
アナログ信号調整(OPAMP)周辺機能の利得と変位の校正

序説

著者: Lloyd D. Clark, Ph.D., Microchip Technology Inc.

アナログ信号調整(OPAMP)周辺機能は利得値を選ぶのに内部梯子型抵抗を使う設定可能な利得増幅器(PGA: Programmable Gain Amplifier)として構成設定することができます。内部梯子型抵抗での抵抗器がいくつかの許容誤差を持ち、温度や他の要素の相関関係のために変わるかもしれないため、実際の利得は選んだ利得値と僅かに異なるかもしれません。いくつかの応用ではPGAの利得と入力変位(オフセット)を正確に決めることが有益かもしれません。この文書はマイクロコントローラ内部のD/A変換器(DAC)とA/D変換器(ADC)を使ってPGAの利得と変位を校正する方法を説明します。DACはPGAの入力での電圧を制御するのに使われる一方で、ADCはPGAの入力と出力の両方で電圧を測定するのに使われます。ADCによって測定された値はPGAの利得と入力変位を計算するのに使うことができます。外部部品は必要とされません。

要点

- MCU内部のDACとADCを使って実行される利得と変位の校正
- 必要とされる外部部品なし

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。

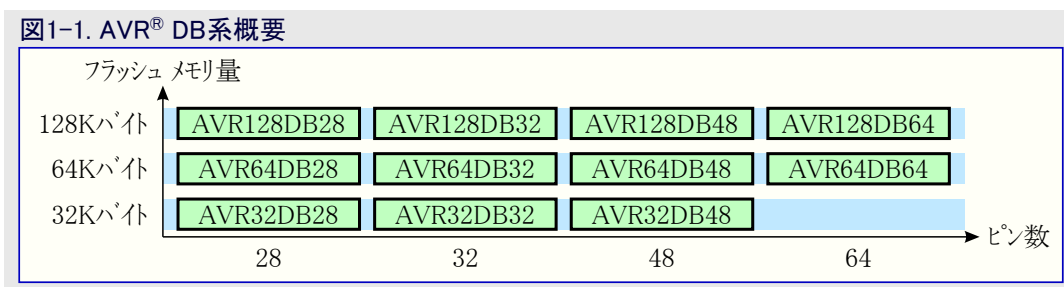
目次

序説	1
要点	1
1. 関連デバイス	3
2. 校正原理	3
3. MCUでの校正実装	3
4. 改訂履歴	6
Microchipウェブサイト	7
製品変更通知サービス	7
お客様支援	7
Microchipデバイスコード保護機能	7
法的通知	7
商標	8
品質管理システム	8
世界的な販売とサービス	9

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。



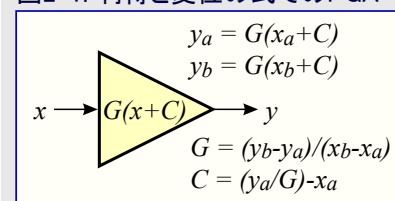
2. 校正原理

理想的な設定可能な利得増幅器(PGA)は正確に設定された利得値(G)によって入力電圧を増幅します。PGAが理想的なら、入力電圧を決めるのに出力で測定した電圧を G で除算することができます。けれども、多くのPGA実装は应用到いて考慮されなければならない2つの不完全さを持ちます。1つ目は事実上、増幅前に入力信号に加えらるる入力変位電圧があります。2つ目はアナログ部品の許容誤差などのために実際の利得が設定された値と僅かに異なるかもしれません。

右図は含まれる利得と変位の式を持つPGAの高度な表現を描きます。入力信号(x)について、 C の変位が加えられ、そして出力信号(y)を得るために総計($x+C$)は利得値(G)によって乗算されます。利得と変位の校正の背後にある基本的な考えは2つの異なる出力値、 y_a と y_b を得るように2つの異なる値、 x_a と x_b を入力することです。 x_a 、 x_b 、 y_a 、 y_b が測定経路で全て正確に決められるなら、最初の2つの式は G と C に対して解決することができ、利得と入力変位の計算を許します。

現実的な例として、16の公称利得を持つように設定されたPGAを考察してください。最初に60mVの電圧が入力で、出力電圧は986mVとして測定され、故に x_a は60mVで、 y_a は986mVです。次に120mVの電圧が入力で、出力電圧は1940mVとして測定され、故に x_b は120mVで、 y_b は1940mVです。 G と C に対する式にこれら4つの値を挿入すると、利得(G)に対する15.9と入力変位(C)に対する2.0mVの結果を導きます。

図2-1. 利得と変位の式でのPGA

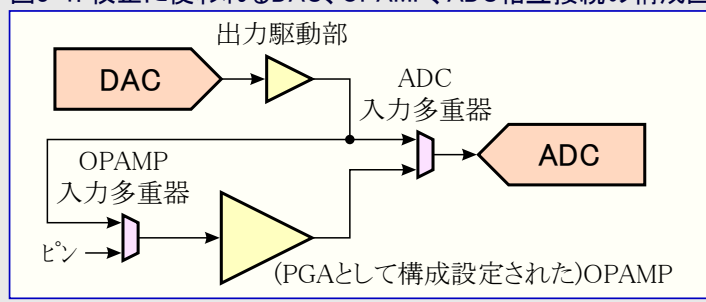


3. MCUでの校正実装

マイクロコントローラ(MCU)がD/A変換器(DAC)とA/D変換器(ADC)だけでなく、柔軟な相互接続を許すアナログ多重器を含むため、外部部品を使わずに設定可能な利得増幅器(PGA)の利得と変位の校正を実行することが可能です。

