

## 牛肉の熱板焼き調理における最適加熱条件

貝田さおり, 玉川 雅章\*, 渋谷 祥子

(横浜国立大学教育人間科学部, \*東京ガス(株))

原稿受付平成9年9月5日; 原稿受理平成10年11月12日

## Optimum Heating Conditions for Pan-Frying Beef

Saori KAIDA, Masaaki TAMAGAWA\* and Shoko SHIBUKAWA

*Faculty of Education and Human Sciences, Yokohama National University, Yokohama 240-8501**\*Tokyo Gas Co. Ltd., Minato-ku, Tokyo 105-0023*

The optimum frying conditions for beef were determined by heating a 20 mm × 50 mm dia. piece of beef in a pan at various temperatures (120, 160, 180, 200 and 220°C). The respective heating times that were necessary to make the center temperature of a samples reach 55, 70 and 85°C were measured. After heating, the weight loss, thickness, surface color and hardness were also measured.

The results indicate that the hardness and thickness were directly related to the center temperature, regardless of the pan temperature. On the other hand, the pan temperature had strong influence on the surface color, and the range of time for good browning at various pan temperatures could be defined. The heating time calculated by applying the unsteady heat conduction in a semi-infinite plate and the surface browning time range were used to determine the optimum heating conditions for beef.

(Received September 5, 1997; Accepted in revised form November 12, 1998)

**Keywords:** pan frying 熱板焼き, beef 牛肉, thermal conductivity 熱伝導率, heating conditions 加熱.

## 1. 緒 言

近年, 日本の食生活は多様化し, 調理方法も煮物中心から熱板焼き, 揚げ物, 炒め物などに重点が移行してきている。なかでも, ステーキなどをフライパンや熱板で焼く操作は日常的に行われているにもかかわらず, 現状では, 熱板温度や加熱時間の設定は経験や勘に頼って行われている。最近では, 加熱調理機器の開発が進み, 温度制御がかなり正確にできるようになってきているので, このような機器を使いこなし, 再現性のある調理を行うためには, 加熱温度や加熱時間の目安を知っておく必要がある。

そこで著者らは, 熱板焼き調理について, 食品の種類や焼き具合に適した加熱条件を求め, これを理論的に推定することを目的とし, 鶏挽肉と卵白ゲルを試料とした研究(渋谷と杉山 1994, 359)で, 加熱時間の推定方法を検討し, 組成が均一なモデル食品については熱伝導の解を用いて推定が可能であることを報告した。

本研究では, 熱板焼き調理される代表的な食品であ

る牛肉の最適加熱条件を求めることを目的とした。まず, 熱板温度と調理成績の関係を知るために, 加熱後の重量と厚さの変化, 表面の焼き色, 硬さの測定を行った。さらに, 牛肉の熱物性値を求め, 非定常熱伝導の解による計算と, 3次元熱流体解析システムの二つの方法を用いて加熱時間の推定を試みた。

## 2. 実験方法

## (1) 試料の調製

試料は, 脂肪分の少ないオーストラリア産の冷凍牛ヒレ肉を輸入業者から一括購入して使用した。業務用フリーザー内で-40°Cで冷凍保存しておいたものを, 冷蔵庫内に移し, 約18時間かけて解凍した。包丁で筋繊維に対して直角に一定の厚さに切断し, コルクボーラー(50 mm φ)で型抜きして, 円筒形の試料とした。試料内部の温度を3~5°Cに安定させるため, 24時間冷蔵し, 加熱実験に使用した。

## (2) 試料中心温度の測定方法

熱電対は, シース型0.5 mm φのアルメル-クロメ

ルを使用した。熱電対の測温部を常に肉の中心に固定できるように、試料の直径と同じ長さのステンレス棒の中心部分に取り付け、肉に差し込む方法をとった。差し込み方法は、二つのジャッキを使用し、高さの差を 10 mm (加熱前の試料の厚さの 2 分の 1) にし、低い方のジャッキに試料をのせ、高い方のジャッキに熱電対を取り付けたステンレス棒をのせ、ジャッキの表面を滑らせて行った。温度変化はレコーダー (東亜電波工業製, FBR-253 A) に自記させた。

