

## MAX31856

高精度熱電対-デジタルコンバータ、  
線形化内蔵

## 概要

MAX31856は、冷接点補償を実行し、あらゆるタイプの熱電対からの信号をデジタル化します。出力データの形式は摂氏(°C)です。このコンバータは、温度の分解能が0.0078125°Cのため、最高+1800°Cおよび最低-210°C(熱電対タイプによる)の読み値が可能で、熱電対電圧の測定精度は±0.15%です。熱電対入力は、最大±45Vの過電圧状態に対して保護されています。

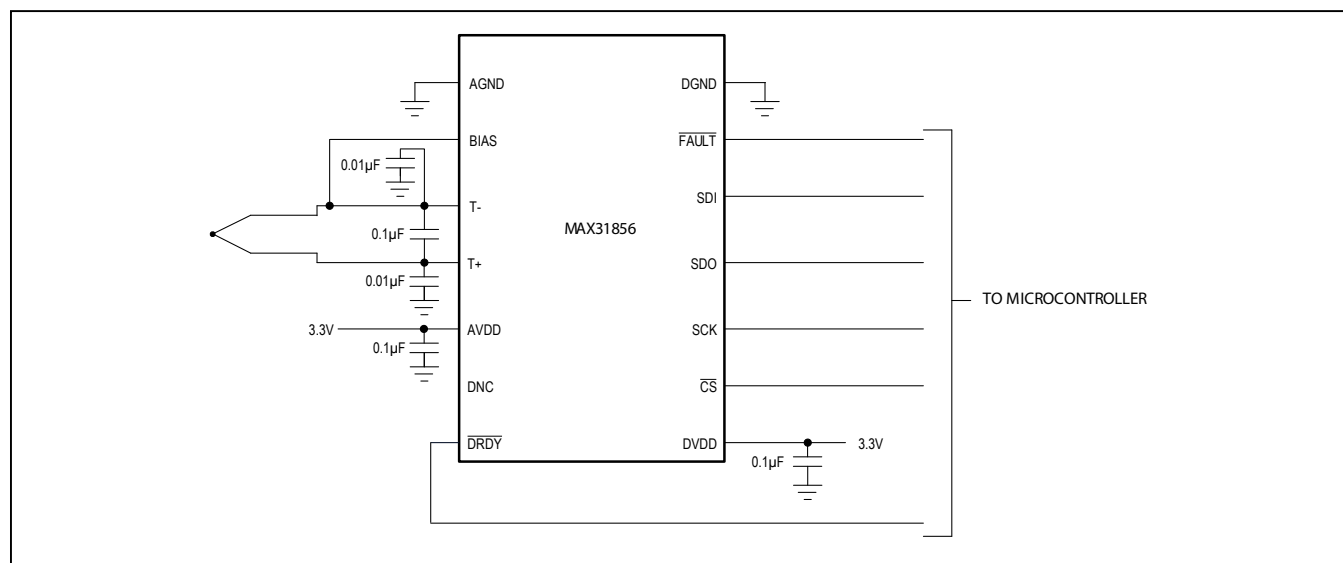
数種類の熱電対タイプ(K、J、N、R、S、T、E、およびB)に対するリニアリティ補正データが、ルックアップテーブル(LUT)に保存されています。50Hzおよび60Hzのライン周波数フィルタ処理および熱電対フォルト検出を内蔵しています。SPI対応インタフェースによって、熱電対タイプの選択と、変換およびフォルト検出プロセスの設定が可能です。

## アプリケーション

- 温度コントローラ
- 産業用オープン、炉、および環境チャンバ
- 産業用機器

**型番**はデータシートの最後に記載されています。

## 標準アプリケーション回路



## 利点および特長

- 高精度の熱電対温度読み値を提供
  - 8つの熱電対タイプに対する自動リニアライゼーション補正を内蔵
  - 熱電対のフルスケールおよびリニアリティ誤差：±0.15% (max、-20°C~+85°C)
  - 熱電対の温度分解能：19ビット(0.0078125°C)
- 冷接点補償の内蔵によってシステムの部品数を最小化
  - 冷接点精度：±0.7°C (max、-20°C~+85°C)
- ±45Vの入力保護によって堅牢なシステム性能を提供
- システム障害管理および問題解決を簡素化
  - 熱電対のオープン検出
  - 過熱および過冷フォルト検出
- 50Hz/60Hzノイズ除去フィルタ処理によってシステム性能を向上
- 14ピンTSSOPパッケージ



### Absolute Maximum Ratings

AVDD, DVDD.....	-0.3V to +4.0V	Operating Temperature Range.....	-55°C to +125°C
T+, T-, Bias.....	±45V	Junction Temperature.....	+150°C
T+, T-, Bias.....	±20mA	Storage Temperature Range.....	-65°C to +150°C
All Other Pins.....	-0.3V to (V <sub>DVDD</sub> + 0.3V)	Lead Temperature (soldering, 10s).....	+300°C
Continuous Power Dissipation (T <sub>A</sub> = +70°C)		Soldering Temperature	
TSSOP (derate 9.1mW/°C above +70°C).....	727.3mW	(reflow).....	See IPC/JEDEC J-STD-020A Specification
ESD Protection (All pins, Human Body Model).....	2000V		

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

### Package Thermal Characteristics (Note 1)

TSSOP			
Junction-to-Ambient Thermal Resistance (θ <sub>JA</sub> ).....	110°C/W	Junction-to-Case Thermal Resistance (θ <sub>JC</sub> ).....	30°C/W

**Note 1:** Package thermal resistances were obtained using the method described in JEDEC specification JESD51-7, using a four-layer board. For detailed information on package thermal considerations, refer to [www.maximintegrated.com/jp/thermal-tutorial](http://www.maximintegrated.com/jp/thermal-tutorial).

### Recommended DC Operating Conditions

(T<sub>A</sub> = -55°C to +125°C, unless otherwise noted.)(Notes 2 and 4)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Power-Supply Voltage	V <sub>AVDD</sub> , V <sub>DVDD</sub>		3.0	3.3	3.6	V
AVDD-DVDD			-100		+100	mV
Cable Resistance	R <sub>CABLE</sub>	Per lead			40	kΩ
Input Logic 0	V <sub>IL</sub>				0.8	V
Input Logic 1	V <sub>IH</sub>		2.1			V

### Electrical Characteristics

(3.0V ≤ V<sub>DD</sub> ≤ 3.6V, T<sub>A</sub> = -55°C to +125°C, unless otherwise noted.)(Notes 2, 3, and 4)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Current	I <sub>DD</sub>	Standby		5.25	10	μA
		Active conversion		1.2	2	mA
Thermocouple Temperature Resolution				19		Bits
				0.0078125		°C
Cold-Junction Temperature Data Resolution				0.015625		°C
Thermocouple Input Bias Current	I <sub>TCBIAS</sub>	T <sub>A</sub> = +25°C	-10		+10	nA
		T <sub>A</sub> = -40°C to +85°C	-10		+65	
		T <sub>A</sub> = -55°C to +105°C	-20		+110	
		T <sub>A</sub> = -55°C to +125°C	-20		+400	

**Electrical Characteristics (continued)**(3.0V ≤ V<sub>DD</sub> ≤ 3.6V, T<sub>A</sub> = -55°C to +125°C, unless otherwise noted.)(Notes 2, 3, and 4)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Thermocouple Input Differential Bias Current (Note 4)	I <sub>TCIDBIAS</sub>	T <sub>A</sub> = +25°C		±0.2		nA
		T <sub>A</sub> = -40°C to +85°C	-4		+4	
		T <sub>A</sub> = -55°C to +105°C	-5.5		+5.5	
		T <sub>A</sub> = -55°C to +125°C	-10		+10	
Input-Referred Noise	V <sub>N</sub>	AV = 8		1.3		μV <sub>RMS</sub>
		AV = 32		0.4		
Power-Supply Rejection	PSR	Cold-junction sensor		0.15		°C/V
Power-On-Reset Voltage Threshold	V <sub>POR</sub>			2.7	2.85	V
Power-On-Reset Voltage Hysteresis	V <sub>HYST</sub>			0.1		V
Bias Voltage	V <sub>BIAS</sub>			0.735		V
BIAS Output Resistance	R <sub>BIAS</sub>			2		kΩ
Input Common-Mode Range			0.5		1.4	V
Full-Scale and INL Error (Note 6)		T <sub>A</sub> = +25°C	-0.05		+0.05	%FS
		T <sub>A</sub> = -20°C to +85°C	-0.15		+0.15	
		T <sub>A</sub> = -40°C to +105°C	-0.2		+0.2	
		T <sub>A</sub> = -40°C to +125°C	-0.3		+0.3	
		T <sub>A</sub> = -55°C to +125°C	-0.35		+0.35	
Input Offset Voltage (Note 7)		T <sub>A</sub> = +25°C	-0.01		+0.01	%FS
		T <sub>A</sub> = -20°C to +85°C	-0.015		+0.015	
		T <sub>A</sub> = -40°C to +105°C	-0.017		+0.017	
		T <sub>A</sub> = -55°C to +125°C	-0.02		+0.02	
Input Offset Voltage	AV = 8	T <sub>A</sub> = +25°C	-7.8		+7.8	μV
		T <sub>A</sub> = -20°C to +85°C	-11.7		+11.7	
		T <sub>A</sub> = -40°C to +105°C	-13.3		+13.3	
		T <sub>A</sub> = -55°C to +125°C	-15.6		+15.6	
	AV = 32	T <sub>A</sub> = +25°C	-2.0		+2.0	
		T <sub>A</sub> = -20°C to +85°C	-2.9		+2.9	
		T <sub>A</sub> = -40°C to +105°C	-3.3		+3.3	
		T <sub>A</sub> = -55°C to +125°C	-3.9		+3.9	
Cold-Junction Temperature Error		T <sub>A</sub> = -20°C to +85°C	-0.7		+0.7	°C
		T <sub>A</sub> = -40°C to +105°C	-1		+1	
		T <sub>A</sub> = -55°C to +125°C	-2		+2	
Overvoltage Rising Threshold (Note 8)			V <sub>AVDD</sub> - 0.1	V <sub>AVDD</sub> + 0.17	V <sub>AVDD</sub> + 0.35	V
Overvoltage Hysteresis				0.09		V

**Electrical Characteristics (continued)**(3.0V ≤ V<sub>DD</sub> ≤ 3.6V, T<sub>A</sub> = -55°C to +125°C, unless otherwise noted.)(Notes 2, 3, and 4)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Undervoltage Falling Edge Threshold (Note 8)			-0.3	-0.17	0	V
Undervoltage Hysteresis				0.09		V
Thermocouple Linearity Correction Error		Type B, T <sub>A</sub> = 0 to 125°C, T <sub>TC</sub> = 95°C to +1798°C	-0.24		+0.25	°C
		Type E, T <sub>A</sub> = -55°C to +125°C T <sub>TC</sub> = -200°C to +1000°C	-0.14		+0.06	
		Type J, T <sub>A</sub> = -55°C to +125°C T <sub>TC</sub> = -210°C to +1200°C	-0.11		+0.10	
		Type K, T <sub>A</sub> = -55°C to +125°C T <sub>TC</sub> = -200°C to +1372°C	-0.13		+0.12	
		Type N, T <sub>A</sub> = -55°C to +125°C T <sub>TC</sub> = -200°C to +1300°C	-0.09		+0.08	
		Type R, T <sub>A</sub> = -50°C to +125°C T <sub>TC</sub> = -50°C to +1768°C	-0.19		+0.17	
		Type S, T <sub>A</sub> = -50°C to +125°C T <sub>TC</sub> = -50°C to +1768°C	-0.16		+0.20	
		Type T, T <sub>A</sub> = -55°C to +125°C T <sub>TC</sub> = -200°C to +400°C	-0.07		+0.07	
Temperature Conversion Time (Thermocouple + Cold Junction)	t <sub>CONV</sub>	1-Shot conversion or first conversion in auto-conversion mode (60Hz)		143	155	ms
		1-Shot conversion or first conversion in auto-conversion mode (50Hz)		169	185	
		Auto conversion mode, conversions 2 through n (60Hz)		82	90	
		Auto conversion mode, conversions 2 through n (50Hz)		98	110	

**Electrical Characteristics (continued)**(3.0V ≤ V<sub>DD</sub> ≤ 3.6V, T<sub>A</sub> = -55°C to +125°C, unless otherwise noted.)(Notes 2, 3, and 4)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Common-Mode Rejection	CMR	0.5V ≤ V <sub>CM</sub> ≤ 1.4V		70		dB
50/60Hz Noise Rejection		Fundamental and harmonics		91		dB
<b>SERIAL INTERFACE</b>						
Input Leakage Current	I <sub>LEAK</sub>	(Note 5)	-1		+1	μA
Output High Voltage	V <sub>OH</sub>	I <sub>OUT</sub> = -1.6mA	V <sub>CC</sub> - 0.4			V
Output Low Voltage	V <sub>OL</sub>	I <sub>OUT</sub> = 1.6mA			0.4	V
Input Capacitance	C <sub>IN</sub>			8		pF
Serial Clock Frequency	f <sub>SCL</sub>				5	MHz
SCK Pulse High Width	t <sub>CH</sub>		100			ns
SCK Pulse Low Width	t <sub>CL</sub>		100			ns
SCK Rise and Fall Time	t <sub>R</sub> , t <sub>F</sub>	C <sub>L</sub> = 10pF			200	ns
$\overline{\text{CS}}$ Fall to SCK Rise	t <sub>CC</sub>	C <sub>L</sub> = 10pF	100			ns
SCK to $\overline{\text{CS}}$ Hold	t <sub>CCH</sub>	C <sub>L</sub> = 10pF	100			ns
$\overline{\text{CS}}$ Rise to Output Disable	t <sub>CDZ</sub>	C <sub>L</sub> = 10pF			40	ns
Data to SCLK Setup	t <sub>DC</sub>		35			ns
SCLK to Data Hold	t <sub>CDH</sub>		35			ns
SCK Fall to Output Data Valid	t <sub>CDD</sub>	C <sub>L</sub> = 10pF			80	ns
$\overline{\text{CS}}$ Inactive Time	t <sub>CWH</sub>	(Note 3)	400			ns

**Note 2:** All voltages are referenced to GND. Currents entering the IC are specified positive, and currents exiting the IC are negative.**Note 3:** All Serial Interface timing specifications are guaranteed by design.**Note 4:** Specification is 100% tested at T<sub>A</sub> = +25°C. Specification limits over temperature (T<sub>A</sub> = T<sub>MIN</sub> to T<sub>MAX</sub>) are guaranteed by design and characterization; not production tested.**Note 5:** For all pins except T+ and T- (see the Thermocouple Input Bias Current parameter in the [Electrical Characteristics](#) table.**Note 6:** Using a common-mode voltage other than V<sub>BIAS</sub> will change this specification. See the [Typical Operating Characteristics](#) for details.**Note 7:** Input-referred full-scale voltage is 78.125mV when AV = 8 and is 19.531mV when AV = 32.**Note 8:** Overvoltage and undervoltage limits apply to T+, T-, and BIAS pins.

