

JIBはみだし授業

日本パン技術研究所教育コースの興味深いテーマを解説します。

製パン用オーブンの構造と熱の移動

一般社団法人日本パン技術研究所 研究調査部 北林延夫

1 はじめに

パンの焼成条件は非常に多種多様で、同じ製品を焼成する場合であっても、その焼成条件の設定は異なっています。この一因としては生地調製時の環境や原料の変動、スタッフの技量などによる人的要因などが挙げられますが、焼成を行うオーブンにおいても、型式、機種、あるいは使い込みの程度による違いなどによって、生地に対する熱の伝わり方が微妙に変わっていることが知られています。これらに対し、焼成の現場では作業者が設定を調整して目的の品質に焼上げている現状があります。

この背景には、「パンの焼成特性」を判断できる業界内の一貫した数値基準が無いことも一因ではないでしょうか。したがって、焼成条件設定時の判断材料も「焼いてみた結果」ということで主観的にならざるを得ません。

また、一方では技量に優れた技術者や職人の判断が重要視され、彼らの「お気に入り」に焼けるかどうかで、そのオーブンの善し悪しが判断されたりすることも多々見受けられます。

このような背景もあって、当研究所でも、オーブン特性の客観的判断材料となることを目的として、パンの焼成過程を物理現象として捉え、多くの試験を行っており、その結果は冊子「パン技術」で報告されています。今回ははみ出し授業では、これらの内容から抜粋して、熱の性質やオーブンの特性についてわかりやすく解説したいと思います。

2 熱と熱の移動

パンの焼成とは、オーブン内に設置された熱源からパン生地に熱エネルギーが移動し、パン生地の温度が上昇することによって、パン生地の物性を変化させる物理現象です。熱エネルギーは ①放射、②伝導、③伝達(対流、循環)の3要素の複合によって温度の高い方から低い方に向かって移動します。

図1にデッキオーブンにおけるパン焼成中の熱移動のイメージを示します。パン上面へは上火ヒーターからの放射、底面には炉床からの伝導、側面には炉内空気の対流による熱伝達がそれぞれ支配的に作

用しています。

暖房器具に例えると放射はハロゲンヒーター、伝導は床暖房、伝達はエアコンなどの温風暖房器の暖かさをイメージ

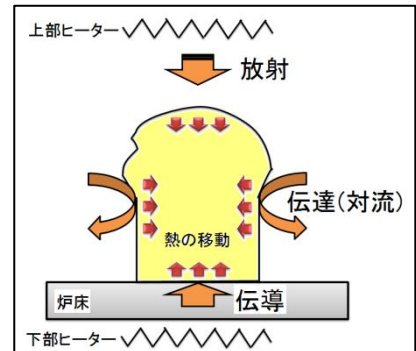


図1 パン焼成中の熱移動イメージ

ジするとわかりやすいのではないのでしょうか。

パンの焼成はこれら3要素の熱エネルギーの移動によって行われますが、オーブンの構造や焼成条件設定により、それらの形態、バランスが大きく異なるため、製品の「焼け具合」は違ったものになることが理解できると思います。

(1) 放射熱の性質

主に高温の発熱体などから発せられる赤外線によって移動する熱。赤外線は電磁波の一種で、加熱に利用されるのは主に波長2.5~30 μm の遠赤外線領域です。(図2) 電磁波ではありますが光に近い波長であり、光に近い性質を持っています。

したがって放射体(熱源)に対面している面のみ作用し、影となっている部分には作用が小さくなります。放射される赤外線の波長の中心と放射量は熱源の温度に関係しています。(図3)

