

# 湿った焼結ガラス粒子層の画像による含水率の測定 \*

廣 橋 由美子\*\*  
柴 田 弘 道\*\*

## Measurement of the Moisture Content of Wet Sintered Glass Beads by Image Analysis

Yumiko HIROHASHI\*\* and Hiromichi SHIBATA\*\*

Image analysis has been used in a wide range of fields such as food science, medical science and engineering. In this work, images of the cross section of wet sintered glass beads were photographed by use of a borescope, and were digitally processed by using Adobe Photoshop 5.0J (Macintosh version) to obtain the luminosity. The luminosity was related to the observed moisture content of the cross section of the sintered glass beads. The present method could be a feasible way to measure the moisture content of the material as one of non-contact methods of temperature measurement.

*Key Words* : Luminosity, Borescope , Photoshop, Moisture content

### 1. 緒言

材料の水分測定は一般に生産プロセスにおいて重要な役割をもっている。水分の測定においては食品や窯業などにおいて一般的に赤外線水分計が用いられており (Miyachi et al., 1986; Takano, 2000) , 年々様々な赤外線水分計が開発されている (Kojima, 2003) 。医学の分野では画像解析が進んでいる (Cal et al., 2004; Ozbek et al., 2004) 。工学の分野やその他の分野でも輝度計, 色差計, またはSEMなどを使った画像解析による材料の品質に関する研究 (Prachayawarakorn et al., 2006; Nowak and Lewicki, 2005) , 輝度計を使用しコンクリートの水分量を推定するなどの研究 (Katsuki et al., 2005) がみられるようになってきた。本研究では材料はガラス粒子焼結層を用い, 湿った材料の断面の画像をボアスコープで取り込み, その輝度と同時に含水率を測定し, 両者の関係を求めた。この研究は製造プロセス中の品質管理など特に水分測定をボアスコープの装置内の画像から簡便

に行う方法を開発する事を目的とする。

### 2. 実験方法

#### 2-1 実験装置及び方法

実験はTable 1に示すように3種類のガラス粒子焼結層を用いた。ガラス粒子焼結層は構造が良く分かっており, かつその構造が充填層に比べ変形しにくいので, より良い再現性が期待できる。3種類のガラス粒子を730°Cで弱く焼結しており, Figure 1に示すように焼結角  $\theta$  は約7.5度となっている (Shibata et al., 1990) 。

Table 1 Properties of the samples

sample	particle diameter [ $\mu\text{m}$ ]	sintering temperature [°C]
Glass Beads GB734 <sup>*1</sup>	63-105 <sup>*2</sup>	730°C
Glass Beads GB705K <sup>*1</sup>	150-250 <sup>*2</sup>	730°C
Glass Beads GB707K <sup>*1</sup>	250-420 <sup>*2</sup>	730°C

<sup>\*1</sup> Potters-Ballotini Ltd.

<sup>\*2</sup> More than 80% of the particle content is in this diameter range.

\* 平成 22 年 5 月 31 日受付

\*\* 化学システム工学科

また、このガラス粒子焼結層を入れる四角柱セル (30×30×120mm)をFigure 2に示す。このセルはカットするためにa,b,cの部分で3分割が可能な (高さ30mm×4個) 1組のセルから成っている。

