

	○演示実験 結果の 考察	○生成物が何かを、「イオン化」の知識 を利用して予想する。 ○生成物の検出方法を検討する。	○微速度撮影した銀樹形成の映像 を提示する。 ○水素イオン濃度と酸性度の関係 や特定の金属イオンについての 検出方法を復習させる。
	○実験計画	☆生成物を確認するための実験操作方 法を班で話し合っ、実験計画を立てて みる。	★銅(Ⅱ)イオン水溶液の色につい てなど、必要に応じて助言し、 円滑な話し合いを促す。
2 時 間 目	○生徒実験	○前時の演示実験と同様の変化を起こ し、実験計画に基づいて確認実験を行 う。(炎色反応で生成した金属イオン を検出したり、酸性度や沈殿反応を利 用してイオンの増減を調べる。)	○提示する検出方法以外の方法を 考えた班があれば、申し出させ て、可能な方法であれば行わせ る。
	○結果の確 認・考察	☆実験結果から論理的に反応のメカニズ ムを説明する。 ○それぞれの変化をイオン反応式で表現 する。	★金属のイオン化・析出を酸化・ 還元で説明することを促す。 ○それぞれの金属や水素で酸化さ れやすさが異なることに気付か せる。
	○協議・ 発表	☆実験の廃液に着目し、その処理や廃液 を減らす工夫を話し合う。班で協議し た後、全体で発表する。 (結論的なものがでなくてもよい。)	★重金属の人体への影響や公害問 題など、適宜話題提供する。 ○できれば、廃液中の物質の再利 用まで話を展開させたい。 ○次に行うマイクロスケールでの 生徒実験方法につなげる。

3 準備(留意点)

- 演示実験は、CCDカメラ(またはデジタルカメラ)とプロジェクターを用いて提示するとよい。(「7 参考」のページを参照。)
- 生徒実験では、生徒が計画した検出方法が実施可能なものであれば試薬や器具を適宜用意する。

■実験プリント例

【演示実験】

[準備]

(1) 試薬類

2mol/L塩酸、カルシウム片、硝酸銀、銅線、寒天

(2) 器具類

試験管(×3)、試験管立て、ピンセット、ビーカー、ガラス棒、三脚、金網、ガスバーナー、ガスマッチ

【生徒実験】

[準備]

(1) 試薬類

カルシウム片、銅片、1mol/L塩酸、 1×10^{-4} mol/L塩酸、0.5mol/L硝酸銀水溶液、
B T B 溶液

(2) 器具類

試験管 (× 5)、試験管立て、ゴム栓、シャーレ、駒込ピペット、ピンセット、
ステンレス網、ガスバーナー、ガスマッチ

4 実験方法（留意点）

- 演示実験では、硝酸銀水溶液に銅線を入れて作った銀樹は観察中の少しの衝撃で崩れてしまうことがあるので、約 1 % の硝酸銀・寒天ゲルに銅線をさし込んだものを使用する。
- 上記の方法の他に、寒天ゲルに銅線をさし込んでから硝酸銀の結晶をゲルの上に乗せてもよい。この場合、2 週間ほど放置すると銀樹がはっきりと観察できる。
- 演示実験においては、プロジェクター、スクリーン、C C D カメラ（または、デジタルカメラ＋ビデオキャプチャー＋P C）を用いるとよい。
- 事前に、硝酸銀・寒天コロイド液内の銅線の変化の様子をデジタルカメラを用いて微速度撮影し、銀樹の成長過程を見せる。（「7 参考」のページを参照。）
- 生徒実験では、塩酸に溶かすカルシウム片が少ないと、B T B 溶液の色の変化を顕著に見ることができない。
- 生徒実験で銀イオンの検出に用いる塩酸は薄いほど違いが分かる。

■実験プリント例

【演示実験】

[方法]

(A)

試験管 A に 1mol/L 塩酸を入れ、さらにカルシウム片を 2 つ入れる。

(B)

- (1) 寒天 1 g に純水 100mL を加え、さらに硝酸銀 1 g を加えて加熱して完全に溶かす。
- (2) (1) の溶液を 2 本の試験管に移し、放冷してゲル状にする。
- (3) (2) の試験管のうちの 1 本（試験管 B）に、銅線をさして放置する。
（もう 1 本（試験管 C）は試験管 B の変化を確認するためのものである。）

