

植物からガラスを作る

科学技術と伝統技術の融合に向けて

東京都立科学技術高等学校 科学研究部

相川 幸平、猪股 悟、原田 一太郎

はじめに

科学研究部の先輩たちは、これまで「植物を利用した環境浄化」の研究に取り組んできました。私たちのグループは、そこから学び植物が吸収する二酸化ケイ素 SiO_2 に焦点をあてて、その元素を取り出すことでガラスをつくるという研究に取り組みました。

また、都立科学技術高校のある江東区は、伝統工芸技術である「江戸切子」の継承地域です。科学と工業技術を学ぶ私たちは、地元の伝統の技・匠「江戸切子」を学びながら、授業で取り上げられている「ものづくりの大切さ」について考えました。



江戸切子

ススキ

1. 課題の設定

植物が化学物質を吸収するという事は先輩たちの実験から実証され、現在先輩たちのグループは、重金属を植物に吸収させて植物から金属を取り出す研究に取り組んでいます。私たちは、いくつかの植物が持っている性質の中で、ススキが二酸化ケイ素（以下、 SiO_2 ）を吸収（含有している）する？という調査から研究を進めました。そして、ススキが SiO_2 を吸収しているとすればそれを利用したガラスづくりに挑戦しました。

実用的なガラスは、一般的にけい砂（けい石） SiO_2 が主原料で、石灰石 CaCO_3 、ソーダ灰 Na_2CO_3 が副原料であり、約 $1400\sim 1600^\circ\text{C}$ で加熱、融解し成型しています。その主原料を自然界の植物から取り出し、工業材料としての有効利用を考えました。そして、地元のカットグラス「江戸切子」のガラス材料とその技法を学んで、自分たちが自然から取り出した材料で、カットグラスを製作してみたいと考えました。

2. 研究の目的とその内容

本校には「科学技術と人間」という科目があります。その中では人間の生活に必要な科学技術を、縄文時代の技術から、現代の最新の技術までの歴史を機械・電気・化学の各分野で学んできました。そこでは縄文人が硬度の高いヒスイ(硬度9)に穴を開けていたことを、滑石(硬度1)を利用して実験し、物質としての堅さや穴あけの技法について学んできました。そして現代の新しい技術のすばらしさや問題点などを学ぶことができました。そこで研究の目的を次のように考えました。

- ①科学技術の新しい発想と伝統の技術を結びつける。
- ②先輩たちの行った「植物を利用した実験」の応用研究を行う。
- ③自然界から、社会生活に役立つ工業材料の利用を考え、一般のガラスとの違いを明らかにする。
- ④基本的な化学実験をマスターし、最新機器を利用した分析ができるようにする。
- ⑤名工の技法を学び、材料としてのガラスや「江戸切子」の素晴らしさを体験する。

3. 研究の方法

本当に植物から工業材料（ SiO_2 ）として利用できるのか検討がつかず、先輩や先生とも検討の結果、まずはススキを採取することにしました。実験方法や計画は、春から考えていましたが、夏を過ぎないとススキが採取できなかつたので、次の順序で実

験を始めることにしました。

- ①自然界にSiO₂ を含有していそうなものはないか・・・ススキのほか、砂に決定。
- ②どのようにSiO₂ を取り出すか・・・焼却、電気炉で融解。
- ③ススキ・砂を溶かし、型へ流す方法・・・セッコウ型、ステンレス型、セラミック皿

④分析方法・カットグラスとしての材料づくり・・・蛍光X線分析、電子顕微鏡
ススキの季節がくるまで、砂からのガラス製造が可能かを実験しました。川砂と学校にあった鑄造用の砂の2種類の材料をるつぼに入れバーナーで融解。次に別のるつぼと他の材質の容器に入れ、電気炉で800～1000℃というように温度を変え、原料が融解する最適温度を見つけだしました。最終的には1280～1400℃で融解しました。さらに一般に利用されているソーダガラスの調合にあわせて、Na₂CO₃とCaCO₃を砂に混合し、融解しました。



