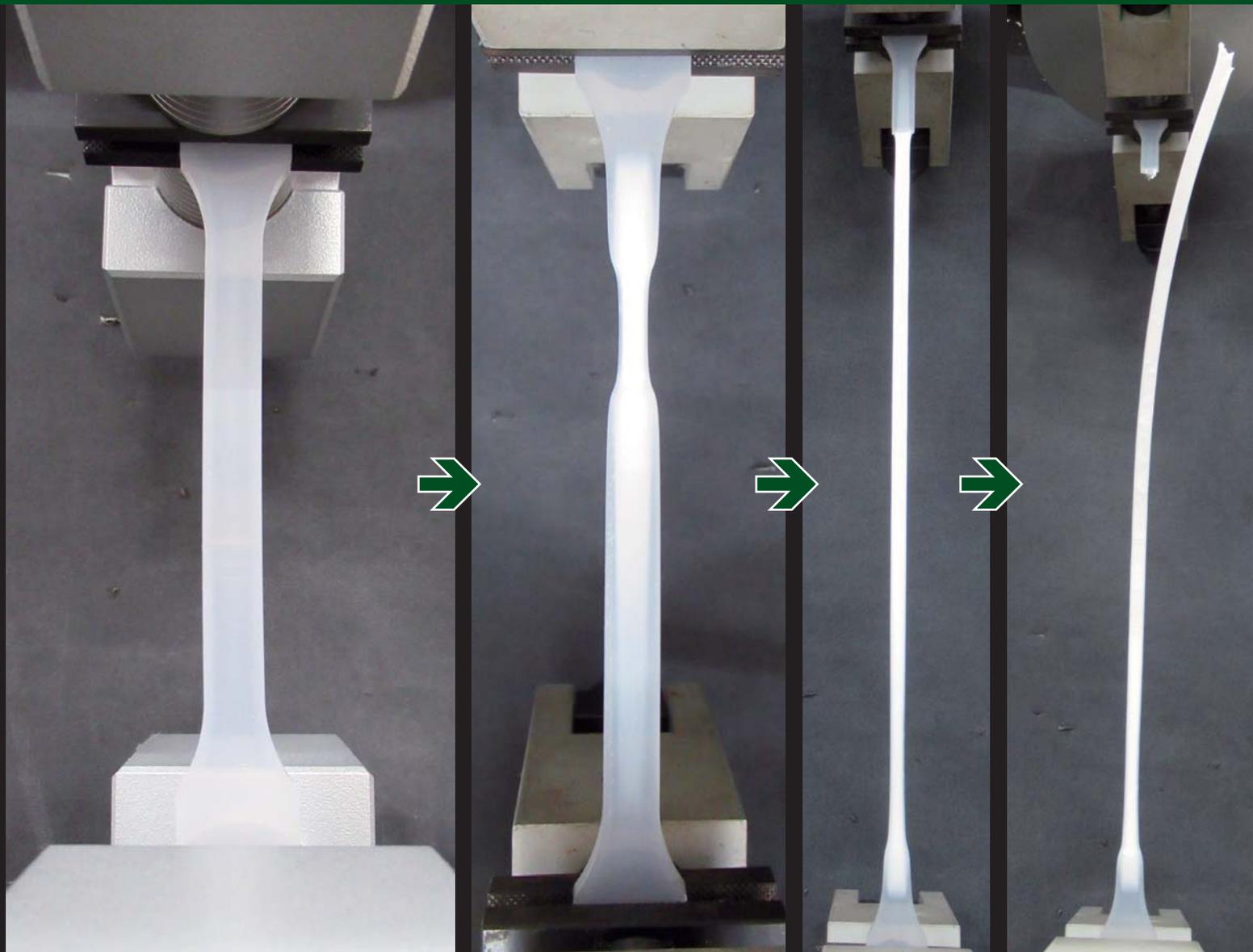


TECHNORIDGE

2021 326



ポリプロピレンの引張試験

特集 力学的物性を測る

TECHNORIDGE

2021 326



引張試験の試験片（ダンベル型試験片）

目次

巻頭言	2
力学的な物性値から何がわかるのか	3
キャストフィルムを利用した簡易力学試験	4
皮革材料における力学試験	5
建具を「実大試験」で評価する	6
食感を測る	7
成形からの時間依存性 / 機器紹介	8

