

うどんのゆで汁のろ過～食品廃棄物から作った炭を用いて～

Filtration of udon cooking water

Using charcoal made from leftover kitchen waste

成田 千紗 野口 真由 藤尾 碧葉 南井 咲妃

NARITA Chisa NOGUCHI Mayu FUJIO Aoha MINAMI Saki

1. 要旨・概要

うどんのゆで汁は多くのデンプンを含んでおり、排水される際に様々な環境問題を引き起こしている。そこで、本研究では、うどんのゆで汁の浄化を目的とし、炭によるデンプンのろ過を行った。また、炭を食品廃棄物から自作することで廃棄物の有効活用も目指した。本実験では、うどんのゆで汁は中力粉水溶液で代替した。また、どれだけのろ過できたかを示す指標をろ過率と定義して COD 測定によって求めた。その結果、糊化していないデンプンは炭で吸着することができたが、糊化デンプン(ゆで汁中と同じ状態)はろ過率が数%程度と低く、炭で吸着することは不可能であることが分かった。また、糊化していないデンプンの吸着においては、炭の材料別にろ過率に差が見られた。炭やデンプンの状態などの違いを考慮すると、炭によるデンプンの吸着においては表面の化学的な極性(親水性か疎水性)と炭の比表面積の大きさが関係していると考えられる。現段階では、目的であるうどんのゆで汁の浄化を炭でのろ過で行うことは難しいと言える。今後、炭と水溶液の相対的な量やデンプンの老化現象などに着目して更なる実験を重ねることで可能性を見出したい。

2. 問題提起・研究目的

香川県に多いうどん店はほかの飲食店や食料品製造業に比べて排水が大いに汚れている⁽¹⁾ことが知られている(図1)。また、うどんのゆで汁には多くのデンプンが含まれており、排水路のアオコの大量発生や悪臭、水質汚濁などの環境への悪影響が懸念されている。そこで、私たちはデンプンに着目して、うどんのゆで汁のろ過を行おうと考えた。本研究では、香川県環境森林部環境管理課より作成された「うどん店排水処理対策マニュアル」の対策方法のうち「排水の浄化」によってうどん店の排水対策に取り組もうと考えている。研究を通して、新たなろ過の方法を生み出すことで地元の香川県に貢献したい。また、本研究ではうどんのゆで汁にフォーカスを当てているが、同様にデンプンを多く含む麺類のゆで汁や米のとぎ汁のろ過などにも活用できると考えている。

ろ過材として自作ろ過装置によく用いられているものを参考にした。布、ティッシュペーパー、石、炭などがあるが、その中でも多孔質であり表面に吸着作用がある炭に着目した。炭は野菜の皮などの食品廃棄物から自作することで廃棄物の有効活用にも取り組んだ。目的であるうどんのゆで汁のろ過はうどん店や家庭を対象としているため、本研究ではうどん店や家庭からよく出る食品廃棄物から炭を作製した。

吸着性能を決定するものとして表面積、孔の大きさ、表面の化学的な極性(親水性か疎水性)の3つが挙げられている。表面積は大きいほど吸着容量が増すこと、吸着剤の細孔の大きさは吸着質の粒子の大きさに近いほうが良いということが分かっている。また、表面の化学的な極性については、吸着質と吸着剤の親和力(結びつきやすさ)が大きいほうが良いということがわかっている⁽²⁾。本研究ではこれらを参考にして、炭の吸着性能の評価を行った。

3. 実験方法・結果

〈実験で使用する炭の作製方法〉

本研究ではタマネギ、ニンジン、サツマイモの皮を炭の材料とした。タマネギの皮は茶色の部分を剥いたもの(図2)、ニンジンの皮は表面を1周ピーラーで剥いたもの(図3)、サツマイモの皮は紫の部分を1周ピーラーで剥いたもの(図4)を使用する。

