
第 19 章 コンパレータ モジュール

ハイライト

本章では次のトピックについて説明します。

| | | |
|-------|----------------------|-------|
| 19.1 | はじめに..... | 19-2 |
| 19.2 | 制御レジスタ..... | 19-3 |
| 19.3 | コンパレータの動作..... | 19-5 |
| 19.4 | コンパレータのリファレンス..... | 19-5 |
| 19.5 | コンパレータ応答時間..... | 19-6 |
| 19.6 | コンパレータの出力..... | 19-6 |
| 19.7 | コンパレータの割り込み..... | 19-7 |
| 19.8 | 初期化..... | 19-9 |
| 19.9 | 電氣的仕様..... | 19-10 |
| 19.10 | 関連するアプリケーションノート..... | 19-11 |
| 19.11 | 改版履歴..... | 19-12 |

19.1 はじめに

アナログ コンパレータ モジュールは2つの コンパレータを含んでいて、多様な構成ができます。入力、オンチップの電圧リファレンスと同様に、I/O ピンと多重化されているアナログ入力ピンから選択できます(第20章「コンパレータ電圧リファレンス モジュール」を参照)。多くのコンパレータ構成のブロックを図19-1に示します。

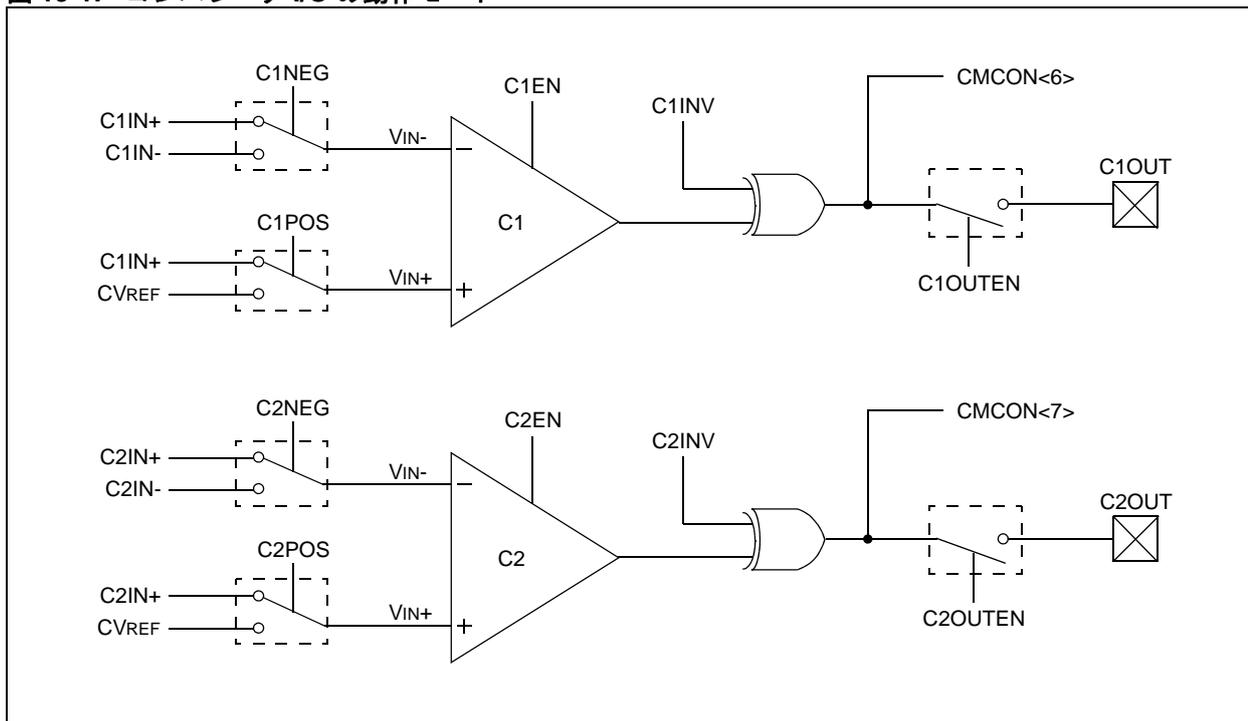
19.1.1 コンパレータの構成

PIC24F デバイスは、ほぼ 100% 柔軟なコンパレータ モジュールの構成を提供しており、PIC18 デバイスでは固定であった多くのオプションを個別に制御できます。PIC24F のコンパレータ モジュールは、有効化、I/O ピンの出力反転、出力と入力の選択を独立に制御します。各コンパレータの V_{IN-} ピンにはいずれかの I/O ピン ($CxIN+$ または $CxIN-$) を選択でき、コンパレータの V_{IN+} 入力は、コンパレータ用電圧リファレンスか、正の I/O ピン ($CxIN+$ または $CVREF$) から供給されます。さらに、PIC24F は、2つの独立のコンパレータ イベント制御ビットを持っています。これらは、個々のコンパレータの出力変化を検出するのに使われます。

コンパレータ モードが変更された場合、コンパレータ出力レベルは、既定のモード変更遅延(19.9章「電気的仕様」に示されています)の間無効です。

注：コンパレータの割り込みは、誤った割り込みが発生しないように、コンパレータのモード変更中は禁止されます。

図 19-1: コンパレータ I/O の動作モード



19.2 制御レジスタ

デジタル出力 (通常または反転) はピンのレベルとして出力されますが、コンパレータ制御レジスタ (CMCON) で読み出すこともできます。CMCON レジスタ (レジスタ 19-1) で、コンパレータの入力と出力の構成を選択します。

レジスタ 19-1: CMCON: コンパレータ制御レジスタ

| | | | | | | | |
