OpenRTM-aist による生活支援ロボットのためのロボットアーム およびマンマシンインタフェースの RT コンポーネント開発*

永田 和之^{*1}, 脇田 優仁^{*2}
山野辺 夏樹^{*1}, 安藤 慶昭^{*1}

Development of RT-Component for Assistive Robotic Arm and Man-Machine Interface Using OpenRTM-aist

Kazuyuki NAGATA^{*3}, Yujin WAKITA,
Natsuki YAMANOBE and Noriaki ANDO

^{*3} Intelligent Systems Research Institute, National Institute of Advanced Industrial Science and
Technology (AIST), Central 2, 1-1-1 Umezono, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-8568 Japan

This paper presents the development of RT-Components for assistive robotic arm and man-machine interface with RT-Middleware for disabled patients. RT-Middleware is an open software platform for component-oriented robot system development. The RT-Component is a basic functional unit for constructing a robot system on RT-Middleware. The specification of the RT-Component is standardized in OMG. Therefore the RT-Component can be shared and reused in other robot systems. One feature of a life support robot is that the robot is operated by a human. Therefore a man-machine interface plays an important role for operating the life support robot. Various man-machine interfaces for operating the life support robots have been developed and customized according to the condition and remaining function of the patients. These man-machine interfaces can be connected to the life support robot in the same fashion by making the software modules for the robots and the man-machine interfaces as RT-Component. This paper shows the RT-Components for an assistive robotic arm and a man-machine interface. The robotic arm component receives joint angle velocity or hand velocity as a motion command of the arm from the man-machine interface component, and send the current joint angles to the man-machine interface component via a DataPort. The other basic commands for operating the assistive robotic arm are defined in a ServicePort. We developed RT-Components of several types of robotic arm, and man-machine interface. Any combination of the arm components and the man-machine interface components could be connected in the same fashion.

Key Words: Robot, Human Interface, Man-machine Interface, Assistive Robotic Arm, RT-Middleware

1. 緒 言

近年, 体に障害のある人の自立的な生活を支援する生活支援ロボットが研究開発されている^{(1)~(7)}. 生活支援ロボットは, 被介護者の意思を尊重し, 身の回りのことを, できるだけ自分で行うことを支援するロボットである. これまで生活支援ロボットとして, 被介護者が自分の意志で食物を選択して食事することを支援する食事支援ロボット^{(1)~(4)}, ジョイスティックでロボットアームを操縦して身の回りのことを自分で行う自立動作支援アーム⁽⁵⁾, 自立的な歩行を支援する歩行支援ロボット⁽⁶⁾などが開発されている. 生活支援ロボットは, 病院や介護施設などで試験的に導入されているが,

販売台数は少ない⁽⁸⁾⁽⁹⁾. しかし, 今後少子高齢化が進むことから, 生活支援ロボットへの期待は高く, ニーズは大きい. このような生活支援ロボットにおいて重要なことは, 被介護者が自分の意思どおりにロボットを操作できることである. そのためには, 被介護者の意思をロボットに伝達するマンマシンインタフェースの役割が重要となる. マンマシンインタフェースは, 体の不自由な人が用いるので, できるだけ簡単な入力デバイスで直感的に使いこなせるものでなければならない. これまでにマンマシンインタフェースとして, 被介護者の残存機能や, 生活支援ロボットへの要求動作に応じて, 様々なものが開発されている. 例えば, 食事支援ロボット HANDY 1 では, 食器に取り付けた LED をスキャンして, 食べたい物の食器が光ったときにシングルスイッチを押すことで, 食べたい物を選択する⁽¹⁾. また, 頸髄損傷患者のように, 四肢に障害があるが頭部は自由に動かせる人のために, ヘルメット

* 原稿受付 2009 年 11 月 16 日.

^{*1} 正員, (独)産業技術総合研究所知能システム研究部門
(〒305-8568 つくば市梅園 1-1-1, 中央第二).

