



ULP内部発振器の再校正に対する32.768kHz外部クリスタル用 発振器の周期的許可を用いる正確な超低電力タイミング

序説

著者: Lloyd Clark, Microchip Technology Inc.

益々増えているAVR®デバイスは超低電力(ULP:Ultra Low Power)内部発振器と、デバイスに外部32.768kHzクリスタルが接続されている時にだけ機能する発振器単位部の両方を含みます。この応用記述はULP内部発振器の再校正用に32.768kHz外部クリスタル用発振器を周期的に許可することによって正確なタイミングと超低電力消費の両方を達成する方法を記述します。コード例はATtiny416デバイス用に提供されます。デバイス上の実時間計数器(RTC:Real-Time Counter)単位部は時間の経緯を保つためにULP内部発振器によって継続的に駆動されます。殆どの時間、32.768kHzクリスタル用発振器は電力を消費しないように禁止されます。けれども、周期的(コード例では15分毎)にクリスタル用発振器が数秒間許可され、RTC単位部の連続する”刻時”間の期間を正確に測定するために16ビット タイマ/カウンタB型(TCB)によって使われます。これは達成されるべきクリスタル発振器のようなタイミング精度だけでなく、クリスタル用発振器が99%以上の時間禁止されるために超低電力消費も許します。

要点

- ・ 内部発振器の超低電力消費で外部クリスタル用発振器のタイミング精度達成

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
1.1. tinyAVR® 1系統	3
1.2. megaAVR® 0系統	3
2. 発振器形式	3
3. 原理	4
4. 実装	4
5. Atmel STARTからのソースコード入手	5
6. 改訂履歴	5
Microchipウェブ サイト	6
お客様への変更通知サービス	6
お客様支援	6
Microchipデバイス コード保護機能	6
法的通知	6
商標	7
DNVによって認証された品質管理システム	7
世界的な販売とサービス	8

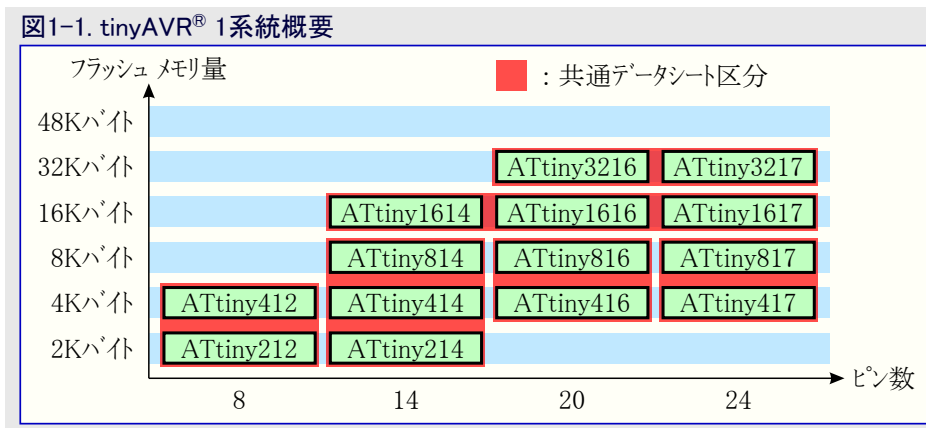
1. 関連デバイス

本章はこの応用記述に関連するデバイスを一覧にします。

1.1. tinyAVR[®] 1系統

下図はピン数の変種とメモリ量を展開してtinyAVR[®] 0系統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、垂直方向移植はコード変更なしに上方向に行うことができます。下方向移植はより少ない利用可能ないくつかの周辺機能の実体のためにコード変更が必要かもしれません。
- 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。

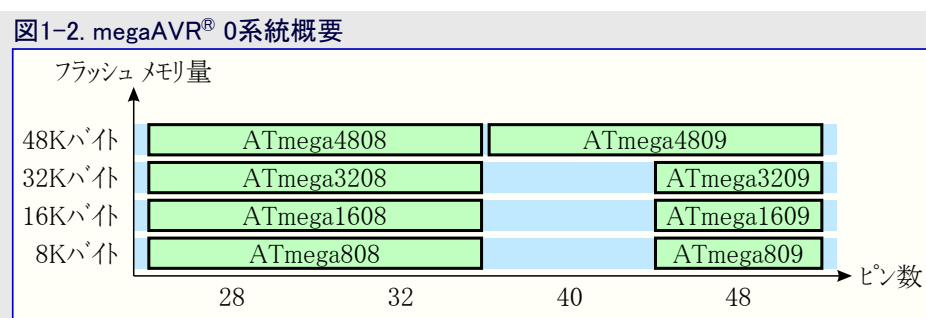


異なるフラッシュメモリ量を持つデバイスは一般的に異なるSRAMとEEPROMの量を持ちます。

1.2. megaAVR[®] 0系統

下図はピン配置変種とメモリ量を展開してmegaAVR[®] 0系統デバイスを示します。

- これらのデバイスが完全にピンと機能が互換のため、垂直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の量を持ちます。