【生徒実験】

[方法]

☆他の方法を考えた班は、先生に相談して行うこと！

＊(B)の操作(1)と(2)を最初に行うと効率がよい。

(A)

(1)試験管 A 1 に塩酸を 3mL、別の試験管 A 2 に塩酸を 2mL とる。

(試験管 A 2 の塩酸を基準液とする。)

(2)試験管 A 1 にカルシウム片を入れる。

(3)試験管 A 1 の溶液から発生した気体を上方置換法で試験管 A 3 に集める。反応が終わったら試験管 A 3 にゴム栓をしておく。(試験管 A 1 の溶液を反応液とする。)

(4)ピンセットでステンレス網を基準液に浸し、ガスバーナーの炎であぶり、炎色反応を見る。

(5)ピンセットでステンレス網を反応液に浸し、ガスバーナーの炎であぶり、炎色反応を見る。

(6)試験管 A 3 に着火してみる。

(7)基準液(試験管 A 2)に B T B 溶液を 2～3 滴たらす。

(8)反応液(試験管 A 1)に B T B 溶液を 2～3 滴たらす。

(B)

(1)試験管 B 1 に硝酸銀水溶液を 3mL、別の試験管 B 2 に硝酸銀水溶液を 2mL とる。

(試験管 B 2 の硝酸銀水溶液を基準液とする。)

(2)試験管 B 1 に銅片を入れる。(15分程度放置する。)

(3)試験管 B 1 の溶液から金属片を取り出し、シャーレにのせて観察する。

(試験管 B 1 の溶液を反応液とする。)

(4)基準液と反応液の色の違いを観察する。

(5)ピンセットでステンレス網を基準液に浸し、ガスバーナーの炎であぶり、炎色反応を見る。

(6)ピンセットでステンレス網を反応液に浸し、ガスバーナーの炎であぶり、炎色反応を見る。

(7)基準液(試験管 B 2)に $1 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ 塩酸を 1 滴たらす。

(8)反応液(試験管 B 1)に $1 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ 塩酸を 1 滴たらす。

5 結果・考察等のまとめ(留意点)

- カルシウムを塩酸に入れたときに起こるカルシウムと水との反応にはここでは触れず、金属のイオン化傾向に関する演示実験の中でまとめる。

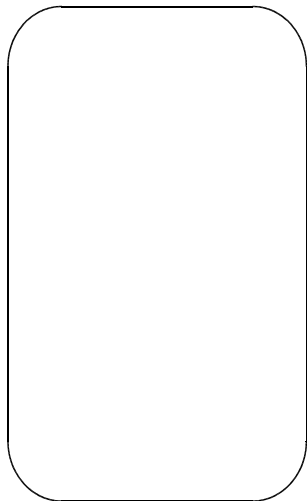
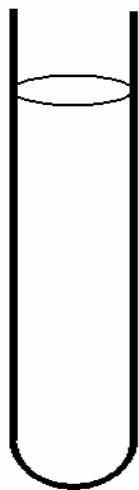
■実験プリント例（ゴシック体は、生徒の記入例）

【演示実験】

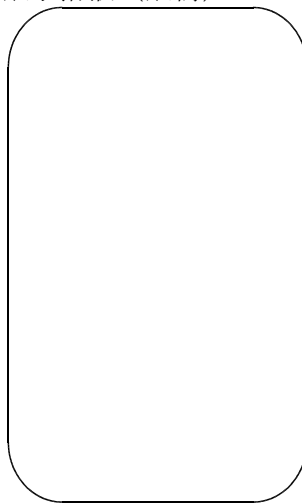
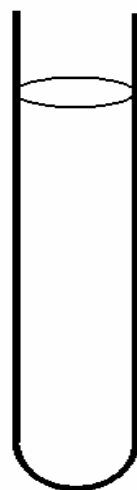
[結果]

