発泡性入浴剤の簡便合成法の開発と化学実験教材としての活用(2)：簡易錠剤成型器の製作とそれを用いた発泡性入浴剤の合成

Development of a Tableting Machine System for Easy Preparation of Effervescent Bath Salts and its Utilization for Chemical Experimental Teaching Material

早　川　　潤*・鎌　田　正　喜*
Jun HAYAKAWA* and Masaki KAMATA*

1．はじめに

ものづくり基盤技術振興基本法（平成十一年三月十九日法律第二号）第三章 基本的施策第十六条（学習の振興等）では，『国は，青少年をはじめ広く国民があらゆる機会を通じてものづくり基盤技術に対する関心と理解を深めるとともに，ものづくり基盤技術に関する能力を尊重する社会的気運が醸成されるよう，小学校，中学校等における技術に関する教育の充実をはじめとする学校教育及び社会教育におけるものづくり基盤技術に関する学習の振興，ものづくり基盤技術の重要性についての啓発並びにものづくり基盤技術に関する知識の普及に必要な施策を講ずるものとする』と謳っている。小中学校の段階から「ものづくり」の重要性を教育する必要性が述べられている一方で，「ものづくり」とその背景にある科学との関わり合いの重要性については言及されていない。当然ながら具体的な事例も示されておらず，単なるスローガンに終始している。「ものづくり」の技術や機能ばかりに焦点を当てると，小中学校の理科学習において学ぶ科学とは全くつながらない「ものづくり」になってしまうことが懸念される。

例えば，酸塩基の中和反応の過程で生じる炭酸ガスの発泡現象を利用した商品が，日常生活の中で広く利用され（例：「バブ」（花王），「酵素入りポリデント」（グラクソ・スミスクライン），「かんたん洗浄丸」（小林製薬），「トイレ洗浄中」（小林製薬）など），小中学校の理科学習[1]においてもこれら商品の発泡現象が採り上げられている。しかし，これらの商品が酸と塩基の中和という化学反応を応用したものであるということを知っている児童・生徒はほとんどいない。『授業で扱われる化学現象（学校の理科）』と『身の回りで活用されている現象（日常生活の科学）』が，同じものである，つながるものであるという実感を得るためには，科学的な学習と「ものづくり」がしっかりと連携することが大事である。学習指導要領[2]においても「理科を学ぶ意義，理科の有用性の実感，理科と実生活・実社会との関連を重視する内容を充実する」と声高に述べられているが，それを実践するための学習内容と連携する教材が具体的に示されない限り，今までと何も変わらず，スローガンあるいは目標だけで終わってしまいそうである。

我々は，これまで化学反応が活用されている製品を児童・生徒に実際に「ものづくり」させることで，小中学校の学習内容（原理）が，市販の商品に応用されていることを体験的に実感させる教材の開発を行っている。一方，新潟大学の化学系教員グループは高校生の化学離れを防止することを目的として，1991年から「高校生のための化学実験公開講座（夢・化学－21　化学への招待）」を開催し，毎年20数テーマ に及ぶ体験実験

2013.7.1. 受理
＊新潟大学教育学部化学教室：Department of Chemistry, Faculty of Education, Niigata University, 950-2181 Japan

を提供している[3]。我々もそこに「発泡性入浴剤（バブ）を作ってみよう」という体験実験を提供している。我々の発泡性入浴剤の合成方法は，仁井田らによる「炭酸ガス入浴剤を作る（「化学と教育」）」[4]という先駆的な研究を見本にしたが，これを独自に改変し，2時間という制限時間内で実験を完結させるために以下のような工夫をした。それは，発泡性入浴剤の合成に必要な炭酸水素ナトリウムとフマル酸，無水硫酸ナトリウム，およびエタノールをよく混ぜてステンレス製プリンカップに入れ，オーブンあるいはホットプレートで30分間加熱することでエタノールをすばやく蒸発させ固形化させるというものである[5]。この方法は固形状の発泡性入浴剤の錠剤を短時間かつ簡便に合成できるという長所があるが，一方で，実際の商品と比べると，表面がざらざらして肌目が荒く，脆い錠剤になってしまうという短所も持ち合わせている。

市販の発泡性入浴剤は打錠機という大型機械を用いて作られるが，打錠機は製薬会社や食品会社などが錠剤を大量生産するために設計されたものであり，実験室レベルでの導入・使用には向かない。そこで本研究では，赤外吸収スペクトルのサンプル作成に使用される錠剤成型器を見本にして，発泡性入浴剤合成用の簡易錠剤成型器の開発とそれを使った錠剤の作成を行うことにした。また，我々が以前に考案した焼成法では，熱分解を起こすために作成することが困難だったクエン酸を含む錠剤製品に対しても，簡易錠剤成型器が有効に働くかどうかを検討することにした。

