

# 圧力トランスデューサ - ADCのアプリケーション

John Bishop

Application Specialist, Advanced Analog Products/Op Amp Applications

## はじめに

オペアンプの主なアプリケーションのひとつに、トランスデューサからの信号を変換・調整して、アナログ・デジタル・コンバータ(ADC)等の他のデバイスで利用できる信号にするというものがあります。トランスデューサとADCの入力レンジとオフセット電圧が同じであることは滅多にないため、通常は変換と調整が必要になります。オペアンプ回路は、ADC回路との整合性を保つための信号フィルタ処理にも役立ちます。この記事では、ブリッジ型トランスデューサを使用した気体圧や液体圧の測定方法、および機械的要素の歪み(変形度)や圧力の測定方法を紹介します。能動アナログ素子および受動アナログ素子と、その使用方法が基本的に理解できていれば、この記事を使用して設計を完成させるのに役立ちます。

## トランスデューサの情報

このアプリケーションでテストされたセンサは、SenSym Inc.社の圧力トランスデューサ製品SX01です。このセンサは半導体圧力センサのセットのひとつであり、使用可能なフルスケール電圧範囲は1 ~ 150psi(7kPa ~ 1MPa)です。ゲージ圧、差圧、絶対圧の三タイプの圧力測定が可能です。

このようなセンサを取り扱う会社としては、TRWというサプライヤもあります。TRWのオンライン製品カタログにはデータシートへのリンクが記載されており、[www.gesensing.com](http://www.gesensing.com)からアクセスできます。ここで評価されているデバイスのフルスケール圧力は1psi(7kPa)です。このデバイスの価格は同じフルスケール圧力の他のデバイスに比べると安価ですが、この低価格は温度補償を犠牲にすることで実現されています。この欠点は、安価な外付けの補償部品を追加すれば克服できます。SenSym社のデータ・シートでは、この目的のために3つの回路を提示しています。ここで選択された方法では、NPNバイポーラ・トランジスタ1つと抵抗2つを使用します。

## 励起電圧源の情報

ブリッジ・トランスデューサを機能させるには、電圧源で励起する必要があります。励起電圧の安定性は測定信号の精度に影響するため、安定化された電圧源が必要になります。

す。このアプリケーションでは、安定化5V電源が使用可能であることを前提としています。

## ADC の選択

この設計では、アナログ入力電圧範囲が0V ~ 5Vである(参考文献1参照)という理由で、ADCには TLV2544を選択しました。理想的には、増幅されたセンサ信号のスパン(信号振幅)がこの入力レンジを満たしている必要があります。このデバイスに電力を供給するために必要な電圧は、単電源5Vです。

## アンプの選択

ADCのアナログ入力電圧範囲を0 ~ 5Vにして、単電源5Vを使用するためには、レール・トゥ・レール出力デバイスが必要になります。オペアンプにも、トランスデューサの入力電圧範囲全体を扱う能力が求められます。これらの理由から、TLV2474が選択されました(参考文献2参照)。

## 回路の定義

増幅された圧力トランスデューサ信号は、ADCに接続されます。ADCはマイクロプロセッサかDSPに接続されるため、最終的な較正はソフトウェアで行うことができます。したがって、0 ~ 1psiのスパンがADCの入力レンジの中央に来るようにする必要があります。ゲイン計算に関して、アンプの出力レンジは1.25 ~ 3.75Vです。図1は、このアプリケーション用のアンプ回路の結線図です。

