

MVIO用安定化電源としての内部OPAMPの使用

序説

著者: Johan Vaarlid, Microchip Technology Inc.

この応用記述は調整可能な電源としてMicrochip AVR[®] DB系マイクロコントローラで利用可能なアナログ信号調整(OPAMP)周辺機能を使う時と方法を説明します。内部演算増幅器は外部部品なしで完全にVDDの8つの派生出力を出力する能力がある内部梯子型抵抗を持ちます。

多くの応用では節電の理由のためや特定の入出力基準を必要とする特定部品のためのどちらかで、設計仕様を満たすのに2つ以上の電圧領域を使うことが必要です。これは従来、追加電源の必要性になりました。

この電源機能は複数電圧入出力(MVIO)用の第2電源として働くことによって紹介されます。MVIO周辺機能は独立した電源領域のVDDIO2で動くことをAVR[®]の部分群ポートに許します。VDDIO2の電圧範囲はVDDと同じですが、VDDIO2に対する低電圧検出器は固定され、1.6Vの代表値を持ちます。

内部ADCを利用すると、演算増幅器の出力での電圧水準を確認することが可能です。これは正しい動作を保証するのに使う前/下で安定で/または正確な電圧基準を持つことが必要な機能的に安全な応用に対して有用で有り得ます。

この応用記述で記述される結果を再現するためのコード例はGitHubで入手可能です。



GitHubでコード例を見てください。
貯蔵庫を閲覧するにはクリックしてください。

OPAMP性能の付加的詳細と全般的な構成設定はデバイスのデータシートで利用可能です。

要点

- ・ 第2電圧領域用の追加外部電源の必要を解消
- ・ 調整された電源はVDD-1V~0V間の電圧を出力可能
- ・ 20mAまでの電流
- ・ 外部部品なしで8つのVDDの派生を支援する内部梯子型抵抗
- ・ 走行時調整可能
- ・ 第2電圧領域を完全に停止する能力

本書は一般の方々の便宜のため有志により作成されたもので、Microchip社とは無関係であることを御承知ください。しおりの[はじめに]での内容にご注意ください。

目次

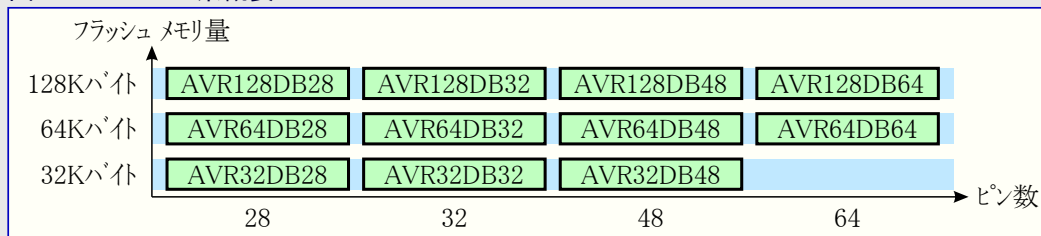
序説	1
要点	1
1. 関連デバイス	3
2. 概要	3
2.1. 電圧フォロワ	4
3. ハードウェア構成設定	4
3.1. AVR128DB48 Curiosity Nanoの使い方	4
3.2. VDDIO2への電力供給	5
4. OPAMP初期化	5
5. 電圧参照基準生成	6
5.1. 内部梯子型抵抗の使用	6
5.2. 外部抵抗の使用	7
5.3. 内部DACの使用	8
6. 内部ADCでの電圧水準監視	10
7. 参考文献	12
8. 改訂履歴	12
Microchipウェブ サイト	13
製品変更通知サービス	13
お客様支援	13
Microchipデバイス コード保護機能	13
法的通知	13
商標	14
品質管理システム	14
世界的な販売とサービス	15

1. 関連デバイス

本章はこの文書に関連するデバイスを一覧にします。下図はピン数の変種とメモリ量を展開して各種系列デバイスを示します。

- これらのデバイスがピン互換で同じまたはより多くの機能を提供するため、垂直上方向移植はコード変更なしで可能です。
- 左への水平方向移植はピン数、従って利用可能な機能を減らします。
- 異なるフラッシュメモリ量を持つデバイスは一般的に異なるSRAMとEEPROMも持ちます。