信頼できる測定法を一緒に考えましょう

編集担当
宮崎 崇

材料や製品を引っ張る、曲げる、押しつぶす、ねじる等した時に、「変形や破壊がどのくらいの力で起こるのか」を調べる試験のことを力学試験といいます。この試験からわかる、強度や伸び、弾性率といった力学的な物性値は、材料のカタログデータとして必ず記載される基本的な特性値です。これらの数値は、製品に用いる材料を選定する際や、製品を設計する上で必要な基礎データとなります。また、完成した製品が設計どおりの強度・性能を有しているのかを評価する上でも、力学試験は重要です。したがって、力学試験は材料開発という「川上」から製品設計・品質管理という「川下」まで、広く関わる重要な試験であるといえます。

一般的に、材料評価を目的とした力学試験は日本産業規格（以下、JIS）等で評価方法が定められており、決められた形状の試験片を用い、決められた試験条件で行うこととされています。一方、材料開発の初期段階の場合などでは、材料が少量しかなく試験片を作製できない等、規格どおりに試験ができない場合もあります。また、材料ではなく製品の性能評価については、試験方法そのものが定められていることはまずありません。そのため、製品の使用方法から、どのような力をどのように受けるのかを予測し、適した試験方法を選択する必要があります。その際には、多くの試験方法から何を選択して、どのような条件で評価を行うかが肝要です。

本号では、力学的な物性値から何がわかるのかについての簡単な解説（P3）の後、材料の力学試験として、「試料が少量しか手に入らない化成品の力学試験の例（キャストフィルムを利用した簡易力学試験、P4）」と、「層構造を持つ材料評価の例（皮革材料の力学試験、P5）」をご紹介します。また、製品の性能評価の例としては、「実際の製品を用いる試験例（建具を「実大試験」で評価する、P6）」と、「食感の測定例（最中（もなか）の食感評価方法、P7）」をご紹介します。

本号で紹介しているような「規格にない試験」を実施する際には、依頼者と当センター職員との間で綿密な打合せを行い、試験方法を一緒に作り上げていくことが非常に重要です。本号の紹介記事を参考にいただき、信頼できる測定法を一緒に考えていきましょう！

力学的な物性値から何がわかるのか

地域資源活用部 星野 顕一

はじめに

我々の周りには材料や製品は、使用される際に図1のような様々な力を受けます。材料や製品がこれらの力に耐えられるのかどうかを調べるため、それぞれの力に対応した力学試験を行います。本稿では引張試験を例に、試験結果の読み取り方を紹介いたします。

引張試験の読み取り方

引張試験とは、材料を引張方向に変形（変位：mm）させたときに、どれだけの力（荷重：N）が必要かを測定する試験です。材料を引っ張った時に発生している荷重を材料の断面積で割ることで標準化したものを「応力（Pa）」といい、変位をサンプル長で割って標準化した変化の割合を「歪（ひずみ）（%）」といいます。

表紙写真のように、材料試験機で徐々に材料を変形させていった時の応力と歪の変化を記録してグラフにしたものを応力-歪曲線といい、高分子材料では、図2のような曲線を描くのが一般的です。このグラフから、材料が「強いのか弱いのか」「よく伸びるのか脆いのか」「硬いのか柔らかいのか」といった様々な力学的な特性を判断することができます。

例えば、材料が変形に耐えきれなくなって破壊が起こる点を破断点といい、この時の応力、歪をそれぞれ破断応力、破断歪といいます。破断応力が大きいほど、壊すのに大きな力が必要な強い材料となり、破断歪が大きいほど、壊れるまでよく伸びる材料ということがわかります。また、材料の「変形のしにくさ」のことを弾性率といい、引張試験における応力-歪曲線の最初の傾きを見ることでわかります。最初の傾きが大き

