

博士学位論文

技法研究から生まれる生き物のかたち

－ モデリングパートドヴェールを用いたガラス造形技法の複合的な活用 －

東京藝術大学大学院 美術研究科
博士後期課程 美術専攻
勝川夏樹

目次

序章

第1節 論文の概要

第2節 顕微鏡と生き物のかたち

第1章 モデリングパートドヴェール

第1節 モデリングパートドヴェール考案の背景

第2節 モデリングパートドヴェールによる制作

第2章 ガラス造形技法の複合的な活用

第1節 熔着する方法

第2節 技法の特徴と複合的な技法の活用

第1項 吹きガラス技法

第2項 キルンワーク

第3項 バーナーワーク

第3節 熔着しない方法

第1項 接着する方法

第2項 異素材を用いる方法

第3章 技法研究内容

第1節 モデリングパートドヴェールによる技法の複合的な活用

第2節 制作方法の詳細

第3節 3Dプリント技術

第4節 提出作品について

終章

参考文献

序章

第1節 論文の概要

生き物の造形は多様で美しい。

筆者は近年、顕微鏡を用いて観察された植物や菌類、プランクトンなどをモチーフに作品制作を行なっている。日頃見慣れた生き物であっても、顕微鏡を通して観察することで、肉眼では見ることの出来ない、複雑な姿形を知る事が可能になる。また、顕微鏡にも様々な種類があり、同じ生き物を観察しても、全く違う姿を見る事が出来る。筆者は、光学顕微鏡¹と走査型電子顕微鏡²で観察された生き物の顕微鏡写真などから着想を得ている。

様々な生き物をモチーフにガラス素材を用いて作品制作をする中で、ガラス造形技法の「かたちづくり」³の自由度や、技法間の互換性の低さに着目するようになった。多様で複雑な生き物のかたちを表現する上で、技法的な制約が、自由な表現の障害となる事が多くあったからである。

具体的な例として、吹きガラス技法⁴では溶けたガラス素材特有の有機的な表現に向いているが、写実的な表現が難しい事が多く、バーナーワーク⁵では細かな造形が可能だが、質量や大きさに制限があり、ガラス鑄造技法⁶では写実的な表現に適しているが、鑄造出来る形状には制限がある。

ガラス造形技法にはそれぞれ、「かたちづくり」の長所と短所がある。そこで、複数の技法を複合的に用いる事で短所を補う事が可能なのではないかと仮説を立て研究を始めた。

¹光学顕微鏡：可視光線および近傍の波長域の光を利用する、顕微鏡の一種。

²走査型電子顕微鏡：電子顕微鏡の一種である。電子線を絞って電子ビームとして対象に照射し、対象物から放出される二次電子、反射電子、透過電子、X線、カソードルミネッセンス（蛍光）、内部起電力等を検出する事で対象を観察する。

³「かたちづくり」：主に造形性という意味で用いているが、本論ではガラス素材の表面や内部の質感や表情の表現も含めてこの言葉を用いている。

⁴吹きガラス技法：本来吹きガラス技法が示す、宙吹き、型吹きに加え、本論ではソリッドワークを含め吹きガラス技法とする。

⁵バーナーワーク：酸素バーナー、エアバーナーなどのバーナーを用いる技法の総称として本論では用いる。

⁶ガラス鑄造技法：キルンキャストと同義、本論ではガラス鑄造技法とする。

本文では、一般的に行われているガラス造形技法の複合的な活用方法をまとめた上で、生き物の多様で複雑な形状を表現する事に着目した、筆者が研究しているガラス造形技法の複合的な活用方法について述べていく。

筆者が自身の作品制作のために研究している、ガラス造形技法の複合的な活用方法において重要な役割を果たしている技法が「モデリングパートドヴェール」⁷ という技法である。この技法は、筆者が独自に研究を進め、命名した技法である。

「モデリングパートドヴェール」は、粉ガラスとでんぷんのりを混ぜ合わせた、粘土状のガラスペーストを用いることで、粘土で塑像をするように成形できる事が特徴である。また、ガラス鑄造技法では制作が難しい形状や、吹きガラス技法では困難な写実的な表現が可能で、ガラス造形作品の中では比較的大型の作品を制作する事が可能である。成形後、耐火粉に埋め焼成し、熔着する事で生じる、この技法特有の表情や質感も特徴である。

「モデリングパートドヴェール」の特徴を利用した、筆者が研究しているガラス造形技法の複合的な活用方法では、その他の技法で表現が難しい形状を制作でき、複数のガラス造形技法で制作した、ガラスパーツを組み合わせる、つなぎのような役割を担っている。

また、ガラス造形作品の「かたちづくり」の幅を広げる研究の一つとして、近年芸術領域でも盛んに用いられている、3D プリント技術⁸をガラス造形作品の制作にどのように活用できるかについても記す事とする。

筆者の作品制作では、3D プリント技術をガラス鑄造技法や吹きガラス技法に用いている。3D モデリング特有の幾何学的な造形を作品に取り入れる事が可能で、複数のパーツを組み合わせる制作での、接合部の角度計算など、手作業では困難な要素を補う事が期待できる。また、幾何学的な構造は、顕微鏡を通して観察した生き物にも多く見られる事から、筆者の作品制作に有効であると考えている。

ガラス造形作品を制作する上で、技法研究に着目する事は珍しいことではない。作品の質感や表情、形状などに独自性を持たせるため、多くのガラス造形作家が取り組んでいる。

⁷ モデリングパートドヴェール：筆者が独自に研究を進めている技法。ガラス鑄造技法の一種である技法、フランス語のパート・ド・ヴェール (Pâte de verre) と英語のモデリング (Modeling) を組み合わせた造語である。中点を省略し、モデリングパートドヴェールとした。

⁸ 3D プリント技術：3D スキャニング、3D モデリング、3D プリント、CNC スライスなどの技術の総称として用いている。

そのことから、本論文では、一つの質感や表情を追求する事を目的としていない。それぞれのガラス造形技法が持つ、多くの質感や表情を一つの作品に落とし込む事を可能とし、特に「かたちづくり」の自由度の向上を目指している。

本文では、「モデリングパートドヴェール」単体での作品制作と、「モデリングパートドヴェール」を用いてガラス造形技法を複合的に活用した作品制作について記す事で、これらの技法が、生き物の多様で複雑な形状の表現に適した、自由度の高い技法である事を示していく。

また、「モデリングパートドヴェール」を用いたガラス造形技法の複合的な活用方法では、3D プリント技術や、今後考えられる新しい取り組みを組み込む余地のある、汎用性の高い方法であると考えている。

ガラス造形技法を用いて制作する事が困難な形状は多く存在する。それらの形状を制作する方法を記す事は重要であり、ガラス素材を扱う分野の進歩に寄与できるものと考えている。

筆者の作品制作において、作品モチーフとガラス素材、そしてガラス造形技法は密接な関係にある。「かたちづくり」の制限が多いガラス造形技法の中で創意工夫を図り、意図した造形を目指す過程で着想を得る事も多くある。それは、ガラス素材で作品制作する上で大きな魅力であると考えている。

第2節 顕微鏡と生き物のかたち

本論文は、技法研究によりガラス造形技法で成形可能なかたちの幅を広げることを目的としており、本文ではその事を重点的に述べている。しかし、なぜその様な技法研究をする必要性があったか、また技法研究の方向性については、筆者の作品モチーフと深い関わりがあるためここで述べるとする。

冒頭でも述べたように、筆者は近年、拡大した植物やプランクトンなどの、顕微鏡を通して観察した生き物をモチーフに作品制作を行なっている。

肉眼で見ることの出来ない、顕微鏡を通して見る生き物達は、現実とは別の世界の物のように思えるほど不思議な形態をしている。日常的に肉眼で確認する事が出来る植物や昆虫などの生き物も、興味深い形態をしているが、そのような身近な生き物たちも顕微鏡を通して観察すると想像を大きく超えたかたちを見ることが出来る。

筆者が作品制作において着想を得ている顕微鏡写真は2種類ある。1つは、理科の授業でも用いる生物顕微鏡や実体顕微鏡などの光学顕微鏡。もう一つは、光学顕微鏡では見る事の出来ない小さな試料を観察でき、表面の細密な凹凸を観察することに適している、走査型電子顕微鏡である。(表 0-1)

筆者が顕微鏡写真に興味を持つ理由として、普段見る事の出来ない生き物の細密なかたちを観察出来る事が挙げられる。光学顕微鏡では、肉眼での見え方と同じように、色や透明性をそのままに拡大して観察する事ができる。走査型電子顕微鏡は、可視光線の代わりに波長の短い電子線を用いて観察する。そのため、透明度の高い個体が多いプランクトンなどを可視光線では見る事の出来ない倍率で観察でき、表面のかたちを詳しく見ることが出来る。(図 0-1) また、高い倍率で観察することが出来るので、(図 0-2)の様に同一の観察対象をより拡大して観察することが可能である。筆者は、拡大を繰り返すたび、新たなかたちが見えてくる事に、生き物の造形の奥深さと神秘性を感じる。

同一の観察対象であっても、光学顕微鏡で観察した色や光のある世界と、走査型電子顕微鏡で見ることが出来る細密で表面的な世界は、大きく異なり、非常に興味い。

顕微鏡の分類

種類		特徴
光学顕微鏡	生物顕微鏡	一般的に透過型の電子顕微鏡をいう。単眼、双眼、三眼のもの、光源内蔵型、反射鏡型など、様々な組み合わせのものがある。
	携帯顕微鏡	小型でコンパクト、野外で使える。
	双眼実体顕微鏡	物体の形を立体的に見る。比較的低倍率。
電子顕微鏡	透過型電子顕微鏡	ウイルスなど一部を除き、標本を超薄切片にして観察する。
	走査型電子顕微鏡	標本の形、表面構造の観察。焦点深度が深い。

表 0-1 顕微鏡の分類

参考文献

井上 勤 監修『顕微鏡観察の基本』p. 74

株式会社地人書館、1998年

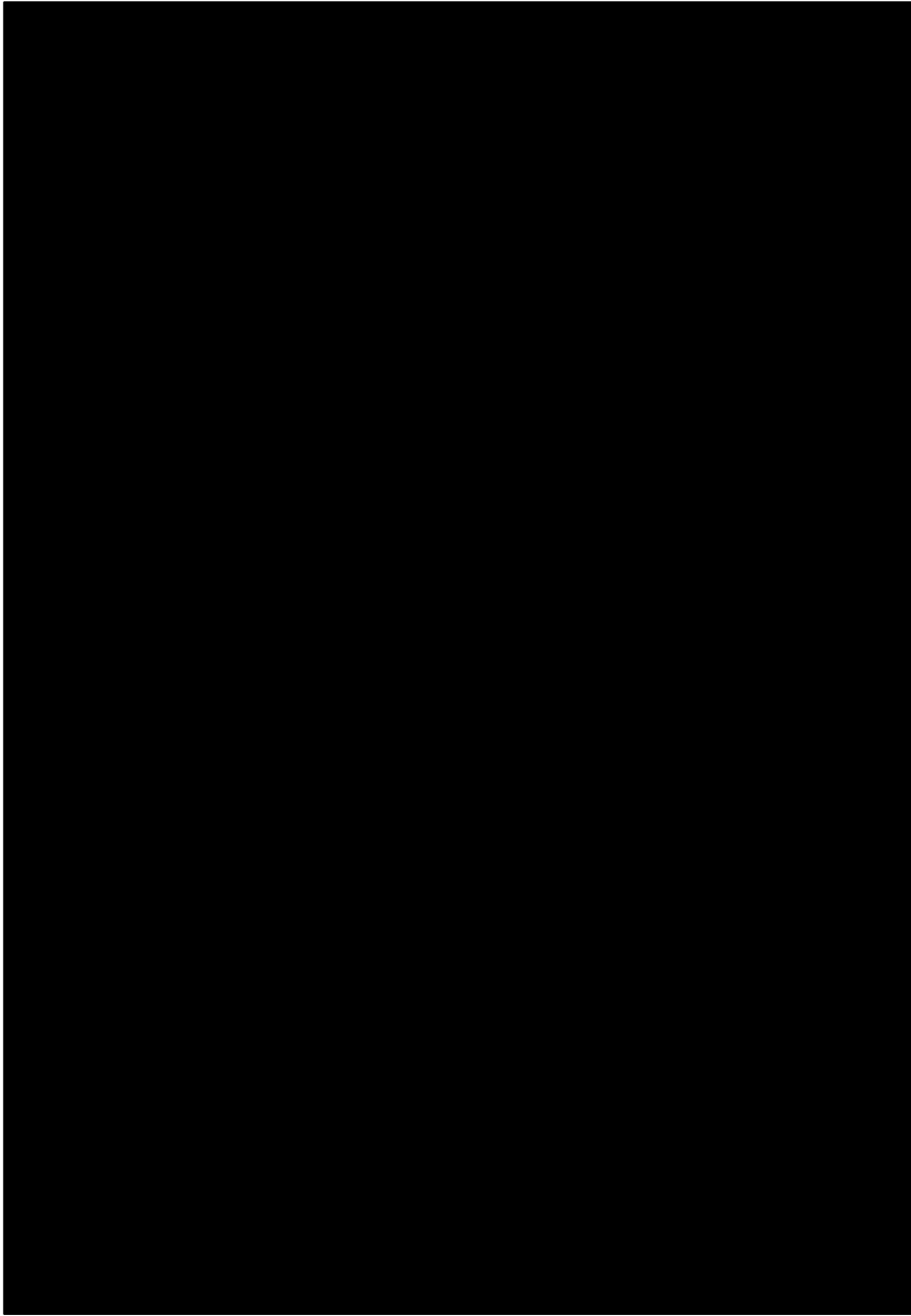


図 0-1 検鏡方法による見え方の違い

画像引用元

谷村好洋・辻彰洋『微化石 顕微鏡で見るプランクトン化石の世界』p. 55
海洋大学出版会、2012年

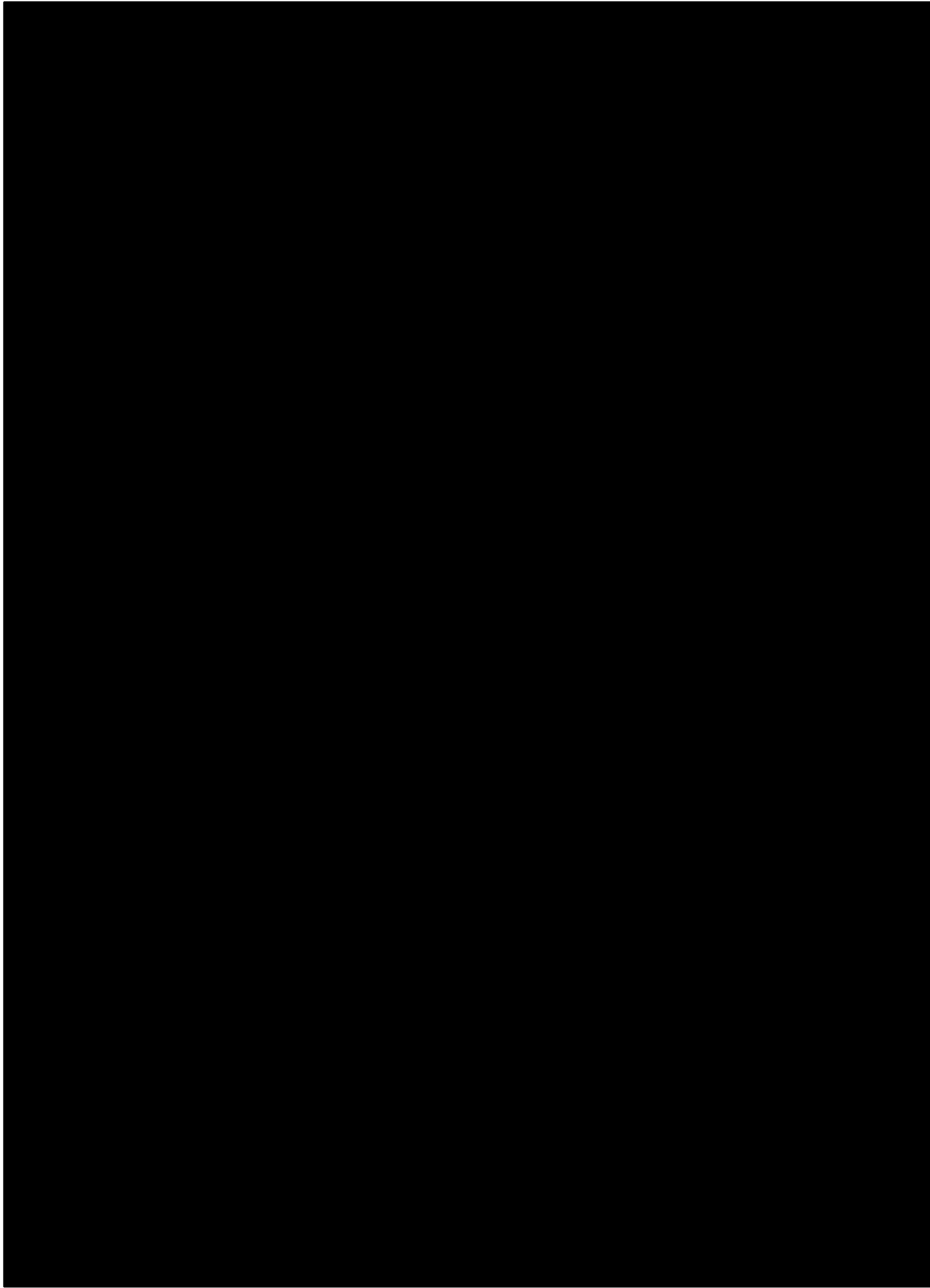


図 0-2 走査型電子顕微鏡で撮影されたケイソウ（珪藻の胞紋の構造）

画像引用元

谷村好洋・辻彰洋『微化石 顕微鏡で見るプランクトン化石の世界』p. xviii

海洋大学出版会、2012年

顕微鏡写真から着想を得て作品制作をした、最初の作品は、(図 0-3)の作品である。この作品は、筆者の修士課程の修了制作で、種子の顕微鏡写真から着想を得て制作した。

この頃、筆者は、種子をモチーフに作品制作を行っていた事から、種子の細部の造形に興味を持ち、光学顕微鏡で撮影された顕微鏡写真を参考にする事があった。その過程で、出会ったのが種子の走査型電子顕微鏡で撮影された顕微鏡写真であった。(図0-4) この写真は、Wolfgang Stuppy、Madeline Harley、Rob Kessler による「植物の奇妙な生活」⁹という、種子の走査型顕微鏡写真の図鑑に載っている写真の一つである。元々は白黒である走査型電子顕微鏡写真が、色鮮やかに着色されており、強い立体感と存在感を感じる事ができる。その強い印象と、種子の造形の複雑さに強く感銘を受けた。

そして、光学顕微鏡写真も参考にし、加えて、透明性が全くない走査型電子顕微鏡の立体的かつ表面的な世界をガラス素材で表現する事で、走査型電子顕微鏡と光学顕微鏡の世界が融合したような世界観を表現したいと考え、(図 0-3)「微小世界の拡大標本」という作品を制作した。

透明なガラス素材で制作すると、当然の事ながら、表面の立体感は失われる。それを部分的に不透明に近い白いガラスで装飾する事で補い、両立させようと試みている。(図 0-5)

⁹ Wolfgang Stuppy・Rob Kessler・Madeline Harley 著、奥山雄大 監修、武井摩利 訳
『植物の奇妙な生活 電子顕微鏡で探る驚異の生存背略』
株式会社 創元社 2014 年



図 0-3 筆者修士課程修了作品 〈微小世界の拡大標本〉 2016 年



図 0-5 筆者修士課程修了作品、作品部分 〈微小世界の拡大標本〉

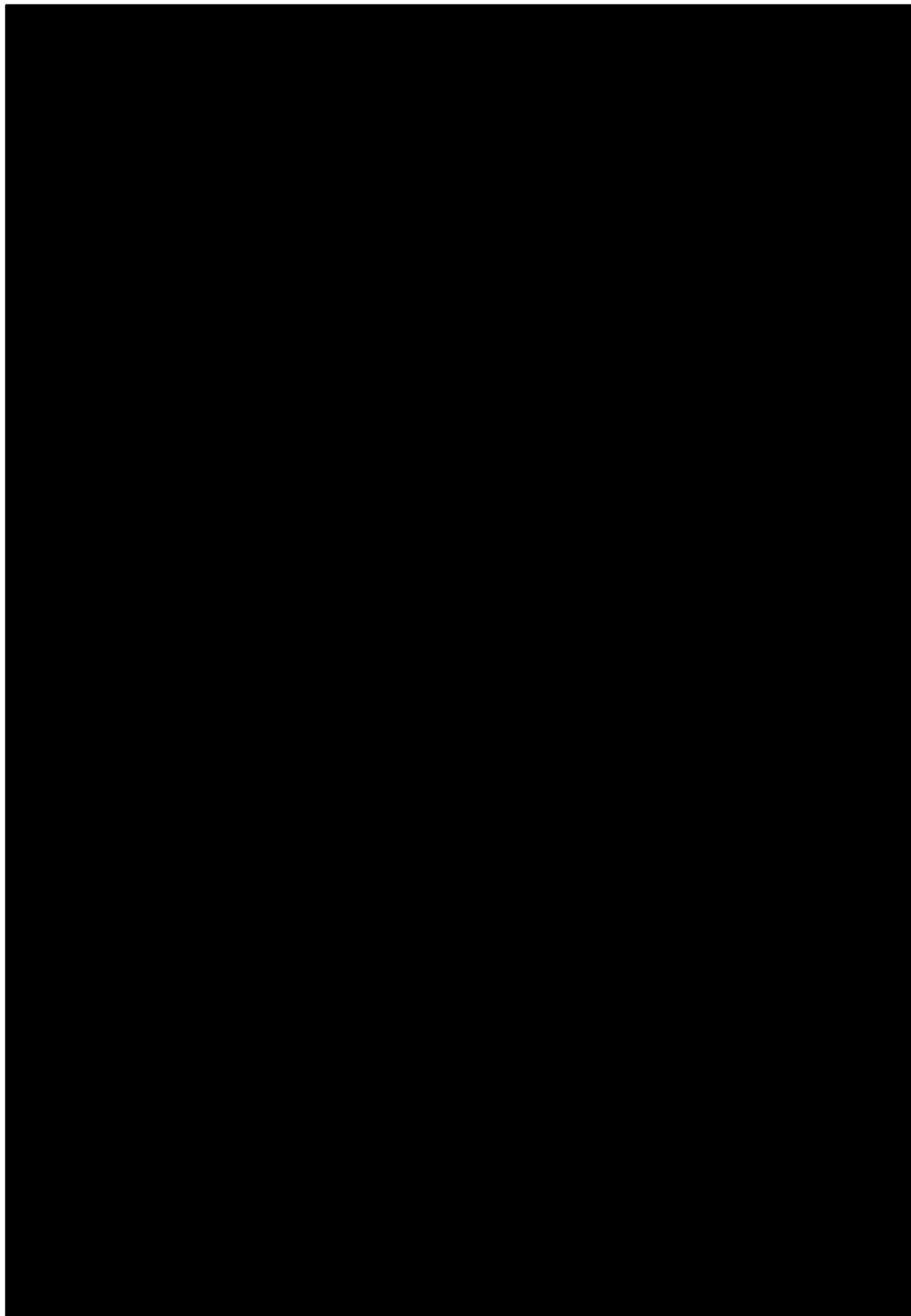


図 0-4 種子の走査型電子顕微鏡写真

画像引用元

Wolfgang Stuppy・Rob Kessler・Madeline Harley 著、
奥山雄大 監修、武井摩利 訳
『植物の奇妙な生活 電子顕微鏡で探る驚異の生存背略』 p66
株式会社 創元社 2014 年

その後、頻繁に顕微鏡写真を参考にした作品を制作する中で、プランクトンなどの微生物に関心を持つ様になった。また、プランクトンは種子に比べ、多様な形状をしている事が多い。