２．発泡の反応機構：酸塩基反応による弱酸（二酸化炭素）の遊離

発泡現象を利用した商品は，炭酸塩（弱酸と強塩基の塩）にフマル酸（炭酸よりも強い酸）を加えることにより，中和反応が起こり，弱酸である二酸化炭素が遊離する反応を基本原理としている。

$$2\,NaHCO_3 + \begin{matrix} H & & COOH \\ & C=C & \\ HOOC & & H \end{matrix} \rightarrow \begin{matrix} H & & COONa \\ & C=C & \\ NaOOC & & H \end{matrix} + 2\,H_2O + 2\,CO_2\uparrow \qquad (1)$$

一方，小中学校の理科実験でよく行われる「カルメ焼」や「ホットケーキ」の中で起こる化学反応の機構（炭酸水素ナトリウムの熱分解）[6]は，

$$2\,NaHCO_3 \xrightarrow{\Delta} Na_2CO_3 + H_2O + CO_2\uparrow \qquad (2)$$

であり，中和反応ではなく熱分解によって二酸化炭素が発生する現象である。「ものづくり」が求める機能が二酸化炭素の発生であったとしても，何に対してそれを使うかによって「もの（商品）」は違ってくる。だからこそ基本原理である化学反応や反応条件が違ってくる。学校で理科を学ぶ意義がここにある。

３．実験方法

3.1. 簡易錠剤成型器の作成

本研究では，市販の発泡性入浴剤である「バブ」に少しでも近づく「ものづくり」ができるよう簡易錠剤成型器の開発を行うことにした。市販の「バブ」の大きさの錠剤と，「酵素入りポリデント」のような含クエン酸発泡性錠剤の大きさの錠剤を作成できるように簡易錠剤成型器のサイズを策定した。また，錠剤成型の際に油圧ジャッキや万力で加圧することができるサイズ（万力の場合は挟み込みの高さが120 mm以下）になるように簡易錠剤成型器の設計を行った。簡易錠剤成型器の材質としては，錠剤を成型する際にかかる圧力に耐えられ，錠剤原料の腐食にも耐えることができるようステンレス材料（SUS303-B）を選択した。さらに，錠剤表面を滑らかにして成型器から取り出しやすくするために，原料粉末が接触するシリンダー内部は磨き加工することにした。

以上の設計方針に従いサイズの大きいもの（Aタイプと呼ぶ）とサイズの小さいもの（Bタイプと呼ぶ）の２種類の簡易錠剤成型器を製作した。Aタイプの簡易錠剤成型器の設計図とその写真を図１-１と図１-２に，Bタイプの簡易錠剤成型器の設計図とその写真を図２-１と図２-２に示した。簡易錠剤成型器の部品は，

(a) 凸型棒大，(b) 凸型棒中，(c) 凸型棒小，(d)シリンダー，(e) シリンダー台から構成される。

3.2. 発泡性入浴剤の原料粉末の調製と簡易錠剤成型器（Aタイプ）を用いた錠剤の作成（プレス法）

発泡性入浴剤合成用の原料粉末の調製は，以前に報告した論文[5]の方法を参考にしたが，エタノールは添加せずに以下の２種類を作成した（プレス法ではエタノールの添加は不要）。

3.2.1.プレス法-1：炭酸塩として炭酸水素ナトリウムを用いる方法

炭酸水素ナトリウム16.8 g（0.2 mol），フマル酸11.6 g（0.1 mol），硫酸ナトリウム14.2 g（0.1 mol）の粉末を乳鉢でよく混合した。

3.2.2.プレス法-2：炭酸塩として炭酸ナトリウムを用いる方法

炭酸ナトリウム10.6 g（0.1 mol），フマル酸11.6 g（0.1 mol），硫酸ナトリウム14.2 g（0.1 mol）の粉末を乳鉢でよく混合した。

3.2.3.簡易錠剤成型器（Aタイプ）を用いた発泡性入浴剤の錠剤の作成（プレス法）

発泡性入浴剤の成型にはAタイプの簡易錠剤成型器を用いた。その手順を図３に示した。

①シリンダーを凸型棒小にはめ込んだ（図３-(1)）。

②シリンダー内によく混合した錠剤の原料を投入した（図３-(2)）。

③凸型棒中でシリンダーに蓋をして（図３-(3)），油圧ジャッキを用いて上下から400kg/㎠で加圧をした（図３の(4)）。これにより，シリンダー内に錠剤が形成された。

④この錠剤を取り出すために，シリンダーの上下の凸型棒小と中を取り外して，シリンダーをシリンダー台に乗せて，上方から凸型棒大で蓋をして（図３-(5)），油圧ジャッキを用いて凸型棒大の上方から加圧をすることで錠剤を取り出した（図３-(6)）。

3.3.発泡性入浴剤の原料粉末の調製と焼成法による錠剤の作成

簡易錠剤成型器（Aタイプ）を用いて作成した発泡性入浴剤の錠剤と焼成法[5]で作成したものとの比較を行うために，焼成法によって発泡性入浴剤の錠剤を作成した。その方法は，以前に報告した論文[5]の方法に従って，以下の２種類を作成した。

