

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K02783

研究課題名(和文) 記述式コースウェアの学習データ分析に基づいたSCORM対応LMSの開発

研究課題名(英文) Development of SCORM-compatible LMS based on learning data analysis of descriptive courseware

研究代表者

渡邊 博之(WATANABE, Hiroyuki)

日本大学・工学部・研究員

研究者番号：40147658

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、主として次の2件を成果として論文発表した。

(1) 記述式の繰り返し学習型コースウェアのモデルとして、クレペリン検査を対象にメトロノームを鳴らすことによって回答数が最大となる学習者に適したリズムがあることを、脳波と回答数の関係から明らかにした。また、記述式問題では無回答問題が生じるため、過去の学習データから回答数が最大となる脳波を推定する方法を提案し、実測値と比較した。

(2) 記述式コースウェアを作成する場合、提示する問題に画像が含まれる。画像として工具を対象に、形状と色彩の特徴をフラクタル次元を用いて判別する新たな分析法を提案した。また、フラクタル次元を用いて工具の汚れを判別した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究成果の学術的意義や社会的意義は次の2件にある。

(1) クレペリン検査中の脳波の測定により、学習者に最適リズム(通常リズムの1.2倍)を与えることで、回答数はリズムの倍数以上になることを実測値と推定値から明らかにした。今後、本研究は教員の授業テンポ(リズム)に学習者が追従できる資料や、過去の学習データの組合せから学習者個々にとって最適な学習法が推定できる方法として有用となる。

(2) 画像解析のモデルとして工具を対象に、種類、分野、形状の特徴、及び工具の劣化を判別した。今後、本研究はフラクタル次元を用いた新たな工具の開発や、工具の交換時期を管理する分析法として有用となる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we primarily published two achievements as papers:

(1) As a model for descriptive repetitive learning courseware, focusing on the Kreplin test, we clarified that there is a rhythm suitable for learners to maximize the number of responses by sounding a metronome, based on the relationship between EEG and the number of responses. Additionally, for descriptive problems where unanswered questions can occur, we proposed a method to estimate the EEG that maximizes the number of responses based on past learning data and compared it with actual measurements.

(2) When creating descriptive courseware, the presented problems include images. We proposed a new analytical method to distinguish the features of shape and color of tools as images using fractal dimensions. Furthermore, we applied fractal dimensions to determine the cleanliness of tools.

研究分野：工学教育

キーワード：記述式コースウェア クレペリン検査 脳波 推定 フラクタル解析 ボックスカウンティング セミバリオグラム

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

これまで、申請者は Web 上で活用する学習用教材やコースウェアを作成すると共に、コンピュータを用いた学習管理システム（LMS ; Learning Management System）を開発・運用し、学習データを収集してきた。また、学習者および問題やコースウェアの特徴を分析してきた。その間、LMS は SCORM（Shareable Content Object Reference Model）対応へと変化してきた。一方、大学入試共通テストでは記述式問題の導入、授業ではコロナ禍で遠隔授業による単位認定へと変化してきた。学習者の得点に関する研究は多数発表されているが、記述式の繰り返し学習型コースウェアでは学習時間の分析法が問題となる。また、記述式問題では図形などが含まれるため、回答の分析法が問題となること、及び無回答問題に対する学習者の理解度の分析と推定が問題となる。

このため、過去の研究では、記述式の繰り返し学習型コースウェアの学習モデルとして、クレペリン検査を対象に、脳波と作業量である回答数との関係を分析してきた。その結果、リラックスと緊張とのバランスを示す指標 C_{α}/C_{β} の値が大きい学習者や、左脳と右脳のバランスが良い学習者は回答数が多いことを明らかにしてきた。しかし、記述式の繰り返し学習型コースウェアの学習時間の分析にとどまり、その推定は行われていない。さらに、演習問題型コースウェアの分析は短答式にとどまり、記述式や図形を含む分析は行われていない。

