

## 基礎論文

## 失敗を可視化する採血トレーナ

浦西 友樹<sup>\*1\*2</sup> 丸山 裕<sup>\*1</sup> 内藤 知佐子<sup>\*1</sup> 岡本 和也<sup>\*1</sup>  
 田村 寛<sup>\*1</sup> 加藤 源太<sup>\*1</sup> 黒田 知宏<sup>\*1</sup>

## Blood Collection Trainer with Visualization of Failure

Yuki Uranishi<sup>\*1\*2</sup>, Yu Maruyama<sup>\*1</sup>, Chisako Naito<sup>\*1</sup>, Kazuya Okamoto<sup>\*1</sup>,  
 Hiroshi Tamura<sup>\*1</sup>, Genta Kato<sup>\*1</sup> and Tomohiro Kuroda<sup>\*1</sup>

**Abstract** – This paper proposes a novel trainer for training of blood collection with an injector, an essential skill in medical and nursing fields. An optical motion capturing system and a projector are employed in the proposed system, in addition to the conventional blood collection trainer. The proposed system guides the injector to ideal position and posture until piercing the surface of the simulator. Then, after piercing, subsurface information including the position and the depth of the tip is indicated. Experimental results with subjects have demonstrated that the feedback provided by the proposed system is useful to improve the skill of the blood collection.

**Keywords** : blood collection trainer, visualization of failure, spatial augmented reality

## 1 はじめに

採血 (以後, 本論文では静脈血採血を指す) は臨床現場において高い頻度で実施され, 医師, 看護師および臨床検査技師が身に付けなければならない技術である [1]. 採血は患者に対する侵襲的処置の中でも, 最も痛みを感じさせる処置の一つとされ [2], さらに神経損傷や動脈穿刺の恐れもあることから, 採血の際には適切な角度および深度での穿刺が求められる。

採血の技術を身に付けるためには, 患者への採血などといった臨床実習 (On-the-Job Training: OJT) を通じて身に付けることが最も効率的とされる [3]. しかしながら, 人体での実習を通じた技術習得は医療安全や倫理的問題, さらに監督役の教員の不足という点から減少しつつあり [4], 近年では, 学習者は腕型の採血トレーナによる反復練習を経て採血の技術を習得することが多い。

松下は, 反復練習の有効性の条件として, 学習者が反復練習に取り組むとき, 動作の意味付けができていくこと, および反復練習の中にフィードバック<sup>1</sup>が組み入れられることを挙げている [5]. また, 臨床の現場に存在する危険を事前に想定することは医療安全の観点から有効だと考えられており [6][7], 採血練習の際にも危険を想定することは重要である。一方, 一般的な採血トレーナ [8] では, 採血可能な擬似血液以外

のフィードバックがない。ゆえに, 学習者にとっては前述した動作の意味付けや危険の想定が困難であり, さらにトレーナからの十分なフィードバックが得られず, 失敗の理由を理解することが難しい。

トレーナからのフィードバックを付与するために有効な手法の一つとして, 拡張現実感 (Augmented Reality: AR) が挙げられる。とくに, プロジェクタを用いて実物体に直接支援情報を投影する投影型 AR は, ユーザに視線移動を強いないこと, また Head Mounted Display (HMD) などの提示装置を装着する必要がないことから, トレーナを用いる採血練習において, 有用な手法であることが期待される。

本研究では, 採血練習の効果向上を目的とし, 投影型 AR を用いた採血トレーナを提案する。提案システムが満たすべき要件を以下に列挙する。

- トレーナの位置姿勢に追従した支援情報を提示すること
- 穿刺位置に対する注射針の角度および深度をイメージできるような支援情報を提示すること
- 採血失敗の際にトレーナからフィードバックを得られること

これらの要件を満たすためには, トレーナとプロジェクタの幾何的整合性の維持や, 注射針の位置姿勢の推定が必要である。そこで提案システムでは, 光学式モーションキャプチャを用いて機器間の位置姿勢を計測し, 計測した位置姿勢に基づいて, 採血を支援するための情報をプロジェクタにより投影する。本論文で

<sup>\*1</sup>京都大学

<sup>\*2</sup>現在, 大阪大学

<sup>\*1</sup>Kyoto University

<sup>\*2</sup>Presently with Osaka University

<sup>1</sup>[5] ではリフレクションと表現されている。

は、採血練習を支援するための投影情報を提案し、位置姿勢の計測精度および投影情報の投影精度を検証した結果について述べる。加えて、提案システムの有用性を被験者実験により確認した結果を示し、システムの有用性や課題に関して考察する。

## 2 関連研究

先述のとおり、AR は学習者に視覚的フィードバックを付与する有用な手段であると期待され、AR を用いた作業支援に関する研究は数多く存在する。Sagawa らが提案する AR 作業支援システム [9] では、現在の作業環境をヘルメットに装着した深度センサで計測し、事前に取得した作業環境の三次元形状と比較することで作業状態を推定し、HMD に支援情報を提示する。一方、投影型 AR による作業支援の例として、橋本ら [10] によるトイブロックの組立て支援システムなどがある。さらに、医療分野においても AR による作業支援に関するシステムは多く提案されており、牛木らによる腹腔鏡下手術支援システム [11] や、静脈を可視化する VeinViewer [12] などが提案および製品化されている。一方、医療教育支援を目的とする AR システムとしては、近藤らによる投影型 AR を用いたバーチャル解剖模型 [13] や、Jung らによる触覚ディスプレイを用いた採血トレーナ [14] などがある。

ここでは、採血練習における情報技術の活用についてまとめる。前述のように、採血トレーナは注射器による穿刺の感覚が得られ、また擬似血液が採血可能であるものの、採血失敗時にトレーナからのフィードバックが存在しない。Jung ら [14] は力覚提示デバイスを用いたバーチャル空間での採血練習システムを提案しているが、この手法では、採血前の駆血帯の装着や消毒などの手順を再現することが困難である。トレーナを用いた練習においてはこれらの手順も確認可能であり、さらに血管に針が進入した感覚や、採血時の力覚などを良好に得られることから、採血練習においては、実際の注射器と採血トレーナを用いることが望ましい。そこで、注射器と採血トレーナを用い、不足している情報を AR 技術により補うことを考える。情報提示には様々な機器の利用が考えられるものの、HMD や装着型力覚提示デバイスなど、実際の採血時に用いない機器を装着することは、実環境からの乖離を発生させる。練習を進める中で、ユーザは最終的にシステムから離脱する必要がある、実環境から乖離したシステムはできるだけ避けるべきである。前述の Jung らの手法にも採用されているように、ディスプレイによる情報提示は、デバイスの装着を避けられるという観点においては効果的であるが、採血時に注視する点と情報提示位置が異なるという問題がある。一方で、近藤ら

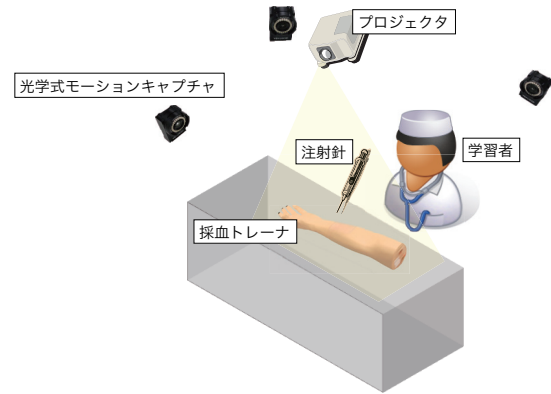


図 1 提案システム概要

Fig. 1 An overview of the proposed system.

