

Be 拡散加熱処理コランダム の現状調査報告

リサーチ室 江森 健太郎

CGL リサーチ室は、平成 25 年度宝石学会（日本）一般講演会にて「ベリリウム拡散加熱処理サファイアの現状」、33rd International Gemmological Conference (Vietnam, 2013) において「The present situation of Beryllium diffusion corundum」というタイトルでベリリウム拡散加熱処理コランダムについて講演を行っており、その内容は CGL 通信 vol.16「ベリリウム拡散加熱処理サファイアの現状—平成 25 年宝石学会（日本）より—(http://www.cgl.co.jp/latest_jewel/tsushin/16/21.html)」に掲載されている。当報告は 2012 年の 1 年間に CGL に鑑別依頼で供された全コランダムの統計であったが、本報告ではその後 2014 年～ 2018 年の 5 年間について改めて調査を行った。精査の結果、2012 年とほぼ同様の結果が得られ、Be 拡散加熱処理は現在においても定常的に行われていると考えられる。

◆ ベリリウム拡散加熱処理コランダムについて

2001 年 9 月頃より、高彩度のオレンジレッド、オレンジ色、ピンク色および黄色のサファイアが宝石市場に広くみられるようになった。中でもオレンジピンクからピンクオレンジのいわゆる「パパラチャ」のバラエティネームで知られるサファイアが大量に出現したため業界中の関心事となった。これらのサファイアには従来の加熱処理には見られない外縁部にカット形状に沿った色の層（カラードリム）が分布しており（図 1）、その生成に疑問が持たれた。国際的な鑑別ラボによる精力的な調査の結果、この加熱手法は外来添加物であるクリソベリル起源のベリリウム（Be）を高温下でコランダム中に拡散させるという新たな手法であることが判明し、ベリリウム拡散加熱処理（以下 Be 処理）と呼ばれるようになった（文献 1）。その後、バイオレット、グリーン、ブルー等の色調のサファイアやルビーにもこの Be 処理が施されたものが出現している（図 2）。

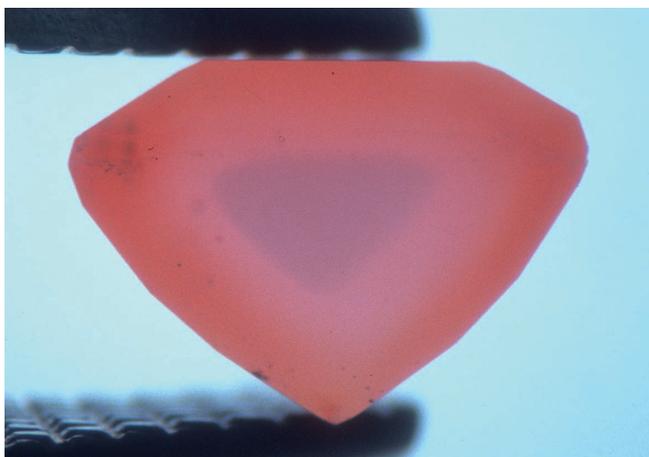


図 1. Be 拡散加熱処理コランダムに見られるカラードリム



図 2. さまざまな色の Be 拡散加熱処理コランダム

Be は軽元素であり、拡散している濃度も極めて低いため、鑑別ラボで従来使用されていた蛍光 X 線元素分析装置等では検出が不可能で、SIMS や LA-ICP-MS といった高感度の質量分析装置が必要となった。今日、先端的なラボでは LA-ICP-MS が導入され、日常の Be 処理鑑別に活用されている（文献 2）。

Be 処理が確認された当初は、未処理の天然サファイアおよびルビーには Be は内在しないと考えられていたため、LA-ICP-MS で Be が検出されれば Be 処理であると考えられてきた（文献 3）。しかし、近年、Be 処理が行われていない天然サファイアにも Be が検出される事例が複数報告され（文献 4、文献 5）、Be 処理の鑑別を困難にしている。

◆ ベリリウム拡散加熱処理コランダムの数的変動

ベリリウム拡散加熱処理コランダム（以下 Be 処理コランダム）の数量統計について紹介する前に 2014 年～ 2018 年において CGL に供されたコランダムの色別割合を図 3 に示す。数的にはルビー、ブルーサファイアが多く（双方を足して全コランダムの 75% 程度を占める）、次いでピンク～オレンジの色相、次いでイエロー系、その他（紫、緑系、バイカラー等を含む）となっている。数パーセントほどの差はあるものの、2014 年から 2018 年にかけて各色の割合はほぼ変化がないと言える。



図 3. コランダムの数別割合

次にコランダム全色の中での Be 処理コランダムの割合を図 4 に示す。



図 4. Be 処理コランダムの割合（全体）

これはそれぞれの年度ごとに「Be 処理」「未検査」「Be 未処理」の 3 つの割合を表記したものである。「未

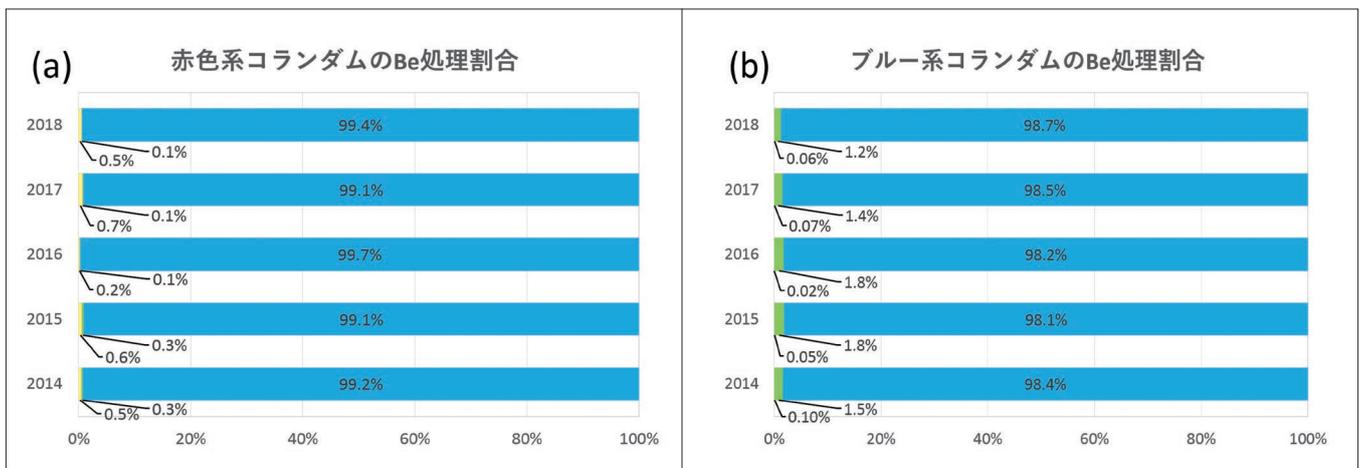
検査」という項目は、CGL において LA-ICP-MS を用いて検査する必要があると判断したが、主として顧客都合（LA-ICP-MS 分析は有料である為）で LA-ICP-MS 分析が行われなかったものである。Be 処理されていると鑑別結果を提出したコランダムは全体の 1.7～2.1% 程度であり、わずかながら増加傾向にある。しかし、未検査の項目は 2014 年の 1.6% から 2018 年の 1.2% と下降傾向にあるため、総合すると Be 処理コランダムの割合について変化はないように見える。

