東北学院大学教養学部総合研究論文

プロジェクト名：「学びを支援するツールとしてのマルチメディア」

中学校理科第一分野CAI教材「気体の発生」の開発

～シミュレーションの特性を活かして～

Development of CAI Courseware "Gas Generation"

for Junior High School Science:

Making the Best Use of Simulation

by

二瓶　彩子　　福原　可奈

Nihei Ayako　　Fukuhara Kana

1999年3月

Approved by _____

論文指導審査教授

_____

_____

_____

プロジェクトコーディネーター

_____

中学校理科第一分野CAI教材「気体の発生」の開発
～シミュレーションの特性を活かして～

Development of CAI Courseware "Gas Generation" for Junior High School Science:
Making the Best Use of Simulation

メインテーマ：
　学びを支援するツールとしてのマルチメディア
指導教員：鈴木克明先生

教養学部人間科学専攻
9551164　二瓶　彩子
9551173　福原　可奈

1　研究の背景

1-1　本教材開発の動機

「中学校指導書理科編」（文部省, 1989）によると、「理科学習の最終のねらいは自然についての興味、関心を高めることである（p.11）」と述べられている。しかし、実際の授業では時間が限られており、しかも一人の先生が大勢の生徒に教えるわけだから、学習のねらいを満たすにも限界があると考えられる。安全面、設備面などの問題からもなかなか自学自習するのは難しい。

そこで、一人でも手軽に実験を疑似体験することができれば、上述の問題の解決につながると考えた。また、学習者の興味・関心を高めるために、自由に条件設定や意志決定をすることができるというシミュレーションのメリットを活かすことができるのではないかと考えた。

1-2　本研究の目的

本研究では、一人でも手軽に学ぶことができ、理科に対する興味・関心が高まるようなシミュレーション教材の開発を目的とした。

教材で扱う分野は、中学校理科第一分野「身の回りの物質とその変化」の「気体の発生」とした。酸素、二酸化炭素、水素、アンモニアを用い、性質や発生法、捕集法などを学習することによって、気体の特性を理解させることを目的とした。その際に、異なった条件でも対応できる力が身に付くように、シミュレーションの特性を活かした内容にした。

2　シミュレーション

シミュレーションとは、現実の物理現象をモデル化し、コンピュータで計算しながら模擬するものである。坂元（1987）によると、「シミュレーションとは、教育目的のためにコンピュータ上に現実の断片を作業モデル化して映しだしたものである」とある。要するに、コンピュータで模擬体験をすることである。

シミュレーションによって、学習者は、教室のなかで行うには費用がかかりすぎたり、時間がかかりすぎたり、危険すぎたり、簡単には実施できないほど複雑であるような事柄を、疑似体験することができる。また、学習者には、現実の実験を観察するよりもコンピュータシミュレーションの

ほうがメリットがある場合もある。というのは、学習者自身が実験条件や実験変数を変えながら実験に参加できるからである。学習者は、条件設定と意志決定をすることができて、コンピュータはその結果や関連事項を示すことになる。実験変数は安全にかつ無料でいくらでも変えることができる。

3　設計

3-1　教材の全体構成と特徴

教材で使用する薬品は、中学校教科書・資料集から抜粋した（液体５種類、個体10種類）。これらの反応結果については、高等学校の化学の先生にご指導をいただき、さらに、出身高校の実験室を借りて実際にいくつかの実験を行った。

教材の全体構成を図１に示す。導入部分の「やりかた」では実験の流れを示すと同時に学習目標（４種類の異なる気体を発生させよう）を提示する。メインとなるのは「理科室」（図２）で、ここで気体の発生をシミュレーションする。「器具庫」をクリックすると画面に器具が表示される。その中から好きなものを選んで実験台に運び組み立てる。「くすり」ボタンは薬品名のみを表示するが、その中から液体の薬品を選択するとスポイトの絵、個体の薬品を選択するとスプーンの絵が現われる。それを実験装置に運び重ねると音によって実験装置に入ったことが認識できる。選択された薬品名は画面下に表示され、学習者がどの薬品を使用したか確認できるようになっている。「点火」ボタンをクリックするとガスバーナーは点火する。

組み立てが完了すると「確認」に進むことができる。確認ツール（線香、石灰水、リトマス紙）を用いてどんな気体が発生したかを確認し、何が発生したのか（または何も発生しなかったか）5択で答える。選んだ答えが当たっていれば、その気体についての豆知識を表示する。はずれの場合はもう一度確認し直すことができる。 確認方法の説明として確認ツールのヒント画面もある。

気体を発生させた行程は「ノート」に記録できる。気体の性質について学習できたかどうかは「確認テスト」で確認できる。

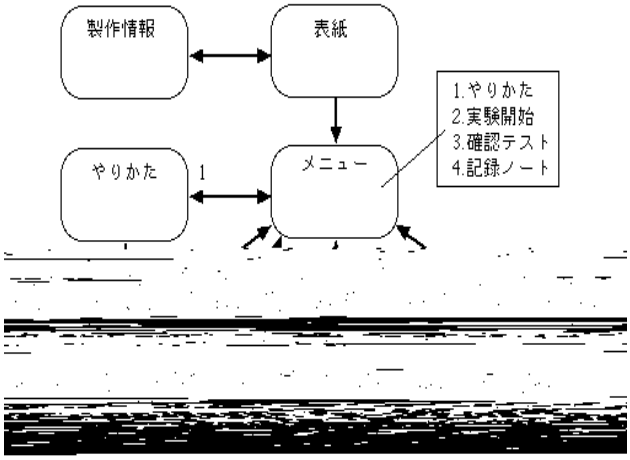


図１　全体構成

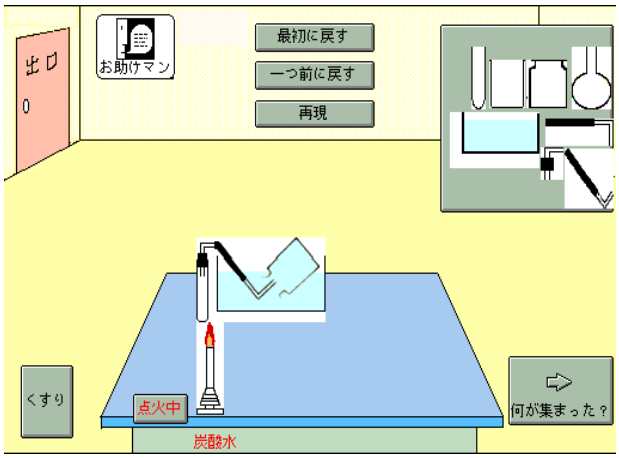


図２　「理科室」の画面

3-2　背景との関わり

本教材では、学習者の興味・関心を高めるために、自由に条件設定や意志決定ができるというシミュレーションのメリットを活かして、説明は極力少なくし、なるべく自由ななかでも正解に導くような工夫をした。例えば、「理科室」の器具の選択であるが、教科書に載っている組み合わせでなくても支障がない場合は実験を進めることができる。一方、絶対にありえない組み合わせは接続できないようにした。また、ヘルプボタンを活用することによって見たい人だけが見られるにし、学習者の意思に任せた学習ができるようにした。学習目標である４種類の異なる気体の発生をとおして、何と何を組み合わせれば何が発生するのかや気体の性質について自分で気付かせることを目指した。ただおもしろいだけではなく、本当に学習できたかどうかを確認するために「確認テスト」を作成した。

