

臨書初級者のための 文字バランス学習支援システムの提案

野波 淳里^{†1,a)} 竹川 佳成^{†1,b)}

概要：書写において文字バランスの習得は重要であり，文字バランスの練習法方法として，手本と見比べながら文字を書く臨書がある．しかし，手元の手本と実際に文字を書く半紙は離れているため，文字のバランスが適切であるかどうかは直観的に判断しづらい．そこで，本研究ではこの問題点を解決するために臨書初級者のための文字バランス学習支援システムの構築を目的とする．提案システムはタブレットを利用し，学習者は手本を表示したタブレット上に半紙を置き，墨汁に浸した筆で文字を書く．半紙は薄い紙であるため，半紙越しにタブレットに表示されているコンテンツを見られる．また，筆の一部に導電性テープを貼り付けることで，タブレットに触れている筆の位置をタブレットが認識できる．この特性を活かし，手本からの離脱を促進し学習効果を高めるために，学習者が書いた筆跡を採点する機能を提供する．

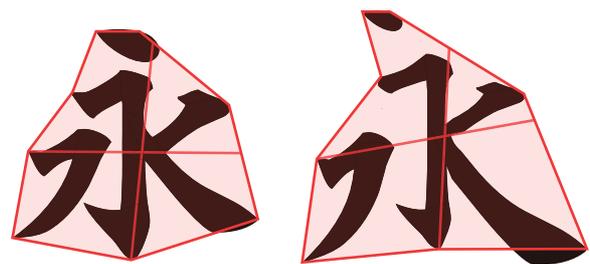
1. 背景

日本では義務教育における国語授業の一環として書写が導入されており，近年では学校教育だけでなく生涯学習としても注目されている．書写とは文字を正しく整えて書くことであり，文字を書くときの書き順や文字バランス，一画の線の太さ，とめ・はね・はらいなど，様々な技術が求められる．中でも書き順や文字バランスは習得すべき基礎的な技術である．正しい文字バランスとは，図1に示すように，半紙サイズを基準とした文字の相対的な大きさや位置・各画の相対的な長さ・画間の位置関係が手本と同じことである．

書写の一般的な練習方法として，既に書かれた手本に真似て書くという臨書がある．しかし，手元の手本と実際に文字を書く半紙は離れているため，文字のバランスが適切であるかどうかは直観的に判断しづらい．また，手元の手本上に半紙を重ねて透けた文字をなぞることで訓練はできるが，手本なしで文字バランスの良い文字を書けるようになるためには繰り返し練習する必要があり，時間がかかる．

そこで，本研究ではこの問題点を解決するために臨書初級者のための文字バランス学習支援システムの構築を目的とする．

提案システムはタブレットを利用し，学習者は手本を表示したタブレット上に半紙を置き，墨汁に浸した筆で文字



整っている例

整っていない例

図1 文字バランスの整っている例と整っていない例



図2 臨書の形式

を書く．半紙は薄い紙であるため，タブレットの表示が透けて見える．学習者の熟達度によって提示する手本の情報を変化させることで，手本からの離脱を促進し学習効率を高める．また，筆の一部に導電性テープを貼り付けることで，人体-筆-タブレットが電氣的に導通し，タブレットに

^{†1} 公立はこだて未来大学大学院

^{a)} g2114026@fun.ac.jp

^{b)} yoshi@fun.ac.jp

触れている筆の位置を認識できる．この特性を活かし、学習者が書いた筆跡を採点する機能を提供する．

2. 関連研究

2.1 書写および書道についての研究

書写および書道についての研究はこれまでもいくつかの研究が行なわれている．以下に、代表的な事例を挙げる．

動的な手本提示による習字支援システム [1] この研究では動的に提示されてる手本を学習者が上からなぞるようにして模倣し、その結果をシステムが評価する．提示されている手本は学習者がなぞっている時間から位置を予測し、その少し先を表示させている．筆の接地時間から提示される手本を追うように筆を運ぶことによって、その字の書くリズムを学習者に教えることができる．

