

「ガス監視システムによる可燃物可視化
可能性実験等に関する調査研究」
報告書

令和元年 9 月
危険物保安技術協会

目 次

第1章 調査研究の概要	
1. 1 調査研究の目的	1
1. 2 調査研究内容・体制	1
第2章 ガス広域監視システムについて	
2. 1 ガス広域監視システムの概要	2
2. 2 ガス広域監視システムの仕様	8
第3章 確認実験	
3. 1 確認実験の目的	11
3. 2 確認実験の概要	11
3. 3 確認実験結果	12
3. 3. 1 第1回目	12
3. 3. 2 第2回目	20
3. 4 考察	27
第4章 活用事例と今後の課題	29
4. 1 活用事例	29
4. 2 今後の課題	32
添付資料	
資料1-1 確認実験詳細図 (AM)	
資料1-2 確認実験詳細図 (PM)	
資料2 確認実験資器材リスト	
資料3-1 ENEOS ガソリン安全データシート	
資料3-2 ENEOS 灯油安全データシート	
資料3-3 エンジンオイル (5W-30) 安全データシート	
資料4-1 環境計測 (ガソリン1回目)	
資料4-2 環境計測 (ガソリン2回目)	
資料4-3 環境計測 (灯油1回目)	
資料4-4 環境計測 (灯油2回目)	
資料4-5 環境計測 (エンジンオイル1回目)	
資料4-6 環境計測 (エンジンオイル2回目)	
資料5 風向風速計 風向一方位 対応表	
資料6 観察終了後の各油種の滞油状況	

第1章 調査研究の概要

1.1 調査研究の目的

コニカミノルタ株式会社が開発したガス広域監視システムは、赤外線カメラを使用したガス可視化システムで、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発事業機構が採択した事業の一つである。メタンやプロパンなどの炭化水素系ガスを検出し、可視画像に検出したガス画像を重ね合わせ、漏えい状態を直感的に「見える化」するとともに漏えい位置や濃度を推定表示できるシステムである。

当該システムは、高圧ガス施設での監視を想定されているが、浮き屋根式屋外貯蔵タンクの浮き屋根上の滞油や配管からの危険物の漏えいなどの異常現象を早期発見できる新技術を活用したシステムとして危険物施設での活用が考えられることから、当該システムで危険物を判別できるか確認実験を実施し、検証することを目的とする。

1.2 調査研究内容・体制

本調査研究は、コニカミノルタ株式会社と危険物保安技術協会により確認実験を実施し、その結果を受け、当該システムを危険物施設で活用できると考えられる事例、課題を提言する。

なお、本調査研究の体制は以下のとおり。

(1) コニカミノルタ株式会社

産業光学システム事業本部 状態監視ソリューション事業部

第1事業推進部 第1グループ

マネジャー 都築 斉一

係長 小川 洋一

係員 平岡 潔

(2) 危険物保安技術協会

企画部長 杉山 章

企画部企画課 検査員 奥 洋人

第2章 ガス広域監視システムについて

2. 1 ガス広域監視システムの概要

近年プラントにおいて、設備の老朽化に加え、高い技術を持つ熟練作業者の定年退職に伴う人手不足など、効率的な点検やパトロールのニーズは高まっており、それら社会課題に応えるため、コニカミノルタ株式会社はガス広域監視システムを開発した。

(1) ガス可視化原理

本ガス監視システムは、赤外線カメラを用いてガスの存在を映像としてとらえる。ここでまず赤外線によるガスの可視化原理について説明する。

あらゆる物体からは黒体放射現象に基づいて電磁波が放射されている。物体温度が常温付近であれば放射スペクトルは主に赤外線領域となる（図2-1参照）ため、赤外線カメラで観察すると空間全体が赤外線源として見える。

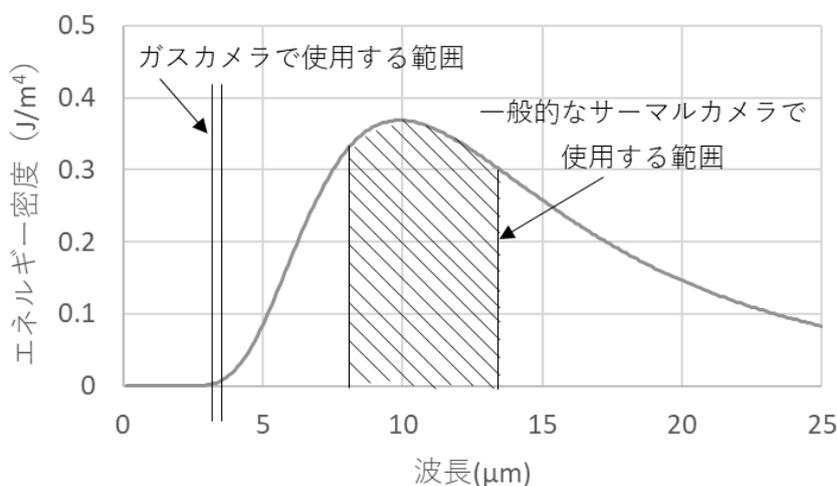


図2-1 20°Cの黒体からの放射スペクトルとカメラの感度帯域

赤外線強度は温度に依存するため、赤外線強度から温度への変換が可能であり、赤外線カメラの一種であるサーモグラフィカメラはこの原理を使って温度を測定している。実際には周辺からの照明や、観測対象が赤外線を放射する能力（放射率）の影響を受けるため、単純に温度に変換した値は見かけの温度と呼ばれ、接触式の温度計で測定した温度とは区別して扱われる。

一方、ガスは分子の原子間結合に基づいた電磁波の吸収スペクトルと温度に依存した放射スペクトルを有しており、コニカミノルタ株式会社のカメラの監視対象としている炭化水素系のガスは赤外領域に吸収・放射両方のスペクトルを有している。このため、赤外線カメラでガスが存在する領域を観察すると、図2-2に示すようにカメラから見てガスの向こう側の空間（背景）から来た赤外線の一部がガスに吸収されて強度が弱まるとともに、ガス自体が赤外線を放射するために、赤外線の強度が、ガスが存在しない領域と比べて変化する。すなわち観察される温度が変化する。この変化を捉えることでガスを可視化する。

観察される温度の変化の仕方は、背景温度（見かけの温度）とガス温度の大小関係に

依ってき決まる。背景温度が高くガス温度が低い場合は、低い方に温度変化する。逆に背景温度が低くガス温度が高い場合は高い方に温度変化する。もし、温度が同一であれば、温度変化がなくなりガス可視化が出来ないことになるので、ガス温度と背景温度に違いがある事がガス可視化の条件である。

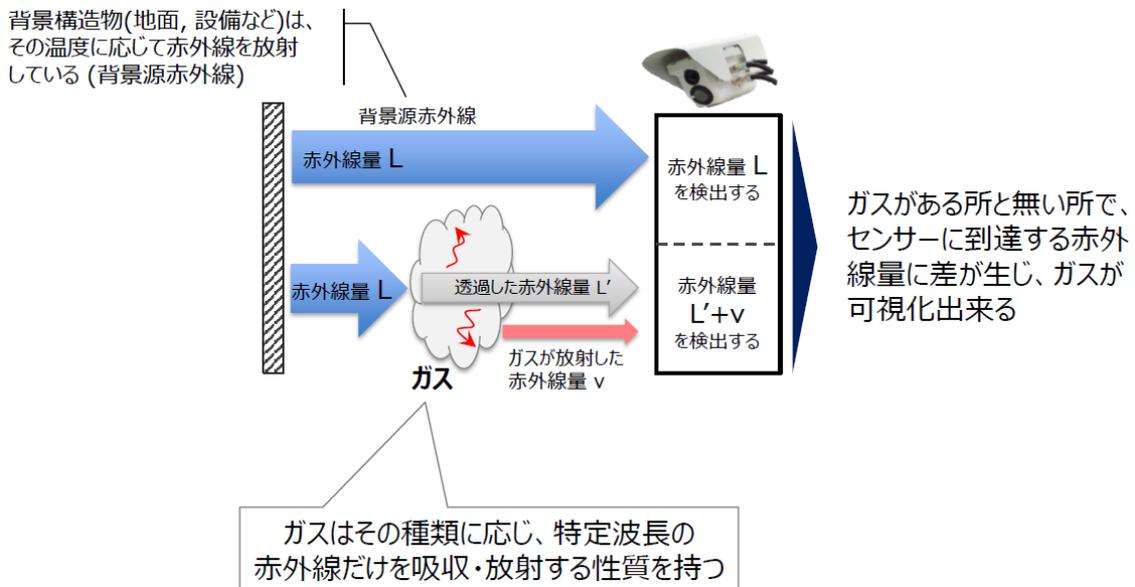


図 2 - 2 赤外線カメラを用いたガスの可視化

温度の変化を捉えるカメラとして一般にサーマルカメラが知られており、比較的低価格で入手が可能であるが、ガスカメラは非常に高値で取引されている。この違いについて述べる。