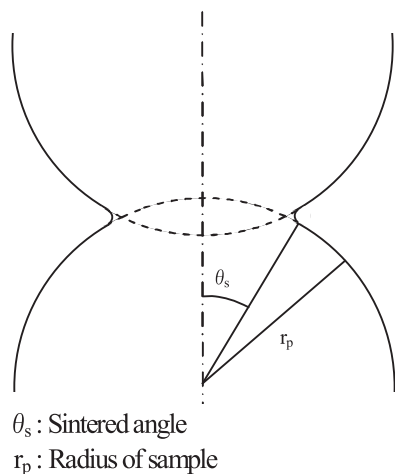


Fig.1 Sintered angle

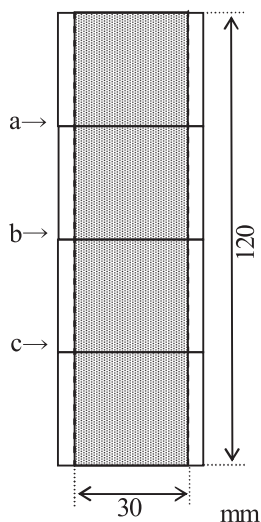


Fig.2 Sample cell

実験装置をFigure 3に示す。この装置は外部の光の影響を避けるため暗幕で覆った。画像の撮影にはボアスコープ (オリンパス製工業用硬性鏡 : R040-033-000-60, CCDカメラ:OH-412) を用いた。長さ330mm径4mmの細いステンレス筒に設置されたレンズにより手の届かない狭い装置内などを非接触で観察できる利点がある。また、このボアスコープは150°Cの高温の環境下でも測定できる。まず、ガラス粒子焼結層を四角柱セルにいれ、真空容器の中で脱気した後飽和含水する。その後含水した試料を目的の含水率に達するまで常温で四角

柱上面から自然乾燥させる。目的の含水率に達したとき、焼結層をFigure 2に示すように一番上のaの断面をカットし、そのカットした断面の画像をボアスコープのCCDカメラで撮影しパソコンへ取り込んだ。撮影した直後、断面の中心部分の約1/3のガラス粒子を薄く (平均厚さ約2mm) すくい取り秤量瓶に入れ、重量法により含水率を求めた。b,cの断面も同様の操作を繰り返した。すくい取る対象となる粗いガラス粒子層の薄い層内には断面にも厚さ方向にもほとんど水分の分布はないと考えられる。また、高さ12cmの四角柱焼結層を用いる事で重力の影響で生じた垂直方向の水分分布を利用し、同一試料で異なる含水率を3箇所同時測定した。この時、乾燥の影響を受けている四角柱の上面の表面層は避け、焼結層本体をFigure 2のa,b,cの部分でカットし、断面の輝度と水分量をすばやく測定する事で、より正確な含水率を求めた。ボアスコープでの撮影ではセルを順次底面へ移動し撮影距離を一定となるようにした。また、実験は装置光源の明るさのレベル $L_1$ と $L_2$ の二種類撮影した。

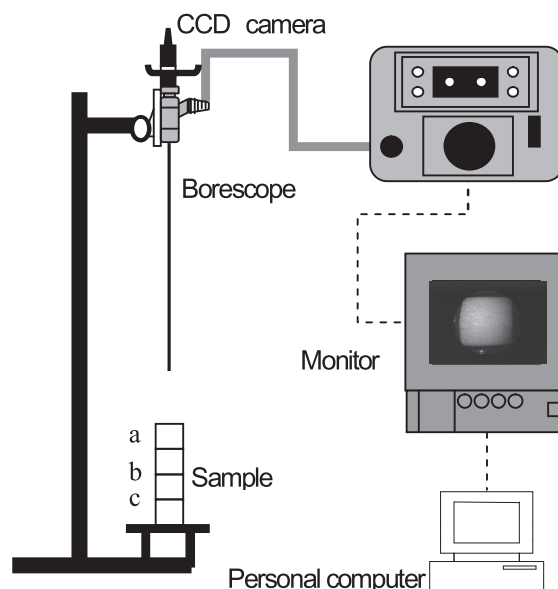


Fig.3 Experimental apparatus

2-2 画像

ボアスコープにより撮影した画像の輝度の測定は、ソフトウェア「Adobe Photoshop Ver.5.0」 (Macintosh版) を使用した。Photoshopの輝度の値は0 (黒) から255 (白) で表される。Figure 4に光源の明るさ $L_2$ におけるボアスコープで撮影したガラス粒子焼結層のカットしたa,b,cの画像を示している。

