

## AP01A AVR MCU

### 1. 概要

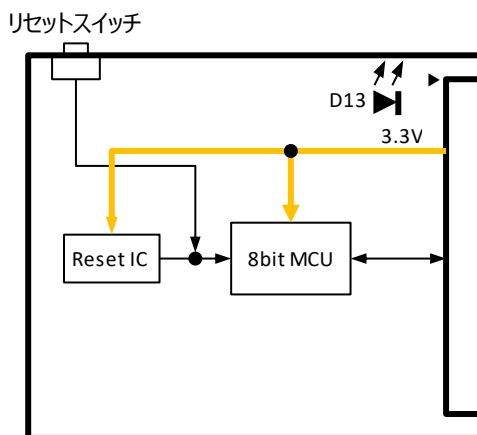
ATmega328Pを使用したリーフ。14 個のデジタル入出力ピン（6 個は PWM 出力として使用可能）、6 個のアナログ入力ピン、8MHz 振動子、およびリセットボタンを備えている。

USB 接続する場合は USB を接続、ICSP を使用する場合は Shield を接続する。

Arduino IDE 使用時は、ボードを Arduino Pro or Pro Mini、プロセッサを ATmega328P(3.3V,8MHz)選択。

### 2. リーフ仕様

#### 2-1. ブロック図



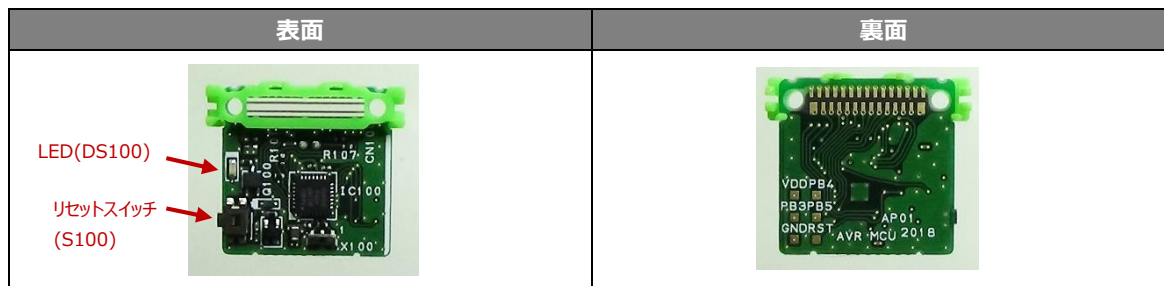
#### 2-2. 電源仕様

Symbol	Parameter	Condition	Min.	Typ.	Max.
Vdd	Power Supply Voltage	—	1.9V	3.3V	5.5V
Idd	Operating current	Active	-	5.2mA	-
		Sleep	-	4.7uA	-