^{*2} (独)産業技術総合研究所知能システム研究部門.
E-mail: k-nagata@aist.go.jp

に 6 自由度マニピュレータを取り付け、頭の運動を計測することでロボットを操縦する装置が開発されている⁽¹⁰⁾。この他に、シングルスイッチ⁽¹¹⁾、キーパッド⁽⁵⁾、ジョイスティック⁽⁵⁾、レーザーポインタ⁽³⁾、スキャンメニュー⁽¹²⁾、さらに音声⁽¹³⁾や、筋電⁽⁶⁾などの生体信号などが、入力手段として用いられている。これらのマンマシンインタフェースは、個々のユーザに合わせてカスタマイズされて使用される。このように、被介護者の残存機能の程度や、要求動作は幅が広く、カスタマイズや機能拡張が重要となる。しかし、これまでマンマシンインタフェースは、個々の生活支援ロボットに合わせて個別に開発されることが多く、多様なマンマシンインタフェースを、生活支援ロボットに簡単に接続することは困難であった。

ところで、マンマシンインタフェースの入力デバイスが多様でも、マンマシンインタフェースやロボットのプログラムを、共通のソフトウェアインタフェースを持つ RT コンポーネント⁽¹⁴⁾として実装しておけば、ソフトウェアモジュールの相互利用が可能となり、多様なマンマシンインタフェースとロボットを統一的に接続することができる。RT コンポーネントの仕様は、OMG において標準化されており、プログラムを RT コンポーネント化することで、プログラムの共有と再利用が可能になる。本稿は、生活支援ロボットとして自立動作支援アームを対象とし、多様なマンマシンインタフェースを統一的にロボットアームと接続するために、ロボットアームとマンマシンインタフェースのプログラムを RT コンポーネント化し、実装したので報告する。

2. OpenRTM-aist

RT ミドルウェア (RT-Middleware: RTM) とは、ロボット機能要素 (RT 機能要素) をソフトウェアモジュール化し、それらを多数組み合わせるロボットシステム (RT システム) を構築する為のソフトウェアプラットフォームである。RT ミドルウェアにおけるソフトウェアモジュールの基本単位を RT コンポーネント (RT-Component: RTC) と呼ぶ⁽¹⁴⁾。

RT コンポーネントは、データ指向通信のためのデータポート、サービス指向通信のためのサービスポートさらに、モジュールの内部パラメータを操作するためのコンフィギュレーションといった機能を有する⁽¹⁵⁾。RT コンポーネントの基本機能のインタフェース定義は、国際標準化団体 OMG において標準化⁽¹⁶⁾されている。これにより、様々なシステムにおいて、プログラムの共有と再利用が可能になる。

Fig. 1 RTC (RT Component) and RTM (RT Middleware)

本研究では、RT ミドルウェアとして、産総研で開発ならびにオープンソースソフトウェアとしてリリースしている OpenRTM-aist-0.4.2⁽¹⁷⁾ を利用する。OpenRTM-aist はコンポーネントフレームワーク、ミドルウェア、基本ツール群等から構成される RT ミドルウェアの実装の一つであり、プログラミング言語として C++, Java, Python をサポートしている。

図 1 に RTC と RTM の関係を示す。RTC は、ある一まとまりの機能をモジュール化したソフトウェアの断片であり、その実体は RTM 上で実行される共有オブジェクト (shared object), DLL (dynamic link library) である。RTC 開発者は、自分が持っている制御アルゴリズムのコードや、既存のライブラリコード等 (コアロジックと呼ぶ) を、RTC Builder 等のツールによって自動生成される RTC の雛型コードに埋め込み、コンパイル (スクリプト言語では不要) することで、RTC を作成する。

RT コンポーネント化することで、コンポーネント間のデータまたはコマンドのやり取り、モジュール毎の状態の管理などを気に掛けることなく、主たるロジックの実装に集中することができる。また、異なる OS や言語で実行される RTC 同士もデータやコマンドのやり取りを自由に行うことができる。RT ミドルウェアの機能を利用することで、柔軟なシステムを容易に構築することが可能となる。

