



無線センサネットワーク MOTE

MTS/MDA センサ基板 ユーザーマニュアル

日本語ガイド

MTS101, MTS300/310,

MTS400/420, MDA100, MTS510

MDA300, MDA320, MDA500

Rev JE, June 2008

Doc 7430-0020-04JP

本ガイドは参考用であり正規の文章は英語版を参照してください。
一切の資料は参考用であり MOTE の使用責任は全て使用者にあるものとします。

© クロスボー株式会社

www.Sensor-Network.net

不許転載

目次

1 はじめに	1
2 MTS101 (2006 年末 生産中止)	2
2.1 サーミスタ	2
2.2 単位変換	3
2.3 光センサ	4
2.4 プロトタイピングエリア	4
2.5 TinyOS ソフトウェアドライバ	5
3 MTS300 / MTS310	6
3.1 マイクロホン	6
3.2 サウンダ	7
3.3 光と温度	7
3.3.1 単位変換	8
3.4 加速度センサ (MTS310 のみ)	8
3.5 磁気センサ (MTS310 のみ)	9
3.6 センサのオンとオフ	9
3.7 TinyOS ソフトウェアドライバ	10
3.8 MTS300 および MTS310 の回路図	10
4 MTS400 / MTS420	14
4.1 湿度および温度センサ	14
4.2 気圧および温度センサ	15
4.3 光センサ	16
4.4 加速度センサ	16
4.5 GPS (MTS420 のみ)	17
4.6 センサ ON/OFF	17
4.7 TinyOS ソフトウェアドライバ	17
4.8 MTS400・MTS420 の回路図抜粋	18
5 MTS510 (2006 年末 生産中止)	19
5.1 マイクロホン	19
5.2 光センサ	19

5.3 加速度センサ	19
5.4 TinyOS ソフトウェアドライバ	20
6 MDA100	21
6.1 サーミスタ	21
6.2 単位変換	22
6.3 光センサ	23
6.4 プロトタイピングエリア	23
6.5 TinyOS ソフトウェアドライバ	24
7 MDA300	25
7.1 動作理論	26
7.2 TinyOS ドライバとソフトウェアドライバ.....	29
8 MDA320	30
8.1 動作理論	31
8.2 TinyOS ソフトウェア	33
9 MDA500 (2006 年末生産中止)	34
9.1 TinyOS ドライバとソフトウェアドライバ.....	35
10 TINYOS ソフトウェアドライバアプリ	36
10.1 センサ、データ収集ボードのテスト.....	36

1 はじめに

センサボードの MTS シリーズ及びセンサ／データ収集ボードの MDA シリーズは Crossbow の無線ボード MOTE MICAz や MICA2DOT と接続出来るように設計されています。利用出来るセンサボードは様々あり、MICAz あるいは MICA2DOT に搭載可能な形状になっています。また、プロトタイプエリアあるいはネジ留めにより外部センサと接続出来るボードもあります。各 MOTE ファミリに利用可能なセンサボードは下表を参照してください。

Chapter	Crossbow Part Name	Motes Supported	Sensors and Features
2	MTS101	MICAz	Light, temperature, prototyping area
3	MTS300	MICAz	Light, temperature, microphone, and buzzer
3	MTS310	MICAz	Light, temperature, microphone, buzzer, 2-axis accelerometer, and 2-axis magnetometer
4	MTS400	MICAz	Ambient light, relative humidity, temperature, 2-axis accelerometer, and barometric pressure
4	MTS420	MICAz	Same as MTS400 plus a GPS module
5	MTS510	MICA2DOT	Light, microphone, and 2-axis accelerometer
6	MDA100	MICAz	Light, temperature, prototyping area
7	MDA300	MICAz	Light, relative humidity, general purpose interface for external sensors
8	MDA320	MICAz	General purpose interface for external sensors
9	MDA500	MICA2DOT	Prototyping area

表 1 Crossbow 社のセンサとデータ収集ボード

センサとはある物理現象を別の物理現象に変換する素子であり、それ自体が計測器ではありません。従いどのようなセンサでも個体差があります。このマニュアルや既存ソフトに掲載・適用されているセンサ特性は代表値であり目標の精度に近づけるためにはユーザーによる個別補正が推奨されます。センサの種類・データは予告無く変更することがあり、精度や値については参考のみとし当社免責とさせていただきます。

省電力プログラムを書く場合、MPR だけでなく MTS・MDA の電源も省電力となるよう考慮してください。スリープさせるときはセンサ電源は可能な限り OFF とすべきです。

本資料およびクロスボー株式会社（以下クロスボー）が販売するハードウェアの知的所有権はクロスボーが保有します。クロスボーが供給するソフトウェアはクロスボーが販売したハードウェア上で使用することが条件となります。本資料はユーザーがプログラムを作る場合の参考であり、クロスボーのプログラム MoteView はその一例としてハードウェア動作確認に利用できます。

2 MTS101 (2006 年末 生産中止)

MTS101 シリーズセンサーボードは、高精度サーミスタ、光センサ、そして一般的なプロトタイプピングエリアを持っています。プロトタイプピングエリアは、MOTE の AD 変換器 (ADC3-7) および I2C デジタルコミュニケーションバスの 5 つのチャンネルに接続されます。プロトタイプピングエリアは回路拡張のために 24 個のランドがあります。

2.1 サーミスタ

サーミスタ (YSI 44006、<http://www.ysi.com>) センサは高精度で高安定なセンサです。適切な測定と補正で 0.2°C 程度の精度が可能とされています。サーミスタの抵抗は温度に応じて変わり、カーブは非線形です。(下記の表と図の抵抗と温度の関係を見てください。) センサは、ベーシック抵抗ディバイダ回路を通ったアナログデジタル変換器のチャンネル番号 5 (ADC5、U1 ピン 38) に接続されます。サーミスタを使用するために、センサはデジタルコントロールライン PW2 を high にセットすることにより利用可能になります。下記の回路を参照してください。

Type	YSI44006
Time Constant	10 seconds, still air
Base Resistance	10k Ω at 25°C
Repeatability	0.2°C

表 2 サーミスタの仕様

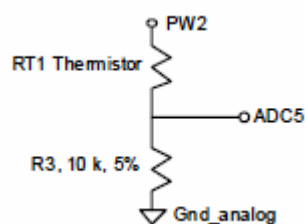


図 1 サーミスタの回路図

温度 (°C)	抵抗 (Ohms)	ADC5 読み取り (% of VCC)
-40	239,800	4%
-20	78,910	11%
0	29,940	25%
25	10,000	50%
40	5,592	64%
60	2,760	78%
70	1,990	83%

表 3 抵抗 vs. 温度、ADC5 読み取り

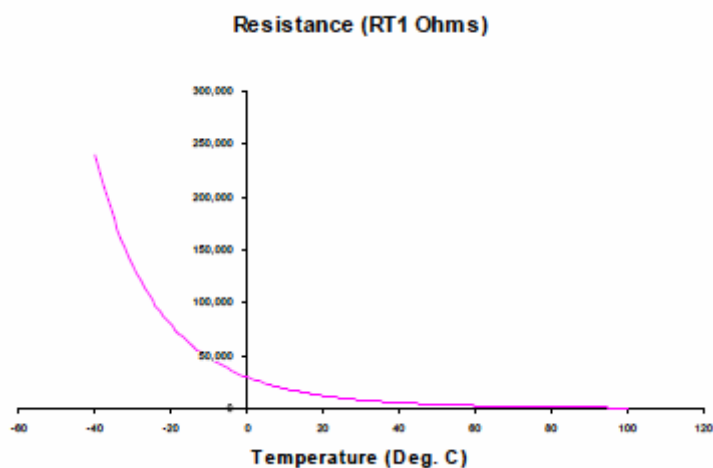


図 2 抵抗 vs. 温度グラフ

2.2 単位変換

MOTE の ADC 出力は 0~50°C の範囲で次の近似式を使用し K° に変換することができます :

$$1/T(K) = a + b / \ln(R_{thr}) + c / [\ln(R_{thr})]^3$$

$$R_{thr} = R1 (ADC_FS - ADC) / ADC$$

$$a = 0.001010024$$

$$b = 0.000242127$$

$$c = 0.000000146$$

$$R1 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$ADC_FS = 1023$$

ADC = MOTE の ADC を測定した出力値

2.3 光センサ

光センサは CdSe 光電池です。光電池の最大の感度は 690nm の光波長です。抵抗値が明るい露出で 2kΩ になり暗い状態で 520kΩ になります。光センサを使用するために、デジタルコントロール信号 PW1 をオンにしなければなりません。センサの出力は、アナログデジタル変換器チャンネル 6 (ADC6、U1 ピン 37) に接続されます。次の回路を参照してください。

