

# 遠隔協調作業を目的とした共通マニピュレータの改良

○前田 弘文 (弓削商船), 伊藤 嘉基 (弓削商船),  
小林 滋 (神戸高専), 高森 年 (IRS)

## Improvement of the common manipulator for cooperation work and remoteness

○Hirofumi MAEDA (NITYC), and Yoshiki ITO (NITYC),  
Shigeru KOBAYASHI (KCCT), Toshi TAKAMORI (IRS)

Abstract: This paper has described Research and development of the common manipulator for cooperation work and remoteness. First, each rescue robot is described. And the linkage mechanism and system configuration of a manipulator are described. Especially the joining section of a manipulator and a mobile robot is described in detail.

### 1. 緒言

我が国における災害探査活動支援用モバイルロボットの研究は、阪神淡路大震災後の調査研究から始まり、2002年の文部科学省「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」によって大きく発展した<sup>1)~4)</sup>。結果、瓦礫内、瓦礫上、上空などから探査するためのロボットの開発、ロボット操作のためのヒューマンインターフェイス、情報網としてのメッシュネットワーク、GISなどを確立した。その後、NEDO「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」が立ち上がり、閉鎖空間内での災害における探査を目的としたモバイルロボットの実用化研究により、Quince, UMRS, KOHGAなど日本を代表する探査ロボットが開発された<sup>5)~7)</sup>。

我々はこれらのロボットを用い、消防関係者との実証実験などを通して、災害時に必要となる探査ロボットには"遠隔操縦を基本とした半自律制御系"が最も重要であるという結論に至った。これは災害時における探査で、迅速かつ正確であることに加え、人命が掛かった失敗が許されない過酷な条件下では、環境認識技術等のレベルが低いロボットに全ての判断を委ねることができないことが上げられる。また一方で、ロボットの全行動判断に対して、人間が全てに介在することは大きな負担になることが挙げられる。

さらに災害現場において1台のロボットで探査活動を行うには限界がある。そこで、ロボット群を少数のオペレータにより操作できる探査効率の高いシステム構造へ拡張する必要がある。探査ロボットを群として制御することの利

点はこの他にも、ロボット単体での離散的な点としての探査に比べ集団としての戦略的探査が可能なこと、ロボット間メッシュネットワークが破れにくい隊列を組んでの探査行動が可能であることなどが挙げられる。

この戦略的探査は、レスキューロボットが搭載しているマニピュレータを用いた協調作業によって、瓦礫や危険物の撤去など戦略の幅を広げることができる。そこで我々はこれまでに、各モバイルロボットのための共通マニピュレータの開発を行ってきた<sup>8)9)</sup>。しかし、これまでのマニピュレータは十分なトルクを発生することができておらず、現在のモータを高トルクなものに変更する必要がでてきた。そこで本発表では、高トルクモータに取り替えた新型マニピュレータについて、災害現場の環境での使用用途も含めて述べる。

### 2. 災害現場の環境

災害現場において、災害の規模や内容、時間帯などによって時々刻々と環境は変化していく。また、環境の変化によってモバイルロボット群の行動自体も臨機応変に対応する必要がある。時にはモバイルロボットの指揮権を受託することもある。さらにこれらの環境の変化によって、モバイルロボットのソフトウェア自体も逐次変化させる必要が生じる。Figure 2-1にモバイルロボットのソフトウェアの切り替えポイントを示す。

