

ガス漏れ検知

プロフェッショナル・ガイド

目次

ページ

1. 赤外線によるガス漏れの可視化	4
2. 中波長域を利用したガス検知用カメラ	6
3. 長波長域を利用したガス検知用カメラ	12
4. アプリケーション例	18
5. ガス検知用カメラ - なぜ違う？	24
6. ガス検知を最大化する方法	34
7. 安全性について	38

はじめに

赤外線カメラは何十年にもわたりの産業界におけるメンテナンス作業に革命を起こしてきました。まさに、電気的および機械的な隠れた問題を発生前に検知するのに最も優れた技術と言えます。明らかな利点として、大幅なコスト削減、作業員の安全性アップ、製品・製造過程の品質向上などがあげられます。

赤外線カメラはまた環境への負担削減に重要な役割を果たします。特に、建物の断熱材不足の検出や、環境に害を及ぼすガスの漏れの検知などは地球温暖化の防止に効果的な手段として広く使われています。

ガス漏れは環境を汚染するだけでなく、企業に多額の損害を与えます。これを背景に2007年、環境への被害が二酸化炭素(CO₂)の24,000倍あるSF₆(六フッ化硫黄)を検知可能な赤外線カメラがフリーシステムズによって開発されました。



1. 赤外線によるガス漏れ可視化

ほとんどの化合物やガスは肉眼で見ることができません。しかしながら、多くの企業が製造過程の前後および最中にこれらの物質を扱っています。企業がどのように、またどの頻度で揮発性ガス化合物の漏れを追跡、文書化、修正するかに関しては厳しい規制があります。

ガスの漏れは従来、対象物に近づき嗅覚性探知器を使って検知していました。しかしこの方法では時間がかかる上、検知ミスが発生するリスクがありました。また検査員を目に見えない危険な化学物質にさらしたり、風やその他の天候要因が不正確な測定結果をもたらしたりする可能性もあります。さらには、事前に特定された箇所しか検査できない、また検査員の近辺の結果しか得られないという問題点がありました。

フリーシステムズのガス検知用カメラは、小さなガス漏れを物理学的に反転させて可視化します。カメラは対象箇所の全体像を写しだし、漏れをカメラのビューファインダーまたはスクリーン上に煙のように表示します。画像はリアルタイムで見ることができただけでなく、記録、保存も簡単にできます。

今日、ビジネスの成功は安全性、効率性、収益性にかかっています。メンテナンス作業を行う上でもっとも大切なのは、作業員がプラントの状況を最大限に把握していることです。そこで赤外線カメラは、問題の原因追跡に非常に重要なツールとなります。

下記はIRカメラのアプリケーション例です。これ以外のアプリケーションも十分に考えられます。

大幅な効率アップ

調査の結果、漏れの84パーセントはプラントの1パーセント以下から発生するということが分かりました。これは、高価で時間を必要とする検査ツールの99パーセントが、安全で漏れのない化合物の検査に使われているということを意味しています。

ガス検知用カメラを使うと、全体像が見え、検査の必要ない箇所を即座に除外することができます。つまり、時間と従業員の口スを大幅に削減することができるのです。

また、検査中にシステムを停止する必要がなく、遠距離から迅速に測定ができ、早い段階で問題の洗い出しができます。赤外線カメラを使うと、1時間に100以上の物体を検査することができます。

安全な検査

ガス検知用カメラは迅速かつ非接触の測定ツールで、アクセスしにくい場所も検査することができます。少量の漏れは数メートル、大量の漏れは何百メートルも離れた距離から検知できます。また、走行中のタンク車からも漏れを検知できるため、検査官およびプラント全体の安全性が大幅にアップします。

環境保護

一時的なガス漏れは地球温暖化を引き起こすだけでなく、罰金や損害などに多額のコストがかかり、作業員や近隣に住む人々の命にかかわる危険を及ぼします。フリーシステムズのガス用検知カメラは、温室効果ガスのSF₆(六フッ化硫黄)をはじめとする多くの揮発性有機化合物を検知し、環境の改善に貢献します。



2. 中波長域を利用したガス検知用カメラ

使用可能な産業

中波長域を利用したガス検知用カメラは、特に次の産業に適しています。



石油精錬所 精錬所には主に分離と変換という二つのプロセスがあります。分離のプロセスは燃料として販売できるよう、あるいはそれ以降のプロセスに利用できるよう、原油を留分に分離するプロセスです。変換のプロセスは、完成油にまぜられるよう、分子を変換するプロセスです。中波長域を利用したガス検知用カメラは、石油精錬所におけるほとんどの軽質留分と中間留分によく反応します。カメラはガスからケロシンまで原油の留分を検出できるのです。



石油化学工場 石油精錬所では通常行われない変換や分離のプロセスを通し、石油精錬プロセスの原料を使って炭化水素を作る産業。中波長域を利用したガス検知用カメラは、この産業で使用または生産される化学物質のほとんどを可視化します。



化学工場 原料から非炭化水素または無機化学物質を生産する産業。これらの物質は純度の非常に高い製品を作る過程で発生します。中波長域を利用したガス検知用カメラは、この産業で見られる化学物質によく反応します。



発電所 電力を生産、分配する産業。ガス火力発電所は天然ガスを燃料として使うことが多いため、この産業の漏れ検知には中波長域を利用したカメラが大変適しています。



天然ガス 天然ガスを生産、保存、配送、分配する産業。天然ガスの主な成分であるメタンとエタンは、どちらも中波長域を利用したカメラで検知することができます。カメラは、ガス生産からエンドユーザーへの分配ネットワークまですべての過程における漏れ検知に使用できます。



サービス・プロバイダ 多くの企業が漏れ検知と修理（LDAR）サービスを外注するようになってきています。現在非画像のガス検知法を使っているLDARサービス・プロバイダは、ガス検知用カメラを使うことにより、生産性およびガス検知能力が劇的に改善されることがわかるでしょう。



規制（公的機関） 多くの国では産業内の規制より政府機関による規制のほうが一般的となっています。これらの機関はガス検知用カメラを使用することにより、企業の規制遵守およびガス排出削減を監視することができます。

アプリケーション

漏れの場所

ガス漏れ検知用カメラは石油化学工場のさまざまな場所に使うことができますが、主に漏れが発生する場所は下記のとおりです。

フランジ	バルブ軸
プラグやキャップ	機械装置
カップリング	ポンプのシール
穴	パッシングバルブ
排水管の蓋	機器の接続部



レベルフロートスイッチ

複雑な石油化学施設では何千もの漏れの経路が考えられます。実際に漏れが発生する箇所もあれば、そうでない箇所もあります。ガス検知用カメラを使うと、ユーザーは短時間で長距離から漏れの原因を検知することができます。VOCメーター(スニファ)など従来の漏れ検知法では、オペレーターが漏れの可能性がある場所に直接行って検査しなければならなかったため、対象物へのアクセスが不可欠でした。この方法ではガス検知用カメラに比べ、時間とコストが大幅にかかることが明らかです。

断熱材下腐食(CUI: Corrosion Under Insulation)

