

LM199,LM308

Application Note 184 References for A/D Converters



Literature Number: JAJA382

A/D コンバータの基準電圧

National Semiconductor

Application Note 184

July 1977



デジタルとアナログ信号間でのインタフェースは、デジタル信号処理関係の急増と共に一層重要性を帯びてきています。システムの精度は、しばしばコンバータの精度により制限され、そのコンバータの限界は基準電圧(リファレンス)によります。その基準電圧が外部的なものであれば、設計は難しいものになります。

どんなコンバータの精度も、たとえ変換直線性が完全であっても、基準電圧の温度ドリフトと経時ドリフトによって制限されます。基準電圧によってコンバータに1/2の最下位ビット(LSB)誤差が加わることを考えると、温度による変化がわずかであっても、いかに基準電圧の安定性が重要であるかが分かります。温度変化が大きい時、基準電圧の設計は重要な課題となります。Table I に各温度変化ごとのコンバータの基準電圧要件を示し、同様に、Table II にデジタル・パネル・メータの基準電圧要件を示します。

基準電圧回路には、安定した出力を維持するためのいくつかの機能が要求されます。まず、基準電圧回路によって入力電源の変動を除去しなければなりません。次に、基準電圧に使用されるツェナーは当然バイアスされなければなりません。一方、他の回路部分は一般的なツェナーの電圧に基準化し、低インピーダンスの出力にします。最後に、基準電圧回路では周囲温度の変動を排除し、ツェナー・ドリフト+基準電圧回路の温度ドリフトが、理想のドリフト限度を超えないようにしなければなりません。

基準電圧の性能がツェナーの温度係数(TC)の影響を受けるのは明らかですが、基準電圧の温度ドリフトが20ppm/°Cであっても、ツェナーによるドリフトと同量のドリフトが他のソースから基準電圧に加わります。この場合、ツェナー・ドリフトとオペアンプ・ドリフトがドリフト誤差に直接加わりますが、抵抗誤差はスケール抵抗の追従性(トラッキング)を示すものに過ぎません。高いTCを持つ抵抗であっても、追従するものであれば使用することができます。

6.9Vのツェナーを持つ10V出力の場合、ドリフトによる抵抗の誤差(ミストラッキング)は、利得が1.4なので約0.4となります。Table

に、6.9Vのツェナーから10Vの基準電圧を生成するために使用される各構成部品ごとの温度係数の誤差範囲を示します。もう1つの誤差ソースである入力電源の変動は、入力1%に安定化されていれば、無視して良い程度のものであり、ツェナーに接続されている抵抗の誤差は1%に安定します。

極くまれに基準電圧回路のツェナーの誤差ソースとなるものとして、ヒステリシスと接合部ストレスが挙げられます。ツェナー・ダイオード間接合部や直列温度補償接合部にストレスが加わると、電圧変動の原因となります。ディスクリート部品の軸リードを通じてパッケージの外側から内部の接合部にストレスが加わると、1mV ~ 5mVの電圧変動が生じます。

温度サイクルにより、ディスクリート・ツェナーで不可逆的な電圧変動が生じます。例えば、ツェナーを25°Cから100°Cに加熱した後25°Cに戻しても、ツェナー電圧は元の値に戻りません。これは、ダイのストレスが温度サイクルにより半永久的に変化して電圧が変わってしまうためです。このため、ダイオードのタイプによっては電圧が5mVまで変動してしまうものもあり、温度サイクルを重ねるごとに電圧変動が累積していきます。ストレスに強い新型のプレーナIC ツェナーとして、LM199(温度安定型)またはLM129が発売されています。これらのデバイスは、パッケージを介してシリコンチップにストレスが加わらず、温度サイクル150°Cでヒステリシスがわずか50μV程度です。

基準電圧回路の設計

20ppm/°Cの温度特性を必要とする場合、2通りの方法で基準電圧回路の設計が行えます。その1つは、温度ドリフト誤差をツェナーとアンプ(またはスケール抵抗)間で等分する方法です。この方法では、適度な低ドリフトのツェナーとオペアンプに加えて10ppmの抵抗が必要となります。

TABLE I. Maximum Allowable Reference Drift for 1/2 Least Significant Bits Error of Binary Coded Converter

TEMP CHANGE	BITS					
	6	8	10	12	14	
25°C	310	80	20	5	1.25	ppm/°C
50°C	160	40	10	2.5	0.6	ppm/°C
100°C	80	20	5	1.2	0.3	ppm/°C
125°C	63	16	3	1	0.2	ppm/°C

