

特 集



特集：臨床工学技士制度の30年

臨床工学の新たなる視点： 医療 AR（拡張現実）支援システムの開発

田 仲 浩 平*

1. はじめに

IoT, ビッグデータ, ロボット, クラウド, 人工知能 (AI) などの活用は加速してきており, 社会および医療がそれによって大きく変わろうとしている. 医療分野においてはウェアラブル端末等を用いた生体情報の測定ツールの普及, 遠隔医療や自動診断などに代表されるよう IoT を活用し医療全体の効率化を目指している. 最近では, 医療現場でタブレット型情報端末器の導入も進みつつあり, 診療や治療に必要な個人情報, 薬剤, 検査, 資材等の各種データ管理等で活用されはじめています. このような情報端末器の利用により医療従事者の業務の迅速化などが図られ, 医療の効率化へつながるものと期待されています.

今日の医療で期待されている情報端末器の一つに, Augmented Reality (拡張現実) テクノロジーを用いたウェアラブルグラスが注目されている. google® グラスに代表されるウェアラブル型情報端末器は特定の価値観を持つユーザに支持されてきた. これらウェアラブルグラスは, 片眼型と両眼型の2種類が存在し, これらを含め一般的にスマートグラスと呼ばれているものである. ある程度, 利用も進みつつあり, 特定の航空産業分野における保守管理等において, また, アマゾン® 社の在庫管理用として主にピッキング等で用いられていることもあり知られるようになってきた.

我々は, 医療ニーズに基づいた医療事故防止という課題解決に向け 2015 年から医療 AR 支援システム (MARSS) の研究開発をおこなってきた.

本稿では, 臨床工学の新たなる視点における医療安全対策のブレイクスルーとしての MARSS 開発目的, 機能, 適応, 更に, 未来の医療で役立つ MARSS の AI 化について述べるものとする.

2. AR の歴史と普及への課題

これら AR の歴史は古く, 1965 年にユタ大学のアイバン・サザランド¹⁾が開発したものが最初で, その後コロンビア大学で開発された「KARMA」²⁾がメンテナンスをおこなう AR システムとして最初である. また, 1990 年代に入るとノースカロライナ大学により開発されたもの³⁾は音波診断装置によって撮影された患者の生体情報を医師の視野にオーバーレイするものであった.

近年, 海外での医療導入事例としては, 心電図やエコー画像の生体情報を片方のグラス面に表示させるという処置用モニターとして利用した例があるが, 医療分野では普及に至っていない.

導入を妨げる原因は, ①両眼グラスでは多くの情報をオーバーレイさせると, その先の視認性が低下すること, ②片眼グラスの場合はディスプレイが小さく表示量が極めて少な過ぎること, ③バッテリーなどの重量故, 表示ポイントがずれ視認性が低下すること, ④見たい情報が増えるに従い, 他の情報への切り替えが頻回にな

* 東京工科大学医療保健学部臨床工学科

り煩わしいこと等があげられる。当初のウェアラブルグラスに寄せる大期待に反し、実際に解決すべき課題も少なくないのが現状である。

3. 医療における最大の課題

医療には医療安全という大きな課題に直面しており、社会から見た医療への信頼は大きく揺らいでいる。現在の医療安全対策の実情というものは、基本は「指さし呼称」に代表される6Rや、ダブルチェックなどにより医療従事者間で重要な作業に対し複数で確認をおこない、誰かがミスに気付くという極めて人間の能力に依存する安全理論で構築されている。医療で活用される指さし呼称は、鉄道業界の実績において一定の安全効果があることは知られている。医療現場の作業フローには特徴があり、各自が受け持つ作業工程とは別に急変時への対応という作業も入り、この2つの作業が同時進行で進む場合も少なくない。また、基本的には手作業が多く、更に夜勤中等においては個人の判断に委ねられる臨機応変な作業も少なくない。