Be 処理コランダムの色別割合を図 5 に示す。2014 年～2018 年度の年もピンク～オレンジの色相が一番多く、次いでイエロー、レッド、ブルーおよびその他と続くが、割合の数値自体は年によって異なる。



図 5. Be 処理コランダムの色別割合

各色の Be 処理の割合を図 6 (a)～(e) にまとめた。これは図 4 同様それぞれの色ごとに「Be 処理」「未検査」「Be 未処理」と分けたものであり、Be 処理コランダムの個数としてはピンク～オレンジの色相のものが一番多いが、Be 処理が行われている割合そのものはイエロー系のコランダムが大きいことがわかる。イエロー系に関して、2018 年は全体の 17.0% が Be 処理であり、未検査のコランダムの中に Be 処理されたものが含まれている可能性を加味すると、20% 近いコランダムが Be 処理と考えられる。一方、Be 処理が施されている数が最も少ないのはブルー、その他であるが、毎年継続的に Be 処理が施されているものを鑑別している。



■ : Be 処理
 ■ : 未検査
 ■ : Be 未処理

図 6: 色系統ごとの Be 処理の割合
 (a) 赤系、(b) ブルー系
 (c) イエロー系、(d) ピンク～オレンジ系、
 (e) その他の色。

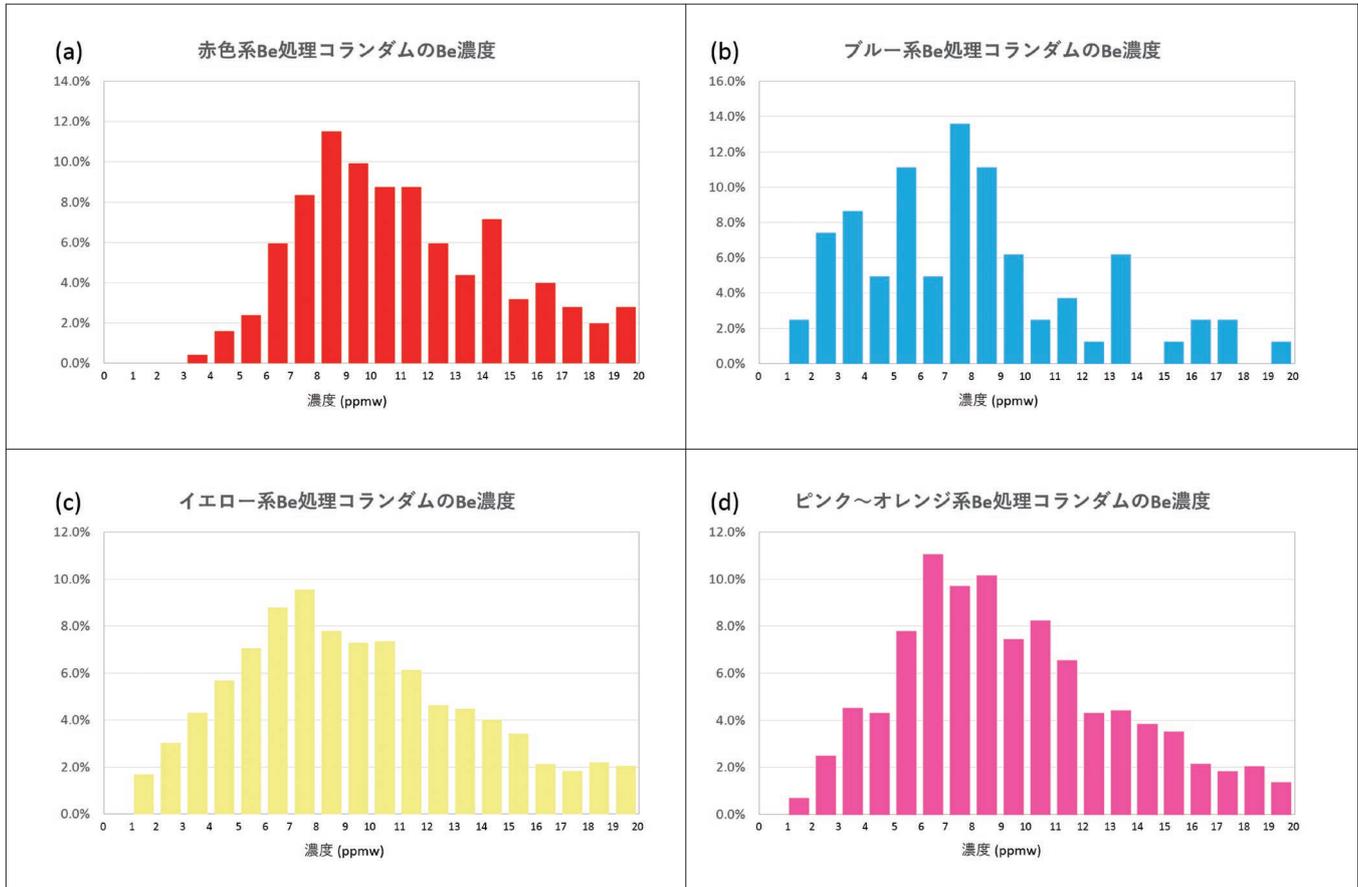
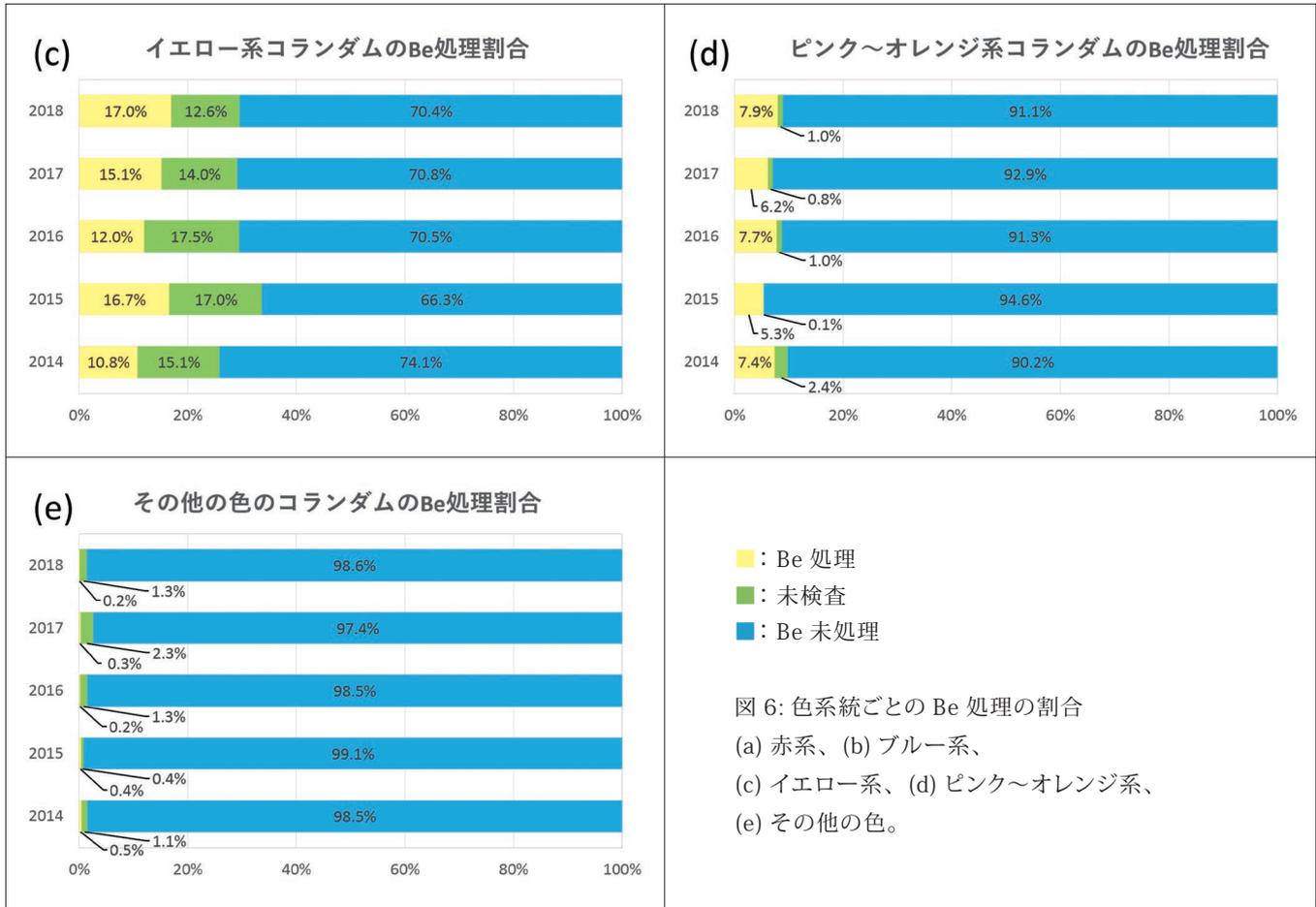


