

【公開版】

平成29年度  
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業  
戦略的基盤技術高度化支援事業

「医療スキルの修得支援のための

インタラクティブ・チュートリアル・システムの開発・事業化」

研究開発成果等報告書

平成30年 5月

担当局 近畿経済産業局  
補助事業者 株式会社京都科学

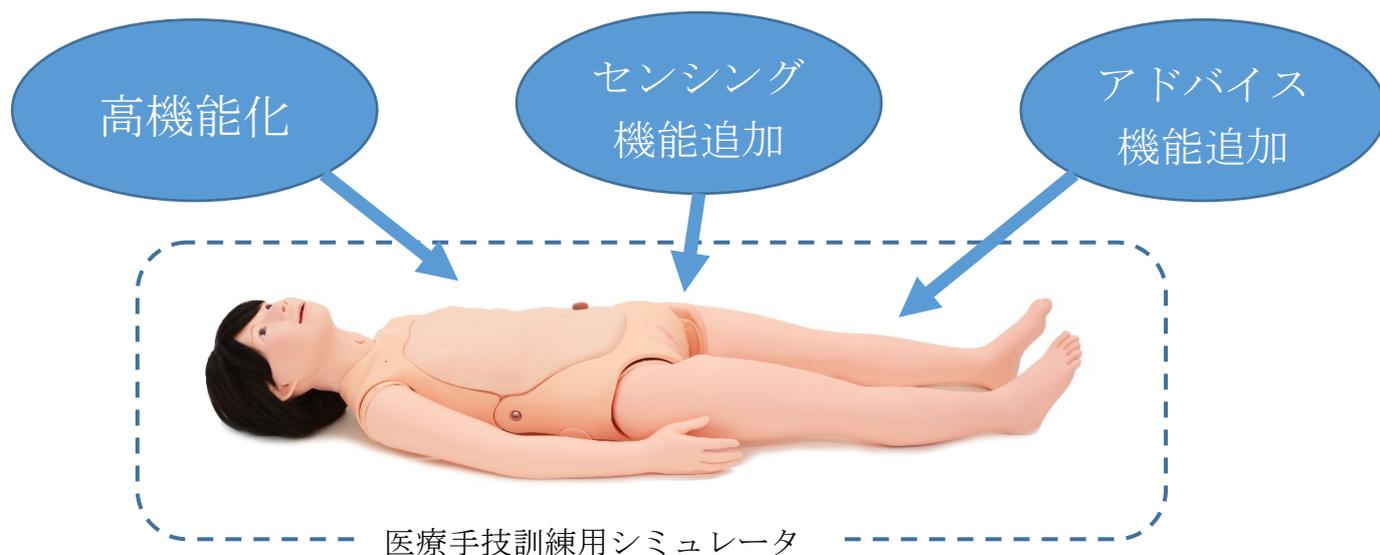
## 第1章 研究開発の概要

### 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

医療教育では、知識を習得させることはもとより、実際の患者の診察、治療、ケアに必要な実技能力を修得させる事が重要である。しかし、近年医療従事者の教育現場では指導者の不足が深刻な問題となっており、特にこの実技能力に関しては、座学で少ない人数で大人数に対し効率的な教育を行う事は困難である。そのために医療教育の現場では、新しい医療教育方法が切望されている。新しい医療教育方法のひとつとして医療手技シミュレータが医療教育の現場に広く普及しているが、このシミュレータも学習者が教育者の適切な指導が無い状態で使用した場合、間違った使い方をしたり、手技の上達のための指導されないため、ほとんど意味を成さない。本事業では、学習者が実技の自己学習をより多く、より高品質に行う事が可能な、医学教育用シミュレータとして、インタラクティブ・チュートリアル機能を追加した医療シミュレータ（インタラクティブ・チュートリアル・システム）を提案する。

