

中学校理科における化学電池の学習に関する研究

A study on learning of chemical cells unit in lower secondary school science

升谷 聡子

甲斐 初美

Satoko MASUTANI

Hatsumi KAI

山口大学大学院

福岡教育大学

教育学研究科

理科教育ユニット

(令和4年9月29日受付, 令和4年12月20日受理)

抄録

本研究では, 中学校理科における化学電池の学習に注目し, 平成29年学習指導要領より新たに導入されることとなったダニエル電池の学習上の問題点を指摘し, その問題点に基づき, 化学電池の基本を原理的に理解するための学習内容を検討した。まず, ダニエル電池の学習上の問題点として, 2つの水溶液を用いるダニエル電池は, 従来取り扱われていた1つの水溶液を用いるボルタ電池と比べて, 仕組みが非常に複雑であり, そのダニエル電池のみを化学電池の学習とすることは, 化学電池の基本を原理的に理解させる上で, 困難であることを指摘した。次に, そのような問題点を踏まえた上で, ダニエル電池の学習では, 1つの水溶液を用いるボルタ電池を導入とし, あえてボルタ電池の欠点を改善するような学習の文脈を設定することで, ダニエル電池の複雑な仕組みを理解させることができると考えた。そこで, ダニエル電池を学習したことのない大学生を対象に, ボルタ電池の学習を導入とする化学電池の学習の文脈に則って, ダニエル電池の仕組みについて学習させ, その学習内容における理解度調査を行った。その結果, 提案した学習の文脈は, ダニエル電池の複雑な仕組みを理解する上で有効であることが明らかとなった。

1. 背景と目的

電池は, 化学エネルギーを電気エネルギーに変換する装置であり, 私たちの日常生活に欠かせない道具の1つである。原始的な電池であるボルタ電池では, 電極として亜鉛板と銅板, 水溶液としてうすい硫酸が用いられている。ボルタ電池の銅板側では水素が発生し, その水素が銅板を覆うことで, 銅板から水素イオンへの電子の供給が断たれ, 起電力が低下するため, 短時間で電池として機能しなくなる。このようなボルタ電池の欠点を改良した電池は, ダニエル電池と呼ばれる。ダニエル電池では, 電極として亜鉛板と銅板を用いるのはボルタ電池と変わらないが, 素焼き板で仕切られた硫酸銅水溶液(銅板側)と硫酸亜鉛水溶液(亜鉛板側)の2種類の水溶液が用いられている。ダニエル電池の銅板側では, ボルタ電池とは異なり, 銅が析出するため, 水素が発生しない。

そのため, ダニエル電池は, ボルタ電池のように起電力が低下することがなく, 長時間, 電池として機能する。

平成20年中学校学習指導要領理科編では, 電池の基本的な仕組みについて学習する際, ボルタ電池のみを取り扱っていた¹⁾。しかし, 平成29年中学校学習指導要領理科編では, ダニエル電池を取り扱うことになっている²⁾。このダニエル電池は, 「実用的な電池の例」として取り上げられており, 水溶液を短時間で混合させないようにする工夫が, 現在私たちが使用している実用的な電池の構造に近いと考えられる。また, ボルタ電池では, 銅板で水素が発生するだけでなく, 亜鉛板でも多少の水素が発生するため, 実験の様子を観察した生徒は疑問に思う可能性がある。その一方で, ダニエル電池では, そのような現象が生じない。これらの理由から, 電池の学習へのダニエル

電池の導入は、理解できる部分もある。しかしながら、ダニエル電池は、ボルタ電池よりも電池の仕組みが複雑であり、ダニエル電池の理解が電池の原理的な理解そのものを妨げるという問題点の方が深刻ではないかと懸念される。

そこで、本研究では、まず、ダニエル電池の学習上の問題点を検討し、現行の教科書における化学電池の学習に関する記載内容を整理した。次に、それらを踏まえた上で、ボルタ電池の仕組みを導入とするダニエル電池の仕組みについての学習の文脈を提案し、その文脈に基づく調査を通して、化学電池の学習の最適化を目指していくこととした。

