

福岡大学工学集報

第 111・112号

令和 6 年 3 月

レウオンさんの気まぐれ起き上がりこぼしの内部構造に関する一考察

..... 松隈 洋介 (1)

レウオンさんの気まぐれ起き上がりこぼしの内部構造に関する一考察*

松隈洋介*

A study on the internal structure of Mr. Komerewon's Roly-poly toy

Yosuke MATSUKUMA

ABSTRACT

The internal structure of Mr. Komerewon's Roly-poly toy was estimated using density, mass and volume. As a result, it was predicted that the Ohajiki was located near the bottom of Roly-poly toy and the tapioca straw with a length of 10 mm was located near the top of the tower. The predicted structure was compared with the internal visualization results using a microfocus X-ray CT device. They were almost identical except for the location of the tapioca straw. It was concluded a simple method of estimating the internal structure using density, mass, and volume was also found to be effective.

1. 緒言

小学校4年生時に『元素カルタ』^[1]を考案して商品化し、翌年『漢字 mission』^[2]で「スタートアップ Jr. アワード 2020」大賞を受賞したレウオン(李禮元)^[3]さん。現在は自ら立ち上げた株式会社 polarewon のCEOとして活躍中の13才である。そのレウオンさんが手作りで作った「気まぐれ起き上がりこぼし」を、福岡大学経済学部の阿比留正弘教授より紹介してもらい興味を持った。Fig. 1に起き上がりこぼしの外観を示す。



Fig. 1 レウオンさんの起き上がりこぼし

この起き上がりこぼしは、小学5年生の時レウオンさんが手作りで作ったもので、通常の起き上がりこぼしと異なり起き上がったり、起き上がらなかったりする。さらに、レウオンさんのお母様からその製作過程をお聞きした。「最初はおもりにビー玉を使ったが、うまく起き

上がらずにおはじきに変えた。おはじきよりもより重い磁石の方がうまく起き上がったが、コスト面を考えておはじきにした。さらによく起き上がるように、頭部を空洞にすることを思いついた。最初は空洞を作るのに苦労したが、タピオカストローを使うとうまく空洞が作れることに気づいた。」とのお話を伺って、「まさに工学、ものづくり」と思い、この起き上がりこぼしに大変興味を持った。そこで本研究は、この起き上がりこぼしの内部構造を、密度、体積、質量などの測定から推測し、その妥当性をX線CTスキャン装置で確認するものである。

2. 測定方法

質量の測定には、METTLER TOLEDO社製の精密電子天秤XS4002S^[4]を用いた。この電子天秤は100分の1グラムの精度で質量を測定することができる。また、体積と形状の測定には、SHINING 3D社製の3DスキャナーEinScan-SE^[5]を用いた。この3Dスキャナーは可視光を使い、物体を回転させながらその形状をスキャンすることで、0.1 mm以下の解像度で形状を数値化するとともに、その体積や表面積を測定することができる。

3. 紙粘土の密度の測定

乾燥時の紙粘土の密度 p_n を知るために、XS4002Sで質量 m_n を、EinScan-SEで体積 V_n を測定した。その際、紙粘土を硬く固めた場合と、ふわっと丸めた場合に密度

* 福岡大学工学部化学システム工学科 〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈8-19-1
TEL: 092-871-6631 (6431) E-mail: ymatsukuma@fukuoka-u.ac.jp

にどのような差が生じるかを検討した。紙粘土の形状を Fig. 2 に示す。硬く固めた紙粘土は直方体、丸めた紙粘土は球に近い形状をしている。



Fig. 2 硬く固めた紙粘土 (左) とふわっと丸めた紙粘土 (右)

測定結果を Table 1 に示す。密度 p_n は質量 m_n を体積で割る V_n 、すなわち $p_n = m_n/V_n$ より求めた。その結果、硬く固めた場合の方が、ふわっと丸めた場合よりも密度が高くなるが、その差はそれほど大きくないことがわかった。

Table 1 紙粘土の質量、体積および密度

	質量 [g]	体積 [mm ³]	密度 [g/mm ³]
○ ふわっと丸めた	0.46	3609.6	1.27×10^{-4}
□ 硬く固めた	0.54	3965.2	1.36×10^{-4}

4. おはじきの質量および体積の測定

おはじきは起き上がりこぼし 1 つにつき 1 個が使われていると考え、密度ではなく、その質量 m_o を 20 個のおはじきを選んで測定した。測定結果を Table 2 に示す。20 個のおはじきの質量を測定した結果、平均が $m_o = 2.09$ g、標準偏差が 0.12 g であった。