ガス漏れは予期しない場所に起こることもあります。断熱材のある機器は、外側が被覆材できちんと覆われていないと、水が入ってくる場合があります。機器の温度によっては水が温まり、見えないところで断熱材の腐食が発生します。そして機器の骨組みが急速に腐食し、漏れが発生します。ガス検知用カメラを用いると、このような漏れを場合によっては数百メートル離れた場所から検知することができます。

プラント起動時の安全性向上

検査を行う理由は工場によって、また時によって異なります。ほとんどの石油化学施設では、揮発性物質(VOC)の排出を削減するために漏れの検知が義務づけられています。こういった理由からこの業界では中波長域を利用したカメラが広く使われていますが、これ以外の利点もあります。工場が意図的にシャットダウンされた場合や、予期なくシャットダウンしてしまった場合、カメラは再起動時の漏れ検知に大変効果的です。シャットダウンおよび起動に伴う熱サイクルが原因でそれまで漏れのなかった機器に漏れが発生したり、メンテナンス作業により化合物から漏れが発生したりすることがあります。プラントのオペレーションサイクルにおけるこの大事なフェーズでガス検知用カメラを用い漏れ検知を行えば、オーナーは安全で漏れのない起動を実現できます。

生産性の低下

どんなに少量であってもプロセス用機器から漏れが発生すると、環境に害が及ぶだけでなく、生産性の低下につながります。これまで何年もの間、アクセスおよび検査が難しかった場所からごく少量の漏れが発生していたかもしれません。これを合計すると多額の損失になります。加工プラントを頻繁に検査すれば、漏れを削減し、利益を最大化できます。

不正確な故障箇所

メンテナンス作業のために機械が必要なくシャットダウンされることがあります。以前VOCメータで漏れが検知されたにもかかわらず、カメラをつかってみると実際は漏れが違う場所から発生していたということがあります。つまり、多額の費用がかかるシャットダウンがすべて無駄だったということです。カメラを使うとリアルタイムで漏れを表示でき、正確な場所を特定することができます。

規制(公的機関)

石油化学工場のオーナーは、規制、法律、外部の監査を理由に、揮発性有機化合物(VOC)排出の監視、報告、削減に取り組んでいます。自発的な漏れの修正による排出削減を会社に任す国もあれば、罰金や罰金警告をインセンティブとして用いる国もあります。(注意：国によって褒章と罰の制度は異なります。)

アメリカ合衆国では、観光保護庁(EPA:Environmental Protection Agency)がLDAR(漏れ検知と修理)プログラムに則り、企業にMethod 21(米



プロセス用炉の赤外線イメージ

国：EPA)プロセスの遵守を義務づけています。アメリカ以外ではこの方法は一般的ではありませんが、それぞれの規制者が認定する方法で漏れ検知が義務付けられています。Method 21(米国：EPA)では、ガス検知用カメラの使用が検査業務の実施代替えとして許可されており、EUでも適した方法として受け入れられてきて

います。EUではCONCAWEなどの機関がガス検知用カメラのパフォーマンスを精査した結果、従来のVOCメータやスニファ法に取って代わる方法として受け入れられています。

測定波長と検知可能なガス

中波長域を利用したガス検知用カメラの測定波長は3-5 μm で、冷却フィルタを使うと約3.3 μm になります。したがってこのタイプのカメラは石油化学産業で見られるガスに最も優れた反応を示すということになります。カメラはさまざまなガスを検知できますが、研究機関にて検証済みの物質は下記の19種類になります。

ベンゼン
ブタンガス
エタン
エチルベンゼン
エチレン
ヘプタン
ヘキサン
イソプレン
メチルエチルケトン
メタン
メタノール
メチルイソブチルケトン
オクタン
ペンタン
ペンタン
プロパン
プロピレン
トルエン
キシレン



圧力計からの漏れ

結論

ガス検知用カメラの技術は、石油化学産業において幅広い使用方法があり、そのすべてがプラントの利益となります。また、Method 21 (米国：EPA)の業務実行の代替え案として受け入れられており、従来のVOCメータやスニファ法と比べ時間およびコスト的な利点も明らかです。カメラはある程度環境条件に制限されますが、遠距離から漏れを検知でき、漏れの経路全体へのアクセスが必要でないため、検査のコスト削減につながることが証明されています。

3. 長波長域を利用した ガス検知用カメラ漏れ可視化

使用可能な産業

長波長域を利用したガス検知用カメラは、下記の産業に適しています。



電力業界 高圧電力の配電、分電に使われる機器の多くはSF₆(六フッ化硫黄)を絶縁ガスとして使用します。機器はこのガスのおかげでよりコンパクトになり、変電所内の要素から保護されます。長波長域を利用したガス検知用カメラはSF₆(六フッ化硫黄)に非常に敏感に反応します。



石油化学工場 石油精錬所では通常行われない変換や分離のプロセスを通し、石油精錬プロセスの原材料を使って炭化水素を作る産業。これらの工場で使用あるいは生産される化学物質には、長波長域を利用したガス検知用カメラを使って可視化できるものがあります。



化学工場 原料から非炭化水素または無機化学物質を生産する産業。これらの物質は純度の非常に高い製品を作る過程で発生します。長波長域を利用したガス検知用カメラは、この産業で見られる化学物質によく反応します。



サービス・プロバイダ 多くの企業が漏れ検知と修理(LDAR)サービスを外注するようになってきています。現在非画像のガス検知法を使っているLDARサービス・プロバイダは、ガス検知用カメラを使うことにより、生産性およびガス検知能力が劇的に改善されることがわかるでしょう。

アプリケーション

SF₆(六フッ化硫黄)の検知

現在のところ、長波長域を利用したガス検知カメラの主なマーケットは、配電産業におけるSF₆(六フッ化硫黄)の検知です。SF₆(六フッ化硫黄)は配電産業の高電圧開閉装置や変圧器に絶縁ガスとして幅広く使われています。このガスは地球温暖化係数(GWP)23,900、大気寿命3,200年の温室効果ガスです。つまり、大気中に1kgのSF₆(六フッ化硫黄)が排出されると、23.9トンの二酸化炭素(CO₂)の排出と同じ影響があるということになります。たとえば、1年に1トンのSF₆(六フッ化硫黄)を余分に購入している企業は、漏れという形で1トンを出しています。これは、23,900トンの二酸化炭素と同等になります。この量の二酸化炭素を排出するには、一般車を2億3900万キロ走らせなければなりません。これは、月までの距離を311往復するか、赤道を5964週するのと同じことです。反対に、ガス検知用カメラで漏れを検知、修正することによってSF₆(六フッ化硫黄)の排出を削減している企業は、11,950台の一般車を路上から排除するのと同じだけ環境に貢献します。