が提案した解剖模型 [13] のような投影型 AR に基づくシステムは、ユーザの視点移動が少なく、かつユーザが機器を装着する必要がない。そこで本研究では、プロジェクタを用いた投影型 AR 技術を用い、採血トレーナを構築する。

## 3 提案システム：失敗を可視化する採血トレーナ

本研究では、穿刺時にユーザに適切な角度、深度および位置を提示し、さらに穿刺失敗時に、どのように失敗したかをユーザに可視化して提示するシステムを提案する。本節ではシステムの詳細について述べる。

### 3.1 システム構成

本節では、光学式モーションキャプチャおよびプロジェクタを用いた採血トレーナシステムについて述べる。提案システムでは、注射器、採血トレーナおよびプロジェクタの各デバイスにマーカを貼付し、光学式モーションキャプチャで計測することで、各デバイスの位置姿勢をそれぞれ推定し、支援情報を提示する。図 1 に提案システムの概要を示す。また、提案システムによる支援情報提示の様子を図 2 に示す。

各デバイスの相互位置姿勢の推定には、大きくプロジェクタ座標系  $\vec{P}_p$  からワールド座標系  $\vec{P}_w$  への変換行列  $M_{pw}$  と、トレーナ座標系  $\vec{P}_t$  からワールド座標系  $\vec{P}_w$  への変換行列  $M_{tw}$  の推定が必要となる。ここで、プロジェクタ座標系  $\vec{P}_p$  からワールド座標系  $\vec{P}_w$  への変換行列  $M_{pw}$  は、

$$\vec{P}_w = M_{pw} \vec{P}_p \quad (1)$$

と表せる。 $M_{tw}$  も同様である。

### 3.2 注射針とトレーナの相対的位置姿勢推定

穿刺時に適切な角度、深度および位置を提示するためには、注射針とトレーナの相対的な位置姿勢を推定する必要がある。このとき、注射針への直接的なマーカの貼付は穿刺の妨げとなることから現実的ではなく、

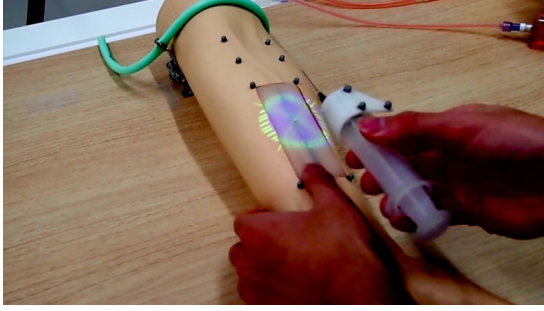


図2 提案システムによる支援情報提示  
Fig.2 Support for an injection by the proposed system.

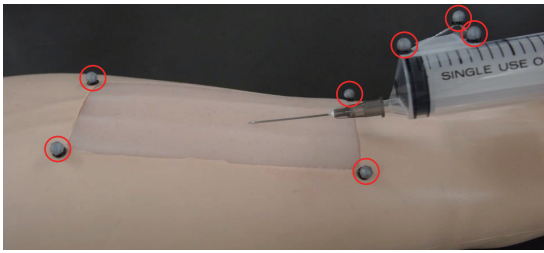


図3 注射器とトレーナに貼付したマーカー  
Fig.3 Markers on an injector and a trainer.

かつ注射針は金属かつ細長い形状を有するため、受動的手法で三次元位置姿勢を精度良く推定することは難しい。そこで、提案システムでは注射器の胴部にマーカーを貼付し、注射器の形状を既知として注射針の位置および姿勢を推定する。注射器と穿刺部周辺にマーカーを貼付した例を図3に示す。なお、本研究では穿刺部周辺は平面と仮定する。

まず、トレーナに対する注射針の仰角および方位角を推定する。提案システムにおいて推定される変数を図4に示す。仰角  $\theta$  は注射針ベクトル  $\vec{I_1I_2}$  と穿刺対象平面の法線ベクトル  $\vec{N}$  の成す角として表せる。

$$\theta = \arcsin \left( \frac{|\vec{I_1I_2} \cdot \vec{N}|}{\|\vec{I_1I_2}\| \|\vec{N}\|} \right) \quad (2)$$

一方、方位角  $\phi$  は注射針ベクトル  $\vec{I_1I_2}$  と擬似血管ベクトル  $\vec{B_1B_2}$  の成す角である。

$$\phi = \arccos \left( \frac{|\vec{I_1I_2} \cdot \vec{B_1B_2}|}{\|\vec{I_1I_2}\| \|\vec{B_1B_2}\|} \right) \quad (3)$$

次に、穿刺対象平面に対する注射針の深度を推定する。注射針の交差判定および深度推定の様子を図5に示す。穿刺対象平面上の任意の点を  $P$ 、注射針の針先位置を  $I_1$  および根元位置を  $I_2$  とするとき、次に示す条件を満たせば、注射針と穿刺対象平面が交差してい

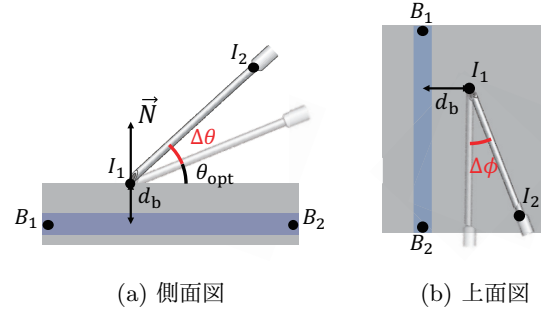


図4 角度および深度推定時に使用する変数  
Fig.4 Variables utilized in puncture angle and depth estimation.

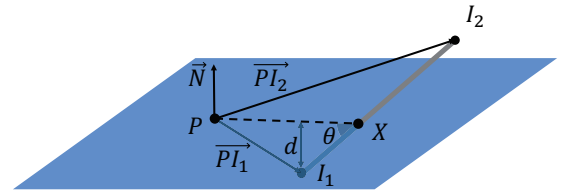


図5 穿刺対象平面に対する深度の推定  
Fig.5 Estimation of the depth to the surface.

