

加熱調理時における赤外線熱源の特徴について*

土 元 喜 美 子**

高 橋 貴 美 子***

はしがき

加熱を要する調理における加熱方法をみると、1. 流動性の媒体(水、油、空気または高温の燃焼ガスなど)を用いるもの。2. 熱伝導性のよい高温の金属と接触させるもの。3. 直接加熱するもの(赤外線、マイクロウェーブなど)をあげることができる。

一方、食品は一般に水コロイドのゾルまたはゲルの形になっており、加熱とともにゾル⇒ゲルの変化が伴うものもある。したがって食品内部への熱の伝達は、伝導、対流、熱放射などが組み合わさって行なわれることになり、さらに調理による状態の変化や食品成分の変化が、発熱や吸熱を伴うときは一層複雑になる。そして、実際の調理では、これらの熱源を経験的にその食品に対してもっとも適した方法で用いているわけである。

いま、加熱調理することの多い炭水化物性食品とタンパク質性食品の性質が、加熱とともにどのように変化するかということを考慮しながら、熱伝達の機構を考察してみよう。

炭水化物およびタンパク質単独の比熱、熱伝導率などはほとんど測定されていない。¹⁾ しかし、多量の水とともに調理されている場合は、水の比熱、熱伝導率と近似的に等しいとみてよ

いであろう。また、粘性がきわめて高い状態やゲルにおいては、対流は起りにくく、食品内部への熱の伝達は主として伝導によるものと想像される。

加熱が赤外線またはマイクロウェーブの場合は、これらの放射線がそれぞれの波長の放射線に対して不透明な(またはそれぞれの波長の放射線を吸収する)物質にあたったときに、発熱すると考えられる。したがって、これらの放射線を直接食品の加熱に用いたときは、食品の比熱や熱伝導率に関する因子は二義的になり、これらの放射線に対する食品の不透明性が一義的な問題になる。赤外線はその波長が可視光線に近い領域にあるので、肉眼で見た透明、不透明と一致すると考えられる。

炭水化物性食品中の炭水化物はデンプンであることが多いから、この種の食品では、加熱によりのり化が起こり、それとともに食品は半透明性となる。したがって外部からの赤外線ははじめは表面のみで発熱現象を起こしやすく、表面ののり化が進むにしたがって内部に到達しやすくなるであろう。さらに表面が極度の乾燥またはこげめなどで不透明な被膜でおおわれれば、ふたたび表面でよく発熱することになる。

これに対してタンパク質性食品では、タンパク質が生ときは一般に半透明性でチンダル現象により光を散乱させ、加熱により変性をおこすと概して不透明性となる。

したがって、赤外線による発熱は、当初は表

* On the Feature of Infrared Ray in heat-cooking of Food.

** Kimiko Tsuchimoto

*** Kimiko Takahashi

面のみではなく内部からも行なわれ、タンパク質の熱変性が生ずるとともに主として表面において発熱が行なわれると思われる。

他方、流動性の媒体または熱伝導性のよい高温の金属と接触させる加熱調理では、熱はその接触面から主として熱伝導によって内部に到達していく。そこで、同一食品について、赤外線直接照射による加熱とその他の方法による加熱とにおける食品中の温度分布を測定すれば、赤外線熱源の直接照射の特徴を知り得、また食品に対する加熱調理方法の適性についての知見をも併せて求め得るものと思われる。

以上がこの研究を計画した理由である。

実験方法および結果

材料：炭水化物性食品 食パン(焼きあがっているもの)、小麦粉

タンパク質性食品 牛肉、マグロ肉

実験器具：電気オープン(N社製)、自動オーブントースター(N社製)、テーブルロースター(N社製)、電気恒温乾燥器、熱電対、電子管式平衡記録計(柳本製)

1. 食パンの場合

食パンを、たて×よこ×厚さ：10 cm×13 cm×3 cm に切る。これをガラス板(熱の不良導体)の上に乗せて自動オーブントースターに置き、上側の電熱線のみを電気を通ずる。食パン内には上端からの垂直距離で示して、順に0 cm(上側の表面)、0.5 cm, 1.5 cm, 2.5 cm, 3 cm(下側の表面)に熱電対をさしこみ、食パン内の上記各点の温度変化に対応する熱電対の出力を、電子管平衡記録計によって自記させる。

