

第 1 章

いろいろなA-Dコンバータ マイコン内蔵A-Dコンバータと専用ICの使い分け

マイコンなどでデータを集録するとき、物理量はアナログなので、そのアナログ信号をデジタル信号に変換する回路が必要です。それがA-Dコンバータです。A-DコンバータのAはAnalogue(アナログ)を、DはDigital(デジタル)を、そしてコンバータ(Converter)は変換器を意味します。

アナログ信号をコンピュータに取り込むときに使う装置もA-Dコンバータと呼ばれますが、本書で扱うのは、そういった装置に内蔵されている電子回路のA-Dコンバータです。

A-Dコンバータは大きく分けて、専用ICの場合と、マイコンなどに機能の一つとして内蔵されている場合があります。本書では主にA-Dコンバータ専用ICを扱いますが、本章ではその二つがどのように違うかを確認しつつ、A-Dコンバータの基礎的な事柄について説明します。

1-1

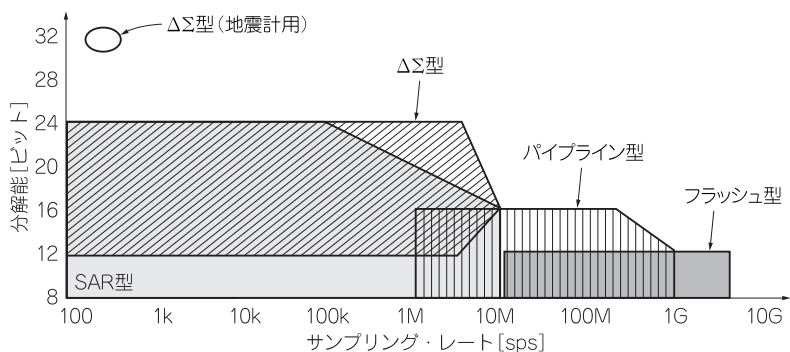
A-Dコンバータ専用ICの近況と予想

図1-1にいろいろな方式があるA-Dコンバータの性能の分布を示します。横軸はA-Dコンバータのサンプリング・レート(単位はsps, サンプル/秒)、縦軸は分解能です。

サンプリング・レートは扱える周波数範囲の上限を決めてしまいます。必要な帯域(信号周波数の上限)の最低2倍、実用的には2.5倍以上が必要です。分解能は、電圧変化をどの程度細かく判別できるかを示す値で、精度の上限を決めてしまいます。ただし、高分解能だからといって精度が高いとは限らないので、高精度が必要なら分解能とともに精度(非直線性)を確かめます。十分注意してA-Dコンバータを選択してください。

サンプリング・レートと分解能はトレード・オフの関係で、高分解能なら低サンプリング・レート、高サンプリング・レートなら低分解能のどちらかになっていま

見本



【図1-1】 A-Dコンバータの動作原理による分解能/サンプリング・レートの分布
 図で重なっているところでは、特徴の違いや価格、パッケージなどで選ぶことになる

【表1-1】 各A-D変換方式のメリット・デメリット
 必要な速度や分解能によって適する方式が違ってくる

A-D 変換方式	メリット	デメリット	解説
ΔΣ (デルタシグマ)	<ul style="list-style-type: none"> 基本的にアンチエイリアシング・フィルタが不要 高いSNRを持ち20ビット以上の分解能を実現できる 直線性誤差の補正がしやすい 原理的にミッシング・コードが発生しない 	<ul style="list-style-type: none"> サンプリング・レートが比較的低い 応答が遅いので、A-Dコンバータの入力を高速に切り替える用途には向かない サンプリング・レートが高くなると消費電流が増える 	第3章 第4章
逐次比較 (SAR)	<ul style="list-style-type: none"> サンプリング周波数をいくらでも下げられる マルチプレクサと組み合わせれば入力チャンネル数を簡単に増やせる 	<ul style="list-style-type: none"> 18ビット以上の分解能では高精度を得にくい(DNLという特性が悪化する) 精度が特に悪いと出力しないコードがある(ミッシング・コードという) 	第6章 第7章
フラッシュ	<ul style="list-style-type: none"> 最も高速 基本的にサンプル&ホールドが不要 	<ul style="list-style-type: none"> 分解能を高くしにくい、分解能が高いほど価格が高く、消費電力も大きくなる 大きな入力容量を持つので、駆動能力の高いドライバが必要 	第9章
パイプライン	<ul style="list-style-type: none"> 高速と高分解能を両立 	<ul style="list-style-type: none"> A-D変換を開始してからデータが出力されるまでの遅れ時間(レイテンシ)がフラッシュ型より長い 	

表1-1に、図に示した4方式のA-Dコンバータの特徴をまとめました。詳細については、表に示した各章で説明します。

● **高分解能A-Dコンバータは逐次比較型とΔΣ型が主流**
 高速・高精度A-Dコンバータでは逐次比較型(SAR)型とΔΣ型が主流で、

10Mspsまでのサンプリング・レートをカバーしています。

SAR型は消費電流が小さく、サンプリング・レートを上限以下なら自由に決められるという特徴があるため、初心者にも使いやすく、汎用A-Dコンバータとして人気があります。8～24ビット分解能のものが市販され入手できます。