2. ダニエル電池の学習上の問題点について

深田 (2018) は、ダニエル電池について学習する際に生じる問題として、ダニエル電池が2つの水溶液を用いること、そして、素焼き板を使用する目的が、子どもたちにとって馴染みがないということなどを挙げている³⁾。また、ダニエル電池の学習前に行う電気分解の学習では、1つの水溶液を用いて実験を行うため、そもそもダニエル電池で2つの水溶液を用いることの必然性について考えさせるような授業展開も必要になってくると考えられる。また、素焼き板については、イオンの移動が可能になり、かつ、すぐには2つの水溶液が混ざらないという状況の必然性を考えさせるような授業展開が必要になってくると考えられる。

これらの理由から、ダニエル電池を学習させていくにあたっては、1つの水溶液を使用するボルタ電池を導入とし、あえてボルタ電池の欠点を改善するような文脈を設定していかなければ、ダニエル電池における2つの水溶液と素焼き板の必要性についての理解を促すことができないと考えられる。

3. 現行の教科書の記載内容について

現行の教科書5社⁴⁾は、いずれも、電池の学習に入る前に金属の陽イオンへのなりやすさについて学習することとなっている。さらに、5社のうち3社は、金属の陽イオンへのなりやすさの学習の後にボルタ電池を取り上げている。その3社の電池に関する内容における学習順序を図1に表した。ダニエル電池の学習前にボルタ電池を取り上げている教科書は、いずれも、ボルタ電池が短時間しか機能せず実用的ではないこと、ボルタ電池の欠点を改良した電池がダニエル電池であることについて説明している。また、教育出版と東京書籍の教科書では、ボルタ電池の両極での反応

大日本図書	教育出版	東京書籍
イオンへのなりやすさ Mg > Zn > Cu	イオンへのなりやすさ Zn > Cu > Ag	イオンへのなりやすさ Mg > Zn > Cu
ボルタ電池	ボルタ電池	ボルタ電池
<ul style="list-style-type: none"> 電池のモデル図示なし 各電極での反応の記載なし <ボルタ電池の問題点> 短時間しかはたらかない。 	<ul style="list-style-type: none"> 電池のモデル図示あり 各電極での反応の記載あり (-)Zn-Zn²⁺+2e⁻ (+)2H⁺+2e⁻-H₂ <ボルタ電池の問題点> 硫酸に亜鉛を入れるだけでも水素が発生してしまう。 すぐに電圧が低下する。 	<ul style="list-style-type: none"> 電池のモデル図示あり 各電極での反応の記載あり (-)Zn-Zn²⁺+2e⁻ (+)2H⁺+2e⁻-H₂ <ボルタ電池の問題点> 可燃性の気体である水素が発生する。 すぐに電圧が低下する。
ダニエル電池	ダニエル電池	ダニエル電池

図1 電池の学習における教科書3社の学習順序

が、電池のモデル図とともに記載されており、銅板で水素が発生して起電力が低下することによる分極についても説明している。さらに、教育出版の教科書では、銅板だけではなく亜鉛板からも水素が発生することについて説明している。このように、ボルタ電池の欠点を明らかにした上でダニエル電池の学習に入っている教科書もあるが、ボルタ電池の欠点とダニエル電池の仕組みについて直接的なつながりは説明されていない。つまり、水素が発生するということを知っているだけでは、2種類の水溶液を用いることや素焼き板の必要性についての理解は難しいと考えられる。

4. 化学電池に関する学習の文脈の提案

これまで、ダニエル電池の学習上の問題点を検討し、現行の教科書の記載内容について整理してきた。その中で、電池の基本的な仕組みについて学習する際に、ダニエル電池のみを取り上げて学習することは困難であることを指摘した。そして、ダニエル電池の複雑な仕組みを理解させるためには、まず、1つの水溶液を使用するボルタ電池を取り上げ、あえてボルタ電池の欠点を改善させるような学習の文脈を設定することが有益なのではないかと指摘した。

そこで、ボルタ電池の仕組みを導入としたダニエル電池の仕組みまでの具体的な学習の文脈を提案することとした。図2は、ボルタ電池の仕組みを導入としたダニエル電池の仕組みまでの具体的な学習内容の流れである。ここでは、水溶液に硫酸 (H₂SO₄) を用いたボルタ電池をボルタ電池 (H₂SO₄aq)、水溶液に硫酸銅 (CuSO₄) 水溶液を用いた電池をボルタ電池 (CuSO₄aq) と表している。以下の4つのセクションに分けて、具体的な学習内容の流れを説明していく。

