

# 自然発火したタオル等に含まれる油脂の特定に関する検証

鈴木 啓太\*, 角熊 祐司\*\*, 望月 真\*\*, 清水 崇一\*\*

## 概 要

当庁管内では毎年自然発火に起因する火災が発生している。これらの火災は、主に動植物油に含まれるトリアシルグリセロール中の不飽和アシル基が原因であると考えられている。

従来の火災鑑定では、焼損したタオル等に含まれる油脂中のトリアシルグリセロールから不飽和アシル基を不飽和脂肪酸として取り出し、前処理をした後にガスクロマトグラフ質量分析装置により分析することでその存在を明らかにしてきたが、油脂の種類を特定するまでには至っていない。

本検証では、油脂の種類を特定に有効と考えられる液体クロマトグラフ分析装置を用いて、自然発火の原因となり得る様々な油脂の分析を行った。その結果、火災現場から採取したタオル等の焼損残渣物、同時に持ち込まれた対照試料及び試薬のクロマトグラムを比較することで油脂の種類の推定が可能であることが明らかとなった。

## 1 はじめに

当庁管内では毎年自然発火に起因する火災が発生している。これらの火災は、主に動植物油に含まれるトリアシルグリセロール（以下「TAG」という。）中の不飽和アシル基が原因であると考えられている。大量のタオルやウエス等に染み込んだ油脂に含まれる不飽和アシル基は、空気中の酸素と酸化発熱反応を起こし、タオル等の堆積物の内部の温度を徐々に上昇させ、最終的に発火に至る。

従来の火災鑑定では、焼損したタオル等に含まれる油脂中の TAG から不飽和アシル基を不飽和脂肪酸として取り出し、分析前処理をした後にガスクロマトグラフ質量分析装置（以下「GC-MS」という。）により分析することでその存在を明らかにしてきたが、油脂の種類（以下「油種」という。）を特定するまでには至っていない。そのため、油種を特定する手法を確立することは、自然発火の原因究明に寄与するだけでなく、関係者等に対し、身近にある油脂製品の自然発火の危険性を理解してもらうことにつながるという。

## 2 検証目的

油種の特定に有効と考えられる液体クロマトグラフ分析装置（以下「LC」という。）を用いて、タオル等から抽出した油脂に含まれる TAG を直接検出し、油種を特定する手法を確立して火災原因判定に有用な資料を鑑定依頼先に提供することを目的とした。

## 3 検証方法

当庁で LC を用いた火災鑑定は前例がないことから、以下の順に検証を進めた。

### (1) データベースの作成

LC におけるデータベースを構築すること及び脂肪酸成分比が似た含有率のものはクロマトグラムが類似するのを確認することを目的とし、新規に購入した 28 種類の試薬について文献調査及び LC による測定を行った。

具体的な測定方法としては、バイアルに各試薬を電子天秤で 10mg 計りとった後、イソプロピルアルコール（以下「IPA」という。）1 mL を加えて十分に溶かし、測定した。

### (2) 新旧試薬の比較

新しく購入した試薬（以下「新試薬」という。）と開封済みで試薬庫に保管されていた試薬（以下「旧試薬」という。）で油脂の酸化がクロマトグラムに影響するのについて確認することを目的とし、新試薬と旧試薬 12 種類について比較を行った。なお、旧試薬は、開封から 1 年以上経過している。

### (3) 混合試薬と純試薬の比較

試薬を 2 種混合させたもの（以下「混合試薬」という。）のクロマトグラムから混合前のそれぞれの試薬の種類を判別できるかについて確認することを目的とし、両者のクロマトグラムの比較を行った。

混合試薬は、各試薬をそれぞれ(1)のデータベース作成時の濃度で IPA に溶かし、その溶液を 0.5mL ずつとり、混ぜ合わせるにより作成した。

#### (4) 販売製品と試薬の比較

一般に販売されている油脂を含む製品と、試薬及び混合試薬に違いがあるのかを確認することを目的とし、同様に比較を行った。販売製品についてはそれぞれ直接バイアルに入れて IPA に溶かし、混合試薬については、前記(3)と同様の方法で作成した。

#### (5) 疑似焼損試料との比較

熱履歴が異なっても油種の特定に必要なクロマトグラムを得ることができるのかについて確認することを目的とし、同様に比較を行った。

試料の作成方法として、疑似的に焼損させた2種類の試料を作成した。1つ目はアミニ油を染み込ませた布片をマッフル炉にて30分かけて約7.5℃/minで250℃まで加熱した後冷却したもの(写真1)、2つ目はアミニ油を染み込ませた布片に直接着火し焼損させたもの(写真2)である。これらの布片をそれぞれ丸底フラスコに入れ、ヘキサンを加えて攪拌し、ヘキサン中に各試料に含まれる油脂成分を抽出した(120℃、3時間)。ヘキサン抽出後の溶液を蒸発皿に20mLとり、ヘキサンを揮発させた。その後、蒸発皿上に残った油脂を採取しIPAに溶かした。

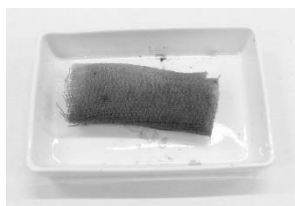


写真1 250℃加熱後



写真2 焼損後

#### (6) 残渣物と対照試料の比較

実際に火災鑑定物件として持ち込まれた残渣物(写真3)及び同時に持ち込まれた対照試料(写真4)から、油種を特定できるかについて確認することを目的とし、同様に比較を行った。残渣物から試料を作成する方法は前記(5)と同様である。



