

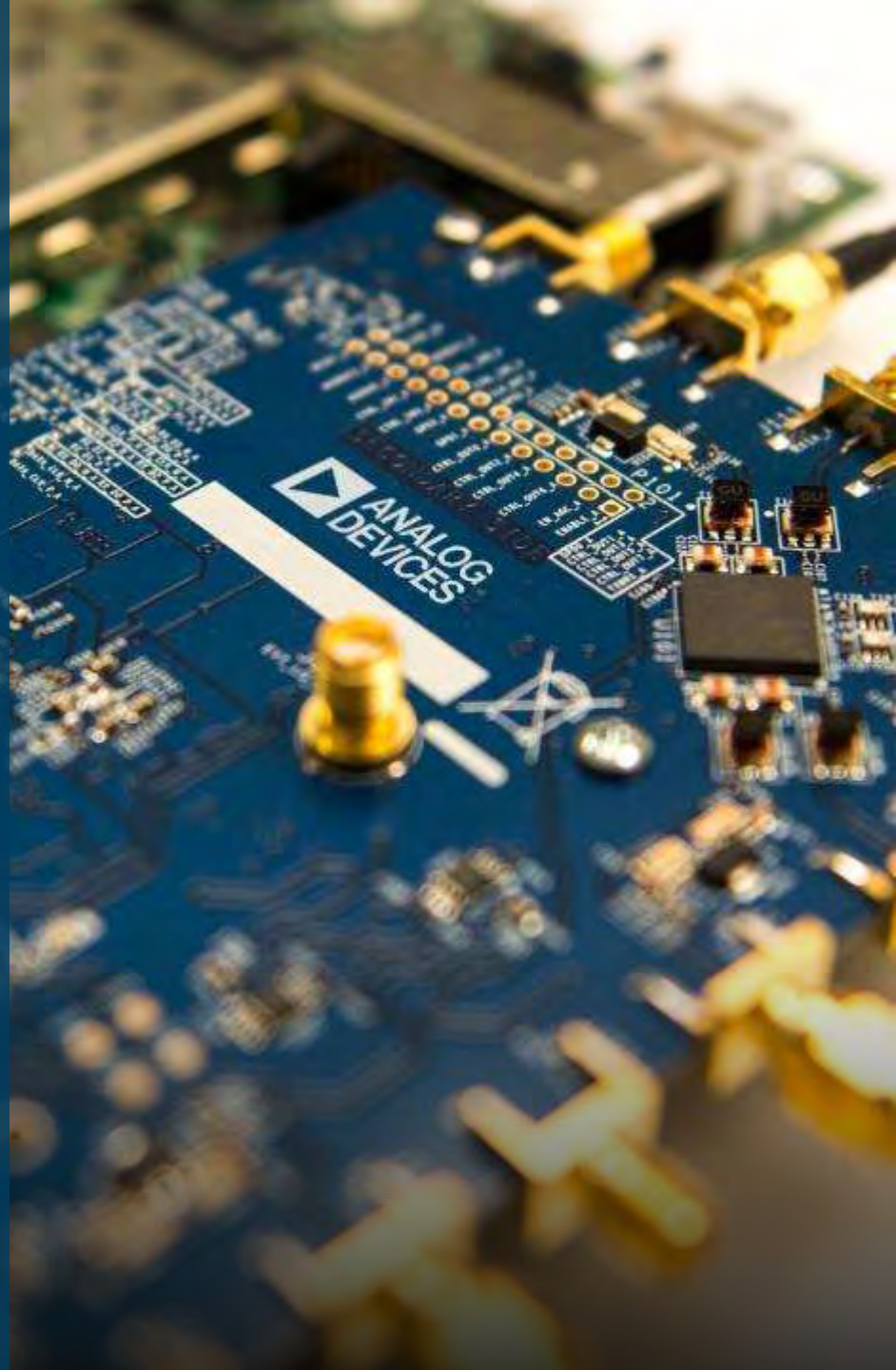


想像を超える可能性を
AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

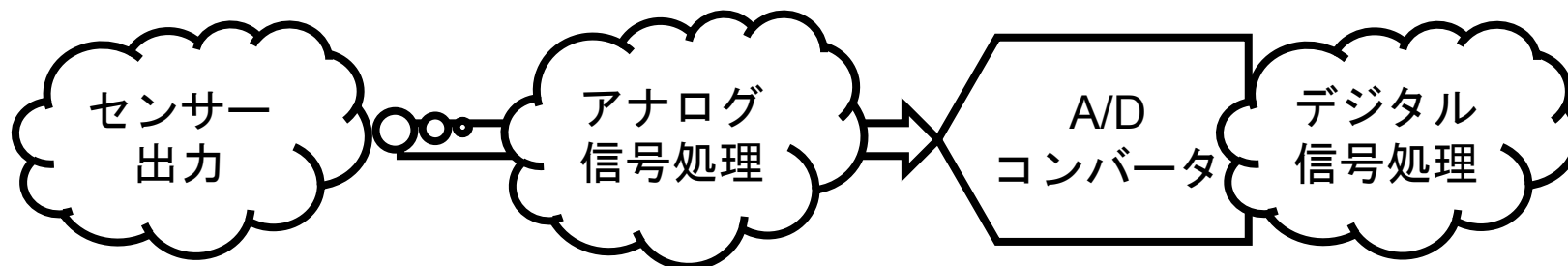
アナログ技術セミナー2016

組み込みエンジニアのための アナログ回路事始め

アナログ・デバイス株式会社
祖父江達也



目次



- ▶ IoTとアナログ・デバイスズ
 - IoTの状況とアナログ・デバイスズの取り組み
- ▶ アナログ・フロントエンド (AFE)
 - センサーとAFE
 - A/Dコンバータ
 - DCスペックとDC誤差の考え方
- ▶ A/Dコンバータのキャリブレーション
 - ソフトウェア・キャリブレーションと注意点

IoTとアナログ・デバイスズ

IoTとアナログ・デバイスズ

IoTの状況とアナログ・デバイスズの取り組み

アナログ・フロントエンド (AFE)

センサーとAFE

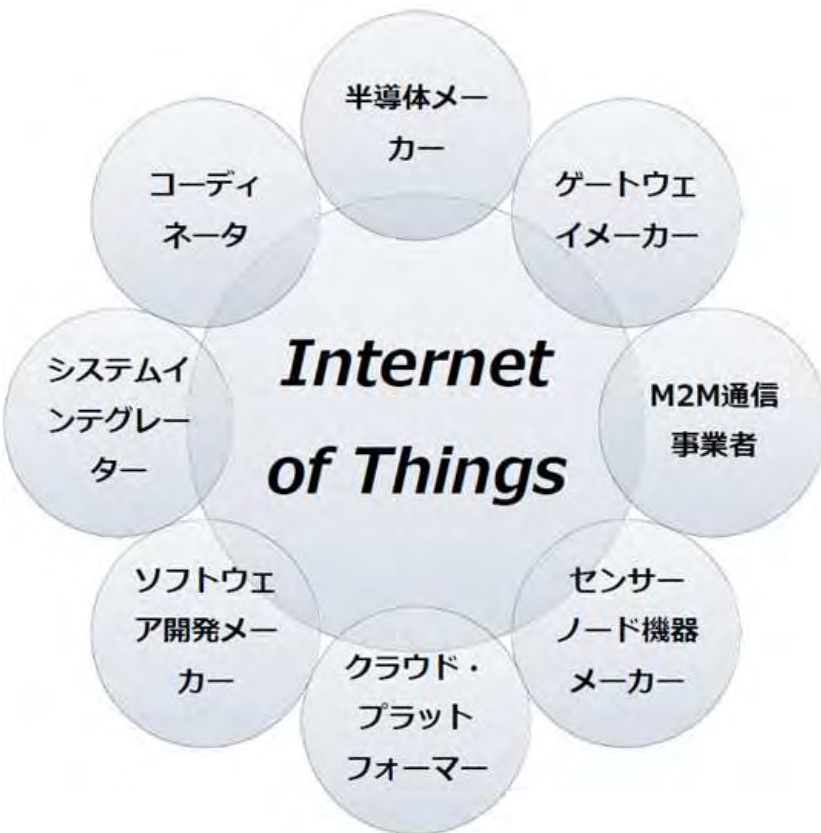
A/Dコンバータ

DCスペックとDC誤差の考え方

A/Dコンバータのキャリブレーション

ソフトウェア・キャリブレーションと注意点

IoTのステークホルダー



- ▶ 単独企業ですべてを供給できない
- ▶ それぞれの強みを活かして連携、協業することが必要
- ▶ 多様な分野の連携が必要であるため、完全分業は難しい
- ▶ 本業とは異なる分野への取り組みも必要

共創

アナログ・デバイセズのIoTへの取り組み (FY2016)



極低レベルのエネルギー採取環境下にあるIoTアプリケーションにも業界最高水準のエネルギー効率を提供するエネルギー・ハーベスト用パワー・マネジメント・ユニットを発表 2016年02月24日

IoTアプリケーション機器の動作寿命を延ばす超低消費電力マイクロコントローラ新シリーズを発表～セキュリティ・信頼性機能を損なわず、業界最小レベルの低消費電力を実現～ 2016年02月22日



アナログ・デバイセズとConsumer Physics社、食品、薬品などの品質、含有量、成分を分析する物理IoTプラットフォームの共同開発で合意 2016年02月19日

アナログ・デバイセズ、SNAP Sensor社の買収によりIoTセンサー・ポートフォリオを拡充 2016年03月17日



アナログ・デバイセズとLifeQ社、健康管理用体調モニタリング機器の非侵襲・効率化に向け共同技術開発 2016年04月21日

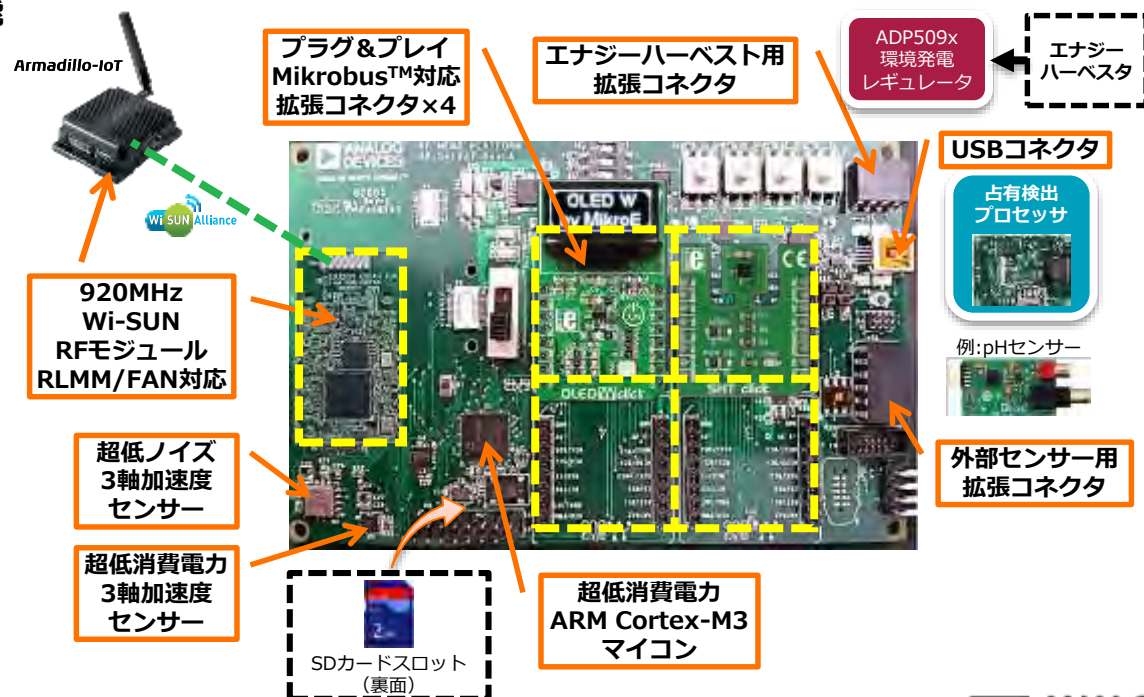
新しいウェアラブル技術で Microsoft社およびHexoskin社と提携～IoTを活用した、アスリートとスポーツチームのパフォーマンス最適化により競争力強化～ 2016年05月13日



