

黒板とチョークによる異音の解析及び発生防止方法の模索

石川県立金沢泉丘高等学校理数科

権野 仁人 酒井 奨吾 田加村 一希 山田 真優 若林 亜美

要旨

学生にとって黒板とチョークは身近なものであり、チョークで黒板をこすると時折発生する甲高い異音が不快だと感じる人は一定数存在する。この音を防止することは快適な学校生活につながると考え、高速フーリエ変換ができるスマートフォンアプリを用いて発生音を解析した。すると、短いチョークから発生した音は長いものから発生した音よりも高いことが分かった。また、チョークを短くしていくと、音が発生しなくなることが分かった。これには表面物性が関係していると考え、この結果に基づいて音を発生させない方法を模索した。

1. 研究背景・目的

チョークを用いて黒板に文字を書くとき、甲高い異音が発生する事がある。先行研究¹⁾によると、この音はスティックスリップ現象によって発生するとわかっている。この現象は、物体Aと物体Bをこすり合わせた際に、AB間で静止摩擦と動摩擦が交互に起き、甲高い音が発生するというもので、バイオリンの音²⁾や車の急ブレーキ音³⁾もこの現象による。

この異音に関する研究は少ない。そこで、

- ・スティックスリップ現象によるチョークの異音の特性と発生条件を解明すること
- ・異音を発生させない方法を確立すること

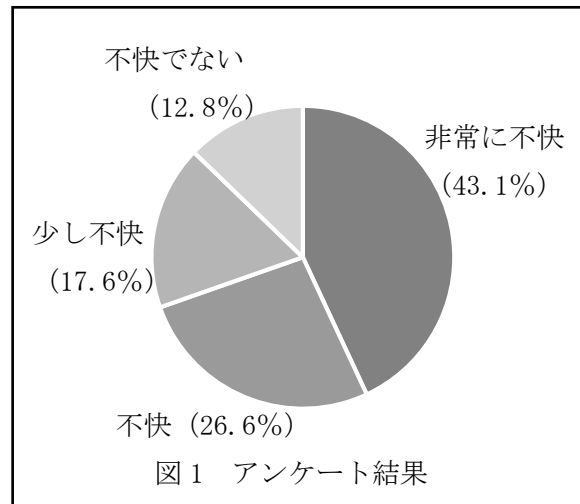
を目的として、研究を行った。

※ここでは、異音を「チョークで黒板をこするときに発生するキーツという甲高い音」と定義する。

2. アンケートの実施

私たちは、異音を不快に感じる人の割合を把握するため石川県立金沢泉丘高等学校の生徒190人を対象にアンケートを実施し、「異音を聴くと不快に感じるか」と質問した。選択肢は、「非常に不快」「不快」「少し不快」「不快でな

い」の4択とした。結果は図1の通りである。



その結果、チョークと黒板の異音を不快に感じている人が85%を超えており、非常に不快だと感じている人が40%を超えていると分かった。

※アンケートは「Google」の「Google フォーム」を利用して実施した。

※パーセンテージは少数第2位を四捨五入した。

3. チョークの長さや振動数の関係を探る実験

[1]目的

異音の特性を探る。

[2] 実験 1

[2]-1 仮説

チョークの長さや異音の振動数には相関関係がある。

[2]-2 実験方法

- (a) ノギスを用いてチョークの長さを有効数字 3 桁で測る。
- (b) チョークで黒板をこすって不快音を発生させ、スマートフォンアプリ「FFTWave」を用いて音量 (dB) が最大の音の振動数を測る (以下振動数は全て「FFTWave」で測る)。
- (c) 様々な長さのチョークの振動数を記録し、「Microsoft」の「Excel」で散布図を作成する (以下散布図はすべて「Excel」で作成する)。

※チョークは「株式会社羽衣文具」製の緑色の「羽衣チョーク POLY」。(図 2)

※ノギスは「中村製作所 (KANON)」の「ワンタッチランプノギス KSM15FF」。(図 2)

※「FFTWave」は「E. N. Software」のアプリ。音声をフーリエ変換し、音に含まれる複数の振動数を最大 4 つに分けてリアルタイムで表示することができる。有効数字は小数点以下第 1 位まで。(図 3)