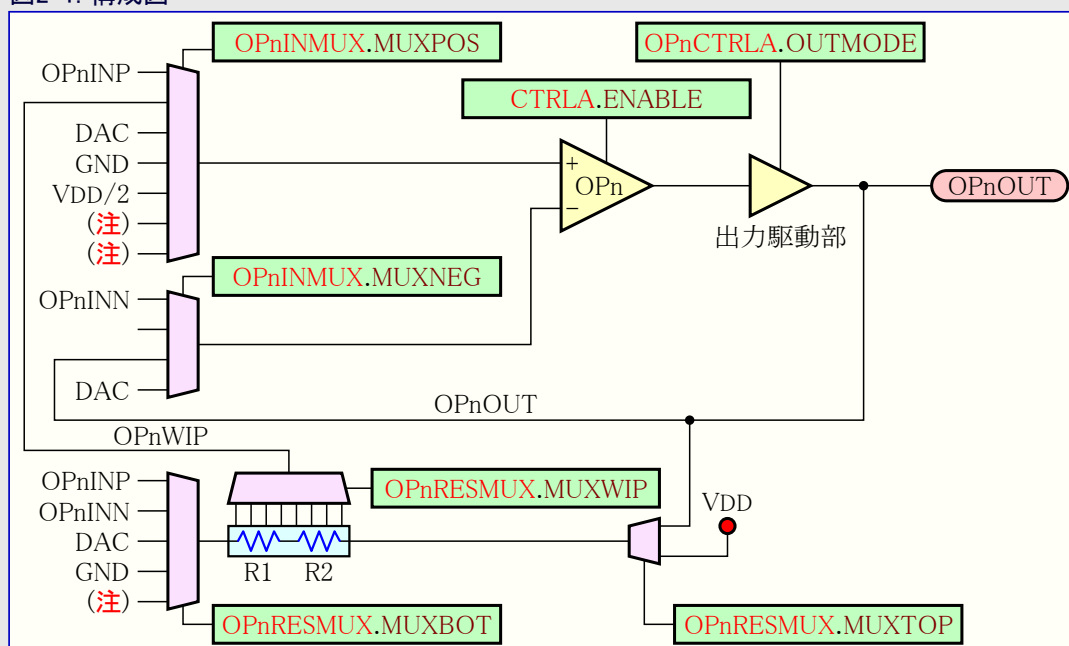
図1-1. AVR® DB系概要



2. 概要

アナログ信号調整(OPAMP)周辺機能はnが0、1、2で示されるOPnの1つ、2つ、または3つの演算増幅器(オペアンプ)が特徴です。これらの演算増幅器はアナログ多重器と梯子型抵抗を使う柔軟な接続の仕組みと共に実装されます。これは多数のアナログ信号調整構成設定にその多くが外部部品の必要なしに達成されることを許します。各演算増幅器の非反転(+)入力での多重器は外部ピン、梯子型抵抗の摺動子位置、DAC出力、接地(GND)、VDD/2のどれかへの接続を許します。各演算増幅器の反転(-)入力での2つ目の多重器は外部ピン、梯子型抵抗の摺動子位置、演算増幅器の出力、DAC出力のどれかへの接続を許します。各梯子型抵抗に接続されるあと3つの多重器は柔軟な追加構成設定を提供します。これらの2つの多重器は梯子型抵抗への上下接続を選び、3つ目は摺動子位置を制御します。

図2-1. 構成図



注: 追加内部アナログ信号 - 詳細についてはOPnINMUXとOPnRESMUXのレジスタをご覧ください。

表2-1. 信号説明

信号	形式	説明
OPnINP	アナログ入力	OPn用非反転(+)入力ピン
OPnINN	アナログ入力	OPn用反転(-)入力ピン
OPnOUT	アナログ出力	OPnからの出力

2.1. 電圧フォロワ

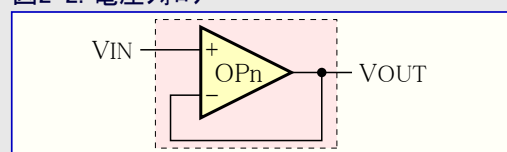
OPAMP周辺機能は非常に柔軟で様々なアナログ信号を調整する応用で使うことができます。これらの応用の1つが電圧フォロワです。

右図は利得1緩衝器としても知られる電圧フォロワを示します。非反転(+)入力がピンに接続され、出力は反転(-)ピンに接続されます。この構成に必要なとされる多重器設定は次のとおりです。

表2-2. 電圧フォロワ入力構成設定

OP番号	MUXPOS	MUXNEG
OPn	参照基準電圧	OUT

図2-2. 電圧フォロワ



3. ハードウェア構成設定

3.1. AVR128DB48 Curiosity Nanoの使い方

内部演算増幅器の能力を示すのに5Vに設定したVDDでAVR128DB48 Curiosity Nanoが使われます。これはAtmel Studio、MPLAB® Xを通して、またはキットがPCに接続される時に現れる“CURIOSITY”大容量記憶装置で文字列“CMD:5V0”だけを持つ.txtファイルをドラッグ&ドロップすることによって行うことができます。

この開発基板上の内部演算増幅器によって給電されるMVIOを許可するため、下の手順を実行してください。

1. VDDからVDDIO2を切断するためにVDDIO2表示直下の抵抗器を取り外してください。
2. 下で示されるようにPD2とVDDIO2の+間を線で接続してください。

この処理の逆の方法での情報についてはAVR128DB48 Curiosity Nano使用者の手引きを参照してください。

図3-1. AVR128DB48 Curiosity Nano

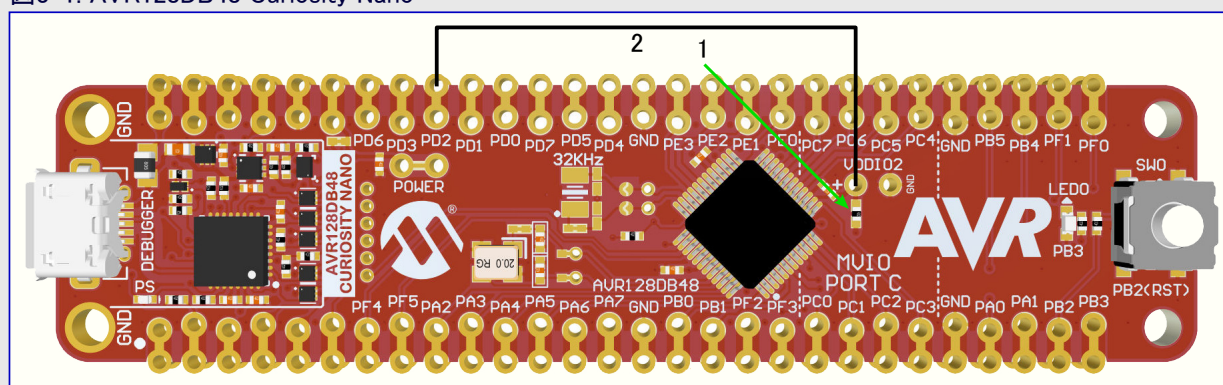
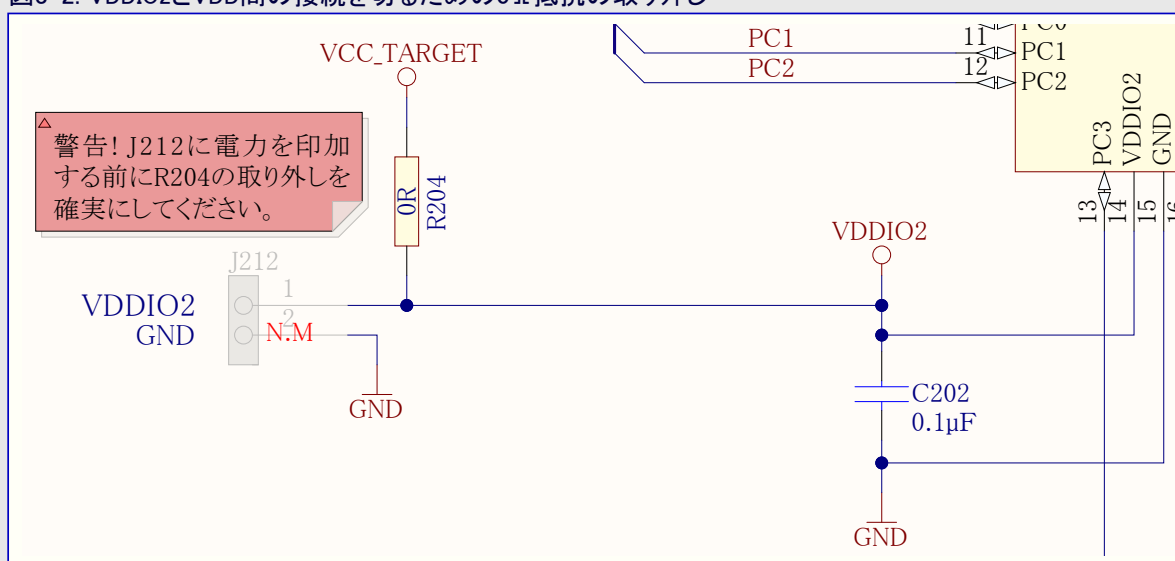


