

KfK 4200  
Februar 1987

# **Robotik in Japan**

**Ein Reisebericht**

T. Martin (Hrsg.)  
Projektträgerschaft Fertigungstechnik

**Kernforschungszentrum Karlsruhe**



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE  
Projektträgerschaft Fertigungstechnik

KfK 4200

Robotik in Japan  
- ein Reisebericht -

T. Martin (Hrsg.)

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

„Die Rechte für die Künstlerischen Grafiken bleiben  
bei der Grafikerin Renate Kirchhoff, Berlin.“

Als Manuskript vervielfältigt  
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH  
Postfach 3640, 7500 Karlsruhe 1

ISSN 0303-4003



## Zusammenfassung

Im September 1986 bereiste eine Gruppe von deutschen Wissenschaftlern japanische Institutionen, die sich mit Robotikforschung befassen, um sich einen umfassenden Überblick über den Stand in Japan zu verschaffen. Der Bericht schildert die in sieben führenden Forschungsinstituten und sieben Firmen besichtigten Forschungsprojekte und die geführten Diskussionen.

Im Vordergrund stehen fortgeschrittene Handhabungssysteme - teilweise autonome mobile Systeme -, die den Menschen die Arbeit unter schwierigen Bedingungen oder an gefährlichen Arbeitsplätzen erleichtern oder abnehmen sollen. Die Japaner betreiben auf diesem Gebiet eine breite Forschung im vorwettbewerblichen Bereich, besonders in der Nuklear- und Unterwassertechnik.

## Robotics in Japan, a travel report

### Abstract

In September 1986, a group of German scientists visited Japanese institutions dealing with advanced robotics research, to gain a deeper insight in the Japanese status of this technology. Research projects found and discussions led in seven leading research institutes and seven firms are reported.

Advanced robot or handling systems to ease or avoid human exposure to activities in harsh, demanding or dangerous conditions or environment are mainly dealt with. The Japanese show vast research activities in this area in the pre-competitive stage especially in the nuclear and underwater application area.

## V o r w o r t

Vom 15. bis 26. September 1986 bereiste eine Gruppe von 21 Wissenschaftlern japanische Institutionen <sup>1)</sup>, die sich mit Robotikforschung befassen, um sich einen umfassenden Überblick über den Stand dieser Forschungsrichtung in Japan zu verschaffen.

Diese Studienreise stand im Rahmen internationaler Zusammenarbeit bei der Entwicklung fortgeschrittener Robotertechnik (im Sinne von Robotik, ein Begriff, der sowohl Industrieroboter-, als auch Handhabungstechnik umfaßt). Diese Zusammenarbeit unter dem Namen Advanced Robotics Project war von den Industrieländern auf dem Wirtschaftsgipfel in Versailles im Jahre 1982 beschlossen worden. Ihr Gegenstand sind fortgeschrittene Handhabungssysteme, die den Menschen die Arbeit unter schwierigen Bedingungen oder an gefährlichen Arbeitsplätzen erleichtern oder abnehmen (nicht dagegen Industrieroboter in der Produktion). <sup>2)</sup> Im Rahmen dieser Zusammenarbeit hatten wir bereits zwei japanische Delegationen in der Bundesrepublik zu Gast. Diese deutsche "study mission to Japan" - gewissermaßen ein Gegenbesuch -erfolgte nach einer Einladung des japanischen Ministry of International Trade and Industry (MITI):

Das MITI, das große Forschungszentren in eigener Regie unterhält, fördert "Advanced Robot Technology" im Rahmen seines LARGE-SCALE PROJECT mit einer Gesamtzuwendung von ca. 200 Mio DM im Zeitraum 1982 bis 1990. Dabei unterstützt es als Anwendungsgebiet vor allem die Nuklear- und Unterwassertechnik.

Für die Wissenschaftler des Kernforschungszentrums Karlsruhe war die japanische Robotikszene besonders interessant, weil es in seinem F&E-Schwerpunkt Handhabungstechnik - insbesondere im Projekt "Hochflexible Handhabungssysteme" - ähnliche Ziele verfolgt wie die Japaner in ihremgeförderten Programm.

Dieser Bericht enthält die von den Reiseteilnehmer beschriebenen Beobachtungen und Eindrücke in den besuchten Institutionen. Er erhebt nicht den Anspruch, den Stand japanischer Robotikforschung vollständig zu beschreiben. Der Bereich Industrieroboter blieb, was ihre Anwendung betrifft, ausgespart. Es gibt noch zahlreiche weitere Universitätsinstitute und Firmen, die ebenfalls Robotik betreiben und die wir nicht besuchen konnten. Jedoch glauben wir die wichtigsten besucht zu haben, insbesondere auch die Hauptaktivitäten des MITI-Projektes.

Es soll hier nicht versucht werden, das Ergebnis der Studienreise insgesamt zusammenzufassen; stattdessen wird auf die Zusammenfassungen in den Teilberichten (jeweils die Kapitel 7) verwiesen. Jedoch seien einige wenige Bemerkungen als Resümee gemacht:

Die Japaner treiben mit großem Aufwand Vorlaufforschung auf allen Teilgebieten der Robotik, deren Anwendung man zum Teil erst ahnen kann (z.B. autonome mobile Systeme). Dabei wird ein breites Spektrum von möglichen Lösungen zugelassen. Auch die Industrie unterstützt teilweise eine solche langfristige Vorlaufforschung, deren Ergebnis in Gestalt marktfähiger Produkte noch nicht greifbar ist. Die Universitäten und die Institute des MITI bilden eine große Anzahl von hochqualifizierten Forschern aus. Dabei erscheinen die Universitäten im Aufwand bescheiden, aber im Produzieren fruchtbarer Ideen groß zu sein. Es ist zu erwarten, daß aus diesem beträchtlichen Knowhow in den neunziger Jahren neuartige hochintegrierte Handhabungssysteme in Form marktfähiger Produkte hervorgehen werden.

Der Herausgeber hat die Studienreise in seiner Funktion als deutscher Koordinator des Advanced Robotics Project, die er im Auftrag des BMFT wahrnimmt, geplant und geleitet. Allen Teilnehmern und Autoren der Teilberichte sei an dieser Stelle für die schöne Zusammenarbeit gedankt.

Sehr herzlich danke ich unseren japanischen Partnern beim MITI, Herrn Noboru Horie und Herrn Makoto Kaneko, für ihre Hilfe beim Durchführen der Reise.

Unser aller besonderer Dank geht an die Grafikerin Renate Kirchhoff, Berlin, die ihre Reiseimpressionen künstlerisch verarbeitet und uns in Gestalt der fünf Radierungen (in der Mitte des Heftes) überlassen hat.

Tomas Martin

- 1) Namen und Adressen der Teilnehmer sind im Anhang zu finden, die Namen der besuchten Institutionen - je 7 Forschungsinstitute und Firmen - sind aus dem Inhaltsverzeichnis ersichtlich.
- 2) Nähere Angaben zum Advanced Robotics Project sind ebenfalls im Anhang zu finden.

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	<u>Seite</u>
Berichte über den Besuch folgender Institutionen:	
Kaufhaus SEIBU (M.C. Wanner)	3
Mechanical Engineering Laboratory des MITI (M.C. Wanner)	9
Electrotechnical Laboratory des MITI (R. Niepold)	21
Tokyo Institute of Technology (E. Holler)	31
Waseda University (U. Rembold)	43
University of Tokyo (W. Müller-Dietsche / B. Bargel)	55
Power Reactor & Nuclear Fuel Development Corporation (H. Ramm)	63
Fünf Radierungen der Grafikerin Renate Kirchhoff, Berlin	75
Japan Marine Science & Technology Center (H.G. Pater)	97
Mitsui Engineering & Shipbuilding Co. (H. Walze)	103
Komatsu Ltd. (G.F. Schultheiß)	111
Hitachi Ltd., Mech. Eng. Research Lab (W. Köhler)	117
Toshiba Co., Nuclear Energy Group (E. Friesen / M. Tennie)	131
Mitsubishi Heavy Industries Ltd. (H. Kastl)	145
Shimizu Construction Co. (M.C. Wanner)	157
Kawasaki Heavy Industries Ltd. (K.H. Scholl)	163
Anhang :	169
Namen und Adressen der Teilnehmer	
Angaben zum Advanced Robotics Project	



Bericht über den Besuch des  
Kaufhauses SEIBU in Tsukuba  
von M.C. Wanner

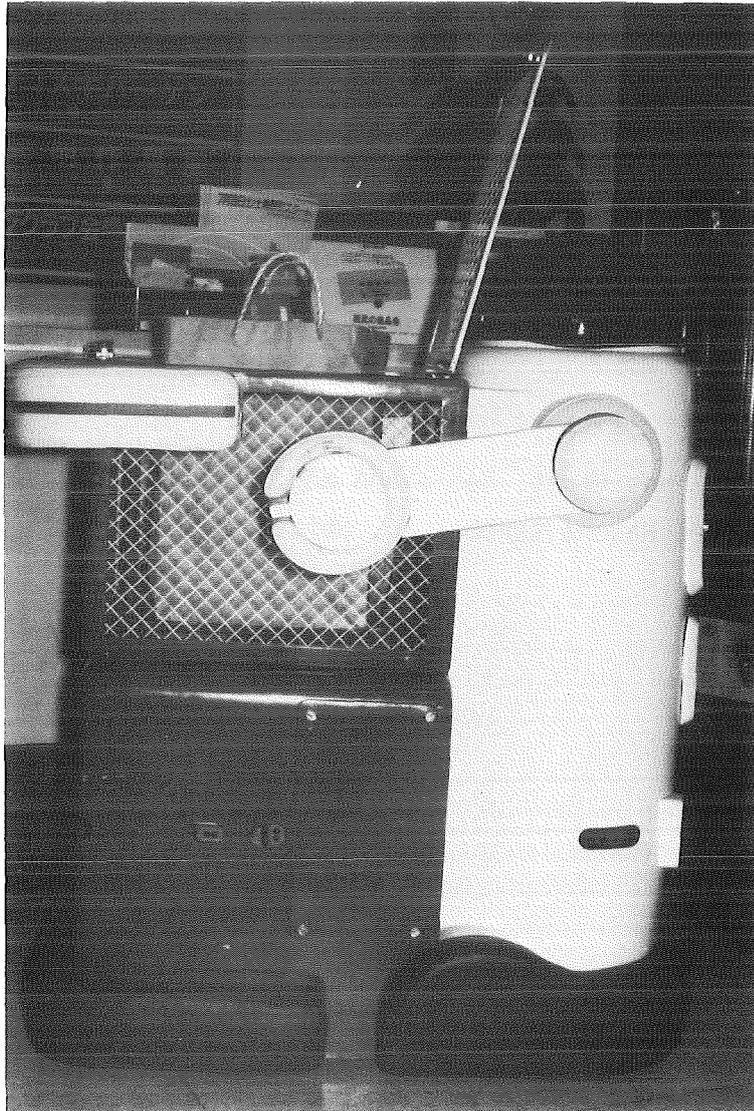


## Roboter im Kaufhaus SEIBU, Tsukuba

Gezeigt wurde ein mobiler, batteriebetriebener Einkaufswagen, der für Kunden auf besondere Anforderungen jeweils einmal pro Stockwerk zur Verfügung steht. Das Gerät arbeitet nach dem Sender (wird dem Benutzer umgeschaltet) / Empfänger-Prinzip. Eine Nahfeldkollisionsüberwachung erfolgt durch Ultraschallsensoren, die in der Frontpartie untergebracht sind. Die Inbetriebnahme und Erprobung im Kaufhaus SEIBU hat gezeigt, daß dieses Gerät bei einem üblichen Publikumsverkehr durchaus geeignet erscheint. Problematisch reagiert das Gerät, wenn Objekte plötzlich in den Arbeitsraum geschoben werden - die Ausweichstrategie führt zwangsläufig zur Kollision mit der Umwelt.

### Zusammenfassung:

Ein relativ einfaches Gerät, das einen möglichen zukünftigen Trend, und zwar den eines Haushaltsroboters, aufzeigt.



Mobiler Einkaufswagen. Unten ist in der vorderen Hälfte des Fahrzeugs die Ultraschallsensorik zu erkennen.



Frau Wanner-Suzuki führt den mobilen Einkaufswagen in beengten Umgebungs-  
verhältnissen



Bericht über den Besuch des  
Mechanical Engineering Laboratory des MITI  
von M.C. Wanner



## 1. Mechanical Engineering Laboratory, Tsukuba

Adresse: Mechanical Engineering Laboratory  
Nassiki 1-2, Sakura-mura, Niihari-gun  
Ibaraki-ken, 305 Japan

Das MEL ist ein Forschungsinstitut des MITI.

## 2. Gesprächspartner

Herr Dr. Shimizu, General Director  
Herr Abe, Minoru, Leiter des Robotics Dep.  
Herr Tachi, Susumu, Leiter Man-Machine Division  
Herr Tani, Kazuo, Leiter Mechanics Division

## 3. Entwicklungsthemen

Eines der vier Hauptgebiete des MEL ist die Entwicklung des Roboters der Zukunft. Hierbei hat man es nach Aussagen von Herrn Shimizu mit den Grenzen der herkömmlichen Technologie zu tun, man versucht diese Grenzen zu überwinden. Der grundsätzliche Forschungsansatz besteht darin, möglichst viele Funktionen bestehender Lebewesen, z.B. die der Menschen, nachzubilden.

Weitere Hauptgebiete außerhalb der Robotertechnik sind am MEL: Energie- und Rohstoffgewinnung, neuartige Materialien und Grundlagenforschung einschließlich Standardisierung.

## 4. Allgemeine Angaben

Insgesamt sind am MEL 290 Personen beschäftigt, davon können ungefähr 220 dem Forschungsbereich direkt zugeordnet werden. Dem Bereich Robotik sind etwa 30 Wissenschaftler direkt

zurechenbar. Der Gesamtetat beträgt etwa 40 Mio DM, davon sind etwa 60 % direkte Personalkosten.

Die Ausstattung der Labors mit Geräten ist großzügig und durchaus mit deutschen Großforschungseinrichtungen vergleichbar. Zu bemerken ist auch hier ein beängstigender Platzmangel sowohl in den Labors als auch Büros. Eine Werkstatt vergleichbar mit TEG am IPA ist vermutlich nicht vorhanden. Dies ist auch nicht notwendig, da am MEL überwiegend Grundlagenforschung betrieben wird.

#### 5. Präsentationen, Besichtigungen

Das MEL betreibt derzeit als Partner zwei große nationale Projekte:

- a) Entwicklung fortgeschrittener Roboter. Dieses Projekt läuft 8 Jahre und hat ein Gesamtvolumen von 20 Milliarden Yen.
- b) Automatisierung im Textilbereich. Die Teilaufgabe des MEL ist das Nähen des weichen Textilstoffs. Das Projekt läuft insgesamt 9 Jahre und hat ein Gesamtvolumen von 13 Milliarden Yen.

An den nationalen Projekten arbeiten insgesamt 25 Wissenschaftler. Parallel dazu laufen institutsinterne Projekte. Die Finanzierung erfolgt nicht über Privatunternehmen. Ein VIDEO zeigte den Stand der Entwicklungen am MEL bis zum Oktober 1983. Die wesentlichen Gerätentwicklungen wurden wie folgt beschrieben:

o MELWALK Mark I

Dieses Gerät war das erste einer Familie von Geräten mit einem sechsbeinigen Schreitwerk. Der wesentliche Entwicklungsschritt war hier die Doppellenker-Beinkinematik zur Überwindung der Gravitationskräfte. Das Gerät konnte 3 mal sein Eigengewicht tragen, aber nur geradeaus gehen.

o MELWALK Mark II

Dieses Gerät wurde so konzipiert, daß es auch im Kreis gehen konnte. Hierbei ist die Basis von 3 Beinen entkoppelt durch einen 2-Drehfreiheitsgrad bewegbar.

o Wall climbing robot

(siehe Beschreibung bei Besichtigung)

o Bilateraler Master-Slave Manipulator

Die wesentlichen Eigenschaften dieser Entwicklung sind neben der rechnerinternen Kompensation der Gravitationskräfte die Verwendung unterschiedlicher kinematischer Ketten für Master- bzw. Slave-Arm. Mit einem derartigen System können unterschiedliche und teure Master Arme vermieden und beliebig gestaltete Slave-Arme angeflanscht werden. Derartige Einrichtungen findet man übrigens auch bei Lackierrobotern.

o Locomotion robot

Dieses Gerät bewegt sich auf einer vorbestimmten Bahn. Es orientiert sich an Markierungen, die auf dem Fußboden angebracht sind, über eine Kamera.

o MEL-chair

Dieser Rollstuhl wurde konzipiert für querschnittsgelähmte Menschen. Er wird bedient über Joystick, wobei die Bewegungsrichtungen auf einem Bildschirmdisplay angezeigt werden. Alle 4 Räder können unabhängig voneinander angesteuert werden. Das Gerät verfügt über eine Hubeinrichtung. Eine Feinpositionierung erfolgt über eine Kugel.

o MELDOG Mark IV

Die MELDOG-Entwicklung ist nun bei einer vierten, verbesserten Version angelangt. Die Navigation erfolgt nach folgendem Prinzip:

- Wände werden als Markierungshilfe für die US-Sensoren verwendet.
- Die Umwelt (Wände, Straße etc.) wird für einen bestimmten Bereich auf eine Kasette gespeichert.
- Im Betrieb werden die Daten von der Kasette mit den aktuellen Daten verglichen und der Kurs entsprechend den Vorgaben korrigiert.

Ein neuer MELDOG soll sich in Entwicklung befinden.

Bei einem Rundgang durch das Versuchsfeld wurden mehrere Entwicklungsprojekte gezeigt.

o Wall climbing robot

Die Bezeichnung Roboter ist bei diesem Gerät etwas irreführend, da dieses Gerät lediglich über eine Bewegungseinrichtung (Schreitwerk) verfügt. (Siehe auch Bilder 1 und 2.) Das Gerät kann in seiner gegenwärtigen Ausführung in einer Richtung senkrecht an einer Wand hochklettern mit einer Geschwindigkeit

von 50 cm/min. Ein wesentliches Problem ist derzeit noch die Energieversorgung, die über Kabel erfolgt. Problematisch ist weiter die Konzeption der Saugnäpfe an den Füßen. Eine Haftung an der Wand ist nicht in jedem Fall sichergestellt, wie die Demonstration unfreiwillig gezeigt hat.

o Automatisches Nähen

Die allgemeine Aufgabenstellung besteht darin, auf eine Puppe aufgezogene Zuschnitte dreidimensional zu vernähen. Hierzu wird ein Roboter mit Direktantrieben, der am MEL im Rahmen eines anderen Projektes entwickelt wurde, eingesetzt. Der Direktantrieb gestattet (aufgrund der fehlenden Verlustleistung der Getriebe) die Realisierung einer kontrollierten Kraft am Endeffektor durch eine dynamische Modellierung. Allgemein kann festgestellt werden, daß man sich hier noch ziemlich in den Anfängen befindet.

o Teleexistence

Darunter versteht das MEL den Aufbau eines ferngesteuerten Systems, um den Menschen aus dem Gefahrenbereich herauszubringen. Die wesentlichen Komponenten sind Stereo-Kameras und Mikrofone, um dem Bediener ein realistisches Gefühl für die Umwelt zu vermitteln. Die Versuchsplattform ist ein mobiles System (Bilder 3 und 4). Dieses recht komplexe Gesamtsystem ist u.a. in /1/ beschrieben.

o MELWALK Mark III

Siehe hierzu Bilder 5 und 6. Hierzu ist anzumerken, daß dieses Gerät folgende Bewegungsalgorithmen in der Steuerung implementiert hat:

- a) Anpassung an unebenes Terrain
  - b) Geräteplattform wird auf einer konstanten Höhe gehalten
  - c) Steuerung, um das Gerät in eine beliebige Richtung zu bewegen
- Weitere Informationen können /2/ entnommen werden.

## 6. Ergebnis der Diskussion

Die Diskussion gestaltete sich als sehr schwierig, da vielfach aufgrund der mannigfaltigen Eindrücke sehr detaillierte Fragen gestellt wurden, die einfach aufgrund der Sprachprobleme nicht befriedigend beantwortet werden konnten. Sehr wichtig war jedoch die Aussage, daß man aufgrund der Erfahrungen die Entwicklung völlig autonom mobiler Systeme nur noch in einem beschränkten Rahmen betreibt und zunehmend wieder auf eine Überwachung und ggf. Übersteuerung durch den Operator setzt, dies aber nur in kritischen Situationen.

## 7. Zusammenfassung

Der Besuch am MEL war sehr informativ, die japanischen Gastgeber haben sich große Mühe gegeben, den Besuchern ein umfassendes und realistisches Bild ihrer Entwicklungsarbeiten zu geben.

Am MEL werden mit viel Mut neue Ideen aufgegriffen und der Versuch unternommen, diese möglichst rasch in einem Versuchsaufbau auszutesten und weiter zu verbessern. Dieses schrittweise Vorgehen und Eindringen in neuartige Anwendungsbereiche ist bei den gegebenen Rahmenbedingungen (Großforschungseinrichtung) sehr beeindruckend. Man hat das Gefühl, daß man den Wissenschaftlern sehr viel Freiheit läßt, die Vielzahl möglicher Lösungsansätze auch mehr oder weniger praxisnah zu erproben.

## Literatur

- /1/ Tachi, S; Tanie, K; Komoriya, K; Kaneko, M.  
Tele-existence (I), Design and Evaluation of a Visual Display with  
Sensation of Presence  
5th IFTOMM Symposium, Udine, 1984
- /2/ Kaneko, M; Abe, M; Tanie, K.  
A Hexapod Walking Machine with Decoupled Freedoms  
IEEE Journal of Robotics and Automation  
Dec. 1985, S. 183-190