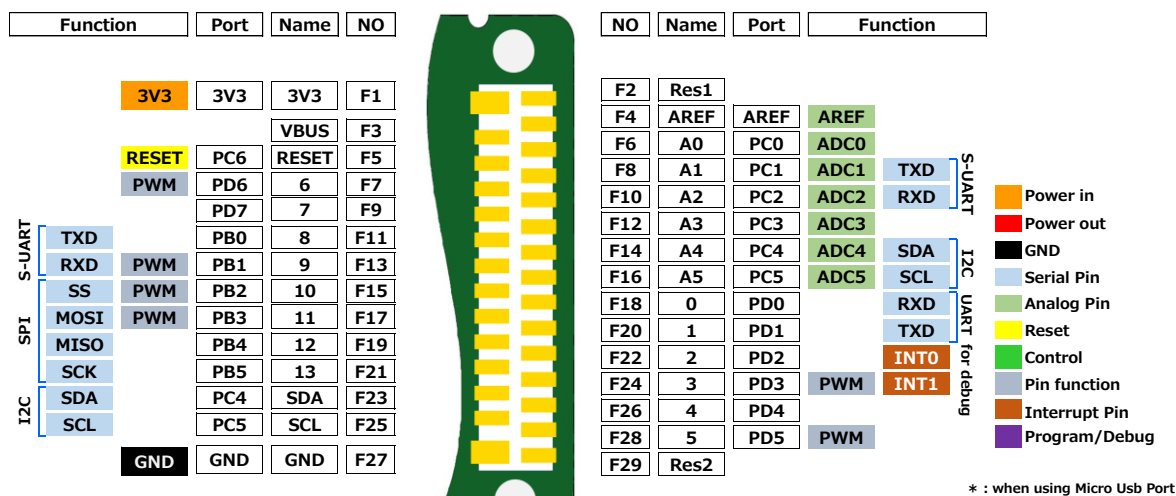
#### 2-3. 主要部品

部品番号	部品名	型番	ベンダー名	備考
IC100	AVR MCU	ATmega328P-MMH	Microchip	28pinQFN

#### 2-4. 外観



## 2-5. ピンアウト



## 2-6. LED/スイッチ

項目	部品番号	内容
LED	DS100	pin 13 により LED 制御する(Arduino UNOと同じ) 抵抗 R105(1kΩ)を外すことにより点灯しないように出来る
リセットスイッチ	S100	マイコン、および他のデバイスをリセットする

## 3. 8bit MCU(ATmega328P-MMH)仕様

### 3-1. 概要

項目	内容
Microcontroller	ATmega328P,28pin QFN
Operating Voltage	3.3V
Input Voltage	1.5-5 V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
Flash Memory	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	8 MHz
LED_BUILTIN	13
Compatibility	Arduino Pro/Pro mini / ATmega328P (3.3V 8MHZ)

### 3-2. 電気的特性

#### 3-2-1. 最大定格

Parameter	Value
Operating Temperature	-55°C to +125°C
Maximum Operation Voltage	6.0V

### 3-2-2. 定格 (WDT= Watch Dog Timer)

Symbol	Parameter	Condition	Min.	Typ.	Max.
Vdd	Power Supply Voltage	—	1.8V		5.5V
Idd	Active	1MHz, Vcc=2V		0.3mA	0.5mA
		4MHz, Vcc=3V		1.7mA	2.5mA
		8MHz, Vcc=5V		5.2mA	9mA
	Power-save	32KHz, Vcc=1.8V		0.8uA	
		32KHz, Vcc=3V		0.9uA	
	Power-down	WDT enabled, Vcc=3V		4.2uA	8uA
		WDT disabled, Vcc=3V		0.1uA	2uA

### 3-3. データシートリンク先

<https://www.microchip.com/wwwproducts/en/atmega328p>

### 3-4. 主な関数とライブラリ

#### 3-4-1. デジタル入出力

関数	概要
pinMode(pin, mode)	<p>ピンの動作を入力か出力に設定。</p> <p>【パラメータ】</p> <p>pin: 設定したいピンの番号</p> <p>mode: INPUT(内部プルアップは無効)、INPUT_PULLUP(内部プルアップ抵抗を有効)、OUTPUT</p> <p>【戻り値】</p> <p>なし</p>
digitalWrite(pin, value)	<p>HIGH または LOW を指定したピンに出力。</p> <p>【パラメータ】</p> <p>pin: ピン番号</p> <p>value: HIGH(3.3V)か LOW(0V)</p> <p>【戻り値】</p> <p>なし</p>
digitalRead(pin)	<p>指定したピンの値を読み取る。</p> <p>【パラメータ】</p> <p>pin: 読みたいピンの番号</p> <p>【戻り値】</p> <p>HIGH または LOW</p>

#### 3-4-2. アナログ入力

関数	概要
analogRead(pin)	<p>指定したアナログピンの値を読み取る。</p> <p>【パラメータ】</p> <p>pin: 読みたいピンの番号</p> <p>読み取りに使いたいピンの番号を整数で指定。0 から 5 が有効な数値。</p> <p>【戻り値】</p> <p>0 から 1023 までの整数値</p>

