

遠隔医療支援システムにおける生体信号取得

元早稲田大学次世代ロボット研究機構

田村 俊世

Toshiyo TAMURA



1. はじめに

遠隔医療とは、情報通信技術 (ICT) を活用して、医師と患者が非対面で診療を行う仕組みである。ビデオ通話やチャット機能を使って、パーソナルコンピュータ (PC) やスマートフォン、タブレット端末などのデバイスを介して診察が行われる。当初は、医療機関が少ない離島やへき地に住む人々を対象としていたが、新型コロナウイルス感染症の流行をきっかけとした規制緩和やインターネットの普及に伴い、多くの医療機関で導入が検討されるようになった。人工知能 (AI) やその他の新しい信号処理技術を統合することで、医療提供の効率性と患者のQOLを増大させる目的がある。高齢人口の増加、慢性疾患の蔓延、医療アクセス格差の拡大が世界的な医療体制の変革の必要性を高めており、遠隔医療はこれら喫緊の課題解決における重要な手段である。

遠隔医療は、医療従事者間 (Doctor to Doctor, DtoD) と医療従事者と患者間 (Doctor to Patient, DtoP) の2つに大別される。DtoDには次のような形態がある。

①遠隔画像診断 (遠隔読影) : 病院間でCTやMRIなどの画像データを共有し、専門医が遠隔で診断・読影する。

②遠隔病理診断 : 病理組織標本をデジタル化し、遠隔地の病理医が診断する。

③遠隔カンファレンス : 離れた場所の医師や専門家が、患者情報 (画像や検査データ) を共有しながら症例検討を行う。

④遠隔診療支援 : 専門医が地方の医師を支援する。

DtoDについては、運用の詳細が厚生労働省から報告されている¹⁾。

医療従事者と患者間 (DtoP) は遠隔モニタリング (リモートモニタリング) が一般的である。リモートモニタリングは従来の医療機器やウェアラブル端末などから得られる患者のバイタルサインデータ (血圧、血糖値など) を、医師が遠隔で把握・管理する。また、オンライン診療はインターネットを通じて医師が患者を診察し、処方箋発行や服薬指導を行う。この場合、対面診療と組み合わせて実施する。すなわち、リアルタイムで診察・診断・処方を行う行為であるため、ビデオ通話が必須で、視覚・聴覚情報が重要視される。厚生労働省の指針により、具体的なルールが整備され、現在遠隔医療の主要な方法として使用されるようになった^{2), 3)}。

2. 遠隔医療支援システムの概要

遠隔医療支援システムは、ICTを活用して、地理的に離れた場所で医療従事者が患者と非対面で医療サービス (診察、相談、画像診断など) を提供する仕組みである。スマートフォンやPC、タブレット端末などを使い、ビデオ通話やチャット機能、データ送受信を通じて、医療アクセス向上、通院負担軽減、医療資源の有効活用などを実現することにより、離島やへき地での医療提供、慢性疾患管理、専門医不足の解消に貢献している。

目的は、医療アクセス向上として地理的制約・移動困難な患者への医療提供、通院時間・交通費・待ち時間の削減、医療の質の向上、地域医療格差の是正、医療従事者の負担軽減・効率化があげられ、患者の負担軽減、労働環境改善、診療業務の効率化がメリットとなる。ただし、補助金の導入で研究としてのシステム構築は進んでいるが、実際の運用は極めて少ない。課題としては、①情報量の限界、触診