図 7. (a) 赤系、(2) ブルー系、(3) イエロー系、(4) ピンク～オレンジ系の Be 処理コランダムについて、横軸を含まれている濃度、縦軸を個数（全体からの割合）でヒストグラムにしたもの。20 ppmw 以上の濃度のものについては省略してある。

◆ Be 処理コランダム中の Be 濃度

2014～2018年に分析したBe処理コランダム中に含まれるBe濃度とその個数についてのヒストグラムを図7(a)～(d)に示す。平均値は、赤色系は12.67ppmw、ブルー系9.53ppmw、イエロー系10.48ppmw、ピンク系10.03ppmwであった。平均値とグラフの中央値がずれて見えるのはグラフでは20ppmw以上のものを省略しているからであり、各色の最大値は赤系48.89ppmw、ブルー系33.82ppmw、ピンク～オレンジ系52.46ppmw、イエロー系71.39ppmwであった。各色ともに平均値は10ppmw前後であり、5ppmw～13ppmwのもので半数近くを占めるといった結果になった。これは筆者らが(文献5)で発表したものと、同一の結果である。

◆ おわりに

2014年～2018年にCGLに鑑別依頼で供されたBe処理コランダムについて統計的にまとめた。Be処理コランダムはその出現からおおよそ20年が経っているが、調査をした5年間においてBe処理コランダムの割合に変化はなく、Be処理は定常的に行われていることがわかった。特にイエロー系については20%近くの石にBe処理が施されている。

Be処理コランダムを看破するには、カラードリムの確認、カラードリムが確認できないものに対してはLA-ICP-MS分析が必須となっている。しかし、Beが検出されたコランダムには天然起源のBeを含有するサファイアや、Be処理に用いたるつぼや炉の再利用といった二次汚染といった問題もあるため(文献5)、慎重な判断を下す必要がある。CGLではBe処理に限らず、さまざまな処理について、正確な開示を行えるよう継続的な研究を行っている。◆

◆ 参考文献

1. Emmett J.L., Scarrat K., McClure S.F., Moses T., Douthit T.R., Hughes R., Novak S., Shigley J.E., Wang W., Bordelon O., Kane R.E. 「Beryllium diffusion of Ruby and Sapphire (Gems & gemology, 39(2), 84-135,2013)」
2. Abduriyim A., Kitawaki H. 「Applications of Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (LA-ICP-MS) to Gemology (Gems & gemology, 42(2), 98-118, 2006)」
3. Emmett, J.E., Wang W. 「The Corundum group, Memo to the Corundum Group: How much beryllium is too much in blue sapphire – the role of quantitative spectroscopy. 26 August 2007」
4. Shen A., McClure S., Breeding C. M., Scarratt K., Wang W., Smith C., Shigley J. 「Beryllium in Corundum: The Consequences for Blue Sapphire (GIA Insider, Vol.9, Issue 2 (January 26, 2007))」
5. Emori K., Kitawaki H., Okano M. 「Beryllium Diffused Corundum in the Japanese Market, and Assessing the Natural vs. Diffused Origin of Beryllium in Sapphire (The Journal of Gemmology, 34 (2), 130-137, 2014)」

天然ダイヤモンド vs 合成ダイヤモンド

— 生い立ちの違い —

リサーチ室室長 北脇 裕士

近年、合成ダイヤモンドが宝飾市場にも現れ、業界の重要な関心事になってきています。装飾用に供される合成ダイヤモンドのサイズおよび品質は年々向上しており、HPHT 法合成ダイヤモンドでは 15ct 以上、CVD 法合成ダイヤモンドも 9 ct 以上のものが報告されています。いっぽう、メレサイズの無色合成ダイヤモンドのジュエリーへの混入が、ここ数年宝飾業界の大きな懸念材料となっています。

しばしば、業界の方々から合成ダイヤモンドはどのように見分けるのかと質問を受けます。さらに、鑑別の決め手は・・・?と質問されることもあります。

天然ダイヤモンドも合成ダイヤモンドも等しく炭素でできた結晶です。物質としては基本的に同じものです。したがって、硬度、電気伝導性などの物理的性質や屈折率、分散度などの光学的性質に本質的な違いはありません。宝石質の天然ダイヤモンドは地下深部の上部マントルで結晶化し、合成ダイヤモンドは人工的に地下深部の高温高压を再現した高压発生装置内で育成されます。また、近年では CVD 法と呼ばれる低圧下のガスからも合成ダイヤモンドが製造されています。

