

食品のテクスチャーの測定に関する研究 (第1報)

固形食品の粘稠性測定器の試作と検討

岡 部 巍*
山 下 路 子*

Studies on the Measurement of Food Texture (Part 1) Experimental Products and Its Initial Tests of Measuring Apparatus for Rheological Properties of Solid Foods

Takashi Okabe and Michiko Yamashita

I. 緒 言

食品の粘稠性は食品の品質を示す重要な特性で、それらを測定する種々の測定器がつくられており、食品加工方面で加工食品の品質測定に利用されていることは勿論、最近では調理科学の分野でも調理食品のテクスチャーの測定や、調理材料や調理手段による差異の検出などに広く利用されるようになって来ている。

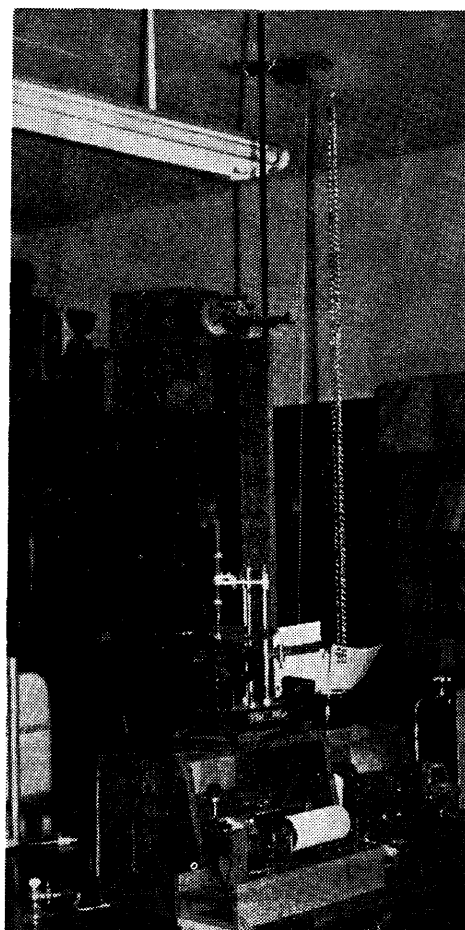
しかし、これらの測定器は測定対象が限られていたり、測定範囲が狭かったり、あるいは価格が相当高かったりして広く一般に利用出来るものはまれである。そこでわれわれは今回固形食品を対象にして比較的広い範囲に使用出来る、簡単に組み立てられて楽に使用出来る粘稠性測定器をつくり度いと思つて試作を行ないこの装置の精度や、この装置が食品の粘稠性の測定にどの程度利用出来るかについて検討を行つた。

II. 装置の試作

粘稠性の測定には強制振動法⁴⁾やテクスチュロメーター⁵⁾のような動的な測定方法もあるが、簡単な点から静的な測定方法を採用することにし、試料に対する荷重方法もなるべく広い範囲に使用出来ることを考えて圧縮荷重を与えることとした。

II. I 装置の構成

装置は上皿秤を基にし、これに若干手を加えた他、粘稠性の測定には荷重と変形の関係を知ると共に時間的なファクターも考慮しなければならないので、これに等速の加重装置と、試料の変形の自記記録装置を附加し、第1図のような装置をつくつた。



第1図 装置の全景

加重方法には岡田式ゼリー強度試験器のように水を流下する方法があり著者も以前水を用いる装置⁶⁾をつくつて食品の粘稠性測定に使用したことがあるが、水温変化により加重速度が変わつて来たり、荷重の除去が困難であり、また、装置や加重速度の調整が面倒になる

