

氏名	すぎもと たくや 杉本 卓也
学位(専攻分野)	博士(学術)
学位記番号	博甲第764号
学位授与の日付	平成27年9月24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	金属組織試料の研磨技能における暗黙知の抽出および獲得に関する基礎的研究
審査委員	(主査)教授 濱田泰以 教授 西村寛之 准教授 桑原教彰 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

鋼に炭素を拡散させる浸炭熱処理は、金属部品になくてはならない表面硬化法で、部品表面の疲労強度や耐摩耗性向上のために使用される。浸炭された部品は、自動車の変速機や航空機の主翼構成部品など輸送用機械の重要部位に使用される。このような浸炭熱処理の良否は外観では判断できず、組織判定により品質評価される。浸炭熱処理された金属部品の評価は、試料の切断、包埋、研磨を経て作製された試料を用い、顕微鏡により表面近傍の断面組織を評価する。金属組織試料の作製方法はASTM E3規格等により定められている。しかしながら、顕微鏡評価に耐えうる平坦・平滑な研磨面を有する試料に研磨するためには、技術者の長年の経験が必要となる。特に品質評価に必要な樹脂との境界面において、試料の淵ダレが生じると顕微鏡評価において焦点距離が合わず正しい品質評価が不可能となる。試料の淵ダレの原因として、樹脂の硬度が浸炭硬化された金属表面部よりも極端に低く磨耗しやすいことが挙げられる。

本研究では金属組織試料の研磨技能における暗黙知に焦点を当て、工学的手法を用いて、その抽出および獲得を意図した基礎的検討を展開している。それらの検討結果に基づいた研磨技能を教育マニュアルに追記することが目的とされている。本論文は全7章で構成される。

第一章では、本研究の目的として、金属組織試料の研磨技能を対象とした暗黙知を抽出および獲得して次世代のものづくり技能者の効果的な育成に資することと定めている。そこで、本研究の方法として熟練者と非熟練者の所作を様々な観点から比較することにより、熟練者の暗黙知が獲得されるという考え方を提示している。

第二章では、本研究の技術的基盤と先行研究の調査結果を考察し、本研究の社会的および学術的な位置付けと意義を明らかにしている。

第三章では、半自動研磨機および手研磨機の各研磨工程における被験者の相違について分析し、熟練者の研磨技能が優れた顕鏡面にどのように寄与しているのか明らかにしている。その結果、熟練者は経験から得た技量に基づき研磨工程を調整している。また、熟練者は経験から得た感覚的な状況判断を行い手技に優れ、研磨工程を下支えしていることを示している。

第四章では、手研磨中における熟練者の体の使い方と把持方法が優れた顕鏡面にどのように寄与しているか、ビデオ撮影・筋電分析・把持力分析により明らかにしている。その結果、熟練者は体幹を直立に保持し、手関節は掌屈位、手内在筋優位の肢位という持久筋を働かせた肢位により、状況に応じて細かな調整を加えながら試料を押し付けていることを明らかにした。また、平常時と最大試行時の差が大きく、研磨圧力に対する調整能力が高いことを明らかにした。

第五章では、研磨作業における被験者の眼球運動と研磨音の識別能力を定量的に比較している。その結果、熟練者の視線は研磨圧力調整の際、回転盤と圧力調整ハンドルに交互に位置していた。研磨面観察の際、熟練者の視線は、焦点距離を離れた状態で研磨面全体を俯瞰し、研磨傷の分布を確認していた。また、熟練者の視線は、視線移動速度が遅く、注視時間が長くなることを明らかにした。研磨音の識別能力は熟練者の方が高く、聴覚から得られる情報の認識について敏感か

つ的確になっていることを明らかにしている。

第六章では、熟練者と非熟練者の研磨の各段階における研磨面を比較し、品質と技能の関係を分析している。分析方法として、研磨粒度ごとの研磨面品質を光学顕微鏡・SEM・微細形状測定装置・マイクロビッカース硬度計を用い、研磨粒度ごとの研磨面品質を定量的に比較および検討している。その結果、熟練者による研磨は前の番手の傷を消すことだけでなく、研磨面全体に均一な傷をつけることを目標にしていた。その際、研磨開始直後は研磨圧力を低く、研磨紙の消耗度に合わせて研磨圧力を徐々に上げることが、平坦・平滑な研磨面を得るために有効であることを明らかにした。