①イオンへのなりやすさ

→ボルタ電池 (H₂SO₄aq)

現行の教科書通り、電池の学習前にイオンのなりやすさについて学習する。ここでは、金属の種類によって、イオンへのなりやすさに差があるかを調べるために、金属板を電解質水溶液に入れて、それぞれの金属板付近のようすがどのようになっているかを観察させ、金属にはイオンへのなりやすさに違いがあることを明らかにさせる。また、現行の教科書では、金属以外のイオンへのなりやすさは、発展や参考資料として掲載されている。ボルタ電池の水素発生を理解させるために、「 $Zn > (H_2) > Cu$ 」についても理解させておく必要がある。そして、イオンへのなりやすさ（イオン化傾向）について学習させた後、ダニエル電池の仕組みまでの連続的な流れを構成するために、1つの水溶液を用いるボルタ電池を取り上げる。ここでは、水溶液に硫酸を用いたボルタ電池を取り上げ、電池の基本的な仕組みを学習させ、両極で起こる反応について理解させる。

②ボルタ電池 ($H_2SO_4(aq)$)

→ボルタ電池 ($CuSO_4(aq)$)

硫酸を用いたボルタ電池では、発生した水素が銅板を覆うことで、銅板から水素イオンへの電子の供給が絶たれ、電池として持続しないことから、水素発生を防ぐ方法として、溶質の電離によって水素イオン (H^+) が生じないような溶質を用いた水溶液にすることの必然性を考えさせたい。その上で、水溶液に硫酸銅水溶液を用いたボルタ電池を取り上げ、両極で起こる反応について理解させたい。

③ボルタ電池 ($CuSO_4(aq)$)

→ガラス板で水溶液を仕切った電池⁵⁾

硫酸銅水溶液を用いたボルタ電池では、銅板では銅が析出するために水素が発生しなくなったが、亜鉛板では、亜鉛が溶け出して生じた電子が銅イオンと反応し、一部、銅が析出してしまふことで、硫酸を用いたボルタ電池と同様に、電池として持続しない。そこで、亜鉛板側での銅の析出を防ぐ方法として、亜鉛板側と銅板側の水溶液を分けて、亜鉛板側では亜鉛よりもイオン化傾向が小さくもなく大きくもない水溶液、すなわち硫酸亜鉛水溶液を用いる必要があることについて考えさせたい。つまり、ガラス板で2つの水溶液を仕切った装置を取り上げ、両極で起こる反応について考えさせたい。

④ガラス板で水溶液を仕切った電池

→素焼き板で水溶液を仕切った電池
(ダニエル電池)

ガラス板で2つの水溶液を仕切った電池は、電

池として機能しないことから、この2つの水溶液を用いた電池が、電池として機能するための方法として、水溶液間のイオンの移動が必要であることについて考えさせたい。そして、イオンを通過させることができる小さな穴が空いた素焼き板で2つの水溶液を仕切った電池を取り上げ、両極で起こる反応について理解させたい。ここでは、素焼き板の役割である「水溶液を2つに分ける」、「2つの水溶液間でイオンの移動を可能にする」ことを理解させることが必要である。まず、「水溶液を2つに分ける」こと

によって、亜鉛板側では銅が析出しなくなる。また、亜鉛板側の水溶液では亜鉛イオンがたくさん溶け出すことで、プラスの電気を帯びていく。一方で、銅板側の水溶液では、銅イオンが電子を受け取って、銅がたくさん析出するようになるため、割合的に硫酸イオン (SO_4^{2-}) が大きくなり、マイナスの電気を帯びていく。そこで、素焼き板のイオンを通過させる小さな穴によって、「2つの水溶液間でイオンの移動を可能にする」ことで、必要なイオンを移動させて、水溶液内の電気的な偏りを無くすことができるということを理解させる。

