米国における自律移動ロボット研究の動向*

金 出 武 雄**

1. は じ め に

腕が台に固定されたロボットに対し、環境を認識して自律的に移動できるロボットは極めて広い応用を持ち、現在、数多くの企業・大学・研究所で研究されている。その様な知能的・自律移動ロボットの研究はかなり前からあり、1970年代では、JPL（ジェット推進研究所）の Mars Rover やスタンフォード大学の Stanford Cart がその代表的なものである。しかし、自律移動ロボットの研究が米国で現在の様に盛んにかつ大規模に行われるようになった直接的きっかけは、1984年の DARPA（国防省先進研究プロジェクト機関）による Autonomous Land Vehicle (ALV) プロジェクトの開始であろう。本稿では、ALV プロジェクトの動向を中心に米国における自律移動ロボットの研究を解説する。

2. 米国における自律移動ロボットの研究グループ

米国内では極めて多数の大学・研究所・企業が知能ロボットの研究を進めている。表1は著者が直接何らかの関連があるか、情報をつかみ得た自律移動ロボットの研究グループの一覧である。大きな色分けとしては、DARPA の ALV プロジェクトに直接関連しているか否か、特徴のある移動車実際に作ったり改良したりして研究をしているか否か、ビジョンやソナー、プランニングなど独自の個々技術の開発を中心に行っているか、それともシステムの全体的構成やアーキテクチャの研究をも含むのか、という様な特徴で大きく色分けできる。更に、応用分野としては、屋外の一般自然環境、屋内オフィス環境・水中・空中・宇宙・家庭内サービスという多岐にわたる。

3. ALV (Autonomous Land Vehicle) プロジェクト

米国における自律移動ロボットの現状は ALV を抜きにしては語れない。ALV は DARPA の Strategic Computing (SC) Initiative という研究プロジェクトの応用分野のひとつとして出て来たものである。SC プロジェクトは、言わば日本の第5世代計算機プロジェクトに対応する計算機の知能化に関するもので、人工知能（言語・画像・音声・知識工学）から計算機アーキテクチャオペレーティングシステム、マイクロエレクトロニクスまで含む広範な計画である。

ALV プロジェクトに関連して、基盤技術開発研究担当と、統合システム化デモンストレーションの担当がある。前者はビジョンやプランニングなどについて、CMU、メアリランド大、南カリフォルニア大、ADS 社、Hughes 社など約 15 程のグループがあり、表2に示す様な分野を分担している。これらの基盤技術開発はかなり順調に進んでおり、ユニークな研究がかなりある。最近のレポートは 1987 年 2 月の DARPA 画像理解ワークショップの予稿集¹⁾に多く発表されており一見に値する。

一方、統合システム化は航空宇宙産業として有名なマーチンマリエッタ社 (MMC) のデンバー（コロラド州）グループが担当し、1984年にスタートした。基盤技術開発の成果を利用（Technology Transfer という表現が用いられる）して、システムとしてまとめあげ、デモンストレーションするという仕組みである。そのためのテストベッド用の車として作られたのが、図1にその外観を示す ALV である。幅 2.7 m、長さ 4.2 m、高さ 3.1 m ある。8 輪で各々独立懸架駆動で Skid Steering で方向を変える。車体には振動が余り伝わらない様になっており、4 輪駆動トラックに比べて 10 分の 1 程度の振動であるという。一般道路で最高時速 72 km、極めて困難な地形でも時速 8 km 出るとされる。

システムのハードウェア構成としては 1986 年末までは図2に示すものであった。センサとしてはカラー TV カメラ、ERIM レーザレンジファインダ（後述）、Ben-

原稿受付 1987 年 10 月 1 日

* Overview of research on autonomous mobile robots in the US.