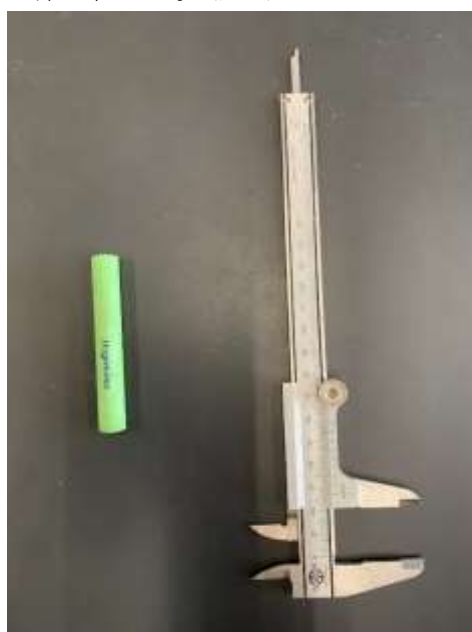


図 2 チョーク (左) とノギス (右)

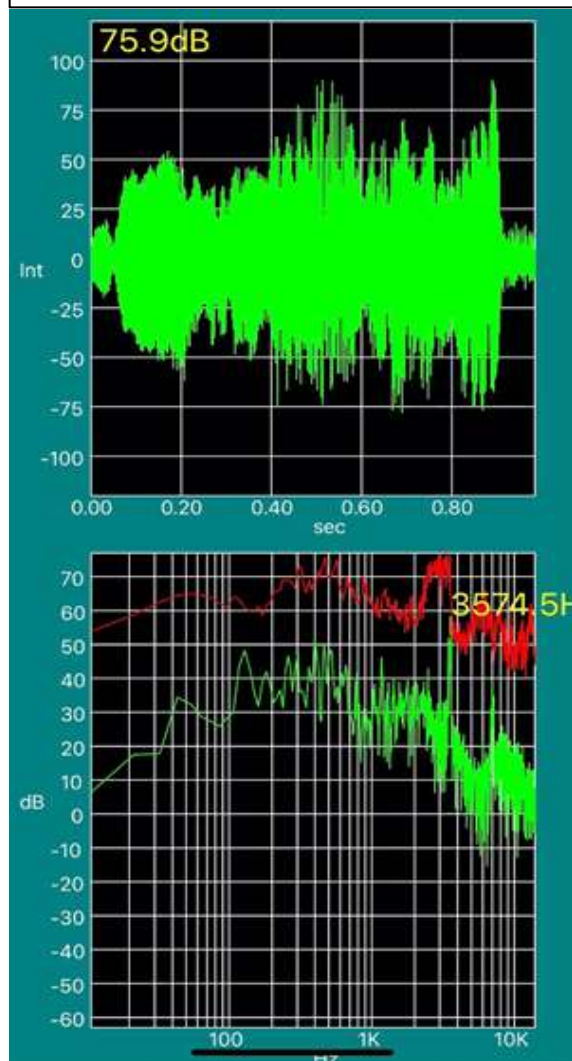
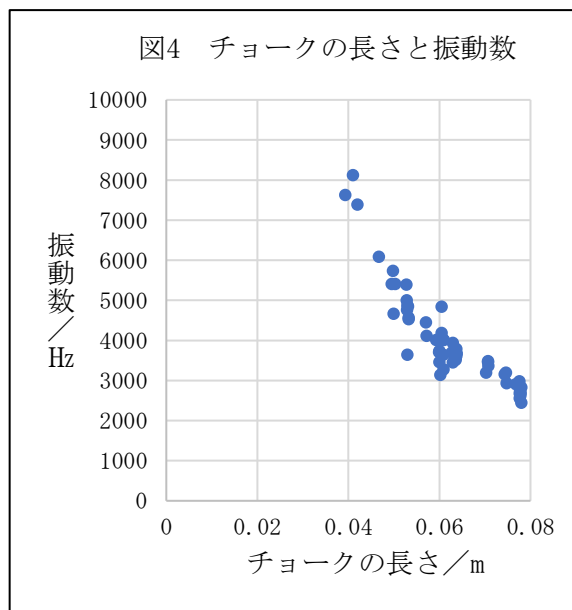