昆虫の様なかたちをした比較的大型のものから、(図 0-6) 単純な外形をしている小型のもの(図 0-7) まで幅広く存在する。小型のプランクトンは全体の形を見ると、球形や球体など単純に見えるが、走査型電子顕微鏡で観察すると、複雑な構造をしている事がわかる。また、小型で単純な外形をしているものほど、幾何学的な構造を含んでいる物が多い。(図 0-8) この様な、幾何学的な要素は、プランクトンのかたちの魅力の一つであると考えている。

プランクトンは複雑で多様なかたちをしているため、本研究が進む事により、今まで不可能であった形状の制作が可能になったという事もプランクトンをモチーフと出来た理由の一つである。

また、透明な個体が多いため、光学顕微鏡と走査型電子顕微鏡写真の印象の違いが大きく、そのことも魅力的に感じた。宝石箱をひっくり返したかの様に煌びやか見えるプランクトンの光学顕微鏡写真(図 0-9) とは対照的に、走査型電子顕微鏡写真は廃墟の様な静けさを感じる。(図 0-10)

(図 0-11) 筆者の作品「Traces of Life in the Microcosm」でも、上記で述べた2つの顕微鏡の世界観を混在させ、双方の魅力を表現する事を試みている。

修士課程の修了制作(図 0-3) は、筆者の脳内の顕微鏡世界から生き物を取り出して、一つ一つ標本にする様なイメージで制作しているのに対して、この作品は、脳内の顕微鏡世界の空間を切り取って、可視化する様なイメージで制作している。

これらの二つの作品は、本文でこれから述べる、複合的にガラス造形技法を用いる事により、これまで表現が困難であった複雑な生き物の形状を実現した作品であり、「Traces of Life in the Microcosm」は、提出作品「Microcosmos」に繋がる作品である。

これらの作品制作の中で、生き物の多様で複雑な形状の表現を試みた時に、ガラス造形技法の技法的な制限により、意図した形状の制作が出来ない事も多くあった。

そのことから、自身の作品制作のために、ガラス造形技法の複合的な活用による「かたちづくり」の自由度を高める本研究が必要不可欠であった。



図 0-6 巨大、大型、中型プランクトン

画像引用元

谷村好洋・辻彰洋『微化石 顕微鏡で見るプランクトン化石の世界』p. vii

海洋大学出版会、2012年

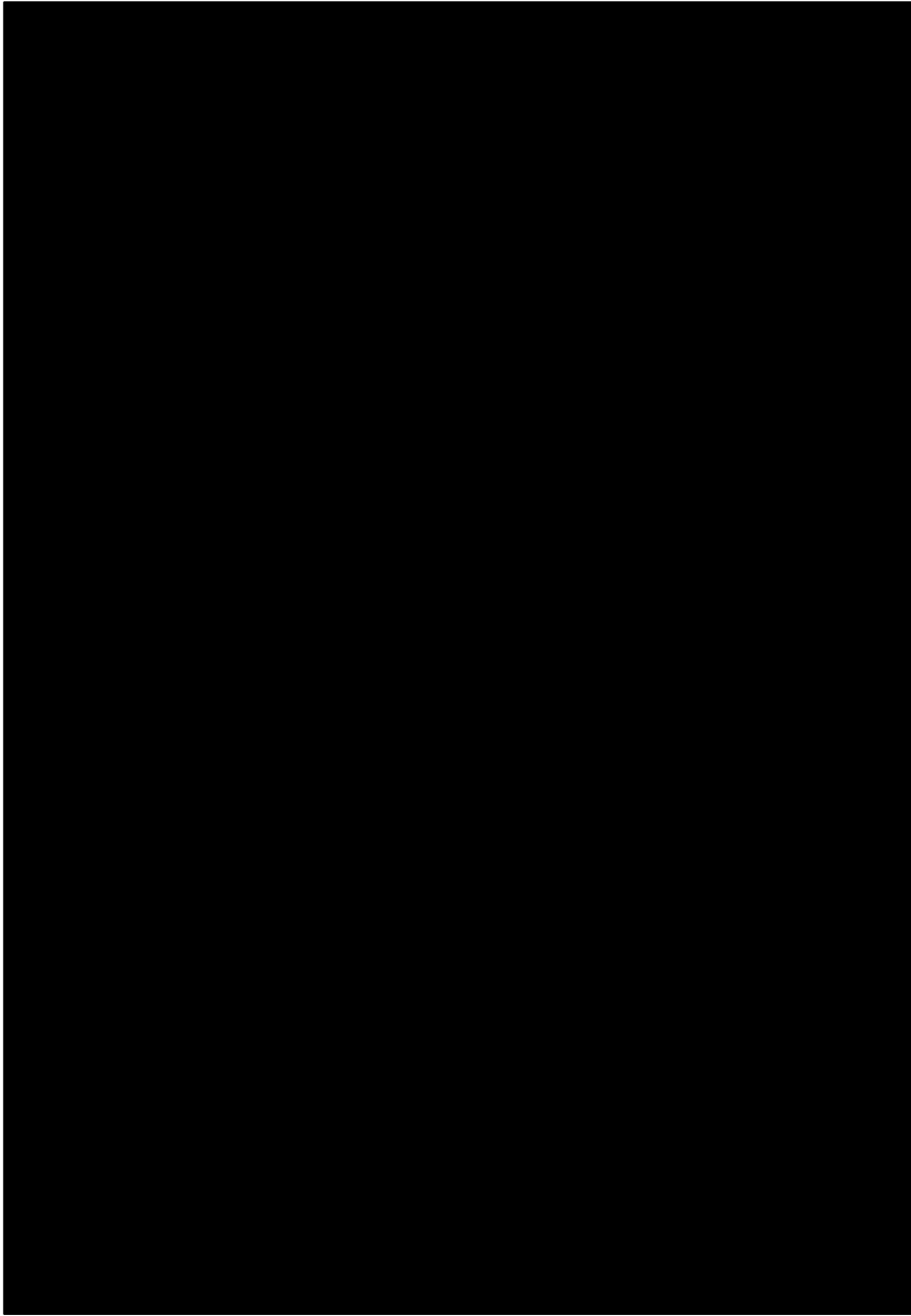


図 0-7 小型プランクトン、光学顕微鏡で撮影されたケイソウ

画像引用元

谷村好洋・辻彰洋『微化石 顕微鏡で見るプランクトン化石の世界』p. xvi

海洋大学出版会、2012年

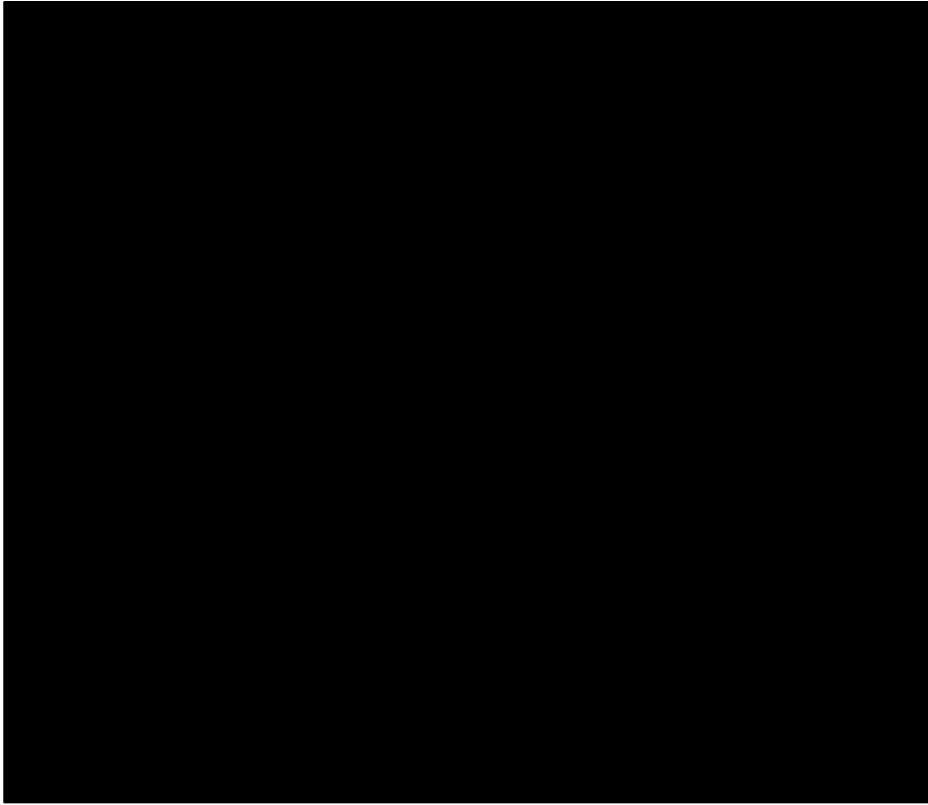


図 0-8 小型プランクトンの幾何学的な構造、渦鞭毛藻の顕微鏡写真

画像引用元

Christian Sardet 著 吉田春美 訳

『美しいプランクトンの世界 生命の起源と進化をめぐる』p. 66

株式会社 河出書房新社、2014年

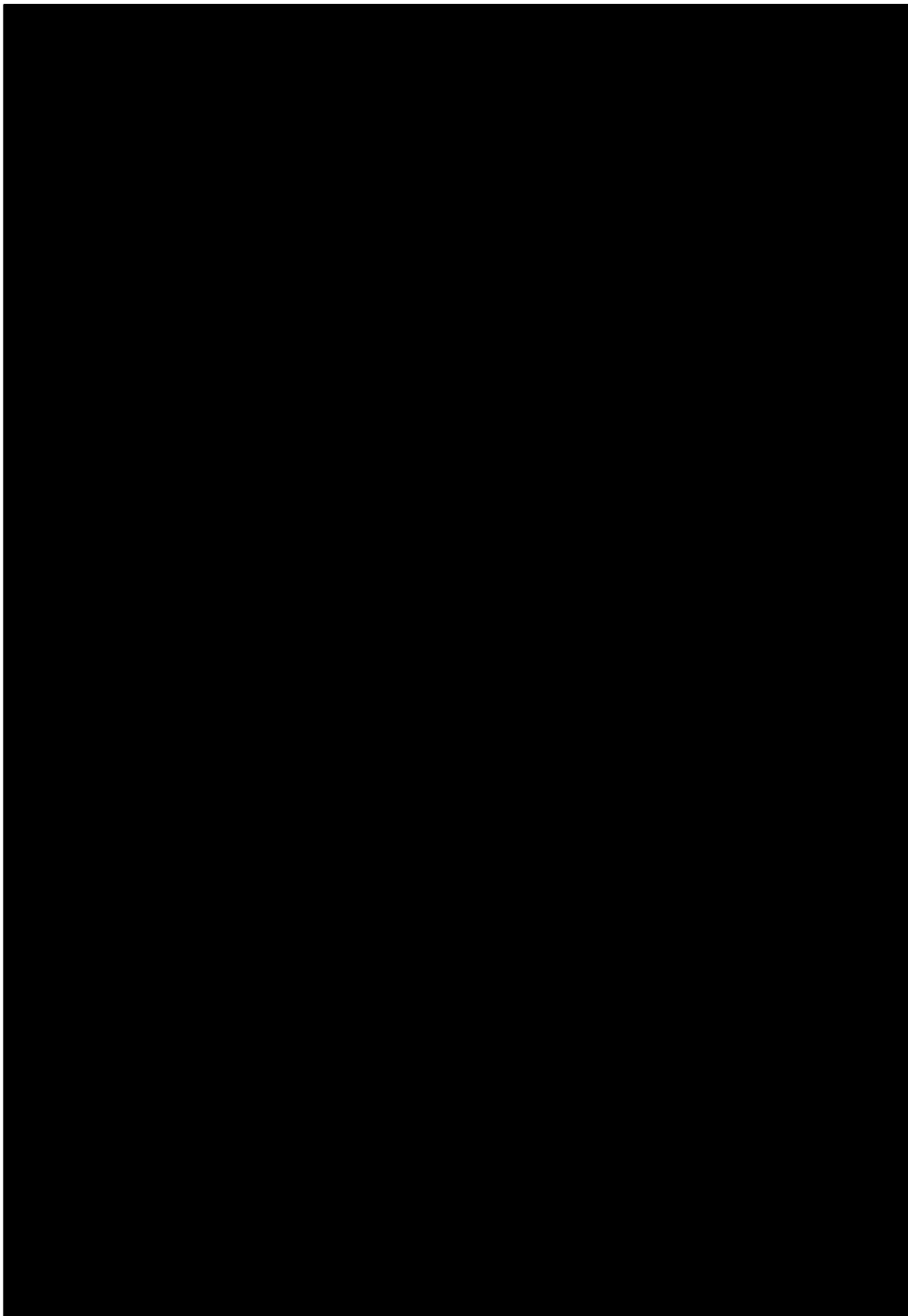


図 0-9 プランクトンの光学顕微鏡写真

画像引用元

Christian Sardet 著 吉田春美 訳

『美しいプランクトンの世界 生命の起源と進化をめぐる』 p. 55

株式会社 河出書房新社、2014 年

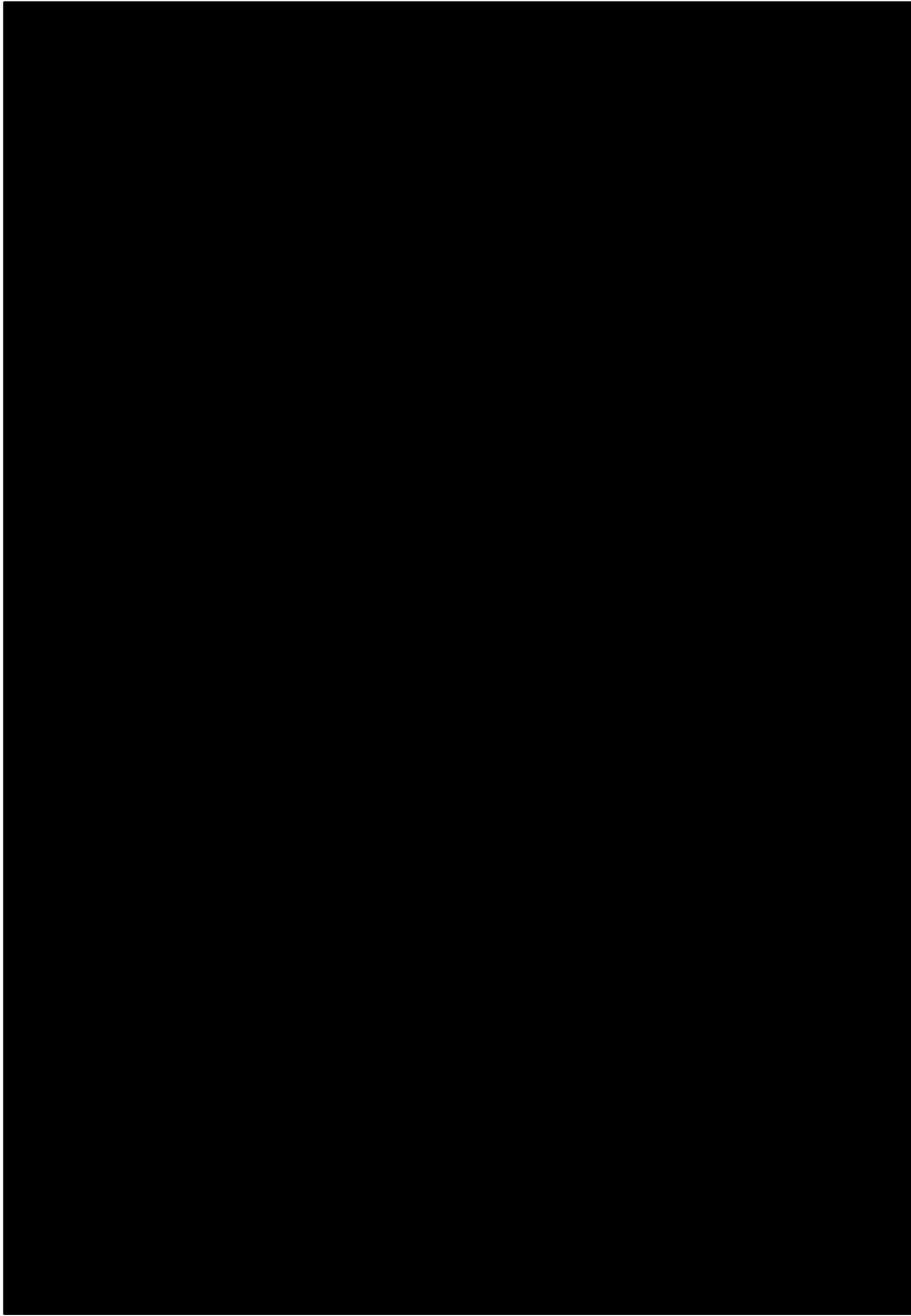


図 0-10 プラントンの電子顕微鏡写真

画像引用元

谷村好洋・辻彰洋『微化石 顕微鏡で見るプランクトン化石の世界』p. xxiv

海洋大学出版会、2012年



图 0-11 笔者作品《Traces of Life in the Microcosm》2019 年

第1章 モデリングパートドヴェール

第1節 モデリングパートドヴェール考案の背景

序論で述べたように、筆者が用いているガラス造形技法の複合的な活用方法において、「モデリングパートドヴェール」は大きな役割を担っている。この章では、この技法考案の背景を述べた後に活用方法について述べていく。

筆者がガラス素材で作品制作を始めた当初、主に扱っていた技法は、吹きガラス技法である。その制作過程のガラス素材が熱によって形状を変える様子が、生き物のように有機的な表情を持つことに魅力を感じたため、生き物をモチーフに作品制作を始めた。(図1-1)

吹きガラス技法は、習得難易度が高い技法である。熱によってガラス素材の粘度がどのように変化するかを理解しなければ制作出来ない。また、熔解炉¹⁰で熔けていた時の熱と、グローリーホール¹¹での再加熱は異なり、ガラス素材の動きも変化する。内在する熱量と表面から加える熱、ガラスの厚みや位置関係で変わる加熱や冷却の度合いを踏まえて、適切なタイミングに適切な力を加える。そのタイミングは、変化するガラス素材を扱い、制作を続けることで蓄積された経験から完成形を想像し逆算する事で決めていく。

吹きガラス技法で熔けたガラス素材を扱う制作の中で、ガラス素材に対する理解が深まった。加えて、ガラス素材の特性を理解し、制作方法を自身で模索することを繰り返すうちに、軟化したガラス素材に自身がどの様に働きかけるかなど、作品制作する過程に魅力を感じるようになった。

その後、接着技法¹²や、キルンワークによる作品制作を行う事で、吹きガラス技法以外の複数の技法を通してガラス素材の様々な表情を知る事が出来た。技法ごとのガラス素材への働きかけ方は異なっており、それぞれの視点から見ると、ガラス素材の全体像が理解でき、とても興味深く感じられた。そこでの取り組みが、作品モチーフとガラス素材、技法のやりとりを意識した、現在の作品制作に繋がったと考えている。

¹⁰熔解炉：吹きガラス技法で用いるガラスを溶かしている窯

¹¹ グローリー：吹きガラス技法で用いる焼き戻し炉

¹²接着技法：紫外線硬化のガラス用接着剤を用いた接着技法を、板ガラスなどを何枚も重ねて接着する積層技法も含めて、本論では接着技法とする。

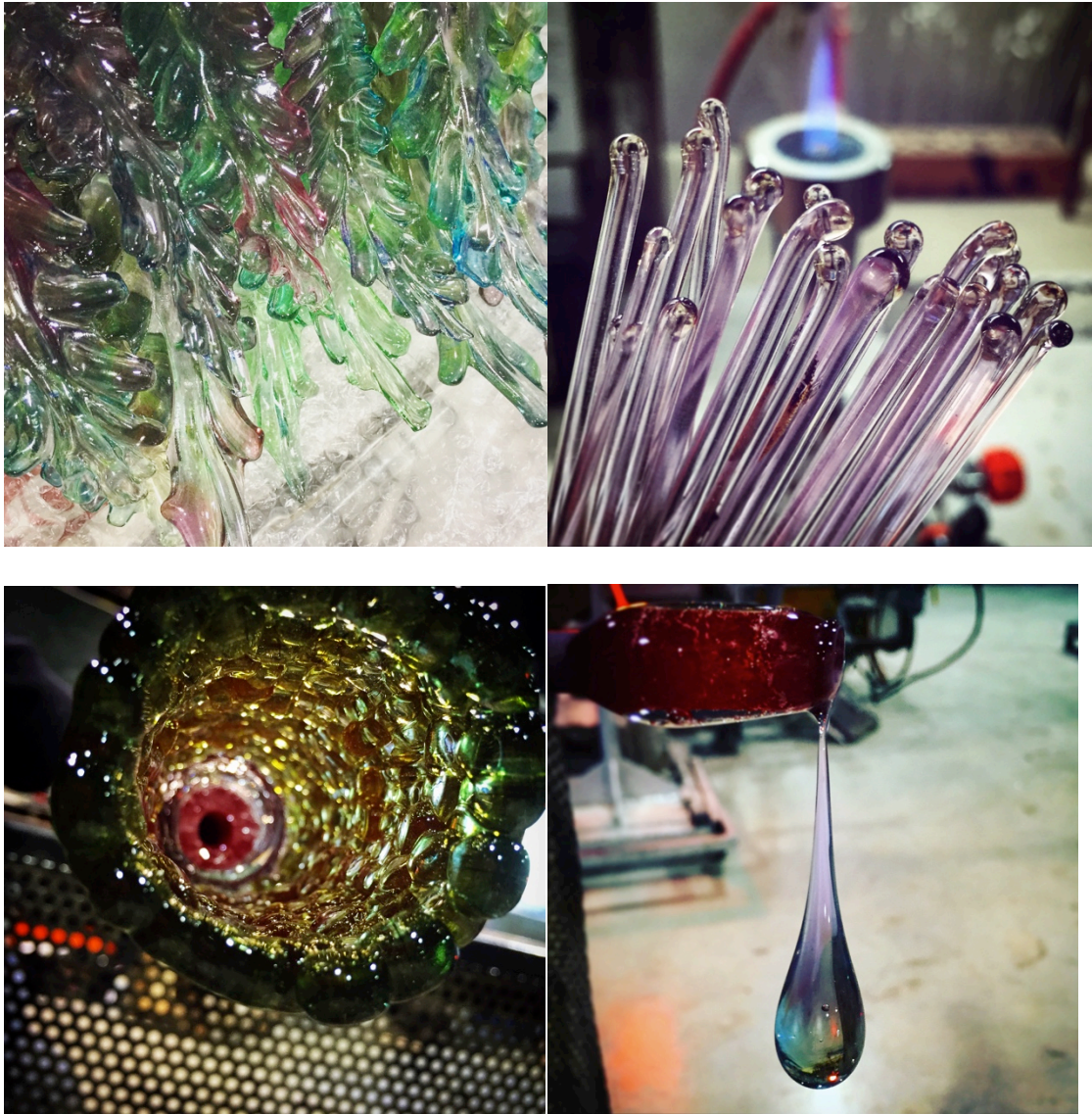


図1-1 熔けたガラスの有機的な表情

上記で述べたように吹きガラス技法は難易度の高い技法である。器などの回転体から派生した形状の作品を量産する事に適している技法であるため、大きさや重量にも制限がある。そのことから、制限のあるかたちにとらわれず、より自由な造形をしたいと考え、ガラス鑄造技法での作品制作を始めた。

吹きガラス技法では困難な重量や形状の作品を作る事ができ、より写実的な表現が可能である。そのことにより、それまで諦めていた生き物の造形を制作する事が出来た。しかしながら、より様々な形状を制作出来る喜びと同時に、ガラス鑄造技法での制作では物足りなさも感じた。

その物足りなさ原因は3つあると考えている。1つ目は、ガラス鑄造技法では、直接ガラスを成形しないという特徴がある。吹きガラス技法では、道具を用いて成形し、ガラス素材との直接的なやり取りから着想を得ることも多かった。そのことから、ガラス鑄造技法は、かたちづくりの工程ではガラス素材との直接的なやり取りがない事が残念に思われた。

