

RX21A グループ

R01AN2180JJ0110

Rev.1.10

2014.12.26

$\Delta \Sigma$ A/D コンバータのゲイン校正と温度センサによる補正

要旨

RX21A グループは、IEC62052-11 や IEC62053-22 の Class 0.2S、Class 0.5S メータの要求を満たすための機能があります。

内蔵 PGA(Programmable Gain Amplifier) を使ってアナログ入力を増幅することができ、その際の増幅の誤差を小さくする仕組みが入っています。そのため、 $0.01I_n \leq I \leq I_{max}$ の電流範囲で、基準温度下での校正後の測定精度は IEC62053-22 で規定されている Class 0.2S メータの要求を満たしています。

また、24 ビット $\Delta \Sigma$ A/D コンバータ (以下、DSAD) の測定値は温度の影響を受けますが、明確にされている温度特性と RX21A グループの計算能力を使って補正できます。そのため、 -25°C から 75°C の範囲で、外付けの高精度基準電源を使わない場合でも測定精度は高く、IEC62052-11 や IEC62053-22 で規定されている Class 0.5S メータの要求を満たしています。

本アプリケーションノートでは、RX21A グループの DSAD のゲインを校正します。また内蔵の温度センサを使用して、DSAD のゲインの温度特性を補正する方法について説明します。

対象デバイス

- ・ RX21A グループ 100 ピン版 ROM 容量 : 256KB~512KB
- ・ RX21A グループ 80 ピン版 ROM 容量 : 256KB~512KB
- ・ RX21A グループ 64 ピン版 ROM 容量 : 256KB~512KB

注. 対象デバイスは G バージョン(動作周囲温度 : -40°C ~ $+105^{\circ}\text{C}$)のみです。

目次

1.	仕様	4
2.	動作確認条件	5
3.	関連アプリケーションノート	5
4.	ハードウェア説明	6
4.1	ハードウェア構成例	6
4.2	使用端子一覧	7
5.	ゲインとオフセット誤差の校正	8
5.1	DSAD の誤差	8
5.2	ゲインとオフセットの校正値の求め方	9
5.2.1	DC 電源を使用する方法	9
5.2.2	正弦波 AC 電源を使用する方法	10
6.	システムゲイン校正	11
6.1	システムゲインの校正方法	11
6.2	デバイスゲイン	11
6.3	外部入力抵抗と内部入力抵抗の影響	12
7.	温度特性と補正	14
7.1	温度特性の補正方法	14
7.2	デバイスの温度特性の係数	14
7.3	デバイスゲイン	15
7.4	VBGR	16
7.5	入カインピーダンス	17
7.6	外部負荷抵抗と入カインピーダンスの影響	18
7.7	システムゲインの温度特性の補正	19
8.	校正と補正の手順	20
8.1	システムゲインの校正と補正(差動入力)	20
8.2	システムゲインの校正と補正(シングルエンド入力)	22
9.	ソフトウェア説明	24
9.1	動作概要	24
9.2	必要メモリサイズ	26
9.3	ファイル構成	27
9.4	オプション設定メモリ	28
9.5	定数一覧	29
9.6	変数一覧	32
9.7	関数一覧	36
9.8	関数仕様	37
9.9	フローチャート	43
9.9.1	メイン処理	43
9.9.2	周辺機能初期設定	45
9.9.3	CMT1 初期設定	45
9.9.4	IRQ 初期設定	46
9.9.5	コンペアマッチ割り込み設定	47
9.9.6	DSAD 初期設定	48
9.9.7	DSAD の動作開始設定	49
9.9.8	ゲイン校正に必要な係数の初期化	50
9.9.9	ゲインの温度補正に必要な係数の初期化	51
9.9.10	システムゲインの校正	52
9.9.11	システムゲインの温度補正	53
9.9.12	校正時の DSAD 変換結果の取得	54

9.9.13	DSAD 変換結果の取得	55
9.9.14	DSAD 変換割り込み処理	56
9.9.15	A/D、温度センサ初期設定	57
9.9.16	A/D、温度センサ停止設定	58
9.9.17	A/D 変換の状態取得	58
9.9.18	温度センサの測定結果取得	59
9.9.19	現在温度の取得	59
9.9.20	温度センサ校正処理	59
9.9.21	温度センサ測定処理	60
9.9.22	現在温度の算出処理	60
9.9.23	A/D 変換完了割り込み処理	61
10.	付録（校正、補正の効果）	62
10.1	システムゲイン校正の効果	62
10.2	温度特性の補正の効果	63
10.2.1	VBGR の温度特性	63
10.2.2	差動入力端子のシステムゲイン	64
10.2.3	シングルエンド入力端子のシステムゲイン	66
11.	サンプルコード	68
12.	参考ドキュメント	68

1. 仕様

7チャンネルのDSADが独立しており、異なる入力電圧を同時にかつ、PGAでゲインを切り替えながら測定できます。ただし、DSADは製品ばらつきや温度特性などによりわずかな誤差を持ちます。高精度なDSAD変換が必要となる用途では、センサなどの外部回路を含めたシステムゲインのチャンネル間校正、温度特性の補正を行う必要があります。また、直流測定などハイパスフィルタでオフセットを除去できない用途ではオフセットの校正も必要となります。

RX21AグループのGバージョンには、工場出荷時にチップごとに測定された入力インピーダンス、ゲインの校正データが格納されたI/Oレジスタ(ΔΣA/D入力インピーダンス校正データレジスタ、ΔΣA/Dゲイン校正データレジスタ)があります。この校正データを使うことで、任意の1つのゲインで校正するだけで、すべてのチャンネルのゲインも校正することができます。

RX21AグループのGバージョン以外では、ΔΣA/D入力インピーダンス校正データレジスタ、ΔΣA/Dゲイン校正データレジスタは存在しません。サンプルコードでは読み出した値を算出に影響しない値("1")として計算します。任意の1つのゲインで校正するだけで、すべてのチャンネルのゲインを校正することはできませんが、チャンネル間校正、温度特性の補正を行う際に参考としてください。

表 1.1 に周辺機能と用途を示します。

表 1.1 周辺機能と用途

周辺機能	用途
24ビットΔΣA/Dコンバータ(DSAD)	アナログ入力電圧計測
温度センサ(TEMPSa)	MCUの周囲温度測定
10ビットA/Dコンバータ(AD)	温度センサ出力測定用
コンペアマッチタイマ(CMT1)	DSADコンバータ変換開始トリガ要因、 温度センサの開始処理用
イベントリンクコントローラ(ELC)	DSADコンバータ変換開始トリガ

2. 動作確認条件

本アプリケーションノートのサンプルコードは、下記の条件で動作を確認しています。

表 2.1 動作確認条件

項目	内容
使用マイコン	R5F521A8BGFP (RX21A グループ G バージョン)
動作周波数	メインクロック: 20MHz システムクロック (ICLK): 50MHz 周辺モジュールクロック B (PCLKB): 25MHz 周辺モジュールクロック C (PCLKC): 25MHz 周辺モジュールクロック D (PCLKD): 12.5MHz
動作電圧	3.3V
統合開発環境	ルネサスエレクトロニクス製 High-performance Embedded Workshop Version 4.09.01
C コンパイラ	ルネサスエレクトロニクス製 C/C++ Compiler Package for RX Family V.1.02 Release 01 コンパイルオプション -cpu=rx200 -output=obj="\$(CONFIGDIR)¥\$(FILELEAF).obj" -debug -nologo (統合開発環境のデフォルト設定を使用しています)
iodefine.h のバージョン	Version 1.1B
エンディアン	リトルエンディアン
動作モード	シングルチップモード
プロセッサモード	スーパバイザモード
サンプルコードのバージョン	Version 1.10

3. 関連アプリケーションノート

本アプリケーションノートに関連するアプリケーションノートを以下に示します。併せて参照してください。

- RX21A グループ 初期設定例 (R01AN1486JJ)
- RX21A グループ 温度センサを用いた周囲温度の算出例 (R01AN1923JJ)
- RX21A グループ △ΣA/D コンバータ ユーザーズガイド (R01AN1437JJ)
- RX ファミリ ソフトウェアによるウェイト処理のコーディング例 (R01AN1852JJ)

上記アプリケーションノートの初期設定関数とソフトウェアによるウェイト処理を、本アプリケーションノートのサンプルコードで使用しています。サンプルコードの Rev は本アプリケーションノート作成時点のものであります。

最新版がある場合、最新版に差し替えて使用してください。最新版はルネサスエレクトロニクスホームページで確認および入手してください。

4. ハードウェア説明

4.1 ハードウェア構成例

図 4.1 に使用する機能のブロック図を示します。

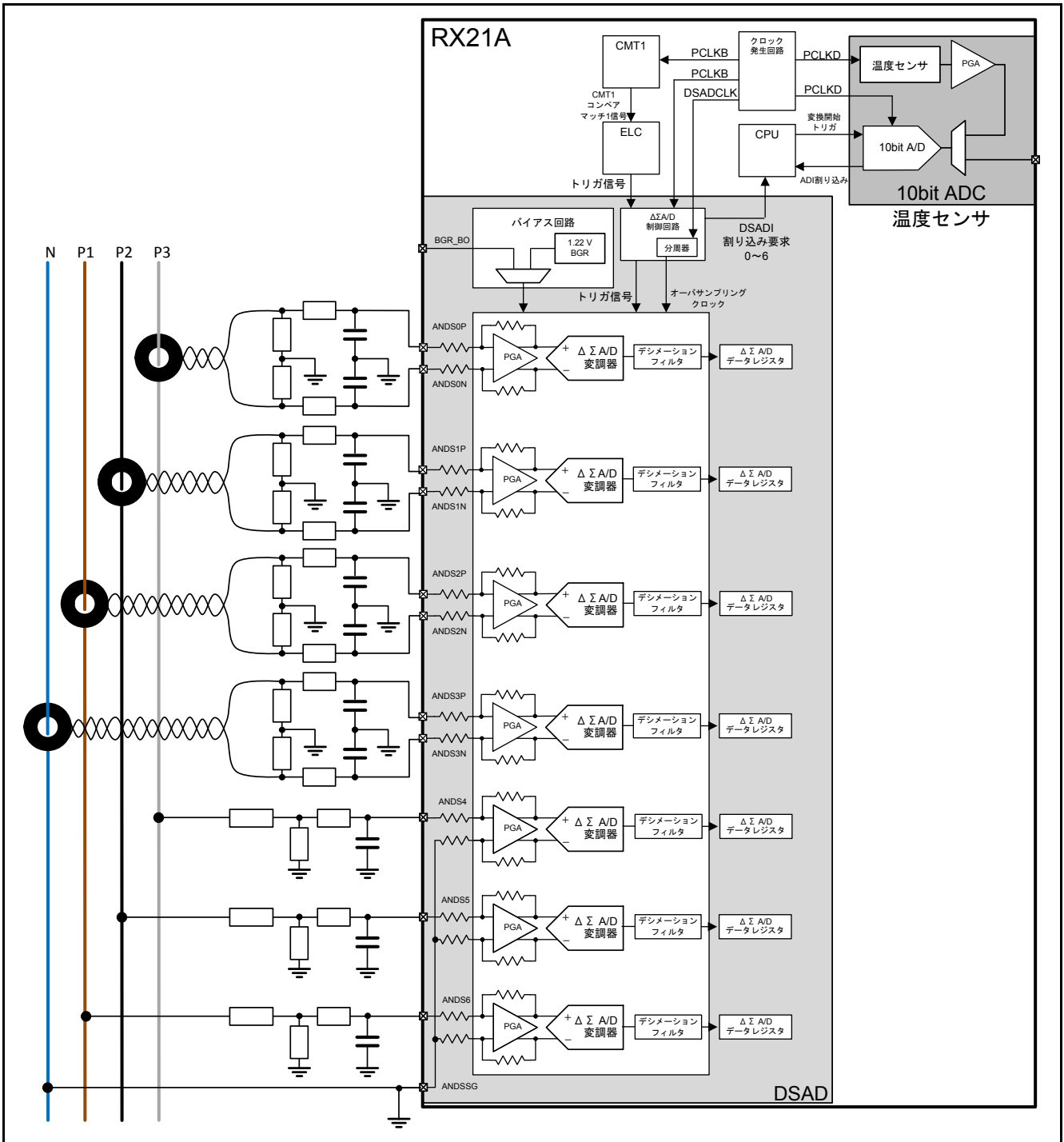


図 4.1 ブロック図

4.2 使用端子一覧

表 4.1 に使用端子と機能を示します。

使用端子は 100 ピン版の製品を想定しています。100 ピン版未満の製品を使用する場合は、使用する製品に合わせて端子を選択してください。

表 4.1 使用端子と機能

端子名	入出力	内容
ANDS0P、ANDS0N	入力	アナログ差動入力端子 チャンネル 0
ANDS1P、ANDS1N	入力	アナログ差動入力端子 チャンネル 1
ANDS2P、ANDS2N	入力	アナログ差動入力端子 チャンネル 2
ANDS3P、ANDS3N	入力	アナログ差動入力端子 チャンネル 3
ANDS4	入力	アナログシングルエンド入力端子 チャンネル 4
ANDS5	入力	アナログシングルエンド入力端子 チャンネル 5
ANDS6	入力	アナログシングルエンド入力端子 チャンネル 6
ANDSSG	入力	アナログシングルエンド入力端子 共通シグナルグランドに接続
BGR_BO	入力	リファレンスの外部印加端子 入力は内部基準電圧に使用

5. ゲインとオフセット誤差の校正

5.1 DSAD の誤差

DSAD の入出力特性例を図 5.1 に示します。

ΔΣA/D データレジスタ値は 32 ビットの 2 の補数で表現されており、DSAD が理想的な特性を持っている場合は

式 5.1

$$(A/D \text{ 変換値}) = (\text{アナログ入力電圧} \times \text{ゲイン}) / (\text{VREFDSH 端子電圧}) \times 2^{23} \times (t_{\text{TRIG}} / (t_{\text{OS}} \times 256))$$

となります。

しかし実際の DSAD は、ゲインとオフセット誤差を持っているため、DSAD 変換値は理論値からずれています。さらに DSAD に外付けされたセンサもゲインとオフセット誤差を持っているのが普通です。したがって、測定したデジタル値から被測定対象のアナログ入力電圧値を精度良く求めるためには、ゲインとオフセット誤差の校正を行う必要があります。

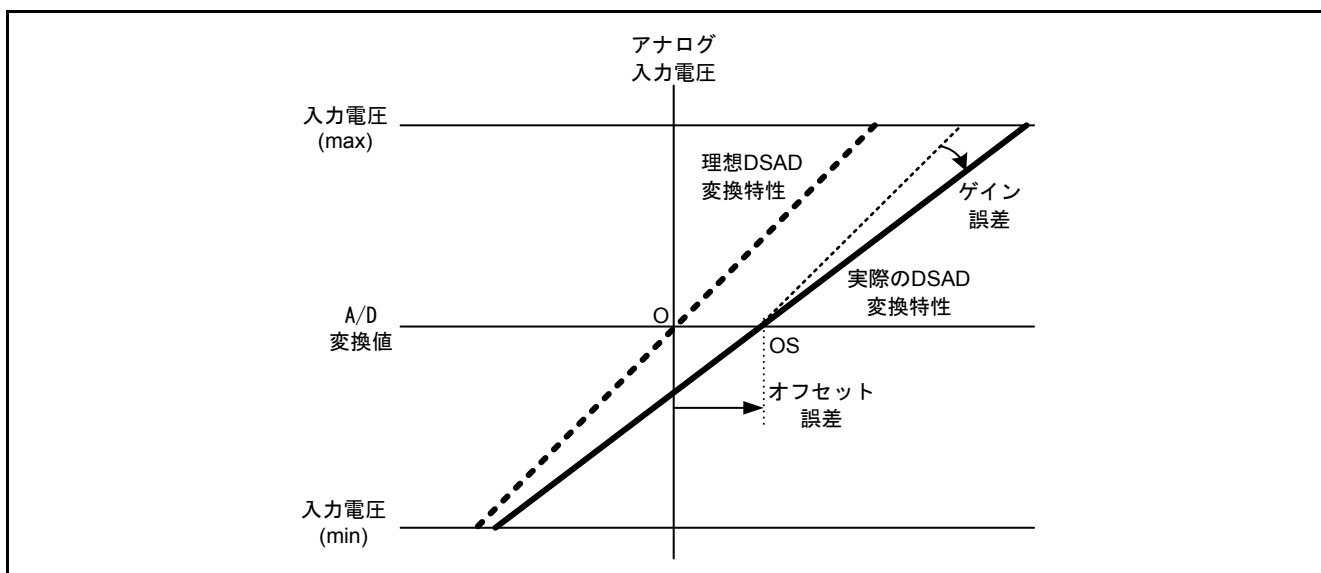


図 5.1 DSAD の入出力特性例

5.2 ゲインとオフセットの校正値の求め方

ゲインとオフセットを校正するには、基準になる2点以上の電圧を DSAS 入力端子に入力して、それぞれのデジタル出力値を計測しておく必要があります。

基準とする電圧として DSAD 入力端子に加わる電圧を使った場合は、RX21A 単体のゲインとオフセット（デバイスゲイン、デバイスオフセット）が求められます。あるいはシステムのセンサ入力部に加わる電圧または電流を基準値として使用することで、センサを含めたシステム全体のゲインとオフセット（システムゲイン、システムオフセット）を求めることも可能です。

校正値を測定する際に複数回の測定値を平均化したり、校正値の算出に最小二乗法を使用したりするなど、できるだけ校正値の誤差が少なくなるようにしてください。

校正に使用する電源として、DC 電源を使用する方法と正弦波 AC 電源を使用する方法があります。

5.2.1 DC 電源を使用する方法

図 5.2 にゲインとオフセットの校正値の求め方（DC 電源使用時）を示します。

2つの異なる DC 電圧を DSAD 入力端子に入力し、その測定値からゲインとオフセットの校正値を求めます。入力電圧が y_B 、 y_C 、それぞれのときのデジタル出力値が x_B 、 x_C のとき、ゲインとオフセットの校正値は式 5.2、式 5.3 で求められます。

式 5.2

$$\text{Gain} = (x_C - x_B) / (y_C - y_B)$$

式 5.3

$$\text{Offset} = x_B - (x_C - x_B) / (y_C - y_B) * y_B$$

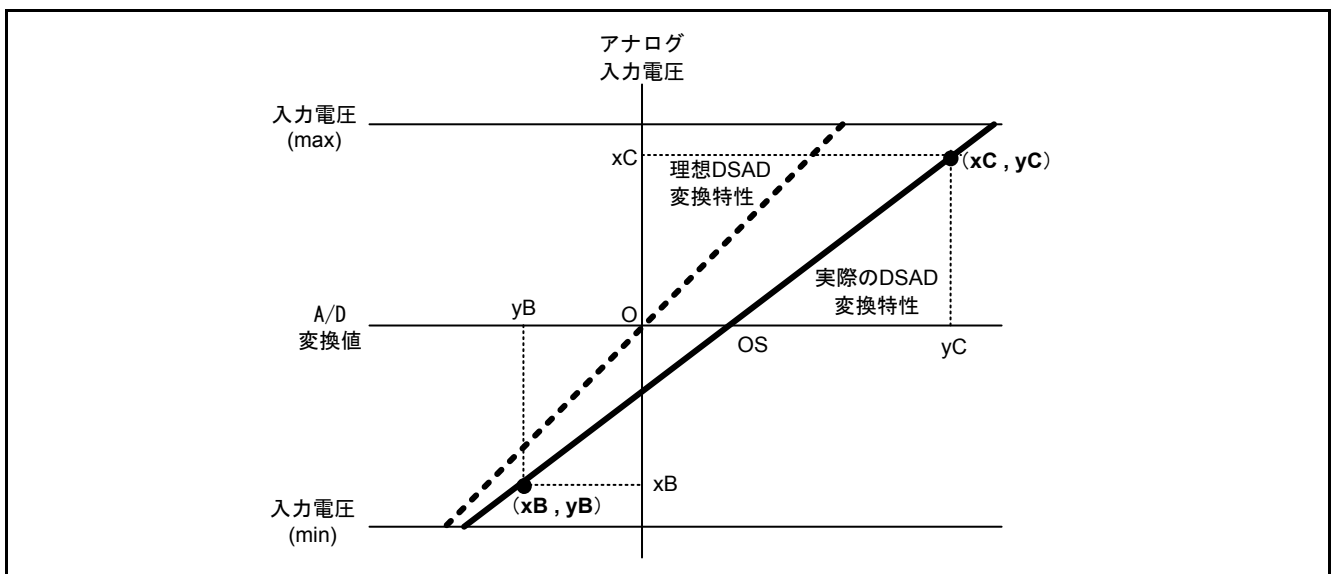


図 5.2 ゲインとオフセットの校正値の求め方（DC 電源使用時）

5.2.2 正弦波 AC 電源を使用する方法

図 5.3 にゲインとオフセットの校正値の求め方（正弦波 AC 電源使用時）を示します。

AC 入力の場合も DC 入力の場合と同様に式 5.2、式 5.3 を用いてゲインとオフセットの校正値を計算します。式 5.2 の x_B と x_C には入力正弦波の正負のピーク値の絶対値が同じ値とみなして代入し、 y_B と y_C には DSAD でオーバーサンプリングしたデジタル値から復元した正弦波の最小値・最大値を代入します。なお、オフセットは復元した正弦波の平均値と一致します。

また、式 5.2 の代わりに式 5.4 でゲインとオフセットの校正値を求めることもできます。

式 5.4

$$\text{Gain} = x_{\text{RMS}} / y_{\text{RMS}}$$

x_{RMS} : デジタル値から復元した正弦波の RMS 値

y_{RMS} : 入力正弦波の RMS 値

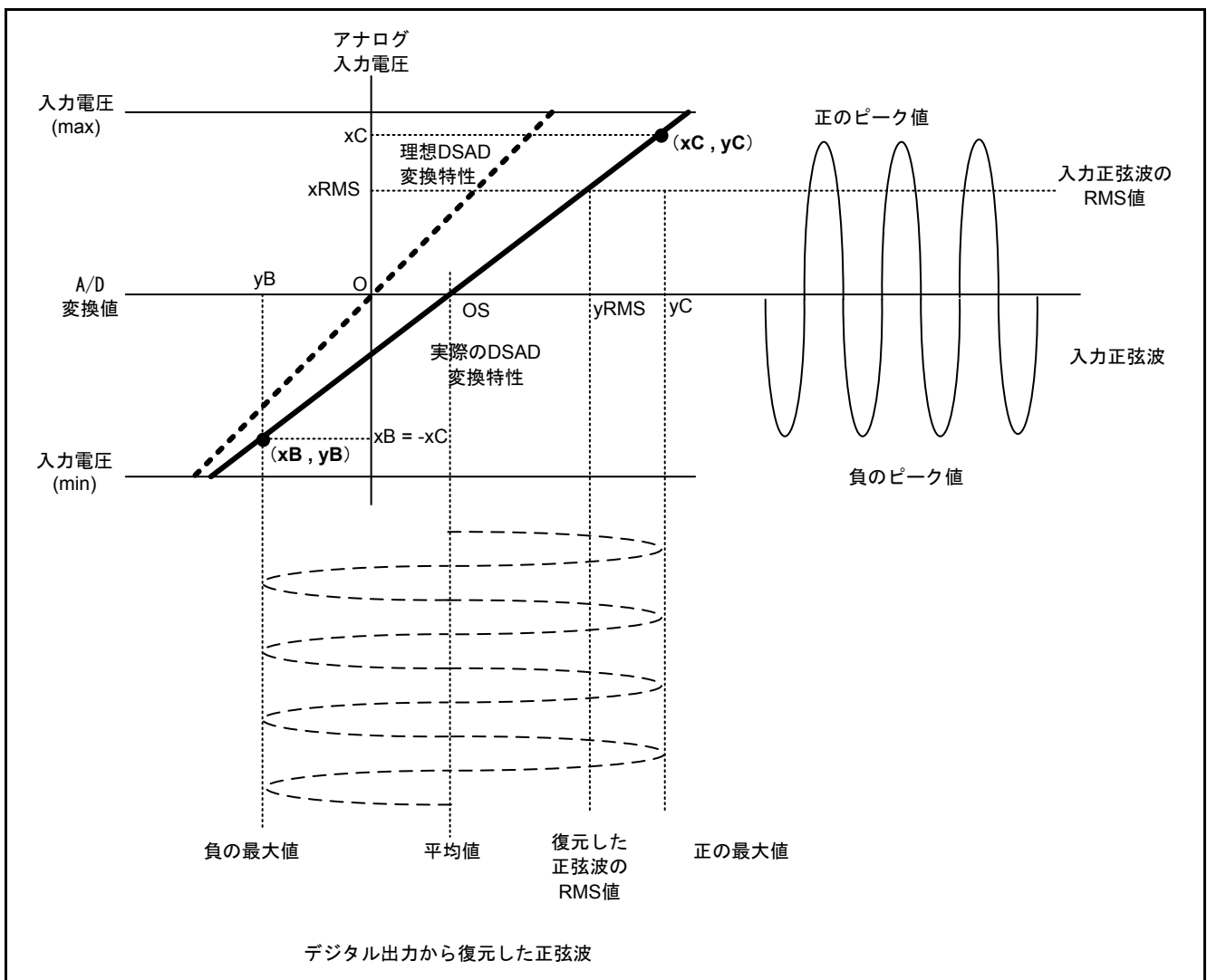


図 5.3 ゲインとオフセットの校正値の求め方（正弦波 AC 電源使用時）

6. システムゲイン校正

6.1 システムゲインの校正方法

システムゲイン誤差とは、選択できるゲインごとの DSAD 内部と外部センサ入力の回路が発生させる誤差のことです。複数のチャンネルで関連した電圧を測定した場合、チャンネル間で測定誤差を小さくするため、システムゲイン誤差を校正する必要があります。

