

ハラールフードの安心・安全を守る  
サプライチェーン構築のための食品製造技術

---

Food Technology Ascertainning  
Supply Chain Integrity

**Norhidayah Suleiman**  
(Universiti Putra Malaysia)

**Muhammad Syafiq Hakimi Kamarudin**  
(Universiti Putra Malaysia)

---

(日本語訳：高野倉雅人)

## 1. はじめに

食品の安心・安全が、数多くの食品スキャンダルの発生以降、食品の性質・成分・品質・安全性だけでなく、食品製造においても「食品が提供され配送される経路において、消費者に届くまで誠実であること (Elliot, 2014)」のように、広く重要視されている。これまでに発生した食品の安心・安全を脅かす事件として、ヨーロッパの馬肉スキャンダル、中国の乳児用調整粉乳へのメラミンの混入、アメリカの誤った魚種のラベリングなどがある。食品の安心・安全を実現する主要な関心事として、食品サプライチェーンマネジメントがあり、それは品質マネジメント・食品安全マネジメント・食品の安心・安全に関するマネジメントに分類される (Manning, 2017)。例えば、食品の安心・安全に関するマネジメントシステムを、食品サプライチェーンに導入する目的としては、第一に安全・品質・真正性の保証、第二に信頼できるラベリング、第三にハラルの状態など食品に由来する効果的なマネジメントの実現がある (Manning, 2017)。全体として、食品の安心・安全を実現する主要な要因として、製品、プロセス、社会の人びと、そしてデータが挙げられる。それら要因の例を図1に示す。

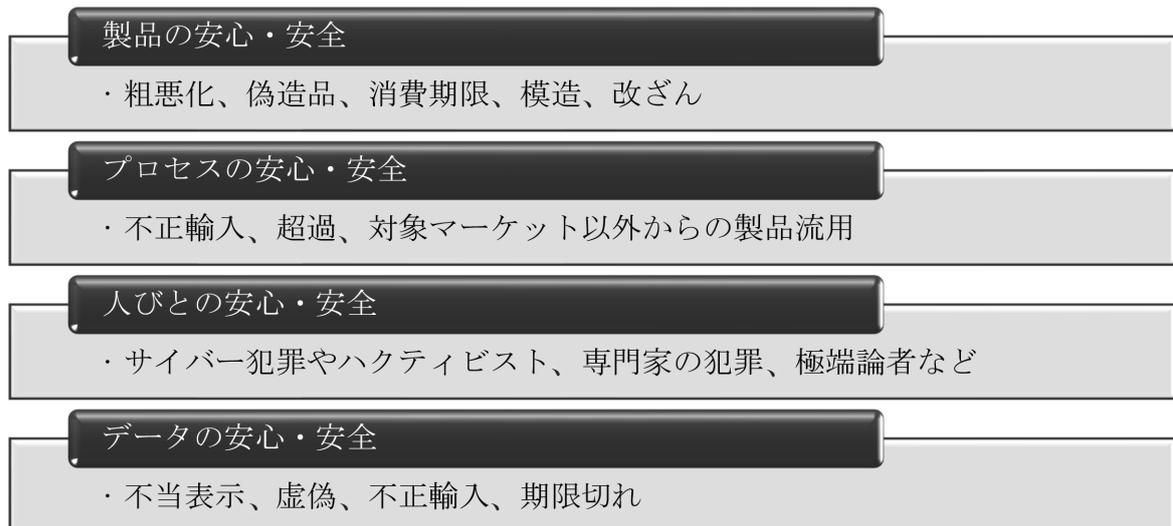


図1 食品の安心・安全に関する要因例 (Manning, 2017)

## 2. 食品の安心・安全

食品の安心・安全とは、すべての人びとが安全で真正であり、かつ栄養のある食品に、いつでもアクセスできることである。この章では、食品の安心・安全を守る科学技術の役割に焦点を当てる。食品の安心・安全は、品質、安全、真正性、トレーサビリティ、粗悪化など、複数の要因から構成される。

食品の品質は、消費者が受け入れ可能な食品の性質にもとづいて測定される。食品の物理的な性質としては、食感や風味のほか、大きさ・形・色・等級など食品の見栄えがある。化学的な性質は、食品の栄養成分に関係する。加えて、法令や食品成分に関係した基準を満たすような品質も、消費者が受け入れ可能なエシカル（倫理的）でサステナブル（持続的）な生産に関係している。

食品の安全は、健康に良い食事を実現する栄養価を保ち、汚染を避けるような、食品の前処理、取り扱い、製造から貯蔵までの生産方法に関係する (FAO, 2004; Sheikha, 2015)。食品製造上の不

