ソーセージ等の市販ゲル食品のクリープ解析

添田孝彦[§], 笠置高正, 外園亜紀子

九州共立大学工学部環境化学科

Analysis of Creep Test on Gel-type Processed Food, mainly Sausage

Takahiko Soeda[§], Takamasa Kasagi and Akiko HokazonoDepartment of Environmental Chemistry Faculty of Engineering, Kyushu Kyouritsu University,
1-8 Jiyugaoka, Yahatanishi-Ku, Kitakyushu 807-8585

By applying the correlation diagrams of instant elasticity E_0 and constant viscosity η_N of the creep parameter, the physical properties within different types of gel-type processed foods can be determined. In sausage, E_2 decreased, and η_N remained unchanged by cooking. Regarding the relationships between creep parameter and sensory evaluation score, the texture preference of sausage before cooking correlated with elasticity E_2 ($r=0.619$). On the other hand, the texture preference of sausage after cooking highly correlated with retardation time, τ ($\tau_1=0.917$, $\tau_2=0.887$).
(Received Mar. 11, 2005 ; Accepted Jul. 25, 2005)

食品のテクスチャー研究に関して、渡瀬¹⁾によるとゲルの弾力性と粘りなどの力学的感覚は物性測定によって行なわれてきたが、歯ごたえを客観的に数値化する適切な方法はみられないことを指摘している。著者らはこれらの歯ごたえは官能検査に頼らざるを得ない側面が大きいと考える。その理由は客観的に数値化できない脆いゲルもあれば、ゴムのなゲルもあるため、単なる硬さのみの表現では不十分であり、官能的評価に頼らざるをえないためである。

中浜²⁾によると食品ゲルの静的および動的粘弾性測定は微小変形を与えた時のゲルが応答する性質である。一方、大変形を与える破断時の物性測定は食品ゲルにとって極めて重要な性質であるが、破断は極めて確率的であり、形状効果や体積効果に支配される欠点をもつと述べている。一般には、食品ゲルの破断特性を測定するために、主として定速圧縮による応力-歪曲線から破断応力、破断歪、破断エネルギーなどが求められているが十分に食品の物性を表現できていない。最近の物性測定においては微小変形を与え、力学的モデルを用いることにより弾性率や粘性率を算出し、ゲルの本質的な性質を表現する傾向が強い^{3)~5)}。

本研究では、市販の食肉ゲル食品の物性をより客観的にとらえる試みとしてクリープ試験を行うことによって、市販ゲル食品の物性上の位置づけを考察し、かつ、主観的な官能評価と客観的パラメータとの関係を明らかにしたので報告する。

実験方法

1. ゲル食品

ゲル食品として畜肉ソーセージ9種 (A~I)、ロースハム2種 (J, K)、プレスハム1種類 (L)、魚肉ソーセージ3種 (M~O) および蒲鉾3種 (P~R) の合計18種を供試した。これらゲル食品の原材料などの内容を表1に示す。

2. 加熱処理

畜肉ソーセージは切れ目を入れずにそのままの状態で少量の食用油をフライパン中に落とし、1.5分から2分間、フライパンを前後に動かしながら局部的に焦げないように注意して加熱した。

3. クリープ試験

ゲル食品を $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ の室内に、水分の蒸発を避けるためにサランラップでカバーして1時間放置後、ステンレス製包丁2枚を正確に15 mmの幅をもって平行にネジで固定した切断器具を使って、厚さ $15 \pm 0.1 \text{ mm}$ になるように切断した。さらに、これをコルクボーラーを用いてゲルを直径 $15 \pm 0.1 \text{ mm}$ に切り抜いて測定用試料 (直径15 mm × 厚み15 mmの円筒試料) とした。クリープ試験はクリープメータ (山電社 RE-3305) を用い、添田⁶⁾の方法に従って、変形量は応力と歪が線形性を示した15%以内とし、加重および除重時の保持時間は各5分間として測定した。プランジャーは直径10 mmの平板を用い、移動速度は毎分5 mmとした。試料はマックスウェルモデル1個とケルビンフォークトモデル2個を直列に組み合わせた六要素力学モデルを用いて解析し、マックスウェルモデルによる瞬間弾性率