2つ目の理由は、原型に用いる素材は粘土やワックスが一般的だが、透明なガラス素材に置き換わった時の印象に大きな違いがあることである。作品の立体感が原型と比べ損なわれて見えるため調節が困難な事や、細部の形状が埋もれ見えてしまう。(図1-2)

3つ目は序章でも述べたように、ガラス鑄造技法の湯口の設置場所や石膏型の除去を想定する事で、造形できる形が制限されることである。

これらの物足りなさの原因を「モデリングパートドヴェール」は解消している。ガラスペーストを用いて造形する事で、直接作品となるガラスに触れる事ができ、焼成前後での形や色の変化が少ない。また、「かたちづくり」の幅も他の技法に比べ広いと言える。

作品制作を通して、複数の技法を経験する事でガラス素材の全体像を理解する事が出来たと述べたが、それほどガラス素材は様々な表情を持っており、それは技法によって大きく異なる。また、表現する事ができる形状に関しても、技法ごとに制約はあるが、異なった技法では可能であることもある。

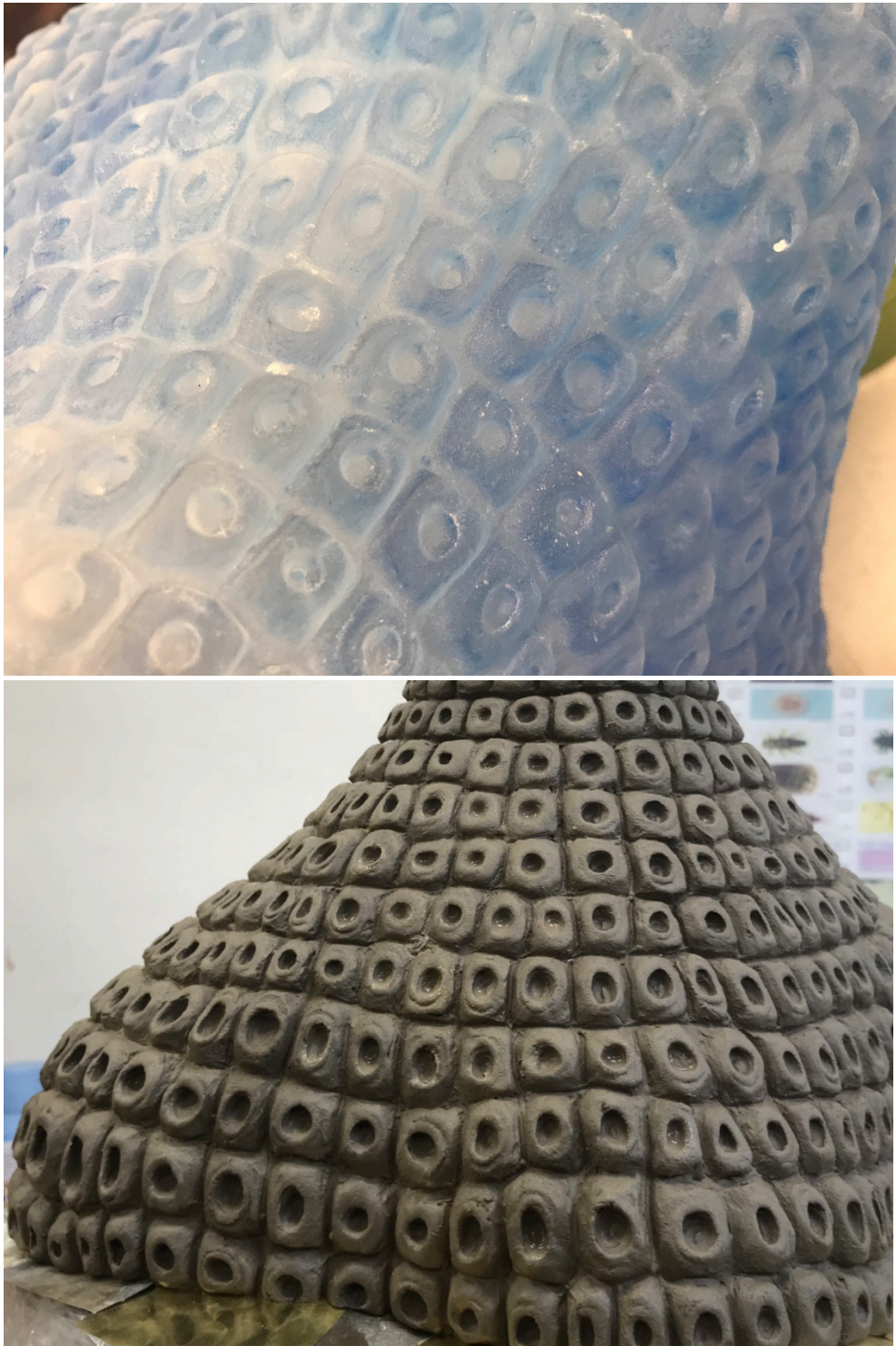


図1-2 原型（下）とガラス（上）の印象の違い

第2章で具体的な例を挙げるが、一般的なガラス造形技法の複合的な活用方法は多くあり、「かたちづくり」の制限を少なくする事において有効であると考えられる。それら进行分析し、自身の作品制作に適していて、なおかつ、自由な「かたちづくり」やガラス素材の表現が可能な作品制作の方法について考えた。

その結果導き出された手法が「モデリングパートドヴェール」を用いた複合的な技法の活用であった。

「モデリングパートドヴェール」は、熔着させる技法であるため、熔けたガラス素材の有機的な表情が生まれる。加えて、ガラス鑄造技法とは異なり、直接手で作った形が作品となる。また、複数の技法を組み合わせる事が可能な事が特徴である。

「モデリングパートドヴェール」という技法を編み出した背景には、複数の技法をより自然な仕上がりで複合的に用いる事が出来ないかと研究した事が動機としてあった。研究の最初の段階では、ガラスパーツ同士の境目を埋める、つなぎとしての役割が強かったが、徐々に「モデリングパートドヴェール」の造形可能な幅の広さに気が付き、この技法単体での制作方法についても研究を進めた。その他の技法では難しい造形が可能で、3Dプリンターでの出力実験など、今後も研究の余地がある技法である。

第2節 モデリングパートドヴェールによる制作

「モデリングパートドヴェール」で制作を始めた経緯や理由はこれまで述べてきたので、ここからは具体的な技法について述べていく。

これまで述べたように、この技法には、複数の技法で制作したガラスパーツを一つの作品にまとめるつなぎとしての役割がある。そして、技法研究を進める事でこの技法のみでの作品制作も可能になった。はじめに、単一の技法での制作方法を述べる事でこの技法の特性を明らかにする。その後に、第3章でこの技法を用いた複合的な技法の活用についてまとめる。

この技法は、名前の由来である、パート・ド・ヴェールと共通点がある。パート・ド・ヴェール (pâte de verre) というのはフランス語で、ガラスの練り粉と一般的に翻訳されている。日本や英語圏でもフランス語をそのまま技法名として用いており、日本語ではカタカナ表記でパート・ド・ヴェールと呼ぶ事が一般的である。また、パート (Pâte) と言うのは、パン生地やペースト状の物と呼ばれ、ヴェール (verre) はガラスという意味である。

一般的なパート・ド・ヴェールはガラス鑄造技法の一種である。内部にガラスを配置できるように石膏型を分割し、分割した石膏型内のレリーフなど、任意の場所に粉状の色ガラスをCMCのりと混ぜペースト状にしたものを配置し、分割した型を組み立て、鑄造する。通常のガラス鑄造技法よりも色の配置をコントロールする事が出来るが、粉ガラスを用いるため、完成作品の透明性は低くなる。

このパート・ド・ヴェールと、耐火粉を用いたフュージングの一種である焼成方法を組み合わせた技法が「モデリングパートドヴェール」という技法である。しかし、従来のパート・ド・ヴェールで用いるガラスペーストには粘りがなく、石膏型などの型がなければ形状を保つ事が出来ない。そこで筆者は、でんぷんのりと粒度の低い粉ガラスを混ぜる事で粘土の様に扱うことの出来る、ガラスペーストを作り出した (図1-3)。この粘土状のガラスペーストを用いる事により、粘土に近い感覚で塑像し作品制作を行うことが出来る。



図1-3 モデリングパートドヴェールで使用するガラスペーストの制作風景

(図1-4) の作品シリーズは、筆者が「モデリングパートドヴェール」のみで制作したものである。電子顕微鏡で観察された微小化石をモチーフとした作品である。(図1-5)、(図1-6) など様々な形の作品を作る事ができる。これらの形状は、既存の方法を用いて制作する事は困難と言える。殻のように薄く、中に空間がある形状は、石膏型を用いるガラス鑄造技法では、石膏型を取り除く際に作品が壊れる可能性がある。また、全体が5ミリ厚程度の薄く平たい鑄造も困難である。そのほかに石膏型を用いたフュージングが制作方法として考えられるが、フュージングは重力の影響を受け易いため、制作できる形状は限られる。

「モデリングパートドヴェール」は、粘土のように塑像する事ができると述べた。しかし、その可塑性は粘土に劣るため、完全に自由な「かたちづくり」は出来ない。部分的に形をつくり、乾燥させ、そこに継ぎ足す様な作り方である。その様子は、蜂が巣を作る時と似ている。

(図1-7) のように、手捻りで制作する場合は、5センチ程度をかたちづくり、80度の電気炉で1時間程度乾燥させる工程を繰り返す事で形を作る。

また、(図1-8) のように土台にラップなどを巻き付け、型から外しやすいようにし、張り子のように、のし棒で薄く伸ばしたガラスペーストを被せつける事で成形する方法もある。この場合、土台になる型の素材によって、室温で乾燥させるか電気炉を用いるか判断する必要がある。また、のし棒で薄く伸ばした1ミリ程度の厚さの物まで制作可能である。乾燥後は、比較的強度があるため、乾燥したパーツをガラスペーストでつなぎ合わせる様に制作する場合もある。

加えて、作品制作には現段階では用いていないが、粘土のように轆轤で引くことも可能な事を確認している。(図1-9) しかしながら、粘土に比べると扱いづらく、底面の削り出しは、まだ困難であるため、乾燥方法を工夫するなどの研究の余地があると言える。



図1-4 モデリングパートドヴェールで制作した作品
筆者作品 〈Fascination with magnification V〉 2019年



図1-5 モデリングパートドヴェールで制作した作品
筆者作品 〈Fascination with magnification III〉 2018年



図1-6 モデリングパートドヴェールで制作した作品

筆者作品 〈Fascination with magnificationⅡ〉 2018年



図1-7 手捻りで制作する様子



図1-8 張り子のように制作する様子



図1-9 轆轤でひいたガラスペースト

「モデリングパートドヴェール」で使用するガラスペーストの可塑性は、でんぷんのりと水、ガラスの量とその粒度、それらの配合などの要因で変動する。

でんぷんのりの量が多いと、のりの成分が焼失せず残留することで黒化する。また、作品が大型化する事で、のりの成分が抜けにくくなり、黒化しやすい傾向にある。（図1-10）成形した作品は、図のように耐火粉で埋没し焼成する。電気炉の構造上、上部の温度が下部より高温になる性質から、埋没した上部は白く、下部は黒くなる特徴がある。焼成時はできるだけ高温かつ、ガラスが軟化しない温度である600℃をどの程度保つかで、黒化の度合いを調整している。

筆者は、作品制作において黒化する事は悪い事とは捉えていない。真っ白の作品の中に黒が入る事で陰の色幅が生じ、より立体的な力強い作品になると考えている。そのことから、作品によって黒化の度合いを調整している。

また、ガラスの粒度が低く、でんぷんのりが多いと最も可塑性の高いガラスペーストになる。しかし、粒度が低い事と、でんぷんのりの分量が多い事から、焼成後の収縮率や黒化の可能性も高くなる。ガラスパーツをつなぐ場合、ひび割れなどが問題となる場合があるため、収縮率は低い方が好ましい。「モデリングパートドヴェール」単体で制作する場合は、全体が収縮することから、収縮率が高くても問題になる事は少なく、可塑性の高いガラスペーストを用いている。また、ガラスペーストの収縮は、独特のひび割れを生じさせるため、作品の表現に活用することも可能である。

このように、筆者は作品制作の中でそれらの配合を使い分けているが、粉ガラスを自身で制作しているためガラスの粒度は一定ではない。これらの配合をより詳しく数値化する為には、更なる研究が必要となる。

「モデリングパートドヴェール」で制作したガラスは光を透過するが不透明に近い。それは、パート・ド・ヴェールと同じく、粒度が細かいガラスパウダーを用いる事で、焼成時に空気を含む事が原因である。

ガラス素材の大きな魅力として透明な素材である事があげられる。しかし、透明だけがガラス素材の魅力であるとは、筆者は捉えていない。熱を受けた時の軟化温度帯が広く、ガラス素材の粘度の変化を利用して様々な表情を引き出せることが最大の魅力であると捉えている。



図1-10 耐火粉に埋没させた様子

ガラス素材の透明性は大きな魅力である。「モデリングパートドヴェール」では微細な気泡が入り込む事が原因で不透明に見える。そのことから、真空状態で焼成すれば、より透明度の高い作品が制作出来ると考えられる。しかし、真空状態で焼成出来る電気炉は特殊であること、その方法だと大型の作品は制作困難なことから、真空状態で焼成する研究は筆者の研究範囲外であると考えている。

「モデリングパートドヴェール」特有の磁器のように若干光を透過する表情や、焼成時に生じる表情や立体感などを生かした制作を追求したいと考えている。

また、作品に透明感を加える研究としては、その他の技法で制作したガラスパーツを「モデリングパートドヴェール」で組み合わせる事で補う試みを行なっている。この方法に関しては第3章で述べる。

「モデリングパートドヴェール」での作品制作では、ガラスペーストを用いて直接手でガラス素材を塑像する事が出来る。また、その作る事が出来る形状も自由度が高いと言える。その事から、これまで述べてきたようなこの技法単体での制作以外に、複数の技法で制作したガラスパーツ同士を粘土のようにつなぎ、今まで作る事が出来なかった「かたちづくり」を可能にする事が期待できると言える。

第2章 ガラス造形技法の複合的な活用

第1節 熔着する方法

筆者が研究している「モデリングパートドヴェール」を用いたガラス造形技法の複合的な活用方法について述べる前に、その他のガラス造形技法の複合的な活用方法や、ガラス造形技法の特徴について言及する。

ガラス素材で作品制作を行う上で、複数の技法を用いて作品制作が行われる事は珍しいことではない。

ここでは、現在行われている技法の複合的な活用を熔着する方法、熔着しない方法に大別しその特徴を述べていく。熔着する方法についてだが、一般的には、主となる技法に、補助的にその他の技法を用いて、独自の色味や表情を作品に加える。吹きガラス、キルンワーク、バーナーワークが代表的な熱を用いて作品を成形する技法である。これらの技法で、ガラスパーツを組み合わせて作品制作を行っている作品例を挙げ、複合的に技法を用いる事で得られる効果を明らかにする。

キルンワークでは、色の表現の独自性を出す目的などで、吹きガラス技法で制作したガラスパーツをガラス鑄造技法やフュージングの素材として用いる事例がある。

(図2-1)は藤原信幸による作品で、フュージング、宙吹き¹³二つの技法で制作されている。石膏型を用いたフュージング技法による、立体的な造形や、ガラス鑄造技法では表現できないガラスの厚みや繊細さが、作者の技法的な独自性である。加えて、この作品では吹きガラス技法（宙吹き）で制作したケインをフュージングの素材とする事で、独特の着色を行なっている。

¹³宙吹き：吹きガラス技法は宙吹き、型吹きに分ける事が出来る。本論では、まとめて吹きガラス技法とする。

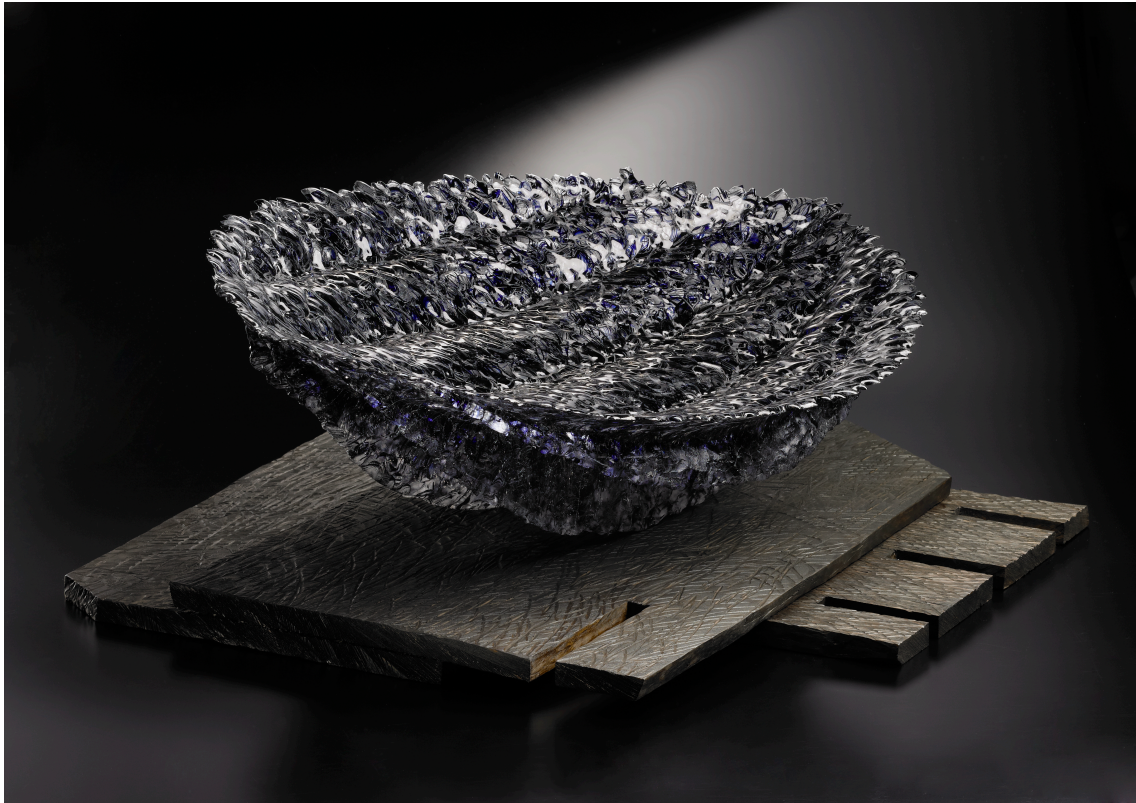


図 2-1 藤原信幸

＜小文間の植物シリーズ 2010-01

“plant of omonma village 2010-01”＞

宙吹き・フュージング

その他にも、吹きガラス技法で制作した、ムリーニケイン¹⁴を並べ溶着する事で独特の模様を表現した作品は紀元前から存在する。（図2-2）ムリーニケインの様にケインの断面を活かした装飾は、古くから行われており、現在でも、ムリーニケインは、吹きガラス技法、バーナーワーク、キルンワークなど複数の技法で用いられている。

このように、吹きガラス技法で制作した素材をその他の技法で用いる事は多くある。

ここで述べた例は、キルンワークを主な技法とし、その他の技法で制作したガラスパーツを制作に取り入れる、吹きガラス技法で制作したパーツをキルンワークに用いる例である。しかし、キルンワークはガラス鑄造技法、フュージング、スランピングなどの電気炉を用いた技法の総称のため、キルンワークで制作したガラスパーツを異なったキルンワークの素材として用いる事例も多く。これも技法の複合的活用とも言えると考えている。第3章で述べる筆者の研究する複合的な活用方法もその事例に含まれ、キルンワークのみで完結した作品もある。

キルンワークで制作した素材を吹きガラス技法で用いる事例もある。（図2-3）これは藤原彩葉の作品である。制作工程は、ガラス鑄造技法で板状のガラスを制作し、コールドワークで切り込みを入れガラスパーツを作成する。このパーツを二枚重ね合わせ、電気炉で余熱した後に、吹きガラス技法で形を変形させている。この作品は、コールドワークで切り出した幾何学形態が、吹きガラス技法で内側に空気を入れる事により起こる形の変化が特徴的である。ガラス素材の温度帯ごとにある粘度の変化が現れており、この制作プロセスでないと表現する事ができない表情がある。

（図2-3）のように、キルンワークで制作したガラスパーツを吹きガラス技法での制作に用いる事例もあるが作品例は多いとは言えない。その理由としてガラス素材の再加熱に時間がかかり、なおかつ破損の可能性があるという問題点や、吹きガラス技法で扱える重量の制限が考えられる。

