

ヒトとともに未来に向かって進化する 次世代産業用ロボット「NEXTAGE」

日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門技術実績賞 受賞

■ 取り組み

■ 開発概要

■ 画像処理技術

■ マーケティング計画

最新鋭ロボット動画集 <http://www.youtube.com/user/KTIkawadaGroup>

次世代産業用ロボット「NEXTAGE」への取り組み

An Approach to the Next Generation Industrial Robot named NEXTAGE

五十棲 隆勝

川田工業株式会社 執行役員
機械システム事業部長

中畑 光明

川田工業株式会社 技術研究所
情報機械研究室室長

本稿では、機械システム事業部が開発を進めている次世代産業用ロボット「NEXTAGE」の社会的背景を説明する。「NEXTAGE」を一言で表すと人間と協業可能な人間の扱う生産用の道具である。日本のものづくりが危機にあると言われているが、今後内需に期待できない日本の製造業は、今までと同じやり方で経済を導いていくことは難しい。高い労働単価を維持し減少する労働力を補っていきける方策を手当てをするために、人とインタラクションをとって働く人を直接的に支援するロボットが必要になってきている。「NEXTAGE」は、この社会的背景に対するヒューマノイドロボットからのアプローチである。

キーワード：次世代産業用ロボット、ヒューマノイドロボット、人間協調型ロボット、人間共存型ロボット、人の補完

双腕ロボット概説

「NEXTAGE」を一言で表すと人間と協業可能な人間の扱う生産用の道具である。商品のキーワードは人間協調、人との共存そしてオートマチックである。我々はこれらを網羅する技術として「モーションコントロール技術」という言葉を使っている。商品開発の始まりは2004年6月に遡るが、モーションコントロール技術の取り組みは、1993年の自社ヘリコプタに搭載したアクチュエータでありここが出発点である。培った技術と時代の流れを読み、社会的要求を先取りして産み出したロボットが「NEXTAGE」であり、2010年いよいよ市場で評価されることになる。

1. 双腕ロボットとは

なぜ双腕ロボット？よく聞かれる質問である。その

答えはロボットを誰のために何の目的で造るのにかにある。川田工業のロボットは2足歩行を始まりとしている。その系譜はHRP-2に代表されるヒューマノイドロボットの開発であり、人との係りをテーマにしてきたのである。産業用ロボットはプログラムされた作業を実行することが使命であるが、ヒューマノイドロボットはそれ自身では存在の意義が薄く、人間とのインタラクションがあることが前提で存在し造られるのである。エンターテイメントも主要なインタラクションであるが、川田工業では、人と一緒に働くヒューマノイドロボットを造ることが開発に携わる技術者の目標になっていった。働くヒューマノイドロボットが双腕であることはごく自然なことなのである。川田工業が双腕ロボットにこだわる理由がここにある。

2. 社会的背景

日本のものづくりが危機にあると言われている。世界経済の成長がBRICs、特にGDP世界第2位になった中

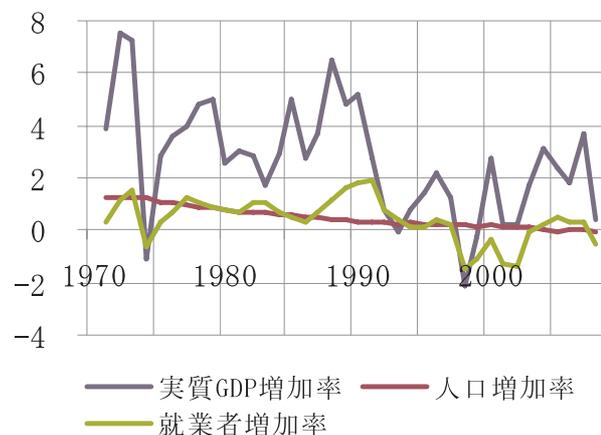


図1. 実質GDP・人口・就業者増加率 (%) 1), 2), 3)

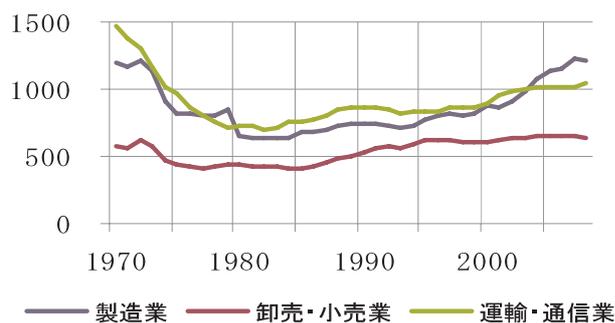


図2. 一人当たりの実質GDP 単位：万円
(消費者物価指数にて調整)^{2), 3), 4)}



図3. ロボット出荷額 単位：億円⁵⁾

国に移ってきているからである。世界経済がグローバル化し、安価な労働力を求めた結果、中国は世界の工場と言われるようになり日本の多くの製造工場は、労働単価と労働の質が見合う海外に移されたのである。また日本においては少子化・高齢化という社会的背景がある。経済成長をGDPの増加とみるならば、日本の人口は増加する必要がある。図1に日本の実質GDP、人口と就業者の増加率を示す。GDPと人口増加率は明らかに正の相関があり、人口が減少すればGDPも減少する。2005年に日本の総人口は減少を始め2030年にはそれから約1000万人の労働力が減少すると予想されている。

製造業においても実質GDPと就業者の増加率の関係は同様であり、就業者増加率は1980年代に負になり減少率が少しずつ大きくなっている。実質GDPは景気の高谷があるが、総体的にバブル崩壊前は減少していたが後は下げ止まっている。これは製造業において、バブル崩壊後グローバル化による生産の海外移転に伴い、一人あたりの実質GDPが増加していることで確認できる。労働単価の低いものは海外生産にして国内は付加価値の高いものを生産するとともに生産システムの改良を行って生産性を向上していったことが考えられる。

リーマンショックによる金融不安から世界経済は綻びを露呈した。先進国の個人消費は落ち込んだが、中国に代表される大人口をかかえる国々は旺盛な内需に支えられ経済成長が続いている。内需に期待できない日本の製造業は、今までと同じやり方で経済を導いて

いくことは難しい。高い労働単価を維持し減少する労働力を補っていきける方策を手当てしなければならない。作業の自動化もそれを設計し管理する人的資源と投資効率の面から限度がある。働く人の労働の質についても単純作業では高い労働単価を得ることはできない。