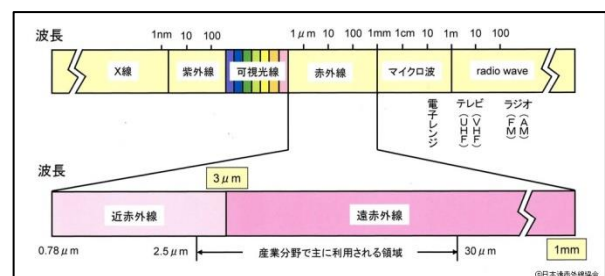


図2 加熱に利用される電磁波の波長⁽¹⁾

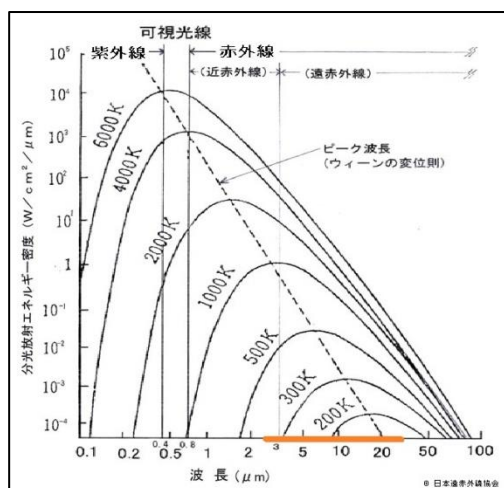


図3 温度と放射エネルギー⁽¹⁾

また、遠赤外線は被加熱物の内部まで到達するというのは誤りです。食品に多く含まれる水は遠赤外線をほとんど透過しません(図4)。

したがって遠赤外線は表面のごく浅い部分で吸収されて熱に変わり、熱エネルギーとなって内部へ伝導又は伝達により伝わります。

いわゆるパンの「火通り」を支配するのは「遠赤外線効果」ではなく、熱伝導率(熱の伝わり易さ)など、パン生地自体の物理的性質が主となります

(2) 伝導熱の性質

物体同士の接触により直接伝わる熱。移動速度は接触面積に比例し、また、接触する双方の温度差や熱伝導率が高いほど速く伝わります。パン焼成における熱移動速度は熱移動形態3要素のうち最も大きくなります。

境界面に凹凸などによる隙間があると接触していない部分は放射、空気を介した伝達での熱移動となり、その速度は著しく低下することになります。

(3) 伝達熱の性質

物体間に介在する物質の対流などによる移動により運ばれる熱。これらの境界面では伝導により熱移動が行われます。

自然対流は、温められ膨張することによって軽くなった物質(熱媒体)が上昇することで起きる現象です。また、送風機などを用いて強制循環を行うと熱移動速度を大きくすることが出来ます。

(2)の伝導では物体は移動せず熱エネルギーだけが移動するのに対し、伝達は流体の移動に伴って熱が運ばれるイメージとなります。

3 オープンの構造

パンの焼成に用いられる代表的なオープン構造及び特性を解説します。

(1) デッキオープン

図5に電気加熱式デッキオープンの構造例を示します。断熱材で覆われた炉室内下部にパンを置く炉

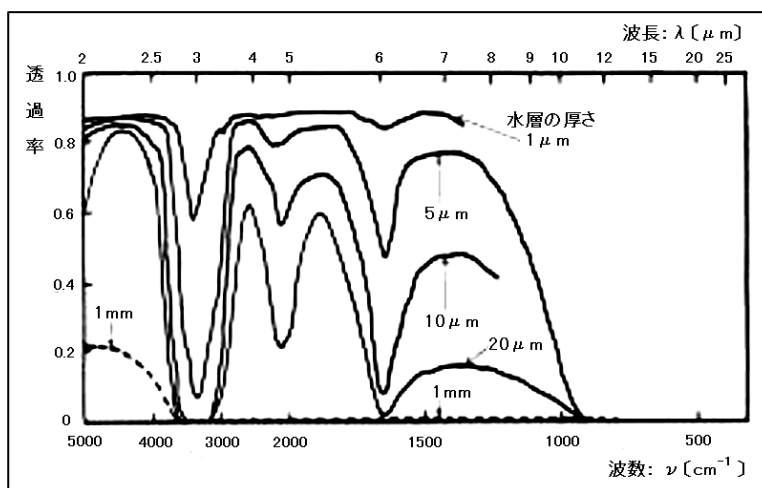


図4 赤外線の水に対する透過率⁽¹⁾

床があります。炉床の材質は耐火ボードが主流ですが、他にもモルタル、天然石、鉄板などを用い、これらの表面に耐熱塗装や耐熱シートの貼り付けなどを行ったものもあります。

炉床に置かれたパンに主に伝導熱を供給するとともに炉内の空気を加熱しますが、このうち伝導熱の部分は炉床の材質、表面の状態により熱供給速度が異なり、機種特有の焼味に関係しています。多くのオープンでは、炉床の下に下火ヒーターと下火温度制御用温度センサーが設置されています。

また、炉上部には上火用のヒーターがあり、主に放射による熱エネルギーを供給します。

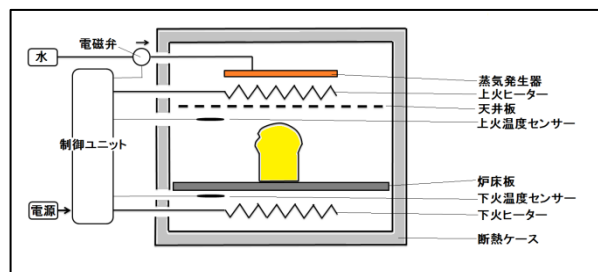


図5 電気式デッキオープンの構造例

ヒーターの型式は機種により多様で、①ヒーターと炉室を耐火ボードなどで隔離したもの ②電熱線と炉室の間に金属製のメッシュを設置したもの ③電熱線に金属製のカバーをつけたもの ④シース(管)ヒーターが剥き出しに設置されている等の方式があります。(写真1)