赤外線の黒体放射について述べた図 2 - 1 に、カメラの感度帯域を記載した。一般的なサーマルカメラは $8-14\mu\text{m}$ の波長帯域 (斜線部) を使用して温度測定を行っている。これは、常温域で沢山の赤外線が出ている領域なので、黒体放射が光源として有効に機能し、明るい映像を得やすいという赤外線の特徴を活用しているからである。更に、この帯域は大気窓と呼ばれている、水蒸気が赤外線を吸収しない帯域でもあり、水蒸気の影響を受けずに観察しやすいという特徴がある。

一方で、ガスカメラは $3\mu\text{m}$ 付近の極限られた領域の赤外線のみをバンドパスフィルターで抽出し観察している。このため、そもそも黒体放射による背景光が少なく暗い領域である上に、波長幅も狭いため、得られるカメラ映像は極めて暗くなり、センサーは非常に高感度なものが要求される。このため、サーマルカメラの価格帯とは大幅に異なったものとなっている。

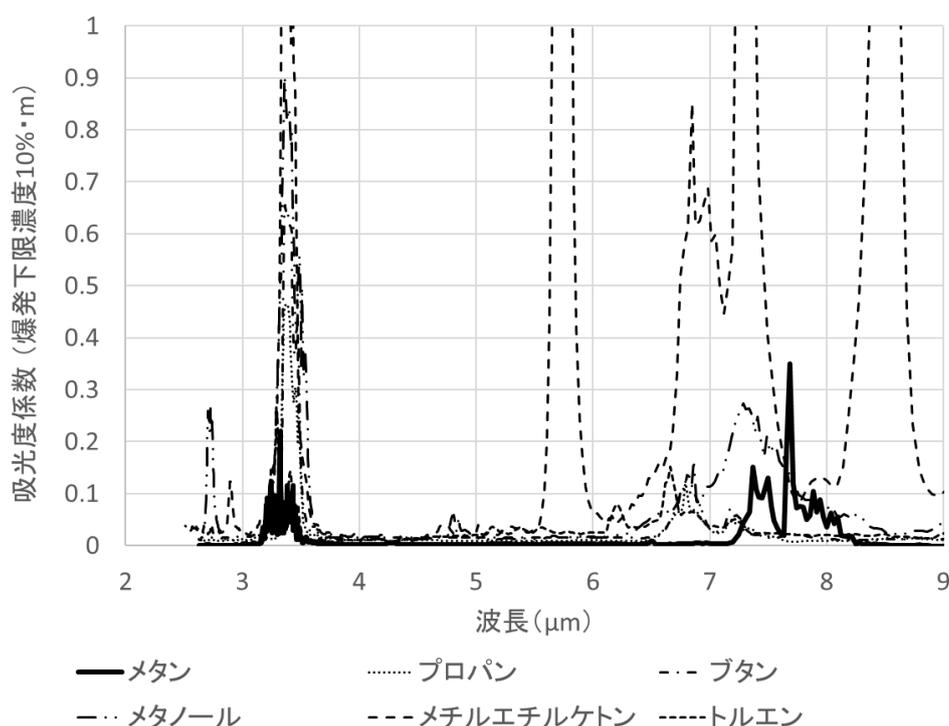


図 2-3 代表的な赤外線吸収スペクトル

前述のとおり、炭化水素系のガスが赤外線に吸収・放射を行うのは、原子間結合に基づいた電磁波のやりとりによるものである。原子間結合のエネルギーのやりとりは、量子論で説明されるように離散的である。波長が異なっていると電磁波とガス分子の間では相互作用が発生しないので、吸収も放射も発生しない。すなわち、カメラの映像の源になる赤外線量の増減が発生しない。

図 2-3 に代表的な可燃物のガス状態の赤外線スペクトルを示す。ガス種の違いによって、吸収スペクトルが様々なバリエーションがあると同時に、 $3.3\mu\text{m}$ 付近に共通して吸収スペクトルが存在している事が分かる。この波長帯域は、炭化水素の C-H 結合に由来するスペクトルである。隣接する炭素の結合が 3 重結合になっているアセチレンなど極わずかな例外を除き、C-H 結合を有する化合物は $3.2\text{--}3.4\mu\text{m}$ の範囲に共通して吸収スペクトルを有している。このため、ガスが背景より冷たい場合はこの波長帯においては吸収が発生する。

一方、ガスからの赤外放射は、黒体放射の様な連続したスペクトルとはならず、吸光スペクトルの吸光の発生する波長からの放射となる性質がある。

もし、これよりも広い波長幅でカメラ撮影した場合、ガスが吸収も放出もしない波長の映像の情報だけが増加する。つまり得られる画像は明るくなるものの、実質的にガスの映り方が薄くなり (S/N が低下し)、ガスカメラとしての感度は低下する。このような背景から、 $3\mu\text{m}$ 近傍のみに絞って撮影しているのである。

(2) ガス検知画像処理

屋外でガスによる画像上の温度変化を捉えようとする、外乱による見かけの温度変

化が大きな課題となる。例えば、雲の動きなどによる画像全体の温度変化である。普段あまり意識しないが、太陽にかかる雲の影響は視野いっぱいに広がっており、その時間変化の割合は比較的素早く、ほんの数秒で画面全体の温度はドリフトしている。図2-4にガス放出実験時にカメラの捉えた映像を、図2-5にはそのうちの2点の時間変化の例を示した。



図2-4 社内の実験風景

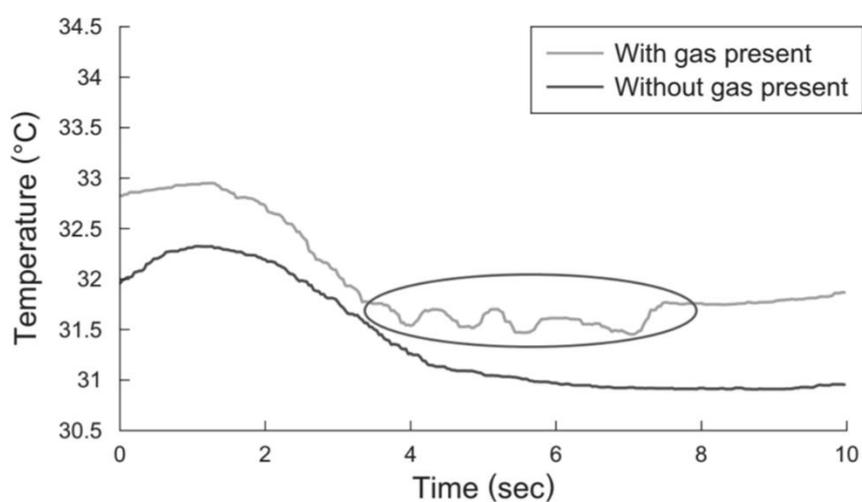


図2-5 センサーの捉えた温度変化

図2-5の下側の線は、ガスの存在していない部分の見かけの温度変化を示しており、上側の線はガスが一時的に存在していた部分の見かけの温度変化を示している。なお、丸で囲まれた温度変化がガスの存在による温度変化である。