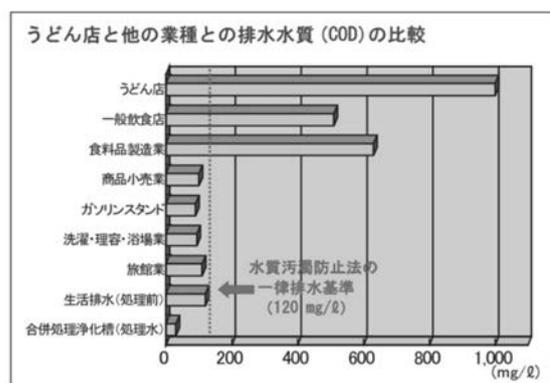


図1.うどん店と他の業種の排水水質(COD)の比較⁽¹⁾

まず、それぞれの野菜の皮を天日干しする。完全に水分が蒸発したら、材料をアルミ缶に隙間なく入れ、口をアルミホイルで覆う。この時、アルミホイルに4つ小さな穴をあける。その後、ドラフト内で缶をガスバーナーで熱し、黒い煙が出なくなったら(熱してから約10分)炭化完了とし、加熱をやめる。できた炭の粗熱がとれたらポリエチレンのチャック付きの袋に入れ、炭を5mm程度に砕く。その後、炭に付着している余分な有機物を取り除くため、炭の洗浄を行う。茶こしに砕いた炭を入れ、上からイオン交換水を流し、ガラス棒で緩やかにかき混ぜる。茶こしから流れ出る水が透明になるまで洗う。洗浄した炭をアルミホイルの上に薄く広げ、160°Cに余熱した乾熱滅菌機で30分間加熱して乾燥する。



図2.タマネギの皮



図3.ニンジン



図4.サツマイモの皮

【実験1】 COD 測定を用いてろ過率を求める

〈目的〉

デンプンの吸着における炭の吸着性能を調べた。また、炭の材料別によるろ過率を求め、吸着性能を比較した。

〈準備物〉・COD 測定に用いる試薬

酸化剤： 4.00×10^{-3} [mol/L] の過マンガン酸カリウム KMnO_4 水溶液

還元剤： 1.00×10^{-2} [mol/L] のシュウ酸 $(\text{COOH})_2$ 標準溶液

・タマネギ、ニンジン、サツマイモの炭

〈方法〉

1. デンプンの状態が異なる2種類の中力粉水溶液を作製する
 - ・中力粉水溶液I(糊化前)
40°Cの水1.00Lに中力粉1.00gを加え、よくかき混ぜたもの
 - ・中力粉水溶液II(糊化後)
100°Cの水1.00Lに中力粉1.00gを加え、よくかき混ぜたもの
※ダマになるのを防ぐため粉ふるいでふるって中力粉を加える
2. COD 測定によってろ過前の中力粉水溶液のCODを求める
COD 測定では中力粉水溶液を10倍希釈したものを用いる。
また、誤差を考慮して3回測定を行い、平均を出す。
3. ろ過を行う
ペットボトルを半分に切り、その下部分に茶こしをつけたものに炭1.00gを入れる(図5)。炭の上から中力粉水溶液50mLを流し込む。
4. ろ過後の中力粉水溶液のCODを求める
5. ろ過率を計算して求める



図5.ろ過装置

$$\text{ろ過率} = \frac{X_{\text{前}} - X_{\text{後}}}{X_{\text{前}}} \times 100 \text{ [\%]}$$

$X_{\text{前}}$ ：ろ過前の中力粉水溶液のCOD $X_{\text{後}}$ ：ろ過後の中力粉水溶液のCOD

〈結果〉

1. 中力粉水溶液I(糊化前)のろ過率について

図6は中力粉水溶液Iの結果である。左から順にタマネギ、ニンジン、サツマイモの炭のろ過率 [%] を示している。また、表1は炭の材料別によるろ過率の平均値と中央値をまとめたものである。

それぞれの中央値、平均値を比べるとろ過率はタマネギ、ニンジン、サツマイモの炭の順に高いことがわかる。どの炭においてもばらつきが見えるのは、中力粉が沈殿していたためだと考えられる。

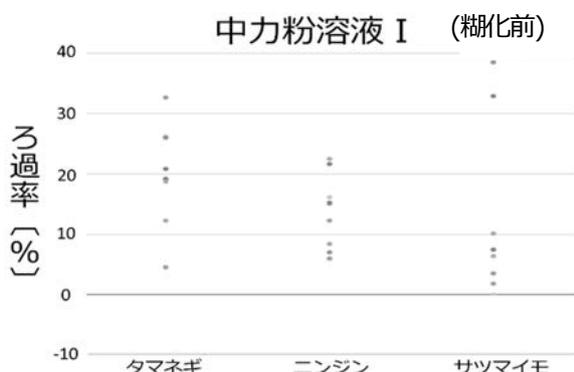


図6.中力粉水溶液Ⅰの炭ごとのろ過率 [%]

