

磁力を金属樹の形状で可視化する探究型学習教材の開発 Development of an Inquiry Learning Material Visualizes Magnetic Field with Forming Metal Dendrites

○野口大介
Daisuke NOGUCHI
長崎大学
Nagasaki University

〔要約〕 Copper dendrites exposed to a magnetic field of rare earth magnets in an electrolyzing aqueous solution of CuSO_4 resulted in two things. Firstly, a precipitation around the cathode with swirling, and secondly, a growth while spinning around the cathode during the electrolyzing process if a vibration by hand was gently added to the cathode. If these phenomena become inquiring learning materials, it seems to be of significant value in secondary educational practice. In this report, it is shown that the different concentrations of solution change the form of copper dendrites. The lower one needs waiting for enough changing the form, on the other hand, the higher one causes collapse with too strong flow by the Lorentz force acting ions in the solution.

〔キーワード〕 Lorentz force, Magnetic Field, Copper, Zinc, Metal Dendrite, Rare Earth Magnet, Swirling and Rotational Motion, Inquiry Learning Material

I. 問題の所在

金属樹（金属葉）は美しく、研究者から関心が寄せられてきた(例えば、江川, 2016; 早川ら, 1985; 金児, 1991; Kawauchi et al., 2000; Nishino, 2004; Qiu et al., 2009; 玉虫, 1987). また中等教育現場において金属樹の析出実験は酸化還元反応およびイオン化傾向の理解を深める題材として長年にわたって多くの化学の授業でさまざまに工夫され実践されてきた(例えば、江口, 1990; 深野, 2014; García, 1995; 荻野, 2015; 林ら, 1988; Ikemoto & Saitou, 2013; 伊能ら, 1988; 石渡, 2006; 神崎, 2000; 軽部ら, 1997; Ling et al., 2019; 増井, 1990; 仁宮, 1989; Olsen, 1969; 佐藤ら, 1995; 庄司, 2014; 高野, 2015; 谷川, 1997; 馬路ら, 1991; 土屋ら, 1995; Xu et al., 2016; 横山, 1995). 美しい形状が観察者の心を動かすため教育効果が大きいと思われ¹⁾、部活動などにおける探究テーマや課題研究テーマとなり生徒らによる研究対象にもされてきた(例えば、人羅ら, 2013; 板橋ら, 1982, 1985; 岩田, 2004; 鹿児島県立国分高等学校, 2016, 2017; 神奈川県立弥栄高等学校, 2017; 加藤, 1992; 小林, 2009; 小出, 1987, 1988; 小山, 1988; 松岡, 2017; 守口, 1995; 森下, 2009; 村上, 1997; 長勢ら, 1990; 大和ら, 2015; 沢畠, 2008; 瀬戸, 2007; 島田, 2012; 高木, 1992; 富山県立入善高等学校, 2015; 渡辺, 2010). さらに市民や子どもを対象にした演示を通じて化学への興味・関心を高める実践も行われてきた(例えば、加治, 2005; 日

下部, 2003).

一方、目には見えない磁場の作用を物質の変化の様子として化学的に観察できる教材の開発事例が知られている。例えば金属イオンには常磁性のものがあり、外部から磁場を作用させその効果を実験で観察できるという(伊丹, 1990; 松山, 1992). 加えて、磁場中の電気分解反応で生じるイオン流によるローレンツ力の可視化に関する教材開発についても報告がある(柴田ら, 2006; 矢野ら, 1999; 2005; 2011). 筆者は高等学校教員として希土類磁石の磁場が金属樹析出に与える効果に関する生徒の理数科課題研究指導を実践しその教材化を試みてきた。希土類磁石を作用させながら硫酸銅(II)水溶液や硫酸亜鉛水溶液を電気分解すると、銅樹および亜鉛樹が希土類磁石の磁場下で一方向に曲がりながら出現する。このとき、陰極に手で力を軽く加えて振ると、陰極の炭素棒を中心に金属樹が析出を伴いながら高速で回転運動することを偶然に見出した(野口, 2012a-c; 2013; 2015; 2016; 2017; 2019)²⁾.

