

Application Note

車載電子機器向け湿度センサ ベースの水侵入監視機能



Alex Thompson, Sakeenah Khan, Carolus Andrews

Temperature & Humidity Sensing

概要

電動パワー ステアリング (EPS)、EV バッテリ パック、LiDAR、液冷サーバーなど、車載やエンタープライズ システムを含む多くのアプリケーションで使用されている重要な電子部品に対して、水の侵入や侵入は大きな脅威になる可能性があります。このアプリケーション ノートでは、HDC3020 センサを使用した湿度センサ ベースの検出方式について説明します。この方式では、相対湿度 (RH) のスルー レート (変化率など) を水の浸入イベントのインジケータとして使用します。具体的には、RH (相対湿度) スルー レートを 10 秒の窓で計算し、スレッシュホールドと比較することで、浸水イベントが発生したことを検出できます。このアプローチでは、わずかな漏れイベント (1.7L エンクロージャで $\leq 0.07\text{mL}$) も数秒以内に確実に検出できます。これは従来の PCB トレース電極水センサより優れており、システムの信頼性の向上、誤検知の低減、センサの導入の簡素化に貢献します。

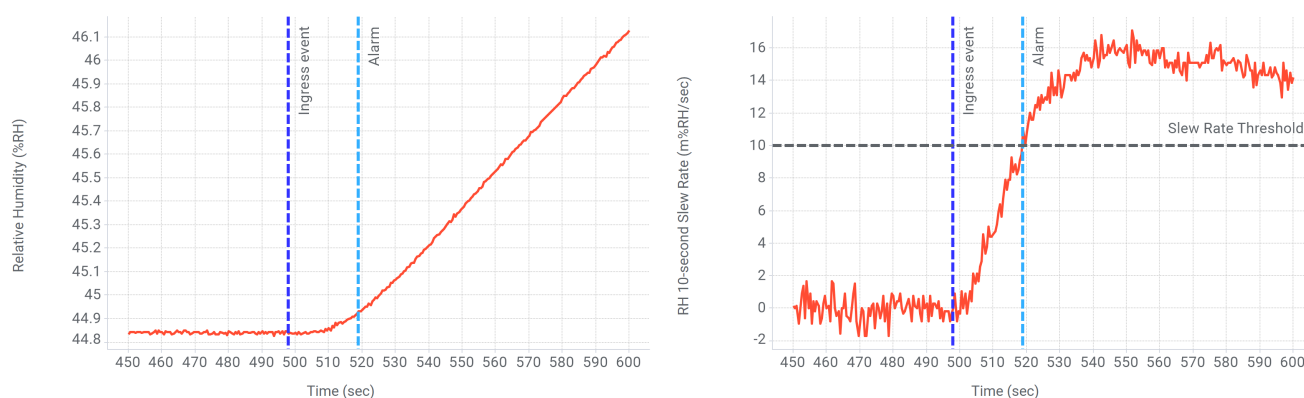


図 1-1. RH スルー レート スレッシュホールドを使用した浸水検出

目次

1 はじめに.....	2
1.1 疑問.....	2
1.2 湿度と水の侵入の物理学.....	2
2 テスト方法.....	3
3 前提.....	5
4 スルー レート スレッシュホールドを使用した提案アルゴリズム.....	5
5 テスト結果.....	7
5.1 屋内周囲条件でのテスト結果.....	7
5.2 高温および低温条件でのテスト結果.....	11
5.3 通気性降下試験および空気交換試験.....	12
6 まとめ.....	14
7 参考資料.....	15

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

1.1 疑問

既存の技術は、効率性と性能の向上に対する新たな要求によって課題となっています。たとえば、電気自動車 (EV) は過去 10 年間で人気を集めてきました。EV が一般的に使用するエレクトロニクスの数を見ると、水の侵入リスクにさらされるシステムの数が増加します。同様に、ストレージとコンピューティングのワークロードがクラウドに移行するにつれて、データセンターは急速に拡大しており、より高いパフォーマンスと集中的な冷却が必要になります。これらのトレンドは、液体冷却への依存度を高めるなど、新しい工学的課題をもたらします。これにより、電子システムの水漏れリスクが高まります。

電動パワー ステアリング (EPS) は、これらのトレンドに沿って進化を続けるサブシステムの 1 つの例です。油圧式パワー ステアリングはまだ使用されていますが、EPS はアシスト モーターを連続的に作動させるのではなく、必要に応じて作動させることで、より高い効率を実現します。当初、EPS モーターは車両のキャビン内 (ステアリング コラム) に設置されて保護されていたが、この構成では油圧システムと比較して道路への接続が少なくなっていました。設計はステアリングの感触を改善するために EPS モーターをホイールベースに移動するように更新された。ただし、車輪の近くにモーターと制御電子回路を配置すると、その周囲が環境にさらされます。摩耗したダスト ブーツやシールが故障すると、水がシステムに浸透し、最終的には電子機器の最悪の敵の 1 つである水の侵入を引き起こす可能性があります。

1.2 湿度と水の侵入の物理学

一般的に、浸水アプリケーションの主な目的は、エンクロージャ内の水の存在を確実に検出して通知することです。この点を考慮に入れると、最終用途によっては水の侵入と結露を区別する機能が必要になる場合があります。この調査の目的上、エンクロージャ内の水は問題と見なされ、したがって水の侵入として処理されると仮定しています。特定の要因を駆動するために外部の妨害を行わないで、通常、温度や RH (相対湿度) はより長い期間でゆっくり変化します。そのため、温度または RH (相対湿度) を測定するときのテスト ウィンドウは通常、ほとんどの電子アルゴリズムよりも大きく、アプリケーションでは 60 秒 ~ 120 秒も長くなります。

相対湿度は最も一般的な湿度測定です。これは、その温度における最大容量に対する空気中の水蒸気の割合として定義されます。これは基本的に、空気はどれくらい水に満ちていますか。100% RH では、空気は完全に飽和します。追加の湿気があれば液体の水に凝縮することがあります。数学的には、式 1 に示すように、RH は既存の水蒸気分圧が、同じ温度および圧力での飽和蒸気圧からどれだけ離れているかを定量化します。

$$RH = \varphi = \frac{\text{Water Vapor Content}}{\text{Max. Water Vapor Capacity}} \equiv \frac{\text{Condensation Rate}}{\text{Evaporation Rate}} \equiv \frac{\text{Actual Vapor Pressure}}{\text{Saturation Vapor Pressure}} \quad (1)$$

RH (相対湿度) は温度に大きく依存します。温度が上昇すると、RH (相対湿度) は低下し (絶対湿度が同じ値になるまで)、温度が低下すると RH は上昇します。これは、温度が上昇するにつれて、空気の飽和蒸気圧が増加する一方で、実際の蒸気圧は一定に保たれるためです (新しい水分が導入されていない場合)。この動作により、リーク検出のための単純な湿度スレッシュホールドが複雑になります。十分な時間が確保された場合、通気性の筐体の湿度は、周囲条件だけからゆっくりと高い RH (相対湿度) まで上昇することがあります。絶対的な RH レベルのみに依存する場合は、誤った警報が発生する可能性があります。しかし、このような段階的な変化は非常にゆっくりと起こるので、湿度のスルー レート (または変化率) に注目すると、それらをフィルタリングすることができます。

