

# ペットボトルのキャップと白板紙製容器で作製した マイクロスケール実験用改訂版手作りウェルプレート

中 川 徹 夫

**Revised Handmade Well Plates Composed of Plastic Bottle Caps  
and White Cardboard Containers for Microscale Experiments**

**NAKAGAWA Tetsuo**



## 要 旨

ウェルプレートは、マイクロスケール実験でよく使用される。しかし、その価格が高価なため、理科教員が公費で購入できない場合もある。中川はウェルプレートの代用として、ペットボトルキャップと白板紙製容器からなる手作りウェルプレートを提案した。不幸にして、マイクロスケール実験を行う際、この手作りウェルプレートにいくつかの検討すべき事項が見出された。そこで、容器の展開図の実線に沿った「切り目」以外に、新規に破線に沿った「谷折り」や、ウェル内の位置を表す番号  $ij$  ( $i$  行  $j$  列) を、容器内の正方形の上部に表記した。このように容器の展開図を修正して、改訂版手作りウェルプレートを作成した。本論考では、この改訂版手作りウェルプレートをマイクロスケール実験で用いる際の長所や化学反応への応用、さらには遠隔授業における有用性について考察した。その結果、改訂版手作りウェルプレートに対して、次の事項が期待できる：(1) ペットボトルのキャップをこれまでよりも容易に使用できること。(2) 複数の化学反応を一度に実施できること。そして、(3) 遠隔授業において重要な役割を果たすこと。

**キーワード：**マイクロスケール実験、改訂版手作りウェルプレート、ペットボトルのキャップ、白板紙製容器、遠隔授業

## Abstract

Well plates are usually used for microscale experiments. However, these prices are expensive and schoolteachers cannot often purchase them at public expense. Nakagawa has already proposed the alternative kits for well plates: the handmade well plates which are composed of plastic bottle caps and white cardboard containers. Unfortunately, several disadvantages of the former handmade well plates have been found in doing microscale experiments. Therefore, besides “Cut” along solid lines, the new explanation “Valley-Fold” is added along dashed lines and the number  $ij$ , which means the position with the  $i$ -th row and the  $j$ -th column, represents at the top of the corresponding square in a container. In this paper, the advantages of the revised handmade well plates for microscale experiments, the application of these plates to various chemical reactions and their validity for remote classes are discussed. Consequently, the followings items are expected for the revised handmade well plates: (1) using plastic bottle caps more easily, (2) doing a few chemical reactions at a time, and (3) playing an important role in remote classes.

**Keywords:** microscale experiment, revised handmade well plate, plastic bottle cap, white cardboard container, remote classes



## 1 はじめに

実験の規模を縮小させたマイクロスケール実験には、使用する試薬量の節減、実験廃棄物（廃試薬、残試薬）量の減少、実験時間の短縮、容易な実験操作、個々の児童・生徒が個別に取り組むことが可能という長所がある。著者は、これらの長所に着目して、小学校、中学校、高等学校、さらには大学の授業で活用できる種々のマイクロスケール実験教材の開発・改良および授業実践に取り組んできた。最近の主要な研究成果として、アルコールと水の混合に伴う体積減少<sup>1)</sup>、ボルタ電池、ダニエル電池および鉛蓄電池<sup>2)</sup>、酢酸およびアンモニアの電離平衡の移動<sup>3-4)</sup>、ブドウ果皮やマロウブルー（ウズベニアオオイ花卉）から抽出したアントシアニンを用いた水溶液の液性識別<sup>5-6)</sup>、種々の固体やそれらの水溶液の電気伝導性<sup>7)</sup>などを公表した。

文部科学省の新学習指導要領に基づく授業は、すでに小学校では2020年度から、中学校では2021年度から全学年を対象として一斉に実施されている。高等学校でも2022年度の入学生から段階的に実施される（2024年度に完成）。なお、中学校学習指導要領解説理科編<sup>8)</sup>の「事故防止、薬品などの管理及び廃棄物の処理」の項目には、「さらに、マイクロスケールの実験など、使用する薬品の量をできる限り少なくした実験を行うことも考えられる」と記されている。ここで、中学校学習指導要領解説理科編の「マイクロスケールの実験」は、マイクロスケール実験と同義と考えてよい。また、高等学校学習指導要領解説理科編理数編<sup>9)</sup>や同理数編<sup>10)</sup>の「事故防止、薬品などの管理及び廃棄物の処理」の項目にも、「さらに、マイクロスケール実験など、実験に使用する薬品の量をできるだけ少なくする工夫も考えられる」と記されている。このように文部科学省は、中学校や高等学校の学習指導要領解説の中でマイクロスケール実験に触れ、理科・理数担当者に周知し、授業への導入を推奨している。一方、小学校学習指導要領解説理科編<sup>11)</sup>の「事故防止、薬品などの管理」の項目には、マイクロスケール実験に関する記述は見られない。しかし、小学校では理科を専門としない教員が理科を担当する場合が多く、安全面からも、可能な限りマイクロスケール実験の導入が望まれる。