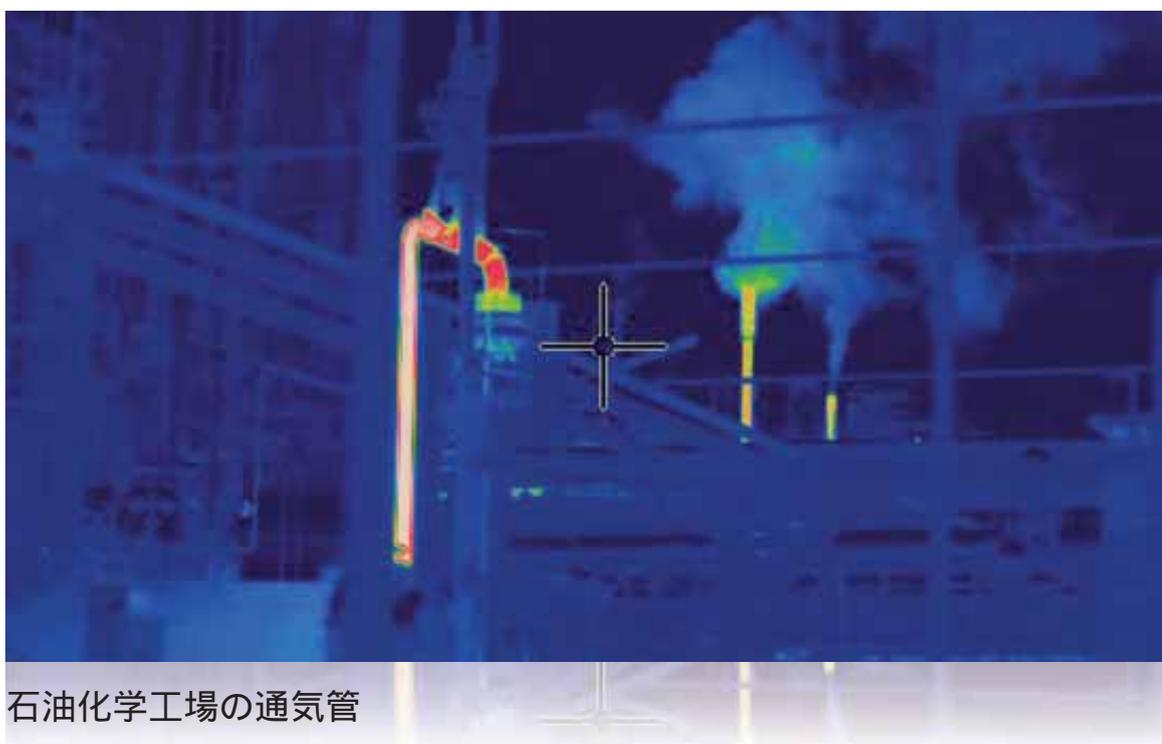
変電所における
SF₆(六フッ化硫黄)で満たされた機器の例

配電機器で見られる漏れ経路は加工産業ほど数が多くありません。最も一般的なのは、フランジ、ブッシング、バースティングディスクとバルブ軸です。漏れは据え付け上のミスやメンテナンス作業、シール部の老化などが原因で起こります。

長波長域を利用したガス検知用カメラは、ごく少量の漏れを検知するのに大変効果的であることが分かっています。開閉装置や変圧器では比較的低压が使われるため、ごく少量の漏れが発生します。また、機器の動作温度も通常は周囲空気に近い温度となっています。その結果、漏れとバックグラウンドとの熱コントラストが低くなります。にもかかわらず、カメラは1年に0.25Kgという少量の漏れを検知でき、屋内外の変電所で成功を収めています。中波長域を利用したカメラと同様、長波長域を利用したカメラは長距離からでも効果的であるため、漏れ経路全体へのアクセスが必要なく、機器の稼動時でも漏れの検知を行うことができます。

化学工場

この産業における長波長域を利用したガス検知用カメラの使用法は、石油化学産業における中波長域を利用したガス検知用カメラの使用法に非常に似ていますが、検査の理由が多少異なります。石油化学産業における漏れ検知調査の主な理由は環境保護、生産性低下の防止、可燃性の漏れ防止です。これらの理由は化学工場にも当てはまりますが、長波長域を利用したガス検知用カメラで可視化できる化合物は通常もっと有毒です。したがって、漏れ検知調査を行う理由に従業員の保護が加わります。



冷媒ガス

長波長域を利用したカメラは、冷媒ガスの検知にも最適です。たとえば、一般家庭や産業の冷凍や自動車の空調に使われるガスです。ガス検知用カメラは、これらのメンテナンス時ではなく製造過程で最も効果的です。新製品設計検査やサンプル製品の検査は、完成品の不具合の削減および信頼性の向上につながるだけでなく、有害なガスの排出を削減します。



ガス漏れ現場で働く検査員

規制(公的機関)

世界中の政府がSF₆(六フッ化硫黄)の排出がもたらす環境へのリスクに注意を払うようになってきています。変電所ではこのガスで満たされた機器の使用が増えてきており、これに代わるものが現在のところ見つかっていません。したがって、政府は漏れおよびガス排出の削減に対し褒賞と罰を与えています。罰金制度でSF₆(六フッ化硫黄)の排出削減を強制する政府もあれば、消費の削減に対し減税などの金銭的なインセンティブを与えることにより、漏れの削減を推奨する政府もあります。またSF₆(六フッ化硫黄)のコストが高くなってきているため、金銭的にも漏れの削減へのモチベーションがあがってきています。(注意：国によって褒章と罰の制度は異なります。)

測定波長と検知可能なガス

長波長域を利用したガス検知用カメラの測定波長は10-11 μm で、冷却フィルタを使うと約10.5 μm になります。したがってこのタイプのカメラはSF₆(六フッ化硫黄)および化学工場で使われる多くのガスや冷媒ガスに最も優れた反応を示すということになります。カメラはさまざまなガスを検知できますが、研究機関にて検証済みの物質は下記の8種類になります。

SF₆(六フッ化硫黄)

無水アンモニア

エチルシアノアクリレート「瞬間接着剤」

二酸化塩素

酢酸

フロン-12

エチレン

メチルエチルケトン(MEK)



高圧断熱材からのSF₆(六フッ化硫黄)漏れ

研究機関にて未検証ですが、この他にも下記18種類のガスを検知できることが知られています。

塩化アセチル
臭化アリル
塩化アリル
フッ化アリル
臭化メチル
フロン-11
フラン
ヒドラジン
メチルシアノール
メチルビニルケトン
プロペナール
プロピレン
テトラヒドロフラン(THF)
トクロクロエチレン
フッ化ウラニル
塩化ビニル
シアン化ビニル
ビニルエーテル

まとめ

ガス検知用カメラの技術は、配電および化学産業において幅広い使用方法があり、そのすべてがプラントの利益となりえます。また、Method 21(米国：EPA)で業務実行の代替案として受け入れられており、従来のVOCメータやスニファ法と比べ時間およびコスト的な利点も明らかです。カメラはある程度環境条件に制限されますが、遠距離から漏れを検知でき、漏れの経路全体へのアクセスが必要でないため、検査のコスト削減につながる事が証明されています。また稼働中の電気機器を検査することも可能です。

4. アプリケーション・ストーリー

下記はフリーシステムズのガス検知用カメラの実際の使用例です。

ガス漏れの追跡：メンテナンスと安全性の問題点洗い出し

BPケミカルズ社は酢酸の生産で世界的に知られており、世界の供給量の多くを担っています。中でもメタノールカルボニル化の技術Cativaには世界的な需要があります。特にアジアでは需要が高く、BPケミカルズは新規に製造パートナーの関係を作りつづけています。英国では東ヨークシャーのSaltendにある工場が製造および研究開発の中心となっており、この施設は現在、ガスの一時的放出を最小化するためフリーシステムズの最新ガス検知技術を活用しています。