** カーネギーメロン大学計算機科学部

表 1 米国の自律移動ロボットの研究グループ

機 関	グループの 代 表 者	ALV 走行車 関 連の有無	主な環境	ビジョ ン	3D レンジ	ソナー	研 究 の 特 徴・主 眼
カーネギーメロン大 学 (CMU)	T. Kanade	○	屋 外 火 星	○	○		Navlab によるシステム統合・一般地形の認 識走行・3D レンジデータ処理・黑板モデル アーキテクチャ
	H. Moravec		室 内	○		○	ソナーとステレオのセンサ融合
MIT	R. Brooks		室 内	○		○	包含アーキテクチャ, アルゴリズムの VLSI 化, ステレオ
マーチンマリエッタ 社	R. Douglas	○	屋 外	○	○		MMC-ALV のシステム, 屋外の高速走行
メアリーランド大学	L. Davis	○	屋 外	○			道路走行のビジョナルゴリズム
SRI	R. Bolles	○	屋 外	○	○		屋外シーン解析のためのモデリング, Super qudrics によるレンジデータの解析
	S. Rosenschein		室 内			○	FLAKEY, REX 言語と Situated Auto- mata 理論による知識表現
FMC 社	A. Chang	○	屋 外	○		○	AGVT, ソナーとビジョ ンによる軍用車 (APC) のクロスカントリ走行
スタンフォード大学	T. Binford	○	室 内	○	○	○	ステレオ
マサチューセッツ大 学	E. Riseman	○	屋 外	○			プランニング, 動画像
JPL	B. Wilcox		屋 外 火 星	○	○		ステレオ, テレロボティクスとの併用, 宇宙 応用
オークリッジナショ ナル研究所(ONRL)	C. Weisbin		屋 内 原 子 力			○	腕との協調動作, プランニング
ヒューズ社	D. Tseng	○	屋 外	○	○		プランニング, 走行車の特性を加味した障害回 避
ADS	D. Lawton	○	屋 外	○			ビジョ ンのための一般風景のモデル化, 高レ ベルのプランニング
ドレクセル大学	A. Meystel		屋 内	○			階層的プランニング
NBS	M. Herman		水 中			○	複数ロボットの協調, NBS アーキテクチャ
ニューハンプシャ大 学	R. Blidberg		水 中			○	新しい水中船の開発

表 2 ALV 基盤技術開発グループの研究課題

グループ	参 加 機 関	研 究 課 題
視覚のための モデリング と認識	CMU, SRI, ADS, Stanford, Mary- land, GE	一般情景や物体のモデル化, 物体モデルの生成とマッチン グ, 道路の追跡と認識, 一般 地形の表現と認識
動的シーン と画像系列 の解析	U of Mass, Ho- neywell, USC	画像系列からの自己位置・速 度の決定, 画像系列からの 3D depth map の生成, 動 物体の検出・同定・位置と速 度の計測
障害物の検 出と回避	Hughes, ADS	道路網図や地勢図を用いての 経路プランニング, 走行車の特 性を考慮した航行制御, レン ジデータからの障害物検出
画像の並列 処理	CMU, MIT, Rochester, U of Mass, Columbia	Warp (CMU), Connection Machine (MIT), Butterfly (Rochester), Associative Machine (U. Mass), Non- Von (Columbia) というシス テムにつき画像の並列アルゴ リズムの開発と実験を進め, 並列画像プログラミングモデ ルとその環境を作る

図 1 DARPA-ALV の外観

図 2 ALV のハードウェア構成

dix の陸上慣性航行システム (LNS), 外部テレメトリ用としてビデオ・音声・データのチャンネルを含むが, 計算機としては, ビジョン用の VICOM (68000 をホストとする画像処理専用装置) と航行制御用の 80286 が主計算機というもので多少非力の感をまぬがれない。

プロジェクト当初の目標としては:

- 1985 年: 最高時速 10 km で 20 km の道路走行。
- 1986 年: 最高時速 20 km. 多面体の障害物有。
- 1987 年: 砂漠のクロスカントリーを最高時速 5 km で 10 km 走行。
- 1988 年: 道路ネットワークの走行。
- 1989 年: 簡単な目標物 (ランドマーク) を含む砂漠のクロスカントリーを時速 10 km で 20 km 走行。
- 1990/91 年: 道路, クロスカントリーを混合し, 最高時速 60 km.
- 1992 年: 複雑な木や岩を含む地形のクロスカントリー

という大胆なものであったが, その後修正されている。

現在までのデモとして, 1985 年 5 月の第 1 回デモでは MMC の構内 (といっても山・川・谷ありの野原であるが) の直線道路 (非舗装であるがほぼ一様の表面) 1 km を最高時速 5 km で 75% カラービジョンによる制御で走行した。1986 年にはカーブを含む 5 km を最高 10 km/h (平均 5 km/h) で 100% ビジョンの制御下で走るのに成功した²⁾。1987 年には最高時速を 20 km/h に上げることと, 道路外のスムーズな一般地形のレンジファインダによる走行実験もおこなっている。これらのデモにはメアリランド大学の道路走行アルゴリズム³⁾,