インタラクティブ・チュートリアル機能とは、学習者が医療用シミュレータ使って自己学習をする際に、シミュレータが現在実行されている手技のシチュエーションを判断し、さらに学習者のスキルを評価しながら適切なタイミングでアドバイス（もしくはガイダンス）を発生させる機能と呼ぶ。またそのシミュレータが学習者の行った手技の巧拙を評価しデータベースに蓄積していくことで、その学習者の学習履歴、手技上達の状況や得意不得意の分野などの解析が可能となり、またそれを学習者にフィードバックすることで、効率よく学習効果をあげていくことが期待出来る。そして本補助事業では、具体的なターゲット製品として教育・学習ニーズが最も多いと思われる、心音呼吸音腸音の聴診、採血注射、頭頸腹部触診のシミュレータにインタラクティブ・チュートリアル機能を搭載する事を目標とした。

そして、当社は本補助事業でそれらのシミュレータに必要な新素材の基礎研究、成形技術の確立、その他要素技術の開発、及びインタラクティブ・チュートリアル・システムの開発研究を行った。またそれに加え最終的に製品化を見据え、製品としての試作開発に特に注力した。



【インタラクティブ・チュートリアルシステムのイメージ】

## 1-2 研究体制

補助事業者	株式会社京都科学	
管理員	畠和幸	グローバル戦略部部長
	前田徹	グローバル戦略部副部長
研究員	影山稔	グローバル戦略部研究開発課課長
	大原隆之	グローバル戦略部研究開発課専門課長
	片山尚	グローバル戦略部研究開発課造形係係長
	渋谷良太	グローバル戦略部研究開発課制御係係長
	龍野大輔	グローバル戦略部研究開発課造形係主任
	植原良太	グローバル戦略部研究開発課造形係主任
	足立智則	グローバル戦略部研究開発課制御係
	井原一誠	グローバル戦略部研究開発課制御係
	春川涼	グローバル戦略部研究開発課制御係
	廣田真也	グローバル戦略部研究開発課制御係
	中江悠介	グローバル戦略部企画課課長

竹本道生	グローバル戦略部企画課主任
吉川幸江	グローバル戦略部企画課
山本あさひ	グローバル戦略部企画課
村田侑紀奈	グローバル戦略部企画課
橋本真悠	グローバル戦略部企画課

間接補助 学校法人早稲田大学

研究員 高西淳夫	学校法人早稲田大学理工学術院教授
石井裕之	学校法人早稲田大学理工学術院准教授
五十嵐春雄	株式会社アウトソーシング

### 1-3 成果概要

#### ・シミュレータの基礎研究について

注射シミュレータに関して、針跡の残りにくい素材の研究とその実用化の可能性について試作開発を行った。過去に当社で開発した針跡の残りにくいウレタンゲルと比較しても格段に跡が判りにくい軟質素材の開発が出来、またその成形方法等のノウハウの蓄積が出来た。本素材を応用した注射用のセンサの開発へと応用が進んでいる。

触診シミュレータに関して、触診モデルに新たに開発した模擬聴診器を採用する事で、触診と聴診が同時に可能なシミュレータの試作が完成した。同時に呼吸音、心音、腸音、など聴診に特化したモデルについても試作研究を行った。

#### ・状況認識技術

状況認識のアルゴリズムについて、一定の条件を与えることで状況認識をする事が可能となったが、まだ処理に時間がかかってしまい、さらに誤認識もまだ高く実用化のレベルには達成していない。

#### ・助言生成技術

助言生成の技術について、機械学習を使ってその基礎研究を行っている。また助言生成のシステムのための試行として臨床推論をチュートリアルするシステムについて研究を行い、幾つかのサンプルを作成した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社京都科学グローバル戦略部

