

**Polyethylene naphthalate 樹脂製食器における
残留デンプンの定量化と洗剤性能の評価**

高田公彦*, 丹野恵梨香, 千原成美, 宮崎美子

**Quantification of residual starch and evaluation of detergent performance
for polyethylene naphthalate resin tableware**

Kimihiko Takada*, Erika Tan-no, Narumi Tihara, Yoshiko Miyazaki

Tableware used for school meals must be easily cleaned to protect the health of students. Polyethylene naphthalate (PEN) resin is now frequently used for school tableware, particularly that used to serve rice and side dishes, since it is easier to handle and clean than traditional melamine resin or reinforced ceramic tableware. However, during regular inspections PEN resin tableware was found to have detectable levels of residual starch that could not be removed either in a dishwasher or by hand washing. Moreover, comparison of cleaning conditions and detergent performance is challenging given the lack of objective and quantitative evaluation methods.

Here we describe a method we devised for quantifying residual starch by image analysis using ImageJ. Detergent samples provided by several detergent manufacturers were used to clean PEN tableware and the removal of residual starch was investigated at the university laboratory level. Evaluation of the cleaning effect of various detergents using this imaging method revealed that chlorine-based detergent was the most effective, and neutral detergent containing enzymes also had good performance. Furthermore, extending the immersion time or pre-heating in hot water at 90°C enhanced cleaning effectiveness.

The main selection criteria for detergents used in school lunch facilities include factors such as impacts on workers and the environment, efficiency, and cost. It is expected that the analysis results of the laboratory will be reflected in the hygiene management of school lunch sites and will lead to the prevention of diseases in the community.

Key words: PEN resin tableware, residual starch, school meals, detergents, image analysis

Received April 28, 2020; Accepted June 29, 2020

Kimihiko Takada, Erika Tan-no, Narumi Tihara, Yoshiko Miyazaki 昭和薬科大学臨床薬学教育研究センター
地域医療部門

* 連絡先：昭和薬科大学臨床薬学教育研究センター地域医療部門 高田公彦
〒194-8543 東京都町田市東玉川学園 3-3156 Tel/Fax: 042-721-1560 E-mail: takada@ac.shoyaku.ac.jp

1. 緒言

学校給食において使用される食器は、児童・生徒の健康を守るために清潔であることが求められる。現場ではさまざまな材質の食器が用いられ、洗浄にあたっては、材質特有の取り扱い方、洗浄法が取り入れられている¹⁻³⁾。2001年から給食食器に Polyethylene naphthalate (PEN) 樹脂製の飯椀やおかず椀が使われるようになった^{4,5)}。PEN 樹脂は従来のメラミン樹脂製や強化陶磁器製の食器に比べ、取り扱いや洗浄性に優れるということから学校給食はもとより病院や介護施設などにも導入されてきた⁶⁾。しかし、学校薬剤師による給食室の定期衛生検査では片栗粉などの粉調理を行った料理を盛りつけた PEN 樹脂食器において、食洗機による洗浄や手洗いによる洗浄でも除去できない残留デンプンが検出され、適切な洗剤の選択と洗浄法の普及が懸案となっていた^{7,8)}。一方、現場で行われている目視検査(図1)は、数値等による客観的な評価法ではないため、洗浄の状態や洗剤の性能を比較検討したり、具体的な解決策を提示することが難しかった。そこで、残留デンプンを画像処理して数値化する方法を検討した。この方法を用いて今回、日本食品洗浄剤衛生協会(食洗協)や洗剤メーカーのご協力のもと、洗剤サンプルをご提供いただき、大学の実験室レベルで幾つかの条件を設定し、残留デンプンの除去条件を調べた。また、残留デンプンは食器を煮沸することで除去可能とされるので⁹⁾、各種洗浄剤の洗浄能力におよぼす高温処理の影響も調べた。