¹⁴ ムリーニケイン：ケインはガラス棒のことで、ムリーニケインは断面に金太郎飴のように花柄などの模様がついている。

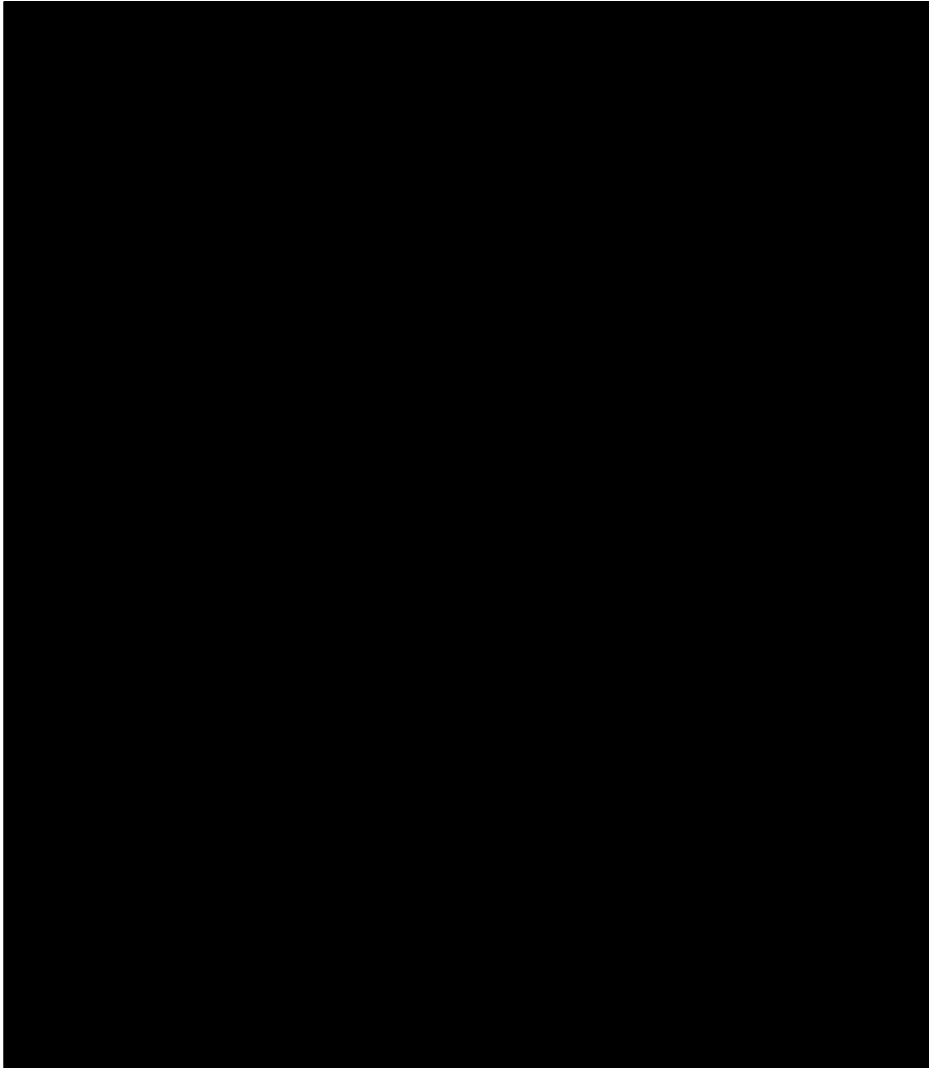


図2-2

画像引用元

中山公男『世界ガラス工芸歴』 p25

美術出版社、2000年

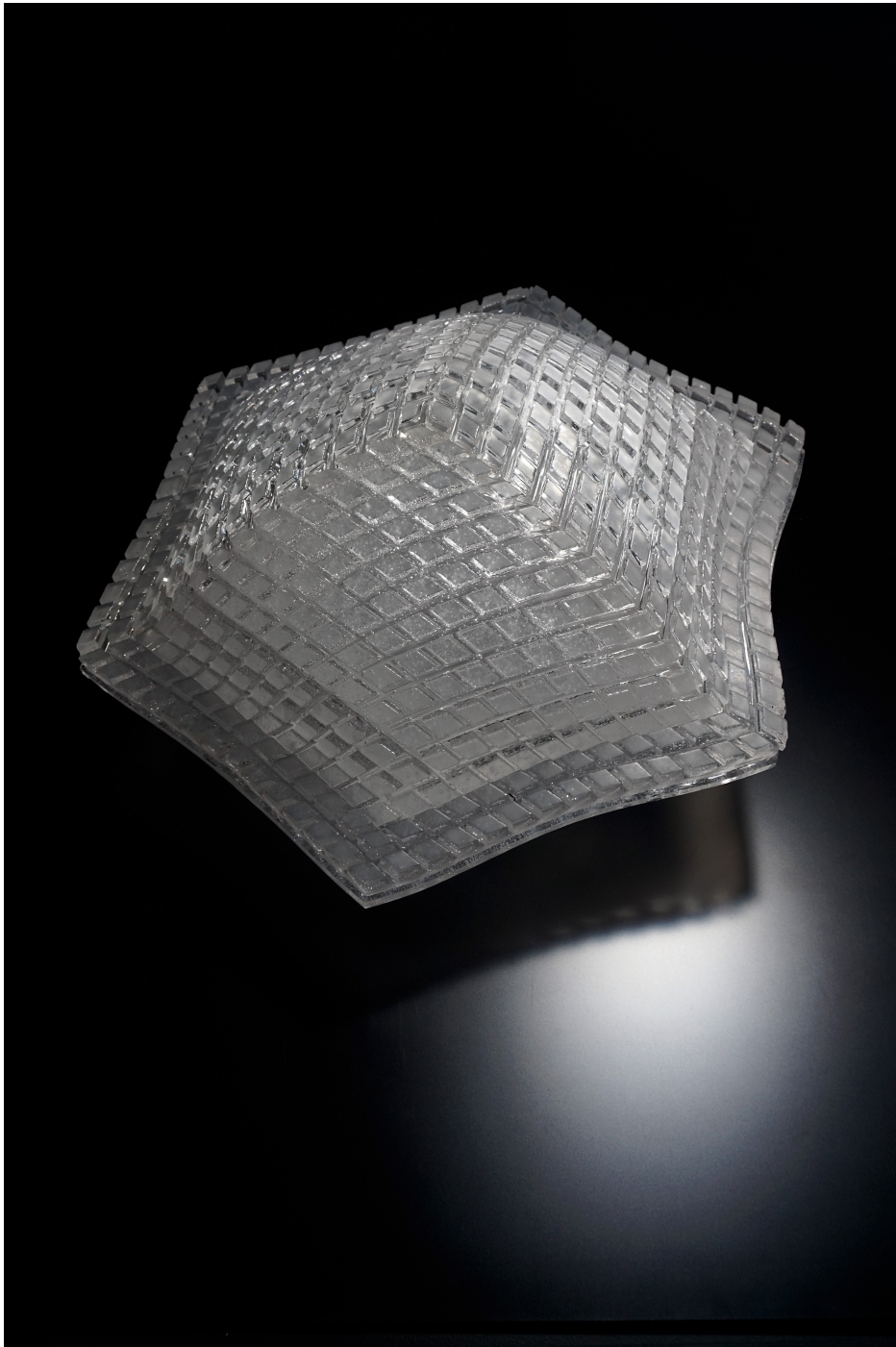


図2-3 藤原彩葉の作品

〈Re-form〉 2016年

バーナーワークで制作したガラスパーツをキルンワークや吹きガラス技法で用いる方法も考えられるが、一般的にバーナーワークに用いるガラスの膨張係数がキルンワークや吹きガラス技法とは異なるため、あまり一般的ではない。

(図2-4) この作品は柳健太郎のもので、硼珪酸ガラスを用いたバーナーワーク¹⁵で制作されている。繊細かつ非常に複雑な構造をしているため、同じ構造を他の技法では制作する事は非常に困難である。この作品は、歯車やチェーンなどの構造が稼動し、風車などが動く仕組みになっているのが特徴である。

この複雑な構造は、膨張係数が低い硼珪酸ガラスを用いる事で可能となっているため、膨張係数を揃える必要がある、熔着する技法の複合的な活用は出来ない。また、バーナーワークは卓上バーナーや手持ちの小型バーナーで作業するため一度に溶かすことのできるガラスの量が限られる。そのため、大きな塊のガラスを扱う事は難しく、一般的には小さな作品が多い。

バーナーワークは細かな造形が可能な事が技法的な特徴である。そのため、本論の主題である技法の複合的な活用による、新しいかたちづくりを探究する上でぜひ活用したいと考えている。しかし、筆者の手法ではソーダガラスを熔着するため、膨張係数を揃える必要がある。そのことから、大きなガラスパーツを制作する事が出来ないが、バーナーワークで制作したガラスパーツを「モデリングパートドヴェール」で組み合わせる事は可能となっている。

¹⁵ バーナーワーク：酸素バーナーと硼珪酸ガラスを用いたバーナーワークをフレイムワークとも呼ぶが、本論ではバーナーワークと統一する。

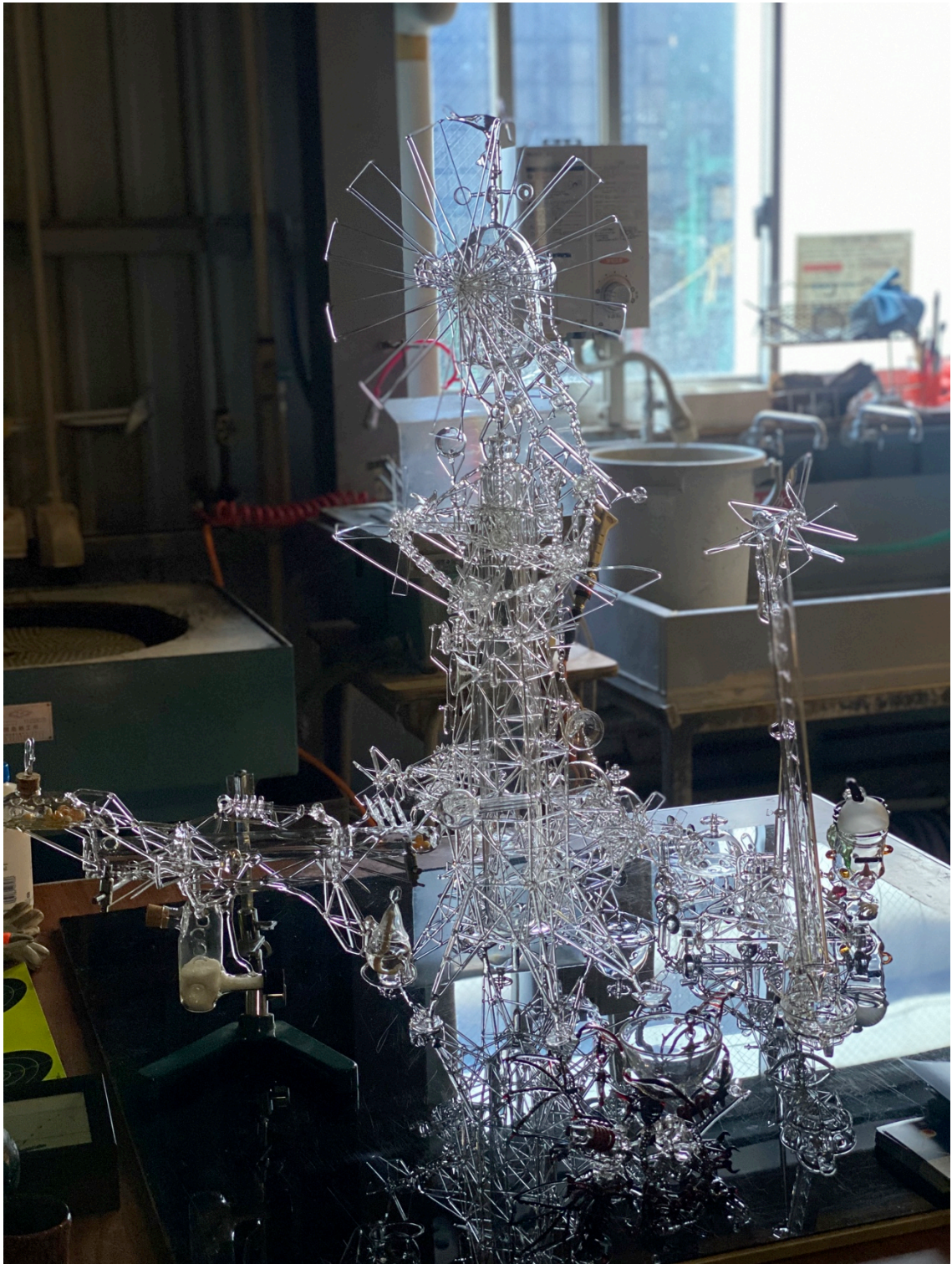


図3-4 柳健太郎の作品

2019 年 11 月学内ワークショップ（筆者撮影）

第2節 技法の特徴と複合的な技法の活用

第1項 吹きガラス技法

熱を用いた技法を用いて技法を複合活用する場合、主となる技法の特性が色濃く出る。そのことから、ここからは技法ごとの特徴をまとめた上で、複合的な活用方法を述べていく。

はじめに、単一の技法ごとの特性を明らかにするため、同一の切り花というモチーフで制作する事にした。切り花を例に挙げた理由としては、すべての技法に共通した制作困難な形状が多いからである。薄い花卉、細い花茎、雌蕊や雄蕊、ガクなどの複雑な構造が制作困難とされる構造である。モチーフとした花の種類は、ナガミヒナゲシである。

吹きガラス技法で切り花を制作する最も単純な方法は、溶解炉で溶けたガラスをアシスタントに次々と持ってこさせ、花卉を作る方法である。この方法だと、花卉1枚1枚を成形する時間が長くないため、ある程度の技術が必要になる。

吹きガラス技法で繊細な花を作る為には、ピックアップという手法を使うことが、かたちの完成度を優先とすると有効な方法と言える。（図2-5）これは筆者が、この手法で制作したものである。

薄いかたち、細いかたちは造形出来たが、表面の表情やおしべなどの細かなかたちの表現は困難であった。高温で均一に溶解されたガラスを用いるので、透明度が高く、溶けたガラス素材特有の有機的で柔らかい表情が特徴的である。

（図2-6）の写真は、チェコのガラス作家であるMartin Janeckyの作品である。彼は、「インサイドスカルプディング」と言う手法で作品制作をしている代表的な作家で、人や馬、頭蓋骨などを具象的に作る作家である。筆者も吹きガラス作品での具象的な表現を身につける目的で、彼のワークショップを2度受講した事がある。（図2-7）の頭蓋骨の横に装飾されている花は、1枚ずつ制作した花卉を、炉野中で保温し、その後にピックアップまたは、アシスタントに持ってこさせ、組み立てる事で繊細かつ花らしい形状をつくっている。



図2-5 筆者がピックアップで制作した切花
(筆者撮影、2020年制作)

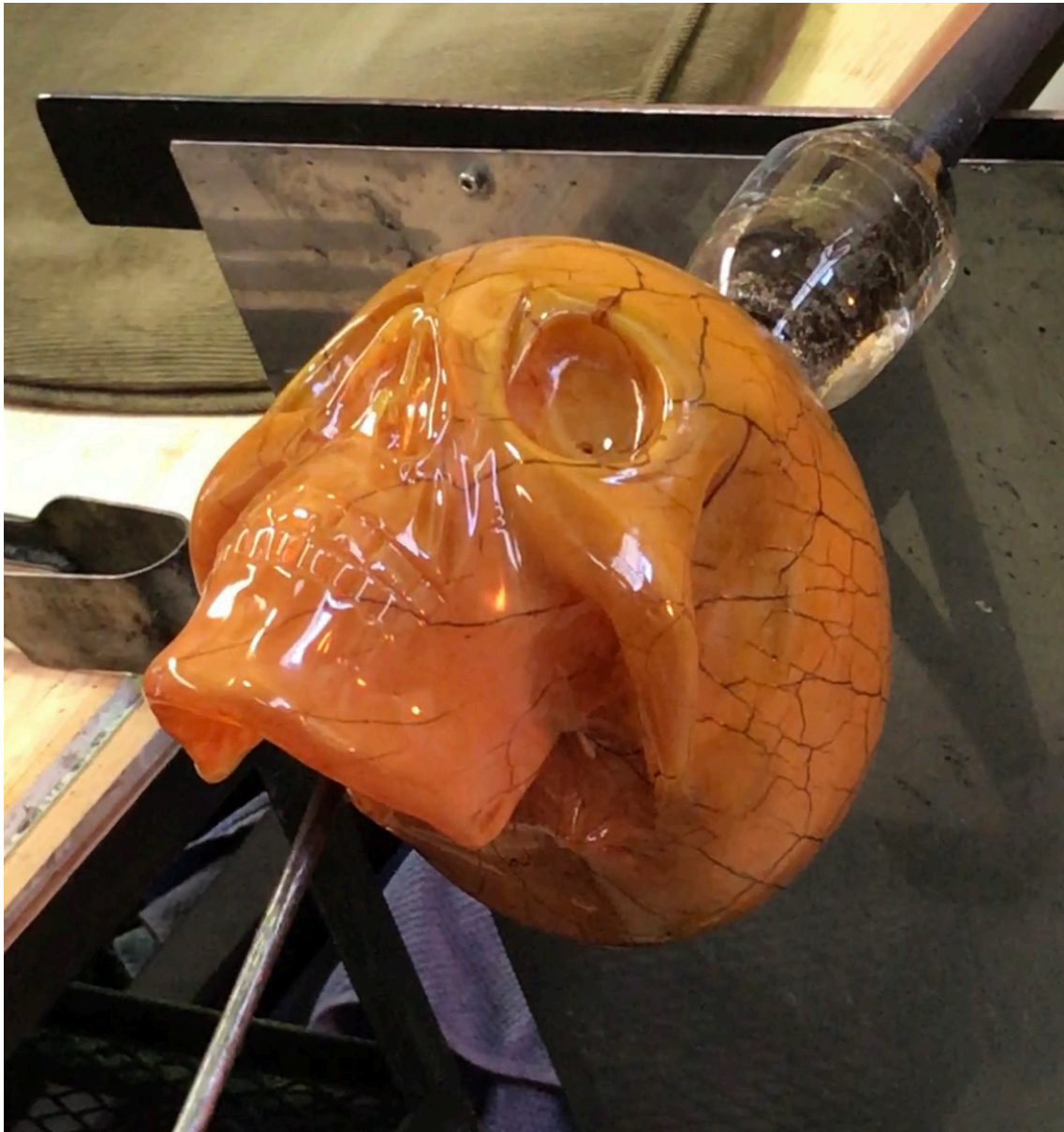


図2-6 Martin Janecky インサイドスカルプティングでの制作過程
(筆者撮影、2017年)



図2-7 Martin Janecky インサイドスカルプティングで制作された作品
(筆者撮影、2017年)

このように、吹きガラスのみでも繊細な花の形を作る事は可能である。しかしながら、花の種類や細部の作り込みの程度によっては望んだ完成度まで仕上げるのは難しいことが多い。

ピックアップと言う手法を用いる事で、様々な技法を用いて制作したガラスパーツを一つに組み立てる事ができる。

(図2-8) この作品はGlass Around 70'sと言う1970年代生まれの11人のガラス作家で構成されるグループによって作られた作品である。彼らは、後進育成の目的でデモンストレーションなどを各地で行っている。普段彼らは、1人1人がガラス作家として作品制作を行っており、それぞれの作風を持っている。

共同制作をするにあたり、それぞれの作家の個性を活かすため、キルンワーク、コールドワーク、吹きガラス技法で制作されたパーツを吹きガラス技法を用いて一つにまとめている。この方法は、ガラス作家同士が共同制作を行う際によく用いられる方法であるが、(図2-8)の作品はその中でも高い完成度だと思われる。ガラス鑄造技法で制作されたパーツや、一度吹きガラス技法で製作したパーツを研磨して文字を彫刻しているガラスパーツも含まれている。

この方法は、吹きガラス技法の写実的なかたち作りの難しさを他の技法を用いることで補完しており、様々な技法で作ることのできる形状や要素を一つの作品に落とし込んでいる例である。

吹きガラス技法は高い習熟度が必要で、高度な制作になるとアシスタントの修練も必要になる。成功の可能性が高いとは言えないこと、1人では出来る事が限られる事が吹きガラス技法の難点だと筆者は考えている。その一方で、共同制作の中で得られる一体感と成功時の達成感に魅力を感じる人も多い。

吹きガラス技法の魅力は、溶解炉で溶けたガラスを直接かたちづくる事が可能な事や、ガラス素材の透明度の高さであると筆者は考えている。また、その起源は器を制作するために開発された技法であるため、中空の回転体を制作する事が容易である。

ガラス素材で制作が困難な形状が多く含まれる、切り花を吹きガラス技法で制作した結果をまとめると、花茎は細く制作する事ができ、花弁は少し厚みがあるが制作出来た。また、複数のガラスパーツを組み立てる時に、それぞれのパーツが軟化しているためバランスを調整する事が容易である。しかし、雄蕊や雌蕊の構造やテクスチャーなどの表現には不向きという事がわかった。



図2-8 Glass Around 70's

吹きガラス技法でガラスパーツを組み合わせた作品例

東京藝術大学取手校地で行われたデモンストレーション作品
(筆者撮影、2018年)

第2項 キルンワーク

キルンワークは、電気炉の温度管理を行い、固体状から液体状までのガラスの状態をコントロールする、電気炉を用いた技法の総称で、ガラス鑄造技法、フュージング、サギング、スランピングなどが含まれている。

また、キルンワークにはエナメル絵付けも含まれるが、本論はガラス造形技法の「かたちづくり」の自由度を高める方法を探る事が目的であるため、上記の中では、主に石膏型を用いたガラス鑄造技法とフュージングについて考察していく。

ガラス鑄造技法は、ガラスの種類によっても異なるが、筆者が制作に用いているソーダガラスでは800℃から880℃程度の温度帯で、型に軟化したガラスを流し込み、意図した形状を制作する技法である。

フュージングはガラス素材同士が熔着する温度である700℃から850℃程度でガラス素材を熔着させる技法である。ガラスが流動する温度帯で完全にガラス同士を溶け合わせるフルフューズから元の形状を保っているタックフューズの中で任意の溶け具合で熔着させる。

加えて、フュージングは型の有無では技法を分けない。一般的にキルンワークは、室温で型やガラス素材を配置しておき、作業温度帯ではガラスの軟化を利用し、ガラス素材自体の重さや表面張力を利用して変形させる。（図2-1）の作品の様な立体的な作品も石膏原型を用いたフュージングと作者によって区分されている。したがって、一般的に型の有無に関係なく、電気炉を用いて熔着する事をフュージングとまとめることができる。

このことから、筆者の独自の技法である「モデリングパートドヴェール」は、キルンワークのフュージングに分類できると筆者は考えている。

ガラス鑄造技法は、原型を制作し、石膏で型を取り、原型を取り除いた空間にガラス素材を鑄込む事で、その他の技法よりも写実的で原型に忠実なかたちを作ることが出来る技法である。しかしながら、金属鑄造技法と比較すると、これまで述べた湯口などの理由で「かたちづくりの」自由度は低いと言える。吹きガラス技法やその他の技法と同様に、薄いまたは細いかたちや、複雑に入り組んだかたちの表現が難しい。

(図2-9) 筆者がガラス鑄造技法のみで切り花を鑄造する例では、ガラスが薄い花卉まで鑄造し切る事が出来なかった。この理由は、湯口が小さい為鑄造時の圧力が不足していたことにある。鑄造時のガラスは吹きガラス技法で扱うガラスよりも粘度が高い。その理由は、キルンワークに用いる電気炉の焼成温度の上限や鑄型に用いる石膏型の強度の関係で鑄造時の焼成温度が溶解炉の温度よりも低いからである。そのため、ガラス鑄造技法は、薄い、または細長い部分の鑄造が難しいことが多い。

この対処法として挙げられるのは、大きな湯口を設置する、作業温度を上げる事でガラスの粘度を下げる、鑄込みの時間を長く設定する事が挙げられる。しかし、実験でもすでに筆者の通常の焼成プログラムより30℃高温で3倍の鑄込み時間を設けている。また、切り花の形状から湯口を設置することの出来る位置は限られている。したがって、ガラス鑄造技法では、薄い花卉や、細い花茎などが連続している形状を鑄造することは、困難であるという事ができる。

上記の例は、茎と花が一体となっていたため、完全な鑄造ができなかったが、(図2-10)の様に花と茎を分割した焼成では成功している。これは、先ほど述べた改善方法のうち、「湯口を大きくする」に該当する。

このままでは、茎を含めた完全な花を再現できていない。しかし、一度の焼成で不可能なたちでも、キルンワークの技法を複合的に用いる事でも可能にする方法がいくつか考えられる。

1つ目は、部分的に鑄造したガラスパーツを制作し、足りない部分をワックスでかたちを制作し、石膏型で再度型取りし、鑄造し直すという方法。2つ目は、分割して鑄造したガラスパーツを接着し、再度石膏型を制作するか、耐火粉に埋没させ電気炉で溶着させる方法がある。



(図2-9) ガラス鑄造技法で制作した切花
(筆者撮影、2020年制作)



(図2-10) 分割し鑄造した花の部分
(筆者撮影、2020年制作)

(図2-9)の方法では、薄い、または細いかたちが連続していることで圧力が足りず、ガラスが全てに充填されていないが、分割する事で解消出来る。新たに鑄造する部分をワックスで制作するなど、つなぎ目も滑らかに仕上げる事も可能である。また、この方法は、ガラス鑄造技法で制作したパーツのみではなく、膨張係数が同じであれば、吹きガラス技法やバーナーワークで制作したガラスパーツを埋め込むことも可能である。したがって、この方法は、ガラス鑄造技法を用いて技法を複合的に活用していると言えることができる。

この方法は便利であるが、内側に空洞のあるかたちなど石膏型を取り除けない形状も存在する。また、何度も新たに石膏型を制作する必要がある為、徐令時間や石膏の消費量など、特に大型の作品を想定すると、経済的とは言えない。しかし、この方法は写実的な作品をアイデアに忠実に再現する場合に有効な方法であるといえる。

先ほど述べた、2つ目の方法は、ガラスパーツ同士を接着剤などで接着し、石膏型や耐火粉に埋没させ熔着させる方法である。焼成する事により、接着剤の成分は焼失し、隣接するガラスパーツ同士が熔着される。耐火粉を用いる方法では、かたちを保持する型が粉体であるため、石膏で埋没する方法で破損してしまうような繊細な形状の作品を制作することができる。また、膨張係数を合わせた他の技法で制作したガラスパーツを組み合わせる事も可能である。

この方法の問題点は、溶着させるガラスパーツ同士を面で接着する必要があると言う事にある。平面を作るためには、コールドワークで平らに研磨する必要があり、そのパーツ同士の接合部には、形状によって不自然さが残る場合がある。また、接着面積が狭いとガラスが溶着されない可能性もある為、1つ目の方法より、不確かな方法である。その一方で、大型の作品を想定しても対応可能な実用性のある方法と言える。「モデリングパートドヴェール」はこの方法のガラスパーツ同士のつなぎ目に関する問題点を改善した方法と言える。