著者は、マイクロスケール実験で使用されるウェルプレートに代り、ペットボトルのキャップとこれを収容する白板紙製実験容器の使用を提案した<sup>12)</sup>。しかし、使用時にいくつかの課題が浮上した。今回、これらの課題の解決に向け改訂版手作りウェルプレートの制作を試みた。以下、研究の経緯および改訂に伴う変更点について報告する。

## 2 これまでの研究の経緯と課題

すでにマイクロスケール実験の関連書籍<sup>13-16)</sup>でも紹介されているように、マイクロスケール実験の器具の一つに、プラスチック製のウェルプレート（セルプレートやマルチプレートともいう）がある。加熱、加圧や有機溶媒の使用には不向きであるが、耐酸性・耐塩基性・耐水性のため、試験管やビーカーの代用となる。著者自身も、これまでに実施した前述の3項目<sup>2-6)</sup>の実験器具として、6ウェルや12ウェルプレートを使用した。しかし、ウェルプレートの単価



は250円～500円と必ずしも安価とはいえない。マイクロスケール実験は、生徒が個別に実施するのが原則である。しかし、学校現場で全生徒数分のウェルプレートを買揃えとなるとなれば、費用がかさむ。そこで、著者はウェルプレートの代替として、ペットボトルのキャップの使用を提案し、これを収容する白板紙製実験容器についても検討した<sup>12)</sup>。

ペットボトルのキャップはプラスチック製で、ウェルプレートと同様、耐酸性・耐塩基性・耐水性である。また、日本国内はもとより、海外でも直径3 cmのペットボトルのキャップがよく使用される。そこで、これを使用したマイクロスケール実験の手法を確立すれば、将来的には、国内外における実験教材として役立つものと予想される。一方、白板紙製容器については、ペットボトルのキャップ4個用（2行2列）、6個用（2行3列）、8個用（2行4列）の3種類を準備した。白板紙製実験容器については、展開図をA4版の白板紙（サンカード+、厚さ0.45 mm、王子マテリア株式会社製）に2枚ずつ印刷し、これをもとに作製した。

図1に、改訂前のペットボトルのキャップ4個用（2行2列）の白板紙製容器の展開図<sup>12)</sup>を示す。展開図の草稿は著者が作成し、版下の作成と白板紙への印刷は、尼崎印刷株式会社（兵庫県尼崎市）に依頼した。

実験容器の作製手順は、次の通りである。まず、はさみまたはカッターナイフを用いて外周を切り抜き、切り目を入れる。つぎに、実線に定規を当ててボールペンまたは鉄筆で実線を強くなぞって折り目をつけてから内側に折り込む（谷折りにする）。そして、四隅をホッチキスで綴じれば完成する。この容器内にペットボトルのキャップを配置すれば、いわゆる即席の「手作りウェルプレート」になる。文字通り、製作費は市販のプラスチック製ウェルプレートの10分の1程度で、しかも手作りである。先述の電気伝導性に関するマイクロスケール実験<sup>7)</sup>は、この手作りウェルプレート（4個用）を用いて実施された。その結果、市販のウェルプレートを使用した場合と遜色ない結果が得られ、教材としての有用性を確認できた。

ペットボトルのキャップは、本来なら廃棄されるプラスチックごみであり、基本的に費用はかからない。ペットボトル入り飲料水の購入時に、保管しておけばよい。また、白板紙製容器は、製作費が1箱あたり約36円<sup>12)</sup>と安価である。印刷枚数を増やすと、より低価格に設定でき

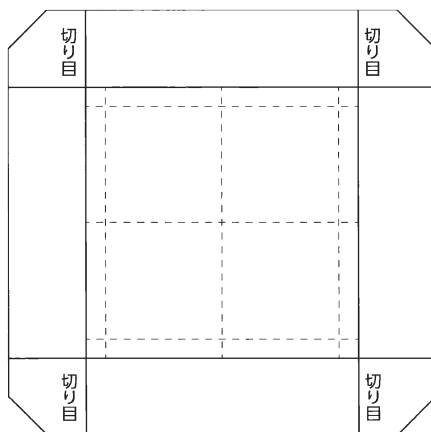


図1 改訂前のペットボトルのキャップ用白板紙製容器の展開図（4個用：2行2列）



る。しかも、再利用可能なため、学校現場の教材として有用である。しかし、実験を行う際に、容器の展開図にいくつかの問題点が浮上した。

図1では、展開図の切り目や折り目がすべて実線で描かれているため、児童・生徒が容器を組み立てる際に誤って実線（折り目）を切断する可能性がある。しかも実線の説明がないため、谷折りか山折りの判別がしにくい。また、容器内のウェルの位置の指定がないので、実験時に操作を誤る可能性がある。加えて、実験終了後の容器を平面状に戻して保管する際、ホッチキスで綴じるため、取り外しに時間を要する。さらに、2019年に台北で開催された第8回アジア化学教育者ネットワーク国際会議で紹介した際、参加者から「実験容器の展開図が英語表記ではないため、わかりにくい。できれば、英語表記の展開図を作成してほしい」という意見を頂戴した。