5. ボルタ電池からダニエル電池までの段階的な学習における理解度調査

これまでに示してきたとおり、ダニエル電池の学習上の問題点を検討し、現行の教科書の化学電池の学習を改善可能な学習の文脈に整理してきた。そこで、これらの学習の文脈が、ダニエル電池を

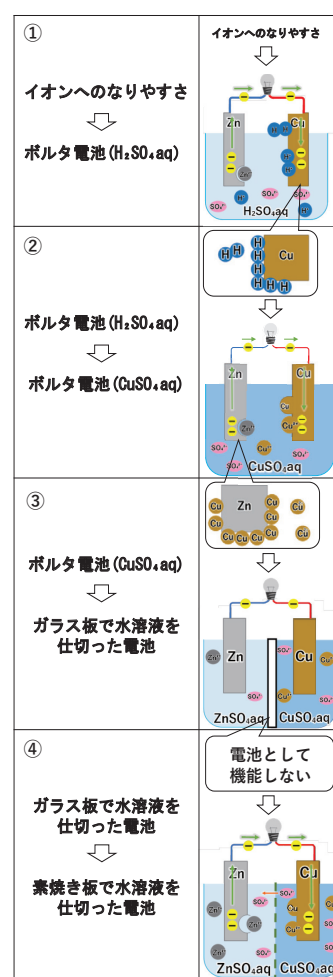


図2 具体的な学習内容の流れ

理解する上で有効と言えるかどうかを明らかにするための調査を行うこととした。

5-1 調査の概要

調査は、教員養成系大学に所属し、中学校でダニエル電池を学習しておらず、高等学校で化学基礎のみを履修し、化学を履修していない学生 84 名を対象として、2021 年 12 月上旬に実施した。表 1 に示すように、調査問題は、先に提案した学習の文脈と同様の①～④のセクションから構成されている。そして、それぞれのセクションでは、構想した学習の文脈に沿うように、問いや解説を提示している。以下に、それぞれのセクションについて説明する。

①イオンへのなりやすさ

→ボルタ電池 ($\text{H}_2\text{SO}_4\text{aq}$)

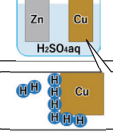
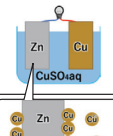
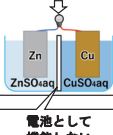
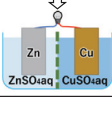
硫酸銅 (CuSO_4) 水溶液にマグネシウム (Mg) 板を入れると、マグネシウム (Mg) 板は溶けだし、マグネシウムイオン (Mg^{2+}) として、水溶液中に放出されるとともに、その時に生じた電子が、水溶液中の銅イオン (Cu^{2+}) と反応して、銅 (Cu) が析出するという事例をもとに、イオンへのなりやすさ (イオン化傾向) に関する解説を提示し、問 1-1 で、水溶液に硫酸を用いたボルタ電池の両極の反応について問うた。さらに、問 1-1 の解説として、銅 (Cu) よりも亜鉛 (Zn) の方が、イオン化傾向が大きいいため、亜鉛板 (Zn) から亜鉛イオン (Zn^{2+}) が水溶液中に放出され、この反応によって、電子が生じると、その電子によって導線中にあった自由電子が銅板側に押し出され、押し出された電子を水溶液中の水素イオン (H^+) が受け取って、銅板で水素 (H_2) が発生するというを示した後、問 1-2 で、この解説に対する納得度について問うた。

②ボルタ電池 ($\text{H}_2\text{SO}_4\text{aq}$)

→ボルタ電池 (CuSO_4aq)

問 2-1 では、硫酸を用いたボルタ電池の銅板では水素が発生することで、電池がすぐに機能しなくなることを説明し、水素発生を防ぐ方法について問い、水素発生を防ぐために、硫酸銅水溶液を用いることについての解説後、問 2-2 で、この解説に対する納得度について問うた。さらに、問 2-3 では、水溶液に硫酸銅水溶液を用いたボルタ電池の両極での反応を問い、問 2-3 についての解説として、銅 (Cu) よりも亜鉛 (Zn) の方が、イオン化傾向が大きいいため、亜鉛板 (Zn) から亜鉛イオン (Zn^{2+}) が水溶液中に放出され、銅板 (Cu) では、水溶液中の銅イオン (Cu^{2+}) が電子を受け取って、銅 (Cu) が析出するという