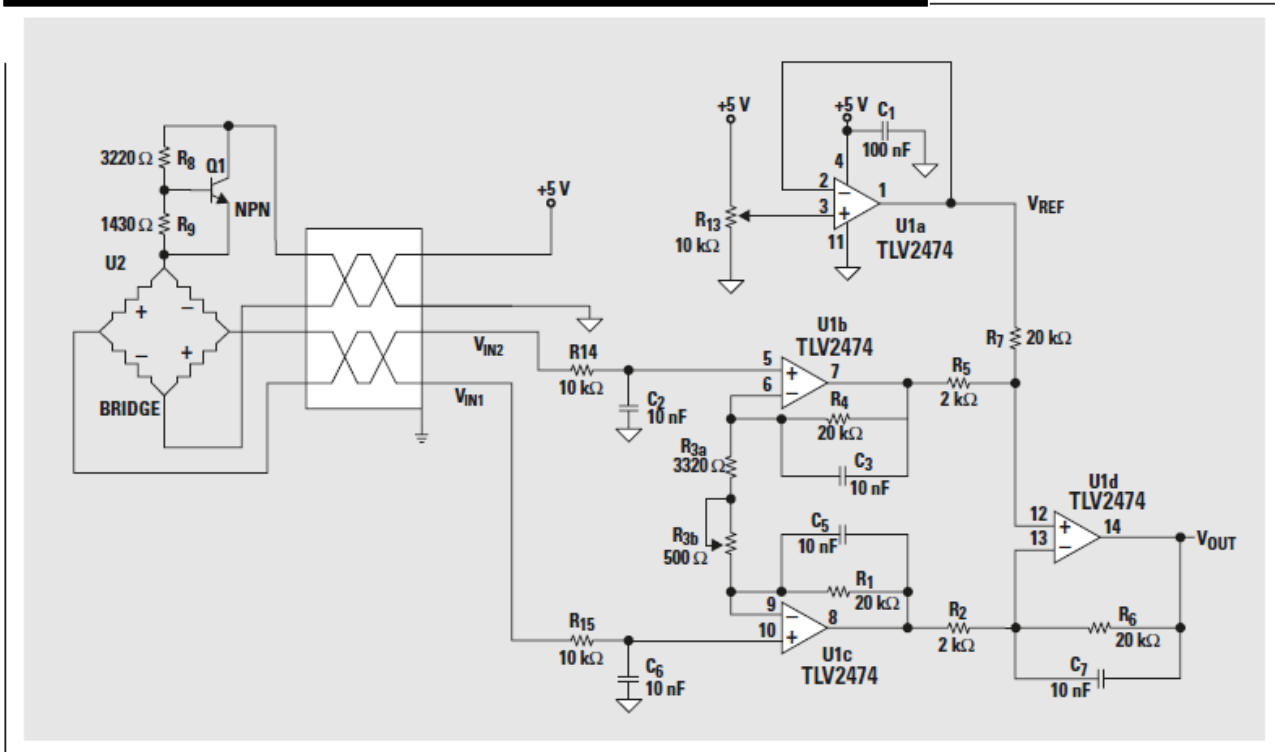
回路の出力は次の通りです。

$$V_{OUT} = V_{IN2} \left( \frac{2R_4 + R_3}{R_3} \right) \left( \frac{R_7}{R_5 + R_7} \right) \left( \frac{R_6 + R_2}{R_2} \right) - V_{IN1} \left( \frac{2R_1 + R_3}{R_3} \right) \left( \frac{R_6}{R_2} \right) + V_{REF} \left( \frac{R_5}{R_5 + R_7} \right) \left( \frac{R_6 + R_2}{R_2} \right) \quad (1)$$

$R_7 = R_6$ 、 $R_5 = R_2$ 、 $R_4 = R_1$ の時、式1は次のように要約されます。

$$V_{OUT} = (V_{IN2} - V_{IN1}) \left( \frac{2R_1}{R_3} + 1 \right) \left( \frac{R_6}{R_2} \right) + V_{REF} \quad (2)$$

図1. 圧カトランスデューサ・ADCアプリケーション用のオペアンプ回路



R<sub>3</sub>について解くと、次のような結果になります。

$$R_3 = \frac{2R_1}{\frac{(V_{OUT} - V_{REF})R_2}{(V_{IN2} - V_{IN1})R_6} - 1} \quad (3)$$

ブリッジの感度は、標準で 4.0mV/V/psi です。圧力は 1psi、励起電圧は 5V です。したがって、0 ~ 1psi でのセンサの差分出力 ( $V_{IN2} - V_{IN1}$ ) は 20mV になります。R<sub>1</sub> = R<sub>4</sub> = R<sub>6</sub> = R<sub>7</sub> = 20.0kΩ (1% 値)、および R<sub>2</sub> = R<sub>5</sub> = 2.0kΩ と設定すると、R<sub>3</sub> = 3.478kΩ ではフルスケール出力電圧範囲が 2.5V という結果になります。