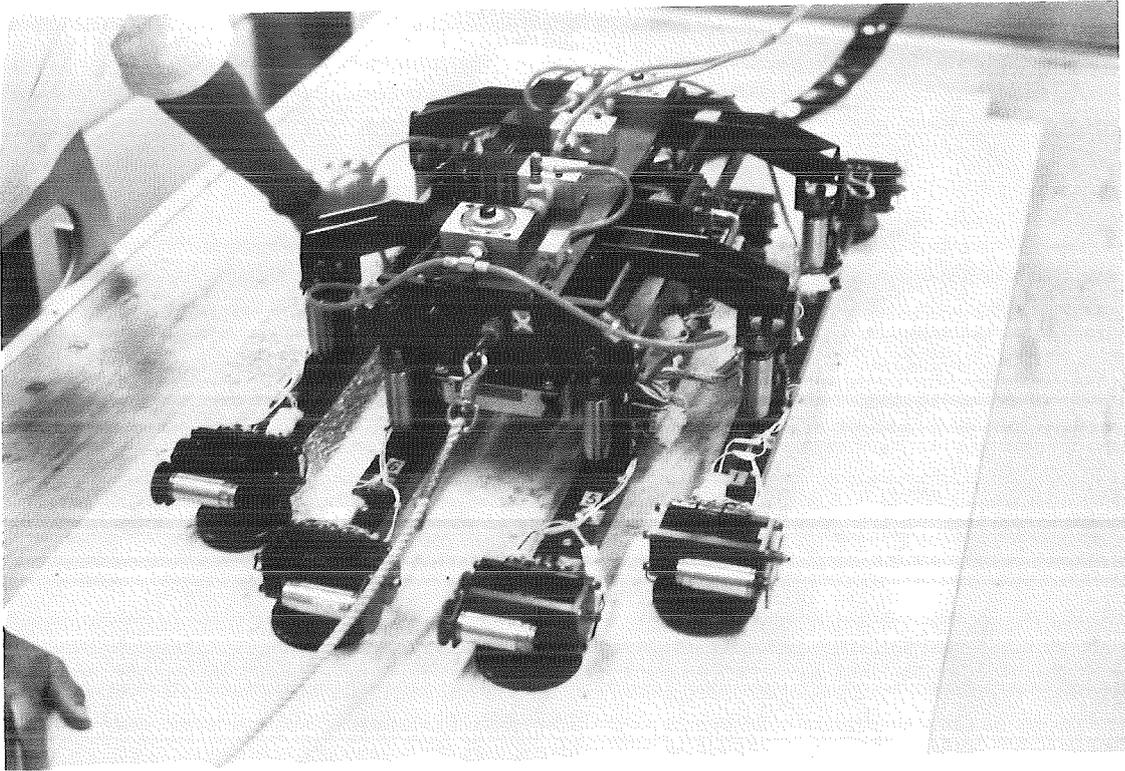


Bild 1

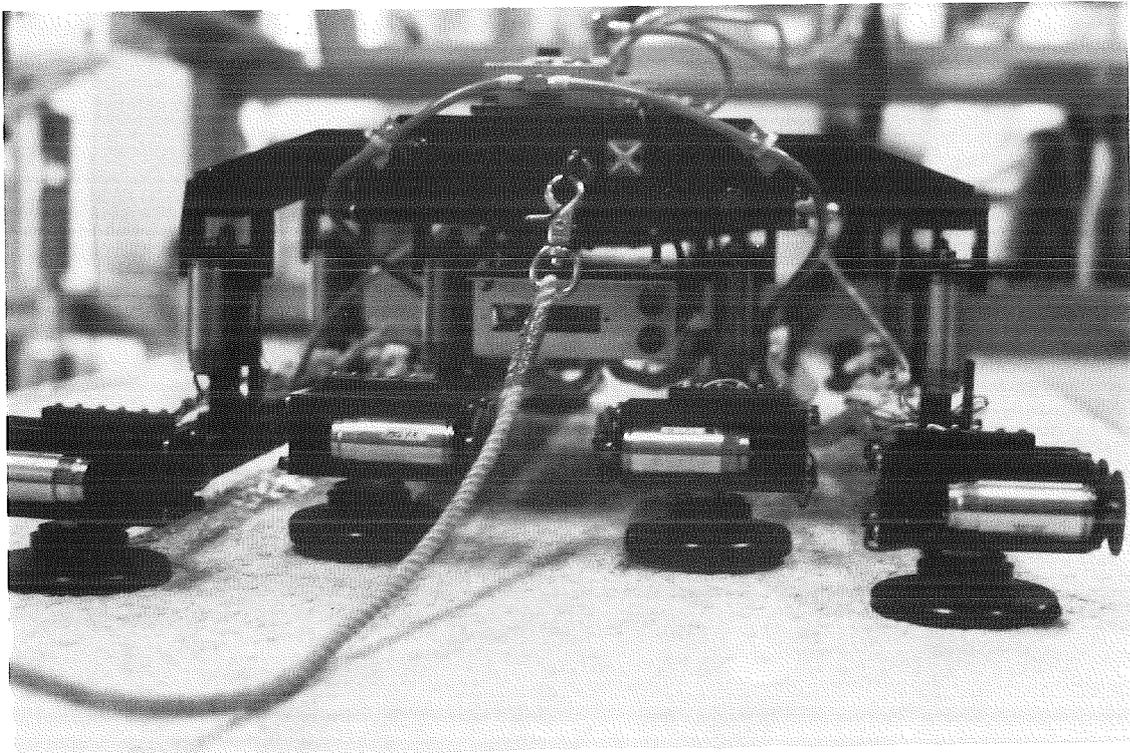


Bild 2

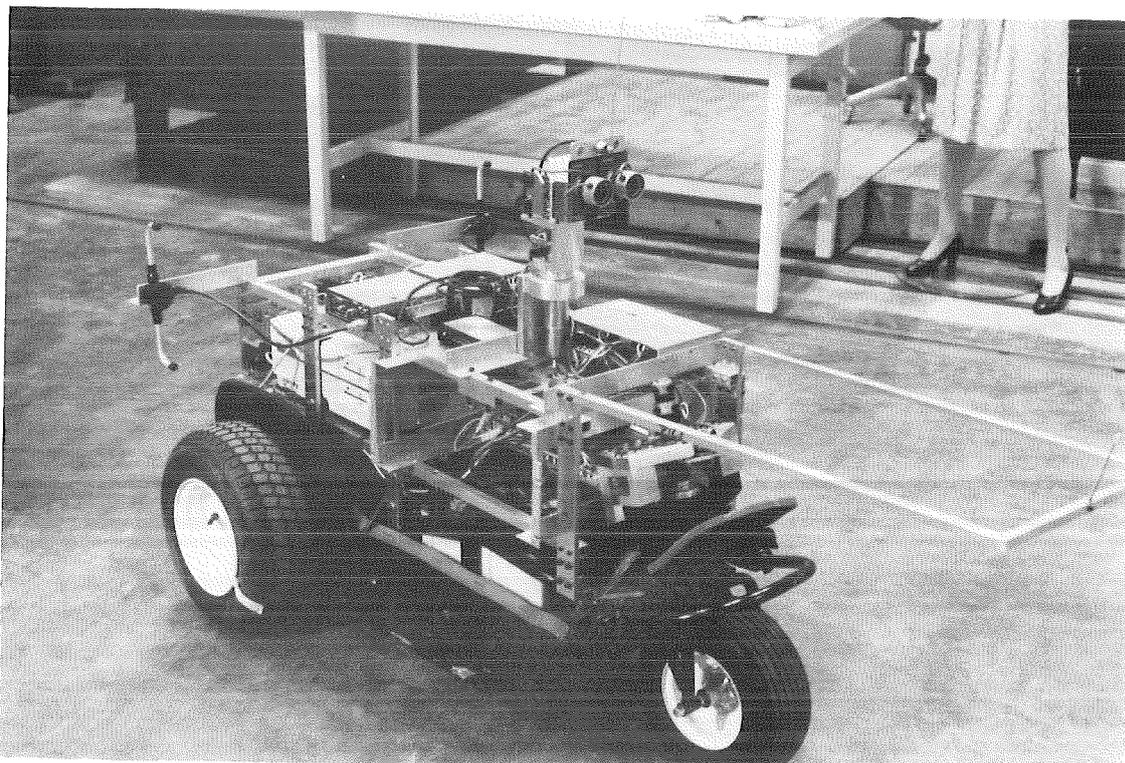


Bild 3

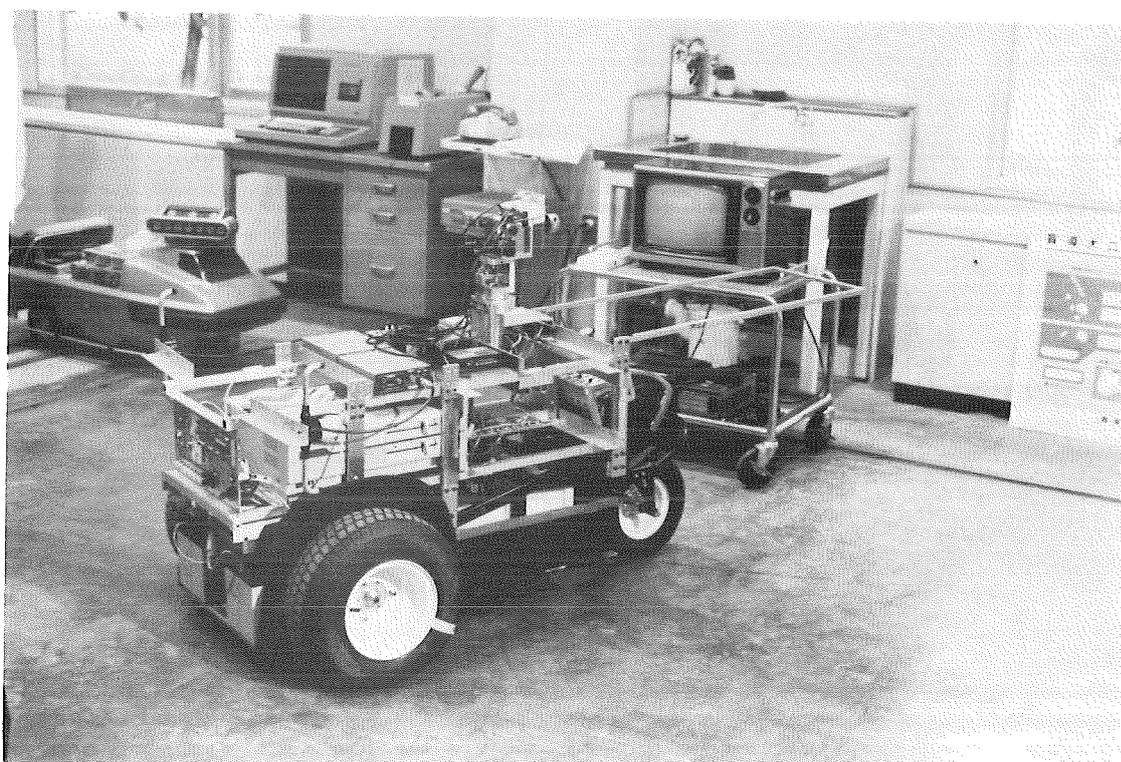


Bild 4

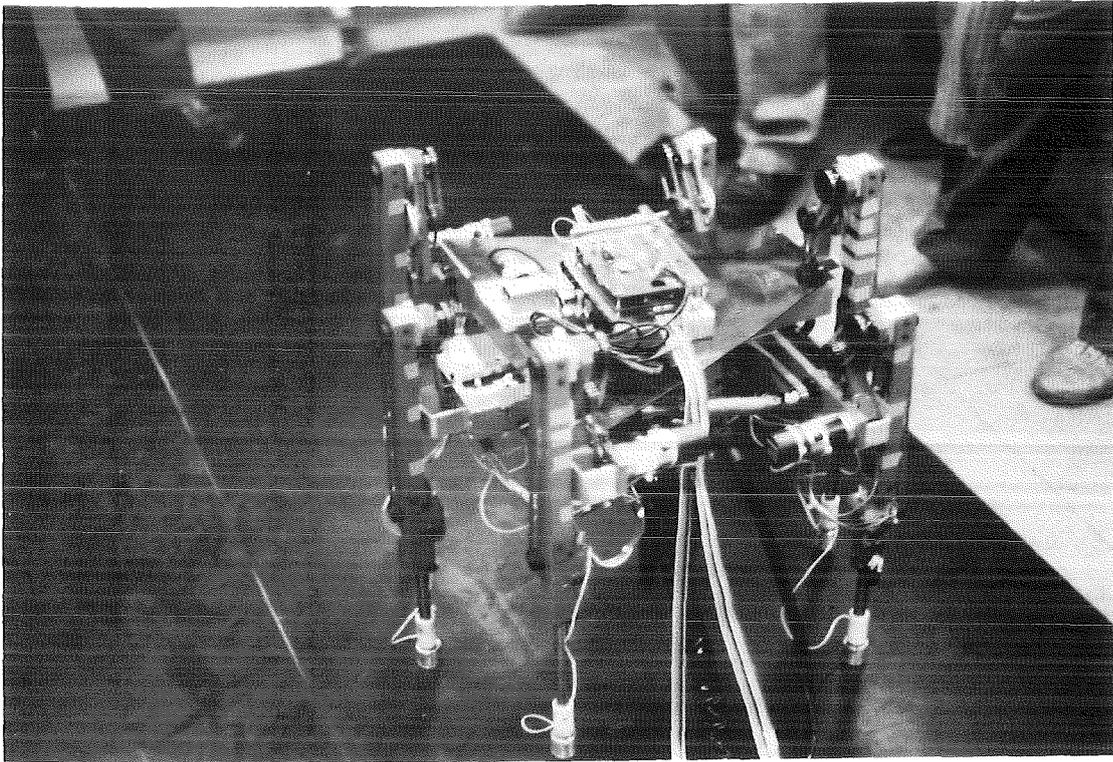


Bild 5

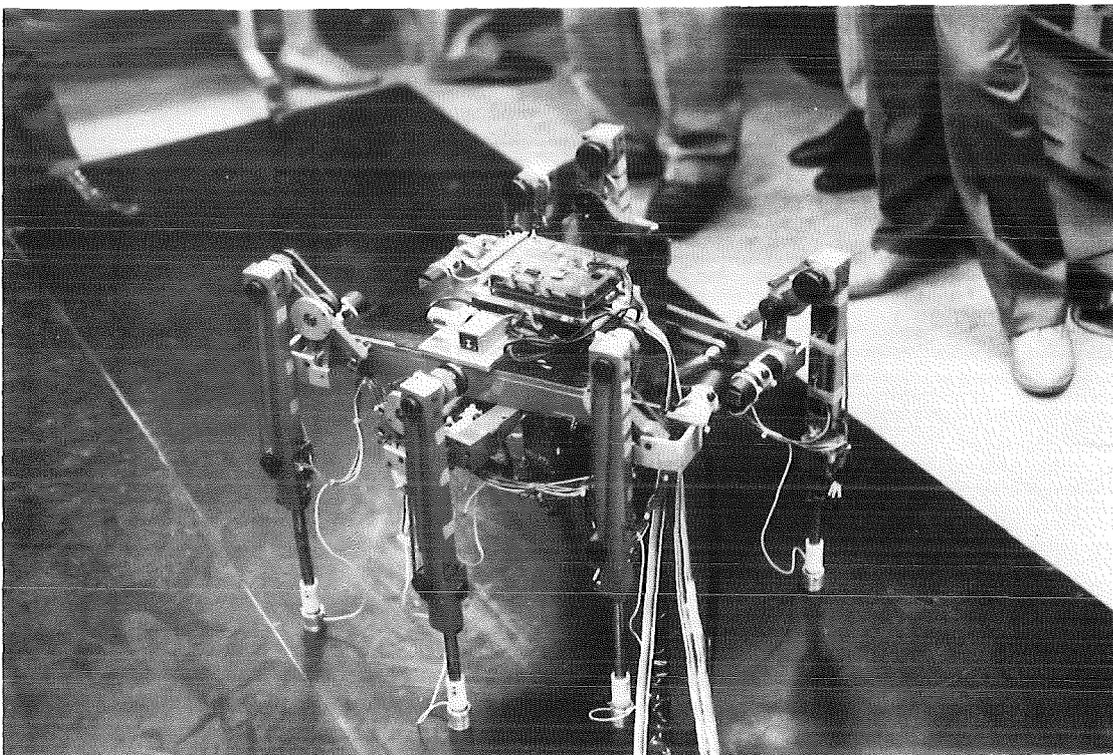
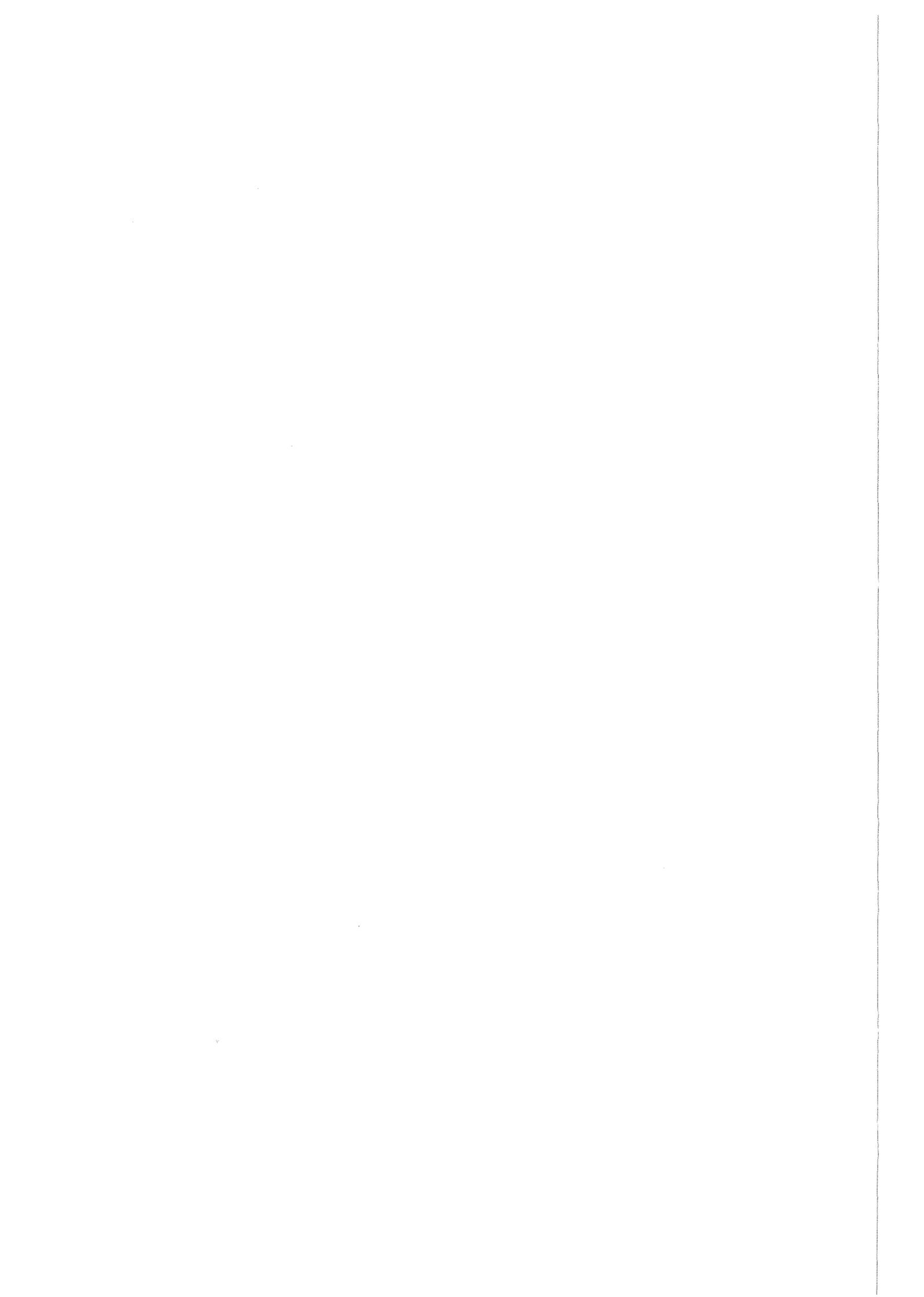


Bild 6



Bericht über den Besuch des  
Electrotechnical Laboratory des MITI  
von R. Niepold



### 1. Name des Institutes

Electrotechnical Laboratory (ETL)

Anschrift:

305 Ibaraki-ken, Niihari-gun, Sakuramura, Umezono 1-1-4;  
Tel.: (0298) 54-5009; Telex: 365 2570 AIST J; Fax: (0298) 55-1729

### 2. Gesprächspartner

Dr. Yoshiaki Shirai, Abteilungsleiter "Automatic Control Division" (war am Besuchstag terminlich verhindert).

Dr. Masayoshi Kakikura, Gruppenleiter "Information and Control"

Dr. Masaki Oshima, Gruppenleiter "Computer Vision"

Dr. Kunikatsu Takase, Projektleiter fuer Robotik innerhalb der Gruppe "Systems and Control"

Herr Yoshimi (Laser stripe range finder, "Computer Vision")

Herr Koshikawa (Solid object modeler GEOMAP, "Computer Vision")

Herr Sato (Telemanipulator, Hand-Auge Koordination, "Information and Control")

Herr Suehiro (Direct drive manipulator, force control, "Systems and Control")

Herr Matsui (Multi media display for robot simulation, "Systems and Control")

### 3. Entwicklungsthemen des Institutes

Das ETL als groesste staatliche Forschungseinrichtung in Japan hat sich zum Ziel gesetzt, auf dem Gebiet der Elektrotechnik und Elektronik auf moeglichst breiter Basis innovativ taetig zu sein. Daher sind die Aktivitaeten der Instituts sehr vielfaeltig. Den Forschern des ETL bietet sich die Moeglichkeit, im eigenen Hause auf ein sehr breites Fachwissen zureckzugreifen, das in den verschiedenen Fachabteilungen z.T. in langer Tradition erarbeitet wurde.

Z.Z. werden schwerpunktmaessig folgende Themen verfolgt: Materialforschung, Entwicklung neuer elektronische Bauteile (GaAs Halbleitertechnik; Ausnutzung des Josephson Effekts fuer neue Rechnerbausteine), Informatik (Bionik, Bildverarbeitung, Spracherkennung, Rechnertechnik, Programmentwicklung, etc.), Automatisierungstechnik (Robotik, Sensorsysteme), Radio- und Optoelektronik (Lasertechnik, optische Bauelemente), Quantenelektronik (2 Beschleuniger zum Studium von Strahlungen, Materialien und zur VLSI Lithographie vorhanden), Energietechnik (alternative Energietechniken, Energiewandlung und -transport) und andere.

Arbeiten zum Thema "fortgeschrittene Handhabungssysteme" sind in

der "Automatic Control Division" angesiedelt. Die Beschaeftigung mit Robotersystemen reicht bis in die 60-iger Jahre zurueck. Bereits sehr frueh wurde auch mit der Verkopplung von Sensoren und Robotern begonnen.

Die heutigen Schwerpunkte liegen auf folgenden Themen:

- Sensortechnik: Verfahren zur 3-D Datenerfassung und zur Erfassung von Oberflaechenorientierungen (Lichtschnitt, Photometrie, Stereo-Sehen, Bildfolgenanalyse);
- Roboterumweltmodellierung (Festkoerpermodellierung, Modellerfassung durch interaktive Eingabe oder durch Sensoren), Analyse von 3-D Sensordaten zur Objekterkennung und -positionierung durch Vergleich mit Umweltmodellen. Verwendung von Umweltmodellen zur Bahnplanung (Kollisionsverhuetung);
- Entwicklung von Robotern: Direktangetriebene Roboter, Spezialroboter (Rohrinnenpruefung), Fingerhaende (z.Z. nicht weiterverfolgt);
- Regelung von Robotern: Hybride Verfahren (Positions- und Kraftregelung).
- Simulation von Robotersystemen: Verwendung von Graphikprogrammen zur Darstellung von Roboterbewegungen, Bewegungsanalyse von Robotern, Programmierung von Bewegungsablauefen;
- Roboter/Sensorsysteme: Integration von einfachen Sensorsystemen, Hand-Auge Koordination, Automatisierung von Montagevorgaengen;
- Einsatz von Verfahren der KI in der Robotik: Aufbau von Wissensbasen fuer Montageaufgaben unter der Verwendung von Sensoren; Verwendung von objektorientierten Sprachen zur Roboterbewegungsbeschreibung und -programmierung;
- Aufbau von schnellen lokalen Netzwerken zur Bewaeltigung des Informationsflusses zwischen einzelnen Einheiten einer Roboterfertigungszelle (Servorechner, Planer, Sensorrechner etc.).

#### 4. Allgemeine Angaben

##### 4.1 Anzahl der Beschaeftigten

Gesamtzahl der Beschaeftigten im ETL: ca. 700, davon ca.550 Wissenschaftler. Anzahl der Beschaeftigten im Bereich Robotik: 35 bis 40 Wissenschaftler, davon ca. 75% ETL-Mitglieder (Status: Beamte) und ca. 25% Gastwissenschaftler von privaten Firmen.

## 4.2 Finanzvolumen

ETL-Etat 1985: ca. 80 Mill. DM (Personal- und Sachmittel). Fuer den Bereich Robotik: Ca. 1.4 Mill. DM Sachmittel / Jahr. Diese Mittel werden fast ausschliesslich (>80%) ueber staatliche Zuwendung im Rahmen des Nationalprojekts "Advanced Robotics" abgedeckt. Bei den Sachmitteln muss beruecksichtigt werden, dass das ETL praktisch keine Techniker beschaeftigt und nur in sehr beschraenktem Masse Werkstaetten zur Verfuegung stehen. Spezialanfertigungen (z.B. Bau eines Roboters oder eines Sensorprototypen, Realisierung von Schaltungen etc.) erfolgt daher fast immer durch Fremdfirmen und wird aus den Sachmitteln finanziert.

## 4.3 Einbindung in jap. Forschungslandschaft

Das ETL ist eines der grossen Forschungsinstitute des MITI (Ministerium for International Trade and Industry). Innerhalb dieses Ministeriums ist die AIST (Agency of Industrial Science and Technology) fuer den Bereich Forschung zustaendig. Auf dem Gebiet Robotik betreut die AIST z.Z. das nationale Forschungsvorhaben "Advanced Robotic Project". Die Foerdermittel dieses Verbundvorhabens fliessen hauptsaechlich an private Firmen (Toshiba, Hitachi, Mitsubishi, etc.). Als Forschungsinstitute spielen jedoch das ETL und das MEL (Mechanical Engineering Laboratory, ebenfalls AIST / MITI) eine wichtige Rolle innerhalb des Verbunds. Im Verstaendnis des MITI widmen sich MEL und ETL der anwendungsorientierten Forschung. Es ist erklaertes Ziel des ETL, sich im praekompetitiven Bereich mit Problemstellungen zu befassen, die erst langfristig (z.B. innerhalb von 10 Jahren und mehr) in die Anwendung kommen. Das ETL moechte hierdurch bewusst die Konkurrenz zu Forschungslabors der grossen Firmen vermeiden. Das ETL kooperiert daher mit Firmen nicht auf der Ebene der Produktinnovation sondern stellt fuer interessierte Firmen eher einen allgemeinen Lieferanten fuer innovative Verfahren und Techniken dar. Das ETL geraet damit zwangslaeufig in Konkurrenz zu den Forschungsstellen der Universitaeten. In der Praxis spielt das ETL bei der Definition neuer nationaler Verbundprojekte der AIST eine aktive Rolle, in dem z.B. in kleinem Umfang neue Themen durch Eigenforschung als "Keimzelle" fuer eine neues Verbundprojekt angearbeitet werden.

## 4.4 Ausstattung der Labors (beschraenkt auf den Bereich Robotik):

Roboter: mehrere Puma 650, ETA II und III (Direktantrieb, Eigenentwurf); Mastermanipulator (mit Direktantrieb fuer Kraftreflexion, Eigenentwurf); Servorechner fuer Roboter: MICROPROC16. Implementierung der Robotersprache ETALISP auf VAX 780.

Sensoren (Eigenentwicklungen): Lichtschnittsensor zur Erstellung von Tiefenkarten; 3-D Sensoren zur 3D-Raumpunktvermessung (Laser-

spot) oder zur Erfassung von einzelnen Tiefenprofilen (einzelner Laserstrich); Oberflaechenneigungserfassung (polarimetrisches Verfahren, photometrisches Verfahren), 3-D-Positionssensor (LED-Matrix am Objekt befestigt, mit TV-Kamera vermessen), Stereokameraanordnungen.

Bildverarbeitung: TOSPIX (schnelle Bildvorverarbeitung, lokale Operatoren etc.); Software-System SPIDER auf Grossrechner (umfangreiche Sammlung von Standardbildverarbeitungsrouitinen)

Allgemeine Rechner: FACOM M380 Grossrechenanlage; PRIME 750; DEC 2060; VAX 780; MicroVAX; SUN 3 Arbeitsstationen; Arbeitsplatzstationen NEC PC-9801; breites Angebot an Peripherie (Textsysteme, Graphikdisplays, Laserdrucker etc.). Die einzelnen grosseren Rechenanlagen sind durch Ethernet verbunden.

## 5. Praesentationen

### 5.1 "Laser Stripe Range Finder":

Das Sensorverfahren dient der Erstellung von Tiefenkarten. Die zu vermessende Szene wird mittels Laserstreifen abgetastet. Eine Fernsehkamera beobachtet die Laserstreifen. Die erfassten Streifenpunkte werden nach dem Triangulationsverfahren ausgewertet. Eine erste Sensoranordnung wurde von mehreren Jahren realisiert Gezeigt wurde eine aktualisierte Version des Sensors. Neue Merkmale sind: Verwendung von Laserdioden mit Zylinderlinsen anstelle eines Weisslichtdiaprojektors; 16 (statt bisher 1) Streifenprojektoren (jeweils 4 gleichzeitig geschaltet zur eindeutigen Streifenidentifikation), Verwendung einer Halbleiterkamera (bisher Roehrenkamera). Die gleichzeitige Projektion mehrerer Streifen soll die Erfassung von 3-D Daten beschleunigen. Die Gesamtszene wird mittels eines Drehspiegels zur Ablenkung des Projektionsmusters abgetastet.

Ausblick: Realisierung von speziellen Schaltungen zur schnellen Bildauswertung und Berechnung der Koordinaten. Einsatz des Sensors bei der Weiterentwicklung von 3-D-Auswerteverfahren.

### 5.2 "Solid Modeler GEOMAP"

Gezeigt wurde die aktuelle Version des Programmsystems GEOMAP, welches die Generierung einer rechnerinternen Repraesentation von Festkoerpern erlaubt. Ein beliebiger Festkoerper wird aus Primitivkoerpern (Quader, Zylinder etc.) durch interaktive Eingabe am Graphikterminal konfiguriert. GEOMAP umfasst ferner folgende Funktionen: Modellierung von Gelenken, Modellierung des Beobachters (automatische Generierung der Ansicht je nach Beobachterstandort), Schattierung des Objekts durch Definition einer Beleuchtung. Zur Unterstuetzung von Sichtsensoren werden ferner

angeboten: Berechnung der konvexen Objekthuelle und Generierung der stabilen Lagen eines Objektes. GEOMAP ist als Kernsystem ohne Benutzerumgebung gedacht. Als solches wird es derzeit im ETL in verschiedenen Projekten angewandt (z.B. Modellierung von Robotern, Wiedererkennung von Objekten aus 3-D Daten etc.).

Ausblick: Z.Z. wird daran gearbeitet, die numerische Genauigkeit zu erhoehen. Ferner wird eine C-Version der bisher in FORTRAN programmierten Funktionen erstellt. Es ist ausserdem daran gedacht, eine universelle Benutzeroberflaeche zu realisieren.

### 5.3 Direkt angetriebener Roboter ETA III, Kraftregelung:

Der gezeigte Roboter ETA 3 hat eine maximale Tragfaehigkeit von 3 kg und besitzt 6 Freiheitsgrade (nur Rotationsgelenke). Die Antriebe 1 - 3 sind getriebefrei, die uebrigen arbeiten mit Untersetzungen zur Erhoehung der Kraftmomente. Zur Entlastung der Antriebe ist der Roboter so gebaut, dass die ersten drei Achsen in jeder beliebigen Position ausbalanciert sind, so dass die Antriebe nicht die Gravitation kompensieren muessen. Zum Betreiben des Roboters ist ein Servorechner MICROPROC 16 (Ausgabe der Gelenkmomente, Einlesen von Position und Momente der Achsen) installiert, der die Regelung der einzelnen Achsen vornimmt. Ihm uebergeordnet ist ein Leitreehner (VAX 780), der per DMA Zugriff auf den Servorechner hat. Eine in LISP geschriebenes Robotersprache ETALISP erlaubt die Eingabe von einfachen Bewegungsbefehlen unter parametrisierter Spezifikation des gewuenschten Regelmodus (Positions- oder Kraftregelung).

Ausblick: Es wird derzeit an der Verbesserung der Kraftregelung gearbeitet (bisherige Genauigkeit ca. 100 g). Ferner wird die Robotersprache ETALISP weiterentwickelt, um spezifische Fertigkeiten ("Schrauben", "Greifen" etc.) als Funktionen zur Verfuegung zu stellen.

### 5.4 "Multi media display" (Robotersystemsimulation)

Vorgefuehrt wurde ein Bedienplatz zur Simulation eines Roboters. Dem Bediener steht ein Graphikdisplay mit Maus sowie ein alphanumerisches Terminal zur Verfuegung. Ein Roboter kann als Drahtmodell oder als schattiertes Festkoerpermodell dargestellt werden. Bewegungen koennen numerisch oder mit Hilfe der Maus eingegeben werden. Bedienhilfen: Darstellungsfenster-Technik, Pseudofarbdarstellung, Zooming und Stereodarstellung (abwechselnde Darstellung von Bildern mit automatisch generierter Disparitaet, Beobachtung mittels Spezialbrille, deren linkes und rechtes Auge durch Schalten einer PLZT-Keramik abwechselnd abgedunkelt wird). Ferner koennen Kamerabilder mit Graphik gemischt werden (z.B. Uberlagerung eines Drahtmodells mit Kamerabild zum Vergleich von Soll/Istposition). Die Bewegungen werden in Echtzeit dargestellt.

Ausblick: Das System wurde Mitte des Jahres zum ersten Mal vorgestellt. Z.Z. wird an der Integration dynamischer Robotermodelle gearbeitet (bisher nur kinematische Modellierung).

#### 5.5 "Telemanipulator System" (Vorführung eines Videofilms):

Der Roboter ETA III wurde mit einem Masterarm verkoppelt. Die Master/Slave-Anordnung wurde durch ein Programmsystem ergaenzt, welches Einlernoperationen erleichtern soll. Das Programmsystem erlaubt die automatische Uebernahme bestimmter Bewegungsfunktionen (z.B. Vorgabe: Bewegung nur in einer bestimmten Ebene). Ferner hat das System Zugriff auf ein Weltmodell, in dem die zu manipulierenden Objekte dargestellt sind. Bei der Ausfuehrung einer bestimmten Taetigkeit sucht das System die erforderlichen Informationen (z.B. Lage des Greifpunktes oder objektspezifischer Bewegungsablauf) zunaechst im Weltmodell. Sofern hier keine Angaben gefunden werden, wird der Benutzer aufgefordert, mit Hilfe des Masterarms die gesuchten Positionen oder Bewegungsablaeufe vorzufuehren. Das System ist in der Lage, die gewonnene Information im Weltmodell abzulegen, so dass eine spaetere automatische Ausfuehrung moeglich ist. Die Ablage erfolgt dabei in einer objektgebundenen Wissensbasis zur Beschreibung von Geometrie, funktionaler Merkmale und Bewegungsablaeufe.

Z.Z. wird daran gearbeitet, das System durch eine weitere Wissensbasis zu ergaenzen, die Sensorfunktionen beschreibt. Beide Wissensbasen (Objektgeometrie bzw. -funktionen und Sensorfunktionen) sollen dann in einer "cooperative knowlege base" integriert werden, die die Hand-Augekoordination weitgehend automatisiert.

#### 6. Ergebnis der Diskussion

Frage: Wie werden Firmen in die gegenwaertigen Teilprojekte eingebunden ? Antwort: Keine direkte Kooperation; die Firmen verfolgen die ETL-Arbeiten und halten Ruecksprache, sofern Interesse an Ergebnissen besteht. Teilweise wird auch Knowhow uebergeben, indem Firmenmitarbeiter zeitweise am ETL in laufenden Projekten mitarbeiten.

Frage: Wie werden die einzelnen Teilprojekte zum Thema Robotik koordiniert ? Antwort: Den Rahmen bildet das Verbundvorhaben "Advanced Robotic Project". Die einzelnen Teilprojekte werden in der gegenwaertigen Phase unabhaengig voneinander durchgefuehrt, jedoch findet ein reger Informationsaustausch statt. Fuer die letzte Phase des Verbundprojektes wird die Demonstration eines Systemkonzepts angestrebt.

Frage: Welches Konzept wird bezueglich der Entwicklung von Programmierverfahren fuer Robotersystem verfolgt ? Antwort: Hierzu gibt es z.Z. noch kein einheitliches Konzept. Jedoch wird diese

Fragestellung innerhalb verschiedener Teilprojekte mit untersucht (Bahnplanung incl. Kollisionsverhuetung, Simulation von Robotersystemen zum Programmieren von Bewegungen, Definition von expliziten Bewegungsfunktionen als Elemente einer Robotersprache, automatische oder interaktive Umwelterfassung mittels 3-D-Sensoren u.a.).

## 7. Zusammenfassung

### 7.1 Wichtigste Ergebnisse

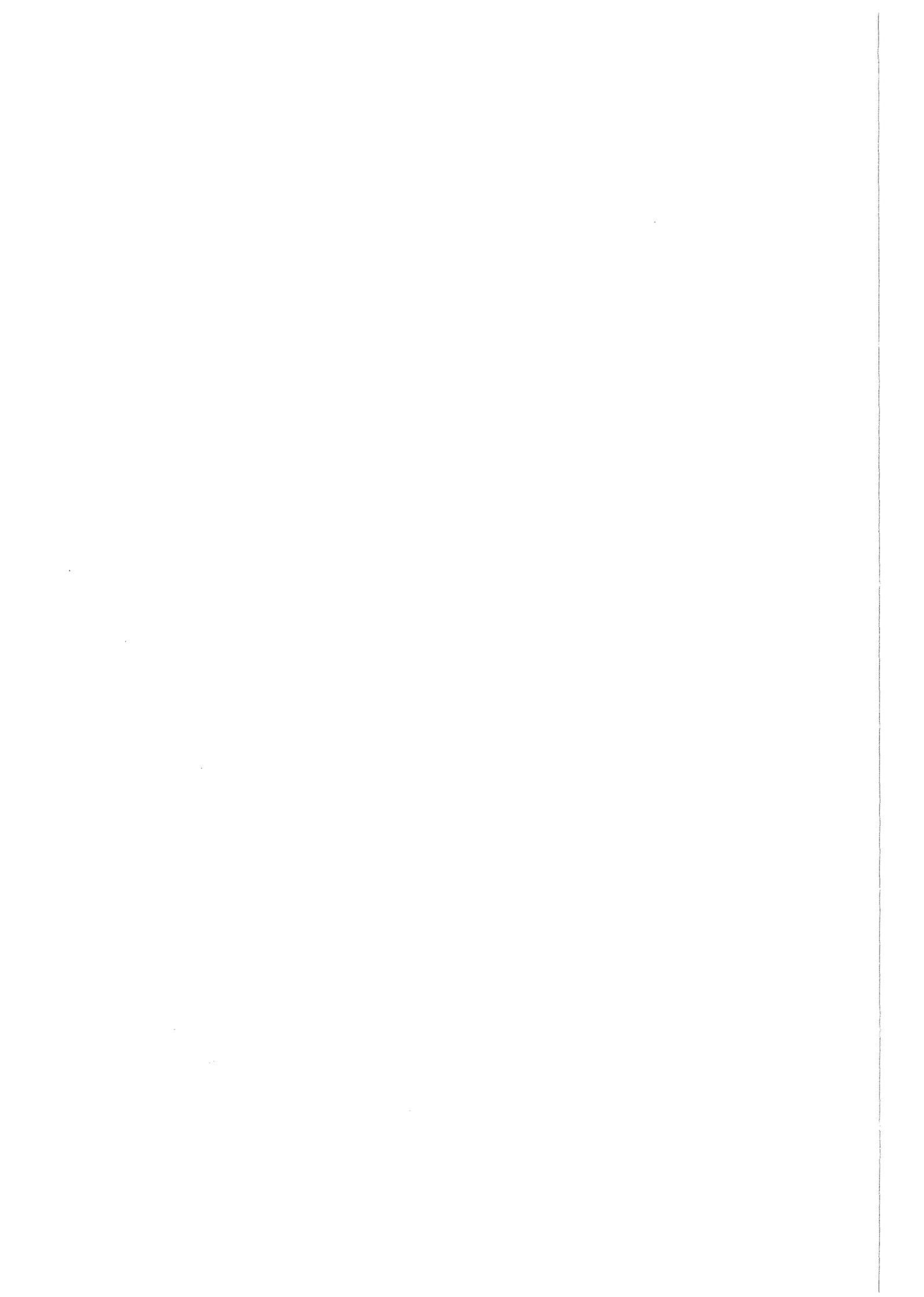
Die Arbeiten des ETL auf dem Gebiet Robotik haben zum Ziel, innovative Verfahren fuer autonome Robotersysteme zur Verfuegung zu stellen. Zu diesem Zwecke werden insbesondere die Bereiche 3-D-Sensoren, Sensor-Roboter Kooperation unter Verwendung von Umweltmodellen und Systemsimulation verfolgt.

Innerhalb der japanischen Forschungslandschaft nimmt das ETL auf dem Gebiet Robotik aufgrund der langjaehrigen Vorarbeiten und der zur Verfuegung stehenden Mittel eine wichtige Stellung ein. Zusammen mit dem MEL uebernimmt das ETL fuer die AIST (NITI) die fachliche Vorbereitung neuer Forschungsinitiativen auf dem Gebiet Robotik. Es erscheint daher wichtig, die ETL-Arbeiten auch in Zukunft genau zu verfolgen.