約2秒から4秒にかけて両方の線がなだらかに低下し、普段気にすることの無い僅かな変化が赤外線センサーの出力値として大きな変化となっていることが確認できる。

また、同時にガスに起因する温度変化が1度にも満たない微妙な変化となっていることも確認できる。

このマクロな変化をキャンセルしつつ、ガスに起因する微妙な見かけの温度変化画像として抽出し、ガスの動きの可能性がある映像に変換したものを図2-6に掲載する。



図2-6 抽出されたガスの可能性のあるエリア

図2-6を見ればわかるように、そこにはガス以外の信号が映り込んでいる。これらの信号はすべて外乱要因であり、例えば人や車の移動の様子、カメラの足場からの振動など、様々な要因がある。それらに対して、それぞれ除去するアルゴリズムを開発し適応することで、本当のガスの領域のみを抽出した結果を図2-7に掲載する。

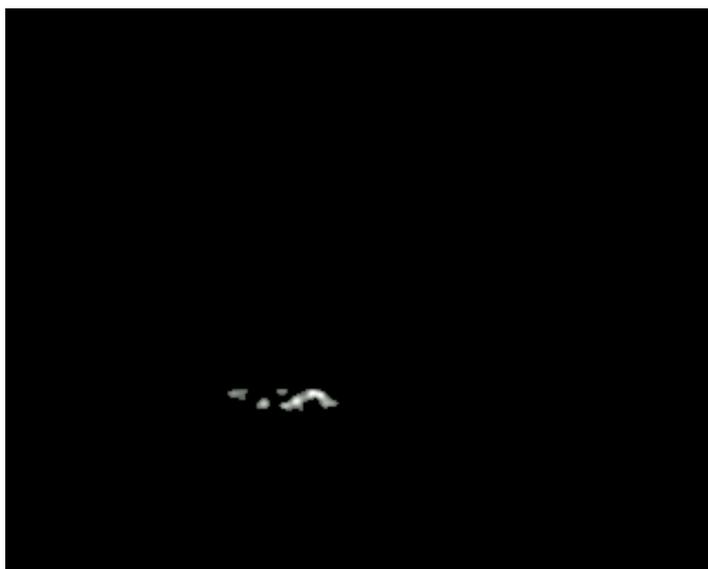


図2-7 精査されたガスの可能性のあるエリア

抽出されたガスの映像は、ガスのエリアだけを示しており、本来持っていた相対的な位置情報が欠落している。よって、これだけではどこから漏洩しているかは分からなくなっている。位置情報を直感的に得られるように、元の赤外線映像に重ねるなどして、視認性の高い映像に加工した。その様子を図2-8に示す。

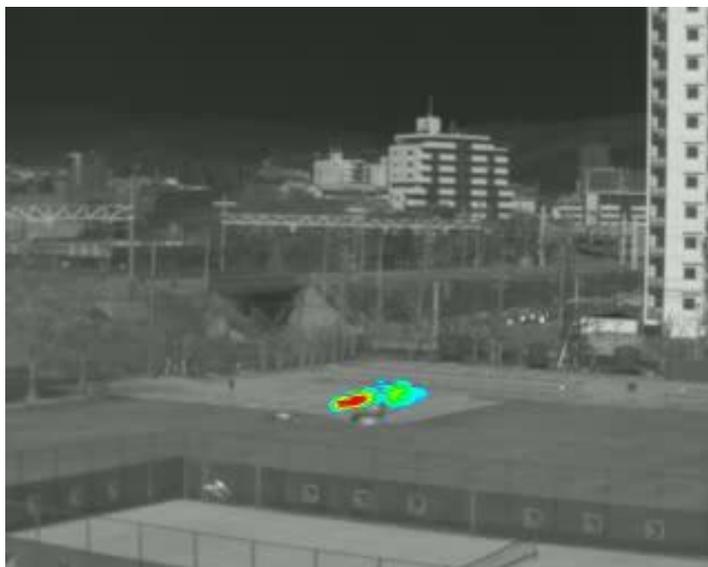


図2-8 赤外線映像に重畳したガス映像

直感的に画面中央部付近に何らかの異常が発生している事が確認できる。

一方、赤外線映像は温度が高ければ明るく映るため、色が黒くても赤外線映像は白く表示されるなど、普段目にしていないものとコントラストが変わるため、何を見ているのか分かりにくい場合がある。そこで、別に撮影した可視画像上にガス映像を重ねて表示した画像を図2-9に示す。



図2-9 可視画像に重畳したガス映像

可視画像にガス映像を重畳する事で、何か発生したときに何処から漏洩しているのかが直感的に理解する事の出来る映像を提供できる仕組みとなっている。

さらに、画像処理でガスだけが抽出された場合、自動で漏洩位置を推定する機能と、自律的に監視を行い異常が発生した際、パトランプで外部に警告を発報出来るシステムとなっている。

また、過去の履歴もさかのぼって表示する事が出来る機能も実装されている。何か異常が発生した場合に振り返ってトラブルの原因究明をよりスムーズにし、保全業務の効率化に活用できると考えている。

2. 2 ガス広域監視システムの仕様

防爆型ガス監視システムの仕様を表2-1に、検知可能なガス種例を表2-2に示す。また、防爆型ガス監視システム（カメラユニット部）の写真を写真2-1に示す。

表2-1 防爆型ガス監視システムの仕様

項目	カメラユニット	制御Box
寸法 (L, W, H)	460 x 240 x 275mm	600 x 572 x 276mm
重量	約30kg	約65kg
消費電力	100V AC, 80W (通常) ~1000W (寒冷時最大)	
通信配線	光ファイバー	
使用温度範囲	-20 ~ 50℃ (外気温)	
角度調整機能	上下±30° (ブラケット使用)	
画角	横: 25° 縦: 18°	
ズーム表示	デジタルズーム (x2, x4, x8)	
過去画像表示	有り。1か月保存。期間経過後自動消去。 (保存期間は変更可能)	
検知時間	30秒以内 (typ. 20秒)	
検知能力	10%LEL・m ※メタンガスの場合	
検知対象ガス	メタン、エタン、エチレン、プロピレン、ベンゼンなど アセチレンを除く炭化水素系ガス	
防炎性能	耐圧防爆構造 Ex d II BT4 Gb	
防塵・防水	IP66	

表 2-2 検知可能なガス種例

ガス種例
メタン、エタン、プロパン、ブタン、ペンタン、ヘキサン、ヘプタン、オクタン
エチレン、イソブレン、1-ペンテン
ベンゼン、トルエン、キシレン、エチルベンゼン、プロピレン
メタノール、エタノール、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド
アセトン、メチルエチルケトン、メチルイソブチルケトン
その他エーテル類、エステル類、等



写真 2-1 防爆型ガス監視システム（カメラユニット部）

ポータブル型カメラの仕様を表 2-3 に示す。非防爆機器となるが、検知対象ガスや検知性能は防爆型と同一である。

また、ポータブル型カメラの写真を写真 2-2 に示す。

表 2-3 ポータブル型カメラの仕様

項目	ポータブル型カメラ
寸法 (L, W, H)	358 x 141 x 253mm
重量	4.2kg (バッテリー含む)



写真2-2 ポータブル型カメラ

第3章 確認実験

3.1 確認実験の目的

確認実験では、コニカミノルタ株式会社の赤外線カメラで撮影した危険物がどのように見えるかを趣旨とし、以下の条件を考慮した。

(1) 環境条件

ガス可視化にあたり、ガス温度と背景温度の差が重要であることから、夏季（日中）の屋外とした。

(2) 観察油種

危険物施設で貯蔵、取り扱われる主な危険物のうち、第四類引火性液体を対象とする。また、引火点、入手性を考慮し、ガソリン（第四類第一石油類）、灯油（第四類第二石油類）、エンジンオイル（第四類第四石油類）の3油種とした。