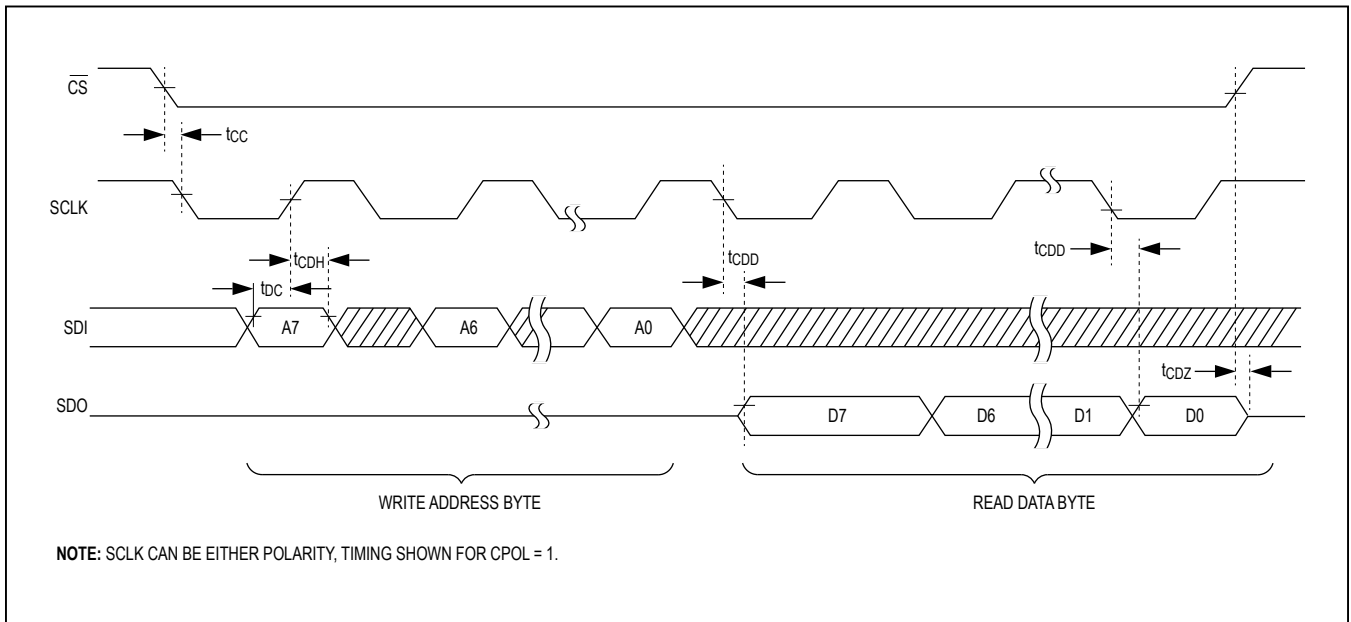


図 1. タイミング図：SPI データ読取り転送

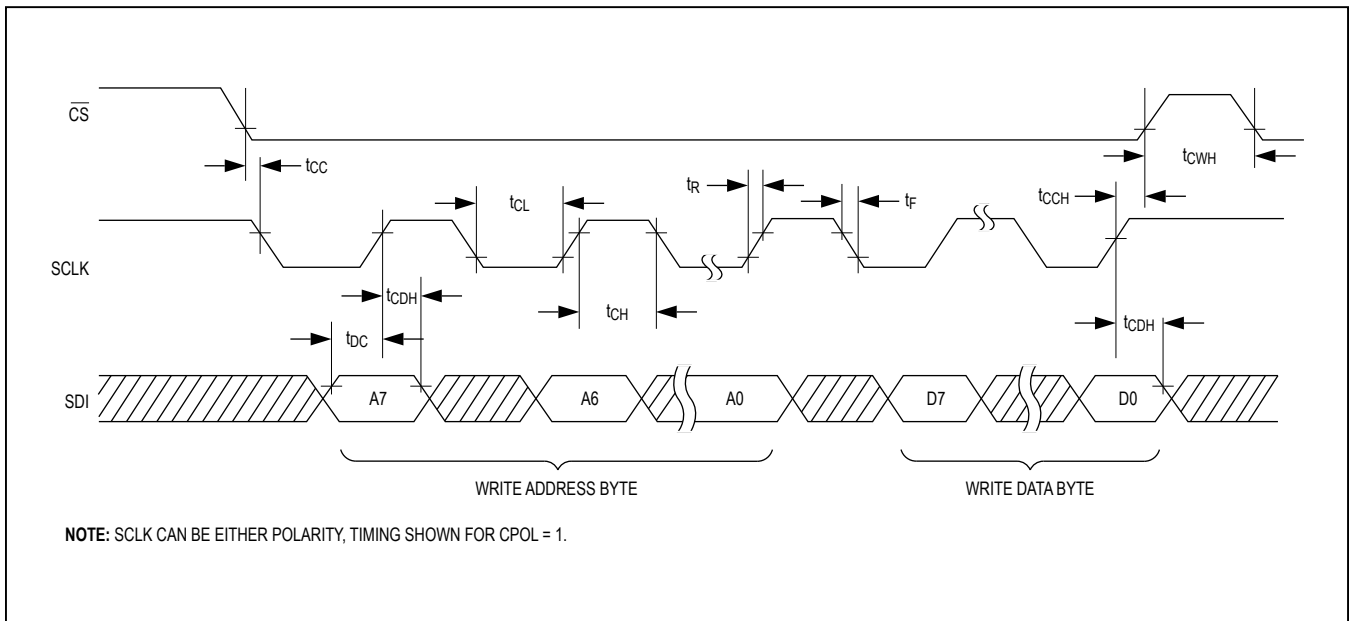
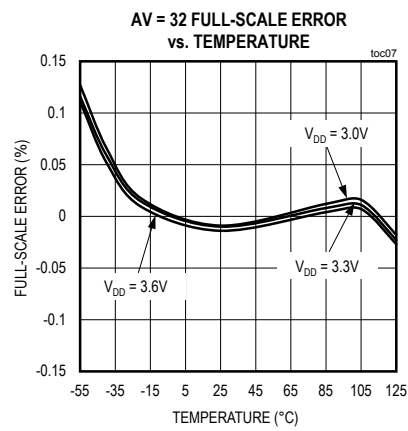
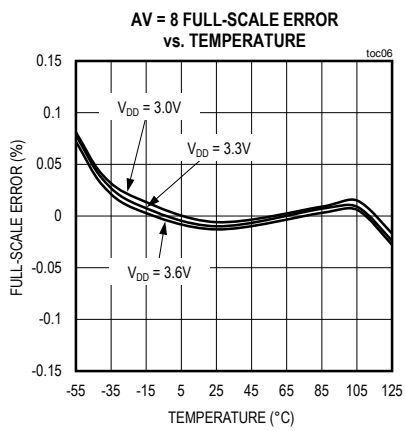
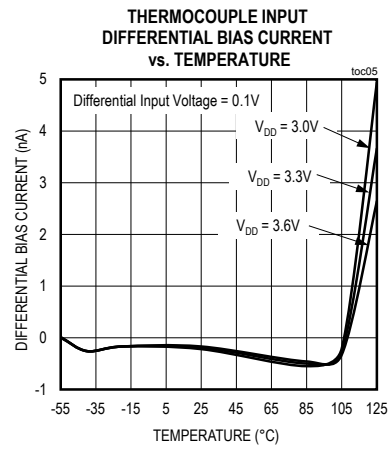
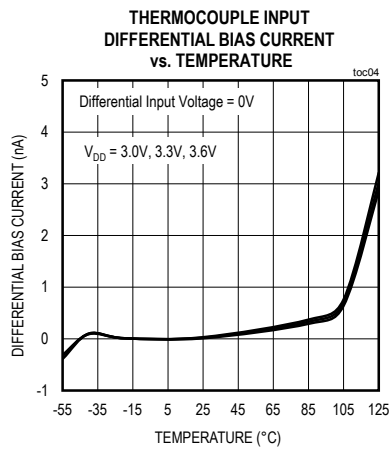
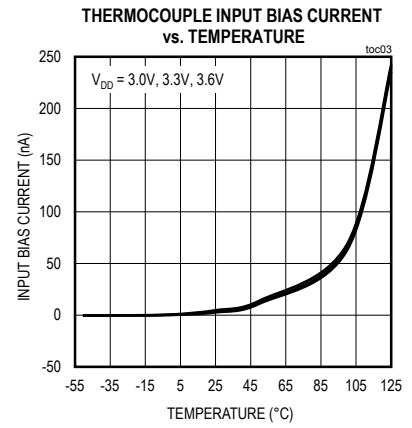
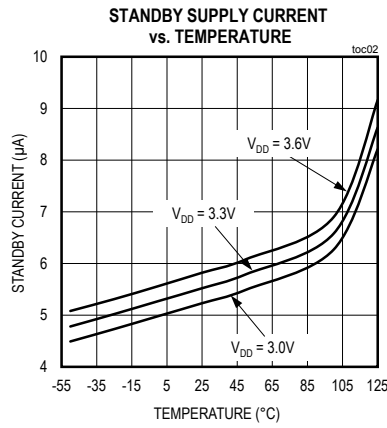
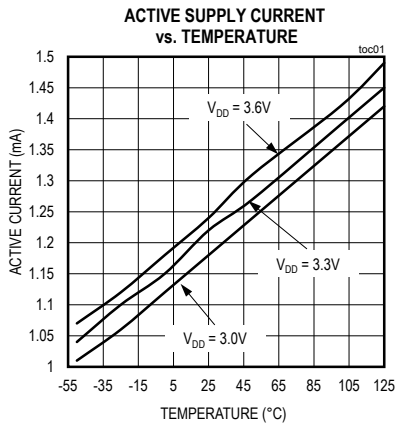


図 2. タイミング図：SPI データ書き込み転送

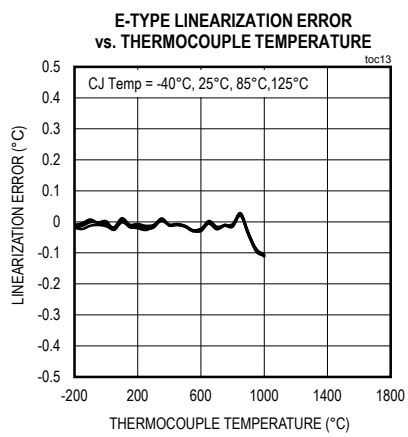
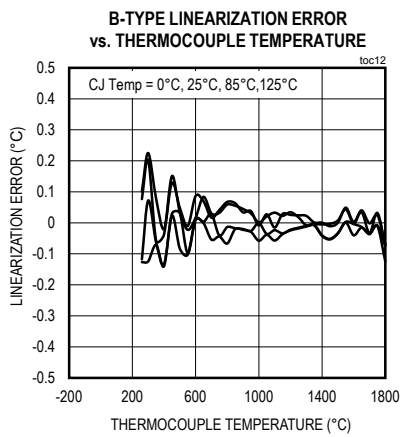
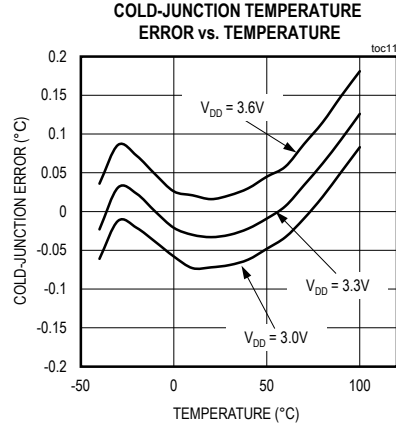
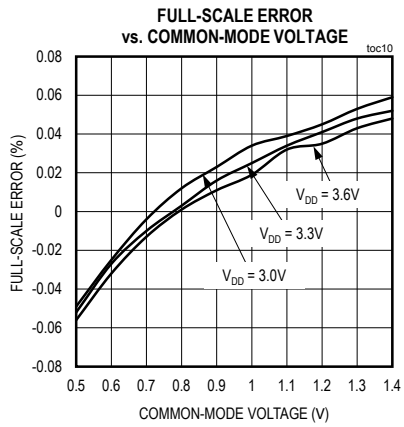
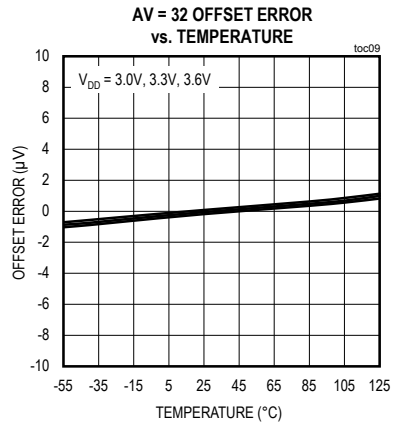
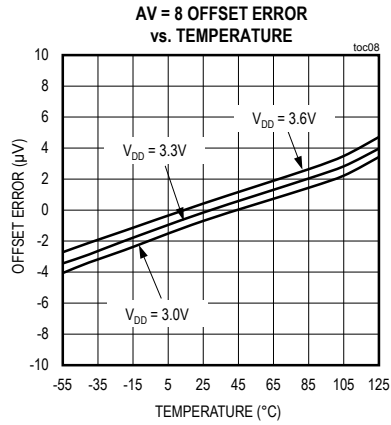
標準動作特性

( $V_{CC} = 3.3V$  and  $T_A = +25^{\circ}C$ , unless otherwise noted.)