* 変化を観察し、試験管をスケッチするとともに、現象をメモしよう。

(A) 金属カルシウムと塩酸

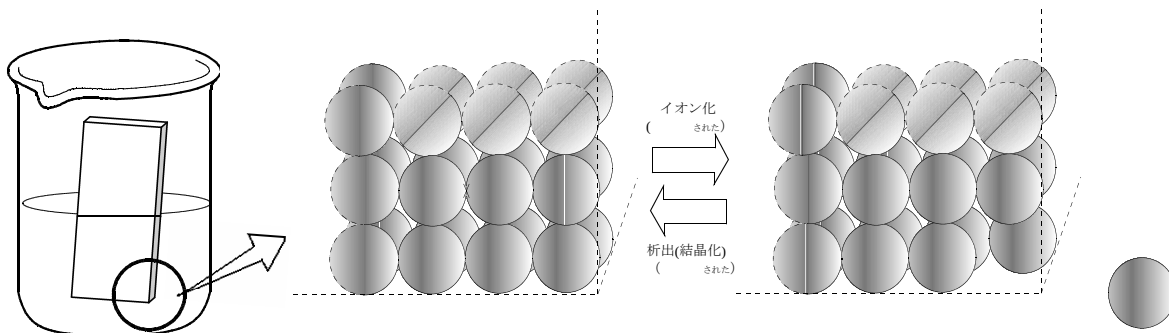


(B) 銅線と硝酸銀水溶液（銀樹）



[復習]

* 金属のイオン化とはどのような現象かを粒子モデルで表現してみよう。



[考察・予想]

(1) 実験(A)では、カルシウムと塩酸（水素イオン）がそれぞれどんな物質に変化したかを予想しよう。

カルシウム：

塩 酸：

(2) 実験(B)では、銅と硝酸銀（銀イオン）がそれぞれどんな物質に変化したかを予想しよう。

銅：

硝 酸 銀：

- (3) (1) と (2) の予想が正しいかどうかを検証するために、反応に関係がありそうな物質やイオン固有の性質や検出方法を思い出したり調べたりして整理しよう。

(A)	金属カルシウム	
	水素イオン	
	カルシウムイオン	
	水素	
(B)	銅	
	銀イオン	
	銅(Ⅱ)イオン	
	銀	

- (4) (3) のどの検出方法を用いたらよいか、そのためにはどのような器具を用意したらよいか、さらにはどのような手順で実験を行ったらよいかなどを、班で話し合ってみよう。

【生徒実験】 <例1> 語句の穴埋めと論述の混在型

[結果]

実験結果をまとめてみよう。

(A)の実験について

塩酸にカルシウム片を入れたところ、()。炎色反応を試したところ、基準液では変化は見られなかったが、反応液の炎は()色を発した。このことから、試験管の中の_(i)()は()に変化したことが確認できた。

一方、発生した気体を試験管に集め、ガスマッチで着火してみたところ、()ので、気体は()と考えられる。また、BTB溶液を加えてみたところ、基準液は黄色なのに対し、反応液は()色だったので、酸性から()性に変化し、()は(減少・増加)したことが確認できた。このことから、試験管の中の_(ii)()は()に変化したことが確認できた。

(B)の実験について

硝酸銀水溶液に銅片を入れたところ、水溶液が()色に変化していった。炎色反応を試したところ、基準液では変化は見られなかったが、反応液の炎は()色を発した。このことから、試験管の中の_(iii)()は()に変化したことが確認できた。

一方、15分経過後、銅片を観察してみたところ、表面に()。また、基準液と反応液に薄い塩酸を加えてみたところ、基準液は()のに対し、反応液は()。このことから、試験管の中の_(iv)()は()に変化したことが推測できた。

[考察]

実験結果を、電子がどのように移動しているかに着目して、説明してみよう。

(A)の実験について

下線部(i)では、カルシウムが()に変化しており、イオン反応式で表現すると、



となる。一方下線部(ii)では、水素イオンが()に変化しており、イオン反応式で表現すると、



となる。以上のことから、この実験では()。この変化をイオン反応式で表現すると、①式と②式を利用して、



となる。そして、カルシウム原子は(酸化・還元)され、水素原子は(酸化・還元)されており、カルシウムと水素では、()の方が酸化されやすく、陽イオンになりやすいと言える。

