

論文

熟練者の経験則を組み込んだガラス種巻きボールの自動設計

久慈俊夫*¹⁾ 松丸清司*²⁾

Computer aided design of gathering-ball shape in glass blowing process

Toshio KUJI and Seiji MATSUMARU

This report describes the development of the automatic design program of a gathering-ball in the glass blowing process. In this process, the skilled workers have been performing the gathering glass operation using a gathering-ball. The design method of a gathering-ball by the skilled workers is shown as 6 empirical equations. DesignCAD 2D/3D Ver.10.1J is used for the automatic design of a gathering-ball, and the program is designed with the BasicCAD language and the macro command. The target weight of gathering glass is input to the developed program, the 6 dimensions of gathering-ball shape are calculated using empirical equations, then the shape of ball is automatically drawn on CRT. As a result of the automatic design, it is possible to obtain the production drawing of the gathering-ball by non-skilled worker.

Keywords Glass, Blow, Glass blowing, Gathering, Skilled work, CAD, Automation, Robot, Glassware, Basic CAD, Macro

1. はじめに

ガラス種巻き作業は、竿の先端に取り付けた耐火粘土製のボールで、溶解炉からガラスを定量巻き取る作業であり、複雑な動作と高度な熟練を要し、高熱を伴う危険作業である。また、熟練者の高齢化が顕著であり、技能継承が課題となっている。この作業は、製造現場における口伝えと経験の積み重ねにより継承されてきたため、良好な種巻きを行うための作業者の動作条件が解析された例は見られず、自動化や後継者育成の障害となっている。種巻き作業の自動化実施例は、プレス成形ガラス製造工程のロボット化¹⁾、ハンドブロー製造工程のロボット化²⁾、ブロー成形工程のロボット導入と実用稼働³⁾が見られる。しかし、これらの例は、従来の経験を基にした実用化例であり、種巻き作業条件の解析までには至っていない。

そのため、筆者らは、製造現場における熟練作業者の動作解析⁴⁾、種巻き模擬装置の試作と種巻き条件解析⁵⁾、種巻き作業解析に必要な10項目の解析条件の提案⁶⁾、熟練者の製作したボール形状の解析⁷⁾⁹⁾、ボール上昇速度

の影響解析⁸⁾を行ってきた。

本研究では、熟練者の経験で作成されている種巻きボール形状を解析し、その結果明らかになった熟練者のボール設計経験則を、3次元CADへ組み込んだ。開発したマクロプログラムは、所望種巻き質量を入力すると、その種巻きボールの形状設計を自動的に行うことができる。

2. ほうけい酸ガラス製品のブロー成形工程

Fig. 1は、溶解炉と自動ブロー成形機で構成する成形

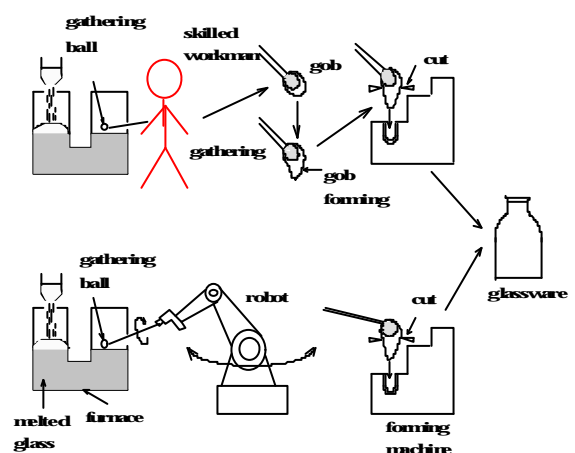


Fig.1 Glass Blowing Process.

