

# 入学初年次における基礎概念調査アンケートの開発と分析

## Development and Analysis of Basic Concept Questionnaire in First-Year Students

小林 和也<sup>1)</sup>, 池田 宏<sup>2)</sup>

Kazuya U. Kobayashi<sup>1)</sup>, Hiroshi Ikeda<sup>2)</sup>

**Abstract** : This study analyzed the survey results on basic knowledge and elementary concepts of chemistry, and clarified the misconceptions about a subject among students. “Naïve concept”, which happens when a student has wrong basic knowledge, may prevent correction of knowledge and hinder advanced learning of the subject. Therefore, we investigated the status of possession of simple concepts and acquisition of basic knowledge of chemistry. Accordingly, the causes of students' errors were clarified. The findings of this study suggest that there is considerable bias in the students' understanding of basic chemistry at the time of entrance to school, depending on the field of study. The percentage of correct answers in the third grade was almost the same as in the first grade which indicates that the students have not corrected their naive concepts despite having taken chemistry in the first and second years. Conventional final examinations, etc., do not reveal the types of naive concepts.

**Keywords** : Naive Concept, Curriculum, Properties of Gases, Chemical Reaction, Properties of Solutions

### 1. はじめに

本稿では、2021年度に品川キャンパスに入学した第1学年(4クラス)に対して、理科に関する基礎概念の取得状況を明らかにするため開発したアンケート調査を一斉に実施したので、その分析結果について報告する[1].

本学(以下、品川キャンパスを指す)の化学における教育は、第1学年は混成クラスであるため、高等学校における化学基礎および化学に相当する内容について、実験を交えながら体系的に学習し、第2学年からは、各コースの専門教育の基礎として必要とされる化学的知識を考慮した内容で展開している。また、かねてより中学校段階の学習内容との円滑な接続が課題になっており、カリキュラムや授業方法の改善を進めている。

その一方で、高等専門学校入学時点における学生の「理科」に関する基礎知識には“差”があることがこれまでも懸念されてきた。特に、学生が化学について学ぶことができる機会は、必修科目である化学I・II(1年次・2年次)及び選択科目の化学特論I・II(3年次)および総合化学特論・工業化学概論(4年次)に限定されることから、上述のような基礎知識の“差”を考慮したカリキュラムや授業方法の改善に向けて、本学の学生の化学に関する基礎知識の習得状況を明らかにする必要がある。そこで、2021年度に本学の1年生を対象に中学校段階の化学に関する基礎知識の習得状況を調査したところ、中学校段階までに学習をしているはずの基礎知識を正しく取得できていない学生が一定数いることがわかった。しか

しながら、その科学的認識を調査する試みはこれまであまり行われていなかった。基礎知識の差は、単に不勉強による知識量不足の場合もあり得るが、科学的に誤った認識の蓄積による場合も報告されている。このような科学的に誤った認識は「素朴概念(Naive Concept)」と呼ばれ、これまでの多くの研究より盛んに議論されている[2-4].

素朴概念は、科学的な整合性が取れていない誤った知識であり、現実とは異なった非論理的議論を助長する場合があります。また今後の高度な専門科目を学ぶ上での支障にもなりえる。すなわち、このような素朴概念はできるだけ早い段階で修正・解消することが望まれる[5-6].

本研究の最終目標は、本学の学生の素朴概念の保有状況と化学に関する基礎知識の修得状況を調査し、その結果から学生のつまずきの原因を明らかにし、そのことを踏まえてカリキュラムや個々の授業を構想することで、学生が確かな知識を身につけることを目指したい。本稿では、その前段階として、本学の学生(第1学年全体および第3学年1クラス)の化学に関する基礎知識と素朴概念に関する調査結果を分析し、学生のつまずきの実態と今後カリキュラムを構想する上で注意すべきことを明らかにする。

### 2. 調査に関する詳細

#### 2.1 実施対象

調査は当該校入学者で第1学年必修科目[化学I]を履修する学生161名に実施した。さらに、本学入学後から現在

1) 日本工業大学 基幹工学部 機械工学科 (kobayashi.kazuya@nit.ac.jp), 2) 東京都立産業技術高等専門学校 ものづくり工学科

実施しているカリキュラム下で学習を行ってきた学生等の素朴概念保有状況についても調査することを目的に、第3学年にて開講されている選択科目「化学特論I」を履修する学生44名にも調査協力を求めた。本科目は1年生および2年生の必修科目である化学I・IIをすでに履修済みであり、さらに進んだ大学程度の化学を学びたい学生が履修する科目である。従って、上述のような科目の特性上、本学内では、大学編入学を希望する学生が履修する傾向にある。

