

福井工業高等専門学校

研 究 紀 要

自然科学・工学

第 56 号 (1)

RESEARCH REPORTS OF NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY (KOSEN),
FUKUI COLLEGE
NATURAL SCIENCE AND ENGINEERING NO.56(1)

JULY 2022

目 次

洗濯のりで作るスーパーボールの跳躍力に関する研究……………	<u>古 谷 昌 大</u>
	武 田 輝 良
	東 凜太郎
	阿 萬 尚 海
	岩 崎 大 空
	進 士 静 璃
	前 田 透 海
	八 木 仁 志
	山 中 颯 人
	門 屋 飛 央 …… 1

* 下線は投稿者

CONTENTS

A Study on Resiliency of Super Balls Made from Washing Paste	<u>Masahiro FURUTANI</u> Kira TAKEDA Rintaro AZUMA Naomi AMAN Daia IWASAKI Shizuri SHINJI Toa MAEDA Hitoshi YAGI Hayato YAMANAKA Takateru KADOYA 1
---	---	---------

*The name of an underline means a contributor.

洗濯のりで作るスーパーボールの跳躍力に関する研究

古谷 昌大*¹ 武田 輝良** 東 凜太郎*** 阿萬 尚海* 岩崎 大空**** 進士 静璃****
前田 透海*** 八木 仁志** 山中 颯人* 門屋 飛央****

A Study on Resiliency of Super Balls Made from Washing Paste

Masahiro FURUTANI, Kira TAKEDA, Rintaro AZUMA, Naomi AMAN, Daia IWASAKI, Shizuri SHINJI,
Toa MAEDA, Hitoshi YAGI, Hayato YAMANAKA and Takateru KADOYA

We made super balls by using a washing paste, sodium chloride and paints as starting materials that were all commercially available. To a saturated salt water was added *ca.* 10% of washing paste in which some amounts of paint was dissolved. The colored deposit was collected with a disposable wooden chopstick, followed by removing unnecessary water to obtain a colored super ball. Forty-two students tried to make super balls with the same recipe, and *ca.* 70% of the students obtained super balls. Experimental conditions such as ratio of washing paste to saturated salt water, amount of paints, temperature and drying process were examined. Each super ball was subjected to free fall test from a height of 100 cm, and the bounce height was measured. The maximum bounce height was 58 cm. Experimental results suggested that the drying process would influence the resiliency of super balls.

Keywords : washing paste, super ball, resiliency, dietary sodium chloride, drying process

1. はじめに

スーパーボールは、直径が2~5 cm くらいの良く跳ねるボール玩具であり、高分子（ポリマー）製品の一つである（注記1）。お祭の露店などで販売されていることが多く、見た目の色鮮やかさや予想以上の跳躍力などにより人気を集めている。今から50年以上も前に、アメリカ合衆国でN. H. Stingley氏により発明された。その特許の情報によれば主な成分はポリブタジエン（図1(a)）という高分子であり、硫黄を反応させて高分子鎖どうしを網目状につなぐ（このことを架橋^{かきょう}という）り。これにより、たくさんの炭素原子と硫黄原子がつながったネットワーク（図1(b)）が作られ、ボールの跳躍力の源となる。この高分子ネットワークにはケイ素化合物やカーボンブラックなどが添加されており、構成としては自動車のタイヤに近い（カーボンブラックが添加されているので、ボールの色は必然的に黒色になる）。一方、ポリブタジエンのような有機物ではなく、ケイ酸ナトリウム（ $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ ）のような無機物を使ってもスーパー

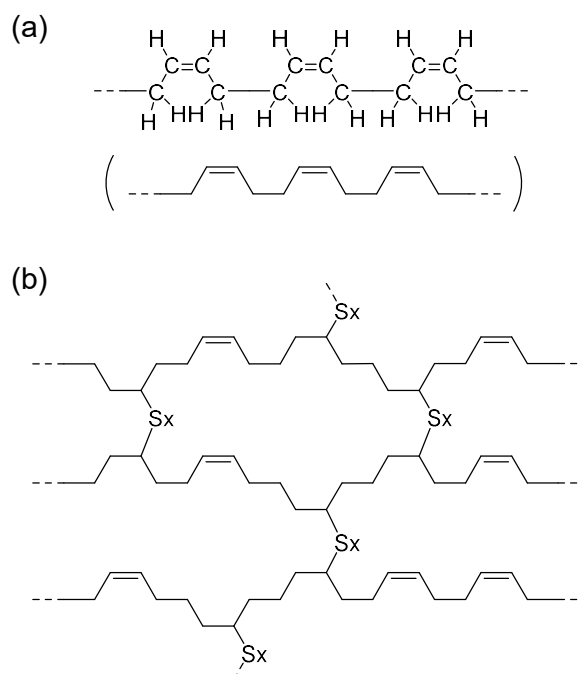


図1 (a) ポリブタジエンの化学構造（カッコ内は、炭素と水素の元素記号表記を省略し、炭素原子のつながりがわかりやすいように記したもの）、(b) 硫黄によって架橋したポリブタジエン（ $x = 1 \sim 8$ ）。