|--------|-----|-------|-------|-------|-------|---------|---------|
| R/W-0 | U-0 | R/C-0 | R/C-0 | R/W-0 | R/W-0 | R/W-0 | R/W-0 |
| CMIDL | — | C2EVT | C1EVT | C2EN | C1EN | C2OUTEN | C1OUTEN |
| ビット 15 | | | | | | | ビット 8 |

| | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| R-0 | R-0 | R/W-0 | R/W-0 | R/W-0 | R/W-0 | R/W-0 | R/W-0 |
| C2OUT | C1OUT | C2INV | C1INV | C2NEG | C2POS | C1NEG | C1POS |
| ビット 7 | | | | | | | ビット 0 |

| | | |
|---|------------------------------------|--|
| 凡例: R = 読み出し可 -n = POR 後の値 | C = クリア可 W = 書き込み可 '1' = セット | U = 未実装、読むと '0' '0' = クリア x = 不定 |
|---|------------------------------------|--|

- ビット 15** **CMIDL:** アイドルモード時停止ビット
 1 = デバイスがアイドルモード中は、モジュールは割り込み生成せず。モジュール動作は依然有効
 0 = アイドルモード中も通常動作継続
- ビット 14** **未実装:** 読むと「0」
- ビット 13** **C2EVT:** コンパレータ 2 のイベント ビット
 1 = コンパレータ出力は状態変化した
 0 = コンパレータ出力は状態変化していない
- ビット 12** **C1EVT:** コンパレータ 1 のイベント ビット
 1 = コンパレータ出力は状態変化した
 0 = コンパレータ出力は状態変化していない
- ビット 11** **C2EN:** コンパレータ 2 の有効化ビット
 1 = コンパレータを有効化
 0 = コンパレータを無効化
- ビット 10** **C1EN:** コンパレータ 1 の有効化ビット
 1 = コンパレータを有効化
 0 = コンパレータを無効化
- ビット 9** **C2OUTEN:** コンパレータ 2 出力有効化ビット
 1 = コンパレータ出力は出力パッドで駆動する
 0 = コンパレータ出力は出力パッドで駆動しない
- ビット 8** **C1OUTEN:** コンパレータ 1 出力有効化ビット
 1 = コンパレータ出力で出力パッドを駆動する
 0 = コンパレータ出力は出力パッドを駆動しない
- ビット 7** **C2OUT:** コンパレータ 2 出力ビット
C2INV = 0 の場合
 1 = C2IN+ > C2IN-
 0 = C2IN+ < C2IN-
C2INV = 1 の場合
 0 = C2IN+ > C2IN-
 1 = C2IN+ < C2IN-

