

## 序説

この応用記述は非同期動作でAVRデバイスのUSART/UARTを使用するためのコード例を提供します。tinyAVR®とmegaAVR®デバイスの殆どは同期と非同期の両方の転送を実行することができます。USART周辺機能を持ちます。

同期直列データ転送を実行する能力を持たないUART周辺機能を持つAVRデバイスに対しては、この応用記述と共に利用可能zipファイルで独立した例が提供されます。

## 特徴

- 非同期動作でのAVR USART/UARTの構成設定と使い方
- ホールディングと割り込みで制御されるUSART/UART用コード例

## 目次

---

序説	1
特徴	1
1. USART転送法	3
1.1. ホーリング転送	3
1.2. 割り込み制御転送	3
2. ボーレート生成部	3
3. ボーレート設定の例	3
4. コード例について	5
5. 例の試験	6
6. 参照	6
7. 改訂履歴	6

# 1. USART転送法

USART/UARTを通してCPUがデータを転送するにはポーリング転送と割り込み制御転送の2つの方法があります。

表1-1. ポーリング/割り込み制御USARTルーチンの特性

ポーリングUSART	割り込み制御USART
簡潔なコード	妥当なコード量
通信中多忙な応用	通信中自由な応用

## 1.1. ポーリング転送

応用はUSARTがバイトの送信を終えた時を認識するためにUSART制御/状態レジスタA(UCSRA)内の送信データレジスタ空き(UDRE)フラグを継続的に調べます。データ受信時、応用はUSARTがバイトの受信を完了した時を認識するためにUSART制御/状態レジスタA内の受信完了(RXC)フラグを継続的に調べます。この場合、CPUはバイトの受信を待ってその後に更なる処理を続行します。

## 1.2. 割り込み制御転送

割り込み制御転送では、USARTがバイトの送信または受信を終えた時にUSARTが割り込みを生成します。故にCPUはUSART単位部がバイトを送信または受信する間に他の関数を実行することができます。割り込み制御転送に対してはUSART単位部の受信と送信の機能に対応する割り込みが許可されるべきです。これに加えてステータスレジスタ(SREG)内の全体割り込み許可(I)ビットは割り込みが許可されるように設定(1)されなければなりません。

# 2. ボーレート生成部

USARTボーレートレジスタ(UBRRx)とそれに接続される下降カウンタは設定可能な前置分周器またはボーレート生成部として機能します。システムクロック( $f_{osc}$ )で走行する、この下降カウンタはカウンタが0に下降計数した時毎に、またはUBRRxレジスタが書かれた時にUBRRx値で設定されます。クロックはこのカウンタが0に達する時毎に生成されます。

# 3. ボーレート設定の例

下表は内部的に生成されたクロック元を使用する各動作形態に対する(秒当たりのビット数(bps)での)ボーレートとUBRR値を計算するための式を含みます。

表3-1. ボーレートレジスタ(UBRR)設定を計算するための式

動作種別	ボーレート計算式	UBRR値計算式
標準速非同期動作 (U2X=0)	$BAUD = \frac{f_{OSC}}{16 \times (UBRR+1)}$	$UBRR = \frac{f_{OSC}}{16 \times BAUD} - 1$
倍速非同期動作 (U2X=1)	$BAUD = \frac{f_{OSC}}{8 \times (UBRR+1)}$	$UBRR = \frac{f_{OSC}}{8 \times BAUD} - 1$
同期主装置動作	$BAUD = \frac{f_{OSC}}{2 \times (UBRR+1)}$	$UBRR = \frac{f_{OSC}}{2 \times BAUD} - 1$

注: ボーレートは転送速度(ビット/秒(bps))で定義されます。

BAUD : ボーレート (bps)

UBRR : UBRRHとUBRRLレジスタ値 (0~4095)