上火の構造は、放射される熱エネルギーの性質に大きく関係しています。放射エネルギーは放射源の温度の4乗及び放射面積に比例し、放射源との距離の2乗に反比例します。したがって同じ放射熱エネルギーを供給する時、放射源の面積が小さい(細い)場合は、発熱体の温度を高くする必要があります。

また、放射源の面積が小さいと、放射エネルギー強度のむらが出やすくなり、焼色の濃淡が強くなる

傾向となります。前述の上火の形式では、放射源の面積は ①>>④ となります。



写真1 デッキオープンの炉室

山形食パンなど高さのあるパンに対応する為、炉室の高さを大きくすると、放射源までの距離が増大することになり、同じ火力であれば放射によるエネルギーは小さくなるため、特に小型パンへの上火の効果はよりマイルドな傾向となります。

(2) リールオープン

図6にガス加熱式リールオープンの構造を示します。炉室形状、運行形式、規模などは異なりますが、トレーオープン、トンネルオープンなども類似の構造を持っています。

炉下部に設置されたバーナーで燃料を燃焼することにより発生した高温のガスによって炉内に熱を伝達します。この炉室内にパンを載せたトレイがゆっくり移動し、熱供給を受けることにより焼成を行います。

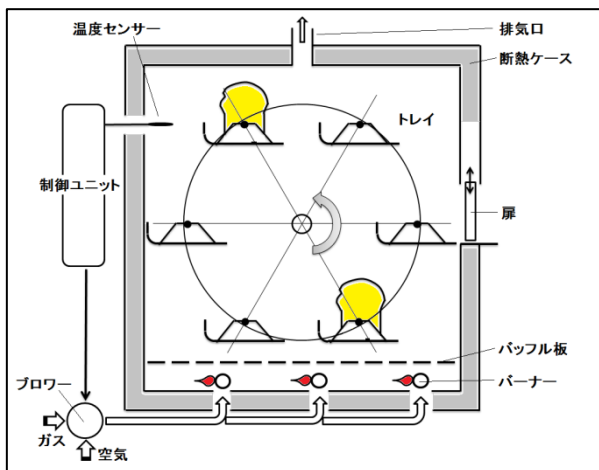


図6 ガス式のリールオープンの構造

熱は燃焼ガスの対流及び循環による伝達熱が主に作用し、また、パンは焼成中、常に炉内を移動するため、パン全面にほぼ均等に熱エネルギーが作用する特徴を持っています。

パンの大きさ(高さ)や設置の違いによる加熱むら

も小さいため、大型ラインに向いているとされています。

しかし、固定した炉床を持たず、また、焼色にコントラストをつける放射熱が小さいため、直焼するパンにはやや不向きです。このため、上火に赤外線放射バーナーを設置したり、トレイ(キャリヤ)に厚い鉄板などを用いたモデルも存在します。

(3) コンベクションオープン

基本的には伝達(対流)熱が主として作用する窯ですが、内部に大型のファンがあり、熱源で温められた空気を強制的に循環させ、熱伝達のを高めています(写真2)。熱い風呂に入ったとき、湯をかき回すと、より熱く感じるのと同じ理屈です。

熱風の循環能力が大きく、狭い隙間にも十分熱が行き届く為、均熱性に優れ、容積の割に一度に多くの製品を焼成出来る特徴があります。



写真2 コンベクションオープンの炉室

(4) 岩石窯

図7はヨーロッパ製ガス加熱式岩石窯の構造図です。基本的には(1)の電気式デッキオープンと類似していますが、熱移動の形態は異なっています。

熱源が炉室の外に設置されている間接加熱方式であり、炉壁全体から徐々に熱移動が起こる構造のため、炉壁表面の温度と設定温度の差は小さく、炉内の温度分布は極めて均一となります。したがって炉内の空気の対流循環速度は小さく、放射熱は全方向からほぼ均等に作用します。また、炉室の密閉度が高く、水蒸気的作用が安定しています。特に、岩石窯は構造材に大量の煉瓦や岩石を使用しているため蓄熱量が大きく、焼成中の炉の温度変動が小さいため、直焼パンの焼成に適している、といった特徴があります。

欠点は大型で大質量、温度制御が難しく、熱効率が小さいことなどがあげられます。

4 オープンの温度測定

同じパンを焼く場合に使用するオープンによって温度設定が異なることは、誰もが経験していると思います。したがって、パンの焼成を定量的に行う上で、オープンの実際の温度を知っておくことは必須となります。

