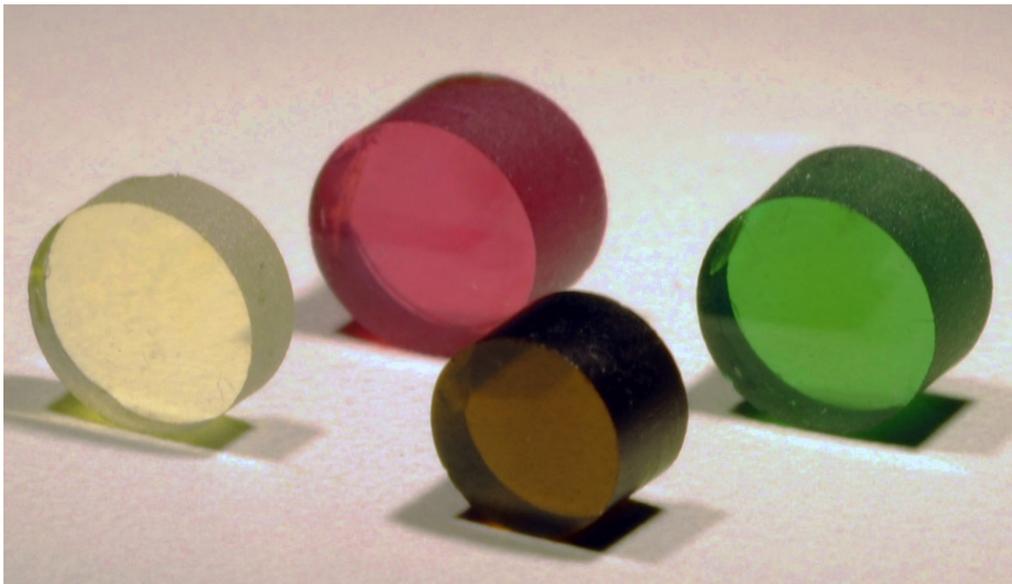


平成 28 年 12 月 2 日
愛 媛 大 学

ナノ多結晶ガーネットの合成に成功 (記者説明会の開催)



愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター（GRC）の入船徹男（いりふね てつお）センター長・教授（東京工業大学地球生命研究所主任研究員）を中心とした GRC の研究チームが、地球マントルの主要鉱物であるとともに、レーザー発振素子など光学材料としても重要であるガーネット（ざくろ石）の透明ナノ多結晶の合成に成功しました。

本研究はイギリス Nature 出版のオンラインジャーナル Nature Communications の 12 月 7 日版において発表されます。

つきましては、裏面のとおりに記者説明会を開催しますので、是非取材くださいますようお願いいたします。

記者説明会のお知らせ

日 時：平成 28 年 12 月 6 日(火) 14 時～

(説明会の終了後、ご希望の方には GRC 実験室等をご案内いたします)

場 所：愛媛大学 理学部総合研究棟 I 4階 共通会議室 *別紙参照

(車で来学の場合、理学部入構ゲートのインターフォンにて、会見出席の旨をお伝えください)

発表者：入船 徹男 (GRC 教授・センター長/東京工業大学地球生命研究所主任研究員)
大藤 弘明 (GRC 教授)

【研究の概要】

酸化物などの微細な結晶を焼き固めたセラミックスは、古くから陶器やレンガ・瓦など様々な利用がされてきました。通常のセラミックスは不透明ですが、近年、光の散乱・吸収源となる空孔や不純物のないセラミックスが開発され、「透明セラミックス」として、レーザーや光学レンズなどに応用されています。

従来の透明セラミックスは、通常 1 ミクロン～0.1 ミリ程度の結晶の粉末を、大気圧下で焼き固めた(焼結)ものですが、結晶のサイズをこれより更に小さくして、0.1 ミクロン(100 ナノメートル)以下の「ナノサイズ」にすると、セラミックスの透明性が向上するとともに、硬さも増す「透明ナノセラミックス」ができるのではないかと予想されました。