PIC24F ファミリ リファレンス マニュアル

レジスタ 19-1: CMCON: コンパレータ制御レジスタ (続き)

- ビット 6 **C1OUT:** コンパレータ 1 出力ビット
C1INV = 0 の場合
1 = C1IN+ > C1IN-
0 = C1IN+ < C1IN-
C1INV = 1 の場合
0 = C1IN+ > C1IN-
1 = C1IN+ < C1IN-
- ビット 5 **C2INV:** コンパレータ 2 出力反転ビット
1 = C2 出力を反転する
0 = C2 出力を反転しない
- ビット 4 **C1INV:** コンパレータ 1 出力反転ビット
1 = C1 出力を反転する
0 = C1 出力を反転しない
- ビット 3 **C2NEG:** コンパレータ 2 の負側入力構成ビット
1 = 入力を C2IN+ に接続
0 = 入力を C2IN- に接続
コンパレータ モードについては図 19-1 を参照
- ビット 2 **C2POS:** コンパレータ 2 の正側入力構成ビット
1 = 入力を C2IN+ に接続
0 = 入力を CVREF に接続
コンパレータ モードについては図 19-1 を参照
- ビット 1 **C1NEG:** コンパレータ 1 の負側入力構成ビット
1 = 入力を C1IN+ に接続
0 = 入力を C1IN- に接続
コンパレータ モードについては図 19-1 を参照
- ビット 0 **C1POS:** コンパレータ 1 の正側入力構成ビット
1 = 入力を C1IN+ に接続
0 = 入力を CVREF に接続
コンパレータ モードについては図 19-1 を参照