また、体積を紙粘土と同様に EinScan-SE で計測しようとしたが、ガラス製のおはじきは光を透過するため、うまく形状が測定できなかった。おはじきにマジックを塗ったり、塗料を吹き付けたりしたがうまく行かなかったため、メスシリンダーに水を入れ、個数 $n = 20$ のおはじきを投入したときの水の体積の増加量から、おはじき 1 つの体積を算出した。20 個のおはじきを入れると、体積 Q は $Q = 18 \text{ mL} = 18000 \text{ mm}^3$ 増加したため、おはじき 1 つの体積 V_o は、

$$V_o = \frac{Q}{n} = 18000 \div 20 = 900 \text{ mm}^3 \quad (1)$$

と算出された。

Table 2 おはじきの質量測定結果

測定番号	質量 [g]
1	2.17
2	2.18
3	2.16
4	2.16
5	2.20
6	2.14
7	2.16
8	2.04
9	2.15
10	2.05
11	1.94
12	1.89
13	2.07
14	1.97
15	2.00
16	2.17
17	1.97
18	2.40
19	1.96
20	2.07

平均 [g]	2.09
標準偏差 [g]	0.119423
サンプル数	20
標準誤差	0.026704

5. 気まぐれ起き上がりこぼしの内部構造の考察

これまでの測定で、内部構造の考察に必要な、密度、質量および体積のデータが得られたので、Fig. 3 に示す起き上がりこぼしの内部構造を考察する。この起き上がりこぼしの質量 m_k は 2.52 g、体積 V_k は 4938.7 mm^3 である。

まず、おもりとなるおはじきの位置について考察する。起き上がりこぼしの底部には Fig. 4 (a) に見られる溝状の細い線が見られた。これは Fig. 4 (b) に見られるおはじきの溝の形状と一致する。すなわち、起き上がりこぼしの中でおはじきは限りなく底面に近い位置に存在すると思われる。

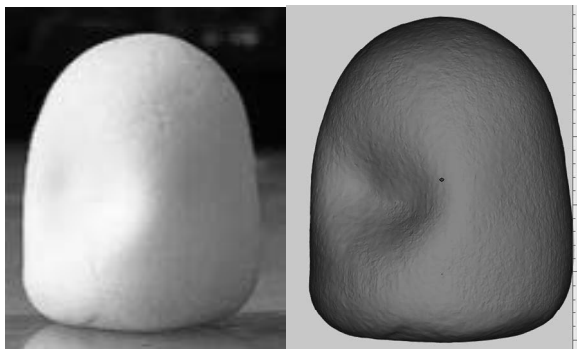


Fig. 3 考察に用いた起き上がりこぼし (左：実物、右：3次元データ)

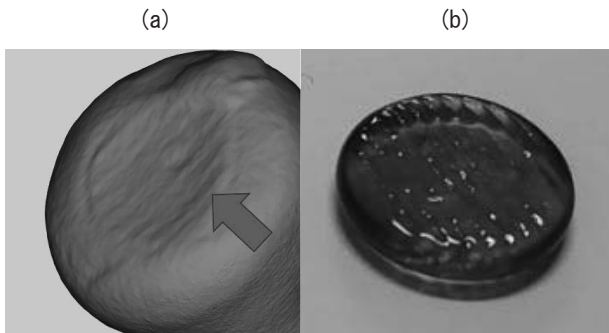


Fig. 4 起き上がりこぼしの底面とおはじきの溝

次に、質量の考察から内部に作られた空洞の大きさについて考察する。起き上がりこぼしの質量は $m_k = 2.52 \text{ g}$ 、体積は $V_k = 4938.7 \text{ mm}^3$ であるが、もし内部に空洞がなく、すべての空間がおはじきと紙粘土で埋まっていたとすると、その質量 m_v は

$$m_v = m_o + \rho_n (V_k - V_o) = 2.09 + 1.36 \times 10^{-4} \times (4938.7 - 900) = 2.64 \text{ g} \quad (2)$$

と見積もられる。ここで、紙粘土の密度は硬く固めた場合の値を用いた。しかし実際の起き上がりこぼしの重さは $m_k = 2.52 \text{ g}$ であるため、この差 $m_v - m_k = 0.12 \text{ g}$ 分が空洞であると考えられる。そこで、この差 0.12 g の紙粘土の体積 V_v を求めると、

$$V_v = \frac{m_v - m_k}{\rho_n} = 0.12 \div 1.36 \times 10^{-4} = 877.2 \text{ mm}^3 \quad (3)$$

となる。タピオカストローの内径 D は $D = 11 \text{ mm}$ であったため、ストローの長さ L は

$$L = \frac{V_v}{\pi D^2 / 4} = \frac{877.2}{3.14 \times 11^2 \div 4} = 9.2 \text{ mm} \quad (4)$$

