

201434011A

厚生労働科学研究委託費

医療機器開発推進研究事業

CT 透視下針穿刺用医療ロボットの開発～ロボティック IVR の時代へ～
に関する研究

平成 26 年度 委託業務成果報告書

業務主任者 平木隆夫

平成 27 (2015) 年 3 月

厚生労働科学研究委託費

医療機器開発推進研究事業

CT 透視下針穿利用医療ロボットの開発～ロボティック IVR の時代へ～
に関する研究

平成 26 年度 委託業務成果報告書

業務主任者 平木隆夫

平成 27 (2015) 年 3 月

本報告書は、厚生労働省の医療機器開発推進研究委託事業による委託業務として、平木隆夫が実施した平成 26 年度「CT 透視下針穿刺用医療ロボットの開発～ロボティック IVR の時代へ～」の成果を取りまとめたものです。

目次

I. 委託業務成果報告（総括）	-----1
CT透視下針穿刺用医療ロボットの開発～ロボティックIVRの時代へ～に関する研究	
平木隆夫	
II. 委託業務成果報告（業務項目）	
1. 評価用ロボットの開発	
平木隆夫	
a. ロボット共同開発検討会の実施-----7	
平木隆夫、亀川哲志、松野隆幸、谷本圭司、三宅 徹	
b. 評価用ロボットの仕様作成 -----11	
平木隆夫、亀川哲志、松野隆幸、谷本圭司、三宅 徹	
c. 評価用ロボットの製造 -----22	
平木隆夫、亀川哲志、松野隆幸、谷本圭司、三宅 徹	
2. インターフェイスの開発 -----77	
平木隆夫、亀川哲志、松野隆幸、谷本圭司、三宅 徹	
3. 人材育成 -----89	
那須保友	
III. 学会等発表実績	-----91
IV. 研究成果の刊行物・別刷	-----92

I. 厚生労働省科学研究委託費（医療機器開発推進研究事業）
委託業務成果報告（総括）

CT 透視下針穿刺用医療ロボットの開発～ロボティック IVR の時代へ～
に関する研究

業務主任者 平木隆夫 岡山大学病院放射線科講師

研究要旨

この研究は、術者被ばくのない CT ガイド下の IVR を実現するために遠隔操作可能な CT ガイド下の針穿刺用医療ロボットを開発すること、及び開発に伴い民間企業人の人材育成を行うことである。初年度の平成 26 年度には民間企業のコアテック（株）と評価用のロボットを共同開発した。平成 27 年度には改良型の臨床用ロボットを開発し、最終年度にはそれを用いて臨床試験を行うというものである。またロボットを遠隔操作するためのインターフェイスもあわせて開発する。更に国産医療機器開発を担う民間企業人を岡山大学病院内で人材育成を行う。

業務項目別担当責任者

ロボット共同開発検討会の実施

担当責任者 平木隆夫 岡山大学病院放射線科講師
亀川哲志 岡山大学大学院自然科学研究科講師
松野隆幸 岡山大学大学院自然科学研究科講師
谷本圭司 コアテック（株）開発室長
三宅 徹 コアテック（株）開発室副主事

評価用ロボットの仕様作成

担当責任者 平木隆夫 岡山大学病院放射線科講師
亀川哲志 岡山大学大学院自然科学研究科講師
松野隆幸 岡山大学大学院自然科学研究科講師
谷本圭司 コアテック（株）開発室長
三宅 徹 コアテック（株）開発室副主事

評価用ロボットの製造

担当責任者 平木隆夫 岡山大学病院放射線科講師

亀川哲志 岡山大学大学院自然科学研究科講師
松野隆幸 岡山大学大学院自然科学研究科講師
谷本圭司 コアテック（株）開発室長
三宅 徹 コアテック（株）開発室副主事

インターフェースの開発

担当責任者 平木隆夫 岡山大学病院放射線科講師
亀川哲志 岡山大学大学院自然科学研究科講師
松野隆幸 岡山大学大学院自然科学研究科講師
谷本圭司 コアテック（株）開発室長
三宅 徹 コアテック（株）開発室副主事