しかし、この研究では動的なぞり手法による運筆の学習に注力しており、本研究で提案するシステム補助からの離脱は考慮していない．

力覚装置を用いた習字学習システムの構築 [2] この研究では、本研究と同様に手本との見比べに問題があるとして、力覚装置を用いて正しい運筆を学べる．力覚装置には Sensable Technologies 社の PHANTOM Omni、筆や半紙の代わりとしてタッチペンとディスプレイを用いている．筆圧検知などの特徴を活かして、とめ・はね・はらいなどの筆の技法においても摩擦力を必要とし、実際に文字を書いているかのような感覚を得ながら文字を書くことができる．

実際に毛筆を使って練習する環境を擬似的に提供しており、実際に学習環境を重視するという点において、本研究と類似しているが、本研究は筆の技法よりも基礎的な部分である文字バランスに着目した学習支援を行なうため、学習項目が異なる．学習者は基本的にシステムのガイドに従う受動的な学習スタイルである一方、本研究で提案するシステムでは、システムが提供する補助レベルを学習者が能動的に変えながら学習するスタイルであり、学習方法という点においても異なる．

ニンテンドー DS 用ゲームソフト「DS 美文字トレーニング」[3] 近年、ゲームとしてスキル習得を支援するソフトウェアが増えてきている．その中の一つとして、DS 美文字トレーニングが挙げられる．このゲームはニンテンドー DS のタッチペンを活用して美しい文字が書けるようになることを目的としている．特徴的な点として、常用漢字 1945 文字と平仮名、片仮名、人名用など全 3119 文字が収録されていることが挙げられる．また、それぞれの文字においてインタラクティブに添削及びアドバイスを行なう点も特徴的である．

しかし、このゲームはニンテンドー DS を用いることが前提となっている．ニンテンドー DS のタッチパネルの液晶サイズは最大でも 4.2 型となり、小さな範囲で書かなければならない．また、ニンテンドー DS は専用のタッチペンが必要となり、専用のタッチペンによる練習の成果は実際の毛筆を用いた際に十分に活かすことはできない．

AR 技術を利用した書写学習支援アプリケーション [4] この研究はプロジェクションマッピング技術を用いた書写の学習支援システムである．実際に書写を行なう環境において、半紙上にプロジェクタで手本を投影することで学習の支援を行なっている．また、同時にカメラを用いることで書くときの姿勢などといった、文字を書くに至るまでも評価をしている．

この研究は実際の学習環境にプロジェクタやカメラといった装置を加えるだけで実現しているが、補助として提示される手本の情報は臨書と同様に単一であり、補助からの離脱は考慮されていない．

2.2 システム補助からの離脱を考慮した学習支援システム

システムによる補助からの離脱を考慮した学習支援システムの例として、本研究の著者が開発したピアノ演奏学習システム [5] がある．これはピアノ初心者を対象とし、五線譜やシステムが生成する補助情報を活用しながら楽曲を効率的に習得できるシステムである．また、このシステムは練習中の学習者の視線情報を取得し、補助として提示されている打鍵位置情報を確認した打鍵とそうでない打鍵とを識別できる．これによって学習者自信が補助を利用しているか確認でき、補助からの離脱を促せる．本研究では、補助利用情報の提供ではなく補助そのものを段階的に減らす機能を提供している点で異なる．

3. 設計

本研究は臨書初級者を対象とし、システムによって提示される手本の情報を活用して学習者は書き順から訓練し、最終的には手本が無い状態でも正しい文字バランスの文字を書けるようになることを目指す．

3.1 設計方針

本研究の目的を達成するための要件として、以下の 2 点が挙げられる．

実環境に近い学習環境 コンピュータやゲームによる擬似的な練習では実際の環境と異なる点が多く存在し、仮想環境で習得した技術を、実環境でそのまま適用できない．例えば、書写においては、紙とタッチパネルにおける摩擦の違いや、筆の種類、反復することで身に着けた慣れなど、複数の違いがある．成果を十分に発揮するためには、練習