ここで示した計測アンプ回路はトータル・ゲインをひとつの可変抵抗で調整できます。

## 較正デバイス

ゲインを調整する抵抗は R<sub>1</sub> です。可変抵抗は固定抵抗よりも温度係数が高く、時間の経過とともにドリフトが発生する可能性も固定抵抗より高くなります。この問題は、ポテンショメータと直列に固定抵抗を配置することで最小限にできます。次の式で計算された値は、約 10% のゲイン調整に基づくものです。

$$R_{3A} = R_1 - R_1(5\%) = 143k\Omega \text{ (1\% 抵抗)} \quad (4)$$

$$R_{3B} = R_3(10\%) = 50k\Omega \text{ (サーメット・ポテンショメータ)} \quad (5)$$

オフセット電圧を調整するためのポテンショメータ R<sub>13</sub> は決定的に重要ではありませんが、マルチターン・ポテンショメータ 10kΩ で 0.5mA を流します。

設計の目的のひとつは、機能を犠牲にせずに部品点数を減らすことです。オペアンプのオフセット電圧が十分に低い場合は、ポテンショメータを固定抵抗に置き換えることが可能です。代わりに、DSP やマイクロプロセッサのソフトウェアを使用してオフセット電圧とゲインの較正を行います。これが可能なのは、ADC の入力レンジの上と下の 25% が使用されていないためです。この条件において、R<sub>13</sub> を分圧回路に置き換えることで V<sub>REF</sub> の初期値が設定されます。オペアンプのオフセット・ドリフト電圧により、出力電圧の値が上下 25% の未使用領域に向かって上下します。各抵抗のばらつきによりわずかなゲイン誤差が生じますが、これらはオフセット電圧に比べるとそれほど心配する必要はありません。ポテンショメータを使用して調整する代わりに、オフセット変数とゲイン変数の計算で較正された出力を生成できます。

## 信号のフィルタリング

トランスデューサがアンプの基板に取り付けられていれば、入力フィルタ回路やシールド線は必要ありません。トランスデューサを入力に接続すると、周囲の電磁環境が原因で配線にノイズ信号が入ります。このノイズが測定信号に干渉するのを防ぐには、何らかのシールド処理が必要

になります。トランスデューサから変換回路にかけての接続にツイストペア・ケーブルを使用し、このペアをシールドする(機器のところでシールドの網線を接地する)と、ノイズが減少します。

正しくシールドされたケーブル配線を介してトランスデューサが接続されている場合でも、測定信号に伴ってアンプに入り込むノイズはある程度存在します。入力フィルタがないと、オペアンプがRF検出回路として動作し、他のデバイスからの高周波信号を低周波成分の信号に変換してしまいます。抵抗とコンデンサを入力に配置するとローパス・フィルタが形成され、高周波信号が測定信号に干渉するのを防ぎます。このフィルタの周波数レスポンスは次の通りです。

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (6)$$

このように、 $R_{14}$  と  $R_{15}$  が  $10\text{k}\Omega$  であり、 $C_2$  と  $C_6$  が  $10\text{nF}$  の場合は、 $f_c$  が約  $1600\text{ Hz}$  になります。

次の2つの段には、帰還抵抗と並列接続したコンデンサがあります。これらのフィルタの周波数レスポンスも、式6により定義されます。帰還抵抗に  $20\text{k}\Omega$  を使用すると、カットオフ周波数  $f_c$  が約  $800\text{ Hz}$  になります。

## 参考文献

この記事に関連した詳細な情報については、[www.s.ti.com/sc/techlit/litnumber](http://www.s.ti.com/sc/techlit/litnumber) にアクセスして Acrobat Reader ファイルをダウンロードして参照してください。その際、“litnumber” (該当する文書番号) を、下に記載した TI 資料の文書番号に置き換えてください。

## TI 資料のタイトル

## 文書番号

1. “TLV2544, TLV2548 2.7-V to 5.5-V, 12-bit, 200-kSPS, 4-/8-channel, Low-power Serial Analog-to-Digital Converters with Autopower-down,” Data Sheet .....slas198
2. “TLV2470, TLV2471, TLV2472, TLV2473, TLV2474, TLV2475, TLV247xA Family of 600- $\mu\text{A}/\text{Ch}$  2.8-MHz Rail-to-Rail Input/Output High-Drive Operational Amplifiers with Shutdown,” Data Sheet .....slos232
3. “Understanding Basic Analog-Ideal Op Amps,” Application Report .....slla068
4. “Single Supply Op Amp Design Techniques,” Application Report .....sloa030
5. “Active Low-Pass Filter Design,” Application Report .....sloa049
6. “Application of Rail-to-Rail Operational Amplifiers,” Application Report .....sloa039
7. Ron Mancini, “Sensor to ADC—Analog Interface Design,” Analog Applications Journal (May 2000), p. 22 .....slyt173
8. “Signal Conditioning Wheatstone Resistive Bridge Sensors,” Application Report .....sloa034