*本学家庭機械研究室

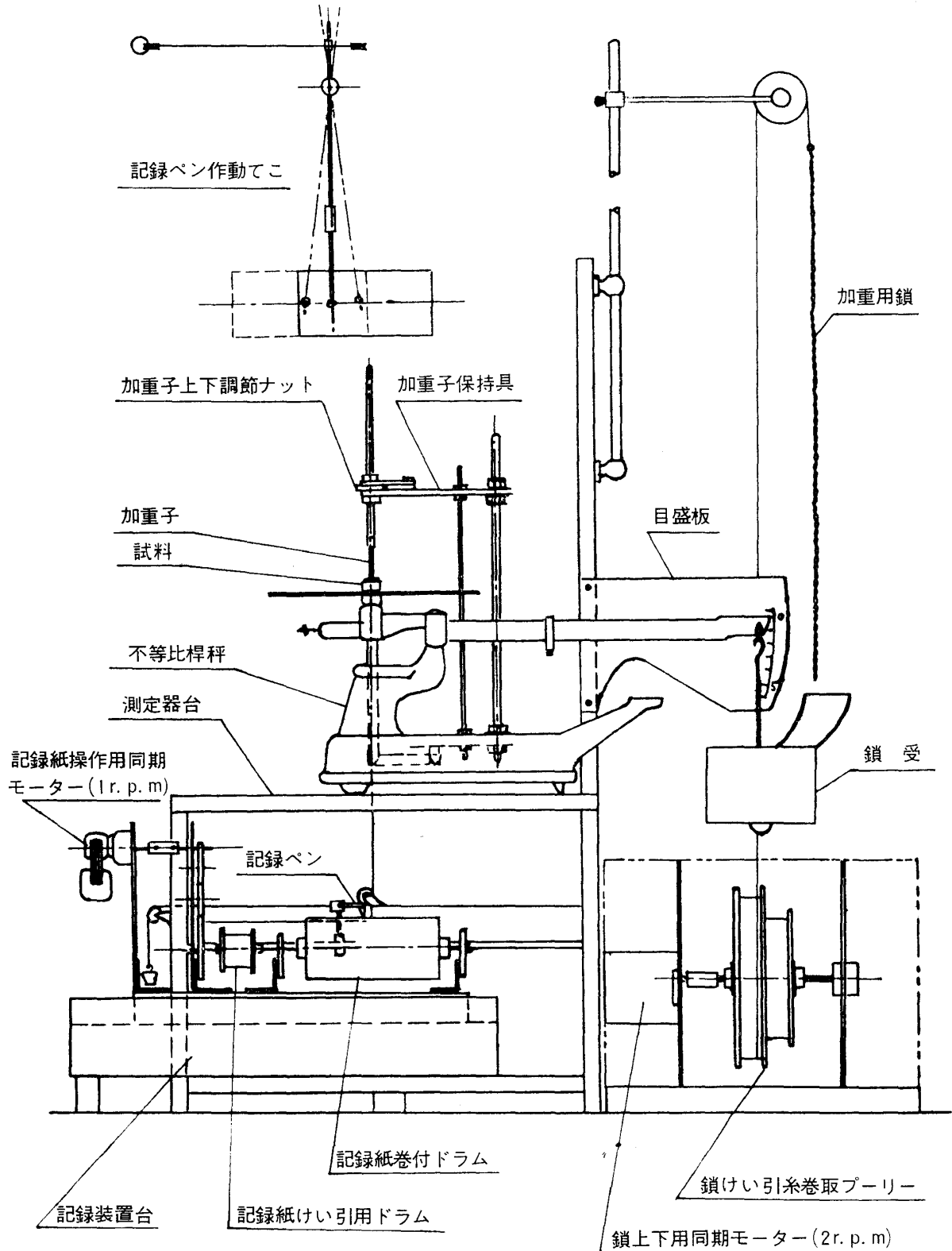
ので本装置では鎖を用いることにした。

装置は大体に於いて普通たやすく入手出来るものを用いたが、加重子保持具だけはある程度の精度を確保するため特別に製作させたものを用いた。

II. II 装置の構造

装置の構造は第2図に示すようである。

基盤となっている上皿桿秤は桿の動きを制限している部分を取りはずし、桿、したがって試料台が大き



第2図 装置の構造

動けるようにし、測定試料に1cm余の変形が与えられるようにしておく。

これに付加した装置部分についてはそれぞれ次のようである。

II. II. 1 加重子保持具

加重子保持具は比較的頑丈なものをつくり、その支柱を秤の台にあけた穴にはめ、取付ナットでしっかりと取り付けておく。

加重子を取りつける軸は全長にねじを切り、またその表面に軸方向につくってある切欠ぎによって加重子上下調節ナットを廻すことにより軸は回転することなく上下出来るようになっている。

II. II. 2 加重装置

秤の増錘を乗せるところは取りはずし、そこに空缶でつくった鎖受を吊る。鎖は長さ120cmで重量は1本166.6gあり、これを上部のプーリーにかけた糸の端に1~3本を吊り下げる。鎖3本で重量は500gとなり、上皿秤の支点から鎖受までの腕の長さとして秤の支点から試料台までの腕の長さの比が5:1になっているので、3本の鎖を全部鎖受におろした時は試料に2.5kgの荷重を加えることが出来る。

加重速度は試料に対し2kg/min, 1kg/min, 500g/minを目標とした。このためには鎖を400g/min, 200g/min, 100g/minで降下させればよいので、2rpmのモーターを用いることとして400g/minの時は3本の鎖を96cm/minの速度で降ろすため円周48cm(直径15.3cm)のプーリーを用い、200g/min, 100g/minの時はそれぞれ鎖2本または1本を72cm/minの速度で降ろすため円周36cm(直径11.5cm弱)のプーリーを用いた。

3本の鎖を全部降ろして後引き上げる時は $0.5\text{kg} \times 15.3/2\text{cm} = 3.8\text{kg} \cdot \text{cm}$ 以上の起動トルクを必要とするので、鎖上下用モーターとして起動トルクが2rpmで $6\text{kg} \cdot \text{cm}$ あるシンクロナス型同期モーター(東芝G-2を使用した。)

なお、人間の歯の咬合力は平均第1臼歯で男62.5kg, 女42.7kg, 前歯で男女とも11.2kgといわれているので、人間が噛むことの出来るすべての食品を測るためには60kg程度の荷重をかけられるようにしなければならぬが、そうするとかえって普通よく食する程度の食品の粘稠性が測りにくくなるので最大荷重は上述のように一応2.5kgにとどめた。

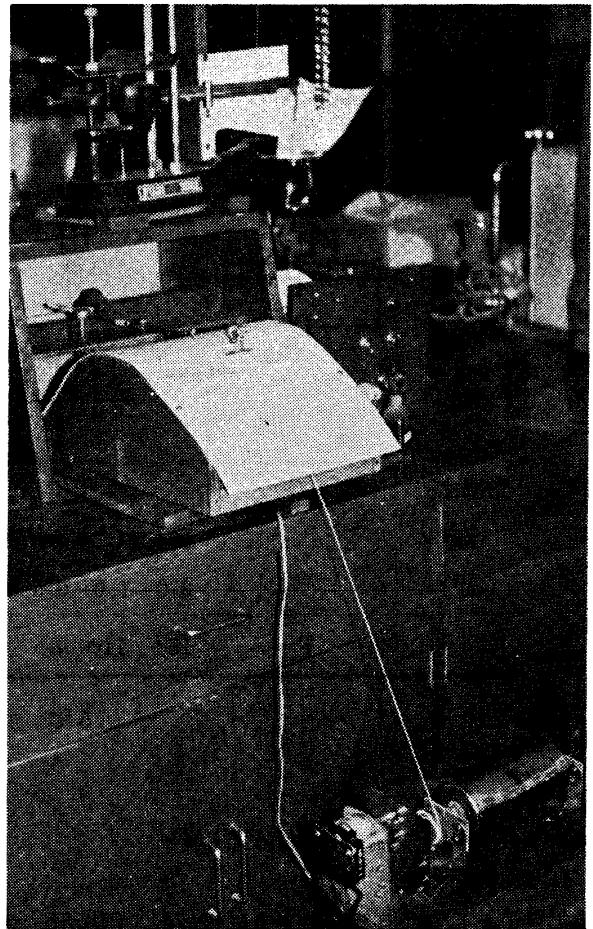
II. II. 3 記録装置

試料の変形量は試料台の支柱の下端に記録ペンを動かす糸を取りつけ、これを2つのローラーを経てゴム

栓で引っ張り、その途中を記録ペンレバーの支点より後方の部分に巻きつけ、支点の前面側5倍の長さのところにあるペン先を試料の変形量すなわち試料台の移動を5倍に拡大して動かし記録するようにする。

記録用ドラムは円周20cm(直径6.4cm)につくり、これにB-5方眼紙を20cmの環にしてはめる。このドラムは1rpmのワーレンモーター(東芝B-3)を動力源とし、歯車列で $\frac{1}{5}$ に減速し4cm/minの円周速度で廻転するようにしてある。

また記録装置としては別にA-4方眼紙をシートのまま2cm/minの送り速度で動かす第3図のようなものもつくった。

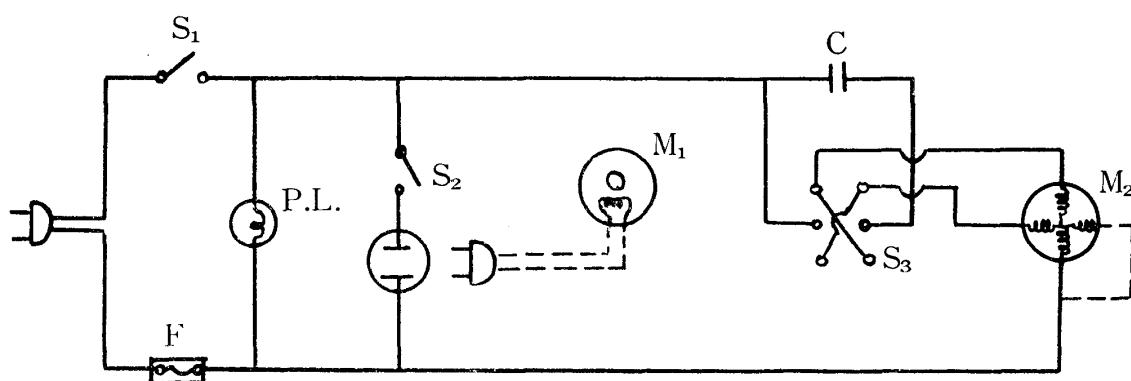


第3図 別の形の記録装置

いずれの場合も記録装置は左右に平行移動して零点調節が楽に出来るようにした。

II. II. 4 電気回路

装置の電気回路は第4図のようである。操作が便利なようにメインスイッチ S_1 、記録計モーター操作スイッチ S_2 、鎖上下切換スイッチ S_3 とパイロットランプP.L., ヒューズボックスF, および記録計接続