標準動作特性(続き)

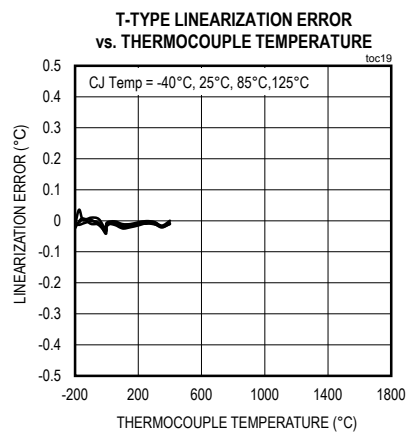
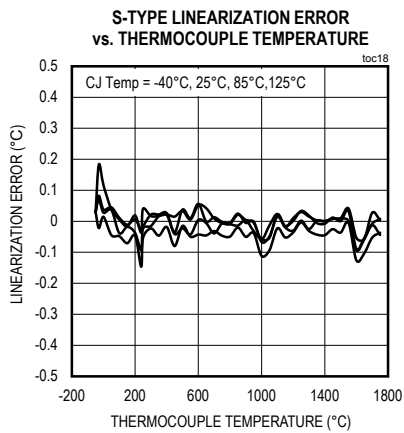
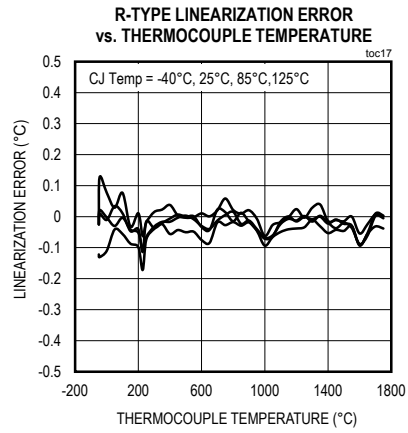
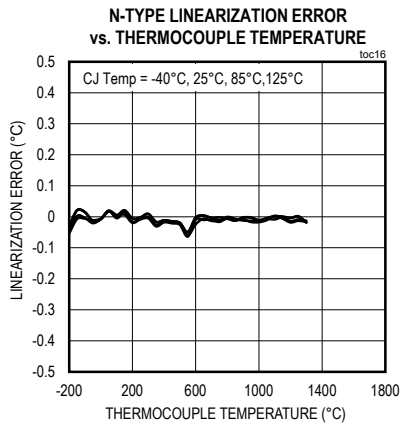
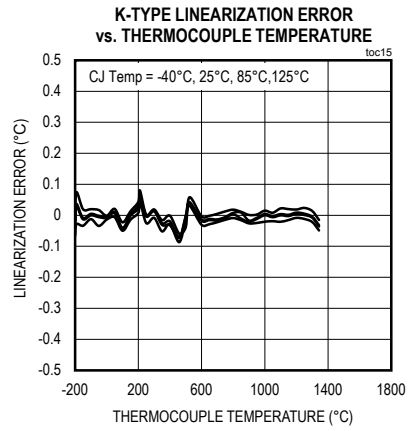
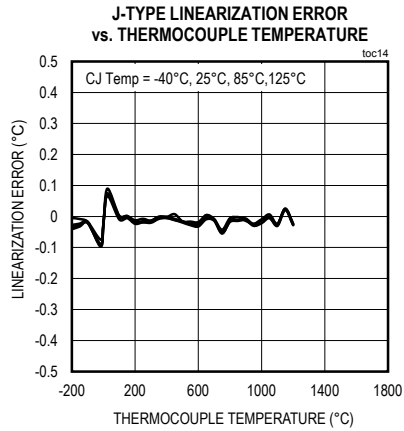
( $V_{CC} = 3.3V$  and  $T_A = +25^{\circ}C$ , unless otherwise noted.)



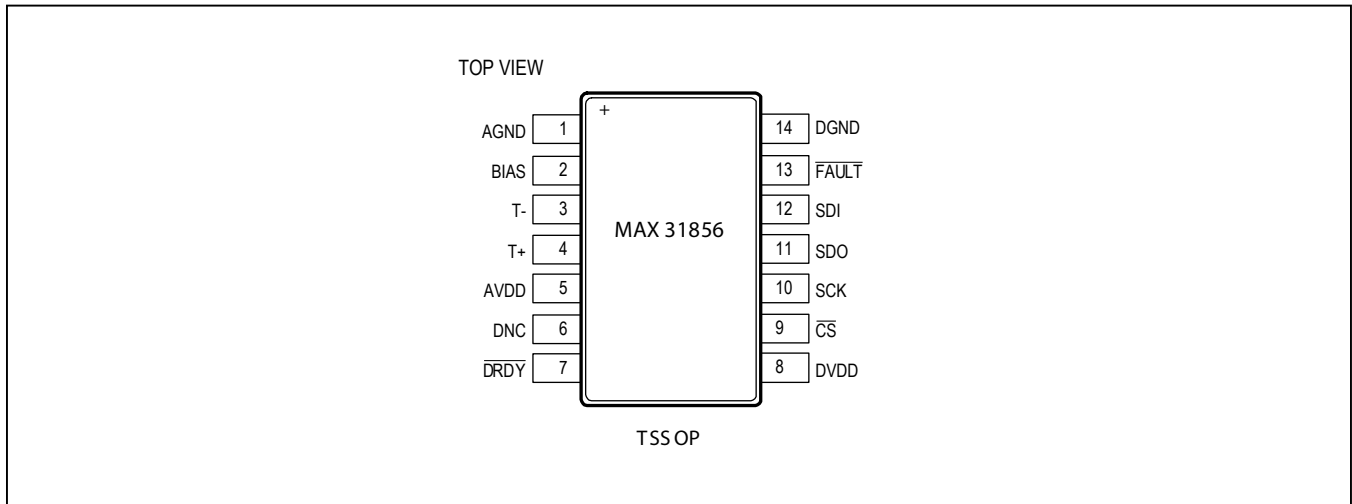


標準動作特性(続き)

( $V_{CC} = 3.3V$  and  $T_A = +25^{\circ}C$ , unless otherwise noted.)



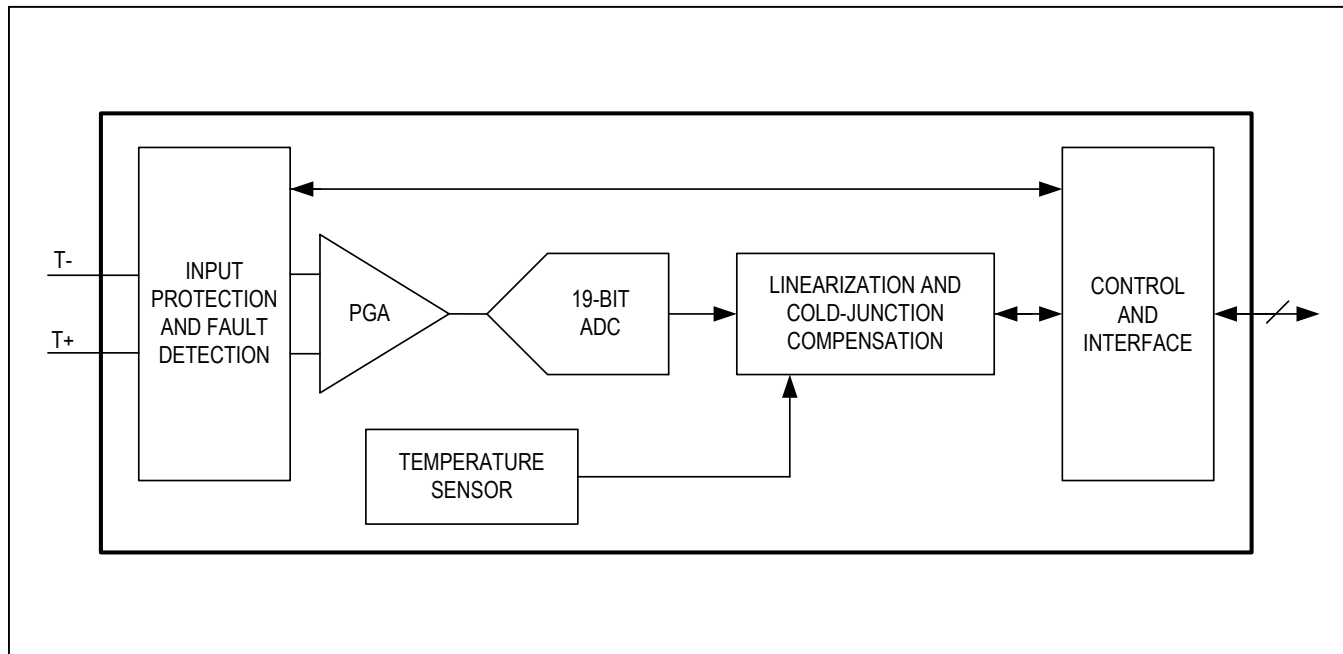
## ピン配置



## 端子説明

端子	名称	機能
1	AGND	アナロググランド
2	BIAS	バイアス電圧源。通常は0.735V。変換が行われていないとき、この端子はフローティングです。
3	T-	熱電対負入力。表1を参照してください。
4	T+	熱電対正入力。表1を参照してください。
5	AVDD	アナログ正電源。0.1 $\mu$ FのコンデンサでAGNDに接続してください。
6	DNC	接続しないでください。
7	$\overline{DRDY}$	データレディ出力
8	DVDD	デジタル正電源。0.1 $\mu$ FのコンデンサでDGNDに接続してください。
9	$\overline{CS}$	チップセレクト。シリアルインタフェースをイネーブルする場合は、 $\overline{CS}$ をローに設定してください。
10	SCK	シリアルクロック入力
11	SDO	シリアルデータ出力
12	SDI	シリアルデータ入力
13	$\overline{FAULT}$	ケーブル、熱電対、または温度フォルト出力
14	DGND	デジタルグランド

## ブロック図



## 詳細

MAX31856は、内蔵19ビットアナログ-デジタルコンバータ(ADC)を備えた高度な熱電対-デジタルコンバータです。内蔵機能には、熱電対非直線性の補正、入力保護、冷接点補償の検出と補正、デジタルコントローラ、SPI対応インタフェース、および関連制御ロジックが含まれます。

最も簡素な構成では、熱電対のワイヤを入力T-およびT+に直接接続し、コモンモードバイアス電圧がBIAS出力によって供給されます。「[アプリケーション情報](#)」の項で説明するように、必要に応じて追加のフィルタおよび/または保護部品を追加することができます。動作は2つの設定バイトと過熱および過冷検出スレッショルドを含む4つのバイトによって制御されます。

## 温度変換

温度変換処理は、以下の項で説明する5つのステップで構成されます。入力アンプおよびADCは、熱電対の電圧出力を増幅およびデジタル化します。内蔵温度センサーは、冷接点温度を測定します。内部ルックアップテーブル(LUT)を使用して、選択した熱電対タイプの冷接点温度に対応するADCコードが決定されます。熱電対のコードと冷接点のコードが加算され、冷接点補償された熱電対温度に対応す

るコードが生成されます。最後に、LUTを使用して°Cを単位とする冷接点補償された出力コードが生成されます。

## 熱電対電圧変換

T+およびT-は熱電対入力です。T-はBIAS出力によって約0.735Vにバイアスされます。アンプは、 $\mu\text{V}$ -および $\text{mV}$ -レベルの熱電対信号に利得を提供し、ADCのフルスケール入力範囲に適した大きさにします。2つのアンプ利得は $\pm 78.125\text{mV}$ および $\pm 19.531\text{mV}$ のフルスケール入力範囲を提供し、より高感度と低感度の熱電対に対応します。