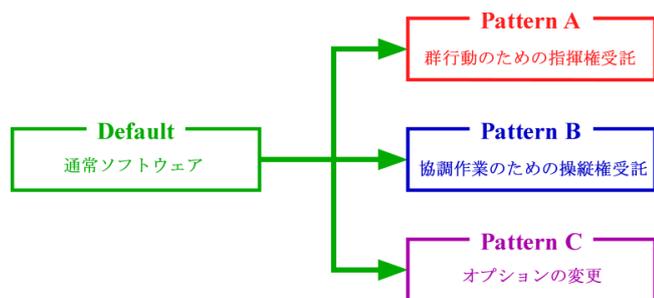


Fig. 2-1 ソフトウェア切り替え

## 2.1 群行動のための指揮権受託

モバイルロボット群が探索ポイントまで移動する際、個々のロボットを個別に操作することは操縦者にとって大きな負担となる。そこで、隊長機に操縦権限を譲渡することで、隊長機 1 台の操縦によって探索ポイントまでスムーズに移動を行える (Figure 2-2)。

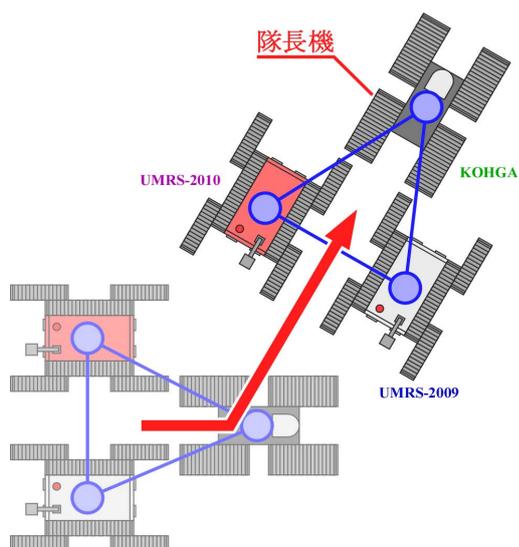


Fig. 2-2 モバイルロボットの群行動

また、状況によってはモバイルロボット群を 2 つ、もしくはそれ以上に分隊し、探索範囲を広げるなどの場合も考えられる。そのような場合は新たに分隊長機を設け、指揮権を受託する必要がある (Figure 2-3)。

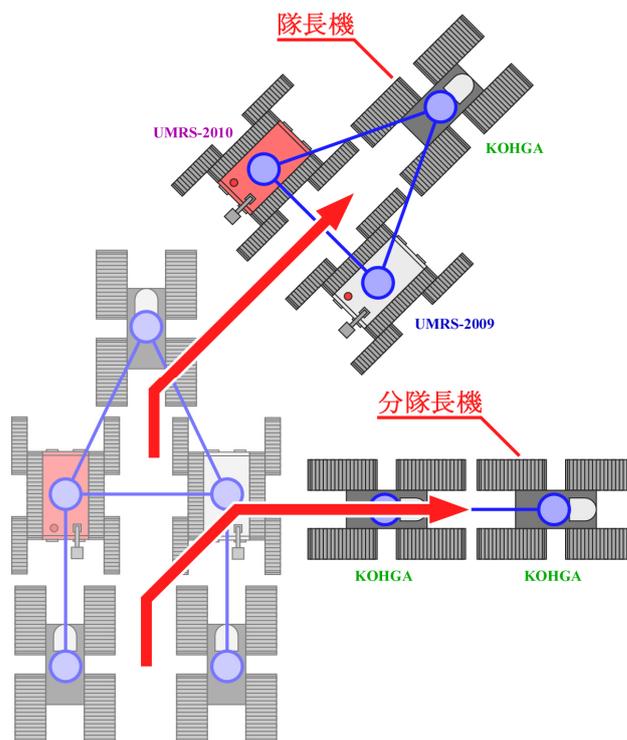


Fig. 2-3 モバイルロボット群の分隊

## 2.2 協調作業のための操縦権受託

災害現場の状況によっては、瓦礫や危険物の撤去など 2 台以上のモバイルロボットで協調作業を行う場合がある (Figure 2-4)。このようなとき、オプションのマニピュレータなどを使用して作業する必要がある。

