

い ま  
ど き  
ラ ボ ABO  
第7回

理化学研究所  
生化学システム研究室  
ロボット研究グループ

理化学研究所 浅間 一

5. 群ロボットと環境との強調技術  
インテリジェント・データキャリア

実際に群ロボット間で情報交換を行ないながら、協調して作業を行なわせる現実的状况を考えると、ロボットどうしのインタラクションのみでなく、ロボットと環境とのインタラクションについても考慮する必要がある。犬のマーキング(小便)や蟻はフェロモンなど、社会を構成する生物は環境を介した間接の情報交換によって、効率的群行動が実現されている。

そこで我々は、ロボットと環境との情報交換を可能にするためのハードウェアとして、インテリジェントデータキャリア(IDC)を開発した<sup>1)</sup>。その概念図を図1に示す。IDCは、情報を格納/処理

できるポータブルな装置である。内部は、CPU、メモリ、局所的無線通信ユニット、電池から構成されている。各ロボットは、環境内にあるIDCに対して局所的無線通信によって非接触で情報の読み書きを行なうためのリーダー/ライターを持ち、これを用いてIDCとの交信を行なう。

IDCは、局所的に管理するだけでよい情報(現場でのみ必要な情報、作業対象の情報など)や、大局的/集中的に管理することが困難な情報(保全情報など)を管理するのに有効である。

ITS(Intelligent Transportation System)<sup>2)</sup>と同様、壁や床、ドア、荷物などの環境にその場所で有用となる情報を書き込み、それをその場所で管理することによって、ロボットは環境との情報交換に基づき、柔軟に作業を行なうことが可能と