3. 次世代産業用ロボット

ここで製造業のロボット工業に目を向けてみる。我が国の産業用ロボットは、1970年代の実用化時代を経て1980年の普及元年から多種少量生産の新しいシステムの中核を担う機械として生産額を増やしたが、1990年代のバブル崩壊により国内出荷額は2000から3000億円で推移している。一方、輸出は強い国際競争力によりその額を増やし2000年に国内出荷額に並んだ後上回る状況が続いている⁶⁾。今後も中国、アジアへの輸出の増加が予想される。

疑問に思われるのは国内出荷額が十数年変わっていないことである。産業用ロボットは、危険な作業や劣悪な労働環境に携わる人の代替もしくは人力では成し得ない作業に対して開発され使用されてきた経緯があり、人の安全を確保するためにロボットを隔離して使用している。このため産業用ロボットは専門家の扱う機械であって家電のように身近に存在するものではない。自動車は直接人が操縦することにより人に安全が委ねられている。産業用ロボットはプログラムされた作業を実行するものであり、この絶対安全性が問われている。最近では機能安全について整備が進んでいるが、

隔離なしで安全を確保するにはなお相当の時間とコストを払わねばならないと思われる。

減少していく労働人口を補い、人とインタラクションをとって働く人を直接的に支援するロボットが必要になってきている。産業用ロボットでの解決があまりに時間が必要ならば、ヒューマノイドロボットからアプローチすることができる。2009年の国際ロボット展において川田工業が次世代産業用ロボット「NEXTAGE」を発表したのはこの流れである。安全については、本質安全を目指すことで解決できると考えている。本質安全とは危険回避である。人の大きさで速さも出力も人同等のロボットならば実現する可能性が高い。もっとも全てが本質安全にできる訳ではなく、危険回避のできない部分はロボットの運用でカバーすることになる。

次世代産業用ロボットが具備すべき要件として安全の確保の他に使い易さがある。プログラムされた作業の環境が少し変わると実行が破綻するのでは環境の維持に労力が必要になる。またプログラムの作成においては教示という現場に合わせる過程があり大きな労力を強いられている。これらをいかに簡素化できるかが使い易さに係ってくる。NEXTAGEでは視覚情報をロボットシステムに取り込むことで解決を図っている。視覚情報により自己位置の同定、物体の位置検出と認識を行い作業環境の変化に追従させている。これは教示の過程にも有効でありプログラム作成の労力の軽減に大きな助けとなる。

4. 我々が目指す社会

NEXTAGEというロボットは、決して代替労働力を提供するものでない。このロボットは人を補完するために造られる。機械化すると高いコストがかかるために人が行っている作業、単純ではあるが不定形の連続作業といった人が苦手とする作業や人が行わなくても良い作業を簡単な指示で行う、お助けロボットなのである。効率追求形のロボットではなく人の作業に合わせて課せられた作業を行うのである。

生産現場において、ロボットにできることはロボットに任せ、人は人にしかできない工程管理、改良や調

整といった作業を行うのである。非力なロボットにできることはまだ少ないが、作業環境の変化への適応性と人サイズを生かし複数のロボットが協調すれば大きな作業もできるのである。

ヒューマノイドロボットからのアプローチは今始まったところである。しかし、人とロボットが一緒に働くことにより人の役割が明確になりロボットが生産現場の大きな力となって人間社会に貢献することを願うものである。最後に我々のイメージする将来の生産現場の一枚の絵を図4に掲載する。

参考文献

- 1) 厚生労働省 平成20年人口動態統計の概況
- 2) 内閣府 平成20年度国民経済計算確報
- 3) 内閣府 平成10年度国民経済計算確報
- 4) 政府統計 平成17年基準消費者物価指数 2010年3月16日
- 5) 年間統計推移表 社団法人日本ロボット工業会2009年6月19日
- 6) 21世紀を切り開く日本のロボット産業 社団法人日本ロボット工業会

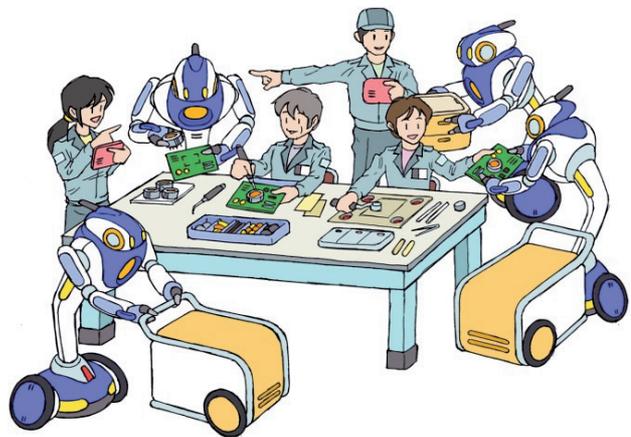


図4. 我々のイメージする将来の生産現場

次世代産業用ロボット「NEXTAGE」の開発概要

Development of the Next Generation Industrial Robot, NEXTAGE

長嶋 功一

川田工業株式会社システム事業部
ロボティクス部設計課係長

石崎 雅一

川田工業株式会社システム事業部
ロボティクス部設計課係長

宮森 剛

川田工業株式会社システム事業部
ロボティクス部設計課係長

金平 徳之

川田工業株式会社システム事業部
ロボティクス部設計課係長

NEXTAGEは軽量コンパクトで、なおかつ本質安全を実現するように設計されている。首部2、腰部1、各腕6の合計15自由度で構成され、自社開発したモータドライバと制御用PCを内蔵するコントロールボックス、および画像処理用PCによって制御される。頭部の2つのカメラは、ワークや周辺装置に貼られたクロスマークの位置を立体的に計測し、対象物の識別と位置計測を行う。クロスマークに対する相対位置で手先をティーチングしておくことで、ロボットや周辺装置、ワークなどが多少移動しても再ティーチングすることなく作業が遂行される（簡便設置機能）。カメラは手先にも搭載されており、ネジ穴位置の計測など、各作業工程に特化した画像処理を組み込むことも可能である。本稿では作業の例として電子基板を板金部品にネジ締めする作業を紹介する。

キーワード：次世代産業ロボット、上半身型ヒューマノイド、双腕ロボット、NEXTAGE、簡便設置、システム構成

はじめに

2009年国際ロボット展に発表した次世代産業用ロボットNEXTAGEはそれまでの産業用ロボットとは異なり、防護柵を取り払って人と一緒に作業する未来の生

産現場のイメージを来訪者に強く示すことができた。その結果、2010年6月、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門から、部門技術業績賞を受賞した。贈賞理由として以下の言葉をいただいている。