適切な管理によって、健康を害するような生物学的・化学的・物理的な物質が混入することは、食品ハザードの原因となる。食中毒が発生するような生物学的なハザードは、食品産業の重要な関心事である。サルモネラ菌やボツリヌス菌などにより、食中毒のような健康被害が発生して、死に至ることもある。食品ハザードの原因となる殺虫剤や重金属のような化学的な物質は、(i) 天然由来物質、(ii) 製剤に使用される化学物質、(iii) 意図せず付随的に最終製品に生じる化学物質の3グループに分類できる。ハザードの原因となる物理的な成分としては、骨やガラス、木材などがある。そのため、食品の安全を脅かす過去のハザードに関する研究やデータにもとづき、リスクアセスメントや適切な軽減処置を実施する必要がある。

一般的に、商品価値を高めたり、製造コストを下げたりすることで、経済的な利益を得ようとするのが、食品偽装の原因となっており、粗悪化、改ざん、超過、流用、盗用、偽造に分類される。粗悪化または汚染は、食品から有効な成分を取り除いたり、安価または低品質の成分に置き換えたりすることである (Goyal et al., 2022; Roy & Yadav, 2022)。食品製造のプロセスやサプライチェーンが長く複雑な時に、粗悪化や汚染が起きやすい。そのため、食品の安全や品質を保持して消費者を守るために、粗悪化や汚染を防ぐことが重要である。また、ラベリングや原材料、最終製品の検査を担当する公的機関と産業界の両者が、法令や国際標準、その他のガイドラインや仕様を遵守することも重要である (Baeten & Dardenne, 2002)。

これまでに報告された食品の粗悪化に関する事例は、次の6グループに分類される (Hong et al., 2017)。(1) 動物由来の食品や海産物：牛乳と乳製品、食肉と加工肉、魚肉と海産物。(2) 食用油と脂肪分。(3) 飲料：フルーツジュース、コーヒーやお茶、アルコール飲料。(4) 香辛料と甘味料：スパイスとその抽出物、ハチミツを含む甘味料。(5) 穀物食品：穀類と豆類。(6) その他：オーガニック食品と栄養補助食品。食品の産業界や学術研究機関、政府機関を含む関係者は、この重要な問題に注意を払い、生産方法や手順を含めて食品の安心・安全を実現するよう努力する必要がある。有能で速く、信頼できる分析が、それらの課題を解決する方法となり、食品の品質を高める。食品の真正性もしくは粗悪化されているかどうかを、物理的、化学/生化学、DNA分子を含むさまざまな方法によって検査する技術が実現されている (Bansal et al., 2017)。非破壊放射性評価やフィンガープリントのような分析方法を使用した即時検出や真正性を検査する最新技術を紹介する。

### 3. 物理的な方法

食品の真正性は、色やテクスチャ、溶解性、かさ密度、形態的特徴などの食品の物理的な性質を分析することで調査できる (Bansal et al., 2017)。肉眼もしくは顕微鏡を使った物理的な方法は、食品の物理的な特徴を明らかにするために用いられている。

Louveaux et al., (1978) は、光学顕微鏡を使用して、サトウキビから作られた蔗糖へのハチミツの混入を検出した。Sheorey & Tiwari (2011) は、化学的なプロファイリングに肉眼と顕微鏡を組み合わせて、ハーブや薬草の成分を特定して、その成分が真正であることを示した。肉眼と顕微鏡を組み合わせた方法により、菌類のような微生物の食品への混入を検出できる。さらに電子顕微鏡の出現により、植物由来の成分も検出できるようになった。例えば、花粉の表面パターンを分析することで、ハチミツ由来であるかを分析できる (Jones & Bryant, 2014)。

#### 4. 化学的／生化学的方法

一般的に、化学的／生化学的方法から、より正確な分析結果を得ることができ、低濃度であっても食品の汚染を検出できる。しかし、それらの方法は、コストと時間がかかり、検査の実施には訓練された人材が必要である。化学的／生化学的方法は、主に (1) 分光法、(2) クロマトグラフ法、(3) 免疫学的方法、(4) 電気泳動法の 4 カテゴリに分類される。この節では、食品が粗悪化されているかの検査に良く利用される分光法とクロマトグラフ法について紹介する。

##### 4.1 振動分光分析

近赤外分光分析法 (FT-NIR) や中赤外分光分析法 (MIR)、ラマン分光法、ハイパースペクトルイメージング (HIS) のような振動分光分析は、食品の汚染を検出する高速で感度の高い分析方法である。食品の真正性の検査に利用される振動分光分析の一例を、図 2 に示す。振動分光分析は、比較的到低コストの非破壊検査が可能で、定性分析と定量分析の両方に適用できること、ウェットケミカル分析などの代替法となる利点がある (Lohumi et al., 2013)。