### (3) 加熱実験

試料の加熱には、業務用ガスグリドル (フジマック製, FGFT 50 S) を使用した。この機器は 300℃ まで 1℃ 単位の温度設定が可能であり、設定温度になると自動的にバーナーが消火する。その後は設定温度に対して自動的に温度コントロールするため、常に熱板表面は設定温度に保たれるものである。油を使わずに食品を加熱することができるように、この機器の熱板表面にはフッ素樹脂加工を施した。熱板表面の温度を放射温度計 (日本アビオニクス製, TVS-2100 ST) を用いて測定し、最も温度むらの少ない位置 ( $\pm 3^\circ\text{C}$  以内) で試料の加熱を行った。熱板の表面温度が安定した後、試料を所定の位置に置き、91.7 g の重りをのせて加熱した。試料を裏返す際には、速やかに重りをはずし、熱電対を差し込んだまま、試料の上下を返し、再度重りをのせた。

熱板温度は 120, 160, 180, 200, 220℃ の 5 段階とした。加熱の終了は、ステーキのレア, ミディアム, ウェルダンに相当するように、試料中心温度が 55, 70, 85℃ に達した時とした。試料を裏返す基準は、予備実験を行った結果から加熱終了温度の 70% 程度の温度に達したところで裏返すと表面と裏面の加熱時間がほぼ同じになることが予想されたので、それぞれ 40, 45, 60℃ に達した時に裏返した (以下、これらの条件を 40-55, 45-70, 60-85 と略す)。一つの加熱条件について、6~8 回の繰り返しを行った。

### (4) 調理成績の測定方法

#### 1) 厚 さ

加熱終了後、10 分放置した後ラップをかけ、さらに 30 分放置後、試料の周囲を 4 等分する位置をノギスで測り、この四つの平均値を加熱後の厚さとした。

#### 2) 重量変化率

加熱前後の試料重量を電子天秤 (チョウバランス (株), JP<sub>2</sub>-3000) で測定し、この差を (1) 式により算出した。

$$W = (W_0 - W_1) / W_0 \times 100 \quad (1)$$

W : 重量変化率 (%),  $W_0$  : 加熱前の試料重量 (g),  $W_1$  : 加熱後の試料重量 (g)。

#### 3) 焼き色

最初に焼いた面の焼き色は、画像処理装置 (日本アビオニクス (株), SPICCA) で測定した。370 lx の照明下で、付属のカラービデオカメラ (TK-1070) で画像を読み込んだ。これを付属のソフトを用いて、Green の色調をヒストグラムで表し、この G 値の平均値で焼き色を評価した。

#### 4) 硬 さ

加熱後の肉の硬さを、テクスチュロメーター (全研製, GTX-2-IN 型) で測定した。貫入力は直径 9 mm の円筒型プランジャーで焦げた面の上部から圧縮し、剪断力は刃幅 1 mm, 刃長 10 mm の V 型のプランジャーで肉の内部を測定した。サンプルのとり方を Fig. 1 に示す。剪断力、貫入力ともスピード 1 mm/s, クリアランス 2 mm で、1 サンプルにつき 2 カ所ずつ測定した。

#### (5) 熱物性値の測定方法

加熱時間の算出には、試料の熱伝導率とともに熱拡散率も必要である。本実験で使用した試料の熱拡散率は未知であるため、熱伝導率、比熱、密度から算出することにした。

#### 1) 密 度

密度は、体積と重量から算出するため、水中置換法により体積の測定を行った。なお、生肉については常に円柱に成形するため、体積の測定は行わず、計算によって求め、体積と重量の関係から算出した。

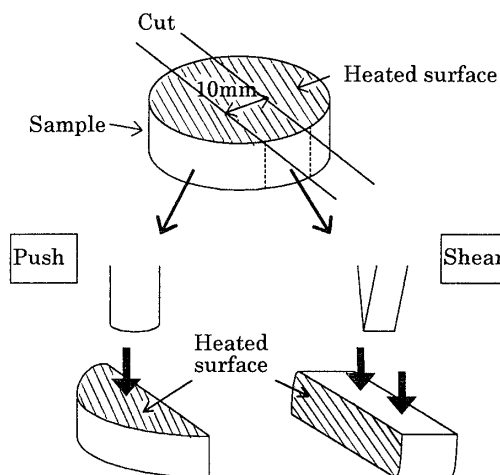


Fig. 1. Sampling methods for textural measurements

## 牛肉の熱板焼き調理における最適加熱条件

## 2) 比 熱

四訂食品成分表（香川 1994, 172）の牛肉の成分組成をもとに、以下に示す Choi の式（Choi and Okos 1986, 93-101）により算出した.

$$C_p = \sum C_{pi} X_i^w \quad (2)$$

$X_i^w$ : 各成分の質量分率 (kg),  $C_{pi}$ : 各成分の比熱 ( $\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ ).