■ 著者連絡先

E-mail: toshiyo.tamura.1949@ieee.org

t.tamura1949@gmail.com

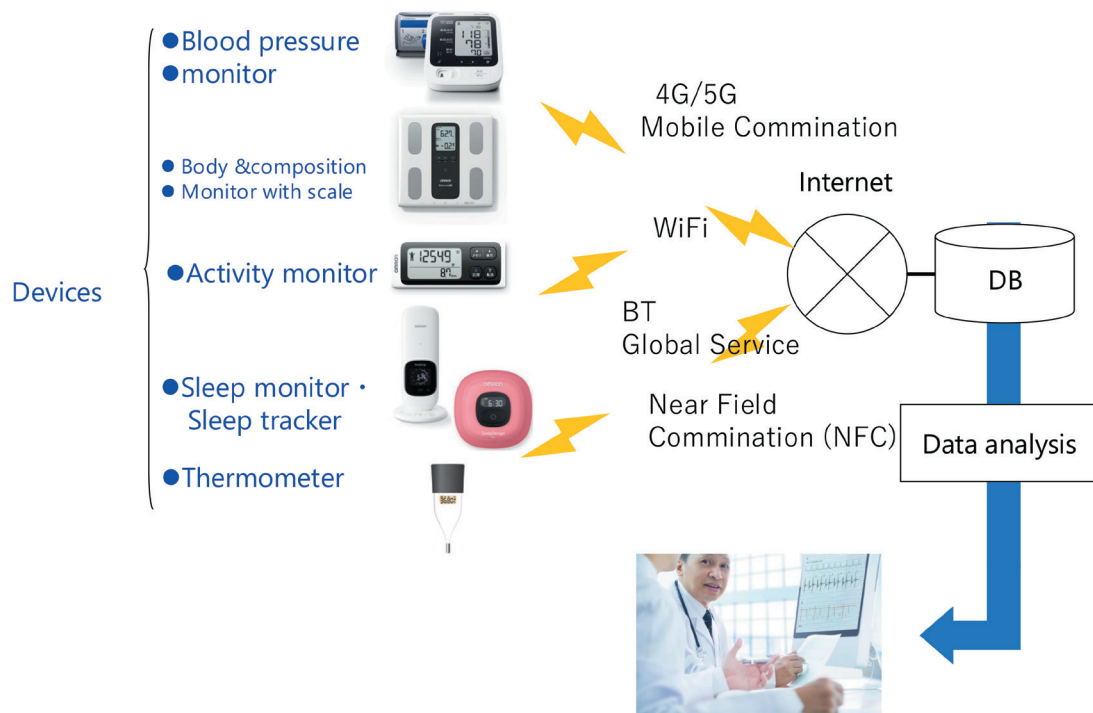


図1 医療機器を用いた遠隔医療支援システムの概要

ができないため、得られる情報が限られる、②セキュリティとプライバシー、③個人情報の厳重な管理とリスク説明、④システム連携、すなわちカルテ・診療報酬システム間での連携、⑤対面診療との連携体制、ガイドライン遵守があげられる。

遠隔医療における生体信号処理は、既存の医療機器、例えば心電図 (ECG)、血圧器やウェアラブルセンサをインターネット回線に接続し、遠隔地にいる患者の生体情報をリアルタイムで収集・解析する技術である。図1にシステムの概要を示す。この技術により、慢性疾患の管理や術後ケア、病気の早期発見がオンラインで可能になっている。

取得できる生体情報は、基本的には心拍数、血圧、呼吸数、体温、酸素飽和度 (SpO₂) があげられる。高度な情報としては、ECGや連続血糖値測定器による血糖値変動のモニターや、カメラによる患部の皮膚画像の取得があげられる。そのほか体重や歩数なども測定されている。近年のウェアラブルセンサの普及とともに多くの生体情報の取得が試みられているが、センサのほとんどが医療機器としての認証、承認に至っていない⁴⁾ので、今のところ既存の医療機器のみで、測定項目も限られている⁵⁾。

3. 生体信号処理の技術的プロセス

遠隔医療支援システムの中核技術として、生体信号処理がある。遠隔医療における取得した生体信号は、ノイズ除

去 (フィルタリング、ウェーブレット変換、フーリエ変換、ディープラーニングなどの手法を使用)、データ圧縮、特徴の抽出といった技術を用いて、生体信号 (ECG、血圧、心音など) をクリーンアップし、遠隔診断、モニタリング、分析に役立てる。ここでは、主に電気信号処理について述べる。

1) ノイズ除去

バイタルサインデータ計測機器、高精細カメラなどの機器により生体信号を取得するが、取得された生体信号は、対象者がセンサを装着するため、接触不良や体動によるノイズのほか家庭内の環境によるノイズが混入することがある。ECGのような微小の信号を増幅するため、ノイズ除去は重要な役割を果たす。ノイズ除去の初期の段階では、フィルタ処理が広く用いられてきた。代表的な手法として、ガウシアンフィルタやメディアンフィルタがある。

