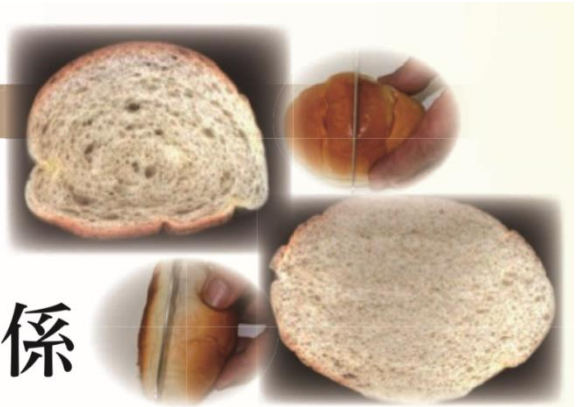


JIBはみだし授業

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。

パンの食感と 気泡構造の関係



一般社団法人日本パン技術研究所 常務理事 所長 井上好文

この記事は、日本調理学会誌 Vol.49, No.4 280-284 (2016年) より転載しています。

1. パンの美味しさの多様性と食感の重要性

パンを考える時に大切にしなければならない事は、その多様性である。5,000年以上の長い歴史を持つパンには様々なタイプがあり、タイプ毎に美味しさが顕著に異なる。

その一例として日本でポピュラーなパン製品を図1に示した。タイプによって美味しさの要素である香り、風味、食感が全く異なる。この最大の理由はタイプ毎に砂糖、油脂、乳製品などの配合量が顕著に異なるためである。また形状、大きさ、あるいは焼き方などによっても美味しさが異なる。

このようにパンは極めて多様性に富んだ食品であり、食生活の様々な場面で活躍する力を持っている。

このパンの美味しさの多様性に関して今回焦点を置きたい事は、気泡構造の差異によって同一タイプのパンであっても食感が顕著に異なることである。


パンは気泡構造を持った食品であり、パンを食べると言う事は気泡膜を咀嚼する事である。したがって、気泡膜の厚さと形状、およびその内部の状態が異なるとパンの食感が異なる。

同一タイプのパンの美味しさを差別化する要素としては、香りや風味も大切であるが、特に食感が重要であり、フワフワ、シットリ、モチモチ、サクサクなどの食感の形容詞がパンの褒め言葉として使われている。

したがって、どのような食感を提供したいのか、あるいは楽しみたいのかと言う事が、パンの製造、あるいは購入に於いて最も大切にすべき事柄であり、その本質的なポイントが気泡構造になる。

気泡膜内部の状態に関しては、焼成時に糊化した澱粉の物性、凝固したグルテン凝集物（以後グルテンと略記する）の物性、糖類や油脂の存在量と分布状態、あるいは水分量などによって影響を受ける極めて複雑なものであり、異なったタイプ間の食感の差異やパンの老化（焼成後の経時変化によってパンの食感が硬くパサつくようになる変化）に多大な影響を及ぼす。

また、最近増加傾向にある湯種法、多加水、加工澱粉の配合、あるいは乳化剤や酵素剤の添加などは気泡膜内部の状態に影響し、個性的な食感の演出や老化の遅延などに機能する。



	フランスパン	食パン	レーズンブレッド	バターロール	菓子パン	プリオッシュ	デニッシュ
小麦粉	100	100	100	100	100	100	100
パン酵母	2	2	3	3	3.5	3.5	6
食塩	2	2	1.8	1.5	0.8	2	1.5
水	68	68	57	50	54	—	30
砂糖	—	6	10	12	25	10	6
脱脂粉乳	—	2	2	2	2	—	3
油脂	—	4	10	15	8	60	85
全卵	—	—	10	15	15	40	30
卵黄	—	—	—	—	—	10	—
牛乳	—	—	—	—	—	20	—
レーズン	—	—	50	—	—	—	—

図1. 日本でポピュラーなパン製品とその基本配合(パーカーズ% → 小麦粉を100%とする)