このように天然と合成ではその成長の条件や環境などの生い立ちが異なります。そして、その生い立ちの違いに起因する包有物や内在する結晶欠陥を手掛かりとして鑑別が行われています。そのため、天然と合成を識別するためには、それぞれの結晶成長にかかわる環境や条件などを詳しく知る必要があります。

本稿では、天然ダイヤモンドと合成ダイヤモンドを識別するための手助けとなるよう、それぞれの生い立ちについて少し掘り下げて考えてみることにします。

◆天然ダイヤモンドの成因

天然ダイヤモンドの産状は、① マントルで生成し、キンバーライトやランプロアイト等の火山岩により地表に運ばれたもの、② 超高压変成岩に産するもの、③ 隕石の衝突や隕石中に含まれるもの、に分類されます。また、ごく最近になってロシア科学アカデミーと北海道大学等の研究チームが地殻内の地下 5 km よりも浅い低温低圧下 (300℃、1000 気圧以下) で生成したナノダイヤモンドについて報告しています。しかし、これらのうち装飾用や工業用に適用できるサイズのダイヤモンドは、①のマントル由来のものに限定されます。

マントル由来のダイヤモンドの年代は、その包有鉱物の年代測定により 9 億 9000 万年～ 33 億年前の範囲にあると考えられています。これに対して、母岩であるキンバーライトやランプロアイトはそれぞれのパイプによって異なっていますが、およそ 1 億年～ 12 億年前の範囲にあります。したがって、ダイヤモンドはこれらのパイプ中で結晶化するのではなく、これらの火山岩によって地表に運搬されたと考えられます。

ダイヤモンドを含む捕獲岩及びダイヤモンド中の包有鉱物の研究から、ダイヤモンドはペリドタイト及びエクロジャイト中で形成すると考えられています。ペリドタイト中のダイヤモンドは、大規模なマントルの部分溶融のため炭素を失った融け残りマントルが、数億年の時間を経た後に炭素の濃集過程を受けて生成します。いっぽう、エクロジャイト中のダイヤモンドは、海洋プレートの沈み込みによってマントル深部まで運ばれた玄武岩質海洋地殻が、高温高压下で相転移した際に形成したと考えられています。

◆世界のダイヤモンド産出状況

天然ダイヤモンドの産出地は全世界に広がっています。Fig. 1 に世界の主要な 24 のダイヤモンド・パイプ鉱床と 7 件の先端プロジェクトを示します。これまでにキンバーライト・パイプで開発された主要なダイヤモンド鉱山は、すべて始生代の地質区分に含まれていますが、ランプロアイト・パイプ上に位置

する大規模なダイヤモンド鉱山（アーガイル鉱山）は、原生代に含まれています。

ある資料によると、世界のダイヤモンドの産出量は、過去に新鉱山の開業によって幾度も増加し、戦争、政変、金融危機などの要因によって減少しています。20 世紀中頃までの主要産地はアフリカ大陸にありました。ソ連、オーストラリア、カナダ等のアフリカ以外の産地が台頭したのは 1960 年代に入ってからです。古代から現代までの世界のダイヤモンド総産出量は 45 億 ct と推定されています。1870 年から 2005 年までは、南アフリカが産出額で 1 位、産出量で 4 位であり、その主な理由は産出の歴史が長いことにあります。ボツワナは産出額で 2 位、産出量で 5 位ですが、産出が始まったのは 1970 年のことです。2001 年から 2005 年までの世界産出量は、およそ 8 億 4 千万 ct でした。この期間、産出量ではロシアが 1 位、産出額ではボツワナが 1 位でした。

近年の主要な天然ダイヤモンドの原産地としてロシア、カナダ、オーストラリア、ボツワナ、南アフリカ、アンゴラ、コンゴ（旧ザイール）、ナミビア等が良く知られています。

産出量に対して産出額が多いのは、宝石品質の割合が高いことを示し（例えばボツワナ、アンゴラ）、産出量に対して産出額が低いのは、宝石品質の割合が低いことを示しています（例えばコンゴ（旧ザイール）／オーストラリア）。

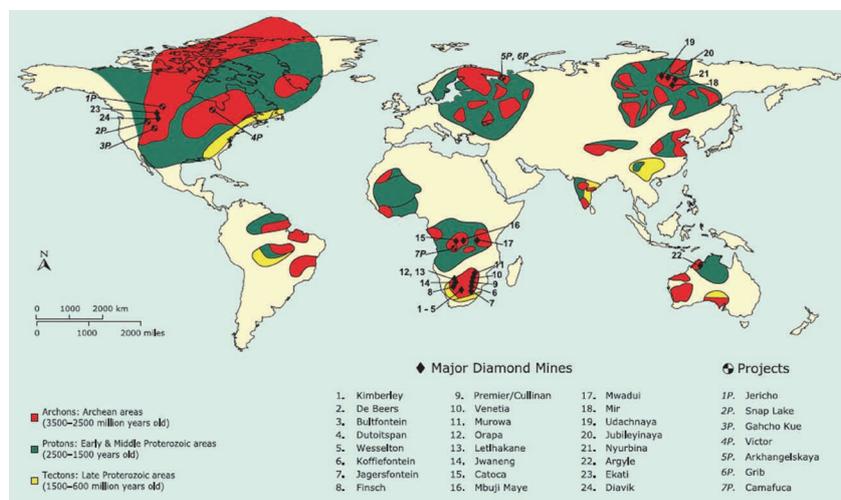


Fig.1. 世界のダイヤモンド鉱山（Janse 2007 より）

◆天然ダイヤモンド：地球科学における重要性

地球内部を研究する手法は、①地震学的手法、②高温高压実験、③地球内部起源の天然試料の研究の 3 つに大別することができます。地震学には地球内部の地震波伝播速度の 3 次元的な解析において、地殻・マントル・核の密度構成や地球内部での物質移動や循環が研究されています。高温高压実験ではマルチアンビル高压発生装置の開発や放射光 X 線を用いた X 線回折のその場観察の発展等において、マントル物質の高压相転移が詳しく調べられ、地震波の不連続と相転移の関連が議論されています。

地球内部起源の天然試料として研究対象となるのは、上部マントル物質が直接野外で観察できるオフィオライト岩体やマントル捕獲岩などです。特にマントル捕獲岩は地下深部の物質をもたらす重要な研究対象となります。マントル捕獲岩は地下深部で発生したキンバーライトやランプロアイトなどの噴出に伴ってマグマの火道周辺の岩石が取り込まれ地表にもたらされたもので、これらにはマントルの主要構成物であるペリドタイトやエクロジャイトが含まれています。