NEXTAGEは、「ヒトと共存できる作業ロボット」というコンセプトのもとに、製造現場の安全性確保と生産性の向上の両立を図って開発された産業用ロボットである。ヒトサイズで人間に対して親和性のある意匠が特徴であり、ヒューマノイドロボット開発技術が応用されている。低出力モータの採用に加え、ロボット本体の安全関連部位の二重系統化や、外部PCとの連携といったシステムの多重化など安全性確保のための技術が投入されている。これらはロボティクス・メカトロニクスの分野における萌芽的かつ発展性のある技術開発面での業績であり、部門技術業績賞にふさわしいと認められ、部門表彰委員会・運営委員会の議を経て、贈賞を決定した。

本稿では、NEXTAGEの仕様、機能、システム構成を概説し、ロボットの技術的特徴を説明する。さらに、実際の生産現場へ応用された例を報告し、NEXTAGEが持つ可能性の一端を紹介する。

軸構成	腕6軸×2 腰1軸 首2軸 計15軸	
本体寸法	高さ	730mm
	肩幅	576mm
	奥行き	250mm
本体質量	28kg	
可搬質量	1.5kg/片腕、3.0kg/両腕	
原動機	80W以下	
手首	空圧	4系統
プロビジョン (片腕)	制御信号	AWG24相当 0.1mm ² 9本
	USB	1系統

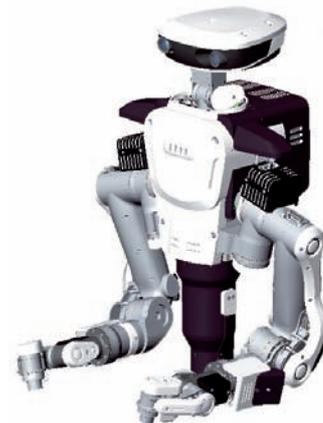


図1. NEXTAGEロボット本体仕様

1. NEXTAGEのハードウェア仕様

図1にNEXTAGEロボット本体の仕様を示す。以下に本ロボットの特徴を説明する。

・双腕仕様

NEXTAGEはこれまでの産業用ロボットとは異なり2腕を有する。これは、片手でワークを把持しもう一方の手でツールを扱う、或いは両手でワークを専用機にセットし専用機を操作する、というような人間と同じ動作を実現するための形態である。「治具レス」という課題が生産現場からの切実な要求であるが、NEXTAGEでは双腕という形態によってこの要求を満たすことを目指している。

・コンパクト、軽量

本ロボットは家電製品や自動車関連部品の組み立て或いは流通作業現場において、人の作業空間に人と協調して作業することを想定して開発されている。近年の組み立て現場は「変種変量生産」という言葉に代表されるように、様々な品種や量の製品の生産に臨機応変に対応することが求められている。したがって、導入するロボットにも、省スペースで移動・設置が簡単にできることが求められる。本ロボットの開発においては、それまでのヒューマノイドロボット開発で蓄積されたコンパクト設計のノウハウを生かし、ロボットを人と同等のサイズにまとめ上げることに成功した。

・本質安全を目指したハードウェア設計

人と共存・協調して作業するロボットに必要な要素が安全性である。機械安全には「本質安全」と「機能安全」という2つの考え方がある。前者はハードウェア自体を安全に作るという考え、後者はソフトウェアにて安全性を確保するという考えである。ソフト

ウェアにて安全性を確保することは、近年のコンピュータ技術を持ってすれば比較的容易に実現できそうであるが、以下の点に課題を有している。

一人を検知するセンサ等の導入コストの増大

一プログラムが十分な信頼性を持っているということに対する証明のプロセスが煩雑且つ膨大

そこで、本ロボットでは、まず、ロボットのハードウェア自体をまず安全に作るという「本質安全設計」を目指して開発を行った。

肘部を例に挙げる。図2に示すように、この関節が最大に屈曲されても、指の挟まれなどに対して十分な余裕があるように配慮して構造設計を行っている。

また、採用している各モータの定格出力を80W以下に制限していることも安全に配慮した設計の一例である。

但し、実際の運用に当たっては、エンドエフェクタに装備する機器の安全性などが全体の安全性に影響するため、個別にリスクアセスメントを行い、残留リスクを確認した上で導入していただくことを指針として定めている。

・大きな可動範囲

図3にロボットの可動範囲を示す。各6軸の腕部に加え、腰に旋回軸を有していることで、手先の到達範囲が体の周囲全体に及ぶように設計を行っている。セル生産分野などでは、あらかじめ定まった位置にパーツや工具があるとは限らない。可動範囲が大きいことは、ロボット用に準備されていない環境に対しロボットを導入する際に有効に作用する。

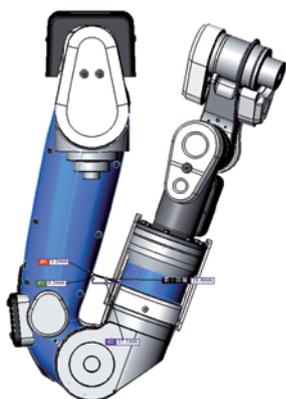


図2. 最大屈曲時の肘部の様子

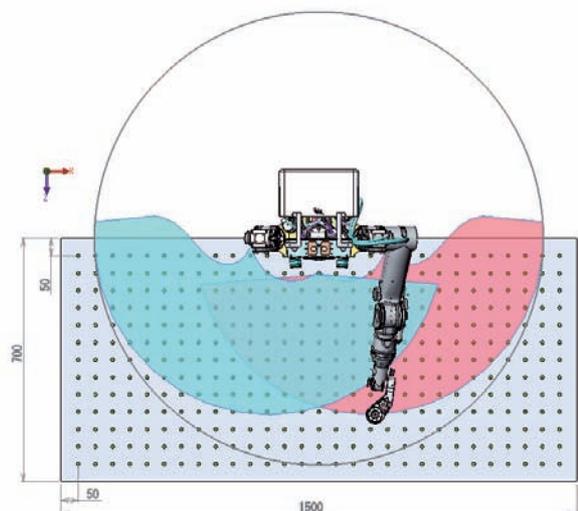


図3. NEXTAGEの可動範囲

・組み込まれたビジョンシステム

NEXTAGEには、頭部に2眼のステレオシステム、両手首に単眼のカメラを装備している。2眼ステレオシステムはグローバルアイと呼ばれ、ワークに対するロボットの位置を認識するために用いられる。当社で開発したクロスマークによる簡便設置機能(後述)を実現するための手段となっている。手首のカメラはハンドアイと呼ばれる。より接近した位置で物体を認識することで、ワークに対するハンドの位置を正確に検出することが可能である。

