

◆今年も翔びます食品包装!

熱湯入りなのに素手で持てるのはなぜ?

JASFA技術委員長・武内氏が寄稿でPSPの断熱構造メカニズムを解説

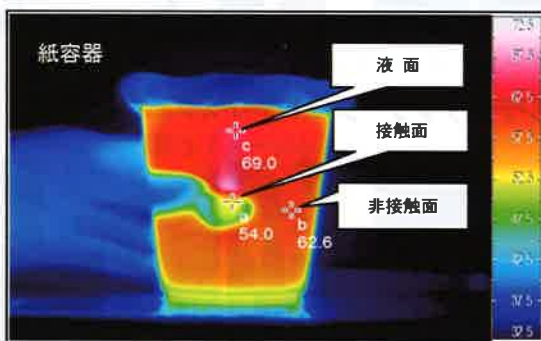
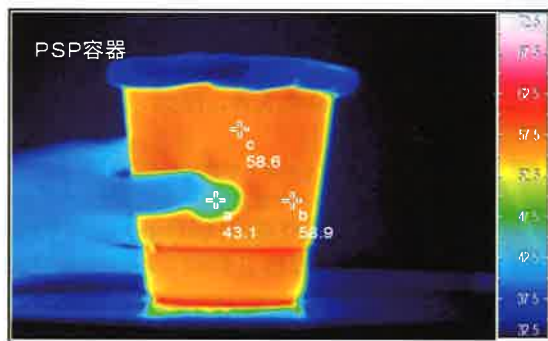
2015年以降の飛翔が期待される食品(飲料)包装を取り上げる今月号の特集には、囃らずも発泡スチレン(PSP)関連の話題が2題ほど登場する。その1つが、発泡スチレンシート工業会(JASFA)技術委員会委員長の武内昌宏氏(JSP)の執筆による寄稿「発泡スチレン素材(PSP)の熱移動特性 - カップ麺容器は熱湯を注いでもなぜ素手で持てるのか -」だ。

「空気が主役」のPSP(ポリスチレンペーパー)は、エコノミー(Economy; 経済性)とエコロジー(Ecology; 環境対応)の2つの“エコ”で、過去半世紀以上にわたり日本の食文化や食品産業の発展に貢献。また国内主要PSPメーカーで構成される発泡スチレンシート工業会(JASFA)も、すでに設立から22年が過ぎた。このような中で同工業会は、これまでも「食品トレー材質別保冷性比較」や「温湯食品用カップ容器の保温性比較」(いずれも2005年)のテーマで本誌の前身「月刊packpia(パックピア)」に寄稿を行っている。今回の寄稿は、これらPSPの断熱構造に関する“追跡研究”の成果

をまとめたものと言えよう。

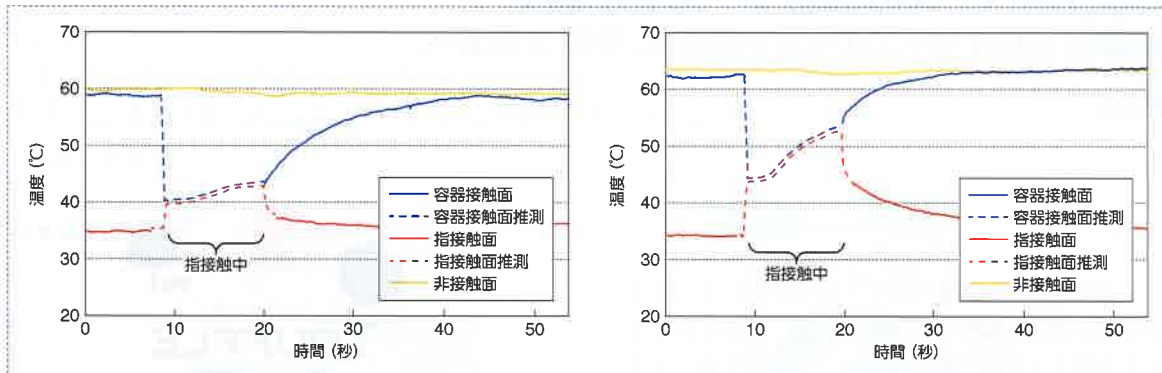
本文では、まずPSPの熱伝達について解説。「PSP内の気泡によって伝熱に対する抵抗が大きくなり、熱が伝わりにくいと考えられる」とした上で、実際に容器に湯を注いで行った検証結果が紹介されている。ここでは「注湯後の側壁温度の上昇カーブなどからも、PSP容器の断熱性の高さは明らか」と指摘。また湯温の下がり方を検証することで、PSP容器の保温性にも言及している。

