。万一本資料の記述誤りに起因する損害がお客様に生じた場合には、ルネサス テクノロジはその責任を負いません。
5. 本資料に記載の製品データ、図、表に示す技術的な内容、プログラム及びアルゴリズムを流用する場合は、技術内容、プログラム、アルゴリズム単位で評価するだけでなく、システム全体で十分に評価し、お客様の責任において適用可否を判断してください。ルネサス テクノロジは、適用可否に対する責任を負いません。
6. 本資料に記載された製品は、人命にかかわるような状況の下で使用される機器あるいはシステムに用いられることを目的として設計、製造されたものではありません。本資料に記載の製品を運輸、移動体用、医療用、航空宇宙用、原子力制御用、海底中継用機器あるいはシステムなど、特殊用途へのご利用をご検討の際には、ルネサス テクノロジ、ルネサス販売または特約店へご照会ください。
7. 本資料の転載、複製については、文書によるルネサス テクノロジの事前の承諾が必要です。
8. 本資料に関し詳細についてのお問い合わせ、その他お気付きの点がございましたらルネサス テクノロジ、ルネサス販売または特約店までご照会ください。

Microsoft® Windows® 95 Operating system , Microsoft® Windows® 98 Operating system , Microsoft® Windows® 2000 operating system は、米国 Microsoft Corp.の米国およびその他の国における登録商標です。

はじめに

本アプリケーションノートは、SH7705 内蔵の USB ファンクションモジュールを用いたプリンタクラスファームウェアについて説明したものであり、お客様が USB ファンクションモジュールファームウェア作成の際に、御参考として役立てて頂ける様にまとめました。

本アプリケーションノートではプリンタクラスの通信を例に、SH7705 内蔵 USB ファンクションモジュールの構成を説明します。本アプリケーションノートの内容およびソフトウェアは、USB ファンクションモジュールの使用例として説明しているものであり、その内容を保証するものではありません。

また、開発に際しましては、本書のほかに以下の関連マニュアルもあわせて御覧ください。

【関連マニュアル】

- Universal Serial Bus Specification Revision 1.1
- Universal Serial Bus Device Class Definition for Printing Devices
- SH7705 ハードウェアマニュアル
- SH7705 Solution Engine (MS7705SE01) 取扱説明書
- SH7705 E10A エミュレータユーザーズマニュアル

【ご注意】本アプリケーションノートに記載してあるサンプルプログラムでは、USB の転送タイプのうち「インタラプト」に関するファームウェアは準備しておりません。「インタラプト」(SH7705 ハードウェアマニュアル 18.4.6 参照) の転送タイプを御使用になる場合は、別途お客様でプログラムを作成していただく必要があります。

また、本アプリケーションノートには、上記システムの開発時に必要と思われる SH7705、SH7705 Solution Engine のハードウェア仕様を記載してありますが、詳細は SH7705 のハードウェアマニュアル、ならびに SH7705 Solution Engine の取扱説明書を御覧ください。

目次

1. 概要	1-1
2. USB の概要	2-1
2.1 USBの接続トポロジ	2-1
2.2 USBの信号転送方式	2-2
2.3 接続・非接続の認識	2-5
2.4 USBコネクタ	2-6
2.5 エンドポイント	2-6
2.6 USBのパケットとデータ転送	2-7
2.6.1 パケットの概要	2-8
2.6.2 コントロール転送	2-11
2.6.3 バルク転送	2-14
2.6.4 アイソクロナス転送	2-15
2.6.5 インタラプト転送	2-16
2.7 USBデバイスフレームワーク	2-18
2.7.1 デバイスのステート	2-18
2.7.2 デバイスリクエスト	2-18
2.8 ディスクリプタ	2-20
3. USB モジュールの概要	3-1
3.1 モジュールの動作	3-1
3.2 エンドポイントの構成	3-1
3.3 レジスタ構成	3-2
3.4 USBコマンドの処理	3-7
4. 開発環境	4-1
4.1 ハードウェア環境	4-1
4.2 ソフトウェア環境	4-3
4.2.1 サンプルプログラム	4-3
4.2.2 コンパイルおよびリンク	4-3
4.3 プログラムのロードと実行方法	4-5
4.3.1 プログラムのロード	4-5
4.3.2 プログラムの実行	4-6
4.4 プリントアウトの方法	4-7

5.	サンプルプログラム概要	5-1
5.1	状態遷移図	5-1
5.2	USB通信状態	5-2
5.3	ファイル構成	5-3
5.4	関数の機能	5-4
6.	サンプルプログラムの動作	6-1
6.1	メインループ	6-1
6.2	割り込みの種類	6-2
6.2.1	各転送への分岐方法	6-3
6.3	ケーブル接続時（BRST）割り込み	6-4
6.4	コントロール転送	6-5
6.4.1	セットアップステージ	6-6
6.4.2	データステージ	6-8
6.4.3	ステータスステージ	6-10
6.5	バルク転送	6-12
6.5.1	バルクアウト転送	6-13
6.5.2	バルクイン転送	6-14
7.	アナライザのデータ	7-1
7.1	デバイス接続時のコントロール転送	7-1
7.2	プリントアウト時のバルクアウト転送（バルクアウト転送については2.6.3項をご参照ください）	7-9

1. 概要

本アプリケーションノートは、SH7705 の USB ファンクションモジュールの使用方法、およびファームウェアの作成例について説明したものです。

SH7705 内蔵 USB ファンクションモジュールの特長を以下に示します。

- USB1.1に準拠したUDC（USB Device Controller）を内蔵
- USBプロトコルを自動処理
- エンドポイント0に対するUSB標準コマンドを自動処理（一部コマンドはファームウェアで処理する必要があります。）
- フルスピード（12Mbps）転送に対応
- USB送受信に必要な各種割り込み信号を生成
- USBクロック周波数制御レジスタによる内部システムクロック / 外部入力（48MHz）を選択可能
- 低消費電力モードを搭載
- バストランシーバを内蔵
- パワーモード：セルフモード

エンドポイントの構成

エンドポイント名	名称	転送タイプ	最大パケットサイズ	FIFO バッファ容量	DMA 転送
エンドポイント 0	EP0s	セットアップ	8 Byte	8 Byte	
	EP0i	コントロールイン	8 Byte	8 Byte	
	EP0o	コントロールアウト	8 Byte	8 Byte	
エンドポイント 1	EP1	バルクアウト	64 Byte	64 × 2 (128 Byte)	可能
エンドポイント 2	EP2	バルクイン	64 Byte	64 × 2 (128 Byte)	可能
エンドポイント 3	EP3	インタラプト	8 Byte	8 Byte	

システム構成例を図 1.1 に示します。

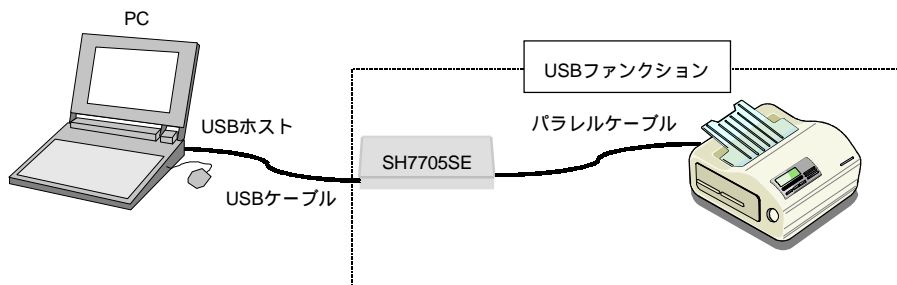


図 1.1 システム構成

1. 概要

本システムは、SH7705 を搭載した日立超 LSI システムズ社製の SH7705 Solution Engine (以下 SH7705SE)、パラレルポート搭載のプリンタ、Windows® 2000 を OS とした PC によって構成されています。

本システムは、ホスト PC から USB にて送信される印刷データを、SH7705SE によって受信しパラレルに変換後、プリンタへ印刷データを出力することができます。また、Windows® 2000 に標準で付属している USB プリンタクラスのデバイスドライバ、およびプリンタのデバイスドライバを使用することが可能です。

本システムの特長を以下に示します。

1. サンプルプログラムにより、SH7705のUSBモジュールを短期間で評価可能
2. サンプルプログラムは、USBのコントロール転送、バルク転送をサポート
3. E10A (PCカード型エミュレータ) を使用することができ、効率的なデバッグが可能
4. プログラムを追加作成することにより、インタラプト転送についても対応可能*

【注】* インタラプト転送のプログラムは、お客様で作成していただく必要があります。

2. USB の概要

この章では、接続トポロジ、転送方式、データフォーマット等 USB の規格について説明します。USB のシステムを開発する際に、ご参考としてお使いください。なお、規格の詳細につきましては、「Universal Serial Bus Specification Revision 1.1 (USB1.1 規格書)」をご覧ください。

2.1 USB の接続トポロジ

図 2.1 に USB の接続トポロジを示します。USB は PC に搭載されたホストコントローラおよびホストコントローラに接続されるデバイスによって構成されています。また、ハブと呼ばれる特別なデバイスを用いることによりバスを拡張して、接続するデバイス数を増やすことが可能です。特に、ホストコントローラに直結されているハブをルートハブと呼び、一般的には PC 本体内に格納されています。ハブ（ルートハブを除く）は 5 階層まで（直列で 5 台）接続可能となっています。

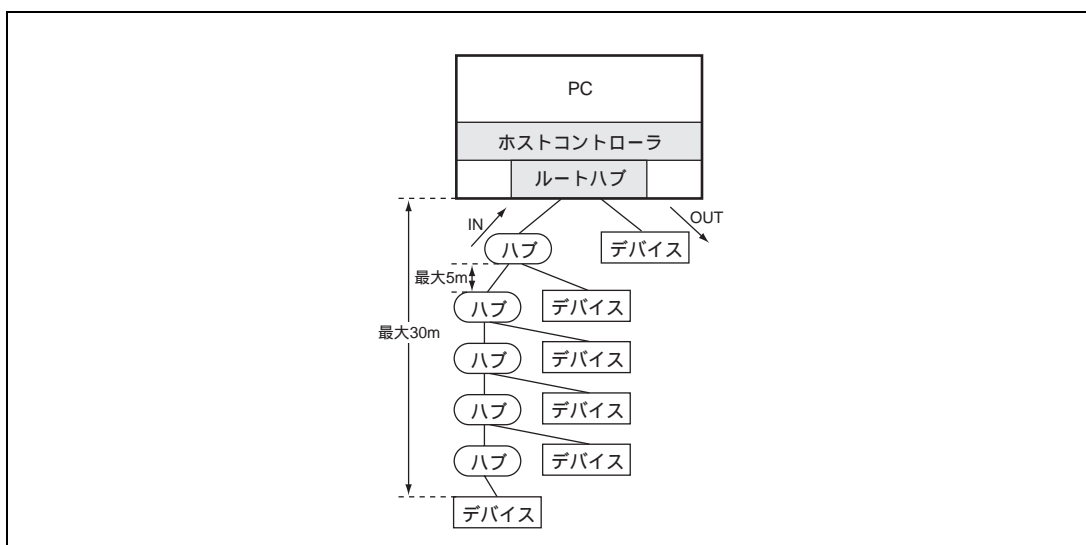


図 2.1 接続トポロジ

2. USB の概要

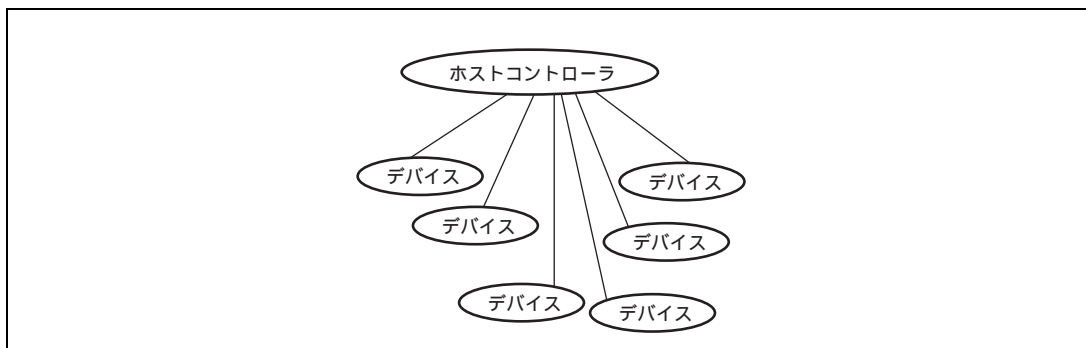


図 2.2 論理トポロジ

ホストコントローラは、各デバイスに 7bit のアドレスを割り当てて管理しています。このうち、デバイスが接続されてから、アドレスが割り当てられるまでに使用される仮のアドレス（デフォルトアドレス：0000000b）が必要となるため、ホストコントローラに接続できるデバイスは、ハブも含み最大 127 台となります。

なお、実際の接続トポロジは図 2.1 で示したツリー型になりますが、論理トポロジは図 2.2 で示すスター型となり、ホストコントローラとデバイスが時分割で 1 対 1 の通信を行う形になります（実際にハブを経由しても、ホストコントローラに直結されているイメージになります）。時分割のスケジュールはすべてホストコントローラが決定します。そのため、ホストコントローラ側からの命令（詳細は「2.6.1 パケットの概要」をご参照ください）がない限り、デバイス側からデータを転送することはありません。

また、デバイスには高速転送（12Mbps）を行う「フルスピードデバイス」および低速転送（1.5Mbps）を行う「ロースピードデバイス」があります。

データの転送方向はホストコントローラを中心に定義されており、データがホストコントローラからデバイスに向かう場合を OUT 方向、デバイスからホストコントローラに向かう場合が IN 方向です。

OUT 方向のデータは接続されている全デバイスに向けて転送されるブロードキャスト型となっています。なお、ロースピードデバイスに対しては 1.5Mbps のデータのみ転送されます（ルートハブあるいはハブによって、12Mbps のデータがフィルタリングされます。詳細は「2.6.1 パケットの概要」で説明します）。

ブロードキャストされる OUT 方向の「トークンパケット」には、デバイスがデータを識別するために必要な「アドレス情報」（詳細は「2.6.1 パケットの概要」をご参照ください）が含まれており、このアドレス情報を基に該当するアドレスのデバイスのみが動作・応答する形になります。

2.2 USB の信号転送方式

USB は、2 本の信号ライン（D+、D-）と 2 本の電源ライン（Vbus、GND）で構成されています。それに合わせ、図 2.3 に示すよう USB ケーブルの内部も 4 本で構成されています。このうち、フルスピードデバイスで使用されるケーブルでは、信号ライン（D+、D-）がツイストペア（撚り線）構造になっています。また、フルスピードデバイス用ケーブルにはシールド処理も必要となりますが、ロースピードデバイスで使用されるケーブルではツイストペア・シールド共に不要です。なお、ケーブルの最大長はフルスピードデバイス用で 5m ですが、ツイストペア・シールド処理を行わないロースピードデバイス用では 3m までとなります。

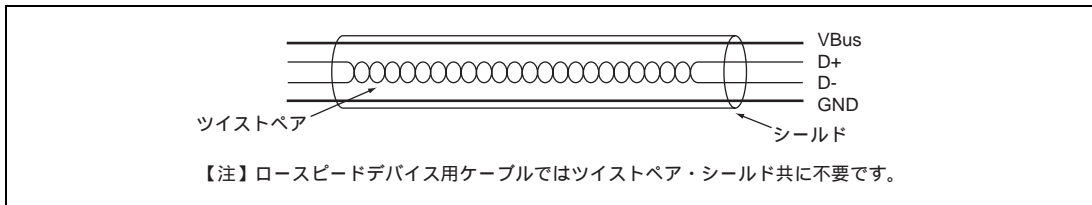


図 2.3 USB ケーブルの構造 (フルスピードデバイス用)

データは、D+、D-を使用した差動信号によって転送されます。転送方式は図 2.4 に示すように、元データが「0」であるときには D+、D-それぞれが反転し、「1」であるときには反転しない「NRZI」(Non Return to Zero Invert)方式が用いられています。NRZI では、元データに「1」が続いた場合は信号変化がなくなるため、ホストコントローラとデバイス間の同期がずれる恐れがあります。そこで、図 2.5 のように、「1」が 6 ビット以上連続した場合は、強制的に「0」を挿入させて反転を起こすことにより、同期がずれることを防いでいます(「ビットスタフ」と呼びます)。ここで挿入された「0」は転送後に受信側で除去されます。

データが転送されていない状態ではデバイス内のプルアップ抵抗に従い、フルスピードデバイスでは D+ がハイレベル・D- がローレベルに、ロースピードデバイスでは D+ がローレベル・D- がハイレベルになっています。この状態を「アイドル」と呼びます。

USB ではデータをパケット単位で転送します(パケットについての詳細は「2.6 USB のパケットとデータ転送」をご参照ください)。

パケットの先頭は SYNC (synchronization) と呼ばれ、「00000001」の固定値となっています。

アイドル状態から SYNC の第 1 ビットにより、D+、D-が反転する部分を「SOP」(Start Of Packet)と呼んでいます(図 2.6)。

また、パケットの終端部はパケット終了を識別するため D+、D-共にローレベル(2 ビット時間)である特殊な信号となっていて、「EOP」(End Of Packet)と呼んでいます(図 2.7)。

なお、図 2.4、図 2.5、図 2.6、図 2.7 中の NRZI 後差動信号波形は、フルスピードデバイス接続時のものです。ロースピードデバイス接続時は D+ と D-の関係が逆になります(EOP はデバイスの転送速度に関わらず、D+、D-共にローレベルになります)。

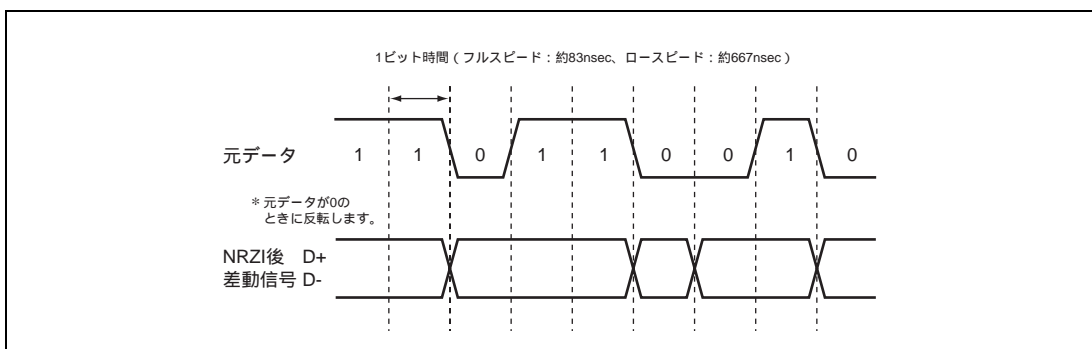


図 2.4 NRZI 伝送方式

2. USB の概要

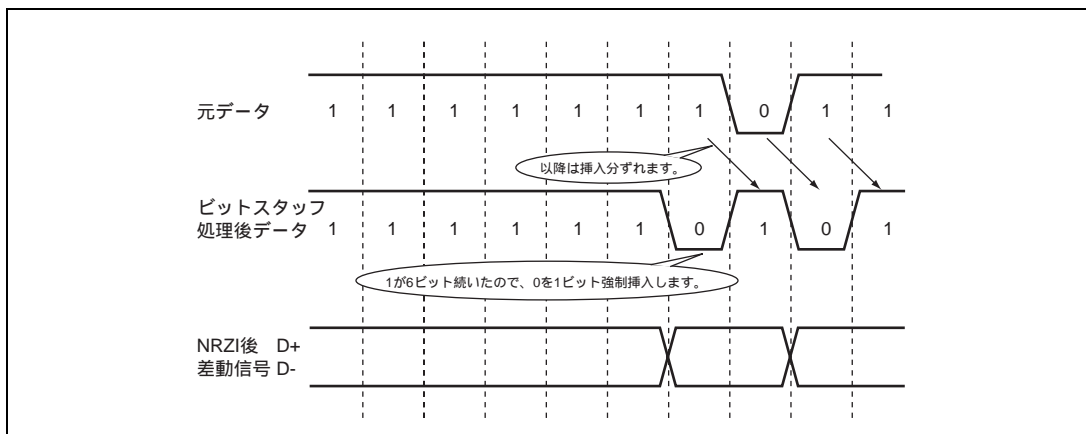


図 2.5 ビットスタッフ

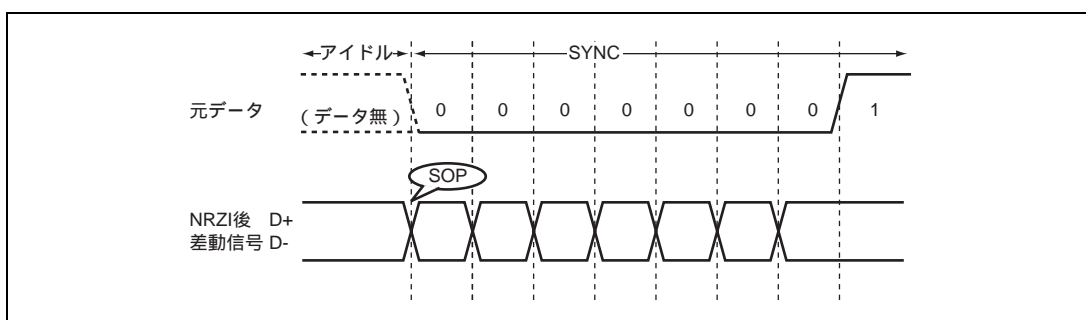


図 2.6 SOP と SYNC

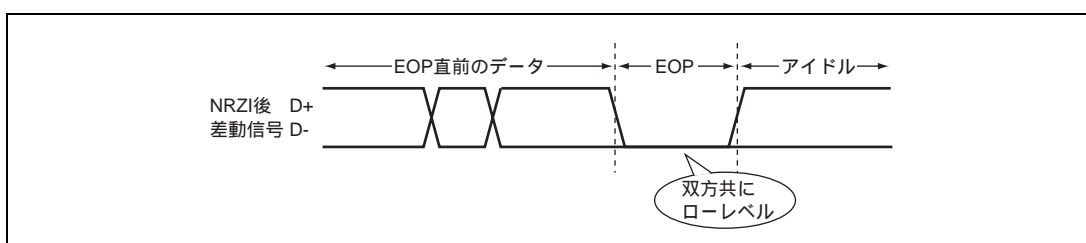


図 2.7 EOP

電源ライン (Vbus、GND) は 1 つのデバイスに対して、電源電圧 5V・最大 500mA までの電流を供給することが可能です。

ただし、接続直後に使用できる電流は 100mA 以内です。接続後、100mA 以内の消費電流で「標準コマンド」(「2.7.2 デバイスリクエスト」をご参照ください) を用いた初期設定を行います。

この設定の中で、ホストコントローラは接続されたデバイスの最大使用電流情報を読み込みます。(「2.8 ディスクリプタ」にて後述いたします「ディスクリプタ」情報中に含まれています。) この情報に基づき、ホストコントローラが電源供給に対して問題がないと判断した場合、デバイスは初めて 500mA まで消費電流を増加することが許

可されます。

なお、500mA を超えた電流が必要であるデバイスについては、デバイス自体に電源を持つ必要があります。

【注】 自己電源供給機能を持たないハブ（バスパワーハブ）を使用した場合、1 ポート当たりで使用できる電流は最大 100mA までに制限されます。バスパワーハブに 100mA を超える電流を使用するデバイスを接続した場合、ホストコントローラは上記の初期設定で電源供給が不可と判断します。この場合ホストコントローラは、バスパワーハブに対して接続されたデバイスへ向けての電源供給を行わないように制御します。

