

USB Type-C 搭載 USB シリアル変換モジュールの開発

○豊田朋範^{A)}、千葉 寿^{B)}、古舘守通^{B)}、藤崎聡美^{B)}、木村和典^{A)}

^{A)} 分子科学研究所 技術推進部 装置開発ユニット

^{B)} 岩手大学技術部 理工学系技術部 理工系第一技術室

概要

研究用電子機器の開発において、PC とのインターフェースを搭載する際は、USB(Universal Serial Bus)を使用することが標準になって久しい。USB の形状は複数存在するが、現在はモバイルバッテリーなどの充電アダプタを流用出来る Micro-B を採用することが多い。一方、2022 年 10 月、EU(欧州連合)の立法議会である欧州議会がスマートフォンなどの充電端子に Type-C 搭載を義務付けることを可決した^[1]ことを契機に、市販の携帯機器では Type-C が急速に普及している。また、分子研と岩手大学が共同開発を進める汎用一斉警報通知システム WAN-WAN(Wireless Alarm Network for Wide Area Notification)^{[2][3][4][5]}においても、Type-C 搭載の機運が高まっている。

これらの背景から、筆者らは先行的な技術開発の一環として、従来から採用している Micro-B 搭載 USB シリアル変換モジュール(秋月電子通商社)とピン互換を持たせた USB Type-C 搭載 USB シリアル変換モジュールを開発した。

1 USB の歴史と Type-C 普及の背景

USB の歴史の概要を図 1 に示す。

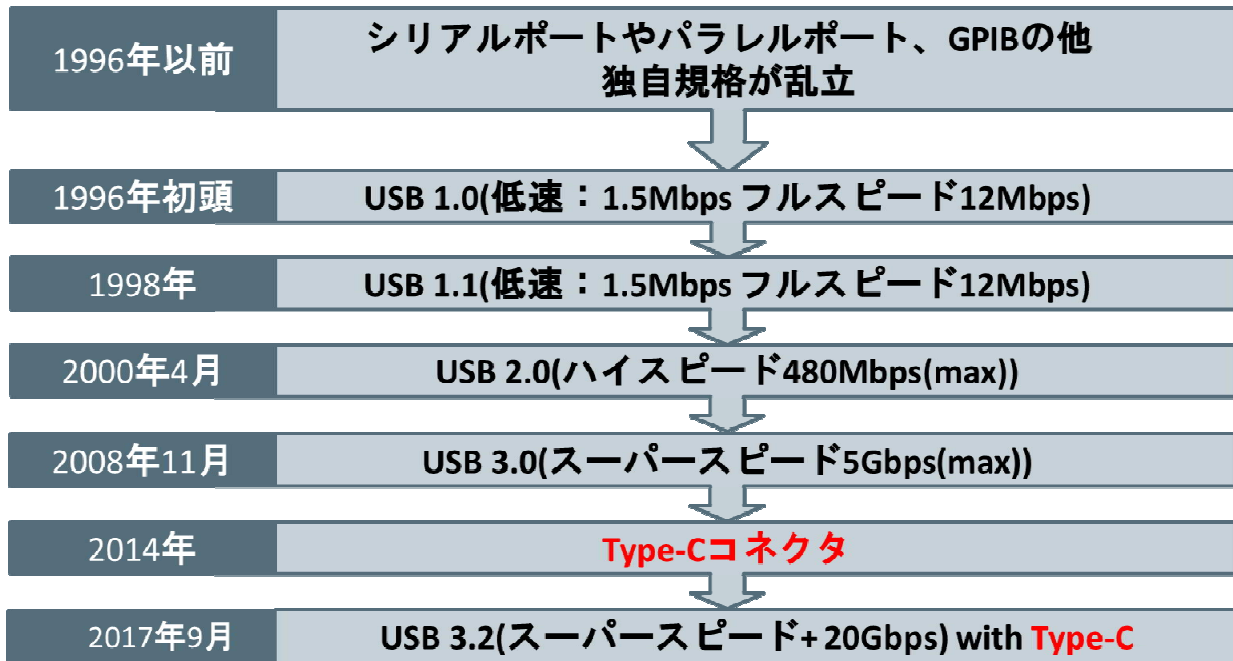


図 1. USB の歴史の概要

USB 登場以前のインターフェースは、RS232C などシリアルポートや、セントロニクスや GPIB などパラレルポートが混在、乱立し、開発者はしばしば独自インターフェースの開発を求められ、ユーザーは接続の煩雑さや互換性の低さに悩まされた。

