

特集

【食品の包装・搬送システム】

食品包装の多様化・厳格化における 先進「酸素濃度計」の役割と技術

飯島電子工業株式会社 縣 さよ子

1 はじめに

食品製造業各社では、深刻な人材不足や消費者の需要の多様化から、生産性を高めるための施策がとられている。しかし、現状では、日本企業の99.7%以上を占める中小規模の事業者（従業員数300人以下）各社は、設備投資型で工場の規模の比較的大きい企業に比べ、1人あたりの労働生産性が慢性的に低い（経済産業省「工業統計」より）。

工程の自動化といった大がかりな設備投資や人材の投入が困難な中、1人あたりの生産性を上げるために、商品の付加価値を高め、製造・管理部門において、より一層の効率化が課題となっている。

一方で、食品ロスに関する国際的な関心の高まりから、食品ロス削減を目的とした取り組みが注目されている。日本の食品ロス、すなわち本来食べられるのに廃棄される食品の量は、年



食品卸売業
3%

出典：食品廃棄物等の発生量、農林水産省（2015年推計）

図1 日本の食品ロスの現状

間約646万tにのぼっている（図1）。これは、国民全員が毎日茶碗1杯分の量のご飯を廃棄している計算である。

食品ロスを削減するためには、製造、流通、消費の各段階での取り組みが重要になってくる。特に、製造・流通段階において、食品包装の分野が果たす役割は大きい。食品包装の高機能化によって、消費期限・賞味期限の長期化を実現することができ、大きな付加価値をもたらす。包装食品の市場価値を高めることが、ひいては、労働生産性向上の一助となる。

2 食品ロス削減につながる食品の保存技術

食品の品質を、より長期間保存し、賞味期限を延長するために、主に次のような包装技法および包装容器が採用されている。

2-1 食品ロス削減に寄与する包装技法

2-1-1 真空包装

ガスバリア性に優れ、引張強度のある包装資材を用いて、容器内から空気を排気し、密封する包装である。

酸素を除去することによって、酸化による食品の変質を防ぐことを目的としている。

2-1-2 レトルト殺菌包装

加圧・加熱処理により、食中毒の原因となる有害な細菌を殺し、安全性、保存性を持たせることを目的とした包装である。

長期保存を目的とした惣菜、米飯、加工肉などで多く採用されている。

2-1-3 ガス充填包装 (MAP 包装)

ガスバリア性の高い包材で、食品を入れた袋や容器内に窒素 (N₂) や二酸化炭素 (CO₂) を単独または混合して置換密封することで、食品の鮮度や品質を劣化させない包装技法である。

充填するガスが保存機能を果たすため、じゅうてん 充気のみ真空密封包装と比べて鮮度が長持ちし、味や風味の劣化や変色を防ぐ効果も高いといえる。

商品に応じて最適なガスを選択し、配合率を調整することで、これまで困難だった商品群での鮮度の長期保持、賞味期限の延長も可能となっている。

また、脱酸素剤の代わりにガス充填包装にすることもあり、飲食後の廃棄物を削減できる点、子どもや高齢者に、特に、リスクの高い誤食の防止ができる点、脱酸素剤により香りも吸収されてしまうこともあるため窒素ガス充填でより長く品質を保持できる点が挙げられる。

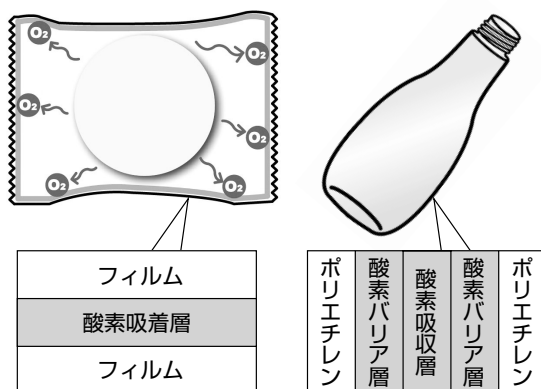
国連食糧農業機関 (FAO) は、真空包装とガス置換包装を「食品の腐敗を防ぐための効果的な手段」と位置づけている。

