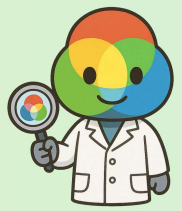


# 加法混色の減算を行う シミュレーションソフトウェアの開発と検証

浜松学芸中学校・高等学校 サイエンス部  
○山田 耕平 (1年) 山内 希一 (1年) 宮野 智矢 (2年)



## 緒言 | Introduction

### ◆ Bi人工結晶とは？

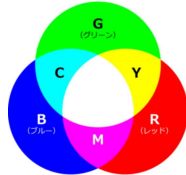
低融点金属であるBiの融解・急冷により生じる人工結晶  
特徴的な形状と色彩をもつ



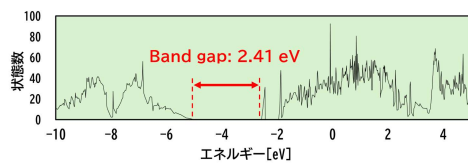
### ▶ 本校文化祭の定番商品のひとつ

### ◆ Bi人工結晶の色発生メカニズム

昨年度の研究よりBi人工結晶の色発生は  
従来考えられていた構造色ではなく  
表面酸化膜によるバンドギャップから  
説明可能であることが示された<sup>[1]</sup>

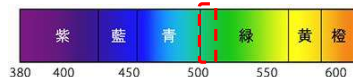


### ◇ 1層の表面酸化膜を持つBi人工結晶の構造決定とバンドギャップ



$$E = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{hc}{E} = 515 \text{ [nm]}$$



バンドギャップのエネルギー2.41 eVに  
対応する波長515 nm (緑色) の光を吸収

### ▶ 表面酸化Bi人工結晶の表面色は白色から緑色を除いた色となる = 加法混色のベン図よりマゼンタとなることが予想される

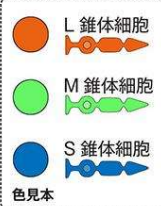
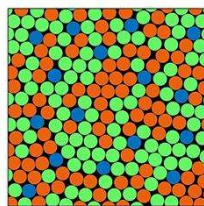
### ✓ 今後の議論にはベン図に頼らない表面色の特定が必要

加法混色の減算のシミュレーションソフトウェアを開発  
バンドギャップから表面色への直接変換を実現する！

## 理論と検証 | Theory & Verifications

### ◆ 人間の色認識<sup>[2]</sup>

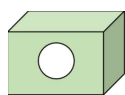
L (赤) / M (緑) / S (青) の  
3種類の錐体細胞によって  
色を認識している



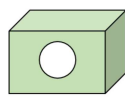
### ▶ RGBによるデジタル色の 表現が人間の認識する色の 計算にそのまま利用可能？

上記の仮説に基づきモデル計算のソフトウェアを開発し  
その妥当性をフィルタを用いた実験により検証する

### ◆ 検証方法 \*RGBの測定には「色彩ヘルパー」を利用<sup>[3]</sup>



フィルタにより  
除かれる色を測定  
\*フィルタ色は赤・青・緑・黄・透明 (対照実験)



仮説から導かれる色と  
測定結果を比較・検証  
ピンホール暗幕：フィルタ表面色や  
LED輝度の測定への影響を低減する

ソフトウェアによるモデル計算結果と実験結果を比較

## 謝辞 | Acknowledgement

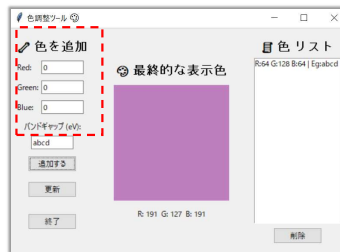
本研究は公益財団法人 山崎自然科学教育振興会の研究助成を受けて  
実施された。また、本研究の実施に当たっては、本校サイエンス部  
顧問の伊藤信一先生、村上拓先生、火物瑠偉先生、杉浦享一先生の  
熱心なご指導があった。この場を借りて感謝申し上げます。

## 開発 | Development

Python 3.x系 tkinterにより開発<sup>[4]</sup>



### ▶ GitHubに公開 誰でも利用できるように整備



除く色のRGB値を入力

白色から  
それまでに入力された  
RGB値の最大値を除いた色を  
「最終的な表示色」に表示

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 255 - \max(R) \\ 255 - \max(G) \\ 255 - \max(B) \end{pmatrix}$$

ソフトウェアの開発・Github上への公開を行った

## 検証の結果と考察 | Results & Discussions

### ◆ 1枚のフィルタによる減算 (実験結果)

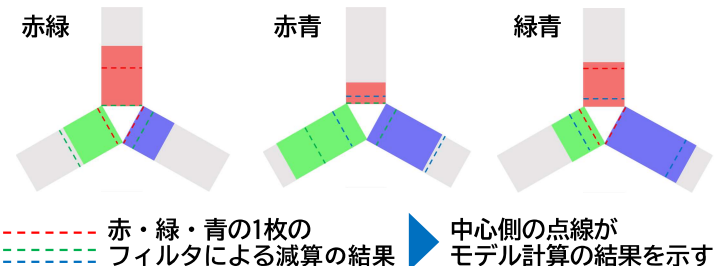
|    | R   | G   | B   | R   | G   | B   |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 透明 | 255 | 255 | 255 | 0   | 0   | 0   |
| 赤  | 98  | 14  | 5   | 157 | 241 | 250 |
| 緑  | 0   | 128 | 32  | 255 | 127 | 223 |
| 青  | 21  | 44  | 180 | 234 | 211 | 75  |

フィルタを掛けたときのRGB値 ▶ フィルタにより除かれたRGB値



表の結果を元に複数フィルタを掛けたときの  
色をモデル計算で見積り実験の結果と比較する

### ◆ 2枚のフィルタによる減算 (モデル計算と実験結果)



赤・緑・青の1枚の  
フィルタによる減算の結果 ▶ 中心側の点線が  
モデル計算の結果を示す

モデル計算と実験の結果はほとんど一致しない

### ▶ RGBを用いた色の減算は単純には上手く行かない 長期的に取り組むに値する課題であることが分かった！

## まとめと展望 | Summary & Future work

- ① 仮説に基づいて加法混色の減算のモデル計算を実行する  
プログラムを開発・Github上に公開した
- ② モデル計算結果の妥当性をカラーフィルタを用いた実験により  
検証し このモデルでは上手く行かないことを明らかにした
- ③ 今後は実験結果を元にした統計的手法などを利用して  
加法混色の減算を実現するモデルの構築に取り組む予定である

## 参考文献 | References

- [1] 宮野智矢, 勝谷恵伍, 日本金属学会春期講演大会, HSP6 (2025) .
- [2] 川端裕人, "人の色覚多様性について知っておくべきこと②", 集英社学芸の森  
<https://gakugei.shueisha.co.jp/mori/serial/iroiro/003.html> (2025年11月閲覧) .
- [3] 色彩ヘルパー <https://apps.apple.com/jp/app/id541379161> (2025年11月閲覧) .
- [4] tkinter <https://docs.python.org/ja/3/library/tkinter.html> (2025年11月閲覧) .