

令和 4 年 6 月 2 日現在

機関番号：33302

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2021

課題番号：17K06129

研究課題名（和文）日本刀の「美」の科学的解明とそれに基づく新しい作刀評価・設計法の提案と実証

研究課題名（英文）Proposal and its verification of novel evaluation/ design method of Japanese sword based on scientific elucidation for beauty

研究代表者

石川 憲一（ISHIKAWA, Ken-ichi）

金沢工業大学・明倫館・名誉学長・教授

研究者番号：00064452

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では日本刀の「美」の評価と設計法に関して、定性的な伝統手法ではなく、「設計工学と心理学の融合による定量手法」を用いた「設計・評価法の可視化」を試みるものである。そして、歴史を超越できる「新しい評価・設計法」を提案し、その手法に基づいて高評価となる新たな日本刀製作に挑み、本研究の妥当性を検証するものである。その結果、ニューラルネットワークによるAIを構築し、それによって従来までの経験知をAIによる学習プロセスと運用を通じて可視化することで科学に基づく設計法の提案に成功するとともに、第三者評価によって提案手法の有効性を実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の作刀法は師匠から弟子へ受け継がれる技術伝承に依存することが殆どであり、科学的アプローチは皆無と言っても過言ではない。日本刀をはじめとする我が国が誇る伝統工芸品の保存や継承を継続するためには、最新科学によって「新たな解」を見出すことは極めて重要であると言える。本研究の成果は日本刀を研究対象としながら、伝統工芸品の優劣評価をAIで分析しうることを示したものであり、これは従来からの形式知を定量知に置き換えるとともに、多くの人々に伝統工芸品の良さを認識してもらうための新しい手法提示となり得る成果である。そして、この成果は世界に向けて伝統工芸品の魅力を発信することにも繋がると考えられる。

研究成果の概要（英文）：This study proposes a novel evaluation method of Japanese swords based on scientific elucidation of their beauty. In particular, this study demonstrates a novel method to visualize the design method by fusion of design engineering and psychology instead of traditional qualitative methods, and attempts the manufacture of a new Japanese sword of high evaluation. After training a neural network AI system using evaluation data from the past, we were able to use it to produce a visualization. This demonstrates the success of a science-based design method using neural network AI and visualizing the experience-based knowledge. Moreover, the external expert evaluation verified the effectiveness of the new method.

研究分野：設計工学 生産工学

キーワード：日本刀 美 設計・評価法 可視化 AI分析 3次元設計

## 1. 研究開始当初の背景

日本刀は武器としての実用性に加えて日本人の美意識を反映し、刀匠は「折れず」「曲がらず」「良く切れ」、そして「美しい」という特徴を完成させ、世界的に見ても歴史上日本刀の他に類例の無い「美」を探究してきた。日本刀は刀匠の絶え間ない探究によって深化し、古刀期では「太刀 銘 安綱（平安時代中期・国宝）」、新刀期では「刀 銘 清磨（江戸後期）」、現代刀では「刀 銘 隅谷正峯（1981年人間国宝、1965年・正宗賞）」、「太刀 銘 信濃国秀平（2015年・経済産業大臣賞）」等がある。ところで、研究代表者（石川）が2016年3月に実施した高名刀匠らへの聴取によれば、形状（外観・反り・樋・等々）や刃文・地鉄、時代性・品位等の観点から、作品は優劣評価を受けていることが分かってきた。しかしながら、そのような総合的「美」の評価を工学者の視点から科学的に紐解くとき、

- (i) 統一基準で評価されているか（評価者による依存性はないか）、
- (ii) 国宝や重要文化財級に指定されたる所以は何か、
- (iii) 刀匠名（無鑑査）や高名な評価者等の個々による依存性（評価ブレ）はないか、
- (iv) 評価基準が時代の経過と共に変化していないか、

等の根源的な疑問が存在する。これらのことを背景に、本研究に着手したものである。

## 2. 研究の目的

上記の背景を踏まえて、本研究では、「設計・生産工学と実験心理学」の融合による日本刀の「美」に関する評価の新しい可視化手法と設計法を提案することを試みるものである。そして、一般人でも日本刀の美しさやその魅力を十分実感・理解でき、より多くの人々が我が国の誇る歴史的にもミレニアムを貫く伝統工芸品である日本刀に魅力を感じるようにするための科学的な道標の明示に挑戦する。