日本医療機能評価機構 医療事故情報収集等事業平成28年度年報によると、大学病院など全国の主な医療機関275施設から平成28年度1年間に報告された医療事故は3,374件で、調査をはじめた2005年度の約3倍以上になっている。報告された内容を見ると、代表的なものとして「投与する薬や量の間違い」、「体内へのガーゼの置き忘れ」、「患者の取り違え手術」など、毎年、過去と同様の単調なエラーが繰り返されており、患者の死亡数も一昨年より81件増えて306件と増加した。「ヒヤリ・ハット」の事例も全国の586の医療機関で合わせて78万件を超えているという状況に陥っていている⁷⁾。事故分析では、医療従事者側の「確認の怠り、観察の怠り、判断の誤り」という人間の持つ特性に主な原因があることが明らかとなっている。医療機器に関連する医療事故の割合は3%以下であるが、その大半の原因は不適切な取り扱いとなっており、知識や経験の不足によるものと分析されている。

一方、医療安全への費用対効の試算では、例えば500床の病院で勤務する医療従事者が1日

10分間だけカルテ入力作業で、その人件費はおおよそ年間2.6億円かかることと推計されている⁴⁾。また、医療従事者が日々取り組んでいる医療安全対策としてここに投入された対策関連の人件費や諸費用は600床の病院で、毎年およそ1.4億円以上とされており⁵⁾、入院患者1人当たりの医療安全コストはおおよそ718～1,301円と推計されている⁶⁾。

医療安全対策に費やされる諸費用により病院経営を圧迫しかねないほど大きな金額へと膨らんでいるという。

4. 医療安全対策のブレイクスルーとしてのARテクノロジーの活用

医療従事者は、主に自己の記憶(経験)を頼りに判断し作業をおこなっているため、経験の少ない医療従事者の作業にはリスクを伴う。また、中には経験があるにもかかわらず正確な手順を踏まず自己の判断で不適切な取り扱いをおこなってしまうことも考えられる。

基本的には医療従事者は、スキルトレーニングという正しい行為(経験)の積み重ねが必要である。ただし、スキルトレーニング等で学んだ記憶も、日々変わる心身の状況変化、疲労などにより、作業精度が低下したり、パフォーマンスに影響を及ぼすと言われている。

また、人間の記憶特性には限界もあり、感覚記憶における視覚の保持時間は100～300msecで容量は 7 ± 2 項目、また、聴覚の場合2～3sec、容量8～10項目である。また短期記憶は18secの保持時間で、当初の記憶の約80%程度に精度が低下してしまう。さらに、長期記憶では1min以上の記憶容量を有するが、当初の記憶の約30%まで記憶の精度は低下するという⁸⁾。経験を積んだ熟練者でさえ、覚えた知識を高い頻度で、繰り返し出し入れしておかないとその知識は有効に機能しないことがわかっている。

我々は、現在の医療安全対策のブレイクスルーとして、人間の記憶や経験に依存しない新しいパラダイムとして、MARSSによる支援を提案していくものである。

5. 医療 AR 支援システム (MARSS) の目的と要件

医療従事者は、多種多様な医療手技や技術を記憶しておかなくてはならないため、度々、部分的に記憶の欠落や忘却が生じ、不確かな記憶のもとで医療行為を実行するというリスクに苛まれる。我々の MARSS は、生体計測機器から流れている生体情報を受動的受け取るのではなく、医療従事者が求める情報だけを能動的に受け取るというものである。能動的に提供を受けなければならぬ情報とは、その場で判断しなくてはならない情報や後回しにできない重要かつ緊急的な措置が必要な情報である (図 1)。

必要な情報を表示には、その表示方法も重要である。最適な要件としては、作業に影響を及ぼさないハンズフリー化、スムーズな情報の送受信、視野を妨げない適度な情報量の表示、作業中に確認したい情報へ素早く切替ることのできる応答性である。また、デバイスの重量やグラス全体のバランス、作業時間にも影響を及ぼす駆動時間なども最適設計において考慮しておかなくてはならない。

