



分散測定におけるリモートキャリ ブレーション検証

測定時間の最大化、セットアップとメン テナンス時間の最小化

GRAS Sound & Vibration

Application Note // By Dr Rémi Guastavino, Brian Johansen, Lars Winberg and Kim Boldt

はじめに

分散型計測セットアップには様々な形やサイズがあり、航空宇宙や自動車、環境測定、中継局モニタリング、ハイエンドオーディオファイルスピーカーのアレイテストなど、音響計測テストのあらゆるアプリケーションがあります。マイクロホンへのアクセスは簡単ですが、数十メートル（あるいは数キロメートル）離れているもの、アクセスは簡単だが危険な測定場所、測定が困難かつ危険な場所、マイクロホンに手が届かない場所など、セットアップは多岐にわたります。これらのケースに共通するのは、マイクロホンを校正し、その校正結果を定期的にチェックすることで、マイクロホンが提供するデータが良いデータであることを保証しなければならないということです。また、場合によっては、測定前に限られた時間で校正データを確認する必要があります。

このアプリケーションノートでは、校正の検証、測定基準への準拠、取得したデータの信頼性を確保するための新しい方法について説明します。SysCheck2™機能は、正確なリモート校正検証のための新しい方法であり、上記のすべてのシナリオのプロセスを改善する機能と柔軟性を提供します。

このノートでは、以下の分野を取り上げる予定です*：

- SysCheck2 とは何か？
- SysCheck2 の仕組み
- SysCheck2の機能によるセットアップ時間の短縮方法
- SysCheck2の業界別・状況別活用例

* 編集部注：SysCheck2とは何か、SysCheck2の仕組みについては、「進化するマイクロホン遠隔校正検証-生産ラインの生産性を最大化するアプリケーションノート」でも取り上げています。コンセプトと機能は同じですが、アプリケーションは異なります。生産ラインでのテストについてお知りになりたい方は、GRASacoustics.comをご覧ください。

SysCheck2 の概要

2021年12月に発表されたSysCheck2は、GRASが特許を取得した計測チェーンの完全性を検証する技術です。この検証ツールは、マイクロホン、チャンネルゲイン、ケーブルの整合性をリモートで検証することができます。検証は、トランスデューサ電子データシート

(TEDS) に対応するCCPパワーモジュールに接続されたSysCheck2対応マイクロホンと測定ソフトウェアを同時に検証することが可能です。SysCheck2対応のマイクロホンは、環境データ（温度、大気圧、湿度）もオンデマンドで提供します。

何が問題で、何が問題ではないか

従来のGRAS SysCheckやHBK® charge injection calibration (CIC) など、SysCheck2と同様のコンセプトの技術は、しばしば遠隔校正と誤解されますが、これは完全に正確なものではありません。これらは、問題のマイクロホンの周囲の状況が再校正を必要とするほど変化していない場合、ある程度の精度で確認することができます。しかし、SysCheck2は、まったく新しい世代のリモートキャリブレーション検証です。

旧来の検証技術と同様、SysCheck2は真のキャリブレーションツールではありませんが、発想と技術の進歩により、測定チェーン全体のあらゆる変化を、セットアップのマイクロホンごとに非常に正確に評価するリモートキャリブレーション検証ツールとなっています。これにより、SysCheck2は測定チェーンの状態を非常に正確に把握し、セットアップや環境の条件が十分に変化して追加の校正が必要になったかどうかを示すことができるようになりました。最初の校正は必要ですが、その後、再校正が必要となるような変化があった場合には、SysCheck2がユーザーに警告を発することができます。これにより、定期的な校正にかかる手間や危険な環境下でのトラブルが大幅に軽減されます。例えば、ピーク時に電車の線路でキャリブレーションのチェックをする場合、1分程度の間隔しかないことがあります。

SysCheck2対応のマイクロホンは、検証機能を有効にするためにデータ収集ソフトウェアが設定されるまでは、SysCheck2非対応のマイクロホン

(SysCheck2対応マイクロホンGRAS 246AE、SysCheck2非対応マイクロホンGRAS 46AEなど)と機能的に同じです。つまり、SysCheck2マイクロホンは、その精度、正確さ、信頼性において、GRAS非SysCheck2マイクロホンと同レベルのデータ品質を提供することができるのです。

SysCheck2 の動作原理

SysCheck2は、信号の生成と登録をコストのかかるハードウェアに依存しないため、リモートキャリブレーション検証ツールの次のステップとして、検証の機能要素をマイクロホン自体に保持し、システムの障害となるポイントを取り除くことができます。