Fig. 2 Arm component

3. アームコンポーネント

生活支援ロボットの特徴は、ユーザがロボットを操縦するということである。ユーザがロボットを操縦するという事は、マンマシンインタフェースを介して、ユーザに開放されているロボットのコマンドを、ユーザの意志に沿って選択するという事である。自立動作支援アームが対象とする動作は、我々が日常手で行っているあらゆる動作であるが、ユーザによる操縦を前提とすると、自立動作支援アームが備えるべきコマンドは絞られ、共通化できる。そこで、自立動作支援アームが備えるべきコマンドを取り入れたアームコンポーネントを開発した。

自立動作支援アームを自分の腕の代用として使う場合、物を「掴む」「運ぶ」「解放する」という動作が基本動作となる。自立動作支援アームに求められる多様な動作は、これら三つの基本動作の組合せで実現できる。三つの基本動作を実現するためには、アームのサーボ起動・停止に関するコマンド、アームの運動に関するコマンド、ハンド開閉に関するコマンドをユーザに開放する必要がある。その他に、生活支援ロボットを使用する上で、頻度の高い定型動作をコマンドとして用意しておくと、ユーザの負担を軽減することができる⁽¹¹⁾。例えば、自立動作支援アームをユーザが使用しないときは、ユーザや周辺の人の活動を阻害しないよう、安全な状態に格納しておくことが望ましい。この場合、アーム格納状態への移動コマンドと、格納状態から作業準備状態への移動コマンドがあると、ユーザの負担を軽減することができる。さらに、ユーザが習慣的によく用いるアームの位置を記録しておき、その位置にアームを移動するコマンドが用意されていると、ユーザの使用形態に応じてカスタマイズされたコマンドを作成することができる。

Table 1 Commands in service port of the arm component

Command	Description
ServoOn	Servo on.
ServoOff	Servo off.
HandOpen	Hand open.
HandClose	Hand close.
Home	Move to home position.
Ready	Move to operation starting position.
SetControlMode	Set the arm control mode.
Move	Move to destination point. The destination point is described by joint angle of the arm.
GetDof	Get the degree of freedom of the arm.

以上の点を考慮し、図2に示すアームコンポーネントを開発した。アームコンポーネントは、アームの運動指令値として、関節角速度(JointVelocity)、または手先速度(Velocity)をデータポートから受け取り、アームの運動を生成する。アームの手先速度には、アームのベース座標系で記述した手先速度や、手先座標系で記述した手先速度など、基準となる座標系に応じて複数の手先速度が定義できる。そこで、本アームコンポーネントでは、基準となる座標系に対して、それぞれ手先速度のデータポートを用意するのではなく、制御モードの切り替えで動作の基準となる座標系を選択することとした。また、任意のタイミングでアームの関節角をマンマシンインタフェース側で記録できるよう、アーム関節角の現在値(CurrentAngle)をデータポートから出力する。

サービスポートには、表1に示すコマンドを定義した。Moveは、ユーザが記録した関節角にアームを移動するためのものであり、GetDofは、自由度の異なったアームに対応するため、ロボットの自由度をマンマシンインタフェースに通知するコマンドである。

次に、アームコンポーネントの実装例を示す。アームは分解速度制御により制御され、アームコントローラへは、関節角速度が指令値として与えられるものとする。図3は、実装したアームコンポーネントの内部状態を表したものである。本アームコンポーネントは、手先速度制御モード(VelControl)、関節角速度制御モード(JntVelControl)、関節角制御モード(JntControl)の三つの制御モードを持っている。手先