写真3 鑑定物件(例)



写真4 対照試料(例)

## 4 使用機器等

#### (1) 使用機器及び測定条件

LCはAgilent 1260 Infinity、検出器はダイオードアレイ検出器、カラムはZORBAX SB-C18 長さ150mm、内径3.0mm、粒径1.8μm(いずれもアジレント・テクノロジー株式会社)(写真5)、移動相はアセトニトリル及びIPA

(いずれも和光純薬工業株式会社)を使用した。カラム温度は20.0℃、流量は0.6mL/min、注入量は5.0μLである。グラジエント条件を表1に示す。

表1 グラジエント条件

| 時間(分) | アセトニトリル(%) | IPA(%) |
|-------|------------|--------|
| 0~24  | 80→40      | 20→60  |
| 24~30 | 40         | 60     |
| 30~31 | 40→80      | 60→20  |
| 31~35 | 80         | 20     |

#### (2) 測定原理

LCの測定原理は、溶液中の分子の、固定相に対する吸着性または分配係数の違いなどにより、カラム内の移動速度に差が生じることを利用して混合物を分離し、屈折率の変化、紫外吸収などにより検出するものである<sup>1)</sup>。

なお、逆相モードにおけるTAGのLCでは下記の式で定義されるECN(equivalent carbon number)と呼ばれる数字が大きなものほど、保持時間が長くなることが知られている<sup>2)</sup>。

$$ECN = CN - 2DB$$

ECN: equivalent carbon number

CN: the total carbon number in all acyl chains

DB: the number of double bonds

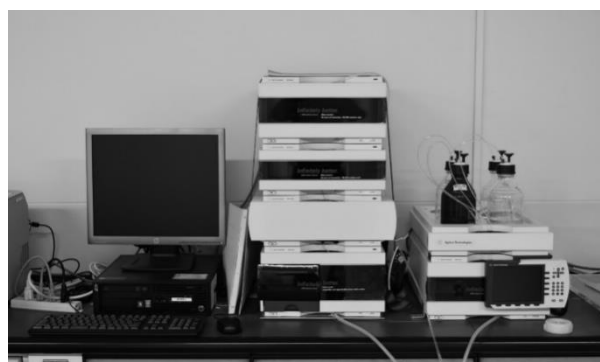


写真5 LC機器構成

#### (3) 相関係数

前記3(6)でTAGに由来すると考えられる残渣物、対照試料、試薬のピークの面積比をそれぞれ算出し、対照試料と残渣物及び対照試料と試薬のピークの面積比における相関係数を求め、表2からその強さを求めた<sup>3)、4)</sup>。

表2 相関係数(r)の評価基準

| 相関係数の値(-)            | 相関係数の強弱  |
|----------------------|----------|
| $0.8 \leq  r $       | 強い相関あり   |
| $0.6 \leq  r  < 0.8$ | 相関あり     |
| $0.4 \leq  r  < 0.6$ | 弱い相関あり   |
| $ r  < 0.4$          | ほとんど相関なし |

## 5 検証結果及び考察

### (1) データベースの作成

#### ア 結果

試薬の LC によるクロマトグラムの一例(図1～図4)、及び主な脂肪酸成分比(表3)<sup>5)~7)</sup>をそれぞれ示す。

アマニ油(図1)では、最初に10mg/mLの濃度で測定したところ、ピーク強度が強くピーク幅が広がり、明瞭なクロマトグラムを得ることができなかった。そこで、単位体積当たりの試薬量を減らしていき、5mg/mLをアマニ油の最適濃度とした。

ローズヒップ油(図2)とククイナッツ油(図3)では、両者の間で類似したクロマトグラムが得られた。主要な脂肪酸成分比を比べると両者ともリノール酸、リノレン酸、オレイン酸の順で多く含まれており、成分比も類似している。

ユーカリ油(図4)及びオレンジ油は動植物油類であるが、本測定条件ではピークが5分以内に集中して分離ができず、かつ重なってしまうため、クロマトグラムによる判別は不可能である。また、テレピン油等(第2石油類及び第3石油類)も同様の理由から判別は不可能である。

#### イ 考察

各試薬から特有のクロマトグラムを得ることができた。このことから、本検証における LC の測定条件は TAG を含有する油脂の分析に適していると考えられる。

また、今回の測定条件では濃度が高いとクロマトグラムにおけるピーク幅が広がり、低いと明瞭なピークが得られないが、その濃度は試薬の種類ごとに異なったことから、各試薬には明瞭なクロマトグラムを得るための最適量が存在する。

さらに、各試薬のクロマトグラムを比較すると、脂肪酸の成分比が類似する試薬については、クロマトグラムも類似することが確認された。

一方、類似したクロマトグラム間においてもわずかな違いが見られたことについては、主な成分以外の脂肪酸の存在や油脂の性質の違いが、脂肪酸の成分比の違いだけでなく、グリセリド分子の間における脂肪酸の組み合わせの違いによっても左右されること<sup>8)</sup>が原因であると考えられる。

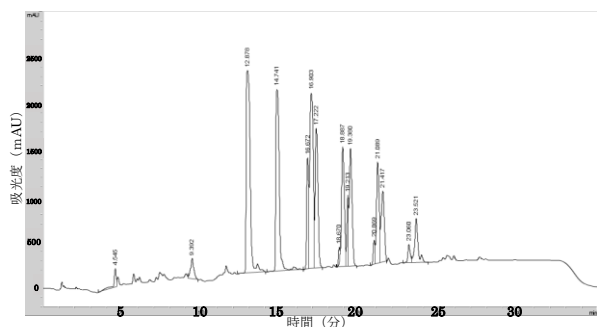


図1 アマニ油 (5mg/mL)