Hughes 社のレンジデータ解析とプランナー⁴⁾, CMU の道路認識⁵⁾ とレンジデータ解析⁶⁾ 等が直接・間接的に貢献した。

今後の計画としては, 1987 年秋から第 2 世代のアーキテクチャに切り換えるが CMU の NAVLAB (後述) のシステム構成を参考にして SUN 3 と Warp を中心とする構成になる。デモンストレーションのタスクとしては, 道路外の一般地形における地形の認識・障害物の検知と回避, 大局的なプランニングを含む走行が中心となっていく予定である。

4. CMU NAVLAB

カーネギメロン大の研究グループは ALV 関係の基盤技術開発の他に, NAVLAB (NAVigation LABoratory) と称する総合システムの開発を進めている⁷⁾。NAVLAB は自動車 (バン) を改造したコンピュータコントロールによる実験用の移動ロボットであって, 図 3 がその外観と内部である。システム構成は図 4 に示すように, カラー TV カメラ (現在 2 台), ERIM レーザレンジファインダを主なセンサとし, 計算機としては SUN 3 ワークステーションを 4 台と 100 MFLOP のシストリック計算機 Warp を搭載している。これらは Ethernet により結合されており, NAVLAB が車庫に駐車中は学科内のネットワークとも結合され, プログラムやデータの交換などが自由に行える。NAVLAB の重要な特徴は車内にセンサ・計算機, かつ研究者をも積んで走る実験室でもあり, 移動ロボットでもある点である。いわば自己充足のシステムであって, どのテスト地に行き, プロ

(a) 外 観

(b) 内 部

図 3 CMU NAVLAB

グラムを改良しつつ、実験・データ収集が可能である。このため、研究開発の能率が飛躍的に向上した。

CMU における NAVLAB の研究分野は 1) カラービジョン、2) 3D レンジデータ処理、3) ブラックボードモデルによるシステムアーキテクチャ⁹⁾ が中心である。MMC でのどちらかというスピードを主体とする目標に対し、異なる天候下での動作、様々な道路状況への対応、3次元物体の認識、オフロードでの走行など高度な能力を開発することに重点がおかれている。

1986 年秋にはキャンパス横の公園内での道路走行を実現した。この道路はかなり左右にカーブしており、舗装が所々とぎれたり、芝生との境界が不明確であったり、木立の中を通る部分は天候・時刻により部分的な影や落

Ethernet

図 4 NAVLAB の計算機システム構成

葉などがある。NAVLAB は極めてゆっくり (0.6 km/h) であるが、これを信頼性よく走行し、かつ、人などの障害物が道路上にあるとレンジファインダーで検知して停止した。1987 年春はこのシステムの一部を Warp に移植して、スピードを 1.6 km/h に上げた。この他に、木立の中で木を避けての走行、キャンパス内の歩道ネットワークの航行などもデモンストレーションされた。1987 年 11 月にはこれら

を統合して、不完全な地図による経路指示を受けて、公園内の道路を交差点や (停車している) 自動車を認識しながら走行し、結果として地図を改良するという作業を実現する予定である。

ここでは紙面が限られているので、NAVLAB 視覚システムの特徴的能力のひとつである 3D レンジセンサとそのデータ処理についてだけ少し詳しく述べる。NAVLAB 搭載のレンジセンサは ERIM (Environmental Research Institute of Michigan) で開発されたもので、表 3 に諸元を示す⁹⁾。変調したレーザ光を回転ミラーによって横方向に、ノディングミラーによって縦方向にスキャンしながら物体にあて、反射光が返ってくるまでの時間を変調信号の位相遅れとして計測する方式である。

2 分の 1 秒で 256×64 画素の距離画像 (8 ビット/画素) が得られる。位相差を用いるので計測距離に周期的なあいまいさが残る。一周期が 64 フィートに対応しているが、我々の経験では 2~3 周期分の距離まで何とか利用できる。このセンサはさらに、反射光の強さを測ることにより、外界の照明とは独立に、物体表面の反射率そのものを求めることが可能である。ERIM では次のセンサとして、マルチスペクトル分析ができ、かつ計測距離にあいまい性のない複数の変調信号を用いるものを開発設計中である。図 5 には ERIM レーザスキャンセンサによって得られた距離画像と明るさの画像を通常の TV 画像とともに示す。距離画像では暗い方が近いことを表示しているが画面の上方へいくに