キンバーライトやランプロアイト中の捕獲岩はマントルの構成物質を直接知る手がかりとして重要な研究試料となりますが、地表に運搬されるまでのマグマ中の液体と化学反応を起して組成等が広範囲に変化する可能性があります。

ダイヤモンドはキンバーライトやランプロアイト中の外来結晶として産出しますが、捕獲岩中のペリドタイトやエクロジャイト中にも含まれることがあり、これらの捕獲岩が直接の母岩と考えられています。ダイヤモンドは炭素原子間の結合が sp³ 共有結合だけで構造ができているため、物質中最高の硬度、きわめて小さな熱膨張係数などの物理的特性をもち、ダイヤモンド中の包有物にとっては良好な圧力保持容

器として働きます。また、ダイヤモンドはきわめて高い化学的安定性を有しており、よほどの酸化条件でないかぎり化学変化を起こしません。したがって、ダイヤモンド中の包有物はダイヤモンドが生成した際の地球深部の状況(鉱物組成や温度・圧力等)をより実際の状態に近いまま保持していると考えられています。このようにダイヤモンド中の包有物は、地球深部の情報を提供するきわめてすぐれた研究試料といえます。

ダイヤモンド中の包有鉱物を最初に記録したとされる 17 世紀の頃は、おそらくガーネットと考えられる赤色の鉱物がルビーと記載されているなど、確認が得られている情報ではありませんでした。ダイヤモンドを含有するキンバーライトが発見された 19 世紀後半以降は、ダイヤモンドの初生的な包有鉱物の報告がなされています。1950 年代に入ると X 線回折法がダイヤモンド中の包有鉱物の同定に初めて使用され、ロシアの研究者等によって精力的に研究が行われました。1970 年代に入ると電子顕微鏡における分析手法が導入され、過去に報告例のない多くの包有鉱物が新たに発見されています。さらに 1990 年代後半になると顕微ラマン分光分析が包有鉱物の同定に使用されるようになり、非破壊での分析が可能となりました (Fig. 2)。



Fig. 2 顕微ラマン分光装置

◆天然ダイヤモンド：包有鉱物による地球深部の情報

ダイヤモンド中の包有鉱物はその種類と化学組成から一般に P-タイプ (ペリドタイト: peridotite) と E-タイプ (エクロジャイト: eclogite) に大別されています。P-タイプ包有鉱物はオリビン、エンスタタイト、ダイオプサイド、パイロップ・ガーネットなどの珪酸塩鉱物と Mg に富んだイルメナイトや硫化鉱物からなり (Fig. 3)、ペリドタイト捕獲岩の鉱物組み合わせや鉱物組成と類似しています。いっぽう、E-タイプ包有鉱物は主にパイロップ/アルマンディン・ガーネットとオンファサイトからなり (Fig. 4)、コーサイト、カイヤナイトおよび硫化鉱物を含有し、エクロジャイト捕獲岩の鉱物組み合わせや鉱物組成と類似しています。

P-タイプのガーネット包有物は、Ca と Cr の比率において、さらにレルゾライト・タイプとハルツバージャイト・タイプに細分されます。すなわち、レルゾライト・タイプのガーネット包有物は、ハルツバージャイト・タイプのガーネットに比べて高い Ca 量と低い Cr 量を示します。そして、これらは REE パターン (希土類元素を隕石などの標準物質で規格化したプロット) とも連動しており、生成起源についての議論がなされています。

このような P-タイプと E-タイプ包有物に見られる鉱物組み合わせと、化学組成の違いは母岩のダイヤモンドの起源や生成プロセスの違いを示していると考えられ、ダイヤモンドも P-タイプと E-タイプに大別されています。これらの両タイプのダイヤモンドについて包有鉱物の化学組成や炭素同位体組成が詳しく調べられ、ダイヤモンドの生成起源についてさまざまな説が唱えられています。

その中でも有力な説の 1 つは日本の研究者が提唱しており、P-タイプ・ダイヤモンドは大規模な部分溶融をこうむった溶け残りマントル起源であり、E-タイプ・ダイヤモンドの多くはプレートの沈み込みでマントル深部へ運び込まれた海洋地殻中の炭素が起源と考えられています。

包有鉱物はほとんどが固溶体を形成し、共存する 2 種以上の鉱物間の元素分配は温度と圧力に依存しています。そのためこれらの鉱物の化学組成から平衡温度や圧力を推定することができます。P-タイプ・ダイヤモンドのガーネットとオリビンおよびガーネットとエンスタタイト間においてそれぞれ温度と圧力が推定されています。E-タイプ・ダイヤモンド中には大きな圧力依存性をもつ鉱物組み合わせが無く、温度の推定のみが可能で、これらの研究において、両者の生成条件は、800 ~ 1400°C、5 ~ 6 GPa (150 ~ 200km) の範囲であり、E-タイプ・ダイヤモンドの方が P-タイプ・ダイヤモンドよりやや高温と考えられています。

近年、南アフリカの Kimberley 鉱山産ダイヤモンド中の包有鉱物にメージャライトと呼ばれる高压型のガーネットの存在が確認され、高压実験により、これらは 420km 以深のマントル遷移層で生成したと考えられています。さらに、ブラジルの鉱山 (Juina, Sao Luiz 等) を始め複数の地域から産出するダイヤモンド中からフェロペリクレスやマグネシオウスタイトが発見され、実験的事実に基づき下部マントル起源のダイヤモンドと推論されています。当初この考えは必ずしも広く受け入れられませんでした。その後の研究によって、現在この下部マントル起源説は一般に支持されるようになってきました。さらに最近になって、有名なカリナンなどの大粒のⅡ型ダイヤモンドやⅡb型のブルーダイヤモンドは、マントル遷移層～下部マントルで形成された可能性が示唆されています。

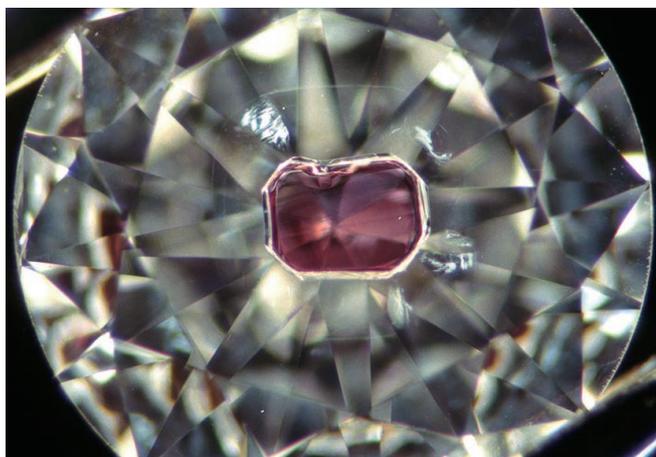


Fig. 3 天然ダイヤモンド中のパイロップ・ガーネット inc.