3.3.1.焼成法-1：炭酸塩として炭酸水素ナトリウムを用いる方法

硫酸ナトリウム14.2 g，炭酸水素ナトリウムを16.8 g，フマル酸11.6 gの粉末を混合し，さらにエタノール5 mlを加えてよく混合した後，アルミホイルを敷いたステンレス製プリンカップに混合物を入れた。これをドライオーブン（ホットプレートでも可）を用いて130 ℃で30分間加熱することで固化成型した。

3.3.2.焼成法-2：炭酸塩として炭酸ナトリウムを用いる方法

硫酸ナトリウム14.2 g，炭酸ナトリウムを10.6 g，フマル酸11.6 gの粉末を混合し，さらにエタノール5 mlを加えてよく混合した後，アルミホイルを敷いたステンレス製プリンカップに混合物を入れた。これをドライオーブン（ホットプレートでも可）を用いて130 ℃で30分間加熱することで固化成型した。

3.4.含クエン酸発泡性錠剤の作成（簡易錠剤成型器（Bタイプ）を用いる方法と焼成法による方法の比較）

３種類の含クエン酸発泡性錠剤（簡易錠剤成型器（Bタイプ）を用いたもの２種類と焼成法によるもの１種類）を作成した。その製法を以下に示した。

3.4.1.プレス法-3：簡易錠剤成型器（加圧に油圧ジャッキを使用）を用いる方法

硫酸ナトリウム1.42 g，クエン酸1.92 g，炭酸水素ナトリウム2.52 gを混合したものを簡易錠剤成型器と油圧ジャッキを用いて錠剤に成型した。油圧ジャッキによる加圧を行った。

3.4.2.プレス法-4：簡易錠剤成型器（加圧に万力を使用）を用いる方法

硫酸ナトリウム1.42 g，クエン酸1.92 g，炭酸水素ナトリウム2.52 gを混合したものを簡易錠剤成型器（Bタイプ）と万力を用いて錠剤に成型した。原料粉末にかかる圧力が均等になるように当て木に簡易錠剤成型器（Bタイプ）を挟んで万力による加圧を行った。

3.4.3.焼成法-3

硫酸ナトリウム1.42 g，クエン酸1.92 g，炭酸水素ナトリウム2.52 g，エタノール5 mlを混合したものをス

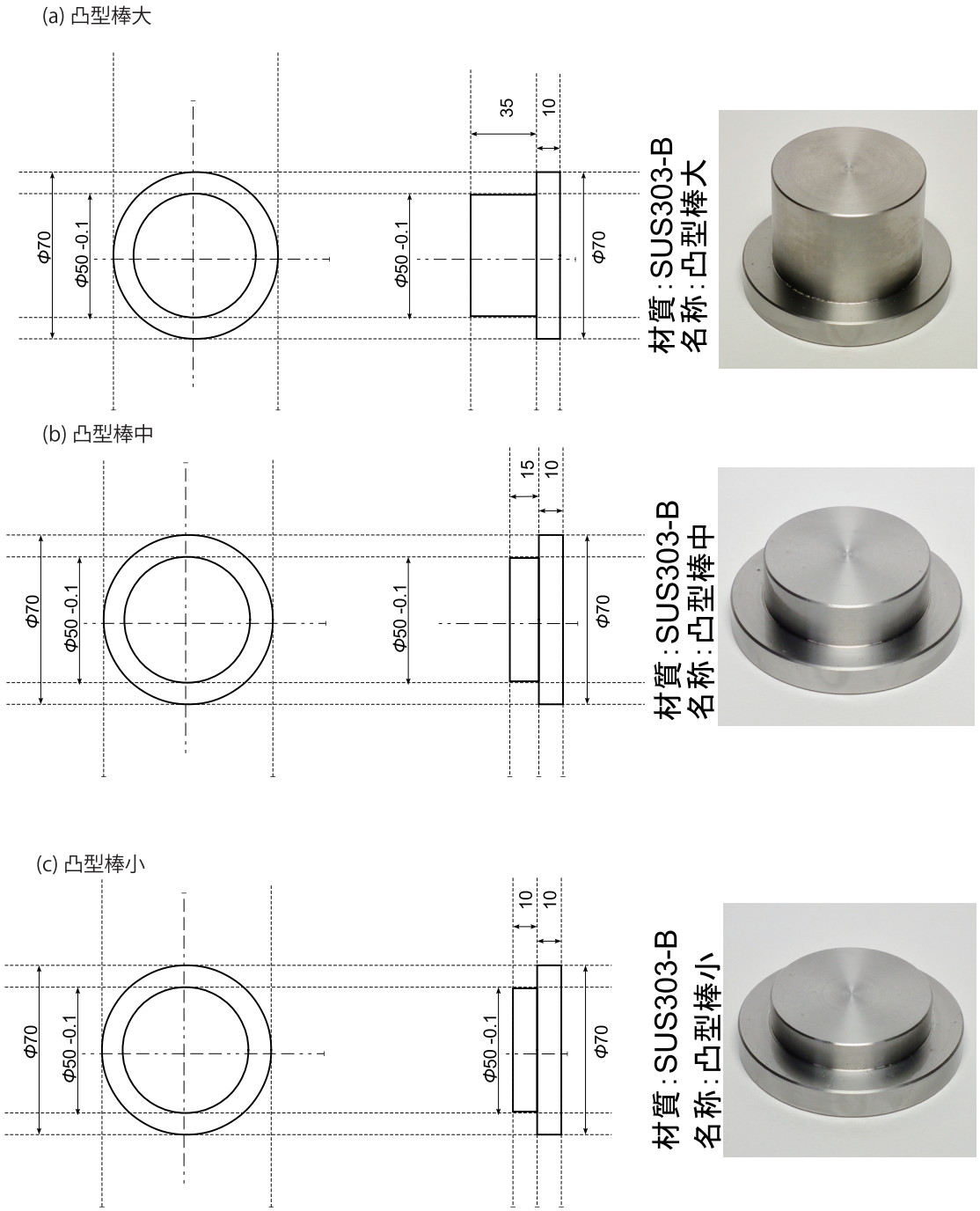
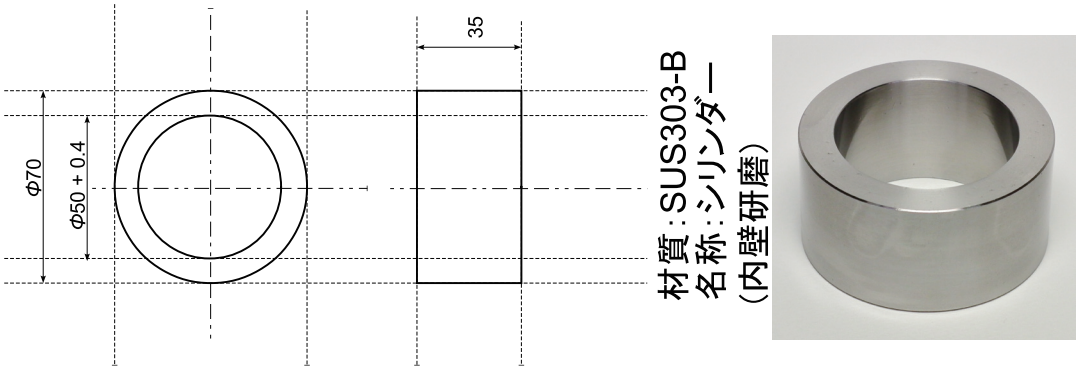