〒807-8585 福岡県北九州市八幡西区自由ヶ丘1-8

[§] 連絡先 Corresponding author), tsoe@kyukyo-u.ac.jp

Table 1 Sample descriptions of gel-type foods

Food	No	Meat materials	Other materials	Price (¥/100 g)
Sausage	A	pork		213
	B	pork, mutton, chicken, fish	starch, gelatin, VP	123
	C	pork, mutton, chicken, fish	gelatin, starch, VP, EW	128
	D	pork, mutton, horse, chicken, fish	gelatin, starch, VP	138
	E	pork, mutton, chicken, fish	starch, VP, SM	138
	F	pork	starch	171
	G	pork, chicken	starch	172
	H	pork	starch, VP, SM	193
	I	pork	starch	
Cooked cured loin	J	pork	EW	223
	K	pork	EW	394
Japanese pressed ham	L	pork, mutton, chicken, fish	starch, VP, SM	150
Fish sausage	M	fish (cod, arabesque greenling)	starch, gelatin, VP	68
	N	fish (cod)	starch, gelatin	70
	O	fish (cod)	starch	
Kamaboko	P	fish (cod)	EW, starch	86
	Q	fish (cod)	starch, EW	96
	R	fish (cod)	starch	

VP, vegetable protein ; EW, egg white ; SM, skim milk

E_0 , 定常粘性率 η_N を, フォークトモデル模型による遅延弾性率 E_1 , E_2 , 遅延粘性率 η_1 , η_2 および遅延時間 τ_1 , τ_2 を求めた. 測定は $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ で 3 回行い, 各クリーブパラメータの平均値で表示した.

4. 官能検査

未加熱および加熱後の畜肉ソーセージの官能評価を行った. パネルは味の素社の食品開発に従事する男女の研究員各 10 名の合計 20 名とした. 評価項目および基準は, かたさは -4 点 (軟らかい) から 4 点 (硬い), 弾力性, ジューシー感, 繊維感, なめらかさは -4 (なし) から 4 点 (あり), 食感の好ましさは -4 点 (非常に好ましくない) から 4 点 (非常に好ましい) とした. 評点は表 1 に示す試料 A を上記 9 段階評価において 0 点とする相対評点法で評価した.

実験結果および考察

1. ゲル食品のクリーブ特性の比較

畜肉ソーセージのクリーブ試験の結果を表 2 に, ロースハム, プレスハム, 魚肉ソーセージおよび蒲鉾の結果を表 3 に示す. 畜肉ソーセージと魚肉ソーセージを比較すると, E_0 値は畜肉ソーセージで $1.04 \sim 1.88 \times 10^5 \text{ Pa}$, 魚肉ソーセージは $1.06 \sim 1.86 \times 10^5 \text{ Pa}$ を示し, ほとんど両者は近似した. 一方, η_N は畜肉ソーセージの場合 $2.69 \sim 5.12 \times 10^8 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ に対して, 魚肉ソーセージ $4.17 \sim 6.14 \times 10^8 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ と畜肉ソーセージに比べて若干高かった. このことから, 畜肉ソーセージは魚肉ソーセージと比べて低い η_N 値をとり, E_0 値はほぼ同等であるといえた. この両者はかなり近似した物

性に位置しており, 魚肉ソーセージが魚を原料とし, 畜肉を原料とする畜肉ソーセージに食感を近づけた食品として開発されたという経緯からさすると, 本結果からも両食品はかなり近似した物性をもつ食品として位置づけられた.

