

修士論文

化学「物質の状態と平衡」における過冷却の
eラーニング開発に向けた研究

弘前大学大学院教育学研究科

教科教育専攻 理科教育専修 化学分野

10GP210 矢野 慎

目次

第一章 序論	2
第一節 背景.....	2
第二節 eラーニングの定義.....	3
第三節 理科におけるEラーニング教材.....	4
第四節 過冷却.....	5
第二章 授業のデジタル化	7
第一節 授業のデジタル化の方針.....	7
第二節 授業部分.....	11
第三節 確認部分.....	23
第四節 補充部分.....	25
第五節 アンケートによる評価と考察.....	26
第六節 考察及び問題点.....	29
第三章 過冷却実験の改良	30
第一節 過冷却実験改良の方向性.....	30
第二節 使用物質の改良.....	31
第三節 実験方法の変更.....	34
第四章 文字と画像によるeラーニング	37
第一節 動画のeラーニングの問題点.....	37
第二節 文字と画像によるEラーニング教材.....	39
第五章 考察と今後の展望	40
参考文献.....	41
謝辞.....	43

第一章 序論

第一節 背景

個人でのインターネット利用者および人口普及率は年々増加している（図1）。インターネットは様々な用途で利用することができ、学習に使用することもできる。そのインターネットを利用した学習として、eラーニングが存在する。eラーニングの解釈には様々あるが、本研究においては経済産業省商務情報政策局情報処理進行課編/東京電機大学発行「eラーニング白書 2007/2008年度版」、特定非営利活動法人日本イーラーニングコンソシアム編/東京電機大学発行「eラーニング白書 2008/2009年度版」に著されたものを定義として研究を進めた。

小・中・高等学校および大学におけるeラーニングについては、実践され効果について研究が行われている。その中で科学および理科におけるeラーニングについても、研究が行われている。また、独立行政法人科学技術振興機構が提供する理科のeラーニング教材「理科ねっとわーく」は平成22年度の業務実績報告書において「理科ねっとわーく」を利用した教員に対しアンケートを実施したところ、「教材を利用すると児童生徒が授業内容をよく理解する」と99%が答えている。その一方で、学校の学習に関わらない、個人での利用が想定される、理科のeラーニングの研究はほとんど見られなかった。

個人でのインターネット利用者および人口普及率が年々増加していることを考えると、学校の学習に関わらない、個人での利用が想定される、理科のeラーニングの研究が必要なのではないかと考えた。

これらから、本研究では学校の学習に関わらない、個人での利用を想定した化学「物質の状態と平衡」における過冷却のeラーニング教材の開発を行った。

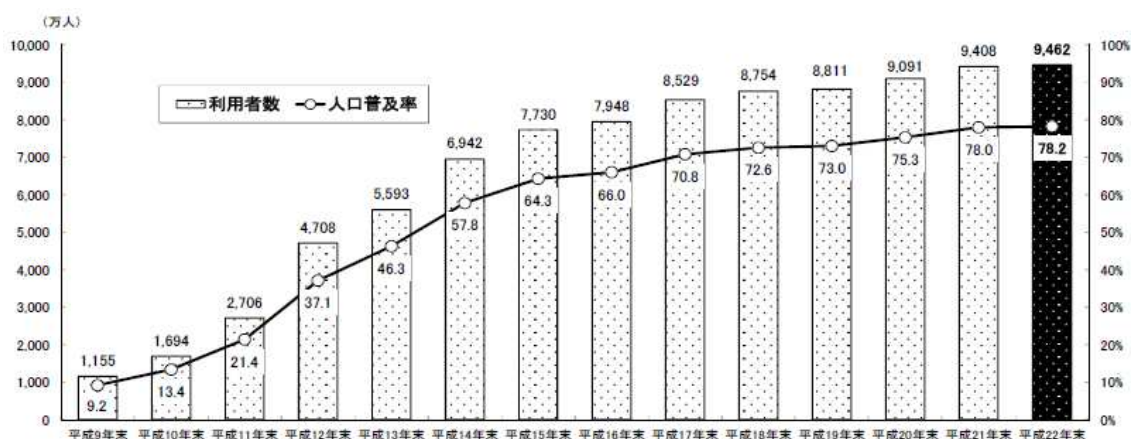


図1 インターネット利用者数及び人口普及率の推移(個人)

出典：総務省「通信利用動向調査」

第二節 eラーニングの定義

前記したとおり eラーニングの定義は様々なものがある。本研究においては、経済産業省商務情報政策局情報処理進行課編/東京電機大学発行「eラーニング白書 2007/2008 年度版」特定非営利活動法人日本イーラーニングコンソシアム編/東京電機大学発行「eラーニング白書 2008/2009 年度版」において、著された定義を元に研究を進めた。以下にその定義部分を示す。

eラーニングとは、情報技術によるコミュニケーション・ネットワーク等を活用した主体的な学習である。これは、集合教育を全部または一部を代替する場合、集合教育と組み合わせて利用する場合がある。

コンテンツは学習目的に従って作成・編集され、コンテンツ提供者と学習者、さらに学習者同士の間で、必要に応じてインタラクティブ性が確保されている。このインタラクティブ性とは、学習を効果的に進めていくために、人またはコンピュータから適切なインストラクションが提供されたり、双方向コミュニケーションが実施されたりすることを指す。

(eラーニング白書 2007/2008 年度版)

「狭義」の eラーニングは、いわゆる WBT (Web Based Training) といわれるもので (形態ごとに、非同期型あるいわ同期型またはオンデマンド型とよばれることもある)、インターネットまたはインタラネットを利用してコンテンツ (教材) の配信が行われる。近年では携帯端末の発達により、携帯電話等から学習が行われるようになった。また、WBT システム各種の機能 (EPSS、KM、グループウェア等) を連携させる事も広く行われるようになった。

(中略)

一方、「広義」の eラーニングには、衛星通信、テレビ会議、あるいは CD-ROM や DVD 機器、さらには各種電子機器 (ニンテンドーDS に代表される) による学習も含まれるであろう。

(eラーニング白書 2008/2009 年度版)

第三節 理科における e ラーニング教材

小・中・高等学校および大学における理科の e ラーニング教材の実践や効果は研究されている。鈴木・川島・石川（2007）による大学の共通科目による理科の e ラーニング教材の実践とアンケートによる効果・今後の課題についての研究や藤本・宮地（2008）らによる、小学校における電子掲示板交流を利用したの草花の観察の教育についての研究、北澤・永井・加藤・堀（2009）による小学校におけるブレンディッドラーニングの実践とその効果について研究などが発表されている。また、前記の通り化学技術振興機構が提供する「理科ねっとわーく」においても、その効果が平成 22 年度の業務実績報告書において発表されている。

以上のように、小・中・高等学校および大学において利用される理科の e ラーニングは研究が進められ、効果も報告されている。その一方で、個人での利用が想定される、理科の e ラーニングの研究はほとんどされていない。

第四節 過冷却

物質は一般的に固体・液体・気体の三態を持っている。それらの形態は、温度と圧力によって決められる。おおよそは温度の低下に従って気体→液体→固体へと変化していく。

液体の分子が固体へと第一種相転移するためには、物理的刺激によって核となる微小な相を生成する必要がある。通常であれば物質であれば、温度変化などの物理的刺激によって、核となる微小な相を生成するのだが、時に微小相の発達が不十分で第一種相転移が起こらない事がある。その際、物質は何らかの物理的刺激が加わるまで液体の状態を保つ。この現象を過冷却と言う。

ここで、水を例にとって過冷却の際の温度変化を見てみたいと思う。熱平衡状態を保って水を冷却すると、水の温度は図1(1)のように時間変化する。図1(1)は理想的な凝固の様子を示した図である。だが、実際はこのようにならない。物質が凝固する際には熱が発生する。図1(1)ではそれが凝固の際、冷却される速度と凝固の際発する熱が平衡になっているため、このような図となる。だが、現実的には、冷却される方が早い。その為図1(2)のように凝固点以下になっても固体へと相転移しない過冷却の状態となる。過冷却の状態から、なんらかの物理的刺激が加わる事により、氷に相転移し始め、温度が0℃まで上昇し凝固が終わるまで、0℃を保つ。

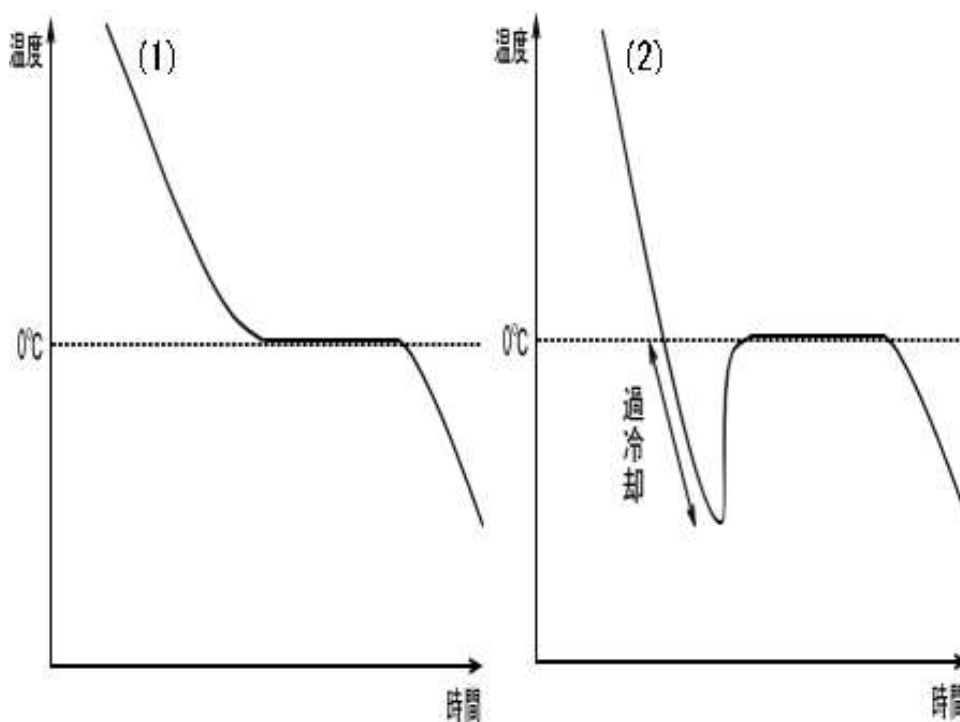


図2 水の温度変化

この過冷却という現象は、小・中・高等学校ではほぼ取り扱わない内容である。平成20年3月に改訂された小・中学校学習指導要領および平成20年6月に出された小・中学校学習指導要領解説においては、過冷却という言葉は確認されない。また、平成21年3月に改訂された高等学校学習指導要領においても過冷却という言葉は無い。平成21年7月に出された高等学校学習指導要領解説理科編の『第1部理科 第2章各科目 第5節化学 3「化学」の内容とその範囲，程度』において、『凝固点降下に関連して、過冷却や溶質の分子量測定について触れることが考えられる。』とあり、過冷却を扱う事を一例として挙げている。