Fig. 3 Control state transition in the arm component

速度制御モードは、データポートから目標手先速度を受け取り、マンマシンインタフェースを介して、手動でアームの手先位置姿勢を制御するモードである。手先速度は、アームのベース座標系で記述したものをデフォルトとしているが、他の座標系で記述しても良い。異なった座標系で記述した手先速度制御を混在させる場合には、制御モードを追加する。尚、手先速度には、安全のために上限を設けている。関節角速度制御モードは、データポートから目標関節角速度を受け取り、アームの関節角を制御するモードである。関節角速度には、安全のために上限を設けている。関節角制御モードは、Home, Ready, Move コマンドが選択されたときに自動的に選択される制御モードで、目標関節角を受け取り、現在値から目標関節角までの間を軌道制御を行いながら移動するモードである。本モードは、安全のためいつでも割り込みが可能で、軌道の途中で動作を停止し、他の制御モードに移行することができる。サーボ起動時のデフォルト制御モードは、手先速度制御モードを設定している。

アームコンポーネントが起動されると、まずアームのソフトウェアモジュールの初期化が行われ、サーボ停止状態となる。サーボ停止状態では、アームのコントローラにはゼロで初期化された関節角速度指令値が出力され、マンマシンインタフェースからのコマンドは、ServoOn コマンド以外は一切受け付けない。ServoOn コマンドにより、サーボ起動状態になると、制御モードはデフォルトの手先速度制御モードに移行する。制御モードの切り替えは SetControlMode コマンドにより行う。

本アームコンポーネントの特徴は、アームのコンフィグレーションや自由度数が異なったロボットでも、アームのソフトウェアモジュールに記述された順キネ

Fig. 4 Configuration of the man-machine interface

マとヤコビアンを計算する関数のみを変更することで、同じソフトウェアインタフェースを持ったアームコンポーネントが作成できることである。

これまで、汎用ロボット PA10 (三菱重工 (株)) と、自立動作支援アーム iArm (オランダ, Exact Dynamics 社) について、実機とグラフィックスのアームコンポーネントを作成した。PA10 は 7 自由度アームであるが、S3 軸を固定して、6 自由度アームとしている。

4. マンマシンインタフェース (MMI)

自立動作支援アームを操縦するためのマンマシンインタフェースの構成を図 4 に示す。マンマシンインタフェースは、1) 入力デバイス、2) スキャンメニュー、3) マンマシンインタフェースソフトウェアモジュールから構成される。以下、それぞれについて説明する。

4.1 入力デバイス 入力デバイスは、ユーザがロボットを操縦するための入力機器である。入力デバイスとして、ユーザの残存機能や、ロボットへの要求動作に応じて、シングルスイッチ、キーパッド、トラックボール、ジョイスティックなど様々なデバイスが用いられる。これらのデバイスは、計算機と USB 接続できるものが多く開発されており、ユーザによる入力デバイスの操作は、ボタンやジョイスティックの USB HID クラスのイベントとして検出される。入力デバイスから出力されるイベントに、アームコンポーネントで定義されたロボットのコマンドを割り当てることで、様々なマンマシンインタフェースが定義できる。

4.2 スキャンメニュー スキャンメニューは、シングルスイッチなど、ユーザがロボットを操縦するのに必要な十分な数のボタンやスイッチが入力デバイスにない場合に、それを補うものである。図 5 は、我々が開発した自立動作支援アームの操作メニューパネルである⁽¹²⁾。本操作パネルは、操作メニュー上をカーソルがスキャンしており、シングルスイッチをクリックすることで、カーソル上のコマンドが選択され、そのコ

Fig. 5 Scanning Panel for operating a life support robot

マンドに対応したイベントがマンマシンインタフェースのソフトウェアモジュールに送られる。

4.3 ソフトウェアモジュール マンマシンインタフェースのソフトウェアモジュールは、入力デバイスやスキャンメニューから送られてくるイベントに対して、アームコンポーネントで定義されたロボットのコマンドに関連づけるものである。本ソフトウェアモジュールは、図4に示すように、様々な入力デバイスに対して共通に記述できる部分と、個別に記述しなければならない部分とに分け、汎用マンマシンインタフェースクラスと、その派生クラスである個別マンマシンインタフェースクラスで構成した。