*¹⁾製品科学技術グループ, *²⁾三和特殊硝子(株)

工程の概要である。多品種少量生産のため、種巻き作業を経て成形機へ溶融ガラスを供給する生産形態である。

ほうけい酸ガラス製品は、耐熱性、耐熱衝撃性、少アルカリ溶出という特徴を有し、ガラス溶解炉を保有する中小企業で生産されている。

成形品の品質確保には、種巻き作業の良否が重要なポイントである。作業の良否判断項目は、次の2点である。

巻き取った溶融ガラス量が定量であること。

巻き取ったガラス塊(ゴブ:gob)をブロー成形に必要な初期形状に形成すること。

また、溶解炉内でのガラス種巻き作業は、次の手順で行う。

竿の角度を保ちつつガラス溶融面にボールを接触させる。

ボールを沈める。

回転速度を変化させながら巻き取る。

ボールを必要回数回転する。

竿を操ってボールを液中から上昇させる。

こうした種巻き作業を制御するための10項目の作業条件のうち、ボールの形状と大きさは、熟練作業者の経験により決定している。

3. 熟練者の種巻きボール形状の解析

経験を基にした現状のボール設計方法は、ボール各部の寸法設計根拠の曖昧さ、製作図の未整備など形状の再現性に欠けており、自動化の障害となっている。そのため、種巻き作業条件項目の一つであるボール形状の解析を行い、自動化のための条件を整備する必要がある。

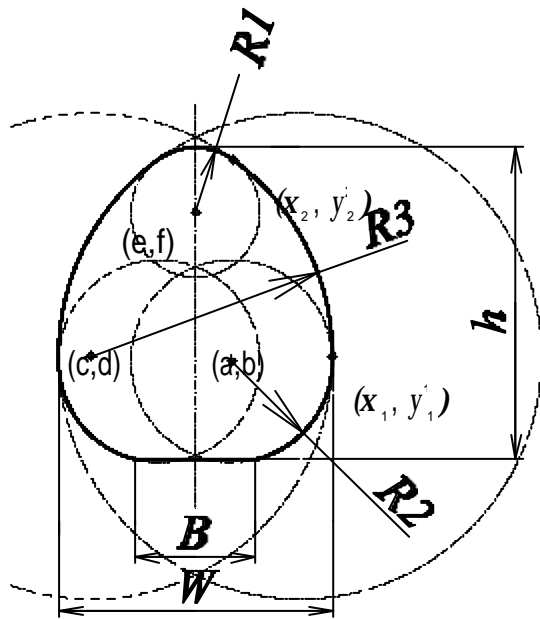


Fig.2 Shape of gathering ball made by skilled workman.

熟練者の製作したボール形状を解析した結果、Fig.2に示すように、熟練者のボール形状は、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)、ボール高さ(h)、最大外形直径(W)、底部直径(B)の6箇所の寸法によって決定される。これらの寸法(h, R_1, R_2, R_3, W, B)とガラスの種巻き質量 $Q(g)$ との関係は、いずれも実験式によって表すことができる。⁹⁾これらの実験式を用いて、熟練者の経験則に基づいたボール形状の設計を行うことが可能となる。

さらに、ボールの体積 $V(\text{cm}^3)$ と種巻き質量 $Q(g)$ の間には、式[1]に示す熟練者の経験則がある¹⁰⁾ことを見出している。

$$Q=4.476V+45 \quad [1]$$

4. BasicCAD言語とマクロコマンドによる形状設計

4.1 形状設計手順

実験式によって決定した寸法で設計したボールの体積を求め、式[1]の結果と等しくなるように寸法修正を加えることで、熟練者が設計したボールにさらに近似した形状を得ることができる。

ボール体積(V)は、式[2]~[5]に示すように、ボール断面の円弧で囲まれる部分毎の回転体の体積(V_1, V_2, V_3)を求め、その和として求めることができる。

ただし、(a, b)、(c, d)、(e, f)は各円弧の中心座標、(x_1, y_1)は胴部円弧と底部円弧の接点座標、(x_2, y_2)は先端部円弧と胴部円弧の接点座標である。各接点や交点の座標は、円弧と円弧の方程式の解として求めることができる。