## 関連ウェブサイト

[www.gesensing.com](http://www.gesensing.com)

## 付録 A. 計算

この記事では、次の値と式が使用されています。**太字で表示された値**が計算されます。入力される値はすべて、太字以外で表示されています。

### 前提条件

Input<sub>MIN</sub> (最小入力値) = **0.0 psi**      Output<sub>MIN</sub> (最小出力値) = **1.25 V**  
 Input<sub>MAX</sub> (最大入力値) = **1.0 psi**      Output<sub>MAX</sub> (最大出力値) = **3.75 V**  
 感度 = **0.004 mV/V/psi**

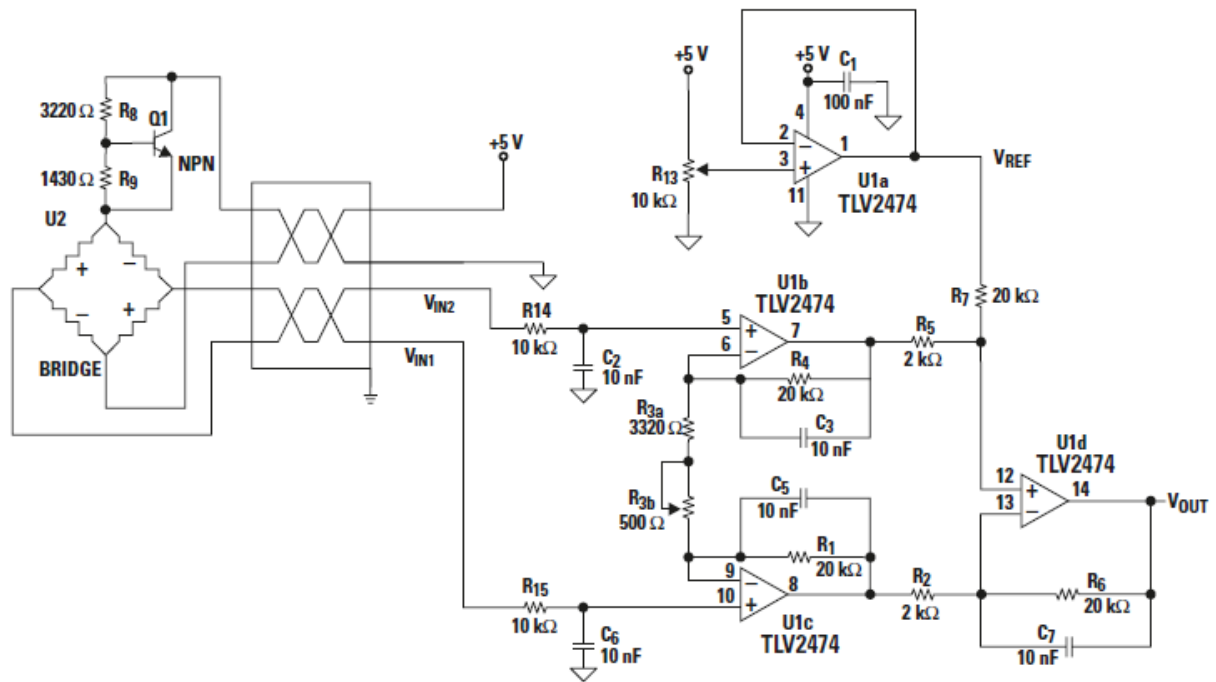
励起電圧 = **5 V**  
 フルスケール範囲 = **0.02 V**  
 公称ゲイン = **125**