これまで述べたように、ガラス鑄造技法は、方法を工夫すれば意図する形状に近いものを制作できる。しかし、ガラス鑄造技法では、湯口を設置した場所が平らになってしまいう事や、石膏型を取り除く事ができないかたち、内側に空間があるかたちを制作する事が出来ないという問題は残る。その点、耐火粉を用いたフュージング技法では、接合部の滑らかさや、接着面積の問題は残るが粉体が入る隙間があれば、内側に空間のある形状を制作する事が出来る。

(図2-9)の実験で制作した切り花の例は、ガラスが全てに行き届かず、造形性が低い技法の様に見て取れるが、複数回の鑄造も想定するとその問題も解決出来ると言える。これまで述べた事をまとめると、ガラス鑄造技法は、薄いかたちや細長いかたちの造形には不向きであるが、表面のテクスチャーや写実的な「かたちづくり」には最も適していると言える。ガラス素材の透明度は、吹きガラス技法には若干劣るが透明度の高い作品も制作することが出来る。また、制作可能な作品の大きさや重量に関しては、電気炉の大きさに依存するが、ガラス造形技法の中で最も幅広いと言える。

今回の切り花の比較実験は論文資料として改めて作品例を制作したが、日々の制作の中で蓄積した経験から、筆者は同様の結果を得ていた。

ガラス造形技法により作品を制作するにあたり、複数の技法を複合的に用いる事は有用である。そのことは、これまで述べた事や、多くのガラス造形作家が制作で行っている事から明らかである。

その中で、筆者は、より積極的に複数の技法を取り入れて制作する試みを始めた。特に、吹きガラス技法での重量や造形の制限や、ガラス鑄造技法での湯口を設置した場所への造形が困難であることなどの技法的制約により、断念していた作品のかたちづくりを可能とし、制作の中に取り入れる研究を行った。それらの研究をまとめ、実用性などを考慮した結果たどり着いた方法が「モデリングパートドヴェール」を用いたガラス造形技法の複合的な活用である。

第3項 バーナーワーク

バーナーワークとは、卓上バーナーを用いて、棒状や筒状のガラスを部分的に熔かし成形する技法である。ソーダガラスなどの膨張係数が高いガラスではなく、膨張係数の低い硼珪酸ガラスを用いる事で、室温との温度差で破損する可能性を下げる事が出来る。その結果（図3-4）の様な複雑で自由度の高い造形が可能である。

（図2-11）は筆者が硼珪酸ガラスを、酸素バーナーを用いて制作した切り花の例である。吹きガラス技法で制作したものと同等の透明度があり、よりモチーフであるナガミヒナゲシに近いものを制作できている。筆者の硼珪酸ガラスでの制作の習熟度が高ければより良い結果であったと考えられる。薄い、また細長い造形にも適しており、雄蕊や雌蕊などの細かい表現も可能である。しかし、表面張力の影響で、表面のテクスチャーなどは限られた表現しか出来ない。加えて、棒状のガラスを部分的熔かし造形する特徴から、一度に熔かすことが出来るガラスの量に限りがあり、塊の表現にはあまり適していないと言える。大きさや重量に関しては、大型の作品も制作可能であるが、細い線で構成された形など、条件を満たした形状の中で展開しなければならない。

硼珪酸ガラスは膨張係数が低いため、一般的に吹きガラス技法やキルンワークで用いられているソーダガラスと互換性がない。

「モデリングパートドヴェール」を用いてバーナーワークで制作したガラスパーツとその他の技法で制作したガラスパーツを組み合わせるためには、膨張係数の合うガラスでガラスパーツを制作する必要がある。

（図2-12）は吹きガラス、キルンワークで用いているガラスと同じ膨張係数のガラスで制作した切り花である。膨張係数が大きなガラス素材は熱変動で収縮する幅が大きいことから、作業中にひび割れるなど破損しやすい。そのため、実寸大の切り花を制作する事はできなかった。「かたちづくり」においては、薄いかたち、細長いかたち、細かな造形は可能である。硼珪酸ガラスでの造形性には大きく劣るが、バーナーワークの細かな造形が可能である。このバーナーワークの特徴を筆者の行う技法の複合的な活用での作品作りに活かすことが可能である。



(図2-11) 酸素バーナーで制作した切花
(筆者撮影、2020年制作)



(図2-12) エアバーナーで制作した切花
(筆者撮影、2020年制作)

第2節 熔着しない方法

第1項 接着する方法

熔着せず、複数の技法で制作したパーツを組み合わせる手段として、接着剤で接着する方法がある。この技法の中に積層技法というものがある（図2-13）。この技法は、板ガラスを複数枚接着剤で圧着する技法である。

透明性が特徴であるガラス素材に接着剤を用いる際の問題点として、接着剤の黄化などの経年劣化の問題がある。しかし、この技法では、板ガラスの面同士を圧着することで接着剤の層が非常に薄くなり、接着剤の黄化などの影響が比較的少ない。

（図2-14）この作品は筆者が積層技法と同じ方法でガラスパーツを組み立て制作した作品である。光学顕微鏡で観察されたプランクトンから着想を得て、吹きガラス技法で制作したパーツを接着し、組み合わせることで制作している。吹きガラス技法を用いたガラス素材の透明感や有機的な表情が現れており、軟化したガラスの柔らかい表情がある。その一方で、複数のガラスパーツをコールドワークで平らに研磨し、接着している影響で、接合部に不自然さが残るものとなった。

この当時の技法的な試みとして、吹きガラス技法では作る事が難しい大きさや形状の作品を制作できないかと考え、この手法を用いた。

この作品は、吹きガラス技法では困難な形状、大きさ、重量の作品となっている。大きさや重量に関しては、12kgと筆者の吹きガラスで扱うことの出来る重量を超えている。

表現したかった「かたちづくり」に近づいたが、上記で挙げた接合部の違和感の他にも問題があった。

ガラス素材の長所の一つに科学的耐久性が高いという特性がある。一般的な積層技法では、ガラスパーツ同士の接合面積が広い為、接着剤の強度が経年劣化で下がったとしても構造的に崩れる可能性は低いと考えられる。しかし、この筆者の作品ではガラスパーツの接着面積が狭い為、経年劣化により作品が自重で崩れる可能性があり、長期間の保存は望めない。現在制作してから6年経過しており、今のところ強度に問題はないが、何十年先も維持しているかはわからない。

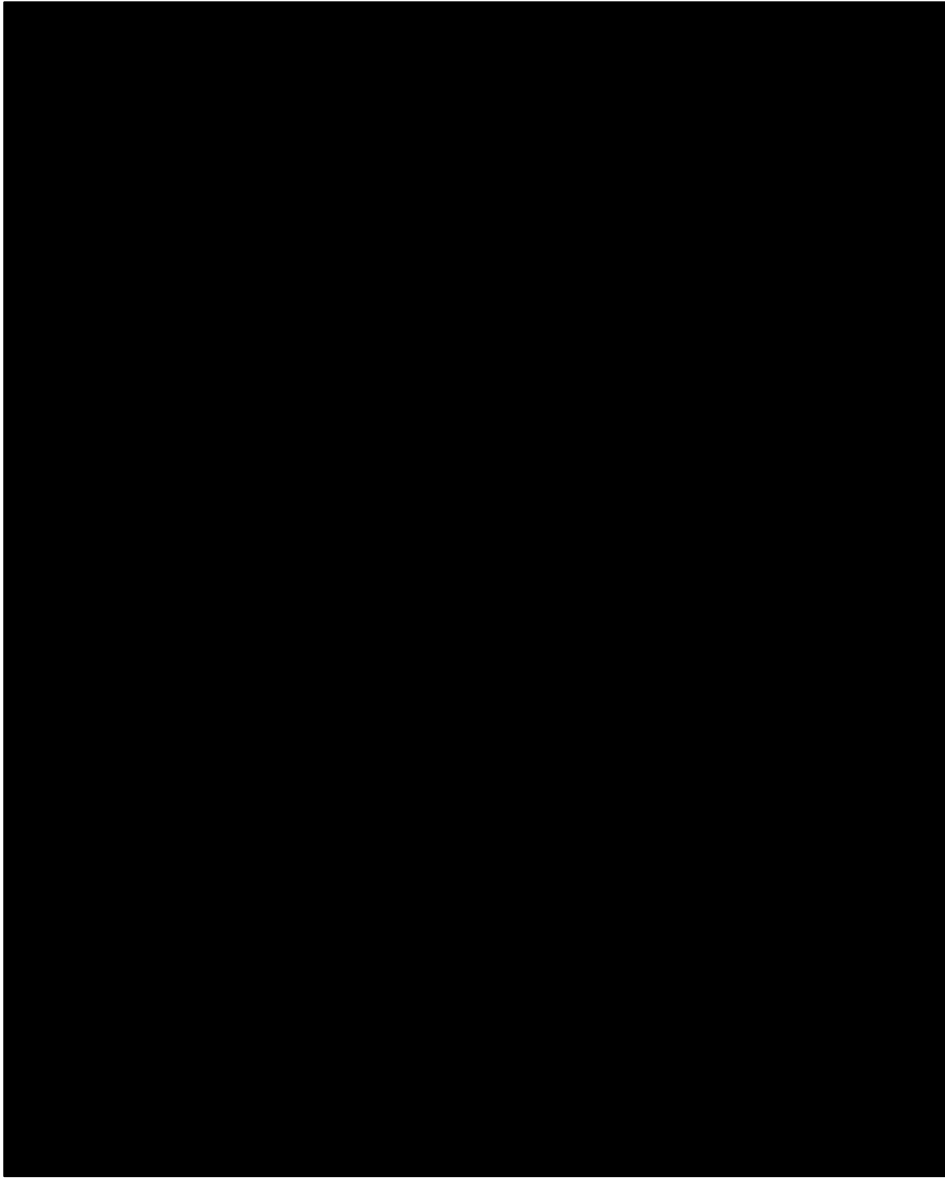


図2-13 ラミネート参考作品

生田丹代子〈揺-40〉

画像引用元

『とめどないエネルギー ガラスをめぐる探求と表現 展覧会図録』 p55

富山ガラス美術館、2017年



図2-14 接着によるガラスパーツを組み立てる例
筆者作品〈plankton〉2016年

(図2-14) の様に複雑な接着技法を用いている作品は稀だが、経年劣化の問題は接着剤を用いる事で少なからず影響してくると言える。また、「かたちづくり」の側面からも接合部の違和感など、生き物を表現するには不利な制限がある事を実感した。

第2項 異素材を用いる方法

異素材を用いて、ガラスパーツを組み立てる方法は様々な素材を用いた方法が考えられ、非常に有効であると思われる。しかしながら、本論での研究は、技法ごとの表情や特徴を生かした、ガラス造形作品の「かたちづくり」の多様化を目指している。そのため本論では、研究の深度を深めるため、ガラス素材のみを用いた作品制作を中心に述べている。しかし、異素材を用いた「かたちづくり」の可能性を探る事は、ガラス造形作品の幅を広げる上で有効であると考えられるため、ここで述べるとする。

ガラス素材単一での作品制作で問題となるのは、ガラス素材が壊れやすい事から作品自体の重量で破損することもあり、大きさや形状に制限がある事である。また、熔けたガラスを用いた技法でガラスパーツを組み立てる方法は、吹きガラス技法では設備や重量の問題がある。キルンワークでは、電気炉の大きさに作品の大きさが依存するが、石膏型なども含め、電気炉に入るように作品の大きさを考慮する必要がある。そのため、電気炉の内側の寸法と同じ大きさの作品は作ることが出来ず、筆者の経験上おおよそ電気炉の内寸7、8割程度が作品サイズの上限とも言える。

(図2-15) この作品は、ポーランドのガラス作家Marta Klonowskaの作品である。この作者は、金属フレームを制作し、その表面に無数のガラス片を接着する事で作品制作を行なっている。図の作品のように、動物の脚などの細い形状は、金属の軸が入っていないければ、作品の自重で破損してしまう可能性がある。

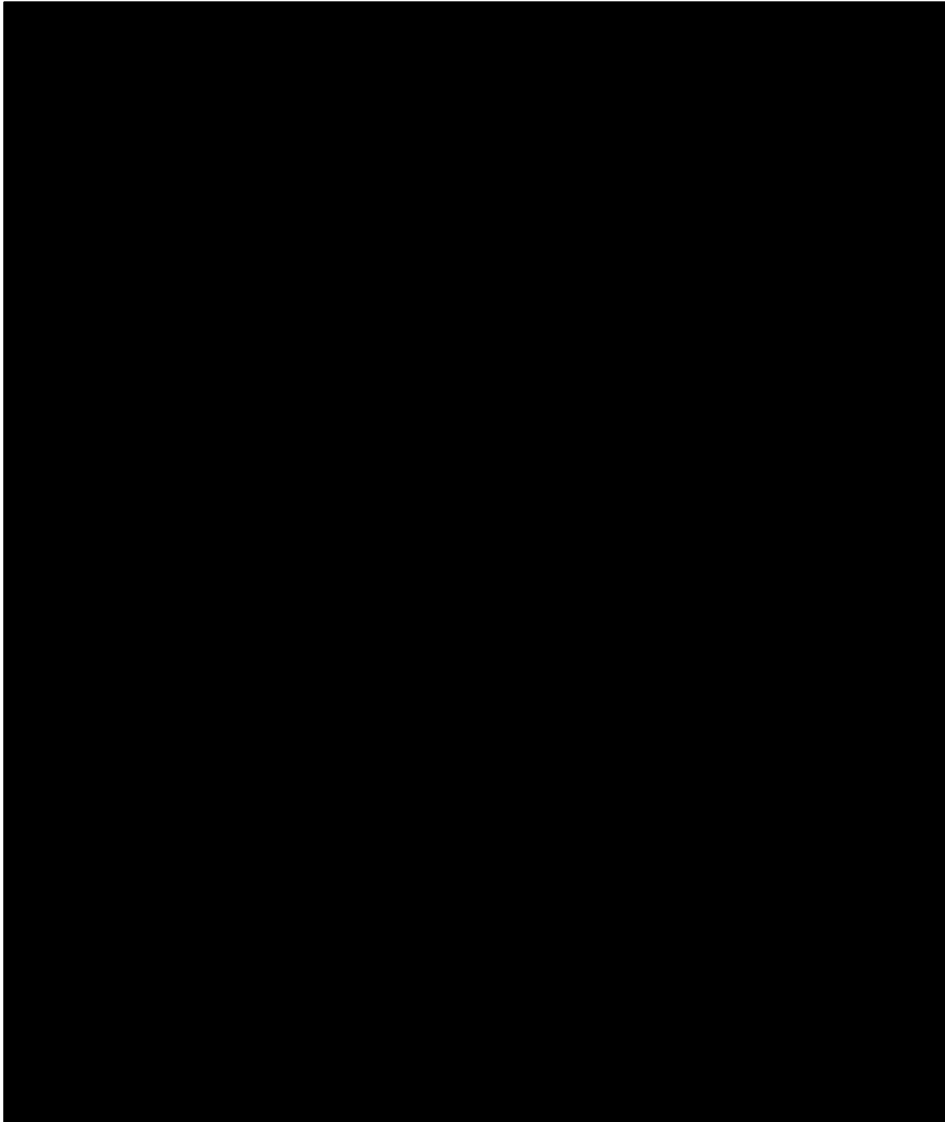


図2-15 Marta Klonowskaの作品

Marta Klonowska

〈 ウェヌスとアドニス (ペーテル・パウル・ルーベンスによる)〉

画像引用元

『富山市ガラス美術館 展覧会情報』

参照：<https://toyama-glass-art-museum.jp/exhibition/exhibition-2782/>

(2020年8月23日)

(図2-16) この作品、アメリカのガラス作家Dale Chihulyの作品である。彼も吹きガラス技法で制作したガラスパーツを金属フレームに金属ワイヤーで結びつける事で、巨大な作品を制作している。金属フレームに結びつけられた、複数の吹きガラス技法を用いて制作されたパーツは、吹きガラス技法で制作するパーツとしては非常に大きい。それらを集合させる事で、立体的なガラス造形作品で建築物の構造に含まれる様な大型の作品を制作している。

これらの例のように、ガラス素材の脆弱さを補完する為に金属を支柱として用いる事で、多様なかたちに対応出来る。また、電気炉などの設備の上限を超えた大きさの作品を制作する際に、金属フレームで重量を支え、ガラスパーツを集合体として一つの作品とする方法は、有効であると言える。

(図2-17) の作品は佐宗乃梨子の作品である。彼女は、ステンドグラスの技法を用いて、人体などの立体作品を制作している。本来、ステンドグラスは板ガラスを用いる事が多いが、彼女は板ガラスの他に複数の技法を用いて制作したパーツを取り入れ、なおかつ複雑な人体を表現している事が特徴である。眼球はバーナーワーク、臓器はガラス鑄造技法を用いて制作されている。

ステンドグラスは大きく3種類に分類する事が出来る。溝の入った鉛線を用いて、板ガラスを切り抜いたパーツを組み立てるケームワーク。銅テープとはんだで板ガラスのパーツを組み立てる銅テープ組み。3cm厚程度のガラス片をセメント、または砂を混ぜたエポキシ樹脂を流し込み、形を保持する方法のダル・ド・ヴェールである。

佐宗乃梨子が用いている技法は銅テープ組みで、ランプシェードの制作などにも用いられる比較的立体を制作する事に適した技法である。ケームワークは、教会の窓ガラスなど平面作品に用いられる。一般的にパネル状の作品を制作するための技法であるため、立体作品には不向きである。

ダル・ド・ヴェールは銅テープ組みのように複雑な立体は制作する事が出来ないが、多少湾曲したかたちも制作する事ができる。そのことから、ガラス鑄造技法で制作したガラスパーツをダル・ド・ヴェールで組み立て、大型の作品を制作出来る可能性があると考え、作品制作を行った。



図2-16 Dale Chihulyの作品
(筆者撮影、2017年)

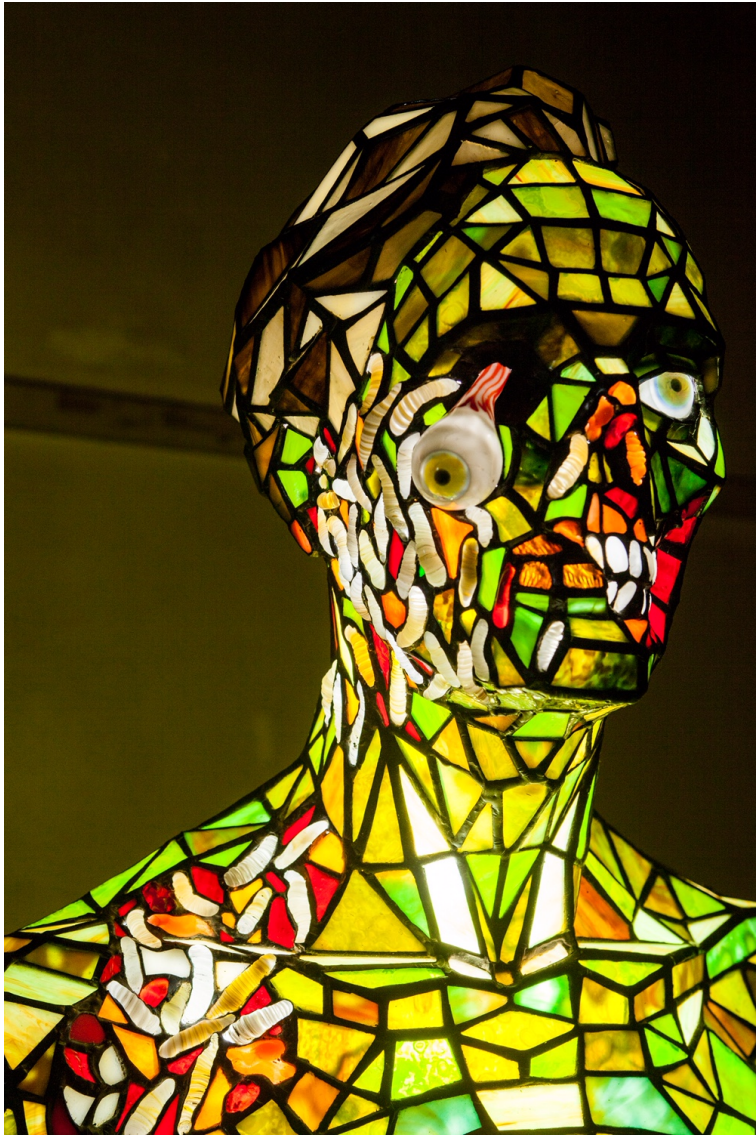


図2-17 ステンドグラス技法による技法の複合的な活用例
佐宗乃梨子<Living Dead> 2014 年 撮影 宮脇慎太郎

(図2-18) この作品は筆者の提出作品のうちの1点である。ガラス鑄造技法で制作したガラスパーツを樹脂と珪砂粉を混ぜ合わせたペーストで接着している。また、樹脂の露出する部分は錫粉を蒔くことで、装飾している。

本来パネル状のものを制作する技法であるダル・ド・ヴェールだが、ガラスパーツの形状を工夫する事で立体的な作品として成立させている。3Dモデリングでパーツ同士の接着面を角度計算する事で球体になるようにした。形はサッカーボールと同じ切頂二十面体を元にしてしている。

接合面を3Dプリントし、内側を粘土で成形することで原型を制作した。これにより、焼成後のガラスパーツを球体に組み上げることが可能になった。

この作品の大きさは、現在の制作環境では、熔着出来ない大きさである。珪砂を混ぜ込み強度をあげた樹脂部分に金属の骨組みを加える事で、かなり大きな作品を作る事が可能になると考えられることから、より大型の作品制作も今後視野に入れている。

3Dプリント技術を用いる事で、今回の作品の様に手作業では困難な角度計算などが可能になった。今後も活用方法を模索しつつ制作の中に取り入れたいと考えている。

これまで述べてきたように、ガラス造形技法を複合的に用いた制作方法は多くある。また、単一のガラス造形技法による切り花の制作例より、技法ごとの特徴が明らかになり、それぞれの長所や短所があることがわかった。



図2-18 ダル・ド・ヴェールと3Dプリント技術を用いた作品
筆者作品〈Microcosmos 部分〉2020年

第3章 技法研究内容

第1節 モデリングパートドヴェールによる技法の複合的な活用

ここからは、「モデリングパートドヴェール」を用いて、複数の技法で制作したガラスパーツを組み立てる方法を述べていく。

これまでに述べたように、「モデリングパートドヴェール」はその他の技法にない特徴が多くある。粘土のように様々なかたちを造形する事ができ、また、造形したものがそのまま作品となることが代表的な特徴である。この技法のみで作品を完結させる事も可能であるが、ここからは、複数の技法で制作したガラスパーツを1つの作品にまとめる方法について述べていく。

第2章では、熔着する事でガラスパーツを組み合わせる方法と、接着など熔着せずにガラスパーツを組み合わせる方法について述べた。それらの方法を比較した結果、ガラスパーツをまとめるために用いる技法は熱を用いる技法である事が、筆者の作品制作には適していると考えている。その理由は、紫外線硬化型の接着剤を用いた接着方法でガラスパーツを組み合わせた作品から感じた接合部の違和感に関係している。接着技法で作品を組み合わせると、接合部を平らに研磨する必要がある。研磨された断面は無機質な印象があるため、生き物を表現するには不向きと考えている。また、熔着させパーツを組み合わせる方法では、接合部にも熔けたガラスの有機的な表情が感じられる。上記の理由から、熔着する方法に着目し研究を進めた。

その結果、考案した技法が「モデリングパートドヴェール」である。この技法を用いてガラスパーツを組み合わせると、従来の熔着する方法での問題点をいくつか解決する事ができる。また、「モデリングパートドヴェール」の特長から、今まで熔着する方法では制作する事ができなかった「かたちづくり」を可能にした。