表 1.炭ごとのろ過率の平均値と中央値 [%]

| | タマネギ | ニンジン | サツマイモ |
|-----|-------|-------|-------|
| 平均値 | 20.05 | 13.65 | 12.62 |
| 中央値 | 20.81 | 12.32 | 6.97 |

2. 中力粉水溶液Ⅱ(糊化後)のろ過率について

図7は中力粉水溶液Ⅱの結果である。左から順にタマネギ、ニンジン、サツマイモの炭のろ過率 [%] を示している。また、表2は炭の材料別にろ過率の平均値と中央値をまとめたものである。

どの炭のろ過率も数%程度であり、低いことがわかる。また、ろ過率に負の値が見られるが、これはCOD滴定で生じた誤差と中力粉水溶液の蒸発が原因だと考えられる。中力粉水溶液Ⅲは実験中、温度を保つために100°Cに設定したマントルヒーターで保管していた。水の蒸発を防ぐため、ビーカーの口をラップで覆っていたがホールピペットで測り取る際に蒸発した可能性がある。

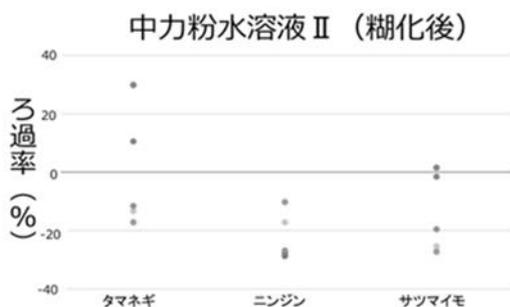


図7.中力粉水溶液Ⅱの炭ごとのろ過率 [%]

表 2.炭ごとのろ過率の平均値と中央値 [%]

| | タマネギ | ニンジン | サツマイモ |
|-----|--------|--------|--------|
| 平均値 | -0.28 | -22.16 | -15.02 |
| 中央値 | -11.53 | -26.8 | -19.5 |

【実験2】 炭の構造を調べる

〈目的〉

【実験1】で中力粉水溶液Ⅰを用いた結果、炭の材料によつてろ過率に違いがみられたことから、炭の構造に違いがあると考え、炭の観察を行った。ショットキー電界放出形走査顕微鏡を用いて炭の構造を観察し、ろ過率との関係を調べた。

〈準備物〉・タマネギ、ニンジン、サツマイモの炭

・ショットキー電界放出形走査顕微鏡

〈方法〉

タマネギ、ニンジン、サツマイモの炭をそれぞれ2かけらずつ用意し、香川大学創造工学部に依頼して、ショットキー電界放出形走査顕微鏡を用いて観察した。すべての炭を400倍で観察した。

〈結果〉

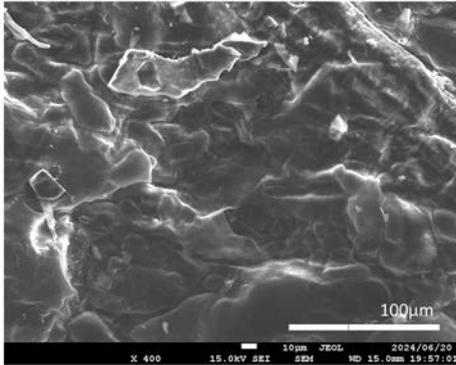


図 8.タマネギ(2024年6月20日)

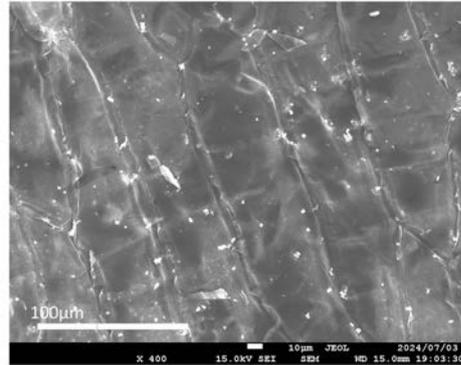


図 9.タマネギ(2024年7月4日)

(特徴)図 8 は凹凸が多くみられたが、一方で図 9 は凹凸があまり見られなかった。また、図 9 は表皮細胞のような並びが見られ、個体によって構造に違いが見られた。

