

連携記事

鐵の芸術 ～日本刀～ 「匠の技」を科学する

Traditional Crafts - Japanese Sword -
Scientific Approach of Technique of Swordsmith

畠田道雄
Michio Uneda

金沢工業大学
工学部 機械工学科
教授

1 はじめに

日本刀は奈良朝期の直刀^{ちよくとう}から平安前期の蔵手刀^{くらびてとう}や毛抜形太刀^{たうち}を経て平安後期に湾刀^{わんとう}として完成したものとされる^{1,2)}。「折れず」「曲がらず」「よく切れる」という卓越した機能もさることながら、その「美しさ」によって観る人に名状しがたい感動を与える、正に世界に冠たる鐵の芸術であると言える。この美しさは日本刀の発祥当時から認識され、武将達は地位や名誉を誇示する目的で、高名な刀匠が作刀した日本刀を好んで所有したとも言われている。

日本刀が武器としての役割を終えたのは第2次大戦の終焉時であり、GHQ (連合国軍総司令部) によってあらゆる武器の撤廃が敢行され、日本刀もその対象となった。このような中において、当時の刀匠達や関係者の努力によって1953年以降は文化財保護委員会の承認があれば、武器ではなく美術的価値を主とする伝統工芸品としての作刀も可能となり、現在まで多くの匠らの努力によって、その伝統は脈々と継承されてきている。

さて、日本刀は独自の材料製法と幾多に亘る鍛錬、熱処理を経た後、各種の研磨工程を施されることによって完成される³⁾。日本刀の研究は、金属 (結晶系) 材料に関するものが主に行われており、日本刀の組織と機械的性質や鍛錬法等あるが^{4,6)}、力学的な評価はあまり見られない。本稿では、機械力学の観点から日本刀の科学にアプローチすることによって、日本刀が持つ武器としての「機能」について言及してみたい。

また、現在、伝統工芸品としての日本刀は主として「姿 (外觀)」「地肌」「刃文」、さらには「時代性」「品位」等の観点から、高名な評価者によって優劣が決められているが、日本刀の知識に乏しい多くの一般人には、匠らが日本刀を作刀する際に凝らした見所や工夫といった趣向を読み解くすべがなく、独自の視点で鑑賞していることが現状であろう。そこで本稿では、一般人の視点から大衆が好む日本刀とその特徴の「官能」

的な解明を試みた内容を紹介したい。その結果を一般人に日本刀の見所が伝わる新しい鑑賞法や展示方法の確立に繋げることで今後の日本刀の発展・継承に一石を投じることができれば、著者として望外の喜びである。

2 武器として見る日本刀の機能

2.1 斬撃武器に込められた機能の評価方法

本稿では、はじめに日本刀の主な機能を振り降ろし動作による斬撃性能と位置付けて評価したい。評価対象には著者の研究室で所有する模擬刀 (Table1, Fig.1) を用いた。なお、本稿においては3振りの模擬刀の質量、長さ、重心位置に個体差が無いと捉え、日本刀の特徴の一つである反りの有無と機能の関係性について言及したい。

評価項目は日本刀のスイートスポット抽出に繋がる3パ

Table1 Japanese sword list

Japanese sword	Image			
	Mass [g]	Zentyo ^{※1} [mm]	Sori ^{※1,2} [%]	Centroid ^{※3} [%]
X ₁				
	698	933	2.34	45.9
X ₂				
	653	936	2.43	50.5
Z ₁				
	645	907	0	48.4

※1 Refer to Fig.1 for measured dimensions.

※2 Sori / Hatyo

※3 Length from Nakagojiri to Centroid / Zentyo

ターンを用意し、

【#1】日本刀の保持位置と振りやすさの関係 (Fig.2 (a))

【#2】斬撃時に握りに伝わる衝撃力 (Fig.2 (b))、

【#3】対象に与える衝撃力 (Fig.2 (c))

とした。日本刀の振りやすい保持位置の調査【#1】は、日本刀を振り子運動させ、レーザ変位計によってその固有周期を計測した。斬撃時に握りに伝わる衝撃力の調査【#2】と対象に与える衝撃力の調査【#3】は日本刀に物体を衝突させた際に生じる加速度を3軸加速度ピックアップによって計測し、