図3-2. VDDIO2とVDD間の接続を切るための0Ω抵抗の取り外し



3.2. VDDIO2への電力供給

複数電圧入出力(MVIO)はシステム構成設定1(SYSCFG1)ヒューズのMVIOシステム構成設定(MVSYSCFG)ビット領域に書くことによって2つの供給動作の1つで構成設定することができます。

- MVIO能力を持つ入出力ピンがMVIO能力を持たないピンと同じ電圧水準、即ち、VDDから給電される単一供給動作。使用者はVDDIO2ピンをVDDピンに接続しなければなりません。
- MVIO能力を持つ入出力ピンがVDDピンに供給される電圧と違うかもしれないVDDIO2電圧によって供給される2元供給動作。

図3-3. FUSE.SYSCFG1 – 2元供給動作許可

8.8.2.5. SYSCFG1 – システム構成設定1 (System Configuration 1)

名称 : SYSCFG1
変位 : +\$06
リセット : \$08
特質 : -

このヒューズ記述で与えられる既定値は工場書き込み値で、リセット値と間違えてはいけません。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
				MVSYSCFG1,0		SUT2~0		
アクセス種別	R	R	R	R	R	R	R	R
既定値	0	0	0	0	1	0	0	0

● ビット4,3 – MVSYSCFG1,0 : MVIOシステム構成設定 (MVIO System Configuration)

このビット領域は電源動作を制御します。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	-	DUAL	SINGLE	-
説明	(予約)	2元供給構成で使われるデバイス	単一供給構成で使われるデバイス	(予約)

4. OPAMP初期化

以降の全ての例について、OPAMPは使うための準備をする基本初期化を使います。OPAMPを初期化するのに以下の手順が必要とされます。

1. 雑音と消費電力を減らすため、OPAMPの出力ピンのデジタル入力緩衝部を禁止してください。
2. 時間基準(TIMEBASE)レジスタを $\geq 1\mu\text{s}$ に設定してください。
3. 継続的に動かすようにOPAMPを許可するため、常時ON(ALWAYSON)ビットを設定(1)してください。
4. OPAMPの入出力をそれらの各々のピンに接続するため、出力動作(OUTMODE)をNORMALに設定してください。
5. スタンバイ休止でOPAMPを活動にしてください(任意選択)。
6. 許可(ENABLE)ビットに'1'を書くことによってOPAMPを許可してください。

任意選択段階を含む上の手順が下の関数で実装されます。この関数は以降の全ての例で使われます。

```
#define OPAMP_MAX_SETTLE_TIME 0x7F

void op_amp_init()
{
    /* 演算増幅器出力ピンで入力を禁止 */
    PORTD.PIN2CTRL = PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;

    /* 演算増幅器構成設定 */
    OPAMP.CTRLA = OPAMP_ENABLE_bm;
    OPAMP.TIMEBASE = (uint8_t) ceil(CLK_PER*0.000001)-1; /* 1μsになる周辺機能クロック周期数 */
    OPAMP.OPOCTRLA = OPAMP_RUNSTBY_bm | OPAMP_ALWAYSON_bm | OPAMP_OPOCTRLA_OUTMODE_NORMAL_gc;
    OPAMP.OPOSETTLE = OPAMP_MAX_SETTLE_TIME; // 安定時間が未知のため最大に設定されるべきです。
}
```

5. 電圧参照基準生成

以降の例の実装を続ける前に「3. ハードウェア構成設定」章での手順に従うことを確実にしてください。

5.1. 内部梯子型抵抗の使用

内部梯子型抵抗は演算増幅器n抵抗多重器(OPnRESMUX)レジスタの摺動子用多重器(MUXWIP)ビット領域に書くことによって選ぶことができる摺動子で選択可能な様々な接続点を持ちます。摺動子位置での電圧水準は V_{in} 、 $R1$ 、 $R2$ の関数です。

$$V_{out} = \frac{R1}{R1 + R2} \times V_{in}$$

表5-1. VDD=5Vでの梯子型抵抗出力

MUXWIP設定	VDDの分数	概ねの出力電圧
0 1 0	3/4	3.75V
0 1 1	1/2	2.5V
1 0 0	3/8	1.88V

内部梯子型抵抗を許可してOPAMPを電源にするには以下の手順が必要とされます。

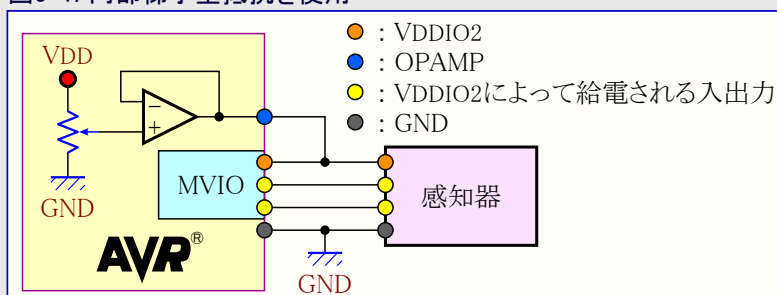
1. OPAMPの負入力をこれの出力に接続してください。
2. OPAMPの正入力を梯子型抵抗の摺動子に接続してください。
3. 梯子型抵抗の上側をVDDに接続してください。
4. 梯子型抵抗の下側をGNDに接続してください。
5. 摺動子位置を望む位置に設定してください。

