滝用水車からの電力を利用したルビー単結晶の育成

Flux Growth of Ruby Crystals by Use of Electric Power Generated by a Micro Hydro Turbine Set in a Waterfall

○ 大石修治 (信州大) 瀧瀬 明 (信州大) 手嶋勝弥 (信州大)
正 飯尾昭一郎 (信州大) 正 池田敏彦 (信州大)

Shuji OISHI, Shinshu University, 4-17-1, Wakasato, Nagano 380-8553
Akira KOUKETSU, Shinshu University, 4-17-1, Wakasato, Nagano 380-8553
Katsuya TESHIMA, Shinshu University, 4-17-1, Wakasato, Nagano 380-8553
Shouchiro IIO, Shinshu University, 4-17-1, Wakasato, Nagano 380-8553
Toshihiko IKEDA, Shinshu University, 4-17-1, Wakasato, Nagano 380-8553

Key Words: Ruby Crystal, Flux Growth, Electric Power, Micro Hydro Turbine, Waterfall

1. はじめに

宝石は、古来から多くの人々を魅了してきた。中でも、酸化アルミニウム (Al_2O_3 , コランダム) に微量のクロム (Cr) をドーブしたルビー ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{:Cr}$) は、赤色宝石としてあまりにも有名である。ルビーをはじめとする酸化アルミニウム結晶の融点 (約 2050°C) はきわめて高く、硬さはダイヤモンドに次ぐ。電気絶縁性や化学的安定性にも富み、酸化アルミニウム結晶は、すぐれた機械材料 (ボールベアリング, ナイフエッジ, キャピラリーなど) になる。

昔から、ルビー単結晶を作る試みは数多くなされてきた。工業的なルビー製造には、融液法に属するベルヌーイ法が多用されている。円柱状のルビー結晶が成長する。一方、溶液法に属するフラックス法 (無機化合物などを溶媒とする結晶育成法) は、融点よりもはるかに低い温度で結晶を育成できる環境調和型技術である。この方法は、自形 (結晶構造を反映したフラットな結晶面で囲まれた形態) 結晶が成長する特長もっている。ルビー結晶を育成するフラックスには、従来から鉛化合物 (PbO や PbF_2 など) や氷晶石 (Na_3AlF_6) が多く使われてきた。これらのフラックスには、取り扱いや毒性の問題点がある。最近、大石と手嶋らは酸化モリブデン (MoO_3) フラックス蒸発法により六方両錐形ルビー結晶を成長させる技術を世界に先がけて開発した^{(1),(2),(3),(4)}。酸化ナトリウム (Na_2O) などの塩基性酸化物をフラックス (酸性酸化物) に添加して蒸発をコントロールすると、結晶が大型化することもわかった^{(5),(6)}。フラックス法によるルビー結晶の育成実験には、必ず電気炉を用い、電力を消費する。

近年、水力エネルギーを使用した環境にやさしい発電が大いに注目されている。池田らは、小型水車を開発し、小さな川の流れを利用したマイクロ水力発電に成功し⁽⁷⁾、その電力の応用を展開している。

自然エネルギーから得た電力で、できる限り低い温度で高品質ルビー結晶を育成することは、省資源や省エネルギーの観点からもきわめて重要である。本研究の目的は、滝用水車で発電した電力を利用して電気炉を加熱し、酸化モリブデン系フラックス高温溶液からルビー単結晶を育成することである。

2. 実験方法

まず、水車から得られる電力を利用してルビー単結晶を育成するための条件 (温度や調合物組成など) を探る予備実験を実験室内で行った。続いて、予備実験での検討結果に基づ

いた条件を用い、長野県小諸市相生町の松井川 (川幅: 約 1.5 m, 水位: 5~10 cm) の小さな滝の流れから得た電力でルビー結晶の育成を公開実験した (2006 年 6 月 25 日)。溶質 [酸化アルミニウム 0.151 g + 酸化クロム (Cr_2O_3) 0.005 g] とフラックス [酸化モリブデン 2.825 g + 炭酸ナトリウム (Na_2CO_3) 0.042 g] の各粉末試薬を混合した調合物 (約 3 g) を作った。それを白金るつぼ (容量 30 cm^3) に充填し、ふたをした。そのるつぼを市販の電気炉に入れ、約 55 分間で 1100°C まで加熱し、約 125 分間保持した。電気炉の電源を切り、室温まで放冷し、電気炉からるつぼを取り出した。晶出状況を観察しながら、成長した結晶を採取した。結晶の色相や形態を観察した。

電気炉で高温を得るために、滝用水車からの電力 (交流) を直流に変換してから 12 個 (電圧: 12 V, 容量: 28 Ah) のバッテリーに蓄えた。その直流を再び交流に変換して電気炉に使用した。