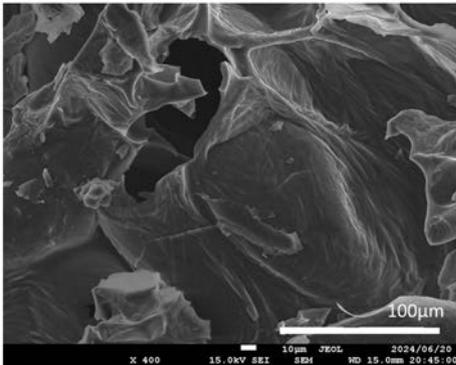


図 10.ニンジン(2024年6月20日)

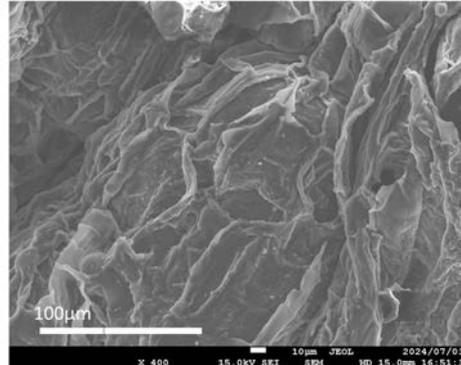


図 11.ニンジン(2024年7月4日)

(特徴)図 10、図 11 を比較して、顕微鏡の光具合に差はあるが、図 10 と図 11 とで凹凸具合に差はあまり見られなかった。また、全体的に凹凸、空隙が多くみられた。

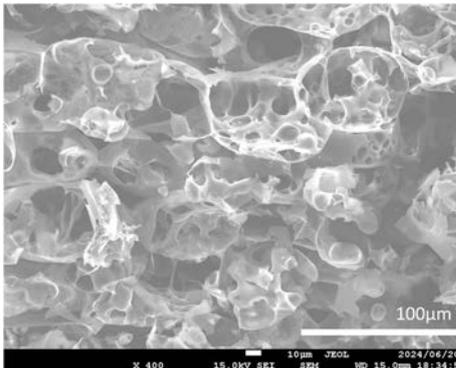


図 12.サツマイモ(2024年6月20日)

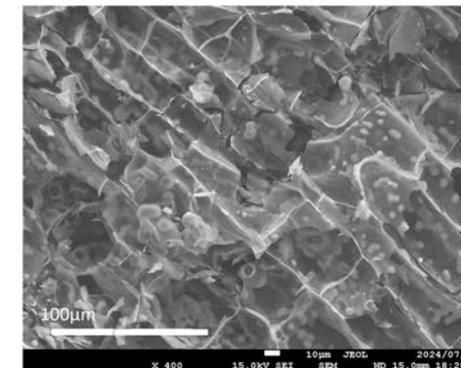


図 13.サツマイモ(2024年7月4日)

(特徴)図 12 と図 13 とともに細胞壁のような並びが見られた。

【実験 3】 炭の比表面積と孔の大きさを調べる。

〈目的〉

ろ過率が炭の材料によって異なったため、吸着性能を決定する要素(表面積、孔の大きさ、表面の化学的な極性)のうち表面積、孔の大きさが関係していると考えた。そこで比表面積(単位質量あたりの表面積)と平均細孔直径(すべての細孔を1つの円筒形細孔としてその直径を求めたもの)を用いて炭の材料別に比較を行った(表 3,4)³⁾。

- 〈準備物〉・タマネギ、ニンジン、サツマイモの炭
 ・自動比表面積/細孔分布測定装置

〈方法〉

香川大学創造工学部に測定を依頼した。

〈結果〉

表3は各炭の比表面積 [m²/g]、表4は各炭の平均細孔直径 [nm] とデンプンの大きさ [nm] を示している。
 ※デンプンの大きさは一般的な小麦デンプンの大きさを示したもの

表3.材料別の炭の比表面積 [m²/g]

| タマネギ | ニンジン | サツマイモ |
|------|-------|-------|
| 2.31 | 0.473 | 0.599 |

表4.材料別の炭の平均細孔直径 [nm] とデンプンの大きさ [nm]

| 小麦デンプン | タマネギ | ニンジン | サツマイモ |
|--|------|------|-------|
| 1.0×10 ⁴ ~3.0×10 ⁴ | 8.40 | 23.3 | 27.4 |

4. 考察

①炭の構造(凹凸や空隙など)とろ過率の関係

【実験2】の結果より、炭の構造には個体差があり、また、観察する向きによって炭の表面状態が異なることが分かった。そのため、炭の構造を特定することは困難であり、炭の構造が吸着性能を決定しているか判断できなかった。