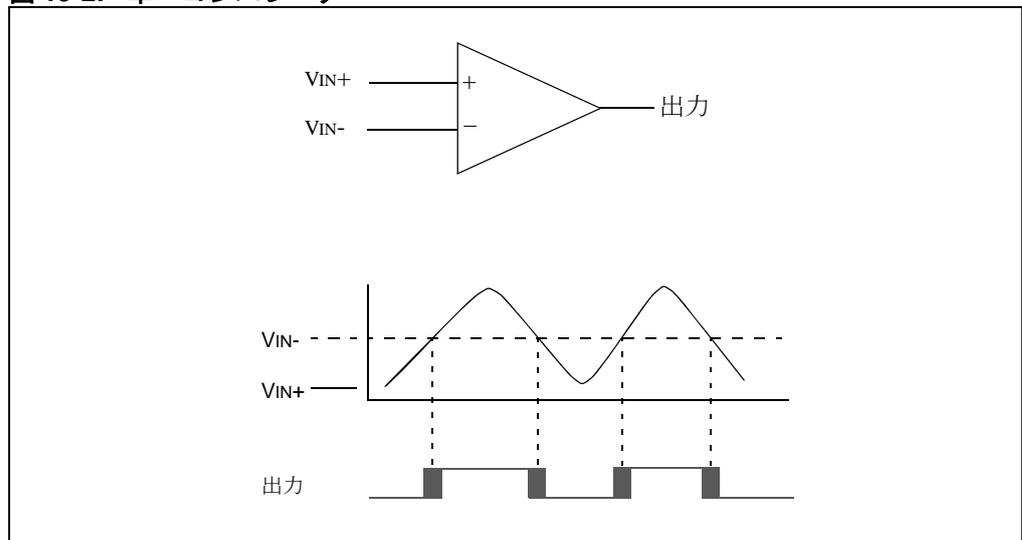
19.3 コンパレータの動作

アナログ入力レベルとデジタル出力との関係を示すひとつのコンパレータを図 19-2 に示します。VIN+ のアナログ入力が入力 VIN- より低い場合は、コンパレータ出力はデジタルの Low レベルとなります。VIN+ のアナログ入力が入力 VIN- より高い場合は、コンパレータ出力はデジタルの High レベルとなります。図 19-2 で影を付けた範囲のコンパレータ出力は、入力のオフセットと応答時間による不確かな状態となることを表しています。

19.4 コンパレータのリファレンス

コンパレータの動作モードにより、外部リファレンスか内蔵電圧リファレンスのいずれかが使われます。VIN- に加えられたアナログ信号が VIN+ の信号と比較され、コンパレータのデジタル出力がこれによって調整されます (図 19-2)。

図 19-2: 単一コンパレータ



19.4.1 外部リファレンス信号

外部電圧リファレンスが使われた場合は、コンパレータ モジュールは 2 つのコンパレータを同じか異なるリファレンス源で動作させるように構成できます。しかし、スレッショルド検出のアプリケーションでは同じリファレンスが要求されます。入力電圧の制限については、19.9 章「電氣的仕様」を参照して下さい。

19.4.2 内蔵リファレンス信号

コンパレータ モジュールは、コンパレータ用電圧リファレンス モジュールからの内部生成の電圧リファレンスを選択することもできます。このモジュールの詳細については、第 20 章「コンパレータ電圧リファレンス モジュール」で説明しています。

内蔵リファレンスは、CIPOS = 0、C2POS = 0 かつ CVRSS bit (CVRCON<4>) = 0 のとき利用できます。このモードでは、内蔵電圧リファレンスは両方のコンパレータの VIN+ ピンに加えられます。

19.5 コンパレータ応答時間

応答時間とは、新たなリファレンス電圧または入力源が選択されてから、コンパレータ出力が有効なレベルとなるまでの最短時間のことです。内蔵リファレンスを変更した場合は、コンパレータ出力が使用できるまでに、内部電圧リファレンスの最大遅延を考慮する必要があります。もしそうしなければ、コンパレータの最大遅延を使う必要があります (19.9 章「電氣的仕様」参照)。