いずれの事項も、展開図を作成した当初は、全く気づかなかったことばかりである。著者は、より安全、安価で、実験操作が容易なマイクロスケール実験教材を、児童・生徒や教師に提供したいと考えている。マイクロスケール実験に国境はない。それゆえ、日本国内にとどまらず、できれば海外でも活用できる教材の提供が望ましい。そこで、これらの問題点の解決に向け、実験容器の展開図を修正し、改訂版手作りウェルプレートの製作を試みた。

### 3 改訂版手作りウェルプレートの製作

図2に、改訂後のペットボトルのキャップ4個用（2行2列）の白板紙製容器の展開図を示す。展開図の草稿は著者が作成し、版下の作成と白板紙への印刷は、尼崎印刷株式会社に依頼した。用いた白板紙の種類および材質は、改訂前と同様である。

まず、容器の展開図の切り目や折り目がすべて実線で描かれているため判別しにくい点に関しては、切り目の太実線はそのままにし、折り目の太実線を破線に変更して、両者を明確に区別した。そして破線には「谷折り」と表記し、折り曲げる向きも明確にした。これにより、折り目を誤って切断する、あるいは山折りにするという誤操作を回避できる。ウェル間の仕切りの点線は破線と紛らわしいので、細実線に変更した。

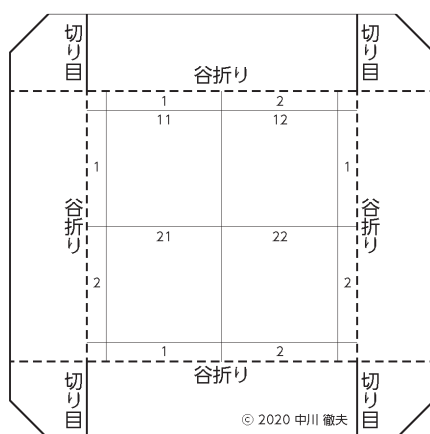


図2 改訂後のペットボトルのキャップ用白板紙製容器の展開図（4個用：2行2列）



容器内の各ウェルの位置の指定がなかったので、ウェルの左右両端に行番号  $i$  を、上下両端に列番号  $j$  を明記した。そして、各ウェルの上部にウェル番号  $ij$  を記載した。たとえば、ウェル番号12なら、1行目2列目を意味する。これでウェルの位置が一義的に定まり、実験時の操作ミスを回避できる。図1を図2と比較すれば、改訂した内容が一目当然である。

四隅をホッチキスで閉じてあるため、外しにくいという点に関しては、Vivianの方法<sup>17)</sup>に倣い、ゼムクリップによる仮止めへと変更した。この方法だと、使用後にはずしやすく、容器を平面状で保管できるので、かさばらずにそのまま実験室の引き出しに収容できる。

以上の修正点に加え、著作権を明示するため、各展開図の右下に著作権マーク「© 2020中川徹夫」を追記した。当初は展開図を印刷した余白の左下に著作権マークを記していた。しかし、展開図を切り抜く際、余白は破棄され著作権マークが残らないため、このように変更した。

容器の展開図には、以前に作成したキャップ4個用(2行2列)、6個用(2行3列)、8個用(2行4列)の3種類に加え、新たに2個用(1行2列)、3個用(1行3列)、4個用(1行4列)、9個用(3行3列)、12個用(3行4列)を用意した。その理由は、マイクロスケール実験の内容により、必要なウェル数が異なるためである。授業で学習した内容を、その場で短時間に確認するには、2個用や3個用の容器で十分である。しかし、金属陽イオンの定性分析のような、多数の組み合わせの実験を行う場合には、8個用や12個用のような、ウェル数の多い容器が必要になる。

今回、改訂した白板紙製容器の展開図をA4版用紙1枚にまとめた図を、資料1、2に示す。改訂前は、A4版用紙1枚に展開図を2枚掲載した。今回は、2ウェルや3ウェルなど、ウェル数の少ない展開図も作成した。そこで、これらの展開図をA4版用紙内に、印刷用紙の余白の無駄を減らすため、できるだけ多く掲載できるように工夫した。資料1には、ペットボトルのキャップ2個用(1行2列)2枚と4個用(2行2列)2枚の展開図が、資料2には、キャップ3個用(1行3列)2枚と6個用(2行3列)2枚の展開図が含まれている。それぞれの資料に描かれた長方形の外枠が、実際に印刷するA4版用紙の大きさとなる。なお、これ以外の展開図の組み合わせも用意した。