このような内容についても触れたいが、誌面の都合上割愛し、同一タイプのパンの食感をコントロールする本質的な要素である気泡膜の厚さと形状について解説する。

2. 気泡数と食感の関係

極めて基本的な事であるが、パンは気泡膜の内部の状態が一定であっても、気泡膜が薄いほど軽くソフトな食感になり、逆に厚いほど噛み応えが強い食感になる。

したがって、気泡膜の厚さをどのようにするかと言う事がどのようなタイプのパンづくりに於いても重要な管理点になる。

その第1のポイントはパンのボリューム管理になる。ボリュームが大きいパン、すなわち単位重量当たりの体積が大きいパンほど気泡の膨張度が高いために気泡膜が薄くなり、食感が軽くなるのが一般的である。

製パンの基本は、目標とするボリュームのパンに焼き上がるように最終発酵終了時の生地膨張度を適切に管理すると共に、適切な窯伸びを達成出来るように気泡膜の骨格であるグルテンの粘弾性の形成を進める事である(井上,2010) 1)。

この基本と同時に大切にしなければならない事は、同一ボリュームのパンであっても、気泡構造、特に気泡数と気泡の形状によって気泡膜の厚さと流れが異なり、食感が異なる事である。筆者はこの内容を把握する事が製パン方法およびパンの特性を考えるための骨格であると考えている。

最初に気泡数が食感に及ぼす影響について解説する。図2に3種類のパンのスライス面気泡構造の画像解析結果を示す。

ストレート法とは手で生地のミキシングを行っていた時代の製パン方法を継承した方法である。

ミキシングの程度が低い生地を2~3時間の発酵で膨張させることによってその骨格であるグルテンの粘弾性の形成を進める。

この製パン法は主にリテールベーカリーで用いられている。中種法は標準的には70%の小麦粉とパン酵母および水の一部をミキシングした硬い中種生地を約4時間発酵してから残りの原材料を加えて最大限のミキシングを行う製パン法であり、主にパンの大量生産を行うホールセールベーカリーで用いられている(井上,2010) 1)。

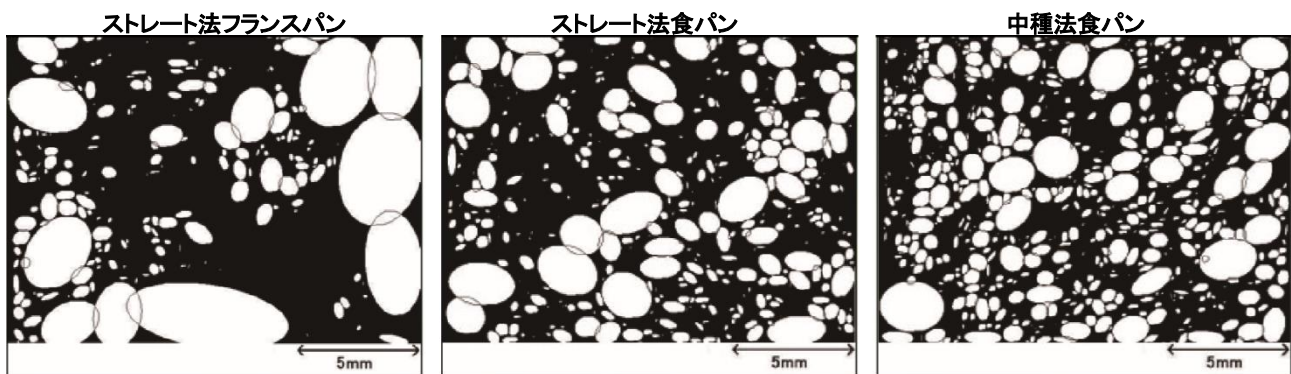
3種類のパンの気泡構造は大きく異なり、その結果、食感が顕著に異なる。各気泡構造が異なる原因は後に解説するが、ストレート法フランスパンは極めて気泡数が少なく気泡膜が厚いために、噛み応えが極めて強い食感が特徴である。このようなパンの気泡構造は綺目立ちが極めて粗いと言われる。