### 3-4-3. 外部割込

関数	概要
attachInterrupt (interrupt, function, mode)	<p>外部割り込みが発生したときに実行する関数を指定。割り込み番号(int.0~)と、それに対応するピン番号は下記のとおり。</p> <p>pin2(int.0) pin3(int.1)</p> <p>【パラメータ】</p> <p>interrupt: 割り込み番号</p> <p>function: 割り込み発生時に呼び出す関数</p> <p>mode: 割り込みを発生させるトリガ</p> <p>LOW ピンが LOW のとき発生</p> <p>CHANGE ピンの状態が変化したときに発生</p> <p>RISING ピンの状態が LOW から HIGH に変わったときに発生</p> <p>FALLING ピンの状態が HIGH から LOW に変わったときに発生</p> <p>【戻り値】</p> <p>なし</p>
detachInterrupt (interrupt)	<p>割り込みを無効にする。</p> <p>【パラメータ】</p> <p>なし</p> <p>【戻り値】</p> <p>なし</p>

### 3-4-4. UART 通信(USB-シリアル変換)

関数	概要
Serial.begin(speed)	<p>シリアル通信のデータ転送レート(ボーレート)を指定。Arudino IDE と接続する場合は 115200 を設定。</p> <p>【パラメータ】</p> <p>speed: 転送レート (int)</p> <p>【戻り値】</p> <p>なし</p>
Serial.end()	<p>シリアル通信を終了。</p> <p>【パラメータ】</p> <p>なし</p> <p>【戻り値】</p> <p>なし</p>
Serial.read()	<p>受信データを読み込み。</p> <p>【パラメータ】</p> <p>なし</p> <p>【戻り値】</p> <p>読み込み可能なデータの最初の 1 バイトを返す。-1 の場合は、データが存在しない</p>
Serial.flush()	<p>データの送信がすべて完了するまで待つ。</p> <p>【パラメータ】</p> <p>なし</p> <p>【戻り値】</p> <p>なし</p>

Serial.print(data, format)	<p>テキスト形式でデータをシリアルポートへ出力する。 オプションの第 2 パラメータによって基数(フォーマット)を指定できる。</p> <p>【構文】 Serial.print(data) Serial.print(data, format)</p> <p>【パラメータ】 data: 出力する値。すべての型に対応。 format: 基数または有効桁数(浮動小数点数の場合)</p> <p>【戻り値】 送信したバイト数</p>
Serial.println(data, format)	<p>データの末尾に CR と LF を付けて送信。Serial.print()と同じフォーマットが使える。詳細は Serial.print()の項を参照。</p> <p>【パラメータ】 data: すべての整数型と String 型 format: data を変換する方法を指定 (省略可)</p> <p>【戻り値】 送信したバイト数 (byte)</p>
Serial.write(val)	<p>シリアルポートにバイナリデータを出力。</p> <p>【構文】 Serial.write(val) Serial.write(str) Serial.write(buf, len)</p> <p>【パラメータ】 val: 送信する値(1 バイト) str: 文字列(複数バイト) buf: 配列として定義された複数のバイト len: 配列の長さ</p> <p>【戻り値】 送信したバイト数 (byte)</p>

### 3-4-5. ソフトウェアシリアル通信

include file:SoftwareSerial.h (Arduino IDE Standard Libraries)

関数	概要
SoftwareSerial name(rxPin, txPin)	<p>Software Serial を使用可能にする。オブジェクトに名前を付ける必要がある。 SoftwareSerial.begin()を実行することも必要。複数のポートを同時に開くことができるが、受信できるのは 1 度に 1 ポートのみ。</p> <p>【パラメータ】 rxPin: データを受信するピン txPin: データを送信するピン</p>
name.begin(speed)	<p>シリアル通信のスピード(ボーレート)を設定する。通常は 9600 を設定する。</p> <p>【パラメータ】 speed: ボーレート (long)</p> <p>【戻り値】 なし</p>

name.read()	受信した文字を返す。同時に複数の SoftwareSerial で受信することはできない。listen()を使って、ひとつ選択する必要がある。 【パラメータ】 なし 【戻り値】 読みこんだ文字（データがないときは -1）
name.print(data)	ソフトウェアシリアルポートにデータを出力。Serial.print()と同じ機能。 【パラメータ】 Serial.print()の項参照。 【戻り値】 送信するバイト数 (byte)
name.println(data)	ソフトウェアシリアルポートにデータを出力。Serial.println()と同じ機能。 【パラメータ】 Serial.println()の項参照。 【戻り値】 送信したバイト数 (byte)
name.listen()	指定したソフトウェアシリアルポートを受信状態(listen)する。同時に複数のポートを受信状態にすることはできない。 【パラメータ】 なし 【戻り値】 なし
name.write(val)	ソフトウェアシリアルポートにデータを出力。Serial.write()と同じ機能。 【パラメータ】 Serial.write()の項参照。 【戻り値】 送信したバイト数 (byte)