絶対湿度 (AH) だけでは、通気システムでは信頼できる浸水指標ではありません。AH は温度の影響を受けません。これは体積あたりの量です。ただし、温度や圧力によって体積が変化することがあるため、水を加えたり取り除いたりしても空気小包の AH は変化する可能性があります。空気が膨張すると (例えば、圧力が低い高高度に上昇すると)、AH は減少します (同じ水分子がより大きな体積を占めるようになった)。通気孔は圧力の均一化に役立ちますが、通気していない密閉容器が冷却されると、空気は少し収縮し、AH はわずかに増加します。さらに、いくつかの蒸気は凝縮して AH を減少させることができます (これらの分子は気相から離れるため)。

蒸発とは、液体の水が状態変化によって水蒸気になる過程です。典型的には、液相から気相への変化は水の沸点であると仮定されます。しかし、蒸発は水の表面上の分子に十分なエネルギーを持つ任意の温度で発生します。水漏れが発生すると、液体水はすぐに蒸発し始めることができます。蒸発は、システムの温度と水の量に応じて異なる速度で発生する可能性があります。この新しい空気中への水蒸気の導入は、湿度センサ IC によって RH の変化として検出される。蒸発は、システム内の周囲湿度によって異なる場合があります。空気が乾燥している (低 RH) 場合、蒸発率は増加する可能性がある。空気がすでに湿っている場合 (RH が高い)、蒸発率は低下する可能性があります。これは、浸水が異なる

温度および湿度条件で発生する可能性があるため、これは時間の経過に伴うシステムの RH の変化に影響を与える可能性があります。

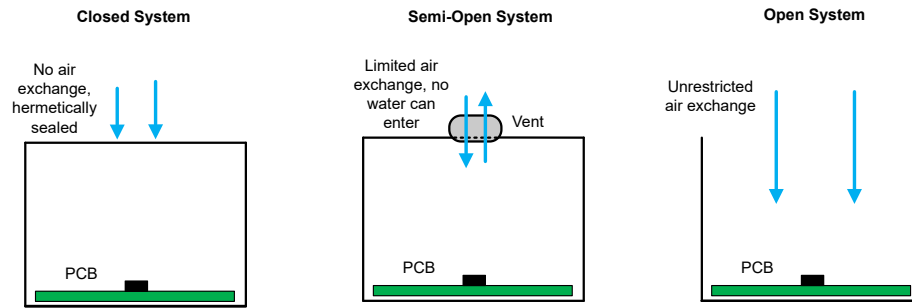


図 1-1. クローズド、セミオープン、オープン システム

この実験で評価されなかった条件はオープン システムでした。以下で説明するテスト エンクロージャはセミオープン システムであり、結果は完全に閉じたシステムにも適用されます。オープン システムとは、電子機器が空気や潜在的に水に完全にさらされていることを意味します。たとえば、水の侵入が懸念されるオープン システムは、水冷サーバーである可能性があります。サーバーと電子機器は、環境と自由に制御されていない空気交換をしますが、液体はチューブ内に保持されているため、漏れがないか監視する必要があります。閉じたシステムとは、システムの内外で空気の交換が行われないシステムのことです。密封されたシステムは、閉じたシステムです。セミオープン システムとは、フィルターされたベントまたは透過性膜を介して外部環境との制御された限られた空気交換があるシステムのことです。このアプリケーション ノートでは、テスト設定で保護ベントを使用することにより、セミオープン システムでの水漏れの検出方法を説明します (調査結果は、クローズド システムにも適用されます)。オープン システムは、周囲の空気中の大きな振幅と RH レベルの影響を受けやすく、変化率スレッシュホールドを使用して水の浸入を検出することが複雑になる可能性があります。

2 テスト方法

カスタムテスト エンクロージャは、現実的な条件下での水の侵入検出を評価するように設計されています。筐体は、幅広い温度および湿度レベルにわたって堅牢で、さまざまなテスト シナリオに対応できる柔軟性や、一般的な通気電子機器ハウジングの代表的な特性を持つように構築されています。

主な実験として、筐体の外側のセンサを使用して、HDC3020 センサ キャビティに水滴を直接配置する前に、1 つの追加シナリオを評価しました。このような場合、センサの読み取り値は一時的に 0% RH まで数秒間低下し、その後、水が蒸発するか取り除かれるまで元の値を上回る (その後通常の読み取り値が再開される)。0%RH までの低下はほぼ瞬時です。この特徴的な特徴は、周囲条件、筐体の種類またはサイズ、水量など、本研究でテストした変数とは無関係に、センサのキャビティに到達した水を明確に示します。液体水が予想され、そのような挙動を回避する必要がある場合には、代替デバイスとして HDC3022 を使用できます。このデバイスには防水 IP67 定格フィルタが搭載されています。

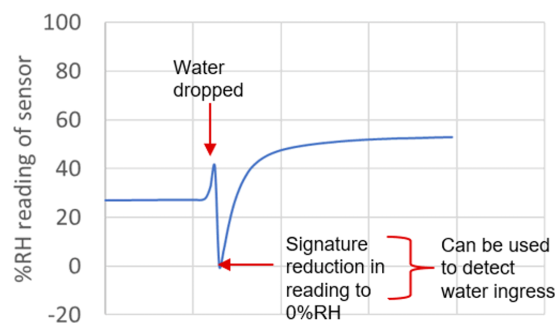


図 2-1. 水滴をセンサ キャビティに直接設置した場合の HDC3020%RH 応答

テスト エンクロージャは、空気交換を可能にするために上部に防水ベントを備えたセミオープン システムをエミュレートするために使用されました。この通気口は 2 つの目的を果たした:これは現実世界のエンクロージャを模倣し(密閉されていない)、これは条件付き空気がポンプインされたときのテスト中の圧力の蓄積を防ぎました。ベントがなければ、外部チャ

ンバーから湿気または乾燥した空気を導入することで、ボックスを過加圧することができます。追加の圧力は、システムに入る水以外の方法で AH を変化させる可能性があります。

筐体内部に、テスト PCB で HDC3020 センサを固定しました。これは、小型の上げたボードに取り付けており、入ってくる水が浸けないようにしています。水は漏斗を通して導入され、ゆっくりとした滴下または急速な注水のいずれかをシミュレートした。PCB の隣にヒートシンクとヒーターを追加して、筐体内の温度を変化させました。これにより、筐体全体を加熱された環境チャンバー内に配置することなく、箱を高温にすることができました。湿度の高い乾燥した空気は、空気管を介して湿度チャンバーに直接テスト エンクロージャに供給されました。