一方, ロースハムの E_0 値は $1.08 \sim 1.46 \times 10^5 \text{ Pa}$, η_N 値は $1.91 \sim 2.49 \times 10^8 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ を有し, 畜肉ソーセージと比べて E_0 に大きな差はみられなかったが, η_N は明らかに低かった. 畜肉ソーセージとロースハムを比較すると, 前者は明らかにゲル食品といえるが, ロースハムは肉片を組み合わせて結合させた食品で, 両者の製造法は異なっている. ロースハムが畜肉ソーセージに比べて η_N 値が低かったのは, ハムにおける肉片そのものの物性が強調されたためであると考えられた. 蒲鉾は供試ゲル食品中で最も低い粘弾性値を示した. その E_0 値は $0.36 \sim 0.74 \times 10^5 \text{ Pa}$, η_N は $1.02 \sim 1.71 \times 10^8 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ であった. プレスハムは E_0 値が $2.9474 \times 10^5 \text{ Pa}$, η_N 値は $8.43 \times 10^8 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ であり, 供試ゲル食品中では最も高い η_N および E_0 を有し, ゴム様の歯ごたえをもつと考えられた. プレスハムもロースハムと同様, 畜肉ソーセージとは異なった作り方がされているので, これらゲル食品間での物性の相違は理解されるが, 作り方が類似するプレスハムとロースハムの間での物性値は異なっていた. その理由は製造に用いられる畜肉がロースハムではロース部位が使われ, プレスハムではロース部位以外の各部位の畜肉が使用される点があげられる. さらに, プレスハムでは原材料として畜肉以外にデンプン, 食品タンパク質, 脱脂粉乳など種々の原材料が使用され, その使用量がロースハムに

Table 2 Creep parameters of uncooked and cooked sausages

Samples		E_0 ($\times 10^5$ Pa)	E_1 ($\times 10^5$ Pa)	E_2 ($\times 10^5$ Pa)	η_1 ($\times 10^7$ Pa·s)	η_2 ($\times 10^6$ Pa·s)	η_N ($\times 10^8$ Pa·s)	τ_1 (s)	τ_2 (s)
Uncooked sausage	A	1.28 $\pm$ 0.01	6.42 $\pm$ 0.18	6.44 $\pm$ 0.62	3.00 $\pm$ 0.19	3.41 $\pm$ 0.60	2.69 $\pm$ 0.34	47.10 $\pm$ 1.10	5.28 $\pm$ 1.87
	B	1.21 $\pm$ 0.03	7.05 $\pm$ 0.13	6.56 $\pm$ 0.21	3.20 $\pm$ 0.02	3.91 $\pm$ 0.33	3.25 $\pm$ 0.19	45.40 $\pm$ 0.60	5.95 $\pm$ 0.31
	C	1.04 $\pm$ 0.12	6.73 $\pm$ 0.94	7.62 $\pm$ 0.59	4.42 $\pm$ 0.54	6.89 $\pm$ 0.87	3.54 $\pm$ 0.36	65.80 $\pm$ 1.20	8.91 $\pm$ 0.09
	D	1.66 $\pm$ 0.14	7.13 $\pm$ 0.16	7.68 $\pm$ 0.28	3.82 $\pm$ 0.26	4.45 $\pm$ 0.27	3.04 $\pm$ 0.24	53.70 $\pm$ 4.80	5.79 $\pm$ 0.14
	E	1.82 $\pm$ 0.04	8.12 $\pm$ 0.26	7.54 $\pm$ 0.63	3.41 $\pm$ 0.17	3.46 $\pm$ 0.53	3.65 $\pm$ 0.34	42.00 $\pm$ 0.80	4.57 $\pm$ 0.25
	F	1.88 $\pm$ 0.18	12.10 $\pm$ 1.40	11.19 $\pm$ 1.60	5.67 $\pm$ 0.56	8.32 $\pm$ 0.49	4.75 $\pm$ 0.40	47.00 $\pm$ 0.90	7.60 $\pm$ 0.84
	G	1.30 $\pm$ 0.06	6.12 $\pm$ 0.20	6.36 $\pm$ 0.44	4.51 $\pm$ 0.20	4.83 $\pm$ 0.22	4.82 $\pm$ 0.31	73.60 $\pm$ 1.50	7.60 $\pm$ 1.80
	H	1.40 $\pm$ 0.08	11.50 $\pm$ 1.40	10.32 $\pm$ 0.98	5.59 $\pm$ 0.52	6.70 $\pm$ 0.40	5.12 $\pm$ 0.44	48.20 $\pm$ 2.10	6.49 $\pm$ 0.17
	I	1.37 $\pm$ 0.14	6.77 $\pm$ 0.21	7.11 $\pm$ 0.12	3.72 $\pm$ 0.16	4.94 $\pm$ 0.50	2.86 $\pm$ 0.17	55.00 $\pm$ 0.59	6.95 $\pm$ 0.81
Cooked sausage	A	0.79 $\pm$ 0.05	4.91 $\pm$ 0.13	4.07 $\pm$ 0.30	2.60 $\pm$ 0.33	2.85 $\pm$ 0.52	2.82 $\pm$ 0.30	52.90 $\pm$ 3.00	6.98 $\pm$ 0.30
	B	1.07 $\pm$ 0.14	5.29 $\pm$ 0.10	5.61 $\pm$ 0.42	3.09 $\pm$ 0.31	4.25 $\pm$ 0.20	3.40 $\pm$ 0.24	58.40 $\pm$ 0.33	7.57 $\pm$ 0.87
	F	1.23 $\pm$ 0.06	9.74 $\pm$ 0.22	9.06 $\pm$ 0.78	4.26 $\pm$ 0.38	5.25 $\pm$ 0.56	5.01 $\pm$ 0.40	43.80 $\pm$ 0.25	5.79 $\pm$ 0.40
	I	1.14 $\pm$ 0.09	6.17 $\pm$ 0.20	6.36 $\pm$ 0.60	3.27 $\pm$ 0.15	4.54 $\pm$ 0.47	2.66 $\pm$ 0.31	53.00 $\pm$ 0.44	7.13 $\pm$ 0.83