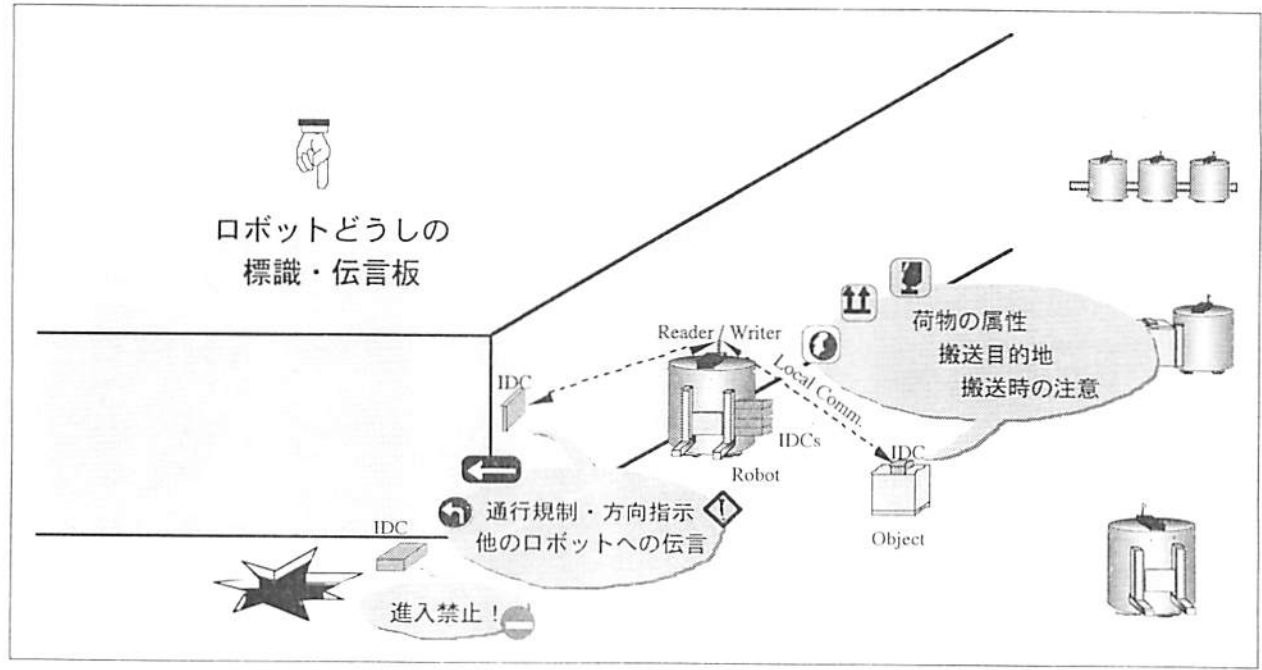


図1 インテリジェントデータキャリアの概念

なる。

ロボットが獲得した知識やデータ、あるいは行動を、IDCに書き込み、他のロボットがそれを読み出すことによって、環境を介したロボット間の間接的情報交換、知識共有も図れる。また、センサでは認識しにくい情報に関しては、それをあらかじめIDCに書き込んでおき、ロボットがIDCに近づいた際にそれを読み出すことで、大局的通信に負担をかけずにその情報を得ることも可能となる(センサの補助手段となる)。

IDCは、ユービキタスコンピューティング<sup>1)</sup>やTTT(Things that think)<sup>4)</sup>など、計算機とネットワークに囲まれたエージェント化環境を実現する手段として用いることができると考えている。また、IDCを用いると、ロボット群の群知能化行動のためのアフォーダンス<sup>5)</sup>を動的に設計、実現することも可能となるであろう。

図2は、ロボットがフォークリフトによって持ち運べるようにしたIDCユニットである(中央の箱の部分>IDC本体)。また、図3は、複数のロボットがIDCをハンドリングしたり、環境内のIDCに情報を読み書きしながら動作している様子である。

これまでに、IDCを分散的荷搬送動作、未知迷路環境探索動作、自己位置認識、分散地図管理などに応用し、有効性を実証している<sup>(6,7,8)</sup>。

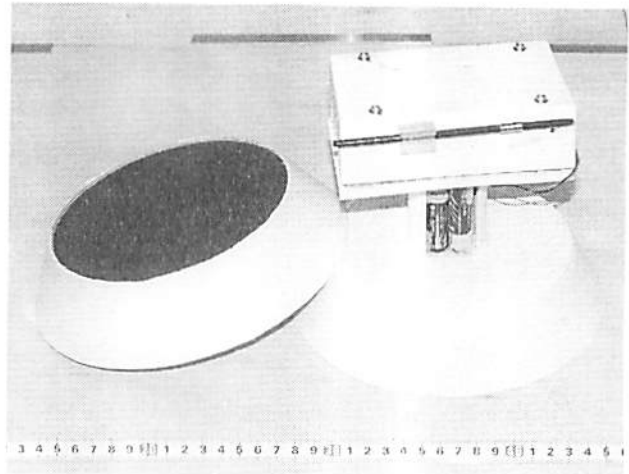


図2 IDCユニットの構造

## 6. 人間と群ロボットとの協調

群ロボットで人間が意図したタスクを行なわせるには、群ロボットと人間とのインタラクション、そのためのインタフェース技術が重要となる。オペレータがロボット群のすべての動作状況を把握しながら、細かい動作指令を送ることは、オペレータに多大な負担をかけるだけでなく、技術的にも非常に困難である。

その一方で、ロボット群を完全自律化することも技術的に非常に難しく、また、状況に応じて行動目的を人間が指示したいという要望もある。そこで、これまで述べてきた群ロボットの自律化/知能化技術開発と同時に、人間と群ロボットとを