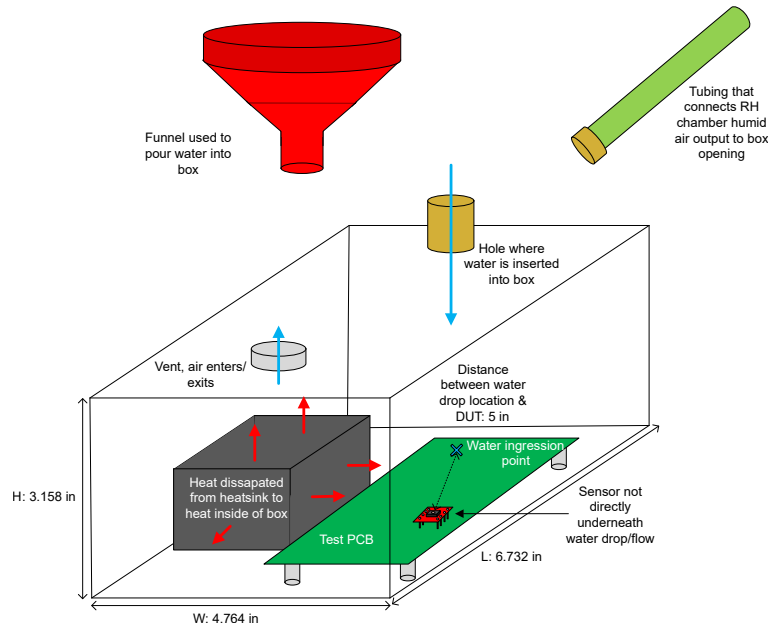


図 2-2. 内部コンポーネントおよび外部コンポーネントを備えた通気テスト エンクロージャ

さまざまな環境条件下でテストを行い、検出アルゴリズムが浸水が発生する可能性のあるさまざまなシナリオにわたって機能することを確認しました。車載と産業用のアプリケーションでは、寒冷/乾いた気候や、高温と高湿度の気候でも、漏れが発生する可能性があります。そのため、いくつかの代表的な条件でシステムを評価した。

表 2-1. 実験試験の概要

テスト番号	温度 (°C)	相対湿度 (%RH)	水の量	テストの実施方法
1	22°C	45~50%	1 滴の水 (0.023mL)	屋内外条件、強制湿気のない空気
2	22°C	45~50%	3 滴の水 (0.07mL)	屋内外条件、強制湿気のない空気
3	22°C	45~50%	フル水流量 (100mL)	屋内外条件、強制湿気のない空気
4	22°C	70%	フル水流量 (100mL)	室内の環境条件、湿気の高い空気が強制されています
5	50°C	10%	3 滴の水 (0.07mL)	エンクロージャは内部加熱、乾燥空気強制
6	50°C	70%	3 滴の水 (0.07mL)	エンクロージャは湿度チャンバーに直接配置されています
7	10°C	10%	3 滴の水 (0.07mL)	エンクロージャは氷のバスで冷却され、乾燥空気強制
8	10°C	70%	3 滴の水 (0.07mL)	エンクロージャ氷風呂で冷却、湿気の空気強制

一滴の水は約 0.023mL で、3 滴の水は約 0.07mL でした。落下試験では、箱を所定の湿度レベルに順応させた後、湿気のある空気管を取り除き、ドロPPER付き真鍮フィッティング ホールを通してエンクロージャに水を堆積させました。フルフロー (100mL) の水テストでは、漏斗を使用して同じフィッティング ホールに水を注ぎました。水がエンクロージャに堆積された後、湿気のある空気をパイプすることができる真鍮のフィッティング ホールを閉じ、蒸発水と湿気または乾燥した空気が漏れないようにしました。

すべての試験条件を 3 滴の水で評価し、小規模な水漏れをシミュレートしました。「水の完全な流れ」テストは、はるかに大量の水がシステムに侵入するのをシミュレートするように設計されました。過熱テストは、大量の水では行われませんでした。エンクロージャに大量の水を注ぐには、テストの間に大規模な清掃が必要であり、多くの場合、テスト エンクロージャの分解が必要になるためです。さらに、より少量の水を使用することは、湿度センサが検出するワースト ケースのテストです。これは、空気中に蒸発する水蒸気の量がはるかに少ないためです。これは、提案されている RH スルー レートスレッシュホルド方式のより強い試験に相当します。最後に、テスト 1 についてワンドロップ テストを実行して、Ingres イベントの微細さに関する境界を示しました。これにより、HDC3020 が指定されたテスト エンクロージャ サイズでどのように検出できるかが決まります。

3 前提

この水漏れ検知実験では、試験の範囲を狭めるためにいくつかの仮定をしました。

- **圧力均等化のために排気口がエンクロージャに組み込まれた。**これにより、内部温度の変化に伴う圧力の蓄積を防止できます。この実験では、TI は防水の通気孔を使用して、大気との減衰された空気の交換を可能にし、液体の水を遮断しながら圧力を均等化することができます。これは半オープン系であるが、この仮定は実験結果を閉系に適用することを可能にする。公称密閉システムは内部圧力を発生させません。大気圧で密封された閉じたシステムでさえ、リーク イベント中に穴を開けると、圧力変化は見られません。
- **システムは、各テストの開始時にドライで正常な状態で起動します。**アルゴリズムの時刻ゼロには、エンクロージャ内に水が存在しないと仮定します。試験された筐体は、すべての実験の開始時に完全に乾燥していました。起動前にシステムがすでに濡れていたかどうかを判断することは、これらのテストの明示的な範囲外です。水の浸入は 1 つのイベントです。
- **各テスト中温度は一定に保たれます。**リーク事象の進行中は、著しい加熱または冷却は発生していないと想定しています。高温および低温試験では、湿度に温度変化の影響を与えないように、水を対象温度に調整しました。

4 スルー レート スレッシュホルドを使用した提案アルゴリズム

水の浸入イベントを検出するために提案された方法では、RH 測定のスルー レートにスレッシュホルドを使用します。湿度センサは、毎秒 1 ~ 2 サンプル (1-2Hz) の速度で RH を測定するように設定する必要があります。次に、スルー レートを 10 秒のウィンドウ全体にわたって計算する必要があります。10 秒間の RH スルー レートを計算するには、まず、現在の RH 測定値 (RH_N) と 10 秒前の測定値 (RH_{N-10}) の差をとって ΔRH を取得します。次に、 ΔRH を $\Delta time$ で割り、1000 を掛けると、式 2 に示すように m%RH/s (ミリパーセント RH/秒) 単位でスルー レートが得られます。

$$RH \text{ Slew Rate} \left(\frac{m\%RH}{sec} \right) = \frac{\Delta RH}{\Delta time} = \frac{1000 \times (RH_N - RH_{N-10})}{10 \text{ sec}} \quad (2)$$

この計算はソフトウェアで行うことができ、FIFO (先入れ先出し) バッファなどのデータ バッファ内に最後の 10 秒の RH 測定値を保存するためのメモリ要件を備えています。図 4-1 に、提案されたアルゴリズムをフロー チャートとして示します。スルー レート スレッシュホルド法は、定常状態の温度および圧力に対して、さまざまな温度および湿度条件でテストしました (「前提条件」セクションで概要を説明します)。

