



令和4年度研究助成 【サウンド技術振興部門】より

人工知能およびロボット技術を援用した 身体にやさしい革新的な超音波がん治療 システムの確立

電気通信大学大学院情報理工学研究科
小泉憲裕研究室
准教授

小泉 憲裕

1. はじめに

本研究の目的は、人工知能およびロボット技術を援用した医療技能の技術化・デジタル化により、超音波技術を用いた身体にやさしい革新的ながん局在診断・局所治療統合システム（図1）の構築法を確立することである。本研究で提案するがん局在診断・局所治療統

合システムとは、呼吸や拍動等により能動的に運動する患部を抽出・追従・モニタリングしながら、超音波を集束させてピンポイントに患部へ照射することにより、がん組織の治療を患者の皮膚表面を切開することなく非侵襲（非観血）かつ低負担で局所的に行なおうとするものである。

本研究の学術的背景としては、下記の2点が

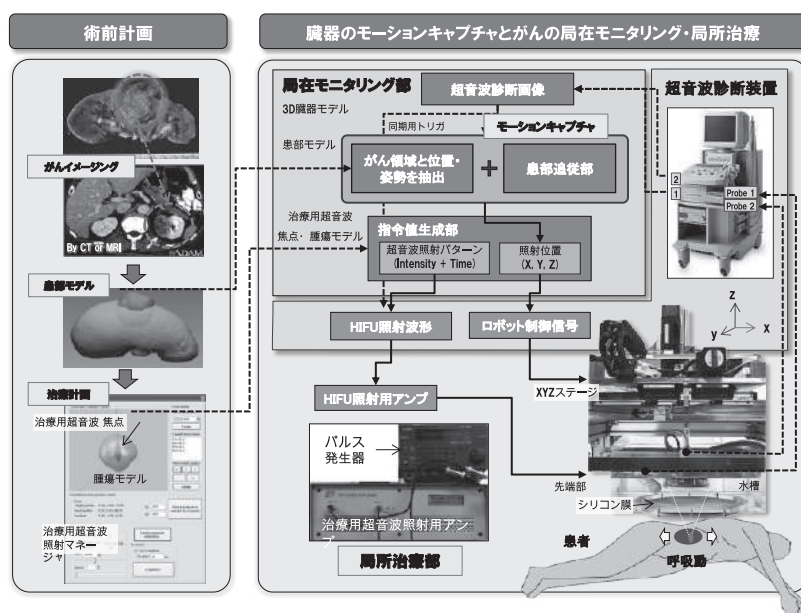


図1 がん局在診断・局所治療統合システム

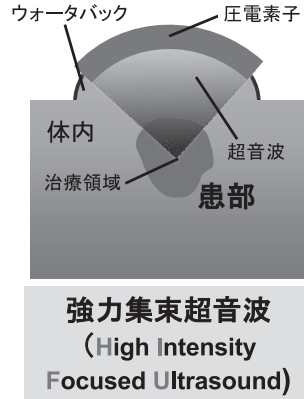


図2 強力集束超音波治療

挙げられる。1点めは、人工知能およびロボット技術を援用してプロの世界観を含めて人間の熟練した技能を再構築する、言わば“技能のデジタル化”がテクノロジーの発達とともに可能になりつつあることである。

すでに製造業分野では、人間では不可能な高精度の作業がロボットによって実現されている。高度な技能を要求される医療分野においても医療診断・治療ロボットの開発により、熟練した専門医のように人体に対して安全・安心・安定的に思いやりをもって動作するとともに、人間の能力を超える、高速・高精度な診断・治

療を実現することが期待されている。

2点めは、強力集束超音波（High Intensity Focused Ultrasound：HIFU）による非侵襲治療の顕著な発達である。これは、球面型の超音波振動子を用いて超音波を集束させることにより、人の手が直接届かない体内の狭い領域にエネルギーを集中させるというものであり、体表や周囲の正常組織を損傷させることなく患部のみを局所的に治療することができる（図2）。