Table 3 Creep parameters of cooked cured loin, fish sausage, Japanese pressed ham and kamaboko

Samples		E_0 ($\times 10^5$ Pa)	E_1 ($\times 10^5$ Pa)	E_2 ($\times 10^5$ Pa)	η_1 ($\times 10^7$ Pa·s)	η_2 ($\times 10^6$ Pa·s)	η_N ($\times 10^8$ Pa·s)	τ_1 (s)	τ_2 (s)
Cooked cured loin	J	1.08	5.22	5.33	2.86	3.95	2.33	54.70	7.41
	K	1.16	4.85	6.27	2.69	4.99	1.91	55.40	7.96
	L	1.46	5.41	7.26	2.99	5.49	2.49	55.10	7.56
Japanese pressed ham	M	2.94	17.34	21.37	8.63	14.28	8.43	49.00	6.18
Fish sausage	N	1.06	8.41	7.85	2.58	2.73	4.17	30.70	3.48
	O	1.54	10.93	10.87	4.74	6.11	6.14	43.30	5.53
	P	1.86	10.65	11.83	7.02	11.83	5.98	65.70	10.10
Kamaboko	Q	0.74	5.97	4.18	2.62	5.15	1.71	43.60	5.21
	R	0.36	2.50	2.02	1.42	1.46	1.02	57.00	7.22
	S	0.41	2.42	1.84	1.33	1.31	1.15	55.10	7.15

比べて多いことがゴム様の高い粘弾性を示す理由であると考えられた。ただし、プレスハムは1点だけのデータなので、物性値の幅をもって示すことはできなかったが、我々が日常食べて感じているプレスハムの食感からすると、高い粘弾性をもつことは容易に理解される。

クリープ特性からみた供試18種のゲル食品の物性上の位置づけを図1に示すが、この関係図からもわかるように、供試ゲル食品は E_0 および η_N の2つの物性パラメータを用いることによって分けできると考えられた。なお、 E_0 と η_N の二軸を用いた理由は、表2に示すように、マックスウェル模型による E_0 値、 η_N 値の方が、フォークト模型による E_1 、 E_2 および η_1 、 η_2 の値に比べて測定時のばらつきが小さく安定した粘弾性パラメータが得られたためである。この E_0 と η_N の関係図はプレスハムと蒲鉾の2つのゲル食品が対極に位置づけられ、畜肉ソーセージ、ロースハムおよび魚肉ソーセージはプレスハムと蒲鉾の中間に位置する。この中間に位置したロースハムは蒲鉾寄りに、魚肉