ススキとススキ干し

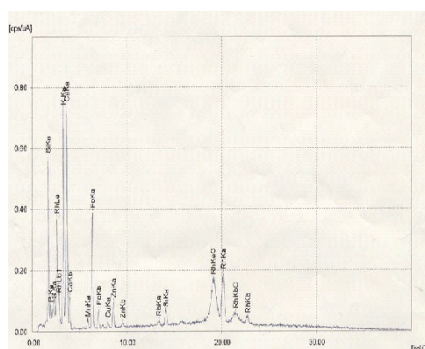


蛍光X線分析

ススキの採取は河原、線路の土手に部員全員で何度も出かけ、ビニール袋いっぱいに(18L×10袋)採取しました。2週間ほど天日干しをして、自然乾燥させ、一斗缶で焼却し、炭化した灰を集め粉碎しました。ガラスの融解、流し込む型としては、るつぼ、セッコウ、ステンレスを利用しました。

4. 研究の結果

るつぼや電気炉で砂・ススキの灰を融解することで、両方ともガラス状になっていました。高温で融解するだけでもガラスが出来上がっていたのです。さらに、Na₂CO₃やCaCO₃を混ぜた場合、融解の温度が少し下がったようです。



蛍光X線分析表



取り出したガラス



みんなの作品

表1 各ガラスの分析表

組成 (%)	P b	S i	A l	K	F e	S	C a	考 察
割れた窓ガラスの組成	—	52.3	8.6	3.5	0.8	1.7	32.9	組成から分かるように、江戸切子のクリスタルはPbを含む。
江戸切子 (一般用)	—	60.6	10.7	—	—	—	9.3	
江戸切子 (クリスタル)	42.7	30.7	3.9	14.3	—	4.3	2.7	鑄造用の砂は、川砂よりSiが多い。
川 砂 (融解前)	—	44.8	27.7	2.8	13.1	1.3	8.2	
川砂 (融解後 : ガラス)	—	39.8	24.3	6.8	15.8	1.1	9.3	ススキは、乾燥したもので38%とSiが多く、ガラスになると素晴らしい色だった。
鑄造用砂 (融解前)	—	56.3	26.7	7.6	4.1	3.1	1.1	
鑄造用砂 (融解後 : ガラス)	—	53.1	19.2	12.3	8.8	2.1	2	ススキ (生)
ススキ (生)	—	38.4	—	44.3	0.5	8.8	7.2	
ススキ (焼却灰)	—	25.5	—	47.5	1	1.7	21.1	ススキ (融解後 : ガラス)
ススキ (融解後 : ガラス)	—	25	—	34	5.6	0.6	31	

組成 (%)	P b	S i	A l	K	F e	S	C a	考 察
川 砂 + Na ₂ CO ₃ + CaCO ₃	—	36.2	12.5	5.9	20.5	1.1	21.6	化合物を調合した結果である。全体的に融解させる温度が低くなり、融解しやすかった。
鑄造砂 + Na ₂ CO ₃ + CaCO ₃	—	45.2	12.2	8	6.8	1.4	24.3	
ススキ + Na ₂ CO ₃ + CaCO ₃	—	19.6	—	34.1	5.1	1.5	36.7	
ススキ + Pb + Na ₂ CO ₃ + CaCO ₃	62.7	5.5	—	13.9	0.62	6.22	8.67	

(実験の調合の割合 : 原料 : Na₂CO₃ : CaCO₃ = 75 : 15 : 10)

(実験の調合の割合 : 原料 : Pb : Na₂CO₃ : CaCO₃ = 25 : 45 : 20 : 10)

型取り、型流しは、電気炉の温度を2～3時間かけて徐々に落としましたが、るつぼ(磁性)はすべて割れ、ステンレス(Cr+Ni)の場合もボロボロになりました。その他セラミックを含め、いろいろな容器で溶解させたものの、容器に溶け込む状態で固まり、離型剤としてアルミナを利用しましたが失敗でした。自然界の原料に含まれている金属元素の溶ける温度(融点)は、Fe(1535)、Al(660)、Si(1414)、K(63)、Ca(848)などであり、それぞれ温度がバラバラなため成型が難しいと考えられ、今後も研究が必要です。

5. 成 果

実験から、土手や河原に大量に生えている植物のススキや自然界の砂から、工業材料であるガラスを取り出すことができました。砂の場合は、けい砂の存在が予想できたので、ガラスができるかもしれないという期待はもてましたが、植物であるススキからガラスができたことは、グループ全員・部員、先生方も驚いていました。