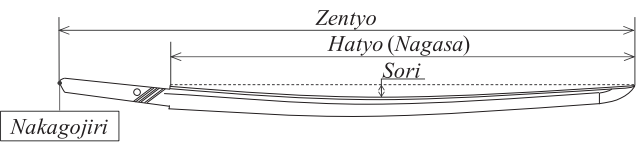


Fig.1 Schematic diagram of Japanese sword

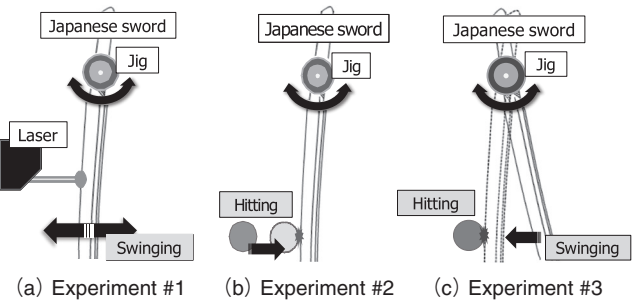


Fig.2 Dynamical function evaluation method of Japanese sword

その合成加速度を衝撃力とした。Table2はそれぞれで行った実験の条件である。

2.2 日本刀の反りが機能に及ぼす影響

本節では、前節にて調査対象とした3つの実験的アプローチの結果を紹介しよう。まず、【#1】日本刀の保持位置と振りやすさの関係である。調査結果をFig.3に示す。Fig.3から、最も日本刀を振りやすい保持位置 (Fig.3の実験結果の極小値) は反りの有無に関係なく2箇所存在することが確認できるが、固有周期の数値に大きな差はない。また、極小値のうちの片方を保持して斬撃した際、後述する握りに伝わる衝撃力はもう片方の極小値の位置が理論上は最小の値となる。この2箇所は最も斬撃に適した保持位置および斬撃位置であ

Table2 Experimental condition of functional investigation

Condition of experiment to calculate cycle	
Sampling cycle	2.5 ms
Holding position of object to be measured	30 mm interval
Condition of experiment to Nigirityusin and impact force	
Holding position	80, 100, 120, 150, 180 mm (from nakagojiri)
Hitting point	18 locations at intervals of 30 mm from 390 mm (from nakagojiri)
Sampling period	20 μ s
Sampling time	2 s