ーボールを作ることができる²⁾。この場合作られる高分子ネットワークは架橋ポリシロキサンと呼ばれるもので、ケイ酸ナトリウムの水和物（水ガラス）が反応して作られる（図2）。ポリブタジエンのものと共通しているのは、高分子鎖どうしが架橋されているという点である。

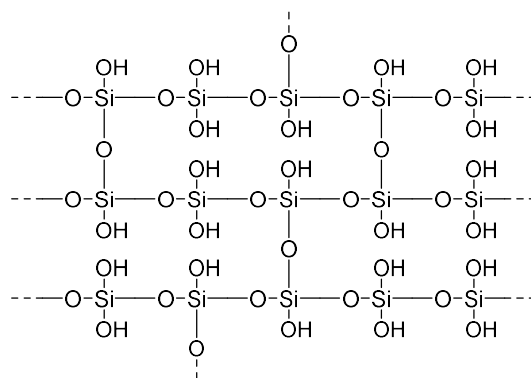


図2 ポリシロキサンの化学構造（ケイ素や酸素、酸素に結合している水素の元素記号表記は省略しない）。

ポリブタジエンの水分散液（ラテックス）や水ガラスは、ホームセンターなどで購入しようとしても難しい。家庭での自由研究などでより身近な材料でスーパーボールを作るのに、洗濯のりが利用されている³⁾。洗濯のりの主な成分はポリビニルアルコール（polyvinyl alcohol, PVA（注記2）, 図3(a)）という高分子であり、ポリブタジエンやポリシロキサンと同じように高分子鎖どうしを架橋させることができれば、跳躍力があるスーパーボールを作ることができる。なお、PVAはポリ酢酸ビニル（図3(b)）という高分子のアセチル基を加水分解させて得られる⁴⁾。この加水分解反応は完全には起こらず、洗濯のり中のPVAについても一部のアセチル基は分解されずに残っている。

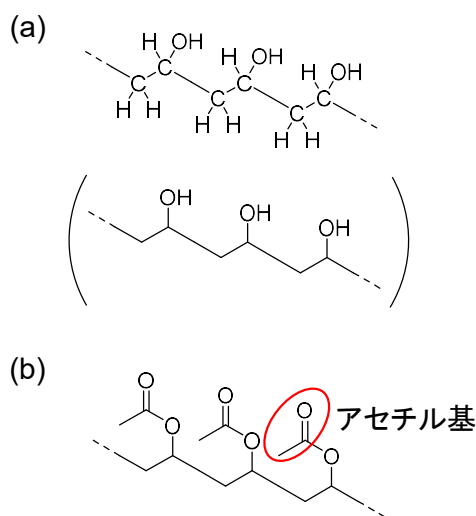


図3 (a) ポリビニルアルコール（PVA）の化学構造（カッコ内は、炭素と水素の元素記号表記を省略し、炭素原子のつながりがわかりやすいように記したもの）、(b) ポリ酢酸ビニルの化学構造。

インターネット上にもPVAの洗濯のりを用いたスーパーボールの作り方は多く掲載されているが⁵⁻⁷⁾、その他の原料としては飽和食塩水と絵の具が使われる。手順としては絵の具を洗濯のりに溶かしておき、これを飽和食塩水に加えることで、絵の具の色素成分と多少の水気を含んだPVAを不溶化（^{えんせき}塩析）させるというものである。ここで、水から大まかに分かれたPVAの高分子鎖どうしは、互いに集まって絡み合う。この絡み合い点^{かみ}が、架橋の役割を果たしていると考えられる（図4(a)）。また、PVAの化学構造に含まれるOH基（ヒドロキシ基）は、水素結合という弱い結合を作ることができる（図4(b)）。これも、PVAのスーパーボールにおける架橋の役割を担っていると考えられる。水気を含んだPVAの固まりは基本的にはやわらかい。しかし、その一部分は絡み合いや水素結合によって架橋されている。このことにより、もろくもなく変形したままにもならず、スーパーボールのように跳ねることができるようになる。