### 3-4-6. I2C 通信

include file : Wire.h (Arduino IDE Standard Libraries)

関数	概要
Wire.begin(address)	Wire ライブラリを初期化し、I2C バスにマスタスレーブとして接続。 【パラメータ】 address: 7 ビットの I2C スレーブアドレス。省略した場合は、マスタとしてバスに接続。 【戻り値】 なし
Wire.requestFrom(address, count)	他のデバイスにデータを要求。データは read()関数を使って取得。 【パラメータ】 address: データを要求するデバイスのアドレス(7 ビット) quantity: 要求するデータのバイト数 stop(省略可): true に設定すると stop メッセージをリクエストのあと送信 false に設定すると restart メッセージをリクエストのあと送信 【戻り値】 実際に受信したバイト数を返す。

Wire.beginTransmission(address)	<p>指定したアドレスの I2C スレーブに対して送信処理を開始。</p> <p>【パラメータ】 address: 送信対象のアドレス(7 ビット)</p> <p>【戻り値】 なし</p>
Wire.endTransmission()	<p>スレーブデバイスに対する送信を完了する。</p> <p>【パラメータ】 stop(省略可): true に設定すると stop メッセージをリクエストのあと送信(デフォルト)。 false に設定すると restart メッセージをリクエストのあと送信</p> <p>【戻り値】 送信結果 (byte) 0: 成功 1: 送ろうとしたデータが送信バッファのサイズを超えた 2: スレーブアドレスを送信し、NACK を受信した 3: データ・バイトを送信し、NACK を受信した 4: その他のエラー</p>
Wire.write(value)	<p>データを送信。beginTransmission()と endTransmission()の間で実行する。</p> <p>【構文】 Wire.write(value) Wire.write(string) Wire.write(data, length)</p> <p>【パラメータ】 value: 送信する 1 バイトのデータ (byte) string: 文字列 (char *) data: 配列 (byte *) length: 送信するバイト数 (byte)</p> <p>【戻り値】 送信したバイト数 (byte)</p>
Wire.read()	<p>データを受信。マスタデバイスでは、requestFrom()を実行したあと、スレーブから送られてきたデータを読み取るときに使用。</p> <p>【パラメータ】 なし</p> <p>【戻り値】 受信データ (byte)</p>

### 3-4-7. ウォッチドッグタイマー

include file : avr/wdt.h (Arduino IDE Standard Libraries)

関数	概要
wdt_enable (value)	<p>ウォッチドッグタイマーを有効にする。リセットされるまでの時間は 15ms〜8s。</p> <p>【パラメータ】 リセットがされるまでの時間</p> <p>【戻り値】 なし</p>

wdt_reset()	ウォッチドッグタイマーをリセットする。 【パラメータ】 なし 【戻り値】 なし
wdt_disable() ( )	ウォッチドッグタイマーを無効にする。 【パラメータ】 なし 【戻り値】 なし

### 3-4-8. スリープモード

include file : avr/sleep.h (Arduino IDE Standard Libraries)

関数	概要
set_sleep_mode (parameter)	スリープモードの設定。 【パラメータ】 parameter : SLEEP_MODE_PWR_DOWN SLEEP_MODE_PWR_SAVE SLEEP_MODE_STANDBY SLEEP_MODE_IDLE SLEEP_MODE_EXT_STANDBY 【戻り値】 なし
sleep_enable()	スリープを有効にする。
sleep_mode()	スリープを開始する。

### 3-4-9. タイマー割り込み

include file : MsTimer2.h (Contributed Libraries)