人材育成

担当責任者 那須保友 岡山大学病院副病院長

A. 研究目的

この研究は、術者被ばくのないCTガイド下のIVRを実現するために遠隔操作可能なCTガイド下の針穿刺用医療ロボットを開発すること、及び開発に伴い民間企業人の人材育成を行うことである。初年度の平成26年度には民間企業のコアテック（株）と評価用のロボットを共同開発する。また国産医療機器開発を担う民間企業人を岡山大学病院内で人材育成する。

本研究により期待される直接的な成果は、CT透視下IVRにおける術者被ばくゼロと治療成績の向上である。治療成績の向上は、国民の健康向上と医療費削減につながり、厚生労働省の基本理念である「国民の生活の質向上」と「社会経済の発展への寄与」に貢献する。また、術者被ばくゼロは、厚生労働行政の重要な課題である「労働者の健康障害防止」に貢献する。それにより手術より低侵襲かつ安価なCT透視下IVRがますます普及すれば、更なる国民の健康向上と医療費削減につながる。また厚生労働行政の課題として、国民の少子高齢化に伴う患者の増加と労働人口の不足が挙げられる。その解決策として、医療分野におけるロボットの活用は不可欠と考えられる。今後の厚生労働行政の重要課題となるであろう「医療分野のロボット開発の促進」において、この研究はモデルケースとして活用され貢献するものと思われる。また、この研究を通じて育成された人材は今後の多彩な医療ニーズにこたえる国産医療機器、特に医療用ロボットの開発、市場化、国際展開を担っていくものと思われる。

B. 研究方法

本年度は平成26年10月16日の委託契約締結後から計22回のロボット共同開発検討会を開催しながら本研究開発を行った。平成26年11月30日までに評価用ロボットの仕様書を作成した。その後、平成27年1月末までに作成した設計図面に従い、ロボットの製造を開始した。ロボットの製造は医療福祉機器の受注企業組合「メディカルネット岡山」を介して製造工程毎に各民間企業に外注して行った。部品製作は中原鉄工株式会社、基板製作はテラフロップス、機構組立は協和ファインテック株式会社、配線は株式会社イーアールディーに外注した。

インターフェイス開発においては、直感的で容易にロボットを操作可能なインターフェイスの構築を行い、2つのモデルを作成した。1つは、穿刺針と形状の類似したペン型のインターフェイスであり、針を穿刺するのと同じ動作でマスタースレーブ方式によりロボットが操作できる。よりリアルに穿刺を模するため、術者に針穿刺時の力覚を伝えるシステムを装備させた。もう1つは、ボタンとジョイスティックでシンプルに操作するインターフェイスである。ペン型のインターフェイスは平成27年1月に行った動物実験により評価を行った。動物実験においては動物愛護の観点から使用する動物数は最小限（ウサギ2羽）とし、実験はイソフルラン吸入による全身麻酔下に行い、苦痛を与えぬように最大限に配慮した。また、実験終了後は全身麻酔下にペントバルビタール静注にて安楽死処分とした。

人材育成においては、岡山大学病院内の次世代医療機器開発プロフェッショナル育成プログラムアドバンスドコースにて計10回の講義を行い、民間企業人の人材育成を行った。講義の内容は、次世代医療機器開発ガイドラインと評価指標、医療機器のリスクマネジメント、医学英語、医療機器の機器設計、研究開発、法規制対応、PMDA、医療現場でのニーズ発掘などについてである。

C. 研究結果

外注した評価用ロボットは年度内に完成し、平成27年3月20日に納品となった。インターフェイス開発においては、2種類のインターフェイスを開発した。ペン型のインターフェイスは開発後に動物実験で評価を行った。針を穿刺するのと同じ動作でマスタースレーブ方式によりロボットを操作可能なことが示されたが、術者による針の動きとロボットの動きに乖離がみられ、操作性においては今後の改善が必要と思われた。術者に力覚を伝えるシステムは、術者に針に

伝わる抵抗を的確に伝え得ることが示された。もう1つのインターフェイスである、ボタンとジョイスティックで操作するインターフェイスは完成したが、評価は未だである。人材育成においては、各講義に民間企業人は10名前後の参加があった。