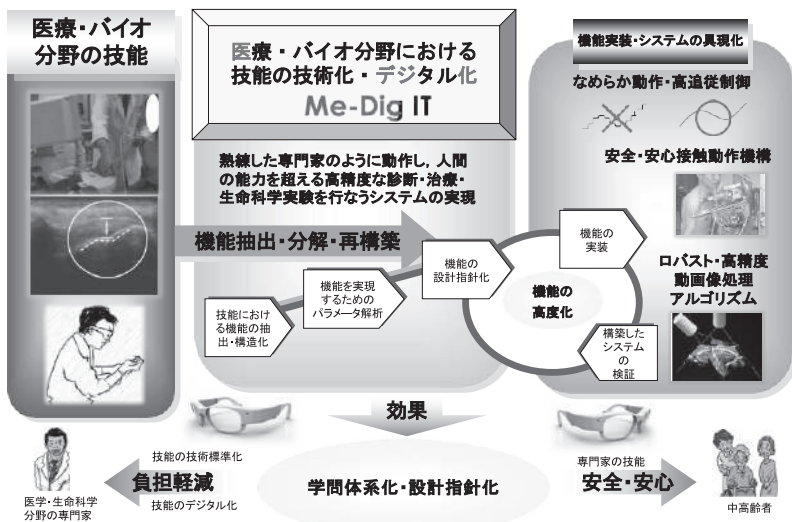


図3 医デジ化



図4 遠隔超音波診断システム

2. 医デジ化

本研究プロジェクトでは、超音波がん局在診断・局所治療統合システムを構築するにあたって『医デジ化』という、独自のシステム構築論に基づいて行なう。著者らの提案する医デジ化 (Me-DigIT) とは、医療のデジタル化 (Medical DigITalization) の略称で医療診断・治療における技能を機能として抽出、分解・再構築 (構造化) し、これを定量的に解析し、さらに関数としてシステムの機構・制御・画像処理アルゴリズム上に実装することで医療支援システムの開発に利用しようとするものである (図3)。

患者に皮膚切開を加えることなく、ピンポイントで臓器内に埋め込まれ、局所的な広がりをもつ患部を局在診断・局所治療することができる強力集束超音波を用いた医療診断・治療技術は既存の開腹手術や低侵襲手術の代替としてきわめて有望であり、近年、多くの研究が報告されている。

このような強力集束超音波を利用した既存のシステムに共通する主要な問題点の一つとして呼吸・拍動等による臓器の運動 (変位・変形・回転) に対する補償が行なわれていないことがあげられる (図4)。このため例えば、呼吸を制御した状態で治療を行なう必要があり、患者や医師にとって大きな負担となる。

上記を踏まえて申請者らは、呼吸・拍動等に

より能動的に運動する生体患部をロバストかつ高精度に抽出・追従・モニタリングすると同時に超音波を集束させてピンポイントに患部へ照射することにより、がん組織や結石の治療を体表を傷つけることなく非侵襲かつ低負担で行なう超音波診断・治療支援システムの構築法を研究してきた。

能動的に運動する生体患部を抽出・追従・モニタリングしながら、超音波を集束させてピンポイントに患部へ照射するというコンセプトは申請者らが世界で初めて提案したものであるが、これに追随するプロジェクトが近年立ち上がってきている。その一つとしてヨーロッパにおけるFUTURAプロジェクトではロボティクスと非侵襲的な超音波モニタリングと治療とを融合した革新的な診断・治療機器開発プロジェクトを進めている。

3. 今後の展開

患者の生死に関わる主要血管、横隔膜、消化管、etc.を損傷しないようモニタリングしながら、呼吸等により能動的に変位・変形・回転をともなって運動する、臓器内に埋め込まれ、局所的な広がりをもつ患部 (腫瘍・結石) を抽出・追従・モニタリングできることが本システムに