本調査は2021年4月の初回授業にて実施した。なお、調査にあたっては、調査目的や内容、集計結果等の取扱いについて冒頭に説明し、さらに本アンケートは学業成績には一切入れないことをあらかじめ強調すると同時に、周囲とは相談せずに自分の考えに基づいて回答するように協力を依頼した。

## 2. 2 調査項目の設定

調査項目は中学校課程における理科（化学分野）の学習内容をベースとして、高専の化学やその周辺分野において重要な基礎概念として考えられる「物質の構成」、「気体の性質」、「化学反応」、「溶液の性質」などについて、基本的な意味を問う質問を12題提示した。本研究では、長洲と武田[3]や堀[4]らによって提案され、これまでに様々な実施検討が行われた調査項目を参考にしながら、本学の特色や学生などに合わせて問題作成を行った。解答はあらかじめ5つの選択肢を用意して、そこから適切な選択肢を選ぶ形式とした。さらに、なぜその選択肢を選んだのかを詳しく調べるために、それぞれの問題に自由記述欄を用意し、そこに選択の根拠になる知識・理論等を記入してもらった。今回実施したアンケート調査問題は付録に示す通りである。

## 3. 結果および考察

### 3. 1 実施アンケートの正解数分布

はじめに、今回実施したアンケートの正解数分布を図1に示す。なお、グラフ内で示したフィッティング曲線は正解数の度数分布に対して、ガウス関数フィッティングを適用した結果である。まず、(a)は1年生および3年生を合わせた全体の分布を示している。平均正解数は概ね8問程度であり、当初の予想より比較的高得点側に分布が多くなる結果となった。その一方で平均を大きく下回る学生も一定数いることが明らかになった。これらの学生については、今後の本学での学習活動を円滑に進めるために、年間の講義を通して適切なケアが必要であると考えられる。次に(b)(c)はそれぞれ1年生および3年生の正解数分布を表している。(b)に関しては全体と傾向がほぼ同じである。一方で(c)に関しては、解答者全員がすでに1・2年生の化学を学んでいるにもかかわらず、平均正解数はほぼ8問である。この3年生の結果もやはり(a)や(b)と同じ傾向を示していることが明らかになった。すなわち、基礎概念アンケートの結果は、本来前提としている基礎概念が正しく取得できていない学生やつまづきを有している学生が、1年生および2年

生の化学関連科目の履修によらず一定数存在していることを示している。さらに、これらの学生の解答理由を分析することにより、科学的な理解を妨げる素朴概念の影響が内在しているかについても詳細に調べる必要性が示唆された。

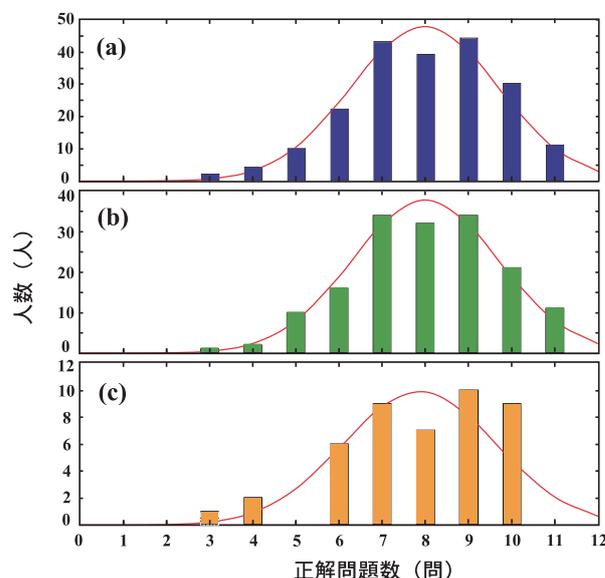


図1：実施アンケートの正解数分布。(a)全体の正解数分布。(b)第1学年161名に対する正解数分布。(c)第3学年44名に対する正解数分布。

### 3. 2 解答状況および正答率

本アンケート問題の解答状況を図2および図3にそれぞれ示す。ここで図2は第1学年、図3は第3学年を対象としたアンケート結果である。なお、各問に対する正解番号および正答率(全体、1年生、3年生)は表1にまとめているので合わせて参照されたい。