2. 方法

食器における残留デンプンの検出には、希ヨ



図1 給食室での目視による残留デンプン検査の様子

ードチンキ液(マルイシ製薬)を用いた。検査対象食器は三信化工(株)製、PNB-31を用い、通常の給仕後、給食室においてすでに脂肪酸系の洗剤(H・K・S：学校給食用針状純石鹼)[S]を用いて通常60°Cの浸漬洗浄を行ったものを対象とした。食器に盛られた当日の料理が毎回異なるので、食器を預かるたびに残留デンプンの残留度をチェックし、あまり残留の多くない食器は実験から除外した上で残留度の似たようなロットの食器について洗浄試験を行った。

今回評価を行なった洗剤(浸漬剤)は、表1に示す10種類である。いずれも食洗機への投入前に一定時間の浸漬を行うタイプのものである。浸漬条件は、40°C、30分、60°C、30分、40°C、60分、60°C、60分の4通りとし、浸漬する洗剤濃度はメーカーの取り扱い提示濃度とその倍量の2種類とした。各条件につき、汚染していると思われる食器1枚を浸漬したのち、40°Cの温湯で手洗いによるスポンジ洗浄を行い、40°Cの温風乾燥機で乾燥させたものについてヨウ素デンプン反応を実施した。また、このような予備試験によって高い洗浄性能が得られた洗剤については検体数を増やし、データを得た。

表 1 残留デンブンの洗浄性能評価を行った浸漬剤とメーカー推奨条件

浸漬剤	液性	使用濃度	浸漬条件	性状	組成	塩素系	酵素系
A	アルカリ性 (pH8.5)	0.6%	常温, 30分	液体	次亜塩素酸 Na, 界面活性剤, アルカリ剤	+	-
B	弱アルカリ性	0.4~1.0%	60°C, 30分	粉末	過炭酸 Na, 金属イオン封鎖剤, 界面活性剤, アルカリ剤, 安定剤	-	-
C	中性	0.05~0.15%	60°C, 30分	液体	カルボン酸塩, 多価アルコール, 非イオン系界面活性剤, 酵素	-	+
D	アルカリ性 (pH10)	0.1~0.2%	食洗機用	液体	アルカリ剤, 分散剤, 塩素系漂白剤	+	-
E	アルカリ性 (pH10)	0.2~0.4%	35°C, 10分	固体	炭酸塩, 多価アルコール, カルボン酸塩, 非イオン系界面活性剤, 酵素	-	+
F	中性	0.1~0.6%	60°C, 30分	液体	界面活性剤, アルキルスルホコハク酸塩	-	-
G	中性	0.05%	40~60°C, 10~30分	液体	非イオン性界面活性剤, 酵素	-	+
H	中性	0.05%	40°C, 10~20分	液体	界面活性剤, 非イオン系界面活性剤, 酵素	-	+
I	中性	0.2%	40°C, 10~20分	液体	界面活性剤, 溶剤	-	-
J	中性	0.1%	45°C, 25~30分	液体	非イオン系界面活性剤, 酵素	-	+

浸漬剤は、メーカー各社からご提供いただいたサンプル品を用いた。

A: ニイタカブリーチ, B: ニューホワイトアップ, C: 中性リキッド NZ, D: 塩素系リキッド PLH; (株) ニイタカ, E: スマートパワープリソーク; エコラボ合同会社, F: アクシャルニュースター; 花王プロフェッショナル・サービス (株), G: プリソークコンク; ライオンハイジーン (株), H: 酵素系中性浸漬剤, I: 予備浸漬用中性洗剤; 東京サラヤ (株), J: オートクリーン AF-E; (株) アルボース (順不同)