研究開発課 影山稔 渋沢良太

TEL : 075-605-2530 FAX : 075-605-2530

rw-kyoto@kyotokagaku.co.jp

第2章 本論

・シミュレータの基礎研究について

まずシミュレータを試作するための材料研究を行った。従来から当社で使っているシミュレータの材料には、塩ビ系、ウレタン系、シリコン系が主な物であった。しかしどの材料にも一長一短があり、特に耐久性、伸縮性についてはどの材料にも満足のものも無かった。また従来から伸縮性の高い材料として、ゴム系の材料の存在は知られていたが、伸縮性耐久性に長けたものは化学的に不安定で他の材料との相性も悪く、他材料と触れ合うだけで他材料の可塑剤と反応し、膨潤、変形する現象が確認されていた。その一方、他のどの材料より伸縮性が高く、耐久性もある。今回本補助事業において触診手技、注射手技の画期的なシミュレータを作る上で、新素材の研究は不可欠であり、このゴム系材料をシミュレータの新素材の候補として研究を進めることとした。

今回ゴム系の材料に関し、大手材料メーカーに相談しながら様々な添加剤の添加や組成の変更などを実験した。その結果、70℃以下であれば非常に安定したゴム系の軟質樹脂を手に入れることが可能となった。またその軟質樹脂は成形方法にもノウハウがあるため、それ専用の注入機や専用の型を研究し、様々な試行錯誤ののち専用の成形方法も確立した。更にもう一点、従来のゴム系素材は燃えやすいという問題があったため、新しい軟質素材の引火実験も行い、通常の使用では問題ないということについても確認をしている。



【軟質樹脂注入機】



【軟質樹脂】

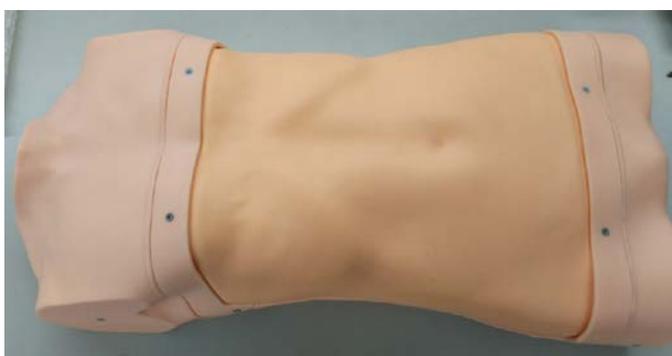
続いて腹部触診シミュレータについて報告する。本シミュレータは患者の体表を手で触れたり押したりすることで、腹部の内臓の異常をいち早く発見する手技を訓練するもので、触感という言葉や数値で表現しにくい物を再現しているために教育の現場でも、そのニーズは非常に高い。

まず本事業で研究を行ってきた軟質樹脂を数mmの厚さのシート状に成形し、そのシートを用いて腹部の皮膚及び皮下脂肪を再現した。その皮下に肝臓、子宮、胆のう、腎臓、脾臓、鼠経部リンパ節などの一般的によく触診が行われる臓器を皮膚より硬めの樹脂で成形し入れられるようにした。この樹脂製の臓器で、形状や柔らかさの異なる物を数種類用意することで、健常者や内臓疾患をもった患者の腹部の状態を再現できる様になっている。これらの樹脂性の臓器は、皮膚を剥がさずにモデルの背中側からユーザーが簡単に交換でき、様々な組み合わせ症例の患者を再現することも出来る。また肝臓などの一部の臓器は人間の呼吸によって数センチ移動し、肋骨の内側に隠れてしまい、触診をより困難にしてしまうものもある。この現象を再現するために、肝臓が移動する機構を試作した。幾つかの方法で試したが最終的には空気圧によるエア動力方式か、ワイヤ方式が本機構に適していると判断した。最終的には上位機種にはエア動力方式、普及版にはワイヤ方式を採用するなど、ユーザーの予算や使い方による使い分けを考えている。

