

附章 薬師社脇遺跡出土ガラス小玉の分析調査

田村 朋美（国立文化財機構 奈良文化財研究所）

1 はじめに

薬師社脇遺跡からは古墳時代中期後半（南小泉式後半）に属するとされる2基の土壌墓から38点のガラス小玉が出土している。日本列島では弥生時代以降多くのガラス製品が流通するが、東北地方北部における古墳時代中期のガラス製遺物の出土事例は極めて少ない。特に、薬師社脇遺跡では北方の続縄文文化に特徴的な土壌墓から東北南部の古墳文化に伴う遺物が出土している遺跡として注目されている。日本列島出土のガラス製遺物については、製作技法や化学組成による分類が進み、種類ごとの時期的な変遷や地域性についても明らかとなってきている（大賀2002, 肥塚ほか2010, Oga and Tamura2013など）。本調査では、薬師社脇遺跡から出土したガラス小玉について、製作技法を推定し、化学組成から基礎ガラスの種類および着色剤の特徴を把握することを目的として各種の自然科学的調査をおこなった。以下、その結果について報告するとともに、遺構ごとのガラス製遺物の特徴について筆者らがこれまで分析を実施してきた畿内を中心とした古墳文化のガラス小玉と比較考察する。

2 資料の概要

調査対象とした資料は、薬師社脇遺跡RD402土壌墓出土のガラス小玉7点（RD402-1～RD402-7）およびRD403土壌墓出土のガラス小玉31点（RD403-1～RD403-31）である。色調は、いずれも濃い青色～紺色を呈する小玉から構成される。ただし、子細に観察すると、RD402土壌墓出土品は、やや緑味の強い濃青色～青色透明を呈するもの（RD402-1, 4, 6）と、紺色透明を呈するもの（RD402-2, 3, 5, 7）が存在する。ただし、RD402-1についてはわずかに紺色味も帯びている。一方、RD403土壌墓出土品は、RD403-10が濃青色透明を呈する以外は、すべて紺色透明である。遺存状態も遺構によってやや異なる。RD402土壌墓出土品は総じて遺存状態が悪く、RD402-1, 2, 4, 7は一部を欠損している。すべての個体で表面に微細な亀裂が多く認められる。一方、RD403土壌墓出土品は比較的状态が良好で表面にガラス光沢が残存するものと、風化による蝕像が顕著にみられるものが存在する。風化による蝕像は小口面では孔を取り巻くようにめぐるが、側面では孔と平行方向に筋状に認められる。

3 調査の方法

顕微鏡観察 製作技法を推定するため、ガラス小玉に含まれる気泡の並びや形状、ガラス小玉表面および孔壁面の状態や孔の形状などに着目して、落射光および透過光下での実体顕微鏡観察をおこなった。使用した顕微鏡はライカ製MZ16で、必要に応じて付属のデジタルカメラ（Nikon DXM1200F）で撮影した。

コンピューテッドラジオグラフィ法（CR法） 顕微鏡では把握しきれなかった孔の形状や気泡の配列などのガラス内部の観察を目的として、X線透過撮影を実施した。本調査では、従来のフィルムのかわりにイメージングプレート（Imaging Plate: IP）を検出系に用いるコンピューテッドラジオグラフィ（Computed Radiography method: CR法）を利用した。撮影に用いた装置は、マイクロフォーカスX線拡大撮像システム（富士フイルム社製 μ FX-1000）とイメージングアナライザー（富士フイルム社製 BAS-5000）、IPはBAS-2025を使用した。撮影条件は、管電圧50kV、管電流60 μ A、露光時間100秒とした。

蛍光X線分析法 ガラスの主要な構成成分とその含有量を知るために蛍光X線分析を実施した。測定にあ

たつては、顕微鏡下で新鮮な破断面など風化の影響が少ない場所を選択し、測定範囲の表層を超音波およびエチルアルコールで洗浄したうえで測定した。測定結果は、測定資料と近似する濃度既知のガラス標準試料を用いて補正した理論補正法（Fundamental Parameter method：FP法）により、検出した元素の酸化物の合計が100%になるように規格化した。測定に用いた装置は、エネルギー分散型蛍光X線分析装置（エダックス社製EAGLEⅢ）である。励起用X線源はモリブデン（Mo）管球、管電圧は20kV、管電流は100μA、X線照射径は112μm、計数時間は300秒とし、真空中で測定した。