### 7.2 Versuch einer Wertung

Auf dem Gebiet 3-D Sensoren haben die Arbeiten des ETL weltweit Beachtung gefunden. Insbesondere Verfahren zur 3-D-Datenauswertung wurden bereits sehr weit entwickelt, sind jedoch noch zu aufwendig fuer den praktischen Einsatz. Die Bemuehungen zur Sensor-Roboter-Kooperation werden mit besonderem Aufwand vorangetrieben. Die Grundlagen fuer autonome Systeme wurden erfolgreich erarbeitet. Die verwendeten Werkzeuge zur Umweltmodellierung und Simulation entsprechen dem Stand der Technik, beduerfen jedoch bezueglich ihrer universellen Verwendbarkeit noch der Ueberarbeitung. Ferner steht die Koordination verschiedener Ansaetze innerhalb des ETL noch aus.

Die Vorgehensweise bei der Entwicklung neuer Konzepte - parallele Bearbeitung von Forschungsteilvorhaben ohne direkte Koordination - erscheint zunaechst verwirrend, hat jedoch den Vorteil, dass u.U. verschiedene Ansaetze nebeneinander verfolgt werden koennen. Entscheidend wird die fuer Ende der 80-iger Jahre angekuendigte Systemdemonstration innerhalb des Vorhabens "Advanced Robotics" sein, bei der die einzelnen Ansaetze zu einem schluessigen Konzept zusammengefasst werden muessen.



Bericht über den Besuch des  
Tokyo Institute of Technology  
von E. Holler



Dr. E. Holler

27.10.86

### Besuch am Tokyo Institute of Technology am 19. Sept. 1986

#### 1. Name und Adresse der besuchten Institution

Tokyo Institute of Technology  
Faculty of Engineering  
Dpt. of Mechanical Engineering  
2-12-1 Ohokayama, Meguro-Ku, Tokyo  
Tel. (726) 1111 (Ex. 3177)

#### 2. Gesprächspartner

Dr. Eng. Shigeo Hirose, Associate Professor  
Leiter des Labors für Biomechanics and Robotics

#### 3. Entwicklungsthemen des Labors

Biomechanische Studien und Übertragung der Erkenntnisse auf Anwendungen in der Robotertechnik.

Das Institut befaßt sich seit etwa 15 Jahren mit dem Gebiet "Robotics"; in dieser Zeit wurden unter Mitwirkung von Dr. Hirose u.a. die Forschungsthemen

- "Research on Snake Movement"
- "Grippers"
- "Walking Robot"
- "Wall Climbing Robot based on Magnetic Devices"

bearbeitet. Wie aus den genannten Themen deutlich wird, steht die Fortbewegungstechnik, die sich in der Robotik einsetzen läßt, im Mittelpunkt der Arbeiten.

Prof. Hirose zeigte anhand von Tabelle 1, wie aus seiner Sicht eine Klassifizierung dieser Fortbewegungstechniken aussehen kann.

Terrain	Configuration	Key Technology
even	wheel	guidance
off road (stairs, etc. soft)	advanced wheel, legs	intelligent control, energy efficiency
3D-terrain (wall, pipeline)	multi joints (snake)	weight supported locomotion

Tabelle 1: Klassifizierung von Fortbewegungstechniken

#### 4. Allgemeine Angaben

Die Entwicklungsarbeiten leitet Prof. Hirose in Zusammenarbeit mit Prof. Umetasi, Stammpersonal gibt es nicht; die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten werden von zur Zeit 5 "undergraduate"-Studenten, 6 "master course"-Teilnehmern, einem Doktoranden und einem "postgraduate-researcher" getragen.

Im Bereich "Control.-Engineering" kooperiert man mit den Professoren Tulota und Hasegawa; enge Kontakte bestehen auch zu Prof. Tenawaki, der Forschungen auf dem Gebiet der "bi-ped motion" betreibt.

Die Finanzierung der F + E-Arbeiten erfolgt über das Erziehungsministerium und über Spenden der Privatindustrie. Im laufenden Jahr stehen den 4,5 Mio Yen vom Erziehungsministerium etwa 6 Mio Yen von der Industrie gegenüber, insgesamt also 10,5 Mio Yen = ca. 150 TDM.

Von dem Labor, untergebracht in einem renovierungsbedürftig wirkenden Lagerhaus, erreichbar über einen Hintereingang, bekamen wir nur den Präsentationsraum zu Gesicht, Laborarbeitsplätze und Werkstätten wurden uns nicht gezeigt.

Aufgrund flüchtiger Einblicke in andere Labors auf dem Hochschulgelände konnte man jedoch den Eindruck gewinnen, daß der Ausstattungsstandard der Labors nicht dem an deutschen

Hochschulen entspricht. Die Demonstrationen zeigten jedoch, daß am "Tokyo Institute of Technology" auch unter bescheidenen Voraussetzungen hervorragende Entwicklungsergebnisse erzielt werden.

## 5. Präsentationen/Besichtigungen

Anhand eines Filmes wurde über die bei biomechanischen Studien gewonnenen Erkenntnisse bzw. Ergebnisse informiert. Es wurden gezeigt:

- Experimente mit einer Schlange (gekauft in einem Restaurant). Anhand der Aufnahmen wurde sehr schön demonstriert, in welchem Umfange Schlangen in der Lage sind, durch Wechsel der Fortbewegungsart sich an unterschiedliche Geländeformen so zu adaptieren, daß die Fortbewegung mit minimalem Kraftaufwand möglich wird (Kräfte wurden gemessen).
- Die in eine aus 20 Segmenten bestehende mechanische Struktur (Active Cord Mechanism ACM) umgesetzten Erkenntnisse aus den Schlangenexperimenten. Die Struktur war in jedem Segment mit einem Paar antriebsloser Räder ausgestattet; Fortbewegung wurde durch Biegebewegungen erreicht, bei denen das Biegesignal phasenverzögert den mit Antrieben versehenen Gelenkmechanismen zwischen den Segmenten von vorne nach hinten zugeleitet wurde.
- Nach dem Prinzip des "lateral inhibition" war es möglich, über von der Steuerung verarbeitete Signale von on/off-switch-Sensoren, die aus 20 Segmenten bestehende Struktur an beliebig äußere Formen anzupassen.
- Als viertes wurde eine ACM-Struktur gezeigt, deren Segmente jeweils über sog. "oblique swivel joints" (schräg angestellte Gelenkmechanismen) miteinander verbunden waren. Bei koordinierter Aktivierung der Antriebe in den Gelenkmechanismen war es möglich, die gleichzeitig als Exo-Skelett ausgelegte Struktur 3-dimensionale Bewegungen im Raum ausführen zu lassen.
- Eine mit Rädern an jedem zweiten Segment ausgerüstete Struktur der letztgenannten Art bewegte sich präzise wie ein Zug, wenn Radbewegung und Gelenkbetätigung synchronisiert wurden; gleichzeitig konnten dabei Hindernisse überwunden werden.
- Ein auf der Biomechanik der Schlange basierender Greifer, dessen Gelenke durch je zwei Drahtseile betätigt werden, gewährleistet eine präzise dosierbare identische Greifkraft an jedem Greifpunkt ("soft gripper").  
Es wurde ein 8-gelenkiger Greifer demonstriert, angetrieben über 3 Motoren, der es

möglich machte, einen Menschen zu greifen (Versuchsperson im Film überstand den Versuch).

- Ein dreifingriger Greifer (soft gripper) nach dem selben Prinzip wie oben arbeitend, aber mit Riemenantrieb. Als Versuchsobjekt diente eine Banane.
- Eine als Inspektionsroboter verwendete ACM-Struktur mit koaxialen und "oblique swivel"-Gelenken. Das Gerät wird unter Wasser zur Untersuchung und zum Schleifen von Turbinengehäusen eingesetzt, ist 3 Meter lang, wiegt 30 kg und ist am Kopfende mit acht, über einen gemeinsamen Aktuator zu betätigenden Fingern ausgestattet.
- Eine miniaturisierte ACM-Struktur, bei der die Bewegung der einzelnen Segmente über kombinierte Feder- und Seilzug-Mechanismen ausgelöst wird. Es wurde demonstriert, daß das Gerät in der Lage ist, ein Objekt zu greifen, daß in einem nur durch Loch zugänglichen Hohlraum hinter einer Barriere abgelegt war.
- Eine mit Glasfaseroptik ausgerüstete ACM-Struktur für den Einsatz in der Human-Medizin. Die gezielte Bewegung der Segmente wird hier durch Antriebsmechanismen auf SMA-Basis (shape memory alloy) erreicht. Der gezeigte Prototyp hatte 30 mm Durchmesser. Ein praktisch einsetzbares Modell ist in Arbeit.

Dem Film folgten einige Diapositive, die den Einsatz von ACM-Strukturen in verschiedenen Anwendungsbereichen zeigten, so u.a.

- ein fiberoptisches Endoskop zur Inspektion von Flugzeug-Gasturbinen
- ein "aktiver" Feuerwehrschauch (Skizze)
- ein Transportgerät für den Unterwassereinsatz
- ein Transportgerät (Boden) für den Einsatz in der Raumfahrt.

Prof. Hirose ging nun in seinen weiteren Ausführungen auf die Entwicklung von Geh- bzw. Schreitmechanismen ein, mit der sich das Tokyo Inst. of Technology seit etwa 1950 befaßt. Seit 1963 werden Rechner zur flexiblen und adaptiven Steuerung von Gehmechanismen eingesetzt (Prof. Mage).

Bei den neueren Entwicklungen sind sowohl die Energieversorgung für die Antriebe als auch das Steuerungssystem auf den Gehmaschinen montiert. Das Steuerungssystem ist hierarchisch strukturiert.

Das Labor von Hirose hat sich im Zusammenhang mit der Entwicklung von Gehmaschinen insbesondere mit dem Problem des Energieverlustes bei Schreitbewegungen befaßt, der daher

rührt, daß die Antriebe normalerweise nicht in der Lage sind, die während des Gehvorganges gespeicherte (potentielle) Energie zu reaktivieren. Durch den von Hirose entwickelten "gravitational decoupled actuator" (GDA) gelingt die Eliminierung der potentiellen Energie bei 3D-pantographischen Mechanismen (Pantomec).

In einem kurzen Film wurde der 1982 entstandene "walking robot" demonstriert, eine Schreitmaschine aus carbonfaserverstärktem Kunststoff, ausgestattet mit vier GDA-Beinen (s.o.) .

Zur Detektion von Hindernissen sind die Füße der Maschine mit Schnurrhaar-Sensoren versehen. Die Schnurrhaare bestehen aus SMA, das laut Hirose eine wesentlich größere Elastizität als Stahl besitzt. Die Erkennung größerer Hindernisse (z.B. Wände) erfolgt über Ultraschall-Sensoren, die Fortbewegungsgeschwindigkeit beträgt 3 cm/sec.

Das neueste Modell des "walking robot", Mark III, wiegt 140 kg (Abb. 1). Für dieses Modell wird an einem "running mode" als Betriebsart gearbeitet.

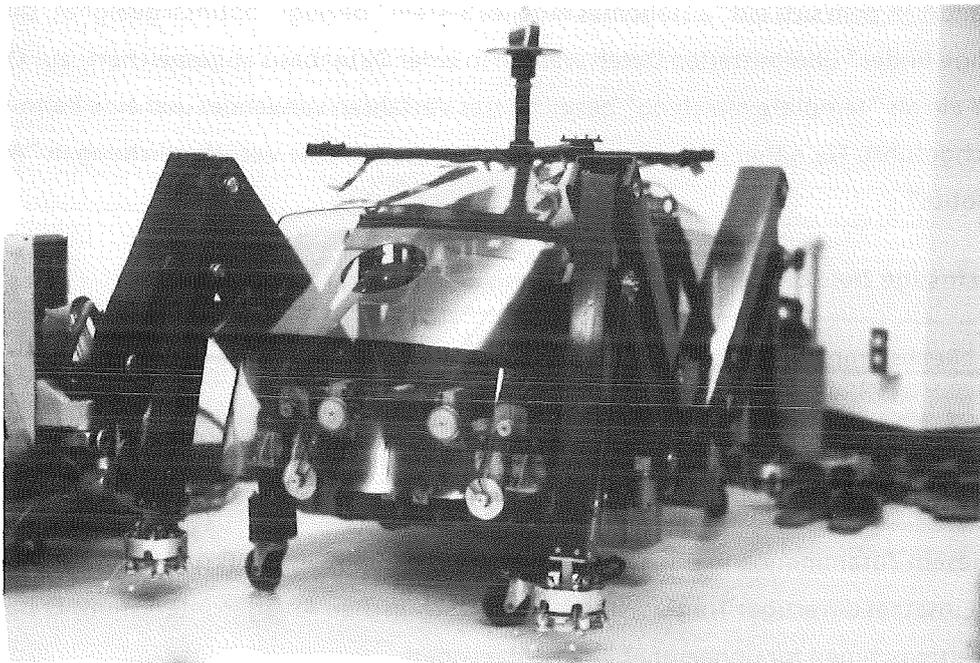


Abb. 1: Walking Robot

Die im Labor aufgestellten Modelle "Mark II" und "Mark III" waren leider beide nicht vorführbereit; Mark III soll demnächst auf einer Ausstellung gezeigt werden.

Die auf einem externen 16-bit-Microcomputer implementierte Steuerungssoftware für Mark III ist in der Programmiersprache C geschrieben und umfaßt ca. 70 KByte. Die Signalübertragung zwischen Steuerungsrechner und Schreitmaschine erfolgt bei dem gezeigten Prototyp über eine Glasfiverbindung. Hirose wies darauf hin, daß Mitsubishi mittlerweile einen Mark III "walking robot" mit integriertem Controller gebaut hat. (Dieser wurde auch anläßlich unseres Besuches bei Mitsubishi vorgeführt, vgl. dort). Die Bewegungsberechnungen werden jeweils gestartet, wenn ein Bein der Maschine den Boden berührt (step by step calculation). Weiter fortgeschrittene Steuerungen bedienen sich der "one step ahead calculation". Die Lage-Stabilität der Maschine wird entsprechend der Position des Schwerpunktes berechnet. Die veränderbare Höhe des "Körpers" der Schreitmaschine wird ebenfalls berechnet und so an das jeweilige Gelände angepaßt.

Auf dem Gerät Mark III ist u.a. ein "range finder" montiert, der dazu dient, Kollisionen zu verhindern und die Bahn der Maschine zu ermitteln.

Nach Ansicht von Hirose ist der "range finder" zur Ermittlung von 3D-Informationen über das Gelände, in dem sich ein "autonomes mobiles System" bewegt, optimal geeignet. Die vom "range finder" übermittelten Daten werden in einer Datenbasis abgespeichert; zur Orientierung wird ein als "template matching" bezeichnetes Verfahren verwendet und eine Bahn-Anpassung durchgeführt. Für näher interessierte verweist Hirose auf eine Veröffentlichung in "Advanced Robotics".

Kurzfristige Ziele bei der Weiterentwicklung des "walking robot" sind:

1. Realisierung eines Roboters für den Einsatz in der Bauindustrie (power-shovel).
2. Die Bereitstellung einer Schreitmaschine als Trägersystem im Rahmen des MITI-Projektes "Advanced Robotics".

In diesem Zusammenhang erscheint die persönliche Meinung von Prof. Hirose zur Möglichkeit des Einsatzes derartiger Trägersysteme in kerntechnischen Anlagen interessant: Er hält Schreitmaschinen für ungeeignet. Die Forderungen:

- 500 kg Nutzlast
- 1,5 m Höhe
- 60 cm Breite
- 4 km/h Geschwindigkeit

- 0,3 m Höhe der überwindbaren Hindernisse

könnten mit "walking robot" praktisch nicht erfüllt werden.

Besser geeignet ist seiner Meinung nach ein in seinem Labor entwickeltes ACM-ähnliches System, das bei drei Freiheitsgraden in jedem Segment bei großer Ladekapazität sowohl das Überwinden von Hindernissen als auch das Bewältigen von Treppen ermöglicht.

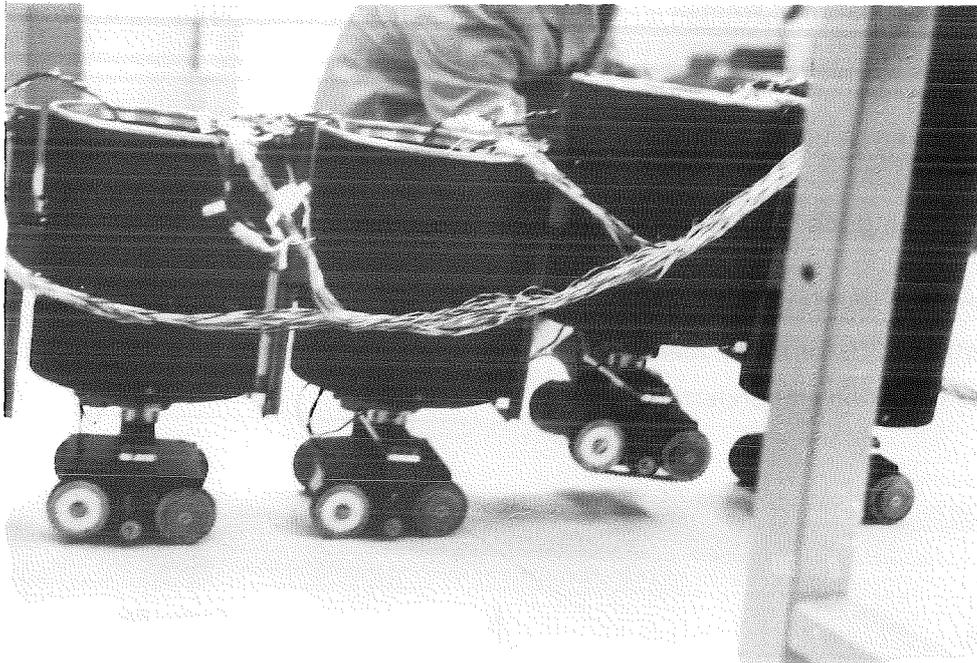


Abb. 2: Multi Joint System

Dieses Konzept beinhaltet eine Kombination von drei Fortbewegungsmechanismen: Fortgeschrittenes Rad, Bein und Schlange und werde daher den Anforderungen eines 3D-Geländes (vgl. Tab. 1) am ehesten gerecht.

Abschließend stellte Prof. Hirose zwei weitere Entwicklungen seines Labors vor:

- Ein System zur Inspektion von Rohrleitungsverbindungen (Gripede), das sich mittels adaptiver Greifer von Rohrleitung zu Rohrleitung forthängt; die Inspektion selbst erfolgt mittels um die Rohrverbindung rotierender Ultraschallsensoren an den Greifern.
- Ein Gerät zur Fortbewegung an Stahlwänden (Magpede) mit permanentmagnetischen Haftfüßen. Die Haftfüße sind eine Entwicklung von Hirose (Japanisches Patent) und

arbeiten nach folgendem Prinzip: (vgl. Abb. 3) . Die Magnetkraft wird durch eine nichtlineare Feder nahezu kompensiert, aber nicht vollständig, so daß der Hufeisenmagnet die Stahlwand noch berührt. Der Rahmen, auf dem die Feder aufliegt, wird dadurch nahezu mit der Anziehungskraft des Permanentmagneten auf die Stahlwand gedrückt; die dadurch erzielte Haltekraft ist nach Hirose 10 mal höher als die mit Vakuum-Saugern erreichbare Kraft. Durch minimalen Zug an einem in der Mitte der Feder angebrachten über Preßluft zu betätigenden Zylinder, läßt sich der Haltefuß von der Stahlwand lösen, durch Betätigung des Zylinders in umgekehrter Richtung wird die Haftung wieder hergestellt.

Die mit diesen Haftfüßen ausgestattete Gehmaschine wiegt 70 kg. Ins Auge gefaßte Anwendungen sind:

- Wartung an Kernreaktoren
- Reinigung von Schiffsaußenwänden und Gebäuden.

In einem Film wurde gezeigt, wie ein "stunt man", nur ausgestattet mit den oben beschriebenen magnetischen Haftern, die über Griffhebel gelöst werden konnten, an einer glatten Stahlkonstruktion emporkletterte.

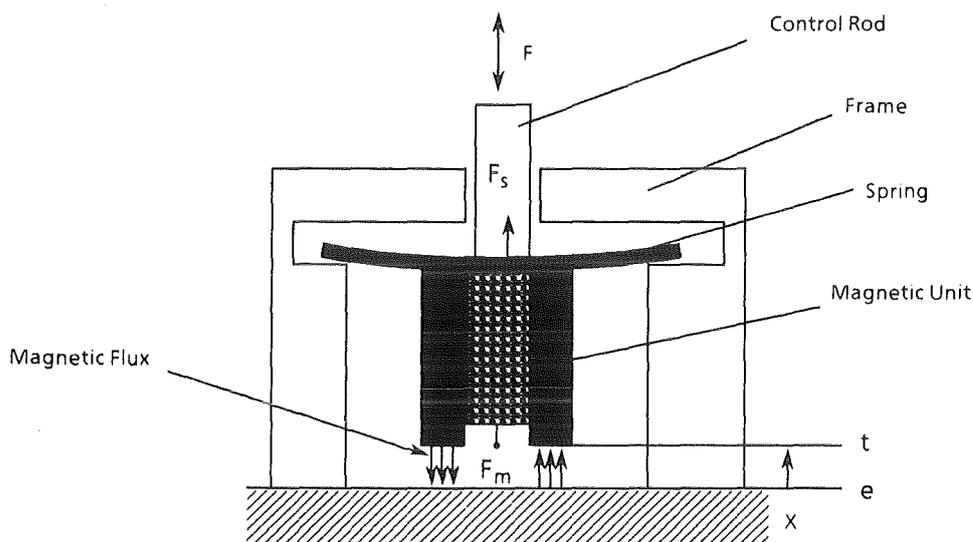


Abb. 3: The basic structure of proposing Internally Balanced (IB) Magnet

## 6. Ergebnis der Diskussion

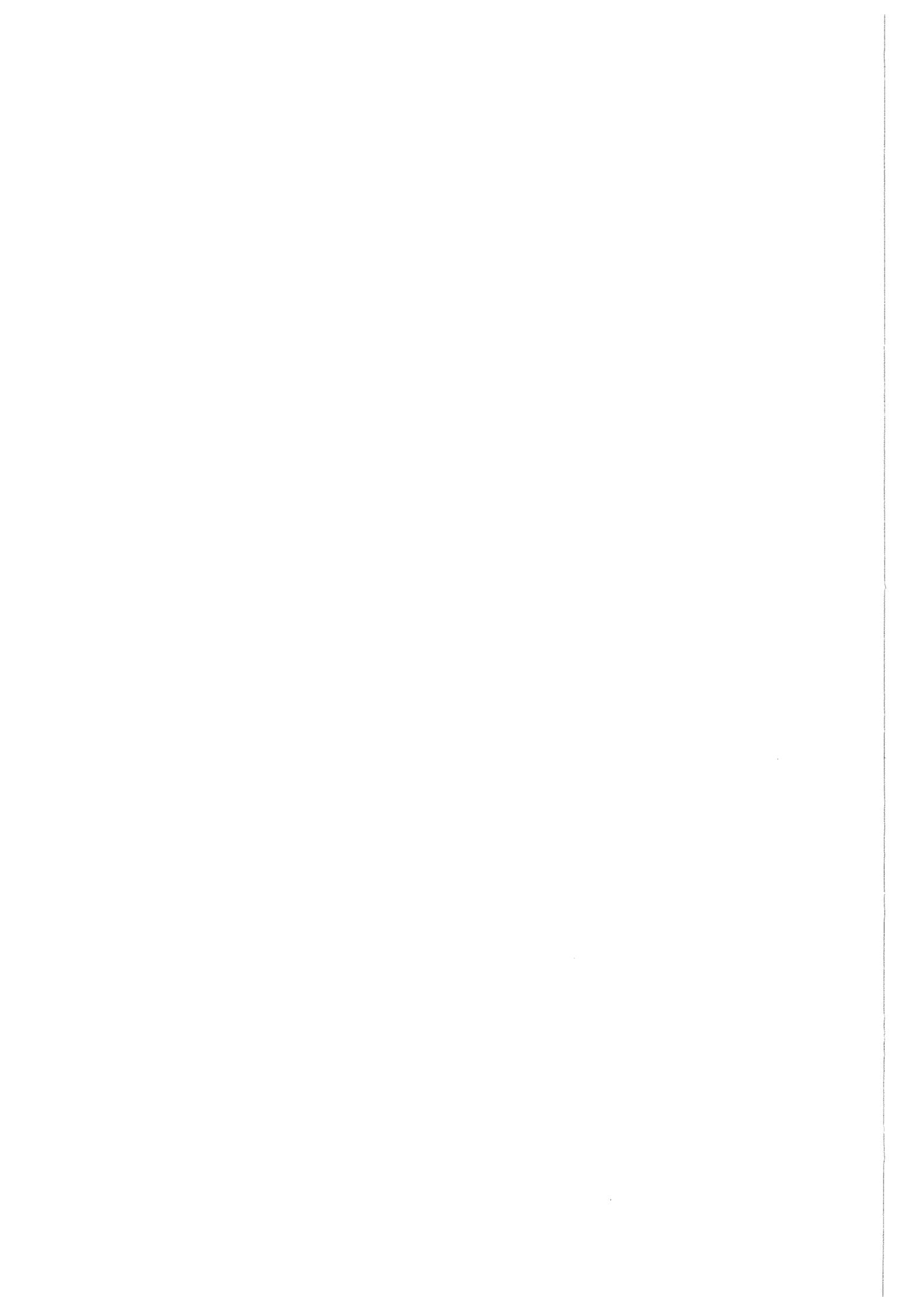
Die in der Diskussion behandelten technischen Fragen bezogen sich zum einen auf die Steuerungsproblematik der gezeigten Geräte und waren ausnahmslos Verständnisfragen; die Erklärungen von Prof. Hirose dazu wurden in obige Beschreibungen bereits eingearbeitet.

Der andere Teil der Fragen zielte auf die organisatorischen Randbedingungen, unter denen die vorgestellten Leistungen erbracht wurden; die Antworten dazu sind unter 4. (Allgemeine Angaben) zusammengefaßt.

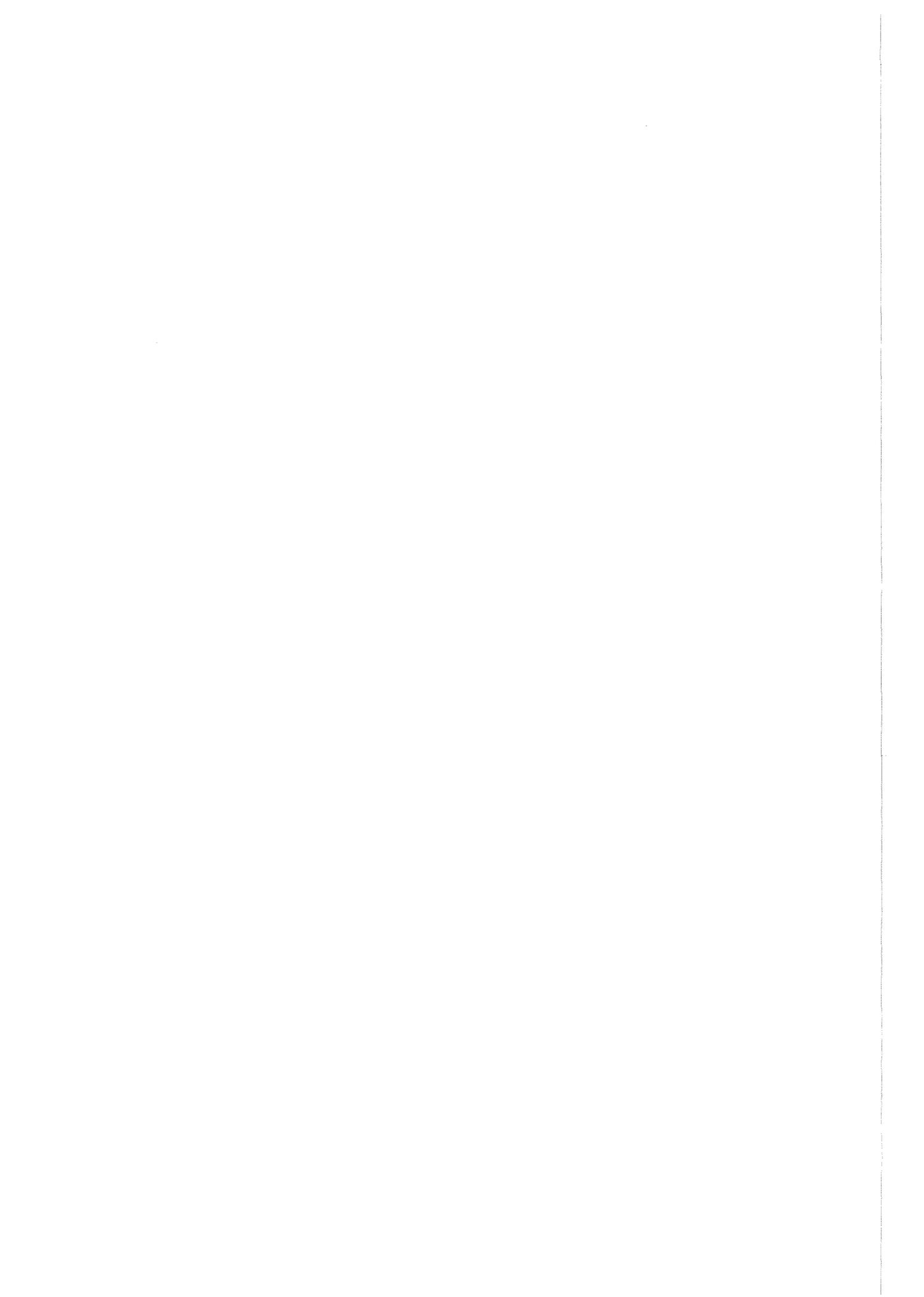
## 7. Zusammenfassung

Es herrschte Konsens unter den Teilnehmern der "study mission", daß die von Prof. Hirose präsentierten Ergebnisse seines Labors hinsichtlich ihres innovativen Charakters als außergewöhnlich einzustufen sind; dies insbesondere vor dem Hintergrund einer auch für Hochschulverhältnisse eher bescheidenen Ausstattung mit Mitteln und Personal.

Die Meinung Prof. Hiroses zur Einsatzmöglichkeit von Schreitmaschinen als Transportsysteme für handhabungstechnische Einrichtungen zur Fernwartung in kerntechnischen Anlagen deckte sich mit der Meinung der für die Handhabung in Kernkraftwerken kompetenten Teilnehmer der "study mission".



Bericht über den Besuch der  
Waseda University  
von U. Rembold



### **Institution:**

School of Science and Engineering  
Waseda Universität  
3-4-1 Okubo Shinjuku-ku  
Tokyo, 160  
Japan

### **Gesprächspartner:**

Prof. Ichiro Kato  
Leiter des Roboterinstituts

Das Institut hat 32 Wissenschaftler (davon 2 Gastwissenschaftler aus dem Ausland). Es stehen pro Jahr etwa 140.000 DM an Geldern für Investitionsmittel zur Verfügung.

Das Forschungsprogramm hat die folgenden Schwerpunkte:

1. **Prothesen für menschliche Hände, Arme und Beine**
2. **Zweibeinige Gehwerke**
3. **Anthropomorphischer, intelligenter Waseda Roboter *WABOT***

Das wesentliche Ziel des Instituts ist es, intelligente Systeme zu entwickeln, die voraussichtlich in den nächsten 20 Jahren sowohl in der Industrie als auch im privaten Bereich eingesetzt werden können. Diese Roboter werden einen hohen Grad an Beweglichkeit besitzen und eine Vielzahl von Aufgaben eigenständig durchführen können. Es ist vorherzusehen, daß diese Roboter sowohl für komplexe, feinmechanische als auch für schwere körperliche Arbeiten zum Einsatz kommen werden.