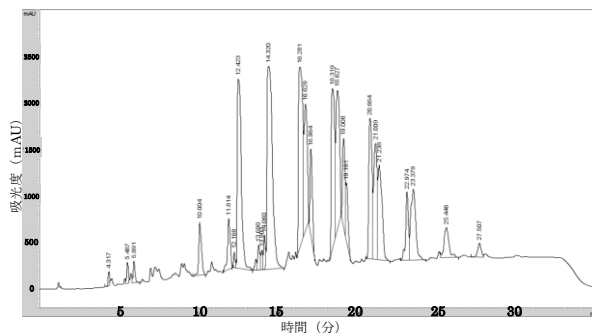


図2 ローズヒップ油

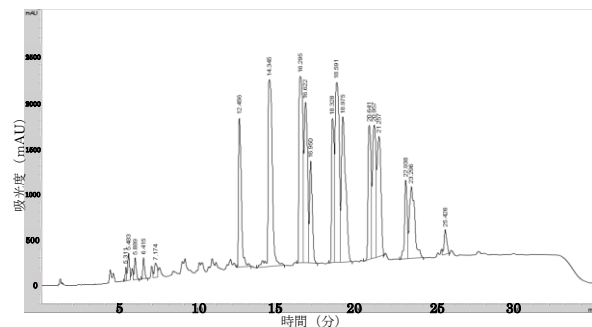


図3 ククイナッツ油

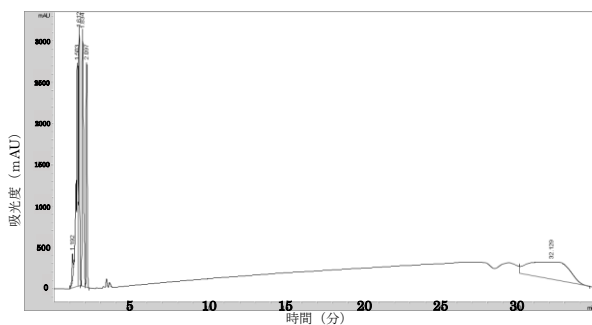


図4 ユーカリ油

表3 各試薬の脂肪酸成分比

| 番号 | 油種    | 危険物<br>類別 | 油性                 | 主な成分比                                           |
|----|-------|-----------|--------------------|-------------------------------------------------|
| 1  | ホホバ油  | 非         | 不乾性油               | イコセン酸 71.3%<br>ドコセン酸 13.6%<br>オレイン酸 10.1%       |
| 2  | アボガド油 | 非         | 不乾性油<br>又は<br>半乾性油 | オレイン酸 64~90%<br>パルミチン酸 4~16%<br>リノール酸 2.2~12.2% |
| 3  | アマニ油  | 非         | 乾性油                | リノレン酸 52%<br>オレイン酸 22%<br>リノール酸 15%             |
| 4  | オリーブ油 | 非         | 不乾性油               | オレイン酸 76%<br>パルミチン酸 12%<br>リノール酸 8%             |
| 5  | 大豆油   | 非         | 半乾性油               | リノール酸 51%<br>オレイン酸 25%<br>パルミチン酸 12%            |
| 6  | コーン油  | 非         | 半乾性油               | リノール酸 58%<br>オレイン酸 29%<br>パルミチン酸 12%            |

|    |               |           |                    |                                             |
|----|---------------|-----------|--------------------|---------------------------------------------|
| 7  | ゴマ油<br>(焙煎)   | 非         | 半乾性油               | オレイン酸 42.4%<br>リノール酸 40.1%<br>パルミチン酸 11.9%  |
| 8  | ゴマ油<br>(非焙煎)  | 非         | 半乾性油               | オレイン酸 42.4%<br>リノール酸 40.1%<br>パルミチン酸 11.9%  |
| 9  | バーシック油        | 非         | 不乾性油<br>又は<br>半乾性油 | オレイン酸 64.4%<br>リノール酸 31.8%<br>パルミチン酸 2.6%   |
| 10 | ナタネ油          | 動植物<br>油類 | 半乾性油               | ドコセン酸 28%<br>オレイン酸 22%<br>リノール酸、イコセン酸 15%   |
| 11 | パーム油          | 動植物<br>油類 | 不乾性油               | パルミチン酸 44.5%<br>オレイン酸 41.5%<br>リノール酸 7.0%   |
| 12 | ヒマシ油          | 非         | 不乾性油               | リシノール酸 89.4%<br>リノール酸 3.4%<br>オレイン酸 3.2%    |
| 13 | ヒマワリ油         | 非         | 乾性油                | リノール酸 59.5%<br>オレイン酸 30.0%<br>パルミチン酸 7.1%   |
| 14 | ブドウ種子油        | 非         | 半乾性油<br>又は<br>乾性油  | リノール酸 52.4%<br>オレイン酸 37.6%<br>パルミチン酸 7.4%   |
| 15 | ベニバナ油         | 動植物<br>油類 | 不乾性油               | オレイン酸 80.7%<br>リノール酸 12.2%<br>パルミチン酸 5.4%   |
| 16 | アーモンド油        | 非         | 不乾性油               | オレイン酸 77.0%<br>リノール酸 17.3%<br>パルミチン酸 4.5%   |
| 17 | マカデミア<br>ナッツ油 | 非         | 不乾性油               | オレイン酸 57.0%<br>パルミトリン酸 24.6%<br>パルミチン酸 7.8% |
| 18 | ヤシ油           | 非         | 不乾性油               | ラウリン酸 47.3%<br>ミリスチン酸 16.6%<br>パルミチン酸 7.8%  |
| 19 | ローズヒップ<br>油   | 非         | 乾性油                | リノール酸 44%<br>リノレン酸 35%<br>オレイン酸 14%         |
| 20 | クイナツ<br>油     | 非         | 乾性油                | リノール酸 41.8%<br>リノレン酸 28.9%<br>オレイン酸 19.8%   |
| 21 | 綿実油           | 動植物<br>油類 | 半乾性油               | リノール酸 52%<br>パルミチン酸 27%<br>オレイン酸 17%        |
| 22 | ユーカリ油         | 動植物<br>油類 | —                  | —                                           |
| 23 | オレンジ油         | 動植物<br>油類 | —                  | —                                           |
| 24 | テレピン油         | 第2<br>石油類 | —                  | —                                           |
| 25 | ローズマリー<br>油   | 第2<br>石油類 | —                  | —                                           |
| 26 | ベルガモット<br>油   | 第2<br>石油類 | —                  | —                                           |
| 27 | チョウジ油         | 第3<br>石油類 | —                  | —                                           |
| 28 | ツェーデル油        | 第3<br>石油類 | —                  | —                                           |