- S₁: メインスイッチ
 S₂: 記録計モーター操作スイッチ
 S₃: 鎖上下用モーター回転方向切換スイッチ
 F: 1 A ヒューズ
 C: M₂ 用コンデンサ 0.5 μF
 P. L.: パイロットランプ
 M₁: 記録計用ワーレンモーター 1 rpm
 M₂: 鎖上下用シンクロナスモーター 2 rpm

第4図 装置の電気回路

種類	平板形	円板形	プランジャー形	刃形	その他
形状					チャック および ショート メーター形
先端寸法 mm (cm ²)	D = 50	d 16φ 11.3φ 8φ 5.6φ 2.0 1.0 0.5 0.25	4φ 2.8φ 5φ球 0.125 0.063		
略号	F	16φ 11φ 8φ 6φ	4φ 3φ 5●		

第5図 加重子の種類

コンセントを操作板に取り付けておく。

II. II. 5 加重子

加重子としては第5図のように平板形、円板形、プランジャー形のを主体に安全かみそり刃などを使う刃形のものや、箸その他各種棒状のものを保持出来るチャックやショートメーター形のものを用意した。

平板形のはウイリアムス型プラストメーターとして利用するものである。円板形はプランジャー形の先端が円形のものと共にカードメーターに使用されているのと類似のもので先端の面積が大きい方から順に 2 cm² から次々に $\frac{1}{2}$ になって行くようにし、測定後の解析に便利ようにした。プランジャー形の先端が球

形のは岡田式ゼリー強度試験器に用いられているものと同様のもので、水産ねり製品の粘弾性の測定に利用するものである。

II. III 測定操作

加重子を上に上げてから試料台に測定試料を乗せ目盛板の零目盛を目安にして送り錘を動かしてバランスを取り、加重子を下げて測定試料の上面に触れさし、荷重と変形の間係を測定する時は鎖を鎖受の底に触れるところまで下げ、記録装置を左右に移動して零点を定め、記録用ドラムを回転してスタート点に来た時から鎖を等速で降ろしはじめる。こうして記録紙に画かれたパターンから時間と変形の間係、したがって荷重

と変形の関係を求める。

また、クリープの測定の場合には秤のバランスを取った後記録装置の零点を調節し、スタート点で荷重値の1/3の重さの分銅を鎖受に入れ、一定時間後これを引き上げて記録紙に画かれたパターンより時間と変形との関係を求める。

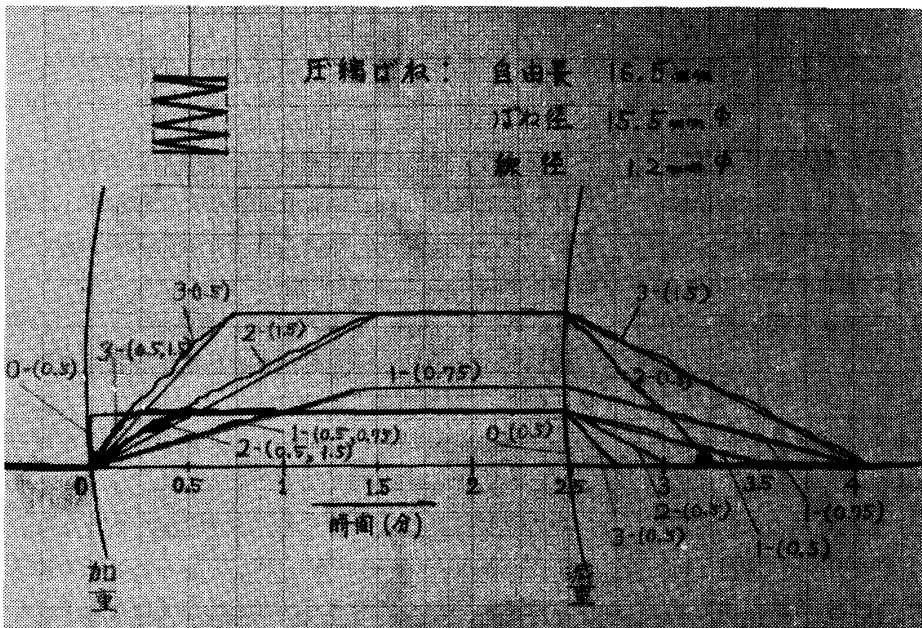
III. 装置の検討

III. I 装置の精度の検討

装置の精度を検討するために自由長 16.5 mm, ばね径 15.5mm, 線径 1.2mm の圧縮コイルばねを用い、これを平板形加重子によって圧縮し、加重と変形と時間の関係をしらべたところ記録紙に画かれたパターンは第6図のようになった。

加重速度如何にかかわらず荷重が同じ値に達すると変形は一定となり、荷重を除くといずれの場合も変形は完全になくなる。

これは数回くりかえしても結果は全く同じになることからこの装置はかなりの精度をもち、再現性も良好であることが認められた。



記号	荷重	加重(減重)速度
3-(1.5)	鎖3本 1.5kg	2 kg/min
2-(1.5)	鎖2本 1.5kg	1 kg/min
3-(0.5)	鎖3本 500 g	2 kg/min
2-(0.5)	鎖2本 500 g	1 kg/min
1-(0.5)	鎖1本 500 g	500 g/min
0-(0.5)	100 g分銅 500 g	∞
1-(0.75)	鎖1本 750 g	500 g/min

