

## Application Note

## RH センサでの RH 精度の問題をデバッグする方法



Alex Thompson

## 概要

相対湿度 (RH) センサは、環境データをキャプチャするための強力なツールですが、他の集積回路 (IC) やセンサの種類とは大きく異なります。静電容量方式の RH センサ IC は、オープン キャビティ型のパッケージ構造を採用しており、感湿素子が直接環境にさらされています。この露出型センサは、上部のポリマ層と、その下に配置された電極という 2 つの主要な構成要素で構成されています。ポリマはコンデンサの誘電体材料として作用します。空気中の水分がポリマに吸収されると、その比誘電率が変化し、電極間の静電容量に測定可能な変化が生じます。その後、この変化は内部的に RH 出力に変換されます。

静電容量式 RH センサは、特殊なダイ構造とパッケージ構成を持つため、長期間にわたって規定の精度を維持するには、慎重な取り扱いと特定のガイドラインの遵守が必要です。このアプリケーション ノートでは、RH センサ使用時に発生し得る一般的な問題を詳しく説明し、代表的な測定誤差の原因を防ぐ方法と、性能劣化を軽減するための対策を紹介しています。

通信インターフェイスの問題 (たとえば I<sup>2</sup>C エラー) や、特定の化学的影響による RH 結果は、本書の対象範囲外です。

## 目次

1 はじめに: RH センサが仕様外である理由	2
1.1 RH エラーが発生する場所とタイミング	2
1.2 RH エラーの根本原因は何ですか?	3
1.3 ケース スタディ	4
2 定義: RH 精度の主要な用語	5
3 最初のトラブルシューティング手順	7
3.1 初期検証ステップ	7
3.2 診断用の質問	7
4 RH 誤差の防止と低減の一般的な原因	8
4.1 PCB と筐体の設計に関する考慮事項	8
4.2 組立てプロセス、はんだ付けプロセス、および製造プロセス	10
4.3 組立て後の再水和	11
4.4 テスト設定と環境	12
4.5 保管と取り扱い	16
4.6 化学物質による汚染	17
4.7 動作条件: アプリケーション環境の条件と影響	20
4.8 RH 精度のデバッグ フローチャート	22
5 まとめ: RH 精度の設計とデバッグ	23
6 参考資料	24
7 付録	25
7.1 ケース スタディ 1: 湿度に起因する正の RH オフセット	25
7.2 ケース スタディ 2: 100%RH 環境での段階的な RH 精度ドリフト	27
7.3 ケース スタディ 3: アセンブリと熱効果の組み合わせ要因	29

## 商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

## 1 はじめに:RH センサが仕様外である理由

RH センサを使用する際、環境条件や不適切な取り扱いなどの外的要因により、データシートの仕様を超える精度の偏差が発生することがあります。これらのセンサは規定された RH 精度の範囲内で動作するように設計されていますが、特定の要因によっては、報告される RH 値が期待される範囲を上回ったり下回ったりすることがあります。このような偏差を特定し解決するには、体系的なアプローチが必要です。まずセンサがシステムにどのように組み込まれているかを確認し、次に製造工程を見直し、最後に実際の使用環境での条件を評価します。

このような偏差を特定して解決するには、次の 3 つの段階の体系的なアプローチが必要です:

1. RH エラーを特定し、生産および展開サイクルでエラーがいつ発生するかを判断します。
2. RH 誤差の発生源を決定し、RH センサの性能への影響を理解します。
3. RH 誤差発生源の潜在的な根本原因を理解し、影響を防止または低減できるようにします。

この文書は、反復的または段階的なトラブルシューティングをサポートするように構成されています。ユーザーは、現在の設計段階または確認された問題に関連するセクションを参照することで、RH 精度の偏差を診断、防止、軽減するための確かな指針を得ることが推奨されます。

### 1.1 RH エラーが発生する場所とタイミング

図 1-1 に、設計から展開までの代表的なフローを示します。EVM での評価から最終的なアプリケーションの使用事例で終了します。このフローの各段で、RH 精度誤差が発生する可能性があります。RH 精度の誤差を効果的にトラブルシューティングするために、TI はまず誤差が最初に現れる工程を特定し、そこから原因をさかのぼって追跡することを推奨しています。たとえば、評価基板 (EVM) による評価中に RH 精度の誤差が検出された場合、その原因は環境要因、加熱の影響、化学的汚染、または試作・量産時のテスト方法の誤りのいずれかである可能性があります。これは、EVM が既知の良好な PCB および組立て工程に基づいているためです。

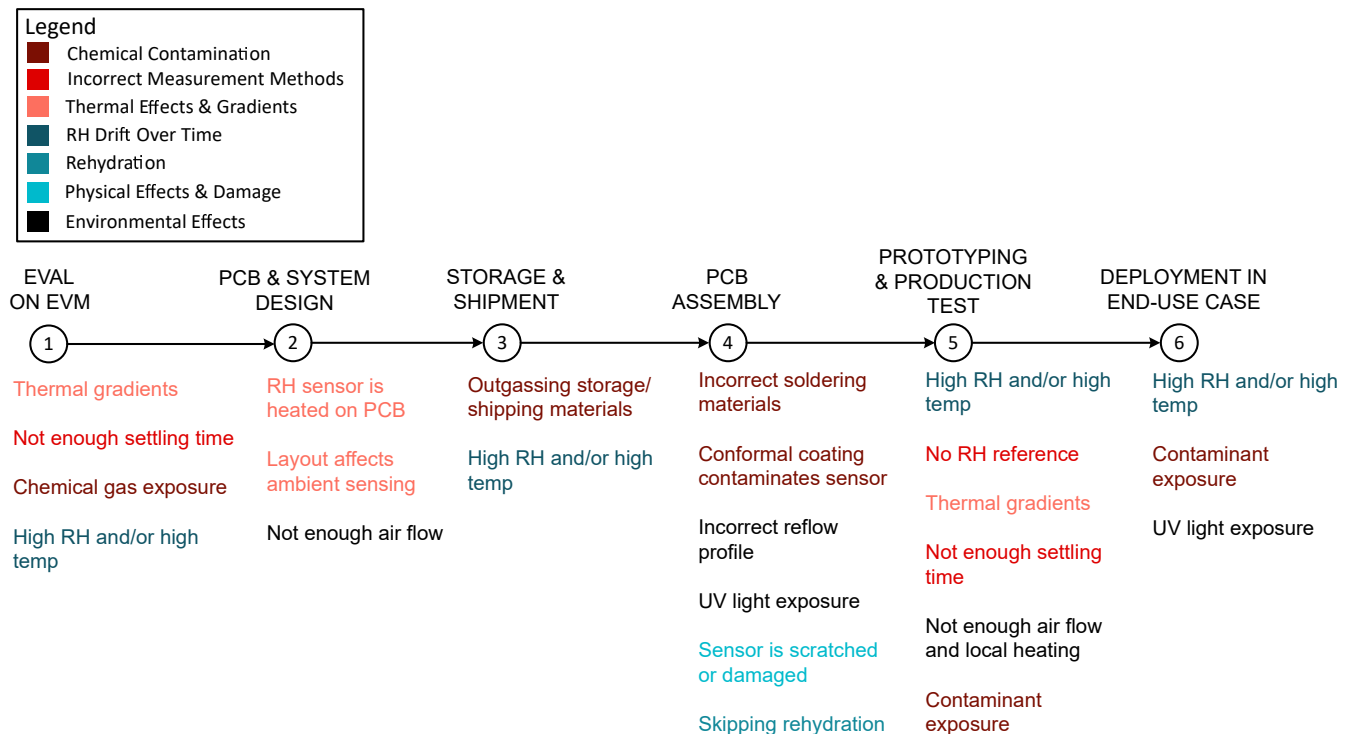


図 1-1. RH センサ設計例のタイムライン

RH 誤差のさまざまな発生源は図 1-1 で色分けされており、本書の以下のセクションでさらに説明します:

- 化学汚染については、組立て、はんだ付け、製造プロセス、保管と取り扱い、および化学汚染について説明します。
- 誤った測定方法については、テスト構成と環境を参照してください。

- 熱効果と勾配については、**PCB と筐体の設計上の考慮事項**、**保管と取り扱い**、および**テスト構成と環境**を参照してください。
- 時間の経過による RH ドリフトについては、以下で説明されています。**保管と取り扱い**および**動作条件:アプリケーション環境の条件と影響**
- 再水和については、**組み立て後の再水和**で説明します
- 物理的な影響と損傷については、**組立て**、**はんだ付け**、**製造プロセス**、**保管と取り扱い**、および**化学汚染**について説明します。
- 環境への影響については、以下で説明されています:**PCB と筐体の設計に関する考慮事項**、**組立て**、**はんだ付け**、**製造プロセス**および**動作条件:アプリケーション環境の条件と影響**。

## 1.2 RH エラーの根本原因は何ですか？

図 1-2 の「フィッシュボーン図」に、RH 精度誤差の最も一般的な発生源に関する根本原因の視点を示します。この図を左から右へ読むと、誤差の原因がカテゴリ別に整理されており、そのいくつかは製造プロセスの複数の段階で発生する可能性があります。たとえば、試験チャンバ内の温度が均一でない場合、テスト工程中に RH センサに熱の影響が生じることがありますが、同様の影響は PCB の設計によっても発生する可能性があります。

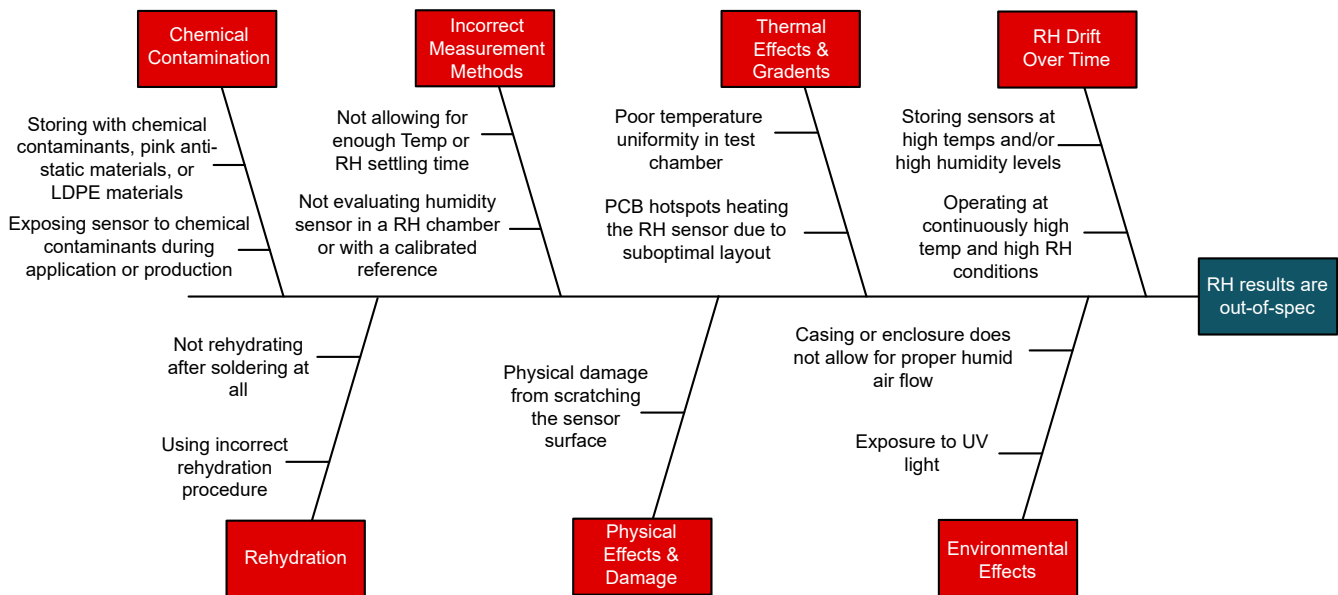


図 1-2. RH 誤差の一般的な根本原因

このドキュメントでは、これらの誤差要因を開発、製造、運用の各段階に分類し、ユーザがどの工程で誤差が発生し得るかを理解できるようにしています。さらに、このドキュメントでは、RH 精度のデバッグ手順を示すいくつかのケーススタディとともに、図 4-11 に示されたフローチャートを用いて、ユーザーが根本原因を特定できるよう支援しています。

このドキュメントでは、7 つの主要なエラー発生源のそれぞれについて、次の 3 つの主要な方法で検証します：

1. RH 精度への潜在的な影響。
2. 発生を防止するための戦略。
3. 予防が不可能な場合に影響を軽減する方法。

### 1.3 ケース スタディ

このアプリケーション ノートの最後には、ここで説明した原則を実際にどのように適用できるかを示す 3 つの事例をまとめた付録が掲載されています。各例は、原点が不明な RH 精度の問題から始まります。このガイドで説明されている方法を用いた体系的な分析によって、根本原因が特定され、対処されました。選定されたケース スタディは、さまざまな複雑さの範囲を示しており、RH 精度の問題の中には容易に解決できるものもあれば、より詳細な調査や設計変更を必要とするものもあることを強調しています。

- **ケース スタディ 1:**あるユーザーが、約 3.5% RH の一貫した正の RH オフセットを観測し、その結果センサがデータシートの規定範囲を超えることが判明しました。この問題は、後に特定の PCB メーカーから調達された部品に切り分けられました。根本原因の分析により、その施設でのセンサ保管条件が原因で、組み立て工程に問題があることが判明しました。影響を受けたセンサは、制御されたベーキング手順によって正常に回復し、データシートの仕様に復元されました。
- **ケース スタディ 2:**屋外設置の環境では、RH センサは当初は仕様どおりに動作していましたが、時間の経過とともに高湿度条件下でも 100%RH を示さなくなりました。報告された最大 RH は徐々に低下し、飽和環境に長時間さらされたことでセンサ性能の低下が示唆されています。
- **ケース スタディ 3:**ガス検知用途のアプリケーションで、顧客は旧設計の PCB と新設計の PCB の両方で、2 種類の RH センサ製品 (HDC2021 および HDC3021) を評価しました。HDC2021 は正しい RH 結果を報告した一方、HDC3021 は不正確な RH 結果を報告しました。調査の結果、化学物質の汚染と PCB レイアウトの誤差の両方がすべての部品に影響を与える問題に寄与しており、反対の効果がセンサの RH 誤差の完全な範囲をマスキングすることが明らかになりました。

## 2 定義:RH 精度の主要な用語

このセクションでは、RH 精度を議論するための主な用語を定義します。このセクションに記載されている概念を理解することは、この文書のセクション 4 に記載する方法を使用して RH 精度の誤差の評価、診断、防止、低減を実現するために重要です。

- センシング ポリマ:容量式 RH センサは、空気中の水分を捕捉するために露出したポリマ層を利用しています。捕捉された水分はポリマ内の空隙を満たし、ポリマの誘電率を変化させます。この誘電率の変化によって、ポリマの下にある検出電極の静電容量が変化します。温度や湿度の条件に加えて、化学物質などの不要な成分も、ポリマが湿った空気を検出する仕組みに影響を及ぼすことがあります。図 2-1 に、ポリマが空気から水分を捕捉する媒体として作用する簡略化されたセンサ構造を示します。