2-2 食品ロス削減に寄与する包材・容器

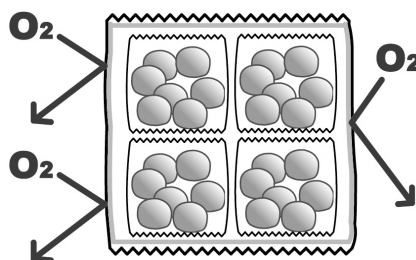
包装技法に加え、高機能な包材・容器が包装関連各社により開発され、各種食品包装に採用されている。

2-2-1 酸素吸収機能, 酸素バリア機能

酸素吸収機能のある接着剤で複数のフィルムを貼り合わせた多層フィルムは、包装内部の酸素を吸収し、外部からの酸素の進入を防ぐ機能を備えている。



アルミ蒸着フィルムや透明蒸着フィルムなどの包材は酸素バリア性が高く、酸化を抑制する効果が高い。



2-2-2 日配品の劣化防止機能

冷蔵保存が必要な日配品や日持ちしにくい惣菜商品であっても、前述のような包装技法を採用することにより、鮮度を保ち、賞味期限を延長することができる。これにより、賞味期限切れで廃棄していた食品がより長い期間流通できることになり、ロスを削減する。

例えば、惣菜などに多く使われるトレーシラーも、ガス充填包装と熱シールが可能なトレーが新たに開発され、従来の2~5倍に賞味期限を延長できる事例がある。

精肉では1日～3日程度、カット野菜では1日程度延長した実例があり、消費者にも普及している。

2-2-3 少量化(食べきりサイズ)

核家族世帯や高齢化に伴う単身世帯の増加により、少量サイズの需要はますます高まっている。少量化により、一般家庭での食べ残しが原因の食品ロスを削減できる。

2-2-4 食べ残しがない形状

一度開封し、空気に触れた食品は保存性や品質が保たれず、一定期間を過ぎると廃棄される。新たな包装技法として、一度開封した後でも内容物の劣化を防ぎ、最後までおいしく食べることができる容器が採用されている。

例えば、逆止弁を付けることで外気が入らないようにしたボトルや、しょうゆの鮮度を長期間保持できる二重構造容器は、需要の高まりからスタンダードになっている。最後まで食べきる、使いきるということが食品ロス削減に大きく貢献している。

以上に紹介した中でも、とりわけガス充填包装や、容器・包材のガスバリア性の評価を目的とした包装内の雰囲気ガスの管理手法について、次章以降に記述する。食品衛生法の改正や、品質管理の厳格化を背景に、包装工程においても管理の強化が期待されている。

3

ガス充填包装と残存酸素の管理

空気中には酸素(O₂)が20.9vol%組成されており、油脂や水分を多く含む食品の保存には、酸化による悪影響が懸念される。

具体的には、風味、色、鮮度、香気、栄養価など、食品の価値として不可欠な要素を失って

ガスの種類	効果	食品例
N ₂	酸化・変色の抑制、防虫、ビタミンCの損失抑制、香気・風味の保持等	削り節、菓子、コーヒー、ナッツ類、食用油、飲料等
CO ₂ +N ₂ 混合	細菌・カビの繁殖抑制、食味保持	餅、ハム、チーズ、調理パン、水産練り製品等
CO ₂ +O ₂ 混合 または N ₂ +O ₂ 混合	肉色素の保持・発色	生肉、鮮魚の切り身等

表1 代表的な充填ガスの種類とその置換効果・食品例

しまう。また、カビや細菌も酸素によって生育が維持されるため、食品の保存雰囲気をもとの水準まで酸素を削減するかが課題となる。

前述のとおりガス充填包装では、各食品の劣化抑制に効果のあるガスが選択される。表1が代表的な充填ガスの種類とその置換効果、食品例である。

CO₂は、ガス自体に細菌類の増殖抑制効果がある。その一方で、食品に含まれる水や脂肪に溶解、炭酸を生成するため、生成された炭酸によって食品が微酸性を示し、食味に影響することがある。加えて、樹脂製のフィルムを透過しやすい特徴もあるため、包装食品の体積が減ったり減圧になったりすることもあるので、注意が必要である。