しかしながら、PSP容器の表面温度が低いといっても60℃に近い中で、なぜ人は持ち続けて平気なのだろうか? この疑問を解決するため、今回は動画撮影用サーモグラフィによる指で持った容器表面温度の測定が行われた。測定機器や測定環境、測定方法が示された上で、「紙容器を持った指の温度はPSP容器を持った指の温度よりも約10℃高くなっていると推測される。また、容器を持った瞬間に容器の接触面の温度はいったん下がるが、その後の昇温(温度回復)速度にもPSP容器と紙容器では大きな違いがあった」とまとめている。



動画撮影用サーモグラフィによる指解放直後の熱画像比較。左がPSP容器、右が紙容器

●サーモグラフィで測定した温度変化の推移(左がPSP容器、右が紙容器)

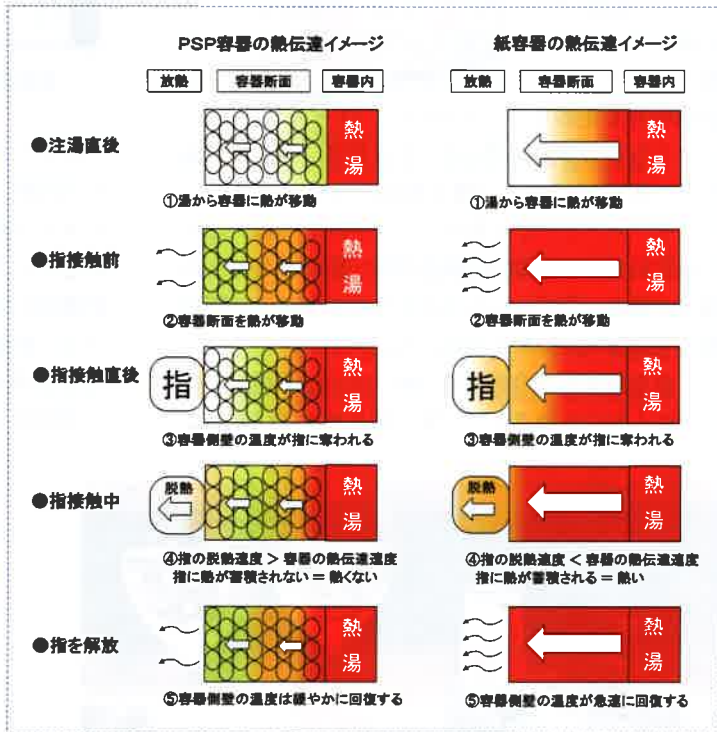


左ページで紹介する画像は、PSP容器と紙容器で、指解放直後の熱画像を並べたもの。色の違いにより、その温度差は明らかだ。

また上の図表は、やはりPSP容器と紙容器で、それぞれ接触面の温度変化の違いを示したもの。PSP容器は接触後、容器接触面と指の温度が指に近い温度でほぼ同一となり、接触中は若干上昇したところで横這い。また指解放後の容器接触面は、緩やかに接触前の温度に戻っているのが確認できる。一方で紙容器は、接触後、容器接触面と指の温度がほぼ同一となった後、接触中も上昇し続ける。また指解放後の容器接触面は、早期に接触前の温度に戻っていると推察されている。

