
信号最大化: 正しいアナログ信号採取のための助言と裏技

序説

A/D変換器(ADC)は組み込みマイクロコントローラ(MCU)で一般的な周辺機能です。これらの周辺機能を設定して値を捕獲するのに相違がない時は不正確または曖昧な結果に終わり易くなります。この指針の目的はADC設定、アナログ信号採取、ソフトウェア計算を最小化すると同時に信号の濾波を手助けするADC機能を使う時と使い方でのいくつかの落とし穴を検討することです。

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
1. アナログ信号取得	3
1.1. アナログ採取用入出力構成設定	3
1.2. 信号インピーダンスと取得時間	3
1.3. 信号尺度と分解能	4
1.4. 接地と測定	5
1.5. 相互干渉とPCB配線	7
1.6. チャネル間相互干渉と誤差	7
1.7. 折り返し雑音	8
2. 高度なアナログ採取	8
2.1. 電圧参照基準についての全て	8
2.2. 温度指標での測定	9
2.3. 接触感知	9
3. 採取法	9
3.1. 基本	9
3.2. 累積	9
3.3. 平均と集中平均	9
3.4. 低域通過濾波器	10
4. 文献	10
4.1. 演算増幅器	10
4.2. A/D変換器	10
5. 改訂履歴	11
Microchipウェブ サイト	12
製品変更通知サービス	12
お客様支援	12
Microchipデバイス コード保護機能	12
法的通知	12
商標	13
品質管理システム	13
世界的な販売とサービス	14

1. アナログ信号取得

1.1. アナログ採取用入出力構成設定

アナログ入力として使われる入出力(I/O)ピンは外部信号を採取する時に、禁止されたデジタル入力緩衝部を持たなければなりません。これはパットの内側のデジタル論理回路緩衝部によって齎されるなどの雑音も減らします。加えて、デジタル論理回路緩衝部が許可されたままなら、それらは消費電流を増すかもしれません。

1.2. 信号インピーダンスと取得時間

ADCへの入力信号は2つの段階(注1)、採取段と変換段で測定されます。採取段は入力をADC内側の内部採取/保持(S/H)コンデンサに接続します。その後この入力はこのコンデンサから切り離され、内部的にADC内側の変換回路に接続されます。

入力信号を正しく測定するため、内部S/Hコンデンサは0.5最下位ビット(LSB)以内に充電されることが必要とされます。LSBの値は下で示されるように参照基準電圧によってビット数(n)に分割することによって計算することができます。

$$V_{LSB} = \frac{V_{REF}}{2^n}$$

けれども、全てのビットが必要とされないなら、有効ビット数(n)をより小さな値に設定してください。これは必要とされる取得時間(t_{ACQ})を減らします(注2)。最小 t_{ACQ} を見つけるため、ADCへの入力は下図で示されるようにRC低域通過濾波器として模式化することができます。

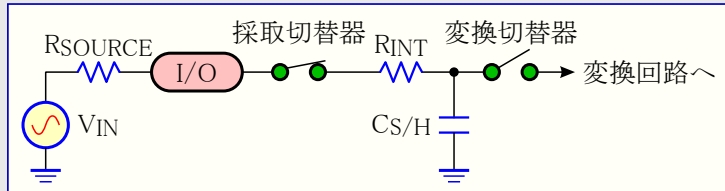
RC近似的で、S/Hコンデンサ上の電圧は次式での指数関数です(注3)。

$$V_{DIFF} = |V_{IN} - V_{PREV}|$$

$$V_{ERR} = e^{-\frac{t}{RC}} \times V_{DIFF}$$

ここで、Rは供給源インピーダンス(R_{SOURCE})と内部ADCインピーダンス(R_{INT})の合計で、CはADC内側の容量($C_{S/H}$)で、tは時間、 V_{IN} は入力電圧、 V_{PREV} はコンデンサ($C_{S/H}$)の初期電圧、 V_{ERR} は0.5 LSBからの差です。

図1-1. ADC RC回路



重要: いくつかのデバイスが内部ADCインピーダンスとS/H容量を指定する一方で、その他はしません。これらのパラメータを指定しないデバイスは $R_{INT}=2k\Omega$ と $C_{S/H}=15pF$ で近似することができます。

0.5のLSBで解くと、取得時間は次のように推定することができます(注3)。

$$t_{ACQ} = -RC \times \ln\left(\frac{V_{REF}}{V_{REF} \times 2^{n+1}}\right)$$

最悪取得時間は $V_{DIFF}=V_{REF}$ で、または次のとおりです。

$$t_{ACQ} = -RC \times \ln\left(\frac{1}{2^{n+1}}\right)$$

デバイスのデータシートがADCタイミングについての情報を与えます。

注1: 容量性分圧(CVD)、設定可能な利得増幅器(PGA)、または2重採取のような機能を使うと、採取と変換の前にもっと多くの段階が起こるかもしれません。総採取時間を見つけるのに各段階に関連する時間遅延が加算され得ます。