3. 結果

1. ImageJ による残留デンブンの数値化

ヨウ素デンブンの反応を行なった食器は水洗い後、水分を切り写真撮影を行なった。写真撮影の条件は全て同じ条件とし、1枚ずつ撮影したものを Adobe photoshop®を用いて1枚の写真に統合した(図 2A)。あるいは、PowerPoint®書類上に同サイズにした画像を並べたものを1枚の jpeg 画像に変換して画像解析に用いた。汚れの度合いは、統合した画像を米国 NIH から無償で提供されている画像解析ソフトの ImageJ でのデンストメトリー解析によって数値化した。統合した一枚の画像を白黒反転すると、ヨウ素によって紫青染されたデンブンの汚れは白い部分となり(図 2B)、光の強度として捉えることが可能となる。ツールを用いて測定域を指定し、まず a. バックグラウンドから得られる ID 値を測定した(図 2C)。続いて b. ~ f. へ測定域を移動させ、それぞれ一定面積あたりの Integrated Density (ID) を汚れ度合いとして

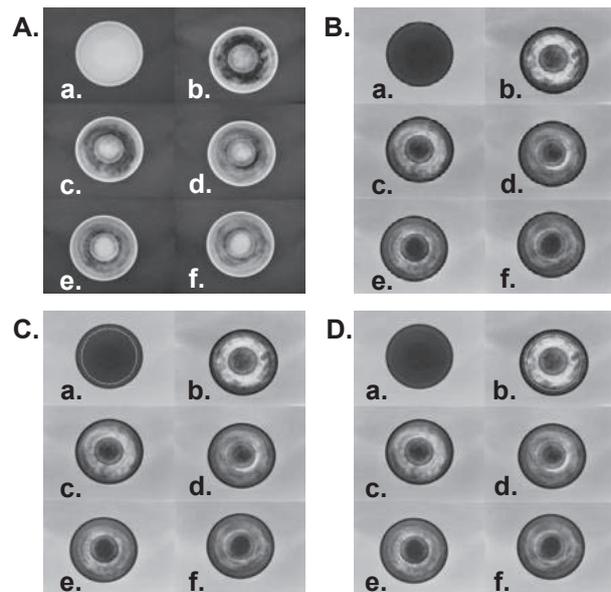


図 2 イメージアナライザーによる残留デンブンの解析例

- A. 各写真 (a~f) を1枚に統合した解析用元画像,
- B. A を白黒反転させた画像
- C. 測定円を決め(a), ID 値測定
- D. 測定円を b へ移動し, ID 値測定.
- a. バックグラウンド
- b. コントロール (対照)
- c. 浸漬剤例 1×濃度, 40°C, 60分,
- d. 浸漬剤例 1×濃度, 60°C, 60分,
- e. 浸漬剤例 2×濃度, 40°C, 60分,
- f. 浸漬剤例 2×濃度, 60°C, 60分.

表 2 イメージアナライザーによる
残留デンプンの数値化例

浸漬剤濃度	残留デンプン %	
	40°C, 60 分	60°C, 60 分
1 ×	c. 91.01	d. 45.30
2 ×	e. 72.23	f. 42.29

図2 の各サンプルの画像から ID 値を測定したのち、
a. バックグラウンドの ID 値を
各サンプル測定値から差し引き、
b. コントロール（対照）の ID 値を100%として、
c~f の残留デンプン% を算出した。

数値化した（図 2D）。このように各 ID 値を測定したのち、a. バックグラウンドから得られる ID 値を各サンプル ID 値から差し引き、b. コントロール（対照）から得られた ID 値を 100%として、残留デンプン% を算出し、表にまとめた（表 2）。このような手順で食器の残留デンプンを数値化することができた。

2. 各種浸漬剤による洗浄効果の比較

まず、予備的な試験で評価した浸漬剤による洗浄効果を図 3a~d に示した。ImageJ による画像解析によって得られた ID 値を用い、今回検討した条件で最も有効だったのは、塩素系の [A] であった。40°C, 30 分, 60°C, 30 分という条件でデンプンはほぼ完全に除去されていた。また、同じ塩素系の [D] も除去効果は高かったが、浸漬時間を延長しても完全に残留デンプンを除去することはできなかった。一方、中性の洗剤では、[G] や [H] のように酵素を配合した洗剤の洗浄効果が優れていた。しかし、酵素が配合されていない [I] では洗浄条件を強くしてもデンプンの残留が認められた。幾つかの結果は、低濃度の方が洗浄効果の高い結果となったものなど、条件の強さを反映していなか

