



hinotori™ サージカルロボットシステムの現状と今後の展望

株式会社メディカロイド 経営企画部 **山本 泉** やまもと いすみ



1. はじめに

ロボット支援下手術のメリットでまず挙げられるのは「低侵襲」であることである。高齢であることを理由に手術を実施せず、他の治療法を選択していた患者様も、ロボット支援下手術であれば、手術での治療の対象になり得る。「人生100年」とされる現在、健康寿命をいかに伸ばすかは大きな課題である。同じ年齢でも一人ひとりの状況は大きく異なり、手術をして健康寿命が伸ばせるかどうか指針になりつつある。

外科的ながん治療は現在、腹腔鏡下手術からロボット支援下手術に変わりつつある。特に泌尿器科においては、代表的な悪性腫瘍手術はほぼ全てロボットで実施できるようになっている。また消化器外科や婦人科をはじめ、多くの診療科で手術支援ロボットが使用されるようになってきている。このような状況にありながら、手術支援ロボットの市場は米国の1社による独占状態が長く続いていることや、コストや施設に求められる導入基準等のハードルにより導入できる施設は限定的であるなどの課題があった。

日本は世界屈指のロボット大国で、産業用ロボットでは世界市場の半分以上のシェアを持っているにも関わらず、こと医療用ロボットに関しては残念ながら後塵を拝していた。特に手術支援ロボットに関しては、前述の1社の製品を代表とする外国製品が市場を席巻しており、医療機器における輸入超過の一因となっていた。過去、何度も日本企業や団体が手術支援ロボットの開発を進めようとしたが、そのリスクの高さから実用化には至らなかった。一方で、日本の医師の先生方は、手術支援ロボットに対して数多くの要望やアイデアがあり、日本の技術力を用いた国産手術支援ロボットの登場に期待を寄せていた。

2. メディカロイドについて

川崎重工業株式会社（以下、川崎重工）とシスメックス株式会社（以下、シスメックス）は、日本の医師の先生方の期待に応えるべく、2013年に医療用ロボットの開発・製造・販売を目指すメディカロイドを設立した（図1）。川崎重工からは産業用ロボットで培った技術力・品質・コスト競争力を、シスメックスからは医療業界で培った医療機器のノウハウ・

販売ルートなど持ち寄り、両者の強みを最大限に引き出した取組みを行ってきた。



■ 図1. メディカロイドの成り立ち

メディカロイドのミッションは図2のとおり、医療用ロボットを通じて「みんな」が安心して暮らせる高齢化社会をサポートすることである。「みんな」とは、患者様だけではなく、その家族や、医療従事者の方々、関連のある人々全体を表している。

医療用ロボットを通じて「みんな」が安心して暮らせる高齢化社会をサポートする



■ 図2. メディカロイドのミッション

メディカロイドは神戸の医療産業都市内に拠点を構えている。図3のとおり、メディカロイドの本社の隣には、統合型医療機器研究開発・創出拠点MeDIPがあり、製品を持ち込んで評価ができる模擬手術室があった。そしてメディカロイドの本社の向かいには、神戸大学医学部附属病院 国際がん医療・研究センターがあった。開発・評価・臨床の拠点



■ 図3. メディカロイドのロケーション

が徒歩圏内にあり、この地の利を活かした結果、医学と工学の垣根を越えたスムーズな連携を実現することができた。

3. hinotori™ サージカルロボットシステムとは

メディカロイドでは、会社設立後約1年半をかけてマーケティング活動に専念し、どのような医療ロボットを開発すべきかを検討した。そして2015年に手術支援ロボットを開発することを決定した。その後約5年の年月をかけて開発を行い、2020年8月に「hinotori™ サージカルロボットシステム（以下、hinotori™）」として製造販売承認を取得した（図4）。そして、2020年12月に神戸大学医学部附属病院 国際がん医療・研究センターにて、初の手術である前立腺全摘除術に使用いただき、無事終了した。

