

リーク検出システムの工場受入試験で注意すべきポイント

工場受入チェックリスト

工場受入試験 (FAT) は、品質保証プロセスの一環としてメーカーの施設で実施される試験であり、機械、システム、または装置が、お客様への出荷前に徹底的に検証されます。

主な目的は、対象機器が発注書または契約書に記載された仕様、性能基準、および顧客要件をすべて満たしていることを検証することです。

工場受入試験には通常、機能試験および性能試験、文書レビュー、安全確認、ならびに関連規格への適合性の検証が含まれます。

明確な受入基準の定義

- ✓ 要求される機能、精度、再現性、および適用規格に基づき、詳細な受入基準を設定する。
- ✓ 測定不確かさ、校正基準、および使用環境に関連する条件を含める。

詳細な試験計画の作成

- ✓ 測定試験、試験手順、および期待される結果を明確にした包括的な試験計画を作成する。
- ✓ 実際の運用条件を再現した機能試験を実施し、測定システムの精度および信頼性を検証する。

校正と文書管理

- ✓ 工場受入試験で使用するすべての測定機器が適切に校正され、有効な校正期間内にあることを確認する。
- ✓ すべての校正証明書を文書化し、国内または国際規格へのトレーサビリティを確保する。



リーク検出システムを導入初日から確実に稼働させるためには、適切な工場受入試験が不可欠です。精度や再現性、実際の運用条件下での適合性を事前に確認することで、構造化された工場受入試験は、コストのかかるトラブルを未然に防ぎます。

本ガイドでは、品質の確保、リスクの最小化、そして設置前にシステムを安心して承認するために役立つ重要なチェックポイントをご紹介します。

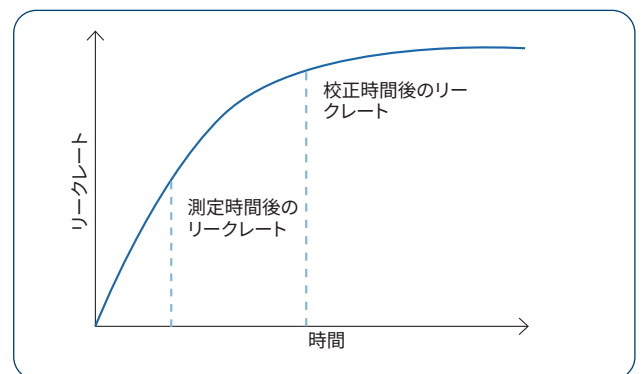
品質管理に用いられるリーク検出システムの工場受入試験 (FAT) では、出荷前に性能、精度、および規格適合性を確実に満たしていることを確認するため、いくつかの重要なポイントがあります。特に次の3点が重要です。

適切な校正の確保

リーク検出システムの校正は、実際の測定時と同一条件で実施する必要があります。特に以下の点に注意してください。

→ 校正時には、実測時と同じ測定時間を使用する

自動リーク試験システムでは、サイクルタイムの短縮とスループットの向上を目的として、リークディテクターの信号が上昇している途中の早い段階で測定が行われます。測定時間が異なると、校正係数も変化します。校正時により長い測定時間を使用すると、リークレートが実際より大きく表示され、システムの感度が過大評価されるおそれがあります。



➔ **トレーサーガス濃度は、通常の試験運転時と同一条件で校正を実施する**

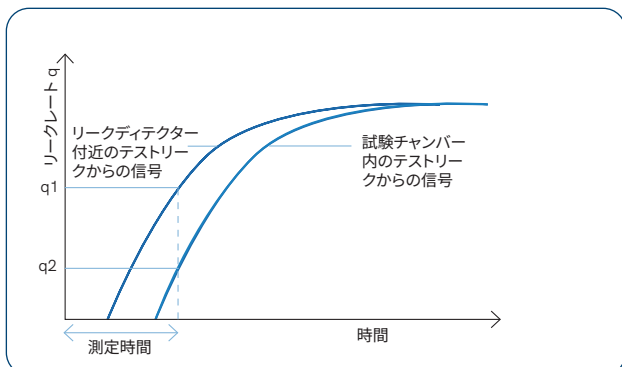
校正を100%ヘリウムで実施し、その後システムをより低いヘリウム濃度で運用する場合、小さなリークを見逃すおそれがあります。また、校正リークに100%トレーサーガスを充填している一方で、試験対象部品により低い濃度が使用されている場合は、校正リークレートに補正係数を適用することが可能です。