長い熱電対ワイヤは、AC電源ケーブルを含むさまざまな発生源からノイズを受信する可能性があるため、増幅された信号はADCへの印加前にローパスフィルタを通過します。ADCは、さらなるデジタルローパスおよびノッチフィルタを提供し、入力ノイズを減衰させます。ノッチ周波数は50Hzとその高調波または60Hzとその高調波のいずれかで、Configuration 0レジスタ(00h)のビット0を使って選択可能です。さらに、Configuration 1レジスタ(01h)のビットD6:4によって平均化モードをイネーブルすると、追加のフィルタが提供され、それに関連して変換時間が増加します。このモードを使用して、2、4、8、または16サンプルを平均化することができます。

変換モードは連続または「ノーマリオフ」のいずれかが可能で、Configuration 0レジスタ(00h)のビット7によって選択されます。ノーマリオフモードの場合、Configuration 0レジスタ(00h)のビット6を使って単一の「ワンショット」変換を選択することができます。

熱電対タイプは、Configuration 1レジスタ(01h)のビットD3:0を使ってユーザーが選択可能です。熱電対タイプK、J、N、R、S、T、B、およびEが、自動冷接点補償および線形化によってサポートされています(異なる熱電対タイプを使用する場合、ビットD3:0を使って8または32いずれかの利得を選択してください。その後、線形化および冷接点補償の計算は、冷接点温度と熱電対の電圧データを使用して外部で行うことができます)。

### 冷接点温度検出

熱電対の機能は、熱電対ワイヤ両端の温度差を検出することです。熱電対の検出側接点は、多くの場合その温度に関係なく「熱」接点と呼ばれ、その定格動作温度範囲に渡って測定が可能です(サポート対象の熱電対温度範囲については表1を参照)。

熱電対ワイヤが別の金属と接触する場所、通常はコネクタの位置またはPCBにはんだ付けされる位置(「冷接点」)に、追加の熱電対が生成されます。これらの追加の熱電対による誤差を補償するため、冷接点の温度を測定する必要があります。

あります。これは、 $\pm 0.7^{\circ}\text{C}$ 以内( $-20^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$ )の精度を備えた内蔵高精度温度センサーによって行われます。MAX31856を冷接点の近くに配置することによって、冷接点温度を測定して冷接点効果の補償に使用することができます。

MAX31856は、冷接点温度データをレジスタ0Ahおよび0Bhに保存します。冷接点温度センサーがイネーブルされている場合、これらのレジスタは読み取り専用で、測定された冷接点温度とCold-Junction Offsetレジスタ内の値の和が含まれます。冷接点温度センサーがイネーブルされている状態でこのレジスタを読み取ると、 $\overline{\text{DRDY}}$ 端子がハイにリセットされます。両方のバイトが同じ温度更新によるものであることを確保するため、このレジスタの両方のバイトをマルチバイト転送として読み取ってください。冷接点温度センサーがディセーブルされている場合、これらのレジスタは読み書き可能レジスタになり、最近測定された温度値が含まれます。内蔵冷接点センサーがディセーブルされている場合、必要に応じて、外付け温度センサーからのデータをこれらのレジスタに書き込むことができます。冷接点温度の最大値は $128^{\circ}\text{C}$ でクランプされ、最小値は $-64^{\circ}\text{C}$ でクランプされます。基準接点(冷接点)温度データ形式については、表2を参照してください。

必要に応じて、温度オフセットをCold-Junction Offsetレジスタ(09h)に書き込むことができます。その場合、レジ

表1. サポート対象の熱電対および温度範囲

TYPE	T-WIRE	T+ WIRE	TEMP RANGE	NOMINAL SENSITIVITY ( $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ )	COLD-JUNCTION TEMP RANGE
B	Platinum/Rhodium	Platinum/Rhodium	$250^{\circ}\text{C}$ to $1820^{\circ}\text{C}$	10.086 ( $+500^{\circ}\text{C}$ to $+1500^{\circ}\text{C}$ )	$0$ to $125^{\circ}\text{C}$
E	Constantan	Chromel	$-200^{\circ}\text{C}$ to $+1000^{\circ}\text{C}$	76.373 ( $0^{\circ}\text{C}$ to $+1000^{\circ}\text{C}$ )	$-55^{\circ}\text{C}$ to $+125^{\circ}\text{C}$
J	Constantan	Iron	$-210^{\circ}\text{C}$ to $+1200^{\circ}\text{C}$	57.953 ( $0^{\circ}\text{C}$ to $+750^{\circ}\text{C}$ )	$-55^{\circ}\text{C}$ to $+125^{\circ}\text{C}$
K	Alumel	Chromel	$-200^{\circ}\text{C}$ to $+1372^{\circ}\text{C}$	41.276 ( $0^{\circ}\text{C}$ to $+1000^{\circ}\text{C}$ )	$-55^{\circ}\text{C}$ to $+125^{\circ}\text{C}$
N	Nisil	Nicrosil	$-200^{\circ}\text{C}$ to $+1300^{\circ}\text{C}$	36.256 ( $0^{\circ}\text{C}$ to $+1000^{\circ}\text{C}$ )	$-55^{\circ}\text{C}$ to $+125^{\circ}\text{C}$
R	Platinum	Platinum/Rhodium	$-50^{\circ}\text{C}$ to $+1768^{\circ}\text{C}$	10.506 ( $0^{\circ}\text{C}$ to $+1000^{\circ}\text{C}$ )	$-50^{\circ}\text{C}$ to $+125^{\circ}\text{C}$
S	Platinum	Platinum/Rhodium	$-50^{\circ}\text{C}$ to $+1768^{\circ}\text{C}$	9.587 ( $0^{\circ}\text{C}$ to $+1000^{\circ}\text{C}$ )	$-50^{\circ}\text{C}$ to $+125^{\circ}\text{C}$
T	Constantan	Copper	$-200^{\circ}\text{C}$ to $+400^{\circ}\text{C}$	52.18 ( $0^{\circ}\text{C}$ to $+400^{\circ}\text{C}$ )	$-55^{\circ}\text{C}$ to $+125^{\circ}\text{C}$

スタ0Ahおよび0Bhに保存される値は、測定値とオフセット値の和に等しくなります。Cold-Junction OffsetレジスタのMSBは4°Cで、LSBは0.0625°Cです。結果として、測定されたCJの温度に適用されるオフセット値の範囲は-8°C~+7.9375°Cになります。デフォルトのオフセット値は0°C (00h)です。

最高の性能は、熱電対冷接点と冷接点センサーが同じ温度の場合に実現します。冷接点に関連する誤差が発生する可能性があるため、熱を発生するデバイスや部品を冷接点の近くに配置しないでください。内蔵センサーと冷接点の間の大きい温度差を避けることができない場合は、代わりに外付けの温度センサーを使用することができます。外付けセンサーによって測定された温度をCold-Junction Temperatureレジスタに書き込み、冷接点補償に使用することができます。Configuration 0レジスタ(00h)のビット3は、内蔵冷接点温度センサーをディセーブルし、外付けセンサーからの温度値をCold-Junction Temperatureレジスタ(0Ahおよび0Bh)に直接書き込むことができるようにします。

### 冷接点温度の変換および補償

熱電対の温度値および対応するADCコードは、内部のルックアップテーブルに保存されています。冷接点温度の測定後、温度値はこのLUTを使って、使用している熱電対タイプに応じた等価なADCコードに変換されます。LUTの項目間の値は、内挿補完されます。冷接点のADCコードはThermocouple Voltageレジスタ内の変換結果に足され、冷接点補償された値が算出されます。

表2. 基準接点(冷接点)温度データ形式

TEMPERATURE (°C)	DIGITAL OUTPUT
+127.984375	0111 1111 1111 1100
+127	0111 1111 0000 0000
+125	0111 1101 0000 0000
+64	0100 0000 0000 0000
+25	0001 1001 0000 0000
+0.5	0000 0000 1000 0000
+0.015625	0000 0000 0000 0100
0	0000 0000 0000 0000
-0.5	1111 1111 1000 0000
-25	1110 0111 0000 0000
-55	1100 1001 0000 0000

### 熱電対の線形化およびコードから温度への変換

すべての熱電対は非線形であるため、生の冷接点補償された値は、非直線性を補正して温度値に変換する必要があります。これは線形化および冷接点補償された温度値を生成するためのLUTを使って行われ、個々の変換後にLinearized Thermocouple Temperatureレジスタ(0Ch、0Dh、および0Eh)に19ビットで保存されます。すべてが同じデータ更新によるものであることを確保するため、全3バイトをマルチバイト転送として読み取ってください。線形化された熱電対温度データ形式については、[表3](#)を参照してください。

線形化の精度は、熱電対タイプ、「熱接点」温度、および冷接点温度によって異なり、最大の誤差は、通常は熱接点と冷接点の極限付近で発生します。線形化誤差のワーストケース値は、「[Electrical Characteristics \(電気的特性\)](#)」の表に示されています。

### 過熱/過冷フォルト検出

冷接点温度と、線形化および冷接点補償された温度の読み値の両方に対して、過熱および過冷フォルト検出が利用可能です。2つのレジスタ(03hおよび04h)に、冷接点温度のハイとローのスレッショルドが含まれます。レジスタ0Ahおよび0Bhの冷接点温度値は、このスレッショルド値と比較されます。スレッショルドを超えた場合、Fault Statusレジスタ(0Fh)内の対応するビットがセットされ、マスクされていない場合、FAULT出力がアサートします。

表3. 線形化された熱電対温度データ形式

TEMPERATURE (°C)	DIGITAL OUTPUT
+1600.00	0110 0100 0000 0000 0000 0000
+1000.00	0011 1110 1000 0000 0000 0000
+100.9375	0000 0110 0100 1111 0000 0000
+25.00	0000 0001 1001 0000 0000 0000
+0.0625	0000 0000 0000 0001 0000 0000
0.00	0000 0000 0000 0000 0000 0000
-0.0625	1111 1111 1111 1111 0000 0000
-0.25	1111 1111 1111 1100 0000 0000
-1.00	1111 1111 1111 0000 0000 0000
-250.00	1111 0000 0110 0000 0000 0000

この形式は、ハイフォルトおよびローフォルトスレッショルドにも適用されます。

(実用的な温度範囲は熱電対タイプによって変わることにご注意してください)

4つのレジスタ(05h~08h)に、線形化および冷接点補償された温度の過熱および過冷スレッショルドが含まれます。これらのスレッショルドレジスタ値は、レジスタ0Ch、0Dh、および0Ehに含まれている線形化された温度読み値と比較されます。スレッショルドを超えた場合、Fault Statusレジスタ(0Fh)内の対応するビットがセットされ、マスクされていない場合、FAULT出力がアサートします。

### 内蔵入力保護

内部回路は、T+およびT-入力とBIAS出力の内蔵MOSFETによって、熱電対ケーブルに印加される過大な電圧から保護されます。これらのMOSFETは、入力電圧が負またはV<sub>DD</sub>以上の場合にオフになります。MOSFETは、最大±45Vの入力電圧に耐えることができます。±45Vの制限を超えるフォルト電圧が予想される場合、「[アプリケーション情報](#)」の項を参照してください。

T+またはT-の絶対入力電圧が負またはV<sub>DD</sub>以上の場合、Fault Statusレジスタ(0Fh)の低電圧/過電圧フォルトビット(ビット1)がセットされ、マスクされていない場合、FAULT端子がアサートします。OVUVフォルトがある間に変換が停止され、フォルトが除去されると再開されます。

### オープン回路フォルト検出

オープン回路フォルト(熱電対ワイヤの切断によって引き起こされるものなど)の検出は、Configuration 0レジスタ(00h)のビット4および5を使ってイネーブルまたはディセーブルすることができます。フォルト検出は、熱電対ワイヤに小電流を強制的に流すことによって実現されます。オープン

回路の検出に必要な時間はリード抵抗の値と熱電対入力のフィルタ容量に依存するため、ビット4および5はオープン回路フォルト検出に与える時間も選択します。10ms、32ms、または100msのいずれかの公称検出時間を選択することができます。オープン回路検出モードの表(表4)は、これらの2つのビットが変換時間に与える影響を示します。デバイスがワンショットモードの場合、オープン回路検出をディセーブルするか、または各ワンショット変換で行われるように設定することができます。デバイスが自動変換モードの場合、オープン回路検出をディセーブルするか、または16変換サイクルごとに自動的にオープン回路のテストが行われるように設定することができます。オンデマンドの検出が必要な場合、「検出ディセーブル」(00)を選択し、次に目的の時定数の設定を選択してください。オープン回路検出テストは、電流変換が完了した直後に行われます。コンパレータモード時、オープンフォルトがある間にオープンフォルト検出をディセーブルしても、フォルトビットやFAULT端子はクリアされません。これが発生した場合、その後フォルトをクリアするには、MAX31856を割り込みモードにしたあとでフォルトをクリアする必要があります。冷接点検出がイネーブルされている場合、オープン回路フォルト検出と冷接点検出は同時に行われることに注意してください。そのため、オープン回路フォルト検出がイネーブルされている場合、冷接点温度検出は全体のサイクル時間に影響を与えません。オープン回路フォルトはFault Statusレジスタ(0Fh)のオープンフォルトビット(ビット0)によって示され、マスクされていない場合FAULT端子がアサートします。

表4. オープン回路検出モード

BITS 5:4 OCFAULT1: OCFAULT0 (Config Byte 0)	FAULT TEST	INPUT NETWORK	FAULT TEST TIME (ms)			
			CJ SENSE ENABLED		CJ SENSE DISABLED	
			TYP	MAX	TYP	MAX
00	Disabled	N/A	0	0	0	0
01	Enabled (Once every 16 conversions)	$R_S < 5k\Omega$	13.3	15	40	44
10	Enabled (Once every 16 conversions)	$40k\Omega > R_S > 5k\Omega$ ; Time constant < 2ms	33.4	37	60	66
11	Enabled (Once every 16 conversions)	$40k\Omega > R_S > 5k\Omega$ ; Time constant > 2ms	113.4	125	140	154