4 酸素濃度計の歴史

ガス充填包装の研究は、欧米では1930年代に始められており、当時、研究の目的は炭酸ガス(CO₂)を使用し、生肉等の腐敗を防止することが主であった。1950年代になって、コンビーフやチーズの包装にN₂やCO₂によるガス充填包装を用いることで、保存性の向上に効果を認めている。

日本でガス充填包装が食品に実用的に取り入れられたのは、ガスバリア性の高いプラスチックフィルムが開発された1960年代以降で、かつおの削り節のN₂ガス充填を始まりとし、そ

の後、広範な食品に利用されるようになった。

そうしたことから、弊社は、1972年より酸素濃度を測定する機器として、食品包装パック内の残存酸素が測定できる微量酸素分析計を、国内で先駆けて開発し、食品包装の品質管理用として販売を開始した。

食品分野での包装技術の発展にともない、包装内の雰囲気ガスを測定し、効能を検査する必要性が生まれた。

包装内の空気を排気し、ガスを充填する工程においては、置換後の残存酸素の濃度を測定することにより、適切にガス置換されていることを証明することができる。また、残存酸素濃度が少ないほど保存効果が高いということを検証する手段としても利用され、普及してきた。

5 賞味期限の設定方法

食品には、大きく分けて以下のような種類の劣化が起きる。

微生物による変化	ネトの発生、腐敗、発酵、有害成分の生成、ガスの発生など
化学的变化	酸化、反応生成物による褐変、褪色、成分の減衰、生成物の増加など
物性変化	乾燥、吸湿、潮解、接着、沈殿、弾力性など
官能特性的変化	外観、香り・匂い、食感、味など
その他	成分の結晶化、包装・容器からの溶出など

このような変化の原因としては、水分、酸素、温度、光、微生物などがあり、これらによる変化を防止するため、各種手段や工夫が講じられる。包装工程において有効な手段は、「容器包装資材の材質（ガスバリア性など）の選択」、「脱酸素剤、窒素充填などによる包装内雰囲気

変更の工夫」とされている。

そして、これらの手段を講じた製品の状態で、期限を評価するための保存試験を行う。

すべての加工食品（一部を除く）には期限表示が義務付けられており、科学的かつ合理的な根拠をもつことが必要とされる。

「食品期限表示の設定のためのガイドライン」（2005年、厚生労働省および農林水産省）では「理化学試験」「微生物試験」「官能検査」を代表的な試験方法としている。実際に全商品にすべての検査を行うのではなく、業界団体が作成した期限の設定に関するガイドラインなどを参考に、検査項目を選択して実施する。

商品の品質を保持できる期間を見極めるためには保存試験を実施する。なお、保存試験の手順は、以下のように設計される。

1. 賞味・消費期限の仮設定
2. 保存期間の決定
3. 保存条件の決定
4. 指標項目（試験項目）の決定
5. 測定点の決定

保存期間が短期である「消費期限」の設定では微生物試験が必要とされ、保存期間が中長期である「賞味期限」設定では理化学試験、特に保存中、時間の経過による変化が予測される項目の検査が必要とされることが多い。

しかし、実際のところ、期間設定に最も重要な指標は官能検査である。判定基準を定め、商品価値を適切に判断できるパネラーが実施し、それを理化学的・微生物的項目の試験・検査で補完することになる。

簡易的な官能検査では、色、つやなどの外観、香り、味、固さや粘りなどの食感といった項目を検査し、判定基準に照らし商品価値を喪失したと考えられる日数を基準に、賞味期限を設定する。

6 酸素濃度の測定目的

包装食品の残存酸素濃度を管理する目的や用途についてはさまざまある。

例えば、前述のように酸素による食品への影響を指標とした賞味期限の設定や、賞味期限の延長を目的とした容器や包材の検証もそのひとつである。

弊社の酸素濃度計の用途で、最も多いのは、実際に商品を出荷する際の検査である。目に見えない充填ガスの状態を、残存酸素濃度を測定し数値で表わすことで、包装工程に問題がないことを目に見える形で証明する。

弊社の残存酸素計『バックマスター』（後述）は、測定値を専用プリンターやパソコンなどの外部出力に対応できるため、計測と同時に記録を取ることが可能である。出力した記録は、納入先や取引先に、品質を証明するデータとして生かされている。