NEXTAGEが「変種変量」の生産ラインで活躍するためにはこのビジョンシステムの応用が重要であると考えており、後述する用途例においてもこれらのカメラを駆使することで複雑な工程に対処している。



図4. 自社開発のDCブラシレスモータドライバ

・絶対位置センサの内蔵

各関節軸には、関節の角度を測る手段として、インクリメンタルエンコーダに加え、絶対位置センサを装備している。この絶対位置センサは本ロボット用に特別に開発した。バックアップ電池を用いることなしに関節の現在位置を正確に検知することができるため、ロボットの利便性向上とコンパクト化の両立に寄与している。将来的には関節角度の2重検知による安全性の向上の手段としても用いる予定である。

・モータドライバの自社開発

NEXTAGEの関節駆動にはDCブラシレスモータが採用されている。当社では、このモータを駆動するためのモータドライバを、ロボットの関節の動作性能を決める基幹部品と位置づけ、自社開発により製品化を行った。図4にその外観を示す。小型でありながら、2軸駆動、通信制御を可能としている。

2. NEXTAGEのシステム構成

図5にロボットのシステム構成を示す。図中、グローバルアイとハンドアイはロボット本体に含まれる。ロボットコントローラと視覚サーバ(画像処理用PC)は移動台座内に収納される。ロボットは移動台座上に設置される。

エンドエフェクタや外界センサの制御はI/Oターミナルを通じて行う。これらの信号の入出力は簡単なプロ

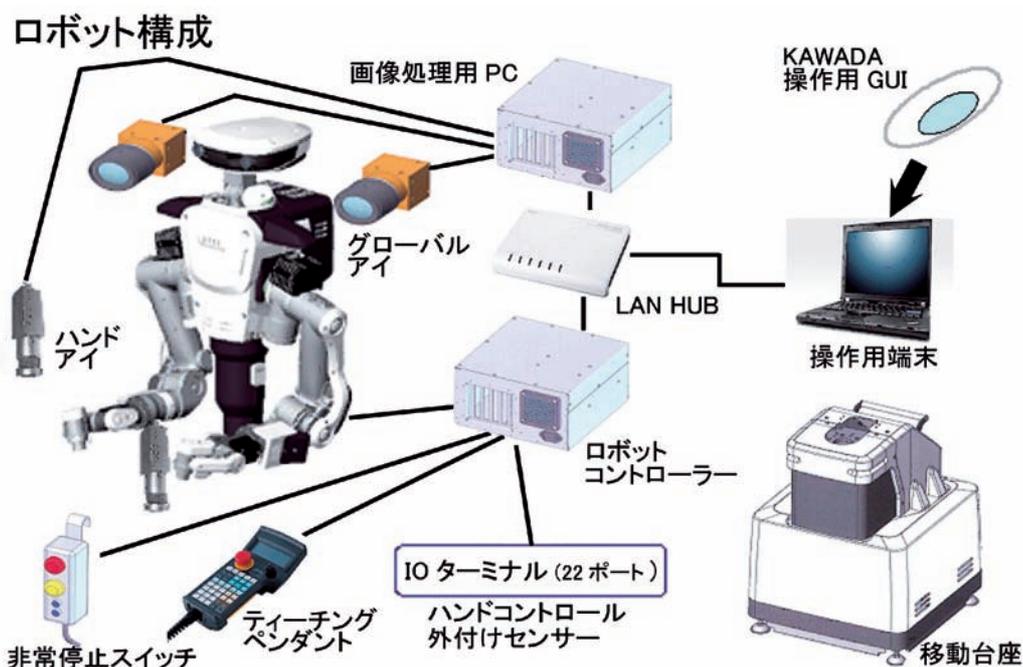


図5. NEXTAGEシステム構成

グラミングによってロボットに取り込めるようになってきている。2009年の国際ロボット展では、レーザレンジセンサを外部センサとして接続し、人がロボットに近づくとロボットの動作速度が遅くなるというデモを行った。このように外部機器との連携が容易であることもロボットシステムの特徴の一つとなっている。

ロボットへの教示はティーチングペンダント或いは操作用の端末PCにより行う。教示やその他のロボット操作を容易に行うためのGUIコントロールソフトウェアが用意されており、端末PCにインストールすれば、容易にロボットを操作することが可能である。

3. ソフトウェア概略

NEXTAGE は、コントロールボックス内の制御用 PC とロボット外部の画像処理用 PC（または操作端末 PC）の2つの PC で制御を行う。画像処理用 PC は、カメラ画像から動作位置を計算し、制御用 PC へ動作命令を発行する。制御用 PC では動作パターンを生成し、モータドライバへの動作指令を送信して NEXTAGE を動作させる。また、サーボのON/OFF や、非常停止、一旦停止などの状態制御も制御 PC で行っている。基本的に動作指令は画像処理用 PC や操作端末 PC が発行し、制御用 PC がそれを受けてロボットを動かす構成となっている。

制御用 PC と 画像処理用 PC は、TCP/IP (Ethernet) 上の CORBA フレームワークで通信する。動作生成や動作制御、画像処理など、各機能ごとに CORBA フレームワーク上のモジュールとして構成しており、画像

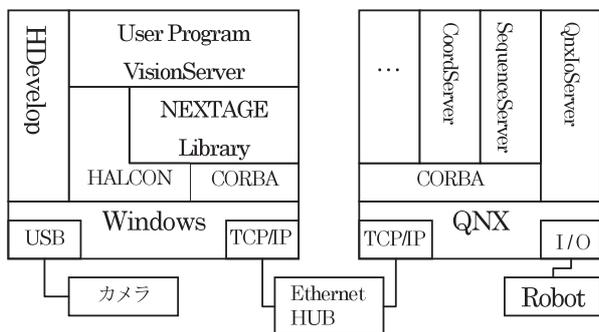


図6. ソフトウェア概略



図7. クロスマーク

処理を行う VisionServer や、座標系を管理する CoordServer、簡易動作シーケンスを管理する SequenceServer、直交座標系での台形速度パターンを生成する LinearPlugin などから構成される。