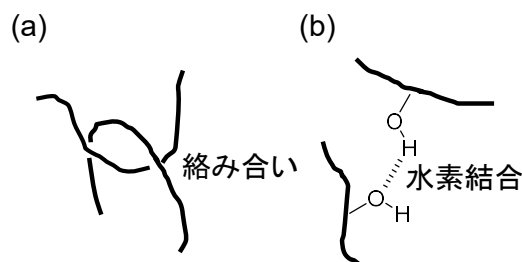


図4 (a) PVAの高分子鎖どうしの絡み合いによる架橋、(b) PVAの高分子鎖が持つOH基の水素結合による架橋。

本研究では、すごく良く跳ねるスーパーボールを作ること为目标とし、原料の量関係や温度、乾燥工程などといった様々な作製条件について、系統的に変更しながら実験を行なった。そして、どのようなことに注意すればスーパーボールの跳躍力を向上させることができるのかということについて科学的に考察した。

2. 実験

2・1 原材料

洗濯のりは、濃度が約10%のものを用いた（有限会社シルーバー化成工業所製または北国糊糧工業株式会社製）。食塩

は、株式会社日本海水製のものをを用いた。絵の具（赤色、青色、黄色、緑色、黒色）は株式会社大創産業製、K. S. C. 株式会社製、またはぺんてる株式会社製のものをを用いた。

塩化カリウム (KCl) および塩化マグネシウム 6 水和物 ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) は、富士フィルム和光純薬株式会社製のものをを用いた。

洗濯のり成分の分析のためのエタノール (99.5%) およびジメチルホルムアミドは、ナカライテスク株式会社製のものをを用いた。ポリビニルアルコール (M_w 9000~10000, ケン化度 80%) および重ジメチルスルホキシド ($DMSO-d_6$) は、シグマアルドリッチジャパン合同会社製のものをを用いた。重水 (D_2O) は、富士フィルム和光純薬株式会社製のものをを用いた。

2・2 スーパーボールの作製

インターネットサイト^{5,6)}の情報をもとに、以下のレシピ（手順①~⑦）を作成した。

<準備するもの>洗濯のり、食塩、水道水、絵の具、紙コップ (2 個)、割り箸 (1 膳)、計量カップ (2 個)、アルミホイル、キッチンペーパー (またはコーヒーフィルター)、ポリエチレン製小袋 (チャック付き, 0.08 mm 厚, 保存用)。

- ① 作業台にアルミホイルを敷き、机や床が汚れないようにする。
- ② 割り箸は、割って 2 本にしておく。
- ③ 紙コップに水 100 cc を入れ、食塩を溶かしていき、飽和食塩水 (注記 3) を作る。
- ④ 別の紙コップに洗濯のり 30 cc を入れ、割り箸の 1 本を使ってかき混ぜ、絵の具を溶かす。...A
- ⑤ 飽和食塩水に、A の紙コップの中身を入れ、もう 1 本の割り箸を使ってかき混ぜる。
- ⑥ 混合物中に固まりが生じてきたら、それを割り箸でからめ取り、キッチンペーパー上で丸めて成形する。
- ⑦ 成形したものについた水気をキッチンペーパーでよくふき取る。

作製したスーパーボールの実物写真 (一例) を、図 5 として示す。



図 5 作製したスーパーボールの実物写真 (一例)。

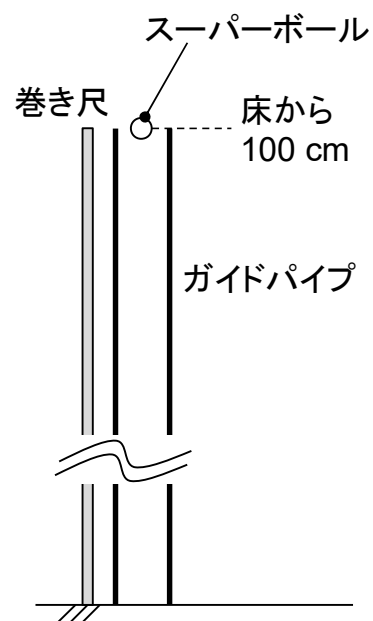


図 6 スーパーボールの跳躍力を測定するための器具配置。

2・3 跳躍力の測定

測定器具の配置について、図 6 に示す。スーパーボールは、床から 100 cm の高さから自由落下させた。跳ね返り後のボールと巻き尺の目盛を、スマートフォンのカメラで連続撮影し、ボールが最も跳ね返ったときの高さを求めた。

2・4 洗濯のり成分の分析

洗濯のりを 1.00 g だけ秤量し、これにエタノールを 20 cc 加えた。2 時間静置後、上澄み液と沈殿物をデカンテーションで分離し、沈殿物にエタノールを 20 cc 加えた。50 分間静置後、上澄み液と沈殿物をデカンテーションで分離し、沈殿物にエタノールを 20 cc 加えた。11 時間静置後、上澄み液と沈殿物をデカンテーションで分離し、沈殿物を 2 時