そのほかの用途として、包装機やシーラーなどガス充填の工程における機械や設備の稼働チェックにも活用される。

万が一、包装不良、シール不良があった場合、初期工程で発見できることが製造ロスの削減につながる。

7 酸素濃度計を使った測定方法

包装食品内の残存酸素を測定するには、包装内の充填ガスを吸引してセンサーに検知させる必要がある。

弊社の残存酸素計『バックマスター（型式 RO-103S）』（図2）は、自動吸引ポンプを内蔵しており、「MEAS」ボタンを押すだけのワンタッチ操作で測定ができる。誰でも簡単に操作



図2 バックマスター

できるのが特長である。

包装内が常圧であれば、自動吸引により、1サンプル最短6秒で測定可能なため、効率のよい測定ができる。

食品包装では、さまざまな包装技法や包材・容器が取り入れられ、形状やガス、内圧にも対応できることが求められる。

バックマスターは、内部が加圧や減圧になっている容器の測定にも、オプション品『加・減圧用サンプラー』（図3）と組み合わせて使うことにより、ボトルや缶、ビンを含む多様な容器の材質や形状、内圧にも対応できる。

ただし、圧がある場合は自動吸引ポンプを使



図3 加・減圧用サンプラー

用せず、手でシリンジ内にガスを吸引し、圧を常圧に戻しながら、ガスを送り出して測定する操作となる。

減圧の容器の場合は、自動吸引ポンプでは必要量のサンプルガスを吸引できないことがあるためである。加圧の容器の場合も、測定する際に、一瞬でガスが放出されてしまうおそれがあり、貴重なサンプルガスのロスを防ぐためである。

また、個包装や少量パッケージにも対応できるように、ガス量3ccから測定できる点や、誤って液体を吸い上げてしまった場合でもセンサーが破損することなく、簡単な部品交換で対応できる点も特長である。

パックマスター以外にも、弊社ではジルコニア式酸素センサーの酸素濃度計も取りそろえており、測定したい条件に応じて機種選定をして提供している。

8

酸素濃度計の測定方式

残存酸素濃度を測定する方式はさまざまあり、酸素センサーの測定方式によって構造や特性が異なる。食品業界では、「隔膜電極式」と「ジルコニア式」が選択されることが多い。

測定する商品の内容物や包装形態、目的や用途、充填ガスの組成などによって選定が必要である。

8-1 隔膜電極式酸素センサー

弊社が、創業から特に注力して開発してきた隔膜電極式は、カソード極（正極）とアノード極（負極）の2種類の金属製の電極および電解液のほかに、酸素透過性の隔膜（フッ素系樹脂）がカソード極表面にあるのが特徴である。

酸素は隔膜を透過し、カソード極表面に達し

て電気化学的に還元される。このときの電流は酸素分圧に比例するため、電流値から酸素濃度を測ることができる。

隔膜電極式のうち「隔膜型ガルバニ電池式」の酸素センサーの構造を図4で紹介する。

隔膜型ガルバニ電池式とは、以下のような方式である。

金・白金などの貴金属のカソード極と、鉛などの卑金属のアノード極で一对の電極を構成し、電解液を満たした容器内に置き、酸素透過性の薄い隔膜で外部と遮断する。外部雰囲気から隔膜を透過してきた酸素がカソード極に到達すると、酸素が水酸化イオン(OH-)に還元され、アノード極側では鉛の酸化反応が起きる。

アノード極、カソード極の両極を結線すると、酸化還元反応の際に流れる電子の数が、外部から供給された酸素量に比例して電流として流れ、これを測定することにより、酸素濃度が求められる。