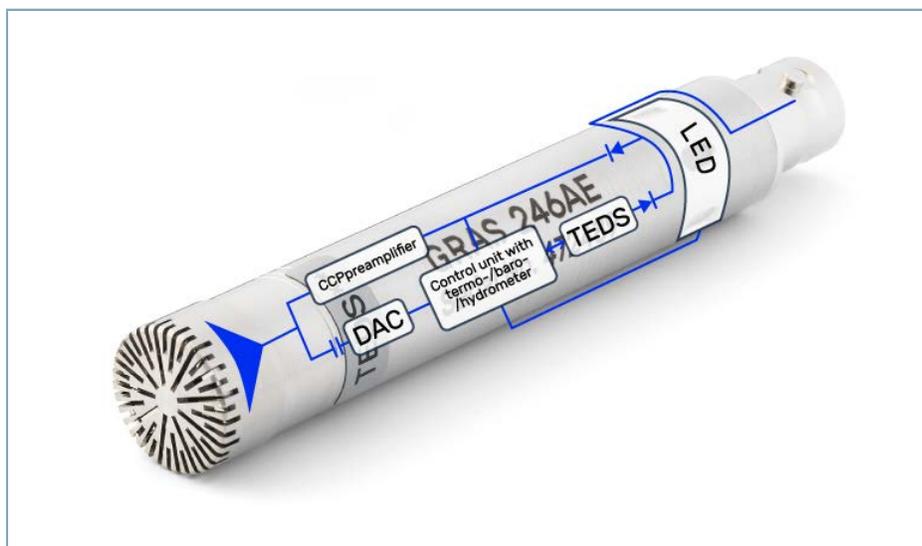


図1. SysCheck2 の内部コンポーネントの概略図。

SysCheck2は、外部信号発生器や専用のケーブルではなく、TEDSの読み書きができるCCPベースのアナライザーと連携して動作します。これによって、さまざまなセットアップに対応できます。Audio Precision®とSiemens®の両社は、箱から出してすぐに使えるプラグアンドプレイ・ソリューションを提供しています。APのAPx 500™測定ソフトウェアとGRAS 12BA、12BB、12BEパワーモジュール、Audio Precision APxシリーズアナライザ、またはCCPとTEDSの読み取り/書き込み機能を持つAudio Precision APxシリーズアナライザとの組み合わせ。シーメンスのセットアップには、シーメンスSimcenter™ Testlab™ Signature Acquisitionと12Bxまたは同様のパワーモジュール、CCPおよびTEDS読み取り/書き込み機能付きアナライザの組み合わせが必要です。

www.grasacoustics.com

また、GRASが提供するソフトウェア開発キット（SDK）、またはGRASのSDKとアプリケーションプログラミングインターフェース（API）でセットアップした後、適切なCCPベースのパワーモジュール、アナライザー、データ収集システムで、システムに応じてすべての機能を利用することが可能です。さらに、CCPベースのGRAS 12Bxパワーモジュールと適切なサウンドカードを備えたコンピュータを介して、データ収集コードのカスタム実装と直接統合するためのMATLAB®コードも用意されています。SDKのNational Instruments®（NI）デモ実装も利用可能です（要リクエスト）。

機能的なハードウェアはマイクロホン本体に内蔵されているため（図1）、それ以上の専用ハードウェアは必要ありません。さらに、SysCheck2は、近接するジェネレーターからの信号経路を保護した精密なカップリング・コンデンサーにより、テスト信号とマイクロホンのカップリングが非常に明確になっています。その結果、プリアンプや偏波電圧、伝送ケーブル内の試験信号の浮遊結合がなく、広い周波数範囲にわたって信頼性の高い試験結果を得ることができます。

中程度の周波数（例えば250Hz）で静電容量をテストすると、マイクロホンの一般的な感度を確認することができます。マイクロホンの感度は温度と静圧に依存するため、温度と静圧を考慮する必要があります。各SysCheck2マイクロホンは、独自の内部環境センサと超低消費電力のマイクロコントローラ、およびマイクロホン・プリアンプに配置された信号発生器を装備しています。この信号発生器は、測定チェーンの状態を判断するために、基準レベルの測定値と比較することができる基準信号を生成することができます。マイクロホンカプセルの静電容量、ケーブルの整合性、チャンネルゲイハの変化、またはフィルタの予期せぬ使用は、測定偏差をもたらし、測定チャンネルからの出力の変化として反映されます（詳細は、以下の「SysCheck2偏波電圧依存」のセクションで説明）。またマイクロホンの状態は、ソフトウェアのステータスインターフェースに「Go」か「No-Go」で更新されます。検出されると、問題を調査し、修正することができます。