表 1 調査の概要

	イオンへのなりやすさ	イオンへのなりやすさに関する解説等
①		問1-1 ボルタ電池 ($\text{H}_2\text{SO}_4\text{aq}$) の両極の反応
		問1-2 解説に対する納得度
②		問2-1 H_2 の発生を防ぐ方法
		問2-2 解説に対する納得度
		問2-3 ボルタ電池 (CuSO_4aq) の両極の反応
		問2-4 解説に対する納得度
③		問3-1 Cu の析出を防ぐ方法
		問3-2 解説に対する納得度
		問3-3 ガラス板で仕切った電池の両極の反応
④		問4-1 ガラス板で仕切った電池が機能する方法
		問4-2 素焼き板で仕切った電池の両極の反応
		問4-3 素焼き板の役割に対する納得度

を示した後、問 2-4 で、この解説に対する納得度を問うた。

③ボルタ電池 (CuSO_4aq)

→ガラス板で水溶液を仕切った電池

問 3-1 では、硫酸銅水溶液を用いたボルタ電池において、銅 (Cu) 板で水素 (H_2) は発生しなくなったものの、亜鉛 (Zn) 板では、生じた電子と水溶液中の銅イオン (Cu^{2+}) がすぐに反応してしまって、亜鉛 (Zn) 板側にも銅 (Cu) が析出してしまいうため、電池が機能しなくなることを説明し、硫酸銅水溶液を用いたボルタ電池の亜鉛板で銅の析出を防ぐ方法について問うた。さらに、亜鉛板で銅の析出を防ぐために、ガラス板で水溶液を仕切り、亜鉛板側では硫酸亜鉛水溶液、銅板側では硫酸銅水溶液を用いることについて解説した後、問 3-2 で、この解説に対する納得度について問うた。そして、問 3-3 では、ガラス板で水溶液を仕切った電池の両極の反応について問い、問 3-3 の解説として、水溶液を 2 つに完全に仕切った場合は、亜鉛 (Zn) 板は溶け出さず、銅 (Cu) も析出せず、電池として機能しないことを示した。

④ガラス板で水溶液を仕切った電池

→素焼き板で水溶液を仕切った電池 (ダニエル電池)

問 4-1 では、ガラス板で水溶液を仕切った電池が機能する方法について問い、電池が機能するためには、水溶液間でのイオンの移動が必要であることについての解説を行った。さらに、問 4-2 で

は、素焼き板で仕切った電池の両極の反応について問い、問4-2の解説として、亜鉛（Zn）側では、亜鉛（Zn）が溶けだして亜鉛イオン（ Zn^{2+} ）が放出され、銅（Cu）板側では、水溶液中の銅イオン（ Cu^{2+} ）が電子を受け取り、銅（Cu）が析出し、電池が機能し続けること、また、亜鉛（Zn）板側の水溶液では亜鉛イオン（ Zn^{2+} ）が生じることで+の電気に帯電し、銅（Cu）板側の水溶液では、銅イオン（ Cu^{2+} ）が電子を受け取って銅（Cu）が析出するため、硫酸イオン（ SO_4^{2-} ）の割合が大きくなり、-の電気に帯電するものの、素焼き板には、イオンを通す小さな穴があるため、電気的なたよりを無くすように必要なイオンが移動できるということを示した後、問4-3で、このような素焼き板の役割に対する納得度を問うた。