間真空乾燥した。

約 0.007 g の乾燥沈殿物を重ジメチルスルホキシド約 1 cc に溶解し、¹H-NMR スペクトルを測定した（核磁気共鳴装置 AVANCEIII 400 MHz, Bruker 社製）。

3. 結果および考察

3・1 再現性の確認

2・2節に記したレシピにしたがい、クラス全員（42名）が一斉にスーパーボールを作製した。ただし、手順④で絵の具は加えなかった。その結果、69%に当たる 29 名がスーパーボールを作製できた。スーパーボールの直径の分布は、

2 cm 未満	...0 人
2 cm 以上 3 cm 未満	...23 人
3 cm 以上 4 cm 未満	...2 人
4 cm 以上 5 cm 未満	...2 人
5 cm 以上	...0 人
未測定	...2 人

のようになった。直径 2 cm 程度のスーパーボールを得るために、洗濯のり量は 30 cc で十分であることがわかった。また、得られた 29 個のスーパーボールのうち 12 個について跳躍高さを測定したところ、図 7 のようになった。各ボールの直径における跳躍高さの最大値を比較して、ボールの直径が 2~4 cm の範囲内であればボールの大きさは跳躍高さにほとんど影響しないと考えられた。一方で、同じ直径でも跳躍高さにバラつきが見られた。そこで、レシピの各手順について、その跳躍高さへの影響を確かめていくことにした。

3・2 飽和食塩水に加える洗濯のり量

レシピ③~⑤に関連して、混ぜ合わせる洗濯のりと飽和食塩水の体積比を変えスーパーボールを作製し、その跳躍高さを測定した。たとえば、洗濯のり 30 cc、飽和食塩水 100 cc であれば、洗濯のりの割合は、

$$30 / (30 + 100) \div 23 \text{ [体積\%]}$$

と計算される。測定結果を図 8 に示す。全体として、洗濯のりの割合を増やしていくと跳躍高さが減少する傾向が見られた。また、洗濯のりの体積が全体の 70%を占める場合はスーパーボールを成形できなかった。これは、洗濯の

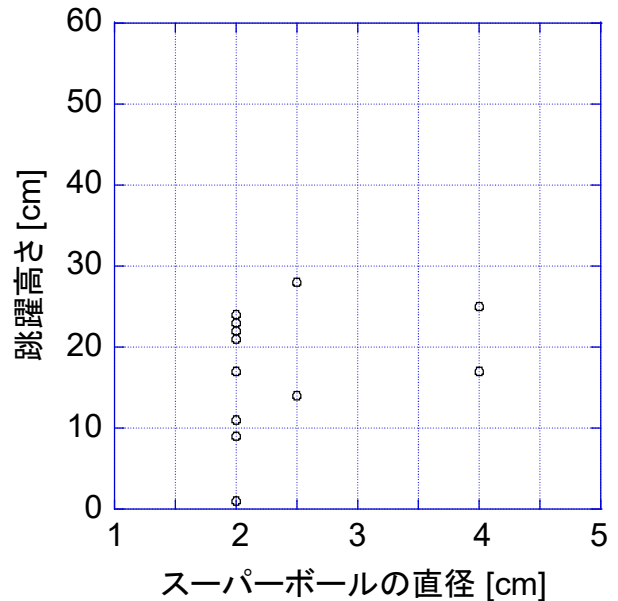


図 7 洗濯のり 30 cc、飽和食塩水 100 cc、絵の具 0 g で作製した色々な大きさの無色スーパーボールの跳躍高さ。

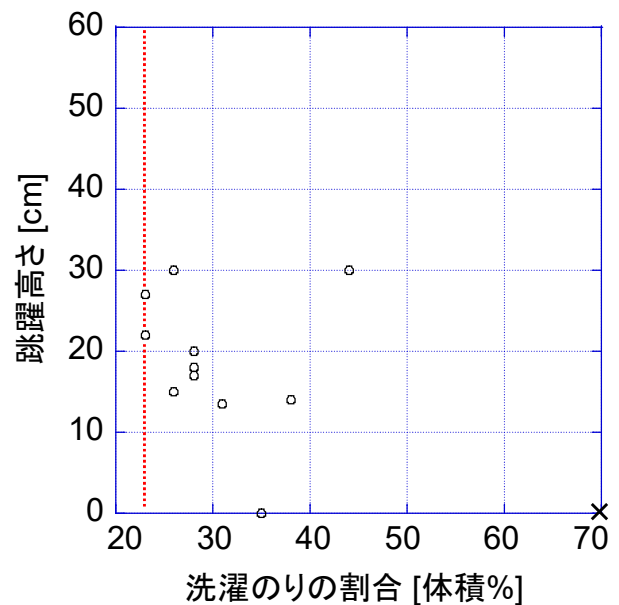


図 8 洗濯のりの全体積（洗濯のり+飽和食塩水）に対する割合を変えたときの無色スーパーボールの跳躍高さ（絵の具 0 g、ボール直径 2~4 cm）。赤点線：2・2節のレシピ通りに作製したときの割合（23 体積%）。×印は、スーパーボールを成形できなかったことを示す。

