安全保障技術研究推進制度　令和６年度採択大規模研究課題　中間評価結果

1.　評価対象研究課題

（１）研究課題名：災害医療対応・外傷処置・外傷手術 XR 遠隔支援システムの開発

（２）研究代表者：北海道大学　　近野　敦

（３）研究期間　：令和５年度～令和９年度（予定）

2.　中間評価の実施概要

日時　　：令和７年１０月１６日

場所　　：ＴＫＰ新橋カンファレンスセンター

評価委員：未来工学研究所　理事長、上席研究員

東京大学　名誉教授

平澤　泠（委員長）

リモート・センシング技術センター　理事

岩野　和生

理化学研究所　革新知能統合研究センター　副センター長

上田　修功

情報セキュリティ大学院大学　研究科長・教授

大久保　隆夫

東京科学大学　工学院　電気電子系　教授

梶川　浩太郎

東京工業大学（現 東京科学大学）　名誉教授

佐藤　誠

千葉商科大学　特定教授

筑波大学　名誉教授

東京工業大学（現　東京科学大学）　名誉教授

寺野　隆雄

札幌市立大学　理事長、学長

中島　秀之

山口大学　大学院創成科学研究科　教授

西井　淳

産業技術総合研究所　人間社会拡張研究部門　上級主任研究員

長谷川　良平

福井工業大学　経営情報学部長・主任教授

大阪大学　名誉教授・特任教授

馬場口　登

（委員長以外は五十音順・敬称略）

3.　研究の進捗状況

研究の概要

本研究では、災害やテロ等の現場での被災者医療対応において、インターネット上に構築する仮想空間に被災者および被災地環境デジタルツインを半自動生成し、そのデジタルツインを通して現場医療者と遠隔地の医療者が協力して最適な医療対応ができる、災害医療対応・外傷処置・外傷手術遠隔支援システムの開発を行うことを目的とする。

この目的達成のため、本研究では次の実施項目①～⑥を実施する。

- 実施項目①　アバターで外傷手術実演可能なメタバースプラットフォームの開発

  インターネット上の仮想空間内に被災者および被災地環境デジタルツインを生成し、そのデジタルツインを通して現場医療者と遠隔地の医療者が協力して最適な医療対応ができるメタバースプラットフォームを開発する。
- 実施項目②　現場情報に基づく環境モデル構築

  実験室に構築する模擬被災地現場において、光学式測距センサー[*1]付きのタブレット端末等で撮影した動画や取得した点群から、瓦礫に挟圧された被災者の状況を、現場と遠隔地医療者が把握できる３次元環境モデルを迅速に構築する技術を開発する。
- 実施項目③　現場情報に基づく被災者のデジタルツイン構築

  実験室に構築する模擬被災地現場で、光学式測距センサー付きのタブレット端末等で撮影した被災者の動画や取得した点群、携帯用検査キットで取得するバイタルサイン（「脈拍」「呼吸」「体温」「血圧」「意識レベル」）から、迅速に被災者のデジタルツインを構築する技術を開発する。
- 実施項目④　外傷処置・外傷手術データベース構築

  標準的な外傷処置・外傷手術に対して、熟練医がモーションキャプチャースーツを着用して実演し、複数名の熟練医による実演をデジタル化し、デジタルマネキンで再生可能な形式でデータベースとして保存する。
- 実施項目⑤　災害医療対応・外傷処置・外傷手術遠隔支援検証

  実施項目①～④を経て開発したシステムを、医師（研修医、救急医、外科医、災害医療の専門家）によって評価・検証する。そのうえで問題点を抽出し、システムに改善を実施する。
- 実施項目⑥　プロジェクトの総合的推進

  プロジェクトを効率的に推進するために、研究グループを情報学班と医学班に分ける。プロジェクト全体の連携を密としつつ円滑に運営していくため総括班を設置し、総括班は、運営委員会や技術検討会の開催等、参画各機関の連携・調整にあたる。

