

氏名	くろだ こうじ 黒田 孝二
学位(専攻分野)	博士(学術)
学位記番号	博乙第194号
学位授与の日付	平成26年9月25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 先端フアイブ科学専攻
学位論文題目	「京壁の流動性を向上する鍛造鍔の研究」－感性と科学のハイブリッド工学基盤の展開－
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

日本のものづくり現場は、プロセス中の材料の特異な非線型挙動を察知する感性と試行錯誤で得た技能という暗黙知の財産がひそんでいる。特に伝統技術は先人の優れた感性資産の宝庫である。例えば、土と水を練る造形文化は縄文式土器に遡り、その源泉は天然資源と火加減である。出来上がった製品は劣化が少なく土に戻る環境保全型であり、人類との共存が証明された見習うべき技であると言えよう。21世紀のものづくりには先人の知恵を活かし、伝承の技や道具が素材に作用して機能美を達成する機序を科学的に解明し、環境負荷を低減し生命と調和したものづくりへの転換が必要であると考えている。

本研究では、京壁の仕上げ用の鍔で、明治期の刀鍛冶製法の鍛造と伝わる旧水撫ぜ鍔を用いると、手作業の混錬で土壁組成物の流動性が向上し、塗工直後には「ノロ」と呼ばれる粘土を含む水分が表面に滲出し、乾燥後には滑らかで緻密な美観と呼吸感を持つ京壁に仕上がる現象を検証し、その作用機序を解明して最先端のものづくり技術に応用展開することを主目的としている。このために、感性科学が役割分担して融合発展するハイブリッド工学基盤の構築を目指した。これは、筆者の44年間の産業現場での問題解決活動から、日本の更なる発展に求められる課題は、現場の暗黙知の相互連携と科学の活用で新たな暗黙知を獲得することにあると考えているからである。

本研究の目的である京壁については、6章から8章で述べ、2章から5章は、その解明に必要な可視化や解析技術について述べた。

第2章では、移動分析車活動から現場目線で、印刷インキ転移のミリ秒の現象を高速VTRで現場と一体化した改善活動から「動的計測」と感性との連動の必要性を示した。科学知は与えた変化を客観知とし、感性知は対象から受けた暗黙知を主観知とするところが異なる。その融合には、人間の「見る」「知る」「操る」感性に科学を沿わせ感性資産を検証し、展開することが大切であることを強調したい。

第3章では、可視化技術が経験知を活かす感性を高めることを論じた。科学知を活かすには、課題抽出のINPUT感性と、タイミングよく働きかけるOUTPUT感性でサンドイッチする必要がある。現場ソリューションの源泉は知的ストックである。感性を高めるためには多面的に真の姿を洞察し仮説をつくる「七み」(観・見・視・診・看→察・顧)の育みの必要性を提案した。

第4章では、伝統技術の解明と、現代のエネルギー、バイオ、環境の先端技術に欠かせない水の挙動の解明を試みた。ミルククラウン現象をモデルに、水の流動挙動の解明にはマクロな流体力学と分子動力学シミュレーションによる水分子に特有なナノ界面挙動を整合させる必要があることを明らかにした。また水と接触したアルコールは強い分極状態になる特異な水の影響力を示した。

第5章では、暗黙知を修得する日本人の高い感性を米欧と対比して特徴付けた。多様な感性軸で構成する感性空間を提案して、試行錯誤を重ね辿り着く成功空間を感性ウィンドウと名付け、感性知と科学知が相補的に役割分担して協働するハイブリッド工学モデルを構想した。

第6章では、京壁の旧水撫ぜ鍔による混錬効果に、流動性の高速度VTR観察、機械的流動性評価、低真空走査型電子顕微鏡観察、X線回折分析、水分の誘電緩和スペクトル測定、鍔材質の蛍光X線分

析、磁気特性測定などを実施し客観的検証を得た。

第7章では、鑊の作用を機能システムと見立てて、科学と連動するハイブリッドシステムの活用を検討した。鑊の作用を、手作業をナノ領域の粘土構造形成に伝える変換関数と考え、水の分子運動論を考え合わせると、鍛造鑊面の水分子の整列構造が、鑊の作用を決定づける仮説が成り立つ。また、微粒子分散系の混錬実験とシミュレーションで、 10^4 のせん断速度では微粒子が流動配向を起こして整列し自由水が押し出される現象がみられ、京壁の流動化とノロ滲出のモデルと対応することができた。

第8章では、観察された現象を機能モデル化して、伝統技術の材料と技と道具の機能解析や工学要素抽出への試行をめざした。材料系では京壁が経時的に褐色に変色する「さび」はMnが原因と究明でき、技は京弓の竹材をひと振りですり分ける動作、道具は漆塗りの刷毛の押しと引きの同時作用、および茶の湯の茶筌の種類が点前の動作に与える影響についてその糸口を論じた。