表 3 ERIM レーザレンジファインダの諸元

TFOV	
Horizontal	80°
Vertical (1)	30°
IFOV (2)	0.5°
Beam Size	0.44 Ft (at 50 Ft)
Horizontal Pixels (3)	256
Vertical Lines	64
Ambiguity Interval (4)	64 Ft
Frame Rate	2 Hz
Data Rate	92160 Hz
Laser Power (5)	100 MW
Wavelength	0.82 m
Range Noise	0.4 Ft (at 50 Ft, 10% Refl.)
Output Signal	Analog-Logarithmic
Sensor Dimensions	
Height	14 In
Width (6)	29 In
Depth	22 In
Weight	75 Lb
Power	24 VDC, 300 W

従って一旦白く（遠く）なり再び暗く（近く）になっているのは周期性のためである。

距離画像は a) 単純な障害物検知, b) 地形解析, c) 物体記述と認識のために用いつつある。障害物検知では、道路のような比較的平坦な地表に一定以上の高さをもつ物体が存在する場合、平坦な領域（走行可）と物体（障害物）を区別する。距離画像で各画素において面の法線ベクトルを求める。走行可能領域はほぼ垂直方向の法線をもち障害物の境界ではそれ以外の法線方向をもつことから障害物と走行可能領域を分離する。

次に、一般の地表の走行には上述の単純な障害物検知では不十分で、さらに詳細な地勢形状の解析をおこなう。これは次のステップをへておこなわれる。

- < 1 > 距離画像のエッジの検出。
- < 2 > 各画素における面の法線ベクトルの計算。
- < 3 > 法線ベクトル空間でのクラスタリングによる領域分割。
- < 4 > 領域の拡張：領域の面を平面または2次曲面で

(a) シーンを普通のカメラで入力

(b) 反射光の強さを示す画像

(c) 距離画像

(d) シーンを上方から見下ろした状態に変換したもの

図 5 レンジファインダによる距離画像の入力

図 6 4 枚の距離画像列から作られた地形地図の例 (左上方の 4 角は NAVLAB の位置)

近似表現しながら、その近似誤差が一定値に至るか、 $<1>$ で検出したエッジに到達するまで領域を統合・拡張する。

こうして、距離画像は平面または 2 次曲面に分割される。この処理を NAVLAB が前進するたびに得た距離画像の系列に適用する。そして、その結果をひとつの地形地図の形に統合する。図 6 は 2 本の樹木の間を進むうちの 4 枚の距離画像を統合して作り上げられた地形地図の例を示す。

最後に、3 次元物体記述は地表にあると検知された大きな物体について、上述の単位面への領域分割の後、その形を解析する。図 7 は図 5 のシーン中の自動車について領域分割し、自動車を簡単な多面体として近似表現した結果である。この 3 次元表現と通常のカラー画像からのエッジを使って自動車のタイプ（乗用、ステーションワゴン、バン）の分類認識を試みつつある。

5. 他のプロジェクトの話題

MMC の ALV と CMU の NAVLAB は米国における自律移動ロボットの大型のプロジェクトであるが、その他にも技術的にユニークで注目すべき研究がある。

MIT の R. Brooks は従来の移動ロボットは、センサ入力から動作に移るのに、パーセプション→モデル化→プランニング→タスク実行→モータコントロールという機能の階層的系列（低レベル→高レベル→低レベル）を常に経るという、いわばシステムを縦型に分解構成していたのに対し、「(とにかく) 物体を避ける」、「(目的なく) 動きまわる」、「地図を作る」という様な低レベルから高レベルに至る各々のタスクを実行する動作ごとにシステムを水平に分解する方が良いと提案した¹⁰⁾。全体のコントロールとしては、例えば動き回るという上位のタスクが実行中は下位の（とにかく）物体をさけるというタスクは抑制されることにより、意識的に物体に近づくという目的性の高い動作が実行される。一方上位のタスクが動いていない時は下位のタスクがそれでも動いているので、物に当たって壊れるといったことは起らないという一応の動作は実現される。これを包含 (Subsumption) アーキテクチャと称し、各モジュールの動作とその相互関係を有限状態マシンとその入出力信号の抑制・禁止でもって表現してシステムを作りあげる。この考えに従って、大は腕をもつ小型の移動ロボットから、小はおもちゃの自動車を使ったものまで、包含アーキテクチャのイ