2.3 接続・非接続の認識

ホストコントローラおよびハブのダウストリーム側（デバイス側）では、D+、D- を 15k Ω でプルダウンしています。それに対してデバイス側では、フルスピードデバイスの場合は D+ を、ロースピードデバイスの場合は D- を 1.5k Ω でプルアップしています。したがって、デバイスをホストコントローラ、もしくはハブに接続した場合、D+ と D- のどちらがプルアップされたかによって、ホストコントローラまたはハブは接続されたデバイスの転送速度を認識することができます。表 2.1 にホストコントローラ / ハブの D+ と D- の状態と接続デバイスの関係、および図 2.8、図 2.9 に実際の回路構成を示します。

表 2.1 信号ラインと接続デバイスの関係

D+	D-	接続デバイス
プルアップ	プルダウン	フルスピードデバイス
プルダウン	プルアップ	ロースピードデバイス
プルダウン	プルダウン	デバイス未接続
プルアップ	プルアップ	禁止

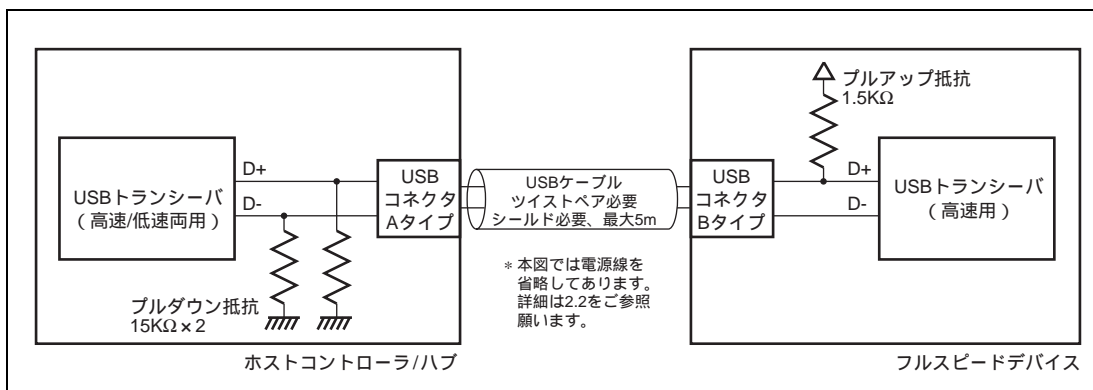


図 2.8 フルスピードデバイスの場合

2. USB の概要

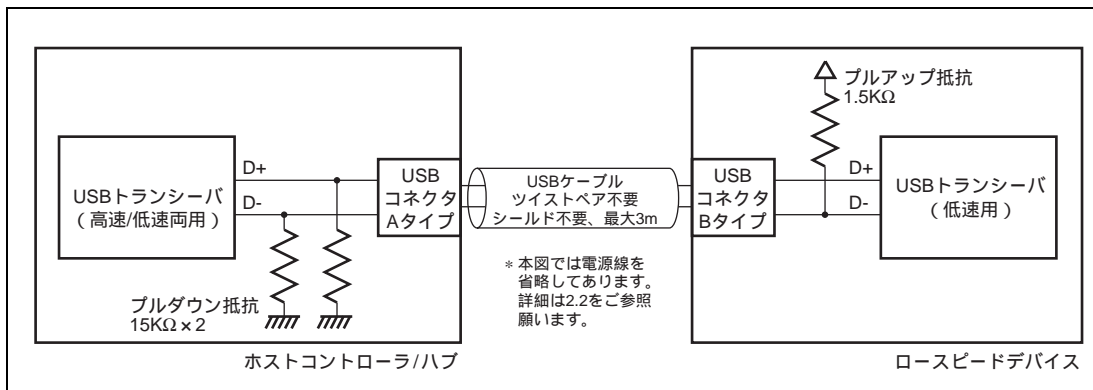


図 2.9 ロースピードデバイスの場合

2.4 USB コネクタ

USB で使用されるコネクタには、ホストコントローラ側で使用される平形の「A タイプコネクタ」（図 2.10）およびデバイス側で使用される角型の「B タイプコネクタ」（図 2.11）の 2 種類があります。コネクタの形状を分けることにより、物理的に誤接続を避ける構造になっています。（USB ではホストコントローラ同士やデバイス同士の接続は禁止されています。）

ハブの場合、アップストリーム側（ホストコントローラ接続側）に「B タイプコネクタ」およびダウンストリーム側（デバイス接続側）に「A タイプコネクタ」が使用されています。



図 2.10 A タイプコネクタ

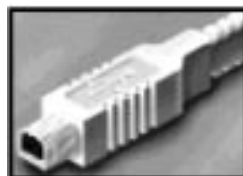


図 2.11 B タイプコネクタ

2.5 エンドポイント

デバイスは各々エンドポイント（EP）と呼ばれる FIFO を持っています。ホストコントローラとデバイスがデータを送受信する際には、このエンドポイントを介して行います。1 つのデバイスが持つことができるエンドポイントの数は、デバイスの転送速度によって表 2.2 の様に規定されています。

表 2.2 設定可能なエンドポイント数

デバイス転送速度	エンドポイント番号	最大設定数
フルスピード（12Mbps）	0～15	イン・アウトそれぞれ 16 個
ロースピード（1.5Mbps）	0～2	イン・アウトそれぞれ 3 個

表 2.2 のうち、番号が 0 のエンドポイントは、コントロール転送（「2.6.2 コントロール転送」参照）に使用されるエンドポイントです。エンドポイント 0 は、すべてのデバイスが必ず設けなければなりません。一方、番号 1～15 のエンドポイントは必要な数だけ使用することができ、各エンドポイントのデータの向きや用途は、デバイス設計時に自由に設定することができます。ただし、USB1.0 でのインタラプト転送（「2.6.5 インタラプト転送」参照）は IN 方向のみとなります。

エンドポイントは、転送方式によって一度に送受信可能なデータの最大値が規定されています。規定より大きいサイズのデータを送受信することはできませんが、小さいサイズのデータ（ショートパケット）は、送受信可能です。転送方式ごとのエンドポイントのデータサイズを表 2.3 に示します。表 2.3 の範囲内で、エンドポイントごとに任意のデータサイズを設定することができます。

表 2.3 データサイズの最大値（単位はバイト）

	転送方式			
デバイス転送速度	コントロール転送	バルク転送	インタラプト転送	アイソクロナス転送
フルスピード	8、16、32、64	8、16、32、64	0～64（任意の整数値）	0～1023（任意の整数値）
ロースピード	8	使用不可	0～8（任意の整数値）	使用不可

【注】なお、各転送方式については、2.6.2～2.6.5 をご参照ください。

2.6 USB のパケットとデータ転送

USB ではデータをパケットの単位で転送します。パケットは、USB のデータにおける最小の単位です。USB のプロトコルは、いくつかのパケットを組み合わせたものを用いて通信しています。この組み合わせをトランザクションと呼びます。トランザクションはトークン、データ、ハンドシェイクの順にパケットが並べられています。

また、トランザクションが集まって構成されたものをフレームと呼びます（図 2.12 参照）。

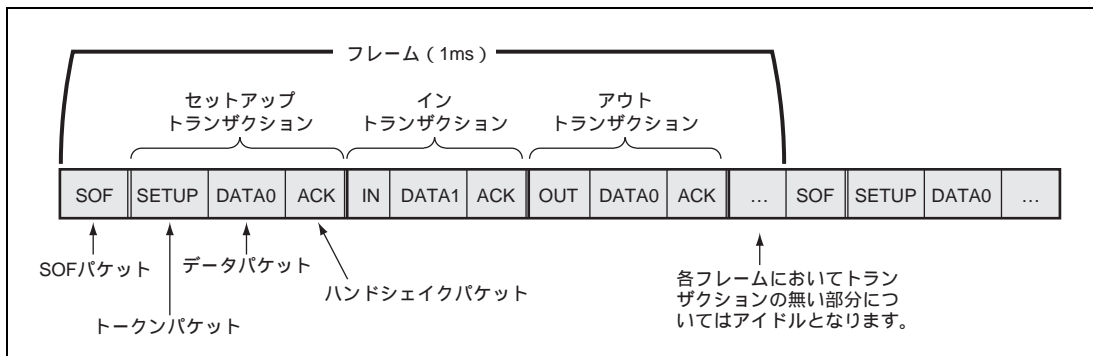


図 2.12 トランザクションとフレーム

1 つのフレームは 1ms ごとに発行される「SOF パケット」より開始され、次の SOF まで続きます。フレーム内のトランザクションのスケジューリングは、すべてホストコントローラが行います。

なお、各フレーム内においてトランザクションで満たされない部分（データがない部分）については、「2.2 USB の信号転送方式」で説明いたしました「アイドル」状態となります。

2. USB の概要

トランザクションは、ある規定された順序にしたがってホストコントローラとデバイス間で送受信されています。以下に USB で使用されるパケットおよびそれぞれの転送方式の特長とフォーマットを示します。

2.6.1 パケットの概要

USB で使用されるパケットは、規格によりフォーマットが決められています。表 2.4 に示すように、パケットは「SOF」「トークン」「データ」「ハンドシェイク」「スペシャル」の 5 種類に分類できます。これらは 4bit の PID (PacketID) により区別されます。

表 2.4 PID の一覧

PID タイプ	PID 名	送信側	PID[3 : 0]
SOF	SOF	ホストコントローラ	0101
トークン	OUT	ホストコントローラ	0001
	IN	ホストコントローラ	1001
	SETUP	ホストコントローラ	1101
データ	DATA0	ホストコントローラ / デバイス	0011
	DATA1	ホストコントローラ / デバイス	1011
ハンドシェイク	ACK	ホストコントローラ / デバイス	0010
	NAK	デバイス	1010
	STALL	デバイス	1110
スペシャル	PRE	ホストコントローラ	1100

次に、各パケットのフォーマットを示します。パケットは、SYNC を先頭に PID、 $\overline{\text{PID}}$ と続き、CRC (ハンドシェイク・スペシャルには CRC がありません)、EOP で終わります。SYNC (synchronization) は、パケットの先頭を表し、00000001 の固定値が送信されます。パケットの受信側はこの SYNC を用いて同期をとります。PID は、パケットの種類を示すもので、種類ごとにそれぞれ固有の値を持っています。 $\overline{\text{PID}}$ は、各ビットごとにおける PID のバイナリ補数です。PID の補数を持つことにより PID エラーの検出が可能になっています。CRC (Cyclic Redundancy Check) は、各パケットの SYNC、PID、 $\overline{\text{PID}}$ 以外を CRC チェックした結果です。

- SOF (Start Of Frame)

SOFとは、ホストコントローラが1msごとに発行するパケットです。SOFが発行されてから次のSOFが発行されるまでの間を「フレーム」と呼びます。SOFは、デバイス全体の同期をとるために使用されるほか、定期的にデータの転送を行う必要があるアイソクロナス転送（「2.6.4 アイソクロナス転送」参照）の基準およびロースピードデバイス向けのサスペンド防止用信号（キープアライブ信号：SOFの受信によりハブ・ルートハブにて生成）の生成にも使用されます。分類上はトークンパケットに属していますが、使用方法が上記の様に他のトークンと異なるため、分離してあります。

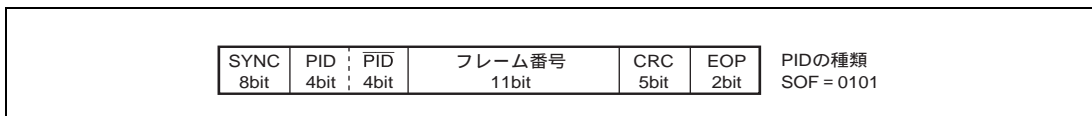


図 2.13 SOF パケット

- トークン

トークンは、ホストコントローラのみが発行可能で、デバイスに対してコマンドを送る際やデータの向きを知らせるために使用します。トークンパケットには、以下の種類があります。また、デバイス側にてホストコントローラより転送されるデータが自デバイス宛であるかを識別するために用いるアドレス情報、およびデバイスのエンドポイントを識別するエンドポイント情報も含まれています。

「OUT」トークン

ホストコントローラが、デバイスに対してデータを送る前に発行します。

「IN」トークン

ホストコントローラが、デバイスに対してデータの送信を要求する際に発行します。

「SETUP」トークン

コントロール転送でコマンドを送る際に発行します。コントロール転送の詳細は、「2.6.2 コントロール転送」をご覧ください。

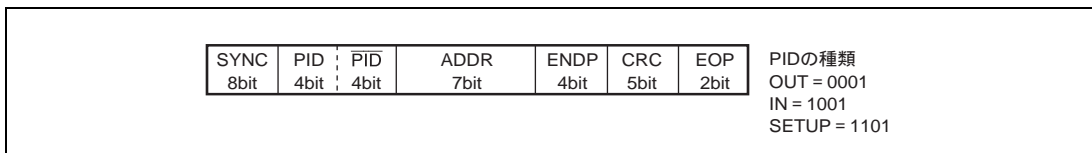


図 2.14 トークンパケット

- データ

データパケットは、ホストコントローラや、デバイスがデータを送信する場合に使用します。データパケットにはPIDがDATA0とDATA1の2種類あり、これらを交互に送信することによりデータの欠落を検出でき、信頼度を高めています（アイソクロナス転送の場合はDATA0固定となります）。

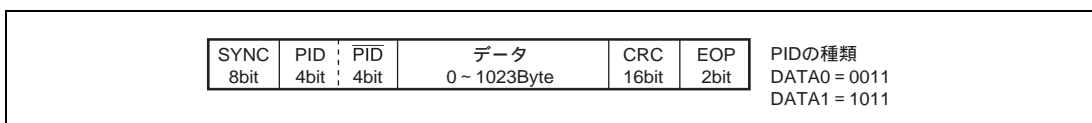


図 2.15 データパケット

2. USB の概要

- ハンドシェーク

ハンドシェークは、受信側がデータを正常に受け取れたかどうかを送信側に知らせるために使用します。ハンドシェークには、以下の種類があります（アイソクロナス転送の場合、ハンドシェークは発行されません）。

「ACK」

ホストコントローラおよびデバイスが、データパケットを正常に受信できた際に発行します。

「NAK」

NAKはデバイスからホストに対して発行するもので、次のような場合に発行します。

- ホストからOUTトークンパケットおよびデータパケットを受信したが、エンドポイントがいっぱいでデータを受信できない場合。
- ホストからINトークンパケットを受信したが、送信すべきデータが準備できていない場合。

ホストコントローラがNAKを受信した際、アウトランザクションの場合ではOUTトークンおよび受信できなかったデータを、またインランザクションの場合ではINトークンをあとでホストコントローラが再発行します。ホストコントローラは、常にデータパケットを送受信できるように定義されているため、ホストコントローラがデバイスに対してNAKを返すことはありません。

「STALL」

STALLはデバイスが何らかの理由でエラー状態になり、ホストに対して介入を要求する場合に発行します。

「無応答」（ハンドシェイクパケット発行なし）

PIDにエラーがあった場合や、CRCの計算結果が不一致であった場合はハンドシェークを行わず、無応答となります。ホストコントローラやデバイスはデータを送信したあと、一定時間（16～18ビット時間）以上無応答であった場合はタイムアウトとなり、通信エラーが発生したと認識します。その後、ホストコントローラはエラーと認識されたトークンおよびデータを再発行します。

SYNC	PID	PID	EOP
8bit	4bit	4bit	2bit

PIDの種類
ACK = 0010
NAK = 1010
STALL = 1110

【注】「無応答」の場合、パケットは発行されません

図 2.16 ハンドシェイクパケット

- スペシャル

スペシャルパケットには、PRE (PREAMBLE) パケットが定義されています。このパケットは、あとに続いてロースピードの転送が行われることをデバイスに示すために使用します。

ロースピードデバイスに対するフルスピードデータの転送はエラーの原因となります。

そこで、このPREパケットを用いてエラーの回避を行います。

ロースピードデバイスに対しては、ハブ (ルートハブも含む) によりフルスピードデータがフィルタリングされ、転送されないようになっていますが、ハブがPREパケットを受信するとフィルタリングを解除し、以降にホストコントローラ側より転送されるロースピードデータをロースピードデバイスに対して転送開始します。

なお、ロースピードデータはフルスピードデバイスにも転送されますが、ロースピードデータは有効なフルスピードのPIDを生成できないため、フルスピードデバイスがロースピードデータによって誤った動作を起こすことはありません。



図 2.17 スペシャルパケット

2.6.2 コントロール転送

コントロール転送は、デバイスに対してコマンドを発行する際に利用します。また、ホストコントローラにデバイスを接続した際、最初に行われる転送でもあります。この場合ホストコントローラはデバイスの情報を取得するためにコントロール転送を使用します。したがって、フルスピードデバイス、ロースピードデバイスに関わらず、すべてのデバイスがこの転送方式をサポートする必要があります。

コントロール転送は、「セットアップステージ」「データステージ」「ステータスステージ」に分類することができます。

【注】 以下からの各種転送方法の説明において、パケットの右部にパケットの送信側を略称で記載してあります。(H)はホストコントローラ側、(D)はデバイス側となります。

- セットアップステージ

セットアップステージは、コントロール転送の最初のステージです。セットアップステージでは、ホストコントローラがデバイスに対してコマンドを発行し、送信または受信する内容の指示を与えます。このコマンドにしたがって、デバイスはホストコントローラに送信するデータの準備、またはホストコントローラからデータを受信する準備を行います。

コントロール転送のセットアップステージは、セットアップトランザクションで構成されています。セットアップトランザクションのデータパケットの容量は、必ず8Byteです。このデータパケットに、ホストコントローラはコマンドを格納します。

また、データパケットのPIDは必ずDATA0になります。セットアップトランザクションのハンドシェイクパケ

2. USB の概要

ットは、デバイスがホストに対して送信するパケットで、ここでは常にACKを返す必要があります。セットアップトランザクションでは、NAKもしくはSTALLを返すことは規格で禁止されています。したがって、デバイスは常にセットアップトランザクションを受信する準備をしておく必要があります。

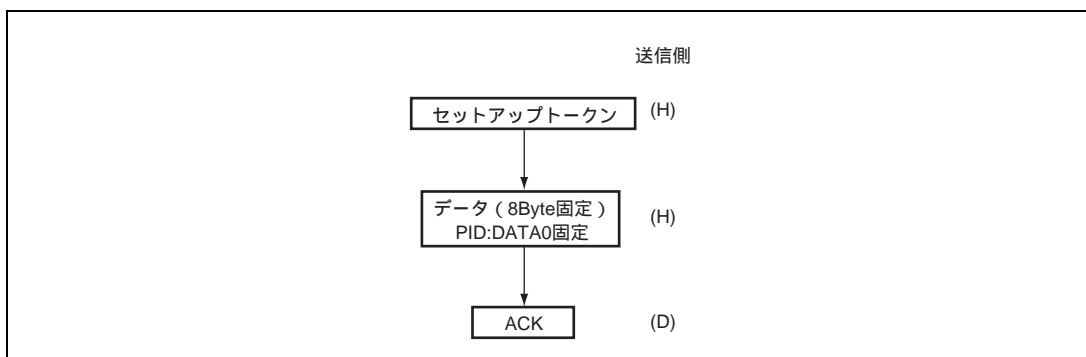


図 2.18 セットアップステージ

- データステージ

データステージでは、デバイスはセットアップステージで受信したコマンドの命令に従い、送られてくるデータの受信もしくは、送るべきデータの送信を繰り返します。ただし、データステージの途中でデータの方向が変わることはありません。

イン方向のデータステージにおいて、デバイス側から送信すべきデータが終了した場合は、ショートパケット（デバイスごとに指定されている最大データサイズよりバイト数が少ないデータパケット）または0バイトデータパケットを用い、ホストコントローラに送信終了を知らせます。

コマンドによっては、受信すべきデータまたは、送信すべきデータ自体がない場合があります。この場合、データステージそのものが省略されます。

また、データが繰り返して送信 / 受信される場合、データパケットのPIDがDATA1 DATA0 DATA1...とトグルします。

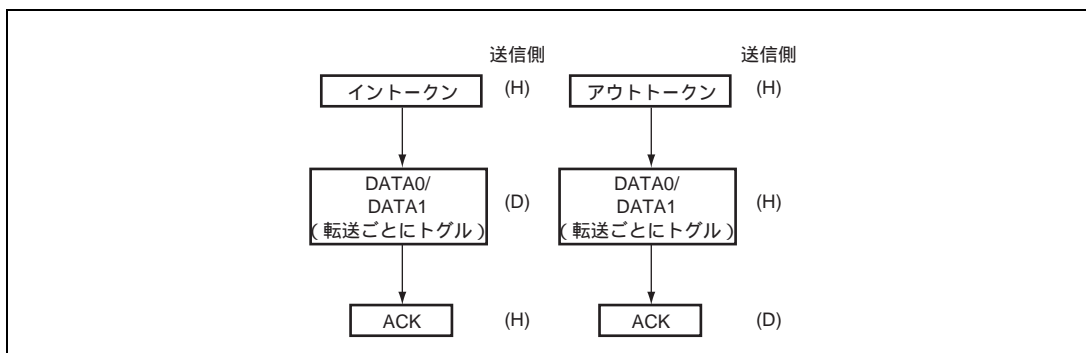


図 2.19 データステージ（左：イン、右：アウト）

- ステータスステージ

ステータスステージは、データステージ（データステージなしの場合はセットアップステージ）と反対方向のトークンを送信することで開始されます。例えば、データステージでイントークンが発行され、デバイスからホストコントローラへデータの転送が行われていた場合、ステータスステージはアウトトークンが発行されることにより開始されます。このように、データステージはデータの向きが反転することによって終了します。

以下図2.20に示すように、ステータスステージはイン方向のデータステージ・アウト方向のデータステージ・データステージなしにより3種類のパターンがあります。

なお、本ステージにてトークンが送信されたあとに続くデータパケットには、DATA1のPIDを持つ0Byteデータ長のパケットを使用します。

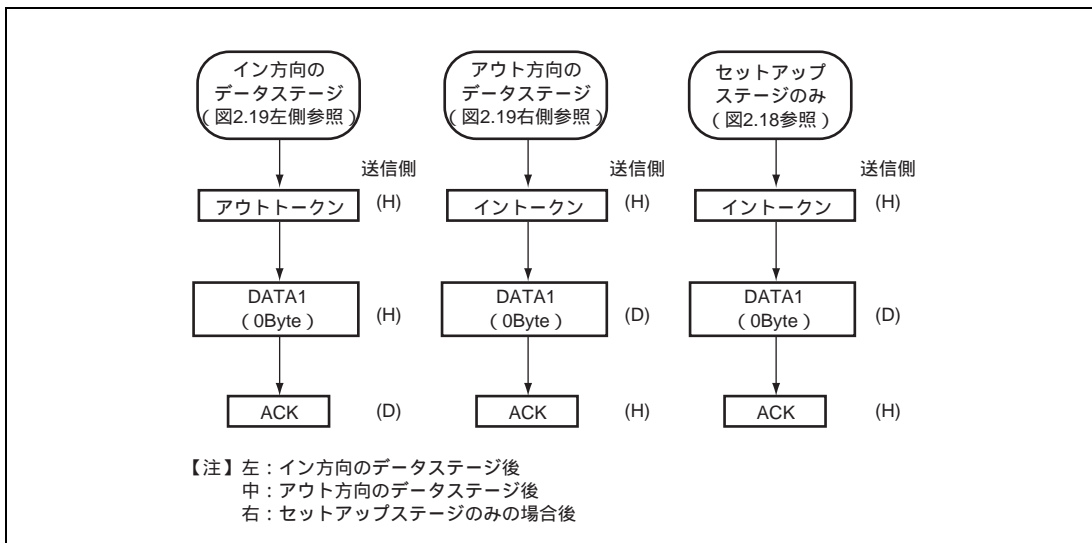


図 2.20 ステータスステージ

また、向きが反転することによりステータスステージに入る理由は、ホストコントローラがセットアップステージのコマンドで要求したデータをすべて受信、もしくは送信する前であってもデータステージを終了させることができるように定義されているためです。