最終製品では、外部の回路が接続された状態で少なくとも一回、全チャンネルのシステムゲインを校正してください。

図 6.1 にゲイン校正の概念を示します。左が校正前、中心が内部メモリにある校正データを使ってゲイン間の線形性のずれを補正した後、右がオフセット誤差を校正した後のゲインを表しています。左のグラフでは、PGA Gain Setting に対して実際のゲインはチャンネルごとに前後しているのに対し、これを×1のゲインから順に各ゲインを校正することで、各ゲインで誤差の少ない中心のグラフの状態に校正した後、ゲイン誤差を除去することで右のグラフのように校正ができています。

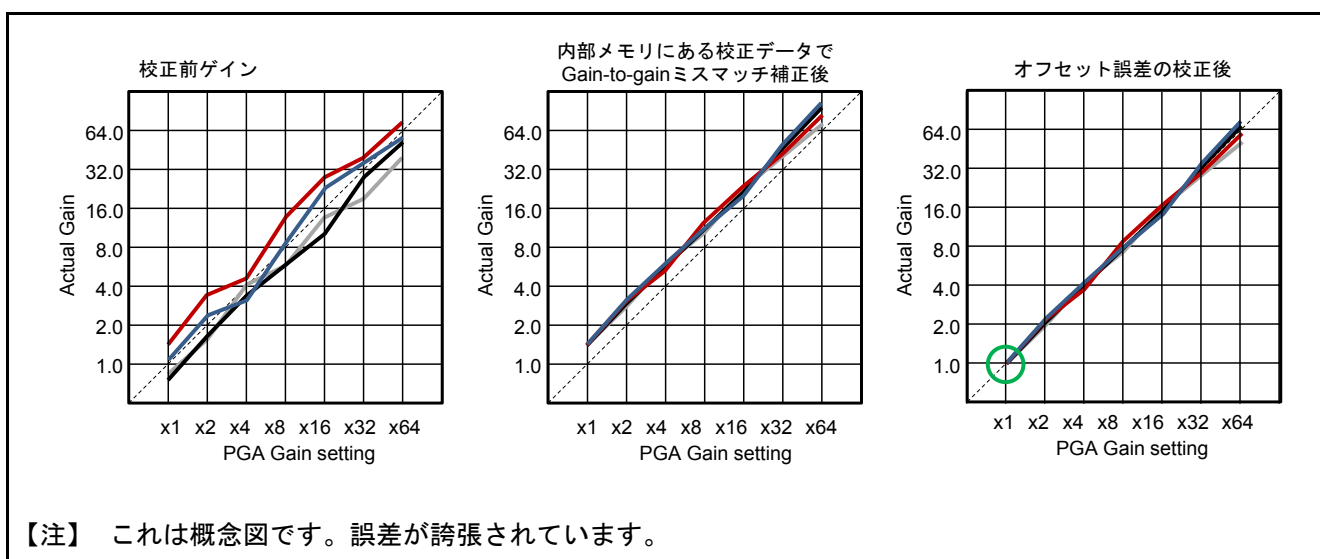


図 6.1 ゲインの校正

6.2 デバイスゲイン

デバイスごとの各ゲイン(デバイスゲイン)は、工場出荷時に測定されて ΔΣA/D ゲイン校正データレジスタ(DSADGmXn) (m=0 ~ 6、n=1, 2, 4, 8, 16, 32)の GCD[15:0]ビットに格納されています。チャンネルのゲイン設定でのデバイスゲインは、式 6.1 で表されます。

なお、ゲイン X64 の校正データは格納されていません。ゲイン X64 のデバイスゲインはゲイン X32 の 2 倍の値を使用してください。

式 6.1

$$\text{DeviceGain}(m, n) = n \times \text{DSADGmXn.GCD}[15:0] / 47971$$

$$\text{DeviceGain}(m, 64) = \text{DeviceGain}(m, 32) \times 2$$

m: 入力チャンネル (0 ~ 6)

n: ΔΣA/D ゲイン選択レジスタ 0~6 (DSADGSRm) で選択したゲイン (1, 2, 4, 8, 16, 32)

6.3 外部入力抵抗と内部入力抵抗の影響

図 6.2 に差動入力チャネルの接続例を示します。

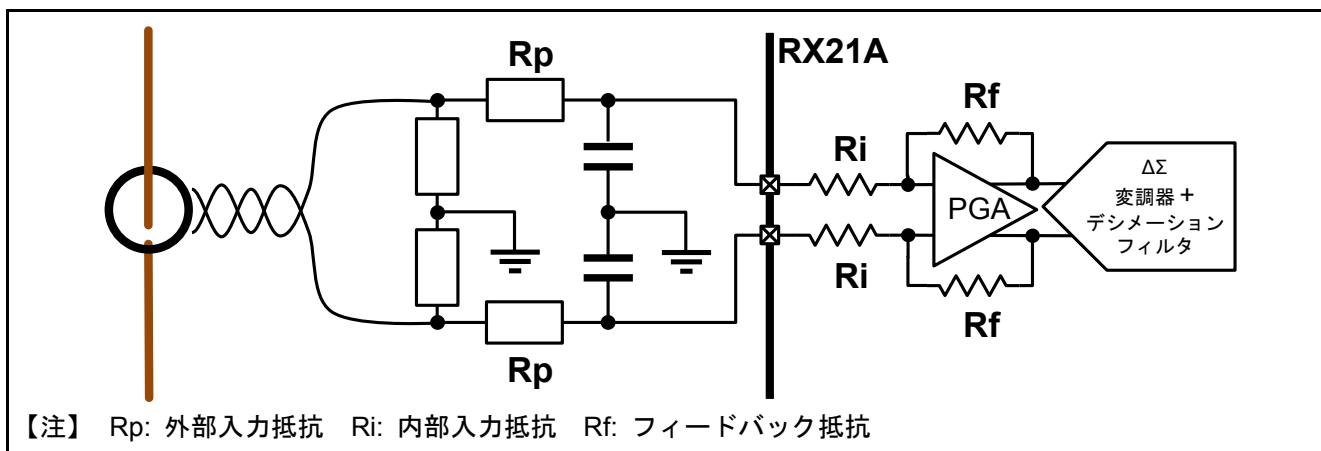


図 6.2 差動入力チャネルの接続図

折り返し雑音による誤差を防止するためには、DSAD の入力端子に外部入力抵抗 Rp とコンデンサによるローパスフィルタ（アンチエイリアスフィルタ）を接続する必要があります。

この接続例の場合、入力抵抗は DSAD 内蔵の内部入力抵抗 Ri と外部入力抵抗 Rp の和となり、デバイスゲインは入力抵抗とフィードバック抵抗の比に比例します。

式 6.2

$$\text{DeviceGain}(m, n) \propto Rf(n) / \{ Ri(n) + Rp(m) \}$$

m: 入力チャネル (0 ~ 3)

n: ΔΣA/D ゲイン選択レジスタ 0~3 (DSADGSRm) で選択したゲイン (1, 2, 4, 8, 16, 32, 64)

Rf(n): ゲイン n のときのフィードバック抵抗の値

Ri(n): ゲイン n のときの内部入力抵抗の値

Rp(m): チャネル m の外部入力抵抗の値

表 6.1 に各ゲイン設定のときの内部抵抗 (Ri、Rf) の値を示します。

表 6.1 ゲイン設定と内部抵抗の値

DSADGSRm.GAIN[2:0]	ゲイン	内部入力抵抗 Ri(n)	フィードバック抵抗 Rf(n)	ΔΣ変調器単体のゲイン
000b	X1	Ri ₀	Rf ₀	1
001b	X2	Ri ₀	2 Rf ₀	1
010b	X4	Ri ₀	4 Rf ₀	1
011b	X8	Ri ₀	8 Rf ₀	1
100b	X16	Ri ₀ / 2	8 Rf ₀	1
101b	X32	Ri ₀ / 2	8 Rf ₀	2
110b	X64	Ri ₀ / 2	8 Rf ₀	4

表 6.1 の R_{i0} と R_{f0} の設計値は $100\text{k}\Omega$ で、実際の値はデバイスごとにばらつきがあります。 R_{i0} のばらつきと入力インピーダンスのばらつきは比例します。 R_{i0} は、工場出荷時に測定されて格納している $\Delta\Sigma\text{A/D}$ 入力インピーダンス校正データレジスタ (DSADIIC) の IICD[15:0] ビットの値を使った式 6.3 で表されます。

式 6.3

$$R_{i0} = 100.0 \times \text{DSADIIC.IICD}[15:0] / 32768 \quad [\text{k}\Omega]$$

システムゲインはセンサゲインとデバイスゲインとの積になります。センサゲインとは DSAD に入力する回路がもつゲインのことを指します。

式 6.4

$$\text{SystemGain}(m, n) = \text{SensorGain}(m) \times \text{DeviceGain}(m, n)$$

m: 入力チャンネル (0 ~ 6)

n: $\Delta\Sigma\text{A/D}$ ゲイン選択レジスタ 0~6 (DSADGSRm) で選択したゲイン (1, 2, 4, 8, 16, 32)

SystemGain(m, n): チャンネル m、ゲイン n のときの、センサとデバイスを合わせたゲイン

SensorGain(m): チャンネル m のセンサのゲイン

ゲイン設定がゲイン X16, X32, X64 の時は、ゲイン X1, X2, X4, X8 の時と比べ、入力抵抗の値が半分になり、外部入力抵抗 R_p がシステムゲインに与える影響が変化します。式 6.5 にその影響の比を示します。

式 6.5

$$\text{SystemGain}(n_H = 16, 32, 64) / \text{SystemGain}(n_L = 1, 2, 4, 8)$$

$$\propto (R_{i0} / 2 + R_p) / (R_{i0} + R_p)$$

$$\approx 1 + R_p / R_{i0}$$

7. 温度特性と補正

7.1 温度特性の補正方法

デバイスの温度が変化すると、デバイスゲイン、VBGR、入カインピーダンスの温度特性が DSAD の測定誤差を発生させます。6 章で校正したシステムゲインをデバイスの温度の情報を使って補正することで、DSAD の測定誤差を減らすことができます。

デバイスの温度は、内蔵の温度センサを使用して求めます。測定した温度の精度がシステムゲインの補正精度に影響しますので、内蔵の温度センサは必ず校正してから使用してください。

図 7.1 に温度特性を持つ要素を示します。

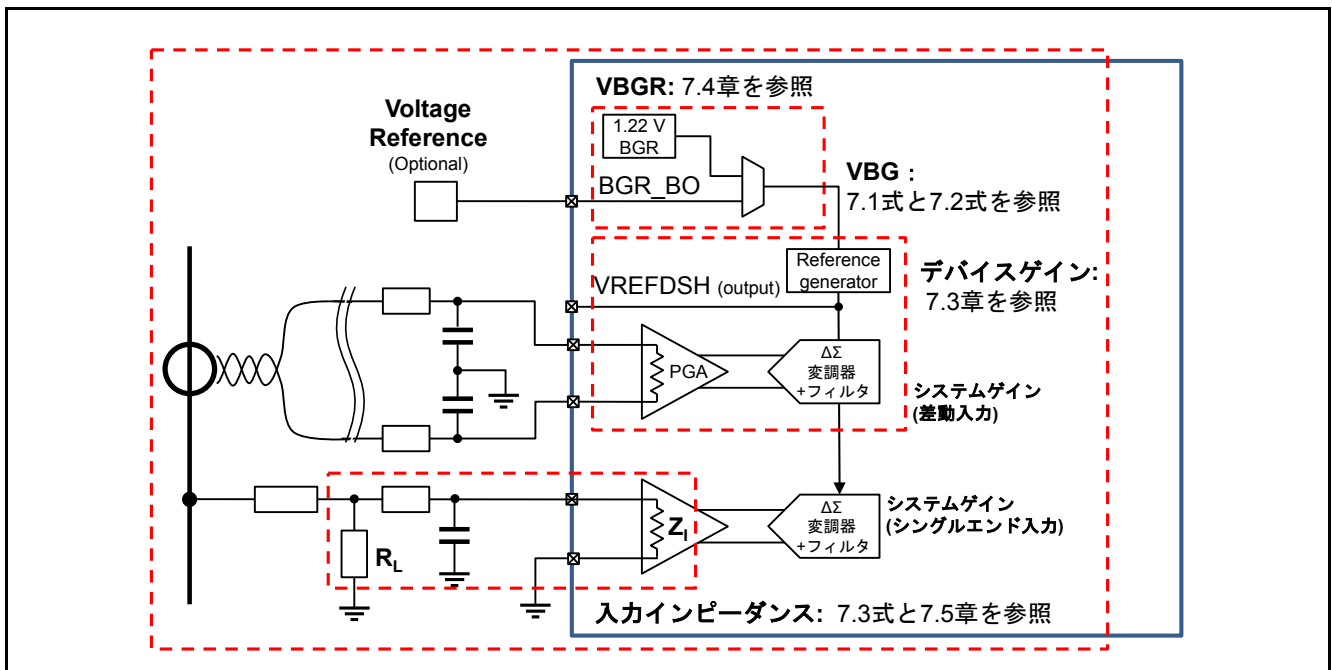


図 7.1 温度特性を持つ要素

7.2 デバイスの温度特性の係数

表 7.1 に RX21A の温度特性の係数の値を示します。

表 7.1 温度特性の係数

要素		係数	記号	値	単位
BGR		2 次	C_{BA}	-0.26×10^{-6}	K^{-2}
		1 次	C_{BB}	5.5×10^{-6}	K^{-1}
デバイスゲイン	X1	1 次	C_{X1}	-5×10^{-6}	K^{-1}
	X2		C_{X2}	-4×10^{-6}	
	X4		C_{X4}	-7×10^{-6}	
	X8		C_{X8}	-2×10^{-6}	
	X16		C_{X16}	-14×10^{-6}	
	X32		C_{X32}	-14×10^{-6}	
	X64		C_{X64}	-14×10^{-6}	
入カインピーダンス		1 次	C_Z	-1200×10^{-6}	K^{-1}

7.3 デバイスゲイン

図 7.2 にリファレンス電圧 (V_{BG}) が温度特性を持たない条件における(理論上の)デバイスゲインの温度特性を示します。

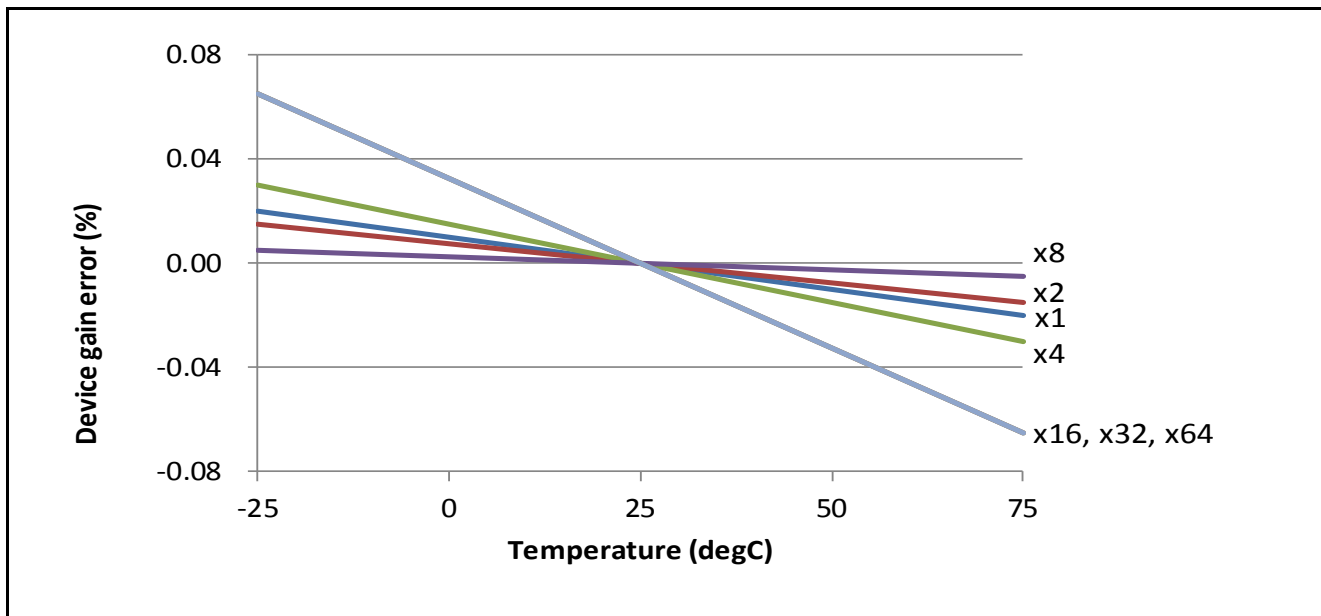


図 7.2 リファレンス電圧 (V_{BG}) が温度特性を持たない条件における(理論上の)デバイスゲインの温度特性

デバイスゲインの温度特性は式 7.1 で表されます。

式 7.1

$$\text{Device gain}(T_j) = \text{Device gain}(T_j = 25) \times \{ 1 + C_{x_n} (T_j - 25) \}$$

T_j: チップ上の接合部の温度 [°C]

C_{x_n} (n=1, 2, 4, 8, 16, 32, 64): 係数 (値は表 7.1 を参照)

7.4 VBGR

リファレンス電圧 (VBGR) は、内蔵 BGR 電圧 (VBGR) か外部のリファレンス電圧 (BGR_BO) を使用できます。BGR_BO を使用した場合は VBGR の影響はありませんが、外部のリファレンス電圧の温度特性を考慮してください。

図 7.3 に VBGR の温度特性を示します。VBGR は、25°C で 1.22V が出力されるように工場出荷時に調整していますが、温度によって 1.2189V 程度まで低下します。

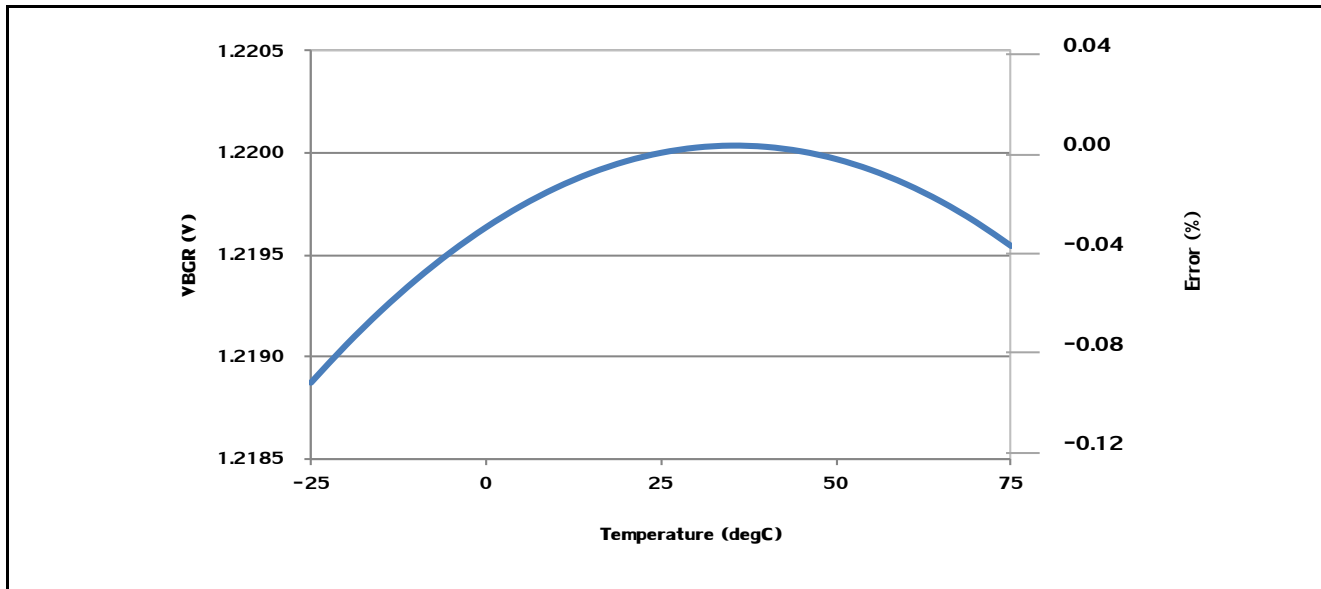


図 7.3 VBGR の温度特性

VBGR の温度特性は式 7.2 で表されます。

式 7.2

$$VBGR(T_j) = VBGR(T_j = 25) \times \{ 1 + C_{BA} (T_j - 25)^2 + C_{BB} (T_j - 25) \}$$

T_j : チップ上の接合部の温度 [°C]

C_{BA} : 2 次の係数、 C_{BB} : 1 次の係数 (値は表 7.1 を参照)

$VBGR(T_j = 25)$: BGR 電圧の標準値、1.220 [V]

7.5 入力インピーダンス

図 7.4 にシングルエンド入力のゲイン X1 の場合の入力インピーダンスの温度特性を示します。

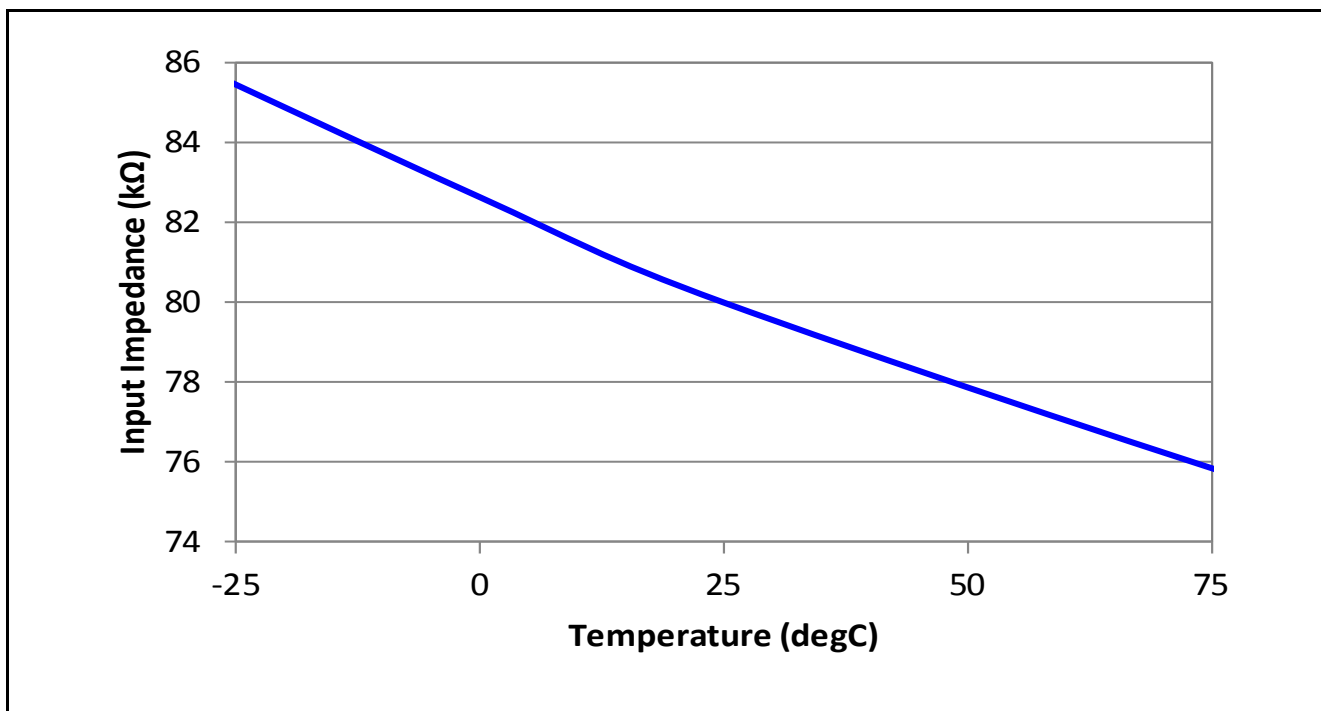


図 7.4 シングルエンド入力のゲイン X1 の場合の入力インピーダンスの温度特性

各ゲイン設定における入力インピーダンス Z_i の温度特性は式 7.3 で表されます。

式 7.3

$$Z_i(T_j) = Z_i(T_j = 25) \times \text{DSADIIC.IICD}[15:0] / 32768 \times \{1 + C_z(T_j - 25)\}$$

T_j : チップ上の接合部の温度 [°C]

$Z_i(T_j = 25)$: 入力インピーダンスの標準値。ゲイン設定ごとに異なります。

ユーザーズマニュアルハードウェア編の ΔΣA/D 変換特性にある「差動入力 入力インピーダンス」、または「シングルエンド入力 入力インピーダンス」を参照してください。

C_z : 係数 (値は表 7.1 を参照)