—: TAG が含まれていないもの

## (2) 新旧試薬の比較

### ア 結果

新旧試薬のクロマトグラムの一例（図5、図6）をそれぞれ示す。なお、1段目に旧試薬、2段目に新試薬のクロマトグラムをそれぞれ示す。

旧試薬からも、油種の特定に必要なクロマトグラムが得られた（図5）。

一方、ベニバナ油（図6）のみクロマトグラムに大きな違いが見られた。

### イ 考察

ベニバナ油を除く新試薬と旧試薬ではクロマトグラムに特異な違いは見られないことが確認された。なお、油脂の酸化は空気が存在する限り必ず起こるものであり、その進行の速さは油脂の不飽和度や熱、光線等の外的条件により著しく影響を受ける<sup>9)</sup>。そのため、本検証において測定した旧試薬についても少なからず酸化されていることが予測されるが、室内（薬品庫）で開封後長期間蓋をされて密閉され、1年以上保管した程度の酸化では、油種の判別を不可能にする程の影響をクロマトグラムには与えない。このことから、実際に店舗等で使用されているような、開封後に改めて密閉保存されている対照試料のクロマトグラムも同様であることが予測される。

また、ベニバナ油には脂肪酸の成分比の全く異なる2品種（ハイリノール種とハイオレイック種）があり、前者はリノール酸を約75%含み、後者はオレイン酸を約75%含む<sup>10)</sup>。このことにより、ハイリノール種ではハイオレイック種に比べECNの小さなTAGが多く含まれ、保持時間が短くなることが推測される。よって、旧試薬がハイリノール種であり、新試薬がハイオレイック種であったことが、両クロマトグラムに差が見られた原因となった可能性が考えられる。

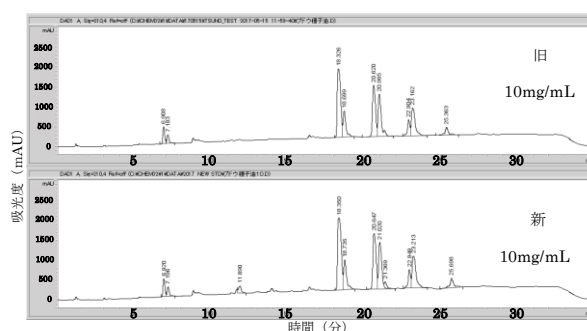


図5 ブドウ種子油

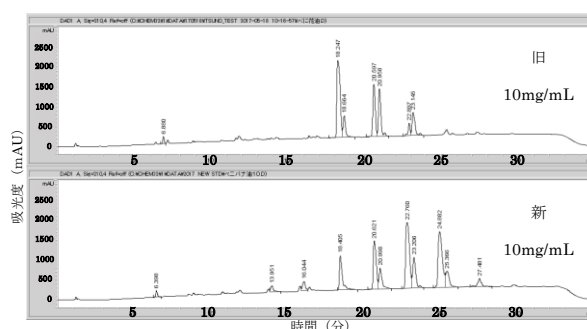


図6 ベニバナ油

### (3) 混合試薬と純試薬の比較

#### ア 結果

混合試薬と純試薬のクロマトグラムの一例（図 7、図 8）及び判別可否一覧（表 4）をそれぞれ示す。なお、1 段目に混合試薬、2 段目及び 3 段目に混合前の各試薬のクロマトグラムをそれぞれ示す。

クロマトグラムのほとんどが類似するが、一部異なるクロマトグラムを持つものの組み合わせとして、ローズヒップ油とククイナッツ油の混合試薬を測定した。結果として、約 10.0 分及び約 11.8 分にローズヒップ油由来と考えられるピークが見られるが、混合試薬のクロマトグラムから混合前の各試薬を判別することは難しい。

各ピーク群の保持時間が長い油と各ピーク群の保持時間が短い油の組み合わせとしてナタネ油とヒマシ油の混合試薬を測定した。結果として、約 7.4 分、約 8.9 分及び約 10.6 分付近にヒマシ油に由来すると考えられるピークが見られ、それ以外はナタネ油に由来すると考えられるピーク群が見られたことから、それらを指標として判別可能である。