った。また、全体的に浸漬剤濃度を 2 倍程度上げることよりも食器の浸漬時間を延長した方が洗浄効果は高かった。そこで、予備試験において明らかな洗浄効果が認められた [A] ニイタカブリーチ（株式会社ニイタカ）、[D] 塩素系リキッド PLH（株式会社ニイタカ）、[G] プリソークコンク（ライオンハイジーン株式会社）、[H] 酵素系中性浸漬剤（東京サラヤ株式会社）の各浸漬剤について、60°C, 30 分の浸漬条件で、検体数を増やして（n=5）データを得た。その結果、[A] は残留デンプンを完全に除去することが再確認された。（図 4 レーン 2）一方、[D]、[G]、[H] はそれぞれ 90%、64%、87%の除去を認めたが、いずれにおいても残留デンプンを完全に除去することはできなかった（図 4 レーン 3~5）。一方、食器上の残留デンプンは乾燥固化していることから、デンプン分子内に水を導入しなければ、酵素配合の浸漬剤でもすぐれた洗浄効果が得られず、また、β デンプンには酵素が作用しにくいことなどが考えられた。デンプンは 90°C, 30 分以上の加温により、α 化することはよく知られている⁹⁾。これにより酵素も十分なデンプン分解作用を発揮できることが予想された。そこで、次に予め 90°C の熱水中で、30 分間加温をしたのち、ひきつづき 60°C, 30 分で各種浸漬剤に浸漬して洗浄効果を確認した。その結果、90°C, 30 分の加温処理により浸漬剤がなくても 88%の残留デンプンは除去されたが、完全に除去することはできなかった（図 4 レーン 6）。一方、熱水中での加温処理後、浸漬剤中に浸漬した食器では、[A]、[D]、[G]、[H] いずれの浸漬剤によってもほぼ完全に残留デンプンを除去することができた（図 4 レーン 7~10）。また、脂肪酸系の洗剤 [S] でも効率よく残留デンプンを除去することが確認された（図 4 レーン 11）。