780~2500nm の近赤外 (NIR) 領域は、高振動周波数を持つ C-H, O-H, N-H のような原子の化学結合のための倍音や結合バンドを検出できる (Osborne et al., 1993)。近赤外分光分析法 (FT-NIR) は、ほとんどサンプルがなくても定性分析や定量分析が実施できる (Lohumi et al., 2015)。これまでの技術開発により、信頼性と効率が高まっており、品質管理の標準的な分析方法となっている。近赤外分光分析法 (FT-NIR) は、機器デバイスにより、3 グループに分けられている。(i) シーケンシャル機器 - 時間的に連続した吸光で、モノクロメーターやフィルターが利用される。(ii) フーリエ変換・マルチプレックス機器 - インターフェログラムの形式で複数の周波数を同時に検出する。(iii) マルチチャンネル機器 - 複数の検出器が複数の波長の吸光を検出する (Lohumi et al., 2015)。

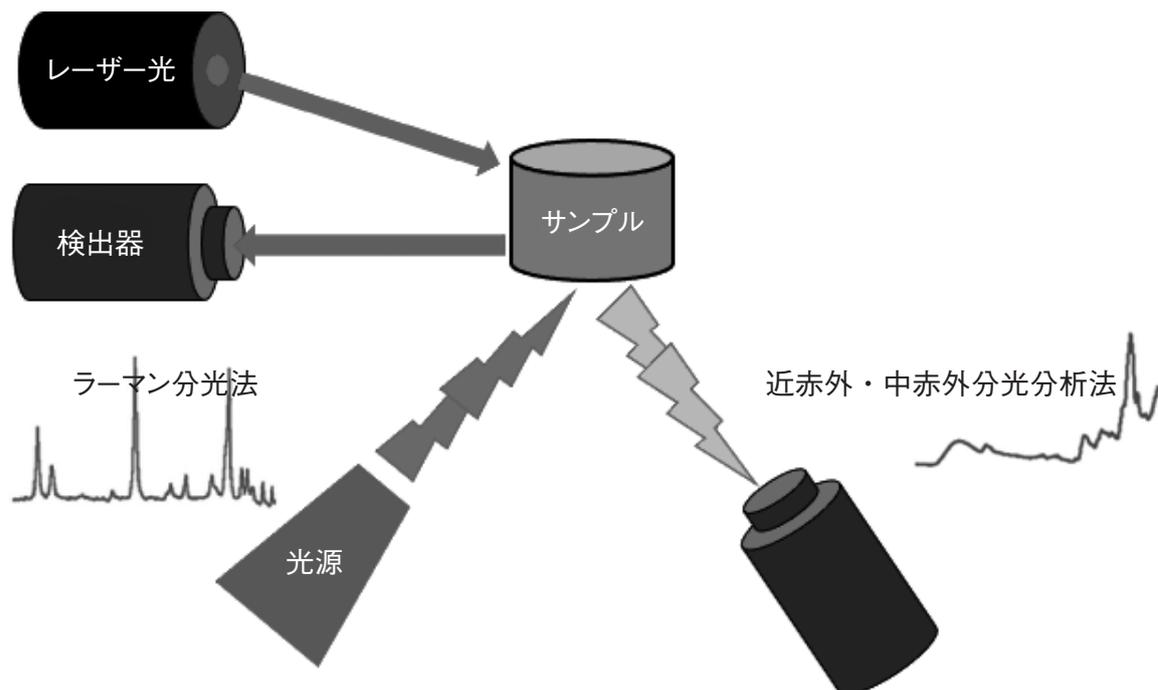


図 2 典型的な振動分光分析法の模式図

近赤外分光分析法 (FT-NIR) を利用した食品の粗悪化を検出する多くの研究が行われている。例えば、どの動物種の肉製品であるかの特定 (Cozzolino & Murray, 2004)、牛ハンバーガーの粗悪化の検出 (Ding & Xu, 2000)、カニ肉の粗悪化やどの動物種の成分なのかの判定 (Gayo et al., 2006) などがある。さらに、ヨーグルトへのタンパク質の混入や粉ミルクのメラミン汚染 (Haughey et al., 2013)、大豆粕の検出 (Xu et al., 2013) にも成功している。近赤外分光分析は、サンプルの外的・内的性質を検査するため、反射、透過、インタラクタンス、トランスフレクタンスを含む異なるスペクトルモードで利用されている。Downey et al. (2016) は、NIR 反射スペクトル (1100-2498nm) を使用して、オレンジジュースと糖酸混合物の 10% 果肉ウォッシュを、90% の正確さで検出した。また透過モードは、固体・液体・気体のサンプルを分析する最も簡単なサンプリング法である。サンプルの外部や内部の品質を検査するために利用され、例えば、白ワインの産地を識別したり (Daniel Cozzolino et al., 2003)、牛肉や鶏肉に含まれる脂肪酸成分を検出したり (Riovanto et al., 2012) するのに使用される。インタラクタンスモードは、透過測定が難しい場合に内部の情報を取得するために利用される。トランスフレクタンスモードは、反射モードと透過モードの組み合わせであり、透明もしくは薄いサンプルのスペクトルを測定するために利用される。