各成分の比熱は次の (3) 式による.

蛋白質:

$$C_p = 2.0082 + 1.2089 \times 10^{-3} T - 1.3129 \times 10^{-6} T^2$$

脂 質:

$$C_p = 1.9842 + 1.4733 \times 10^{-3} T - 4.8008 \times 10^{-6} T^2$$

炭水化物:

$$C_p = 1.5488 + 1.9625 \times 10^{-3} T - 5.9399 \times 10^{-6} T^2$$

繊 維:

$$C_p = 1.8459 + 1.8306 \times 10^{-3} T - 4.6509 \times 10^{-6} T^2$$

灰 分:

$$C_p = 1.0926 + 1.8896 \times 10^{-3} T - 3.6817 \times 10^{-6} T^2$$

水 分:

$$C_p = 4.1762 - 9.0864 \times 10^{-5} T + 5.4731 \times 10^{-6} T^2 \quad (3)$$

加熱後の試料については、水分含量のみ変化し、他の成分の割合は変化しないと仮定して、水分含量の測定を行った。加熱後の試料の焼き面を包丁で削ぎ取り、焼き面とそれを除いた部分とをそれぞれ電子水分計（チョウバランス ㈱, PD 2-300 WMB）により測定した。なお、焼き面は 5 枚分を、内部は試料 1 個分をみじん切りにして 1 回分の測定用試料とした。

## 3) 熱伝導率

試料の熱伝導率は平板比較法熱伝導率計 (Dynatech Co., Ltd., C-Matic) で測定した。この測定機器では、上面と下面の温度を設定し、熱流を測定することがで

きる。標準試料としてパイレックス板 (厚さ 10.0 mm, 熱伝導率  $k=1.116 \text{ W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ ), 樹脂 (厚さ 9.0 mm,  $k=0.933 \text{ W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ ), ベーク材 (厚さ 10.15 mm,  $k=0.29 \text{ W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ ) の 3 種を測定し, (4) 式の熱流計の熱抵抗係数  $N$  および試料面と上下の熱板との接触熱抵抗  $R$  を最小二乗法により求めた。

$$N \frac{T_L - T_U}{Q} - R = \frac{d}{k} \quad (4)$$

$T_L$ : 試料上面の温度 ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_U$ : 試料下面の温度 ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $Q$ : 熱流計の出力 (V),  $d$ : 試料の厚さ (m),  $k$ : 試料の熱伝導率 ( $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ ).

次に,  $T_L, T_U$  は  $40^{\circ}\text{C}$  付近に設定し, 牛肉試料の  $(T_L - T_U)/Q$  を測定し, 熱伝導率を求めた。なお, 試料は測定中の変形を防ぐためにベーク材の円筒枠 (内径 46 mm, 高さ 11 mm) にいれて測定した。

## 4) 熱拡散率

密度, 比熱, 熱伝導率から (5) 式により算出した。

$$\alpha = k / (C \cdot \rho) \quad (5)$$

$\alpha$ : 熱拡散率 ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ),  $k$ : 熱伝導率 ( $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ ),  $C$ : 比熱 ( $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ ),  $\rho$ : 密度 ( $\text{kg m}^{-3}$ ).

## (6) 加熱時間の推定

## 1) 非定常熱伝導の解による算出

加熱時間は、以下に示す半無限固体の非定常熱伝導の解を用いて、試料の中心温度が  $40^{\circ}\text{C}$ ,  $45^{\circ}\text{C}$ ,  $60^{\circ}\text{C}$  になるまでの時間を近似的に算出した。

$$\frac{T - T_U}{T_S - T_0} = \text{erfc}(\xi) \\ \xi \equiv \frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}, \quad \text{erfc}(\xi) \equiv 1 - \text{erf}(\xi) \quad (6)$$

$T_0$ : 試料初期温度 ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T$ : 距離  $x$  (試料中心) における試料内部温度 ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_S$ : 試料表面温度 ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $\alpha$ : 熱拡散率 ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ),  $t$ : 加熱時間 (s),  $x$ : 試料

Table 1. Thermal properties of sample

Fried sample	Thermal conductivity $k$ ( $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ )	Density $\rho$ ( $\text{kg m}^{-3}$ )	Specific heat* <sup>1</sup> $C$ ( $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ )	Thermal diffusivity $\alpha$ * <sup>2</sup> ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ )
Raw	$0.467 \pm 0.009$	1,053.1	3,412	$1.30 \times 10^{-7}$
Well-done* <sup>3</sup>	$0.475 \pm 0.018$	1,076.5	3,404	$1.30 \times 10^{-7}$
Surface layer* <sup>4</sup>	$0.436 \pm 0.020$	1,133.2	3,087	$1.25 \times 10^{-7}$