注2: いくつかのADCで、生成されるビット数は減らすことができ、これは変換時間(T_{CNV})を改善するでしょう。

注3: $V_{LSB}/2 \leq V_{DIFF}$ 、 $V_{DIFF} \leq V_{REF}$ の場合にだけ有効

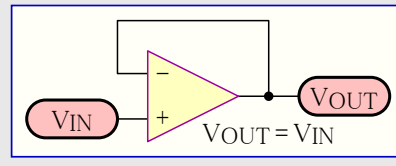
1.2.1. 演算増幅器での緩衝

演算増幅器はそれらを信号緩衝に関して理想的にする高入力インピーダンスと低出力インピーダンスを持ちます。Microchipは多種多様な個別部品の演算増幅器を持つ一方で、或るマイクロコントローラシステムは部品数を減らす組み込み演算増幅器を含みます。けれども、一般的に個別部品の演算増幅器は組み込まれた演算増幅器よりもより高い性能を持ちます。

演算増幅器はより速い取得時間のために信号の供給源インピーダンスをより低め(「1.2. 信号インピーダンスと取得時間」参照)、ADCがそのコンデンサを充電することによって起こされる下落から入力信号を切り離すことができます。けれども、演算増幅器はそれらの出力に雑音と変位(オフセット)を加え、これは信号雑音比(SNR)を減少するかもしれません。入力信号が低インピーダンスなら、演算増幅器での緩衝で小さな恩恵しかありません。けれども、入力信号が高インピーダンスの場合、演算増幅器は取得時間を大幅に改善することができます。演算増幅器の簡単な(電圧フォロウとも呼ばれる)利得1構成設定が図1-2.で示されます。

注: 内部的な利得1動作がないデバイスでは出力を反転入力に接続するように線または布線を使ってください。

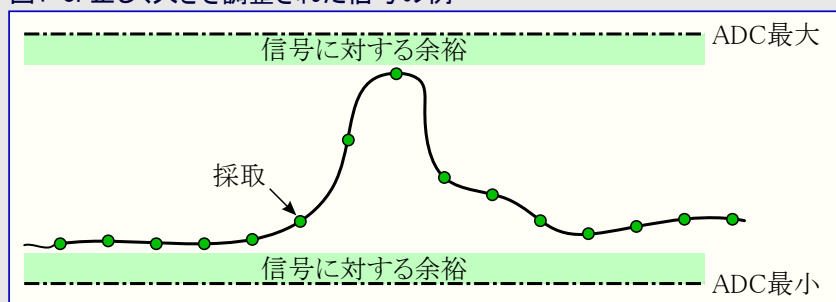
図1-2. 利得1



1.3. 信号尺度と分解能

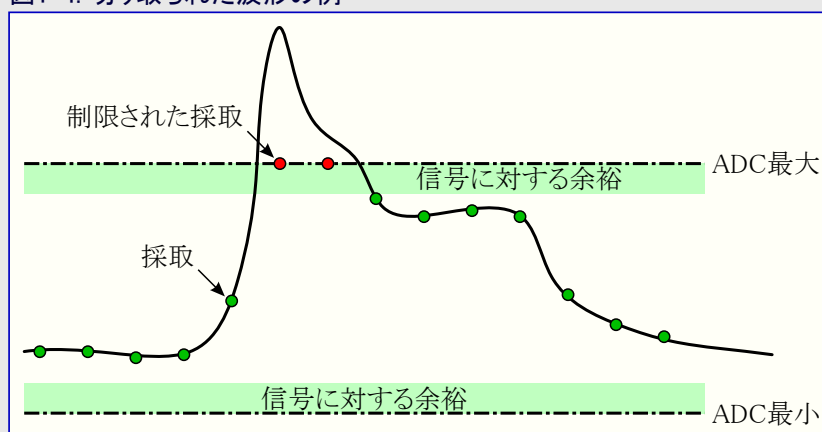
信号の分解能を最大化するように、ADCの測定範囲に対して入力信号を尺度調整してください。信号を範囲内のままにすることは効果的に「表上の分解能のままにします」が、信号の繋がりでの許容誤差を考慮して十分な信号余裕を残すことも重要です。下図は信号の繋がりでの雑音や誤差を考慮するために十分な余裕を持つ正しく尺度調整された信号を示します。

図1-3. 正しく大きさ調整された信号の例



分解能に関して、範囲を超える信号は範囲内のものよりも遥かに悪くなります。範囲越え信号は制限され、下図で示されるように、その測定はADCの最大値で上限にされることを意味します。

図1-4. 切り取られた波形の例



1.3.1. 演算増幅器周辺機能での尺度調整

信号を動的に尺度調整する1つの方法は演算増幅器周辺機能を使うことです。図1-5で示される回路では、R1とR2の抵抗が演算増幅器の利得を設定する負帰還を提供します。

一般的にR1とR2の抵抗は外部部品です。しかし、いくつかの演算増幅器周辺機能ではR1とR2が内部梯子型抵抗で利用可能で、これは部品表(BOM)からこれらの部品を取り去ります。

他の演算増幅器構成設定も可能で、デバイスの演算増幅器数に依存します。少しの可能性が下で一覧にされます。

- ・ 反転増幅器 (1 演算増幅器)
- ・ 差動増幅器 (2 演算増幅器)
- ・ 縦列(カスケード)増幅器 (2+ 演算増幅器)
- ・ 計装増幅器 (3 演算増幅器)