第6図 装置の精度の検討

なお、使用した上皿桿秤の感量は1gであるが、装置に組んだ場合、記録装置の摩擦抵抗が加わるので感量は3~5g程度になる。

III. II 試料形状と加重子の関係

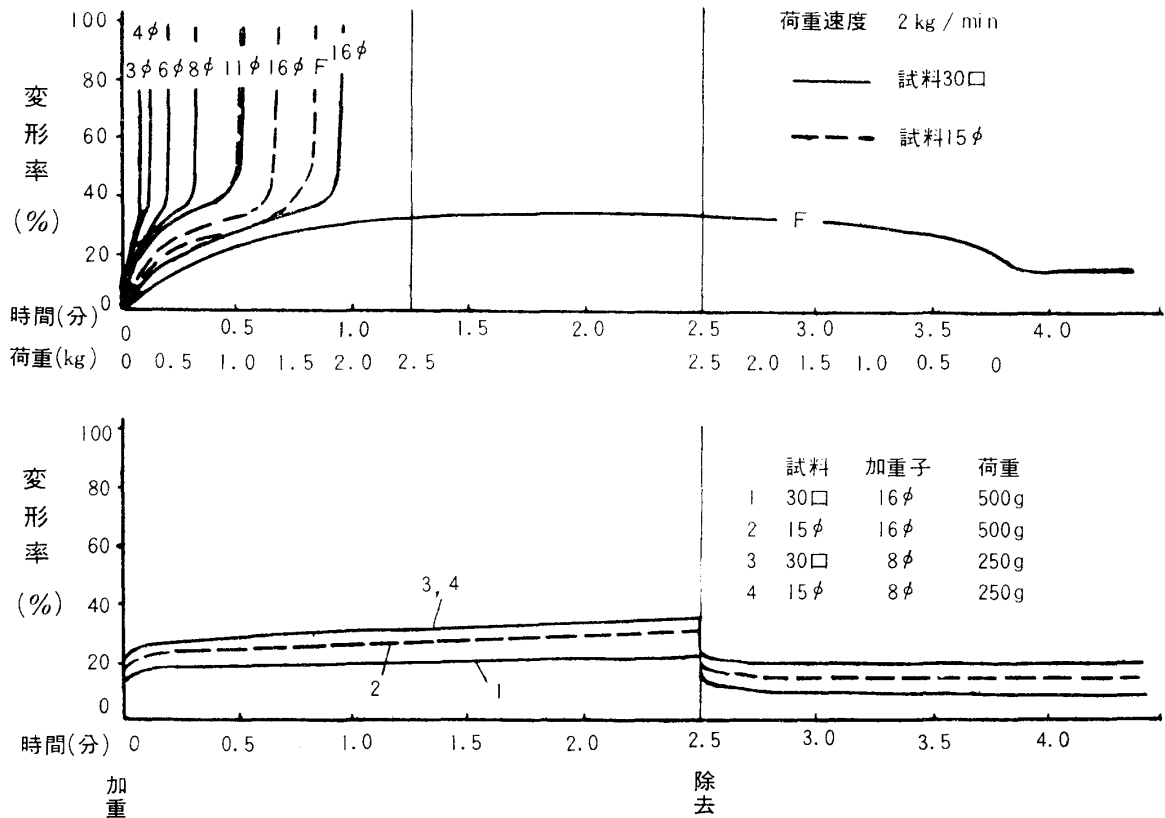
食品の粘稠性を測定する場合、その食品に適する形状寸法の試料を用い、飯尾がカードメーターで行っているようにその試料が測定出来る範囲に入って来る加重子を使って行なうのも一つの方法であるが、本装置のように比較的測定範囲が広くとれる場合には同一形状寸法の試料を用い、同一の加重子で行なう方が各種食品の粘稠性を直接比較することも出来て便利である。

そこで一般の食品の粘稠性を測定する場合、どのような形状の試料を用い、どのような加重子を使うのが適当かについて大体の目安を得るため、約2%の寒天ゲルを用い断面形状が30mm角(以後30□という)と直径15mm(以後15φという)の試料を各種の加重子で圧して見てその変形をしらべた。なお試料の高さについては秤の桿の動きが目盛板のところでバランス状態から最下点まで6.5cm位に押えられるので試料台

は12mm強しか上昇しないことになる。そこで試料が全高変形することも考え標準試料高は10mmとした。

30□および15φの試料を鎖3本を用いて2kg/minの加重速度で各種加重子を使って測定した結果および、8φの加重子を使って250gの荷重、16φの加重子を用いて500gの荷重をかけて行った結果は第7図のようになり、加重子が16φ以上の大きさである場合、試料の大きさが30□と15φとでは加重と変形との関係を示すパターンが大分異なるが、加重子が11φの場合は殆んど差がなくなり、加重子が8φ以下では全く差がなくなる。

そこで標準の場合として試料寸法は各種食品から試料を取る場合小さい方が取りやすいこと、および試料



第7図 試料の大きさと加重子の関係

が小さすぎると誤差も大きくなりまた使用出来る加重子の種類が限定されることも考慮して断面形状が直径15mmの円で高さが10mmの円筒形のものを用いることとし、加重子としては臼子で噛む場合を模して8φを、前歯で噛み切る場合を模して3φを用いることとした。

III. III 各種食品による検討

次で各種食品についてどの程度の範囲に、またどの程度の差の検出に利用出来るかを検討するため、実際の食品を用いて測定を行なった。試料は前述の如く直径15mm、高さ10mmの円筒形試料を用い、加重子は荷重と変形関係を測定する時は3φと8φ（但し水産ねり製品の場合は5φも併用）を、クリープ測定の際は8φを用いて行なった。

それらの結果を第8図～第11図に示す。各図とも上段は鎖3本を用いて2kg/minの加重速度で2.5kgまで加重し（所要時間1分15秒）、その後1分15秒はそのままの荷重を保ち、次に鎖を2kg/minの速度で上げて減重した時のパターンで、中段は鎖1本を用い500g/minの加重速度で750gまで加重し（所要時間1分30秒）その後1分間そのままの荷重を保ち、次で鎖を500g/minの速度で上げて減重した時のパタ

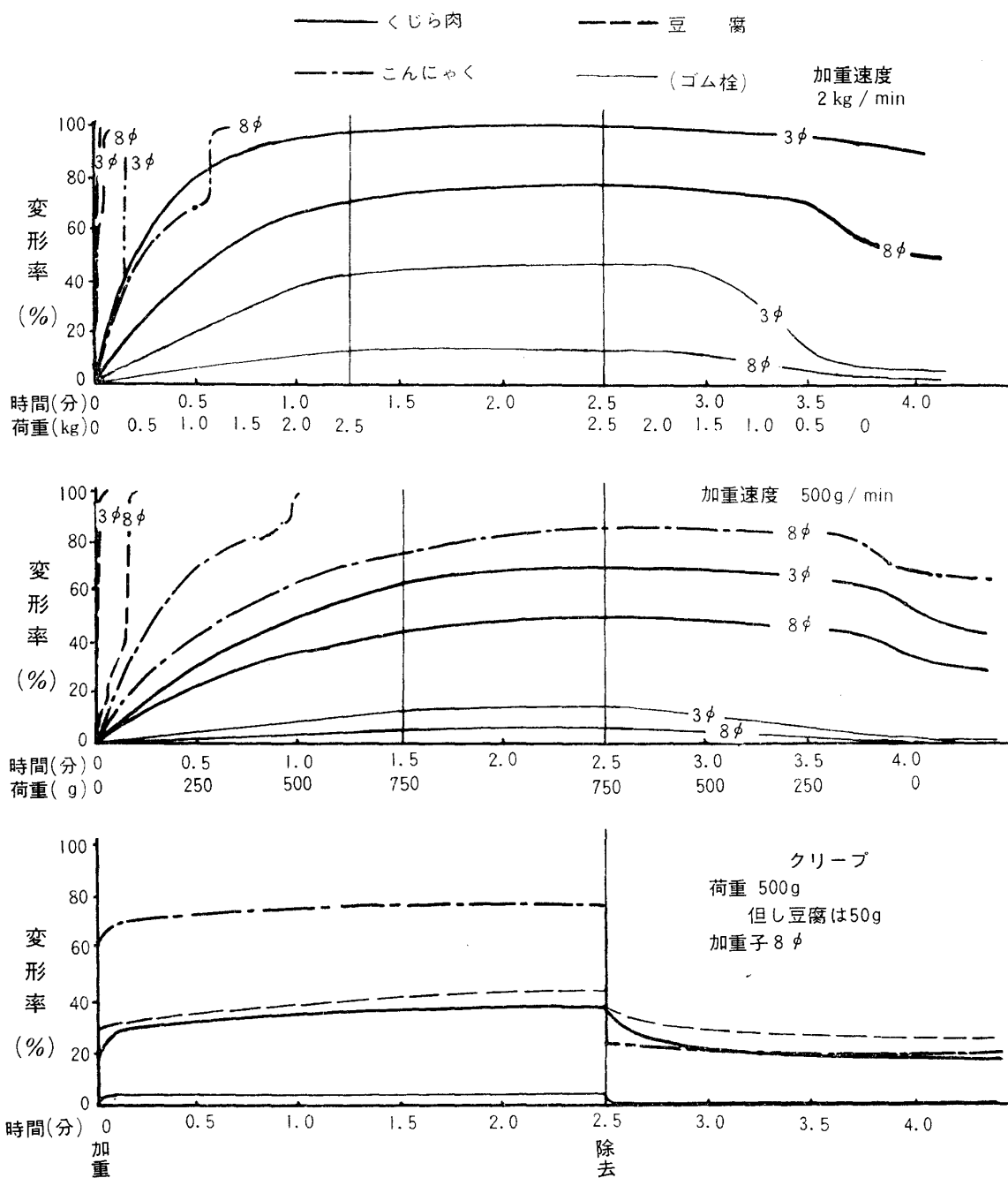
ーンを示す。また下段は適当な分銅を用いて行なったクリープを示し、荷重は2分30秒与えた後除去した場合のパターンである。なおこれらの場合試料が途中で破壊すればそこで測定を中止している。