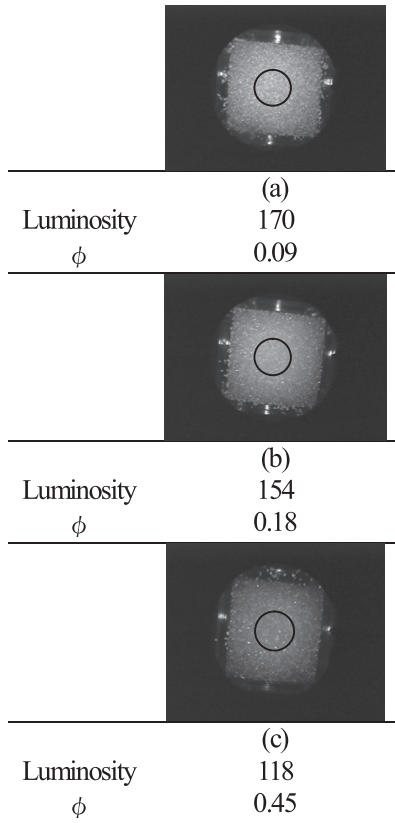


Fig.4 Photographs of the cross-section for sintered glass beads of GB707K(250-420  $\mu$  m)

四角柱の下部の方が試料断面の輝度が暗く示されており、重力の影響による水分量の度合いが変わるのがわかる。ソフトウェア画面上で断面の画像の中心約10mmの円(実際の断面の約1/3)の輝度を計測した。円内は明るさが一様であり、輝度を求めた円内は含水率測定のための粒子をすくい取った部分と一致させている。

3. 実験結果及び考察

Figures 5と6と7はガラス粒子焼結層250-420  $\mu$  m, 150-250  $\mu$  m, 63-105  $\mu$  mにおける含水率とボアスコープの画像から求めた輝度の関係をそれぞれ示している。二種類( $L_1, L_2$ )の光源の明るさで行った結果もそれぞれ示した。輝度は高含水率での変化は小さいが、どの粒子径においても含水率0.7付近から低含水率になるにつれて上昇しているのがわかる。また、 $L_1$ に比べ $L_2$ の方が含水率1から0の輝度の差が大きい事がわかる。測定精度を高くするためには、どの粒子径の層においても含水率0と1の輝度の差が大きい条件で測定する必要がある。ガラス粒子焼結層において、含水率0と1の輝度が明瞭に区別できるのは光源の明るさが $L_1$ と $L_2$ である。 $L_2$ 以上であれば含水率0で輝度は255に近づきすぎ、また $L_1$ 以下であれば、含水率1で輝度は0に近づきすぎるため、そ

の差を大きくとる事はできない。 $L_1$ と $L_2$ の結果について最小二乗法により近似曲線を求めている。粒子径の異なる試料はそれぞれ輝度の絶対値は異なるがその近似曲線の傾向はほぼ一致している。今回測定値と近似曲線の回帰解析による決定係数( $R^2$ 乗値)は、0.9~0.94の範囲にあり、輝度計を使用した他の文献(Katsuki et al., 2005)の輝度と水分量のデータの決定係数とほぼ同様な結果を得る事ができた。

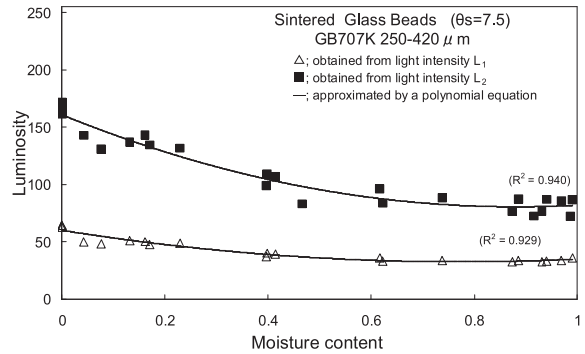


Fig.5 Relationship between the moisture content and the luminosity for sintered glass beads