4 結果と考察

4-1 製作技法

RD402土 墳墓（図1） 7点のうち4点（RD402-2, 3, 4, 5）は、孔内が比較的平滑で気泡が孔と平行方向に並ぶなどの特徴から、軟化したガラスを引き伸ばして製作したガラス管を分割して小玉を得る「引き伸ばし法」で製作されたと推定できる。残り3点のうちRD402-7は、開孔部に2箇所の変状の溝があることなどから、筆者らが「包み巻き法」（肥塚ほか2010）と呼んでいる製作技法に相当する。軟化したガラスに芯棒を刺し込み、芯棒を包むように巻いて丸玉に整形したと推定している。RD402-1は丸みが強く、レンズ状に伸びた気泡が認められるが、気泡の伸長方向は一定でない。包み巻き法の可能性が高いが、決め手を欠く。RD402-6は、一見引き伸ばし法に類似するが、両端面で孔径が異なっている（図2）。このような特徴は包み巻き法に出現することが多いが、やはり決め手を欠くため、具体的な製作技法の特定には至らなかった。なお、RD402土 墳墓出土品は総じて端面が磨かれており、臼状になるまで顕著に磨かれているものが多い。

RD403土 墳墓（図3） すべての引き伸ばし法によると推定される。特に、孔内が極めて平滑で孔と平行方向に伸びる気泡筋が両端面を貫く個体が多く認められるのが特徴である（図3中）。孔と平行方向に認められる筋状の蝕像は、このような気泡筋が起点となって風化が進んだものと考えられる（図3左）。端面が研磨されていないものを多く含み、研磨されているものについてもRD402土 墳墓出土品と比較すると、研磨の程度は低い。