ススキは秋には群生して生えています。(自宅の裏のススキの処理に困っている先生もいました)今回は、2週間天日干しをして乾燥させ、焼却させた灰を粉砕し、さらに高温で焼却し(温度調節が必要)ガラスを得ることができました。これを工業材料の一つとしても利用できないでしょうか。また、カットガラスの材料としての利用を一つの目的にしていたのですが、セッコウ会社や東急ハンズ、他校の先生に聞いても型としての材料が見つからずうまくいきませんでした。やはり自然界の植物です。Si、Ca、Naなどの他にFeなど多くの金属を含むために、色が違うだけでなく、一般的なガラスの融解のようにはいきませんでした。

型にする金属の融解温度とススキガラスの融解温度、そして成型をする温度等、昨年の春から計画・準備してきた研究ですが、もう少し時間をかけて、金属不純物を含んでいるススキガラスを成型できる材料の研究もしていかなければと考えています。

化学的な研究は、一つの結論を得ましたが、やはりもう一つの大きな経験は、匠の技を体験できたことでした。今回は砂、ススキガラスともカットを入れられるほどの形を作ることができませんでした。今後形として残せる自然ガラスを作り、「江戸切子」の技術に挑戦する予定です。その時までにはカットガラスの材料になるススキガラス材料を作成したいと思っています。

植物から金属元素を取り出し、工業材料として利用するという研究は一步前進しました。分析結果に示したように、江戸切子で利用されるガラスは鉛ガラスです。ソーダガラスでもよいのですが、カットしやすい(少し軟らかい)という理由で、カットは鉛ガラスが一番なのでしょう。ガラスの素材によっても、カット技術にも影響があるようです。

6. 課題

今回の研究で課題となったのは、ススキや砂をどのような容器で融解してガラスを得、型に流し込むかということ。これに今回もっとも時間がかかり、失敗の毎日でした。分析の結果から、Fe、Al、Si、K、Ca、S、など様々な金属の存在が確認できました。ススキガラスに含まれる、金属の種類による融解（融点）の違いを考えながら、試薬を混ぜる割合、融解に適した容器や時間などを検討し、江戸切子に利用できるような、質の良いガラスを植物（まだまだよい素材の植物があるかもしれません）からつくりたいと考えています。

実験2 動機と目的

実験2の最終目標は、透明な板ガラスにしました。

1 実験の下準備（ススキの用意）

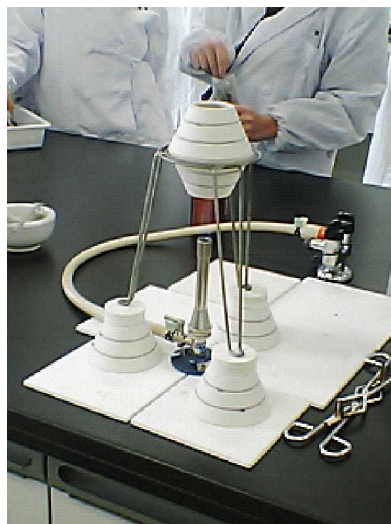
前回同様に、私達の高校の近くの河川敷から刈ってきたススキを燃やして灰にし、材料としました。以降、「ススキ灰」と表記する場合はこのススキを燃やして得られた灰を指す事とします。注釈で（鉄分抜き）とした場合は、磁石を用いてススキ灰に含まれている鉄分（砂鉄）を取り除いたものを指します。

2 実験方法



ススキ灰の他に酸化鉛（ PbO ）、四ホウ酸ナトリウム、炭酸ナトリウム、炭酸カルシウム、シリカゲル等を混合するつぼや自作した容器に入れ、加熱・融解させた後冷却・凝固させました。

混合中の試料



実験風景

実験1 るつぼとガスバーナーを用いてガラスを作る

まず最初に、「本当にススキ灰から透明なガラスを作ることができるのか」という事を調べる必要がありました。最初はるつぼを用い、成型の事は考えずに実験を始めました。以下はその実験データです。NO.は実験を行った順になっています。

「原料」というのはガラス作成の際に使用した物質のことで、単位はグラムです。

NO.1

原料

酸化鉛 : 6.7

四ホウ酸ナトリウム : 4.0

ススキ灰 : 1.3



結果

濃緑色のガラスが出来た。鉛が分離しているようで、直径5mm程の鉛と見られる塊が出来ていた。

NO.2

原料

酸化鉛 : 2.0

炭酸ナトリウム : 0.5

炭酸カルシウム : 0.3

ススキ灰 : 2.5



結果

NO.1 に比べ、薄い緑色をしたガラスが出来た。NO.1 に同じく、鉛と見られるものが分離している。

NO.3

原料

酸化鉛 : 4.5

ススキ灰 : 2.5

炭酸ナトリウム : 2.0

炭酸カルシウム : 1.0

四ホウ酸ナトリウム : 4.0



結果

薄い黄色のガラスが出来た。鉛が分離しているようだが、過去 2 回に比べ鉛の量が少ない。

NO.4

原料

酸化鉛 : 4.0

ススキ灰 : 2.5

炭酸カルシウム : 1.0



結果 :