第1学年(図2)では、比較的多数の問題において正答率が80%以上と高いことがわかる。これは、物質の構成および気体の性質の基本事項に関する中学校段階における基礎知識が概ね取得できている可能性が示唆される。

表1：正解番号および正答率

問題番号	正解番号	全体正答率	1年生正答率	3年生正答率	問題分野
1	1	79%	81%	73%	物質の構成
2	2	95%	96%	93%	気体の性質
3	5	87%	86%	93%	気体の性質
4	1	30%	29%	36%	気体の性質
5	4	86%	84%	93%	気体の性質
6	4	94%	94%	96%	化学反応
7	4	96%	96%	95%	化学反応
8	1	60%	61%	55%	化学反応
9	3	43%	44%	43%	溶液の性質
10	2	83%	84%	79%	溶液の性質
11	2	41%	43%	30%	溶液の性質
12	1	94%	94%	93%	溶液の性質

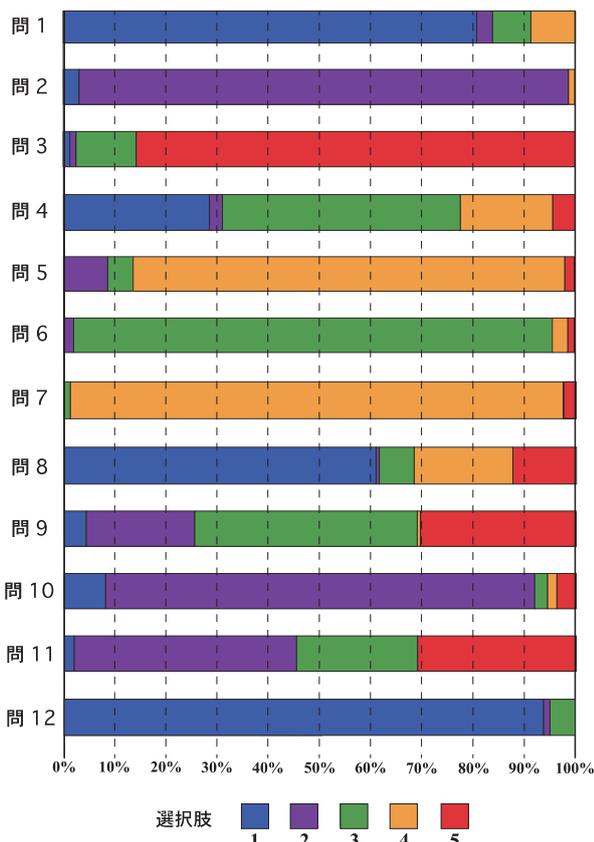


図2：第1学年（161名）に対する基礎概念アンケート結果

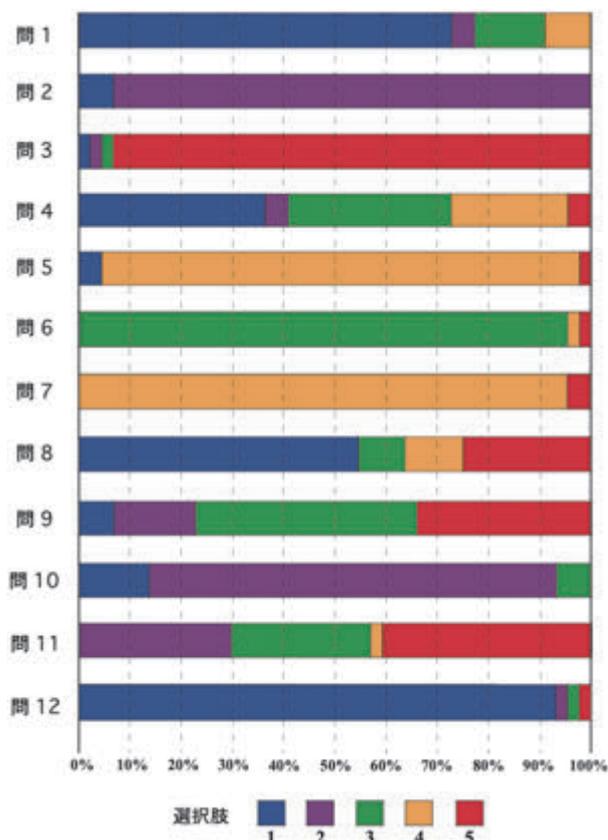


図3：第3学年（44名）に対する基礎概念アンケート結果

一方で、問題4, 8, 9, 11など、全体を通して正答率が著しく低い問題も存在する。以下、本論文では特に正答率が低い問題を中心に、自由記述欄の内容を踏まえて詳細に述べる。

### 3. 3 低正答率問題の分析

ここでは基礎アンケートより正答率が低い問題を中心に、自由記述欄の内容を踏まえたつまずきや素朴概念の有無について分析を行う。

問1は「物質を細かくするとどのようになるか？」という問題である。本アンケートでは中学校段階での学習内容より「原子」を正解としている。表1より正答率は概ね80%程度であるが、第3学年の正答率がやや低く、27%が不正解であることは注意すべきポイントである。不正解内訳を見ると、原子または分子（選択肢3）や分子（選択肢4）と回答する学生が一定数いることが明らかになった。自由記述欄を見ると1年生および3年生で共通して「ほとんどの物質は原子でできているが、酸素や水素など一部は分子でつくられているから」や「物質は分子でできていて、分子を原子レベルまで分けるとその物質ではなくなるから」など、原子と分子の成り立ちや構造的違いが理解できていない学生が多いことがわかった。この理解は化学を学ぶ上で重要な問題であり、専門科目を学ぶ上で重要な概念であることから、適切なケアをする必要がある。