#### **1. Prothesen für menschliche Hände, Arme und Beine**

Im Jahre 1964 begann die Entwicklung von Prothesen. Zunächst wurden Hände und Unterarme konstruiert und gebaut; daraufhin beschäftigten sich die Arbeiten mit dem Entwurf von Oberarmsegmenten.

Das Arbeitsprinzip der mechanischen Hände wurde möglichst getreu der menschlichen Hand nachgebildet. Man verwendete vier Finger und einen Daumen, die jeweils drei bis vier Freiheitsgrade besaßen. Es wurden verschiedene Antriebe untersucht, wobei die ersten Hände ihre Bewegungen mit Servomotoren und die späteren mit hydraulischen Komponenten erzeugten. Die Signale zum Steuern der Greifbewegungen und zum Drücken wurden aus den Nervenenden des Armstumpfes abgeleitet (Electromyogramm EMG). Zur Regelung des Druckes verwendete man Drucksensoren in den Fingern, die die Drucksignale in frequenzmodulierte elektrische Impulse umsetzen und die Hand des Prothesenträgers stimulierten. In der letzten Version der Hand befand sich ein Mikrorechner, der die Regelung der Greif- und Druckbewegungen wesentlich verbesserte. Heute werden verschiedene Versionen der *Waseda* Hand kommerziell angeboten.

Mit der Entwicklung des Oberarmes begann man 1973. Der Arm besaß sieben Freiheitsgrade, einen für die Finger, zwei für das Handgelenk, einen für den Ellbogen und drei für die Schulter, Bild 1.

Seit 1971 wurden an der *Waseda* Universität eine Reihe aktiver und passiver Beinprothesen entwickelt. Einen besonders hohen Entwicklungsstand zeigte die hydraulisch gesteuerte WLP-7 Prothese, mit der eine Versuchsperson sich bequem auf ebener Erde bewegen und auch Treppen steigen konnte, Bild 2.

## 2. Zweibeinige Gehwerke

Die Entwicklung von Beinprothesen führte zur Konzeption und dem Bau von zweibeinigen Gehwerken. In verschiedenen Entwicklungsstufen wurden neun Gehwerke entwickelt. Das letzte Gehwerk *WL-10 RD* besaß die folgenden Eigenschaften, Bild 3:

- Kohlefaserverstärkte Kunststoffbauteile
- Drehmomentsensoren im Knöchel- und Hüftgelenk
- Sechs Freiheitsgrade pro Bein oder 12 insgesamt
- Dynamische Gleichgewichtsbalancierung
- Steuerung durch Mikrorechner

Mit diesem Gehwerk konnten verschiedene Schwierigkeitsgrade bewältigt werden:

- Vorwärts- und Rückwärtsgehen (1,3 sec/Schritt, 45 cm Schrittweite)
- Gehen auf einem Weg mit 10% Steigung (2,2 sec/Schritt, 40 cm Schrittweite)
- Übersteigen von 10 cm hohen Hindernissen
- Drehen um die vertikale Achse

Die Funktion der Gehwerke konnte mit einem sehr ausgereiften graphischen Simulationsgerät untersucht werden. Das Gehwerk *WL-10 RD* wurde von der Firma Hitachi weiterentwickelt und als *WHL - 11 Biped Walking Robot* auf der *EXPO '85* ausgestellt.

## 3. Anthropomorphischer, intelligenter *Waseda* Roboter *WABOT*

Dieses Projekt hatte zum Ziel, einen Roboter zur Verrichtung persönlicher Dienstleistungen und für Fertigungsaufgaben zu entwickeln. Das Projekt wurde 1970 mit der Entwicklung des Gerätes *WABOT - 1* begonnen, Bild 4. Der Roboter konnte mit seinen Beinen laufen und war in der Lage, auf japanisch mit einer Bedienperson eine einfache Konversation zu führen. Das Sensorsystem bestand aus einem Kamerapaar zum Sehen und zur Messung von Entfernungen, aus künstlichen Ohren und einem akustischen Geber zur Erzeugung von japanischen Worten und Sätzen. Der Roboter konnte mit seinen Händen Teile transportieren, wobei ihn taktile Sensoren unterstützten.

Ein verbesserter Roboter - *WABOT - 2* -, der Tastaturen von Musikinstrumenten bedienen konnte, wurde 1980 konzipiert. Bild 5 zeigt diesen, mit begrenzter menschlicher Intelligenz ausgestatteten Roboter, der jedoch über eine große Fingerfertigkeit verfügte, beim Spielen einer elektronischen Orgel.

Der Roboter wurde unter Mitwirkung von vier Universitätsabteilungen und mit über 50 Studenten innerhalb von dreieinhalb Jahren gebaut. Finanzielle Unterstützung gewährte das japanische Kultusministerium (etwa 1,4 Mio. DM). Eine weitere Unterstützung kam von der Industrie; so wurden z.B. die tragenden Bauteile aus kohlefaserverstärktem Kunststoff von einer Firma gestiftet.

Das Kontrollschema des Roboters ist in Bild 6 dargestellt. Ein Sichtsystem mit einer CCD-Kamera (Auflösung 2.000 x 3.000 Pixels, 256 Grauwertstufen/Pixel) bildet die Steuerzentrale des Roboters. Mit Hilfe dieses Sichtsystems kann ein ganzes Notenblatt gelesen und die Noten einzeln identifiziert werden. Die Lage des Notenblattes im Sichtfeld spielt keine Rolle. Die Noten werden in Signale zur Ansteuerung der Finger (Tastatur) und der Füße (Pedale) umgesetzt. Über ein Expertensystem wird der Anschlag und die Haltung der Hände gesteuert. Der Antrieb für die Finger selbst funktioniert über Seilzüge. Jeder Finger hatte drei Freiheitsgrade, also einen weniger als der menschliche Finger. Gegenwärtig lassen sich nur binäre Anschläge erzeugen, jedoch wird es in Zukunft möglich sein, diese zu variieren.

Insgesamt machte die Mechanik des mit 50 Freiheitsgraden versehenen Gerätes einen sehr soliden Eindruck. Ein Sänger kann sich mit dem Roboter über ein Sprachein- und -ausgabesystem unterhalten. Auf diese Weise wird dem Roboter z.B. mitgeteilt, daß er ein bestimmtes Musikstück spielen soll. Er liest dann die ihm vorgelegten Noten und beginnt selbständig Orgel zu spielen. Der Roboter versucht den Sänger zu begleiten; falls dieser eine Tonlage nicht einhalten kann, teilt ihm der Roboter dies über die Stimmausgabe mit. Der Roboter kann auch die Tonlage der Orgel an die des gesungenen Liedes über das *Singer-voice-tracking Modul* angleichen.

Das *WABOT - 2* Gerät wurde von der Firma Sunitomo Electric Industry, Ltd. weiterentwickelt und auf der *EXPO '85* in Tokyo der Öffentlichkeit vorgestellt.

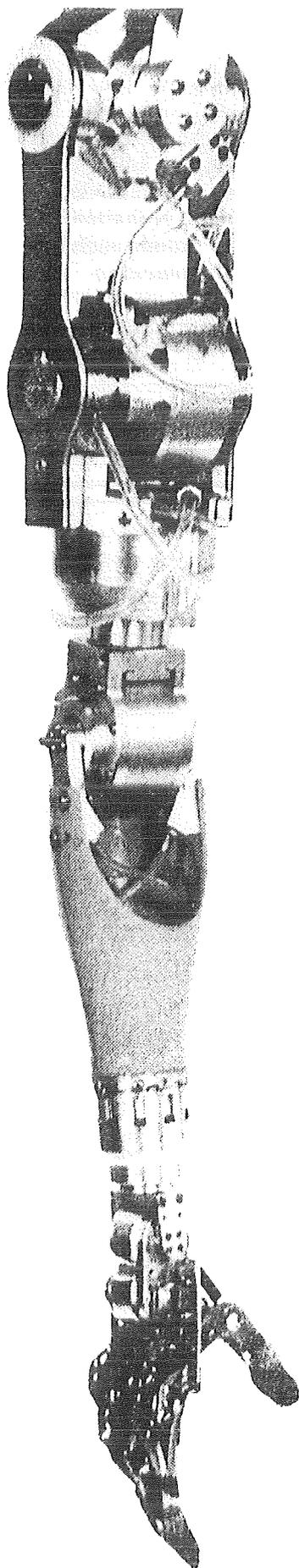


Bild 1: Künstlicher Arm der WASEDA-Universität

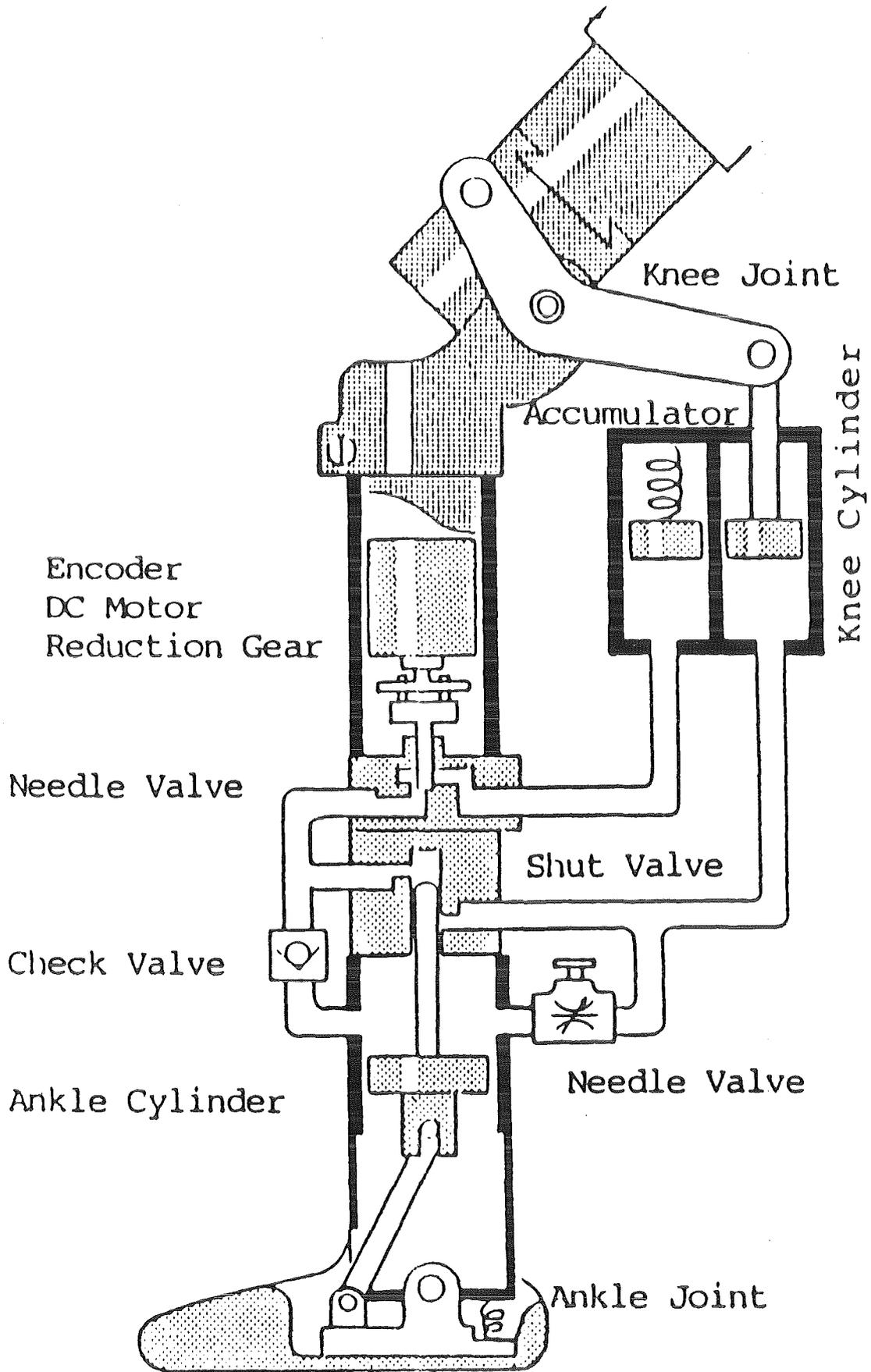


Bild 2: Beinprothese WLP-7 der WASEDA-Universität

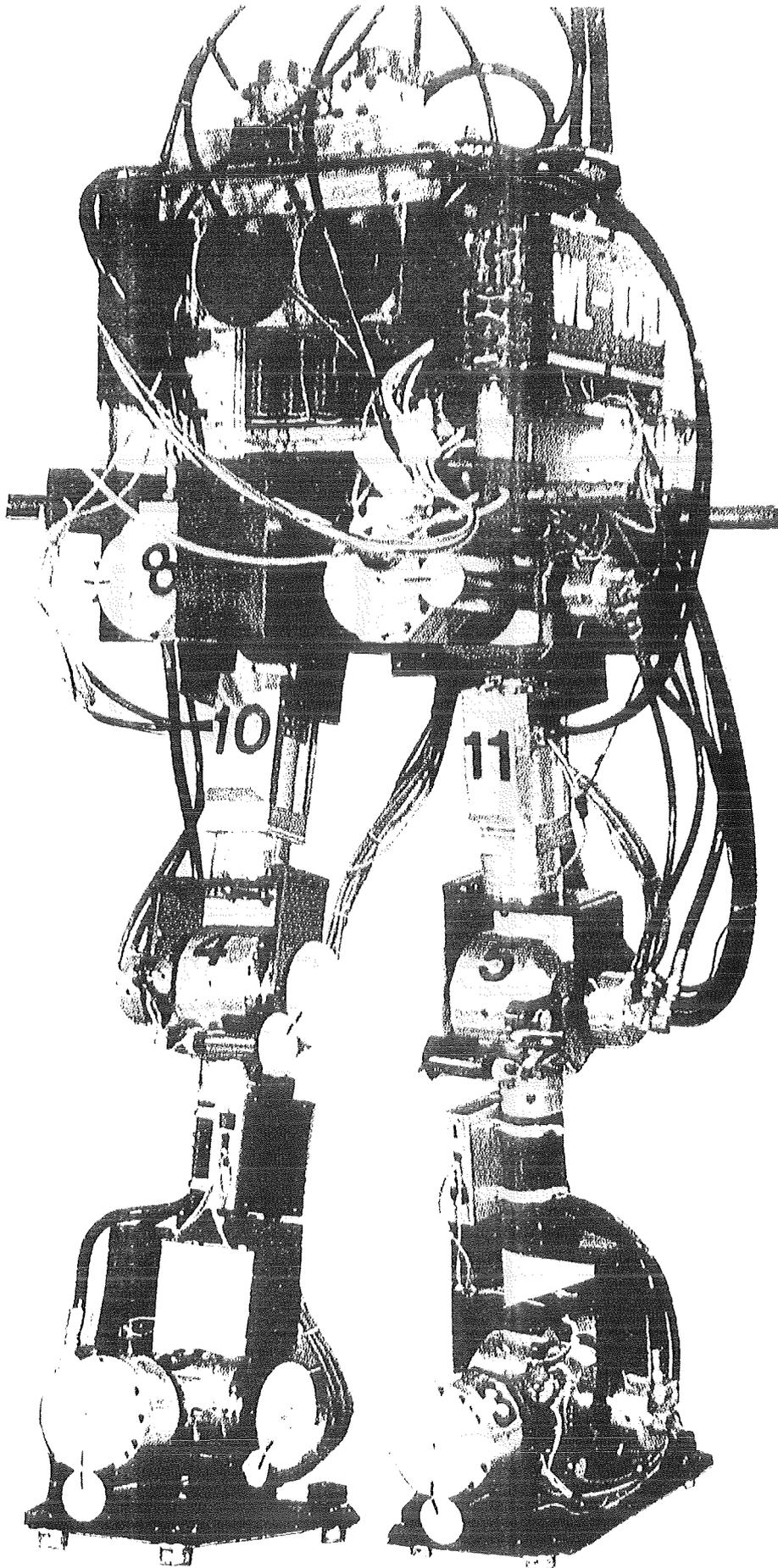


Bild 3: WASEDA WL-10 RD Gehwerk

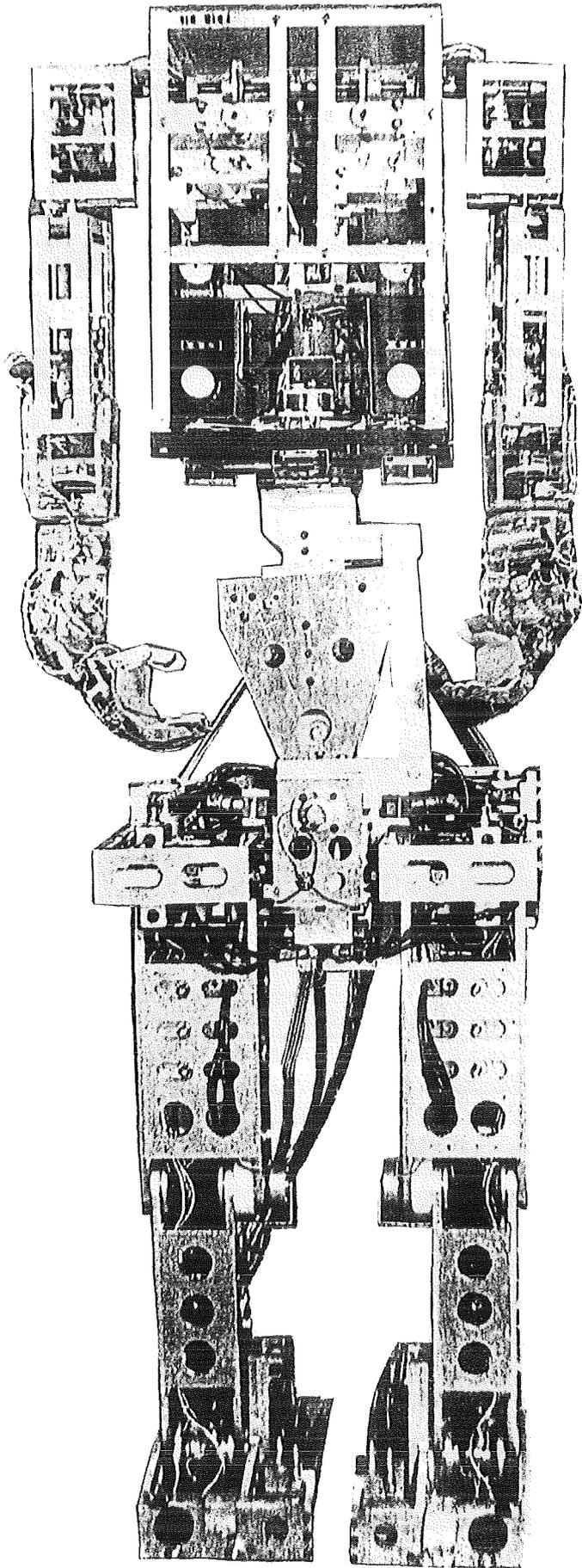


Bild 4: WABOT - 1 Roboter der WASEDA-Universität

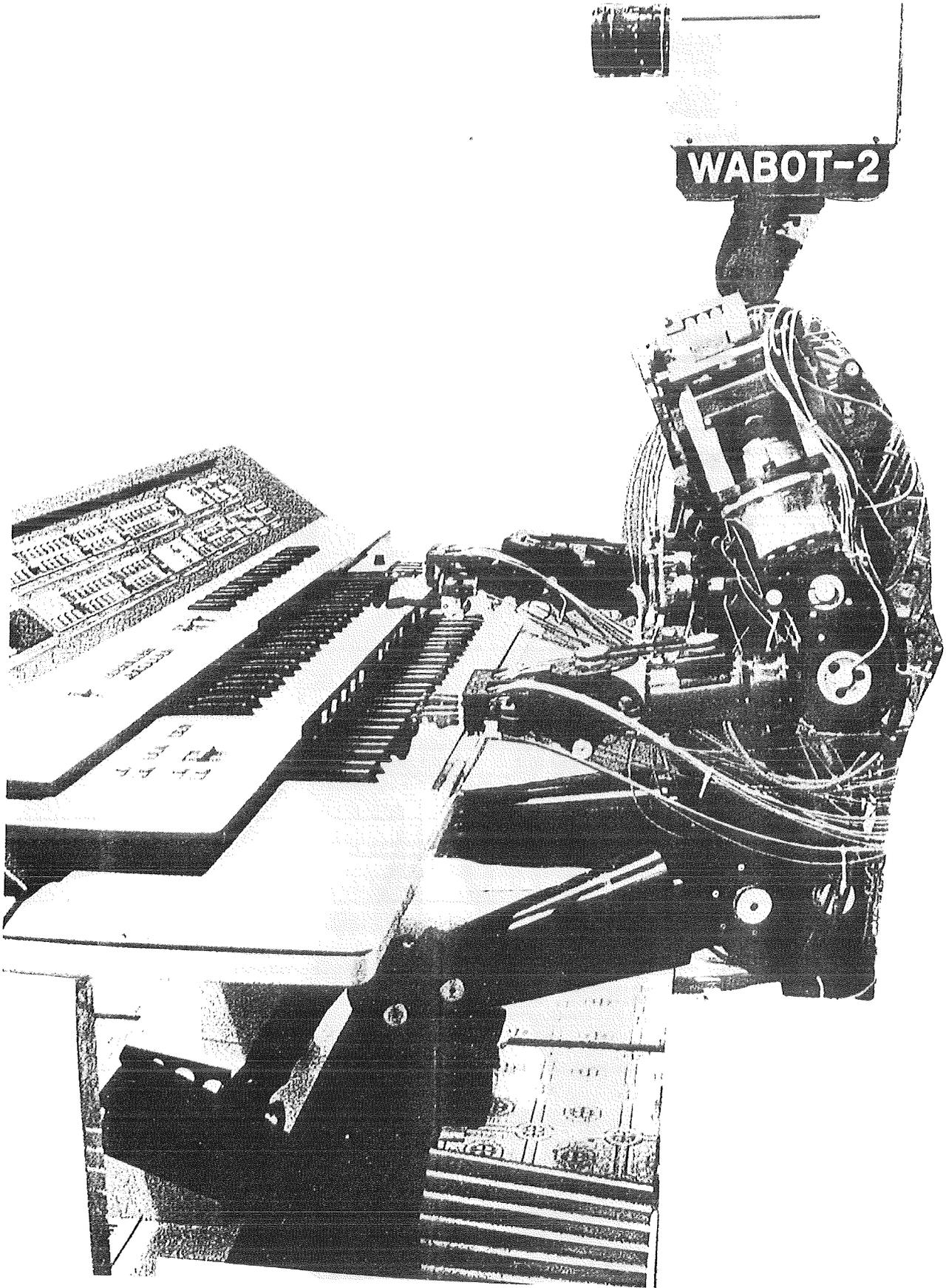


Bild 5: Der WABOT - 2 Roboter spielt Orgel

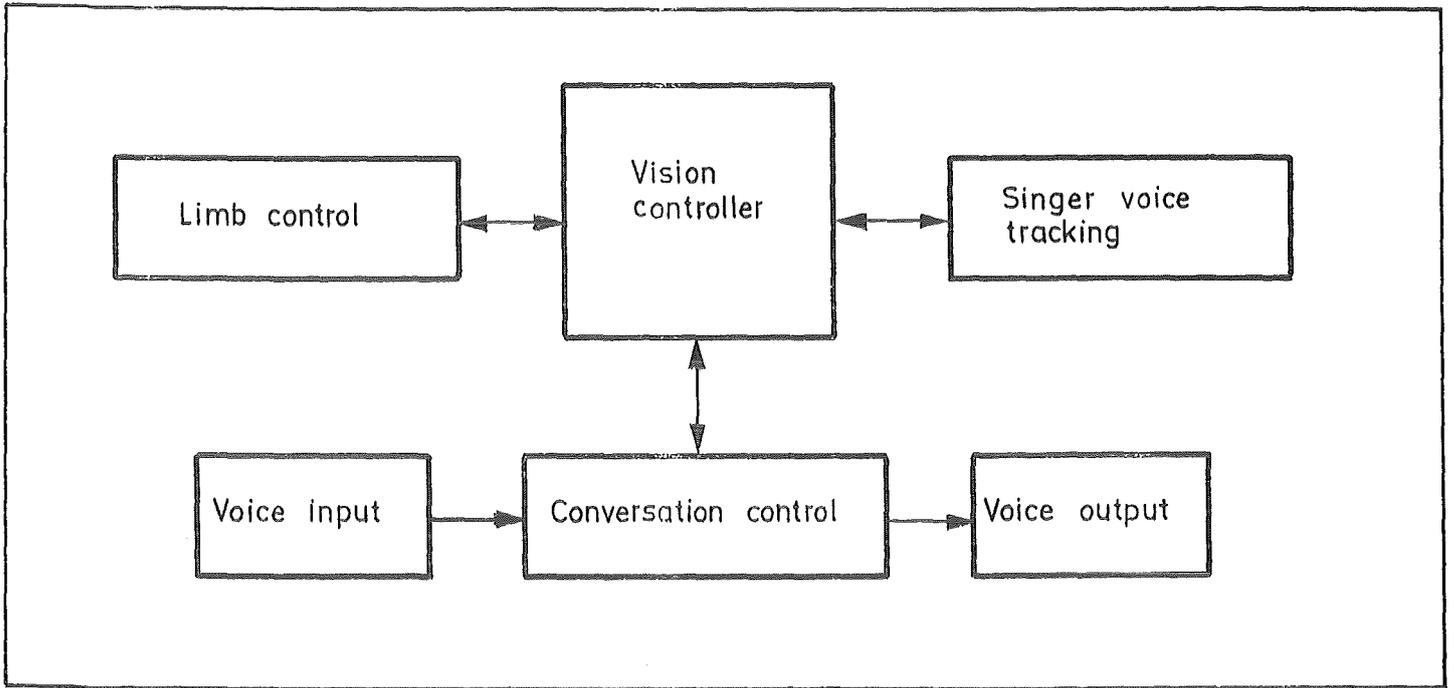
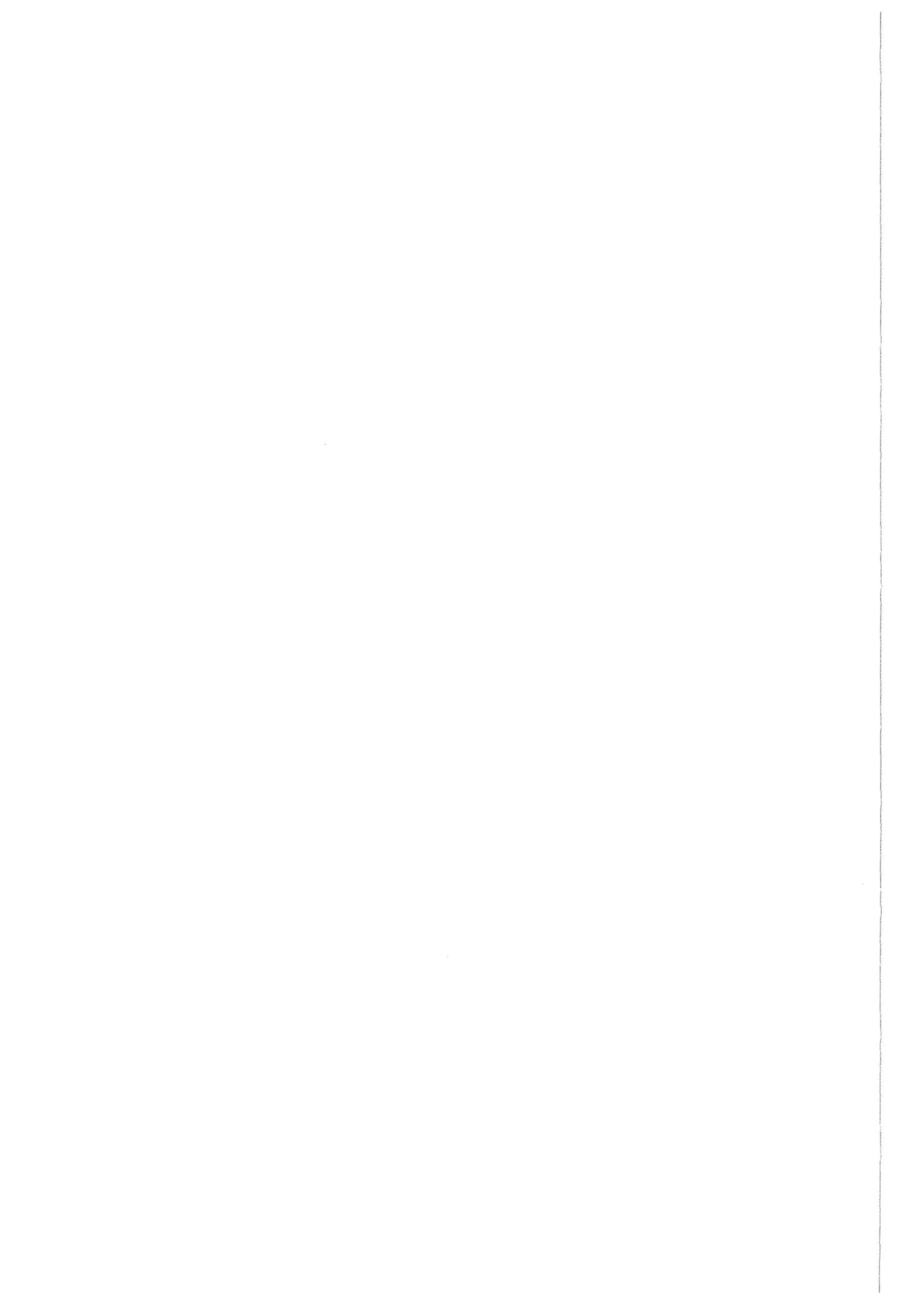
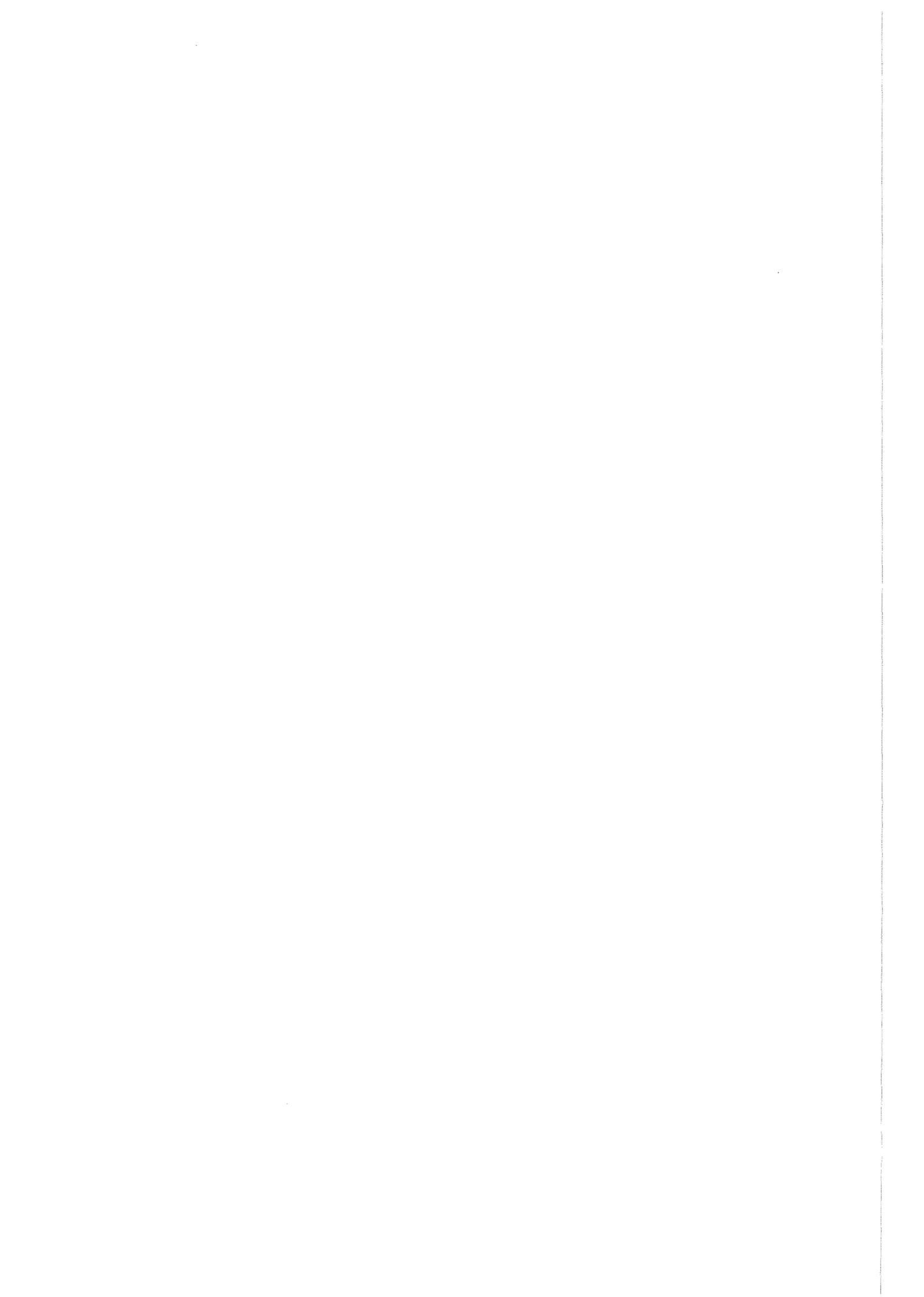


Bild 6 : Kontrollschema des WABOT - 2 Roboters



Bericht über den Besuch der  
University of Tokyo  
von W. Müller-Dietsche / B. Bargel



Müller-Dietsche, Walter, Dipl.-Ing. (KfK/PHDR)  
Bargel, Bernhard, Dr.-Ing. (FIM Ettlingen)

REISEBERICHT ZU GERMAN ADVANCED ROBOTIC STUDY  
MISSION TO JAPAN

Besuch der Universität Tokyo am 26. September 1986

1. Name des Institutes

Anschrift

University of Tokyo  
7-3-1 HONGO, Faculty of Engineering  
Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan

2. Gesprächspartner

Dr.-Eng. Fumihiko Kimura  
Associate Professor of  
Department of Precision Machinery Eng.  
Head of Kimura Lab.  
(former head: Prof. Sata)

3. Entwicklungsthemen des Institutes

Arbeiten des Kimura Laboratory (SATA)

Advanced Manufacturing Systems

- a) Manufacturing System Architecture
  - CIM, FA
- b) Geometric Modeling
  - Solid Modeling
  - Free-form Surface
- c) Product Modeling
  - Machine Product Representation
  - Engineering Knowledge

- Intelligent CAE/CAM
- d) Design & Manufacturing Aides
  - Product Design: Conceptual/Parametric
  - Process Planning
  - Machining
  - Robotics
  - Measurement
- e) Diagnosis of Manufacturing Systems
  - Detection & Recovery of Failure

#### Robotics Research

##### Flexible Components in Manufacturing Systems

- Programming System for Sensor-based Robot Systems
- World Modeling for Robot Manipulation
- Interactive Planning for Robot Operation
- Run-time System for Robot Operation
- Sensor Systems: Range Finder/Force
- Direct Drive Manipulator

##### Intergration with CAD/CAM Software

#### 4. Allgemeine Angaben

Die Universität Tokyo ist die älteste und größte Japans.