**R<sub>8</sub> = 3.22 kΩ**  
**R<sub>9</sub> = 1.43 kΩ**

**R<sub>1</sub> = R<sub>4</sub> = R<sub>7</sub> = R<sub>6</sub> = 20 kΩ**  
**R<sub>5</sub> = R<sub>2</sub> = 2 kΩ**  
**V<sub>IN</sub> = 0.02 V**  
**V<sub>OUT</sub> = 2.5 V**  
**R<sub>3</sub> = 3478 Ω**

**R<sub>3A</sub> = 3304 Ω** ⇒ **3320 Ω**      1% 値  
 Pot. 値  
**R<sub>3B</sub> = 348 Ω** ⇒ **500 Ω**

**C<sub>4</sub> = C<sub>6</sub> = 0.01 μF**      **C<sub>3</sub> = C<sub>5</sub> = C<sub>7</sub> = 0.01 μF**  
**R<sub>14</sub> = R<sub>15</sub> = 10 kΩ**      **R<sub>1</sub> = R<sub>4</sub> = R<sub>6</sub> = 10 kΩ**  
**F<sub>C</sub> = 1592 Hz**      **F<sub>C</sub> = 796 Hz**





# ご注意

日本テキサス・インスツルメンツ株式会社（以下TIJといいます）及びTexas Instruments Incorporated（TIJの親会社、以下TIJないしTexas Instruments Incorporatedを総称してTIといいます）は、その製品及びサービスを任意に修正し、改善、改良、その他の変更をし、もしくは製品の製造中止またはサービスの提供を中止する権利を留保します。従いまして、お客様は、発注される前に、関連する最新の情報を取得して頂き、その情報が現在有効かつ完全なものであるかどうかご確認下さい。全ての製品は、お客様とTIJとの間に取り引契約が締結されている場合は、当該契約条件に基づき、また当該取引契約が締結されていない場合は、ご注文の受諾の際に提示されるTIJの標準販売契約約款に従って販売されます。

TIは、そのハードウェア製品が、TIの標準保証条件に従い販売時の仕様に対応した性能を有していること、またはお客様とTIJとの間で合意された保証条件に従い合意された仕様に対応した性能を有していることを保証します。検査およびその他の品質管理技法は、TIが当該保証を支援するのに必要とみなす範囲で行なわれております。各デバイスの全てのパラメーターに関する固有の検査は、政府がそれ等の実行を義務づけている場合を除き、必ずしも行なわれておりません。

TIは、製品のアプリケーションに関する支援もしくはお客様の製品の設計について責任を負うことはありません。TI製部品を使用しているお客様の製品及びそのアプリケーションについての責任はお客様にあります。TI製部品を使用したお客様の製品及びアプリケーションについて想定されうる危険を最小のものとするため、適切な設計上および操作上の安全対策は、必ずお客様にてお取り下さい。

TIは、TIの製品もしくはサービスが使用されている組み合わせ、機械装置、もしくは方法に関連しているTIの特許権、著作権、回路配置利用権、その他のTIの知的財産権に基づいて何らかのライセンスを許諾するということは明示的にも黙示的にも保証も表明もしておりません。TIが第三者の製品もしくはサービスについて情報を提供することは、TIが当該製品もしくはサービスを使用することについてライセンスを与えるとか、保証もしくは是認するということを意味しません。そのような情報を使用するには第三者の特許その他の知的財産権に基づき当該第三者からライセンスを得なければならない場合もあり、またTIの特許その他の知的財産権に基づきTIからライセンスを得て頂かなければならない場合もあります。

TIのデータ・ブックもしくはデータ・シートの中にある情報を複製することは、その情報に一切の変更を加えること無く、かつその情報と結び付けられた全ての保証、条件、制限及び通知と共に複製がなされる限りにおいて許されるものとします。当該情報に変更を加えて複製することは不正で誤認を生じさせる行為です。TIは、そのような変更された情報や複製については何の義務も責任も負いません。

TIの製品もしくはサービスについてTIにより示された数値、特性、条件その他のパラメーターと異なる、あるいは、それを超えてなされた説明で当該TI製品もしくはサービスを再販売することは、当該TI製品もしくはサービスに対する全ての明示的保証、及び何らかの黙示的保証を無効にし、かつ不正で誤認を生じさせる行為です。TIは、そのような説明については何の義務も責任もありません。