論文審査の結果の要旨

本論文は、京壁に用いる刀鍛冶製法の鍛造鑊が混錬時に土壁の流動性を向上させ、塗工後には「ノロ」と呼ぶ水分を表面に滲出する現象に着目している。この現象は鍛造鑊が混錬時に粘土を粘性構造化し、塗工後に表面に滲出して緻密で滑らかな美観を呈すると仮説を立てている。それを証明するために、流動性向上効果は高速ビデオ撮影と応力解析、構造化した粘土が土砂間隙を埋め表面を覆う現象は電子顕微鏡観察で検証し、土壁の内部現象は水の誘電緩和スペクトル解析などで主要因が水の挙動にあることを明らかにしている点に本論文の特徴がある。すなわち、一つの自然現象に対して、あらゆる角度から可視化している点である。これは論文提出者の長年の経験から得られた研究姿勢であると理解できる。冒頭の現象を産み出す鑊の要因は各鍛造段階の効果と組織観察や磁気分布評価から、熱間鍛造工程で形成される微細組織の整列性にあると推定している。この推論は、界面の水分子の分極配列が電場などの外場で変化すると流動性が変わるという実験結果と分子運動シミュレーションに基づいている。さらに、鍛造鑊が手作業を粘土を構造化するように変換する伝達作用を持つシステムと捉え工学応用の可能性を示している。これらの結果は、伝統の技の新たな展開を示唆しており、工学上も工業上も意義が深い。また、職人技の獲得を、試行錯誤で感性空間に成功のウィンドウを形成するモデルで説明し、位相敏感な感性と強度敏感な科学のハイブリッド工学基盤を提唱している。以上のように、伝統技術にひそむ未解明の感性資産を見出し、豊富な現場経験と計測知見と水の特異な挙動の研究実績を活かして作用モデルにまとめ、工学応用への道を拓いたことは、他の伝統技術の感性資産の発掘、解明、応用に繋がる極めて独自性の高い意義深い成果であると認められる。

本論文の内容は次の7報に報告されている。

1. **ものづくり現場が求めるサイエンスイノベーションー暗黙知の科学ーその2**
～“見る” “知る” “操る” 主観的確信の積重ね～
黒田孝二
21世紀科学と人間シンポジウム論文誌, 第4巻, pp.57-62 (2011)
2. **伝統技術にひそむ材料の挙動と道具の暗黙知ー暗黙知の科学ーその3**
～刀鍛冶の鑊が与える京壁流動性への効果を“見る” “知る” “操る”～
黒田孝二
21世紀科学と人間シンポジウム論文誌, 第5巻, (印刷中)
3. **Large-scale SPH simulations of droplet impact onto a liquid surface up to the consequent formation of Worthington jet**
Naoto Nishio, Kentaro Yamana, Yasutaka Yamaguchi, Takehiko Inaba, Koji Kuroda, Tadashi Nakajima, Kouhei Ohno and Hideo Fujimura
INTERNATIONAL JOURNAL FOR NUMERICAL METHODS IN FLUIDS, 2010; 63: 1435-1447
4. **表面張力、界面張力差を考慮した異種液滴間衝突のSPHシミュレーション**
橋本雄太 山田辰也 山口康隆 酒井啓司 中島但 藤村秀夫 黒田孝二
混相流, 25巻, 5号, pp.451-458 (2012)
5. **Molecular dynamics analysis of multiphase interfaces based on *in situ* extraction of the pressure distribution of a liquid droplet on a solid surface**
S. Nishida, D. Surbly, Y. Yamaguchi, K. Kuroda, M. Kagawa, T. Nakajima, and H. Fujimura
THE JOURNAL OF CHEMICAL PHYSICS, 140, pp.(074707-1)-(074707-8) (2014)
6. **FLOW IMPROVING EFFECT OF KYO-WALL CLAYEY COMPOUND ON THE FORGED TROWEL -UNDERSTANDING OF THE TRADITIONAL SECRET-**

Koji KURODA, Hiroyuki SATO, Yuka TAKAI, Akihiko GOTO

13TH JAPAN INTERNATIONAL SAMPE SYMPOSIUM AND EXHIBITION, 2407, pp.1-6 (2013)

7. 経年京壁の風情を醸す「さび」発現機構の解明 —伝統技術にひそむ工学要素の展開研究—

黒田孝二 佐藤ひろゆき 高井由佳 後藤彰彦

科学・技術研究, 第3巻1号, pp.1-4 (2014)

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。