$\Delta\Sigma$ 型は、より分解能が高い12～24ビットを入手できます。地震計用として分解能が32ビットのものも市販されています。SAR型と比較すると、分解能では圧倒的に $\Delta\Sigma$ 型に軍配が上がりますが、本来欲しいサンプリング周波数の数倍～数百倍でA-D変換するオーバーサンプリング技術を採用していて、サンプリング・レートのわりに内部は高速動作をしている関係上、SAR型のように消費電流を小さくすることはなかなか困難です。

今後の展開を予想すると、SAR型は消費電流が小さい特徴を維持しつつ、より高分解能・高速な製品が開発されていくでしょう。逆に $\Delta\Sigma$ 型は分解能の点では優位性があるので、より高速で低消費電流の製品が開発されていくことでしょう。特に $\Delta\Sigma$ 型では低消費電流化がキー・ポイントだと思っています。

● 高速A-DコンバータはGHzの信号を扱えるものがある

高速A-Dコンバータではパイプライン型とフラッシュ型が現在の主流です。フラッシュ型は高速化に一番適しています。さらに高速化のための技術として、A-Dコンバータを2個以上内蔵して順番に動作させる時間インターリーブを使った5Gspsのものが市販されています。時間インターリーブについては第9章で具体例を挙げています。余談ですが、オシロスコープの分野では、時間インターリーブにより40Gspsを超えるものが登場しています。

フラッシュ型はその構造上、分解能を上げることが困難です。現在12ビットまで入手できます。一方パイプライン型はサンプリング・レートの点ではフラッシュ型に劣りますが、分解能の点では優位性があります。パイプライン型では現在16ビット300Mspsのものが入手できます。

筆者は以前、パソコン用オシロスコープ回路を設計したことがあります。一般のオシロスコープは8ビット1GHzくらいですが、依頼されたのは14ビット100MHzクラスのものでした。このとき感じたのは、「たとえ電圧軸は8ビットでも測定周波数を1GHzまで高くするのは大変難しい」ということと、逆に「測定周波数がたかだか100MHzでも電圧軸を14ビットにするのは同じように大変だ」ということ

見本

です。分解能あるいは周波数のみで難しさを考えるのではなく、分解能×周波数で考えるとその難しさが実感できるのではないのでしょうか。

[表1-2] 小型パッケージのA-Dコンバータ

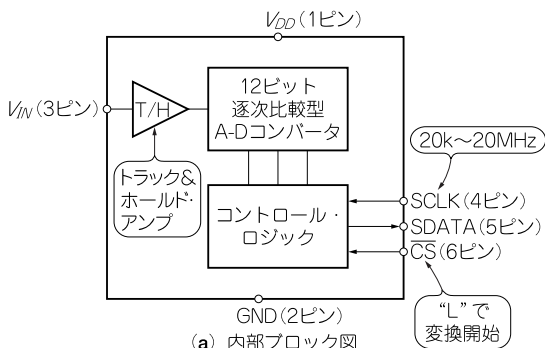
高精度が必要なときやA-Dコンバータのないマイコンに外付けするのに最適

型名	分解能 [ビット]	サンプリング・レート [sps]	積分非直線性 [LSB]	微分非直線性 [LSB]	パッケージ
ADC121S625	12	50k ~ 200k	1_{\max}	0.75_{\max}	NSOP-8
MAX1287/1289	12	150k	1_{\max}	1_{\max}	SOT23-8, TDFN-8
MAX1286/1288	12	150k	1_{\max}	1_{\max}	SOT23-8, TDFN-8
AD7450A	12	1M	1_{\max}	0.95_{\max}	SOT23-8, MSOP-8
ADS1100	12 ~ 16	8 ~ 128	0.003% ($0.0125\%_{\max}$)	ミスコードなし	SOT23-6

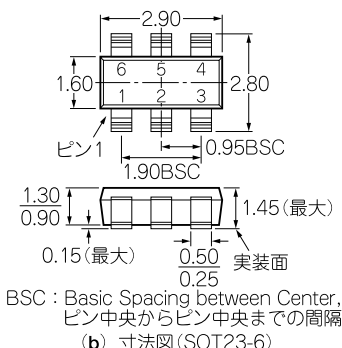
(a) 差動入力

型名	分解能 [ビット]	サンプリング・レート [sps]	積分非直線性 [LSB]	微分非直線性 [LSB]	パッケージ
AD7476AB	12	1M	1.5_{\max}	$-0.9/+1.5_{\max}$	SOT23-6, MSOP-8
AD7274	12	3M	1_{\max}	1_{\max}	SOT23-8, MSOP-8
ADS7886SB	12	1M	1.25_{\max}	1_{\max}	SOT23-6, SC70-6
ADS7866	12	200k	1.5_{\max}	$-1 \sim 1.5$	SOT23-6