図 3 FFTWave 使用画面のスクリーンショット画像 (上は単位が dB、下は単位が Hz)

[2]-3 結果

図4のようになった。

チョークの長さが短くなるほど、振動数が大きくなった。また振動数を f 、チョークの長さを L としたとき、次式が得られた。

$$f(L - L_0) = 158 \text{ (一定)}$$

$$L_0 = 0.0201\text{m (定数)}$$

[3] 実験 2

[3]-1 仮説

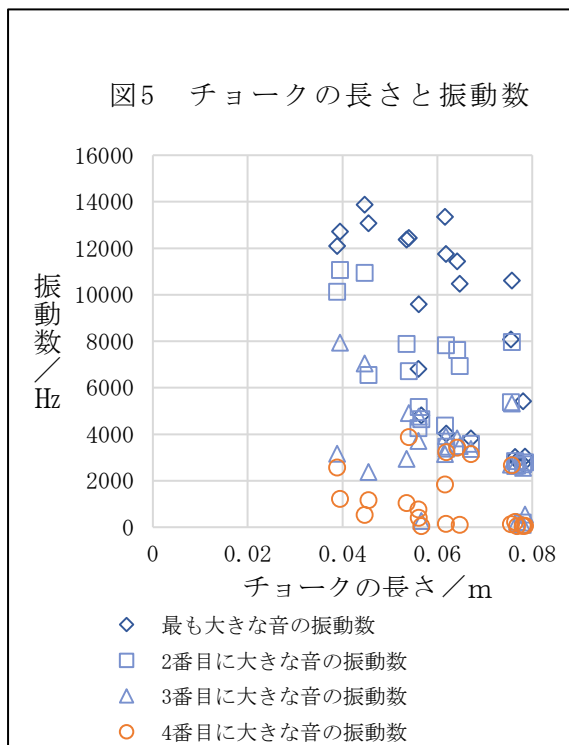
異音は、複数の振動数の音が混ざり合って形成される。また、それぞれの音の振動数がチョークの長さに関係している。

[3]-2 実験方法

実験1と同様の操作を行う。ただし今回は、音量(dB)が大きい順に4種類の振動数を計測する。

[3]-3 結果

図5のようになった。



計測する振動数を1種類から4種類に増やしたため、データの分布が煩雑になり、グラフから相関関係をつかむことはできなかった。

[4] 実験 3

[4]-1 仮説

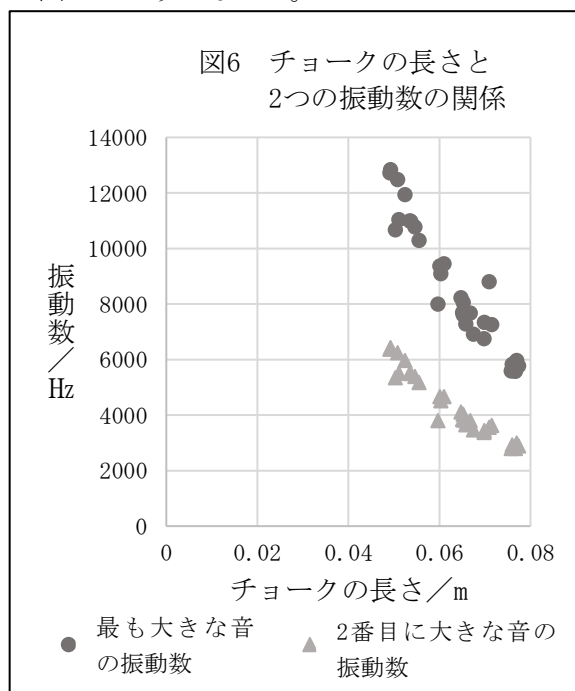
実験2と同様。

[4]-2 実験方法

実験1と同様の操作を行う。ただし今回は、音量(dB)が大きい順に2種類の振動数を計測する。

[4]-3 結果

図6のようになった。



チョークの長さが短くなると、振動数は大きくなった。実験1と同様に式を導いた結果、最も大きな音の振動数では

$$f(L - L_0) = 147 \dots \textcircled{1}$$

2番目に大きな音の振動数では

$$f(L - L_0) = 263 \dots \textcircled{2}$$

という式が得られた。なお、①では $L_0 = 0.0263\text{m}$ 、②では $L_0 = 0.0265\text{m}$ であった。

[5] 考察

① チョークの長さから定数をひいたものと振動数が反比例していること、2番目に大きな音の振動数が最も大きな音の振動数の2倍であることから、チョークは共鳴しているのではないかと考える。

