

中学校理科における電気分解教材に関する研究

—生徒の実態調査を踏まえた総合的理科教材研究の試み—

理科教育研究室 杉本良一
植田陽子*

Study on teaching material of electrolysis at lower secondary science

—Comprehensive study on the basis of the survey of student's misconception—

Ryoichi SUGIMOTO, Yoko UETA

はじめに

最近の理科教育学研究は、従来の自然科学重視やカリキュラム重視の理科の立場から、オズボーンら（1988）の構成主義的理科学習論に端を発した理科の認知論的アプローチによる一連の研究が中心になりつつある。我国では森本ら（1988）の中学生の粒子概念の習得に関する基礎的研究や、福岡ら（1989）による概念地図法による実証的研究にみられるように、学習者の既存の概念やフレームワークを重視し、子供の実態を把握する研究方法が注目されている。構成主義的学習論や認知科学の成果が取り入れられ、子供の立場に立った指導法やカリキュラムの改善などが提案されつつある。しかしながら、児童・生徒のミスコンセプションや既存の概念などの実態調査に重点がおかれ、これに基づく具体的な日常の理科授業に役立つ教材研究はあまりなされていないのが現状である。また、近年、理科教育における環境教育が重視され、酸性雨やオゾン層の破壊など、要因が複雑な現象を取り上げることが多くなっており、マクロな環境問題の要因などを指導するためには、分子やイオンなどのミクロな粒子概念が生徒に十分形成されていなければならないと考える。

本研究では中学校理科の化学変化とイオンにおける電気分解に関する単元を取り上げ、子どもの粒子概念の習得状況を把握するため、オズボーンらの調査などを参考にし、生徒の実態から、具体的な教具開発までの総合的な理科教材研究を試みた。

中学校理科の目標(5)化学変化とイオンにおける「電気分解とイオン」には、「電気分解の実験を行い、電極に物質が生成することを見い出すとともに、この実験結果からイオンの存在を知ること」と述べている。中学校では電気分解での両極の生成物質の観察から、電解質の水溶液中のモデルを考えることによってイオンの存在を理解させることを目的としている。さらに高等学校では電気分

Department of Science Education, Faculty of Education, Tottori University, Tottori, 680

*鳥取県郡家町立中央中学校（非常勤）

解を電子の授受に関係する酸化還元反応の一例として扱い、ファラデーの法則にも触れるようになっている。このように、電気分解の内容は物質の粒子概念を学習する上で基礎的であり重要な内容である。

研究の方法としては、生徒の実態調査の後、今までの教科書に取り上げられた電気分解教材を調査し、その内容、特に実験方法、安全への配慮等を比較考察した。

次に、大部分の教科書で採用されている塩化銅水溶液の電気分解実験の問題点として、塩素ガスの発生による生徒の健康面への影響があげられ、また、塩化銅水溶液が青色であるため、生成する銅の付着の様子が分かりにくいことなどがあげられる。この教材が持つこれらの問題点について実験を行って検討し、電極に物質が生成することを視覚的に確認しやすくかつ安全に生徒実験できる教具を開発した。

I 電流および粒子概念に関する生徒の実態調査

電気分解教材は、電流の流れる向きや強さ及び物質の粒子性の2つの概念が組み合わされており、事前に複雑な概念の習得を必要としているため、中学生にとってつまずきやすい単元であると考えられる。電流については小学校中・高学年と中学校2年で、物質の粒子性については中学校2年で学習することになっている。オズボーンら(1988, p.23)は、“沸騰水中の大きな泡についての認識調査”と“電流についての認識調査”を報告している。それによると、沸騰水中の大きな泡を水蒸気と答えたのは、中学生では約10%、物理履修中の高校生でも30~40%であった。また、電流の流れる強さは一定で、向きは+極から一極であると答えたのは、中学生で30~40%、物理履修中の高校生では約60%であった。この結果から、電流及び物質の粒子性の概念が十分定着していないことが分かる。

1 実態調査の方法

電流の流れる向きと強さ及び電気分解装置についての理解、塩化銅水溶液の電気分解での電極棒の質量変化や水溶液の色の変化についての理解、さらにイオンと原子の関係についての理解度を調べるため、中学校1年生から3年生までに質問紙法で調査を行った。

調査内容は資料No.1, No.2に示す。調査用紙No.1はオズボーンらの調査問題の一部を使用し、中学校1年生から3年生までを、No.2は三宅征夫(1988)の調査問題の一部を使用した。また、No.2は3年生のみを対象とした。

(1)調査対象者

調査は表1に示す鳥取大学教育学部附属中学校の生徒1年生から3年生までの453名を対象とした。

表1 調査対象者数

	中学校1年生	中学校2年生	中学校3年生	合計
男子	86	81	75	242
女子	69	68	74	211
合計	155	149	149	453

(2)調査時期

調査は平成4年5月下旬から6月上旬にかけて附属中学校理科教官に依頼して行った。

(3)調査時期の各学年の進度

調査を行った時期での各学年の授業の進度及びそれまでに学習した単元を表2に示す。

表2 調査時期における各学年の授業の進度

学 年	調査時期までに学習した内容 (第1分野について)
第1学年	第1分野に関してはまだ学習していなかった。
第2学年	物質とその変化, 物質の量, 力と圧力, 物質と原子
第3学年	物質とその変化, 物質の量, 力と圧力, 物質と原子熱と電流, 水溶液とイオン

2 調査結果と考察

調査No.1の全体集計及び学年集計の結果を表3に示す。調査No.2の結果は表5に示す。

ア 調査問題No.1の結果

調査No.1では, 電流の保存性(設問I, II), 物質の粒子性(設問III, VI), 日常生活の応用(設問IV, VII), 電解質と電流(設問V)などの理解について聞いた。

(1)電流の保存性の理解

調査No.1の設問Iで閉回路の電流の流れについて「電流の流れる向きが+から一極である」ことが理解できているかを調べた。選択肢の(3), (4)を選んだ生徒の合計が85.8%であることから, 流れる向きは理解していると思われる。しかし, 「回路の中の電流の強さは直列ならどこでも等しい」ことは, 設問Iで向きを正しく答えた生徒の内27.2%が誤った選択をしていた。誤答として「電流の流れは帰りの導線では少なくなっている」と答えている。「電流は消耗される」という素朴概念をもっていることが分かる。さらに設問IIにおいて(c)の選択者が23.1%ということから電流の量について正しい理解をしていないことが分かる。これは生徒が回路の中を流れる電流は同じであるとは考えないで, 豆電球が光るために電流を多く使うので帰りの導線で少なくなったと考えたためと思われる。このようなミスコンセプションを修正するには, 中学校2年で電流について学習するとき, 実際に電流計を用いて回路の中の数か所を測定して確かめさせることが必要である。また, 同じ電流の流れでも, 設問IVで51.2%しか「バッテリーだけでは閉回路にならない」ということが分かっていなかった。設問Vになると「電流は流れている」と記載してあるにも関わらず, 全体で35.1%しか正答できなかった。