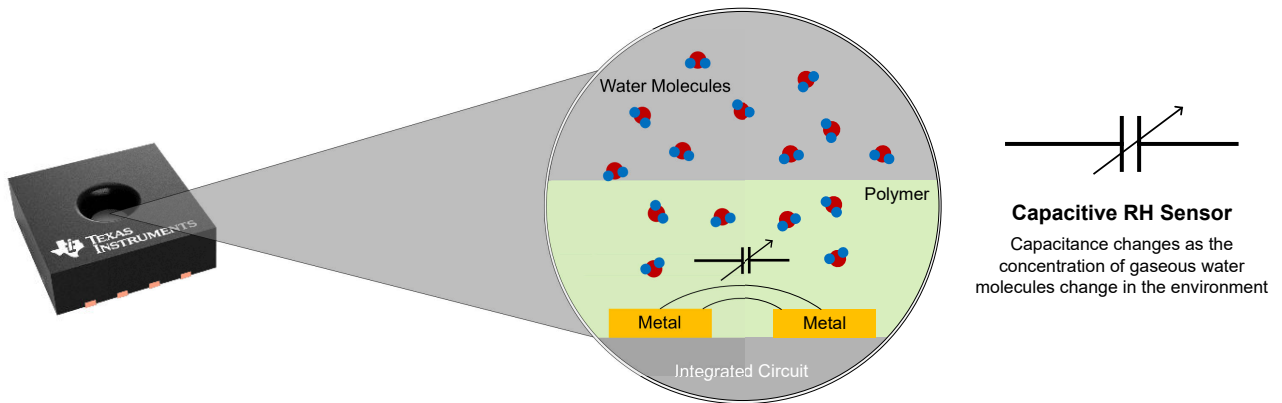


図 2-1. センシング ポリマの例

- RH 誤差:** RH センサの湿度測定値と、校正された基準値との間の差。
- RH ヒステリシス:** 上曲線 (周囲 RH 増加時の RH 誤差) または下曲線 (周囲 RH 誤差が減少する際の RH 誤差) と、上下曲線の中心平均との差。正の RH ヒステリシスは、中心平均値と下降曲線との差を指し、負の RH ヒステリシスは、中心平均値と上昇曲線との差を指します。ヒステリシスは、センシング ポリマには以前に観測された湿度条件のメモリがあるために発生します。したがって、RH センサの RH 誤差は、低 RH 条件にさらされた後はわずかに負の誤差を示し、高 RH 条件にさらされた後はわずかに正の誤差を示す傾向があります。RH ヒステリシスの具体的な形状は、周囲温度によって変化することがあります。図 2-2 は「上昇曲線」と「下降曲線」の 2 つの異なる見方を示しています。1 つは RH 誤差と基準 RH の関係を、もう一つは測定 RH と基準 RH の関係を示しています。

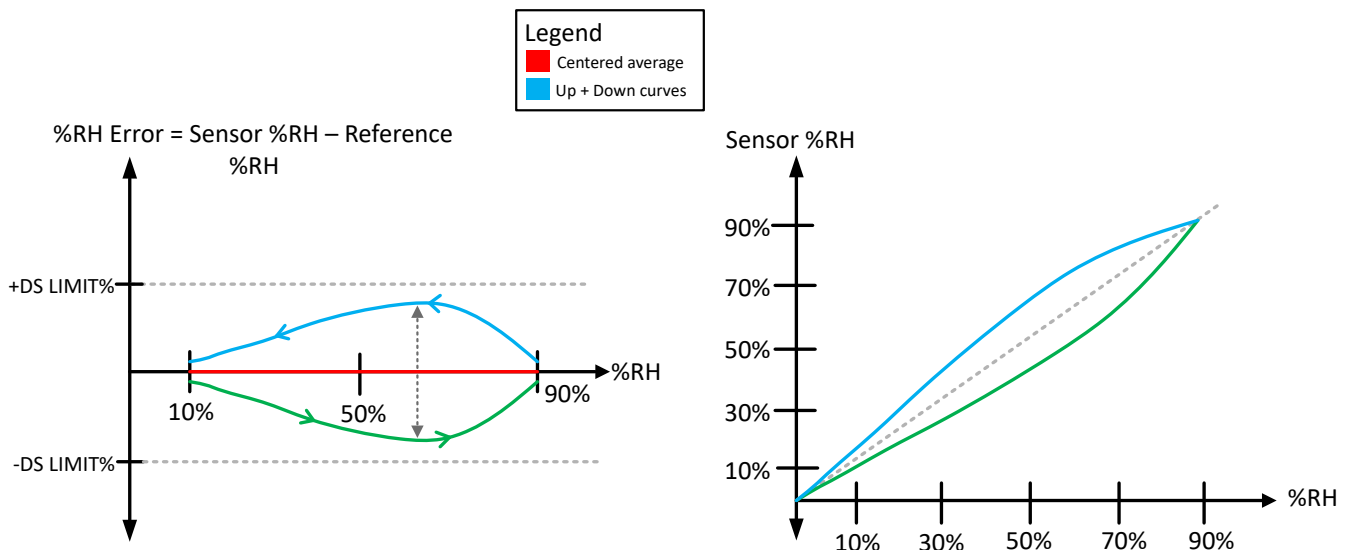


図 2-2. RH ヒステリシスの例

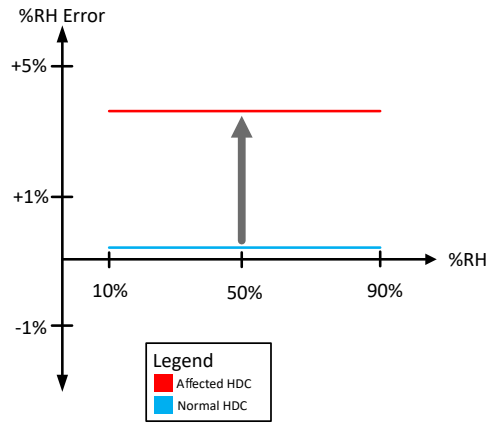


図 2-3. RH オフセット誤差の例

- **RH オフセット:**周囲の RH レベルや温度が変化しても一定に現れる、RH 誤差の正または負のシフトを指します。図 2-3 は、RH レベル全体にわたって %RH 誤差が一樣に増加する様子を示しています。
- **RH ゲイン:**これは、湿度に対して一定でない RH 誤差のシフトを指します。例えば、正の RH ゲインは低湿度で RH 誤差が小さく、高湿度で RH 誤差が大きくなる一方、負の RH ゲインは低湿度で RH 誤差が大きく、高湿度で RH 誤差が小さくなります。図 2-4 に、RH ゲインの 2 つの例を示します。左側は負の RH ゲインの例で、右側は正の RH ゲインの例です。低い RH レベルではゲインシフトの影響はほとんど見られませんが、RH が上昇するにつれてその影響がより顕著になります。実際の多くの状況では、RH オフセットと RH ゲインを組み合わせることができます。

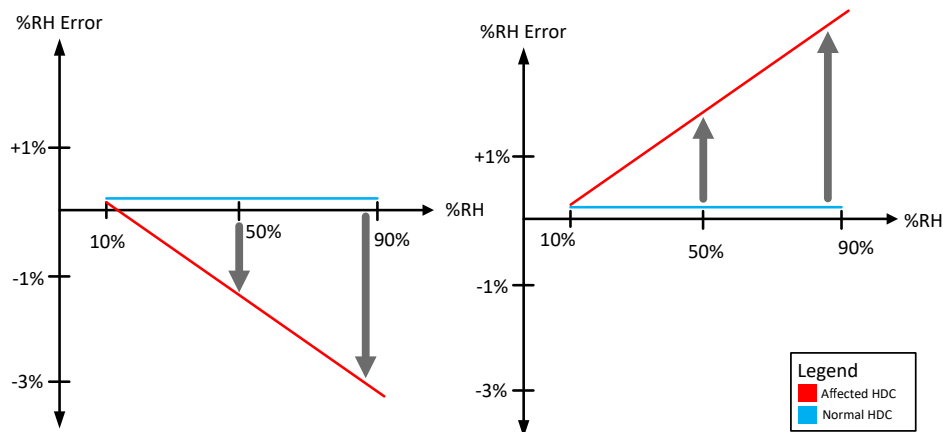


図 2-4. RH ゲイン誤差の例

- **VOC:**揮発性有機化合物。VOC は、多くが人工的に作られた有機化学物質で、空気中に容易に蒸発する性質を持ちます。これは一般に「オフガス」と呼ばれます。VOC は、センシング ポリマの正常な動作を妨げることで、RH 測定の精度に悪影響を及ぼす可能性があります。VOC は常温でも空気中に蒸発するため、ポリマ式湿度センサにおける化学的汚染の一般的な原因となります。
- **MSDS:**製品安全データシート。特定の製品 (例:コーティング剤、梱包用フォーム、はんだペーストなど) の MSDS には、その製品に含まれるほとんど、またはすべての化学物質の詳細が記載されています。MSDS を入手して内容を確認することは、潜在的な化学汚染物質を避け、RH 測定精度への影響を最小限に抑える製品を選定するうえで重要です。
- **SEM:**走査型電子顕微鏡。センシング ポリマの高解像度画像を撮影するために使用され、付着した化学汚染物質の特定に役立ちます
- **EDX:**エネルギー分散型 X 線分光法。センシング ポリマ上の特定の箇所を分光分析によって化学組成を明らかにする故障解析手法。化学汚染物質の性質を決定するのに非常に便利です。これは、金属の薄膜蒸着が必要となるため破壊的な故障解析に分類されます。したがって、EDX を実施したユニットではその後 RH テストを行うことはできません。

### 3 最初のトラブルシューティング手順

センサの RH 精度を診断または向上させる前に、まず実際の RH 精度の問題が存在していることを確認することが重要です。このドキュメントでは、RH 精度に影響を及ぼすシステム要因と環境要因に注目していますが、機能または設定の基本的な問題を除外するには、これらの初期検証手順が重要です。これらの検証手順によって、問題の原因が湿度精度ではなく別の要因であることを特定でき、ユーザの時間を節約できます。

#### 3.1 初期検証ステップ

1. **A-B-A スワップの実行:** 疑わしいセンサを既知の正常品に交換し、すべてのはんだ付けに関する注意事項を遵守してください。同じ PCB で問題が継続する場合、根本原因は基板自体またはシステム統合に関連している可能性が高いです。センサに問題がある場合は、デバイス自体が故障している可能性があります。この方式は一般に **A-B-A** スワップ方式と呼ばれています ([返品ガイドライン](#)を参照)。
2. **適切なデカップリングの確認:** デカップリング コンデンサは、センサの VDD ピンと GND ピンとの間に、できるだけ近づけて配置します。電源デカップリングが不適切な場合、ノイズや不安定性が発生する可能性があります。
3. **物理的な損傷がないかの確認:** センサのパッケージおよび露出したキャビティを目視で検査し、損傷、汚染、異物の兆候がないか確認します。
4. **通信の確認:** **SysConfig** 内の **ASC Studio** で提供されている TI のサンプルコードを使用し、I<sup>2</sup>C 通信が適切であることとデバイスの初期化を確認します。ASC Studio は、マイコンに依存しない GUI ベースのコードジェネレータで、目的に応じたサンプルコードを生成します。SDA ピンと SCL ピンにプルアップ抵抗が取り付けられているかどうかを確認します。
  - a. デジタル通信エラーのもう一つの兆候として、RH センサの %RH 出力が一様に 100% または 0% RH となり、同時に温度が 130°C または -45°C (HDC1x および HDC2x の場合は 125°C または -40°C) を示す場合があります。これは、センサが 0x0000 または 0xFFFF を報告していることを意味し、デジタル通信エラーが発生していることを示します。

#### 3.2 診断用の質問

これらの基本的な確認によってデバイスが正常に動作しており、より体系的な RH 精度の問題が存在することが判明した場合、次の診断的な質問が問題の範囲を把握し、さらなる根本原因分析の手がかりとなります:

1. すべてのデバイスで RH 誤差が観測されていますか、それとも一部のみに観測されていますか？
2. 影響を受けたセンサは、特定のロットまたは製造グループに属していますか？
3. 精度の誤差は一定ですか？断続的に発生しますか？それとも時間の経過とともに悪化していますか？
4. RH センサは適切な温度結果を報告していますか？
5. RH エラーにはどのような形式がありますか？一貫した正のオフセット、負のゲイン、またはそれらが組み合わさった挙動が見られますか？
6. RH 誤差は、開発または製造プロセスのどの段階で最初に発生しますか？
7. センサの最終的な環境はどのようなものですか？次に例を示します。
  - a. センサは屋内、屋外、または産業環境のいずれで使用されていますか？
  - b. どのような温度範囲が関係していますか？どの湿度範囲で使用されていますか？
  - c. センサは時間の経過とともに湿度が変動する環境にさらされていますか？それとも比較的安定した環境で使用されていますか？
  - d. 測定対象となる周囲の空気は、実際に RH センサまで届いていますか？
  - e. システムは RH の安定を可能にしますか？

上記の質問に対する回答によって、ユーザは[セクション 4.8](#) 内の [図 4-11](#) を特定して進めることができます。このフローチャートは、RH 誤差の原因がどこにあるのかを特定し、より迅速にデバッグを進めるための指針として設計されています。問題の可能性のある領域を特定したら、[セクション 4](#) の該当するトピックに移動します。

## 4 RH 誤差の防止と低減の一般的な原因

このセクションでは、RH センサの RH 精度誤差の一般的な原因について説明します。各トピックはサブトピックに分けられており、詳細な説明、予防策、軽減方法、およびベスト プラクティスについて体系的に解説されています。各セクションは、重要度、重大度、発生の可能性の観点から順序付けされていません。これらのトピックは、エンジニアリング設計プロセスの進行順に沿って配置されています。どの順番で読んでも構いません。このセクションでは、設計を最適化し、RH 精度に対する不要なリスクを最小限に抑えるために必要な手段をユーザーに提供します。

### 4.1 PCB と筐体の設計に関する考慮事項

開発プロセスの初期段階において、PCB のレイアウトや筐体設計が最適化されていないと、RH センサの精度に大きな影響を及ぼす可能性があります。主な要因としては、PCB を介した熱伝導と筐体内部の気流管理が挙げられます。これらはいずれも、センサが周囲の湿度を正確に測定する能力に大きく影響します。

#### 4.1.1 RH センサへの PCB 熱伝達

他の熱源から伝導した熱エネルギーは、センサーが周囲の空気温度や RH を正確に検出する能力を妨げる可能性があります。センサの局所的な加熱によって、RH センサの接合部温度が周囲空気温度と一致なくなります。RH は温度と反比例するため（一定圧力下では）、このような状態では実際の周囲環境を反映しない低い RH 値が測定されることとなります。この影響は、RH オフセットおよびゲイン誤差が負のものとして現れます。

一般的な熱源としては、近くの電力を消費する部品や、熱伝導率の高い銅箔プレーンなどが挙げられます。一般的なルールとして、センサ温度が周囲温度より  $1^{\circ}\text{C}$  高くなるごとに、RH の読み取り値はおよそ 3%RH 低下します (3%RH は乗算ではなく加算的な変化です)。この値は周囲温度や湿度レベルによって変動しますが、温度変化によって %RH がどの程度変化するかを理解する目安として有用です。起動後にシステムが徐々に温まる構成では、基板の局所温度が上昇するにつれて、RH 測定値が時間の経過とともに低下する傾向があります。