右図は校正に使われるDAC、OPAMP、ADCの相互接続を示します。緩衝されたDAC出力はADC入力多重器とOPAMP入力多重器に供給されます。OPAMP入力多重器は緩衝されたDAC出力またはデバイスのピンを選ぶことができます。ADC入力多重器はDAC出力またはOPAMP出力のどちらかを選ぶことができます。

図3-1. 校正に使われるDAC、OPAMP、ADC相互接続の構成図



OPAMP、DAC、ADCが初期化されて許可されてしまった後、利得と変位の校正手続きを実行するのに以下の手順が使われます。

1. DAC出力を選ぶようにOPAMP入力多重器を構成設定してください。
2. DACに最初の値(x_a)を書いてください。
3. DAC出力を選ぶようにADC入力多重器を構成設定してください。
4. DAC出力とADC入力に対して安定するための時間を許してください。
5. ADC変換を開始してください。
6. ADC変換が完了するのを待ってください。
7. ADC結果を x_a として保存してください。
8. OPAMP出力を選ぶようにADC入力多重器を構成設定してください。
9. ADC入力に対して安定するための時間を許してください。
10. ADC変換を開始してください。
11. ADC変換が完了するのを待ってください。

12. ADC結果を y_a として保存してください。
13. DACに2つ目の値(x_b)を書いてください。
14. DAC出力を選ぶようにADC入力多重器を構成設定してください。
15. DAC出力とADC入力に対して安定するための時間を許してください。
16. ADC変換を開始してください。
17. ADC変換が完了するのを待ってください。
18. ADC結果を x_b として保存してください。
19. OPAMP出力を選ぶようにADC入力多重器を構成設定してください。
20. ADC入力に対して安定するための時間を許してください。
21. ADC変換を開始してください。
22. ADC変換が完了するのを待ってください。
23. ADC結果を y_b として保存してください。
24. x_a 、 y_a 、 x_b 、 y_b に対するもっと正確な値を得るため、手順2.~23.を何度も繰り返してADC結果を平均することができます。
25. $G=(y_b-y_a)/(x_b-x_a)$ として校正された利得値を計算してください。
26. $C=(y_a/G)-x_a$ として校正された入力変位値を計算してください。
27. 校正が完了し、(PGAとして構成設定された)OPAMPは応用によって使われる準備が整っています。OPAMP入力多重器をデバイスピンを選ぶように構成設定してください。