#### イ 考察

混合前の各試薬について、各ピーク群の保持時間が大きく異なるクロマトグラムを示す試薬については、混合しても判別できることが確認された。しかし、各ピーク群の保持時間が同じであるかまたは、類似したクロマトグラムを示す試薬については、混合試薬から混合前の各試薬を判別することは難しい。

なお、ヒマシ油については他の試薬に比べ各ピーク群の保持時間が短いことから、判別が容易であった。これは、ヒマシ油に多く含まれるリシノール酸は ECN が小さく、ヒドロキシル基の極性が影響し、本測定条件においては保持時間が短くなったことが原因であると考えられる<sup>11)</sup>。

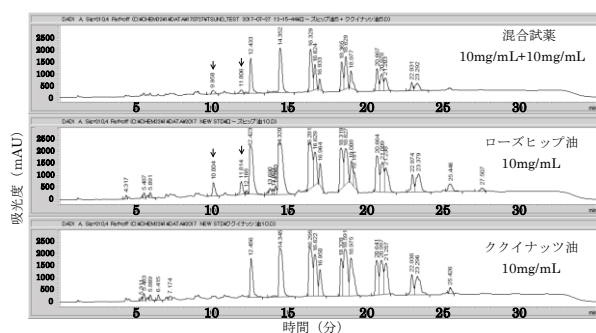


図 7 混合試薬（ローズヒップ油+ククイナッツ油）

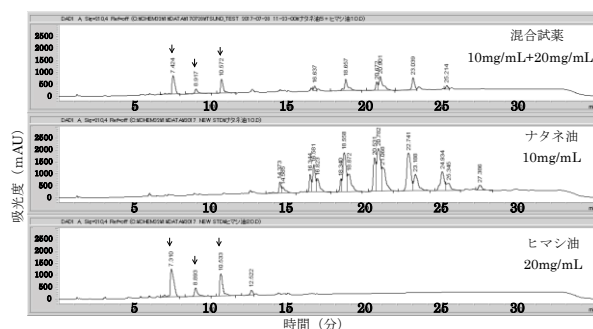


図 8 混合試薬（ナタネ油+ヒマシ油）

表 4 混合試薬の組み合わせと判別可否一覧

| 判別可能        | 判別困難            |
|-------------|-----------------|
| ナタネ油+ホホバ油   | ナタネ油+大豆油        |
| ナタネ油+ヒマシ油   | ローズヒップ油+ククイナッツ油 |
| ナタネ油+ヤシ油    | ゴマ油+ゴマ油（非焙煎）    |
| オリーブ油+ヒマワリ油 | ゴマ油+パースック油      |
|             | ゴマ油（非焙煎）+パースック油 |
|             | ナタネ油+アマニ油       |
|             | ナタネ油+アボガド油      |
|             | ゴマ油+アーモンド油      |
|             | ホホバ油+マカデミアナッツ油  |

### (4) 販売製品と試薬の比較

#### ア 結果

一般に販売されている油脂を含む製品及び各試薬のクロマトグラムの一例（図 9、図 10）をそれぞれ示す。なお、1 段目に販売製品、2 段目に混合試薬、3 段目及び 4 段目に混合前の各試薬のクロマトグラムを示す。

サラダ油（主成分：ナタネ油と大豆油）と混合試薬では、販売製品と混合試薬から類似したクロマトグラムが得られた。

マッサージオイル（主成分：ヒマワリ油とオリーブ油）と混合試薬では約 3.0 分までの間に他成分に由来すると考えられるピーク群が見られるものの、それ以外については販売製品と混合試薬から類似したクロマトグラムが得られた。

#### イ 考察

販売製品、試薬及び混合試薬のクロマトグラムの間に特異な違いは見られないことが確認された。このことから、販売製品には様々な添加成分が含まれているが、本測定条件ではそれらに関係なく主要な油脂成分を反映したクロマトグラムを得ることができたといえる。また、火災現場で自然発火の原因となったと予測される対照試料を入手できなかった場合についても、販売製品の成分が分かれば、試薬及び混合試薬で代用できる可能性がある。なお、今回測定した販売製品については試薬の混合比を変えずに類似したクロマトグラムを得ることができ