1996年のUSB 1.0 登場以降、高速大容量通信に対応できるよう規格が改訂され、2014年に今回の報告の主体であるType-Cが登場した。2017年9月にはType-Cで20Gbps(bits per second)の通信速度を実現したUSB3.2がリリースされ、HDMIなども接続可能になった。

一方、立法・行政の面でもType-Cの普及を推進する情勢がある。2022年10月、EU(欧州連合)の立法議会である欧州議会は、スマートフォンなどの充電端子にType-C搭載を義務付けることを可決した。これを受けて、独自のインターフェースであるLightningを有するApple社は、Type-Cに独自のMFi(Made-for-iPhone)認証プログラムを設ける動きを見せたが、2023年5月4日、欧州議会はApple社に対して充電器の規格統一について「統一規格の要件を満たさないデバイスは販売を認めない」という警告を発した。この警告を受けたApple社が2023年9月に発表した最新のiPhone15シリーズにはType-Cが搭載され、ついにLightningが廃止された(図2)。

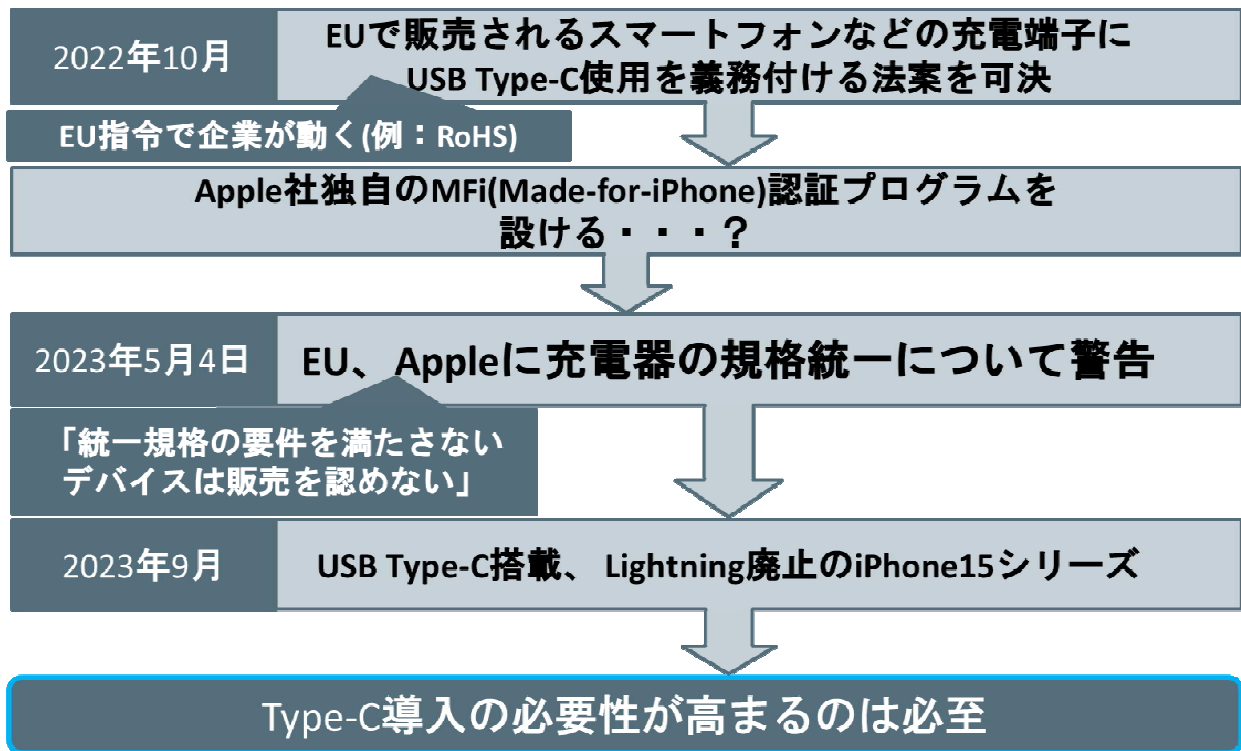


図2. EUにおけるType-C搭載義務化とApple社の動向

世界的にもユーザーが多いiPhoneがType-C搭載に舵を切らざるを得なくなったことで、モバイルバッテリーの充電端子としてType-Cが今後主流になることはほぼ確実と言える。また、研究者の依頼を受けて開発する研究用電子機器においても、PCとの接続でType-C導入の必要性が高まることが必至であることを示すものであると推察できる。