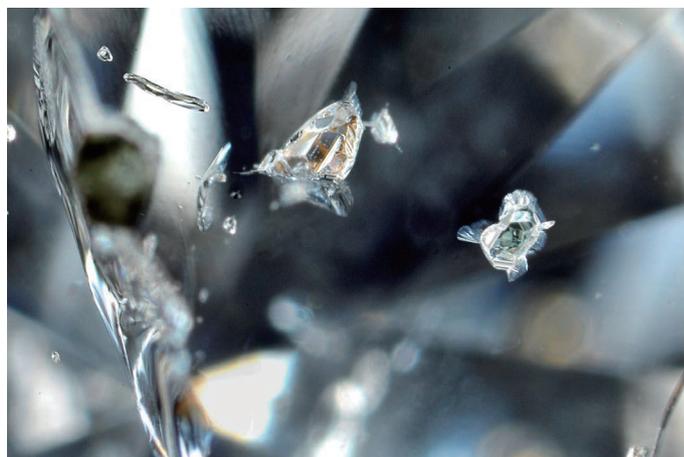


Fig. 4 天然ダイヤモンド中のパイロップ/アルマンディン・ガーネット inc. (左:赤橙色)とオンファサイト inc. (右:灰緑色)

◆合成ダイヤモンドの用途

ダイヤモンドは炭素原子が強固に結びついた典型的な共有結合物質であり、物質中最高の硬さと熱伝導性を有し、化学的安定性、透光性などにも優れています。この卓越した特性から、超精密加工用バイト、線引きダイス、ドレッサー、医療用ナイフなどの加工工具や耐摩工具のほか、ヒートシンク、各種窓材や超高压アンビルなど、工業や科学の広範な分野で利用されています。高品質なダイヤモンドは、工業や科学技術の発展に寄与する重要な素材であり、技術の多様化、高度化に伴い、その重要性は今後もさらに増すものと考えられます。しかし、天然ダイヤモンドは、大型で良質の結晶は極めて稀産であり、複雑な成長履歴を反映して、多様な結晶欠陥、不純物あるいは内部歪みを有しています。また、品質における個体差が大きいため、これらの工業用途には不向きな側面があります。これに対し、合成ダイヤモンドは合成される環境、成長条件を制御できるため、安定的に必要な結晶を量産することが可能です。制御精度によっては、天然ダイヤモンドを凌駕する品質の結晶を得ることも期待できます。

1) 硬さと強靭さの利用

地球上で最も硬いダイヤモンドは、古くから石の切断やガラスの加工に用いられてきました。身近なところでは、ガラス切りや砥石があります。また、硬さを測定するための圧子にはダイヤモンドの単結晶が用いられています。石やコンクリートの加工にもダイヤモンドが用いられ、切断するときには金属製のワイヤーにダイヤモンド・ビーズを付けたダイヤモンド・ワイヤーソーが用いられています。また、精度の高い切断にはダイヤモンド鋸が用いられます。これらには主として天然ダイヤモンドが用いられてきましたが、近年では多くが合成ダイヤモンドにとって代わられています。ダイヤモンドの切削工具は、加工の難しいものを大量に削るときにも用いられます。このときは、単結晶ダイヤモンドではなく、ダイヤモンド焼結体が利用されます。焼結ダイヤモンドは単結晶ダイヤモンドより大きなものを作ることができるので、大きい切れ刃の必要な用途に用いられています。大型の工具としては、石油井戸やトンネルの掘削に用いられるドリルビットや道路カッター、穴開け用のドリルなどがあります。また、研磨用テープ、手術用のメス、線引き用のダイス、超高压発生用のダイヤモンド・アンビルセルなどがあります。

2) 熱特性利用

半導体デバイスは、高温になると性能や寿命が低下するので、出力の大きい素子では、放熱のためのヒートシンク（放熱板）が必要となります。ダイヤモンドは、極めて熱伝導性が高いのでヒートシンク材料に適しています。はじめて光通信の半導体レーザーにヒートシンクとして用いられたのは天然の単結晶ダイヤモンドでしたが、最近では HPHT 法や CVD 法による合成ダイヤモンドが利用されています。ダイヤモンドの熱伝導率は不純物がわずかに混入しただけで大きく低下します。天然ダイヤモンドは窒素等の不純物や欠陥を多く含むので、ヒートシンクにはⅡ型の合成ダイヤモンドが有効です。最近になって CVD 法による合成技術が進歩し、面積の大きい放熱性回路基板への適用も検討されています。ダイヤモンドの耐摩耗性と熱的特性を生かして製品化されているものに、IC（集積回路）や液晶基板の製造に用いられる TAB (Tape Automated Bonding) ツールなどがあります。近年、IC チップが大型化するにつれて大きい TAB ツールが必要となり、ダイヤモンド焼結体や HPHT 合成ダイヤモンドが用いられるようになりました。

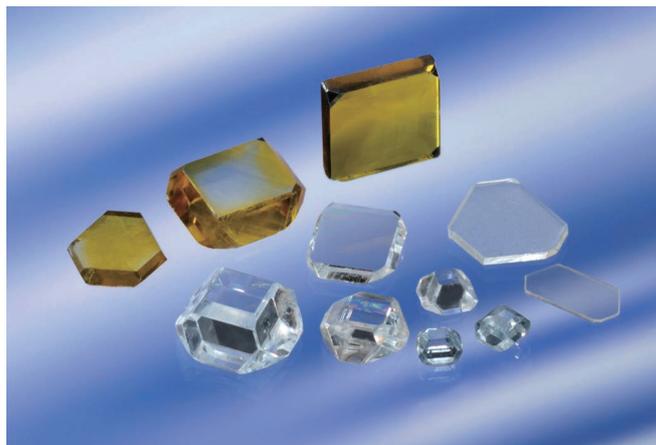


Fig. 5 産業用大型合成単結晶ダイヤモンド 住友電気工業（株）提供

3) 合成ダイヤモンドの今後の展開

CVD 法は、固体の表面にダイヤモンドを被覆することが可能で、これを生かした新たな利用が始まっています。CVD 合成ダイヤモンドのコーティング技術は、特殊材料の切削や長寿命化に応用されています。ダイヤモンドは、物質中で最も振動を伝える速度の大きい材料です。このため弾性表面波（Surface Acoustic Wave: SAW）の速度も大きく、弾性表面波素子として有効です。最近では、通信の高周波化に対応してダイヤモンドを基板とする SAW フィルターが実用化されており、今後、高周波を用いる光通信をはじめ衛星、移動体など無線通信に適用され、IT 産業に貢献するものと期待されています。

音速は密度が小さくヤング率の大きい材料ほど大きいので、ダイヤモンドは振動板に適した材料といえます。ツイーター等の高音域での振動版としてすでに実用化されています。ダイヤモンドは、紫外から赤外の広い範囲の光に対して透過率の高い素材で、機械的強度や熱伝導性、耐腐食性にも優れるので、窓材として適した材料です。CVD 合成ダイヤモンドは、ガンマ線、X線用、近紫外から可視光、遠赤外光及びマイクロ波用の窓として期待されており、実用化されつつあります。さらに、ダイヤモンドが軽元素である炭素で構成されているため X線用の窓としても有効です。