たが、製品によって様々な混合比のものがあることから、混合試薬の混合比を変えて測定せざるを得ない場合があると考えられる。

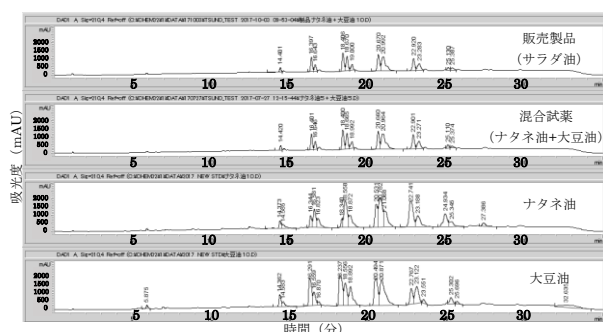


図9 サラダ油（主成分ナタネ油、大豆油）

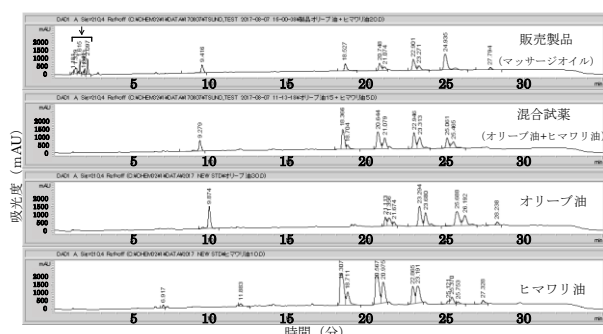


図10 マッサージオイル（主成分オリーブ油、ヒマワリ油）

## (5) 疑似焼損試料との比較

### ア 結果

1 段目に 250℃に加熱した布片から抽出したアマニ油、2 段目に着火した布片から抽出したアマニ油、3 段目に試薬のアマニ油のクロマトグラムを示す（図 11）。

加熱後のアマニ油では、約 1.1 分にピークが見られるが、その他のピーク群については加熱前との違いは見られない。

焼損後のアマニ油では、約 5 分までの間にピーク群が見られるが、その他のピーク群については焼損前との違いは見られない。

### イ 考察

約 5 分までの間に見られるピーク及びピーク群を除き、それぞれのクロマトグラムには疑似焼損試料と試薬について、複数の類似ピークが見られ、油種の判別を不可能にする程の変化は見られなかったことから、加熱、着火といった熱履歴に関わらず、試料中に油脂が残存していれば油種の特定に必要なクロマトグラムを得ることができると考えられる。

なお、約 5 分までの間に見られるピークについては、脂肪酸の炭素鎖が切れて出てきた炭素数 6～8 程度の低級脂肪酸のものであると考えられる。

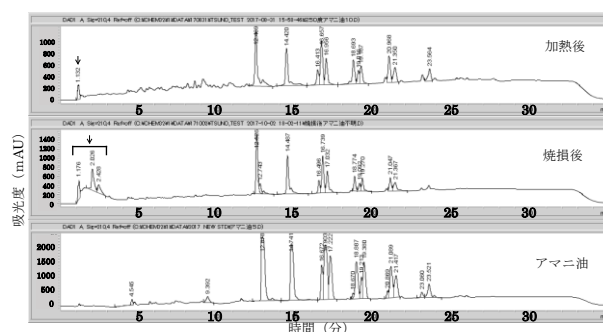


図11 アマニ油（熱履歴のあるものとなないものとの比較）

## (6) 残渣物と対照試料の比較

### ア 結果

1 段目に対照試料、2 段目に残渣物から抽出した油脂のクロマトグラムを示す（図 12、図 13）。また、残渣物から油脂に由来するクロマトグラムが得られたものについては 1 段目に対照試料、2 段目に残渣物から抽出した油脂、3 段目に(1)で作成したクロマトグラムをそれぞれ示す（図 14～図 17）。なお、対照試料として持ち込まれた油脂は、対照試料を使用した可能性があることから分析に持ち込まれたものであり、その油脂が残渣物に必ず含まれているとは限らない。

加えて、油脂に由来するクロマトグラムを得られたものについては、図中の矢印に示す TAG に由来すると考えられるピークの面積比（矢印に示すピーク面積の和を 1 とした場合の各ピーク面積の割合）をそれぞれ算出し、対照試料と残渣物及び対照試料と試薬のピークの面積比に関する相関係数をそれぞれ求めた（表 5）。

A 消防署管内で発生した火災（以下「A 署」という。）（図 12）及び B 消防署管内で発生した火災（以下「B 署」という。）（図 13）の残渣物からは対照試料が含まれていると判断できるクロマトグラムは得られなかった。

C 消防署管内で発生した火災（以下「C 署」という。）（図 14）、D 消防署管内で発生した火災（以下「D 署」という。）（図 15）、E 消防署管内で発生した火災（以下「E 署」という。）（図 16）及び F 消防署管内で発生した火災（以下「F 署」という。）（図 17）からは対照試料に由来すると思われるクロマトグラムを得ることができた。さらに、対照試料と残渣物及び対照試料と試薬の TAG に由来すると考えられるピークの面積比に関する相関係数から、いずれも相関が見られた（表 2 及び表 5）。

また、すべての残渣物において、約 5 分までの間にピーク群が顕著に見られた。

### イ 考察

C 署について、持ち込まれた対照試料はブドウ種子油を成分とするマッサージオイルであるとの情報から、(1)で作成したブドウ種子油のクロマトグラムと比較を行った。その結果、対照試料のクロマトグラムはブドウ種子油と明らかに類似し、また残渣物のクロマトグラムからもブドウ種子油に由来すると考えられるピーク群が確認

された。加えて、TAG に由来すると考えられるピークの面積比について、対照試料とブドウ種子油には強い相関が見られ、対照試料と残渣物には弱い相関が見られた。よって、対照試料はブドウ種子油であり、残渣物にもブドウ種子油が含まれていると考えられる。

D 署について、持ち込まれた対照試料はホホバ油を成分とするマッサージオイルであるとの情報から、(1)で作成したホホバ油のクロマトグラムと比較を行った。その結果、対照試料のクロマトグラムはホホバ油と明らかに類似し、また残渣物のクロマトグラムからもホホバ油に由来すると考えられるピーク群が確認された。加えて、TAG に由来すると考えられるピークの面積比について、対照試料とホホバ油には強い相関が見られ、対照試料と残渣物には弱い相関が見られた。よって、対照試料はホホバ油であり、残渣物にもホホバ油が含まれていると考えられる。