No.1の設問I及びIIの結果をクロス集計したものを表4に示す。これによると, 下学年より上学年の方が(4)及び(e)を選び, 正答率が高くなっていることが分かる。特に2年で回路について学習していた3年生は, 72.5%が正しく答えていた。

しかし, 設問IVでは, どの学年でも43~56%の生徒しか答えられていないことから, 回路について理解しても, 実生活での応用ができていないものと思われる。

表3 実態調査の全体集計及び学年別集計の結果(No.1) *は正答を示す。

問題番号	回答番号	第1学年		第2学年		第3学年		全体集計	
		人数	比(%)	人数	比(%)	人数	比(%)	人数	比(%)
(I)	(1)	3	1.9	0	0.0	0	0.0	3	0.7
	(2)	15	9.6	17	11.5	3	2.0	35	7.7
	(3)	50	32.1	41	27.7	15	10.1	106	23.3
	(4)*	77	49.4	82	55.4	124	83.2	283	62.5
	(1)(3)	2	1.3	1	0.7	0	0.0	3	0.7
	(1)(4)	3	1.9	1	0.7	0	0.0	4	0.9
	(2)(3)	2	1.3	1	0.7	0	0.0	3	0.7
	(2)(4)	3	1.9	2	1.4	2	1.3	7	1.5
	(3)(4)	1	0.6	0	0.0	0	0.0	1	0.2
	無答	0	0.0	3	2.0	5	3.4	8	1.8
(II)	(a)	3	1.9	4	2.7	1	0.7	8	1.9
	(b)	1	0.6	2	1.4	1	0.7	4	0.9
	(c)	64	41.0	19	12.8	21	14.1	104	23.1
	(d)	6	3.8	4	2.7	4	2.7	14	3.2
	(e)*	79	50.0	118	79.7	118	79.2	315	69.7
	無答	0	0.0	1	0.7	4	2.7	5	1.2
(III)	(a)	55	35.3	30	20.3	30	20.1	105	25.3
	(b)*	88	56.4	108	73.0	102	68.5	298	65.8
	(c)	1	0.6	1	0.7	1	0.7	3	0.7
	(d)	11	7.1	7	4.7	11	7.4	29	6.4
	(a)(b)	0	0.0	0	0.0	1	0.7	1	0.2
	(a)(c)	0	0.0	0	0.0	1	0.7	1	0.2
	(b)(d)	1	0.6	0	0.0	0	0.0	1	0.2
	無答	0	0.0	2	1.4	3	2.0	5	1.2
	(IV)	(a)	34	21.8	53	35.3	20	13.4	107
(b)*		84	53.8	64	43.2	84	56.4	232	51.2
(c)		38	24.4	30	20.2	41	27.5	109	24.1
(b)(c)		0	0.0	0	0.0	1	0.7	1	0.2
無答		0	0.0	1	0.7	3	2.0	4	0.8
(V)	(a)	53	34.0	86	58.1	117	78.5	256	56.5
	(b)*	87	55.8	53	35.8	19	12.8	159	35.1
	(c)	15	9.6	7	4.7	8	5.4	30	6.6
	無答	1	0.6	2	1.4	5	3.4	8	1.8
(VI)	(a)	20	12.8	5	3.4	10	6.7	35	7.7
	(b)	37	23.7	16	10.8	6	4.0	59	13.0
	(c)*	27	17.3	96	64.9	90	60.4	213	47.0
	(d)	39	25.0	5	3.4	6	4.0	50	11.1
	無答	33	21.2	26	17.6	37	24.8	96	21.2
(VII) - 1	(a)	68	43.6	67	42.7	15	10.1	150	32.5
	(b)*	57	36.5	51	32.5	117	78.5	225	48.7
	(c)	31	19.9	27	17.2	9	6.0	67	14.5
	無答	0	0.0	12	7.6	8	5.4	20	4.3
(VIII) - 2	(a)*	82	52.5	100	63.7	122	81.9	304	65.8
	(b)	42	26.9	24	15.3	7	4.7	73	15.8
	(c)	31	19.9	22	14.0	13	8.7	66	14.3
	無答	1	0.6	11	7.0	7	4.7	19	4.1

表 4 電流の流れる向きと強さに関する実態調査の結果
(No.1の(1)(II)のクロス集計)

(I)(II)	第 1 学年		第 2 学年		第 3 学年	
	人 数	比(%)	人 数	比(%)	人 数	比(%)
(1)(a)	0	0.0	3	2.0	5	3.4
(1)(c)	1	0.6	0	0.0	0	0.0
(1)(e)	2	1.3	0	0.0	0	0.0
(2)(a)	0	0.0	1	0.7	0	0.0
(2)(b)	0	0.0	1	0.7	0	0.0
(2)(c)	7	4.5	4	2.7	1	0.7
(2)(d)	1	0.6	0	0.0	1	0.7
(2)(e)	7	4.5	11	7.4	1	0.7
(3)(a)	2	1.3	2	1.4	0	0.0
(3)(c)	23	14.7	9	6.1	7	4.7
(3)(d)	3	1.9	1	0.7	2	1.3
(3)(e)	20	12.8	29	19.6	6	4.0
(4)(a)	1	0.6	0	0.0	2	1.3
(4)(b)	1	0.6	0	0.0	1	0.7
(4)(c)	30	19.2	6	4.1	12	8.1
(4)(d)	1	0.6	3	2.0	1	0.7
(4)(e)	44	28.2	73	49.3	108	72.5
無 答	13	8.3	5	3.4	2	1.3

(2)物質の粒子性の理解

物質の粒子性について全体的にみると、設問IIIで65.8%、設問VIでは47.0%しか正答できていなかった。「水は粒子ではない」(a)を選択)と考えている生徒は7.7%であったが、水分子と何か他の物からできていると考えたり、水分子と水からできていると考えている生徒が全体の24.1%あった。

学年別にみると、2、3年生は物質と原子の単元で水が沸騰すると水蒸気が出ることを学習していたので、正答率は73.0%と他の学年に比べて高かった。検定結果は、1—2年生間で有意差はあるが、2—3年生間では見られない。(1—2年 $F=1.530, P<0.05^{**}$, 2—3年, $F=0.208, P>0.05$)。

しかしいずれの学年も2割以上の生徒が(a)「空気」と答えていた。これは、実生活の中で身近にみられる気体が空気であり、既存の概念として水の中には空気が入っていると考えたり、小学校以来の空気の実験などで水中から泡を出す実験などの経験から、沸騰すると空気の泡が発生すると考えているなど日常知が原因と思われる。

純粋の水の粒子性を聞いたNo.1のVIより「物質と原子」の単元の中で物質の三態について学習したばかりの2年生が64.9%、電気分解について学習した後の3年生においても60.4%の正答率だった。この設問では無回答者が多かったが、生徒が調査用紙に示した選択肢以外にどの様な純粋な水への概念を持っているかは本調査で明らかにできなかった。

