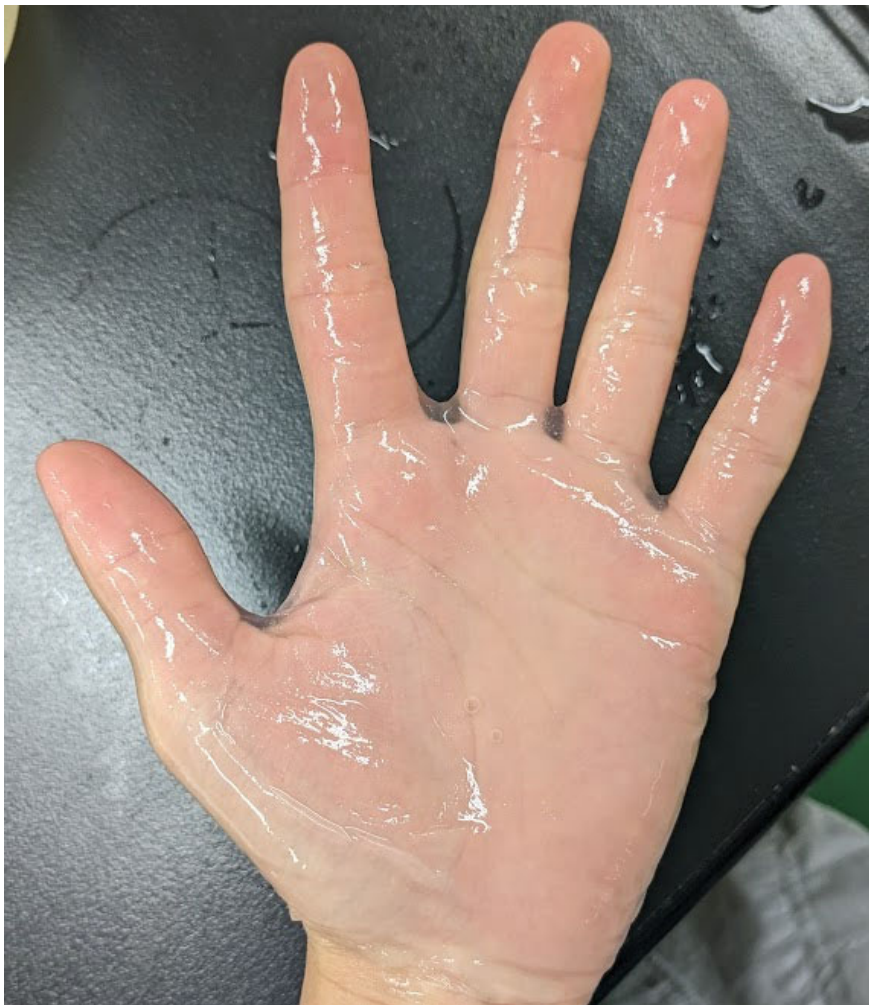


人と環境にやさしい 使い捨て手袋の開発

都立多摩科学技術高校

大塚修平 金子 拓実 西平 怜広



人と環境にやさしい使い捨て手袋の開発

大塚修平 金子 拓実 西平 怜広

1. 背景

私たちは環境について調べていく中で以下の問題があることを知った。

① 従来の使い捨て手袋の『持続可能性』

コロナ禍の影響から、生活のいたるところで使われるようになった使い捨て手袋は、9割以上が石油由来の材料で作られている。そして、世界では毎日21億枚、重さにすると約8400tもの量が利用され、それらはリサイクルされることなく廃棄されている。このように、従来の使い捨て手袋は持続可能性が無いという問題がある。

リサイクルされていない原因としては、従来の使い捨て手袋は全て、リサイクルするためには専用の機械で再成形する必要がある。そのため、一度手袋を回収し工場に運ぶ、という工程が必要となり、それらのコストによって採算が取れないことが挙げられる。

② 従来の使い捨て手袋の『普遍性』

従来の手袋は一つの形・大きさに統一して作られている。そのため、子供から大人、手の形に違いがある方まで、全員に合った手袋を作製することは難しく、使いづらさが残っている。特に、手の形に違いがある方の場合、手袋を装着すること自体が困難である場合も多い。このように、多様な人達に対する普遍的な使いやすさである、ユニバーサルデザインの観点においては、従来の使い捨て手袋では不十分であるといえる。

③ 従来の使い捨て手袋の『生分解性』

現在利用されている使い捨て手袋の92%は、生分解性を有していないプラスチック材料により製造されている。そのため、土壌や海洋に流出した場合は、自然に分解されるまで数百年という時間を要し、その間、生態系に大きな悪影響を及ぼし続ける。