7.6 外部負荷抵抗と入力インピーダンスの影響

図 7.4 にシングルエンド入力チャネルの接続例を示します。

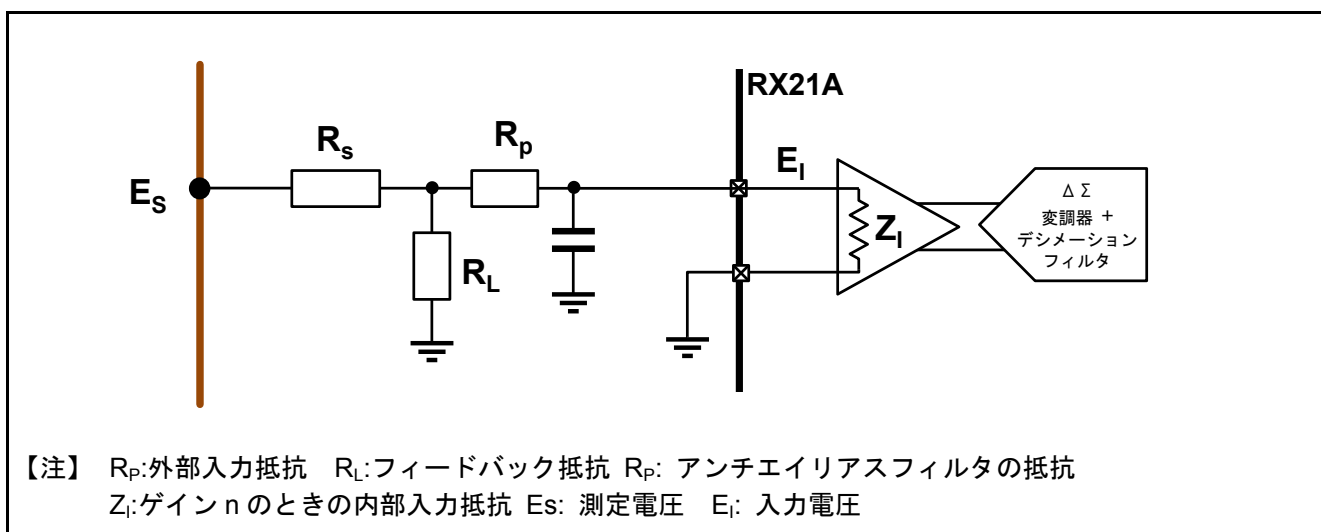


図 7.5 シングルエンド入力チャネルの接続例

この接続例の場合、温度上昇によって入力インピーダンス Z_i が小さくなると外部負荷抵抗を流れる電流が減少します。それにより DSAD の入力電圧 E_i が低下するため、見かけのシステムゲインが変化します。負荷抵抗、入力インピーダンスとシステムゲインの関係を式 7.4 に示します。

式 7.4

$$\text{SystemGain} \propto E_s / E_i = \{ (R_s \times (R_p + Z_i) + R_L \times (R_s + R_p + Z_i)) / (R_L \times Z_i) \}$$

$$\approx (1 + R_L / Z_i) \times (R_s / R_L) \propto 1 + R_L / Z_i$$

R_p : 外部入力抵抗の値

R_L : フィードバック抵抗の値

Z_i : ゲイン n のときの内部入力抵抗の値

(注) $R_p = 100\Omega$ 、 $R_L = 1.8k\Omega$ 、 $Z_i = 80k\Omega$ 、 $R_s = 1.32M\Omega$ とした場合に近似する

なお、図 6.2 に示した差動入力チャネルの接続例では、センサの出カインピーダンスが十分小さければ、DSAD の入力インピーダンスが変化しても DSAD への入力電圧は変動しないため、入力インピーダンスの温度特性が SystemGain に及ぼす影響は無視できます。

7.7 システムゲインの温度特性の補正

差動入力のシステムゲインは、デバイスゲインに比例し、内蔵 BGR または外部リファレンス電圧から生じるリファレンス電圧 VBG に反比例します。

シングルエンド入力のシステムゲインは、式 7.4 で示したとおり入カインピーダンスの影響も受けます。

差動入力のシステムゲイン

式 7.5

$$\text{System gain (Differential Input)} \propto \text{Device gain} / \text{VBG}$$

$$\text{Device gain}(T_j) = \text{Device gain}(T_j = 25) \times \{1 + C_{Xn}(T_j - 25)\} \quad (\text{式 7.1 再掲})$$

$$\text{VBGR}(T_j) = \text{VBGR}(T_j = 25) \times \{1 + C_{BA}(T_j - 25)^2 + C_{BB}(T_j - 25)\} \quad (\text{式 7.2 再掲})$$

式 7.6

$$\begin{aligned} \text{System gain (Differential Input)}(T_j) \\ \approx \text{System gain (Differential Input)}(T_j = 25) \times \{1 - C_{BA}(T_j - 25)^2 + (C_{Xn} - C_{BB})(T_j - 25)\} \end{aligned}$$

シングルエンド入力のシステムゲイン

式 7.7

$$\text{System gain (Single-ended Input)} \propto \text{Device gain} / \text{VBG} \times (1 + R_L/Z_i)$$

R_L : 外部負荷抵抗 [Ω]

Z_i : 入カインピーダンス [Ω]

$$\text{Device gain}(T_j) = \text{Device gain}(T_j = 25) \times \{1 + C_{Xn}(T_j - 25)\} \quad (\text{式 7.1 再掲})$$

$$\text{VBGR}(T_j) = \text{VBGR}(T_j = 25) \times \{1 + C_{BA}(T_j - 25)^2 + C_{BB}(T_j - 25)\} \quad (\text{式 7.2 再掲})$$

$$Z_i(T_j) = Z_i(T_j = 25) \times \text{DSADIIC.IICD}[15:0] / 32768 \times \{1 + C_Z(T_j - 25)\} \quad (\text{式 7.3 再掲})$$

式 7.8

$$\begin{aligned} \text{System gain (Single-ended Input)}(T_j) \\ \approx \text{System gain (Single-ended Input)}(T_j = 25) \\ \times \{1 - C_{BA}(T_j - 25)^2 + (C_{Xn} - C_{BB} + R_L / Z_i(T_j = 25) / \text{DSADIIC.IICD}[15:0] \times 32768 \times C_Z)(T_j - 25)\} \end{aligned}$$

8. 校正と補正の手順

6章、7章で示した計算式を使用して、差動入力チャンネル、シングルエンド入力チャンネルのシステムゲインの校正と補正、およびオフセットの校正を行います。

校正と補正、およびオフセットの校正時の条件：

- ・ 基準温度 = 25°C (テスト用の電圧を入力する時)
- ・ 電圧 $y_B = 450\text{mV}$ 、 $y_C = -450\text{mV}$

8.1 システムゲインの校正と補正(差動入力)

システムゲインの校正は下記の手順に従います。

1. 温度補正で使用する 1 次係数($C_{Xn} - C_{BB}$)を算出し、2 次係数(C_{BA})を代入します。
 C_{BA} 、 C_{Xn} 、 C_{BB} は、表 7.1 を参照。
 System gain (m, 1) (Differential Input) (Tj) (式 7.6 再掲)
 $\approx \text{System gain (m, 1) (Differential Input) (Tj = 25)} \times \{1 - C_{BA}(Tj - 25)^2 + (C_{Xn} - C_{BB})(Tj - 25)\}$
2. センサゲインを算出するため、システムを使って測定します。まず DSAD を初期化し、すべてのチャンネルのゲインを設定します。(例えばゲイン X1)
3. 使用するシステムで各チャンネルの入力端子にテスト用の電圧(図 5.2 の y_B)を入力します。
4. 最適な周期・回数で DSAD 変換を繰り返して、DSAD 変換結果の平均値を求めます。
5. 各チャンネルの入力端子にテスト用の電圧(図 5.2 の y_C)を入力します。
6. 最適な周期・回数で DSAD 変換を繰り返して、DSAD 変換結果の平均値を求めます。
7. テスト用の 0V 電圧を入力し、DSAD 変換結果の平均値を求め、各ゲインでのオフセットを測定します。
8. 2 ポイントの電圧で得た DSAD 変換データを使用して、センサゲインを算出します。
 SystemGain (m, 1) (Tj) = $(x_C - x_B) / \{T_{TRIG} / (T_{OS} \times 256)\} / 2^{23}$ (式 5.1 再掲)
 $\times \text{VREFDSH 電圧} / (y_C - y_B)$
9. DSAD 変換データ取得時の温度でセンサゲインを温度で補正するため、式 5.1 の結果に温度補正を行います。
 SystemGain (m, n) (Tj) = SensorGain(m) (Tj) \times DeviceGain (m, n) (式 6.4 再掲)
 System gain (m, n) (Differential Input) (Tj) (式 7.6 再掲)
 $\approx \text{System gain (m, n) (Differential Input) (Tj = 25)} \times \{1 - C_{BA}(Tj - 25)^2 + (C_{Xn} - C_{BB})(Tj - 25)\}$

式 8.1

$$\text{SystemGain (m, 1) (Tj=25)} = \text{SystemGain (m, 1) (Tj)} / \{1 - C_{BA}(Tj - 25)^2 + (C_{Xn} - C_{BB})(Tj - 25)\}$$

$$\text{SensorGain(m) (Tj)} = \text{SystemGain (m, 1) (Tj=25)} / \text{DeviceGain (m, 1)}$$

10. ゲイン X1~8 のシステムゲインを式 6.1 と式 8.1 で得たセンサゲインから算出します。

$$\text{DeviceGain (m, n) (Tj)} = n \times \text{DSADGmXn.GCD}[15:0] / 47971 \quad (\text{式 6.1 再掲})$$

$$\text{SystemGain (m, n) (Tj)} = \text{SensorGain(m)} \times \text{DeviceGain (m, n)} \quad (\text{式 6.4 再掲})$$

式 8.2

$$\text{SystemGain (m, n) (Tj)} = \text{SensorGain(m) (Tj)} \times n \times \text{DSADGmXn.GCD}[15:0] / 47971$$

11. ゲイン X1~8 のシステムゲイン(式 8.2)を温度補正します。

$$\begin{aligned} \text{System gain (m, n) (Differential Input) (Tj)} & \quad \text{(式 7.6 再掲)} \\ \approx \text{System gain (m, n) (Differential Input) (Tj = 25)} & \times \{ 1 - C_{BA}(Tj - 25)^2 + (C_{Xn} - C_{BB})(Tj - 25) \} \end{aligned}$$

式 8.3

$$\begin{aligned} \text{System gain (m, n) (Differential Input) (Tj)} & \approx \text{System gain (m,n) (Tj - 25)} \times \{ 1 - C_{BA}(Tj - 25)^2 \\ & + (C_{Xn} - C_{BB})(Tj - 25) \} \end{aligned}$$

12. ゲイン X16~32 のシステムゲインを式 6.1、式 6.3、式 6.4、式 6.5 から算出します。

$$\text{DeviceGain (m, n) (Tj)} = n \times \text{DSADGmXn.GCD}[15:0] / 47971 \quad \text{(式 6.1 再掲)}$$

$$\text{Ri}_0 = 100.0 \times \text{DSADIIC.IICD}[15:0] / 32768 \quad [\text{k}\Omega] \quad \text{(式 6.3 再掲)}$$

$$\text{SystemGain (m, n) (Tj)} = \text{SensorGain(m) (Tj)} \times \text{DeviceGain (m, n)} \quad \text{(式 6.4 再掲)}$$

$$\text{SystemGain (n = 16, 32, 64) (Tj)} / \text{SystemGain (n = 1, 2, 4, 8) (Tj)} \approx 1 + \text{Rp} / \text{Ri}_0 \quad \text{(式 6.5 再掲)}$$

式 8.4

$$\begin{aligned} \therefore \text{SystemGain (m, n) (Tj)} & = \text{SystemGain (m, 1) (Tj)} / 1(\text{注}) / \text{DSADGmX1.GCD}[15:0] \times 47971 \\ & \times \text{DSADGmXn.GCD}[15:0] \times n / 47971 \\ & \times (1 + \text{Rp} / 100\text{k} \times 32768 / \text{DSADIIC.IICD}[15:0]) \end{aligned}$$

(注：基準となるゲインを X1 と設定した場合で示しています。)

13. ゲイン X64 のシステムゲインを式 6.1 から算出します。

$$\text{DeviceGain (m, 64)} = \text{DeviceGain (m, 32)} \times 2 \quad \text{(式 6.1 再掲)}$$

式 8.5

$$\text{System Gain (m, 64) (Tj)} = \text{System Gain (m, 32)} \times 2$$

14. ゲイン X16~64 のシステムゲインを温度補正します。

$$\begin{aligned} \text{System gain (m, n) (Differential Input) (Tj)} & \quad \text{(式 7.6 再掲)} \\ \approx \text{System gain (m, n) (Differential Input) (Tj = 25)} & \times \{ 1 - C_{BA}(Tj - 25)^2 + (C_{Xn} - C_{BB})(Tj - 25) \} \end{aligned}$$

式 8.6

$$\begin{aligned} \text{System gain (m, n) (Differential Input) (Tj)} & \approx \text{System gain (m, n) (Differential Input) (Tj = 25)} \\ & \times \{ 1 - C_{BA}(Tj - 25)^2 + (C_{Xn} - C_{BB})(Tj - 25) \} \end{aligned}$$

(校正、補正は完了。15 はメインループで温度結果が得られた時)

15. 測定した結果は、温度補正後のシステムゲイン補正情報を使用して、補正した結果にします。

式 8.7

$$\begin{aligned} \text{(補正後の DSAD 値)} & = ((\text{DSADDR0} \sim 3 \text{レジスタの値}) - (\text{ゲインのオフセット値(手順7の結果)})) \\ & / \text{SystemGain (m, n) (Tj=25)} \times \text{System gain (m, n) (Differential Input) (Tj)} \end{aligned}$$

8.2 システムゲインの校正と補正(シングルエンド入力)

システムゲインの校正は下記の手順に従います。

1. 温度補正で使用する 1 次係数($C_{Xn} - C_{BB} + R_L / Z_i$ ($T_j = 25$) / DSADIIC.IICD[15:0] × 32768 × C_Z)を算出し、2 次係数(C_{BA})を代入します。

C_{BA} 、 C_{Xn} 、 C_{BB} 、 C_Z は、表 7.1 を参照。

System gain (m, 1) (Single-ended Input) (T_j) (式 7.8 再掲)

≈ System gain (m, 1) (Single-ended Input) ($T_j = 25$)

× { 1 - $C_{BA}(T_j - 25)^2$ + ($C_{Xn} - C_{BB} + R_L / Z_i$ ($T_j = 25$) / DSADIIC.IICD[15:0] × 32768 × C_Z) ($T_j - 25$)}

2. センサゲインを算出するため、システムを使って測定します。まず DSAD を初期化し、すべてのチャンネルのゲインを設定します。(例えばゲイン X1)
3. 使用するシステムで各チャンネルの入力端子にテスト用の電圧(図 5.2 の場合は yB)を入力します。
4. 最適な周期・回数で A/D 変換を繰り返して、DSAD 変換結果の平均値を求めます。
5. チャンネルの入力端子にテスト用の電圧(図 5.2 の場合は yC)を入力します。
6. 最適な周期・回数で A/D 変換を繰り返して、DSAD 変換結果の平均値を求めます。
7. テスト用の 0V 電圧を入力し、DSAD 変換結果の平均値を求め、各ゲインでのオフセットを測定します。
8. 2 ポイントの電圧で得た DSAD 変換データを使用して、センサゲインを算出します。

SystemGain (m, 1) (T_j) = ($x_C - x_B$) / { $T_{TRIG} / (T_{OS} \times 256)$ } / 2^{23} (式 5.1 再掲)
× VREFDSH 電圧 / ($y_C - y_B$)

9. DSAD 変換データ取得時の温度でセンサゲインの温度で補正するため、式 5.1 の結果に温度補正を行います。

SystemGain (m, n) (T_j) = SensorGain(m) × DeviceGain (m, n) (式 6.4 再掲)

System gain (m, n) (Single-ended Input) (T_j) (式 7.8 再掲)

≈ System gain(m, n) (Single-ended Input) ($T_j = 25$) × { 1 - $C_{BA}(T_j - 25)^2$

+ ($C_{Xn} - C_{BB} + R_L / Z_i$ ($T_j = 25$) / DSADIIC.IICD[15:0] × 32768 × C_Z) ($T_j - 25$)}

式 8.8

SystemGain (m, 1) ($T_j=25$) = SystemGain (m, 1) (T_j) / { 1 - $C_{BA}(T_j - 25)^2$ + ($C_{Xn} - C_{BB} + R_L / Z_i$ ($T_j = 25$) / DSADIIC.IICD[15:0] × 32768 × C_Z) ($T_j - 25$)}

SensorGain(m) = SystemGain (m, 1) ($T_j=25$) / DeviceGain (m, 1)

10. ゲイン X1~4 のシステムゲインを式 6.1 と式 8.8 で得たセンサゲインから算出します。

DeviceGain (m, n) (T_j) = n × DSADGmXn.GCD[15:0] / 47971 (式 6.1 再掲)

SystemGain (m, n) (T_j) = SensorGain(m) × DeviceGain (m, n) (式 6.4 再掲)

式 8.9

SystemGain (m, n) (T_j) = SensorGain(m) × n × DSADGmXn.GCD[15:0] / 47971

11. ゲイン X1~4 のシステムゲイン(式 8.9)を温度補正します。

$$\begin{aligned} & \text{System gain (m, n) (Single-ended Input) (Tj)} && \text{(式 7.8 再掲)} \\ & \approx \text{System gain (m, n) (Single-ended Input) (Tj = 25)} \times \{ 1 - C_{BA}(Tj - 25)^2 + (C_{Xn} - C_{BB} + R_L} \\ & / Z_i (Tj = 25) / \text{DSADIIC.IICD}[15:0] \times 32768 \times C_Z (Tj - 25) \} \end{aligned}$$

式 8.10

$$\begin{aligned} & \text{System gain (m, n) (Single-ended Input) (Tj)} \\ & \approx \text{SensorGain(m) (Tj)} \times \text{DeviceGain (m, n)} \times \{ 1 - C_{BA}(Tj - 25)^2 + (C_{Xn} - C_{BB} + R_L / Z_i (Tj = 25)} \\ & / \text{DSADIIC.IICD}[15:0] \times 32768 \times C_Z (Tj - 25) \} \end{aligned}$$

12. 測定した結果は、温度補正後のシステムゲイン補正情報を使用して、補正した結果にします。

式 8.11

$$\begin{aligned} & \text{(補正後の DSAD 値)} = (\text{DSADDR0} \sim 3 \text{ の値}) - (\text{ゲインのオフセット値(手順 7 の結果)}) \\ & / \text{SystemGain (m, n) (Tj=25)} / \text{System gain (m, n) (Single-ended Input) (Tj)} \end{aligned}$$

9. ソフトウェア説明

9.1 動作概要

リセット解除後、校正・補正用の DSAD 値を取得し、システムゲインの校正、補正を行い、温度センサの校正を行った後、温度センサから得た温度情報から DSAD の温度によるシステムゲイン補正を随時行いながら、DSAD 変換を行います。

校正・補正用の DSAD 値は、2 ポイントの電圧、0V を入力した状態でゲイン×2 からゲイン×64 で測定します。2 ポイントの電圧はセンサゲインの算出に使用します。ゲイン×2 からゲイン×64 で 0V 電圧を測定した結果は、オフセット値として使用します。オフセット値はゲインごとに異なるため、ゲイン×2 からゲイン×64 すべてで取得します。

温度センサは、リセット解除後の A/D 変換結果、内蔵されている 125°C の校正値を使用して校正します。温度センサの校正後は、その結果を使って温度データを算出します。

DSAD 変換は、CMT1 による 163.84μs 周期で行い、10 回を 1 サンプルングとして扱います。最初の 2 回は読み捨て、残りの 8 回を正常値として使用します。残りの 8 回で得た DSAD 変換値の合計を 1/8 して平均値を取ります。

温度センサの A/D 変換は、CMT1 による 163.84μs 周期を 610 回カウントし、約 100ms 周期で変換を行い、6 回分の A/D 変換値を RAM に退避し、その合計値から最大値と最小値を引いた 4 回分の平均値を算出しています。

図 9.1 に動作タイミング図を示します。

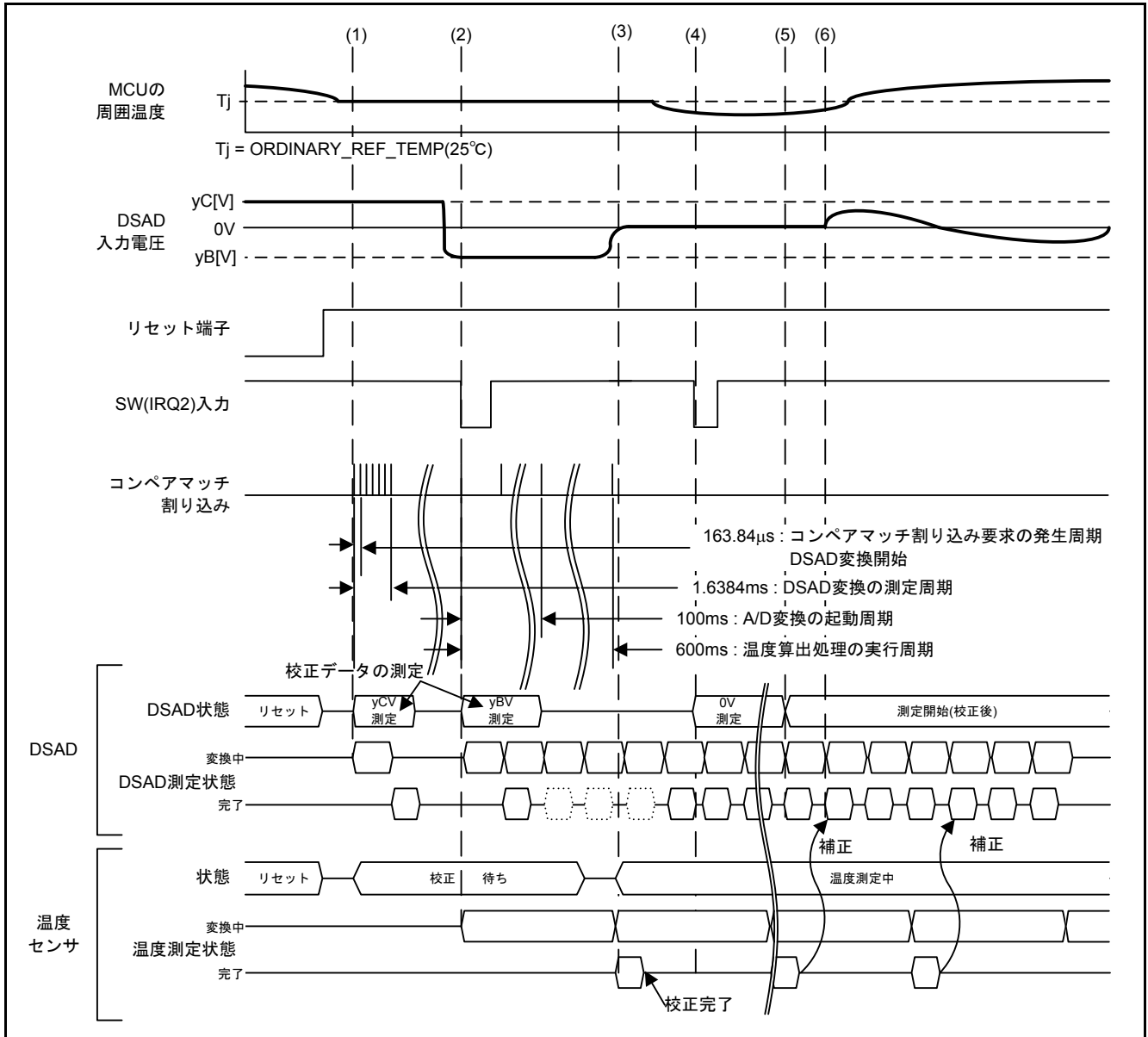


図 9.1 動作タイミング図

- (1) 電圧は yC[V]、温度は ORDINARY_REF_TEMP で保持した状態で、リセットを解除します。リセット解除後、初期設定をした後、電圧が yC[V]での DSAD 変換値を各チャネルで取得します。取得後は IRQ2 割り込み要求を待ちます。
- (2) 変換が完了したと思われる適切なタイミングで、電圧を yB[V]に変更して SW を押下します。押下すると、IRQ2 割り込み要求が発生し、電圧が yB[V]での DSAD 変換値を各チャネルで取得します。また、同時に温度センサを起動させて、温度(ORDINARY_REF_TEMP)での A/D 変換した値の取得を開始します。
- (3) A/D 変換結果データの 6 回分を取得した後、温度センサの校正を行います。
- (4) 温度センサの校正が完了したと思われる適切なタイミングで、電圧を 0[V]に変更して SW を押下します。押下すると、IRQ2 割り込み要求が発生し、電圧が 0[V]での DSAD 変換値を各チャネル、全ゲインで取得します。
- (5) DSAD 変換結果を取得後、DSAD 変換結果の校正と補正を行います。ここで電圧、温度は、保持していた状態から解放できます。
- (6) 温度センサで得た周辺温度情報を使用して、DSAD 変換結果の補正を行い、補正した情報を使って DSAD 変換結果を補正します。