これに対して中種法食パンは、気泡数が極めて多く気泡膜が薄いために、軽くソフトな食感が特徴である。このようなパンの気泡構造は綺目立ちが極めて細かいと言われる。

また、ストレート法食パンはボリュームに関しては中種法食パンと同一であるが、気泡数が少なく気泡膜が厚いために噛み応えが強めの食感が特徴である。

以上の例のように、気泡数はパンの食感に多大な影響を及ぼし、仮にパンのボリュームが同一であっても気泡数が異なると食感が異なる。したがって、どのようなタイプのパンに関しても、気泡数が食感の重要なコントロールポイントになる

(a) 2値化図(気泡:白色、気泡膜:黒色)



(b) 特性値

	ストレート法 フランスパン	ストレート法 食パン	中種法 食パン
気泡数 (個/cm ²)	94	174	266
気泡サイズの平均値 (mm ²)	0.50	0.26	0.19
気泡膜厚の平均値 (mm)	0.22	0.17	0.12

図2 3種類のパンのスライス面気泡構造の画像解析結果

3. 気泡数コントロールの重要性

パンは何個の気泡で構成されているのかを測定した報告が見受けられないので、スライス面気泡構造の画像解析結果を基に算出を試みたところ、綺目立ちが細かいソフトなパンは約 30,000 個/g、綺目立ちが粗い噛み応えが強い食感のパンは約 15,000 個/g の気泡で構成されていると推察された。

この結果はあくまでも計算上の値で精度に欠けるが、パンによって気泡数が顕著に異なる事は事実である。

これをモデル図で示すと図 3 のようになる。繰り返しになるが、(a) のモデル図のように単位面積あたりの気泡数が多いパンほど白色で示した気泡が細かく、黒色で示した気泡膜が薄くなり、軽くソフトな食感が特徴になる。

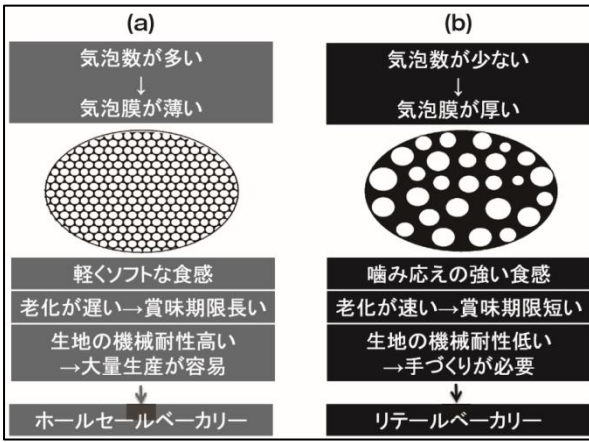


図 3. 製パンに於ける気泡数の重要性

このようなパンは焼成後の時間経過によって気泡膜の主成分である澱粉の再結晶化が進行しても硬く感じられるのが遅く、すなわち老化が遅く、賞味期限が長くなる。

また、気泡数は生地物の性にも多大な影響を及ぼし、気泡数が多い生地ほど気泡膜が薄いために柔軟性が高く、分割機などの機械を使用しても損傷が軽微であり、高品質のパンを大量に生産し流通することが可能になる。

このような諸特性はホールセールベーカリーのニーズにマッチしており、気泡数を極めて多くする中種法が主製法として発達している。

これに対して、(b) に示したモデル図のように気泡数が少ないパンほど生地の機械耐性が低いために大量生産および流通が困難であり、また老化が速いために賞味期限が短く、ホールセールベーカリーには不向きである。したがって、手づくりと焼き立てを武器にするリテールベーカリーが大切にすべきパンと言える。