ソーセージはプレスハム寄りに、畜肉ソーセージはこれらゲル食品の中で最も中間的な物性として分けされた。

2. 畜肉ソーセージ物性におよぼす加熱の影響

加熱した畜肉ソーセージのクリープ測定結果を表2に併記し、さらに図2に加熱における E_0 および η_N の二軸中での物性変化を示した。加熱した畜肉ソーセージのクリープ特性を未加熱の場合と比較すると、加熱によりすべての試料で E_0 値の低下が認められた。一方、 η_N 値の変化はみられなかった。遅延弾性率 E_1 、 E_2 も加熱による低下が認められ、遅延粘性率 η_1 、 η_2 の変化は認められなかった。この畜肉ソーセージの加熱による弾性率の低下を示した原因は調理加熱による畜肉たんぱく質の変性によるものと推察された。この調理時の熱変性による物性変化、すなわち E_0 の低下について考察を加える。畜肉ソーセージは製造時のくん煙処理時の蒸煮加熱と調理時の加熱の二段階で加熱されるが、蒸煮による加熱では完全に畜肉タンパク質の熱変性状態に至っておらず、その後の調理加熱で畜肉タンパク質の

Fig. 1 Relationships of creep parameter with gel-type foods

●, sausage ; ○, cooked cured loin
▲, Japanese pressed ham ; □, fish sausage
△, kamaboko

Fig. 2 Changes in physical properties of sausage gel after cooking

●, uncooked sausage ; ○, cooked sausage

Table 4 Relationships between sensory parameters and creep parameters on sausage

Items		E_0	E_1	E_2	η_1	η_2	η_N	τ_1	τ_2
Uncooked	hard	0.652	0.565	0.631	0.420	0.228	0.336	0.060	0.000
	elastic	0.546	0.515	0.594	0.403	0.286	0.309	0.034	0.008
	juicy	0.222	0.588	0.658	0.532	0.405	0.383	0.013	0.049
	fibrous	0.458	0.676	0.768	0.586	0.452	0.464	0.020	0.048
	texture preference	0.442	0.411	0.619	0.357	0.312	0.198	0.010	0.031
Cooked	hard	0.199	0.770	0.550	0.565	0.249	0.652	0.998	0.991
	elastic	0.108	0.656	0.423	0.438	0.148	0.528	0.920	0.950
	juicy	0.108	0.656	0.423	0.438	0.148	0.528	0.970	0.950
	fibrous	0.020	0.676	0.242	0.254	0.452	0.464	0.870	0.834
	texture preference	0.046	0.540	0.310	0.324	0.075	0.410	0.917	0.887

熱変性は進行することによる弾性率の低下であると考えられた。

3. 畜肉ソーセージのクリープ特性と官能特性の関係

感覚評価である官能評価と機器による物性パラメータとの関係をみることによって、客観的物性パラメータが官能的な歯ごたえのどの部分を表しているかを明確にすることは重要である。畜肉ソーセージの官能スコアとクリープ結果に基づき、両者の相関を検討し、その結果を表4に示す。未加熱ソーセージにおいては両特性値間での相関は低かったが、食感の好ましさと比較的高い相関を示したのは、 E_2 ($r=0.619$), E_0 ($r=0.442$), E_1 ($r=0.411$) の弾性率に関連するパラメータであり、粘性率 η_1 ($r=0.357$), η_2 ($r=0.312$), η_N ($r=0.198$) とは相関が低かった。特に、 τ_1 , τ_2 との相関は未加熱ソーセージではまったくみられなかった。