\*<sup>1</sup>Calculated by the method of Choi and Okos. \*<sup>2</sup> $\alpha = k / (C \cdot \rho)$ . \*<sup>3</sup>Heated until the center temperature reached  $85^{\circ}\text{C}$  in a  $200^{\circ}\text{C}$  pan with the surface layer removed. \*<sup>4</sup>Surface layer of heated beef until the center temperature reached  $85^{\circ}\text{C}$  in a  $200^{\circ}\text{C}$  pan.

中心までの距離 (m),  $\text{erf}(\xi)$ : 誤差関数.

試料表面温度は熱板の表面温度と等しいと仮定し, 距離  $x$  は, 加熱前と加熱後の厚さの平均値の 2 分の 1 とし, 加熱時間  $t$  を求めた.

2) SPRET/AC ver. 2.0 (久保等 1995) による算出

熱板焼き調理では, 食品は熱板からのみ熱を受けるだけではなく, 周囲の空気からの対流伝熱によっても加熱されると考えられるので, 3 次元熱流体解析システム SPRET/AC ver. 2.0 (Simulation Program for Reacting Thermal Flow) を使用し, より正確な方法で加熱時間の推定を行った. この方法では, 周囲からの対流伝熱と下方からの伝導伝熱を入力し, 差分法により試料への熱伝導による温度変化を計算する. なお, 食品は熱物性値が温度によって変化するため, 試料の温度が 60℃未満の部分は Table 1 の生肉の熱物性値を用いて計算し, 60℃以上 120℃未満では加熱変性した肉の値を, 120℃以上では焦げた部分の値を使って計算するようにプログラミングした. 試料周囲の空気温度は, 実測値を用いた.

### 3. 実験結果および考察

#### (1) 熱板温度による調理成績の検討

牛肉ステーキの最適加熱条件を決める際には, 熱板表面の温度によって加熱時間が左右される. すなわち, 加熱速度が変化することになる. 実用的な熱板温度の範囲で焼いた肉の成績が加熱速度の影響を受けるかどうかを知るために, 調理成績 (厚さ, 重量変化, 焼き色, 硬さ) を比較した.

##### 1) 厚 さ

牛肉は加熱により収縮するので, 各加熱条件によりどの程度収縮するかを知るために, 厚さの測定を行った. 加熱後の牛肉の厚さは, 加熱前の厚さに対する加熱後の厚さを収縮率として Fig. 2 に示した. 120℃は他の熱板温度に比べて厚くなったので, この条件を除いて, 加熱終了時の試料中心温度ごとに, 160℃ から 220℃の収縮率の間で有意差検定を行った結果, すべて有意差は認められなかった.

さらに, 120℃を除いたすべての熱板温度の収縮率を加熱終了時の試料中心温度ごとにまとめて有意差検定を行うと, 危険率 5% で有意差が認められた. したがって, 40-55 は 78%, 45-70 は 74%, 60-85 は 70% とまとめることができる. ただし, 隣り合う熱板温度ごとに見ると, 有意差があるものとなないものがあり, 必ずしも一つ一つの条件で中心温度ごとの有意差は認

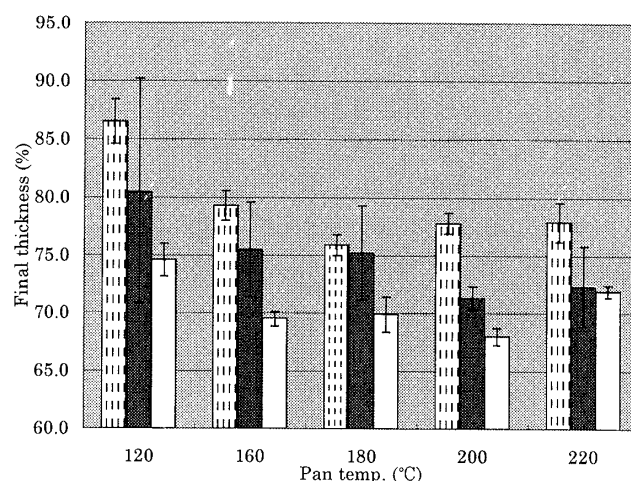


Fig. 2. Effect of heating temperature on the thickness shrinkage of fried beef

Each value is the average of four samples after cooling to room temperature. ▨, 40-55°C; ■, 45-70°C; □, 60-85°C. Each bar shows the standard deviation of four samples.