第二章 授業のデジタル化

第一節 授業のデジタル化の方針

日本イーラーニングコンソシアム編のeラーニング白書において『インターネットまたはインタラネットを利用してコンテンツ（教材）の配信が行われる。』と記されている。インターネットやインタラネットで教材を配信するためには、教材をデジタル化する必要がある。そこで、授業のデジタル化を行った。デジタル化した授業は以下の指導案をデジタル化した。

- (1) 題材名「過冷却を知る」
 (2) ねらい： 過冷却という現象を知る。
 過冷却と凝固熱の違いを知る。
 (3) 展開：

段階	教師の働きかけ	生徒の活動・予想される反応	*留意点
導入 5分	<ul style="list-style-type: none"> 一般的な状態変化の話。 <p>「私たちが生活している環境において、気体の物質を冷やしていくと、その状態は特定の温度で液体、固体と変化していきます。液体から固体に状態変化する温度を融点または融点と言います。」</p> <ul style="list-style-type: none"> 融点になっても固体にならない事がる事がある事を説明。 <p>「通常、融点に達すると液体の物質は固体へと変化していきます。ですが融点以下になっても変化せず、液体の状態を保つ事があります。その状態の事を過冷却と言います。今回はその過冷却について勉強していきます」</p>		
展開 40分	<div style="border: 1px solid black; text-align: center; padding: 5px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> 特殊な状態・過冷却について知ろう。 </div> <p>「過冷却という言葉を知ってピンとこない人は多いと思いますが、この過冷却という状態は身近なところで割と良く起きています。その例として水があります」</p>		

	<p>・水を例にした、理想的な液体から固体への状態変化の温度変化。</p> <p>「まず水を例にとり、液体から固体への状態変化の温度変化についてみていきたいと思います。皆さんも知っている通り、水の融点は0度です、ですので理想的な水から氷、液体から固体への状態変化の温度変化をグラフに表すと、このようになります。」</p> <p>・理想的な温度変化のグラフを掲示。</p> <p>「水を冷やしていくと、融点である 0°Cの時点で温度変化がいったん止まり、水から氷へと変わっていきます。そして水が全て氷に変化すると、再び温度が下がり始めます。理想的な状態だと、このように温度変化をしていきますが、実際にはこうならないことも、多々あります」</p> <p>・過冷却状態になった時の温度変化のグラフを掲示。</p> <p>「理想的な状態と同じように水を冷やしていくと、融点を超えてなお温度が下がり続ける事があります。その時、水は液体のままを保ちます。この融点以下でなお液体の状態であることを過冷却といいます。この過冷却のまま、一定の温度まで冷やすと、融点まで急激に温度が上がり、氷になり始めます。」</p> <p>「過冷却状態というのは非常に不安定な状態で、少しの物理的的刺激、例えば揺らしたり、極端な温度変化があるとすぐ破られます。」</p> <p>・過冷却を利用した物</p> <p>「今回は水で説明しましたが、物質をもっと融点の高いものに変えると、日常生活で利用できるものとなります。例えば、何度も使えるカイロ、リヒーターがその例です。」</p> <p>「リヒーターには、酢酸ナトリウム三水和物とい</p>			
--	--	--	--	--

<p>ま と め 5 分</p>	<p>う物質が使われています。酢酸ナトリウム三水和物は融点が 58℃の物質ですが、室温でも過冷却状態を保つことができます。」</p> <p>「今日はリヒーターに用いられている物質である酢酸ナトリウム三水和物を使い、実際に過冷却状態というものを確認して見ましょう。」</p> <p>・過冷却についてのまとめを掲示</p>	<div data-bbox="869 600 1225 1272" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>1 : 500 mL ビーカーに水を入れ、お湯を沸かしておく。お湯を沸かしている間に酢酸ナトリウム 4g、水 3g を量り取り試験管の中へ入れる</p> <p>2 : ビーカーのお湯が沸いたら試験管を入れ、よく振りながら湯煎し固体が完全に融かす。</p> <p>3 : 湯煎後、水道の流水で試験管を冷却する。</p> <p>4 : 冷却後、試験管の中に薬品の粒を落とす。そうすると試験管内で過冷却状態であった液体が凝固を始め、熱を発する。</p> </div>	<div data-bbox="1257 651 1401 696" style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> <p>注意事項</p> </div> <ul style="list-style-type: none"> ・試験管は事前に汚れ等が無いか事前に確認しておく。 ・試験管を湯煎する際、お湯で火傷しないように注意する。 	
----------------------------------	---	--	--	--

過冷却とは、物質の液体を冷やした時融点以下の温度になっても凝固しない事で、日常生活でも利用されている現象である。

(4) 実験方法

○準備物

薬品：酢酸ナトリウム

器具：試験管、試験管バサミ、ガスバーナー、三脚、金網、300 mL ビーカー、葉さじ、

○実験手順

- 1 : 300 mL ビーカーに水を入れ、お湯を沸かしておく。お湯を沸かしている間に酢酸ナトリウム 4g、水 3g を量り取り試験管の中へ入れる
- 2 : ビーカーのお湯が沸いたら試験管を入れ、よく振りながら湯煎し固体が完全に融かす。
- 3 : 湯煎後、水道の流水で試験管を冷却する。
- 4 : 冷却後、試験管の中に薬品の粒を落とす。そうすると試験管内で過冷却状態であった液体が凝固を始め、熱を発する。

授業のデジタル化をするにあたり、全体の構成を3つの部分に分け製作した。一つは、全体の根幹に当たる授業部分である。二つ目は学習内容を確認する確認部分である。そして、確認部分で回答することが間違った部分を補充する補充部分である。それらを、HTML方式で製作した。

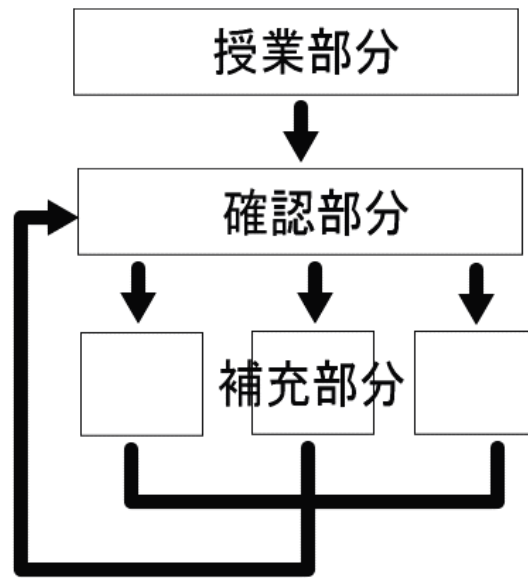


図3 eラーニング教材の全体の構想

第二節 授業部分

授業部分は株式会社教育情報サービスの「ThinkBoard」を使用し製作した動画を主な内容とした。ThinkBoardは大掛かりな装置は必要なく、PC・マイク・ペンタブレットがあれば比較的容易に、動画を製作することができるPCソフトである。ThinkBoardはPC上で画像や文章等を取り込み、そこに手書きの描写と音声を加える事によりコンテンツを製作する。よって、当初の構想では全体の授業の流れを次のようにした。

段階	教師の発言	画面上の動き
導入 5分	<ul style="list-style-type: none"> ・あいさつ 「これから今日の授業を始めます」 ・一般的な状態変化の話。 「私たちが生活している環境において、気体の物質を冷やしていくと、その状態は特定の温度で液体、固体と変化していきます。」 「液体から固体に状態変化する温度を融点と言います。」 ・融点になっても固体にならない事がある事を説明。 「通常、融点に達すると液体の物質は固体へと変化していきます。ですが融点以下になっても変化せず、液体の状態を保つ事があります。その状態の事を過冷却と言います。今回はその過冷却について勉強していきます」 	<ul style="list-style-type: none"> ・初期画面（ホワイトボード） ・状態変化.jpg 矢印で追っていく。 ・凝固の部分に融点と書き込み。
展開 20分	<ul style="list-style-type: none"> 「過冷却という言葉聞いてピンとこない人は多いと思いますが、この過冷却という状態は身近なところで割と良く起きています。その例の一つとして水があります」 「水の融点は0度です。理想的な液体から固体への状態変化の温度変化をグラフに表すと、このようになります。」 「水を冷やしていくと、0℃の時点で温度変化がいったん 	<ul style="list-style-type: none"> ・過冷却について知ろう。(画像) ・水理想グラフ.jpg