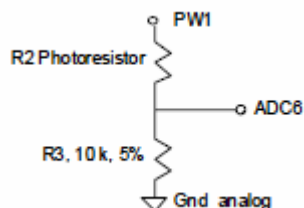


図 3 光センサの回路図

Type	Clairex CL94L
R _{ON}	2kΩ
R _{OFF}	520kΩ

表 4 光センサの仕様

2.4 プロトタイピングエリア

プロトタイピングエリアは、MOTE に他のセンサおよび装置を接続するためのスルホールランド接続ポイントです。プロトタイピングエリアのレイアウトは、下表を参照してください。

a1-a12	No Connect, Bare Hole	C1-c12	No Connect, Bare Hole
b1	PW4 (U1-33)	b9	I2C_BUS_DATA (U1-22)
b2	PW5 (U1-34)	b10	I2C_BUS_CLK (U1-21)
b3	PW6 (U1-35)	b11	FLASH_S0 (U1-19)
b4	ADC3 (U1-36)	b12	FLASH_SI (U1-20)
d1	GND_ANALOG (U1-1)	d9	GND (U1-51)
d2	VDD_ANALOG (U1-2)	d10	VCC (U1-50)
d3	ADC1 (U1-42)	d11	No Connect, Bare Hole
d4	ADC2 (U1-41)	d12	No Connect, Bare Hole
e9	PW3 (U1-32)	e11	ADC0 (U1-43)
e10	ADC4 (U1-39)	e12	GND_ANALOG (U1-1)

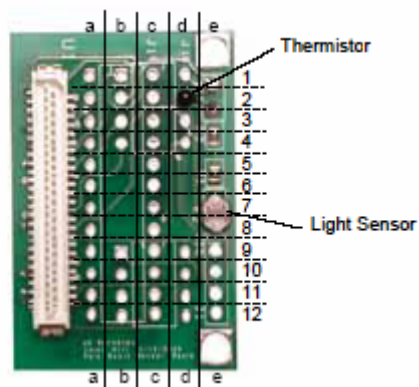


表 5 MTS101 の接続表と実物の写真

注:UC バークレー校のウェブサイトにある Rene ベーシックセンサボードの pdf ファイルは、A/D チャンネルが逆の順になっています。これはオリジナルの Rene MOTE と MOTE の MICA/MICA2 ファミリのワイヤリングの差によります。

警告:MOTE に繋がっているランドには VCC(一般的には 3V)以上あるいは 0V 未満の信号を接続しないでください。電圧が 0 から VCC の範囲を外れると MOTE プロセッサボードが破損する恐れがあります。

2.5 TinyOS ソフトウェアドライバ

MTS101 のためのドライバアプリおよび PC 上でデータを確認出来る GUI は、MOTE-VIEW1.2 rev. B または MOTE-VIEW1.4C となります。

3 MTS300 / MTS310

MTS300 および MTS310 は様々なセンサを備えたフレキシブルなセンサボードです。これらは、乗り物検知、地震、移動、聴覚、ロボット工学など様々なセンサネットワークのシステムを開発する際に活用することができます。

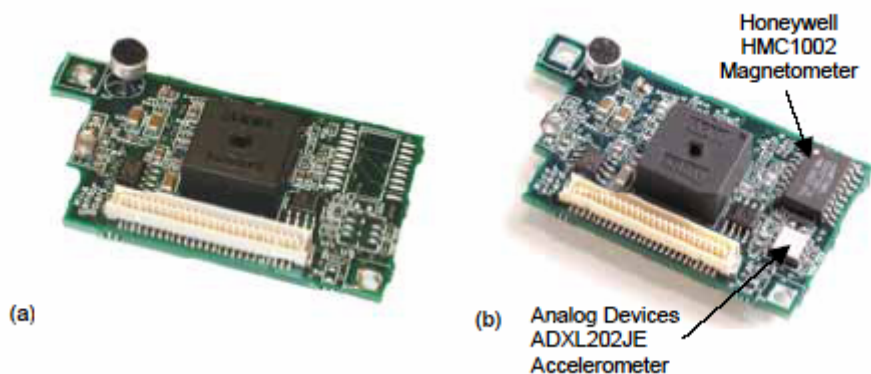


図 4 (a)MTS300 (b)MTS310

3.1 マイクロホン

マイクロホン回路は主に 2 段構成になっています：1 つ目は音響レンジのために、2 つ目は音響の録音と測定のためです。基本回路は、プリアンプ (U1A-1)、デジタルボリュームコントロール (U1A, PT2) で増幅された 2 段目から成ります。

この回路はローレベルのマイクロホン出力を増幅します。この出力は、マイクロホン出力セレクト回路 (MX1) を使用することにより mic_out 信号は ADC2 信号に接続されて、アナログデジタル変換器 (ADC2) に直接供給することができます。この配置は一般的な音響の録音および測定に役立ちます。オーディオファイルは、後で使用するために MICA、MICA2 MOTE のロガーフラッシュメモリへ記録します。

2 段目からの出力 (mic_out) は、アクティブフィルタ (U2) を通ってトーン検知器 (TD1) へ送られます。4kHz のトーンの場合、LM567 CMOS トーン検知器 IC は INT3 でアナログマイクロホン信号をデジタルハイまたはローレベルの出力に変えます。センサボード上の圧電スピーカ・サウンダ回路はこのトーンを生成することができます。

圧電スピーカ・サウンダおよび上記のトーン検知器により新しいアプリケーションを作ることが出来ます。例えば：MOTE がサウンダを鳴らすと同時に無線によって RF パケットを送ります。別の MOTE は RF パケットの受信で listen になり、そのプロセッサ上のタイマ/カウンタのリセットによりサウンダ音の到着時間を計測。その後、トーン検知器がサウンダ

を検知するまでカウンタをインクリメントします。カウンタ値は2つの MOTE 間の音波の伝達時間です。伝達時間の値は MOTE 間の近似の距離に変換することができます。サウンドとマイクロホンを備えた MOTE のグループを使えば、場所の特定やポジショニングシステムを構築することができます。

注：MOTE は省電力で設計されています。MTS300 及び MTS310 センサボード内のセンサは電源コントロール下にあり、プログラム上 ON にされない限り電源は供給されません。詳細は 3.6 項。

3.2 サウンド

圧電スピーカ・サウンド (“ブザー”) はシンプルな 4kHz 固定周波数圧電振動子です。ドライブおよび周波数コントロール回路類はサウンドに内蔵されています。サウンドのオンオフに必要な信号は `Sounder_Power` だけです。`Sounder_Power` は電源コントロールスイッチ (P1) によってコントロールされ、ハードウェアライン PW2 によってセットされます。

3.3 光と温度

注：光および温度センサは同じ A/D 変換器チャンネル (ADC1) を共有します。一度にオンにするセンサは1つだけにしてください。そうしないと、ADC1 は読めなくなります。

MTS101 と同様に、MTS300 と MTS310 は光センサとサーミスタを持っています。

光センサは CdSe 光電池です。光電池の最大感度は 690nm の波長です。抵抗値は、露光しているとき $2k\Omega$ で暗い状態では $520k\Omega$ です。光センサを使用するために、デジタルコントロール信号 PW1 をオンにしなければなりません。センサの出力は、アナログデジタル変換器チャンネル 1 (ADC1) に接続されます。光がある場合、回路出力は VCC またはフルスケールに近く、暗い場合出力は GND または 0 に近くなります。電源は信号の INT1 のセットにより光センサにコントロールされます。

MTS300 および MTS310 のサーミスタ (松下 ERT-J1VR103J) は表面実装部品 RT2 です。25°C を中心値とするシンプルな分圧器回路を構成します。温度センサ回路の出力は ADC1 で利用できます。電源は INT2 にシグナルをセットすることによりコントロールされます。

Temperature (°C)	Resistance (Ohms)	ADC1 Reading (% of VCC)
-40	427,910	2.3%
-20	114,200	8.1%
0	35,670	22%
25	10,000	50%
40	4,090	71%
60	2,224	82%
70	1,520	87%

表 6 電圧、抵抗 vs. 温度

3.3.1 単位変換

MOTE の ADC 出力は 0~50°C 範囲で次の近似式にて K° に変換することができます：

$$1/T(K) = a + b / \ln(R_{thr}) + c / [\ln(R_{thr})]^3$$

$$R_{thr} = R1 (ADC_FS - ADC) / ADC$$

$$a = 0.00130705$$

$$b = 0.000214381$$

$$c = 0.000000093$$

$$R1 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$ADC_FS = 1023$$

ADC = MOTE の ADC を測定した出力値

3.4 加速度センサ (MTS310 のみ)