りの割合が増えるほど食塩水が薄まってしまう、洗濯のり中に含まれる PVA が不溶化しにくくなるためであると考えられる。実験により、洗濯のりの体積が全体の 44%より小さければスーパーボールが作製できることを確認した。

3・3 飽和食塩水の水温

レシピ⑤に関連して、飽和食塩水の温度を室温以外の温

度にしてスーパーボールを作製した（洗濯のり 30 cc, 飽和食塩水 100 cc, 絵の具 0 g）. 氷水で冷やしながらか作製したものは跳躍高さ 25 cm となり, 常温の水道水（約 20°C）を用いたときとの差は見られなかった. 一方, お湯を使って 30°C, 45°C, 55°C および 90°C の飽和食塩水を準備してスーパーボールの作製を試みたが, いずれの場合もボールを成形することができなかった. 食塩の主な成分である塩化ナトリウム (NaCl) の水 100 cc に対する溶解度は, 0°C で 35.7 g, 100°C で 39.8 g であり⁸⁾, 高温になるほど水中の塩化ナトリウムの濃度は高まって PVA の不溶化には有利に働くはずである（塩化ナトリウムの水への溶解度は温度に対して直線的に増加し, 20°C で約 36.5 g と計算できる）. しかし一方で, 固体の PVA が軟化する温度（ガラス転移点）は 85°C であることを考えると⁹⁾, 高温になるほど不溶化しても固まらず割り箸でからめ取りにくくなったと考えられる.

3・4 絵の具の色および量

レシピ④に関連して, 洗濯のり 1 cc に対する絵の具の量を変えてスーパーボールを作製した. 赤色, 青色, 黄色, 緑色または黒色を用いて作製し, それぞれの跳躍高さを測定した結果, 図 9 のようになった. 跳躍高さの値は, 無色の場合の平均 (18 cm) の上下にほぼ等しく分布した. したがって, どの色についても, 絵の具をある程度の量混ぜる分には跳躍高さに大きく影響しないと言える. また, 色の種類の跳躍高さへの影響についても明確には見られなかった. 各色の絵の具を使って得られたスーパーボールの跳躍高さの最大値は, 絵の具を使わなかった場合の最大値 (30 cm) と同等 (赤色, 緑色および黒色) かそれよりも大きくなった (青色および黄色). なお, 洗濯のり 40 cc, 飽和食塩水 100 cc, 黄色絵の具 6 g でスーパーボールを作製したとき, 本研究における最大の跳躍高さ (58 cm) を記録した. また, 青色絵の具を用いて混ぜる量の検討をした際に, 洗濯のり 1 cc あたりの絵の具の量が 0.27 g/cc および 0.33 g/cc の場合はボールの成形ができなかった. すなわち, 絵の具を洗濯のりに対して混ぜ過ぎるとスーパーボールが作製できないことがわかった. これは, ボール体積に占める絵の具の色素成分の割合が増え, それらが不溶化した PVA に含まれる水気を吸収することで, ボール全体がもろくなってしまったためであると考えられる.

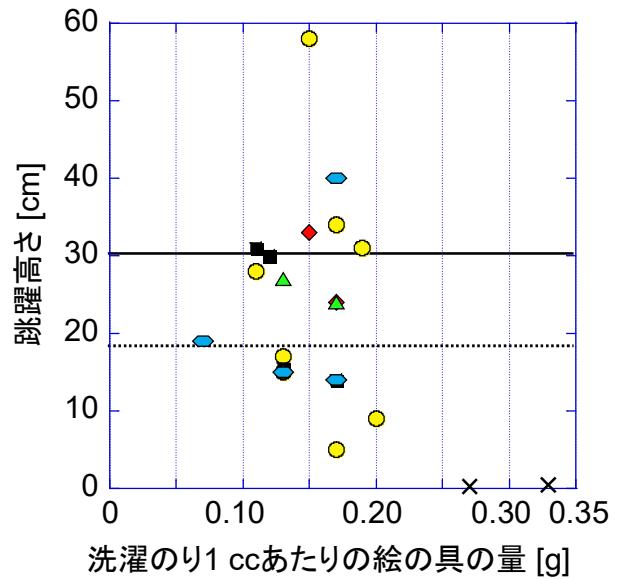


図 9 洗濯のり 1 cc あたりの絵の具の量を変えたときの, 各色のスーパーボールの跳躍高さ (ボール直径 2~4 cm). 実線: 絵の具を使わないで 2・2 節のレシピ通りに作製したときに得られた最大跳躍高さ (30 cm). 点線: 絵の具を使わないで 2・2 節のレシピ通りに作製したときに得られた平均跳躍高さ (18 cm). ×印は, スーパーボールを成形できなかったことを示す.