2. 発振器形式

益々増えているAVR[®]デバイスは超低電力(ULP:Ultra Low Power)内部発振器と、デバイスに外部32.768kHzクリスタルが接続されている時にだけ機能する発振器単位部の両方を含みます。内部発振器は極端に低い電力消費を達成しますが、いくつかの応用に対してタイミング精度が充分ではありません。代表的なULP発振器は±1%の周波数公差を持ち得ます。いくつかの応用に対してこれは問題ではありませんが、長期タイミングのような別の応用ではこれが1日24時間当たり14分の誤差に帰着し得ます。

正確なタイミングを必要とする応用に対しては外部32.768kHzクリスタル用発振器回路が提供されます。クリスタル用発振器は約±10ppmの周波数公差、または1日24時間当たり1秒未満のタイミング誤差を持ち得、故に正確な長期タイミングを必要とする応用に対して良く適応されます。けれども、これは2つの不利な点を持ちます。1つ目は、外部クリスタルがAVRデバイスに接続されなければならない、印刷回路基板(PCB)に対して費用と領域を追加します。2つ目は、クリスタル用発振器が内部発振器よりも高い電力消費を持ちます。

3. 原理

タイミングが重要な応用に対して、クリスタル用発振器回路動作を作るために外部クリスタルに対する必要条件を避ける方法はありませんが、その電力消費について何かをすることは可能です。継続的に動くことをクリスタル用発振器に許す代わりに、時々だけにクリスタル用発振器を許可して内部ULP発振器の周波数を正確に測定するのにそれを使うことが可能です。その後ULP発振器が動き続ける一方でクリスタル用発振器を禁止することができます。ULP発振器が次の測定まで適度に安定している限り、その周波数が正確に既知なので、それを用いて正確な時間を維持することが可能です。幸運にも、AVRデバイスはこの手法を実装するのにそれを実行可能にする付加的な内部単位部を提供します。

この例で使われるATtiny416デバイスではこれを実行可能にする2つの鍵となる単位部の実時間計数器(RTC:Real-Time Counter)と16ビットタイマ/カウンタB型(TCB)があります。適切な構成設定で、n ULP発振器周期毎に周期的な割り込み/事象を生成するために内部ULP発振器によってRTCをクロック駆動することができ、このでのnは構成設定可能です。TCBはRTCからの連続する割り込み/事象間でクリスタル用発振器周期数を計数することができ、それによって内部ULP発振器タイミングの正かうな測定を提供します。

一旦内部ULP発振器の正確な測定が利用可能になると、ULP発振器割り込みが受け取られる時毎に、ULP発振器に対する公称値で時間計数器を更新する代わりに、それは時間計数器を更新するのに使うことができます。