使い捨て手袋は、自然に近い所で利用されることが少ないため、生分解性は不要という考えもある。しかし、海洋に流出したプラスチックの7~8割は町のごみとして処理されたものが流出したものであるという研究結果があることから、どれほど自然と離れた場所で利用しようとする自然環境に放出された場合を考えるべきだろう。このことから、大量に廃棄されている使い捨て手袋にも、生分解性を果たせる必要があるといえる。

④ ワカメによる生態系の破壊

ワカメは繁殖力の高さから生態系を破壊し、海の豊かさを奪う生物として、世界中で問題になっており、ISSGがまとめた世界の侵略的外来種ワースト100にも選ばれている。しかし、ほとんどの国ではワカメを利用することがなく廃棄にもコストがかかるため、採算が合わないという理由から駆除のめどが立たずにいるという現状がある。この問題の解決のためには、ワカメの駆除にかかるコストを削減すること、もしくは昆布の新たな利用価値を見出すことが必要である。

私たちはこれらの問題を、ワカメの主成分であるアルギン酸類の性質を利用した使い捨て手袋（以下、アルギン酸手袋 とする）を開発することで、解決できるのではないかと考えた。

アルギン酸類の一つであるアルギン酸ナトリウムという物質は、多価の陽イオンと反応することで、瞬時にゲル化する。この性質は現在、図1のように、人口いくら（ポピュラー）の製作という簡易的な実験として多く利用されており、粘性のある液体が指定の溶液に触れさせるだけで瞬時にゲルになる様子から、小さな子どもに大人気の実験となっている。

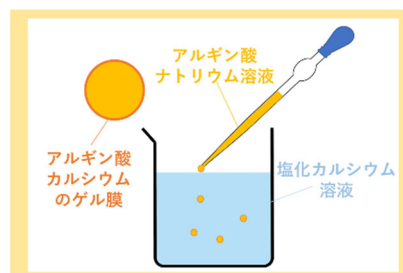


図1 人口いくら（ポピュラー）の製作方法

この実験から着想を得て、アルギン酸手袋というものを発案した。アルギン酸手袋は図2のように、手にゲル化する液体（アルギン酸ナトリウム水溶液）を纏わせ、そのまま手を多価の陽イオンを含んだ溶液に漬けることで、その人の手をぴったりと覆う形でゲルが成形され、どんな人の手にもフィットした形の手袋が作製できるというアイデアである。



図2 アルギン酸手袋の作製方法

さらにアルギン酸ゲルは、塩基性ナトリウム塩溶液に漬けておくだけで、ゲル化する前のアルギン酸ナトリウムの状態に戻るという性質がある。これは、炭酸ナトリウムなど一般家庭でも掃除用として購入できるものでも可能なため、従来の使い捨て手袋のように専用の機械などで再成形する必要もなく、利用者それぞれで繰り返しリサイクルすることが出来る。

加えてアルギン酸類は、海藻類の主成分であることから生分解性を有しており、原料の枯渇の心配もない。それどころか、現在世界中で大繁殖し問題になっているワカメの新たな利用法になりえる。

以上のことから、アルギン酸手袋を開発することは①～④すべての問題を包括的に解決できると考え、アルギン酸手袋の実用化を目指して研究を行った。

2. 目的

ワカメなどの海藻類を原料としたアルギン酸類を利用して以下①～④の特性を持つ手袋を開発し、新しい手袋の形・新しい海藻類の利用法として実用化すること。

- ① 強度、柔軟性において、従来の使い捨て手袋と同等、またはそれ以上の性能を有する。
- ② 一人一人の手に合わせた形、大きさに作製できる。
- ③ 容易にリサイクルできる。
- ④ 生分解性を有している。

なおアルギン酸類は材料的性質として③④の特性はすでに持っているため、この実験の実質的な目標は、アルギン酸類が本来持つ③④の性質を阻害しない手段で、①②を実現することにある。

3. 実験① アルギン酸手袋の試作

〔目的〕

発案の通り、アルギン酸ナトリウム（以下 Na-Alg とする）のゲル化の性質を利用することで、手袋を作製することが本当に可能なのかを検証するため。実験を行った。

〔方法〕

右図のように、手に 2% Na-Alg aq を纏わせた後 0.5mol/L の CaCl_2 水溶液に 30 秒浸け、ゲル化させた(図 3)。

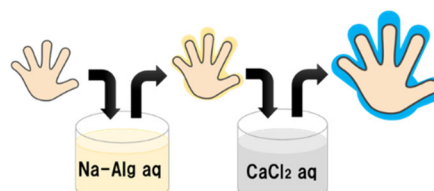


図 3 アルギン酸手袋の作製方法

〔結果〕

手袋の作製や使用の様子は、「資料 1 アルギン酸手袋作製・使用の様子」という名称の動画データを参照。

従来の使い捨て手袋と同様の使い方（ものをつかむ・離すなどの基本的な動作）で扱うために十分な強度と柔軟性を有したアルギン酸手袋を作ることができた（図 4 図 5）。しかし、手袋は時間が経過 するごとに収縮し、5 分ほど経過すると、変形に対応できず、破けてしまった。