※共鳴とは、ある特定の振動が物体に連続して伝わることで定常波ができ、大きな音が発生

する現象である。このとき、全く振動していない点を節といい、最も振動している点を腹という。チョーク中を伝わっている可能性のある定常波の一例を示したのが以下の図 7 である。

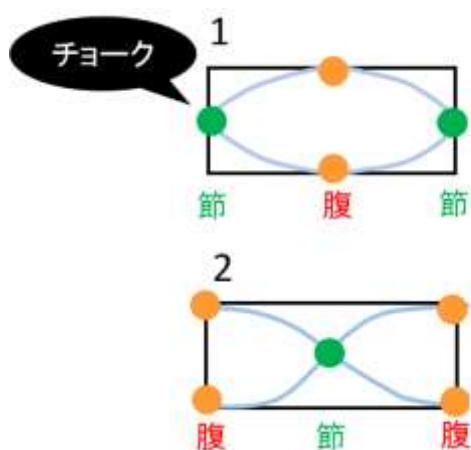


図 7 チョーク中を伝わっている可能性のある定常波の図

②チョークの中の振動の伝わり方は縦波と横波の二種類が考えられるが、チョークは横波が異音の原因の場合、式①、②の L_0 はチョークが黒板と擦れるところから持つ位置までの距離を表しており、チョークの黒板と反対側の端から持つ位置までの長さが振動数と反比例していると考え。また、実験 3 で 2 倍音が発生していたことから、両端の組み合わせが、節と節(図 7, 1)か、腹と腹(図 7, 2)だと考える。(図 8)

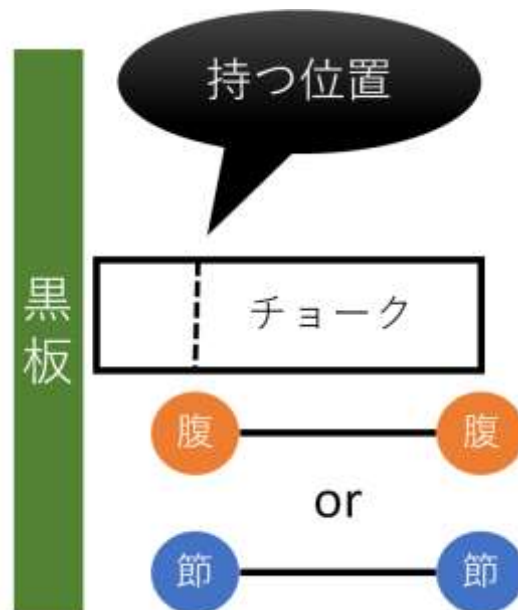


図 8 チョーク、腹、節の関係

③チョークの長さをできるだけ短くすることで、振動数が大きくなり、可聴域を超え、不快でなくなるのではないかと考えた。

そこで実験 1 の式から、不快音の振動数が人間に聞こえる最高音とされる 20000Hz となるチョークの長さを求めると 28.0mm となった。この長さでは筆記するのが困難だと考えた。

④各実験において、チョークの長さが 40.0mm を下回ると異音がほとんど発生しなかった。考察③より、これは異音の振動数が可聴域を超えたためだとは考えにくい。この理由は、測定したチョークの長さの範囲内ではチョークが短いほど安定な状態で持つのが難しいため、黒板により大きな力で押し付け、静止摩擦と動摩擦が切り替わる周期が乱れたからだと考える。

4. 不快音を発生させない方法について

[1] 既存のチョークを变形する

[1]-1 目的

40.0mm 以下の長さのチョークで異音が発生しにくいことを実験 1~4 で確認した。しかし、短いチョークは持ちにくく、使う際にホルダーを利用しないと筆記が困難であるうえ、すぐに