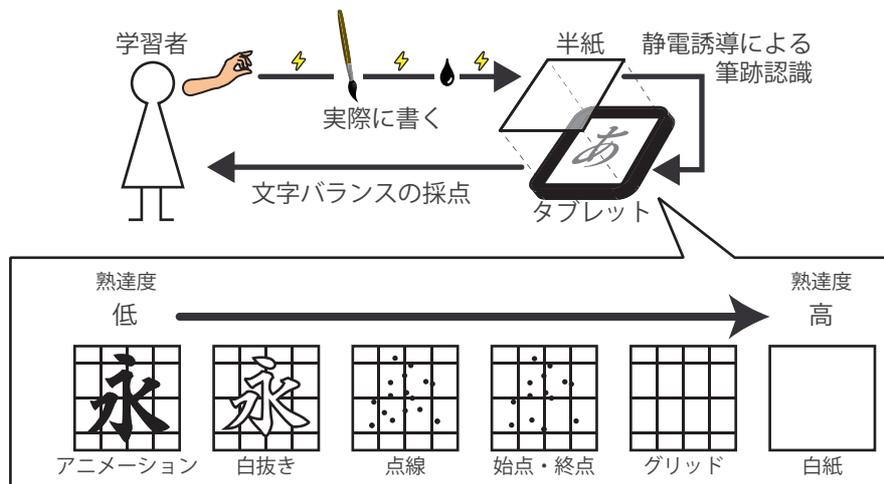


図 3 システム構成

の段階から実環境に近い状態で練習及び学習をすることが必要である。そのため、臨書においては、自分が普段から利用している書道具をほぼそのまま練習に使用できるようにする必要がある。なお、本研究における実環境とは実際の臨書の形態を意味する。

補助からの離脱 従来の臨書においては、半紙の隣においた手本から、文字のどこに注意して書くべきか、あるいは自分の書いた文字の良い点・悪い点を自分の目で見比べる必要があり、修正すべきポイントを見つけづらいなど、複数の問題が挙げられる。書道教室などでは、教育者からポイントや修正点の指摘を得られるが、教育者がいるという限られた場面以外では自己評価をすることしかできない。また、手本の内容が常に同一であれば、例えば、苦手な部首のみ表示された手本といったような学習者自身の熟達度に適した補助をうけられない場合がある。従来の臨書では、手本を見るか見ないかという両極端な方法しか選択できなかった。

そこで、本研究では、学習者の熟達度に応じて提示する手本の内容を変化される機能、学習者が文字バランスの正確性を客観的に評価できる採点機能を提供する。

3.2 システム構成

提案する学習支援システムのシステム構成を図3に示す。手本を表示したタブレット上に半紙を乗せ、墨汁に浸した毛筆で文字を書くという利用スタイルである。半紙は薄い紙であるため、タブレットの表示が透けて見える。これによって学習者に提示される手本は実際に書く半紙の真下に配置している状態と同じになり、学習者は手本をなぞるようにして文字を練習する。

また、図4に示すように筆の一部に導電性のテープを貼り付けることで、静電容量方式のタッチパネルを採用しているタブレット端末上で筆の位置を認識することができる。

提案システムでは、筆の一部に導電性テープを貼ったり、半紙の下に直接タブレット端末を置くが、臨書の習得の妨げにはならないことを確認しており、上記で述べた「実環境に近い学習環境」の要件を満たす。

なお、筆に墨汁を浸けすぎたとき、タブレットの画面に墨汁が一部残ってしまう場合があるが、湿らせたティッシュなどで簡単に拭き取れる。筆の位置の認識は、墨汁だけでなく水でも可能である。