問4は気体の粒子モデルに関する調査で、「気体の分子と分子の間がどのようになっているか？」という基礎概念を調査した問題である。気体の粒子モデルを教授する際に、粒子自体が気体分子を表していることから、粒子が書かれていない空間は“真空”であることを暗に教員側は前提としていることが多い。一方で、学生側は気体粒子の周りに空気が入り込んでいる（選択肢3）やその他の気体が入り込んでいる（選択肢4）など、明確な素朴概念を有している学生が学年に関わらず非常に多いことが明らかになった。全体正答率は30%と著しく低く、1年生では29%、すでに化学系科目を履修している3年生でも36%である。すなわち、これまでの化学系科目の履修有無による正答率に大きな差は認められなかった。この結果はこれまでの化学系科目の履修によっても、素朴概念が修正されていないことを示している。自由記述欄より典型的な内容を抜粋すると、「他の気体がないと周囲に隙間ができてしまう」や「分子同士の間が広がるとそこに空気が入り込む」など、粒子間に空気や他の気体が存在することを前提とする素朴概念を有している解答が非常に多いことが明らかになった。この素朴概念は、例えば気体分子運動論の学習など、今後の学習活動の障壁になることが予想され、早期の修正が望まれる。中学校理科における教育例として、例えば西[7]は、中学校段階

における固体・液体・気体における粒子の運動に関して、粒子の数や大きさ、質量が変化しないことを説明し、物質の三態については「教室でイメージすると固体は授業中の教室における生徒の様子、液体は休み時間の生徒の様子、気体は放課後の生徒の様子」のように、実感が伴う工夫が教科書でなされていることを指摘している。一方で、粒子間の状態に関してはあらわに扱われるケースは少ない。これは教師側が予め“真空”の意味と粒子間の状態を明示した気体粒子モデルの解説を行うことで修正が促されることが期待される。本問題に関連した素朴概念の存在は、例えば後藤[8]も指摘しており、概念修正には「粒子間からの空間」であることを明示的に教授する必要があることを論じている。

問8は基本的な化学反応と質量保存に関する調査で、「うすい塩酸に亜鉛を入れると気体が発生した。このときに亜鉛はどのようになったか?」という基礎概念に関する問題である。本現象の化学反応式を以下に示す。