これらの実験結果から、武内氏は「容器の温度差よりも接触面の温度差が大きくなっているのは、指の脱熱速度が同じでも、容器の熱伝達速度が異なるためではないか」と考察。また指の温度が毛細血管の血流で保たれている事実を踏まえ、「PSP容器の場合は熱抵抗が大きいいため、湯温の伝達よりも指の脱熱のほうが大きくなり、指に熱が蓄積

●PSP容器⑥と紙容器⑦の熱伝達イメージ。色(濃淡)は温度、矢印の大きさは熱の伝達速度をイメージしている。ここでもPSPの気泡の存在が果たす役割は明白



されず熱さを感じないと考えられる」としている。PSP容器と紙容器の「熱伝達イメージ」を掴む上で、このページに掲載したカラー画像は、その理解をより深めるはずだ。(武内氏による寄稿の全文は、本誌38～43ページに一挙掲載)

寄稿

発泡スチレン素材 (PSP) の熱移動特性

カップ麺容器は熱湯を注いでもなぜ素手で持てるのか

文◎武内 昌宏

(発泡スチレンシート工業会技術委員会 委員長/JSP)



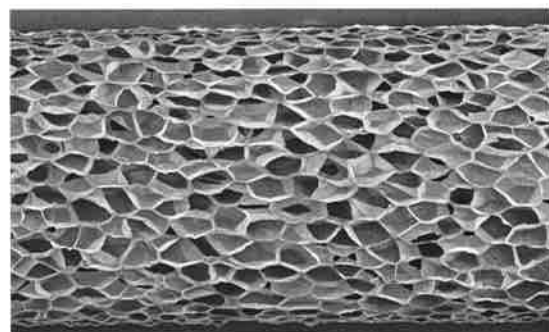
中が“アツアツ”でも素手でこの通り

数ある食品容器の中で、発泡スチレンシート(以下PSP)容器が保温性や保冷性に優れていることはこれまでに断熱性のデータとして実証されている¹⁾。そのためPSP容器に熱湯を注いでも、特に熱さを感じることもなく、素手で持つことができる。今回は断熱構造の追跡研究として、手が熱さを感じにくいそのメカニズムについて報告する。

容器の表面温度

PSPの熱伝達

PSPは細かい気泡が幾重にも重なっており(写真



1) PSP容器側壁断面

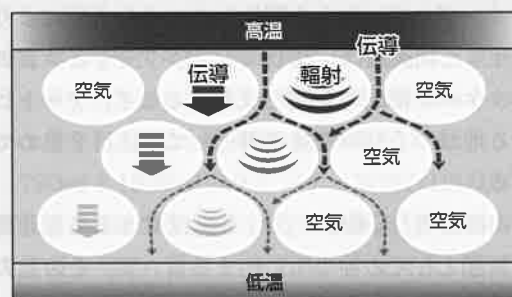
1)、熱が伝わりにくい構造を有している。一般的な熱の伝わり方には、

- ①伝導：熱が物体を通過して伝わる現象
 - ②輻射：熱が空間を貫いて伝わる現象
 - ③対流：熱が気流に乗って伝わる現象
- の3通りがある。

ここでPSPなど発泡体の熱の伝わり方(図表1)を見てみると、

- a. 樹脂部分の熱伝導：大部分が気泡で形成されているため、樹脂部分が非常に少なく熱が伝わりにくい。
- b. 気泡部分の熱伝導：気体の熱伝導は固体の10

図表1 ●PSP気泡構造の伝熱モデル図



図表2●測定試料詳細

| | PSP容器 | 紙容器 (二重構造) |
|----------|-------|---------------|
| 口径 (mm) | 95 | 90 |
| 高さ (mm) | 115 | 110 |
| 給湯量 (mL) | 540 | 410 |

分の1以下であり、熱が伝わりにくい。

c. 気泡膜間の輻射：内部の気泡により10数回、輻射熱の遮断が起り、熱が伝わりにくい。

d. 気泡内の気体の対流：PSPのような気泡径の場合は対流の影響は小さい(気泡内の対流が影響するのは気泡径約4mm以上とされている。なおPSPの気泡径は0.3mm以下)。