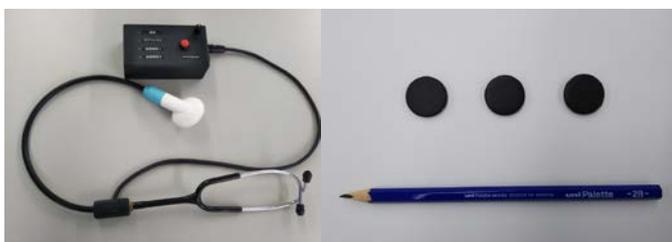
今回試作した腹部触診シミュレータにて、更に新たな試みを検討した。触診と聴診シミュレータとの融合である。音声再生機構が触診の妨げになるとの理由から今まで当社では行ってこなかったが、触診への影響が最小限になるような新たな機構を今回試作検討した。本再生機構は聴診器の中に音声の再生システムを内蔵し、腹部触診のシミュレータにはRF-ID（直径20mm厚さ2mm基石のような形状のセンサ）を

## 【公開版】

組み込むことで実現した。(本聴診装置を模擬聴診器と呼ぶ) その原理自体は他社でも既に行われていたが、本システムを聴診ではなく触診を主目的にした商用のシミュレータに応用したのは当社が初の試みと思われる。今回触診される側に10個程度のRF-IDを入れたが、触診の際に内部にRF-IDがある事は全く分らなかった。ひとつのシミュレータで触診と聴診の両方を高い再現性で実現することができた事は実に画期的なことである。現在の試作では聴診は腸音と血管の雑音のみだが、将来は呼吸音、心音、等に拡張して行くことで様々なシミュレータへの応用が期待される。



【開発した腹部触診シミュレータ】



【試作した模擬聴診器とRF-ID】

## 【公開版】

次に注射シミュレータについて報告する。注射シミュレータに関しては、手技の流れ及び状況認識技術と助言生成技術について検討をすると同時に、本事業の成果である軟質樹脂を用いた注射シミュレータの製品化のための試作と新しい要素について研究をした。従来から注射を練習するシミュレータは当社でも複数種のを、長期間にわたり製造販売行ってきた。しかし注射手技の練習というその目的から次のような問題に常に悩まされ続けてきた。

- ① 注射針を数回しか刺していないのにシミュレータが壊れてしまう。
- ② 注射の針を刺した感触が人と違う。
- ③ 注射針を検出する回路が誤動作する。
- ④ 何回か穿刺した後で、穿刺跡が残り正しい注射部位が分ってしまう。

本事業の成果である軟質樹脂には、穿刺跡が残りにくく、注射針で穴を開けても耐久性が高いことは、今までの試行と試作により明らかになっていた。そこで、本軟質樹脂に注射針を刺した感触を再現する事と、注射針を検出する機能を付加することが出来れば、上記の問題4つすべてが一気に解決する可能性がある。そこで、まず注射針を穿刺したことを識別するための機能を持たせるために導電性の材料を軟質樹脂に添加する試行を行った。導電性の材料は添加量が少ない軟質樹脂に導電性を持たせることが出来ない。しかし添加量が多すぎると軟質材料として柔軟性、伸縮性が損なわれてしまう恐れがある。

そこで、何回かの試行を行い最適な添加量を求め最適添加量で作った軟質樹脂をシート状に成形することに成功した。その軟質シートに穿刺実験を行ったが、簡単な電気回路を使って、検出できる程度の電気抵抗値であり、また耐久性も、注射針の跡が目立たなさも従来の物より格段に良い物になった。注射針を刺すときの感触も軟質樹脂シートの表面に特殊な処理加工施すことでかなり改善された。

以上で、当初あった4つの問題は解決した。そしてこの導電性の軟質樹脂シートを使って筋肉注射をするためのブロックを試作し、穿刺の実験をしたところ、次のような新たな問題が明らかとなった。

- ① 模擬薬液注入後に注射針を抜くとき、人体組織には無い組織（軟質素材）が針に纏わりつくような抵抗感がある。
- ② 模擬薬液を注入し注射針を抜くと、穴から模擬薬液が噴出する。