赤外分光分析法 (FT-IR) は、電磁スペクトルにおける  $4000\sim 400\text{cm}^{-1}$  までの中赤外領域 MIR が対象で、分子の振動・回転ストレッチモードからサンプルの化学的な性質を測定する。この分析法は、近赤外領域で測定される倍音や結合バンドの代わりに、基本的な振動を測定するため、近赤外分光分析と比較して、サンプルから豊富な化学的情報を取得できる (Lohumi et al., 2015)。中赤外領域は、官能基 ( $4000\sim 1500\text{cm}^{-1}$ ) とフィンガープリント (指紋) ( $1500\sim 500\text{cm}^{-1}$ ) の 2 領域に分けられる。

赤外分光分析法 (FT-IR) は、全反射測定 (ATR)、拡散反射、高スループット透過 (HTT)、透過セルなどの異なる測定モードを用いて、すべてのサンプルを対象とした測定を可能にする。ATR-FT-IR は、定性分析と定量分析の両方が可能なため、食品の粗悪化の分析に広く利用されている方法である。全反射測定は、牛乳における微生物腐敗のようなサンプルに対して、高スループット透過よりも高い精度を持つ良好なサンプリング方法である (Nicolaou & Goodacre, 2008)。赤外分光分析とサンプリング方法のさまざまな組み合わせは、ハチミツの粗悪化の検出に利用されている。また赤外分光分析法は、オリーブオイルやアボカドオイルのような食用油を分析する計量化学と組み合わせて利用される。食用油の粗悪化は、脂肪酸と中性脂肪の差異から、別個の分類を通して検出できる (Christopoulou et al., 2004)。フルーツジュースの糖濃度は、近赤外線と比べて高感度スペクトル領域を持つ中赤外線のフィンガープリント領域での赤外分光を用いて分析される。以上のように、赤外分光分析法は、食品の検査において多目的で強力な方法である。赤外分光分析法 FT-IR と近赤外分光分析法 FT-NIR は、それぞれが持つ長所と短所を補う関係にある。

## 4.2 クロマトグラフ法

クロマトグラフは、フィンガープリント (指紋) 分析の中で、より多くの情報を得られる方法である。クロマトグラフ法により、面積や高さ、位置を表すピーク強度を変換した情報 (リテンション時間) が得られる。食品に関する最も多くの情報量を提供する高い感度、再現性、頑健性を持っており (Esteki et al., 2018)、特に食品の真正性を判断するために利用されている食品サンプルの性質を判断する簡便で信頼性のある方法である。

以前は、さまざまな検出器を用いて、脂肪酸やオリゴ糖、トコフェロールなど化学的粗悪化のマー

カーを発見するために、クロマトグラフ法が利用されていた (Fanali et al., 2016)。クロマトグラフ法には、高パフォーマンス液体クロマトグラフィー (HPLC) やガスクロマトグラフィー (GC) があり、これらの方法は炭水化物、カロテノイド、アミノ酸、フェノール類やほかの有機化合物を検出するために開発された (Herrero et al., 2017)。例えば、クロマトグラフ法は、油の粗悪化を検出でき、油に混入したトリアシルグリセロール (TAGs)、ステロール、脂肪酸化合物を検出することで、ブレンドされた油の組成を検査できる (Wernig et al., 2018)。

食品の粗悪化や真正性の検査に広く利用されている方法が、ガスクロマトグラフ (GC) や高速液体クロマトグラフ (HPLC) である。GC-FID 法は、安価で高速、頑健性が確立したポピュラーなクロマトグラフ法である。GC 法は、脂肪酸化合物と計量化学分析を比較することでオリーブオイルの粗悪化を検出するために開発された方法で、植物油のエステル交換により得られる脂肪酸エチルエステル (FAME) に着目することで、異なる植物油を区別することができる (Brodnjak-Vončina et al., 2005)。また Yang et al. (2013) は、GC-MS 法を使用して、コーン油・ピーナッツ油・菜種油・ヒマワリ油が含まれるエクストラバージンオリーブオイルの特定に成功した。表面弾性波検出器を使った GC 法 (GC-SAW システム) と計量化学の組み合わせは、バージンココナッツオイルに、ラードが含まれることを特定できる (Mansor et al., 2011)。加えて、エクストラバージンオリーブオイルに 5% の大豆油が含有することも、GC 法を使ったリノール酸成分を示す脂肪酸化合物の分析によって特定できる (Jabeur et al., 2014)。アプリコットカーネルオイルへのアーモンドパウダーの含有も、計量化学法と GC 法による脂肪酸のフィンガープリントを使うことで検出できる (Esteki et al., 2017)。しかし、誘導体化が必要なことが、GC 法の欠点となっている。

