ノート

米菓生地の熱膨張の測定方法に関する実験的研究

石井　治彦*　河原　崇史*　細野　良太**　知野　秀次**　高橋　誠**

Study on the measuring method for thermal expansion of a rice cracker using TMA

ISHII Haruhiko*, KAWAHARA Takashi*, HOSONO Ryota**, CHINO Shuji**, and TAKAHASHI Makoto**

1. 緒　言

米菓はもち米を原料とするあられ・おかきと，うるち米（＝白米）を原料とするせんべいの 2 種類があり，どちらも広く食される菓子である。米菓は一度ふかした米粉を練った後に伸ばし，四角または円形に切り出した生地を乾燥後，加熱することでできあがる。米菓生地は，主原料の米粉に加え，水や澱粉などの食品素材などが混ざったものであり，非常に複雑な組成である。米菓の膨張は，米菓品質に大きく影響する重要な要素であることから，米菓生地の膨張に関する研究は，新潟県農業総合研究所食品研究センターをはじめとした公設試験研究機関や，大学，メーカと，様々な立場で進められている。生地や米の品種と生地の膨張性の関係については，加熱後のサンプルの比容積 [1]や，加熱による寸法変化 [2]で評価した研究例，生地を加熱した際の熱特性の変化を示差走査熱量計で測定した例 [3]や，メスシリンダ中の米粉パン生地の膨張過程を連続的に評価した例 [4]などがみられるが，米菓の熱膨張を理化学機器で直接測定した事例は確認できない。また，一般的に材料の熱膨張は熱機械分析装置（以降，TMA）により測定されるが，単調に膨張する材料の膨張率の測定 [5]にすぎず，米菓のように急激な膨張を示す材料を評価した例はみられない。

このような背景から，本研究では新潟県農業総合研究所食品研究センターと協力し，TMA を用いた米菓の熱膨張を測定する方法について検討を行った。TMA で素材の熱膨張を直接測定することにより，膨張の開始温度や最大膨張量などをより詳細に評価できると考えられる。

* 下越技術支援センター

** 新潟県農業総合研究所　食品研究センター

2. 供試材料

米菓生地（せんべい生地）は新潟県農業総合研究所食品研究センターにて以下の方法で製造され，提供された。うるち米（新潟県産コシヒカリ）を洗米後一晩水に浸漬した後，細かくしたものを原料とした。それに水を加えて練り，蒸した後伸ばし，円形の型で抜き取り米菓生地を作製した。この生地を 80℃程度の温度で 2 段階乾燥させたものを試料とした。乾燥後の試料は直径約 45mm, 厚さ 2mm である。この試料の，厚みのばらつきと表面の凹凸が少ない中心部から，ディスクカッターを用いて約 10mm 角に切り出した後，切断面を研磨紙#1000 で軽く研磨し面取りしたものを試験片として用いた。

米菓生地から切り出すことにより米菓の内部構造が外気にさらされる点が，本来の米菓を加熱する工程とは異なるが，本研究では米菓生地の熱膨張を連続的に測定する方法の検討を目的としたため，切り出した米菓を試験片として扱った。

3. 試験装置および方法

試験には熱機械分析装置（TMA/SS6000, セイコーインスツルメンツ(株)）を用いた。図 1 に装置の概略図を示す。石英ガラス製の試料管底部に置かれたプレート上に試験片を置き，φ3mm の圧縮プローブで上方から 10g の荷重を加えた。その状態で，昇温速度 20℃毎分で室温から 200℃まで試験を実施した。試料管内の熱電対で得られる温度を試験片の表面温