医療従事者が医療現場の情報で求める情報の種類は、主に①患者既往歴などの医療情報、②診療や治療に用いる医用材料の仕様、③薬品

等の効能や禁忌事項、④標準的な医療技術の操作手順、⑤適切な医療機器の操作方法、⑥各種警報類や対処方法、⑦最新の医療安全情報、⑧手術や治療の流れ、⑨医療機器の操作・保守などの多種多様な情報である。

図 2 では、医療機器のリスク分類から人工呼吸器を選択し、分類表の中から対象の機器を選択することができる。これにより、グラス面に表示される文字と画像情報を確認しながら、迷わず正確な作業がおこなえる (図 2)。

6. MARSS の構成と特徴

現在 MARSS は開発段階にあり、現時点では汎用の EPSON 社の BT-300 スマートグラス (OS: Android) へ、産業用として新規開発された NEC 社の耐騒音声認識アプリケーションを基に MARSS 専用の改良アプリケーションを搭載している。このソフトウェアの特徴は、Excel 形式で簡便にコンテンツを作成できる機能を持つことから医療施設および医療現場にあわせたコンテンツ作りが可能である。MARSS に搭載している耐騒音音声認識システムは工場の生産ライン用の技術を医療現場用へ転用したもので、耐騒音性に優れたシステムである。我々の音声認識試験では、周囲の雑音に対する誤動作することもなく軽快に切り替えることができ



図 1 医療機器 (人工呼吸器) の情報を基に正確な作業をおこなうことができる

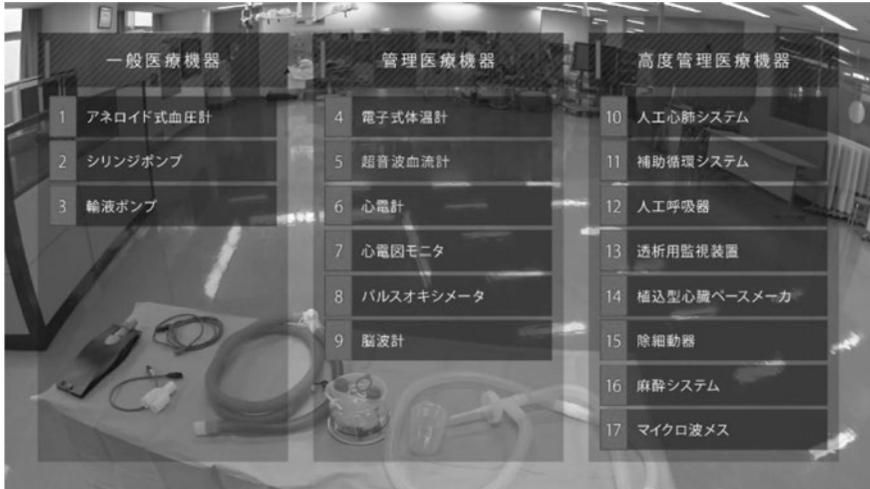


図2 ウェアラブルグラスにオーバーレイされた医療機器分類(上)の中から必要な機器を音声等で選択し、特定の機種(下)からさらに組立手順を呼び出すことができる

ている。

音声を発しにくい医療現場では、他の手法でスイッチング（仮想、加速度、視線、物理的など）が可能である。ユーザはその場面にあった最適なスイッチを選択し検索をおこなうことができる。

MARSS のグラス面の情報表示位置は、視線のやや上方に配置されており視線を少し上方に移動させることで確認することができる。一方、タブレット型情報端末器の方は、基本的には紙ベースのリストやマニュアルを見る動作同様、情報端末本体を保持する手と、画面を操作する手指が必要になるため、どうしても片手もしくは両手が塞がるという課題がある。更に、一時的に下を向き、視線を大きく外してしまうため、情報を閲覧している最中は作業を中断することになる。スマートウォッチについては、表示される情報量が極めて少ないうえ、指先に近い手首に設置されるため、医療従事者の手洗いやグローブを装着する場合等は利用しにくい。