PCB 設計に起因する RH 精度誤差を防止する:

- 湿度センサを熱的に絶縁するためには、データシートに記載されたレイアウト ガイドラインに従うことが重要です。
- 熱を発生する部品を RH センサの近くに配置しないでください。
- RH センサのフットプリント下部や周囲に、PCB の他の部分へ延びる銅プレーンを配線しないでください。PCB の別の箇所から熱が伝導し、センサに熱影響を与える可能性があります。
- RH センサを太陽や明るい照明に直接当てないでください。

図 4-1 は、HDC3020 を使用して周囲湿度と温度を検出するように最適化された PCB レイアウトの一例です。

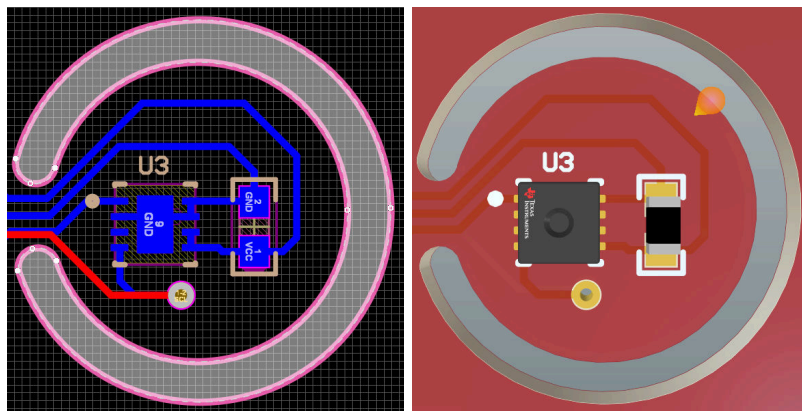


図 4-1. HDC3020 の周囲にスロットが設けられた HDC3020 の PCB レイアウト例

最適化されたレイアウト例では、センサの周囲に円形のスロット カットを設けており、PCB 材料を通じて熱がセンサに伝わるのを防いでいます。空気中では熱の伝わり方が比較的に悪いからです。 $25^{\circ}\text{C}$  空気での熱伝導率は  $0.026 \text{ W/mK}$  です。一方、一般的な PCB 誘電体材料である FR4 のみの熱伝導率は  $0.2 \text{ W/mK}$  です。これは、PCB のカットアウトを用いて RH センサを熱的に絶縁することで、およそ 10 倍もの効果が得られるということです。



センサの下に銅プレーンを配置しないでください。銅の熱伝導率は約 400W/mK と非常に高いため、共有された銅箔プレーンは、PCB 上の他の部品から発生した熱を容易に伝達してしまいます。

可能な場合は、PCB の端または角に RH センサを熱源から離して配置します。小さな PCB の延長部を設けることで、センサをさらに基板から熱的に分離し、周囲の気流への曝露を高めることができます。RH センサが周囲温度をできるだけ正確に感知できるようにする PCB 設計の例を示す詳細なガイダンスについては、[湿度センサの配置とルーティングの最適化](#)を参照してください。

図 4-2 では、左側の PCB 設計では空気ギャップを設け、RH センサを PCB 上の他の部品から物理的に分離して配置しているため、熱的絶縁がより最適化されています。右側の PCB 設計では、熱的絶縁がほとんど、またはまったく施されておらず、PCB 上の熱源の影響を受けやすいため、湿度センサに RH 誤差が生じやすくなります。

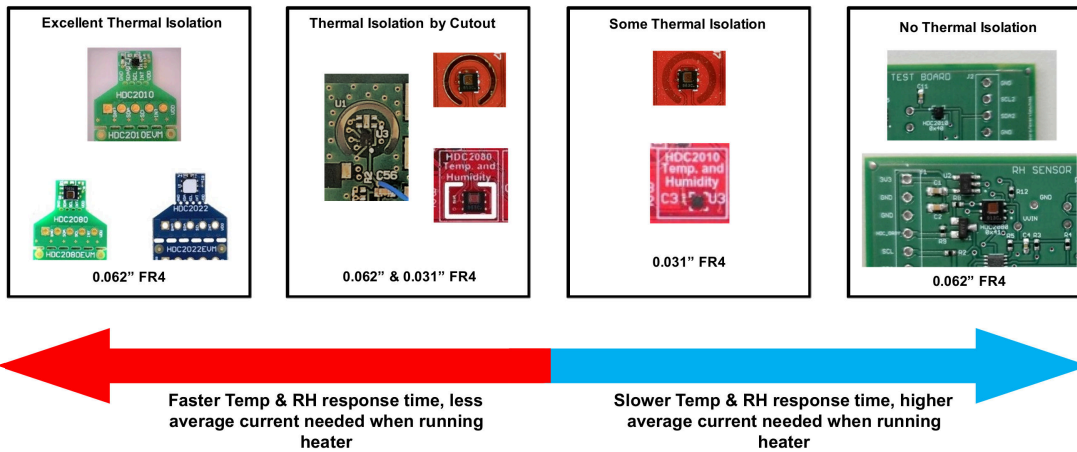


図 4-2. 熱絶縁用 PCB の設計例

#### 4.1.2 電源ノイズとアナログ RH センサ

HDC3120 などのアナログ出力 RH センサでは、電源ノイズによって、RH と温度の両方の測定値に誤差が生じる可能性があります。これは、HDC3120 がレシオメトリック デバイスであり、出力 DAC の基準として VDD を使用するために発生します。VDD ラインのノイズまたはリップルは、測定誤差に直接変換します。

影響を最小限にする方法:

- バイパス コンデンサは、RH センサの VDD ピンのできるだけ近くに配置します。
- クリーンで低ノイズの電圧レギュレータを使用して VDD に電力を供給します。
- アンテナとして動作してカップリングを発生させる可能性がある、大きなループ内に VDD パターンを配線するのは避けます。

RH センサからの高精度アナログ出力を確保するには、適切な電源フィルタリングと PCB レイアウトが不可欠です。

#### 4.1.3 筐体の設計と通気に関する考慮事項

筐体の設計は、高精度の RH 測定を実現するうえで重要な役割を果たします。多くのアプリケーションでは、RH センサは PCB とともに保護筐体内に収められ、水分、ほこり、汚れ、化学物質などの環境要因から保護されています。この方法はセンサを外的要因から守る一方で、空気の流れの設計に細心の注意を払う必要があります。周囲の空気がセンサに十分に届くようにしなければ、実際の環境を反映した RH 値を正しく測定できなくなるためです。

外部環境から十分な気流が確保されていない場合、センサは筐体内部の空気しか測定できず、その空気は PCB 上の部品から発生する熱の影響で温度的な偏りが生じるおそれがあります。この局所的な加熱効果により、温度が上昇すると相対湿度が低下するため、測定される RH が減少します。

エアフローに関連する RH 誤差を最小限に抑える場合:

- 筐体は通気孔や空気スリットを設け、可能であれば RH センサのすぐ近くに配置します。
- センサの露出キャビティの真上に開口部を設けないでください。そうすると、水滴、ほこり、化学汚染物質などが侵入しやすくなります。

- 筐体の材質や設計によって熱がこもったり、センサ周辺の自然な気流が妨げられたりしないようにします。

## 4.2 組立てプロセス、はんだ付けプロセス、および製造プロセス

組立ておよびはんだ付けの工程は、RH センサの性能に重大なリスクをもたらす可能性があります。特に、これらの工程が外部委託業者に任される場合や、システム統合時に軽視される場合は注意が必要です。はんだ付けは多くの IC で一般的な工程ですが、オープンキャビティ構造の RH センサにとっては非常に脆弱な工程であり、多くの場合、この段階で最初の精度問題が発生します。

### 4.2.1 組立て手順:回避すべきこと

組み立て工程では複数の誤差要因が発生する可能性があり、PCB 組立て (PCBA) プロセス中に以下のような一般的な RH 精度誤差の原因を避けるため、あらゆる対策を講じる必要があります:

- **熱応力:** 高温リフロー サイクルが複数回行われると、センサの脱水につながり、RH が負のオフセットとして現れる可能性があります。
- **化学物質の汚染:** 基板クリーナや特定のフラックスなどに含まれる揮発性有機化合物 (VOC) はセンサを汚染し、RH オフセットやゲインの変動を引き起こす可能性があります。
- **不適切な半田付け方法:** 推奨されていないリフロー プロファイルの使用、フローはんだ付け、または手動でのはんだ付けを行うと、センサ キャビティ内に金属粒子やフラックス残渣が入り込み、性能が低下するおそれがあります。テープカバーが付いていないタイプのパッケージにコンフォーマル コーティングを施すことも避けます。そうしないと、コーティング材がセンサのキャビティやフィルターを覆い、RH を正確に検知する機能が損なわれます。
- **イオン汚染物質:** 塩や塩水などのイオン性物質との接触は RH センサを汚染するため、厳密に回避する必要があります。イオン汚染は、高い周囲 RH で大きな負の RH 誤差として存在する可能性があります。

### 4.2.2 組立て手順:ベストプラクティス

組立て時の適切な取り扱いを確保するために、デバイスのデータシートおよびシリコン ユーザー ガイドに記載された詳細なガイドラインに従ってください。主な推奨事項は次のとおりです:

- **組立て手順**
  - RH センサは組み立て工程の最終段階で取り付けます。
- **リフロー半田付け:**
  - 常に IPC/JEDEC J-STD-020 標準プロファイルに従って、260°C のピーク温度を指定します。
  - リフロー工程は 1 回に限定し、再作業は避けてください。
- **A-B-A スワップ例外:**
  - 再作業が必要な場合 (診断目的など) は、以下の注意事項に従います:
    - 取り扱いを最小限に抑えます。
    - 追加のフラックスを使用せず、ヒート ガンを用いてセンサをきれいに取り外します。
    - センサが乾燥熱にさらされている可能性があるため、取り外し後に再水を実行します。
- **半田ペーストおよびクリーニング:**
  - 無洗浄半田ペースト。組立て後にボードを清掃しないでください。
  - 洗浄が必要な場合は、蒸留水のみを使用します。
  - 使用するすべての材料に有害な化学物質が含まれていないことを確認します (MSDS のマニュアルを参照します)。
  - 例: **Kester R276** は、TI の RH センサとの互換性があることを示している、クリーンでない推奨の半田ペーストです。
- **化学物質への暴露の防止:**
  - ベーキングまたは硬化中に VOC が放出される材料は避けてください。
  - エラーの例には以下のものがあります: PCB の洗浄用化学薬品、接着剤、エポキシ樹脂、一部のコーティング材、そしてガス放出の副生成物などが該当します。
- **UV 光の回避:**

- RH センサを UV 光にさらすことは避けてください。UV 光はセンシング ポリマを損傷させ、不可逆的な RH 誤差を引き起こすおそれがあります。
- **機械的保護:**
  - 高压エア ブラストまたは超音波洗浄にセンサをさらさないでください。
  - 必要に応じて、低压で、オイルフリーの粉塵を使用します。
- **防湿コーティング:**
  - センサのキャビティ部分に直接コーティングを施さないようにすると RH を正しく測定できなくなります
    - 硬化処理の際は、センサのキャビティ部分が保護されていることを確認します。硬化中または硬化後にガスを放出しない防湿コーティングを選択し、RH センサへの気体状化学汚染のリスクを低減します。

#### 4.2.3 組立て中のセンサ キャビティの保護

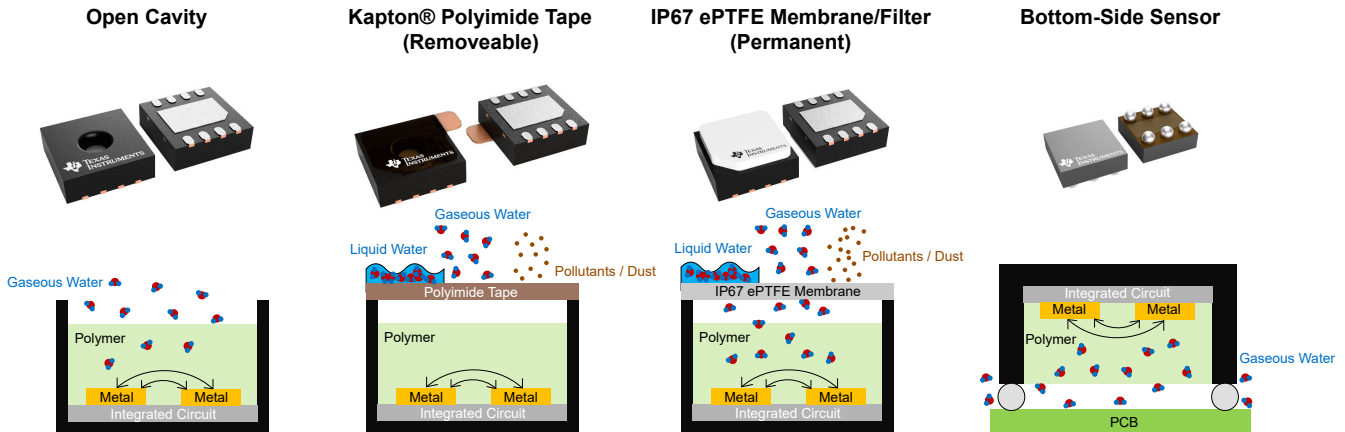


図 4-3. 異なる HDC3x のパッケージ オプションを

図 4-3 は、ポリイミド テープが HDC3021 をどのように保護するか、また IP67 等級のフィルタが HDC3022 を PCBA 工程で発生する化学汚染からどのように保護するかを示しています。

組立て中の物理的および化学的な汚染からセンサを保護する場合:

- センサ キャビティを覆うために、ポリイミド テープを使用します。
- HDC2021 や HDC3021 のようなデバイスは、工場出荷時に取り外し可能なポリイミド テープが装着された状態で出荷されます。このテープ:
  - このテープは、SMT 工程やコンフォーマル コーティング時にセンサを汚染から保護します。
  - 化学的に耐性があり、物理的なバリアとして機能します。

テープの取り外し手順:

1. ESD 保護ピンセットを使用して、組立て後にテープを取り外します。
2. 右上の粘着剤が付いていないタブをつまみ、センサ表面に触れたり損傷を与えたりしないよう上方向に持ち上げながら、左下方向へ斜めに剥がします。

**テープ カバーのないセンサに関する注意:**カバーのないデバイス (HDC1x、HDC2080、HDC3020、HDC3120) および IP67 等級の固定フィルタを備えたデバイス (HDC2022、HDC3022) の場合:

- コンフォーマル コーティングが必要な場合は、コーティング工程中にフィルタを保護するため、ポリイミド テープまたはカプトン テープを手動で貼り付けます。
- コーティング材がフィルタに接触しないようにします。接触がある場合、水分の侵入が妨げられ、RH 測定値が不正確になります。

#### 4.3 組立て後の再水和

RH センサを使用した場合、再水和は見落とされ、誤解されることが多いステップです。再水和とは、センシング ポリマに水分を再導入することで、組立てプロセス後に RH センサを回復するプロセスです。このプロセスでは、組み立てられたセ