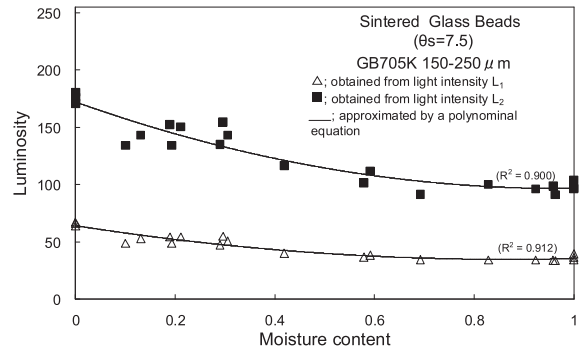


Fig.6 Relationship between the moisture content and the luminosity for sintered glass beads

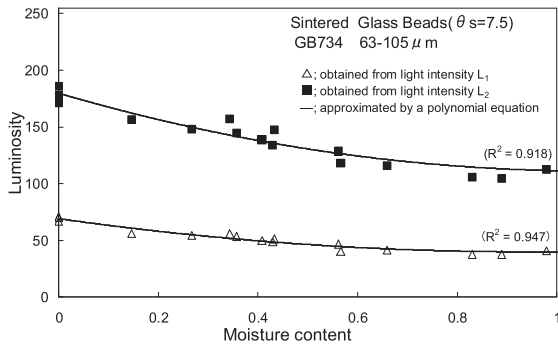


Fig.7 Relationship between the moisture content and the luminosity for sintered glass beads

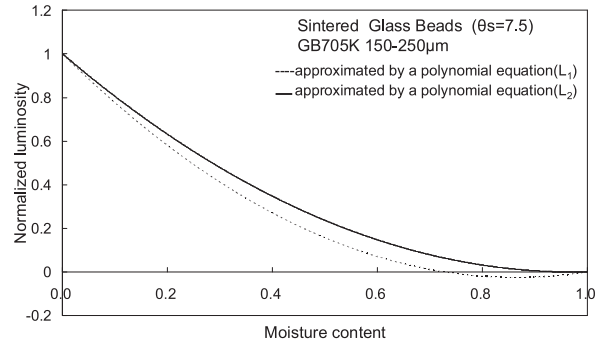


Fig.9 Relationship between the moisture content and the luminosity for sintered glass beads

Figures 8 と9と10はガラス粒子焼結層250-420  $\mu$  m, 150-250  $\mu$  m, 63-105  $\mu$  mにおける含水率と光源の明るさ $L_1$ と $L_2$ の実験結果より求めた正規化近似曲線を示している。この正規化近似曲線はFigures 5と6と7のそれぞれの近似曲線より求めた含水率1と含水率0の輝度を用いて正規化している。これより含水率と輝度の関係はどの粒子径の場合もその近似曲線の傾向はほぼ一致している。決定係数については光源の明るさ $L_1$ ,  $L_2$ による違いはほとんどないが、正規化した近似曲線を比較すると、含水率1から0までの輝度の差が大きい $L_2$ が特に含水率の高い部分で輝度の0からのずれが小さい事がわかる。即ち、先に述べたように含水率1から0の輝度の差が大きい $L_2$ の方が、今回使用したガラス粒子焼結層においては最適であるといえる。従って含水率1と0の輝度の差が適切な条件を選べば、含水率と輝度の関係が粒子径毎に決定できる事がわかる。

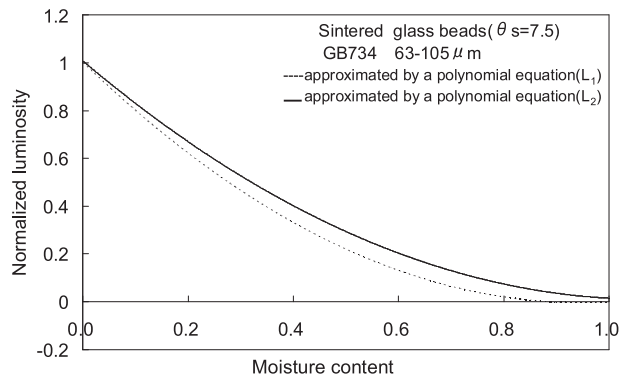


Fig.10 Relationship between the moisture content and the luminosity for sintered glass beads