第七章では本研究の全体を総括し、今後の展望について述べた。

論文審査の結果の要旨

本論文では、匠の技に依存している金属組織試料作製における研磨作業に着目し、熟練者の研磨技能に内在する暗黙知を形式知化することで、ASTM に記述されない身体的な感覚と技に関わる要因を見出し、独自のマニュアル作成を目的としている。工程分析では熟練者による研磨砥粒の消耗度に合わせた研磨圧力の調整技能を明らかにしている。体の使い方の分析においては筋電分析と把持力測定により、熟練者は体幹を直立に保持し、試料を強く把持しないものの細かな調整を加えながら均一な力で試料を押し付けていることを示した。眼球運動測定では、熟練者は研磨面観察において、研磨面全体を俯瞰しながら傷の分布に着目していることを明らかにした。研磨音の識別能力調査では、熟練者は研磨の習熟度が増すほど研磨から発生する音に敏感になっていることが示唆された。研磨面の定量評価においては、熟練者の研磨傷深さが均一で、傷数の分散が小さく、平坦・平滑な面を得ていることを明らかにした。これらの分析結果から、研磨圧力を段階的に上げる調整法、手研磨における姿勢や把持方法、研磨面の傷分布を観察する手法などを教育マニュアルに追加している。これらの結果は、金属試料断面の研磨技能における暗黙知のうちでも熟練者が持つ身体的潜在知識の一部であり、本研究の目的である暗黙知の獲得に向けた基礎となり得るものと考えられる。また、本研究の成果により、研磨技能における教育マニュアルを充実することができ、技能伝承の効率化に向けた基礎となり得ると期待される。

本論文の内容は次の 11 報に報告されている。

- 1. COMPARISON OF DIFFERENT PREPARATION PROCESSES AND FINAL SURFACE FINISHES OF METALLOGRAPHIC SPECIMENS**
Takuya Sugimoto, Toshihiko Sakamoto, Yoshiaki Kuwahara, Tetsushi Koshino, Atsushi Endo, Yuka Takai, Akihiko Goto
Proceedings of the ASME 2013 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, Paper No. IMECE2013-63971, pp.1-8, 2013
- 2. STEPWISE COMPARISON OF EXPERT AND NONEXPERT PREPARATIONS OF A POLISHED METALLOGRAPHIC SURFACE**
Takuya Sugimoto, Toshihiko Sakamoto, Yoshiaki Kuwahara, Tetsushi Koshino, Atsushi Endo, Yuka Takai, Akihiko Goto
Proceedings of the ASME 2013 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, Paper No. IMECE2013-63989, pp. 1-8, 2013
- 3. 把持力検証による金相試験片研磨における熟練者技能の研究**
杉本卓也, 高井由佳, 弓永久哲, 後藤彰彦, 濱田泰以
労働科学 89 巻, 6 号 (166) ~ (170), 2013
- 4. COMPARISON OF POLISHING PROCESS FOR METALLOGRAPHIC PREPARATION BY MEANS OF ANALYSIS OF EYE MOVEMENT**
Takuya Sugimoto, Yuka Takai, Akihiko Goto
PROCEEDINGS of 13TH JAPAN INTERNATIONAL SAMPE SYMPOSIUM AND EXHIBITION, Paper ID: 2415, pp.1-6, 2013
- 5. Analysis of Expert Skills on Handheld Grinding Work for Metallographic Sample**
Takuya Sugimoto, Hisanori Yuminaga, and Akihiko Goto
Digital Human Modeling and Applications in Health, Safety, Ergonomics and Risk Management, Lecture Notes in Computer Science Volume 8529, pp.66-77, 2014
- 6. COMPARISON OF DIFFERENT GRINDING SOUND DURING METALLOGRAPHIC PREPARATION**
Takuya Sugimoto, Eriko Aiba, Akihiko Goto
Proceedings of the ASME 2014 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, Paper No. IMECE2014-36631, pp. 1-5, 2014
- 7. Analysis on expert skill of polished surface during metallographic preparation**
Takuya Sugimoto, Atsushi Endo, and Akihiko Goto
Journal of Dento Mirai (2015), vol. 1, pp. 1-6, 2015
- 8. EMG activity analysis of expert skills on handheld grinding work for metallographic sample**
Takuya Sugimoto, Tsutomu Seto, Hisanori Yuminaga, Hiroyuki Nishimoto, Akihiko Goto
Digital Human Modeling and Applications in Health, Safety, Ergonomics and Risk Management, Lecture Notes in Computer Science Volume 9184, pp.165-173, 2015
- 9. Difference in polishing process of FRP between expert and non-expert**
Takuya Sugimoto, Daiki Ichikawa, Hiroyuki Nishimoto, Yoshiaki Yamato, Akihiko Goto
Digital Human Modeling and Applications in Health, Safety, Ergonomics and Risk Management,

- Lecture Notes in Computer Science Volume 9184, pp.174-181, 2015*
10. **Comparison of eye movement during the polishing process of metallographic sample between expert and nonexpert**
Takuya Sugimoto, Yuka Takai, Hiroyuki Nishimoto, Akihiko Goto
Digital Human Modeling and Applications in Health, Safety, Ergonomics and Risk Management, Lecture Notes in Computer Science Volume 9184, pp.399-410, 2015
 11. **Ergonomic comparison of handheld grinding work in metallographic sample preparation work**
Takuya Sugimoto, Hisanori Yuminaga, Hiroyuki Nishimoto, Yuka Takai, Akihiko Goto, Hiroyuki Hamada
The Ergonomic Open Journal (Submitted)

以上の結果より、本論文の内容は十分な新規性と独創性、さらに工業的な意義があり、博士論文として優秀であると審査員全員が認めた。