

診断テスト インテリジェントガスセンサ iシリーズ

テクニカルノート

Honeywell は次世代のインテリジェント (i シリーズ) ガスセンサを新発売しました。デジタルインターフェース搭載の i シリーズは長寿命で、さまざまな診断機能を内蔵しています。

i シリーズのインテリジェント診断機能により、測定機器全体の性能を格段に向上させることができます。故障を表示し、機器の状態を監視できるため、よりスマートで、より安全に、作業中断の時間を減らすことにより、保有コストを抑えることができます。

この文書の目的は再校正時期のお知らせと交換時期のお知らせ機能、および診断テストの原理の概要を説明することです。

背景

すべてのガスセンサは時間とともにドリフトし、やがて再校正が必要になります。ドリフト量はセンサの使用環境に大きく依存します。従来、機器の開発者、フリートマネージャー、エンドユーザはそれまでの経験からセンサを再校正する頻度を判断したり、センサの使用状態が分からずセンサや機器メーカーの推奨に従ってきました。その結果、コストと時間の浪費である、必要以上の頻度での再校正が行いがちです。

インテリジェント機能

i シリーズのプラットフォームは内蔵のテスト機能を使ってセンサの状態を監視し、アルゴリズムを適用してドリフトを補償するとともに、センサ精度が既定の限界値を下回って再校正が必要になる時期を予測します。

また、センサが寿命に達する時期を予測し、交換が必要であることを事前に警告することもできます。再校正時期と交換時期の両方に、センサの使用環境に基づく予測を用いています。

診断テストの定義

再校正時期： 校正は、時間もコストも多くかかるプロセスです。この機能を使えば、精度が低下して信頼できる読み取り値が得られなくなる時期をセンサが予測できます。再校正が必要になる時期が正確に分かるのです。

センサは再校正の時期を 6 ヶ月前に予測できます。通常再校正の間隔は従来のセンサの 2 倍以上にも長くなり、また環境に応じて変わります。穏やかな環境で使用するセンサに必要な校正の間隔は、過酷な環境で使用するセンサよりも長くなります。



診断テスト

インテリジェントガスセンサ i シリーズ

センサ精度の限界値はユーザが設定可能で、この設定により校正が必要になる間隔を決められます。すなわち、精度の値が厳しいほど必要な校正の回数は増えます。

したがって、精度と再校正間隔のバランスをユーザが決められます。法規で定められた間隔での校正が必要な用途向けに、一定の間隔を設定可能な再校正カウントダウンタイマーも内蔵しています。

交換時期： センサの寿命は、主にセンサがさらされる環境条件で決まります。交換時期お知らせ機能により、センサ感度が低下して正確で信頼できる読み取り値を得られなくなる時期を事前に予測できます。

交換時期お知らせ機能がトリガされると、ガス読み取り値とともに送信される故障フラグを介して、センサは自動的に機器に警告します。故障を検知した場合、機器はセンサの使用を中止するようユーザに警告できます。

センサの設計はどのように最適化されましたか？

Honeywell の技術者はセンサ内の水分管理と電解質分布の有限要素分析を行い、電解質を適切な濃度で適切な位置に保持できる最適な設計について深い知見を得ました。

次に、気温、湿度、時間全範囲でのセンサの動作と耐性を示すため、基礎物理理論、モデリング、実験的検証の組み合わせに基づいて安全動作領域図を作成しました。



センサが実際の用途に耐えることの検証には、環境データベースを利用しました。データベースには世界中の数百箇所で2時間ごとの分解能にて10年間の気温と湿度のデータが含まれています。屋内と屋外での経過時間や充電など、センサのユースケースに関する知見を組み合わせ、センサが実際にさらされる実条件に関する入力データを用意しました。このデータをモデルに取り込んで実際の条件におけるセンサの寿命と性能の変化を予測し、またセンサの性能と寿命を最大化する設計に活用しました。

診断テスト

インテリジェントガスセンサ i シリーズ



交換時期と再校正時期のお知らせはどのように作成され、どのように機能しますか？

センサの挙動を予測できるように、時間、気温、電解質濃度などの履歴データを入力として予測モデルを構築しました。

環境条件範囲でセンサを2年以上保管して、環境性能データを作成しました。各ガス種について、8,000以上の個別ガス応答を記録しました。

この期間中センサをテストして、特定の環境におけるセンサの性能に対応する複数のデータベースを作成しました。

その結果得られた予測アルゴリズムは、電解質の濃度と環境条件の時間変化に一致します。このデータを直線回帰により外挿して、センサの校正が必要な時期やセンサの寿命が近づいた時期を正確に予測します。