下の関数はデータシートによって定義された入力として摺動子位置を取り、OPAMPを電源として働くように構成設定します。

```
void op_amp_setup_int_resistors(OPAMP_OPORESMUX_MUXWIP_t MUXWIP_gc)
{
    OPAMP.OP0INMUX = OPAMP.OP0INMUX_MUXNEG_OUT_gc | OPAMP.OP0INMUX_MUXPOS_WIP_gc;
    OPAMP.OP0RESMUX = OPAMP.OP0RESMUX_MUXTOP_VDD_gc | OPAMP.OP0RESMUX_MUXBOT_GND_gc | MUXWIP_gc;
}
```

MVIOに対する電源にこの方法を使い、この電源実装の電氣的制限を考察すると、「VDD=5Vでの梯子型抵抗出力」表で一覧にされた摺動子位置だけがこの応用に対して有用な出力を与えます。

図5-1. 内部梯子型抵抗を使用



下のコードは上で言及された機能を許します。

```
#define F_CPU 4000000ul
#define CLK_PER 4000000ul
#define OPAMP_MAX_SETTLE_TIME 0x7F
#include <avr/io.h>
#include <math.h>

void op_amp_init();
void op_amp_setup_int_resistors(uint8_t MUXWIP_gc);

int main(void)
{
    op_amp_init();
    op_amp_setup_int_resistors(OPAMP_OPORESMUX_MUXWIP_WIP4_gc);
    while (1)
    {
        /* あなたの応用はここです。 */
    }
}

void op_amp_init()
{
    /* 演算増幅器出力ピンで入力を禁止 */
    PORTD.PIN2CTRL = PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;
```



```

/* 演算増幅器構成設定 */
OPAMP.CTRLA = OPAMP_ENABLE_bm;
OPAMP.TIMEBASE = (uint8_t) ceil(CLK_PER*0.000001)-1; /* 1μsになる周辺機能クロック周期数 */
OPAMP.OPOCTRLA = OPAMP_RUNSTBY_bm | OPAMP_ALWAYS_ON_bm | OPAMP_OPOCTRLA_OUTMODE_NORMAL_gc;
OPAMP.OPOSETTLE = OPAMP_MAX_SETTLE_TIME; // 安定時間が未知のため最大に設定されるべきです。
}

void op_amp_setup_int_resistors(OPAMP_OPORESMUX_MUXWIP_t MUXWIP_gc)
{
    OPAMP.OPOINMUX = OPAMP_OPOINMUX_MUXNEG_OUT_gc | OPAMP_OPOINMUX_MUXPOS_WIP_gc;
    /* MUXWIPは演算増幅器出力電圧を決めるビット領域です。VDD=5Vで以下を得ます。:
        OPAMP_OPORESMUX_MUXWIP_WIP4_gc ⇒ 約1.88V
        OPAMP_OPORESMUX_MUXWIP_WIP3_gc ⇒ 約2.5V
        OPAMP_OPORESMUX_MUXWIP_WIP2_gc ⇒ 約3.75V */
    OPAMP.OPORESMUX = OPAMP_OPORESMUX_MUXTOP_VDD_gc | OPAMP_OPORESMUX_MUXBOT_GND_gc | MUXWIP_gc;
}

```

この例用のコードはそれらのGitHub貯蔵庫の[using-internal-resistor-ladder](#)フォルダで入手可能です。



GitHubでコード例を見てください。
貯蔵庫を閲覧するにはクリックしてください。

5.2. 外部抵抗の使用

外部抵抗を利用することにより、事実上、VDD-1V～1.8V間のどの電圧水準も演算増幅器の正入力に供給することができます。下の構成図で示されるように抵抗を接続することにより、次式が電圧フォロウの電圧出力を与えます。

$$V_{out} = \frac{R1}{R1 + R2} \times VDD$$

OPAMPを外部抵抗に接続するにはOPAMPの正入力それぞれの各々のピンに接続されることが必要です。また、OPAMPの負入力はその出力に接続されることも必要です。

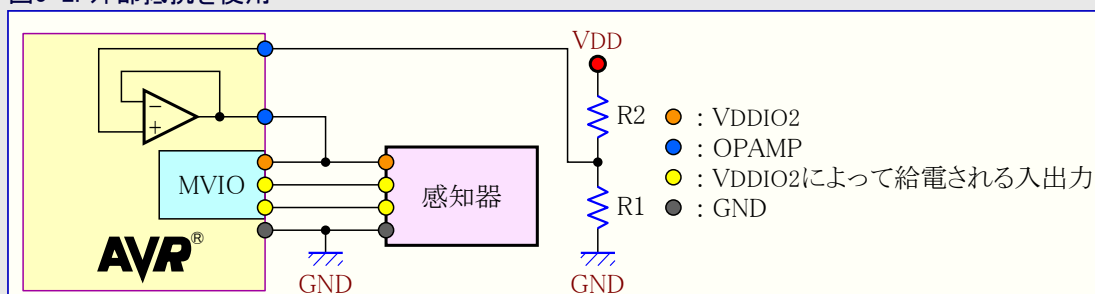
以下の関数は必要な構成設定を実行します。

```

void op_amp_setup_ext_resistors()
{
    OPAMP.OPOINMUX = OPAMP_OPOINMUX_MUXNEG_OUT_gc | OPAMP_OPOINMUX_MUXPOS_INP_gc;
}