図 1－1　簡易錠剤成型器（Aタイプ）の設計図とその写真：
(a) 凸型棒大; (b) 凸型棒中; (c) 凸型棒小

(d) シリンダー



(e) シリンダー台

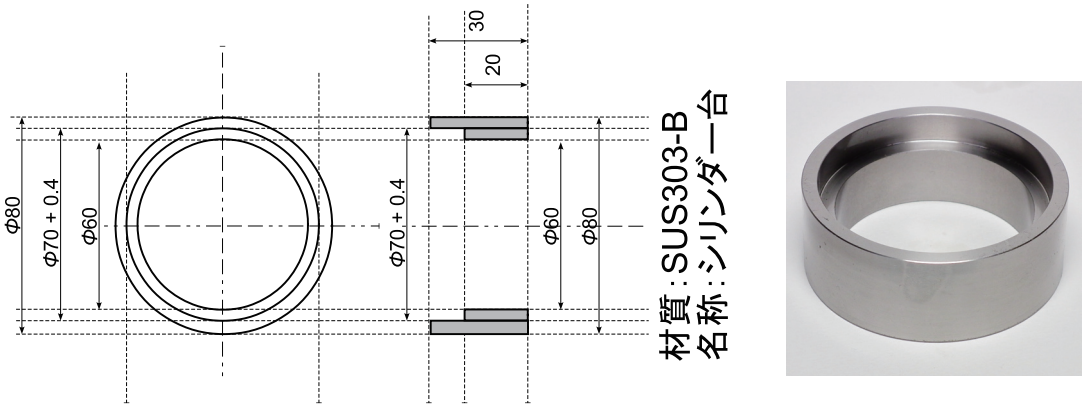


図１−２　簡易錠剤成型器（Aタイプ）の設計図とその写真：
(d) シリンダー ; (e) シリンダー台

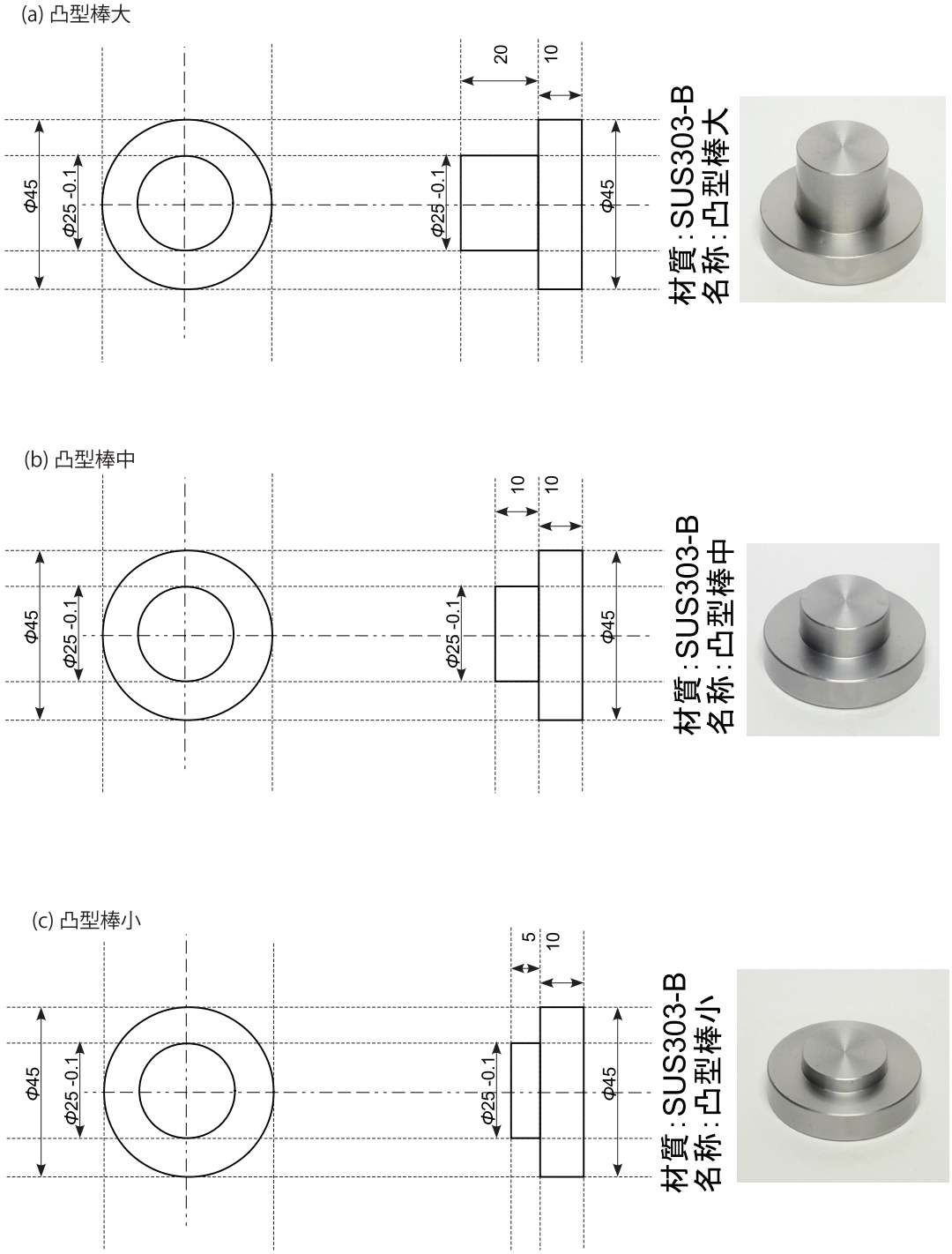


図２−１　簡易錠剤成型器（Bタイプ）の設計図とその写真：
(a) 凸型棒大; (b) 凸型棒中; (c) 凸型棒小

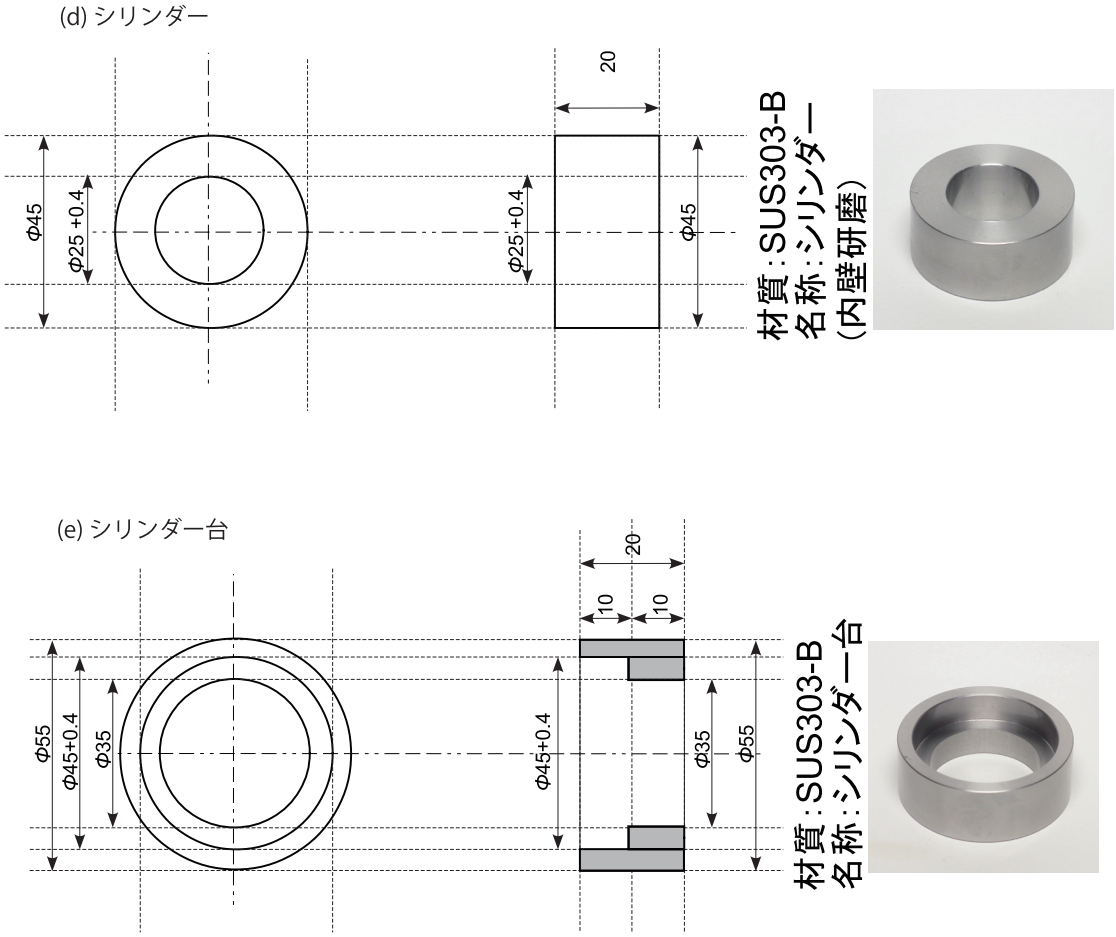
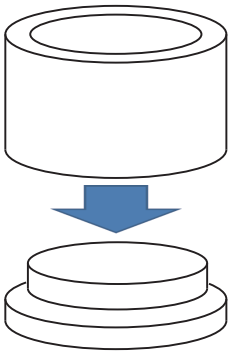
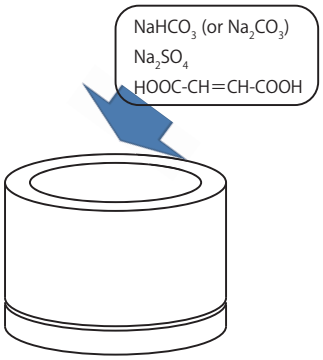