GRC の入船教授らのグループは、通常の焼結法と比べてはるかに高い 10 万気圧以上の超高压と、1400℃程度の温度を加えることにより、透明ナノセラミックスの一種である「透明ナノ多結晶ガーネット」の合成に成功しました。得られたナノ多結晶ガーネットは、大きさ 30 ナノメートル程度の超微細結晶からなり、宝石などに使われる単結晶ガーネットと同程度の透光性ととも、単結晶に比べて約 30%高い硬度を有することも明らかになりました。今回開発された超高压合成法を用いることにより、新しい透明ナノセラミックスの開発と、そのレーザーや光学素子などへの応用も期待されます。

(詳しくは、別添資料をご参照ください。)

本件に関する問い合わせ先

愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター

教授・センター長 入船 徹男

TEL: 089-927-9645

Mail: irifune@dpc.ehime-u.ac.jp

※送付資料 10 枚 (本紙を含む)

超高压を利用した透明ナノセラミックスの合成に成功

国立大学法人 愛媛大学

地球深部ダイナミクス研究センターの入船徹男教授・センター長（東京工業大学地球生命研究所・主任研究員）らのグループは、超高压合成法^(※1)の応用により、これまで困難であった「透明ナノセラミックス」の合成に成功しました。得られた透明ナノセラミックスは単結晶^(※2)と同等の透明度を持つ多結晶体^(※3)で、単結晶に比べて30%硬いことが示されました。硬くて透光性の高い透明ナノセラミックスは、光学素子などへの応用も期待されます。研究成果は英ネイチャー出版の **Nature Communications** 誌・12月7日号にオンライン出版されます。

酸化物などの微細な結晶を焼き固めたセラミックスは、古くから陶器やレンガ・瓦など様々な利用がされてきました（図1）。通常のセラミックスは焼き固める過程で入る微小な空気の隙間（空孔^(※4)）や不純物などにより、光が散乱・吸収されるために不透明です。近年、このような空孔や不純物のないセラミックスが開発され、「透明セラミックス^(※5)」として、レーザーや光学レンズなどに応用されています。

従来の透明セラミックスは、通常1ミクロン（1ミリの1000分の1）～100ミクロン程度の結晶の粉末を、大気圧下で焼き固めた（焼結^(※6)）ものです。一方、結晶のサイズをこれより更に小さくして、0.1ミクロン（100ナノメートル）以下の「ナノサイズ」^(※7)にすると、セラミックスの透明性がより向上するとともに、より硬さも増す「透明ナノセラミックス」ができるのではないかと予想されていました（図2）。しかし従来の焼結法や、比較的低い圧力での合成法では、このような透明ナノセラミックスの実現は困難でした。

愛媛大学 GRC の入船教授らのグループは、棒状に加工したガラス試料に、マルチアンビル超高压合成装置^(※8)を用いて（図3）10万気圧以上の超高压と、1400℃程度の温度を加えることにより、透明ナノセラミックスの一種である「透明ナノ多結晶ガーネット^(※9)」の合成に、世界で初めて成功しました（図4）。得られたナノ多結晶ガーネット（Nano-Polycrystalline Garnet, NPG）は、30ナノメートル程度の超微細結晶からなり（図5）、宝石などに使われる単結晶ガーネットと同程度の透光性ととも（図6）、約30%高い硬度を有することも明らかになりました（図7）。

本研究では、セラミックスのナノ化には、超高压と適度な高温が重要であることが示され、今回開発された超高压合成法により、様々な化学組成を持つガーネット（図8）の他、新しい透明ナノセラミックスの開発と、そのレーザー^(※10)や光学素子^(※11)などへの応用が期待されます。入船教授らの研究グループは、2003年にナノ多結晶ダイヤモンド（ヒメダイヤモンド）^(※12)の合成を **Nature** 誌に発表し、2012年には製品化されるとともに、世界各国で様々な科学研究に利用されています。今回の透明 NPG 合成の成功は、超高压合成法が新しい光学材料の開発においても重要であることを示したものとして注目されます。