黒くくすんだ色のガラスが出来た。火力が低かった事が原因と見られる。

NO.5

原料

酸化鉛 : 4.4

四ホウ酸ナトリウム : 8.0

ススキ灰 : 2.5



結果

クリーム色(?)になった。葉さじでかき混ぜすぎ、結果として温度が下がってしまったのが原因と見られる。

NO.6

原料

酸化鉛 : 3.0

ススキ灰 : 2.5

炭酸ナトリウム : 2.0

炭酸カルシウム : 1.0



結果

NO.4 と同じく、黒ずんだ色のガラスが出来た。火力が低かったためと思われる。

NO.7

原料

酸化鉛 : 4.7

四ホウ酸ナトリウム : 4.0

ススキ灰 : 1.3

炭酸ナトリウム : 2.0



結果

結晶部分は黄緑色。クリーム色の部分については NO.5 の色に近い。

NO.8

原料

酸化鉛 : 4.7

四ホウ酸ナトリウム : 4.0

ススキ灰 : 1.3

炭酸ナトリウム : 2.0

炭酸カルシウム : 2.0



結果

黒ずんだガラスが出来た。火力が低かったためと思われる。

NO.9

原料

酸化鉛 : 6.7

四ホウ酸ナトリウム : 4.0

砂（铸造用） : 1.3



結果

きれいな黄色のガラスが出来た。鉛の分離もほぼ無し。

NO.10

原料

酸化鉛 : 5.7

四ホウ酸ナトリウム : 4.0

ススキ灰 : 1.3

シリカゲル : 2 粒



結果

NO.1 と酷似している。コバルトに意味は無かったようである。

NO.11

原料

酸化鉛 : 4.7

四ホウ酸ナトリウム : 4.0

ススキ灰 : 1.3

シリカゲル : 5 粒



結果

NO.10 に比べて多少色は薄くなったが、まだ濃緑色と言える。鉛も分離していた。

・色に関する考察

今回の調合した試料では写真の通り、完全に色を消し、透明な板ガラスを作ることは出来なかった。全体的に緑がかった色をしたガラスが多かったのでコバルト（シリカゲルで代用）を混合したが、結局色が消えることはなかった。

そこで、鉄分が原因で緑色を呈しているのではないかと思い、鉄分を取り除いた後電気炉で原料を融解させ、鉄分を含まないガラスを作成することにした。

電気炉を使う理由はガスバーナーだと均一に熱を伝えることが困難な上に、自然冷却の際にるつぼが割れてしまうからである。電気炉を使うことにより厳密な意味での対照実験ではなくなるが、今回は時間がなかった上に、これに代わる方法がなかった。

・るつぼに関する考察

どの試料でも一応はガラスが出来ることが確認出来た。しかし、下の写真のように試料同士がうまく混ざっていないと熱がうまく伝わらず、原料が溶けないという事がわかった。



失敗作。熱を加えても溶けなかった

また、加熱が終わった後の冷却の段階でるつぼの底が抜けてしまった。急激な温度変化が原因で割れてしまったと考えられる。徐々にバーナーの火を弱めて、熱疲労を防ごうと試みたが、どうしても割れてしまった。しかし、火力が低かった NO.8 は割れずに成功した。

・鉛の分離

今回の調合した殆どの試料に、鉛の分離が確認された。るつぼで加熱した場合に於て、途中でるつぼを振り混ぜても、鉛が分離してしまった。しかし分離したのは全てススキ灰を用いた場合であり、ススキ灰の代わりに鑄造用の砂を用いた NO.9 では鉛の分離が殆ど見られなかった。

以上が実験 1：るつぼとガスバーナーを用いてガラスを作るに関する考察です。時間及ぶるつぼのストックに制限があった為、細かい対照実験は行えませんでしたが大体の感じはつかめてきたのでそれに基づき原料を決め、電気炉を使っての本格的なガラス作成に入ります。