これらの手法は、信号や画像の滑らかさを保ちながらノイズを低減することができる。例えば、ガウシアンフィルタは、信号全体にわたってノイズを平滑化することで減少させる。一方、メディアンフィルタは、特にエッジ部分のノイズ除去に効果的である。ウェーブレット変換を用いたノイズ除去も、伝統的な手法の1つである。ウェーブレット変換では、信号を異なる周波数成分に分解し、ノイズ成分を除去する。この処理では高周波成分に含まれるノイズを低減しながら、低周波成分に含まれる重要な情報を保持する。これらの伝統的なノイズ除去手法は、長い間実践さ

れてきた技術であるが、AIやディープラーニングの登場により、さらに進化を遂げている。

ディープラーニングは、ノイズ除去技術に革新をもたらした。特に、ディープニューラルネットワーク (DNN) や畳み込みニューラルネットワーク (CNN) は、信号の特徴を自動で学習し、高精度なノイズ除去を実現する。ディープラーニングを活用したノイズ除去の代表的な手法には、深層畳み込みニューラルネットワーク (Deep Convolutional Neural Network, DnCNN) があげられる。このモデルは、多層のニューラルネットワークを通じてノイズを効果的に除去する。学習データを用いてネットワークをトレーニングすることで、ノイズのパターンを識別し、精度の高いノイズ除去を行う。

2) データ圧縮

ECGのような長時間の生体信号のデータ圧縮には、信号の特性 (周期性や冗長性) を活かしたいくつかの手法がある。データ圧縮にはデータを完全に復元できる可逆圧縮 (Lossless) 方式と、一部の情報を削除し元の完全な復元はできないが、高い圧縮率を実現する非可逆圧縮 (Lossy) 方式がある。生体信号はその目的に応じて、可逆圧縮と非可逆圧縮が使い分けられている。

データ圧縮法には、時間領域と周波数領域の2つの解析手法がある。時間領域における圧縮法として、「生体信号が本来持っている似たようなパターンの繰り返し (冗長性)」を利用し、情報量そのものを変えずにデータ量を減らす。また、過去の信号から現在の信号を予測し、その誤差分のみを記録することでデータを削減する適応フィルタリング法が用いられている。

周波数領域の圧縮法としては、フーリエ変換やウェーブレット変換により信号を周波数成分に分解し、寄与度の低い (微小な) 成分を切り捨てることで圧縮する。これらは、計測してから圧縮するという流れではなく、計測と圧縮を同時に行っている。また、生体信号が特定の基底において少数の成分で表現できる (スパースである) という性質を利用することもある。

データ圧縮はサンプリングの段階でデータ量を大幅に削減できるため、無線送信時の低消費電力化やデバイスの長寿命化に極めて有効である。

3) 特徴抽出

特徴抽出は、患者から送られてくるバイタルサインデータ (生体信号) や画像、動画から、医師が診断や評価に必要とする臨床的に意味のある情報 (病変、特徴的なサイン、数値変化) を自動的または半自動的に抽出することである。

例えば、家庭用医療機器やウェアラブルセンサから取得される心拍数、血圧、ECGなどの連続データから、心拍変動や不整脈の特異的なパターン (特徴量) を抽出する。そのほか、患者の問診回答、看護記録などの自由記述テキスト (非構造化テキストデータ) から、症状、薬剤名、病名などの臨床情報を自然言語処理で抽出することができる。

特徴抽出の目的は診断の客観化・標準化、病変の早期発見と見逃し防止である。AIが高精度な特徴量抽出を行うことで、人間の見逃しリスクを低減させる。このことにより、遠隔地や専門医の不在地域においても、精度の高い定量データ (数値) に基づいて診療を行えるようになる。

4) データ管理と伝送

データ伝送は、圧縮したデータをBluetooth、無線LAN (Wi-Fi)、ZigBeeなどの近距離無線技術でスマートフォンやホームゲートウェイに集約し、携帯電話 (4 G/ 5 G) やインターネットを経由してサーバーに転送する。サーバーではデータを集約し、保存・解析をする。ここでは、AIによる自動分析や異常検知 (アラート機能) が行われる。