4　開発

開発には、Oracle社のOracle Media Objectsを用いた。実験器具などのビットマップ作成にはペイント・イットを用いた。

教材を設計するにあたって、始めに図１の全体構成図を作成し、それにそって描かれた紙上のスケッチに基づいてプロトタイプを作成した。

Oracle Media Objectsについては、全く予備知識がなかったため、プログラム経験者にご協力いただき、その都度自分たちも学習しながらの開発となった。シミュレーション教材ということでプログラムが複雑になり、難解な部分は、自分たちの考えた構成に基づいて協力者がプログラムを組んで下さり、それを教わりながら教材を開発した。８つの実験器具と15の薬品で始まる実験が進むにつれて変化する器具を表示するために、合計71個のビットマップが図２には含まれている。

シミュレーションの実現方法の詳細については、論文に記す。

5　形成的評価と改善

中学校１年生の男子3名に協力を求め、形成的評価を行った。形成的評価には、本教材、事前・事後テスト、事前・事後アンケートが用いられた。事前テストと事後テストは同じ内容のものを使用した。 事前アンケートは、理科に対する興味・関心について４段階評価で回答するものを使用した。事後アンケートは、理科に対する興味・関心、実際の実験との比較、本教材の特色であるシミュレーションについて、４段階評価と自由記述で回答するものを使用した。形成的評価に基づいて、本教材、テスト、アンケートともに改良を加え、シミュレーションの効果についての実証研究の準備がひととおり整った。

6　おわりに

本来シミュレーションは、なるべく制約のない状態で行われるべきであって、本教材も、できるだけ自由ななかで正解に導けるような設計をしてきたわけであるが、我々の調査不足から、使用できる薬品を2種類までに限定するなど制限せざるを得ない部分が出てしまった。また、設計したものの開発に至らなかった箇所もあり、今後の課題にしたい。

参考文献

文部省（1989）『中学校指導書理科編』学校図書
坂元昂（1987）『コンピュータと教育ー現場でマ

イコンを活かす』マグロウヒルブック

謝　辞

今回の研究にあたり、東北学院大学教養学部鈴木克明教授には多大なるご指導をいただき誠にありがとうございました。また、本教材の開発に誠心誠意ご尽力して下さった市川尚さん、気体の発生の実験をする際に実験室を貸して下さった宮城県第二女子高等学校の高野正徳先生、二瓶すみ子先生、そして、私たちの実験ではこなせなかった反応結果についてご指導下さいました宮城県第一女子高等学校の加藤栄之先生、二瓶文雄先生、お忙しいなか快く引き受けて下さって誠にありがとうございました。閉校日にわざわざ出て来て下さった東北学院大学大学院の坂本英祐さん、貴重なお時間を割いて下さってありがとうございました。

皆さんのご協力のおかげで、ここに総合研究論文を提出できますことを心から感謝いたします。

1999年1月16日

教養学部教養学科人間科学専攻

9551164　　二瓶　彩子

9551173　　福原　可奈

目次

第1章　研究の背景

第1節　本教材開発の動機　1

第2節　本研究の目的　3

第2章　シミュレーション

第1節　シミュレーションとは　4

第2節　シミュレーションのメリット　4

第3節　シミュレーション教材の具体例　4

第3章　設計

第1節　開発に至るまで　6

第2節　教材の全体構成　6

3.2.1　「やりかた」について　9

3.2.2　「理科室」について　9

3.2.3　「記録」について　11

3.2.4　「確認」について　11

3.2.5　「確認テスト」について　11

第3節　背景との関わり　12

第4章　開発

第1節　開発環境　13

第2節　開発の手順　13

第3節　Oracle Media Objectsについて　13

第4節　シミュレーションの実現方法　14

4.4.1 器具のビットマップの名前の仕組み 14
4.4.2 card field "c"での処理 14
4.4.3 IDについて 15
4.4.4 card field "薬品名"での処理 16
4.4.5 card field "record"での処理 18
4.4.6 ガスバーナーについて 20
4.4.7 「確認」カードについて 20

第5章 評価
第1節 形成的評価 21
第2節 形成的評価の結果 21
第3節 教材の改良 22

第6章 おわりに 23

参考文献 25

資料

第1章　研究の背景

第1節　本研究開発の動機

「中学校指導書理科編」（文部省,1989）によると、「理科学習の最終のねらいは自然についての興味、関心を高めることである（p.11）」と述べられている。理科は、自然の事物・現象を学習対象としているため、それらを観察することが学習の基本となる。観察とは、生徒自身が問題意識をもち、目的をもって積極的に行うものである。実験も、広くみれば、条件を制御したもとでの観察である。すなわち、観察は、理科の学習では最も基本的な学習方法である（文部省,1991）。

そして、「理科の学習活動は、自然の事物・現象に対して、生徒が直接働きかけていくことを前提としている（p.10）」（文部省,1991）ため、ただ教科書や実験指導書の手順どおりに操作を行い結果を求めるのではなく、生徒自身がもった問題をいかに解決するか、その方法を生徒自身で決めていくことが大切である。

生徒の理科に対する姿勢が能動的・主体的になるということについて、新学習指導要領（1989）の総則によると、「学校の教育活動を進めるに当たっては、自ら学ぶ意欲と社会の変化に主体的に対応できる能力の育成を図るとともに、基礎的・基本的な内容の指導を徹底し、個性を生かす教育の充実に努めなければならない」と述べられている。これまでは、知識の量が評価され、詰め込み型の教育が多く見受けられた。しかし、これからは社会の変化に対応するための能力が求められるようになる。このことから、学習指導要領も上のように改訂され、教育の仕方も改めなければならなくなった。

学習指導要領の改訂にともなって学力観そのものの転換も迫られているようだが、これは「新しい学力観」と呼ばれており、その源は、1989年6月に文部省から刊行された小学校指導書教育課程一般編にあるようだ。

「新しい学力観」では、次の3点から特徴づけられる学力を重視している。

（1）自ら学ぶ意欲

社会にでてからも学び続けることが求められる時代においては、まず、自発的に学ぼうとする意欲が必要となることから。

（2）社会の変化に主体的に対応できる能力

社会の変化のテンポが速くなると、古い知識が役立たなくなるので、直面した問題を解決するための思考力・判断力・表現力が求められることから。また、問題解決だけではなく、より豊かな人生を送るためにも必要となる。