Die Fakultät für Ingenieurwesen besteht aus 21 Departments; 2 Courses; 3 Research Institutes. Folgende Departments befassen sich mit Robotertechnik:

- Department of Mechanical Engineering
- Department of Mechanical Engineering for Production
- Department of Marine Engineering
- Department of Precision Machinery Engineering
- Department of Naval Architecture
- Department of Aeronautics

Das Department of Precision Machinery Engineering umfaßt:

- 16 Professoren incl. Associate Professoren
- 21 graduated Students pro Jahr
- 51 ungraduated Students pro Jahr

Das Kimura Laboratory umfaßt: 25 - 30 Personen  
(Students, Visitors for companies & foreign countries)

Research Fund (Research and Facilities):

- Government : 1
- Industry : 15

Beziehung zu andere Arbeiten an der Universität:

- Prof. Hirochika Inoue:  
High level language for manipulator, Image processing,  
Scene analysis, AI
- Prof. Hirofumi Miura:  
Walking robots
- Prof. Kenichi Yoshimoto:  
Control of manipulator, Dynamics
- Prof. Hiroyasu Funakubo:  
Manipulators for medical support
- Prof. Hiroyuki Yoshikawa:  
Robots for maintenance work
- Prof. Masaharu Takano:  
Dynamics and kinematics of robots, Mobile robots, Ultra-sonic  
sensor.
- Prof. Tamio Arai:  
Robot language, Automatic assembly

## 5. Präsentationen/Besichtigungen

### A. Lageerkennung eines Objektes

Vorführung:

- Bilderkennungssystem: Streifenbeleuchtung mittels Laser, Aufnahme mittels CCD-Kamera (1. Bildschirm zeigt reales Bild mit Laserstreifenbeleuchtung, 2. Bildschirm zeigt binäres Bild der Laserstreifenbeleuchtung) Bildlinearisierung, Konturermittlung, Skelettbildung, Geradenapproximation, Eckpunktbestimmung (in X, Y, Z). Messung eines Punktes ca. 1,5 sec, Lokalisierung des Objektes ca. 3 sec.
- CAD Modell: GEOMAP III
- Fehler der Lageerkennung: < 2 mm

Referenz: "A Model Based Robot Vision System to Locate Parts Using Range Data  
von H.Masuda, T.Kojima and F.Kimura  
(Paper liegt vor)

### B. Direktantrieb eines Manipulators

Vorführung: Gezeigt wird das Zeichnen eines Striches durch einen Roboterarm mit drei Freiheitsgraden an einer Zylinderfläche. Die Anpreßkraft des Schreibers wird nicht über einen Sensor, sondern über ein statisches Modell kontrolliert.

Lieferfirma des Direktantriebes: INLAND Corp. USA

Referenz: "Development of a Direct Drive Manipulator for Assembling"  
von H.Okuda, H.Hiraoka, F.Kimura, T.Sata  
(Paper liegt vor)

### C. Modellgesteuertes off-line Roboterprogrammierungssystem

Vorführung: Am Bildschirm wird die Simulation eines Arbeitsvorganges durch einen Roboter (hier 5 Freiheitsgrade) gezeigt.

Die Teaching Methode soll durch eine Software für die Roboterprogrammierung ersetzt werden, die wie folgt beschrieben wurde:

- 3 Unterschiedliche Modelle (exaktes Modell und Näherungsmodell über konvexe Hüllkurven sowie Hüllkugeln
- Freiraumermittlung basierend auf dem Wellenfrontenprinzip (Lee's Algorithmus) der zur Reduzierung der Verarbeitungszeit modifiziert wurde.
- Bestimmung der Objektlage durch Flächenermittlung im Binärbild. Feste Kamera, Ausnutzung der Reflexion

Referenz: "Model-Based Off-Line Robot Programming System"  
von K.Kondo, F.Kimura, T.Sata  
(Paper liegt vor)

"An Approach to Model-Base Robot Software for Industrial Applications"  
von T.Sata, F.Kimura, H.Hiraoka, M.Enomoto  
(Paper liegt vor)

### D. Manipulatorsteuerung für automatische Wartung

Videofilm: Zeigt Treppensteigen des Maintenance-Roboters AMOITY (mobil, Manipulator mit 2 Finger, steife Konstruktion, 9 DOF, TV Kamera, Entfernungsmessung mittels Laser). Gemeinsame Entwicklung mit Toshiba Corp.

Referenz: "A Stair-Climbing Robot For Maintenance: AMOITY"  
von T.Arai, H.Yoshikawa u.a.  
(Paper liegt vor)

Vorführung: Vorgestellt wird das "Integrated Manipulator Motion Synthesis System", dieses verbindet Kenntnisse über die durchzuführenden Arbeiten mit Kenntnissen über die Leistungsfähigkeit des Manipulators und Informationen über die Umgebung (CAD, Sensoren)

Am Bildschirm wird ein Beispiel der Ablaufsteuerung zur Zerlegung einer Pumpe dargestellt (Eingabe der Wartungsaufgabe, Menue fragt weitere Eingaben ab).

Referenz: "Development of a Metamorphic Manipulator with 9 Degrees of Freedom  
von H.Asama, H.Yoshikawa  
(Paper liegt vor)  
und  
"Structure Strategy Problem on a Redundant Manipulator"  
von H.Asama, M.Onosato, H.Yoshikawa  
(Paper liegt vor)

Bericht über den Besuch der  
Power Reactor & Nuclear Fuel Development Corporation  
von H. Ramm



**Bericht über den Besuch bei "Power Reactor and Nuclear Fuel  
Development Corporation (PNC), Tokai-mura, Naka-Gun,  
Ibaraki-Ken, Japan**

Berichterstatter  
Dr. H. Ramm, DWK

1. Name der Firma/des Institutes, Adresse

Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation (PNC)  
Tokai-mura, Naka-Gun, Ibaraki-Ken, Japan

Engineering Technology Development Division (Division manager: Herr. Sasao)

2. Gesprächspartner (mit ihren Verantwortungsbereichen)

- a) Herr Kashihara (General manager der Konstruktionsabteilung)
- b) Herr Maeda (Gruppenleiter für fernbediente Instandhaltung in der Abteilung "Component and Materials Development" (General manager Herr Hayashi))

3. Entwicklungsthemen des Institutes/Produkte der Firma

Die Hauptaktivität in der Konstruktionsabteilung liegt in der Konstruktion der Verglasungsanlage, die 1987 auf dem Gebiet von Tokai-works errichtet werden soll und in der Konstruktion einer Testanlage zur Wiederaufarbeitungsanlage von SBR-Brennstoff als Vorläufer einer Pilot-Anlage. Weiterhin werden Konstruktionsaufgaben für Neuinstallationen in der Tokai-mura-Wiederaufarbeitungsanlage wahrgenommen (z.B. Verbrennungsofen für  $\beta$ - $\gamma$ -Abfall).

Alle Konstruktionsaufgaben werden in dieser Abteilung entweder selbst durchgeführt oder koordiniert.

Für die Bewältigung dieser Aufgaben bedient man sich anderer Abteilungen, wie z.B. der Abteilung Component and Materials Development, die ab Nov. 1986 einen Mockup-Teststand betreiben wird, um die Fernhantierungstechnik zu erproben, die - ähnlich dem DWK-FEMO-Konzept - für die Verglasungsanlage und die SBR-Wiederaufarbeitungsanlage zugrundegelegt werden soll. Außerdem werden in dieser Abteilung alle mit der Fernhantierung im heißen Bereich auftretenden Materialfragen bearbeitet.

#### 4. Allgemeine Angaben

Anzahl der Beschäftigten

Konstruktionsabteilung: ca. 60 Personal

Abteilung Component and

Development: ca. 25 Personal

#### 5. Präsentationen/Besichtigungen

Im Zusammenhang mit den unter 3) beschriebenen Aktivitäten stehen Entwicklungen auf dem Gebiet der Fernhantierungstechnik, die teilweise während des Besuches besichtigt werden konnten. Die besichtigten Komponenten gliederten sich auf in fernbediente Komponenten für den Head end Bereich der zukünftigen SBR-Wiederaufarbeitungsanlage und Fernhantierungseinrichtungen, die dem sog. FEMO-Instandhaltungskonzept entsprechen.

##### a) Komponenten des Head end Bereiches

- Laser-Schneidgerät zum Entfernen der Brennelementumhüllung von SBR-Brennelementen.

3 kW CO<sub>2</sub>-Gas-Laser-Schneidgerät mit automatischer Einrichtung zur Focussierung des Laserstrahls auf die Brennelementumhüllung. Schneidversuche zeigten die Eignung dieses Gerätes. Schneidgeschwindigkeit ca. 1 m/min.

- Bündelschere

Für die Versuche steht eine Bündelschere zur Verfügung, die eine verkleinerte Version der Bündelschere in der Tokai-mura-Wiederaufarbeitungsanlage ist.

- Auflöser

Der Auflöser besteht aus zwei Auflöserrohren, die mit einem Slab in Verbindung stehen. Untersuchungen werden zur Hydraulik zur Optimierung der Auflöserkonstruktion im Hinblick auf Vermeidung von Spannungen und zur optimalen Konstruktion des Hülsenkorbes angestellt.

- Zentrifuge zur Klärung der Auflöserlösung

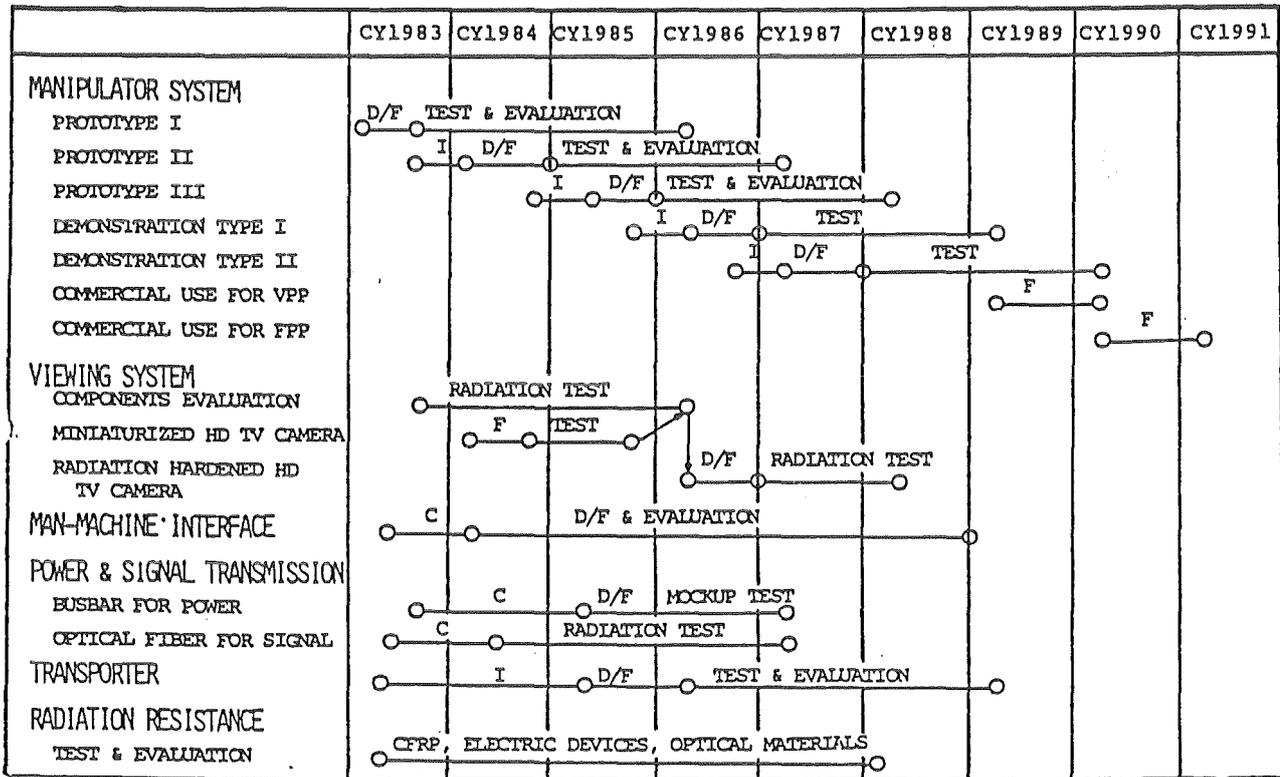
Es wurde eine Konstruktion gewählt, die starke Ähnlichkeit mit der von der DWK entwickelten Zentrifuge zeigt (Glockenzentrifuge). Die Zentrifuge zeigte eine hervorragende Abtrennleistung bis weit unter den 1µm-Bereich. Die Spritzverluste lagen bei < 0,2 %.

Mechanische Probleme traten bisher noch nicht auf. Allerdings wurden erst 50 Betriebsstunden erreicht.

b) Fernhantierungseinrichtungen

Bild 1 zeigt das Entwicklungsprogramm zur Entwicklung eines 2-Arm-Servomanipulatorsystems. Es gliedert sich auf in

- Manipulatorsystem
- Sichtsystem
- Mann-Maschine-Kopplung
- Energie- und Signalübertragung
- Transportsystem für Manipulator
- Strahlenbeständigkeit der eingesetzten Materialien

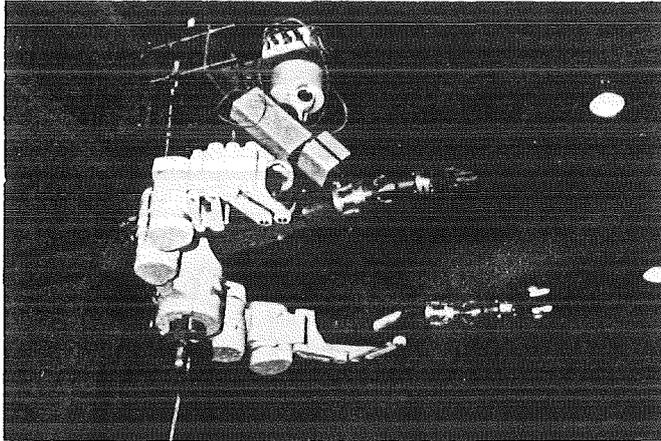


VPP:HLW VITRIFICATION PILOT PLANT  
 FPP:FBR FUEL REPROCESSING PILOT PLANT  
 HD TV:HIGH DEFINITION TV

I: INVESTIGATION  
 C: CONCEPT  
 D: DESIGN  
 F: FABRICATION

Bild 1: Entwicklungsprogramm für den 2-Arm-Servomanipulator

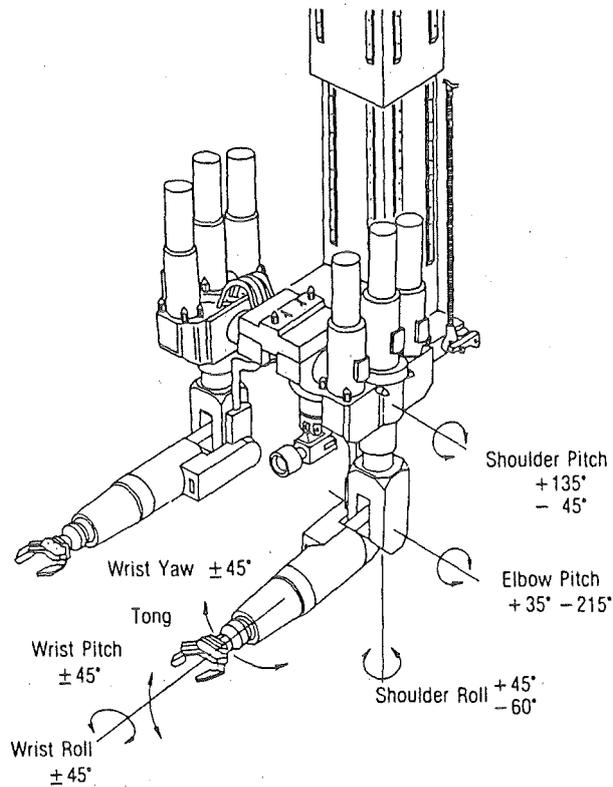
Erste Erfahrungen wurden mit dem Prototyp I gesammelt. Es handelt sich um eine zweiarmige Konstruktion, basierend auf seitlich ausgestreckten Ellenbogen (s. Bild 2).



**Bild 2: Prototyp I**

Jeder Arm hat 8 Freiheitsgrade. Der Handgelenksbereich hat 4 Freiheitsgrade. Dieser Manipulatur wurde umfangreichen Tests unterzogen. Parallel wurde ein Einzelarm-Versuchsmanipulatur entwickelt, um das Prinzip des Hohlwellenantriebes am Beispiel des senkrecht angeordneten Ellenbogens zu untersuchen. Alle Antriebsmotoren sind auf der Schulterpartie angeordnet und die Kräfte werden über Hohlwellen und Zahnräder zu den einzelnen Bewegungselementen übertragen. Dieses Versuchsmodell wurde mit einem digitalen Steuersystem betrieben. Ziel war es, die Eignung dieser in USA entwickelten Technik zu überprüfen. Erfahrungen sollten insbesondere über Kompensationsmöglichkeit des stark gekoppelten Bewegungsablaufs, des Eigengewichts und der Trägheitskräfte gesammelt werden. Insbesondere die starke Beeinflussung der einzelnen Bewegungsabläufe untereinander ergab hohe Ansprüche an die Fertigungsgenauigkeit, die unpraktikabel sind.

Basierend auf diese beiden Manipulatorarten wurde ein Prototyp II entwickelt (s. Bild 3).



**Bild 3: Prototyp II**

Diese Version ist charakterisiert durch:

- Ellenbogen sind in senkrechter Haltung angeordnet, wobei bedingt durch die Drehbewegung der Schulter der Ellenbogen eine Kreisbewegung beschreiben kann.
- die zentralen Antriebe auf der Schulter sowie die Hohlwellenantriebe werden nur für die Bewegung des Oberarms eingesetzt.
- für die Bewegungen im Unterarmbereich werden örtliche Antriebe und Getriebe eingesetzt.

Die besonderen Anforderungen an das Manipulatorsystem betreffen:

- Bewegungsablauf, Geschwindigkeiten
- Anordnung von Servomotoren und die Art der Energiezuführung
- Konfiguration des Slave-Armes

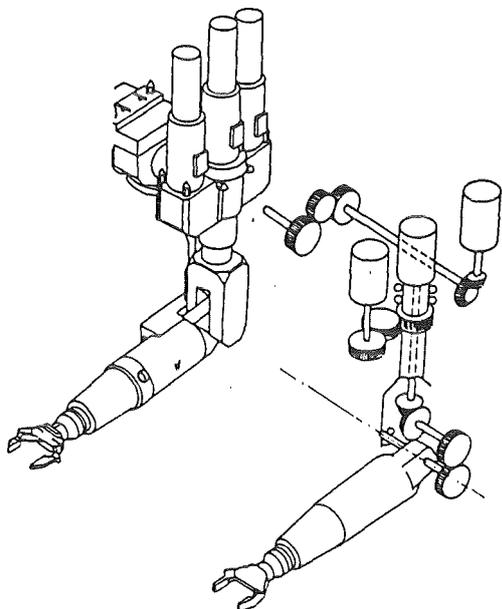
Bewegungsabläufe zeigt Bild 3. Geschwindigkeiten sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Shoulder pitch	.....	40 deg/sec
roll	.....	60 deg/sec
Elbow pitch	.....	60 deg/sec
Wrist pitch	.....	160 deg/sec
yaw	.....	160 deg/sec
roll	.....	160 deg/sec
Grip	.....	100 mm/sec

**Tabelle 1: Prototyp II (Geschwindigkeiten)**

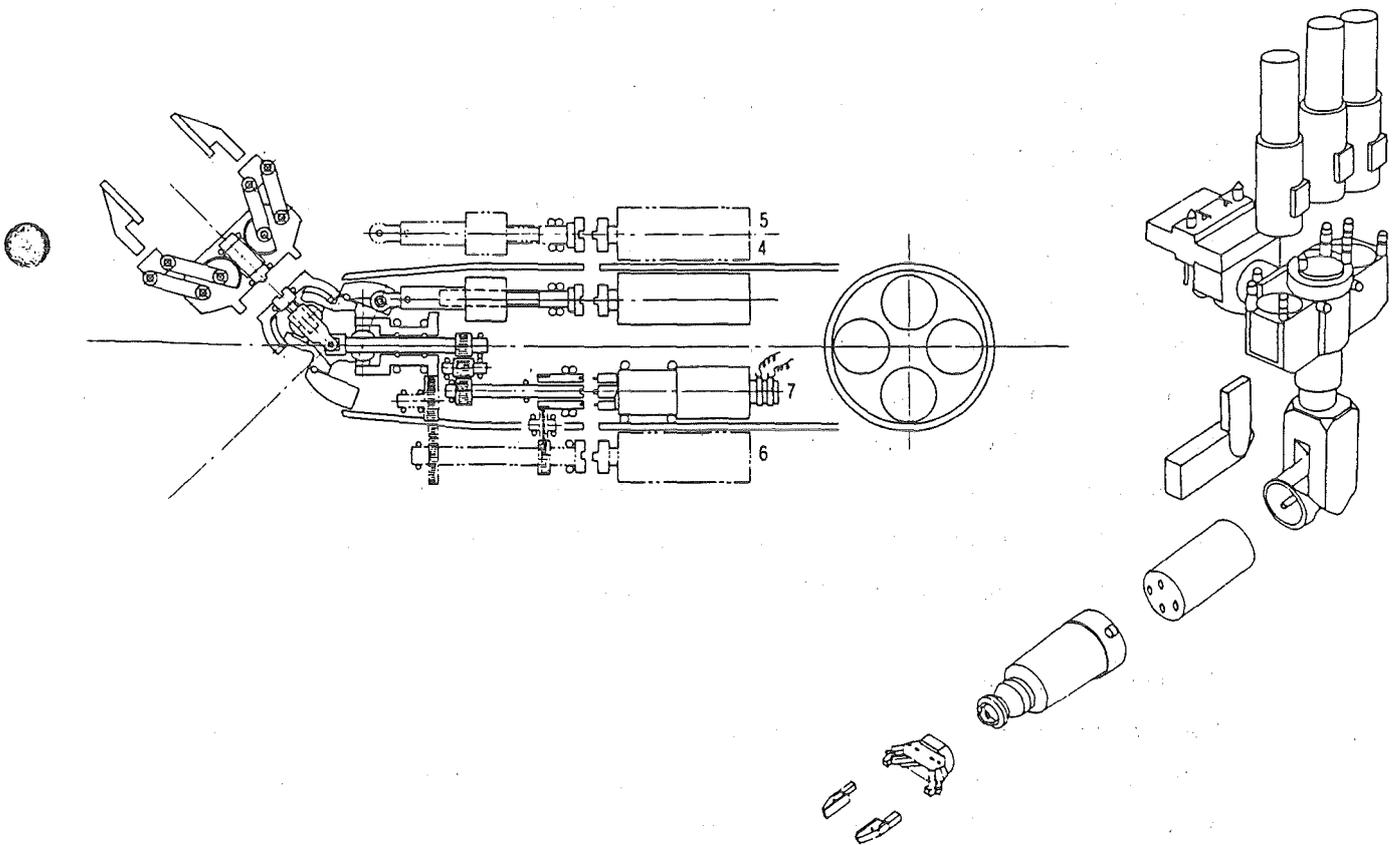
Die Antriebmotoren für Schulterdrehung, Oberarmdrehung und Ellenbogendrehung sind auf der Schulter angeordnet.

Weitere vier Antriebsmotoren befinden sich im Unterarm, um 4 Freiheitsgrade (horizontale und vertikale Bewegung des Handgelenkes, Betätigung der Zange und Drehung des Handgelenkes) zu ermöglichen. Die drei Freiheitsgrade des Oberarms werden über Hohlwellen und Getriebe bedient, ohne daß eine Beeinflussung untereinander auftritt (Bild 4).



**Bild 4:**  
**Prototyp II**  
**Schulter und Ellenbogen)**

Die vier Freiheitsgrade im Unterarm werden über Hochgeschwindigkeitsmotoren und Getriebe angetrieben. Bild 5 zeigt die Konstruktion des Handgelenkes .



**Bild 5: Prototyp II (Handgelenk)**

**Bild 6: Prototyp II  
(Modularer Aufbau)**

Wesentliche Bedingung für die Konstruktion eines Manipulators im nicht begehbaren Bereich ist die einfache Austauschbarkeit von Einzelteilen. Für den Prototyp II wurde daher ein modularer Aufbau gewählt (Bild 6), der eine einfache Reparatur zuläßt.

Die Funktion des Prototyp II wurde während des Besuches demonstriert.

## 6. Ergebnisse der Diskussion

Die Diskussion beschränkte sich im wesentlichen auf die Entwicklung des Manipulators (Prototyp II). Dieser Manipulator ist inzwischen in eine Mockup-Testanlage (EDF III) installiert worden. Neben den Einrichtungen in der Prozeßzelle (Module, Manipulator, Power-Manipulator, Kräne) werden ebenfalls die Einrichtungen in der Warte im Originalumfang aufgebaut. Bereits jetzt ist ein weiterer Prototyp (Prototyp III) in Auftrag gegeben worden, der nur noch die wesentlichen Funktionen, die für die Reparatur und Wartung notwendig sind, ausüben kann.

Breiten Raum nimmt ebenfalls die Entwicklung von Sichtsystemen und Übertragungssystemen ein. In diesem Zusammenhang wird insbesondere die Glasfasertechnik entwickelt, die sich für die Übertragung von Signalen zur Steuerung des Manipulators als besonders geeignet erwiesen hat.

Die Untersuchungen zur Strahlenbeständigkeit der eingesetzten Materialien sind nahezu abgeschlossen. Es hat sich herausgestellt, daß alle Teile, die in der Prozeßzelle installiert werden müssen, für mindestens  $10^8$  rad ausgelegt werden können. Momentan wird eine Versuchsreihe vorbereitet, um die Tauglichkeit der ausgewählten Bauteile auch für die aggressive  $\text{HNO}_3$ -Atmosphäre nachzuweisen.

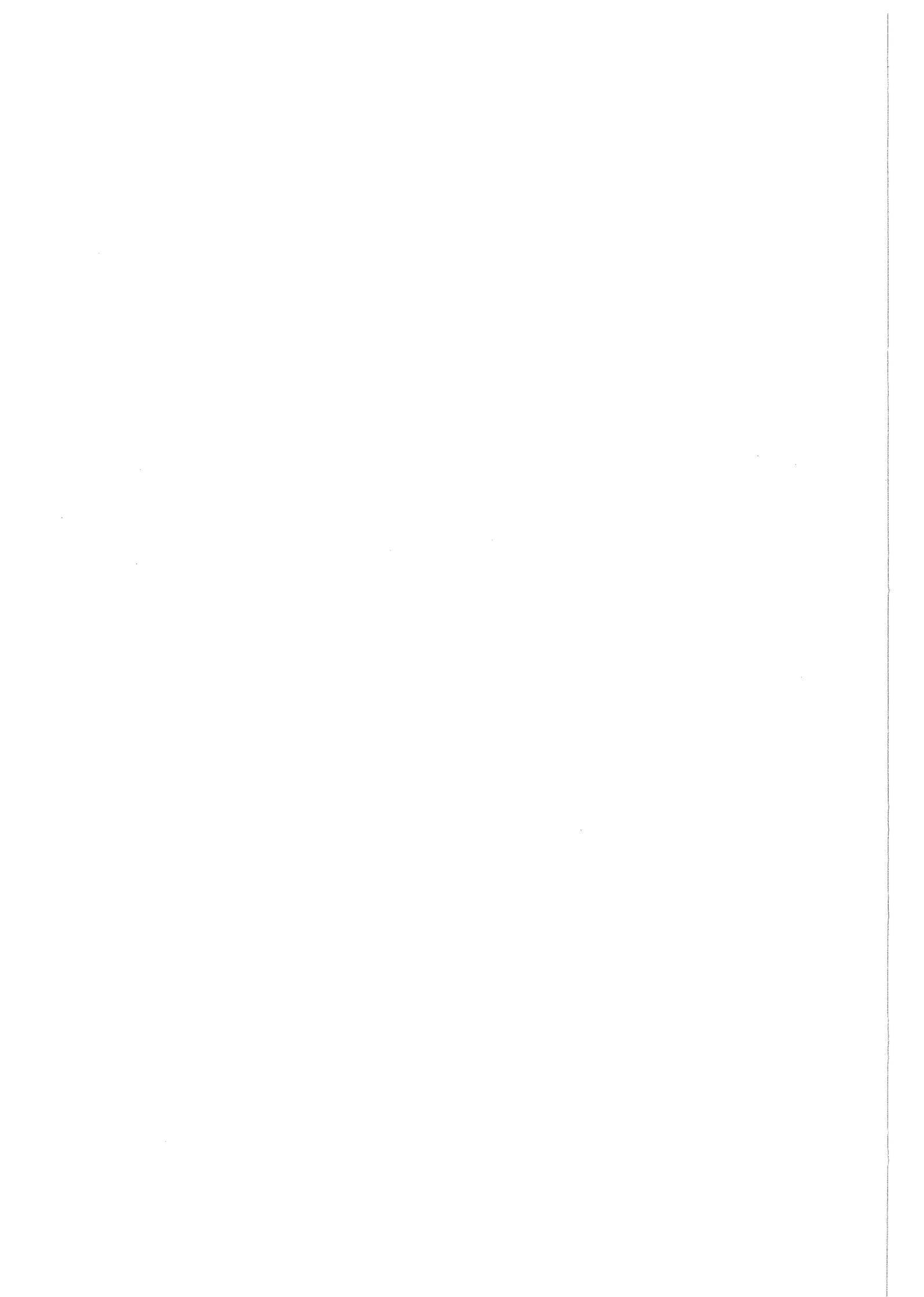
## 7. Zusammenfassung

Überraschend ist der große Fortschritt, den die Japaner auf dem Gebiet der Fernhantierungseinrichtungen in den letzten Jahren gemacht haben. Es ist ein großer Termindruck zu spüren, der in Anbetracht des Errichtungsbeginns der Verglasungsanlage erklärlich ist.