ここで調査結果(図2および図3)から学年によらず「別の金属に変化した」という解答が多いことが明らかになった。自由記述欄の内容より特に注目すべきことは、化学反応式を正しく記述できている学生についても、式(1)の左辺(反応系)の亜鉛(Zn)に対して、右辺(生成系)の塩化亜鉛(ZnCl<sub>2</sub>)は塩素が結合したことによって別の金属になったと認識している。亜鉛の酸化物であるという認識ではなく、化学反応によって亜鉛から塩化亜鉛に変化したという理解から、金属としても別になるという素朴概念が内在していることが示唆される。また「亜鉛が全て水素に変化した」や「見えなくなったため気体となって水素とともに出てしまった」など、溶液中に亜鉛が残らないという選択肢を選んでいる学生も多い。このような素朴概念は高専での化学履修によらないことも今回のアンケートより明らかであるため、概念修正に向けた質量保存の法則について適切な指導の検討が今後必要である。

問9は溶液の性質(均一性、質量保存)と粒子スケールに関する調査で、「食塩水をろ紙を用いてろ過した場合、ろ過後の食塩水はどのようになるか?」という問題である。全体の正答率は43%と低く、第1学年と第3学年で正答率に差は見られなかった。一般的に、食塩は溶媒中(この場合は水中)で電離することにより水和している。すなわち、これらのイオンは水と分子レベルで均一に混合しているため、ろ紙ではろ過することはできない。その一方で、「ろ紙は小さな粒子しか通さないため、大きな粒子である食塩は通れない」や「食塩は見えなくても小さくなって水に混じっているだけで、ろ紙にはいくつかは溜まってしまう」などの溶液の性質(特に粒子のサイズ認識)に関する素朴概念が伴った誤解が非常に

多い結果となった。この問題は堀[4]も指摘しているように、「溶ける」という現象が比較的身近であることから、日常的現象と目に見えない化学のミクロスコピックな現象との解離による素朴概念であると考えられる。自由記述欄を見ると、「溶け残った・・・がたまる」など、日常的な経験から一時的に溶け残っている状態をイメージしている学生も多く、現象の区別(均一性が理解)ができていない学生も多い。この点は、後藤も関連した問題による調査によって指摘するとおり[8]、拡散現象と溶液の均一性を理解させるための取り組みを実施することで改善が促されることが期待される。

問11は問9とも関連した溶解と拡散に関する問題であり、「容器内に仕切りを用意し、片方に食塩水、もう片方に水を入れ、仕切りを外して十分な時間が経過した時の溶液内の濃度分布はどのようになるか」という内容である。正答率は全体および第1学年で40%前後、第3学年では30%と低い結果となった。選択肢を見ても、重力下において、密度の高い食塩水の上に水が重なっている状態になるや、食塩水の上に水が重なり、その境界面付近が混ざり合うなど、食塩水の状態(溶液の一様性)と仕切りを取り除いた後の拡散による均質混合において、素朴概念が散見された。本問題も問9と同様に、粒子モデルによる拡散現象と均一性に関する理解を促す取り組みの実施が今後必要であると考えられる。

### 3. 4 アンケート正答率と定期試験との相関関係

前節においてアンケート調査を通した素朴概念の保有状況について、特に正答率の低い問題を取り上げて、自由記述欄の内容などを踏まえながら詳細を述べた。本論文で我々が提案した基礎概念アンケートは、本高専(特に化学)においては初めての試みであることから、今回明らかになったような素朴概念に関する事項はこれまでカリキュラム等に明示的には考慮されてこなかった。そこで、2021年度前期において、現行のカリキュラム下における学習活動とその成果である定期試験の結果が、本アンケート調査の個人得点とどのような関係あるかについて調査した。

図4はアンケートの得点と前期中間および期末それぞれの定期試験の得点率との関係を示している。なお、第3学年に関しては前期中間試験を実施していないため、前期末試験の結果から議論する。その結果、アンケートの得点率にかかわらず、図4(a)(b)(c)ともに広範囲に得点分布が広がっていることがわかる。すなわち、アンケートの得点と定期試験の得点率には特別な相関がないことが明らかになった。この結果から、現行のカリキュラムによる学習活動においては、本アンケート調査によって明らかになった高専生における素朴概念が修正されていなくても、定期試験への影響は少ないことが示唆された。一方で、各学生の素朴概念の保有状況は定期試験の結果