アナログ・デバイセズとケンブリッジコンサルタンツ社、費用対効果に優れたモニタリング・システムにより駐車時の不満を緩和 2016年05月12日

“FastStart IoT” Sensor Edge Node platform

- ▶ アナログ・デバイセズのIoTに向けた最新製品で構築
 - マイコン、センサー、通信、電源で構成
 - 超低消費電力、超低ノイズに優れた製品
- ▶ アナログ・デバイセズのセンシング技術と通信技術を統合したソリューション
- ▶ フレキシブルにセンサーや通信モジュールを変更可能なモジュラーデザイン
- ▶ ミッションクリティカルなIoTから、ローコストなIoTまで対応可能
- ▶ 短期間でのセンサーエッジノード開発が可能
- ▶ 920MHz Wi-SUN RLMM/FANに対応
 - 技術適合取得済
- ▶ IoTに向けたエコシステムでの提案
 - IoTゲートウェイ
 - M2M通信事業者
 - IoTクラウドシステム



アナログ・デバイセズのセンサーおよび関連製品例

光学センサー



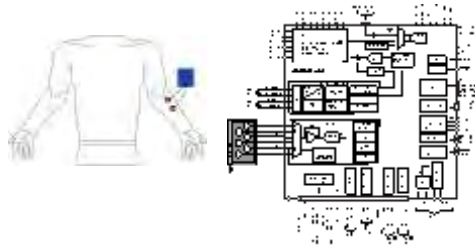
ADPD221

Ultra Low Power Photo-Detector + Amplifier

ADPD103 : Optical AFE
Ambient Light rejection

- Applications:
 - SP02; Heart Rate; Non-Invasive Blood Pressure

インピーダンス測定

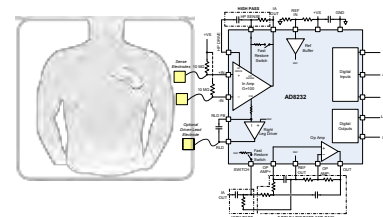


ADuCM350 AFE+Cortex M3

High Accuracy Configurable Analog Front End with Peripheral Rich micro-controller subsystem

- Applications:
 - Impedance Measurement
 - SP02/HRM/NIBP subsystem

心拍、心電モニター



ADAS1000

Diagnostic quality ECG AFE

AD8232 HRM AFE

Low Cost/Low Power Heart Monitor AFE

- Applications:
 - HRM, ECG Monitor

モーション、加速度センサー



ADXL362 Micro Power 3 Axis Accelerometer

Industry's lowest power accelerometer

- Applications:
 - Motion activated power management
 - Vital Signs Monitoring.....

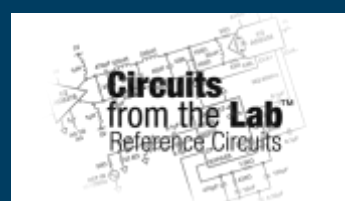
デジタル出力温度センサー



ADT7320 $\pm 0.25^{\circ}\text{C}$ Accurate Digital Temp Sensors

- Applications:
 - Body Temperature Sensing

アナログ・デバイセズの実用回路集 Circuits From the Lab (CFTL)



▶ 設計上の問題を速く、簡単に解決し、システム化できる回路と資料集

▶ 回路の原理解説や実測評価レポート資料 ▶ ハードウェア ▶ 評価用アプリケーション

ANALOG DEVICES

回路ノート CN-0363

使用したリファレンス・デバイス

AD7175-1	A/Dコンバータ、24ビット、250kSPS、20µVトリミング、2.5V型、底の1000ppm/FSのオフセット付き
ADA4000-1	オペアンプ、シングル、50V、超低ノイズ、ゼロドリフト、100pA出力
AD8941	オペアンプ、シングル、高精度、20MHz帯域幅、CMOS、入出力レール・トゥ・レール
AD9201	デジタル・ポテンショメータ、31ポジション
AD5480-1	オペアンプ、オプセート・ドライバ、0.5µV _{IC} 、100MHz、低消費電力、低ノイズ、レール・トゥ・レール
AD5451	アナログ・マルチプレクサ、CMOS、2.5V/4.5V、トリプル、500T
AD6771	SPICEスイッチ、トリプル、CMOS、2.5V、低電圧
AD6776	CMOS 低電圧 4W、4チャンネル、マルチプル・タプル
AD0811	マルチプレクサ/SPICEスイッチ、0.5V、CMOS、1.8~3.3V、800kVレギュレーション動作、2V

プログラマブル・ゲイン・トランスインピーダンス・アンプとデジタル同期検出機能を備えたデュアル・チャンネル色度計

評価および設計サポート環境
回路評価ボード
CN-0363 評価用ボード (EVAL-CN0363-PM1Z)
設計と統合ファイル
回路図、レイアウト・ファイル、部品表

回路の機能とその利点
図1の回路は、高精度なトランスインピーダンス・アンプとデュアル・チャンネル・トランスインピーダンス・アンプ、24ビット・250kSPS A/Dコンバータ (AD7175-1) を備えたデュアル・チャンネル色度計です。A/Dの出力は、標準FPGA/マイクロコントローラに接続されています。FPGA/マイクロコントローラはA/Dから取得して、同期検出アルゴリズムを実行します。

一定 (ADC) 未満ではなく変動をリアルタイム検出を廃止することによって、このシステムは電源変動以外の周波数のあらゆるノイズを除去し、優れた性能を与えます。
デュアル・チャンネル回路は、サンプル保持とリフレッシュ回路内の成分が吸収する歪みの比率を、3つの異なる位置で測定します。この測定は、電圧分圧法による物質の濃度測定と特性評価に使用され、多くの化学分析場および環境モニタリング測定の際の基礎となります。



▶ Webから入手可能なさまざまな設計資料

- 回路図
- 部品表
- 回路図データ (PADS)
- ガーバファイル
- 部品実装図
- デバイス・ドライバ



CN0234 : 電気化学反応式センサーを用いた 単電源のマイクロパワー有毒ガス検出器

▶ 回路の特長

- 低消費電力のガス検出
- トータル消費電流 : 110 μ A
- 高効率な降圧／昇圧レギュレータ

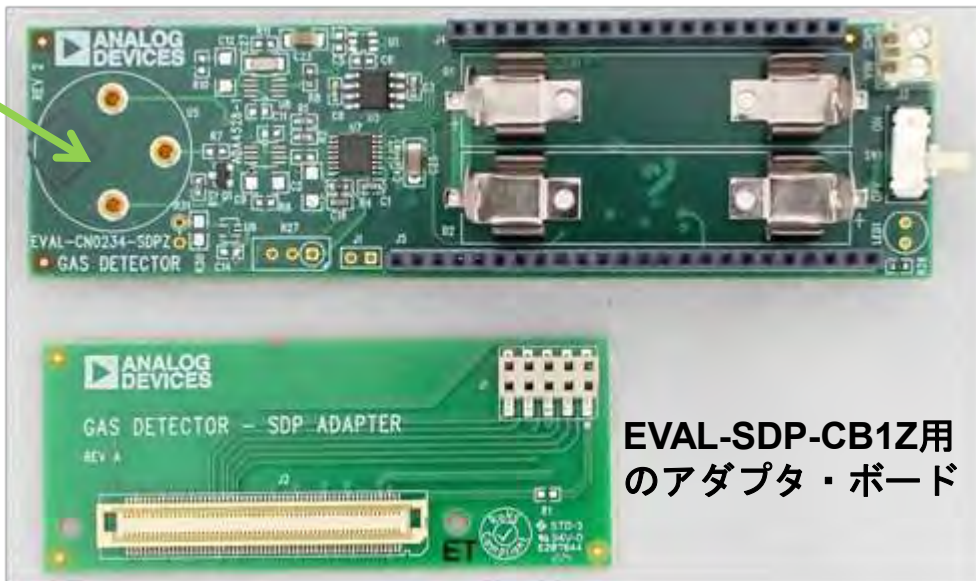
▶ 回路の利点

- 危険なガスのレベルを検出
- 低消費電力、バッテリー動作

業界標準の
フットプリント

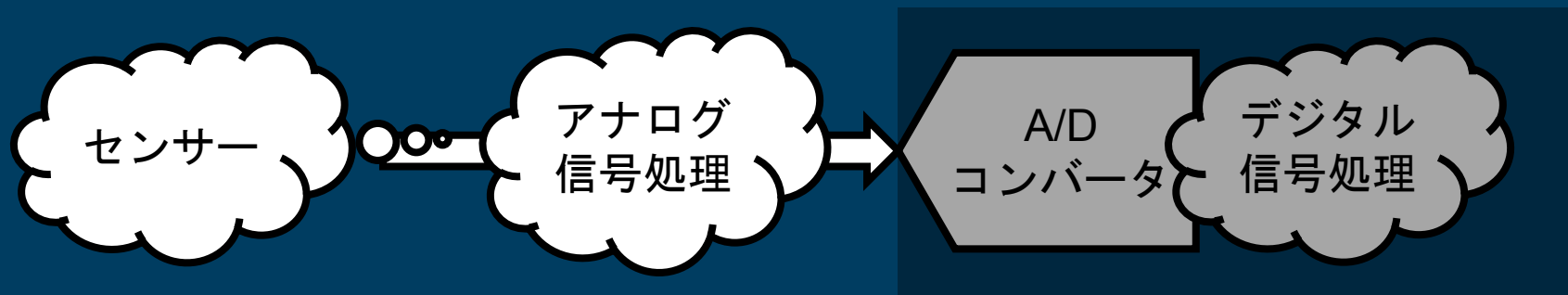


EVAL-CN0234-SDPZ



EVAL-SDP-CB1Z用
のアダプタ・ボード

対象アプリケーション	主要部品	インターフェース／接続
産業 医用 コンシューマ	ADA4505-2 ADR291 ADP2503 AD7798	SPI (AD7798) SDP (EVAL-CN0234-SDPZ) USB (EVAL-SDP-CB1Z)



IOTとアナログ・デバイスズ

IoTの状況とアナログ・デバイスズの取り組み

アナログ・フロントエンド (AFE)

センサーとAFE

A/Dコンバータ

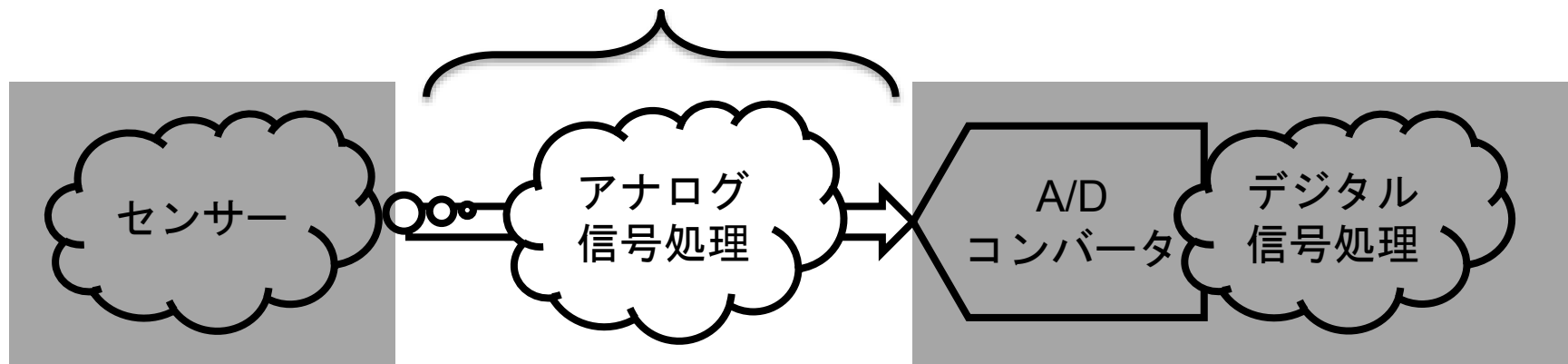
DCスペックとDC誤差の考え方

A/Dコンバータのキャリブレーション

ソフトウェア・キャリブレーションと注意点

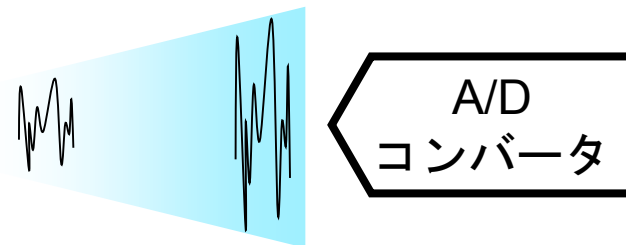
AFEの役割：シグナル・コンディショニングの内容

AFE（アナログ・フロント・エンド）



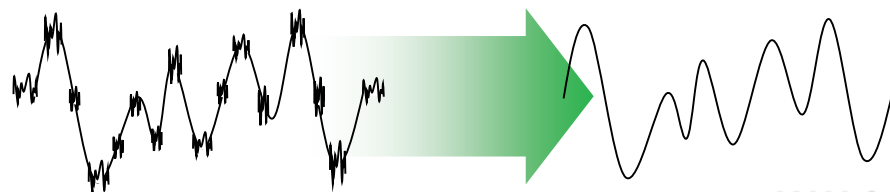
(1) アナログ信号を後段のシステムに合わせる

- a) A/Dコンバータの入力レンジに合わせる
- b) 信号変換 (I to V, Q to V, など)
- c) コモンモード・レベル変換
- d) 信号源からのアイソレーション
- e) インピーダンス（入出力抵抗の）変換