一方、加熱ソーセージでは遅延時間と官能パラメータの間で高い相関係数を示した。図2において、畜肉ソーセー

ジでは加熱により E_0 は低下し、 η_N は不変であったことを示した。 $\eta_N/E_0=\tau_1$ であることから、加熱による τ_1 の増加は弾性率 E_0 の低下による τ_1 の増加によるものと考えられる。具体的な相関係数で示すと、食感の好ましさと遅延時間 τ_1 で $r=0.917$, τ_2 で $r=0.887$ を示した。さらに、 τ は硬さ ($\tau_1=0.998$, $\tau_2=0.991$), ジューシー感 ($\tau_1=0.970$, $\tau_2=0.950$), 弾力性 ($\tau_1=0.920$, $\tau_2=0.950$) および繊維感 ($\tau_1=0.870$, $\tau_2=0.834$) などとも高い相関を示した。以上より、 τ は加熱ソーセージの食感の好ましさの大部分を説明できるパラメータであると考えられた。

本研究を遂行するにあたって、破断試験法として、レオメータによるゲル強度、変形率およびテクスチュロメータによる硬さ H_1 , 凝集性 A_2/A_1 など官能表価値との相関を検討したが、いずれの場合も本報告によるクリープ測定ほどの相関は得られなかった(データ未発表)。

要 約

クリープ試験による瞬間弾性率 E_0 と定常粘性率の η_N の相関図から各種食肉ゲル食品間の物性を相対的に把握することが可能であった。畜肉ソーセージを加熱した場合、いずれの試料においても加熱により、 η_N は変化しないが、 E_0 は低下するという傾向が認められた。官能評価パラメータとクリープパラメータ特性の間の相関をみると、未加熱ソーセージにおいては食感の好ましさと遅延弾性率 E_2 との間で比較的高い相関 ($r=0.619$) を有した。一方、加熱ソーセージにおいては食感の好ましさを、硬さ、弾力性、ジューシー感および繊維感のいずれの特性値とも遅延時間 τ_1 , τ_2 との間での相関が非常に高かった ($r=0.834\sim 0.998$)。

青木⁷⁾ は感覚評価の客観的表現において多面的、統合的な人間の感覚を予測する手段や統一的な法則を見出す可能性は今のところ難しいが、当面の目標はゲル状食品、スポンジ状食品および多孔質食品のような共通的な性状を有する食品グループごとに感覚評価と客観的な測定値との統一的な相関関係を求めることであると指摘している。本報では、青木の述べる食品グループとしてはゲル状食品に属する食肉ゲル食品を用いて物性を評価した結果、クリープ解析による機器測定パラメータ E_0 および η_N と感覚評点とは

相関が高いことを示している。すなわち、口の中で切断する前に試料が変形する度合を cohesiveness、試料をかみ切るために要する力の量を hardness と定義されているが、本報でのクリープ解析から得られた弾性率および粘性率はこの cohesiveness や hardness を包含した性質を表現する一つの手段であると考えられる。

文 献

- 1) 渡瀬峰男, 寒天水溶液ゲルのレオロジー的性質, 日食工誌, **27**, 25-29 (1980).
- 2) 中浜信子, 食品の物性, 第5集, p. 29, 食品資材研究会, 東京 (1979).
- 3) Davis, J.G., The rheology of cheese, butter and other milk products, *J. Dairy Res.*, **8**, 245-264 (1937).
- 4) 桑畑美紗子, 中浜信子, 大豆たん白ゲルの粘弾性について, 農化, **49**, 129-134 (1975).
- 5) 中山照雄, 加納 哲, 丹羽栄二, 応力緩和からのクリープ挙動の予測による, かに足風蒲鉾素材の評価, 日水誌, **54**, 717-724 (1988).
- 6) 添田孝彦, 分離大豆タンパク質冷蔵ゲルの物性および組織観察, 食科工, **42**, 485-491 (1994).
- 7) 青木 宏, テクスチャーの感覚評価と機器測定値との関係, 日食工誌, **34**, 498-503 (1987).

(平成 17 年 3 月 11 日受付, 平成 17 年 7 月 25 日受理)