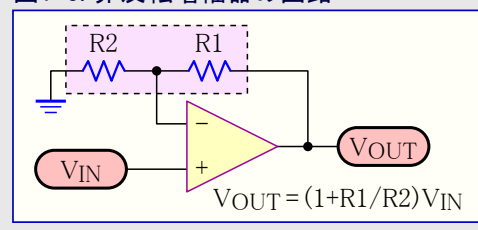
デバイスのデータシートまたは[関連技術文献](#)でこれらの構成設定についてより多くの情報を見つけてください。

1.3.2. 設定可能な利得増幅器(PGA)での尺度調整

PGAは特定の個別利得に設定する増幅器に対する記述です。PGA機能は「1.3.1. 演算増幅器周辺機能での尺度調整」で言及されたように、演算増幅器と内部梯子型抵抗を実装することができます。

けれども、いくつかのデバイスはADCに対して専用のPGAを含みます。この場合、PGA入力容量性はADCへの直接入力として扱われます。容量性PGAは信号に対してより低い雑音電圧しか齎さないため、演算増幅器に基づく解決策よりもより良く実行することができます。PGAの使用は信号を採取する時間量を増し、これは採取速度、従ってADCの帯域を減らします。

図1-5. 非反転増幅器の回路



1.4. 接地と測定

一般的に、接地は電圧参照基準または回路の0点です。理想的には接地に接続される全てのものも0で、寄生素素は無視できるほどです。完全なまたは分断なしの接地面を持つ印刷回路基板(PCB:Printed Clircuit Board)で、接地点から面上の他の点へのインピーダンスは非常に低くなります。

けれども、この仮定は接地面での分割や別の層の回路を接地へ接続するビアを持つもっと複雑な設計ではもはや有効ではないかもしれません。

1.4.1. 接地変位とシングル エンド信号

接地変位(オフセット)は特にシングル エンド信号測定時に危険です。接地帰路インピーダンスは電圧変位を生成し得て、これは測定に誤差を加えます。接地帰路(ZGROUND)のインピーダンスを通して流れる電流(IFLOW)は電圧変位(VOS)を生成します。

$$VOS = IFLOW \times ZGROUND$$

この式から電圧変位の大きさを減らすには2つの方法があり、1つは接地帰路を通して流れる電流量を減らすことで、他は帰路のインピーダンスを減らすことです。

接地帰路を通る電流の流れを低めることが簡単です。電動機や発熱素子からのそれらのような高電流経路はマイクロ コントローラの接地帰路から分離されたそれら専用の接地帰路を与えられなければなりません。接地面の場合、電流は銅箔面を通して分散されます。

注: 接地や電力に接続するのにビアを使う時に、マイクロ コントローラは他のデバイスと共用されるビアよりもむしろ専用にされたビアを使わなければなりません。

変位を低める他の方法は接地帰路のインピーダンスを減らすことです。インピーダンスは関連する2つの構成部分、実数抵抗(R)と虚数リアクタンス(X)を持ちます。

$$Z = R + jX$$

実際の抵抗はA点からB点を接続している材料の抵抗性由来します。接地面に直接マイクロ コントローラを取り付けることは抵抗性の量を最小にする最良の方法です。けれども、多くの場合、デバイスを接地面に接続するのにビアを使う代わりに(配置の視点から)それが必要です。

注: 接地面が分断される時は常に注意してください。これは寄生インダクタンスと寄生抵抗を増します(この話題のより多くの情報については「1.4.2. シングル エンド信号測定の助言」をご覧ください)。最善の性能のため、接地帰路と接地面は分断されず、可能な限り短くなければなりません。

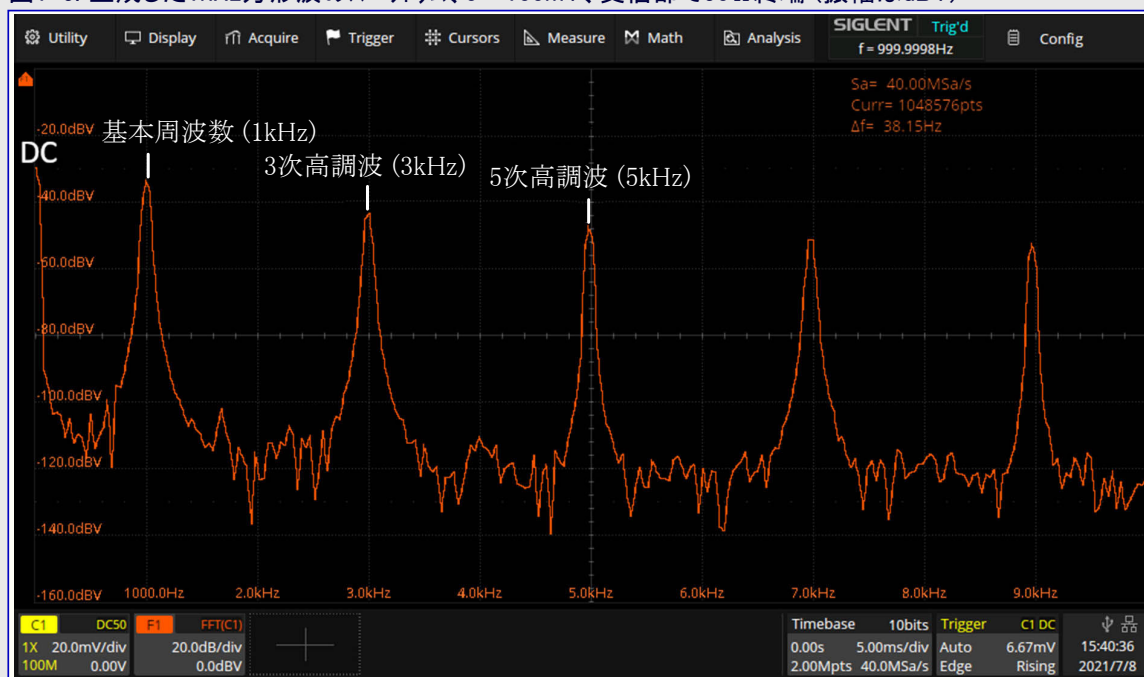
接地帰路のリアクタンスは主に寄生インダクタンス(L)から生成されます。これは周波数(f)が上昇する時にリアクタンスを増加させます。