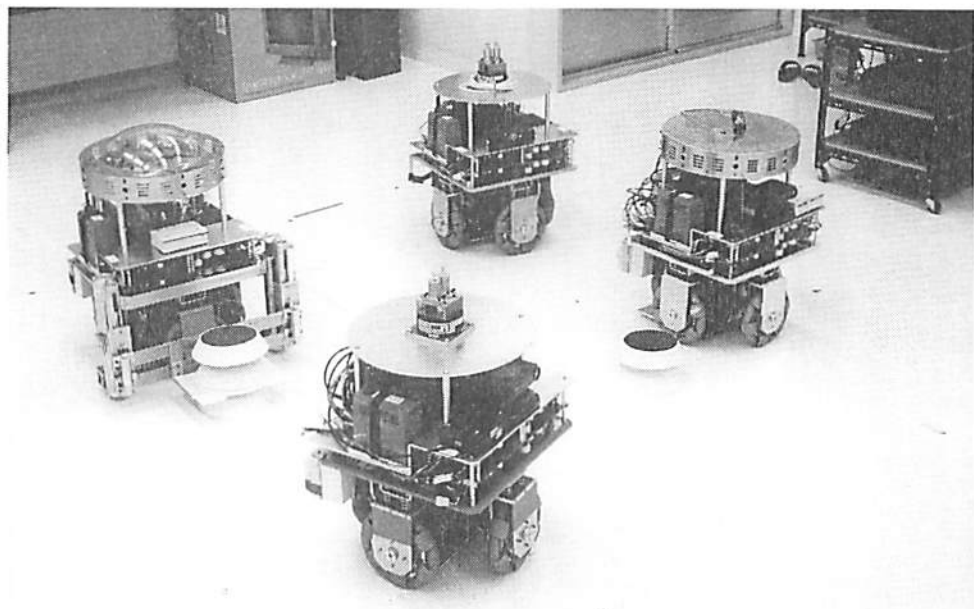


図3  
複数のロボットが  
IDC環境で動作して  
いる様子

協調させるための、遠隔操作技術の開発も行なってきた。

このような発想は、人間共存あるいは人間生活に密着したロボットシステムという意味で、アールキューブ(R3: Realtime Remote Robotics)<sup>9)</sup>につながるものである。

まず、ロボット群の状況をオペレータがいかにか把握するかについては、通信を用いて各ロボットの位置等を確認するだけでなく、ロボット間での通信を傍受することによって、通信負荷をかけずに状況をモニタリングし、それをオペレータに表示する技術の開発を行なった<sup>10)</sup>。また、人間がロボット群をインターネットを介して遠隔操作しながら、人間とロボットとの協調によってプラント

の点検を行なうロボット群遠隔操作インターフェースシステムの開発を行なった<sup>11)</sup>。

図4は、WWWのブラウザで作成した遠隔操作ホームページを用いて、インターネットを介して理化学研究所(埼玉県和光市)から船舶技術研究所(東京都三鷹市)の模擬原子力プラントに導入した複数のロボットを遠隔操作しつつ、ロボットからの画像を監視することによって遠隔点検している例である。ここでの最大の特徴は、群ロボットに対して作業指令やコマンドレベルで操作したり、多視点からの監視、マクロ&マイクロ視野組合わせ監視、立体視監視など、複数のロボットに様々なフォーメーションを取らせるように動作指示を行なえることである。