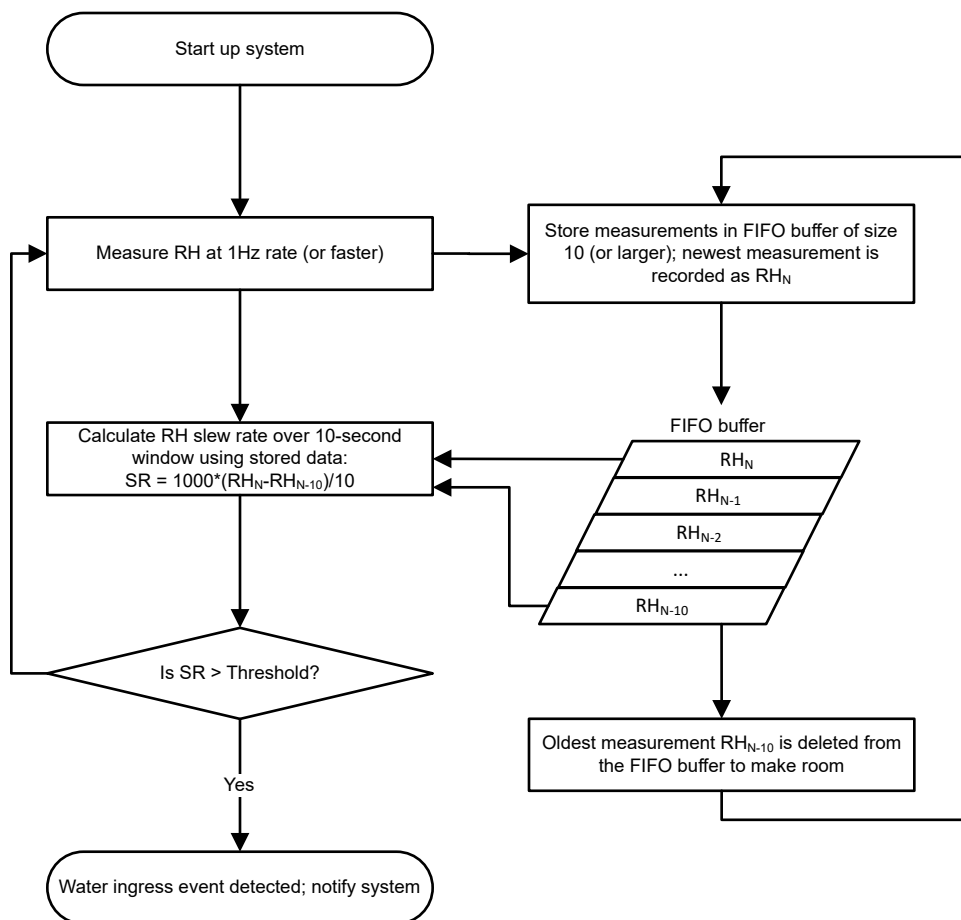


図 4-1. 浸水検出アルゴリズムのフロー チャート

測定されたスルー レートがスレッショルドを超えたときにアラームを鳴らすように、ソフトウェアでスルー レート スレッショルドを設定する必要があります。これは、浸水イベントが発生したことを示します。スルー レート スレッショルド用に設計された設計は、エンクロージャのサイズや必要な感度 (検出する必要がある水の量) などの要因によって異なります。収集したデータに基づき、**10m%RH/s** は、所定の **1.7L** エンクロージャ内で **≤0.07mL** の入力イベントを確実に検出するためのスレッショルドとして設計されたものとして特定されました。種々の条件下での試験では、**0.07mL** 以上のリーク イベントが選択した閾値を十分上回る RH の急激な上昇を示したが、周囲湿度の変動は閾値以下にとどまりました。さまざまなシステム エンクロージャに適したスレッショルドを評価するために、同様のテスト手順に従うことができます。

図 4-2 に、スルー レート スレッショルドを使用して、テスト #2 で収集したデータ (**22°C**、**45%RH**、**0.07mL** 水) を使用して **0.07mL** の水の浸入イベントを検出する方法を示します。濃い青の縦線は入力イベント(水がテスト システムに導入されたとき)を示し、黒色の横線は提案された **10m%RH/s** スルー レート スレッショルドを示し、水色の縦線は入力アラーム イベントを示します(スレッショルドを超えたとき)。次のセクションでは、詳細なテスト結果と複数のテスト条件のデータ解析について説明します。

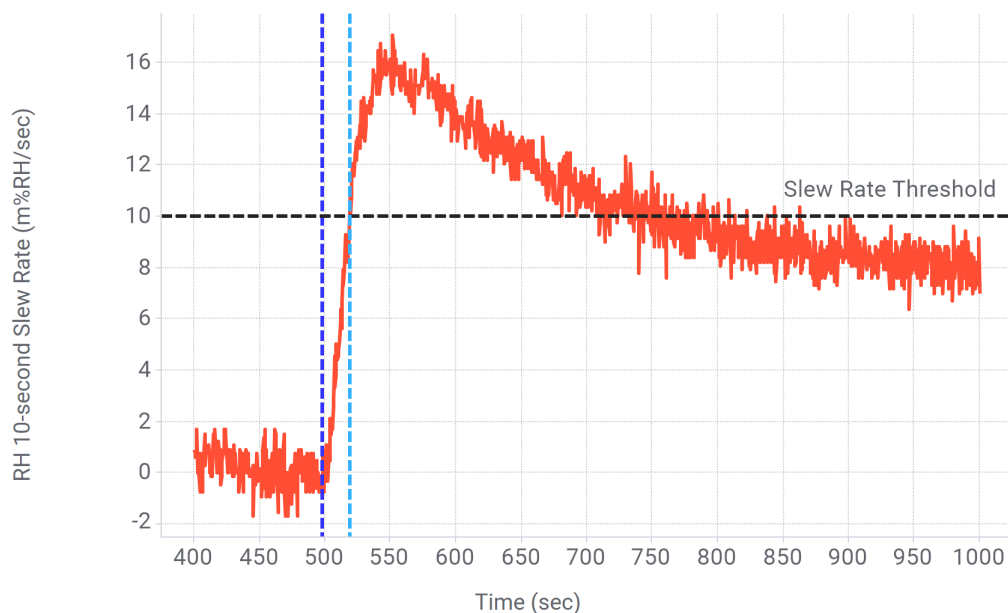


図 4-2. テスト 2 (22°C、45%RH、0.07mL 水): RH (相対湿度) 10 秒のスルー レートと時間との関係

5 テスト結果

HDC3020 湿度センサの浸水に対する応答は、さまざまな周囲温度、周囲湿度レベル、水の量を含む、さまざまな定常状態条件でテストしました。試験結果は、水の浸入時に RH の増加が認められ、乾燥条件では RH の増加がより顕著でした。包括的なデータ分析から、与えられた通気テスト エンクロージャの侵入イベントを検出する最も信頼性の高い方法は、10 秒間の RH スルー レートを調べることであることが明らかになりました。

5.1 屋内周囲条件でのテスト結果

テスト 1 ～ 3 (22°C、45 ～ 50%RH) では、1、5、10 秒の各種時間ウィンドウにおいて、相対湿度、絶対湿度、露点、RH スルー レート、AH スルー レートを含む複数のデータ ポイントを分析しました。絶対湿度および露点は以下の式を使用して計算しました。ここで、AH は絶対湿度 (g/m^3)、 T_d は露点 ($^{\circ}\text{C}$)、RH は HDC3020 相対湿度の測定値 (%RH 単位)、 T は HDC3020 温度の測定値 ($^{\circ}\text{C}$) です。これらの方程式は、Alduchov と Eskridge (1996) で近似された値を用いて、ガス方程式とマグヌス テテンズ式のために設計されたものから導出されました。

$$AH\left(\frac{\text{g}}{\text{m}^3}\right) = \frac{6.11 \times e^{\left(\frac{17.625 \times T}{243.04 + T}\right)} \times RH \times 2.1674}{273.15 + T} \quad (3)$$

$$T_d\left(^{\circ}\text{C}\right) = \frac{243.04 \times \ln\left(\frac{RH}{100}\right) + \frac{17.625 \times T}{243.04 + T}}{17.625 - \ln\left(\frac{RH}{100}\right) - \frac{17.625 \times T}{243.04 + T}} \quad (4)$$