D. 考察

平成26年10月16日の委託契約締結後から急ピッチで評価用ロボットの開発にとりかかり、何とか年度内の完成にこぎつけた。インターフェイスの開発、人材育成も計画通りに行い、研究は当初の予定通りに順調に進捗していると言える。来年度には完成した評価用ロボットを用いた非臨床実験（ファントム実験・動物実験）を繰り返し、問題点を洗い出し、臨床応用可能な臨床用ロボットの製造に取りかかる。非臨床実験では開発した二つのインターフェイスの問題点も洗い出し、ブラッシュアップする。人材育成においては、地元民間企業を主に周知を進め、更なる参加者を募りたいと考えている。

E. 結論

評価用ロボットを製造した。またロボットを遠隔操作できる2種類のインターフェイスを開発した。更に、岡山大学病院内の次世代医療機器開発プロフェッショナル育成プログラムにて民間企業人の人材育成を行った。研究は当初の計画通りに進捗している。

F. 健康危険情報

なし。

G. 研究発表

論文発表

1. 平木隆夫、亀川哲志、松野隆幸、金澤 右。CT透視下針穿刺用ロボット開発の歩み：術者被ばくゼロのIVRを目指して。IVR会誌 2014； 29:375-381.
2. Hiroataka Nakaya, Takayuki Matsuno, Tetsushi Kamegawa, Takao Hiraki, Takuya Inoue, Akira Yanou, Mamoru Minami, Akio Gofuku, "CT Phantom for Development of Robotic Interventional Radiology", 2014 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2014), SaA1C. 5,

学会発表

1. 亀川哲志。CT透視下針穿刺用医療ロボットの開発：ロボティックIVRの時代へ。岡山大学知恵の見本市2014。岡山大学創立五十周年記念館。2014年11月14日
2. 平木隆夫、亀川哲志、松野隆幸、北村浩基、井上卓也、難波孝文、中家寛貴、石井創、杉山晃平、桐田泰三、谷本圭司、三宅 徹、佐藤寿昭、難波喜弘。CT透視下針穿刺用ロボットの開発。術者被ばくのない手技へ。中央西日本メディカルイノベーション 岡山大学鹿田キャンパス内 Junko Fukutake Hall、2015年2月17日～18日
3. 桐田泰三、亀川哲志、松野隆幸、平木隆夫。ロボティックIVRの開発に向けて 産学官連携学会関西中四国学会 愛媛大学 城北地区キャンパスメディアホール（総合情報メディアセンター内）、2014年12月5日
4. 杉山晃平、井上卓也、中家寛貴、矢納陽、松野隆幸、見浪護、亀川哲志、平木隆夫、五福明夫，“肺がん治療における低侵襲IVRのロボット化-第一報運動学の導出”，計測自動制御学会 システム・情報部門講演会2014（SSI2014），SS6-9，pp. 585-590(2014. 11)
5. 井上卓也、中家寛貴、松野隆幸、亀川哲志、平木隆夫、矢納陽、見浪護、五福明夫，“肺がん治療における低侵襲 Interventional Radiology 支援ロボットの開発”，第15回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会(SI2014)，2M3-4，pp. 1773-1778(2014. 12)
6. 難波 孝文，亀川 哲志，松野 隆幸，平木 隆夫，見浪 護，五福 明夫：“ロボティックIVRのためのPHANTOM Omniを用いた遠隔操作システムの構築”，計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会2014（SSI2014），SS6-11，岡山(2014. 11. 21)
7. 石井 創，亀川哲志，松野隆幸，平木隆夫，五福明夫：“CTガイド下における針穿刺ロボットの開発-針穿刺ロボットの針先位置決め精度の測定-”ロボティック・メカトロニクス講演会2015（投稿中）

H. 知的財産権の出願・登録状況

特許出願準備中

発明等の名称：平行リンク機構により構成された穿刺力を測定可能な CT ガイド下針穿刺ロボットの手先部

II. 厚生労働省科学研究委託費（医療機器開発推進研究事業） 委託業務成果報告（業務項目）

CT 透視下針穿刺用医療ロボットの開発～ロボティック IVR の時代へ～
に関する研究

業務主任者 平木隆夫 岡山大学病院放射線科講師

1-a. ロボット共同開発検討会の実施

2014年10月に5回、11月に4回、12月に3回、2015年1月に4回、2月に5回、3月に1回の検討会を実施した。仕様書の作成、ロボットの設計、動物実験の Protokol 作成などを行い、またロボットの課題と解決策など協議した。参加者は岡山大学病院講師 平木隆夫、岡山大学大学院自然科学研究科講師 亀川哲志、岡山大学大学院自然科学研究科講師 松野隆幸、コアテック(株)開発室長 谷本圭司、開発室副主事 三宅 徹などであった。