(3)電解質と電流についての理解について

電解質と電流についての理解については、表3において設問Vで(a)を選んでいる生徒が学年進行に従い多くなっていた。これは特に3年生が電解質・非電解質について学習しているためである。2年生でも58.1%が(a)を選んでいて、しかし、2年生は電解質・非電解質について学習していないにも関わらず、このような結果が得られたのは興味深い。正答の(b)を選択した1年生が55.8%と2、3年生に比べて多かった理由はこの調査だけでは明らかではないが、理科学習することにより、かえって誤った概念を習得したことになり、正しい概念が形成されていないことが分かる。特に3年生が78.5%も誤っているのは興味深い。このことは、電流の概念について閉回路上のどの部分でも同じ電流が流れているということが、未だ十分理解できていないことを示しており、電気分解の単元の指導の困難さを示していると考えられる。

設問VIIにおいて1・2年生は電解質・非電解質について学習していないため、砂糖水と食塩水を同質のものと考え、区別されてないのが特徴的であった。3年生になると8割の生徒が正しく答えられていた。これは、水溶液とイオンの単元において、水に溶ける物質は電解質と非電解質に分かれることの学習によるところが大きいと考えられる。

イ 調査問題No.2の結果

調査No.2の結果を表5に示す。設問1では学習した結果について、設問IIでは電気分解装置について、設問IIIでは原子とイオンの関係の理解度をそれぞれ調べた。

(1)塩化銅水溶液の電気分解の理解

表5より設問Iの(ア)において+極の正答率は61.1%、-極の正答率は57.7%であった。

両極の正解者をクロス集計で集計し、表6に示した。その結果、両電極棒の質量変化は46.3%しか正しく答えていなかった。これより、電極と生成物が関連付けて学習されていないことがうかがえる。誤答としては、(ア)及び(f)すなわち、+極に銅が-極に塩素が生成すると、質量変化を逆向きに

表5 調査用紙No.2の集計の結果(3年生のみ) *は正答を示す。

問題番号	回答番号	人数	比(%)	問題番号	回答番号	人数	比(%)	全国調査	
(I)	(a)	44	29.5	(II)	1	6	4.0	9.3	
	(ア)	12	8.1		2	64	43.0	30.7	
	+極	(c) *	91		61.1	3	25	16.8	29.9
		無 答	2		1.3	4	0	0.0	13.4
					5 *	15	10.1	14.1	
(I)	(d) *	86	57.7	無 答	39	26.2	2.5		
(ア)	(e)	21	14.1	(III)	1. 失って	97	65.1		
-極	(f)	41	27.5		(a)	その他	52		34.9
	無 答	1	0.7	(III)	1. 得て	123	82.6		
(I)	青→透明	62	41.6	(b)	その他	26	17.4		
(イ)	青→水色	47	31.6	(III)	2. 失って	131	87.9		
	水色→無	21	14.1		(c)	その他	18		12.1
	その他	10	6.7						
	無 答	9	6.0						

記していた生徒が多かった。つまり、電流の流れる向きと電子の流れは逆であることが、2年で学習したとき、定着していなかったものと思われる。水溶液の色の変化に関しては、8割以上が正解していた。

(2)原子とイオンの関係の理解

No.2 設問Ⅲでは「イオンは原子と電子でできている」ことについての理解度を調べた。銅イオンと塩素イオンと電子の関係は8割以上正答できていた。これよりイオンと電子の関係をとらえることができていた。しかし、設問Ⅰにおいて両極の生成物を正しく理解できていない、つまり、イオンが引かれていく極を正しく答えられないということは、これら2つを関連付けて学習できていないことを示している。

(3)電気分解装置についての理解

設問Ⅱで(1)や(4)を選んでいる生徒がほとんどいないことから、閉回路でなければ電流が流れないことはほぼ理解していると考えられる。しかし、(2)、(3)では電気分解によって気体が生成するときガラス管が爆発してしまう危険があることが予想できていない。正答の(5)を選択したものが10.1%と少なかった。すなわち、実験の実際的な知識や技能が身についていないために、正答率が低かったものと思われる。国立教育研究所の昭和62年の全国調査(三宅他, 1988)の正答率は中学校2年計1592人で行われ、14.1%(男子18.0%女子11.0%)である。これは、電気分解学習前のものであるため、低いのは当然と考えられる。しかし、本調査においても学習後の定着率が低いことは注目し値するものである。また、(2)を選択したものが43.0%と多かったが、水の電解装置などを念頭におくために誤って選択されたものであろう。また、全国平均でも30.7%と一番多かった。すなわち、学習したことによりかえって誤概念に導いた可能性を示唆している。

(No.2の(1)(ア)のクロス集計)

(I)(ア) +極-極	第 3 学 年	
	人 数	比(%)
(a)(d)	5	3.3
(a)(e)	13	8.7
(a)(f)	26	17.4
(b)(e)	12	8.0
(c)(d)	69	46.3
(c)(e)	6	4.9
(c)(f)	15	10.1
無 答	2	1.3

ウ 生徒の実態調査からみた教材に対する必要条件

以上の調査結果より、電気分解の単元において、生徒が理解しやすい教材を開発したり、指導方法を改善するときには、以下の4点を考慮しなければならないと考える。

まず、生徒が事前に習得していなければならない内容として、

- ①電流の流れは+極から一極であり、電子の流れはその逆であることを再確認させること
 ②イオンの極性と引かれる電極は異符号であるという基礎的概念を定着させること

次に、実験の工夫として、

- ③極と生成物とを混同しないように両極で生成する物質は明確で観察しやすいこと
 ④一人一人が直接観察でき、個別化がはかれること

これらの結果に基づいて教材を開発することにより、物質の粒子概念、とりわけ電気分解に関連した事項を生徒に分かりやすく指導することができると思われる。

II 教科書における電気分解教材の変遷と比較

1 教科書分析の方法

中学校学習指導要領は現在までにと5回改訂されてきている。昭和33年以後の教科書(検定年度、昭和43年、昭和46年、昭和50年、昭和53年、昭和55年、平成元年、平成4年)の7種類について啓林館、教育出版、大日本図書、東京書籍、学校図書の5社の教科書発行会社のものを用いた。電気分解教材及び実験法を一覧表にして比較した。実験法のなかでは特に両極の発生物質の調べ方に注目した。

2 教科書分析の結果と考察

表7に教科書の発行年と電気分解に用いられる物質の化学式を、表8にそれぞれ各教科書会社の教材の変遷及び観察方法の違いについてまとめたものを載せた。

表7より、未調査のものもあるが、昭和53年以後の教材は徐々に塩化銅水溶液に移行されている

表7 教科書における電気分解に使用される物質名の変遷

発行年	啓林館	教育出版	大日本図書	東京書籍	学校図書
昭和43年(1968)	NaCl(飽和)	NaCl	HCl	-----	NaCl(20%)
昭和46年(1971)	HCl(5%)	CuCl ₂ HCl ZnCl ₂	PbCl ₂	CuCl ₂	HCl CuCl ₂
昭和50年(1975)	CuCl ₂	CuCl ₂ HCl ZnCl ₂	PbCl ₂	CuCl ₂	希HCl
昭和53年(1978)	CuCl ₂ (1%)	HCl CuCl ₂	CuCl ₂	-----	-----
昭和55年(1980)	CuCl ₂ (1%)	CuCl ₂ (10%)	NaCl CuCl ₂	CuCl ₂ FeCl ₂	-----
平成元年(1989)	CuCl ₂ (1%)	CuCl ₂ (10%)	CuCl ₂ (10%)	CuCl ₂ FeCl ₂	CuCl ₂
平成4年(1992)	CuCl ₂ (1%)	CuCl ₂	HCl(9%)	CuCl ₂ (10%)	HCl