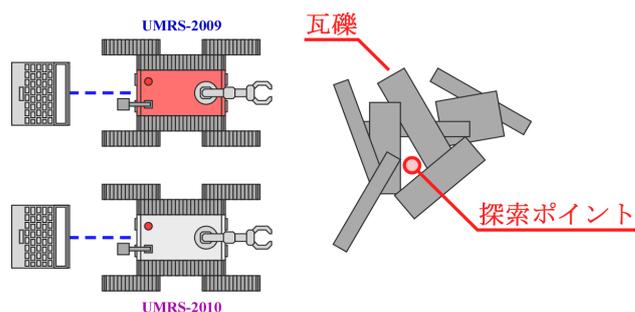


Fig. 2-4 モバイルロボットの協調作業

例えば、2 台のモバイルロボットに搭載されているマニピュレータを 1 人のオペレータがどちらも操縦することが可能であれば、短時間でスムーズに作業を行うことができる場合も多々存在する (Figure 2-5)。

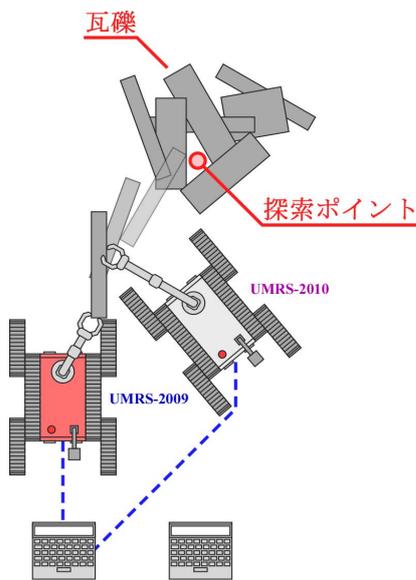


Fig. 2-5 マニピュレータの協調作業

また、1台のモバイルロボットからは見えないカメラの死角も別のモバイルロボットからのカメラ映像を共有することで把握することが可能である (Figure 2-6)。

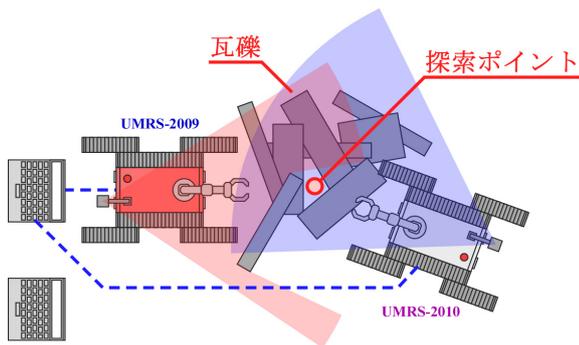


Fig. 2-6 カメラ画像の共有

### 2.3 オプションの変更

災害現場の状況によっては、モバイルロボットに搭載するオプションを変える必要がある。例えば、災害現場にガスが発生している場合はガスの成分を検知するセンサを搭載し、瓦礫が多い災害現場で救助者を探す場合にはマニピュレータを搭載する必要がある (Figure 2-7)。また、マニピュレータ1つを取り上げた場合においても、先端のエンドエフェクタを状況に応じて変更する場合は考えられる (Figure 2-8)。