さらには、提案する評価・設計法の下で高評価となる日本刀の数値データ化を行い、それに基づいた作刀に挑む。そして、審査会出品を通じた実証に挑戦することで、本研究の妥当性を検証する。その結果を踏まえて、日本刀の伝承に新たな体系化された科学的な解を提示することを目的とする。

## 3. 研究の方法

本研究では公益財団法人日本刀文化振興協会が毎年主催する「新作日本刀 研磨 外装 刀職技術展覧会」（以下、展覧会）に出品され入賞した新作日本刀を主たる対象とした。そして研究方法を大別すると以下の4つになる。

- (1) 新作日本刀の2次元形状の定量化手法の構築と分析を通じた準備作刀（第1次新作日本刀）
- (2) ニューラルネットワークを利用したAIによる新作日本刀の特徴解析
- (3) ニューラルネットワークを用いた最高評価を得られる最適寸法の抽出
- (4) レーザ変位計を用いた新作日本刀の断面形状計測と3次元形状の傾向評価
- (5) 新作日本刀の3次元設計と第2次新作日本刀の作刀を通じた実証

以下、上記(1)～(5)に関わる詳細な研究成果を報告するとともに、(6)アウトリーチ活動についても述べる。

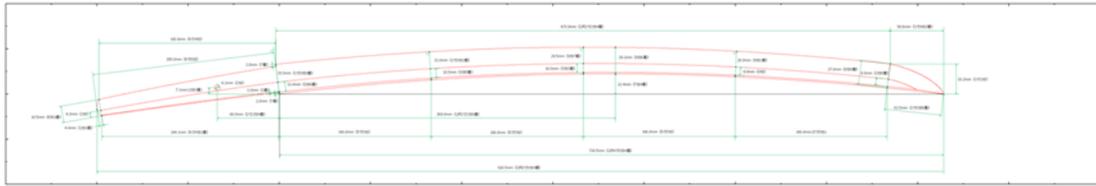
## 4. 研究成果

### (1) 新作日本刀の2次元形状の定量化手法の構築と分析を通じた準備作刀（第1次新作日本刀）

はじめに、新作日本刀の2次元形状設計にアプローチするため、過去3年間、展覧会に出品された合計11振りの日本刀の全体形状を画像処理による輪郭抽出処理によって行った。このとき、日本刀は複数の異なる曲線から構成されているため、日本刀の各部を独立したものとして取り扱い、日本刀の2次元形状を定量化した。

ところで、新作日本刀の審査・評価においては、独創性と個性が重んじられ、模作は審査のマイナス対象となることが展覧会の規程に明記されている。このため、本研究では新作日本刀の2次元形状の算出の際、受賞順位に基づき、日本刀ごとに重みを乗算し、その値を重みの総和で割る加重平均を行った。この方法に基づいて、準備作刀の位置付けとしての第1次新作日本刀を設計し、刀匠へ作刀を依頼した。

図1は(a)第1次新作日本刀の設計図面、並びに(b)完成写真（外観）である。この第1次新作



(a) 設計図面



(b) 外観

図1 準備作刀としての第1次新作日本刀

日本刀を2019年（令和元年）に開催された展覧会に特別出品し第三者評価を受審した。その結果は、「入賞相当」という評価に留まるものであった。

### (2)ニューラルネットワークを利用したAIによる新作日本刀の特徴解析

上記(1)の準備作刀の結果を踏まえ、ニューラルネットワークを利用したAIによる新作日本刀の特徴解析を実施した。特徴解析に際しては、日本刀の形状を強く特徴づける部位である刃長、鋒（X軸方向およびY軸方向）、元幅、反りの5箇所を選択した。さらに、対象とする新作日本刀を過去10年間にわたって展覧会に出品され入賞を果たされた72振りとした。

ニューラルネットワークの適用において、新作日本刀の各部位寸法と作風の区別を入力層とし、対応する受賞順位を出力層とした。このニューラルネットワークを用いて入力層と出力層の関係を学習することで、各部位寸法と作風の相互関係を推定し、受賞順位を出力できる仕組みを構築した。