（3）よさと可能性

いわゆる「個性重視の原則」である。生徒たちを集団として画一的に指導するのではなく、一人ひとりに着目して、よさと可能性を引き出す教育へと転換していかなければならない。

では、どうすれば主体的、自主的な力が身に付くのか。

降旗（1993）は、学ぶことの意義を子ども一人ひとりが認め、未知に挑戦しようとする意欲にかりたてられるようになることが大切であり、知識が獲得されるプロセスに一人ひとりが主体的に参加すること、理解に至る過程が大切にされること、これらが欠落しては、主体的、創造的に生きる力を育てる場は保証されない、と述べている。

しかし、実際の授業では時間が限られており、しかも一人の先生が大勢の生徒を相手に教えるわけだから、学習のねらいを満たすにも限界があると考えられる。また、特に実験に関しては、安全面、設備面などの問題からなかなか自学自習するのは難しい。

そこで、コンピュータを使って、一人でも手軽に実験を疑似体験することができれば、特別な設備も必要なく、爆発などの危険が生じる心配もないため、上述の問題の解決につながると考えた。また、学習者の興味・関心を高めるために、自由に条件設定や意志決定をすることができるというシミュレーションのメリットを活かすことができるのではないかと考えた。

メインとなるのは「理科室」（図2）で、ここで気体の発生をシミュレーションする。そして「確認」（図3）で発生した気体が何であるか確認を行う。「確認」には線香、石灰水、リトマス紙の3つを使った方法があり、それぞれにヒント画面を用意した。

「記録ノート」には、学習者が残しておきたいと思った実験だけ記録しておくことができる。記録された実験はアニメーションによって再現される。

「復習コース」では、3択形式の確認問題を行う。

図１　全体構成

図2　「理科室」の画面

図3　「確認」の画面

3.2.1 「やりかた」について

「やりかた」では、「理科室」の画面が現われる。そして、器具を合体させて実験装置を組み立て、薬品を入れて気体を発生させ、その気体が何であるか確認するという一連の流れをアニメーションで表示する。もう一度見たいときは「もう一度見る」ボタンを押し、やり方がわかったら「実験開始」ボタンで「理科室」へ進む。

3.2.2 「理科室」について

教材で使う器具等の絵は、ペイント・イットで描いたものをcard bitmapにインポートしたものである。それにより、絵を動かしたり様々な命令を与えることができる。

「器具庫」をクリックすると画面に器具が表示される。その中から好きなものを選んでマウスで実験台に運ぶ。bitmap同士を重ね合わせると、音とともに合体したときの絵が新たに表示され、もとの絵は消える。この作業を繰り返して気体を発生させるための装置を組み立てる。このとき、接続が不可能な器具同士の場合は合体しないようになっている。実験台以外の場所に絵を置くと、割れる音とともに消える。

「くすり」ボタンはcard piclistにより薬品名のみを表示する。その中から液体の薬品を選択するとスポイトの絵、固体の薬品を選択するとスプーンの絵が現われる。それを実験装置に運び重ねると、音によって実験装置に入ったことが認識できる。薬品を入れることのできない器具に重ねた場合や、器具のないところでマウスを離すと絵は消える。

選択された薬品名は画面下に表示され、学習者がどの薬品を使用したかわかるようになっている。しかし、3種類以上の薬品を混ぜた場合の反応結果について調べがついていないので、使用できる薬品は2種類までに限定した。ただし、薬品を熱することはできる。

熱する場合は、器具の組み立てが完了していることと、薬品が少なくとも１種類入っていることが条件となっている。ガスバーナーの絵ははじめから画面上にあり、「点火」ボタンを押すと火のついた絵が表示される。このとき、薬品が入っていなければ「薬品が入っていません。ガスバーナーはまだ使えません。」というコメントが表示され、組み立てが完成していなければ「器具が不十分です」というコメントが表示される。

「熱する」ことに関しては、本来の形としては、器具を組み立てる段階でガスバーナーなどの装置をセットすることからはじめるべきなのだが、開発が間に合わず、ボタンひとつで熱を加えられる形になった。

もし、実験の途中で作業をやり直したい場合には「最初に戻す」ボタンや「一つ戻す」ボタンにより、現在の作業を取り消すことができる。「最初に戻す」ボタンを押すと、「今の実験をやめすか？」という質問文が表示される。「やめる」を選択すると「今の実験を記録しますか？」という質問文が表示され、記録を残しておけば、「記録ノート」によって再現することができる。「一つ戻す」ボタンを押すと、作業を一つ前の状態に戻すことができる。

薬品をまぜたり熱することによって何らかの気体が発生したら、音によって学習者にそれを知らせる。そこで学習者は、器具の組み立てが完成していれば「何が集った？」ボタンによって次の確認のページに進むことができる。未完成の場合はさらに組み立てを続け、その後進むこともできる。これについては、当初の予定では実験装置が完成していなくても次に進めるとして設計していたのだが、「確認」のカードで、完成体の場合しか開発できなかったので、やむを得ずこのような制約を加えることとなった。

気体が発生しないうちに「確認」のページへ進むこともできるが、その場合は「気体は発生していませんけど、次に進みますか？」という質問文を表示する。「進む」を選んだ場合、気体は発生していないので確認しても何の反応もないが、確認法のヒント画面などは自由に見ることができる。

さらに、作業に行き詰まってしまったときには「お助けマン」ボタンを押すと、

ヒントを得ることができる。

3.2.3　「記録」について

作業の行程は逐一記録してあり、その記録は実験をやめるときに保存するか消去するか選択できる。「いま」の記録も「過去」の記録も好きなときに再現できるし、メニュー画面から記録のページに行くこともできる。

3.2.4　「確認」について

気体の発生後は、確認ツール（線香、石灰水、リトマス紙）を用いてどんな気体が発生したのかを確かめる。確認方法の説明としてそれぞれのヒント画面もある。

確認が終わったら、「わかった」ボタンを押すと、「何が発生しましたか？」という質問文が表示され、酸素、水素、二酸化炭素、アンモニア、発生しなかったの5択で答えを選ぶ。選んだ答えがあたっていればその気体についての豆知識を表示する。はずれの場合はもう一度確認し直すことができる。

確認後は、その実験の途中まで戻してやり直すこともできるし、もちろん次の実験に進むこともできる。

3.2.5　「確認テスト」について

確認テストは3択問題で、合格点などはない。

第3節　背景との関わり

本教材では、学習者の興味・関心を高めるために、自由に条件設定や意志決定ができるというシミュレーションのメリットを活かして、説明は極力少なくし、なるべく自由な中でも正解に導くような工夫をした。例えば、「理科室」の器具の選択であるが、教科書に載っている組み合わせでなくても支障がない場合は実験を進めることができる。一方、絶対にありえない組み合わせは受け付けないようにした。