3.3 練習方法

最初に学習者は自身の熟達度に応じたステップを選択する。熟達度の低い順から、アニメーション、白抜き、点線、始点・終点のみ、升目のみ、手本提示なしの6個のステップがある。この6個のステップを設定した理由は、ステップが高くなるにつれて手本の情報を減らすことによって、画の位置関係や全体的な形、大きさを意識して練習できるようにするためである。アニメーションでは書き順から学び始め、白抜きによって大まかな形、点線で各画の軸、というように文字バランスの学習に必要な情報を徐々に減らしながら練習することができる。このようにステップを設けることで補助情報からの離脱を促進できる。

ステップを選択すると、次は練習開始となる。練習ではタブレット端末上に選択した文字とステップに対応した手本が表示される。学習者はタブレット端末上に半紙を乗せ、その上から導電性テープを巻いた筆と墨汁で実際に臨書を行う。システムはリアルタイムに筆の位置を認識している。書写は基本的に一画を一筆で書くため、時系列の筆の位置情報や、筆がタブレットに接地あるいは離れたタイミングの情報をもとに、現在何画目を書いているかを推測することでアニメーション手本における提示する画を制御している。



図 4 アルミホイルを巻いた毛筆

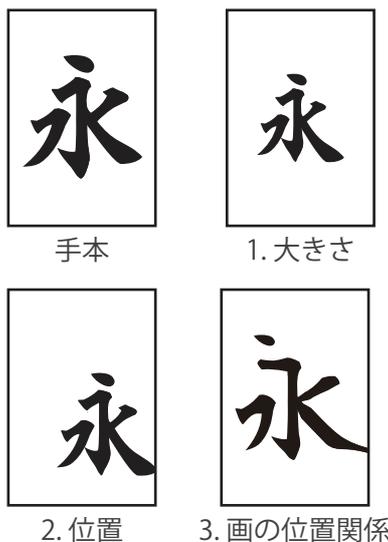


図 5 文字バランスの各要素が整っていない例

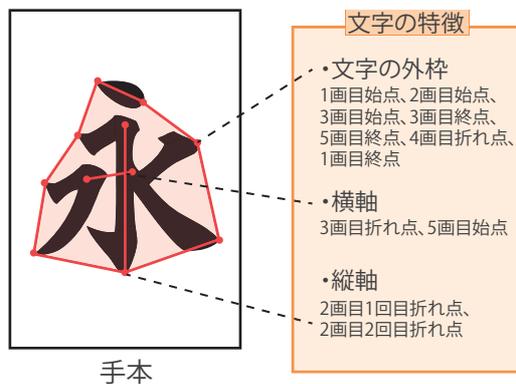


図 6 文字『永』の特徴量

3.4 採点機能

本研究では、文字バランスの学習支援を目的とするが、文字バランスとは複合的な要素から成り立っていると考えられ、評価基準そのものが曖昧なものになってしまう。そこで今回は文字バランスを、図 6 に示すように、半紙を基準とした、文字の相対的な位置、大きさ、画の位置関係という 3 つの要素から成り立っているものであると定義して [6] 採点を行なった。今回は手本からの離脱を考慮した手本提示を行なっているため、複合的な練習が可能となる

文字『永』における採点機能について述べる。

3.4.1 特徴量の抽出

文字バランスの 3 要素を定量的に取り扱えるようにするために、図 6 に示すように、文字の大まかな形を取った外枠と、その枠に囲われた文字の中心軸となり得る縦軸と横軸に着目する。これらの外枠や中心軸は、画の始点・終点・折れ点の位置座標から算出できる。具体的には、画の始点や終点の座標は、筆がタブレットに接地あるいは離れたタイミングをもとに取得できる。一方、文字の折れ点の位置座標に関しては、以下の 2 つのアルゴリズムに基づいて検出する。

- (1) 書写において折れ画は、直線や払いと比べて筆運びの速度が遅く、特に折れ点に近い部分では筆跡の密度が最大になるため、タブレットが認識した位置座標の密度が高い部位を、折れ点候補とする。
- (2) (1) で求めた折れ点候補となる箇所において、筆跡座標間のベクトルのなす角度を算出し、角度がしきい値を越えた場合に折れ点と認識する。なお、ベクトルのなす角の基準値は折れ画の部分によって異なる。