E 署について、持ち込まれた対照試料は塗料であった。この塗料はアマニ油が主成分であることから、(1)で作成したアマニ油のクロマトグラムと比較を行った。その結果、対照試料のクロマトグラムから、約 5 分までの間にアマニ油以外の成分と考えられるピーク群が見られたが、それ以外についてはアマニ油と明らかに類似したクロマトグラムが確認された。また、残渣物からもアマニ油に由来すると考えられるピーク群が確認された。加えて、TAG に由来すると考えられるピークの面積比について、対照試料とアマニ油には強い相関が見られ、対照試料と残渣物にも強い相関が見られた。よって、対照試料はアマニ油を含む塗料であり、残渣物にもアマニ油が含まれていると考えられる。

F 署について、持ち込まれた対照試料はアマニ油含有ワックスであったことから、E 署と同様に(1)で作成したアマニ油のクロマトグラムと比較を行った。その結果、対照試料のクロマトグラムから、約 5 分までの間にアマニ油以外の成分と考えられるピーク群が見られたが、それ以外についてはアマニ油と明らかに類似したクロマトグラムが確認された。また、残渣物からもアマニ油に由来すると考えられるピーク群が確認された。加えて、TAG に由来すると考えられるピークの面積比について、対照試料とアマニ油には強い相関が見られ、対照試料と残渣物にも強い相関が見られた。よって、対照試料はアマニ油を含むワックスであり、残渣物にもアマニ油が含まれていると考えられる。

以上のことから、現在火災鑑定で実施している GC-MS による不飽和脂肪酸の検出に加え、残渣物、対照試料及び(1)で作成したデータベースのクロマトグラムを比較することで、残渣物中に含まれる油種の推定が可能と判断される。

なお、残渣物からクロマトグラムが得られなかったものについては、残渣物中に含まれていた油脂成分が少なく、判別に十分な濃度で抽出できなかった可能性及び初

めから残渣物中に油脂成分が含まれていなかった可能性がある。逆に残渣物からクロマトグラムが得られたものについては、残渣物中に含まれていた油脂成分が多く、十分な濃度で抽出できた可能性が考えられる。また、(5)で着火した布片から抽出した油脂と同様に、すべての残渣物において、約 5 分までの間にピーク群が見られた。