➔ **校正用テストリークを試験チャンバーに設置する**

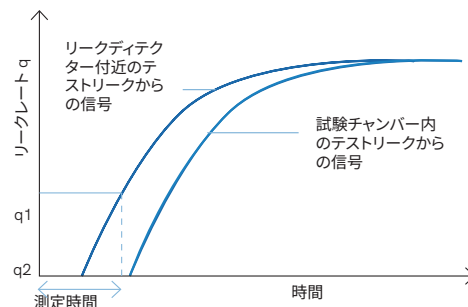


試験チャンバーに接続された校正済みリーク

テストリークの設置位置は、ガス流路の長さの違いによって応答時間が変わるため、校正結果に影響を与えます。リークディテクター入口付近（または内部リーク）に設置されたテストリークは、同一条件下では、試験チャンバーに設置されたものよりも大きなリークレートを示します。



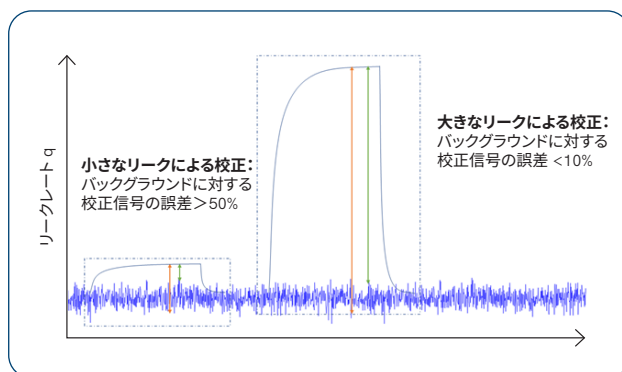
最悪の場合、リークディテクター付近のリークは検出される一方で、試験チャンバー側のリークは、設定された測定時間内ではまったく検出されない可能性があります。



また、リークディテクター内蔵の内部リークを使用する場合には、別のリスクもあります。試験チャンバーには排気時間を短縮するために大容量のポンプが設置されることがあり、その場合、チャンバーからリークディテクターへは一部の流量のみが導かれます。その結果、運転時にはリークから漏れ出したガスの一部しかリークディテクターに到達しない一方で、校正時にはリーク全量が使用されることになります。

➔ **校正は、バックグラウンドより少なくとも1桁高いテストリークで実施する**

安定した校正を行うため、バックグラウンドより少なくとも1桁高いリークレートで校正することが推奨されます。これにより、リークディテクターはバックグラウンド信号とテストリーク信号を明確に区別できます。その結果、バックグラウンドの変動が校正信号に与える影響を最小限に抑えることができます。また、より大きな校正リークを使用することで、校正精度の向上にもつながります。特に微小リークの検出では、校正に使用するリークレートはリジェクトリークレートよりも大きく設定する必要があります。



➔ **文書管理とトレーサビリティを確保する**

リーク標準には校正証明書が付属し、リークレート、測定不確かさ、および国家標準へのトレーサビリティが記載されています。校正証明書の有効期限は通常1年で、期限を過ぎた場合は再認証が必要です。有効な校正証明を有していないリーク標準は校正には使用できず、規格適合性を損なうおそれがあります。

適切な検出性能の検証

→ リジェクトリークレートに対応した最小検出リークレートを検証する

受入基準を満たしていることを確認するため、リジェクトリークレートに一致するテストリーク(校正リークとは別のもの)を使用します。検証は、試験チャンバーにリークを設置する方法、または同一のリジェクトリークレートを有するダミー部品を使用する方法で実施できます。試験チャンバーに検証用リークを設置する場合は、リークディテクターから最も離れた位置に設置してください。



ネジ込み式リークのラインアップ - リジェクトリークレートに合わせたカスタマイズが可能

通常運転時と同じ条件(測定時間、トレーサーガス濃度)を使用し、検証用リークが正しく検出されることを確認します。ネジ込み式リークを使用する場合は、充填圧力が通常の運転圧力と一致していることを確認してください。