5-2 調査の結果及び考察

調査結果について、①～④のセクションごとに考察していく。

①イオンへのなりやすさ

→ボルタ電池（ H_2SO_4aq ）

図3は、ボルタ電池（ H_2SO_4aq ）の両極の反応について、問1-1の結果を示したものである。ここでは、解答を4つに分類し、亜鉛板と銅板の反応がどちらも正答であれば、「亜鉛板○、銅板○」、亜鉛板の反応のみが正答であれば、「亜鉛板○、銅板×」、銅板の反応のみが正答であれば、「亜鉛板×、銅板○」、亜鉛板と銅板の反応がどちらも誤答であれば、「亜鉛板×、銅板×」とした。「亜鉛板○、銅板○」の正答の割合は全体の35%であり、多くの学習者が、ボルタ電池（ H_2SO_4aq ）の仕組みの理解が不十分であることが分かる。また、銅板の反応より、亜鉛板の反応の方が、正答率が高い。これは、この設問の前にイオン化傾向に関する解説を提示しているため、亜鉛と銅のイオン化傾向を比べて、銅より亜鉛の方がイオンになりやすいということについては理解できているからであると考えられる。しかし、導線中の電子の移動や銅板側で水溶液中の陽イオンが電子を受け取ることまでには、考えが至らなかったと推察される。さらに、問1-2で、問1-1の解説に対する納得度を問うと、全体の89%が「納得した」と回答していた。このことから、ボルタ電池（ H_2SO_4aq ）の両極の反応について、多数が納得できたことが分かる。

以上のことから、イオン化傾向や導線中の電子の移動と電極板での電子の授受などに関する情報

などが必須であるボルタ電池（ H_2SO_4aq ）の仕組みについて理解させることは、比較的容易であると考えられる。

②ボルタ電池（ H_2SO_4aq ）

→ボルタ電池（ $CuSO_4aq$ ）

ここでは、ボルタ電池（ H_2SO_4aq ）の銅板での水素発生を防ぐ方法として、どのような回答が得られたかについて、問2-1の結果から見ていく。問2-1の回答内容を4つに分類し、回答者の割合を図4に示した。「水溶液を変える」と記述した回答者は、全体の41%である。この回答内容の中には、大半が、どのような水溶液を用いるかについては分からない、あるいは、科学的ではない内容であった。しかし、「硫酸銅水溶液に変える」、「電離して水素イオンが生じない水溶液に変える」と回答した者が、全体の8%を占めていた。また、「銅板を覆う」と記述した回答者は、全体の8%であった。このことから、一部の学習者は、溶質の電離によって水素イオンが生じないような水溶液にするとよい、あるいは、水素イオンと銅板が接触しないようにするとよいと考えていることが分かる。さらに、問2-2で、問2-1の解説についての納得度を問うと、全体の86%が「納得した」と回答していた。このことから、「硫酸銅水溶液に変える」ということを自発的に発想できなくても、解説後では、多くの学習者がこの発想を理解できるということが分かる。

以上のことから、ボルタ電池（ $CuSO_4aq$ ）については、多くの学習者が納得して学習を進めることができたとと言える。また、分極を生じさせない方法について、全体の8%と少ないものの、科学的な発想ができた者がいたことから、実際の授業では、教室内で議論を行わせることで、「硫酸銅水溶液に変える」というような発想に導くことができるのではないかと考える。

次に、ボルタ電池（ $CuSO_4aq$ ）の両極の反応について、問2-3の結果から見ていく。図5は、

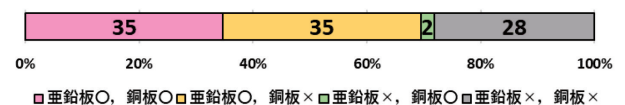


図3 問1-1の結果



図4 問2-1の結果

問 2-3 の結果を示したものである。解答の分類の仕方については、問 1-1 と同様である。「亜鉛板○、銅板○」の正答の割合は全体の 29% と少なく、多くの学習者が、問 1-1 の後に、ボルタ電池 ($\text{H}_2\text{SO}_4\text{aq}$) の両極の反応の解説に「納得した」にも関わらず、ボルタ電池 (CuSO_4aq) の仕組みの原理的な理解が不十分であることが分かる。また、問 1-1 の結果と同様に、銅板で起こる反応より、亜鉛板で起こる反応の方が、正答率が高い。さらに、銅板で起こる反応について誤った回答をしている「亜鉛板○、銅板×」、「亜鉛板×、銅板×」について見てみると、全体の 37% が、銅板側では何も反応しないという回答であった。このことは、そもそも、電流が生じている（電池として機能している）のであれば、必ず、-極（亜鉛板）側で電子を放出し、+極（銅板）側で電子の受け取りが生じていなければならないことそのものを理解していない可能性があるのではないかと考えられる。また、気体発生という回答が全体の 7% であったが、銅板では何らかの気体が発生するものであると考えている可能性がある。したがって、水溶液中のすべての陽イオンの中でイオン化傾向の最も小さい陽イオンと導線中を移動してきた電子との反応について理解させる必要があると考える。さらに、問 2-4 で、問 2-3 の解説に対する納得度を問うと、全体の 91% が「納得した」と回答している。このことから、ボルタ電池 (CuSO_4aq) の両極の反応について、多数が納得できたことが分かる。

