

論文

# ガラスブロー成形における種巻きボールの形状

久慈俊夫\* 松丸清司\*\*

Analysis of gathering-ball shape in the glass blowing process

Toshio KUJI and Seiji MATSUMARU

**Abstract** This paper describes the analysis and the design of the shape of the egg-shaped gathering ball in the glass blowing process. The number of samples was 13, made by a skilled worker. As a result of drawing a ball shape with 3D-CAD, the shape of ball comprises 2 or 3 circular arc. There is a logarithmic relation between the gathering weight and dimensions of each ball, and there is a linear relation between the gathering weight and the volume of the ball. Using the results of these analyses, the design method of the gathering ball is proposed.

**Keywords** Glass, Blow, Glass blowing, Gathering, Skilled work, Automation, Robot, CAD

## 1. はじめに

理化・医療用のガラス容器製品は、中小のガラス工場においてブロー成形による製法で製造されている。その製造工程中に、種巻き作業と呼ばれる溶融ガラスを耐火粘土製のボールに巻いて取り出し、ブロー成形機へ投入する作業がある。

この作業は、高度な熟練を要するばかりでなく、高熱、粉塵を伴う作業であり、熟練者の高齢化、後継者の確保難、生産性改善などの課題を有し、自動化が求められている。自動化の例として、ガラスプレス成形工程のロボット化<sup>1)</sup>、ハンドブロー成形工程のロボット化<sup>2)</sup>、ブロー成形工程のロボット化<sup>3)</sup>がある。これらはいずれも実用面からの自動化を実現したものであり、種巻き作業について究明がなされていない。

そこで、筆者らは熟練作業の動作解析<sup>3)</sup>、種巻き実験装置の試作や種巻き作業解明に関する10項目の検討条件の提案<sup>4)</sup>、ボール上昇速度の影響<sup>5) 8)</sup>、竿傾け角度の影響<sup>6)</sup>、熟練者のボール形状の考察<sup>7)</sup>の研究を行ってきた。

本報告では、熟練者の種巻きボール設計方法について解析、考察し、簡便に種巻きボールの形状設計が可能な設計方法を提案する。

## 2. ブロー成形における種巻き作業の概要

ガラスのブロー成形製造工程における種巻き作業の概略を図1に示す。種巻き作業における熟練者の作業内容は、7項目に整理できる<sup>6)</sup>が、特に正確な量の巻き取りと成形機投入時の溶融ガラス塊(ゴブ:gob)の形状が成形品の品質に重要である。ボールは、卵に似た形状をしており、この形は長年の経験と実績により生み出されたものであり、円筒形や円錐形などのボール形状に比べ、巻き取り時のゴブ形状がブロー成形に適していることが確認されている<sup>4)</sup>。

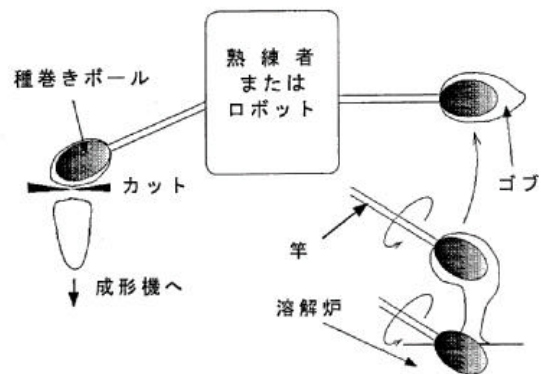


図1 種巻き作業の概要

種巻きは、その種巻き重量に応じてボール形状を小から大のボールに交換して作業を行う。種巻き重量は、ボールの回転条件などの作業条件によっても変動すること

\* 製品科学技術グループ

\*\* 三和特殊ガラス(株)

が経験的に知られているが、ボールの大きさが種巻き質  
 量を決める第一の条件である。このため、形状を含めた  
 ボール設計方法の確立が求められている。

### 3. 熟練者が製作した種巻きボールの形状

#### 3.1 ボール形状の測定と作図方法

本研究では、熟練者が製作しブロー成形に使用してい  
 るボール13個を試料とした。図2はその外観、表1はこれ  
 らのボールの種巻き質量である。

ボールの各部寸法を測定し、CAD を用いて描画した。  
 その結果、これらのボールは、図3に示すように NO. 1 ,  
 2 は2本の円弧を、No. 3 ~ 13は3本の円弧を滑らかに  
 つないで軸対称に回転させた立体形状として表すことが  
 できる。