例えば、サーバー内では機械学習やAIを駆使して、システム予約管理、電子カルテとの連携を行う。またセキュリティ機能を持つプラットフォームを構築し、安全性を確立する。すなわち、暗号システムやその他のセキュリティプロトコルを構築して、5 Gやインターネットなどのネットワークを介した無線伝送中における機密性と、データの完全性を確保する。

問題点としては、セキュリティとプライバシーの確保が最重要である。秘匿性の高い個人情報を扱うため、サイバー攻撃やデータ漏洩を防がなければならない。

そのほか、課題としてあげられるのは、患者のデジタルリテラシー、すなわち、高齢者でも操作が容易な使いやすさ (ユーザビリティ) の確保、システム間の連携、接続の安定性があげられる。システム間の連携とは、既存の電子カルテシステムとのシームレスな統合ができることで、接続の安定性のためには安定したブロードバンド環境と、遠隔地や過疎地での通信速度・信頼性の確保が必要となる。

5) 生体信号処理の実例－ECG

伝送システムの実例としてECG伝送システムは、離れた場所にいる患者の心臓の電氣的活動をリアルタイムで医師や医療機関に送信し、診断や治療、病状監視に利用するシステムである。これには、主に救急搬送中のデータ伝送や、在宅での慢性疾患管理に用いられる技術が含まれる。一般的なECG遠隔伝送システムについて述べる。

システムは患者側のECGセンサ、データ伝送、医師側の受信サーバーから構成されている。

患者側のECGセンサは、単誘導の胸部に貼り付けるタイプのウェアラブルセンサ・パッチや救急隊が使用する12誘導ポータブル心電計、日常的な監視用のスマートウォッチがある。データ伝送前に、ローパスフィルタ、ハイパスフィルタ、ノッチフィルタなどのデジタル信号処理(DSP)技術を使用して、生体信号の不要なノイズやアーチファクトを除去する。そしてデータ圧縮、特徴抽出を行う。

特徴抽出は、データ伝送前(撮影やデータ収集現場)とデータ伝送後(診断・分析側)のどちらでも行われるが、近年の技術動向では、リアルタイム性や効率性の観点からデータ伝送前(エッジコンピューティング)で行われるケースも増えている。目的や技術的なアプローチによって特徴抽出の場所は異なるが、ECG信号は必要な情報(特徴)だけを抽出し解析する。アルゴリズムは、心拍数解析のためのECGのQRS複合体など、データから臨床的に重要なパターンやバイオマーカーを特定する。これは、通信帯域(ネットワーク負荷)の軽減、プライバシー保護、解析の高速化などのためである。

処理されたデータはスマートフォンやタブレット端末、専用のセルラー対応通信機により伝送される。そして、患者データをクラウドまたは医療機関内のサーバーへ送信し、医師のワークステーションで波形を表示・解析する。すなわち、サーバー内で機械学習やAIを利用して、データを自動で分析し、異常(例：心不整脈)を検出し、臨床医の効率的な解釈を支援する。医師が特徴を分析し、高度な解釈のためにディープラーニングを使用する場合もある。通信インフラは4G/5G携帯電話網、Wi-Fi、またはインターネット(インターネット・テレメトリ)を使用する。

4. 運用例

遠隔医療が提案されてから、コロナ禍対応もあり、普及が急がれていたが、実装規模は限定的だが、臨床的有効性は多数報告されている。これまでに運用されているシステムについての総括が行われており、概ね肯定的な意見が散見される。特に、多くの報告においてAIの統合の効果が示唆されている。

1) 救急医療(急性心疾患対応)

救急医療は、救急隊がECG(12誘導)を記録し、移動中に循環器専門医へ伝送し、病院に到着前から治療方針を決定する。カテーテル室の準備などで救命率向上(ドア・ツー・バルーンタイムの短縮)に貢献している^{6), 7)}。AIの統合は、診断精度、予測分析、個別化医療において効果があるといわれているが、さらなる検証が必要であるという意見もある。