3・5 かき混ぜる速さ

レシピ⑤に関連して, ゆっくりかき混ぜるようにしてスーパーボールの作製を試みた. 洗濯のり 20 cc, 飽和食塩水 100 cc (洗濯のりの体積は全体の 17%), および青色絵の具 4 g (洗濯のり 1 cc あたり 0.20 g) を用いた. 1 秒間あたり 0.5 回でかき混ぜたときは, ボールを成形できなかった. 一方, 1 秒間あたり 1 回または 1.5 回でかき混ぜたときは, いずれの場合も直径 1.5 cm のスーパーボールが得られた. さらに, 1 秒間あたり 2 回でかき混ぜるようにしたところ, 得られるスーパーボールの直径は 3 cm となった. これらの結果から, スーパーボールを作製するためにはある程度速くかき混ぜる必要があることがわかった. これは, かき混ぜないと PVA が余分な水気を含んだまま不溶化しはじめ, やわらか過ぎてまとまらなくなるためであると考えられる.

3・6 食塩以外の塩の使用

レシピ③に関連して, 食塩の主な成分である塩化ナトリウム (NaCl) の代わりに, にがりの成分である塩化マグネシウム 6 水和物 ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) や減塩塩に含まれている塩化カリウム (KCl) で飽和水溶液を作り, スーパーボール

の作製に使うことを試みた。原料は洗濯のり 30 cc, 飽和塩水溶液 100 cc (洗濯のりの体積は全体の 23%), および黄色絵の具 5 g (洗濯のり 1 cc あたり 0.17 g) を用いた。飽和食塩水を用いたときは直径 2 cm のボールが得られ跳躍高さは 34 cm を記録した。これに対し, 飽和塩化カリウム水溶液を用いたときは直径 2.4 cm のボールが得られ跳躍高さは 45 cm を記録した。水 100 cc に対する塩化カリウムの溶解度は 0°C で 27.6 g, 100°C で 56.7 g である⁸⁾。また, 塩化カリウムの水への溶解度は温度に対して直線的に増加し, 20°C で約 33.4 g と計算でき, 塩化ナトリウムの場合 (約 36.5 g) に比べ少なく済む。したがって, 洗濯のりを加えた時点で多少塩濃度が薄まっても, 飽和状態を維持しやすかったと考えられる。

一方, 塩化マグネシウム 6 水和物を用いたときは飽和水溶液を確実に作ることができず, ボールの成形もできなかった。水 100 cc に対する塩化マグネシウム 6 水和物の溶解度は 0°C でも 281 g, 100°C では 918 g である⁸⁾。水に非常に溶けやすいため, 飽和水溶液を作ること自体が難しいと思われる。また, 塩の飽和水溶液の代わりに同量の水を用いた場合は, スーパーボールは得られなかった。以上の結果から, ボールの作製を通して塩が飽和している状態を保つことが重要であると推察された。

3・7 ボール表面の乾燥

レシピ⑦に関連して, 成形したスーパーボールの表面の水気をふき取るとべたつきがなくなり跳ね返りやすくなることから, 意図的にボール表面を乾燥させる実験を行なった。洗濯のり 30 cc, 飽和食塩水 100 cc (洗濯のりの体積は全体の 23%), および青色絵の具 4 g (洗濯のり 1 cc あたり 0.13 g) を用いてスーパーボールを作製した。直後に測定したものは 15 cm の跳躍高さであったが, ポリエチレン製小袋に入れて 3 週間だけ室温保管してから測定したものは 44 cm まで跳躍高さが伸びた。また, 飽和食塩水の量と絵の具の色・量を固定し洗濯のりの量を増減させて同じように作製・保管したところ, 53 cm (洗濯のり 20 cc, 全体積の 17%) および 47 cm (洗濯のり 50 cc, 全体積の 33%) とよく跳ねる結果となった。ポリエチレン製小袋の中で保管しているうちにボールの表面から少しずつ水分が蒸発していき, ボールの外側は変形に耐えることができる強度になるととも