いほど硬く変形しにくい材料、小さいほど柔らかく変形しやすい材料であると言えます。また、応力-歪曲線で囲まれた部分の面積は変形に必要なエネルギーに相当しており、面積が大きいほど、変形させるのに大きなエネルギーが必要となります。このように、応力-歪曲線を見ることで、材料の特性を瞬時に判断することができます。圧縮、曲げ等の他の力の場合も同様の評価が可能です。

データを比較する上での注意点

力学的な物性値は、測定条件やサンプルの状態により大きく変化します。そのため、物性値の比較を行う際には、温度や湿度、試験速度等の測定条件をそろえる必要があります。また、力学試験を行う試験片の「成形してから時間」も重要です。巻末コラムに記載してあるように、時間とともに強度は変化しつづけます。そのため JIS 等の規格では試験片の状態調節として、所定の温湿度条件で一定時間以上保管することや試験速度等が定められています。

他にも試験片の製造時の成形条件（熱や力がどれだけかかったか）によって、全く違う結果がでることもあるので注意が必要です。（テクノリッジ 313 号 P4 参照）

おわりに

力学試験には、材料試験機による強度測定以外にも、表面硬度測定や耐衝撃性測定、耐摩擦性測定などがあります。試験を行う際には、事前に想定される力のかかり方を考慮して適切な試験方法を選択し、必要な力学的な物性値を把握しておくことが重要です。

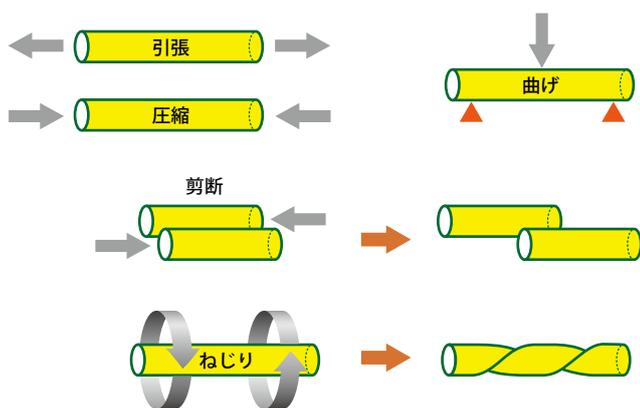


図1 力の種類

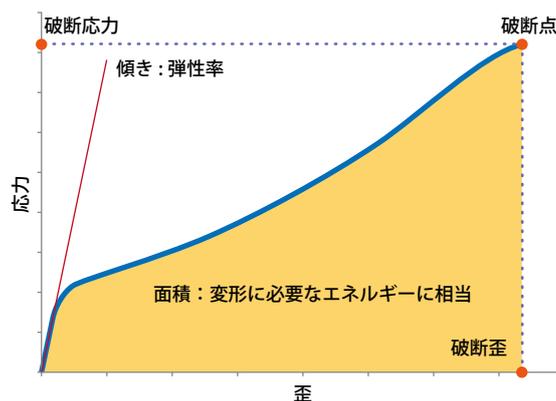


図2 応力-歪曲線例（高分子材料／引張試験）

キャストフィルムを利用した簡易力学試験

地域資源活用部 山下 宗哲

はじめに

キャストフィルムの“キャスト”は“無延伸”を意味しており、包装フィルム等の成形機で作製した一般的なフィルムである延伸フィルムと対になるものです。

キャストフィルムは、少量のサンプルから、簡易な手作業で作製することが可能です。また、成形加工時の熱や延伸・配向等、成形条件の影響を受けないことから、材料そのものの特性を評価することが可能です。そのため、高分子材料の合成条件や主剤・硬化剤の配合条件の違いを調べたい場合などに、少量のサンプルで大まかな破断強度や破断変位を測定できるところに利点があります(表1)。