(3) 観察油量

滞油状態と滲み状態を模式するため、傾斜をつけたオイルパンに上手から危険物を注ぎ、下手の液溜まり（滞油）と上手の油膜（滲み）を同時に観察することとした。

(4) 観察距離

5-10mの近距離と 20-50mの中距離

なお、上記条件等から、実験場所は深田工業株式会社小牧事業所（愛知県小牧市大字西之島字北屋敷 869 番地の1）を選定した。

3.2 確認実験の概要

確認実験の概要は以下のとおりである。

(1) 実験実施日時

令和元年8月29日（木）10時00分から15時10分まで（準備等含む）

(2) 実験実施場所

深田工業株式会社小牧事業所（愛知県小牧市大字西之島字北屋敷 869 番地の1）
放水実験場（屋外）

(3) 観察油種

ア ガソリン（ENEOS レギュラーガソリン）

イ 灯油（ENEOS 灯油）

ウ エンジンオイル（5W-30）

(4) 観察油量

各油種 10L/回

(5) 実験資器材

ア 赤外線カメラ（コニカミノルタ株式会社 ポータブル型カメラ）2台

イ オイルパン（L2300mm×W900mm×H40mm（内径））

ウ 垂木（H60～70mm、傾斜付け用）

(6) 実験資器材配置場所（図3-1参照）

ア 赤外線カメラ（近距離用）

実験棟西側

- イ 赤外線カメラ（中距離用）
工場棟（1）2階階段踊り場
- ウ オイルパン
放水実験場

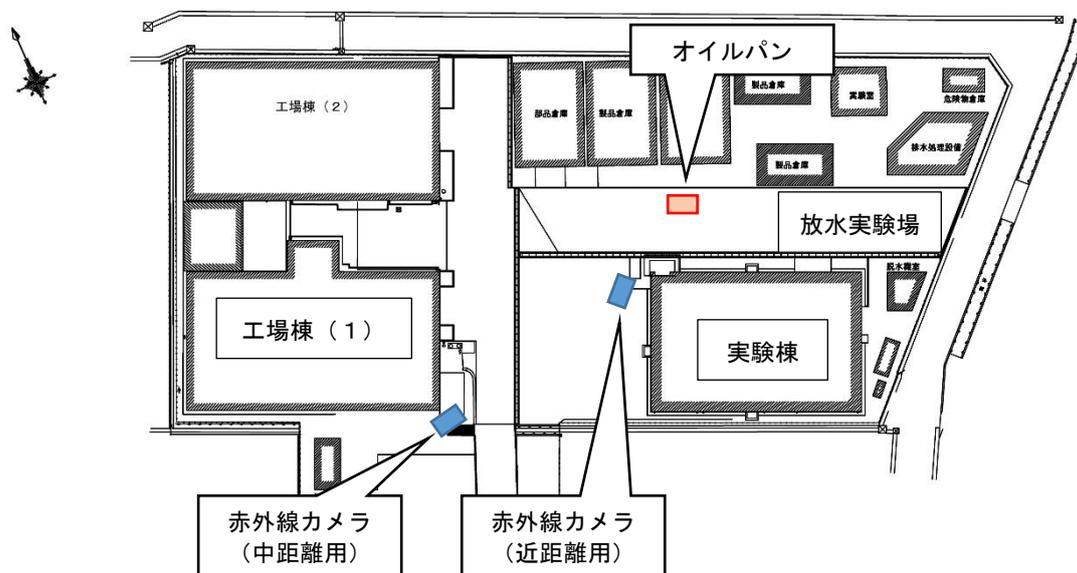


図 3 - 1 実験資器材配置状況

(7) 環境計測箇所

- ア 風向及び風速
- イ 温湿度
- ウ 油温
- エ オイルパン温度

(8) 実験手順

- ア 傾斜したオイルパンを設置し、近距離及び中距離の位置に赤外線カメラを配置。
- イ 環境計測開始と同時に撮影を開始し、1分後に観察油種 10L をオイルパンに投入。
- ウ 環境計測開始から 11 分後に実験終了。
- エ 実験終了後、油面深さを計測し、環境計測を終了。

3. 3 確認実験結果

3. 3. 1 第1回目

第1回目の観察距離は図3-2のとおりで、近距離用の赤外線カメラは13m、中距離用の赤外線カメラは43m90cmであり、オイルパンの傾斜高さは65mmである。

観察は、ガソリン、灯油、エンジンオイルの順に実施した。

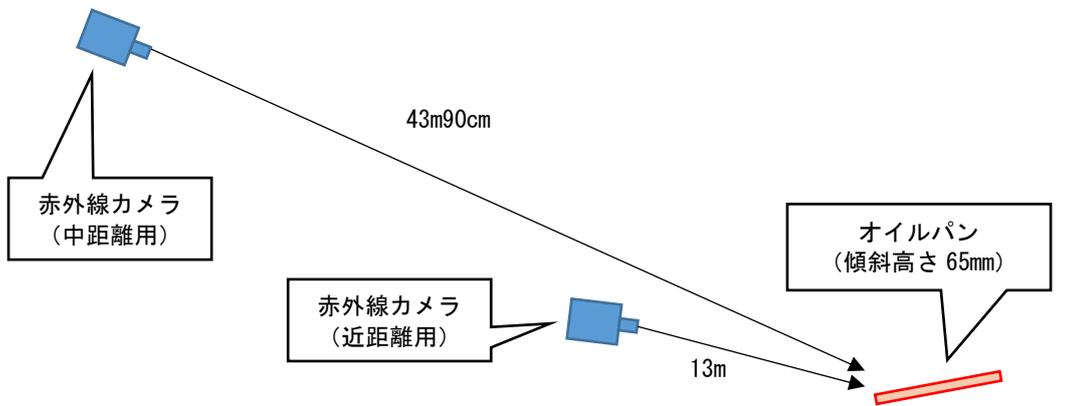


図3-2 観察距離概略図（第1回目）



写真3-1 赤外線カメラ（中距離用）



写真3-2 赤外線カメラ（近距離用）



写真3-3 オイルパン

(1) ガソリン

10時26分に環境計測及び撮影を開始し、1分後にガソリンをオイルパンに投入した。11分後の10時37分に実験を終了し、油面深さは23mmであった。



写真3-4 ガソリン投入状況



写真3-5 実験終了後のオイルパンの状況

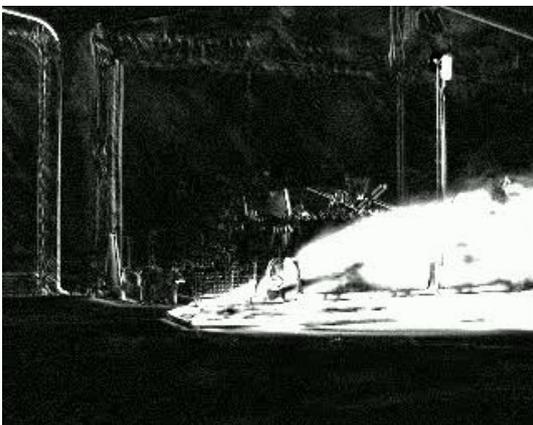
ガソリン投入開始から2分45秒後の画像を確認すると、近距離及び中距離ともに可視では分からない揮発成分が画像処理で可視化され、検知できている。

近距離のガス雲重畳画像では、オイルパン上の揮発成分を検知していない箇所認められるが、中間画像及び高感度画像では、オイルパン上から揮発成分が発生している状況が分かる。中距離の中間画像及び高感度画像においても同様にオイルパン上から揮発成分が発生している状況が分かる。

・可視画像



・中間画像



・ガス雲重畳画像



・高感度画像

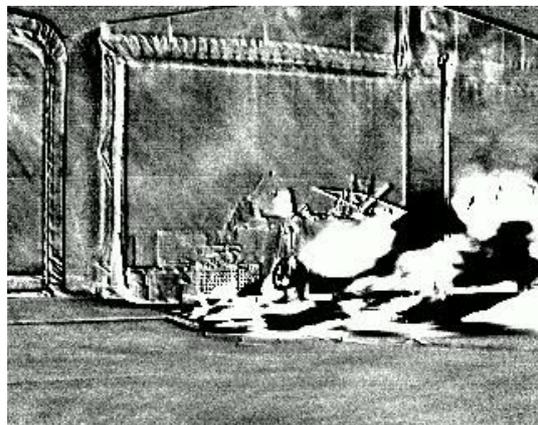
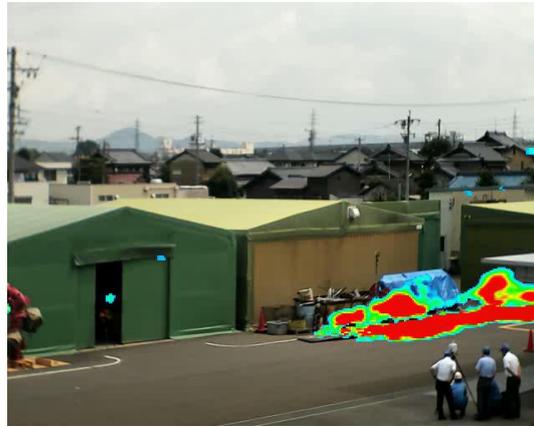