愛媛大学では GRC と理学部・工学部の多様な分野の研究者が連携し、超高压を利用した新しい材料開発を目指した研究グループ（「超高压材料科学研究ユニット」^(※13)）を組織し、世界をリードする特色ある学際的研究の推進に取り組んでいます。

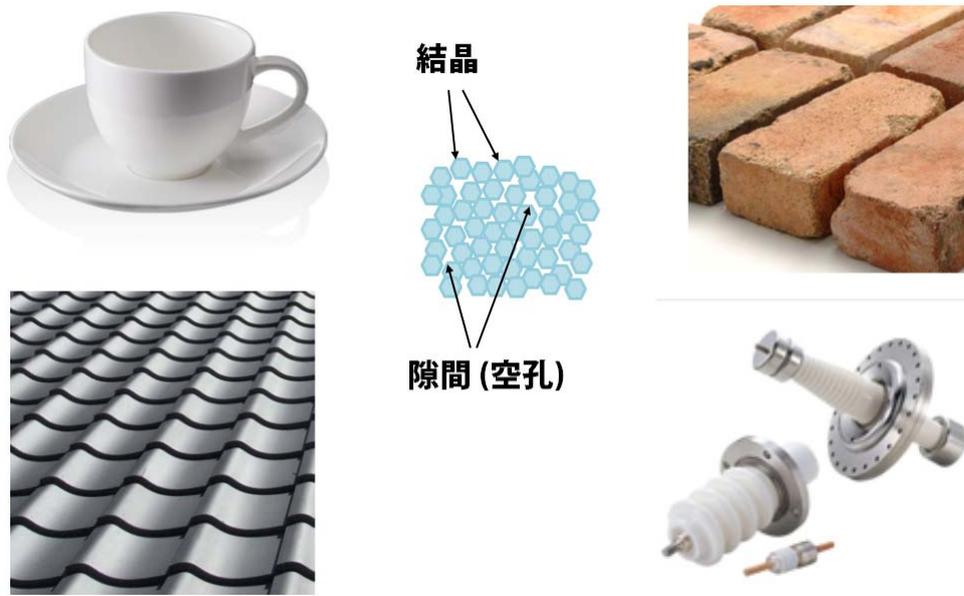


図 1. 様々なセラミックス

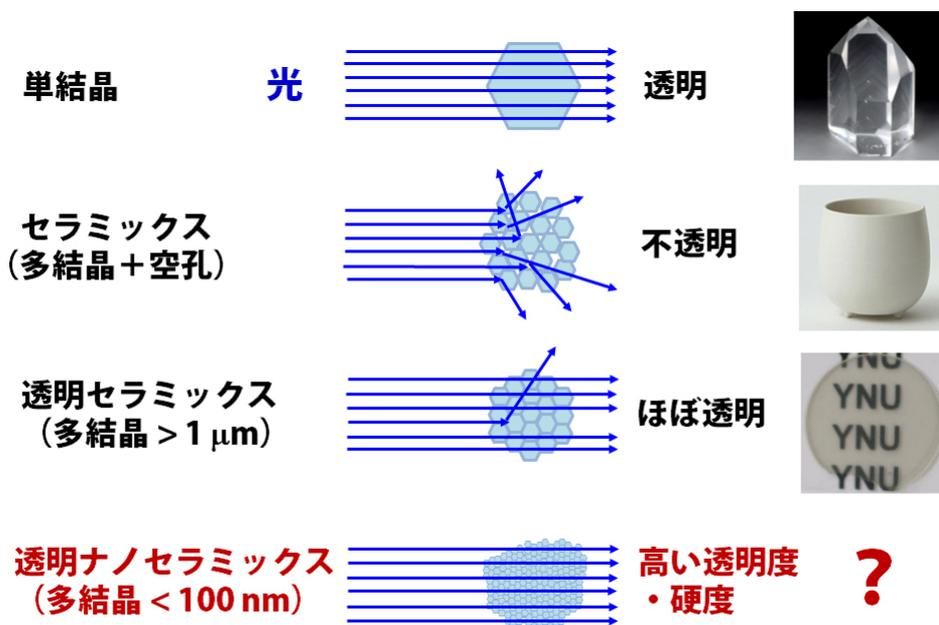


図 2. 通常のセラミックスと透明セラミックス