本稿では、溶液キャスト法により作製したフィルムを対象とした試験例と、その利用方法を紹介します。

キャストフィルムを利用した引張試験

決められた形状の試験片で行う材料試験の一つとして、引張試験があります。高分子材料では、JIS K 7139に記載されているように、射出成形やトランスファー成形で作製したダンベル型試験片を使用して引張試験を行うのが最適です。しかしながら、射出成形機等の大がかりな加工機を用いて試験片を作製するため、多量のサンプルを準備する必要があります。一方、キャストフィルムの場合、バーコーターやアプリケーションターのような手作業で行う塗膜作製器具を用いてフィルムを作製し、その後ダンベル型の打ち抜き刃で打ち抜くことで試験片を作製することができます(図1)。(本稿ではスポイトを用いて、数 ml のサンプルから試験片を作製しました。)

キャストフィルムで作製した試験片は、成形機で作製した試験片とは違って型を用いないため、厚みのバラツキが大きくなります。また溶液の乾燥ムラによるバラツキも発生します。加えて試験片自体が薄いこと

もあり、引張試験の測定結果には大きなバラツキが発生します。そのため、十分な数の試験片を準備することが必要です。

なお、フィルムを測定する場合には、試験機への取付け時に遊びが生じたり、不均一な変形が起こりやすいため、変位から正確な歪を求めることは困難です。(正確な歪を求めるためには、射出成形などで作製したダンベル型の試験片に対して、伸び計や歪ゲージを用いて歪を求めなければなりません。)そのため、応力-歪曲線ではなく、応力-変位曲線や、荷重-変位曲線で評価することもあります。

分子量と力学的物性

図2及び表2に、分子量の異なるポリビニルアルコール(A,B)から作製したキャストフィルムの引張試験の結果を示します。図2にサンプルAの試験片5本を測定した結果を載せていますが、破断変位、破断応力共に大きなバラツキが発生していることが分かります。この傾向はサンプルBでも同様であるものの、表2から、「分子量の違いが破断変位と破断応力に与える影響」を把握するには十分な情報が得られており、分子量が大きくなると、破断変位と破断応力が大きくなるという傾向を読み取ることができます。

おわりに

今回の試験片数(5本)では、試験片間のバラツキが大きく、得られる数値から厳密な議論を行うことは困難です。しかしながら、分子量と破断変位や破断応力との相関関係を十分に推論できるデータを得ることはできます。

試行錯誤が必要な材料開発段階等では、手軽に測定できるキャスト法を是非活用していただければと思います。

成形加工の特徴	溶液キャスト法の特徴
<ul style="list-style-type: none"> 設備費用が高価 多量のサンプルが必要 事前に混練機によるペレット化が必要 	<ul style="list-style-type: none"> 設備費用が安価 少量のサンプルで作製可能 溶液重合や乳化重合で合成したサンプルをそのままフィルム化が可能
<ul style="list-style-type: none"> 大きな熱履歴が発生する 試験片のバラツキが小さい 力学特性に方向性がある 	<ul style="list-style-type: none"> 熱履歴が少ない 試験片のバラツキが大きい 力学特性に方向性がない

表1 成形加工及びキャスト法で作成した試験片の特徴



図1 キャストフィルム作製の様子

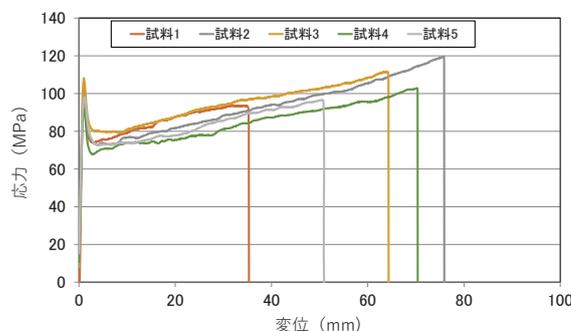


図2 サンプルAの応力変位曲線

	破断変位 (mm)		破断応力 (MPa)	
	変位 (mm)	標準偏差 (mm)	応力 (MPa)	標準偏差 (MPa)
サンプルA(分子量大)	59	16	102	14
サンプルB(分子量小)	19	8	51	4