ダイヤモンドは半導体としての特性も有しており、高出力、耐熱性、耐環境性にすぐれる電子部品としても期待されています。将来の応用を目指して、CVD 法による良質の結晶や不純物ドーピングが精力的に検討されています。半導体ダイヤモンドは圧力センサーとしても感度に優れていることが判っており、放射線センサーとしては分解能の高さと耐久性が期待されています。また、ダイヤモンドは電子を放出する素子としても注目されており、量子コンピュータなどに応用できる新たな発光素子としても期待されています。

◆合成方法

現在、商業的にダイヤモンドを合成する方法は HPHT 法（自発核発生法並びに温度差法）、CVD 法、

衝撃圧縮法および直接転換法があります。これらの方法の中で、宝石品質の単結晶が合成できる方法は、HPHT 法（温度差法）と CVD 法の 2 種類です。

1) HPHT 合成

HPHT 法は、High Pressure High Temperature の略で、地球深部で天然ダイヤモンドができる高温高压の環境を人工的に再現したものです。非常に高い温度（1500℃程度）と高い圧力（5-6GPa）を与えて、原料となる炭素物質（グラファイトやダイヤモンド微粒）をダイヤモンドの結晶へと成長させます。炭素物質は水には溶けないため、鉄（Fe）、ニッケル（Ni）、コバルト（Co）等の金属溶媒を用いて溶解し、ダイヤモンドを結晶化させます。種結晶を用いずに合成すると、自発核発生した小粒の単結晶が短時間で成長します。最大のサイズでも 1mm 以下であり、結晶内部に多くの不純物（溶媒金属等）を含み、装飾用には適しません。これらの微小単結晶は、ダイヤモンド砥粒と呼ばれ、研削砥石の素材として工業用に多量に製造されています。



Fig. 6 中国で使用されている HPHT 合成装置
（キュービック・タイプ）

宝石品質のダイヤモンドを合成するためには温度差法を用います。この方法は、合成セル（容器）全体をダイヤモンドが安定な超高压まで加圧し、次に温度を上げて溶媒金属を融解させ、高い温度に保持した炭素源から溶媒金属中に炭素を溶解させ、温度の低い種結晶上にダイヤモンドを成長させるというものです。無色透明の単結晶を合成するには、黄色の着色原因となる窒素を除去する必要があり、溶媒中で窒素との化合物を作るチタン（Ti）あるいはアルミニウム（Al）などを添加する方法が一般的に用いられています。

2) CVD 合成

CVD 法は、Chemical Vapor Deposition の略です。化学気相成長法または化学蒸着法と呼ばれるものです。高温低压下でメタンガスなどの炭素を主成分とするガスからダイヤモンドを作ります。種結晶となるスライスしたダイヤモンドの結晶の上に炭素原子を降らせて沈積させていきます。CVD 法には、熱フィラメント法、マイクロ波プラズマ法、燃焼法などがありますが、装飾用単結晶の育成にはマイクロ波プラズマ法が一般的です。



Fig. 7 マイクロ波 CVD 装置：
コーンズテクノロジー（株）提供

原料ガスを大量の水素（メタンのおよそ 100 倍）と混合して用います。この混合ガスを大気圧以下の圧力（0.1 ~ 1 気圧程度）で反応容器に満たし、プラズマで分解して活性化させます。基板上の温度は 800 ~ 1200℃程度に保ち、基板表面に炭素原子を結晶化させていきます。プラズマによって反応性が高まった水素（原子状水素）が、結晶化したダイヤモンド表面の炭素原子と化学結合し、ダイヤモンド表面のグラファイト化を防ぎます。さらに原子状水素には析出したグラファイトを選択的にエッチングする作用があり、これにより準安定な低压下（ダイヤモンドではなく、グラファイトが安定な環境）で継続的にダイヤモンドが形成されます。◆

日本鉱物科学会 2019 年年会・総会参加報告

リサーチ室 江森 健太郎・北脇 裕士

去る 2019 年 9 月 20 日（金）から 22 日（日）までの 3 日間、九州大学伊都キャンパスにて日本鉱物科学会 2019 年年会・総会が行われました。CGL リサーチ室から筆者ら 2 名が参加し、それぞれ発表を行いました。以下に年会の概要を報告致します。

日本鉱物科学会とは

日本鉱物科学会 (Japan Association of Mineralogical Science) は平成 19 年 9 月に日本鉱物科学会と日本岩石鉱物鉱床学会の 2 つの学会が統合・合併され発足し、現在は大学の研究者を中心におよそ 900 名の会員数を擁しています。日本鉱物科学会は鉱物科学およびこれに関する諸分野の学問の進歩と普及をはかることを目的としており、「出版物の発行（和文誌、英文誌、その他）」、「総会、講演会、研究部会、その他学術に関する集会および行事の開催」「研究の奨励および業績の表彰」等を主な事業として活動しています。2016 年 10 月に一般社団法人日本鉱物科学会として新たな出発の運びとなり、(1) 社会的及び学術界における信頼性の向上、(2) 責任明確化による法的安定、(3) 学会による財産の保有等が確保され、コンプライアンスの高い団体を目指して活動していくことになりました。2019 年年会・総会は、一般社団法人として前年 2017 年の愛媛大学、2018 年の山形大学での開催に続き、3 回目の年会・総会になります。

九州大学について

九州大学は 1867 年（慶応 3 年）に設立された医学教育を行う賛生館を起源とする九州帝国大学を直接の母体としています。九州帝国大学の初代総長は東京帝国大学の総長と明治専門学校（現：九州工業大学）の初代総裁を務めた山川健次郎です。2003 年（平成 15 年）に九州芸術工科大学を吸収し、2004 年（平成 16 年）に国立大学法人による設置へと移行しました。1991 年（平成 3 年）、キャンパスへの統合移転計画が決定すると、1998 年（平成 10 年）に「改革の大綱案」を定め、優秀な研究者の要請、研究レベルの向上を目的とする大学院重点化を行い、2000 年（平成 12 年）に学府・研究員制度を導入しました。2005 年（平成 17 年）には本学会が行われた伊都地区が開設され、2014 年、九州大学本部が伊都地区へと移転しました。2018 年には伊都地区へのすべての移転が完了し、総合大学にふさわしい広大なキャンパスが誕生しました。九州大学には特に建学の精神は定められていませんが、「九州大学教育憲章」と「九州大学学術憲章」が存在します。

伊都キャンパスへのアクセスは、博多駅もしくは天神駅から九州大学まで直行バスで 40 ～ 50 分、JR 筑肥線九大学園都市駅（福岡市地下鉄空港線から直通運行有）からバスで 15 分と福岡中心部の博多、天神から約 1 時間程度であり、少し時間はかかりますがアクセス自体は良好です。



