

# I<sup>2</sup>C (Inter-Integrated Circuit)

KN0005-00 / 2024 年 01 月 06 日 / こがねさん(著)

<https://www.kumikomist.com/>

## ■目次

1. I <sup>2</sup> C とは.....	2	4.1. ターゲットへ書き込み .....	6
2. I <sup>2</sup> C バスの特徴.....	3	4.1.1. 7 ビットアドレス例.....	6
3. 通信プロトコル .....	4	4.1.2. 10 ビットアドレス例 .....	7
3.1. 開始と終了.....	4	4.2. ターゲットから読み出し .....	7
3.2. データ .....	4	4.2.1. 7 ビットアドレス例.....	7
3.3. ターゲットアドレス.....	5	4.2.2. 10 ビットアドレス例 .....	8
3.4. ACK と NACK.....	5	5. 参考文献 .....	9
4. 通信例.....	6		

## ■文書内の記号

	取り扱いにおける禁止事項（してはいけないこと）を示しています。
	取扱における指示事項（必ずしなければいけないこと）を示しています。

	取り扱いにおける注記事項を示しています。
	取り扱いにおけるポイントを示しています。

# 1. I<sup>2</sup>C とは

I<sup>2</sup>C (Inter-Integrated Circuit) は、Philips Semiconductors (現 NXP Semiconductors) 社の開発したシリアル通信規格です。アイ・スクエアド・シーというのが正規の読み方ですが、一般的にはアイ・ツー・シーと呼ばれることが多いと思います。呼びやすいので。またそれに合わせて、I2C と表記されることもあります。

I<sup>2</sup>C は UART とは違い、基板上的チップ間という極短距離の通信に用いられるのが一般的です。I<sup>2</sup>C バスの最大の特徴は、完全な 2 線式であることです。よく比較対象としてあげられる SPI と違い、バス上に接続する機器の数によりません。SCL (シリアルクロックライン) と SDA (シリアルデータライン) の 2 線のみで、複数の機器間での通信を可能とします。その接続例は図 1 のようになります。

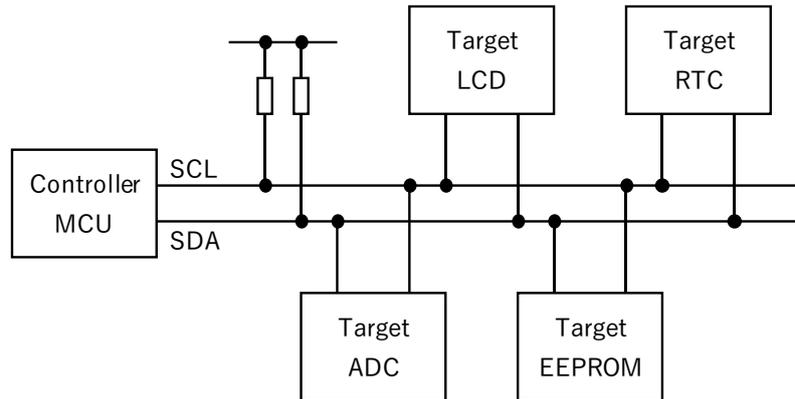


図 1 I<sup>2</sup>C バスの接続例



● master / slave 論争

IT 業界では古くから、「master / slave」や「whitelist / blacklist」などの用語を使用してきました。これらは差別的であるとして、中立的な用語を使用する活動が広まっています。これを受けて I<sup>2</sup>C では、2021 年の仕様書改訂で「controller / target」に用語を変更しています。本書ではマスターを「コントローラー」、スレーブを「ターゲット」と表記します。

## 2. I<sup>2</sup>C バスの特徴

- (1) 2 線式のため配線数が少なく、基板上の専有面積も小さく済みます。このため機器の小型化に向いています。
- (2) バスには複数のコントローラーを接続できます。(マルチコントローラー)
- (3) コントローラーが生成するクロック信号にしたがって通信を行う同期式です。
- (4) バスラインは送受信共用の半二重通信です。バスはオープンドレインまたはオープンコレクタによるハイインピーダンスであり、プルアップ抵抗は必須です。信号はプルアップ抵抗によりなまるため、比較的低速の通信に使用されます。
- (5) バスに接続されている各機器には固有のアドレスが割り振られており、それによって通信相手を指定します。
- (6) バスへの機器の追加・除去が容易です。