表8 教科書における電気分解教材の変遷

		水溶液(濃度%)	出版社名	電源	一極物質の調べ方	＋極物質の調べ方	換気に対する注意の有無, においの調べ方	備考
昭和33年学習指導要領	昭和43年検定済	食塩水	教育出版	—	アルコールランプを近づける フェノールフタイン液を滴下	書インキの脱色, におい	—	
		食塩水(20%)	学校図書	—	マッチを近づける フェノールフタイン液を滴下	リトマス紙の変色, におい	—	
		希塩酸	大日本図書	乾電池3ヶ	電極付近の水溶液の色とにおい		—	
		食塩水(飽和)	啓林館	—	マッチを近づける フェノールフタイン液を滴下	におい	—	+極…炭素棒 -極…水銀
昭和43年学習指導要領	昭和46年検定済	塩酸 塩化第二銅 塩化亜鉛	教育出版	—	気体が可燃性かどうか 炭素棒表面の物質が塩酸, 硝酸に対する反応	におい ヨウカカリウムデンプン紙の色の变化	—	3物質の比較
		希塩酸 塩化第二銅	学校図書	—	マッチを近づける 析出物の色 濃硝酸との反応	水溶液の色, におい	—	濃硝酸の扱いの注意, 二酸化窒素の危険性
		塩化鉛(飽和の1/2)	大日本図書	—	蒸発皿にいれて加熱して様子を見る	水溶液の色, におい	—	
		塩素(5%)	啓林館	—	マッチを近づける	におい, インキの色の变化	—	
		塩化銅(10%)	東京書籍	—	電極棒の表面の変化 水溶液のにおい, 色		—	実験の後始末に対する注意
昭和55年検定済	昭和52年学習指導要領	塩化銅(10%)	教育出版	—	析出物の色	におい, インキの色の变化	手であおいでかぐ(図)	
		食塩水 塩化銅	大日本図書	図より0.1Aと0.2A	電極付近の様子の変化		手であおいでかぐ(図) 手であおいでかぐ(図)	ステンレススチールの電極
		塩化銅(1%)	啓林館	3V	電極表面の様子		スポイトで水溶液をとり においをかぐ(文章)	
		塩化銅(10%) 塩化鉄(20%)	東京書籍	3~6V	電極付近の水溶液のにおい, 電極の様子を観察		換気に十分気をつけ, 深く吸い込まず手であおいでかぐ程度(文章)	
		塩化銅(10%)	教育出版	—	両極付近の水溶液及び塩化銅水溶液を 試験管にとり, におい, 色の比較 表面の析出物を取り出し試験管の底でこする		電極付近の水溶液のにおいの観察	スポイトで水溶液をとり 手であおいでにおいをかぐ(図と文章)
平成元年検定済	昭和52年学習指導要領	塩化銅(10%)	学校図書	3~6V	炭素棒を試験管の底でこする	気体が発生したらにおいを調べる	手であおいでかぐ(図)	
		塩化銅(10%)	大日本図書	—	両電極の変化, においの観察及び電極棒の表面にできた物質を取り出し試験管の底でこする		手であおいでかぐ(図)	塩化銅の合成において換気の良いところで実験を行い塩素を吸わないように注意
		塩化銅(1%)	啓林館	乾電池2ヶ	電極の色	電極付近の水溶液のにおい, インキの色の变化	—	
		塩化銅(10%) 塩化鉄(10%)	東京書籍	6V	電極の変化の観察, におい におい 析出物の色		換気に十分気をつけ, 深く吸い込まないようにする(文章) 手であおいでかぐ(図)	電極に鉛筆の芯を使用
		塩化銅	教育出版	—	電極棒, 電極付近の変化の観察 におい, 色をもとの塩化銅水溶液と比較 析出物の色		手であおいでにおいをかぐ(図と文章)	
平成元年度学習指導要領	平成4年検定済	塩酸(約9%)	大日本図書	—	電極の変化の観察 マッチを近づける	水性ペンで色をつけたら紙の色の变化	換気に十分気をつける 塩素は有毒なので強く吸わない(文章) 手であおいでかぐ(図)	他の例として塩化銅水溶液の電気分解を写真で記載
		塩酸(10%)	学校図書	0.5A	気体に点火する	気体のにおいをかぐ	手であおいでかぐ(図)	H型電解装置使用
		塩化銅(1%)	啓林館	—	炭素棒について物質の色	におい, インキの色の变化	スポイトで水溶液を取り においをかぐ(文章) 実験中は換気に十分注意する(文章)	
		塩化銅(10%)	東京書籍	6V	電極の変化, におい 付着物をろ紙の上に落とし試験管でこする		換気に十分注意して, 深く吸い込まないようにする(文章) 手であおいでかぐ(図)	

ことが分かる。この原因の一つとして考えられることは指導書の内容があげられる。昭和33年度改訂の指導要領によると、「塩化ナトリウムの電気分解によってできる物質を調べること」となっている。昭和43年、昭和52年、平成元年改訂の指導要領には特に記載はない。しかし、昭和45年中学校指導書では、実験例として塩化銅及び塩酸を挙げている。また、昭和52年指導要領の展開には、「素材としては塩酸、塩化銅水溶液の電気分解が挙げられる」とあった。平成4年版の教科書になり、塩酸が2社で扱われているのは、平成元年版中学校理科指導書において「実験に用いる電解質は・・・イオンの記号については1価のイオンを扱う程度にとどめる」と記載があることを意識したものと考えられる。別の原因としては、学校現場でのニーズによると思われるもので、塩化銅の実験が、安全で確実であり、薬品が安価で、実験器具や材料が容易に手に入り、鮮やかな実験ができ、生徒にとって効果的であったことによるものと考えられる。

次に安全については、表8に示すように、昭和55年の教科書までは+極に生成する物質が塩素にも関わらず、換気に対する注意や臭いの嗅ぎ方の記載がなかった。そのほか塩化銅水溶液の電気分解に関して、一極は炭素棒の色の変化を、+極は臭いや脱色反応によって生成物を調べるのはどの教科書もほぼ同様であった。