従って、本研究は次の問題点を解決することにある。また、問題点を解決することにより、SNS を活用して自律的な個別学習可能なコースウェアを提示することにある。

(1) 記述式の繰り返し学習型コースウェアの学習者の理解度を分析する。

(2) 学習時間を用いた学習者の理解度を分析すると共に、無回答問題の回答を推定する。

(3) 記述式問題において、図形を含む問題の特徴、および学習者による回答に図形を含む場合を分析する。

2. 研究の目的

本研究の目的は、研究開始当初に記した問題点を解決することにある。すなわち、記述式問題に対応する LMS を開発すると共に、繰り返し学習の学習時間を分析することによって、無回答問題に対する理解度を推定し、学習者に最適なコースウェアを SNS 技術の活用によりフィードバックする。この結果、学習者個々の学力を向上させることにある。具体的には、次のとおりである。

(1) 記述式の繰り返し学習型コースウェアのモデルとして、クレペリン検査を対象に、学習量である回答数を増すためにメトロノームを鳴らすことによってリズムをとる方法を提案し、回答数を最大とするリズムを実測値で求める。この結果、回答数が増すメカニズムを脳波によって解明する。また、授業中において教員のリズムに学習者が追従できるか、回答数とリズムがどのような関係にあるかを明らかにする。

(2) 記述式コースウェアでは無回答問題が生じる。回答に要したクレペリン検査の脳波と過去のリズムだけの脳波を組み合わせることによって、リズムを鳴らしながらクレペリン検査を行った場合の回答数を推定する。

(3) 記述式コースウェアを作成する場合、文章と共に画像を用いることが多い。特に、ものづくりのコースウェアでは工具が必要不可欠である。このため、新しい画像解析法を提案することによって、ものづくり教育における教材作成、用途に応じた使用法、新たな工具の開発において有用となる資料を得る。また、工具の手入れ具合や劣化に伴う交換時期を明らかにし、安全対策や管理を適切に行う。

3. 研究の方法

「研究の目的」(1)～(3)に対応して、次の研究方法で実験を行い、データ解析を行う。

(1) に関しては、2021 年度にメトロノームを用いてリズムを鳴らしながらクレペリン検査を行った場合の回答数と C_{α}/C_{β} （リラックスと緊張とのバランスを示す指標）との関係から、記述式コースウェアにおける最適リズムを明らかにしている。また、最適リズムの有無による作業量である回答数の違いを脳活動の部位と C_{α}/C_{β} から解明している。具体的には、図 1 に測定方法を示す。図 1(a)はクレペリン検査時の脳波測定における問題用紙を示している。クレペリン検査は、検査実施用号令 CD の手順により、横一列に並んだ 1 桁の数字を隣同士加算し、合計の値の一位の数字を記入する単純作業である。まずは、リズム無しの（通常の）クレペリン検査における前半 15 分、休憩 5 分を挟んで後半 15 分、合計の作業時間が 30 分間の脳波を測定する。図 1(b)は実験装置の構成を示している。外部からのノイズを避けるため、PC のない会議室に導電マットを敷き、導電シューズを履き、電磁シールド用エプロンを着け、耳朶を連結して基準電極とした単極導出法によって電位を測定する。測定部位は頭部で比較的電位の変化が顕著に表れる左前頭葉（F3）と右前頭葉（F4）である。脳波測定装置は BIOPAC 社製品の MP -150 を 2 個のチャンネル数で使用している。次に、通常のクレペリン検査を 30 分間行った平均回答数 [問/分] を 1.0 倍のリズム [拍/分] として、0.8～1.3 倍付近の倍率でメトロノームによるリズムのみを安静開眼状態で 30 分間聞いた脳波を測定する。最後に、リズムを聞きながらクレペリン検査を 30 分間行

った脳波を測定する。なお、実験終了後は回答用紙を日本心理テスト研究所に依頼して、コンピュータ処理した回答数と正誤判定の結果を用いる。脳波の解析は、MP-150 付属のキッセイコムテック株式会社による ATAMAP II の FFT を用いてパワースペクトルを求めることはできるが、パワースペクトルの推定値を得ることはできない。このため、EXCEL の FFT ツールを用い、パワースペクトルの値が ATAMAP II と同一であることを確認した上で、EXCEL を用いて解析する。