(B)の実験について

下線部(iii)では、銅が()に変化しており、イオン反応式で表現すると、



となる。一方下線部(iv)では、銀イオンが()に変化しており、イオン反応式で表現すると、



となる。以上のことから、この実験では()。この変化をイオン反応式で表現すると、④式と⑤式を利用して、



となる。そして、銅原子は(酸化・還元)され、銀原子は(酸化・還元)されており、銅と銀では、()の方が酸化されやすく、陽イオンになりやすいと言える。

《以下、＜例2＞の〔考察〕(6)と同様》

【生徒実験】 ＜例2＞完全論述型

[結果]

(A)の操作について

(1)炎色反応

基準液：

反応液：

(2)発生した気体に着火したときの変化

(3)BTB溶液をたらした溶液の色

基準液：

反応液：

(B)の操作について

(1)反応後の金属片の様子(銅片のまわりの様子)

(2)溶液の色

基準液：

反応液：

(3) 炎色反応

基準液：

反応液：

(4) 薄い塩酸をたらしたときの溶液の変化

基準液：

反応液：

[考察]

(A) の結果について

(1) 実験結果(1)～(3)から考えられるカルシウムと水素の変化をそれぞれ説明してみよう。

結果(1)より、反応によってカルシウムイオン (Ca^{2+}) が生成したことが分かった。カルシウム片が溶けてしまったことから、カルシウムの単体 (Ca) がカルシウムイオン (Ca^{2+}) に変化したと考えられる。

また、結果(2)より、反応によって同時に水素 (H_2) が発生したことが分かった。さらに結果(3)より、反応にともなって水素イオン (H^+) の濃度が減少したことが分かったので、水素イオン (H^+) が水素の単体 (H_2) に変化したと考えられる。

(2) (1)の説明を、「電子の授受」と「酸化・還元」に着目して、カルシウムと水素イオンの反応として、さらに深く説明してみよう！

1 mol のカルシウムの単体 (Ca) が、2 mol の電子を放出して 1 mol のカルシウムイオン (Ca^{2+}) に変化した。一方、2 mol の水素イオン (H^+) が 2 mol の電子を受け取って 1 mol の水素の単体 (H_2) に変化した。この反応で、カルシウム原子は酸化され、水素原子は還元された。

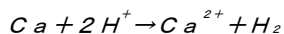
(3) (2)の説明を、カルシウムと水素について、それぞれイオン反応式で表現してみよう。

カルシウム $\text{Ca} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{e}^-$

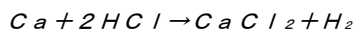
水素 $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$

(4) (3)のイオン反応式を利用して、カルシウムと水素イオンの反応をイオン反応式で表し、さらに、この変化を酸化還元反応式で表してみよう。

2つのイオン反応式を足し合わせると、やり取りをした電子が消去でき、次式が得られる。



さらに両辺に Cl^- を2つずつ加えて整理すると酸化還元反応式が得られる。



(B)の結果について

(1)実験結果(1)～(3)から考えられる銅と銀の変化をそれぞれ説明してみよう。

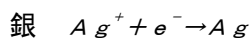
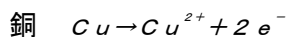
結果(2)及び結果(3)より、反応によって銅(Ⅱ)イオン(Cu^{2+})が生成したと考えられる。銅片が溶けているかは未確認であるが、銅の単体(Cu)が銅(Ⅱ)イオン(Cu^{2+})に変化したと推測できる。

また、結果(1)より、反応によって銀の単体(Ag)が析出したことが推測できる。さらに結果(4)より、反応にともなって銀イオン(Ag^+)の濃度が減少したことが分かったので、銀イオン(Ag^+)が銀の単体(Ag)に変化したと考えられる。

(2)(1)の説明を、「電子の授受」と「酸化・還元」に着目して、銅と銀イオンの反応として、さらに深く説明してみよう！

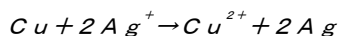
1molの銅の単体(Cu)が、2molの電子を放出して1molの銅(Ⅱ)イオン(Cu^{2+})に変化した。一方、1molの銀イオン(Ag^+)が1molの電子を受け取って1molの銀の単体(Ag)に変化した。この反応で、銅原子は酸化され、銀原子は還元された。