2 汎用一斉警報通知システムWAN-WANの概要^{[2][3][4][5]}

WAN-WANとは、我々が共同開発した基本モジュールを主軸として、市販のスマートスピーカやスマートライトなどを駆動し、携帯端末に通知するシステムの総称である(図3)。

起動条件とした基本モジュールの接点入力が入ると、Wi-Fiを介して別途設置したスマートスピー



図3. 汎用一斉警報通知システム(WAN-WAN)の概要

カやスマートライトを起動する。これにより、たとえばボタン A を押した時、スマートスピーカが「ボタン A が押されました」とアナウンスし、スマートライトが赤色で1分間点滅する。

WAN-WAN は、接点信号であれば接続対象は問わない。また、通知対象のスマートスピーカやスマートライトを追加し、挙動の内容を修正することも可能である。

基本モジュールは、100x50x30(mm)の樹脂ケースに、接点入力対応の BNC コネクタ、テスト用ボタン、動作インジケータ LED、接点インジケータ LED、電源供給用 USB Micro-B タイプコネクタを各 1 個搭載している。

前述のとおり Type-C の普及が今後急速に進むと予想されることから、基本モジュールにおいても Type-C 導入の機運が高まってきている。

3 USB Type-C 搭載シリアル変換モジュールの開発

Type-C と他の USB 規格の最大の相違点は「コネクタの向きを考慮せずに挿入できる」ことである。これはユーザーには高い利便性を提供するが、回路開発者には難度が高い。また、信号線の数は、他の USB 規格では4本ないしは5本であるのに対し、Type-C では24本と大幅に増えている(図4)。

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
GND	TXI+	TXI-	Vbus	CCI	D+	D-	SBUI	Vbus	Rx2-	RX2+	GND
GND	RXI+	RXI-	Vbus	SBU2	D-	D+	CC2	Vbus	TX2-	TX2+	GND
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12

図4. USB Type-C のピンアサイン(レセプタクル)

一時期、Type-C 導入を検討したが、これらの課題を解決できず、先送りした。2023 年以降も調査を継続

していたところ、「コネクタの向きを考慮せずに挿入できる」ことは、CC1 端子と CC2 端子を 5.1kΩ でプルダウンすればよいことという事例を発見した^[6]。Type-C における CC1 端子と CC2 端子はデバイスの接続やコネクタの裏表検出、供給可能電流の通知に用いられる^[5]。CC1 端子か CC2 端子のいずれかがプルダウンされると、デバイス(今回は変換モジュール)の接続が認識されるが、両方を 5.1kΩ でプルダウンすることで、プラグの挿入で裏表を考慮する必要がなくなるという仕組みである。

この情報を基に、(1)Type-C を使える (2)長年使用している Micro-B 搭載 USB シリアル変換モジュール(秋月電子通商社)とのピン互換を確保する一の2項目をコンセプトとして USB Type-C 搭載シリアル変換モジュールを開発した。回路図を図5に、プリント基板を図6に示す。