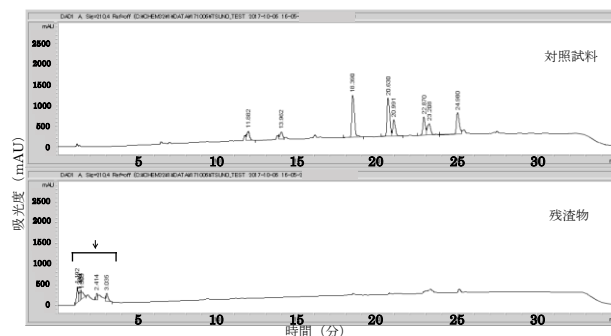


図 12 A署

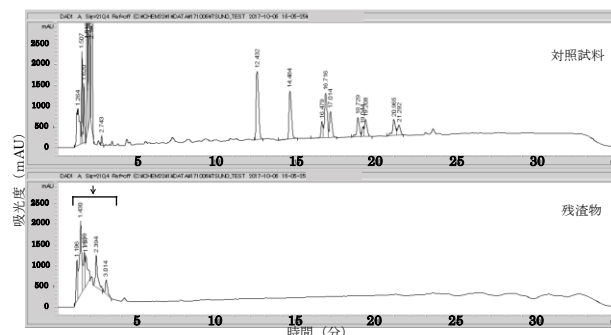


図 13 B署

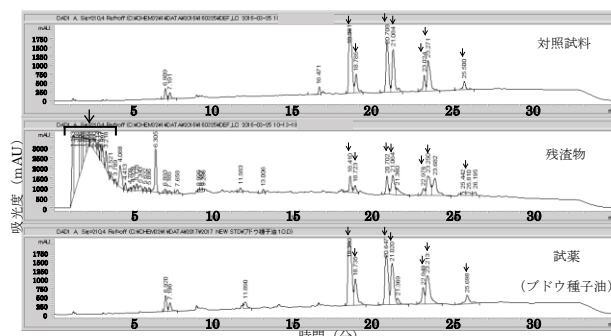


図 14 C署

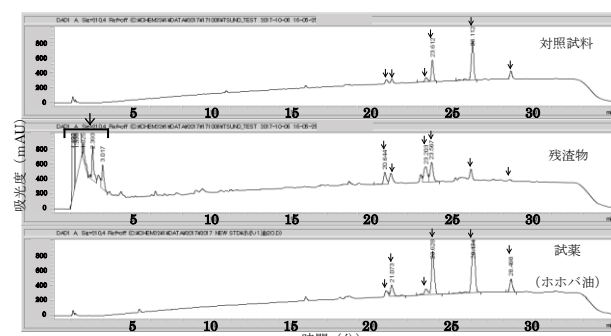


図 15 D署

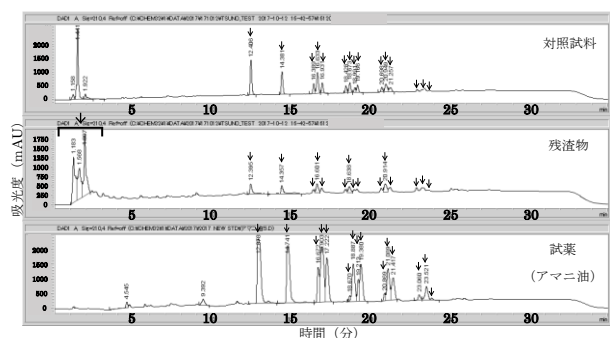


図 16 E署

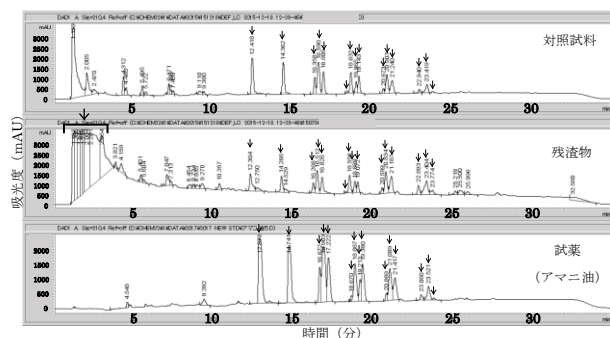


図 17 F署

表 5 ピークの面積比における相関係数

|    | 対照試料と残渣物 | 対照試料と試薬 |
|----|----------|---------|
| C署 | 0.531    | 0.994   |
| D署 | 0.511    | 0.978   |
| E署 | 0.855    | 0.950   |
| F署 | 0.836    | 0.990   |

## 6 まとめ

- (1) 本検証で設定した LC の測定条件は、判別に適したクロマトグラムが得られたこと等から、TAG を含む油脂の分析に活用できる。また、油種の特定に必要なクロマトグラムを得るための試薬の最適濃度（最適濃度）が存在することが確認された。加えて、脂肪酸の成分比が類似する試薬については、クロマトグラムも類似した。
- (2) 新旧試薬のクロマトグラムを比較したところ、本検証の条件では特異な違いは見られず、油脂の酸化は解析結果に大きく影響しなかった。
- (3) 混合試薬のクロマトグラムから混合前の各試薬を判別できるかについては、保持時間が大きく異なるクロマトグラムを持つ油の混合物については判別可能であるが、類似のクロマトグラムを持つ油の混合物については判別困難であった。
- (4) 販売製品と試薬のクロマトグラムに特異な違いは見られないことから、販売製品の成分が分かれば試薬を代用できる可能性がある。
- (5) 加熱した試料及び着火した試料においても、油種の特定に必要なクロマトグラムを得られることが確認され

た。

- (6) 残渣物から判別に十分な濃度の油脂を得ることができれば、対照試料と同じクロマトグラムが得られ、それらに相関が見られたことから、残渣物、対照試料及びデータベースのクロマトグラムを比較することで油種の推定が可能であることが明らかとなった。

## 7 おわりに

本検証結果から、自然発火に係る火災鑑定で従来実施してきた GC-MS による不飽和脂肪酸の検出に加え、LC を用いることで、残渣物中に含まれる油種の推定も可能になった。火災鑑定業務において、原因物質を特定することは、今後の火災原因の究明の一助となるものとする。

## 8 謝辞

本検証の実施にあたり、横浜国立大学大学院教授の大谷英雄先生、消防庁消防研究センター主任研究官の尾川義雄先生より多くの貴重な知見を賜りました。ここに感謝の意を表します。

## 【参考文献】

- 1) 田中誠之、飯田芳男、基礎化学選書 7 機器分析（三訂版）、株式会社裳華房、p. 361、1996
- 2) 三熊敏靖、金子毅、液体クロマトグラフィー/質量分析法によるアシルグリセロールの直接検出を用いた植物油の法科学的異動識別、分析化学、第 59 巻、第 5 号、pp. 399-404、2010
- 3) 化学大辞典 5、化学大辞典編集委員会、共立出版株式会社、p. 490、1963
- 4) 橋本雄幸、統計学のパソコン活用術（第 5 回）、日本放射線技術学会雑誌、第 55 巻、第 10 号、pp. 999-1002、1999
- 5) 改訂二版 油脂化学便覧、日本油化学協会、丸善株式会社、pp. 1-21、1971
- 6) 油脂・脂質・界面活性剤データブック、公益社団法人日本油化学会、丸善出版株式会社、p. 668、2012
- 7) ケミナビ (<https://www.chemical-navi.com>)
- 8) 原田一郎、改訂増補 油脂化学の知識 第 3 版、株式会社幸書房、pp. 45-46、1992
- 9) 原田一郎、改訂増補 油脂化学の知識 第 3 版、株式会社幸書房、pp. 109-110、1992
- 10) 改訂第 2 版 油脂・脂質の基礎と応用—栄養・健康から工業まで—、公益社団法人日本油化学会、p. 202、2009
- 11) 無類井建夫、渡辺寿、高速液体クロマトグラフィーの油脂分析への応用、油化学、第 28 巻、第 7 号、pp. 461-467、1979

# Study on the Identification of the Fats and Oils in the Towels and Other Items That Spontaneously Ignited

Keita SUZUKI\*, Yuuji TUNOKUMA\*\*, Makoto MOCHIZUKI\*\*, Takaichi SHIMIZU\*\*

## Abstract

Fires caused by spontaneous ignition occur annually within the jurisdiction of the Tokyo Fire Department. Such fires are thought to be caused mainly by the unsaturated acyl groups in the triacylglycerol in animal fats and vegetable oils.

In conventional fire appraisals, the unsaturated acyl group is removed from the triacylglycerol in the fats and oils in burned towels or other items as an unsaturated fatty acid, pretreated, and then analyzed using a gas chromatograph mass spectrometer to confirm its existence. These results, however, does not show the types of fats and oils.

In this study, analyses of various fats and oils that can cause spontaneous ignition were performed using a liquid chromatograph analyzer which is considered to be effective for identifying the types of fats and oils. The findings of this study made it clear that it is possible to identify the types of fats and oils by comparing the burned residues such as towels collected from the site of a fire with the chromatograms of the control samples and reagents introduced at the same time.