19.6 コンパレータの出力

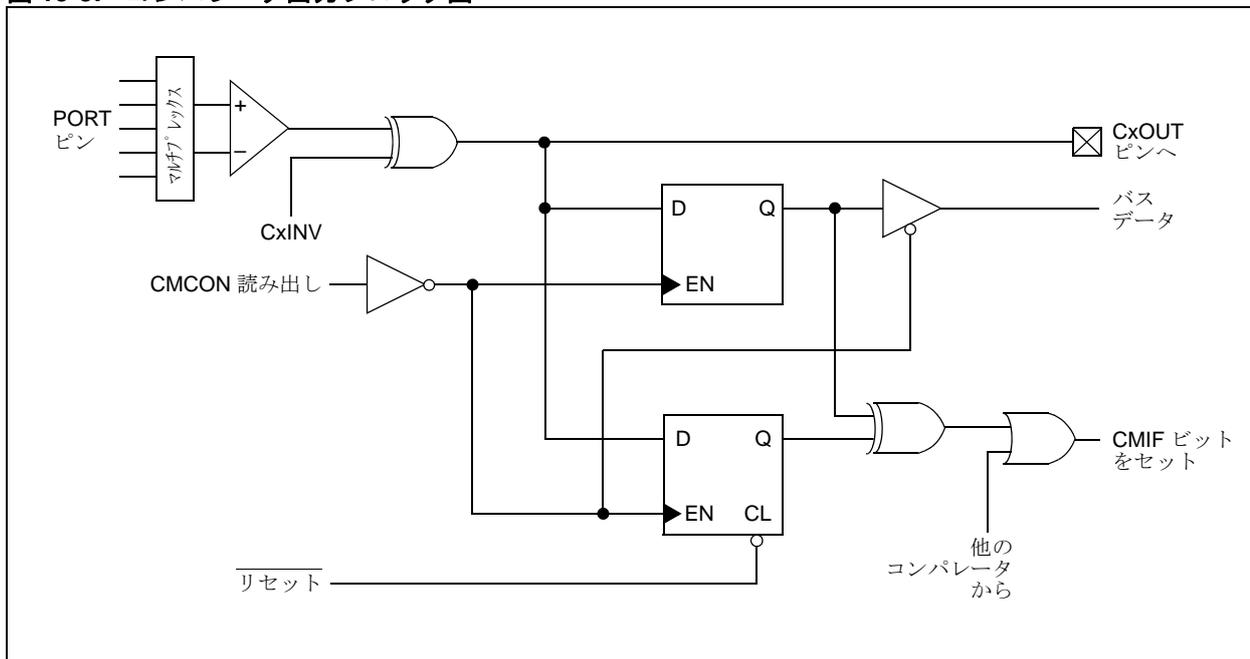
コンパレータ出力は、CMCON レジスタで読み出せます。これらのビットは読み出し専用です。コンパレータ出力は、また、C1OUT と C2OUT を経由して I/O ピンから直接出力されます。これが有効化されると、I/O ピンの出力経路のマルチプレクサが切り替わり、各ピンの出力はコンパレータの非同期出力となります。各コンパレータの不確定さは、仕様で決まる入力オフセット電圧と応答時間に関係します。図 19-3 にコンパレータの出力ブロック図を示します。

このモードにおいても、対応する TRIS ビットは依然 I/O ピンの出力を有効化/無効化するように機能します。

コンパレータ出力の極性は、C2INV と C1INV ビット (CMCON<5:4>) により変更できます。

- 注 1:** PORT レジスタを読み出した場合、アナログ入力に構成されたすべてのピンは「0」として読み出されます。デジタル入力に構成されたピンは、シュミット トリガ入力仕様に基づいてアナログ入力に変換されます。
- 2:** デジタル入力として定義されたピンにアナログレベルを加えると、入力バッファが仕様より多くの電流を消費することがあります。

図 19-3: コンパレータ出力ブロック図



19.7 コンパレータの割り込み

コンパレータ割り込みフラグ CMIF (IFS1<2>) は、いずれかの コンパレータの出力が変化
する都度セットされます。ソフトウェアで C1EVT と C2EVT を読むことで実際に発生した
変化を特定できます。このレジスタには「1」を書き込むこともできるので、このとき擬
似割り込みが発生します。CMIF と CxEVT ビットはソフトウェアでクリアしてリセット
する必要があります。

CMIE ビット (IEC1<2>) をクリアすると、割り込みが無効化されますが、CMIF ビットは
割り込み条件が発生すればセットされます。

注: CMCON レジスタ (C1OUT または C2OUT) の変化が、これを読み出し中に起きた場
合 (Q2 サイクルのはじめで) には、CMIF (IFS1<2>) 割り込みフラグはセットされま
せん。

ユーザーが割り込みサービス ルーチン内で、CMIF をクリアすることで割り込みをクリ
アできます。さらなる情報は、第 8 章「割り込み」を参照して下さい。

19.7.1 スリープ中のコンパレータの動作

コンパレータがアクティブのときデバイスがスリープモードになると、コンパレータは依
然アクティブで、有効化されていれば割り込みが機能します。この割り込みでデバイスを
スリープモードからウェイクアップさせます。それぞれの動作しているコンパレータは、
コンパレータの仕様で示される追加の電流を消費します。スリープモード中の電力消費を
最少にするには、スリープモードに入る前に CxEN = 0 (CMCON<11:10>) としてコンパ
レータをオフにします。デバイスがスリープからウェイクアップしても、CMCON レジス
タの内容は影響されません。スリープに関するさらなる情報は、このマニュアル中の第 10
章「省電力機能」を参照して下さい。