III. III. 1 鯨肉、こんにやく、とうふ

硬い食品と軟らかい食品がどの程度測定出来るかを見るため、加熱調理した後冷却した鯨肉、こんにやく、とうふを試料として測定した。なお比較としてゴム栓についても行った。

その結果は第8図のようで、加重速度2kg/min、および500g/minのパターンより見られるようにとうふはやわらかくてもろく、こんにやくはやわらかいがやや強く弾力性があり、鯨肉は硬くて強く弾力性も有している。また比較に用いたゴム栓はさらに硬くて強く、弾力性が特に大きい特長をよく示している。

クリープに於いてはとうふは500gの荷重をかけられないので50g荷重としたが、ゴム栓が完全弾性体に近い性状を示す他はみな粘性・弾性の両要素で組み合わせられた性状を示しているが、その組み合わせ方はそれぞれ差異があり、例えばコンニャクでは直列に入っている弾性を示すスプリング要素が大きいモデルで示されることを表わしている。



第8図 鯨肉, こんにゃく, とうふ

この様に本装置ではゴム栓程度の硬さになると破壊までの粘稠性性状を表わすことは出来ないが、とうふ程度から鯨肉程度まで相当広い範囲の食品の粘稠性を測定することが出来る。

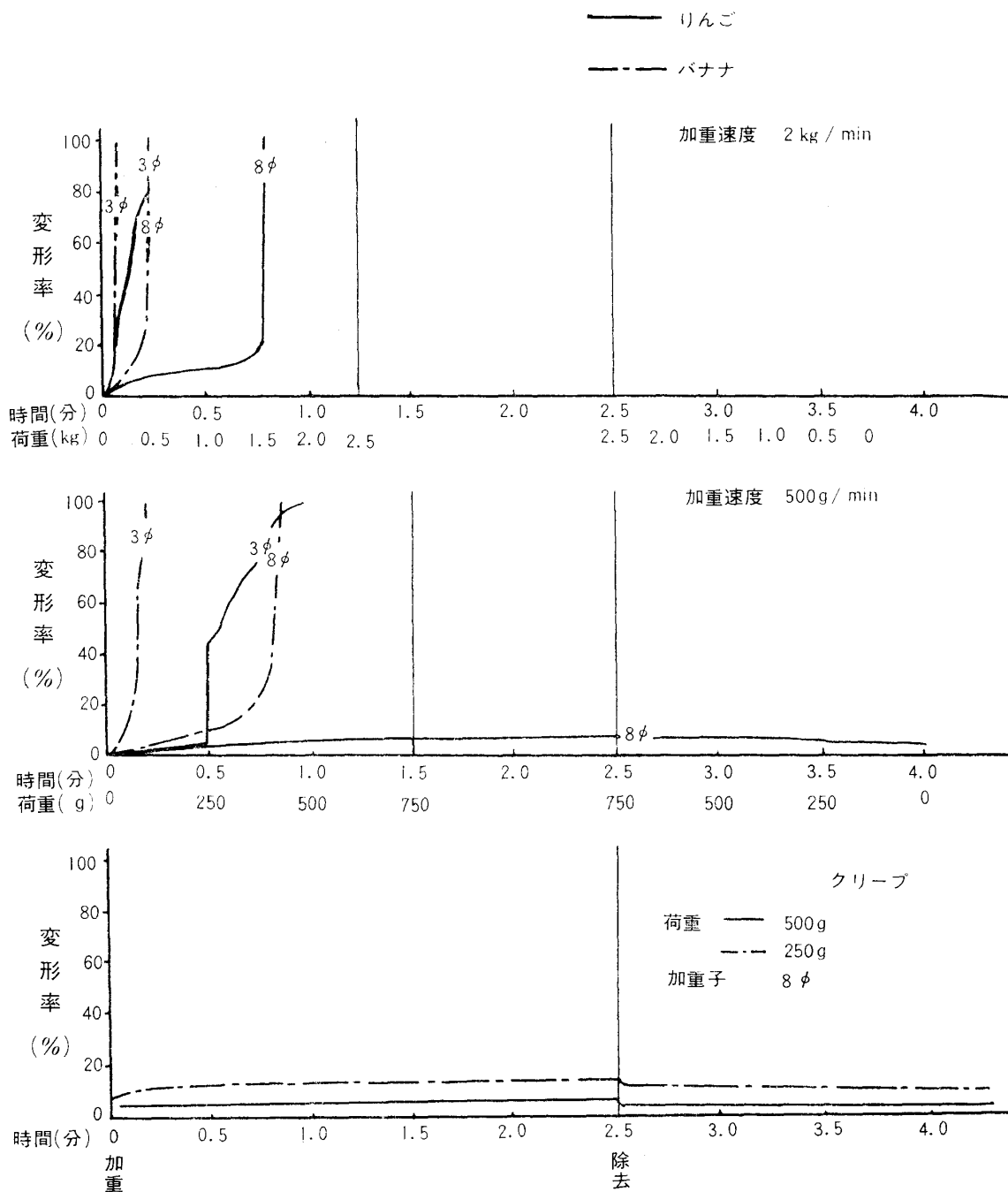
III. III. 2 りんご, パナナ

次に同じく果物について比較的硬いりんごと比較的やわらかいバナナがどの程度に示されるかを検討してみた。

その結果を第9図に示す。加重速度 2 kg/min,

500 g/min のパターンから見られるように破壊点の荷重はバナナは小さくりんごはそれより相当大きい、しかしその点の変形率はバナナの方がかえって大きく、りんごは破壊点まで直線的でそこで急角度をなすのに対してバナナはゆるやかなカーブを示しており、結局りんごは硬くてもろいのに対しバナナはやわらかくて粘りがあることを示している。