当初は泌尿器科限定での承認であったが、2022年10月には消化器外科、婦人科領域においても追加の承認をいただき、泌尿器科における前立腺、腎臓だけでなく、消化器外科における胃や、結腸、直腸、婦人科における子宮などの手術でも使用が開始されている。

hinotori™ という名前は、手塚治虫先生がライフワークとして描かれたマンガ「火の鳥」からいただいている。「火の鳥」は「命」をテーマに描かれており、患者様の命を救う医療従事者の方々にサポートする私たちの製品に最適な名前と考え、手塚プロダクションからも賛同をいただいている。

手術支援ロボットで手術を始めるためには、医師の方々にトレーニングを行っていただき、Certificateを取得する必要がある。メディカロイドでは、トレーニング施設を東京、名古屋、神戸に開設しており、医療従事者の方々にトレーニングを受けていただきやすいような環境を整えている。



■ 図4. hinotori™ サージカルロボットシステム

4. hinotori™ サージカルロボットシステムの特徴

hinotori™ は、腹腔鏡手術を支援するロボットシステムである。患者様の腹壁に開けられた複数の直径数mmのポ

トと呼ばれる穴から、ロボットに装着する鉗子や電気メス等の手術器具や内視鏡カメラを挿入することで、執刀医は3D映像を見ながら自らの手を体腔内で動かしているような感覚で手術操作が可能で、患者様への負担の少ない低侵襲手術が実現できる。hinotori™ は、オペレーションユニット、サージョンコックピット、ビジョンユニットの3つのユニットで構成される。患者様の体腔内で手術操作を行うオペレーションユニットのアームは、必要な動作を実施しつつ、4本あるアーム同士の干渉を最小限にとどめることが重要な要件の1つであった。特に、日本においては諸外国に比べて手術室が小さいため、ロボットシステム全体の占有スペースは小さいことが望ましい。さらに、ベッド周辺の助手の医師との干渉を極力低減し、助手操作の作業スペースを確保することも手術を止めないために重要である。メディカロイドの開発チームは、機構構造の小型化と冗長軸を活用した干渉低減制御により、動作占有領域を含めてコンパクトなロボットの実現を目指した。

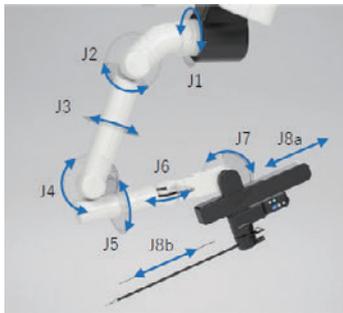
解剖学的視点で決定されたポートの位置は、ピボットポイント*1として維持しつつ、インストゥルメントの先端は体腔内を広く移動させる必要がある。そのため、インストゥルメントの運動はピボットポイントを頂点とする円錐状となり、インストゥルメントを支えるアームも円錐状に大きく動くことになり、干渉が発生しやすくなる。

そこで、各アームを図5に示すように、8軸の冗長アームとし、特異点や必要動作範囲の性質から決定した複数の拘束条件をもたせた冗長制御を行った。それにより、広い動作範囲を確保しつつ、アーム同士の干渉を低減させるという相反する要求を満たしている。また、アームの肘部の側方への移動量にも拘束条件を設けることにより、図6に示す張出量を低減し、ベッド周辺で手術のサポートを行う助手の医師や看護師の動線を広く取れるよう配慮した。さらに、本ロボットでは、図7に示すように、患者様腹壁へ留置されるトロカール*2と呼ばれる管状の器具を保持しない構造を取り、ピボットポイントを機構ではなく制御によって維持することにより、トロカール周辺の構造物を不要とし、助手の医師の手元作業空間を確保している。

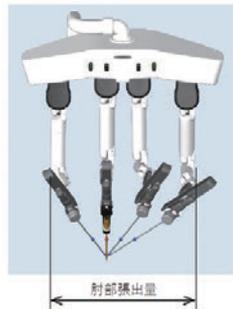
サージョンコックピットは、執刀医一人一人の体格や姿勢に合わせるため、人間工学的な手法で設計されている。執刀医は、ロボットによる手術を行っている間、3D ビューア