多くの化合物やガスは肉眼でみることはできません。しかしながら、多くの企業が製造過程の前後および最中にこれらの物質を扱っています。企業がどのように、またどの頻度で揮発性ガス化合物の漏れを追跡、文書化、修正するかに関しては厳しい規制があります。これまで最も一般的に使われていた技術は、有毒気体分析器(TVA)もしくは「スニファ技術」でした。Shell PernisのリサーチアナリストであるRutger Zoutewelle氏はこう言います。「我々はガス漏れを検査する際、事前に指定された場所もそうでない場所も含めすべてのシステムを点検します。点検は定期的に行っており、特にシャットダウン直後は非常に重要です。このような我々の精錬所では、パイプ、栓、シール、バルブ、トーチなどを何万回も検査しています。FLIR GasFindIRを使用する前は、TVAを使って1日約500回の点検を行っていました。しかし赤外線カメラシステムを使うようになってからは1時間で100以上の対象物を点検できるようになり



Shell Pernisの
リサーチアナリスト、
Rutger Zoutewelle

ました。このシステムを使う最大の理由は、パイプからのガスやその他の揮発性有機物の漏れ、特にフランジやその他のガスケットからの漏れを最小化することです。」

安全な検査

今日ビジネスの成功は安全性、効率性、収益性にかかっています。メンテナンス作業を行う上でもっとも大切なのは、作業員がプラントの状況を最大限に把握していることです。そこで赤外線カメラは、問題の原因追跡に非常に重要なツールとなります。調査の結果、漏れの84パーセントはプラントの1パーセント以下から発生するということが分かりました。これは、高価で時間を食う検査ツールの99パーセントが、安全で漏れのない化合物の検査に使われているということの意味しています。FLIR GasFindIRを使うと時間および人員の面で多額の節約につながります。現在使われている技術では、検査官を目に見えない危険な化学物質にさらしたし、風やその他の天候要因が不正確な測定結果をもたらしたりする可能性があります。さらに、事前に特定された箇所しか検査できない、また検査官の近辺の結果しか得られないという問題点があります。FLIR GasFindIRの赤外線技術を使うと、ガスの放出が煙で表示されます。このカメラを使って安全な距離から漏れを検知すると、TVA(有害気体分析器)で濃度を測定することができます。Rutger Zoutewelle氏はこう言います。「我々はヒューストンにいる同僚からFLIR GasFindIRの話を知りました。カメラを用いた検査は以前の技術に比べ多くの利点があります。迅速かつ非接触な測定装置でアクセスの困難な場所でも使え、安全性や環境の面でも利点があります。」

利点

FLIR GasFindIRの最も重要な部分は、冷却されたアンチモン化インジウム(InSb)検出器です。この検出器が細かくクリアな画像を作り上げます。重量わずか約2.5kgのカメらは、過酷な産業環境でも使用可能で、動作温度範囲は-15℃から+50℃となっています。また、一般的なPAL形式でリアルタイムに赤外線画像を生成します。耐衝撃性は40G。カメラはリアルタイムで20種類のガスを検知でき、これらは黒い煙としてスクリーンに表示されます。つまり、これらの特徴を活かすと、安全な距離から何キロにもわたるパイプをスキャンできることとなります。Rutger Zoutewelle氏はこう言います。「石油化学工場のパイプ、フランジ、バルブその他の接続部のほとんどは問題がありません。しかし、我々の手に負えない要素により部品に不具合が生じることがあります。弊社では米国：ヒューストンのプラントにおける経験から、こちらのプラントでも漏れの追跡にこの技術を導入することになりました。このシステムを使用する従業員は皆、システムを十分に理解するために、短期のトレーニングを受け、数日間の現場実習を行います。使い方に慣れてしまえば、このカメラは大いに役立ちます。我々の精錬所では常に使われており、特にシャットダウン直後は必ず使われています。我々にとってカメラは不可欠なツールであり解決法です。」



漏れ経路の検査

賢い解決法

実際に赤外線イメージング技術を使う上では、機器とユーザーに大きな負担がかかりえます。対象物から安全な距離を保つ必要がある場合が多く、どのようにして近づくかということが問題点になることもあります。ときには何かを登ったり、大きいプラントの場合には長時間時間を費やすこともあります。そこで、検査官が持ち運ぶ機器のサイズと重さが重要になってきます。「FLIR GasFindIRのおかげで我々のプラントでは安全で効果的な作業が可能となりました。直接、具体的な結果を得ることができ安心できます。」とRutger Zoutewelleは言います。「特に高圧システムの場合は漏れの危険性が高いため、大変役立ちます。今ではカメラが不可欠な存在となりました。」



複雑な最新石油化学施設

カメラは他にもプラントの安全点検に多くの使い道があります。赤外線イメージング技術の主な利点は、点検中にシステムをシャットダウンする必要がないこと、遠距離から迅速に、比較的低コストで測定ができること、そして最も重要なのが早い段階で問題を検知できることです。FLIR GasFindIRを使うと検査官は1時間に100以上の対象物を検査することができます。このシステムを使用する最大の理由は、パイプからのガスおよびその他の揮発性有機物質放出を最小化することです。

ガス検知用赤外線サーモグラフィFLIR GasFindIR™は、メタンの漏れを検知し、不要なガス漏れを防げノルウェーの埋立地の空気をクリーンに保ちます。

経済および環境保全への関心は、廃棄物処理、処置、中和化ならびにリサイクルプロセスの改善を促進します。廃棄物の処置会社は、徐々にエネルギー供給元が変わっています。ガス検知用GasFindIRは、これらの風潮に速やかに対応しかつ具体的な結果を提供することができます。

ノルウェーに拠点を置くLindum Ressurs og Gjenvinning AS(以下略Lindum社)は、廃棄物処理の解決を提案する専門会社です。Lindum社は、工場用エネルギーや住居用暖房の元となる埋め立てガスの抽出だけでなく、コンポスト化やリサイクルによる、廃棄物からエネルギーへの変換も行っています。同社のノルウェーの首都オスロから車で約1時間のところにあるDrammen拠点は、バイオガス製造プラントと、粘土層で覆われた固形廃棄物からなる大きな埋め立てゴミ廃棄場があります。

この埋め立てゴミ廃棄場から排出されるメタンガスは抽出され、工場用エネルギーや住居用暖房に使われています。メタンは、埋め立てゴミ廃棄場における圧力の結果としてつくられる無臭で環境に有害なガスです。その上、埋め立てゴミ廃棄場では、悪臭を放ち周囲の住居を悩ますガス硫化水素(H₂S)も放出します。