海外の理科教員や生徒・学生にも利用してもらうため、日本語版に加え、英語版も作成した<sup>18)</sup>。ペットボトルのキャップも、世界中で直径3cmのものが最もよく使用されている。したがって、マイクロスケール実験教材の開発・改良や普及活動をめざすのであれば、英語版の展開図が必要であるのは、至極当然であろう。

ペットボトルのキャップと白板紙製容器を用いて作製した英語版の手作りウェルプレートについては、文献<sup>18)</sup>を参照されたい。本論考では、本文の後に添えた資料3、4に、作成した展開図を示すに止める。資料3には、キャップ2個用(1行2列)2枚と4個用(2行2列)2枚の展開図が、資料4には、キャップ3個用(1行3列)2枚と6個用(2行3列)2枚の展開図が含まれている。なお、日本語版の場合と同様、これ以外の展開図の組み合わせも用意した。



## 4 改訂版手作りウェルプレートの長所

改訂版手作りウェルプレートの最大の長所は、展開図に行番号、列番号とその組み合わせであるウェル番号を記して、ウェルの位置が指定できることであろう。図1に示す改訂前の容器を使用した場合には、ウェルの位置が指定されていないので、授業で使用する際に極めて不便である。4個用（2行2列）の容器であれば、「上段の左側」や「下段の右側」という表現でも構わないが、ウェル数が6個、8個と増加すると、ウェルの位置の表現が難しくなる。これに対して、図2に示す改訂後の容器では、ウェル数が増加しても位置が一義的に定まるので、とても便利である。「上段の左側」や「下段の右側」は、それぞれ「ウェル11」や「ウェル22」となり、位置が明確になる。教員が説明する際も、「ウェル11には1 mol/L 塩酸を2滴加え、ウェル22には0.5mol/L 硫酸を2滴加える」という表現が可能となり、実験時の誤操作を回避できる。

これに加えて、容器の四隅をゼムクリップによる仮止めに変更したことも大きな利点である。確かにホッチキスで綴じると容器の安定性が保たれる。しかし、実験後の取り外しが大変である。無理に針を除去しようとすれば、容器の隅を破損する。容器は白板紙製でその厚さは0.45 mm と丈夫なため、数回は反復して使用したい。そこで、極力容器に損傷を与えず、再利用するためには、ゼムクリップによる仮止めが最も好ましいと判断した。

さらに、ペットボトルのキャップの場所を、自由に変えることが可能という特徴にも注目したい。たとえば、実験時に、試薬を加えるウェルの場所を誤った場合、市販のウェルプレートであれば、後処理が大変である。まず、その試薬をスポイドなどで除去し、水道水、続いて蒸留水を少量加えて洗浄し、その液もすべて除去する。その後、再度実験をやり直すことになる。時間を要するので、場合によっては、新しいウェルプレートを使用する。しかし、この手作りプレートの場合は、失敗した場所のペットボトルのキャップをそのまま他の空キャップに入れ替えるだけで、実験を継続できる。洗浄あるいは新規プレートの用意も不要である。

著者も、現在手作りウェルプレートを使用して、種々のマイクロスケール実験に取り組んでいる。上述の内容は、いずれも実験中に、偶然に発見した。通常のウェルプレートのみを使用していたのでは、各ウェルが「固定されている」という先入観のため、ウェルのまま入れ替えるという発想には至らなかったであろう。手作りプレートを使用すれば、仮に実験操作を誤ってもすぐに継続できるため、実験の苦手な生徒でも、安心して使用できる。

## 5 改訂版手作りウェルプレートの活用例

著者がこれまでに市販のウェルプレートを用いて開発・改良したマイクロスケール実験のうち、文献2-6で紹介した内容は、すべて今回の改訂版手作りウェルプレートにより実施可能である。先述の通り、文献7の内容はすでに改訂前の手作りウェルプレートで実施して、有用性を確認している。安価な製作費や、ペットボトルのキャップというプラスチック廃棄物の再利用という視点を考慮すれば、本手法は極めて有用であると考えられる。具体的に有用と考えられる事例を、以下に示す。