Bemerkenswert ist weiterhin die große Offenheit, mit der technische Probleme diskutiert werden konnten.

Literatur:

1. M. Maeda et al.: "Development Program of Two-Arm Bilateral Servomanipulator System for Nuclear Fuel Cycle Facilities in PNC", Gatlinburg, TN  
ANS National Topical Meeting 1984, pp. 245-248
2. M. Yamamoto et al.: "Progress in the Remote Handling Equipment",  
Veröffentlichung in Vorbereitung (PNC)
3. M. Maeda, private Mitteilungen

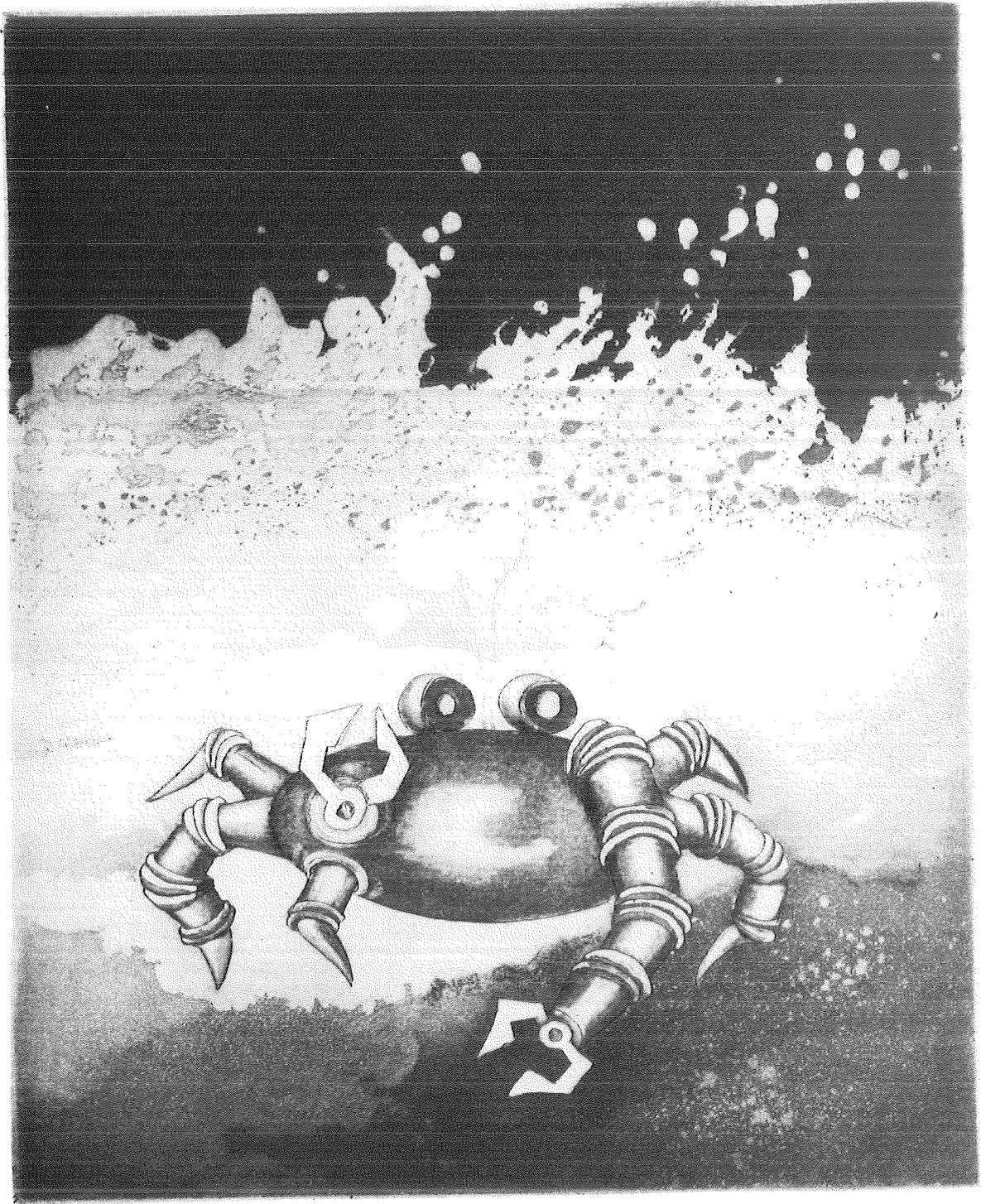


Fünf Radierungen  
der Grafikerin  
Renate Kirchhoff, Berlin



"off-shore"

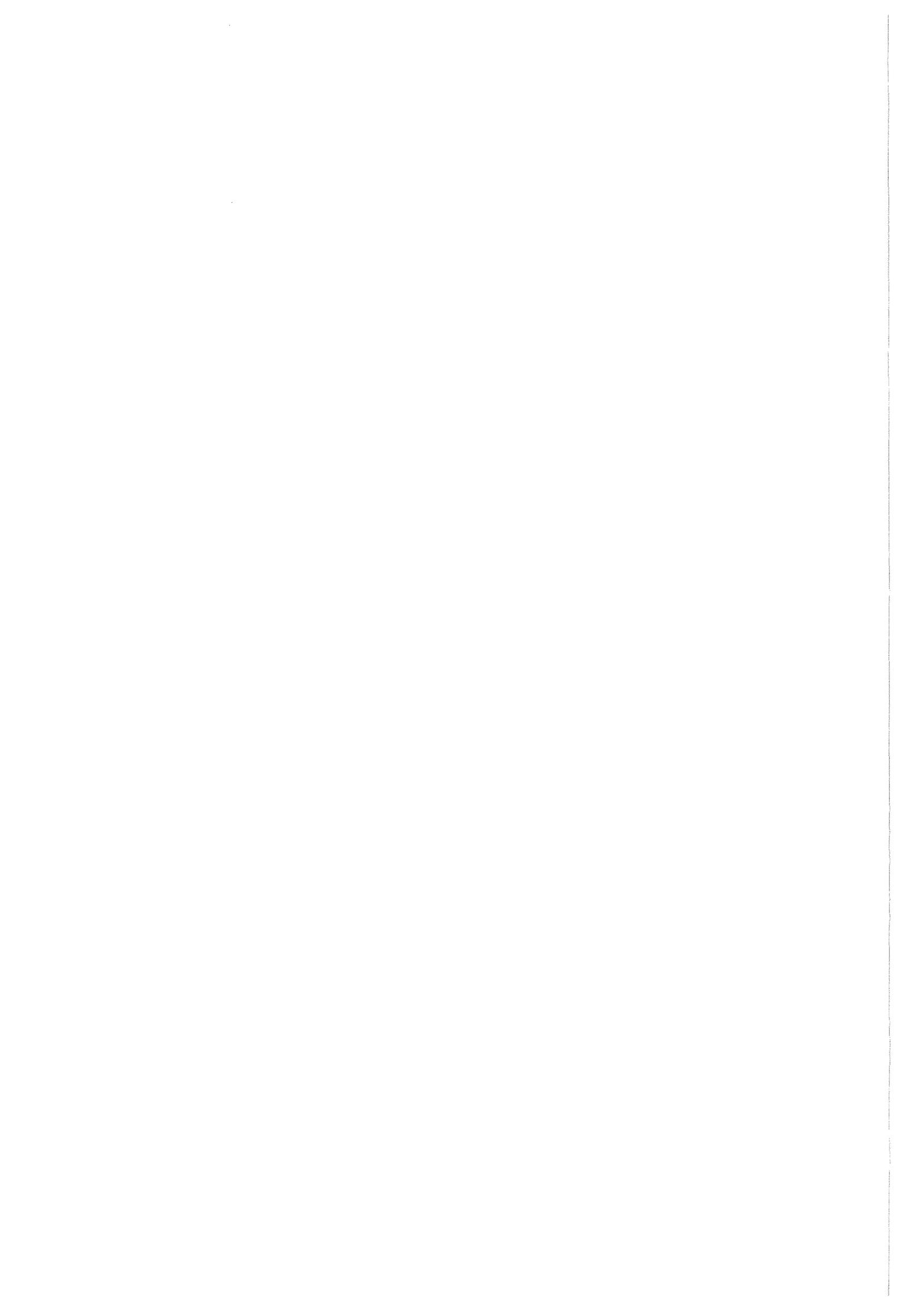




1/40

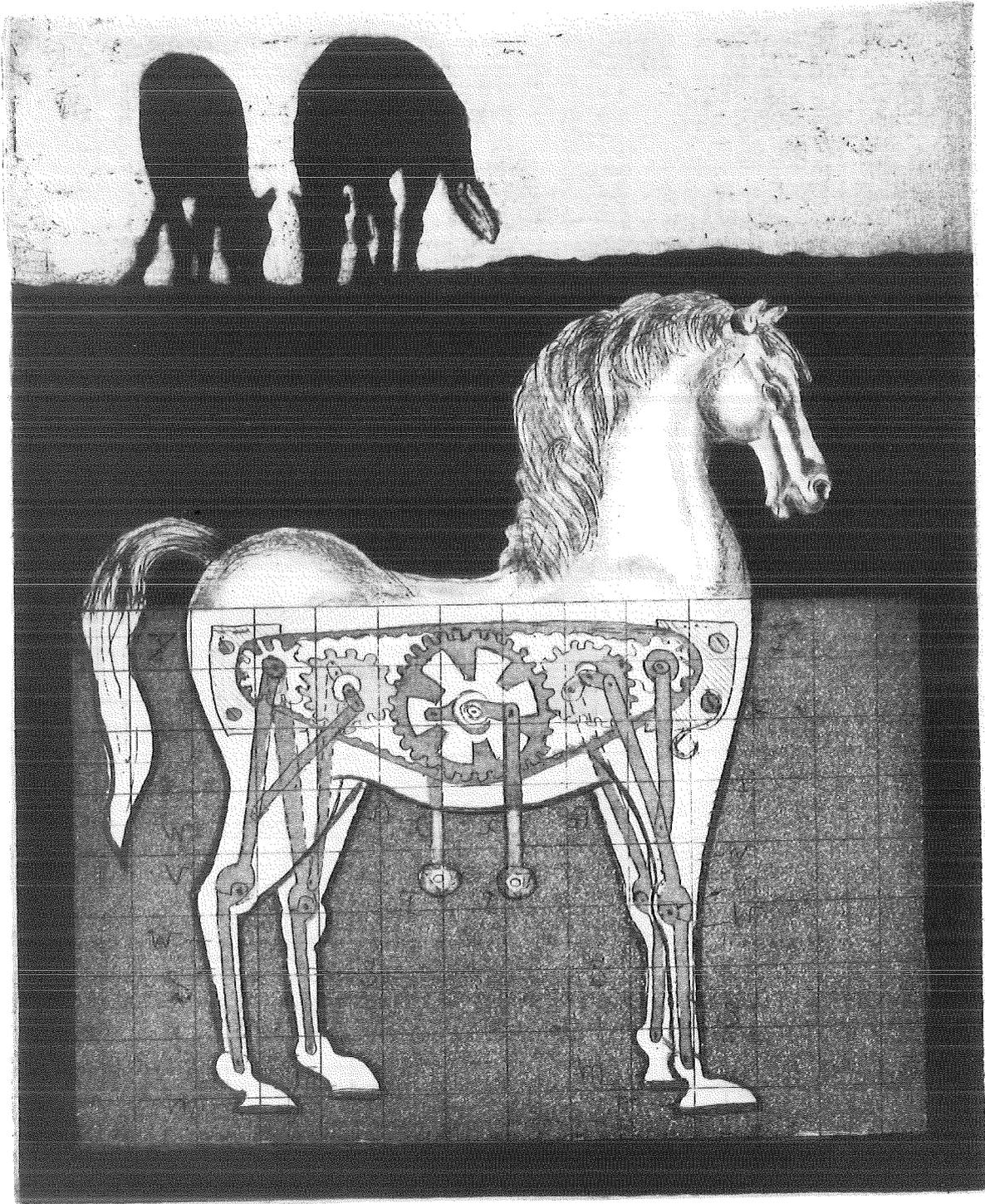
"Off-shore"

R. Uirdhoff/86



"Walking Machine"





1/40

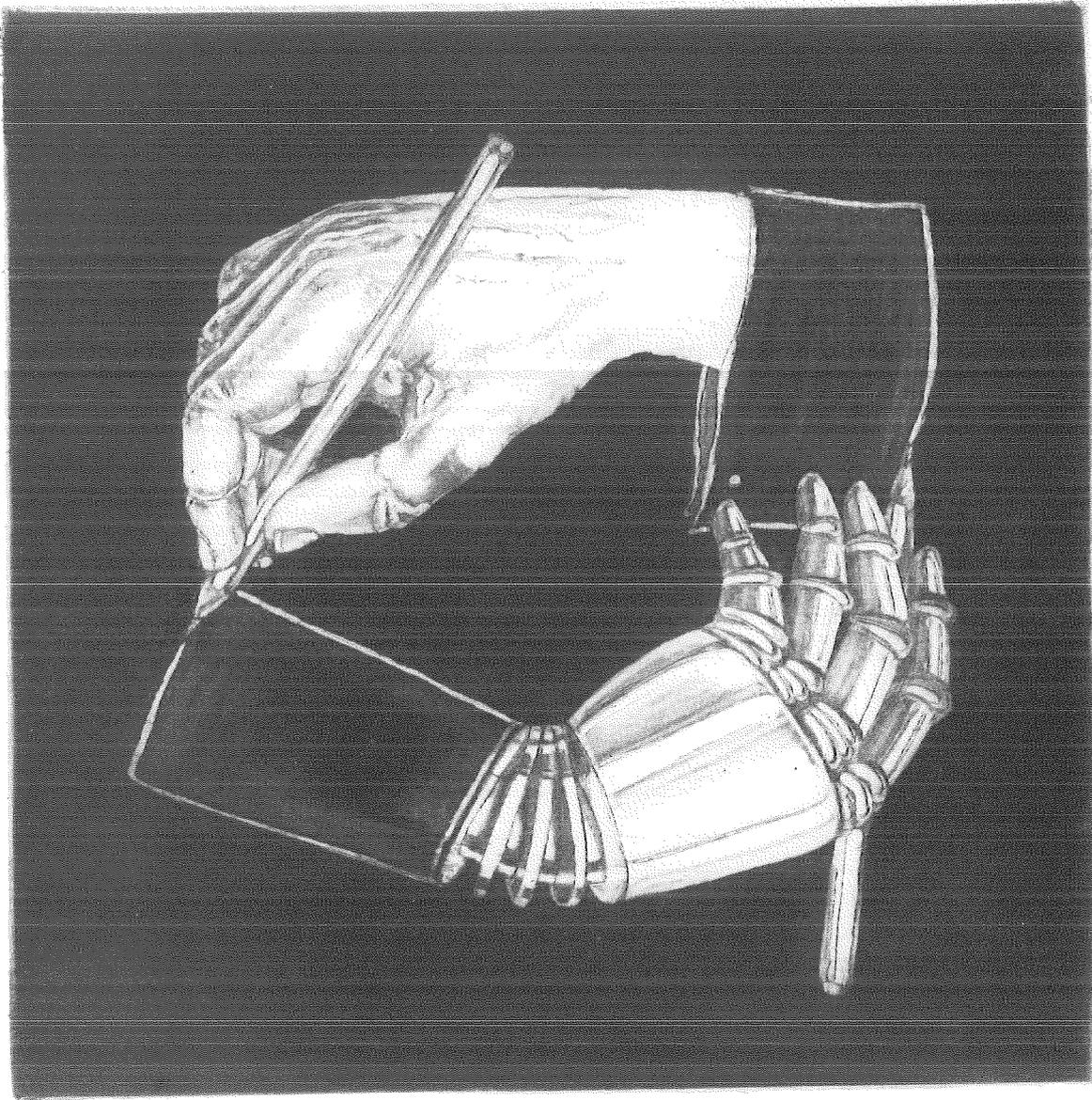
"Walking Machine"

R. Urdhoff 186



"Master - Slave"  
Hommage à M.C. Escher





1/40

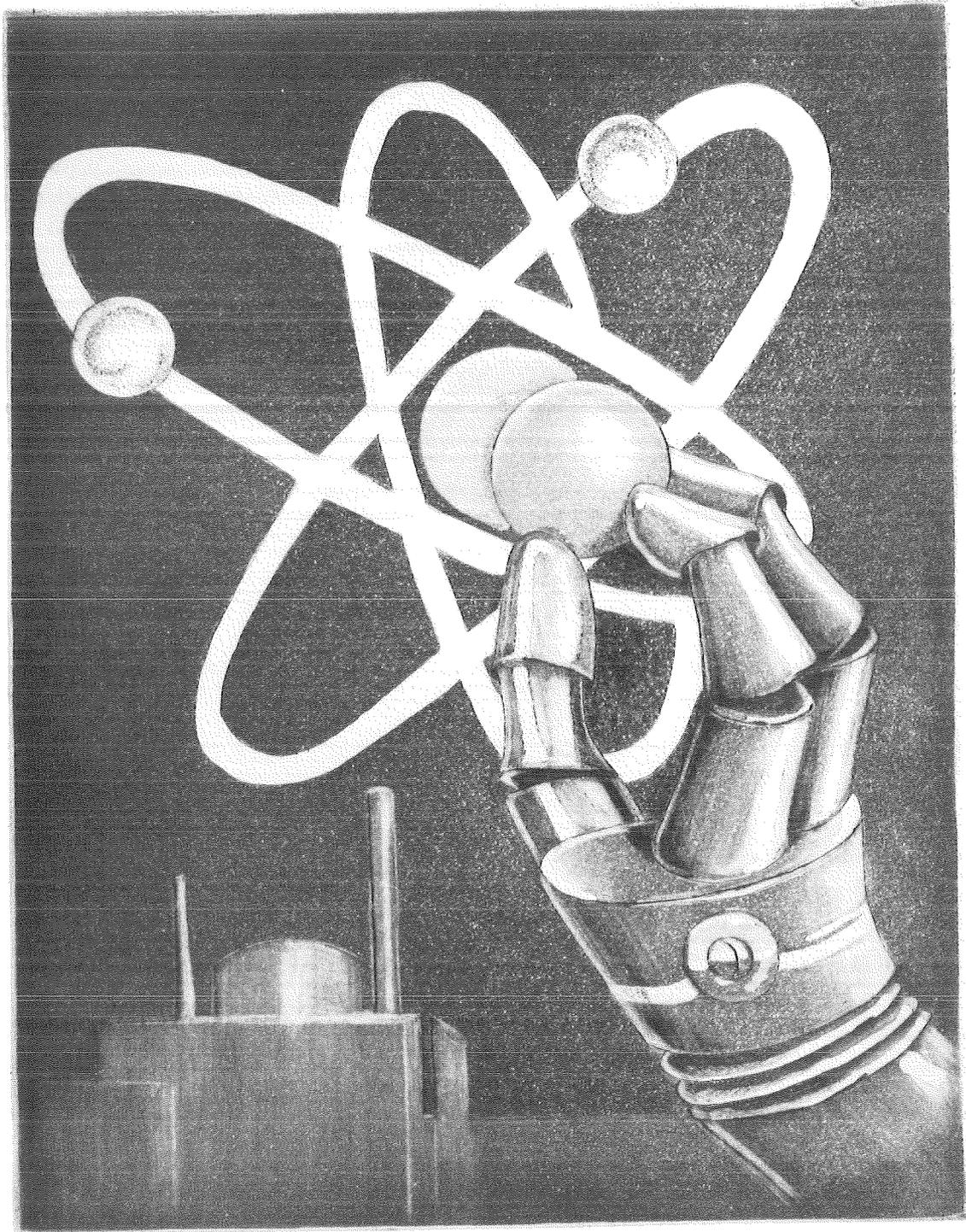
"Master - Slave"  
Hommage à M.C. Escher

R. Windhoff / 86



"Nuclear Manipulation"

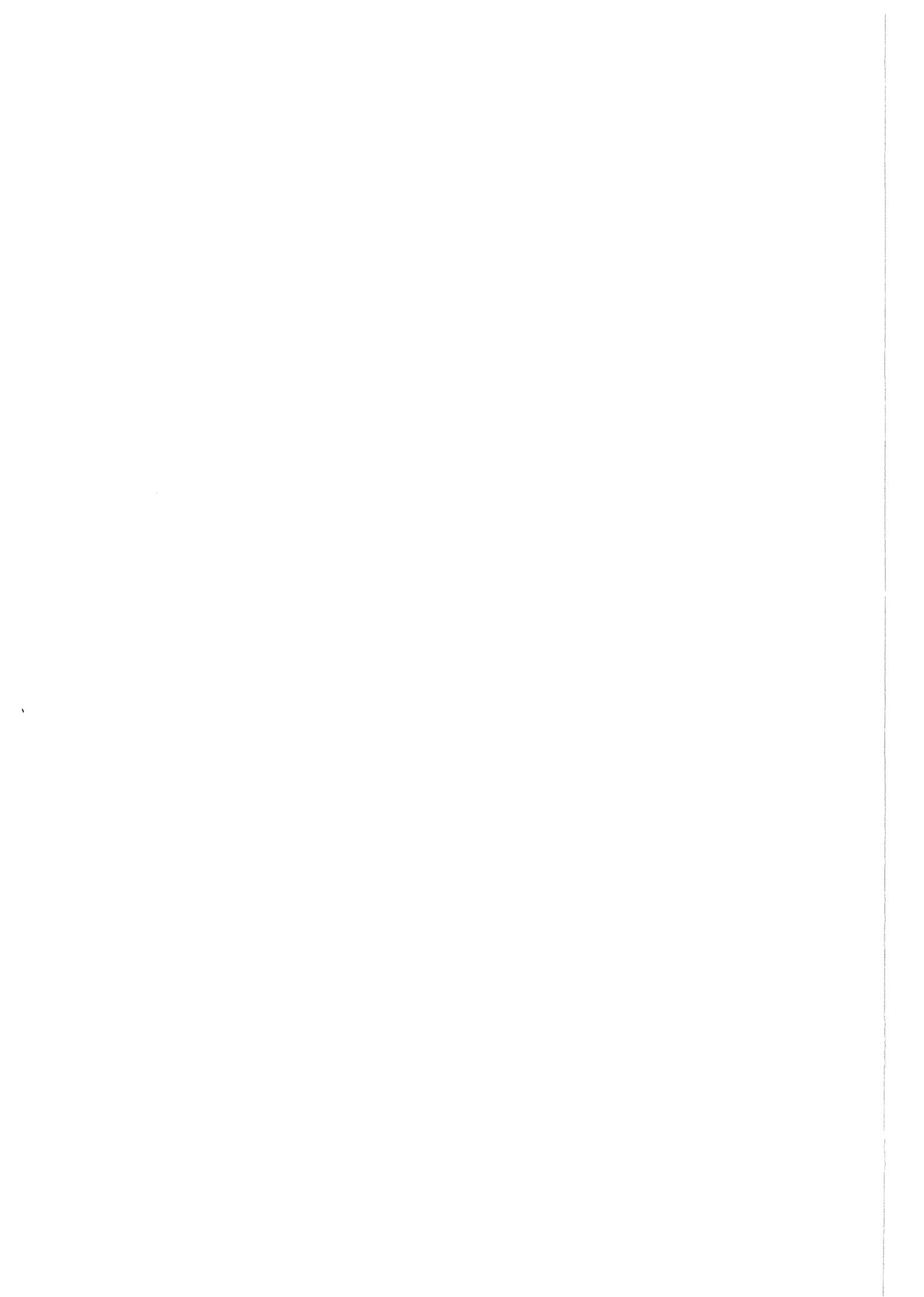




1/40

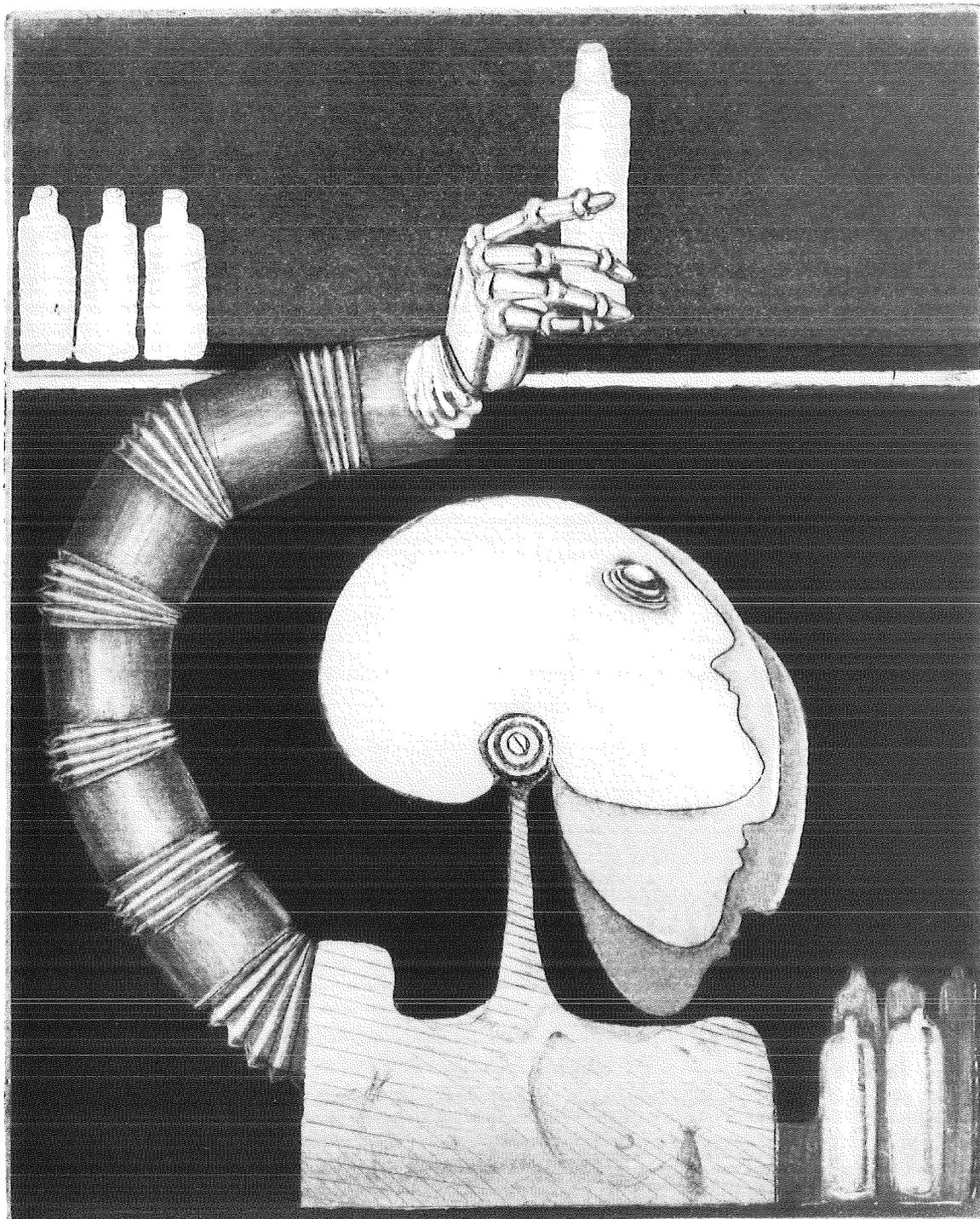
"Nuclear Manipulation"

R. Uirokoff  
/86



"Industrial Robot"





7/40

"Industrial Robot"

R. Ulrichhoff/86

.....

.....

.....

.....

Bericht über den Besuch des  
Japan Marine Science & Technology Center  
von H.G. Pater



Besuchsbericht: Japan Marine Science and Technology Center 24. Sept 1986  
Dipl.-Ing. H.-G. Pater

1. Name des Instituts

Japan Marine Science & Technologie Center  
JAMSTEC  
2372-15 Natsushima-cho  
Yokosuka 237

2. Gesprächspartner

Executive Director für den Planungs- und Transportbereich  
Mr. Takashi Mayama  
Senior Sciensist, Leiter der Forschungsabteilung  
Dr. Hattori  
zuständig für internationale Angelegenheiten  
Mr. Yoshito Tsuji

3. Entwicklungsthemen des Instituts

Das Japan Marine Science & Technologie Center hat 2 Entwicklungsschwerpunkte:

- o Tiefseeuntersuchungen und Entwicklung der erforderlichen Geräte und
- o Bemanntes Tauchen

Weitere Entwicklungen beschäftigen sich mit Marine-Beobachtungs- und Erfassungssystemen sowie mit Systemen zur optimalen Nutzung des Meeres. Das Institut entwickelt ferngesteuerte Robotersysteme und setzt sie seit 1978 ein.

4. Allgemeine Angaben

Das Japan Marine Science & Technology Center wurde 1970 gegründet und ist offiziell ein staatliches Institut, das sich umfassend und zentral mit der Meereswissenschaft und -technologie in Japan beschäftigt.

Hier existieren 4 Arbeitsbereiche:

- o Forschung und Entwicklung
- o Training und Ausbildung für Taucher
- o Informationsservice
- o Vermietung der Geräte

Das Budget beträgt 1986 da. 7.419 Millionen Yen bei 143 Beschäftigten, wobei die Geräte- und Anlagekosten, die zum Großteil als Aufträge an Firmen gehen, über 5.000 Millionen Yen ausmachen.

Die Finanzierung erfolgt zum Großteil durch staatliche Institutionen (z.B. STA Science and Technology Agency), der Rest durch private Firmen.

An technischen Einrichtungen bzw. Anlagen existieren zur Zeit

- 2 Untersuchungsschiffe
- 1 Tiefseeuntersuchungsschiff
- 1 Hochdruckbehälter  $\phi$  1,4 m x 3 m Länge  
mit Drucksimulation bis 15.600 m Tiefe  
weitere Druckbehälter
- Simulationsanlagen für Taucher

Weitere Geräte und Anlagen werden entweder gemietet oder entwickelt.

#### 5./6. Präsentation / Besichtigungen / Diskussion

Im Bereich der Tiefseeuntersuchungen verfolgt das Japan Marine Science & Technology Center 2 Methoden:

1. bemannte Tiefseetauchboote
2. unbemannte Tiefseetauchboote

zu 1.) Jamstek hat seit einigen Jahren ein bemanntes Tauchboot (Shinkai 2000) bis 2000 m Tiefe in Betrieb und entwickelt zur Zeit ein neues Tauchboot bis 6500 m Tiefe.

zu 2.) Hier wurden bzw. werden schwerpunktmäßig fernbediente Fahrzeuge mit Manipulatoren entwickelt (siehe Bild).