### 冷接点および熱電対範囲外検出

熱電対の特性、測定回路、および線形化計算は、冷接点と測定接点(「熱接点」)の両方に対して、最適な温度範囲を制限します。Fault StatusレジスタのビットD7は冷接点温度が最適な範囲の外部であることを示し、ビットD6は熱接点温度が範囲外であることを示します。表1に、サポート対象の熱電対タイプに適用される温度制限を示します。これらの値は、直近の°Cに丸められます。特定の測定で温度が制限範囲外だった場合、報告される熱電対温度は制限値でクランプされます。範囲外フォルトに対してFAULT端子はアサートしないことに注意してください。

### シリアルインタフェース

SPI対応の通信には、SDO (シリアルデータアウト)、SDI (シリアルデータイン)、 $\overline{CS}$  (チップセレクト)、およびSCLK (シリアルクロック)の4つの端子が使用されます。SDIとSDOは、それぞれシリアルデータ入力および出力端子です。 $\overline{CS}$ 入力は、データ転送を開始および終了します。SCLKは、マスター(マイクロコントローラ)とスレーブ(MAX31856)間のデータ転送を同期化します。

シリアルクロック(SCLK)はマイクロコントローラによって生成され、 $\overline{CS}$ がローでSPIバス上のいずれかのデバイスに対しアドレスおよびデータの転送が行われている間のみアクティブになります。一部のマイクロコントローラでは、非アクティブ時のクロックの極性を設定することができます。MAX31856は、 $\overline{CS}$ がアクティブ化した時点でSCLKをサンプリングし、非アクティブ時のクロックの極性を判定することによって、どちらのクロック極性にも自動的に対応します。入力データ(SDI)は内部ストロープのエッジでラッチされ、出力データ(SDO)はシフトエッジでシフトアウトされます(表5および図3を参照)。転送される各ビットに対して1クロックが使用されます。アドレスおよびデータビットは8ビット単位で、MSBから先に転送されます。

表5. シリアルインタフェースの機能

MODE	$\overline{CS}$	SCLK	SDI	SDO
Disable Reset	High	Input Disabled	Input disabled	High impedance
Write	Low	CPOL = 1*, SCLK rising	Data bit latch	High impedance
		CPOL = 0, SCLK falling		
Read	Low	CPOL = 1, SCLK falling	X	Next data bit shift**
		CPOL = 0, SCLK rising		

注：CPHAビット極性は1に設定される必要があります。

\*CPOLはマイクロコントローラの制御レジスタで設定されるクロック極性ビットです。

\*\*読取り中に8ビットのデータをシフトアウトする準備ができるまでSDOはハイインピーダンスのままになります。

### アドレスおよびデータバイト

アドレスおよびデータバイトは、MSBから先にシリアルデータ入力(SDI)にシフトインされ、シリアルデータ出力(SDO)からシフトアウトされます。すべての転送には、書込みまたは読取りを指定するバイトのアドレスが必要で、そのあとに1バイト以上のデータが続きます。データは、読取り操作の場合はSDOから転送され、書込み操作の場合はSDIに転送されます。アドレスバイトは、常に $\overline{CS}$ がローに駆動されたあとに転送される最初のバイトです。このバイトのMSB (A7)は、後続のバイトが書込みか読取りかを決定します。A7が0の場合、アドレスバイトのあとに1つ以上のバイト読取りが続きます。A7が1の場合、アドレスバイトのあとに1つ以上のバイト書込みが続きます。

単一バイト転送の場合、1バイトの読取りまたは書込みが行われたあと、 $\overline{CS}$ がハイに駆動されます(図4および図5を参照)。複数バイト転送の場合、アドレスが書き込まれたあとに複数のバイトの読取りまたは書込みを行うことができます(図6を参照)。CSがローのままである限り、アドレスはすべてのメモリ位置にわたりインクリメントを続けます。データのクロックインまたはクロックアウトが継続された場合、アドレスは7Fh/FFhから00h/80hにループします。無効なメモリアドレスに対してはFFhの値が通知されます。読取り専用レジスタに書込みを試みた場合、レジスタの内容は変化しません。

### DRDY

$\overline{DRDY}$ 出力は、新しい変換結果がLinearized Thermocouple Temperatureレジスタで利用可能になったときローになります。Linearized Thermocouple Temperatureレジスタまたは(イネーブルされている場合) Cold-Junction Temperatureレジスタの読取り操作が完了すると、 $\overline{DRDY}$ はハイに戻ります。