第一の例としては、1枚の改訂版手作りウェルプレートで、異なる種類の化学変化を一度に観察できる実験がある。たとえば、「水溶液の液性による酸塩基指示薬の色調変化」と「水溶液と金属との反応」がこれに相当する。キャップ4個用（2行2列）の実験容器、予め調製して点眼びんに入れた3 mol/L 塩酸および3 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液を用意する。1行目には白色のペットボトルのキャップを、2行目には黒色（または濃青色、深緑色）のキャップを配置する。1列目に塩酸を、2列目には水酸化ナトリウム水溶液を、それぞれ10滴程度加える。1行目には水溶液の液性（酸性・中性・塩基性）の相違を調べるため、紫色をしたマロウブルー花卉の抽出液（アントシアニン）を1 mL程度加え、プレートごと前後左右に数回揺り動かした後、色調の変化を観察する。その結果、ウェル11では色調が紫色から赤色へ、ウェル12では紫色から黄緑色へと変化する。2行目にはアルミニウム粒を加え、反応の様子を観察する。ウェル21および22ともに、水素が発生してアルミニウム表面に気泡が付着する。

時間の許す場合には、キャップ2個用（1行2列）の実験容器を用意し、白色のペットボトルのキャップを配置する。そして、1列目に塩酸を、2列目には水酸化ナトリウム水溶液を、それぞれ10滴程度加えたのち、マグネシウムリボンを加え、反応の様子を観察する。ウェル11ではアルミニウムの場合と同様水素が発生して、マグネシウム表面に気泡が付着する。しかし、ウェル22では全く反応しない。これにより、両性金属（アルミニウム）と通常の金属（マグネシウム）の相違が理解できる。

アントシアニンの色調変化は白背景、水素の発泡は黒背景が観察しやすい。実験時に透明な試験管を使用した場合、そのままでは変化の様子が観察しにくいいため、試験管の背景に白紙や黒下敷きを配置する場合がある。市販のウェルプレートの場合も同様である。しかし、ペットボトルのキャップを使用する場合は、キャップの色それ自身が背景色となるため、そのような操作は不要である。また、試薬を誤って加えた場合、前述の通り、市販のウェルプレートを使用した場合は後処理が大変である。この手作りウェルプレートなら、失敗してもキャップを入れ替えるだけで、実験を継続できる。

第二の例としては、理科実験室以外の場所でも実施できる実験がある。前もって改訂版手作りウェルプレートの容器の展開図を切り抜き、切り目、折り目を入れ、これの左上にゼムクリップ4個を止めて、すぐに容器の組み立てが可能のように準備しておく。これを、ペットボトルのキャップ、試薬、実験シートなどとともに、移動先の教室へ運ぶ。そこでプレートを組み立てれば、マイクロスケール実験がすぐに開始できる。この方法は、つぎに述べるように新型コロナウイルスの感染拡大に伴い、通常の対面授業が困難な場合でも、有用性が期待できる。

## 6 遠隔授業におけるマイクロスケール実験の有用性

2020年度から今日に至るまで、我々教員は、新型コロナウイルス感染症に振り回されている。密を避けるため、慣れない遠隔授業の準備、実験の中止や人数制限、実験に代わる教材の検討、実験レポートに代わる課題の作成など、日々その対応に追われている。現在も、新型コロナウイルス感染症は猛威を振るい、一向に終息する気配が見られない。このような異常事態のため、学校現場で従来実施されるべき実験がすべて中止され、教科書や副読本の図説の写真を



て、「この図のようになる」という説明に止まってしまうことを、著者は最も危惧している。

理科という教科の根幹にあるのは、実験である。理科は他教科とは異なり、実験を中心に学ぶ教科である。したがって、実験を全面的に中止してしまえば、理科という教科そのものの特性が崩壊してしまう。そこで、今回提案した改訂版手作りウェルプレートを使用したマイクロスケール実験が役立つ。

マイクロスケール実験は、小規模、短時間で、グループではなく個々の生徒が行うのが原則である。それゆえ、今回の新型コロナウイルスの感染拡大が深刻な状況であっても、工夫次第で、学校現場でも十分取り組める内容である。普通教室でも実施可能であるし、実験のテーマや内容によっては、家庭で取り組めるものも少なくない。具体例として、水性インクのペーパークロマトグラフィーによる分離や、飽和食塩水にエタノールを添加した際の食塩の析出、飽和食塩水の溶解平衡、ミョウバンの結晶の溶解と析出、食塩と氷を使用した寒剤の調製、クエン酸と炭酸水素ナトリウム（重曹）との反応、デンプンとイソジン（ヨウ素液）との反応、ビタミンCとイソジン（ヨウ素液）との反応、ジャガイモやニンジンに含まれるカタラーゼによる過酸化水素の分解などがこれに該当するであろう。これらは、いずれも今回の改訂版手作りウェルプレートを用いて実施できる。