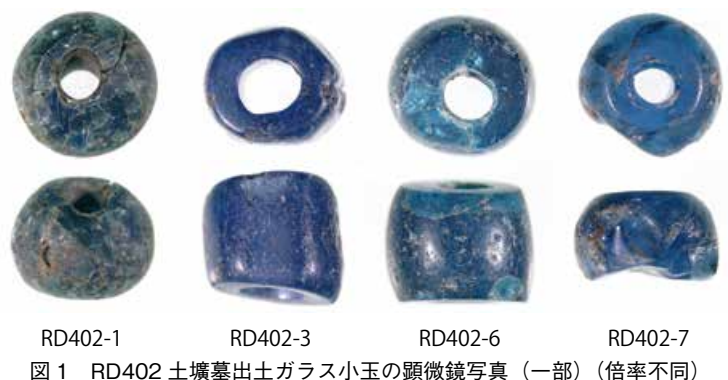


図1 RD402 土 墳墓出土ガラス小玉の顕微鏡写真（一部）（倍率不同）

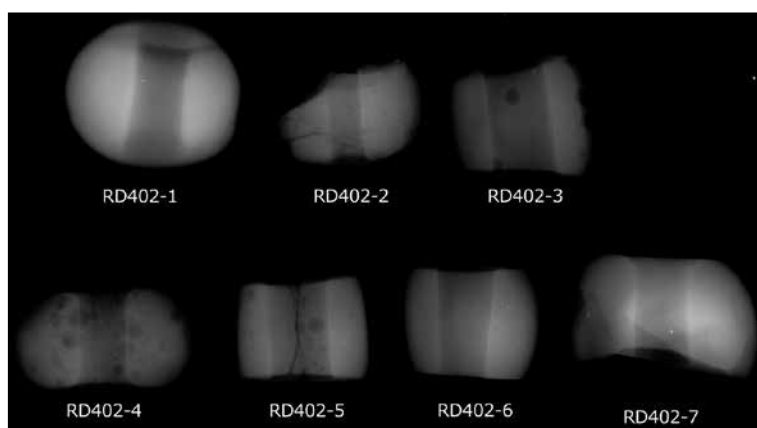


図2 RD402 土 墳墓出土ガラス小玉のCR画像

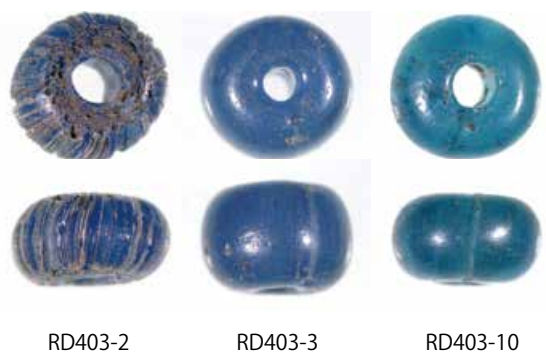


図3 RD403 土 墳墓出土ガラス小玉の顕微鏡写真（一部）（倍率不同）

4-2 基礎ガラスの種類と着色剤

蛍光X線分析によって得られた化学組成から、遺構ごとにガラス小玉の基礎ガラスの種類と着色剤について検討する。蛍光X線分析の結果は表1に示した。

RD402土壌墓 7点のガラス小玉のうち4点(RD402-1, 2, 3, 5)については、 K_2O を14.8-20.4%含有するカリガラスであった。筆者らは日本列島で出土するカリガラスを CaO と Al_2O_3 の含有量から二種類に分類しているが、RD402-1以外の3点は、 Al_2O_3 含有量が相対的に少なく、 CaO 含有量が多いタイプのカリガラス(Group PI)(Oga and Tamura 2013)に相当する(図4)。一方、RD402-1は、 Al_2O_3 が少なく CaO が多い傾向は他の3点と共通するものの、 CaO の値が2.8%と特に高く、一般的なGroup PIの領域からは外れている。既存のグループには属さない可能性があるため、カリガラスの細分の帰属判断は保留した。着色に關与する成分としては、紺色透明を呈するRD402-2, 3, 5の3点は CoO を0.06-0.07%含有しており、コバルトイオンが主要な着色成分である。コバルト原料の不純物と考えられる MnO を1.28-1.55%含有する一方で、 CuO および PbO の含有量がきわめて少ない(0.1%未満)という、これまでに知られているGroup PIのカリガラスの典型的な着色剤の特徴を有する。一方、わずかに紺色味を帯びた濃青色を呈するRD402-1は、 MnO と CuO をそれぞれ1.87%と1.80%含有しており、これらの元素によって濃青色を呈すると考えられる。 CoO の定量値は0.01%と極めて少ないが、色調を考慮すると、きわめてわずかのコバルトイオンが紺色味を与えている可能性がある。

一方、RD402-4, 6, 7の3点は、 Na_2O を13.3-15.7%含有するソーダガラスであった。これらについては、 MgO , K_2O , CaO , Al_2O_3 の含有量から、既存のグループ(Group SI~SV)(Oga and Tamura 2013)への帰属を検討した(図5)。その結果、RD402-4とRD402-6は、 Al_2O_3 が4.8-5.2%と比較的多く、 CaO が2.0%と少ないことから、高アルミナタイプのソーダガラス(Group SII)に相当すると判断された。Group SIIは、日本列島での流通時期と着色剤からGroup SIIAとGroup SIIBに細分される。本資料は、着色剤の特徴などからGroup SIIBに相当する。着色に關与

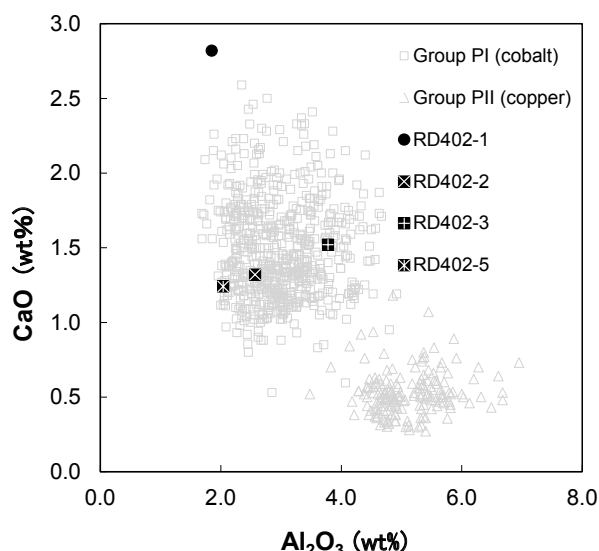


図4 カリガラスの細分 (Al_2O_3 vs. CaO)