$f_{OSC}$  : システム発振器クロック周波数

標準的な水晶発振子やセラミック振動子の周波数に対して最も共通して使用される非同期動作のボーレートは、以下の表で一覧されるようにUBRR設定を使用することによって生成できます。目的のボーレートに対して設定誤差1.5%(標準速:U2X=0)、1.0%(倍速:U2X=1)以上を赤字で示します(訳注:原書の本文は0.5%未満を太字)。より高い誤差率でも受け入れ可能ですが、特に長い直列フレームで誤差率が高いと、受信部は雑音耐性が低下します。誤差率は次式を使用して計算されます。

$$\text{誤差率(\%)} = \left( \frac{\text{UBRRn設定ボーレート(最近似値)}}{\text{目的のボーレート}} - 1 \right) \times 100(\%)$$

表3-2. 一般的に使用される発振器周波数に対するUBRR設定の例

波特 (bps)	1MHz				1.8432MHz				2MHz				2.4576MHz			
	U2X=0		U2X=1		U2X=0		U2X=1		U2X=0		U2X=1		U2X=0		U2X=1	
	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)
1200	51	0.2	103	0.2	95	0.0	191	0.0	103	0.2	207	0.2	127	0.0	255	0.0
2400	25	0.2	51	0.2	47	0.0	95	0.0	51	0.2	103	0.2	63	0.0	127	0.0
4800	12	0.2	25	0.2	23	0.0	47	0.0	25	0.2	51	0.2	31	0.0	63	0.0
9600	6	-7.0	12	0.2	11	0.0	23	0.0	12	0.2	25	0.2	15	0.0	31	0.0
14400	3	8.5	8	-3.5	7	0.0	15	0.0	8	-3.5	16	2.1	10	-3.0	20	1.6
19200	2	8.5	6	-7.0	5	0.0	11	0.0	6	-7.0	12	0.2	7	0.0	15	0.0
28800	1	8.5	3	8.5	3	0.0	7	0.0	3	8.5	8	-3.5	4	6.7	10	-3.0
38400	1	-18.6	2	8.5	2	0.0	5	0.0	2	8.5	6	-7.0	3	0.0	7	0.0
57600	0	8.5	1	8.5	1	0.0	3	0.0	1	8.5	3	8.5	2	-11.1	4	6.7
76800	0	-18.6	1	-18.6	1	-25.0	2	0.0	1	-18.6	2	8.5	1	0.0	3	0.0
115.2k	-	-	0	8.5	0	0.0	1	0.0	0	8.5	1	8.5	0	33.3	2	-11.1
230.4k	-	-	0	-45.7	0	-50.0	0	0.0	0	-45.7	0	8.5	0	-33.3	0	33.3
250k	-	-	-	-	-	-	0	-7.8	-	-	0	0.0	-	-	0	22.9
最高速	62500		125k		115.2k		230.4k		125k		250k		153.6k		307.2k	

波特 (bps)	3.2768MHz				3.6864MHz				4MHz				4.608MHz			
	U2X=0		U2X=1		U2X=0		U2X=1		U2X=0		U2X=1		U2X=0		U2X=1	
	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)
1200	170	-0.2	340	0.1	191	0.0	384	0.0	207	0.2	416	-0.1	239	0.0	479	0.0
2400	84	0.4	170	-0.2	95	0.0	191	0.0	103	0.2	207	0.2	119	0.0	239	0.0
4800	42	-0.8	84	0.4	47	0.0	95	0.0	51	0.2	103	0.2	59	0.0	119	0.0
9600	20	1.6	42	-0.8	23	0.0	47	0.0	25	0.2	51	0.2	29	0.0	59	0.0
14400	13	1.6	27	1.6	15	0.0	31	0.0	16	2.1	34	-0.8	19	0.0	39	0.0
19200	10	-3.0	20	1.6	11	0.0	23	0.0	12	0.2	25	0.2	14	0.0	29	0.0
28800	6	1.6	13	1.6	7	0.0	15	0.0	8	-3.5	16	2.1	9	0.0	19	0.0
38400	4	6.7	10	-3.0	5	0.0	11	0.0	6	-7.0	12	0.2	7	-6.3	14	0.0
57600	3	-11.1	6	1.6	3	0.0	7	0.0	3	8.5	8	-3.5	4	0.0	9	0.0
76800	2	-11.1	4	6.7	2	0.0	5	0.0	2	8.5	6	-7.0	3	-6.3	7	-6.3
115.2k	1	-11.1	3	-11.1	1	0.0	3	0.0	1	8.5	3	8.5	2	-16.7	4	0.0
230.4k	0	-11.1	1	-11.1	0	0.0	1	0.0	0	8.5	1	8.5	0	25.0	2	-16.7
250k	-	-	1	-18.1	0	-7.8	1	-7.8	0	0.0	1	0.0	0	15.2	1	15.2
500k	-	-	0	-18.1	-	-	0	-7.8	-	-	0	0.0	0	-42.4	0	15.2
1M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-42.4
最高速	204.8k		409.6k		230.4k		460.8k		250k		500k		288k		576k	