主に上記a～dの理由により、PSP内の気泡によって伝熱に対する抵抗が大きくなり、熱が伝わりにくいと考えられる。ここで実際に容器に湯を注ぎ検証を行った。

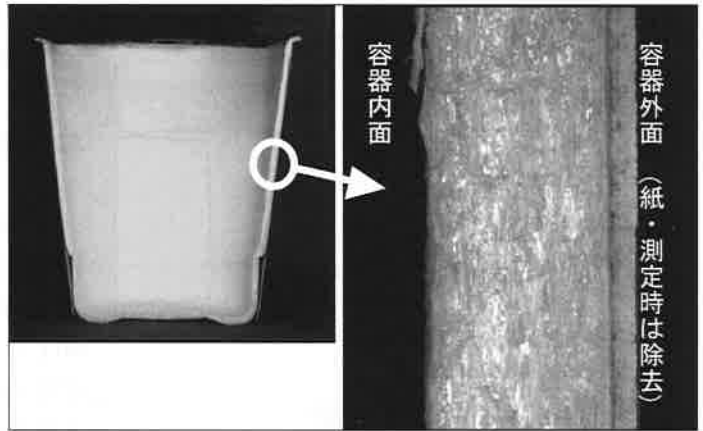
熱電対による湯温と容器表面温度の測定

容器に湯を注ぎ、熱電対を用いて容器表面と湯温の変化を測定した。

まず測定試料として、市販のカップ麺容器を使用した。PSP容器のほかに、比較試料として紙容器についても同様の試験を実施した。試料の詳細を図表2に、またそれぞれの断面構造を写真2、3に示す。

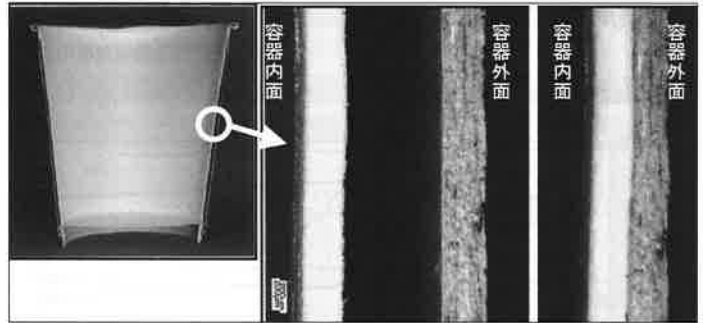
次に測定方法だが、まず湯温は湯面の2分の1の高さになる位置の容器側壁に小さな孔を開けて熱電対を通し、熱電対の先端が口径の中央に来るように固定し、測定した。

次に表面温度は、湯面の2分の1の高さになる位置の容器側壁に熱電対を貼り付け測定した。



2 PSP容器断面構造

PSP容器は外面の紙(意匠部)を除去し、PSP単体として試料とした



3 紙容器(二重タイプ)断面構造

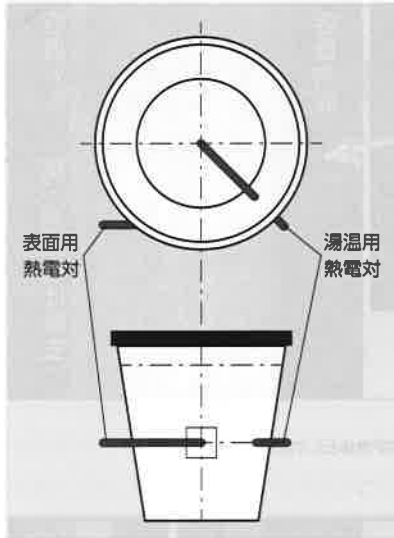
二重タイプの紙容器は外面と内面の間に空隙を有するが(左)、手で持った部分の外面と内面は接触する(右)