超伝導磁石を使った場合に非磁性の金属樹が曲がるという研究は以前から知られ(伊達, 2010; Hinds et al., 2001; Matsushima et al., 2007; Mogi & Kamiko, 1996; Mogi et al., 1995; 大久保ら, 1990; 1992), 永久磁石によって銀や銅のような非磁性金属が曲がる現象も最近になって報告されている(Tanimoto et al., 2013; Udagawa et al., 2014). 加えて理論面からのアプローチもなされている

(Cronemberger & Sampaio, 2006; Mutschke et al., 2010; Mühlhoff et al., 2012) が、崩れやすいことが知られる金属樹自体が形状を保ちつつ電極を中心に回転運動することを新たに発見したことは大変興味深い。従って、金属樹析出反応と磁場を組み合わせた本題材は、探究活動に取り組む生徒に磁場を身近に感じさせるとともに、研究の最先端に触れさせる機会を提供できたといえるが、反応条件の詳細な検討にはなお課題が残っており、教材化は道半ばである。

そこで本稿では希土類磁石の磁場下における硫酸銅(II)水溶液電気分解で生じる銅樹の形状について、濃度を変化させて比較し、教材化を意識して、磁力の作用を効果的に視覚化できる濃度を探った結果を報告する。また、用いる希土類磁石の磁力の強さ(磁束密度)を測定した結果についてもあわせて報告する。

II. 研究の方法

1. 対象と期間

2017年から2018年にかけて個人実験で実施した。

2. 分析方法

a. 器具

陰極：炭素棒(長さ7.5 cm, $\phi = 5$ mm), 陰極を支持するゴム栓(黒色), プラスチックシャーレ(深さ1.3 cm, 直径6.5 cm), 電源装置(NaRiKa), リード線, 磁束密度計, 希土類磁石(ケニス)5個, 希土類磁石を支持するゴム栓(茶色), 陽極：銅線(長さ24 cm, $\phi = 1$ mm), 試薬瓶, 駒込ピペット, メスフラスコ, 薬さじ, 電子天秤, 薬包紙, キムワイプ, デジタルカメラ(Canon デジタルカメラ IXY 630)

b. 試薬

硫酸銅(II)五水和物, 希硝酸(6 mol/L)

陽極の銅線を丸く曲げてプラスチックシャーレに入れた(図1)。銅線は6 mol/L 希硝酸で表面を洗浄し蒸留水で洗い流し水分をキムワイプでふき取って用いた。モル濃度が0.050 mol/L, 0.10 mol/L, 0.15 mol/Lとなるように硫酸銅(II)水溶液を調製した。プラスチックシャーレの下にゴム栓で支えた希土類磁石5個を置いた状態で、調製した硫酸銅(II)水溶液10 mLを駒込ピペットにてシャーレに深さ3 mm(電極を入れていない状態)まで加えた。次に真ん中に穴をあけたシャーレのふたに陰極の炭素棒を差し込んでゴム栓で固定し、ふたをかぶせて炭素棒を溶液に浸した。陽極の銅線と陰極の炭素棒に電源装置からリード線を通して

電流を流し、溶液の磁気電気分解を行った(図2)。希土類磁石を重ねる個数を1個から5個まで変え、磁束密度計を用いて磁極の磁場の大きさ(mT)を測定した。なお5個重ねたときは、磁極からの垂直方向の距離が5 mmと10 mmの箇所および水平方向の距離が10 mm, 15 mm, 20 mmの計7か所について測定した(図3)。

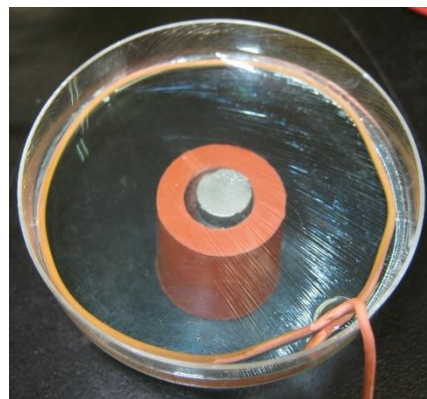


図1 実験に用いたシャーレ(下にはシャーレを支える希土類磁石(5個)が入った穴をあけたゴム栓が置いてあり、陽極に用いた銅線は縁に沿うよう曲げて入れられている。)