埋め立てゴミ廃棄場を粘土で覆う

該当する物質の漏れを見つけるため、Lindum社は、メタンを含むおよそ20もの揮発性有機化合物(VOC)を視覚化させることが可能なフリアーシステムズ社のガス検知用赤外線サーモグラフィGasFindIRを購入することに決めました。およそ10ヘクタールの埋め立てゴミ廃棄場は、週2回、約1時間をかけ夜明けに点検されます。GasFindIRはすぐにガス漏れを示し、黒ないし白の煙で視覚化されます。埋め立て地の作業員は、硫化物の匂いの効力を消すために漏れが検出された場所を大量の粘土で覆います。また、FLIR GasFindIRは、一週間に一度行われるバイオガス製造所のパイプの点検のためにも使われます。Lindum社は、他の埋め立てゴミ廃棄場会社へ、ガス漏れのイメージが簡単に標準的なビデオレコーダーに録画・

保存ができることをGasFindIRの利点として納得した上で紹介しています。「GasFindIRの能力は、簡単に評価することができます。我々は週当たり約4～5つの漏れを発見することにより、臭いの生成を大幅に減らすことが出来ました。」と、オペレーションマネージャーのAud Helene Rosenvinge氏は言います。「我々は、GasFindIRを不可欠なメンテナンスならびに環境保全のツールと考えます」と、Rosenvinge氏は言います。さらに、彼女はGasFindIRの使用により、最低年間12,000EURO(約2,000,000円)のコスト削減ができると付け加えます。



ゴミ廃棄場からのガス漏れ

5

5. ガス検知用カメラなぜ違う？

検出器

赤外線イメージングカメラの構造は、デジタルビデオカメラの構造と似ています。レンズと検出器があり、検出器からの信号を加工する電子技術、そしてカメラで生成された画像をユーザーに表示するビューファインダーまたはスクリーンがあります。ガス検知用カメラに使われる検出器は量子検出器で、極低温(70Kまたは-203℃)に冷やす必要があります。中波長域を利用したカメラはアンチモン化インジウム(InSb)検出器を使い、長波長域を利用したカメラは量子井戸赤外線光(QWIP)検出器を使います。

量子検出器で使われる物質の中には、室温でエネルギーのレベルが異なる電子があります。いくつかの電子には伝導体に十分な熱エネルギーがたまります。このような電子は自由に移動でき、電流の伝導が可能です。しかしほとんどの電子は価電子帯にあり、自由に移動できないために電流を伝導しません。(図1の左の図参照)

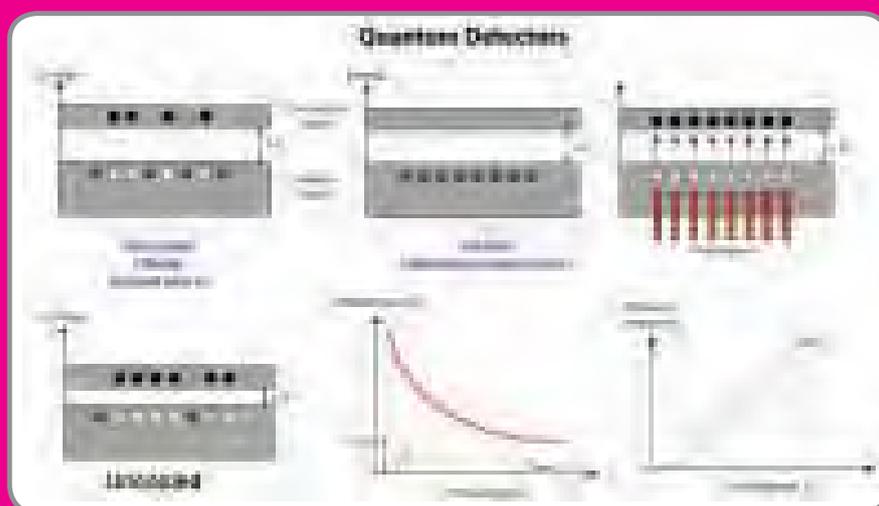


図 1.量子検出器のオペレーション原理

検出器が十分な温度に冷却されると(温度は検出器によって異なります)、電子の熱エネルギーが低くなり伝導帯に電子がなくなります。(図1の中央上の図参照)。こうなると電流を伝導できません。しかし、入射光子にさらされ、光子に十分なエネルギーがある場合、価電子帯にある電子

はこのエネルギーに刺激を受け、伝導帯に移動します(図1の右上の図参照)。つまり検出器は、入射放射線の強度に比例した光電流を帯びることになります。電子が価電子帯から伝導帯に移動するには、入射光子にある程度のエネルギーが必要です。このエネルギーは遮断波長に関係しています。光子のエネルギーは波長に逆比例するため、エネルギーは長波帯より低波/中波帯の方が高くなります。したがって通常、長波長域を利用した検出器の稼働温度は低波/中波長域を利用した検出器より低くなります。中波長域を利用したアンチモン化インジウム(InSb)検出器の稼働温度は通常、173 K(-100 °C)です(これ以下でも稼働可能)。これに対し、量子井戸赤外線光(QWIP)検出器の稼働温度は通常、約70 K(-203 °C)以下になります。図1の中央下と右下の図は量子検出器の波長依存性を示しています。伝導体と価電子帯のギャップを越えるには、入射光子の波長とエネルギーが十分でなければなりません。

冷却法

ガス検知用カメラの検出器はスターリングクーラーを使って冷やされます。スターリングのプロセスは、コールドフィンガー(図2)から熱を奪い温かいサイドに分散します。このタイプのクーラーの効率性は比較的低いですが、赤外線カメラの検出器を冷却するには十分です。

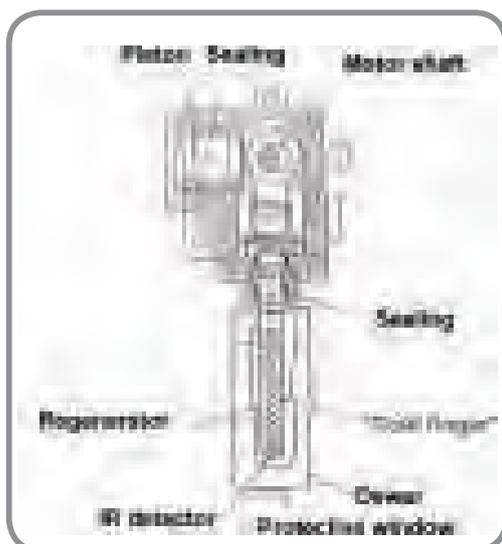


図2.ヘリウムガスを使用したスターリングクーラーが-196°Cまたはそれ以下の温度に冷却

画像正規化

もうひとつ複雑なのは、FPAの各検出器のゲインが異なり、オフセットが0という点です。有益な赤外線画像を生成するには異なるゲインとオフセットを正規化数に修正しなければなりません。この多段階にわたる較正プロセスはカメラのソフトウェアによって行われます。最終段階は不均一性の修正(NUC)です。測定カメラの場合、較正はカメラが自動的に行いますが、ガス検知用カメラでは手動でおこないます。これは、カメラ内部にシャッターがなく、均一の温度を検出器に送ることができないためです。

最終的には、対象物の正確な相対温度を表示する赤外線画像が得られます。対象物からカメラに反映される他の物質からの放射率や放射線(見掛け温度)は補正されません。画像は、熱放射の元に関係なく、放射の強度を正確に表示します。



図3. LCDスクリーン上でガスの雲の画像をリアルタイムで表示可能

スペクトル順応(Spectral Adaptation)