ンサを、数日間、制御された RH および温度環境に置いておくことが含まれます。この手順をスキップすると、RH オフセットが負になり、ヒステリシスが増加する可能性があります。

#### 4.3.1 半田付け後のセンサ精度の回復

再水和により、リフローはんだ付けやベーキングなどの高温組立て工程で失われた可能性のあるセンシングポリマの水分を回復させるために行われます。これらの手順でセンサ ポリマは乾きます。再水和を行わない RH センサは、ヒステリシスが増加し、負の RH オフセットを示す可能性があります (特に湿度レベルが高い場合)。この増加したヒステリシスと負の RH オフセットの影響を図 4-4 において赤線で示します。

再水和後にこれらの誤差はゼロになり、センサが仕様内で確実に動作します。図 4-4 の青い線は、再水和後に回復した RH 誤差を示しています。

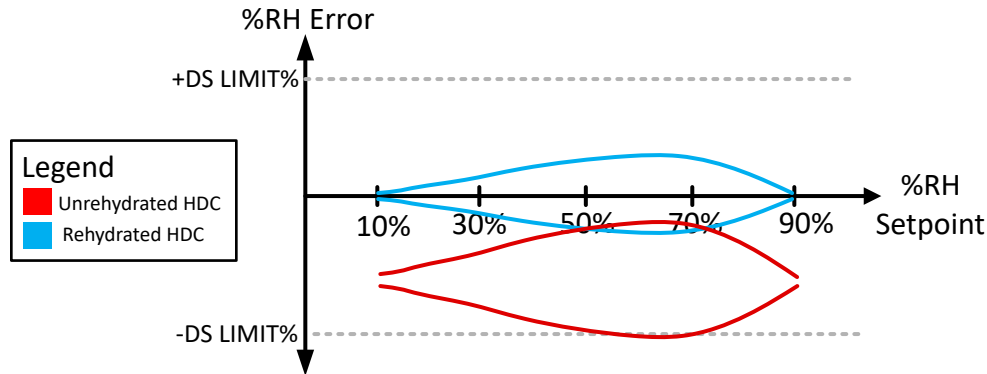


図 4-4. RH 精度に対する再水和の影響の例

#### 4.3.2 再水和手順

センサの性能を最適化するために、データシートに記載された再水和の手順を変更せずにそのまま実施します。プロセスを省略したり短縮したりすると、持続的な負の RH 誤差や、高 RH 状態での過剰補正によって発生する正の RH 誤差が生じる可能性があります。再水和は、PCB の電源をオフに行う必要があります。これは、PCB 上の他の部品が発熱し、その熱が PCB や空気を介して RH センサに伝わるのを防ぐためです。温度が上昇すると、再水和プロファイルが変化し、RH 精度への影響は予測できません。

推奨される再水和条件:

- HDC1x と HDC2x: 20°C と 30°C の間、30%RH ~ 40% RH で 2 ~ 5 日間
- HDC302x: 25 °C、50% RH、5 日間
- HDC3120: 25 °C、80% RH で 2 日間 (48 時間) 駆動

場合によっては、25°C および 50% RH が最小の環境条件で導入されると、センサは自然に再水和することがあります。高温 / 低 RH 環境 (30°C を上回る温度、%RH が 40% RH 未満) に導入した場合、アプリケーションでの再水和が発生しない可能性があります。これは推奨されていませんが、再水和遅延が許容できない場合の回避策として役立ちます。ただし、ポリマーが湿気を完全に吸収するまで、一時的に負の RH シフトが起きることが予想される必要があります。非常に湿気の多い環境での過剰な水分は、ベーキング (例: 100°C を 5 ~ 12 時間にわたって) または内蔵ヒータを起動することで低減できます。

### 4.4 テスト設定と環境

エンジニアリング プロセスのいずれの段階であっても、RH センサをできる限り正確に評価できるテスト環境を整えることが非常に重要です。

RH 試験の要件:

1. 較正済みの RH および温度リファレンス センサ
2. 安定した制御可能な温度・湿度環境
3. 適切なセトリング タイム

これらがないと、測定ノイズや RH 精度誤差が発生する可能性があります。

#### 4.4.1 RH リファレンス

RH センサの検証には、ISO/IEC 17025 認定のリファレンス機器 (例: 露点ミラー) および制御された環境を使用します。さらに、校正された湿度チャンバを使用して、異なる RH 条件下で RH センサを評価します。使用する湿度リファレンスは、評価対象の RH センサの代表的な RH 精度と同等以上の精度を備えている必要があります。たとえば、 $\pm 0.5\%RH$  (標準値) の RH 精度を持つ HDC3020 を評価する場合、湿度リファレンスは  $\pm 0.5\% RH$  精度以上を必要とします。利用できない場合は、TI が検証済みの EVM と比較して結果を確認します。それらのいずれも利用できない場合は、認定された第三者試験機関での評価を検討してください。

#### 4.4.2 セットアップの均一性: 管理された環境

キャリブレーション済みの環境チャンバなどの制御された湿度試験環境では、温度と相対湿度の両方を正確に制御することができます。これに対して、制御されていない環境 (例: 室内の自然環境) ではそのような制御が行われず、温度勾配、気流、その他の外乱によって変動が生じやすくなります。

1°C 未満の小さな変動や、数パーセントの RH の変化でも、重要なテスト誤差を引き起こす可能性があります。これらの変動によって、実際には正常であるにもかかわらず、センサが規格外であるか不安定であるかのように見える場合があります。これは、環境条件の変化により見かけ上の RH オフセットや不一致な測定値として現れることがあります。

キャリブレーション済みの RH チャンバが使用できない場合でも、制御された温度安定性のある小さいチャンバで試験を行う方が、制御されていない環境で行うよりも望ましいことがあります。このような場合、テスト構成にカバーを配置すると、ローカル環境を安定させるのに役立ちます。測定を開始する前に、必ず環境が完全に安定するようにします。

制御された環境が利用できない場合は、測定装置の周囲に局所的な試験用エンクロージャを作成します。このエンクロージャは、次の条件を満たす必要があります:

- 試験中のすべてのセンサまたはアセンブリ、および RH リファレンスを収容できる十分な大きさであること。
- 環境を迅速に安定させられるよう、十分に小さいサイズであること。
- 温度の安定性を保つために、外部環境から十分な熱的絶縁を確保すること。
- 空気の交換を可能にするために、小さな通気口を設けること。
- 低速の内部ファンを使用して空気を循環させ、温度および RH の均一性を向上させること。
  - ファンと筐体のサイズによっては、ファンが放熱により温度と RH ノイズに大きく寄与する可能性があることに注意してください。ファンの有無にかかわらずテスト設定を常に評価し、テスト対象のシステムに最適なものを判断します。

**制御型と非制御型の湿度試験設定**は、制御されたテスト環境と制御されていない環境の比較を示しています。制御された構成は RH チャンバ内にあり、テスト PCB、ファン、RH リファレンスが含まれています。非制御試験環境では、温度や湿度を制御するチャンバがなく、日光や温度、湿度の変化といった環境要因に完全にさらされており、さらに外部からの汚染物質の影響を受けやすい状態にあります。

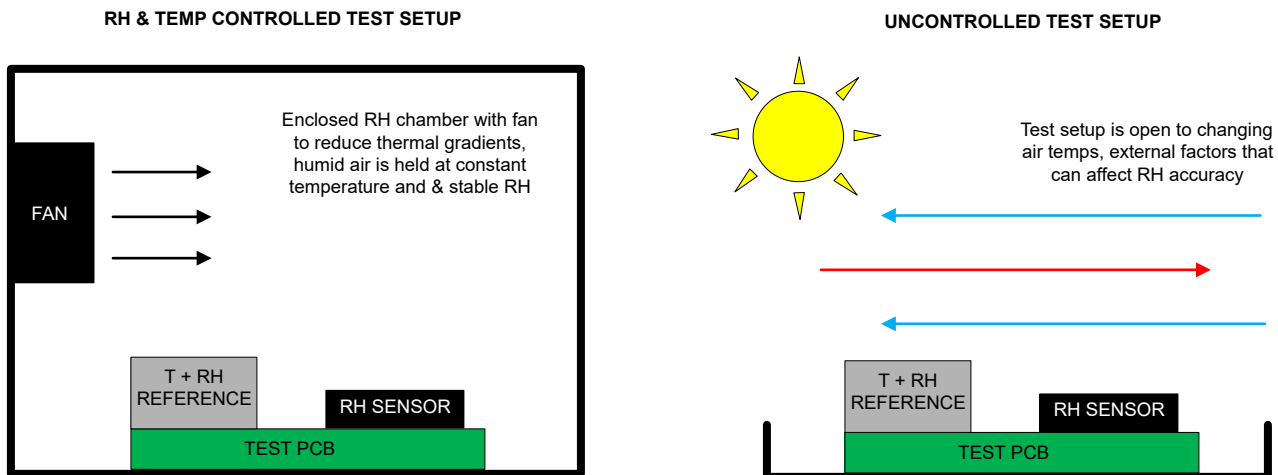


図 4-5. 制御された湿度テストと制御されていない湿度テストの構成

#### 4.4.3 セットアップの均一性:熱勾配

テスト環境内の熱勾配は、人工的な湿度測定誤差を引き起こします。たとえば、環境チャンバが目標温度に到達する際、不均一な気流や熱分布の悪さによって、局所的な高温部や低温部が発生することがあります。わずかな違いでも (たとえば最も暖かい箇所と最も冷たい箇所の温度差が  $0.2^{\circ}\text{C}$  の場合)、RH は温度と反比例するため、最大で約  $0.8\%$  の見かけ上の RH 誤差が生じることがあります。このような不一致は、センサ自体が正常に動作している場合でも、デバイスが評価に合格または不合格になるかどうかに影響を与える可能性があります。これは、温度勾配により、センサと基準電圧には実際には異なる RH 条件が発生し、測定結果が不一致になるためです。

RH チャンバ内で温度を完全に均一に保つことが理想ですが、現実的にはそれは難しい場合が多いです。温度勾配は、試験対象の RH センサの標準的な温度精度を超えないようにする必要があります。たとえば、HDC3020 を試験する場合、温度精度の代表値は  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  です。したがって、RH チャンバ内で許容される最大の温度勾配 (最も冷たい箇所と最も暖かい箇所の温度差) は  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  となります。これにより、%RH の差は最大でも  $\pm 0.4\%$  RH に抑えられ、これは代表的な RH 精度である  $\pm 0.5\%$  以内に収まります。

図 4-6 に、熱勾配が RH 誤差に起因する実際の例を示します。気流がない場合には誤差がより顕著に現れましたが、チャンバ内に低速ファンを追加して空気を循環させ、温度勾配を減らしたところ、誤差は軽減されました (ただし完全には解消しませんでした)。赤は温度、青は RH を示します。

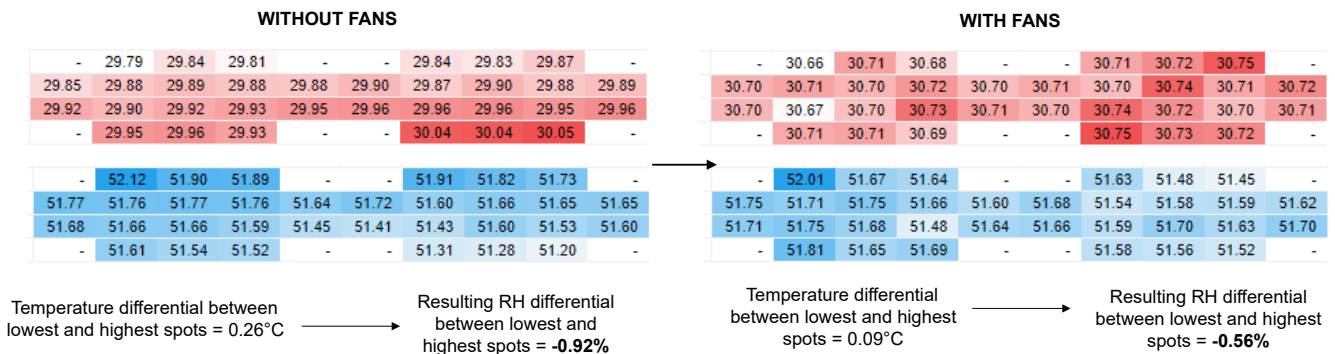


図 4-6. 湿度チャンバの熱勾配の例

熱勾配を最小化する場合:

- センサは、RH リファレンスにできるだけ近い位置に設置します。
- チャンバ内で可能な限り近づけてセンサを配置します。
- 空気の循環と温度の均一性を向上させるために、内部ファンを使用します。
- センサレベルでのエアフローを  $\leq 1 \text{ m/s}$  に制限します。空気の混合を達成するためにより高いファン速度が必要な場合は、局所的な気流の影響を避けるために、ファンをセンサから離して設置します。

図 4-7 に、チャンバの熱変動を低減するために使用されるファン設定を示します。

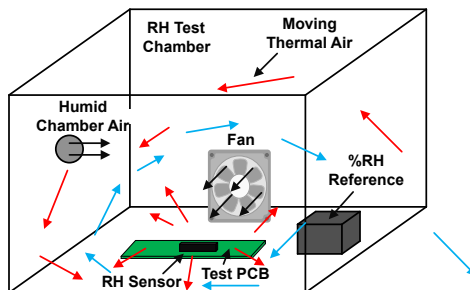


図 4-7. 湿度チャンバと移動空気により熱勾配を緩和

#### 4.4.4 セットリングタイム

セットリングタイムとは、湿度チャンバなどの試験環境が RH の測定を行う前に、設定値に安定して留まっていなければならない時間を指します。必要な時間は、チャンバのサイズ、応答特性 (アンダー減衰、オーバー減衰など)、および必要な

精度によって異なります。チャンバが安定していない場合、試験中に周囲の RH が引き続き変動し、温度勾配やノイズ、そして試験中のデバイス間に人工的な測定ばらつきを生じさせる可能性があります。

一般的な目安として、事前の特性データがない場合は、温度がすでに安定している状態で 20 分間の %RH のセトリングタイムを設けるのが適切な出発点となります。すべての湿度チャンバは異なりますが、通常、20 分で %RH のオーバーシュートと発振が安定すると同時に、ほとんどの湿度チャンバにおいて RH センサを特定の RH 設定点に過度に露出させないようにします。

推奨される安定化シーケンス:

1. 最初に温度を安定化: 結露を防止するために、必要な温度を設定し、中程度の RH レベル (20 ~ 50%) を使用します。温度が  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  以内で安定するまで待ちます。システムによっては、数時間かかる場合があります。
2. 次に湿度を安定させます: 温度が安定したら、RH 設定点を調整します。熱条件はこれで安定したため、RH は通常約 20 分で  $\pm 0.2\%RH$  以内で安定します。

テスト環境にかかわらず (制御チャンバーを使用するかどうかにかかわらず)、温度と湿度の両方を安定させるために十分な時間を確保することが不可欠です。RH 設定点あたり 20 ~ 30 分は適切なベースラインですが、実際の安定化時間は異なる場合があります、実験により確認する必要があります。