III 電気分解教材の実験による検討

次に、実際の実験を行い、塩化銅水溶液の電気分解に関する実験を定性的、定量的、さらに安全性などの観点から、その教材性を再検討した。

1 塩化銅水溶液の濃度及び塩素ガスの安全性の検討

ア 炭素棒を用いた実験

教科書に述べられているピーカーと市販の炭素棒を用いる実験方法について、その濃度と塩素ガスの濃度を検討した。

(1)塩化銅水溶液の濃度

塩化銅(6水和物、試薬一級)12.68gを蒸留水に溶かし、全量を100mlにした10%塩化銅水溶液と、塩化銅1.268gを溶かし、全量を100mlにした1%塩化銅水溶液を80mAで電気分解した。その際、水溶液の色及び一電極棒への銅の付着の見えやすさの程度を濃度の違いで比較するために10分毎に50分間観察した。その結果、いずれも銅の付着が観察できるが、1%濃度の方が優れているように思われた。

(2)塩素ガスの安全性と適切な電流値の検討

塩化銅水溶液の電気分解では、一極に銅、+極に塩素が発生する。塩素は常温で黄緑色を呈し、激しい刺激臭を持つ重い気体である。毒性がきわめて強く、これを吸うと呼吸器を侵される。塩素ガスが人体に及ぼす症状について表9に示した。この表より、電気分解で発生する塩素の濃度が1ppm以下であれば、実験中での塩素ガスの人体への影響は少ないと考えられる。

教科書では、電源装置を用いて3~6V、乾電池3個を電源とするか、記述がないかのいずれかであった。電流を調べてみるとおよそ100mA、200mAの二種に分けることができる。またこの実験は、50分という限られた授業時間の中で行われ、この時間の中で実験装置を組み立て、電流を流し、銅の生成と+極での塩素の生成とを観察し、まとめることを考慮すると、電流を流している時間は

表 9 塩素濃度と人体の症状(日化防災資料による)

ppm	人 体 の 症 状
1.0	(許容濃度)
3.0	刺激感がある
10.0	粘膜に強い炎症がおこる
30.0	短時間で生命危険・気管支炎・肺出血がおこる
300	1時間で窒息死
900	即死

10分程度と考えられる。そこで、100ml ビーカーに1%塩化銅水溶液100mlをいれ、10分間観察することにした。3V、6Vの二つの場合において、ビーカーから0cm及びビーカーから10cmは離れたところで、換気あり、なしの場合について、気体検知管(100ml/ストローク)を用いて5分、10分、20分と塩素の濃度測定を行った。またそのときの電流をテスターを用いて測定した。

次に、10分間電流を流した後ビーカー上の気体を手であおぎ、ビーカーから2cm、5cm、10cm離れた地点で検知管を用いて塩素濃度の測定を行った。これを換気なしで、3V、6Vで測った後、換気扇を回しながら同様に行った。

結果を表10から表11に示した。換気なし、換気ありのいずれも手であおがないときは、ビーカーから離れると塩素ガスは検出されなかった。手であおいだときは、5cm離れても塩素ガスは検出されなかった。

表10 ビーカーからの距離と濃度の測定結果(10分後)

ビーカーからの距離	2 cm		5 cm		10cm	
	3 V	6 V	3 V	6 V	3 V	6 V
換気なしの塩素ガス濃度 (ppm)	0.3	0.7	0.0	0.5	0.0	0.3
換気ありの塩素ガス濃度 (ppm)	0.2	0.5	0.0	0.2	0.0	0.0

表11 塩素ガスの濃度測定結果

時間(分)	換気なし				換気あり			
	ビーカーから0cm		ビーカーから10cm		ビーカーから0cm		ビーカーから10cm	
	6 V (ppm)	3 V (ppm)	6 V (ppm)	3 V (ppm)	6 V (ppm)	3 V (ppm)	6 V (ppm)	3 V (ppm)
5	30	25	0	0	30	10	0	0
10	70	30	0	0	70	20	0	0
20	90	45	0	0	70	25	0	0
30	160	50	0	0	80	30	0	0
50	180	70	0	0	170	60	0	0

イ ホルダー芯を電極棒に用いた実験

教科書では電極棒に炭素棒を用いていた。しかし、炭素棒の表面が粗いため、水溶液中にある電極棒への銅の付着が見えにくかった。そこで、平成元年度から平成4年度使用東京書籍の教科書に記載されていた鉛筆の芯を用いることにした。しかし、鉛筆の芯は加工の施されている鉛筆の木をはがさなくてはならず、適当とはいえない。そこで、同様に炭素を多く用いて加工してある製図用ホルダー芯を用いることにした。これは、径2mm×長さ13cmのホルダー芯6本入りで200円であり、100ml ビーカーを使用するときには長さ6 cmに切って用いると6組できる。炭素棒が10本、5組で180円と同程度の価格である。ホルダー芯を電極の材料として用いるに当たって、次の点について炭素棒と比較することにした。

- ①陰極棒への銅の付着が観察しやすいこと
- ②陰極棒に生成する銅が定量的であること（ファラデーの法則を満たすこと）

(1)実験方法

(ア) ①の検証方法

ホルダー芯を電極棒とし、1%塩化銅水溶液を100ml ビーカーに入れたものに、80mA 電流を流し10分毎に50分間観察し、写真を撮った。

(イ) ②の検証方法

- ・未処理のホルダー芯を電極棒として、図1のような装置を組み立て、電極棒をつるした針金を電子天秤(±3mgの誤差範囲)の皿上に渡した。電子天秤をパソコンと連結して40mAの電流を30分間流した時の、電極棒の重量変化を測定した。このとき、水溶液の入ったビーカーは、摂氏30.0度の恒温槽水浴中においた。
- ・次に、未処理の炭素棒で行った。
- ・ホルダー芯及び炭素棒を30分間煮沸し、それを電極棒とした。