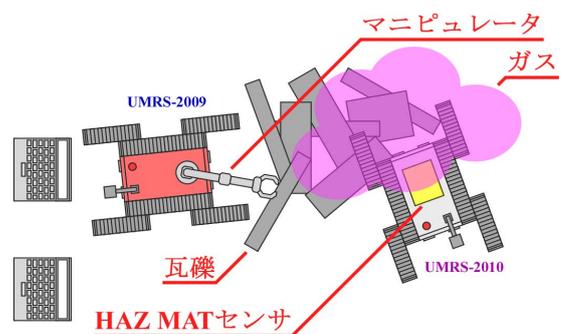


Fig. 2-7 オプションの取替え

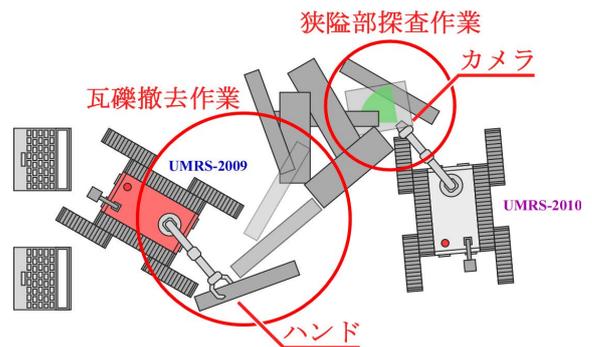


Fig. 2-8 エンドエフェクタの取替え

### 3. 対象のレスキューロボット

現時点で共通マニピュレータの対象となるレスキューロボットは、UMRS-2009、UMRS-210、KOHGA3、FRIGO の4種類である。ここで例としてUMRS-2009とUMRS-210の外観をそれぞれ Figure 3-1、Figure 3-2 に示す。



Fig. 3-1 UMRS-2009

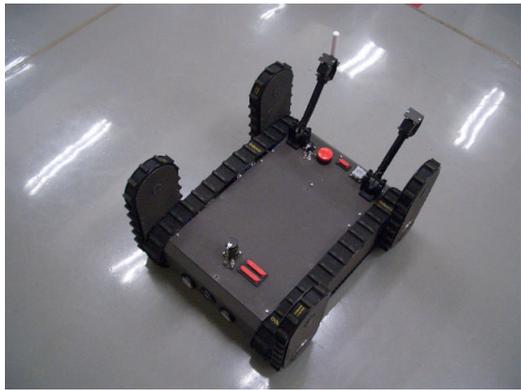


Fig. 3-2 UMRS-2010

我々が取り扱うレスキューロボットは、Figure 3-3 に示すように本体を動かすためのクローラと段差や瓦礫などを乗り越えるための足がかりとなるフリップから構成される。このクローラとフリップに取り付けられているベルトを回すことで前進や後進、旋回などの動作を行うことができる。

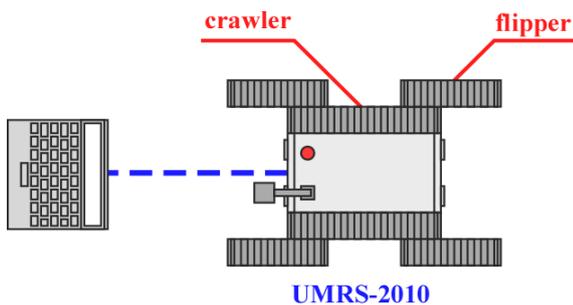


Fig. 3-3 レスキューロボットの構造

これら 4 種類のロボットは、ハードウェア的な点においては共通化することが容易であるが、中の制御基盤を含むソフトウェアについてはそれぞれが独自の構造を形成している。

Table 3-1 にそれぞれのロボットの内部ハードウェア構成を示す。

Table 3-1 内部ハードウェア構成

ロボット名	搭載制御ボード	ソフトウェア
UMRS-2009	TPIP2	購入時組み込み済み
UMRS-2010	VDX-6314D-512	自作プログラム
FRIGO	Raspberry Pi	自作プログラム
KOFGA3	Zotac Nano-AD10-J	自作モジュール (OpenRTM-aist)

UMRS-2009 については、サンリツオートメーション株式会社製の TPIP2 を使用しており、購入時に組み込まれているプログラムを利用して、直接操縦者へデータが送信される。また、UMRS-2010 と FRIGO については組み込み PC が使用されており、KOFGA3 に至っては、UMRS-2009 と FRIGO 同様に組み込み PC を用いているが、ロボットの制御にはミドルウェアである OpenRTM-aist を使用している。このため、オプションである共通マニピュレータとの接続に関しては、共通化するための仕組みが必要となる。