加速度センサは MEMS の表面実装タイプ 2 軸 (±2g) のデバイスです。低消費電流 (<1mA) および 10 ビットの分解能を特色とします。センサは、傾斜検知や、早いサンプリングプログラムにより移動、振動および(または)地震の測定のために使用することができます。電源は PW4 にシグナルをセットすることにより加速度センサを ON にします。そしてアナログデータは ADC3 および ADC4 をサンプルします。U5 にある加速度センサは ADXL202JE です。<http://www.analog.com> にあるデータシートが利用出来ます。仕様の概要は下記の表を参照してください。

Channels	X (ADC3), Y (ADC4)
G-range	± 2 g (1 g = 9.81 m/s ²)
Bandwidth	DC-50 Hz (controlled by C20, C21)
Resolution	2 mG (0.002 G) RMS
Sensitivity	167 mV/G ± 17 %
Offset:	2.5 V - 0.4 V

表 7 ADXL202JE の仕様

注: ADXL202 の感度およびゼロ点の個体差は比較的大きくなっています。センサ軸を重力方向にあわせ+1G と-1G の位置でセンサ生データを記録することによりゼロ点と感度の調整をすることをお勧めします。

3.5 磁気センサ (MTS310 のみ)

磁気センサ回路は、高感度な NiFe コーティングでブリッジ抵抗器を構成するシリコンセンサです。NiFe は回路のブリッジ抵抗を変化させます。ブリッジは高感度で、地球および他の小さな磁場を測定することができます。有用なアプリケーションは乗り物検知です。成功例として半径 15 フィートで自動車の磁性体を検知しました。センサはハネウェル HMC1002 センサです。詳細な仕様は <http://www.ssec.honeywell.com> にあります。各軸 (X、Y) の出力はアンプ U6、U7 によって増幅されます。増幅された出力は、ADC5 と ADC6 で利用されます。電源は PW5 により磁気センサを ON にします。各アンプ (U6、U7) は I2C バスによってデジタル電位差計 PT1 を使用して調整することができます。

警告: 磁気センサの NiFe コアは非常に敏感であると同時に飽和することもあります。センサが大きな磁界にある場合に飽和が生じます。MTS310 は HMC1002 が推奨する飽和回復回路 (セット/リセット) を持っていません。DC の応答 (例えば、方位の決定) を要求するアプリケーションにおいて当該リセットは磁気センサにとって有用です。セット/リセット回路を外部より付加するために 4 つのランド S/R (セット/リセット) が MTS310 上にあります。

3.6 センサのオンとオフ

全てのセンサは電源コントロール回路を持っています。センサのデフォルト状態はオフです。この設計は、センサボードによって省電力にすることを支援します。センサをオンにするために、電源スイッチのコントロール信号があります。下表はコントロールセッティングの一覧です。

Sensor/Actuator	Control Signal
Sounder	PW2
Microphone	PW3
Accelerometer	PW4
Magnetometer	PW5
Temperature (RT2)	INT2
Photocell (R2)	INT1