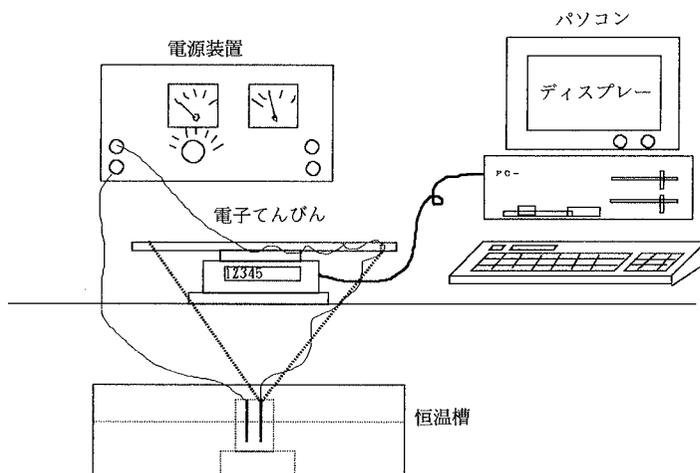


図1 電極棒の質量変化測定装置

・ホルダー芯を10分間空煎りしたものを1時間煮沸して電極棒とした。

(2)実験結果

①の結果を写真1-2に示す。電極はホルダー芯である。

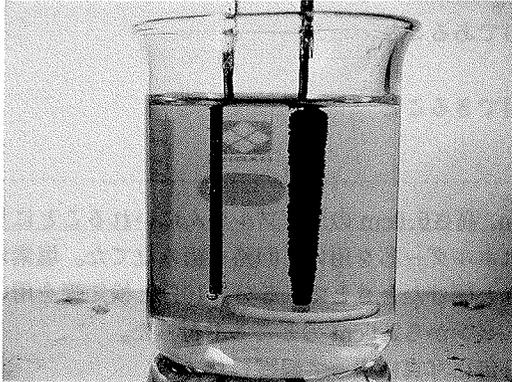


写真1 1%CuCl₂水溶液, 80mA, 20分間

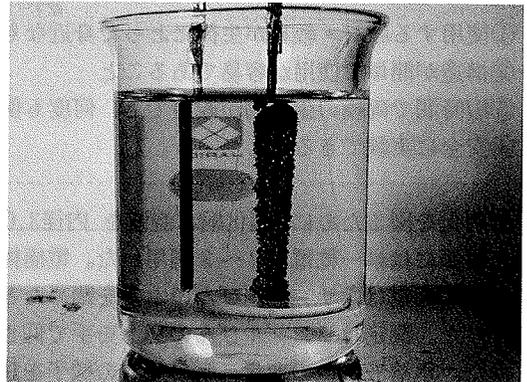


写真2 1%CuCl₂水溶液, 80mA, 40分間

②の結果

未処理の時、炭素棒、ホルダー芯ともに陰極棒から気体が発生し、生成した銅の重さを測ることができなかった。

電極棒から気体が発生しなくなるまで約1時間煮沸した後、30分間電極棒を水の中に放置した電極棒での結果は表12に載せた。0g点を示す時間は減少し、グラフも直線になった。炭素棒ではファラデーの法則の理論値と+2.4%の誤差であった。しかしホルダー芯では+12.2%の誤差を示した。そこでホルダー芯を10分間空煎りして煮沸、放置したものをを用いると誤差は+2.1%となった。結果は表13に示した。

表12 煮沸後水浴中の炭素棒及びホルダー芯の定量結果(30.0°C, 30分間, 40mA)

試料番号	炭素棒(g)	ホルダー芯(g)
No.1	0.027	0.028
No.2	0.022	0.031
No.3	0.025	0.026
No.4	0.026	0.031
No.5	0.023	0.029
No.6	0.025	0.030
No.7	0.022	0.027
平均値	0.0243g	0.0288g
標準偏差	1.83mg	1.81mg
理論値	0.0237g	0.0237g
誤差(g)	+2.4%	+12.2%

表13 空煎煮沸したホルダー芯での定量結果(30.0°C, 30分間, 40mA)

試料番号	ホルダー芯(g)
No.1	0.024
No.2	0.021
No.3	0.025
No.4	0.025
No.5	0.028
平均値	0.0242g
標準偏差	1.72mg
理論値	0.0237g
誤差(%)	+2.1%

2 ホルダー芯を電極棒にした教具の開発

次の4点を中学校理科における電気分解の教材・教具の条件とした。

- ①使用する教材・教具が生徒にとって身近なものであること
- ②構造が簡単で使用が容易であること
- ③短時間で両極の生成物が観察でき、何度も使用できること
- ④安全に実験できること

個別化を図るために、塩化銅水溶液を内径3.0cm、高さ6.0cmのサンプルびんに入れることにした。電源には単一乾電池2～3個用いた。電極棒はホルダー芯を用いて回路を組み立てた。塩素ガスの濃度測定は、サンプルびんのふたを閉めたときと開けたときとで、5分、10分と検知管を用いて行った。測定はサンプルびんの真上を手で仰ぎ、ビンから2.0cmのところで行った。

また、水溶液の色の変化、銅の生成の様子を10分毎に写真に撮って観察した。電流は単一乾電池2個のとき30mA、3個のとき50mAである。ふたの有無及び塩素ガスの測定結果を表14に記した。

表14 サンプル瓶とホルダー芯を用いた教具での塩素ガス濃度測定結果

	乾電池 2 個 (30mA)		乾電池 3 個 (50mA)	
	ふた無し	ふた有り	ふた無し	ふた有り
5 分 後	0.2ppm	0.3ppm	0.7ppm	1.0ppm
10 分 後	0.5ppm	1.0ppm	1.2ppm	1.7ppm

次に、10分毎に撮影した写真の0分、10分、20分、40分のものを写真3～6に示した。

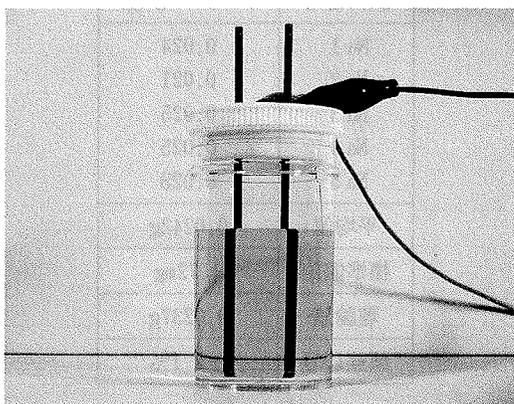


写真3 1%CuCl₂サンプル瓶(0分)

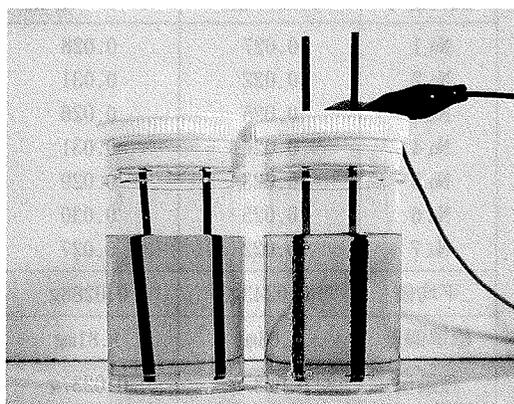
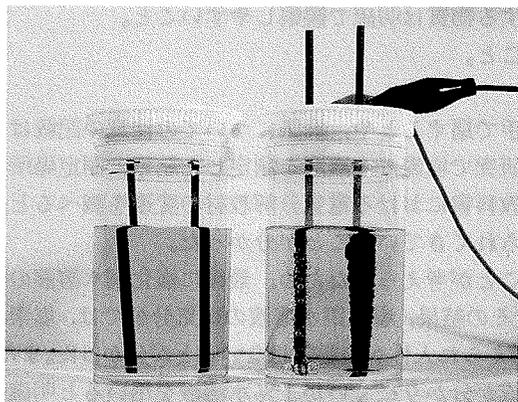
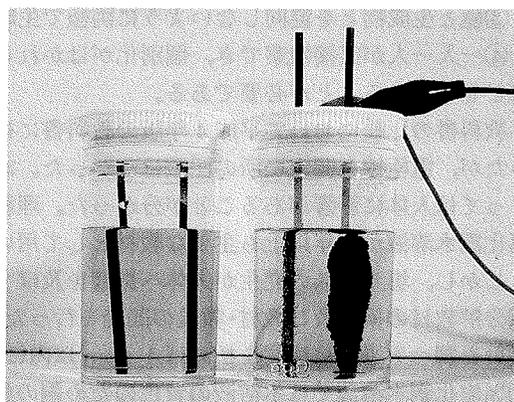