	<p>止まり、水から氷へと変わっていきます。そして水が全て氷に変化すると、再び温度が下がり始めます。理想的な状態だと、このように温度変化をしていきますが、実際にはこうならないことも、多々あります」</p> <p>「水を冷やしていくと、融点を超えてなお温度が下がり続ける事があります。その時、水は液体のままを保ちます。この融点以下でなお液体の状態であることを過冷却といいます」</p> <p>「この過冷却のまま、一定の温度まで冷やすと、融点まで急激に温度が上がり、氷になり始めます。このとき発する熱を凝固熱と言います」</p> <p>「ここでは水で過冷却と凝固熱について説明しましたが、物質をもっと融点の高いものに変えると、日常生活で利用できるものとなります。例えば、何度も使えるカイロ、リヒーターがその例です。」</p> <p>「リヒーターには、酢酸ナトリウム三水和物という物質が使われています。酢酸ナトリウム三水和物は融点が58℃の物質ですが、室温でも過冷却状態を保つことができます。」</p> <p>「今回は酢酸ナトリウム三水和物を使い、実際に過冷却を確認して見ましょう。」</p> <p>「今回の実験で使用するものは、薬品が酢酸ナトリウム。器具が試験管、試験管バサミ、棒温度計、ガスバーナー、三脚、金網、500 mL ビーカー、薬さじです」</p> <p>「500 mL ビーカーに水を入れ、お湯を沸かしておく。お湯を沸かしている間に酢酸ナトリウム4g、水3gを量り取り試験管の中へ入れる」</p> <p>「ビーカーのお湯が沸いたら試験管を入れ、よく振りながら湯煎し固体が完全に融かす」</p> <p>「棒温度計で試験管内の温度を測る」</p> <p>「水道の流水で試験管を冷却する」</p> <p>「再び棒温度計で温度を測り過冷却状態になって</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 水過冷却グラフ.jpg • 凝固熱と書き込み • 物質過冷却.jpg • 酢酸ナトリウム三水和物、融点 58℃、過冷却グラフの底値周辺に室温と書き込む。 • 実験動画 使用器具 動画を工程ごとに切る。
--	---	---

ま と め 5 分	<p>いる事を確認する」</p> <p>「刺激を加え、棒温度計で発熱している事を確認」</p> <p>「最後に今回の授業のまとめです」</p> <p>「過冷却とは、物質の液体を冷やした時融点以下の温度になっても凝固しない事で、日常生活でも利用されている現象です」</p> <p>「これで今日の授業を終わります。」</p>	<p>・過冷却とは、物質の液体を冷やした時融点以下の温度になっても凝固しない事で、日常生活でも利用されている現象である。(画像)</p>
-----------------------	--	--

当初の構想では、動画も **ThinkBoard** で取り込めると考えていたため、上の表内に入っているが、実際には取り込むことができず、動画を分割する事とした。また、それにあたり授業全体も、分割したほうが利用しやすいのではないかと考え、全体を分割をした。具体的には、「物質の状態変化」「過冷却」「実験」「おわりに」の四つの部分に分割をした。以下、それぞれ部分の内容について書いていく。

「物質の状態変化」

段階	教師の発言	画面上の動き	*留意点
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 挨拶と過冷却についてのさわり。 ・ 物質の状態変化の説明。 物質は温度の変化によって固体・液体・気体と変化する。それを状態変化という。 ・ 図を使い物質の状態変化についての説明。 (図6) ・ プリントを使い確認してもらう 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 『過冷却ってなんだろう』文字 (図4) ・ 『物質の状態変化』文字 (図5) ・ 状態変化.jpg (図7) 	

図4, 図5のような文字だけの場面は Microsoft Office PowerPoint を利用し, 製作している。また, 画像を利用する場所では PowerPoint のスライド上に画像を挿入し, 製作した。



図4



図 5

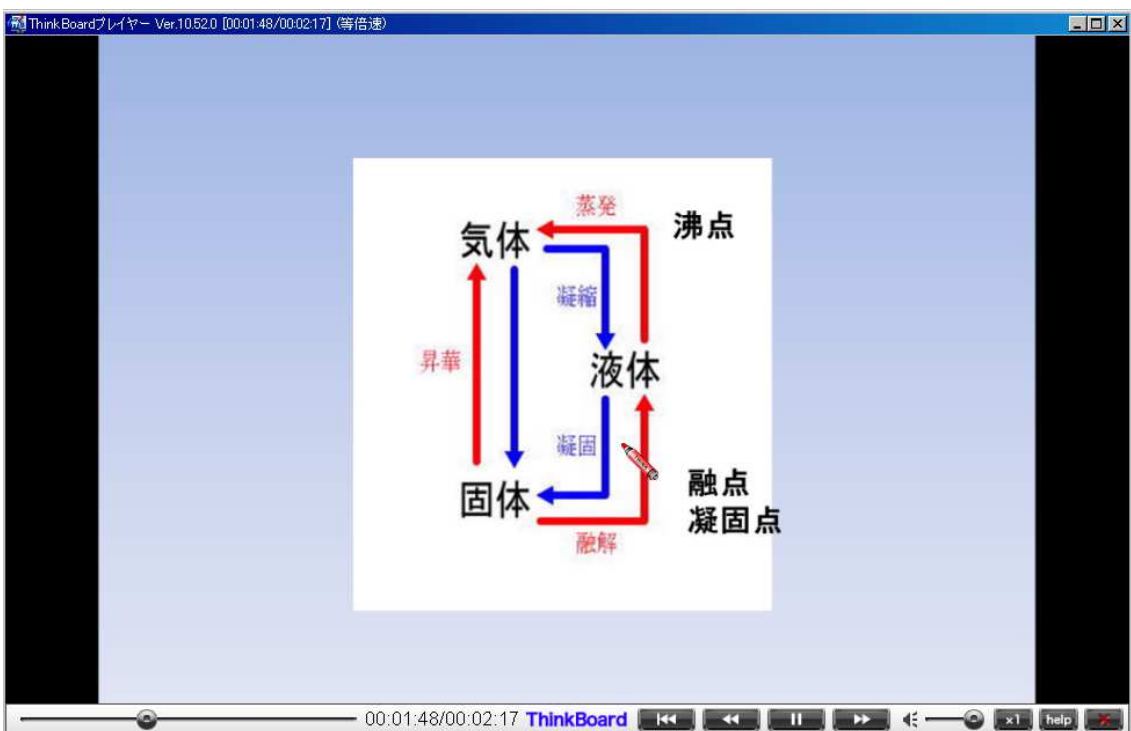


図 6

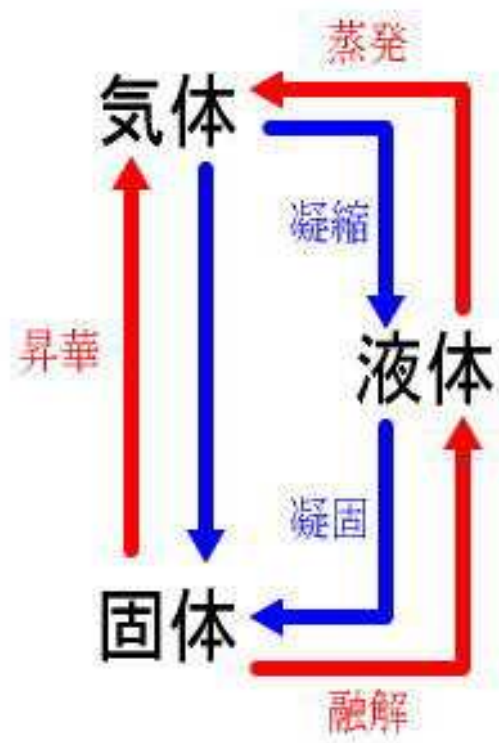


図 7 状態変化.jpg

『過冷却』

段階	教師の発言	画面上の動き	*留意点
	<ul style="list-style-type: none"> ・水の理想的な状態変化の際の温度変化の説明。 ・水の過冷却時の温度変化の説明 ・水以外の過冷却の時の温度変化と凝固熱についての説明。 ・過冷却を利用したものの紹介 	<ul style="list-style-type: none"> ・水理想グラフ。jpg (図8) ・水過冷却グラフ。jpg (図9) ・物質過冷却。jpg (図10) 	