データ分析では、単に RH、AH、または T_d を観察するだけでは、RH スルー レートほど浸水イベントの明確な指標は得られないことが示されました。さらに、セミオープン システムの RH または AH に固定スレッショルドを配置すると、周囲の湿度の変動も時間の経過に伴って RH (相対湿度) を増加させる可能性があるため、誤ったアラームが発生する可能性があります。図 5-1 および図 5-2 に、テスト 2 の RH、AH、 T_d の経時変化を示します (22°C、45%RH、0.07mL 水)。

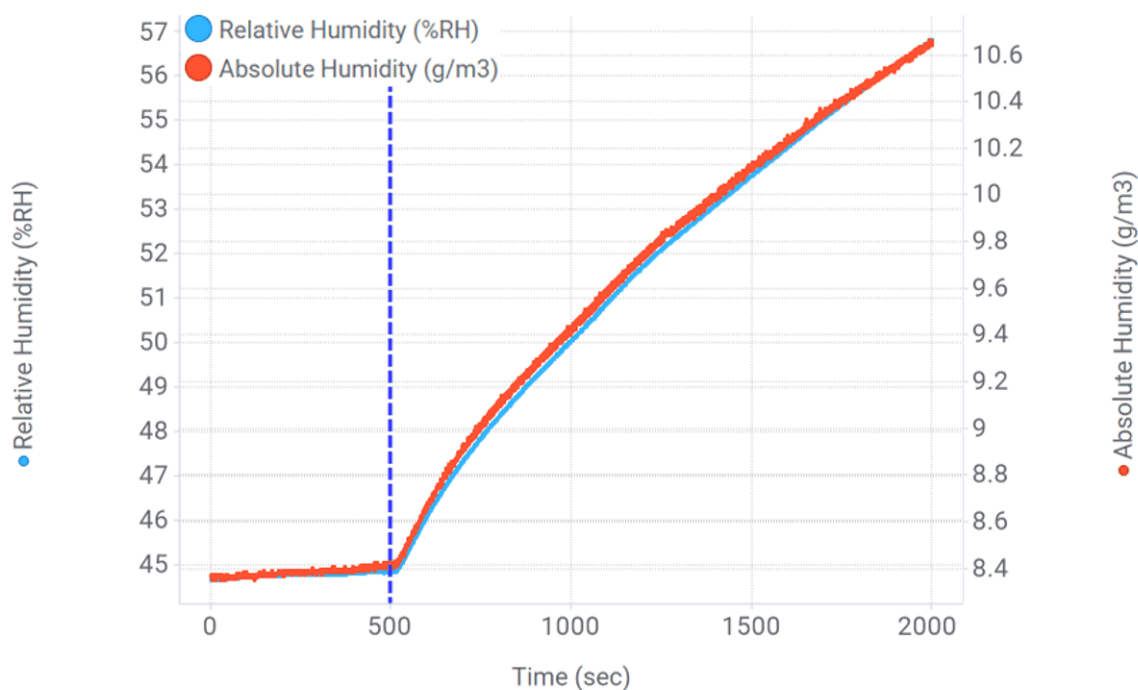


図 5-1. テスト 2 (22°C、45%RH、0.07mL 水): 相対湿度および絶対湿度と時間の関係

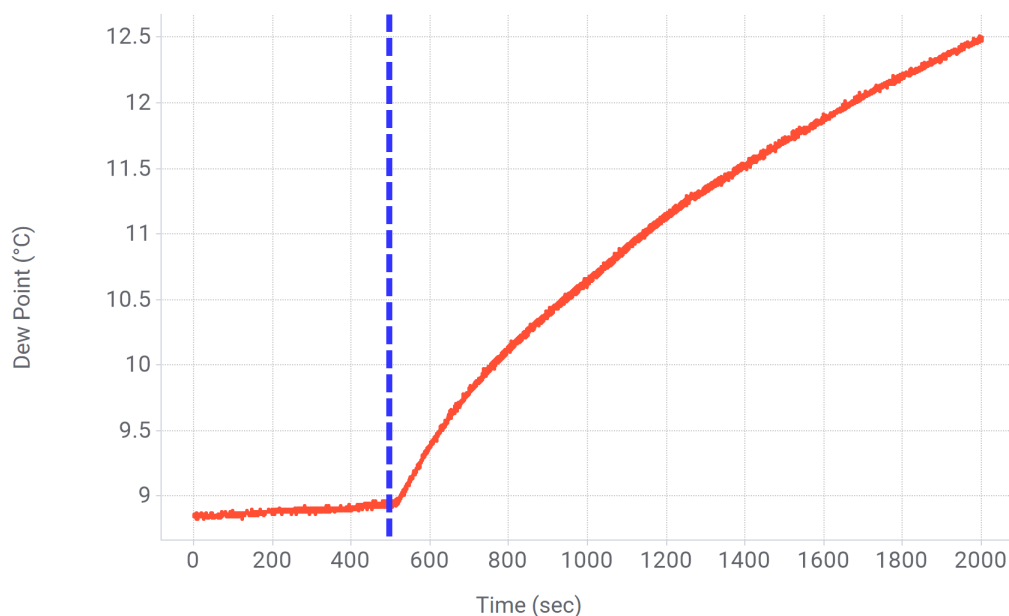


図 5-2. テスト 2 (22°C、45%RH、0.07mL 水): 露点对時間

侵入イベントに対する最適な指標は、特に水の量が小さい場合に、RH (相対湿度) 10 秒のスルー レートです。これは、[図 5-3](#) に示すように、RH スルー レートがシステムへの水の導入に伴って迅速かつ劇的に増加するためです。[図 5-4](#) に示すように、AH スルー レートのデータにはノイズが多すぎるため、効果的かつ確実に入力イベントを示すことはできません。さらに、これは 5 または 10 秒のウィンドウを使用することをお勧めします。より短い時間枠でのスルー レートの計算はノイズが支配的なので、[図 5-3](#) と [図 5-4](#) に示すように、真の浸水イベントを区別するのは困難です。10 秒のウィンドウを使用すると、ノイズの影響を排除し、通常の湿度変動と浸水イベントを区別できます。