表 8 サウンダとセンサのコントロールセッティング

注：INT1 と INT2 の信号のうち、どちらか1つだけしかアクティブにはしてはいけません。セクション 3.3 を見てください。

3.7 TinyOS ソフトウェアドライバ

MTS300/310 のドライバアプリおよび PC 上でデータを確認出来る GUI は、MOTE-VIEW1.4C 以降となります。

3.8 MTS300 および MTS310 の回路図

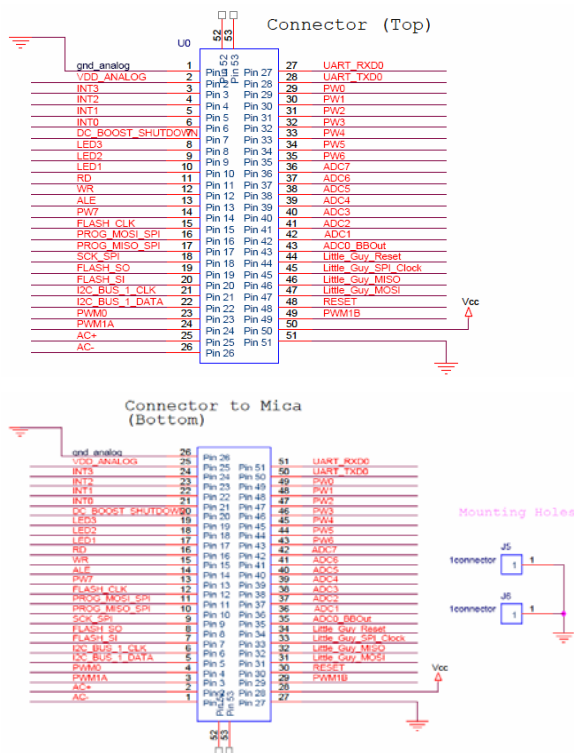


図 5 MTS310 の 51-ピンコネクタピンアウト回路図

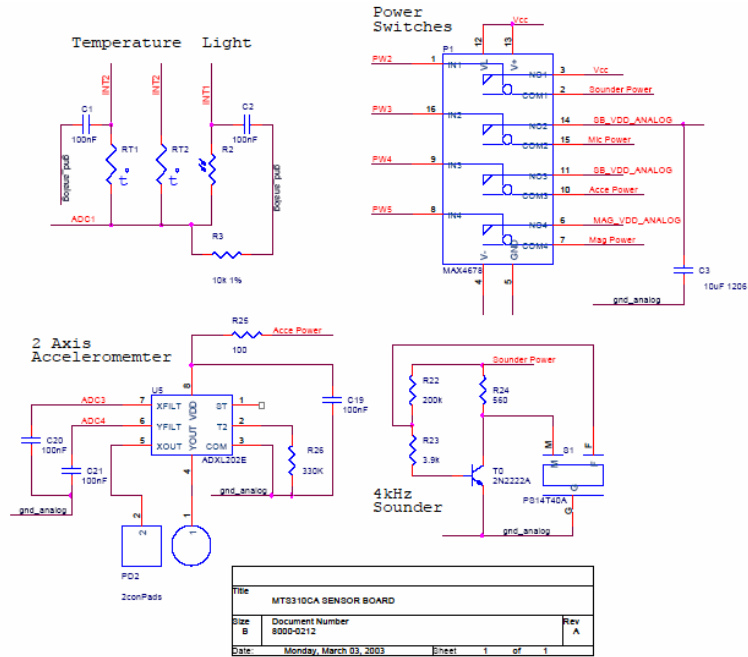


図 6 MTS310 の加速度センサ、サウンドア、温度および光センサ、電源スイッチ回路図

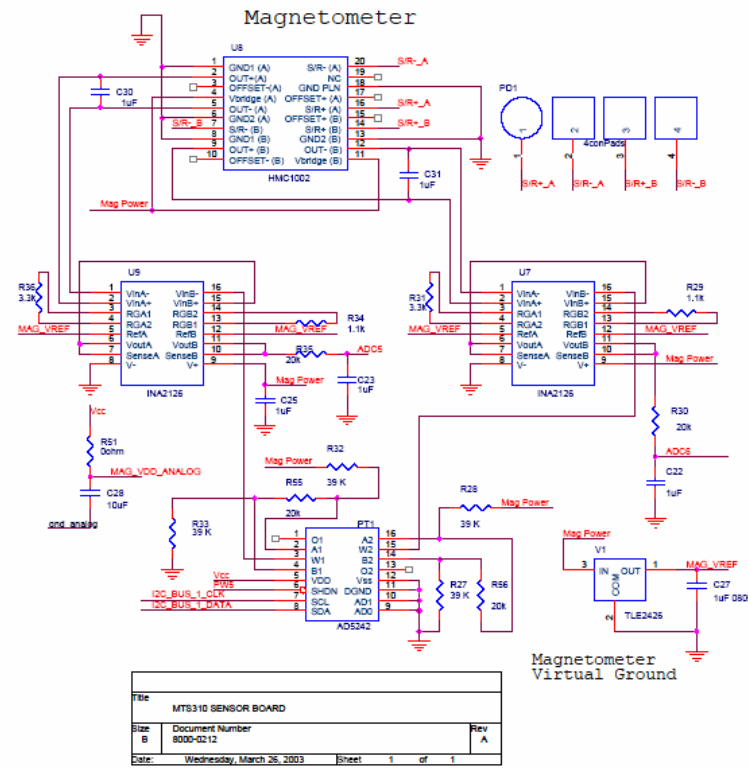


図 7 MTS310 の磁気センサ回路図

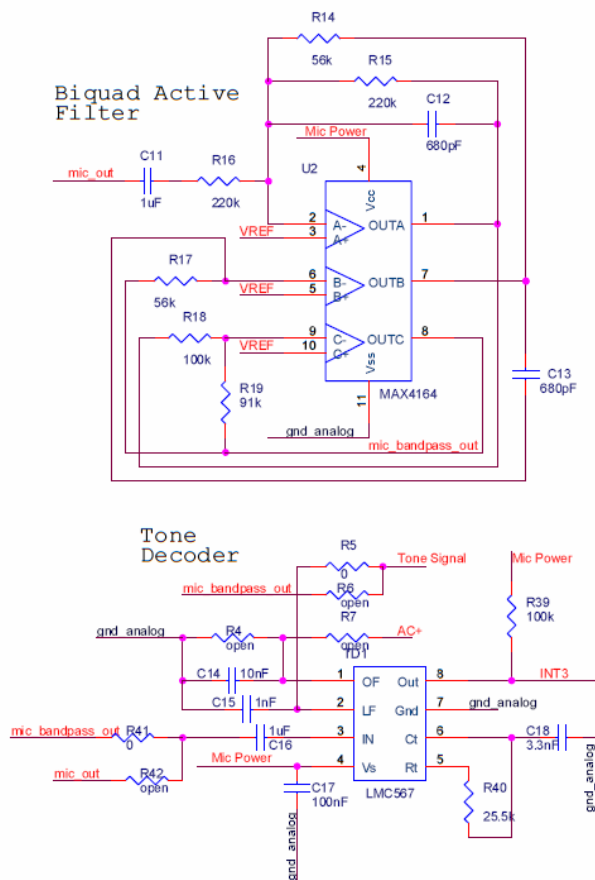


図 9 MTS310 のビコードアクティブフィルタおよびトーンデコーダ回路図

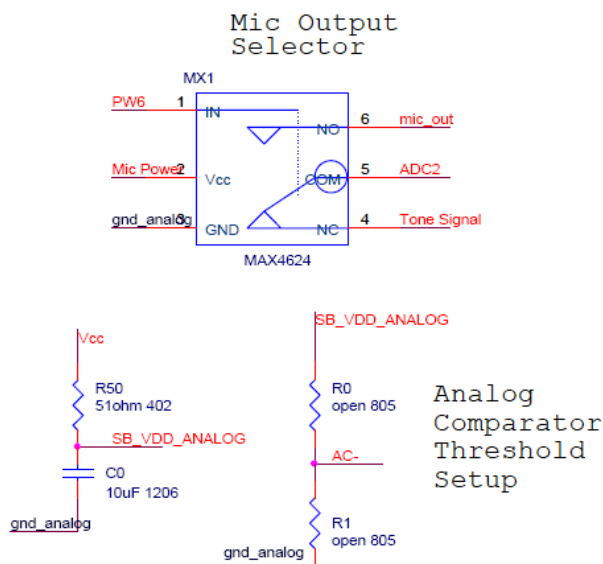


図 10 MTS310 のマイク出力セレクタ、アナログコンパレータの閾値設定回路図

4 MTS400 / MTS420

MTS400 は、ベーシックな環境センサを提供します。これらのセンサは、シンプルな無線の測候から環境のモニタリングノードのネットワークまで、種々様々なアプリケーションで使用出来ます。適用可能な産業は農業、工業、山林、空調などです。

MTS420(下図)で提供された GPS モジュールは、設置困難な環境の中に配置された MOTE の位置の識別、および積荷、乗り物、容器および野生生物の位置トラッキング用に使用することが出来ます。

MTS400 には GPS 機能はありません。

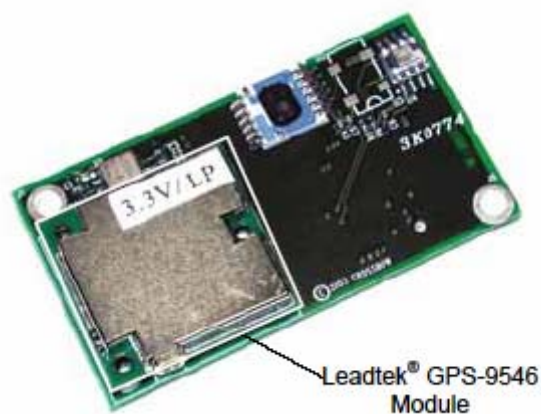


図 11 MTS420 の写真

注：MOTE は省電力で設計されています。センサボード内のセンサは電源コントロール下にあり、プログラム上 ON にされない限り電源は供給されません。

4.1 湿度および温度センサ

Sensirion(<http://www.sensirion.com/>)SHT11 は調整されたデジタル出力を含むシングルチップの湿度および温度マルチセンサモジュールです。チップは内部 14 ビット AD 変換器およびシリアルインターフェイスを持っています。SHT11 は個々に調整出来ます。

Sensor Type	Sensirion SHT11	
Channels	Humidity	Temperature
Range	0 to 100%	-40°C to 80°C
Accuracy	±3.5% RH (代表的)	±2°C
Operating Range	3.6 to 2.4 volts	
Interface	Digital interface	

表 9 Sensirion SHT11 の仕様

このセンサの電源はプログラム可能なスイッチで利用可能になります。コントロールインターフェース信号もプログラム可能なスイッチで利用可能になります。センサの AD 変換器は、湿度と温度からデジタルユニットへ変換を行います。

4.2 気圧および温度センサ

Intersema (<http://www.intersema.ch/>) MS55ER はピエゾ抵抗の圧力センサおよび ADC インターフェース IC を含むハイブリッドデバイスです。圧力と温度の測定からの 16 ビットのデータを送出します。3 本のワイヤインターフェースはすべてのコミュニケーションで使用されます。

このセンサの電源はプログラム可能なスイッチで利用可能になります。コントロールインターフェース信号もプログラム可能なスイッチで利用可能になります。センサの AD 変換器は、圧力と温度からデジタルユニットへ変換を行います。

Sensor Type	Intersema MS5534
Channels	Pressure and Temperature
Range	Pressure: 300 to 110 mbar Temperature: -10°C to 60°C
Accuracy	Pressure: ±3.5% Temperature: ±2°C
Operating Range	3.6 to 2.2 volts
Interface	Digital interface

表 10 Intersema MS5534 の仕様

4.3 光センサ

TLS2550 は 2 本のワイヤ、SMBus シリアルインターフェイスを備えたデジタル光センサです。製造は TAOS 社 (<http://www.taosinc.com>) です。12 ビットのダイナミックレンジの光測定を提供するために 2 つのフォトダイオードおよび CMOS 集積回路上のコンパANDING AD 変換器を組み合わせています。

Sensor Type	Taos TSL2550
Channels	Light
Range	400 - 1000 nm
Operating Range	3.6 to 2.7 volts
Interface	Digital interface

表 11 TAOS TSL2550 の仕様

このセンサの電源はプログラム可能なスイッチで利用可能になります。コントロールインターフェース信号もプログラム可能なスイッチで利用可能になります。センサの AD 変換器は光からデジタルユニットへ変換を行います。

4.4 加速度センサ

加速度センサは MEMS の表面実装タイプ 2 軸 ($\pm 2g$) のデバイスです。低消費電流 ($< 1mA$) を特色とします。センサは、傾斜検知や、早いサンプリングプログラムにより移動、振動および(または)地震の測定のために使用することができます。センサ出力は、MOTE の ADC1 および ADC2 チャンネルの ADC チャンネルに接続されます。

Sensor Type	Analog Devices ADXL202JE
Channels	X (ADC1), Y (ADC2)
Range	$\pm 2G$ ($1G=9.81m/s^2$)
Sensitivity	167mV/G, $\pm 17\%$
Resolution	2mG (0.002G) RMS
Offset	VBATTERY/2 $\pm 0.4V$
Operating Range	3.6 to 3.0 V
Interface	Analog interface

表 12 ADXL202JE の仕様

注: ADXL202 の感度およびゼロ点の個体差は比較的大きくなっています。センサ軸を重力方向にあわせ+1G と-1G の位置でセンサ生データを記録することによりゼロ点と感度の調整をすることをお勧めします。

4.5 GPS (MTS420 のみ)

GPS モジュールからの出力は MOTE のインターフェースである USART1、シリアル UART に接続しています。アクティブ、外部アンテナはモジュールで供給されます。GPS モジュールはアンテナの電源を供給します。

センサ基板	MTS420CA/CB	MTS420CC
販売時期	2007. 3 月頃まで	2007. 4 月以降
GPS モジュール	Leadtek GPS-9546	UBlox LEA4A
WEB サイト	www.leadtek.com	www.u-blox.com