この欠点は、誘導体化の必要がなく極性化合物と無極性化合物の両方を分析できる高速液体クロマトグラフ (HPLC) の利用で補える。HPLC 法でホエイタンパク質  $\beta$ -ラクトグロブリンを分析することにより、ヒツジやヤギのチーズやミルクに牛乳が含有することを 2%v/v の低レベルで検出できる (Chen et al., 2004)。Veloso et al. (2002) は、逆相 HPLC を使って牛乳とヒツジ・ヤギのミルクを検出した。15 種類のポリフェノール濃度に対して、主成分分析 (PCA) や線形判別分析 (LDA) を適用した HPLC 法により、カナリア諸島やスペインを産地とする異なるエリアのワインを分類できる (Rodríguez-Delgado et al., 2002)。主成分分析や線形判別分析と紫外線検出を組み入れた HPLC 法を組み合わせることで、75%~100% の精度で、オーストラリアワインの地理的なグループも分類できる (Bellomarinio et al., 2009)。さらに、主成分分析や線形判別分析を組み合わせた逆相 HPLC により、中性脂肪とトコフェロール混合物の分析を通じて、さまざまな焙煎前後のコーヒー豆を区別できる (González et al., 2001)。固定相の粒子サイズやサンプルサイズおよび移動相のため、HPLC 法から超高速液体クロマトグラフ (UHPLC) 法へシフトしている最近のトレンドは、減速する傾向にある。そのため、より効率的で、高い感度・スループット・速度・解像度が求められている。

#### 4.3 エレクトリックノーズ

食品の真正性を検出する方法の多くは、時間と費用がかかり、分析を行うための専門家を必要とする。近年増えている食品の粗悪化に関するスキャンダルに対処するため、リアルタイムに高速で信頼性の高い検出方法が求められている。市場に流通する加工食品を対象とした検査に、高速な検出技術が利用されている。それらの技術の一つとして、人間の鼻の機能を模した人工の嗅覚系や、においを自動で検出する臭気センサなどのエレクトリックノーズ (e ノーズ) がある (Roy & Yadav, 2022)。