校正された利得と入力変位の値は利得や変位に関係するどの計算に対しても応用コードによって使われるべきです。

下のコードは上で概説された利得と変位の校正手順を実装します。

```
#define F_CPU 4000000UL // 4MHzは既定のCPUと周辺機能の周波数

#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>

// VREF(基準電圧)周辺機能は2.5Vの参照基準電圧を生成するように設定されます。
#define VREF_REFSEL_CONTROL VREF_REFSEL_2V500_gc
#define VREF_MV 2500.0 // 参照基準電圧のmVでの浮動小数点値

// DAC(D/A変換器)は10ビット分解能で210=1024の可能な入力値を持ちます。
// 演算増幅器利得段の利得と変位の測定/校正を2点で実行するのに概ね60mVと120mVのDAC出力が使われます。
// ここは以下のこれらの出力電圧を生成するのに必要とされる2つのDAC値の計算です。
// (60 mV / 2500 mV) × 1024 = 25
// (120 mV / 2500 mV) × 1024 = 49
#define DAC_DATA_A 25
#define DAC_DATA_B 49

// AVR-DBのADC(A/D変換器)は12ビット分解能で212=4096の可能な出力値を持ちます。
// ADC出力で1 LSB変化と等価なmVの数値を決めます。
#define MV_PER_ADC_LSB (VREF_MV/4096)

// 平均用測定回数
#define N_AVERAGE 100

void measure(uint16_t dac_data, uint8_t muxpos_dacout, uint8_t muxpos_opout,
             int16_t *dac_meas, int16_t *opout_meas) {

    // DAC設定を与えます。この関数は演算増幅器の入出力値を測定します。

    DAC0.DATA = dac_data << DAC_DATA0_bp; // DACに新しい値書き込み
    ADC0.MUXPOS = muxpos_dacout; // DAC出力を選ぶようにADC入力多重器を構成設定
    _delay_ms(1); // DAC出力とADC入力用安定時間を許容

    ADC0.COMMAND = ADC_STCONV_bm; // ADC変換開始
    while(ADC0.COMMAND & ADC_STCONV_bm); // ADC変換完了待ち
    *dac_meas = ADC0.RES; // ADC結果をDAC出力値の測定として保存
```

```

ADC0.MUXPOS = muxpos_opout; // OPAMP出力を選ぶようにADC入力多重器を構成設定
_delay_ms(1); // ADC入力用安定時間を許容

ADC0.COMMAND = ADC_STCONV_bm; // ADC変換開始
while(ADC0.COMMAND & ADC_STCONV_bm); // ADC変換完了待ち
*opout_meas = ADC0.RES; // ADC結果をOPAMP出力の測定として保存

return;
}

volatile float meas_gain = 0; // 測定した利得
volatile float meas_offset = 0; // ADC単位での測定した入力変位
volatile float meas_offset_mv = 0; // mV単位での測定した入力変位

int main(void) {
    uint8_t n;
    int16_t xa, ya, xb, yb;
    int32_t accum_xa, accum_ya, accum_xb, accum_yb;
    float avg_xa, avg_ya, avg_xb, avg_yb;

    // OP0入出力ピンでデジタル入力を禁止
    PORTD.PIN1CTRL = PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;
    PORTD.PIN2CTRL = PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;
    PORTD.PIN3CTRL = PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;

    // DAC出力ピンでデジタル入力を禁止
    PORTD.PIN6CTRL = PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;

    // OPAMP周辺機能の時間基準設定
    OPAMP.TIMEBASE = 3; // 1μsに等しいCLK_PER周期数-1(4-1=3)

    // OP0を入力としてDACを持つ非反転利得16として構成設定
    OPAMP.OP0INMUX = OPAMP_OP0INMUX_MUXPOS_DAC_gc | OPAMP_OP0INMUX_MUXNEG_WIP_gc;
    OPAMP.OPORESMUX = OPAMP_OPORESMUX_MUXBOT_GND_gc | OPAMP_OPORESMUX_MUXWIP_WIP7_gc |
        OPAMP_OPORESMUX_MUXTOP_OUT_gc;

    // OP0制御A構成設定
    OPAMP.OPOCTRLA = OPAMP_RUNSTBY_bm | OPAMP_OPOCTRLA_OUTMODE_NORMAL_gc | OPAMP_ALWAYS_ON_bm;

    // OPAMP周辺機能を許可
    OPAMP.CTRLA = OPAMP_ENABLE_bm;

    // ADCとDACの両方に対して同じ参照基準を生成するようにVREF周辺機能を設定
    VREF.ADCOREF = VREF_ALWAYS_ON_bm | VREF_REFSEL_CONTROL;
    VREF.DACOREF = VREF_ALWAYS_ON_bm | VREF_REFSEL_CONTROL;

    // それとそれの出力ピンを許可することによってDAC周辺機能を設定
    DAC0.CTRLA = DAC_OUTEN_bm | DAC_ENABLE_bm;

    // ADC周辺機能を設定
    ADC0.CTRLC = ADC_PRESC_DIV4_gc; // ADC前置分周器をDIV4設定、故にCLK_ADC=4MHz/4=1MHz
    ADC0.CTRLA = ADC_ENABLE_bm; // ADCをシングルエンド動作で許可

    accum_xa = 0; accum_ya = 0; accum_xb = 0; accum_yb = 0; // 累積器リセット
    for (n = 0; n < N_AVERAGE; n++) {
        measure(DAC_DATA_A, ADC_MUXPOS_AIN6_gc, ADC_MUXPOS_AIN2_gc, &xa, &ya);
        // DACOUT OPOOUT
        measure(DAC_DATA_B, ADC_MUXPOS_AIN6_gc, ADC_MUXPOS_AIN2_gc, &xb, &yb);
        // DACOUT OPOOUT
        accum_xa += xa; accum_ya += ya; accum_xb += xb; accum_yb += yb; // 累積器に加算
    }
}

```

```

avg_xa = ((float) accum_xa)/((float) N_AVERAGE);
avg_ya = ((float) accum_ya)/((float) N_AVERAGE);
avg_xb = ((float) accum_xb)/((float) N_AVERAGE);
avg_yb = ((float) accum_yb)/((float) N_AVERAGE);

meas_gain = (avg_yb - avg_ya)/(avg_xb - avg_xa);           // 測定した利得
meas_offset = (avg_ya/meas_gain) - avg_xa;                // 測定したADC単位での入力変位
meas_offset_mv = meas_offset * MV_PER_ADC_LSB;           // 測定したmV単位での入力変位

// 校正完了、OPAMPは応用によって使われる準備が整い、故にOPAMP入力多重器を入力ピンを選ぶように構成設定
OPAMP.OP0INMUX = OPAMP_OP0INMUX_MUXPOS_INP_gc | OPAMP_OP0INMUX_MUXNEG_WIP_gc;

while(1) {
    // ここに応用を配置してください。
}
}

```



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。

4. 改訂履歴

文書改訂	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
- **一般的な技術支援** – 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
- **Microship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えます。
- 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、Mmicrochip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、PackeTime、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、Liberio、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AN3633応用記述(DS00003633A-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。



MICROCHIP

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 - フネー 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 - エスポー 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 - ハーン 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 - ハドバ 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 - マドリッド 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 - ウォーキングム Tel: 44-118-921-5800 Fax: 44-118-921-5820