表 13 使用 GPS モジュール

注：GPS モジュールの DC-DC ブースタは無線通信に影響します。GPS モジュールが無線通信中に連続的に電源供給しモニタしなければならないため、3.3-3.6 ボルトのリチウムバッテリーが MOTE の電源に推奨されます。アルカリ電池は、GPS モジュールが無線通信中に電源が落ちる恐れがあるため推奨されません。

4.6 センサ ON/OFF

MTS400/420 センサボード上のすべてのセンサの電源は、ポジション U7 のアナログ電源スイッチによってコントロールされます。それはプログラム可能で、個々のセンサへの電源を有効または無効にします。センサのデフォルト条件はオフです。この設計は、センサボードによって使う電源を最小限にします。

4.7 TinyOS ソフトウェアドライバ

MTS400/420 のためのドライバアプリおよび PC 上でデータを確認出来る GUI は、MOTE-VIEW1.4C 以降となります。パソコン側基地局 (Node ID=0) には XMesh_Base をインストールしてください。

5 MTS510 (2006 年末 生産中止)

MTS510 はいくつかのセンサを備えており、動揺検知、低機能な地震センサ、移動、ロボット工学などセンサネットワークの様々なシステムを開発する際に活用することができます。この項ではセンサ回路および一般的なアプリケーションについて記述します。回路の詳細はセクションの終わりにある回路図を参照してください。

5.1 マイクロホン

マイクロホン回路は一般的な聴覚の録音および測定のために使用します。ベーシック回路は、プリアンプ(U4)、デジタルボリュームコントロール(U3、U1-A)で増幅された 2 段構成となります。光センサを使用するために、デジタルコントロール信号 PW1 をオンにしなければなりません。この回路はローレベルのマイクロホン出力を増幅します。この出力はアナログデジタル変換器(ADC2)に直接供給することができます。この構成は一般的な聴覚の録音および測定に役立ちます。オーディオファイルとして MICA、MICA2 MOTE のロガーフラッシュメモリに記録することもできます。

5.2 光センサ

MTS101 のように、MTS510 は光センサを持っています。光センサは CdSe 光電池です。光電池の最大の感度は 690nm の波長です。抵抗は明るい露出で $2k\Omega$ になり、暗い状態で $520k\Omega$ になります。光センサを使用するために、デジタルコントロール信号 PW0 をオンにしなければなりません。センサの出力は、アナログデジタル変換器チャンネル 7(ADC7)に接続されます。光がある場合 出力は VCC 近くのフルスケールで、暗い場合 出力は GND つまり 0 に近くになります。

5.3 加速度センサ

加速度計は MEMS2 軸 ($\pm 2g$) のデバイスです。低電流 ($<1mA$) で 10 ビットの分解能を特徴としています。センサは、傾斜検知、動揺、高サンプリングでは振動および(または)地震の測定のために使用することができます。電源は信号の PW0 のセットによりコントロールされます。また、アナログデータは ADC3 と ADC4 でサンプリングされます。U2 にある加速度計は ADXL202JE です。また、詳細なデータシートは <http://www.analog.com> にあります。

Channels	X(ADC3), Y(ADC4)
G-Range	$\pm 2G$ ($1G=9.81m/s^2$)
Bandwidth	DC-50Hz (controlled by C20, C21)
Resolution	2mG (0.002G) RMS
Sensitivity	167mV/G $\pm 17\%$
Offset	2.5V $\pm 0.4V$

表 14 ADXL202JE の仕様

注：ADXL202 の感度およびゼロ点の個体差は比較的大きくなっています。センサ軸を重力方向にあわせ+1G と-1G の位置でセンサ生データを記録することによりゼロ点と感度の調整をすることをお勧めします。

5.4 TinyOS ソフトウェアドライバ

MTS510 のためのドライバアプリおよび PC 上でデータを確認出来る GUI は、MOTE-VIEW1.4C 以降となります。

6 MDA100

MDA100 シリーズセンサーボードは、高精度サーミスタ、光センサ、そして一般的なプロトタイプピングエリアを持っています。プロトタイプピングエリアは、MOTE の AD 変換器 (ADC0-7) および I2C デジタルコミュニケーションバスの 5 つのチャンネルに接続されます。プロトタイプピングエリアは回路拡張のために 24 個のランドがあります。

6.1 サーミスタ

サーミスタ (YSI 44006、<http://www.ysi.com>) センサは高精度で高安定なセンサです。適切な測定と補正で 0.2°C 程度の精度も可能とされています。サーミスタの抵抗は温度に応じて変わり、カーブは非線形です。(下記の表と図の抵抗と温度の関係を見てください。) センサは、分電圧抵抗回路を通ったアナログデジタル変換器のチャンネル番号 1 (ADC1) に接続されます。サーミスタを使用するために、センサはデジタルコントロールライン INT2 を high にセットすることにより利用可能になります。下記の回路を参照してください。

Type	YSI44006
Time Constant	10 seconds, still air
Base Resistance	10k Ω at 25°C
Repeatability	0.2°C

表 15 サーミスタの仕様

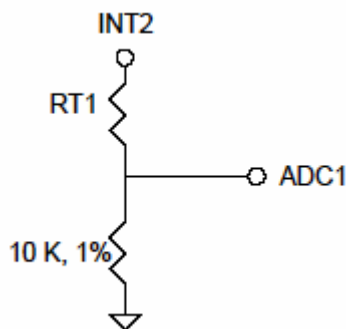


図 14 サーミスタの回路図

Temperature (°C)	Resistance (Ohms)	ADC5 Reading (% of VCC)
-40	239,800	4%
-20	78,910	11%
0	29,940	25%
25	10,000	50%
40	5592	64%
60	2760	78%
70	1990	83%

表 16 抵抗 vs. 温度、ADC5 読み取り

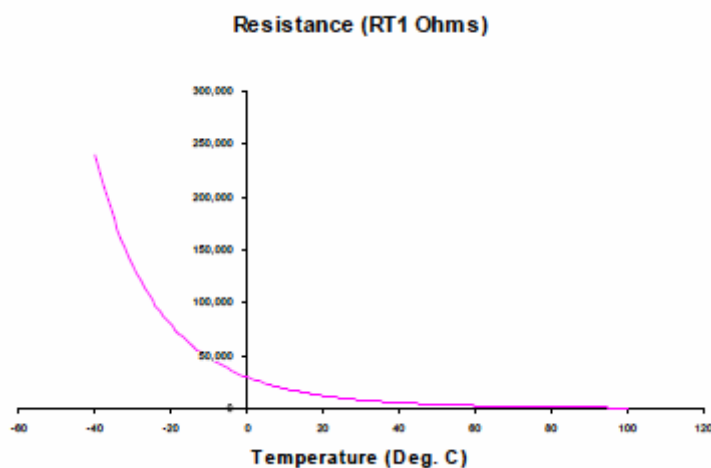


図 15 抵抗 vs. 温度グラフ

6.2 単位変換

MOTE の ADC 出力は 0~50°C の範囲で次の近似式を使用し K° に変換することができます :

$$1/T(K) = a + b / \ln(R_{thr}) + c / [\ln(R_{thr})]^3$$

$$R_{thr} = R1 (ADC_FS - ADC) / ADC$$

$$a = 0.001010024$$

$$b = 0.000242127$$

$$c = 0.000000146$$

$$R1 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$ADC_FS = 1023$$

ADC = MOTE の ADC を測定した出力値

6.3 光センサ

光センサは CdSe 光電池です。光電池の最大の感度は 690nm の光波長です。抵抗が、明るい露出で 2kΩ、暗い状態で 520kΩ になります。光センサを使用するために、デジタルコントロール信号 PW1 をオンにしなければなりません。センサの出力は、アナログデジタル変換チャンネル 1 (ADC1) に接続されます。次の回路を参照してください。明るい場合の回路出力は VCC すなわちほぼフルスケールになり、暗い場合ではほぼ GND すなわち 0V になります。本回路への電源は INT2 のセッティングにより有効になります。

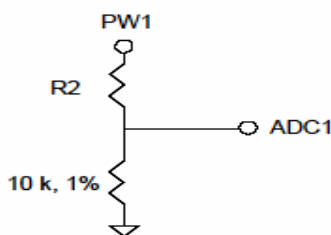


図 16 光センサの回路図

6.4 プロトタイピングエリア

プロトタイピングエリアは、MOTE に他のセンサおよび装置を接続するためのハンダ穴および接続ポイントです。プロトタイピングエリアのレイアウトは、下表を参照してください。