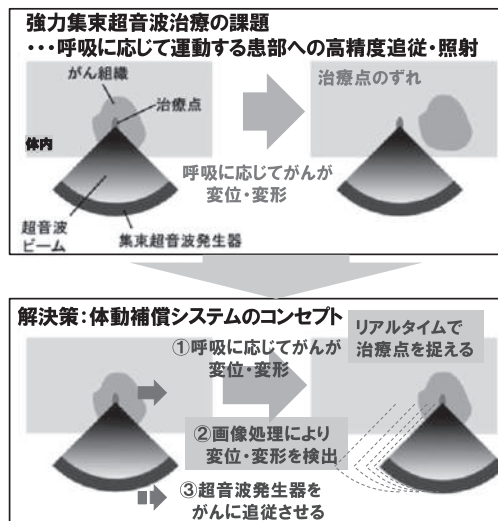


図5 強力集束超音波治療の課題と解決策

求められている。当該研究を進める中で、申請者らは上記のモニタリングおよび精度を実現するためのアプローチ法として超音波技術・人工知能技術・ロボット技術を基盤とする医療技能のデジタル化（医デジ化）のコンセプトを提案してきた。

この、医デジ化という概念は共同研究者の専門医のみならず、他の医学系および工学系研究者からもその有用性が指摘され、医デジ化を推進するためのコア技術のさらなる強化の必要性が強く期待されている。そこで申請者らは以下の5つを医療技能の技術化・デジタル化のためのコア基盤技術（医デジ化コア基盤技術）と位置づけ、その強化を加速・進展させることで我が国の医療インフラをより強固でスマートなものとする。

（コア技術Ⅰ）機能に応じた機構設計技術、（コア技術Ⅱ）医療診断・治療技能における機能の抽出・構造化技術、（コア技術Ⅲ）患者に対するロボットの安全・安心動作技術、（コア技術Ⅳ）診断・治療タスクに応じたシステム動作技術、（コア技術Ⅴ）リアルタイム医用画像処理アルゴリズム技術。

とりわけ（コア技術Ⅴ）リアルタイム医用画像処理技術については近年、深層学習をはじめとする機械学習による画像処理の分野で画期的なブレイクスルーがあった。これを踏まえて今回の研究提案では医療専門家のプロの世界観の

再現・再構築をも包含した研究計画を策定する。

本研究の基盤となる先行研究として、著者らによるマスタ・スレーブ方式の遠隔超音波診断システムの構築法に関する研究があり、2001年に透析肩を対象とする世界初の遠隔超音波臨床診断実験を行ない、通常の診断と同等の診断が可能であることを示すなど、ハイインパクトな成果を得てきた（図5）。しかしながら、医師の動作を遠隔地にただ単に伝達するというアプローチのみでは通常診断と同等の診断が限界であった。今後さらなる医療の質の向上を図るためには近年、進展が目覚ましい人工知能技術を援用・展開して医療専門家の医療技能をプロの世界観まで含めて機能として抽出し、機能の分解・再構築（構造化）を行ない、システムの機構・制御・画像処理アルゴリズム上で機能の高度化を図ることにより、熟練した医療専門家のように人体に対して安全・安心・安定的に思いやりをもって動作するとともに人間の能力を超える高速・高精度な診断を行なう医療支援システムの実現が必須であると考えに至った。

遠隔超音波診断システムを開発した当時の技



図6 診断画像の自動獲得・維持・適正化

術水準については機構および制御技術に関して一定の水準に達してはいたものの、画像処理アルゴリズム技術については圧倒的に乏しい状況であった。このような状況が打開されたのは、2015年に前述の150層を超える深層での高速・高精度な学習技術が開発されたことおよびU-Netと呼ばれる臓器抽出における強力な

医用画像処理アルゴリズムが開発されたことによる。本研究では上記を踏まえて超音波技術、人工知能技術、ならびにロボット技術を基盤として超音波診断画像を自動で獲得・維持・適正化できる世界初の技術を開発する（図6）。これにより、だれもが簡便かつ高精度に超音波局在診断・局所治療を行うことを強力に支援する。