また、ヘルプボタンを活用することで、見たい人だけが見られるような、学習者の意思に任せた学習ができるようにした。学習目標である４種類の異なる気体の発生を通して、何と何を組み合わせれば何が発生するのか、や、気体の性質について自分で気付かせることを目指した。

さらに、ただおもしろいだけではなく、本当に学習できたかどうかを確認するために「確認テスト」を作成した。

第4章　開発

第1節　開発環境

開発には、Oracle社のOracle Media Objectsを用いた。実験器具などのビットマップ作成には、ペイント・イットを用いた。

第2節　開発の手順

教材を開発するにあたって、まず始めに図1の全体構成図を作成し、それにそって紙上のスケッチを描き、プロトタイプを作成した。

Oracle Media Objectsについては、全く予備知識がなかったため、プログラム経験者ににご協力いただき、その都度自分たちも学習しながらの開発となった。シミュレーション教材ということでプログラムがかなり複雑になり、難解な部分の作業は、自分たちの考えた構成に基づいて協力者がプログラムを組んで下さり、それを教わりながら教材を作成するという形で進んだ。

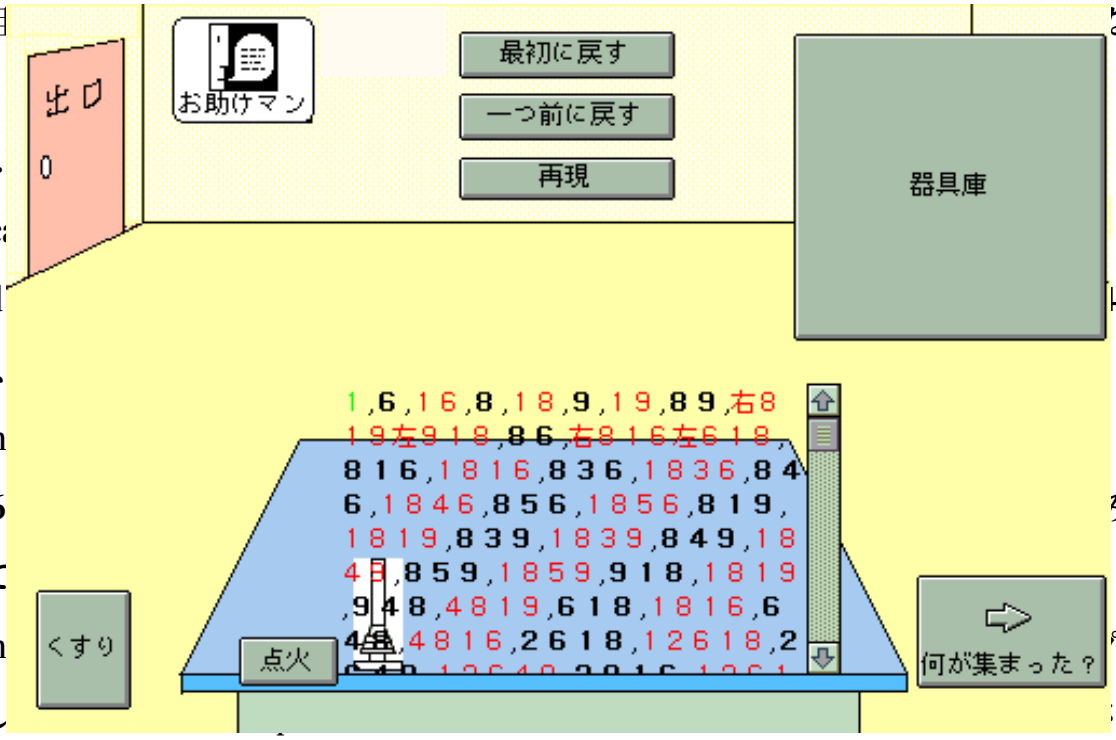
教材で使用する器具などの絵は、ペイントイットで作成したものをcard bitmapにインポートした（131個）。

第3節　Oracle Media Objectsについて

Oracle Media Objectsは、オーサリング ツールであり、さまざまなプラットフォームに対応する優れたインタラクティブ マルチメディア アプリケーションの作成に利用される。 アプリケーションの設計は、MacintoshまたはWindowsのどちらでも行る。開発したアプリケーションは、MacintoshにもWindowsにも配布できる。

第４節　シミュレーションの実現方法

器具のビットマップどうしが重なると、新たに接続した絵のビットマップが現れて、同時に、接続したことがわかるように音を出すようにした。これは、接続し得る組



い。

4.4.

c

card

"は、

bitm

２６

立て

bitm

指し

たビットマップを指している。

4.4.2 card field "c"での処理

器具のビットマップどうしが重って接続するときの情報はcard field "c"（図４）に記録されている。接続するビットマップを緑、接続されるビットマップを太字、その結果できた接続体ビットマップを赤で表示して区別している。例えば、card bitmap"どうぐ１"がcard bitmap"どうぐ８"と重なりcard bitmap"どうぐ１８"になるという場合、接続するのがcard bitmap"どうぐ１"で接続されるのがcard bitmap"どうぐ８"でその結果できた接続体がcard bitmap"どうぐ１８"だから、「１（緑），８（太字），１８（赤）」と表される。card bitmap"どうぐ１"と接続し得る組み合わせについては、続けて「１（緑），８（太字），１８（赤），９（太字），１９（赤），・・・」と同列に表示されている。この法則に従って、接続し得るビットマップのすべての情報はcard field "c"表示されている。

図４　card field "c"

4.4.3 IDについて

すべてのオブジェクトにはIDがついている。同じ試験管でも試験管単独のビットマップ（card bitmap"どうぐ１"）とゴム栓がついている試験管のビットマップ（card bitmap"どうぐ１８"）とでは、ビットマップ名も異なるが、IDも異なるのである。本教材では、このIDをあらゆる場面で用いることによって、一つひとつのオブジェクトを識別するのに役立てている。例えば、「試験管に薬品Aを入れた」とだけ記録すると、どの試験管に薬品Aが入っているのか識別できないが、「bitmap id 5の試験管に薬品Aを入れた」となると試験管を区別して記録したことになる。

4.4.4 card field "薬品名"での処理

card field "薬品名"（図５）の１行目には使用した薬品名、２行目には薬品を入れた器具名、３行目には薬品を入れた器具のbitmap idが入力される。器具を接続する度に、薬品を入れた器具のbitmap idは変わるので、card field "薬品名"の３行目の情報だけが変わるようになっている。例えば、ふつうの試験管（bitmap id 5）に塩酸を入れると、card field "薬品名"の１行目には「塩酸」、２行目には「試験管」、３行目には「５」と入力される。その試験管にゴム栓を接続すると、ゴム栓のついた試験管（bitmap id 44）に替わるから、card field "薬品名"の１行目「塩酸」、２行目「試験管」はそのままで、３行目だけが「44」となる。

card field "薬品名"の１行目だけを学習者に見えるようにして、実験でどの薬品を使用したのか学習者がわかるようになっている。一回の実験で使用できる薬品は２個までと限定したので、card field "薬品名"には、薬品２個分の情報しか入力されない。