波特 (bps)	4.9152MHz				6.144MHz				7.3728MHz				8MHz			
	U2X=0		U2X=1		U2X=0		U2X=1		U2X=0		U2X=1		U2X=0		U2X=1	
	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)
1200	255	0.0	511	0.0	319	0.0	639	0.0	383	0.0	767	0.0	416	-0.1	832	0.0
2400	127	0.0	255	0.0	159	0.0	319	0.0	191	0.0	383	0.0	207	0.2	416	-0.1
4800	63	0.0	127	0.0	79	0.0	159	0.0	95	0.0	191	0.0	103	0.2	207	0.2
9600	31	0.0	63	0.0	39	0.0	79	0.0	47	0.0	95	0.0	51	0.2	103	0.2
14400	20	1.6	42	-0.8	26	-1.2	52	0.6	31	0.0	63	0.0	34	-0.8	68	0.6
19200	15	0.0	31	0.0	19	0.0	39	0.0	23	0.0	47	0.0	25	0.2	51	0.2
28800	10	-3.0	20	1.6	12	2.6	26	-1.2	15	0.0	31	0.0	16	2.1	34	-0.8
38400	7	0.0	15	0.0	9	0.0	19	0.0	11	0.0	23	0.0	12	0.2	25	0.2
57600	4	6.7	10	-3.0	6	-4.8	12	2.6	7	0.0	15	0.0	8	-3.5	16	2.1
76800	3	0.0	7	0.0	4	0.0	9	0.0	5	0.0	11	0.0	6	-7.0	12	0.2
115.2k	2	-11.1	4	6.7	2	11.1	6	-4.8	3	0.0	7	0.0	3	8.5	8	-3.5
230.4k	1	33.3	2	-11.1	1	-16.7	2	11.1	1	0.0	3	0.0	1	8.5	3	8.5
250k	1	22.9	2	-18.1	1	-23.2	2	2.4	1	-7.8	3	0.0	1	0.0	3	0.0
500k	0	-38.6	0	22.9	0	-23.2	1	-23.2	0	-7.8	1	-7.8	0	0.0	1	0.0
1M	-	-	0	-38.6	-	-	0	-23.2	-	-	0	-7.8	-	-	0	0.0
最高速	307.2k		614.4k		384k		768k		460.8k		921.6k		500k		1M	