からは把握できないということも示している。したがって、本アンケート調査のような素朴概念の所在を明らかにする取り組みを通して、適切な修正を踏まえたカリキュラム内の指導内容を検討することによって、確かな基礎力を育む高専の化学教育の開発につながると考える。

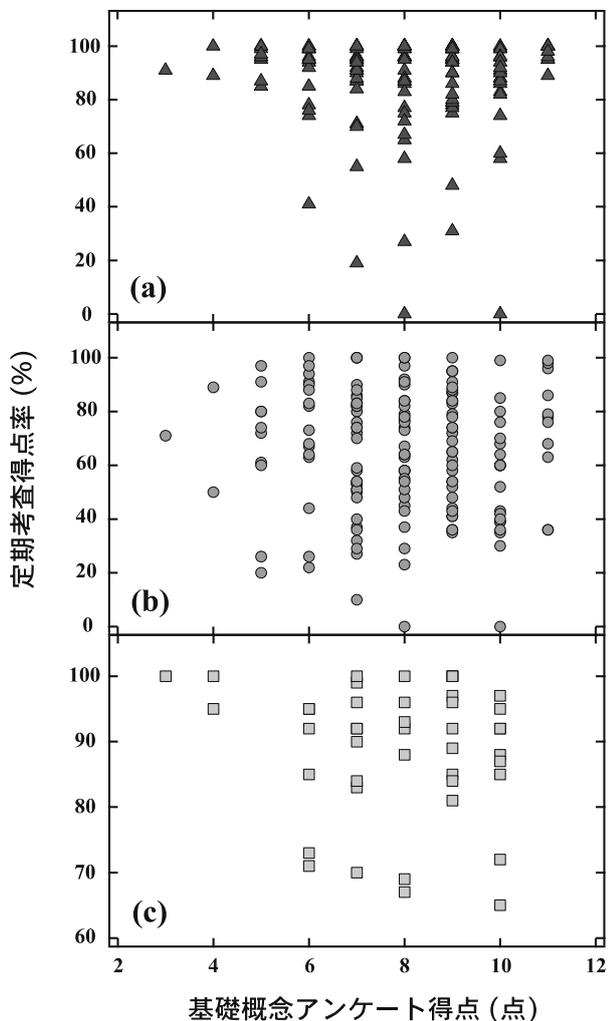


図4：基礎概念アンケート得点と定期試験得点率との関係。(a)第1学年前期中間試験。(b)第1学年前期期末試験。(c)第3学年前期期末試験

#### 4. おわりに

本稿では本学入学者（第1学年）および第3学年の一部を対象に、筆者らが新たに考案した基礎概念アンケートを用いた調査を実施し、学生をつまづきの所在や素朴概念の保有状況を明らかにした。本稿で明らかにしたことは以下の通りである。

- ・ 入学時点における化学に関する基礎事項の理解状況には、分野によってかなり偏りがある。
- ・ 第3学年の正答率は第1学年とほぼ同じであった。このことは、1・2年次に化学を履修しているにもかかわらず、素朴概念が修正されていないことを示している。

- ・ 従来の期末試験等では素朴概念の所在を明らかにすることはできない。

また、学生の正答率が特に低く、修正を要する項目を表2にまとめた。これらの方針のもと、現在並行して取り組んでいる動画資料を用いた反転学習の実践[9]に本研究の成果を反映し、授業において素朴概念の修正を促す取り組みも実施し、概念修正の成果が出ている。この内容については、結果がまとまり次第、改めて報告を予定している。また、本学の学生の素朴概念の保有状況と化学に関する基礎知識の習得状況を踏まえたカリキュラム内の教授内容についての検討も継続して実施していく計画である。

表2：素朴概念の内容と修正方針

素朴概念の内容	修正に関する方針
原子と分子の区別	具体的な事例を示しながら、原子と分子の成り立ちや構造的違いを説明する。
気体の粒子モデル	“真空”の意味と粒子間の状態を明示した気体粒子モデルを示す。
化学反応と質量保存	具体的な事例を示しながら、質量保存の法則について適切に指導する。
溶液の性質（ろ過）	拡散現象と溶液の均一性を理解させるための取り組みを実施する。
溶解と拡散	粒子モデルによる拡散現象と均一性に関する理解を促す取り組みの実施。