これにより、実際に書かれた文字に対して自動的に特徴量を算出できる。しかし、書き順が違ったり、一筆で書くべきところを複数回かけて書かれた場合は誤認識してしまう。これは文字を正しく整えて書くという臨書の方針としても認められるものではないため、もう一度最初から書いてもらう必要がある。

3.4.2 採点アルゴリズム

大きさ 文字の大きさの特徴量 s を以下の式で求める。なお、教師データとは手本の筆跡情報であり、テストデータとは、実際に書かれた筆跡情報である。

$$s = \begin{cases} \frac{\text{テストデータの外枠の面積}}{\text{教師データの外枠の面積}} & (0 \leq s < 1) \\ 2 - \frac{\text{テストデータの外枠の面積}}{\text{教師データの外枠の面積}} & (1 \leq s < 2) \\ 0 & (2 \leq s) \end{cases}$$

このとき、 s の値は 1 に近いほど教師データに近いと判断できる。

位置 文字の位置の特徴量 p は以下の式で求められる。教師データの外枠構成点の座標 (x_s^{*i}, y_s^{*i}) およびそれに対応する最大乖離外枠構成点 $(x_{max}^{*i}, y_{max}^{*i})$ を表 1 と図 8 に示す。また、テストデータの外枠構成点の座標は (x_t^{*i}, y_t^{*i}) である。

$$p = \sum_{i=0}^7 \frac{\sqrt{(x_s^{*i} - x_t^{*i})^2 + (y_s^{*i} - y_t^{*i})^2}}{\sqrt{(x_s^{*i} - x_{max}^{*i})^2 + (y_s^{*i} - y_{max}^{*i})^2}}$$

このとき、 p の値は 0 から 1 の範囲に存在し、0 に近いほど教師データに近いと判断できる。

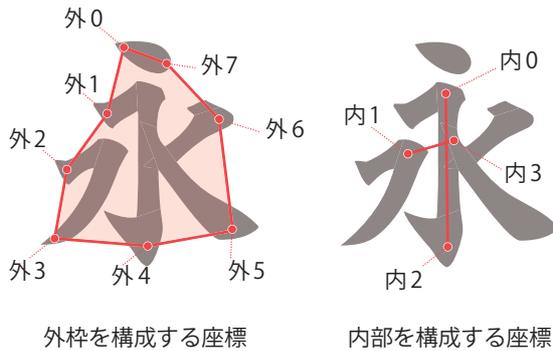


図 7 構成点

表 1 各外枠構成点における座標

構成点 i	教師データ $(x^{外_i}, y^{外_i})$	最大乖離点 $(x_{max}^{外_i}, y_{max}^{外_i})$
外 0	(312, 220)	(786, 1024)
外 1	(279, 398)	(786, 1024)
外 2	(158, 540)	(786, 0)
外 3	(144, 711)	(786, 0)
外 4	(379, 746)	(786, 0)
外 5	(617, 681)	(0, 0)
外 6	(583, 408)	(0, 1024)
外 7	(426, 273)	(0, 1024)

表 2 各内部構成点における座標

構成点 i	教師データ $(x^{内_i}, y^{内_i})$	最大乖離点 $(x_{max}^{内_i}, y_{max}^{内_i})$
内 0	(381, 347)	(786, 1024)
内 1	(279, 494)	(786, 1024)
内 2	(379, 746)	(786, 0)
内 3	(395, 472)	(0, 1024)