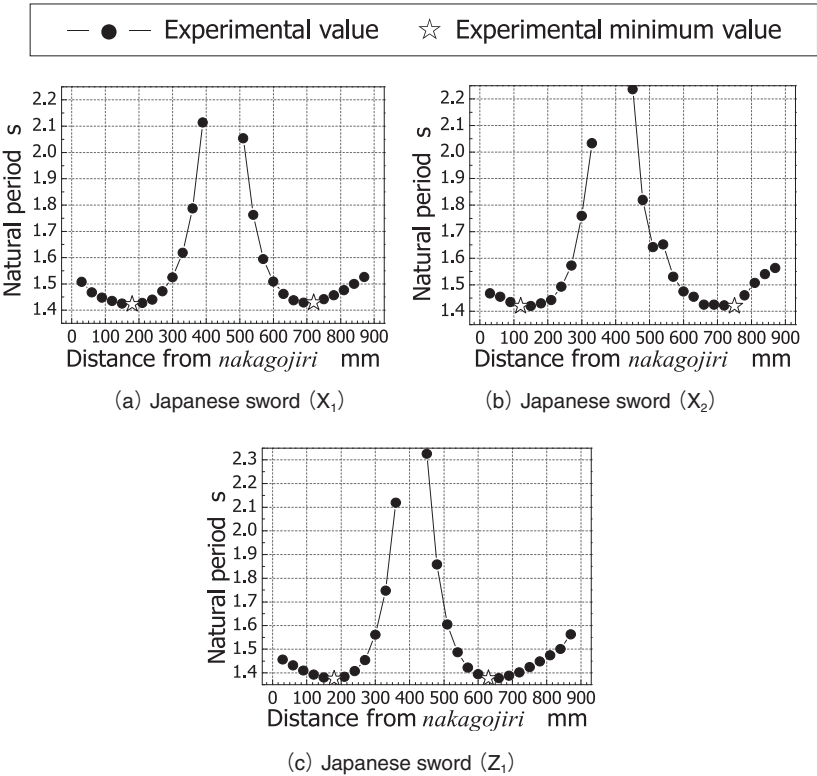


Fig.3 Holding position for easily swinging Japanese sword

り、スイートスポットと位置付けることができる。

なお、本稿では日本刀の刀身部のみを取り扱って機能の調査を試みたが、実際に日本刀を持つ際は柄等の装着によって重心位置は変化し、さらに必ずしも最適な位置を保持できるとも限らない。そこで、本調査で確認された最も日本刀を振りやすい保持位置とFig.4に示す実際の保持位置（柄等を装着した状態で握った手幅の中心）の比較、さらにはそれぞれの保持位置における固有周期を比較してみた。本調査では日本刀を保持する手幅を80mmとした⁷⁾。比較結果一覧をTable3に示す。湾刀 X_1 、 X_2 と直刀 Z_1 では、直刀 Z_1 の方が実際の保持位置は最適な保持位置との差が大きくなったが、固有周期の数値は極端な違いは確認できなかった。さらには、湾刀 X_1 と湾刀 X_2 では、反りの値（Table1）に違いがあるものの同様に固有周期に極端な違いは確認できなかった。したがって、反りの有無および反りの大きさの違いは日本刀の振りやすさに大きな影響を及ぼさないと考えられる。

続いて、斬撃時に【#2】握り手に伝わる衝撃力と握り中心

の関係、並びに【#3】対象に与える衝撃力の調査結果を紹介したい。これらの調査では、各日本刀の保持位置をFig.4に示した実際の保持位置とした。結果をFig.5に示す。Fig.5 (a) (b) (c) に示す各日本刀における握り中心の調査結果では、前述したスイートスポットが確認できる。これは、反りの有無に関係なく存在したが、直刀は湾刀と比較して衝撃力の軽減が少ない。湾刀の方がスイートスポットの示す傾向が顕著になっており、反りが施されることによって斬撃（打撃）といった使用方法の有効性が高まっていると言えよう。

同じくFig.5 (a) (b) (c) に示した結果から、反りの有無に関係なく全ての結果において斬撃位置の衝撃力はなかご尻からの距離が離れるにしたがって上昇する傾向が見られたが、湾刀2振りの結果（Fig.5(a) (b)）は直刀の結果（Fig.5(c)）と比較して、衝撃力の最大値が高く、上昇傾向も強いことが確認できる。

以上の結果から、反りは日本刀を斬撃に適した武器にするため施されたものであり、その効果は直刀と比較しても明確だと言える。

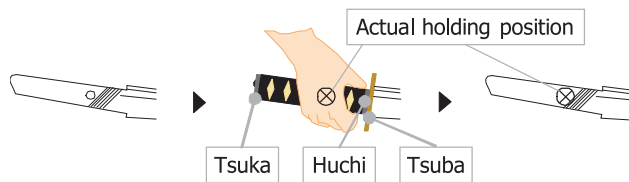


Fig.4 Actual holding position

Table3 Comparison of optimal and actual values

Japanese sword	Holding position [mm]		Natural period [s]	
	Optimal	Actual	Optimal	Actual
X_1	180	130	1.418	1.430
X_2	120	110	1.422	1.454
Z_1	180	110	1.375	1.417