注: 最高速はUBRR=0、誤差=0.0%です。以降の周波数は次頁へ続く。

(訳注) 原書では表番号3-2.~5.となっていますが、纏めて表3-2.としました。原書に対して数種の発振周波数を追加しました。

表3-2 (続き). 一般的に使用される発振器周波数に対するUBRR設定の例

ボーレート (bps)	9.216MHz				9.8304MHz				10MHz				11.0592MHz			
	U2X=0		U2X=1		U2X=0		U2X=1		U2X=0		U2X=1		U2X=0		U2X=1	
	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)
1200	479	0.0	959	0.0	511	0.0	1023	0.0	520	-0.0	1041	-0.0	575	0.0	1151	0.0
2400	239	0.0	479	0.0	255	0.0	511	0.0	259	0.2	520	-0.0	287	0.0	575	0.0
4800	119	0.0	239	0.0	127	0.0	255	0.0	129	0.2	259	0.2	143	0.0	287	0.0
9600	59	0.0	119	0.0	63	0.0	127	0.0	64	0.2	129	0.2	71	0.0	143	0.0
14400	39	0.0	79	0.0	42	-0.8	84	0.4	42	0.9	86	-0.2	47	0.0	95	0.0
19200	29	0.0	59	0.0	31	0.0	63	0.0	32	-1.4	64	0.2	35	0.0	71	0.0
28800	19	0.0	39	0.0	20	1.6	42	-0.8	21	-1.4	42	0.9	23	0.0	47	0.0
38400	14	0.0	29	0.0	15	0.0	31	0.0	15	1.8	32	-1.4	17	0.0	35	0.0
57600	9	0.0	19	0.0	10	-3.0	20	1.6	10	-1.4	21	-1.4	11	0.0	23	0.0
76800	7	6.7	14	0.0	7	0.0	15	0.0	7	1.8	15	1.8	8	0.0	17	0.0
115.2k	4	0.0	9	0.0	4	6.7	10	-3.0	4	8.5	10	-1.4	5	0.0	11	0.0
230.4k	2	-16.7	4	0.0	2	-11.1	4	6.7	2	-9.6	4	8.5	2	0.0	5	0.0
250k	1	15.2	4	-7.8	1	-23.2	4	-1.7	2	-16.7	4	0.0	2	-7.8	5	-7.8
500k	0	15.2	1	15.2	0	22.9	1	22.9	0	25.0	2	-16.7	0	38.2	2	-7.8
1M	0	-42.4	0	15.2	0	-38.6	0	22.9	0	-37.5	0	25.0	0	-30.9	0	38.2
最高速	576k		1.152M		614.4k		1.2288M		625k		1.25M		691.2k		1.3824M	

ボーレート (bps)	14.7456MHz				16MHz				18.4320MHz				20MHz			
	U2X=0		U2X=1		U2X=0		U2X=1		U2X=0		U2X=1		U2X=0		U2X=1	
	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)
1200	767	0.0	1533	0.0	832	0.0	1666	0.0	959	0.0	1919	0.0	1041	0.0	2082	0.0
2400	383	0.0	767	0.0	416	-0.1	832	0.0	479	0.0	959	0.0	520	0.0	1041	0.0
4800	191	0.0	383	0.0	207	0.2	416	-0.1	239	0.0	479	0.0	259	0.2	520	0.0
9600	95	0.0	191	0.0	103	0.2	207	0.2	119	0.0	239	0.0	129	0.2	259	0.2
14400	63	0.0	127	0.0	68	0.6	138	-0.1	79	0.0	159	0.0	86	-0.2	173	-0.2
19200	47	0.0	95	0.0	51	0.2	103	0.2	59	0.0	119	0.0	64	0.2	129	0.2
28800	31	0.0	63	0.0	34	-0.8	68	0.6	39	0.0	79	0.0	42	0.9	86	-0.2
38400	23	0.0	47	0.0	25	0.2	51	0.2	29	0.0	59	0.0	32	-1.4	64	0.2
57600	15	0.0	31	0.0	16	2.1	34	-0.8	19	0.0	39	0.0	21	-1.4	42	0.9
76800	11	0.0	23	0.0	12	0.2	25	0.2	14	0.0	29	0.0	15	1.7	32	-1.4
115.2k	7	0.0	15	0.0	8	-3.5	16	2.1	9	0.0	19	0.0	10	-1.4	21	-1.4
230.4k	3	0.0	7	0.0	3	8.5	8	-3.5	4	0.0	9	0.0	4	8.5	10	-1.4
250k	3	-7.8	6	5.3	3	0.0	7	0.0	4	-7.8	8	2.4	4	0.0	9	0.0
500k	1	-7.8	3	-7.8	1	0.0	3	0.0	1	15.2	4	-7.8	1	25.0	4	0.0
1M	0	-7.8	1	-7.8	0	0.0	1	0.0	0	15.2	1	15.2	0	25.0	1	25.0
最高速	921.6k		1.8432M		1M		2M		1.152M		2.304M		1.25M		2.5M	