**注意事項:** 高湿度レベル (RH > 70%) では、セトリング中のセンサへの曝露を必要な最短時間に制限します。RH が高くなると水分吸収が長くなり、センサ固有のヒステリシスによって一時的な正の RH オフセットが生じます。このリスクを最小限に抑えるため、高 RH レベルで設定点あたり 30 分を超えないようにします。

## 4.5 保管と取り扱い

製品ライフ サイクル全体を通して RH センサの精度を維持するためには、適切な保管と取り扱いが不可欠です。不適切な環境条件、不適切な保管材料、または取り扱い時の物理的損傷によって、誤差が生じる可能性があります。

### 4.5.1 保管温度および湿度条件

保管ガイドラインは、導入前だけでなく、センサの寿命全体に適用されます。RH センサは直射日光を避け、20～30°C および 30～50% RH の安定した環境で保管します。70% を超える RH まで長時間曝露すると、一時的な RH オフセットまたはゲインが発生する可能性があります。重度の曝露 (85°C / 85% RH など) を行うと、不可逆的な性能低下が発生する可能性があります。

過剰な湿度曝露から回復するには、100°C でセンサを 5 ～ 10 時間 RH 未満でベーキングし、その後データシートに記載されている再水和を行う必要があります。ベーキングは RH ドリフトや汚染の影響を軽減するのに役立ちますが、必ずしも除去できるとは限りません。

### 4.5.2 ストレージ資料

ピンクのフォーム材、ピンクのポリエチレン バッグ、LDPE (低密度ポリエチレン) バッグや梱包材などの一般的な帯電防止パッケージ素材は、VOC のガスを放出し、RH センサの精度が低下する可能性があります。これらの汚染物質は、種類、濃度、曝露期間によってオフセット誤差またはゲイン誤差を引き起こす可能性があります。エトキシル化アミンなどの帯電防止剤やアミンなどのカラー添加剤を含む梱包材も RH センサの性能を低下させます。RH センサは、ガスを排出する化学物質と一緒にまたはその付近に保管してはいけません。

保管や輸送の際は、密閉型の金属化帯電防止袋を使用し、アミンを含まないポリエチレン / LDPE 非使用の梱包材を用いてください。

図 4-8 に、TI の RH センサでは使用できないアミン添加剤を使用した一般的なピンクフォームの例を示します。



図 4-8. ピンクフォームの例



### 4.5.3 MSL レベルは RH センサとどのように関係していますか？

保管条件に関する混乱の原因としてよくあるのは、MSL レベルです。MSL は湿度感度レベルの略で、IC をどのような条件で保管できるかをユーザに通知する保管等級です。表 4-1 に、さまざまな MSL レベルを示します。

表 4-1. 30°C での工場現場の寿命

MSL	フロア ライフ	湿度相対湿度
1	制限なし	<85% RH
2	1 年	<60% RH
2a	4 週間	
3	168 時間	
4	72 時間	
5	48 時間	
5a	24 時間	
6	使用前にベーキングを行い、ラベルの時間内にリフローを行います	

TI の RH センサは MSL-1 に分類されており、機械的信頼性に影響を与えることなく、梱包状態のままで無期限に保管することができます。ただし、MSL 定格はパッケージの整合性にのみ関係し、パフォーマンスを検出することはありません。

たとえば、30°C /85% RH の位置にセンサを 1 年間保存すると、パッケージの品質を維持することはできますが、ポリマへの水分の侵入により RH 精度が低下します。したがって、センサは 20°C 定格が示す値よりもクーラ (MSL - 30°C)、ドライヤ (30%RH ~ 50% RH) の環境で保管する必要があります。

MSL の詳細については、[MSL 定格およびリフロー プロファイル](#)を参照してください。

### 4.5.4 取り扱いに関するベスト プラクティス

[HDC302x シリコン ユーザー ガイド](#)には、保存と取り扱いのガイドラインが詳しく記載されています。

ピンセットでセンサのキャビティを引っかくなど、不適切な取り扱いをすると、不可逆的な機械的損傷を引き起こすおそれがあります。可能な限り真空ペンを使用します。ピンセットが必要な場合は、センサ エレメントに接触しないでください。目に見える破損した RH センサは廃棄して交換する必要があります。

## 4.6 化学物質による汚染

化学物質による汚染とは、センシング ポリマの吸湿特性が外部化学物質によって変更された場合を指します。化学物質による汚染は、製造プロセスまたは最終アプリケーションのどの時点でも発生する可能性があり、特定および緩和が困難な場合があります。化学物質による汚染の影響から RH センサを保護する最善の方法は、このような事態がまったく発生しないようにすることです。このセクションでは、化学的汚染が RH センサに与える影響、そのような汚染が発生しやすい一般的な工程、そして発生後の対処方法について説明しています。

### 4.6.1 化学物質による汚染が RH 精度に与える影響

化学物質による汚染に対する RH センサの応答は、いくつかの重要な要因に基づいています：

- 関係する化学物質の種類
- 被ばくの持続時間と頻度
- 汚染物質 / 化学物質の濃度
- 使用している RH センサ

化学物質の種類によって、正のまたは負の RH オフセット、あるいはゲインの変化が生じるかが異なります。上記の要因に応じて、エラーの大きさと性質が変化し、元に戻せない場合もあります。[HDC3x シリコン ユーザー ガイド セクション 2.2](#)には、避ける必要のある化学物質の一覧が記載されています。

たとえば、ピンク色の帯電防止フォームに数日間さらすと、HDC302x シリーズでは正の RH オフセットが発生し、RH 精度が仕様範囲外になります。もし汚染がイオン性である場合、RH は大きな負のゲインを持つようになり、低い RH レベル（通常は 30% RH 付近）で現れ始めますが、このスレッショルド以下では誤差は発生しません。

汚染物質には気体、液体、固体などがあります。たとえば、気体状の汚染物質がポリマ内部の空隙を満たし、水蒸気分子の侵入を妨げることで、ポリマの比誘電率 ( $\epsilon$ ) を変化させることがあります。このセンサの出力は  $\epsilon$  にリンクされた容量の変化に基づいているため、汚染されると RH 測定値が不正確になる可能性があります。

固体化学汚染物質は、センシング ポリマの上面に堆積します。これにより、水蒸気分子がセンシング ポリマに捕捉されるのを防ぐことができます。これはポリマの相対的な誘電率にも影響します。

図 4-9 に、汚染物質が RH センシング ポリマにどのような影響を与えているかを視覚化するための 3 つの化学物質汚染シナリオを示します。左側の写真は化学的な汚染がない状態を示しています。中央の写真はガス汚染を示しています。右側の写真は、固体の物質汚染を示しています。

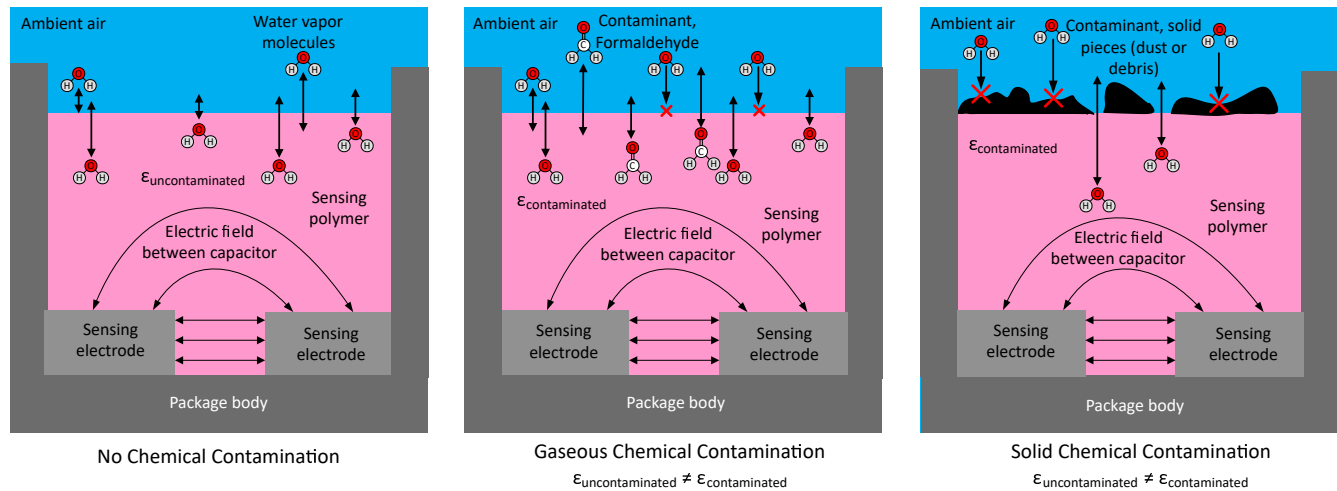


図 4-9. 化学的汚染のある場合とない場合のセンシング ポリマー

#### 4.6.2 化学汚染物質はどこで、どのようにして混入するか？

化学的汚染の潜在的な原因を特定するには、製造・試験・運用の各工程を徹底的に確認する必要があります。

化学汚染物質が RH センサにどこで、どのように混入した可能性があるかを調査する際には、次の質問を検討します：

- 組立ておよびはんだ付け：
  - ノークリン タイプのはんだペースト/フラックスは、低残渣で揮発性溶剤を含んでいませんか？
  - センサの近くでフラックス除去剤や基板クリーナを使用していませんか？
  - センサのキャビティ部分を保護せずにコンフォーマル コーティングを施していませんか？
  - 外部の組み立て業者と緊密に連携し、各組立て材料および工程を確認して、意図しない化学物質への曝露がないかを確認してください。
- テスト設定と再中和：
  - テストまたは再水和中に、センサは室内の揮発性化学物質にさらされていますか？
  - 試験環境には、空気中の汚染物質が含まれていませんか？
- 保管と取り扱い：
  - センサーを、VOC を放出する可能性のあるピンク色のフォーム材や LDPE 袋に保管していませんか？
  - 物質の近くにあるセンサは、(エトキシル化アミンやカラー添加剤など) 汚染物質を放出することが知られていますか？
- 動作条件：
  - センサは、洗浄剤、工業用溶剤、または煙の近くで使用されていますか？
  - 住宅用途では、新鮮な空気や家庭用化学物質にさらされていますか？
  - 産業用環境では、センサは VOC 排出プロセス付近で動作していますか？

生産中の汚染は多くの場合制御できますが、現場への曝露を防ぐのは困難です。ベーキング、洗浄、防護フィルタなどの対策手段は有効な場合もありますが、必ずしも回復が保証されるわけではありません。応答は、汚染物質の種類、露光時間、ポリマ感度によって異なります。

#### 4.6.3 化学物質による汚染の影響を軽減:ベーキング

ベーキングは、RH 精度に影響を与える水分や化学残留物を除去するために行われます。これは、高温になるほど化学汚染物質のガス放出速度が上昇し、その結果、汚染物質の除去が加速されるためです。ベーキングは、内蔵ヒータを使用したオンチップ、または制御されたオープンで外部から実行できます (セクション 4.7.3 を参照)。

まず、センサを 100°C、5%RH 未満の環境で 5~10 時間ベーキングし、その後、RH 精度を再評価します。TI の RH センサのデータシートで推奨されているように、最大で 10 時間までのベーキングを行うことができます。ベーキング後は、化学物質への曝露によって生じた精度のずれを回復または軽減するために、データシートの推奨に従って RH センサを再中和します。ベーキングおよび再水和後に RH 精度の改善が不十分な場合、追加のベーキングを行うと、より多くの化学汚染物質を排出することができます。ベーキングは、他の化学汚染源が存在しない環境で行う必要があります。高温により、追加の汚染が加速するおそれがあるためです。ベーキングは、化学汚染が原因で生じた RH の変動を軽減できる場合もありますが、すべての汚染ケースで効果があるわけではありません。

#### 4.6.4 化学物質による汚染の影響を軽減:クリーニング

RH センサの清掃は繊細な手順であり、経験豊富な作業員のみが行う必要があります。これは、感湿ポリマ上に固体または液体の汚染が目に見える場合にのみ有効であり、放出された VOC などの気体状汚染物は洗浄では除去できません。図 4-10 に、綿棒を使用してセンシング ポリマの上面を清掃する方法を示します。手動クリーニングは RH センサを損傷するおそれがあるため、最初のトラブルシューティング手順として実施すべきではありません。

センサを手動でクリーニングすると、堆積化学物質の汚染を大幅に改善できますが、トラブルシューティングの目的でのみ使用してください。クリーニングが大量のデバイスで行われた場合、センサへの損傷の危険性が大幅に増加します。洗浄は、付着した化学物質が RH の精度誤差を引き起こしているかどうかを特定するために使用し、その化学物質が製造工程や最終製品の使用環境で発生しないようにする目的で行うべきです。

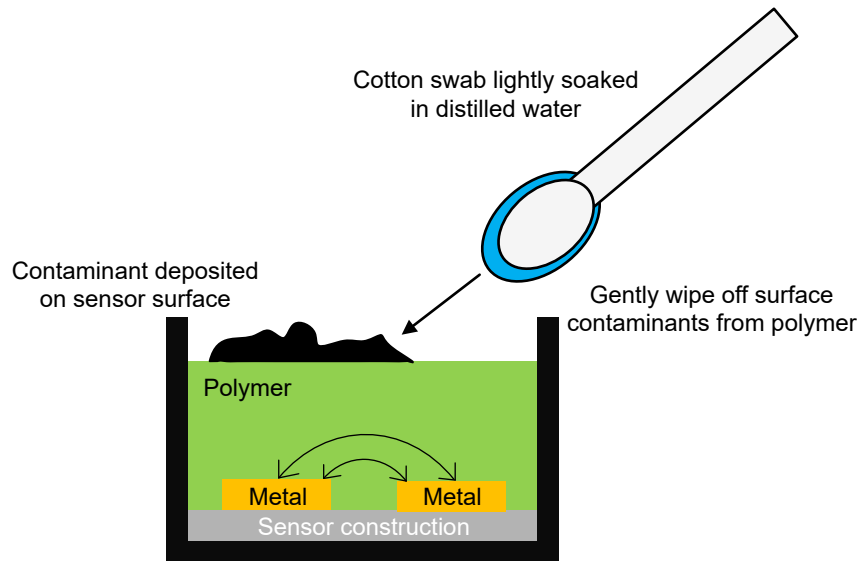


図 4-10. HDC 手動クリーニングの例

以下の手順では、RH センサの検知キャビティを安全に清掃する手順について説明します:

- PCB 洗浄剤やイソプロピルアルコールなどの化学的洗浄剤は使用しないでください。
- 綿棒を蒸留水で軽く湿らせます。綿棒は湿っているはずですが、滴下していません。
- RH センサのキャビティの内部を慎重に清掃します。センシング ポリマに直接圧力をかけないようにし、できるだけ軽く拭きます。
- キャビティ内に残留水が残っていないことを確認します。
- センサの側面に水がこぼれることは避けてください。PCB が電気的な短絡につながる可能性があります。