左右に器具が接続されていて薬品が入っている場合は、左の器具のbitmap idの前に「L」が表示されて、左右の判断ができるようになっている。例えば、試験管、ゴム栓、ガラス管、試験管の接続体（bitmap id 93）は左も右も試験管である。左の試験管には塩酸、右の試験管にはマグネシウムを入れたとすると、card field "薬品名"の１個目の薬品情報の１行目には「塩酸」、２行目には「試験管」、３行目には「L93」と入力され、２個目の薬品情報の１行目には「マグネシウム」、２行目には「試験管」、３行目には「93」と入力される。

薬品の入った器具を上向きのガラス管に接続すると薬品はこぼれてしまうので、card field "薬品名"のこぼれた薬品についての情報は空になる。

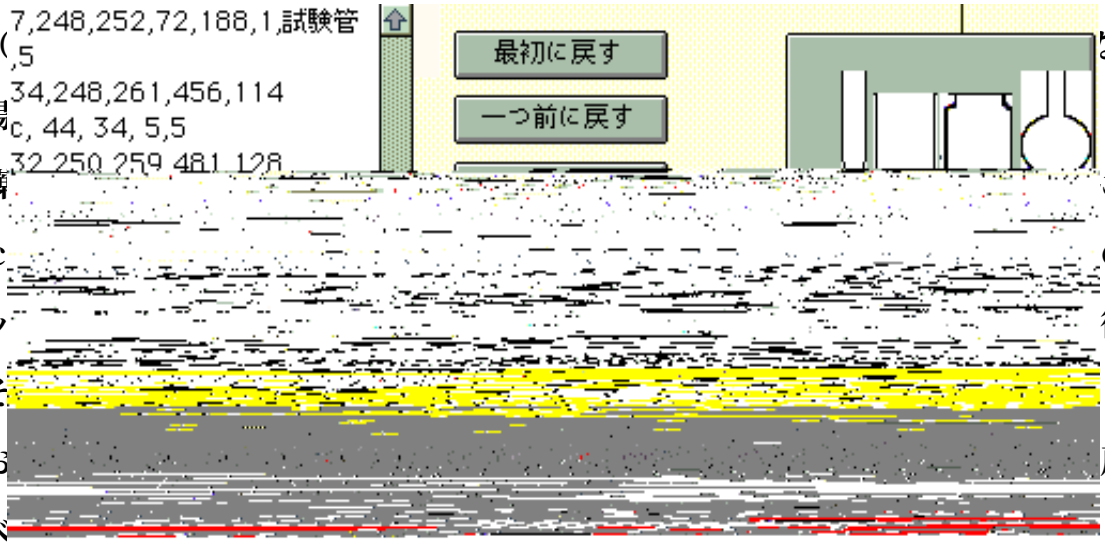
図５　card field "薬品名"

4.4.5 card field "record"での処理

実験の一つひとつの動作は、逐次card field "record"（図６）に記録される。例えば、はじめに試験管（bitmap id 5）をA地点（ｘ，ｙ）からB地点（ｘ'，ｙ'）に移動させた場合、card field "record"の１行目に「５，ｘ'，ｙ'，ｘ，ｙ」と記録される。次の動作は、２行目に記録される。

器具に薬品を入れたときは、スプーンまたはスポイトをもとあった場所から器具のある場所に移動するわけだから、器具の移動時と同様に、スプーンまたはスポイトのｘ座標値，ｙ座標値を用いて記録される。続けて、使用する薬品Ｎｏ．、薬品を入れた器具名、薬品を入れた器具のビットマップＩＤの順に記録される。例えば、スプーン（bitmap id 8）をC地点（ｘ"，ｙ"）から試験管のあるB地点（ｘ'，ｙ'）に移動し、水酸化カルシウム（薬品No.15）を試験管（bitmap id 5）に入れた場合、「８，ｘ'，ｙ'，ｘ"，ｙ"，１５，試験管，５」というように記録される。

器具のビットマップどうしが重って接続したときは、card field "record"に「ｃ」と表示され、続けて新たにできた器具のビットマップＩＤ、接続した器具のビットマップＩＤ、接続された器具のビットマップＩＤの順に記録される。例えば、試験管（



なった場
薬
こ
「c
の
ビッ
後
にそ
し
てお
戻
るべ
薬
ま
う。
後に
続け
っ
ていた器具のビットマップＩＤの順に記録される。

器具を実験台以外の場所に移動させると、器具は落ちて割れてしまう。この場合は、card field "record"に「out」と表示される。薬品が入っていた場合は、続けて薬品名、薬品の入っていた器具名、その器具のビットマップIDの順に記録される。

ガスバーナーに点火した時は、card field "record"に「g」と表示され、続けて発生している気体No.、集まった気体No.の順に記録される。

「一つ前に戻す」ボタンを押して作業を一つ前の状態に戻すには、card field "record"の最後の行を消すことによって実現される。

「再現」ボタンを押して実験を再現するには、card field "record"の１行目から順に処理していくことで実現される。過去の実験も「記録ノート」に保存されているので、再現が可能なのである。

図６　card field "record"

4.4.6 ガスバーナーについて

ガスバーナーに点火できる条件は、薬品が入っていることと、発生した気体を集める器具が接続されていることである。薬品が入っているかいないかは、card field "薬品名"に情報があるかないかで判断できる。ビットマップ名が「どうぐ１２６１８」のように、５桁の数字のビットマップ、あるいは、「どうぐ１８１６」のように４桁の数字で「２」が含まれていないビットマップは、発生した気体を集める器具が接続されていることを意味している。このようなビットマップが「理科室」の実験台の上にあるかどうかで、ガスバーナーに点火できるか判断している。ガスバーナーの位置は固定されているので、ガスバーナーに点火すると、自動的にビットマップの左側の器具が火の上にくるように調整する指示を与えた。

4.4.7 「確認」カードについて

「確認」のカードへ進むことができる条件は、発生した気体を集める器具が接続されていることである。５桁の数字のビットマップ、あるいは、４桁の数字で「２」が含まれていないビットマップが「理科室」の実験台の上にあるかどうかで、確認のページへ進むことができるか判断してる。