②中力粉水溶液I(糊化前)と中力粉水溶液II(糊化後)のろ過率の比較

図14、図15、図16は中力粉水溶液IとIIのろ過率 [%] を炭の材料別に比較したグラフである。図14はタマネギ、図15はニンジン、図16はサツマイモの結果を示している。

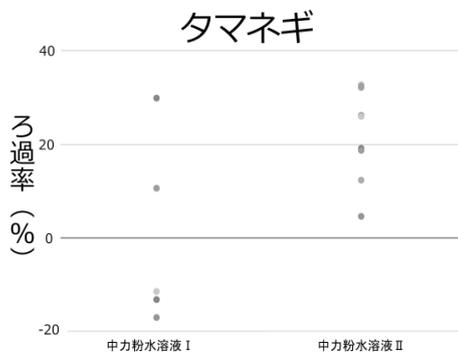


図14.タマネギのろ過率 [%] の比較

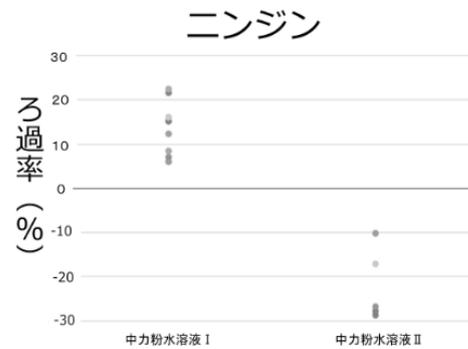


図15.ニンジンろ過率 [%] の比較

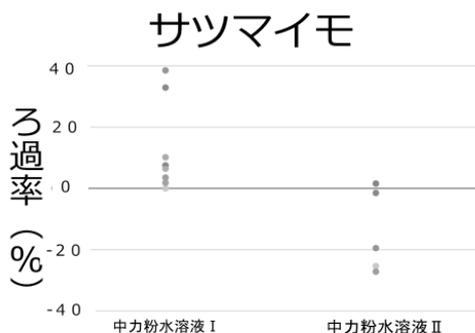
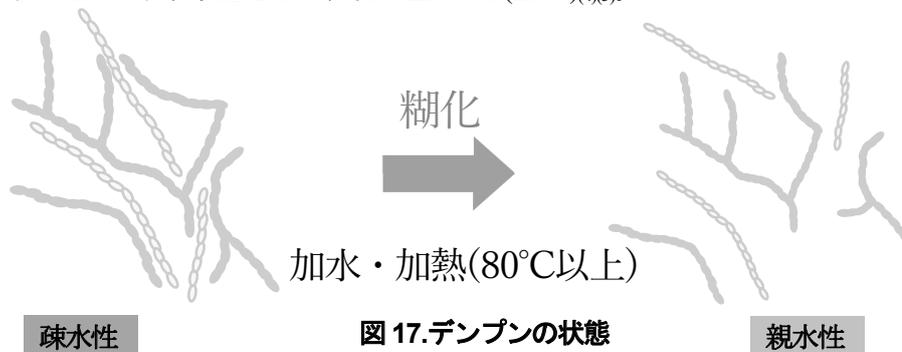


図16.サツマイモのろ過率 [%] の比較

どの炭も中力粉水溶液Ⅰ(糊化前)に比べ、中力粉水溶液Ⅱ(糊化後)のろ過率が低い。デンプンの状態によつてろ過率に違いが見られたため、吸着性能を決定する要素(表面積、孔の大きさ、表面の化学的な極性)のうち表面の化学的な極性の関係を考えて。吸着質と吸着剤の親和力(結びつきやすさ)が高いほうが吸着性能も高くなることが知られており、本研究で用いた吸着剤の炭は疎水性であるため、吸着質も疎水性の方が吸着されやすいと言える。

そこで、吸着質のデンプンに着目した。デンプンはもともと疎水性だが、加水・加熱(80℃以上)を行うことで分子間の結合が切断されて糊化状態となり、親水性になる(図17)⁽⁴⁾⁽⁵⁾。



まとめると、中力粉水溶液Ⅰ(糊化前)中のデンプンは40℃の水に溶かしているため糊化状態ではなく、疎水性であるのに対し、中力粉水溶液Ⅱ(糊化後)は100℃の水に溶かしているため糊化状態であり、親水性である。以上のことから、中力粉水溶液ⅠとⅡでろ過率が大きく異なったのは、デンプンと炭の表面の化学的な極性が影響しているからだと言える。したがって、炭によるデンプンの吸着において表面の化学的な極性が及ぼす影響は大きいと分かった。