また、全く同様にして得た食パン片を、200°C

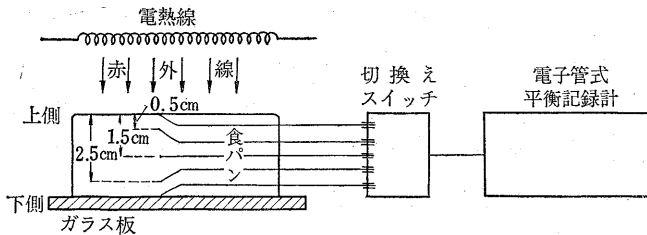


図1 ロースターを用いた食パン内の温度変化の測定 ・は熱電対の挿入点

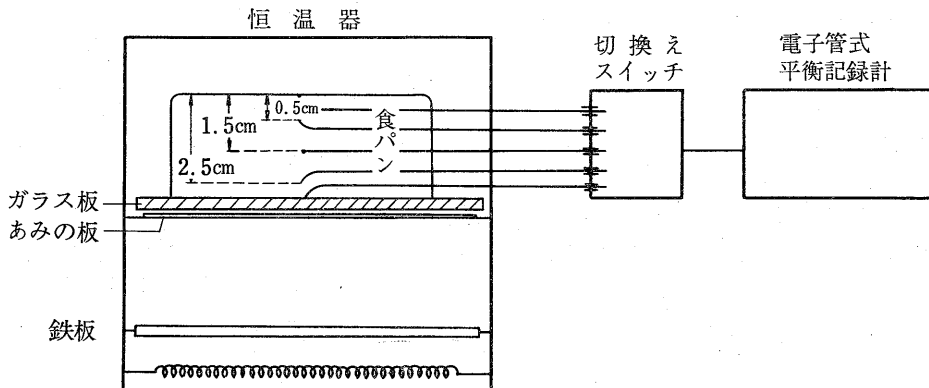
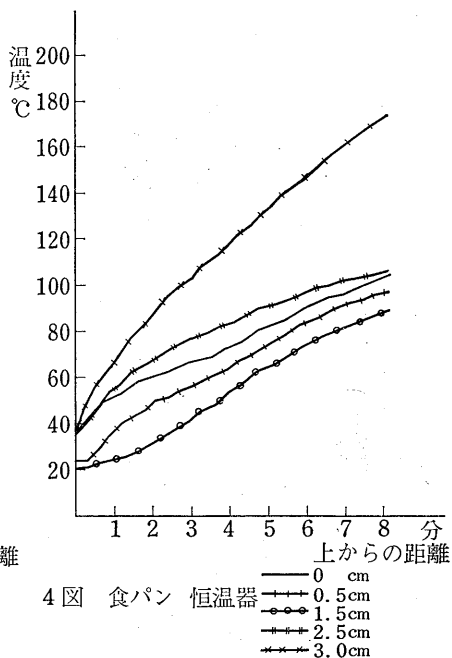
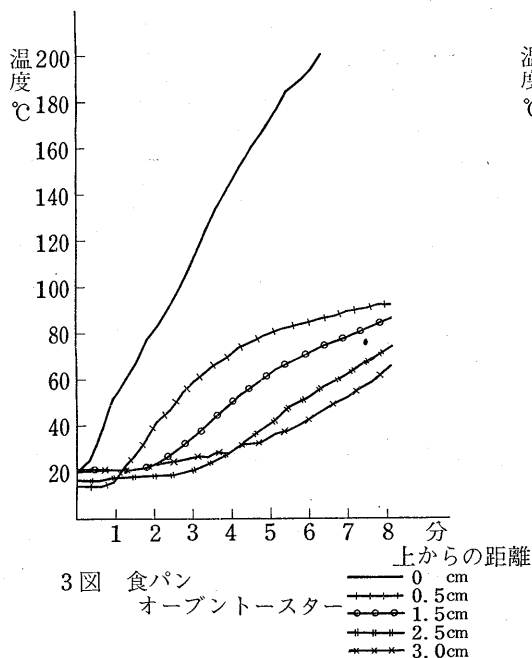