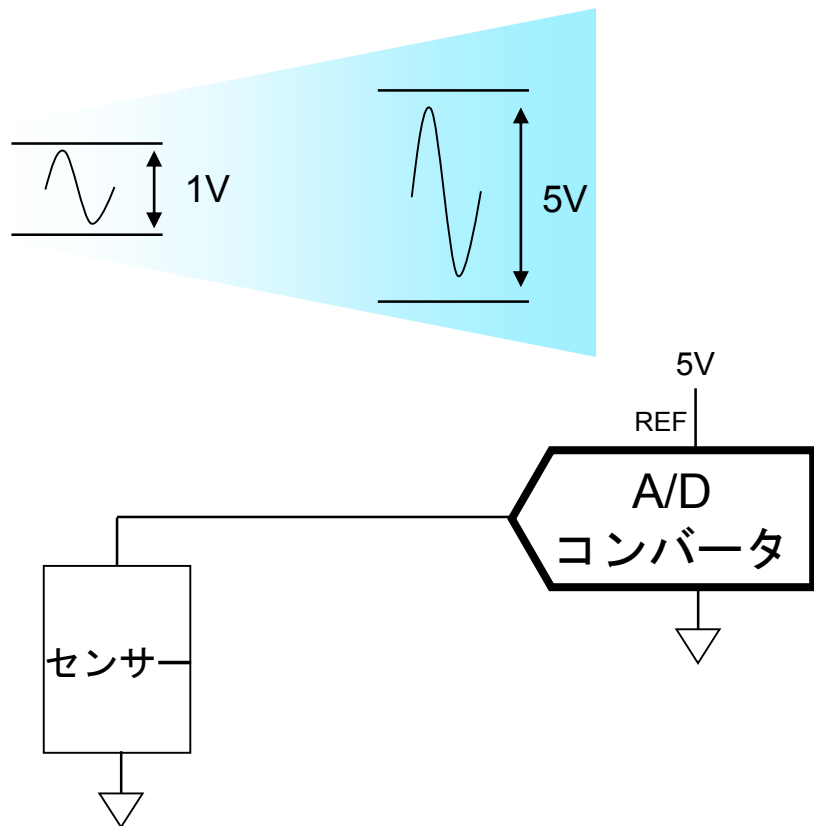
(2) フィルタリング

アナログ信号に混在するノイズの低減



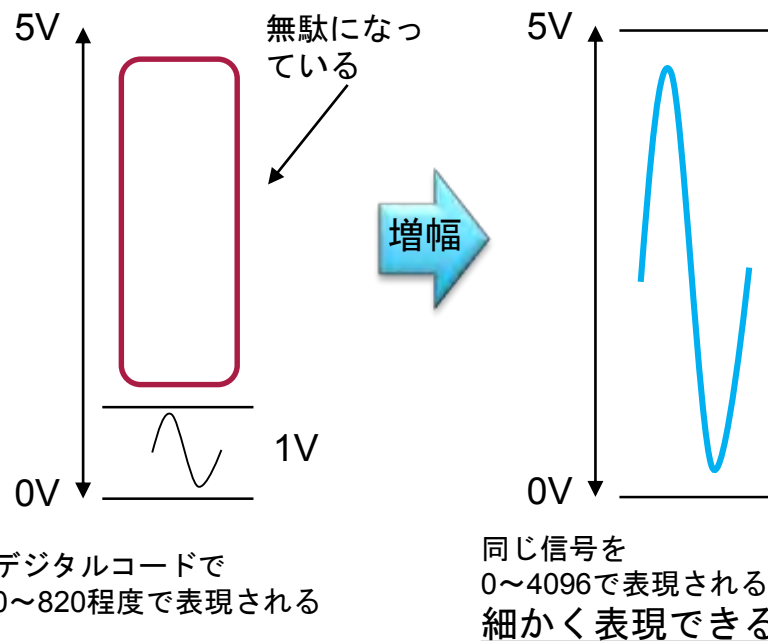
AFEの役割（１）増幅

アナログ信号を後段のA/Dコンバータの入力レンジに合わせる



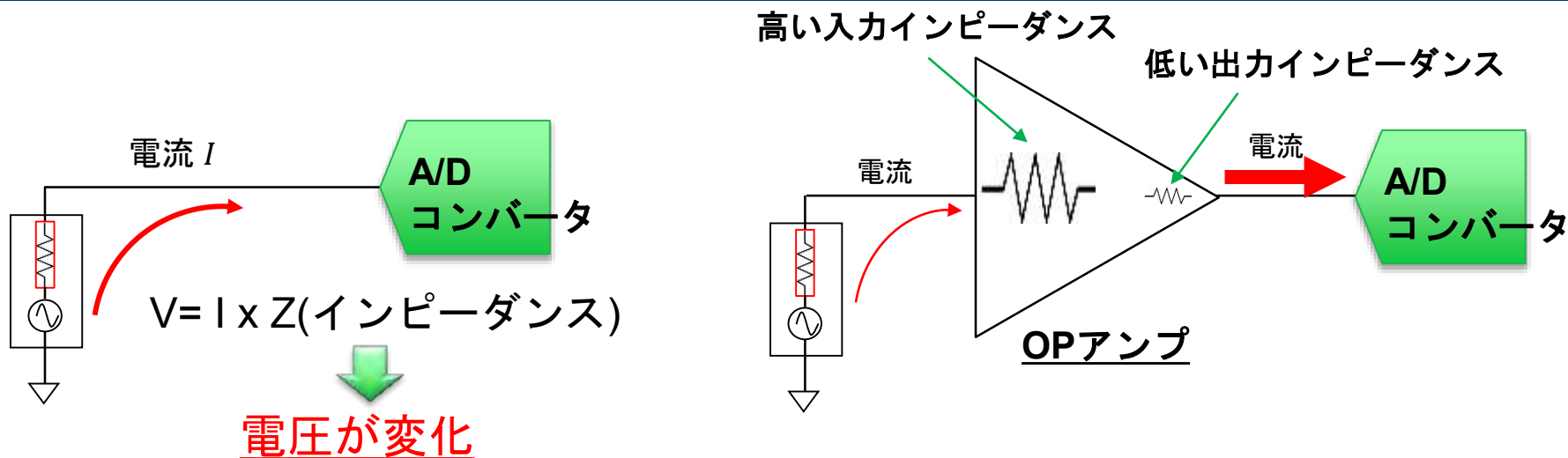
12bit 5Vフルスケールの場合

$12\text{bit}=2^{12}=4096$, $5\text{V} / 4096 = 1.22\text{mV}$ (1LSBあたり)



- ▶ センサーの出力信号がA/Dコンバータのフルスケールよりも極端に小さい場合
- ▶ OPアンプを増幅回路として使用することで、小さな信号を適切な大きさに増幅
- ▶ フルスケールでのAD変換→分解能が向上

AFEの役割 (2) OPアンプを用いたインピーダンス変換 センサーのインピーダンスの影響を小さくする



- ▶ センサーが高いインピーダンスを持つ場合、内部インピーダンスによって出力電圧が変化する可能性があります。
(ADCの入力インピーダンスは、数百Ω～数十kΩ程度)
- ▶ OPアンプは、入力インピーダンスが高く、出力インピーダンスが低い
 - 入力インピーダンスが高い → 電流が流れにくい (数GΩ～数百GΩ)
 - 出力インピーダンスが低い → 電流を流しやすい (数Ω～数十Ω)

OPアンプは、インピーダンスを変換することができる

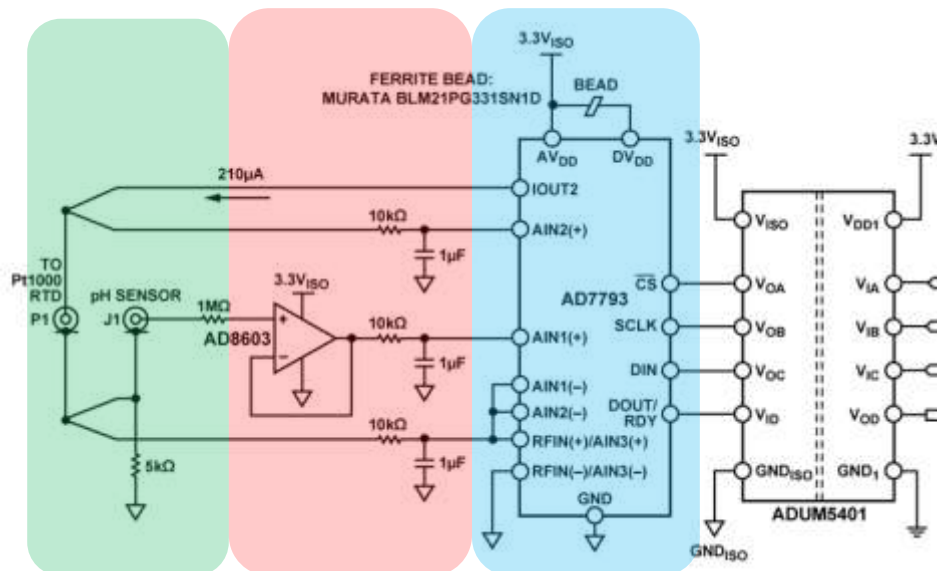
- ▶ センサーへの影響を小さくすることが可能

センサーの接続事例：実用回路CN0326

温度補償機能付き絶縁型低消費電力 pH モニター



- ▶ 高精度の自動温度補償機能を持つ、完全絶縁型の低消費電力 pH センサー・シグナル・コンディショナ／デジタイザ
- ▶ 精度0.5%でpH値測定が可能、14ビットを超えるノイズフリー・コード分解能があり、化学物質、食品加工、水、廃水などの分析といったさまざまな産業用アプリケーションに適しています。
- ▶ 1 M Ω から数G Ω におよぶ非常に高い内部抵抗を有する広範なpHセンサーに対応
- ▶ デジタル信号と電源のアイソレーションにより過酷な産業環境の中のノイズや過渡電圧に対する耐性があります。



主要部品

OPアンプ：AD8603

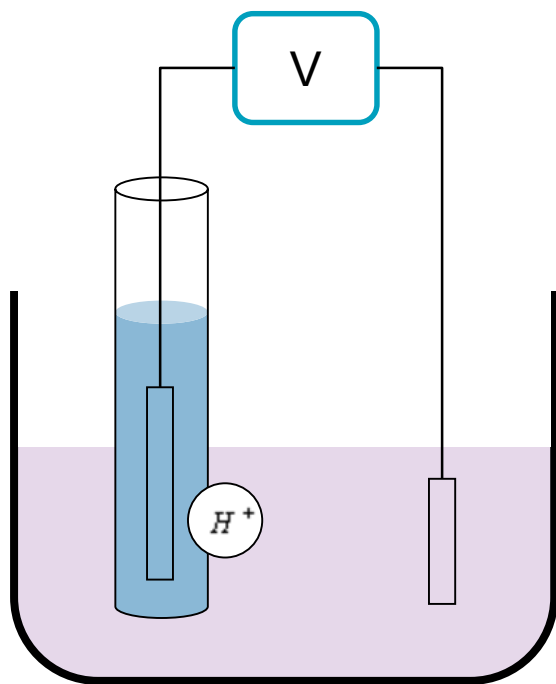
A/Dコンバータ：AD7793

アイソレータ：ADUM5401

pHセンサー・プローブ（ガラス電極）のしくみ

▶ 電気化学センサーの一種

- センサーに充填された電解質と対象間の水素イオン濃度を測定
- 水素イオン濃度の差が電圧差として出力される（一種の電池）
- pH値 $pH = -\log(H^+)$ と出力電圧値はネルンストの式から一意に決定
- 温度特性を持つ