制御関連のモジュールは高い信頼性とリアルタイム性が要求されるため、制御用 PC では OS としてカナダ QNX Software Systems 社の QNX Neutrino RTOS を採用し、画像処理用 PC、操作端末 PC ではデベロッパによるプログラム開発を容易にするため、Windows を採用している。

4. クロスマーク認識による簡便設置機能

NEXTAGE では頭部のステレオカメラで画像処理を行い図7のようなクロスマークの3次元位置を計測することができる。クロスマークの大きさはカメラの視野の広さや認識精度との関係で決まるが、通常 1~2cm 程度のものを使用している。このクロスマークをあらかじめ周辺装置や治具等に複数貼り付けておくと、周辺装置等の種類や位置姿勢を同定することができる。

この複数のクロスマークのセットのことを本システムでは「マーカー」と呼んでいる。1つの装置に対して1つのマーカーが対応する。マーカーは、3つ以上のクロスマークで構成し、かつ、それぞれの相対位置関係がマーカー間で異なるようにしておく必要がある。クロスマークを3つ以上とすることで、マーカーの位置だけでなく姿勢（向き）も計測することができる。ティーチング時にマーカーとの相対関係（マーカー座標系基準）で手先位置を登録しておけば、作業実行時には自動的に周辺装置の位置に合わせて手先位置が補正されるので、ロボットや周辺装置をアンカーなどで固定する必要がなく、設備投資や段取りがえのコストの低減を図ることができる。この機能のことを「簡便設置」と呼んでいる。

5. 座標系と動作パターン

ロボットの動作は、基本的に各部位（腰、首、右腕、左腕）毎に Point-To-Point で指令する。ただし、動作が終了する前に別の部位を動かすことができるので、複数の部位を同時に動かすこともできる。

動作の目標として、各関節角度を指定する方法と、直交座標系での手先などの位置・姿勢を指定する方法とがある。直交座標系で指定する場合、ロボットの基準座標系 BaseCS や正面座標系 FrontCS などシステムが用意している座標系の他に、ユーザーが座標系を設定することもできる。

簡便設置機能でもユーザー座標系を活用しており、マーカーを認識すると BaseCS を基準としてマーカー座標系が自動的に設定されるので、このマーカー座標系を基準に手先の位置・姿勢をティーチングすることにより、動作実行時（プレイバック時）には、画像で位置を検出した周辺装置に対する相対位置で手先を正確に動かすことが可能となる。

動作パターンは台形速度パターンを使用している。関節角度値での台形速度パターンと直交座標系での台形速度パターンの2種類があるが、関節角度値では定速時は常に最大速度となるのに対して直交座標系ではそうならないので、関節角度値の方が動作時間は短い。ただし、手先位置がどのように動くかは容易には想定しがたいので、周辺装置との干渉に十分な注意が必要となる。

6. 動作のプログラミング

動作のプログラミングは (1) 簡易的なプログラミング (2) 本格的なプログラミングの2つを用意している。簡易的なプログラミングは「一連の動作シーケンスの繰り返し（分岐なし）」を想定しており、ティーチングペンダントや GUI を操作して、動作シーケンスをプログラム（ティーチング）し、実行することができる。画像処理機能は、クロスマークによるマーカー同定・位置認識（簡便設置）のみを VisionServer が提供しており、「マーカー認識動作」としてシーケンスに画像処理を組み込むことで、簡便設置機能を容易に実現できる。

また、DIO に関しても「DIO 操作」として Short（短絡）/Open（開放）の制御や入力信号の状態待ちを組み込んだり、「インテリジェント DIO 操作」として、ワンショットパルスの生成なども組み込むことができる。特に、ハンドは個々の作業工程毎に合わせて設計され、一般的に使用される空気圧の制御にはこのワンショットパルスの生成機能が必要となる。

本格的なプログラミングでは、C# 等の一般的なプログラミング言語を使用して、条件分岐や部分的な繰り返しなど、より複雑な動作の制御を行うことができる。動作制御に関しては CORBA が対応していればどの言語でもロボットを操作することができるが、現在は C++/C# をサポート対象としている。

動作プログラムの作成時には、関節角度の値や直交座標系での位置姿勢を数値で直接指定することも可能であり、また前述の簡易的なプログラミングでティーチングした位置姿勢や動作を、ティーチング時に設定

する識別名称で指定することも可能である。

7. 画像処理の利用

画像処理に関しては、マーカー識別・位置認識機能（簡便設置）のみの場合は、VisionServer を使用することができる。VisionServer にマーカーのデータをあらかじめ登録しておき、動作実行時にマーカーを識別、マーカー座標系位置を計測し、その座標系に対する相対位置で手先の動作を指令する。

部品の形状認識や外観検査等ユーザーに特化した画像処理を組み込む場合は VisionServer は使用せずに、画像処理を個別に開発し、VisionLibrary と合わせて制御プログラムに組み込む。画像処理の開発にはドイツ MVTec Software GmbH 社の画像処理ソフトウェア HALCON を使用する。HALCON は各種画像処理のライブラリと、対話的な統合開発環境 HDevelop から構成され、HDevelop で対話的に開発した処理を C++/C# プログラムとしてエクスポートすれば、そのまま VisionLibrary と合わせて動作プログラムに組み込むことができる。

つまり、クロスマークによる簡便設置機能のみを使う場合は、ユーザーは画像処理プログラムを開発する必要はなく、マーカーの登録と検出を VisionServer に対して指令するだけでよい。この機能は「簡易的なプログラミング」でもサポートされており、ティーチングペンダントからプログラムすることも可能である。一方、より作業工程に適した画像処理を組み込む場合は、HALCON HDevelop を活用し、C++/C# でプログラムを開発することで実現する。

8. 用途開発例: サーバー基板のネジ締め工程

NEXTAGE の応用例として、コンピュータ（サーバー）を構成する電子回路（PCB 基板）を板金のフレームにネジ締めする作業を紹介する。まだ実際のラインには投入されていないがプロジェクトは現在進行形で進んでいる。