図2 恒温器を用いた食パン内の温度変化の測定

に調節した恒温器中に、鉄板（電熱線からの赤外線の直射を防ぐため）をおき中段にあみ板ガラス板（熱の不良導体）を重ねてその上に置き、食パン内の同じ部分の温度変化を同じ方法で記録する。（図 2 参照）恒温器内の温度は、赤外線熱源を用いて行なった比較すべき実験におけるその食品の表面温度にあわせた。

すなわち前者においては、食パンの上側からの赤外線照射が加熱の主原因となるのに対して、後者では食パンと高温の空気との接触が加熱の主原因となる。したがって、食パン内の同部位の温度変化は加熱方法の差異が原因であるとなることができる。結果を図 3, 図 4 のグラフで示す。



2. 小麦粉の場合

小麦粉 200 g に水 100 g を加えてよくねり 60 g ずつ 5 つにわけて、直径 3.5 cm の円柱形にまとめる。（図 5 参照）電気オープンの中段に鉄板をおき、その上に小麦粉の試料をの

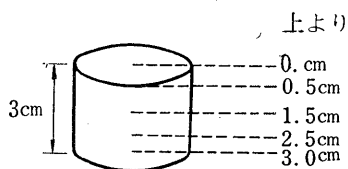
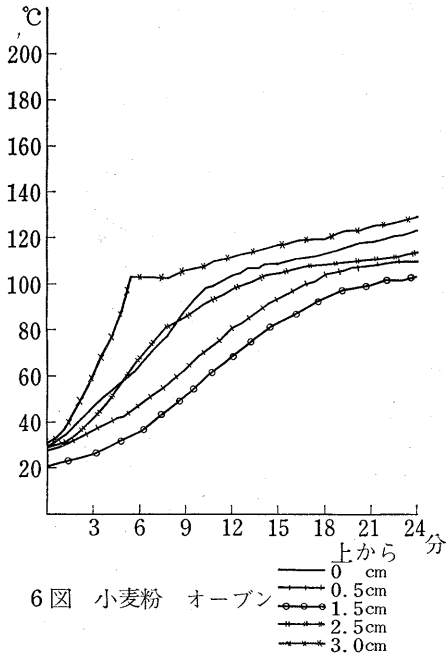


図 5

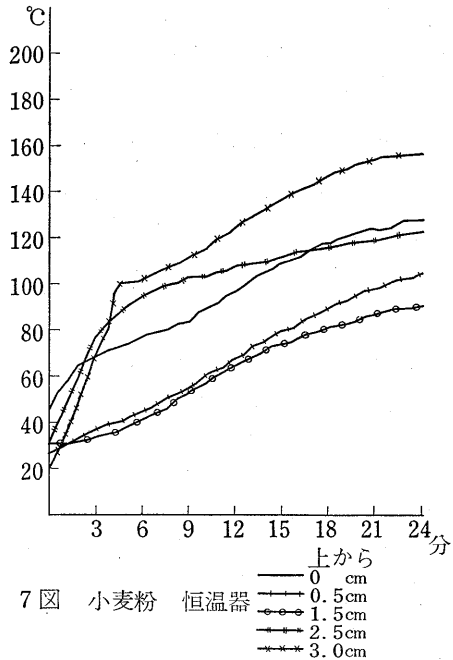
せ、上部表面よりの垂直距離で示して順に 0 cm, 0.5 cm, 1.5 cm, 2.5 cm, 3.0 cm の位置に熱電対を挿入し、上部の電熱線にのみ通電させて、内部の温度変化を測定した。その結果は図 6 および図 7 である。

3. 牛肉の場合

牛肉は「らん」を用いたて×よこ×厚さ：3 cm×4 cm×3 cm に切り、食パン小麦粉の試料と同様に、上部より 0 cm, 0.5 cm, 1.5 cm, 2.5 cm, 3.0 cm に熱電対を挿入し、テーブルロ



6 図 小麦粉 オープン



7 図 小麦粉 恒温器

ースターの鉄板の上におき、上部の電熱線に通電して温度変化を測定した。恒温器では 125°C に保ち中段に金あみおよびテーブルロースター用鉄板をおいて、前記同様熱電対を挿入した牛肉をおき、温度の測定をおこなった。結果は図 8, 図 9 である。