$$X = 2\pi fL$$

デジタル信号での挑戦の1つはそれらが正弦波のような単一周波数で構成されないことです。代わりに、方形波はそれらの切り替え周波数(f)の奇数正弦状高調波で構成されます。例えば、図1-6.で示されるように3f、5f、7f、などです。

デジタル論理回路による高周波数電流を抑える1つの方法はマイクロ コントローラの近くに雑音分離(デカップ)コンデンサを配置することです。これらのコンデンサは高周波数要素に対して短絡回路として働き、これはこれらの要素によって見られるリアクタンスとインピーダンスを減らします。

図1-6. 生成した1kHz方形波のスペクトラム、0~100mV、受信部で50Ω終端 (振幅はdBV)



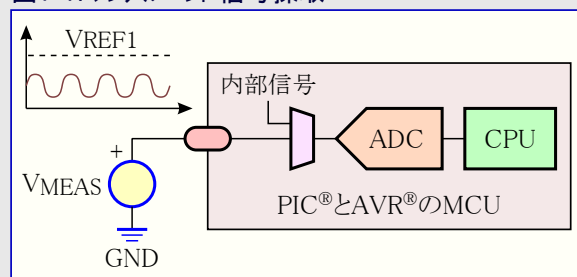
1.4.2. シングル エント信号測定に対する助言

1. 分断されない完全な接地面を使ってください。
– それが不可能なら、(各接地帰路が中心点を除いて他の各々から分離される)星状(STAR)接地が推奨されます。
2. マイクロ コントローラと他のデジタル論理回路デバイスを正しく雑音分離(デカップ)してください。
– 雑音分離コンデンサは高周波電流を短絡回路にします。
– これらのコンデンサについてはX5RとX7Rの誘電体が推奨されます。
– 推奨される代表値についてはデバイスのデータシートをご覧ください。
3. 雑音の多いアナログ回路とやり取りする時は信号の濾波が信号雑音比(SNR)を改善できます。ADCでのデジタル濾波についての情報は「3. 採取法」で見つけることができます。
4. 採取時に切り替え論理回路(クロック、入出力、など)を停止してください。
– 重要でない切り替え信号の停止はADCに対して可能な最低雑音を齎します。多くの組み込みADCはこの理由のためにマイクロ コントローラの休止動作で動くことができます。デバイスのデータシートは休止でのADCの設定と操作についてより多くの情報を提供します。

1.4.3. 差動入力の特長

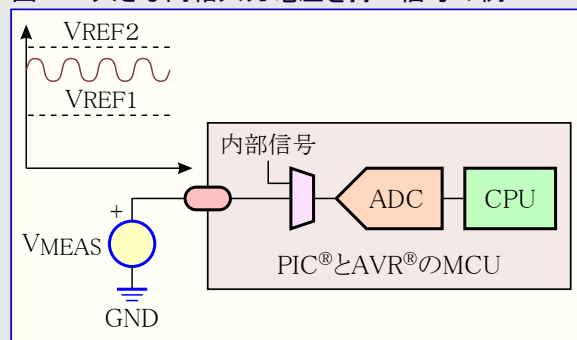
いくつかのマイクロ コントローラでの比較的新しい機能は信号を差動で採取する能力です。シングル エント採取はADC接地に対して信号を測定します。図1-7. は簡単な取得しつつあるシングル エント信号を示します。