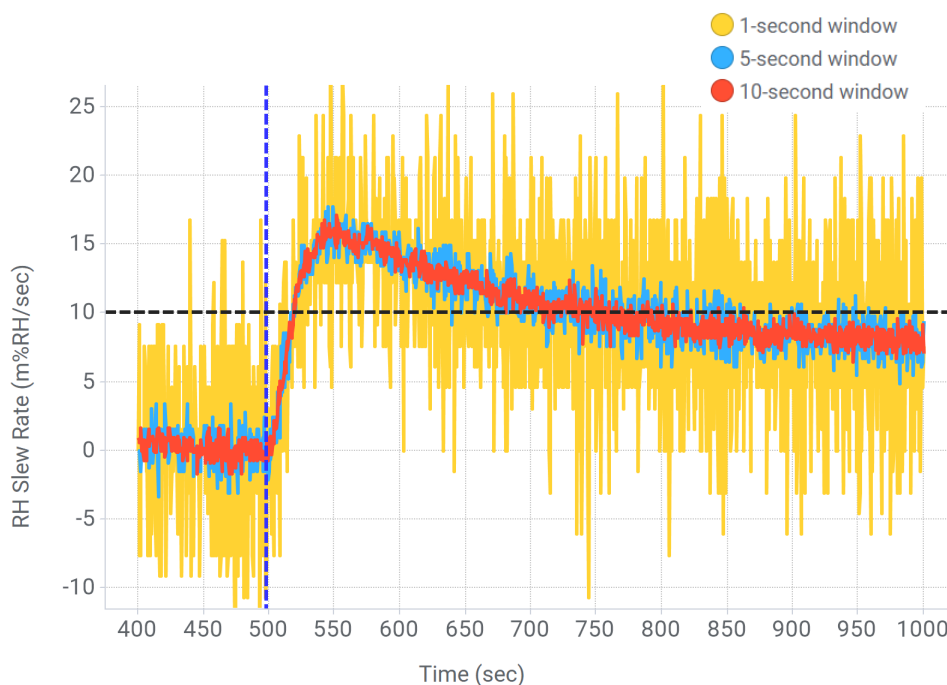


図 5-3. テスト 2 (22°C、45%RH、0.07mL 水):さまざまなタイム ウィンドウにわたって計算された RH スルー レート

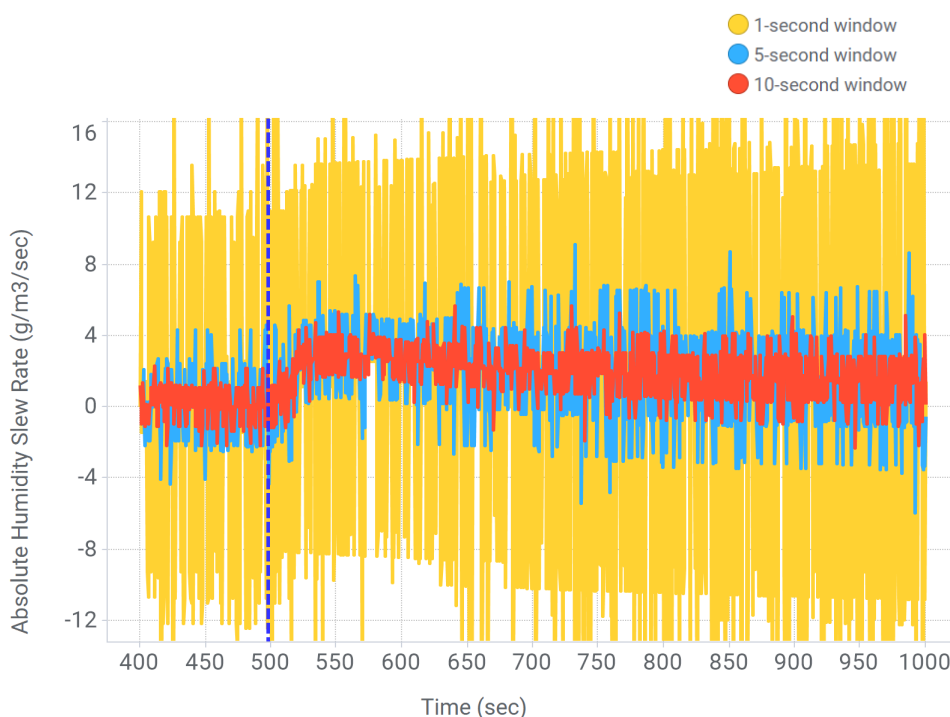


図 5-4. テスト 2 (22°C、45%RH、0.07mL 水):さまざまなタイム ウィンドウにわたって計算された AH スルー レート

さらに、テスト結果では、水の量が大きいほど RH の変化が大きくなり、その結果、ピーク RH スルー レートが大きくなることを確認されています。図 5-5 と図 5-6 は、浸入イベントが時間 = 0 で発生するように正規化されている屋内外条件での 3 つの水量テストすべての応答を比較します。フルフロー (100mL) イベントと 3 ドロップ (0.07mL) イベントは、RH (相対湿度) 10 秒のスルー レートを使って簡単に区別できます。1 滴 (0.023mL) イベントでも、RH スルー レートが顕著に増加しましたが、データにはノイズが大きくなりました。このため、図 5-6 に示すように、シングルドロップの入力イベントを、

通常の周囲湿度変動と確実に区別するのは困難です。これは、スルー レート スレッショルドを使用して少量の浸水 $\leq 0.07\text{mL}$ を検出できることを示していますが、さらに小さな水量を検出するには制限がある可能性があります。