ガス検知用カメラは一般の温度測定カメラと異なります。レンズ、検出器、クーラー、画像処理電子技術に加え、検出器の前方にフィルターが搭載されています。このフィルターは、フィルターと検出器間の放射熱交換を防ぐため、冷却されます。フィルターは、放射線の波長が検出器を通過するのを防ぎ、通過帯域と呼ばれる非常に狭い周波数帯に制限します。この技術をスペクトル順応といいます。表1は異なるガス検知用カメラのフィルター通過帯域の波長を表しています。

カメラのモデル	測定波長	フィルターの波長帯
中波長域	3-5 μm	約3.3 μm
長波長域	10-11 μm	約10.5 μm

表1. ガス検知用カメラのモデルによるスペクトル感度

ガス赤外線吸収スペクトル

多くのガスの赤外線放射吸収能力は放射の波長によって異なります。つまり、透明性の度合いは波長によって異なります。たとえば、赤外波長のあるところでは吸収が理由で不透明になることがあります。さまざまな物質の赤外線吸収データを集めたデータベースも存在します。ガスの赤外線吸収スペクトルを知るには、赤外線スペクトロメータにサンプルをおき、異なる波長で赤外線の吸収率(透明性)を測定します。これらのスペクトルは通常グラフで表示され、図9と10は、ベンゼンと六フッ化硫黄の吸収スペクトルです。赤外線スペクトルの情報元のひとつは、American National Institute of Standards and Technology(NIST)です。この機関のウェブ上のデータブック

(<http://webbook.nist.gov/chemistry/name-ser.html>)は大変役に立ち信用できます。ガスの吸収率が高い波長でのみカメラを稼働できるようフィルターを選択すると、ガスがより見やすくなります。ガスは背景の物質からの放射をより効果的にブロックします。

ガスが赤外線放射を吸収する仕組み

機械学的に見て、ガスの分子はバネによってつながれたウェイトに例えることができます(図4のボール参照)。原子の数、大きさ、質量、バネの弾性定数により、分子は特定の方向に移動したり、軸上を振動したり、回転したり、よじれたり、伸縮したり、揺れ動いたりします。

ガス分子の最もシンプルなものは、ヘリウム、ネオン、クリプトンといった単一原子です。これらは振動したり回転したりできないので、一度に一方向にしか移動できません。

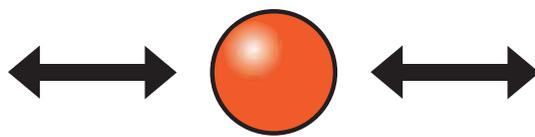


図4. 単一原子

これよりもう1段階複雑な分子は、水素(H₂)、窒素(N₂)、酸素(O₂)など、2つの原子からなる等核分子です。これらは並進運動に加え、軸の周りを動き回ることができます。

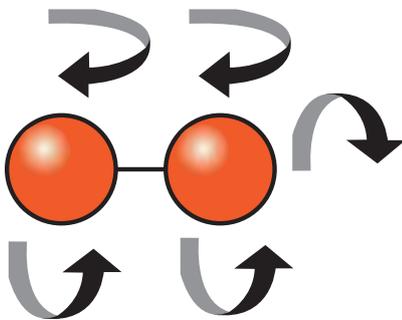


図5. 2つの原子

そして、より複雑な二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、六フッ化硫黄(SF₆)、スチレン(C₆H₅CH=CH₂)など、その他多くの二原子分子があります。

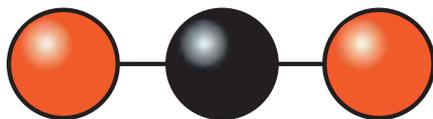


図6. ひとつの分子が3つの原子から成り立つ二酸化炭素(CO₂)

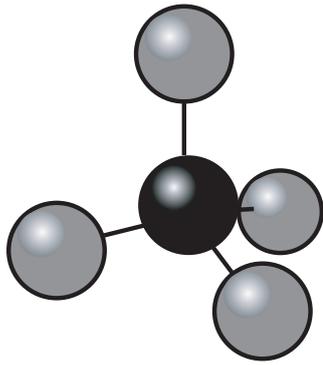


図7. ひとつの分子が5つの原子から成り立つメタン

この原理は複数の原子からなる分子にも当てはまります。

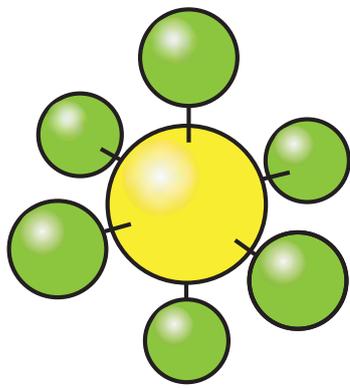


図8.
ひとつの分子が7つの原子から
成り立つSF6

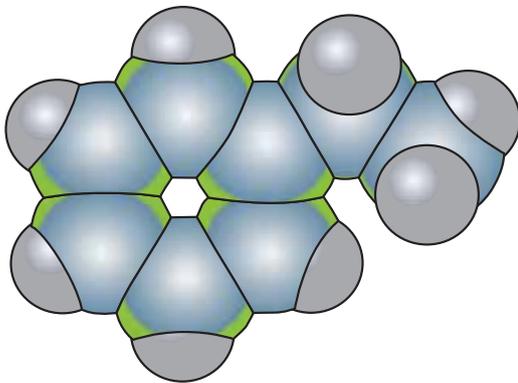


図9.
ひとつの分子が16の原子から
成り立つスチレン

機械的な自由の度合いが増すにつれ、回転や振動も増えてきます。複数の原子から成り立っているため、単一原子よりもより効果的に熱を吸収・放射することができます。遷移の頻度により、エネルギーの範囲が赤外線カメラの反応する赤外領域に到達します。

分子運動の周波数およびスペクトル域

分子運動	周波数	スペクトル域
重い分子の回転	$10^9 \sim 10^{11}$ Hz	マイクロ波、 3 mm以上
軽い分子の回転および重い分子の振動	$10^{11} \sim 10^{13}$ Hz	遠赤外、 30 μ m ~ 3 mm
軽い分子の振動、 構造の回転・振動	$10^{13} \sim 10^{14}$ Hz	赤外線、 3 μ m ~ 30 μ m
電子遷移	$10^{14} \sim 10^{16}$ Hz	紫外線 - 可視

表 2. 分子運動の波長数と波長帯

分子が遷移を通して(赤外線エネルギーの)光子を吸収するには、入射光子と同じ周波数で振動できる双極子モーメントが必要です。この量子相互作用により、光子の電磁場エネルギーが分子によって移動または吸収されます。

ガス検知用カメラは、特定の分子の吸収性を利用し、自然環境で可視化できるようにします。カメラの焦点面アレイと光学系は、数百ナノメートルという非常に狭いスペクトル域に調整されているため大変差別的です。狭い通過帯域フィルターで定められた赤外領域に吸収されるガスのみを検知できます。