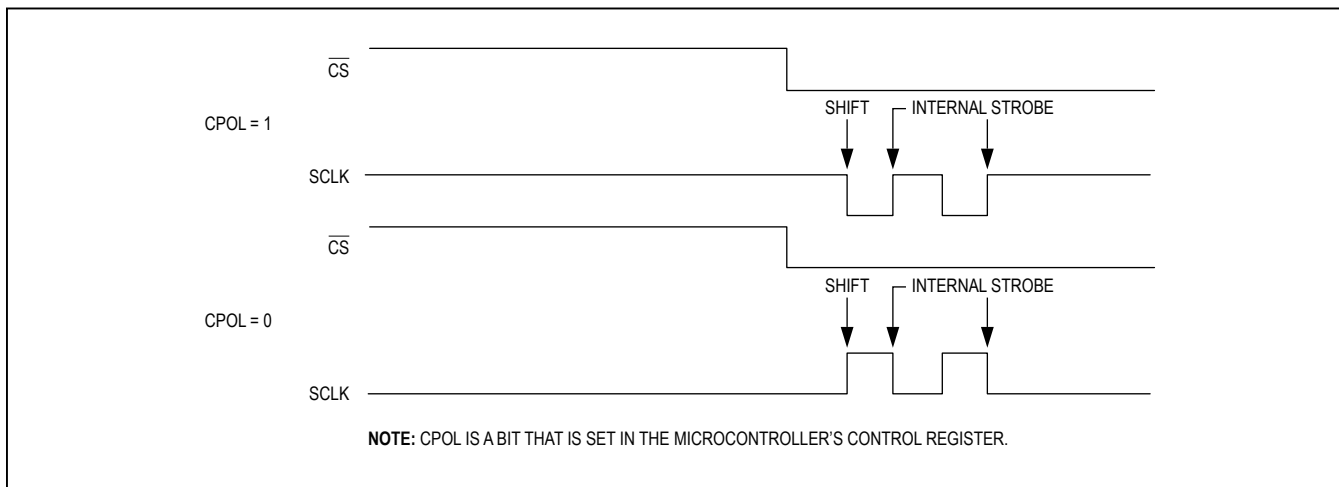


図 3. マイクロコントローラのクロック極性 (CPOL) の関数としてのシリアルクロック

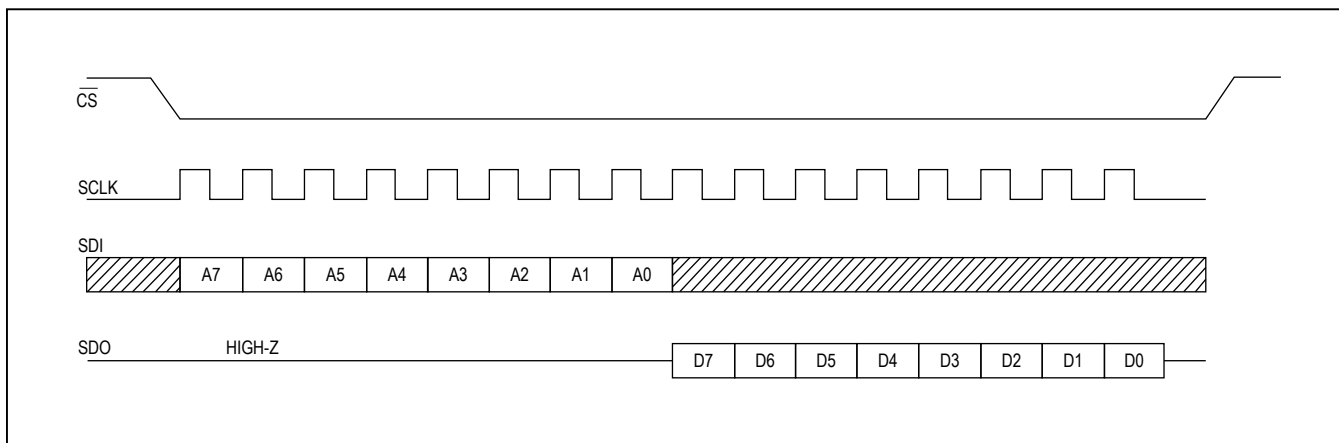


図 4. SPI の単一バイト読取り

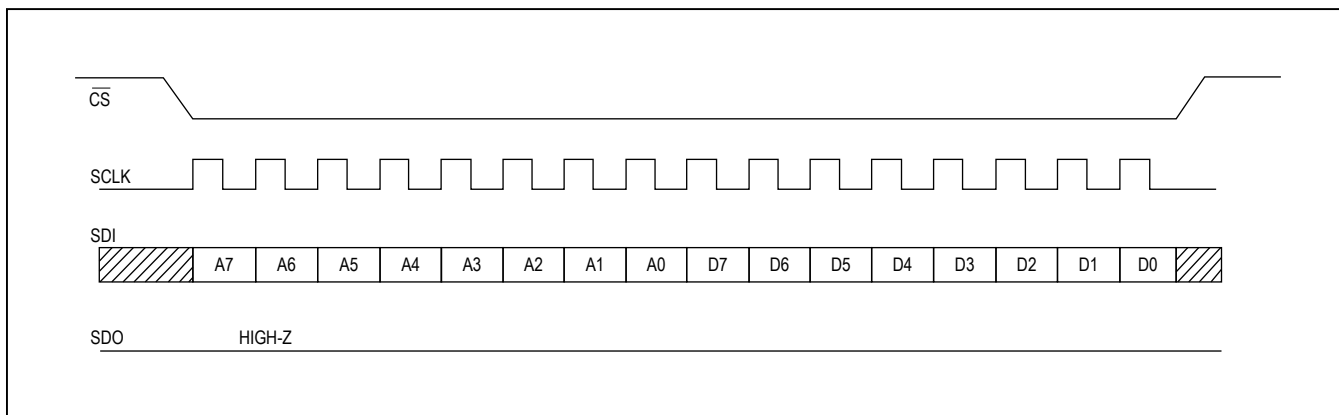


図 5. SPI の単一バイト書込み



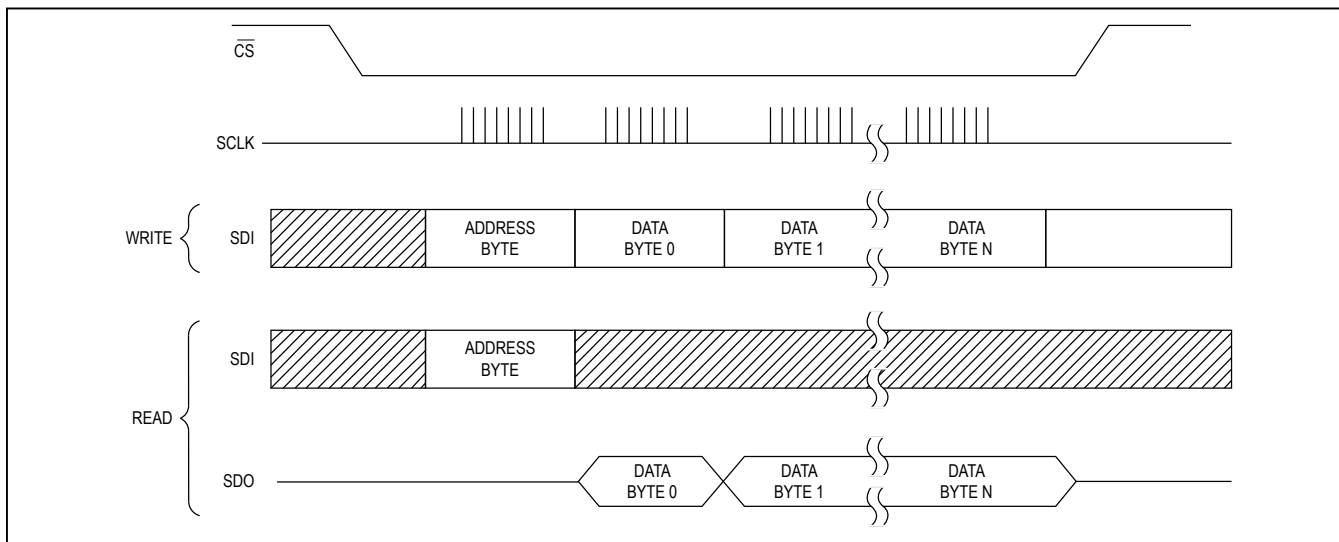


図 6. SPI のマルチバイト転送

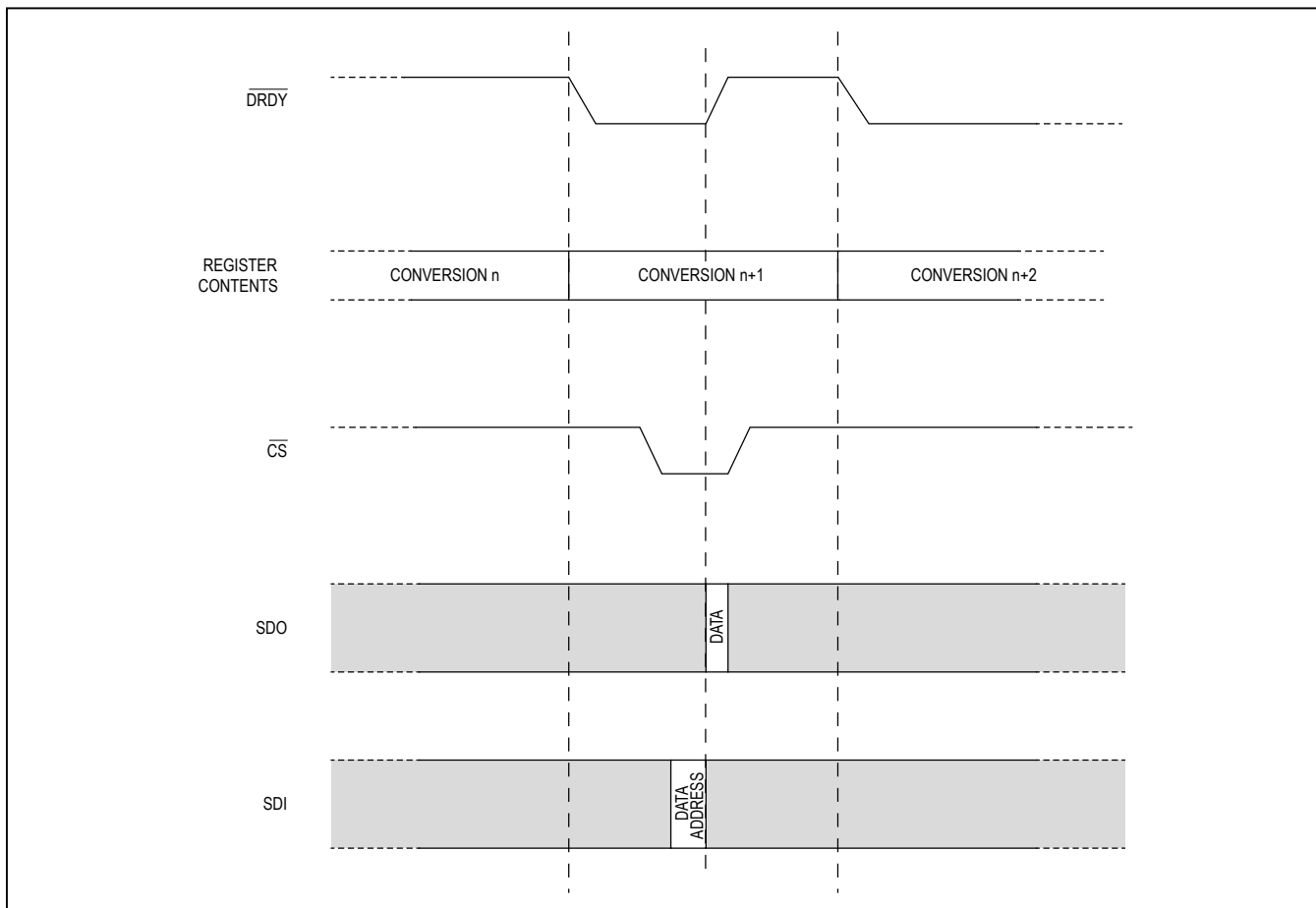


図 7. DRDY の動作

## 内部レジスタ

MAX31856との通信は、変換データ、ステータス、および設定データを含む16の8ビットレジスタを介して実現されます。すべてのプログラミングは、目的のレジスタ位置の適切なアドレスを選択することによって行います。レジスタメモリマップ(表6)に、Temperature、Status、およびConfigurationレジスタのアドレスを示します。

レジスタへのアクセスは、読取りは0Xhのアドレスを使用し、書込みは8Xhのアドレスを使用して行います。レジスタに対するデータの読み書きは、MSBから先に行われます。読取り専用レジスタに書込みを試みた場合、データは変化しません。

表6. レジスタメモリマップ

ADDRESS	READ/WRITE	NAME	FACTORY DEFAULT	機能
00h/80h	Read/Write	CR0	00h	Configuration 0レジスタ
01h/81h	Read/Write	CR1	03h	Configuration 1レジスタ
02h/82h	Read/Write	MASK	FFh	Fault Maskレジスタ
03h/83h	Read/Write	CJHF	7Fh	Cold-Junction High Fault Threshold
04h/84h	Read/Write	CJLF	C0h	Cold-Junction Low Fault Threshold
05h/85h	Read/Write	LTHFTH	7Fh	Linearized Temperature High Fault Threshold MSB
06h/86h	Read/Write	LTHFTL	FFh	Linearized Temperature High Fault Threshold LSB
07h/87h	Read/Write	LTLFTH	80h	Linearized Temperature Low Fault Threshold MSB
08h/88h	Read/Write	LTLFTL	00h	Linearized Temperature Low Fault Threshold LSB
09h/89h	Read/Write	CJTO	00h	Cold-Junction Temperature Offsetレジスタ
0Ah/8Ah	Read/Write	CJTH	00h	Cold-Junction Temperatureレジスタ、MSB
0Bh/8Bh	Read/Write	CJTL	00h	Cold-Junction Temperatureレジスタ、LSB
0Ch	Read Only	LTCBH	00h	Linearized TC Temperature、バイト2
0Dh	Read Only	LTCBM	00h	Linearized TC Temperature、バイト1
0Eh	Read Only	LTCBL	00h	Linearized TC Temperature、バイト0
0Fh	Read Only	SR	00h	Fault Statusレジスタ

### レジスタ00h/80h : Configuration 0レジスタ(CR0)

Configuration 0レジスタは、変換モードの選択(自動またはワンショットコマンドによるトリガ)、オープン回路フォルト検出タイミングの選択、冷接点センサーのイネーブル、Fault Statusレジスタのクリア、およびフィルタのノッチ周波数の選択を行います。設定ビットの効果について、以下で説明します。

Default Value: 00h

MEMORY ACCESS	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
00h/80h	CMODE	1SHOT	OCFAULT1	OCFAULT0	CJ	FAULT	FAULTCLR	50/60Hz
	Bit 7			Bit 0				

## レジスタ00h/80h : Configuration 0レジスタ(CR0) (続き)

BIT	NAME	説明
7	CMODE	変換モード 0 = ノーマリオフモード(デフォルト) 1 = 自動変換モード。100ms (公称)ごとに連続して変換が行われます。
6	1SHOT	ワンショットモード 0 = 変換の要求なし(デフォルト) 1 = 変換モードビット = 0 (ノーマリオフモード)の場合、これによって1回の冷接点および熱電対変換が行われます。変換は、このビットへの1の書き込み後にCSがハイになったときトリガされます。マルチバイト書き込みが実行される場合、トランザクションの最後でCSがハイになったとき変換がトリガされることに注意してください。1回の変換の完了には、約143ms (60Hzフィルタモード時)または約169ms (50Hzフィルタモード時)が必要です。このビットは自動的に0にクリアされます。
5:4	OCFAULT[1:0]	これらのビットはオープン回路フォルト検出をイネーブル/ディセーブルし、フォルト検出タイミングを選択します。これらのビットの動作については、「 <a href="#">オープン回路フォルト検出</a> 」の項および表4を参照してください。
3	CJ	冷接点センサーディセーブル 0 = 冷接点温度センサーイネーブル(デフォルト) 1 = 冷接点温度センサーディセーブル。外付け温度センサーからのデータをCold-junction Temperatureレジスタに書き込むことができます。このビットが0から1に変化すると、内蔵センサーがイネーブルされるかまたは新しい値がレジスタ書き込まれるまで、最も最近の冷接点温度値がCold-junction Temperatureレジスタ内に保存されたままになります。このビットに1が設定されている場合、全体の温度変換時間は25ms (typ)短縮されます。
2	FAULT	フォルトモード 0 = コンパレータモード。FAULT出力およびそれぞれのフォルトビットは、フォルト条件が真のときアサートし、フォルト条件が真でなくなったときデアサートすることによって、マスクされていないフォルトの状態を反映します。コンパレータモードでは、フォルト条件のスレッショルドに2°Cのヒステリシスがあります。(デフォルト) 1 = 割り込みモード。FAULT出力およびそれぞれのフォルトビットは、マスクされていないフォルト条件が真のときアサートし、フォルトステータスクリアビットに1が書き込まれるまでアサートしたままになります。フォルトステータスクリアビットへの1の書き込みによって、新しいフォルトが検出されるまでFAULTおよびそれぞれのフォルトビットがデアサートします(フォルト状態が継続している場合、直ちに新しいフォルトが検出されることに注意してください)。
1	FAULTCLR	フォルトステータスクリア 0 = デフォルト 1 = 割り込みモード時、Fault Statusレジスタ(0Fh)内の全フォルトステータスビット[7:0]を0に戻し、FAULT出力をデアサートします。このビットは、コンパレータモードでは効果がありません。フォルトが継続している場合、FAULT出力およびフォルトビットは直ちに再アサートすることに注意してください。FAULT出力の再アサートを防ぐため、最初にフォルトマスクビットを設定してください。フォルトステータスクリアビットは、自動的に0にクリアされます。
0	50/60Hz	50Hz/60Hzノイズ除去フィルタ選択 0 = 60Hzおよびその高調波の除去を選択(デフォルト) 1 = 50Hzおよびその高調波の除去を選択 注：ノッチ周波数の変更は、「ノーマリオフ」モード時のみ行い、自動変換モードでは行わないでください。

**レジスタ01h/81h : Configuration 1レジスタ(CR1)**

Configuration 1レジスタは、熱電対電圧変換平均化モードの平均化時間の選択、および監視対象の熱電対タイプの選択を行います。

Default Value: 03h

<b>MEMORY ACCESS</b>	<b>N/A</b>	<b>R/W</b>	<b>R/W</b>	<b>R/W</b>	<b>R/W</b>	<b>R/W</b>	<b>R/W</b>	<b>R/W</b>	
01h/81h	Reserved	AVGSEL <sub>2</sub>	AVGSEL <sub>1</sub>	AVGSEL <sub>0</sub>	TC TYPE <sub>3</sub>	TC TYPE <sub>2</sub>	TC TYPE <sub>1</sub>	TC TYPE <sub>0</sub>	
	Bit 7							Bit 0	

BIT	NAME	説明
7	Reserved	予備
6:4	AVGSEL[2:0]	<p>熱電対電圧変換平均化モード                      000 = 1サンプル(デフォルト)                      001 = 2サンプルを平均化                      010 = 4サンプルを平均化                      011 = 8サンプルを平均化                      1xx = 16サンプルを平均化                      サンプル数を追加すると変換時間が増大しノイズが減少します。                      標準変換時間：                      ワンショットまたは自動モードでの最初の変換：                      = t<sub>CONV</sub> + (サンプル数 - 1) x 33.33mS (60Hz除去)                      = t<sub>CONV</sub> + (サンプル数 - 1) x 40mS (50Hz除去)                      自動モードでの2~n回目の変換                      = t<sub>CONV</sub> + (サンプル数 - 1) x 16.67mS (60Hz除去)                      = t<sub>CONV</sub> + (サンプル数 - 1) x 20mS (50Hz除去)</p> <p>熱電対電圧変換平均化モードの設定は、変換が行われている間に変更しないでください。</p>
3:0	TC TYPE[3:0]	<p>熱電対タイプ                      0000 = Bタイプ                      0001 = Eタイプ                      0010 = Jタイプ                      0011 = Kタイプ(デフォルト)                      0100 = Nタイプ                      0101 = Rタイプ                      0110 = Sタイプ                      0111 = Tタイプ                      10xx = 電圧モード、利得 = 8。コード = <math>8 \times 1.6 \times 2^{17} \times V_{IN}</math>                      11xx = 電圧モード、利得 = 32。コード = <math>32 \times 1.6 \times 2^{17} \times V_{IN}</math>                      ここで、コードはTCレジスタからの19ビット符号付き数値で、V<sub>IN</sub>は熱電対入力電圧です。</p>

**レジスタ02h/82h : Fault Maskレジスタ(MASK)**

Fault Maskレジスタは、フォルトによるFAULT出力のアサートをマスクすることができます。マスクされたフォルトの場合も、Fault Statusレジスタ(0Fh)内のフォルトビットはセットされます。熱電対および冷接点の範囲外条件では、FAULT出力はアサートしないことに注意してください。

Default Value: FFh

MEMORY  
ACCESS

N/A

N/A

R/W

R/W

R/W

R/W

R/W

R/W

02h/82h

Reserved

Reserved

CJ High  
FAULT  
Mask

CJ Low  
FAULT  
Mask

TC High  
FAULT  
Mask

TC Low  
FAULT  
Mask

OV/UV  
FAULT  
Mask

Open  
FAULT  
Mask

Bit 7

Bit 0

BIT	NAME	説明
7:6	Reserved	予備
5	CJ High FAULT Mask	冷接点ハイフォルトスレッショルドマスク 0 = 冷接点温度が冷接点温度ハイスレッショルド制限値を上回るとFAULT出力がアサート 1 = FAULT出力をマスク(デフォルト)
4	CJ Low FAULT Mask	冷接点ローフォルトスレッショルドマスク 0 = 冷接点温度が冷接点温度ロースレッショルド制限値を下回るとFAULT出力がアサート 1 = FAULT出力をマスク(デフォルト)
3	TC High FAULT Mask	熱電対温度ハイフォルトスレッショルドマスク 0 = 熱電対温度が熱電対温度ハイスレッショルド制限値を上回るとFAULT出力がアサート 1 = FAULT出力をマスク(デフォルト)
2	TC Low FAULT Mask	熱電対温度ローフォルトスレッショルドマスク 0 = 熱電対温度が熱電対温度ロースレッショルド制限値を下回るとFAULT出力がアサート 1 = FAULT出力をマスク(デフォルト)
1	OV/UV FAULT Mask	過電圧または低電圧入力フォルトマスク 0 = 過電圧または低電圧状態が検出されるとFAULT出力がアサート 1 = FAULT出力をマスク(デフォルト)
0	Open FAULT Mask	熱電対オープン回路フォルトマスク 0 = 熱電対オープン状態が検出されるとFAULT出力がアサート 1 = FAULT出力をマスク(デフォルト)