(b) シングル・エンド入力



(a) 内部ブロック図



(b) 寸法図 (SOT23-6)

[図1-2⁽¹⁾] シングルエンド入力のAD7476Aのピン接続図

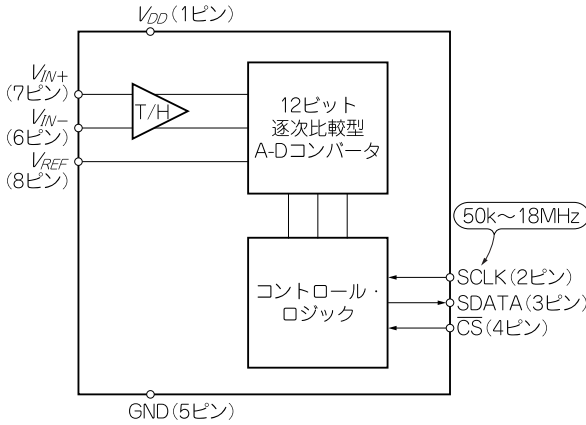
フラッシュ型でもパイプライン型でも、今後はより高速・高分解能化を目指すと思われていますが、それよりも重要なのはさらなる低消費電力化です。以前なら「性能が出るのであれば電力が大きいことには目をつぶろう」という時代もあったのですが、最近ではエコの時代ですから、消費電力が小さいことには非常に大きな価値があります。低消費電力化には低電源電圧化が非常に有効です。

見本 図1-1を大きく書き換える必要があるくらいのA-Dコンバータの性能アップに遭遇できることを楽しみにしています。

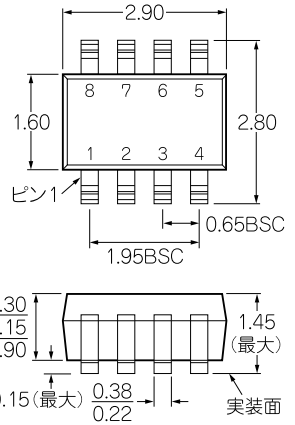
電源電圧 / 電流 [V/mA]	メーカー	A-D 変換方式
4.5 ~ 5.5/0.41	NS	SAR
3/0.245	MAX	SAR
5/0.32	MAX	SAR
2.7 ~ 5.25/1.95 _{max}	ADI	SAR
2.7 ~ 5.5/0.09	TI	$\Delta\Sigma$

NS: ナショナルセミコンダクター
 MAX: マキシム・インテグレイテッド・プロダクツ
 ADI: アナログ・デバイセズ
 TI: テキサス・インスツルメンツ

電源電圧 / 電流 [V/mA]	メーカー	A-D 変換方式
2.35 ~ 5.25/3.5 _{max}	ADI	SAR
2.35 ~ 3.6/5 _{max}	ADI	SAR
2.35 ~ 5.25/1.5	TI	SAR
1.2 ~ 3.6/0.385	TI	SAR



(a) 内部ブロック図



(b) 寸法図(SOT23-8)

[図 1-3⁽²⁾] 差動入力のア-Dコンバータ AD7450 のピン接続図

● 小型パッケージのア-Dコンバータもある

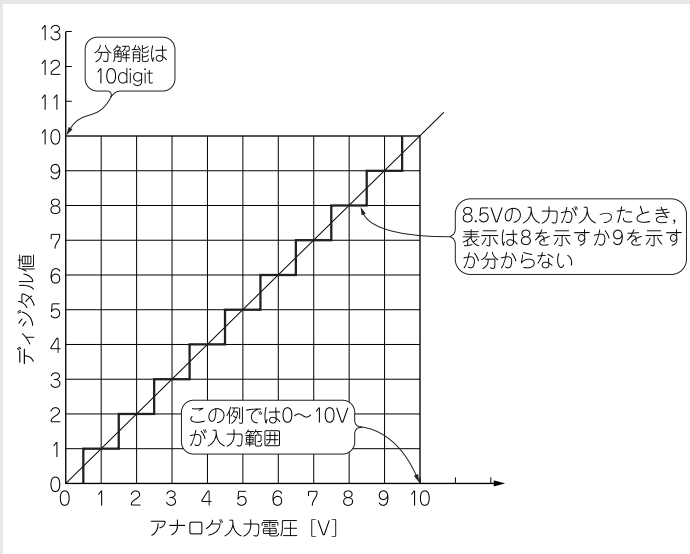
筆者の場合、センサ回路をできるだけ小さく作って欲しいという設計依頼がよくあります。そういうときに役に立つのが、小型パッケージのア-Dコンバータです。

見本 表 1-2 に小型パッケージのア-Dコンバータの一例を示します。図 1-2 に AD7476A のピン接続図、図 1-3 に AD7450 のピン接続図を示します。