図 2.21 にイン方向のデータステージを持つ、コントロール転送の例を示します。セットアップステージで、ホストコントローラが 32Byte のデータを要求したとします。セットアップステージ終了後、ホストコントローラはイントークンを発行します。この命令に従いデバイスが 8Byte（最大パケットサイズが 8Byte の場合）のデータを送り、ホストコントローラは ACK を発行したとします。この時点でデバイスが送信したデータは 32Byte 中 8Byte です。ホストコントローラは、更にデータが必要なときは再びイントークンを発行します。しかし、これ以上データが必要でない場合、ホストコントローラはアウトトークンを発行します。発行されたアウトトークンによってデータの向きが変更されたため、このタイミングでステータスステージに入り、コントロール転送が終了します。

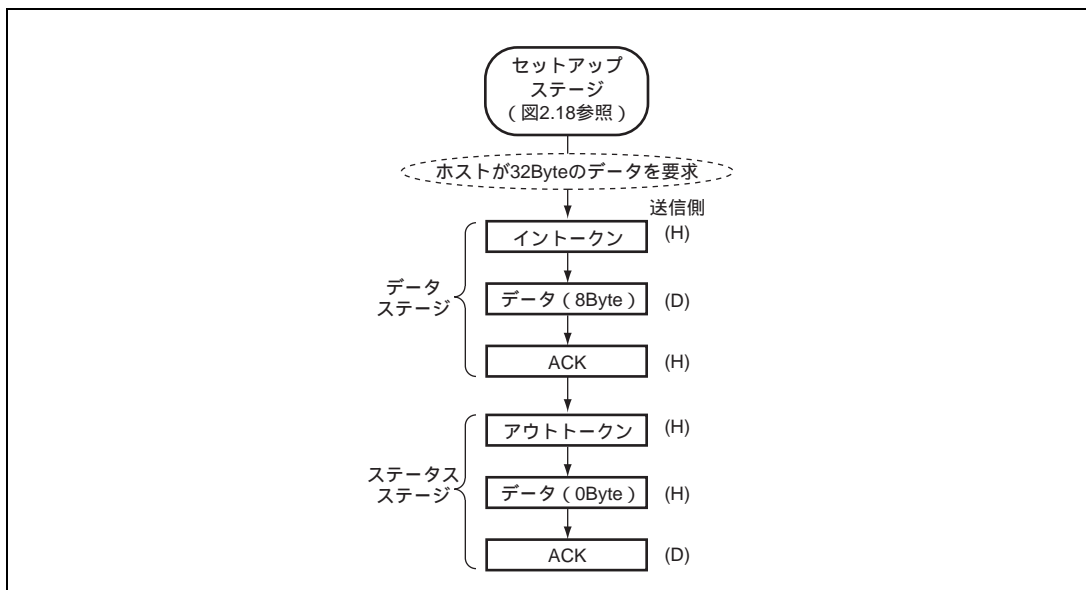


図 2.21 データステージの中断

2.6.3 バルク転送

バルク転送は、時間的制約がない大量のデータを、エラーなく転送する場合に使用します。データの転送速度は保証されませんが、データの内容は保証されます。データに誤りがあった場合 (CRC 不一致等)、受信側はハンドシェークを発行しません。ACK が返信されなかった場合、送信側はそのデータを再転送します。FIFO に空きがない場合や、送信すべきデータの準備ができていないときには NAK が発行されます。1 回に転送可能なデータ量は、MAX パケットサイズ内で指定することができます。なお、本転送はロースピードデバイスで使用することはできません。

ホストコントローラからイントークンが発行された場合 (図 2.22 左側)、デバイスからデータが送信され、ホストコントローラからハンドシェークが発行されます。

ホストコントローラからアウトトークンが発行された場合 (図 2.22 右側)、ホストコントローラからデータが送信され、デバイスからハンドシェークが発行されます。

また、バルクイン / アウト双方において、データ送信 / 受信が繰り返されるごとにデータパケットの PID が DATA0 DATA1 DATA0... とトグルします。

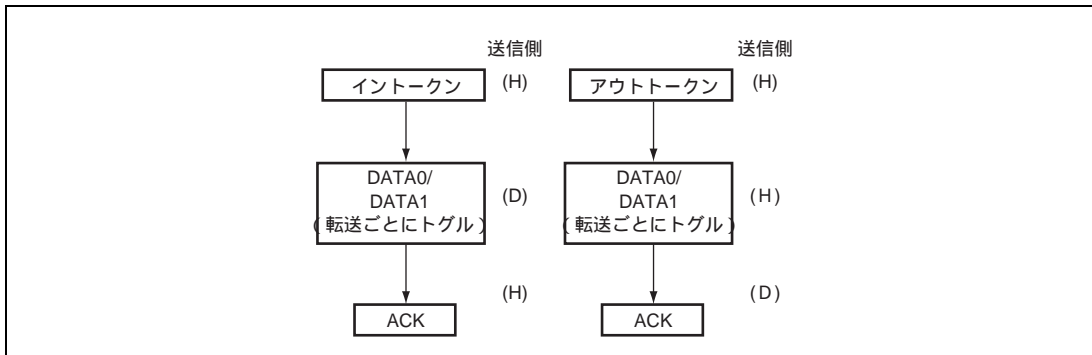


図 2.22 バルク転送（左：イン、右：アウト）

2.6.4 アイソクロナス転送

アイソクロナス転送は、音声や動画等の連続したデータを転送する際に使用します。アイソクロナス転送は、1 フレーム（1ms）に1回の割合で必ずデータ転送が発生するよう優先的にスケジューリングされます。しかし、SOF パケットからのオフセット値は保証されていません。つまり、1 回目の転送はフレームの最後で発生し、次の転送はフレームの最初で行われる可能性もあります。デバイスには、このような状況にも対応することが要求されます。

なお、本転送はロースピードデバイスで使用することはできません。

図 2.23 に示すように、アイソクロナスのトランザクションには、ハンドシェイクパケットがありません。

したがって、転送されたデータにエラーがあったとしても、バルク転送のように再送されません。データパケットの容量は、最大 1023Byte まで設定することができます。

また、データパケットの PID は DATA0 固定です（PID のトグルは行いません）。

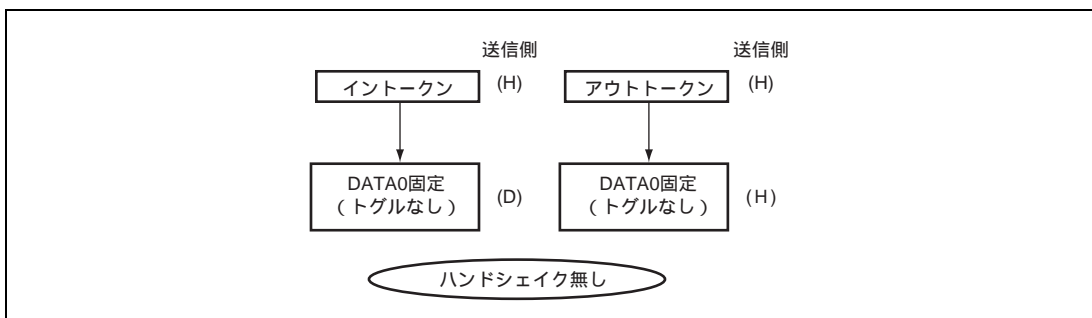


図 2.23 アイソクロナス転送（左：イン、右：アウト）

2.6.5 インタラプト転送

インタラプト転送は、決められた周期でホストコントローラがデバイスに対してトランザクションを発生させます。デバイスは、トランザクションが発生する周期をホストコントローラに指定することができます。その周期は 1 ~ 255 フレームごとに指定可能です。ホストコントローラは、少なくとも指定された周期に 1 回はイントランザクションを起動します。指定以下の周期でデバイスにアクセスすることはありませんが、指定以上の周期でアクセスする可能性はありますので、注意が必要です（USB1.0 でのインタラプト転送は IN 方向の搬送のみでしたが、USB1.1 でのインタラプト転送は OUT 方向の搬送も追加され、IN、OUT 共にサポートしています）。

本転送はフルスピード / ロースピードの双方で使用可能です。

データパケットの容量は、フルスピードデバイスで最大 64Byte まで、ロースピードデバイスで最大 8Byte まで指定できます。

また、データ受信が繰り返されるごとにデータパケットの PID が DATA0 DATA1 DATA0... とトグルします。

インタラプトイン転送は、ホストコントローラがイントークンを発行し、デバイス側に送信すべきデータが存在する場合、図 2.24 (a) (左) のようにデバイス側からデータパケットを転送します。イントークン発生時、デバイス側で送るべきデータが存在しない場合は、図 2.24 (a) (右) に示すように、データパケットを送らず NAK パケットのみを発行します。

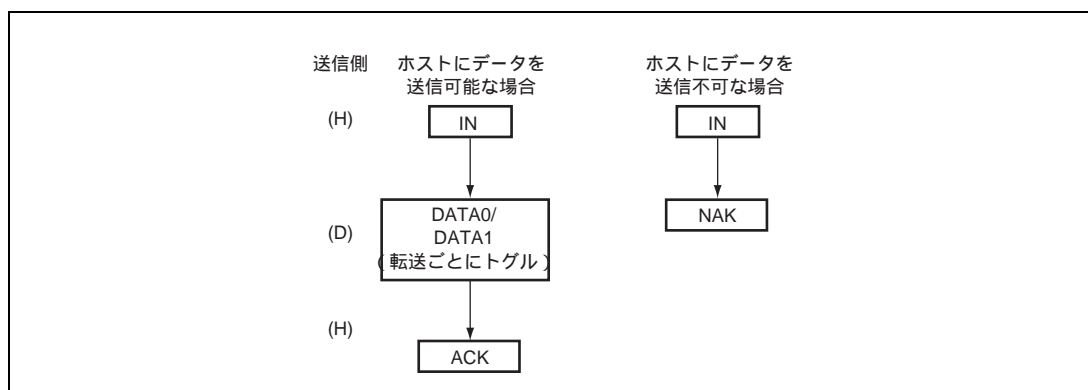


図 2.24 (a) インタラプトイン転送

インタラプトアウト転送は、ホストコントローラがアウトトークンに続きデータを送信します。デバイス側がデータを受信した場合、図 2.24 (b) (左) のようにデバイス側から ACK パケットを転送します。

ホストコントローラがアウトトークンに続きデータを送信したが、デバイス側で受信できない場合は、図 2.24 (b) (右) に示すように、ACK パケットを送らず NAK パケットを発行します。

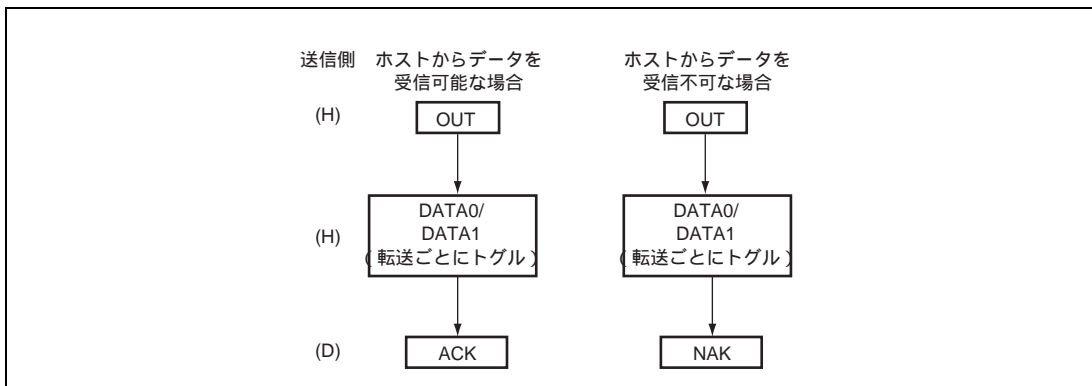


図 2.24 (b) インタラプトアウト転送

2.7 USB デバイスフレームワーク

USB ではプラグアンドプレイを実現するために、USB ケーブルを接続してからコンフィギュレーションが終了するまでの手順が細かく決められています。この章では、その手順について説明します。

2.7.1 デバイスのステート

USB のデバイスには、図 2.25 に示すステートがあります。デバイスが構成（コンフィギュレーション）ステートに遷移しているときのみ、ユーザはデバイスを使用することができます。

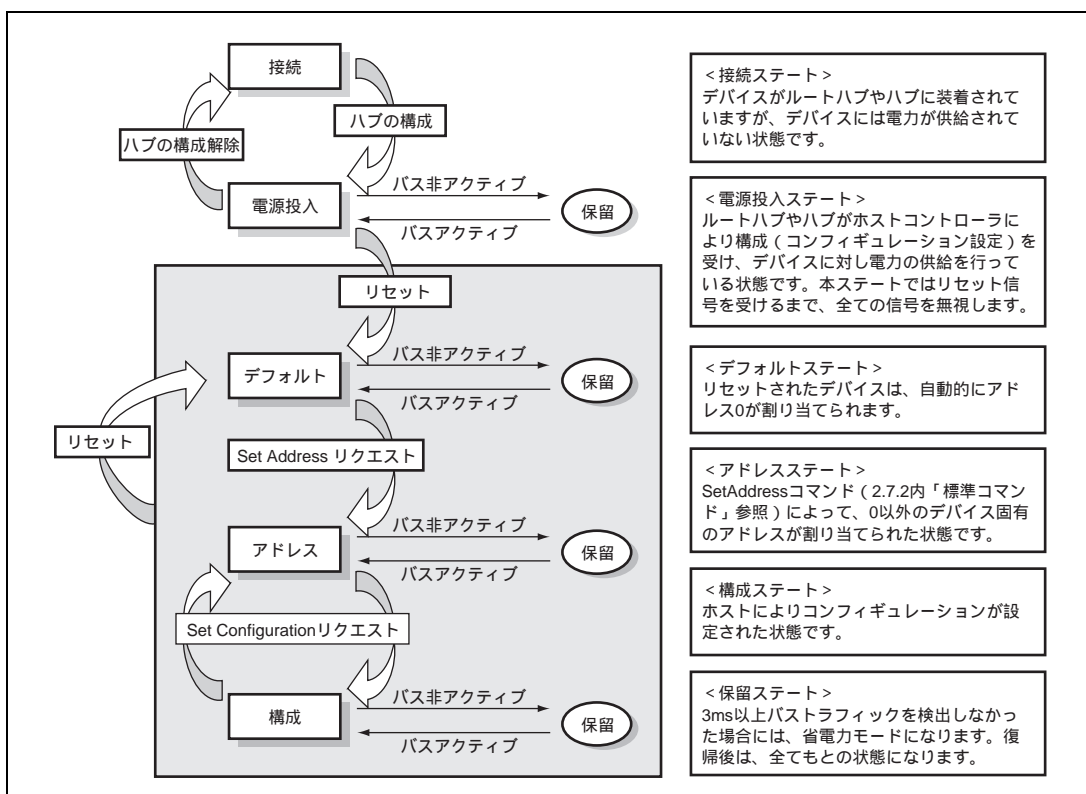


図 2.25 USB デバイスのステート

2.7.2 デバイスリクエスト

デバイスをコンフィギュレーションステートに遷移させるためには、ホストコントローラが発行するコマンドに、デバイスが返答する必要があります。ホストコントローラが発行するコマンドは、デバイスリクエストと呼ばれ USB の規格でフォーマットが決められています。ホストコントローラは、デバイスリクエストをコントロール転送のセットアップステージで発行します。

デバイスリクエストは、以下のように 3 種類に分類できます。

- 標準コマンド

USBの規格で定義されているもので、原則としてすべてのデバイスがサポートする必要があります。以下、表 2.5に標準コマンドの一覧を示します。

なお、標準コマンドの詳細につきましては規格書をご覧ください。

表 2.5 標準コマンド一覧

コマンド名	機能	データステージ	データステージ方向
Clear_Feature (Endpoint_Halt)	エンドポイントのストールを解除する	無	
Clear_Feature (Device_Remote_Wakeup)	デバイスのリモートウェイクアップを解除する	無	
Get_Configuration	コンフィギュレーション情報を得る	有	イン
Get_Descriptor (Device)	デバイスディスクリプタ情報を得る	有	イン
Get_Descriptor (Config)	コンフィギュレーションディスクリプタ情報を得る	有	イン
Get_Descriptor (String)	ストリングディスクリプタ情報を得る	有	イン
Get_Interface	インタフェース情報を得る	有	イン
Get_Status (Device)	デバイスステータス情報を得る	有	イン
Get_Status (Interface)	インタフェースステータス情報を得る	有	イン
Get_Status (EndPoint)	エンドポイントステータス情報を得る	有	イン
Set_Address	デバイスアドレスの設定	無	
Set_Descriptor (Device)	デバイスディスクリプタを設定	有	アウト
Set_Descriptor (Config)	コンフィギュレーションディスクリプタを設定	有	アウト
Set_Descriptor (String)	ストリングディスクリプタを設定	有	アウト
Set_Configuration	コンフィギュレーションを設定	無	
Set_Feature (EndPoint_Halt)	エンドポイントをストール状態に設定	無	
Set_Feature (Device_Remote_Wakeup)	デバイスをリモートウェイクアップ状態に設定	無	
Set_Interface	インタフェースを設定	無	
Synch_Frame	アイソクロナス転送時、エンドポイントに特定のフレーム番号を通知 (特定番号が必要時のみ)	有	アウト

- クラスコマンド

ハブ以外のクラスコマンドは、企業等のグループによって策定され、USB-IF (USB Implementers Forum) によって認可されます。クラスには、オーディオクラス、コモンクラス、HID (Human Interface Device) クラス、プリンタクラス等があります。

2. USB の概要

- ベンダコマンド

ベンダコマンドは、デバイス設計者が自由に定義することができます。しかし、そのフォーマットは他のコマンドと同一にする必要があります。

2.8 ディスクリプタ

USB デバイスは、デバイス自身の種類・特性・属性を示す「ディスクリプタ」情報を持っています。ホストコントローラがディスクリプタ情報を得ることにより、どのようなデバイスがバスに接続されているかを認識することが可能となっています。

標準 USB デバイスの場合、「デバイス」「コンフィギュレーション」「インタフェース」「エンドポイント」の各ディスクリプタを持っています。

以下、表 2.6、表 2.7、表 2.8、表 2.9 に各ディスクリプタを示します。

表 2.6 デバイスディスクリプタ

フィールド	サイズ (バイト)	内 容
bLength	1	ディスクリプタのサイズ (0x12 で固定)
bDescriptorType	1	ディスクリプタのタイプ (0x01 で固定)
bcdUSB	2	USB のバージョンを BCD で表現
bDeviceClass	1	クラスコード 0 : クラスなし 0xFF : ベンダクラス 1 ~ 0xFE : 特定クラス
bDeviceSubClass	1	サブクラスコード
bDeviceProtocol	1	プロトコルコード 0 : 固有プロトコル使用せず 0xFF : ベンダ固有プロトコル
bMaxPacketSize0	1	エンドポイント 0 の最大パケットサイズ
idVendor	2	ベンダ ID (USB-IF*が製造メーカーごとに割り当て)
idProduct	2	プロダクト ID (製造メーカーがデバイスごとに割り当て)
bcdDevice	2	デバイスのバージョンを BCD で表現
iManufacturer	1	メーカー名を表すistringディスクリプタへのインデックス
iProduct	1	デバイス名を表すistringディスクリプタへのインデックス
iSerialNumber	1	デバイスの製造番号を表すistringディスクリプタへのインデックス
bNumConfigurations	1	構成可能数

【注】* USB Implementers Forum

表 2.7 コンフィギュレーションディスクリプタ

フィールド	サイズ (バイト)	内 容
bLength	1	ディスクリプタのサイズ (0x09 で固定)
bDescriptorType	1	ディスクリプタのタイプ (0x02 で固定)
wTotalLength	2	全ディスクリプタの長さ
bNumInterface	1	このディスクリプタが持つインタフェース数
bConfigurationValue	1	Set_Configuration で、このディスクリプタを選択するための引数値 (1 以上)
iConfiguration	1	ストリングディスクリプタへのインデックス
bmAttributes	1	デバイスの電源 ビット 7: 予約 (1) ビット 6: 自己電源 ビット 5: リモートウェイクアップ ビット 4~0: 予約 (0)
MaxPower	1	最大バス電流消費量を 2mA 単位で指定

表 2.8 インタフェースディスクリプタ

フィールド	サイズ (バイト)	内 容
bLength	1	ディスクリプタのサイズ (0x09 で固定)
bDescriptorType	1	ディスクリプタのタイプ (0x04 で固定)
bInterfaceNumber	1	コンフィギュレーションの中で、このインタフェースを表す 0 ベースのインデックス番号
bAlternateSetting	1	Set_Interface で、代替設定を選択するための引数値
bNumEndpoints	1	デバイスの持つエンドポイント数 (エンドポイント 0 を除く)
bInterfaceClass	1	クラスコード 0: クラスなし 0xFF: ベンダクラス 1~0xFE: 特定クラス
bInterfaceSubClass	1	サブクラスコード
bInterfaceProtocol	1	プロトコルコード 0: 固有プロトコル使用せず 0xFF: ベンダ固有プロトコル
iInterface	1	このインタフェースを表すストリングディスクリプタへのインデックス

2. USB の概要

表 2.9 エンドポイントディスクリプタ

種類	サイズ (バイト)	内 容
bLength	1	ディスクリプタのサイズ (0x07 で固定)
bDescriptorType	1	ディスクリプタのタイプ (0x05 で固定)
bEndpointAddress	1	エンドポイントアドレス ビット 7 : 方向 (0 : OUT、1 : IN) ビット 6~4 : 予約 (0) ビット 3~0 : エンドポイント番号
bmAttributes	1	エンドポイントの転送方法 ビット 7~2 : 予約 (0) ビット 1~0 : 転送方法 (0 : コントロール、1 : アイソクロナス、2 : バルク、3 : インタラプト)
wMaxPacketSize	2	最大パケットサイズ
bInterval	1	1ms 単位でポーリング間隔を指定 アイソクロナス転送の場合には 1 を指定 バルク、コントロール転送では無視される

3. USB モジュールの概要

3.1 モジュールの動作

SH7705 内蔵 USB モジュールの動作について説明します。ホストが送信したコマンドおよびデータは、USB モジュール内の EP (FIFO) に転送タイプごとに格納されます。データを読み出す場合は、該当するエンドポイントのデータレジスタにアクセスしてください。また、ホストに対してデータを送信する場合は、該当するエンドポイントのデータレジスタに書き込んでください (図 3.1 参照)。