**レジスタ03h/83h : Cold-Junction High Fault Thresholdレジスタ(CJHF)**

温度制限値をこのレジスタに書き込みます。測定された冷接点温度がこの値より高い場合、CJハイフォルトステータスビットがセットされ、(マスクされていない場合) FAULT出力がアサートします。

Default Value: 7Fh

MEMORY ACCESS	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
03h/83h	CJHF7	CJHF6	CJHF5	CJHF4	CJHF3	CJHF2	CJHF1	CJHF0
	Sign	2 <sup>6</sup>	2 <sup>5</sup>	2 <sup>4</sup>	2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>
	Bit 7							Bit 0

**レジスタ04h/84h : Cold-Junction Low Fault Thresholdレジスタ(CJLF)**

温度制限値をこのレジスタに書き込みます。測定された冷接点温度がこの値より低い場合、CJローフォルトステータスビットがセットされ、(マスクされていない場合) FAULT出力がアサートします。

Default Value: C0h

MEMORY ACCESS	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
04h/84h	CJLF7	CJLF6	CJLF5	CJLF4	CJLF3	CJLF2	CJLF1	CJLF0
	Sign	2 <sup>6</sup>	2 <sup>5</sup>	2 <sup>4</sup>	2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>
	Bit 7							Bit 0

**レジスタ05h/85h : Linearized Temperature High Fault Thresholdレジスタ、MSB (LTHFTH)**

2バイトの温度制限値のMSBをこのレジスタに書き込みます。線形化された熱電対温度が2バイト(05hおよび06h)の制限値より高い場合、TCハイフォルトステータスビットがセットされ、(マスクされていない場合) FAULT出力がアサートします。

Default Value: 7Fh

MEMORY ACCESS	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
05h/85h	LTHFTH7	LTHFTH6	LTHFTH5	LTHFTH4	LTHFTH3	LTHFTH2	LTHFTH1	LTHFTH0
	Sign	2 <sup>10</sup>	2 <sup>9</sup>	2 <sup>8</sup>	2 <sup>7</sup>	2 <sup>6</sup>	2 <sup>5</sup>	2 <sup>4</sup>
	Bit 7							Bit 0

**レジスタ06h/86h : Linearized Temperature High Fault Thresholdレジスタ、LSB (LTHFTL)**

2バイトの温度制限値のLSBをこのレジスタに書き込みます。線形化された熱電対温度が2バイト(05hおよび06h)の制限値より高い場合、TCハイフォルトステータスビットがセットされ、(マスクされていない場合) FAULT出力がアサートします。

Default Value: FFh

MEMORY ACCESS	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
06h/86h	LTHFTL7	LTHFTL6	LTHFTL5	LTHFTL4	LTHFTL3	LTHFTL2	LTHFTL1	LTHFTL0
	2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>	2 <sup>-1</sup>	2 <sup>-2</sup>	2 <sup>-3</sup>	2 <sup>-4</sup>
	Bit 7							Bit 0

**レジスタ07h/87h : Linearized Temperature Low Fault Thresholdレジスタ、MSB (LTLFTH)**

2バイトの温度制限値のMSBをこのレジスタに書き込みます。線形化された熱電対温度が2バイト(07hおよび08h)の制限値より低い場合、TCローフォルトステータスビットがセットされ、(マスクされていない場合) FAULT出力がアサートします。

Default Value: 80h

**MEMORY ACCESS**

	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
07h/87h	LTLFTH7	LTLFTH6	LTLFTH5	LTLFTH4	LTLFTH3	LTLFTH2	LTLFTH1	LTLFTH0
	Sign	2 <sup>10</sup>	2 <sup>9</sup>	2 <sup>8</sup>	2 <sup>7</sup>	2 <sup>6</sup>	2 <sup>5</sup>	2 <sup>4</sup>
	Bit 7							Bit 0

**レジスタ08h/88h : Linearized Temperature Low Fault Thresholdレジスタ、LSB (LTLFTL)**

2バイトの温度制限値のLSBをこのレジスタに書き込みます。線形化された熱電対温度が2バイト(07hおよび08h)の制限値より低い場合、TCローフォルトステータスビットがセットされ、(マスクされていない場合) FAULT出力がアサートします。

Default Value: 00h

**MEMORY ACCESS**

	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
08h/88h	LTLFTL7	LTLFTL6	LTLFTL5	LTLFTL4	LTLFTL3	LTLFTL2	LTLFTL1	LTLFTL0
	2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>	2 <sup>-1</sup>	2 <sup>-2</sup>	2 <sup>-3</sup>	2 <sup>-4</sup>
	Bit 7							Bit 0

**レジスタ09h/89h : Cold-Junction Temperature Offsetレジスタ(CJTO)**

冷接点温度センサーがイネーブルされている場合、このレジスタで測定値にオフセット温度を適用することができます。詳細については、このデータシートの「[冷接点温度検出](#)」の項を参照してください。

Default Value: 00h

**MEMORY ACCESS**

	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
09h/89h	CJTO7	CJTO6	CJTO5	CJTO4	CJTO3	CJTO2	CJTO1	CJTO0
	Sign	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>	2 <sup>-1</sup>	2 <sup>-2</sup>	2 <sup>-3</sup>	2 <sup>-4</sup>
	Bit 7							Bit 0

**レジスタ0Ah/8Ah : Cold-Junction Temperatureレジスタ、MSB (CJTH)**

このレジスタは、熱電対測定の冷接点補償に使用される2バイト(0Ahおよび0Bh)値のMSBを含みます。冷接点温度センサーがイネーブルされている場合、このレジスタは読取り専用で、測定された冷接点温度とCold-Junction Offsetレジスタ内の値の和のMSBが含まれます。また、冷接点温度センサーがイネーブルされている状態でこのレジスタを読み取ると、DRDY端子がハイにリセットされます。冷接点温度センサーがディセーブルされている場合、このレジスタは読み書き可能レジスタになり、新しい値が書き込まれるまで、最も最近の冷接点変換結果のMSBが含まれます。これによって、必要に応じて外付け温度センサーからの結果を書き込むことが可能です。2つの冷接点温度バイトに含まれる最大値は128℃でクランプされ、最小値は-64℃でクランプされます。

Default Value: 00h

MEMORY ACCESS	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
0Ah/8Ah	CJTH7	CJTH6	CJTH5	CJTH4	CJTH3	CJTH2	CJTH1	CJTH0
	Sign	2 <sup>6</sup>	2 <sup>5</sup>	2 <sup>4</sup>	2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>
	Bit 7							Bit 0

**レジスタ0Bh/8Bh : Cold-Junction Temperatureレジスタ、LSB (CJTL)**

このレジスタは、熱電対測定の冷接点補償に使用される2バイト(0Ahおよび0Bh)値のLSBを含みます。冷接点温度センサーがイネーブルされている場合、このレジスタは読取り専用で、測定された冷接点温度とCold-Junction Offsetレジスタ内の値の和のLSBが含まれます。また、冷接点温度センサーがイネーブルされている状態でこのレジスタを読み取ると、DRDY端子がハイにリセットされます。冷接点温度センサーがディセーブルされている場合、このレジスタは読み書き可能レジスタになり、新しい値が書き込まれるまで、最も最近の冷接点変換結果のLSBが含まれます。

Default Value: 00h

MEMORY ACCESS	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R	
0Bh/8Bh	CJTL7	CJTL6	CJTL5	CJTL4	CJTL3	CJTL2	CJTL1	CJTL0
	2 <sup>-1</sup>	2 <sup>-2</sup>	2 <sup>-3</sup>	2 <sup>-4</sup>	2 <sup>-5</sup>	2 <sup>-6</sup>	0	0
	Bit 7							Bit 0

**レジスタ0Ch : Linearized TC Temperature、バイト2 (LTCBH)**

これは、線形化および冷接点補償された熱電対温度値を含む19ビットレジスタのハイバイトです。

Default Value: 00h

MEMORY ACCESS	R	R	R	R	R	R	R	
0Ch	LTCBH7	LTCBH6	LTCBH5	LTCBH4	LTCBH3	LTCBH2	LTCBH1	LTCBH0
	Sign	2 <sup>10</sup>	2 <sup>9</sup>	2 <sup>8</sup>	2 <sup>7</sup>	2 <sup>6</sup>	2 <sup>5</sup>	2 <sup>4</sup>
	Bit 7							Bit 0



**レジスタ0Dh : Linearized TC Temperature、バイト1 (LTCBM)**

これは、線形化および冷接点補償された熱電対温度値を含む19ビットレジスタのミドルバイトです。

Default Value: 00h

MEMORY ACCESS	R	R	R	R	R	R	R	R	
0Dh	LTCBM7	LTCBM6	LTCBM5	LTCBM4	LTCBM3	LTCBM2	LTCBM1	LTCBM0	
	2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>	2 <sup>-1</sup>	2 <sup>-2</sup>	2 <sup>-3</sup>	2 <sup>-4</sup>	
	Bit 7								Bit 0

**レジスタ0Eh : Linearized TC Temperature、バイト0 (LTCBL)**

これは、線形化および冷接点補償された熱電対温度値を含む19ビットレジスタのローバイトです。

Default Value: 00h

MEMORY ACCESS	R	R	R	R	R	R	R	R	
0Eh	LTCBL7	LTCBL6	LTCBL5	LTCBL4	LTCBL3	LTCBL2	LTCBL1	LTCBL0	
	2 <sup>-5</sup>	2 <sup>-6</sup>	2 <sup>-7</sup>	X	X	X	X	X	
	Bit 7								Bit 0

**レジスタ0Fh : Fault Statusレジスタ(SR)**

Fault Statusレジスタは、検出されたフォルト状態(熱電対範囲外、冷接点範囲外、冷接点ハイ、冷接点ロー、熱電対ハイ温度、熱電対ロー温度、過電圧/低電圧、またはオープン熱電対)を示す8つのビットを含みます。

Default Value: 00h

MEMORY ACCESS	R	R	R	R	R	R	R	R	
0Fh	CJ Range	TC Range	CJHIGH	CJLOW	TCHIGH	TCLOW	OVUV	OPEN	
	Bit 7								Bit 0

注:MAX31856が「コンパレータ」フォルトモードで動作するように設定されている場合(Configuration 0レジスタ(00h)のビット2で設定)、フォルトステータスビットはフォルト条件が真のときアサートし、フォルト条件が真でなくなったときデアサートすることによって、任意のフォルトの状態を簡素に反映します。

「割込み」フォルトモード時、フォルトステータスビットはフォルト条件が真のときアサートします。各ビットは、フォルトステータスクリアビットに1が書き込まれるまでアサートしたままになります。この書き込みによって、新しいフォルトが検出されるまでフォルトビットがデアサートします(フォルト状態が継続している場合、直ちに新しいフォルトが検出されることに注意してください)。

## レジスタ0Fh : Fault Statusレジスタ(SR) (続き)

BIT	NAME	説明
7	CJ Range	冷接点範囲外 0 = 冷接点温度は通常動作範囲(タイプE、J、K、N、およびTの場合-55°C ~ +125°C、タイプRおよびSの場合-50°C ~ +125°C、タイプBの場合0 ~ 125°C)の範囲内です。 1 = 冷接点温度は通常動作範囲の範囲外です。
6	TC Range	熱電対範囲外 0 = 熱電対熱接点温度は通常動作範囲(表1を参照)の範囲内です。 1 = 熱電対熱接点温度は通常動作範囲の範囲外です。 注: 電圧モード時はTC範囲ビットを無視してください。
5	CJHIGH	冷接点ハイフォルト 0 = 冷接点温度は冷接点温度ハイスレッショルド以下です(デフォルト)。 1 = 冷接点温度は冷接点温度ハイスレッショルドを上回っています。マスクされていない限り $\overline{\text{FAULT}}$ 出力がアサートします。
4	CJLOW	冷接点ローフォルト 0 = 冷接点温度は冷接点温度ローレッショルド以上です(デフォルト)。 1 = 冷接点温度は冷接点温度ローレッショルドを下回っています。マスクされていない限り $\overline{\text{FAULT}}$ 出力がアサートします。
3	TCHIGH	熱電対温度ハイフォルト 0 = 熱電対温度は熱電対温度ハイスレッショルド以下です(デフォルト)。 1 = 熱電対温度は熱電対温度ハイスレッショルドを上回っています。マスクされていない限り $\overline{\text{FAULT}}$ 出力がアサートします。
2	TCLOW	熱電対温度ローフォルト 0 = 熱電対温度は熱電対温度ローレッショルド以上です(デフォルト)。 1 = 熱電対温度は熱電対温度ローレッショルドを下回っています。マスクされていない限り $\overline{\text{FAULT}}$ 出力がアサートします。
1	OVUV	過電圧または低電圧入力フォルト 0 = 入力電圧は正で $V_{DD}$ 以下です(デフォルト)。 1 = 入力電圧は負または $V_{DD}$ 以上です。マスクされていない限り $\overline{\text{FAULT}}$ 出力がアサートします。 注: OVUVフォルトがあると、フォルトがなくなるまで変換およびMAX31856が他のフォルトを検出する(またはコンパレータモード時にフォルトをクリアする)機能が停止します。
0	OPEN	熱電対オープン回路フォルト 0 = オープン回路または熱電対ワイヤの切断は検出されていません(デフォルト)。 1 = 熱電対ワイヤの切断などのオープン回路が検出されました。マスクされていない限り $\overline{\text{FAULT}}$ 出力がアサートします。