るものとする。

$$(\vec{PI_1} \cdot \vec{N} \leq 0) \wedge (\vec{PI_2} \cdot \vec{N} \geq 0) \quad (4)$$

注射針と穿刺対象平面が交差するとき、 $X$  を注射針と穿刺対象平面の交点とすると、深度  $d$  は次式で求められる。

$$d = \|\vec{I_1X}\| \sin \theta \quad (5)$$

最後に、針先  $I_1$  から擬似血管ベクトル  $\vec{B_1B_2}$  までの最短距離  $d_b$  を求める。

$$d_b = \frac{|\vec{B_1B_2} \times \vec{B_1I_1}|}{\|\vec{B_1B_2}\|} \quad (6)$$

### 3.3 フィードバック情報の投影

提案システムにおいて投影するフィードバック情報は大きく二つに分けられる。

1. 穿刺前に適切な角度、深度および位置を提示するための情報
2. 穿刺後に針先位置を提示するための情報

前者は、採血に適した角度、深度および位置を事前にユーザに提示することで、望ましい穿刺をユーザに促すためのものであり、後者は穿刺後にシリンジを引き、採血を開始するタイミングでユーザに提示し、シリンジを引く位置が正しいかユーザに伝えるためのもので

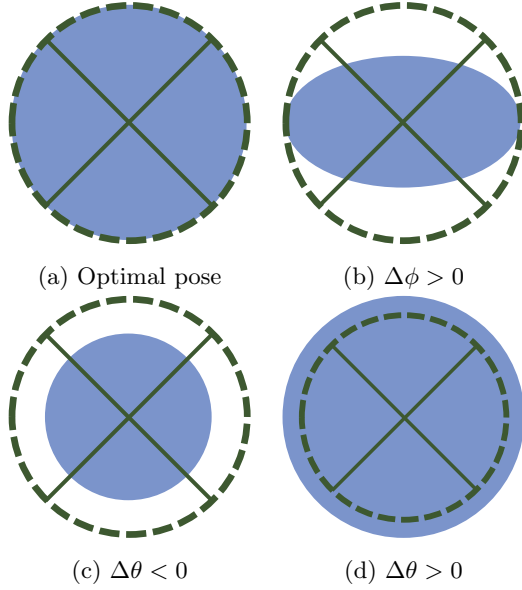


図6 穿刺角度支援情報例

Fig. 6 Examples of the proposed indicator for puncture.

ある。これらの情報を提示することで、ユーザに失敗を視覚情報として認識させることが可能となる。各処理の詳細について以下に述べる。

### 3.3.1 適切な角度、深度および位置の提示

穿刺の際、最適な角度、深度および位置をユーザに提示する際には、注射針の現在の角度、深度および位置と、最適なものの差を直感的に理解させるような提示手法であることが望ましい。本研究では、図6に示すような真円と楕円を用いたインジゲータを提案する。

破線の真円は適切な角度の目標、塗りつぶしの楕円は現在の角度を表しており、楕円が真円に近づくように注射器を動かすことで、適切な角度での穿刺を可能とする。また、注射針の深度に応じて楕円の色を変えることで、適切な深度への穿刺を促す。さらに、真円と楕円の中心に描かれた十字線はそれぞれ適切な穿刺位置と現在の針先位置を表し、二つの十字線が重なる位置に針先を動かすことで、適切な位置への穿刺を促す。

まず、適切な角度の提示手法について述べる。ここで、適切な仰角  $\theta_{\text{opt}}$  および方位角  $\phi_{\text{opt}}$  に対する現在の仰角  $\theta$  および方位角  $\phi$  の差をそれぞれ  $\Delta\theta$ 、 $\Delta\phi$  とする。式7および式8はそれぞれ真円と楕円を表しており、式中の  $a$  および  $b$  に  $\Delta\theta$  と  $\Delta\phi$  の大きさを反映させることで、適切な穿刺角度を表現する。

$$\frac{x_{\text{tgt}}^2}{r^2} + \frac{y_{\text{tgt}}^2}{r^2} = 1 \quad (7)$$

$$\frac{x_{\text{prs}}^2}{a^2} + \frac{y_{\text{prs}}^2}{b^2} = 1 \quad (8)$$

仰角の差  $\Delta\theta$  は真円と楕円の大きさの差により表現する。 $\Delta\theta$  が適切な値に近づくほど、真円と楕円の大きさの差を小さくする。一方、方位角の差  $\Delta\phi$  は楕円の歪みにより表現する。 $\Delta\phi$  が適切な値に近づけば楕円は真円に近づき、適切な値から離れれば歪んだ楕円になる。 $\Delta\theta$  および  $\Delta\phi$  の大きさによる支援情報の変化の例を図6 (b) から (d) に示す。

これまでに述べた動作を実現するために、式8の  $a$  を  $b + \Delta\phi$  に置き換えると、

$$\frac{x_{\text{prs}}^2}{(b + \Delta\phi)^2} + \frac{y_{\text{prs}}^2}{b^2} = 1 \quad (9)$$

となる。さらに、方位角の差  $\Delta\theta$  を楕円の大きさに反映させるため、 $\Delta\theta = b - r$  とする。式9における  $b$  を  $r + \Delta\theta$  に置き換えると

$$\frac{x_{\text{prs}}^2}{(r + \Delta\phi + \Delta\theta)^2} + \frac{y_{\text{prs}}^2}{(r + \Delta\theta)^2} = 1 \quad (10)$$

となる。

次に、適切な深度の提示手法について述べる。提案するインジゲータでは、適切な深度と現在の深度の差  $d_b$  を楕円の色により表現する。針先が血管内、すなわち適切な深度にあるときは楕円の色を白とし、針先が血管より浅くなるほど青い色、深くなるほど赤い色でそれぞれ表現する。

最後に、適切な位置の提示手法について述べる。提案システムでは、適切な穿刺部の位置と現在の針先のワールド座標空間における位置を穿刺対象平面に射影し、それぞれ真円の位置  $(x_{\text{tgt}}, y_{\text{tgt}})$  および楕円の位置  $(x_{\text{prs}}, y_{\text{prs}})$  として提示する。

### 3.3.2 穿刺後の穿刺位置に対する結果情報

採血においては、穿刺した後に注射器を静止させてシリンジを引くとき、針先が血管内に存在すれば血液を採取できる。しかし、既存のトレーナを用いた練習では、シリンジを引くときに注射針の先が血管内に存在しない場合のフィードバックがなく、ユーザがなぜ採血失敗したのかを理解することが困難である。そこで提案システムでは、シリンジを引くときに針先がどの位置に存在するかという情報をプロジェクタにより提示する。

穿刺後の提示情報は、針先と擬似血管との最短距離  $d_b$ 、注射器の移動速度  $v_i$ 、針先位置  $I_1$ 、血管肘窩側位置  $B_1$  および血管手首側位置  $B_2$  から決定する。提案システムでは、注射針と穿刺対象平面が交差した状態で  $|v_i| \leq t_v$  となったとき、ユーザがシリンジを引くために注射器を静止させたとみなし、情報を提示する。なお、 $t_v$  は定数である。

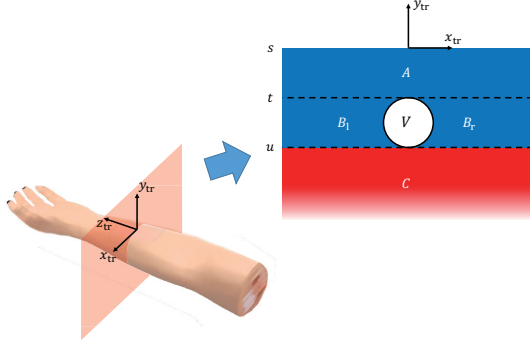


図7 トレーナ断面の模式図  
Fig. 7 A schematic cross section of a trainer.