#### 参考文献

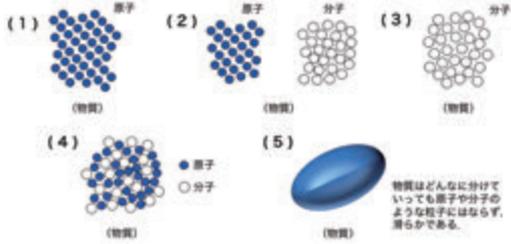
- [1] 小林 和也, 後藤 志緒莉, 池田 宏: 工業系学校初年次における科学的概念の修得状況に関する調査と分析, 工学教育, 71, 2, pp. 83-88, 2023
- [2] 角田 陸男: 理科に関する児童・生徒および先生方への調査結果の報告, 化学と教育, 42, 1, pp. 19-25, 1994
- [3] 長洲 南海男, 武田 一美: 中学校理科のつまづきとその指導 [第1分野], 東京書籍, 1981
- [4] 掘 哲夫: 問題解決能力を育てる理科授業のストラテジー 素朴概念をふまえて, 明治図書出版, 1998
- [5] 進藤 聡彦, 麻柄 啓一, 伏見 陽児: 誤概念の修正に有効な反証事例の使用方略-「融合法」の効果-, 教育心理学研究, 54, 2, pp. 162-173, 2006
- [6] 湯澤 正通: 科学的概念への変化-概念変化の要因と研究の課題-, 心理学評論, 54, 3, pp. 206-217, 2011

- [7] 西 嘉之: 小・中学校理科における粒子概念の形成について, 神奈川大学心理・教育研究論集, 47, pp. 243-254, 2020
- [8] 後藤 みな: 理科教育における「物質の粒子性」の教授・学習に関する一考察-日本とドイツの比較を通じて-, 山形大学紀要, 17, 4, pp. 119-132, 2021
- [9] 小林 和也, 後藤 志緒莉, 池田 宏: 工業系学校初年次における反転学習の導入と分析, 工学教育, 71, 2, pp. 77-82, 2023

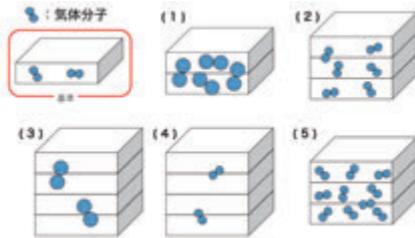
学生番号： \_\_\_\_\_ 氏名： \_\_\_\_\_

解答は全て解答用紙に記入してください。その際、**選択肢を選んだ理由**を詳細に書いてください。教員の指示のもと1問ずつ順番に進めていきますので、**勝手に先に進むのはやめてください**。本アンケートは今後の授業改善のために使用し、**みなさんの成績には一切入りませんので、安心して現在の実力で解答してください**。

問1 物質をどこまでも小さく分けていくとどうなるか？ 次の(1)～(5)の中から正しいものを1つ選びなさい。



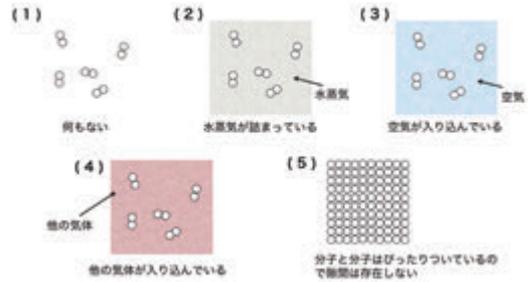
問2 同じ体積の気体の中には同じ数の分子が入っている。次の(1)～(5)の模式図のうち基準のモデルと同じものを1つ選びなさい。



問3 水は分子からできている。では、水の温度が上昇すると水は膨張するという事実をどのように説明すれば良いか、以下(1)～(5)から正しいと思うものを選びなさい。

- (1) 水の分子そのものが大きくなるため膨張する
- (2) 水の分子の大きさは変わらないが、数が次第に増えるために膨張する
- (3) 水の分子と分子の間に空気が入ってくるため膨張する
- (4) 水の分子は大きくなり、さらに数も次第に増えていくために膨張する
- (5) 水の分子の数は変わらず、分子が活発になっていくため膨張する