使い終わってしまう。そこで、実験結果をふまえ、チョークの長さが短くない場合でも異音の発生防止が期待できるチョークの形状を検討する。

[1]-2 方法

既存のチョークとして「株式会社羽衣文具」製の緑色の「羽衣チョーク POLY」を使用し、黒板にこすって削ることで形状を以下の 4 種類に変化させた後、黒板にこすり、音が発生するか調べた。

《形状》

(a) 斜めに削る（長さの最大値 78.0mm、最小値 38.0mm）（図 9）



図 9

(b) 半分に切断し（長さ 39.0mm）、糊で切断面をつなぐ（図 10）



図 10

(c) 半分に切断し（長さ 39.0mm）、セロハンテープを巻いて切断面をつなぐ（図 11）

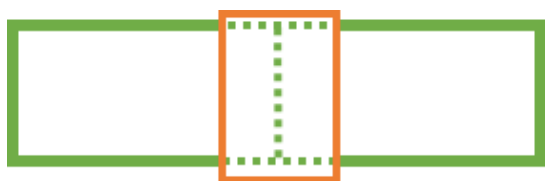


図 11

(d) 半分に切断し（長さ 39.0mm）、間に紙をはさんで糊で切断面をつなぐ（図 12）

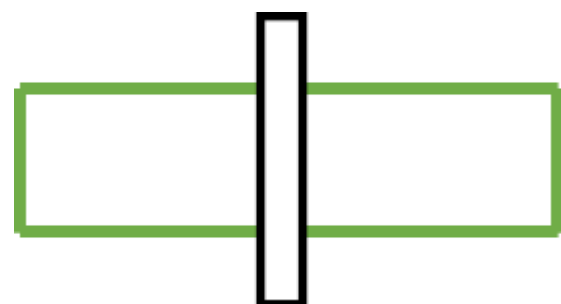


図 12

※使用した糊は「株式会社トンボ鉛筆」製「消えいろ PiT GLUE STICKS」。

※使用したセロハンテープは「ニチバン」製「セロテープ」。

※使用した紙は「エイピーピー・ジャパン」製「エクセルプロリサイクル」。

[1]-3 結果

(a) 斜めに削る

通常通り異音が発生した。

(b) 糊で切断面をつなぐ

異音は鳴ったが音の大きさは小さくなった。

(c) セロハンテープで切断面をつなぐ

異音はほとんど鳴らなかった。

(d) 紙と糊で切断面をつなぐ

異音は全く鳴らなかった。

[1]-4 考察

(a) より、長い部分が残っていると、異音の軽減は難しいと考えられる。

(b)～(d) より、チョークを切断して再度接合することで空間ができて定常波の生成が妨げられ、異音の発生を抑えられると考えられる。

(d) は切断面同士が完全に紙で遮断されたため、まったく音がなかったと考えられる。

以上のことから、短いチョーク同士を違う物質でつなぐことで異音の発生防止につながると考察できる。

[2] 新しい形状のチョークの製作

チョークが短いと異音が発生しにくいと考察したため(考察③)、短くても書きやすく、長く使えるチョークの形状を検討し、異音の発生防止を目指す。

(A) 予備実験

(A)-1 目的

チョークの製作、持ちやすい形状の選定にあたって、どの材料が最も優れているかを確認する。

(A)-2 方法

チョークの主となる材料として、以下の 4 種類を試した。⁴⁾

- ・炭酸カルシウム（「株式会社祥碩堂」の「粉チョーク」）+薄力粉（「日清」の「フラワー」）
- ・硫酸カルシウム（「東京サンホーム株式会社」の「焼石膏」）
- ・紙粘土（「大創産業」の「白くてふっくらなめらか紙ねんど」）
- ・粉状に砕いた羽衣チョーク

※炭酸カルシウムのみでは固まらないため、増粘剤を加える必要があるが、チョークを生産している企業が増粘剤として何を用いているかの情報が得られなかったため、文献⁴⁾を参考にし、薄力粉を増粘剤として加えた。
《製作方法》

[炭酸カルシウム]