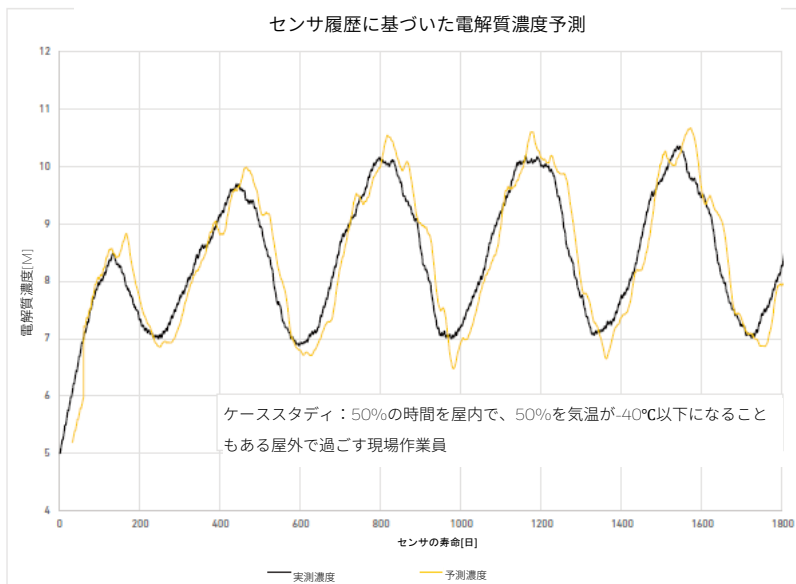
交換時期や再校正時期の予測モデルはどんな仕組み？

交換時期や再校正時期の予測用に30日という期間を定めました。この期間中、センサは環境の変化を記録します。モデルは、センサはこれに似た条件にさらされるとの想定で機能します。

たとえば、センサが極端に高温で乾燥した環境に置かれた場合、予測モデルは同じ条件が続く想定で水分蒸散量を計算し、それ以上の乾燥を防ぐため、ユーザに警告を出します。

図1に、電解質濃度と予測電解質濃度の極端な環境における変化を示します。ここでの極端な環境とは、センサへの損傷となりえる厳しい環境、つまり外気温が -40°C 以下にもなる冬季の、加湿なしで暖房中の建物内や車中です。冷たい外気中の水分含有量が非常に低いせいで相対湿度は極端に低くなります。したがって、一日の一部を屋内、一部を屋外に置かれる（典型的な「現場作業員」のユースケース）センサは、冬季に非常に乾燥するだけでなく非常に低い気温であっても機能することが期待されています。

図1. 予測アルゴリズムにより作成された再校正までの時間予測



完璧な予測（理論値）であれば黒い点線と一致します。つまり、再校正までの予測日数が実際の日数と全く同じになります。

診断テスト

インテリジェントガスセンサ i シリーズ

黒い実線は電解値濃度実測値を示しています。冬になるたびに乾燥します（高濃度）が、夏になるたびに若干回復します。黄色の線は予測濃度値を示しています。履歴相対湿度は、これより前の 30 日間の平均を計算して求めました。長期間の予測を行っているため、先になるほど精度は下がります。これは主に、先になるほど履歴環境条件と将来の条件のずれが大きくなるからです。

交換時期と再校正時期の更新頻度は？

診断テストは 24 時間おきに自動実行されます。ただし、テストはセンサがスリープモードのときしか実行されないため、センサを使用していないときは必ずスリープモードにすることを強くおすすめします（これを守らないと、交換時期と再校正時期が更新／再計算されず、正しい結果が得られなくなります）。