採血トレーナの断面を図7に示す．ここで， $V$  は穿刺位置目標となる擬似血管の断面を表している．提案システムでは，注射器が静止したときに針先が存在する領域に応じて提示情報を決定する．提案システムでは， $A$ ， $B_1$ ， $B_r$ ， $C$  および  $V$  のどの領域に針先が存在するか，下記の条件から判定する．ここで， $s$  はトレーナ表面深度， $t$  は血管上端の深度， $u$  は血管下端の深度をそれぞれ表す．図7に示すように，本論文ではトレーナ座標系  $\bar{P}_t$  の原点を穿刺対象平面上の一点に置き， $y_{tr}$  軸を穿刺対象平面の法線方向と一致させている．このとき， $t$  および  $u$  は  $y_{tr}$  軸と逆向きの正の値となり，また  $s = 0$  となる．また， $r_v$  は血管断面の半径を表す．

- $A$ :  $s \leq d < t$
- $B_1$ :  $t \leq d < u$  かつ  $r_v < d_b$  かつ  $p < 0$
- $B_r$ :  $t \leq d < u$  かつ  $r_v < d_b$  かつ  $p > 0$
- $C$ :  $u \leq d$
- $V$ :  $t \leq d < u$  かつ  $d_b \leq r_v$

ただし， $p$  は下記の通り定義される．ここでは， $I_1$ ， $B_1$  および  $B_2$  の  $x$  成分をそれぞれ  $x_{I1}$ ， $x_{B1}$  および  $x_{B2}$ ， $z$  成分をそれぞれ  $z_{I1}$ ， $z_{B1}$  および  $z_{B2}$  としている．

$$p = x_{I1} - \left\{ x_{B1} + \left| \frac{z_{I1} - z_{B1}}{z_{B2} - z_{B1}} \right| (x_{B2} - x_{B1}) \right\} \quad (11)$$

なお， $C$  は静脈よりも深い領域であり，動脈や神経が走行しているために危険が大きい．そのため，領域  $C$  に針先が進入した場合は，速度  $v_1$  にかかわらず情報を提示する．

針先位置の存在領域  $A$ ， $B_1$ ， $B_r$  および  $C$  それぞれに対応する投影内容を図8に示す．なお，領域  $V$  に針先が存在する場合は採血が成功し，擬似血液を採取できるため，情報を提示する必要はない．

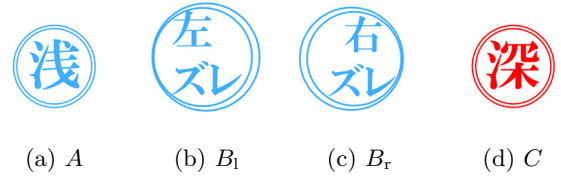


図8 穿刺位置が属する領域 (図7) に対応した提示情報  
Fig. 8 Indicators according to the regions shown in Fig. 7.

#### 4 実験

提案システムの有用性を検証するため，実験を行った．本節ではまず，注射針の深度推定精度を確認するための実験結果について述べ，次に，本研究で用いた穿刺角度支援情報が適切であるか，他の支援情報と比較した結果について述べる．さらに，提案システムの有用性を看護学生を対象とした被験者実験により検証した結果について述べる．

図9に実験環境を示す．採血トレーナには京都科学社製 V ライン [15] を用い，前腕正中皮静脈部への穿刺を実験の対象とした．光学式モーションキャプチャはノビテック社製 VENUS3D [16] を用いた．

実験で用いたパラメータの決定方法について述べる．まず，血管両端位置  $B_1$  および  $B_2$  は実測により取得した．血管の深度も実測により取得し，本実験における穿刺目標深度は 4.5 mm とした．また，提示情報を決定するためのパラメータ  $s$ ， $t$ ， $u$  および  $r_v$  は，それぞれ  $s = 0$  mm， $t = 3$  mm， $u = 6$  mm および  $r_v = 1.5$  mm とした．本実験における支援情報提示位置  $(x_{tgt}, y_{tgt})$  は，予備実験において最も多くの被験者が穿刺したパッド中央付近の一点を用いた．最後に，適切な仰角  $\theta_{opt}$  については，標準採血法ガイドライン (GP4-A2) [17] によると 30 deg 以下が望ましい穿刺角度とされており，一方で穿刺角度が浅くなると，体内に進入する針の体積が多くなり危険が増すため，30 deg にできるだけ近い仰角で穿刺することが望ましい．ゆえに本実験においては， $\theta_{opt} = 30$  deg とした．

##### 4.1 針先位置および角度推定精度の検証実験

まず，提案システムにおける針先位置の推定精度を実験により確認した．穿刺深度に関しては，穿刺によりパッド内部に針先が進入するため，穿刺した状態で真値を計測することは困難である．そこで本論文では，穿刺した状態での深度の計測に代えて，図10に示すように，注射針の先にマーカを貼付し，縦，横，高さそれぞれ約 200mm のワークスペースで注射器を移動および回転させ，針先マーカの実測値と提案手法による針先の推定値を比較することで，提案手法による針



図9 実験環境  
Fig. 9 Setup for the experiment.

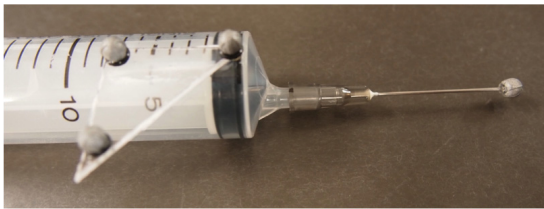


図10 マーカを針先に貼付した注射器  
Fig. 10 An injector with a marker-tip.

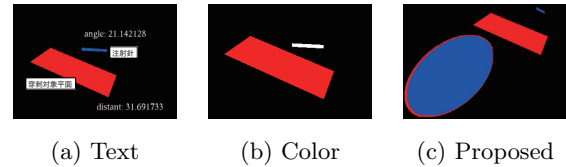
先位置の推定精度を求めた。実験より、位置誤差の最大値は 1.835 mm,  $\mu \pm 2\sigma$  は  $0.688 \pm 0.344$  mm となった。

次に、角度の推定精度を確認した。注射針の先が穿刺対象平面に接している状態で、 $0 \sim 90$  deg の範囲で注射針の角度を連続的に変えながら提案システムにより角度を推定し、真値と比較した。実験より、角度誤差の最大値は 0.498 deg,  $\mu \pm 2\sigma$  は  $0.361 \pm 0.256$  deg となった。

#### 4.2 穿刺角度支援情報の有効性に関する実験

提案手法で用いられている穿刺角度支援情報の有効性を検証するため、穿刺角度のイメージのしやすさ、支援情報の見やすさおよび意味の理解しやすさについて、他の角度支援情報と比較する被験者実験を行った。本実験の被験者は、採血実習を受けていない大学生 10 名である。

提案手法と比較した角度支援情報の提示手法を図 11 に示す。(a) は穿刺対象平面と注射針が成す角  $\theta$  を文字列で提示する手法である。(b) は  $\Delta\theta$  を注射針の色により提示する手法であり、 $\Delta\theta$  が正の方向に大きくなると青色、負の方向に大きくなると赤色が強くなり、 $\Delta\theta = 0$  のとき白色となる。(c) は提案手法で用いられる、楕円を用いたインジゲータである。ただし、重畳により注射針の視認性が低下する影響を避けるため、同図に示すように、インジゲータの提示位置は穿刺対



(a) Text (b) Color (c) Proposed

図 11 比較に用いた角度支援情報の提示手法  
Fig. 11 Puncture angle indicators compared in the experiment.