○第1回打合せ会

平成26年10月20日(月)14:00～16:00 工学部 亀川研究室／放射線科、機械システム工学科、コアテック(株)新医療創造支援本部

○第2回打合せ会

平成26年10月24日(金)14:00～16:00 契約関係の打ち合わせ

○第3回打合せ会

平成26年10月27日(月)14:00～16:00 工学部 5号館1F／放射線科、機械システム工学科、コアテック(株)

○第4回打合せ会 契約に関する打合せ

平成26年10月28日(火)18:00～20:00 管理棟8F第11カンファレンス室／コアテック(株)谷本様、副院長 那須 先生、放射線科 平木 講師、自然科学研究科 松野 講師、学務課 藤井 主査、調達 上廻主査、調達 武川課員、桐田 CD ロボティック IVR の請負・契約・入札・経理 等についての今までの経緯(対

厚労省) や今後の方針を関係者で協議・共有のため打合せ

○第 5 回打合せ会

平成 26 年 10 月 31 日(金)14:00~16:00 工学部 5 号館 1 F/放射線科、機械システム工学科、コアテック(株)、新医療創造支援本部

○ 第 6 回打合せ会

OMIC 施設 見学会

平成 26 年 11 月 7 日(金)15:00-17:30 鹿田キャンパス OMIC/放射線科 平木講師、機械系学科 亀川 講師、松野 講師、および学生 6 名

○ 第 7 回打合せ会

知恵の見本市 2014

平成 26 年 11 月 14 日(金)岡山大学 創立五十周年記念会館
展示「CT透視下針穿刺用医療ロボットの開発 ～ロボティック IVR の時代へ～」

○ 第 8 回打合せ会

合宿

平成 26 年 11 月 15 日(土)-16 日(日) 工学部 総合研究棟/機械システム工学科、コアテック(株)
試作機の仕様書作成

○ 第 9 回打合せ会

平成 26 年 11 月 25 日(月)14:30 放射線科、仕様に関する打ち合わせ

○第 10 回打合せ会 **特許に関する打合せ**

平成 26 年 12 月 5 日(金)15:00-17:30 工学部 総合研究棟/放射線科、機械システム工学科、コアテック(株)、知的財産本部知的財産本部と特許獲得に向けての打合せ会を開催した。
DVD の撮影をした。

○第 11 回 勉強会

平成 26 年 12 月 8 日(月)18:00・IVR センターでチェック

○第 12 回 打合せ会

平成 26 年 12 月 22 日(月)17:00-19:00 工学部 総合研究棟 4F 415 号室／放射線科、機械システム工学科、コアテック(株)、新医療創造支援本部
進捗状況報告、動物実験打合せ、来年度計画書作成、学会報告を行った。
DVD の撮影も行った。

○第 13 回 打合せ会

平成 27 年 1 月 9 日(金)15:00-19:00 鹿田 管理棟 3F 小会議室／放射線科、機械システム工学科、コアテック(株)、新医療創造支援本部
動物実験プロトコール、来年度予算書の作成

○第 14 回 打合せ会

平成 27 年 1 月 19 日(月)17:30-19:00 鹿田 基礎医学棟 2F 大学院第一講義室／放射線科、機械システム工学科、コアテック(株)、新医療創造支援本部
動物実験打ち合わせ

○ 第 15 回 打合せ会

ロボティック IVR 動物実験

平成 27 年 1 月 24 日(土)9:00・鹿田 OMIC／放射線科、機械システム工学科
動物実験実施（1 回目）

○ 第 16 回 打合せ会

ロボティック IVR 動物実験

平成 27 年 1 月 31 日(土)9:00・鹿田 OMIC／放射線科、機械システム工学科
動物実験実施（2 回目）

○ 第 17 回 打合せ会

ファントム実験，DVD 撮影

平成 27 年 2 月 2 日(月)19:00・IVR センター／放射線科、機械システム工学科

松野 G の手先部を使ったファントム実験，DVD の撮影

○第 18 回打合せ会

平成 27 年 2 月 6 日(金)17:00-18:30 鹿田 管理棟 3F 小会議室／放射線科、機械システム工学科、コアテック(株)
予算執行に関する打ち合わせ