図 4（左）試作したアルギン酸手袋全体の様子
図 5（右）試作したアルギン酸手袋表面の様子

〔考察〕

Na-Alg の性質を利用して、アルギン酸手袋を「一人一人の手に合わせた形・大きさに作製すること（目的②）」は、この実験で用いた方法で手袋を作製することで実現できる。

アルギン酸手袋が「強度・柔軟性において従来の使い捨て手袋と同等、またはそれ以上の性能を有する（目的①）」を達成するには、収縮を防ぐ必要があるといえる。

ゲルの収縮はゲルから水分が抜けることで起こるため、その原因は水分の揮発だと考えられる。また、ゲル表面の水分はふき取ってもすぐに、再び滲み出してきたため、揮発による離水（以下、揮発離水）だけでなく、液体のまま水分が表面に滲み出る離水（以下、滲出離水）も、原因の一つであると考えられる。

また滲出離水は、ゲルは作製時に保持可能な量を超過した水分を保持しており、その過剰な水分を放出するため起こると考察する。

4. 実験② 滲出離水原理の考察の検証

〔目的〕

滲出離水が本当に発生しているのか、また発生していた場合前途の考察は適切だったのかを検証するため、実験を行った。

〔方法〕

40cm³のアルギン酸ゲルを作製し、水中で静置し、10分ごとに体積を測りその変化を観察した。

〔結果〕

測定値をもとに右のグラフ(図6)を作製した。

〔考察〕

収縮したゲルは純水に漬かると浸透圧によって水を吸い膨張する。また、水中では揮発離水は発生しない。この条件下で収縮が発生したため、滲出離水は実際に起こっており、原理の考察が真である可能性が高いといえる。また、収縮の止まった時点で、ゲルの保持可能な水分量と保持している水分量が等しくなったと考察できる。

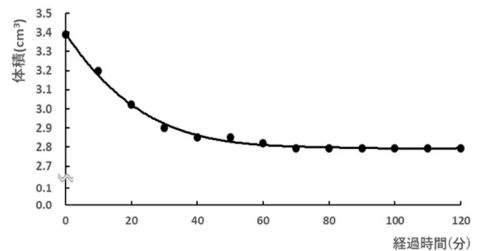


図6 純水に漬けられたアルギン酸ゲルの時間経過と体積の関係

5. 実験③ 揮発離水と滲出離水の比率測定

〔目的〕

揮発離水量と滲出離水量の比を調べ、どちらの離水を優先して対策すべきか検討するために、実験を行った。

〔方法〕

ゲルの質量を、ゲル作製直後、30分静置後、滲み出た水分を拭き取った後の三度計測し、それぞれの差から揮発離水量と滲出離水量を求めた。

〔結果〕

測定値をもとに右の表(図7)を作製した。

〔考察〕

温度 15°C 湿度 40% 条件下において揮発離水量：滲出離水量は、1：2であることが分かった。揮発量は、温度と湿度の関係により一年を通してあまり変化しないことから、滲出離水を優先して対策するべきだとい

	揮発離水量 (g)	滲出離水量 (g)	揮発離水量：滲出離水量
一回目	2.4	5.9	1：2.5
二回目	3.3	5.8	1：1.8
三回目	3.1	6.7	1：2.2
四回目	5.3	11.4	1：2.2
五回目	5.9	10.1	1：1.7
平均			1：2.1

図7 揮発離水量と滲出離水量の質量と比率 (温度 15°C 湿度 40% 条件下)

といえる。

6. 実験④ アルギン酸ナトリウム溶液の濃度による滲出離水収縮率の比較

〔目的〕

ゲル内のアルギン酸の濃度を高めることで、滲出離水によるゲルの収縮を減少させることができるのではないかと考え、実験を行った。

〔方法〕

2%, 3%, 4%, 5% の NaAlg aq を用いて同体積のゲルを作製し、それらを純水に 24 時間漬け、その前後の体積を測定した。そして、測定値をもとにそれぞれのゲルの収縮率を求めた。なお、収縮率は以下の式 (図 8) より求めた。

$$\text{収縮率} = \frac{\text{ゲル作製時の体積} - \text{変化後の体積}}{\text{ゲル作製時の体積}}$$

図 8 実験④における収縮率の演算方法

〔結果〕

収縮率を求め、それをもとに右の表(図 9)を作製した。

〔考察〕

ゲル内のアルギン酸の濃度が高いほど収縮率が減少した。これはアルギン酸の濃度が増加したことによって、ゲルの保持可能な水分量が増加したことにより、保持している水分量と等しくなるまでの離水量が減少したためだと考察できる。