- 表面に向けた低圧圧縮空気を使用して、センサを乾かします。
- 超音波洗浄機は使用しないでください。浸漬や振動によってセンサが損傷し、特にサーマルパッドがはんだ付けされていない場合には、デバイス下部への水の侵入を引き起こすおそれがあります。
- 顕微鏡を使用してセンシングポリマを観察し、固体汚染物質が除去されていないか確認します。

#### 4.6.5 化学物質による汚染の影響を軽減: 筐体の設計

固体や液体の汚染物質から RH センサを保護するうえで、筐体の設計は重要な役割を果たします。センサを筐体の開口部から少しずらすなど、直接の曝露を避ける位置に配置することで、汚れ、ほこり、水分の侵入からセンサを保護できます。筐体の開口部に撥水性 PTFE 膜などのフィルタを取り付けることで、さらに高い保護効果が得られます。ただし、センサが周囲の湿度を正確に追跡するには自由な気流が必要なため、筐体によって気体状の化学物質による汚染を防ぐことはできません。

#### 4.6.6 化学物質による汚染の影響を軽減: デバイスの選択

TI は、化学物質への曝露に対する保護を強化した複数の世代の RH センサ IC を提供しています。第 3 世代の HDC3x2x シリーズからは、新しいポリマ技術が採用され、化学的汚染や 85°C/85% RH といった過酷な環境条件に対する耐性が向上しています。

- **HDC2021 および HDC3021:** センサ素子を保護するために、PCB 洗浄やコーティング処理などの製造工程中使用できる、工場出荷時に取り付け済みの取り外し可能なポリイミドテープが装備されています。
- **HDC2022 および HDC3022:** センサを (VOC を含むことの多い) PCB 洗浄液から保護するために、恒久的な IP67 等級の撥水性 PTFE フィルタを備えています。多孔質 PTFE 膜は、100nm サイズの粒子に対して 99.99% のろ過効率を発揮します。

IP67 フィルタで覆われたデバイスは、液体や粒子に対しては高い保護性能を発揮しますが、周囲の空気が感湿素子に到達する必要があるため、気体状の汚染物質を遮断することはできません。フィルタは RH 応答時間をわずかに遅くする可能性があります。センサの寿命と信頼性の向上と引き換えに、このトレードオフが許容されることが多くあります。

予防策は最も効果的な戦略です。RH センサの組立て、保管、運用の各段階において、化学汚染物質にさらされる可能性のあるすべての要因を特定し、対策を講じることが極めて重要です。

#### 4.6.7 化学物質による汚染の影響を軽減: 組立てに関する考慮事項

ポリイミドテープカバーと RH センサを使用する場合 (セクション 4.2.3 の説明に従って工場です塗布する場合と手動です塗布する場合のどちらであっても)、このテープは、組み立て工程中の汚染物質に対する一時的なバリアとして機能します。RH センサは必ず組み立て工程の最終段階で取り付けてください。これにより、追加のリフロー工程や化学物質への曝露のリスクを防ぐことができます。

### 4.7 動作条件: アプリケーション環境の条件と影響

製造または組み立て中に発生する誤差なしで RH センサを展開した場合でも、アプリケーション環境自体は一時的または永続的な精度の問題につながる可能性があります。高湿度、極端な温度、結露などの環境ストレス要因によって、RH 精度が低下することがあります。環境条件によって発生する RH 誤差は、内蔵ヒータを使用するか、デバイスをベーキングすることで低減できます。

#### 4.7.1 RH 精度の誤差に寄与する環境条件

長期間にわたって高湿度にさらされると、一時的な RH 誤差が生じることがあり、通常は正のオフセットおよびゲイン誤差として現れます。これに対して、低湿度かつ高温の環境に長時間さらされると、乾燥によって一時的な負の RH オフセットおよびゲイン誤差が生じることがあります。85°C や 85% RH ストレスなどの極端な環境に持続すると、永続的な RH 誤差が発生します。そのような条件下では、ポリマ構造内部に水分が凝縮し、誘電特性が変化して湿度変化を検知する能力が低下する可能性があります。

RH センサは、結露しない環境での使用を定格としています。センサ表面に結露や水滴が生じると、RH の出力は一時的に 0% まで低下し、水分が取り除かれるまで正確な値を示さなくなります。センサ上の液体の水分を蒸発させることで回復を促すために、ベーキングまたは内蔵ヒータの使用が有効です。

持続的な環境条件が RH 精度誤差を引き起こす仕組みをまとめます:

- 高 RH 曝露、高温曝露なし → センサのポリマの空隙に過剰な水蒸気が充填されることによる可逆的な正の RH オフセットおよび正の RH ゲインシフトが生じる可能性があります

- 低 RH での高温曝露 → センサ ポリマの脱水による可逆的な負の RH オフセットおよび負の RH ゲイン シフトが生じる可能性があります。
- 高温かつ高 RH (例: 85°C/85%RH) にさらされると、センシング ポリマの空隙内に水滴が形成され、高 RH 状態がセンサ内部に閉じ込められるため、不可逆的な正の RH オフセットおよび正の RH ゲイン シフトが発生します。
- センシング キャビティの上に直接結露 → センサ出力が一時的に 0%RH まで低下すると、液体の水が周囲の水蒸気が検出ポリマに侵入することを阻止し続ける間、RH を正確に検出できません。

#### 4.7.2 RH オフセットの低減とシステム レベルの設計

長時間の高湿度曝露や結露防止・除去によって生じた正の RH オフセットに対しては、ベーキングを行うことで RH オフセットを除去する効果があります。ただし、この処理を行うには通常センサをシステムから取り外す必要があります。現場での運用には現実的ではありません。内蔵ヒータは、代替のインシステム方式を提供します。しかしながら、特に加熱や焼き付けが適していない場合は、予防は最良の方法です。もう 1 つの戦略は、湿気や汚染への曝露を最小限に抑えるために、筐体の設計を最適化することです。RH センサが開口部の真下にならないように筐体を設計し、キャビティに水滴が入り込むリスクを低減します。水の浸入や粒子状汚染から保護するために、IP67 等級のフィルタ膜を備えたセンサ (HDC2022 や HDC3022 など) を使用します。

低湿度および高温への長時間の曝露による負の RH オフセットから回復するには、データシートの推奨事項に従ってセンサを再水和します。HDC2x および HDC302x ファミリーなど一部の RH センサには、プログラム可能な RH オフセットレジスタが搭載されているため、RH オフセットを除去できない場合はセンサ内でデジタル的に補正できます。

#### 4.7.3 内蔵ヒータの使用

RH センサをシステムから取り外して外部でベーク処理を行う代わりに、内蔵ヒータを使用して定期的に吸収された過剰な水分を除去することができます。ヒータを使用することで、高湿度環境において RH 精度を回復させたり、センシング面に生じる結露を防止・除去したりすることができます。典型的な手順としては、センサに 3V 以上の電圧を印加し、ヒータを最大出力で数分間動作させた後に RH 精度を測定するというものです。最大電力でヒータを使用すると、与えられた電源電圧で最大の温度上昇を実現できます。ユーザは、ヒータでおよそ 100°C を達成することを目標とする必要があります。RH 精度の補正にヒータを使用する場合は、次の手順に従ってください:

1. RH センサが 100°C に到達できるような出力設定でヒータを動作させます (通常、3.3V の VDD では最大出力設定を使用します)。
2. ヒータを最終温度で少なくとも 1 分間、最大で 5 分間動作させます。または、ヒータテスト中に RH 値をモニタリングし、RH の読み取り値が 2~3%RH 未満に低下した時点で停止します。
3. ヒータを停止し、1~5 分ほど冷却時間を設けます。その際、温度の測定値が元の周囲温度に戻ったことを確認します。
4. RH を再測定し、RH 精度を再評価し、必要に応じて手順 1 ~ 4 を繰り返します。
5. RH 精度が規格限度を超えてずれないように維持します。必要に応じて、ステップ 1 ~ 4 を定期的に繰り返します。ヒータのループ周期は、RH 精度に影響を及ぼす環境条件、ヒータの効率、電力レベルなどによって異なり、ユーザ自身の実験による最適化が必要です。

ヒータの性能は、実際の使用環境に近い条件を再現したラボ環境で評価し、最適な設定を決定する必要があります。PCB 設計はヒータの効率に影響を及ぼします。センサ下部のサーマル パッドをはんだ付けすると、熱が基板へ逃げてしまい、ポリマ表面で利用できる熱量が減少する可能性があります。加熱性能を向上させるには、センサの下の銅箔を最小限にし、薄い基板 (32mil 未満) やフレキシブル基板を使用すること、スロットの切り抜きを設けること、そしてサーマル パッドをはんだ付けせずに残すことを検討してください。

ヒータの使用にはトレードオフがあります。ヒータの動作中および直後は、温度の急上昇によって RH 測定値が急激に 0%RH 付近まで低下するため、RH の読み取り値は正確ではありません。また、ヒータは消費電流が大幅に増加します。たとえば、HDC3020 は全電力加熱時に 3.3V で 112mA まで引き込むことができます。バッテリー駆動のシステムでは、これが使用に制約を加える可能性があります。設計者は、特に湿度が高い環境で、ヒータの使用頻度とシステムの電力制限のバランスを取る必要があります。また、このヒータは、高温にさらされているため、RH の負のオフセットを除去するのにも役立ちません。

### 4.8 RH 精度のデバッグ フローチャート

RH 精度の問題の発生源を特定するため、[図 4-11](#) に示すフローチャートを使用できます。この図は、観測された誤差の種類 (正のオフセット、負のオフセット、またはゲイン誤差) に基づいて、体系的に評価を行うための手順を示しています。

フローチャートを使用する前に、さまざまな湿度レベルでテストして RH 誤差が特性評価されていることを確認します。エラーが明確に単一のカテゴリに分類されない場合は、このフローチャートをガイドとして使用し、潜在的な原因を調査し、是正措置を策定します。

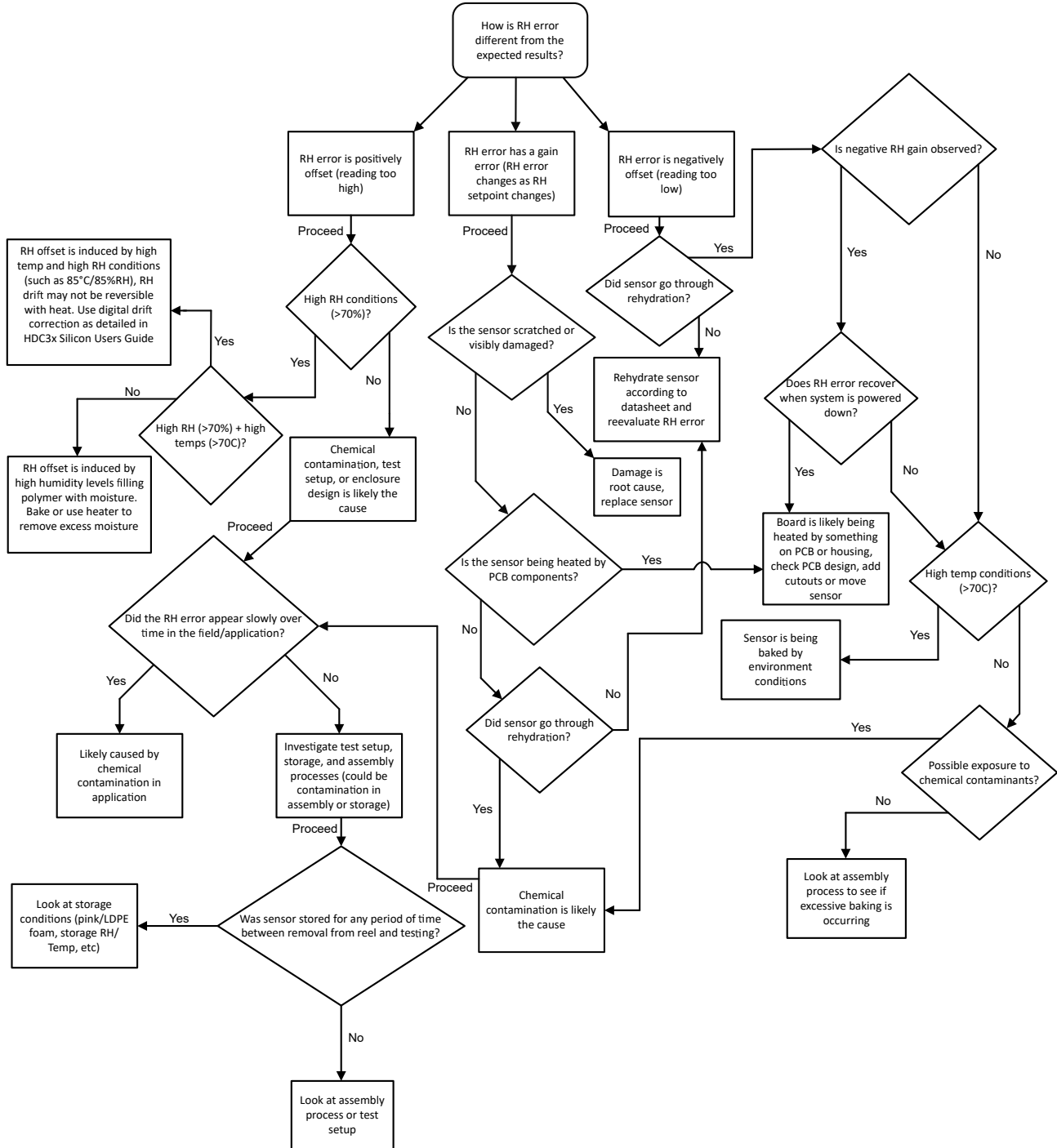


図 4-11. RH 精度のデバッグ フローチャート

## 5 まとめ:RH 精度の設計とデバッグ

RH センサの精度は、製造から実際の使用に至るまでの過程で発生する複数の汚染要因によって影響を受ける可能性があります。この文書では、組み立て、取り扱い、システム統合の各工程における誤差要因を排除または軽減するための対策がまとめられています。既存の問題を診断する場合でも、新しいアプリケーションを設計する場合でも、体系的な手順に従うことで、RH 検出の信頼性と精度を向上させることができます。

図 1-1 とを[#unique\\_14/unique\\_14\\_Connect\\_42\\_GUID-843E0264-5CDC-41F2-A8A4-5730FA2D0652](#) 振り返ると、設計のタイムラインは、RH 精度誤差が発生する可能性のあるベクトルの数を示しています。この点を念頭に置いて設計プロセスを始めることで、ユーザーは自分で管理可能な領域におけるリスクを排除することができます。RH 精度が重要なのは、ユーザがフィールドで RH センサをできるだけ長く使用し、エンドユーザに正確な測定結果を提供する必要があるためです。そのため、RH センサを使用して設計を行うユーザーにとって、RH 誤差の原因を理解し、RH 精度の問題が発生する前に可能な限りそれらを取り除くことが極めて重要です。