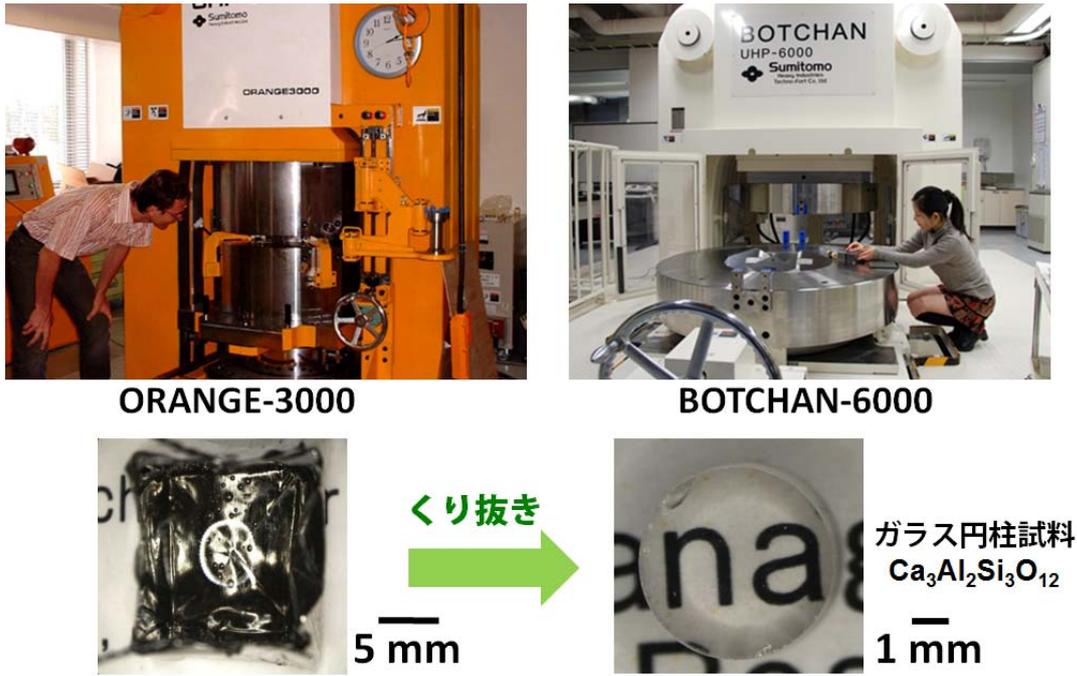


図 3. GRC の大型マルチアンビル超高压合成装置と、合成に用いたガラス出発試料

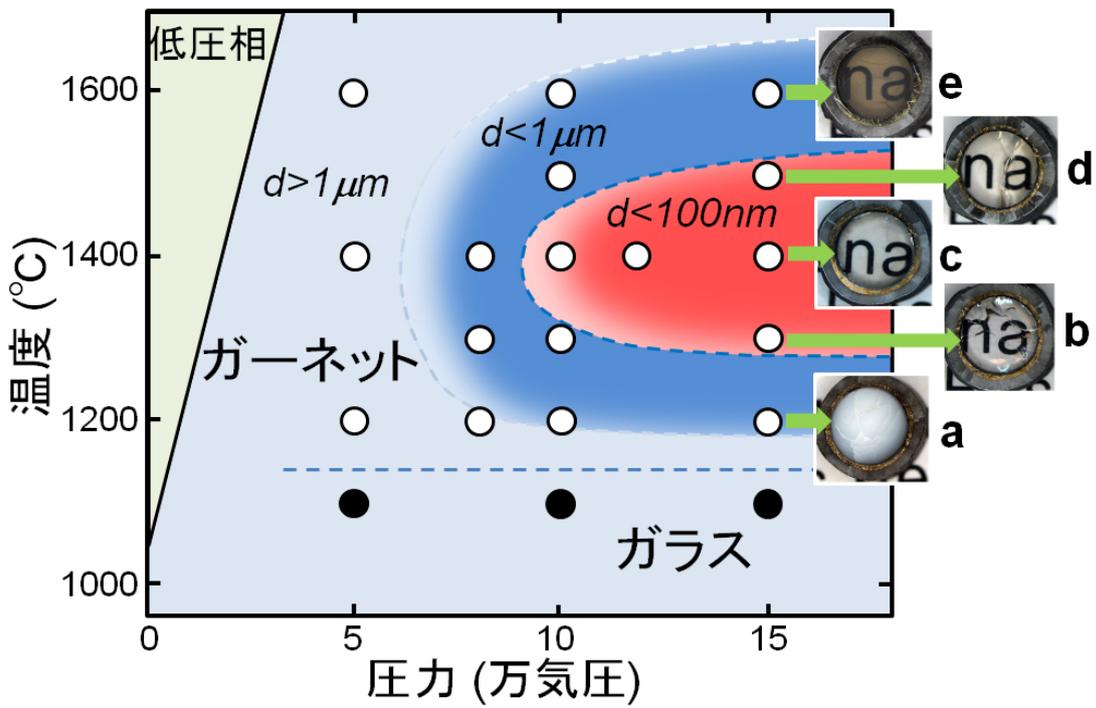


図 4. NPG の合成温度圧力条件

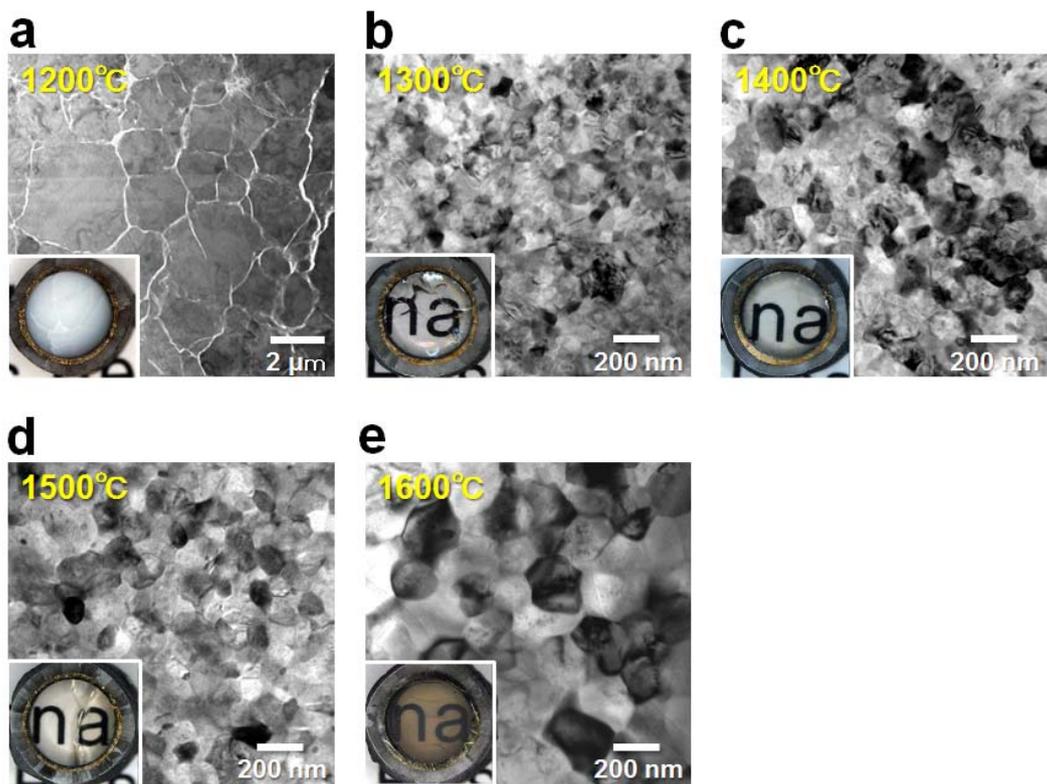


図 5. NPG の透過型電子顕微鏡像と粒径

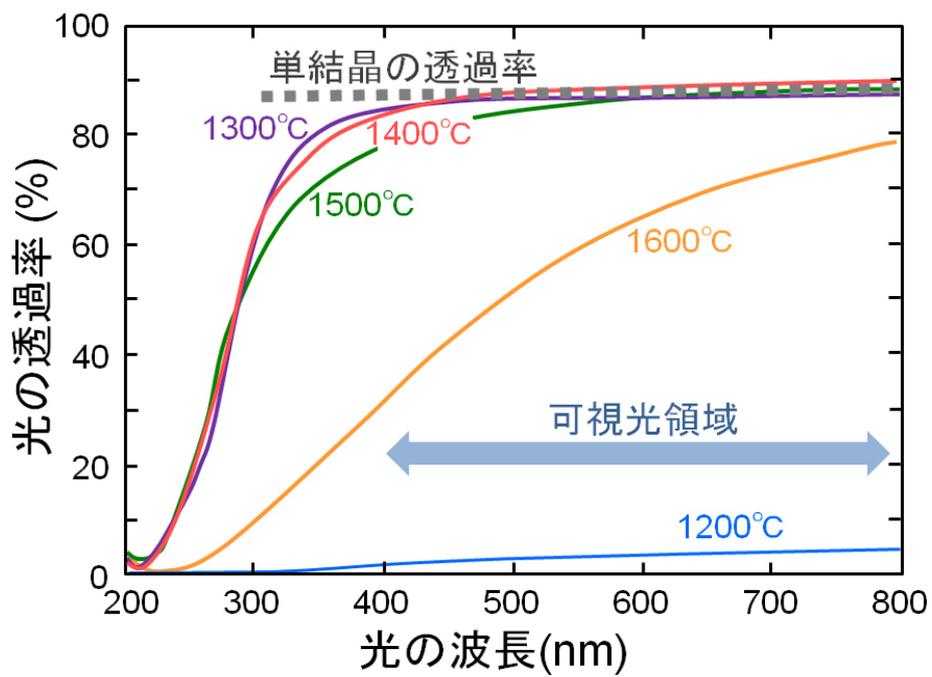