交換時期と再校正時期の値を更新するには、センサを 1 日あたり 2 分以上スリープモードにする必要があります。

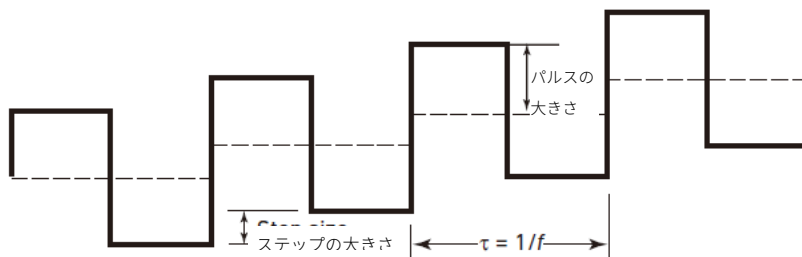
診断テストに使われている手法は何ですか？

テストでは、スマート表示ガジェットを診断電極として使用します。電極には矩形波ボルタンメトリと呼ばれる電気化学手法が適用されます。

この手法は、階段状の電位と矩形波の組み合わせを利用した線形電位掃引ボルタンメトリで、従来のサイクリックボルタンメトリや階段状ボルタンメトリよりもよいピークの値と位置が得られるという利点があります。

診断テストを実施してセンサの電解質濃度を決定します。

図 2. 診断テスト



交換時期と再校正時期のフラグはいつどのように立ちますか？

エラーや故障は、機器がセンサにガス読み取り値を要求するたびに機器に送信可能です。ガス読み取り値の形式の詳細については、ユーザマニュアルの GET_DATA_PACK コマンド (0x30) を参照してください。

- 2つのパラメータで構成される**再校正時期**アラームは、カウントダウンまたは精度しきい値のどちらか（早い方）に達したときに反応し起動します：
 - 再校正時期の予測はセンサに要求される精度によって変わります。このパラメータはユーザ設定可能です：精度値が厳しいほど、校正の頻度は増えます。
 - さらに、カウントダウンタイマーもユーザ設定可能です。センサの校正に必要な時間を反映した、指定規格や用途によって異なる期間を設定できます。

診断テスト

インテリジェントガスセンサ i シリーズ

- 同様に**交換時期**のフラグも、カウントダウンまたは予測アルゴリズム条件のいずれか（早い方）を満たすと立ちます：
 - 予測交換時期アルゴリズムは、センサ感度が初期値の 50%未満になるか、または電解質濃度が限界値を超えたり限界値未満になった場合にフラグを立てます。感度推定値は常時更新され、その計算はセンサがさらされた最低気温での測定値に基づいて行われます。
 - また、5 年カウントダウンタイマーが備えられています。センサが寿命に達すると、アラームフラグが立ちます。



交換時期と再校正時期お知らせ機能はどの程度正確ですか？

交換時期と再校正時期の予測モデルは、環境条件がほぼ一定なら非常に正確です。

これは、車の GPS システムにおけるそれまでの平均時速に基づいた ETA（到着予定時刻）と似ています。走行速度が一定なら ETA は直線的に計算され、長距離にわたって非常に正確です。しかし、加減速した場合には ETA は行程全体にわたり大きく増減します。

同様に、センサの置かれている条件が一定のままであれば、履歴条件に基づいた予測は長期にわたり非常に正確です。その結果、交換時期と再校正時期までの時間も直線的に減少します。一方、センサが過酷な環境に置かれると、予測される交換時期／再校正時期までの時間は急激に短くなるのに対し、過酷な（例えば乾燥）環境で稼働していたセンサを温和な環境に移した場合、交換時期／再校正時期までの時間は時間の経過とともに長くなります。

その他の診断テスト：

センサに発生する可能性のあるその他のエラーや故障についても、交換時期／再校正時期フラグと同様に、ガス読み取りコマンドが要求されるたびにセンサは機器に警告できます。これらのフラグを使って、エンドユーザーに必要なメンテナンスの種類を知らせることもできます。たとえば、電解質が過度の乾燥または湿潤状態にあるとセンサが警告した場合に、適切な湿度の場所に保管してセンサを回復するように機器がユーザーにアドバイスすることもできます。