2) 在宅・リモートモニタリング：慢性期モニタリング

不整脈(心房細動など)の定期診断や、心臓植込み型デバイス(ペースメーカー)のリモートモニタリングなど、慢性疾患患者を支援する遠隔医療が普及しつつある。一例として、高齢者や虚弱患者の心臓健康状態を継続的にチェックするウェアラブル心電計が用いられている⁸⁾。近年、埋込み型センサ、在宅モニタリング装置、モバイルアプリケーションなどの技術を統合することで、心不全患者の管理を改善し、入院を減らし、QOLを高めることができたという報告がある^{9)~11)}。

機械学習システムは、臨床データやウェアラブルデバイスから得られる絶え間ないデータの流れを分析してパターンを発見し、異常な測定値を検知して健康上の問題を早期に警告することが可能である。この介入による予防的アプローチは再入院の可能性を減らすだけでなく、対面診療の負担を軽減し、医療システム全体の円滑な運営を維持する。これと並行して、高度なデータ分析は診断と治療の精度を高め、推測を根拠に基づく意思決定へと変えることができる。また、自然言語処理などのAI技術が診療記録、退院サマリー、その他の自由記述記録を精査する。これにより患者のより完全な病歴が早期に把握され、より賢明な予測と個別化されたケアプランが可能となる

リモートモニタリングとウェアラブルセンサは、継続的な患者モニタリングと個別化された介入を可能にすることで医療を変革している。しかし、技術的・倫理的・規制上の障壁により、その普及は依然として問題を含んでいる¹²⁾。すなわち、診断の迅速化(治療開始までの時間短縮)、遠隔地からの専門医の診断、搬送中・在宅時の24時間体制の監視などの利点があるが、通信障害時のパケットロス、データセキュリティの確保、ノイズ混入(体動)の除去の課題も完全には解決されていない。

3) 地域医療・へき地支援

地方コミュニティにおける遠隔医療の課題・利点は、医療アクセスの向上などの潜在的利点と、技術的制約や地方での導入への抵抗など両方の障壁がある。近年は、AIやさまざまなデジタルツールを通じた疾病の正確かつ早期の診断のために、AIの応用に関心がもたれており、AIによる解析が診断精度の向上や患者の継続的なモニタリングに関与していることを示している。そして、農村医療におけるAIと遠隔医療の潜在的利益を十分に実現するための、継続的な技術進歩と政策の重要性が示唆されている¹³⁾。

さらに、①モニタリング技術、②患者支援、③臨床ケアへの各種デバイスのリモートモニタリング統合、④患者との信頼性の4つの視点と、それらが病院サービス利用に与

える影響も検証されている。ランダム化比較試験 (RCT) では116件のRCTのうち72%で、リモートモニタリング群において病院サービス利用率が減少したという。十分なサポート、自動化されたプロセス、最適化されたケア再設計などの追加要素により、リモートモニタリングは病院サービス利用率をさらに削減する可能性がある¹⁴⁾。

遠隔医の効果的な導入が、医療格差解消に不可欠と認識されている。しかし、都市部向けに策定された戦略を地方の課題に対応するよう再調整しなければ、遠隔医療導入の失敗リスクが高まる恐れもある。今後の取り組みでは、へき地における医療アクセス向上のため、公平なデジタルインフラと財政資源配分を確保する地域特化型戦略・政策改革を優先すべきであり、これらのアプローチにより、各コミュニティの固有のニーズに合わせた適応性と有効性を兼ね備えた遠隔医療ソリューションが実現される¹⁵⁾。2025年からは「かかりつけ医機能報告制度」の運用も始まり、患者が自分に合った遠隔医療サービスを選択しやすい環境が整ってきている¹⁶⁾。

5. まとめ

遠隔医療の現状について述べた。コロナ禍を経て遠隔医療の有用性は十分に理解され、その効果も検証されつつある^{17), 18)}。ウェアラブル技術の導入、信号解析におけるエッジ処理の重要性やAIとの統合による特徴抽出の高度化が要求される。さらに、遠隔医療の効果を最大化するためには、包括的な公共政策と強化された技術インフラが推奨されている。加えて、計測機器、通信プロトコルの国際標準化も必須である。