図2は学習結果を用いて72振りそれぞれの各部位寸法から受賞順位を予測し、予測結果と実際の受賞順位を比較した結果である。図2において、プロットを相州伝（□）とその他の作風（○）に分けて表記した。Rは相関係数であり、全ての日本刀、相州伝、その他のそれぞれのデータから算出した値を示す。

その結果、全てのデータ（72個）を対象として算出した相関係数は0.776と高いことから、学習結果としての精度は十分であると判断した。すなわち、ニューラルネットワークを用いることで、これまで高名審査員の経験知による審査結果を科学的に解析することの可能性を示し得たものと考えられる。

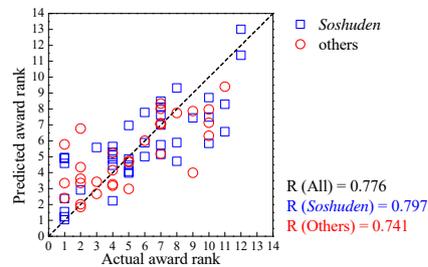


図2 ニューラルネットワークを用いた実際の受賞順位を予測受賞順位の関係

### (3)ニューラルネットワークを用いた最高評価を得られる最適寸法の抽出

上記(2)で示したニューラルネットワークを用いて、受賞順位が1位となり得る2次元での各部位寸法を予測した。このとき、乱数で発生させた任意寸法をニューラルネットワークに入力し、受賞順位を予測した。

乱数生成の指定範囲は対象とした日本刀72振りのうち、相州伝に該当する新作日本刀40振りの各部位寸法測定値の最小～最大値に合わせた。表1にニューラルネットワークによって抽出した最適寸法、並びに第1次新作日本刀における当該部位の寸法を示す。第1次と比較すると、第2次新作日本刀では鋒が大きいという結果が抽出されていることが特徴的であると言える。

表1 抽出した最適寸法

	刃長 mm	鋒 X mm	鋒 Y mm	元幅 mm	反り mm
第1次	728.5	58.6	33.3	33.0	22.4
第2次	737.2	63.5	34.8	32.8	22.1

#### (4) レーザ変位計を用いた新作日本刀の断面形状計測と 3 次元形状の傾向評価

次いで、準備作刀した第 1 次新作日本刀の断面形状を、レーザ変位計を用いて計測することを通じて、日本刀の断面形状に関する特徴を分析した。とりわけ、日本刀の断面形状は一般的に鑄造が多いと言われるが、その長手方向に対する変化を定量的に評価した事例は見当たらない。

このような中において本研究では日本刀の断面形状を多数の部位で測定することによって、長手方向に対する変化傾向も明らかにすることを試みた。図 3 は断面形状を測定した結果の一例である。

さらに、レーザ変位計による計測結果から、各断面の形状を構成する図 4 で示す④～⑩のパラメータを測定し、刃長の変化に伴う各パラメータの 3 次元形状の変化傾向を評価した。図 5 はその結果である。その結果、刃長に対する各パラメータは 1 次あるいは 2 次による関数で近似できることを示し得た。