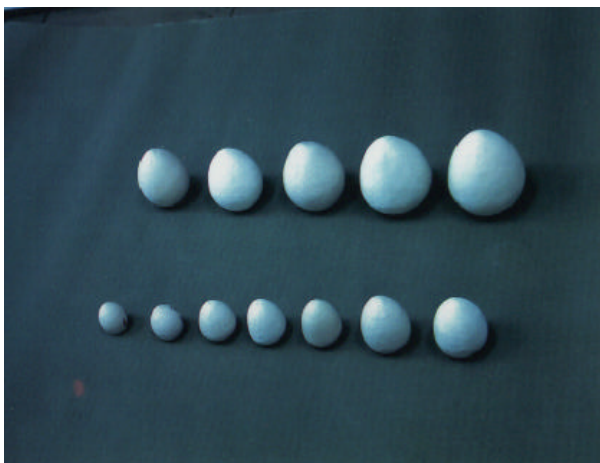


図2 種巻きボールの外観

表1 測定した熟練者のボール

試料No.	1	2	3	4,5	6	7,8	9	10	11	12	13
種巻き質量 (g)	100	130	140	180	250	300	420	440	650	800	950

No. 1 , 2 の形状は小容量で生産数量が少ない製品用  
 であるため、大多数の生産に使用されている3本の円弧  
 からなるボールを研究対象とした。

3本の円弧により構成されるボールは、高さ： $h$ 、先  
 端部円弧半径： $R_1$ 、基部円弧半径： $R_2$ 、胴部円弧半径  
 ： $R_3$ 、最大径部直径： $W$ 、底部直径： $B$  の6箇所の寸法  
 を与えることで市販の CAD で容易に描画することがで  
 きる。

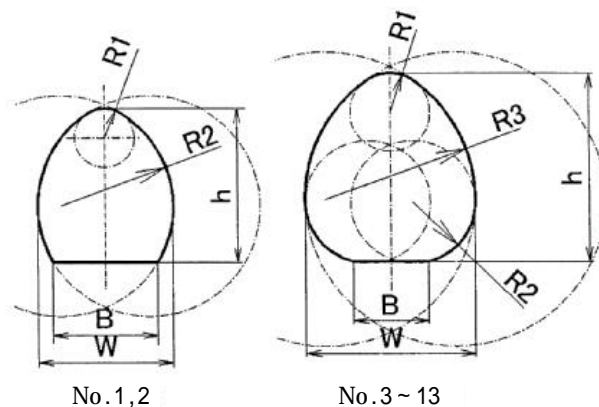


図3 CADで作図した種巻きボール

#### 3.2 熟練者が製作したボールの特徴

図4は、描画した各ボールの図心を一致させて重ね描  
 きしたものである。種巻き質量の増加に伴いほぼ相似的  
 に拡大している。各ボールの種巻き質量と6箇所の各部  
 寸法との関係を図5に示す。先端部の  $R_1$  は、種巻き質  
 量に関係なくほぼ一定の傾向を示し、他の寸法は、種巻  
 き質量の増加に伴って対数的に増加する傾向を示した。

種巻き質量と各部の寸法変化の関係について回帰式を  
 求め、熟練者の経験的なボール寸法決定法を関数式とし  
 て表すことができる。図6は、種巻き質量と高さの関係  
 について求めた実験式の例である。このように、ボール  
 各部の寸法は、先端部円弧半径  $R_1$  を除いて対数曲線と  
 して測定データを近似することができる。