表2 引張試験結果まとめ

皮革材料における力学試験

地域資源活用部 宮本 昌幸

はじめに

皮革材料は、古来より身近で日用的な素材として親しまれてきました。その用途は、靴や衣料、鞆や財布など多岐にわたります。

図1は、ヌメ革と呼ばれる皮革の断面写真を示しています。革を構成する組織は、コラーゲン繊維の太さ、枝分かれの度合いと交絡の密度などの違いにより、銀面層と網状層に分けることができます。銀面層では、網状層に比べて組織が緻密であり、強度は大きくなるが伸びは小さくなる特徴があります。このような強度と伸びが異なる層を併せ持つ皮革材料の物性を評価するには、引張強度などの基本物性だけでなく、革の特性に応じた評価試験を行う必要があります。

皮革材料に関する力学試験では、近年、国際規格であるISOに準拠したJIS K 6557が制定されました。今回は、この中で皮革製品における特徴的な試験である耐屈曲性試験と銀面割れ試験について紹介します。

耐屈曲性の評価

耐屈曲性とは、皮革製品に求められる重要な物性の一つです。靴や鞆などの革製品は、長期間使い続けていくと、引張と圧縮が繰り返される屈曲動作により、伸びの小さな銀面層が割れてしまうトラブルが発生することがあります。この屈曲動作への耐久性を評価するために、耐屈曲性試験を行います。

試験片は図2の様に、JIS K 6557-8に規定されているフレクソメータと呼ばれる装置にセットし、1分間に100回の往復による屈曲動作を行います。所定回数屈曲後に試験片を取り出し、亀裂など損傷の有無と程度を目視により確認し、耐屈曲性を評価します。屈曲回数は、革の種類や用途の違いによって大きく異なり

ますが、一般的には数千回から数万回屈曲しても亀裂が生じない革が求められています。

銀面割れ試験

革靴の甲部を製造する際に、甲部を形成する革にかかる力は、中心部から周辺部にかかる二次元的な引張となり、伸びが小さい銀面層が先に破断する場合があります。この二次元的な引張強度を評価する方法として、銀面割れ試験が定義されています。

図3(a)は、銀面割れ試験の模式図です。円形に裁断した試験片は、周囲をクランプで固定されます。試験片の中央部を鋼球により一定速度で押し上げ、図3(b)のように、銀面に亀裂が生じたときの荷重と押し上げた高さを測定します。この荷重と高さの関係は、引張試験における荷重と伸びの関係によく似ています。

おわりに

皮革材料における特徴的な力学試験例として、耐屈曲性試験と銀面割れ試験を紹介しました。現在では、天然皮革の代わりに、人工皮革や合成皮革などの素材も多く使われています。これらの素材は、布帛(ふはく)や不織布などの基材の上に、力学的物性の異なる樹脂フィルムを貼り付けた構造をしており、天然皮革と同じような評価が行われています。今回紹介した試験法は、力学物性の異なる樹脂フィルムを貼り合わせた多層フィルム等、層構造をもつ材料に応用可能な評価方法ですので、そうした材料を評価する際には、ぜひご活用ください。

参考文献

日本皮革技術協会編「皮革ハンドブック」樹芸書房(2005)

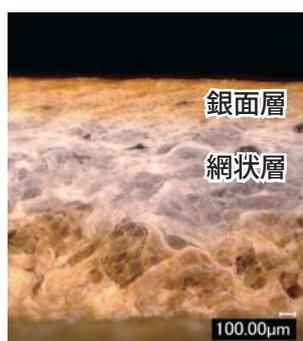
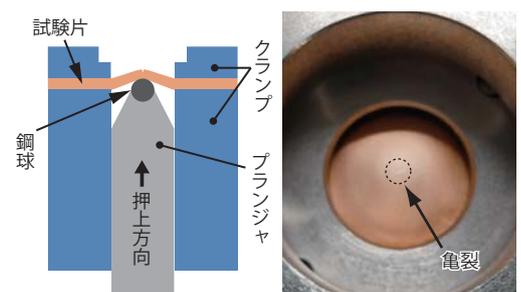