続いてデータロガーで温度測定を開始し、電気ポットの湯(98℃)を所定の量まで注いだ。湯が所定の量に達するまで約10秒を要している。

最後に、蓋をセロハンテープで止めて容器を静置し、湯温と表面温度を10秒間隔で測定した。熱伝対取り付け位置は、図表3に示した通り。

測定結果をまとめると、PSP容器、紙容器ともに湯を注いだ直後から表面温度は上昇し、ピークを迎えた後は徐々に下降し始め、湯温も同様に湯を注ぎ終えた直後から徐々に下降し始めた。表面温度のピークは、紙容器が66.6℃で、PSP容器が61.1℃だった。注湯後の側壁温度の上昇カーブは、紙容器は急勾配であるが、PSP容器は緩やか。これはPSP容器の断熱性の高さを示している。また

図表3●熱電対取り付け位置



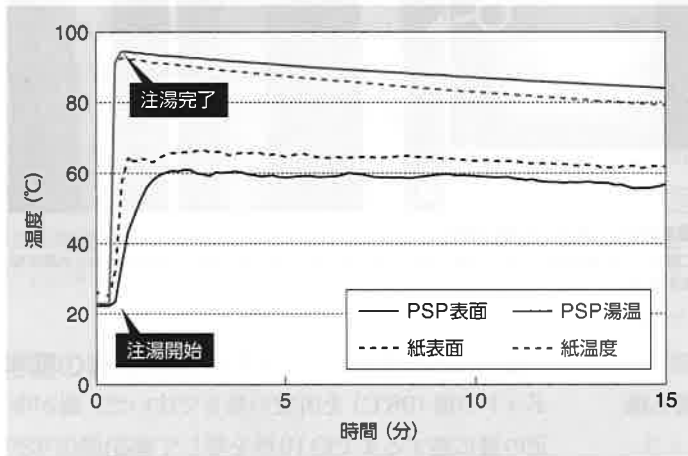
湯温の下がり方もPSP容器の方が緩やかだ。これはPSP容器の保温性を示している(図表4)。

なぜ素手で持てるのか?

PSP容器の表面温度が紙容器よりも低いことは確認できたが、ここで疑問が生じる。PSP容器の表面温度が低いといっても60℃近くになる。なぜ60℃近い温度のPSP容器を持ち続けても平気なのだろうか。動画撮影用サーモグラフィを用いて、容器表面温度と、持った指の温度変化を測定した。

使用した測定機器は、日本アビオニクス社の赤外線サーモグラフィ「R300」。測定温度範囲は-40℃~500℃で、温度分解能は0.05℃ at30℃となっている。

図表4●注湯後の容器表面温度と湯温



測定環境は23℃恒温室。測定方法には、以下のプロセスが採られた。

まず、測定ごとに電気ポットの水量を満水にして再沸騰させ、温度表示が98℃になった湯を試験に用いた。

次に、内容物を除いた容器の所定の量まで湯を入れ、粘土を用いて蓋と容器の円周上に巻き付け蓋を密着させた。

続いて、注湯から2分45秒後に録画を開始。接触前の指および容器の撮影を行った。そのさらに15秒後(湯を入れてから3分後)、指で容器表面を10秒間強く接触させた。

最後に、指を解放した後も容器接触面の温度が回復するまで継続して測定した。

これらのプロセスを経て撮影したサーモグラフィから、容器表面の親指を押し当てた部位(接触部)の温度と、容器表面の指解放直後の昇温速度を算出した。容器表面の温度を図表5に、昇温速度を図表6に示す。

図表5●指と容器接触面の温度

| | PSP容器(℃) | 紙容器(℃) | 温度差(℃) |
|-------|----------|--------|--------|
| 接触前 | 58.8 | 62.6 | 3.8 |
| 指解放直後 | 43.1 | 54.0 | 10.9 |