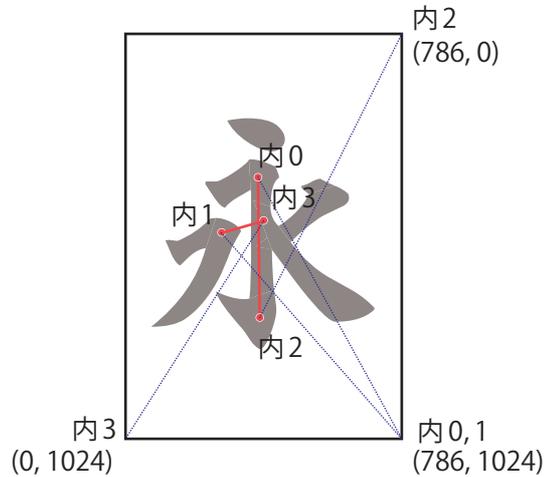


図 9 教師データにおける各内部構成点の最大乖離座標

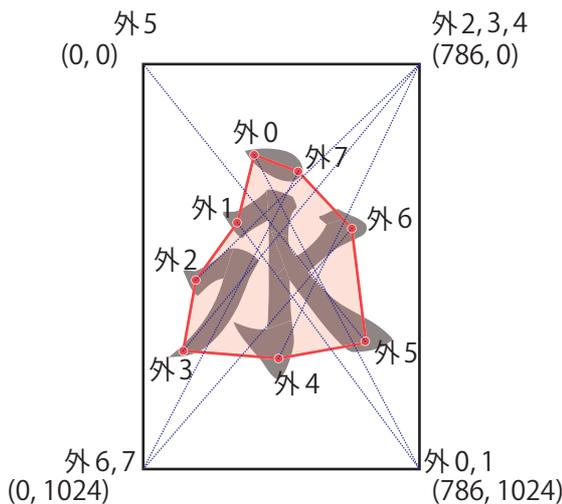


図 8 教師データにおける各外枠構成点の最大乖離座標

画の位置関係 文字の画の位置関係の特徴量 r は以下の式で求められる。教師データの内部構成点の座標 $(x_s^{内_i}, y_s^{内_i})$ およびそれに対応する最大乖離内部構成点の座標 $(x_{max}^{内_i}, y_{max}^{内_i})$ を表 2 と図 9 に示す。また、テストデータの内部構成点の座標は $(x_t^{内_i}, y_t^{内_i})$ である。

$$r = \sum_{i=0}^3 \frac{\sqrt{(x_s^{内_i} - x_t^{内_i})^2 + (y_s^{内_i} - y_t^{内_i})^2}}{\sqrt{(x_s^{内_i} - x_{max}^{内_i})^2 + (y_s^{内_i} - y_{max}^{内_i})^2}}$$

このとき、 r の値は 0 から 1 の範囲に存在し、0 に近いほど教師データに近いと判断できる。

総合点 3 つ特徴量 s, p, r を次の式によってそれぞれ 100 点満点に換算し、それら 3 つの点数の平均を総合的な点数

とした。

大きさの点数 S

$$S = 100s$$

位置の点数 P

$$P = 100(1 - p)$$

画の位置関係の点数 R

$$R = 100(1 - r)$$

総合点 T

$$T = \frac{S + P + R}{3}$$

3.4.3 採点結果

上記の採点アルゴリズムで算出した採点結果とその文字を図 10 に示す。文字バランスの構成要素から採点結果を検証すると、位置や大きさについては教師データから大きく外れている文字の点数が低いことがわかる。例えば、3 番の文字では、はらいが横に開いていることから位置の点数が低くなっている。4 番の文字は、全体に大きく書いているため、半紙内における教師データからは位置と大きさの点数が低くなっている。また、内部構成点の位置関係では、図 7 の 4 点の関係を見ると、内 1 と内 3 を結ぶ直線は右上がりであることがわかる。例えば、内 1 と内 3 を結ぶ直線が右上がりである 1 番と 2 番の文字は画の位置関係の点数が高く、右下がりになっている 3 番と 4 番の文字の点数は低くなっている。