4. 実装

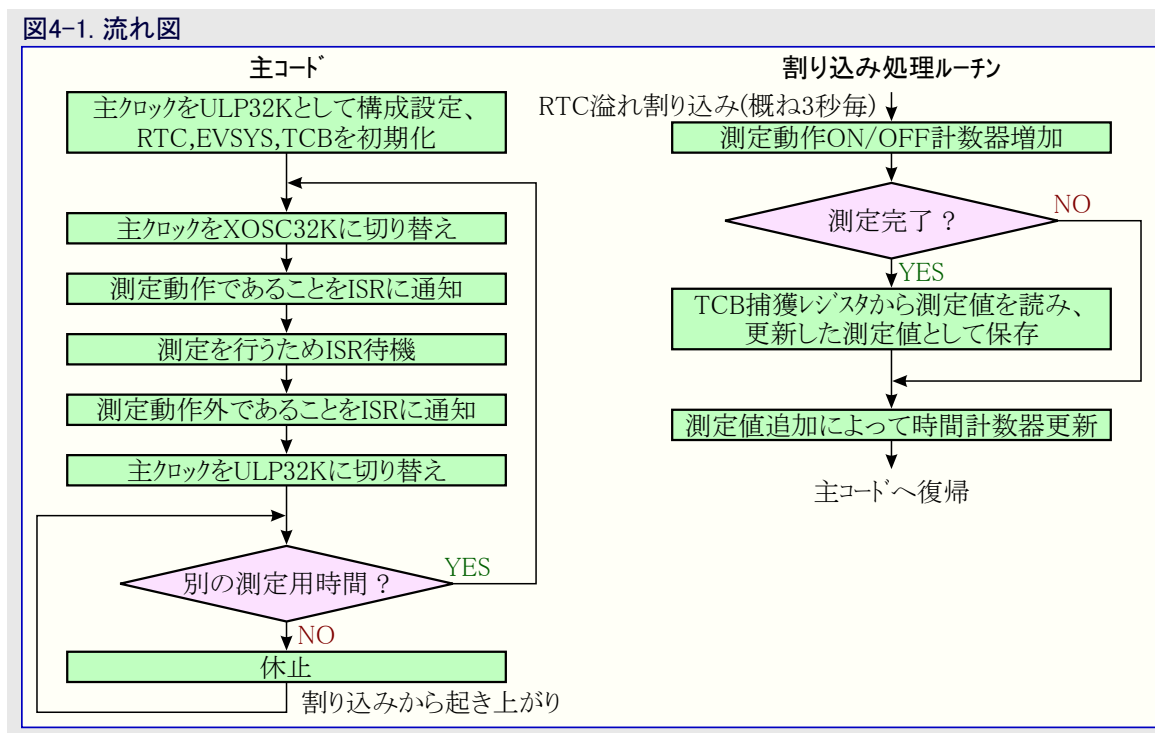
ATtiny416用実装例はCで書かれています。使われる鍵となる2つの単位部は実時間計数器(RTC:Real-Time Counter)と16ビットタイマ/カウンタB型(TCB)です。RTCの出力をTCBの入力に接続するのに事象システム(EVSY: Event System)も使われます。RTC、EVSYとTCBの正しい構成設定で、RTCからの連続する溢れ事象間で32.768kHz外部クリスタル用発振器周期数を計数するのにTCBを使うことができます。

RTCのクロックは1024Hzの公称クロック周波数のために32分周したOSCULP32Kに構成設定されます。RTCの前置分周器は1に構成設定され、RTC.PER(定期)レジスタは $(3 \times 1024) - 1 = 3071$ に構成設定され、故にRTCは概ね3秒毎に溢れ割り込み/事象を生成します。RTCのRUNSTDBY(スタンバイ時走行)ビットはRTCがデバイスが休止動作の間に動き続けるように'1'に構成設定されます。

EVSYはTCB入力に接続されるRTC溢れ事象で構成設定されます。

TCBは前置分周なしでデバイスの主クロックとしてそのクロック元で構成設定されます。測定が進行中の時にデバイスの主クロックは32.768kHz外部クリスタル用発振器です。TCBの計数動作(CNTMODE)は計数捕獲周波数測定(011)で、捕獲事象入力(CAPTEI)が許可されます。この構成設定で、TCBは各RTC溢れ事象でその計数値を捕獲して格納し、その後その計数器をリセットします。これは連続する入力事象間で32.768kHzクロック周期数を効率的に計数することをTCBに許します。TCBの計数器が16ビット幅(65535の最大計数)だけで、刻時間で大まかに3秒 \times 32768Hz=98304クロック周期あるので、TCB計数器は測定中に1度溢れます。従って、連続する事象間の計数の真の数を得るためにTCB捕獲レジスタから読んだ値に65535が加算されなければなりません。

ソフトウェア実装用流れ図は以下の図で示されます。



5. Atmel | STARTからのソースコード取得

コード例は画像ユーザーインターフェース(GUI)を通して応用コードの構成設定を許すウェブに基づくAtmel | STARTを通して利用可能です。コードは下の直接コード例リンクまたはAtmel | START先頭頁のBROWSE EXAMPLES(例検索)鉤経由Atmel Studio 7とIAR Embedded Workbench®の両方に対してダウンロードすることができます。

Atmel | STARTウェブ ページ : <http://microchip.com/start>

コード例

正確なULPタイミングP4 (Precise ULP Timing P4)

• http://start.atmel.com/#example/Atmel:precise_ulp_timing_p4:1.0.0::Application:Precise_ULP_Timing_P4:

例プロジェクトについての詳細と情報に関してはAtmel | STARTでUser guide(使用者の手引き)を押下してください。User guide鉤はAtmel | STARTプロジェクト構成設定部内の一覧画面でプロジェクト名をクリックすることにより、例閲覧部で見つけることができます。