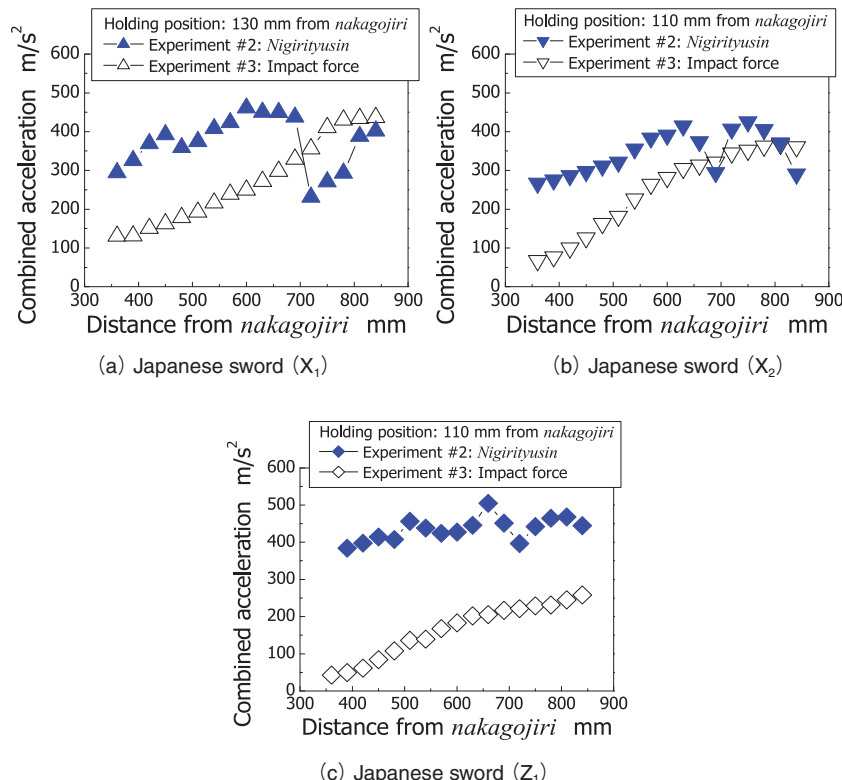


Fig.5 Relationship between *Nigirityusin* and impact force

3 一般人に評価される日本刀とその特徴

3.1 一般人に評価される日本刀の選出方法

本稿では、一般人である大学生を対象に、彼らが美しいと感じる傾向を示す日本刀の定量化について、サーストンの一対比較法（以下、サーストン法）^{8,9)}を用いて試みた。この大学生は工学部機械工学科3年生に在籍した計219名（当時）である。また、サーストン法によるアンケートには自由記述欄を設けたが、全員の自由記述意見を確認した限り、日本刀に特段の強い興味（あるいは知識）を有する対象者は無いと判断された。サーストン法とは、ある母集団を形成する要素が、それぞれ何らかの感覚的な状態を持つとき、それらの状態に尺度を付けるための方法である。

本稿における感覚的な状態とは、日本刀を一般人が感性によって評価する場合を意味する。感性評価には、審査会から各賞を受賞された日本刀を5振りずつ（各賞の序列有り）選出してみた（合計10振り）。被験者は示された2枚の日本刀の画像から、感覚的に美しいと感じる方を選択した。この工程に従い、1回の審査会当たり5振りの日本刀の画像を全て組み合わせることで全10通りの比較を行い、それを審査会（X）と（Y）で2セット実施した。実施したアンケートはサーストン法にしたがい解析した⁹⁾。その解析方法をTable4、並びにその概要を次に示す。

はじめに、2振りの日本刀（J1）と日本刀（J2）を比較した場合、日本刀（J1）の方が良いと判断した度数（回答者の人数／被験者数（N＝219））をTable4（a）内の α_{12}/N に、日本刀（J2）の方が良いとした度数をTable4（a）内の α_{21}/N に記入する。もちろん、 α_{12}/N と α_{21}/N の和は1となる。この手順にしたがい、全10通りの比較結果を集計する。同一の日本刀比較となる対角線上には0.5を入れる。

続いて、正規分布表を用いて、Table4（a）内に示す比率をt値に変換する。これによってTable4（b）の尺度距離行列を算出する。対角要素（Table4（a）の0.5）では $t=0$ となり、0.5以下のt値は負、0.5以上のt値は正となる。そして、Table4（b）の各列における総和 β_{j1-5} を試料の数（調査対象の日本刀5振り）で割り、各列の平均値を求める。最後に、最小の平均値（Table4（b）ではサンプルとして日本刀（J5）が最小値になると仮定）を0にするため、各列の平均値にこの値の絶対値を加え、 $2^{0.5}$ を乗じたものが、各々の尺度値として与えられることになる。

3.2 一般人が評価した日本刀

本節では、審査会（X）、（Y）において各賞を受賞した日本刀（5振りずつ）に対し、サーストン法を用いて一般人の評価

を定量化した内容を紹介しよう。対象とした日本刀は、アルファベットの若いものが審査会の上位入賞作品であることを意味する。

Fig.6はサーストン法による解析結果であり、Fig.6の縦軸の値が大きいほど評価が高いことを意味する。Fig.6（a）から、審査会（X）と一般人の評価には、複数の相違点が見受けられる。また、Fig.6（b）から審査会（Y）においても一般人との評価の間に相違点が見られた。これらの結果から、日本刀の専門家と一般人では、日本刀を評価する視点に違いがあると言えよう。