図3-3 赤外線カメラ（近距離用）によるガソリンの画像（投入開始2分45秒）

・可視画像



・ガス雲重畳画像



・中間画像



・高感度画像



図3-4 赤外線カメラ（中距離用）によるガソリンの画像（投入開始2分45秒後）

表3-1 ガソリン画像撮影時（第1回目）の環境

項目	計測内容
時刻	10時29分46秒 ※投入開始から2分45秒後
風速	3.13m/s
風向	北西
気温	34.37℃
湿度	57.2%
油温	31.95℃
オイルパン温度	39.45℃

(2) 灯油

10時50分に環境計測及び撮影を開始し、1分後に灯油をオイルパンに投入した。11分後の11時01分に実験を終了し、油面深さは30mmであった。



写真3-6 灯油投入状況



写真3-7 実験終了後のオイルパンの状況

灯油投入開始から4分22秒後及び4分28秒後の画像を確認すると、近距離及び中距離ともに可視では分からない揮発成分が画像処理で可視化され、検知できている。

ガソリンと比較すると、全体的に揮発成分の量が少なく、拡散した揮発成分は低い領域に滞留している様子がガス雲重畳画像、中間画像及び高感度画像で認められる。

・可視画像



・ガス雲重畳画像



・中間画像



・高感度画像

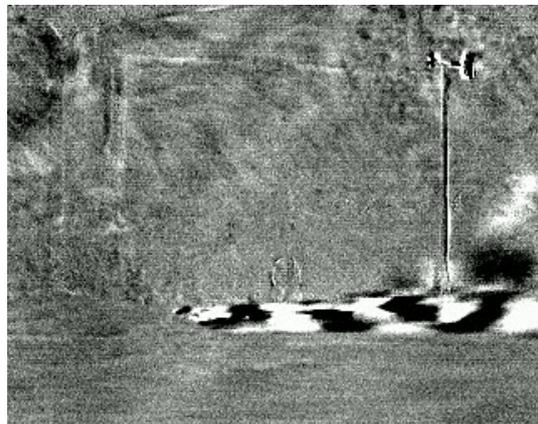
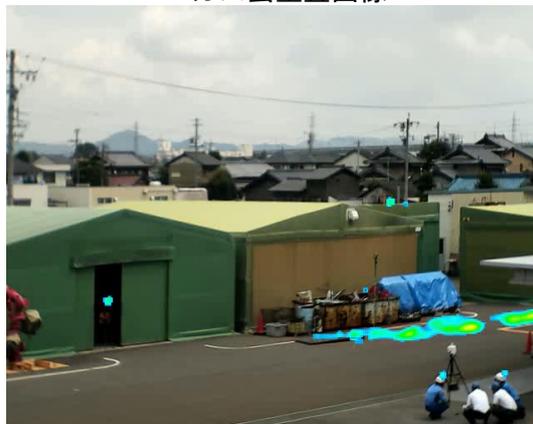


図3-5 赤外線カメラ（近距離用）による灯油の画像（投入開始6分28秒後）

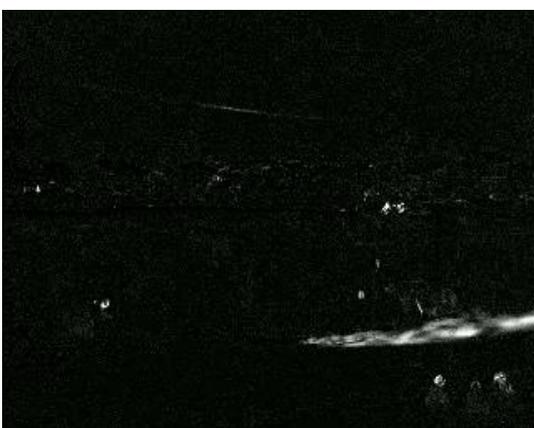
・可視画像



・ガス雲重畳画像



・中間画像



・高感度画像

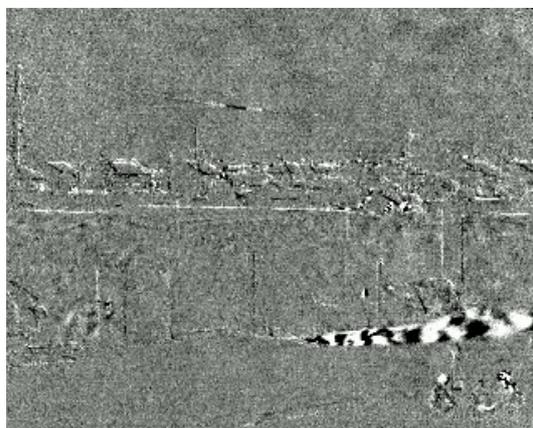


図3-6 赤外線カメラ（中距離用）による灯油の画像（投入開始4分22秒後）

表3-2 灯油画像撮影時（第1回目）の環境

項目	計測内容	
	10時56分15秒 ※投入開始から4分22秒後	10時56分21秒 ※投入開始から4分28秒後
風速	1.2m/s	1.78m/s
風向	北西	北
気温	34.72℃	34.72℃
湿度	56.46%	56.08%
油温	40.15℃	40.05℃
オイルパン温度	35.6℃	35.9℃

(3) エンジンオイル

11時24分に環境計測及び撮影を開始し、1分後にエンジンオイルをオイルパンに投入した。11分後の11時35分に実験を終了し、油面深さは30mmであった。



写真3-8 エンジンオイル投入状況



写真3-9 実験終了後のオイルパンの状況

エンジンオイル投入開始から6分34秒後の画像を確認すると、近距離及び中距離ともに揮発成分がほとんど認められないが、近距離の中間画像及び高感度画像では油面の位置が分かり、ガス雲重畳画像でも油面の一部を検出している。中距離の画像では油面が小さいため検知しておらず、中間画像及び高感度画像でも油面の位置は判別できない。

・可視画像



・中間画像



・ガス雲重畳画像



・高感度画像

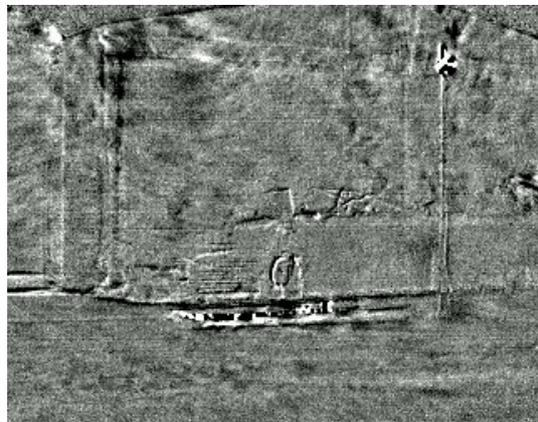


図3-7 赤外線カメラ（近距離用）によるエンジンオイルの画像（投入開始6分34秒後）

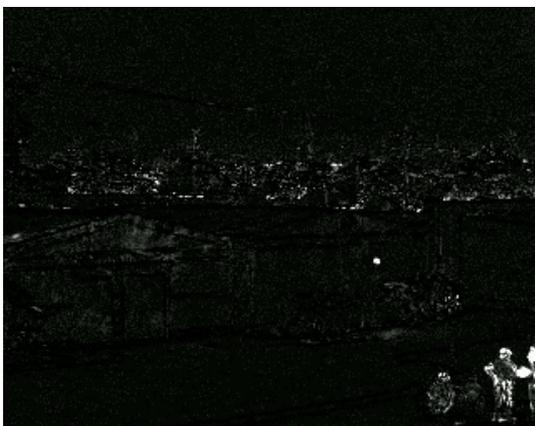
・可視画像



・ガス雲重畳画像



・中間画像



・高感度画像

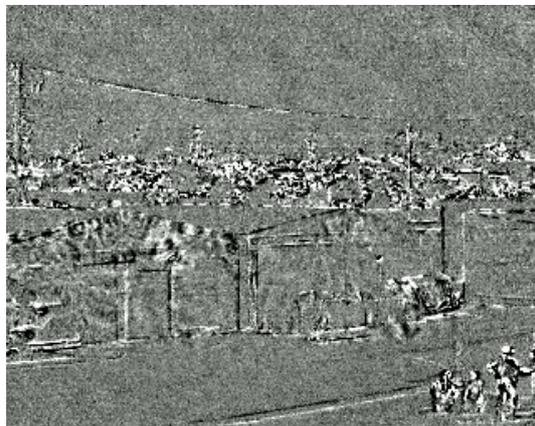


図 3-8 赤外線カメラ（中距離用）によるエンジンオイルの画像（投入開始 6 分 34 秒後）

表 3-3 エンジンオイル画像撮影時（第 1 回目）の環境

項目	内容
時刻	11 時 32 分 16 秒 ※投入開始から 6 分 34 秒後
風速	0.22m/s
風向	南東
気温	34.88℃
湿度	51.74%
油温	50.3℃
オイルパン温度	40.15℃