```

図5-2. 外部抵抗を使用



下のコードはOPnINピンに供給された電圧を出力するようにOPAMPを構成設定します。

```

/* 演算増幅器構成設定 */
OPAMP.CTRLA = OPAMP_ENABLE_bm;
#define F_CPU 4000000ul
#define CLK_PER 4000000ul
#define OPAMP_MAX_SETTLE_TIME 0x7F
#include <avr/io.h>
#include <math.h>

void op_amp_setup_ext_resistors();
void op_amp_init();

```

```

int main(void) {
    op_amp_init();
    op_amp_setup_ext_resistors();
    while (1)
    {
        /* あなたの応用はここです。 */
    }
}

void op_amp_init()
{
    /* 演算増幅器出力ピンで入力を禁止 */
    PORTD.PIN2CTRL = PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;

    /* 演算増幅器構成設定 */
    OPAMP.CTRLA = OPAMP_ENABLE_bm;
    OPAMP.TIMEBASE = (uint8_t) ceil(CLK_PER*0.000001)-1; /* 1μsになる周辺機能クロック周期数 */
    OPAMP.OP1CTRLA = OPAMP_RUNSTBY_bm | OPAMP_ALWAYS_ON_bm | OPAMP_OP1CTRLA_OUTMODE_NORMAL_gc;
    OPAMP.OP0SETTLE = OPAMP_MAX_SETTLE_TIME; // 安定時間が未知のため最大に設定されるべきです。
}

void op_amp_setup_ext_resistors()
{
    OPAMP.OP0INMUX = OPAMP_OP0INMUX_MUXNEG_OUT_gc | OPAMP_OP0INMUX_MUXPOS_INP_gc;
}

```

この例用のコードはそれらのGitHub貯蔵庫の[using-external-resistors](#)フォルダで入手可能です。



GitHubでコード例を見てください。
貯蔵庫を閲覧するにはクリックしてください。

5.3. 内部DACの使用

前の両方の利点を組み合わせて、内部D/A変換器(DAC)を使うことができます。外部部品は必要とされず、事実上、電圧フォロワの正入力にどの電圧も提供することができます。

VDDに対するDAC参照基準設定である、望む出力電圧に対するデータ(DATA)レジスタ値は次のようになります。

$$\text{DATA} = \frac{\text{VDD}}{1023} \times V_{\text{out}}$$

以下のヘルパ関数はOPAMPに供給するDACの出力電圧を設定します。

```

void dac_set_voltage(float v_out)
{
    /* 出力電圧をOPAMP駆動能力の限度内に設定することを保証 */
    if (v_out > VDD-1)
    {
        v_out = VDD-1;
    }
    volatile uint16_t data = (v_out/VDD)*1023;
    DAC0.DATA = data << DAC_DATA_gp;
}

```

DAC用の基本構成設定関数が有用です。この応用については以下を行う必要があります。

1. DAC用参照基準をVDDに設定
2. DACとDAC出力の両方を許可

```

void dac_init()
{
    /* DAC用参照基準をVDDに設定 */
    VREF.DACOREF = VREF_REFSEL_VDD_gc;

    /* DAC許可とDAC出力許可 */
}

```



```

DAC0.CTRLA = DAC_ENABLE_bm | DAC_OUTEN_bm;
}

```

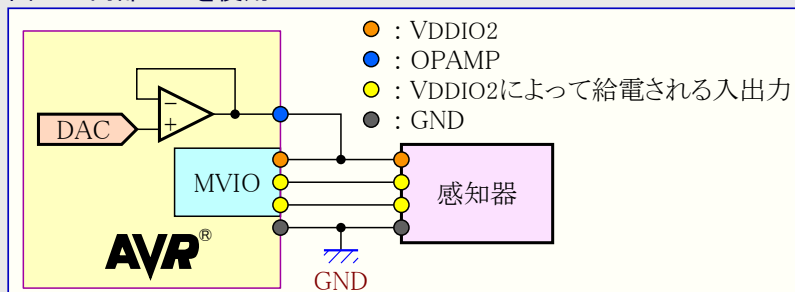
DAC出力をOPAMPの正入力に接続するために以下の構成設定関数が作られています。

```

void op_amp_setup_dac()
{
    OPAMP.OP0INMUX = OPAMP_OP0INMUX_MUXNEG_OUT_gc | OPAMP_OP0INMUX_MUXPOS_DAC_gc;
}

```

図5-3. 内部DACを使用



下のコードは上の機能を提供します。

```

#define F_CPU 4000000uL
#define CLK_PER 4000000uL
#define OPAMP_MAX_SETTLE_TIME 0x7F
#include <avr/io.h>
#include <math.h>

#define VDD 5

void op_amp_init();
void op_amp_setup_dac();
void dac_init();
void dac_set_voltage(float v_out);

int main(void)
{
    dac_init();
    op_amp_init();
    /* 既定電圧を1.8Vに設定 */
    dac_set_voltage(1.8);
    while (1)
    {
        /* あなたの応用はここです。 */
    }
}

void dac_set_voltage(float v_out)
{
    /* 出力電圧をOPAMP駆動能力の限度内に設定することを保証 */
    if (v_out > VDD - 1)
    {
        v_out = VDD - 1;
    }
    volatile uint16_t data = (v_out / VDD) * 1023;
    DAC0.DATA = data << DAC_DATA_gp;
}

void dac_init()
{
    /* DAC用参照基準をVDDに設定 */
    VREF.DACOREF = VREF_REFSEL_VDD_gc;
}

```

```

/* DAC許可とDAC出力許可 */
DAC0.CTRLA = DAC_ENABLE_bm | DAC_OUTEN_bm;
}

void op_amp_init()
{
    /* 演算増幅器出力ピンで入力を禁止 */
    PORTD.PIN2CTRL = PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;

    /* 演算増幅器構成設定 */
    OPAMP.CTRLA = OPAMP_ENABLE_bm;
    OPAMP.TIMEBASE = (uint8_t) ceil(CLK_PER*0.000001)-1; /* 1μsになる周辺機能クロック周期数 */
    OPAMP.OPOCTRLA = OPAMP_RUNSTBY_bm | OPAMP_ALWAYS_ON_bm | OPAMP_OPOCTRLA_OUTMODE_NORMAL_gc;
    OPAMP.OPOSETTLE = OPAMP_MAX_SETTLE_TIME; // 安定時間が未知のため最大に設定されるべきです。
}

void op_amp_setup_dac()
{
    OPAMP.OPOINMUX = OPAMP_OPOINMUX_MUXNEG_OUT_gc | OPAMP_OPOINMUX_MUXPOS_DAC_gc;
}