Atmel Studio

DOWNLOAD SELECTED EXAMPLE(選んだ例をダウンロード)をクリックすることにより、Atmel | STARTで例閲覧部からAtmel Studio用.a tzipファイルとしてコードをダウンロードしてください。Atmel | START内からファイルをダウンロードするには、EXPORT PROJECT(プロジェクトをエクスポート)に続いてDOWNLOAD PACK(一括ダウンロード)をクリックしてください。

ダウンロードした.a tzipファイルをダブル クリックしてください。プロジェクトがAtmel Studio 7.0に導入されます。

IAR Embedded Workbench

IAR Embedded Workbenchでプロジェクトをインポートする方法の情報についてはAtmel | START使用者の手引きを開き、Using Atmel Start Output in External Tools(外部ツールでAtmel START出力を使用)とIAR Embedded Workbenchを選んでください。Atmel | START使用者の手引きへのリンクは共に頁の右上隅に置かれたAtmel | START先頭頁からAbout(これについて)またはプロジェクト構成設定部内のHelp And Support(手助けと支援)をクリックすることによって見つけることができます。

6. 改訂履歴

資料改訂	日付	注釈
A	2018年1月	初版資料公開
B	2018年10月	8/16KバイトmegaAVR 0系デバイスと32KバイトtinyAVR 1系デバイスを含めるように「関連デバイス」章を更新

Microchipウェブ サイト

Microchipは<http://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手段として使われます。お気に入りのインターネット ブラウザを用いてアクセスすることができ、ウェブ サイトは以下の情報を含みます。

- **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相談役プログラム員一覧
- **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

お客様への変更通知サービス

Microchipのお客様通知サービスは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<http://www.microchip.com/>でMicrochipのウェブ サイトをアクセスしてください。”Support”下で”Customer Change Notification”をクリックし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
- 現場応用技術者(FAE:Field Application 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、または現場応用技術者(FAE)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<http://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、その製品系統が今日の市場でその種類の最も安全な系統の1つであると考えます。
- コード保護機能を破るのに使われる不正でおそらく違法な方法があります。当社の知る限りこれらの方法の全ては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です。おそらく、それを行う人は知的財産の窃盗に関与しています。
- Microchipはそれらのコードの完全性について心配されているお客様と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れらのコードの安全を保証することはできません。コード保護は当社が製品を”破ることができない”として保証すると言った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

デバイス応用などに関してこの刊行物に含まれ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。Microchipはその条件、品質、性能、商品性、目的適合性を含め、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。Microchipはこの情報とそれの使用から生じる全責任を否認します。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、AnyRate、AVR、AVRロゴ、AVR Freaks、BeaconThings、BitCloud、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、Heldo、JukeBlox、KeeLoq、KeeLoqロゴ、Kleer、LANCheck、LINK MD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、MOST、MOSTロゴ、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32ロゴ、Prochip Designer、QTouch、RightTouch、SAM-BA、SpyNIC、SST、SSTロゴ、SuperFlash、tinyAVR、UNI/O、XMEGAは米国と他の国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの登録商標です。

ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、mTouch、Precision Edge、Quiet-Wire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、BodyCom、chipKIT、chipKITロゴ、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、EtherGREEN、In-Circuit Serial Programming、ICSP、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、KleerNet、KleerNetロゴ、Mindi、MiWi、motorBench、MPASM、MPF、MPLAB Certifiedロゴ、MPLAB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PureSilicon、QMatrix、RightTouchロゴ、REAL ICE、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。

Silicon Storage Technology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。

© 2018年、Microchip Technology Incorporated、米国印刷、不許複製

DNVによって認証された品質管理システム

ISO/TS 16949

Microchipはその世界的な本社、アリゾナ州のチャンドラーとテンペ、オレゴン州グラシャムの設計とウェハー製造設備とカリフォルニアとインドの設計センターに対してISO/TS-16949:2009認証を取得しました。当社の品質システムの処理と手続きはPIC[®] MCUとdsPIC[®] DSC、KEELOQ符号飛び回りデバイス、直列EEPROM、マイクロ周辺機能、不揮発性メモリ、アナログ製品用です。加えて、開発システムの設計と製造のためのMicrochipの品質システムはISO 9001:2000認証取得です。

日本語© HERO 2020.

本応用記述はMicrochipのAN2633応用記述(DS00002633B-2018年1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: http://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 ホストン 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: 45-4450-2828 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 - ガルピング Tel: 49-8931-9700 ドイツ - ハーン Tel: 49-2129-3766400 ドイツ - ハイムブロン Tel: 49-7131-67-3636 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 - デルネン 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 - ウォーキングム Tel: 44-118-921-5800 Fax: 44-118-921-5820