図２-２　簡易錠剤成型器（Bタイプ）の設計図とその写真：
(d) シリンダー ; (e) シリンダー台

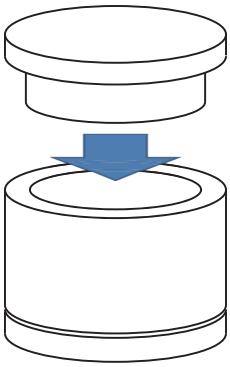
(1) シリンダー (d) を
凸型棒小 (c) にはめ込み，
底を作る。



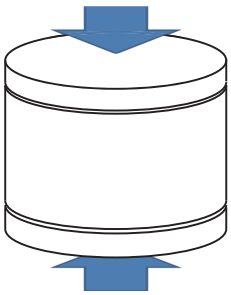
(2) シリンダー (d) 内に錠剤の
原料を入れる。



(3) シリンダー (d) に
凸型棒中 (b) で蓋をする。

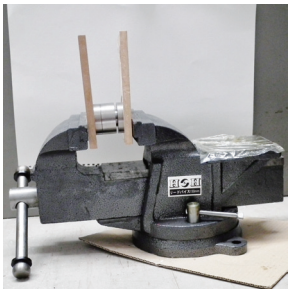


(4) (3) で組み立てたものを
上下から加圧する。

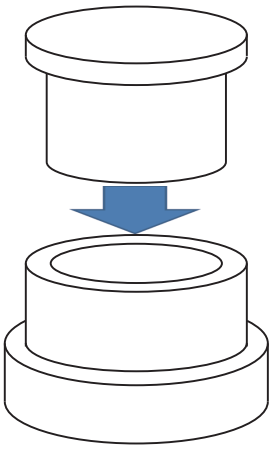


油圧ジャッキを使用する例

万力を使用する例



(5) (4) で組み立てたものから上下の
凸型棒を外し，シリンダーをシリン
ダー台 (e) に乗せ，凸型棒大 (a) で
シリンダー (d) に蓋をする。



(6) シリンダー (d) 内部に詰まった
錠剤を凸型棒大 (a) で押し出す。

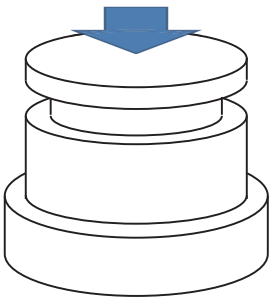


図３　簡易錠剤成型器を用いた発泡性入浴剤の作成方法

テンレス製プリンカップに入れて焼成した。

４．結果と考察

4.1.簡易錠剤成型器（Aタイプ）を用いて作成した発泡性入浴剤錠剤と焼成法により作成したものとの比較

簡易錠剤成型器（Aタイプ）を用いて作成した２種類の発泡性入浴剤錠剤と焼成法によって作成した２種類の錠剤の完成写真，形状と表面，水槽（22℃，30 L）に投入した際に溶解にかかった時間と溶解の様子を表１に示した。