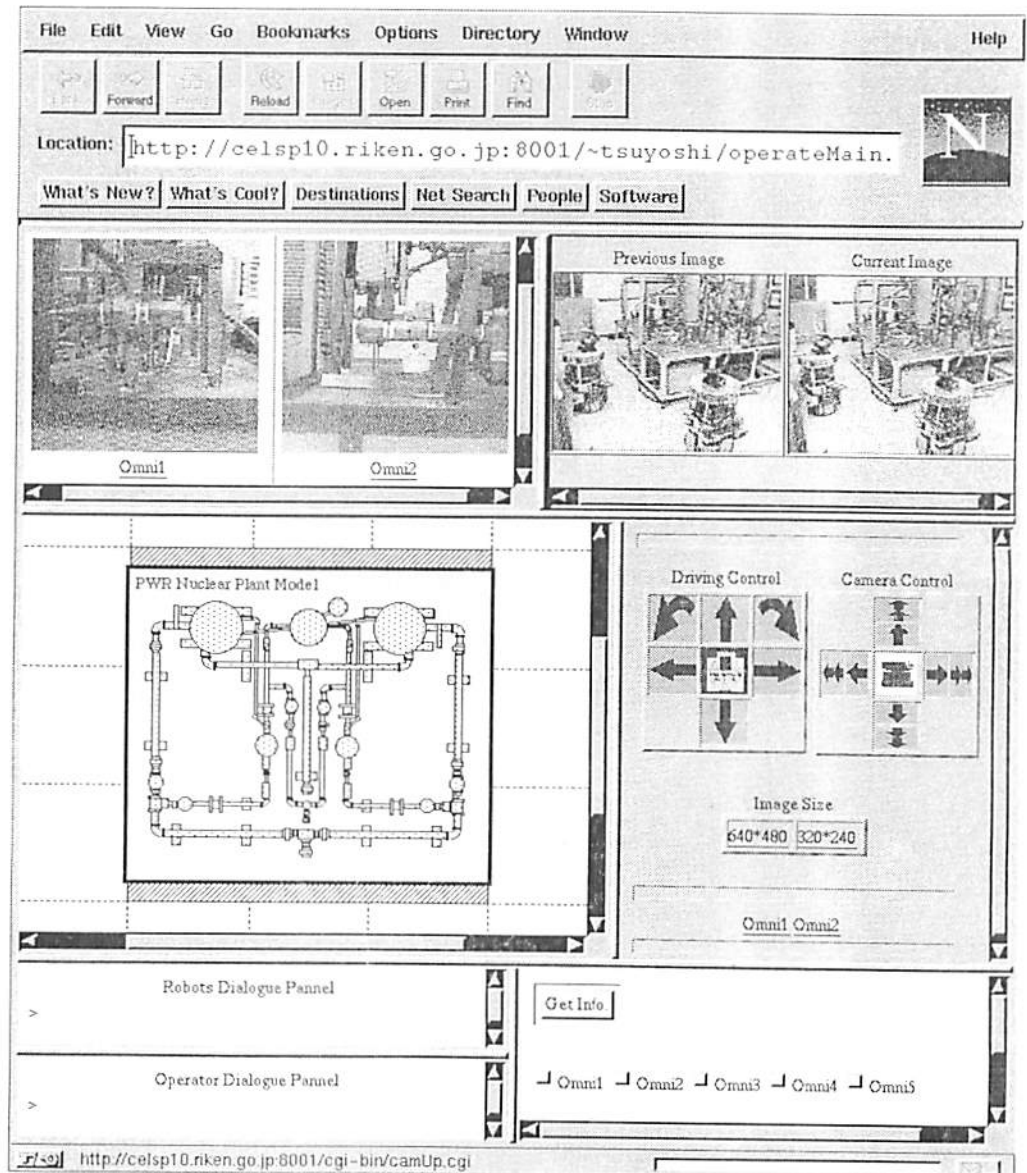


図4  
インターネットを  
介したホームページ  
からの遠隔点検

インターネットを介して遠隔操作する場合、一定でない時間遅れが生じるために、ロボットに局所的な自律性をもたせることが不可欠となる。そこで、遠隔からジョイスティックやHMD(ヘッドマウントディスプレイ)を用いてロボットへの移動指令や視線方向変更指令を与えながら、ロボットに搭載した赤外線通信センサ(前号参照)を用いて、ローカルに衝突回避行動を自律的行なわせ、迷路環境を半自律的に誘導することにも成功した(図5)<sup>12)</sup>。

現在、操作性をあげるために、ロボットから送られている画像だけでなく、環境モデルから合成した3Dグラフィックスを併用した、実仮想環境の融合手法についても検討している。

## 7. モジュール型ロボットシステム

状況の変化に対応できる、頑健な多機能型知能ロボットシステムを開発する上で、システムを自律分散化することが有効であることはすでに述べた。前章までは、要求機能を複数の自律ロボットに分散化し、それを協調させる技術について触れてきたが、さらに究極の柔軟性を実現するアプローチとして、ロボットのボディ自身をモジュール構造に分散化し、その結合状態を変えることによってボディを状況に応じ、自在に変形できるシステムの開発に取り組んだ。

この基本的概念は、すでに福田らによって提案されているが<sup>13)</sup>、我々は、実際に多種類のモジュール(セル)を目的のタスクや環境に応じて、合体して構成できるような自己組織型マニピュレータを開発した<sup>14)</sup>。延長セル、回転セル、屈曲セル、直動セル、分岐セル、グリッパセル、ドライバセルなどの種類のセルを構築し、作業内容や作業環境に応じて、これらを組立ロボットによって結合し、最適な構造に組み上げる。各セルにはCPUを搭載し、各関節の制御を局所的に行なう。セルの結合部に光通信モジュールを備え、構造化に応じてネットワークも構成して、シリアル通信によってモジュール相互に情報交換を行なうことが可能である。図6は、両腕構造に組織化された