続いて、本稿で評価対象とした各日本刀の物理的特徴である「樋」の有無、「反り」と「刃文」をTable5の（a）（b）にそれぞれ示す。この3項目は日本刀に特段精通しない一般人でも（その名称を知らずとも）見た目で判断できる日本刀の要素であるため選定した。Table5では、一般人の評価が高かった日本刀を降順に並べ替えた。まず、樋の有無に着目した場合、樋を掻いていない日本刀の評価は低い結果となった。また刃文に関しては、「湾れ刃」が最も高い評価となった。

これらの結果から、一般人が評価する日本刀には樋、刃文のそれぞれで一定の傾向が存在し、日本刀の知識に長けていない一般人からすると、樋の有無や刃文の種類等、第一印象で判別できる特徴によって良否を決めていると言える結果であると解釈できよう。

3.3 刃文の波数解析の方法

3.2節の調査から、一般人に評価される日本刀の特徴抽出を試みた。一般人の評価（好み）を科学的に解明するには選出した日本刀の持つ特徴を定量化する必要があるためである。

Table4 Calculation procedure of Thurston method

(a) First step					
	J1	J2	J3	J4	J5
J1	0.5	α_{21}/N	α_{31}/N	α_{41}/N	α_{51}/N
J2	α_{12}/N	0.5	α_{32}/N	α_{42}/N	α_{52}/N
J3	α_{13}/N	α_{23}/N	0.5	α_{43}/N	α_{53}/N
J4	α_{14}/N	α_{24}/N	α_{34}/N	0.5	α_{54}/N
J5	α_{15}/N	α_{25}/N	α_{35}/N	α_{45}/N	0.5
(b) Second step					
	J1	J2	J3	J4	J5
J1	0	β_{21}	β_{31}	β_{41}	β_{51}
J2	β_{12}	0	β_{32}	β_{42}	β_{52}
J3	β_{13}	β_{23}	0	β_{43}	β_{53}
J4	β_{14}	β_{24}	β_{34}	0	β_{54}
J5	β_{15}	β_{25}	β_{35}	β_{45}	0
Average	$\beta_{j1}/5$	$\beta_{j2}/5$	$\beta_{j3}/5$	$\beta_{j4}/5$	$\beta_{j5}/5$
$-\beta_{j5}/5$	γ_{j1}	γ_{j2}	γ_{j3}	γ_{j4}	0
Scale value	$\sqrt{2} \gamma_{j1}$	$\sqrt{2} \gamma_{j2}$	$\sqrt{2} \gamma_{j3}$	$\sqrt{2} \gamma_{j4}$	0

本稿では、日本刀の持つ特徴の中で前述したように一般人が注目しやすい刃文に着目した。刃文には多種多様な模様があり、その模様を波数解析した。波数解析のモデルを Fig.7 に示す。本稿においては、図録から得た日本刀の画像をグレースケール変換し、刃文の波長を波数解析した。解析は一直線上にて行うため、Fig.7 で示すとおり、刀身を直刀化するように画像処理を施した。

3.4 刃文の違いと波数の特徴の関係

3.2 節において、一般人の評価する刃文の傾向を確認できた。本節では、Table5 で示した 10 振りの日本刀の刃文を波数解析することによって、その定量化を試みた内容を論述したい。波数解析は、Fig.7 に示した刃から 8mm の位置で行い、結果を Fig.8 に示す。なお、波数解析結果 (Fig.8) は一般人の評価が高くなった日本刀から順に示したが、「直刃 (Table5 (b) の c')」の刃文では波数解析結果に特徴が得られなかったため、Fig.8 からは除外した。