図表6●容器表面の昇温速度

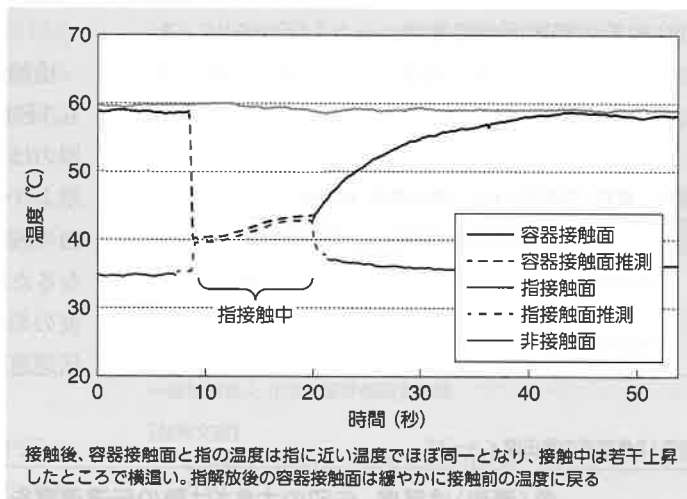
| | 指解放直後(℃) | 1プロット(1/7.5秒)後(℃) | 容器表面の昇温速度(℃/sec) |
|-------|----------|-------------------|------------------|
| PSP容器 | 43.1 | 43.6 | 3.75 |
| 紙容器 | 54.0 | 55.1 | 8.25 |

図表5からは、指解放直後の接触面温度について、PSP容器のほうが10.9℃低かったことが分かる。また図表6からは、PSP容器の指解放直後の表面昇温速度が、紙容器の半分以下だったことが明らかになった。

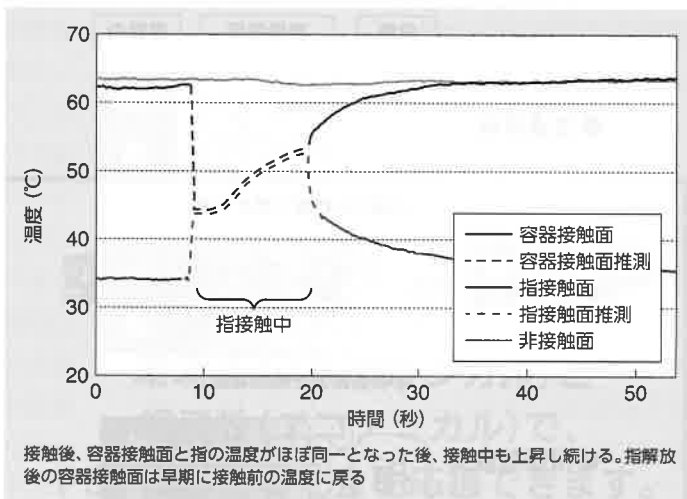
これらのデータ以外にも、容器を持っている時の感覚としては、PSP容器は持っている間も温かさを感じる程度であり、指に熱さは感じなかった。対して紙容器は指を接触させた直後から徐々に熱くなり、9秒程度で持つのに苦痛を感じるほど熱さを感じた。

測定結果をまとめるに当たり、サーモグラフィにて測定した温度変化の推移を図表7、8に示す。またそれぞれの容器で指解放直後の熱画像が図表9、10となる（本誌8、9ページのカラー画像参照）。親指を解放した直後の接触面の温度は、紙容器よりもPSP容器のほうが明らかに低いことが確認された。「指解放直後の容器接触面温度」≒「指の接触面温度」と推察できることから、図表5より、紙容器を持った指の温度はPSP容器を持った指の温度よりも約10℃高く