(3)(2)の説明を、銅と銀について、それぞれイオン反応式で表現してみよう。

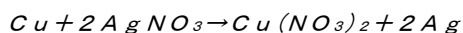


(4)(3)のイオン反応式を利用して、銅と銀イオンの反応をイオン反応式で表し、さらに、この変化を酸化還元反応式で表してみよう。

銀についてのイオン反応式の両辺を2倍して銅についてのイオン反応式と足し合わせると、やり取りをした電子が消去でき、次式が得られる。



さらに両辺に NO_3^- を2つずつ加えると酸化還元反応式が得られる。



(5)以上の結果をまとめて、改めてカルシウムと水素、銅と銀を比較し、酸化されやすさ、イオンへのなりやすさを説明してみよう。

カルシウムは水素よりも電子を放出しやすいので酸化されやすく、陽イオンになりやすい。また、銅は銀よりも電子を放出しやすいので酸化されやすく、陽イオンになりやすい。

(6) 今回の実験で残った(B)の溶液(廃液)は下水に流してはいけない。その理由を考えよう。
また、この廃液の処理や廃液を少なくする対策を話し合ってみよう。

理由 ○金属イオンの水溶液が有毒だから。川や海などの生態系に拡散してしまう。

○下水に流すと、金属が沈殿して下水管が詰まってしまうから。

○下水を処理するのに、余計にお金がかかってしまうから。

○銀や銅を流してしまうのはもったいないから。

対策 ○廃液を回収して再利用する。

○実験で使う量を減らす。

6 授業での留意点、生徒の反応等

(1) 実施して気付いた留意点

【演示実験】

生徒の認識としては「金属の単体がイオン化する」ことは「溶ける」現象であり「電子の移動がある」ことがつながりにくい。また、「溶ける＝無くなった」と考えがちである。そこで、目に見えない現象をイメージしやすいように、モデル図を描く回数を増やし、その際は電子の動きを意識させるように説明していった。

演示実験において、生徒は何もない状態から「考察・予想」の文章中の空欄を埋めたりモデル図を描いたり検証方法を考えることが難しい様子だったので、(B)銀樹の生成反応を例にして少し説明・記述の仕方のヒントを与えた後、(A)カルシウムと塩酸の反応の方を生徒自身で考えるように指示した。

理解力の高い生徒にも、予想の文章については電子の授受は答えられても「変化後の物質は何か」までは答えられない、モデル図については電子の動きは理解できてもそれをどのように表現したらよいのかわからないなどの様子が見られた。

また、後日寒天から取り出した銀(写真1)と部分的に細くなっている銅線(写真2)を見せたところ、銀イオンと銅の変化に対する驚きの反応があり、イオン化の理解も深まった。



写真1

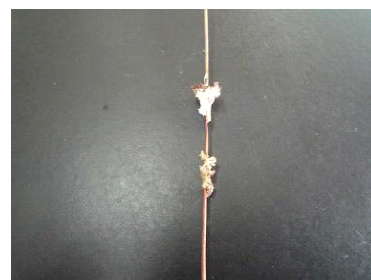


写真2

【生徒実験】

検証実験であるので、反応前と反応後の変化を確実に比べられるように実験手順を考えた。

反応前後を並べて観察することができるよう、溶液を2本の試験管に取り分けた。見比べることで正確に結果を確認することができたが、操作手順が多くなったことで時間に余裕が無くなってしまった。時間配分に注意が必要である。

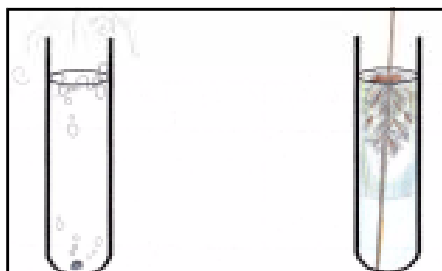
炎色反応をより見えやすくするために目の細かいステンレス網を使用した。網目に溶液をしっ