「確認」のカードへ進むと、水上置換の場合は、発生した気体が水と置き換わっていく様子をアニメーションによって表現した。アニメーションは、５枚のビットマップを次々に出すことで実現している。上方置換と下方置換の場合は、アニメーションはない。気体が集まると自動的に気体を集めた器具だけが分離するようにした。気体を集めた器具に確認ツールをドラッグさせて移動するとフタがずれた器具の絵のビットマップに替わるようにした。確認ツール（線香、石灰水、青いリトマス紙、赤いリトマス紙）は、器具と同様にcard bitmapである。

第5章　評価

第1節　形成的評価

中学校１年生の男子３名に協力を求め、形成的評価を行った。時間制限は設けずに、自由に本教材を試してもらい、その様子を観察した。その他、事前・事後テスト、事前・事後アンケートも実施した。

事前テストと事後テストは同じ内容のものを使用した。

事前アンケートは、理科に対する興味・関心について４段階評価で回答するものを使用した（５項目）。

事後アンケートは、理科に対する興味・関心、実際の実験との比較、本教材の特色であるシミュレーションについて４段階評価と自由記述で回答するものを使用した（13項目）。

事前・事後テスト、事前・事後アンケートは資料として添付した。

第2節　形成的評価の結果

３人とも、１時間30分程集中して教材に取り組んでいた。まず、知っている組み合わせから試していたようだった。それから、いろいろな組み合わせを試して、新たな発見などがあったようだった。最終的には、３人とも学習目標は達成できていた。いろいろ試しているうちに、気体の性質（重さや、水溶性）による捕集法の違いにも自分で気付いていた。

事後アンケートでは、「新しい発見があるかもしれないから、いろいろな気体の発生を試してみた」、「思うままに実験できるから、コンピュータ教材は楽しく学習できる」、「簡単に操作できたから、おもしろかった」、「おもしろかったので、理科の実験に関する他のコンピュータ教材も使ってみたい」などの回答が得られた。

いくつかの問題点も見つかったが、大半は、進め方が分かりにくいという問題で、２回目からは、慣れてスムーズに進められていた。他に、「記録」の機能が活用されなかったり、スポイトで薬品を器具に入れるのがスムーズにできないという問題が見受けられた。

第３節　教材の改良

形成的評価の結果から挙げられた問題点に改良を加えた。

進め方が分かりにくいという問題については、ボタン名をわかりやすく改めたり、説明不足の点を「やりかた」や「お助けマン」で詳しく説明するなどして、改良を加えた。「記録」の機能については、「お助けマン」の中で使い方を提案した。スポイトで薬品を器具に入れるのがスムーズにできるように、プログラムを一部組み直した。

第6章　おわりに

本研究では、シミュレーションの特性を活かして、一人でも手軽に学べて、理科に対する興味・関心が高まるような教材の開発を目指した。

形成的評価では、１時間30分程集中して教材に取り組んでいたり、新たな発見を求めて、いろいろ試していた様子から、本研究の目的を達成できたと言えるのではないだろうか。また、「学校では、教科書のとおりにしか実験できないけど、この教材では自分で選んで実験できて良かった。」という意見も得られた。

しかし、高校の理科の先生にも本教材を試してもらったところ、実際の実験との違いについて指摘された。本来シミュレーションは、なるべく制限のない状態で行われるべきであって、本教材も、できるだけ自由な中で正解に導けるような設計をしてきたわけではあるが、第３章第２節で述べたように、使用できる薬品を2種類までに限定するなど、我々の調査不足からどうしても制限せざるを得ない部分が出てしまった。また、設計はしたものの時間が足りなくて開発に至らなかった箇所もあり、 実際の実験により近いものにするために、今後教材に改良を加える際の課題としたい。以下に、具体点を挙げる。

まず、ガスバーナーの点火の条件は、薬品が入っていて、発生した気体を集める器具が接続されていることとしたが、発生した気体を集める器具が接続されていなくても点火できるようにしたい。そして、ガスバーナーを点火すると、左の器具のみを熱するようにしているが、「左右どちらの器具を熱しますか」という質問文を提示して、左右どちらでも熱することができるようにしたい。

「確認」のカードへ進むことができる条件は、発生した気体を集める器具が接続されていることと限定したが、発生した気体を集める器具が接続されていなくても「確認」のカードへ進めるようにしたい。

他に、「固体＋固体」を熱する際は、本来ならば試験管の口を少し下げて熱するのが正しい実験方法であるが、本教材では未開発である。「まめ知識」のなかでは触れたのだが、プログラムとして組み込みたい。

以上の様な点の他に、薬品の反応時間や入れる量など、細かい点まで設計すれば、さらに実際の実験に近づけることができるだろう。ただし、シミュレーションの限界から、においを表現することは無理である。

さらに、今回は形成的評価しか行っていないが、本教材の目的が達成されたかどうかの実証実験や、実際の実験を行った場合との比較実験、シミュレーションを使わない他の教材との比較実験などを行って、本教材の効果を確認することが望まれる。