下記は2種類のガスの透過率スペクトルですー中波長域に吸収されるベンゼン(C₆H₆)と長波長域に吸収される六フッ化硫黄(SF₆)。

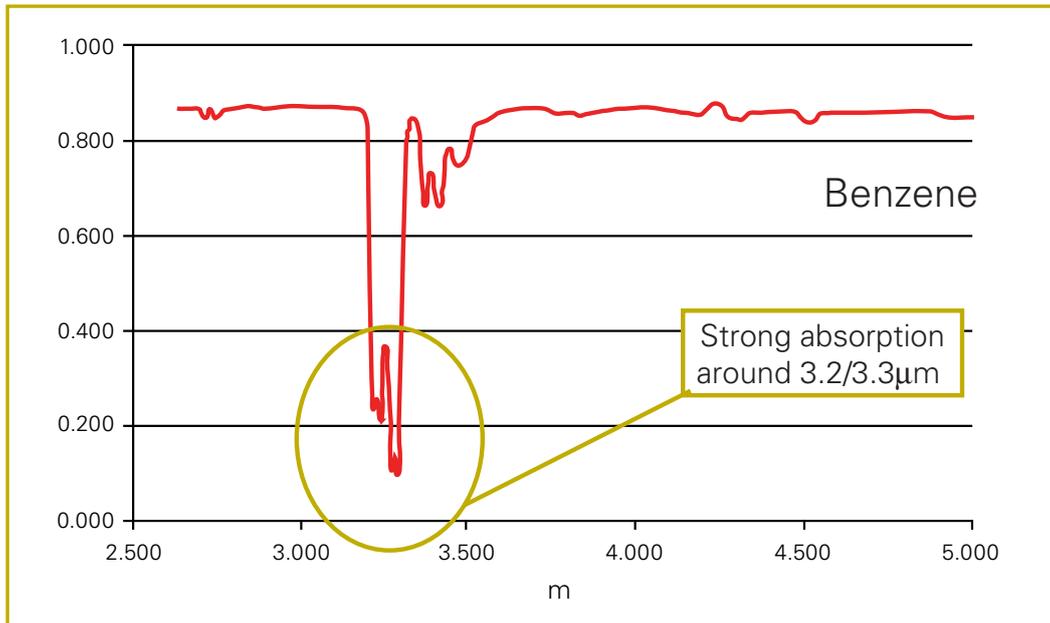


図 10. 中波長域に吸収されるベンゼン(C₆H₆)

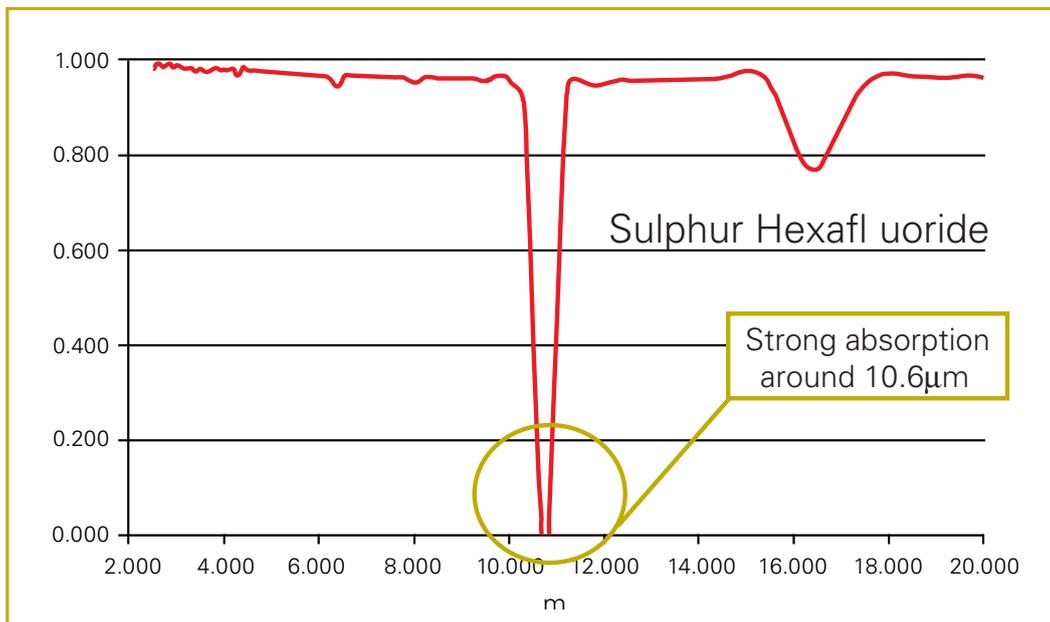


図 11. 長波長域に吸収される六フッ化硫黄(SF₆)

ガス流の可視化

ガス漏れのない場所にカメラを向けると、対象物はカメラのレンズとフィルターを通して赤外線放射をします。フィルターは検出器に特定の放射波長しか通さないため、カメラは実際の放射強度のイメージを生成します。対象物とカメラの間にガス雲があり、ガスがフィルターの通過帯域の放射を吸収する場合、雲から検出器に通過する放射の量が減少します(図12参照)。

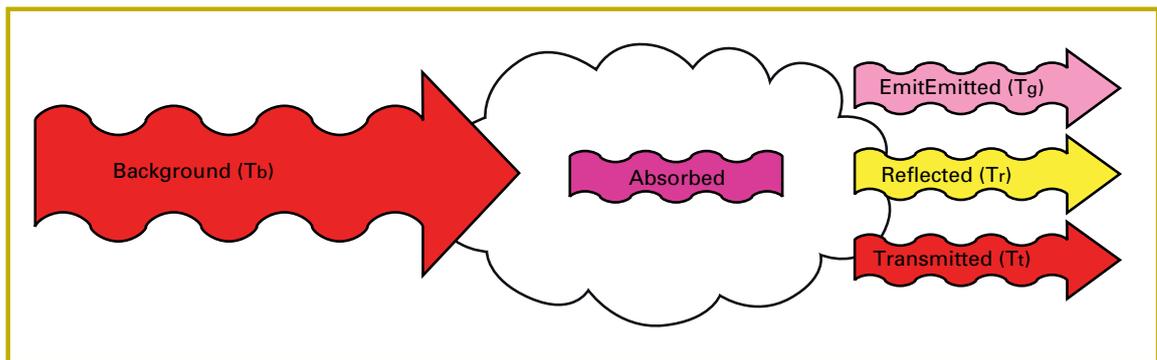


図12.ガス雲の影響

背景と比較して雲を見るためには、雲と背景の間に放射のコントラストがなければなりません。つまり、雲から出る放射の量が雲に入る放射の量と同じであってはならないということです(図13参照)。