図1-7. シングル エント信号採取



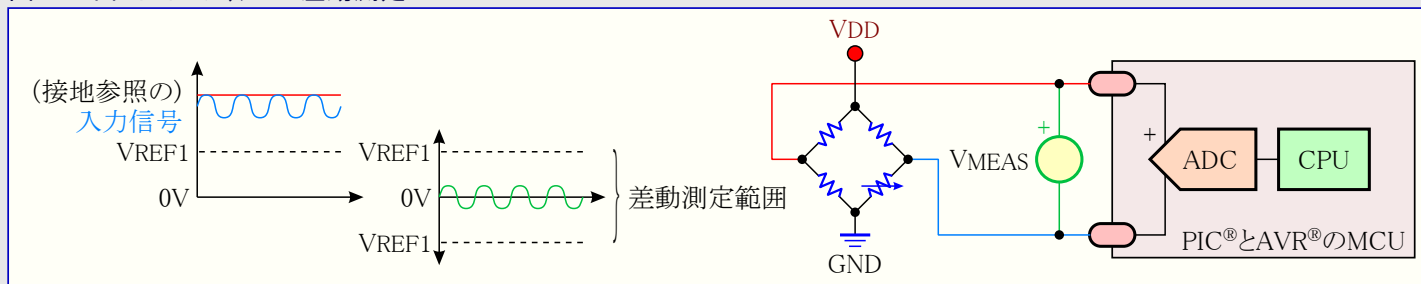
けれども、シングル エント採取が頂上で小さな信号を持つ大きな同相入力電圧を持つ場合、ADCの分解能が両方の信号を包含しなければならないので、良好な測定を得るのが難しくなります。演算増幅器または同様のもので信号全体を増幅することは同相入力電圧と望む信号を増します。

図1-8. 大きな同相入力電圧を持つ信号の例



代わりの方法は信号差を取得することです。この構成設定ではADCがその入力間の差を測定します。同相入力電圧は著しく減衰され、これは測定されるべき差要素だけをそのままにして切り取り制限なしに信号を取得するのに必要とされる参照基準電圧を減らし(「1.3. 信号尺度と分解能」を参照)、測定の分解能を更に改善します。図1-9.をご覧ください。

図1-9. ホイートストンブリッジの差動測定



注: 常に入力信号をデータシートで指定された絶対最大定格内に保ってください。さもなければ、定常的な損傷が起きるかもしれません。

1.5. 相互干渉とPCB配線

アナログ信号、特に高い供給源インピーダンスを持つ信号を測定する時に、高速上昇/下降端を持つ信号を遠くにご覧ください。PCB配置の間で配線の柔軟性を増すために、PIC® MCUでの周辺機能ピン選択(PPS:Peripheral Pin Select)機能、またはAVR® MCUでのポート多重器(PORTMUX)を使ってください。

距離以外に、相互干渉を低減または最小化するために少しの方法があります。相互干渉はデジタル信号の端から起こるため、端の減速は生成される障害の量を減らします。いくつかのマイクロコントローラは入出力の切り替え速度を低めるのに使うことができるスローレート制御(SLRCONx)レジスタを含みます。このレジスタなしのデバイスでは、直列で小抵抗を使うことで同様の効果を持つことができます。

距離に対する代替法は多分、アナログ信号を接地で遮蔽することです。これは容量性結合に対して効果的ですが、誘導性結合に効果的ではありません(注1)。

相互干渉を減らす別の方法は採取しない時にデジタル入出力を変更する(切り換える)ことです。これを実行する最も簡単な方法は採取が起きている間にデバイスを休止動作形態に置き、その後に取り上がり完了時に変更を適用します。

注1: 容量性結合が電圧での変化から引き起こされる一方で、誘導性結合は電流での変化から引き起こされます。マイクロコントローラ上のデジタル論理回路は殆ど常に容量性として働きます。

1.6. チャネル間相互干渉と誤差

供給元相互干渉の別の可能性は別のアナログチャネルからです。これはデジタル論理回路のような高速端によって引き起こされ(「1.5. 相互干渉とPCB配線」参照)、また、ADC内部の採取/保持コンデンサ(CSAMPLE)を通して誤差が転移され得ます。採取/保持コンデンサでの残りの変化はこのコンデンサを充電するチャネルを最初に採取してその後別のチャネルを測定する場合に2つ目のチャネルに転移されます。2つ目のチャネルの低インピーダンス(Z)信号源について、電荷は速やかに解消します。2つ目のチャネルの高Z信号源はもっと遅い速度でこの電荷を解消します。

この形式の相互干渉を減らすには次のような3つの方法があります。

1. 供給源インピーダンスを減らすために高Zチャネルを緩衝してください(「1.2.1. 演算増幅器での緩衝」をご覧ください)。
2. 高Zチャネルに切り替える前に採取/保持コンデンサを放電してください。
 - デバイスのVSS/GNDチャネルを選ぶまたはアナログ入力ピンを接地することによってこれを行い、そのチャネルを測定してください。
3. 高Zチャネルに外部コンデンサを追加してください。

第3案での高Zチャネルの外部コンデンサの目的は電圧での変化を最小化するため、比較的大きな逆電荷量を提供することです。このコンデンサの電荷量は次と等価です。

$$Q = CV$$

ここで、Qは(クーロンでの)蓄えられた電荷で、Cは容量、Vは電圧です。

C_{EXT}の大きさのコンデンサが高Zチャネルに接続された場合、電圧での変化は総容量での電荷に基づいて推定することができます。最悪変化はC_{EXT}が完全放電され、C_{SAMPLE}が満充電されている時に起きます。

$$V_{\text{ERROR(MAX)}} = V_{\text{REF}} \times \frac{C_{\text{SAMPLE}}}{C_{\text{SAMPLE}} + C_{\text{EXT}}}$$