19.7.2 リセットの影響

デバイスリセットは CMCON レジスタを強制的にリセット状態とし、コンパレータモ
ジュールはオフ (CxEN = 0) となります。しかし、アナログ入力源と複合化されている入
力ピンは、デバイスリセットのデフォルトでアナログ入力として構成されます。これらの
ピンの I/O 構成は、ADxPCFG レジスタの設定で決定されます。したがって、デバイス電
流は、リセット時にアナログ入力があるとき最少となります。

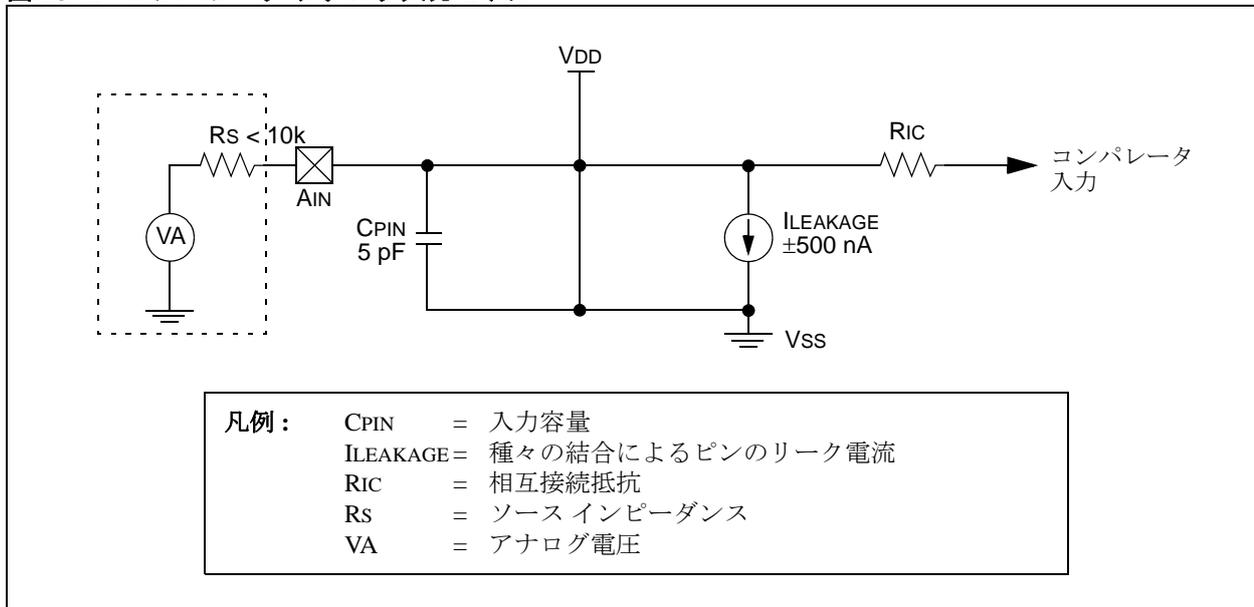
19.7.3 アナログ入力の接続時の考慮

アナログ入力の簡略化した回路を図 19-4 に示します。アナログ源として推奨される最大
ソースインピーダンスは 10 kΩ です。アナログ入力ピンに、接続されるコンデンサやツェ
ナーダイオードのような外付け部品は、リーク電流が極めて少ないものにして下さい。
入力電圧制限については 19.9 章「電氣的仕様」を参照して下さい。

19.7.4 アイドル時のコンパレータ動作

コンパレータがアクティブのときデバイスがアイドルモードになると、コンパレータは依然アクティブのままになり、割り込みが有効になっていて、そして $CMIDL = 0$ ($CMCON<15>$) であれば割り込みが生成されます。アイドルモード中にコンパレータを割り込み生成なしで動作させたい場合には、 $CMIDL = 1$ ($CMCON<15>$) に構成して下さい。アイドルに関するさらなる情報については、**第 10 章「省電力機能」**を参照して下さい。