(2) に関しては、2022 年度に図 1 と同様の測定方法で実験し、回答数の推定を行っている。すなわち、リズム無しのクレペリン検査の脳波とリズムのみを聞いた脳波を同一時刻において単純加算しても、リズムを聞きながらクレペリン検査を行った脳波とはならない。また、回答数と比例関係にあるのは脳波(電位)ではなく、パワースペクトルの比である。そこで、リズム無しのクレペリン検査の脳波から 1 分ごとのパワースペクトル P_n (ただし、 n は周波数) を求め、 P_n から式(1)に示すリラックスと緊張とのバランスを示す指標 C_α/C_β を求める。

$$\frac{C_\alpha}{C_\beta} = \frac{\sum_{n=8}^{13} P_n}{\sum_{n=13}^{30} P_n} \quad (1)$$

図 2 は C_α/C_β の推定方法を示している。具体的には、次の手順①～⑤で行われる。

①：クレペリン検査の 1 分ごとの C_α/C_β を 30 分間で平均し、平均値に近い 1 分間の C_α/C_β の脳波を抜き出す。図 2(a)はその脳波(電位 V)を示している。

②：リズムのみを聞いた脳波において、1 分間の C_α/C_β を 30 分間で平均し、平均値に近い 1 分間の C_α/C_β の脳波を抜き出す。図 2(b)はその脳波を示している。①と②は、いずれも F3 の部位の時系列電位である。

③：図 2 の(a)と(b)で $\pm 0.5\text{mV}$ を超える脳波は、生体内部で不規則にノイズ(アーチファクト)として発生している瞬目などである。(a)と(b)は平均値が異なるため、単純加算では絶対値の大きい脳波が強い影響を与える。そこで、(a)と(b)をそれぞれ $(V - V_{\min}) / (V_{\max} - V_{\min})$ で正規化することで 0~1 の範囲とし、正規化後に単純加算する。(c)は正規化後に単純加算した電位を示している。

④：クレペリン検査は単純加算の繰り返しであるため、脳波も繰り返しとみなせるが、アーチファクトを除去する必要がある。そこで、約 1 分間(57,344ms)の電位を 14 区間として 1 区間 4,096ms に分け、ハミング窓関数を掛けて周期信号とする。14 区間の周期信号を FFT することによって、図 2(d)に示すように、1 分間を 14 区間に分割した各パワースペクトルが得られる。

⑤：14 区間のパワーを加算平均することによって 1 区間 4,096ms にまとめた正規化パワースペクトルが得られ、式(1)から C_α/C_β の推定値を求めることができる。

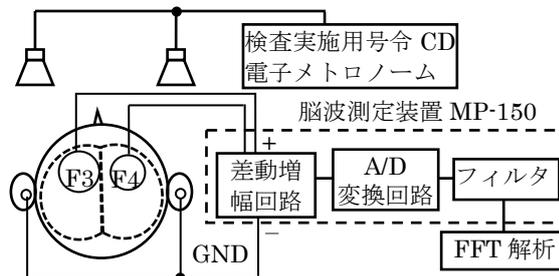
(3) に関しては、2023 年度に画像などを用いて記述式コースウェアを作成する場合における形状と色彩のフラクタル次元の新しい求め方を提案している。具体的に、形状のフラクタル次元については、画像をモノクロに変換した後、ボックスカウンティング法を用いている。ボックスカウンティング法は、まず画像全体をセルと呼ばれるボックスで囲み、画像の輪郭線を描画しているボックス数(セル数) N を数える。次にセルサイズを小さく(分割数 r を大きく)変えて同

```

      4 3 4 7 6 5 1 7 6 5
1行目 7 7 1 3 1 6 8 3 
      8 7 6 1 1 2 3 8 2 9
2行目 5 3 7 

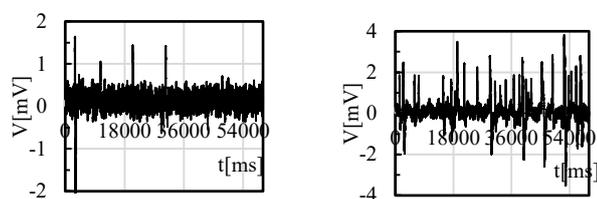
```