けれども、チャネルへの外部コンデンサ追加は注意の他の2つの変化を引き起こします。最後に、時定数がかかなり増加し、これはチャネルの帯域を減らします。しかし、C_{EXT}は既に充電され、C_{SAMPLE}よりももっと大きな容量を持ち、(C_{EXT}とC_{SAMPLE}接続後の)コンデンサ電圧が入力信号の0.5 LSB内なら、取得時間はかなり減少(注1)します。

平衡している電荷に対する最悪はC_{SAMPLE}が完全放電され、C_{EXT}が満充電される時です。この筋書きでは次式で最適外部容量(注2)(注3)を推定してください。

$$C_{\text{EXT}} = C_{\text{SAMPLE}} (2^{n+1} - 1)$$

ここで、n=結果でのビット数です。

注1: C_{EXT}の抵抗分は無視できると仮定します。

注2: 安定性のため、NP0またはC0Gのように低電圧係数を持つ誘電体コンデンサを選んでください。

注3: 大きなコンデンサが入出力線にある時に注意が必要です。ESDダイオードはコンデンサを電力母線に放電し、これはデバイスリセットで普通でない問題を、満充電されたこのコンデンサでマイクロコントローラ電源断の場合に潜在的な損傷を引き起こすかもしれません。

1.7. 折り返し雑音

信号採取時に思い描く入力周波数に対して制限があります。ナイキスト・サンプリング定理は採取周波数に於いて入力で見られる最高周波数は採取周波数の半分であると述べています。この点後、より高い周波数成分や信号は元の低周波数折り返しとして現れます。通常、測定で雑音として現れる折り返しを防ぐためにADCの前にアナログ低域通過濾波器を実装してください。

低域通過濾波器の実装には多くの方法があり、最も簡単な方法は図1-10.で示されるようにRC網を使うことです。

RC網は(RLIMを除き)次式によって設定される-3dB点を持ちます。

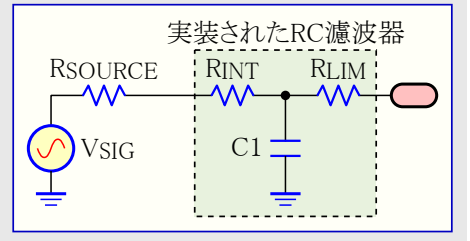
$$f_{-3dB} = \frac{1}{2\pi(\Sigma R)C}$$

注: 抵抗(RLIM)はコンデンサ(C1)が非常に大きな時にだけ使われます。この場合、満充電にされたコンデンサはESDダイオードを通して電源断でマイクロコントローラへ電流を放電し得ます。RLIMの追加は供給源インピーダンスを増加します。入力を緩衝するのに統合された演算増幅器を使うことはかなり大きなRLIMを許しますが、演算増幅器から信号に若干の雑音を加えられます。

濾波器に対してR1とC1を選ぶ時に以下に留意することが重要です。

- 小さな抵抗はより高速な信号取得のために供給源インピーダンスを減らします。
- コンデンサは寄生容量よりもっと大きくなければなりません、大き過ぎてはなりません。

図1-10. 簡単なRC低域通過濾波器



2. 高度なアナログ採取

2.1. 電圧参照基準についての全て

2.1.1. 参照基準として給電電圧を使用

電圧参照基準としてマイクロコントローラの供給電源が必要とされる場合があります。けれども、正しく行われない場合、この供給電源は測定に誤差を齎し得ます。

供給電圧使用での最大の落とし穴は電源のリプルと雑音です。以下の一覧は電源の雑音を最小化するためのいくつかの技法を含みます。

- 雑音が多い電源では電力入力と直列でフェライトビーズを使ってください。
 - フェライトビーズは電源の切り替え雑音を取り除くのに役立ちます。
- スイッチング調整器の代わりにリニア調整器を使ってください。
 - スイッチング調整器は大量の電氣的雑音を生じます。この雑音は通常、デジタル装置では問題ありません。けれども、アナログ回路は特に脆弱です。
- 入出力でスレーブ制御を許可してください。
 - いくつかのマイクロコントローラは入出力の遷移時間を遅くすることができ、これは切り替え時に尖頭電流の振幅を減少します。
 - 代わりに、入出力に直列に低抵抗を追加することで遷移時間を低くすることができます。

注: 「1.4.2. シングルエンド信号測定に対する助言」からの情報のいくつかはここにも適用されます(例えば、雑音分離(デカップ))。

2.1.2. 固定電圧参照基準での供給電圧測定

最近のPIC MCUではデバイスにデバイス情報領域(DIA:Device Information Area)が含まれます。これらの領域は内部電圧参照基準とその他の校正定数の工場測定された値を含みます。

固定電圧参照基準(FVR:Fixed Voltage Reference)とでDIA領域を使ってデバイスのVDDの値を計算することも可能です。これは信号に対して最も広い入力範囲を持つ参照基準としてVDDを使うことを許します。VDDを測定するには次のとおりです。

- 参照基準としてVDDを使うようにADCを設定してください。
- ADCへの入力チャネルに対して、固定電圧参照基準(FVR)チャネルを選んでください。
- FVRを測定してください。
- FVRチャネルの電圧出力と一致するDIA領域を読んでください。
- 次式を使ってVDDの値を求めてください。

$$(\text{mVでの})VDD = \frac{DIA \ll N}{MEASURED}$$

ここで、DIAは書かれている値、MEASUREDはADCによって取得された値、NはADCのビット数です。

2.2. 温度指標での測定

温度指標周辺機能はマイクロ コントローラによって統合された温度測定を許します。この周辺機能はダイ温度測定または簡単な温度計動作に最も良く使われます。更なる精度に対しては[専用温度感知器](#)が推奨されます。