#### 4. 共通マニピュレータ

マニピュレータは、災害現場でレスキューロボットのオプションとして搭載し、遠隔操縦によって操作される。また、各マニピュレータの指揮権を相手に受託することでスムーズに協調作業が行えることを前提としている。さらに将来的には、エンドエフェクタをアタッチメントとして、災害現場の規模や状況などによって即座に付け替え、環境に対応する予定である。

##### 4.1 リンク構成

共通マニピュレータの使用用途として、協調作業による瓦礫や危険物の撤去が上げられる。

そのためリンク機構としては、人間の代替作業が容易で、設置面積に対して可動範囲が広く、スピードが出せる一般的な産業用ロボットと同じ 6 軸垂直多関節型を採用した (Figure 4-1)。

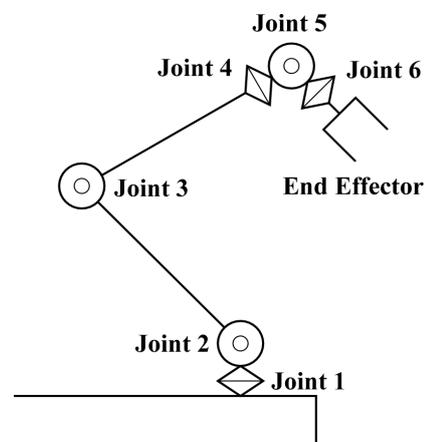


Fig. 4-1 共通マニピュレータのリンク機構

マニピュレータのジョイント部分には ROBOTIS 社製の Dynamixel MX シリーズを使用している (Figure 4-2).

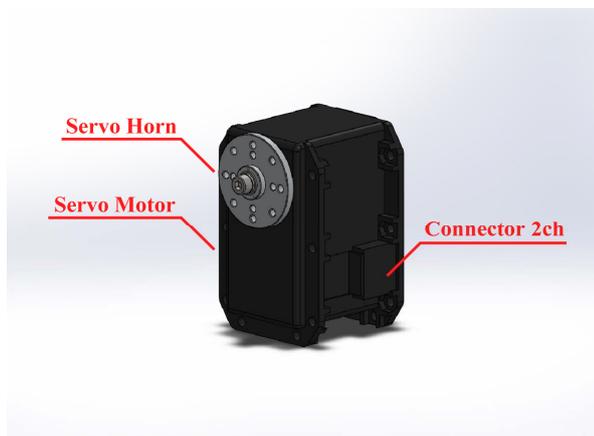


Fig. 4-2 Dynamixel MX-64R (SolidWorks)

Dynamixel MX シリーズは減速ギア、アンプ、ネットワークを一体化したスマートアクチュエータである。また、温度、電圧、電流などの状態監視が可能で、安定したアプリケーションを実現している。さらに RS-485 によって高速通信とマルチドロップ接続を実現しており、RS-485 と電源の 4 線からなるコネクタを 2 つ搭載していることで、デージーチェーンが可能となり多関節機構におけるケーブリングが容易となる。

Figure 4-3 と Figure 4-4 に Dynamixel MX シリーズを用いて設計した共通マニピュレータの 3D データ (SolidWorks) を示す。

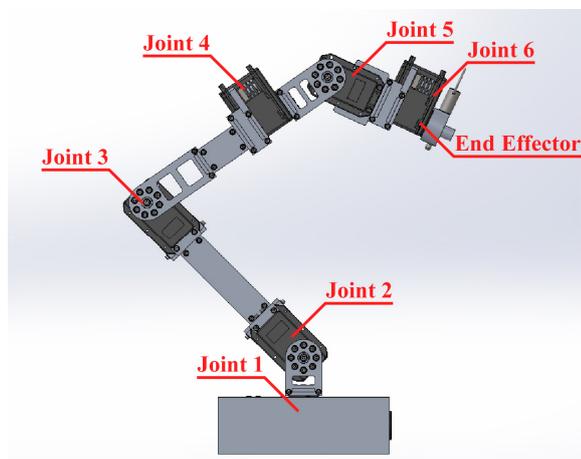


Fig. 4-3 共通マニピュレータのリンク機構 (SolidWorks)