分解能と精度の関係

A-Dコンバータの分解能というのはその名の通り、入力範囲の電圧をどのくらいの細かさで表示できるかを表す指標です(図1-A)。分解能はこのように単に分割数を表すのみなので、基本的には精度とは無関係です。言い換えると「分解能は低くても精度は高いA-Dコンバータもあるし、逆に分解能は高いが精度は悪いA-Dコンバータもある」ということです。

余談ですが、以前「20ビット精度のA-Dコンバータをオーディオ用A-Dコンバータで作っている」という話を聞いたことがありました。「分解能がですか?」と聞いたのですが、「いや、精度が」という返事でしたので驚きました。オーディオ



【図1-A】 分解能はA-D変換可能な電圧範囲を何分割できるかを示す1ビットあたりの電圧が何Vになるかは、A-D変換可能な電圧範囲(フルスケール電圧という)と分解能の両方が分からないと決まらない

AD7476Aはシングルエンド入力の12ビット逐次比較型A-Dコンバータ、AD7450は差動入力の12ビット逐次比較型A-Dコンバータです。AD7476Aの外観を写真1-1に示します。

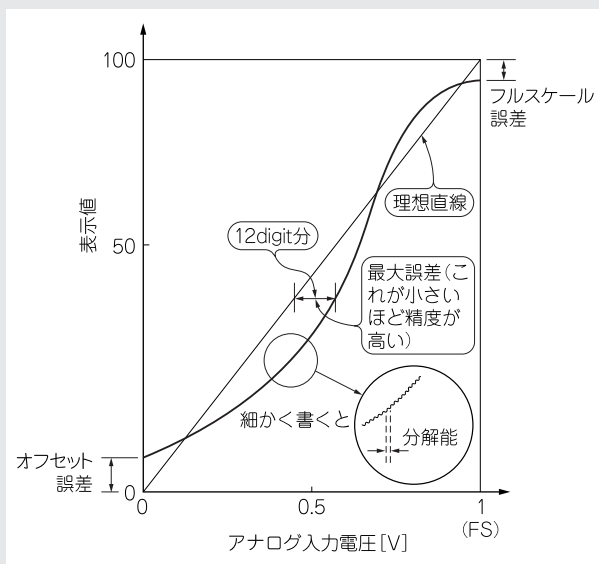
見本両者ともパッケージはSOT23(SOTはスモール・アウトライン・トランジスタの略)ですから、小型化に関しては非常に有効です。

用は確かに分解能は高いのですが、DC精度はあまりよくありません。もともとDCカットして使うくらいですから、ただし安価です。

分解能が高い=精度が高いという思い込みがあると、どうしても上記のような失敗を犯してしまいます。分解能≠精度だと思ってA-Dコンバータの選定をすることをお勧めします。

図1-Bを見てください。この例では分かりやすいように分解能は100にしています。分解能は100ですから、表示値は100分割、すなわち1digitは1%となります(バイナリ・コードではLSBですが、10進ではLSDまたはdigitで表します)。

精度というのは理想的な直線からのずれで表すので、この図1-Bでは約12digit分のずれがあることになります。

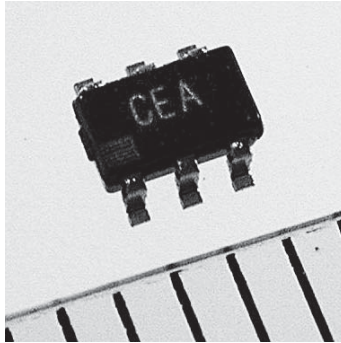


【図1-B】 精度とは理想的な(直線的な)入出力特性からのずれ
精度を悪化させる原因はオフセット電圧、寄生容量、残留インピーダンスなど
回路内のいろいろな要素が考えられる

しかもセンサの多くは差動出力タイプなので、AD7450のような差動入力のア-Dコンバータは筆者にとっては特に重要な部品になっています。A-Dコンバータが小さいというメリットだけではなく、センサ出力信号をシングルエンドに変換するこ

見本

なくそのままA-Dコンバータに入力できるので、OPアンプの数を減らす効果も手伝って、かなりの小型化を実現できます。



[写真 1-1] AD7476Aの外観
SOT23という小さなパッケージ

筆者は以前、小型パッケージのA-DコンバータとPICマイコンを組み合わせてセンサ回路を設計したことがありました。大幅なダウン・サイジングを実現でき、客先に喜ばれました。

小型パッケージの多くは逐次比較型のため、使いやすい12ビットまでのものが多いのですが、今後さらに品種が増えていくことを期待しています。

1-2

マイコンに内蔵されたA-Dコンバータの性能

10～20年前は、A-Dコンバータというと専用ICがほとんどでした。最近ではA-Dコンバータを内蔵したマイコン(いわゆるワンチップ・マイコン)も登場してきました。小型化したい応用ではうってつけのICです。