温度指標使用についての情報に関してはデバイスのデータシートと[関連文献](#)を調べてください。

2.3. 接触感知

マイクロ コントローラは容量性接触感知を実行することができます。PIC MCUについてはいくつかのADC内部の容量性分圧器(CVD)機能が接触検出を許します。AVR MCUについてはADCとやり取りする専用の周辺機能接触制御器(PTC:Peripheral Touch Controller)を使ってください。

両方の場合で、測定はコンデンサを既知の電圧に充電し、その後にコンデンサを放電するように接続することによって始まります。元のコンデンサからの全ての電荷が保存され、両コンデンサを渡る電圧が系の容量の総量に関連すると仮定します。

系の容量は容量性卸が接近または接触される時に変化し、両コンデンサを渡る電圧に影響を及ぼし、接触を検出します。

この機能を使うより多くの情報についてはデバイスのデータシートと[関連技術文献](#)を調べてください。

3. 採取法

MCUのA/D変換器(ADC)は信号を取得するのにCPUが行わなければならない作業の量を最小にするように高度な機能で設計されています。支援される採取動作形態はデバイスと基板上の周辺機能によって変わります。

3.1. 基本

基本動作形態は計算や複数採取累積がないため、最高速の動作形態です。基本的な取得動作は結果の高速取得に最も良く使われ、また旧来のデバイスからコードを移植する時に使います。

3.2. 累積

累積動作ではADCが試料を取得して内部累積器でそれらを合算します。累積は各試料が共に加算される信号積分の一種です。[図3-1](#)をご覧ください。

ADCの計算機能を使い、ADCの閾値割り込みを使うことによって値が到達する時を見つけるのに累積を実行します。下の数式をご覧ください。

$$\text{Value} \geq \Delta t \sum_{n=0} u(n \times \Delta t) \\ T \doteq n \times \Delta t$$

ここで、n=試料番号、Value=そこで停止する結果、 Δt =採取(試料)間の時間、時間(T)の長さを設定するための積分はこの機能を使うための代替法です。例えば、

$$k = \text{floor}\left(\frac{T}{\Delta t}\right) \quad \text{Result} \doteq \Delta t \sum_{n=0}^k u(n \times \Delta t)$$

ここで、n=試料番号、k=取得のための採取(試料)数、 Δt =採取(試料)間の時間、T=積分長

3.2.1. 使う時

累積動作は採取(試料)の累積に最も良く使われます。累積は平均する採取数が可変で2のべき乗でない場合にソフトウェアで平均を取るのにも使うことができます(より多くの詳細については「平均と集中平均」をご覧ください)。

3.3. 平均と集中平均

平均と集中平均の動作ではADCが設定された採取数を累積し、その後に平均を生成します。累積を除算するのにADCは設定したビット数によって累積した結果を右移動します。これらの動作での正しい平均の計算のため、下で示されるように、取得される採取数は2のべき乗でなければならず、移動するビット数は採取数の2を底とする対数でなければなりません。

$$\text{移動数} = \log_2(\text{採取数})$$

集中平均と平均の動作間の違いは試料がどう取得されるかです。平均動作はADC変換毎に1つの試料を取得する一方で、集中平均動作は一旦ADCが起動されてしまうと、続けて全ての試料を取得します。

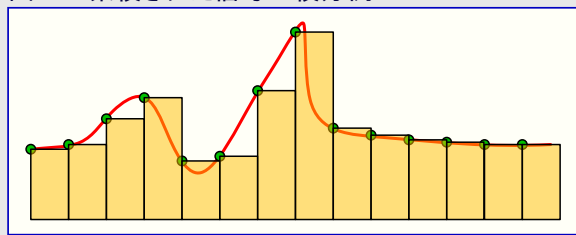
3.3.1. 使う時

この動作間の違いは試料がどう素早く取得されるかです。

集中平均採取は素早く短期の平均操作に最も良く使われます。引き延ばされた期間に対しては平均動作がより良い選択です。

けれども、少しのソフトウェアを使うことによって両方の平均動作の恩恵を得ることが可能です。長期の平均の各点に対して1つの試料を取るよりもむしろ各点で短期の平均を取得するために集中平均を使ってください。これは短期雑音を平均化することと、信号を過採取することによってADCからより高い分解能を得ることの2つの恩恵を持ちます。

図3-1. 累積された信号の積分例



信号の過採取は $\log_2$ (採取数)毎に1ビット、ADCの分解能を効果的に増します。例えば、4倍での信号の過採取は2つの追加ビットの分解能を持つ結果を生じます(注)。

長期平均を計算するには集中平均からの結果の合計を取り、ソフトウェアでそれらを合算してください。その後に長期平均を得るために累積を除算(またはビット移動)してください。