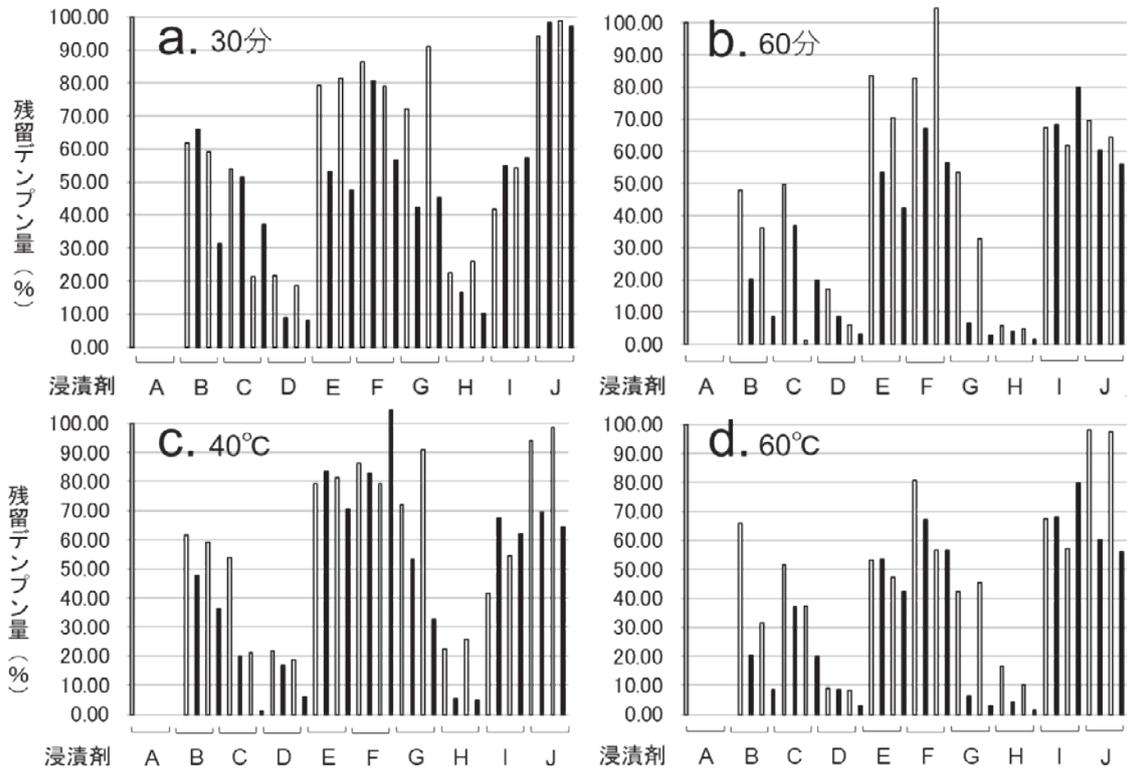


図3 各条件下での残留デンプンに対する浸漬剤の洗浄性能評価

- a. 浸漬温度を□: 40°C, ■: 60°Cとして浸漬時間30分, 浸漬剤濃度2種類
(各浸漬剤のバー4本のうち, 左から2本がメーカー推奨濃度1×, 右から2本が2×)
- b. 浸漬温度を□: 40°C, ■: 60°Cとして浸漬時間60分, 浸漬剤濃度2種類
- c. 浸漬時間を□: 30分, ■: 60分として浸漬温度40°C, 浸漬剤濃度2種類
- d. 浸漬時間を□: 30分, ■: 60分として浸漬温度60°C, 浸漬剤濃度2種類

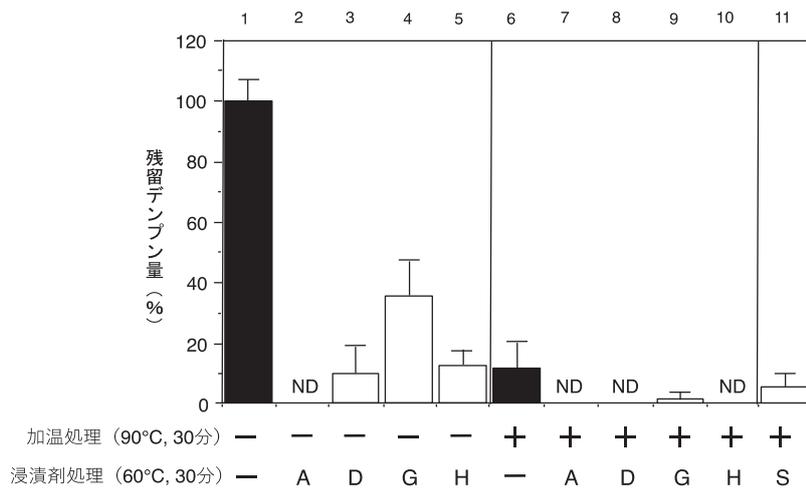


図4 予め高温での加温処理を行うことで浸漬剤の洗浄効果は高まる

浸漬温度60°C, 浸漬時間30分による洗浄効果の比較(レーン1~5),
90°C, 30分の加温処理後, 60°C, 30分の浸漬をおこなった場合の洗浄効果を比較した(レーン6~11).
(n=5, ND: 検出されず)

A: ニイタカブリーチ, D: 塩素系リキッド PLH; (株) ニイタカ, G: プリソークコンク; ライオンハイジーン (株),
H: 酵素系中性浸漬剤; 東京サラヤ (株), S: H・K・S 針状石鹼; エステー石鹼 (株)