図1 革の断面写真



図2 革の耐屈曲性試験



(a) 模式図

(b) 試験写真

図3 革の銀面割れ試験

建具を「実大試験」で評価する

地域資源活用部 梶本 武志

はじめに

扉等の建具の性能を評価するために日本産業規格 (JIS) や一般財団法人ベターリビング (BL) において試験方法が定められています。しかし、製品ごとに寸法や重量が異なることや、製品の特長 (売り) となる評価の観点が違うことなどの理由から、規定どおりに試験できない場合があります。その場合は、規定の方法を踏まえながら、製品に合わせた試験を行う必要があります。

製品は部材の集まりで構成されているものの、製品化されたときに、部材の性質がそのまま反映されるとは限りません。そこで、製品そのものを試験機に設置した「実大試験」を行うことで、部材が集まった製品の性質を把握し、使用時に生じる問題を事前に確認することができます。本稿では扉の開閉試験 (図 1、図 2) を例にしてご紹介いたします。

扉の開閉試験

扉の性能として、開け閉めをスムーズに行うことは、使いやすさを評価する重要なポイントです。そのため、JIS では建具の開閉繰返し試験方法 (JIS A 1530)、BL では優良住宅部品性能試験方法書などで方法が定められています。一方、昨今、天井の高い家が流行しており、高さや重量が従来の製品 (高さ 1,800mm 約 10kg) に比べて大きな扉を設置するケースが増えてきています。そのため取付部の丁番が過負荷となり、経時変化により取り付け位置から遠いところ (戸先) が垂れ下るトラブルや、扉の取手の位置が重心からより離れたため、扉がねじれてしまうトラブルが発生し、開け閉めがスムーズにいかなくなる事例が増えています。

たとえば扉の寸法で、高さ 2,500mm で重量は 25kg と従来製品よりも大きい場合、上述のトラブルを防ぐため、取付部にピボットという金具を丁番の代わりに用いると共に、扉のねじれを防止する特殊な構造が考案されています。(図 3)。

この製品の優位性を評価するため、考案した企業と打ち合わせの上、開閉回数を 10 万回とし、開閉速度も規定の方法よりも速くして強い負荷がかかる設定としました。また試験評価のポイントとして、取付部の経時変化を評価する「戸先の垂れ下がり」と「扉そのものの変形 (ねじれ)」、及び開閉のスムーズさを評価する「開始始動力」の計測を設定しました。この試験を行った結果、開閉回数 10 万回後も戸先の垂れ下がり は 0mm でした。また、扉そのものの変形も発生せずに枠におさまっており、開始始動力も 0 回目から変化せず 3.9N であり、いずれの評価項目でも良い結果となりました。

おわりに

今回の試験では、依頼される企業の方と打ち合わせの上、JIS や BL よりも厳しい条件で試験を行いました。その結果、製品の特長をアピールする上で良い結果が得られたと考えています。

試験依頼時には、どのような性能を評価したいのか、評価方法について綿密に打ち合わせをさせていただき、同時に、試験後に得られた結果をフィードバックすることで、企業の方と一緒に製品に適したよりよい評価方法を考案していければと思います。