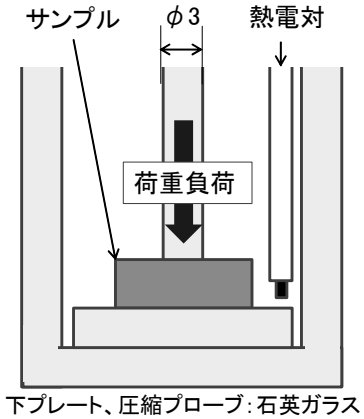

図 1　装置概略図

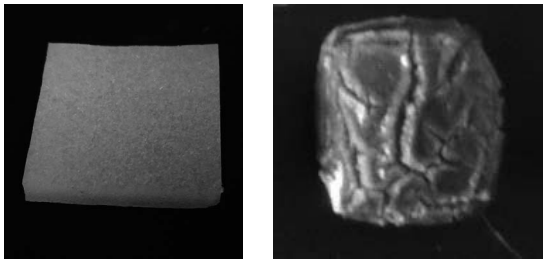

図 2　試験片外観の一例

（左：試験前，右：試験後）

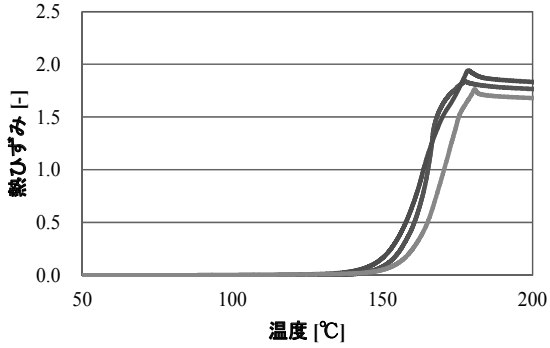

図 3　試験結果

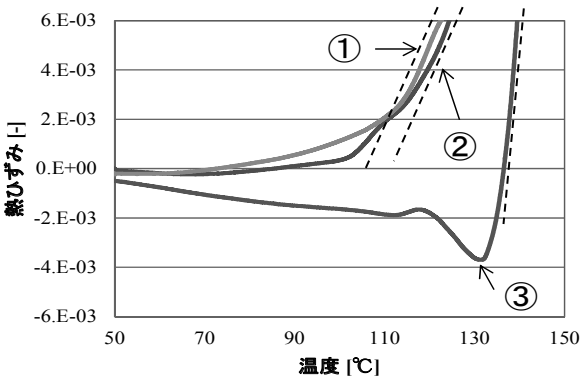

図 4　膨張開始部

として，試験片高さとともに試験開始から 0.1 秒ごとに記録した。なお評価は試料管や圧縮プローブの熱膨張を補正して行った。

4.　試験結果

試験前後の試験片の外観の一例を図 2 に示す。試験前の試験片表面はなめらかであるが，試験後は表面に大きな亀裂が何本も発生していた。これは加熱により試験片が三次元的に膨張していったときに，ある時点で試験片表面が面内の膨張に耐えられず，亀裂に至ったと推察される。

次に，米菓生地の熱ひずみ ε_t と温度の関係を図 3 に示す。ここで t℃時点の熱ひずみ ε_t は，試験前の試験片高さ h_0 と t℃における試験片高さ h_t を用いて式 1 から算出した。

$$\varepsilon_t = \frac{h_t - h_0}{h_0} \quad \cdots(1)$$

図 3 は同じ生地から採取した試験片で 3 回試験を行った結果である。圧縮荷重を最適化することで概ね再現性が得られた。

図 3 のひずみが急激に増加する，すなわち膨張が開始する領域の拡大図を図 4 に示す。同じ生地から採取した試験片であっても，膨張の過程は大きく異なることがわかる。①や②のように概ね単調に増加する試験片もあれば，③のように一度マイナスに変位した後，急激な膨張を示す場合もあった。また，ひずみが急激に増加し始める温度は，数十度程度のばらつきが見られた。ひずみが増加する直前の挙動に関しては，マイナス変位は生地の軟化によるものと考えられ，厚み方向の温度分布などにより非常に複雑な状態になっているためであると考えられる。