進捗状況

主な実施項目に対する進捗は以下の通り。

- 実施項目①　被災地支援メタバースプラットフォームの開発
  - 現場医療者と遠隔地の医療者が協力して最適な医療対応ができるメタバー

スプラットフォームを開発した。遠隔地の医療者が実演する外傷処置動作をモーションキャプチャー（MoCAP）装置で、指先マーカーが隠れない場合は、計測成功率 90%以上、計測手先位置誤差 10mm 以内で実演者の動作を記録・再生できることを実証した。したがって中間目標の『実演者の動作計測成功率 90%以上、計測手先位置誤差 10mm 以内』は、一部達成済みである。指先マーカーが隠れる場合、センサグローブの IMU[*2]から位置を推定するが、センサー情報処理の遅れにより、動的状況では最大 20mm 程度の誤差が発生した。今後、生データから機械学習を用いて位置推定することを試みることで、目標位置精度は十分達成可能と考えている。

- 最終目標である『100ms/loop の速度での手術シミュレーションを 10fps(フレーム数／秒）でアニメーション表示する』の達成に向け、拡張位置ベース動力学（XPBD: Extended Position-Based Dynamics）にネオ・フッキアン制約を加えた新しい高速動力学計算法を開発し、一つの臓器モデルに対し、切断操作有の場合は約 30～35fps （33～28ms/loop)、切断操作なしの場合は約 45～50fps （22～20ms/loop)で手術シミュレーションを実行可能なことを実証済みである。

- 実施項目②　現場情報に基づく環境モデル構築
  - 救助隊員が装着したヘルメット搭載型 LiDAR 付きスマートフォンと市販スキャンアプリ Scaniverse[*3] を組み合わせた周辺環境の３次元計測手法を考案し、3 か所の模擬瓦礫環境（$4m^2$～$72m^2$）の環境幾何モデル（3 次元メッシュモデル[*4]）を、計測誤差約 30mm 程度で、いずれも 1.5 分以内に生成可能であることを実証した。従って中間目標である『$4m^2$範囲の環境の点群データから環境幾何モデルを手作業時間をも含め 5 分以内に生成』は、すでに達成済みである。
  - さらに最終目標である『環境の有限要素モデルを 5 分以内に生成』の達成に向け、環境幾何モデル表面を物体クラスごとに分類する独自の深層学習ネットワークを開発し、9 分弱の処理でモデル表面を「人体／瓦礫／床」、「皮膚／布／木材／コンクリート」に平均 IoU[*5] 67%で分類し、コンクリート/木材混在の瓦礫重量を絶対誤差1.8kg で推定可能なことを実証済みである。

- 実施項目③　現場情報に基づく被災者のデジタルツイン構築
  - 瓦礫に埋もれた被災者の画像を人工的に生成できる画像生成システムを独自開発し、この人工画像データベースを用いて既存の人体形状＋骨格推定用深層学習ネットワークを学習させることで、環境幾何モデルにフィットした被災者の個人表皮＋骨格モデルを１画像あたり 1.5 秒、身長誤差最大 3cm で生成可能とした。従って中間目標である『一人の被災者の点群データから被災者個人表皮モデルを手作業時間をも含め 5 分以内に生成』は、すでに達成済みである。

- さらに最終目標である『一人の被災者個人有限要素モデルを手作業での修正や動力学パラメータ設定の時間も含めて5分以内に生成』の達成に向け、標準体型・姿勢の人体有限要素モデル（THUMS[*6]）を標準内臓モデルとし、被災者個人表皮と骨格モデルにMesh-Morphing[*7]で自由変形させフィットすることで、被災者下肢の挟圧状況の応力解析に利用できる30万節点程度の個人有限要素モデルを2分以内に生成可能であることを実証済みである。また最終目標の『被災者の挟圧状況等の動力学シミュレーションを100ms/loop、アニメーション表示を10fpsで実行』については、実施項目①の開発技術において既に目標達成済みである。

- 実施項目④　外傷処置・外傷手術データベース構築
  - 整形外科熟練医および外傷外科熟練医による患肢切断処置の実演とその動作記録を行った。
  - 樹脂モデルで、両側上下肢の関節部を除く16箇所の切断、両側肘・膝の切断、および追加部分の切断について、熟練医の動作記録を行った。通常のビデオ撮影に加え、術者、メス、攝子、電動ノコギリ等の手術器具にマーカーを装着して、動作をMoCAPで記録した 。
  - カダバーで、両側上下肢の関節部を除く16箇所の切断について熟練医の動作記録を行った。2方向の天井ビデオカメラによる2D撮影以外に、固定型ステレオカメラ、術者目線のステレオカメラ（Apple Vision）による3D撮影、マーカーレスMoCAPによる術者動作記録を行った。