ただ、A-Dコンバータというと高度なアナログ技術が要求される精密電子部品であり、かたやマイコンというとスイッチング・ノイズをまき散らすデジタル回路の親玉的存在です。その両者を1チップ化して、はたしてちゃんとした性能が出るのか興味があるところです。A-Dコンバータが単体ICの場合、アナログ回路とデジタル回路はできるだけ離して実装するものですが、今ではアナログ回路とデジタル回路がワンチップ化される時代になってしまいました。技術の進歩というのは速いものです。

● 分解能は8～12ビットが多い

見本 アナログ回路とデジタル回路が同居したミックスド・シグナル回路を

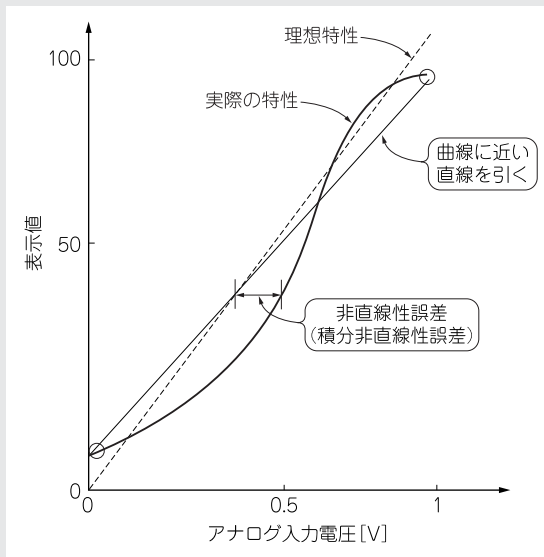
非直線性誤差

非直線性誤差は、**図1-C**のように、特性曲線に近い直線を描き、その直線とのずれを示します。この直線の引き方には2種類ありますが、逐次比較型を解説した第7章で説明します。

A-Dコンバータ専用ICでは、非直線性誤差をさらに二つに分けて定義していて、この図に示した誤差を積分非直線性誤差(*INL*)と呼びます。

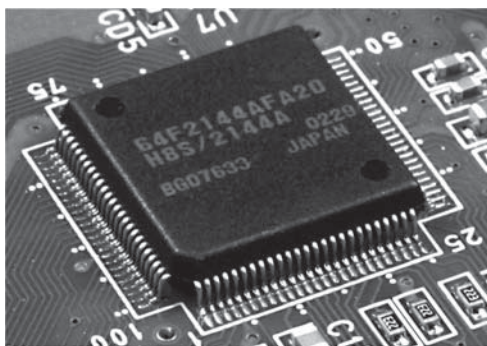
もう一つの非直線性誤差は、**表1-1**に記述がある微分非直線性誤差(*DNL*)です。*DNL*は1ビットごとの電圧幅の誤差で、詳しくは第7章で解説します。

*DNL*があまりに悪いと、アナログ入力が増加しているにもかかわらず、出力コードの示す値が減少することになり、応用によっては大きな問題になります。例えば自動制御への応用で、A-Dコンバータを使って帰還回路を構成する場合、負帰還のはずが局部的に正帰還になり、正常動作ではなくなります。



[図1-C] 非直線性誤差は特性曲線に近い直線に対するずれ
この誤差を特に積分非直線性誤差という

見本



【写真1-2】 ワンチップ・マイコン
H8S/2144

100ピンのパッケージ。このうち、A-Dコンバータの入力に使える端子が合計で24ピンある

内蔵したワンチップICが市販されてきましたが、分解能は8～12ビットが主流のようです。このクラスのA-Dコンバータでも十分使用可能な応用も多いため、大量生産によるコスト・メリットが大きい民生分野で使用されています。

● 三つのマイコンを例に単体A-Dコンバータと性能を比較

筆者が今までに使ったことがあるA-Dコンバータ内蔵型マイコンとしては、H8シリーズやPICなどがあります。その中でH8S/2144(ルネサスエレクトロニクス)とPIC12F683(マイクロチップ テクノロジー)、ADuC841(アナログ・デバイセズ)を例にとって説明しましょう。内蔵されているのは10～12ビットの逐次比較型A-Dコンバータです。マイコンに内蔵されているA-Dコンバータは多くが逐次比較型です。

● H8S/2144内蔵の10ビットA-Dコンバータ

H8SはH8の上位シリーズで、内部32ビット・バス構成のH8S/2000というCPUコアをベースに、必要な周辺機能を集積化したワンチップ・マイコンです。外観を写真1-2に示します。H8Sの詳細な機能については他書に譲るとして、早速A-Dコンバータ回路部を眺めてみましょう。

図1-4にA-Dコンバータ回路部の構成図を、表1-3にDC特性を示します。H8S/2144には8チャンネルのアナログ入力AN0～AN7と、16チャンネルの拡張アナログ入力があります。拡張アナログ入力はアナログ入力より特性が悪くなるので、ここではアナログ入力に対する誤差を評価します。表1-3の特性のうち、特性が最も高い条件A)での精度に関する項目を以下に示します。