解析結果を総じて、「^{ちょうじば}丁子刃」においては「^{のたれば}湾れ刃」に確認できない傾向が見られた。すなわち、「湾れ刃」と比較して、「丁子刃」では 10mm 付近および 10mm 以下の波長において高いスペクトルが確認できた。この波長が、「丁子刃」特有の小刻みで躍動感の強い刃文を形成していると言えよう。また、Fig.8 (a) (iii) の日本刀の刃文は「湾れ刃」に分類されるものであるが、解析結果では「丁子刃」に見られる傾向 (10mm 付近および 10mm 以下の波長において高い数値) も確認できる。これらの結果を考察すると、一般人が好む刃文とは、同範囲内における波長に数値の上昇がないものと判断されよう。

4 おわりに

本稿においては著者らによる研究グループが取り組む日本刀の科学的研究の一端を紹介した。まだまだ研究の緒に付いたばかりの感は否めないが、本稿で紹介した日本刀の機能面、官能面はもちろんのこと、姿 (形状)、刃文、地肌 (地鉄) の特徴についてもさらに詳細な研究を行い、いずれは若い匠

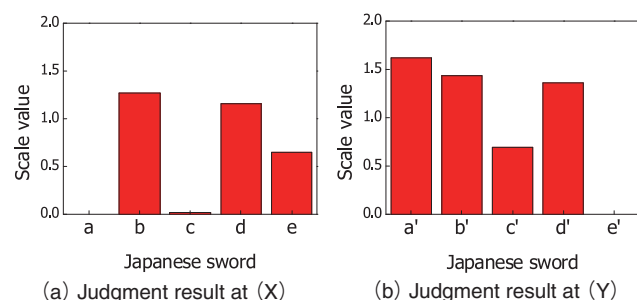


Fig.6 Relation between judgment results and novice prefer on Japanese sword

らが参考にできる羅針盤的な指針の提案を最終目標とした研究活動を若い学生らと取り組んでいるところである。

具体的な取り組みとして、新作日本刀の「美」の評価と設計法に関し、定性的な伝統手法ではなく、設計工学と心理科学の融合による定量手法を用いた評価・設計法を具現化した。そして、その結果に基づき、国宝級指定の日本刀も含めて、歴史を超越した新しい評価・設計法を提案し、その手法に基づいて新たな日本刀製作に挑むことを通じて、妥当性を実証評価する研究に発展させる所存である。

最後に、本稿の成果を本学と連携協定を結ぶ長野県坂城町にある「鉄の展示館」において、従来の日本刀の展示とは異なるまったく新しい切り口で展示を行っている。是非、ご高覧頂ければ幸甚である。

謝辞

本稿に関する研究成果の一部は、科学研究費補助金 (基盤研究 (C)) No. 17K06129 によって行われた。また、本稿の一部は (公社) 精密工学会が発刊する学術機関誌で公表した論文「畝田道雄, 村上昇啓, 高島伸治, 神宮英夫, 石川憲一: 感性評価による日本刀の美しさに関する研究, 精密工学会誌, 83, 4 (2017) 361-366.」からの転載許諾を得たものである。

Table5 Physical properties of Japanese sword

(a) Judgment result at (X)

	Hi	Sori mm	Hamon
b	With	22	Notare
d	With	22	Notare
e	With	19	Notare
c	With	28	Tyoji
a	With	30	Tyoji

(b) Judgment result at (Y)

	Hi	Sori mm	Hamon
a'	With	24	Notare
b'	With	22	Notare
d'	With	24	Notare
c'	Without	22	Suguha
e'	Without	26	Tyoji