汎用マンマシンインタフェースクラスは、特定の入力デバイスを仮定せず、自立動作支援アームのマンマシンインタフェースとして持つべきパラメータと関数を定義している。具体的には、パラメータとして、アームの自由度、アームの現在関節角、関節角速度指令、手先速度指令、記録された関節角 (n 点) が定義されている。また、関数として、アームコンポーネントのサービスポートで定義されたコマンドに対応したプロキシ関数が定義されている。具体的には、サーボの起動・停止コマンド (ServoOn, ServoOff)、ハンド開閉コマンド (HandOpen, HandClose)、アーム格納状態への移動コマンド (MoveHome)、格納状態から作業準備状態へ

Fig. 6 Man-machine interface component

の移動コマンド (MoveReady)、アームの制御モード設定コマンド (SetControlMode)、記録された関節角への移動コマンド (MoveMemAnglen, $n=1,2,\dots$)、アームの自由度取得コマンド (GetDOF) である。その他に、ユーザが習慣的に良く用いるアームの位置 (関節角) を記録するための関数 (SetMemAnglen, $n=1,2,\dots$) を定義した。

個別マンマシンインタフェースクラスは、個々のマンマシンインタフェースに対して個別処理を行うクラスである。具体的には、入力デバイスまたはスキャンメニューから送られてくるイベントに対して、汎用マンマシンインタフェースクラスで定義されたコマンドまたは速度指令値を対応づける処理を行う。入力デバイスから送られてくるイベントに対して、異なったコマンドを対応づけることにより、別のマンマシンインタフェースが定義できる。例えば、ユーザとロボットの位置関係に応じて、ジョイスティックに異なった運動指令方向を割り当てることで、別のマンマシンインタフェースを定義することができる。また、イベントとコマンドの対応付けは、ユーザに対する安全性を十分考慮して行う。例えば、入力デバイスのボタン押下イベントに対してロボットの動作開始を割り当て、ボタン開放イベントに対してロボットの動作停止を割り当てることで、ユーザがボタンを押している間のみロボットが動作するようにできる。こうすることで、ユーザに対する安全性を向上することができる。尚、生活支援ロボットの安全確保については、ソフトウェアばかりでなく、ロボットの制御回路を二重にするなどハードウェア的にも安全を確保しなければならない。

4.4 マンマシンインタフェースコンポーネント RTMを用いて、マンマシンインタフェースソフトウェアモジュールを RT コンポーネント化した。マンマシ

ンインタフェースコンポーネントは、汎用マンマシンインタフェースのポインタを内部に持ち、そのポインタに個別マンマシンインタフェースを割り当てている。図 6 に開発したマンマシンインタフェースコンポーネントを示す。本マンマシンインタフェースコンポーネントは、アーム関節角の現在値 (CurrentAngle) をデータポートから受け取り、アームの運動指令値として、関節角速度 (JointVelocity), または手先速度 (Velocity) をデータポートから出力する。

4.5 マンマシンインタフェース実装例 これまで、図 7(a) に示すトラックボール型入力デバイス、図 7(b)(c) に示すジョイスティック型入力デバイスおよび、スキャンメニュー (図 5) のマンマシンインタフェースコンポーネントを作成した。図 7 に示したトラックボール型入力デバイス、およびジョイスティック型入力デバイスは、安全のためにボタンを押している間のみロボットが動作するようにした。また、トラックボールおよびジョイスティックの操作イベントには、ロボットアームへの速度指令値が割り当てられており、ユーザがトラックボールやジョイスティックを操作していないときは、マンマシンインタフェースコンポーネントのデータポートからゼロで初期化された目標速度が出力されるようにした。図 5 のスキャンメニュー型パネルインタフェースでは、シングルスイッチを一度押すことで、ロボットの動作が開始し、もう一度押すことで、ロボットの動作が停止する。