高齢人口の増加や医療費の増加に伴い、効率的な医療サービスの提供がますます求められるなか、遠隔医療は今後さらなる発展が見込まれる。

本稿の著者には規定されたCOIはない。

文 献

- 1) PwCコンサルティング合同会社：令和6年度厚生労働省委託 遠隔医療にかかる調査・研究事業報告書。令和7年3月 <https://www.mhlw.go.jp/content/10800000/001492119.pdf> Accessed 10 Jan 2026
- 2) 厚生労働省：オンライン診療の適切な実施に関する指針（令和5年一部改訂），平成30年3月 <https://www.mhlw.go.jp/content/10800000/001233212.pdf> Accessed 10 Jan 2026
- 3) 総務省：遠隔医療モデル参考書－オンライン診療版－改訂版（令和6年5月）https://www.soumu.go.jp/main_content/000949337.pdf Accessed 10 Jan 2026
- 4) Lou Z, Wang R, Belmekki BEY, et al: Towards bioelectric signal-enabled human healthcare monitoring: state-of-the-art, design strategies, challenge, and future. *npj Biomed innov* **3**: 7, 2026
- 5) Alenoghena CO, Ohize HO, Adejo AO, et al: Telemedicine: A Survey of Telecommunication Technologies, Developments, and Challenges. *J Sens Actuator Netw* **12**: 20, 2023
- 6) De Wever M, Gruwez H, Dhont S, et al: Telecardiology unleashed: probing the depths of effectiveness in remote monitoring and telemedicine applications for acute cardiac conditions. *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care* **14**: 295-303, 2025
- 7) Gouveia AJ, Ribeiro J, Sousa G, et al: Advancing Healthcare through Remote Patient Monitoring: a brief literature review, *Procedia Computer Science* **256**: 893-9, 2025
- 8) Paul MM, Khera N, Elugunti PR, et al: The State of Remote Patient Monitoring for Chronic Disease Management in the United States. *J Med Internet Res* **27**: e70422, 2025
- 9) Pierucci N, Laviola D, Mariani MV, et al: Remote monitoring and heart failure. *Eur Heart J Suppl* **27**(Suppl 1): i126-31, 2025
- 10) Tegegne MD, Niakan Kalhori SR, Haas P, et al: Wearable Devices for Remote Monitoring of Chronic Diseases: Systematic Review. *JMIR Mhealth Uhealth* **14**: e74071, 2026
- 11) Jadhav NN, Bainalwar P: Remote Monitoring and Telehealth Solutions for Chronic Disease Care Integration of AI in Telemedicine for Continuous Patient Monitoring and Real-Time Interventions. In *Artificial Intelligence and Machine Learning in Neurology* ed by Kumar A, Rathore PS, Ahuja S, et al, Wiley-Scrivener, 2026
- 12) Stan IE, DAuria D, Napoletano P: A Systematic Literature Review of Innovations, Challenges, and Future Directions in Telemonitoring and Wearable Health Technologies. *IEEE J Biomed Health Inform* **30**: 2630-45, 2026
- 13) Perez K, Wisniewski D, Ari A, et al: Investigation into Application of AI and Telemedicine in Rural Communities: A Systematic Literature Review. *Healthcare (Basel)* **13**: 324, 2025
- 14) Jansen AS, Peters GM, Kooij L, et al: Device based monitoring in digital care and its impact on hospital service use. *NPJ Digit Med* **8**: 16, 2025
- 15) Tagne JF, Burns K, O'Brein T, et al: Challenges for remote patient monitoring programs in rural and regional areas: a qualitative study. *BMC Health Serv Res* **25**: 374, 2025
- 16) 厚生労働省：かかりつけ医機能報告制度 https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000123022_00007.html Accessed 20 Feb 2026
- 17) Casariego-Vales E, Blanco-López R, Rosón-Calvo B, et al; On Behalf Of The Telea-Covid Lugo Comanagement Team: Efficacy of Telemedicine and Telemonitoring in At-Home Monitoring of Patients with COVID-19. *J Clin Med* **10**: 2893, 2021
- 18) Mata-Lima A, Paquete AR, Serrano-Olmedo JJ: Remote patient monitoring and management in nephrology: A systematic review. *Nefrologia (Engl Ed)* **44**: 639-67, 2024