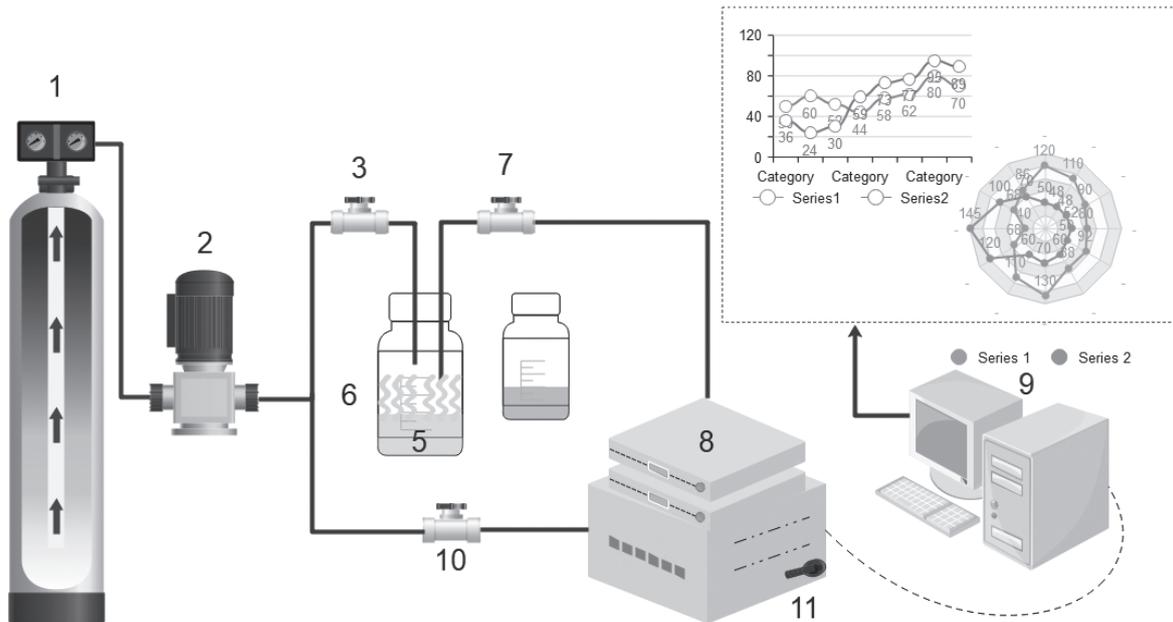


図3 エレクトリックノーズの典型的なブロック図：1 合成空気シリンダー、2 送風装置、3 給気口、4 サンプルを入れるコンテナ、5 サンプル、6 揮発した有機化合物、7 サンプルバルブ、8 センサアレイ、9 データ処理とパターン認識、10 パージバルブ、11 パージアウトレット (Source: Roy & Yadav, 2022)。

エレクトリックノーズは、環境モニタリングや農産物の品質管理アセスメント、意図的な粗悪化や損傷物の検査など、多くの適用範囲がある広く利用される非破壊検査法に分類される。この方法は、においの特定物質の検出や化学組成の分析による食品の品質検査に利用され、操作が容易で低コスト・短時間に分析できるため、実験室の日常的な検査に利用されている (Roy & Yadav, 2022)。

エレクトリックノーズを使った食品の品質検査に関係した多くの研究が、これまで報告されている。Persaud & Dodd (1982) により、化学センサにより芳香 (かおり) を判別するアイデアが実現された。一般に、エレクトリックノーズは、4つの主要ユニットから構成される。(i) 化学物質を検出する電子的マルチセンサアレイシステム。(ii) 情報処理ユニット。(iii) においを識別するデジタルなパターン認識アルゴリズムシステム。(iv) 参照データベース。図3にエレクトリックノーズの典型的なブロック図を示す。

エレクトリックノーズのメカニズムは、選択性センサで検出される電圧の差異にもとづき、食品サンプルから生成される揮発性有機化合物の同定である。通常利用されるセンサとしては、表面弾性波 (SAW) やポリマー金属酸化膜半導体 (MOS) である。MOSセンサは、化学的な安定性が高く、水分に対して低い応答性があり、長寿命で、価格も高くないことから、広く利用されている。生成された揮発性有機化合物が、合成空気 (純度 99.9%) により、サンプルから、センサアレイ領域に移る。生成された揮発性有機化合物をセンサアレイ領域に移すために、測定中に給気口とサンプルバルブは開いているのに対して、パージバルブは閉じている。データ取得カードと組み合わせられたガスセンサから構成されるセンサアレイで発生したアナログ信号は、デジタル信号に変換されて、モニタに表示される (Roy & Yadav, 2022)。この原理にもとづき、食品サンプルに含まれる複雑なにおいを区別することで、電圧応答値 (出力) として、食品の品質を分類できる。

エレクトリックノーズは、ハチミツ、牛乳・乳製品、果物、肉製品・水産物、香辛料、食用油、アルコールおよび非アルコール飲料、コーヒーやお茶を含む、様々な食品の粗悪化の検出に広く利用されている。例えば、食用油と近い脂肪酸成分を持つ安価な油・脂肪・ステロール成分の混入

の検査に利用される。このような食用油の粗悪化は、スペインで発生したオリーブオイルの食中毒事件のような、重大な健康問題を引き起こす原因となる (Clemente & Cahoon, 2009)。高い信頼性と感度を持つ技術であるエレクトリックノーズを使用すれば、食用油の純粋さと真正さを確認できる。Hai & Wang (2006) は、10 個の MOS センサから構成されるエレクトリックノーズを使って、コーン油へのカメラア (ツバキ) 種子油の混入を検出した。Bougrini et al. (2014) は、5 個の MOS センサから構成されるエレクトリックノーズを使い、ヒマワリ油へのアルガンオイルの混入を検出した。Yu et al. (2007) は、MOS センサを使ったエレクトリックノーズを利用して、水と還元粉ミルクのスキムミルクへの混入を検出した。ガスクロマトグラフィーを使用したエレクトリックノーズは、ハチミツへのトウモロコシやコメで作られたシロップの混入を検査するために利用されている (Gan et al., 2016)。また、エレクトリックノーズで食肉の芳香 (かおり) 成分を検出することで、様々な肉製品の粗悪化の検査に利用されている。Tian et al. (2019) は、においフィンガープリントにもとづく 10 個の選択性 MOS ガスセンサを含む PEN 2 エレクトリックノーズシステムを使って、ヒツジのひき肉への豚肉の混入を検出したことを報告している。Wang et al. (2019) は、揮発成分を検出する SPME と 10 個の MOS センサから構成される PEN 3 エレクトリックノーズシステムを使って、ヒツジ肉へのカモ肉の混入を検出することに成功した。またエレクトリックノーズは、香辛料の粗悪化の検出にも利用されている。Banach et al. (2012) は、38 個の MOS センサから構成される商用エレクトリックノーズ (KAMINA, Yson GmbH) を使用して、サビロイとソーセージの香辛料として、カレーリーフおよびガーリックパウダーが 20% 濃度レベルで含まれることを調査している。