(a) クレペリン問題用紙

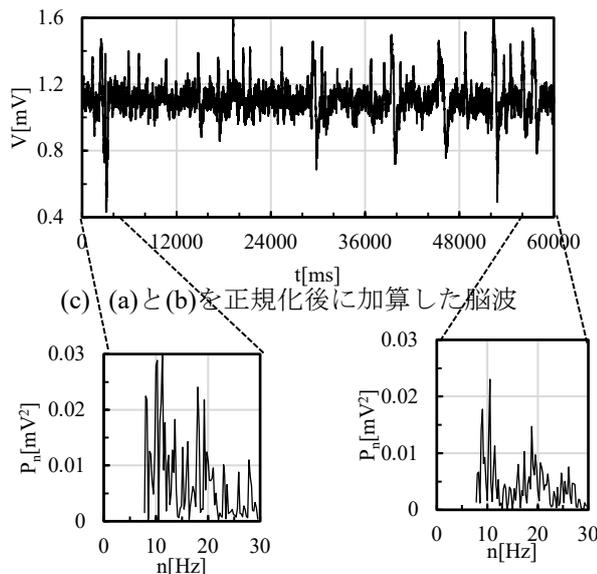


(b) 実験装置の構成

図 1 クレペリン検査における脳波の測定方法



(a) クレペリン検査中の脳波 (b) リズム聴取中の脳波



(c) (a)と(b)を正規化後に加算した脳波 (d) 14 区間における FFT 後のパワースペクトル

図 2 C_α/C_β の推定方法

様にボックス数 N を数える。 r と N とを両対数で表すと回帰直線となるので、回帰直線の傾きから形状のフラクタル次元 D_s が次式で求められる。

$$D_s = \log_r(N) = \frac{\log_{10}(N)}{\log_{10}(r)} \quad (2)$$

一方、色彩のフラクタル次元については、jpeg 画像を RGB から XY 色度図に変換した後、色彩のばらつきであるセミバリオグラムからフラクタル次元を求めている。まず、座標 (x,y) における色 z_{xy} と距離 h だけ離れた座標 $(x+h,y+h)$ における色 z_{xy+h} の分散 γ を求める。これをあらゆる座標のあらゆる組合せでプロットしたのがセミバリオグラムである。セミバリオグラムで横軸のペア間の距離 (ラグ) の平均を求め、ラグに含まれるペアについてすべて平均したのがセミバリオグラムであり、パラメータ (b, R, γ_{\max}) で表すことができる。ナゲット b は γ の切片、レンジ R は γ が一定の最大値 γ_{\max} となるまでの距離 h 、最大値 γ_{\max} は分散 σ^2 に一致する。セミバリオグラムを両対数で表すと、その勾配からフラクタル次元 D_c が次式で求められる。

$$2\gamma = E[z_{x+h} - z_x]^2 = h^{2H} \quad (3)$$

$$D_c = 2 - H \quad (4)$$

4. 研究成果

「研究の方法」(1)～(3)に対応して、次の研究成果が得られた。

(1)に関しては、「リズムを鳴らしたクレペリン作業時における脳波分析」として2022年電子情報通信学会総合大会(D-15-9, 2022年3月17日)で発表した(図3, 図4参照)。

図3はリズム無しのクレペリン検査を行った25人の C_α/C_β と回答数の関係を示している。 C_α/C_β の値が小さい学習者はリラックスできず、過度に緊張や集中しているために回答数が少ない。平均回答数は65問/分であり、 C_α/C_β と回答数とは左脳(F3)において比例関係にあり、相関係数 γ は0.79である。一方、右脳(F4)は比例関係になく、 $\gamma=0.44$ である。リズム無しのクレペリン検査のような単純加算では論理的思考力のため、左脳のみ活性化し、右脳は活性化されずに回答していることがわかる。