- 実施項目⑤　災害医療対応・外傷処置・外傷手術遠隔支援検証
  - 以下について、現在検証中である。
    1. 「基本的システムの評価」:デジタルマネキンへの処置のリアリティーを評価し、80%以上の再現度を目標とする。
    2. 「トレーニング効果の評価」:トレーニング前後の自信度を定量的に比較し統計的有意な上昇をもって有用性を示す。
    3. 「災害医療支援システムの評価」:災害模擬訓練場でのメタバース内のデジタルツイン生成とリスク評価を、災害医療の専門家によって評価し、客観的信頼度が10段階で8以上となる事を目指す。

4.　中間評価の評点

B　研究成果の創出を図る上で、研究計画の見直しを要する。

5. 総合コメント

AI と XR を融合した災害医療支援システムの基盤構築に成功し、技術的完成度と社会的意義の両面で高く評価できる。3D 人体推定や動作解析も着実に進展し、実用化に向けた発展性が大きい。また、研究計画が綿密に練られている。多くの実施項目があるにもかかわらず、各項目で成果が順調に出ている。多くの医療従事者が研究に参加しており、全体のマネジメントも良好である。

一方で、あらゆる災害現場に有効なシステムとなると膨大になる。災害現場で人命救助に有効な対処・措置をいくつか選び、まず情報システム支援訓練システムを構築し、その訓練対象者を増やす取り組みに絞るべきである。消防庁とも連携を強化しつつ、災害現場で非医療関係者も含めて誰がどのようなニーズを持っているのかを整理し直し、デジタルツインは、できる限り事前の訓練で想定ユーザー（非医療関係者を含む最前線の救助関係者）のスキルアップを行うことを目指し、オンサイトでのシステムは最小限に限定する方が現実的である。

また、現場感覚を有する専門家とシステム開発者とのコミュニケーションを十分に図るべきである。

6. 主な個別コメント

- デジタルツインとメタバースを利用する先進的なモデルを纏めることも重要である。今後の発展に資する知見を纏めておくことも研究計画に加えるべきである。
- 瓦礫モデルについて、圧迫の度合いなど様々なシチュエーションを想定する必要がある。
- 災害現場という資源に乏しい環境で実現するには装置が大掛かりすぎる。訓練用に特化した方が実用的である。
- 今後、トータルな実験システムを構築し、現実的な想定において実験実証をすべきである。

---

*1 光学式測距センサー（LiDAR センサー）：レーザー光を照射し、その反射光で対象物までの距離を測定する原理の距離センサー。現在、iPhone-Pro や iPad-Pro には小型の光学式測距センサーが搭載されている。

*2 IMU: Inertial Measurement Unit の略で、慣性計測ユニットのこと。3 軸角速度(ジャイロ)センサー、3 軸加速度センサーなどを搭載し、3 次元の角速度と加速度が求められる。

*3 Scaniverse:小型の光学式測距センサーを用いて、SLAM 等の技術により周辺環境の 3 次元メッシュを生成可能なスマートフォン用アプリの一つ。

*4 3 次元メッシュモデル：三角形や四辺形などの単純な多角形の集合で物体表面のみをモデル化した 3 次元モデルの形式

*5 IoU: Intersection over Union の略。機械学習等により物体検出やセグメンテーションのタスクで、正解の領域と予測の領域がどれくらい重なっているかをあらわす精度指標。1.0 が最高値

*6 THUMS： Total Human Model for Safety、トヨタ自動車と豊田中央研究所で共同開発された標準体型と姿勢をもつ人体全身の有限要素モデル。内臓、皮下組織、骨格、筋腱、脳等、複雑な人体構造が正確に表現されており、またモデル化において最新の研究より各部位の物理学的特性を反映し、各文献との検証も行われている。

*7 Mesh-Morphing：有限要素モデルを直接、節点や要素の数や配置を変更せず、空間内で滑らかに形状変化させる技術。サイズや姿勢が変化する対象に対し、要素再分割の手間と時間を大幅に削減することができ、解析結果のばらつきを抑え、より高い精度で性能評価が行える。