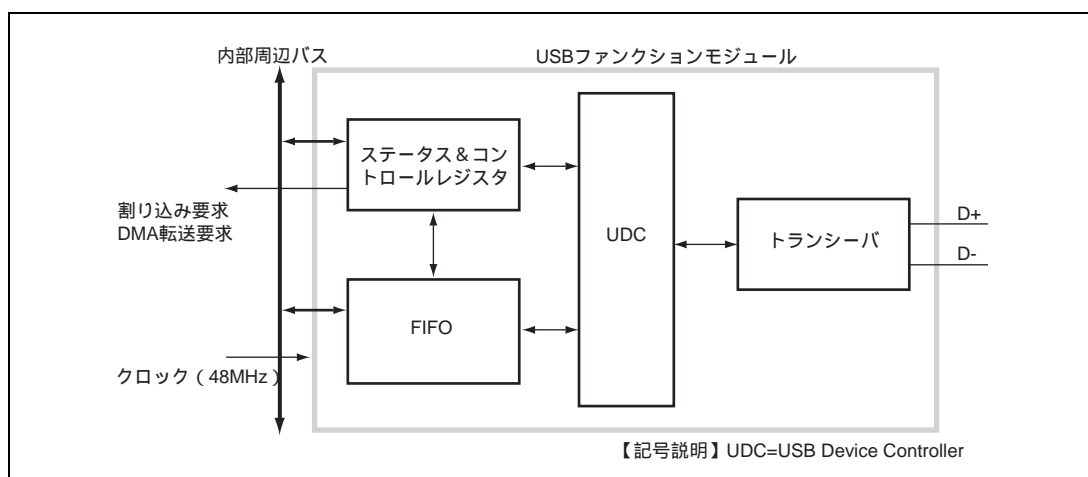


図 3.1 USB モジュールブロック図

3.2 エンドポイントの構成

SH7705 内蔵 USB ファンクションモジュールは、4 つのエンドポイントを持っています。表 3.1 に、USB ファンクションモジュールのエンドポイントの構成を示します。

表 3.1 エンドポイントの構成

エンドポイント名	名称	転送タイプ	最大パケットサイズ	FIFO バッファ容量	DMA 転送
エンドポイント 0	EP0s	セットアップ	8Byte	8Byte	
	EP0i	コントロールイン	8Byte	8Byte	
	EP0o	コントロールアウト	8Byte	8Byte	
エンドポイント 1	EP1	バルクアウト	64Byte	64 × 2 (128Byte)	可能
エンドポイント 2	EP2	バルクイン	64Byte	64 × 2 (128Byte)	可能
エンドポイント 3	EP3	インタラプト	8Byte	8Byte	

3. USB モジュールの概要

3.3 レジスタ構成

以下に、USB ファンクションモジュールのレジスタ構成を示します。

名称	略称	R/W	初期値	アドレス	アクセスサイズ
EP0i データレジスタ	EPDR0I	W		H'A4480000	8
EP0o データレジスタ	EPDR0O	R		H'A4480004	8
EP0s データレジスタ	EPDR0S	R		H'A4480008	8
EP1 データレジスタ	EPDR1	R		H'A448000C	8
EP2 データレジスタ	EPDR2	W		H'A4480010	8
EP3 データレジスタ	EPDR3	W		H'A4480014	8
割り込みフラグレジスタ 0	IFR0	R/W	H'10	H'A4480018	8
割り込みフラグレジスタ 1	IFR1	R/W	H'00	H'A448001C	8
トリガレジスタ	TRG	W		H'A4480020	8
FIFO クリアレジスタ	FCLR	W		H'A4480024	8
EP0o 受信データサイズレジスタ	EPSZ0O	R	H'00	H'A4480028	8
データステータスレジスタ	DASTS	R	H'00	H'A448002C	8
エンドポイントストールレジスタ	EPSTL	R/W	H'00	H'A4480030	8
割り込みイネーブルレジスタ 0	IER0	R/W	H'10	H'A4480034	8
割り込みイネーブルレジスタ 1	IER1	R/W	H'00	H'A4480038	8
EP1 受信データサイズレジスタ	EPSZ1	R	H'00	H'A448003C	8
DMA 設定レジスタ	DMAR	R/W	H'00	H'A4480040	8
割り込み選択レジスタ 0	ISR0	R/W	H'00	H'A4480044	8
割り込み選択レジスタ 1	ISR1	R/W	H'07	H'A4480048	8
トランシーバコントロールレジスタ	XVERCR	R/W	H'00	H'A4480060	8

本サンプルプログラムにおいて使用頻度の高いレジスタについて、以下に説明します。すべてのレジスタに関する情報は、SH7705 のハードウェアマニュアルをご覧ください。

(1) EP0i データレジスタ (EPDR0I)

エンドポイント 0 の送信用 8 バイト FIFO バッファです。コントロールインに対する 1 パケット分の送信データを保存します。1 パケット分のデータを書き込み、トリガレジスタの EP0iPKTE をセットすることで、送信データが確定します。データを送信したあと、ホストから ACK ハンドシェイクが返ってくると、割り込みフラグレジスタ 0 の EP0iTS がセットされます。この FIFO バッファは FIFO クリアレジスタの EP0iCLR により初期化することができます。

(2) EP0o データレジスタ (EPDR0O)

エンドポイント 0 の受信用 8 バイト FIFO バッファです。セットアップコマンドを除くエンドポイント 0 の受信データが格納されます。データを正常に受信すると、割り込みフラグレジスタ 0 の EP0oTS がセットされ、受信バイト数が EP0o 受信データサイズレジスタに表示されます。データを読み出したあと、トリガレジスタの EP0oRDFN をセットすることで、次のパケットを受信可能となります。この FIFO バッファは FIFO クリアレジスタの EP0oCLR により初期化することができます。

(3) EP0s データレジスタ (EPDR0S)

エンドポイント 0 に対するセットアップコマンド受信専用 8 バイト FIFO バッファです。アプリケーション側で処理する必要のあるセットアップコマンドのみ受信し、正常にコマンドデータを格納すると、割り込みフラグレジスタ 0 の SETUPTS がセットされます。セットアップコマンドは必ず受信する必要があるため、このバッファにデータが残っている場合も新しいデータによって上書きされます。コマンドを読み出している間に次のコマンドの受信を開始した場合は、受信を優先してアプリケーション側の読み出しを強制的に禁止するため、この読み出しデータは無効になります。

(4) EP1 データレジスタ (EPDR1)

エンドポイント 1 の受信用 128 バイト FIFO バッファです。最大パケットサイズの 2 倍の容量を持っていて、2 面構成になっています。ホストから 1 パケット分のデータを正常に受信すると、割り込みフラグレジスタ 0 の EP1FULL がセットされます。受信バイト数は EP1 受信データサイズレジスタに表示されます。データを読み出したあと、トリガレジスタの EP1RDFN に 1 を書き込むことで、読み出した面のバッファが再受信可能となります。この FIFO バッファの受信データは DMA 転送が可能です。この FIFO バッファは FIFO クリアレジスタの EP1CLR により初期化することができます。

(5) EP2 データレジスタ (EPDR2)

エンドポイント 2 の送信用 128 バイト FIFO バッファです。最大パケットサイズの 2 倍の容量を持っていて、2 面構成になっています。この FIFO バッファに送信データを書き込み、トリガレジスタの EP2PKTE をセットすることで、1 パケット分の送信データが確定し、2 面構成のバッファが切り替わります。この FIFO バッファへの送信データは DMA 転送が可能です。この FIFO バッファは FIFO クリアレジスタの EP2CLR により初期化することができます。

(6) EP3 データレジスタ (EPDR3)

エンドポイント 3 の送信用 8 バイト FIFO バッファです。エンドポイント 3 のインタラプト転送における 1 パケット分の送信データを保持します。1 パケット分のデータを書き込み、トリガレジスタの EP3PKTE をセットすることで送信データが確定します。1 パケット分のデータを正常に送信し、ホストから ACK ハンドシェイクを受信すると、割り込みフラグレジスタの EP3TS がセットされます。この FIFO バッファは FCLR レジスタの EP3CLR により初期化することができます。

3. USB モジュールの概要

(7) 割り込みフラグレジスタ 0 (IFR0)

割り込みフラグレジスタ 1 と共にアプリケーション側に必要な割り込みステータスを表示します。割り込み要因が発生すると対応するビットが 1 にセットされ、割り込みイネーブルレジスタ 0 との組み合わせにより CPU に対して割り込み要求を発生します。ただし、EP1FULL と EP2EMPTY はステータスレジスタでクリアはできません。

ビット:	7	6	5	4	3	2	1	0
ビット名:	BRST	EP1 FULL	EP2 TR	EP2 EMPTY	SETUP TS	EP0o TS	EP0i TR	EP0i TS
R/W:	R/W	R	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W
初期値:	0	0	0	1	0	0	0	0

- ビット7: バスリセット

USBバス上で、バスリセット信号を検出したときに1がセットされます。

- ビット6: EP1FIFOフル

エンドポイント1(パルクアウト)が、ホストから1/パケット分のデータを正常に受信すると1がセットされ、FIFOバッファに有効データが存在する間1を保持します。

- ビット5: EP2転送リクエスト

ホストコントローラから、エンドポイント2(パルクイン)に対するイントークンを受信したとき、FIFOバッファに有効な送信データが存在しない場合に1がセットされます。FIFOバッファにデータを書き込んでパケット送信イネーブルをセットするまでの間は、ホストコントローラに対してNAKハンドシェークを返します。

- ビット4: EP2FIFOエンプティ

エンドポイント2の送信用FIFOバッファ(2面構成)のうち、少なくとも1面が送信データを書き込める状態であるときにセットされます。

- ビット3: セットアップコマンド受信完了

エンドポイント0がアプリケーション側でデコードする必要のあるセットアップコマンドを正常に受信し、ホストコントローラにACKハンドシェークを返したとき1にセットされます。

- ビット2: EP0o受信完了

エンドポイント0がホストからのデータを正常に受信してFIFOバッファに格納し、ホストコントローラにACKハンドシェークを返したとき1にセットされます。

- ビット1: EP0i転送リクエスト

ホストコントローラからエンドポイント0に対するINトークンを受信したとき、FIFOバッファに有効な送信データが存在しない場合、1にセットされます。FIFOバッファにデータを書き込んでパケット送信イネーブルをセットするまで、ホストコントローラに対してNAKハンドシェークを返します。

- ビット0: EP0i送信完了

エンドポイント0からホストコントローラにデータを送信し、ACKハンドシェークが返ってきたとき1にセットされます。

(8) 割り込みフラグレジスタ 1 (IFR1)

ビット:	7	6	5	4	3	2	1	0
ビット名:					VBUSMN	EP3 TR	EP3 TS	VBUS
R/W:	R	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W
初期値:	0	0	0	0	0	0	0	0

- ビット7~4: 予約ビット
- ビット3: USB接続ステータス

VBUS端子の状態をモニタするステータスビットです。VBUS端子の状態を反映します。

- ビット2: EP3転送リクエスト

ホストコントローラからエンドポイント3 (インタラプト) に対するINトークンを受信したとき、FIFOバッファに有効な送信データが存在しない場合、1にセットされます。FIFOバッファにデータを書き込んでパケット送信イネーブルをセットするまで、ホストに対してNAKハンドシェイクを返します。

- ビット1: EP3送信完了

エンドポイント3からホストコントローラにデータを送信し、ACKハンドシェイクが返ってきたとき、1にセットされます。

- ビット0: USBバス接続

USBバスに接続されたとき、および切断されたときに1にセットされます。接続 / 切断の検出には、VBUS端子を使用します。VBUS端子はモジュール内部で必要なため、必ず接続してください。

(9) トリガレジスタ (TRG)

ビット:	7	6	5	4	3	2	1	0
ビット名:		EP3 PKTE	EP1 RDFN	EP2 PKTE		EP0s RDFN	EP0o RDFN	EP0i PKTE
R/W:	W	W	W	W	W	W	W	W

- ビット7: 予約ビット
- ビット6: EP3パケットイネーブル

エンドポイント3の送信用FIFOバッファに1パケット分のデータを書き込んだあと、このビットに1を書き込むことで送信データが確定します。

- ビット5: EP1読み出し完了

エンドポイント1のFIFOバッファから1パケット分のデータを読み出したあと、このビットに1を書き込んでください。エンドポイント1の受信用FIFOは2面構成になっています。このビットに1を書き込むことで、読み出した面が初期化されて、次のパケットを受信できるようになります。

- ビット4: エンドポイント2パケットイネーブル

エンドポイント2のFIFOに対するデータを読み出したあと1を書き込んでください。1を書き込むことによって、続くデータステージのデータを送受信可能な状態になります。1を書き込むまではデータステージにおけるホス

3. USB モジュールの概要

トからの送受信要求に対してNAKハンドシェークを返します。

- ビット3：予約ビット
- ビット2：EP0s読み出し完了

EP0sのコマンド用FIFOに対するデータを読み出したあと1を書き込んでください。1を書き込むことによって、続くデータステージのデータを送受信可能な状態になります。1を書き込むまではデータステージにおけるホストからの送受信要求に対してNAKハンドシェークを返します。

- ビット1：EP0o読み出し完了

エンドポイント0の送信用FIFOバッファから1パケット分のデータを読み出したあと、1を書き込むことでFIFOバッファが初期化されて次のパケットを受信できるようになります。

- ビット0：EP0iパケットイネーブル

エンドポイント0の送信用FIFOバッファに1パケット分のデータを書き込んだあと、1を書き込むことで送信データが確定します。

(10) 割り込みイネーブルレジスタ0 (IER0)

割り込みフラグレジスタ0 (IFR0) の割り込み要求をイネーブルにします。1にセットされているとき、対応する割り込みフラグがセットされると、CPU に対して割り込み要求を発生します。このとき割り込みベクタ番号は割り込み選択レジスタ0 (ISR0) の内容によって決まります。

ビット：	7	6	5	4	3	2	1	0
ビット名：	BRST	EP1 FULL	EP2 TR	EP2 EMPTY	SETUP TS	EP0o TS	EP0i TR	EP0i TS
R/W：	R/W	R	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W
初期値：	0	0	0	1	0	0	0	0

(11) 割り込みイネーブルレジスタ1 (IER1)

割り込みフラグレジスタ1 (IFR1) の割り込み要求をイネーブルにします。1にセットされているとき、対応する割り込みフラグがセットされると、CPU に対して割り込み要求を発生します。このときの割り込みベクタ番号は割り込み選択レジスタ1 (ISR1) の内容によって決まります。

ビット：	7	6	5	4	3	2	1	0
ビット名：						EP3 TR	EP3 TS	VBUS
R/W：	R	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W
初期値：	0	0	0	0	0	0	0	0

3.4 USB コマンドの処理

コントロール転送時にホストコントローラから送られてくる USB 標準コマンドには、USB ファンクションモジュールが自動的に処理するコマンドと、ユーザの処理を必要とするコマンドの 2 種類があります。また、クラスとベンダコマンドは、すべてユーザ側でデコードする必要があります。ユーザ側でのデコードが不要なコマンドと、必要なコマンドの分類を表 3.2 に示します。

表 3.2 コマンドのデコード

ユーザ側でデコードの必要なし	ユーザ側でデコードの必要あり
Clear Feature Get Configuration Get Interface Get Status Set Address Set Configuration Set Feature Set Interface	Get Descriptor Class/Vendor コマンド

ユーザ側でのデコードが不要なコマンドは、コマンドデコード、データステージ、ステータスステージの処理を USB ファンクションモジュールが自動的に行います。

ユーザ側でのデコードが必要なコマンドを受信した際は、コマンドを EP0s の FIFO に保存します。USB ファンクションモジュールは、正常受信完了後に SETUPTS 割り込みを発生させます。この割り込みによって、ユーザ側ではエンドポイントのデータをリードし処理を行います。

4. 開発環境

この章では、本システムの開発に使用した開発環境について説明します。本システムの開発には、以下のデバイス（ツール）を使用しました。

- SH7705 Solution Engine（以下SH7705SE 型名MS7705SE01）日立超LSIシステムズ社製
- スーパーI/O拡張コネクタボード（MSUSIOEX01）日立超LSIシステムズ社製
- SH7705 E10A Emulator ルネサス テクノロジ製
- PCMCIAスロット搭載のPC（Windows® 95/98）
- USBホスト用PC（Windows® 2000）
- パラレルポート搭載プリンタ
- USBケーブル
- パラレルケーブル
- High-Performance Debugging Interface（以下HDI）ルネサス テクノロジ製
- High-Performance Workshop（以下HEW）ルネサス テクノロジ製

4.1 ハードウェア環境

図 4.1 に各デバイスの接続形態を示します。

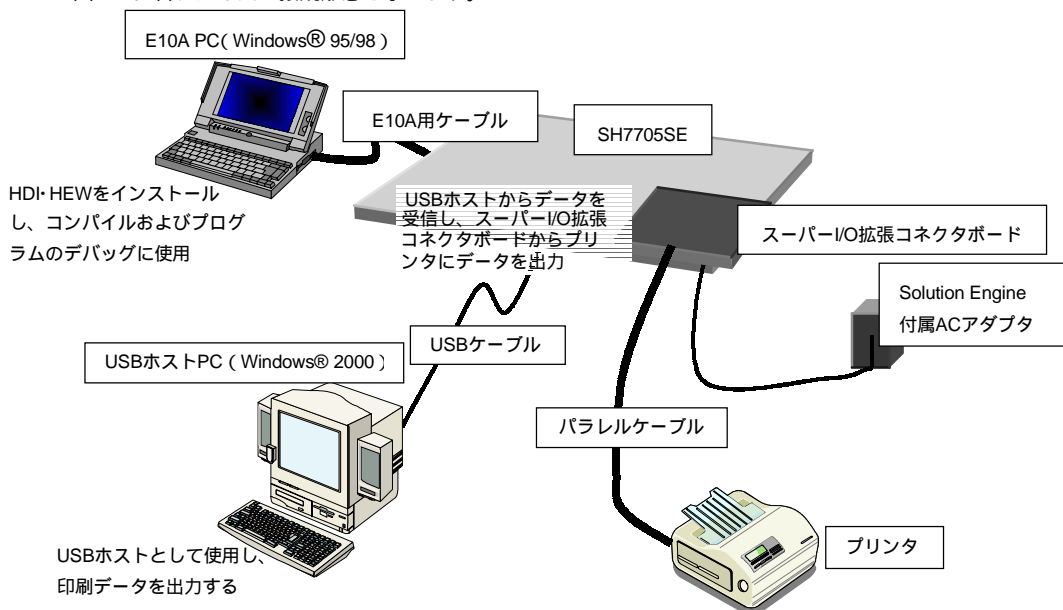


図 4.1 デバイスの接続形態

4. 開発環境

1. SH7705SE

SH7705SEボードのディップスイッチのいくつかを出荷時の設定から変更する必要があります。電源を投入する前に、これらの設定をよくご確認ください。その他のディップスイッチを変更する必要はありません。

表 4.1 ディップスイッチの設定

出荷時	変更後	ディップスイッチの機能
SW3-6 OFF	SW3-6 ON	エンディアンの選択
SW3-7 OFF	SW3-7 ON	E10A エミュレータの選択
SW3-8 ON	SW3-8 OFF	E10A エミュレータの選択

2. スーパーI/O拡張コネクタボード

SH7705SEとの接続方法は、Solution Engineの取扱説明書をご覧ください。この拡張コネクタボードはSolution Engineには付属しておりませんので、別途購入していただく必要があります。

3. USBホストPC

USBポート搭載の、Windows® 2000をインストールしたパソコンをUSBホストとして使用します。本システムでは、Windows® 2000に標準で搭載されているプリンタクラスのデバイスドライバを使用しますので、新たにドライバをインストールする必要はありません。

4. E10A PC

PCカードスロットにE10Aを挿入し、接続用のケーブルを介してSH7705SEと接続してください。接続後、HDIを起動してエミュレーションを行います。

4.2 ソフトウェア環境

サンプルプログラムと、今回使用したコンパイラおよびリンクについて説明します。

4.2.1 サンプルプログラム

サンプルプログラムとして必要なファイルは、すべて SH7705 フォルダ内に収められています。HEW、HDI がインストールされたパソコンに、このフォルダごと移動して頂くと、すぐにサンプルプログラムを使用することができます。フォルダに含まれるファイルを以下図 4.2 に示します。

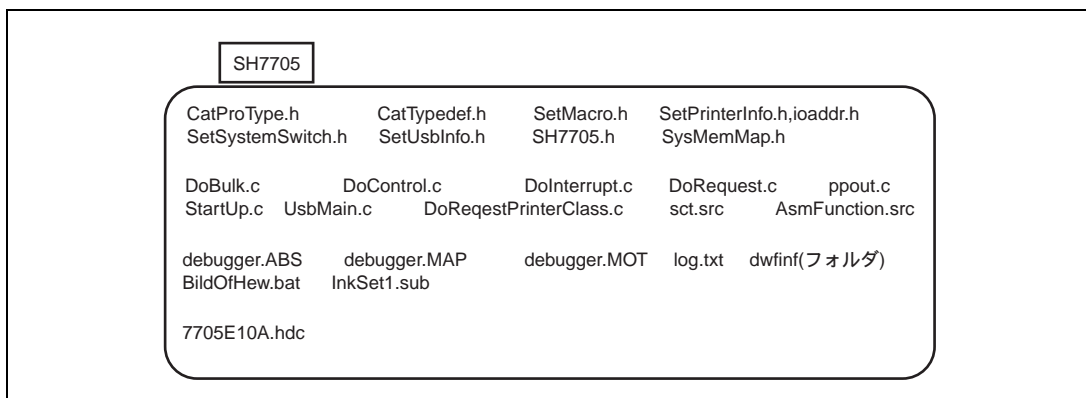


図 4.2 フォルダに含まれるファイル

4.2.2 コンパイルおよびリンク

サンプルプログラムのコンパイルおよびリンクは、以下のソフトウェアにより行いました。

- High-Performance Embedded Workshop Version1.0 (release9) (以下HEW)

HEW を C:\Hew にインストール*した場合、コンパイルおよびリンクの手順は以下のようになります。

まず、コンパイル時に作業用として、Tmp という名前のフォルダを C:\Hew のフォルダ内に作成してください(図 4.3)。

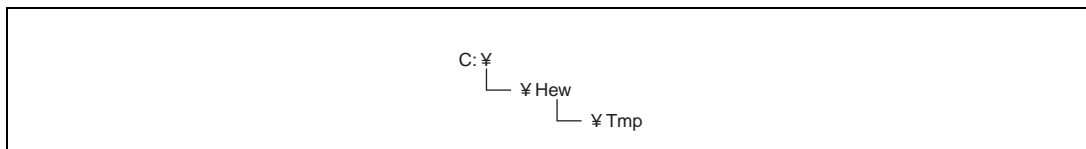


図 4.3 作業フォルダの作成

次に、サンプルプログラムが格納されているフォルダ (SH7705) を、任意のドライブにコピーしてください。この中には、サンプルプログラムと共に BildOfHew.bat というバッチファイルが含まれています。このバッチファイルでは、パスの設定、コンパイルオプションの指定、コンパイルおよびリンク結果を示すログファイルの指定等を行っ

4. 開発環境

ています。BildOfHew.bat を実行すると、コンパイルおよびリンクが行われます。その結果、フォルダ内にはファイル名 debugger.MOT のモトローラ S タイプフォーマットファイルが作成されます。これが実行ファイルとなります。このとき同時にマップファイル debugger.MAP とログファイル log.txt が作成されます。マップファイルにはプログラムのサイズ、および変数のアドレスが示されています。コンパイルの結果（エラーの有無等）はログファイルに記録されます。

【注】* HEW を C:\HEW 以外にインストールした場合、BildOfHew.bat 内の「コンパイラパスの設定」と「コンパイラが使用する環境変数の設定」、InkSet1.sub 内の「ライブラリーの指定」を変更する必要があります。この場合、コンパイラパスの設定は shc.exe のパス、コンパイラが使用する環境変数 shc_lib の設定は shc.exe のフォルダ、shc_inc の設定は machine.h のフォルダ、shc_tmp の設定はコンパイル作業フォルダをそれぞれ指定してください。また、ライブラリーの指定は shcpic.lib のパスを指定してください。