完成品の外見は以下のとおりであった。簡易錠剤成型器（Aタイプ）を用いて成型したもの（プレス法-1とプレス法-2）は表面がなめらかで円柱状であり，焼成法によって作成したもの（焼成法-1と焼成法-2）は，表面が荒く，形もプリン型の底部の形状をしていた。

22℃，30 Lの水槽に投入した際のふるまいは，以下のとおりであった。簡易錠剤成型器を用いて成型したもの（プレス法-1とプレス法-2）は，水槽に投入した際に崩れずに底に沈み，市販のものと同様に錠剤全体が徐々に小さくなるように溶解した。その際に発生する二酸化炭素の気泡は，市販のものと同様に非常に細かいものであった。10 分間経過した後に気泡の放出がなくなった。焼成法によって作成したもの（焼成法-1と焼成法-2）は，水槽に投入した際に全体が一瞬にして崩壊した。また，その際には大きな二酸化炭素の気泡が勢いよく発生し，４～５分間経過した後に気泡の放出がなくなった。

溶解試験の結果，簡易錠剤成型器をによって作成した錠剤の方が，外見は商品に近く，水への溶解にかかる時間も市販品と同等に長く持続することが分かった。

4.2.簡易錠剤成型器（Bタイプ）により作成した含クエン酸発泡性錠剤と焼成法により作成したものとの比較

簡易錠剤成型器（Bタイプ）を用いて作成した含クエン酸発泡性錠剤と焼成法により作成したものの作成時の様子を表２に示した。

簡易錠剤成型器を用いて作成した含クエン酸発泡性錠剤（プレス法-3とプレス法-4）は，発泡性入浴剤と同様に外見も市販品に近い錠剤になることが分かった。一方，焼成法によって固形化を試みたところ（焼成法-3），130℃では５分間加熱した時点で混合物が発泡を伴いながら餅状に膨らみ始めてしまい，錠剤にすることはできなかった。

簡易錠剤成型器を用いることで，焼成法では熱分解を起こすためにこれまで作成することが困難だった含クエン酸発泡性錠剤に対しても，錠剤化が可能であることが分かった。

５．まとめ

本研究では，簡易錠剤成型器（A，B両タイプ）を製作し，それを用いることで市販品に近い発泡性入浴剤の錠剤を作成することに成功した。これまでの製作手法である焼成法と比較すると，①エタノールが不要になる，②製作時間が短縮できる，③外見と機能が商品に近づく，といった長所がある。一方，本研究で報告した簡易錠剤成型器を使用するには，油圧ジャッキや万力を必要とするため，焼成法と比べるとやや初期投資[7]が大きいが，市販品に近いものができるという点で満足のいく「ものづくり」になる。

教科書に記載されている学習内容や実験内容を理解するだけでなく，そこにある科学の原理が実際の商品に活用されていることを知り，それらを「ものづくり」体験することで，「学校の理科（基礎･基本）」と「日常生活の科学（活用）」の結びつきを深く理解できる子ども，そして，「ものづくり」への興味・関心を持てる子どもが育成できると期待している。

表 1　簡易錠剤成型器（Aタイプ）を用いて作成した発泡性入浴剤の錠剤（プレス法-1，プレス法-2）と焼成法により作成した発泡性入浴剤の錠剤（焼成法-1，焼成法-2）の完成写真，形状と表面，水槽に投入した際の溶け方