参考文献

坂元昂（1987）　「コンピュータと教育ー現場でマイコンを活かす」マグロウヒルブック

文部省（1989）　「中学校指導書理科編」　学校図書

文部省（1991）　「指導計画の作成と学習指導の工夫」　大日本図書

坪田芳郎（1989）　「理科学習資料」　暁教育図書

渡辺義一（1974）　「学校理科薬品の利用と管理」　黎明書房

降旗勝信（1993）　「指導と評価」1993年5月号（p19～21）
日本図書文化協会／日本教育評価研究会

文部省（1989）　「中学校学習指導要領（平成元年3月）」　大蔵省印刷局

資料1

液体+固体（５０通り）

炭酸水+炭酸水素ナトリウム=発生なし

炭酸カルシウム=発生なし

二酸化マンガン=発生なし

塩素酸カリウム=発生なし

塩化アンモニウム=発生なし

水酸化カルシウム=発生なし

亜鉛=発生なし

鉄=発生なし

マグネシウム=発生なし

アルミニウム=発生なし

塩酸+炭酸水素ナトリウム=二酸化炭素発生

炭酸カルシウム=二酸化炭素発生

二酸化マンガン=発生なし

塩素酸カリウム=発生なし

塩化アンモニウム=発生なし

水酸化カルシウム=発生なし

亜鉛=水素発生

鉄=水素発生

マグネシウム=水素発生

アルミニウム=水素発生

硫酸+炭酸水素ナトリウム=二酸化炭素発生

炭酸カルシウム=二酸化炭素発生

二酸化マンガン=発生なし

塩素酸カリウム=発生なし

塩化アンモニウム=発生なし

水酸化カルシウム=発生なし

亜鉛=水素発生

鉄=水素発生

マグネシウム=水素発生

アルミニウム=水素発生

過酸化水素水+炭酸水素ナトリウム=発生なし（＋加熱＝酸素発生）

炭酸カルシウム=発生なし

二酸化マンガン=酸素発生

塩素酸カリウム=発生なし

塩化アンモニウム=発生なし

水酸化カルシウム=発生なし

亜鉛=発生なし

鉄=発生なし

マグネシウム＝発生なし

アルミニウム= 発生なし

アンモニア水+炭酸水素ナトリウム=発生なし

炭酸カルシウム=発生なし

二酸化マンガン=発生なし

塩素酸カリウム=発生なし

塩化アンモニウム=発生なし

水酸化カルシウム=発生なし

亜鉛=発生なし

鉄=発生なし

マグネシウム=発生なし

アルミニウム=発生なし

固体＋固体（４５通り）

炭酸水素ナトリウム＋炭酸カルシウム=発生なし

（どちらも単独で＋加熱＝二酸化炭素発生）

二酸化マンガン=発生なし

塩素酸カリウム=発生なし

塩化アンモニウム=発生なし

水酸化カルシウム=発生なし

亜鉛=発生なし

鉄=発生なし

マグネシウム=発生なし

アルミニウム=発生なし

炭酸カルシウム＋二酸化マンガン=発生なし

塩素酸カリウム=発生なし

塩化アンモニウム=発生なし

水酸化カルシウム=発生なし

亜鉛=発生なし

鉄=発生なし

マグネシウム=発生なし

アルミニウム=発生なし

二酸化マンガン＋塩素酸カリウム=酸素発生

塩化アンモニウム=発生なし

水酸化カルシウム=発生なし

亜鉛=発生なし

鉄=発生なし

マグネシウム=発生なし

アルミニウム=発生なし

塩素酸カリウム＋塩化アンモニウム=発生なし

水酸化カルシウム=発生なし

亜鉛=発生なし

鉄=発生なし

マグネシウム=発生なし

アルミニウム=発生なし

塩化アンモニウム＋水酸化カルシウム=発生なし

亜鉛=発生なし

鉄=発生なし

マグネシウム=発生なし

アルミニウム=発生なし

水酸化カルシウム＋亜鉛=発生なし

鉄=発生なし

マグネシウム=発生なし

アルミニウム=発生なし

亜鉛＋鉄=発生なし

マグネシウム=発生なし

アルミニウム=発生なし

鉄＋マグネシウム=発生なし

アルミニウム=発生なし

マグネシウム＋アルミニウム=発生なし

液体＋液体（１０通り）

炭酸水＋塩酸＝発生なし

硫酸＝発生なし

過酸化水素水＝発生なし

アンモニア水＝発生なし

塩酸＋硫酸＝発生なし

過酸化水素水＝発生なし

アンモニア水＝発生なし

硫酸＋過酸化水素水＝発生なし

アンモニア水＝発生なし

過酸化水素水＋アンモニア水＝発生なし

＊気体の発生の有無のみ

資料2

過酸化水素水+炭酸水素ナトリウム+加熱=酸素

過酸化水素水+炭酸カルシウム=酸素

過酸化水素水+塩素酸カリウム=発生無し

過酸化水素水+水酸化カルシウム=発生無し

硫酸+炭酸水素ナトリウム=二酸化炭素

硫酸+炭酸カルシウム=二酸化炭素

硫酸+二酸化マンガン=発生無し

硫酸+塩素酸カリウム=発生無し

硫酸+塩化アンモニウム=発生無し

硫酸+水酸化カルシウム=発生無し

塩酸+炭酸水素ナトリウム=二酸化炭素

塩酸+炭酸カルシウム=二酸化炭素

塩酸+二酸化マンガン=発生無し

塩酸+塩素酸カリウム=発生無し

塩酸+塩化アンモニウム=発生無し

塩酸+水酸化カルシウム=発生無し

塩酸+アンモニア=白煙が出た

アンモニア水+炭酸水素ナトリウム=発生無し

アンモニア水+炭酸カルシウム=単なるアンモニアの蒸発？

アンモニア水+二酸化マンガン=発生無し

アンモニア水+塩素酸カリウム=ph青くなった（単なるアンモニアの蒸発？）

アンモニア水+塩化アンモニウム=発生無し

アンモニア水+水酸化カルシウム=発生無し

＜確認テスト＞

Q二酸化炭素の性質は？

１空気より軽い

２空気より重い

３空気と同じ重さ

Q二酸化炭素の性質は？

１水に溶けやすい

２水に溶けにくい

Q二酸化炭素の性質は？

１火のついた線香を近づけるとポッと燃える

２火のついた線香を入れると炎をあげて燃える

３火のついた線香を入れるとその火は消える

Q二酸化炭素の性質は？

１石灰水に通すと石灰水は白く濁る

２石灰水に通しても石灰水は変化しない

３石灰水に通すと石灰水は赤くなる

Q二酸化炭素の性質は？

1赤色リトマス紙を青色に変える

2青色リトマス紙を赤色に変える

3リトマス紙を変化させない

Q酸素の性質は？

１空気より軽い

２空気より重い

３空気と同じ重さ

Q酸素の性質は？

１水に溶けやすい

２水に溶けにくい

Q酸素の性質は？

１火のついた線香を近づけるとポッと燃える

２火のついた線香を入れると炎をあげて燃える

３火のついた線香を入れるとその火は消える

Q酸素の性質は？

１石灰水に通すと石灰水は白く濁る

２石灰水に通しても石灰水は変化しない

３石灰水に通すと石灰水は赤くなる

Q酸素の性質は？

1赤色リトマス紙を青色に変える

2青色リトマス紙を赤色に変える

3リトマス紙を変化させない

Q水素の性質は？

１空気より軽い

２空気より重い

３空気と同じ重さ

Q水素の性質は？

１水に溶けやすい

２水に溶けにくい

Q水素の性質は？

１火のついた線香を近づけるとポッと燃える

２火のついた線香を入れると炎をあげて燃える

３火のついた線香を入れるとその火は消える

Q水素の性質は？

１石灰水に通すと石灰水は白く濁る

２石灰水に通しても石灰水は変化しない

３石灰水に通すと石灰水は赤くなる

Q水素の性質は？

1赤色リトマス紙を青色に変える

2青色リトマス紙を赤色に変える

3リトマス紙を変化させない

Qアンモニアの性質は？

１空気より軽い

２空気より重い

３空気と同じ重さ

Qアンモニアの性質は？

１水に溶けやすい

２水に溶けにくい

Qアンモニアの性質は？

１火のついた線香を入れると炎をあげて燃える

２火のついた線香を入れるとその火は消える

３火のついた線香を入れても何も変化しない

Qアンモニアの性質は？

１石灰水に通すと石灰水は白く濁る

２石灰水に通しても石灰水は変化しない

３石灰水に通すと石灰水は赤くなる

Q水素の性質は？

1赤色リトマス紙を青色に変える

2青色リトマス紙を赤色に変える

3リトマス紙を変化させない

Q水に溶けやすく、空気より軽い気体を集める方法は?

（図から選ぶ）

Q水に溶けやすく、空気より重い気体を集める方法は?