図 7(c) のジョイスティック型入力デバイスは、我々が自立動作支援アーム操作用入力デバイスとして開発したものである。本ジョイスティックは、アームの運動を手動操作するためのジョイスティック、ハンド開閉ボタン、Home/Ready ポジションへの移動ボタン、ジョイスティックで操作可能なアーム運動軸選択ボタン、緊急停止ボタン、アームの運動モードを表示する LED から構成されている。ユーザは、ジョイスティックを操作することで、同時に二軸のアームの運動を操作できる。アームの運動軸選択ボタンを押すと、ジョイスティックで操作できるアームの運動軸が変更され、LED の表示が変わるようになっている。また、緊急停止ボタンは、アームコンポーネントの Servo On/OFF を行うとともに、別系統の回路でアームの電源を ON/OFF できる仕様になっている。

5. 動作確認

作成したアームコンポーネントとマンマシンインタフェースコンポーネントを RT System Editor⁽¹⁷⁾ で接続し、動作確認を行った。図 8 は、グラフィクス Pa10 と

Fig. 7 Trackball and joystick type man-machine interfaces

スキャンメニュー型パネルインタフェースの RT コンポーネントの RT System Editor による接続図である。ここで、Pa10.Simulator, Panel.Interface はそれぞれ、グラフィクス Pa10, スキャンメニュー型パネルインタフェースの RT コンポーネント名を表す。また、図 9 に、スキャンメニュー型パネルインタフェースによるグラフィクス Pa10 の操作実験の様子を示す。

これまでに作成したその他のアームコンポーネント

Fig. 8 Connection between man-machine interface component and arm component on RT System Editor

Fig. 9 Experimental scene

と、マンマシンインタフェースコンポーネントの任意の組合せについても図8と同様に接続し、動作確認を行った。このように、アームとマンマシンインタフェースのプログラムをRTコンポーネントとすることで相互利用が可能になり、新しいアームとマンマシンインタフェースの導入が容易になる。

6. 結 言

自立動作支援アームとマンマシンインタフェースのプログラムを、共通のソフトウェアインタフェースを持つRTコンポーネントとすることで、ソフトウェアモジュールの相互利用を可能とし、多様なマンマシンインタフェースとロボットを統一的に接続できることを示した。RTコンポーネントの仕様は、OMGにおいて標準化されており、新規アームやマンマシンインタフェースのプログラムをRTコンポーネント化することで、容易にシステムに組み込むことができる。

開発したアームコンポーネントは、アームの運動指令値として、関節角速度、または手先速度をデータポートから受け取り、アーム関節角の現在値をデータポートから出力する。また、自立動作支援アームが備えるべきコマンドを選定し、サービスポートに、そのコマンドを定義した。本アームコンポーネントの特徴

は、多様なロボットアームに対して、ソフトウェアモジュールの順キネマとヤコビアンを計算する関数を変更することで、同じソフトウェアインタフェースを持ったアームコンポーネントが作成できることである。

マンマシンインタフェースは、入力デバイス、スキャンメニュー、ソフトウェアモジュールにより構成し、ソフトウェアモジュールは、様々な入力デバイスに対して共通に記述できる部分と、個別に記述しなければならない部分とに分割した。本マンマシンインタフェースコンポーネントの特徴は、多様な入力デバイスに対して、ソフトウェアモジュールの個別マンマシンインタフェースクラスの内容を変更することで、同じソフトウェアインタフェースを持った様々なマンマシンインタフェースコンポーネントが定義できることである。

これまで Pa10 と iArm の実機およびグラフィックスのアームコンポーネントと、トラックボール、二種類のジョイスティック、スキャンメニューのマンマシンインタフェースコンポーネントを作成し、アームとマンマシンインタフェースの任意の組合せで動作できることを確認した。これにより、被介護者の残存機能やロボットへの要求動作に応じた、カスタマイズや拡張機能を確保した自立動作支援アームシステムの実現が容易になる。