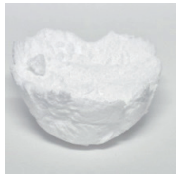
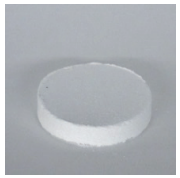
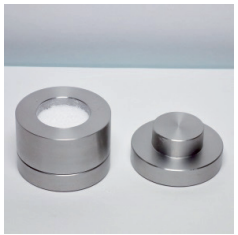
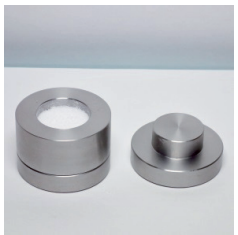
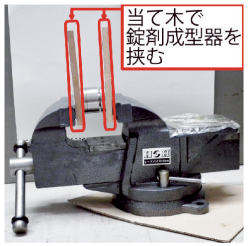
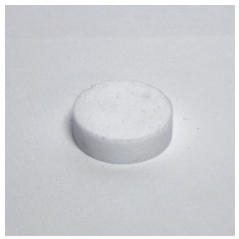
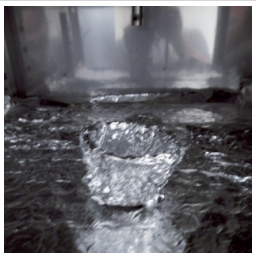
	原料と製法	完成写真	形状と表面	水槽(22℃，30 L)に投入した際に，溶解にかかった時間と溶解の際の様子
プレス法-1	Na_2SO_4 14.2 g $NaHCO_3$ 16.8 g フマル酸 11.6 g を簡易錠剤成型器で成型。		形状：円柱状 （直径 50 mm， 厚さ 13 mm） 表面：なめらか 堅さ：堅い	水槽に投入した際，崩れずに底に沈んだ。発生する気泡の大きさは小さかった。錠剤全体が徐々に小さくなるように溶解した。10 分間経過後に気泡の放出がなくなった。
焼成法-1	Na_2SO_4 14.2 g $NaHCO_3$ 16.8 g フマル酸 11.6 g EtOH 5 ml を焼成法で成型。		形状：円柱でない形状 表面：ざらざらで荒い 堅さ：脆い	水槽に投入した際に，全体が崩れた。その際，大きな気泡が勢いよく発生した。4 分間経過後に気泡の放出がなくなった。
プレス法-2	Na_2SO_4 14.2 g Na_2CO_3 10.6 g フマル酸 11.6 g を簡易錠剤成型器で成型。		形状：円柱状 （直径 50 mm， 厚さ 11 mm） 表面：なめらか 堅さ：堅い	水槽に投入した際，崩れずに底に沈んだ。発生する気泡の大きさは小さかった。錠剤全体が徐々に小さくなるように溶解した。10 分間経過した後に気泡の放出がなくなった。
焼成法-2	Na_2SO_4 14.2 g Na_2CO_3 10.6 g フマル酸 11.6 g を焼成法で成型。		形状：円柱でない形状 表面：ざらざらで荒い 堅さ：脆い	水槽に投入した際に，全体が崩れた。その際，大きな気泡が勢いよく発生した。5 分間経過した後に気泡の放出がなくなった。

表２　簡易錠剤成型器（Bタイプ）と加圧に油圧ジャッキを用いて作成した含クエン酸発泡性錠剤（プレス法-3），簡易錠剤成型器（Bタイプ）と加圧に万力を用いて作成した含クエン酸発泡性錠剤（プレス法-4）と焼成法により作成した含クエン酸発泡性錠剤（焼成法-3）の製作工程の写真と様子

	原料と製法	成型前	成型中		完成品の様子	
プレス法-3	Na_2SO_4 1.42 g $NaHCO_3$ 2.52 g クエン酸 1.92 g を簡易錠剤成型器と加圧に油圧ジャッキを用いて成型。			400 kg/cm^2 で加圧をした。		形状と表面は 形状：円柱状 肌目：なめらか 堅さ：堅い
プレス法-4	Na_2SO_4 1.42 g $NaHCO_3$ 2.52 g クエン酸 1.92 g を簡易錠剤成型器と加圧に万力を用いて成型（錠剤成型器を当て木で挟む）。			力をかけられるだけ荷重をかけた。		形状と表面は 形状：円柱状 肌目： 油圧ジャッキによるものと比べると，表面はやや荒く，角も丸い。 堅さ：やや堅い
焼成法-3	Na_2SO_4 1.42 g $NaHCO_3$ 2.52 g クエン酸 1.92 g EtOH 2 ml を焼成法で成型。			ドライオーブンを用いて 130℃で５分間加熱した際に，原料が餅状に膨らんでしまった。		餅状になってしまい，錠剤状にならなかった。

参考文献と注

[1]平成25年度中学校教科書,「中学校科学1」, p44, 学校図書.
[2]平成20年9月, 中学校学習指導要領解説, 文部科学省.
[3]“発泡性入浴剤（バブ）を作ってみよう”, 鎌田正喜,「夢化学－21　化学への招待　化学実験公開講座」テキスト, 平成10年度（1998年）, pp39－44;平成14年度（2002年度）, pp71－76;平成15年度（2003年度）, pp77－82;平成16年度（2004年度）, pp77－82;平成17年度（2005年度）, pp69－74;平成18年度（2006年度）, pp5－11;平成19年度（2007年度）, pp8－13, 日本化学会関東支部・新潟県化学教育協議会, 新潟大学.
[4]“炭酸ガス入浴剤を作る”, 仁井田孝春, 村井達生, 化学と教育, 1996年, 44巻, 11号, pp716－717.
[5]"発泡性入浴剤の簡便合成法の開発と化学実験教材としての活用",鎌田正喜,新潟大学教育人間科学部教育実践総合センター研究紀要, No.7, pp57－68（2008年）.
[6]平成25年度中学校教科書,「中学校科学2」, pp22－25, 学校図書.
[7]簡易錠剤成型器の製作は, 設計図（図1と図2）を作成し, 金属加工会社（新栄工業株式会社　新潟県三条市金子新田丙 601－8）に依頼した。簡易錠剤成型器（Aタイプ）は20,800円, 簡易錠剤成型器（Bタイプ）は16,100円であった(2012年11月現在)。本研究で製作, 使用した簡易錠剤成型器が必要な場合は, 設計図（Aタイプは図1-1と図1-2, Bタイプは図2-1, 図2-2）を元に金属加工会社に依頼, 発注することも可能である。