となり、長さが 1 cm 弱のタピオカストローが埋まっていると想定される。また、起き上がりやすくするためには、なるべく頭部に近い位置が空洞であることが望ましいため、タピオカストローは頭頂部に近い位置に存在すると予想できる。

これらの結果を図示すると Fig. 5 のようになる。

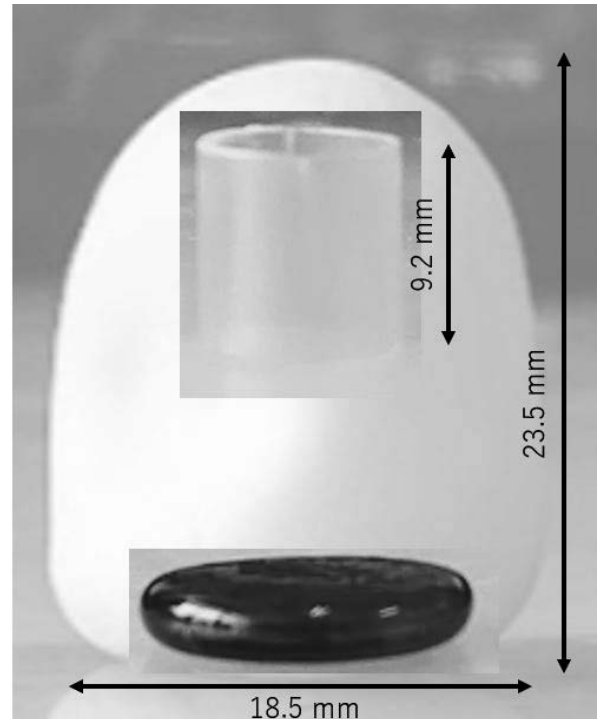


Fig. 5 気まぐれ起き上がりこぼしの内部構造予想図

6. マイクロフォーカス X 線 CT システムによる内部構造の可視化

これまで行ってきた密度、質量および体積を用いた内部構造の推測を検証するために、マイクロフォーカス X 線 CT システム (SHIMADZU SMX-90CT)^[6]を用いて非破壊で内部構造を可視化した。装置の外観を Fig. 6 に示す。



Fig. 6 マイクロフォーカス X 線 CT システム

スライドドアの中に対象物である気まぐれ起き上がりこぼしを置き、ステージを回転させながら X 線を照射する。X 線照射時には装置のランプが赤色に点灯する。その下には緊急停止ボタンがある。Fig. 7(a), (b) に可視化結果を示す。Fig. 7(a) は中心のスライス面で、Fig. 7(b) は Fig. 3 でみられるくぼみ付近のスライス面での可視化結果である。

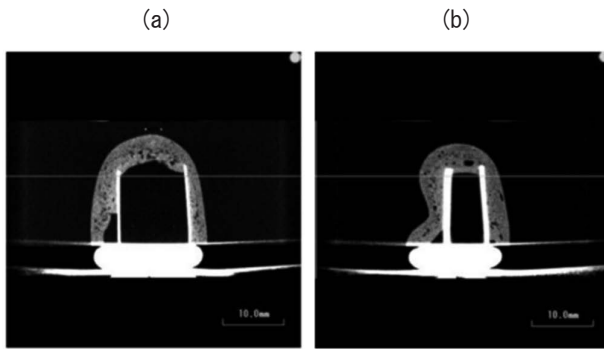


Fig. 7 可視化の結果

図中で灰色の部分が紙粘土、底部にある平板状の白いものがおはじき、縦の白い2本の棒がタピオカストローである。おはじきは前章の推測通り起き上がりこぼしの底部に存在した。また、タピオカストローの内側が黒くなっていることから、レウオンさんの狙いどおりにタピオカストローを入れることで内部に空洞ができていることがわかった。さらに、タピオカストローの長さは約 10 mm であり、密度、質量および体積を用いた推測とほぼ一致した。しかし、タピオカストローの位置は頭頂部付近ではなく、おはじきの直上にあつた。レウオンさんによると、おはじきとストローを離して紙粘土に埋め込むことが難しかったためこの位置になったとのこと、作業性を考慮した結果であることがわかった。