この技法は、膨張係数が同じガラスパーツ同士であれば、どの技法で制作したガラスパーツでも組み合わせる事ができる。膨張係数をそろえるという条件は、第2章であげた熔着する全ての方法に当てはまる、膨張係数が異なると、ガラス同士は熔着されるが、徐冷後に割れてしまう。また、熔着しない方法であれば、膨張係数に関係なく組み合わせる事ができ、熔着に用いる電気炉などの設備に作品の大きさが左右されない。

ここからは、複数の技法で制作したガラスパーツをつなぎ合わせる具体的な方法について筆者の作品例をあげ説明していく。

「モデリングパートドヴェール」を用いたガラスパーツを組み合わせる方法では、ガラスパーツ同士を、紫外線硬化の接着剤で接着、またはエポキシ系接着剤などで仮に固定する。これは、ガラスパーツ同士が、ガラスペーストの乾燥中に動くことを防ぐ役割がある。接着剤は、焼成時に焼失するが残った成分がガラスを変色させる可能性がある。そのため、仮止めせずに合わせることが可能な場合は、接着剤を用いない。

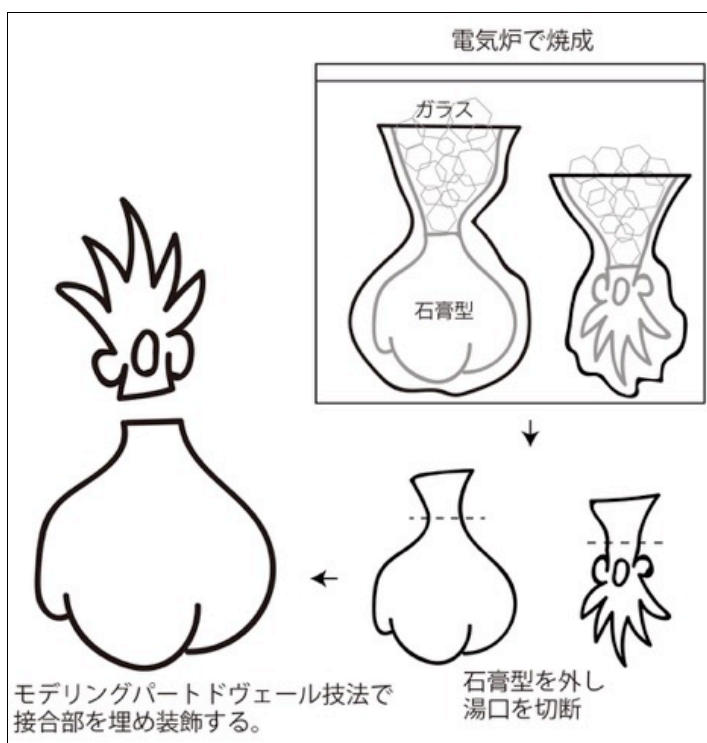
固定した後は、ガラスパーツの隙間や段差を埋めるように、ガラスペーストで装飾する。場合によっては、先にガラスペーストで隙間などを埋め、乾燥させた後に装飾などを施す。第1章で述べたように、「モデリングパートドヴェール」単一でも様々な形つくれるため、単一で用いる技法研究で得た「かたちづくり」の技術も生かすことが出来る。

この後は、耐火粉に埋没させ、焼成する。耐火粉は、セルベンやタルク、珪砂や珪砂粉などを作品によって使い分ける。焼成後の脱型は大まかに粉体を取り除いた後、空気で吹き飛ばすか、水で洗い流し乾燥させた後にサンドブラストを弱く当てる事で取り除く。

(図3-1) この作品は、筆者の作品でガラス鑄造技法と「モデリングパートドヴェール」を用いて制作している。(図3-2) の様に鑄造技法のパーツは、上下の2パーツに分かれて制作しており、その接合部を「モデリングパートドヴェール」でつないでいる。この作品のほとんどは、ガラス鑄造技法で制作されているが、「モデリングパートドヴェール」を用いなければ、この形状は制作する事が出来ない。その理由として、ガラス鑄造技法の「かたちづくり」の制限が挙げられる。



(図3-1)筆者作品 モデリングパートドヴェール技法を用いた作品例
(筆者撮影、2019年)



(図3-2)制作工程図

これまで述べたように、ガラス鑄造技法は金属鑄造とは違い湯口を大きく作る必要がある。湯口の部分は鑄造後、（図3-3）のように平になるため、作品の全面にレリーフなどがあるかたちは作る事ができない。（図3-2）のようにその解決策として、作品を2つのパーツに分け、その湯口同士を向かい合う様に設置する事でこのかたちを制作する事ができる。耐火粉を用いて作品を組み合わせる方法でも近い形状を再現する事ができるが、ガラスペーストを使用しなければ接合部は接着した痕跡が残るなど自然な仕上がりにする事は難しいと考えられる。

（図3-4）この作品は、（図0-11）「Traces of Life in the Microcosm」を構成している一つの作品である。この形状も、「モデリングパートドヴェール」特有の形状である。この作品もガラス鑄造技法と「モデリングパートドヴェール」で制作されており、上記で述べた湯口の問題も解消している。加えて、ガラス鑄造技法では、石膏型を用いるため、内側が空洞の形状を作るのが困難である。内側の石膏型を取り除く必要があるため、外側につながる穴を開けておく必要がある。「モデリングパートドヴェール」も同様に内側に空気が閉じ込められている形状は制作出来ないが、粉体の型である為少しの隙間があれば、作品にストレスをかけずに脱型が可能である。

（図3-5）この作品は筆者の修士課程の修了制作である。吹きガラス技法、ガラス鑄造技法、バーナーワークで制作したガラスパーツを、「モデリングパートドヴェール」を用いて組み合わせた最初の作品である。この中の（図3-6）の作品は、ガラス鑄造と吹きガラス技法のパーツを、数多く組み合わせている例である。外側の上下のパーツがガラス鑄造技法、内側にある種子にあたる部分が吹きガラス技法、そして、白色の部分が「モデリングパートドヴェール」で制作している部分で、それぞれのガラスパーツをつなぎ合わせている。

いくつかの作品例からわかるように「モデリングパートドヴェール」を用いガラスパーツを組み合わせることで、吹きガラス技法では扱うことのできない形状、大きさ、質量の作品を作る事ができる。加えて、ガラス鑄造技法で制作が困難な内側に空間のあるかたち、ガラス鑄造に不向きな厚みの薄いかたち、全面にレリーフや凹凸のあるかたちを制作出来る。そして、耐火粉を用いてガラスパーツを組み合わせる際に生じる、ガラスパーツの隙間を「モデリングパートドヴェール」で埋め、粘土のように塑像できる特性を生かして装飾を施すことが出来る。上記の点において、「モデリングパートドヴェール」を用いる事でガラス造形作品の「かたちづくり」の可能性が広がったという事ができると考えている。



図3-3 平らな湯口の例
(筆者撮影、2017年)



図3-4 モデリングパートドヴェール技法を用いた作品例
(筆者撮影、2017年)



図3-5 筆者修士課程修了作品
〈Micro world specimens〉 2016年



图3-6 笔者修士课程修了作品 部分 2016年

第2節 制作方法の詳細

ここまで、「モデリングパートドヴェール」での大まかな制作方法、技法的な特徴や利点について述べてきたが、この技法を再現する為には、より詳しい説明が必要であると考えられる。

そのことから、数値化した情報を元に記述するため、いくつかの条件で「モデリングパートドヴェール」の焼成実験を行った。（表 3-1）この表に記している通り、3種類のガラスの粒度、4パターンの焼成温度、3種類の耐火粉の違いで、どのような変化があるかを検証していく。この実験結果を含めここでは、より具体的な制作方法を記していく。

使用するのりの種類について

「モデリングパートドヴェール」を用いたガラス造形技法の複合的な活用では、ガラスパーツを固定する時や、粉ガラスからガラスペーストを制作する際にでんぷんのりや接着剤を用いる。ガラスパーツ同士を固定するために用いるエポキシ接着剤などは、必要不可欠なわけではなく、必要な場合のみ補助的に用いている。エポキシ接着剤などは、ガラスペーストに用いるでんぷんのりに比べ、不純物が多く含まれていると考えられる。そのため、第1節で述べたように、接着以外の方法で固定が可能であれば、接着剤の使用は控えている。エポキシ接着剤などによる具体的な影響としては、黒色や黄色、茶褐色に変色する事がある。でんぷんのりによる変化は黒化のみで、それについては作品の表現に取り入れる事もあるが、異なった接着剤による変色は色味が異なり、現段階では望ましい変化と考えていない。しかし、ほとんどの場合でエポキシ接着剤などは焼失し影響が出る事は少ない。

ガラスペーストに用いるのりの種類だが、でんぷんのりを使用している。これはでんぷんのりの弾力がガラスペーストに粘土のような可塑性を与えるからである。でんぷんのりの種類は、タピオカ由来のでんぷんから作られた市販のでんぷんのりを用いている。しかし、海外での滞在制作などで手に入らない事もあるため、片栗粉を用いて自作のでんぷんのりを制作し、使用する事も可能である。（図 3-7）作り方は水 200cc に片栗粉を大さじ 2 杯程度加え、鍋で加熱する事で容易に作る事ができる。市販のでんぷんのりに比べ、可塑性は劣るが作品制作する事は可能であった。（図 3-8）

（表 3-1）の焼成実験では、普段用いている市販のでんぷんのりを使用している。

モデリングパートドヴェール焼成実験

目的

ガラスの粒度、焼成温度、耐火粉の条件を変えて焼成することで、焼成方法による違いを数値化する。

方法

焼成プログラムは作業温度以外は同一とし、下記の条件を組み合わせテストピースを焼成し、結果を比較する。

比較条件

ガラスの粒度①②③、焼成プログラム(A)(B)(C)(D)、耐火粉(セ)(タ)(ケ)、合計36ピース

粉ガラスの粒度

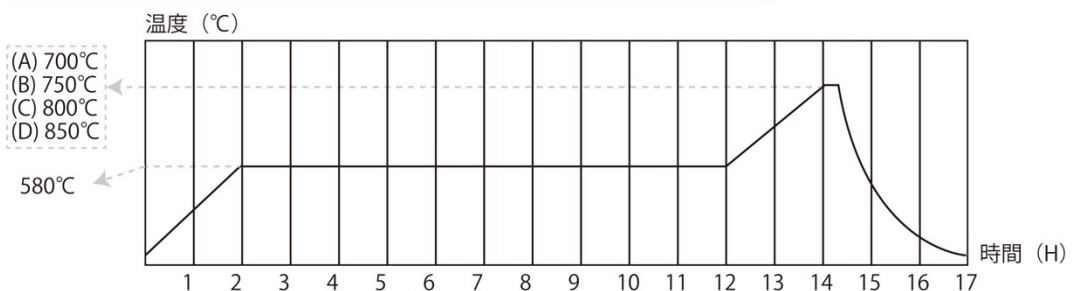
ガラスの粒度	①	②	③
40-100 メッシュの粉ガラス	100%	50%	25%
100 メッシュ以下の粉ガラス	0%	50%	75%

ガラスペーストの配合	①	②	③
粉ガラス	100g	100g	100g
でんぶんのり	25g	35g	32.5g
水	0g	0g	2.5g

※材料の配合は、でんぶんのりの量を最低限にしつつ、モデリングパートドヴェールで用いるガラスペーストとして成形が可能な範囲で配合する。

焼成プログラム

セグメント	1	2	3	4	5
温度	580℃	580℃	(A) 700℃ (B) 750℃ (C) 800℃ (D) 850℃	(A) 700℃ (B) 750℃ (C) 800℃ (D) 850℃	10℃
時間	2H	10H	2H	20M	1H



耐火粉

(セ) セルベン
(タ) タルク
(ケ) 珪砂 (70 メッシュ)

表 3-1 モデリングパートドヴェール焼成実験 内容表



図 3-7 片栗粉からでんぷんのりを制作している様子
(筆者撮影、2017 年)



図 3-8 自作のデンプンのりを用いたモデリングパートドヴェール
(筆者撮影、2017 年、トルコ)

ガラスペーストの配合

ガラスの粒度とでんぷんのりの配合については、第1章でふれたが、ここで補足する事とする。第1章で述べたように、筆者はガラスパウダーを自作しているためガラスの粒度が一定ではない。通常の制作では、ポットミルで12から18時間程度ガラスを粉砕した後に40メッシュのふるいでふるったガラスを全て使用している。その為、40メッシュ以下の粒度の比率は、その都度異なっている。普段使用している粉ガラスのおおよその比率は、100gあたり、40メッシュ以下100メッシュ以上の粉ガラスが、10gから30g、100メッシュ以下の粉ガラスが90gから70gである。

ガラスの粒度ごとにでんぷんのりの量が変わるため、ほとんどの場合計量しないが、粉ガラス100gにでんぷんのりに1割の水を加えたものを30gから45g加える配合が基準となっている。（表3-2）

また、この次の第3節で制作例を挙げているガラスペーストを出力出来る3Dプリンターで使用するガラスペーストは、ノズルがつまるのを防ぐ為に、100メッシュでふるった粉ガラスを用いている。ガラスペーストの配合は、粉ガラス100gに水を1割加えたでんぷんのりを70g加える。

また、今回行った焼成実験では、3種類のガラスパウダーの配合で、どのような違いがあるかを検証している。普段用いている配合に一番近いものは③の配合になるが、粒度の低い粉ガラスを多く用いる事でガラスが発泡すると考えられる事から、粒度の高い配合でも実験を行った。ガラスの粒度が高いと、可塑性も低くなるので、①の配合ではほとんどかたちを作ることは出来ない。②の配合の可塑性も③の配合には劣っていた。今回のテストピースはのし棒で伸ばしたガラスペーストをクッキー型でくり抜くことで成形したので、①の配合でも成形が可能だった。（図3-9）

焼成実験の配合

ガラスの粒度	①	②	③
40-100 メッシュの粉ガラス	100%	50%	25%
100 メッシュ以下の粉ガラス	0%	50%	75%

ガラスペーストの配合	①	②	③
粉ガラス	100g	100g	100g
でんぶんのり	25g	35g	32.5g
水	0g	0g	2.5g

※材料の配合は、でんぶんのりの量を最低限にしつつ、モデリングパートドヴェールで用いるガラスペーストとして成形が可能な範囲で配合する。

普段の配合

ガラスの粒度		ガラスペーストの配合	普段の配合	3D プリント用の配合
40-100 メッシュの粉ガラス	10% - 30%	粉ガラス	100g	100g
100 メッシュ以下の粉ガラス	90% - 70%	でんぶんのり	27g - 40.5g	63g
		水	3g - 4.5g	7g

(表 3-2) ガラスペーストの配合表



(図 3-9) 焼成前のテストピース①の配合

(筆者撮影、2021 年)

耐火粉について

珪砂や珪砂粉は作品を溶着する時に一緒に溶着されるため、作品の表面が荒い質感になる。一度焼成した耐火石膏を粉砕して用いる事も出来るが、耐火石膏にも珪砂粉などが含まれているため表面は少し荒くなることが多い。また、筆者が用いている珪砂は70メッシュの粒度のもので、その他の耐火粉と比較して粒度が高いことから、熔着された珪砂の粒が光を反射する。（図 3-10）珪砂、珪砂粉、粉砕した使用後の耐火石膏を用いる利点としては、ざらついた質感を得られることである。加えて、珪砂は砂状のためセルベンやタルクより脱型が非常に容易で、中空に近い形など脱型が困難な形状に適している。

珪砂はその他の耐火粉に比べ温度の伝わりが速く、焼成温度を30℃から100℃程度低く設定するか、作業温度を保つ時間を少なくする必要があると考えられる。焼成実験の結果でも、そのほかの耐火粉では850℃での焼成で大きく発泡するが、珪砂で埋没したテストピースのみ750℃から発泡している。（図 3-11）今回の焼成実験の様に小型の作品の場合は、作業温度の持続時間が元から長くないため、発泡させないようにするには焼成温度を低く設定する必要がある。セルベンやタルクに関しても同様で、小型の作品の方が発泡しやすい傾向がある。しかし、50cm程度の大型作品では、850℃で焼成しても大きく発泡することはない。

セルベンとタルクの違いは、あまり見られないが、双方珪砂などに比べると作品の表面が滑らかに仕上がる。特にタルクは作品の表面に艶が出るほど滑らかだが、セルベンに比べ成形時の質感は残らず、全体的に熔けた質感に仕上がる。これは、タルクがセルベンに比べ焼成中に作品に合わせて動かないのではないかと考えている。テストピースの角が丸くなっている事から、ガラスが収縮した際に隙間ができる事で滑らかな質感になると推察できる。（図 3-12）



図 3-10 珪砂で埋没焼成した作品の表面
(筆者撮影、2020 年)

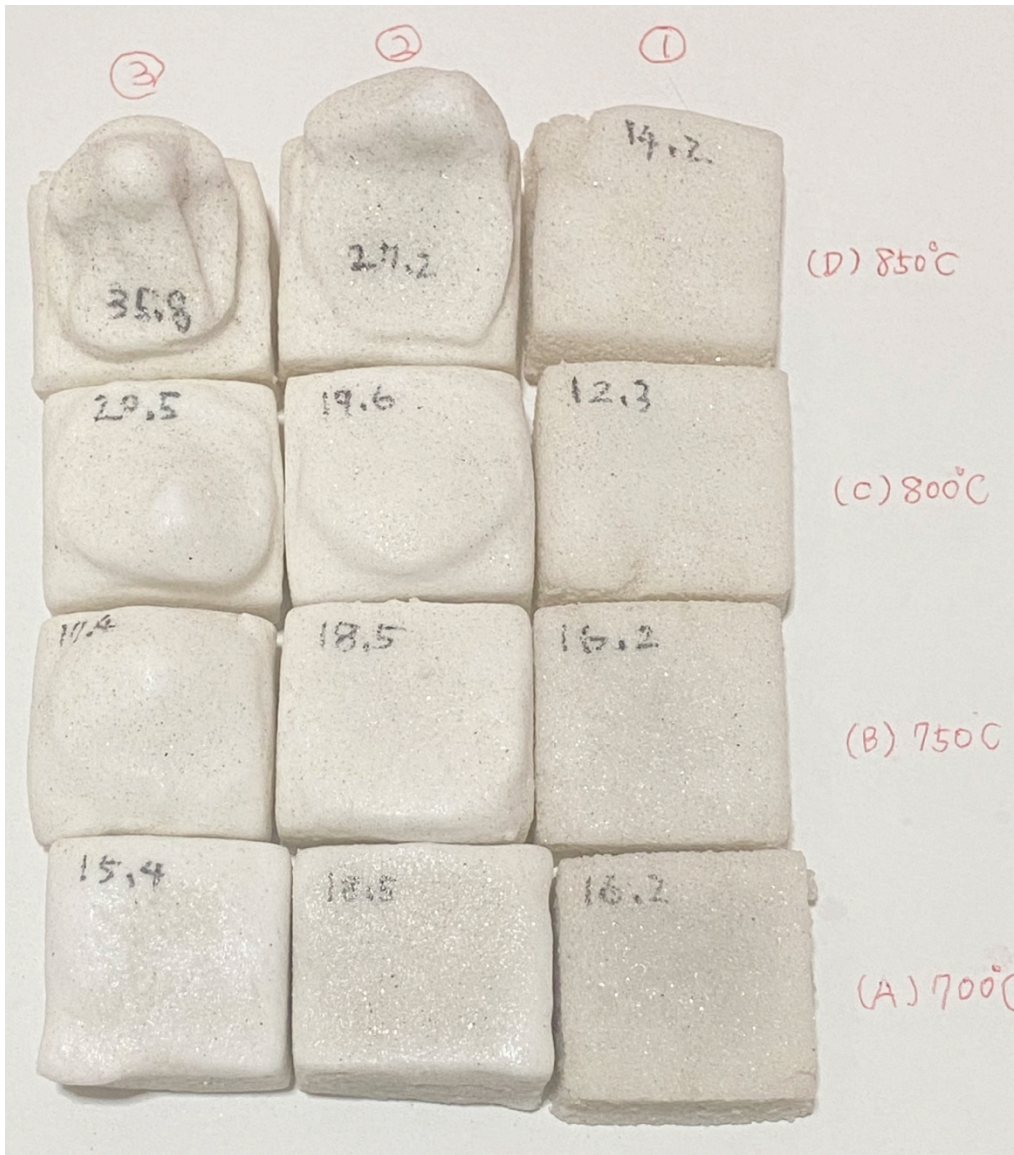


図 3-11 発泡する珪砂のテストピース
(筆者撮影、2021 年)

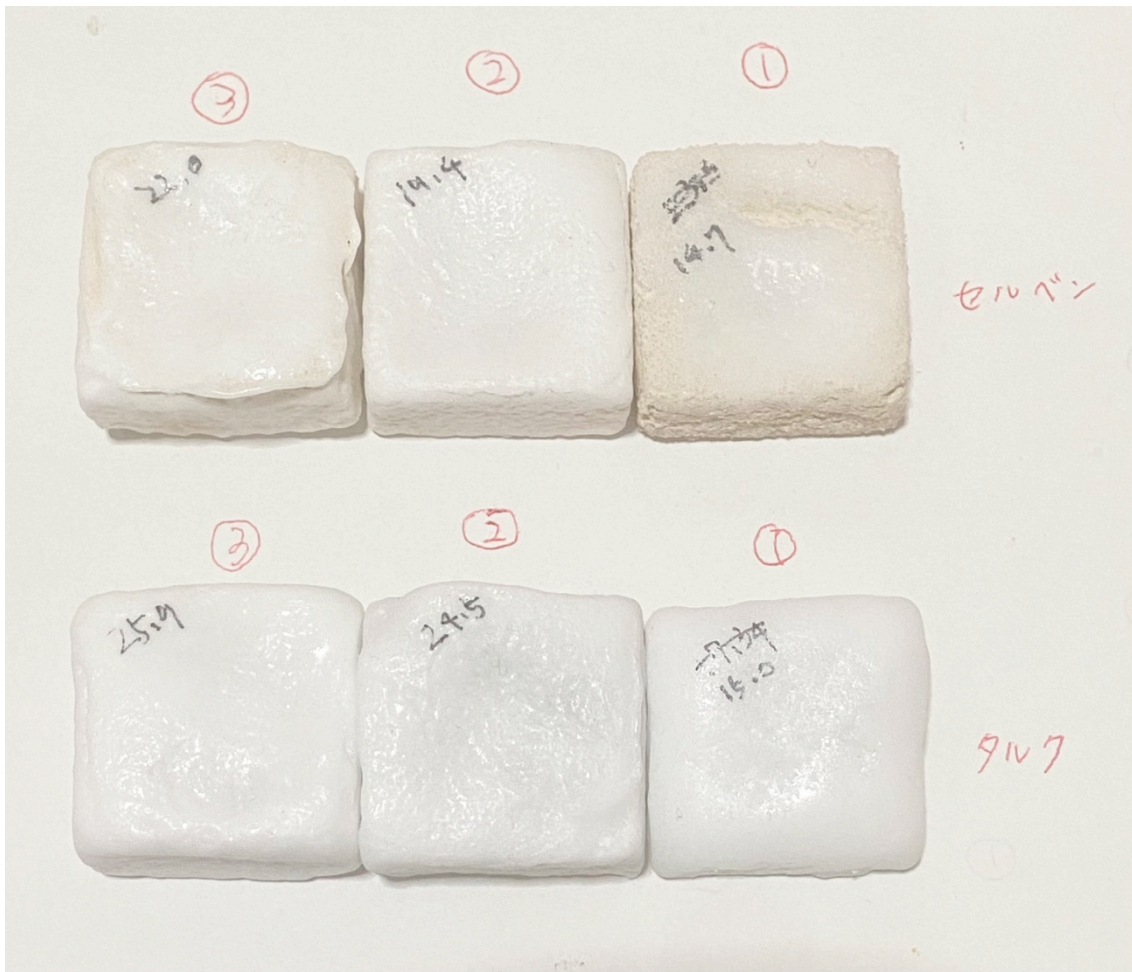


図 3-12 セルベンとタルクの比較
(筆者撮影、2021 年)