予備実験的な実験 1：に比べ、より完成度が高くなります。

実験2 電気炉を用いてガラスを作る

・るつぼを用いた場合

電気炉を使ってガラスを作るに当たり、最初に今まで通りのるつぼを使って加熱することにしました。

加熱時間と温度設定は以下の通りです。

40 から3時間かけて1200 まで上げ、30分間保ったのち12時間かけて40 まで冷めます。

るつぼは温度変化に弱く、ガスバーナーを用いると冷却時に割れてしまう事から、冷却には長時間費やすことにしました。

以下は実際に加熱した試料の分量と写真です。今回はるつぼA、B、Cの3種類を同時に加熱しました。

るつぼA

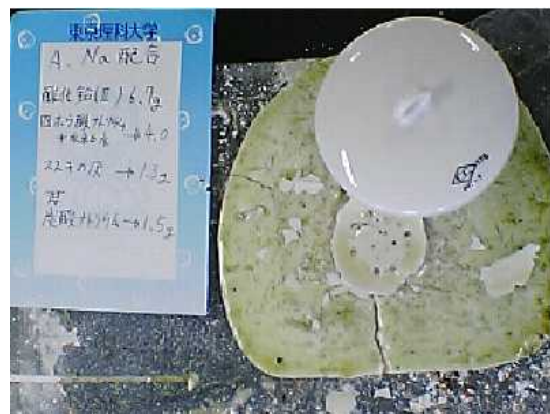
原料

酸化鉛 : 6.7

四ホウ酸ナトリウム : 4.0

ススキ灰 : 1.3

炭酸ナトリウム : 1.5



るつぼB

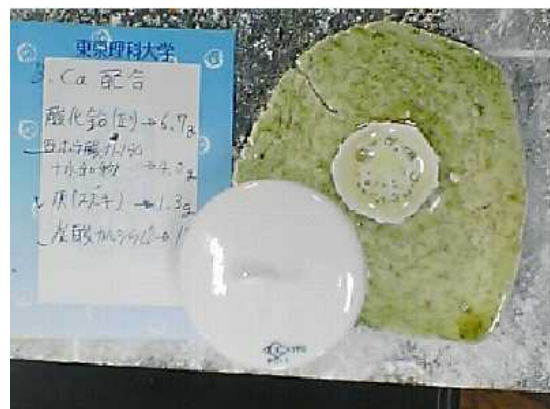
原料

酸化鉛 : 6.7

四ホウ酸ナトリウム : 4.0

ススキ灰 : 1.3

炭酸カルシウム : 1.5



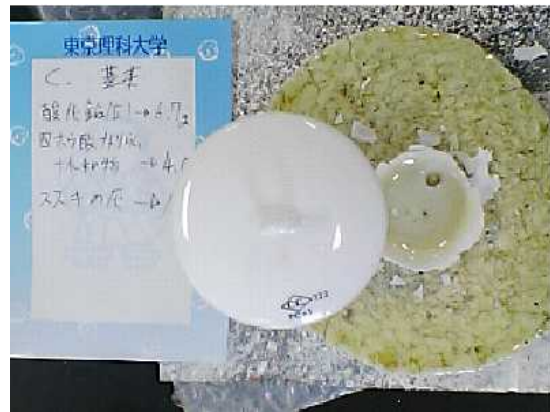
るつぼC

原料

酸化鉛 : 6.7

四ホウ酸ナトリウム : 4.0

ススキ灰 : 1.3



結果

上記の条件で加熱をしたが、るつぼ全ての底に穴が開き、ガラスが流れ出してしまった。るつぼの下に敷いた素焼板は非常に目の粗い多孔質になっており、るつぼの底が均等に熱せられなかったことが原因と思われる。ガラスの色は3種類とも薄い黄緑色で、鉛の分離は確認されなかった。

・石粉粘土で作った容器の場合

るつぼでは容器が割れてしまうので代替りの材料を探したところ、石粉粘土が良いのではという結果に行き着きました。石粉粘土なら電気炉の熱に耐えられる材質で出来たものを使用することが出来と考えたからです。さらに、ガラス完成後に水に入れることによって石粉粘土を溶かし、ガラスをきれいに取り出せるという点においても、加工をしやすいという点においても非常に優れていたからです。