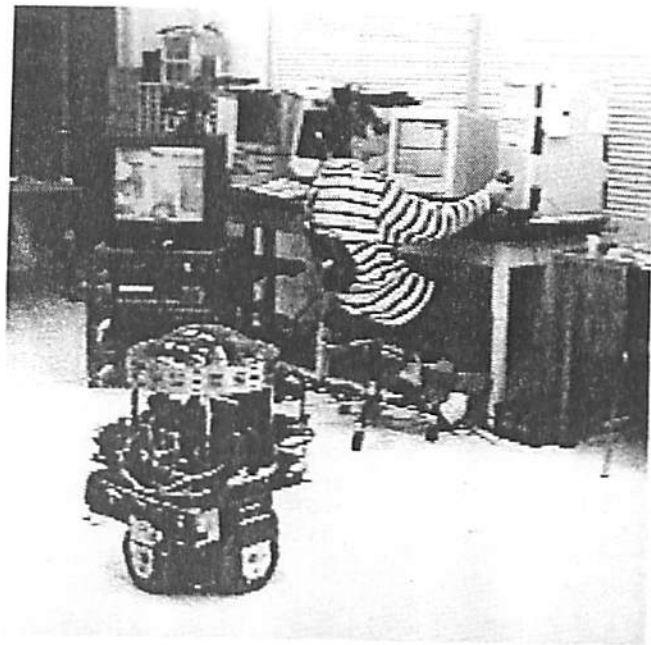


図5 HMDを用いた半自律遠隔装置

自己組織型マニピュレータで、点検作業を行なっている様子である。

自己組織型マニピュレータでは、各セルが異なる機構を有するため、全体としては非均質なシステムとなる。そこで対照的に、均質なシステムとして、機能適応型マニピュレータを開発した<sup>15)</sup>。

このシステムでは、モジュールは、回転と屈曲の2自由度動作機構、外部からそのモジュールに加わる力を検出する接触力センサ、局所的に動作制御を行なうためのCPUを有しており、作業に応じて、このモジュールを複数個連結し、多自由度