先述の塩酸や水酸化ナトリウム水溶液のような劇薬を用いた実験は、教員の管理下にある学校でしか実施できない。しかし、薬局やスーパーで入手可能な消毒用エタノール、オキシドール、アンモニア水などの比較的危険性の低い試薬や、砂糖、食塩、クエン酸、ミョウバン、炭酸水素ナトリウム（重曹）、デンプン（片栗粉）、ビタミンC、ハーブティーなどの食品や日用品を利用した実験なら、生徒自身が自宅で取り組める。蒸留水が必要な場合は、薬局で精製水を購入すればよいし、一部の例外を除き、大抵の水溶液の調製には、高価な蒸留水を使用しなくても、水道水で代用できる。

コロナ禍が深刻化し、生徒や学生が登校できない場合でも、マイクロスケール実験であれば、Zoomなどの遠隔会議システム用のソフトを使用した遠隔授業（オンライン授業）が可能である。この場合、生徒や学生は自宅で受講する。Zoomは無料でダウンロードでき、ホストになる教員も、40分間は無料で使用できる。自宅で行う実験には、主として食品や日用品を使用するため、安全面ではほとんど問題はない。ただし、安全メガネに関しては、各自専用のものを準備し、実験中は常時着用するよう指導する。

現在、大学をはじめとするすべての校種の理科教員が、膨大な時間をかけて遠隔授業の準備に取り組んでいる。その延長上に、今回提案した改訂版手作りウェルプレートを用いたマイクロスケール実験を組み込めば、実験が皆無という最悪の事態は回避できよう。このように、マイクロスケール実験は遠隔授業においても、重要な役割を果たす。

今後、今回の方法を用いた授業実践を行い、教材としての有用性・利便性について検証したい。新型コロナウイルス感染症の拡大が深刻化して緊急事態宣言が発令されるなど、通常の対面形式の授業が困難な場合には、先述のZoomによる遠隔授業を実施する。必要な器具・試薬や改訂版手作りウェルプレートの展開図を、事前に学校へ送付する。その際、図3に示すように、一人分の器具・試薬をチャック付きポリ袋に入れて、一式にまとめておくと便利である。





図3 生徒一人分の器具・試薬の例

こうすれば、遠隔授業の際に生徒や学生に配布しやすいし、対面授業でも試薬の共用を避けられ、感染症対策にもなる。授業終了後に生徒、学生や教員の意見や感想を伺い、今後の授業内容の改善や教材の改良に取り組む所存である。なお、器具・試薬についてはポリ袋に戻し、学校から一括して返送してもらえばよい。

## 7 おわりに

従来の市販のウェルプレートに代り、ペットボトルのキャップとこれを収容する白板紙製容器を使用して、手作りウェルプレートを作製した。今回、改訂版手作りウェルプレートを提案し、その長所と活用例および遠隔授業における有用性について論じた。

今後、この改訂版手作りウェルプレートを使用したマイクロスケール実験関連の対面授業や遠隔授業を実施し、教材としての有用性・利便性について検証する予定である。

本研究は、JSPS 科研費17K00991の助成を受けたものである。実験容器の展開図の版下作成および印刷を担当していただいた、尼崎印刷株式会社に感謝する。

## 文献と註

- 1) Nakagawa, T. (2013). Microscale Experiment on Decreases in Volume When Forming Binary Liquid Mixtures: Four Alkanol Aqueous Solutions, Chiu, M.-H., Tuan, H.-L., Wu, H.-K., Lin, J.-W., & Chou, C.-C. (Eds.), *Chemistry Education and Sustainability in Global Age*, Dordrecht: Springer, 335-346.
- 2) 中川徹夫 (2015) 「マイクロスケール実験による電池教材の開発・改良と授業実践」『教材学研究』第26巻, 69-76.
- 3) 中川徹夫・中澤克行 (2016) 「ルシャトリエの原理に関するマイクロスケール実験—教材改良と授業実践—」『神戸女学院大学論集』第63巻, 第1号, 55-64.
- 4) 中川徹夫 (2017) 「酢酸およびアンモニアの電離平衡の移動に関するマイクロスケール実験で使用する酸塩基時試薬の濃度に関する考察—メチルオレンジおよびフェノールフタレイン溶液の有効濃度—」『神戸女学院大学論集』第64巻, 第2号, 47-55.
- 5) 中川徹夫 (2018) 「小学校理科「水溶液の酸性、中性、アルカリ性の識別」に関するマイクロスケール

