

氏 名	すだ まさみち 須田 真通
学位(専攻分野)	博 士 (学 術)
学 位 記 番 号	博 甲 第 8 8 4 号
学位授与の日付	平成 30 年 3 月 26 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研 究 科 ・ 専 攻	工芸科学研究科 先端ファイブ科学専攻
学 位 論 文 題 目	石英ガラスの火加工における要素技術の解明および教育手法に関する研究
審 査 委 員	(主査)教授 桑原教彰 教授 芳田哲也 准教授 来田宣幸 大阪産業大学 デザイン工学部情報システム学科 教授 後藤彰彦

論文内容の要旨

ガラスの歴史は紀元前に遡り、透明性、高耐久性、加熱による成形の自由性などを持つ無機物として、装飾品や食器など幅広い用途に利用されてきた。一方、石英ガラスは他に類を見ない高純度の SiO_2 で構成され高い耐熱性や耐薬品性を持つため加工が難しく、1900 年代に特殊ランプや理化学実験器具などの新しいニーズに向けて開発された新しいガラスである。現代では低熱膨張で寸法安定性が高く、耐熱衝撃性にも優れ、紫外線から赤外線まで幅広い波長で高い透過性を持つことから、理化学実験器具、科学計測装置部品、半導体製造用の高精度部材、照明器具や高性能レンズ、光ファイバーなど、科学技術の根幹を支える最先端素材として利用が拡大している。

石英ガラス開発当初、製鉄用の高炉で起こったガラス化現象を開発のきっかけとしたことから、製造および加工には高温が求められる。石英ガラスの用途は少量多品種で特殊な形状を歪みなく高精度に加工する技術が求められるため、高温の酸水素炎中での火加工と呼ばれる熟練された手作業が不可欠である。石英ガラス製品は日常生活にも深く関っており、半導体、情報科学、医療やバイオ、エネルギーから宇宙開発まで未来社会においても継続的な発展が期待されているため、石英ガラスの火加工の高度な技術を持つ人材の継続的な育成は極めて重要な課題である。しかし、火加工技術は初心者や非熟練者にとって非常に難度の高い技術であり、また特殊分野のため熟練者の技術についての研究は皆無に等しい。また技術伝承も古くからの徒弟制度に依存し習得期間が長期化しているのが現状である。

本研究では、火加工技術の中でも難度の高い 3 つの要素技術を取り上げ、それぞれについて熟練者の持つノウハウを解明すること、およびこの成果を元に初心者や非熟練者にとって早期に習得でき、意欲的に学習することが可能な新たな教育手法を開発、提案することを目的としている。

本論文の構成は、第 1 章を序論、第 7 章を結論とし、第 2 章から第 4 章では 3 つの要素技術のノウハウの解明を論じ、一連の成果を技術伝承と熟達に役立てるため第 5 章および第 6 章では新たな教育手法の開発、提案について論じた。

第 1 章では、石英ガラスの歴史と研究背景、素材定義と加工工程を記述し、本論文が石英ガラスの火加工技術のノウハウの解明と教育に関する初の成果であることを示した。

第 2 章では、石英ガラス管の曲げ加工に着目し、管断面が真円を保ちながら均一な肉厚に仕上

げる技の解明を目指した。工程分析には VTR 映像を用いて熟練者目線での作業解析を行った。その後映像を見ながら熟練者にインタビューを行い、熟練者の加熱方法と着目点、曲げ加工時期の見極めを解明した。熟練者は管の外径と連続曲率を作りだすために広く加熱範囲を設定し、回転加熱中は加熱部分と非加熱部分の境界部に着目しており、外径の収縮が起きた時点で曲げ動作に移行していることが明らかとなった。さらに、曲げ動作は変形が確認しやすい角度に管を保持しながら行うことも重要な技法であると確認された。曲げ加工のノウハウは、これらの見極めと技術によって、真円に近く均一な肉厚を保った曲げ加工を実現していることが明らかとなった。

第 3 章では、接合加工に着目し、同径の石英ガラス管を相互に熔融圧接し一体化する熟練者のノウハウの解明を目指した。接合部には、均一な肉厚で歪みや接合跡が残らない仕上がりが求められる。工程分析を VTR 映像解析により行った結果、熟練者は接合部より幅広い範囲を加熱し軟化させることで接合時にかかる応力を分散させ均一化しているのに対し、非熟練者では接合部中央が肉厚で周辺に肉薄部分があることが判明した。さらに、熟練者の製品は接合前より全長がやや短くなることから、接合時には圧縮応力をかけているものと推測された。曲げ試験機による評価でも熟練者の接合部の強度が優れていることが示され、接合加工のノウハウは、加熱範囲を広く設定して軟化部分に均一に圧縮応力を加える技にあることが判明した。