図4は図3と同一の25人に対して、最適リズムを聞きながらクレペリン検査を行った場合の C_α/C_β と回答数の関係を示している。最適リズムでは平均回答数が82問/分であり、リズム無しの1.3(=82/65)倍の平均回答数である。回答数が増加した理由の一つは、全体的に左脳(F3)の C_α/C_β の値がリズム無しの0.75に比べて、最適リズムでは0.86に増加したことと標準偏差が小さくなったことが考えられる。もう一つは、最適リズムでは回答数と C_α/C_β の相関係数が左脳(F3)で $\gamma=0.80$ の比例関係にあるばかりでなく、右脳(F4)も $\gamma=0.75$ の比例関係にあるためと考えられる。リズム無しの得点を1.0倍のリズム[拍/分]として、全体的に1.0倍未満の遅いリズムでは回答数が増加せず、1.2倍のリズムで最大を示している。また、リズムに追従して回答している学習者もいるが、リズムをBGMのような感覚で聞きながら回答している学習者のため、回答数はリズムの倍数以上になることがわかる。

(2)に関しては、「リズムの有無におけるクレペリン検査中の脳波のパワースペクトルの解析と推定」として工学教育2023年3月号に論文を発表した(図5参照)。

図5はリズムに対する回答数および C_α/C_β との関係を示している。回答数は棒グラフで示し、 C_α/C_β の推定値と実測値はそれぞれ折れ線グラフの破線と実線で示している。リズムが1.0倍のとき、リズムの有無に関わらず回答数は59問/分である。最適リズムの1.2倍では74問/分に増加し、1.3倍以上では減少している。推定値においてもリズムが1.2倍で C_α/C_β が

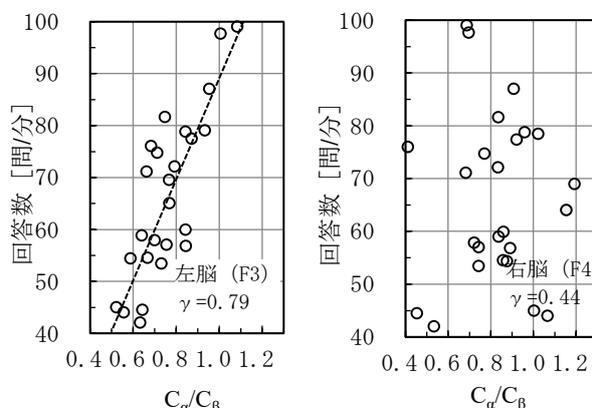


図3 C_α/C_β と回答数との関係 (リズム無し)

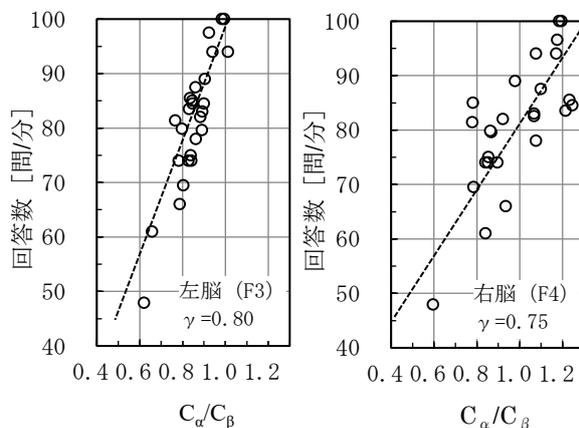


図4 C_α/C_β と回答数との関係 (最適リズム)