MARSS に搭載した耐音声認識エンジンは、単に静止画および動画とテキスト形式で表示させるだけではなく、電子音声にて復唱させるといった機能も付加している。この電子音声の復唱機能により、視覚と聴覚を利用して確認精度を向上させることと、使用者の検索間違い等を防

ぐ効果があると考えている。年齢や経験の異なる医療従事者が同じ作業をおこなう場合、質量、速度、精度など個体差があるため各自が求める情報も異なる。この個体差は、作業時間や精度に影響を及ぼし、知識の不足はやがて不適切な取り扱いにつながり、重大なアクシデントへ発展することが予想される。作業フローの中で、そのステージに適した情報を受け取ることができることで、その作業の速度や精度を改善し、更には安全性も向上することにつながる。

我々が考えている MARSS の主たる対象は、業務量が多く多様で臨機応変に対応することを業とする医師、看護師および多種多様な医療機器を操作および管理する臨床工学技士等であるが、その他、極めて熟練度を要する保守関連の医療系技術者への適応も考えている。

MARSS は、院内でワイヤレスの情報端末が利用できる環境下であれば、例えば、院外のクラウドサーバーを利用することで、遠隔機能を持たせることによる医療施設間との送受信や、在宅医療において、例えば、介助者へグラスを装着させることで処置や操作手順等の支援を遠隔でおこなうことも視野に入れている。この MARSS は、大規模医療施設だけでなく中・小の医療施設でもその同様の機能を利用することも可能である（図3、4）。



図3 適正な手順（左側）を表示と音声でナビゲーションさせる



図4 間違いやすい部分には注意喚起をおこなう

7. 想定される価値と課題

我々が試作した医療用コンテンツは、製造販売企業が推奨している取扱手順に従って製作したものである。例えば、自己が経験したことのない医療機器の不具合に遭遇すれば、ベッドサイドに操作説明書を持ち込み閲覧することになる。説明書を持ち込んだとしても、何処に記載されているのか探し出すだけでも多くの時間を費やすことになる。MARSSは医療従事者が忘却した、または一部忘却したなどの医療情報を、音声によるキーワード検索で、目的の情報を素

早く呼び出すことができる（図5）。

このMARSSのために、新たな作業工程が増えることはなく、現状の作業フローを変えずに必要な情報だけをハンズフリーで得ることができる。また、医療スタッフおよびチーム間で、グラスを装着していれば、同じ情報を画像と音声によりリアルタイムで共有することができる。例えば、カメラ機能により、指さし呼称やダブルチェックをおこなう場合、その場になくても同時並行でチェックがおこなえるということになる。これらは、すべて時間短縮につながり、最も重要な作業に対し時間をかけてよ



図5 人工呼吸器の正確な点検作業手順の表示（左側）と肉眼での確認

り確実に作業を実行できる。作業時の動線が長く、複数の作業を並列におこなう医療従事者にとって大きな価値がある。

反対に、一般的なスマートグラスおよびMARSSの課題は、情報量に制限を受けることであり、多くの情報をグラス面に表示することは難しい点にある。理由としては、テキストの表示量が多くなると、人間は文字を読むことに集中するため、動作が一時的に停止してしまうためである。多くの情報により脳が混乱し、一時的に動作が停止することがわかっている。特に、紙媒体で作成された手順書をそのまま表示させると、下地がホワイトバックとなり、テキストはかなり読みづらくなるのと同時に透過度も低下するため動作に悪影響を与える恐れがある。このため、MARSS専用で作成されたテキストおよび画像表示を組み合わせる表示させることが必要となる。表示させるテキストの分量やレイアウトの最適化により短時間で理解できる表示レイアウトを検討している。これら課題解決に向け医療施設および開発企業と検討を進めており、上記の課題をほぼ解決できるものと考えている。

更に、MARSSは静止画表示だけでなく、理解しにくい場合の対処方法として、ユーザが音声にてヘルプ機能を起動させることで、動画により一連の作業を確認することができる機能