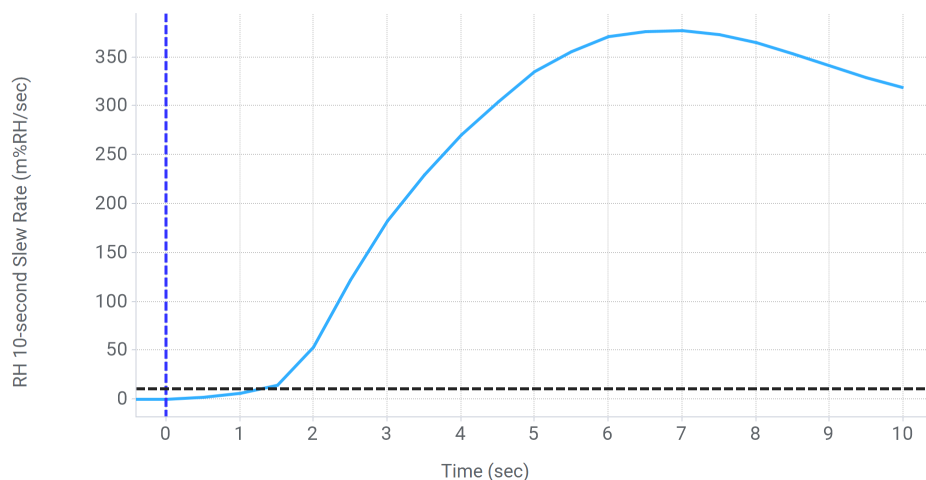


図 5-5. テスト 3 (22°C、50%RH)、フルフロー (100mL) テスト

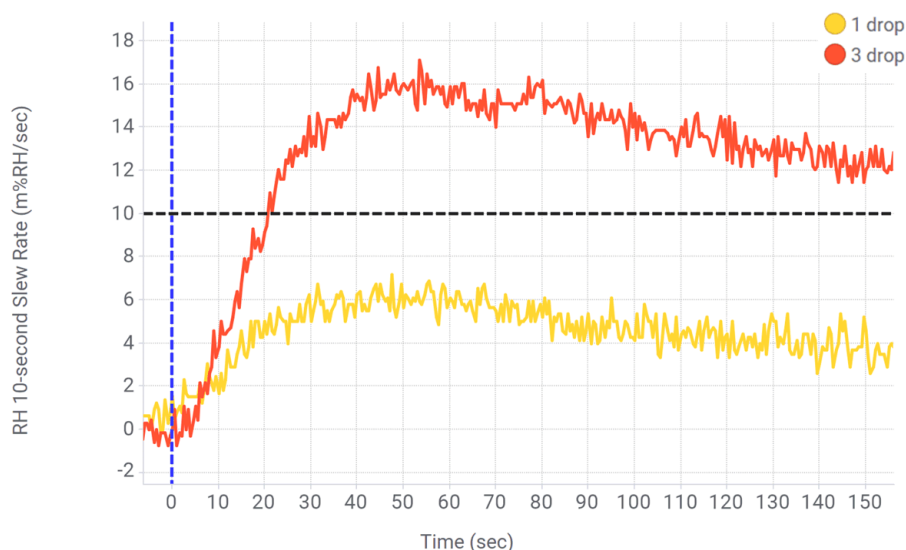


図 5-6. テスト 1 ~ 2 (22°C、45%RH)、1 滴 (0.023mL)、3 滴 (0.07mL) の各テスト

また、室内気温と湿度が 70%RH 上昇した場合にも、全流量浸入イベントを繰り返した。図 5-7 に、70%RH でのフルフロー入力イベントの応答を示します。ここで、入力イベントは時間 = 0 に発生するように正規化されています。RH が高い場合、入力イベントによる RH スルー レートの変化はそれほど顕著ではありませんが、10m%RH/s スレッショルドを容易に超えているため、標準的な周囲変動と区別できます。

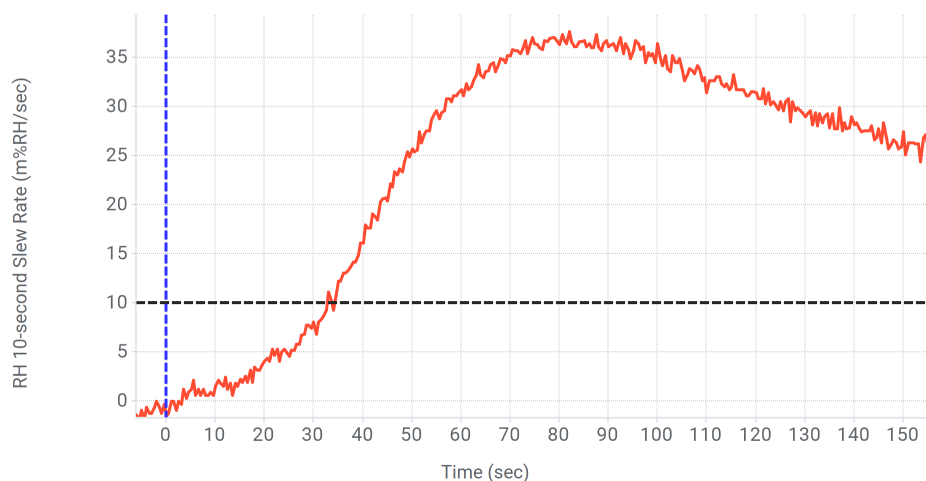


図 5-7. テスト 4 (22°C、70%RH)、フルフロー (100mL) テスト

5.2 高温および低温条件でのテスト結果

次に、HDC3020 が少量の浸水を実際に検出できることを確認するために、HDC3020 を過熱テストしました。さまざまな条件で 3 滴のテスト データを調べた結果、所定のテスト エンクロージャについて浸水イベントを検出するため、10m%RH/s のスルー レート スレッショルドを選択しました。

すべての温度および湿度条件にわたる 3 回の降下テストの結果を、表 5-1 と図 5-8 にまとめます。いずれの場合も、入力イベントは 40 秒以内、ほとんどの場合数秒以内に検出されました。図に示すように、より乾燥した条件では、より湿度の高い始動条件に比べてはるかに高いピーク RH スルー レート (低温や乾燥した空気では最大 106.0m%RH/s) を実現しました。また、乾燥条件により、(2Hz 自動測定レートを使用して) 高温乾燥空气中で 1.5 秒の速さで侵入イベントをより迅速に検出することができました。低温でのピーク スルー レートは高温時よりも高くなりました。たとえば、低温と高湿と高温または高湿のテスト結果を比較します。この挙動は、平衡飽和蒸気圧が低温で低くなるため、水分に対する環境容量が小さくなり、水分量の変化が小さいため、RH の変化が大きくなるため説明できます。高温および多湿の条件でのワーストケース テスト シナリオでも、入力イベントにより生じる湿度スパイク (22.6m%RH/s) は 10m%RH/s のスレッショルドを十分に超えました。これは、選択された閾値が現実的な環境条件の範囲全体にわたって適切であることを確認します。

表 5-1. すべてのテスト条件での 3 ドロップ (0.07mL) テストのテスト概要

テスト条件	ピーク RH (相対湿度) 10 秒スルー レート	Δ 侵入検出までの時間
22°C、45%RH (屋内外)	17.1m%RH/s	21.0s
50°C、20%RH (ホットドライ)	78.1m%RH/s	1.5s
50°C、70% RH (高温および湿気)	22.6m%RH/s	38.5s
10°C、10%RH (低温/乾燥)	106.0m%RH/s	3.5s
10°C、70% RH (低温および高湿度)	96.4m%RH/s	3.5s

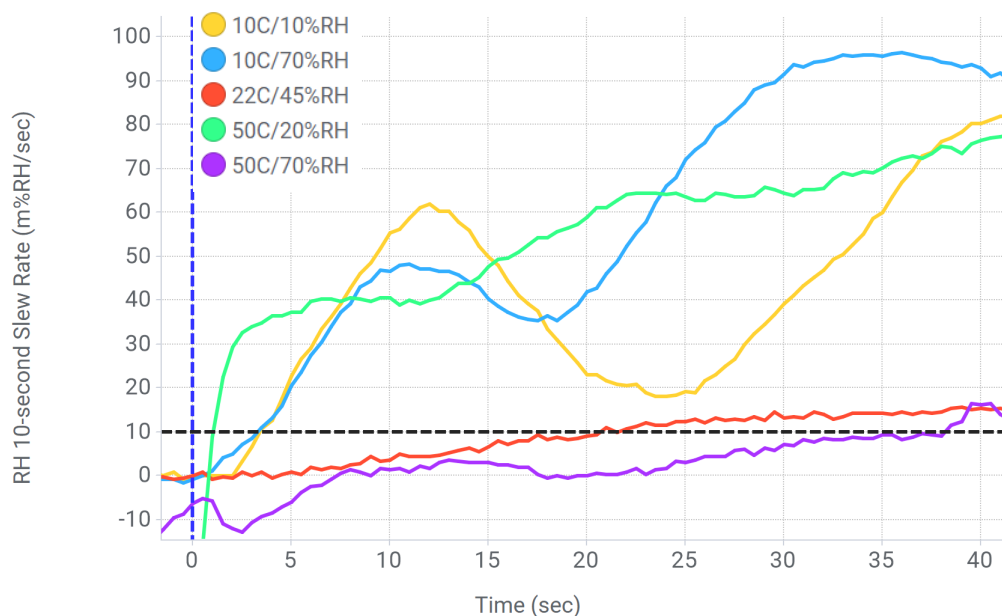


図 5-8. すべてのテスト条件での 3 滴 (0.07mL) テスト

5.3 通気性降下試験および空気交換試験

排気試験筐体で追加のテストを実施して、RH の変化が真の入力イベントに起因して確実に発生し、周囲湿度の通常の変動により誤警報が発生しないことを確認しました。まず、防水ベントの完全性を確認するために、ベントを水中に浸しました。この通気口により、水がテスト エンクロージャに入らないようになり、湿気の交換が遅くなりました。その結果、RH は本質的に平坦なままでした (図 5-9 を参照)。