## 5. DNA 分子法

DNA は生物に固有の有機体であるため、DNA にもとづく技術は食品の粗悪化を検出する効果的なツールとなっている。物理的および化学的／生化学的方法とは異なり、DNA にもとづく技術から、定量的にも定性的にも正確な結果が得られる。そのため、現在までに開発されたマルチプレックス PCR 法、定量 PCR (qPCR) 法、DNA シーケンシング、RFLP (restriction fragment length polymorphism)、RAPD (randomly amplified polymorphic DNA)、SSR (simple sequence repeats)、マイクロサテライト法などの有用な技術があり、これら技術は各国および国際貿易機関が定める基準でも必要とされている。例えば、DNA にもとづく分子技術は、近い物理特性を持つ食品への混入物の検出に利用されており、最近では、HRM (high-resolution melting) PCR、ddPCR (droplet digital PCR)、等温増幅 (例えば、loop-mediated isothermal amplification, recombinase-polymerase amplification, strand-displacement amplification, helicase-dependent amplification, rolling-circle amplification) や、次世代シーケンシング (NGS) が、感度、特異性、速度やマルチプレックスの観点から良好な検査技術として開発されている。

### 5.1 PCR 法と定量 PCR 法

食品の粗悪化や動植物の種類を同定するために、高い感度と特異性を持ち比較的に高速な PCR 技術が利用されている。特定のプライマーを使ったマルチプレックス PCR 分析により、複数の動植物の種類を同時に特定できることから、食品に含まれる動植物の検出や区別が可能になっている (Böhme et al., 2019)。この分析方法は、数百万の複製を生成するサーマルサイクラーを使ってターゲットとする DNA 分子を指数関数的に増幅することで、非常に低い濃度でも、複雑なマトリッ

クスに含まれるターゲットとなる動植物を検出できる (Bohme 2019)。細胞コピー数が多いミトコンドリア DNA の領域をターゲットとしたマルチプレックス PCR 分析により、肉製品に含まれる異なる動物種を同時に検出が可能である。例えば、イヌやネズミ、ウサギ、リスの肉のミートボールへの混入を、0.1% のレベルで検出できる (Ahamad et al., 2017; Rahman et al., 2014)。しかしながら、細胞あたりのコピー数が、動植物の種類や個体ばかりでなく、同じ個体の組織間でも異なることが、PCR 技術の限界となっている。

食品の粗悪化を定量的に測定することは、混入が意図的なのか、そうでないのかに関わらず、食品の真正性を証明するために非常に重要である。その意味で定量 PCR (qPCR) 法は、食品の粗悪化に対して、信頼性と簡便性を持つ検査方法である。qPCR 法の原理は、リアルタイムにモニタリングできる核酸の増幅であり、各 PCR サイクルにおける二重鎖 DNA 結合染料の放出に由来する蛍光を測定することで定量化している (Böhme et al., 2019)。qPCR 法は従来の方法と比べて、高感度、マルチプレックス、高速、比較的到低コストな方法である。また、ターゲットとする DNA 分子の増幅数をリアルタイムでモニタリングできることから、従来の方法で必要であった PCR プロセス後のステップが不要である。そのため、加工前後のハラル食品に、豚肉のような禁止されている食肉成分が含まれるかどうかを検査できる (Karabasanavar et al., 2014; Sakalar et al., 2015)。さらに、水産業において、マグロ製品の不正やラベル偽装の検査にも利用されている (Liu et al., 2016)。しかし、組織の構成やマトリクス成分が PCR の効率と正確さに影響することが、qPCR 法の主な限界となっている。

## 5.2 DNA ホイル

DNA ホイルは、DNA を利用した新しい技術で、PCR 法のように高価な装置を必要としない。また、持ち運びが可能で、現場で一人でも利用できる方法で、30 分程度の短時間で食品の粗悪化を検査できる。DNA ホイルの流れとメカニズムを、図 4 に示す。

DNA ホイルでは、次のステップで食品の粗悪化を検査している (Sheikha, 2019)。はじめに、食品サンプルを容器に入れて、DNA を切断、分解、抽出、中和、安定化する。次に抽出した DNA を反応チューブに移してから水に入れることで、ターゲットとする DNA を増幅する。このとき、酵素や特定のプライマーを使って、DNA を増幅してコピーを生成する。30 分が経過した