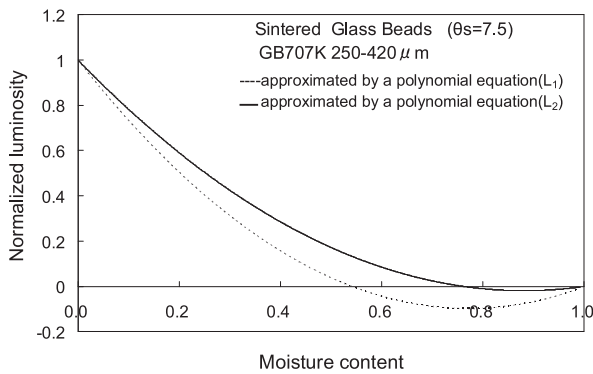


Fig.8 Relationship between the moisture content and the luminosity for sintered glass beads

水分の精度の高い測定は一般的に困難を伴うと言われているが (Mujumdar, 2007), 以上の事から本方法により含水率1と0の適切な輝度を粒子毎に測定する事で、この近似曲線から含水率を推定できると思われる。

#### 4. 結言

ボアスコープを用いて非接触で材料の輝度を測定する事によりガラス粒子焼結層の輝度と水分量の関係を求めた。本方法により材料のカットした断面の含水率を推測でき、これらの近似曲線から水分測定を簡便にする事ができると思われる。しかし、測定値と近似曲線の回帰解析による決定係数は、0.9以上であったが、データのバラツキについては、さらにより高い決定係数に今後改善される事が望ましい。また、今回は空気中で実験を行っているが本方法は過熱水蒸気中などの赤外線水分計が苦手とする雰囲気中での水分の測定にも適用できると考えられ、また同時に試料の表面状態も確認でき、赤外線水

分計と比べより簡便で応用範囲も広いものとなるのではないかと期待できる。

**使用記号**

$L_1$	=	light intensity	[-]
$L_2$	=	light intensity	[-]
$R^2$	=	coefficient of determination	[-]
$r_p$	=	radius of sample	[m]
$\theta_s$	=	sintered angle	[deg]
$\phi$	=	moisture content	[-]

**参 考 文 献**

Cal, E., M. Sonugelen, P. Guneri, A. Kesercioglu and T. Kose; "Application of a Digital Technique in Evaluating the Reliability of Shade Guides," *Journal of Oral Rehabilitation*, 31(5), 483-491(2004)

Katsuki, H., H. Sasaki and T. Yajima; "The Estimation of Water Quantity in Fresh Concrete Using the Luminance Meter," *Cement & Concrete*, No.703, 12-18 (2005)

Kojima, T.; "Online Moisture Measurement of Powder or Grain," *Powder Science & Engineering*, 35(9), 47-54 (2003)

Miyauchi, K., S. Nakazawa and C. Taga; "Application and Precautions for the Infrared Moisture Meter (in Japanese) ," *Instrumentation Control Engineering*, 29(10), 33-38 (1986)

Mujumdar, A. S.; *Handbook of Industrial Drying*, third ed., pp.34, CRC Press, Taylor & Francis Group (2007)

Nowak, D. and PP. Lewicki; "Quality of Infrared Dried Apple Slices," *Drying Technology*, 23 (4), 831-846 (2005)

Ozbek, Z., AO. Saatci, I. Durak, U. Gunenc, M.H. Ergin and G. Cingil; "Staining of Intraocular Lenses with Various Dyes: A Study of Digital Image Analysis," *Ophthalmologica*, 218(4), 243-247 (2004)

Prachayawarakorn, S., N. Kaewnin, A. Nathakaranakule and S. Soponronnarit; "Effects of Peeled and Unpeeled Garlic Cloves on the Changes of Drying Rate and Quality," *Drying Technology*, 24 (1), 65-75(2006)

Shibata, H., J. Mada and K. Funatsu; "Porosity and Residual Equilibrium Saturation of Sintered Spheres of Glass Beads," *Drying Technology*, 8(1), 183-193(1990)

Takano, S.; "Moisture Measurement for Particulate Processes (in Japanese) ," *Instrumentation and Automation*, 28(6), 21-25 (2000)