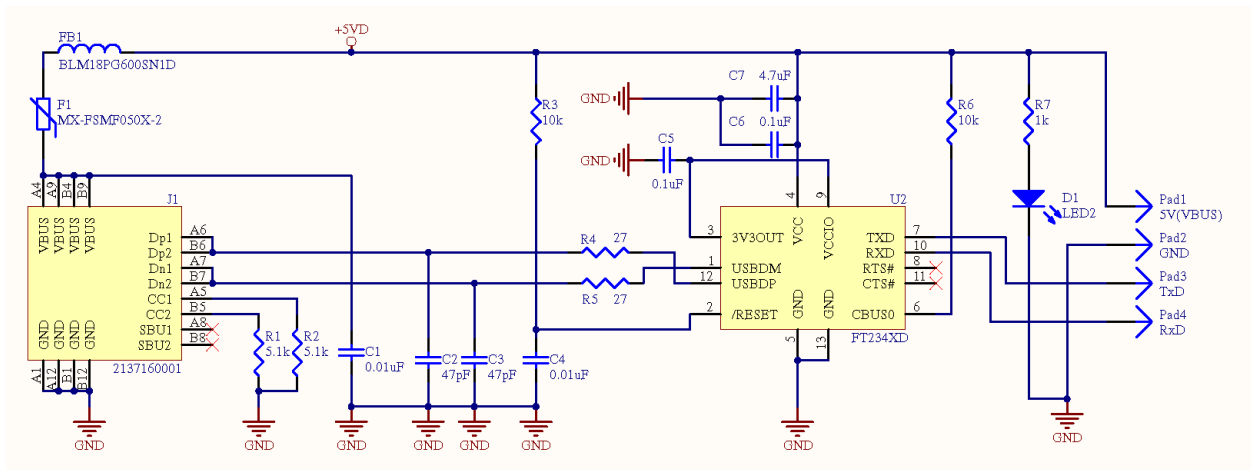


図5. 開発した USB Type-C 搭載シリアル変換モジュールの回路図

USB と UART を仲介するブリッジ IC(U2)と Type-C コネクタ(J1)の他、電源供給を示す LED(D1)、過電流保護のためのオンボードヒューズ(F1)、ノイズ除去用フィルタ(FB1)、並びに標準的な抵抗とコンデンサ数点で構成される比較的シンプルな回路である。

USB は 1 対の差動信号であり、そのままではマイコンなどに多く用いられる UART に接続できない。今回はブリッジ IC として、FT234XD (FTDI 社)を用いた。(1) Windows、Mac、Linux で使用できる仮想 COM ドライバがメーカーから無償で提供されていること(2)Micro-B 搭載 USB シリアル変換モジュールでも採用されており、情報が豊富であること一の2点が採用の理由である。

前述の通り、Type-C コネクタは Micro-B などと比較してピン数が多く、ピン間隔が狭小である。今回は実装難易度を考慮して、スルーホール型の 213716-0001 (Molex 社)を用いた。

PC とのインターフェースを持つ機器開発では、比較検証や置き換えのため、従来から採用している Micro-B 搭載 USB シリアル変換モジュールとの互換性

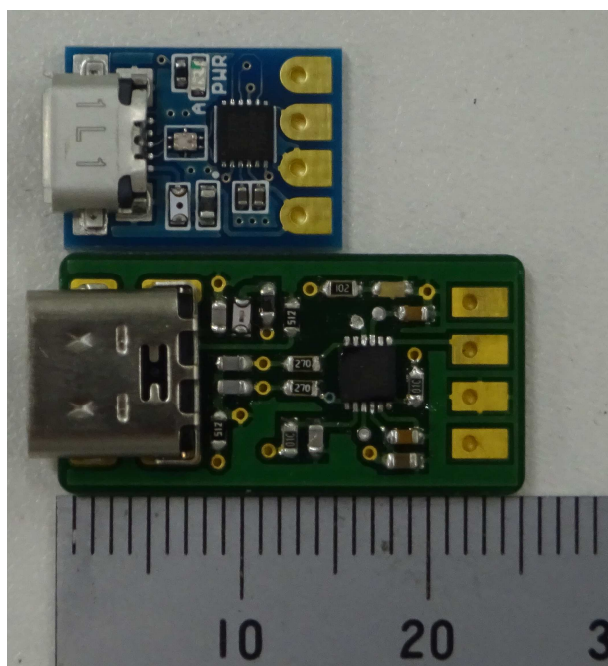


図6. 開発した USB Type-C 搭載シリアル変換モジュールのプリント基板(下)
上は Micro-B 搭載 USB シリアル変換モジュール (秋月電子通商)

を確保することが望ましい。そのため、スルーホールを有する両面パッドに UART(Universal Asynchronous Receiver Transmitter)用信号 TxD、RxD の2本と電源、GND を引き出し、Micro-B 搭載シリアル変換モジュールと同一の並び順・間隔で配置した。ピン互換性を優先したことで、シリアル通信の速度は FT234XD の最高通信速度である 3Mbps¹⁷⁾が上限になるが、装置開発室における機器開発では殆どの場合、115200bps 以下で十分である。