見本

① 非直線性誤差 = $\pm 3.0 \text{ LSB}_{\text{max}}$

[表 1-3⁽³⁾] H8S/2144内蔵10ビットA-DコンバータのDC特性

実力はこれより良いとは思いますが保証はしてくれない

$V_{CC}=3.0V\sim 5.5V$, $AV_{CC}=3.0V\sim 5.5V$, $AV_{ref}=3.0V\sim AV_{CC}$, $V_{SS}=AV_{SS}=0V$, $\phi=2MHz\sim$ 最大動作周波数, $T_A=-20\sim +75^\circ C$

$V_{CC}=4.0V\sim 5.5V$, $AV_{CC}=4.0V\sim 5.5V$, $AV_{ref}=4.0V\sim AV_{CC}$, $V_{SS}=AV_{SS}=0V$, $\phi=2MHz\sim$ 最大動作周波数,
 $T_A=-20\sim +75^\circ C$ (通常仕様品), $T_A=-40\sim +85^\circ C$ (広温度範囲仕様品)

$V_{CC}=5.0V\pm 10\%$, $AV_{CC}=5.0V\pm 10\%$, $AV_{ref}=4.5V\sim AV_{CC}$, $V_{SS}=AV_{SS}=0V$, $\phi=2MHz\sim$ 最大動作周波数,
 $T_A=-20\sim +75^\circ C$ (通常仕様品), $T_A=-40\sim +85^\circ C$ (広温度範囲仕様品)

項目	条件C	条件B	条件A	単位
	10MHz	16MHz	20MHz	
	max	max	max	
分解能	10	10	10	ビット
変換時間*5	13.4	8.4	6.7	μs
アナログ入力容量	20	20	20	pF
許容信号源インピーダンス	10*1	10*3	10*3	k Ω
	5*2	5*4	5*4	
非直線性誤差	± 7.0 (11.0)	± 3.0 (5.0)	± 3.0 (5.0)	LSB
オフセット誤差	± 7.5 (11.5)	± 3.5 (5.5)	± 3.5 (5.5)	LSB
フルスケール誤差	± 7.5 (11.5)	± 3.5 (5.5)	± 3.5 (5.5)	LSB
量子化誤差	± 0.5	± 0.5	± 0.5	LSB
絶対精度	± 8.0 (12.0)	± 4.0 (6.0)	± 4.0 (6.0)	LSB

調整困難

外部で調整可

()は拡張アナログ入力CIN0～CIN15の場合

- * 1: $4.0 \leq AV_{CC} \leq 5.5V$ のとき
- * 2: $3.0V \leq AV_{CC} \leq 4.0V$ のとき
- * 3: 変換時間 $\geq 11.17 \mu s$ (CKS = 1 で $\phi \leq 12MHz$, または CKS = 0) のとき
- * 4: 変換時間 $< 11.17 \mu s$ (CKS = 1 で $\phi > 12MHz$) のとき
- * 5: シングル・モードで最大動作周波数のとき

分解能は10ビットだが、DC性能としては8ビット程度と分かる

- ② オフセット誤差 = $\pm 3.5 LSB_{max}$
- ③ フルスケール誤差 = $\pm 3.5 LSB_{max}$
- ④ 量子化誤差 = $\pm 0.5 LSB_{max}$
- ⑤ 絶対精度 = $\pm 4.0 LSB_{max}$

見 誤差の大きな内容については、コラムを参照してください。LSBはLeast Significant Bitの略で、最下位ビットのことです。A-D変換の場合は、出力データ