かりとつけることができるので、炎色が長時間はっきりと確認できて大変効果的だった。安価であることも魅力である。しかし、網に炎色反応を調べたイオンが残りやすいので、ステンレス網は使い回さないほうがよい。

B T B 溶液で水素イオン量の変化を見たところ、カルシウムの量が少ないと反応後の溶液は青く変化しないことがあるので、使用するカルシウムの量をあらかじめ示しておく必要がある。

色が変わる、音が発生するなど、はっきりとした変化が見られたので、生徒は活発に実験へ取り組んでいた。結果の部分も、生徒自身の言葉で埋めることができていた。しかし、「以上のことから、この実験では（ ）」の（ ）に入る文を考えて書くのは難しかったようで、自力で記述できた生徒は少なかった。

(2) 授業の様子



生徒が描いたスケッチ



生徒実験風景

7 参 考

○ 「ビデオキャプチャー」の利用について

(1) ビデオキャプチャーとは

ビデオキャプチャーは、8mmビデオやV H S ビデオテープの映像をP Cに取りこみ、D V D-Video化するツールとして市販されているツールである。(写真1)

販売価格はメーカーによって多少の幅はあるが、3,000円から5,000円程度であり、必要なO Sは、一般にWindows XP以降である。また、一般の家電量販店が扱っている商品では、付属品としてビデオキャプチャーのドライバーの他にD V D作成ソフトもついてくる。

(2) ビデオキャプチャーの一般的な使用目的

A Vケーブル（コンポジットケーブル）を通して送られる情報をビデオキャプチャーによりデジタル化し、U S Bケーブルを介し、専用のドライバーを通してデータをP Cに取り込んで処理するとい



写真1 ビデオキャプチャー

うものである。
これまで撮影した8mmビデオテープや録画したV H S ビデオテープに記録された映像をP Cに取り込み、D V D等のデジタル媒体に記録し直せることを特長としている。

(3) 「ビデオキャプチャー+デジタルカメラ」でできること

ビデオキャプチャーに付属しているソフトを用いると、デジタルスチルカメラやデジタルムービーのファインダーに投影されている画像を、そのままP Cのディスプレイに投影できる。(勿論、A Vケーブルを用いてプロジェクターに接続すれば投影はできるが。)そして、必要に応じて、投影している映像を動画としてコンピュータに保存でき、様々な加工がし易いという利点がある。そして得られた動画を簡単にDVDに焼き付けることができ、プロジェクターだけでなく、テレビモニターなどにも映像を投影できる。

HDMI端子を備えたデジタルカメラでは、映像データを直接P Cに取り込めるが、比較的低価格のデジタルスチルカメラや一世代前のデジタルムービーや8mmビデオカメラ等ではHDMI端子を備えていないものが多い。そのような機器でも、A Vケーブルを通してP Cに直接画像データを送り込めるので、手元にあるデジタルカメラや8mmビデオカメラを有効に利用することができる。さらに、現在はまだ一部であるが、携帯電話機種の中にもA V出力できるものも販売されており、これらの機種のカメラを利用することもできる。

(4) 微速度撮影とフリーソフト「SlowCAM」について

フリーソフト「SlowCAM」は、一般のデジタルカメラとP Cを使用して微速度撮影をするためのツールであり、栃木県総合教育センターの様々な研修の中でも紹介されているので、既に広く知られていると思われる。

「微速度撮影」とは、被写体の動きを実際よりも速く見せるための撮影方法であり、一定間隔の時間 Δt_1 秒で被写体の像を記録し、それらを短い間隔の時間 Δt_2 秒($< \Delta t_1$)で連続再生する手法である。「SlowCAM」においては、撮影間隔 Δt_1 は「撮影速度」とよばれ、また再生間隔の代わりに「フレームレート」 N_2 ヘルツ

($=1/\Delta t_2$)を設定することになる。その結果、 $\Delta t_1/\Delta t_2 = \Delta t_1 \cdot N_2$ 倍速の動画が得られる。今回の寒天コロイド中の銀樹の生成のように、長時間で徐々に変化する現象を撮影して(写真2)、短時間で再生・演示するのに大変適している。