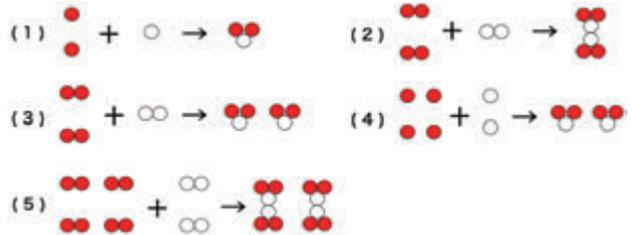
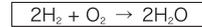
問4 気体では分子と分子の間はどうなっていると思うか？ 正しいものを1つ選びなさい。



問5 次の容器の中には気体が入っている。このうち2つ以上の気体が混じり合っただけのものはどれか、以下の(1)～(5)から選びなさい。



問6 化学反応式は水ができる時のものである。これをモデルで表すと、下の(1)～(5)のどれになるか？



問7 物質Aが1gあり、物質Bが2gある。いまこの両者が全部反応して3gの物質Cを作った。では物質A 5gと物質B 10gを全部反応させたら、物質Cは何gできるか？

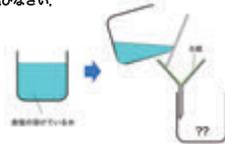
- (1) 5g以下である。
- (2) 5gである。
- (3) 5gと15gの間である。
- (4) 15gである。
- (5) 15g以上である。

問8 うすい塩酸の中に亜鉛を1g入れ水素を発生させた。発生が終わった時、亜鉛は全部とけて肉眼では見えなくなった。このことについて、以下より正しいものを1つ選びなさい。

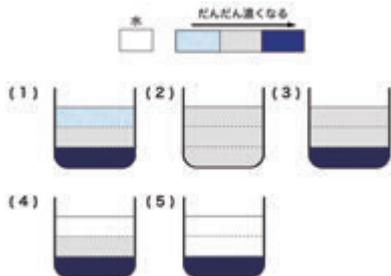
- (1) 亜鉛は見えなくなったが、質量1g分の亜鉛は溶けて溶液中にある。
- (2) 亜鉛は溶液中に溶けたため重さはなくなりました。
- (3) 亜鉛は見えなくなったことから、水素と一緒に小さな粒になって出ていった。
- (4) 亜鉛は全部水素に変化した。
- (5) 亜鉛は全てとけて他の金属に変化した。

問9 水に食塩を溶かしました。次にこの食塩水を濾紙を用いてろ過しました。ビーカーには何がたまるでしょうか？ 以下より正しいものを1つ選びなさい。

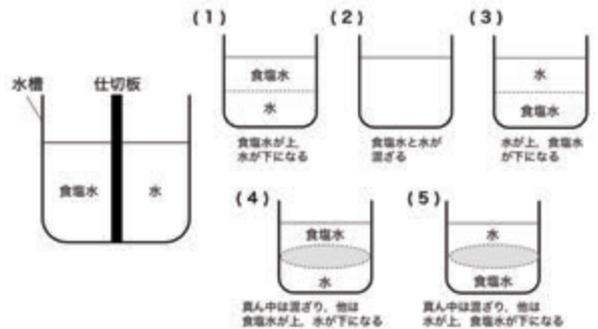
- (1) 食塩だけがたまる。
- (2) 水だけがたまる
- (3) もともと同じ食塩水だけがたまる
- (4) 前よりも濃い食塩水がたまる
- (5) 前よりもうすい食塩水がたまる。



問10 ビーカーの水の中に砂糖を入れて溶けるまでよくかき混ぜました。この時、ビーカーの中の砂糖の濃さはどのように変わっているか？ 以下より正しいものを1つ選びなさい。



問11 同じ量の食塩水と水がビーカーの中で仕切板を介して入っています。この状態では食塩水と水が混ざらないようになっています。いま、この仕切板を外して十分な時間放置しました。食塩水と水はどのように変わっているのでしょうか？ 以下より正しいものを1つ選びなさい。



問12 食塩を水の中に入れ、溶けるまでよくかき混ぜました。この食塩が溶けた液体を半分に分けるとそれぞれの濃さはどうなるのでしょうか？ 以下より正しいものを1つ選びなさい。