4 狭小部品を用いたプリント基板設計の課題と解決

FT234XD はピンが本体と一体化しているパッケージである DFN(Dual Flatpack No-Leaded)で、パッド間隔は 0.45mm、パッド幅は 0.25mm である。また、213716-0001 の端子間隔は 0.85mm、端子径は 0.18mm と非常に狭小である。このため、プリント基板に適用する端子パターン(フットプリント)の設計では、製造委託時の最小標準間隔である 0.127mm を適用した。それでもプリント基板の製造委託時に、基板メーカーから修正要請を受けた。

1 つは、213716-0001 のパッドの間隔である。Molex 社のデータシートではパッド径 0.7mm の円形であるが、実際のプリント基板設計に適用すると、パッド間隔が 0.1mm を下回り、エッチング液が回りにくく、十分な絶縁が確保できないことでショートの原因になったり、銅箔が露出したりする不具合が生じると指摘を受けた(図7左)。この対策として、213716-0001 はパッドを楕円形にすることで、パッド間隔を基板メーカ

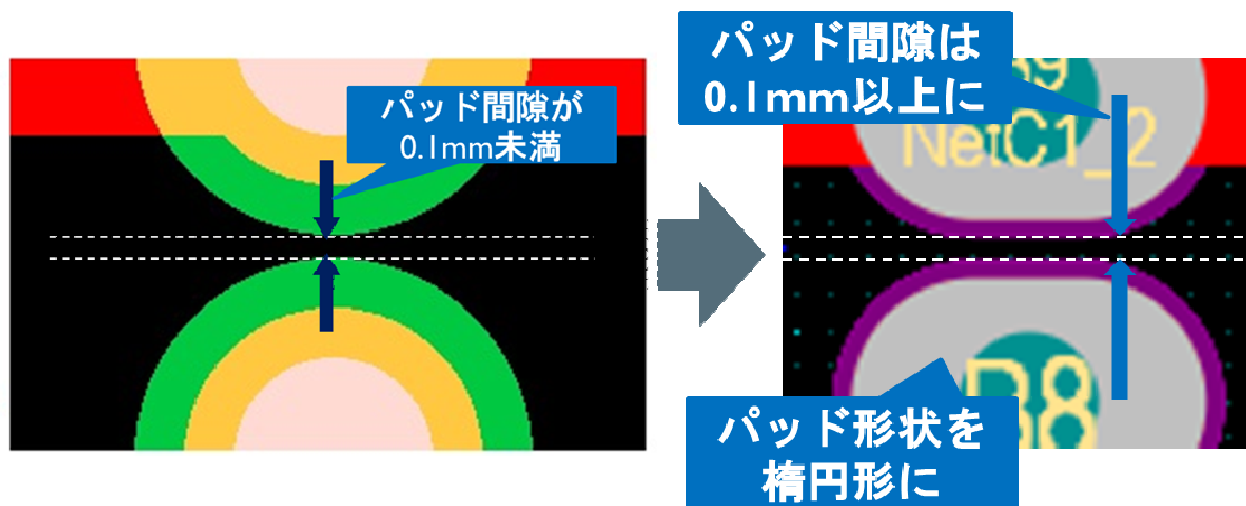


図7. USB Type-C コネクタのパッドにおける修正要請箇所(左)と改善例(右)

一推奨の 0.3mm としつつはんだ付けが十分可能な領域を確保した(図7右)。

もう 1 つは、FT234XD のパッド幅のクリアランスである。通常では、手動ではんだ付けにおける部品配置のズレなどを考慮して、パッド幅に 0.1mm 以上の余裕を持たせるようにしているが、前述のとおり、FT234XD のパッド間隔とパッド幅は狭小であり、パッドに 0.1mm の余裕を持たせると、パッド間のクリアランスが不足してショートする懸念が生じると指摘を受けた(図8左)。この対策として、FT234XD はパッド幅の余裕を基板メーカー推奨の 0.05mm に絞った(図8右)。