図 6. NPG の透光性と光の波長の関係

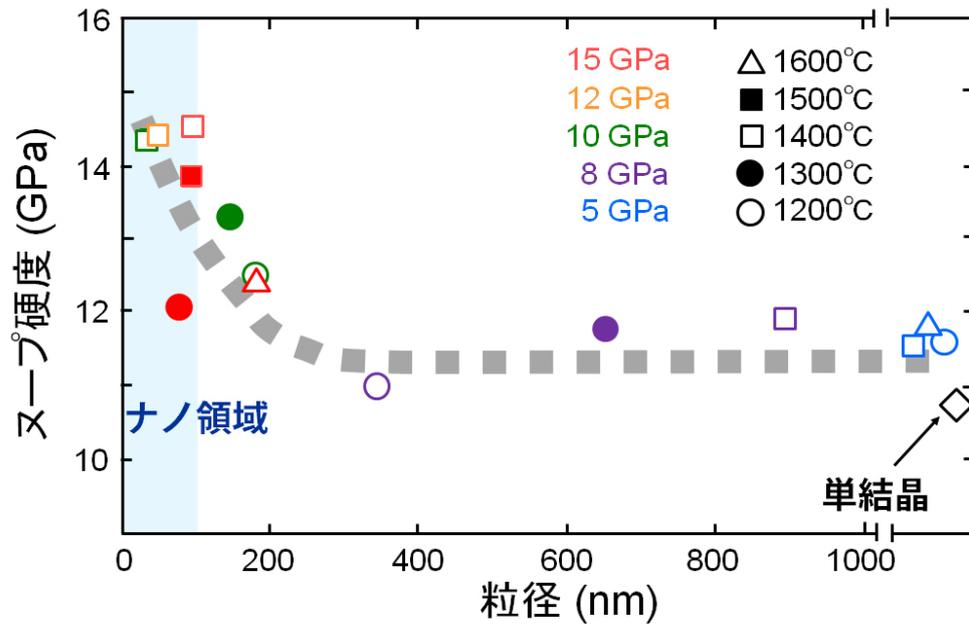


図 7. NPG の硬度と粒径の関係

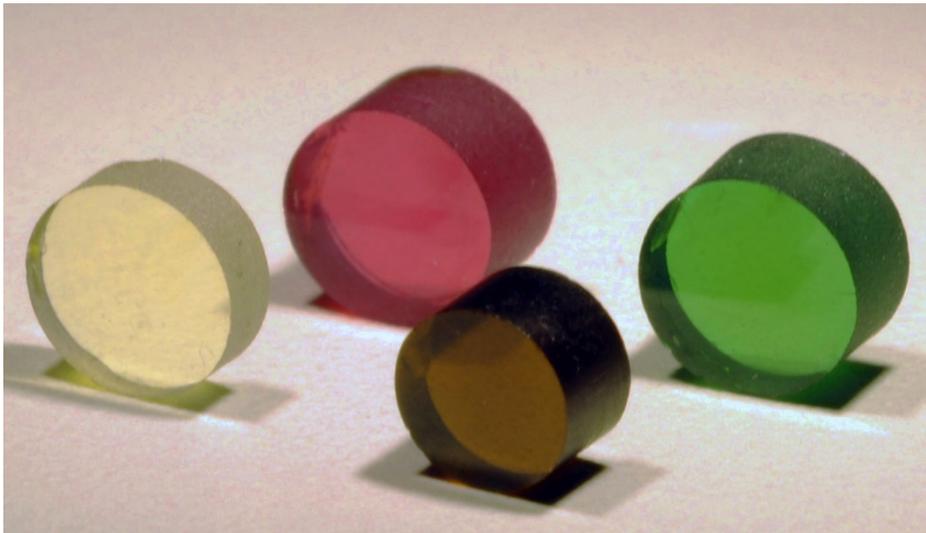


図 8. 様々な化学組成を持つ NPG

【用語説明】

(※1) 超高压合成

10万気圧以上での高圧、高温下での合成を超高压合成と称する。10万気圧以下の低圧～高圧下での合成は企業などにおいても一般的であるが、超高压領域の大容量試料の合成技術は地球科学者が先行しており、GRCで開発されたヒメダイヤが世界で初めて製品化された例である。

(※2) 単結晶

一粒の結晶が成長して大きくなった鉱物などの結晶。通常の天然ダイヤモンドや水晶などは、単結晶の例である。

(※3) 多結晶

細かい単結晶の集合体。酸化物やケイ酸塩などの非金属結晶の多結晶体を、セラミックスと称する。

(※4) 空孔

多結晶体を構成する結晶の接合面に存在する微小な隙間。通常のセラミックスは微小な空孔が存在するが、これらは光の散乱源となるため透明度は低くなる。

(※5) 透明セラミックス

可視光を中心とした波長の光を透過する透明なセラミックス。細かい純度の高い結晶を高温で焼き固めることにより合成可能であることがわかり、1990年代後半頃からガラスに代わる素材として様々な光学的製品などに利用されている。

(※6) 焼結

鉱物などの粉末を常圧下あるいは少し圧力をかけ、高温（通常1000℃以上）で焼き固めること。セラミックは通常焼結により合成されるが、高温下では結晶粒が大きくなるため、この方法ではナノサイズの結晶からなるセラミックスの合成は困難であった。