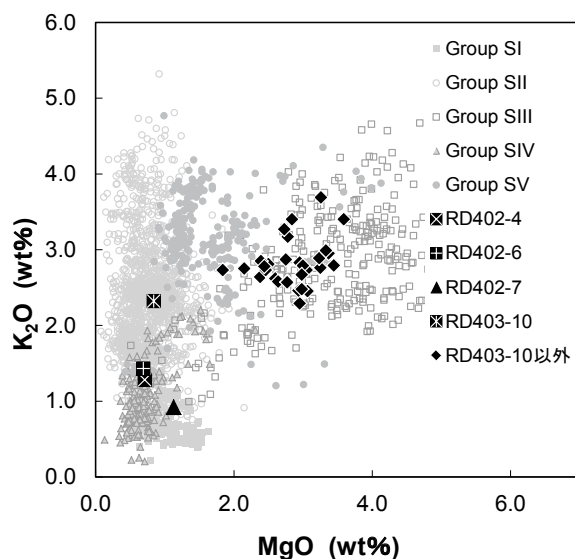
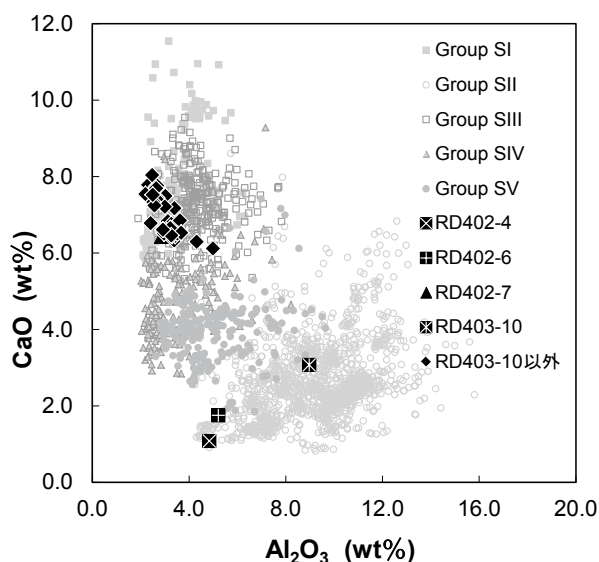


図5 ソーダガラスの細分
(上: Al_2O_3 vs. CaO , 下: MgO vs. K_2O)

する成分として、RD402-4はMnOを0.57%、CuOを0.64%含有しており、これらの成分により濃青色を呈すると推定される。銅原料の不純物と考えられるPbOおよびSnO₂はほとんど含まれない。一方、RD402-6の色調（青色透明）はRD402-4と比較的類似するものの、MnOの含有量は0.07%と極めて少なく、PbOとSnO₂をそれぞれ0.28%と0.27%含有する。すなわち、RD402-4とRD402-6では着色剤として利用された銅原料が異なると判断される。

RD402-7は、Al₂O₃が2.9%と少なくCaOが6.4%と多い、低Al₂O₃高CaOのソーダガラスである。さらに、MgOおよびK₂Oの含有量がいずれも1.5%以下であることから、ソーダガラスの中でもナトロンとよばれる蒸発塩をソーダ原料としたナトロンガラスである。重要な特徴として、Sb₂O₃を1.37%含む。アンチモン(Sb)はガラスの消色剤として知られており、意図的に添加されたと考えられる¹⁾。さらに、MnOを0.38%含有する点も分類上注目される。筆者らによる日本列島出土のナトロンガラスを細分に基つくと、本資料はGroup SI Type A2 (Tamura and Oga 2016) に相当する。Group SI Type A2は、Sb₂O₃を多量(2%前後)に含むと同時にMnOを少量(0.45%前後)含むことが特徴である²⁾。着色に関与する成分として、CoOを0.05%含むと同時に、コバルト原料に付随する不純物と推定される成分として、CuOを0.23%、PbOを0.11%含有する。このような着色剤の特徴は、日本列島出土のナトロンガラスに共通する特徴である³⁾ (Oga and Tamura 2013, 大賀・田村2015, Tamura and Oga 2016)。

RD403土壌墓 蛍光X線分析の結果、すべてNa₂Oを10.5-17.0%含有するソーダガラスであった。色調の異なるRD403-10のみ、高アルミナタイプのソーダガラス(Group SIIIB)であった。濃青色透明を呈する本資料の着色に関与する成分として、CuOを0.70%含有しており、銅イオンが青色の主要な着色要因であるが、MnOをわずかに含有している(0.17%)ことがやや暗めの色調と関係していると考えている。PbOとSnO₂は極めて少なく、着色剤としての銅原料の特徴を示唆している。