3. 実験結果

3-1 予備実験 酸化モリブデンを基本とするフラックスを 1100°C で蒸発させると、目的のルビー単結晶が成長することを確認した。調合物量は約 3 g が適切であった。酸化モリブデンに酸化ナトリウムを添加したフラックスが高品質結晶を育成するのに有効であった。最適の調合物は、2. に記した化学組成であることを明らかにした。充電した 12 個のバッテリーは、電気炉を 1100°C に加熱して、その温度で 2~3 時間保持する能力をもっていた。

3-2 公開実験 松井川に滝用水車を設置した。その設置の様子を Fig.1 に示す。水車を用いて発電した電力は、電気炉を 1100°C まで加熱して 2 時間ほど保持するために十分であった。

育成実験の終了後、白金るつぼの壁面や底面に付着して成長した赤色透明の単結晶 (Fig.2) を確認した。その結晶がルビーであることは、X線回折法や電子線マイクロアナライザー法によって同定した。最大ルビー結晶のサイズは、約 0.4 mm であった。赤色の濃淡は、着色剤である酸化クロムの添加量によって変わった。ルビー結晶は、フラットな二等辺三角形の結晶面だけで囲まれた自形をもち、光を反射してキラッと輝いた。その結晶面の指数は $\{11\bar{2}3\}$ であった。結晶の形態は、Fig.2 から明らかなように、六方両錐の十二面体を基本としていた。

酸化モリブデンフラックスはほとんど蒸発したために、結

Fig.1 Setting of micro hydro turbine in waterfall

Fig.2 Ruby crystals grown from MoO_3 flux

晶とフラックスの分離はきわめて容易であった。結晶表面にわずかに付着したフラックスは、温水で溶解して除去した。使用した白金るつぼの損傷はなかった。比較的簡便な装置を用い、水車からの電力を用いて、約3時間でルビー結晶を作ることができた。身近な小川の小さな滝の流れに置いた水車で得た電力は、高温（ 1100°C ）においてルビー結晶を育成する実験を行うために十分であった。

酸化モリブデン系をフラックスとする結晶育成技術の確立により、宝石の代表であるルビー結晶を容易に作ることができるようになった⁸⁾。ルビー結晶作りの装置は簡便であり、操作はやさしい。宝石はあこがれの物質であり、「宝石作り」は昔から多くの人たちがチャレンジしてきた分野である。

「水車発電」と「ルビー結晶育成」の両技術が組み合わさり、「水車でルビーを！」が実現した。流体力学（機械工学）と無機材料化学（物質工学）の両分野の共同実験であった。本公開実験は、老若男女に興味をもたれ、新聞、テレビなどでも広く報道された。「水車」と「ルビー」の組み合わせにも意外性があった。

今回、調合物量をきわめて小さくせざるを得ないために、成長したルビー結晶の最大サイズは約 0.4 mm であった。今後、 mm サイズの大きなルビー結晶を作るためには、発電量

を増加させるためのシステム改良と結晶育成条件の工夫が必要である。

4. おわりに

身近な川の小さな滝の流れからマイクロ水力発電した電力を利用して、わずか3時間ほどでルビー結晶作りができたことがわかった。低い環境負荷で発電した電力を利用し、環境負荷の低い条件下（温度、試薬、装置、操作など）において、希少で高価な赤色透明のルビー結晶（最大約 0.4 mm ）を育成した。結晶は、明瞭な自形をもち、きわめて高品質であった。自然のエネルギーを利用し、地球に代わってのルビー作りである。

謝辞

本研究の遂行にあたり、エコロジー・エネルギー研究会ならびに小諸市にご協力いただいた。記して謝意を表する。

文献

- (1) S. Oishi, K. Teshima, H. Kondo, *J. Am. Chem. Soc.*, **126**, 4768 (2004).
- (2) K. Teshima, H. Kondo, S. Oishi, *J. Gemm.*, **29**, 450 (2005).
- (3) K. Teshima, A. Takano, T. Suzuki, S. Oishi, *Chem. Lett.*, **34**, 1620 (2005).
- (4) 手嶋勝弥, 近藤人資, 鈴木孝臣, 大石修治, *J. Ceram. Soc. Japan*, **113**, 733 (2005).
- (5) K. Teshima, H. Kondo, S. Oishi, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **78**, 1259 (2005).
- (6) 手嶋勝弥, 宮島章子, 近藤人資, 望月圭介, 鈴木孝臣, 大石修治, *J. Ceram. Soc. Japan*, **113**, 758 (2005).
- (7) 池田敏彦, 長澤忠延, “環境と技術—経済との調和を目指して”, 小林光征, 藤井恒男編, 信濃毎日新聞社, (2004) pp.152~164.
- (8) 大石修治, 手嶋勝弥, 宮本 亮, 宮坂 晃, 鈴木孝臣, 化学と教育, **54**, 356 (2006).