以上のことから、自発的な理解は困難でもボルタ電池 (CuSO_4aq) の解説について学習することで、銅板では気体が発生するとは限らず、移動してきた電子と水溶液中の最もイオン化傾向が小さい陽イオンとの反応によって、その単体の物質が発生するという理解させることができると考えられる。

③ボルタ電池 (CuSO_4aq)

→ガラス板で水溶液を仕切った電池

ここでは、ボルタ電池 (CuSO_4aq) の亜鉛板での銅の析出を防ぐ方法として、どのような回答が得られたかについて、問 3-1 の結果から見ていく。問 3-1 の回答内容を 3 つに分類し、回答者の割合を図 6 に示した。「亜鉛板側と銅板側を仕切って、2 つの水溶液を用いる」と記述した回答者は、全体の 21% であった。この回答内容の中には、「亜鉛板側は硫酸亜鉛水溶液、銅板側は硫酸銅水溶液を用いる」、「亜鉛板側に用いる水溶液は分からないが、銅板側は硫酸銅水溶液を用いる」と記述

した回答者が、全体の 8% 見られた。このことから、亜鉛板側では、亜鉛が溶け出して、銅が析出しないような水溶液、銅板側では、水素が発生せず、銅が析出するような水溶液を用いることについて、考えていることが分かる。さらに、問 3-2 で、問 3-1 の解説に対する納得度を問うと、全体の 88% が「納得した」と回答していた。このことから、「亜鉛板側は硫酸亜鉛水溶液、銅板側は硫酸銅水溶液を用いる」ということを自発的に発想できなくても、解説後では、多くの学習者は、この発想を理解できるということが分かる。

以上のことから、ガラス板で仕切った電池の解説の段階までは、多くの学習者が納得して学習を進めることができていると言える。また、実際の授業では、ボルタ電池 (CuSO_4aq) の亜鉛板での銅の析出を防ぐ方法について、学習者に議論を行わせることで、「亜鉛板側は硫酸亜鉛水溶液、銅板側は硫酸銅水溶液を用いる」というような発想に導くことができるのではないかと考える。

次に、ガラス板で仕切った電池の両極の反応について、問 3-3 の結果から見ていく。問 3-3 の結果を図 7 に示した。解答の分類の仕方については、問 1-1 と同様である。「亜鉛板○、銅板○」の正答の割合は全体の 29% と少なく、多くの学習者が、ガラス板で仕切った電池の極板でも、何らかの反応が起こっていると考えていることが分かる。

以上のことから、あえて、ガラス板で仕切った電池にならない装置について学習することで、水溶液間でイオンの移動がなければ、電池が機能することは無いということを理解させることができ

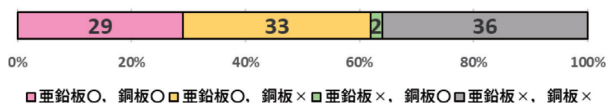


図 5 問 2-3 の結果

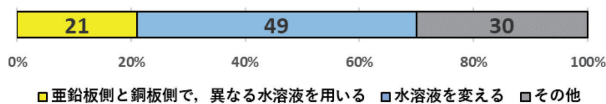


図 6 問 3-1 の結果

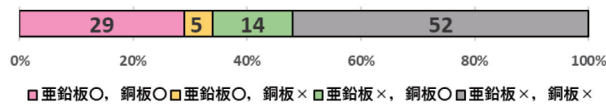


図 7 問 3-3 の結果

るのではないかと考える。

④ガラス板で水溶液を仕切った電池
→素焼き板で水溶液を仕切った電池
(ダニエル電池)