DSAD、CMT1、温度センサ、AD コンバータの設定を以下に示します。

<DSAD>

- ・リファレンス電圧の生成：内蔵 BGR 回路
- ・ゲイン設定：オフセット測定時は全ゲイン、オフセット以外の測定時はすべて ゲイン×1
- ・A/D 変換終了割り込み：使用する。
- ・データレジスタの上書き発生による割り込み：使用しない。
- ・入力選択：アナログ入力端子からの入力を使用。

<CMT1>

- ・カウントクロック：PCLKB の 32 分周
- ・コンペアマッチ割り込み周期：163.84μs

注：トリガ間隔が $t_{OS} \times 256 \sim t_{OS} \times 768$ の範囲となるよう t_{OS} の整数倍の期間を設定してください。

<温度センサ>

- ・PGA ゲイン(注 1)： $2.7V \leq AVCC0 \leq 3.6V$ (注 2)

注 1. PGA：Programable Gain Amplifier

注 2. 使用するシステムに応じて定数の設定を変更してください。

<AD コンバータ>

- ・動作モード：シングルスキャンモード
- ・A/D 変換開始条件：同期トリガ(温度センサからのトリガ)
- ・サンプリングステート数：180 ステート(サンプリング時間:72μs)
- ・アナログ入力断線検出アシスト機能：使用しない
- ・A/D 変換値加算モード：使用しない
- ・10 ビット A/D コンバータの自己診断機能：使用しない

9.2 必要メモリサイズ

表 9.1 に必要メモリサイズを示します。

表 9.1 必要メモリサイズ

使用メモリ	サイズ	備考
ROM	7311 バイト	
RAM	2046 バイト	
最大使用ユーザスタック	80 バイト	
最大使用割り込みスタック	0 バイト	

【注】 必要メモリサイズは C コンパイラのバージョンやコンパイルオプションにより異なります。

9.3 ファイル構成

表 9.2 にサンプルコードで使用するファイル、表 9.3 に標準インクルードファイル、表 9.4、表 9.5 に参照する関連アプリケーションノートの関数と設定値を示します。なお、統合開発環境で自動生成されるファイルは除きます。

表 9.2 サンプルコードで使用するファイル

ファイル名	概要
main.c	メイン処理
dsad.c	DSAD のゲインの校正・温度補正関数
dsad.h	dsad.c のヘッダファイル
temps.c	温度センサ処理
temps.h	temps.c のヘッダファイル

表 9.3 標準インクルードファイル

ファイル名	概要
stdbool.h	論理型、および論理値に関するマクロを定義します。
stdint.h	指定した幅の整数型を宣言してマクロを定義します。
float.h	浮動小数点型の限界に関する各種制限値を定義します。
machine.h	RX ファミリー用 組み込み関数の形式を定義します。

表 9.4 参照する関連アプリケーションノートの関数と設定値

(RX21A グループ 初期設定例)

ファイル名	関数	設定値
r_init_stop_module.c	R_INIT_StopModule()	-
r_init_stop_module.h	-	-
r_init_non_existent_port.c	R_INIT_NonExistentPort()	-
r_init_non_existent_port.h	-	100 ピン版を指定
r_init_clock.c	R_INIT_Clock()	-
r_init_clock.h	-	クロックの選択例：No.1 を指定。 PCLKD の分周比を 16 分周に変更。

表 9.5 参照する関連アプリケーションノートの関数と設定値

(RX ファミリー ソフトウェアによるウェイト処理のコーディング例)

ファイル名	関数	設定値
r_delay.c	R_DELAY_Us(unsigned long us, unsigned long khz)	ウェイト時間を設定
r_delay.h	-	-

9.4 オプション設定メモリ

表 9.6 にサンプルコードで使用するオプション設定メモリの状態を示します。必要に応じて、お客様のシステムに最適な値を設定してください。

表 9.6 サンプルコードで使用するオプション設定メモリ

シンボル	アドレス	設定値	内容
OFS0	FFFF FF8Fh~FFFF FF8Ch	FFFF FFFFh	リセット後、IWDT は停止 リセット後、WDT は停止
OFS1	FFFF FF8Bh~FFFF FF88h	FFFF FFFFh	リセット後、電圧監視 0 リセット無効 リセット後、HOCO 発振が無効
MDES	FFFF FF83h~FFFF FF80h	FFFF FFFFh	リトルエンディアン

9.5 定数一覧

表 9.7 から表 9.13 にサンプルコードで使用する定数を示します。

表 9.7 サンプルコードで使用する定数(dsad.c) (ユーザ変更可)

定数名	設定値	内容
RI0TYP	100e3	内部入力抵抗の設計値(Ω)
CHIP_VER	1	使用デバイスのバージョン選択
BGR_CIRCUIT	1	BGR 回路の有効/無効設定
VALID_CHANNEL	0x7F	使用チャンネル選択(1:使用、0:不使用) (ビットとチャンネルを関係づけています。 ch0 : bit0、ch1 : bit1...ch6 : bit6)
VREFDSH_VOLT	600	リファレンス電圧(mV)
TRIG_MS	$1 / 25.0f * 32 * 128$	t_{TRIG} の設定値(CMT1 の周期)
TOS_MS	$1.0f / (25.0f / 8)$	t_{OS} の設定値(3.125MHz: DSADCLK の 8 分周)
SENSOR_CALC	$TRIG_MS / (TOS_MS * 256)$	A/D 変換値から アナログ入力電圧を算出で使用する定数。 $(t_{TRIG} / (t_{OS} * 256))$ 。

表 9.8 サンプルコードで使用する定数(dsad.h) (ユーザ変更可)

定数名	設定値	内容
DSAD_CH_NUM	7	DSAD のチャンネル数
DSAD_DIFFER_CH_NUM	4	差動入力チャンネル数
DSAD_SINGLE_CH_NUM	3	シングルエンド入力チャンネル数
DSAD_GAIN_NUM	7	DSAD で選択できるゲインの数
DSAD_DIFFER_GAIN_NUM	7	差動入力チャンネルで選択できるゲインの数
DSAD_SINGLE_GAIN_NUM	3	シングルエンド入力チャンネルで選択できるゲインの数
DSAD_DISCARD_CNT	2	DSAD 変換の読み捨て回数
DSAD_CNT_MAX	$(DSAD_DISCARD_CNT + 8)$	DSAD 変換回数(2 回読み捨て+8 回平均)

表 9.9 サンプルコードで使用する定数(dsad.h) (ユーザ変更不可)

定数名	設定値	内容
STA_DSAD_IDLE	0	DSAD 準備中
STA_DSAD_PATERN_0	1	yC での DSAD 変換結果の取得完了
STA_DSAD_PATERN_1	2	yB での DSAD 変換結果の取得完了
STA_DSAD_COMPESETE	3	0V での DSAD 変換結果の取得完了
DSAD_GAIN_X1	0	選択するゲインの番号
DSAD_GAIN_X2	1	
DSAD_GAIN_X4	2	
DSAD_GAIN_X8	3	
DSAD_GAIN_X16	4	
DSAD_GAIN_X32	5	
DSAD_GAIN_X64	6	

表 9.10 サンプルコードで使用する定数(main.c)

定数名	設定値	内容
CMT_CYCLE_MS	610	A/D 変換周期($163.84\mu\text{s} \times 610 = \text{約 } 100\text{ms}$)

表 9.11 サンプルコードで使用する定数(temps.c)

定数名	設定値	内容
HIGH_REF_TEMP	125	高温基準温度($^{\circ}\text{C}$)
ADCONV_IN_OPERATION	0xFFFF	A/D 変換実行中の A/D 変換値(無効値)
SLOPE_COEFFICIENT_TEMP	(HIGH_REF_TEMP – ORDINARY_REF_TEMP) * TEMP_ACCURACY	温度傾斜
ORDINARY_REF_TEMP_IN_A CC	ORDINARY_REF_TEMP * TEMP_ACCURACY	常温基準温度(25°C)に温度計算精度を掛けた値

表 9.12 サンプルコードで使用する定数(temps.h)(ユーザ変更可)

定数名	設定値	内容
SEL_PGAGAIN	GAIN_RANGE1	PGA ゲイン選択 (注 1) GAIN_RANGE0 : $1.8\text{V} \leq \text{AVCC0} < 2.7\text{V}$ GAIN_RANGE1 : $2.7\text{V} \leq \text{AVCC0} \leq 3.6\text{V}$
AVCC_VOLTAGE	3.3	AVCC0 端子への印加電圧 (単位は[V]で指定。) (注 1)
VREF_VOLTAGE	3.3	VREFH0 端子への印加電圧 (単位は[V]で指定。)
ORDINARY_REF_TEMP	25	常温基準温度($^{\circ}\text{C}$) (設定値が 25 であれば、 25°C を常温基準温度とする。)
TEMP_ACCURACY	10	温度計算精度(倍率を設定。設定値を“10”と設定したときは、小数点 1 位まで。設定値を“100”と設定したときは小数点 2 位までを計算対象とする。10 の乗数値以外や負数を設定しないでください。)
CNV_CNT_MAX	6	平均値サンプリング回数 (設定値が 6 であれば、6 回分の A/D 変換値が取得したところで、その合計値から最大値と最小値を引いた 4 回分の平均値を A/D 変換値とする。)

注 1. AVCC0 端子への印加電圧と PGA ゲインは、条件が一致するように設定してください。条件が一致しない場合、正しい計算結果が得られなくなります。

表 9.13 サンプルコードで使用する定数(temps.h)(ユーザ変更不可)

定数名	設定値	内容
GAIN_RANGE0 (注 1)	00h	PGA ゲイン : $1.8V \leq AVCC0 < 2.7V$
GAIN_RANGE1 (注 1)	01h	PGA ゲイン : $2.7V \leq AVCC0 \leq 3.6V$
STA_AD_IDLE	0	A/D 変換状態 : 未動作
STA_AD_WAIT	1	A/D 変換状態 : A/D 変換完了待ち
STA_AD_FINISH	2	A/D 変換状態 : A/D 変換完了
TSCDR0_VALUE	(TEMPSCONST.TSCDR0 .BIT.TSCD)	TSCDR0 レジスタ値
TSCDR1_VALUE	(TEMPSCONST.TSCDR1 .BIT.TSCD)	TSCDR1 レジスタ値
TSCDR3_VALUE	(TEMPSCONST.TSCDR3 .BIT.TSCD)	TSCDR3 レジスタ値
HIGH_REF_POTENTIAL_VAL	(注 1)	高温基準温度(125°C)の A/D 変換値

注 1. 選択した PGA ゲインにより、設定値が異なります。以下に、選択した PGA ゲイン毎の設定値を示します。

GAIN_RANGE0 を選択 :

(uint16_t) (1.8 / VREF_VOLTAGE * TSCDR0_VALUE)

GAIN_RANGE1 を選択 :

(uint16_t) ((2.7 / VREF_VOLTAGE * TSCDR1_VALUE) + ((3.3 / VREF_VOLTAGE * TSCDR3_VALUE) - (2.7 / VREF_VOLTAGE * TSCDR1_VALUE)) * (AVCC_VOLTAGE - 2.7) / 0.6)

9.6 変数一覧

表 9.14 にグローバル変数を、表 9.15 から表 9.17 に static 変数を、表 9.18、表 9.19 に const 変数を示します。

表 9.14 グローバル変数(dsad.c)

型	変数名	内容	使用関数
int32_t	g_dsad_data[DSAD_CH_NUM]	校正・補正後の DSAD 変換結果を格納する領域で、ch0-ch6 までを留意しています DSAD 変換結果は、データレジスタから読み出して平均化した DSAD 値	measure_dsad_calib measure_dsad Excep_DSAD_DSADI0 Excep_DSAD_DSADI1 Excep_DSAD_DSADI2 Excep_DSAD_DSADI3 Excep_DSAD_DSADI4 Excep_DSAD_DSADI5 Excep_DSAD_DSADI6
uint16_t	g_sel_ch_gain[DSAD_CH_NUM]	設定されているゲインを格納する領域で、格納されている値をゲイン値として使用します。変更があった場合は書き換えてください	dsad_init R_DSAD_Calibration measure_dsad_calib measure_dsad
volatile float	g_compensated_gain [DSAD_CH_NUM]	温度補正後のシステム全体の、DSAD の各チャンネル・各ゲイン設定のシステムゲイン	R_DSAD_CompensatedGain measure_dsad

表 9.15 static 型変数(main.c)

型	変数名	内容	使用関数
static const bool	valid_dsad_channel[DSAD_CH_NUM]	各チャンネルが有効かどうかを示します。システムに従って適切な値を設定してください。	main
static volatile uint16_t	cnt_cycle	A/D 変換周期カウンタ	Excep_CMT1_CMI1

表 9.16 static 型変数(temps.c)

型	変数名	内容	使用関数
static int16_t	high_ref_potential	高温基準温度(125°C)の A/D 変換値 (= CAL ₁₂₅)	temps_init temps_calibration
static volatile int16_t	slope_potential	A/D 変換値傾斜	temps_calibration temps_calc
static volatile int16_t	ordinary_potential	常温基準温度(25°C)の A/D 変換値 (= CAL ₂₅)	temps_calibration temps_calc
static volatile uint8_t	ad_status	A/D 変換ステータス	main temps_get_ad_status temps_calibration temps_measurement Excep_AD_ADI
static volatile int16_t	now_temp	算出した現在温度	temps_get_now_temp Excep_AD_ADI
static volatile uint16_t	now_potential	現在の A/D 変換値	temps_calibration Excep_AD_ADI
static volatile uint16_t	buf_ad_value[CNT_CNT_MAX]	A/D 変換値バッファ	Excep_AD_ADI
static volatile uint8_t	ad_smp_cnt	A/D 変換値バッファのライトポイント	Excep_AD_ADI
static volatile uint16_t	ad_max_value	A/D 変換値最大値	Excep_AD_ADI
static volatile uint16_t	ad_min_value	A/D 変換値最小値	Excep_AD_ADI

表 9.17 static 型変数(dsad.c)

型	変数名	内容	使用関数
static volatile uint16_t	dsad_smp_cnt[DSAD_CH_NUM]	DSAD 変換を行い、DSAD 変換結果を DSAD データレジスタから読み出した回数	Excep_DSAD_DSADI0 Excep_DSAD_DSADI1 Excep_DSAD_DSADI2
static int32_t	dsad_data_sum[DSAD_CH_NUM]	DSAD データレジスタから読み出した DSAD 変換結果を合算する領域	Excep_DSAD_DSADI3 Excep_DSAD_DSADI4 Excep_DSAD_DSADI5 Excep_DSAD_DSADI6
static uint16_t	dsad_comp_fin	全チャンネルの DSAD 変換を行い、平均化ができたかを判定するフラグデータ	measure_dsad_calib measure_dsad Excep_DSAD_DSADI0 Excep_DSAD_DSADI1 Excep_DSAD_DSADI2 Excep_DSAD_DSADI3 Excep_DSAD_DSADI4 Excep_DSAD_DSADI5 Excep_DSAD_DSADI6
static uint16_t	dsad_comp_status	校正・補正の進み具合を確認するステータス情報	measure_dsad_calib
static int32_t	dsad_comp_data[DSAD_CH_NUM][DSAD_GAIN_NUM+2]	校正・補正時に DSAD 変換した結果を格納する領域 [ch][0] : yC での測定結果 [ch][1] : yB での測定結果 [ch][2]~[9] : 各ゲインで 0V を測定した結果	R_DSAD_Calibration measure_dsad_calib measure_dsad
static volatile float	coef_temp_quad	温度補正時に使用する温度特性の 2 次係数	R_DSAD_InternalCompensated R_DSAD_Calibration R_DSAD_CompensatedGain
static volatile float	coef_temp_linear[DSAD_CH_NUM][DSAD_GAIN_NUM]	温度補正時に使用する温度特性の 1 次係数	R_DSAD_InternalCompensated R_DSAD_Calibration R_DSAD_CompensatedGain
static volatile float	device_gain[DSAD_CH_NUM][DSAD_GAIN_NUM]	DSAD の各チャンネル・各ゲイン設定の 25°C におけるデバイスゲイン	R_DSAD_InternalCalibration R_DSAD_Calibration R_DSAD_CompensatedGain
static volatile float	sensor_gain[DSAD_CH_NUM]	センサなどの外部回路の DSAD の各チャンネル・各ゲイン設定の 25°C におけるセンサゲイン	R_DSAD_Calibration R_DSAD_CompensatedGain
static volatile float	system_gain[DSAD_CH_NUM][DSAD_GAIN_NUM]	センサも含めたシステム全体の、DSAD の各チャンネル・各ゲイン設定の 25°C におけるシステムゲイン	R_DSAD_Calibration R_DSAD_CompensatedGain measure_dsad

表 9.18 const 型変数(main.c)

型	変数名	内容	使用関数
const float	g_dsad_ext_load_res [DSAD_SINGLE_CH_NUM]	シングルエンド入力チャンネル（チャンネル4～6）の外部負荷抵抗の値(Ω)を示します。システムに従って適切な値を設定してください。	main R_DSAD_InternalCompensated

表 9.19 const 型変数(dsad.c)

型	変数名	内容	使用関数
static const float	dsad_data_volt[3][DSAD_CH_NUM]	校正時、補正時、オフセットを測定する時の電圧値(単位 mV)	R_DSAD_Calibration
static const float	typ_zi[DSAD_SINGLE_GAIN_NUM]	シングルエンド入力の入カインピーダンス (X1,X2,X4) の typ 値(Ω)。ユーザーズマニュアルハードウェア編のΔΣA/D 変換特性に記載されています。	R_DSAD_InternalCompensated
static const float	coef_temp_cba	内蔵 BGR の温度特性の 2 次の係数。 表 7.1 温度特性の係数に掲載されています。	R_DSAD_InternalCompensated
static const float	coef_temp_cbb	内蔵 BGR の温度特性の 1 次の係数。 表 7.1 温度特性の係数に掲載されています。	R_DSAD_InternalCompensated
static const float	coef_temp_cxn[DSAD_GAIN_NUM]	デバイスゲインの温度特性の係数。 表 7.1 温度特性の係数に掲載されています。	R_DSAD_InternalCompensated
static const float	coef_temp_cz	入カインピーダンスの温度特性の係数。 表 7.1 温度特性の係数に掲載されています。	R_DSAD_InternalCompensated
static const float	gain_val[DSAD_GAIN_NUM]	ゲインの増幅率	R_DSAD_InternalCalibration

9.7 関数一覧

表 9.20 に関数を示します。

表 9.20 関数

関数名	概要	記載ファイル
main	メイン処理	main.c
peripheral_init	周辺機能初期設定	main.c
cmt_init	CMT1 初期設定	main.c
irq_init	IRQ2 初期設定	main.c
Excep_CMT1_CMI1	コンペアマッチ 1 割り込み処理	main.c
dsad_init	DSAD 初期設定	dsad.c
dsad_start	DSAD 変換開始処理	dsad.c
R_DSAD_InternalCalibration	ゲイン校正に必要な係数の初期化	dsad.c
R_DSAD_InternalCompensated	ゲインの温度補正に必要な係数の初期化	dsad.c
R_DSAD_Calibration	システムゲインの校正	dsad.c
R_DSAD_CompensatedGain	システムゲインの温度補正	dsad.c
measure_dsad_calib	校正時の DSAD 変換結果の取得	dsad.c
measure_dsad	DSAD 変換結果の取得	dsad.c
Excep_DSAD_DSADIm (m = 0-6)	DSAD 変換割り込み処理	dsad.c
temps_init	A/D コンバータ、温度センサ初期設定	temps.c
temps_close	A/D コンバータ、温度センサの動作停止設定	temps.c
temps_get_ad_status	A/D 変換状態取得	temps.c
temps_get_potential	温度センサ測定結果取得	temps.c
temps_get_now_temp	現在温度取得	temps.c
temps_calibration	温度センサ校正処理	temps.c
temps_measurement	温度センサ測定処理	temps.c
temps_calc	現在温度算出処理	temps.c
Excep_AD_ADI	A/D 変換完了割り込み処理	temps.c

9.8 関数仕様

サンプルコードの関数仕様を示します。

main	
概要	メイン処理
ヘッダ	なし
宣言	void main(void)
説明	クロックの初期設定後、DSAD 変換の校正、温度による補正を行い、かつ温度センサの校正を実施した後、1.6384ms ごとに DSAD 変換、100ms ごとに温度センサ出力を A/D 変換します。温度センサ出力を使用して、DSAD 変換の温度による補正を随時行います。
引数	なし
リターン値	なし

peripheral_init	
概要	周辺機能初期設定
ヘッダ	なし
宣言	static void peripheral_init(void)
説明	使用する周辺機能の初期設定を行います。
引数	なし
リターン値	なし

cmt_init	
概要	CMT1 初期設定
ヘッダ	なし
宣言	static void cmt_init(void)
説明	CMT1 の初期設定を行います。
引数	なし
リターン値	なし

irq_init	
概要	IRQ2 初期設定
ヘッダ	なし
宣言	static void irq_init(void)
説明	IRQ2 の初期設定を行います。
引数	なし
リターン値	なし

Excep_CMT1_CMI1	
概要	コンペアマッチ 1 割り込み処理
ヘッダ	なし
宣言	static void Excep_CMT1_CMI1(void)
説明	163.84μs 周期の割り込み処理を行います。割り込み要求が発生するたびにカウンタをアップします。610 回(約 100ms)経過すると温度の測定を開始します。コンペアマッチの割り込みは、ELC を経由して DSAD の各チャンネルの起動トリガとなります。
引数	なし
リターン値	なし
dsad_init	
概要	DSAD 初期設定
ヘッダ	dsad.h
宣言	void dsad_init(void)
説明	DSAD コンバータの初期設定を行います。
引数	なし
リターン値	なし
dsad_start	
概要	DSAD 変換開始処理
ヘッダ	dsad.h
宣言	void dsad_start(void)
説明	DSAD コンバータの動作を開始します。
引数	なし
リターン値	なし
R_DSAD_InternalCalibration	
概要	ゲイン校正に必要な係数の初期化
ヘッダ	dsad.h
宣言	void R_DSAD_InternalCalibration(uint16_t channel)
説明	ゲイン校正に必要な中間計算結果を準備します。
引数	uint16_t channel : 入力チャンネル (0~6)
リターン値	なし
制約事項	本関数は R_DSAD_Calibration および R_DSAD_CompensatedGain を実行する前に必ず実行してください。本関数を実行する前に R_DSAD_Calibration または R_DSAD_CompensatedGain を実行した場合は、正しく校正・補正を行うことができません。デバイスのバージョンの定数が G バージョン以外の時は、DSADIIC レジスタからデータを読み出さずに、読み出した値を 32768 として処理します。また、DSADGmXn レジスタも同じく、レジスタからデータを読み出さずに、読み出した値を 47971 として処理します。

R_DSAD_InternalCompensated

概要	ゲインの温度補正に必要な係数の初期化
ヘッダ	dsad.h
宣言	void R_DSAD_InternalCompensated(uint16_t channel, const float dsad_ext_load_res[DSAD_SINGLE_CH_NUM])
説明	ゲインの温度補正に必要な中間計算結果を準備します。
引数	uint16_t channel : 入力チャンネル (0~6) const float : シングルエンド入力チャンネル (チャンネル 4~6) の外部負荷 dsad_ext_load 抵抗の値(Ω) _res[DSAD_SINGLE_CH_NUM]
リターン値	なし
制約事項	本関数は R_DSAD_Calibration および R_DSAD_CompensatedGain を実行する前に必ず実行してください。本関数を実行する前に R_DSAD_Calibration または R_DSAD_CompensatedGain を実行した場合は、正しく校正・補正を行うことができません。定数でデバイスのバージョンを G バージョン以外と選択した場合、DSADIIC レジスタからデータを読み出さずに、32768 として処理します。

R_DSAD_Calibration

概要	システムゲインの校正
ヘッダ	dsad.h
宣言	void R_DSAD_Calibration(uint16_t channel)
説明	指定されたチャンネルの温度補正前のゲイン校正を行います。
引数	uint16_t channel : 入力チャンネル (0~6)
リターン値	なし
制約事項	本関数を実行する前に R_DSAD_InternalCalibration および R_DSAD_InternalCompensated を必ず実行してください。 DSAD_InternalCalibration、R_DSAD_InternalCompensated を実行せずに本関数を実行した場合は、正しく校正・補正を行うことができません。

R_DSAD_CompensatedGain

概要	システムゲインの温度補正
ヘッダ	r_dsad_compensate.h
宣言	void R_DSAD_CompensatedGain(uint16_t channel, int16_t junction_temp)
説明	指定されたチャンネルの温度補正したシステムゲインを計算します
引数	uint16_t channel : 入力チャンネル (0~6) int16_t junction_temp : 温度センサで測定したデバイスの温度 値は-40 ~ 105 (°C) の範囲にしてください。
リターン値	なし
制約事項	本関数を実行する前に R_DSAD_InternalCalibration、R_DSAD_InternalCompensated および R_DSAD_Calibration を必ず実行してください。R_DSAD_InternalCalibration、R_DSAD_InternalCompensated および R_DSAD_Calibration を実行せずに本関数を実行した場合は、正しく校正・補正を行うことができません。

measure_dsad_calib	
概要	校正時の DSAD 変換結果の取得
ヘッダ	dsad.h
宣言	void measure_dsad_calib(void)
説明	校正時に使用する センサゲインの算出に使用する 2 ポイントの電圧を測定した結果、オフセットに使用するゲイン×2 からゲイン×64 で 0V 電圧を測定した結果を取得し、RAM に転送します。
引数	なし
リターン値	なし

measure_dsad	
概要	DSAD 変換結果の取得
ヘッダ	dsad.h
宣言	void measure_dsad(void)
説明	DSAD コンバータの変換結果を校正、補正し、結果を RAM に転送します。
引数	なし
リターン値	なし