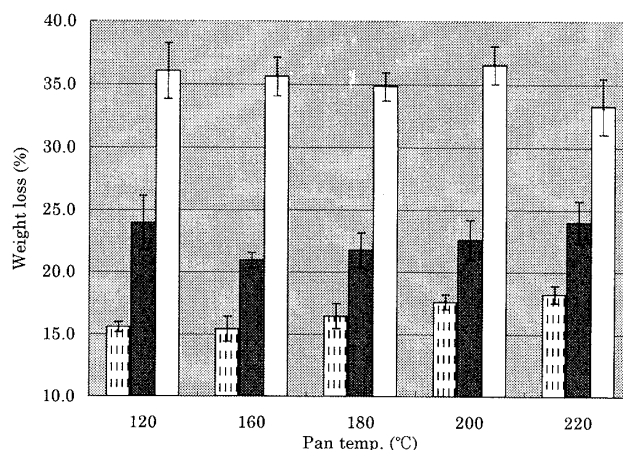


Fig. 3. Effect of heating temperature on the weight loss of fried beef

Each value is the average of four measurements just after heating. ▨, 40-55°C; ■, 45-70°C; □, 60-85°C. Each bar shows the standard deviation of four measurements.

められないが, 伝熱の距離として厚さを求める場合には, 焼き上がりの肉の厚さは, 中心温度ごとに差があると仮定することができるだろう.

##### 2) 重量変化率

加熱中の肉から水分を主とする成分の蒸発や溶出を知るために, 重量変化の測定を行った. その結果を Fig. 3 に示す.

加熱終了時の試料の中心温度が高いほど有意に重量変化率が高くなった. これは, 加熱終了時の試料中心温度が高いほど加熱時間が長くなるためである.

## 牛肉の熱板焼き調理における最適加熱条件

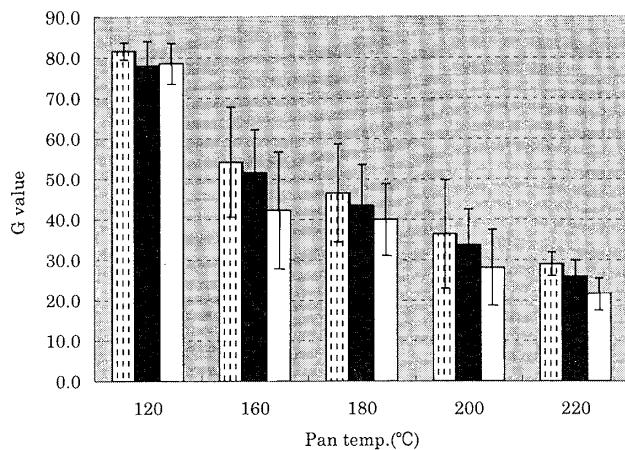


Fig. 4. Effect of heating temperature on the surface color of fried beef

Each value is the average of 4-7 determinations after cooling to room temperature. ▨, 40-55°C; ■, 45-70°C; □, 60-85°C. Each bar shows the standard deviation of 4-7 measurements.

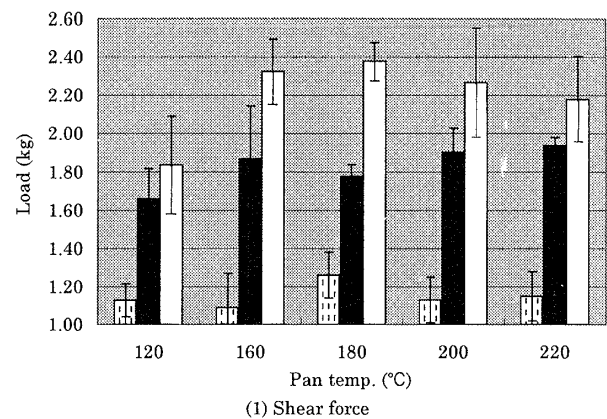
また、40-55、45-70では160°C以上の隣り合う熱板温度の重量変化率の間には、有意差が認められないものもあったが、たとえば160°Cと220°Cの間には危険率5%で有意差が見られた。熱板温度間の分散分析の結果では危険率5%で有意差があり、熱板温度が高いほど重量変化率も高くなると考えられる。120°Cで重量変化率が高いのは、160°C以上の熱板温度で焼いた場合に比べて、加熱時間がかかなり長くなったためと考えられる。60-85では、すべての熱板温度で重量変化率が高く、熱板温度間の有意差は認められなかった。