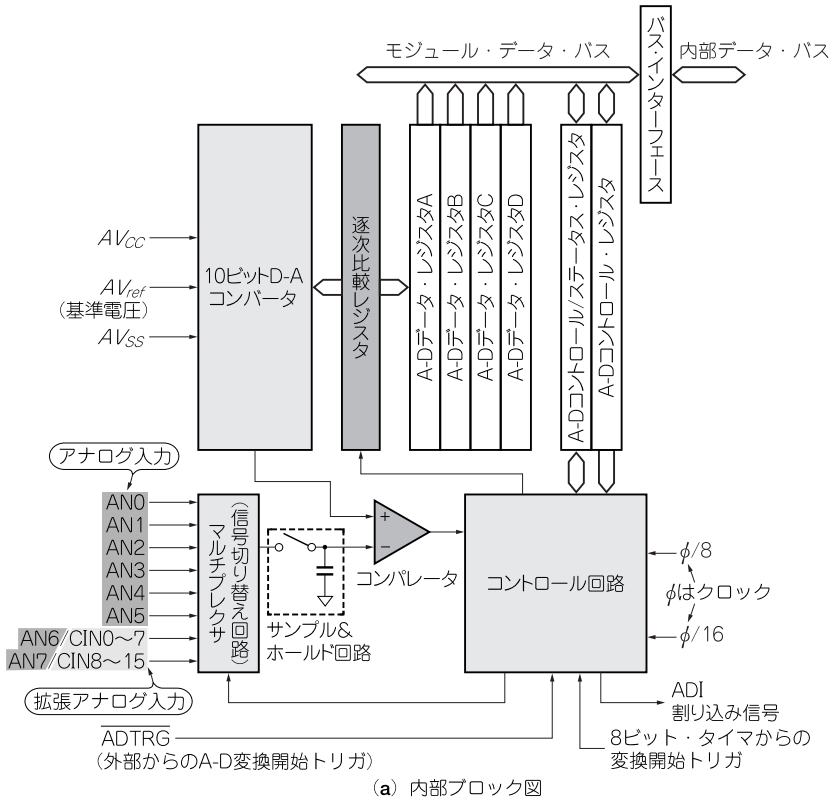
の最小単位です。

上記の誤差は T_A = 動作温度範囲での値なので、温度特性などもこの誤差には含まれています。従って、 T_A が25°Cの単一温度では上記の値より良くなります。

①の非直線性誤差は積分非直線性誤差のことです。これは増幅器の非直線性のよなもので、調整で減らすことは困難です。この値が大きいということはA-Dコンバータにとっては致命的になります。

②オフセット誤差と③フルスケール誤差は、基本的には調整でゼロにすることが可能ですが、調整を行うことで非直線性誤差が増加する場合があります。

④の量子化誤差はA-Dコンバータの原理上必ず発生するものです。NビットA-D



「図1-4」H8S/2144内蔵10ビットA-Dコンバータの構成
Dコンバータの出力電圧を入力電圧と比較してデータを定める逐次比較型のA-Dコンバータ

見本

コンバータの1ビット当たりの分割幅(1 LSB)を q とすると、

$$q = \frac{1}{2^N} \dots\dots\dots (1-1)$$

で表されます。量子化誤差のP-P値は q なので、 \pm で表すと $\pm 0.5q$ 、すなわち ± 0.5 LSBになります。10ビットA-Dコンバータの場合は $1 \text{ LSB} = 1/2^{10} \approx 0.1\%$ です。

①～④の誤差は相対誤差と呼んでいます。④を除いた誤差のトータルを一般に総合誤差と呼ぶことがあります。通常、総合誤差が1 LSB以内であれば、そのA-Dコンバータの分解能に見合った性能が得られます。これに対して、⑤の絶対精度は国際標準にもとづいた信号源(この場合はDC電圧発生器)と測定系を用いた標準体系のもとで規定されます。デジタル電圧計ではこの絶対精度が重要になります。

絶対精度が $\pm 4 \text{ LSB}_{\text{max}}$ ですから、H8S/2144に内蔵されているA-Dコンバータはビット数こそ10ビットですが、精度的には8ビットの性能しかないとと言えます。もちろんこれは最悪値なので、実力的にはもっと良いのかもしれませんが、これはあくまでもカタログ・データ上での判定です。

A-Dコンバータの性能を上げるとチップの面積を大きくしなければならず、「ワンチップ・マイコンは安価」という特徴がなくなりますし、技術的な問題もあろうかと思えます。単純にA-Dコンバータの性能をアップするわけにはいかないよう

端子名	ピン番号	記号	機能
アナログ電源端子	37	AV_{CC}	アナログ部の電源
アナログ・グラウンド端子	46	AV_{SS}	アナログ部のグラウンドおよび基準電圧
リファレンス電源端子	36	AV_{ref}	A-D変換の基準電圧
アナログ入力端子0	38	AN0	アナログ入力チャンネル0
アナログ入力端子1	39	AN1	アナログ入力チャンネル1
アナログ入力端子2	40	AN2	アナログ入力チャンネル2
アナログ入力端子3	41	AN3	アナログ入力チャンネル3
アナログ入力端子4	42	AN4	アナログ入力チャンネル4
アナログ入力端子5	43	AN5	アナログ入力チャンネル5
アナログ入力端子6	44	AN6	アナログ入力チャンネル6
アナログ入力端子7	45	AN7	アナログ入力チャンネル7
A-D外部トリガ入力端子	25	ADTRG	A-D変換開始のための外部トリガ入力
拡張A-D入力端子0～15	26～29, 32～35, 47, 48, 31, 30, 24, 20, 11, 10	CIN0～CIN15	拡張A-D変換入力(デジタル入力端子)チャンネル0～チャンネル15

(b) A-Dコンバータに関連する端子



[表1-4] A-Dコンバータの分解能(ビット数)と誤差の関係
A-D変換の誤差を0.1%以下にするには、10ビット以上の分解能が必要

分解能	8ビット	10ビット	12ビット	NビットADコンバータの1ビットあたりの幅 q(1LSB)は、 $q = \frac{1}{2^N}$
1LSBの値	0.4%	0.1%	0.025%	
量子化誤差の値	±0.2%	±0.05%	±0.0125%	

