

ADC121S101,ADC161S626



Literature Number: JAJA434

SIGNAL PATH | *designer*

Tips, tricks, and techniques from the analog signal-path experts

No. 115

特集記事..... 1-4

Design Made Easy..... 5

圧力センサを用いた液位監視

— Amy Le, Applications Engineer

今日、液位監視は、ほんの数例を挙げるだけでも、自動車、オイル、水、圧力、ガスなど、さまざまな産業分野で重要な役割を果たしています。例えば、貯油タンクへの注入では漏れ防止のため、貯蔵施設からの液体の瓶詰めでは分量調整のため、液位の監視が必要です。

本稿では、圧力センサを用いて液位監視システムを自動化する方法について解説します。圧力の検出は液位監視において重要な部分の一つにすぎないため、ここでは、ADC（アナログ/デジタル・コンバータ）を使ってセンサの出力電圧を液位に変換する方法についても説明します。圧力センサ、ADC接続、システムのキャリブレーション、液位の計算、アプリケーション例の詳細について、開発手順に沿った形で解説します。

液位検出の原理

容器内の液位は、圧力センサを使って測定できます。容器の先端に取り付けた圧力センサを、容器内の液体に浸した開口管に接続します。管内に封入された空気を介して、容器内の水量に比例した圧力がセンサにかかります。すると、センサがその圧力に相当する電圧を生成し、それが出力されます。

本質的には、圧力センサはホイートストン・ブリッジです（Figure 1）。ブリッジにかかる圧力の変化とブリッジの抵抗R値の変化は相似関係にあります。

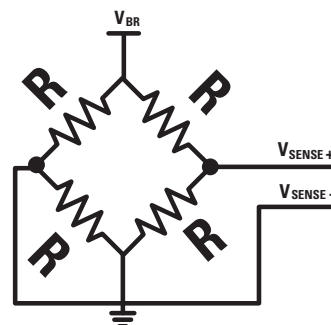


Figure 1: ブリッジ・センサ

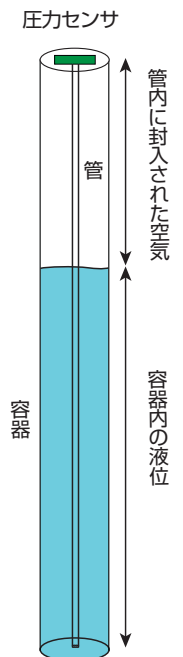


Figure 2: 容器

圧力センサを用いた液位監視

ハードウェア

圧力センサ

アプリケーション例に使用した差動センサは、GE NovaSensor社のNPC-1210シリーズです。NPC-1210のフルスケール出力（FSO）の代表値は、水位10インチに対して50mVです。つまり、容器内の水位10インチが、センサの差動出力電圧の代表値50mVに相当します。このリニアな関係は、液位の計算やこのシステムに適したADCやアンプの選定に利用できる便利な数値です。

このセンサを選んだのは、出力がmv（ミリボルト）レンジという感度特性を持っているためです。アプリケーション例では液体の量が少量（約540立方インチ）であることから、感度の良い圧力センサが適しています。所定のアプリケーションに最適な圧力センサを選ぶことが重要です。ナショナル セミコンダクターのWEBENCH® Sensor Designerオンライン設計支援ツール（www.national.com/sensors）を利用すれば、入力範囲や所望の精度に基づいて、適切なセンサを容易に選択することができます。

センサ・リファレンス・ボード

ナショナルの最新のセンサ・リファレンス・ボード（製品番号: SP1202S01RB / SP1602S02RB）は、液位監視システムに最適なセンサ用インタフェース開発ボードです。SP1202S01RBは、シングルエンド入力の12ビット、シングル・チャンネルA/DコンバータADC121S101に計装アンプを接続した、差動・シングルエンド構成のセンサ・リファレンス・ボードです。SP1602S02RBは、やはり計装アンプを使っていますが、差動入力の16ビット、シングル・チャンネルA/Dコンバータ ADC161S626をシングルエンド構成で使用しています。どちらのボードも、センサの出力電圧を増幅して出力コードに変換する、同様の機能を備えています。ただし、SP1602S02RBセンサ・リファレンス・ボードは、16ビットADCを搭載しているために分解能が高く、液位の変動に対して、SP1202S01RBセンサ・リファレンス・ボードよりも敏感に反応します。

どちらの構成にも、センサのmVレベルの出力を適度な動作電圧(0V~4.1V)に増幅するゲイン段が含まれています。ADCの出力コードは、SPIを介してマイクロコントロー