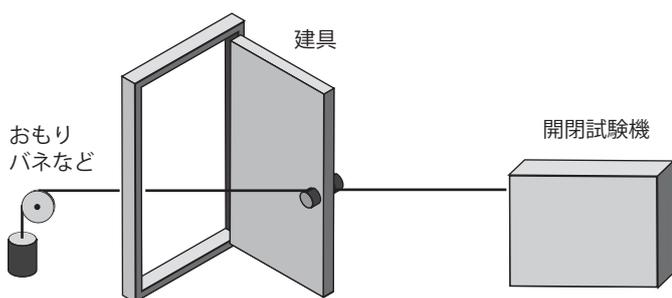


図 1 扉の開閉試験の概念図



図 2 試験全景



図 3 ピボット

食感を測る

食品開発部 中村 允

はじめに

我々は、食べものを食べる際、食べものから受ける力を様々な感覚で検知し、それらを食感として知覚しています。硬い、柔らかいといった硬さを示す感覚、もちもち感やしこしこ感といった弾力を表す感覚、また、クリーミーさや口あたりといった物理量としてあいまいなものなど、実に多彩な表現を使って食感を表しています。もちろん個人差はあるものの、これらの表現で人に食感を伝えることも可能です。ところが、これらの食感を数値で表したり、定量的に他のものと比較するとなると急に難しくなります。実際、人の感覚は様々な物性値を総合的に感じるため、単一の物性のみで比較しても実感とそぐわないことがあるからです。しかしながら、食感の力学測定は、新商品を開発した時や既存品や他社品との比較を行いたい場合、また、官能評価の結果をサポートしたい場合に有効であり、より説得力のある営業ツールにもなり得ます。このような食感の解析（テクスチャー解析）は、えん下困難者食品などの介護食の分野では特に重要な評価手法になっています。

歯をモデルとした治具を使う

テクノリッジ 308 号では、パスタ麺の硬さを例として、前歯に見立てた治具で切断し、その時の破断強度と変位から麺の食感評価を行った例を紹介しました。また、令和元年度の工業技術センター研究報告では、パスタ麺に加え、奥歯に見立てた円柱形の治具を用いてのビスケットの食感評価に関する事例を報告しています。これらの事例は、いずれも単一の治具を使い、噛み切るときやすりつぶすときの強度や変位を食感として評価しました。本号では、より実際の口の動きを再現した前歯、犬歯、奥歯のモデルとなる治具（図1）を用い、それぞれの治具が受ける力を測定することで、それらの治具によってどのような食感評価ができるか



図1 試験に用いた治具



図2 圧縮試験のようす

を調べました。また、測定対象も単一の素材でできた食品ではなく、2つの素材を組合わせた最中（もなか）を用いました。

最中（もなか）を測る

今回の実験では、クリープメータ 2 軸物性試験システム (RE2-33005C(XZ)、株式会社山電) を用い、一定速度 (10mm / 分) で押し付けた時 (図2) の荷重と変位を測定しました。図3は、測定時に得られた荷重-変位曲線を示しています。奥歯モデルと前歯モデルの特徴は、変位が 2.5mm 付近で荷重が極大を迎え、その後低下していることです。これは、最中皮があんことともに圧縮され、破断したことを示しています。特に前歯モデルでは、硬いものがパリッと割れた時に見られるシャープな波形が観測されました。一方、面積の大きい奥歯モデルは前歯モデルよりも大きな荷重を受けることや、面積が大きいため、下のあるこが押し上げる力を大きく感じ、その結果、前歯モデルよりもパリッと感に乏しい食感を感じる事が分かります。さらに皮が破れたあんこを引続き圧縮していくと、薄い前歯モデルは荷重はあまりかからず（食感をあまり感じず）にあんこを切断していくことが分かります。これに対して、奥歯モデルは、あんこを圧縮していくフラットな領域が表れた後、再び荷重が小さくなりました。これは、あんこの弾力を感じた後、外側の皮が破断してあんこが外部に漏れ出し、あんこから受ける食感が減少することを示しています。また、犬歯モデルは、接触した直後から皮が破れたため極大は持たずに小さい荷重が直線的にかかり続け、食感をほとんど感じないことが分かりました。このように、異なる歯のモデル治具を使うことで、それぞれの歯が感じる食感を評価することができました。また、最中の皮のサ