1980 JTV-1 bis 200 m Tiefe mit Kamerasystem wird mittlerweile industriell gebaut und vermarktet.

1984 HORNET 500 bis zu 500 m Tiefe mit Kamerasystemen und 1 Manipulator mit 3F6 Übertragung durch ein Elektro-Glasfaser-Kombinationskabel  $\phi$  7 mm, 800 m Länge

1986 DOLPHIN 3K wird zur Zeit entwickelt bis 3300 m Tiefe mit Kamerasystemen und 2 Manipulatoren mit 7/5 Freiheitsgraden; Übertragung durch ein Elektro-Glasfaser-Kombinationskabel höchster Qualität,  $\phi$  30 mm, 5000 m Länge

Andere Entwicklungen werden im Bereich schneller und großflächiger Meeresbeobachtungen durchgeführt, z.B. Remote Sensing Systems, vom Flugzeug oder Satelliten aus, vom Flugzeug abgeworfene Meßgeräte oder Schleppeinrichtungen für Schiffe. Die Entwicklung geht hier in Richtung totaler Erfassung.

Ein weiteres Arbeitspaket ist die Entwicklung von Geräten und Systemen zur optimalen Nutzung des Meeres, z.B. Wellenbrechung, Energieerzeugung durch Wellen nach dem Kaimmaisystem mit schwebenden Turbinen bzw. mit am Meeresboden festen Turbinen.

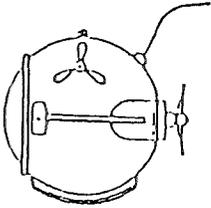
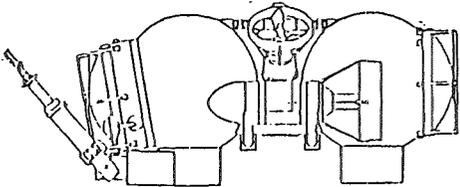
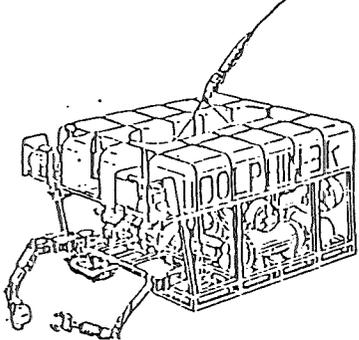
Ein weiterer Schwerpunkt ist die Entwicklung bzw. der Einsatz der KAIYO, eines Katamaran-Forschungsschiffes, das als Mutterschiff für die Tauchboote dienen soll.

## 7. Zusammenfassung

Im Handhabungsbereich ist die Entwicklung des Tiefseebotes DOLPHIN-3K, geeignet bis 3300 m Tiefe, die wichtigste Aktivität des Japan Marine Science & Technology Center, da hier 2 Manipulatoren unter extremen Bedingungen eingesetzt werden sollen.

Der rechte Arm mit einer Länge von 1500 mm, 20kg (40kg) Handhabungsgewicht und 7 Gelenken soll als vollhydraulisches Master-Slave-System mit Kraft-Rückführung ausgeführt werden, während der linke Arm mit 5 Gelenken mit einem Joy-Stick betätigt werden soll. Für den Operator ist eine manuell geführte Stereo-Kamera mit Spezial-Unterwasserlinsen sowie eine Stereo-Brille vorgesehen. Die Gegenkraft bei Unterwasserarbeiten soll entweder durch Bodenandruck über den Antrieb erzeugt werden, oder der 2te Greifer soll das Gerät festhalten. Auch bei diesem Gerät soll ein Elektro-Glasfaser-Kombinationskabel für die Leistungs-, Steuerungs- und Informationsübertragung eingesetzt werden, da diese erhebliche Gewichts- und Durchmesserersparungen ermöglichen und sich bisher sehr gut bewährt haben.

REMOTELY OPERATED VEHICLES DEVELOPED IN JAMSTEC

	JTV-1 1980	HORNET-500 1984	DOLPHIN-3K 1986
			
DIMENSIONS WEIGHT	52 (L) x 64 (W) x 50 (H), 43 KG	120 (L) x 96 (W) x 56 (H), 120 KG	285 (L) x 194 (W) x 190 (H), 3300 KG
DEPTH	200 M	500 M	3300 M
CABLE	∅ 16 MM, 200 M	∅ 7 MM, 800 M, ELETRO-OPTICAL	∅ 30 MM, 5000 M, ELETRO-OPTICAL
TRANSMISSION	CO-AXIAL, ASYNCHRONOUS H-DIRECTIONAL	WDM, LED, OPTICAL FIBER	WDM, LD, OPTICAL FIBER
POWER	AC 100 V, 2KW	AC 1100 V, 3KW	AC 2500 V, 40 KW, 5 KW
STATUS	OPERATIONAL, JTV-1,2 COMMERCIAL TYPE, DLT-300-1,2,3 to 8	No.1 vehicle was completed in early 1984, the vehicle was lost by an accident. No.2 is under fabrication and shall be completed in late 1985.	SHALL BE COMPLETED IN 1986
INSTRUMENTATION	CCD COLOR TV, STILL CAMERA, COMPASS, DEPTH METER, LIGHT 150 W x 2, AUTOMATIC DEPTH , DIRECTION HOLD	COLOR TV (ENG), LLL AFT. TV, STILL CAMERA LIGHT 300W x 4, 150W x 2, MANIPULATOR (3 d. f.), FLUX GATE, RATE GYRO, AUTOMATIC DEPTH, DIRECTION HOLD	COLOR TV (ENG), STEREO B/W TV, LIGHT x 6, B/W AFT TV, OAS, DIRECTION FINDER, MANIPULATOR (7d. f.), GRABBER (5d. f.) SS BLACOUSS TIC NAV. FLUX GATE

Bericht über den Besuch der  
Mitsui Engineering & Shipbuilding Co.  
von H. Walze



21.10.1986

ARP-STUDIENREISE JAPAN 1986

BERICHT ÜBER BESUCH BEI MITSUI

Walze H. Dipl.-Ing. (KfK/PHDR)

1. Firma Anschrift Akishima Laboratory of  
Mitsui Engineering & Shipbuilding Co.  
Ltd. (MES)  
1-5, Tsutsujigaoka 1-Chome  
Akishima, Tokyo 196, Japan
  
2. Gesprächspartner
  - Mr. Y. Kishi  
President of Akishima Lab. (Begrüßung)
  - Mr. S. Otsuka  
Manager of Project Development & Promo-  
tion department,  
Technical R & D Headquarters  
(Begrüßung)
  - Mr. M. Mochizuki  
Manager of R&D department  
(Übersicht der fortgeschrittenen Un-  
terwasserrobotertechnik)
  - Mr. M. Abe  
Director of Administration department  
(Übersicht der Laboreinrichtungen)
  
3. Arbeitsgebiete

Mitsui beteiligt sich an dem vom MITI finanzierten Large-Scale Project "Advanced robot technology", das von 1983 - 1990 läuft und ein F&E-Budget von insgesamt 20 Milliarden Yen hat. Hier arbeitet

Mitsui im Teilprojekt "Robot for Support of Ocean Oil Exploitation" mit folgenden Firmen der ARTRA zusammen:

- OKI Electric Industries
- Kawasaki Heavy Industries
- Komatsu
- Sumitomo Electric Industries.

Insbesondere werden ferngesteuerte Geräte für Inspektions- und Instandhaltungsarbeiten an Offshore-Ölförderplattformen entwickelt.

3.1 Ein Gerät zur ferngesteuerten Inspektion von Unterwassereinrichtungen wurde bereits fertiggestellt. Es handelt sich um das Remotely Operated TV Vehicle "RTV-100" mit folgenden Merkmalen:

- Gewicht: 25 kg
- hochauflösende Farb TV-Kamera an Bord
- Bildsignalübertragung zum Bediengerät über Lichtleiter
- 300 W Halogenscheinwerfer
- 3 Propeller mit Gleichstrommotorantrieben
- Steuerung des Gerätes mittels Joystick
- max. 100 m Tauchtiefe
- Elektrischer Leistungsbedarf 700 W.

Von RTV-100 wurden bereits 25 Geräte an Hafenbauunternehmen usw. verkauft (8 Millionen Yen/Stück).

Inzwischen ist jedoch das Gerät weiterentwickelt worden. Das neue Prototypsystem mit verbesserten Leistungsmerkmalen (Bezeichnung: RTV-100S) wurde anschließend im Bassin vorgeführt.

3.2 Ein anspruchsvolleres Entwicklungsziel stellt der Unterwasserroboter für Bau- und Reparaturarbeiten an Offshoreeinrichtungen in Meerestiefen von 50 - 200 m dar.

Das Konzept sieht ein fortgeschrittenes nur noch teilweise ferngesteuertes System vor.

Folgende Einsatzbedingungen lagen der Vorentwicklung zugrunde:

- Temperatur  $-2^{\circ}\text{C}$  bis  $-30^{\circ}\text{C}$
- Gezeitenbedingte Strömung 2 kt
- Wellenhöhen 2 - 3 m

Die geplanten Geräteabmessungen betragen:

- Länge 3,2 m (variabel)
- Breite 2,7 m
- Höhe 2,7 m

Zur Selbstorientierung ist eine Navigationseinrichtung vorgesehen. Das Erkennen und Umgehen von Hindernissen will man mit Hilfe der Ultraschallortungstechnik realisieren.

Die Mobilität soll mit "Beinen" erreicht werden, die gleichzeitig dazu dienen, das Gerät an bestimmten Strukturen in Arbeitsposition zu arretieren.

Der Arbeitsteil soll zweiarmig (5 - 6 Freiheitsgrade) ausgelegt werden, wobei für den einen Arm eine "Hand" mit 2 "Fingern" vorgesehen ist. Die eigentlichen Manipulationen werden dann im M/S-Betrieb durchgeführt. Die für Reparaturarbeiten aufzubringenden Kräfte sollen im Bereich menschlicher Kräfte liegen.

Für die Steuerung des Gerätes vor Ort wird von OKI ein Mehrprozessorsystem entwickelt; bei dem z.B. eine CPU speziell für Rettungsfunktionen im Gefahrenfall, d.h. zum sicheren Auftauchen, benötigt wird.

Die Kommunikation mit dem Bediener (ebenfalls von OKI) soll bei geringen Entfernungen zum Versorgungsschiff per Funk, bei größeren Entfernungen über ein Kabel mit Lichtleiter erfolgen. Dem Bediener wird ein Fernsehsystem zur Darstellung der mit Ultraschall erfaßten Arbeitsabläufe zur Verfügung stehen.

Die Fertigstellung des Prototypsystems ist für 1990 geplant.

3.3 Als 3. Arbeitsthema im Rahmen von ARTRA ist der rechnergestützte 3D-Bewegungssimulator zu nennen, dessen Anwendung bei der Einsatzplanung des Unterwasserroboters vorgesehen ist. Diese Entwicklung basiert offenbar auf einem vorhandenen Simulator für Schiffsbewegungen (Maneuvering Simulation Program, MSP).

#### 4. Angaben zum Akishima Laboratory

In dieser zentralen Entwicklungsstelle von Mitsui sind 72 Mitarbeiter beschäftigt, wovon 27 wissenschaftlich tätig sind.

Ca. 7% der Belegschaft ist mit den ARTRA-Projekten beschäftigt.

Organisatorisch gehört das Labor zur zentralen F&E-Stelle von Mitsui. Es besteht aus

- 1 Verwaltungsabteilung
- 1 Erprobungs- und Fertigungsabteilung und
- 5 F&E-Abteilungen.

Zur Ausstattung gehören

- Bassins zur Erprobung von Schiffsmodellen, insbesondere von Antrieben
- Windkanäle zur Erprobung von Modellen für Brücken, Offshoreplattformen usw.
- Modellbaueinrichtungen
- Simulationseinrichtung für Schiffsbewegungen (rechnergestützt)

#### 5. Besichtigung

Beim Rundgang wurde folgendes präsentiert:

5.1 Rechnergestütztes Simulationssystem für Bewegungen von Unterwassergeräten, Anzeige auf Farbgraphikbildschirm (siehe 3).

5.2 Prototyp des weiterentwickelten Unterwasserinspektionssystems RTV-100 S (siehe 3).

5.3 Bassin (Länge 220 m, . Breite 14 m) zur Erprobung von Schiffsmodellen.

5.4 CNC-gesteuertes Fräsen von Schiffsmodellen.

5.5 Manueller Modellbau mit Polyurethan

5.6 Bassin für strömungstechnische Untersuchungen

5.7 Meß- und Videoprojektionssystem zur Ermittlung des Strömungsverhaltens von Schiffspropellern

5.8 Test von Brückenteilen im Windkanal

## 6. Ergebnisse der Diskussion

In der Diskussion wurden von den Gastgebern folgende zusätzliche Angaben gemacht:

- Die Entwicklung der Master/Slave-Technik für den Unterwasserroboter läuft bei Kawasaki.
- Z.Z. ist der Unterwasserroboter für Reparaturaufgaben (z.B. Schweißen) noch nicht vorgesehen.

## 7. Zusammenfassung

Am interessantesten war zweifellos die anspruchsvolle arbeitsteilige Entwicklung des Unterwasserroboters. Unabhängig davon, ob das Gerät 1990 bereits erprobungsreif ist oder nicht, wird man in diesem Verbundprojekt bis dahin doch sovieler Teilentwicklungsergebnisse erarbeitet haben, daß der endgültige Schritt hin zu einer tragfähigen Lösung mit einem deutlich geringeren Risiko behaftet sein wird.

Soweit der Berichterstatter informiert ist, gibt es in der BR-Deutschland z.Z. kein vergleichbares Projekt. Es sollte daher überlegt werden, ob man im Rahmen von ARP mit den Japanern auf diesem Gebiet eine Kooperation eingeht (zu der wir z.B. die Schweißtechnik in großen Wassertiefen beisteuern könnten) - oder ob man diesen Anwendungsbereich hierzulande nicht weiter verfolgt. Eine kleine nationale Lösung scheint jedenfalls in Anbetracht des japanischen Large Scale-Projectes nicht sinnvoll zu sein.

*Robot for oil  
exploitation support*

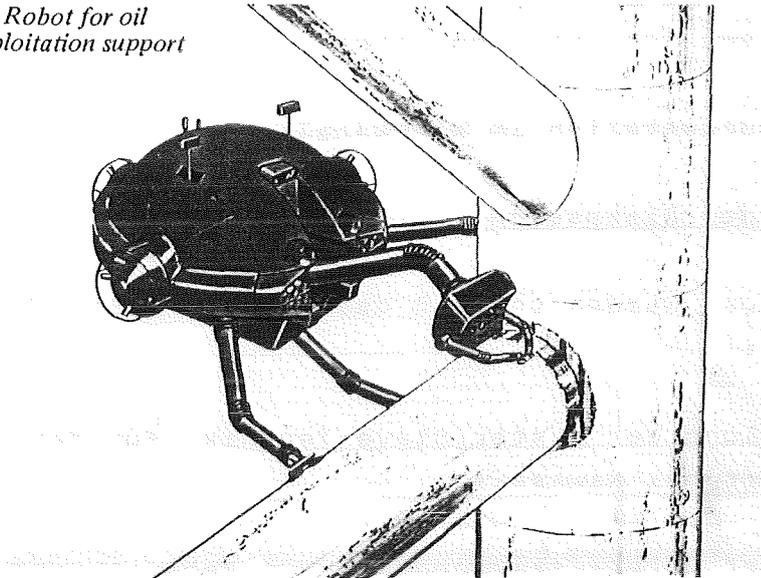
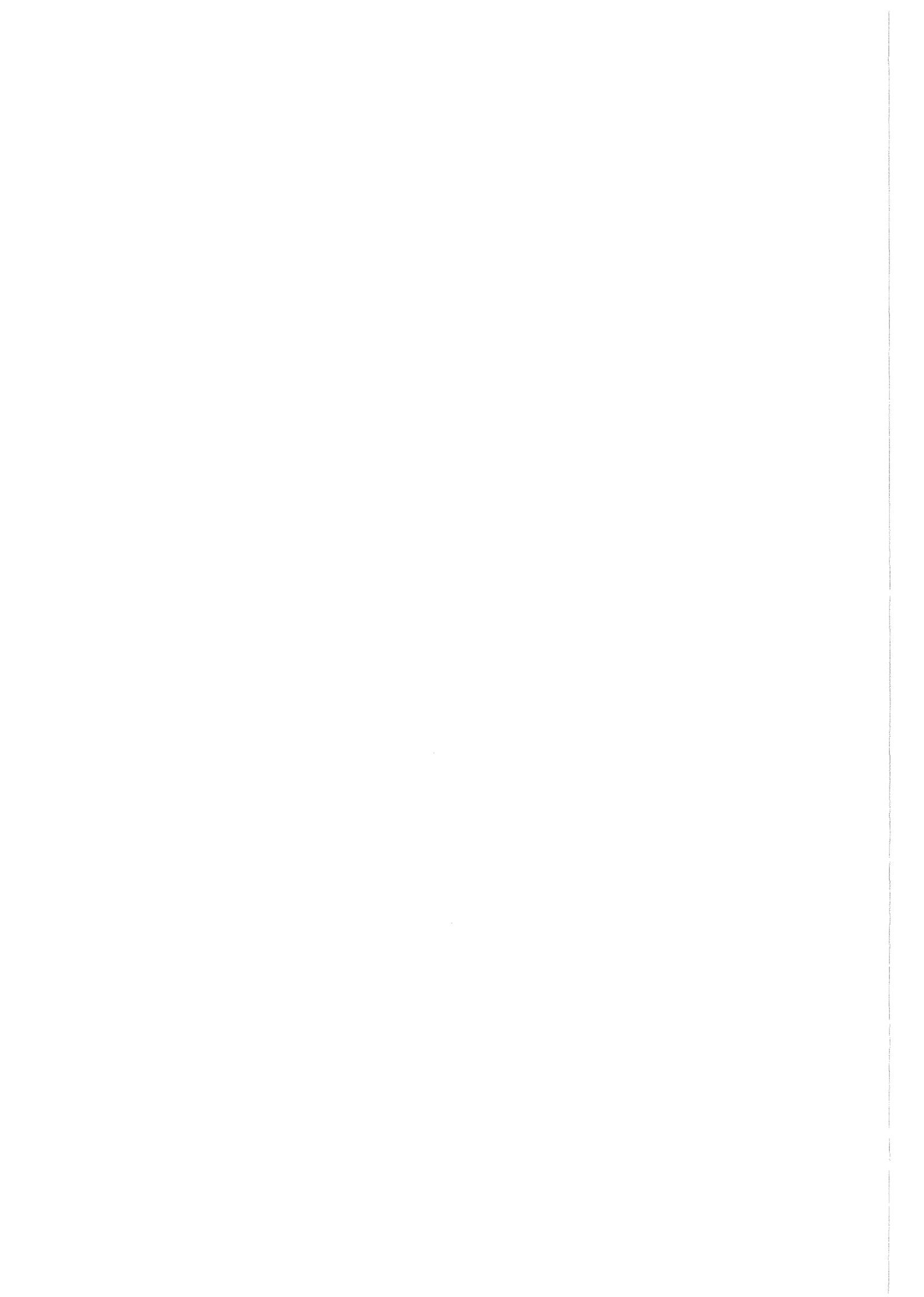


Bild: Unterwasserroboter (Studie)

Bericht über den Besuch der  
Komatsu Ltd.  
von G.F. Schultheiß



Institut für Anlagentechnik  
Prof. Dr.-Ing. G. F. Schultheiß

1. Name der Firma, Adresse

Sumitomo Heavy Industry  
Kawama Plant, Yokohama

vermittelt durch Komatsu Ltd.

2. Gesprächspartner

**KOMATSU LTD.**  
**TECHNICAL RESEARCH CENTER**

**TOSHIHISA NARUSE**

**MANAGER**  
**MECHANICS & CONTROL LABORATORY**

**RESEARCH CENTER:**  
**1200 MANDA,**  
**HIRATSUKA-SHI,**  
**KANAGAWA, 254 JAPAN**  
**PHONE. (0463) 34-1111**

**HEAD OFFICE:**  
**KOMATSU BLDG.**  
**3-6, AKASAKA 2-CHOME,**  
**MINATO-KU, TOKYO, 107 JAPAN**  
**PHONE. (03) 584-7111**  
**TELEX: J22812 KOMATSU**

3. Entwicklungsthemen/Produkte

Komatsu baut eigentlich Baumaschinen. Seit 20 Jahren wird Forschung für UW-Bulldozer verfolgt.

Herkömmlich werden diese Geräte mit Raupen betrieben, aber die Bodenverhältnisse verlangen nach anderen Lösungen, z.B. die von Komatsu verfolgte Linie mit 8 Beinen (bisher 2 Maschinen) für unebenen Boden, Arbeitstiefe 30 m. Es wird hier ein Markt gesehen.

Eine Kurzbeschreibung findet sich im beiliegenden Datenblatt der Japan Industrial Robot Association.

Ein Spot mark-guided clean room robot ist in zweifacher Ausführung im Labor vorhanden, wird aber nicht weiter behandelt. Es wird ebenfalls ein Markt gesehen.

#### 4. Allgemeine Angaben

Über die Anzahl der Beschäftigten (ca. 16.400), Beschäftigte im Entwicklungsbereich, Beschäftigte in Robotics und Umsatz/Export (gesamt 1985: ca. 10,4 Mrd.DM), sowie Ausstattung von Labors & Werkstätten wurden bei dieser Besichtigung keine Angaben gemacht.

Eine allgemeine Broschüre gibt dazu die Auskünfte, die in Klammern angegeben sind.

#### 5. Präsentationen, Besichtigungen

Vorstellung des 8-beinigen Roboters

Experimente zur Entwicklung des Gerätes werden bei Sumitomo durchgeführt.

Videofilm über das Gerät wird gezeigt bei Anwendungen für Hafenbauprojekte. Die Gründung für Wasserbauwerke erfordert Geröll und Felseinebnung. Komatsu hat ein entsprechendes 2x4-beiniges (2 Rahmen)-System entwickelt. Die Bewegung ist rechnerkontrolliert. (1 Schritt: 1,5 m vorwärts/rückwärts bzw. seitwärts). Das Gerät in Luft wiegt 75 t und in Wasser 58 t. Das Schüttgeröll wird mit einem Rechen vorgeebnet. Dann werden 40 m<sup>2</sup> Bodenfläche mit einer Rollbewegung gewalzt. Die Überprüfung der Nivellierung und der verfestigten Bahn erfolgt mit Ultraschall (Video durch Taucher).

Nach einer Ultraschall-Vorprüfung; mit Aufzeichnung durch x-y Schreiber wird nivelliert (Ortung von Land).

Am Beispiel eines Hafens für die Tokyo Nuclear Power Corporation im Sept. 1983 wird die Arbeitsweise vorgeführt. Der Robot kann schwimmen durch Trimm tanks (von Hand betätigt). Bei 30 m max. Arbeitstiefe kann  $\pm 5$  cm Abweichung in der Bodenstruktur (gesetzlich vorgeschrieben) garantiert werden.

In einer Besichtigung wird das Gerät vorgeführt, das 4 x benutzt wurde und 1000 h Arbeitsstunden absolviert hat.

Eine 2. Maschine wurde im Juni '86 verkauft und eingesetzt.

#### 6. Ergebnis der Diskussion

Das Gerät ist besonders für unebenen Boden gedacht. Es soll in Zukunft mit entsprechenden Schrämmfräsen auch für Brückenfundamente in felsigem Flußgrund eingesetzt werden.

Sprengen ist wegen der Auswirkungen auf die Fische in Japan verboten.

Das Gerät hat nur elektrische Versorgung (mit Schnellabschaltung) und Preßluftzufuhr für die Trimm tanks.

Es gibt keine besonderen Vorkehrungen gegen Öl-Leckage.

#### 7. Zusammenfassung

Es wurde ein anwendungsreifes Geräte vorgestellt, für welches ein mechanisches Bewegungsprinzip verwendet wurde, das in seiner Grundlage bereits existierte. Auch bei der Weiterentwicklung zu einer fräsenden Version wurden im wesentlichen vorhandene Techniken und Komponenten sinnvoll kombiniert.

Hier kommt zumindest eine Möglichkeit der japanischen Entwicklungsphilosophie zum Tragen, aus Teilsystementwicklungen eine marktreife Maschine zusammenzustellen. Dies gilt für Hardware und Software.

THE SPECIFICATIONS AND APPLICATIONS  
OF  
INDUSTRIAL ROBOTS IN JAPAN  
1986

Name of company/ Department in charge	Komatsu Ltd. Technical Research Center		Address/ Telephone	1200, Manda, Hiratsuka-shi, Kanagawa, 254, Japan Tel. (0463) 34-1111		
Model Name	Underwater rubble levelling robot	Main applications	Harbor construction (rubble levelling)	Weight of robot itself	72,000 kg in air	
Classification	a. Input information and teaching mode	Variable sequence robot		Degree of freedom of motion	Walk . . . 11, Work . . . 3	
	b. Motion form	8-legs walking robot		Load capacity	20,000 kg	
Axes		Operating space	Speed	Axes		
Arm	Right-left traverse	—	—	Hand	Right-left swing	—
	Right-left turning	—	—		Up-down swing	—
	Up-down traverse	—	—		Right-left traverse	—
	Up-down turning	—	—		Up-down traverse	—
	In-out	—	—		Revolution	—
	Revolution	—	—	Finger	Clamp	—
Travelling		Max radius 150 m	25 m/h	Remarks		—
Repeatability (Positioning precision)		—		Allowable environmental conditions	Depth	0 ~ 30 m
Moving control function	Sequential mode	Micro processor		Teaching functions	Sequential mode	Stored program
	Positioning	Electro-hydraulic control			Position and speed	—
	Miscellany	—			Memory mode	IC memory
Power-External -Internal		AC 440 V, 60 Hz 150 k VA Electric Motor, Hydraulic Motor, Cylinder			Memory capacity	49,000 bit
Internal measuring ability		Potentiometer, inclinometer		Miscellany		—
External measuring/ Recognizing ability		Laser positioning, levelling		Auxiliary functions, options etc.		—

Outward figure	Operation space	Characteristics of the robot
<p>(plan)</p> <p>(side view)</p>		<ol style="list-style-type: none"> <li><b>Robotization</b> The series of movements of the underwater rubble leveling robot — such as walking, changing posture, and leveling work — are controlled by a wired telemechanism on board a boat.</li> <li><b>Can work at great water depths</b> Leveling can be carried out at great depths over a wide area in a short time — work which until now could not be done manually.</li> <li><b>High economy</b> A wide area can be leveled per unit of working time, resulting in a marked cost reduction.</li> <li><b>High finishing accuracy</b> The rubble is leveled with the rake, then immediately pressed and compacted with rollers, resulting in a uniformly-finished surface.</li> <li><b>Versatility</b> The robot can travel forward and backward and to the left and right. In addition, slopes can be leveled by automatic level control.</li> <li><b>Measurement and recording of the surface finish</b> All surfaces finished by the robot are measured and recorded to insure an accurate and uniform finish.</li> </ol>

Bericht über den Besuch der  
Hitachi Ltd., Mech. Eng. Research Lab  
von W. Köhler



W. Köhler  
KfK/IT

KfK, den 29.10.1986 /st

### Bericht über den 3. Besuch am 17. Sept. 1986

#### 1. Name des Institutes und Adresse

Mechanical Engineering Research Laboratory, Hitachi Ltd.  
502 Kandatsu, Tsuchiura, Ibaraki, 300 Japan

#### 2. Gesprächspartner

Herren Dr. Yoshiyuki Nakano, Leiter der 1. Abteilung

Taro Iwamoto, Gruppenleiter } in der  
Kazuo Honma, Gruppenleiter } 1. Abteilung

#### 3. Entwicklungsthemen des Institutes

Die Hauptarbeitsgebiete sind:

- Systeme mit mechanischen und elektronischen Komponenten
- Industrie-Maschinenbau
- Mechanische Grundlagenforschung.

Auf unserem Interessengebiet sind die Entwicklungs-Richtungen:

- intelligente mobile Roboter
- fortgeschrittene Industrie-Roboter.

#### 4. Allgemeine Angaben

Die Firma Hitachi wurde 1940 gegründet. Sie ist die fünftgrößte Elektrofirma in der Welt mit einem Jahresumsatz von entsprechend ca. 58 Milliarden DM, 20 000 Produkten und 160 000 Beschäftigten. Es gibt fünf Bereiche: Kraftwerksbau, Konsumartikel, Datenverarbeitung, industrieller Maschinenbau sowie Halbzeuge, Metalle und Chemiekalien.

Der Forschungs- und Entwicklungsbereich umfaßt 21 Laboratorien mit 16 000 Beschäftigten und einem Jahres-Budget von entsprechend ca. 3,4 Milliarden DM.

Das Mechanical Engineering Research Laboratory existiert seit 1966, hat 640 Mitarbeiter und gliedert sich in 7 Abteilungen. Eine davon (1. Abteilung) beschäftigt sich mit intelligenten mobilen Robotern und eine zweite mit

Industrie-Robotern. 30 % der Forschungsarbeiten werden unabhängig durchgeführt und 70 % sind Aufträge der verschiedenen Werke des Konzerns.

## 5. Präsentationen und Besichtigungen

Eingangs wurde ein Videofilm gezeigt, in dem sechs entwickelte Geräte vorgestellt wurden (siehe Bilder):

### - Autonomous Mobile Robot

Es handelt sich um ein Zwei-Kettenfahrzeug mit variabler Geometrie. In der Mitte des Fahrwerkes angebracht, befindet sich außen überragend mit einem 2. Leitrad versehen rechts und links ein langer Ausleger, der nach oben und unten neigbar ist. Die Neige-Achse muß zur Erhaltung der Kettenspannung während des Neigens etwas verschoben werden! Das Fahrzeug hat Gummi-Ketten, kraftschlüssigen Antrieb der Ketten und keine Federung. Es kann Treppen befahren. Gewicht ca. 150 kg, Nutzlast ca. 150 kg und max. Geschwindigkeit 2 Km/h.

Anmerkung:

Basis der Entwicklung war ein gekauftes, von KfK-IT entwickeltes und der Firma Blocher-Motor hergestelltes Fahrzeug vom Typ "MF 3". Es wurde von Hitachi mit einem Manipulator und Stereo-Fernsehen ausgerüstet (1. Gerät). Von der eigenen Entwicklung gibt es zwei Fahrzeuge (2. u. 3. Gerät).

Roboter-Eigenschaften:

Fernsehkamera, Objekterkennung, Näherungs-Sensoren, gespeicherte Umgebungs-Karte und Bahnplanung.

Ausrüstung:

Ein dreigelenkiger Manipulator mit 3 auf einem Kreis angeordneten Greifzangenbacken.

Vorgesehene Verwendung:

Instandhaltung in Anlagen.

### - Biped Walking Robot

Zweibeiniges Schreitwerk mit hydraulischen Antrieben in labormäßigem Aufbau. Zu sehen war langsames, etwas unsicherwirkendes Laufen.

Eigenschaften:

Insgesamt 12 Bewegungsmöglichkeiten, Hydraulik-Aggregat und Rechner an Bord, Höhe 1,4 m, Gewicht 120 kg, Schrittlänge 50 cm, Geschwindigkeit 150 m/h, noch keine Ausrüstung.

Verwendung:

Gedacht wird an Wartung in kerntechnischen Anlagen.

- Twin-Arm Robot

Ein Gerät von säulenartiger Gestalt, das mit kleinen Rädern auf ebenem Boden fahren kann sowie links und rechts je einen dreigelenkigen Arm besitzt.

Eigenschaften der Arme:

Je 4 Bewegungsmöglichkeiten, Tragfähigkeit 2 kg, Eigengewicht 6 kg, pneumatischer Antrieb mit Gummibälgen (künstlichen Muskeln), Kontrolle der ausgeübten Kräfte, programmierbar für Playback-Betrieb, Steuerung mit 16-bit Mikroprozessoren.

Weitere Eigenschaften:

Höhe 170 cm, Gewicht 60 kg, Schulterbreite 100 cm.

- Long Arm Hydraulic Manipulator

Das Gerät besteht aus einem 18 m langen Arm mit 4 Gelenken, der auf ein Raupenfahrgerüst montiert ist, wie man es bei Hydraulik-Baggern verwendet.