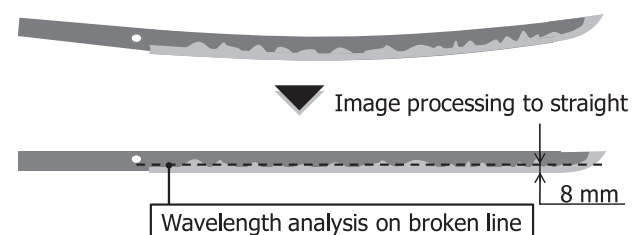
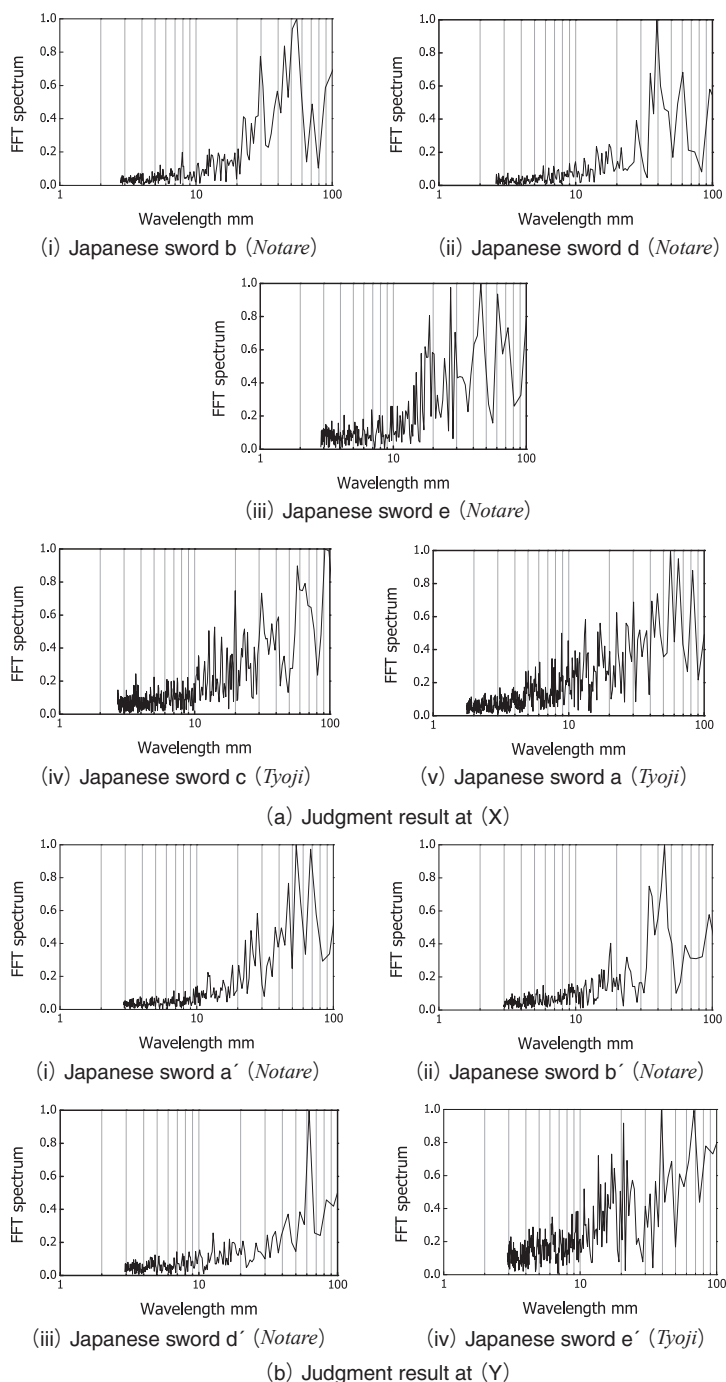


Fig.7 Model diagram of spectrum analysis of hamon

Fig.8 Wavelength analysis result of *hamon* at analyzed location of 8mm

上記の件、記して謝意を表する。最後に、本稿に関わる研究グループの学生中心メンバーとして研鑽してくれた村上昇啓君をはじめとする学生各位の努力に感謝申し上げる。

参考文献

- 1) 原田利宜, 吉本富士市: デザイン学研究, 51 (2004) 1, 77.
- 2) 長谷川熊彦: わが国古代製鉄と日本刀, 技術書院, (1977)
- 3) 小泉富太郎, 辻本直男, 沼田謙次, 渡辺国雄: 日本刀全集 第一巻, 徳間書店, (1966), 21.
- 4) 俵国一: 日本刀の科学的研究 (一), 日本刀講座第九巻科学篇 (上), 雄山閣, (1936)
- 5) J.-S. Park: ISIJ Int., 44 (2004) 6, 1040.
- 6) 井上達雄: 日本機械学会誌, 107 (2004) 1027, 417.
- 7) 山本英弘, 大島 等: 日本体育学会大会号, 34 (1983), 494.
- 8) 大山航, 伊藤克徳, 若林哲史, 木村文隆: 電子情報通信学会技術研究報告, 112 (2013) 495, 175.
- 9) 神宮英夫: 印象測定の心理学, 川島書店, (1996), 89.

(2018年5月14日受付)