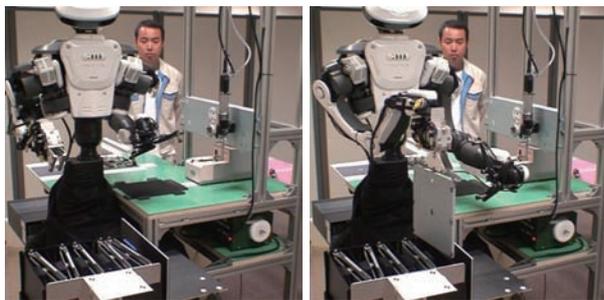
作業は、約200mm角のフレームに絶縁シートを置き、その上に基板を置いて8箇所ネジ締めを行う。ただしフレームは、スリット状の小さい部屋に分割された通い箱に立てかけられて供給され、ネジ締め後の完成品も同じ通い箱に収納する。通い箱はロボットの右側に配置される。

基板と絶縁シートは左側から供給するが、今回のデモンストレーションでは前工程が決まっていなかったため、一枚一枚所定の場所に人手で置くこととした。

フレーム、絶縁シート、基板全てのハンドリングを左のハンド（吸着型）1つで行う。右手は通い箱からフレームを出し入れするためのグリッパとネジ締め用の電動ドライバをツールチェンジして使い分ける。

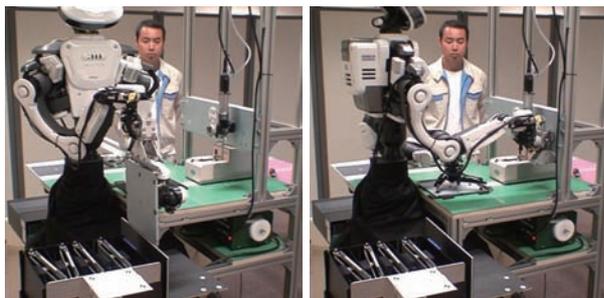
作業工程は以下のとおり。

- 1) 作業場所、グリッパ、電動ドライバ、通い箱のマーカーを認識して位置を計測する。
- 2) 右手にグリッパを装着し、右側の通い箱の中のフレームの位置を計測し、フレームをとりだし、左手で持ちかえる。



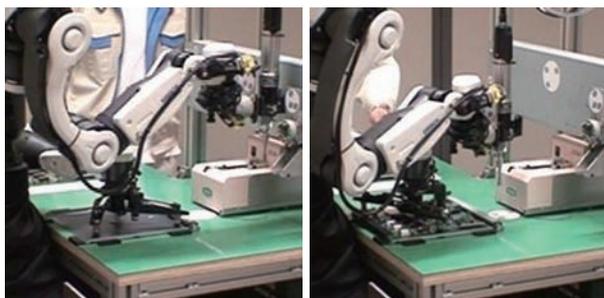
ワークの位置を計測

ワークを取り出す



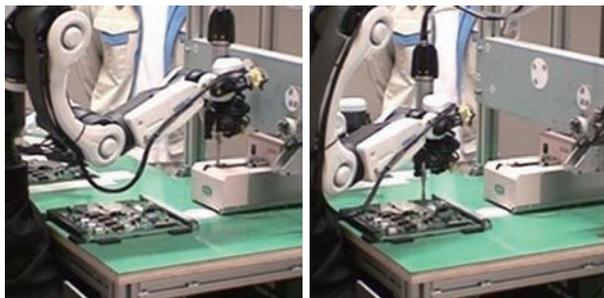
左手に持ち替える

置いてツールチェンジ



絶縁シートを置く

基板を置き穴を見る



ネジをとる

ネジを締める

図8. サーバー基板のネジ締め工程の様子

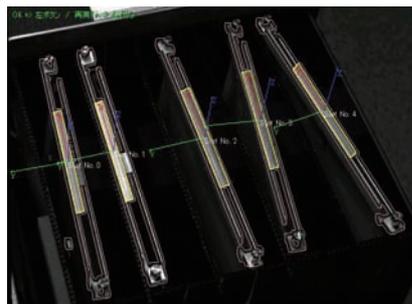
- 3) フレームを作業場所に置き、右手をグリッパから電動ドライバにツールチェンジする。
- 4) シートと基板の位置を計測して、左手で絶縁シートをフレームの上に置き、次いで基板をその上に置く。
- 5) 右手のカメラでネジ穴を3箇所確認し、左手でネジ穴と基板穴が合うように基板を置き直し、基板を押さえる。
- 6) 右手の電動ドライバで先に2箇所ネジ締めをしたら左手の押さえを解き、残り6箇所のネジ締めを行う。
- 7) 左手で完成品を吸着し、右手をグリッパにツールチェンジし、右の通い箱に吊り下げる。

9. おわりに

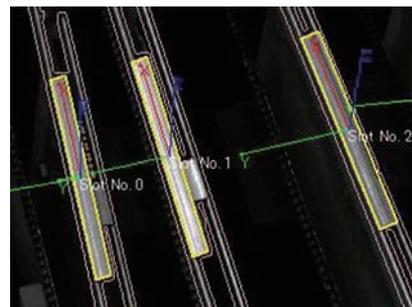
ロボット展での発表以降、国内外の様々な分野における工場、研究機関からNEXTAGE導入の問い合わせを数多く受けている。特に国内の生産現場からは、日本のものづくり国家としての国力の維持・発展につなげたいという声を多くいただいている。

一方で実導入の検討の際には、人であれば簡単だがロボットにとっては難しい作業（例えば乱積み状態からの部品の取出し）などに直面することも多い。

今後は導入される実際の生産現場と密接に関連を持ちながら、様々な工程に簡単に導入できるようにするための画像処理応用技術やユーザインターフェイスの開発に注力していく所存である。



ワーク位置計測の画像処理結果



処理結果拡大図

図9. ワーク位置計測の処理画像

国際ロボット展のデモンストレーションにおける画像処理 次世代産業用ロボット「NEXTAGE」の画像処理の一例

Image Processings of Demonstration for the International Robot Exhibition

宮野 善弘

川田工業株式会社 機械システム事業部
ロボティクス部

岩館 義昭

川田工業株式会社 機械システム事業部
ロボティクス部

越 雄一郎

川田工業株式会社 機械システム事業部
ロボティクス部

はじめに

川田工業(株) 機械システム事業部は、新しいコンセプトの産業用ロボット「NEXTAGE」を開発し、2009年11月に東京ビッグサイトで開催された2009国際ロボット展で発表しました。

NEXTAGEは、手動の移動台座に人型ロボットの上半身を載せた構成を採用し、頭部にステレオカメラを、左右の各腕に単眼カメラを搭載しています。各カメラにより、テーブルの位置を認識したり、対象物の穴位置検査などを行うことができます。