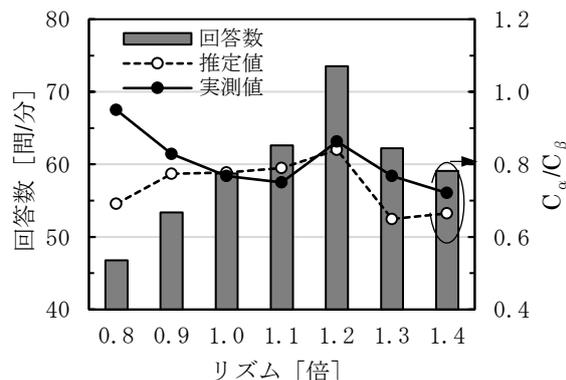


図5 リズムに対する回答数および C_α/C_β の実測値と推定値の関係 (59問/分)

最大となっている。リズムが 0.9 倍以上で C_α/C_β の推定値は回答数と類似の曲線を示しており、本手法によって、回答数を最大とする最適リズムが推定できるといえる。リズムが 1.0 付近 (0.9~1.2 倍) において、実測値に対する推定値は誤差 10% 以下であるが、1.0 から極端に外れると誤差が大きくなっている。その理由は、推定値ではリズムとクレペリン検査との相互作用を考慮してないためである。また、実測値ではリズムを BGM のような感覚で聞き流す学習者や、リズムに左右されやすい学習者のように個人差が C_α/C_β の値が小さい場合や大きい場合には生じやすいためと考えられる。

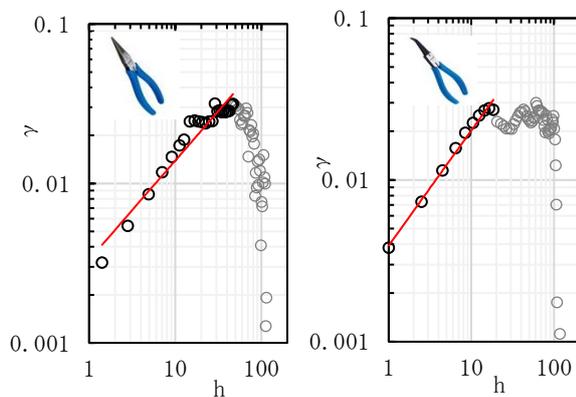
(3) に関しては、「フラクタル解析による工具の定量的評価に関する一考察」として第 71 回年次大会・工学教育研究講演会 (3B09, 2023 年 9 月 8 日), 及び「フラクタル次元を用いた工具の特徴評価」として 2024 年電子情報通信学会総合大会 (D-11A-01, 2024 年 3 月 5 日) で発表した (図 6~9 参照)。なお、本研究成果は「フラクタル次元を用いた工具の特徴解析」として工学教育 2024 年発行の論文として採択が決定した。

図 6 は工具の例として電気分野のラジオペンチの $h-\gamma$ の関係を示している。図 6(a) のナゲット b は 0.003, レンジ R は 46.8, 最大値 γ_{max} は 0.032 であり, γ_{max} 後は減少する特徴がみられる。図 6(b) のナゲット b は 0.003, レンジ R は 18.5, 最大値 γ_{max} は 0.027 であり, γ_{max} 後はほぼ一定値を保ち続ける特徴がみられる。直型に比べて傾きがやや大きく, $D_c=1.64$ となる。セミバリオグラムの曲線やパラメータ (b, R, γ_{max}) で工具の特徴が判別できることがわかる。

図 7 の(a)は電気分野, (b)は医療分野で用いられている工具のセミバリオグラムの傾き $2H$ と最大値 γ_{max} との関係を示している。(a)の電気分野は $2H$ の値が 0.5 以上であるが電気分野の工具は持手部に絶縁樹脂を有するため, D_c の値が小さい。一方, 医療分野の工具は, 形状が複雑で色彩が鋼色のため D_s と D_c の値が大きい。この結果, 工具の「分野」が判別できることがわかる。