(a) 領域分割

(b) 多面体による近似

図 7 自動車の形状解析

ンプリメントも Lisp マシンから PAL, VLSI までも試みている。

SRI の S. Rosenschein のグループは 70 年代の SHAKEY にちなんで FLAKEY と名づけた小型移動ロボットを作り、動的に変化する環境に反応するシステムの研究を進めている。このプロジェクトの特徴は、他の移動ロボットの研究はヒューリスティックで informal なアプローチが多い中で formal で論理的な記述に基づいていることである。REX という有限状態マシンを記述するリアルタイムプログラミング言語を開発し、Situated オートマトン理論と呼ばれる理論によってロボットシステムの持つ外界についての知識とマシンの状態(動作)の関係を記述する¹¹⁾。

CMU の H. Moravec のグループはこれまでに Pluto, Neptune, Uranus という小型ロボットを開発し¹²⁾, Denning 社の監視ロボットに使われているソナーシステムも開発して来た。最近の主眼は解像度が低くノイズの多いソナーのデータを確率的な方法で融合することによって信頼性の高い地図を作り上げるという Certainty Grid という方法を研究している¹³⁾。ソナーとステレオのデータ融合も試みている¹⁴⁾。このセンサ融合 (Sensor Fusion) と不確実性 (Uncertainty) の系統的扱いというのは自律移動ロボットに限らず、センシングとそのデータ解釈の分野での最近の中心的話題であり、多くの論文が現れている¹⁵⁻¹⁸⁾。

陸上だけでなく、水中・空中の自律移動ロボットの研究もある。NBS の M. Herman のグループはニューハンプシャー大で設計された水中船¹⁹⁾を使い、Multiple Autonomous Underwater Vehicle (MAUV) というプロジェクトを進めている²⁰⁾。目標は複数の水中船が主にソナーを使い共同して一定の海域を監視する、海底地図を作る、ターゲットを検知し位置決めをするといった作

業を自律的にするというものである。NBS の AMRF という生産自動化に関する研究の中から出て来た NBS アーキテクチャと称される多段階層的なアーキテクチャ²¹⁾を用いる。ちなみに、このアーキテクチャは NASA/NBS の標準アーキテクチャ (NASREM) として NASA 及び DARPA 関係の自律システムの標準とする動きがある。実際 NASA のスペースステーションのテレロボティクスシステムの入札にはその使用がほぼ義務付けられている感じである。こういう研究段階におけるシステム構成の標準化には賛否がある。

また、DARPA は Autonomous Air Vehicle (AAV) というプロジェクトを開始させつつあるが、現在の所はシナリオ作りの段階のようである。NASA は地域交通管制に応用する自律ヘリコプターの研究を考えている。

6. お わ り に

米国における自律移動ロボットの動きを ALV と NAVLAB を中心に概説した。自律移動ロボットと一口に言っても、技術・応用範囲は極めて広く、その研究はほとんど端緒についたばかりと言える。各プロジェクトでの先進的な技術成果のデモもきびしく言えば、その様な能力の一部が実現できたというのにすぎず、どの様な場面でも安定に働くといったものでは到底ないのが実状である。今後も息長くかつ広範囲に系統的観点に立って実世界での問題を対象に研究を進めていく必要がある。実際、ALV プロジェクトの大きな副次的効果として著者は「ビジョン研究者がシステム性・現実性・実時間性というものを真剣に研究に取り入れる様になった」点をあげたい。

米国で DARPA の ALV プロジェクトが今後も続けられるべきかどうか議論がある。影響が大きいだけに注目される。しかし、同時に、NASA 関係の火星探査ロボット

(Mars Rover) や EPA (環境保護局) の有害廃棄物によって汚染された地域の清掃用ロボットという大型の計画もすでに始まりつつある。さらに家庭内サービスロボットという分野も盛んになるであろうから、自律移動ロボットの研究は今後とも進展していくものと期待される。