4. 考 察

学校薬剤師として給食室衛生検査に出向き、食器の残留デンプンを検査すると飯椀の陽性反応例は少なかったのに対し、一方おかず椀からは強い陽性反応の得られる例が多かった。以前担当施設で使われていた、強化陶磁器製の食器では見られなかった現象であった。強い残留デンプン陽性反応が得られた時の献立を調べると、麻婆豆腐、あんかけ物、ワンタンスープなど、とろみをつけるために片栗粉を用いた場合やクリームシチューや肉じゃがといった汁物の献立の場合が多かった。これらは石鹼系の洗剤による洗浄で除去するのは難しいと考えられ、デンプン除去に特化した浸漬剤の選定が求められた。しかし、選定にあたり、汚染度合いを－、＋～＋＋で示す検査結果では、結果は主観的で比較データを吟味することは難しい。そこでまず、画像解析により残留デンプンを数値化することにより客観的な結果を提供することを可能とした。本法は、高価で特別な装置を必要とせず、デジタルカメラとPCがあれば導入することができる。本法により市場に多数出回っている浸漬剤の性能を調べて比較することも容易となり、効率の良い残留デンプンの洗浄条件を現場に提示することが可能になると思われた。

今回評価した洗剤のうち、塩素系の漂白剤が配合されているものはデンプンに対する変性作用から除去効果が強かったものと推察された。一方、このように塩素系の浸漬剤は洗浄力が高い反面、作業員の衣服や目、皮膚への影響、環境中への排出を配慮する必要がある。これに対し、中性の洗剤は洗浄力こそ塩素系の洗剤にはかなわないが、比較的安全に取り扱うことができるものと思われた。今回評価した中性の洗

剤では、デンプン分解酵素の配合されたものの洗浄効果が高かった。中性の浸漬剤は使用濃度における一般下水道への排出に関しては特に問題はなく、環境にも優しいと言える。今回唯一アルカリ性の強かったものとしては、[E]があるが、残留デンプンに対する洗浄力は浸漬条件を厳しくしても酵素配合の中性洗剤ほどではなかった。今回の洗浄条件では、比較的洗浄効果の高い洗剤を4種類選択することができたが、うち3種については蓄積度合いの高い残留デンプンを完全に除去することはできなかった。これは、食器に残留し蓄積したデンプンが乾燥固化しているためにデンプン分子内に水が入り込めないこと、 β デンプンには酵素が作用しにくいことなどの原因が考えられた。一方、デンプン分子は90℃、30分程度の熱処理により α 化するため、デンプンをまず α 化させて酵素が働きやすい形にしたのち、適当な浸漬剤に浸漬することにより、さらに残留デンプンを除去することを試みた。実際、90℃、30分程度の熱処理を事前に行うことで多くの浸漬剤の洗浄力を十分発揮させることが可能となった。しかし、熱湯の取り扱い現場で作業する方にとって危険を伴い、また煮沸用の大鍋が用意できない施設も存在する。給食施設での洗剤選定には、このように単なる洗剤の洗浄力だけでなく、作業員へ及ぼす影響や作業効率を配慮し、さらには適正な排水が可能であるか考える必要がある。現場では、さらにランニングコストといった要因も洗剤選定の大きな条件になってくるため、施設ごとにリセットの条件や実施頻度を選定することが求められる¹⁰⁾。

今回検査に用いた食器に残っていた残留デンプンは1回の使用で付着したのではなく毎回の洗い残しが蓄積していた可能性がある。従って、毎日の適切な浸漬剤中での処理がデンプンの残留を蓄積させないことにつながり、1

回の浸漬で完全にデンブンプンが除去できなくても日々の浸漬によって徐々に残留は減少していくことが期待された。

デンブンプンが残留することで問題になるのは、デンブンプンの残留部に菌が生息しやすいという点である。これは、汚染食器を夏休みなど長期に保管した時に気をつけなければならない点となる。日頃の洗浄と長期休暇前に残留デンブンプンのリセットを行うことが食器の衛生管理において大事なポイントだと思われる¹⁰⁾。

今回の結果の一部は、2019年度町田市給食問題協議会において審議の際、参考データとして取り上げられ、町田市教育委員会からの諮問に対する答申¹⁰⁾へと繋がった。以下に答申の内容（一部抜粋）を示す。