展示会で行ったデモンストレーションの画像処理について、簡単に紹介します。

1. デモンストレーションの内容

画像処理に関して実演した項目を次に示します。

- ・頭部ステレオカメラ
 - クロスマークの3次元位置の認識
 - 複数クロスマークを用いたテーブル等の3次元位置・姿勢の認識
- ・手先カメラ
 - 対象物の3次元位置・姿勢の認識
 - 対象物を掴めるかどうかの判定
 - 対象物の種類・良否判定
 - 対象物の存在方向の検知

2. 頭部ステレオカメラの処理

1) クロスマークの3次元位置の認識

まず、ステレオカメラの左右それぞれの撮像画像についてクロスマークの2次元座標を取得します。それを元に、三角測量の原理によりクロスマークの3次元位置を割り出します。

このままではカメラから見た3次元位置のため、ロボット操作には利用できません。そこで座標系の変換を行い、ロボットから見た3次元位置を求めています。



(左眼)



(右眼)

クロスマーク認識の例

2) 複数クロスマークを用いたテーブル等の3次元位置・姿勢の認識

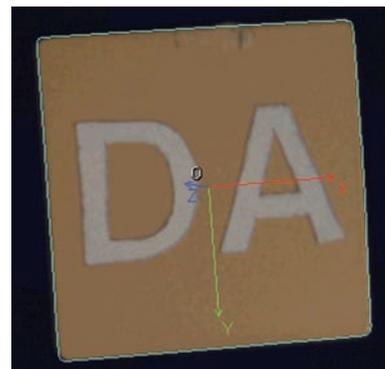
単一のクロスマークだけでは中心位置しか求められないため、3次元的にどの方向を向いているのか(姿勢)がわかりません。また、誤認識の判定が非常に難しくなります。

そこで、3個以上のクロスマークを1セットとして扱い、それをテーブル等に貼り付けています。3次元点群の相対関係を求めることで、ロボットから見たテーブル等の位置・姿勢を求めることができます。

3. 手先カメラの処理

1) 対象物の3次元位置・姿勢の認識

NEXTAGEの手先には小型の単眼カメラが取り付けられています。通常、単眼視では2次元処理(画像上の位



単眼視による3次元位置・姿勢の認識の例

置・回転角・大きさの抽出)が行われますが、2次元値では3次元的なロボットの動作補正には利用できません。

このため、モデル(形状)は事前に登録することを前提として、輪郭の透視歪みから3次元位置・姿勢を同定しています。更に座標系の変換を行い、ロボットから見た対象物の3次元位置・姿勢を求めています。

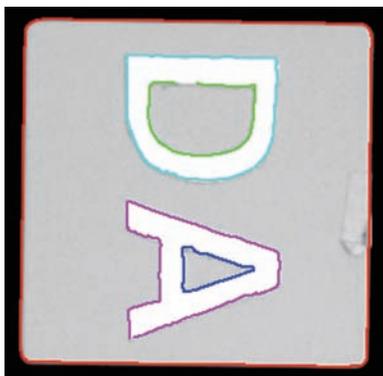
2) 対象物を掴めるかどうかの判定

手先に取り付けられたハンドにより対象物を掴めるかどうかを判定します。

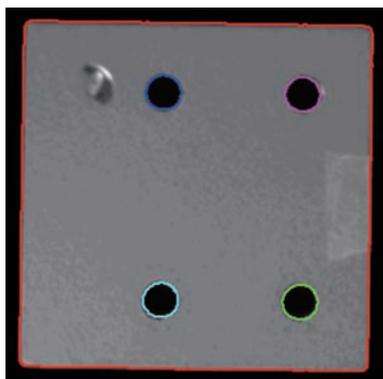
ハンドのツメ先が差し込まれる領域(対象物の四方)について、輝度が不均一な領域があれば何かが存在するものと見なし、掴むことはできないと判定します(下図の赤線枠)。



対象物を掴めるかどうかの判定の例



対象物の種類・良否判定の例(1)



対象物の種類・良否判定の例(2)

3) 対象物の種類・良否判定

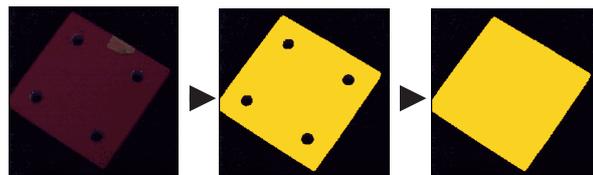
対象物の種類・良否判定のため、輪郭形状ベースの2次元マッチングを行い、基本的にはマッチングのエラーレベルにより種類・良否判定を行っています。

対象物には、タップが切つてある物とネジ締めされる物(ボルトが貫通する物)の2種類があります。ネジ締めされる物については、不良品(穴位置・個数が不正)を良品として誤認識する場合があったため、マッチング後に穴位置・個数のチェックを行い、誤認識を排除しています。

4) 対象物の存在方向の検知

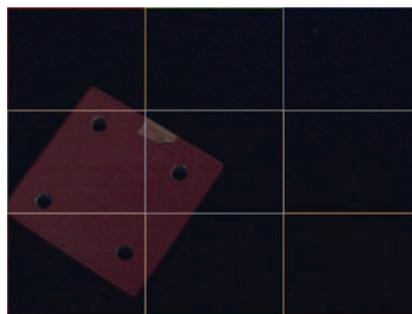
対象物がカメラ画角からはみ出るか、画角ぎりぎりの場合、前述 1), 2) 項の認識に失敗します。全体を撮像するには、ロボットの腕を動かす必要があるため、次の処理により動かす方向を検知しています。

- ① 画像を二値化し、面積の小さな部分の削除、ロゴ・穴の無効化(穴埋め)を行います。



画像の二値化処理の例

- ② 画像を9分割し、各エリアについて二値化した画像と重なる面積を求めます。それが最も大きいエリアが対象物が存在する方向と見なして、ロボットの腕を動かし、1) 項から画像処理をし直します。



対象物の存在方向の検知の例

4. 最後に

本紹介では省略しましたが、ロボット動作補正のために画像処理を利用するには、キャリブレーションなどの“煩雑な”各種準備が必要です。NEXTAGE 商品化の際には、そのような前処理を簡易に行える枠組みを提供する予定です。