7. 結言

レウオンさんが手作りで作った起き上がりこぼしの内部構造を、密度、質量および体積を用いて推測した。その結果、おはじきは底部に近い位置にあり、長さ 10 mm 弱のタピオカストローが頭頂部に近い位置に存在する構造と予想された。この構造をマイクロフォーカス X 線 CT 装置を用いて内部を可視化した結果と比較したところ、タピオカストローの位置以外はほぼ一致した。このことから、密度、質量および体積を用いた簡易的な内部構造の推測手法も有効であることがわかった。最後に、今回のレウオンさんの気まぐれ起き上がりこぼしの考察を通じて、力学・材料・材質・コスト・作業性など、工学やものづくりで必要な考え方がほぼ全てこの中に詰まっており、素晴らしい起きあがりこぼしだということを、改めて実感した。

参考文献

- [1] <https://polarewon.base.shop/items/30555039>
- [2] <https://www.polarewon.com/%E8%A4%87%E8%A3%BD-%E5%85%83%E7%B4%A0%E3%82%AB%E3%83%AB%E3%82%BF>
- [3] <https://www.facebook.com/komerewon>
- [4] https://www.mt.com/jp/ja/home/phased_out_products/Laboratory_Weighing_Solutions/Precision_Balances/Excellence/XS_Precision_Balances/XS_4002_S.html
- [5] https://afinia.jp/products/einscan-se-sp?variant=31944481177731¤cy=JPY&utm_medium=product_sync&utm_source=google&utm_content=sag_organic&utm_campaign=sag_organic
- [6] <https://www.shimadzu.co.jp/news/press/n00kbc0000055if.html>

謝辞

本研究は、レウオンさんと李 禮元氏より起き上がりこぼしなどの提供を受けて行われた。ここに記して謝意をあらわす。また、李 禮元氏と出会う機会を与えてくださった福岡大学経済学部 故阿比留正弘教授に深謝するとともにご冥福を心からお祈りいたします。

Nomenclature

D	:inner diameter	mm
L	:length	mm
m	:mass	g
Q	:volume of water	mm ³
V	:volume	mm ³

Greek letters

ρ	:density	g/mm ³
π	:Pi	—

Subscripts

k	:気まぐれ起き上がりこぼし
n	:紙粘土
o	:おはじき
v	:空洞

福岡大学論叢寄稿取扱要領

〔制定 昭和60年 6月19日〕
〔改正 令和3年 4月1日〕

- 1 福岡大学研究推進部規程第3条第1号に基づき、各分野における研究の成果等を発表するため、各学部は論文集（以下「論叢」という。）を発行することができる。
- 2 論叢の編集は、各学部に設置する編集委員会が行う。
- 3 各学部の編集委員会の委員長は、研究推進部委員とし、委員会の構成員は3人以上とする。
- 4 論叢の各巻における原著論文及び資料（以下「論文等」という。）を発行できる総頁数の上限は、次のとおりとする。

(1) 人文論叢	3,500頁（A5判）
(2) 法学論叢	1,500頁（A5判）
(3) 経済学論叢	500頁（A5判）
(4) 商学論叢	300頁（A5判）
(5) 理学集報	200頁（A4判）
(6) 工学集報	600頁（A4判）
(7) 医学紀要	350頁（A4判）
(8) 薬学集報	200頁（A4判）
(9) スポーツ科学研究	150頁（A4判）
- 5 論叢の発行は、研究推進部長が行う。
- 6 論叢の発行に関する事項は、研究推進部委員会において協議する。
- 7 論叢に論文等を寄稿することができる者は、本学の教育職員（特任教育職員、病院客員教授及び病院臨床教授・准教授を含む。以下同じ。）とする。ただし、連名で寄稿し、本学の教育職員が寄稿筆頭者となる場合は、その連名者については制限をしない。
- 8 前項本文の規定にかかわらず、次の各号のいずれかに該当する場合は、寄稿することができる。なお、第4号から第7号までに該当する場合は、当該学部教授会の承認が必要である。
 - (1) 本学の専任職員（教育職員を除く。）、非常勤講師、臨床研修医、大学院学生・研究生又は外国人研究員が寄稿筆頭者となり、本学の教育職員と連名で寄稿する場合
 - (2) 本学の非常勤講師又は外国人研究員が単独で寄稿する場合
 - (3) 本学の大学院学生・研究生が博士学位論文を単独で寄稿する場合
 - (4) 本学の教育職員であった者が、在職中に行った研究の成果を退職後6月以内に寄稿する場合
 - (5) 学外の者に特に原稿を依頼する場合
 - (6) 本学の名誉教授が寄稿する場合
 - (7) 前各号に該当しない者が編集委員会が推薦する場合
- 9 前2項により本学の教育職員以外の者が寄稿する場合は、その所属・職氏名を論文等の巻頭に記載しなければならない。
- 10 掲載された論文等の著作権は、著者に属し、その内容についての責任は著者が負うものとする。
- 11 掲載された論文等は、原則として電子化しインターネット等を介し公開する。
- 12 論文等一編の原稿枚数は、原則として、A4サイズ20枚（30,000字程度、図表、写真及び余白等を含む。）以内でなければならない。
- 13 この要領は、令和3年4月1日から実施する。