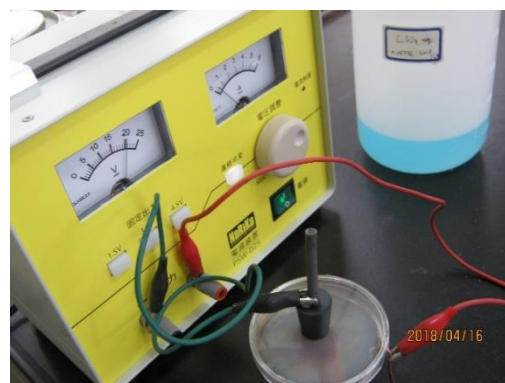


図2 磁気電気分解実験に用いた器具

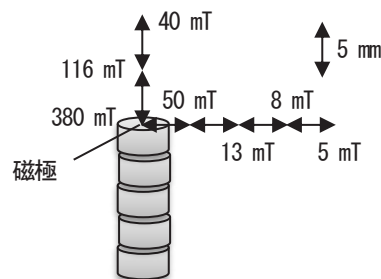


図3 磁石の磁束密度測定を行った箇所

III. 結果

電源装置の印加電圧は20 Vおよび10 Vとなるようにしたが水の電気分解による気体生成反応は起こらず、陰極における銅樹の析出および陽極の銅の溶解の

みが起こった。通電時間は1分または2分とした。流れた電流値はおよそ0.1 Aであった。析出した銅樹の形状を確認するために、通電終了後にシャーレのふたを開け炭素棒を銅樹からはずし、シャーレ内を上から写真撮影し記録した。なお対照実験として磁石を0個にして同様の実験を行った。析出量が少なかったため通電時間は5分および10分でも行った。

図4上段に濃度0.050 mol/Lで1分間 (a) および2分間 (b) 通電したもの、中段に濃度0.10 mol/Lで1分間 (c) および2分間 (d) 通電したもの、下段に濃度0.15 mol/Lで1分間 (e) および2分間 (f) 通電したときの銅樹を示す。作用させた磁石の個数はいずれも5個である。

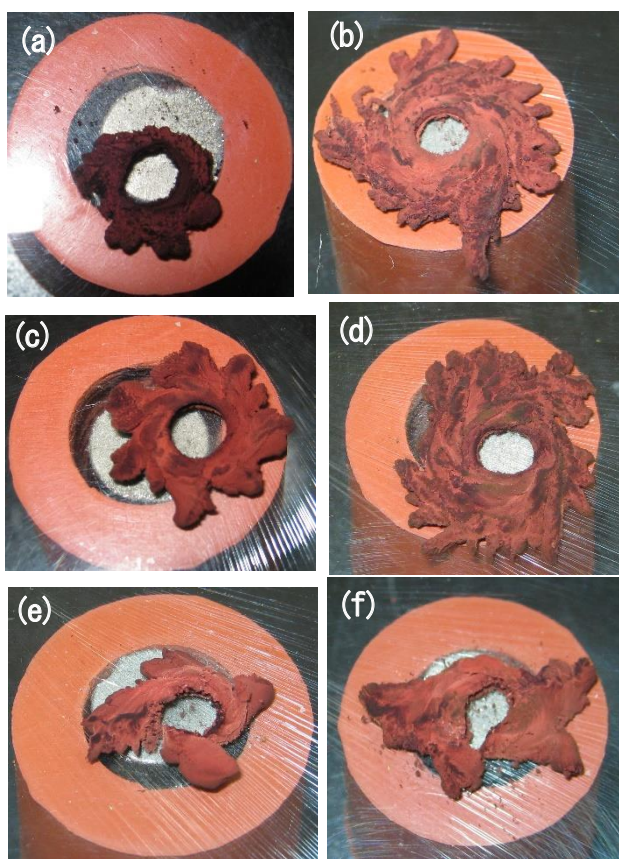


図4 上段；硫酸銅(II)水溶液0.050 mol/Lで1分間 (a) および2分間 (b) 通電、中段；濃度0.10 mol/Lで1分間 (c) および2分間 (d) 通電、下段；濃度0.15 mol/Lで1分間 (e) および2分間 (f) 通電したときの銅樹 (印加電圧はいずれも20 V)

表1に、磁石の個数をいずれも5個にしてそれぞれの濃度の硫酸銅(II)水溶液を1分間または2分間にわたり20 Vで磁気電気分解を行った結果生じた銅樹の形状の観察しやすさについてまとめた。

表1 磁気電気分解時間と濃度による銅樹の形状の違い (磁場の影響が、○は見て取れる、△は見づらいことを表す。)