TABLE II. Maximum Allowable Reference Drift for 1/2 Digit Error of Digital Meters

TEMP CHANGE	DIGITS							
	2	2½	3	3½	4	4½	5	
25°C	200	100	20	10	2	1	0.2	ppm/°C
5°C			100	50	10	5	1	ppm/°C

*0.01%/°C=100 ppm/°C, 0.001%/°C=10 ppm/°C, 0.0001%/°C=1 ppm/°C

TABLE III. Drift Error Contribution From Reference Components for a 10V Reference

DEVICE	ERROR	10V OUTPUT DRIFT
Zener	Zener Drift	
LM199A	0.5 ppm/°C	0.5 ppm/°C
LM199, LM399A	1 ppm/°C	1 ppm/°C
LM399	2 ppm/°C	2 ppm/°C
1N829, LM3999	5 ppm/°C	5 ppm/°C
LM129, 1N823A, 1N827A, LM329A	10–50 ppm/°C	10–50 ppm/°C
LM329, 1N821, 1N825	20–100 ppm/°C	20–100 ppm/°C
Op Amp	Offset Voltage Drift	
LM725, LH0044, LM121	1 μ V/°C	0.15 ppm/°C
LM108A, LM208A, LM308A	5 μ V/°C	0.7 ppm/°C
LM741, LM101A	15 μ V/°C	2 ppm/°C
LM741C, LM301A, LM308	30 μ V/°C	4 ppm/°C
Resistors	Resistance Ratio Drift	
1% (RN55D)	50–100 ppm	20–40 ppm/°C
0.1% (Wirewound)	5–10	2–4 ppm
Tracking 1 ppm Film or Wirewound	—	0.4 ppm/°C

2番目は、非常に低いドリフトのツェナーを用い、バッファ・アンプまたはスケール抵抗に大部分のドリフト誤差を生じさせる方法です。この方法による設計は、TCを持たない低価格の温度安定型ICツェナーが入手可能となったため、安価に行えます。さらに、この方法による基準電圧回路では、必要時に容易にTCを変更することができます。Fig. 1aとFig. 1bに、これら2通りの方法による基準電圧回路例を示します。

Fig. 1aの回路では、LM308のオペアンプを用いて標準的なツェナーの出力電圧を10Vに増大させ、同時にツェナーの温度係数10ppm/°Cに4ppm/°Cの最悪時ドリフトを付加しています。抵抗R3とR4は、総合誤差が18ppmまでになるように10ppm以内の精度で追従しなくてはなりません。出力を調整して初期のツェナー許容限度を排除するために、トリマ抵抗R5とR2が加えられています。R2側のトリマ抵抗の付加は小さいので、そのトリマ抵抗とR2間のトラッキングは必要ありません。ただし、R2は50ppm以内でR3とR4に追従することが必要です。

Fig. 1bの回路では、3ppm/°Cの抵抗を除き、低ドリフトの基準電圧とオペアンプで全ドリフト誤差を生じさせています。抵抗トラッキングの要件はおよそ50ppmに緩和されるので、通常の1%抵抗の使用が可能です。3ppm/°C ~ 5ppm/°Cの全ドリフトを必要とするアプリケーションにおいても、抵抗のトラッキングをタイトにすることにより、Fig. 1bの回路を容易に修正することができます。さらに精密なアプリケーションにおいては、出力とグランドの両方にKelvinセンシングを使用することが必要です。さらに低ドリフトを必要とする場合は、1 μ V/°Cのオペアンプ、1ppmのトラッキング抵抗やLM199Aツェナーを代わりに用いれば、全体のドリフトを1ppm/°Cとすることができます。両方の回路で重要なのは、最悪時に各抵抗のトラッキングがいずれかの抵抗の温度ドリフトの2倍になることです。

両回路のツェナーは、基準電圧出力からではなく、電源からの単一抵抗によりバイアスされています。これによりスタートアップ時の問題を排除し、ICツェナーのダイナミック・インピーダンスが1 Ω なので、約20 μ Vの誤差が加わるだけで済みます。