### 3) 焼き色

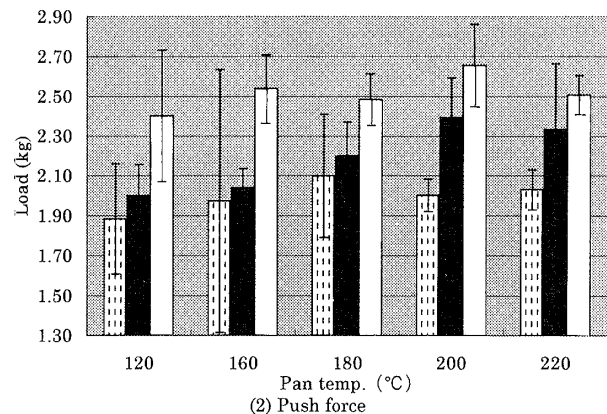
牛肉の表面の焼き色は、G値の濃淡が肉眼で見た試料の表面の焼き色と高い相関を示すことから、Fig. 4にG値で示した。G値は、0~255で濃淡レベルを表し、0に近いほどその色調での色合いが濃いことを示している。

熱板温度が高いほどG値は低く、熱板温度の影響は大であった。試料の加熱終了温度は、高いほど、すなわち、加熱時間が長くなるほどG値は低くなる傾向にあった。この結果と外観から、牛肉の場合、G値が45~55の範囲が適度な焼き色と判断した。また、120°Cでは、焼き色がつかず条件として不適当であることがわかった。

これらの結果から、ほどよい焼き色を得る条件を検討するためには、加熱時間と焼き色の関係について明らかにする必要があると考えられた。



(1) Shear force



(2) Push force

Fig. 5. Effect of heating temperature on the hardness of fried beef

Each value is the average of seven determinations after cooling to room temperature. ▨, 40-55°C; ■, 45-70°C; □, 60-85°C. Each bar shows the standard deviation of 7 measurements.

### 4) 硬さ

ステーキなどのように肉を焼く際には、焼き上がった時の肉のやわらかさがおいしさに大きく影響する。そこで、加熱後の肉の硬さをテクスチュロメーターにより測定した。貫入法と剪断法による加熱後の牛肉の硬さ測定結果をFig. 5に示す。

貫入法の測定結果は、剪断法に比べ、全体的に硬い傾向が見られた。これは、貫入法では、焦げた面から垂直に力をかけて測定しているためと考えられる。

剪断法と貫入法の測定結果は、バラツキの大きな値ではあったが、加熱速度の違いによる影響の有無を確認するために、それぞれの中心温度ごとに熱板温度間の有意差検定を分散分析により行った。その結果、60-85、120°Cの剪断力を除いては、熱板温度の違いによる有意差は認められなかった。したがって、牛肉を160~220°Cの熱板温度で焼く場合には、何°Cで焼いても硬さは変わらないことが明らかになった。また、加

熱終了時の試料中心温度が高いほど硬くなり、熱板温度ごとに、隣り合う中心温度の硬さの間には危険率5%で有意差が見られた。

これらの結果から、牛肉を熱板で焼く場合、焼き上がりの硬さは、160～220℃の範囲では、焼く時の温度は関係なく、最終的に肉内部を何度まで加熱するかによって決まると言える。

以上の結果から、160～220℃の熱板温度によって変化するののは焼き色だけであり、厚さや重量変化率、硬さは加熱終了時の中心温度が同じであればほぼ一定であることが明らかになった。

## (2) 加熱時間の算出

### 1) 試料の熱物性値

熱板温度によって中心温度が一定になるまでの時間の推定ができれば、焼き色と組み合わせて、加熱条件の決定ができる。そこで、計算で求めることができるかどうかを検討することとした。

まず、牛肉の熱伝導率の測定を行った。標準試料による測定から相関係数0.990で $N=1.28 \times 10^{-5}$ 、 $R=3.9 \times 10^{-3}$ の値が得られ、これを用いて、生の牛肉と、加熱変性した肉および焦げた部分を別々に測定し、熱伝導率を求めた。その結果と密度、比熱、さらにそれらの値から算出される熱拡散率の値をTable 1に示す。生肉の熱伝導率の値は、Lentzによる文献値[0.519 W/m K] (Mohsenin 1985, 177)や成分組成から計算式(Choi and Okos 1986)により算出した計算値[0.527 W/m K]に近いことが確認された。生と加熱変性した肉の熱伝導率の差はほとんど見られなかったが、焦げた部分の値はわずかに低くなった。熱拡散率は、生、加熱変性した部分、焦げた部分の順に低くなった。