Excep_DSAD_DSADIm (m = 0-6)	
概要	DSAD 変換割り込み処理
ヘッダ	dsad.h
宣言	static void Excep_DSAD_DSADI0(void) static void Excep_DSAD_DSADI1(void) static void Excep_DSAD_DSADI2(void) static void Excep_DSAD_DSADI3(void) static void Excep_DSAD_DSADI4(void) static void Excep_DSAD_DSADI5(void) static void Excep_DSAD_DSADI6(void)
説明	取得回数の更新をした後、以下のように DSAD 変換結果を RAM に格納し、割り込み要求をクリアします。 DSAD 変換は、10 回を 1 サンプリングとして扱います。最初の 2 回は DSAD 変換値を読み捨てし、3 回目以降は DSAD 変換値を RAM に退避します。10 回の DSAD 変換値を取得した時、3 回目以降の 8 回分の DSAD 変換値で平均を算出し、その平均値を DSAD 変換結果とします。
引数	なし
リターン値	なし

temps_init	
概要	A/D コンバータ、温度センサ初期設定
ヘッダ	temps.h
宣言	static void temps_init(void)
説明	AD コンバータと温度センサの初期設定を行います。
引数	なし
リターン値	なし

temps_close

概要	A/D コンバータ、温度センサの動作停止設定
ヘッダ	temps.h
宣言	static void temps_close(void)
説明	AD コンバータと温度センサの動作を停止します。
引数	なし
リターン値	なし

temps_get_ad_status

概要	A/D 変換状態取得
ヘッダ	temps.h
宣言	uint8_t temps_get_ad_status(void)
説明	現在の A/D 変換状態を取得します。
引数	なし
リターン値	uint8_t

: A/D 変換状態	
STA_AD_IDLE	: 未動作
STA_AD_WAIT	: A/D 変換完了待ち
STA_AD_FINISH	: A/D 変換完了

temps_get_potential

概要	温度センサ測定結果取得
ヘッダ	なし
宣言	static uint16_t temps_get_potential (void)
説明	測定した A/D 変換値を取得します。
引数	なし
リターン値	uint16_t

: 温度センサの A/D 変換値	
ADCONV_IN_OPERATION	: A/D 変換動作中
ADCONV_IN_OPERATION 以外	: A/D 変換値

temps_get_now_temp

概要	現在温度取得
ヘッダ	temps.h
宣言	int16_t temps_get_now_temp (void)
説明	現在の温度を取得します。
引数	なし
リターン値	int16_t

: 現在温度	
--------	--

temps_calibration	
概要	温度センサ校正処理
ヘッダ	temps.h
宣言	void temps_calibration(void)
説明	常温基準温度の A/D 変換値を取得し、RAM に退避します。
引数	なし
リターン値	なし
temps_measurement	
概要	温度センサ測定処理
ヘッダ	temps.h
宣言	void temps_measurement(void)
説明	現在の温度の測定を開始します。
引数	なし
リターン値	なし
temps_calc	
概要	現在温度算出処理
ヘッダ	なし
宣言	static int16_t temps_calc(uint16_t w_now_potential)
説明	引数の A/D 変換値から温度を算出します。
引数	uint16_t w_now_potential : A/D 変換値
リターン値	int16_t : 現在温度(°C)
Excep_AD_ADI	
概要	A/D 変換完了割り込み処理
ヘッダ	なし
宣言	static void Excep_AD_ADI(void)
説明	A/D 変換完了時、A/D 変換値を RAM に退避します。6 回目の A/D 変換完了時には、その 6 回分の合計値から最大値と最小値を引いた 4 回分の平均を算出し、その平均値から温度を算出します。
引数	なし
リターン値	なし

9.9 フローチャート

9.9.1 メイン処理

図 9.2、図 9.3 にメイン処理のフローチャートを示します。

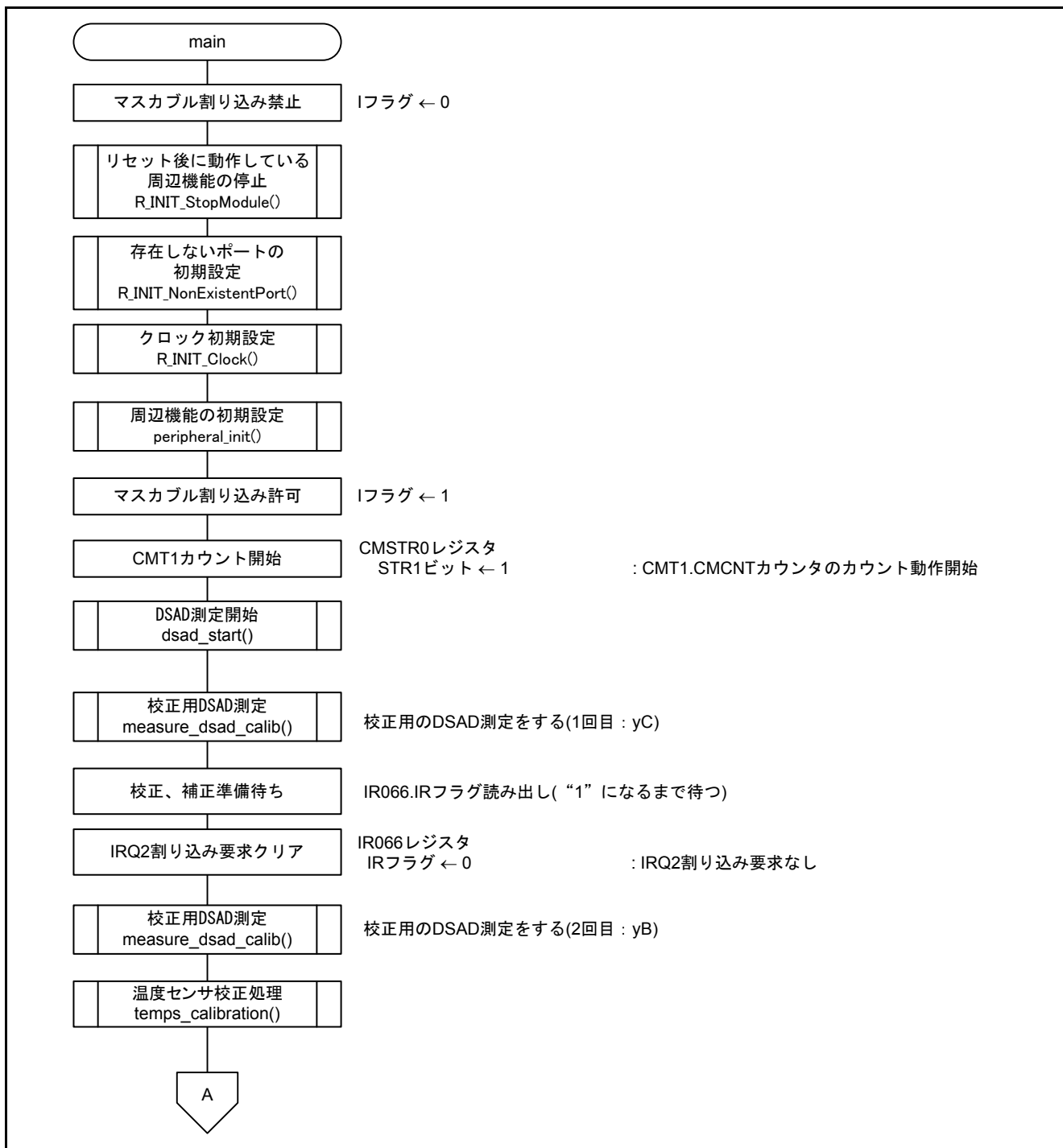


図 9.2 メイン処理 (1)

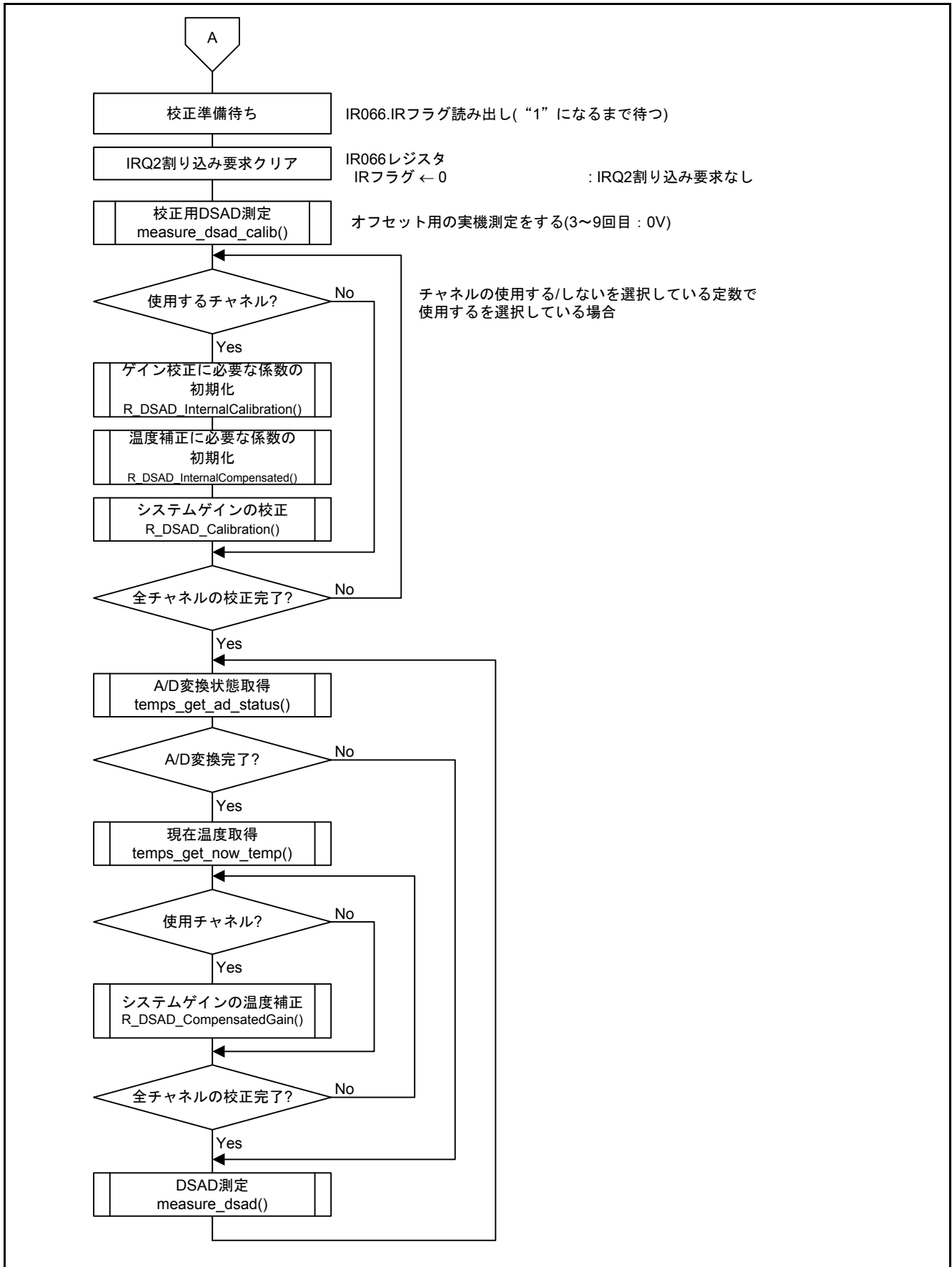


図 9.3 メイン処理 (2)