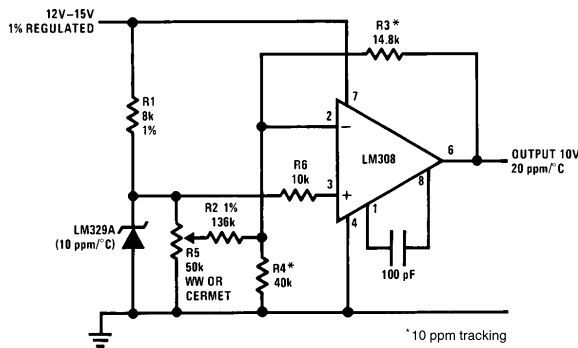


FIGURE 1a. 10V, 20 ppm Reference Using a Low Cost Zener and Low Drift Resistors

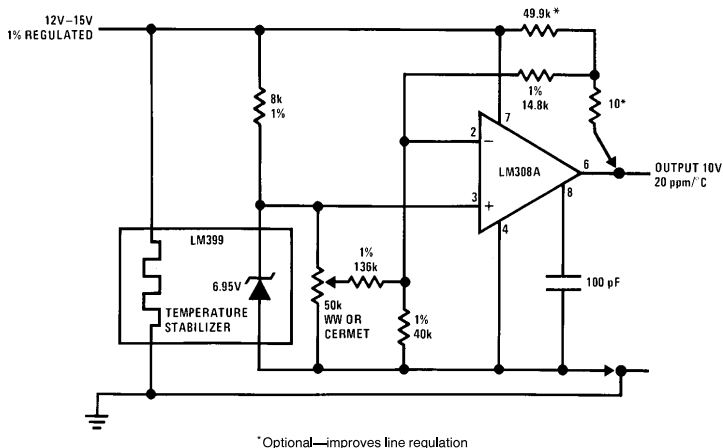


FIGURE 1b. 10V Reference has Low Drift Reference and Standard 1% Resistors. Kelvin Sensing is Shown with Compensation for Line Changes.

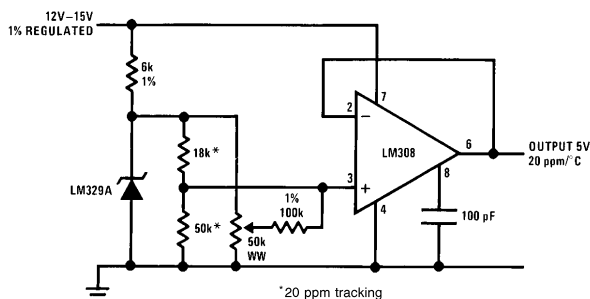


FIGURE 2. Low Voltage Reference

TL/H/5615-2

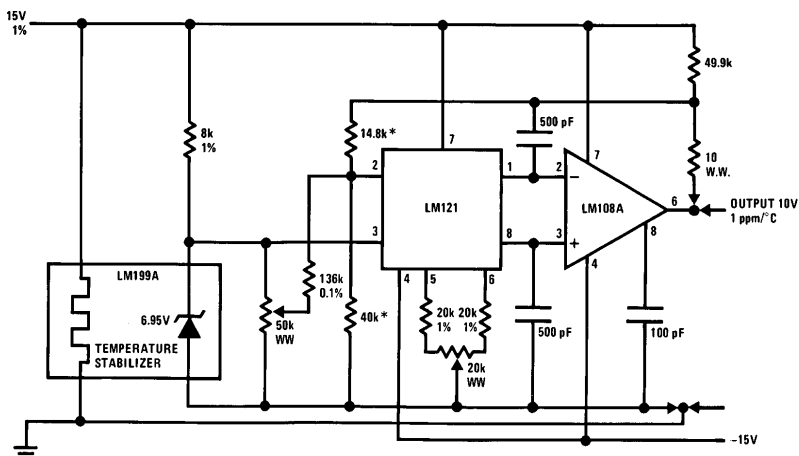
Fig. 1b は入力変化に対する補正方法を示しています。通常のツェナーは、このようなバイアスにはできません。1N829のツェナーのような通常の5ppmの基準電圧は、約15Ωのダイナミック・インピーダンスを持っています。1%に安定化した15V電源から抵抗を介してバイアスされていると、動作電流は1.7mA(127μA)まで変化します。これにより、ツェナーの電圧は1.9mV(60ppm)まで変動します。1mAでICツェナーを動作させている場合は、1%の電源シフトにより基準電圧が20μV(3ppm)まで変動します。さらに、このICツェナーでの消費電力は7mWに過ぎず、7.5mAのICツェナーに比べてもウォームアップ時のドリフトは低いものとなっています。このICツェナーのバイアス抵抗は、電流とは独立に動作するので、普通の1%抵抗よりも高性能である必要はありません。

ツェナー電圧よりも低い出力電圧を必要とする場合は、バイアスを与えるための補助レギュレータが不要なので、ICツェナーを用いて回路設計を大幅に単純化することができます。Fig. 2に、15V入力による5V基準電圧回路を示します。