		硫酸銅(II)水溶液のモル濃度 (mol/L)		
		0.050	0.10	0.15
通電時	1	△	○	△
間 (分)	2	○	○	△

対照実験として磁石を作用させずに2分間通電して析出した銅片を図5に示す。いずれも崩れてしまい観察に適しなかった。なお印加電圧を10Vにして同様の実験をおこなったが、いずれの濃度においても通電時間を10分程度にしなければ観察に適した良好な形状の銅樹は析出しない結果となった。

重ねた磁石の個数毎の磁極の磁束密度を図6に示す。



図5 左から、硫酸銅(II)水溶液の濃度が0.050 mol/L, 0.10 mol/L, 0.15 mol/Lの銅片 (印加電圧は20 V)

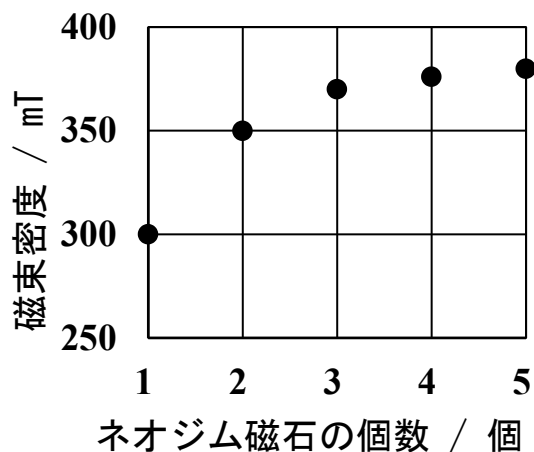


図6 磁石の個数による磁極の磁束密度の変化

IV. 考察

硫酸銅(II)水溶液の濃度が最も薄い0.050 mol/Lの場合、通電時間1分では生じた銅樹の量が少なく、磁場の影響によって一方向に曲がりながら析出する様子が見づらく、観察しやすい状態になるまでには倍の2分間は必要である。濃度を0.10 mol/Lにすれば通電時間が1分であっても磁場の作用を銅樹の形状から十分に観察できる。ところが、さらに濃度を高めた0.15

mol/L では、銅樹の形状はいびつになり崩れやすくなった。これは、濃度が高くなるにつれて溶液中のイオンにはたらくローレンツ力によって生じる溶液の対流が増すことで、生じた金属樹が崩れやすくなることを示している。磁束密度測定からは、磁石の個数が多い方が磁力は強くなることが見て取れるが、磁石を重ねる個数を多くしても増大する磁束密度への効果は次第に小さくなった。これは磁極から離れた向きに磁石が伸びていくためだろうと考えられる。

V. おわりに

短時間で効果的に磁場の影響を受けた金属樹の形状観察が行えるようにするには、用いる電解質水溶液の濃度は濃すぎもせず薄すぎもしない最適な濃度があることを明らかにすることができた。一方、印加電圧の大きさについてはまだ十分な検討が行えていない。今後は、電源装置ではなく角型乾電池 (9V) であっても磁場による金属樹形状への影響を効果的に観察できる教材開発を念頭に実験的検討を行い、教材としてより実践しやすい条件を探ることが課題である。

付記・謝辞

本報告内容に先行するテーマで理数科課題研究に取り組んだ島田 旭 氏、林 凌太 氏、松本 和哉 氏、文献調査にあたりご協力頂いた九州大学 白石 文秀 教授および広島大学 谷本 能文 名誉教授、磁束密度計を貸与して頂いた鹿児島大学 小山 佳一 教授に感謝申し上げます。本研究の一部は 2014 年度武田科学振興財団高等学校理科教育振興奨励の助成を受けた。

(1) 筆者は中学生の頃に科学部で硝酸銀と二クロム酸カリウムの組み合わせでリーゼガング現象の研究を行っていた際、イオンの移動を外部から制御しようと通電したところ、銀イオンが陰極で還元されて銀樹が (意図せず) 析出し驚いたことが今も印象に残っている。これがゲル中における金属樹析出条件の研究

(第 40 回日本学生科学賞作品として応募) に発展し、現在に至る金属樹研究に取り組むきっかけとなった。筆者の研究を温かくご指導頂いた元北九州市立本城中学校 教諭 小泉 憲司 先生にも御礼申し上げたい。
(2) 佐賀県立佐賀西高等学校サイエンス部は筆者の研究報告を引用して、第 79 回分析化学討論会にて「金属樹の析出過程の観察」(Y2005H) として研究発表を行っている。