## 【公開版】

様々な施行を行ったが、最終的に軟質シート奥の構造を模擬薬液が溜められる構造に変更することで解決できることが分った。本軟質シートと模擬薬液を溜められる構造を人体の筋肉注射をする部位（臀部や上腕筋肉）の形状に成形することが出来れば、従来にはない高品質、高耐久の注射シミュレータを製作する事が出来ると思われる。

今後試作を続け、製品化を目指したい。



【導電性軟質樹脂シートを使った試作ブロック】

### ・状況認識と助言生成技術について

インタラクティブ・チュートリアル機能を確立するためには、まず現在学習者が行っている手技が現在どの様な状況にあるかを、高速かつ的確に認識する状況認識技術とその学習者に対する的確な助言を生成する助言生成技術が不可欠である。本事業開始時より画像認識技術やセンサ技術を使い、状況認識を行うアルゴリズムの研究試作を続けてきた。現段階での本手法では、想定以上に処理に時間がかかることと、誤認識の確率がまだ高い事が確認されている。さらに現状では状況認識中に、学習者が次の手順に進んでしまい状況が次の状況に変化してしまう等の現象も予想される。今後、処理用PCの高性能化や新たな画像認識アルゴリズムの開発、近接センサやモーションセンサ、サーモグラフィなど、様々なセンサを追加し多角的に使うことで、高速高精度の状況認識技術にして行くことが必要であると明確になってきた。

助言生成のアルゴリズムについてはニューラルネットワークを応用したオートコーディングの基礎研究を行い、その有用性について検討中。これと平行してシミュレータを使った自己学習の記録を収集して閲覧するソフトウェアの試作を行った。本ソフトは今後機械学習の研究においてその元になるデータベースを構築することが可能と

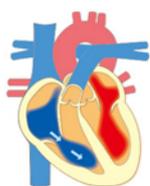
## 【公開版】

なる。本データベースによって学習者の手技の良し悪しを評価する評価関数を客観的に生成することが可能となる。

また助言生成システムのためのひとつの試行として、循環器の臨床推論をチュートリアルするスライドソフトの試作を行った。今後実現できるであろう高速かつ的確な状況認識技術高性能を本チュートリアルスライドに実装する事で、ユーザーフレンドリーかつインタラクティブ・チュートリアルシステムを搭載したシミュレータを構成することが可能なことを確認できた。

### 解説

- Ⅲ音は、心室の拡張期の初期に、心室の急速な血液充満によって振動が生じて発生します。約40歳以下の健康な人で聴取された場合は、正常な心音であると考えられています。



7

【試作したチュートリアルスライドの一例】

### 最終章 全体総括

聴診、採血、触診のシミュレータにおいて、そのシミュレータに使用できる新素材研究とその素材の応用、成型方法、シミュレータの機構についての試作改良を重ねて行ってきた。その結果として最終的なインタラクティブ・チュートリアル機能の実用化と本シミュレータへの実装が待たれるが、単体のシミュレータとして充分使用に耐えうる試作モデルがほぼ完成した。幾つかの試作機は完成度も高く、本事業の成果として今後製品化へ向けブラッシュアップの作業へと進めて行きたい。

インタラクティブ・チュートリアル機能の開発は遅れてはいるが、今回開発した試作機に本機能を組み込むことでより高度なシミュレータになることもほぼ確認できた。これによって、学習者は、患者の身体と同じ形状、触感のよりリアルなシミュレータに対して繰り返し手技の自己学習が可能になる。その結果、医学教育者が不足した現場であっても効率の良い

## 【公開版】

医学教育、医療技術修得が可能になることが予想される。今年 3 月をもって本事業の補助期間は終わってしまったが、本シミュレータの肝でもあるインタラクティブ・チュートリアル機能の実現と、当社シミュレータへの実装は様々なタイプのシミュレータへの応用が出来ることがわかった。我々はこの医療用シミュレータを実用化することが、現在の日本が抱えている医療教育現場での人材不足解消の一助となると信じている。今後とも本機能の研究開発を進めていきたい。