	A	B	C	D	E	F
1	GND	GND	GND	VCC	VCC	VCC
2	OPEN	OPEN	USART1_CK	INT3	ADC2	PW0
3	OPEN	OPEN	UART0_RX	INT2*	ADC1*	PW1*
4	OPEN	OPEN	UART0_TX	INT1	ADC0*	PW2
5	OPEN	OPEN	SPI_SCK	INT0	THERM_PWR	PW3
6	OPEN	OPEN	USART1_RX	BAT_MON	THRU1	PW4
7	OPEN	OPEN	USART1_TX	LED3	THRU2	PW5
8	OPEN	OPEN	I2C_CLK	LED2	THRU3	PW6
9	OPEN	OPEN	I2C_DATA	LED1	RSTN	ADC7
10	OPEN	OPEN	PWM0	RD	PWM1B	ADC6
11	OPEN	OPEN	PWM1A	WR	OPEN	ADC5
12	OPEN	OPEN	AC+	ALE	OPEN	ADC4
13	OPEN	OPEN	AC-	PW7	OPEN	ADC3
14	GND	GND	GND	VCC	VCC	VCC
15	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN
16	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN
17	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN

*Shared use

表 17 MDA100 の接続表と実物の写真



警告:MOTE MPR 基板に繋がっている穴には VCC (一般的には 3V) 以上あるいは 0V 以下の信号を接続しないでください。電圧が 0 から VCC の範囲を外れると MOTE プロセッサボードが破損する恐れがあります。

6.5 TinyOS ソフトウェアドライバ

MDA100 のドライバアプリおよび PC 上でデータを確認出来る GUI は、MOTE-VIEW1.4 C 以降にあり、ADC2~6 の 5ch、0~3Vdc 10bit になります。(Table Name は xbow_da100 result を選択してください)。

7 MDA300

警告：MDA300 は ESD によって破損される場合があります。ESD 破損はパフォーマンス低下の原因になることがあります。

MDA300 は、MICA2/MICAz のための一般的な測定プラットフォームとして設計されています。主なアプリケーションは、a) 無線計器（一般センサの無線化）、b) 天候測定システム、c) 農業や灌漑の制御、d) 生息地モニタリング、e) 土地分析、および f) 遠隔のプロセス制御などです。

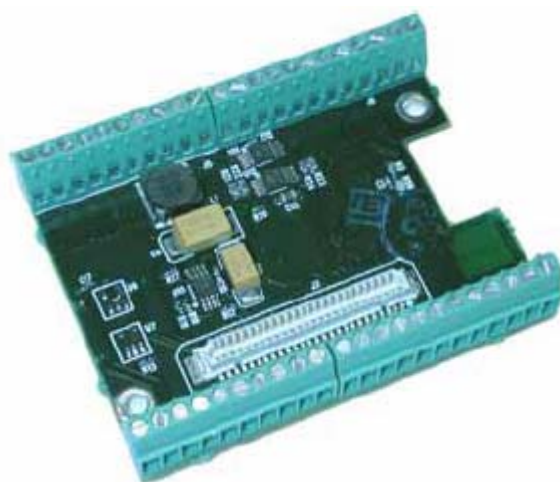


図 17 MDA300

アナログセンサは、プレシジョンおよびダイナミックレンジの差動チャンネルに付けることができます。デジタルセンサはデジタルあるいはカウンタチャンネルに付けることができます。MOTE はアナログ、デジタルあるいはカウンタチャンネルをサンプリングし、デジタル出力あるいはリレーを通して作動させることができます。MICA2・MICAz および MDA300 の組み合わせは、低出力の無線通信データ収集装置あるいはプロセス制御機として使用することができます。下記の表は、様々な電気的なパラメータの絶対最大定格値です。

+VDD to GND*	0.3V to +5.5V
Digital Lines:	
Input voltage range**	-0.5 V to $V_{DD} + 0.5 V$
Continuous output low current	50 mA
Continuous output high current	4 mA
Analog Lines:	
Input voltage range	-0.2 V to $V_{CC} + 0.5 V$

Counter Line:

Input voltage range.....0 V to 5.5V

Relays:

Maximum Contact.....100V

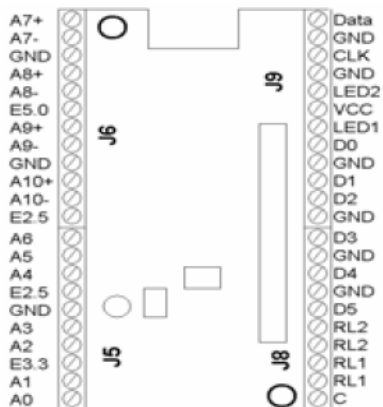
Maximum Contact Current.....150mA

*ユーザは、2.7~3.3 の VDC の MICA2 の定格入力電圧内にしなければなりません。

**入力および出力の定格電流が測定された場合、入力の定格負電圧は超えるかもしれません。

7.1 動作理論

このセクションは、MDA300 で利用可能なピンの動作について記述します。ピンアウトおよびそれらの記述は下図を参照してください。



A0 or A11+	Single-ended analog channel 0 or differential analog channel 11 positive side
A1 or A11-	Single-ended analog channel 1 or differential analog channel 11 negative side
A2 or A12+	Single-ended analog channel 2 or differential analog channel 12 positive side
A3 or A12-	Single-ended analog channel 3 or differential analog channel 12 negative side
A4 or A13+	Single-ended analog channel 4 or differential analog channel 13 positive side
A5 or A13-	Single-ended analog channel 5 or differential analog channel 13 negative side
A6	Single-ended analog channel 6
A7+ A7-	Differential analog channels 7
A8+ A8-	Differential analog channels 8
A9+ A9-	Differential analog channels 9
A10+ A10-	Differential analog channels 10
DATA	I2C Data
CLK	I2C Clock
D0 - D6	Digital Lines D0 to D6
C	Counter Channel
LED1	RED LED
LED2	GREEN LED
E5.0	5.0 V excitation
E3.3	3.3 V excitation
E2.5	2.5 V excitation
Vcc	Vcc of the Mote
RL1	Relay one sides (Normally-Open)

図 18 MDA300 のピン接続と割り当て

通常（シングルエンド）のアナログ動作（チャンネル A0 から A6）。

注：これらのチャンネルは差動チャンネル A11、A13 と共有され、それら両方を同時に使用することはできません。

0～2.5VDC 範囲のセンサ信号をこれらのチャンネルに入力します。分解能は 0.6mV です。ADC の結果は電圧に変換することができます。

$$\text{Voltage} = 2.5 \times \text{ADC_READING} / 4096$$

外部アナログセンサの電圧レベルが 2.5VDC になるように、抵抗器で適当に分圧する必要があります（半田付け）。各 ADC チャンネルにそれぞれ関連した 2 つの分圧抵抗器 RA および RB があります。これらの抵抗器は各出力で抵抗分圧を形成します。したがって RA と RB のために選んだ値は、RB/(RA+RB) にセンサ最大出力（≧2.5V）を掛けた値です。ADC チャンネルに対応する抵抗器は下表にあります。また、ボード上の位置は下図に示されています。

注：ポジション R30 から R36 の抵抗器は 0Ω の抵抗器で、分圧抵抗を半田付けするまえに取り除く必要があります。

ADC Channel	R _A	R _B
0	R36	R43
1	R35	R42
2	R34	R41
3	R33	R40
4	R32	R39
5	R31	R38
6	R28	R37

表 18 分電圧のためのアナログ入力とレジスタ位置

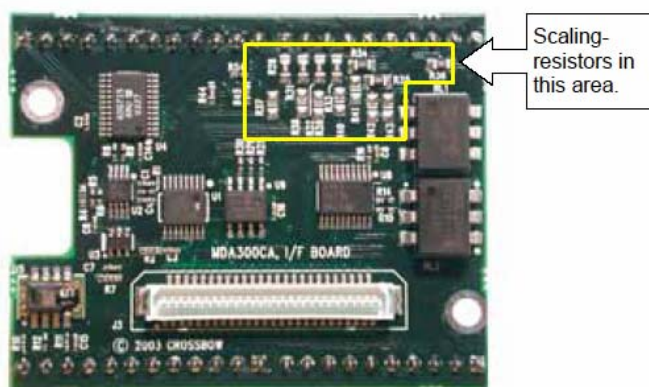


図 19 MDA300 の後部写真

差電圧アナログ信号 (チャンネル A11 から A13)。チャンネル A11 から A13 は差電圧アナログ信号入力に使うことができます。ダイナミックレンジと変換定式はシングルエンドチャンネルと同じです。