パンの気泡数に基づく気泡構造は幅広い設定が可能である。このような多様性の中でどのような気泡数に基づく気泡構造を提供したいのか、あるいは楽しみたいのか、これらがパンの製造、あるいは消費の何れの場面に於いても重要視されるべきである。

4. どのように気泡数をコントロールするのか

以下にパンの気泡数をコントロールする重要なポイントを解説する。

(1) ミキシングの程度

気泡の原点（気泡核）はミキシング時に生地中に抱合された空気が分散して形成される (Baker ら, 1941) ²⁾。したがって気泡数の第 1 のコントロールポイントはミキシング時にどの程度の空気を抱合するかであり、ミキシングの程度が高いほど気泡数が増加する。図 2 に示した 3 種類のパンはその例となる。

主にリテールベーカリーで使用されるストレート法は先に記したようにミキシングの程度が低いが、その程度にはかなりの幅があり、目標とするパンの食感によって異なる。

例えば標準的な食パン生地は、図 4 の (b) に示したように比較的厚めの膜状に伸ばせるようになった時点でミキシングを終了する。

これに対して、伝統的なフランスパンの場合は、同じストレート法であっても、(a) に示したように生地が繋がる状態になった時点でミキシングを終了する。

また、ホールセールベーカリーの主製法である中種法による食パンの場合は、(c) に示したようにほぼ最大限のミキシングを行い、生地が薄膜状に伸びるようになるまでミキシングを行なう。この時、ミキシングの程度が高いほど空気の抱合機会が増加すると共に、グルテンの解離によって生地の粘稠性が高まるために空気の抱合が進む (Junge ら, 1981) ³⁾。

実際に各生地物の比重を測定すると、ストレート法フランスパンは 1.20g/cm³、ストレート法食パンは 1.17g/cm³、中種法食パンは 1.12g/cm³ であり、ミキシングの程度が高まるほど空気の抱合量が増加するために軽くなっている。

そして、空気の抱合量が多くなるほど空気が分散して形成される気泡核が増加するために、各パンの気泡構造が図 2 のように顕著に異なり、食感に影響する。また、何れのパンに関しても、ミキシングの程度を変更する事によって気泡数が変わり、食感が変わる。

(2) 成形時の生地物の薄層化

ミキシング後約 10 分が経過すると酵母が生成する二酸化炭素は生地中の水に飽和状態になり気泡核への気化が始まる。

その後、時間の経過と共に気泡の膨張が進行し、生地全体が膨張して行く。この膨張した生地物に外力を加えるパンチ、丸め、および成形工程は、グルテンの弾性化を進めると同時に、気泡を風船細工のように捻る事によって分割し、気泡数を増加する (Baker ら, 1941) ²⁾。

この気泡数の増加は外力の付加程度が高い成形工程で最も進み、特に生地物をどの程度薄層化するのが気泡数の重要なコントロールポイントになる、

(a) ストレート法フランスパン

(b) ストレート法食パン

(c) 中種法食パン



[比重: 1.20g/cm³]

[比重: 1.17g/cm³]

[比重: 1.12g/cm³]