ラに読み取られ、PCにアップロードされて解析されます。Figure 3は、差動・シングルエンド構成シグナルパスのブロック図の一例です。

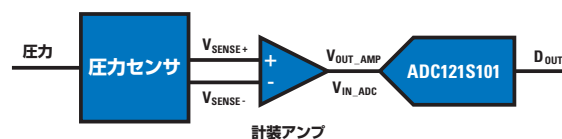


Figure 3. SP1202S01RB センサ・リファレンス・ボードのブロック図

圧力センサのキャリブレーション

センサの出力電圧が液位とリニアな関係にあることを把握するには、システムをキャリブレーションする必要があります。NPC-1210センサのデータシートには、その関係の代表値は液位10インチに対して50mVであると記載されています。容器に「x」インチの高さまで液体を注ぎ、センサの差動出力電圧「 Δy 」(Δy は $[(V_{SENSE+}) - (V_{SENSE-})]$)を測定することにより、センサをキャリブレーションすることができます。

$$\Delta V_{\text{SENSOR_OUT}} = (V_{\text{SENSE+}}) - (V_{\text{SENSE-}}) \quad (1)$$

$$\Delta V_{\text{SENSOR_OUT}} = \left(\frac{\Delta y}{x} \right) \times (\text{液位}) \quad (2)$$

このリニアな関係を使えば、式2が示すように、新たな液位におけるセンサの差動出力電圧 $\Delta V_{\text{SENSOR_OUT}}$ を求めることができます。

液位の計算

Figure 3に示す通り、液位監視のシグナルパスは3段で構成されています。このため、液位をADCやアンプの様式で計算するには、複数のプロセスを経る必要があります。最初のステップでは、アンプのゲインを求め、このゲインにセンサの出力電圧 $\Delta V_{\text{SENSOR_OUT}}$ を掛けて、ADCの入力電圧 $V_{\text{IN_ADC}}$ を算出します。

$$V_{\text{IN_ADC}} = V_{\text{OUT_AMP}} = (\Delta V_{\text{SENSOR_OUT}}) \times (\text{Gain}) \quad (3)$$

どのようなアンプ段でも、ゲインの算出は煩雑になることがあります。それを単純化するため、例えばアプリケーション例に使用した計装アンプ (Figure 4) の場合は、一連の式 (4aから4eまで) を計算に使うことができます。この計算では、重ね合わせの原理と単純なオペアンプの式を用いて、ADCの入力電圧 V_{IN_ADC} と計装アンプ段のゲインを導き出します。良好なCMRR (同相成分除去比) を得るには、 RF_1 は RF_2 に、 RA_1 は RA_2 に、 RB_1 は RB_2 にそれぞれ等しくする必要があります。

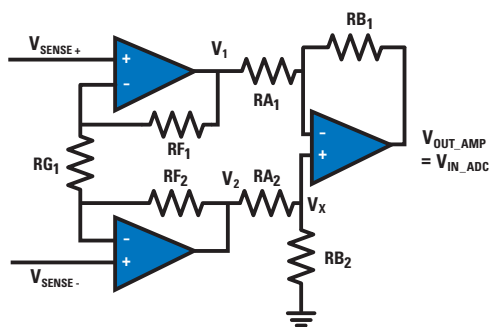


Figure 4. 計装アンプ

$$V_1 = (V_{SENSE+}) \times \left(1 + \frac{RF_1}{RG_1}\right) + (V_{SENSE-}) \times \left(\frac{-RF_1}{RG_1}\right) \quad (4a)$$

$$V_2 = (V_{SENSE+}) \times \left(\frac{-RF_2}{RG_1}\right) + (V_{SENSE-}) \times \left(1 + \frac{RF_2}{RG_1}\right) \quad (4b)$$

$$V_x = \left(\frac{RB_2}{RB_2 + RA_2}\right) \times (V_2) \quad (4c)$$

$$V_{IN_ADC} = V_{OUT_AMP} = V_x \times \left[\frac{RB_1 + RA_1}{RA_1}\right] - V_1 \times \left(\frac{RB_1}{RA_1}\right) \quad (4d)$$

$$\text{ゲイン} = \frac{V_{IN_ADC}}{\Delta V_{SENSOR_OUT}} \quad (4e)$$

次に、単純な差動入力 (DIFF) およびシングルエンド入力 (SE) ADCの公式を用いて、ADCの出力コード D_{OUT} を求めます。所定のシステムに使用されているADCのタイプに基づいて、適切な式を選びます。どちらの構成でも、 V_{REF} はADCの基準電圧、 n はADCのビット分解能です。

$$D_{OUT_DIFF} = \left(\frac{V_{IN_ADC}}{2 \times V_{REF}}\right) \times (2^n) \quad (5a)$$