学会が行われた九州大学伊都キャンパス



広大な敷地を有する九州大学伊都キャンパス

学会について

今年の年会は、4件の受賞講演、11件のセッションで123件の口頭発表、89件のポスター発表が行われました。

1日目、20日（金）の9時15分より、イースト一号館大講義室Iにて「結晶構造・結晶化学・物性・結晶成長・応用鉱物」「岩石・水相互作用」「地球外物質」「火成作用の物質科学」「変成岩とテクトニクス」の5つのセッションが行われました。また3日間ポスター発表が開催されており、12時～14時がコアタイム（ポスター発表者がポスターの横に立ち、質疑応答を行う）として設定されていました。



総会の様子

2日目、21日（土）は9時よりイースト一号館大講義室Iにて総会が行われました。総会は前述の通り、一般社団法人化して3回目の総会で当日出席者、委任状あわせ、定足数を満たしました。総会では、各種事業報告の他、モンゴル資源地質学会との学術調印式、授賞式が行われました。総会の後、受賞講演が行われ、2018年度日本鉱物科学会賞第20回受賞者である野口高明会員（九州大学）による「小さきものはみなうつくし～宇宙塵の鉱物学的研究」、2018年度鉱物科学会賞第21回受賞者である山崎大輔会員（岡山大学）による「高圧実験に関するマントルとレオロジー」、2018年度日本鉱物科学会研究奨励賞第25回受賞者である吉村俊平会員（北海道大学）による「塩素を利用した火山噴火メカニズムの研究」、2018年度日本鉱物科学会研究奨励賞第26回受賞者である篠崎彩子会員（北海道大学）による「地球深部、氷天体深部での炭素、水素、窒素関連物質の振る舞い」の講演がありました。

同日14時から「深成岩・火山岩およびサブダクションファクトリー」「地球表層・環境・生命」「岩石・鉱物・鉱床一般」のセッションが行われました（「岩石・鉱物・鉱床一般」のセッションは資源地質学会との共催セッションでした）。



日本鉱物科学会会長榎並正樹名古屋大学教授（左）と本会で受賞された面々

3日目、22日(日)はイースト一号館大講義室Iにて「鉱物記載・分析評価」「高圧科学・地球深部」「北東アジアの鉱物・岩石・資源」のセッションが行われ、「鉱物記載・分析評価」セッションで弊社研究者2名が「“パライバ”トルマリン(1); 宝石学的定義の変遷と原産地」「“パライバ”トルマリン(2); LA-ICP-MSを用いた組成分析と原産地鑑別への応用」の発表を行いました。講演後、多数の質問が寄せられ、鉱物学会会員の方々の宝石学への興味を感じることができました。この日は九州地区を中心に甚大な被害をもたらすこととなった台風17号が接近しており、午後のセッションはすべて13時迄に繰り上げられ、時間を早めての閉会となりました。セッションの予定変更については、会員各位に逐一メールで報告されるなど学会運営者の適確な判断と情報提供が好印象でした。

毎年開催される日本鉱物学会年会では、最先端の鉱物学研究が発表され、弊社も毎年2件研究発表を行っています。鉱物学と宝石学は密接な関係があり、参加・聴講することで最先端の鉱物学に関する知識を得られ、普段接する機会が少ない研究者の方々と交流を深めることができます。来年も鉱物学会年会に参加し、中央宝石研究所で行われている各種宝石についての最先端の研究を発表、深めていく予定です。なお、来年の日本鉱物学会年会は2020年9月東北大学で開催されます。◆



ポスターセッション コアタイムの様子

中央宝石研究所の各種セミナー

各種セミナースケジュール	2020年1月	2月	3月
ベーシックコース(東京)	16~17	6~7	12~13
ベーシックコース(大阪)		20~21	
ダイヤモンドコース(東京)	28~29	13~14	17~18
ダイヤモンドコース(大阪)			26~27
博多 ベーシックコース			
宝石鑑別コース(東京)		27~28	
パールコース(東京)		19	30

※上記日程は都合により変更となることがありますので、あらかじめお問合わせの上お申し込みください。

受講料 (税込)

ベーシックコース	(2日間)	¥25,000+消費税
ダイヤモンドコース	(2日間)	¥25,000+消費税
パールコース	(1日)	¥12,000+消費税
宝石鑑別コース	(2日間)	¥30,000+消費税

※一度ご入金いただきました受講料のご返金は致しかねます。予め御了承下さい。

セミナー時間

【東京】10:00~17:00 【大阪】10:30~17:00 (会場都合による)
【博多】10:00~16:30 (会場都合による・開催最低人数5名)

各種セミナーのご紹介

- **ベーシックコース**
- **パールコース**
- **ダイヤモンドコース**
- **宝石鑑別コース**
- **特別研修生コース** 募集中【2020年度入学時期は<10月>になります】

各セミナー関連の情報は当社WEBサイトでもご覧いただけます！

<http://www.cgl.co.jp/cgl/seminar.html>

お申し込み・セミナー内容のお問合せは下記までお願い致します

東京TEL:03-3837-0855 FAX:03-3839-1455

大阪TEL:06-6245-5187 FAX:06-6245-5197

博多TEL:092-472-3038 FAX:092-472-3046

教育部:〒110-0005 東京都台東区上野5-15-15 中田ビル5階
TEL 03-3837-0855 / FAX 03-3839-1455

器材部より商品のご案内

GS ペットシリーズ 個数により値引きできます。



GS ペット ¥750(税別) 61mm×26mmΦ	GS ミニペット ¥550(税別) 45mm×18mmΦ	GS ペット DH ¥950(税別) 66mm×26mmΦ	GS アイペット ¥1,800(税別) 56mm×32mm×27mm
---	---	--	---

弊社のGS ペットは、他社製品のハート&キューピッドスコープとは違い、乱反射を防ぎダイヤモンドがハッキリと綺麗に見えるよう見口構造(階段状)になっています。(この見口構造は、望遠鏡等の光学機器で使われています。)

※見口構造は、GS ペット、GS ペットDH、GS アイペットの3種類に使われております。



モニターは含まれておりません。

ハート&キューピッドビューワー HCV-1

定 価 ¥78,000(税別)
販売価格 ¥70,000(税別)

電 源：AC100~240V
本体寸法：100×100×162.8mm / 700g
有効画素数：768×494(pixel) CCD カメラ、LED 8個
使用環境：5~35℃
付 属 品：プレート、キューピッドケース、ハーネス、ACアダプタ

GS ケース ~GN-CI 紺~ 販売価格 ¥840(税別)

寸法：約 115mm × 85mm × 40mm
GS ペットは含まれておりません。



【ご注文・問い合わせ先】

中央宝石研究所

器材部：〒110-0005 東京都台東区上野 5-15-15 中田ビル 5 階
TEL: 03-3839-1451 (代) FAX: 03-3839-1455