ホイクの静電容量が変化する原因としては、以下のようなものが考えられます：

- ・ 温度変化
- ・ 偏光電圧の変化
- ・ 膜の張力の変化
- ・ マイクロホン筐体または膜の損傷

注： SysCheck2は、温度による感度変化を明らかにすることができますが、圧力や湿度の変化には影響されません。

| パラメータ | 値 | |
|---------|---|-------------------------------|
| | 精度 | レンジ* |
| 温度 | $\pm 2^{\circ}\text{C} / \pm 3.6^{\circ}\text{F}$ | 0-65°C/32-149°F |
| 圧力、静圧 | $\pm 1.5 \text{ hPa}$ | 0-65°C/32-149°F; 300-1100 hPa |
| 湿度、相対湿度 | $\pm 4\% \text{ RH}$ | 0-60°C/32-140°F; 0-100% |

表 1. 環境センサーの機能パラメータ

温度は、測定チェーン全体におけるキャパシタンスの原因の1つですが、SysCheck2ジェネレータのレベルにはほとんど影響を与えません。そのため、SysCheck2の測定は、温度変化によるものも含め、キャパシタンスの変化を正確に反映します。

SysCheck2が偏光電圧を使って状態を判断する方法

SysCheck2のチェックの精度を判断するために、偏光電圧の「ドリフト」と感度の変化をSysCheck2の実測値と比較する。マイクロホンの現場校正を行う場合、校正前の感度から $\pm 0.3\text{dB}$ の感度差は通常許容されます。マイクロホン感度の 0.3dB の変化は、SysCheck2レベルの約 0.08dB に対応します。この対応関係を図2に示します。

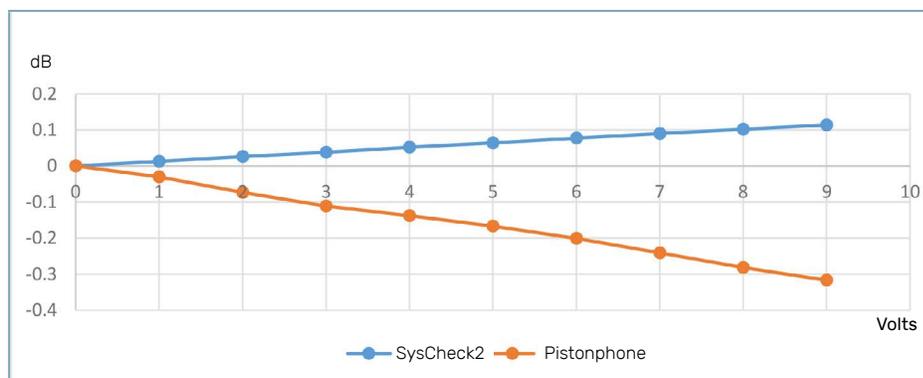


図 2. 偏波電圧の損失がマイクロホン出力に与える影響。

マイクが表示する状態は、選択したAcceptance LevelとDifference to SysCheck2 Level (DSL) によって決定される (表2)。

* 環境センサーの動作範囲は-40~85°Cですが、記載されている精度は表1の対応する範囲でのみ有効です。

| 許容レベル (dB) | DSL | |
|------------|-------------|------------|
| | Go | No-go |
| 0.3 | DSL <= 0.08 | DSL > 0.08 |
| 0.5 | DSL <= 0.13 | DSL > 0.13 |
| 0.8 | DSL <= 0.21 | DSL > 0.21 |

表2 .許容レベルパラメータ

注：マイクロホンが23℃で-25.5dBV/Paに校正されている場合、246AEマイクロホンの35℃での感度補正は $-0.01 \times (35-23) \text{ dB} = -0.12 \text{ dB}$ となり、35℃での感度は $-25.5 + (-0.12) \text{ dB V/Pa} = -25.62 \text{ dB V/Pa}$ となります。