4. まぐろ赤身の場合

まぐろ赤身は厚さ 3 cm に切り、牛肉と同じく上部より 0 cm, 0.5 cm, 1.5 cm, 2.5 cm, 3.0 cm に熱電対をさしこみ、テーブルロースター内の鉄板の上において測定した。

恒温器では 110°C に調節し、中段にあみ、ロースター用鉄板をおき、その上に前記と同じにしたまぐろをおいて測定した。結果は図 10, 図 11 である。

実験結果の検討

1. 食パンの場合

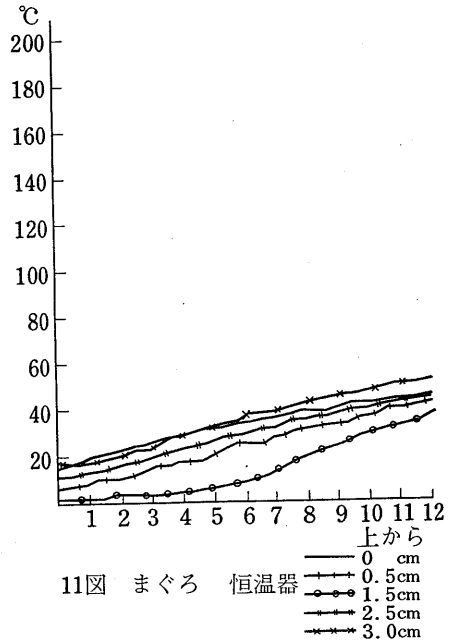
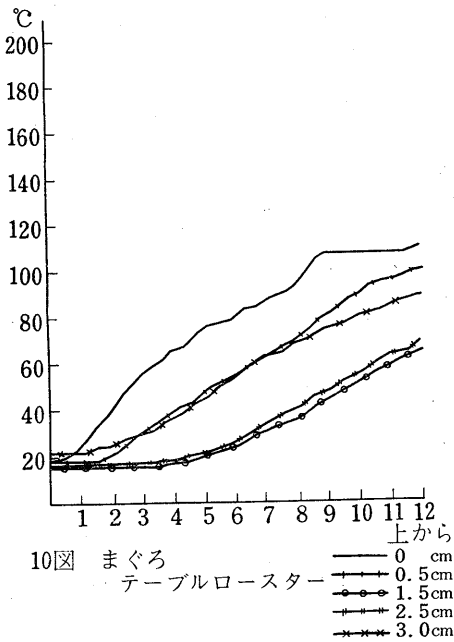
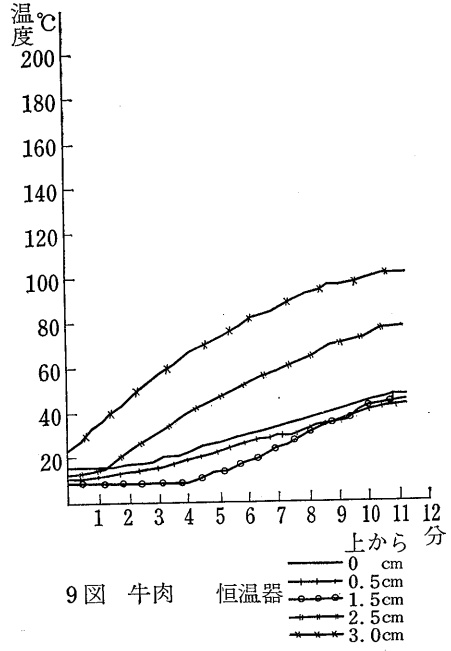
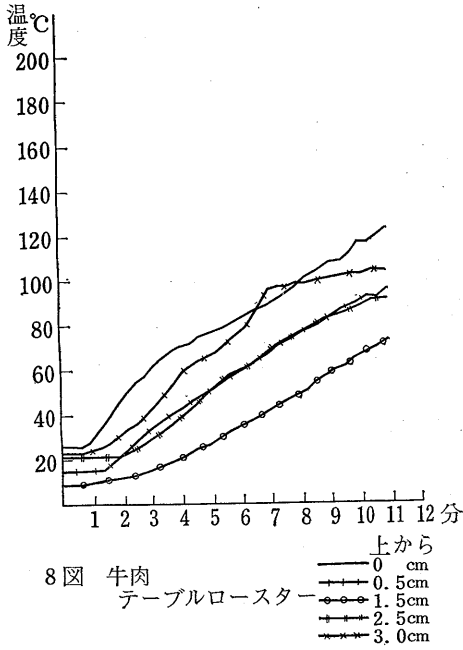
食パンはすでに主な加熱加工を終了した食品であり、これを加熱しても主成分であるデンプ