注: 分解能の追加ビットはADCの標準ビットよりもっと多くの統計的雑音を持ちます。けれども、累積した結果の平均化は結果に存在する雑音の量を減らします。換言すると、16個の結果を収集して2つ右移動することは8つの結果を累積して1つ移動するよりもより低い雑音を持つ2つの追加ビットを齎します。

3.4. 低域通過濾波器

低域通過濾波器動作形態は2つの段階、始動段階と動作段階を持ちます。この動作で、取得した各採取(試料)はADCにその現在の累積の小数を減算し、その後に累積された合計に新しい測定を追加するようにさせます。

濾波器が始動すると、過失による活動を防ぐために閾値割り込みが禁止されます。一旦、設定した採取数が収集されると、閾値割り込みが許可されます。デバイスのデータシートと[関連技術文献](#)は低域通過濾波器についてのより多くの情報を提供します。

3.4.1. 使う時

低域通過濾波器動作は信号に瞬間的な不具合や高周波雑音が存在する繰り返し採取応用に最も良く使われます。

低域通過濾波器での最良の性能のため、各採取間のタイミングを安定した採取速度に保ってください。この動作形態に対してはハードウェアに基づく起動が強く推奨されます。

4. 文献

4.1. 演算増幅器

4.1.1. PIC® MUC用

1. [AN3521 – アナログ感知器測定と取得](#)
2. [TB3293 – 8ビット演算増幅器単位部でのMPLAB® Mindi™アナログシミュレータの使用](#)
3. [TB3280 – PIC16とPIC18の演算増幅器の使用](#)
4. [TB3279 – アナログ信号調整のための内部演算増幅器の最適化](#)

4.1.2. AVR® MUC用

1. [AN3860 – AVR® DBに統合された演算増幅器を使う過電流保護](#)
2. [AN3633 – アナログ信号調整\(OPAMP\)周辺機能の利得と変位の校正](#)
3. [AN3632 – アナログ信号調整\(OPAMP\)周辺機能を使う定電流駆動部](#)
4. [AN3631 – アナログ信号調整\(OPAMP\)周辺機能を使う少部品マイクロホンインターフェース](#)
5. [TB3286 – アナログ信号調整\(OPAMP\)での開始に際して](#)

4.2. A/D変換器

4.2.1. PIC® MUC用

1. [AN3382 – 計算付きADCとDMAを使う脈絡切り替え](#)
2. [AN2749 – 低域通過濾波器動作でのPIC18F26K42の12ビットADC²の使用](#)
3. [TB3194 – PIC16/PIC18 ADC²の技術概説](#)

4.2.2. AVR® MUC用

1. [AN3641 – tinyAVR® 2系を使う低電力、費用効率的なPIR動き検出](#)
2. [TB3257 – 継続累積動作でのPGA付き12ビット差動ADCの使い方](#)
3. [TB3256 – 単独動作でのPGA付き12ビット差動ADCの使い方](#)
4. [TB3254 – 集中累積動作でのPGA付き12ビット差動ADCの使い方](#)
5. [TB3245 – 変換、累積、起動事象に関する12ビットADCの使用](#)

4.2.3. 温度指標

[AN2798 – PIC/16F/PIC18F接地参照基準温度指標単位部の使用](#)

[TB3165 – 8ビットマイクロコントローラの温度指標](#)

4.2.4. 容量性分圧器 (CVD)

[TB3198 – 8ビットPIC®マイクロコントローラでの容量性分圧器\(CVD\)操作](#)

4.2.5. 周辺機能接触制御器 (PTC)

[QTouch®ライブラリ周辺機能接触制御器 - 使用者の手引き](#)

5. 改訂履歴

文書改訂	日付	注釈
A	2021年10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製品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は動作仕様内で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はその知的所有権を尊重し、積極的に保護します。Microchip製品のコード保護機能を侵害する試みは固く禁じられ、デジタ ル シェアム著作権法に違反するかもしれません。
- ・ 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い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。

法的通知

この刊行物と契約での情報は設計、試験、応用とのMicrochip製品の統合を含め、Microchip製品でだけ使えます。他の何れの方法でのこの情報の使用はこれらの条件に違反します。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。追加支援については最寄りのMicrochip営業所にお問い合わせ頂くか、www.microchip.com/en-us/support/design-help/client-support-servicesで追加支援を得てください。

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、免責に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、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemiロゴ、MOST、MOSTロゴ、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32ロゴ、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SSTロゴ、Super Flash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、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。

AgileSwitch、APT、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Flashtec、Hyper Speed Control、Hyper Light 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、TrueTime、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、Augmented Switching、BlueSky、BodyCom、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、Espresso T1S、EtherGREEN、GridTime、IdealBridge、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Intelligent Paralleling、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、Knob-on-Display、maxCrypto、maxView、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certifiedロゴ、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、NVM Express、NVMe、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICKtail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、RTAX、RTG4、SAM-ICE、Serial Quad I/O、simpleMAP、SimpliPHY、SmartBuffer、SmartHLS、SMART-I.S.、storClad、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Switchtec、SynchroPHY、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、VectorBlox、VeriPHY、ViewSpan、WiperLock、XpressConnect、and 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、Trusted Time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。

© 2021年、Microchip Technology Incorporatedとその子会社、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 2022.

本応用記述はMicrochipのAN4225応用記述(DS00004225A-2021年10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 - ガルピング 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