以上より、文字バランスを構成する要素と提案アルゴリズムで算出した採点結果には妥当性がある。

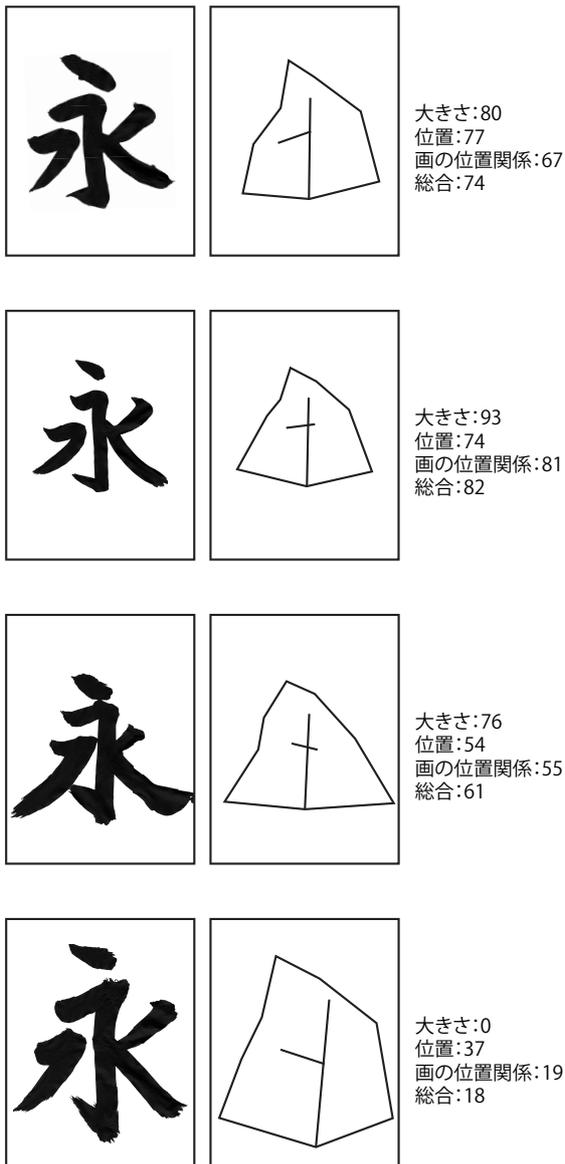


図 10 採点結果

4. まとめ

本研究は臨書初級者のための文字バランス学習支援システムを提案した。提案システムの特徴は、毛筆や半紙などの書道具を実際に使って練習することができると同時に、タブレットを利用した段階的な手本提示機能、および採点機能をもつ。

今後の課題として、提案する学習支援システムの評価実験や、さまざまな文字を学習支援システム上で取り扱えるようにするための機能拡張などがあげられる。

参考文献

- [1] 魏若愚：動的な手本提示による習字支援システム, 北海道大学 大学院情報科学研究化 コンピュータサイエンス専攻 数理計算科学講座 知能情報研究室, 修士論文 (2012 年).
- [2] K. Henmi and T. Yoshikawa: Virtual Lesson and Its Application to Virtual Calligraphy System, Proceedings

of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 1275–1280, 1998.

- [3] ニンテンドー DS 用ソフト「DS 美文字トレーニング」. <http://www.nintendo.co.jp/ds/avmj/>
- [4] 七戸貴大, 岩田貴裕, 山邊哲生, 中島達夫, AR 技術を利用した書写学習支援アプリケーションにおける効果の観測, 情報処理学会第 72 回全国大会, No. 5, pp. 155–156(2013 年).
- [5] 竹川佳成, 寺田 努, 塚本昌彦, システム補助からの離脱を考慮したピアノ演奏学習システムの設計と実装, コンピュータソフトウェア (日本ソフトウェア科学会論文誌), Vol. 30, No. 4, pp. 51–60 (2013 年).
- [6] 成澤秀麗 ~ 書道のいろは ~ バランスの良い文字の書き方 10 の法則 http://www.narisawashurei.com/jp/essay/lesson_balance.html