```

この例用のコードはそれらのGitHub貯蔵庫の[using-internal-DAC](#)フォルダで入手可能です。



GitHubでコード例を見てください。
貯蔵庫を開覧するにはクリックしてください。

6. 内部ADCでの電圧水準監視

内部A/D変換器(ADC)は電圧フォロワの出力電圧水準を監視して測定することを可能にします。これを行うには、[図6-1](#)で示されるように電圧フォロワの出力ピンをADCに接続することが必要です。

ADCは以下の手順でこの機能を実行するように初期化されます。

1. ADCの参照基準電圧を4.096Vに設定してください。
2. ADCの入力をOPAMPの出力ピンに設定してください。
3. もっと正確で平均化された結果を得るために幾らかの過採取に設定してください。
4. ADCを許可してください。

下のコードはこの方法で使うようにADCを構成設定します。

```

void adc_init()
{
    VREF.ADCOREF = VREF_REFSEL_4V096_gc;
    ADC0.MUXPOS = ADC_MUXPOS_AIN2_gc;
    ADC0.CTRLB = ADC_SAMPNUM_ACC16_gc;
    ADC0.CTRLA = ADC_ENABLE_bm;
}

```

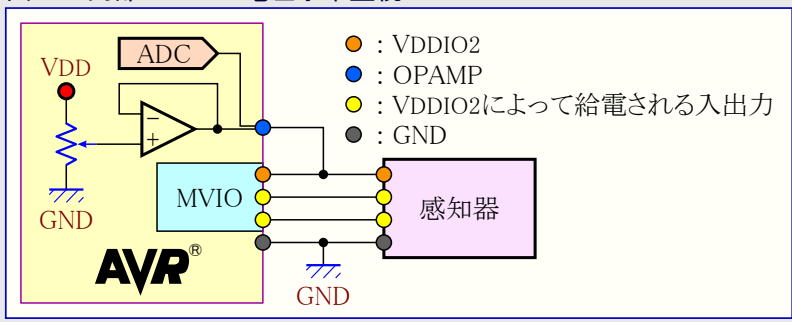
採取するにはこれの終了時にADC変換を開始してそれを読むことが必要です。

```

uint16_t adc_sample()
{
    uint16_t res;
    ADC0.COMMAND = ADC_STCONV_bm;
    while (!(ADC0.INTFLAGS & ADC_RESRDY_bm));
    /* 16個の過採取のため結果を4ビット右移動 */
    res = ADC0.RES >> 4;
    return res;
}

```

図6-1. 内部ADCでの電圧水準監視



下のコードは追加されたADC機能付きで「5.1. 内部梯子型抵抗の使用」例に基づきます。

```
#define F_CPU 4000000ul
#define CLK_PER 4000000ul
#define OPAMP_MAX_SETTLE_TIME 0x7F
#include <avr/io.h>
#include <math.h>

uint16_t adc_sample();
void adc_init();
void op_amp_init();
void op_amp_setup_int_resistors(uint8_t MUXWIP_gc);

int main(void)
{
    adc_init();
    op_amp_init();
    op_amp_setup_int_resistors(OPAMP_OPPORESMUX_MUXWIP_WIP4_gc);
    while (1)
    {
        /* この例では約1.88Vの出力電圧を持ち、その0.1V内であることを調べます。結果のLSBは1mVです。 */
        uint16_t OP_out = adc_sample();
        if ((1780 < OP_out) & (OP_out < 1980))
        {
            /* あなたの応用はここです。 */
        }
    }
}

uint16_t adc_sample()
{
    uint16_t res;
    ADC0.COMMAND = ADC_STCONV_bm;
    while (!(ADC0.INTFLAGS & ADC_RESRDY_bm));
    /* 16個の過採取のため結果を4ビット右移動 */
    res = ADC0.RES >> 4;
    return res;
}

void adc_init()
{
    VREF.ADCOREF = VREF_REFSEL_4V096_gc;
    ADC0.MUXPOS = ADC_MUXPOS_AIN2_gc;
    ADC0.CTRLB = ADC_SAMPNUM_ACC16_gc;
    ADC0.CTRLA = ADC_ENABLE_bm;
}

void op_amp_init()
{
    /* 演算増幅器出力ピンで入力を禁止 */
}
```

```

PORTD.PIN2CTRL = PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;

/* 演算増幅器構成設定 */
OPAMP.CTRLA = OPAMP_ENABLE_bm;
OPAMP.TIMEBASE = (uint8_t) ceil(CLK_PER*0.000001)-1; /* 1μsになる周辺機能クロック周期数 */
OPAMP.OP0CTRLA = OPAMP_RUNSTBY_bm | OPAMP_ALWAYS_ON_bm | OPAMP_OP0CTRLA_OUTMODE_NORMAL_gc;
OPAMP.OP0SETTLE = OPAMP_MAX_SETTLE_TIME; // 安定時間が未知のため最大に設定されるべきです。
}

void op_amp_setup_int_resistors(OPAMP_OP0RESMUX_MUXWIP_t MUXWIP_gc)
{
    OPAMP.OP0INMUX = OPAMP_OP0INMUX_MUXNEG_OUT_gc | OPAMP_OP0INMUX_MUXPOS_WIP_gc;
    /* MUXWIPは演算増幅器出力電圧を決めるビット領域です。VDD=5Vで以下を得ます。：
        OPAMP_OP0RESMUX_MUXWIP_WIP4_gc ⇒ 約1.88V
        OPAMP_OP0RESMUX_MUXWIP_WIP3_gc ⇒ 約2.5V
        OPAMP_OP0RESMUX_MUXWIP_WIP2_gc ⇒ 約3.75V */
    OPAMP.OP0RESMUX = OPAMP_OP0RESMUX_MUXTOP_VDD_gc | OPAMP_OP0RESMUX_MUXBOT_GND_gc | MUXWIP_gc;
}