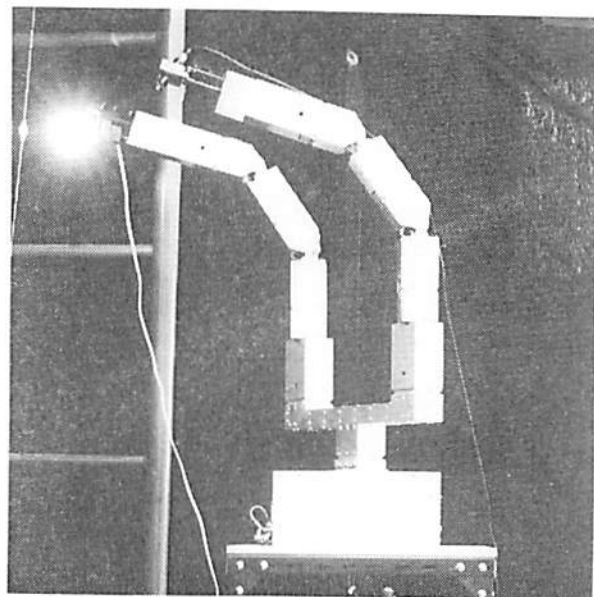


図6 自己組織型マニピュレータ

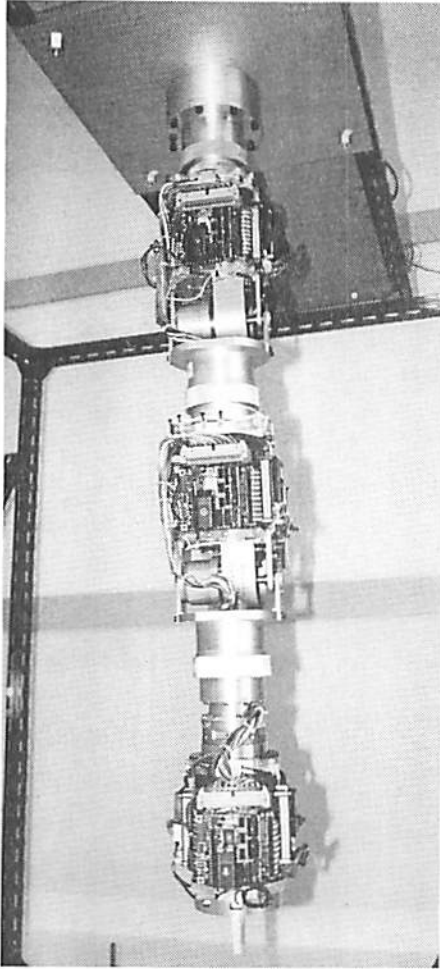


図7 機能適応型マニピュレータ

マニピュレータを構成する。図7は、2個のアームモジュールとハンドモジュールを連結した機能適応型マニピュレータの外観である。モジュールは連結部でバス結合され、あるCPUが故障しても、別のCPUの代替によって耐故障制御が行なえるようにした。

以上述べたシステムでは、モジュールを1次元的に結合して、様々な形態を構成するわけだが、平面上を移動すると同時に、階段などがある場合、立体的に構造を変えながらそれを乗り越えることが可能なモジュール型ロボットシステムの開発も行なった<sup>10)</sup>。

モジュールどうしは、側面部のマグネティックシートで結合を行ないながら、各モジュールの2本のアームの伸長と旋回によって結合の切断、別構造への遷移、再結合を行なうことが可能である。図8は、立体的自己組織型ロボットの外観で

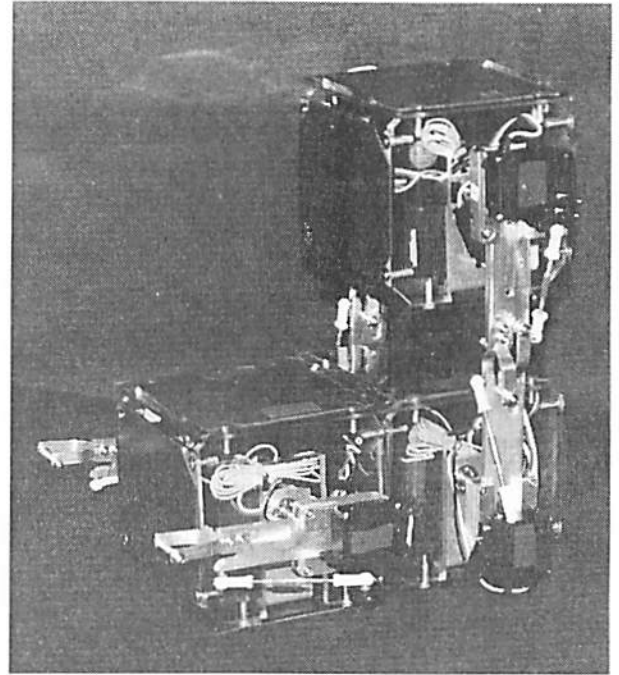


図8 立体的自己組織型ロボット

ある。現在、動作指令は外部のパソコンから無線で与えられているが、将来的には各モジュールにCPUを組み込み、分散的に実現したいと思っている。

## 8. おわりに

理化学研究所生化学システム研究室ロボットチームで、これまでに開発された様々な群ロボットシステム、自律分散型ロボットシステムとそれに関連する技術を紹介した。本誌上では紹介できなかったが、ロボットで保全作業を行なうことを前提とした場合の劣化予測、ロボットの評価、保全計画などの研究も行なっている<sup>17)</sup>。

現在は、理化学研究所基盤技術部でも、極限環境でのロボット技術開発を行なっており、今後、さらに高度な要素技術の開発、それを利用したロボットの協調的動作の実現、創発的手法を取り入れた知能化、原子力や林業などの分野への応用などに取り組んでいく予定である。