焼成方法

焼成方法についても第1章で少し触れたが、ここで捕捉する。焼成プログラムは、作品の大きさによって大きく異なる。その事から、ここでは3つの例をあげ、説明していく。この3つの例で使用しているガラスは、三徳工業のALスキ¹⁶である。今回行った焼成実験も同様のガラスを用いている。

一つ目の焼成例は、ガラス造形技法を複合的に活用した小型の作品である。小型の作品は、850℃で焼成すると、形が崩れるほど発泡する可能性がある為、比較的低温の700℃で焼成している。二つ目の例は中型の作品のため850℃で焼成している。この2つの例は、その他の技法で制作したガラスパーツを組み立てた後に再焼成している。そのため、ガラスパーツが温度変化で割れない程度の速度で、緩やかに温度を上げる必要がある。3つ目の例は「モデリングパートドヴェール」のみで制作した作品の焼成例のため、その他の2つの例よりも早く温度を上げている。（表3-3）

この3つの例に共通するのが580℃から600℃を保つ工程だが、これはでんぷんのりの成分を焼失させるために行なっている。今回の焼成実験の700℃のテストピースでは、若干の炭素の残留が見受けられた。（図3-13）580℃から600℃の温度では完全にでんぷんのりの成分を焼失させる事が出来ないという事がわかった。

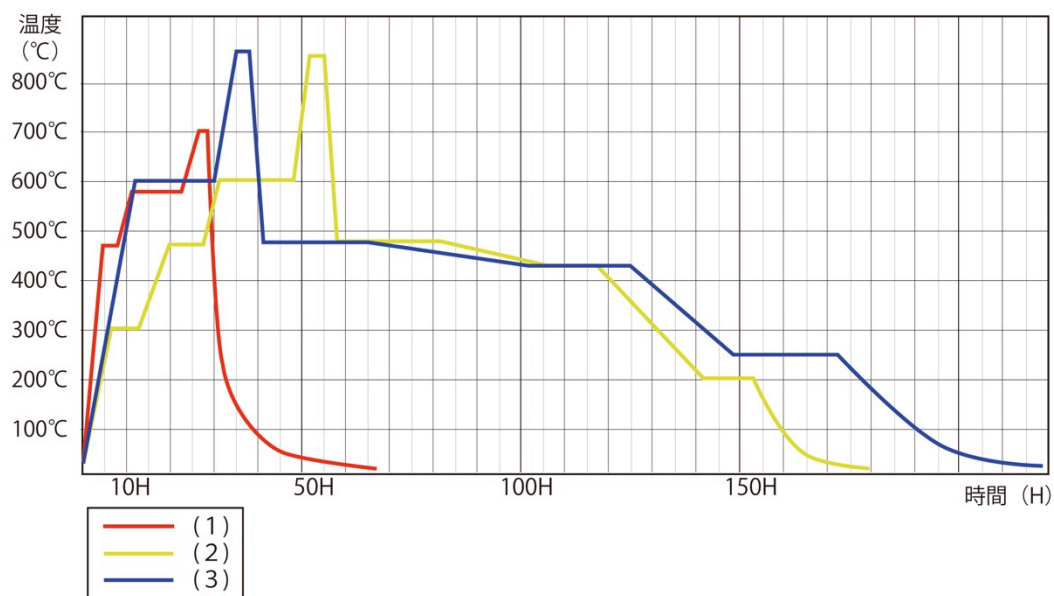
作品が大型になるほど、ガラスペーストや耐火粉の厚みが増すため、全ての工程で温度を長く保つ必要がある。セルベンを用いる場合の徐令は特に、内側と外側の温度差をなくす目的で、一定の温度徐令するごとに、温度を保ち温度差がなくなるように設定している。全ての工程に共通するが、通常のガラス鑄造で行う徐令よりも長く時間をかける必要がある。

上記の例をまとめた(表3-4)が基本となる焼成プログラムである。「モデリングパートドヴェール」の焼成プログラムについては、作品の大きさや形状、厚み、使用した技法などで大きく変化するため、臨機応変に調節する必要がある。そのプログラムを決める基準としている、工程ごとの役割などの説明をこの表で記している。

¹⁶三徳工業株式会社のALスキ：三徳工業株式会社HP内の製品紹介ページ
(<http://www.santoku-kogyo.co.jp/product/index01.html>)

過去の焼成プログラム例

セグメント		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
(1) 小型の作品	温度 (℃)	481℃	481℃	580℃	580℃	700℃	700℃	481℃	481℃	20℃						
	時間 (H)	5H	3H	3H	12H	3H	1H	1H	12H	24H						
(2) 中型の作品	温度 (℃)	300℃	300℃	481℃	481℃	600℃	600℃	850℃	850℃	481℃	481℃	430℃	430℃	200℃	200℃	20℃
	時間 (H)	6H	8H	6H	8H	3H	18H	3H	3H	3H	24H	24H	12H	24H	12H	24H
(3) 大型の作品	温度 (℃)	600℃	600℃	850℃	850℃	481℃	481℃	430℃	430℃	250℃	250℃	20℃				
	時間 (H)	12H	18H	5H	3H	3H	24H	36H	24H	24H	24H	24H				



(1) 小型の作品
H15xW5xD5(cm)



(2) 中型の作品
H40xW40xD20(cm)



(3) 大型の作品
H50xW55xD50(cm)

表 3-3 過去の焼成例の表

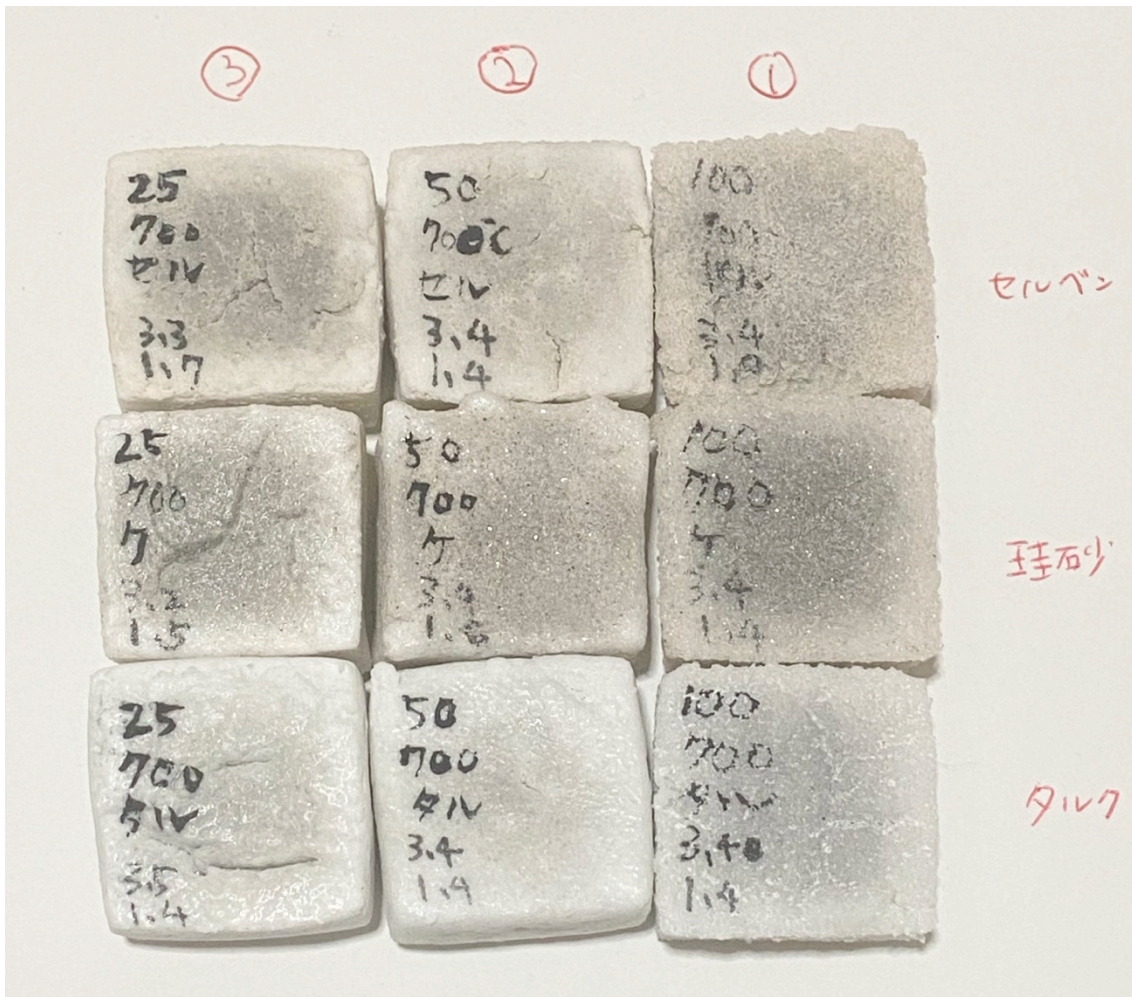
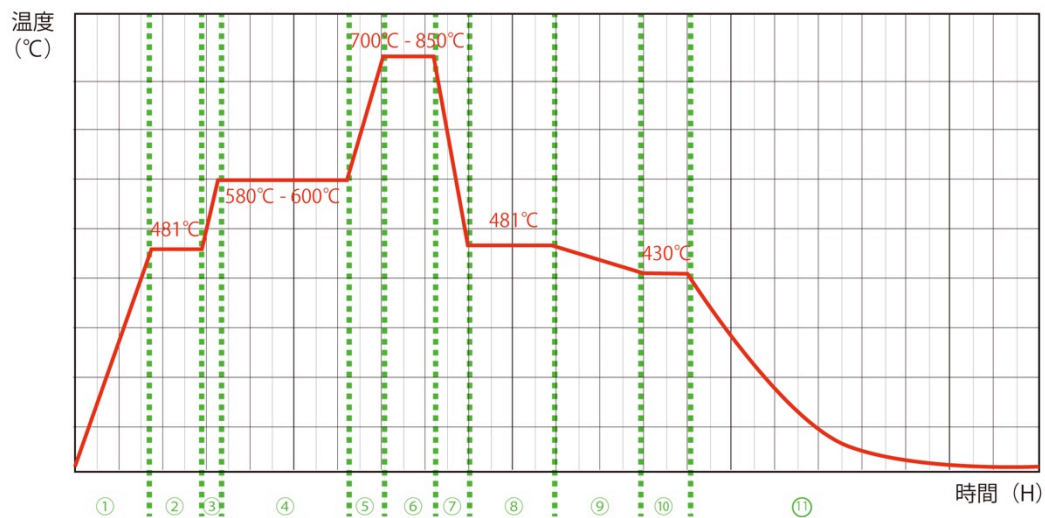


図 3-13 若干の黒化が見られるテストピース（700℃で焼成）
（筆者撮影、2021 年）



各工程の説明

- | | |
|---|---|
| ① ガラスパーツが割れない程度の速度で温度を上げる。 | ⑦ 徐冷温度まで温度を下げる。(筆者は急冷しない) |
| ② 耐火粉全体の温度を均一にする。 | ⑧ 作品や耐火粉の大きさや厚みに合わせた時間温度を保つ。
(通常の徐冷時間よりも長くする必要がある) |
| ③ 全体の温度差が生じない程度の速度で温度を上げる。 | ⑨ 歪点まで温度を下げる。(通常よりも長く) |
| ④ でんぶんのりの成分を焼失させる。(10H - 20H 程度) | ⑩ 耐火粉全体の温度を均一にする。(通常よりも長く) |
| ⑤ 全体の温度差が生じない程度の速度で温度を上げる。 | ⑪ 室温まで徐冷する。
(大型の作品は、途中で温度を均一にする工程を入れる) |
| ⑥ 作品や耐火粉の大きさや厚みに合わせた時間温度を保つ。
(10M - 5H 程度) | |

表 3-4 基本となる焼成プログラム

収集率と発泡

ガラスペーストで成形した作品は、焼成により 1 割程度収縮する。また、収縮したかたちに沿って電気炉内で耐火粉が動くことで、成形したかたちを残しつつ熔けた質感や表情を感じることもできる作品が完成する。

先ほど述べたように、収縮以外にも小型の作品は高温で焼成すると激しく発泡する。（図 3-14）粒度の低い粉ガラスと残留したでんぷんのりが原因で発泡していると考えられているが、吹きガラス技法でピックアップして加熱してみると発泡している様子がよくわかる。（図 3-15）これらの膨張収縮がどのような条件で起こるのかを今回の焼成実験（表 3-1）で明らかにした。

（表 3-5）これが、実験で得たデータをまとめたものである。粒度の低いガラスを用いる事と、高い温度で焼成する事が発泡する条件であると考えていたが、それがこの実験により実証されている。粒度を変えた 3 種類の配合を比較した表では、粒度の低い粉ガラスが多い配合ほど、焼成後の体積が大きい事がわかる。温度別の比較表でも、温度が高いテストピースほど体積が大きい事がわかる。850℃で焼成したテストピースに関しては、発泡する事が予想出来たので、粒度別の表では分けて計測した。予想通り、焼成前よりも体積が大きく、配合②や③の粒度の低い配合は大きく発泡している事がわかる。

これらの実験結果をまとめると、「モデリングパートドヴェール」の焼成は、700℃程度で焼き締め 2 割ほど収縮した後に、750℃、800℃、850℃と温度を上げるにつれ発泡する。普段の制作では用いない、40 メッシュから 100 メッシュの粉ガラスのみの配合①では、発泡する事はなく、温度を上げるにつれて焼き締め体積が小さくなった。



(図 3-14) 発泡したガラスペースト
(筆者撮影、2016年)



(図3-15) 吹きガラス技法でピックアップして溶着した、ガラスペースト
(筆者撮影、2020年)

収縮率表

粒度による比較表 ((A)700℃、(B)750℃、(C)800℃、9 ピースの平均)

	①	②	③	焼成前の体積
焼成後体積の平均	15.0 cm ³	18.2 cm ³	18.6 cm ³	20.8 cm ³
収縮率の平均	28%	12%	11%	※体積は小数点第二位を四捨五入 ※収縮率は小数点第一位を四捨五入

粒度による比較表 ((D)850℃の数値)

	①	②	③	ガラスの粒度	①	②	③
焼成後体積	27.9 cm ³	23.7 cm ³	18.6 cm ³	40-100 メッシュの粉ガラス	100%	50%	25%
収縮率	-34%	-14%	11%	100 メッシュ以下の粉ガラス	0%	50%	75%

※850℃の焼成ではテストピースが大きく発砲したことから全体の平均値に含めなかった。

※体積は小数点第二位を四捨五入

※収縮率は小数点第一位を四捨五入

焼成温度による比較表 (①、②、③、9 ピースの平均)

	(A)700℃	(B)750℃	(C)800℃	(D)850℃	
焼成後体積の平均	16.2 cm ³	17.4 cm ³	18.2 cm ³	22.1 cm ³	
収縮率の平均	22%	16%	12%	-6%	※体積は小数点第二位を四捨五入 ※収縮率は小数点第一位を四捨五入

(表 3-5) 収縮率をまとめた表

第3節 3Dプリント技術

3D プリント技術は、近年様々な分野で急速に取り入れられていおり、芸術の分野でも同様である。ガラス素材は、工芸、建築、彫刻、デザイン、現代アートなど様々な芸術分野で用いられている。その中で手作業を大切にする日本の工芸分野では、積極的に取り込もうとする動きは他分野に比べ少ないと思われる。

しかしながら、ヨーロッパやアメリカなどのガラス分野では、すでに様々な取り組みが行われている。筆者は、3D プリント技術に新たな「かたちづくり」の可能性を感じていたので、2度アメリカのピルチャックガラススクールにて1ヶ月の3Dプリントの集中講義を受けた事がある。そこでは、ガラス鑄造技法の原型制作や、吹きガラス技法での吹き込み型の作成などが様々な3Dプリント技術を用いて行われていた(図3-16)。

筆者は3Dプリント技術を用いることで、手作業では困難な生き物の中の幾何学的なかたちをより緻密に表現出来るのではないかと期待している。また、幾何学的な構造は、顕微鏡の拡大された生き物の世界に多く存在していると感じている。それらを作品制作のなかに組み込む事が出来れば、より幅広い表現につながるのではないかと考えている。

3Dモデリングでは、手作業では制作が困難である幾何学的な形状を制作することができる。美しい三時曲面や、数値に忠実に配置されたオブジェクトは人工的で、生き物のかたちを制作する事と関係ないように思える。しかし、トンボの羽の模様はボロノイ図と類似している様に見え、ヒマワリやロマネスコなどのかたちはフィボナッチ数列が含まれているなど、自然界には多くの幾何学的な構造が含まれている。特に顕微鏡の中の小さな世界では、より幾何学的な構造が見て取れる様に思える。そのような構造を再現したいと考え、3Dプリント技術を学び始めた。

筆者の3Dモデリングの技術は、まだ洗練されているとは言えない段階だが、吹きガラス技法での吹き型の制作や、ガラス鑄造技法で用いる原型作りに活用している。



(図 3-16) ピルチャックグラススクールでの3Dプリント技術を用いた制作
筆者作品 (2017 年)

(図 3-17) は 3D プリントした原型である。これをシリコンで型取りし、ワックス原型に置き換え、吹きガラス技法で吹き型として用いている。(図 3-18) 手作業で出来ないかたちとは現段階では言えないが、このようにシリコン原型を用いて量産する方法との相性が良いと考えている。

ガラス鑄造技法では、第 2 章でも例を挙げた、切頂二十面体の大型作品を制作した。(図 3-19) は、3D モデリングの画面だが、一つの面ごとにガラスパーツを作成し、ダル・ド・ヴェールで接着してつなぎ合わせた作品である。(図 3-20) このようにガラスパーツ同士の接合面の外型を 3D プリントし、内側の形を粘土で成形し、シリコンで型取り、ワックス原型に置き換えている。(図 3-21)

この形は、六角形のガラスパーツが 20 個、五角形のガラスパーツ 12 個合わさる事で、直径 1 メートルほどの球体になる。粘土やワックスで同じかたちの原型を作る事は不可能ではないが、少しでも角度が狂うと正しく組み上がらないことから、角度計算や曲線の均一さですぐれている 3D モデリングでなければ困難であったと考えている。

樹脂を出力する積層型の 3D プリンターを用い、その型そのものを原型として使用する際、原型を焼失させ鑄造する事例がある。そうする事で、脱型の手間を省くことが出来るが、樹脂を加熱した際にガスが発生する問題は対策が必要である。筆者は、出力した 3D プリント物を一度シリコンで型取りし、ワックスに置き換える事でこの問題を解決している。しかしその方法では、原型の精度が若干落ちるなどの問題も生じる。

(図 3-22) は、「モデリングパートドヴェール」で用いるガラスペーストを出力する事ができるガラスの 3D プリンターである。粘土を出力する事が出来る 3D プリンターの方式から着想を得て、「モデリングパートドヴェール」で用いるガラスペーストを出力する事ができないかと考え、「モデリングパートドヴェール」専用の 3D プリンターの制作を依頼した。

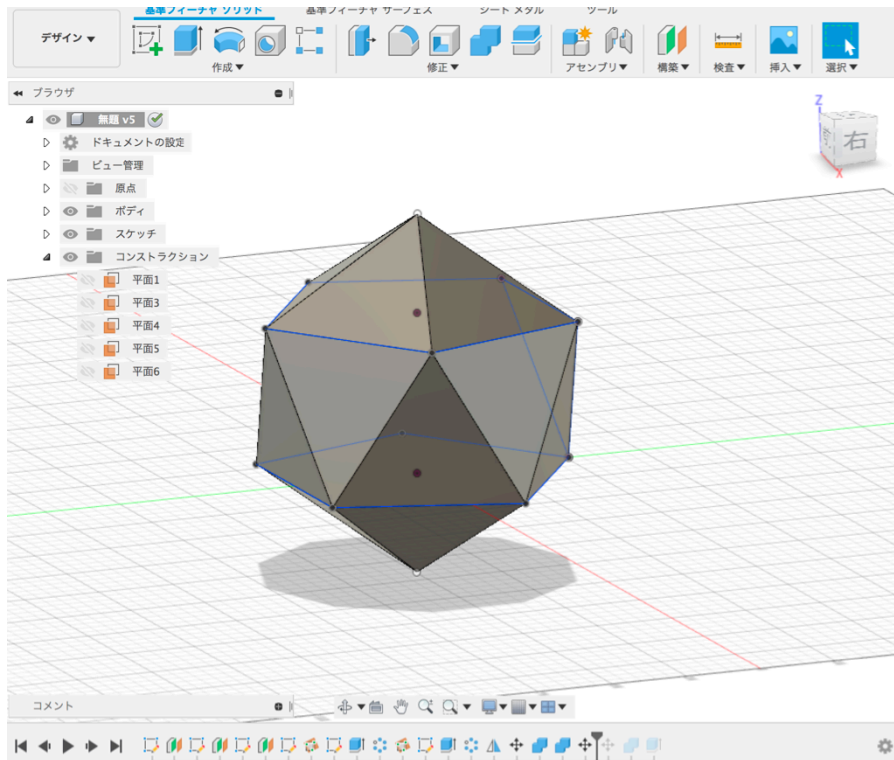
3D プリント用に調節したガラスペーストを空気圧でノズルまで送り、ノズルに内蔵されているスクリーンで流量を調節する。また、出力されたガラスペーストを温風で乾かす事ができ、傾斜のあるかたちもある程度は出力する事ができる。



(図 3-17) 3D プリントした原型
(筆者撮影、2020 年)



(図 3-18) 吹きガラス技法で吹き込んだもの
(筆者撮影、2020 年)



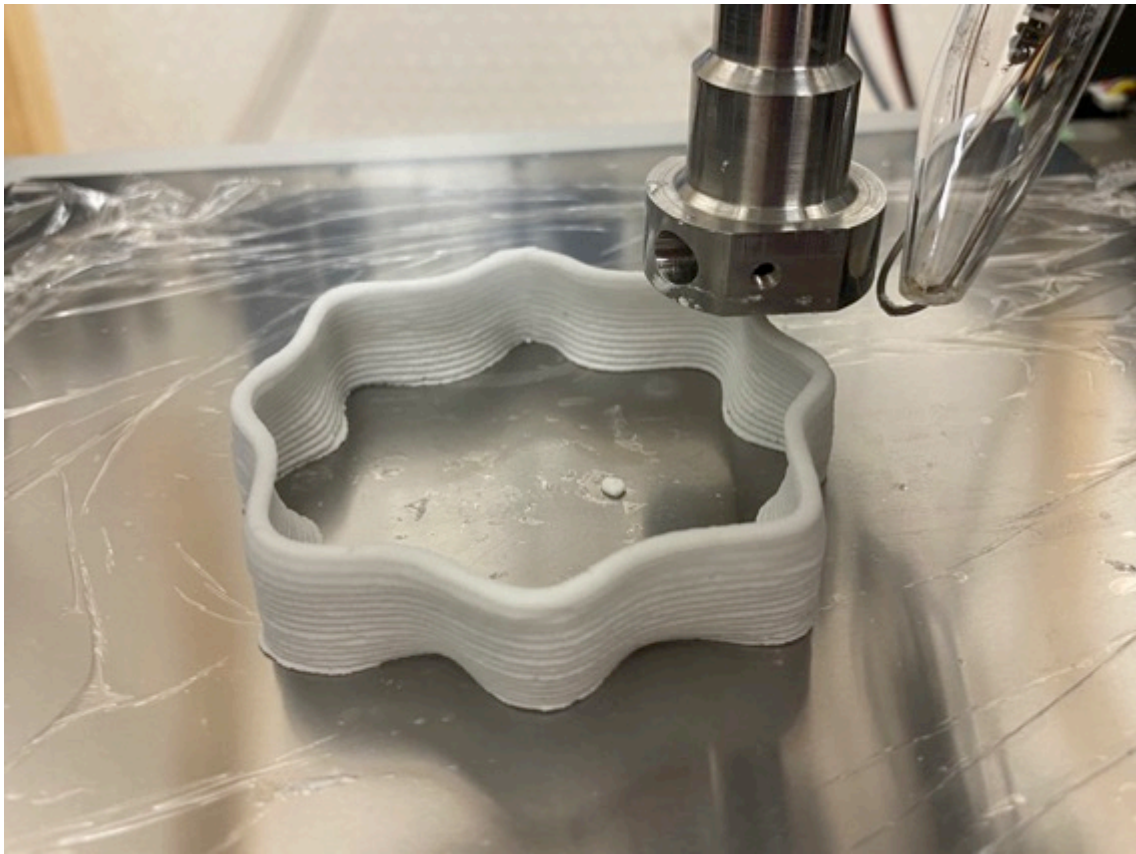
(図 3-19) 3D モデリング
(筆者撮影、2020 年)