写真4 1%CuCl₂サンプル瓶(10分)
(左側に比較のために1%CuCl₂水溶液を置いた)

写真5 1%CuCl₂サンプル瓶(20分)写真6 1%CuCl₂サンプル瓶(40分)

3 開発した電気分解教材・教具に関する考察

先に述べた電気分解の教材・教具の持つ条件で掲げたものの内、「①使用する教材・教具が生徒にとって身近なものであること」及び「②構造が簡単で使用が容易であること」については、十分満たしていると考えられる。「③短時間で両極の生成物が観察でき、何度も使用できること」についても同様であるが塩化銅水溶液の濃度は10%より1%の方が銅の生成が確認しやすかった。しかも、塩化銅水溶液の色が薄くなるという変化はビーカーを用いる実験では分かりにくかった。サンプルびんを用いた教材は色の変化及び銅の生成のどちらも観察しやすかった。また、ホルダー芯なら一度実験しても、銅を拭き取れば再び電極棒として使うことができる。

「④安全に実験できること」については、塩素ガスの生成がビーカーの真上で10分以上電流を流したとき、人体への毒性が強い濃度が検出された。しかし、電極棒から2 cm以上離して行えば、塩素ガスは安全範囲内である。塩素は0.2ppm程度の濃度でも十分に臭いを調べることができた。教科書に記載のある“十分な換気”とは、換気扇のみを回すだけでは換気無しの時と比べて塩素ガス濃度に変化はみられなかったので換気扇だけでは十分な換気とはいえない。塩素ガス濃度はビーカーを用いたときより高かったが人体への影響はない範囲だった。サンプルびんの蓋をしていると瓶の外には塩素の臭いはせず、蓋を開けたとき塩素の臭いがすることにより各自が一極の銅の生成と+極の塩素の生成を区別して、じっくり観察できると考えられる。また、この実験器具を用いると実験の準備が簡単で、臭いをかぐのに周辺が動いても影響が少ないと考えられる。

IV 結論

本研究では、まず、電流及び電気分解の学習内容への生徒の理解度を調べるために実態調査を行った。それによって、電気分解においてイオン引かれていく極と、両電極でのイオンの電子の授受によって分子及び原子になるということが、関連付けて学習されていないことが分かった。また、電気分解の実験に際して、

- ①電流の流れは+極から一極であり、電子の流れはその逆であることを再確認させること。
- ②イオンの極性と引かれる電極は異符号であるという基礎的概念を定着させること。

③極と生成物とを混同しないように両極で生成する物質は明確で観察しやすいこと。

④一人一人が直接観察でき、個別化がはかれること。

などを考慮することが必要である。

教科書の比較において平成4年版の教科書には手で扇ぐことや、換気についての注意の記載はあったが、電極棒と測定場所の記載はなかった。本研究で塩素ガス濃度を測定した結果、測定場所によっては人体に影響があることが分かった。理科教科書における電気分解教材の変遷を調べると、塩化銅水溶液が15年以上も主要な教材として用いられてきていることが分かった。

しかし、塩素ガスの発生が人体へ影響を及ぼすことが考えられたため、最後に塩化銅水溶液の電気分解教材の検討及び教材・教具の開発を行った。その結果、塩化銅水溶液の電気分解では、塩素の臭いを調べる場所に注意を払えば1 ppm以内に抑えられ人体への影響はないことが分かった。また、10%塩化銅水溶液では水溶液の青色のため銅の生成が分かりにくいのが1%水溶液を用いると明確に確認できた。さらに、電極棒に製図用ホルダー芯を用いると、より銅が確認し易くなることが分かった。ホルダー芯とサンプル瓶を用いた教具を開発したところ、塩素ガス濃度は安全範囲内であり、銅の生成も明確であった。さらに、水溶液の色の変化が確認し易く、実験の個別化が図れる教材である。

おわりに

電気分解と同様に、イオンの概念を捉えさせるため教材として、イオン泳動がほとんどの教科書に掲載されていた。電解質中のイオン泳動の教材の検討や教材開発は野口輝臣(1976)、斉藤孝雄(1979)、国本道仁(1990)らにより行われている。それに比べると、電気分解教材についての研究はあまりなされていないように思われる。本研究では塩化銅水溶液の電気分解についてのみ検討を行ったが、他の電気分解教材に用いる化合物として重元典昭(1981)により、ヨウ化亜鉛が報告されている。ヨウ化亜鉛ではヨウ素と亜鉛による合成から電気分解までを連続して行えるとしている。実際にやってみると+電極棒付近の水溶液が褐色を帯び、一極には針状の亜鉛の生成が観察された。ヨウ素はヨウ素デンプン反応で、亜鉛は濃塩酸を加えて水素の発生で調べることにしている。しかし、薬品の価格が高いこと、溶液が無色であることなどの欠点も見られる。

今後の課題として、開発した教具を実際の授業場面で適用し、その効果を確かめる必要があるが、それと同時に、IVの①、②の条件を克服する理科の指導過程や授業改善を必要としている。効果的な理科指導のために、このような生徒の認識を調査し、教科書の教材を検討し、また、さらに実際に実験を行い、検証していく総合的な教材研究が行われる必要がある。そして、生徒に適した、より優れた教材を開発していくことが今後とも理科教育の重要な課題である。

謝辞：生徒に対するアンケート調査にご協力頂いた鳥取大学附属中学校橋本隆校長先生をはじめ、同校の理科の先生方に厚く感謝申し上げます。

引用・参考文献

- R. Osborne & P. Freyberg (1985): "Learning in Science: The implication of Children's Science", Heinemann, (森本信也, 堀哲夫訳「子ども達はいかに科学理論を構成するか—理科の学習論—」, 1988, 東洋館出版社)