<http://playground.arduino.cc/Main/MsTimer2>

関数	概要
MsTimer2::set (unsigned long ms, void (*f)())	タイマー時間を ms で指定。時間が来ると関数 f が呼ばれる。f は引数なしの void 型として宣言。 【パラメータ】 オーバーフローする時間(ms) 【戻り値】 なし
MsTimer2::start() ( )	タイマー割り込みを有効にする。 【パラメータ】 なし 【戻り値】 なし
MsTimer2::stop() ( )	タイマー割り込みを無効にする。 【パラメータ】 なし 【戻り値】 なし



### 3-5. 省電力制御

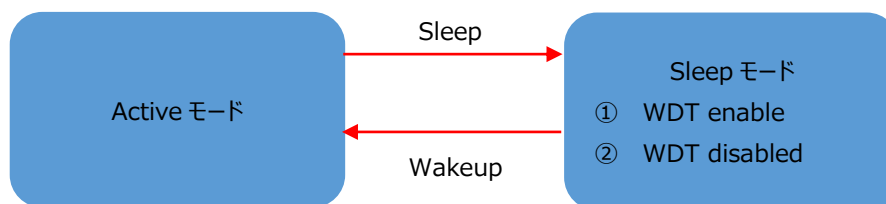
#### 3-5-1. Active モードと Sleep モード

Active モード：動作状態。通常、大きな電源電流が流れる。

Sleep モード：低消費電力状態。スタンバイ・モードともいう。

Wakeup：Sleep モードから Active モードへの移行。Wakeup には、典型的には次の 2 種類がある。

- 1) WDT (ウォッチドッグタイマー)：MCU が持っているタイマーで定期的（例えば数秒間ごと）に Wakeup する。この機能を生かしたい場合は Sleep モードに入る前に、WDT を enabled に設定する必要がある。
- 2) 外部割り込み：センサー値の変化やリアルタイムクロックなどによる割り込みで Wakeup する。WDT に比べて MCU を低消費電力に出来る。



### 3-5-2. Sleep モード・WDT サンプルスケッチ

Sleep 関数と WDT 関数のライブラリ群を使って定時間ごとに Wakeup するサンプルスケッチ。Sleep 時間は、8 秒となる。

avr/wdt.h の wdt\_enable()関数を使用すると WDT による復帰時にリセットが発生する。Wakup 時にリセットをさせたくない場合は以下の様に WDT の設定を ATmega328P のレジスタに書き込む。

```
#include <avr/wdt.h>
#include <avr/sleep.h>
void WDT_setup(){
    cli(); // 割り込み禁止
    wdt_reset(); // WDT タイマーカウンタリセット
    MCUSR &= ~(1 << WDRF); // WatchDog system Reset Flag(WDRF)リセット
    WDTCSR |= 1 << WDCE | 1 << WDE; //WDT 変更有効 (WDCEとWDE を同時に 1 にセットで WDT 変更許可)
    WDTCSR = 1 << WDIE | 0 << WDE | 1 << WDP3 | 0 << WDP2 | 0 << WDP1 | 1 << WDP0; //WDT 設定
    // WDE=0,WDIE=1 :WDT overflow で割り込み
    // WDP3=1,WDP2=0,WDP1=0,WDP0=1: 8s
    sei(); //割り込み許可
}
void sleepMode(){
    Serial.println("Sleep Mode");
    delay(10);
    WDT_setup();
    set_sleep_mode(SLEEP_MODE_PWR_DOWN); //SLEEP モード設定
    sleep_bod_disable(); //低電圧検出器(BOD)禁止
    sleep_mode(); //SLEEP 移行
    __asm__("nop¥n¥t");
    Serial.println("WakeUp");
    digitalWrite(13,HIGH); delay(10);
    digitalWrite(13,LOW);
}
void setup(){
    Serial.begin(115200);
}
void loop() {
    sleepMode();
}
ISR(WDT_vect) { // WDT がタイムアップした時に実行される処理
    wdt_disable();
}
```

### 3-5-3. Sleep モード

ATmega328P では Sleep モードの一つに最も低電力状態になる Power-down mode がある。ここでは、Power-down モード関連のスケッチの書き方について説明する。