### 2) 加熱時間の算出

非定常熱伝導の解による式およびSPRET/ACの二つの方法によって計算した中心部が40、45および60℃になるまでの推定時間と、実際に片面を焼くのに要

Table 2. Comparison of calculated and observed heating times

Heating temp. (°C)	Pan temp. (°C)	Measured heating time A (s)	Estimated heating time		Difference (×100) (%)	
			B <sup>*1</sup> (s)	C <sup>*2</sup> (s)	(B-A)/A	(C-A)/A
40-55	120	303±8	323	298	6	-2
	160	206±22	223	211	8	3
	180	188±9	188	178	0	-5
	200	165±8	171	162	4	-2
	220	160±8	163	155	2	-3
45-70	120	330±22	370	332	12	1
	160	235±24	241	229	3	-2
	180	211±15	211	202	0	-4
	200	184±15	180	180	-2	-2
	220	159±6	167	164	5	3
60-85	120	548±12	589	543	8	-1
	160	303±30	324	308	7	2
	180	276±18	275	260	-1	-6
	200	251±14	239	227	-5	-9
	220	206±15	221	210	8	2

\*<sup>1</sup>Calculated by Eq. (6), which is the solution for unsteady heat conduction in a semi-infinite plate. \*<sup>2</sup>Calculated by SPRET/AC ver. 2.0 software.

## 牛肉の熱板焼き調理における最適加熱条件

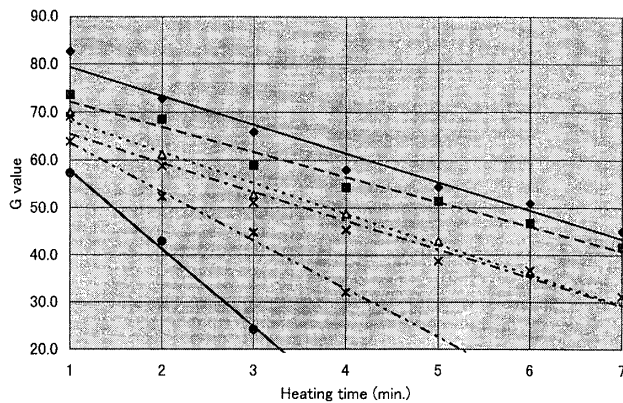


Fig. 6. Effect of pan temperature and heating time on the surface color of beef

Each value is the average of 4-7 determinations after cooling to room temperature. ◆, 150°C; ■, 170°C; △, 180°C; ×, 200°C; ●, 220°C.

した実測時間を Table 2 に示す。算出された推定値はどちらの方法でも、すべての条件で 10% 程度の誤差で実測値に近い値となった。したがって、複雑な解析システムを使用することなく、非定常熱伝導の解を用いた方法で、加熱時間の推定が可能であることが明らかとなった。先行研究（渋谷と杉山 1994, 359）では加熱時間を推定する際に水分蒸発に要する時間を加算していた。しかし、本研究では試料を型に入れずに加熱しており、水分は試料からしみ出し、試料と離れた熱板上で蒸発するので、その必要はないと判断した。

### (3) 焼き色と時間の関係

調理成績の結果から、熱板温度によって変わるのは肉表面の焼き色であり、硬さや厚さは中心部を何度まで加熱するかによって決まることがわかった。そこで、程よい焼き色が付く条件を知るために、150, 160, 170, 180, 200, 220°C の熱板温度で 1 分おきに焼き色の測定を行い、Fig. 6 に示した。

熱板温度が高くなると、加熱時間は短くなるが、焼き色は早く、濃くつくことがわかった。G 値と加熱時間の関係は、熱板温度ごとに 0.9 以上の高い相関係数を示す一次関数の回帰式で表すことができた。

### (4) 最適加熱時間の推定

各熱板温度での焼き色と加熱時間の推定値を組み合わせることにより、厚さ 20 mm の牛肉の最適加熱時間を推定した。回帰式から各熱板温度で G 値が 45～55 の程よい焼き色になるまでの時間を求め、中心温度が 40, 45, 60°C に達するまでの加熱時間を非定常熱伝導の解から算出し、グラフ上にプロットした。この結果を Fig. 7 に示した。加熱時間の推定値は、初期