差電圧プレジジョンアナログ信号 (チャンネル A7 から A10)。チャンネル A7 から A10 はプレジジョン差動チャンネルです。100 ゲインのセンサフロントエンドを持っています。これらのチャンネルのダイナミックレンジは±12.5mV です。オフセットは、測定したオフセットを E2PROM に書くことによって、ソフトウェアで取り消すことができます。ADC の結果は電圧 (mV) に変換することができます。

$$\text{Voltage} = 12.5 \times (\text{ADC_READING} / 2048 - 1)$$

デジタルチャンネル (チャンネル D0 から D5)。チャンネル D0-D5 はデジタル入力あるいは出力のために使用することができるデジタルチャンネルです。それらは外部現象を数えるため、外部イベントあるいは外部信号を始動させるためのトリガに使用することができます。

これらのチャンネルの結果は、電源リセットされた場合のロスの計算を回避するために EEPROM に取っておくことができます。これらのチャンネルはスイッチで保護することができます。入力としてセットされる場合、スイッチ (閉開) センサにプラグすることができるようにプルアップ抵抗を持っています。

カウンタチャンネル。このチャンネルは高速のカウンタあるいは周波数の測定に適当です。シュミットトリガのフロントエンドとなっています。

内部チャンネル。MDA300 には温度と湿度センサが搭載されています。これはシステムのヘルスマニタに使用することができます。また、熱電対測定アプリケーションで「補償接点」に使用することができます。さらに装置の電圧はライフタイム情報を持つために MICA2 の内部モニタを使用して読むことができます。

リレーチャンネル。外部現象の作動のために使用することができる 2 本のリレーチャンネルがあります。リレーは両方ともソリッドステートリレーです。1つのリレーはノーマルオープンで、もう 1つはノーマルクローズです。

外部センサ用電源。外部センサを動作させることに利用可能な 3 つの電源 5.0V、3.3V、2.5V があります。アクティブな外部センサをつけるために使用したり、あるいは歪みゲー

ジ、力、圧力測定のようなハーフブリッジ、フルブリッジに使用することができます。

LED。 LED 信号は、MOTE のアプリケーションで LED を使用したい場合に出力します。

電源 (VCC)。 外部バッテリーの接続に使用することができます。

7.2 TinyOS ドライバとソフトウェアドライバ

ドライバアプリ、デモ用ファームウェアおよび PC 上でデータを確認できる GUI は、MOTE-VIEW1.4C 以降となります。使用できる入力チャンネルは A0~A2 のアナログ片電圧 3ch および D0~D2 のデジタル 3ch (アプリが XMDA300_2420_*.exe の場合)、または A±7~A±10 のアナログ差微電圧 4ch (アプリが微電圧用の XMDA300p_2420_*.exe の場合*) となります。パソコン側基地局 (Node ID=0) には XMDA300 ではなく XMesh_Base をインストールしてください。これ以上のチャンネルを使用するにはカスタムソフトを書く必要があります。

*微電圧は Database Table Name は mda300_precision_results を選択しますが MoteView2.0F では View Alternate Table にチェックマークを入れてから選択してください (温度・湿度センサデータは割愛となります)。

8 MDA320

警告：MDA320 は ESD によって破損される場合があります。ESD ダメージはパフォーマンス低下になることがあります。

MDA320 は、MICAz/MICA2 のための一般的な測定プラットフォームとして設計されています。主なアプリケーションは、a) 無線計器（一般センサの無線化）、b) 天候測定システム、c) 農業や灌漑の制御、d) 生息地モニタリング、e) 土地分析、および f) 遠隔のプロセス制御などです。



図 20 MDA320

アナログセンサは、プレジジョンおよびダイナミックレンジの差動チャンネルに付けることができます。デジタルセンサはデジタルあるいはカウンタチャンネルに付けることができます。MOTE はアナログ、デジタルあるいはカウンタチャンネルをサンプリングし、デジタル出力通して作動させることができます。MICAz (MPR2400J) / MICA2 (MPR400CB) および MDA320 の組み合わせは、省電力の無線通信データ収集装置あるいはプロセス制御機械として使用することができます。下記の表は、様々な電気的なパラメータの絶対最大定格値です。

+VDD to GND*	0.3V to +5.5V
Digital Lines:	
Input voltage range**	-0.5 V to $V_{DD} + 0.5$ V
Continuous output low current	50 mA
Continuous output high current	4 mA
Analog Lines:	
Input voltage range	-0.2 V to $V_{CC} + 0.5$ V
Counter Line:	
Input voltage range	0 V to 5.5V
Relays:	
Maximum Contact	100V

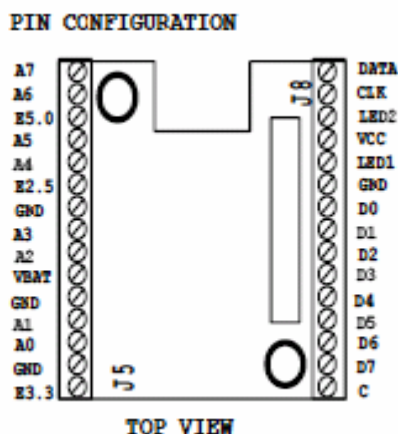
Maximum Contact Current.....150mA

*MICA2/MICAz の動作電源電圧内 2.7-3.3V にしなければなりません。

**入力および出力の定格電流をモニターした場合、定格入力負電圧は超えられることがあります。

8.1 動作理論

このセクションは、MDA320 で利用可能なピンの動作について記述します。ピンアウトおよびそれらの記述は下図を参照してください。



A7	アナログチャンネル 7 or 差動アナログチャンネル 11 +側
A6	アナログチャンネル 6 or 差動アナログチャンネル 11 -側
A5	アナログチャンネル 5 or 差動アナログチャンネル 10 +側
A4	アナログチャンネル 4 or 差動アナログチャンネル 10 -側
A3	アナログチャンネル 3 or 差動アナログチャンネル 9 +側
A2	アナログチャンネル 2 or 差動アナログチャンネル 9 -側
A1	アナログチャンネル 1 or 差動アナログチャンネル 8 +側
A0	アナログチャンネル 1 or 差動アナログチャンネル 8 -側
E5.0	DC5V 出力 (外部センサへ供給用)
E3.3	DC3.3V 出力 (外部センサへ供給用)
E2.5	DC2.5V 出力 (外部センサへ供給用)
DATA	I2C Data
CLK	I2C Clock
D0 - D6	デジタルチャンネル D0 to D6
C	カウンタ
LED1	RED LED
LED2	GREEN LED
Vcc	Vcc of the Mote
GND	アース

図 21 MDA320 のピン接続と割り当て

通常 (シングルエンド) 電圧のアナログ動作 (チャンネル A0 から A7)。

0~2.5V の信号をこれらのチャンネルに入力することができます。AD 変換は 16bit で 分解能は 0.076mV です。ADC の結果は電圧に変換することができます。

$$\text{Voltage} = 2.5 \times \text{ADC_READING} / 65536$$

外部アナログセンサの電圧レベルが 2.5VDC になるように、抵抗器で適当に分圧する必要があります(半田付け)。各 ADC チャンネルにそれぞれ関連した 2 つの分圧抵抗器 R_A および R_B があります。これらの抵抗器は各出力で抵抗分圧を形成します。したがって R_A と R_B のために選んだ値は、 $R_B/(R_A+R_B)$ にセンサ最大出力 ($\geq 2.5V$) を掛けた値です。ADC チャンネルに対応する抵抗器は下表にあります。また、ボード上の位置は下図に示されています。

注：R28, R31 から R36, R61 の抵抗器は 0Ω の抵抗器で、分圧抵抗を半田付けするまえに取り除く必要があります。

ADC Channel	R_A	R_B
0	R36	R43
1	R35	R42
2	R34	R41
3	R33	R40
4	R32	R39
5	R31	R38
6	R28	R37
7	R61	R62

表 19 電圧スケーリングのためのアナログ入力とレジスタ位置

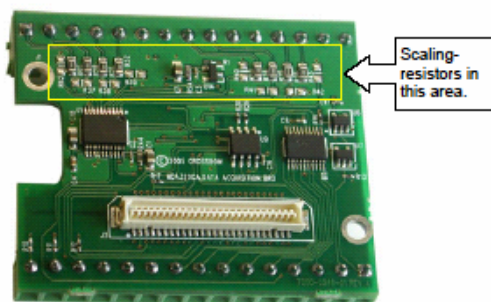


図 22 MDA320

差電圧アナログ信号。チャンネル A0 から A7 は差電圧アナログ信号に使うことができます。ダイナミックレンジと変換式はシングルエンドチャンネル同じです。

デジタルチャンネル (チャンネル D0 から D5)。チャンネル D0-D7 はデジタル入力あるいは出力のために使用することができるデジタルチャンネルです。それらは外部現象を数えるため、外部イベントあるいは外部信号を始動させるためのトリガに使用することが出来ます。