図4. 図2で示した3種類のパンのミキシング終了時の生地状態と比重

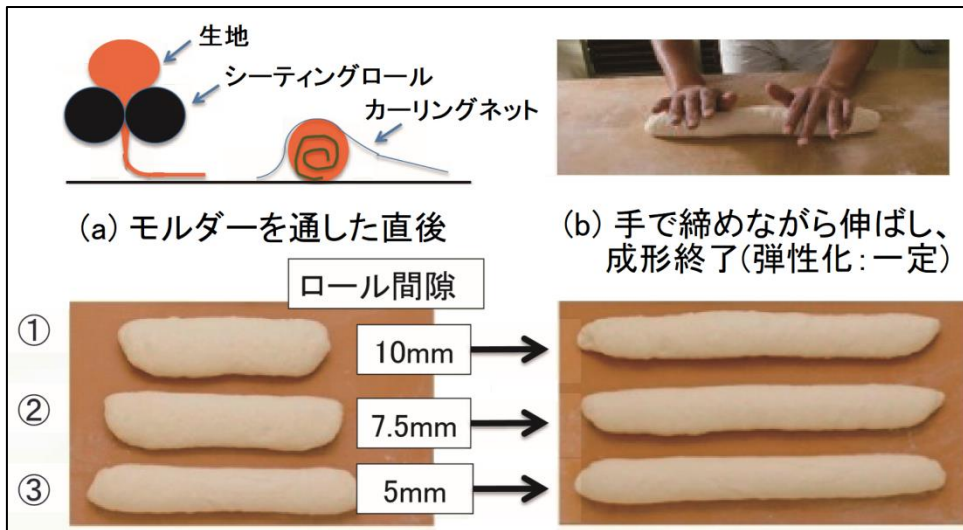


図5. フランスパン(バタール) のモルダーと手を併用した成型方法

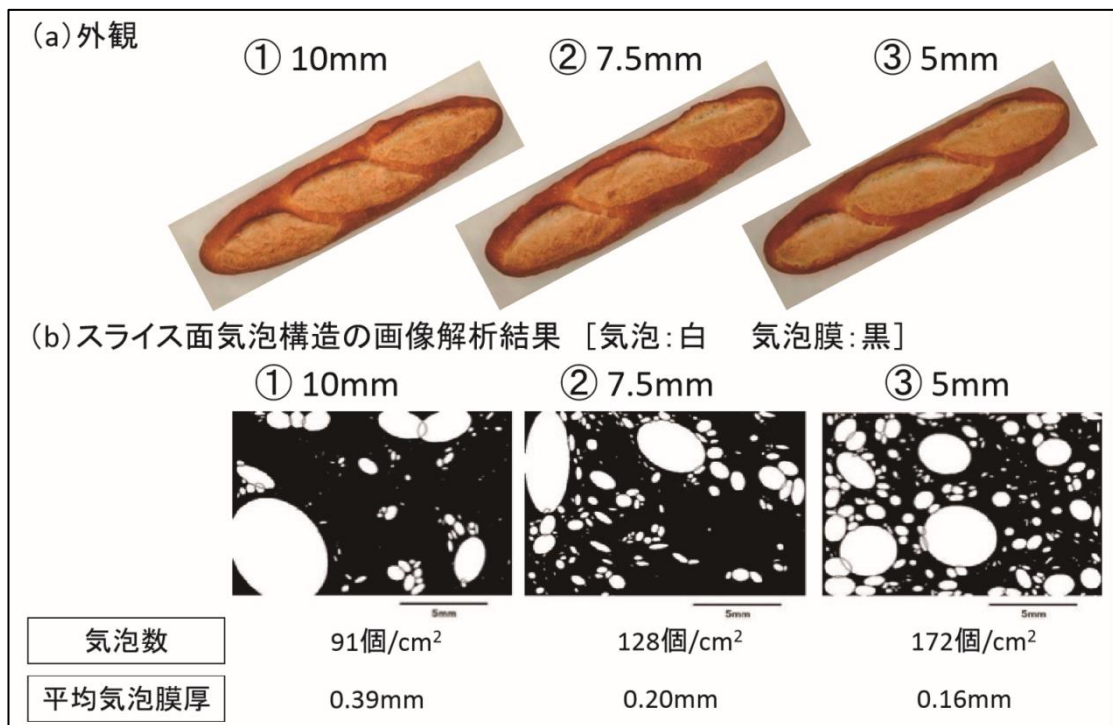


図6. 成形時の生地の薄層化がフランスパン(バタール)の外観およびスライス面の気泡構造に及ぼす影響

例えばフランスパンのバタールを、図 5 (a) に示したようにローラーで伸展した生地をカーリングネットで巻くモルダー（成形装置）を使用して棒状に成形した後、(b) に示したように手で締めながら一定の長さに伸ばした。