以下に温度の測定結果について、解説をします。

(1) オープンの機種による温度の違い

実際に機種による差を見るため、当研究所内の 4 種のデッキオープンを使用して同一設定条件で温度を測定した結果を図 8・9 に示します。

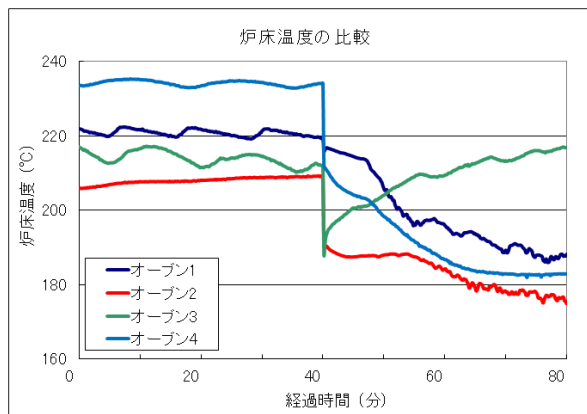


図 8 炉内空間温度の測定結果

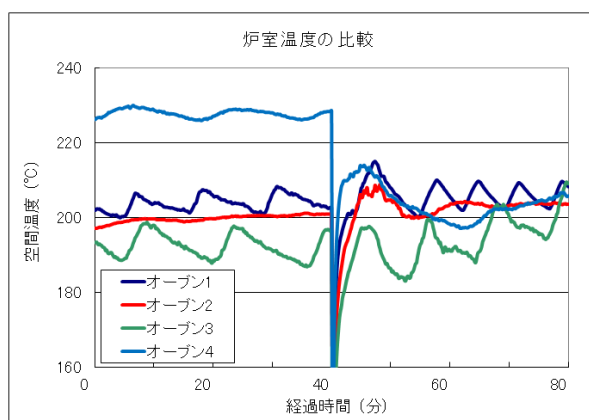


図 9 炉床温度の測定結果

オープン 1, 2 は国産デッキオープン、オープン 3 及び 4 は外国製オープンで、測定条件は以下の通りです。

- ① 空間(上火)温度測定用温度センサーはシース型 1φを用い、窯口から 50cm、左側壁及び炉床から 15cm に設置、炉床(下火)温度測定用温度センサーは薄膜型を、窯口から 60cm、炉床中央に耐熱粘着テープを用いて貼り付けた。
- ② 200°C設定、火力最大で約 2 時間予熱した。
- ③ ②の後、約 40 分間測定し、パン焼成に相当する熱負荷をかけるため、6 取天板に水を 1ℓ 入れたものを 2 枚、炉床に貼り付けた温度センサーの左右又は前後に設置し、さらに 40 分測定した。

無負荷運転時の温度は機種による差が大きく、温度制御方式や熱源の性質によって変動の状態も異なります。また、焼成中に相当する天板設置中、炉空間(上火)の温度は 4 機種とも、ほぼ設定温度である 200°Cに収束する傾向が見られますが、下火に相当する炉床温度では機種によって焼成後半に 40°C 近い開きが出ています。

焼成中の温度変化傾向は焼成するパンの焼け具合に大きく影響しますので、変動傾向を知ることによって、焼成途中での温度及び火力の設定変更を行うことで、いわゆる「焼き味」の調整の参考となることがわかります。

5 おわりに

オープンの構造や形式によって、焼成物であるパンへの熱移動の状態が異なることがおわかりいただけたでしょうか。熱移動の状態が変わるとパンの「焼き味」が変わります。

例えば、ロールパンなどでは、パン側面の焼色の薄い部分の幅と上面の着色部分のコントラスト、底面の焼色などが変わってくることが、熱伝導の観点から理解できたのではないかと思います。

今回紹介した熱の移動則、測定装置と測定方法等は、研究、開発され始めてから極めて長い時間が経過しており、すでに他の分野においても広く利用されている、いわゆる枯れた技術であると言えます。

製パン業界ではあたりまえとなっている職人の官能に頼った主観的評価では見え難いところまで客観的に、しかも正確に捕らえることができるため、今後ベーカリー業界においても活用されることを期待します。

なお、今回紹介しましたオープン内各部、各種パンの焼成時などの温度の測定に際し、測定方法と注意点についての詳細は、パン技術 700 及び 706 号に紹介されているので参照していただければ幸いです。

引用、文献

- (1) 日本遠赤外線協会 「遠赤外線の基礎」 19972000
- (2) 北林ほか 「焼成中のパン生地温度測定方法」 パン技術 No.700 (社)日本パン技術研究所,2009
- (3) 北林ほか 「オープン特性の客観的測定」 パン技術 No.706, No.708 (社)日本パン技術研究所,2009