上記以外の30点は、植物灰タイプのソーダガラス(Group SIIIA)に相当する。Group SIIIAは、低Al₂O₃高CaOのソーダガラスのうち、MgOとK₂Oの含有量が1.5%よりも多いもので、ソーダ原料に植物灰を利用したと考えられているガラスである。Group SIIIAのガラス小玉については、製作技法と化学組成からGroup SIIIA・SIIIB・SIIICに細分される。RD403土壌墓出土品は、引き伸ばし法で製作された紺色ガラス小玉であることと、MgOおよびK₂Oの含有量が比較的少ない領域でばらつくという化学組成の特徴(図5)から、Group SIIIBに相当すると判断される。着色に関与する成分としては、CoOが0.06-0.18%含まれており、コバルトイオンが主要な着色要因である。コバルト原料の不純物と考えられる微量のCuOとPbOが検出されている一方でMnOはGroup PIなどに比べて少ない(<0.5%)。このような特徴をもつコバルト原料はこれまでに知られているGroup SIIIBのガラス小玉にも共通して用いられている。

4-3 時期的な検討

薬師社脇遺跡のガラス小玉について、遺構ごとに特徴を整理し、筆者らがこれまで分析を実施してきた畿内を中心とした古墳文化のガラス小玉と比較してみたい。まず、RD402土壌墓から出土したコバルト着色のGroup PIのカリガラス小玉(RD402-2, 3, 5)は、日本列島では弥生時代から流通するが、本遺構出土品のような直径が6mmを超えるような大型で端面が顕著に磨かれて臼状を呈するものは、古墳時代中期前半の特徴であることが指摘されている(石橋ほか2016)。Group SIIIBの濃青色のガラス小玉(RD402-4)については古墳時代中期中葉に流通が開始する。基礎ガラスの種類が共通するRD402-4についても製作技法や着色剤の特徴は異なるが、流入時期に大きな差異はないと考えられる。Group SI (Type A2) のナトロンガラス小玉(RD402-7)については、類例が極めて少ないものの、大阪府風吹山古墳で3点の出土を確認している(Tamura and Oga 2016)。流入時期は中期前半にほぼ限定され则认为している。RD402-1に

については、製作技法や化学組成の特徴が特殊であったため、現在のところ確実な類例は確認されないが、日本列島におけるカリガラス全体の流通量は古墳時代中期後半以降急激に低下することから、古墳時代中期前半までに流入したと考えるのが妥当であろう。

一方、RD403土壙墓の主体を占めるコバルト着色の植物灰タイプのソーダガラス製小玉（Group SIIIB）は、古墳時代中期後半に出現することが明らかとなっている。Group SIIIBの有無がRD402土壙墓とRD403土壙墓との最大の相違である。遺構の時期差を直接的に示唆するかどうかは慎重に検討しなければならないが、ガラス小玉の構成に関してのみ言えば、RD402土壙墓よりもRD403土壙墓がやや新しい様相を有していると言える。いずれにせよ、ガラス小玉の種類から見ても、古墳時代中期後半とされているこれらの土壙墓の時期と矛盾はなく、古墳時代中期中葉から後半にかけての日本列島で流通した典型的なガラス小玉であると言える。

5 結語

本調査において、薬師社脇遺跡のRD402土壙墓およびRD403土壙墓から出土したガラス小玉の製作技法や基礎ガラスの種類、着色剤の特徴が明らかとなった。その結果、いずれも古墳時代中期中葉～後半に典型的なガラス小玉であり、畿内を中心とした東北南部以南の古墳文化との関係からもたらされた遺物であることが示された。古墳時代中期の東北地方における物流の一端を解明する貴重なデータを提示できたと考えている。

【註】

1) 地中海周辺地域で出土するナトロンガラスには、アンチモン（Sb）を消色剤として用いた無色ガラスが多数存在する。ただし、本資料に関しては、紺色に強く着色されているため、消色剤としての効果は失われている。アンチモンで消色された無色ガラスを後で着色した可能性も考えられる。一方、アンチモンは消色効果の他にガラスの脱泡（清澄）を促進する効果もあるため、清澄剤として使用されていた可能性も否定できない。本資料を含め、アンチモンを多く含むナトロンガラスは極めて気泡が少ない。