参考文献

- 1) Proc. DARPA Image Understanding Workshop 1987 Vol.1-2, Los Angeles, CA, February 1987. (Available from Morgan Kaufmann Publishers, Inc., Los Altos, CA)
- 2) M. Turk, D. Morgenthaler, K. Gremban and M. Marra "Video Road-Following for the Autonomous Land Vehicle." Proc. 1987 IEEE International Conference on Robotics and Automation. Vol.1, pp. 273-280, Raleigh, NC, 1987
- 3) A. Waxman, et al. "A Visual Navigation System for Autonomous Land Vehicles." IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. RA-3, No. 2, pp. 124-141, April 1987
- 4) M. Daily, J. Harris and K. Reiser. "Detecting Obstacles in Range Imagery." Proc. DARPA Image Understanding Workshop 1987. Vol.1, pp. 87-97. Los Angeles, CA, February 1987
- 5) R. Wallace, et al. "Progress in Robot Road Following." Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, San Francisco, CA. pp. 1426-1432. April 1986
- 6) M. Hebert and T. Kanade. "Outdoor Scene Analysis Using Range Data." Ibid, pp. 1426-1432
- 7) C. Thorpe, S. Shafer, and T. Kanade. "Vision and Navigation for the Carnegie Mellon Navlab." Annual Research Review 1986, The Robotics Institute, Carnegie Mellon University, 1987. (Also to appear in IEEE Trans. PAMI.)
- 8) Y. Goto and A. Stentz. "The CMU System for Mobile Robot Navigation", Proc. 1987 IEEE International Conference on Robotics and Automation. Vol.1, pp. 99-105, Raleigh, NC, 1987
- 9) D. Zuk and M. Dell'eva. "3D Sensor for The Autonomous Land Vehicle." Technical Report, Environmental Research Institute of Michigan, March 1985
- 10) R. Brooks. "A Robust Layered Control System for a Mobile Robot", IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. RA-2, No. 1, pp. 14-23, March 1986
- 11) L. P. Kaelbling. "An Architecture for Intelligent Reactive Systems." Technical Report of SRI International #400, October 8, 1986
- 12) H. P. Moravec. "The Stanford Cart and the CMU Rover." Proc. of the IEEE, Vol. 71, No. 7, July 1983
- 13) H. P. Moravec. "Certainty Grids for Mobile Robots." JPL/NASA Space Telerobotics Workshop, Pasadena, CA, January 1987
- 14) A. Elfes and L. Matthies. "Sensor Integration for Robot Navigation: Combining Sonar and Stereo Range Data in a Grid-based Representation." Proc. 26th IEEE Conf. on Decision and Control, Los Angeles, CA, December 9-11, 1987
- 15) L. Matthies and T. Kanade. "The Cycle of Uncertainty and Constraint in Robot Perception." Preprints of the Fourth International Symposium of Robotics Research, Santa Cruz, CA, August 9-14, 1987. (To be published in Robotics Research 4, MIT Press, 1987)
- 16) N. Ayache and O. D. Faugeras. "Maintaining Representations of the Environment of a Mobile Robot." ibid.
- 17) R. Smith, M. Self and P. Cheeseman. "Estimating Uncertain Spatial Relationships in Robotics." Proc. Second Workshop on Uncertainty in Artificial Intell., Philadelphia, AAAI, August 1986. (Also, to be included in Robotics Research 4, MIT Press, 1987)
- 18) H. F. Durrant-Whyte. "Consistent Integration and Propagation of Disparate Sensor Observations." Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, San Francisco, CA, IEEE, pp. 1464-1469
- 19) D. R. Blidberg. "Guidance Control Architecture for the EAVE Vehicle." IEEE Journal Oceanic Engineering, October 1986
- 20) M. Herman and J. S. Albus. "Overview of the Multiple Autonomous Underwater Vehicle (MAUV) Project." To be presented at IEEE International Conference on Robotics and Automation, Philadelphia, 1988
- 21) J. S. Albus. "A Control System Architecture for Intelligent Machine Systems." IEEE Conf. on Systems, Man, and Cybernetics, Arlington, VA, October 1987

金出武雄 (Takeo KANADE)

昭和 20 年生。昭和 48 年京都大学工学部電子工学科大学院博士課程修了。同年京都大学情報工学科助手。昭和 51 年同助教。昭和 55 年カーネギーメロン大学計算機科学科高等研究員。昭和 60 年同教授。昭和 62 年同大学ロボティクス研究所所長代行。工学博士。電子通信学会、IEEE、ACM、AAAI 各会員。
(日本ロボット学会正会員)