## アプリケーション情報

## 熱電対温度検出のガイドライン

温度測定時には、最良の結果を得るために以下のガイドラインに従ってください。「標準アプリケーション回路」は、基本的なMAX31856の回路図を示します。熱電対ワイヤは入力T+およびT-に接続します。ワイヤが図8に示すように適切な入力に接続されていることを確認してください。BIAS出力をT-に接続します。これによって、熱電対が入力のコモンモード範囲内にバイアスされます。

## ノイズについて

関係する信号のレベルが小さいため、熱電対温度測定は電源からのノイズ結合を受けやすくなります。V<sub>DD</sub>端子およびGNDの近くに0.1μFのセラミックバイパスコンデンサを配置することによって、電源ノイズの影響を最小限に抑えることができます。

入力アンプは、高精度入力検出を実現するように設計されたローノイズアンプです。熱電対および接続ワイヤは、電気的ノイズ源から遠ざけてください。追加の100nFのセラミック表面実装差動コンデンサをT+およびT-端子間に配置して、熱電対ラインのノイズをフィルタすることが強く推奨されます。高いノイズレベルの環境(特に強いRF電界)では、T+とT-間に100nFのコンデンサを追加するとともに、T+とGND間に10nFのコンデンサを追加し、T-とGND間にもう一つの10nFのコンデンサを追加してください。これ

らの値は、ノイズ混入の性質に応じて変更が必要になる場合があります。さらに大きいノイズ源がある場合、直列抵抗の追加や熱電対ワイヤおよび回路基板のシールドなど、その他の技法も必要になる可能性があります。図8は、入力コンデンサおよび入力抵抗を追加した標準アプリケーション回路を示します。

## 入力保護

±45Vの入力保護回路は、T+、T-、またはBIASの過電圧状態によって引き起こされるICの損傷を防ぎます。より大きい入力フォルトの可能性がある場合、外付けの保護を追加してください。T+、T-、およびBIASと直列の抵抗によって、許容可能なフォルト電圧を高めることができます。たとえば、これらの入力と直列に2kΩを追加すると、20mAの入力電流制限に達する前に追加の±40Vのオーバードライブが許容されます。ただし、入力にかかる電圧が45Vで、流れる電流が20mAの場合、その入力のオーバードライブによる消費電力は900mWになることに注意してください。同時に他の入力もオーバードライブすると、消費電力がさらに増大します。±45V以上の連続的なオーバードライブ電圧が予想される場合、どの電流制限抵抗も総消費電力をICの絶対最大消費電力以下に抑えるのに十分な大きさであることを常に確認してください。また、「直列抵抗の影響」の項で説明するように、T+およびT-と直列に抵抗を追加するとオフセット電圧が増大することにも注意してください。

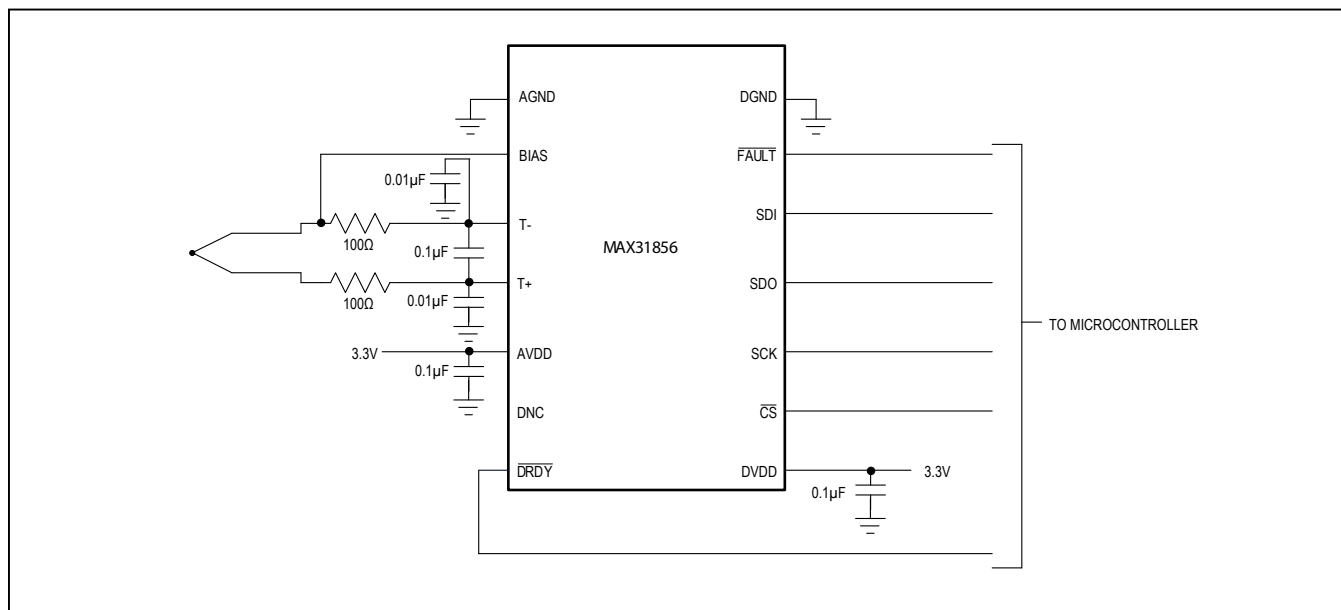


図 8. 熱電対ケーブルへのノイズ混入の影響を低減するための標準的接続

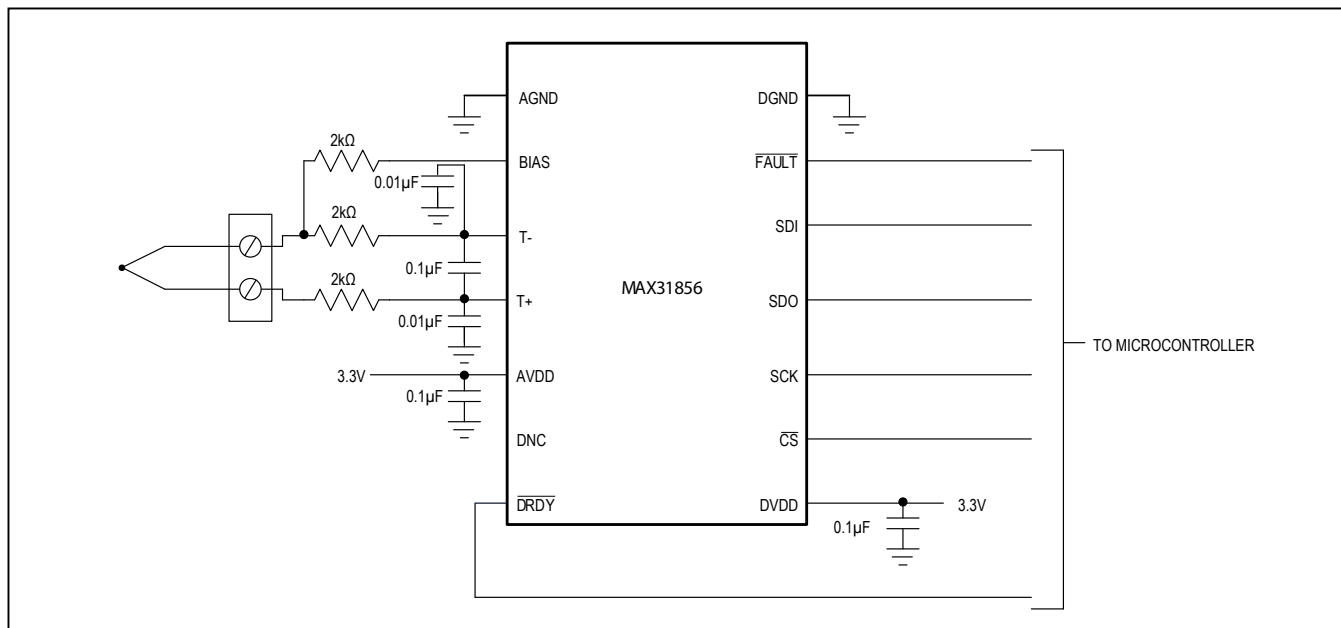


図9. 熱電対入力に±45V以上のフォルト電圧に晒される可能性がある場合、抵抗を追加してMAX31856に流れ込む電流を制限することができます。

### 直列抵抗の影響

熱電対入力のバイアスおよびリーク電流は、入力抵抗およびケーブル抵抗を通して流れ、入力オフセット電圧を生成します。図8および図9の回路の場合、熱電対のソース抵抗は無視可能と仮定すると、直列抵抗によるオフセット電圧は次のとおりです。

$$I_B \times \Delta R_S + \Delta I_B \times R_S$$

ここで、

- $R_S$ は各入力とバイアスポイント間の直列抵抗
- $\Delta R_S$ は2つの $R_S$ 値の間の差。これは一般的に個別の直列抵抗の許容誤差とケーブル抵抗値の和に等しくなります。
- $I_B$ は入力バイアスおよびリーク電流
- $\Delta I_B$ は差動入力バイアスおよびリーク電流

一例として、図8の回路が最大85℃の温度で使用され、100Ωの入力抵抗間の不整合は1Ωで、外付けケーブルの抵抗値は50Ωと仮定します。この場合、外部抵抗によるワーストケースのオフセット電圧は次のとおりです。

$$65\text{nA} \times (50\Omega + 1\Omega) + 4\text{nA} \times 100\Omega = 3.7\mu\text{V}$$

入力抵抗が精度に与える影響を最小限に抑えるには、以下のようにします。

- 外付け抵抗の値を最小限に抑える。
- ケーブル抵抗が非常に小さい場合、外付け抵抗の値を可能な限り整合させる。
- ケーブル抵抗が既知の場合、T-に接続する抵抗の値をケーブル抵抗の値だけ大きくする。これによって、2つの入力間の総不整合が最小限に抑えられます。

ケーブル抵抗が過大な場合は、よりゲージ数の大きい熱電対ワイヤの使用を検討してください。

### MAX31856の配置

MAX31856は冷接点温度センサーを内蔵しているため、できる限り冷接点の温度に近い温度の場所に配置してください。熱電対リードを直接PCBにはんだ付けする場合、MAX31856はできる限り熱電対リードの接続点の近くに配置し、ICと熱電対接続の間の温度勾配を最小限に抑えてください。熱電対リードをコネクタ内で終端する場合、ICをできる限りコネクタの近くに実装し、先ほどと同様にコネクタとICの間の温度勾配を最小限に抑えてください。

**「サポート対象外」の熱電対タイプの使用**

B、E、J、K、N、R、S、またはT以外の熱電対タイプを使用する場合、Configuration 1で電圧モードのオプションの1つを選択してください。「Gain = 8」を選択すると、フルスケール入力電圧範囲は±78.125mVになります。「Gain = 32」の場合、フルスケール入力電圧範囲は±19.531mVに

**型番**

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
MAX31856MUD+	-55°C to +125°C	14 TSSOP
MAX31856MUD+T	-55°C to +125°C	14 TSSOP

+は鉛(Pb)フリー/RoHS準拠パッケージを表します。  
T = テープ&リール。

なります。Configuration 1レジスタの表で、伝達関数を参照してください。電圧モードが選択されている場合、変換データに対する線形化は行われません。電圧データと冷接点温度を使用して、熱電対の熱接点温度を計算してください。

**パッケージ**

最新のパッケージ図面情報およびランドパターン(フットプリント)は [www.maximintegrated.com/jp/packaging](http://www.maximintegrated.com/jp/packaging) を参照してください。なお、パッケージコードに含まれる「+」、「#」、または「-」はRoHS対応状況を表したものでしかありません。パッケージ図面はパッケージそのものに関するものでRoHS対応状況とは関係がなく、図面によってパッケージコードが異なることがある点に注意してください。

パッケージタイプ	パッケージコード	外形図No.	ランドパターンNo.
14 TSSOP	U14+2	<a href="#">21-0066</a>	<a href="#">90-0113</a>

## 改訂履歴

版数	改訂日	説明	改訂ページ
0	2/15	初版	—



マキシム・ジャパン株式会社 〒141-0032 東京都品川区大崎1-6-4 大崎ニューシティ 4号館 20F TEL: 03-6893-6600

Maxim Integratedは完全にMaxim Integrated製品に組み込まれた回路以外の回路の使用について一切責任を負いかねます。回路特許ライセンスは明言されていません。Maxim Integratedは随時予告なく回路及び仕様を変更する権利を留保します。「Electrical Characteristics (電気的特性)」の表に示すパラメータ値 (min、maxの各制限値)は、このデータシートの他の場所で引用している値より優先されます。