ネルンストの式

$$E = a - \frac{2.303 R(T + 273.1)}{nF} \times (pH - pH_{iso})$$

where:

E = voltage of the hydrogen electrode with unknown activity

$a = \pm 30$ mV, zero point tolerance

T = ambient temperature in °C

$n = 1$ at 25°C, valence (number of charges on ion)

$F = 96485$ coulombs/mol, Faraday constant

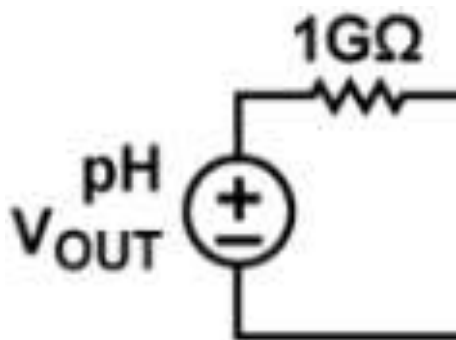
$R = 8.314$ volt-coulombs / °K mol, Avogadro's number

pH = hydrogen ion concentration of an unknown solution

$pH_{iso} = 7$, reference hydrogen ion concentration

pHセンサーの電気的特性

- ▶ 出力電圧 : $\pm 414\text{mV}@25^\circ\text{C} \sim \pm 490\text{mV}@80^\circ\text{C}$
- ▶ 分解能 : $\text{pH}0.01/0.1\text{mV}$
- ▶ 精度 : $\text{pH}0.05$ ($20^\circ\text{C} \sim 25^\circ\text{C}$)
- ▶ $\text{pH}7.00 \pm 0.25$ (0V時)
- ▶ 温度範囲 : $\sim 80^\circ\text{C}$
- ▶ 高抵抗 (約 $1\text{M}\Omega \sim 1\text{G}\Omega$)



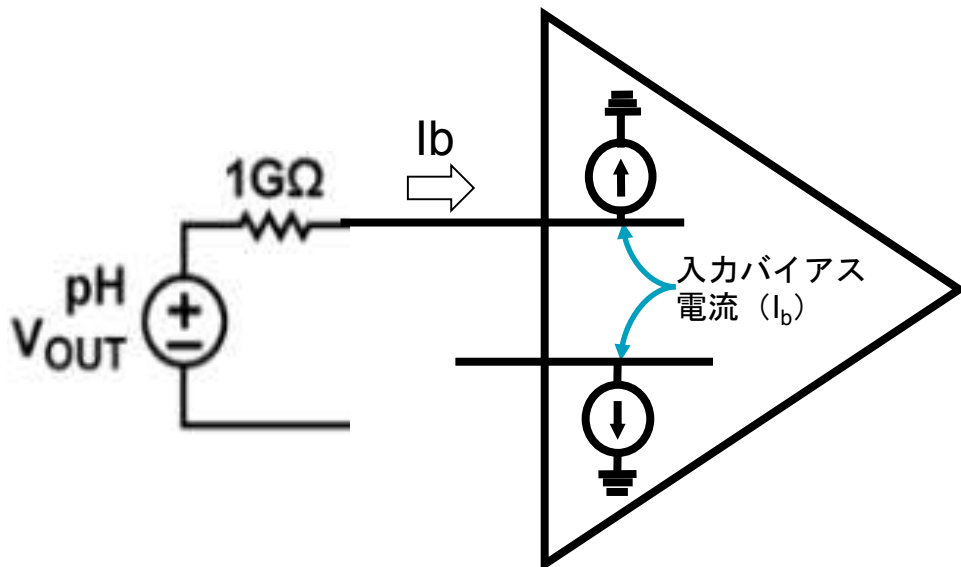
pHセンサーの等価回路
(抵抗値 $1\text{G}\Omega$ の場合)

The screenshot shows the Analog Devices website with the header "ANALOG DEVICES" and the tagline "AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™". The navigation bar includes links for "パラメータ検索", "製品", "アプリケーション", "設計支援", and "コミュニティ". The search bar contains the text "低入力バイアス電流アンプ(<100pA)". The main heading is "低入力バイアス電流アンプ(<100pA)". The text below the heading describes the importance of low input bias current for precise measurements and lists various applications. The section "製品セレクション・テーブル" (Product Selection Table) is visible at the bottom, with a bullet point: "• Low Input Bias Current Amplifiers (<100 pA)".

pHセンサー高い出力抵抗値とOPアンプの入力バイアス電流で生じるオフセット電圧誤差

▶ 高抵抗センサー（1MΩ～1GΩ）

- オームの法則（ $V=IR$ ）より、高抵抗センサーでは I_b が大きな誤差電圧になる



- ▶ I_b が0.2pA(200fA)、pHセンサーが1GΩの場合、 I_b による誤差電圧は0.2mV
- ▶ I_b 最大値1pA @25°Cでも1mVの誤差に抑えることができる
- ▶ 一方でA/Dコンバータの I_b は最小でも±1nA Max（AD7793 Buffered Mode時）

電氣的特性

特に指定がない限り、 $V_S = V_S/2$ 、 $T_A = 25^\circ\text{C}$

表 1.

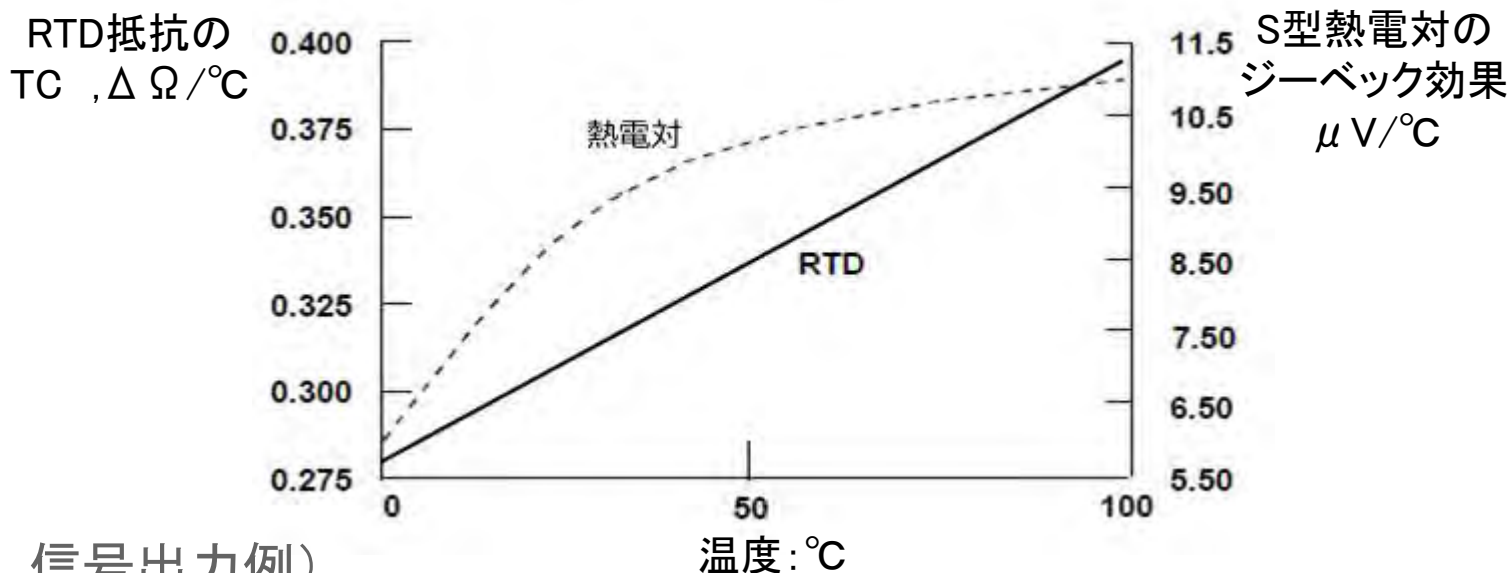
Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
INPUT CHARACTERISTICS					
Offset Voltage	V_{OS}		12	50	μV
			40	300	μV
				700	μV
Offset Voltage Drift	$\Delta V_{OS}/\Delta T$		1	4.5	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current	I_B		0.2	1	pA
				50	pA
				500	pA
Input Offset Current	I_{OS}		0.1	0.5	pA
				50	pA
				250	pA
Input Voltage Range	IVR	-0.3		+5.2	V

OPアンプAD8603のデータシートより

実用回路CN0326

抵抗温度センサー： RTDの特徴と出力電圧

- ▶ プラチナ(Pt)が一般的に使用され、抵抗値は100Ωと1000Ωが標準
- ▶ $RTD\ Resistance = RTD_0 (1 + T\alpha)$ $RTD\ 抵抗 = T$ における抵抗値
 $RTD_0 = 0^{\circ}C$ における抵抗値
 $T =$ 周囲温度
 $\alpha = 0.00385\ \Omega/\Omega/^{\circ}C$
- ▶ 直線性に優れ容易に補償可能



信号出力例)

RTD抵抗(Pt1000)は0°C(1000 Ω)から100°C(1385 Ω)まで変化し、
210 μA の励起電流で210 mVから290 mVの電圧信号を生成

実用回路CN0326

A/Dコンバータとフィルタ、基板設計のポイント



▶ A/Dコンバータ (AD7793)

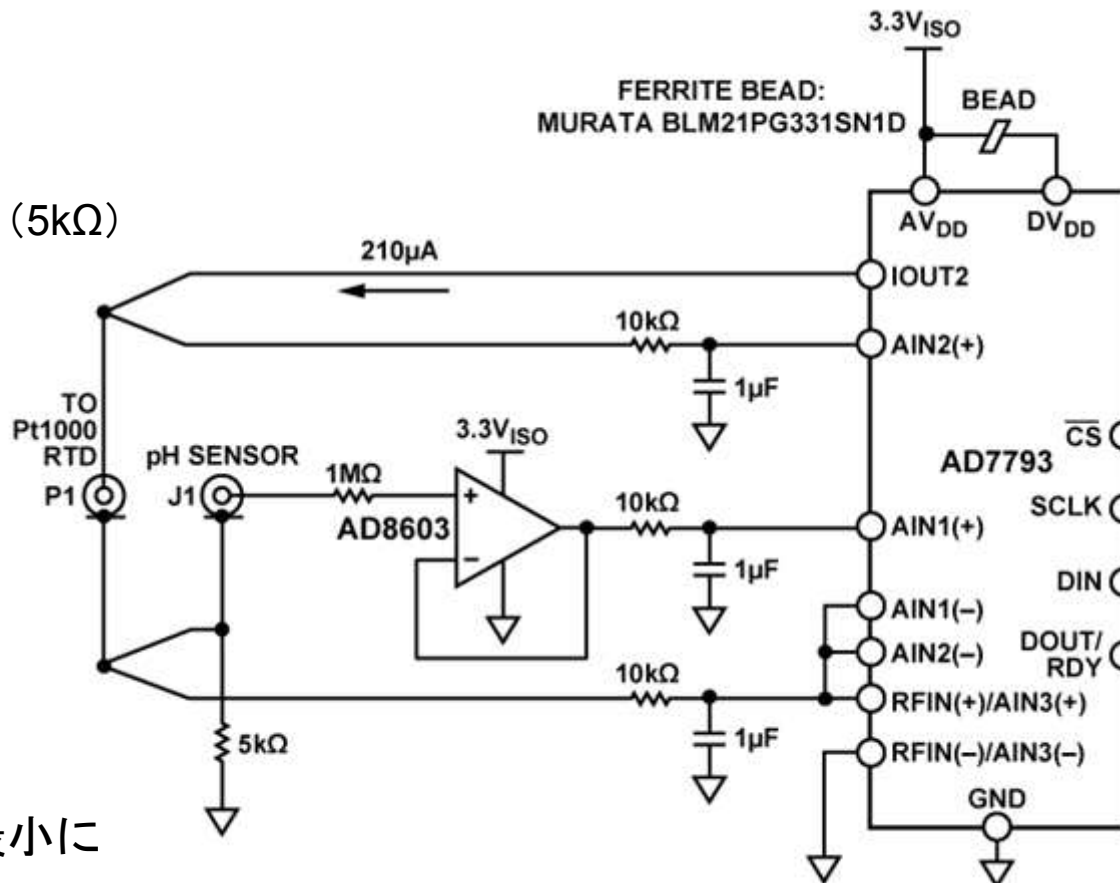
- アナログ入力
 - pHセンサー出力 : AIN1
 - RTDセンサー出力 : AIN2
- リファレンス電圧の生成
 - IOUT2 (210uA) x 高精度抵抗 (5kΩ)
 - アナログ入力のオフセット
 - レシオメトリック動作