この実験より、滲出離水は作製元の NaAlg aq の濃度を高めることで、減少させることが出来ると分かった。

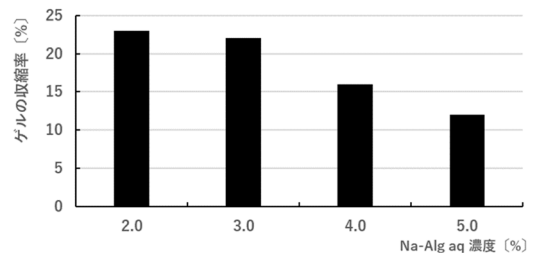


図 9 アルギン酸ナトリウム溶液の濃度とゲル収縮率の関係

7. 実験⑤ エタノールによる表面の脱水

〔目的〕

アルギン酸ゲルをエタノールに漬けると、親水力の違いからゲルは脱水される。この性質を利用して表面を脱水することで、表面の強度向上と揮発離水の抑制が出来るのではないかと考え、実験を行った。

〔方法〕

実験①と同様の手順でアルギン酸手袋を作製し、アルギン酸手袋を着用したまま手をエタノールに漬けた。

〔結果〕

エタノールに手を入れて3秒ほどで、手を覆っていたアルギン酸手袋が第二関節のあたりで破れてしまった(図10)。



図10 エタノールに漬けた後のアルギン酸手袋の様子

〔考察〕

手袋が破れてしまったのは、エタノールに手袋ごと漬ける方法では、形が維持できないほど脱水されてしまったためだと考えられる。よって、脱水による揮発離水の抑制は困難であると考えられる。

8. 実験⑥ アルギン酸手袋を二重で作製することによる揮発離水の抑制

〔目的〕

アルギン酸手袋を上からアルギン酸手袋で包むことで、一枚目のアルギン酸手袋の揮発を抑制することができるのではないかと考え、実験を行った。

〔方法〕

実験①と同様の手順でアルギン酸手袋を作製し、アルギン酸手袋を着用した状態で同様の操作を行うことで、二枚重ねのアルギン酸手袋を作製した。

〔結果〕

二枚重ねのアルギン酸手袋を作製することができ、それによって一枚目のゲルが破れるまでの時間が増加した。しかし、二枚重ねると手袋が厚くなり、手を動かさづらくなってしまった(図11)。



図11 二枚重ねで作製したアルギン酸手袋の様子

〔考察〕

手袋を二重にすることにより、揮発離水を抑制することは可能だが、手袋の利便性を損なってしまうため、揮発離水に対する解決策にはなりえないと考えら

9. 結論

実験①～⑥の結果から以下のことがいえる。

- ・アルギン酸手袋を「一人一人の手に合わせた形・大きさに作製すること（目的②）」は、実験①で用いた方法で手袋を作製することで実現できる。
- ・アルギン酸手袋は離水により収縮しすぐに破れてしまうため、アルギン酸手袋が「強度・柔軟性において従来の使い捨て手袋と同等、またはそれ以上の性能を有する（目的①）」を達成するには、収縮を防ぐ必要があるといえる。
- ・離水には揮発離水と滲出離水の二種類があり、滲出離水量は揮発離水量の2倍である。
- ・高濃度のアルギン酸ナトリウム溶液を用いることで滲出離水を抑制することが出来る。
- ・アルギン酸手袋をさらにアルギン酸で覆うことで、揮発離水を減らすことは出来るが、アルギン酸手袋の使いやすさを損なってしまう。

10. 今後の展望

引き続き、揮発離水を抑制する方法を模索していきたい。具体的な方法としては、保水材をゲルに添加することで水分を揮発離水しにくくできるかを調べたい。

また、アルギン酸ナトリウムの濃度を増加させると手袋が厚くなり、使いやすさを阻害するため、アルギン酸ナトリウムの濃度増加以外の滲出離水に対する対抗策も模索していきたい。

さらに、ゲルの強度に関しても、従来の使い捨て手袋と比較すると明らかに劣っているため、離水の抑制と同時に、天然繊維の混合などによる強度向上についての実験も行っていきたい。

11. 参考文献

http://www.iucngisd.org/gisd/100_worst.php

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.0c02178>

<https://www.artec.ne.jp/news/364/>

<https://www.i-ise.com/jp/column/kyuukonu/2015/05.html>

西出英一 アルギン酸とその工業 1961, 8, 3.

宮島千尋 アルギン酸類の概要と応用 2009, 65, 12.