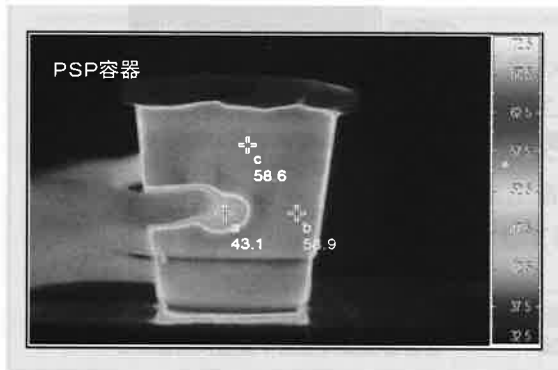
図表7●PSP容器接触面温度変化



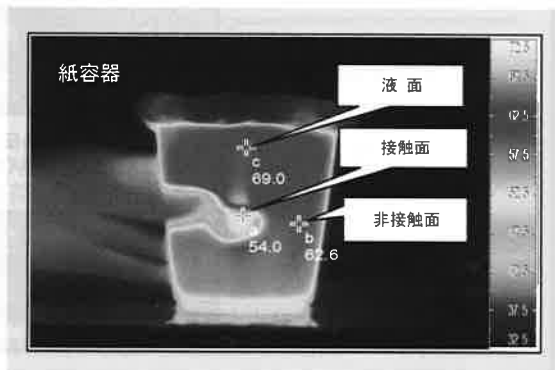
図表8●紙容器接触面温度変化



図表9●PSP容器指解放直後の熱画像



図表10●紙容器指解放直後の熱画像



なっていると推測される。また、容器を持った瞬間に容器の接触面の温度はいったん下がるが、その後の昇温（温度回復）速度にもPSP容器と紙容器では大きな違いがあった。

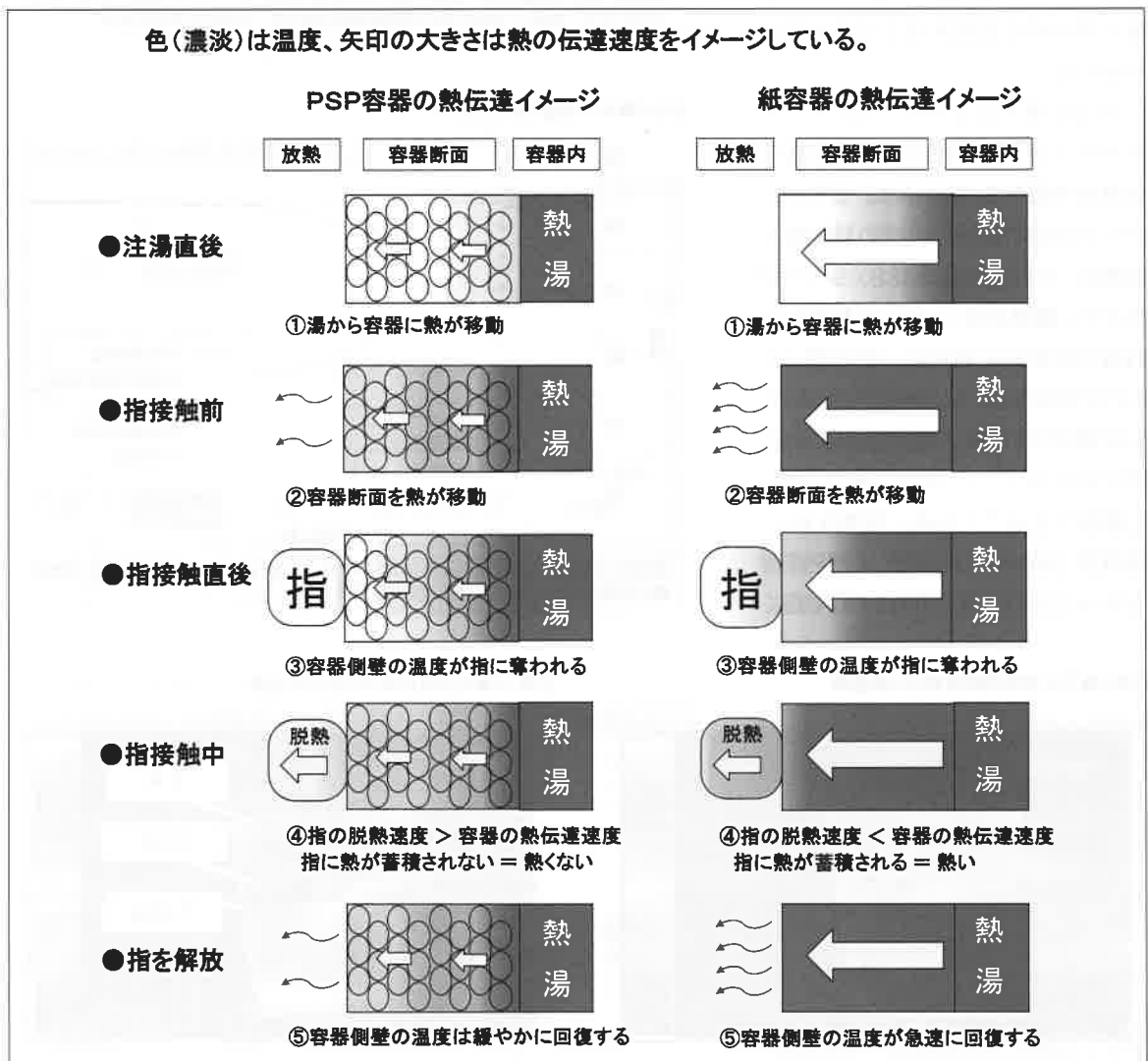
図表11●素材の熱抵抗および熱伝導率（参考値）

| | 熱抵抗 (m ² K/W) | 熱伝導率 (W/m・K) |
|-------|--------------------------|--------------|
| PSP容器 | 約68×10 ⁻³ | 0.04 |
| 紙容器 | 約7×10 ⁻³ | 0.10 |

考察

接触前の容器表面温度はPSP容器が紙容器よりも3.8℃低く、指解放直後の接触面温度はPSP容器のほうが紙容器よりも10.9℃低い。容器の温度差よりも接触面の温度差が大きくなっているのは、指の脱熱速度が同じでも、容器の熱伝達速度が異なるためと考えられる（図表7、8の容器接触面温度の勾配からも、PSPのほうが緩やか、つまり熱伝達速度が遅いことが分かる）。

図表12●容器の熱伝達イメージ



指の温度は主として毛細血管の血流によって保たれている。紙容器はPSP容器よりも熱抵抗が小さく湯温が接触部に早く伝達されるため、血流などによる指の脱熱が追い付かず、指に熱が蓄積されて熱さを感じる。PSP容器の場合は熱抵抗が大きいため、湯温の伝達よりも指の脱熱のほうが大きくなり、指に熱が蓄積されず熱さを感じないと考えられる(図表11、12)。