▶ ローパス・フィルタ

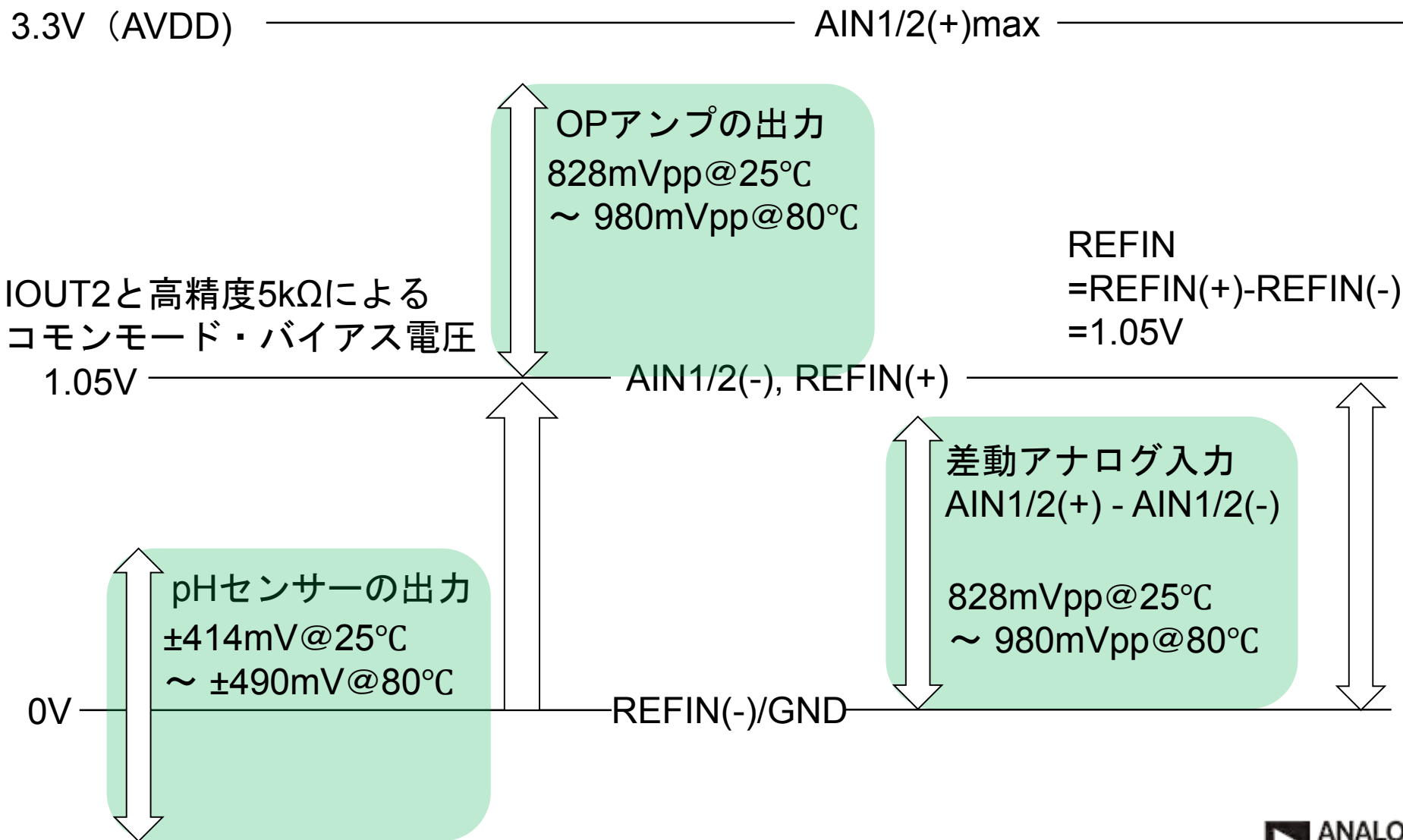
- R10kΩとC1uFで構成
- カットオフ周波数 : 16Hz
($f = 1/2\pi RC$)

▶ 基板設計

- AD8603の入カリーク電流を最小に
- ピコアンペア法
 - ガード、シールド、高絶縁抵抗スタンドオフ等

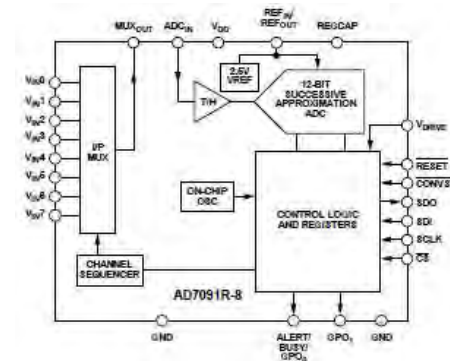


実用回路CN0326：pHセンサー出力信号の電圧レベル遷移



特長

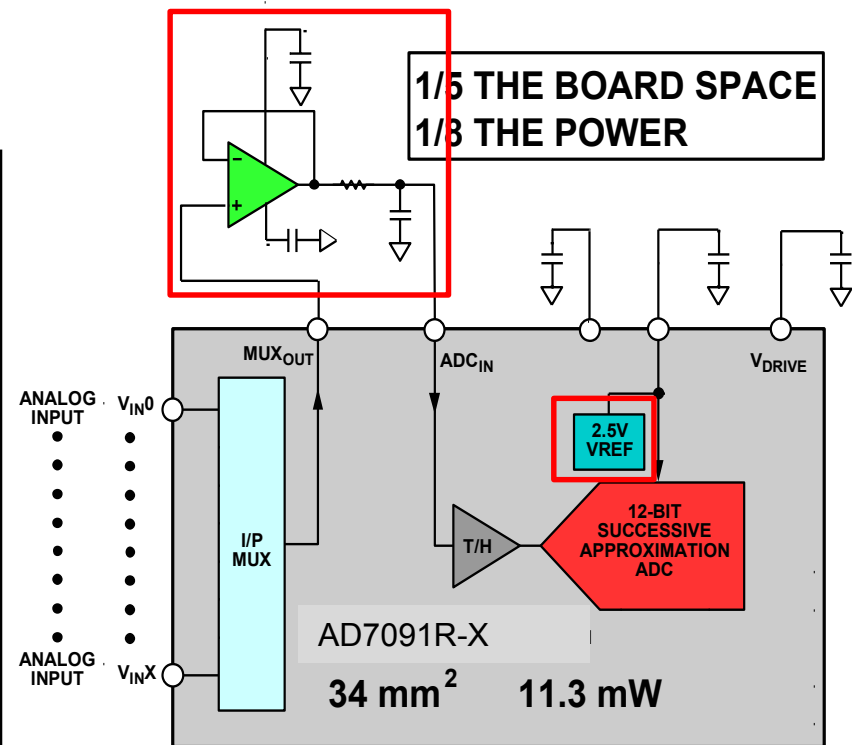
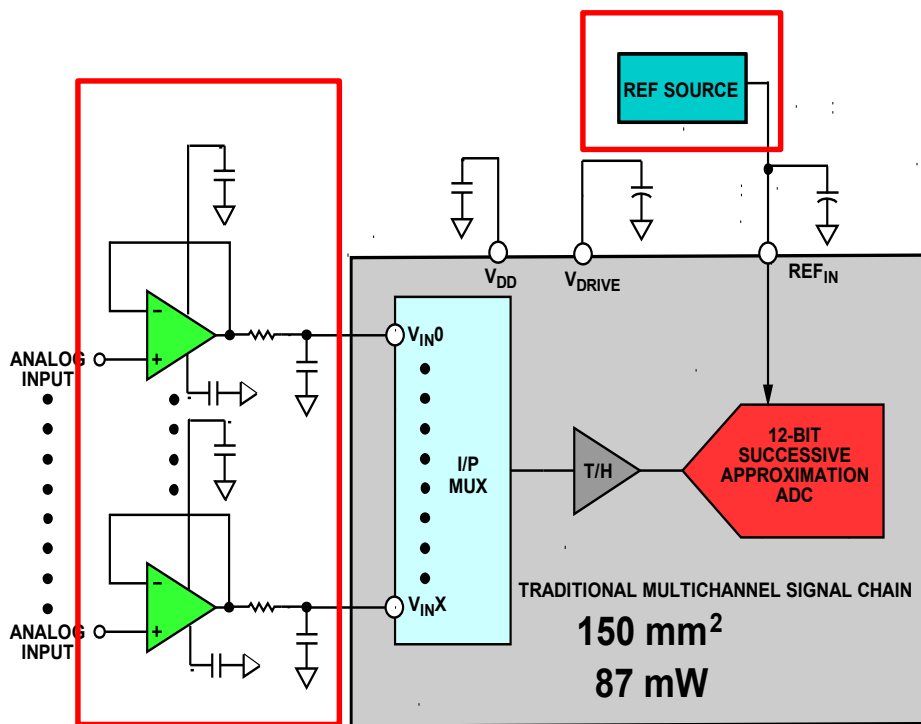
消費電流	AD7091	AD7091R	AD7091R -2/4/8	AD7091R-5
1MSPS 3V(typ)	367uA	349uA	450uA	24uA @400kfSCL
パワーダウン モード	324nA	264nA	435nA	435nA



- | 内蔵リファレンス | アナログ入力チャンネル数 | | | | デジタル I/F |
|----------|--------------|-----------|-----------|-----------|----------|
| | 1 Ch | 2 Ch | 4 Ch | 8 Ch | |
| 有り | AD7091R | AD7091R-2 | AD7091R-4 | AD7091R-8 | SPI |
| | | | AD7091R-5 | | I2C |
| 無し | AD7091 | | | | SPI |

AD7091R-2/4/5/8

消費電力、基板面積、コストを削減に貢献するMUXoutとADCinピン



これまでの構成

- 外部リファレンス電圧源
- 入力チャンネルごとにAFEが必要

AD7091R-2/4/5/8 を用いた構成

- 内蔵2.5Vリファレンス電圧
- AFEを一つにまとめることが可能

超低消費電力A/Dコンバータ AD709xシリーズ採用のCFTL

	実用回路集 (CFTL)	
AD7091R	CN0336 12-Bit, 300 kSPS, Single-Supply, Fully Isolated, Data Acquisition System for 4-20 mA Inputs	
	CN0387 キャリブレーション不要のリターン・ロス測定システム	
	CN0335 ±10 V入力、12ビット、300 kSPS、単電源、完全絶縁のデータ・アクイジション・システム	
	CN0350 圧電センサー用 12 ビット、1MSPS、単電源、2 チップ、データ・アクイジション・システム	
	CN0337 3 線補償機能を備えた 12 ビット、300kSPS、単電源、完全絶縁のRTD 温度計測システム	
	CN0366 A 40 GHz Microwave Power Meter with a Range from -30 dBm to +15 dBm	
	CN0247 全消費電力 5 mW以下の 12 ビット、1 MSPS SAR ADC+ドライバ	
AD7091R-5	CN0372 エネルギーハーベスト回路とアラート機能を備えた、超低消費電力の 汎用マルチチャンネル・データ・アクイジション・システム	

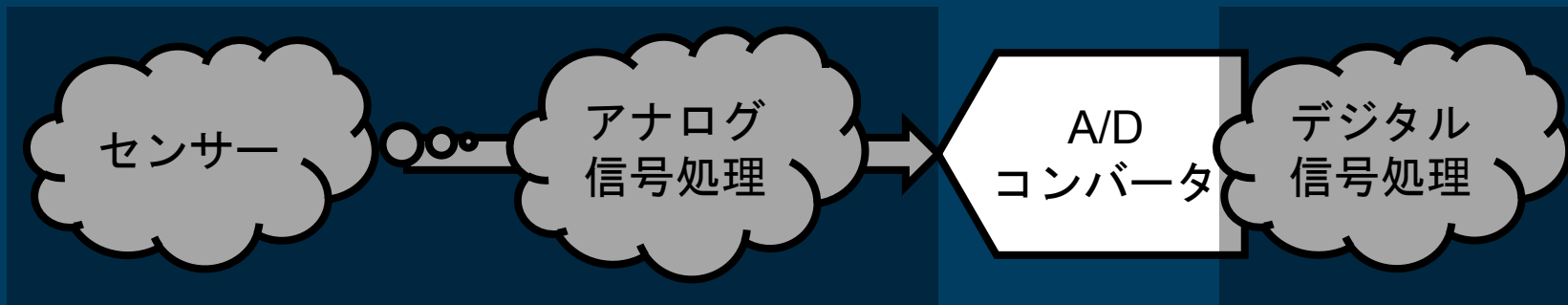
A/Dコンバータの特性：マイコンとの比較

DC特性編

仕様	マイコン内蔵の SAR型A/Dコンバータ	単体の SAR型A/Dコンバータ AD7091R	単位
分解能と周波数	12bit / 1Msps	12bit / 1Msps	-
アナログ入力	-0.3~Vref+0.3	0~Vref	V
アナログ入力容量	30 max	7 typ	pF
オフセット誤差 typ	±2	±0.6	LSB
絶対精度 typ	±2.5	-2 (※1)	LSB
DNL typ	±2 (※2)	±0.3	LSB
INL typ	±2 (※2)	±0.8	LSB
消費電流(変換中) typ	2.3	0.388	mA
内部基準電圧精度	1.45 < 1.50 typ < 1.55	2.485 < 2.5 typ < 2.525	V