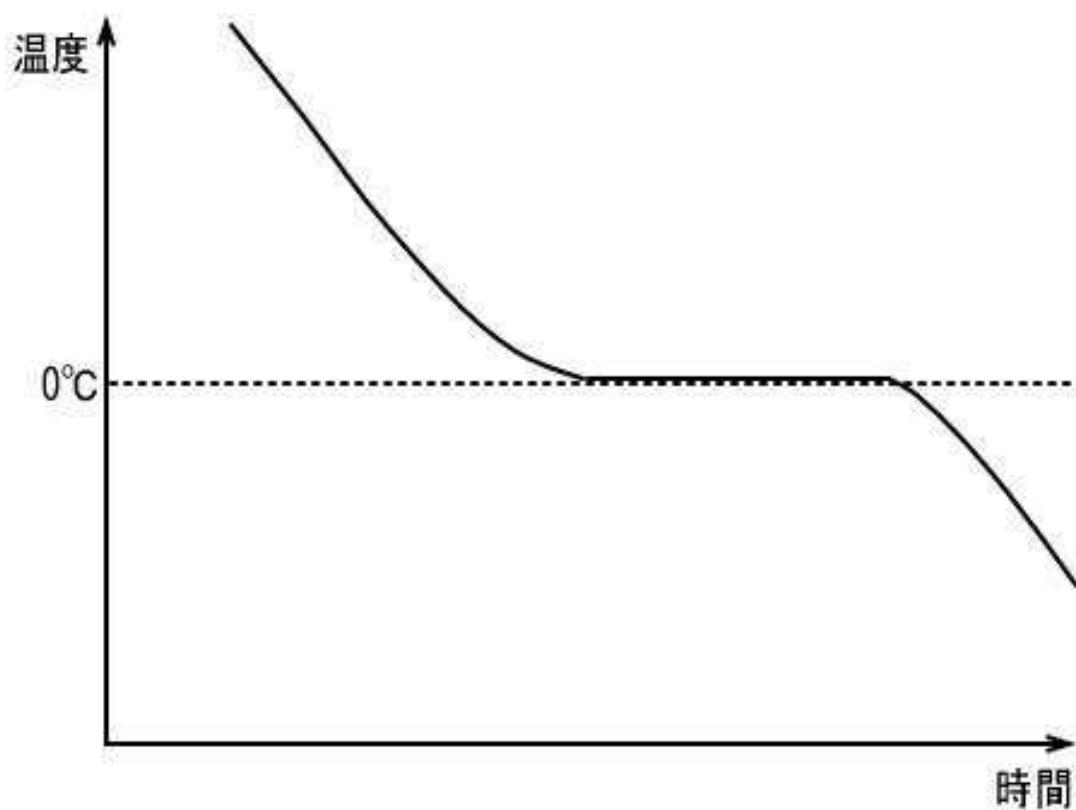


図8 水理想グラフ.jpg

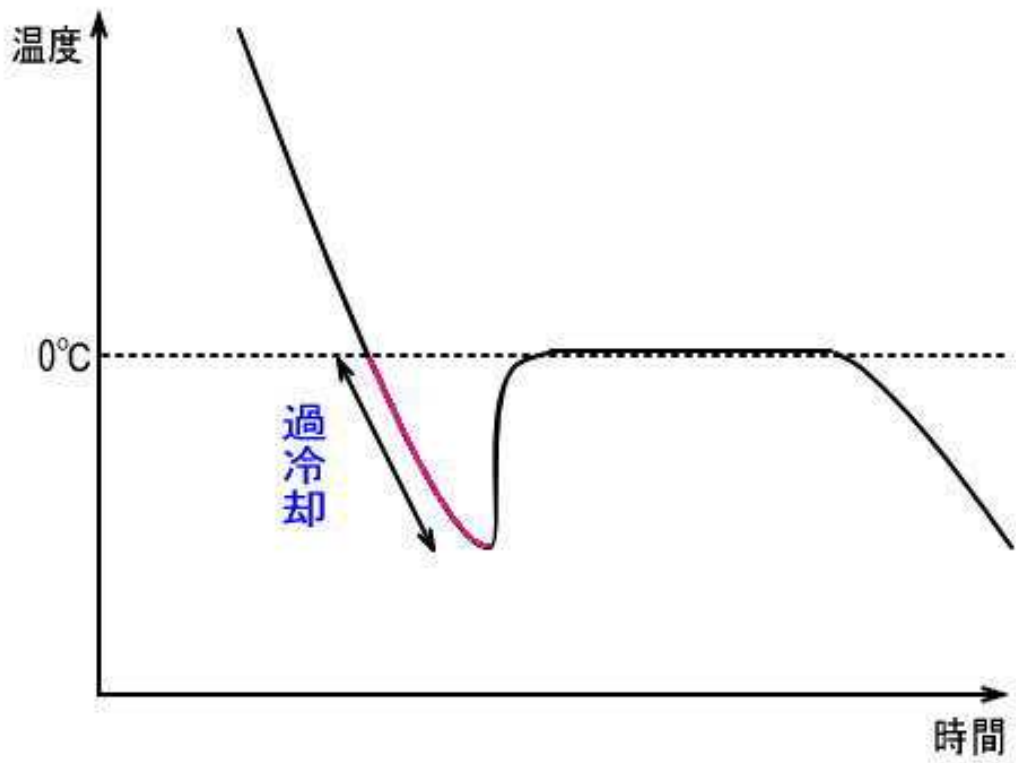


図9 水過冷却グラフ.jpg

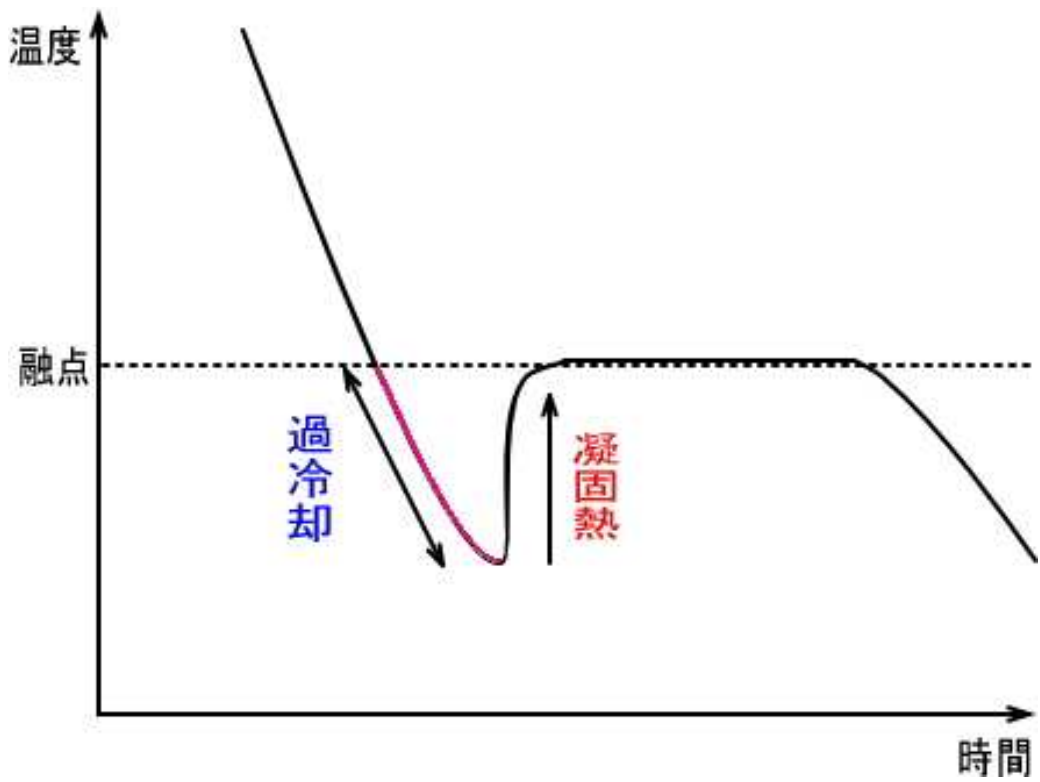


図10 物質過冷却.jpg

「実験」

HTML に埋め込むタイプの SWF プレイヤーを利用し閲覧できるようにした。また実験自体も、第一節のものから若干改良し、以下のようにした。

○準備物 (図 11)

薬品：酢酸ナトリウム (無水)

器具：試験管、試験管バサミ、ガスバーナー、三脚、金網、300mL ビーカー、薬さじ、棒状温度計

○実験手順

1：300mL ビーカーに水を入れ、お湯を沸かしておく。お湯を沸かしている間に酢酸ナトリウム (無水) 4 g、水 3 g を量り取り試験管の中へ入れる。(図 12)

2：ビーカーのお湯が沸いたら試験管を入れ、よく振りながら湯煎し固体が完全に融かす。(図 13)

3：水道の流水で試験管を冷却する。

4：冷却後、棒状温度計にて過冷却になっていることを確認し、試験管の中に薬品の粒を落とす。そうすると試験管内で過冷却状態であった液体が凝固を始め、熱を発する。(図 14)

○注意事項

試験管は事前に汚れ等が無いことを確認しておく。

温度計を利用してその都度、温度の様子を見せ、触覚で温度を確かめられない部分を補う事とし製作した。



図 11 準備物



図 12 実験手順 1



図 13 実験手順 2



図 14 実験手順 4

「おわりに」では、確認問題を利用し授業部分の確認をしてもらう事の説明をし、全体の締めとしている。以上のように4つに分割したものを、図15のようなホームページとして構成した。