隔膜型ガルバニ電池式の特徴は、可燃性ガスの影響を受けない点である。

コーヒー豆など可燃性ガスを発生する食品の包装や、アルコール蒸散剤、可燃性ガスを副生

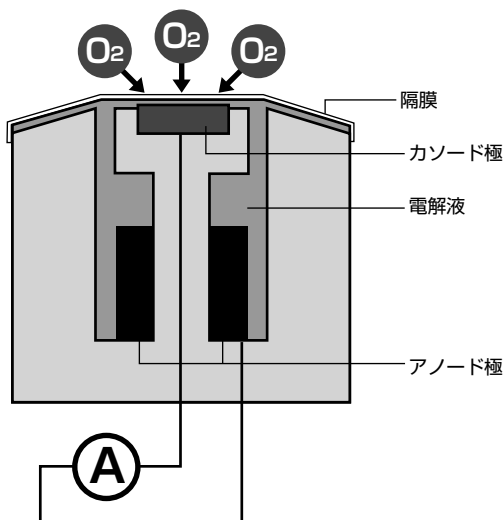


図4 隔膜型ガルバニ電池式センサーの構造例(断面図)

成する脱酸素剤を併用した包装に適している。

8-2 ジルコニア式酸素センサー

ジルコニア素子が高温で酸素イオンによる導電性を示す性質を利用する測定方式である。

高温に加熱されたジルコニア素子の両端に電極を設け、その一方に試料ガス、他方に空気等の基準ガスを流して酸素濃度差を作り、両極間に生じる起電力を検出して酸素濃度を測定する。ジルコニア素子は、内蔵ヒーターで800℃前後に加熱されているため、包装内に可燃性ガスが含まれる場合、残存する酸素とともに燃焼するため、酸素計の指示値は低めに指示する。

コーヒーなどの食品が発する香気成分には、可燃性ガスが含まれている場合がある。また、アルコール蒸散剤や可燃性ガスを副生成する脱酸素剤を併用する場合も注意が必要である。

ジルコニア式には「濃淡電池式」と「限界電流式」がある。

濃淡電池式は、ジルコニア素子の両面に多孔質の白金電極を貼り付けて加熱し、それぞれの面に酸素濃度差のあるガスを接触させ、濃度の高い側で起こる還元反応と、濃度の低い側で起こる酸化反応による電極間の起電力から、酸素濃度を求める方式である。

発生する起電力は、酸素分圧に対して対数関係にあるので、直線化のためのリニアライザーが必要である。このことは、校正の時に、特に注意を要する。原則として空気と測定レンジの10%程度の濃度の標準ガスを用いて2点で校正するのがよい。

限界電流式は、一方の電極からの酸素ガス量を制限すると、電圧を増加しても電流が一定値になる飽和現象が起こり（限界電流）、酸素分圧に比例するということから、一定の電圧を印加して流れる電流値より酸素濃度を検出する方

法である。

弊社の限界電流式の酸素濃度計は、ジルコニア素子に電圧を加えると酸素が移動する「酸素ポンプ」の原理を応用し、酸素センサーの内部で標準ガスを作っている。

そのため、空気のみでの校正で正確な測定が可能になっている。

9 残存酸素濃度別の食品劣化比較

包装食品における残存酸素の影響を考えると、異なる酸素濃度条件下で保存した食品の劣化度を検証した結果を記述する。

サンプルには、油脂を多く含む「ポテトチップス」と、水分を多く含む「餅」を採用した。

9-1 ポテトチップス

ガスバリア性に優れたフィルムを用いた包装材料内に、残存酸素濃度0%O₂と20.9%O₂の雰囲気下でポテトチップスを密封し、温度30℃下にて保存した。2週間に1回のPOV測定と、45日後の官能検査を実施した。

POV測定の結果を図5に示す。保存開始後1ヵ月で、酸素の影響と思われるPOV値の上昇が見られ、0%O₂と20.9%O₂のポテトチップス

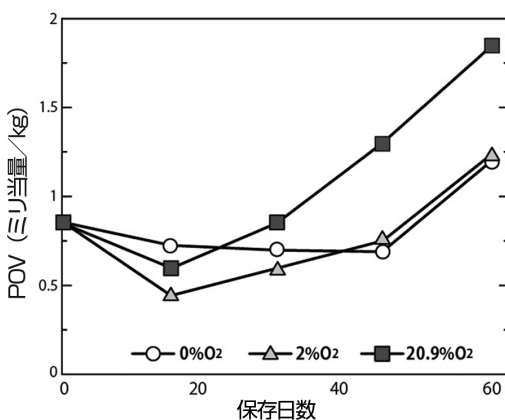


図5 ポテトチップスの過酸化値測定結果

の試料の間で有意な差が見られた。

表2が45日後の官能検査の結果である。

表にある数値は、好ましいと思われる順番に順位を付ける方式による順位の総和であり、好感度の高かったものほど小さな値となる。菌ごたえや味では、酸素濃度の違いによる有意差は見られなかったが、香りの項目については、20.9%O₂下で保存したものの好感度が有意に低く、油の酸化に起因する酸化臭によるものと判断できた。