```

この例用のコードはそれらのGitHub貯蔵庫の[monitoring-OPAMP-output-with-ADC](#)フォルダで入手可能です。



GitHubでコード例を見てください。
貯蔵庫を閲覧するにはクリックしてください。

7. 参考文献

1. AVR128DB48製品頁：www.microchip.com/wwwproducts/en/AVR128DB48
2. AVR128DB48：www.microchip.com/DS40002247
3. AVR128DB48 Curiosity Nano製品頁：www.microchip.com/DevelopmentTools/ProductDetails/PartNO/EV35L43A
4. AVR128DB48 Curiosity Nano使用者の手引き：www.microchip.com/DS50003037
5. AVR128DB48 Curiosity Nano回路図：ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/AVR128DB48_Curiosity_Nano_Schematic_s.pdf

8. 改訂履歴

改訂	日付	注釈
A	2020年9月	初版文書公開

Microchipウェブ サイト

Microchipはwww.microchip.com/で当社のウェブ サイト経由でのオンライン支援を提供します。このウェブ サイトはお客様がファイルや情報を容易に利用可能にするのに使われます。利用可能な情報のいくつかは以下を含みます。

- ・ **製品支援** – データシートと障害情報、応用記述と試供プログラム、設計資源、使用者の手引きとハードウェア支援資料、最新ソフトウェア配布と保管されたソフトウェア
- ・ **全般的な技術支援** – 良くある質問(FAQ)、技術支援要求、オンライン検討グループ、Microchip設計協力課程会員一覧
- ・ **Microchipの事業** – 製品選択器と注文の手引き、最新Microchip報道発表、セミナーとイベントの一覧、Microchip営業所の一覧、代理店と代表する工場

製品変更通知サービス

Microchipの製品変更通知サービスはMicrochip製品を最新に保つのに役立ちます。加入者は指定した製品系統や興味のある開発ツールに関連する変更、更新、改訂、障害情報がある場合に必ず電子メール通知を受け取ります。

登録するにはwww.microchip.com/pcnへ行って登録指示に従ってください。

お客様支援

Microchip製品の使用者は以下のいくつかのチャネルを通して支援を受け取ることができます。

- ・ 代理店または販売会社
- ・ 最寄りの営業所
- ・ 組み込み解決技術者(ESE:Embedded Solutions Engineer)
- ・ 技術支援

お客様は支援に関してこれらの代理店、販売会社、またはESEに連絡を取るべきです。最寄りの営業所もお客様の手助けに利用できます。営業所と位置の一覧はこの資料の後ろに含まれます。

技術支援はwww.microchip.com/supportでのウェブ サイトを通して利用できます。

Microchipデバイス コード保護機能

Microchipデバイスでの以下のコード保護機能の詳細に注意してください。

- ・ Microchip製品はそれら特定のMicrochipデータシートに含まれる仕様に合致します。
- ・ Microchipは意図した方法と通常条件下で使われる時に、その製品系統が安全であると考えます。
- ・ Microchipデバイスのコード保護機能を破ろうとする試みに使われる不正でおそらく違法な方法があります。当社はこれらの方法がMicrochipのデータシートに含まれた動作仕様外の方法でMicrochip製品を使うことが必要とされると確信しています。これらのコード保護機能を破ろうとする試みは、おそらく、Microchipの知的財産権に違反することなく達成することはできません。
- ・ Microchipはそのコードの完全性について心配されている何れのお客様とも共に働きたいと思います。
- ・ Microchipや他のどの半導体製造業者もそのコードの安全を保証することはできません。コード保護は製品が”破ることができない”ことを当社が保証すると言うことを意味しません。コード保護は常に進化しています。Microchipは当社製品のコード保護機能を継続的に改善することを約束します。Microchipのコード保護機能を破る試みはデジタル ミレニアム著作権法に違反するかもしれません。そのような行為があなたのソフトウェアや他の著作物に不正なアクセスを許す場合、その法律下の救済のために訴権を持つかもしれません。

法的通知

この刊行物に含まれる情報はMicrochip製品を使って設計する唯一の目的のために提供されます。デバイス応用などに関する情報は皆さまの便宜のためにだけ提供され、更新によって取り換えられるかもしれません。皆さまの応用が皆さまの仕様に合致するのを保証するのは皆さまの責任です。

この情報はMicrochipによって「現状そのまま」で提供されます。Microchipは非侵害、商品性、特定目的に対する適合性の何れの黙示的保証やその条件、品質、性能に関する保証を含め、明示的にも黙示的にもその情報に関連して書面または表記された書面または黙示の如何なる表明や保証もしません。

如何なる場合においても、Microchipは情報またはその使用に関連するあらゆる種類の間接的、特別的、懲罰的、偶発的または結果的な損失、損害、費用または経費に対して責任を負わないものとします。法律で認められている最大限の範囲で、情報またはその使用に関連する全ての請求に対するMicrochipの全責任は、もしあれば、情報のためにMicrochipへ直接支払った料金を超えないものとします。生命維持や安全応用でのMicrochipデバイスの使用は完全に購入者の危険性で、購入者はそのような使用に起因する全ての損害、請求、訴訟、費用からMicrochipを擁護し、補償し、免責することに同意します。他に言及されない限り、Microchipのどの知的財産権下でも暗黙的または違う方法で許認可は譲渡されません。

商標

Microchipの名前とロゴ、Microchipロゴ、Adaptec、AnyRate、AVR、AVRロゴ、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、chipKIT、chipKITロゴ、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemiロゴ、MOST、MOSTロゴ、MPLAB、OptoLyzer、PacTime、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32ロゴ、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SSTロゴ、SuperFlash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TempTracker、TimeSource、tinyAVR、UNI/O、Vectron、XMEGAは米国と他の国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの登録商標です。