9.9.2 周辺機能初期設定

図 9.4 に周辺機能の初期設定のフローチャートを示します。

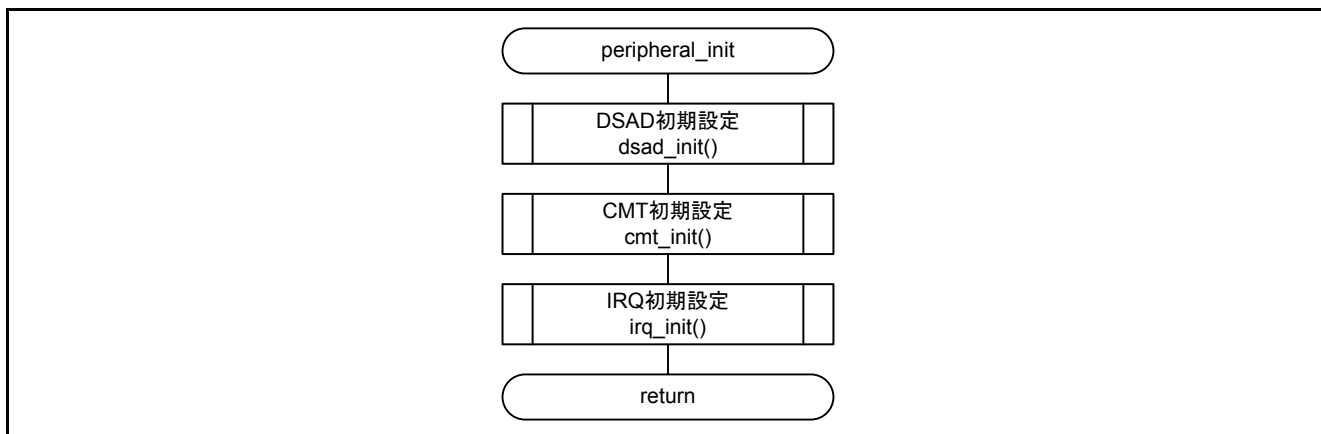


図 9.4 周辺機能の初期設定

9.9.3 CMT1 初期設定

図 9.5 に CMT1 の初期設定のフローチャートを示します。

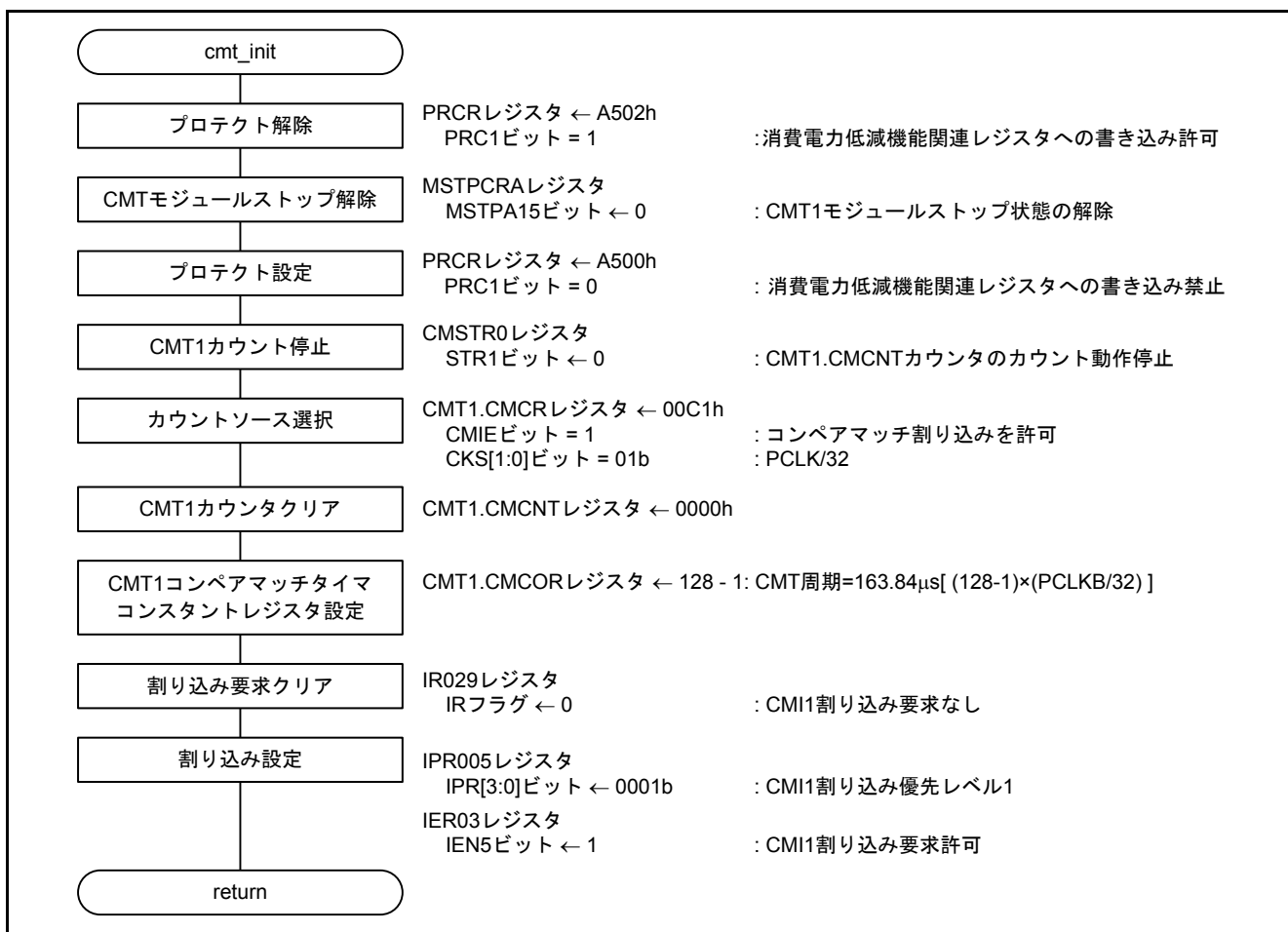


図 9.5 CMT1 の初期設定

9.9.4 IRQ2 初期設定

図 9.6 に IRQ2 の初期設定のフローチャートを示します。

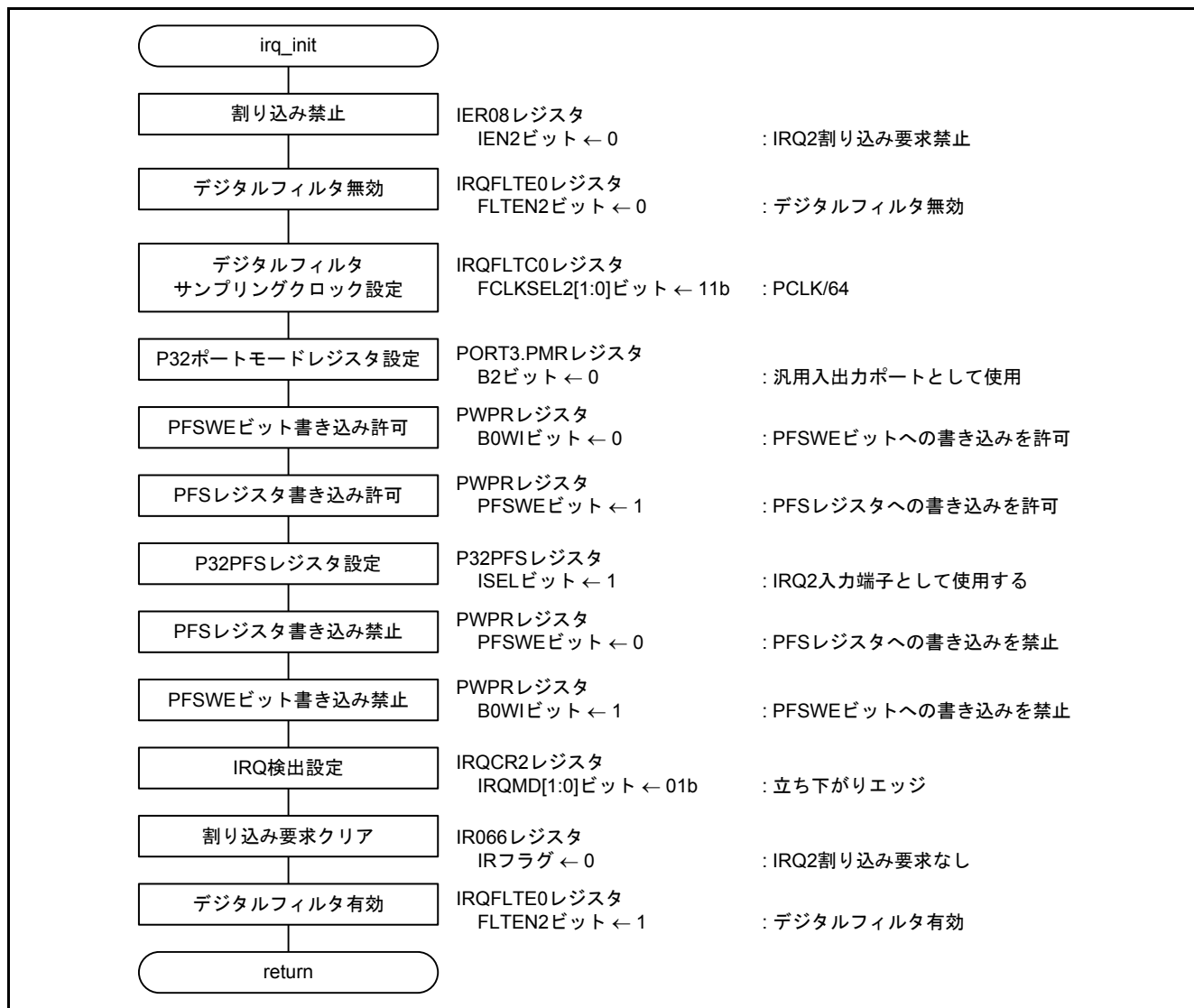


図 9.6 IRQ2 の初期設定

9.9.5 コンペアマッチ 1 割り込み設定

図 9.7 にコンペアマッチ 1 割り込み処理のフローチャートを示します。

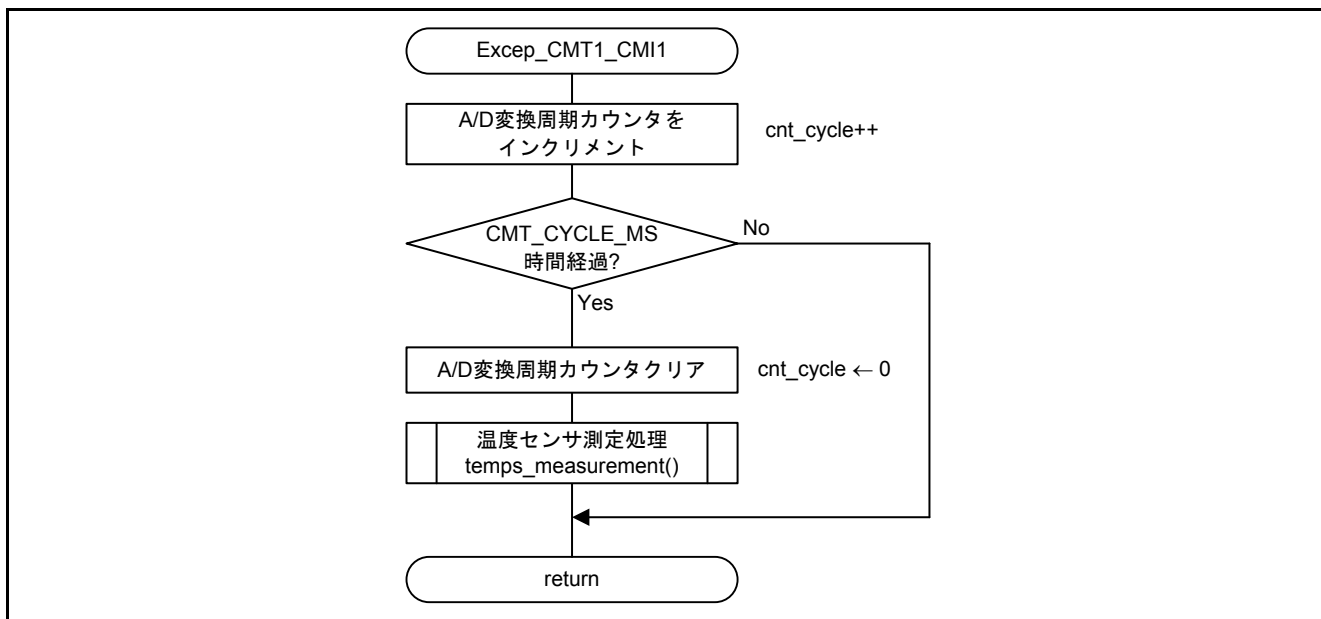


図 9.7 コンペアマッチ 1 割り込み処理

9.9.6 DSAD 初期設定

図 9.8 に DSAD 初期設定のフローチャートを示します。



図 9.8 DSAD 初期設定

9.9.7 DSAD の変換開始処理

図 9.9 に DSAD の変換開始処理のフローチャートを示します。

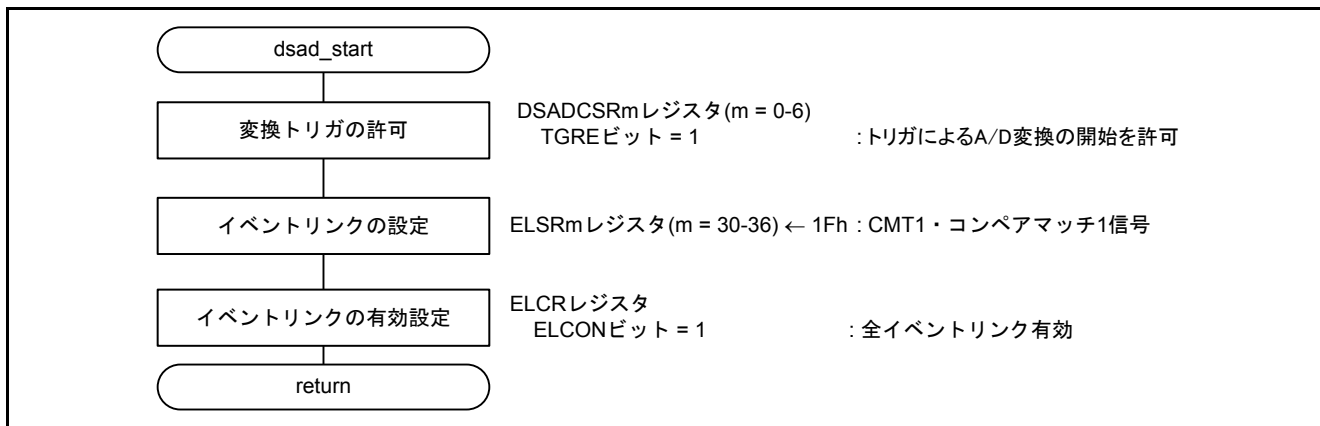


図 9.9 DSAD の変換開始処理

9.9.8 ゲイン校正に必要な係数の初期化

図 9.10 にゲイン校正に必要な係数の初期化のフローチャートを示します。

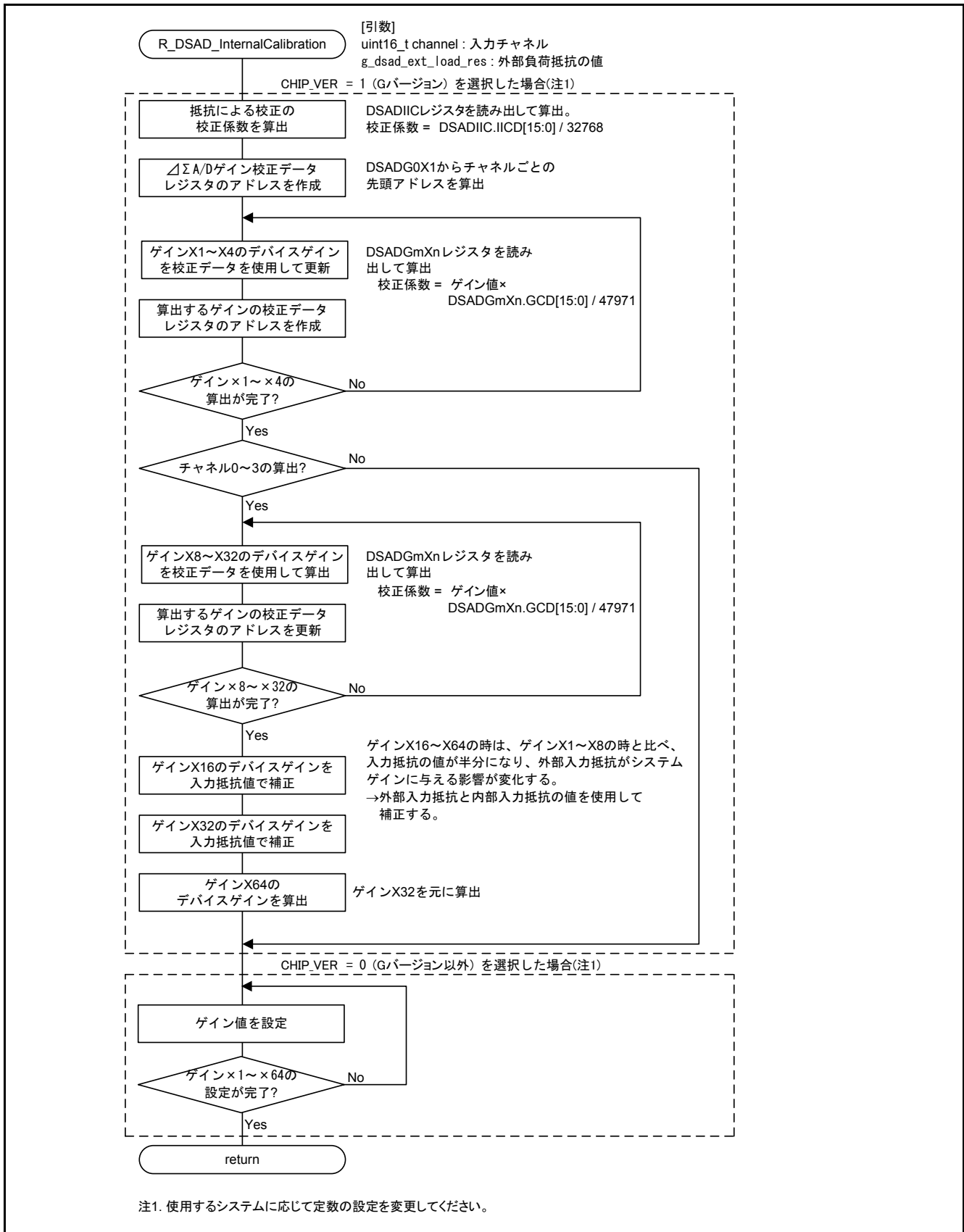


図 9.10 ゲイン校正に必要な係数の初期化

9.9.9 ゲインの温度補正に必要な係数の初期化

図 9.11 にゲインの温度補正に必要な係数の初期化のフローチャートを示します。

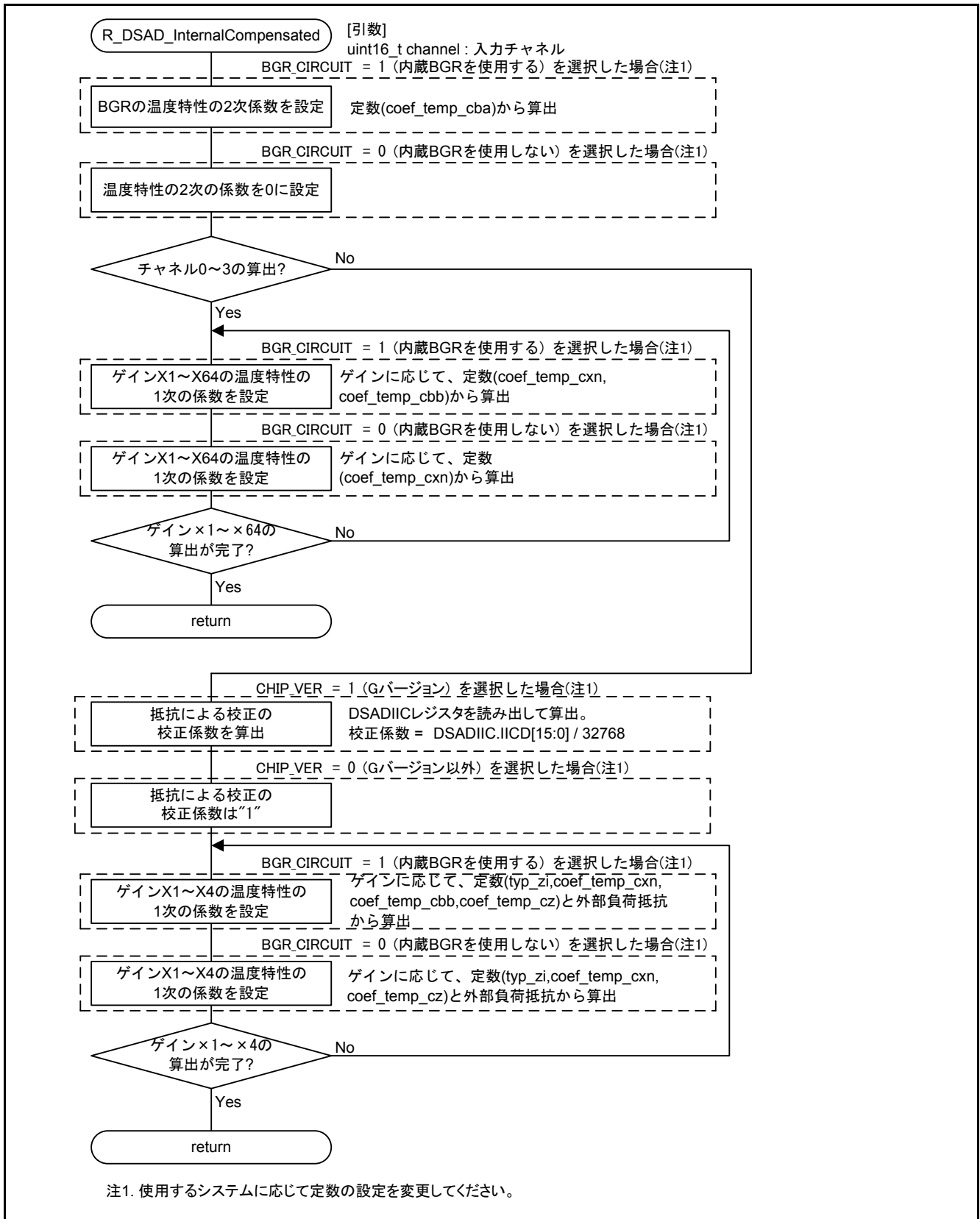


図 9.11 ゲインの温度補正に必要な係数の初期化

9.9.10 システムゲインの校正

図 9.12 にシステムゲインの校正のフローチャートを示します。

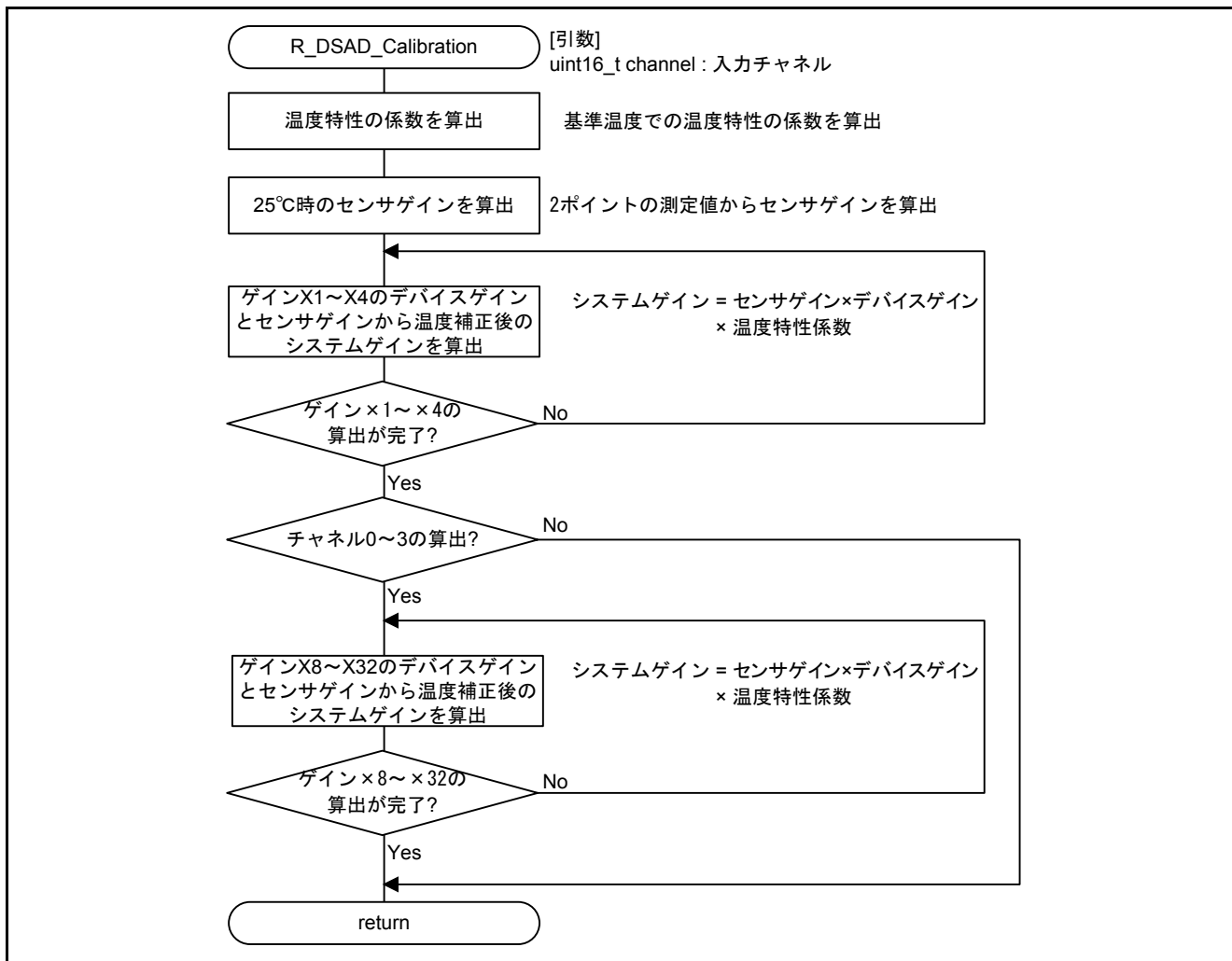


図 9.12 システムゲインの校正

9.9.11 システムゲインの温度補正

図 9.13 にシステムゲインの温度補正のフローチャートを示します。

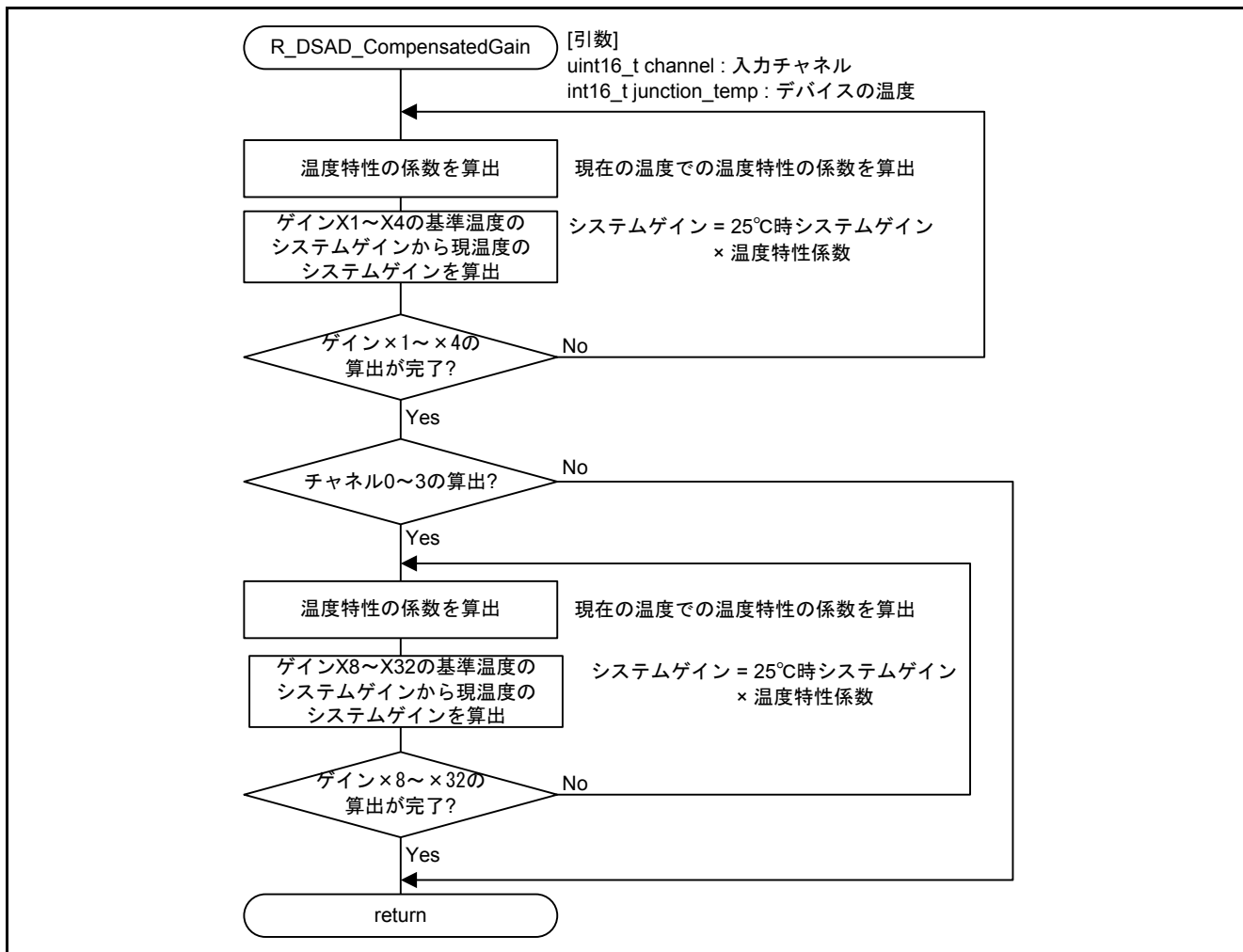


図 9.13 システムゲインの温度補正

9.9.12 校正時の DSAD 変換結果の取得

図 9.14 に校正時の DSAD 変換結果の取得処理のフローチャートを示します。

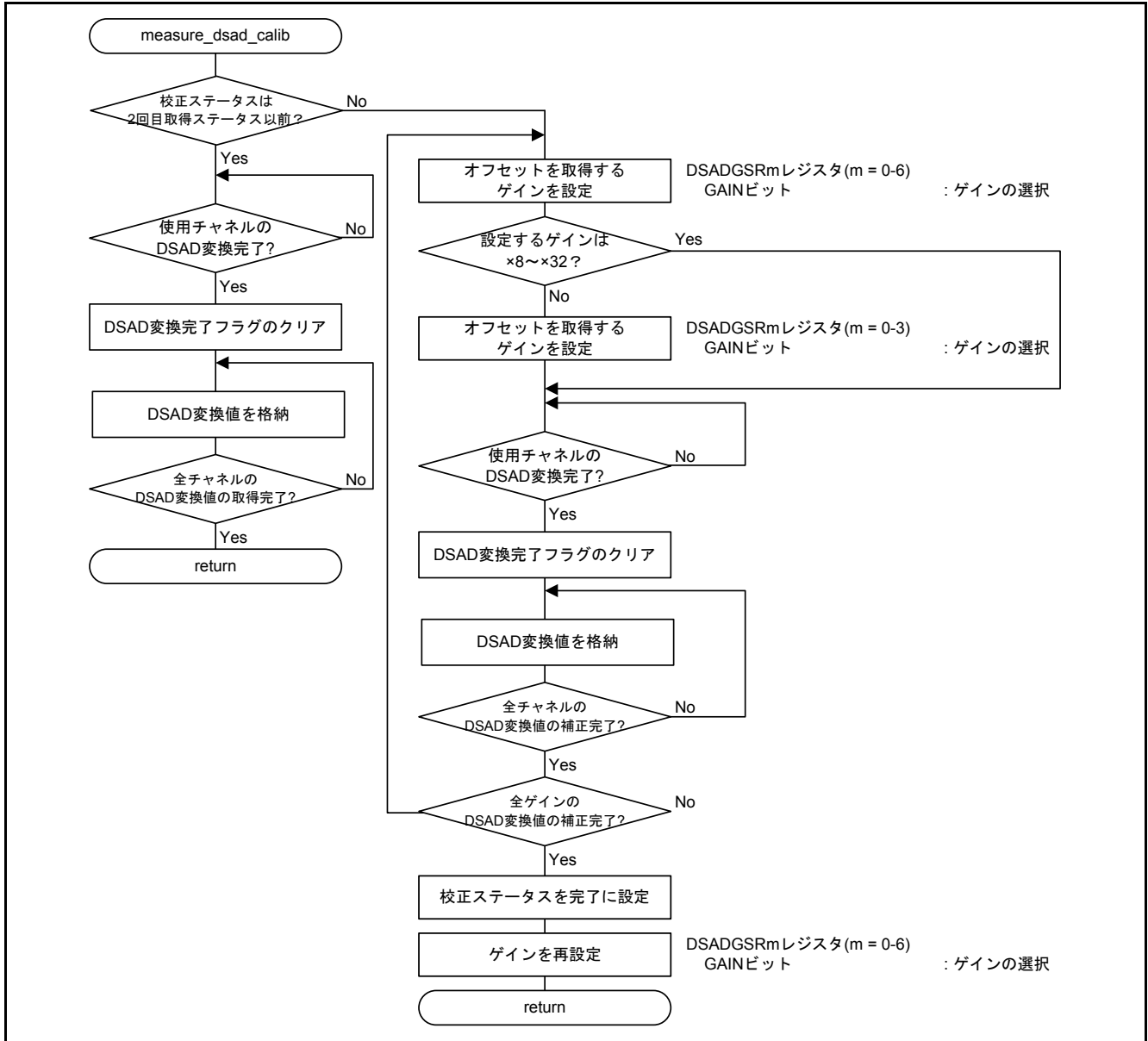


図 9.14 校正時の DSAD 変換結果の取得処理

9.9.13 DSAD 変換結果の取得

図 9.15 に DSAD 変換結果の取得処理のフローチャートを示します。

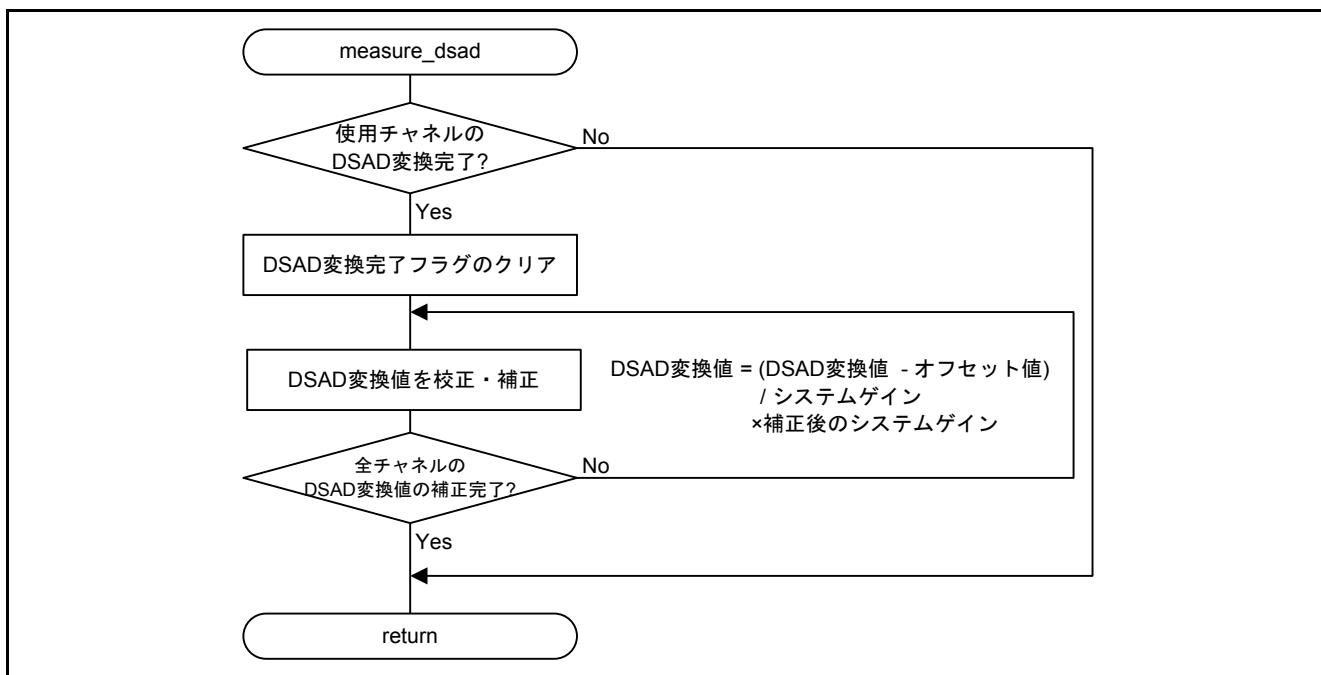


図 9.15 DSAD 変換結果の取得処理