SysCheck2の許容レベル判定に関する機能詳細

環境条件に変化がない場合、測定前後にSysCheck2 @250 Hzでチェックすれば、 $\frac{1}{2}$ "マイクロホンの感度がSysCheck2が測定したデシベルの変化の約4倍以上変化していないことを確認できます。つまり、SysCheck2の測定結果が0.05dB変化した場合、マイクロホン感度は $4 \times 0.05 \text{ dB}$ 、 $\pm 0.2 \text{ dB}$ 以内であることが期待されます。この変化は、膜の張力の変化、マイク部品の整合性の変化、電荷の変化など、異なるものに由来するため、変化の符号を決定することはできない。

温度、気圧、湿度が変化した場合、マイクロホンカプセルの感度も変化している可能性があります。当初、リファレンスのSysCheck2測定時に、温度、気圧、湿度をマイクロホンから読み取り、測定値と一緒に保存することができました。これらのパラメータを用いると、データシートに記載されているマイクロホンの環境係数を用いて測定値を補正することができます。

注：環境補正は自動的に行われません。例えば、温度補正したSysCheck2による検証では、マイクロホンが正常に動作していることが検証されますが、感度が変化している可能性があるため、マイクロホン感度を温度補正する必要があります。マイクロホンセットの環境係数は、それぞれのデータシートで確認できます。

周囲ノイズによるSysCheck2検証の妨げを避けるため、250Hzを含む帯域で測定した周囲ノイズ・レベルは、246AEでは65 dB SPL以下、246AOでは85 dB SPL以下である必要があります。

注:

- 1/3オクターブの狭帯域測定では、試験中のノイズレベル60dBに対して、通常0.2dB以下の影響となります。
- 仮にマイクロホンが-25.5 dB V/Pa @ 23 °Cに校正されている場合、246AEマイクロホンの感度補正 @ 35 °Cは $-0.01 \times (35 - 23)$ dB = -0.12 dBとなり、感度 @ 35°Cは $-25.5 + (-0.12)$ dB V/Pa = -25.62 dB V/Pa となります。

SysCheck2で検出できるもの

計測チェーンの健全性の評価において、SysCheck2は0.3 dB以上のマイクロホン感度またはチャンネルゲインの変化を検出することができます。さらに、マイクロホンは、温度、圧力、湿度などの局所的な環境条件のデータを取得します。

SysCheck2 ステータスインジケータ

ステータス1-マイクロホンと測定チェーンがゼロフォールトを示す状態を表します。システムは初期チェックから変更されておらず、測定を行うことができます。

ステータス2-測定チェーンに偏差が検出されたことを示す。測定チェーンのチェックと音響校正が必要です。

解析ソフトウェアで設定されたステータス表示に加えて、マイクロホンにはRGB LEDライトが内蔵されており、測定チェーンの健全性を視覚的に示すように設定でき、特定のマイクロホンを簡単に識別することができます。

偏差値が上がる可能性がある：

- ・ 測定チェーンで検出された不安定性に由来するもの
- ・ 高すぎるバックグラウンドノイズに起因するもの
- ・ チェック結果が許容できる不確かさの範囲外であることを示す

実施する測定に求められる期待される精度のレベルに応じて、音響校正を行うことを推奨します。

コンセプトの証明とシナリオテスト

データ収集ソフトウェアで選択した許容レベルは、No-go を返すために必要な偏差のレベルに顕著な影響を及ぼします。しきい値は、0.3、0.5、または 0.8 dB に設定できます。

さまざまなダメージの影響を検証するため、40個のマイクロホンにさまざまな過酷なテストを行い、まるで生産ラインに置かれているかのようにテストしました。

すべてのユニットで初期校正とSysCheck2によるレベル測定が行われ、保存されました。その後、すべてのマイクロホンにストレスが加えられ、実験用マイクロホンとしては通常考えられないほどの酷使が行われました。その内容は以下の通りです。

- ・ 床への落下（機械的衝撃ストレス）
- ・ マイクロホンの過熱状態（仕様外の非常に高い熱（180℃、60分）、電気部品に非常に不適切な状態）を与えること
- ・ ダイヤフラムを指で触ること
- ・ ピンホールドットでダイヤフラムを貫通させる
- ・ ダイヤフラムをカミソリの刃（フランジ）で切る

また、生産ラインで実際に発生するような汚れや水分がダイヤフラムに付着した場合のSysCheck2の挙動も測定しています。

図3は、その結果をグラフにしたものである。SysCheck2のレベル変化とマイクロホンの感度変化には直線的な相関があることがわかります。しかし、この相関は、誤差の種類によって影響を受けます。重要なのは、偏極電圧の損失（最も一般的で、プリポライズド・マイクロホンの過酷な環境で発生しうる誤差の原因）が、理想的な許容レベル-DSL交線（図3）とよく相関しており、SysCheck2の検証において非常に有用であることがわかります。