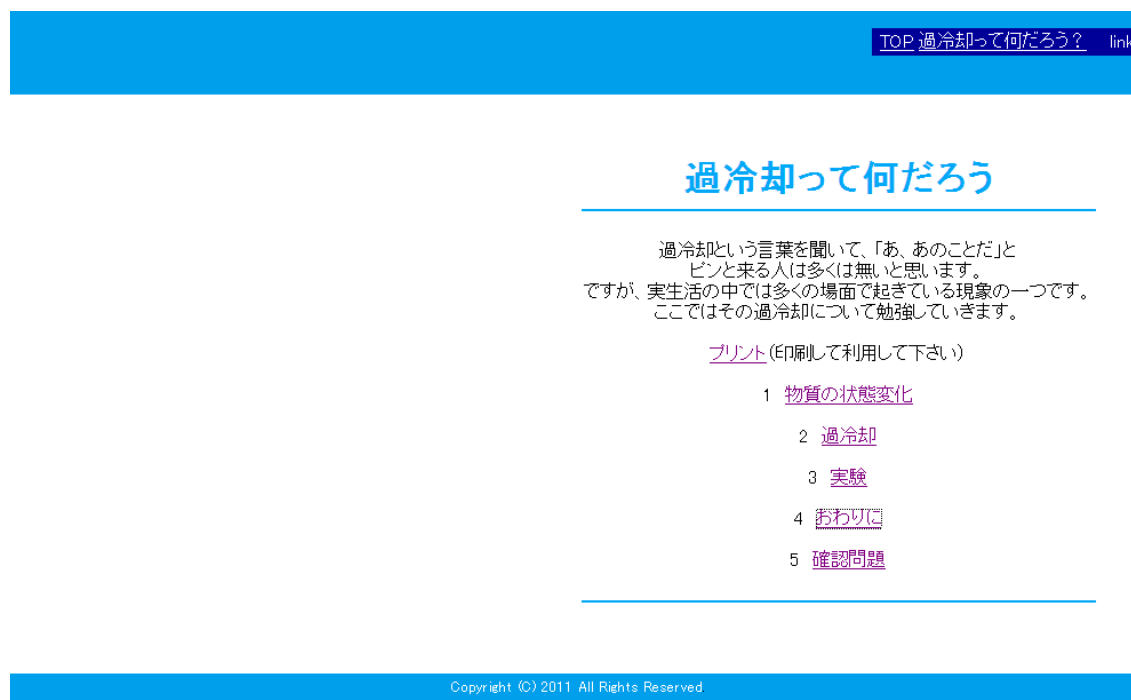
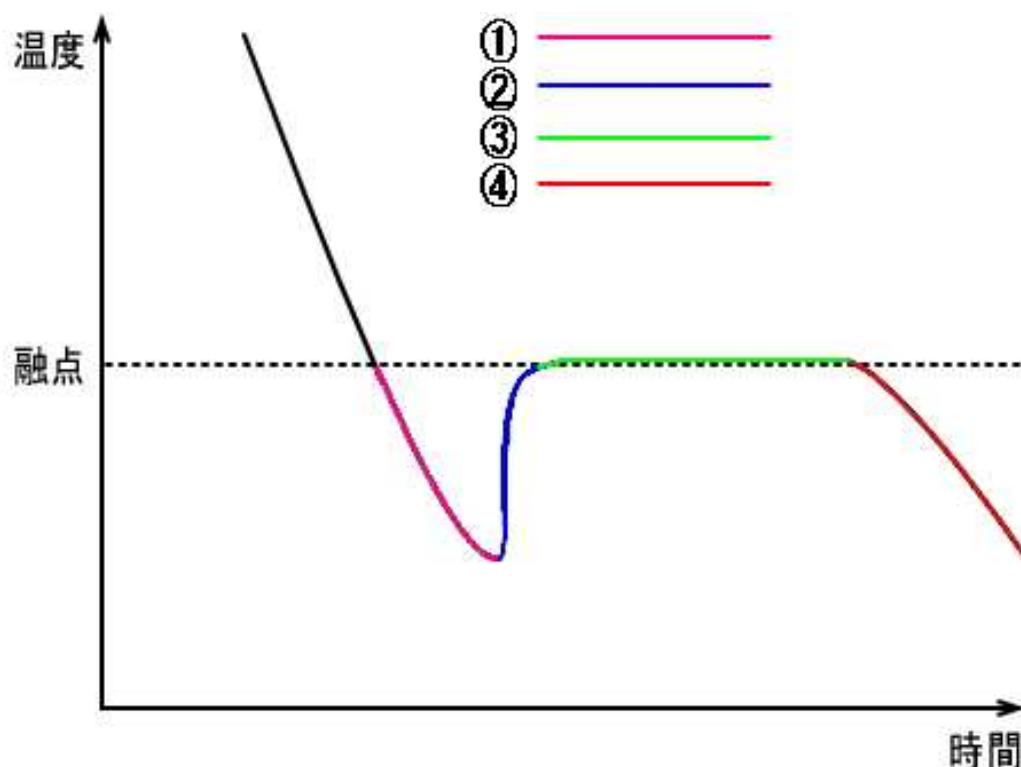


図15 全体の様子

第三節 確認部分

確認部分は選択形式の問題による確認という方式を取った。記入式などの問題が作れないかとも考えたが、個人的な技術的な問題で断念した。問題部分の製作には **Java Script** を用いた。なお、設問および選択肢は以下の通りである。

問1 次のグラフは水の温度変化を表したグラフです。グラフ内の①～④の中で過冷却に当たる部分はどこでしょうか。



問2 次の説明の中で正しい過冷却時の説明はどれでしょうか。

選択肢：物体が全て固体になったら、再び温度が下がり始めた。

液体から固体になる時、熱を発した。

融点以下になっても、液体が固体に変化しない。

問1は過冷却が温度的にはどのような現象か理解しているかどうかを確認するための設問。問2は過冷却を言葉で説明できるかどうかの設問として設定した。問2に関しては、記述式の問題を設置したかったが、先にも述べている通り技術的な問題でできなかったため、選択肢という形を取った。

以上の問題を、ホームページ上では図16、図17のように構成した。

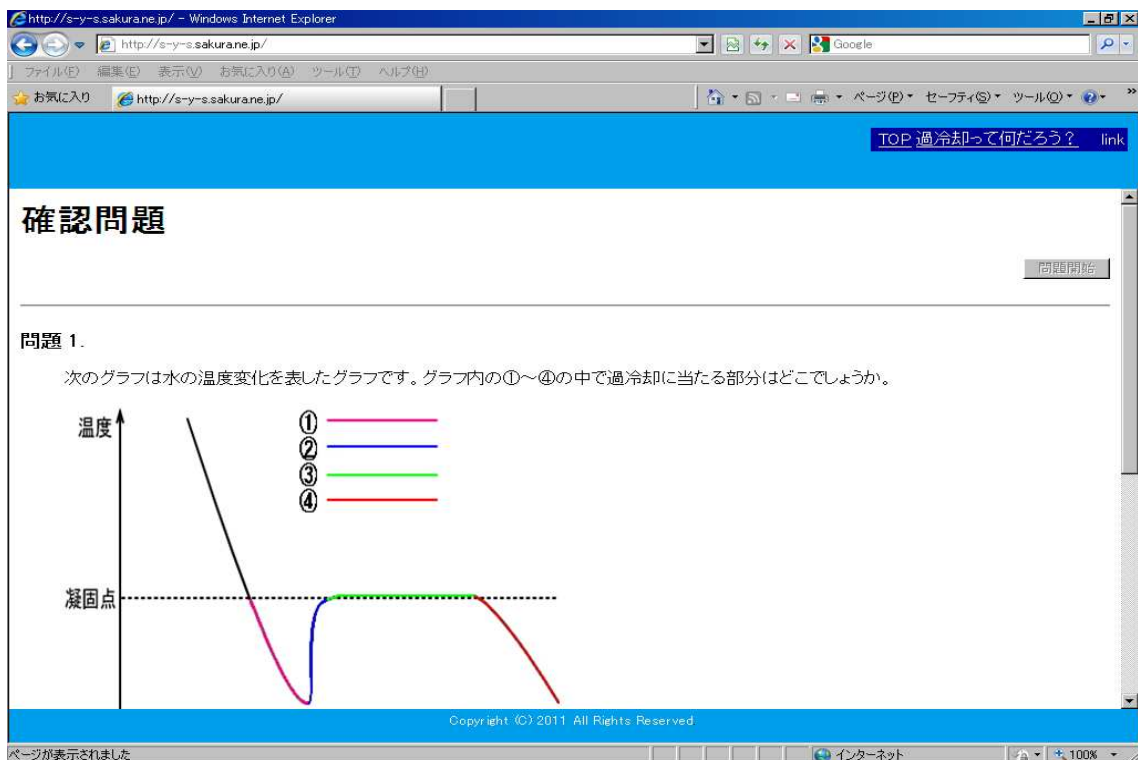


図 16 問題開始時の様子

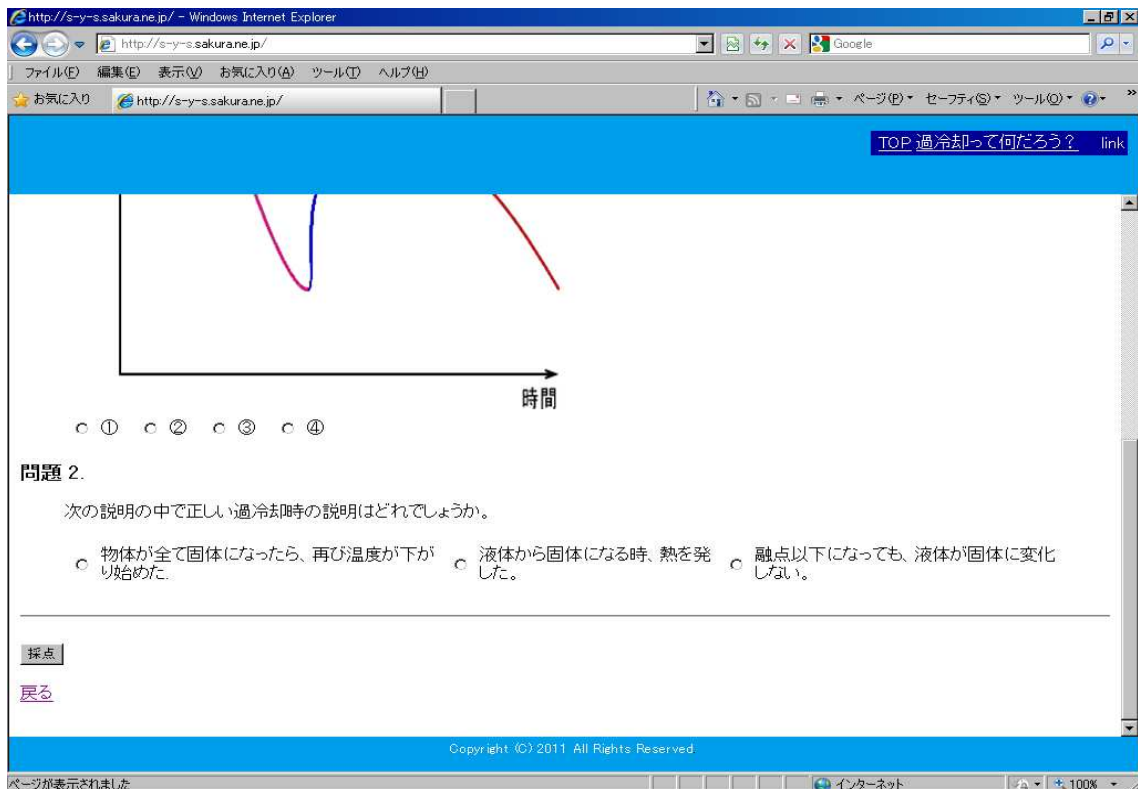


図 17 選択肢の様子

第四節 補充部分

確認部分の設問ごとに解説を付け、リンクで飛べる構造とした。

問題 1.