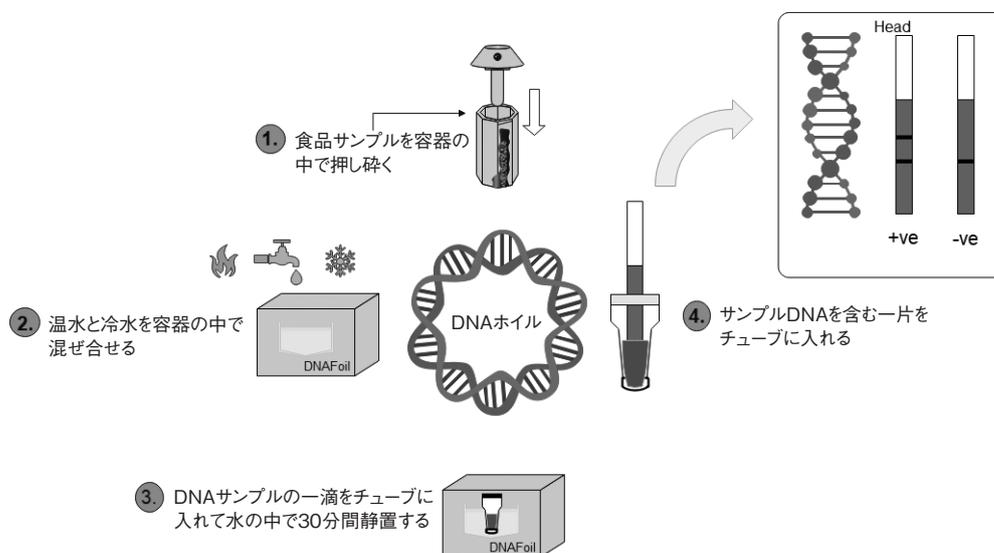


図 4 DNA ホイルの処理フローとメカニズム (Sheikha, 2019)

ら、生成物を検査する。このとき、毛細管現象により検査スペースに移動したターゲット DNA の切片を検査する。以上のように、DNA ホイルは、高速かつ多くの用途で信頼できる検査方法である。

2018年1月にオーストラリアで開催されたイベント（Meat and Livestock Australia）で、DNA ホイルの検査キットにより、牛肉に豚肉成分が含まれることを、低レベルでも検出できることが示された。DNA ホイルの有効性は、qPCR 法によって確認されている。Aronoff et al. (2018) は、qPCR 法と DNA ホイルにより、乳製品への野菜成分の含有を再現性をもって検査できることを示した。この研究から、DNA ホイルが、食品成分を検査する高速で信頼性のある方法であることが示された。また DNA ホイルは、研究設備を使用せずに専門家でなくても、短時間で食品成分を検査する方法として利用されている。

## 6. まとめ

食品サプライチェーンに関係するすべてのステイクホルダにおいて、信頼とブランドの安心・安全を創り出すために、食品の安心・安全を守るマネジメントシステムを実現することが重要となっている。具体的には、(i) 食品の安全、品質、真正性を守る、(ii) 信頼できるラベリングを実現する、(iii) ハラルの状態やビーガン、オーガニック食品など食品が何からどのように作られているかといった食品の起源の効果的なマネジメントを実現する取り組みにより、食品の安心・安全を守るマネジメントシステムが構築される。その実現に向けた第1の取り組みとしては、食品の真正性と食品の粗悪化が重要な問題であり、この数年間で、産業界、政府機関、学術研究機関、そして消費者を含む、すべてのプレイヤーからの関心が高まっている。

食品の安心・安全を調べる分析技術、特に、これまで数多く発生している食品スキャンダルによって、食品の粗悪化の検出や分析において、数多くの技術開発・改良が実現されてきた。この取り組みは、消費者の信頼の獲得だけが目的ではない。消費者の権利を守ることを目的とした、食品の品質・安全・真正性の保証する方法、および標準的な業務手順を定める方法を提供する重要な取り組みである。

以上のように、本章では、食品サプライチェーンで利用される食品の安全・品質・真正性に関係した食品科学技術の視点から、食品の安心・安全を守る活動をレビューした。これまで発生した消費者が被害を受ける事件や食品産業のスキャンダルを通して、このような課題解決を目指して、高速な分析技術が開発されてきた。特に化学／生化学および DNA 分子技術に焦点を当てて、現在利用されている分析技術を紹介した。今後も高効率・高速かつ最小のコストのような利点を活かして、食品の真正性と食品の粗悪化に関する問題を解決できる分析技術を開発することが重要である。しかし、それら分析技術にも今なお限界があり、これからも継続的な研究と技術開発が必要とされている。