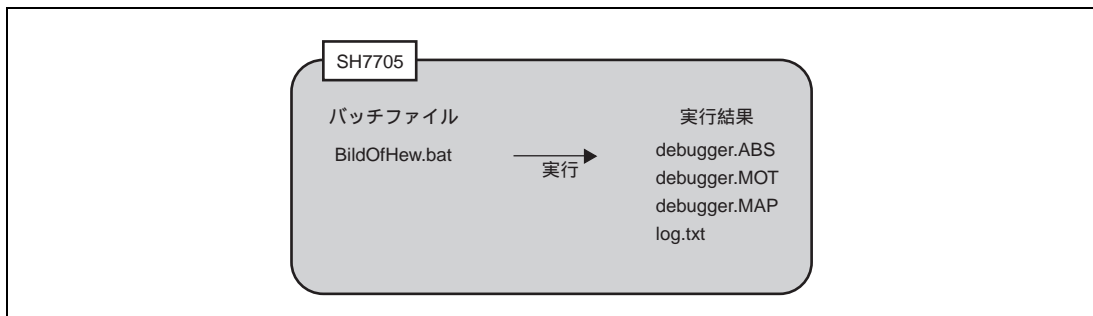


図 4.4 コンパイル結果

4.3 プログラムのロードと実行方法

図 4.5 にサンプルプログラムのメモリマップを示します。



図 4.5 メモリマップ

図 4.5 のように、本サンプルプログラムは PResetException、PGeneralExceptions、PTLBMissException、PInterrupt、PNonCash、P、C、D の領域を SDRAM 上に、R、B 領域を SRAM 上に配置しています。E10A でブレイク等の機能を使用するためには、このようにプログラムを RAM に配置する必要があります。これらのメモリへの割り付けは、SH7705 フォルダ内に含まれる lnkSet1.sub で指定します。フラッシュ等にプログラムを書き込み ROM 化する場合は、このファイルを変更してください。

4.3.1 プログラムのロード

SH7705SE の SDRAM へサンプルプログラムをロードするには、以下のような手順で行います。

- HDIをインストールしたE10A用PCにE10Aを挿入し、ユーザケーブルでE10AとSH7705SEを接続してください。
- E10A用PCの電源を投入し、起動してください。
- HDIを起動してください。

4. 開発環境

- SH7705SEの電源を投入してください。
- PCの画面にダイアログ（図4.6参照）が表示されるので、SH7705SEのリセットスイッチ（SW1）をONにし、CPUをリセット後、「OK」ボタンをクリックまたは、<Enter>キーを押してください。
- メニューバーのView CommandLineを選択し、ウインドを開き（図4.7参照）、左上のBatchFileボタンをクリックし、SH7705フォルダ内の7705E10A.hdcを指定してください。この操作によりBSCが設定され、SDRAMへのアクセスが可能となります。また、プログラムカウンタ（PC）の設定を行っています。値を変更する必要があるときは7705E10A.hdcを変更してください。
- ファイルメニューからLoadProgram...を選択し、Load Programダイアログボックスで、SH7705フォルダ内のdebugger.ABSを指定してください。

以上の操作で、サンプルプログラムを SH7705SE の SDRAM 上にロードすることができます。

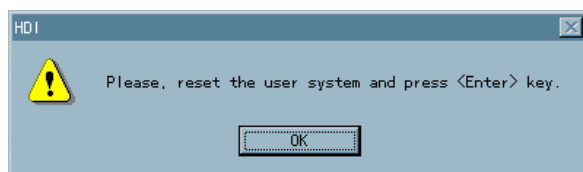


図 4.6 リセット要求ダイアログ

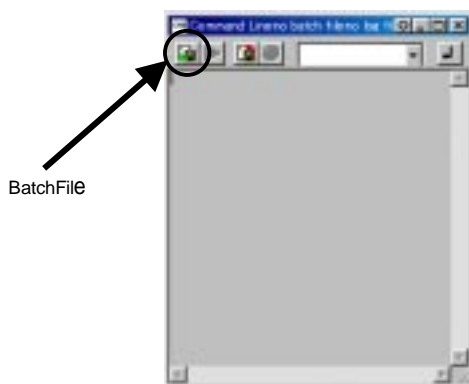


図 4.7 コマンドライン入力

4.3.2 プログラムの実行

「4.3.1 プログラムのロード」でロードしたプログラムを実行するには、メニューバーの Run Go を選択するとプログラムが実行されます。

4.4 プリントアウトの方法

プログラムを実行した状態で、USB ケーブルのシリーズ B コネクタを SH7705SE に挿入し、反対側のシリーズ A コネクタを USB ホスト PC に接続します。コントロール転送終了後、デバイスマネージャーの USB ホストコントローラの下に USB 印刷サポートが表示され、ホスト PC は SH7705SE をプリンタデバイスとして認識します。

次にプリンタのドライバ*¹をインストールします。スタートメニューの設定からプリンタを開き、プリンタの追加をダブルクリックします。セットアップウィザードが開始されますので、ポートの選択で USB001 Virtual Printer Port for USB*²にチェックをしてください。次に、お客様がお使いのプリンタ（メーカー名とプリンタの機種）を指定してください。ウィザード終了の際にテストプリントをして頂くと、ドライバが正常にインストールされた場合は、プリンタからテストプリントが出力されます。

【注】*¹ 本サンプルプログラムではプリンタとの双方向通信をサポートしていないため、必ず Windows® 2000 に標準で付属しているプリンタドライバを使用してください。

*² 以前にホスト PC にプリンタクラスのデバイスを接続したことがある場合は、異なる数字（USB002、USB003 等）になる場合があります。この場合は、最も大きい数字のポートを選択してください。

5. サンプルプログラム概要

この章ではサンプルプログラムの特長やその構成について説明します。本サンプルプログラムは SH7705SE 上で動作し、USB ファンクションモジュールからの割り込みによって USB 転送を開始します。SH7705 内蔵モジュールの割り込みのうち、USB ファンクションモジュールに関連する割り込みは、USI0、USI1 の 2 種類ですが、本サンプルプログラムでは USI0 のみ使用しています。

本サンプルプログラムの特長を以下に示します。

- コントロール転送を行うことができます。
- バルクアウト転送でホストコントローラからデータを受信することができます。
- バルクイン転送でホストコントローラにデータを送信することができます。
- SH7705SE に搭載の Ultra I/O を使用し、プリンタにデータを出力することができます。

5.1 状態遷移図

図 5.1 に、本サンプルプログラムの状態遷移図を示します。本サンプルプログラムは、図 5.1 のように 4 つの状態に遷移します。

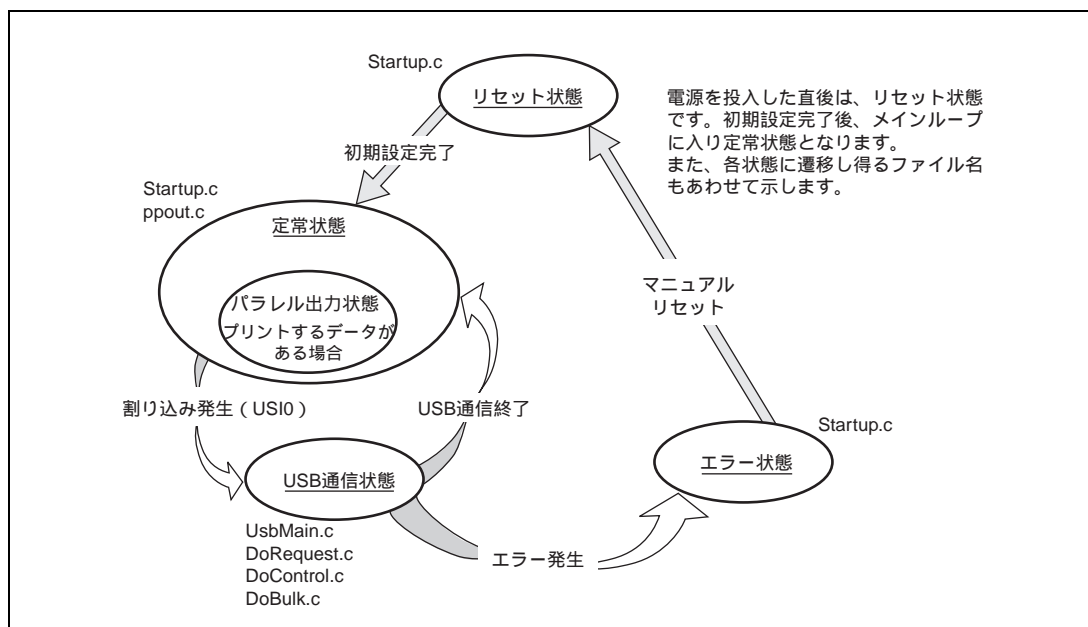


図 5.1 状態遷移図

5. サンプルプログラム概要

- リセット状態

パワーオンリセット・マニュアルリセットの際には、この状態になります。リセット状態では、主にSH7705の初期設定を行います。

- 定常状態

初期設定が完了すると、メインループで定常状態となります。ここでは、ホストからの印刷データの有無を常に監視し、データがあればパラレル出力状態となりプリンタへデータを出力します。

- USB通信状態

定常状態において、USBモジュールから割り込みが発生するとこの状態になります。USB通信状態では、割り込みの種類に応じた転送方式によるデータ転送を行います。本サンプルプログラムで使用する割り込みは割り込みフラグレジスタ0 (IFR0) によって示される計8種類です。割り込み要因が発生すると、IFR0の対応するビットに1がセットされます。

- エラー状態

USB通信状態においてエラーが発生した場合、この状態になります。エラー状態に遷移する場合は、USBの通信内容に問題があります。通信が正常に行われている場合は、エラー状態に遷移することはありません。エラー状態になる場合は、ファームウェアを見直していただく必要があります。エラー状態から復帰させるためには、パワーオンリセット、もしくはマニュアルリセットを実行してください。

5.2 USB 通信状態

USB 通信状態は、転送方式ごとに3つの状態に分類することができます(図 5.2 参照)。割り込みが発生すると、まず USB 通信状態へと遷移し、さらに割り込みの種類に応じて各転送状態へ分岐します。分岐の方法については「第6章 サンプルプログラムの動作」で説明します。

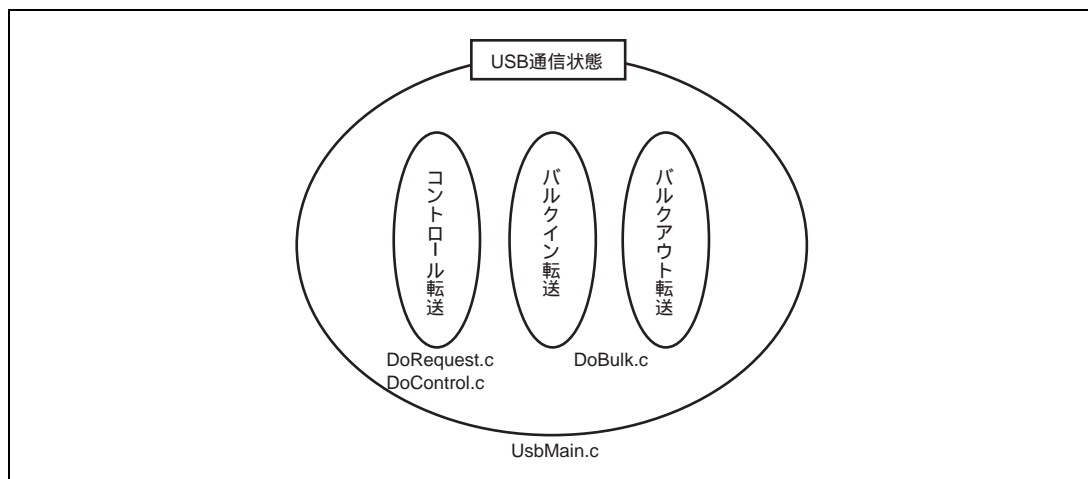


図 5.2 USB 通信状態

5.3 ファイル構成

本サンプルプログラムは、8個のソースファイルと9個のヘッダーファイルで構成されています。全構成ファイルを表 5.1 に示します。各関数は、転送方式又は機能ごとに1つのファイルにまとめてあります。

表 5.1 ファイル構成

ファイル名	主な役割
StartUp.c	マイコンの初期設定 リングバッファのクリア
UsbMain.c	割り込み要因の判定 パケットの送受信
DoRequest.c	ホストが発行するセットアップコマンドの処理
DoControl.c	コントロール転送を実行
DoBulk.c	バルク転送を実行
DoRequestPrinterClass.c	プリンタークラスコマンドの処理
ppout.c	リングバッファの管理 プリンタの初期化 プリンタへのデータ出力
AsmFunction.src	スタックの設定
CatProType.h	プロトタイプ宣言
CatTypedef.h	USB ファームウェアで使用する基本の構造体定義
SysMemMap.h	SH7705SE のメモリマップのアドレス定義
SetPrinterInfo.h	プリンタークラスに対応するために必要な変数の初期設定と定数の定義
SetUsbInfo.h	USB 対応に必要な変数の初期設定
SetSystemSwitch.h	システムの動作設定
SetMacro.h	マクロ定義
SH7705.h	SH7705 レジスタ定義
ioaddr.h	Ultra I/O のレジスタ定義

5. サンプルプログラム概要

5.4 関数の機能

表 5.2 に、各ファイルに含まれる関数と、その機能を示します。

表 5.2-1 UsbMain.c

格納ファイル	関数名	機 能
UsbMain.c	BranchOfInt	割り込み要因の判定と、割り込みに応じた関数を呼び出す
	GetPacket	ホストコントローラから転送されたデータを、RAM に書き込む
	GetPacket4	ホストコントローラから転送されたデータを、ロングワードサイズで RAM に書き込む（リングバッファ対応版）
	GetPacket4S	ホストコントローラから転送されたデータを、ロングワードサイズで RAM に書き込む（リングバッファ非対応、高速版）
	PutPacket	ホストコントローラに転送するデータを USB モジュールに書き込む
	PutPacket4	ホストコントローラに転送するデータをロングワードサイズで USB モジュールに書き込む（リングバッファ対応版）
	PutPacket4S	ホストコントローラに転送するデータをロングワードサイズで USB モジュールに書き込む（リングバッファ非対応、高速版）
	SetControlOutContents	ホストから送られたデータに書き換える
	SetUsbModule	USB モジュールの初期設定
	ActBusReset	バスリセット受信時に FIFO のクリアを行う
	ActBusVcc	USB ケーブル接続割り込み動作を行う（本サンプルアプリケーションでは使用しません）
	ConvRealIn	指定した番地から指定バイト長のデータを読み出す
	ConvReflexn	指定した番地から指定バイト長のデータを逆順に読み出す

UsbMain.c では、主に USB 割り込みフラグレジスタによって割り込み要因を判定し、割り込みの種類に応じた関数の呼び出しを行います。また、ホストコントローラとファンクションモジュール間におけるパケットの送受信を行います。

表 5.2-2 StartUp.c

格納ファイル	関数名	機 能
StartUp.c	CallResetException	リセット例外に対応する動作をし、引き続き実行する関数を呼び出す
	CallGeneralExceptions	TLB ミス発生以外の一般例外に対応する関数を呼び出す
	CallTLBMissException	TLB ミス発生に対応する関数を呼び出す
	CallInterrupt	割り込み要求に対応する関数を呼び出す
	SetPowerOnSection	モジュールおよびメモリの初期化を行い、メインループへ移行
	_INITSCCT	初期値がある変数を、RAM のワークエリアにコピー
	InitMemory	バルク通信で使用する RAM 領域をクリア
	InitSystem	USB バスのブルアップ制御

パワーオンリセット、又はマニュアルリセットの際には、CallResetException が呼び出されます。ここでは SH7705 の初期設定を行います。その後、SetPowerOnSection にてコントロール転送、バルク転送に使用する RAM 領域のクリアを行います。

表 5.2-3 ppout.c

格納ファイル	関数名	機 能
ppout.c	ActPrintOut	バッファの空き容量を監視し必要に応じてバルクアウト転送を一時停止する。 バルクアウト関数を呼び出す
	LptMain	バッファの空き容量を監視し必要に応じてバルクアウト転送を再開する。 LptPortWrite に引数としてリードポインタを渡す
	LptPortOpen	プリンタの初期化
	LptPortWrite	パラレルポートからデータを出力する
	parallel_conf	Ultra I/O のパラレルポートを初期化する
	read_w	Ultra I/O のコンフィギュレーションレジスタのデータを読み込む
	write_w	Ultra I/O のコンフィギュレーションレジスタヘータを書き込む

ppout.c では、RAM に格納された印刷データを Ultra I/O のレジスタに書き込み、ストローブ信号等を制御してプリンタにデータを出力します。

表 5.2-4 DoRequest.c

格納ファイル	関数名	機 能
DoRequest.c	DecStandardCommands	ホストコントローラが発行したコマンドをデコードし、そのうち標準コマンドの対応を行う
	DecVenderCommands	ベンダコマンドの対応を行う

コントロール転送時に、ホストコントローラから送られてくるコマンドをデコードし、コマンドに応じた処理を行います。本サンプルプログラムでは、ベンダIDの値に045B（ベンダ：ルネサス）を使用しています。お客様にて製品を開発される場合は「USB Implementers Forum」にてお客様のベンダIDを取得願います。また、ベンダコマンドは使用していないため、DecVenderCommandsでは何も行っていません。ベンダコマンドを使用する際には、お客様でプログラムを作成願います。

5. サンプルプログラム概要

表 5.2-5 DoControl.c

格納ファイル	関数名	機 能
DoControl.c	ActControl	コントロール転送の、セットアップステージを行う
	ActControlIn	コントロールイン転送（データステージがイン方向の転送）のデータステージとステータスステージを行う
	ActControlOut	コントロールアウト転送（データステージがアウト方向の転送）のデータステージとステータスステージを行う
	ActControlInOut	コントロール転送のデータステージとステータスステージを ActControlIn と ActControlOut に振り分ける

コントロール転送の割り込み（SETUP TS）が入ると、ActControl がコマンドを取得し、DecStandardCommands でデコードを行いコマンドの転送方向を判別します。そのあと、コントロール転送の割り込み（EP0o TS、EP0i TR、EP0i TS）が発生すると ActControlInOut がコマンドの転送方向により、ActControlIn または ActControlOut を呼び出しデータステージと、ステータスステージを行います。

表 5.2-6 DoBulk.c

格納ファイル	関数名	機 能
DoBulk.c	ActBulkOut	バルクアウト転送を行う
	ActBulkIn	バルクイン転送を行う
	ActBulkInReady	バルクイン転送の準備を行う

バルク転送に関する処理を行います。バルクイン転送でのみ ActBulkInReady を使用します。

表 5.2-7 DoRequestPrinterClass.c

格納ファイル	関数名	機 能
DoRequestPrinterClass.c	DecPrinterClassCommands	プリンタークラスコマンドの対応を行う

プリンタークラスコマンドに応じた処理を行います。本サンプルプログラムでは、IEEE1284 デバイス ID を使用していないため、0 を出力します。IEEE1284 デバイス ID を使用する際には、お客様で出力値を設定願います。

図 5.3 に、表 5.2 で説明した関数の相関関係を示します。上位側の関数が、下位側の関数を呼び出すことができます。また、複数の関数が同一の関数を呼び出すこともあります。定常状態では、SetPowerOnSection が他の関数を呼び出します。割り込みの発生によって遷移する USB 通信状態では、割り込み関数である CallInterrupt が BranchOfInt を呼び出し、BranchOfInt が他の関数を呼び出します。図 5.3 は、関数の上下関係を示しているもので、関数が呼び出される順序は示していません。関数がどのような順序で呼び出されるかについては、「第 6 章 サンプルプログラムの動作」のフローチャートをご覧ください。

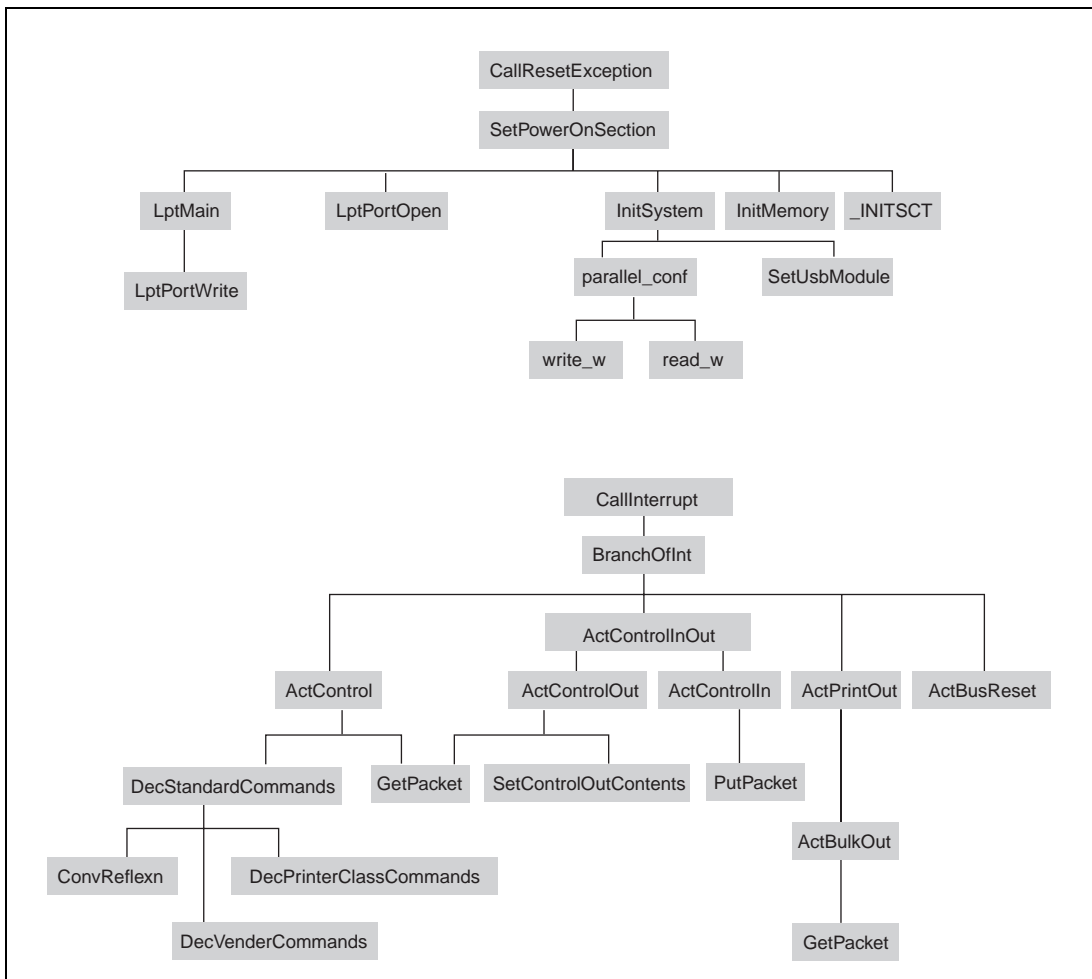


図 5.3 関数の相関関係

6. サンプルプログラムの動作

この章ではサンプルプログラムの動作を、USB ファンクションモジュールの動作と関連付けて説明します。

6.1 メインループ

マイコンがリセット状態になると、CPU の内部状態と内蔵周辺モジュールのレジスタが初期化されます。次にリセット割り込み関数 `CallResetException` が呼び出されリセット例外処理を行い、関数 `SetPowerOnSection` を呼び出します。図 6.1 にリセット割り込み発生から定常状態までのフローチャートを示します。