(図 3-20) 3D プリントした外枠
(筆者撮影、2020 年)



(図 3-21) ワックス原型
(筆者撮影、2020 年)



(図 3-22) モデリングパートドヴェール用、ガラスの 3D プリンター
(筆者撮影、2019 年)

(図 3-23)、(図 3-24)は、ガラス鑄造技法、バーナーワ、モデリングパートドヴェール、3D プリント技術を用いて制作した作品である。白い花卉の部分ガラスの 3D プリンターを用いて制作した部分である。規則的な形に向いているという事と、手で塑像するより薄いかたちをつくることもできる。

(図 3-25) は、この 3D プリンターで、制作したパーツを組み合わせて制作している。3D プリンターで制作した物としては、かたちの正確さに欠けているが、手捻りでの「モデリングパートドヴェール」で同じ形状の制作は難しい事は確かである。この正確ではない形を含め、表現の手段とするには精密な形の制作も可能にした上でコントロールする必要があると考えている。現状では、複雑なかたちは制作する事が出来ないが、今後の課題としていきたい。

3D プリント技術のガラス鑄造技法への活用は、手作業を超える造形を期待する事は現段階では難しいと言える。しかし、幾何学的なかたちなど、手作業では困難なかたちを、補助的に 3D プリント技術を用いて作り出す事に関しては、有効な部分も有ることがわかった。

また、3D プリント技術を用いるからと言って、必ずしも完璧で機械的なかたちを追求する必要はないと考えている。自然界の中の幾何学構造について述べたが、そのかたちも完全な幾何学構造ではないように、幾何学的な構造と有機的な造形が共存している事に筆者は魅力を感じる。

3D プリント技術を用いた制作も、パソコンの中には完全なかたちが入っているが、それを出力しガラスに置き換える過程で生じる、ガラスの溶けた表情などの不完全なかたちが、筆者の作品制作には適していると考えている。



(図 3-23) モデリングパートドヴェールによる複合的な技法の活用例
(筆者撮影、2020 年)



(図 3-24) モデリングパートドヴェールによる複合的な技法の活用例
(筆者撮影、2020 年)



(図 3-25) ガラスペーストを出力できる 3D プリンターで制作した作品
(筆者撮影、2020 年)

第4節 提出作品について

筆者は、「Microcosmos」と「Fascination with Magnification」の2つの作品を提出している。(図 3-26)

「Fascination with Magnification」は、プランクトンの微化石の走査型電子顕微鏡写真から着想を得て制作したシリーズで、「モデリングパートドヴェール」単一で制作している。この作品シリーズは、筆者の脳内の顕微鏡世界から一つ一つ取り出し、標本を並べたような感覚で展示している。

この中のいくつかの作品については、第1章で言及しているが、(図 3-27)の作品がこのシリーズで最新のものである。作品の構造が複雑で、「モデリングパートドヴェール」の「かたちづくり」の幅広さが最も現れている作品となっている。

(図 1-4)の作品など薄いヒダのような部分は、光が透け、若干の透光性がある事がわかる。この作品は若干の透光性をもちつつ、無色透明なガラスを用いた作品にはない、かたちの力強さや存在感を放っている。それと同時に、ガラスペーストが収縮した、ひび割れが熔けて出来た表情や、薄く壊れてしまいそうな繊細さや儚さも感じさせる。

モチーフである微化石というものは、化石なので生きてはいない。部分的に崩れた様子は儚くもあるが、同時に微化石の複雑で多様なかたちからは、生きていた頃の生命力の痕跡を感じる事ができる。

走査型電子顕微鏡写真は、白黒で可視光線の情報がない画像だが、だからこそ観察出来るかたちがある。透明なものが多いプランクトンの本来は見えないかたちの魅力を透明度の低い「モデリングパートドヴェール」で表現する事で、ガラス素材の知られていない表情の魅力と、特殊な観察方法でのみ見る事が可能な走査型電子顕微鏡の世界の魅力を示す試みである。

「Microcosmos」は、序章で述べた「Traces of Life in the Microcosm」から発展した作品である。「Fascination with magnification」では脳内の顕微鏡世界から一つ一つ標本として取り出したイメージで展示しているが、「Microcosmos」では脳内の顕微鏡世界の空間をトリミングして標本としているという違いがある。実際の微化石の顕微鏡写真で表すなら(図 3-28)と(図 3-29)の違いである。

一つ一つ標本として取り出す試みと、空間をトリミングして標本とする試みの違いは、より筆者の脳内にある混沌とした顕微鏡世界に近い世界観を表現しているという事にある。その混沌とした脳内の世界から選ばれた個体が「Fascination with magnification」

のように単体で展示している作品になるという関係性である。

「Fascination with Magnification」は「モデリングパートドヴェール」と走査型電子顕微鏡の世界の魅力を表現した作品であるが、「Microcosmos」は「モデリングパートドヴェール」を用いたガラス造形技法の複合的な活用と光学顕微鏡と走査型電子顕微鏡の世界の魅力を表現を試みた作品である。

つまり、ガラス素材はガラス造形技法により多様な表情や質感を表現出来るが、その表情の幅広さを生かして、2つの顕微鏡世界の魅力の融合を試みているという事である。

本研究を進める事で、以前は制作が困難であった形状も制作する事が可能になった。複雑で多様なプランクトンの姿をこれまで研究した、多くの技法や手法を活用し表現した、集大成と言える作品となった。



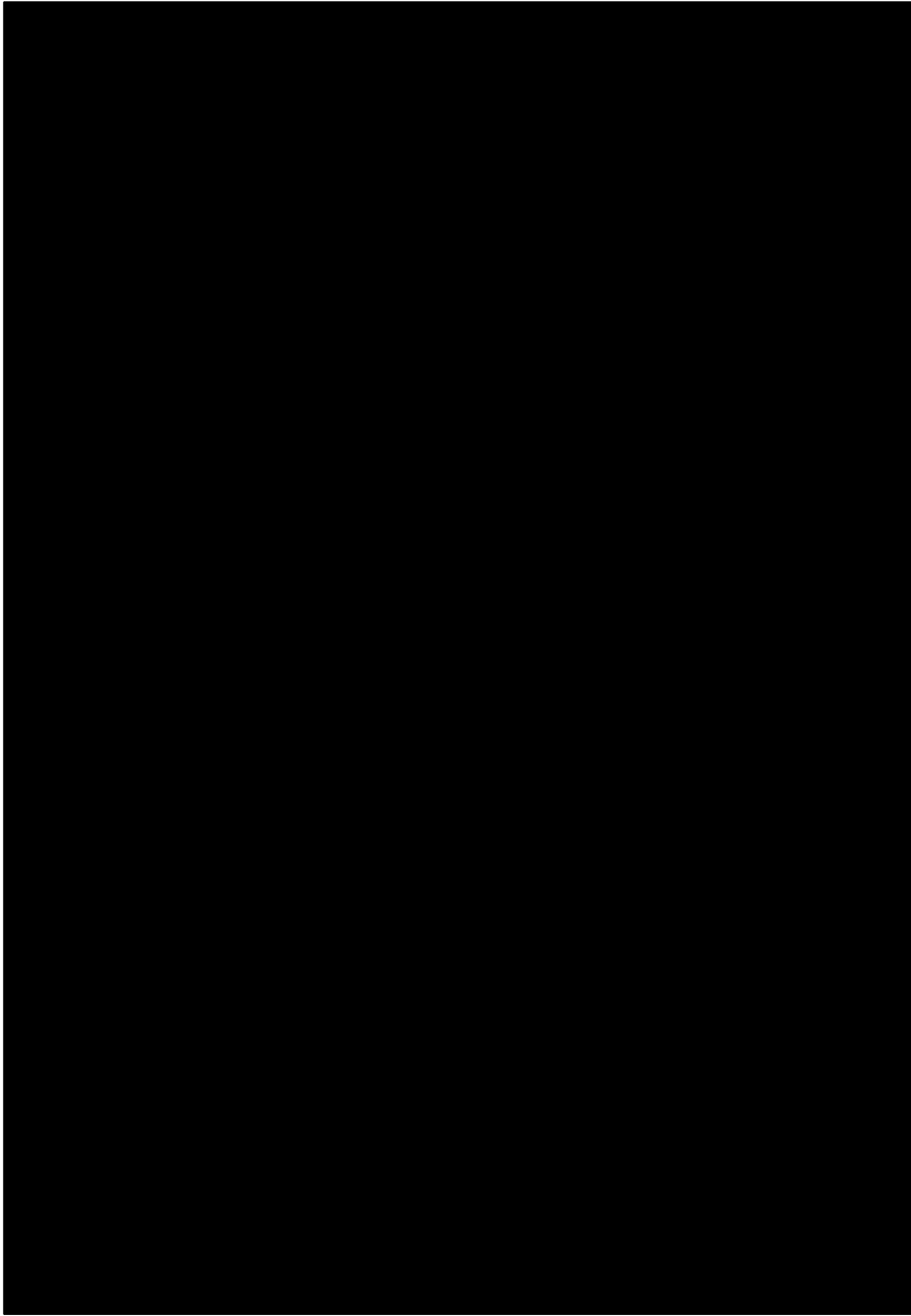
(図 3-26) 後期博士課程提出作品写真

提出作品 〈Microcosmos〉 2020 年 (手前)

提出作品 〈Fascination with Magnification〉 2020 年 (奥)



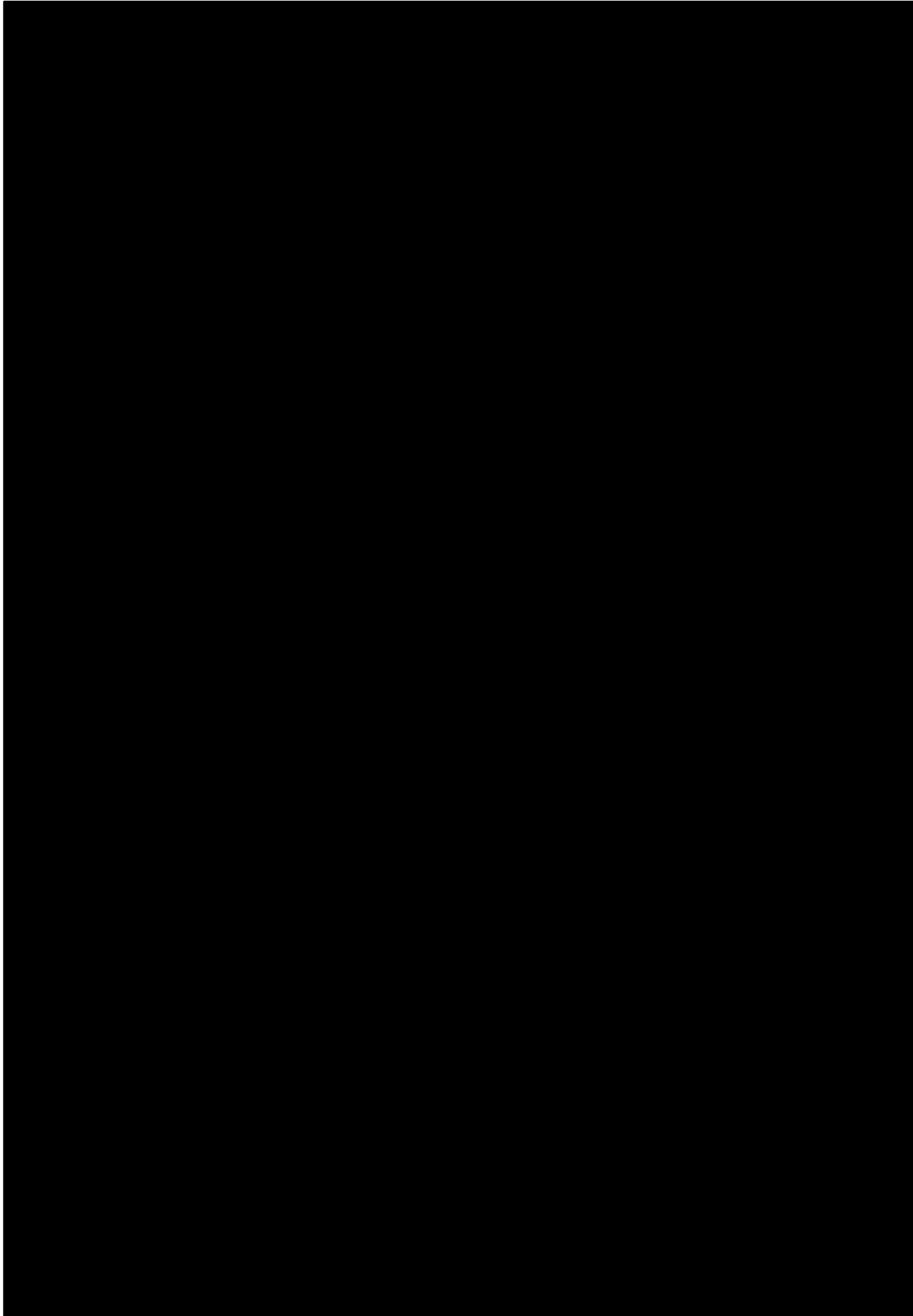
(図3-27) モデリングパートドヴェールで制作した作品
筆者作品 〈Fascination with magnification〉 2020 年



(図 3-28) 分類される前の微化石の電子顕微鏡写真

画像引用元

谷村好洋・辻彰洋『微化石 顕微鏡で見るプランクトン化石の世界』p. 41
海洋大学出版会、2012年



(図 3-29) 1 つ 1 つ取り出した微化石の電子顕微鏡写真

画像引用元

谷村好洋・辻彰洋『微化石 顕微鏡で見るプランクトン化石の世界』p. 153
海洋大学出版会、2012年

本論文のタイトルである、「技法研究から生まれる生き物のかたち」とは、多くの技法研究の過程で得た経験や、ガラスの表情などの蓄積から、発展する筆者の中の生き物のかたちの事を示している。素材と技法とのやりとりの中で発展する生き物の魅力的な印象を標本として保存し、その過程を繰り返す事で筆者の中の生き物のかたちは流転していく。脳内で移り変わる生き物の姿は筆者の分身のようなものと捉えている。それらのかたちを標本として保存する事で、自身の痕跡を形あるものとして残していきたいと考えている。

「かたちづくり」の中で一番大切にしている事は、自身の感覚と経験を直感的に作品に落とし込む事である。その事から、筆者はスケッチやマケット作りを行わず、作品と向き合った時の新鮮味を大切にしている。

しかし、スケッチやマケットの重要性も大きく、様々な理由で失敗する事も多くある。そのため、筆者は人一倍手を動かし素材や技法を研究し、自身に経験を蓄積する事を心掛けてきた。その結果、より自由で感覚的に造形する事が近年可能になってきた。

本文中に何度も述べてきたが、ガラス造形技法は技法的な制約が多く、「かたちづくり」が不自由な素材であると考えている。その一方で、多様な表情を持ち魅力的な素材であると、心から思う。

そのことから、本論文の研究は筆者にとって、とても重要で有意義なものである。技法間の隔たりがなくなり、「かたちづくり」の幅が広がった事に加え、「モデリングパートドヴェール」という技法は、直接造形したものが作品となるという特徴から、筆者の作品制作で大切にしている感覚的に造形する事にとても適した技法であると考えているからである。

これまでの制作をまとめる中で感じた事があった。近年の作品モチーフとして、顕微鏡の中の世界を参考にしているが、顕微鏡世界から着想を得ているからと言って、顕微鏡の世界として表現する必然性は無いという事である。

この考えは今までの制作を否定する事ではなく、「Microcosmos」の制作で、より脳内のイメージに寄り添ったことで生じた感覚がきっかけとなっている。今後も、顕微鏡の中の生き物の造形に魅力を感じている事は素直に受け入れつつ、それらの興味深い造形をこれまで以上に自身の中で消化する事で、さらに自身の感覚に従い表現する事が出来るのではないかと考えている。

今後の展開として、これまでの研究で「かたちづくり」の自由度の高いガラス造形技法を見出す事が出来たので、作品モチーフに関しても視野を広げたいと思っている。顕微鏡の世界に限らず、幅広い視点で生き物を観察する事で自身に取り込み、筆者自身の生き物の世界を深めていきたいと考えている。

終章

生き物は顕微鏡の種類を変えるなど、観察方法が異なれば全く違う表情を見せる。また、ガラス素材も表現技法が異なれば全く違う表情を見せる。筆者は、ガラス造形技法を複合的に用いる事により、多様な側面を持つ生き物の姿を1つの作品の中に表現しようと試みた。

これまで述べてきたように、筆者の作品制作において、作品モチーフとガラス素材、そしてガラス造形技法は密接な関係にあり、それらに関する経験が互いに働きかけ合い作品のアイデアが生まれる。

本論文では、技法についての研究を中心に述べた。その中で、なぜこのような研究を行う必要性があったのか、という技法研究の目的が、筆者の作品制作での生き物のかたちづくりに深く関わっていた。技法研究の過程で明らかになることも多く、熱を用いるガラス造形技法で制作した作品から感じ取る事ができるガラス素材の「生き物のような印象」、モチーフとしての生き物の捉え方など、自身の作品制作について理解が深まったと考えている。

複数のガラス造形技法を用いて一つの作品を制作する利点としては、それぞれの技法特有の魅力や表情を一つの作品に落とし込む事ができる点にある。加えて、それぞれの技法が持つ「かたちづくり」の欠点を補う事を期待出来る。

筆者が独自に研究を進めている「モデリングパートドヴェール」によるガラス造形技法の複合的な活用に関する研究は、本論文を通して一定の成果を示す事が出来たと考えている。

また、3D プリント技術の「モデリングパートドヴェール」や吹きガラス技法、ガラス鑄造技法への活用は、手作業を超える造形を期待する事は現段階では難しいと言える。しかし、幾何学的なかたちなど手作業では困難なかたちを、補助的に3D プリント技術を用いて作り出す事に関しては、有効な部分も有ることがわかった。

今回の研究は一定の成果を上げる事が出来たと考えられるが、筆者の作品制作での利便性を第一に考えている為、作品の透明度などの理由で、一般化するには魅力的でない部分もあると考えられる。

また、「モデリングパートドヴェール」の黒化や黄化現象が起こる条件を数値化する事や、大型作品を埋没焼成するための耐火粉の種類ごとにある徐冷工程の違いなどの合理的な焼成プログラムなど、正確な数値を導き出せていない事も多く、それらの事柄は今後の課題としたいと考えている。

本論文では、かたち作りの制限が多く自由にかたち作りをする事が難しいガラス素材での作品制作の中で、単一の素材による表現の可能性を探る試みであった。今後は、3Dプリント技術の活用や、異素材を支柱やつなぎに用いる事で、より複雑なかたちや、より大きな規模の作品を制作する方法についても研究の範囲を広げていきたいと考えている。

ガラス造形技法の「かたちづくり」の自由度を追求した本研究は、筆者以外のガラス素材を扱うガラス作家にとっても、有意義な論考になったと考えられる。

参考文献

【日本語参考文献】

- ・ 安達一男 『電子顕微鏡でみる いのちの風景』 考古堂書店、1993年
- ・ 奥野美果 『キルンワーク 電気炉を使った手作りガラス工房』 ぽるぷ出版、2008
- ・ 谷村好洋・辻彰洋 『微化石 顕微鏡で見るプランクトン化石の世界』 海洋大学出版会、2012年
- ・ 東京ガラス工芸研究所 『吹きガラステクニスト』 東京ガラス工芸研究所、2002年
- ・ 松村潔 『バーナーワーク 酸素バーナーを使った耐熱ガラス工房』 ぽるぷ出版、2007年
- ・ 毛利衛 『宇宙から学ぶユニバソロジーのすすめ』 岩波書店、2011年
- ・ 山路勇 『日本海洋プランクトン図鑑』 保育社、1966年
- ・ 『15日本のガラス展実行委員会』『15日本のガラス展図録』 日本ガラス工芸協会、2015年
- ・ 中山公男 『世界ガラス工芸歴』 美術出版社、2000年
- ・ 『とめどないエネルギー ガラスをめぐる探求と表現 展覧会図録』 富山ガラス美術館、2017年
- ・ 『平成25年度東京藝術大学卒業・修了作品集』 東京藝術大学美術学部、2014年

【欧米語参考文献】

- ・ Christian Sardet, PLANCTON Aux origines du vivant (『美しいプランクトンの世界 生命の起源と進化をめぐる』 吉田春美訳・栗津智子翻訳協力・広海十郎日本語版監修、河出書房新社、2014年)
- ・ Claire Warnier, Dries Verbruggen, Sven Ehmann, Robert Klanten, PRINTING THINGS: Visions and Essentials for 3D Printing, Gestalten, 2014
- ・ Drew Harvell, A Sea of Glass: Searching for the Blaschkas' Fragile Legacy in an Ocean at Risk, University of California Press, 2016

- Wolfgang Stuppy, Rob Kessler, Madeline Harley, The Bizarre and Incredible World of Plants (『植物の奇妙な生活 電子顕微鏡で探る驚異の生存戦略』 奥山雄大・武井摩利訳、創元社、2014年)

【東京藝術大学後期博士課程学位論文】

- 多田えり佳 『時を編む：パート・ド・ヴェールの融合』 2012年
- 地村洋平 『熱による造形：固から溶・溶から固へ、ガラスと金属を通して』 2015年
- 朴民珠 『パターンの繰り返しによる無限構築：コンピュータを活用した彫刻制作』 2018年

【論文・雑誌掲載資料】

- 池田晶一 『工芸領域におけるIT技術活用の可能性』 金沢工芸美術大学紀要 2018年
- 池田晶一 『陶芸（工芸）におけるIT技術活用の可能性』 金沢工芸美術大学紀要 2016年
- 山岡潤一 『デジタルツールで手仕事を促進する Augmented Craftの研究』 慶應義塾大学博士論文、 2015年

【オンライン参考文献】

- 『三徳工業株式会社HP製品紹介ページ』
参照：<http://www.santoku-kogyo.co.jp/product/index01.html> (2020年12月10日)
- 土井朋子 『atelier-tomo 土井朋子のブログ』
参照：<https://doitomo.exblog.jp/30723757/> (2020年8月23日)
- 『武蔵野美術大学工芸工業デザイン学科 教員紹介』
参照：<http://koude.musabi.ac.jp/faculty/近岡-令/> (2020年8月23日)
- 『日本ガラス工芸協会 会員紹介』
参照：https://www.jgaa.net/about/members/81fujiwara_n.html (2020年8月23日)
- 『Ercole Moretti』
参照：<https://www.ercolemoretti.it/ja/> (2020年8月23日)
- 『hellergallery』
参照：<https://www.hellergallery.com/martin-janecky> (2020年8月23日)

- ・ 『富山市ガラス美術館 展覧会情報』

参照：<https://toyama-glass-art-museum.jp/exhibition/exhibition-2782/>

(2020年8月23日)

- ・ 『富山市ガラス美術館 展覧会情報』

参照：<https://toyama-glass-art-museum.jp/exhibition/exhibition-847/>

(2020年8月23日)

- ・ 『富山市ガラス美術館 収蔵作品』

参照：

[https://toyama-glass-art-museum.jp/collection_search/index.php?app=shiryo
&mode=detail&list_id=125665&data_id=259](https://toyama-glass-art-museum.jp/collection_search/index.php?app=shiryo&mode=detail&list_id=125665&data_id=259) (2020年8月23日)