3. 3. 2 第2回目

第2回目は、油面の状況を第1回目より確認できるよう、オイルパンの位置、傾斜高さを変更した。

第2回目の観察距離は図3-9のとおりで、近距離用の赤外線カメラは11m60cm、中距離用の赤外線カメラは42m37cmであり、オイルパンの傾斜高さは138mmである。

観察は、エンジンオイル、ガソリン、灯油の順に行った。

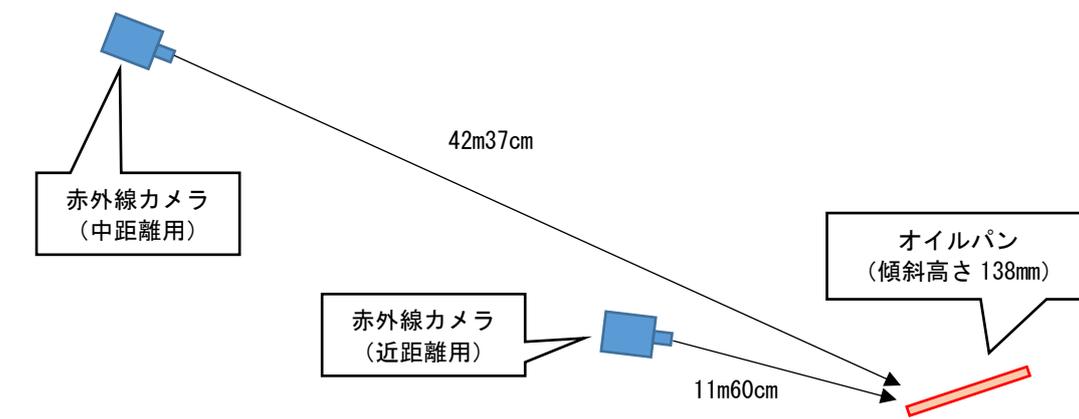


図3-9 観察距離概略図（第2回目）



写真3-10 赤外線カメラ（中距離用）



写真3-11 赤外線カメラ（近距離用）



写真3-12 オイルパン

(1) エンジンオイル

13時46分に環境計測及び撮影を開始し、1分後にエンジンオイルをオイルパンに投入した。11分後の13時57分に実験を終了し、油面深さは40mmであった。



写真3-13 エンジンオイル投入状況



写真3-14 実験終了後のオイルパンの状況

エンジンオイル投入開始から4分45秒後及び4分47秒後の画像を確認すると、第1回目と同様に、近距離画像は油面の状況が検知されており、中間画像及び高感度画像でも手前側の液溜まり部分の位置が分かる。中距離の画像では油面は検知されていない。また、近距離及び中距離ともに揮発成分はほとんど認められない。

また、近距離及び中距離ともに揮発成分はほとんど認められない。

・可視画像



・中間画像



・ガス雲重畳画像



・高感度画像



図3-10 赤外線カメラ（近距離用）によるエンジンオイルの画像（投入開始4分47秒後）

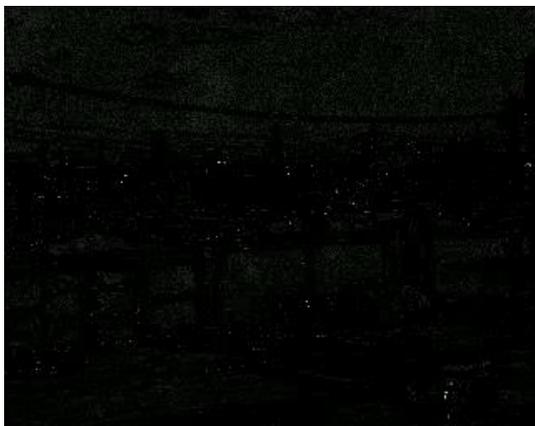
・可視画像



・ガス雲重畳画像



・中間画像



・高感度画像

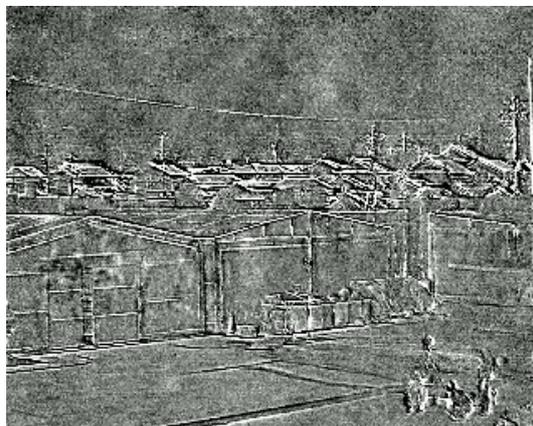


図 3-11 赤外線カメラ（中距離用）によるエンジンオイルの画像（投入開始 4 分 45 秒後）

表 3-4 エンジンオイル画像撮影時（第 2 回目）の環境

項目	計測内容	
	13 時 52 分 04 秒 ※投入開始から 4 分 45 秒後	13 時 52 分 06 秒 ※投入開始から 4 分 47 秒後
風速	1.68m/s	1.29m/s
風向	南西	西南西
気温	35.17℃	35.2℃
湿度	50.12%	50.02%
油温	43.05℃	43℃
オイルパン温度	44.05℃	44.1℃

(2) ガソリン

14時18分に環境計測及び撮影を開始し、1分後にガソリンをオイルパンに投入した。11分後の14時29分に実験を終了し、油面深さは32mmであった。



写真3-15 ガソリン投入状況



写真3-16 実験終了後のオイルパンの状況

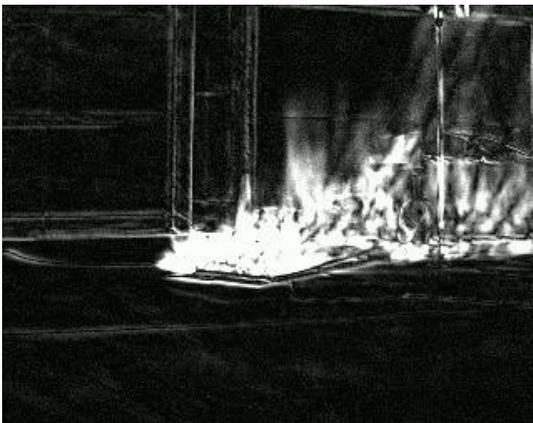
ガソリン投入開始から6分31秒後及び6分46秒後の画像を確認すると、第1回目と同様に、近距離及び中距離ともに揮発成分が画像処理で可視化され、検知できている。また、第1回目と比較すると、手前側の液溜まり部分からより多く揮発成分が発生している状況が分かる。

油面の状況は、第1回目と同様に、中間画像及び高感度画像ではオイルパン上から揮発成分が発生している状況が分かる。ガス雲重畳画像では第1回目と比較すると検知しているが、手前側の液溜まり部分の一部を検知していない。