TIは、TIの製品が、安全でないことが致命的となる用途ないしアプリケーション（例えば、生命維持装置のように、TI製品に不良があった場合に、その不良により相当な確率で死傷等の重篤な事故が発生するようなもの）に使用されることを認めておりません。但し、お客様とTIの双方の権限有る役員が書面でそのような使用について明確に合意した場合は除きます。たとえTIがアプリケーションに関連した情報やサポートを提供したとしても、お客様は、そのようなアプリケーションの安全面及び規制面から見た諸問題を解決するために必要とされる専門的知識及び技術を持ち、かつ、お客様の製品について、またTI製品をそのような安全でないことが致命的となる用途に使用することについて、お客様が全ての法的責任、規制を遵守する責任、及び安全に関する要求事項を満足させる責任を負っていることを認め、かつそのことに同意します。さらに、もし万一、TIの製品がそのような安全でないことが致命的となる用途に使用されたことによって損害が発生し、TIないしその代表者がその損害を賠償した場合は、お客様がTIないしその代表者にその全額の補償をするものとします。

TI製品は、軍事的用途もしくは宇宙航空アプリケーションないし軍事的環境、航空宇宙環境にて使用されるようには設計もされていませんし、使用されることを意図されておられません。但し、当該TI製品が、軍需対応グレード品、若しくは「強化プラスチック」製品としてTIが特別に指定した製品である場合は除きます。TIが軍需対応グレード品として指定した製品のみが軍需品の仕様書に合致いたします。お客様は、TIが軍需対応グレード品として指定していない製品を、軍事的用途もしくは軍事的環境下で使用することは、もっぱらお客様の危険負担においてなされるということ、及び、お客様がもっぱら責任をもって、そのような使用に関して必要とされる全ての法的要求事項及び規制上の要求事項を満足させなければならないことを認め、かつ同意します。

TI製品は、自動車用アプリケーションないし自動車の環境において使用されるようには設計されていませんし、また使用されることを意図されておられません。但し、TIがISO/TS 16949の要求事項を満たしていると特別に指定したTI製品は除きます。お客様は、お客様が当該TI指定品以外のTI製品を自動車用アプリケーションに使用しても、TIは当該要求事項を満たしていなかったことについて、いかなる責任も負わないことを認め、かつ同意します。

Copyright © 2011, Texas Instruments Incorporated  
日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社

## 弊社半導体製品の取り扱い・保管について

半導体製品は、取り扱い、保管・輸送環境、基板実装条件によっては、お客様での実装前後に破壊/劣化、または故障を起こすことがあります。

弊社半導体製品のお取り扱い、ご使用にあたっては下記の点を遵守して下さい。

### 1. 静電気

- 素手で半導体製品単体を触らないこと。どうしても触る必要がある場合は、リストストラップ等で人体からアースをとり、導電性手袋等をして取り扱うこと。
- 弊社出荷梱包単位（外装から取り出された内装及び個装）又は製品単品で取り扱いを行う場合は、接地された導電性のテーブル上で（導電性マットにアースをとったもの等）、アースをした作業者が行うこと。また、コンテナ等も、導電性のものを使うこと。
- マウンタやはんだ付け設備等、半導体の実装に関わる全ての装置類は、静電気の帯電を防止する措置を施すこと。
- 前記のリストストラップ・導電性手袋・テーブル表面及び実装装置類の接地等の静電気帯電防止措置は、常に管理されその機能が確認されていること。

### 2. 温・湿度環境

- 温度：0～40℃、相対湿度：40～85%で保管・輸送及び取り扱いを行うこと。（但し、結露しないこと。）

- 直射日光が当たる状態で保管・輸送しないこと。

### 3. 防湿梱包

- 防湿梱包品は、開封後は個別推奨保管環境及び期間に従い基板実装すること。

### 4. 機械的衝撃

- 梱包品（外装、内装、個装）及び製品単品を落下させたり、衝撃を与えないこと。

### 5. 熱衝撃

- はんだ付け時は、最低限260℃以上の高温状態に、10秒以上さらさないこと。（個別推奨条件がある時はそれに従うこと。）

### 6. 汚染

- はんだ付け性を損なう、又はアルミ配線腐食の原因となるような汚染物質（硫黄、塩素等ハロゲン）のある環境で保管・輸送しないこと。
- はんだ付け後は十分にフラックスの洗浄を行うこと。（不純物含有率が一定以下に保証された無洗浄タイプのフラックスは除く。）

以上