注: 最高速はUBRR=0、誤差=0.0%です。

#### 4. コード例について

この応用記述と共にやって来るzipファイルにはUART用に1つとUSART用に2つの利用可能な3つのプロジェクトがあります。これらのプロジェクトの各々は(ポーリング法と割り込み法の)2つのソースファイルを含みます。プロジェクトはポーリング法用のコード例を含みます。割り込み法を試験するには、既存のソースファイルを取り去った後でプロジェクトに対応するファイルを追加することができます。

UARTに基づく例はATmega8515デバイスに対して検査され、USARTに基づくものはATmega324PBとATtiny104で検査されています。6つ全てのファイルはavr-gccまたはIARツールチェーンを使用して再構築することができ、レジスタ名やレジスタビット名のようなものの違いがあれば、僅かな変更でtinyAVR®とmegaAVR®のどのデバイスでも使用することができます。これらの例のボーレート計算は8MHzと1MHz(ATtiny104)のCPUクロック周波数に基づきます。主応用は無限繰り返しに留まり、受信したデータバイトを送り返します。

割り込み処理ルーチンはデータの入りと出を緩衝するために2<sup>n</sup>の剰余でのアドレス指定を使用します。このルーチンを使用する前に緩衝部の大きさが定義されなければなりません。'UART\_RX\_BUFFER\_SIZE'と'UART\_TX\_BUFFER\_SIZE'の変数にバイトで緩衝部の大きさを設定してください。これらの変数が与えられた例に対して2のべき乗でなければならず、そうでなければ、コンパイラ異常メッセージで合図されるでしょう。

注: ATtiny104に対する割り込み処理はSRAMの使用を減らすためにデータの入出の巡回緩衝を使用しません。

## 5. 例の試験

ATmega8515に基づくUART例はSTK600で試験することができます。デバイスをSTK600に配置するのに適切なソケットカードと配線カードを使用してください。このデバイスのUARTピンは次の通りです。

表5-1. 例で使用されるUARTピン

信号	ATmega8515でのピン名
RXD	PD0
TXD	PD1

1. Atmel Studio 7でAtmel Studioプロジェクトを開いてください。
2. プロジェクトを再構築してISP書き込み器を使用してデバイスにhexファイル設定して(書き込んで)ください。
3. STK600のRS232 SPAREコネクタのRXDピンにPD0を、コネクタのTXDピンにPD1を接続するのにジャンパ線を使用してください。
4. STK600からPCにRS232ケーブルを接続して文字を転送するために端末応用(9600bps、8ビットデータ、1停止ビット、パリティなし)を開いてください。

5. 端末ウィンドウで文字を入力してください。それらはATmega8515デバイス上で走行している応用によってそのまま返されます。

ATmega324PBに基づくUSART例はATmega324PB Xplained Proで試験することができます。この基板は仮想COMポートを提供する組み込みデバッグ(EDBG)を持ちます。USART1のピンがこの仮想COMポートに接続されます。コードを試験するには、

1. ATmega324PB Xplained ProをPCに接続してください。
2. プロジェクトを構築して書き込み器としてEDBGを使用してデバイスにhexファイル設定して(書き込んで)ください。
3. EDBG仮想COMポート(9600bps、8ビットデータ、1停止ビット、パリティなし)に対して端末応用を開いてください。
4. 端末ウィンドウで文字を入力してください。それらはATmega324PBデバイス上で走行している応用によってそのまま返されます。

ATTiny104に基づくUSART例はATTiny104 Xplained Nanoで試験することができます。この基板は仮想COMポートを提供する小型組み込みデバッグ(mEDBG)を持ちます。USARTのピンがこの仮想COMポートに接続されます。コードを試験するには、

1. ATTiny104 Xplained NanoをPCに接続してください。
2. プロジェクトを構築して書き込み器としてmEDBGを使用してデバイスにhexファイル設定して(書き込んで)ください。
3. mEDBG仮想COMポート(2400bps、8ビットデータ、1停止ビット、パリティなし)に対して端末応用を開いてください。
4. 端末ウィンドウで文字を入力してください。それらはATTiny104デバイス上で走行している応用によってそのまま返されます。