なおりんごの場合、加重子が 8φ の時破壊点以後一挙に裂けてしまうが、3φ の時は穴をうがって行く形



第9図 りんご, バナナ

になるので線図は直線的に上昇せずやや傾斜する傾向を示す。

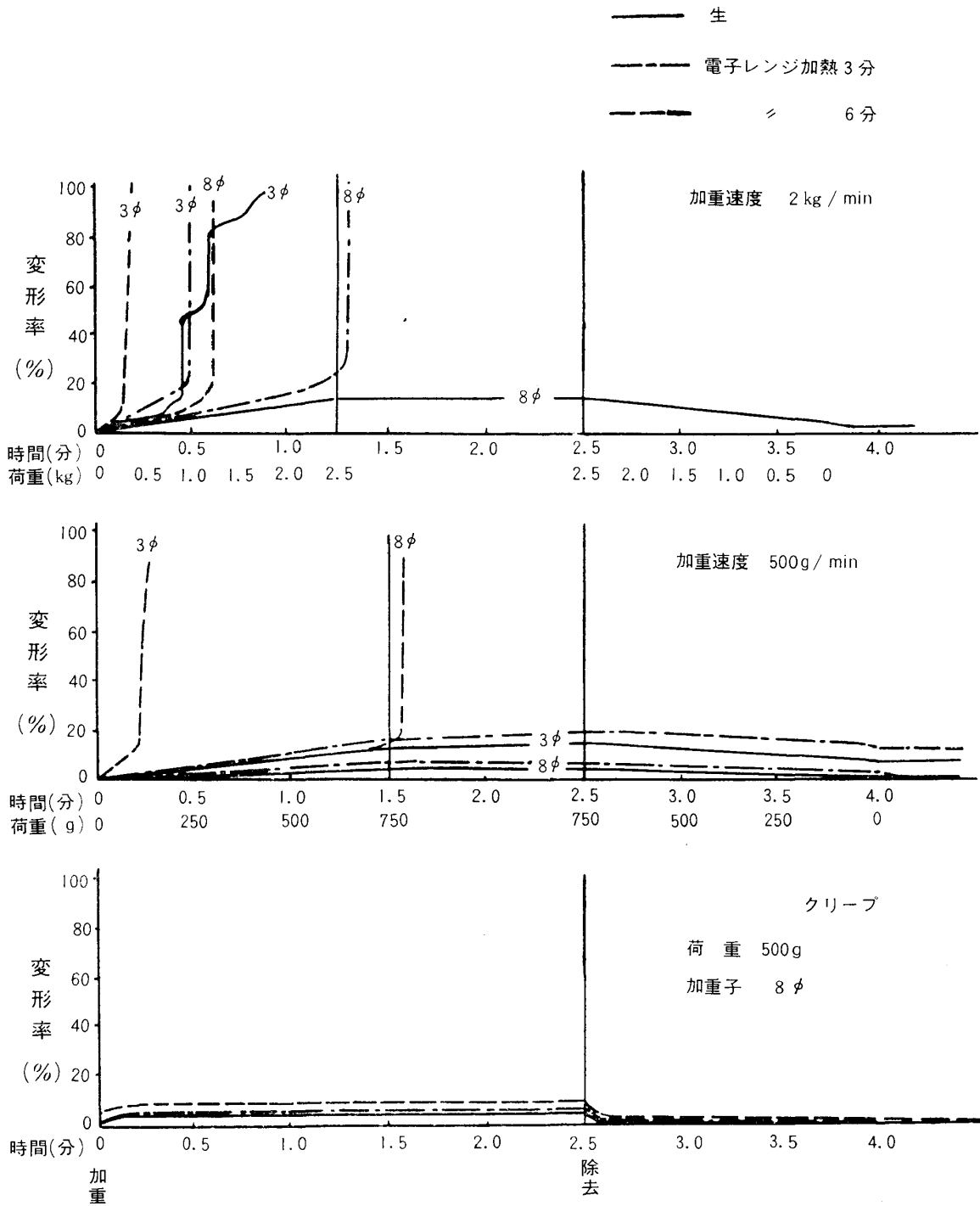
クリープは荷重が異なるので正しい比較は出来ないが、バナナは力学モデル的に表わすと並列に入っている粘性を示すダッシュポットの要素がやや大きいことを示している。

この場合も本装置による測定はこれら二つの果物の粘稠性的特性をよく捉えている。

III. III. 3 じゃがいもの加熱調理による変化

加熱調理段階に於ける変化をどの程度把握出来るかを見るため、じゃがいもの生と 500 W 形電子レンジで3分、6分加熱したものを測定し、比較検討した。

その結果は第10図のようである。加重速度が 2 kg/min, 500 g/min のパターンから見られるように生は相当硬くて弾力性もかなりあり、3分照射では加熱があまり進行していないが、6分照射では殆んど終点近くまで加熱が進行している様子が見られる。