次のグラフは水

温度

凝固点

時間

① ————
② ————
③ ————
④ ————

①が過冷却の状態です。凝固点以下になっていて、通常であれば固体に変化しているはずなのですが、この時は液体の状態を保っています。

②は過冷却状態が解かれ、凝固熱を発生している状態です。理想的な状態で測定すると、凝固点まで温度が上昇することが確認できますが、実際に測定すると誤差が出てしまいます。

③は液体と固体が混ざり合った状態です。物質は状態変化する時、全ての物質が変化するまで、温度を保ち続けます。

④は全てが固体の状態になった状態です。全てが固体に変化した後も冷却し続けると、温度は下がります。

(正解) ①

[解説](#)

問題 2.

図 18 補充部分

第五節 アンケートによる評価と考察

製作後、インターネット上で公開しアンケートを実施し、製作した e ラーニング教材の評価をした。対象はこの e ラーニング教材の使用前の時点で「過冷却という現象が、どのような現象か知っているか」という問いに対し、いいえと答えた人を対象とした。質問項目は以下の通りである。

Q1 過冷却がどのような現象か分かりましたか？

1. はい
2. いいえ

Q2 Q1 を『はい』と答えた人に質問です。過冷却がどのような現象か言葉で説明してください。

〔記述式〕

Q3 学習内容は分かりやすかったですか？以下の選択肢から一つ選んでください。

1. 分かりやすかった
2. やや分かりやすかった
3. やや分かりにくかった
4. 分かりにくかった

Q4 使い方は分かりやすかったですか？以下の選択肢から一つ選んでください。

1. 分かりやすかった
2. やや分かりやすかった
3. やや分かりにくかった
4. 分かりにくかった

Q5 このようなデジタル教材があつたら利用してみたいと思いますか？以下の選択肢から一つ選んでください。

1. 利用したい
2. やや利用したい
3. あまり利用したくない
4. 利用したくない

Q6 ご意見・ご感想がありましたらよろしくお願ひいたします。

〔自由記述〕

Q1, Q2はこの e ラーニング教材を利用し学習内容について知る事ができたかどうか調べるために、設定した。また Q3, Q4, Q5はこの e ラーニング教材が分かりやすかった, 使用しやすかったか, 今後利用したいかどうか調べるため設定した。まず Q1, Q2 結果を見ていく。

Q1 過冷却がどのような現象か分かりましたか？	1. はい	2. いいえ
	17	0

Q2 Q1を『はい』と答えた人に質問です。過冷却がどのような現象か言葉で説明してください。	説明ができています	説明が間違っている 無記入
	17(100.0%)	0(0.0%)

Q1, Q2についてはアンケート回答者全てが、過冷却という現象がどのような現象であるか、言葉で説明できていた。これは、元となった授業を実際に行った際に、過冷却と凝固熱を間違えて覚えている生徒が多かった為、その点を意識しながら授業部分や確認部分を製作した結果だと考えられる。

次に Q3, Q4, Q5 の回答結果を見ていく。

Q3 学習内容は分かりやすかったですか？	1. 分かりやすかった	2. やや分かりやすかった	3. やや分かりにくかった	4. 分かりにくかった
	1	8	8	0

『Q3 学習内容は分かりやすかったですか？』という質問に対し、「分かりやすかった」「やや分かりやすかった」9/17, 「やや分かりにくかった」8/17 という結果になっており、学習内容は知ることができるという一方で、学習内容の分かりやすさという点では、改善点が残っているといえる。Q6の自由記述の欄を見ると、授業部分のほとんどを動画による言葉と図で構成したが、それでは印象に残らないという記述が見られた。利用者は基本的に動画を見ている、聞いているだけなので用語や説明などが印象に残りづらかったと考えられる。

Q4 使い方は分かりやすかったですか？	1. 分かりやすかった	2. やや分かりやすかった	3. やや分かりにくかった	4. 分かりにくかった
	0	5	10	2

Q4では、この e ラーニング教材自体の、使いやすさを調べた。その結果、12/17 が使い方が分かりにくかったと回答した。特に指摘されたのが、ThinkBoard について

である。ThinkBoard で製作された動画を見るには、インターネット上から専用のプレイヤーをダウンロード及びインストールしなければならない。その一連の操作が、使い方を分かりにくくした要因だと考える。

Q5 このようなデジタル教材があったら利用してみたいと思いますか？	1. 利用したい	2. やや利用したい	3. あまり利用したくない	4. 利用したくない
	0	10	6	1

『Q5 このようなデジタル教材があったら利用してみたいと思いますか？』という質問に対して、10/17 が「やや利用したい」と回答をした。Q6の自由記述欄を見ると、内容次第で利用したいという意見が見られた。利用したくないと考えている回答者も多かったが、半数以上は利用したいと考えているようだ。

第六節 考察及び問題点

授業のデジタル化により e ラーニング教材を製作することができたが、アンケートの結果より問題点も見えてきた。学習内容は知ることはできるが、それ自体が分かりにくいという問題点と、この e ラーニング教材そのものの使いづらさの二点が今後の改良しなければならない点である。

学習内容の分かりやすさという点では実験の改良が考えられた。経済産業省商務情報政策局情報処理進行課編の e ラーニング白書の定義の中では『自主的な学習』という言葉が使われている。『自主的な学習』とは利用者が自らの意志で学習活動を行うことである。それは、何時でも何処でも、利用者が学習しようと考えた時学習できるということだと考える。今回製作している e ラーニング教材は、個人での利用を想定したものを製作している。だが、ここで用いた実験は、学校の理科室で実際に実験すること前提とし考えた実験である。その為、動画では得ることのできない触覚を今回は温度計を用い、温度を視覚的に見ることで補おうとした。だが、e ラーニング教材の利用者の興味を高め、実感を伴うためには自ら実験を行うのが良いと考える。そのためには、一般家庭で簡単に行える過冷却の実験を考える必要がある。

使いやすさの向上については、この e ラーニング教材を利用し学習しようとする人が、誰でも扱えるもので無ければならない。今回、アンケートの中で動画が滑らかに動かずコマ送りのような状態であったという報告があった。そのような利用者をカバーする何らかの対策が必要である。

上記のほかに経済産業省商務情報政策局情報処理進行課編の e ラーニング白書の定義の中において『インタラクティブ性』という言葉が出てくる。『インタラクティブ性』とは、定義の中の説明において『学習を効果的に進めていくために、人またはコンピュータから適切なインストラクションが提供されたり、双方向コミュニケーションが実施されたりすることを指す。』とされている。双方向コミュニケーションが可能であれば、学習の幅はより広がると考えられる。現状では、発信者からの一方通行であり双方向コミュニケーションとは程遠い。インターネットを利用した双方向コミュニケーションと言うと、Eメールやネット会議、チャットや掲示板、SNS等様々なものが存在する。どのような形式のものが、この e ラーニングに合っているのか検討をしなければならない。

第三章 過冷却実験の改良

第一節 過冷却実験改良の方向性

過冷却実験の改良の目的は、一般家庭でも行える実験にすることだ。その時、問題点と考えられるのが二点ある。まず一点目が使用薬品の点である。今回の e ラーニング教材で用いた薬品は酢酸ナトリウム三水和物を用いている。酢酸ナトリウムは過冷却状態で安定な物質であり、過冷却の実験を行う際によく用いられる。だが、一般生活の中で用いられることは少なく、一般家庭で実験することを考えると、最適ではない。酢酸ナトリウム以外で、過冷却の実験に用いられる物質としてチオ硫酸ナトリウム五水和物がある。チオ硫酸ナトリウムは鑑賞魚用の塩素抜きとして用いられる物質で、ホームセンター等で容易に手に入る。また、酢酸ナトリウム同様に、過冷却状態で安定する。そこで、今回はチオ硫酸ナトリウム五水和物以上に手に入りやすく、過冷却実験に用いることができる物質を探した。

二点目の問題点として、使用器具の問題がある。今回の e ラーニング教材で用いた実験は、学校の理科室で実験を行うということが前提となっており、使用する器具も学校の理科室にある物が中心となっている。当然、一般家庭には普通には無い器具も多い。そこで、使用する器具を一般家庭にあるものにする必要がある。

第二節 使用物質の改良

チオ硫酸ナトリウム以上に入手しやすい物質として、硫酸カリウムアルミニウム十二水和物と炭酸水素ナトリウムが考えられる。硫酸カリウムアルミニウム十二水和物 $\text{AlK}(\text{SO}_5)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ は一般家庭においては料理用のミョウバンとしてなじみ深い物質である。融点は 92.5°C である。炭酸水素ナトリウム CHNaO_3 は一般家庭においては重曹の名前として知られている。融点は 50°C であるが、炭酸水素ナトリウムは熱する事により分解する。粉末の炭酸水素ナトリウムは 270°C で分解し炭酸ナトリウム Na_2CO_3 となる。炭酸ナトリウムの融点は 851°C である。それぞれの物質が過冷却状態で安定するか確認するため、それぞれ以下の実験を行った。

・硫酸カリウムアルミニウム十二水和物

器具：試験管，試験管バサミ，ガスバーナー，三脚，金網，300mL ビーカー，葉さじ

○実験手順

- 1：300mL ビーカーに水を入れ，お湯を沸かしておく。お湯を沸かしている間 硫酸カリウムアルミニウム 0.01mol を量り取り試験管の中へ入れる
- 2：ビーカーのお湯が沸いたら試験管を入れ，よく振りながら湯煎し固体を完全に融かす。
- 3：ガスバーナーの火を止め，ビーカーに試験管を浸けたまま放冷する。
- 4：室温まで冷えたら，過冷却状態になっているか確認する。