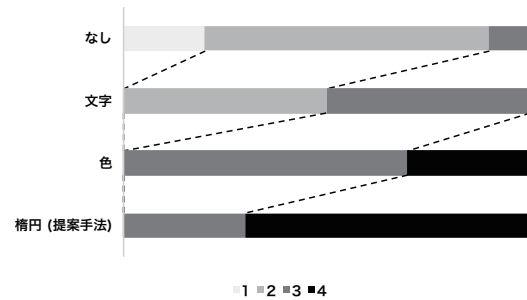


図 12 設問 a に対する回答  
Fig. 12 Answers to Question a.

象平面および注射針と重畳しない位置に移動させた。

投影対象物体による影響を排除するため、本実験ではモニタ上に CG により描画された角度支援情報を提示した。採血開始から終了までの採血経験者による一試行をあらかじめ光学式モーションキャプチャにより記録し、被験者には上述の一試行について、三種類の提示手法および支援情報がない状態での試行をすべて観察させた後、表 1 に示す設問に 4 段階評価で回答させた。なお、手法を提示する順序は被験者ごとにランダムに入れ替えた。

設問 a に対する回答を図 12、設問 b に対する回答を図 13、設問 c に対する回答を図 14 にそれぞれ示す。なお、設問 b および c においては、支援情報がない状態についての回答は省略した。提案手法については設問 a において 7 名の被験者がとてもイメージできたと回答し、残りの被験者もイメージできたと回答したことから、提案手法は三種の手法の中でも、「穿刺位置に対する注射針の角度および深度をイメージできるような支援情報を提示する」という本研究の目的に適していると考えられる。また、設問 b および設問 c においても、提案手法については 3 および 4 と回答した被験者の数が三種の手法の中で最多であった。

#### 4.3 被験者実験

本節では、提案システムで投影するナビゲーション情報の有用性の検証と、提案システムの既存システムと比較したトレーニング効果の検証を目的として被験者実験を行った結果を示す。

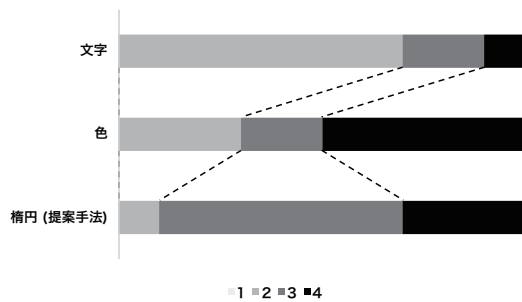


図 13 設問 b に対する回答  
Fig. 13 Answers to Question b.

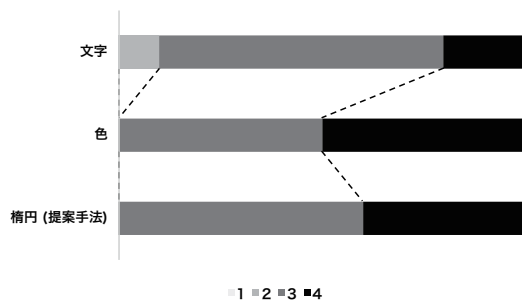


図 14 設問 c に対する回答  
Fig. 14 Answers to Question c.

#### 4.3.1 実験方法および実験環境

本実験の被験者は、採血実習を受けていない看護学生 12 名である。採血の手順および方法の詳細に関する知識を実験時点で揃えるため、標準採血法ガイドライン (GP4-A2) [17] に準拠したビデオを被験者全員

に事前に視聴させた後、採血手順を提示した。

本実験では、被験者を提案システムを用いたトレーニングを行う実験群と、既存システムを用いたトレーニングを行う対照群に分け、被験者を 6 名ずつ、実験群と対照群に無作為に振り分けた。両群の実験の流れを図 15 に示す。なお、各被験者の試行回数はそれぞれ 1 回ずつとした。

練習ステージでは、5 分間で被験者に自由に採血を練習させた。練習 A では穿刺前のナビゲーション情報および穿刺後の結果情報を提示し、練習 B では穿刺後の結果情報のみ提示した。一方、練習 C では一切の支援情報を提示しなかった。

試験ステージでは、実験群、対照群ともに支援情報がない状態で採血を試みさせた。なお、テスト 0 からテスト 3 のすべてのテストは同じ内容とした。テストでは通常の手順通り採血を行い、採血が成功した場合はその時点でテストを終了し、一方で採血を 2 回失敗した時点でも終了とした。なお、テスト終了条件に関しては事前に被験者に通知した。

各アンケートでは、各練習ステージに関する設問に対して 4 段階評価により回答させた。表 2 に設問および回答選択肢を示す。事前アンケートおよび練習 C に対応するアンケートでは設問 1 および 2、練習 A に対応するアンケートでは設問 1 から 9、練習 B に対応するアンケートでは設問 1 から 6 および 9 について回答を得た。このとき、設問 3 および 7 においては、被験者である看護学生などへの聞き取りにより、看護学生は穿刺の際に方位角と仰角をまとめて「角度」として捉えていると考えられ、仰角や方位角を意識させることで、被験者が普段通りの穿刺を実行できなくなる恐

表 1 角度支援情報に関する設問と回答選択肢

Table 1 Questions about puncture angle indicators and answer candidates.

|                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------|
| a. 注射針の穿刺角度を (1 まったくイメージできなかった – イメージできなかった – イメージできた – とてもイメージできた 4) |
| b. 角度支援情報は (1 とても見にくかった – 見にくかった – 見やすかった – とても見やすかった 4)              |
| c. 角度支援情報の意味を (1 まったく理解できなかった – 理解できなかった – 理解できた – とても理解できた 4)        |

#### 実験群



#### 対照群

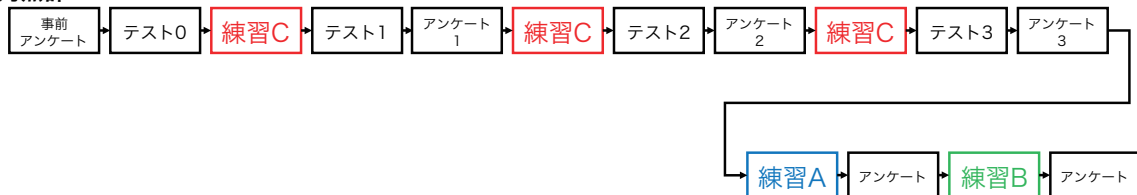


図 15 被験者実験の流れ

Fig. 15 Procedures of the subjective experiment.