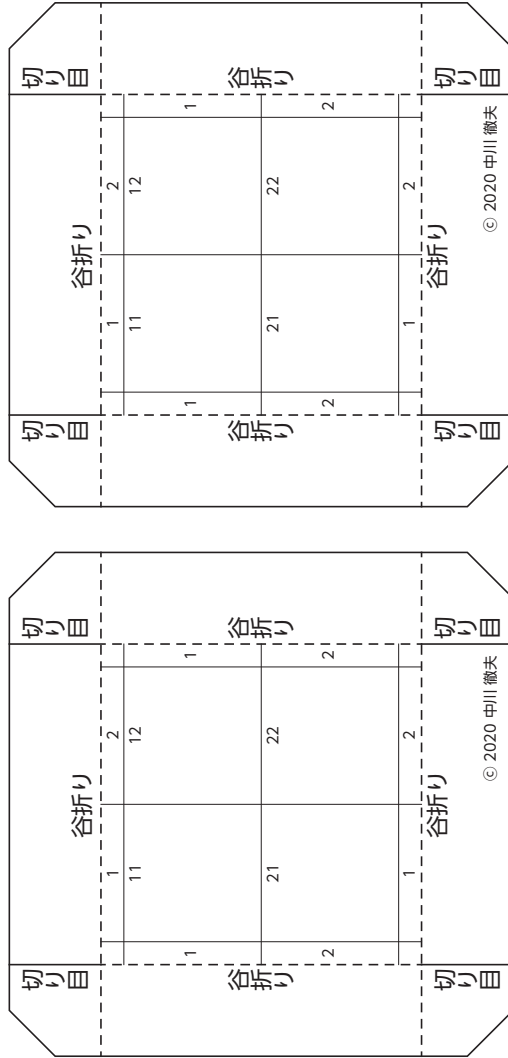
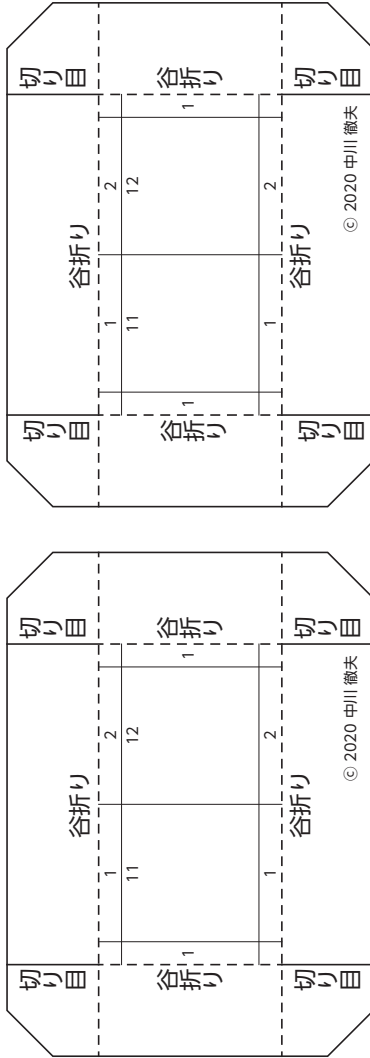


- ル実験教材の改良と授業実践」『神戸女学院大学教職センター研究紀要』第1巻, 第2号, 79-88.
- 6) 中川徹夫 (2018) 「高等学校化学基礎「酸と塩基」におけるマイクロスケール実験教材の改良と授業実践—巨峰の果皮とマロウブルーを使用して—」『神戸女学院大学論集』第65巻, 第2号, 41-50.
- 7) Nakagawa, T. (2019). Micro-scale Experiment on Electrical Conductivities of Some Solids and Their Aqueous Solutions using Plastic Bottle Caps and Cardboard Container, *Proceedings of 8<sup>th</sup> International Conference on Network for Inter-Asian Chemistry Educators*, 88-89.
- 8) 文部科学省 (2018) 『中学校学習指導要領 (平成29年告示) 解説 理科編』学校図書, 130-134.
- 9) 文部科学省 (2019) 『高等学校学習指導要領 (平成30年告示) 解説 理科編 理数編』実教出版, 188-189, 255-257.
- ここでいう「理数」は、主として理数科などの専門学科で開設される教科である。現行の学習指導要領において、すでに開設されている。
- 10) 文部科学省 (2019) 『高等学校学習指導要領 (平成30年告示) 解説 理数編』東京書籍, 52-53.
- ここでいう「理数」は、2022年度の入学生より新設される教科である。普通科をはじめすべての学科の生徒が履修でき、上述の「理数」とは本質的に異なる。
- 11) 文部科学省 (2018) 『小学校学習指導要領 (平成28年告示) 解説 理科編』東洋館出版社, 103.
- 12) 中川徹夫 (2020) 「ペットボトルのキャップと白板紙製容器を用いたマイクロスケール実験の提案」『神戸女学院大学教職センター研究紀要』第3巻, 第2号, 1-9.
- 13) Williamson, K. L. & Little, J. G. (1997). *Microscale Experiments for General Chemistry*, Boston: Houghton Mifflin Company, 1-12.
- 14) Skinner, J. (1997). *Microscale Chemistry*, London: Royal Society of Chemistry, 1-6.
- 15) マイクロスケール実験ワーキンググループメンバー (荻野和子 主査) 編 (2003) 『マイクロスケール化学実験—化学と教育: マイクロスケール実験の広場から—』日本化学会, 3-6, 8, 18-25.
- 16) 芝原寛泰・佐藤美子 (2011) 『マイクロスケール実験—環境にやさしい理科実験—』オーム社, 6-8, 18.
- 17) Vivian, C. (1967). A paper saucepan that will not burn. *Science Experiments & Amusements for Children*, New York: Dover, 56-57.
- 18) Nakagawa, T. (2021). Low-cost handmade well plates for microscale experiments, *School Science Review*, 103 (382), 23-26.