第10図 じゃがいもの加熱による変化

クリープに於ては変形率の大きさは若干異なるが、その傾向には大差が見られない。

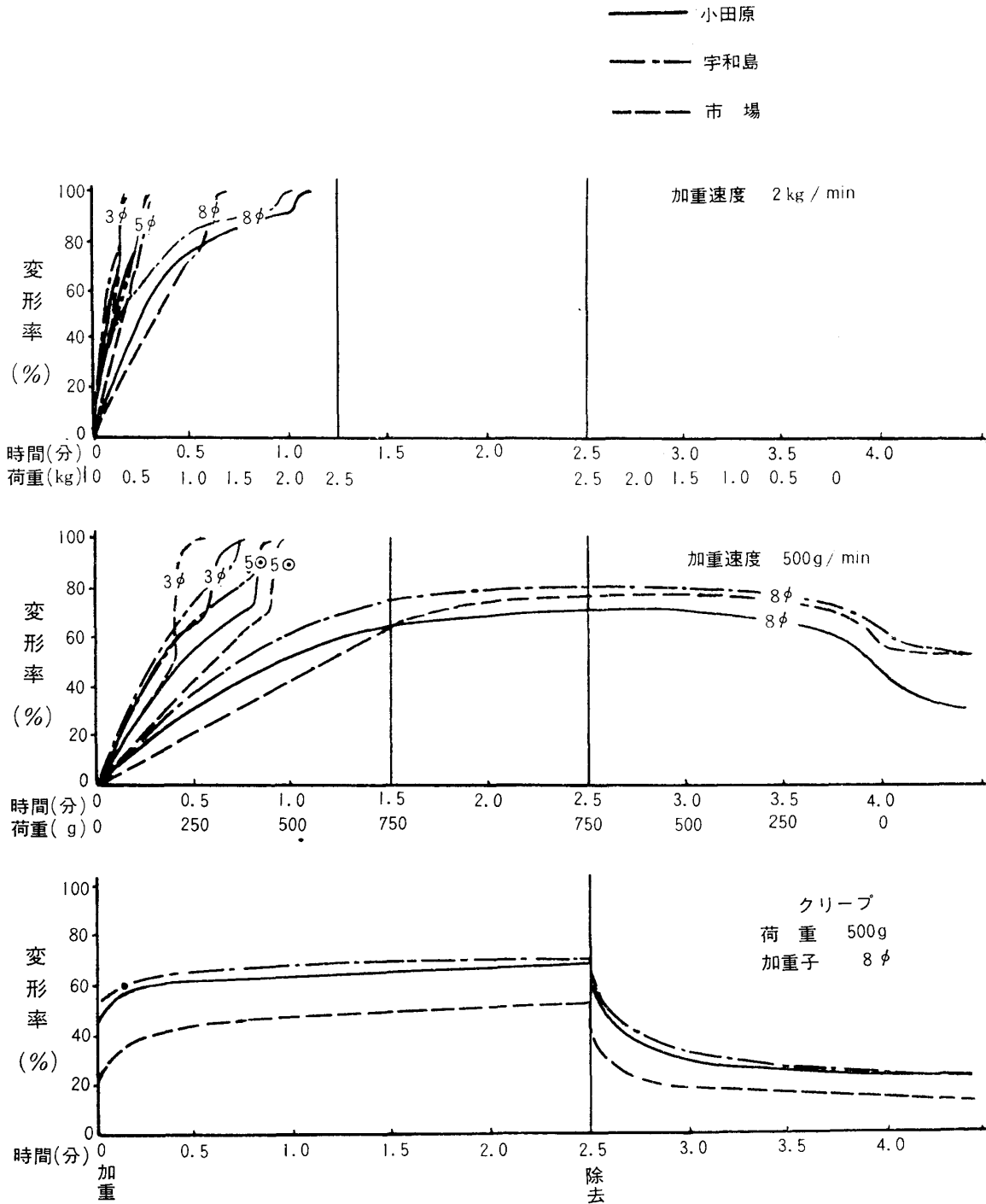
このことから本装置は各種食品の調理加熱中の粘稠性の変化の測定にも十分利用出来ることが類推される。

III. III. 4 かまぼこの品種差

本装置が食品の品種による粘稠性の差異の測定にどの程度利用出来るかを検討するため、一例として従来

からその粘稠性的性質と品質の関係を問題とされているかまぼこを取り上げ、小田原産のもの、宇和島産のもの、それと市場で購入した安価なものを測定試料に用いた。この場合は加重子として先端が球形の5●のものも用いた。

その結果は第11図のようで5●の加重子も3φや8φの加重子と大きさの因子以外の差異は明確には認められなかった。



第11図 かまぼこの品種による差異

ヨード反応によるテストでは市場で購入したものはでんぶんが多量に使用されているが他の二者はでんぶんは使用されていない。

加重速度 2 kg/min と 500 g/min のパターンに見られるように市場購入品は荷重と変形が直線関係に進行して破壊に到り、やや硬くてもろい。これに対し他の二者は小さい荷重では変形しやすくやわらかい感じ

であるが、次第に抵抗性が増して強い。この二つでは小田原産のものが宇和島産のものより足が強いことを示している。

福島は破壊点に於ける荷重と変形よりゲル強度を求めただけにとどまらず、パターン⁴⁾の立上りの角度や破壊点に於ける曲線の接線と破壊点以後の曲線のなす角度もかまぼこの足に影響するものとしてこれらとかま

ぼこの足の関係式を求めているが、この装置で測定したパターンからもそのような解析は可能であると考えられる。

クリープに於ては種類により変形の大きさには差があるが、それらの曲線の傾向にはあまり差がなかった。

このように本装置はかまぼこの種類による足の差の検出にもかなり有効に利用出来ることが認められた。

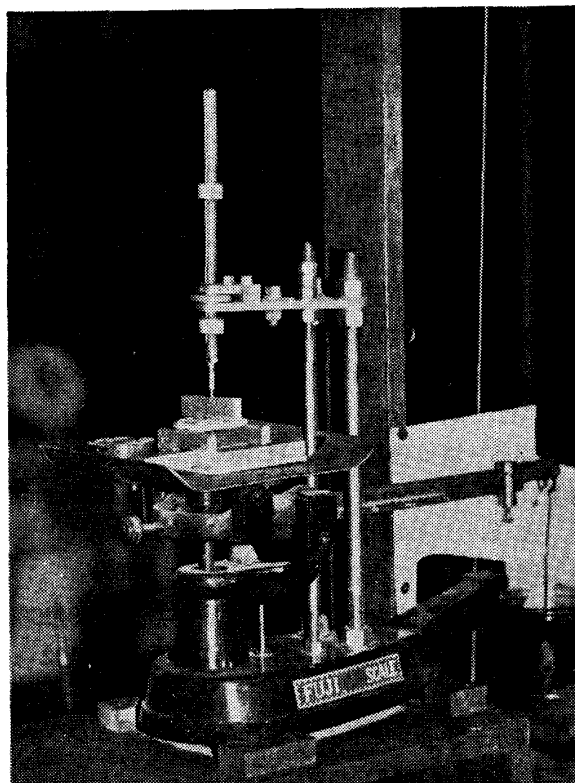
III. III. 5 食品の粘稠性測定への利用性

上述の各種食品の粘稠性の測定はたしかに数ある食品から見れば極く一部にしか過ぎないが、しかしこれらの結果から本装置は相当広い範囲の食品の粘稠性の測定に使用することが出来、またそれらの特性をよく表わしており、調理手段や食品の品種別の差異の検出にも充分利用出来ることが分った。

III. IV その他利用

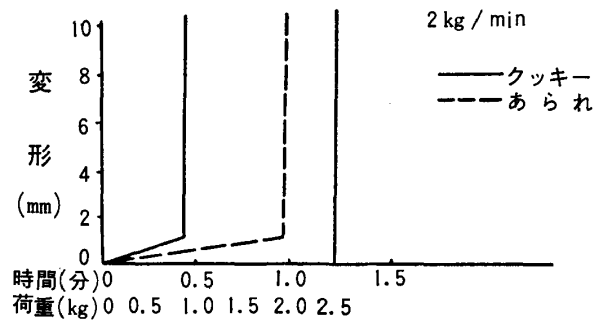
III. IV. 1 ショートメーターとしての利用

第12図のようにショートメーターに模して加重子保持具に長さ6cm、幅6mmで、先端が3mmの円弧上になった上刃を取りつけ、試料台上には間隔の調節出来る上刃と同様な形状をした二つの平行な刃を持った下刃を上刃を中心として置き、下刃の間隔を適当に調節してその上に試料を置き、バランスを取って上刃を試料の上面に接触させ、以後2kg/minの加重速度を荷重