○第 19 回打合せ会

平成 27 年 2 月 16 日(月)15:30-18:00 鹿田 管理棟 3F 小会議室／放射線科、機械システム工学科、コアテック(株)，新医療創造支援本部，知財部，メディカルテクノおかやま，岡山県産業労働部
動物実験報告，卒論，修論報告
(平成 27 年 2 月 18 日(水)19:30-18:00 打ち上げ)

○第 20 回打合せ会

中央西日本メディカルイノベーション展示会
平成 27 年 2 月 17 日(火)-18 日(水) 鹿田 J ホール
・平木先生講演：岡山大学の研究シーズ発表会 「CT 透視下針穿刺用ロボットの開発」
・ロボット展示

○第 21 回打合せ会

平成 27 年 2 月 20 日(金)19:00-21:00 工学部 総合研究棟 4F 415 号室／放射線科、機械システム工学科、コアテック(株)
来年度厚労科研申請書に関する打ち合わせ

○第 22 回打合せ会

平成 27 年 3 月 16 日(月)17:00- 工学部 総合研究棟 4F 415 号室／放射線科、機械システム工学科、コアテック(株)
今年度厚労科研実績・成果報告書に関する打ち合わせ
残存研究費の使途
来年度研究のマイルストーン

1-b. 評価用ロボットの仕様作成

平成 26 年 10 月 16 日から 11 月 30 日までの間に仕様書を作成した。作成は、岡山大学病院講師 平木隆夫、岡山大学大学院自然科学研究科講師 亀川哲志、岡山大学大学院自然科学研究科講師 松野隆幸、コアテック（株）開発室長 谷本圭司、開発室副主事 三宅 徹にて合同で行った。次項より作成したロボットの仕様書を提示する。

仕 様 書

請負の表示	IVR 手術用穿刺作業支援ロボット作製
数量	一式
契約期間	平成 26 年 月 日～平成 27 年 3 月 31 日
その他	当該契約については、国立大学法人岡山大学が定めた製造請負
契約基準に	よるほか、下記の仕様によるものとする。

記

(調達の背景)

低侵襲な治療及び検査の手法として、CT ガイド下の Interventional radiology (IVR・画像下治療) が注目されている。これは CT 装置下で CT 画像を見ながら針を穿刺し手技を行うものである。現状では、針の穿刺は医師が CT 装置の近くで用事にて行っているため、術者は被ばくする。放射線業務従事者には年間線量限度が規定されているため、術者が施行できる IVR 件数はおのずと制限され、問題となっている。そこで本学は術者被ばくを避けるために、遠隔操作ロボットで針穿刺を行うシステムを構築する。

(調達の目的)

以下の要件を満たす、IVR 手術用穿刺作業支援ロボットの開発において必要な評価用ロボットを作製し、組み上げること。本仕様書では、作製にあたって最低限満たすべき事項を記しているため、当該事項に関して本仕様書に記載のない事項については、本学の指示・協議によるものとする。また、本仕様書の機能・性能に関する数値は設計上の理論値である。なお、本調達の目的は組み上げであり、組み上げたロボットへの通電及び通電による稼働確認や機能・性能に対する稼働試験の実施は、本調達には含めないこととする。

(ロボットシステムとしての機能・性能に関する要件)

1. 以下の仕様を満たすロボット一式を作製すること。

1-1 CT 装置のガントリー内で、IVR 用穿刺針（以下、穿刺針とする）を患者の治療部位に、医師の遠隔操作の下、穿刺するロボットであること。なお、作製

にあたっては以下を満たすこと。

1-1-1 作製にあたって想定する CT 装置は、本院既存の東芝メディカルシステムズ(株)製 Aquilion (以下、CT 装置とする) とすること。

1-1-2 CT 装置のガントリーの直径は 720mm であり、撮像可能な領域の直径は 500mm である。当該ガントリー内でベッドに臥位の状態にある患者へ針を穿刺できる機能を有すること。穿刺開始前の状態において針先端が図 1 に示す領域に到達可能であること。また、図 2 に示すように患者の頭尾方向に針先が 500mm 移動可能であること。図 1 の断面内で針先は姿勢を変更可能であり、 ± 80 度以上回転できること。同様に垂直方向から見て、患者の頭尾方向に ± 30 度以上回転できること。