	<ul style="list-style-type: none"><li>● マルチコントローラー構成とするためには、マルチコントローラーに対応した機器をコントローラーに採用してください。複数のコントローラーから同時にデータ送信することによる、衝突回避処理が必要となります。</li><li>● プルアップ抵抗の選定が重要です。バス上の信号波形をオシロスコープなどでモニターし、波形がなまっていないこと確認してください。</li></ul>
---	---

また I<sup>2</sup>C の始まりは 1982 年と歴史が古く、時代の流れ、技術の進歩に伴いいくつかのモードが存在します。接続する機器のモードに合わせた制御が必要になります。

表 1 モード

モード	略称	仕様
スタンダードモード	Sm	最大 100kbps
ファーストモード	Fm	最大 400kbps
ファーストモードプラス	Fm+	最大 1Mbps
ハイスピードモード	Hs-mode	最大 3.4Mbps
ウルトラファーストモード	UFm	最大 5Mbps、片方向通信のみ可能

	<ul style="list-style-type: none"><li>● 実際に最大速度で通信できることは稀です。接続する機器の組み合わせや周囲温度でも波形の状態は変わるため、最大でも 70%程度で通信すると良いでしょう。</li></ul>
---	--

### 3. 通信プロトコル

#### 3.1. 開始と終了

I<sup>2</sup>C 通信はスタートコンディション (S) で始まり、ストップコンディション (P) で終わります。スタート/ストップコンディションはコントローラーが生成します。スタートコンディション生成後のバスはビジー状態をとり、送受信が終わりストップコンディション生成後に一定時間経過するとバスを開放します。

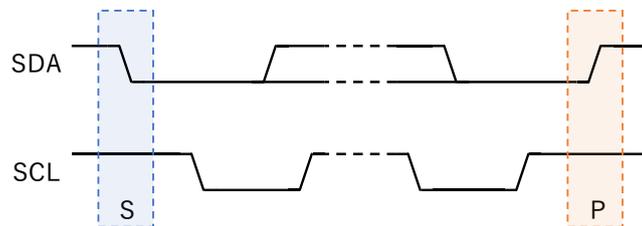


図 2 スタート・ストップ

表 2 スタート・ストップ

項目	内容
スタート	SCL が High の状態のときに、SDA を High から Low に変化させるとスタートコンディションを生成します。
ストップ	SCL が High の状態のときに、SDA を Low から High に変化させるとストップコンディションを生成します。

ストップコンディションを生成してバスを開放すると、他のコントローラーからの割り込みが入る可能性があります。これを避けるため、ストップコンディションではなく再度スタートコンディションを生成することで、バスはビジー状態を保ちます。これをリピータートスタートコンディションといい、生成方法はスタートコンディションと同じです。

#### 3.2. データ

1 バイトは 8 ビットであり、データ送信は MSB (Most Significant Bit) ファーストです。また SDA の High / Low の切り替えは、SCL が Low の間にのみ許可されます。

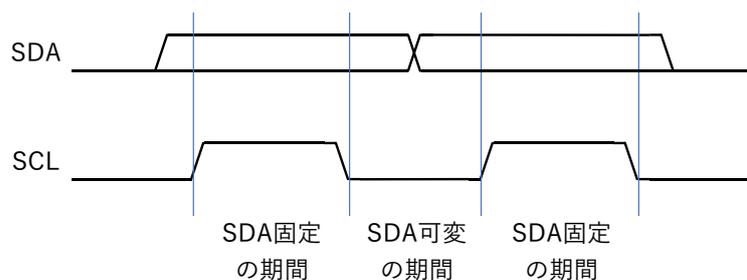


図 3 データの有効性

### 3.3. ターゲットアドレス

(リピート) スタートコンディションに続いて、最初にコントローラーからターゲットアドレスが送信されます。このターゲットアドレスは一般的には 7 ビットですが、一部の機器では 10 ビットのものもあります。したがって  $2^7$  または  $2^{10}$  がバスへのターゲット最大接続数となります。ただし「0000XXX」「1111XXX」の計 16 個は、表 3 のとおり予約済みアドレスのため使用できません。

表 3 予約済みのアドレス

ターゲットアドレス	R/ $\overline{W}$	内容
0000 000	0	ジェネラルコールアドレス
0000 000	1	スタートバイト
0000 001	X	CBUS アドレス
0000 010	X	異なるバス形式用に予約されています
0000 011	X	将来の目的のために予約されています
0000 1XX	X	Hs-mode のコントロールコード
1111 1XX	X	デバイス ID
1111 0XX	X	10 ビットターゲットアドレス用