炭酸カルシウムと小麦粉と熱湯を 1:1:1 で混ぜ合わせ、型に流し込む。

[硫酸カルシウム]

チョークの粉 1.3kg に対して水を 1L を少しずつ入れて混ぜる。十分に混ぜたら型に流し込む。

[紙粘土]

手で成形する。

[粉状に砕いた羽衣チョーク]

粉に対して水を 60%加えてすりこ木で練るようにつぶし、型に流し込む。

※型は「大創産業」の「吸いやすくなったタピオカストロークリア」。

それぞれ一週間乾燥させ、書き心地を試す。

(A)-3 結果

- ・炭酸カルシウムは細かく砕け、チョークとして使えなかった。
- ・硫酸カルシウムは柔らかく脆かった。描き心地は滑らかで、通常のチョークよりも早く消耗して、短くなった。書いた字は薄かった。
- ・紙粘土は液体ではなく固体を手で成型したため均整の取れた形を作るのは困難であった。少し引っかかるような、滑らかでない描

き心地だった。

- ・砕いた羽衣チョークはひび割れが激しい。描き心地は通常のチョークと変わらず滑らかであった。

(A)-4 考察

炭酸カルシウムについては、ふさわしい増粘剤の情報が十分に得られず、増粘剤の代用として用いた薄力粉を加えたにも関わらずチョークが一つに固まらなかったために、本研究では炭酸カルシウムはチョークの材料としてはふさわしくないと判断した。

硫酸カルシウムは折れやすく、使用することが困難だと考えた。

砕いて固めた羽衣チョークはひび割れが激しく理想の形状を作るのが困難であった。

そこで、(B)では固体で成形が容易な紙粘土を採用する。

(B) 紙粘土でチョークを製作

(B)-1 目的

短くても、描きやすく、かつ長期間使えるチョークを製作する。

(B)-2 方法

紙粘土を以下の 6 種類の形に成型して、筆記のしやすさを評価する。

- 円柱（通常のチョークの形に似せた）
- テトラポッドの形
- 正四面体のそれぞれの面がへこんだ形
- 平らな三角形
- 立方体のそれぞれの面がへこんだ形

※紙粘土は予備実験と同様に、「大創産業」の「白くてふっくらなめらか紙ねんど」。

※(a)の長さは 78.0mm にし、(b)~(f)の長さの最大値は 40.0mm を下回るようにした。また、それぞれの体積は同じ長さの円柱より大きくなるよう配慮することでより長く使える設計にした。

※円柱形と同じような細い線が描きやすいよ

う、角の多い図形を選んだ。

(B)-3 結果

図 13 のようになった。



図 13(左から(a), (b), (c), (d), (e))

(a)は鉛筆と形状が似ており、(a)～(b)の中で最も持ちやすかった。(b)は使い始めてからしばらくは文字が細く保たれ比較的利用しやすかった。その他は描いているうちに線が太く、見にくくなった。

(B)-4 考察

短くても描きやすいチョークを作る際に、細い構造にすることが重要であり、(b)のテトラポットが最適だと考えられる。

ただし、持ちやすさはもとのチョークを下回ると考えられる。

[3]表面物性を変化させる

(A)既製チョークの表面物性を変化させる

(A)-1 目的

黒板とチョークの表面物性が異音の有無に関わっている可能性がある。例えば、バイオリンの音は弦と弓がスティックスリップ現象を引き起こすことで鳴る(参考文献²⁾)。それは、参考文献⁶⁾によると、弦に松脂を塗ることで弦の表面に凹凸ができ、表面物性を変化することで弓とこすれて摩擦が起きているからであり、松脂なしでは音はでない。このことをチョークにも当てはめると、チョークも通常の状態では表面に凹凸があるためにスティックスリップ現象が起き、異音が生じていると考えることができる。そこで、チョークの表面物性を変化させることで異音の発生防止を目指す。