$$D_{OUT_SE} = \left(\frac{V_{IN_ADC}}{V_{REF}}\right) \times (2^n) \quad (5b)$$

最後に、差動入力ADCの場合は式6a、シングルエンド入力ADCの場合は式6bを用いて、出力コードを液位に変換します。これらの式は式2から導かれますが、 ΔV_{SENSOR_OUT} がADCとアンプ・ゲインの観点から記述されている点が、式2と異なります。

$$\text{Height}_{DIFF} = \left[\frac{x}{\Delta y}\right] \times \left(\frac{1}{\text{Gain}}\right) \times \left[\frac{(D_{OUT_DIFF}) \times (2 \times V_{REF})}{(2^n)}\right] \quad (6a)$$

$$\text{Height}_{SE} = \left[\frac{x}{\Delta y}\right] \times \left(\frac{1}{\text{Gain}}\right) \times \left[\frac{(D_{OUT_SE}) \times (V_{REF})}{(2^n)}\right] \quad (6b)$$

アプリケーション例

Figure 7に示したアプリケーション例では、NPC-1210圧力センサを使って、容器に満たされた水を測定します。水は容器内から、電動ポンプが入っている外の容器に連続して排出されます。水位が低くなると、電動ポンプがオンになり、管内へ水を押し戻します。水位が先端近くの所定のポイントに達すると、ポンプはオフになって待機します。そして、トリップ点が下がって再びオンになると、管から水が排出されます。電源がオフになるまで、このサイクルを繰り返します。

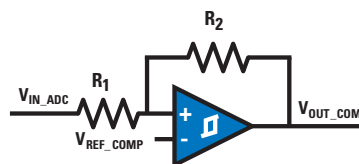


Figure 5. ヒステリシス付きコンパレータ

この連続的な水位の変動を起こすため、ヒステリシス付きコンパレータ (Figure 5)、インバータおよびリレー・スイッチを、先に述べたハードウェア回路に付加しています。ADCの入力電圧がコンパレータの基準電圧 V_{REF_COMP} (ADCの基準電圧と混同しないこと) と比較されます。 V_{IN_ADC} が V_{REF_COMP} を上回った時は、コンパレータの出力

圧力センサを用いた液位監視

はハイとなり、そうでない時はローになります。Figure 6に示したように、 V_{IN1} と V_{IN2} の2つのスイッチング・スレッシュホールドを生成するため、コンパレータにヒステリシスを付加しています。この2つのスイッチング・スレッシュホールドは、ポンプがオンまたはオフになる時の位置を表します。

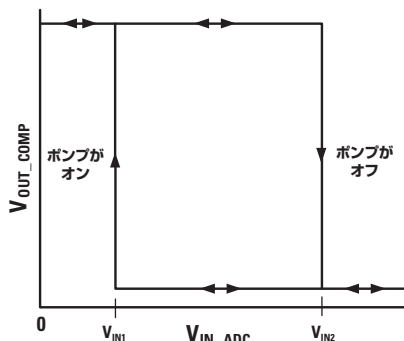


Figure 6. ヒステリシス

式7aと7bは、コンパレータの抵抗 R_1 および R_2 を変更することで、これらのスレッシュホールドを簡単に調整できることを示しています。所望のスレッシュホールド電圧を得るには、適度な基準電圧 V_{REF_COMP} と使用可能な抵抗値を選ぶ必要があります。

$$V_{IN1} = \frac{[(V_{REF_COMP}) (R_1 + R_2)] - [V_{CC} R_1]}{R_2} \quad (7a)$$

$$V_{IN2} = \frac{[(V_{REF_COMP}) \times (R_1 + R_2)]}{R_2} \quad (7b)$$

コンパレータの出力は、バッファとして働く2つのパワーFETに接続されています。インバータは不要ですが、FETの主目的は、リレー・スイッチをオンにするための十分な電流を供給することにあります。リレー・スイッチは、AC電源に対して1つの端子が接続され、他の端子は接続されておらず、ポンプ/電源の接続とポンプ/グラウンドの接続との間の開閉を行います。

このアプリケーション例は、安全システムが必要となる液位監視システムの典型的な例です。ソフトウェアに頼らない場合、水位がオーバーフロー・ポイントに近づくと、このハードウェア回路はポンプをオフにしてしまう可能性があります。また、このアプリケーション例は、センサ・リファレンス・ボードの総合的なシグナルパス設計によって、あらゆるセンサ・アプリケーションを非常に簡単に拡張できることも示しています。