Gore vent submerged in water

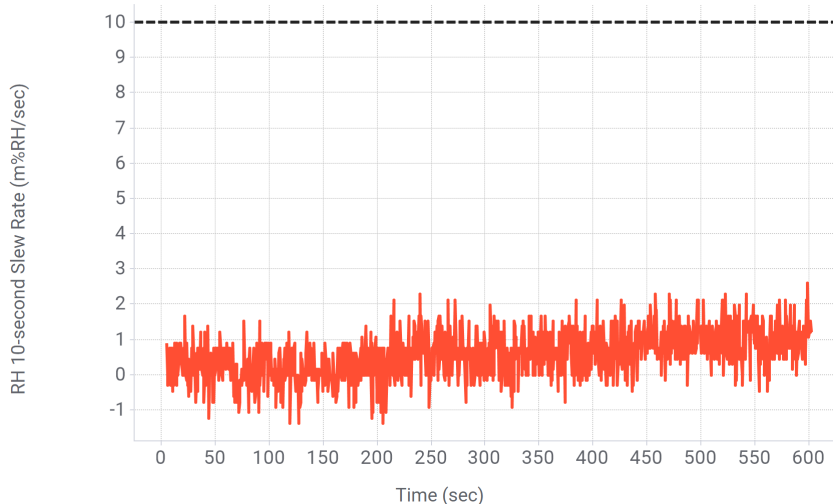


図 5-9. ベントサ ブマージョン テスト: RH (相対湿度) 10 秒のスルー レートと時間との関係

2 番目のテストでは、排気口の筐体を約 23.5°C と 44%RH の屋内周囲条件に順応させました。次に、筐体を閉じて環境テストチャンバー内に配置します。環境テスト チャンバーは、25°C の 90%RH (相対湿度) の高湿度条件にプリセットしました。RH 測定値がどれほど速く上昇できるかを HDC3020 が観測しました。図 5-10 に示すように、RH (相対湿度) 10 秒のスルー レートは真の浸水イベントのように時間の経過に伴って増加することではなく、スレッシュホールドよりもはるかに低く維持されました。これは、適切に排気された筐体を使用して、誤ったアラームをトリガせずに、通常の湿度の上昇と漏れを区別できることを示しています。

Gore vent test: sealed box (25C/40%RH) placed inside RH chamber (2...

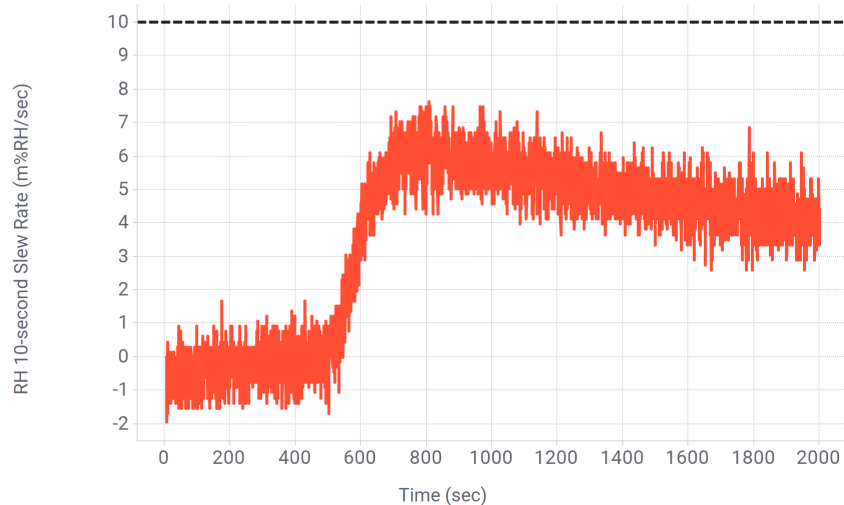


図 5-10. 通気エンクロージャと環境チャンバー間の空気交換テスト: RH (相対湿度) 10 秒のスルー レートと時間との関係

6 まとめ

HDC3020 などの湿度センサを使用すると、RH スルー レート検出アルゴリズムに基づく浸水および漏れ検出の新しい方法を紹介します。相対湿度の急激な上昇 (RH (相対湿度) 10 秒のスルー レートで測定) は、水漏れを知らせます。この方法では、水蒸気を感じて、漏れが発生している場所に関係なく漏れを捕捉することで、1 つのセンサでエンクロージャ全体をカバーできます。これらの知見は、セミオープン システムとクローズ システムの両方に適用できる。

温度範囲全体にわたる包括的なテスト 10–50°C と湿度 10 ~ 70%RH では、小さな漏れ (1.7L の管体に 0.07mL の水を収容) であっても、クリアな湿度スパイクをトリガできることが実証されています。10m%RH/s のスレッシュホールドは、テスト済みの 1.7L エンクロージャを使用して、このようなリークを 40 秒未満で高い信頼性で検出しながら、周囲湿度の変化による誤ったアラームを回避しました。また、この方法は、高温/低温、湿気/乾燥した極端な条件を含むすべてのテスト条件で堅牢でした。このアプローチでは、小さな湿度センサとシンプルなファームウェア ロジックのみを使用して、最小限のハードウェアで漏れや浸水について早期に警告できます。これは、エンクロージャ内の任意の場所の水の浸入を検出し、真の漏れとバックグラウンドの湿度ドリフトを区別することで、従来の方法よりも優れています。

HDC3x 製品ファミリ (HDC3020-Q1 などの車載グレードのバリエーションを含む) は、テキサス インストルメンツの最新世代の湿度センサであり、この漏れ検出方法を実装することを推奨します。HDC3020 デジタル RH センサと HDC3120 アナログ出力 RH センサは、どちらも標準のオープン キャビティ WSON パッケージで供給されます。また、HDC3021 および HDC3022 パッケージ バリエーションも提供されています。これらは HDC3020 と同じ電気的および RH 性能を実現します。特に、HDC3022 は、センタ キャビティをほこりや水から保護するために、IP67 定格の PTFE フィルタを内蔵しています。この水検出アルゴリズムは実装が簡単だけでなく、さまざまなエンクロージャの体積や、システムに入る予想される水の量に合わせて調整できます。エンクロージャが密閉されているか、適切に通気されていることを確認すると、大きな周囲の湿度の揺れが防止されるため、リークによる湿度の上昇は通常的环境変化よりもはるかに顕著になります。この試験結果は、検出アルゴリズムで 10m%RH/s のスルー レート スレッシュホールドを使用できることを示していますが、特定のエンクロージャ サイズの空気量と必要な感度 (たとえば、検出する必要がある水の侵入量) に関する経験的評価に基づいて、スレッシュホールド用の設計を調整する必要があります。



図 6-1. HDC3x 製品ファミリ パッケージ オプション

7 参考資料

1. テキサス インスツルメンツ、『[HDC3x シリコン ユーザー ガイド](#)』
2. 国立気候データ センター、『[改良されたマグヌス型の飽和蒸気圧の形状近似](#)』。

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

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