この回路例では、オペアンプのオフセット・ドリフト率が大きくなるのに比例して、出力ドリフトにツェナー・ドリフトが加わります。オペアンプの15μV/により、10Vの基準電圧では2ppm/のドリフトが加わりますが、5Vの基準電圧では3ppm/のドリフトが加わります。したがって、出力電圧が低くなる程、オペアンプの選択が重要になってきます。もちろん、高出力インピーダンスを許容できるならば、オペアンプは不要です。

究極の低ドリフトを得るための方法

最低のドリフトを得るためには、TCの調整が必要です。ディスクリット・ツェナーの場合、時には動作電流の調整を行って基準電圧のTCを変えることができます。しかし、TCが常に直線的で予測できるものとは限りません。新型のICツェナーの場合、TCは動作電流から独立しているので、回路内のあらゆる箇所でも調整する必要があります。調整はドリフトの線形成分を取り除くだけなので、最低のドリフト特性を持つ構成部品を使用しなければなりません。



* 1 ppm tracking TL/H/5615-3

FIGURE 3. Ultra Low Drift Reference

高TCのデバイスは非直線性のドリフトが高く、調整が困難です。

Fig. 3 に調整が容易な回路を示します。この回路では、LM121 と LM108A のオペアンプを組み合わせ、0.5ppm/°C ドリフトの LM199A 基準電圧源を使用しています。また、1ppmのトラッキング抵抗を使用し、全体の未調整ドリフトを約0.9ppmに抑えています。LM121/108A は低ドリフトのオペアンプの組み合わせであり、ドリフトはオフセット電圧に比例します。この121/108Aの組み合わせでは、オフセット調整により1バスの測定ドリフトを打ち消しています。

調整手順は次の通りです。まず、ツェナーを非接続状態にし、オペアンプの入力を接地します。次に、オペアンプのオフセットをゼロに調整し、ツェナーを再接続して出力が丁度 10V になるように調整します。これにより、温度が変わりドリフトが生じます。オペアンプのドリフトは、オフセット 1mV ごとに 3.6μV/°C となるので、出力で 5μV/°C ドリフトすること、オペアンプのオフセットを反対方向に 1mV (出力における測定で 1.4mV) 調整して下さい。最後に、出力を 10V に再調整し、ドリフトをチェックして下さい。

この調整方法を選んだのは、通常たった1回の調整で済むからです。必ずしも完全な補償が行われるわけではありません。ツェナーと同様に、抵抗やオペアンプにもヒステリシスの影響が現れます。データを取得する前に回路を数回温度サイクルにかけ、アセンブリ時に構成部品に加わったストレスを緩和すると、最適な調整結果が得られます。また、オープン試験は、50μV ~ 100μV の誤差原因ともなる温度変化を回路上に引き起こすこともあります。

上記の説明以外に、最終段階のレイアウトに入る前に2つの考慮事項があります。その1つは、最良の一点接地を行うことが重要です。プリント基板のパターン抵抗だけで容易に0.1Ωになり、わずか10mAの電流で1mVの電圧変動が生じます。また、一般に、これらの基準電圧回路は高速デジタル回路の近くに配置されるので、オペアンプの入力部におけるノイズのピックアップを避けるために、確実なシールドが必要です。ノイズのピックアップや急激な負荷変動に対する過渡応答は、場合によっては容量の大きなコンデンサを用いることで改善できます。この場合、オペアンプの安定性を考慮して1μF ~ 10μFのコンデンサをオペアンプの出力に直接接続します。

NOTE

生命維持装置への使用について

弊社の製品はナショナル セミコンダクター社の書面による許可なくしては、生命維持用の装置またはシステム内の重要な部品として使用することはできません。

1. 生命維持用の装置またはシステムとは (a) 体内に外科的に使用されることを意図されたもの、または (b) 生命を維持あるいは支持するものをいい、ラベルにより表示される使用方法に従って適切に使用された場合に、これの不具合が使用者に身体的障害を与えると予想されるものをいいます。
2. 重要な部品とは、生命維持にかかわる装置またはシステム内のすべての部品をいい、これの不具合が生命維持用の装置またはシステムの不具合の原因となりそれらの安全性や機能に影響を及ぼすことが予想されるものをいいます。

ナショナル セミコンダクター ジャパン株式会社

本 社 / 〒 135-0042 東京都江東区木場 2-17-16 TEL.(03)5639-7300 <http://www.nsjk.co.jp/>

製品に関するお問い合わせはカスタマ・レスポンス・センタのフリーダイヤルまでご連絡ください。



0120-666-116



この紙は再生紙を使用しています

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