図 19-4: コンパレータ アナログ入力モデル



19.8 初期化

この初期化シーケンスは、コンパレータ モジュールを、出力有効で、コンパレータ 1 出力を反転した 2 つの独立したコンパレータとして構成します。コンパレータ電圧リファレンス モジュールを出力有効で、 $0.25 * V_{DD}$ に設定した構成とします。例 19-1 に電圧リファレンスとコンパレータ モジュールを構成するプログラム シーケンスを示します。この例で使用した遅延は、8 MHz の発振器をベースにしています。

例 19-1: コンパレータの構成

```
CMCON = 0x0F10;      //Initialize Comparator Module

CVRCON= 0x00C0;      //Initialize Voltage Reference Module

CMCONbits.C1EVT= 0;  //Clear Comparator 1 Event
CMCONbits.C2EVT= 0;  //Clear Comparator 2 Event

asm volatile("repeat #40"); //Delay 10us
Nop();
```

PIC24F ファミリ リファレンス マニュアル

19.9 電氣的仕様

19.9.1 AC 特性

表 19-1: コンパレータ タイミング

| パラメータ No | 記号 | 特性 | Min | Typ | Max | 単位 | コメント |
|----------|--------|------------------------|-----|-----|-----|----|------|
| 300 | TRESP | 応答時間 ⁽¹⁾ | — | 150 | 400 | ns | |
| 301 | TMC2OV | コンパレータ モード変更から出力有効まで * | — | — | 10 | μs | |

* パラメータは特性測定されたものであるが、テストは行われぬ

注 1: 応答時間は、片側のコンパレータ入力を $(V_{DD} - 1.5)/2$ に、もう片方の入力を V_{SS} から V_{DD} に変化させて測定。

19.9.2 DC 特性

表 19-2: コンパレータ DC 特性

| 動作条件: $2.0V < V_{DD} < 3.6V$, $-40^{\circ}C < T_A < +85^{\circ}C$ (特に記載のない限り) | | | | | | | |
|--|-------|--------------|-----|-----|-----|----|------|
| パラメータ No | 記号 | 特性 | Min | Typ | Max | 単位 | コメント |
| D300 | VIOFF | 入力オフセット電圧 * | — | ±5 | TBD | mV | |
| D301 | VICM | 入力コモンモード電圧 * | TBD | — | TBD | V | |
| D302 | CMRR | コモンモード除去比 * | TBD | — | — | dB | |

凡例: TBD = 別途決定

* パラメータは特性測定されたものであるが、テストは行われぬ

19.10 関連するアプリケーションノート

ここでは、マニュアルのこの章に関連するアプリケーションノートをリストアップします。これらのアプリケーションノートは、特に PIC24F デバイスファミリー専用ではありませんが、その概念は共通であり、変更、あるいは制限事項を考慮に入れて使用できます。現在、コンパレータ モジュールに関連するアプリケーションノートは次の通りです。

| タイトル | アプリケーション ノート # |
|---|----------------|
| Resistance and Capacitance Meter Using a PIC16C622 | AN611 |
| Make a Delta-Sigma Converter Using a Microcontroller's Analog Comparator Module | AN700 |
| A Comparator Based Slope ADC | AN863 |
| Oscillator Circuits for RTD Temperature Sensors | AN895 |
| Temperature Measurement Circuits for Embedded Applications | AN929 |
| Analog Sensor Conditioning Circuits – An Overview | AN990 |

注：PIC24F ファミリー デバイスに関するその他のアプリケーションノートやコード例についてはマイクロチップ ウェブ サイト (www.microchip.com) をご覧下さい。

19.11 改版履歴

リビジョン A (2006 年 6 月)

本文書の初版リリース。