*1 ピボットポイント：インストゥルメントの動作の支点

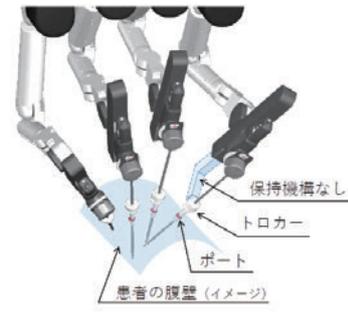
*2 トロカール：インストゥルメントを体内に挿入するための通路の役割を果たす 直径5~10mm程度の器具



■ 図5. 8軸冗長アームの軸構成図



■ 図6. 肘部張出量



■ 図7. トロカールの構造

を覗き込みながら手元操作とフットスイッチの操作をし続けるため、姿勢によっては首や腰、背中への負担が大きくなる。そのため、図8のように3Dビューアを可動式とし、位置・姿勢を調整可能としているほか、アームレストの上下及びフットユニットの前後についても位置調整可能な構造とし、椅子の高さ調整と併せて医師の好みに応じた調整ができるようにしている。



■ 図8. 執刀医側操作部の調整機構の例

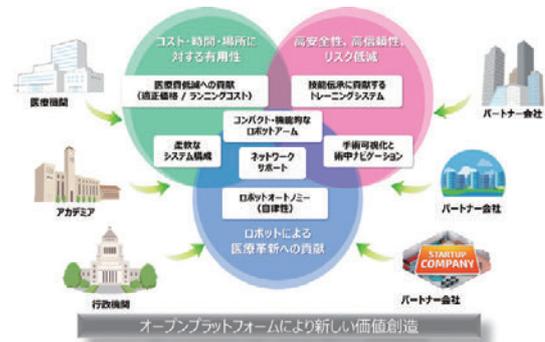
ビジョンユニットは、精緻な手術を実施いただくために、サージョンコックピットに高精細な内視鏡画像を3Dで映し出す。さらに、マイクやスピーカーの設置により、執刀医と助手の医師とのコミュニケーションをサポートし、チームとして効率よく手術を実施するための工夫が施されている。

5. おわりに

以上のような特徴を持つhinotori™だが、まだ生まれたばかりであり、これから大きく成長させていくことが望まれている。まず、開発当初からグローバルを視野に入れた開発を行ってきており、米国、欧州、アジア地域など各国で必要とされる法規制に合わせて認証取得を行っていく。また、今後も先生方の要望やアイデアを反映させ、先進的な機能も付加し、アップデートを続けていく。例えば、hinotori™は、Medicaroid Intelligent Network System (MINS™) と呼ばれるネットワークプラットフォームによるオンラインサポートシステムが標準装備されている。今後は、執刀医によ

るロボットの操作データ等、様々なデータを収集・解析することにより、「神の手」と呼ばれる医師の技術の伝承等のラーニングカーブの短縮にも貢献していきたいと考えている。また、メディカロイドは、hinotori™を用いた遠隔手術への取組みも開始している。本取組みが実現できれば、地方で勤務されている医師への指導や支援が可能となり、医療の均てん化に貢献できると考えている。

手術支援ロボットシステムは、多くの技術が結集された高度なシステムであり、一社の持つ技術だけでは成し遂げられない。図9のとおり、オープンプラットフォーム体制を敷き、賛同いただける多くの組織と共に「hinotori™」を世界に羽ばたかせたいと考えている。



■ 図9. オープンプラットフォーム体制

日本は、高度経済成長期からバブル期に至るまで、欧米の自動車や電気機器、コンピュータ等の製品に対し、「追いつけ、追い越せ」の精神で、確固たる技術力をベースに効率化・コストダウン等を実行し、成長を続け、世界有数の産業技術大国となった歴史がある。川崎重工においても、50年以上のロボット事業の歴史の中で、ユーザーのニーズをくみ取り、スピード感をもって製品に反映させることを繰り返し、世界における競争力を培ってきた。今後も、進化を続けるhinotori™を、外国製が大多数を占める医療用ロボットの市場に風穴を開ける革新性の高い製品として成長させていきたい。