※ 0=Low / 1=High / X=0 でも 1 でも良い。



- 7 ビットアドレスの機器と 10 ビットアドレスの機器は、同一のバスに共存できます。

### 3.4. ACK と NACK

アクノリッジ (ACK : Acknowledge) とノット・アクノリッジ (NACK : Not Acknowledge) は各バイトの後に付きます。ACK と NACK は受信側が発信するもので、コントローラーからのデータ送信時はターゲットが、ターゲットからのデータ送信時はコントローラーが発信します。

表 4 ACK と NACK

項目	内容
ACK	一般的には成功を表し、次のような状況を指します。 <ul style="list-style-type: none"><li>● ターゲットがコントローラーからの送信データの受信に成功した。</li><li>● コントローラーがターゲットからの追加データを要求する。</li></ul>
NACK	一般的には失敗を表し、次のような状況を指します。 <ul style="list-style-type: none"><li>● 指定したアドレスのターゲットが存在しない。</li><li>● 受信側が応答できるように状態にない。</li><li>● 受信したデータが異常である。</li><li>● コントローラーが受信中で、それ以上のデータが不要であると示すとき。</li></ul>

## 4. 通信例

表 5 通信例の記号

記号	内容	信号レベル
S	スタートコンディション	–
Sr	リピートスタートコンディション	–
P	ストップコンディション	–
A	アクノリッジ	Low
NA	ノット・アクノリッジ	High
R	読み出しモード	High
$\bar{W}$	書き込みモード	Low
AX	ターゲットアドレス	–

### 4.1. ターゲットへ書き込み

#### 4.1.1. 7ビットアドレス例

- (1) コントローラーはスタートコンディションを生成し、通信を開始します。
- (2) コントローラーはターゲットアドレスを書き込みモードで送信します。
- (3) 自身のアドレスと一致するターゲットは、ACK を返信します。
- (4) コントローラーは1バイトのデータを送信します。
- (5) ターゲットはACK を返信します。(必要な分だけ④⑤を繰り返します)
- (6) コントローラーはストップコンディションを生成し、通信を終了します。

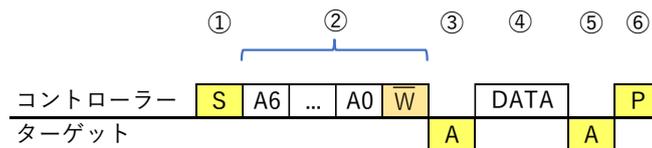


図 4 7ビットアドレス書き込み例

### 4.1.2. 10 ビットアドレス例

- (1) コントローラーはスタートコンディションを生成し、通信を開始します。
- (2) コントローラーはターゲットアドレスの上位 2 ビットを書き込みモードで送信します。
- (3) 自身のアドレス上位 2 ビットと一致するターゲットは、ACK を返信します。
- (4) コントローラーはターゲットアドレスの下位 8 ビットを送信します。
- (5) 自身のアドレス (10 ビット) と一致するターゲットは、ACK を返信します。
- (6) コントローラーは 1 バイトのデータを送信します。
- (7) ターゲットは ACK を返信します。(必要な分だけ⑥⑦を繰り返します)
- (8) コントローラーはストップコンディションを生成し、通信を終了します。

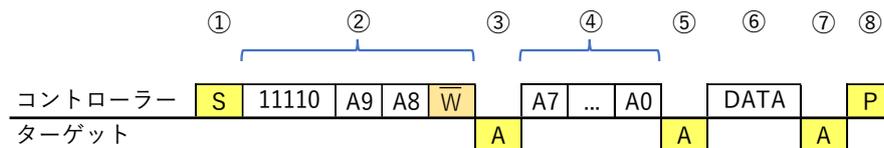


図 5 10 ビットアドレス書き込み例

## 4.2. ターゲットから読み出し

### 4.2.1. 7 ビットアドレス例

- (1) コントローラーはスタートコンディションを生成し、通信を開始します。
- (2) コントローラーはターゲットアドレスを読み出しモードで送信します。
- (3) 自身のアドレスと一致するターゲットは、ACK を返信します。
- (4) ターゲットは 1 バイトのデータを送信します。
- (5) コントローラーは ACK を返信します。(最後の 1 バイトになるまで④⑤を繰り返します)
- (6) ターゲットは最後のデータを送信します。
- (7) コントローラーは NACK を返信し、読み出しの終了をターゲットに伝えます。
- (8) コントローラーはストップコンディションを生成し、通信を終了します。