これらのチャンネルの結果は、電源リセットされた場合カウンタロス回避するために EEPROM に取っておくことができます。これらのチャンネルはスイッチで保護することができます。入力としてセットされる場合、スイッチ(閉開)センサに接続することができるようにプルアップ抵抗を持っています。

カウンタチャンネル。このチャンネルは高速のカウンタあるいは周波数の測定に適切です。シュミットトリガのフロントエンドとなっています。

外部センサ用電源。外部センサを動作させることに利用可能な 3 つの電源 5.0V、3.3V、2.5V があります。アクティブな外部センサをつけるために使用したり、あるいは歪みゲージ、力、圧力測定のようなハーフブリッジ、フルブリッジに使用することができます。

LED。LED 信号は、MOTE のアプリケーションで LED を使用したい場合に出力します。

電源 (VCC)。外部バッテリーの接続に使用することができます。

8.2 TinyOS ソフトウェア

ドライバアプリおよび PC 上でデータを確認出来る GUI は、MOTE-VIEW1.4C 以降となります。MOTE-VIEW でサポートする入力チャンネルはアナログ A0, A1, A2 A3、デジタル D0, D1, D2, D3 でありパソコン側基地局 (node ID = 0) には XMDA320 ではなく XMesh_Base を使用してください。これ以外のチャンネルはカスタムソフトが必要となります。

9 MDA500 (2006 年末生産中止)

警告: MOTE に繋がっている穴には VCC(一般的には 3V) 以上あるいは 0V 未満の信号を接続しないでください。電圧が 0 から VCC の範囲を外れると MOTE プロセッサボードは破損することがあります。

MDA500 シリーズセンサ/データ収集は、MICA2DOT MOTE に外部信号を接続するために柔軟なユーザインターフェースを提供します。MICA2DOT MOTE の主な I/O 信号はすべて、MDA500 の回路ボード上の穴に繋がっています。このボード用の概要は、下図を参照してください。

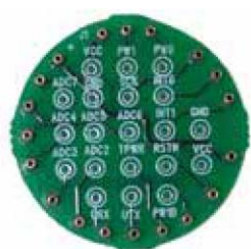
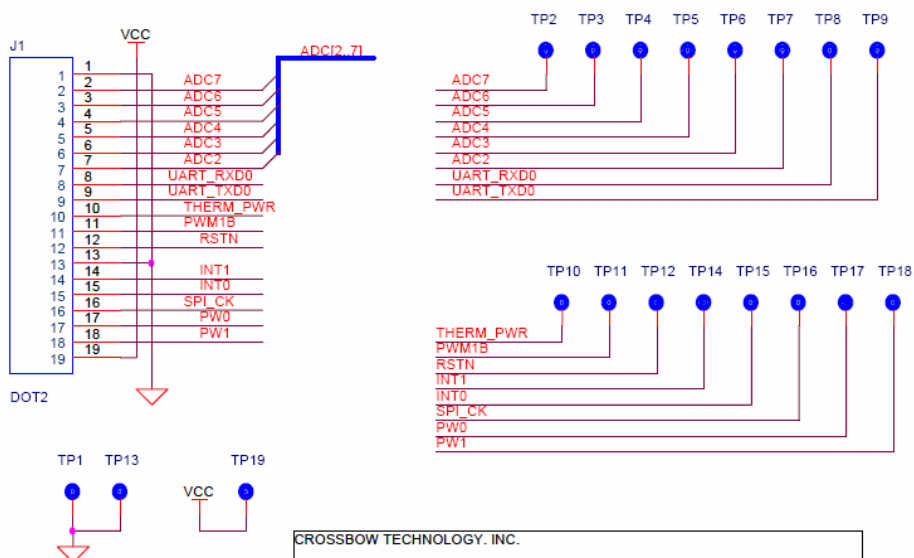


図 23 MICA2DOT 用 MDA500 の上部写真



CROSSBOW TECHNOLOGY, INC.		
Title MICA2DOT PROTO BOARD		
Size B	Document Number 6310-0309-01	Rev A
Date: Wednesday, March 26, 2003	Sheet 1 of 1	

表 20 MDA500 の回路図

9.1 TinyOS ドライバとソフトウェアドライバ

MDA500 のためのドライバアプリおよび PC 上でデータを確認出来る GUI は、MOTE-VIEW1.4C 以降となります。同ドライバアプリの動作は MPR520 上の温度センサモニタとなります。

10 TinyOS ソフトウェアドライバアプリ

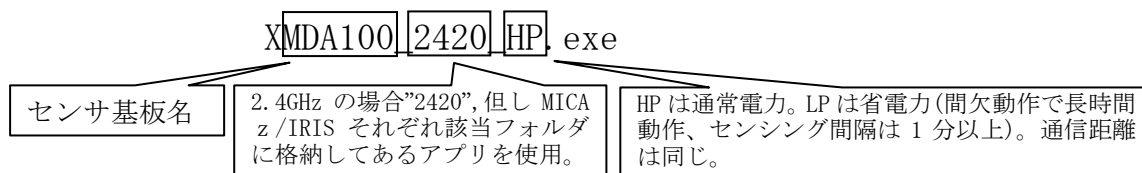
このセクションは、Crossbow のセンサボードおよびデータ収集ボードのためのソフトウェアドライバアプリの説明をします。下表は、テストおよびデモ用アプリケーションファームウェア、および様々なセンサおよびデータ収集ボードのためのドライバのためのフォルダの一覧です。

Sensor or DAQ Board	Test and Demo Application Name(s)
MTS101	XMTS101
MTS300	XMTS300
MTS310	XMTS310
MTS400	XMTS400
MTS420	XMTS420
MTS510	XMTS510
MDA100	XMDA100
MDA300	XMDA300
MDA500	XMDA500

表 21 MoteView に含まれるドライバアプリ一覧
(MTS101 は旧版のみ)

10.1 センサ、データ収集ボードのテスト

センサボードのドライバアプリは MPR に事前にプログラムされなければなりません。例えば MDA300 を使用するには、MDA300 を物理的に接続する前に、それを使用する予定のノード (MPR2400J/MPR2600J/XM2110J) に対しソフト XMDA300 を書き込みしてやる必要があります。その方法は、当該ノードを MIB510 (または MIB520 や MIB600) に接続し MoteView の MoteConfig というプログラムモードで書き込みします。ドライバアプリの見方は：



詳しくは MoteView のマニュアル (プログラムモード・Mote Config www.xbow.jp/moteview12.html) を参照してください。なお MIB510 のスイッチは常に OFF にして使用してください。MIB510、MIB520、MIB600 にノードを接続する前にノードの電池は必ず外してください。

KIT にプリインストールのデモソフト Surge_Reliable は MICA と DOT を同一ネットで動作させるソフトですが、センサ閾電圧が高いなどの制限事項があるため実使用には単一機種にて上記のドライバアプリに載せ替えることをお勧めします。

上記のドライバアプリは MoteView で配布されておりますが、機能を変更したり追加したり

できるプログラミングソフトウェアスイート MoteWorks (別売) は MOTE の使用範囲を広げるのに便利です。またクロスボーではソフトウェアのカスタム化も承っております。

製品のお問い合わせは：

クロスボー株式会社

電話 06-6489-5922 FAX 06-6489-5902 sales@Sensor-Network.net

〒660-0891 兵庫県尼崎市扶桑町 1-10 (住友精密構内)

www.Sensor-Network.net

アップデート情報：news.Sensor-Network.net

クロスボー株式会社は販売するハードウェア製品および独自に開発したソフトウェアの知的所有権を有します。それらのソフトウェアはクロスボー株式会社が販売するハードウェア上での使用が条件となります。ZigBee は Koninklijke Philips Electronics NV の登録商標です。Mote は住友精密工業㈱の登録商標です。その他記載されている会社名、製品名は一般に各社の商標または登録商標です。無償供給されるソフトウェアはサポートや修正の義務を負いません。人体、システム、財産、通信などに危害を及ぼす使用には当社は責任を負いません。仕様や情報は代表値であり、また予告なく変更する事があります。いかなる場合も使用者の責任においてご使用ください。電波法の範囲で使用することは使用者の責任となります。初期不良以外は有償修理になります。輸出には許可が必要です。不許転載。©2008 クロスボー株式会社 〒660-0891 兵庫県尼崎市扶桑町 1-10 (住友精密構内)