第12図 ショートメーターとしての利用

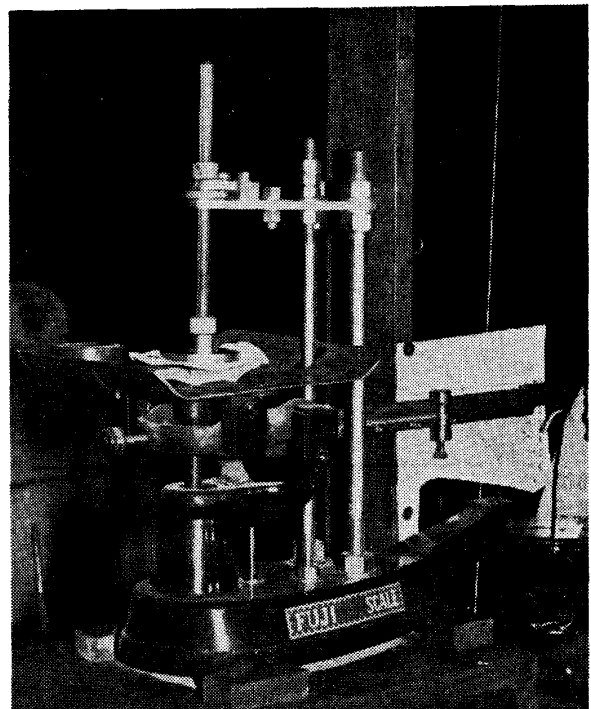
をかけて行き、試料が破壊した時の荷重より試料のショートネスを求める。この場合記録装置は特に使用しなくても破壊した時に鎖受に入っている鎖長からその時の荷重を求めることが出来るがクッキー、あられについてその記録装置を用いて行った結果は第13図のようである。この結果は実際にショートメーターを用いた結果とよく一致している。



第13図 クッキー、あられのショートネス

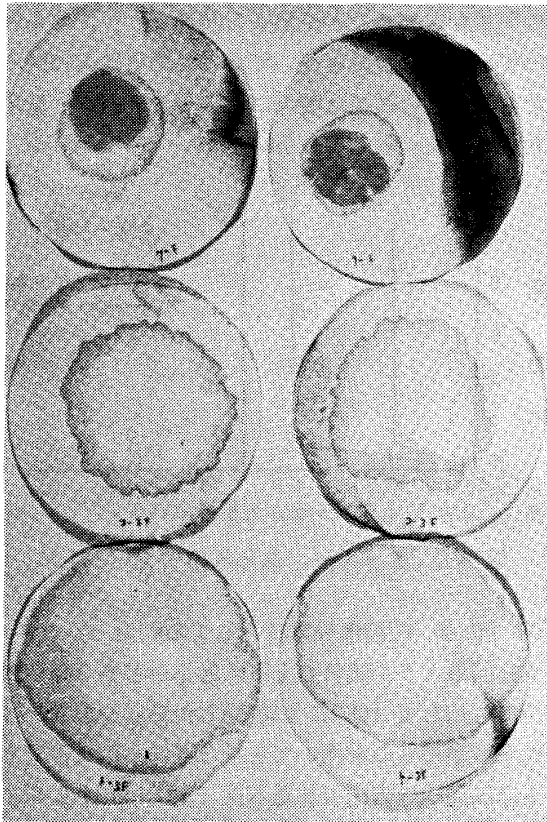
III. IV. 2 圧縮水分率計としての利用

第14図のように試料の上下にあらかじめ5%硫酸銅溶液にしたして105°Cに乾燥した沪紙をおき、加重子に平板形のものを用いて各種食品について測定した時とほぼ同様の方法で加重速度2kg/minで2.5kgの荷重を加える。にじみ出た水分は沪紙上に明らかな輪かくを画くので、上下の沪紙に画かれた輪かく内の面積をはかって圧縮水分率を求めることが出来る。



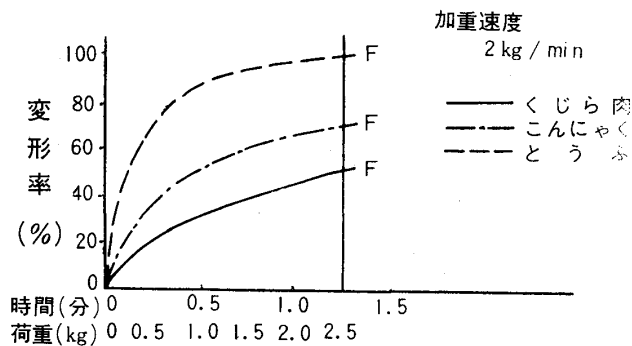
第14図 圧縮水分率計としての利用

第15図はこの方法で行なった上から鯨肉、こんにゃく、とうふについての結果を示す。



第15図 平板形加重子による圧縮変形

なおこの時記録装置を使えば同時に第16図のように平板形加重子を用いた荷重変形のパターンが得られる。ただしこの場合、濾紙が試料の上下に入るので精度はやや落ちる。



第16図 圧縮水分率

III. IV. III その他

上記のように本装置は食品の粘稠性測定にとどまらず、ショートメーターとして、また圧縮水分率計としての利用出来ることが認められたが、なお鎖を引き上げて行き荷重の等速減重が出来ることから、粘着性の測定もできると考えられ、これらを総合して今後食品のテクスチャーの測定に結びつけて行くことが可能であると思われる。これらについては今後更に研究を進めたい。

IV 要 約

1. 市販の固形食品の粘稠性測定器で多くの食品を対象として相当広範囲に使用出来、また比較的安価に求められるものがなかなか見当たらないので、そのようなものをつくって見たいと思い試作をはじめた。
2. 装置は2kg上皿桿秤をもとにし、これに加重子保持具と同期モーターで作動する鎖を用いた加重装置、ならびに変形の自記録装置を加えた。
3. 圧縮コイルばねをつかって本装置の精度や再現性を検討したところ、本装置はかなりの精度をもち再現性も良好であることがわかった。
4. 実際に本装置で各種の食品の粘稠性の測定を行なったところ、それら食品の粘稠性の特性をよく表わし、品種や調理上の差の検出にも有効であることが認められた。
5. 本装置は食品の粘稠性測定のほか、ショートメーターや圧縮水分率計としても利用可能であり、今後さらに食品のテクスチャーの測定などに利用されることも期待される。

参 考 文 献

- 1) G. W. Scott Blair 著 二国二郎, 伊勢村壽三 共訳: 新食品学, 62, 103, 147 (1956) 朝倉書店
- 2) 曾根敏磨: 食品の粘稠性, 9 (1966) 光琳書院
- 3) Samuel A. Matz: Food Texture 12 (1962) Avi. Pub. Co.
- 4) 福島 清: 食品工業, 11 No. 16, 37 (1968)
- 5) H. H. Friedman, J. E. Whitney and Szczesniak A. S.: J. FoodSci. 28 390 (1963)
- 6) 岡部 巍: 日農化大会発表 (Apr. 1960)
- 7) 岡部 巍: 京女大紀要 (自然科学篇) 6, 29 (1960)
- 8) 船越正也: 生理 (生理概説, 口腔生理), 132 (1969)
- 9) 高分子学会レオロジー委員会編: レオロジー測定法, 111 (1965) 共立出版
- 10) 飯尾尚子: 調理科学 2 No.1, 58 (1969)