(※7) ナノ結晶

粒径100ナノメートル以下の結晶（1ナノメートルは100万分の1ミリ）のことを指す。ナノ結晶の集合体がナノ多結晶体である。ナノ多結晶体は可視光の波長（400～800ナノメートル）の約10分の1以下と非常に小さな粒径の結晶の集合体のため、光が散乱しにくく透明度があがると考えられていた。

(※8) マルチアンビル超高压装置

多くのアンビル（超高压を発生するための硬い金属などの塊）により試料を加圧し、10万気圧以上の超高压を発生する装置。最高圧力は通常30万気圧程度に限られるが、比較的大容量

量の試料に精密に制御した温度・圧力を加えることができるため、超高压領域での合成に用いられる。GRC では世界最大のマルチアンビル装置 BOTCHAN-6000 を始め、世界最多の 6 台のマルチアンビル装置を保有し、地球深部科学や物質合成実験の先端的研究をすすめている。

(※9) ガーネット (ざくろ石)

鉱物の一種で、宝石としても有名である。色々な元素を結晶構造に取り込むことができ、それにより様々な色を呈する。レーザーなどの光学素子などにも応用されている。

(※10) レーザー

あるエネルギー準位にある原子または分子が、外部からの電磁波を受け、その強さに比例して、位相も周波数も同じ光（電磁波）を放出する現象。指向性の強い光が得られ、光通信、精密工作、医療など様々な応用がなされている。固体を媒体としたレーザーには YAG レーザーなどガーネット構造の結晶がある。

(※11) 光学素子

レンズ、窓材、ミラーなどの光学部品。光を透過率の高いガラスが主に使われるが、割れやすく屈折率も低いため、その一部は「透明セラミックス」に置き換わっている。透明セラミックスのナノ化がすすめば、更に光の透過度が上がり、また硬さもあがると予想されているが、これまで実現していなかった。

(※12) ナノ多結晶ダイヤモンド (ヒメダイヤ)

GRC の入船センター長が約 30 年前に合成し、その後の研究により世界最硬物質として 2003 年にネイチャー誌に発表し、2012 年には住友電工の関連会社から製品化もされ、日本工業新聞社の 2012 年度 10 大新製品賞を受賞した。その後も色々なグループによる「世界最硬物質」の報告があるが、他のグループにより確認されておらず、また実際に応用できるサイズのものも合成されておらず、そのほとんどに疑問が呈されている。

(※13) 超高压材料科学リサーチユニット

愛媛大学が平成 27 年度に設立した、学内横断的な特色ある研究グループを育成するリサーチユニット制度において、採択された工学部・理学部・GRC の化学・物理・材料科学・地球科学などの研究者からなる研究グループ。超高压合成法を重要な手段として用いた新たな材料開発や、物質合成、またそれらの特性評価を組織的に行い、「超高压材料科学」とも称される新たな学術分野の創成を目指している。

【掲載論文】

題名 : Pressure-induced nano-crystallization of silicate garnets from glass

邦訳 : 超高压を利用したシリケートガーネットナノ多結晶体の合成

著者 : 入船徹, 川上航司, 有本岳史, 大藤弘明, 國本健広, 新名亨

掲載誌 : Nature Communications

電子版発行日 : 2016 年 12 月 7 日

【問い合わせ先】

愛媛大学広報室 E-mail: koho@stu.ehime-u.ac.jp, Tel : 089-927-9022

愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター (GRC) Tel : 089-927-8197, Fax : 089-927-8167

入船徹男 (GRC 教授・センター長 / 東京工業大学地球生命研究所主任研究員)

E-mail: irifune@dpc.ehime-u.ac.jp, Tel: 089-927-9645

大藤弘明 (GRC 教授) E-mail: ohfuji@sci.ehime-u.ac.jp, Tel: 089-927-8611

【関連分野の研究者】

東京大学大学院理学系研究科附属地殻化学実験施設

名誉教授 八木 健彦

E-mail: yagi@eqchem.s.u-tokyo.ac.jp, Tel: 03-5841-4624