**表 5-1. RH 誤差発生源の概要と、それらを防止 / 低減する方法**

RH 精度誤差のソース	RH エラーの原因は何ですか？	RH 誤差の低減と防止を実現する方法
PCB と筐体の設計	RH センサが周囲の温度や湿度を正確に検出できないような、PCB や筐体の設計を指します。	周囲空気の検出を最適化する PCB レイアウト手法を採用し、空気の流れを妨げない筐体設計を使用します。
はんだ付けとアセンブリ	化学的な汚染や損傷を引き起こす、推奨されていないリフロー プロファイルや組立材料を指します。	推奨されたはんだリフロープロファイルに従い、VOC やその他の汚染物質を含まない組立材料を使用します。
再水和	データシートに記載された再吸湿プロファイルを省略、または逸脱。	データシートの再水和の手順に従ってください。
テスト	校正された基準を使用せずに RH センサをテストしたり、温度と湿度の安定時間を十分に取らなかったり、制御されていない環境でテストを行ったり、温度勾配などの試験チャンバの誤差を考慮しなかったりすることがあります。	RH チャンバ内で校正済みの基準を用いて RH センサをテストし、メーカーが推奨する安定時間および温度勾配補正の手順に従います。
保管と取り扱い	RH センサの取り扱いや保管時に損傷や汚染が生じること、あるいは極端な湿度環境や化学物質の放散がある場所で保管することを指します。	RH センサは真空ビンセットで取り扱い、直射日光を避け、低温・低湿度環境で RH センサを金属化 ESD バッグに保管します。
化学物質による汚染	RH センサは、不要な化学物質によってセンシング ポリマの誘電特性が変化することがあります。	製造工程を確認し、使用している各種材料の MSDS を調べることで、潜在的な化学汚染源を特定し、問題となり得る化学物質が含まれていないかを確認します。内蔵ヒータまたはベーキング用の外部オープンを使用して、既存の化学物質による汚染を低減します。
アプリケーション環境での動作条件	極端な湿度条件でも連続的に動作します。	時間の経過とともにセンシング ポリマ内に蓄積する過剰な水蒸気を焼き出すため、内蔵ヒータを定期的に使用し、RH 誤差が過度に大きくなるのを防ぎます。

## 6 参考資料

- テキサス インストルメンツ、[HDC302 x 0.5%RH デジタル相対湿度センサ、長期ドリフト 0.19%RH / 年、応答時間 4 秒、低消費電力、オフセット誤差補正、0.1°C 温度センサ、データシート](#)。
- テキサス インストルメンツ、[HDC2080 低消費電力の湿度および温度デジタル センサ、データシート](#)。
- テキサス インストルメンツ、[HDC2021 高精度、低消費電力、湿度および温度センサ、アセンブリ保護カバー付き、データシート](#)。
- テキサス インストルメンツ、[HDC2022 高精度、低消費電力、湿度および温度センサ、IP67 定格水およびほこり保護カバー搭載、データシート](#)。
- テキサス インストルメンツ、[HDC2010 低消費電力の湿度および温度デジタル センサ データシート](#)。
- テキサス インストルメンツ、[HDC302x シリコンユーザーガイド、ユーザー ガイド](#)。
- テキサス インストルメンツ、[HDC20XX シリコンユーザーガイド、ユーザー ガイド](#)
- テキサス・インストルメンツ、[湿度センサ:保管と取り扱いのガイドライン](#)
- テキサス インストルメンツ、[85°C/85% RH 加速寿命試験の湿度センサへの影響](#)、ホワイト ペーパー。
- テキサス インストルメンツ、[湿度センサの配置とルーティングの最適化](#)、アプリケーション ノート。
- テキサス インストルメンツ、[TI 湿度センサ:プログラミングおよび統合ガイド](#)、アプリケーション ノート。
- テキサス インストルメンツ、[湿度センサ比較ガイド](#)、製品概要。
- テキサス インストルメンツ、[相対湿度を使用した蒸気圧力、露点、絶対湿度、エンタルピーの導出](#)、アプリケーション ブリーフ。
- テキサス インストルメンツ、[返品ガイドライン](#)、特定ガイドライン。
- テキサス インストルメンツ、[MSL 定格およびリフロー プロファイル](#)、アプリケーション レポート。



## 7 付録

セクション 1.3 で説明したように、このセクションには、各ケース スタディの詳細な概要が記載されています。各ケース スタディには、顧客が直面していた RH 精度の問題 (文章およびグラフで説明)、TI と顧客が実施した調査手順、そして最終的に特定された根本原因と、その対策および再発防止策が含まれています。

### 7.1 ケース スタディ 1: 湿度に起因する正の RH オフセット

#### 問題提起

お客様が HDC3020 を PCB 上に実装し、組立後の評価において、一部のデバイスで基準値と比較して正の RH オフセットが観測されたと報告しました。影響を受けた 2 台のユニットは、基板から取り外された後、解析のために TI へ返送されました。

#### 調査フェーズ

最初のステップとして、返却されたデバイスを湿度範囲を制御した RH チャンバ内で試験しました。既知の適切な制御ユニットと比較して、返却されたデバイスは一定の RH オフセットを示しましたが、ゲイン誤差はありませんでした。誤差がオフセットに限定されていたため、調査は化学的汚染ではなく一時的な吸湿に焦点を当てました。この RH オフセットを図 7-1 に示します。

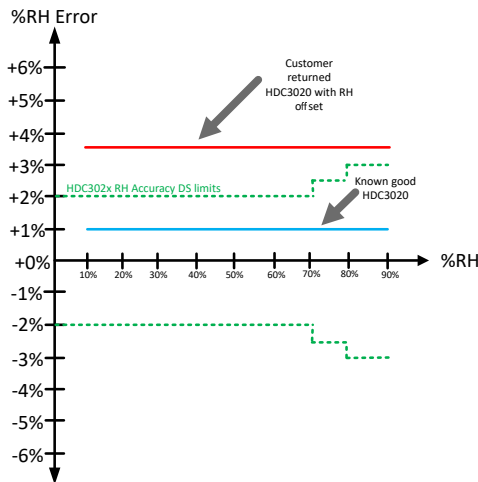


図 7-1. RH オフセット付きの HDC3020 と既知の正常な HDC3020 との関係

これは RH ゲインではなく RH オフセットのみであったため、調査は化学的汚染ではなく、過剰な吸湿を原因の可能性として重点的に行われました。湿度に起因する誤差の疑いを低減するために、センサを 100°C で 2 時間焼き上げ、再テストしました。このベーキングによって RH 精度が正常に回復しました。もしこの処理で問題が解決しなかった場合は、100°C で 10 時間の二次ベーキングを検討する予定でした。オフセットが持続した場合、環境ストレスによる恒久的な損傷、または化学的汚染の可能性が示唆されます。

HDC3020 をベーキングした後、センサは RH オフセットを取り除くことができました。図 7-2 に示すように、お客様から返却された RH センサは RH 精度が向上しています。

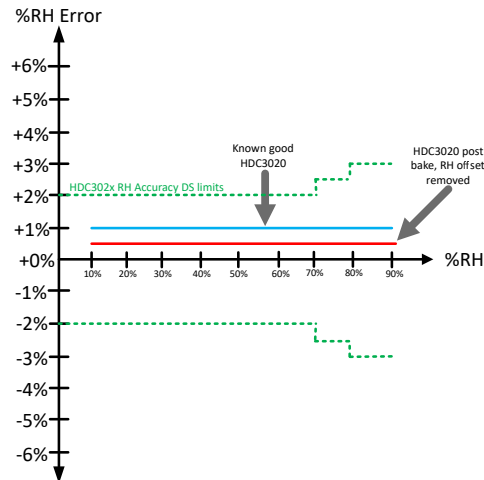


図 7-2. ベーク処理後の RH オフセットを有する HDC3020

原因を突き止めるために、ユーザーはオフセットが発生している HDC3020 と、発生していないものとの間で異なる情報や手順を特定する必要がありました。ロット差やアプリケーション上の違いを除外した結果、ユーザーは、正のオフセットが見られたすべてのセンサが特定のメーカーで組み立てられていることを突き止めました。その PCBA メーカーは、組立中または保管中に HDC3020 を高 RH 条件 (>70%) に繰り返しさらしていた可能性があり、その結果、正の RH オフセットが発生したと考えられます。

#### 結論

- RH 誤差は、高湿度アセンブリ条件下での一時的な吸湿によって生じる可能性が最も高くなりました。
- 100°C で 2 時間のベーク処理によって、オフセットは効果的に除去されました。
- 影響を受けたすべてのデバイスが 1 社のメーカーに特定され、センサ組み立て工程における湿度管理の重要性が浮き彫りになりました。
- 予防措置として、低 RH での保管を実施することや、組立中に高湿度への曝露を避けることが含まれました。

## 7.2 ケース スタディ 2: 100%RH 環境での段階的な RH 精度ドリフト

### 問題提起

HDC3022 は、都市部、沿岸部、そして山岳地帯の 3 つの屋外環境に設置されました。すべてのデバイスは、当初は RH 精度の仕様を満たしていました。しかし、2 ~ 3 か月の期間にわたって、デバイスは RH 精度の劣化を示し、高湿度条件下でも 100%RH に達しなくなりました。たとえば、図 7-3 に示すように、周囲の湿度が 100% に達しても、1 つのセンサは 90% RH のままにしています。

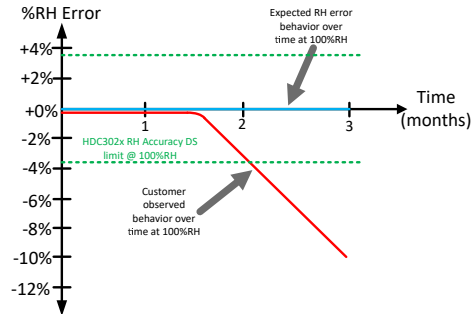


図 7-3. HDC3022 RH 誤差 (経時的に 100% RH 降下)

### 調査フェーズ

設置前の段階ではデバイスが仕様どおりに動作していたため、初期段階の原因 (PCB レイアウト、組立て、または再吸湿など) は除外されました。3 つの設置場所で環境への曝露条件は異なっていたものの、症状は一貫しており、共通の根本原因があることを示唆しています。

通常、100%RH の高湿度環境に長期間さらされると正の RH オフセットが生じるものですが、これらのセンサでは逆の現象が見られ、最大 RH 値が低下しました。これはポリマの飽和ではなく障害物を示していました。デバイスを 70°C および 10% RH で 6 時間ベーキングすると、RH 精度が回復し、回復可能な誤差が確認されます。

原因として最も考えられたのは、PTFE フィルタ上への粉塵の堆積であり、それが水分の浸入を妨げていたということでした。この仮説は消去法によって立てられました。というのも、設置初期には RH の精度が正常であったことから化学的汚染の可能性は低く、また、異なる用途環境において共通して曝露される化学物質を特定することが難しかったためです。ベーク処理後に性能が改善したことから、堆積していた粉塵が一部除去され、感湿ポリマーが再吸湿できるようになったと考えられます。

図 7-4 は、RH 精度デバッグフローチャートで示されている根本原因特定プロセスを表しています。

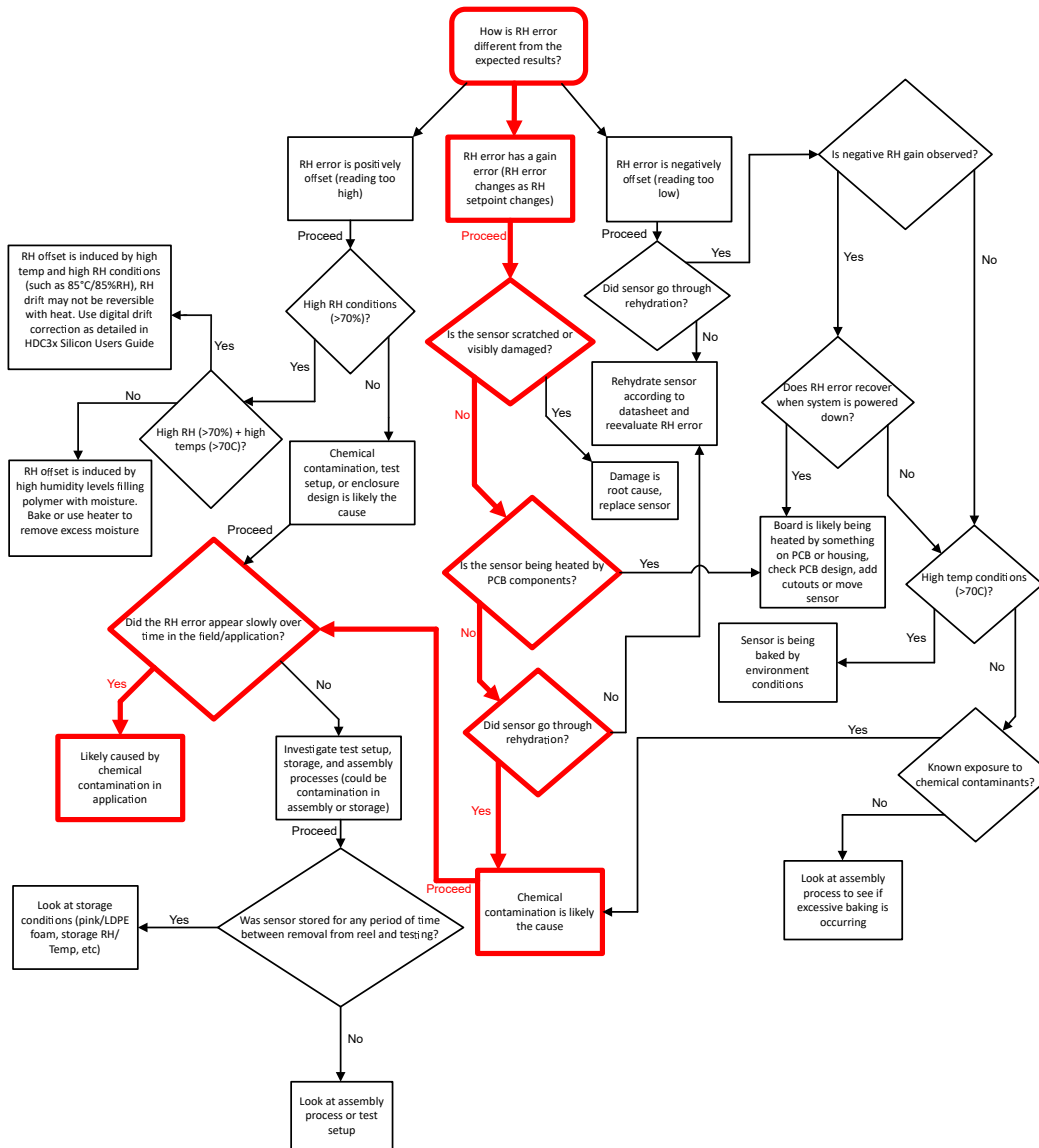


図 7-4. RH 精度のデバッグ フローチャート ケース スタディ 2 の例

結論

- 低温でのバーク処理によって故障が除去され、性能が改善しました。
- この問題は、VOC による化学物質の汚染や組立て品質に関係していませんでした。
- 筐体の設計を改善し、吸気口の向きを再設計することで、将来的な粉塵の侵入を減らし、粉塵が HDC3022 に到達しないようにすることができます。
- 設置済みの機器ではオープンによる処理が現実的でないため、内蔵ヒータを定期的を使用することが推奨されます。