Sleep モードへの移行に必要な関数

set\_sleep\_mode(パラメータ) : Sleep モード(パラメータ)設定

sleep\_mode() : Sleep モードに移行

ライブラリの呼び出し

#include <avr/sleep.h>

Sleep モードパラメータ	処理内容
SLEEP_MODE_PWR_DOWN	Power-Down モードへ設定

スケッチの例

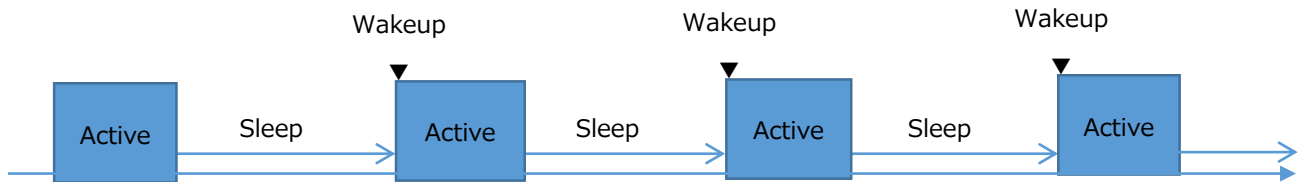
```
#include <avr/sleep.h>
void setup() { }
void sleep() {
  set_sleep_mode(SLEEP_MODE_PWR_DOWN);
  ADCSRA &= ~(1 << ADEN); //ADC 停止
  sleep_enable();
  MCUCR |= (1 << BODSE) | (1 << BODS); // MCUCR の BODS と BODSE に 1 をセット
  MCUCR = (MCUCR & ~(1 << BODSE)) | (1 << BODS); // すぐに (4 クロック以内) BODSSE を 0, BODS を 1 に設定
  asm("sleep"); // 3 クロック以内にスリープ
}
```

Sleep モード設定前に WDT の設定を行う。WDT による Sleep モード復帰を行う場合は WDT を有効にし、WDT の設定を行い開始する。ここで WDT を無効にすることにより、Power-down mode(WDT disabled)に設定することが可能。消費電流を下げるためには、Sleep モード設定時に ADC と BOD を停止させる必要がある。

### 3-5-4. Wakeup

Wakeup には、以下の方法がある。ここでは、Power-down モード関連のスケッチの書き方について説明する。

- ・WDT を使う方法(一定時間間隔で自動復帰)最大 8 秒
- ・外部割り込みを使う方法



#### 1)WDT での Wakeup

WDT の Sleep 時間は、最大 8 秒である。それ以上 Sleep させたい場合は、Sleep を複数回繰り返すことにより 8 秒の整数倍の Sleep 時間を得ることが出来る。

WDT の制御に必要な関数

- |                                |   |
|--------------------------------|---|
| <code>wdt_reset()</code>       | : WDT の設定をリセットするための関数   |
| <code>wdt_enable(value)</code> | : WDT を有効にする関数。value に定数を入れて時間を設定する<br>ただし、WDT のオーバーフロー発生時リセットが発生する |
| <code>wdt_disable()</code>     | : WDT を無効にする関数  |

ライブラリの呼び出し

```
#include <avr/wdt.h>
```

#### 2)外部割り込みでの Wakeup

外部割り込みは、通常のプログラム実行中に、センサーなどの応答値が閾値を超えたり、スイッチが ON/OFF 切り替わった時に割り込みが発生し処理を行う。

8bit-MCU Leaf には、pin 2 または pin 3 に割り込み機能が割り当てられており、High と Low の切り替わりで割り込みが発生する。

割り込み処理関数

```
attachInterrupt(割り込み番号, 関数名, 割り込みモード)
```

割り込み番号

外部割り込み pin 2 の場合 : 割り込み番号=0

pin 3 の場合 : 割り込み番号=1

関数名

割り込み発生時に呼び出す関数

割り込みモード

LOW : ピンが Low のとき発生

CHANGE : ピンの状態が変化したときに発生

RISING : ピンの状態が Low から High に変わったときに発生

FALLING : ピンの状態が High から Low に変わったときに発生