この時①はローラーの間隙を 10mm にして生地の薄層化の程度を低くし、③は 5mm にして薄層化の程度を高くした。また②は 7.5mm と中間の薄層化にした。

(a) の各生地はグルテンの弾性化が異なるので、手で伸ばす時に締め具合を調節し、(b) の成形を終了した段階では各生地の弾性を一定にした。

その結果、3種類のフランスパンは、図 6 (a) に示したように外観はほとんど差異が認められなかった。

しかし (b) に示したようにスライス面の気泡構造が顕著に異なり、①は成形時の気泡の分割が少ないために気泡数が極めて少なく、③は気泡の分割が進んだために気泡数が多く、そして②は中間の気泡数であった。

そして食感が顕著に異なり、①は極めて噛み応えが強い食感、③は軽い食感、また②はその中間の食感であった。

この例のように、成形方法は“パンの形をつくる”および“グルテンの弾性を高める”と共に“気泡数を増加する”機能を担っており、気泡数の重要なコントロールポイントになる。また、パンチや丸めの方法も成形ほど顕著ではないがパンの気泡数に影響する。

手づくりパンの場合、同じレシピであるのに作り手によって美味しさが異なる場合が多々ある。

この最大の原因は、成形、あるいはパンチや丸めを行う時の手加減が作り手によって異なり、グルテンの粘弾性と気泡数が異なってしまうからである。

(3) グルテンの粘弾性のコントロール

気泡膜の骨格を形成するグルテンの粘弾性はパンの気泡構造に多大な影響を及ぼす (Hoseny, 1984) 4)。

気泡数に関しては、グルテンの弾性化が低過ぎると気泡の一部がパンに焼き上がるまでの間に重さに耐えかねて潰れ、気泡数が減少する。

逆にグルテンの弾性化が高過ぎると気泡膜の一部が損傷し、気泡数が減少する。したがって、グルテンの粘弾性の形成は気泡数コントロールの面からも製パンの重要なポイントになる。

また、気泡数が顕著に減少しない範囲でグルテンの弾性をどの程度に形成するかによって、パンの気泡数が同じであっても気泡の形状が異なり、食感が異なる。その極端な例をモデル図として図 7 に示した。

成形時にモルダーあるいは麺棒で生地を薄く伸ばす時に、気泡は分割されるだけではなく、伸ばした方向に縦長に伸ばされる。その後焼成によって気泡構造が固定されるまでの間に、気泡膜の骨格であるグルテンの弾性が高いほど気泡は縦長に伸ばされた形状を維持して膨らむ。

逆に弾性が低いほど気泡は安定な球状に戻りながら膨らむ。したがって、気泡数が減少しない範囲でグルテンの弾性化を高めると (a) のようにパンの気泡構造は縦長の気泡が主体となり、このような綺目立ちを縦目と呼ぶ。

逆に弾性化の程度が低いほど (b) のように球状の気泡が主体となり、これを丸目と呼ぶ。

縦目であるほどスルメイカのように気泡の流れに沿って引きが強い食感になる。ツイストドーナツの食感が例になる。また丸目であるほど引きが弱い歯切れのよい食感が特徴になる。