### 7.3 ケース スタディ 3: アセンブリと熱効果の組み合わせ要因

この最終ケース スタディでは、複数の要因が重なり合っており、それぞれが RH 精度のずれに異なる形で寄与しています。観察されたセンサの動作に対して、加熱、汚染、およびシステム設計が及ぼす影響を分離し評価するためには、体系的で複数段階にわたる調査が必要でした。

#### 問題提起

お客様はガス検知アプリケーションにおいて、HDC2021 および HDC3021 の両方のデバイスを使用し、ガス センサの測定値を補正するために RH センサを利用していました。RH センサとガス センサは、外気に触れるための通気孔を備えた筐体内に取り付けられていました。

試験中、HDC2021 のユニットは仕様範囲内で動作しているように見えていましたが、すべての HDC3021 デバイスでは一貫して負の RH 誤差が確認されました。HDC3021 の人口全体が影響を受けました。お客様は故障解析のために、サンプル モジュールを TI へ返送しました。

#### 調査フェーズ 1: レプリケーションのテストと初期調査

TI では、お客様のモジュールを静止空気中の試験室に設置し、温度と RH の両方を冷却ミラー式の基準装置と比較して測定しました。図 7-5 に示すように、HDC2021 はフラットな RH 誤差曲線を示し、HDC3021 は負の RH ゲイン誤差を示しています。これはお客様の観察結果を裏付けるものでした。

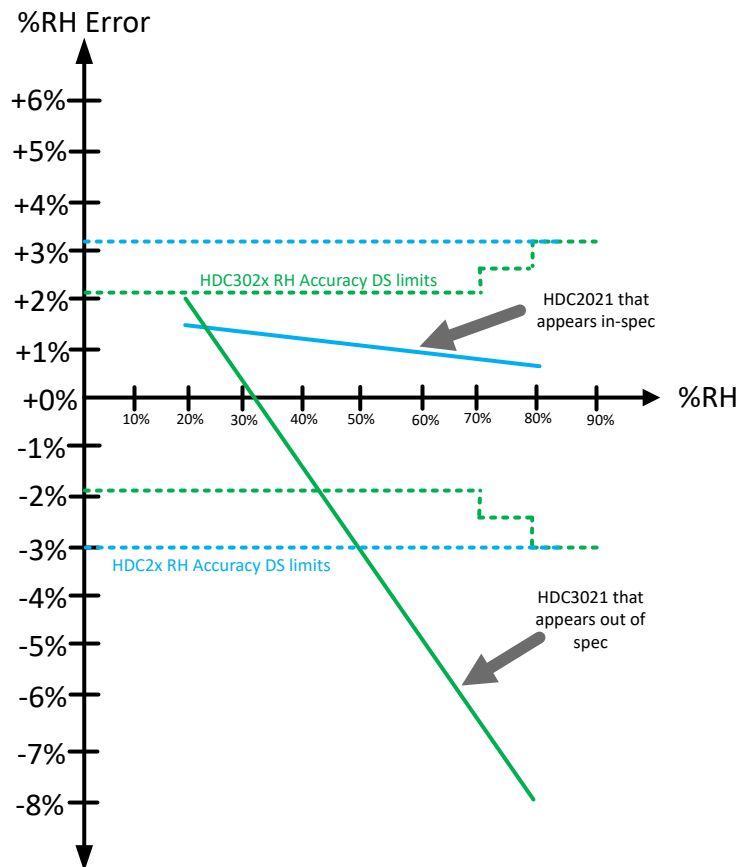


図 7-5. ユーザーの基板および筐体上の HDC2021 と HDC3021 を静止空気中で試験

試験データのさらなる分析により、両方の RH センサが基準値よりも約 2°C 高い内部温度を報告していることが明らかになりました。この不一致は局所的な加熱を示しています。RH は温度に依存するため、センサ温度が上昇すると、露点の関係により、報告される RH は小さくなります。表 7-1 は加熱の影響をまとめたもので、2°C の上昇によっておおよそ次のような影響が生じることを示しています：

- 周囲湿度 20%RH の環境で約 -2%RH の誤差
- 周囲湿度 80%RH の環境で約 -9%RH の誤差

表 7-1. さまざまな環境条件で計算された露点

周囲 RH (%)	周囲温度 (°C)	露点 (°C)
20	25	0.48
80	25	21.31

表 7-2. 2°C 加熱によって生じる結果のデルタ RH

露点 (°C)	加熱温度 (°C)	加熱された RH (%)	デルタ RH (%)
0.48	27	17.77	-2.23
21.31	27	71.07	-8.93

このことにより、HDC3021 で見られた見かけ上の負の RH オフセットおよびゲイン誤差が説明されました。ただし、両方のセンサが発熱するため、HDC2021 の「仕様内」の結果は誤解を招くものでした。その真の RH 精度には、正の RH オフセットとゲイン誤差が含まれ、加熱に起因する負のシフトによってマスクされました。

### 調査フェーズ 2: 加熱の分離と再評価

加熱の影響を切り分けるために、TI ではお客様のモジュールから RH センサーを取り外し、TI の試験用ボードに実装しました。制御された環境チャンバ内では、湿った空気を循環させるためにファンを使用し、チャンバ全体の温度が均一になるようにしました。この熱最適化環境では、両方のセンサは真の正の RH オフセットとゲイン誤差を示していました。HDC3021 は HDC2021 よりも誤差が小さくなりましたが、[図 7-6](#) に示すように、まだ仕様外です。

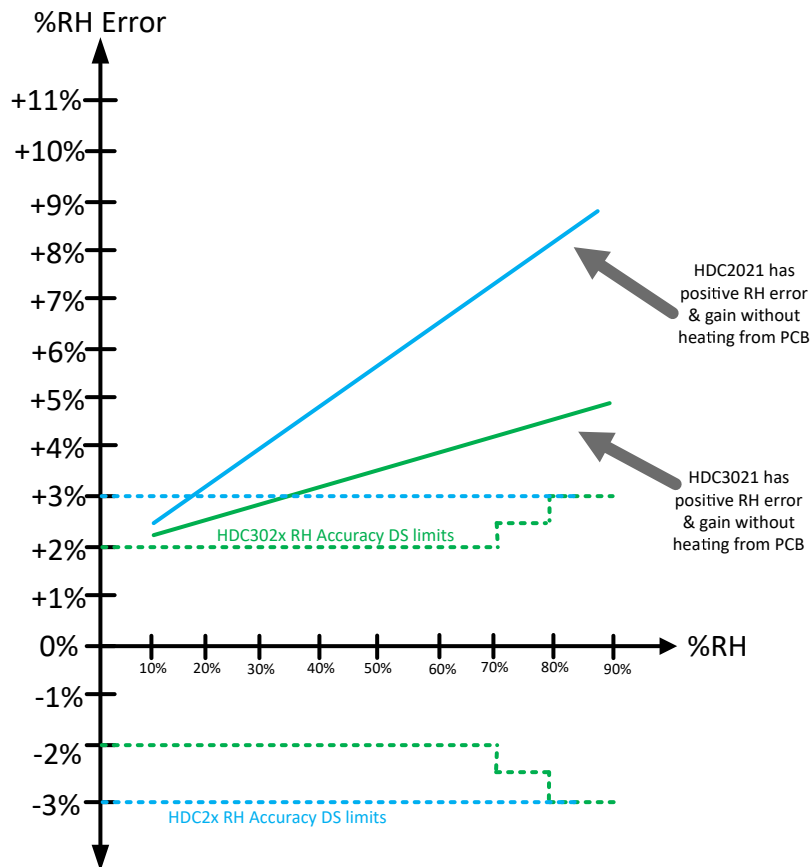


図 7-6. ユーザー基板から取り外した HDC2021 および HDC3021 の試験 (PCB 加熱なし、空気循環あり)

### 調査フェーズ 3: 故障分析と汚染検出

汚染やセンサの損傷の可能性を判定するために、TI はお客様から返却されたユニットの故障解析を実施しました。両方のタイプのセンサで故障解析が実行されました:

- **HDC2021**: 光学検査および SEM 観察の結果、ポリマ キャビティ内に目視で確認できる汚染が見られました。EDX 分析により、Cl、S、Sn、Ca、および Al の異常な濃度が検出され、外部からの化学的影響を示唆していました。
- **HDC3021**: SEM 画像では表面全体に円形のドット状パターンが確認され、テープ カバーの下に汚染が存在することが示唆されました。組み立て時に保護フィルムが浮き上がり、汚染物質に曝露された可能性が高いと考えられます。

既知の良品ユニットと HDC3021 を交換する ABA スワップ試験を実施しました。制御されたエアフロー（静止空気対ファンオン）でテストした結果、新ユニットは仕様内のパフォーマンスに戻り、事前の測定値が内部の加熱とセンサの損傷の両方の影響を受けることを確認しました（図 7-7 を参照）。

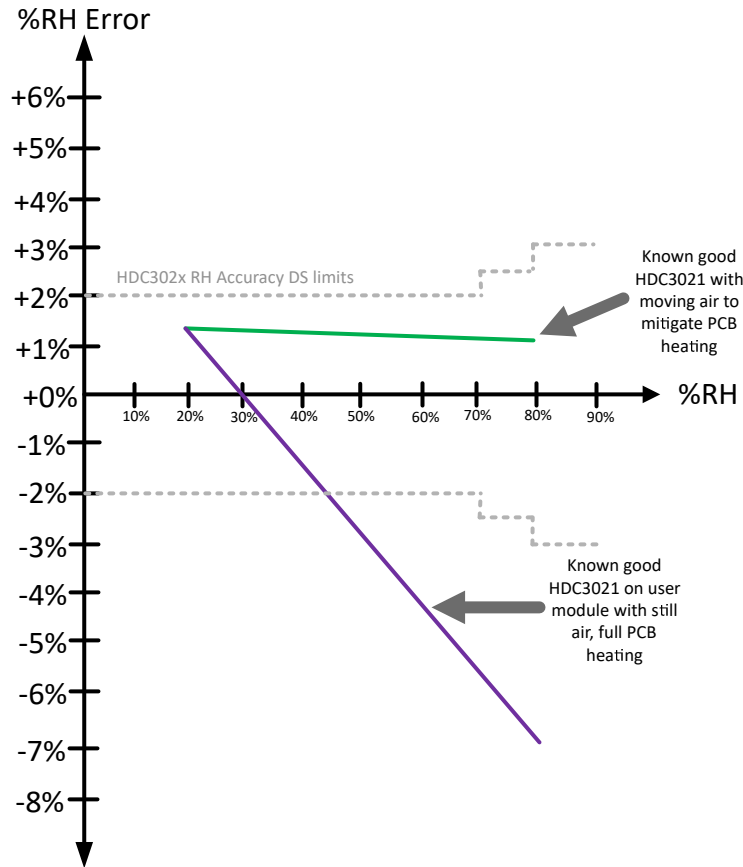


図 7-7. 既知の良品 HDC3021 をユーザーの基板上で試験（空気循環ありおよび静止空気環境）

#### 調査フェーズ 4: 根本原因トレースバックと材料監査

加熱の影響を除外した後、両方のセンサで正の RH ゲイン誤差が確認され、化学的汚染と一致する結果となりました。問題がセンサ全体に影響していたことから、その原因は製造または保管の過程における体系的な問題にあると特定されました。

顧客は使用されたすべての材料について、文書と MSDS シートを提供しました。TI は、ノークリンタイプのはんだペーストの中にポリグリコール エーテルが含まれていることを確認しました。この溶剤はエチレングリコールに似ており、RH センサのオフセットおよびゲイン誤差を引き起こすことが知られています。HDC302x シリコンユーザーガイドは、グリコールベースの溶剤にさらされないように明示的に推奨しています。グリコールベースの溶媒は、それらの分子の極性に起因する RH 誤差を引き起こし、図 7-8 に示すようにセンシング ポリマーの相対誘電率を変化させます

より安全な代替品として推奨されているのは、Kester R276 はんだペーストです。これは、既知の揮発性汚染物質を含まないためです。

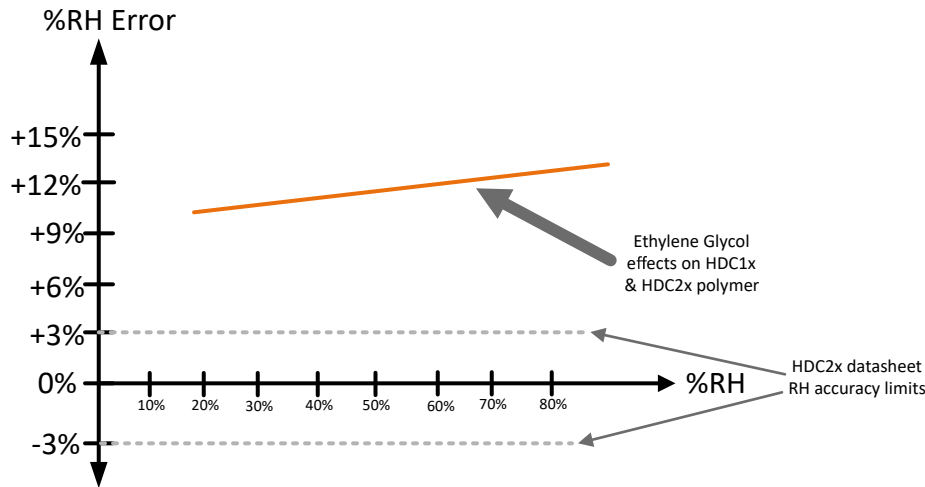


図 7-8. HDC10XX および HDC20XX の センシング ポリマーに対するエチレン グリコールの影響

## 結論

この例では、3 つの異なるエラー ソースが識別されました:

1. PCB / 筐体の加熱 -> 負の RH エラー
2. 化学物質の汚染 -> 正の RH オフセット / ゲイン
3. テスト設定のミスマッチ -> マスクされた真の性能

主な原因と軽減策は次のとおりです:

- HDC2021 の仕様内での見かけ上の動作は、誤差ベクトルの反対 (加熱と汚染が互いに打ち消し合う) によるものです。
- ユーザーは、RH センサが実際の周囲環境を正確に測定できるよう、PCB のレイアウトおよび筐体設計によって局所的な加熱を最小限に抑える必要があります。
- RH テストのセットアップでは、センサの近くかつ筐体内に基準プローブを設置し、同じ局所環境を反映するようにする必要があります。PCB の発熱によってセンサ周辺の環境条件が変化するため、その局所環境の外側に基準プローブを設置してテストすると、RH の精度結果が誤解を招くものになります。
- 汚染の防止は極めて重要です。揮発性グリコールや溶剤を含むはんだペーストや材料の使用は避けてください。TI は、ノークリン タイプのはんだペーストおよびフラックスの使用を推奨しており、実装後に PCB を洗浄しないことを勧めています。互換性については、必ず MSDS ドキュメントを監査してください。ノークリン タイプのはんだペーストであっても、揮発性の化学汚染物質を含んでいる場合があります。
- 熱に敏感な用途 (たとえばガスセンサとの一体実装など) では、測定補正アルゴリズムに局所的な発熱の影響を考慮に入れる必要があります。最高の測定精度を得るためには、RH センサの接合部温度が周囲温度と一致するように、PCB および筐体を設計することが重要です。



## 重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

## 重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ(データシートを含みます)、設計リソース(リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](#) または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月