2) ナトロンガラスに含まれるMnOについては、CuOやPbOとの相関関係が認められないことから、着色剤の不純物ではなく、ケイ砂の不純物もしくはアンチモンと同じく消色剤として添加された成分であると理解している。

3) 一部のものについては、イラン産の鉛鉱石と類似の鉛同位体比を持つ（Tamura and Oga 2016）。

【参考文献】

石橋宏・大賀克彦・西川修一2016「つくば市免野井古墳群の再検討」『東生』第5号，129-158頁。

大賀克彦2002「日本列島におけるガラス小玉の変遷」『小羽山古墳群』, (『清水町埋蔵文化財発掘調査報告書』V), 127-145頁。

大賀克彦・田村朋美2015「古墳時代前期のナトロンガラス」『古代学』第7号，1-11頁。

肥塚隆保・田村朋美・大賀克彦2010「材質とその歴史的変遷」『月刊文化財』No. 566，13-25頁。

Oga, K., Tamura, T. 2013. Ancient Japan and the Indian Ocean Interaction Sphere: Chemical Compositions, Chronologies, Provenances and Trade Routes of Imported Glass Beads in Yayoi-Kofun Period (3rd Century BCE-7th Century CE). *Journal of Indian Ocean Archaeology*, 9.

Tamura, T., Oga, K. 2016. Archaeometrical investigation of natron glass excavated in Japan, *Microchemical Journal* vol.126, pp.7-17.