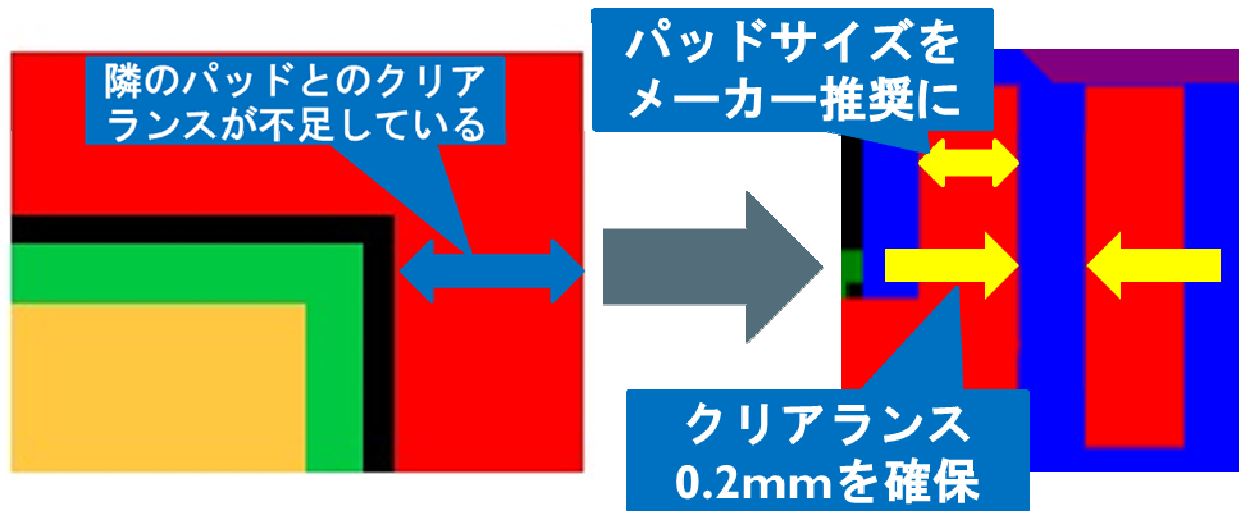


図 8. FT234XD のパッドにおける修正要請箇所(左)と改善例(右)

5 おわりにー実験現場の悩みや要望に応える技術開発の重要性ー

今後普及が見込まれる USB Type-C を搭載し、従来の Micro-B 搭載のモジュールからの置き換えが可能なシリアル変換モジュールを開発した。部品を実装した本モジュールは、PC と接続して給電や仮想 COM ポートとして認識することが正常にできることを確認した。本稿執筆時点で小規模量産が完了し、順次導入や置き換えを進めている。部品メーカーが推奨するフットプリントと、基板メーカーが実現可能な製造ルールには乖離があり、プリント基板として実現可能な製造ルールを十分把握する必要があると感じた。

本モジュールの試作評価が成功した直後、エレクトロニクス・セクションを訪れて工作依頼を発注したある研究者の「電源コネクタとして Type-C を使えるようにしてほしい。モバイルバッテリーは最近 Type-C が殆どだから。」というコメントを受け、担当者に設計情報やモジュールを提供し、無事開発成功に至った。実験現場が抱える悩みや要望が重要な動機となり、開発した機器や回路が現在も所内外で展開する例が増加している。これからも先行的な技術開発に取り組み、実験現場の悩みや要望に応える力を高める所存である。

参考・引用文献並びに特許情報

- [1] 「欧州、スマホなどが対象の”USB Type-C 統一法”を 2024 年秋施行へ」 ITmedia NEWS 2022 年 6 月 8 日 公開、<https://www.itmedia.co.jp/news/articles/2206/08/news065.html> など
- [2] 特許第 6954530 号 “警報連動型防災システム”，千葉寿，豊田朋範，古舘守通，藤崎聡美
- [3] 特許第 7170260 号 “緊急防災ドッキングステーション”，千葉寿，豊田朋範，古舘守通，藤崎聡美
- [4] 特許第 7341426 号 “通知システム、通知システムにおける制御装置、及び通知システムにおける制御方法”，千葉寿，豊田朋範，古舘守通，藤崎聡美
- [5] 豊田朋範，千葉寿，古舘守通，藤崎聡美，木村和典，“汎用一斉通知システム(WAN-WAN)を用いた既存装置の DX 化と活用事例”，第 28 回静岡大学技術報告会 など
- [6] じがへるっ”入門! USB-シリアル変換 Type-C 化回路”，トランジスタ技術 2023 年 6 月号, p62-66
- [7] FT234XD データシート, FTDI