お気づきでない消費者も多いだろうが、PSPの容器には、さまざまな効果がある。断熱性や保温性に優れることから、温かい食品は温かさを保持

したまま、冷たい食品は冷たいまま素手で持つて食べることができる。また精肉や鮮魚のPSPトレーは、持ち帰りの際に食品の温度上昇を抑制してくれる効果もある。さらに使用する樹脂量は非常に少なく、環境に配慮した素材であると言える。このようなPSPの効果をより多くの方にご理解頂き、さらに幅広くご使用頂けることを切に願う。



【データ測定】

一般財団法人 化学物質評価研究機構

【参考文献】

- 1) 石原義久「食品トレー材質別保冷性比較」(packpia 2005年2月号)
- 2) 池田敏夫「温湯食品用カップ容器の保温性比較」(packpia 2005年4月号)

PSPトレー
使われて半世紀
空気が主役の環境適合素材-PSP



空気が主役! のPSP

環境適正(エコロジカル)と
経済性(エコノミカル)で、
PSPは低炭素社会を応援できます。

あけましておめでとうございます

スーパーマーケットなどで広く使われている食品トレーやカップ類容器などで
ご愛顧いただいていますPSPは、「エコリーフ環境ラベル」を公開しています。

PSPの全ライフステージについて、LCI(ライフサイクルインベントリー)
データを公開し、どなたでも簡単に環境負荷が確認出来るようになっています。
CO₂の排出削減効果もデータとして確認いただけます。

JASFA

発泡スチレンシート工業会

積水化成成品工業(株) / (株)J S P / 共栄産業(株)

〒101-0034 東京都千代田区神田東紺屋町26 東紺ビル3F www.jasfa.jp