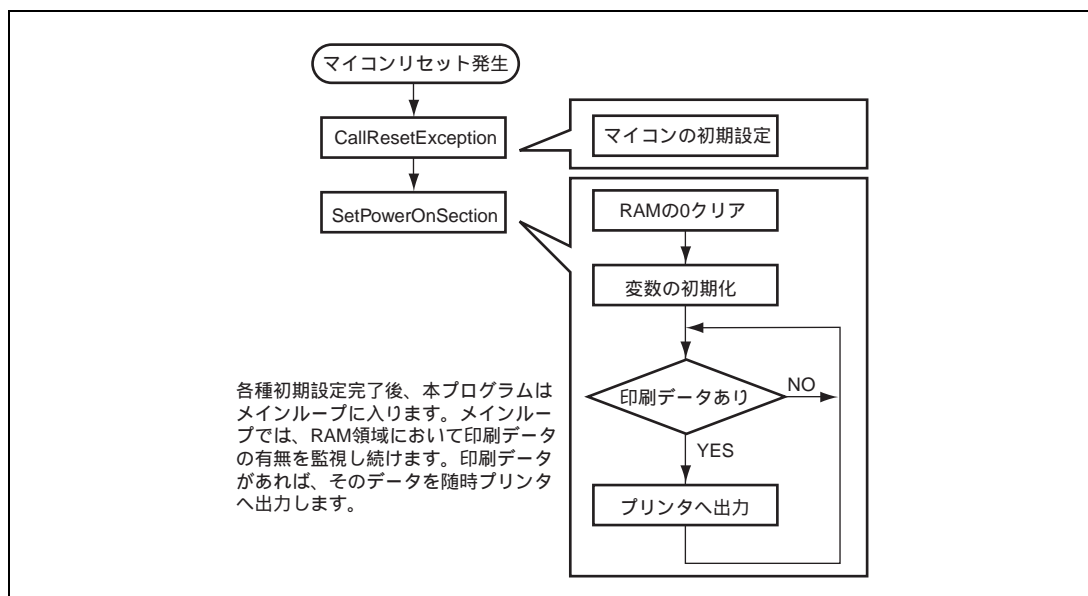


図 6.1 メインループ

6.2 割り込みの種類

「5.1 状態遷移図」で説明したように、本サンプルプログラムで使用する割り込みは割り込みフラグレジスタ 0 (IFR0) によって示される計 8 種類です。割り込み要因が発生すると、割り込みフラグレジスタの対応するビットに 1 がセットされ、CPU に対して USI0 割り込みを要求します。サンプルプログラムでは、この割り込み要求によって割り込みフラグレジスタをリードし、それに対応する USB 通信を行います。図 6.2 に割り込みフラグレジスタと、USB 通信の関係を示します。

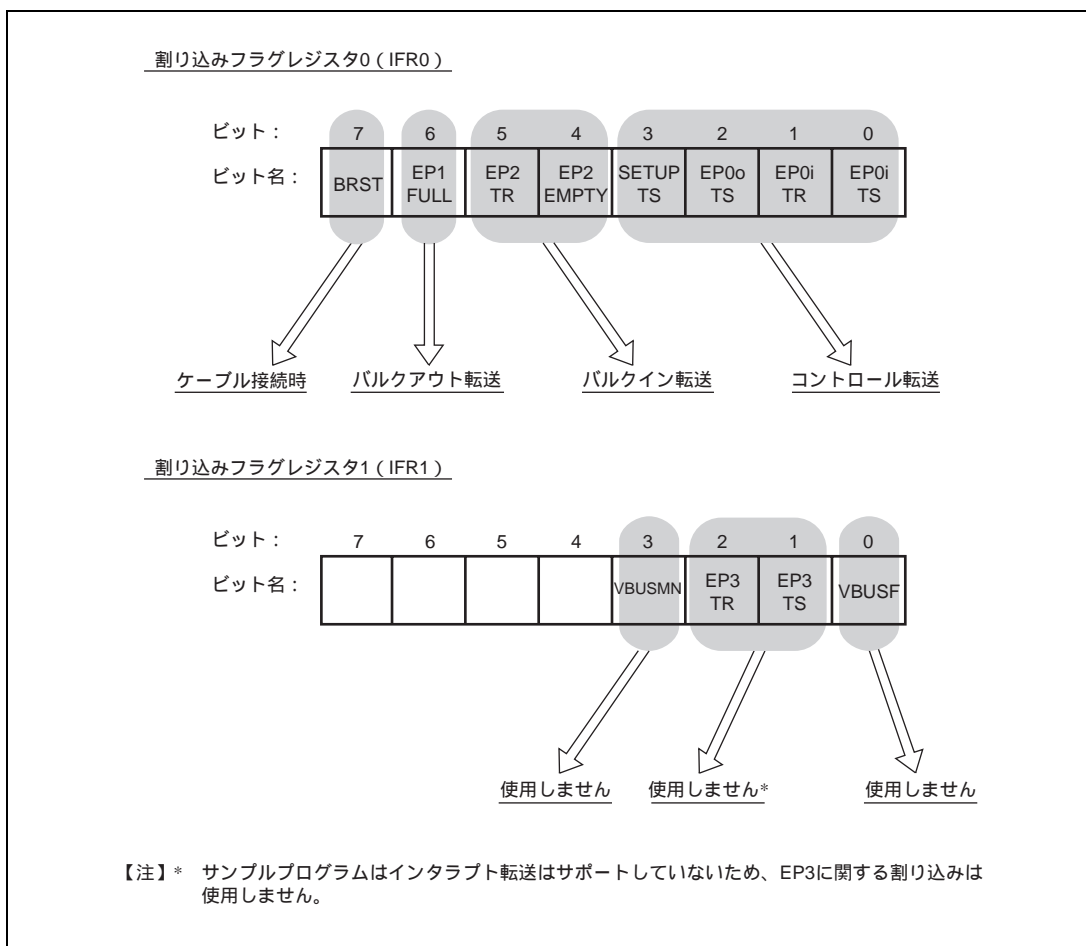


図 6.2 割り込みフラグの種類

6.2.1 各転送への分岐方法

「第5章 サンプルプログラム概要」で説明したようにサンプルプログラムでは、USB モジュールからの割り込みの種類によって転送方式を決定しています。各転送方式への分岐は、UsbMain.c の BranchOfInt が実行します。表 6.1 に割り込みの種類と、BranchOfInt が呼び出す関数の関係を示します。

表 6.1 割り込みの種類と分岐先関数

レジスタ名	ビット	ビット名	呼び出す関数名
IFR0	0	EP0i TS	ActControlInOut
	1	EP0i TR	ActControlInOut
	2	EP0o TS	ActControlInOut
	3	SETUP TS	ActControl
	4	EP2 EMPTY	ActBulkIn
	5	EP2 TR	ActBulkInReady
	6	EP1 FULL	ActPrintOut
	7	BRST	ActBusReset

EP0i TS と EP0o TS 割り込みは、コントロールイン、アウト転送の両方で使用します。したがって、コントロール転送の方向とステージを管理するために、サンプルプログラムは TRANS_IN、TRANS_OUT、WAIT の 3 つのステートを持っています。詳細は、「6.4 コントロール転送」をご覧ください。

SH7705 のハードウェアマニュアルには、割り込み発生時の USB ファンクションモジュールの動作と、アプリケーション側の動作概略が示してあります。次節からは、アプリケーション側ファームウェアの詳細を USB の転送方式ごとに説明します。

6.3 ケーブル接続時（BRST）割り込み

USB ファンクションモジュールのケーブルを、ホストコントローラに接続した際に発生します。アプリケーション側はマイコンの初期設定完了後、専用ポートを使用してUSB データバスの D+をプルアップします。このプルアップによって、ホストコントローラはデバイスが接続されたことを認識します（図 6.3 参照）。

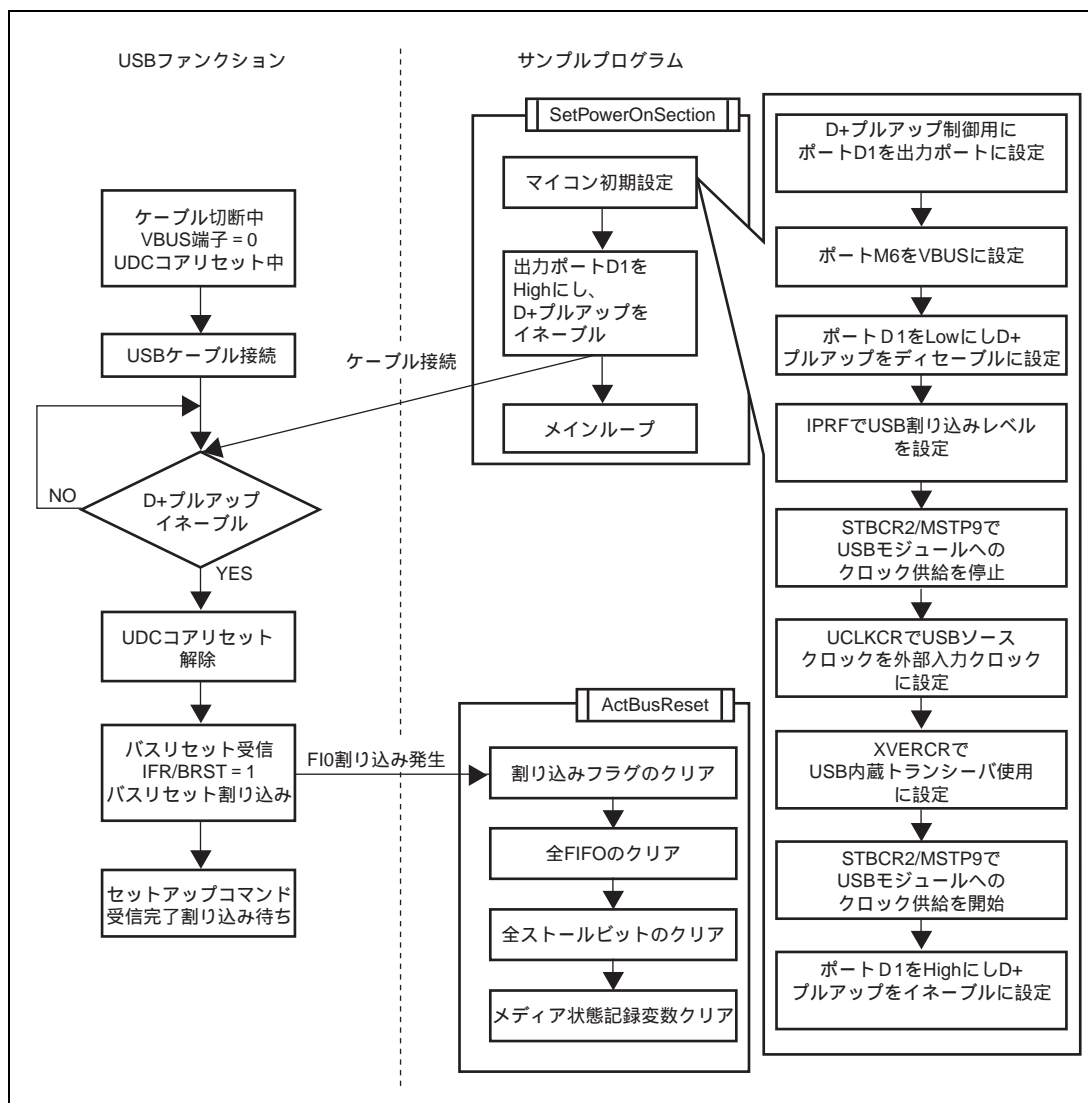


図 6.3 ケーブル接続時割り込み

6.4 コントロール転送

コントロール転送には、割り込みフラグレジスタのビット 0～3 を使用します。コントロール転送は、データステージにおけるデータの向きによって、2 つに分けることができます（図 6.4 参照）。

データステージにおいて、ホストコントローラから USB ファンクションへデータ転送する場合がコントロールアウト転送です。

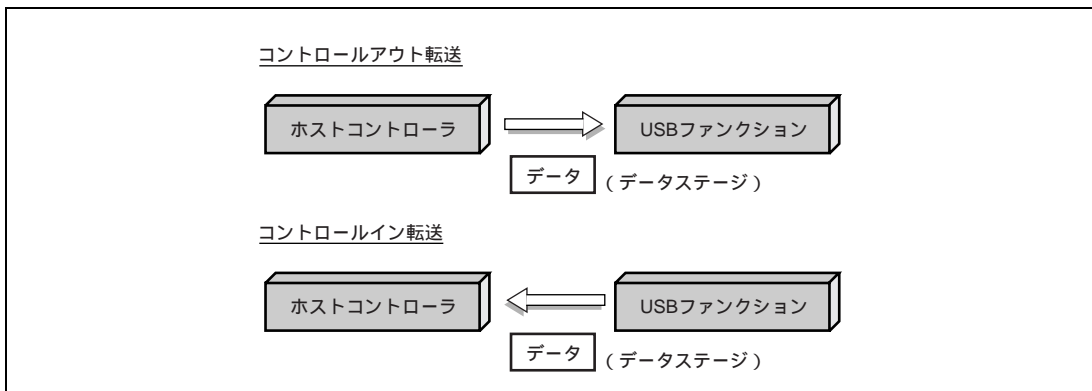


図 6.4 コントロール転送

コントロール転送は、セットアップ、データ（ない場合もある）、ステータスの 3 つのステージで構成されます（図 6.5 参照）。また、データステージは、複数のバストランザクションで構成されます。

コントロール転送では、データの向きが反転することによってステージが切り替わったことを認識します。したがって同じ割り込みフラグを使用して、コントロールイン転送または、コントロールアウト転送を行う関数を呼び出します（表 6.1 参照）。このため、現在イン・アウトどちらのコントロール転送が行われているかをファームウェアがステートによって管理し（図 6.5 参照）、適切な関数を呼び出す必要があります。データステージにおけるステート（TRANS_IN、TRANS_OUT）は、セットアップステージで受信するコマンドによって決定します。

6. サンプルプログラムの動作

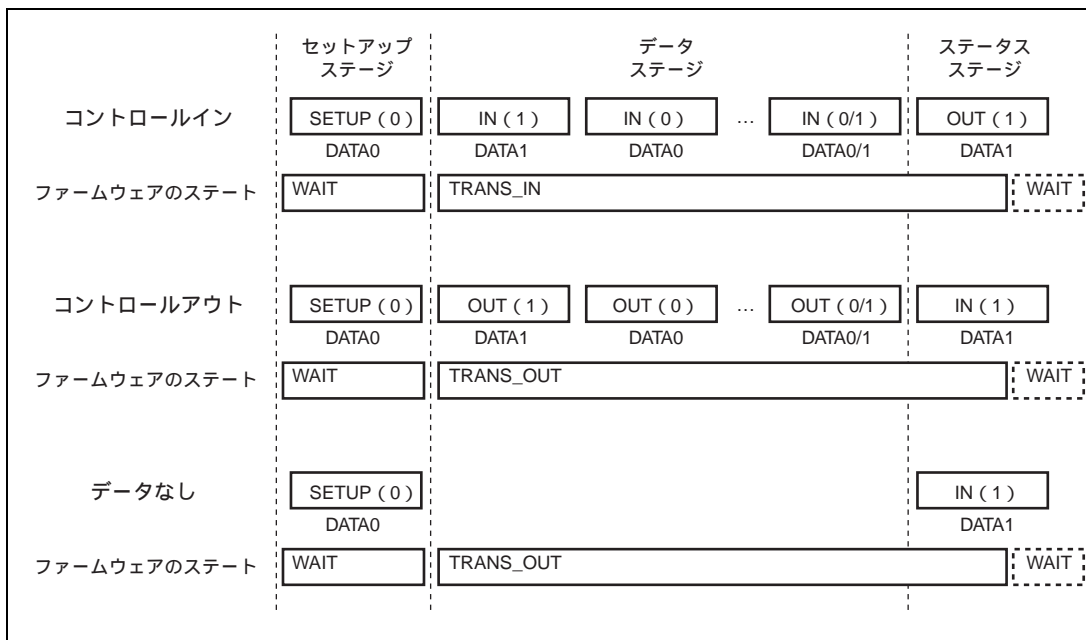


図 6.5 コントロール転送におけるステージ

6.4.1 セットアップステージ

セットアップステージでは、ホストとファンクションがコマンドの送受信を行います。コントロールイン転送、コントロールアウト転送共に、ファームウェアの状態は WAIT になります。また発行されるコマンドの種類によって、コントロールイン転送またはアウト転送の区別を行い、データステージにおけるファームウェアの状態 (TRANS_IN、TRANS_OUT) を決定します。

- コントロールインとなるコマンド

GetDescriptor (TRANS_IN) 標準コマンド
 GetDeviceID (TRANS_IN) クラスコマンド
 GetPortStatus (TRANS_IN) クラスコマンド

- コントロールアウトとなるコマンド

SoftReset (TRANS_OUT) クラスコマンド

図 6.6 にセットアップステージにおけるサンプルプログラムの動作を示します。図の左側は、USB ファンクションモジュールの動作を示しています。

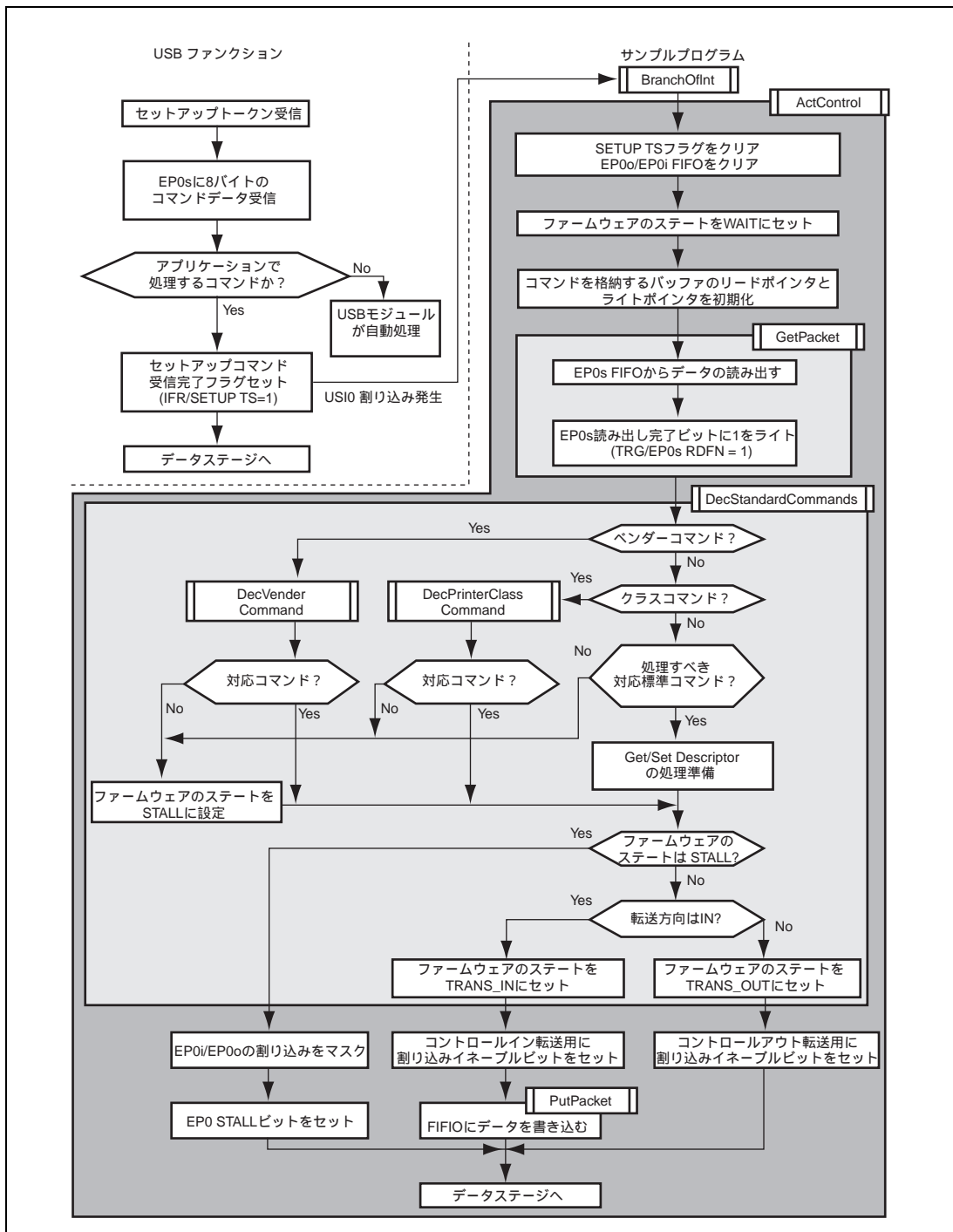


図 6.6 セットアップステージ

6.4.2 データステージ

データステージでは、ホストとファンクションがデータの送受信を行います。ファームウェアのステートは、セットアップステージで行ったコマンドのデコード結果によって、コントロールイン転送の場合は TRANS_IN に、コントロールアウト転送の場合は TRANS_OUT になります。

図 6.7、図 6.8 にコントロール転送のデータステージにおけるサンプルプログラムの動作を示します。

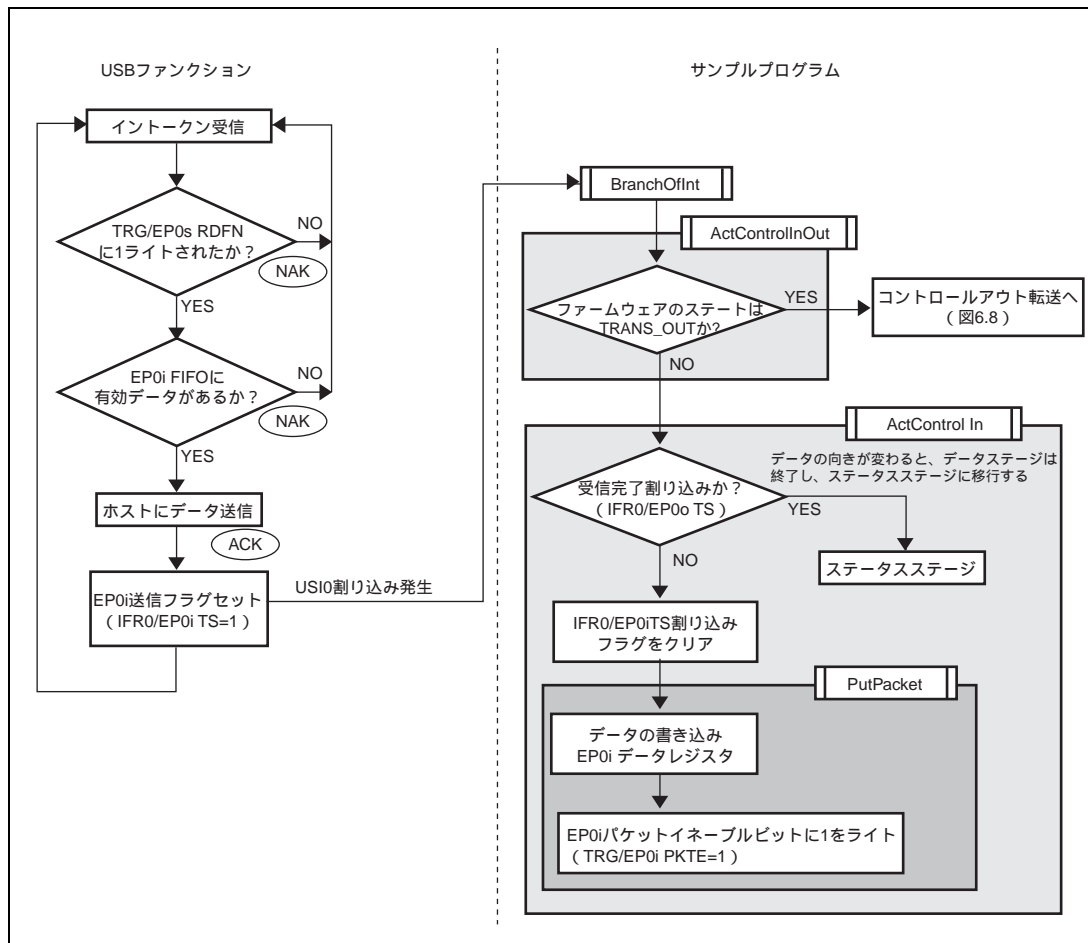


図 6.7 データステージ (コントロールイン転送)