図 3 の単調なひずみの増加を示す領域として，熱ひずみ 0.5 から 0.8 までの推移を図 5 に示す。この領域においては 3 回の試験とも概ね線形な膨張を示している。この結果を最小二乗法により一次式で近似

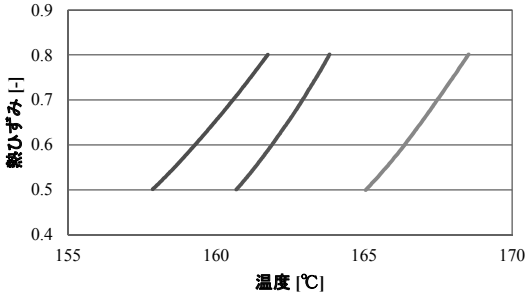

図 5　膨張安定部

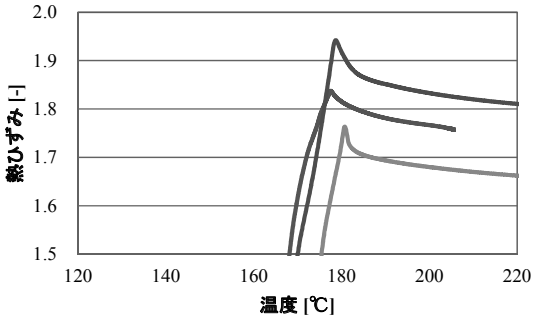

図 6　最大膨張部

し，その傾きを見かけの膨張率として算出したところ，膨張率は小さいほうから 7.73×10^{-2}, 8.78×10^{-2}, 9.54×10^{-2}[1/℃]であった。今後更なる検討が必要であるが，算出された膨張率は米菓の持つ膨張性を表す指標のひとつになりうると考えられる。

図 3 で最大ひずみを示す領域を拡大して図 6 に示す。3 回の試験とも熱ひずみの最大値を示した後，熱ひずみが小さくなる挙動を示している。これは最大熱ひずみを示したときに，亀裂の形成により試験片内部の水分がすべて蒸発したことなどが要因として考えられるが，明確にはなっておらず，更なる検討が必要である。また，図 4 で示したように同じ生地から採取した試験片であっても，急激に膨張が起きる温度が数十度程度ばらついているのに対して，最大熱ひずみを示す温度のばらつきは数度程度と小さい点が非常に興味深い。米菓生地から試験片を切り出すことにより米菓の内部構造が外気にさらされる点が，本来の米菓を加熱する工程とは異なるものの，米菓生地の膨張を連続的に測定でき，見かけの膨張率や膨張が開始する温度，最大熱ひずみなどを算出できることがわかった。このことから，本研究で検証した方法は，米菓生地の膨張過程を評価するための有用な測定方法のひとつと考えられる。

5. 結　　言

本研究では米菓生地の熱特性を評価するため，米菓から切り出した試験片を，熱機械分析装置を用いて測定することで以下の結果が得られた。

(1) 急激な膨張を示す米菓に対して，連続的に膨張を測定できる条件を確立した。

(2) 米菓の厚み方向の増加を熱ひずみとして指標化することで，膨張の開始温度や最大膨張を示す温度などを定量化できることを明らかにした。

参考文献

1) 吉井洋一ら，“うるち米の理化学的性質と米菓の膨化性”，日本食品工業学会誌, 41(11), 1994, pp747-754.

2) 山田博治ら，“新形質米の米菓加工特性”，日本食品工業学会誌，40(4)，1993，pp278-286.

3) 渡辺紀之ら，“熱分析法による米菓製造工程解析”，日本食品科学工学会誌，46(2)，1999，pp51-58.

4) 山口智子，“グルテンフリー米粉パンの生地の膨化と食味に対する電界水の影響”，新潟大学教育学部研究紀要，9(1)，2016，pp113-123.

5) 日本熱物性学会編，“新編熱物性ハンドブック”，2008，pp341-344.