次の表に、センサで発生する可能性のある障害と、対応する自動検出方法を示します。

診断テスト

インテリジェントガスセンサ i シリーズ

以下の表に、センサに発生する可能性のある故障と対応する自動検出方法を示します：

エラー内容	検出方法	内容
診断電極の故障	診断電極	内部診断電極が故障したか、または読み取り値を取得できません。必ずしもセンサが機能していないことを意味するものではなく、診断能力が低下しています
検出電極のインピーダンスが高すぎる	Reflex テスト	小さな電気パルス（Reflex テスト）を使用して、検出電極回路のインピーダンスが想定範囲外であることを確認します。考えられる原因は物理的な接触不良または電極の破損／劣化です
参照電極の故障	診断電極	参照電極の電気化学電圧を、内部で作成された基準と比較します。参照電圧が範囲外にドリフトしていれば、センサの性能が低下しているおそれがあります（反応が遅い、低感度、ベースラインずれなど）
電解質が過度に乾燥	診断電極	センサの電解質の水分が蒸発で減り過ぎています。乾燥条件での長すぎる稼働が原因です。センサ性能低下のおそれがあります
交換時期	診断電極	感度が許容範囲未満となりセンサをそれ以上使用できないか、または5年の寿命を超過しました。センサを交換してください
対極の故障	対極分極の測定	センサの対極が過負荷状態にあるか、または正しく機能していません。その結果、センサが正しい動作条件を維持できなくなり、性能が低下するおそれがあります
スパン校正期限到来	予測アルゴリズムとカウントダウンタイマー	カウントダウンタイマーによる一定間隔または予測精度が範囲外のどちらか早い方に基づく、校正期限が到来しました
バンプテスト期限到来	カウントダウンタイマー	前回のバンプテストから既定の時間が経過しました。バンプテストでは、機器を対象ガスに短時間暴露して、適切にセンサが反応しアラームが機能することを確認します
無効なユーザファクタ		ユーザファクタが未設定か、または機器が未定義のユーザファクタを選択しています。これは、その機器での使用に適さない特性のセンサを使用した場合に起こりがちです。ユーザファクタは、センサのガス濃度読み取り値を機器に合わせて補正するために使用されます
範囲外の気温	範囲外の気温（-40°C、60°C）	センサが定格動作範囲外の気温に置かれており、損傷を受けるおそれがあります。
電解質が過度に湿潤	診断電極	センサの電解質が水分を多く吸収し過ぎています。高湿条件での長すぎる稼働が原因です。性能低下のおそれがあり、また電解質の体積増加が原因でセンサの破裂や漏れが発生する危険性があります
ROM チェックが正常に完了せず	不揮発性メモリチェック	プログラムメモリにはファームウェアコードが保存されています。システム起動後、ファームウェアコード全体の LRC を計算（毎秒 32 バイト）し、計算結果を ROM に保存されている初期値と比較します。このパラメータが合致しなければ、エラーフラグが立ちます
RAM チェックが正常に完了せず	揮発性メモリチェック	揮発性メモリは、ランタイムデータメモリとして使用されるマイクロコントローラの内部 RAM です。ファームウェアでは、RAM はチェックボードアルゴリズムとして使用してテストします。テスト中、4 バイトのワードを書き出して、読み出し結果をチェックします

診断テスト

インテリジェントガスセンサ i シリーズ

製品保証/保守

当社は、保証期間中に本製品に製造上の不具合あるいは誤った素材の使用が無いことを保証します。尚、別途の書面合意がない限り、製品保証については当社の標準保証が適用となります。保証内容の詳細については、当社並びにお近くの当社代理販売店にご相談ください。保証期間中に本製品が当社に返却されるその製品に不具合があった場合、無償で修理または交換いたします、修理か交換かについては当社が判断いたします。

当社は、上記以外の補償はお受けいたしません、又ここで明示する以外の保証あるいは、本製品の特定目的合致性についても保証いたしません。当社は事情の如何にかかわらず、特別損害あるいは間接損害については責任を負いません。

当社は、資料および当社ウェブサイトを通じて、個別のアプリケーション支援の提供を行うことがありますが、各個別アプリケーションへの製品適合性の判断は購入側の責任で行ってください。

仕様は予告なく変更することがあります。本仕様書を作成した時点では正確で信頼性がある情報を記載しておりますが、その使用結果についての責任は負いません。

日本ハネウェル株式会社
セーフティ&プロダクティビティ ソリューションズ

〒105-0022 東京都港区海岸 1-16-1
ニューピア竹芝サウスタワー20 階
電話 03-6730-7152
FAX 03-6730-7224
<https://sps.honeywell.com/jp/ja>

Honeywell