も有している（図6）。

8. 有用性の検証

我々は、このMARSSの有用性を検討するため、従来のマニュアル（テキスト表示のみ）書と、グラスに表示させた手順書（テキストと画像を組み合わせ加工したもの）の比較をおこなった。

検証では、血液浄化回路のセットアップコンテナツを用い、組み付け速度、組み付け精度、エラー率を初回、2週間、1ヶ月、3ヶ月後に比較した。実証には、血液浄化装置のマニュアル（手順書）を見て回路の取り付けをおこなった群と、ウェアラブルグラスでグラス面に手順（テキストと画像で加工したもの）を表示させた2群で比較した。どちらも一定時間のスキルトレーニングを受けた大学生40名である。3ヶ月後のテストだけは、手順書もグラスも装着せず、記憶を頼りに組み付けなどをおこなうブラインド試験を実施した。

結果から、MARSSを装着して作業をおこなった方が組み付け群の精度は、マニュアル群より高値であり、エラー率についてはマニュアル群より低値であった。ただし、マニュアル群は、1ヶ月後のエラー率はグラス群より低値であった。しかしながら、3ヶ月後のブラインド試験では、MARSSのエラー率の方がマニユア



図6 画面右上の「?」ヘルプを選択すると静止画から動画が再生され一連の動作が確認できる

ルにくらべおよそ半減することがわかった。従来のマニュアル書に比べ MARSS は、取り付け速度は変わらなかったものの、回路の組み付け精度が大幅に向上することが確認できた。この検証での副産物として、一定期間 MARSS を使用すると、MARSS を外しても記憶が残存することが確認できている。テキストと画像の表示では、高い学習効果があることが一般的に知られており、この効果が表れたものと考えられた。

MARSS を装着した医療従事者が表示された情報を読み間違えたり、また、無視したりしないかぎり、標準的な医療技術を行ってできるレベルを担保できるものと考えている。

9. AI 化へ向けた研究開発と課題

開発中 MARSS には、最終的に AI(人工知能)を起動させる予定である。作業結果に対し精度および品質評価をおこなう機能を持たせるものであり、カメラによる作業画像を認識し、例えば、回路の取り付けが不正確におこなわれた場合、NG 表示と、警報および音声で警告を発報するものである(図7)。

経験の浅い医療従事者だけでなく、経験豊富な者が、正しいと思い込んで誤った操作をおこなった場合において、この機能は有効と考え

られる。AI が、正確な取り付け位置や、形状を記憶しているため、僅かな計測値の歪みも読み取ることでアラートを表示させることができる。その他、医療材料や医薬品等の固体識別能力が進むことで、医療材料の誤った不適切使用や適応が減少し、より安全性が高まるものと考えている。MARSS が医療現場で活用されるには、それを活用する医療従事者の体調変化への対応も重要である。特に疲労からくる心身の体調変化はエラーと大きく関係している。正しい情報が MARSS で表示されても、正確に実行しなければ意味がない。

我々は、音声認識、体動等の身体的変動パターンを組み合わせ疲労度の検出のできる機能の追加しようとしている。医療従事者の「疲労している時でも上手くやっている」は、職場では称賛される行動も、しかし、仕事のパフォーマンスはあきらかに減退しているという認識にはなりにくい。何度もチェックし、より多くのコミュニケーションをとっても意思決定エラーを起こすことは知られている。

例えば、1日12時間働くと危険率は37%増加し、1週間あたり60時間働くと危険率は23%増加することが知られている⁹⁾。

残念ながら、医療従事者の献身的な奉仕は、反対に医療事故を誘発するということを、知っ



図7 グラスに搭載したウェアブルグラスのカメラ機能を利用した AI による画像認識機能機能の一場面 (開発中)

ておかなければならない。また、医療従事者は、常時、最高のパフォーマンスを発揮することは難しいため、自身のパフォーマンスが低下したことを客観的な値を示し、知らせることのできる AI を検討している。