ハンバーガーバンズがよい例になる。このように気泡の形状をコントロールする事も製パンの重要なポイントであり、またパンの選択にも重要である。

また、気泡の方向性が高いパンはスライスの方向を変えるとスライス面の気泡構造が異なり、その食感が異なる。

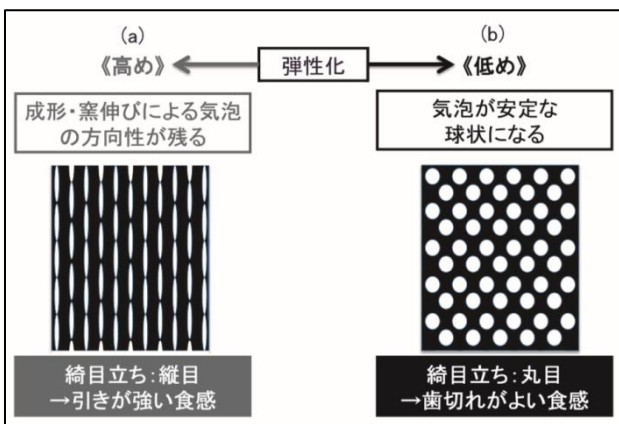


図 7. 気泡が潰れるあるいは崩壊しない範囲でグルテンの弾性化がパンの気泡構造に及ぼす影響

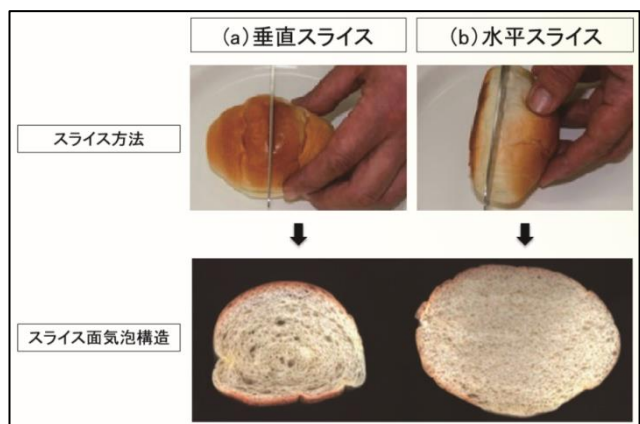


図 8. バターロールのスライス方法とスライス面気泡構造の関係

5. パンの垂直スライスと水平スライス

ここまで解説して来たスライス面の気泡構造（気泡数と形状）によってパンの食感を予測する事は、スライス方法が同一の場合には間違いがない。

しかし、パンを垂直にスライスした場合と水平にスライスした場合は、3次元構造である気泡の奥行きが顕著に異なるために、スライス面の気泡構造で食感を予測することが出来ない。その例を図8に示した。

気泡は窯伸びする時に上方に膨らむ傾向があるために、(a)の垂直にスライスしたスライス面は気泡数が少なく気泡膜が厚めであるが、気泡膜の奥行きが浅いために比較的軽い食感になる。また気泡に流れがあるので引きが強めに感じられる。

これに対して (b) のように水平にスライスした場合は、気泡数が多く気泡膜が薄い気泡構造がスライス面に現れるが、気泡膜の奥行きが深めであるためにシコシコとした噛み応えがある食感になる。また、気泡の流れが弱いために引きが弱い食感が楽しめる。

小型のパンを仮にスライスして食べる場合、日本人は垂直スライスが多く、欧米人は水平スライスが多いように見受けられる。このスライス方法でパンの食感が全く異なる。

どちらが好ましいかは主観的なものであるが、日本の消費者に水平スライスが普及すれば、パンをより美味しく感じる人が増加するのではないかと思われる。

6. おわりに

パンと一言で呼ばれるが、パンには多種多様なタイプがあり、さらに同一タイプのパンであっても美味しさが多岐に渡る。

すなわちパンは膨大な潜在力をもった食品であり、我々はその一部の力を顕在化しているのに過ぎない。

このようなパンの製品開発を進める、あるいはパン食の充実化を進めるためには、気泡構造を考える事が極めて重要である。

7. 文 献

- 1) 井上好文 (2010) , 「パン入門」, 日本食糧新聞社, 東京, PP. 14-27
- 2) Baker, J. C. and Mize, M. D, (1941) , The origin of gas cell in bread dough, *Cereal Chem.*, 18, 19
- 3) Junge, R. C., Hoseney, R. C. and Varriano-Marston, E. (1981) , Effect of surfactants on air incorporation in dough and the crum grain of bread, *Cereal Chem.*, 58, 338
- 4) Hoseney, R. C (. 1984) , Gas retention in bread doughs, *Cereals Foods World*, 29, 305