	0%O ₂	2%O ₂	20.9%O ₂
菌ごたえ	59	55	66
香り	47	51	82*
味	55	58	67
総合	57	56	67

(※危険率5%で有意差がある)

表2 ポテトチップスの官能検査の結果

これらの試験結果から、油脂を含む食品の劣化度と残存酸素の濃度には、大きな関連があると判断できた。

9-2 餅

一般的にカビや細菌は酸素、水分、栄養が多く含まれる環境下で増殖する。弊社は、保存状態の残存酸素濃度の違いで、カビの増殖をどれだけ抑制できるかを試験した。

サンプルには、保存料などを添加していない作りたての餅に、青カビの胞子を綿棒で少量附着させ、ガスバリア性の高いフィルムを用いた包材内に入れた。

それらを、残存酸素濃度0%O₂、2%O₂、10%O₂、20.9%O₂の雰囲気下で密封し、温度20℃下にて保存した。

図6が、保存を開始してから3日後と10日後の、カビの増殖の目視変化である。

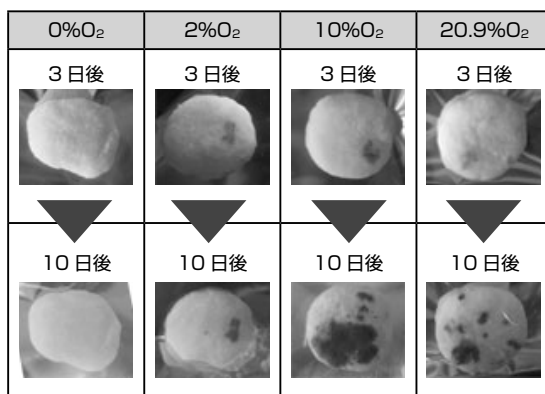


図6 カビの増殖の目視変化

0%O₂では、10日後でもカビの増殖は確認できなかったが、2%O₂以上の濃度では、3日後には目視で確認できるほどに増殖した。10%O₂、20.9%O₂においては、10日後には増殖がさらに進行した。

この結果から、無酸素に近い状態であればあるほど、水分があってもカビの増殖への抑制効果が高いことが確認できた。さらにいえば、10%O₂を超えると、濃度差に関わらず増殖スピードは一気に加速する。増殖のスピードや程度は、個体差によるものと考えられる。

10 おわりに

食品ロスの問題だけでなく、少子高齢化などの社会的背景から、食へのニーズや製造・流通業に求められる品質は、今後も厳しくなっていく。

弊社は、計測器メーカーとして、今後も食品製造業における商品検査、保存技法の改善や優良性評価に貢献し、ひいては、商品の付加価値向上や生産性向上の実現に向けて、酸素濃度計をはじめ、さまざまなニーズに対応した計測技術の開発や、より高いサービスの提供、その普及を推進していく次第である。

■■参考

- ・『食品設備・機器辞典』産業調査会辞典出版センター（2002年）
- ・『食品と開発2018年8月号, 賞味期限延長をもたらすガステクノロジー最新情報』UBM ジャパン(株)
- ・『食品ロスの削減に資する容器包装の高機能化事例集』農林水産省（2017年）
- ・『食品消費期限, 賞味期限の設定』（一財）日本食品分析センターJFRL ニュース編集委員会（2013年）
- ・消費者庁 HP (<https://www.caa.go.jp/>)
- 『加工食品の表示に関する共通 Q&A 第2集』
- ・愛知県産業技術研究所（現・あいち産業科学技術総合センター）共同研究報告（2006年）
- ・『食品包装2018年10月号・12月号』日報ビジネス(株)