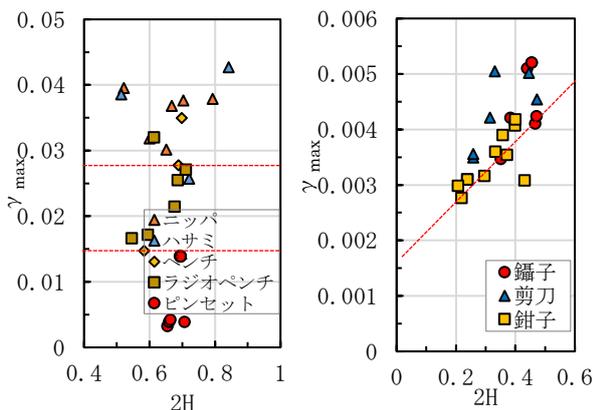
図 8 は電気分野と医療分野で用いられる工具の D_s と D_c を示している。電気分野の D_s の大きい順は, 概してラジオペンチ>ペンチ>ニッパ>ピンセットである。電気分野に比べて医療分野は, 形状が複雑なため D_s が大きい。また, 鋼色で傾き $2H$ の値が小さいため D_c が大きい。さらに, ピンセットと鑷子は, 構造が単純なため同一分野の他の工具に比べて D_s が小さい。 D_c と D_s によって, 分野や種類が判別できることがわかる。

図 9 は同一工具の汚れについて, 清掃する前 (←の始点) と後 (←の終点) を示している。形状は変化しないので, D_s は 6 種類とも清掃前後でほぼ一定である。しかし, 色彩は汚れると不自然 (ランダム) になるので D_c は大きい, 汚れが無いと自然な色へ変化するので, D_c は小さいほうへ変化している。 D_c によって, 清掃前後の汚れが判別できることがわかる。



(a) 直型 (b) 曲型

図6 ラジオペンチの特徴 (色彩)



(a) 電気分野 (b) 医療分野

図7 セミバリオグラム (色彩)

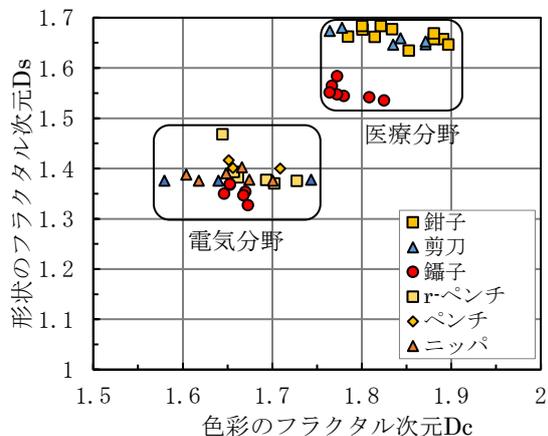


図8 工具の分野判別

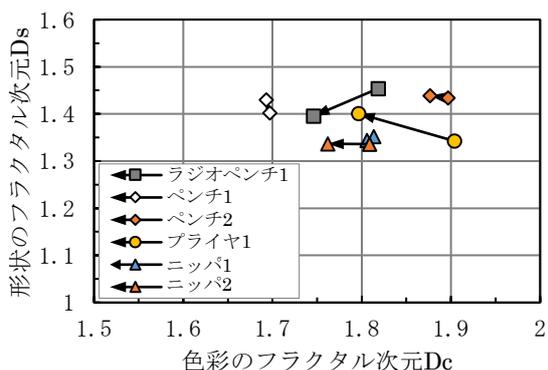


図9 工具の汚れ判別

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 渡邊 博之, 村上 佳弥, 鳶田 聡	4. 巻 71
2. 論文標題 リズムの有無におけるクレペリン検査中の脳波のパワースペクトルの解析と推定	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 工学教育	6. 最初と最後の頁 33-38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4307/jsee.71.2_33	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 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 渡邊博之
2. 発表標題 リズムを鳴らしたクレペリン作業時における脳波分析
3. 学会等名 2022年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡邊博之, 村上佳弥, 鳶田聡
2. 発表標題 フラクタル解析による工具の定量的評価に関する一考察
3. 学会等名 第71回年次大会・工学教育研究講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 渡邊博之, 鳶田聡
2. 発表標題 フラクタル次元を用いた工具の特徴評価
3. 学会等名 2024年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2024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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------