(A)-2 実験方法

表面物性を変える物として、水と油を準備する。

(a)紙コップに水と油をそれぞれ高さ 3.00mm になるまで注ぎ、「株式会社羽衣文具」製の緑色の「羽衣チョーク POLY」を机に対して垂直に立てる。

(b)5 分間放置する。

(c)取り出して(図 14)9 日放置する。

(d)100 回チョークで黒板をこすり、そのうち何回異音が発生したかを数える。

※近い条件で異音の有無を計測するため、実際のチョークの粉を用いた。

※油を含んだチョークの先端は油分で覆われているため黒板にこすりつけると色がつかなかったため、チョークの長さを 10.0mm 削ってから計測を開始した。条件をそろえるために、水を含んだチョークも 10.0mm 削った。

※油は「CGC」製「CORDOLIVA Extra Virgin Olive Oil」を使用。



図 14(左が水を含んだチョーク、右が油を含んだチョーク)

(A)-3 結果

図 15 のようになった。

	水	油
異音の発生回数	81	6

図 15 表面物性を変化させて行った実験結果

- ・油を含んだチョークは水を含んだチョークより異音を発生させた回数が少なかった。
- ・油を含んだチョークは水を含んだチョークにくらべて描き心地が滑らかで、黒板についた色が薄かった。また、既製品のチョークよりも黒板消しで消しにくかった。

(A)-4 考察

油は異音の軽減に役立つと考察する。これはチョークの表面が滑らかになり、摩擦が軽減するためと考えられる。

(B) 油を含んだチョークの作成

(B)-1 目的

実際に油を用いて異音が発生しにくいチョークを作成する。

(B)-2 実験方法

チョークの粉を 15g ずつ量り、油をそれぞれ 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0g ずつ入れて混ぜ、水を 12g ずつ加えたものを型に入れ、3 日間乾燥させる。

※チョークの粉は本校 2 年生 8 クラスの黒板消しクリーナーの粉受けから回収して十分混ぜたもの。

※油は「CGC」の「CORDOLIVA Extra Virgin Olive Oil」。

(B)-3 結果

どのチョークも乾燥段階で割れてしまった。油を入れたチョークはどれも柔らかく、使えない状態だった。

(B)-4 考察

チョークが割れたのは増粘剤が不足しているからだと考える。また、油を入れる量が多かったため、チョークが柔らかくなったと考えられる。

5. 今後の課題

チョークによる異音が発生しない条件として、チョークの長さ、形状、表面物性に着目して研究を進めた。今後はチョークを黒板に押しつける力の大きさや角度、速度、擦りつける方向などの他の条件についても探っていきたい。

さらに、チョークの製作方法を変更したい。実際のチョークを使って違う形のチョークを作ったり、油を加えたりする技術が乏しく、考察の是非を検討することができなかったので、再現技術を高める必要がある。

また今回は比較的扱いやすいチョークの性質について議論したが、黒板の条件を変化させることで異音の発生を防げる可能性があるので検討したい。

6. 謝辞

今回の研究を進めていくにあたり、北陸先端科学技術大学院大学の小田和司先生や本校教諭の前田学先生をはじめとして多くの先生方、本校の生徒の方にご協力いただき、心より感謝申し上げます。ありがとうございました。

7. 参考文献

- 1) HL Kuntz RD Bruce(1985). 「Vibration generation in and sound radiation from squealing chalk」. The Journal of the acoustical Society of America, 77(S1), S4-S4
- 2) 日本機械学会 陸 暁豊 宇津野 秀夫 (2015). 「バイオリン弦のスティックスリップ振動に関する研究」. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsmekansai/2015.90/0/2015.90_263/_article/-char/ja/ 2020 年 10 月 12 日
- 3) 横井 雅之 酒井 秀男 荒井 一雄(1997). 「自動車各部の機械力学的特性に関する研究」. <https://ci.nii.ac.jp/naid/40004305824>

2020年10月12日

- 4) 情報トレジャー(2018).「チョークの作り方
って?家でも簡単に出来る4つの方法!!」

[https://johotreasure.com/archives/2356.](https://johotreasure.com/archives/2356.html)

[html](#)2020年12月19日

- 5) 佐々木朗(2011).「馬毛と松ヤニ」

[https://www.sasakivn.com/werkstatt/repo](https://www.sasakivn.com/werkstatt/report/kolophonium_non.html)

[rt/kolophonium_non.html](#)2021年2月19日