注: 1. Atmelマイクロコントローラをプログラミングする詳細を示すリンクは「参照」で得られます。

2. これらの例を試験する間は端末応用で局所送り返しをOFFに切り替えてください。応用が受信した文字を返します。

## 6. 参照

1. AVR317 : USART部の主装置SPI動作の使い方
2. AVR054 : 内蔵RC発振器の走行時校正
3. STK600の配線カードとソケットカード
4. ATmega324PB Xplained Pro使用者の手引き
5. ATTiny104 Xplained Nano使用者の手引き
6. Atmel Studio - プログラミングダイアログ

## 7. 改訂履歴

資料改訂	日付	注釈
1451A	1999年8月	初版資料公開
1451B	2002年6月	新デバイスで更新
1451C	2016年4月	<ul style="list-style-type: none"><li>内容をSDL形式に更新</li><li>「ボーレート設定」と「例の試験」の新規章を追加</li><li>ATmega324PB Xplained ProとATTiny104 Xplained Nanoに基づく例を内包</li></ul>



Atmel®, Atmelロゴとそれらの組み合わせ、Enabling Unlimited Possibilities®, AVR®, tinyAVR®, megaAVR®とその他は米国及び他の国に於けるAtmel Corporationの登録商標または商標です。他の用語と製品名は一般的に他の商標です。

**お断り:** 本資料内の情報はAtmel製品と関連して提供されています。本資料またはAtmel製品の販売と関連して承諾される何れの知的所有権も禁反言あるいはその逆によって明示的または暗示的に承諾されるものではありません。Atmelのウェブサイト<sup>1</sup>に位置する販売の条件とAtmelの定義での詳しい説明を除いて、商品性、特定目的に関する適合性、または適法性の暗黙保証に制限せず、Atmelはそれらを含むその製品に関連する暗示的、明示的または法令による如何なる保証も否認し、何ら責任がないと認識します。たとえAtmelがそのような損害賠償の可能性を進言されたとしても、本資料を使用できない、または使用以外で発生する(情報の損失、事業中断、または利益と損失に関する制限なしの損害賠償を含み)直接、間接、必然、偶然、特別、または付随して起こる如何なる損害賠償に対しても決してAtmelに責任がないでしょう。Atmelは本資料の内容の正確さまたは完全性に関して断言または保証を行わず、予告なしでいつでも製品内容と仕様の変更を行う権利を保留します。Atmelはここに含まれた情報を更新することに対してどんな公約も行いません。特に別の方法で提供されなければ、Atmel製品は車載応用に対して適当ではなく、使用されるべきではありません。Atmel製品は延命または生命維持を意図した応用での部品としての使用に対して意図、認定、または保証されません。

**安全重視、軍用、車載応用のお断り:** Atmel製品はAtmelが提供する特別に書かれた承諾を除き、そのような製品の機能不全が著しく人に危害を加えたり死に至らしめることがかなり予期されるどんな応用("安全重視応用")に対しても設計されず、またそれらとの接続にも使用されません。安全重視応用は限定なしで、生命維持装置とシステム、核施設と武器システムの操作の装置やシステムを含みます。Atmelによって軍用等級として特に明確に示される以外、Atmel製品は軍用や航空宇宙の応用や環境のために設計も意図もされていません。Atmelによって車載等級として特に明確に示される以外、Atmel製品は車載応用での使用のために設計も意図もされていません。

© HERO 2016.

本応用記述はAtmelのAVR306応用記述(改訂1451C-04/2016)の翻訳日本語版です。日本語では不自然となる重複する形容表現は省略されている場合があります。日本語では難解となる表現は大幅に意訳されている部分もあります。必要に応じて一部加筆されています。頁割の変更により、原本より頁数が少なくなっています。

必要と思われる部分には( )内に英語表記や略称などを残す形で表記しています。

青字の部分はリンクとなっています。一般的に赤字の0,1は論理0,1を表します。その他の赤字は重要な部分を表します。