図13の青の矢印が赤の矢印と同じ大きさである場合、雲は目に見えません。

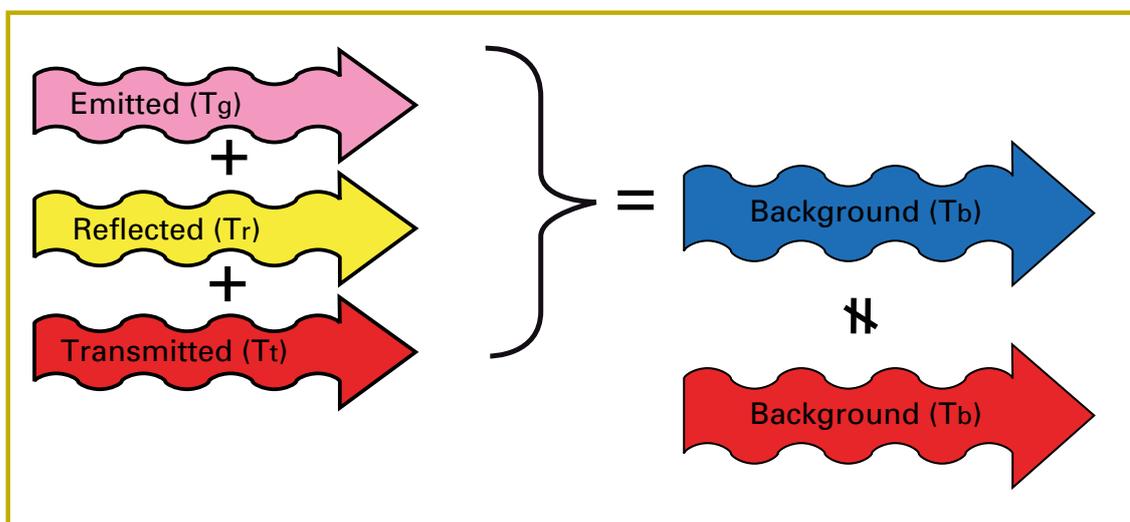


図13.雲の放射コントラスト

実際に、雲の分子から出る放射の量は非常に少なくいため、気がつかないことがあります。したがって、雲を可視化するには、雲と背景の間の見掛け温度が異なる必要があります(図14参照)。

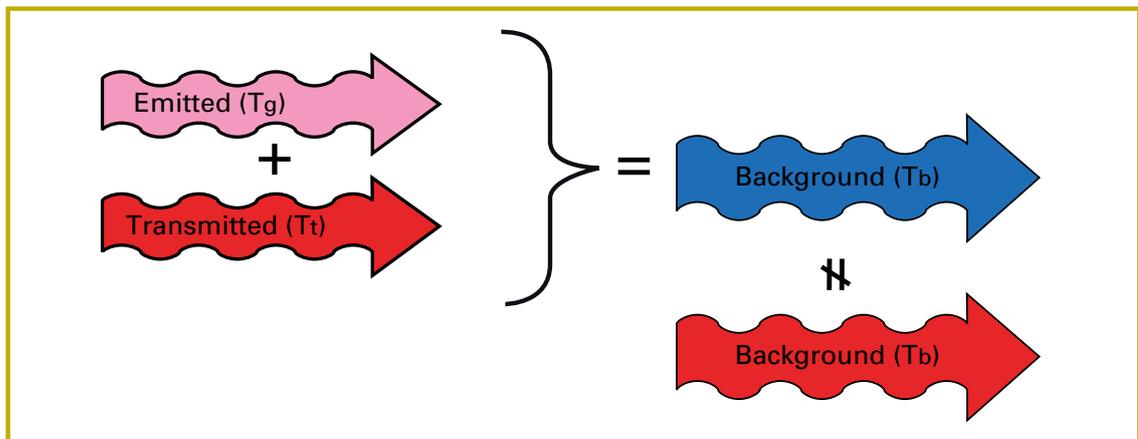


図14.見掛け温度の違い

雲の可視化における主な考え方

- カメラが検知できる波帯でガスが赤外線放射を吸収する必要がある
- 雲と背景との間に放射コントラストがなくてはならない
- 雲と背景の見掛け温度が異ならなければならない
- 雲の移動がガスの可視化を助ける

6. ガス検知を最大化する方法

サーマルチューニング

サーマルチューニングは、カメラの設定を手動に調節して対象物全体の色を表示することです。これは、ガス漏れの可視性をあげるのに最もシンプルで一般的な方法です。自動モードでカメラを操作しても同じことはできませんが、漏れの検知ミスにつながる可能性があります。したがって、常に画像のサーマルチューニングを行い、漏れ検知の可能性を最大限にすることが大切です。サーマルチューニングをすることにより、1箇所から1種類以上の漏れが発生しているかどうかを検知できます。



図 1.
チューニングされていない熱画像



図 2.
チューニングされた熱画像

高感度モード(HSM)

高感度モード(HSM)は、カメラの温度感度を効果的に上げるための画像減算ビデオプロセス機能です。ビデオストリームのフレームから出る画素信号の一部は、次のフレームから減算されます。この効果はレンズのキャップをはずしたまま不均一性の修正(NUC)を行うのと似ていますが、高感度モード(HSM)ではカメラを動かすことができます。高感度モード(HSM)を使うと、ビデオストリームの調整および温度感度の調整が自由にできます。HSMは特に長波長域を利用したカメラを用いてSF6の検知する際に有益です。これは機器に低圧が使われ、漏れの割合も低いからです。また、非常に少量の漏れを検知する場合は、中波長域を利用したカメラでも役立ちます。



図3.
高感度モード(HSM) オフ



図4.
高感度モード(HSM) オン

温度領域の選択

正しい温度領域の選択はカメラの画質を上げます。温度領域は、対象物または対象物に反映される物質と同じ程度の温度に設定する必要があります。正確な領域を設定することにより、カメラの画像からノイズや不正確な結果をなくすことができ、ガス漏れを目に見やすくします。測定カメラと同様、正確な温度領域の設定は不可欠です。間違った温度領域を設定すると、正確な温度測定ができなくなるどころか、温度測定がまったくできなくなることもあります。ガス検知用カメラの場合は、不正確な温度領域に設定すると、ガス漏れのイメージングができなくなります。



図 5.
不正確な温度領域



図 6.
正確な温度領域



カメラの位置を調節することにより、熱コントラストを最大化しガスを見えやすくする

まとめ

シンプルな自動モードに加え、ガス流の検知能力をさらに上げる方法は他にもたくさんあります。適切なトレーニングを受ければ、作業員はガス漏れ検知の可能性を最大化することができます。拡張機能はシンプルで使いやすく、カメラを非常に柔軟でパワフルなツールにします。

7. 安全性

カメラの使用場所には、その地域やサイトの安全規則を守らないと危険が潜んでいます。カメラを使用する際は下記の点に注意してください。

バッテリーの交換はオペレーションエリア外でのみ行ってください
ハシゴや階段を登る際は、レンズのキャップをはめ、カメラのストラップを使い、両手を使えるようにしてください

大量の漏れや危険を検知した場合は、速やかに作業をやめ、その場を離れ関係者に連絡してください

漏れを検知したら、漏れから離れた場所で動画を取ってください

可燃性のある場所では、カメラの後部にあるコネクターのカバーを閉めてください

稼働中のユニットに近づいて検査する場合は、ガス雲を避けるため、まず遠距離からざっと検査をしてください。

必要に応じてすばやくその場を離れることができるよう、風向きと周りの環境に注意を払ってください



ガス検査員は、プラントの職員と常に連携を取り合ってください。



製品の仕様は予告なく変更されることがあります。
Copyright 2009, FLIR Systems Inc.
その他のブランド名および製品名はそれぞれ各社の商標です。