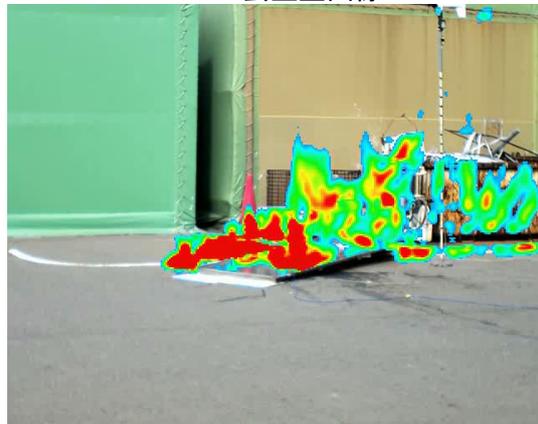
・可視画像



・中間画像



・ガス雲重畳画像



・高感度画像

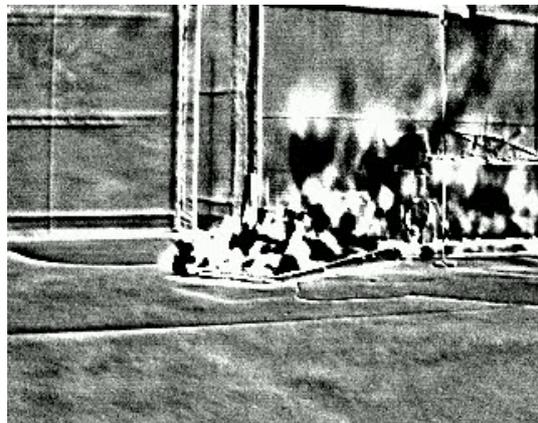
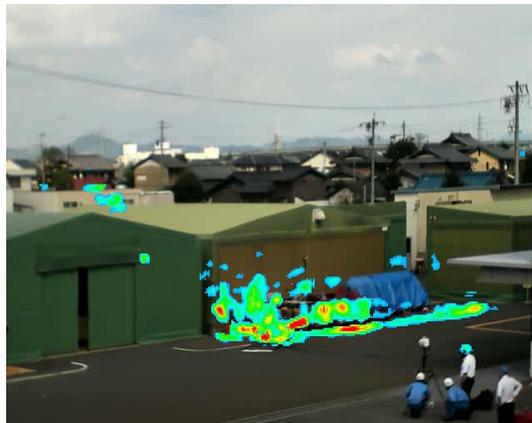


図3-12 赤外線カメラ（近距離用）によるガソリンの画像（投入開始6分31秒後）

・可視画像



・ガス雲重畳画像



・中間画像



・高感度画像

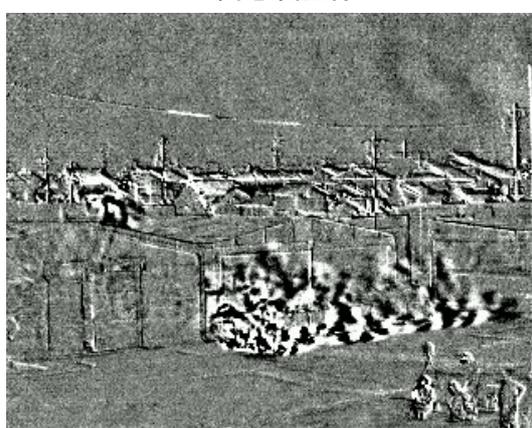


図3-13 赤外線カメラ（中距離用）によるガソリンの画像（投入開始6分46秒後）

表3-5 ガソリン画像撮影時（第2回目）の環境

項目	計測内容	
	14時25分37秒 ※投入開始から6分31秒後	14時25分52秒 ※投入開始から6分46秒後
風速	1.29m/s	2.36m/s
風向	西	南西
気温	35.1℃	35.07℃
湿度	49.24%	49.16%
油温	27.8℃	27.75℃
オイルパン温度	26.5℃	26.55℃

(3) 灯油

14時56分に環境計測及び撮影を開始し、1分後に灯油をオイルパンに投入した。11分後の15時07分に実験を終了し、油面深さは40mmであった。



写真3-17 灯油投入状況



写真3-18 実験終了後のオイルパンの状況

灯油投入開始から5分35秒後及び5分41秒後の画像を確認すると、第1回目と同様に、近距離及び中距離ともに揮発成分が検知できている。

近距離のガス雲重畳画像を見ると、第1回目と比較して検知している揮発成分は少なく、油面上も検知していない箇所が認められるが、中間画像及び高感度画像では、オイルパン上から揮発成分が発生している状況が分かり、手前側の液溜まり部分からより多くの揮発成分が発生している状況が分かる。

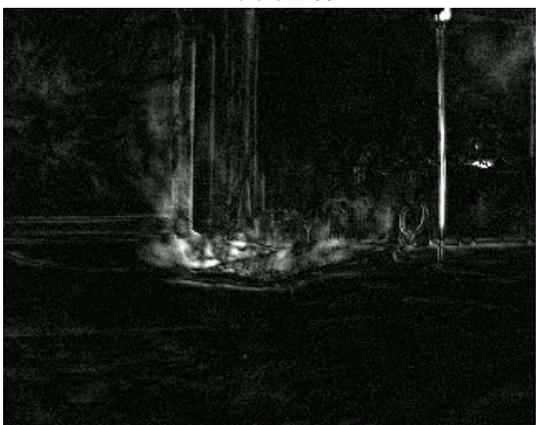
・可視画像



・ガス雲重畳画像



・中間画像



・高感度画像

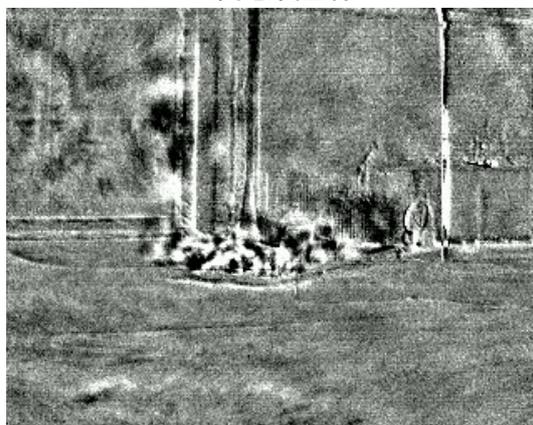


図3-14 赤外線カメラ（近距離用）による灯油の画像（投入開始5分35秒後）

・可視画像



・ガス雲重畳画像



・中間画像



・高感度画像

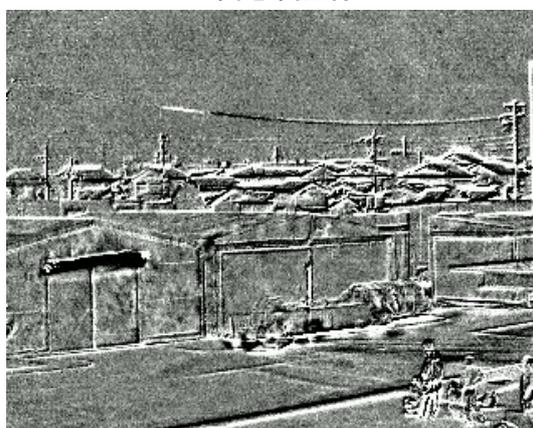


図3-15 赤外線カメラ（中距離用）による灯油の画像（投入開始5分41秒後）

表3-6 灯油画像撮影時（第2回目）の環境

項目	計測内容	
	15時02分45秒 ※投入開始から5分35秒後	15時02分51秒 ※投入開始から5分41秒後
風速	1.1m/s	2.85m/s
風向	南西	南西
気温	34.72℃	34.72℃
湿度	50.12%	50.24%
油温	39.45℃	39.4℃
オイルパン温度	39.95℃	39.95℃

3. 4 考察

当該実験結果をまとめると、以下の表のとおりとなる。

表 3-7 実験結果

		画像検知		引火点※1	撮影時の 気温	撮影時の 油温
		近距離	中距離			
ガソリン	第1回目	可	可	約-40℃	約 34.3℃	約 32.9℃
	第2回目	可	可	以下	約 35.1℃	約 27.8℃
灯油	第1回目	可	可	40~75℃	約 34.7℃	約 40.1℃
	第2回目	可	可		約 34.7℃	約 39.4℃
エンジンオイル	第1回目	可※2	不可	204~	約 34.9℃	約 50.3℃
	第2回目	可※2	不可	245℃	約 35.2℃	約 43℃