MARSS は、あくまでも医療従事者を支援するためのツールという位置づけであり、最終的には AI 判定を基に、医療従事者自身が判断することになる。

10. 医工連携による MARSS 開発

MARSS は、外部のサーバーへアクセスして情報を送受信することは可能であるが、予め MARSS 本体のストレージにコンテンツを載せておく方が軽快な動作となる。

現在、①教育支援、②医療技術（医療行為等）の支援、③薬剤・資材管理支援、④医療機器の操作・管理支援、⑤医療機器・設備の点検・管理支援、⑥医療安全管理支援、⑦在宅医療機器の取り扱いと操作・管理支援、⑧電子カルテの自動入力、⑨特殊手術機器の技術支援（企業向け）等のコンテンツを開発中である。

また、MARSS は各医療従事者で異なる作業時間などを蓄積しており、後に工程にかかる作業時間の比較も簡単におこなえる。この分析により作業工程や手順の見直し、また作業者の行

動分析にもつながる。

MARSS の開発において、多数の企業や医療施設との連携が必要であると同時に、特に、医療施設との緊密な連携および協力関係により、MARSS はより発展していくものと考えられる。

現在、導入コスト等を含め解決すべき課題も少なくないが、実証データを積み重ね、実用的な支援システムの開発を目指していきたい。

11. おわりに

医療における最大の課題は安全性の確保である。我々の考える臨床工学の新たな視点として、医療安全という課題に取り組み AR テクノロジーを用いた医療従事者に対する支援機器 (MARSS) の開発をおこなってきた。この医療安全をテクノロジーにより解決につなげていくという発想と実行力が、今からの臨床工学技士に求められていくと考えられる。これにより、医療の安全性確保と効率化という医療にとって最大の課題解決に結びつくものと考えている。

今後、臨床工学技士の役割は工学技術者としての立場がより鮮明になり、IoT の活用とともに AI 化される医療全体の安全性を確保するという重要な役割を担うことが予想される。また、その守備範囲は病院の枠を超えて地域社会および在宅へとその守備範囲は広がり、公衆の安全

を守り, 社会全体を支援するという役割についても求められることになる。

今後 30 年へ向かう臨床工学技士は, 成熟した医療従事者から新しいテクノロジーを受け入れる医療技術者へとさらに進化し, 未来の医療にとって欠かせない重要な存在になるものと心より期待している。

文 献

- 1) I.E. Sutherland : The Ultimate Display, Proceedings of IFIP Congress, 1965, p.506-508.
- 2) S. Fener, B. MacIntyre and D. Seligman: Knowledge-based augmented reality, Communications of the ACM, 1993, Vol.36, No7, p.52-62.
- 3) Bajura, Michael, H. Fuchs and R. Ohbuchi: Merging Virtual Objects with the Real World : Seeing Ultrasound Imagery within the Patient, Proc. 1992, SIGGRAPH 92, p.203-219.
- 4) 今村知明, 医療経営から見た医療事故および必要となる費用に関する研究, 厚生の指標 2005, Vol.52, No5, p.1-8.
- 5) 遠矢雅史 梅里良正 前田幸宏ほか, 医療安全管理に投入された人件費と医療安全確保への効果に関する研究, 日本医療経営学学会誌 2013, Vol.7 No1, p.31-41.
- 6) 厚生労働科学研究費補助金 政策科学推進研究事業報告, 医療の安全・室に関するコスト調査研究 (18年度調査実施) 概要
http://www.mhlw.go.jp/shingi/2007/07/dl/s0718-10e_0014.pdf, (参照2007-6-1).
- 7) 公益社団法人 日本医療機能評価機構 医療事故情報収集等事業 平成28年度 年報
<http://www.med-safe.jp/contents/report/index.html>, (参照2017-8-28).
- 8) 行場次郎, 箱田裕司編著, 知性と感性の心理認知心理学入門, 福村出版 (2000), 191p.
- 9) Dembe, A.E. , Erickson, J.B, Delbos, R.G. and Banks, S.M., The impact of overtime and long work hours on occupational injuries and illnesses : new evidence from the United States. Occupational and Environmental Medicine, 2005, 62, p.588-597.