1. 定期的に汚れを除去する方法の実施

でんぷん除去効果が極めて高い塩素系の洗剤を月に数回程度使用し、日々の蓄積したでんぷん汚れを除去する方法を実施すること。

2. 日常の汚れを除去する方法の実施

現在使用している石けんを併用しながら、週に数回程度、でんぷんを落とす効果のある酵素が使用された中性の洗剤を使用することで、日常のでんぷん汚れが蓄積されないような洗浄方法を実施すること。

3. 安全な方法での洗剤の使用

塩素系、酵素系の洗剤はでんぷんを落とす一定の効果があるが、洗剤の選定の際には、児童が安全に食器を使用できるような洗剤であること、作業する調理員の安全面に配慮し、適正に使用できる洗剤を選定することが必要である。

今後、本研究結果が学校、病院、介護施設、社員食堂等の給食施設におけるPEN樹脂食器の残留デンブンプン問題に対する解決の一助となれば幸いである。

利益相反

開示すべき利益相反はない。

謝辞

洗剤の洗浄性能試験実施にあたり、洗剤サンプルをご提供いただいた、エコーラボ合同会社、花王プロフェッショナル・サービス株式会社、株式会社アルボース、株式会社ニイタカ、東京サラヤ株式会社、ライオンハイジーン株式会社の各社と情報のご提供をいただいた、日本食品洗浄剤衛生協会に感謝いたします。また、給食食器のご提供をいただいた町田市立成瀬台小学校給食関係者の皆様、調理員、栄養教諭の先生方に深謝いたします。

引用文献

- 1) 日本食品洗浄剤衛生協会：学校給食における食器の洗浄について シリーズ 22-食器洗浄機用洗浄剤の使用実態と適切な洗浄オペレーション, 2010年4月, <http://shokusen.jp/ssk01/wp/wp-content/uploads/2016/07/shokusenkyou-series22.pdf>, 2020年6月1日アクセス。
- 2) 文部科学省スポーツ・青少年局学校健康教育課（編）：調理場における洗浄・消毒マニュアル partII, 東京, 2010, p. 41-42.
- 3) 学校環境衛生管理マニュアル 平成30年改訂版/文部科学省, 東京, 2018, pp. 189-197.
- 4) プラスチックス. 日本プラスチック工業連盟誌, 2014; 65: 46-52.
- 5) 厚生労働省: 薬事・食品衛生審議会（食品衛生分科会器具・容器包装部会）報

- 告書, ポリエチレンナフタレートを主成分とする合成樹脂製の器具又は容器包装の規格基準の設定に関する部会報告書, 2015年12月9日,
<https://www.mhlw.go.jp/stf/shingi2/0000108652.html>, 2020年6月1日アクセス.
- 6) 文部科学省：学校給食における食堂・食器使用状況調査, 2007年10月31日,
https://www.mext.go.jp/b_menu/toukei/chousa05/kyuushoku/1267027.htm, 2020年6月1日アクセス.
- 7) 町田市学校給食問題協議会：2019年1月22日18町教学保第578号における諮問,
https://kosodate-machida.tokyo.jp/nenrei/sho_chu/kyuushoku/3076.html, 2020年6月1日アクセス.
- 8) 小林晃子, 川添真一, 中村光宏, 尼崎美奈子, 河田尚己, 年光久美, 鈴木基泰, 沖田敏宜, 学校給食における食器洗浄の問題点とその対策. 日本薬剤師会雑誌, 2019; 71: 555-560.
- 9) デンプンの糊化の要因とその概要, 食品科学便覧, 食品科学便覧編集委員会, 共立出版(株), 1978, p. 161.
- 10) 町田市学校給食問題協議会：第12期町田市学校給食問題協議会 答申,
https://kosodate-machida.tokyo.jp/nenrei/sho_chu/kyuushoku/3076.html, 2020年6月1日アクセス.