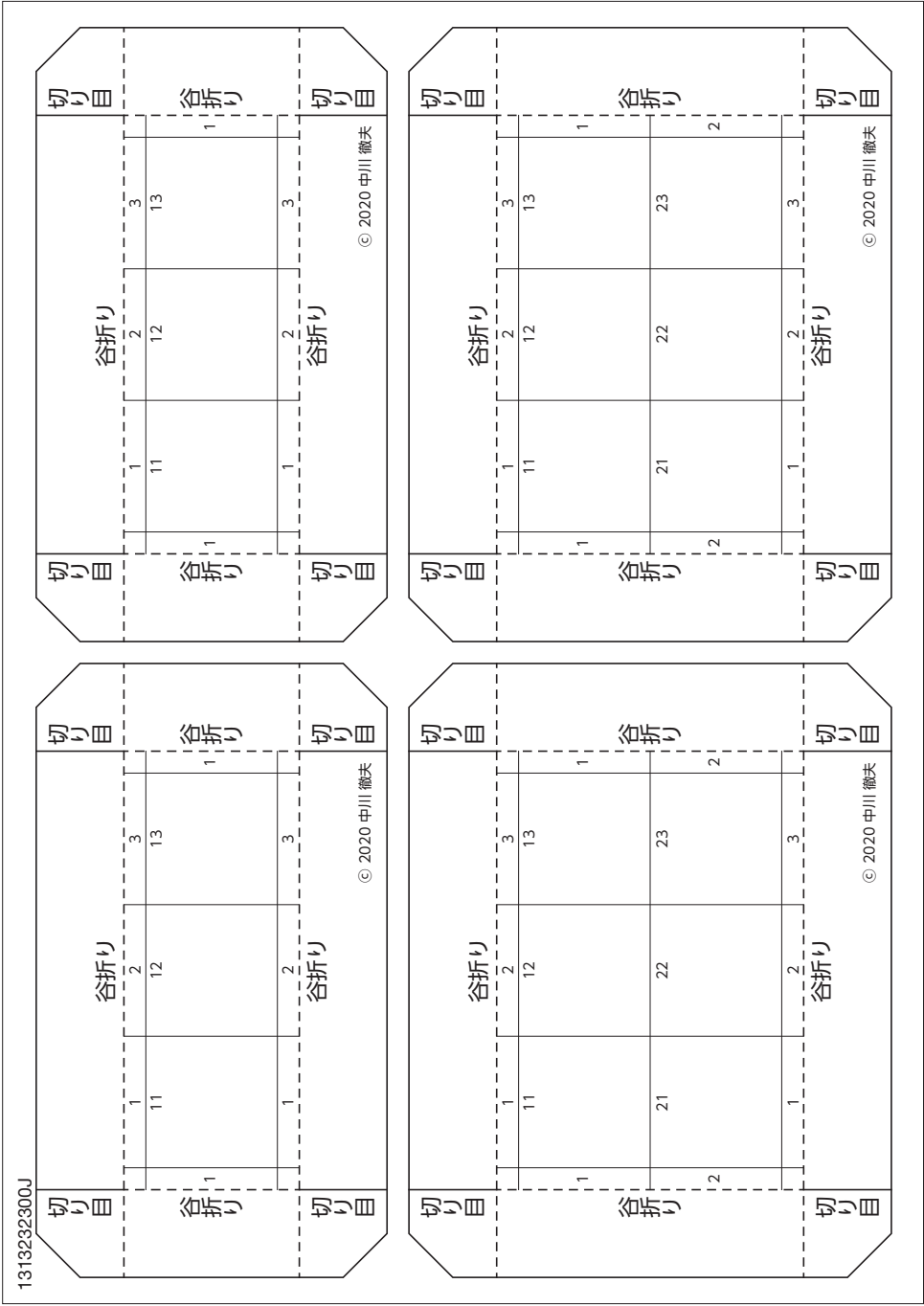
(原稿受理日 2021年9月15日)



1212222200J









1212222200E