1-1-3 1-1-2 で示す空間内の CT 撮像断面上に穿刺針を準備し CT 画面を見ながら、医師の操作の下、標的部位に針を到達させる機能を有すること。

1-2 穿刺針を様々な位置、姿勢に操作することができるようにロボットは独立した 6 自由度以上の動作機構を有すること。また、穿刺動作においては、針が独立した 1 自由度のアクチュエータにより、針の軸が存在する直線方向に穿刺できる機能を有すること。

1-2-1 術中に医師が、CT 画像を見ながら、穿刺針の位置姿勢を調節することができる機能を有すること。

1-2-2 1-2-1 を実現するために、最低 5 自由度の独立した直動または回転の移動機構を有すること。

1-2-3 安全に手技を行うために、穿刺動作は穿刺針の軌道の直線性を確保できるように、1-2-2 で示す機構を有する装置から独立した 1 自由度のアクチュエータを有し、針の中心軸に沿ってたわまず直線状に移動できる機構を有すること。

1-2-4 穿刺用の独立したアクチュエータにより、穿刺針は 160mm 以上移動可能であること。穿刺速度は $100[\text{mm/s}]$ 以上、針先の姿勢変更速度は $0.5[\text{rad/s}]$ 以上、穿刺方向に垂直な方向への針先並行移動速度は $50[\text{mm/s}]$ 以上であること。

1-2-5 穿刺の際に針に発生する力を測定できる機能を有すること。

1-2-6 例として、別紙のとおり、本学が製作した試作機を用いて 1-2 について説明する。図 3 は試作ロボットである。なお、例示するロボットは穿刺動作を含めて 5 自由度であるが、本仕様で示すロボットは 6 自由度である。図 4 はこのロボットの座標系とアクチュエータの配置図である。①軸から④軸までにアクチュエータ動作によって決められた針の初期位置、穿刺方向を決定する。

⑤軸目のアクチュエータにより手先部に取り付けられた穿刺針を直線状に移動させる。アーチファクトを避けながら、ガントリー内の作業空間で上述の動作をさせるため、図5に示す平行リンク機構を採用しているが、本仕様を満たし本学が認める限りにおいて、採用する機構は問わない。

1-3本ロボットを用いる治療の対象となる病変の大きさは最小数mm径であるため、穿刺針の精度はCT撮像平面内で1mm以内であること。

1-4 治療に用いる穿刺針は、例えば、生検針、ラジオ波電極針、凍結針を想定しているが、治療に応じて種類の異なる穿刺針を取り付けできるように、針把持部をアタッチメント構造とすること。

1-5 CT撮影時に穿刺針以外の金属部品がCTガントリー内に存在するとアーチファクトが発生し、病変の位置が正確に把握できないことから、ロボットは、CT撮影時にアーチファクトを抑制する構造と材質とすること。

1-6 ロボット装置は術中の清潔状態が保たれる仕組みとして、最低限、以下を満たすこと。

1-6-1 穿刺針を把持するアタッチメントは、洗浄、滅菌可能であること。

1-6-2 ロボット装置は、清潔なカバーによって覆うことができる構造であること。

1-7 医療機器の安全規格として、JIS T 0601-1, JIS T 0601-1-1, JIS T 0601-1-2に準拠すること。ただし、リスクマネジメントについては本学と協議して対応すること。

1-8 手術環境との親和性を保つために、術野が観察可能であること。また、CT装置、ラジオ波発生装置、AEDなど他の電氣的医療機器と干渉が起こらない材質・構造とすること。

1-9 針を穿刺後、IVR手技の継続のために、穿刺針をロボットから取り外す場合があることから、簡易に手動で穿刺針をロボットから取り外すことができる機構を有すること。また、リスクマネジメントの観点から、電源喪失時においてもこの機構が有効に動作すること。

1-10 ロボットはIVR手術室内を人力により移動し設置するため、人ひとりで搬送可能であること。

1-10-1 ロボットは使用しない場合は手術室外に移動できるように、ロボット搬送時の大きさが横幅77cm、奥行140cm、高さ190cm以内であること。ただし、簡易に分解、組み立てできることによりこの規格を満たしても良いが、その場合