です。「ワンチップ・マイコンのA-Dコンバータの性能は、カタログのビット数より1～2ビット落ちるのが一般的」としておくのがよいでしょう。

▶ 8ビットの性能があると1%程度の精度は出せそう

ところで、8ビットの性能を持つA-Dコンバータとは、どの程度のことのできるのでしょうか？8ビットということは、 $2^8 = 256$ ですから、1%精度は得られそうです。気温を測って1℃単位で表示するなど、この程度の精度で足りる用途も多いはずですが、用途によっては、より高精度が必要な場合もあります。

● 0.1%精度で測るのに必要なA-Dコンバータのビット数は？

A-Dコンバータを使って、0.1%精度で電圧を測ることを考えてみましょう。そのとき何ビットのA-Dコンバータを選択すればよいのでしょうか？表1-4にA-Dコンバータのビット数と誤差を示します。

▶ 8ビットでは不可能

まず8ビットのA-Dコンバータでは、量子化誤差だけで0.2%を超えてしまうので、0.1%を測定することができません。従って、8ビットA-Dコンバータでは原理的に0.1%を測定することは不可能です。

▶ 10ビットではぎりぎり可能だが…

次に10ビットの場合です。10ビットA-Dコンバータの量子化誤差は±0.05%です。従って、非直線性誤差などの総合誤差が $0.1 - 0.05 = 0.05\%$ 、すなわち±0.5LSB以内にできれば、ぎりぎりですが0.1%が測定できることになります。

ワンチップ・マイコン内蔵の10ビットA-Dコンバータでは、先のH8S/2144の例のように、精度が分解能より1～2ビット落ちるので、まず無理です。

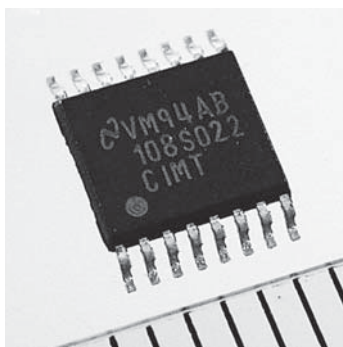
分解能10ビットのA-D変換専用ICであるADC108S022(ナショナルセミコンダクター)を使って検討してみましょう。写真1-3に外観を、図1-5に内部構成を、表1-5に仕様を示します。ADC108S022はさすが専用ICだけあって、

① 非直線性誤差 = ±0.3LSB_{max}

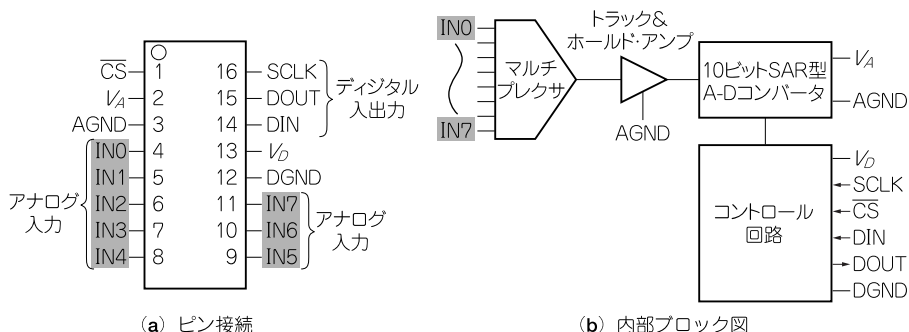
② オフセット誤差 = ±0.7LSB_{max}

③ ゲルスケール誤差 = ±0.4LSB_{max}





[写真1-3] A-Dコンバータ専用IC
ADC108S022
8チャンネル入力12ビット分解能のA-Dコンバータ



(a) ピン接続

(b) 内部ブロック図

[図1-5⁽⁴⁾] A-Dコンバータ専用IC ADC108S022の内部構成

入力チャンネルの切り替えなどはデジタル入出力で設定する

[表1-5] A-Dコンバータ専用IC ADC108S022の特性

専用ICなのでDC特性だけでなく、正弦波を入力したときのAC特性も求められている

分解能	10	ビット
サンプリング周波数	50 ~ 200	ksps
アナログ入力容量	33 (トラック・モード) 3 (ホールド・モード)	pF
非直線性誤差	$\pm 0.3_{\max}$	LSB
オフセット誤差	$\pm 0.7_{\max}$	LSB
フルスケール誤差	$\pm 0.4_{\max}$	LSB
量子化誤差	$\pm 0.5_{\max}$	LSB

SNR	61.4_{\min}	dB
THD	-73.4_{\max}	dB
チャンネル・クロストーク	-79.8_{typ}	dB

$f_{in} = 40.2\text{kHz}$ (SNR, THD)
 $f_{in} = 20\text{kHz}$ (チャンネル・クロストーク)
 $(V_A = V_D = 2.7 \sim 5.25\text{V}, \text{AGND} = \text{DGND} = 0\text{V}, f_{SCLK} = 0.8 \sim 3.2\text{MHz}, f_{\text{sample}} = 50\text{k} \sim 200\text{ksps}, T_A = -40 \sim +85^\circ\text{C})$

見本