文 献

- (1) Whittaker, M., HANDY 1 Robotics Aid to Eating: A Study in Social Impact, *RESNA International '92*, (1992), pp. 589-594.
- (2) Hawkins, P., and Topping, M., The Design and Development Process for the HANDY 1 Robotic Aid to Eating and Drinking, *Proceedings of International Conference on Rehabilitation Robotics*, (1997), pp. 135-138.
- (3) Ishii, S., Hiramatsu, F., Tanaka, S., Meal-assistance Robot as a self-help device - Improvement of the First Model - (in Japanese), *Proceedings of 8th RESJA Annual Conference*, (1993), pp. 563-566.
- (4) Ishii, S., Meal-assistance Robot "My Spoon", *Journal of the Robotics Society of Japan*, vol.21, No.4, (2003), pp. 378-381.
- (5) Verburg, G., Milner, M., Naumann, S., Bishop, J., and Sas, O., An Evaluation of the MANUS Wheelchair-Mounted Manipulator, *RESNA International '92*, (1992), pp. 602-604.
- (6) Suzuki, K., Mito, G., Kawamoto, H., Hasegawa, Y., Sankai, Y., Intention-Based Walking Support for Paraplegia Patients with Robot Suit HAL *Advanced Robotics*, Vol.21, No.12, (2007), pp.1441-1469.
- (7) Tejima, N., Rehabilitation Manipulator for Eating, *Journal of the Robotics Society of Japan*, vol.14, No.5, (1996), pp. 624-627.

- (8) Tejima, N., Rehabilitation Robots for the Elderly - Trend and Future -, *Journal of the Japan Society of Precision Engineering*, vol.65, No.4, (1999), pp. 507-511.
- (9) ROBOT LABORATORY. "Situation of service robot in nursing and welfare field" (in Japanese). ROBOT LABORATORY FUTURE LIFE DESIGN. (online), available from <http://www.robolabo.jp/modules/d3blog2/details.php?bid=30>, (accessed 2010-1-26).
- (10) Heredia, E. A., Chen, S., Glass, R., Rahman, T., and Kumar, V., Evaluation of Force Feedback in Rehabilitation Robots, *Proceedings of International Conference on Rehabilitation Robotics*, (1997), pp.103-106.
- (11) Cook, A., Meng, M., Gu, J., and Howery K., Development of a Robotic Device for Facilitating Learning by Children Who Have Sever Disabilities, *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol.10, No.3, (2002), pp.178-187.
- (12) Wakita, Y., Yamanobe, N., Nagata, K., and Mathias, C., Customize Function of Single Switch User Interface for Robot Arm to Help a Daily Life, *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, (2008), pp.294-299.
- (13) Tejima, N., Fukuda, S., Komeda, T., Funakubo, H., A Basic Study about Voice Operation of Robotic Aids (I) - Evaluation of Voice Instruction of Two Dimensional Position and Direction -, *Proceedings of the 13th Annual Conference of the Robotics Society of Japan*, (1995), pp.1035-1036.
- (14) Ando, N., Suehiro, T., Kitagaki, K., Koutoku, T., and Yoon, W., RT-Middleware: Distributed Component Middleware for RT (Robot Technology), *Proceedings of International Conference on Intelligent Robots and Systems*, (2005), pp.3555-3560.
- (15) Ando, N., Suehiro, T., Koutoku, T., A Software Platform for Component Based RT-System Development : OpenRTM-Aist, *International Conference on Simulation, Modeling and Programming for Autonomous Robots*, (2008), pp.87-98
- (16) Object Management Group, Robotic Technology Component Specification Version 1.0, formal/2008-04-04, (2008).
- (17) Intelligent Systems Research Institute, AIST. "RT-Middleware: OpenRTM-aist Official Web Site". OpenRTM-aist Official Web Site. (online), available from <http://www.openrtm.org/>, (accessed 2010-1-26).