表1 蛍光X線分析結果

分析番号	製作技法		基礎ガラス		着色要因	色調	重量濃度 (wt%)																			
	大別	細別	Group *	Group P			Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO	Ni ₂ O ₃	CuO	ZnO	PbO	Rb ₂ O	SrO	ZnO ₂	その他
RD402-1	包み巻き?	カリ			銅 + マンガン (+ コバルト ?)	濃 青色 透明 (やや紺色味)	0.7	0.3	1.9	69.2	0.3	20.4	2.8	0.07	0.01	1.87	0.33	0.01	0.01	1.80	0.02	0.02	0.02	0.01	0.12	BaO : 0.14
RD402-2	引き伸ばし	カリ	中アルミナ		コバルト	紺色透明	0.0	0.7	2.6	77.0	0.1	15.4	1.3	0.08	0.03	1.51	1.01	0.07	0.00	0.03	0.01	0.00	0.02	0.02	0.00	BaO : 0.09
RD402-3	引き伸ばし	カリ	中アルミナ		コバルト	紺色透明	0.7	0.7	3.8	74.2	0.1	15.8	1.5	0.13	0.01	1.28	1.35	0.06	0.01	0.03	0.02	0.04	0.03	0.03	0.06	BaO : 0.09
RD402-4	引き伸ばし	ソーダ	高アルミナ		銅 + マンガン	濃 青色 透明	13.3	0.7	4.8	76.5	0.0	1.3	1.1	0.23	0.01	0.57	0.62	0.01	0.00	0.64	0.00	0.04	0.02	0.03	0.11	
RD402-5	引き伸ばし	カリ	中アルミナ		コバルト	紺色透明	0.3	0.3	2.0	78.2	0.1	14.8	1.2	0.12	0.02	1.55	0.92	0.06	0.01	0.04	0.02	0.02	0.02	0.03	0.06	BaO : 0.10
RD402-6	包み巻き?	ソーダ	高アルミナ		銅	青色透明	15.7	0.7	5.2	70.0	0.2	1.4	1.8	0.50	0.01	0.07	1.06	0.02	0.01	2.63	0.02	0.28	0.01	0.04	0.12	SnO ₂ : 0.27
RD402-7	包み巻き	ソーダ	ナトロン		コバルト	紺色透明	15.7	1.1	2.9	69.1	0.2	0.9	6.4	0.12	0.01	0.38	1.14	0.05	0.00	0.23	0.02	0.11	0.01	0.05	0.09	Sh ₂ O ₃ : 1.37
RD403-1	引き伸ばし	ソーダ	植物灰		コバルト	紺色透明	16.2	3.3	5.0	64.5	0.2	2.8	6.1	0.17	0.01	0.23	1.18	0.06	0.01	0.08	0.01	0.02	0.01	0.05	0.11	
RD403-2	引き伸ばし	ソーダ	植物灰		コバルト	紺色透明	16.2	2.2	3.0	65.6	0.2	2.8	7.5	0.09	0.01	0.12	1.59	0.18	0.01	0.24	0.02	0.13	0.01	0.05	0.09	
RD403-3	引き伸ばし	ソーダ	植物灰		コバルト	紺色透明	15.2	3.0	3.4	66.8	0.2	2.3	7.2	0.12	0.01	0.28	1.14	0.07	0.00	0.09	0.01	0.05	0.01	0.03	0.14	
RD403-4	引き伸ばし	ソーダ	植物灰		コバルト	紺色透明	14.3	3.0	3.4	67.9	0.2	2.8	6.3	0.10	0.01	0.07	1.30	0.10	0.01	0.18	0.01	0.12	0.02	0.05	0.09	
RD403-5	引き伸ばし	ソーダ	植物灰		コバルト	紺色透明	16.7	2.6	2.7	65.8	0.3	2.6	7.5	0.07	0.01	0.08	1.11	0.12	0.01	0.21	0.01	0.09	0.01	0.04	0.10	
RD403-6	引き伸ばし	ソーダ	植物灰		コバルト	紺色透明	15.7	2.6	3.1	67.0	0.2	2.6	6.8	0.12	0.01	0.28	1.14	0.07	0.01	0.09	0.01	0.07	0.02	0.05	0.04	
RD403-7	引き伸ばし	ソーダ	植物灰		コバルト	紺色透明	15.1	3.6	3.4	65.5	0.3	3.4	6.5	0.22	0.02	0.10	1.37	0.09	0.01	0.18	0.01	0.15	0.02	0.05	0.07	
RD403-8	引き伸ばし	ソーダ	植物灰		コバルト	紺色透明	11.1	2.8	3.3	71.2	0.2	2.9	6.8	0.05	0.01	0.06	1.21	0.12	0.01	0.16	0.01	0.11	0.01	0.03	0.10	
RD403-9	引き伸ばし	ソーダ	植物灰		コバルト	紺色透明	17.5	2.9	2.7	65.0	0.3	2.5	7.4	0.09	0.01	0.08	1.13	0.11	0.01	0.19	0.02	0.09	0.01	0.04	0.00	
RD403-10	引き伸ばし	ソーダ	高アルミナ		銅 + マンガン	濃 青色 透明	14.6	0.8	9.0	66.9	0.2	2.3	3.1	0.50	0.00	0.17	1.55	0.03	0.00	0.70	0.01	0.05	0.00	0.01	0.14	
RD403-11	引き伸ばし	ソーダ	植物灰		コバルト	紺色透明	16.0	3.1	3.0	66.1	0.2	2.5	7.2	0.10	0.01	0.11	1.25	0.13	0.01	0.21	0.01	0.11	0.01	0.04	0.00	