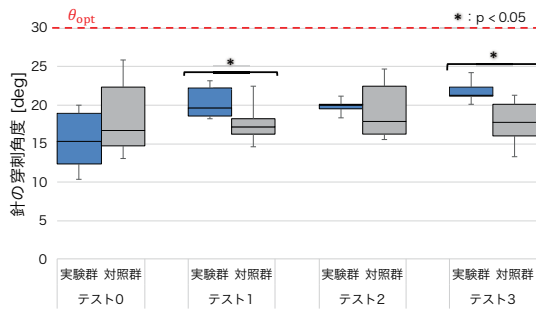


図 16 各テストにおける穿刺角度の平均と分散  
Fig. 16 Average and variance of puncture angle in each test.

れがあった。そこで本実験では、穿刺の際に被験者が捉えているイメージに近い「角度」という単語を用いて被験者に回答を求めることとした。なお、対照群に属する被験者にはアンケート 3 に回答させた後、さらに練習 A および練習 B を実施し、提案システムに関するアンケートを実施した。

#### 4.4 実験結果

まず、両群それぞれ 6 名に対するテストごとの穿刺角度の平均と分散を図 16 に示す。実験群および対照群の結果に対して、Wilcoxon の符号順位検定を行った。検定の結果、テスト 0 では実験群と対照群の間に有意差は認められず、テスト 1 とテスト 3 では実験群と対照群に有意差が認められた。次に、両群それぞれ 6 名に対するテストごとの穿刺深度の分散を図 17 に示す。穿刺深度については、実験群と対照群の間に有意差は認められなかった。

アンケートに対する回答を以下に述べる。まず、設問 1 に対する回答を図 18、設問 2 に対する回答を図 19 にそれぞれ示す。設問 1、設問 2 とともに、実験群と対照群の間に有意差は認められなかった。一方で、各被験者による回答の事前アンケートからアンケート 3 への推移に対して Friedman 検定を行った結果、設問 1 については実験群で  $p = 0.011$ 、対照群で  $p = 0.017$  となり、設問 2 については実験群で  $p = 0.005$ 、対照群で  $p = 0.003$  となった。このことから、いずれの群

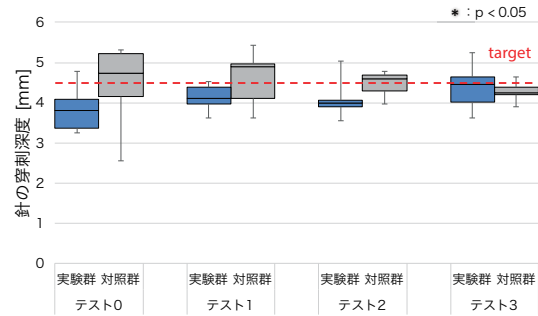


図 17 各テストにおける穿刺深度の平均と分散  
Fig. 17 Average and variance of puncture depth in each test.

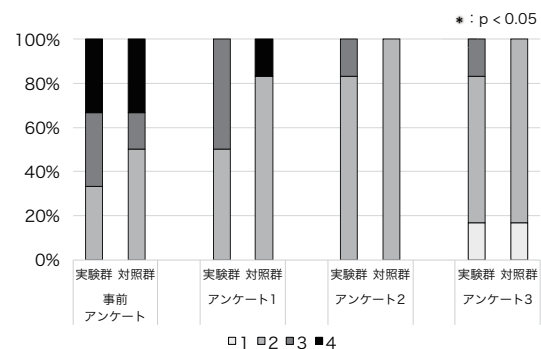


図 18 設問 1 に対する回答  
Fig. 18 Answers to Question 1.

においてもテストが進むごとに被験者の不安が減少し、自信が増加していることが示された。

次に、設問 3 に対する回答を図 20 に示す。穿刺角度に関しては、アンケート 1 において実験群と対照群の間に有意差が認められ、実験群の方が穿刺角度を良好にイメージできたことが示された。

同様に、設問 4 に対する回答を図 21 に示す。穿刺深度に関しても、穿刺角度と同様に実験群の方が良好にイメージできたと回答した被験者が多かったものの、実験群と対照群の間に有意差は認められなかった。

最後に、設問 5 から設問 9 の回答を図 22 に示す。

表 2 アンケート設問と回答選択肢  
Table 2 Questions and answer candidates.

- |                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------|
| 1. 現時点での採血に対する不安は (1 まったくない - 少しある - ある - とてもある 4)                     |
| 2. 現時点での採血に対する自信は (1 まったくない - 少しある - ある - とてもある 4)                     |
| 3. 穿刺時の角度を (1 まったくイメージできなかった - イメージできなかった - イメージできた - とてもイメージできた 4)    |
| 4. 穿刺時の深度を (1 まったくイメージできなかった - イメージできなかった - イメージできた - とてもイメージできた 4)    |
| 5. 投影情報は採血の助けに (1 まったくならなかった - ならなかった - なった - 助けになった 4)                |
| 6. 投影情報は (1 とても見にくかった - 見にくかった - 見やすかった - とても見やすかった 4)                 |
| 7. 角度に関する支援情報は (1 とてもわかりにくかった - わかりにくかった - わかりやすかった - とてもわかりやすかった 4)   |
| 8. 深度に関する支援情報は (1 とてもわかりにくかった - わかりにくかった - わかりやすかった - とてもわかりやすかった 4)   |
| 9. 穿刺結果に関する支援情報は (1 とてもわかりにくかった - わかりにくかった - わかりやすかった - とてもわかりやすかった 4) |

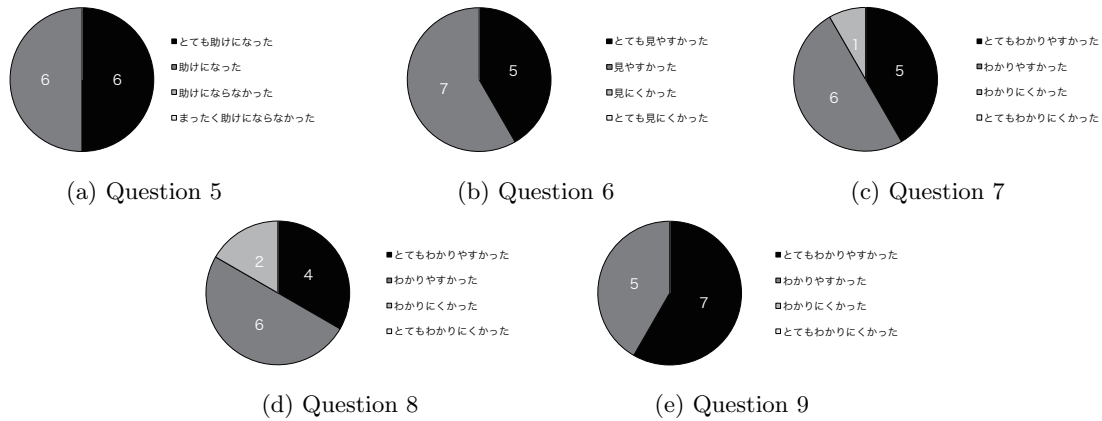


図 22 設問 5-9 に対する回答  
Fig. 22 Answers to Questions 5-9.