※1：Total Unadjusted Error (TUE)：ゲインやリニアリティ、オフセットエラーを含む包括的なスペック

※2：AD変換中に外部バスアクセスを行わない場合



IOTとアナログ・デバイスズ

IoTの状況とアナログ・デバイスズの取り組み

アナログ・フロントエンド (AFE)

センサーとAFE

A/Dコンバータ

DCスペックとDC誤差の考え方

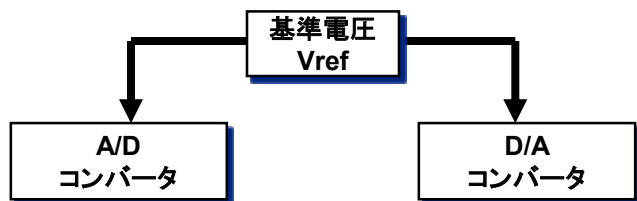
A/Dコンバータのキャリブレーション

ソフトウェア・キャリブレーションと注意点

コンバータのDCスペックのおさらい

LSBとビット数

データ・コンバータだけでは信号の測定や生成を行うことはできません。コンバータ外部、または内部で生成される**基準電圧 (Vref)**を基準に信号変換をします。



$$\text{LSB} = \frac{\text{基準電圧 (V)}}{2^N}$$

N = ビット数

RESOLUTION N	2 ^N	VOLTAGE (10V FS)	ppm FS	% FS	dB FS
2-bit	4	2.5 V	250,000	25	- 12
4-bit	16	625 mV	62,500	6.25	- 24
6-bit	64	156 mV	15,625	1.56	- 36
8-bit	256	39.1 mV	3,906	0.39	- 48
10-bit	1,024	9.77 mV (10 mV)	977	0.098	- 60
12-bit	4,096	2.44 mV	244	0.024	- 72
14-bit	16,384	610 μV	61	0.0061	- 84
16-bit	65,536	153 μV	15	0.0015	- 96
18-bit	262,144	38 μV	4	0.0004	- 108
20-bit	1,048,576	9.54 μV (10 μV)	1	0.0001	- 120
22-bit	4,194,304	2.38 μV	0.24	0.000024	- 132
24-bit	16,777,216	596 nV*	0.06	0.000006	- 144

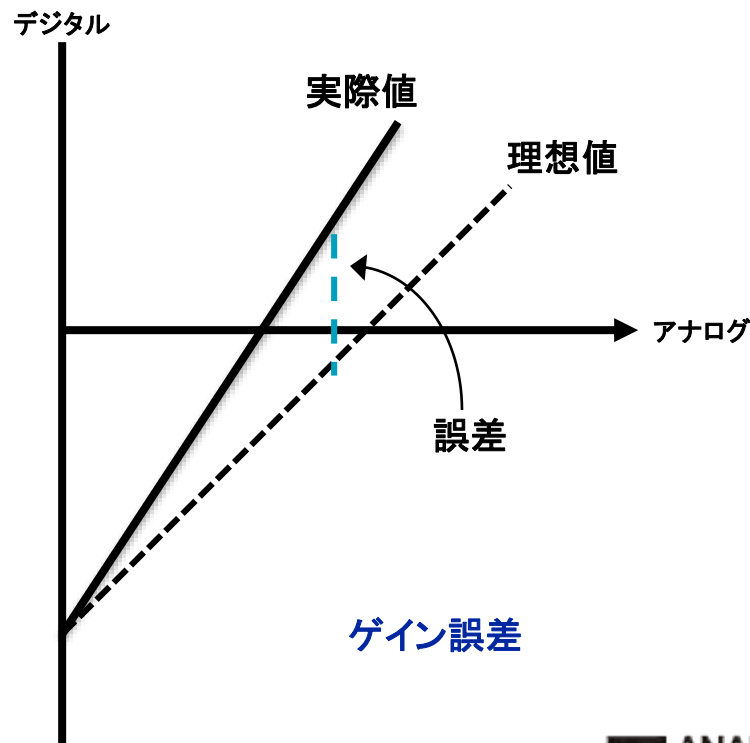
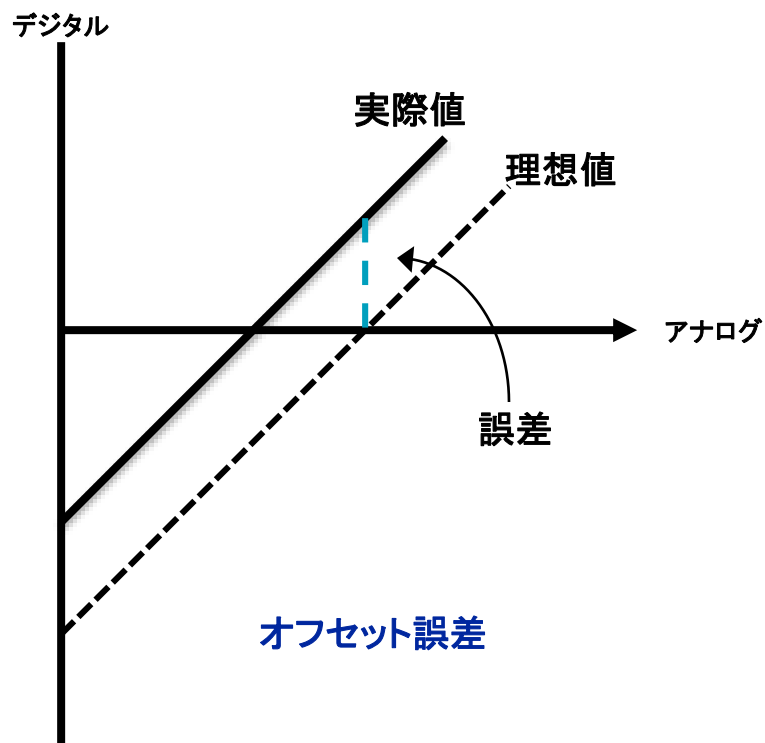
*600nV is the Johnson Noise in a 10kΩ BW of a 2.2kΩ Resistor @ 25°C

Remember: 10-bits and 10V FS yields an LSB of 10mV, 1000ppm, or 0.1%.
All other values may be calculated by powers of 2.

コンバータのDCスペックのおさらい

ゲイン誤差とオフセット誤差

オフセット誤差によって伝達関数に横方向のシフトが生じ、
ゲイン誤差では伝達関数に回転方向にシフトが生じる
オフセット誤差とゲイン誤差は、ともにキャリブレーションで除去することが可能



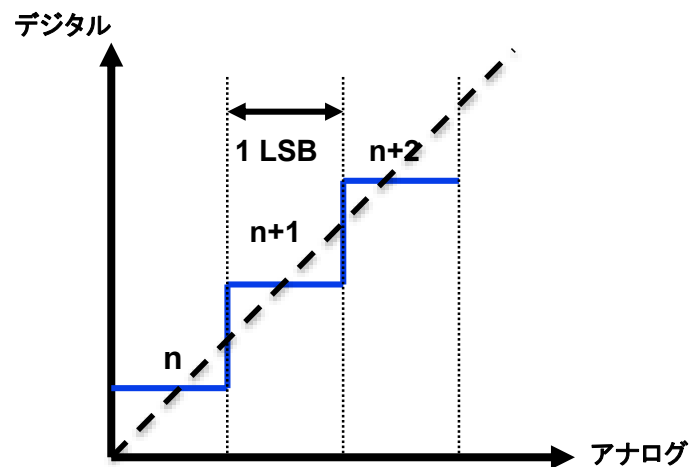
コンバータのDCスペックのおさらい

DNL（微分非直線性）とINL（積分非直線性）

DNL:

理想コンバータでは、1LSB幅のコード遷移が得られるが実際は、誤差やノイズに起因するDNLによって、コード遷移が1LSBより大きくなったり小さくなったりします。

±1LSBより大きい誤差幅が発生するA/Dコンバータは、「**ミッシング・コード**」の可能性がある



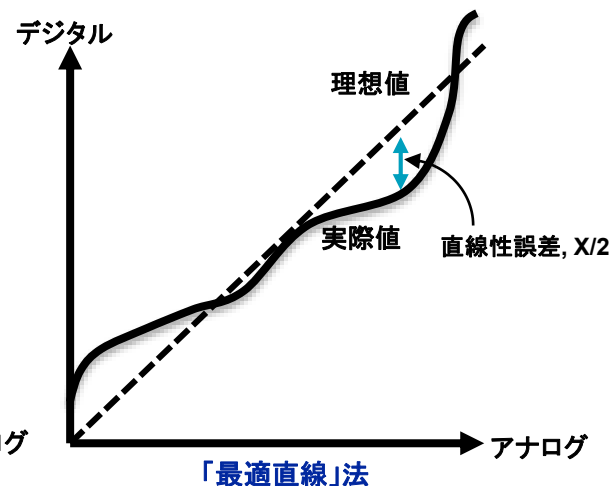
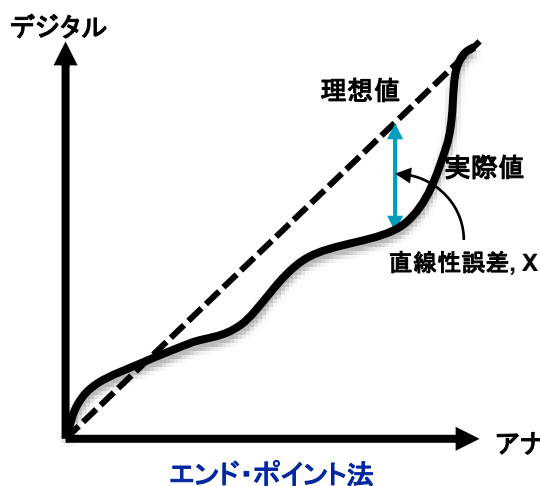
INL:

オペアンプの非直線性に似た**相対精度**に相当

理想直線からのズレをLSBや対FS比(%やppm)で表示

INLはエンド・ポイント法と最適直線法の2種類の表現方法がある

INLはオフセット誤差とゲイン誤差を取り去った(トリムした)後にも残る誤差



A/DコンバータのDC誤差の計算

データシートをもとに、コンバータの誤差を見積もる

- ▶ 誤差の最悪値
 - ゲイン誤差 (Gain Error)
 - オフセット誤差 (Offset Error)
 - 積分非直線性 (INL)
- ▶ TUE (Total Unadjusted Error)



od for error budgeting for DC measurement? temperature, INL, DNL, Offset, drift, TL
calculator?

AD7793の誤差（最悪値）の見積もり

- ▶ Integral Nonlinearity
 - ± 15 ppm FSR max
 - エンドポイント法
- ▶ Full-Scale error
 - ± 10 μ V (Typ)
- ▶ Offset error
 - ± 1 μ V (Typ)

したがってこれらの総和
 ± 11 μ V

が誤差の最悪値

SPECIFICATIONS

$AV_{DD} = 2.7$ V to 5.25 V; $DV_{DD} = 2.7$ V to 5.25 V

T_{MIN} to T_{MAX} , unless otherwise noted.

Table 1.

Parameter	AD7793	Unit
ADC CHANNEL		
Output Update Rate	4.17 to 470	Hz nom
No Missing Codes ²	24	Bits min
Resolution		Bits min
Output Noise and Update Rates		
Integral Nonlinearity	± 15	ppm of FSR max
Offset Error ³	± 1	μ V typ
Offset Error Drift vs. Temperature ⁴	± 10	nV/ $^{\circ}$ C typ
Full-Scale Error ^{3, 5}	± 10	μ V typ
Gain Drift vs. Temperature ⁴	± 1	ppm/ $^{\circ}$ C typ
	± 3	ppm/ $^{\circ}$ C typ
Power Supply Rejection	100	dB min

³ Following a calibration, this error is in the order of the noise for the programmed gain and update rate selected.