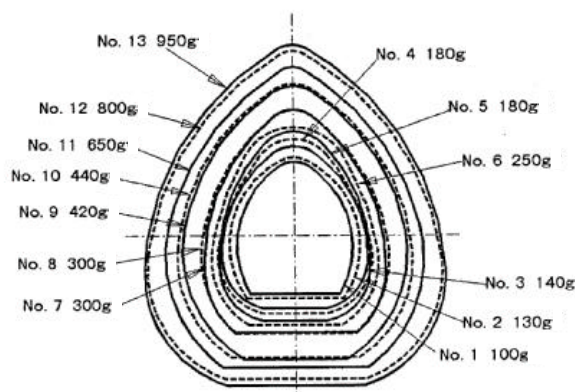


図4 熟練者が製作したボールの形状

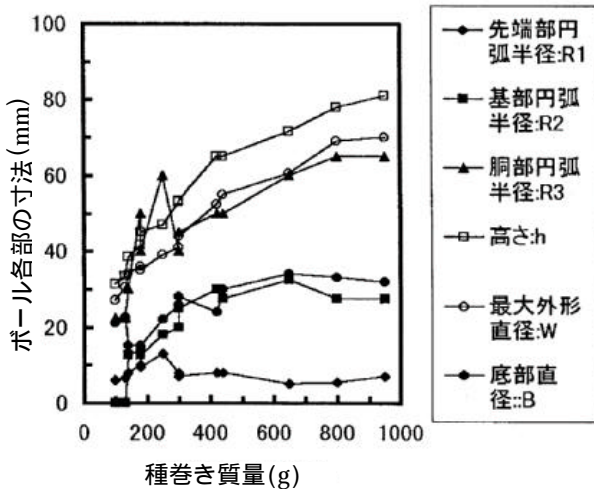


図5 種巻き重量とボール各部の寸法との関係

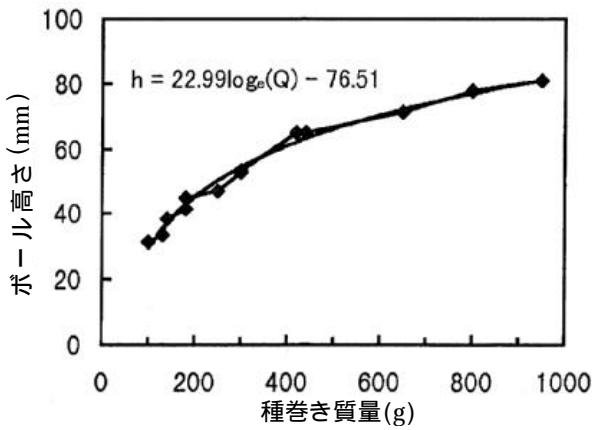


図6 ボール高さの実験式

式(1)～式(6)は、各部寸法の実験式で、Q(g)は巻き取り質量である。これらを用いることにより熟練者の経験に基づいたボールの各部寸法(単位:mm)を求め、任意の種巻き質量に対するボール形状の決定が容易になる。

高さ:h

$$h = 22.99 \log_e(Q) - 76.51 \quad (1)$$

先端部半径: R<sub>1</sub>

$$R_1 = -6 \times 10^{-4} Q + 7.23 \quad (2)$$

基部半径: R<sub>2</sub>

$$R_2 = 13.32 \log_e(Q) - 54.23 \quad (3)$$

胴部半径: R<sub>3</sub>

$$R_3 = 19.43 \log_e(Q) - 66.57 \quad (4)$$

最大径部直径: W

$$W = 19.72 \log_e(Q) - 66.40 \quad (5)$$

底部直径: B

$$B = 7.94 \log_e(Q) - 20.67 \quad (6)$$

### 3.3 ボール形状が種巻き量に及ぼす影響

種巻きボールの体積は、ボールを構成する円弧を関数で表し、各円弧の接点座標を求めてボール全体を積分することで求めることができる。また、市販の3次元CADには立体形状の体積を求める機能があるため、生産現場でのボール形状設計が容易になると考えられる。そのため、市販のCAD二種類を使用して体積計算を行い数値計算結果との比較を行った。その結果、一種は数値計算結果と非常によく一致したが、他の一種は約3%小さい結果を示し、計算精度の点で市販CADの選択に注意する必要があることがわかった。

図7に巻き取り質量Q(g)とボール体積V(cm<sup>3</sup>)との関係を示す。この結果から、両者の間には実験式として式(7)の関係を得た。

$$Q = 4.4756V + 45 \quad (7)$$

熟練者が経験的に得ているこの関係を満たすように、卵形ボールの各部寸法を決めることにより熟練技術の継承が可能になると考えられる。

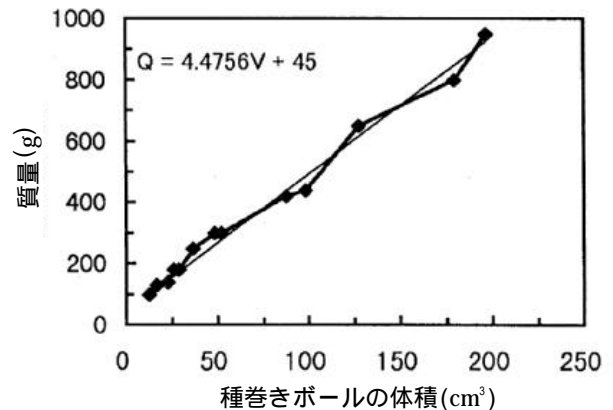


図7 種巻き質量とボール体積の関係

## 4. 種巻きボールの設計方法と設計例

現在も生産現場で使用しているボールは、長年の経験と実績により最適な形状が形作られて来たものと考えられる。その特徴を明らかにすることにより、熟練者の経験と知恵を引き継ぎ、簡便にボールの形状設計を行うことが可能になる。図8にボール設計方法の流れを示す。