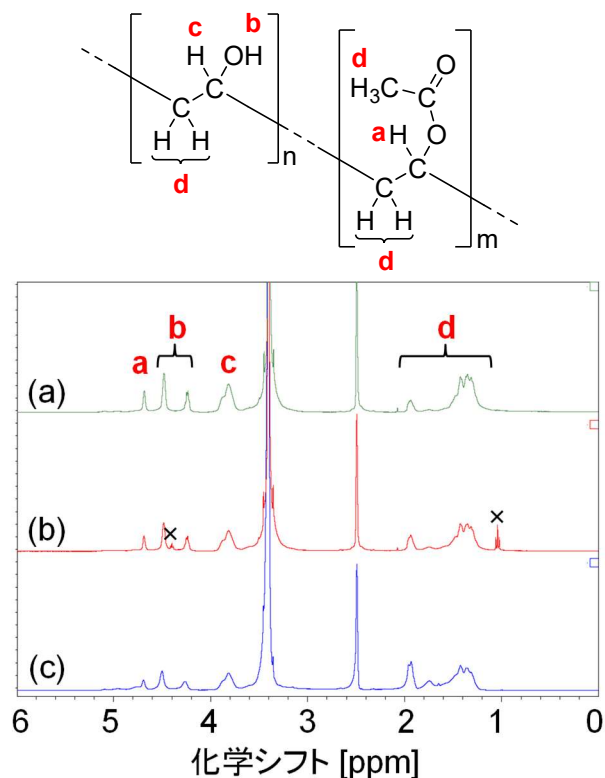


図 10 (a)(b) 本研究で用いた 2 種類の洗濯のりを処理して得られた PVA の $^1\text{H-NMR}$ スペクトル。×印は, 混入した不純物のピークを示す。(c) 試薬の PVA (ケン化度 80%) の $^1\text{H-NMR}$ スペクトル。重溶媒はいずれも重ジメチルスルホキシド。

に, ボールの内側は適度な水分を含んだやわらかい状態となったと考察される。そのため, 跳躍高さが大きくなったのではないかと考える。

3・8 洗濯のり成分の分析

本研究で用いた 2 種類の洗濯のりについて, 液性は pH4 程度であることを pH 試験紙により確認した。また, エタノール処理後に得られた乾燥 PVA (白色固体) はいずれも全質量の約 10% を占めることを確認した。

各乾燥 PVA の $^1\text{H-NMR}$ スペクトルを試薬の PVA のスペクトルとともに図 10 に示す。ピークのうち「b」のものは重ジメチルスルホキシドに対して数滴の重水を加えて行なった $^1\text{H-NMR}$ スペクトルではほぼ消失したことから, PVA の OH 基に由来すると考えた (なお, 4.5 ppm のピークは高分子鎖内で水素結合を作っている OH 基由来であり, 4.3 ppm のものは水素結合を作っていない OH 基由来である¹⁰⁾)。OH 基やアセチル基が付いている炭素原子に結合している水素原子に由来するピークはそれぞれ「c」と「a」である

(「d」は残りの水素原子由来のピーク群である)。各スペクトルにおいてケン化度 (図 10 中 $n/(n+m) \times 100$) を

(「c」の積分比) / (「c」と「a」の積分比の和) $\times 100$ から算出したところ, (a) 80%, (b) 82%, (c) 82%となった。これより, 少なくとも本研究で用いた洗濯のりについて, ケン化度は大きく異ならないことを確認した。

最後に, 分子量 (高分子鎖 1 本の大きさ) を測定するために, 各乾燥 PVA および試料の PVA をそれぞれ 5 mg ずつ量り取りジメチルホルムアミド 2.5 cc に溶かそうとしたが, いずれも溶けなかった。試料の PVA の分子量は 9000~10000 であり, かつ, 分子量が大きいほど溶けにくくなることから, 洗濯のりに含まれていた PVA の分子量は 10000 以上であると推測された。

4. あとがき

本研究における一連の実験から得られた, 良く跳ねるスーパーボールを作製するためのコツを以下にまとめる。

- ・洗濯のりの体積の割合は, 全体積の 20~45%くらいにした方が良い (3・2 節, 図 8)。洗濯のりの量が少ないと得られるスーパーボールも小さくなることが予想される。
- 2・2 節のレシピに記したように 30 cc 程度は使うようにして, それに対する飽和食塩水の量を多くすることで, 洗濯のりの割合を小さくすると良いと思われる。
- ・飽和食塩水の水温は, 低温~常温で良い (3・3 節)。
- ・絵の具の色についてはこだわる必要はない。しかし, 洗濯のり 1 cc に対する絵の具の量は 0.20 g より少なくすると良い (3・4 節, 図 9)。
- ・かき混ぜる速さは適度に速くして, 洗濯のりと飽和食塩水が短時間でよく混ざるようにした方が良い (3・5 節)。
- ・食塩以外にも, 減塩塩を使ってみると良く跳ねるスーパーボールを作製できる可能性がある (3・6 節)。
- ・スーパーボールの表面は硬く, 中はやわらかい状態にすることが望ましい。作製直後よりもある程度の時間乾燥させてからの方が良く跳ねると考えられる (3・7 節)。