⁵ Full-scale error applies to both positive and negative full-scale and applies and applies at the factory calibration conditions ($AV_{DD} = 4$ V, gain = 1, $T_A = 25^{\circ}$ C).

誤差の最悪値をどのように捉えるか

▶ データシートから誤差の最悪値は、

- オフセット誤差最大
- ゲイン誤差最大（入力最大時）
 - フルスケール時
- リニアリティエラー最大
 - 注意：エンドポイント法

のときに発生する「可能性」がある

※他にRSS法

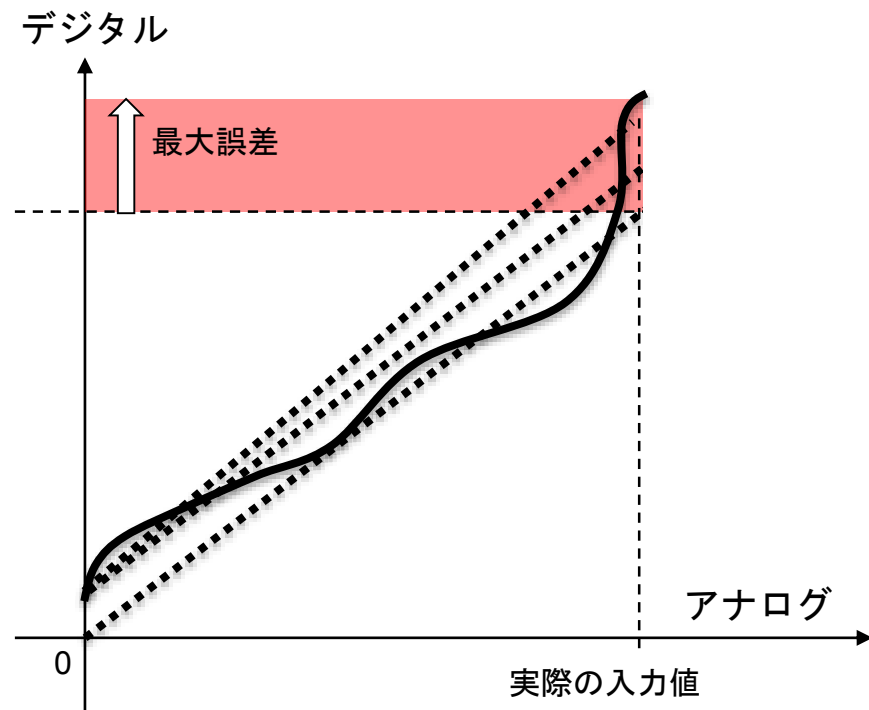
▶ 誤差の単純加算（ワーストケース法）

- ワーストケース
 - デバイスのバラつきとデバイス温度が最悪
 - すべての誤差要因が同時に発生

▶ 一方で、すべての誤差要因の発生条件は同じとは「限らない」

例)

- -40℃で3V電源動作のときにゲインエラーは最悪値
- 一方オフセットエラーは5V動作で75℃の時に最悪値



もう一つの誤差情報：Total Unadjusted Error (TUE)

- ゲイン誤差やオフセット誤差などの補正をする前の、
- 実測された「総合」誤差
(※データシートの記載要確認)
 - 総合とは：
 - 動作温度範囲と、デバイスのバラつきを想定
 - すべての誤差要因をTUEとして数値に落とし込み、
 - 個別の最悪値のバリエーションを加味したもの
- 注意点

仕様の測定条件をチェック
TYP値かMAX値か

- AD7091の場合
 - 誤差の最悪値
 - $1 + 5 + 4 = 10\text{LSB}$
 - TUE
 - 1.1LSB



Data Sheet

1 MSPS, Ultralow Power,
12-Bit ADC in 8-Lead LFCSP

AD7091

FEATURES

Fast throughput rate of 1 MSPS
Specified for V_{DD} of 2.09 V to 5.25 V
INL of $\pm 1\text{LSB}$ maximum
Analog input range of 0 V to V_{DD}
Ultralow power
367 μA typical at 3 V and 1 MSPS
324 nA typical at 3 V in power-down mode
Reference provided by V_{DD}
Flexible power/throughput rate management
High speed serial interface: SPI[®]/QSPI[™]/MICROWIRE[®]-/DSP-compatible
Busy indicator
Power-down mode
8-lead, 2 mm \times 2 mm LFCSP package
Temperature range: -40°C to $+125^{\circ}\text{C}$

APPLICATIONS

Battery-powered systems
Handheld meters
Medical instruments

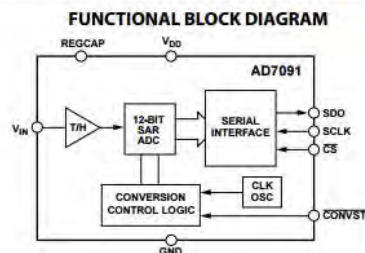
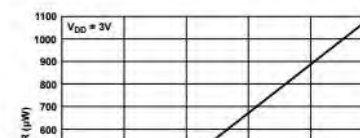


Figure 1.

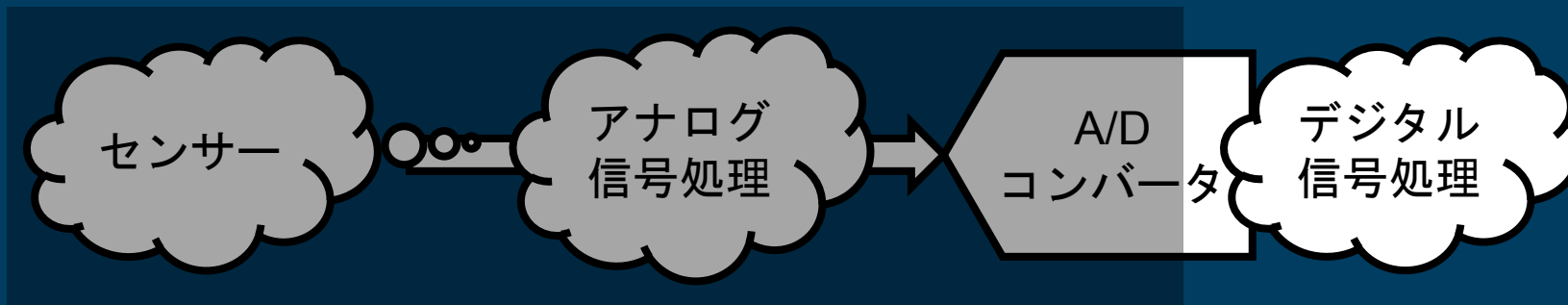


SPECIFICATIONS

$V_{DD} = 2.09\text{ V to }5.25\text{ V}$, $f_{\text{SAMPLE}} = 1\text{ MSPS}$, $f_{\text{CLK}} = 50\text{ MHz}$, $T_A = -40^{\circ}\text{C to }+125^{\circ}\text{C}$, unless otherwise noted.

Table 1.

Parameter	Test Conditions/Comments	Min	Typ	Max	Unit
DC ACCURACY					
Resolution		12			Bits
Integral Nonlinearity (INL) ²			± 0.6	± 1	LSB
Differential Nonlinearity (DNL) ²	Guaranteed no missing codes to 12 bits		± 0.3	± 0.9	LSB
Offset Error ²		-8.5	± 0.7	$+5$	LSB
Gain Error ²			± 1.2	± 4	LSB
Total Unadjusted Error (TUE) ²			1.1		LSB



IOTとアナログ・デバイスズ

IoTの状況とアナログ・デバイスズの取り組み

アナログ・フロントエンド (AFE)