- 国本道仁(1990)：「身近な素材を生かした化学教材の研究」, p88~95, 全国理科教育センター研究協議会, 東洋館出版社
- 神津住夫(1976)：「イオン伝導とイオンの泳動」理科教育資料83研究要録第8集 pp.83~86 広島県理科教育センター
- 斉藤孝雄(1979)：「視覚にうったえた化学概念・化学現象のとらえさせ方について」, 理科教育資料89, 研究集録, 第11集, pp.47~49, 広島県理科教育センター
- 竹林保次(1973)：「化学精義 I」, pp.85~91, 培風館
- 永田義夫(1969)：「中学校理科指導要領の展開—理科編—」, pp.93~96, 明治図書
- 野口輝臣(1976)：「イオンの移動の研究」理科教育資料, pp.87~90, 広島県理科教育センター
- 福岡敏行, 広瀬聡子(1989)：「Concept Map による概念の分析 I—第6学年児童の水溶液概念の分析」, 横浜国立大学教育実践研究指導センター, 第5巻, p.81.
- 三角省三(1983)：「基礎分析化学」, pp.333~335, pp.134~190, 広川書店
- 三宅征夫(1988)：「理科教育における認知的能力, 実験に関する能力及び科学的態度の相互関連に関する研究」昭和61年度科研報告書, 課題番号61580262
- 森川久雄(1977)：「改訂中学校学習指導要領の展開理科編」, pp.94~96, 明治図書
- 守永健一(1972)：「基礎化学選書9酸化と還元」, pp.182~208, 裳華房
- 森本信也, 森藤義孝(1988)：「中学生における粒子概念の習得に関する基礎的研究」, 日本理科教育学会研究紀要, 第29巻2号, p.1.
- 文部省編(1978)：「中学校指導書理科編」, pp.48~51, 大日本図書
- 文部省編(1989)：「中学校学習指導要領」, pp.50~51, 大蔵省印刷局
- 文部省編(1989)：「高等学校学習指導要領解説 理科編理数編」, p92, 実教出版
- 文部省編(1989)：「中学校指導書理科編」, pp.47~50, 学校図書

(1993年4月20日受理)

電流と物質に関するアンケート

___学年___組 (男子, 女子)

次の質問で、適当と思われる番号や記号を○で囲んで下さい。

尚、これはアンケートですので、気軽に、思った通りに答えて下さい。

(I) 図に示されたように、乾電池が豆電球に接続されています。豆電球には明かりがついています。



導線の電流の流れを最もよく表しているのは次のどの図だと思われますか？

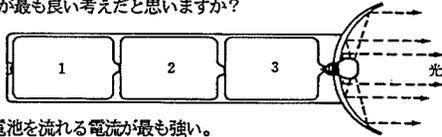
- (1) 乾電池の図の下の方に接続した導線には電流の流れは全くない。
 (2) 電流の流れは両方の導線とも豆電球の方へ向かって流れる。



- (3) 電流の流れる方向は図に示した通りである。電流の流れは「拂りの」導線では少なくなっている。
 (4) 電流の流れる方向は、図に示した通りである。電流の流れは、両方の導線とも同じである。



(II) これは、3個の乾電池の入った懐中電灯の図です。乾電池の中を流れる電流について、どれが最も良い考えだと思いますか？



- (a) 1の乾電池を流れる電流が最も強い。
 (b) 2の乾電池を流れる電流が最も強い。
 (c) 3の乾電池を流れる電流が最も強い。
 (d) 1と3の乾電池の電流は、2の乾電池の電流よりも強い。
 (e) どの乾電池の電流も同じである。

(III) 電気ポットでお湯を沸かす時、水の中から大きな泡がでできます。この泡は、次に挙げたうちの何だと思いませんか？

- (a) 空気 (b) 水蒸気
 (c) 熱 (d) 酸素または水素

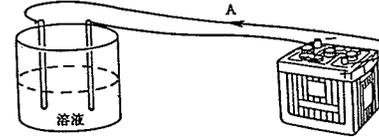


(IV) 完全に充電した1個の自動車用バッテリーがあるが、まだ自動車に取りつけられていません。それは、車のいすの上に置いてあり、まだ接続されていないままです。バッテリーには、電流が流れていますか？

- (a) 流れている。
 (b) 流れていない。
 (c) わからない。



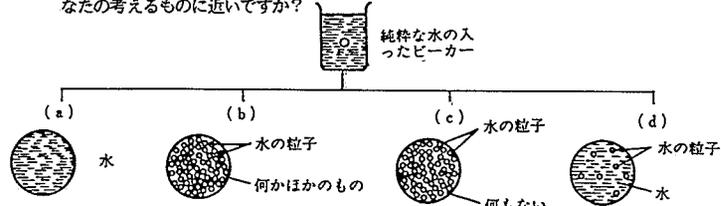
(V) 2本の金属棒がバッテリーの電極に接続されています。その金属棒は、下の図に示したように溶液の中に一部が入っています。



電流がバッテリーから金属棒へと、Aの導線を流れているとき、あなたは次のどの意見に賛成ですか？

- (a) 電流が流れているか流れていないかは、溶液の種類による。
 (b) 溶液中には電流が流れているに違いない。
 (c) 溶液中には電流は流れていないだろう。

(VI) あなたが、純粋な水の図を最も精密に詳しく書くとしたら、下の図でどれが一番あなたの考えるものに近いですか？



(VII) 砂糖水・食塩水は電流を通すと思いますか？

- 砂糖水について
 (a) 通す (b) 通さない (c) わからない
 食塩水について
 (a) 通す (b) 通さない (c) わからない

以上 ご協力ありがとうございました。

資料 2 調査用紙No. 2

イオンと電気分解に関するアンケート

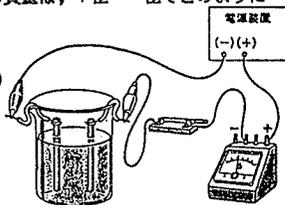
____ 学年 ____ 組 ____ 番 (男子・女子)

次の質問で、適当と思われる語句や記号を () の中に記入して下さい。

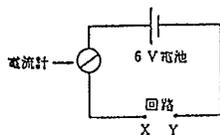
(I) ビーカーの中には、塩化銅水溶液がはいっています。

(ア) これに電流を流すと中に入っている炭素棒の質量は、+極・-極でどのように変化するでしょう。

- | | |
|------------|------------|
| +極について () | -極について () |
| (a) 増える | (d) 増える |
| (b) 減る | (e) 減る |
| (c) 変わらない | (f) 変わらない |

(イ) 電流を流し続けると、塩化銅水溶液の色は何色から何色に変化するでしょう。
() 色から ()

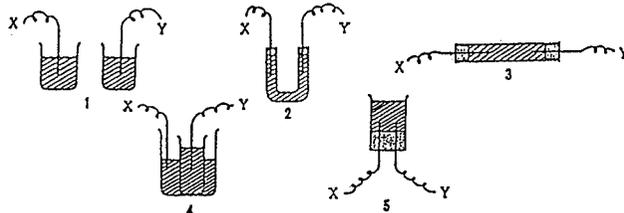
(II) いくつかの溶液について、それらが電解質であるかどうか、もし電解質なら電気を通じたときどんな生成物が遊離するかを調べるため右の図のような回路を用いることにしました。



この回路図の点XとYにつなぐ装置

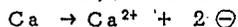
として最も適当なものは次のなかのどれでしょう。図の番号で答えて下さい。

(ビーカーや管はガラス製で、極は炭素である。溶液は斜線で示してある。)



(III) 例にしたがって空欄を埋めてください。またそのときの反応を例にしたがってイオンの記号を用いて示して下さい。

(例) カルシウムイオンは、カルシウム原子が電子を (2) 個 (失って) できる。



- (a) 銀イオンは、銀原子が電子を () 個 () できる。
 (b) 塩化物イオンは、塩素原子が電子を () 個 () できる。
 (c) 銅イオンは、銅原子が電子を () 個 () できる。

以上 ご協力ありがとうございました。