・炭酸水素ナトリウム

実際には，炭酸ナトリウムで実験を行うことになる事を想定し，薬品は最初から炭酸ナトリウムを用いた。

器具：試験管，試験管バサミ，ガスバーナー，

○実験手順

- 1：炭酸ナトリウム 0.01mol を量り取り試験管の中へ入れる
- 2：ガスバーナーで熱し，固体を完全に融かす。
- 3：ガスバーナーの火を止め，放冷する。
- 4：室温まで冷えたら，過冷却状態になっているか確認する。

実験手順としては以上のように考えていた。だが，硫酸カリウムアルミニウム十二水和物，炭酸水素ナトリウム共々，実験手順2の固体を融解させる時点ですべての物質が融解しなかった。その為，過冷却の状態安定するかどうか確認することができなかった。加熱方法を変更すれば，固体を全て融解させることも可能だと考えるが，加

熱方法が複雑になると、チオ硫酸ナトリウム五水和物より実験に向いてるとは言いづらくなる。よって、この結果により硫酸カリウムアルミニウム十二水和物及び炭酸水素ナトリウムは、一般家庭で行う過冷却実験ではチオ硫酸ナトリウム五水和物よりも適していないと考える。

よって、現状ではチオ硫酸ナトリウム五水和物を実験に用いる事が最も良いと考える。なお、チオ硫酸ナトリウム五水和物の過冷却時及び過冷却状態が破られた時の温度変化は以下の通りになった。

・実験方法

チオ硫酸ナトリウム五水和物を 1 mol 量り取り、300mL ビーカーに入れる。物質を入れたビーカーを融点以上に設定したウォーターバスで湯煎する。なお、ウォーターバスはイワキのTHB-3Nを使用する。物質が完全に融けた後、ウォーターバスからビーカーを揚げ、放冷し物質を室温に戻す。その後、ビーカーのなかに物質の結晶を入れ様子を見る（写真1）。なお、恒温槽から揚げた後は、デジタル温度計でその温度変化を測定する。温度測定はポリスチレン製の発砲スチロール容器内で行う。また、温度計はケニス株式会社のデジタル温度計DT-82Wを使用する。（写真2）。

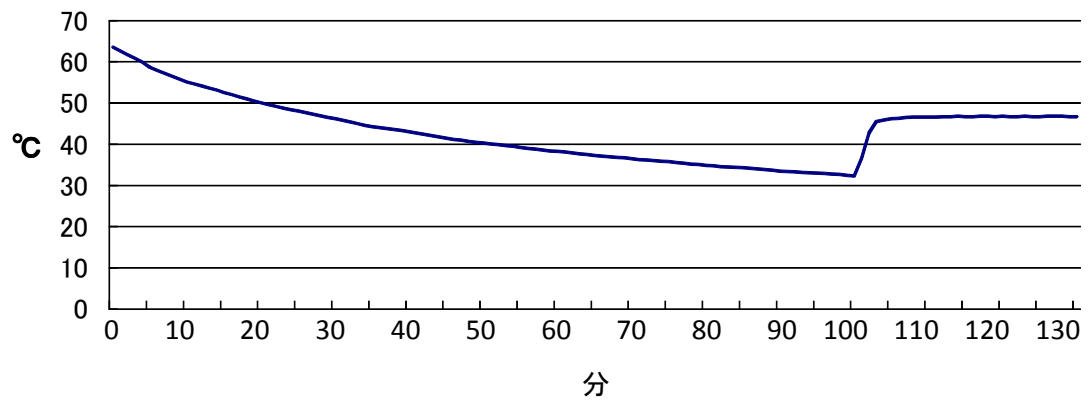


写真1



写真2

グラフ1 融解後の温度変化



(グラフ1)

0分：63.5°C

25分：48.1°C (過冷却)

100分：32.3°C (この時点で刺激を与える)

凝固時の最高温度：46.8°C (刺激を与えてから11分後)

その後も 0.1–0.2°Cほどの温度が落ちたりするも、計測を終了するまで何度も最高温度を記憶。

第三節 実験方法の変更

チオ硫酸ナトリウム五水和物自体は、元々の実験方法で問題なく実験を行うことができる。よって、元々の実験を元に、そこで使われている実験器具を家庭のものに置き換える方向で考える。

まず、チオ硫酸ナトリウム五水和物を融解させる加熱方法は湯煎なので、これは鍋に水を張り、それをコンロ等で沸かすこととする。チオ硫酸ナトリウム五水和物を入れる容器は、透明で容器の方が適している。理由としては、融け残りが無いか確認しやすいという点が挙げられる。過冷却の実験自体、融け残りがあると成功しない実験であるので、重要な事である。また同時に、当然だが熱に強いということも条件となってくる。それらの条件より、透明なガラス容器が最も適しているといえる。だが、チオ硫酸ナトリウム五水和物が普段食べる食物に使用されていないことを考えると、食事や料理に使うようなガラス容器は使用し辛い。この実験用にわざわざ新しい容器を買うのであれば、それこそ本末転倒である。そこで、別のものを容器として使えないかと考えた時、ペットボトルに行き着く。熱せられると、多少収縮してしまうが、それでも実験に使えないほどではないという事は確認できた。よって、チオ硫酸ナトリウム五水和物を入れる容器は、透明なペットボトルとした。

以上のことを踏まえ、実験器具及び実験手順は以下のようにする。

○準備物

薬品：チオ硫酸ナトリウム五水和物

器具：鍋, 500mL ペットボトル, コンロ

○実験手順

- 1：鍋に水を入れ、お湯を沸かしておく。お湯を沸かしている間にチオ硫酸ナトリウム五水和物をペットボトルの中に入れる。
- 2：ビーカーのお湯が沸いたらペットボトルの蓋をせず入れ、よく振りながら湯煎し固体が完全に融かす。(写真3)
- 3：完全に融解したら、以下のいずれかの方法で冷却をする。1) 湯煎したお湯と共に放冷する。2) お湯から上げ放冷する。3) 水道の流水で冷却する。
- 4：冷却後、ペットボトルに直接触ってみて過冷却になっていることを確認し、ペットボトルの中にチオ硫酸ナトリウム五水和物の粒を一粒落とす。そうすると容器内で過冷却状態であった液体が凝固を始め、熱を発する。



写真3 湯煎の様子

加熱方法として、湯煎の以外に利用できる方法がないか検討した。家庭で利用できる加熱器具というと、コンロのほかに電子レンジが考えられる。電子レンジが利用することができるのであれば、湯煎よりも短い時間で実験ができることが考えられる。そこで、電子レンジで加熱が可能か実験を行った。実験方法は以下のように行った。

○準備物

薬品：チオ硫酸ナトリウム五水和物

器具：電子レンジ，250mL ペットボトル

○実験手順

- 1：チオ硫酸ナトリウム五水和物をペットボトルの中に入れる。
- 2：電子レンジで固体が完全に融解するまで加熱する。
- 3：完全に融解していたら、水道の流水で冷却する。融け残りが見られたら、さらに電子レンジで加熱する。
- 4：冷却後、過冷却状態になっていることを確認する。

上記の実験の結果、チオ硫酸ナトリウム五水和物の固体は電子レンジの過熱によって完全に融解し、その後過冷却状態で安定することが確認することができた。融解までにかかる時間は、チオ硫酸ナトリウム五水和物の量にもよるが、750W の電子レンジで 10g では 10 秒前後で完璧に融解することが確認できた。この加熱時間は、湯煎よりも早く実験時間全体の短縮につながる。この結果により、加熱方法として電子レンジも使用することが可能と言える。電子レンジ使用する実験方法は以下のようにする。

○準備物

薬品：チオ硫酸ナトリウム五水和物

器具：電子レンジ, 250 mL ペットボトル

○実験手順

- 1：チオ硫酸ナトリウム五水和物をペットボトルの中に入れる。
- 2：電子レンジで固体が完全に融解するまで加熱する。
- 3：完全に融解していたら，水道の流水で冷却する。融け残りが見られたら，さらに電子レンジで加熱する。
- 4：冷却後，ペットボトルに直接触ってみて過冷却になっていることを確認し，ペットボトルの中にチオ硫酸ナトリウム五水和物の粒を一粒落とす。そうすると容器内で過冷却状態であった液体が凝固を始め，熱を発する。

第四章 文字と画像による e ラーニング

第一節 動画の e ラーニングの問題点

今回制作した e ラーニング教材は、授業部分はほぼ全て動画で制作しているが、アンケートの結果等から、問題点が見えてきた。e ラーニング教材使用者の、使用状況によって、動画がコマ送りになってしまう可能性がある。e ラーニング教材を利用し学習しようと学習者が思った時、利用状況で利用することが出来ないというのは、学習と関係なく利用できる e ラーニング教材としては、避けなければならないと考える。利用者が利用しようと考えた時、いつでも利用できるというのが、最終目標であるといえるだろう。

動画がコマ送りのようになってしまう原因として、考えられるのがインターネットの通信速度と、PC 自体の性能が考えられる。まずインターネットの通信速度の問題である。ブロードバンド回線の普及は年々進んできている（図 19）。ブロードバンド回線の中でも速度が速いとされる光回線の普及は目覚ましいものがある。だが、その一方でナローバンド回線利用者は、平成 22 年度時点の調査で 21.2%となっている。ナローバンド回線では、動画をダウンするのに時間がかかり、今回制作した e ラーニン