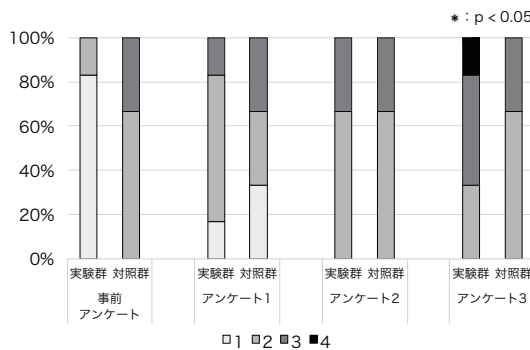


図 19 設問 2 に対する回答  
Fig. 19 Answers to Question 2.

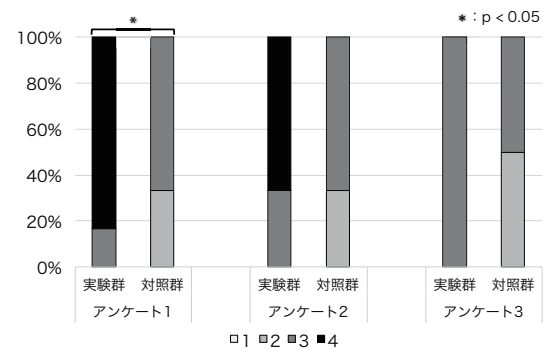


図 20 設問 3 に対する回答  
Fig. 20 Answers to Question 3.

## 5 考察

本節では、穿刺前の支援情報と穿刺後のフィードバックに関して、実験結果から考察を行う。さらに、提案システムの看護教育システムとしての有用性について検討する。

### 5.1 穿刺前の角度、深度および位置の提示に関する考察

被験者実験より、提案システムにより練習した実験群と、従来の方法で練習した対照群の間では、図 20 に示すとおり、とくに穿刺角度のイメージの良好さについて有意差が認められた。また、すべての被験者が、提案システムを用いることでより良好に穿刺角度をイメージできたと回答しており、提案システムの効果が示されたといえる。図 16 に示す穿刺角度においても、実験群の平均穿刺角度は 20.334 deg、対照群の平均穿刺角度は 17.649 deg となり、有意に実験群が  $\theta_{opt}$  に近い角度で穿刺できたことが示された。

一方、穿刺深度では、図 21 に示すとおり、アンケートから得られた各被験者のイメージの良好さについては、実験群と対照群の間で有意差が認められず、図 17

が示すように、実際の穿刺においても両群間に有意差は認められないものの、実験群のほうが対照群よりも良好に穿刺深度をイメージできている傾向が見られた。

最後に、穿刺角度と穿刺深度を提示する支援情報の良さについては、図 22 (c) に示すように、角度に関する支援情報がわかりにくかったと回答した被験者が 1 名、同図 (d) に示すように、深度に関する支援情報がわかりにくかったと回答した被験者が 2 名存在した。この理由としては、インジゲータの視認性の悪さや、同時に提示する情報の種類が過多である、といった可能性が考えられる。そこで今後は作業手順をより細分化して認識し、支援情報を順次提示することを検討している。また、現状の提案システムでは図形の色変化や形状変化による提示を用いているが、プロジェクタによる投影の視認性について評価し、より投影に適した情報の提示についても検討が必要であろう。

### 5.2 穿刺後のフィードバックに関する考察

図 22 (e) に示すように、穿刺結果に関する支援情報については、7 名がとてもわかりやすかった、5 名がわかりやすかったと回答した。穿刺後のフィードバック

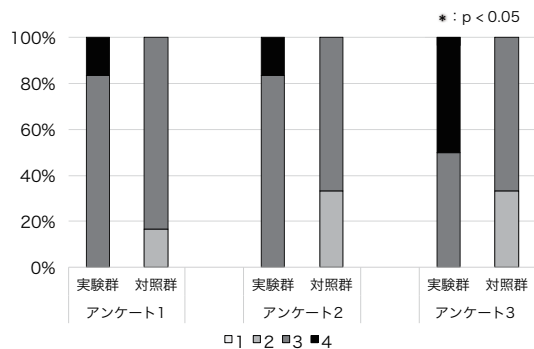


図 21 設問 4 に対する回答  
Fig. 21 Answers to Question 4.

については、本論文では文字ベースの情報を投影したが、今後はより効果的な投影情報についても検討する必要がある。例えば血管を針先が突き抜けた場合には内出血の映像を提示するなど、失敗時の危機感をより強く意識させるような情報を投影することで、フィードバックの効果が向上することが期待される。

### 5.3 看護教育システムとしての有用性

最後に、提案システムを看護教育として運用する際の有用性に関して考察する。現状の提案システムは、各デバイスの位置姿勢推定にすべて光学式モーションキャプチャを用いており、教育に用いる採血トレーナとしてはシステムが大がかりである点が懸念される。現在、大学における採血実習では、数名で1つのトレーナを用いることが多く、光学式モーションキャプチャを全てのトレーナに追加することは、コストや可搬性の観点から現実的ではない。上述の問題を解決するための方法としては、深度センサによるトレーナと注射針の位置姿勢手法の導入などが考えられるが、計測精度の低下が不可避であり、侵襲を伴う採血の練習システムとして精度を慎重に評価する必要がある。このとき精度の一つの指標として、計測誤差が日本人の橈側皮静脈の平均直径  $2.51 \pm 0.78$  mm[18] を下回ることが挙げられよう。

## 6 おわりに

本研究では、臨床現場において高い頻度で実施される採血の練習の効果を向上させることを目的とし、投影型 AR を用いた採血トレーナを提案した。提案システムでは、擬似血液を採取可能な既存の腕型採血トレーナに加え、光学式モーションキャプチャシステムとプログラムを導入することで、既存の採血トレーナでは教示できない、最適な注射器の穿刺角度、深度および位置や、採血失敗時になぜ失敗したかを提示した。

本論文ではまず、試作システムにより提案システムの角度および深度推定精度を実験により検証した。実

験の結果、提案システムの角度誤差の最大値は  $0.498$  deg、位置誤差の最大値は  $1.835$  mm となった。次に、提案システムの有用性を被験者実験により確認した結果、実験群は対象群に対し、穿刺角度のイメージがより容易であるという回答が得られ、実際に穿刺角度が有意に改善した。

提案システムは教育現場において、効果的な練習を提供できる可能性を有している。今後は有用性の向上を目的とし、システムの小型化を図るとともに、提示情報の改善を検討していく。