温度・加熱時間は前回の電気炉を使用したときと同様です。

試料の混合は、ガスバーナーを用いたときに一番きれいに出来たNO.3と同じものを使用しました。また、前回の失敗を教訓に、下からも均一に熱が伝わるようにマッフルを台の代わりにし、石粉粘土で作った容器を限りな空中に浮いている状態に近づけました。



結果

結果は、上記の写真の通りである。石粉粘土で作った容器が溶け、変形しているのがわかる。溶けたガラスは電気炉の底まで達して侵食していた。これは、石粉粘土が多孔質であることが関係しているようだった。溶けたガラスは多孔質である容器に染み込み、底を突き破ってしまったのではないかと考えられる。

・改良した石粉粘土の容器の場合

上記の失敗を生かし、石粉粘土で作った容器に以下の処理を施しました。

容器自体を厚く作る

表面に原料を薄く塗り、仮焼きして表面にガラスをコーティングする。

原料

酸化鉛（ ）：4.5

ススキ灰（鉄分抜き）：2.5

炭酸ナトリウム：6

炭酸カルシウム：3

屑ガラス少々



結果

写真の通り中心に大きなひび割れが出来てしまった。コーティング自体は上手く出来たが、ひびが入ってはガラスを注げないので断念した。理由としては粘土の乾燥が足りず、中に残っていた水分が電気炉での加熱時に気化し、体積が増大し、ひずみが生じてしまったことが原因だと思われる。

補足

屑ガラスを入れたのは原料の軟化点を下げてより低温でガラスが解けるようにするためである（原料に屑ガラスを混ぜておくと軟化点が下がるようです）。

・電気炉・銅版板を用いてのガラス作成

分量は先輩たちの残したデータを参考にしました。石粉粘土ではうまくいかなかったので、型に金属を使うことを考えました。銅板を入手することが出来たので下の写真のように加工し、その中に原料を入れ、電気炉を使用し加熱・融解し、放冷・凝固させました。

一回目

実験条件

原料

・酸化鉛（ ）：36

・炭酸カルシウム：24

・炭酸ナトリウム：48

・ススキ灰：20（鉄分抜き）

・屑ガラス少々



↑作成した銅容器

700 度まで加熱し、その後ゆっくりと放冷。

結果

下の写真 1 のようにタイル状になってしまった。強度なども可也あり、当初の目的とは違うがタイルとしての利用も出来そうである。なお、ガスバーナーで過熱したところ、融解した（写真 2）。



←写真 1



写真 2

以上のことから今回は温度が足りなかったためにガラスが生成しなかったと考えられます。

二回目

実験条件

原料

- ・ 酸化鉛（ ）：27
- ・ ススキ灰：15（鉄分抜き）
- ・ 炭酸カルシウム：18
- ・ 炭酸ナトリウム：36

800 度まで加熱し、その後ゆっくりと放冷。



結果

上の写真のようになった。

考察

固まってはいた。ガラスのような透明感はなかった。今回は温度は足りていましたが、ガラスのようなものは見受けられませんでした（原因は不明）。

三回目

実験条件

原料

- ・酸化鉛（ ）：13.5
- ・ススキ灰：7.5（鉄分抜き）
- ・炭酸カルシウム：9
- ・炭酸ナトリウム：18

1100℃まで加熱し、その後ゆっくりと放冷。

結果

右の写真のようになった。



今回は温度を高く設定しましたが、ガラスは出来ていませんでした。

原因はわかりませんが、実験1の結果から四ホウ酸ナトリウムを入れるとうまく出来るのではないかとも思えますが、今回は時間がないため対照実験を行うことが出来ませんでした。

最後に

先輩たちの実験のとおり、ススキからガラスは作れると結論付けられます。しかし、通常のガラスとは勝手が違い苦戦するところが沢山あり、当初の目的は達成出来ませんでした。いろいろと興味深い現象が観察できました。今後、多種多様な変化の原因の調査とその機構について詳細な研究が必要であり、引き続き研究調査を行う予定です。

私たちは都立科学技術高校で新しい工業技術・科学技術を勉強しています。そして授業を通して「ものづくりの大切さ」についても考えてきました。

私たちの部活動は、常に自分たちで考え、チャレンジする自由な部活です。決められ、与えられて活動するものではないので時間はかかりますが、今後も地元の「江戸切子」の技術を大切に考えながら、自然界に豊富にある原料からの工業材料、ガラス材料について研究し、有効利用できるよう研究していきたいと考えています。