センサーとAFE

A/Dコンバータ

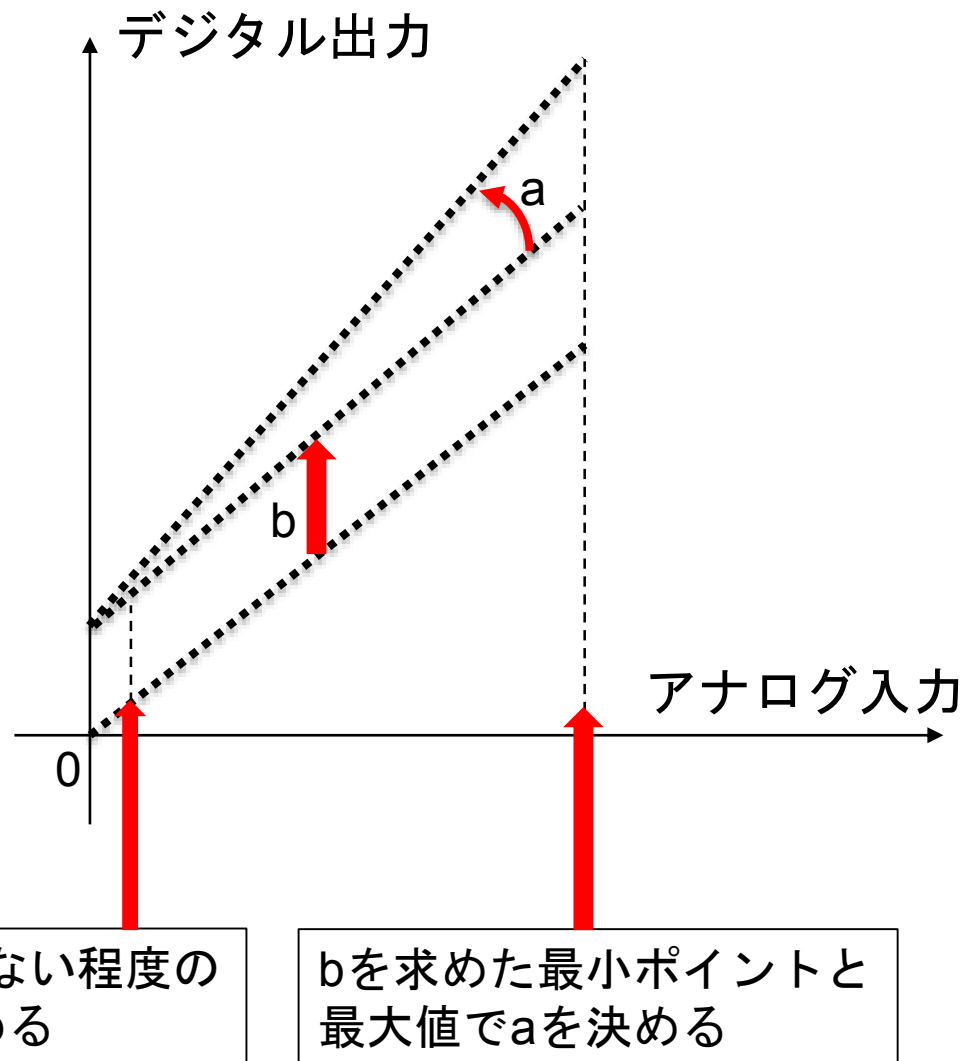
DCスペックとDC誤差の考え方

A/Dコンバータのキャリブレーション

ソフトウェア・キャリブレーションと注意点

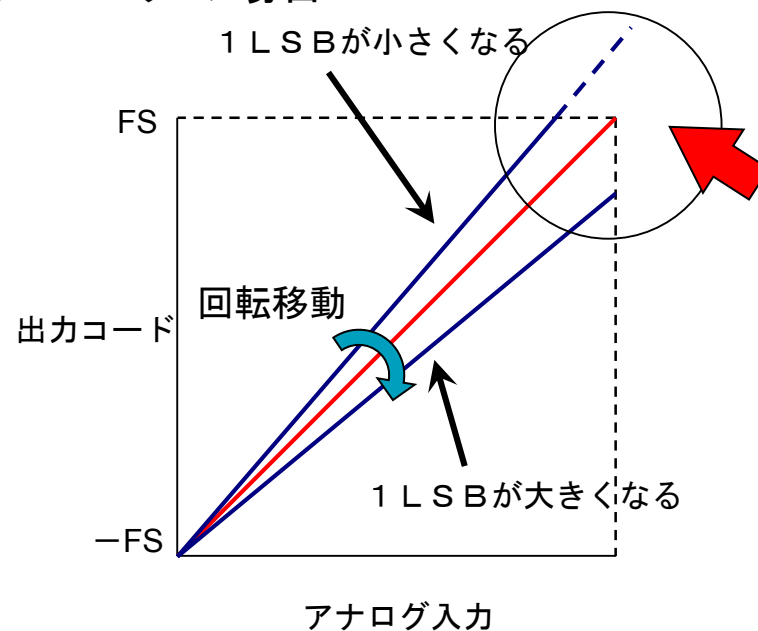
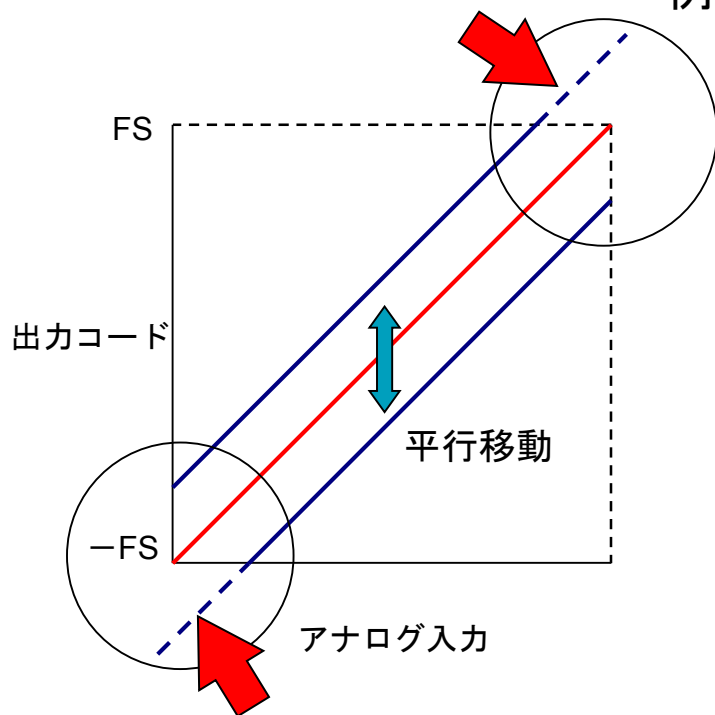
ソフトウェア・キャリブレーション：aとbの取得例

- ▶ 理想： $y=x$ （と仮定する）
- ▶ 実際： $y=ax+b$
 - a：ゲイン誤差
 - b：オフセット誤差
- ▶ オフセット誤差 b の取得方法
 - ノイズに影響されない程度の最低電圧でのデジタル出力を取得
 - 例100LSB程度
 - 0に近いのでゲイン誤差は無視できる
- ▶ ゲイン誤差 a の取得方法
 - 最大電圧値の値と最小電圧を入れて a を計算



ソフトウェアでのキャリブレーション時の注意点

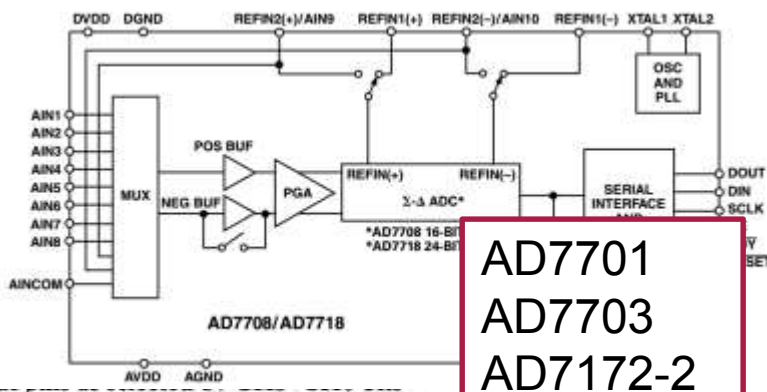
例： A/Dコンバータの場合



ソフトウェアでのキャリブレーションでは点線部分が使用できない領域になる

キャリブレーション機能を内蔵したコンバータ製品例

MD2	MD1	MD0	
1	0	0	Internal Zero-Scale Calibration Internal short automatically connected to the enabled channel(s)
1	0	1	Internal Full-Scale Calibration External V_{REF} is connected automatically to the ADC input for
1	1	0	System Zero-Scale Calibration User should connect system zero-scale input to the channel input
1	1	1	System Full-Scale Calibration User should connect system full-scale input to the channel input pins as selected by CH3-CH0 bits in the control registers.



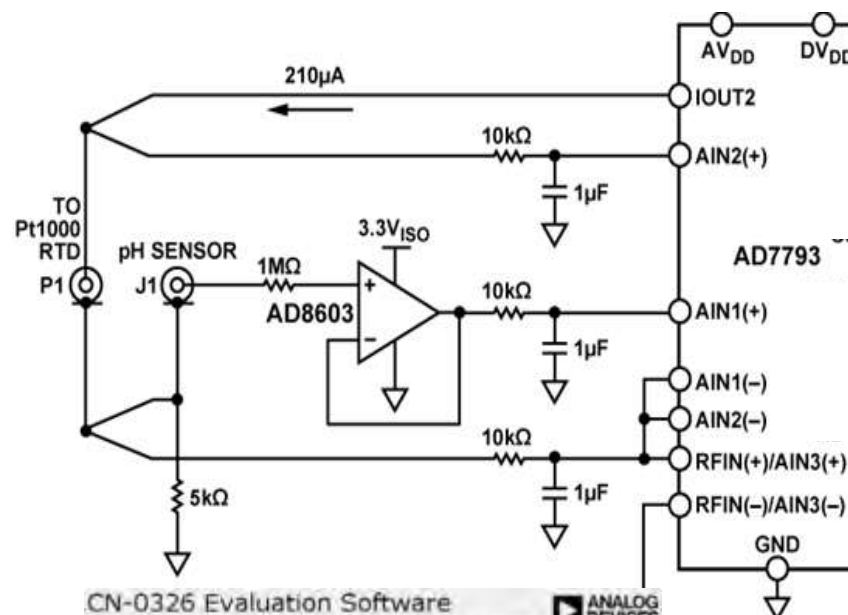
AD7701
AD7703
AD7172-2
AD7175-2
AD7176-2
AD7177-2
AD7190
AD7705/06
AD7719
AD7785
AD7792/93
AD7798/99
など

- ▶ 4つのキャリブレーション・モード
 - システム・キャリブレーションとインターナル・キャリブレーション
 - それぞれゼロ（オフセット）・スケールとフル（ゲイン）・スケール
- ▶ 工場出荷時に25°C、チョッパ有効でゲイン、オフセット誤差校正済
 - 以下のようなケースでは、適宜キャリブレーションを実施
 - 使用温度が大きく異なる場合やチョッパを使わない場合
 - システム全体でのキャリブレーションが必要な場合

実用回路CN0326の評価： 算出方法とキャリブレーション

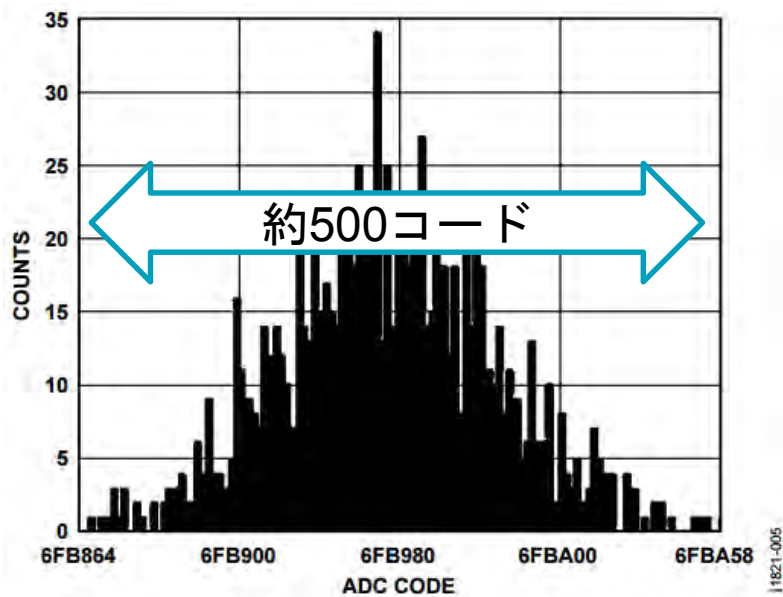


- ▶ 温度算出方法：
 - AIN3+入力より得た5kΩの電圧降下と、
 - 5kΩから正確なIOOUT2電流を求める
 - RTD電圧を求めたIOOUT2電流で割り、
 - RTD抵抗値を求め温度を算出
- ▶ pHセンサーのキャリブレーション
 - 既知のpH溶液を用いた2点法
 - pH7溶液で0Vオフセット調節
 - 測定対象によって酸性/アルカリ性を選び、
 - pH7溶液と2点間で測定



想像を超える可能性を
AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

実用回路CN0326の評価： システムの精度評価

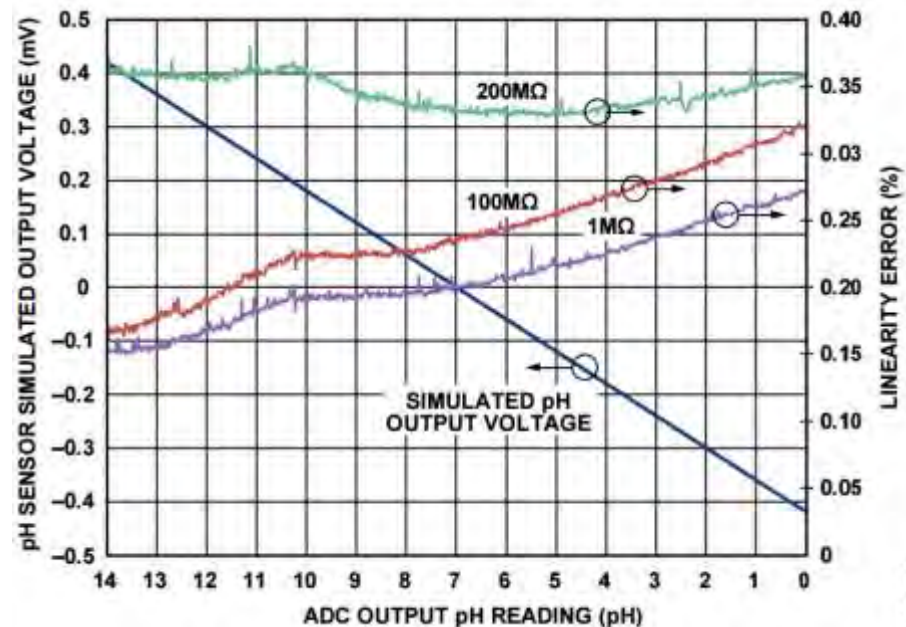


入力ピン短絡時のAD7793の
出力コード分布幅

約500コード

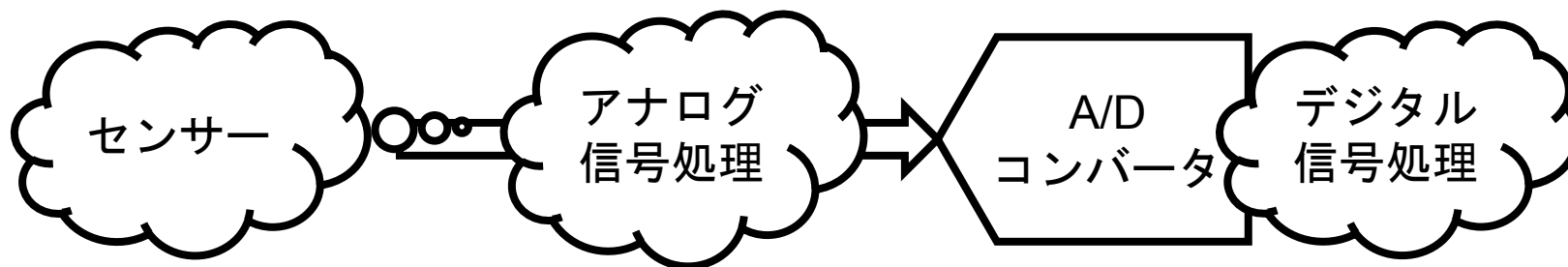
→31.3 μV ppノイズ@ 1 VFSに相当

→14bit以上のノイズフリー・コード分解能



pH センサー出力電圧のシミュレート値と
pHセンサー 抵抗 1 M Ω /100 M Ω /200 M Ω
のときの直線性誤差
→0.5%の測定精度

まとめ



IOTとアナログ・デバイスズ

IoTの状況とアナログ・デバイスズの取り組み

アナログ・フロントエンド (AFE)

センサーとAFE

A/Dコンバータ

DCスペックとDC誤差の考え方

A/Dコンバータのキャリブレーション

ソフトウェア・キャリブレーションと注意点