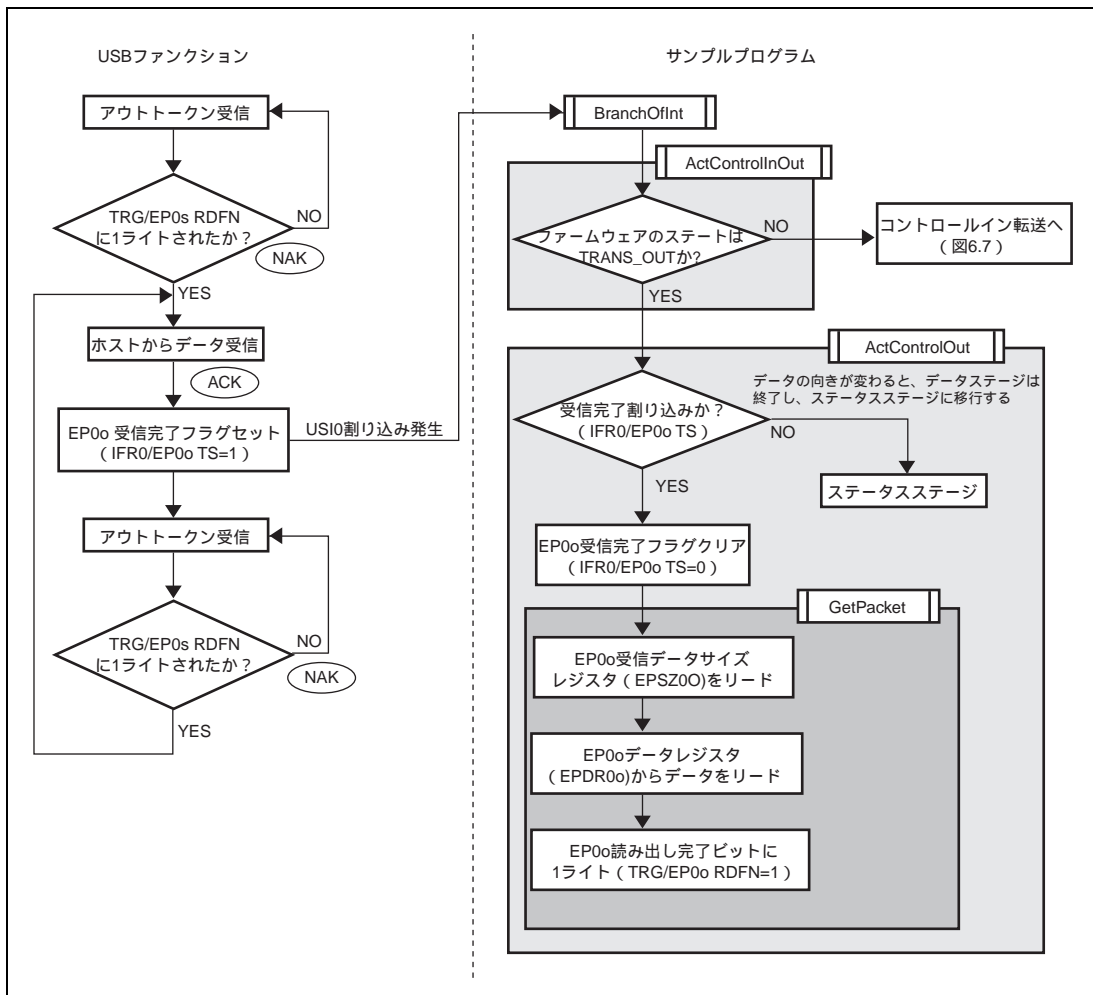


図 6.8 データステージ (コントロールアウト転送)

6.4.3 ステータスステージ

ステータスステージは、データステージと反対方向のトークンによって開始されます。つまり、コントロールイン転送では、ホストコントローラからのアウトトークンによってステータスステージが開始され、コントロールアウト転送では、ホストコントローラからのイントークンによってステータスステージが開始されます。

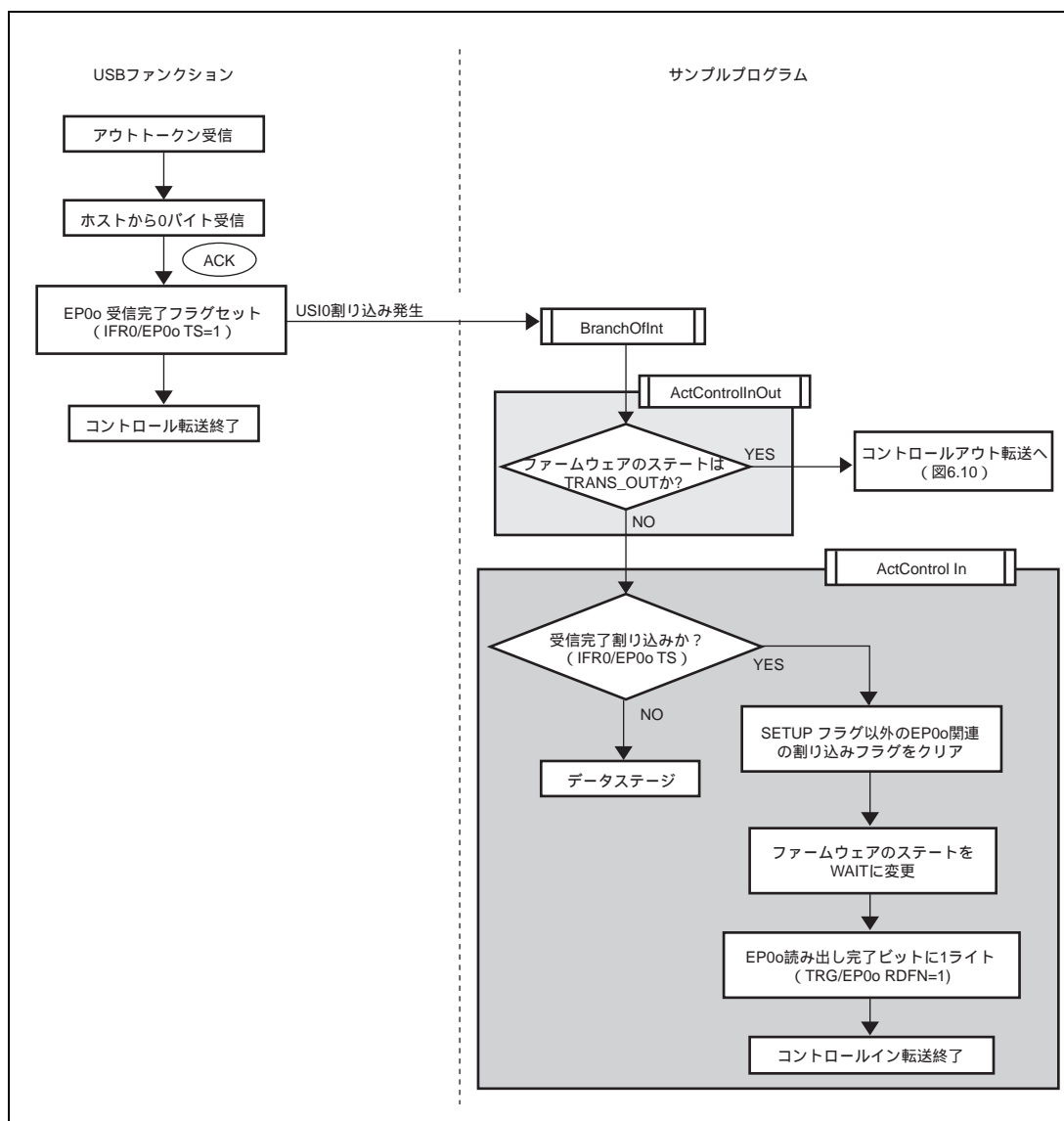


図 6.9 ステータスステージ (コントロールイン転送)

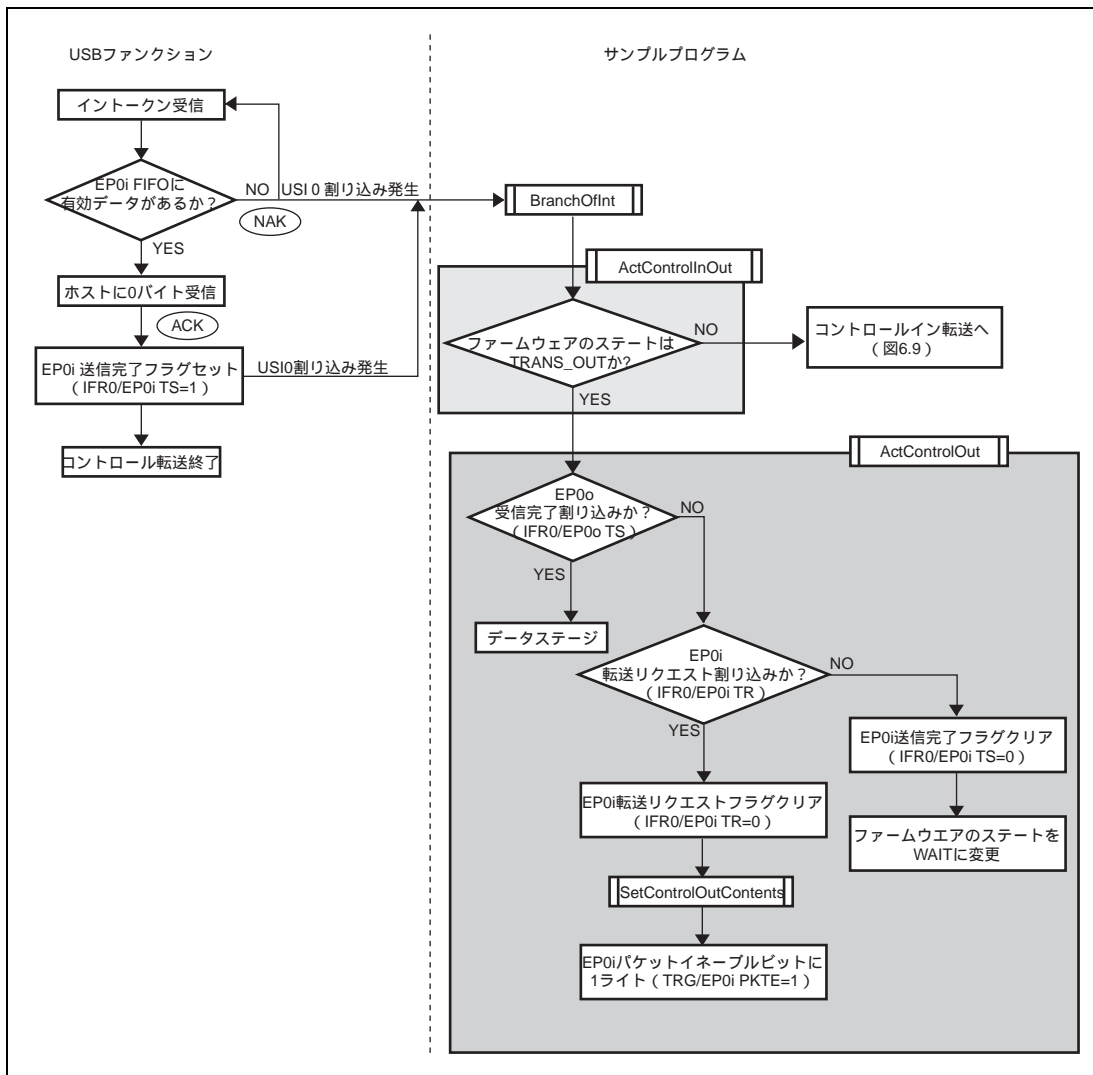


図 6.10 ステータスステージ (コントロールアウト転送)

6.5 バルク転送

バルク転送には、割り込みフラグレジスタのビット 4～6 を使用します。バルク転送もデータを送信する向きによって、2 つに分けることができます（図 6.11 参照）。

ホストコントローラから USB ファンクションへデータ転送する場合をバルクアウト転送、反対の場合をバルクイン転送と呼びます。

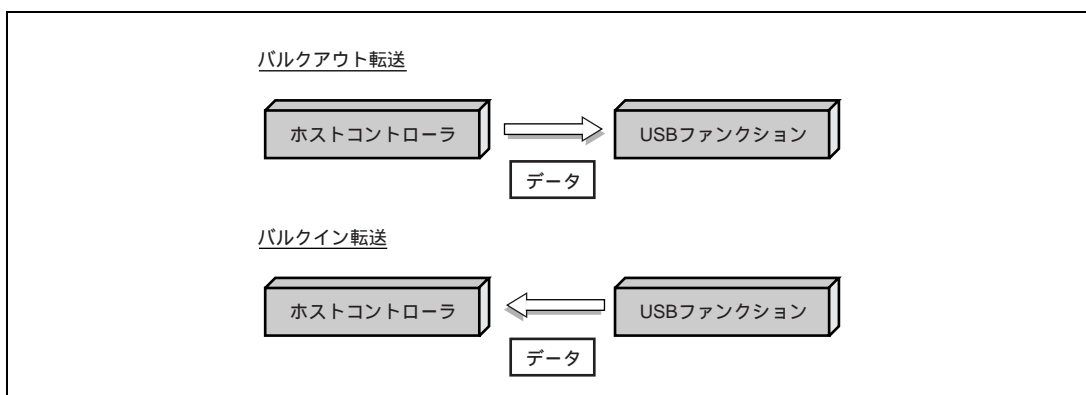


図 6.11 バルク転送

6.5.1 バルクアウト転送

図 6.12 にバルクアウト転送におけるサンプルプログラムの動作を示します。

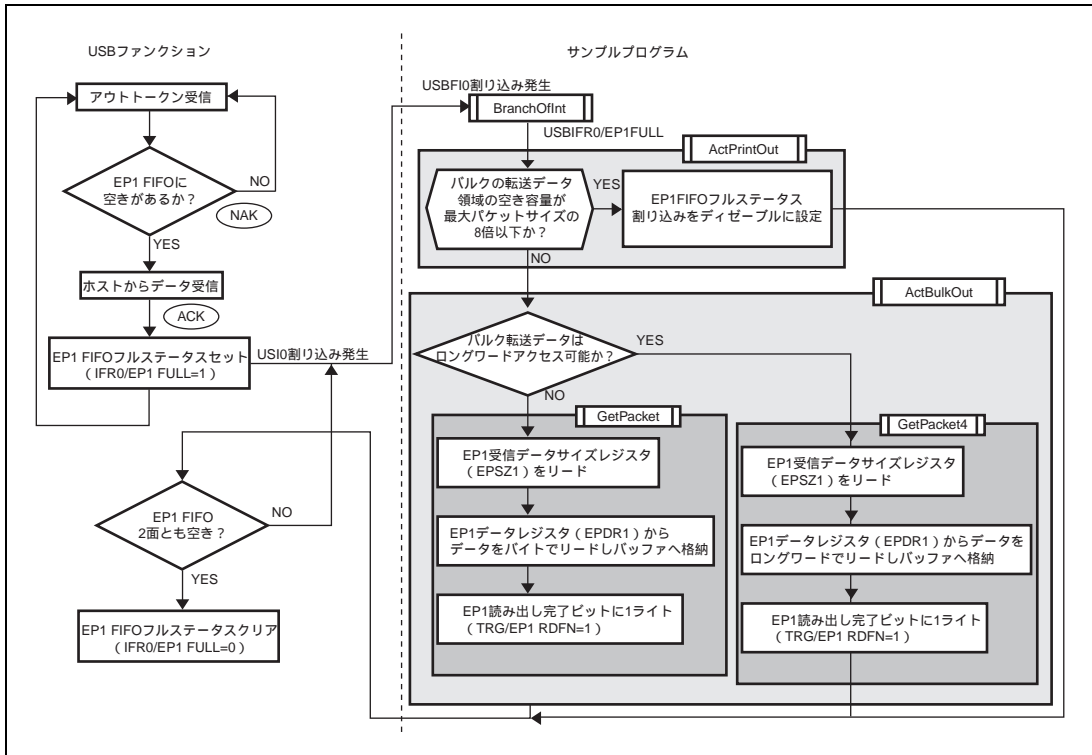


図 6.12 バルクアウト転送

6. サンプルプログラムの動作

6.5.2 バルクイン転送

図 6.13 にバルクイン転送におけるサンプルプログラムの動作を示します。

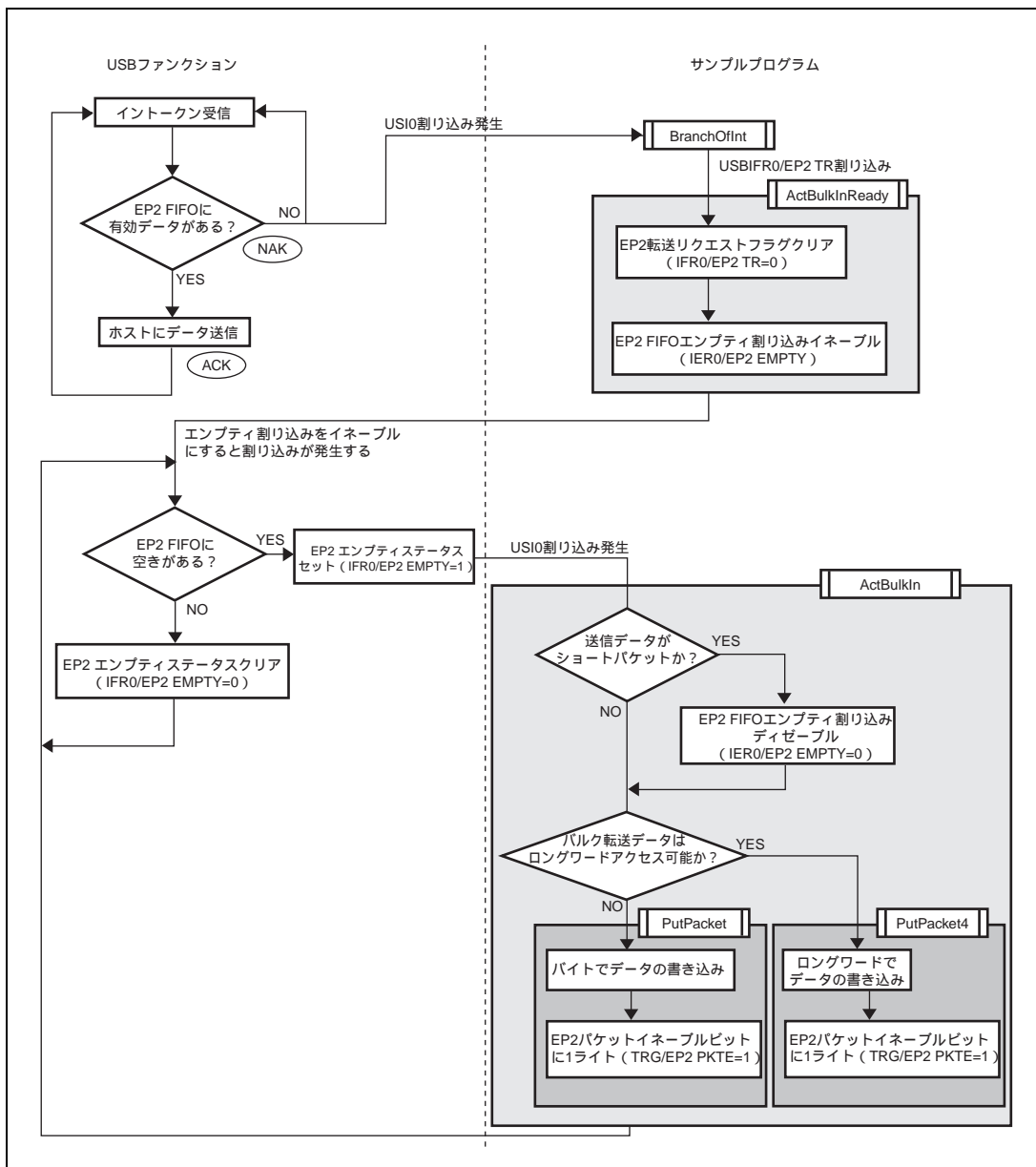


図 6.13 バルクイン転送

7. アナライザのデータ

この章では、SH7705 内蔵 USB ファンクションモジュールを使用して、CATC 社製 USB プロトコルアナライザ「USB Inspector」（国内：(株)東陽テクニカ（<http://www.toyo.co.jp/>））を用いた測定を行い、実際にバスを流れているデータについて「デバイス接続時のコントロール転送」および「プリントアウト時のバルクアウト転送」を例に説明します。なお、パケットの詳細につきましては「2.6.1 パケットの概要」をご参照ください。

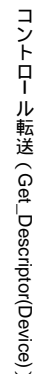
【注】 各パケットの前部にある「Packet#」は測定時のパケット通し番号です。

後部にある「Idle」はパケット間のアイドル（「2.2 USB の信号転送方式」および「2.6 USB のパケットとデータ転送」参照）となります。

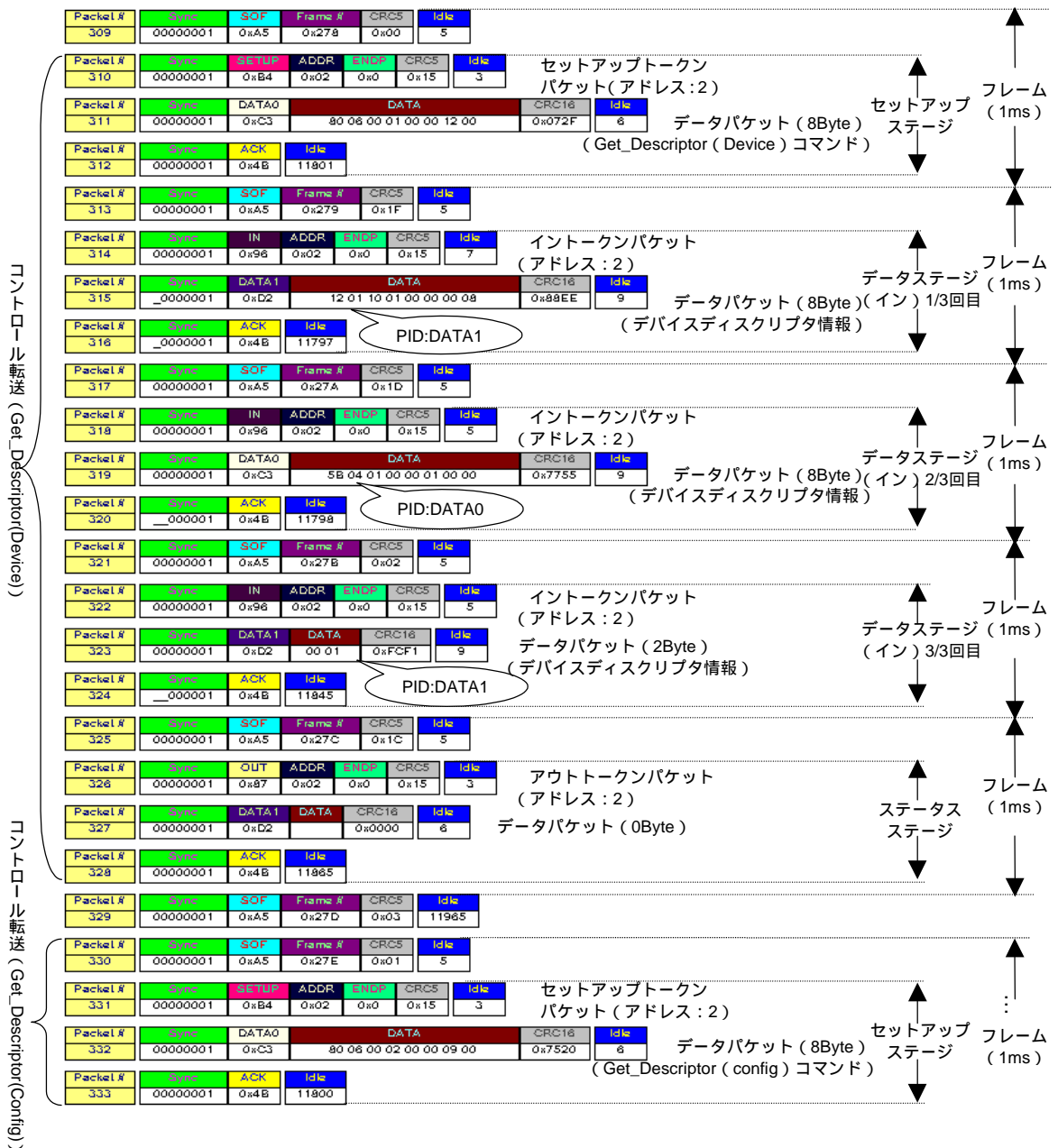
7.1 デバイス接続時のコントロール転送

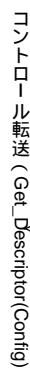
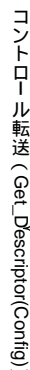
図 7.1 は本デバイスをホストコントローラに接続し、Vbus に電源が供給されている（電源投入状態）状態から、デバイスが使用可能になる状態（構成ステート）に至るまでを測定したものです（ステートの遷移は「2.7.1 デバイスのステート」をご参照ください）。