まとめ

液位監視システムは、液体の圧力、ひいては液位を測定するために圧力センサを使う必要があります。センサの出力電圧は、コンピュータのソフトウェアで液位を数学的に演算処理するため、アナログ電圧をデジタル言語に変換するADCが必要です。このシグナルパス設計は、ナショナルのセンサ・リファレンス・ボードに組み込まれています。アプリケーション例が示すように、SP1202S01RBセンサ・リファレンス・ボードは多くの圧力センサ・アプリケーションに最適です。

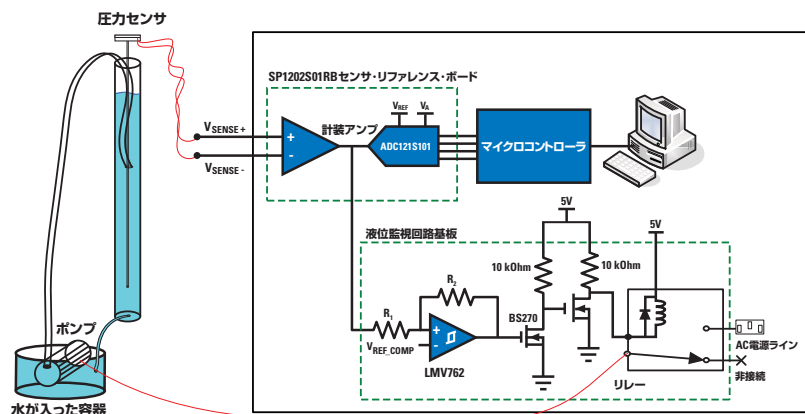


Figure 7. 液位監視システム

DESIGN MADE EASY



調べる

豊富なデザイン・ リソースを活用

ハウツー・ビデオ、オンライン講座、技術資料、最新の設計技術を調べることができます。

選ぶ

設計に最適な 製品を選択

ナショナルのオンライン製品カタログ、ダウンロード可能な参考資料、関連オンライン・サイトを利用し、各製品を比較、選択できます。

設計する

オンラインで回路を 設計、製作、評価

新しいWEBENCH® Sensor Designerと進化したWEBENCH Power Designerを利用し、開発期間を短縮できます。

national.com/jpn/easy

ナショナル セミコンダクター ジャパン株式会社

〒135-0042 東京都江東区木場 2-17-16

TEL 03-5639-7300 (大代表) www.national.com/jpn/

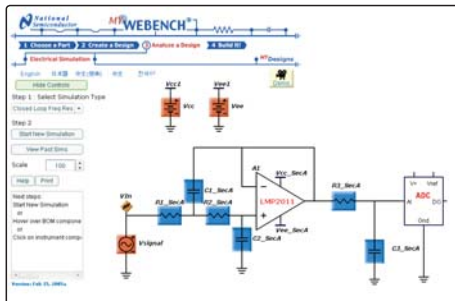
設計支援ツール

WEBENCH® Signal-Path Designer 回路設計ツール

ナショナルは、簡単な操作で回路設計を加速するSignal-Path DesignerをWEBENCHプラットフォーム上で提供しています。

機能

- アンチ-エイリアシング・フィルタの合成
- アンプの選択、A/Dコンバータとの最適な組み合わせを選定
- SNR、SDFR、電源電圧にもとづくトレードオフ
- SPICEを使用した実際の動作環境でのシミュレーション



national.com/JPN/webench

WaveVision 4.1評価ボード

A/Dコンバータのテストと評価には、使いやすいナショナルのWaveVision 4.1評価ボードを。各評価ボードはUSBインタフェースを備え、ソフトウェアが同梱されています。

特長と利点

- プラグ・アンド・プレイなADC評価ボード
- パソコンと接続するUSB2.0インタフェース
- パソコン上で動作するデータ・キャプチャ機能
- データ・キャプチャと評価が容易
- 高調波とSFDR周波数を表示
- 波形確認が容易
- FFTグラフの生成と表示
- FFTと合わせてダイナミック性能パラメータを表示
- ヒストグラムの生成と表示



ナショナルの
シグナルパス製品サイト：
signalpath.national.com/jpn

お問い合わせ：
jpn.feedback@nsc.com

どの号もお見逃しなく！

Signal Path Designerのバックナンバーは
ナショナルのサイトでご覧いただけます。

signalpath.national.com/jpndesigner

Power Designerもぜひお読みください。
オンラインで提供しています。

power.national.com/jpndesigner



ナショナル セミコンダクター ジャパン株式会社
〒135-0042 東京都江東区木場2-17-16
TEL 03-5639-7300 (大代表) www.national.com/jpn/

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をご確認下さい。全ての製品は、お客様とTIJとの間取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いません。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たり、保証もしくは承認することを含みません。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いません。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いません。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