文献

- Cronemberger, Sampaio (2006): Growth of fractal electrodeposited aggregates under action of electric and magnetic fields using a modified diffusion-limited aggregation algorithm, *Phys. Rev. E*, 73, 4, 041403(1–6).
- 伊達宗行 (2010): 極限の科学—低温・高圧・強磁場の物理, 講談社.
- 江川恭平 (2016): 電気的析出におけるデンドライトの発生機構とパルスめっきによる制御, *形の科学会誌*, 31, 3, 127–143.
- 江口華子 (1990): 理数科教員のための講習会(第 19 回): 新指導要領を指向した化学実験教材の研究, *化学と教育*, 38, 5, 596–598.
- 深野和裕 (2014): スズとスズイオンの性質: 高等学校におけるその取り扱い, *化学と教育*, 62, 8, 396–399.
- García, Liu (1995): Classroom Demonstration of Electrodeposited Fractal Patterns, *J. Chem. Educ.*, 72, 9, 829–831.
- 早川美徳・松下 貢・沢田康次 (1985): 金属葉のフラクタル構造, *日本結晶成長学会誌*, 12, 3, 234–235(84–85).
- 林 良重・黒杭清治・村田吉彦 (1988): 榕菴を感激させたジアナ樹を育てる—舎密開宗による銀樹の追試実験(デモ実験虎の巻)—, *化学と教育*, 6, 1, 74–75.
- Hinds, G. et al. (2001): Magnetic Field Effects on Copper Electrolysis, *J. Phys. Chem. B*, 105, 39, 9487–9502.
- 人羅智恵・松岡雅忠・柳澤秀樹 (2013): 駒場東邦中学・高等学校化学部 リーゼガング現象の探究(科学賞の受賞をたたえて, 実験の広場), *化学と教育*, 61, 7, 352–353.
- Ikemoto, Saitou (2013): Visual Observation of Dissolution of Copper Ions from a Copper Electrode, *J. Chem. Educ.*, 90, 6, 763–764.
- 伊能 敬・武田一美・渡辺範夫 (1988): 拡大する, *化学と教育*, 36, 3, 286–287.
- 板橋英喜・赤坂ひろみ・遠藤光子 (1982): ヘキサノ硫酸鉄(II)水溶液界面での電析による鉄葉の成長, *化学教育*, 30, 6, 485–487(59–61).
- 板橋英喜・吉岡智子・熊谷麻美・高橋美樹・菊田和代・斎藤智子 (1985): 有機溶媒と濃厚な硫酸銅(II)水溶液との界面での電析による木の葉状の赤色銅の成