「NEXTAGE」のマーケティング計画 イメージ戦略と2009国際ロボット展出展の戦略

Marketing Planning for NEXTAGE

三原 義照

川田工業株式会社システム事業部
マーケティング部係長

白間 直人

川田工業株式会社システム事業部
マーケティング部課長

機械システム事業部は、「ヒトと共存/協調して働くロボットの実現と要素技術開発」を一貫した研究開発テーマとしてきた。その成果は、ヒトの作業効率の向上を目的とする次世代産業用ロボット「NEXTAGE」に具現され、新しいコンセプトを掲げるロボットシステムの上市を実現した。

キーワード：NEXTAGE/次世代産業用ロボット/2009国際ロボット展

はじめに

機械システム事業部は、1999年に東京大学から研究用ロボットの開発を受託したことに端を発し、ナショナルプロジェクトにおける「HRP-2/HRP-3」の開発を通じて、ロボット開発のノウハウを蓄えてきた。「ヒトと共存/協調して働くロボットの実現と要素技術開発」をこの10年間一貫した研究開発テーマとし、その成果としてヒトの作業効率の向上を目的とする次世代産業用ロボット「NEXTAGE」を発表した。

本稿ではNEXTAGEのマーケティング計画の中で、商品コンセプトのイメージ戦略と2009国際ロボット展出展の戦略について説明する。

1. NEXTAGEの商品コンセプトとイメージ戦略

マーケティング部では、「ユーザと共に、未来に向かって進化し続けるロボット」という商品コンセプトを掲げ、それに相応しいネーミングとロゴマークを検討した。ネーミングは、革新的なロボットシステムの提案と次代の製造業を担う若者へのエールを込め、「NEXT STAGE」「NEXT AGE」に通じる造語の「NEXTAGE」を採用し、「変化に対応し進化し続ける」という想いを込めた。ロゴマークは、やさしさを感じさせる書体とし、ローマ字の右隅をカットして、ヒトのサポートがそこに加わるようなイメージを持たせるロゴデザインとした(図1)。

N E X T A G E

図1 NEXTAGEロゴデザイン

NEXTAGEの外装デザインは、ロボットデザイナーとして著名な園山隆輔氏に依頼した。NEXTAGEは、可動軸の構成や両肘が内側に傾くシルエットに特徴があり、細部に至ってもNEXTAGEのイメージ戦略をベースとした設計コンセプトを織り成し、研究開発で得られたノウハウや要素技術で構成されている。

コストの意識を持ちつつも、イメージ戦略の核を成すデザインにも妥協できない。両者を具現させる外装カバーの設計製作手法をエンジニアに要求し、3D CADの設計データをもとに、園山氏と外装デザインを纏めた(図2)。



図2 初期外装デザイン

従来の産業用ロボットとは違い、“やさしさ”“やわらかさ”の印象をイメージさせる色彩と質感を求めた。最終的には冷ややかで無機質な構造体に、親和性と機能美を兼ね備えた外装を身に纏うことを実現した(図3)。



図3 最終外装デザイン

外装の形状やディテールにNEXTAGEの商品コンセプトを具現化し、コストも十分に考慮されたヒューマノイドロボットが、当社のロボットラインアップに拡充された。

2. 2009国際ロボット展への出展企画

NEXTAGEの発表の場には、世界最大のロボット専門見本市である国際ロボット展を選定した。国内外の主要ロボットメーカーは、本展示会に合わせた新製品発表を行い、競って来場者やメディアにPRし、ユーザーの評価を次の製品にフィードバックする。NEXTAGEが新しいコンセプトを掲げる産業用ロボットとはいえ、ロボット大国と言われて久しい日本の中で、後発メーカーとしては如何にして他社の新型ロボットと同等以上にユーザーに認知され、ひととき関心をひくことができるかが課題であった。

プロジェクトチームを構成し、以下の戦略を立てた。

<出展の目的>

- ① 次世代産業用ロボットのコンセプトの訴求
- ② 共感いただける顧客の獲得
- ③ 自社ブランドの確立

<2009国際ロボット展におけるマーケティング戦略>

- ① 話題性の獲得
 - ・新聞とWEBを利用した開催直前の記者発表
 - ・ロボットによる初めてのテープカット
 - ・ワークショップの実施
 - ・国内外のメディア取材対応
 - ・産業用ロボットでは困難な至近距離のデモ
- ② ブースの構成・レイアウト
 - ・会場入口からの視認性に優れたデザイン
 - ・ブースに溢れんばかり数のNEXTAGEを配置
 - ・他社と異なるロボットの取り組みと実績
- ③ デモの構成
 - ・複数のNEXTAGEが連携して作業を行う
 - ・大掛かりな周辺装置や治具を排除する
 - ・双腕を駆使し、省スペースで仕事をする

上記の目的と戦略をプロジェクトチームが共有し、開催までの具体的なプロセスと工程計画を立て、NEXTAGEの発表が大きな成果をあげるための取り組みに注力した。

3. NEXTAGE発表の仕掛け

2009国際ロボット展の来場者の多くが、未知なるロボットシステムを発表した川田工業ブースを目的とするように、未来を髣髴させる仕掛けを計画した。

- ① 新聞とWEBニュースを対象にした新製品発表
- ② 2009国際ロボット展公式ホームページの利用
- ③ 開会式への登場 (写真1)
- ④ ワークショップを兼ねたユーザー向け発表 (写真2)
- ⑤ 30分毎のデモで来場者の機会損失を防ぐ (写真3)

NEXTAGEの露出を第一に考え、当初の企画通り来場者に印象強くアピールすることができた。特に、僅かな時間のデモの中でNEXTAGEの商品コンセプトと特長を分かりやすく効果的に訴求できたため、川田工業ブースへの来場者数は4日間の会期で2800余名となり、NEXTAGEに共感いただいたポテンシャルユーザーの獲得も実現した。



写真1 NEXTAGEが出席した開会式典のテープカット



写真2 満席になったワークショップ



写真3 会場でひとときわ注目を集めた川田工業ブース

4. おわりに

NEXTAGEのマーケティング計画の中で、イメージ戦略と2009国際ロボット展出展の戦略について説明した。それらの成果は、直ぐに具体的な引き合いという形で表れており、マーケティング計画の導入段階としては順調に進めることができた。

現在、2009国際ロボット展で発表したプロトタイプモデルに対し、多数のユーザーの意見をフィードバックさせた製品モデルの販売を開始した。今後はNEXTAGEの販売数を飛躍させる取り組みを計画し、実行に移る段階にある。商品コンセプトは、これからも揺るぐことなく。