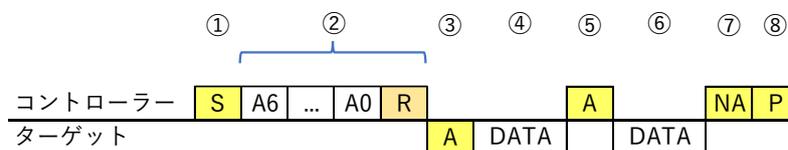


図 6 7 ビットアドレス読み出し例

EEPROM などでは、読み出し開始アドレスを指定したい場合があります。このような場合はリピートスタートコンディションを用いて、次のように通信を行います。

- (1) コントローラーはスタートコンディションを生成し、通信を開始します。
- (2) コントローラーはターゲットアドレスを書き込みモードで送信します。
- (3) 自身のアドレスと一致するターゲットは、ACK を返信します。
- (4) コントローラーは読み出し開始アドレスを送信します。
- (5) コントローラーは ACK を返信します。
- (6) コントローラーはリピートスタートコンディションを生成し、通信を再開します。
- (7) コントローラーは読み出し開始アドレスを送信します。
- (8) コントローラーは ACK を返信します。
- (9) ターゲットは 1 バイトのデータを送信します。
- (10) コントローラーは NACK を返信します。(続けて読み出したい場合は ACK を返信します)
- (11) コントローラーはストップコンディションを生成し、通信を終了します。

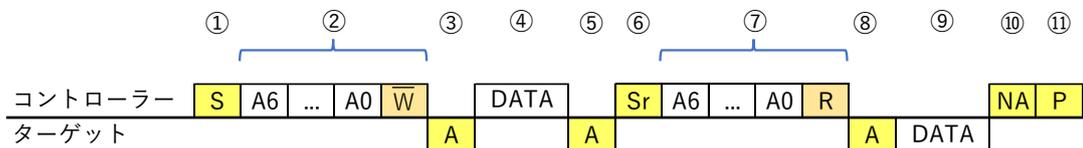


図 7 組み合わせ読み出し例

#### 4.2.2. 10 ビットアドレス例

- (1) コントローラーはスタートコンディションを生成し、通信を開始します。
- (2) コントローラーはターゲットアドレスの上位 2 ビットを書き込みモードで送信します。
- (3) 自身のアドレス上位 2 ビットと一致するターゲットは、ACK を返信します。
- (4) コントローラーはターゲットアドレスの下位 8 ビットを送信します。
- (5) 自身のアドレス (10 ビット) と一致するターゲットは、ACK を返信します。
- (6) コントローラーはリピートスタートコンディションを生成し、通信を再開します。
- (7) コントローラーはターゲットアドレス上位 2 ビットを読み出しモードで送信します。
- (8) 自身のアドレスと一致するターゲットは、ACK を返信します。
- (9) ターゲットは 1 バイトのデータを送信します。
- (10) コントローラーは NACK を返信します。(続けて読み出したい場合は ACK を返信します)
- (11) コントローラーはストップコンディションを生成し、通信を終了します。

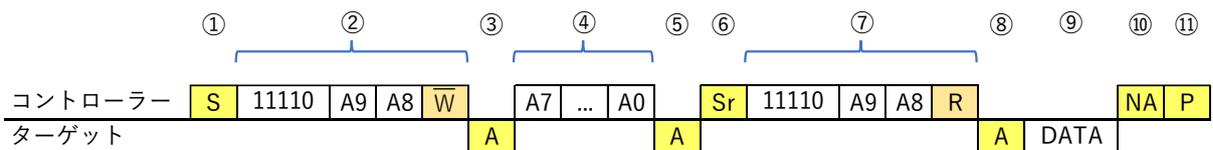


図 8 10 ビットアドレス読み出し例

## 5. 参考文献

---

- (1) I<sup>2</sup>C-bus specification and user manual [NXP Semiconductors]  
<https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10204.pdf>
- (2) I<sup>2</sup>C バス仕様およびユーザーマニュアル[NXP Semiconductors]  
<https://www.nxp.com/docs/ja/user-guide/UM10204.pdf>