は本学 of 了解を得ること。

1-10-2 重量は 350kg 以下とする。

1-11 構築するロボットは、医師の操作に基づき動作するマスタースレーブ方式（別紙図 6 を参照のこと）を採用し、医師の動作指令に対して、追従してロボットが動作する機構を有すること。また、いかなる時点でも手技が中断できる機構とすること。

1-12 ロボットの合成速度は、機械的に 250mm/sec を超えないこと。

1-1360V を超える配線がある場合、直径 4mm の棒が入らないようにカバーをすること。

1-13-1 カバーをする際は、カバー内に埃等が侵入し難い構造とし、カバー上からの清掃が容易な構造とすること。また、カバーを施していることが目立たないように本体色の色調と親和性を持たせること。これらを踏まえて、本学と協議のうえ施工すること。

1-13-2 電機配線は、エンドエフェクタ部、外部接続線を除き、カバー内に収めること。

（ロボット構成ユニットの機能・性能に関する要件）

2. 各ユニットは以下の仕様を満たすこと。参考図を別紙の図 7 に示す。製造の都合で仕様を変更する必要がある場合は、本学の承認を得ること。また、数値に幅を持つ仕様項目については、本学と協議のうえ本学 of 了承を得ること。

2-1 ベースユニット

2-1-1 ベースユニットは、ロボット全体を支えるフレーム、キャスター、フロアロックを最低限として構成すること。

2-1-2 制御ユニットをベースユニットに内蔵する場合は、その空間を確保すること。

2-1-3 材質は、ステンレス、防錆処理をした鉄又はアルミ合金とする。

2-1-4 フロアロック時、ロボットに外力を加えても、ロボットは動いてはならない。目安として、ベースユニットに対し、ロボット接地面に対して水平方向に 50N の力を加えた場合において、ロボットと床面とが接する部分が離れず、移動しないこと。

2-2 Z 軸昇降ユニット

2-2-1 最高速度 50～100mm/sec, 分解能は 0.01mm 以下とする。

2-2-2 動作範囲は 300mm 程度とするが, 本学と協議の上, 変更可能とする。

2-2-3 材質はアルミ合金を主体とし, 軽量化に努めること。

2-2-4 サーボロック時のモータへの負荷を定格の 1/2 以下にすること。

2-2-5 ブレーキとエンコーダ信号は二重化すること。

2-3 X 軸並進ユニット

2-3-1 最高速度 50～100mm/sec, 分解能は 0.01mm 以下とする。

2-3-2 動作範囲は 500mm 程度とするが, 本学と協議の上, 変更可能とする。

2-3-3 材質はアルミ合金を主体とし, 軽量化に努めること。

2-3-4 エンコーダ信号は二重化すること。なお, ブレーキの二重化は不要とする。

2-4 Y 軸並進ユニット

2-4-1 最高速度 50～100mm/sec, 分解能は 0.01mm 以下とする。

2-4-2 動作範囲は 300mm 程度とするが, 本学と協議の上, 変更可能とする。

2-4-3 材質はアルミ合金を主体とし, 軽量化に努めること。

2-4-4 エンコーダ信号は二重化すること。なお, ブレーキの二重化は不要とする。

2-5 A 軸回転ユニット

2-5-1 最高速度 45～180° /sec, 分解能は 0.01° 以下とする。

2-5-2 動作範囲は±80° 程度とするが, 本学と協議の上, 変更可能とする。

2-5-3 材質はアルミ合金を主体とし, 軽量化に努めること

2-5-4 ブレーキとエンコーダ信号は二重化すること。

2-5-5 A 軸先端部には, エンドエフェクタを電氣的に接続するコネクタ BOX を取り付けること。

2-6 エンドエフェクタユニット

2-6-1 エンドエフェクタ並進軸は, 最高速度 10～50mm/sec, 分解能は 0.1mm 以下とする。

2-6-2 エンドエフェクタ姿勢軸は, 最高速度 30～90° /sec, 分解能は 0.1° 以下とする。

2-6-3 材質はアルミ合金を主体とするが, CT 撮像範囲に入る部分は樹脂とする。

2-6-4 エンコーダ信号は二重化すること。