9.9.14 DSAD 変換割り込み処理

図 9.16 に DSAD 変換割り込み処理のフローチャートを示します。

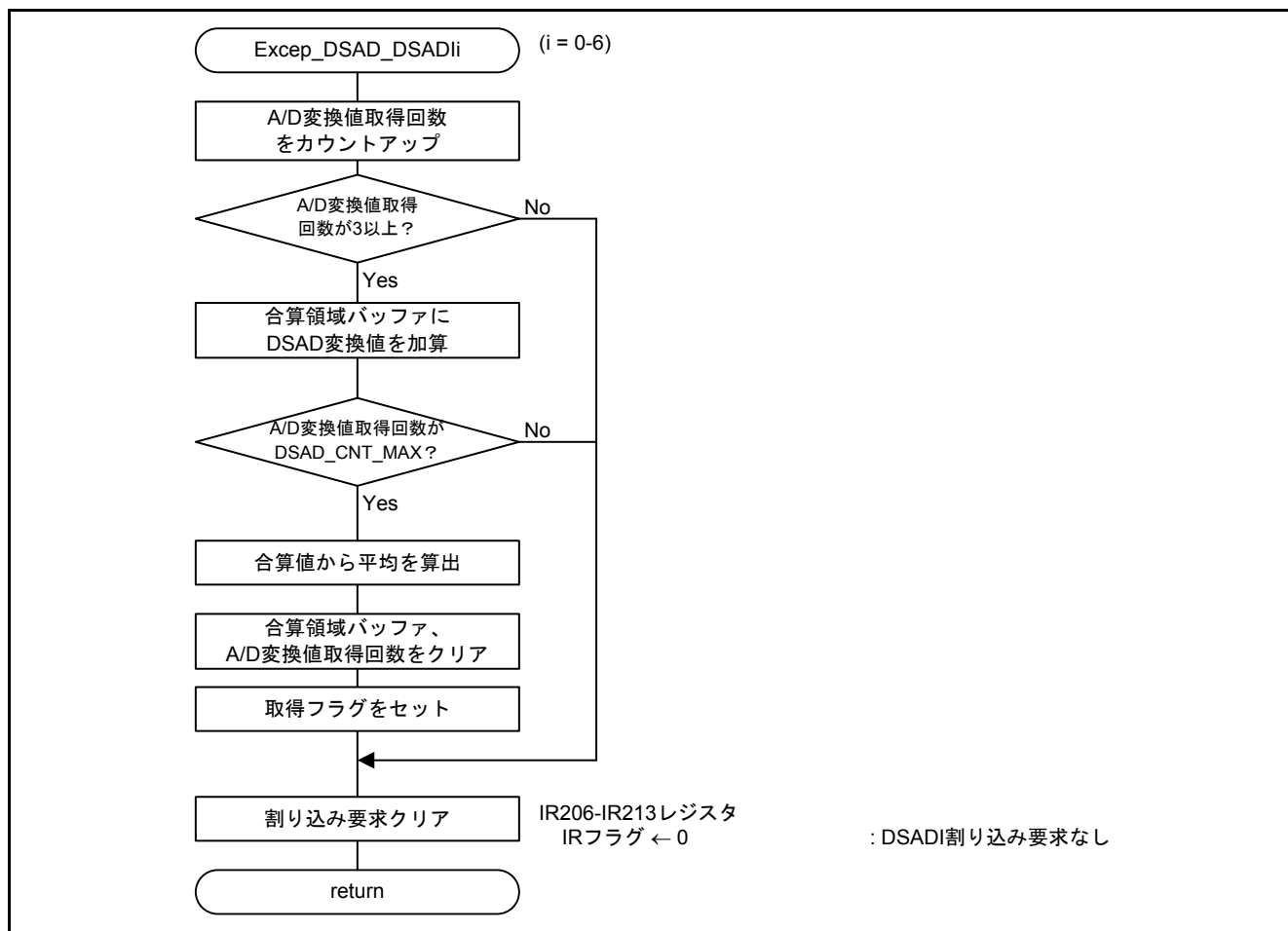


図 9.16 DSAD 変換割り込み処理

9.9.15 A/D、温度センサ初期設定

図 9.17 に A/D、温度センサの初期設定のフローチャートを示します。

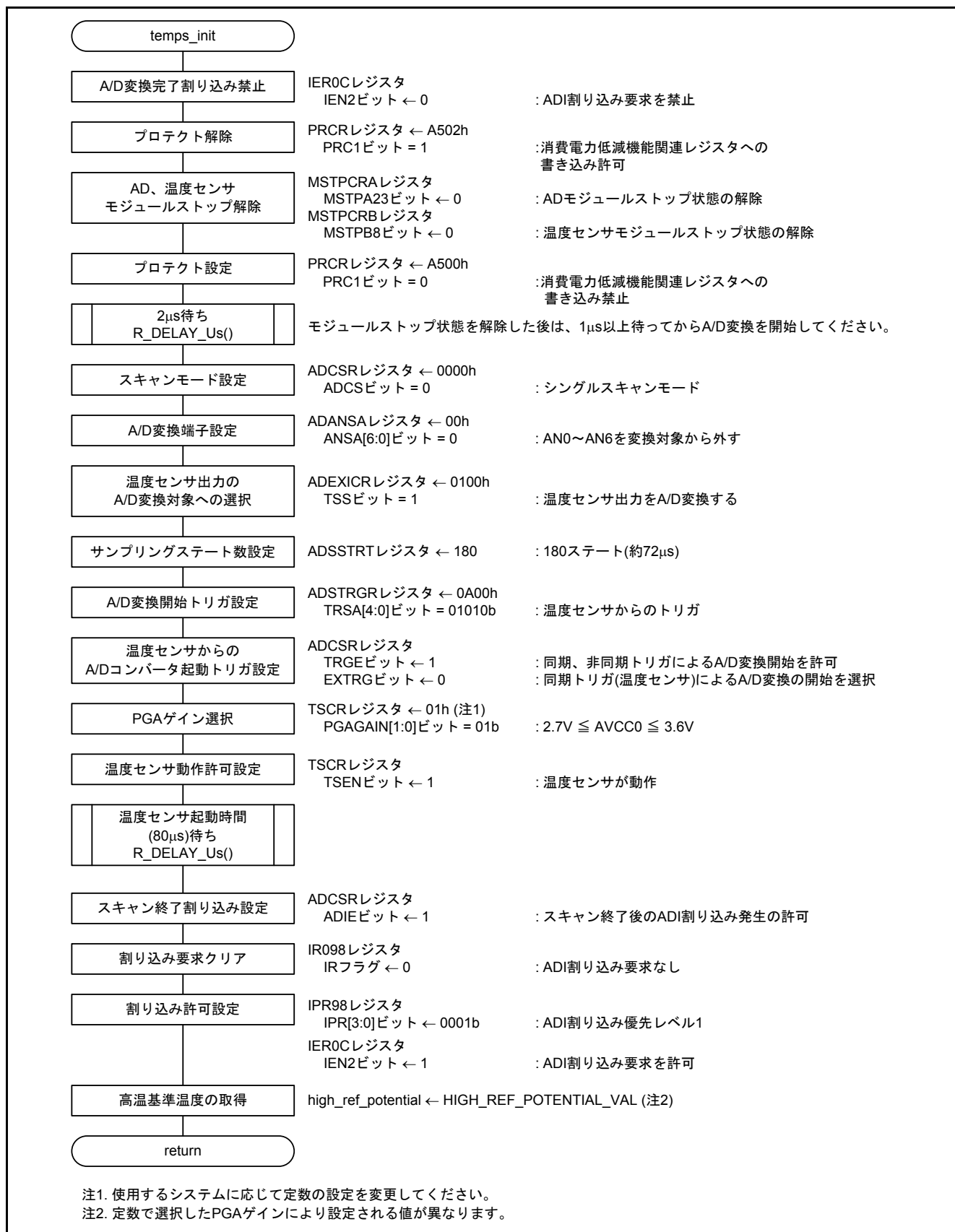


図 9.17 A/D、温度センサの初期設定

9.9.16 A/D、温度センサ停止設定

図 9.18 に A/D、温度センサの停止設定のフローチャートを示します。

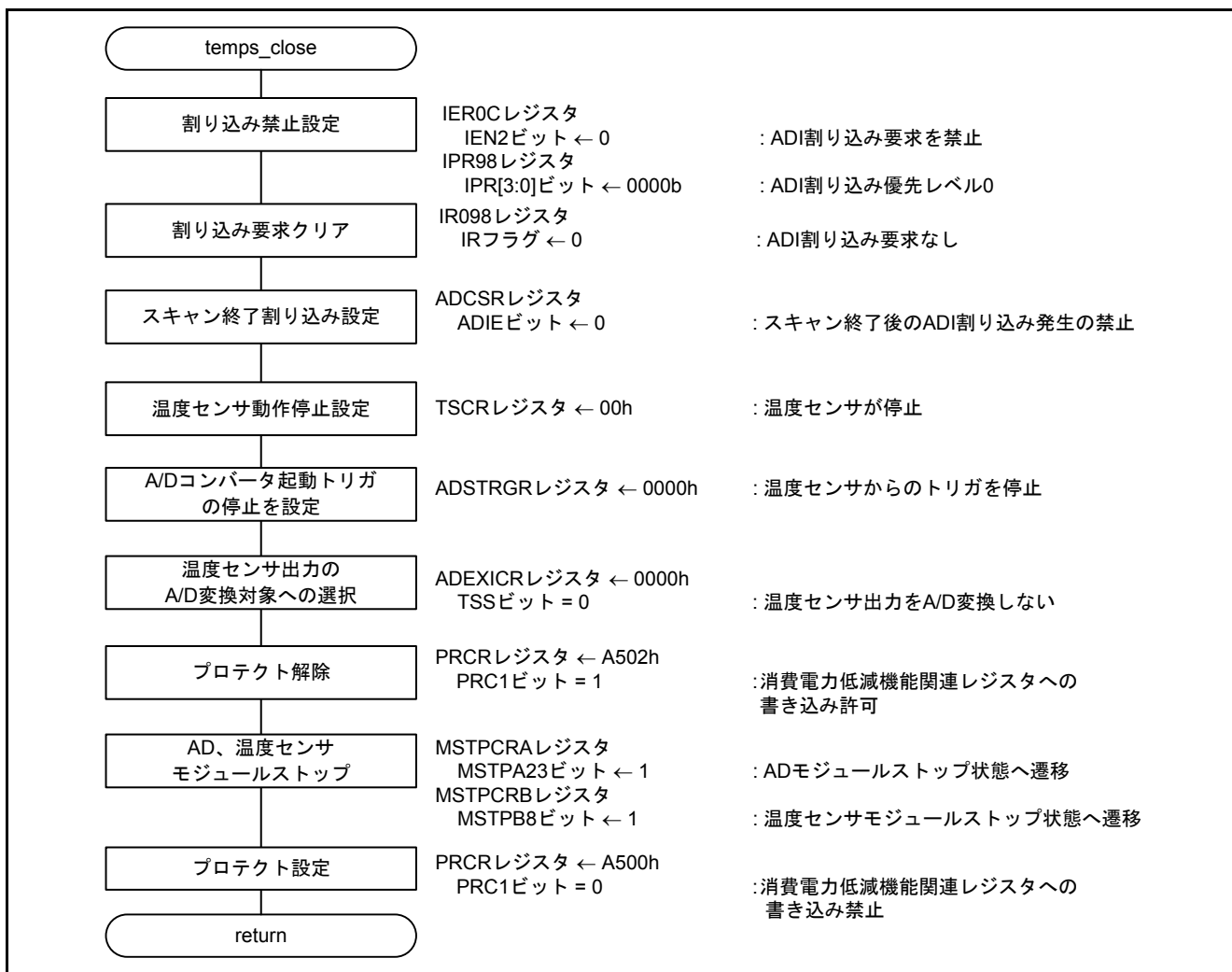


図 9.18 A/D、温度センサの停止設定

9.9.17 A/D 変換の状態取得

図 9.19 に A/D 変換の状態取得処理のフローチャートを示します。

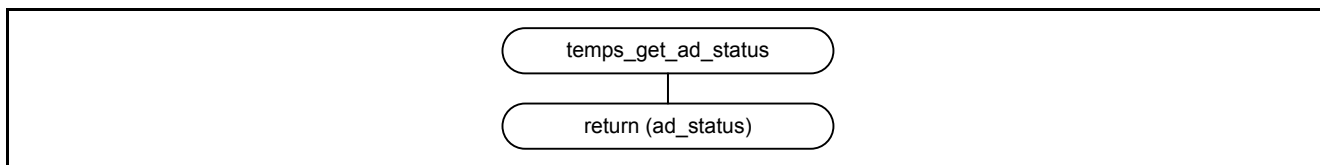


図 9.19 A/D 変換の状態取得処理

9.9.18 温度センサの測定結果取得

図 9.20 に温度センサの測定結果取得処理のフローチャートを示します。

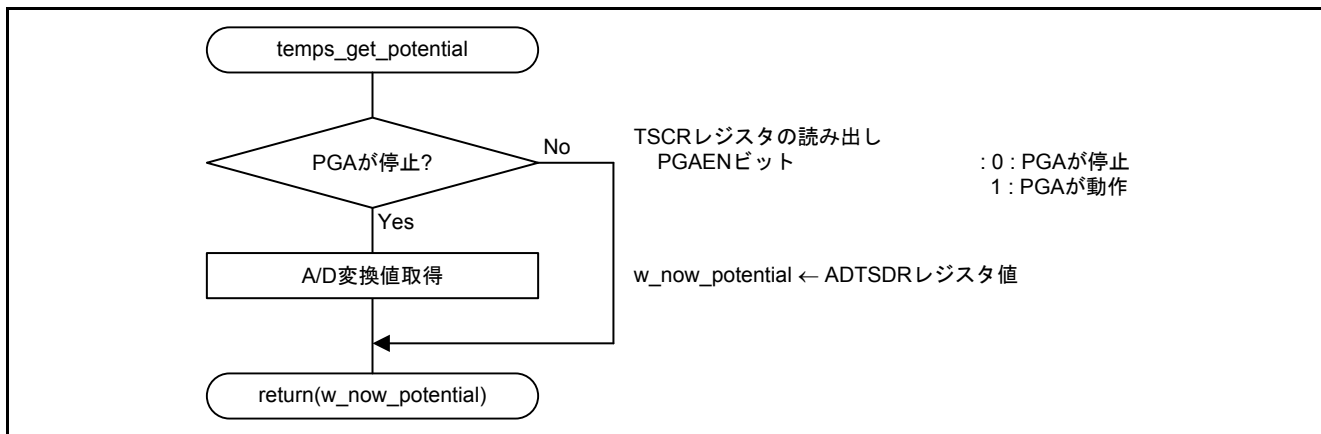


図 9.20 温度センサの測定結果取得処理

9.9.19 現在温度の取得

図 9.21 に現在温度の取得処理のフローチャートを示します。

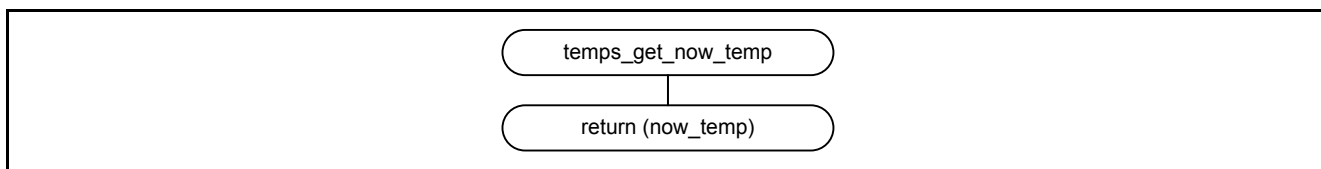


図 9.21 現在温度の取得処理

9.9.20 温度センサ校正処理

図 9.22 に温度センサの校正処理のフローチャートを示します。

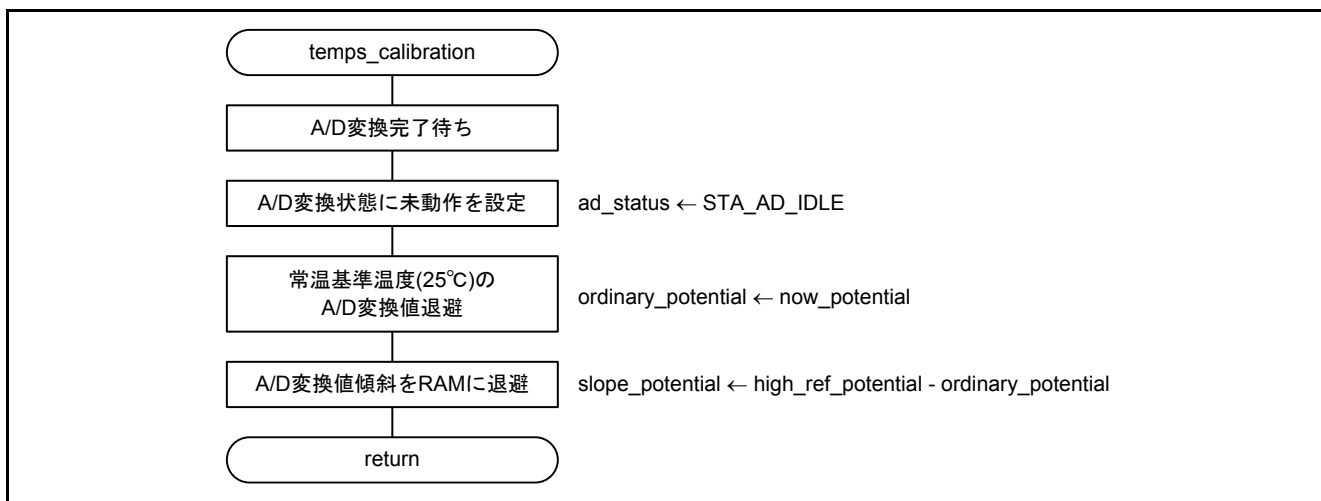


図 9.22 温度センサの校正処理

9.9.21 温度センサ測定処理

図 9.23 に温度センサの測定処理のフローチャートを示します。

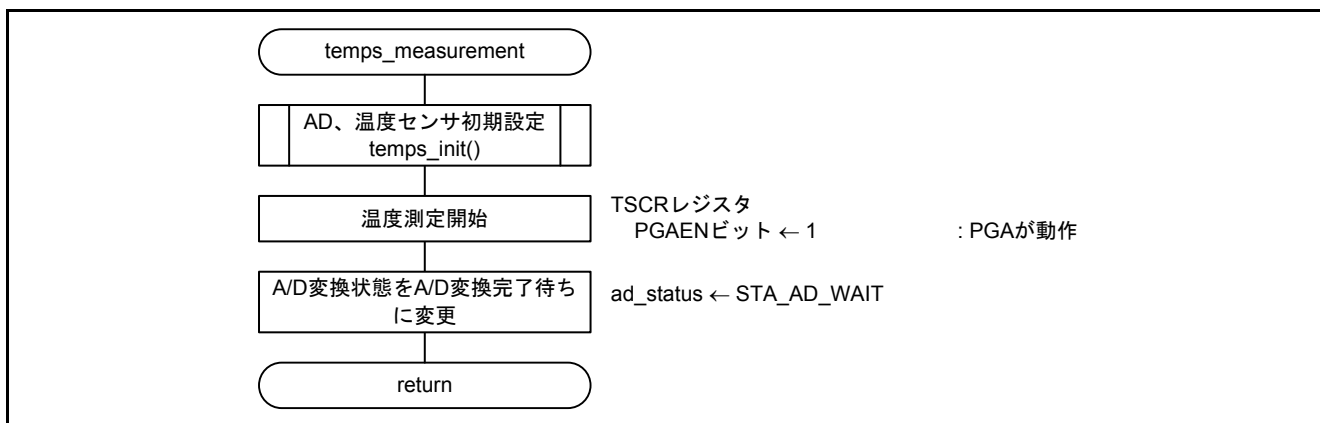


図 9.23 温度センサの測定処理

9.9.22 現在温度の算出処理

図 9.24 に現在温度の算出処理のフローチャートを示します。

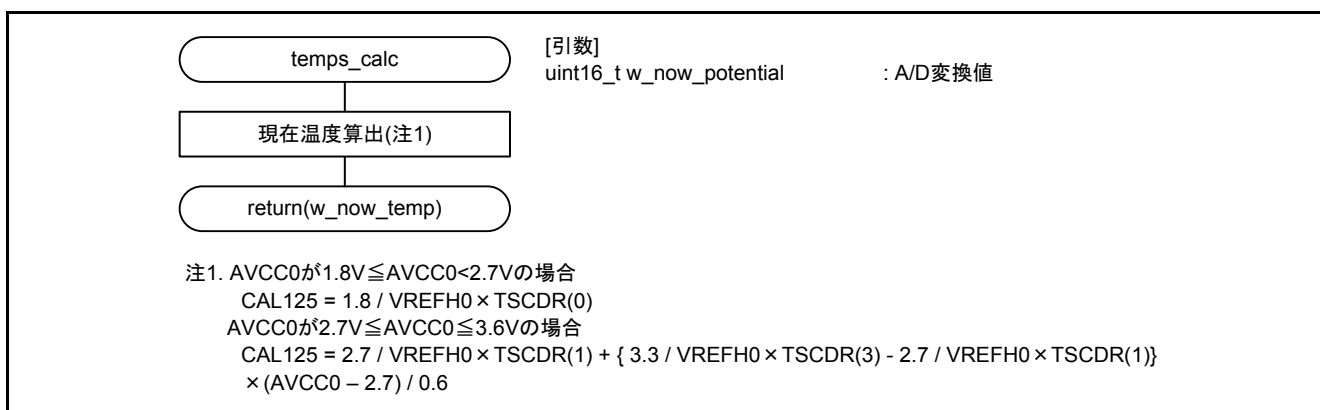


図 9.24 現在温度の算出処理

9.9.23 A/D 変換完了割り込み処理

図 9.25 に A/D 変換完了の割り込み処理のフローチャートを示します。

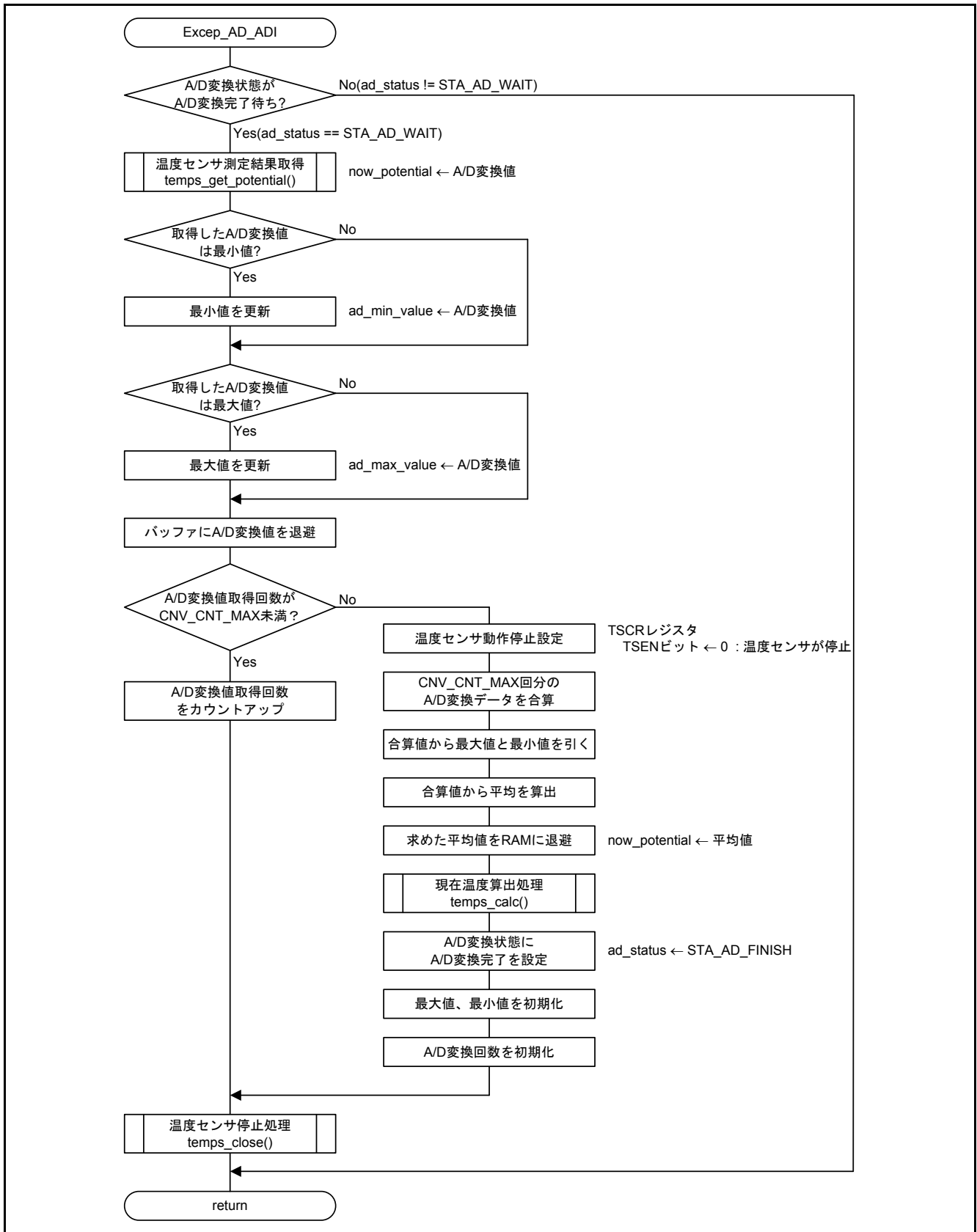


図 9.25 A/D 変換完了の割り込み処理

10. 付録（校正、補正の効果）

10 章では、システムゲイン校正、温度特性の補正を実施した効果を検証しています。

10.1 システムゲイン校正の効果

図 10.1 にシステムゲイン校正の結果例を示します。

例では、各チャネル・ゲイン設定のゲインはチャンネル 0、ゲイン X4 のゲインを基準に式 8.2、式 8.4（差動入力の場合。シングルエンド入力の場合は式 8.9）を使って校正しています。その結果、誤差は 6ppm から 2ppm に減少しました。