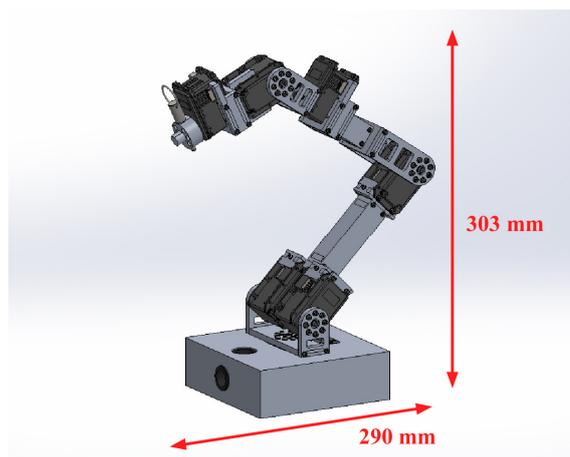


Fig. 4-4 共通マニピュレータ (SolidWorks)

今回、もっとも負荷が強い第 2 関節部分については、ダブルモータにすることによってトルクを補った (Figure 4-5)。

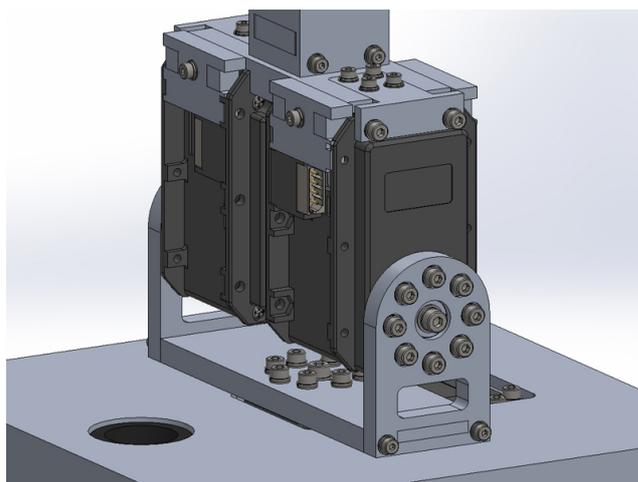


Fig. 4-5 ダブルモータ (SolidWorks)

## 4.2 システム構成

Figure 4-5 に共通マニピュレータのシステム構成図を示す。システム構成には大きく分けて 2 つの方法が考えられる。1 つはロボット本体を介さず、直接遠隔操作をする方法である。もう 1 つはロボット本体を介して、関節的に遠隔操作を行う方法である。そのため、Fig. 4-5 に示すようにシリアル通信 (RS-232C) によって入出力できる形を取る。これにより、Figure 4-6 に示すように RS-232C から FT232RL (USB)、XPort (LAN)、WiPort (WLAN) の変換モジュールを使うことで、汎用性を高め 2 つのシステム構成を実現するだけでなく、4 種

類のロボットに対応することができる。また、エンドエフェクタは、先端の Dynamixed MX-64R にダイジーチェーンで接続することにより、取替えが容易に行える。