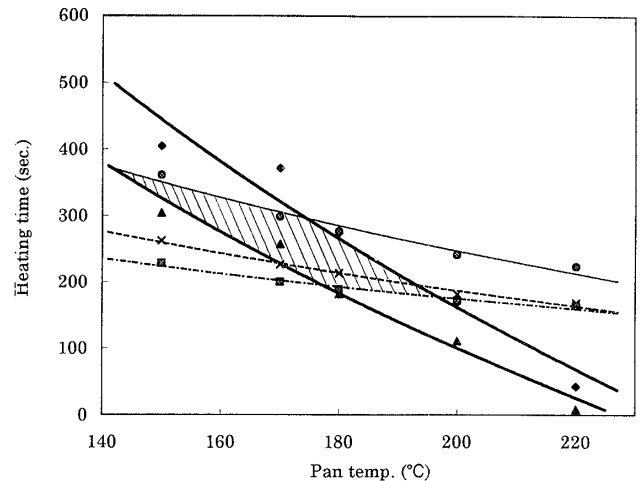


Fig. 7. Heating time versus pan temperature for optimum color

Center temperature: ■, 40°C; ×, 45°C; ●, 60°C. G value: △, 45; ◆, 55.

Table 3. Optimum heating conditions for frying beef (thickness : 20 mm)

Heating temp. (°C)	Pan temp. (°C)	Heating time (min : s)
40-55	180-200	3:10-2:50
45-70	170-190	4:20-3:20
60-85	150-180	5:50-4:30

温度は 4°C を、試料中心までの距離は先に求めた収縮率から加熱後の厚さを求め、加熱前の厚さ (20 mm) との平均値を用い、非定常熱伝導の解により計算した。このグラフ中の斜線部分が牛肉の内部の焼け具合に応じて程よく焼き色がつく熱板温度と時間の範囲である。この結果から、加熱終了時の試料中心温度ごとに、程よい焼き色がつく熱板温度と加熱時間を厚さ 20 mm の牛肉の最適な加熱条件としてまとめると、Table 3 のようになる。これらの熱板温度と加熱時間を目安とし、裏返して同時間焼くと適度に焼き色がついたものが得られることになる。これらの値は、本実験で使った牛肉についてであるが、組成が変わっても、成分組成に応じて熱物性値を求めることによって、本研究の方法が利用できるものと考えられる。

## 4. 要 約

牛肉の最適加熱時間を決定するために、厚さ 20 mm の牛肉を 120～220°C の範囲で熱板焼きする場合の熱板温度の違いによる影響を、肉の中心温度を 55, 70,

85℃の3段階に変えて検討するとともに、各加熱温度における時間の算出方法について検討した。その結果は次のようにまとめられる。

(1) 熱板温度の違いが影響するのは表面の焼き色であり、硬さや厚さは肉の中心部を何度まで加熱するかによって決まることが明らかになった。

(2) 生の肉の熱物性値から、非定常の熱伝導の解だけを利用する方法で加熱時間の推定を行うことができた。

(3) 厚さ 20 mm の牛肉を熱板で焼く際の最適な加熱条件として、程よく焼き色がつく熱板温度と加熱時間を提示することができた。

終わりに、本研究を進めるにあたり、熱流体解析システムの使用にご協力いただきました松下電器産業(株)に深く感謝いたします。なお、本報の概略は、日

本家政学会第 48 回大会（東京）および第 17 回日本熱物性シンポジウムにおいて発表したことを付記します。

### 引用文献

- Choi, Y., and Okos, M.R. (1986) Food Engineering and Process Application, *Appl. Sci. Pub., GBR*, **1**, 93-101
- 香川 綾（監修）（1994）『四訂食品成分表』，女子栄養大学出版社，東京，172-173
- 久保吉人，谷川雅則，小川 修，長光左千男，児玉 久（1995）アンダーフロア空調時の快適性評価用シミュレーションシステムの開発－円筒-直交複合座標格子法による実用化－，空調調和・衛生工学会学術講演会講演論文集，Ⅲ，1261-1264
- Mohsenin, N. N. (1985) 『食品の熱物性』，(株)光琳，東京，177
- 渋谷祥子，杉山久仁子（1994）食品の熱板焼きにおける加熱条件の推定，*Thermophys. Prop.*, **15**, 359-362