- 長, 化学教育, 33, 5, 423-425(63-65).
- 石渡正志 (2006): 理科授業力向上のための教師の主体的取り組み, 日本科学教育学会研究会研究報告, 20, 5, 23-26.
- 伊丹芳徳 (1990): 典型元素と遷移元素との比較実験法—常磁性の水溶液の磁場中での挙動—, 化学と教育, 38, 1, 86-89.
- 岩田久道 (2004): 鉄に関する化学探究活動の実践, 化学と教育, 52, 3, 155-157.
- 鹿児島県立国分高等学校 (2016 & 2017): 金属樹の成長の条件とその形状について, 中高生の科学研究実践活動推進プログラム報告書.
- 加治俊夫 (2005): 大分県理科教育支援に対する大分高専の役割, 化学と教育, 53, 2, 66-69.
- 神奈川県立弥栄高等学校 (2017): 金属樹の生成, 中高生の科学研究実践活動推進プログラム報告書.
- 金児紘征 (1991): 金属葉の形態, 日本金属学会会報, 30, 12, 985-992.
- 神崎夏子 (2000): 廃缶を利用した金属樹, 化学と教育, 48, 5, 334-335.
- 軽部昭夫・神尾怜子 (1997): 硝酸銀溶液のイオン化傾向と銀鏡反応, 化学と教育, 45, 1, 52.
- 加藤秀正 (1992): 探究活動の指導展開: 化学 IB における酸化還元および溶液についての指導, 化学と教育, 40, 6, 372-374.
- Kawauchi, S. et al. (2000): Temperature dependence of the fractal dimension of Zn metal leaves, J. Adv. Sci., 12, 1&2, 127-128.
- 小林孝次 (2009): 長野県屋代高等学校理化班, 化学と教育, 57, 1, 33.
- 小出 力 (1987): 第 3 回年度高等学校・中学校化学研究発表会, 化学と教育, 35, 1, 84-86.
- 小出 力 (1988): 昭和 62 年度高等学校・中学校化学研究発表会 (近畿支部地区), 化学と教育, 36, 1, 109-110.
- 小山耿一 (1988): 金属樹についての一考察, 化学と教育, 36, 3, 311.
- Ling, Y. et al. (2019): Observing the Growth of Metal Dendrites in Specimens Prepared by Fabricating Galvanic Cells and Electrolytic Cells, J. Chem. Educ., ASAP.
- 日下部慧 (2003): 「サイエンス夢工房」—東京理科大学の理科実験教室, 化学と教育, 51, 9, 542-543.
- 増井幸夫 (1990): 第 11 回化学教育講演会およびパネ
ル討論会, 化学と教育, 38, 5, 585-586.
- 松岡雅忠 (2017): 中学・高等学校の理科系部活動における探究活動のテーマ分析—東京都内の研究発表会の事例から—, 理科教育学研究, 57, 3, 281-291.
- Matsushima, H. et al (2007): Copper electrodeposition in a magnetic field, Electrochim. Acta, 53, 161-166.
- Matsushima, H. et al. (2004): Effects of magnetic fields on iron electrodeposition, Surf. Coat. Technol., 179, 2-3, 245-251.
- 松山之則・安岡高志・尾形吉成・島田 紘・城所忠彦・光澤舜明 (1992): 常磁性化合物の磁場中挙動の観察, 化学と教育, 40, 3, 180-182.
- Mogi, Kamiko (1996): Striking effects of magnetic field on the growth morphology of electrochemical deposits, J. Cryst. Growth, 166, 1-4, 276-280.
- Mogi, I. et al. (1995): Magnetic field effects on fractal morphology in electrochemical deposition, Physica B: Condens. Matter, 211, 1-4, 319-322.
- 守口良毅 (1995): 第 8 回福岡県高等学校化学クラブ研究発表会, 化学と教育, 43, 4, 273-274.
- 森下眞弓 (2009): 岐阜県立斐太高等学校科学部, 化学と教育, 57, 3, 142.
- Mühlenhoff, S. et al. (2012): Lorentz-force-driven convection during copper magnetoelectrolysis in the presence of a supporting buoyancy force, Electrochim. Acta, 69, 209-219.
- 村上忠幸 (1997): 課題研究: 生徒の自発的研究活動を目指して, 化学と教育, 45, 12, 690-691.
- Mutschkea, G. et al. (2010): On the origin of horizontal counter-rotating electrolyte flow during copper magnetoelectrolysis, Electrochim. Acta, 55, 1543-1547.
- 長勢信太郎・小倉謙一郎 (1990): 金属葉の研究, 第 5 回石川地区中学高校生徒化学研究発表会要旨集, 14-16.
- 仁宮章夫 (1989): 顕微鏡を使用した化学実験, 化学と教育, 37, 3, 327.
- Nishino, J. et al. (2004): An Influence of Copper Particle Size on the Morphology Tree Formed from AgNO₃ Aqueous Solution, Electrochem., 72, 11, 743-746.
- 野口大介 (2012a): 長崎県立長崎北陽台高等学校理数科課題研究化学班, 化学と教育, 60, 3, 113.
- 野口大介 (2012b): 理数科課題研究化学分野における取り組みについて, 長崎北陽台高紀要, 13, 57-63.