→ 統計解析により十分な再現性を確保する

測定システム解析(MSA)は、測定システムの精度、一貫性、および信頼性を評価するための統計的手法です。測定機器、手順、作業員、環境要因などに起因するばらつきを特定し、品質管理において信頼性の高い測定が行われていることを確認します。

ゲージR&R(繰り返し性および再現性)

ゲージR&Rは、測定のばらつきのうち、設備によるもの(繰り返し性)と作業員によるもの(再現性)がそれぞれどの程度を占めるかを評価する指標です。これにより、測定誤差が全体のばらつきに占める割合を把握し、測定システムが品質管理に適しているかどうかを判断できます。一般的に、ゲージR&Rが30%未満であれば許容範囲、10%未満であれば非常に良好とされます。

リーク検出におけるゲージR&R評価では、10個の試験対象を3人の作業員が繰り返し測定することで、測定のばらつきを評価します。試験対象が安定したリークレートを得られない場合(例:液体電解質を含むバッテリーセルなど)は、認証されたテストリークを代替として使用できます。試験対象は、リーク判定基準に近いリークレートを有するものを選定する必要があります。リークレートが複数桁にわたって大きく異なる試験対象を使用すると、絶対誤差や相対誤差の影響により、結果を誤って解釈するおそれがあります。

工程および測定システムの能力指数

ゲージ能力指数(C_g)は、測定システムの能力を評価する指標です。一般に、 C_g が1.33以上であれば、測定精度が十分なゲージであると判断されます。本指数は、次式により算出されます。

$$C_g = \frac{0.2 \cdot T}{6\sigma}$$

ここで、 T は公差(許容される変動範囲)、 σ は標準偏差を示します。関連指標である C_{gk} は、測定システムのバイアス(正確さ)を考慮したものであり、より包括的な能力評価を可能にします。

$$C_{gk} = \frac{0.1 \cdot T - |\bar{x}_g - x_m|}{3\sigma}$$

ここで、 \bar{x}_g は測定平均値、 x_m はテストリークの値を示します。測定システムが十分な能力を有すると判断するためには、 C_g および C_{gk} いずれも1.33以上である必要があります。詳細については、関連資料を参照してください。

→ ドリフトを評価し、再校正頻度を検証する(長期的な再現性)

測定システム解析により短期的な再現性を評価するための有効な指標が得られますが、長期的な再現性の評価も重要です。リーク検出システムの信号に時間の経過とともにドリフトが生じる場合、短期的な再現性が良好であっても、1シフトの運用期間内で大きな誤差が生じる可能性があります。

システムの評価にあたっては、少なくとも1シフト、可能であれば1~2日間にわたり性能を確認し、既知のリークレートを一定の間隔(例:2時間ごと)で測定することが重要です。検出されたドリフト量に基づいて、リーク検出システムの再校正頻度を決定します。再校正の頻度が低いシステムほど、扱いやすく、信頼性の高い運用が可能です。

→ グロスリーク発生後の回復性を確保する

グロスリークが検出されると、システムのバックグラウンドが上昇し、その後のリーク試験サイクルにおいて検出能力が低下する可能性があります。多くの場合、トレーサーガスを充填する前に、圧力降下法によるグロスリーク試験が実施されます。

試験システムの挙動を評価するためには、グロスリーク事前試験の検出限界に相当するグロスリーク(最悪条件を想定)をシステムに適用し、その後に検証用リークを測定して、グロスリーク発生後でもリークが確実に検出されることを確認してください。

準備は万全ですか？



適切な校正の確保

- 校正時には、実測時と同じ測定時間を使用する
- トレーサーガス濃度は、通常の試験運転時と同一条件で校正を実施する
- 校正用テストリークを試験チャンバーに設置する
- 校正は、バックグラウンドより少なくとも1桁高いテストリークで実施する
- 文書管理とトレーサビリティを確保する

適切な検出性能の検証

- リジェクトリークレートに対応した最小検出リークレートを検証する
- 統計解析により十分な再現性を確保する
- ドリフトを評価し、再校正頻度を検証する（長期的な再現性）
- グロスリーク発生後の回復性を確保する