ただし、全ゲインの測定条件を合わせるために、ゲイン X32 の制限 14.4mV に合わせて 14.06mV の電圧を入力しています。より精度よく校正するため、基準に選んだゲインに対して、適切な大きさのテスト電圧、電流を入力してください。

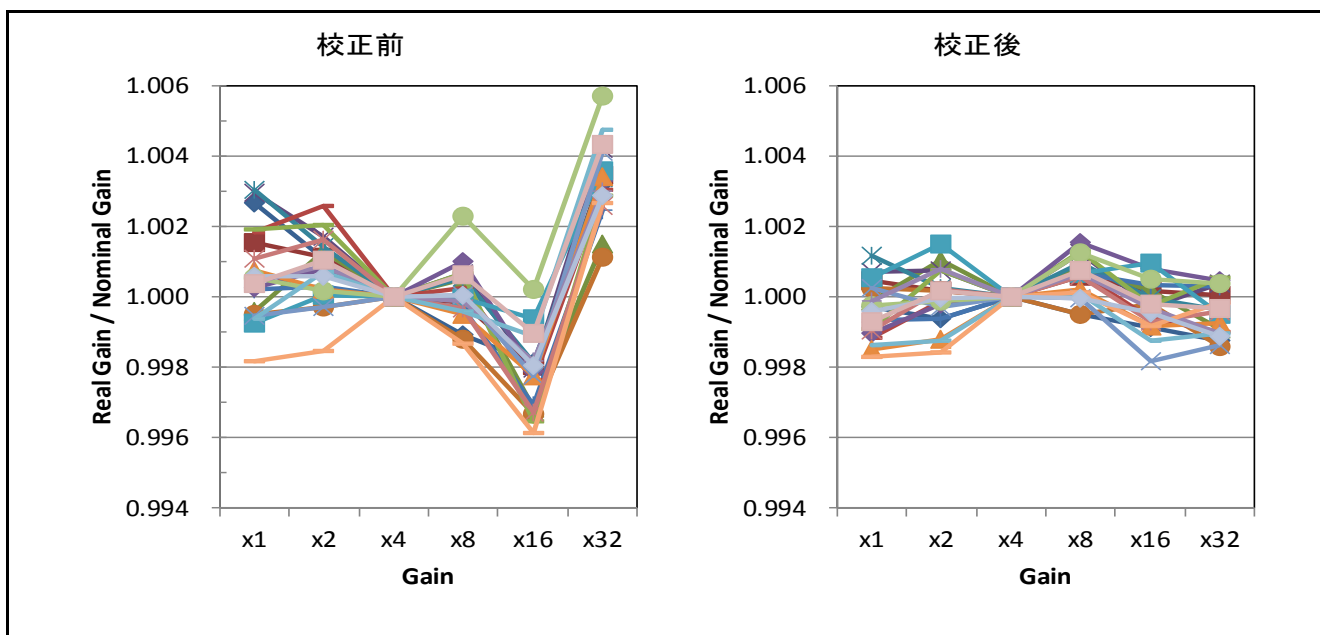


図 10.1 システムゲイン校正の結果

測定条件

サンプル数 : 5

チャネル : 0 ~ 3

ゲイン X1 ~ X32

入力 : AC 50.664Hz ± 14.06mV (Peak-to-peak 28.12 mV) (全ゲインとも)

外部入力抵抗 : 0Ω

10.2 温度特性の補正の効果

10.2.1 VBGR の温度特性

図 10.2 に VBGR の実測値と標準値の比較を示します。

表 7.1 の係数と温度センサで測定した温度を式 7.2 に代入すると、VBGR 電圧の標準値を求めることができます。温度に誤差があると、VBGR の標準値の算出に誤差が生じます。

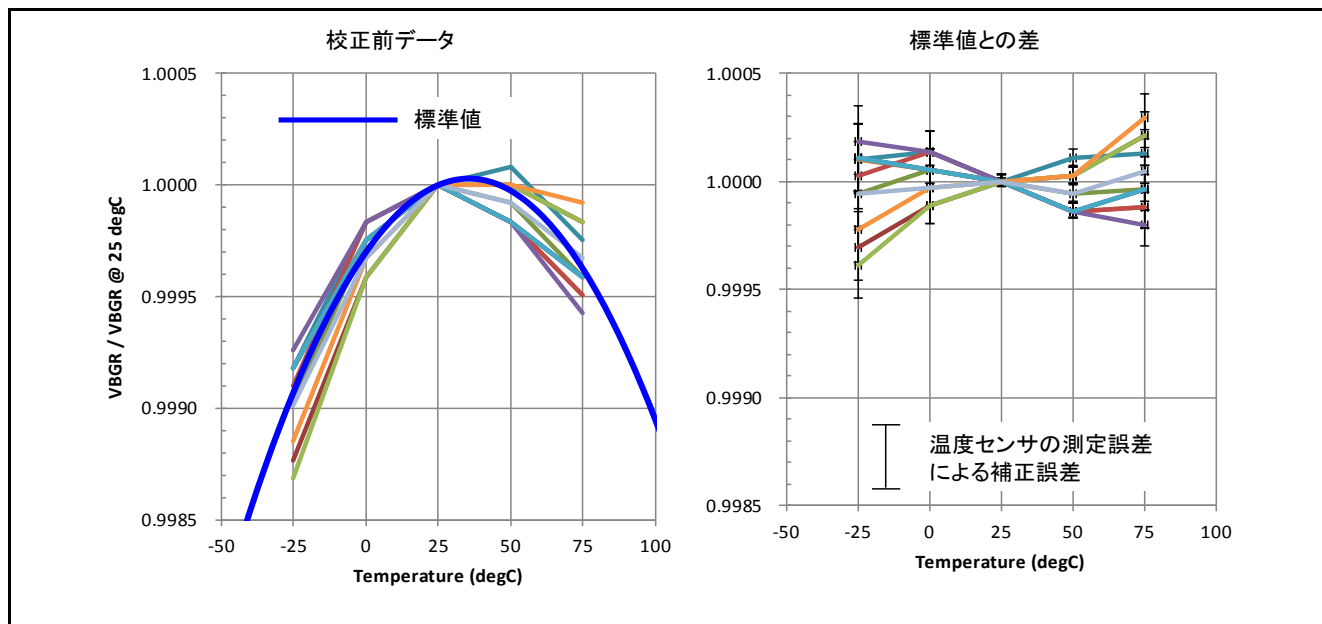


図 10.2 VBGR の温度特性（実測値と標準値の比較）

式 7.2 で補正すると、VBGR の温度特性が 30ppm/°C から 10ppm/°C まで減らせます。表 10.1 にその効果を示します。

表 10.1 VBGR の補正効果

リファレンス電圧温度係数	-40 ~ 105 °C	
ユーザーズマニュアルに掲載されている電気的特性	±30 ppm/°C	
補正前データの最大値	+30 ppm/°C (-40 ~ 25 °C)	-24 ppm/°C (25 ~ 105 °C)
補正後の残差	±10 ppm/°C	

10.2.2 差動入力端子のシステムゲイン

図 10.3 に差動入力端子のシステムゲインを示します。

補正前の温度特性は放物線になっていますが、補正後は 1.000 に近く補正できています。

測定条件

テスト入力 : AC 50.664Hz

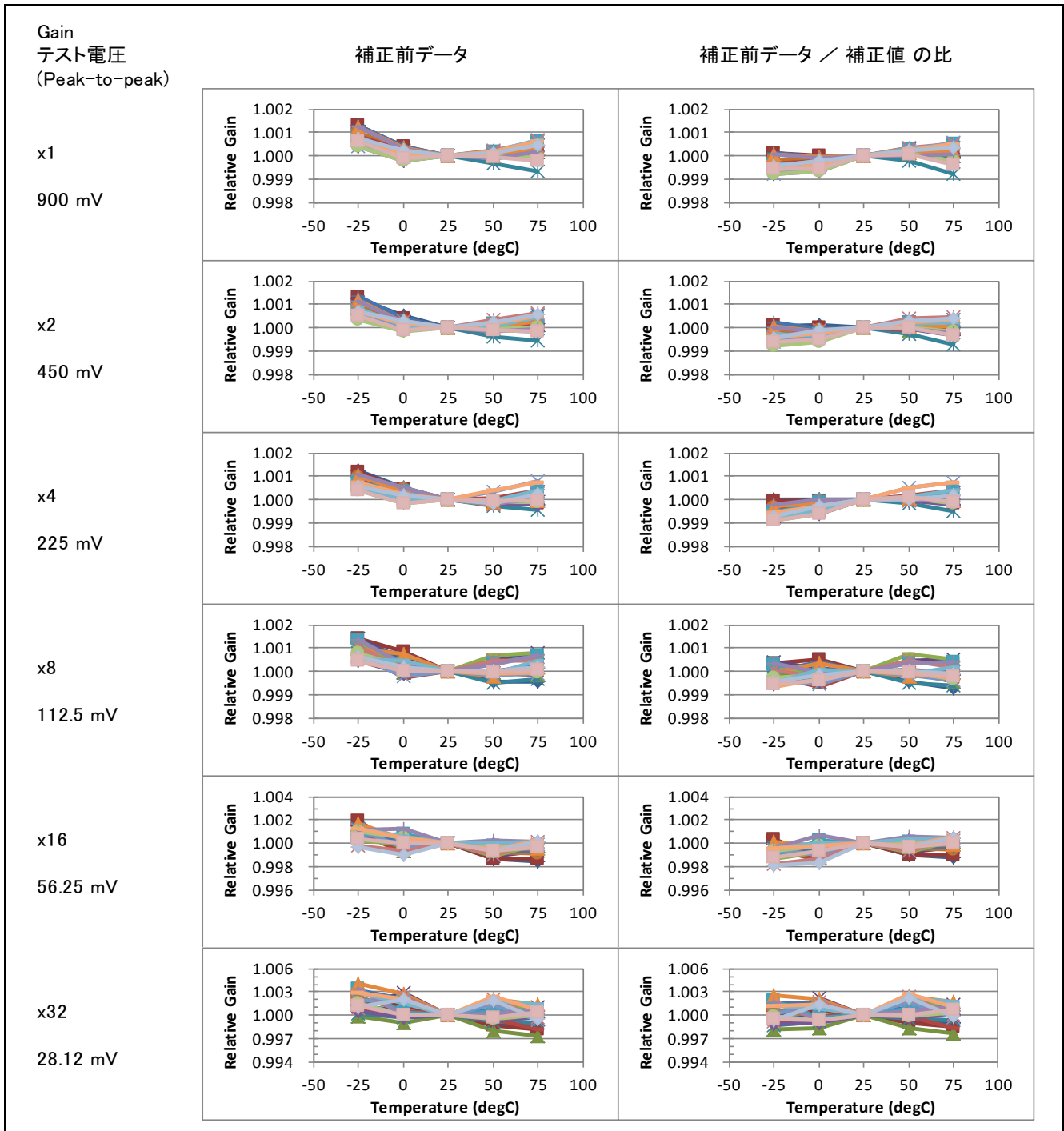


図 10.3 差動入力端子のシステムゲイン

差動入力端子のシステムゲインの温度特性を補正することで、温度特性のデバイスごとの差が少なくなり、全体としてフラットになるように補正されています。表 10.2 にその効果を示します。

表 10.2 差動入力端子のシステムゲインの温度特性の補正効果

ゲイン 設定	温度特性係数 [ppm/K]			
	補正前データ		補正後データ	
	25K 毎 (注 1)	-25~75°C (注 2)	25K 毎 (注 1)	-25~75°C (注 2)
x1	-38	16	-24	14
	+21		+25	
x2	-39	14	-17	10
	+17		+23	
x4	-31	15	-13	14
	+21		+24	
x8	-48	18	-21	10
	+29		+30	
x16	-96	33	-57	23
	+45		+64	
x32	-136	41	-97	31
	+94		+111	

(注 1) -25~75°Cの範囲を 25K ごとに分割し、それぞれに付いて温度特性係数を計算、その最小値と最大値を各セルに表記。

(注 2) ボックス法を使って計算した値。

$$\text{温度特性係数} = \text{ゲインの範囲 (最大値-最小値)} \div \text{温度の範囲 (75 - (-25))}$$

10.2.3 シングルエンド入力端子のシステムゲイン

図 10.4 にシングルエンド入力端子のシステムゲインの温度特性を示します。

補正前の温度特性は、温度に対してシステムゲインが反比例の関係にあります。補正後は 1.000 に近く補正できています。

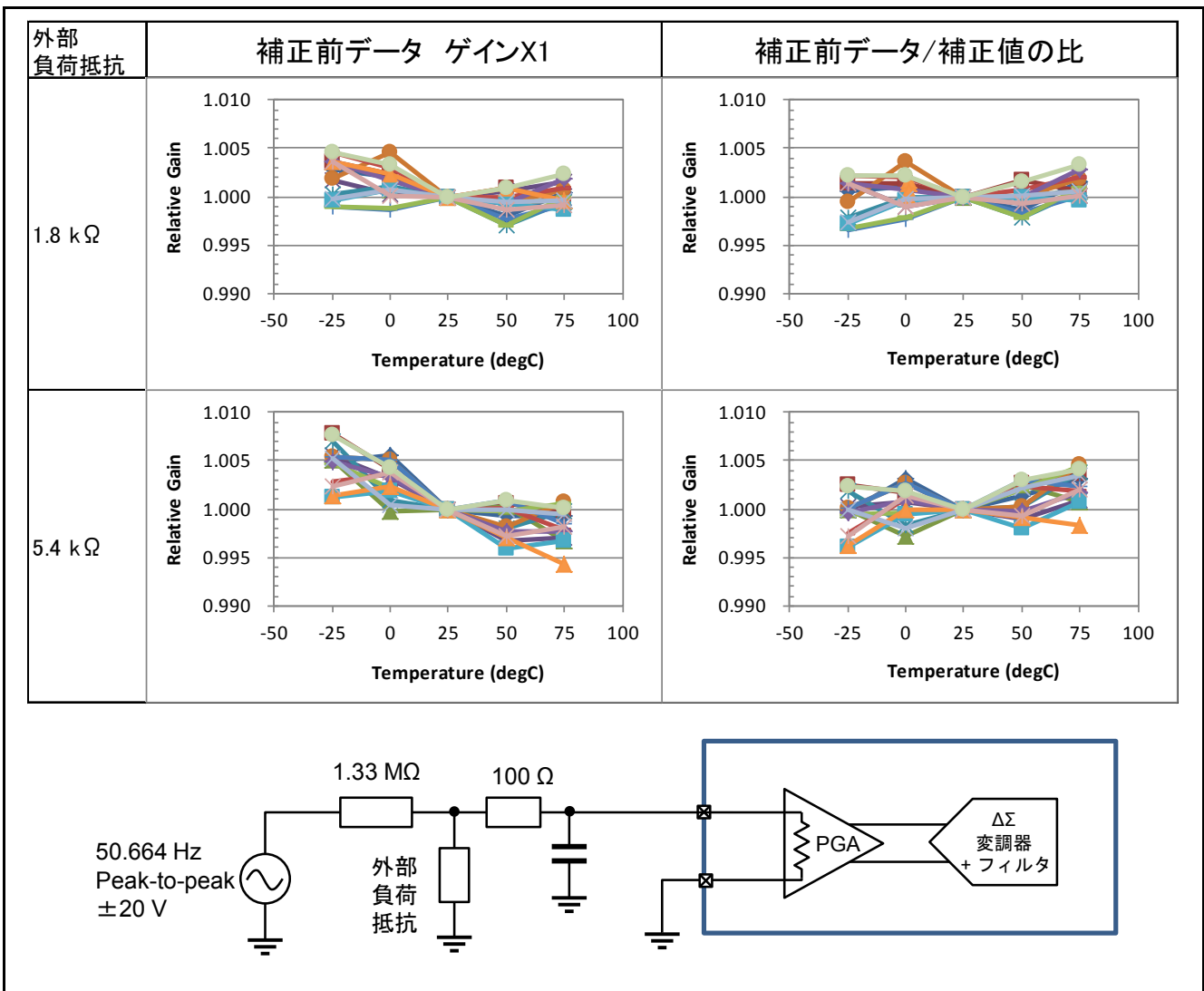


図 10.4 シングルエンド入力端子のシステムゲイン

シングルエンド入力端子のシステムゲインの温度特性を補正することで、温度特性のデバイスごとの差が少なくなり、全体としてフラットになるように補正されています。

表 10.3 にその効果を示します。

表 10.3 シングルエンド入力端子のシステムゲインの温度特性の補正効果

外部 負荷抵抗 [kΩ]	温度特性係数 [ppm/K]			
	補正前データ		補正後データ	
	25K 毎 (注 1)	-25~75°C (注 2)	25K 毎 (注 1)	-25~75°C (注 2)
1.8	-186	54	-145	43
	+114		+167	
5.4	-249	90	-136	55
	+104		+176	

(注 1) -25~75°Cの範囲を 25K ごとに分割し、それぞれに付いて温度特性係数を計算、その最小値と最大値を各セルに表記。

(注 2) ボックス法を使って計算した値。

温度特性係数 = ゲインの範囲 (最大値-最小値) / 温度の範囲 (75 - (-25))

11. サンプルコード

サンプルコードは、ルネサス エレクトロニクスホームページから入手してください。

12. 参考ドキュメント

ユーザーズマニュアル：ハードウェア

RX21A グループ ユーザーズマニュアル ハードウェア編 Rev.1.10 (R01UH0251JJ)

(最新版をルネサス エレクトロニクスホームページから入手してください。)

テクニカルアップデート／テクニカルニュース

(最新版をルネサス エレクトロニクスホームページから入手してください。)

ユーザーズマニュアル：開発環境

RX ファミリ C/C++コンパイラパッケージ V.1.01 ユーザーズマニュアル Rev.1.00 (R20UT0570JJ)

(最新版をルネサス エレクトロニクスホームページから入手してください。)

ホームページとサポート窓口

ルネサス エレクトロニクスホームページ

<http://japan.renesas.com>

お問合せ先

<http://japan.renesas.com/contact/>

改訂記録	RX21A グループ $\Delta \Sigma$ A/D コンバータのゲイン校正と温度センサによる補正
------	---

Rev.	発行日	改訂内容	
		ページ	ポイント
1.00	2014.10.01	—	初版発行
1.10	2014.12.26	—	全体の構成を見直し

すべての商標および登録商標は、それぞれの所有者に帰属します。

製品ご使用上の注意事項

ここでは、マイコン製品全体に適用する「使用上の注意事項」について説明します。個別の使用上の注意事項については、本ドキュメントおよびテクニカルアップデートを参照してください。

1. 未使用端子の処理

【注意】未使用端子は、本文の「未使用端子の処理」に従って処理してください。

CMOS 製品の入力端子のインピーダンスは、一般に、ハイインピーダンスとなっています。未使用端子を開放状態で動作させると、誘導現象により、LSI 周辺のノイズが印加され、LSI 内部で貫通電流が流れたり、入力信号と認識されて誤動作を起こす恐れがあります。未使用端子は、本文「未使用端子の処理」で説明する指示に従い処理してください。

2. 電源投入時の処置

【注意】電源投入時は、製品の状態は不定です。

電源投入時には、LSI の内部回路の状態は不確定であり、レジスタの設定や各端子の状態は不定です。

外部リセット端子でリセットする製品の場合、電源投入からリセットが有効になるまでの期間、端子の状態は保証できません。

同様に、内蔵パワーオンリセット機能を使用してリセットする製品の場合、電源投入からリセットのかかる一定電圧に達するまでの期間、端子の状態は保証できません。

3. リザーブアドレス（予約領域）のアクセス禁止

【注意】リザーブアドレス（予約領域）のアクセスを禁止します。

アドレス領域には、将来の機能拡張用に割り付けられているリザーブアドレス（予約領域）がありません。これらのアドレスをアクセスしたときの動作については、保証できませんので、アクセスしないようにしてください。

4. クロックについて

【注意】リセット時は、クロックが安定した後、リセットを解除してください。

プログラム実行中のクロック切り替え時は、切り替え先クロックが安定した後に切り替えてください。

リセット時、外部発振子（または外部発振回路）を用いたクロックで動作を開始するシステムでは、クロックが十分安定した後、リセットを解除してください。また、プログラムの途中で外部発振子（または外部発振回路）を用いたクロックに切り替える場合は、切り替え先のクロックが十分安定してから切り替えてください。

5. 製品間の相違について

【注意】型名の異なる製品に変更する場合は、製品型名ごとにシステム評価試験を実施してください。

同じグループのマイコンでも型名が違っていると、内部 ROM、レイアウトパターンの相違などにより、電気的特性の範囲で、特性値、動作マージン、ノイズ耐量、ノイズ輻射量などが異なる場合があります。型名が異なる製品に変更する場合は、個々の製品ごとにシステム評価試験を実施してください。

ご注意書き

1. 本資料に記載された回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報は、半導体製品の動作例、応用例を説明するものです。お客様の機器・システムの設計において、回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報を使用する場合には、お客様の責任において行ってください。これらの使用に起因して、お客様または第三者に生じた損害に関し、当社は、一切その責任を負いません。
2. 本資料に記載されている情報は、正確を期すため慎重に作成したものです。誤りがないことを保証するものではありません。万一、本資料に記載されている情報の誤りに起因する損害がお客様に生じた場合においても、当社は、一切その責任を負いません。
3. 本資料に記載された製品データ、図、表、プログラム、アルゴリズム、応用回路例等の情報の使用に起因して発生した第三者の特許権、著作権その他の知的財産権に対する侵害に関し、当社は、何らの責任を負うものではありません。当社は、本資料に基づき当社または第三者の特許権、著作権その他の知的財産権を何ら許諾するものではありません。
4. 当社製品を改造、改変、複製等しないでください。かかる改造、改変、複製等により生じた損害に関し、当社は、一切その責任を負いません。
5. 当社は、当社製品の品質水準を「標準水準」および「高品質水準」に分類しており、各品質水準は、以下に示す用途に製品が使用されることを意図しております。
標準水準： コンピュータ、OA機器、通信機器、計測機器、AV機器、
家電、工作機械、パーソナル機器、産業用ロボット等
高品質水準： 輸送機器（自動車、電車、船舶等）、交通用信号機器、
防災・防犯装置、各種安全装置等
当社製品は、直接生命・身体に危害を及ぼす可能性のある機器・システム（生命維持装置、人体に埋め込み使用するもの等）、もしくは多大な物的損害を発生させるおそれのある機器・システム（原子力制御システム、軍事機器等）に使用されることを意図しておらず、使用することはできません。たとえ、意図しない用途に当社製品を使用したことによりお客様または第三者に損害が生じて、当社は一切その責任を負いません。なお、ご不明点がある場合は、当社営業にお問い合わせください。
6. 当社製品をご使用の際は、当社が指定する最大定格、動作電源電圧範囲、放熱特性、実装条件その他の保証範囲内でご使用ください。当社保証範囲を超えて当社製品をご使用された場合の故障および事故につきましては、当社は、一切その責任を負いません。
7. 当社は、当社製品の品質および信頼性の向上に努めていますが、半導体製品はある確率で故障が発生したり、使用条件によっては誤動作したりする場合があります。また、当社製品は耐放射線設計については行っていません。当社製品の故障または誤動作が生じた場合も、人身事故、火災事故、社会的損害等を生じさせないよう、お客様の責任において、冗長設計、延焼対策設計、誤動作防止設計等の安全設計およびエージング処理等、お客様の機器・システムとしての出荷保証を行ってください。特に、マイコンソフトウェアは、単独での検証は困難なため、お客様の機器・システムとしての安全検証をお客様の責任で行ってください。
8. 当社製品の環境適合性等の詳細につきましては、製品個別に必ず当社営業窓口までお問い合わせください。ご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制するRoHS指令等、適用される環境関連法令を十分調査のうえ、かかる法令に適合するようご使用ください。お客様がかかる法令を遵守しないことにより生じた損害に関し、当社は、一切その責任を負いません。
9. 本資料に記載されている当社製品および技術を国内外の法令および規則により製造・使用・販売を禁止されている機器・システムに使用することはできません。また、当社製品および技術を大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的その他軍用用途に使用しないでください。当社製品または技術を輸出する場合は、「外国為替及び外国貿易法」その他輸出関連法令を遵守し、かかる法令の定めるところにより必要な手続を行ってください。
10. お客様の転売等により、本ご注意書き記載の諸条件に抵触して当社製品が使用され、その使用から損害が生じた場合、当社は何らの責任も負わず、お客様にてご負担して頂きますのでご了承ください。
11. 本資料の全部または一部を当社の文書による事前の承諾を得ることなく転載または複製することを禁じます。

注1. 本資料において使用されている「当社」とは、ルネサス エレクトロニクス株式会社およびルネサス エレクトロニクス株式会社とその総株主の議決権の過半数を直接または間接に保有する会社をいいます。

注2. 本資料において使用されている「当社製品」とは、注1において定義された当社の開発、製造製品をいいます。



ルネサス エレクトロニクス株式会社

営業お問い合わせ窓口

<http://www.renesas.com>

営業お問い合わせ窓口の住所は変更になることがあります。最新情報につきましては、弊社ホームページをご覧ください。

ルネサス エレクトロニクス株式会社 〒100-0004 千代田区大手町2-6-2 (日本ビル)

技術的なお問合せおよび資料のご請求は下記へどうぞ。
総合お問い合わせ窓口：<http://japan.renesas.com/contact/>