- 野口大介 (2012c) : 化学実験および課題研究～考える力の育成～, 理科会誌, 51, 38–45.
- 野口大介 (2015) : 理数科課題研究 ～科学技術を担う人材育成～, 理科会誌, 54, 20–40.
- 野口大介 (2016) : 金属樹に関する新しい教材の研究・開発について, 理科会誌, 55, 13–16.
- 野口大介 (2017a) : 長崎県立高等学校で指導した生徒による化学課題研究—2008 年から 2016 年までの教育実践一, 生活大学研究, 3, 194–203.
- 野口大介 (2017b) : 渦巻く金属樹がネオジム磁石存在下で回転運動する現象に関して高校生が行った研究活動およびその教育実践, 日本化学会第 97 春季年会要旨集, 3A4-11.
- 野口大介 (2019) : 探究的な授業実践と金属樹を題材とした課題研究, 化学と教育, 67, 254–257.
- 荻野和子 (2015) : 面白くて教育効果の高い実験の普及を目指して, 化学と教育, 63, 5, 256–259.
- 大久保晋・茂木 巖・中川康昭 (1990) : 金属葉に及ぼす強磁場の影響, 日本結晶学会誌, 32, 138.
- 大久保晋・茂木 巖・中川康昭 (1992) : 強磁場中の金属葉フラクタルの成長 II, 物性研究, 58, 6, 639–642.
- Olsen, R. C. (1969): A three-dimensional model of dendritic structure, J. Chem. Educ., 46, 8, 496.
- 大和郁夫・小林寛和 (2015) : 東京都立日比谷高等学校化学探究部 ニンヒドリン反応によるアミノ酸の発色および発色率の違い, 化学と教育, 63, 2, 78–79.
- Qiu, R. et al. (2009): Preparation of Dendritic Copper Nanostructures and Their Characterization for Electroreduction, J. Phys. Chem. C, 113, 36, 15891–15896.
- 佐藤宗太・臼井豊和・守本昭彦・山口 晋 (1995) : 重ね合わせたペトリ皿の隙間でつくる金属樹, 化学と教育, 43, 1, 54.
- 沢島博之 (2008) : 茨城県立水戸第二高等学校数理科学同好会, 化学と教育, 56, 7, 338.
- 瀬戸良平 (2007) : 部活動(自然科学部)を通しての化学教育の試み: 福井地区の高等学校(公立校)の実践報告, 化学と教育, 55, 10, 484–485.
- 柴田恭幸・大山光晴 (2006) : イオンが受けるローレンツ力を見る新しい実験手法の開発, 物理教育, 54, 1, 5–9.
- 島田 旭 (2012) : 「金属樹が一方向に曲がるメカニズム」, 全国高校生理科・科学論文大賞専門委員会(編)「日刊工業新聞社」, 226–235, 日刊工業新聞社.
- 荘司隆一 (2014) : 金属樹の成長の様子の観察, 化学と教育, 62, 10, 496–497.
- 高野裕恵 (2015) : 実践「実験したら定型考察文」, 化学と教育, 63, 9, 424–427.
- 玉虫伶太 (1987) : 27p-S-4 金属葉の形態と成長過程, 日本物理学会秋の分科会予稿集, 2, 15–16.
- 谷川直也 (1997) : 美しい銀樹の生成を観察する, 化学と教育, 45, 9, 539.
- Tanimoto, Y. et al. (2013): Weak Magnetic Field Effects on Silver Dendrite Formation, Bull. Chem. Soc. Jpn., 86, 12, 1447–1449.
- 高木宏爾 (1992) : 第 5 回福岡県高等学校化学クラブ研究発表会, 化学と教育, 40, 2, 130.
- 富山県立入善高等学校 (2015) : 金属樹の検証, 中高生の科学研究実践活動推進プログラム報告書.
- 土屋 徹, 米山 裕 (1995) : 金属樹の夢—金属樹のプラスチックフィルム保存法—, 化学と教育, 43, 12, 786–787.
- Udagawa, C. et al. (2014): Magnetic Field Effects on Copper Metal Deposition from Copper Sulfate Aqueous Solution, J. Phys. Chem. B, 118, 18, 4889–4894.
- 馬路英和・雨宮孝志 (1991) : 金属の花—ガラス板を用いた金属樹—, 化学と教育, 39, 2, 163–164.
- 渡辺琴美 (2010) : 銅金属葉の白化, TX テクノロジー・ショーケース in つくば, 高 P-21, 143.
- Xu, X. et al. (2016): Experimenting with a Visible Copper–Aluminum Displacement Reaction in Agar Gel and Observing Copper Crystal Growth Patterns To Engage Student Interest and Inquiry, J. Chem. Educ., 93, 9, 1612–1615.
- 矢野 潤・稲田 誠 (1999) : 磁界中におけるボルタ電池反応の進行によるイオン流の視覚化, 化学と教育, 47, 8, 562–565.
- 矢野 潤・小田健二・則包早百合・渡邊定和・松田雄二・大村 泰 (2011) : 磁界中の電気化学反応によるイオン流から生じる液回転によるフレミングの左手の法則の視覚化, 工学教育, 59, 4, 92–98.
- 矢野 潤・塩原正雄・平木弘一・竹田 正 (2005) : 磁場中の電気分解により発生した液回転によるローレンツ力の可視化, 科学教育研究, 29, 4, 308–312.
- 横山一郎 (1995) : マニキュア液を利用した金属樹の立体観察, 化学と教育, 43, 12, 814.