③【実験1】の中力粉水溶液Ⅰ(糊化前)でタマネギの炭のろ過率が他の炭より高い理由

【実験3】よりニンジンとサツマイモの炭の比表面積は同程度だが、それに比べ、タマネギの炭の比表面積は大きいことがわかった(表3)。「実験1」の中力粉水溶液Ⅰ(糊化前)でタマネギの炭のろ過率が高かったことを踏まえると、炭によるデンプンの吸着において比表面積が大きいほど吸着量は多くなると言える。

また、平均細孔直径はサツマイモ、ニンジン、タマネギの炭の順に大きい。一般的な小麦デンプンの大きさに比べると極めて小さかった(表4)。そのため、炭の平均細孔直径の差が吸着性能の差に影響を及ぼすとは考えづらい。したがって、炭によるデンプンの吸着に炭の細孔の大きさが及ぼす影響は小さいと言える。

5. 結論

本研究では食品廃棄物から作った炭を用いてうどんのゆで汁を浄化することを目的としていたが、デンプンが糊化した状態(うどんのゆで汁の状態)では浄化することが難しいと言える。

炭によるデンプンの吸着において、吸着性能を決定する主な要因は表面の化学的な性質と炭の比表面積の2つである。デンプンは疎水性であることが望ましく、炭の比表面積は大きいほど吸着量は多くなる。

6. 今後の展望

先行研究で吸着性能を決定する要因の1つとして表面の化学的な極性が挙げられているが、今回の研究で用いた吸着材の炭は疎水性、吸着質の糊化後のデンプン(中力粉水溶液Ⅱ)は親水性であり、両者の極性が異なるため、吸着性能が低かったと考えられる。そこで、デンプンの「老化」に着目した。老化とは糊化状態のデンプンを60℃以下で放置することで分子内に含まれていた水が遊離し、再び密な構造になることである。老化したデンプンは疎水性を示すため、同じ疎水性の炭に吸着しやすくなると考えられる。そこで中力粉水溶液Ⅱ(糊化後)を冷蔵庫で一晩保管し、「実験1」と同様の方法で炭の吸着性能を調べる。仮に一定の吸着性能が見られた場合、デンプンを老化すれば、炭での吸着が可能と言える。

また、今回の実験ではろ過を行う際、同じ炭に対して一度しか中力粉水溶液を流さなかった。そのため、炭がデンプンを吸着できる最大量が不明である。そこで、同じ炭に対して複数回、中力粉水溶液を流して炭の最大吸着量を求めることによって、炭を最大限に活用したい。

7. 参考文献

- (1)香川県.“小規模事業場対策(うどん店排水処理対策マニュアル)”.香川県公式ホームページ.2019.https://www.pref.kagawa.lg.jp/documents/2225/sro3v2191001143108_f01.pdf, (参照 2023-12-07)
- (2) 安部郁夫.“活性炭の基礎知識-J-STAGE”.生活衛生-J-STAGE.1993-07-10.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/seikatsueisei1957/37/4/37_4_163/_pdf, (参照 2024-06-26)
- (3)島津製作所. “ガス吸着法における全細孔容積と平均細孔直径”.[SHIMADZU]島津製作所.<https://www.an.shimadzu.co.jp/service-support/technical-support/analysis-basics/powder/lecture/practice/p02/lesson14/index.htm>,(参照 2024-07-20)
- (4)食品科学便覧食品科学博覧編集委員会共立出版(株),“デンプンの糊化の要因とその概要”. <https://www.eng-book.com/pdfs/7eba2d687a90db4ed0fee07cc5b170a5.pdf>,(参照 2024-07-20)
- (5) 高橋明弘.“小麦と小麦粉の科学”.フードトピックス.
http://www.azeron.co.jp/_src/4532902/foodtopics_22_5.pdf,(参照 2024-07-20)

8. 謝辞

本研究を進めるにあたり、高松第一高等学校 教諭 伊賀史朗先生、香川大学創造工学部の石井知彦先生、田中康弘先生、上村忍先生、徳島文理大学理工学部の佐藤一石先生、谷川浩司先生をはじめ多くの先生方にご指導ご鞭撻を賜りました。ありがとうございました。