APT、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、FlashTec、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、Libero、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plusロゴ、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、Temux、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider、Vite、WinPath、ZLは米国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの登録商標です。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、BlueSky、BodyCom、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、EtherGREEN、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、KleerNet、KleerNetロゴ、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certifiedロゴ、MPLAB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REALICE、Ripple Blocker、SAM-ICE、Serial Quad I/O、SMART-I.S.、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、View Sense、WiperLock、Wireless DNA、ZENAは米国と他の国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの商標です。

SQTPは米国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの役務標章です。

Adaptecロゴ、Frequency on Demand、Silicon Storage Technology、Symmcomは他の国に於けるMicrochip Technology Inc.の登録商標です。

GestICは他の国に於けるMicrochip Technology Inc.の子会社であるMicrochip Technology Germany II GmbH & Co. KGの登録商標です。

ここで言及した以外の全ての商標はそれら各々の会社の所有物です。

© 2020年、Microchip Technology Incorporated、米国印刷、不許複製

品質管理システム

Microchipの品質管理システムに関する情報についてはwww.microchip.com/qualityを訪ねてください。

日本語© HERO 2020.

本応用記述はMicrochipのAN3408応用記述(DS00003636A-2020年9月)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識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。

世界的な販売とサービス

米国	亜細亜/太平洋	亜細亜/太平洋	欧州
本社 2355 West Chandler Blvd. Chandler, AZ 85224-6199 Tel: 480-792-7200 Fax: 480-792-7277 技術支援: www.microchip.com/support ウェブアドレス: www.microchip.com アトランタ Duluth, GA Tel: 678-957-9614 Fax: 678-957-1455 オースチン TX Tel: 512-257-3370 ボストン Westborough, MA Tel: 774-760-0087 Fax: 774-760-0088 シカゴ Itasca, IL Tel: 630-285-0071 Fax: 630-285-0075 ダラス Addison, TX Tel: 972-818-7423 Fax: 972-818-2924 デトロイト Novi, MI Tel: 248-848-4000 ヒューストン TX Tel: 281-894-5983 インディアナポリス Noblesville, IN Tel: 317-773-8323 Fax: 317-773-5453 Tel: 317-536-2380 ロサンゼルス Mission Viejo, CA Tel: 949-462-9523 Fax: 949-462-9608 Tel: 951-273-7800 ローリー NC Tel: 919-844-7510 ニューヨーク NY Tel: 631-435-6000 サンホセ CA Tel: 408-735-9110 Tel: 408-436-4270 カナダ - トロント Tel: 905-695-1980 Fax: 905-695-2078	オーストラリア - シドニー Tel: 61-2-9868-6733 中国 - 北京 Tel: 86-10-8569-7000 中国 - 成都 Tel: 86-28-8665-5511 中国 - 重慶 Tel: 86-23-8980-9588 中国 - 東莞 Tel: 86-769-8702-9880 中国 - 広州 Tel: 86-20-8755-8029 中国 - 杭州 Tel: 86-571-8792-8115 中国 - 香港特別行政区 Tel: 852-2943-5100 中国 - 南京 Tel: 86-25-8473-2460 中国 - 青島 Tel: 86-532-8502-7355 中国 - 上海 Tel: 86-21-3326-8000 中国 - 瀋陽 Tel: 86-24-2334-2829 中国 - 深圳 Tel: 86-755-8864-2200 中国 - 蘇州 Tel: 86-186-6233-1526 中国 - 武漢 Tel: 86-27-5980-5300 中国 - 西安 Tel: 86-29-8833-7252 中国 - 廈門 Tel: 86-592-2388138 中国 - 珠海 Tel: 86-756-3210040	インド - ハンガロール Tel: 91-80-3090-4444 インド - ニューデリー Tel: 91-11-4160-8631 インド - プネー Tel: 91-20-4121-0141 日本 - 大阪 Tel: 81-6-6152-7160 日本 - 東京 Tel: 81-3-6880-3770 韓国 - 大邱 Tel: 82-53-744-4301 韓国 - ソウル Tel: 82-2-554-7200 マレーシア - クアラルンプール Tel: 60-3-7651-7906 マレーシア - ペナン Tel: 60-4-227-8870 フィリピン - マニラ Tel: 63-2-634-9065 シンガポール Tel: 65-6334-8870 台湾 - 新竹 Tel: 886-3-577-8366 台湾 - 高雄 Tel: 886-7-213-7830 台湾 - 台北 Tel: 886-2-2508-8600 タイ - バンコク Tel: 66-2-694-1351 ベトナム - ホーチミン Tel: 84-28-5448-2100	オーストラリア - ウェルズ Tel: 43-7242-2244-39 Fax: 43-7242-2244-393 デンマーク - コペンハーゲン Tel: 45-4485-5910 Fax: 45-4485-2829 フィンランド - エスボ Tel: 358-9-4520-820 フランス - パリ Tel: 33-1-69-53-63-20 Fax: 33-1-69-30-90-79 ドイツ - ガルヒング Tel: 49-8931-9700 ドイツ - ハーネ Tel: 49-2129-3766400 ドイツ - ハイムブロン Tel: 49-7131-72400 ドイツ - カールスルーエ Tel: 49-721-625370 ドイツ - ミュンヘン Tel: 49-89-627-144-0 Fax: 49-89-627-144-44 ドイツ - ローゼンハイム Tel: 49-8031-354-560 イスラエル - ラーナナ Tel: 972-9-744-7705 イタリア - ミラノ Tel: 39-0331-742611 Fax: 39-0331-466781 イタリア - パドバ Tel: 39-049-7625286 オランダ - デルフト Tel: 31-416-690399 Fax: 31-416-690340 ノルウェー - トロンハイム Tel: 47-72884388 ポーランド - ワルシャワ Tel: 48-22-3325737 ルーマニア - ブカレスト Tel: 40-21-407-87-50 スペイン - マドリード Tel: 34-91-708-08-90 Fax: 34-91-708-08-91 スウェーデン - イェテボリ Tel: 46-31-704-60-40 スウェーデン - ストックホルム Tel: 46-8-5090-4654 イギリス - ウォーキンガム Tel: 44-118-921-5800 Fax: 44-118-921-5820