ンののり化や、タンパク質の熱変性などがあらためて起きるとは考えられない。したがって温度上昇の機構は比較的簡単になるものと思われる。

オープントースターを用いた赤外線直接照射による加熱では、赤外線熱源側の表面(上側)の温度上昇がきわめて急で、内部の温度は赤外線熱源からの距離が増すにつれて上昇がゆるやかになる。(図 3 参照) すなわち、内部の温度上昇の原因が赤外線の吸収によるものが主であることを示すものようである。そして上側からの垂直距離 2.5 cm と 3 cm (下側) との温度上昇の経過が比較的似ていることから判断すると、食パンでは厚さ約 2.5 cm 以上になると赤外線はきわめて到達しにくくなるものとみられる。

恒温器で器内の空気の温度を 200°C として食パンを加熱した場合は、温度上昇は周辺部ほど急で内側へ移るほどゆるやかである。(図 4

加熱調理時における赤外線熱源の特徴について



参照) これは、食パン内の熱の移動が伝導を主とすることを示すものとみられる。

2. 小麦粉の場合

オープンを用いた赤外線直接照射では、全体のり化が完成し熟成が開始すると思われる温度²⁾以後から、内部の各点の温度差は次第に小さくなる。(図 6 参照) すなわち、小麦粉一水の懸濁液では、のり化が完成したのちは赤外線が内部にまで到達しやすい状態になっていることを示す。

赤外線がこのように内部にまで到達できることは、食品全体をなるべく均一に加熱するためには非常に好都合であり、この食品の内部において 0.5 cm 当り 10°C くらいの温度傾斜で加熱過程を形成させることが可能であることを示している。

これに対し、恒温器で器内の温度を 170°C として小麦粉一水の懸濁液を加熱した場合は、全体のり化が完成し、熟成開始すると思われる温度以後でも 0.5 cm 当り約 35°C の温度傾斜が食品内部に存在している。(図 7 参照) この食品内においては対流によって熱の移動が行なわれることはほとんど考えられないので、伝導によって熱が移動するときには、この程度の温度傾斜が生ずるものとみなすことができる。

3. 牛肉およびまぐろ肉の場合

これらのタンパク質性食品ではいずれの加熱法をとるにしても、中央部の温度上昇がもっと

もゆるやかである。(牛肉の場合図 8, 図 9 参照, まぐろ肉の場合図 10, 図 11 参照) このことは、これらのタンパク質性食品では赤外線の透過性も、熱伝導性もきわめて小さいことを示している。

そして、赤外線熱源がなく高温の空気との接触による加熱のみでは、この程度の厚さになると内部のタンパク質に熱変性を起させるにはかなり長い時間を要するようである。

また牛肉においてもまぐろ肉においても、赤外線熱源側の表面と表面から 0.5 cm 内側との温度差がほぼ 25~30°C である。

このことは、赤外線に対する透過性については牛肉もまぐろ肉もこの程度の厚さでは大差ないことが想像されるが、正確な比較は困難である。

タンパク質の熱変性に伴ない、赤外線の透過性がどのように変化するかということは、この実験ではたしかめられなかった。実験方法を別にしてひきつづぎ行なう予定である。

この実験に際し、御指導下さった本学坂入和彦教授に深く感謝致します。

参考文献

- 1) J. H. Perry: Chemical Engineer's, Hand Book 235, (1950). McCraw-Hill
- 2) 田村太郎, 鈴木繁男: 澱粉工誌, 投稿中。二国二郎: デンプンハンドブック, p. 345 (1961) 朝倉書店