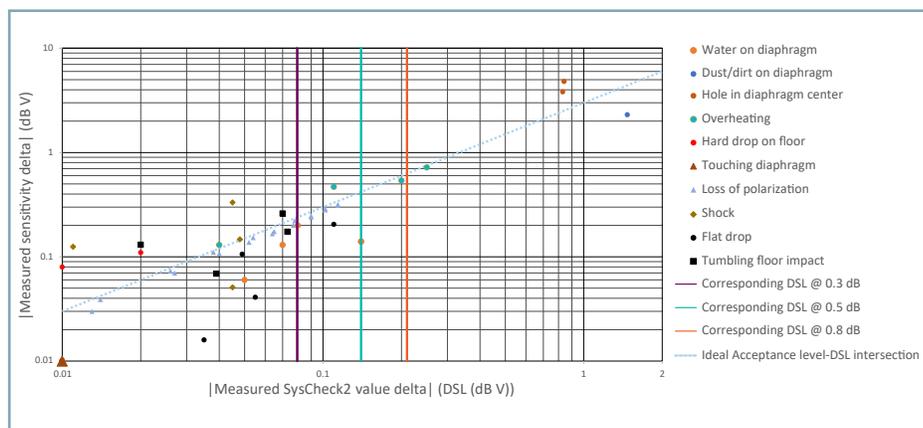


図 3.

設定したアクセプタンスレベルに対する感度の偏差と、マイクロホンの状態を判断するSysCheck2 DSLとの関係を示すグラフ。該当するDSLの左側の結果は、対応する許容レベルに対してGoとみなされる。

航空宇宙計測シナリオへの挑戦

次のシナリオで説明する一般的な手順です

1. 通常通り、測定設定とマイクの接続を行います
2. 測定基準信号を設定します
3. 測定に先立ち(規格で定められた時間内)、SysCheck2 チェックを行い、初期の基準信号と現在の信号を比較し、補正可能な環境データを取得します
4. データ収集ソフトウェアに、設定に応じたステータスが表示されます
5. 測定します

航空宇宙産業における校正の課題は、他の産業と多くの特徴を共有していますが、独自の音響測定の問題もあります。多くの場合、DUTはより大きな構造物であり、環境への影響を評価するために地理的にでもセンサを大幅に分離したり、DUTの騒音源を特定するために多くのチャンネルを持つ大型マイクロホンアレイで構成したりする必要があります。

試験の多くは屋外で行われ、温度やその他の環境パラメータが一日のうちで、あるいは天候の変化に基づいて変化することがあります。このため、多くの場合、測定前に短い時間での校正が必要であること、環境条件がわかっていることが重要です。試験は時間と資源を要する作業であるため、航空機がフライオーバーを行うときやジェットエンジンが稼働しているときに測定システムを稼働できる状態にしておく必要があります。測定に間に合わないという選択肢はありません。

航空宇宙産業では、品質に妥協することは許されず、すべての測定の整合性と精度が最も重要視されます。そのため、フロントエンド、（長い）ケーブル、センサーで構成されるテストセットアップを検証し、データの整合性を確認することが重要です。

従来、マイクロホンの検証にはキャリブレータを使用し、個々のマイクロホンに1000 Hzの基準信号を物理的に印加していました。これには時間がかかり、またシステムの性能は環境条件によって若干異なる可能性があるため、試験時の全体的な性能についての見識は限られたものになります。そのため、多くの場合、バックグラウンドノイズを測定し、そのデータがもっともらしいと思われたら、テストを開始することになります。長いケーブルやリモートセンサーを含むシステムの設置や検証は、通常、試験そのものよりかはるかに時間がかかります。

SysCheck2対応マイクロホンは、シナリオを変え、時間を節約し、正確なデータを確保することができます。

SysCheck2マイクロホンを使用してフライオーバーからデータを取得すると、テストチームは通常通り測定の準備を行い、要件に従って各マイクロホンを配置し、初期校正を実行します。これが完了すると、オペレータは1回のクリックで、現場に存在するすべてのマイクロホンに対して同時にリファレンスチェックを設定することができます。各マイクロホンの測定値は、リファレンス値としてマイクロホンのTEDSに保存されます。フライオーバーまであと30分となったところで、オペレーターはもう1クリックで計測チェーンを検証し、再び校正データと環境データを保存します。最初の校正から気温が下がっていたが、環境データは後処理時の補正に利用することができる。