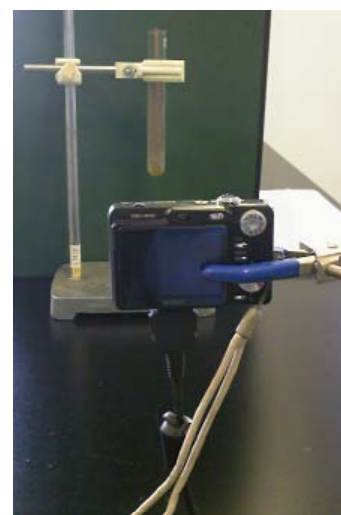


写真2 デジタルスチルカメラを使用した微速度撮影

(5) 「ビデオキャプチャー+デジタルカメラ+フリーソフト「SlowCAM」」でできること

上記の(3)と(4)より、手元にある古いデジタルカメラや8mmビデオカメラを用いて微速度撮影ができる。そのとき、P CのHDの容量さえ確保されれば長時間の撮影が可能であり、カメラの記録媒体は特に必要がないという特長をもつ。

(6) 微速度撮影の手順

- ①デジタルカメラを接続したビデオキャプチャーをP Cに接続する。
- ②ビデオキャプチャー付属のソフトを立ち上げ、ビデオキャプチャーのドライバーをP Cに認識させる。
- ③「SlowCAM」を立ち上げ、ビデオソースを、接続しているビデオキャプチャーのドライバーに設定する。(図1)
- ④デジタルカメラの電源をONにする。

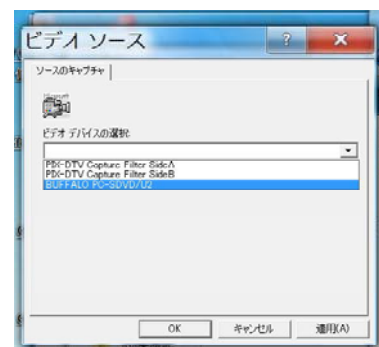


図1

＊通常なら、「SlowCAM」ウィンドウ上に、カメラのファインダーに投影された像と同じ像が現れる。

④撮影速度とフレームレートを設定する。(図2)

⑤保存先・ファイル名を設定する。

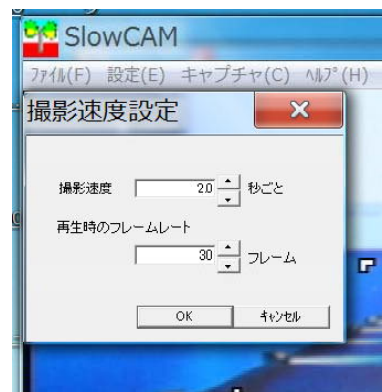
⑥「キャプチャー開始」をクリックすると、撮影が開始される。

＊カメラとPCが双方向で通信するので、カメラの電源が自動的にOFFになることはない。

＊AVI形式のファイルが一定時間間隔で保存・更新され続ける。

⑦「キャプチャー終了」をクリックすると撮影が終了する。

⑧保存されているファイルを開き、必要に応じて編集・加工する。 図2



(7) 補足

もともと「SlowCAM」の動作環境OSはWindows 2000とMeである。Windows XPでもほとんど問題なく使用できるが、Windows Vistaとの相性がXPに比べるとあまり良くない。条件によっては「SlowCAM」の画面上で撮影している映像が表示されない場合もある。それでも、ハードディスクにはデータがきちんと保存されている。

また、Webカメラの機能をもつビデオカメラ等があれば、フリーソフト「LiveCapture2」を使用しての微速度撮影も可能であり、このソフトはWindows XPに確実に対応している。詳しくは、岩手県立総合教育センターのホームページを参考にしていきたい。

8 参考文献等

○ 谷川直也 化学と教育, 45, 539 (1997)

○ SlowCAMダウンロードページ

<http://www.vector.co.jp/soft/dl/win95/hardware/se166448.html>

○ 岩手県立総合教育センターホームページ・情報教育ウェブ「微速度撮影の方法」

http://www1.iwate-ed.jp/tantou/joho/it_use/bisokudo/index.html