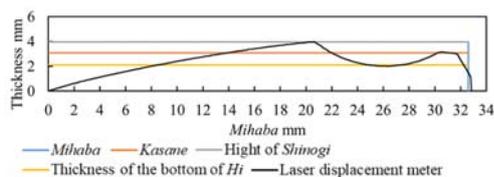


図 3 断面形状の測定結果の一例

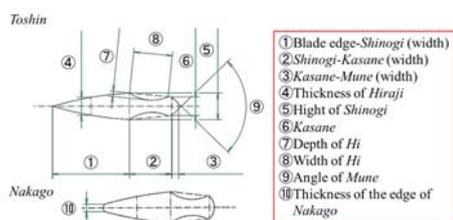


図 4 断面形状の測定部位

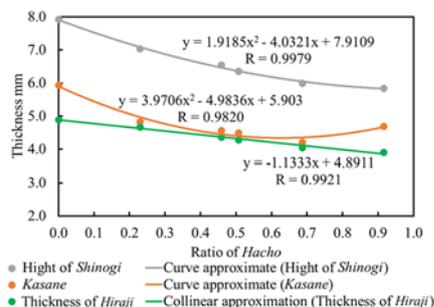


図 5 長手方向に対する断面形状の変化傾向

#### (5) 新作日本刀の 3 次元設計と第 2 次新作日本刀の作刀を通じた実証

上記の成果を統合し、3D-CAD を用いたモデリングによって新作日本刀の 3 次元設計を行った。

図 6 に 3D-CAD で設計した新作日本刀の 3D モデルを示し、この 3D モデルに基づく設計図面を図 7(a) のように作成し、それを刀匠へ作刀を依頼した。図 7(b) は完成した第 2 次新作日本刀の完成写真 (外観) である。これを 2021 年 (令和 3 年) に開催された展覧会へ特別出品し第三者評価を受審した結果、「金賞相当」という名誉ある成果を得ることができた。

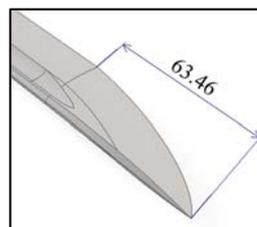


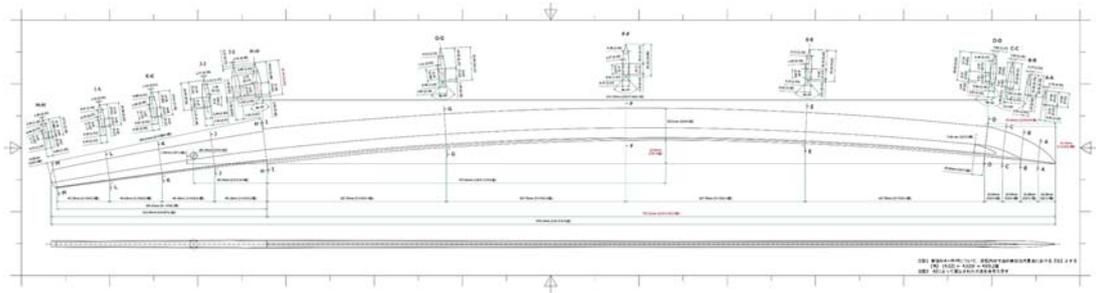
図 6 3D-CAD によるモデリングの一例

#### (6) アウトリーチ活動

本研究の成果に関するアウトリーチ活動として、専門学協会での成果公開はもちろんのこと、第 1 次と第 2 次新作日本刀は長野県坂城町にある「鉄の展示館」でそれぞれ 2019 年 5 月 18 日 (土) ～8 月 25 日 (日)、並びに 2021 年 7 月 22 日 (木) ～8 月 29 日 (日) に科学研究費補助金による成果として展示した。

加えて、第 1 次新作日本刀については 2019 年 6 月 9 日 (日) に研究分担者 (畝田) による「新作日本刀の設計・評価法—サイエンスの視点からの新作日本刀の設計アプローチ」と題したオープンセミナー (講演会) を鉄の展示会に併設する坂城町中心市街地コミュニティセンターで実施した。これには刀匠や刀剣研師をはじめ多くの一般人が参加され、科学研究費補助金による成果の公開に努めた。なお、残念ながら第 2 次新作日本刀についてはコロナ禍のためセミナーの開催は見送り、ショーケースでの展示に留めた。

図 8 は第 2 次新作日本刀の展示した際の外観であり、ショーケースの中に新作日本刀とともに設計図面 (上) とその研究手法を簡単に記したリーフレット (下) を置き、一般の来館者へ公開した。とりわけ、第 2 次新作日本刀はニューラルネットワークを用いた AI によって日本刀を



(a) 設計図面



(b) 外観

図7 第2次新作日本刀



図8 坂城町「鉄の展示館」における第2次新作日本刀の展示外観

設計するという斬新な取り組みとその成果であったことから、来館者から当館学芸員へ多くの質問が寄せられた、と報告を受けている。そして、この内容については申請者の所属大学のホームページにも科学研究費補助金の成果として公開している。

<第1次新作日本刀>

[https://www.kanazawa-it.ac.jp/kitnews/2019/0527\\_katana.html](https://www.kanazawa-it.ac.jp/kitnews/2019/0527_katana.html)