Guidelines for Submissions to Fukuoka University Reviews

Guidelines established: June 19, 1985

Revised on April 1, 2021

1. According to the Fukuoka University Central Research Institute's regulations, Article 3, Section 1, in order to publish research results in any field, departments may issue publications called "Reviews".
2. Each department is to select faculty members to carry out editing responsibilities.
3. The Chief Editor from each department should be a member of the Central Research Institute Committee. Each department should form an editing committee, comprised of three or more members.
4. Every issue of the Reviews should contain original articles, notes and materials. The maximum number of pages for each issue should be as follows:

(1) Review of Literature & Humanities	3500 pages	(A5 paper)
(2) Review of Law	1500 pages	(A5 paper)
(3) Review of Economics	500 pages	(A5 paper)
(4) Review of Commercial Sciences	1300 pages	(A5 paper)
(5) Science Reports	200 pages	(A4 paper)
(6) Review of Technological Sciences	600 pages	(A4 paper)
(7) Medical Bulletin	350 pages	(A4 paper)
(8) Pharmaceutical Bulletin	200 pages	(A4 paper)
(9) Review of Sports and Health Science	150 pages	(A4 paper)
5. The Chief of the Central Research Institute is responsible for publication of the Reviews.
6. The Central Research Institute Committee members will discuss matters pertaining to issuing the Reviews.
7. Faculty members of this university, hereafter including specially-appointed faculty members and visiting professors of medicine, are eligible to make submissions to the Reviews. In the case of multiple contributors, provided that a faculty member of this university is the main contributor, no restrictions apply to the sub-contributors.
8. In exception to the provisions in the preceding article, any person who falls under any of the following categories may be allowed to make a submission. Persons who falls under the categories (4) to (7), need to receive approval of submission from the concerned department.
 - (1) In the case that staff members (non-faculty), part-time teachers, clinical pathology residents, graduate students, post-graduate researchers or foreign researchers of this university are the main contributor along with one or more faculty members as sub-contributors.
 - (2) In the case that part-time teachers or foreign researchers of this university make individual submissions.
 - (3) In the case that graduate students and post-graduate researchers of this university individually submit doctoral dissertations.
 - (4) In the case that retired faculty members of this university submit for publication the results of research conducted while still a staff member, provided that submissions are received within six months after retirement.
 - (5) In the special case that outside contributors are requested to make submissions.
 - (6) In the case that emeritus professors make submissions.
 - (7) In the case that persons who fall under no category above but are recommended by the editing committee of the relevant department.
9. In such cases as 7. and 8. above, non-faculty members should mention their affiliation, position and name on the first page.
10. Copyrights belong to the authors. The authors bear responsibility for their contents.
11. Generally, publications will be made available in digital format for Internet access.
12. The maximum number of pages for each submission is 20 pages of A4 size including all charts, figures and photos. One page should have no more than 26 lines of 70 letters each.
13. These guidelines come into effect as of April 1, 2021.

前号(第109・110号)目次

防災クロスロードの回答結果にみられるコロナ禍中での震災意識の風化と命の大切さの再認識
.....重松 幹二・戸高 昌俊・正本 博士

バイオエタノール生産における酵母の発酵に必要な栄養素供給能を有する食品類の探索
.....重松 幹二・戸高 昌俊

構造材としての竹の力学特性に関する基礎的研究－竹の集成材と平板竹を接着した木梁の曲げ試験－
.....高山 峯夫・森田 慶子・大野 敦弘

福岡大学工学部研究成果一覧(令和3年度)

福岡大学工学集報 第111・112号

令和6年3月14日印刷 編 集 福 岡 大 学
令和6年3月21日発行 工 学 集 報 編 集 委 員 会
(非売品)

編集委員長 山 辺 純一郎
(福岡大学研究推進部委員)

(無断転載を禁ず)

発 行 人 鹿 志 毛 信 広
(福岡大学研究推進部長)

発 行 所 福 岡 大 学 研 究 推 進 部
福岡市城南区七隈八丁目19番1号

印 刷 所 ア オ ヤ ギ 株 式 会 社
福岡市中央区渡辺通2丁目9-31

FUKUOKA UNIVERSITY REVIEW
OF
TECHNOLOGICAL SCIENCES

No.111 · 112 March 2024

A study on the internal structure of Mr. Komerewon's Roly-poly toy

.....Yosuke MATSUKUMA (1)