## 謝辞

本論文の執筆にあたっては、近畿大学理工学部の大星直樹教授および樋渡健氏に実験実施の御協力をいただいた。深く御礼申し上げる。

## 参考文献

- [1] 川端京子, 吉本千鶴, 松本美知子, 中谷喜美子, 高松智恵子, 石森謙太, 首藤太一. 静脈留置針の挿入を可能とする「点滴静脈内注射シミュレータ」の開発: シミュレータ試作品の試用評価. 大阪市立大学看護学雑誌, Vol. 9, pp. 39–44, 2013.
- [2] Ann F Jacobson. Intradermal normal saline solution, self-selected music, and insertion difficulty effects on intravenous insertion pain. *Heart & Lung: The Journal of Acute and Critical Care*, Vol. 28, No. 2, pp. 114–122, 1999.
- [3] 小澤知子. 教育担当者の OJT における教育的支援について: 新人看護師の点滴静脈内注射技術指導場面をととして. 日本看護学会論文集. 看護管理, Vol. 42, pp. 115–118, 2012.
- [4] 吾妻知美, 小林千代. 看護技術演習「注射」における体験学習に関する検討: 採血, 皮下注射, 筋肉内注射および皮内注射の演習後の学びの分析. 天使大学紀要, Vol. 6, pp. 11–19, 2006.
- [5] 松下佳代. 習熟とは何か—熟達化研究の視点から—. 梅原利夫, 小寺隆幸 (編), 習熟度別授業で学力は育つか, pp. 140–182. 明石書店, 2005.
- [6] 丸山あや, 志賀たずよ, 原田千鶴. 看護学臨地実習前の医療安全教育に関する考察 (第 5 報) “危険予知トレーニング”を導入した医療安全教育による学生のリスク感性の学び. 日本看護学会論文集 看護教育, Vol. 39, pp. 184–186, 2008.
- [7] 平野佳穂. 新人看護師のための医療安全教育—危険予知感性を高める試み [実践から学ぶ・2]. 看護管理, Vol. 16, No. 3, pp. 201–206, 2006.
- [8] 京都科学. 採血静注シミュレータ “シンジョー II”. <https://www.kyotokagaku.com/jp/educational/products/detail101/m50b.html>, 最終アクセス日: 2016/12/02.
- [9] Hirohiko Sagawa, Hiroto Nagayoshi, Harumi Kiyomizu, and Tsuneya Kurihara. Hands-free ar work support system monitoring work progress with point-cloud data processing. In *Proceedings of the 18th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pp. 172–173. IEEE, 2015.
- [10] 橋本菜摘, 椎尾一郎. StudI/O: プロジェクションマッピングを用いたトイブロック組み立て支援システム. インタラクシオン 2015 論文集, pp. 982–985, 2015.
- [11] 牛木卓, 小石毅, 中口俊哉, 林秀樹, 津村徳道, 三宅洋一.

腹部投影方式による腹腔鏡下手術支援システム：鉗子挿入支援機能の開発. *Medical Imaging Technology*, Vol. 24, No. 5, pp. 394–400, 2006.

- [12] Christie Medical Holdings. VeinViewer. <https://www.christiemed.com/>, 最終アクセス日: 2016/12/02.
- [13] 近藤大祐, 後藤敏之, 河野誠, 木島竜吾, 高橋優三. 自由曲面への投影を用いたバーチャル解剖模型. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 10, No. 2, pp. 201–208, 2005.
- [14] Eun-Young Jung, Dong Kyun Park, Young Ho Lee, Hyun Sook Jo, Yong Su Lim, and Rae Woong Park. Evaluation of practical exercises using an intravenous simulator incorporating virtual reality and haptics device technologies. *Nurse Education Today*, Vol. 32, No. 4, pp. 458–463, 2012.
- [15] 京都科学. 点滴静注シミュレータ “V ライン”. <https://www.kyotokagaku.com/jp/educational/products/detail02/mw9.html>, 最終アクセス日: 2016/12/02.
- [16] ノビテック. VENUS3D. <http://www.nobby-tech.co.jp/3d/venus3d.html>, 最終アクセス日: 2016/12/02.
- [17] 日本臨床検査標準協議会(編). 標準採血法ガイドライン (GP4–A2). 学術広告社, 2011.
- [18] 五味敏昭. 安全・確実な静脈採血(肘窩)に必要な解剖学の知識. *Medical Technology*, Vol. 38, No. 1, pp. 14–20, 2010.

(2016 年 12 月 5 日受付)

#### [著者紹介]

##### 浦西 友樹 (正会員)



2008 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。日本学術振興会特別研究員 PD, 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教, 大阪大学大学院基礎工学研究科助教, 京都大学医学部附属病院助教を経て, 2016 年大阪大学サイバーメディアセンター准教授, 現在に至る。三次元形状計測, 拡張現実感等の研究に従事。日本生体医工学会, IEEE 等各会員。博士(工学)。

##### 丸山 裕



2016 年京都大学情報科学研究科博士前期課程修了。同年オムロン株式会社, 現在に至る。拡張現実感, ヒューマンコンピュータインタラクション, 看護教育に関する研究に興味を持つ。修士(情報学)。

##### 内藤 知佐子



1999 年国際医療福祉大学保健学部看護学科卒業。同年東京大学医学部附属病院。2004 年新潟県立看護大学大学院助手。2008 年同看護学修士課程修了。同年京都大学医学部附属病院看護部管理室。2010 年同総合臨床教育・研修センター助教, 現在に至る。日本シミュレーション医療教育学会, 医療教授システム学会, 日本看護教育学会, 日本医学教育学会, 日本看護科学学会, 日本運動器看護学会各会員。修士(看護学)。

##### 岡本 和也



2009 年京都大学大学院情報学研究科博士後期課程修了。京都大学大学院情報学研究科特定研究員, 京都大学医学部附属病院特定助教を経て, 2013 年同講師および同医療情報企画部副部長(兼任), 現在に至る。医療情報学, 特に医療情報を対象とした人工知能研究に従事。日本医療情報学会, 日本医療・病院管理学会, 電子情報通信学会各会員。博士(情報学)。

##### 田村 寛



1998 年京都大学医学部卒業。同年神戸市立中央市民病院眼科研修医。2000 年同専攻医。2002 年京都大学大学院医学研究科。京都大学医学部附属病院助手(後に助教)を経て, 2013 年同准教授, 現在に至る。眼科学, 病院管理学, 疫学, 医療経済学等の研究に従事。日本眼科学会, 日本眼循環学会, 日本網膜硝子体学会, AcademyHealth, 日本医療情報学会, 診療情報管理学会, 日本医療・病院管理学会等各会員。博士(医学), 修士(疫学)。

##### 加藤 源太



1998 年京都大学医学部卒業。同年京都大学医学部附属病院内科臨床研修医。1999 年より大阪赤十字病院内科にてレジデント, 救急部医師。京都大学医学部附属病院特任助教, 厚生労働省保険局医療課長補佐を経て, 2014 年京都大学医学部附属病院准教授, 現在に至る。医療政策, 保健医療制度, 医療社会学に関する研究に従事。日本内科学会, 日本救急医学会, 日本医療情報学会, 日本社会学会, 関西社会学会, 社会学研究会, 日本保険医療社会学会, 日本公衆衛生学会, 日本医療・病院管理学会, AcademyHealth 各会員。博士(文学)。

##### 黒田 知宏 (正会員)



1998 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。同助手, 京都大学医学部附属病院講師, 大阪大学大学院基礎工学研究科准教授等を経て, 2013 年京都大学医学部附属病院教授および同医療情報企画部長(兼任), 現在に至る。仮想・強調現実感, 医療情報学等の研究に従事。IEEE, 電子情報通信学会, ヒューマンインタフェース学会, 日本生体医工学会, 日本医療情報学会等各会員。博士(工学)。