ここでは、ガラス板で仕切った電池が機能する方法として、どのような回答が得られたかについて、問4-1の結果から見ていく。問4-1の回答内容を4つに分類し、回答者の割合を図8に示した。「ガラス板を他のものに変える」と記述した回答者は、全体の27%であった。この回答の具体として、半数以上が、「イオンが移動できる仕切りに変える」、「小さな穴が空いた仕切りに変える」と指摘できていた。このことから、一部の学習者は、電池に2種類の水溶液を用いる場合には、水溶液間をイオンが移動することが必要不可欠であることについて、理解できていると言える。

次に、素焼き板で仕切った電池の両極の反応について、問4-2の結果から見ていく。問4-2の結果を図9に示した。解答の分類の仕方については、問1-1と同様である。「亜鉛板○、銅板○」の正答割合は全体の42%であり、これまでの正答率と比べて高かった。ただ依然として、半数以上が両極の反応についての理解が不十分であることが分かる。

最後に、問4-1、4-2の解説後、問4-3で、素焼き板の役割に対する納得度を問うと、全体の82%が「納得した」と回答した。このことから、多数が素焼き板の役割やダニエル電池の仕組みについて理解することができていることが分かる。つまり、この一連の学習の文脈に沿って、情報が提示されていけば、多くの学習者が、素焼き板で仕切った電池(ダニエル電池)の内容まで、納得して学習を進めることができると考えられる。しかし、これまでの納得度と比べると、ここでの納得度は最も低く、ダニエル電池を理解するためには、丁寧に時間をかけて学習する必要があること

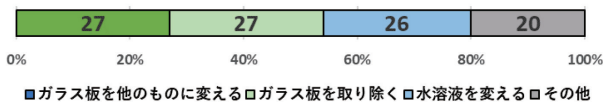


図8 問4-1の結果

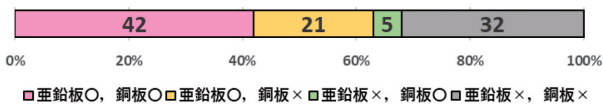


図9 問4-2の結果

を再認識させられる結果となった。

6. 総括

本研究では、まず、2つの水溶液を必要とすることや素焼き板の役割について馴染みがないというダニエル電池の学習上の問題点を解消し、ダニエル電池の複雑な仕組みを理解するために、ボルタ電池を導入として、その電池の欠点を改善するような段階を踏んで学習することを提案した。その結果、電池の欠点を改善する方法を記述させた問いや納得度の結果から、提案した学習の文脈は、ダニエル電池の複雑な仕組みを理解するという点で有効であることが分かった。また、それだけではなく、本研究で提示した学習の文脈は、イオン化傾向や電子の移動、水溶液中の陽イオンと電子の反応、水溶液間のイオンの移動の必要性などのような、電池の基本的な仕組みを理解するための情報について、段階を踏んで、1つずつ丁寧に学習することができるような流れになっていたと考えられる。そこで、今後は、本研究を踏まえて、提案した学習の文脈に沿って、実際に授業実践を行い、その有効性についてしていきたい。

7. 註

- 1) 文部科学省『中学校学習指導要領(平成20年告示)解説 理科編』, 大日本図書株式会社, pp.49-51, 2008
- 2) 文部科学省『中学校学習指導要領(平成29年告示)解説 理科編』, 学校図書株式会社, pp.61-62, 2018
- 3) 深田貴史『中学校理科におけるイオン概念構築に関する基礎的研究』, 理科教育教室卒業論文, pp.19-22, 2018
- 4) ここでは、以下の教科書を検討した。
 - ・有馬朗人ら『理科の世界3』, 大日本図書株式会社, pp.185-195, 2021
 - ・細矢治夫ら『自然の探究 中学理科3』教育出版株式会社, pp.44-57, 2021
 - ・岡村定矩ら『新しい科学3』東京書籍株式会社, pp.52-61, 2021
 - ・塚田捷ら『未来へ広がるサイエンス3』新興出版社啓林館, pp.124-138, 2021
 - ・霜田光一ら『中学校 科学3』学校図書株式会社, pp.170-181, 2021
- 5) 実際には電流が生じないため、科学的には電池とは言えないが、学習の文脈の設定上、今回は、便宜的に「電池」と表現することにした。