<第2次新作日本刀>

[https://www.kanazawa-it.ac.jp/kitnews/2021/0805\\_uneda.html](https://www.kanazawa-it.ac.jp/kitnews/2021/0805_uneda.html)

終わりにのぞみ、このような成果は今後の日本刀文化の継承とさらなる発展を見据えるとき、これからの未来社会を切り拓く手法の一つになり得るものと考えられる。加えて、日本刀に留まらず我が国が世界に誇る伝統工芸品の魅力をより広く伝えるための一つの手法になり得るものと考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kyo Oi, Michio UNEDA and Ken-ichi ISHIKAWA	4. 巻 3
2. 論文標題 Visualization of Hand-Polishing Process for Japanese Swords - Mechanical Properties of Natural and Artificial Polishing Stones and Kansei Evaluation by Sword Polishers -	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Advanced Experimental Mechanics	6. 最初と最後の頁 180-185
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11395/aem.3.0_180	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 畠田道雄, 村上昇啓, 高島伸治, 神宮英夫, 石川憲一	4. 巻 83
2. 論文標題 感性評価による日本刀の美しさに関する研究	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 精密工学会誌	6. 最初と最後の頁 361 ~ 366
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2493/jjspe.83.361	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kyo Oi, Michio Uneda and Ken-ichi Ishikawa	4. 巻 1
2. 論文標題 Visualization of hand-polishing process for Japanese swords - Mechanical properties of natural and artificial polishing stones and Kansei evaluation by craftsmen -	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of 12th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics 2017	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 畠田道雄, 神宮英夫, 高島伸治, 石川憲一	4. 巻 69
2. 論文標題 「匠の技の科学」を通じた総合力育成教育	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 工学教育	6. 最初と最後の頁 58-63
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 横山詳悟, 村上浩規, 畝田道雄, 石川憲一
2. 発表標題 ニューラルネットワークを用いたAIによる新作日本刀の科学的特徴解析と設計法の提案
3. 学会等名 2020年度精密工学会北陸信越支部学術講演会講演論文集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 横山詳悟, 中村晏奈, 畝田道雄, 石川憲一
2. 発表標題 日本刀の形状美と機能美に着目した「踏ん張り」と「樋」の科学研究
3. 学会等名 2020年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 畝田道雄
2. 発表標題 新作日本刀の設計・評価法 - サイエンスの視点からの新作日本刀の設計アプローチ -
3. 学会等名 日本刀文化振興協会 日本刀の匠たち - 第10回新作日本刀研磨 外装 刀職技術展覧会 - 講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大井 恭, 畝田道雄, 石川憲一
2. 発表標題 新作日本刀の評価・設計法の研究 - 現代刀の審査結果と刀職技術の科学に基づく新作日本刀の設計アプローチ -
3. 学会等名 2019年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石川憲一
2. 発表標題 日本刀 ~ミレニアムを貫く鐵の芸術~
3. 学会等名 2018年度砥粒加工学会学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 畝田道雄
2. 発表標題 鐵の芸術~日本刀~ 刀劍研師の技の科学
3. 学会等名 全日本刀匠会主催「お守り刀展覧会」関連行事（刀劍講座）（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 畝田道雄
2. 発表標題 鐵の芸術~日本刀~ 刀劍研師の技の科学
3. 学会等名 日本刀文化振興協会主催「日本刀の匠たち - 第9回新作日本刀研磨 外装 刀職技術展覧会 - 」講演会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大井 恭，畝田道雄，石川憲一
2. 発表標題 新作日本刀の評価・設計法の研究-刀劍研師の感性評価と現代刀の審査結果に基づく新作日本刀の設計アプローチ-
3. 学会等名 2018年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大井 恭, 畝田道雄, 石川憲一
2. 発表標題 日本刀の研ぎに及ぼす研磨工程の基礎科学 - 天然・人造砥石の機械的特性の調査と匠の意識調査 -
3. 学会等名 2017年度砥粒加工学会学術講演会講演論文集
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	畝田 道雄  (UNEDA Michio)  (00298324)	金沢工業大学・工学部・教授    (33302)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------