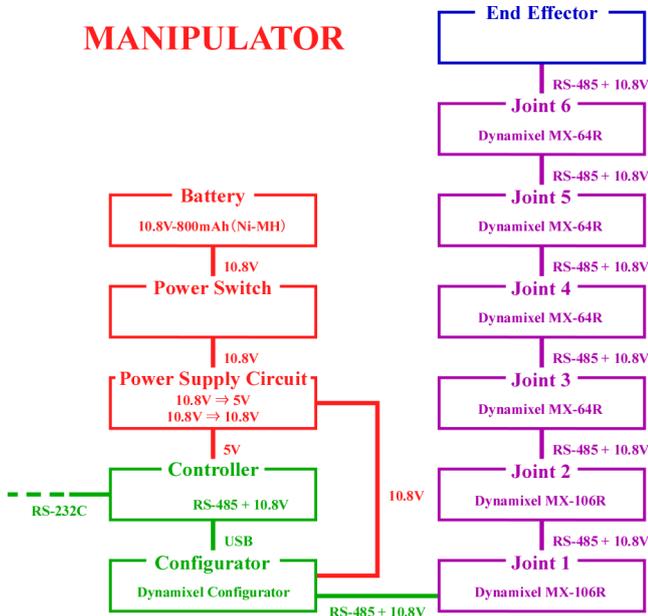


Fig. 4-5 システム構成図

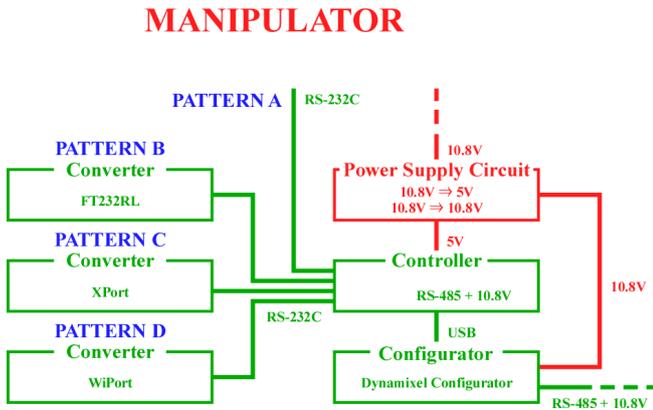


Fig. 4-6 通信方式切り替え部分

## 5. 結言

今回、遠隔協調作業のための共通マニピュレータについて、リンク構成とシステム構成を中心に述べた。また、災害現場の環境での使用用途についても述べた。今後はより汎用性を高めるために、ソフトウェアの汎用性を高めるとともに、各ロボットに搭載して実際に作業を行い評価する予定である。

## 謝辞

本研究は日本学術振興会の科学研究費補助金(基盤研究 (B)25282108)の支援により実施された。

## 参考文献

- 1) 田所 諭：文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクト：ロボット等次世代防災基盤技術の開発，日本ロボット学会誌，Vol.23， No.5， pp.541～543， (2005)
- 2) 国際レスキューシステム研究機構：レスキューロボット等次世代防災基盤技術の開発 H14～17 報告書，大都市大震災軽減化特別プロジェクト， (2003-2006)
- 3) 文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクト：レスキューロボット等次世代防災基盤技術の開発，総括成果報告書， (2007)
- 4) 横小路 泰義：レスキューロボットの操縦インタフェース -大大特「ヒューマンインタフェースグループ」の研究紹介-，日本ロボット学会誌， Vol.22， No.5， pp.566-569， (2004)
- 5) 田所 諭：閉鎖空間内高速走行探索群ロボット，日本ロボット学会誌， Vol.27， No.10， pp.1107-1110， (2009)
- 6) 佐藤 徳孝，松野 文俊：レスキューロボット遠隔操縦インタフェース技術，日本ロボット学会誌， Vol.28， No.2， pp.156-159， (2010)
- 7) 大野 和則，城間 直司：レスキューロボットの遠隔操縦支援技術，日本ロボット学会誌， Vol.28， No.2， pp.160-163， (2010)
- 8) 前田 弘文，藤田 和友，伊藤 嘉基，小林 滋，高森 年：遠隔協調作業を目的とした共通マニピュレータの研究開発，第 14 回システムインテグレーション部門学術講演会 (SI2013)， pp.1133-1136， (2013)
- 9) 竹本 怜央，藤田 和友，伊藤 嘉基，前田 弘文：小型制御基板を用いたマニピュレータ制御，日本機械学会中国四国学生会第 43 回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集， 613， (2013)