なお、ホストコントローラによりパケットのスケジューリングが本図と異なる場合がありますが、構成ステートに至るまでのコマンドの流れは同一です。

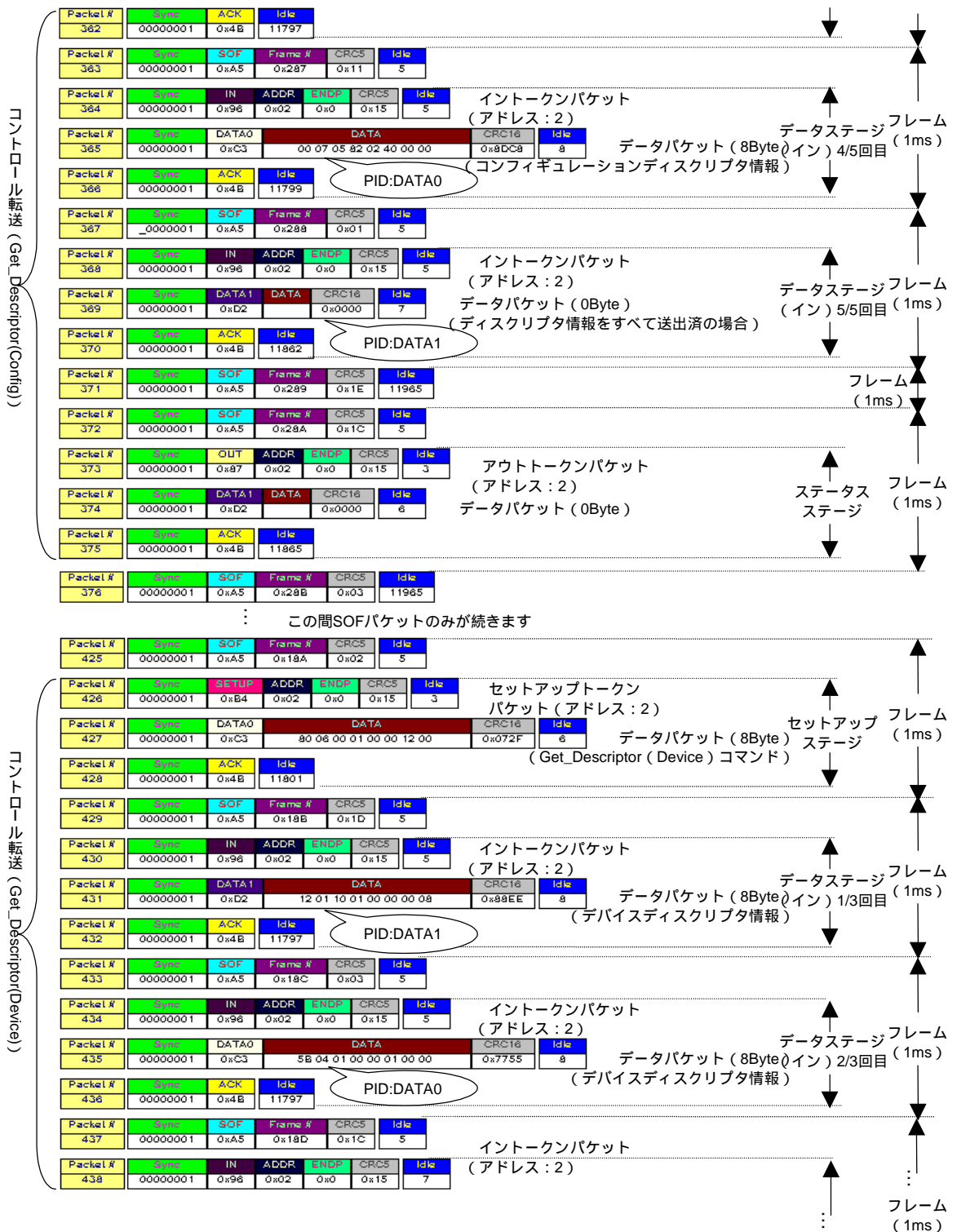


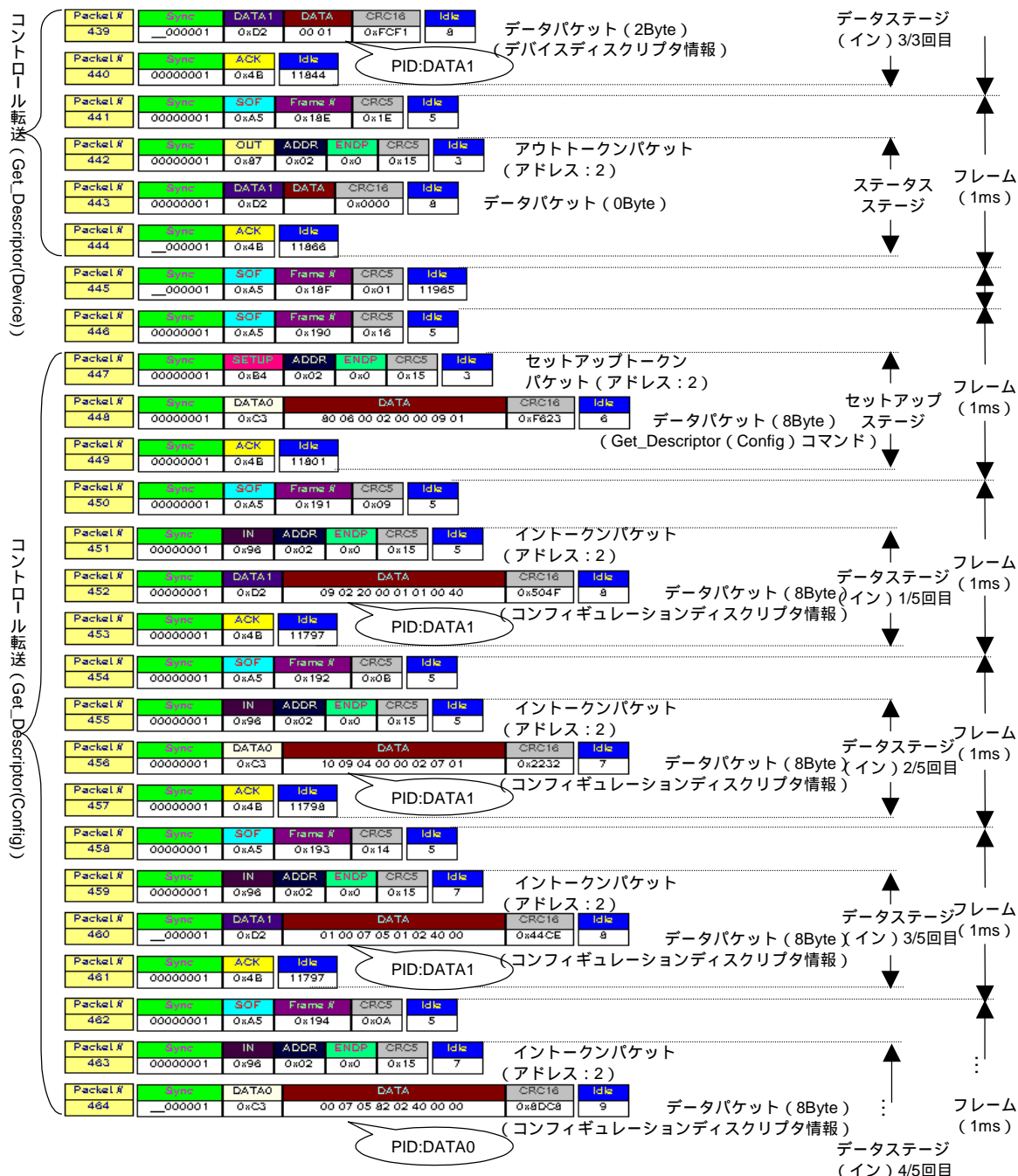
7. アナライザのデータ



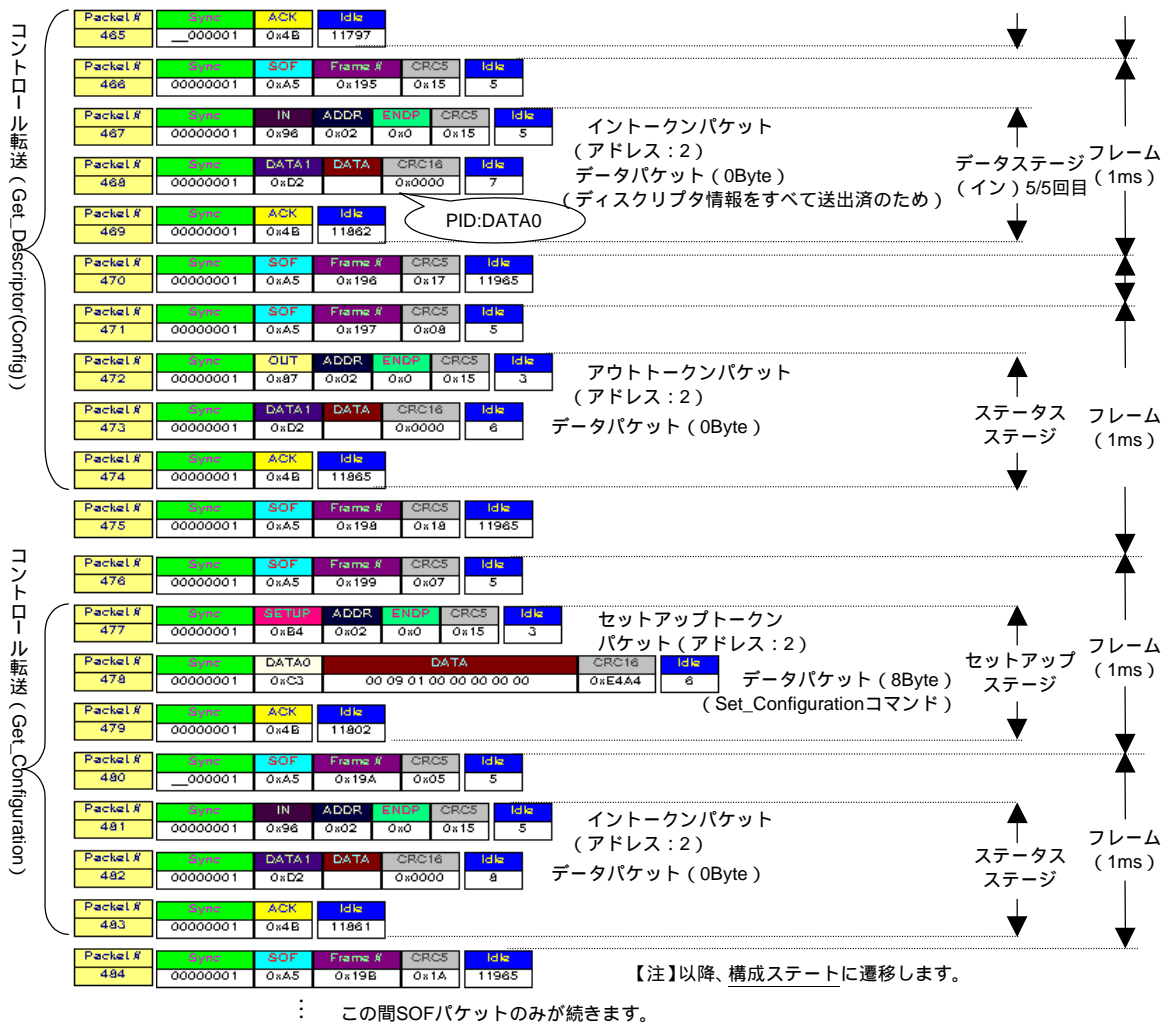


7. アナライザのデータ

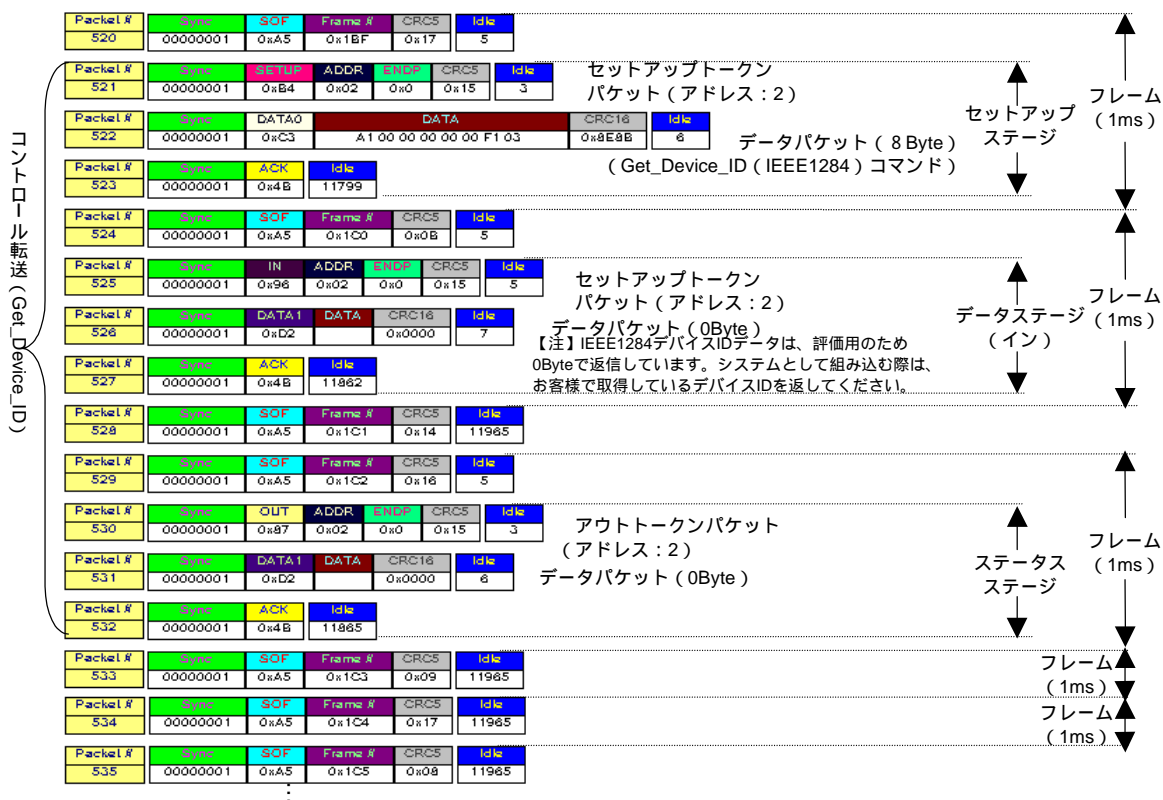




7. アナライザのデータ



7. アナライザのデータ



【注】以降、バルク転送があるまで定常状態となります。

図 7.1 デバイス接続時のコントロール転送

7.2 プリントアウト時のバルクアウト転送（バルクアウト転送については2.6.3項をご参照ください）

図7.2は、ホストコントローラから本デバイスに向けてバルクアウト転送（プリントアウト）を行っている際の測定結果です。

データパケットのPIDが転送毎に「DATA0」「DATA1」「DATA0」...とトグルしています。

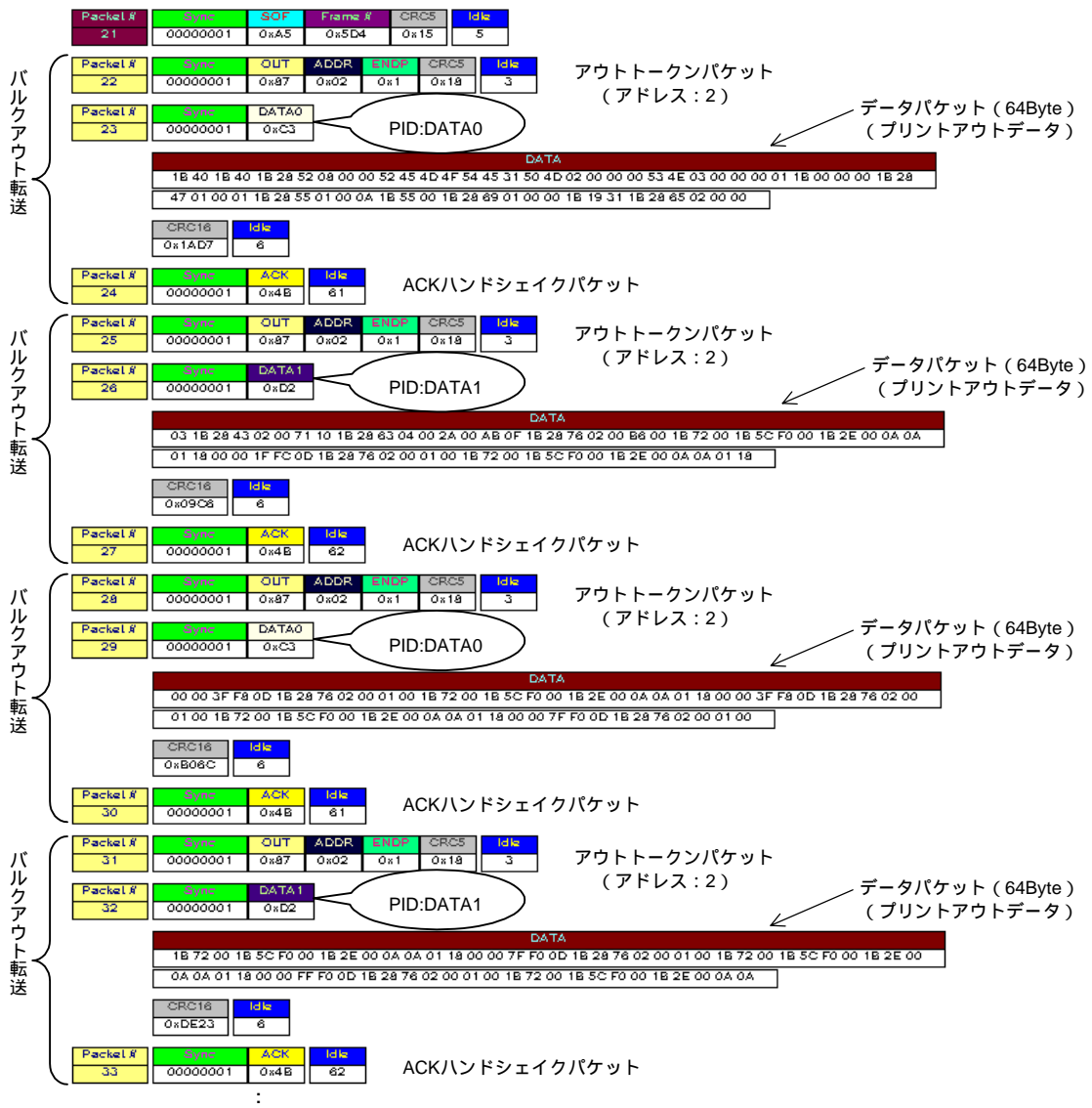


図 7.2 プリントアウト時のバルクアウト転送

SH7705 USBファンクションモジュールアプリケーションノート

発行年月 2003年4月15日 Rev.1.00

発 行 株式会社ルネサス テクノロジ 営業企画統括部
〒100-0004 東京都千代田区大手町 2-6-2

編 集 株式会社ルネサス小平セミコン 技術ドキュメント部



営業お問合せ窓口

<http://www.renesas.com>

ルネサス販売本社	〒100-0005	千代田区丸の内1-8-2 (第二鉄鋼ビル)	(03) 3215-8600
京浜支社	〒212-0058	川崎市幸区鹿島田890-12 (新川崎三井ビル)	(044) 549-1662
西東京支社	〒190-0023	立川市柴崎町2-2-23 (第二高島ビル2F)	(042) 524-8701
札幌支店	〒060-0002	札幌市中央区北二条西4-1 (札幌三井ビル5F)	(011) 210-8717
東北支社	〒980-0013	仙台市青葉区花京院1-1-20 (花京院スクエア13F)	(022) 221-1351
いわき支店	〒970-8026	いわき市平小太郎町4-9 (損保ジャパンいわき第二ビル3F)	(0246) 22-3222
茨城支社	〒312-0034	ひたちなか市堀口832-2 (日立システムプラザ勝田1F)	(029) 271-9411
新潟支店	〒950-0087	新潟市東大通1-4-2 (新潟三井物産ビル3F)	(025) 241-4361
松本支社	〒390-0815	松本市深志1-2-11 (昭和ビル7F)	(0263) 33-6622
中部営業本部	〒460-0008	名古屋市中区栄3-13-20 (栄センタービル4F)	(052) 261-3000
浜松支店	〒430-7710	浜松市板屋町111-2 (浜松アクタワー10F)	(053) 451-2131
西部営業本部	〒541-0044	大阪市中央区伏見町4-1-1 (大阪明治生命館ランドアクシスタワー10F)	(06) 6233-9500
北陸支社	〒920-0031	金沢市広岡3-1-1 (金沢パークビル8F)	(076) 233-5980
中国支社	〒730-0036	広島市中区袋町5-25 (広島袋町ビルディング8F)	(082) 244-2570
松山支店	〒790-0003	松山市三番町4-4-6 (GEエジソンビル松山2号館3F)	(089) 933-9595
鳥取支店	〒680-0822	鳥取市今町2-251 (日本生命鳥取駅前ビル)	(0857) 21-1915
九州支社	〒812-0011	福岡市博多区博多駅前2-17-1 (ヒロカネビル本館5F)	(092) 481-7695
鹿児島支店	〒890-0053	鹿児島市中央町12-2 (明治生命西鹿児島ビル2F)	(099) 256-9021

■技術的なお問合せおよび資料のご請求は下記へどうぞ。
総合お問合せ窓口：カスタマサポートセンタ E-Mail: csc@renesas.com

SH7705 グループ USB ファンクションモジュール アプリケーションノート



ルネサス エレクトロニクス株式会社
神奈川県川崎市中原区下沼部1753 〒211-8668

RJJ05B0014-0100Z