（図から選ぶ）

Q水に溶けにくい気体を集める方法は?

（図から選ぶ）

＜事前テスト＞

問１

（１）酸素を発生させるには何と何を（材料名）用いたらよいか。

（２）発生した酸素を集めるにはどの方法が適しているか。図に示せ。

また、なぜそれを用いるのか気体の性質から説明せよ。

(3) 発生した気体が酸素かどうかを確かめるにはどんな方法があるか

また、その方法ではどのような変化がみられますか。

問２

(1) 二酸化炭素を発生させるには何と何を（材料名）用いたらよいか

（２）発生した二酸化炭素を集めるにはどの方法が適しているか。図に示せ。

また、なぜそれを用いるのか気体の性質から説明せよ。

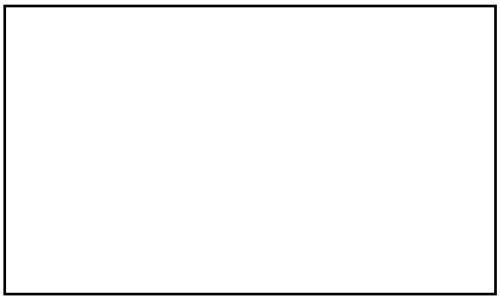
（３）発生した気体が二酸化炭素かどうかを確かめるにはどんな方法があるか。

また、その方法ではどのような変化がみられますか。

問３

（１）水素を発生させるには何と何を（材料名）用いたらよいか。

（２）発生した水素を集めるにはどの方法が適しているか。図に示せ。



また、なぜそれを用いるのか気体の性質から説明せよ。

(3) 発生した気体が水素かどうかを確かめるにはどんな方法があるか

また、その方法ではどのような変化がみられますか。

問４

（1）アンモニアを発生させるには何と何を（材料名）用いたらよいか

（２）発生したアンモニアを集めるにはどの方法が適しているか。
図に示せ。

また、なぜそれを用いるのか気体の性質から説明せよ。

（３）発生した気体がアンモニアかどうかを確かめるにはどんな方法があるか。

また、その方法ではどのような変化がみられますか。

＜事後テスト＞

問１

（１）酸素を発生させるには何と何を（材料名）用いたらよいか。

（２）発生した酸素を集めるにはどの方法が適しているか。図に示せ。

また、なぜそれを用いるのか気体の性質から説明せよ。

(3) 発生した気体が酸素かどうかを確かめるにはどんな方法があるか

また、その方法ではどのような変化がみられますか。

問２

(1) 二酸化炭素を発生させるには何と何を（材料名）用いたらよいか

（２）発生した二酸化炭素を集めるにはどの方法が適しているか。図に示せ。

また、なぜそれを用いるのか気体の性質から説明せよ。

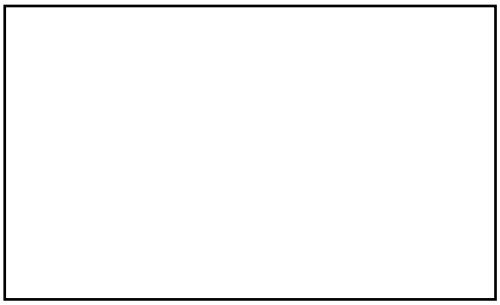
（３）発生した気体が二酸化炭素かどうかを確かめるにはどんな方法があるか。

また、その方法ではどのような変化がみられますか。

問３

（１）水素を発生させるには何と何を（材料名）用いたらよいか。

（２）発生した水素を集めるにはどの方法が適しているか。図に示せ。



また、なぜそれを用いるのか気体の性質から説明せよ。

(3) 発生した気体が水素かどうかを確かめるにはどんな方法があるか

また、その方法ではどのような変化がみられますか。

問４

（1）アンモニアを発生させるには何と何を（材料名）用いたらよいか

（２）発生したアンモニアを集めるにはどの方法が適しているか。
図に示せ。

また、なぜそれを用いるのか気体の性質から説明せよ。

（３）発生した気体がアンモニアかどうかを確かめるにはどんな方法があるか。

また、その方法ではどのような変化がみられますか。

＜事前アンケート＞

以下の質問について当てはまる番号に○を付けてください。

1…全くそう思わない　　2…あまりそう思わない
3…そう思う　　4…非常にそう思う

1.理科の勉強は好き

1　　2　　3　　4

2.実験をするのは好き

1　　2　　3　　4

3.いろいろな実験をしてみたい

1　　2　　3　　4

4.気体の性質に興味がある

1　　2　　3　　4

5.気体の性質に関する実験をしたことがある

はい　/　いいえ

以上です。ご協力ありがとうございました。

東北学院大学教養学部教養学科人間科学専攻４年
二瓶　彩子
福原　可奈

＜事後アンケート＞

以下の質問について当てはまる番号に○を付けてください。

1…全くそう思わない　　2…あまりそう思わない
3…そう思う　　4…非常にそう思う

また、その理由について詳しく答えてください。

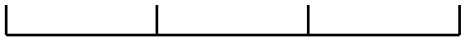
1.教材には進んで取り組めた

1　2　3　4

なぜですか
（　　）

2.いろいろな気体の発生を試してみた

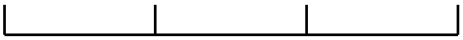
1　2　3　4



なぜですか
（　　）

3.気体の性質についてもっと詳しく知りたい

1　2　3　4



なぜそう思いますか
（　　）

4.他の気体の作り方も知りたい

1　2　3　4

なぜそう思いますか

（　　）

5.この教材で学習した実験を実際にしてみたい

1　　2　　3　　4

なぜそう思いますか

（　　）

6.この教材で学習したことのほかに、身近なもので試してみたい

1　　2　　3　　4

なぜそう思いますか

（　　）

7.この教材を使ってみて、何か発見があった

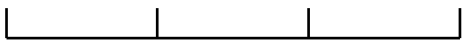
1　　2　　3　　4

それは何ですか

（　　）

8.この教材を使ってみて、以前よりも理科が好きになった

1　　2　　3　　4



なぜそう思いますか

（　　）

9.この教材を使ってみて、以前よりも実験が好きになった

1　　2　　3　　4

なぜそう思いますか

（　　）

10.この教材を使ってみて、実際に実験をしているような気分になれた

1　　2　　3　　4

なぜそう思いますか

（　　）

11.コンピュータ教材は楽しく学習できる

1　　2　　3　　4

なぜそう思いますか

（　　）

12.理科の実験に関するコンピュータ教材を、もっと使ってみたい

1　　2　　3　　4

なぜそう思いますか

（　　）

13.全体をとおして、気付いた点や感想など自由に書いて下さい。

（　　）

以上です。ご協力ありがとうございました。

東北学院大学教養学部教養学科人間科学専攻４年
二瓶　彩子
福原　可奈