図9はこの流れに従って、1450g用のボール形状を設計した例である。この量を巻き取るために必要なボール体積として実験式(7)から313.6cm<sup>3</sup>が得られる。これに対し、提案した方法では、実験式から各部寸法を求め若干の修正を行うことにより、図9に示すような体積312.1cm<sup>3</sup>のボールを設計することが可能である。

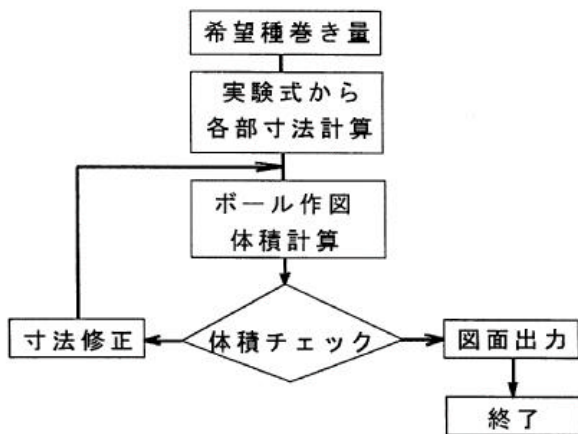


図8 種巻きボール設計方法フロー

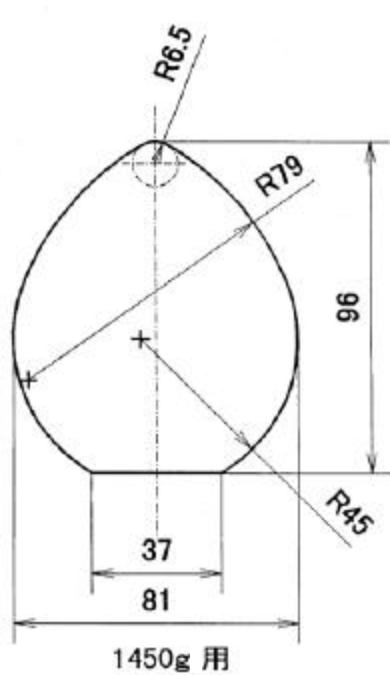


図9 種巻きボールの設計例

## 5. ま と め

本報告では、熟練者が経験に基づき設計しているガラスブロー成形用種巻きボールについて、その特徴を解析し、考察した結果、以下の知見を得た。

- (1) 熟練者の製作したボール形状を測定し、CADにより描画、検討した結果、それらは2または3本の円弧を滑らかにつないだ外形形状で表現できる。
- (2) 3つの円弧からなるボールは、高さ、先端部円弧半径、胴部円弧半径、基部円弧半径、最大外径部直径、底部直径の6箇所の寸法で定義することができる。また、種巻き質量とこれら6箇所の寸法との関係を実験式として得ることができた。
- (3) ボール外形を構成する円弧は、円の関数として表現

できる。各円弧の接点の座標値を求めてボール体積を計算した結果、種巻き質量はボール体積に比例する関係が見いだされた。

- (4) 必要とする種巻き質量から、実験式によりボール各部寸法を求め、さらに、体積を比較して若干の寸法修正を加えることで簡便にボール形状を設計する方法を提案した。

今後の課題として、ボール形状設計のプログラムを開発して現場に提供すると共に、さらに現場技術データの蓄積を行い実用化を図っていきたい。

## 参 考 文 献

- 1) 岡本硝子(株)：種取りロボットシステムマニュアル(1995)。
- 2) 野口武比古：ロボットによる成形の実施例、(社)日本硝子製品工業会、ガラス製造の現場技術、3、399-416(1993)。
- 3) 久慈俊夫、他：都立工技センター研究報告、26、5-8(1997)。
- 4) 久慈俊夫他：都立工技センター研究報告、27、61-64(1998)。
- 5) 久慈俊夫他：機械学会第75期通常総会講演論文集( )、35-36(1998)。
- 6) 久慈俊夫他：都立産技研研究報告、1、75-78(1998)。
- 7) 久慈俊夫、朝比奈奎一他：日本設計工学会平11春季研究発表講演会論文集、7-8(1999)。
- 8) 久慈俊夫、松丸清司：第17回日本ロボット学会学術講演会予稿集、Vol.1、57-58(1999)。

(原稿受付 平成11年8月9日)