※1 安全データシートより

※2 油面検知

(1) ガソリンについて

ガソリンは、近距離及び中距離いずれもガス雲重畳画像で多量の揮発成分が発生している状況を確認することができた。第2回目では、油量に比例して、オイルパンの液溜まり部分から揮発成分が多く発生している状況を中間画像、高感度画像及びガス雲重畳画像で確認することができた。

これは、撮影時の油温がガソリンの引火点を越えていたためと考えられる。ガソリンの引火点は約-40℃であり、常温であれば検知できると考えられる。

ガス雲重畳画像では油面を検知していない箇所（ガソリン投入後2分45秒後の画像（第1回目）及び6分31秒後（第2回目）の画像）が認められたが、これは、ガソリンの揮発成分濃度が高く、ノイズキャンセル処理が働き表示除去されたためと考えられる。外周部の比較的濃度の低い領域は検知されていることから、揮発成分の存在範囲は可視化されているといえる。

また、中間画像及び高感度画像を見ると、オイルパンから揮発成分が発生している状況が認められたことから、ガス雲重畳画像と中間画像、高感度画像を比較、併用することで油面と揮発成分の検出が可能と考えられる。

(2) 灯油について

灯油は、ガソリンと同様に近距離及び中距離いずれもガス雲重畳画像で揮発成分が発生している状況を確認できた。第1回目では、灯油の揮発成分がオイルパンを覆うように発生しており、ガソリンの発生状況と異なる状況も確認できた。

撮影時の油温が灯油の引火点付近であったため、ガソリンと同様に検知できるものと考えられる。

ガス雲重畳画像ではガソリンと同様に油面を検知していない箇所（灯油投入後5分35秒後（第2回目）の画像）が認められたが、これも揮発成分濃度が高く、ノイズキャンセル処理により表示除去されたためと考えられる。中間画像及び高感度画像を見る

と、オイルパンから揮発成分が発生している状況が認められたことから、ガス雲重畳画像と中間画像、高感度画像を比較、併用することで油面と揮発成分の検出が可能と考えられる。

(3) エンジンオイルについて

エンジンオイルは、近距離及び中距離ともにガソリン及び灯油と同様の揮発成分発生状況を確認することができなかった。撮影時の油温がエンジンオイルの引火点未満であったためと考えられる。

なお、近距離のガス雲重畳画像では、油面の一部を検知（エンジンオイル投入後6分34秒後（第1回目）及び4分47秒後（第2回目）の画像）しており、中間画像及び高感度画像でも油面位置が判別できる。これは、揺らいている油面によって周囲の赤外線が反射されたためと考えられる。今後検証が必要であるが、多量の揮発成分が発生しない環境下でも、ガス雲重畳画像、中間画像及び高感度画像を比較、併用することで油面を検出できる可能性が考えられる。

第4章 活用事例と今後の課題

4.1 活用事例

第四類引火性液体のうち代表的な危険物であるガソリン（第一石油類）、灯油（第二石油類）は、当該ガス広域監視システムの画像処理により確認できることから、危険物施設における漏えい箇所の検知にも一定の効果があるものと考えられる。

当該ガス広域監視システムによる監視が有効であると考えられる危険物施設における事例を以下に述べる。

(1) 浮き屋根式の屋外貯蔵タンクのデッキ上に滞油した危険物の早期発見のための点検、監視に有効であると考えられる。

危険物施設の多くは長期間の使用による老朽化が問題となっている。

特に屋外貯蔵所タンクの浮き屋根デッキ上の滞油については、経年劣化によるデッキ板の腐食による滞油の他、大規模地震発生時のスロッシングによる滞油が数多く発生している。

デッキ上の滞油を放置しておくことは、何らかの火源により火災が発生し全面火災という最悪のシナリオも想定される危険な状態である。

これらデッキ上の滞油については、日常の目視点検や地震発生時の緊急目視点検により発見される。

しかし、近年の石油元売り事業者の統合により、多くの浮き屋根タンクを保有する製油所が製油装置の稼働を停止し、従事する従業員を大幅に減員したが、油槽所としての機能を確保するため屋外貯蔵タンクはそのまま維持している状況である。

デッキ上の滞油を確認するには、従業員がタンク一基ずつ高さ 20m のタンク上部まで登り確認することとなるが、大規模石油備蓄基地や油槽所においては従業員一人あたりのタンク基数が多く、従前のような点検頻度が確保できていない可能性もあり、大規模地震発生直後の緊急点検時は従業員の安全も図りつつ点検を行う必要がある。

このような状況から、当該ガス広域監視システムによる監視は、早期発見及び地震発生後の緊急点検に有効であると考えられる。



写真4-1 浮き屋根デッキ上の滞油状況①



写真4-2 浮き屋根デッキ上の滞油状況②



写真4-3 タンク全面火災

- (2) 内部浮き蓋式屋外貯蔵タンクにおける浮き蓋上に滞油した危険物の監視に有効であると考えられる。

内部浮き蓋式屋外貯蔵タンクは、固定屋根の内側に浮き屋根が設けられたものであり、内部の浮き屋根上の目視での点検は困難な状態である。当該赤外線カメラにより定時的な観測を行うことにより、固定屋根に取り付けられた通気口からの可燃性蒸気の状態から内部の浮き屋根上に危険物が滞油したことを、当該ガス広域監視システムの画像の対比により検知することが可能であると考えられる。

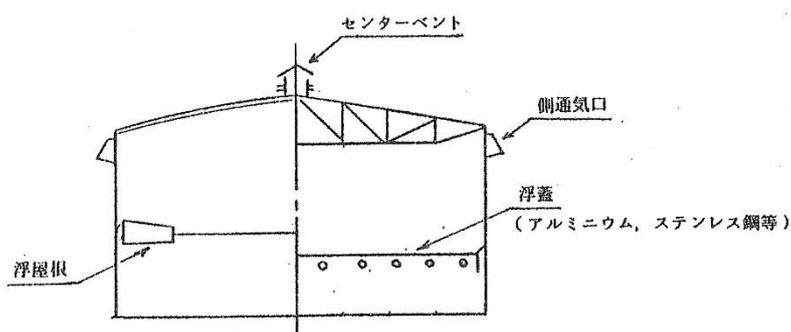


図 4-1 内部浮き屋根式屋外貯蔵タンク概要図

- (3) プラント内配管からの危険物の漏えい検知に有効であると考えられる。

プラント施設内での危険物の漏えいは、爆発・火災危険に直結する要因である。漏えいを早期に発見することは、プラント内作業に従事する従業員の人的被害軽減に寄与する。



写真 4-4 危険物施設配管からの漏えい事例

4. 2 今後の課題

今回の確認実験では、当該ガス広域監視システムの画像検知における良好条件により実施し、ガソリン及び灯油では、約 40m 離れた距離からでも検知できたが、エンジンオイルでは、揮発成分を確認することはできなかった。

また、エンジンオイルでは、約 10m の距離では油面を検知したが、油面の揺らぎによる周囲の赤外線反射によるものと考えられることから、例えば水などの今回の確認実験で使用した危険物以外の液体で検知されるかどうか確認する必要がある。

よって、天候、気温、油温、油種、距離等の条件は、検知できる条件に直結することから、当該ガス広域監視システムを前述の事例に活用できるようにするためには、以下の項目の検証を行い、検出できる条件等を把握することが必須である。

(1) 気温に関する検証

北海道等の寒冷地での使用が可能であるか検証を行う必要がある。

(2) 天候による検証

雨天や曇り等天候に左右される要因について検証する必要がある。

(3) 昼夜間による検証

夜間における検知能力に対して検証する必要がある。

(4) 検知・画像確認限界（撮影距離）のついての検証

備蓄基地や油槽所等の広大な敷地での検知に対しての有効検知距離等の検証が必要である。

(5) 検知不能危険物に対する検証

化学工場等において使用されている危険物は、炭化水素系に限られていないことから、検知不能となり得る液体危険物について明らかにする必要がある。

(6) 実施設での検証

実際に事業所等において当該ガス広域監視システムを使用し、屋外貯蔵タンク及びプラント等に対して実証する必要がある。