$$V=V_1+V_2+V_3 \quad [2]$$

$$V_1=\pi \int_{y_2}^h [R_1^2 - \{y - (h - R_1)\}^2] dy \quad [3]$$

$$V_2=\pi \int_0^{y_1} \{a + \sqrt{R_2^2 - (y - b)^2}\}^2 dy \quad [4]$$

$$V_3=\pi \int_{y_1}^{y_2} \{c + \sqrt{R_3^2 - (y - d)^2}\}^2 dy \quad [5]$$

また、ボール体積は、3次元CADの計算機能を用い、ボール断面をスイープして回転体を生成し求めても良い。

開発したプログラムにより、所望種巻き量の入力のみで種巻きボールの形状設計、体積計算、寸法修正を行うことが可能である。プログラムは、BasicCAD言語とマ

クロコマンドで記述しており、Fig. 3 にプログラムの処理フローを示す。

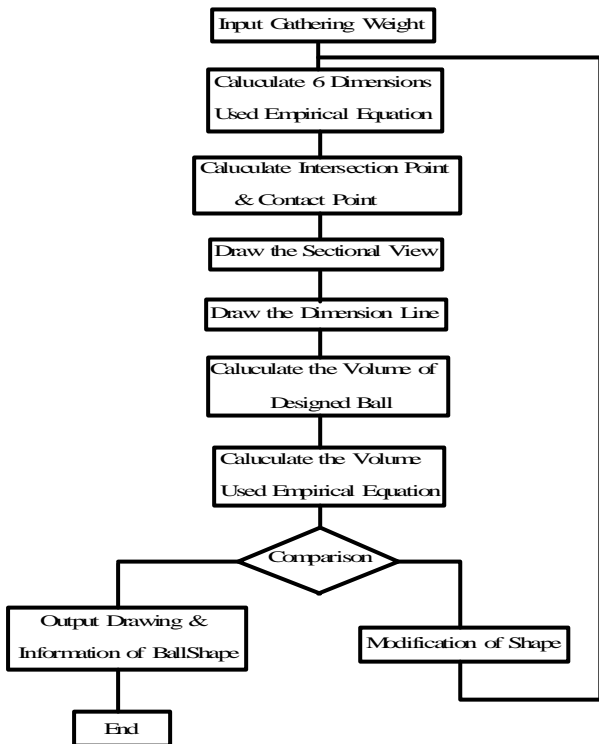


Fig.3 Gathering ball design algorithm.

4.2 BasicCAD言語による記述

BasicCAD言語は、カスタム化に対応したBasic言語の命令文と図形制御のシステム関数を持ち、CADのマクロコマンドをプログラム内に記述することができる。

ボールの胴部円弧は、次のように記述することで描画することができる。この記述では、円弧の始点、終点、中心の各座標値は、キーボード入力で与えている。

```

INPUT "Center Point of Arc",c,d
INPUT "Start & End Point of Arc",x2,y2,x1,y1
>ARC4
{
<Linestyle 0,,0.8
<PointXYZ [c,d],0
<PointXYZ [x2,y2],0
<PointXYZ [x1,y1],0
<Type 0
}
>FitToWindow
END
  
```

4.3 ボール形状設計の実行結果

Fig. 4 は、自動設計したボールを複数重ね描きしたもので、熟練者の設計したボールに近似し、再現性は良好である。

本プログラムは、ボール断面図とともに、ボール形状を定義する6箇所の寸法と、次の情報を計算し、出力する機能を有する。

- 設計したボールの体積計算結果
- 熟練者の経験則を表す式[1]の体積計算結果
- 各円弧の始点、終点、中心座標

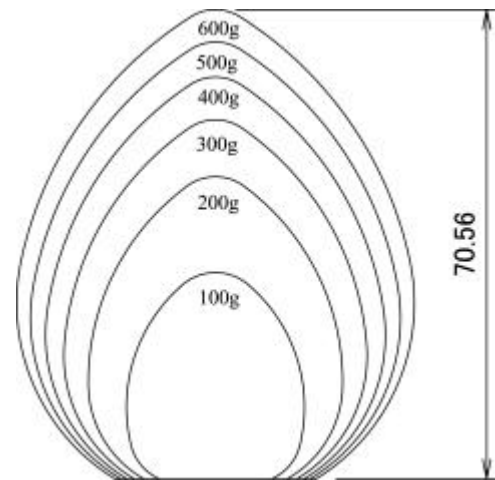


Fig.4 Shape of gathering ball with macro program.