最後に、本稿で紹介した技術開発に携わった諸氏に、この場を借りて感謝する。

## 参考文献

- 1) T. Fujii, et al: "Co-evolution of a Multiple Autonomous Robot System and its Working Environment via Intelligent Local Information Storage", J. of Robotics and Autonomous Systems, vol. 19, pp. 1-13(1996)。
- 2) 津川定之: "ITS概論", 日本機械学会第76期全国大会講演資料集, VI, pp.157-158(1998)。
- 3) The Media Lab. in MIT: "Things That Think Consortium" (1995)。
- 4) Weiser, M.: "The Computer for the Twenty-First Century," Scientific American, pp. 94-101(1991)。
- 5) Gibson, J. J.: "The Ecological Approach to Visual Perception," Boston, MA: Houghton Mifflin (1979)。
- 6) 藤田隆則, 他: "群ロボットのための知的データキャリアの開発(第4報)―実ロボットへのIDC搭載と動作実験―", 第9回自律分散システムシンポジウム資料, pp. 5-8(1997)。
- 7) 新井義和, 他: "知的データキャリアを用いた自律移動ロボットの自己位置同定", 第5回ロボットセンサシンポジウム論文集, pp. 45-48(1996)。
- 8) 倉林大輔, 浅間 一, 遠藤 薫: "知的データキャリア(IDC)を用いた分散地図管理による自律ロボットの作業実行", 第16回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 185-186(1998)。
- 9) 通産省アールキューブ研究会編: アールキューブ, 日刊工業新聞社, (1996)。
- 10) 鈴木 剛, 他: "ヒューマン・インタフェースのための通信による群ロボットのモニタリング手法", 日本機械学会論文集, vol. 62, no. 602, pp. 3759-3765(1996)。
- 11) 鈴木 剛, 他: "プラントメンテナンス作業のための群ロボット遠隔操作用ヒューマン・インタフェース", 1997年精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp. 997-998(1997)。
- 12) 川端邦明, 他: "全方向移動ロボットの直接的遠隔操作", 第15回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 831-832(1997)。
- 13) 福田敏男, 中川誠也: "動的再構成可能ロボットシステムに関する研究(第1報 セル間の自動接近・結合・分離制御実験)", 日本機械学会論文集, vol. 58, no. 509, pp. 114-118(1989)。
- 14) 福田敏男, 他: "双腕マニピュレータによる自己組織化マニピュレータの組立作業", 電気学会論文誌(D編), vol. 113, no. 5, pp. 647-653(1993)。
- 15) 琴坂信哉, 他: "機能適応型マニピュレータFun-ARMにおける耐故障制御", 日本機械学会論文集(C編), vol. 63, no. 609, pp. 1671-1678(1997)。
- 16) 細川和生, 他: "立体的に自己組織化する小型ロボット群", 第15回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 871-872(1997)。
- 17) 例えば, 琴坂信哉, 他: "作業達成確率によるロボットアームの信頼性評価", 精密工学会誌, vol. 61, no. 5, pp. 717-721(1995)。

## Waiting Room

## クルシミアス景気

「景気はこのところ足踏み状態」が1月。「足踏み」から「停滞」になったのが2月。

4月には「一層厳しさを増している」が追加され、「最終需要停滞の影響が強まっている」ことになったのが6月である。

「景気は停滞が長引き、引き続き厳しい状況」が7月で、8月には「停滞」から「低迷」に変わってくる。さらに9月、景気の厳しさが「甚だ」から「極めて」にな

り、11月には「景気は低迷状態が長引き、極めて厳しい状況」と表現されるようになった。

その上、先行きについては「不透明感が依然強い」と明記されている、まさにお先真っ暗!

この1年間の月例経済報告から拾った表現だが、俺らはどうしたらよいのか……が見えない。今年の干支は虎だったのに、阪神タイガーズは最下位。こんなことも

景気に関係するのかと、完全に聞き直つてのノーテンキな解釈。

来年はうさぎ年。英語でrabbit(ラビット)。景気も跳躍して欲しいけど、リストラにビビットしてうさぎ小屋でチビットしていることになるのか……。

暗いネー。でも、「朝の来ない夜はない」とも言うから。せめてカラ元気でも出して、明るく行きたいものである。(天)