RD403-12	引き伸ばし	ソーダ	植物灰		コバルト	紺色透明	16.1	3.1	2.3	65.9	0.3	2.7	7.8	0.07	0.01	0.08	1.13	0.11	0.00	0.21	0.01	0.12	0.02	0.03	0.06	
RD403-13	引き伸ばし	ソーダ	植物灰		コバルト	紺色透明	17.0	3.2	3.0	65.3	0.2	2.9	6.5	0.09	0.01	0.07	1.11	0.09	0.01	0.22	0.02	0.16	0.01	0.03	0.06	
RD403-14	引き伸ばし	ソーダ	植物灰		コバルト	紺色透明	14.9	2.8	2.7	66.4	0.3	3.4	7.8	0.11	0.01	0.07	1.11	0.10	0.01	0.17	0.01	0.11	0.01	0.03	0.08	
RD403-15	引き伸ばし	ソーダ	植物灰		コバルト	紺色透明	14.8	1.8	2.5	67.9	0.2	2.7	8.0	0.1	0.0	0.12	1.34	0.14	0.01	0.17	0.01	0.11	0.01	0.03	0.00	
RD403-16	引き伸ばし	ソーダ	植物灰		コバルト	紺色透明	13.2	3.4	3.3	68.3	0.2	3.0	6.5	0.2	0.0	0.25	1.34	0.09	0.01	0.08	0.01	0.04	0.01	0.04	0.07	
RD403-17	引き伸ばし	ソーダ	植物灰		コバルト	紺色透明	14.7	3.0	4.3	66.7	0.1	2.8	6.3	0.2	0.0	0.25	1.27	0.06	0.00	0.09	0.01	0.05	0.01	0.04	0.07	
RD403-18	引き伸ばし	ソーダ	植物灰		コバルト	紺色透明	14.8	2.4	2.5	67.5	0.2	2.6	7.6	0.1	0.0	0.09	1.52	0.16	0.01	0.22	0.01	0.13	0.01	0.05	0.10	
RD403-19	引き伸ばし	ソーダ	植物灰		コバルト	紺色透明	14.3	3.3	3.6	66.0	0.3	3.7	6.9	0.1	0.0	0.07	1.24	0.09	0.01	0.16	0.01	0.13	0.00	0.06	0.07	
RD403-20	引き伸ばし	ソーダ	植物灰		コバルト	紺色透明	10.6	2.8	3.5	70.9	0.3	3.2	6.5	0.2	0.0	0.28	1.37	0.10	0.00	0.12	0.01	0.09	0.02	0.04	0.08	
RD403-21	引き伸ばし	ソーダ	植物灰		コバルト	紺色透明	15.9	3.0	2.5	66.8	0.2	2.5	7.3	0.1	0.0	0.09	1.03	0.11	0.01	0.17	0.01	0.09	0.01	0.04	0.05	
RD403-22	引き伸ばし	ソーダ	植物灰		コバルト	紺色透明	13.5	2.5	3.1	69.4	0.3	2.8	6.6	0.1	0.0	0.31	1.06	0.08	0.01	0.09	0.01	0.04	0.01	0.04	0.08	
RD403-23	引き伸ばし	ソーダ	植物灰		コバルト	紺色透明	15.3	2.4	2.6	67.2	0.3	2.9	7.2	0.1	0.0	0.11	1.27	0.13	0.00	0.20	0.01	0.12	0.01	0.06	0.17	
RD403-24	引き伸ばし	ソーダ	植物灰		コバルト	紺色透明	15.5	2.5	2.4	68.0	0.2	2.7	6.8	0.1	0.0	0.09	1.16	0.12	0.01	0.18	0.01	0.12	0.01	0.03	0.08	
RD403-25	引き伸ばし	ソーダ	植物灰		コバルト	紺色透明	13.4	3.3	3.2	68.3	0.2	3.0	6.7	0.2	0.0	0.14	1.27	0.08	0.01	0.10	0.01	0.06	0.01	0.05	0.04	
RD403-26	引き伸ばし	ソーダ	植物灰		コバルト	紺色透明	10.5	2.7	3.7	70.8	0.3	3.3	6.5	0.2	0.0	0.28	1.36	0.08	0.00	0.11	0.02	0.10	0.02	0.06	0.04	
RD403-27	引き伸ばし	ソーダ	植物灰		コバルト	紺色透明	15.2	3.0	2.2	67.4	0.3	2.7	7.5	0.1	0.0	0.09	1.04	0.10	0.01	0.21	0.01	0.09	0.01	0.05	0.10	
RD403-28	引き伸ばし	ソーダ	植物灰		コバルト	紺色透明	15.1	3.4	3.3	66.8	0.3	2.8	6.5	0.1	0.0	0.24	1.15	0.07	0.01	0.10	0.02	0.05	0.02	0.03	0.09	
RD403-29	引き伸ばし	ソーダ	植物灰		コバルト	紺色透明	15.5	2.8	2.6	66.5	0.2	2.6	7.7	0.1	0.0	0.11	1.28	0.12	0.01	0.18	0.01	0.11	0.03	0.05	0.14	
RD403-30	引き伸ばし	ソーダ	植物灰		コバルト	紺色透明	13.7	2.4	2.5	68.8	0.2	2.8	7.5	0.1	0.0	0.09	1.30	0.12	0.00	0.23	0.01	0.14	0.01	0.04	0.07	
RD403-31	引き伸ばし	ソーダ	植物灰		コバルト	紺色透明	14.7	2.8	2.9	68.2	0.3	2.6	6.6	0.1	0.0	0.27	1.12	0.07	0.01	0.09	0.01	0.06	0.01	0.03	0.08	

* Oga and Tamura 2013 による

*** Tamura and Oga 2016 による