これらの情報は、機械加工によるボール加工データとなり、加工の能率化とボール形状の再現性を確保することができる。

また、本プログラムは、2種類の形状寸法修正機能を有している。第一は、Fig. 5 に示すように、得られた寸法に拡大・縮小率を乗じて、相似形に修正する方法である。第二は、Fig. 6 に示すように、6箇所の寸法値を個々に修正する方法である。

これらの機能は、次の3点の効果を生じる。

式[1]に示す経験則の関係を満足するための寸法修正を容易に行える。

熟練者の経験により形状の微調整を行える。

新たなボール形状の設計・試行が容易になる。

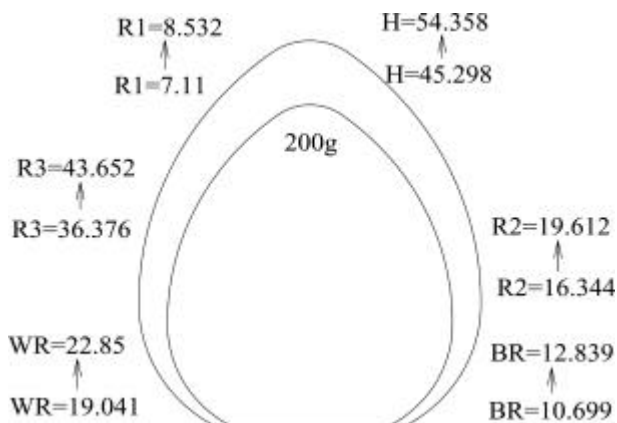


Fig.5 Similar modification of ball shape.

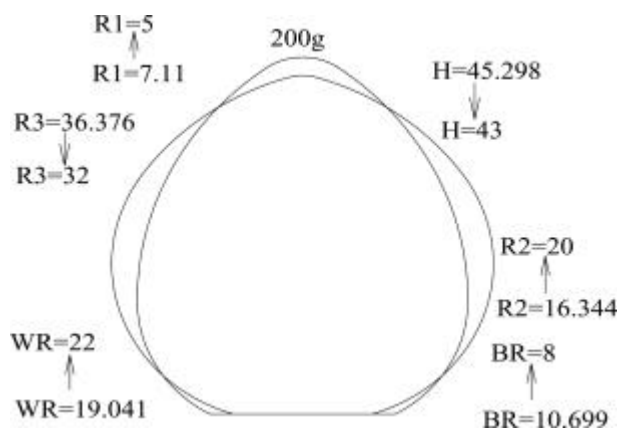


Fig.6 Modification by changing each dimensions of ball.

5. おわりに

ブロー成形ガラス製品製造工程における種巻き作業には、10項目の作業条件がある。本報告は、そのうちのボールの形状とサイズについて解析し、熟練者の経験則を組み込んだボール形状設計用のCADマクロプログラムを開発した。

使用したCADは、DesignCAD 2D/3D Ver.10.1Jである。

プログラムは、BasicCAD言語とマクロコマンドで記述した。

開発した種巻きボール自動設計CADは、以下に示す機能と特徴を有している。

熟練者のボール設計経験則を組み込んでいる。

種巻き質量のみの入力で形状設計が可能である。

ボール体積を計算し、経験則との比較修正が容易である。

非熟練者が容易に操作しボール設計が可能である。

ボール製作に必要な図面と情報を出力する。

形状を相似に拡大・縮小する修正機能を有する。

ボールを定義する6箇所の寸法を個々に修正する機能を有する。

本研究は、従来再現性に欠けていた種巻きボール形状設計方法を改善することができ、種巻き作業の自動化条件の確立と熟練技術の継承に有効である。

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, ガラス製造の現場技術 3,399 - 416, (社)日本硝子製品工業会(1993).
 - 3) 久慈俊夫, 松丸清司: 都立工業技術センター研究報告, 26, 5 - 8 (1997).
 - 4) 久慈俊夫, 松丸清司: 都立工業技術センター研究報告, 27, 61 - 64 (1998).
 - 5) 久慈俊夫, 松丸清司: 機械学会第75期通常総会講演論文集(), 35 - 36 (1998).
 - 6) 久慈俊夫, 松丸清司: 都立産業技術研究所研究報告, 1号, 74 - 78 (1998).
 - 7) 久慈俊夫, 松丸清司, 朝比奈奎一: 日本設計工学会平成11年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).
 - 9) 久慈俊夫, 松丸清司: 都立産業技術研究所研究報告, 2号, 85 - 88 (1999).
 - 10) 久慈俊夫, 松丸清司, 朝比奈奎一: 日本設計工学会平成12年春季研究発表講演会論文集, 5 - 8 (2000).
- (原稿受付 平成12年7月14日)