航空宇宙産業のような要求の厳しい用途で分散測定を行う場合、従来のマイクロホンと比較して、SysCheck2対応マイクロホンを使用するメリットは多くあります。

- ・ インストールと検証時間の短縮
- ・ 試験前に校正検証データを保存
- ・ 各テスト前の環境データの保存
- ・ どのチャンネルでも誤動作を迅速に特定可能
- ・ 後処理での環境補正の可能性
- ・ より信頼性の高い測定データ

危険な測定シナリオへの挑戦

以下のシナリオで説明する一般的な手順です

1. 通常通り、測定器とマイクロホンの接続を行います
2. 測定基準信号を設定します
3. モニターします
4. 期的にSysCheck2チェックを実行し、初期の基準信号と現在の信号を比較し、補正の可能性のある環境データを取得します
5. データ収集ソフトウェアに、設定に応じたステータスが表示されます
6. モニタリングを継続します

実際の現場では、高速鉄道や通勤電車のレール沿い、ビルの外壁、橋梁の監視、高速回転する機械の近くなどにマイクロホンが設置されます。測定者の健康を第一に考え、また橋の柱に登ることは現実的でないため、たとえ過酷な環境下であっても、これらのマイクロホンの位置を何度も検証することは問題である。

従来、これらのマイクロホンの校正や環境データを検証するためには、保護具の追加や、オペレータの安全を確保するために列車や通勤、機械の運転スケジュールの遅延の可能性など、特別な安全要件が必要とされてきました。また、校正場所への移動にかかる時間も考慮し、必要な校正スケジュールに組み込まなければなりません。

SysCheck2対応のマイクロホンは、危険で困難な場所にある測定用マイクロホンを検証する際に生じる落とし穴を回避することができます。

吊り橋のケーブルに設置されたマイクロホンをSysCheck2対応マイクロホンの検証し、計測用マイクロホンの初期配置と校正を行うセットアップチーム。モニタリング・ハブに戻ると、オペレーターはSysCheck2マイクロホンを使用した計測チェーン全体の完全な同時リモート検証を行うことができます。定期的に設定された間隔で、オペレーターは机を離れることなく、最初の基準チェックに対する測定チェーンを検証することができます。

さらに、SysCheck2対応マイクロホンは、環境データ（温度、気圧、相対湿度）をオンデマンドで提供します。マイクロホンの正確な位置でこのデータにアクセスすることで、必要に応じてマイクロホンの感度を補正することができます。

校正が現実的でない、あるいは危険な測定にSysCheck2対応マイクロホンを使用するメリットはたくさんあります。

- 各試験の前後に測定チェーンの健全性をリモートで検証
- 全チャンネルの同時検証
- マイクロホンの正確な位置で取得された環境データの読み取りと保存が可能
- ポスト処理時の正確な環境補正を可能
- マイクロホンプリアンプ本体のRGB LEDにより、マイクロホンの位置を簡単に視覚的に確認可能

まとめ

校正は音響測定の手順において重要な手順の一つです。校正は時間がかかり、訓練を受けた技術者でなければ行うことができませんが、校正は避けることができません。さらに、危険な環境での校正は、校正技術者にさらに必要なスキルセットとニーズが加わります。

これまでのリモート検証ツールは、測定システムの再校正が必要なタイミングを効果的に検出できるほど正確ではありませんでした。唯一の選択肢は、時間的制約のある測定シナリオではより多くの人手によるコストをかけるか、時間的制約のない状況ではより時間をかけるか、あるいは「十分に頻繁に」校正を行い、危険な可能性や時間のかかる校正との最適なバランスを見出すか、といったところでした。SysCheck2検証の精度は、逸脱した測定チェーンに素早くフラグを立てることができ、訓練を受けていないオペレータでも測定手順の一部として実行することが可能です。これにより、必要な人員や校正にかかる時間を最小限に抑え、さらに重要なこととして、オペレーターが被るリスクを低減することができます。



お問い合わせ先
丸文株式会社
E-mail: gras@marubun.co.jp
〒103-8577
東京都中央区日本橋大伝馬町8-1
システム事業本部 営業第2部 計測機器第1課
TEL: 03-3639-9881

中部支社
〒450-0003
愛知県名古屋市中村区名駅南1-17-23
システム事業本部 営業第2部 計測機器第2課
TEL: 052-563-1181

www.grasacoustics.com