以上, 本校発のスーパーボール作製方法として, 小中学生の自由研究などの役に立つことができれば幸いである。

謝辞

本論文の研究は, 令和 3 年度福井工業高等専門学校教育後援会研究奨励金を基に行なわれた。また, 半年間にわたり協力して研究を進めてくれた, 当時 F2 クラスの全員に対する謝意を込めて, ここに氏名 (敬称略) を記す。

(チーム名: ミスタードーナツ) 武田輝良, 大味修也, 府中渉, 駒井百花, 須磨さゆり, 中村優真。

(チーム名: ポジティブグループ) 東凜太郎, 黒田侑希, 伊藤碧, 東川聡壺, 杉田涼香。

(チーム名: ハーネル・サンダース) 阿萬尚海, 竹下航平, 佐原瑞稀, 道下智礼, 赤澤知佳, 加藤大暉。

(チーム名: だんごむし) 岩崎大空, 橋本晃宏, 黒川創太, 宮腰天麻, 斎藤愛斗。

(チーム名: かじばの) 進士静璃, 斉藤朱, 新谷紗弓, 笠嶋佑恭, 勝木獅堂。

(チーム名: 輝く一番星) 前田透海, 前田祥人, 川越璃々夢, 森川千尋, 眞保佑奈。

(チーム名: ラピュタ) 八木仁志, 高橋晟那, 笠原彰紘, 宮越雅充, 伊部心鞠。

(チーム名: チーム水素) 山中颯人, 笥椋祐, 野口隼磨, 田辺怜音, 高嶋頼輝。

参考文献

- 1) N. H. Stingley, *United States Patent* 3241834, (1966).
- 2) 小柳めぐみ, 菅原義之, *高分子*, 67, (2018), 21 頁。
- 3) 西山玲子, *化学だいすきクラブニュースレター*, 20, (2012), 4 頁。
- 4) 西久保忠臣編,『ベーシックマスター高分子化学』, オーム社 (平成 23 年), 167 頁。
- 5) Kuraneo ホームページ (最終更新日: 2020 年 7 月 14 日), <https://kuraneo.jp/posts/9503>.
- 6) Hands ホームページ (最終更新日: 2020 年 8 月 29 日), <https://hands-media.jp/1252>.
- 7) 日本分析化学専門学校ホームページ (なるほど・ザ・化学実験室, 実験 A-39), <http://www.bunseki.ac.jp/naruhodo/experiment/pop.php?id=213>.
- 8) 水島三一郎編,『化学大辞典』, 共立出版 (昭和 38 年), 1029, 1056, および 1074 頁。
- 9) 高分子学会編,『基礎高分子科学』, 東京化学同人 (平

成 18 年) , 232 頁.

10) R. M. Silverstein, F. X. Webster 著, 『有機化合物のスペクトルによる同定法 第 6 版』, 東京化学同人(平成 11 年), 162 頁.

注記

注 1) 高分子 (ポリマー, polymer) は, 主に炭素原子がたくさんつながってできている (分子にしては) 大きい分子のことである. 英語の「poly (ポリ)」は「たくさん」, 「mer」は「要素 (ここでは分子)」という意味である. 実際, 高分子は分子をたくさんつなげて作られる. 炭素原子の代わりに, ケイ素原子と酸素原子が交互につながった高分子もある (ポリシロキサン).

注 2) ポバール (PVAL) とも呼ばれる.

注 3) 一定量の水に対して, 溶けなくなるまで食塩を加えて作られる食塩水のこと. 溶けきらなかった食塩が少しでも紙コップの底に残っていれば, 飽和食塩水になったと判断してよい.

(受付日 2022 年 5 月 9 日)

(受理日 2022 年 7 月 8 日)

研究推進委員会

委員長 吉田 雅穂 (環境都市工学科)
委員 村中 貴幸 (機械工学科)
松浦 徹 (電気電子工学科)
青山 義弘 (電子情報工学科)
山脇 夢彦 (物質工学科)
野々村 善民 (環境都市工学科)
門屋 飛央 (一般科目教室)

福井工業高等専門学校 研究紀要 自然科学・工学 第56号(1)

令和4年7月27日 発行

編集兼
発行者

福井工業高等専門学校

福井県鯖江市下司町
TEL (0778)62-1111 (代)
FAX (0778)62-2597