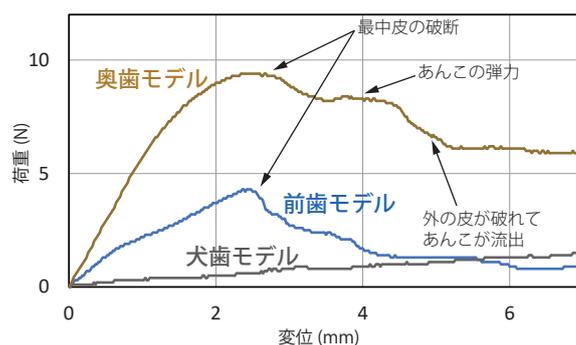


図3 圧縮試験の荷重-変位曲線

クサク感を評価したい場合はシャープな破断ピークが得られる前歯モデルの治具を使い、あんこの弾力を評価したい場合は、奥歯モデルの治具を使えば、より実際に近い評価ができることが分かります。さらに、最中皮の硬さを変えた場合やあんこの弾力を変えた場合、これらの波形を比較することで食感がどのように変わるかを予測することができます。

おわりに

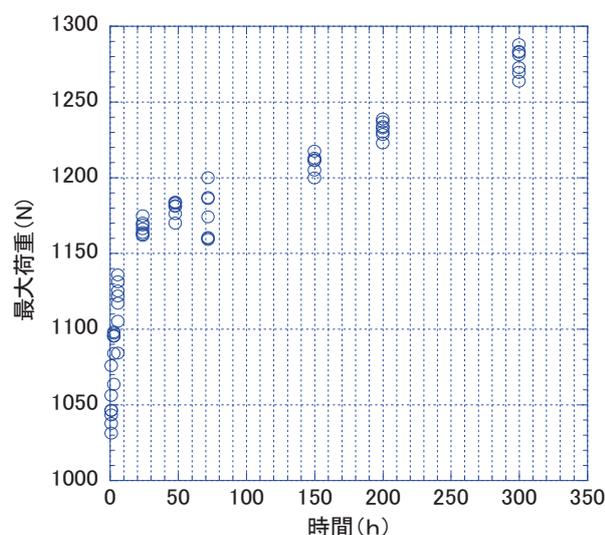
我々が食感評価する時は、どの歯のモデルを使う必要があるかを検討し、さらに圧縮する速度や荷重をかける方向などと併せて試験条件を設計します。試験条件により得られる結果が大きく変わるため、この条件設計が非常に重要なポイントになります。食感評価をお考えの際はぜひご相談ください。

成形からの時間依存性

当センターに力学測定を依頼される事業者の中には、成形直後のサンプルを持ってきて直ぐに試験をして欲しいと依頼される方もいらっしゃいます。しかし、本号 P3 で述べたように、プラスチック等の高分子製品では、成形後も強度等の力学的物性は変化します。

右図に、射出成形で作製したポリプロピレンの試験片の引張強度が経時的に変化していく様子を示します。グラフから、強度は成形後 300 時間たっても変化し、成形直後に比べて 2 割以上増加していることがわかります。

成形直後では、強度が規格には適合しないけれど、10 日待つと規格に適合する・・・なんてことも十分起こりうる話ですので、ご注意ください。と



機器紹介

事業名：令和2年度機械振興補助事業（公益財団法人 JKA）
機器名：誘導結合プラズマ発光分析装置

KEIRIN 

●この設備の仕様は？

○製品名（メーカー）

高分解能シーケンシャル ICP 発光分光分析装置
PlasmaQuant PQ 9000 Elite（株式会社アナリティクイエナ）

○仕様

- ・測定波長範囲（165～900nm）
- ・測光方向（軸：アキシャル、側面：ラジアルの両方向）
- ・オートサンプラ（15mL の試験管又は 50mL の容器対応）
- ・水素化物発生装置
- ・フッ化水素酸及び有機溶媒導入専用キット装備

●この設備の特徴・用途は？

○特徴

溶液化した試料中に含まれる元素の種類と濃度がわかる装置です。この装置では、ppm レベルの多種の元素を高感度かつ高精度で同時に分析することができます。

○用途

機械部品や金属、化成品、高分子、複合材料中などに含まれる微量元素の定性及び定量分析



技術情報誌
編集・発行／テクノリッジ
和歌山県工業技術センター
和歌山市小倉60番地

発行日／2021年2月26日
TEL／0773-4777
FAX／0773-4777

印刷／和歌山市中之島1497
住所／和歌山市中之島1497