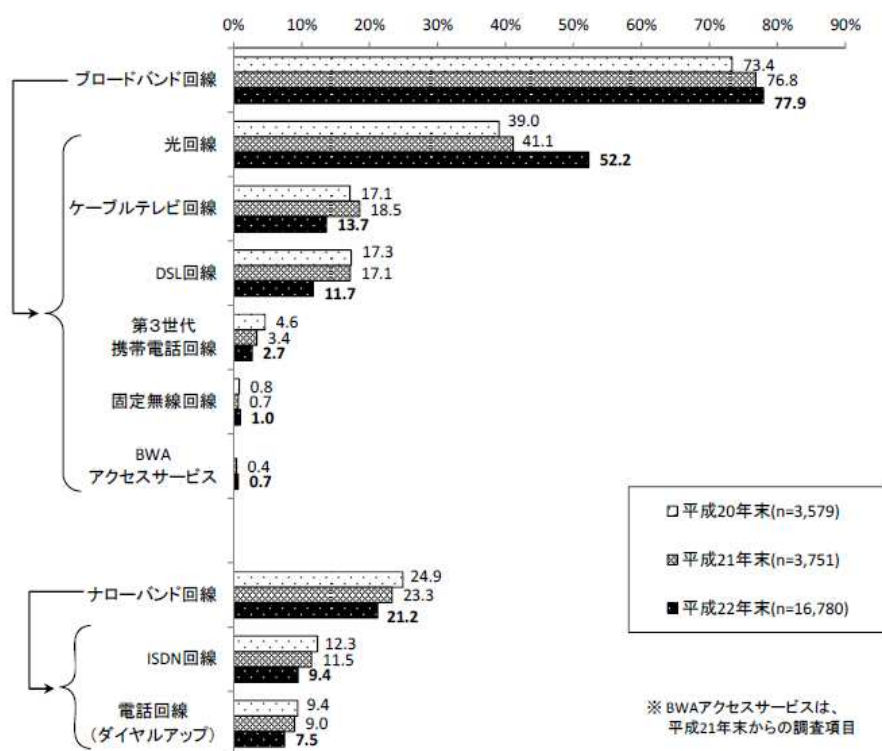


図 19 自宅のパソコンからのインターネット接続回線の推移（世帯）（複数回答）

出所：総務省「通信利用動向調査」

グでは利用するにあたり、時間がかかってしまう。また、インターネット接続状況によっては、良い状態で動画を見ることができないことも考えられる。また、PCの性能によっては、インターネットの状況が良くても、動画がコマ送りになってしまうことがある。

その他にも、音の出せない環境で使用するのが難しいという問題点も動画のeラーニングは抱えている。

それらの事を考慮に入れると、html形式による文字や画像だけによるeラーニング教材も、動画のeラーニング教材をカバーするということで重要だと考える。そこで、文字と画像によるeラーニング教材を作製した。

第二節 文字と画像による e ラーニング教材

実際には「授業部分」を作製し、「確認部分」「補充部分」は二章で作製したものをそのまま利用することとした。「確認部分」「補充部分」は元々、文字と画像で作製していたため、そのまま利用することとした。

主な流れは、「物質の状態変化」「過冷却」「実験」の流れとした。文章・画像についても基本的に第二章のものを活用した。

2. 過冷却

水が理想的な温度変化すると、右の図のように融点である 0°C の時点で固体に状態変化を始めます。そして、全てが液体から固体に変化するまで 0°C を保ち、固体に変化すると、再び温度が下がり始めます。

ですが、このような温度変化しないことが現実にはよくあります。

水の融点である 0°C を下回っても、固体に変化することが無く、液体の状態を保つことがあります。このような現象を、**過冷却**とといいます。過冷却の状態になると物質は、融点以下になっても液体の状態を保ち、何らかの物理的刺激が加わるまでその状態を保ちます。刺激が加わると、急激な凝固が始まり一気に固体になります。その時、凝固熱という熱が発し、水の融点である 0°C まで急激に温度が上昇します。この現象は、水以外の物質でも起きます。

融点が高い物質は、過冷却の状態が解かれる時に発せられる凝固熱を利用し、カイロなどの製品に使用されています。

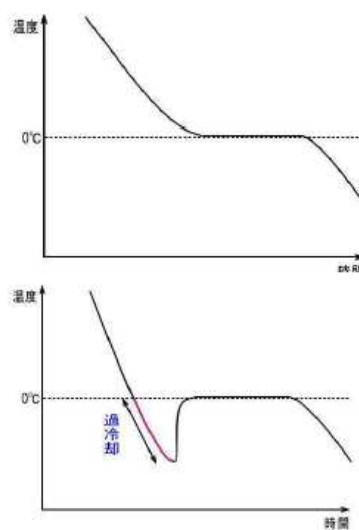


図 20 文字と画像による e ラーニング教材

第五章 考察と今後の展望

まず、ここまでの第二章第六節で上げた三つの問題点のうち、学習内容の分かりやすさという点は、過冷却実験を改良と文字と画像による e ラーニング教材を作製したことによって、向上したと考える。だが、実際に利用してもらいその効果を見たわけではないので、今後は本当に学習内容が分かりやすくなったのか、実際に利用してもらい、効果を調査しなければならない。

また、使いやすさの向上という点に関しては、文字と画像による e ラーニング教材を作製したことにより、向上したと考える。だが、まだ向上できる点はあると考える。考えられる点が **ThinkBoard** を用いて作製した動画についてだ。先にも述べている通り、**ThinkBoard** は非常に手軽に動画の e ラーニング教材が作れるソフトである。だが、その動画の保存形式が特殊なため、専用のプレイヤーをダウンロード及びインストールしなければ動画を見ることが出来ない。その点が、使いにくくしている要因の一つだと考える。今後はその点も改善していかなければならないだろう。

第二章第六節であげた『インタラクティブ性』については、今回まったく検討できていない。現状、非同期型の e ラーニング教材であることを考えると、e メールや電子掲示板を利用した情報交換が現実的だろう。その時考えなければならないのが、類似した項目をいかにまとめていくかだと考える。例えば、e ラーニング教材利用者が e ラーニング教材発信者に何らかの質問を行ったと考える。一件だけであれば問題ないのだが、同じ内容の質問が何件も来るようであれば、そういった質問に対する返答をまとめるのが効率的ではないかと考えている。このような点についても今後利用者に対し、調査を行わなければならない。

参考文献

- ・経済産業省商務情報政策局情報処理進行課編（2007）『eラーニング白書 2007/2008年度版』東京電機大学発行
- ・特定非営利活動法人日本イーラーニングコンソシアム編（2008）『eラーニング白書 2008/2009年度版』東京電機大学発行
- ・総務省（平成23年）「通信利用動向調査 報道発表資料 平成22年調査」
http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/statistics/data/110518_1.pdf
- ・中村伊知哉・石戸奈々子著（2010）「デジタル教科書革命」ソフトバンククリエイティブ株式会社
- ・本間善夫（2002）「教育分野における携帯電話活用の現状と実践」情報の科学と技術 52(12) Pp615-620
- ・加藤直樹・村瀬康一郎・益子典文・松原正也・奈良敬・奥戸律子・佐藤俊介・田中昌二・加藤一郎（2003）「高等教育におけるメディア統合型 LMS の検討」日本科学教育学会研究会研究報告 17(6) Pp85-88
- ・東原義訓・中村浩志・漆戸邦夫・赤羽貞幸（2004）「科学者の問いの連鎖を追体験する理科デジタル教材の開発」日本科学教育学会年会論文集 28 Pp569-570
- ・植野真臣（2004）「大学・高専における e-ラーニングによる授業実践」日本教育工学雑誌 27(4) Pp417-426
- ・越川浩明（2004）「Web 教材についての考察」千葉大学教育学部研究紀要 52 Pp307-311
- ・竹中真希子・山口悦司・稲垣成哲（2005）「CSCL：理科教育におけるコンピュータ利用の新しい研究動向」科学教育研究 29(2) Pp157-172
- ・植野真臣・矢野米雄（2005）「科学的実践と協働を実現する eラーニング」日本教育工学会論文誌 28(3) Pp151-162

- ・細川敏幸・小野寺彰・鈴木久男（2005）「新カリキュラム卒業生に対応した初習理科教育」物理教育学会年会物理教育研究大会予稿集(22) Pp88-89

- ・平方素樹・川村康文（2006）「身の回りのモノを用いた理科実験のデジタルコンテンツ化とそれを用いての e-learning の試み」日本科学教育学会年会論文集 30 Pp419-420

- ・鈴木勲・川島芳昭・石川賢（2007）「理科」における e-ラーニングと今後の課題」宇都宮大学教育学部教育実践総合センター紀要 30 Pp1-10

- ・北澤武・加藤浩・赤堀 侃司（2006）「小学校理科 e ラーニングサイト「理科ネット」に関する学習者の認識の考察：ブレンディッドラーニングとして利用したときの「理科ネット」の有用性について」科学教育研究 30(1) Pp37-47

- ・北澤武・永井正洋・加藤浩・赤堀侃司（2008）「自己制御学習に着目した e ラーニング利用法に関する一考察：学校理科教育における教育実践を通じて」科学教育研究 32(1) Pp10-17

- ・藤本義博・宮地功（2008）「草花の観察についての電子掲示板交流による教育効果」日本科学教育学会年会論文集 32 Pp365-368

- ・北澤武・永井正洋・加藤浩・赤堀侃司（2009）「e ラーニングサイトの予習復習利用が児童の動機づけ・自己制御学習方略・成績に与える効果：小学校理科におけるブレンディッドラーニング環境を対象として」科学教育研究 33(1) Pp34-49

- ・独立行政法人科学技術振興機構（平成 23 年）「平成 22 年度業務実績報告書」
<http://www.jst.go.jp/announce/hyouka/h22institute/h22gyoumuhoukoku.pdf>

謝辞

本研究を進めるにあたり、懇切丁寧にご指導を賜りました長南幸安教授に謹んで感謝の意を表します。

また、長南研究室の方々の寛大な協力により本研究を進める事ができました。この場をお借りして、皆様に感謝の意を表します。

最後に六年間にわたり、支えてくれた両親に深く感謝いたします。

2012年1月 矢野 慎