第 4 章では焼き仕上げ加工に着目し、スリ状態の石英ガラス板の表面をハンドバーナーで熔融させ、変形やムラを発生させずに表面平滑性と透明性を向上させる技の解明を目指した。VTR 映像解析による工程分析と熟練者へのインタビューによって、バーナーの蛇行移動の走査と速度が主要因と判明し、また偏光板による残留歪解析と、接触式三次元測定装置による平面度測定結果からも熟練者の技が優れるとの評価を得た。焼き仕上げ加工のノウハウは、ハンドバーナーの火力に応じた走査と速度の制御にあると判明した。

第 5 章では、火加工における初心者の課題抽出を目指した。初心者を含む加工者 7 名に熟練者と非熟練者の曲げ加工映像を視聴させ、VAS 方式のアンケートを行い、結果をクラスター分析した。その結果、加熱範囲と曲げ動作が一つのクラスター、すなわち着目点として抽出された。これは 2 章で抽出された熟練者のノウハウと一致する結果となり、初心者を含めた加工者全体の課題であることが明らかになった。また熟練者映像の評価において初心者と熟練者の評価に差異が認められ、熟練者ほど加工者の微妙な姿勢の変化に気付いており、初心者との評価の差異が明らかとなった。

第 6 章では、第 2 章から第 4 章で得られた技の解明結果と、第 5 章によって得られた知見を用いて、初心者にとって効果的な新しい教育手法の開発と提案を目指した。初心者の曲げ加工の反復自己練習の際に、撮影された自分の技の VTR 映像を自己分析したコメントを記録し課題把握させた後、熟練者のノウハウを与えた場合の前後で効果を検証した。その結果、自己練習で停滞した時期に熟練者の明確な基準を与えることで、曲げ動作姿勢と製品形状に明らかな改善が認められた。本教育手法は、教育効果が高いばかりでなく、コメントの変化によって個性に応じた成長を気付くことができ、初心者のモチベーションの向上にも効果があるという成果が得られた。

第 7 章は結言である。

論文審査の結果の要旨

本論文は石英ガラスの火加工という特殊な加工技術についての解明とその伝承に関する課題を解決する新たな教育手法を開発・提案している。

申請者はまず、火加工の基礎的技術である曲げ加工、接合加工、焼き仕上げ加工に着目し、それぞれの技の解明において工程分析と製品評価、映像を用いた熟練者インタビューを通じてそれぞれの熟練者が持つ技に隠されたノウハウを明らかにしており、これらは本研究を通じて初めて明らかになった項目であった。さらに、これらの熟練者のノウハウをベースとして新たな教育手法を開発するため、VAS アンケートを用いて言語化されていない初心者の課題抽出を行っており、項目別クラスター分析の結果、加熱と曲げ動作についての着目が見られ、初心者を含む加工者全体にとって加熱と曲げ動作のタイミングが重要課題であることが明らかとされた。これは 2 章で実施した熟練者のノウハウ項目が再び抽出された結果となり、改めて熟練者のノウハウの重要性を再認識する結果となった。5 章は初心者の課題に着目したことで 6 章の教育方法の開発のベースに繋がっており、6 章では試行錯誤の後に熟練者のノウハウを開示することで気付きを得るようデザインされた自己学習プログラムを開発しており、映像視聴とコメント記述によって自己振り返りおよび外部指導者の教育効果の把握が可能という側面も発見された。結果として製品品質の向上と作業時間の短縮に一定効果があることが証明された。この学習プログラムは石英ガラスの火加工の伝承にとどまらず、様々な技の伝承にとって効果がある可能性があり、今後の発展が期待される。

本論文の内容は次の 2 報に報告されている。

1. 石英ガラスの火加工における加工者の感性評価

須田真通

日本ガラス工芸学会学会誌「GLASS」, 61 号, pp.55-62, 2017

2. Development of Self-Learning Program for the Bending Process of Quartz Glass

Masamichi Suda, Akio Hattori, Akihiko Goto, Noriaki Kuwahara, Hiroyuki Hamada

International Journal of Advanced Computer Science and Applications,

Vol. 8, No. 11, pp.405-410, 2017

以上の結果より、本論文の内容は十分な新規性と独創性、さらに社会的に大きな価値があり、博士論文として優秀であると審査員全員が認めた。