Eigenschaften:

Tragfähigkeit 450 kg, Geschwindigkeit des Endeffektors 1 m/s, Positioniergenauigkeit  $\pm 50$  mm, Drucksensoren an den Ventilen, Beschleunigungssensor an der Spitze, Dämpfung der Vibration durch die Steuerung.

Verwendung:

Für Montage-Arbeiten, Reinigen und Beschichten.

- SMA Robot Hand

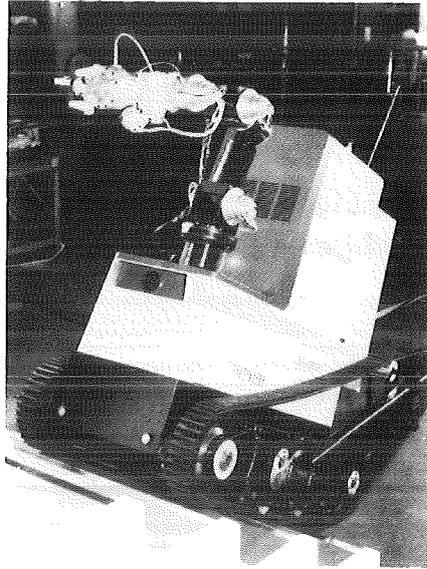
Ein Greifer mit 3 gelenkigen Fingern in labormäßiger Ausführung.

Eigenschaften:

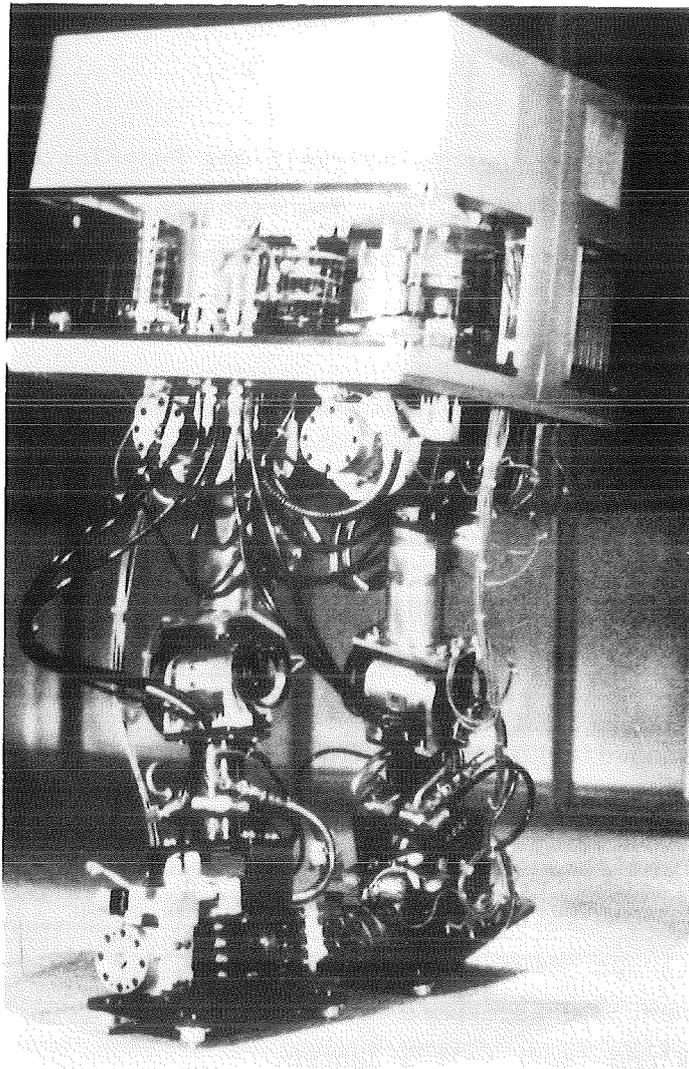
4 Gelenke pro Finger, alle Bewegungen unabhängig voneinander, Handgelenk 2 Bewegungsmöglichkeiten, Kraft an der Fingerspitze max. 3N, Geschwindigkeit der Finger-Gelenke 90°/s, Positions-Regelung, Kraft-Kontrolle; Koordination der Finger-Bewegungen geplant.

Das besondere Merkmal dieser Hand sind stabförmige Antriebselemente, die eine Translations-Bewegung erzeugen. Jedes Element besitzt zwei Drähte mit einem Durchmesser von 0,2 mm aus einer Titan-Nickel-Legierung (Shape Memory Alloy), die elektrisch bis auf 100 °C erhitzt werden können. Die abgebbare Kraft beträgt 20N.

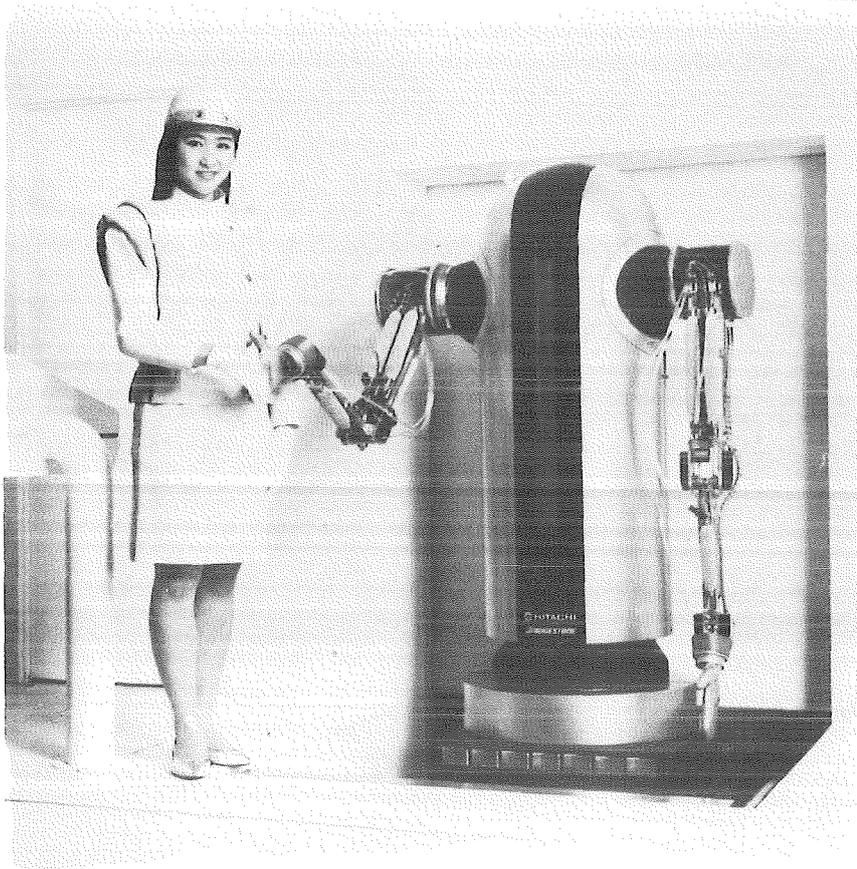
Die Entwicklung läuft seit 5 Jahren.



Autonomous Mobile Robot



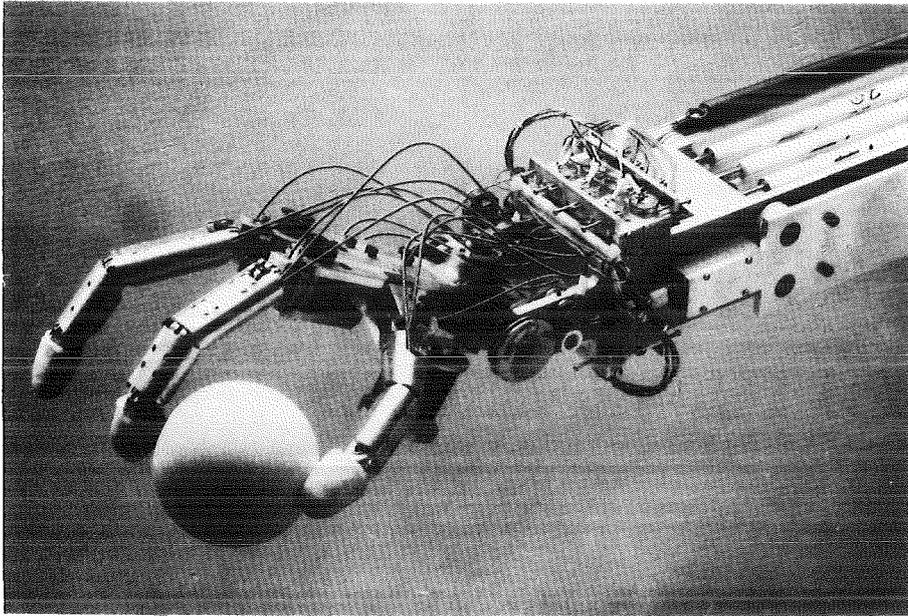
Biped Walking Robot



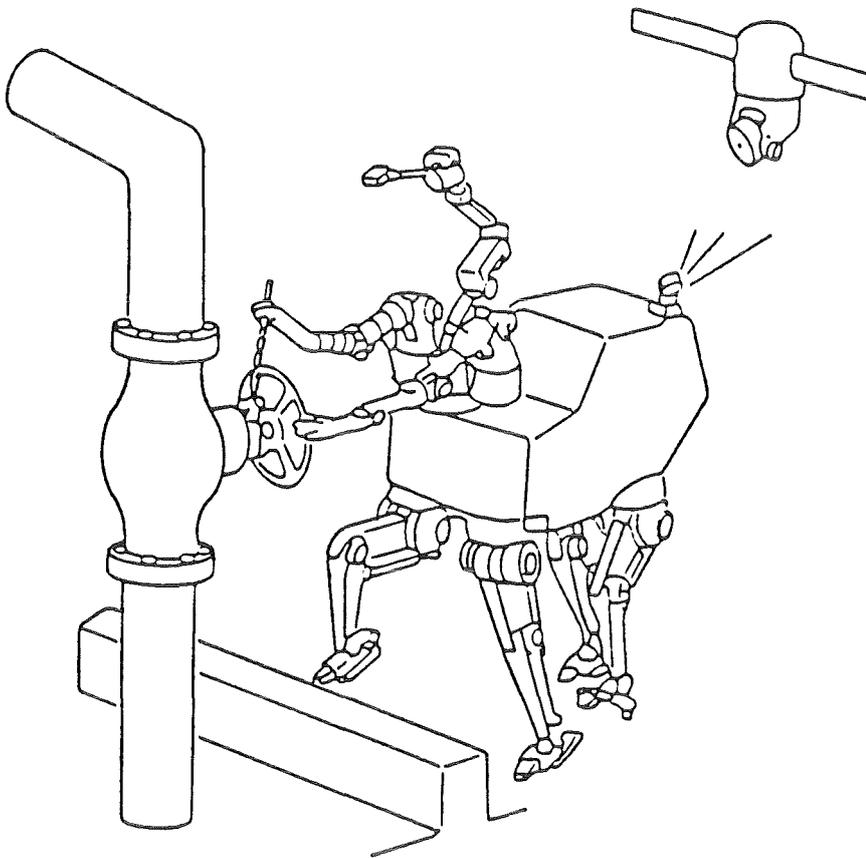
Twin-Arm Robot



Long Arm Hydraulic Manipulator



SMA Robot Hand



Schreitgerät, Roboter mit 4 Beinen und 2 Manipulatoren

- Zwei Industrie-Roboter

eines kleinen vorhandenen Typs in Knickarm-Bauweise, die mit Fräsern als Endeffektor zur Demonstration der Fähigkeiten der Steuerung gleichzeitig einen Eisblock zu einer Plastik bearbeiteten.

Bei der anschließenden Besichtigung waren fünf Geräte zu sehen:

- Fernsehsystem für Autonomous Mobile Robot

Halbleiter-Kamera in MOS-Technik mit 256x256 Punkten, Objekterkennung in 60 ms, Fischaugenlinse mit einem horizontalen Blickwinkel von 162 °. Das System erkennt z.B. auch, ob eine Tür offen oder geschlossen ist. Es ist kein Entfernungsmesser vorhanden. Entfernungsinformationen werden mit Hilfe einer besonderen Methode gewonnen: Das Blickfeld ist in 4 Sektoren aufgeteilt. Aus der Änderung der Richtung von Vektoren in 2 Bildern aus etwas unterschiedlichen Positionen wird auf die Entfernung von Objekten geschlossen.

- Sensor für Bahnschweißen

Der Sensor war an einem Industrie-Roboter, einem leichten Typ mit Knickarm von Hitachi, montiert. Korrigiert wird die Entfernung des Schweißgerätes vom Werkstück in Abhängigkeit von der Stärke des fließenden Stromes. Es wurden zwei Bleche von 2 mm Dicke zusammengeschweißt. Die Geschwindigkeit beträgt 100 cm/s.

- SMA Robot Hand

Siehe unter Video-Film.

- Autonomous Mobile Robot

Das Gerät wurde nicht vorgeführt und war nur von weitem zu sehen. Siehe weiter unter Video-Film.

- Schreitgerät

Es ist die Entwicklung eines Roboters mit vier Beinen, 2 Manipulatoren und einem Fernsehkamera-Ausleger geplant (4. Gerät).

Es wurden die Bewegungen beim Laufen an einem Bein mit elektromotorischem Antrieb vorgeführt, das an einem großen Ausleger aufgehängt war. Dieser ermöglichte einen geraden Weg von ca. 4m. Die Bewegungen wurden außerdem auf einem Bildschirm gezeigt und die Bewegungen der drei übrigen Beine mit einem Rechner simuliert.

Es wird immer nur ein Bein bewegt und die anderen 3 sind Standbeine. Der Körper wird bei jedem Schritt ein Stück nach vorn bewegt. Seine Höhe bleibt konstant. Es ist noch nicht entschieden, ob endgültig ein elektrischer oder hydraulischer Antrieb gewählt wird. Es ist eine

Geschwindigkeit von 2 Km/h geplant. Die Entwicklung wird voraussichtlich bis 1999 laufen.

Anm.: Das Fotografieren war nicht gestattet.

## 6. Ergebnisse der Diskussion

Für die Ketten-Fahrzeuge wird eine gemischte Betriebsweise angestrebt. Automatisch soll gearbeitet werden bei Arbeiten, die planbar sind, und ferngesteuert bei solchen, die unvorhergesehen sind oder über die Fähigkeit der Automatik hinausgehen. In einigen Jahren sollen Experimente bezüglich der Anwendung durchgeführt werden. Der Einsatz ist in kerntechnischen Anlagen vorgesehen, z.B. für Wartung in Kernkraftwerken an unvorhersehbaren und im Gebäude verteilten Stellen und bei Rettungsaktionen. Ein weitergehender Einsatz erscheint nur möglich, wenn Kernkraftwerke roboterfreundlich gestaltet würden.

Die neueren Geräte besitzen nicht deswegen Schreitwerke, weil man mit Kettenfahrwerken nicht zufrieden wäre. Sie sind zunächst nicht für Anwendungen gedacht.

Mit dem MEL und ETL wird ein Meinungs austausch gepflegt. Es besteht keine Konkurrenz-Situation, da MEL und ETL mehr die Grundlagenforschung betreiben und Hitachi mehr angewandte Forschung.

Herr Goto, der stellvertretende Leiter des Institutes, hielt eine kurze Ansprache. Er sei mit den Geschäftsergebnissen auf dem Gebiet der Industrie-Roboter unzufrieden. Die Finanzierung der Forschung habe ihren Höhepunkt bereits erreicht, und es gäbe an der Forschung auf dem Roboter-Gebiet intern Kritik. Sie würden jedoch weiterarbeiten, da sie an die Zukunft dächten. Die Wartung in kerntechnischen Anlagen sei nicht sehr aussichtsreich. Wichtig sei u.a. eine Verbesserung der Mensch-Maschine-Schnittstelle. Er hoffe auf eine gute Zusammenarbeit.

Es wurden von Herr Dr. Martin kurz einige Arbeiten in der BRD vorgestellt. Außer zur Ausrüstung des Fahrzeuges "MF3" stellten die Gastgeber keine Fragen. Sie äußerten auch nicht den Wunsch nach Unterlagen.

## 7. Zusammenfassung und Bewertung

Als langfristiges Vorhaben wird die Entwicklung von intelligenten mobilen Robotern betrieben. Ein erstes Ergebnis stellt ein "Autonomous Mobile Robot" genanntes Kettenfahrzeug dar. Das Fahrgestell wurde gegenüber dem "MF3" vereinfacht und der Einsatzbereich auf Gebäude beschränkt, wobei eine kompliziertere Bedienung beim Befahren von Treppen in Kauf genommen wird. Das Objekterkennungssystem des Roboters besitzt als Sensor nur eine Fernsehkamera. Durch eine besondere Methode kann ein Entfernungsmesser eingespart werden. Außerdem befaßt man sich mit der Realisierung von Schreitwerken.

Für Industrie-Roboter bemüht man sich um verbesserte Steuerungen und die Ergänzung von Sensoren.

Für einen 3-Finger-Greifer und leichte Arme wurden Sonder-Antriebe entwickelt, die eine sog. Shape Memory Alloy bzw. künstliche pneumatische Muskeln verwenden.

Schließlich wurde ein mobiler "Long Arm Hydraulic Manipulator" für Arbeiten im Freien entwickelt. Das Gerät hat bezüglich der prinzipiellen Bauweise und den Anwendungsmöglichkeiten eine bemerkenswerte Ähnlichkeit mit dem in der Konzeptphase befindlichen Funktionsmuster 1 des Vorhabens Hochflexible Handhabungssysteme, das vom IPA und KfK zusammen mit Industrieunternehmen entwickelt wird.

Bezüglich intelligenter mobiler Roboter bemühen sich ja in der Welt eine ganze Reihe von Institutionen. Arbeiten zu diesem Thema laufen auch nicht erst seit einigen Jahren. Man sollte sich einmal in die Erinnerung zurückrufen, daß schon 1968 ein solches Gerät, entwickelt vom Stanford Research Institut in USA, vorgestellt wurde, bei dem bereits alle anstehenden Probleme für eine Labor-Umgebung im Prinzip gelöst worden waren. Im Vergleich zu anderen Gebieten ist der inzwischen erzielte Fortschritt recht bescheiden. Woran mag das liegen? Es könnte z.B. der bisher getriebene Aufwand viel zu gering sein. Sollte dies zutreffen, stellen sich natürlich gleich mehrere Fragen: Welcher Aufwand muß denn voraussichtlich noch getrieben werden, bis brauchbare Geräte geschaffen sind? Wie steht es mit der Wirtschaftlichkeit? usw. Es ist wohl an der Zeit, daß ein Institut, das sich auf die Systemanalyse versteht, dieses Gebiet einmal gründlich durchleuchtet.

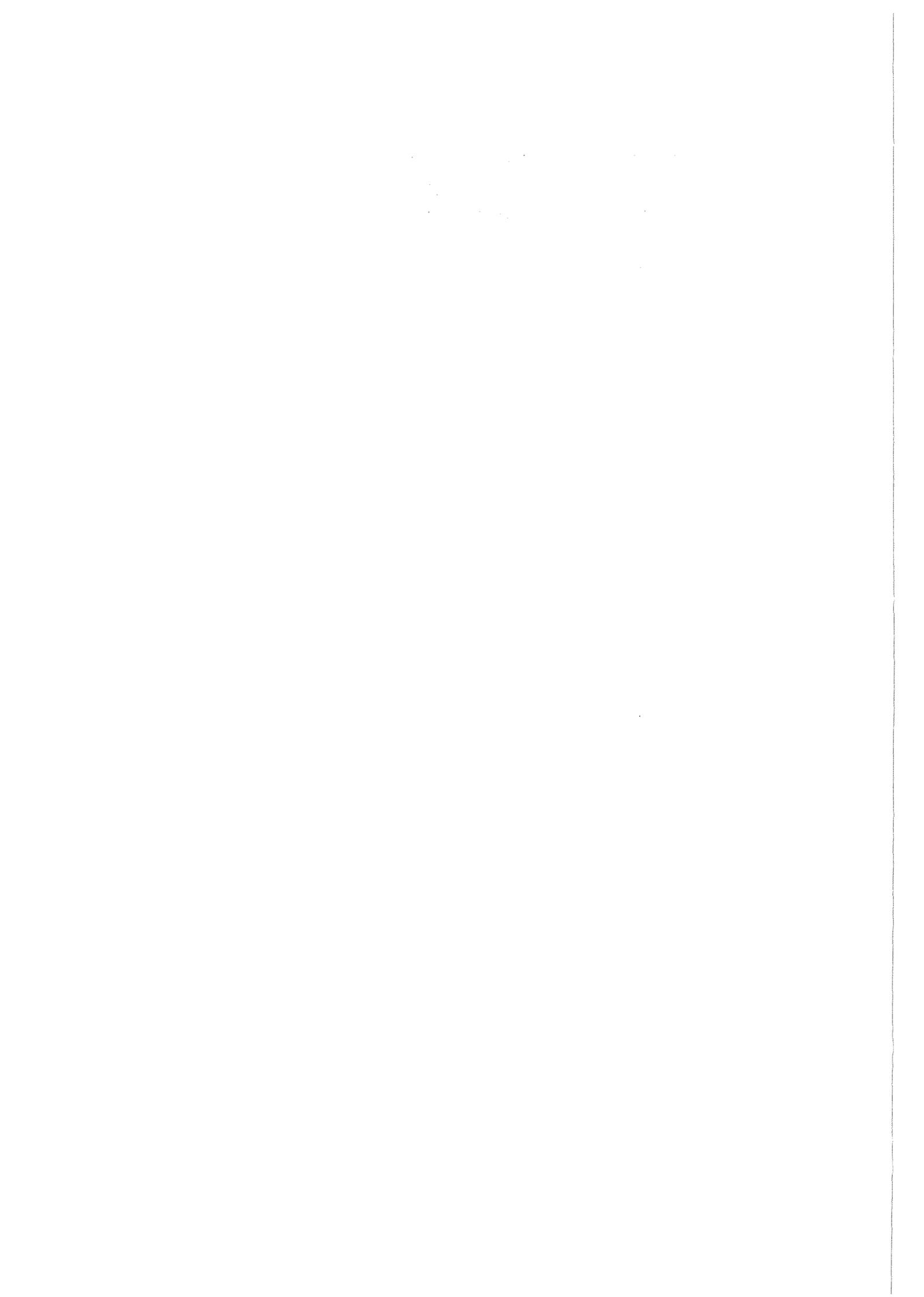
Die Schreitgeräte sind so eine Sache für sich. In den 60'er Jahren wurden solche Geräte in den USA gleich im Dutzend entwickelt. Von damals kennt man aber auch ihre Nachteile gegenüber Fahrzeugen. Man fragt sich, wie kommen Leute eigentlich dazu, immer wieder bis auf den heutigen Tag zu versuchen, solche Geräte als Alternative zu Fahrzeugen zu entwickeln. Dies scheint nicht ganz rational erklärbar. Sollte da etwa der uralte Wunsch dahinter stehen, so ein bißchen Schöpfer zu spielen? Wie dem auch sei; es gibt einige Sonderfälle, bei denen Schreitwerke durchaus ihre Vorzüge haben, und zwar wenn es darum geht, Maschinen zu versetzen. Beispiele hierfür sind große Bagger, der Unterwasser-Roboter von Komatsu oder der hängende "Fingerwalker" der KWU für die Dampferzeuger-Inspektion.

In den vergangenen 25 Jahren hat es auch nicht an Bemühungen gefehlt, leistungsfähigere Greifer zu schaffen. Dies lief meist auf gelenkige Greiferbacken oder mehrere Finger hinaus. Es ist bemerkenswert, daß bisher noch kein Manipulator mit einer Greifzange, die über mehr als einen Freiheitsgrad verfügt, in wenigstens kleiner Stückzahl gebaut wurde. Den Vorteilen komplexer Greifzangen stehen ihre Empfindlichkeit und ein höherer Aufwand gegenüber. Der Nachteil üblicher Greifzangen wird zum großen Teil dadurch ausgeglichen, daß man ohne höhere zusätzliche Kosten Bedienungselemente, z.B. von Geräten und Maschinen, fernbedienungsfreundlich gestaltet. In besonderen Fällen geht man noch weiter und bildet auch Teile und Komponenten entsprechend aus. Außerdem lernen Operateure schnell die eingeschränkten Fähigkeiten der Geräte teilweise zu überspielen. Aus diesen Gründen bestand bisher offensichtlich keine Notwendigkeit zur Einführung komplexer Greifzangen. Auf dem Gebiet der Industrie-Roboter ist die Situation grundsätzlich recht ähnlich.

Der Sensor zum Bahn-Schweißen und das zweiarmige Arbeiten mit Industrie-Roboter sind praxisnahe Entwicklungen, die zwar mehrfach in ähnlicher Weise auch von anderen Institutionen entwickelt wurden, für die es aber eine erhebliche Zahl von Anwendungsmöglichkeiten gibt.

Der "Long Arm Hydraulic Manipulator" ist voraussichtlich von den präsentierten Geräten dasjenige, welches mit großem Abstand die besten Erfolgsaussichten hat. Dies ist in der vielseitigen Anwendbarkeit und dem Entwicklungspotential dieses Konzeptes sowie dem Bedarfsumfang begründet.

Allein für gelenkige Ausleger zur Verteilung von Beton auf Baustellen wurde im Rahmen einer Recherche das jährliche Volumen des Weltmarktes auf mindestens 600 Einheiten mit steigender Tendenz abgeschätzt.



Bericht über den Besuch der  
Toshiba Co., Nuclear Energy Group  
von E. Friesen / M. Tennie



## Besuch am 25.09.1986 bei TOSHIBA

Verfasser: Friesen/Tennie, KWU

### 1. Name und Adresse

TOSHIBA CORPORATION, Nuclear Energy Group,  
Nuclear Engineering Laboratory, 4 - 1 Ukishima-cho,  
Kawasaki-Ku, Kawasaki, Kanagawa 210,  
Japan  
Telefon: (044) 277-3111

### 2. Gesprächspartner

Mr. Kamei, General Manager, Nuclear Energy Group  
Mr. Shiraiwa, Engineering Manager, Nuclear project  
Engineering Dep.  
Mr. Miyazawa, Engineering Manager, Nuclear Engineering Lab.  
Mr. Nakajima, Deputy Manager, System and equipment Dep.

### 3. Entwicklungsthemen und Produkte von Toshiba

Die Produktpalette von Toshiba reicht von Großkomponenten für Kernkraftwerke (BWR's und FBR's) über entsprechende Inspektionssysteme, elektrotechn. und elektronische Komponenten bis hin zu fahrbaren, kletternden und treppensteigenden Robotern. Die in einem Forschungs- und Entwicklungszentrum zusammengefaßten Labors beschäftigen sich u.a. mit "zielgerichteter" Grundlagenforschung.

Folgende Labors unterhält die Fa. Toshiba:

METALS & CERAMICS LABORATORY, CHEMICAL LABORATORY,  
MATERIALS APPLICATION DEPARTMENT, ELECTRON DEVICES LABORATORY,  
FUNCTIONAL DEVICES LABORATORY, ELECTRONICS EQUIPMENT  
LABORATORY, INFORMATION SYSTEMS LABORATORY, ENERGY SCIENCE &  
TECHNOLOGY LABORATORY, MECHANICAL ENGINEERING LABORATORY.

#### 4. Allgemeine Angaben

Der Gesamtumsatz von Toshiba betrug für das Jahr 1985 13'371 Mrd US-Dollar. Als Gesamtaufwendungen für F- und E-Vorhaben wird ein Wert von 701 Mill.US-Dollar angegeben. Toshiba beschäftigt insgesamt 114.000 Mitarbeiter. Der Gesamtumsatz teilt sich auf die einzelnen Produkt-Kategorien wie folgt auf:

34 % Industrielle Elektronik und  
Elektronische Komponenten

29 % Industrie-Ausrüstung einschl. Kraftwerke  
und Industrie-Roboter

27 % Haushaltsprodukte und Unterhaltungselektronik

10 % Materialien, Maschineneinrichtungen  
und andere Produkte

Toshiba stellt insbesondere die in den letzten Jahren anhand der Patentanmeldungen dokumentierte Innovationskraft heraus. Die Gesellschaft hat im Mittel der letzten 6 Jahre rund 20.000 Patente/Jahr angemeldet. Der Aufwand für F und E ist in den letzten 5 Jahren von 3,7 auf 5,2 % des Umsatzes gestiegen.

Die von uns besichtigten Labors der Nuclear Energy Group waren, soweit dies in der kurzen zur Verfügung stehenden Zeit beurteilt werden konnte, sehr gut ausgerüstet.

Insbesondere die elektronischen Geräte waren auf dem neuesten Stand.

## 5. Präsentationen/Besichtigungen

### 5.1 Präsentationen

Die durchgeführten Entwicklungsaktivitäten auf dem Gebiet der nuklearen Handhabungseinrichtungen und Roboter sowie Videofilme über ausgeführte Inspektionsgeräte und Wartungsroboter wurden vorgestellt.

Die Entwicklungsvorhaben gliedern sich wie folgt:

#### - Erste Generation

Automatische Handhabungsgeräte für spezielle Zwecke, wie

- ° automatische BE-Wechselmaschine
- ° automatische Steuerstabwechselmaschine
- ° automatische Ultraschall-Inspektionsgeräte
- ° automatische Vorrichtung für Handhabung und Transport der Sicherheitsventile im BWR (Primär-Dampfleitung)

#### - Zweite Generation

Fernhantierte Überwachungsroboter für verschiedene Anwendungsgebiete, wie

- ° Inspektionsroboter (Monorail- Fahrzeuge)
- ° Fahrbare Roboter für leichte Arbeiten wie Dekontamination, Komponentenmontage und -demontage

#### - Dritte Generation

Autonome Roboter für verschiedene Anwendungsgebiete, wie

- ° Fortgeschrittene Roboter für das nationale F+E-Projekt

Diese Arbeiten stellen den derzeitigen Entwicklungsstand dar.

Das derzeitige Entwicklungsprogramm der dritten Generation auf dem Gebiet der nuklearen Roboter beinhaltet folgende Arbeiten:

A.) Anwendungstechnologien, wie

- Anwendungsanalysen (leichte Wartungsarbeiten in Nuklearanlagen, Inspektions- und Umgebungsüberwachungen in KKW's)
- Roboterinspektion (Einschienen-Inspektionsgerät für Arbeiten innerhalb und außerhalb des BWR-Sicherheitsbehälters, mobiler Roboter für Inspektionen innerhalb des Sicherheitsbehälters und im Turbinengebäude, Inspektionsroboter mit mehrgelenkigen Manipulatoren (AMOOTY), Unterwasser-Inspektionsroboter, doppelarmige Roboter für schwere Unterwasserarbeiten.
- Roboterbewertung (Erdbebentests, Untersuchungen zur Widerstandsfähigkeit gegen Strahlungsbelastung im Testreaktor und -Bestrahlungseinrichtungen, hohe Temperaturen und Feuchtetests, Mock-up-Tests im Containment.
- Widerstandstechniken in gefährlichen Umgebungsbedingungen (TTL-Kreise für Signalübertragungen, Farbfernsehkameras, Reibkräfte)

B.) Basistechniken, wie

- Bewegungstechniken (Antriebsarten für Kettenantriebe, Dreiradantriebe AMOOTY, mehrbeinige Antriebe für Leiterklettern)
- Arm und Hand (Kraftrückmeldung für bilateralen Servo-Master-Slave-Manipulator, Mehrgelenkarme für leichte Inspektionsarbeiten)
- Sichtgeräte (3D-Kameras und Wiedergabe, kompaktes Bildverfahren für verschiedene Anwendungsgebiete, 3D-Bildtechnik mit verschiedenen Systemen)

- Signalverarbeitung (Diagnose abnormaler Detektionsbedingungen bei Verwendung akustischer Signale, Temperatursignale und visuelle Signale; Eigendiagnose-Software für Kontrollvorgänge)
- Signalübertragung (Kompakte Multiplexer, Direktleitungssysteme drahtlos, Glasfaserkabel für Bild- und Signalübertragung, optisch kabellos)
- Kraftquellen (Batterien, Kraftübertragung durch Kabel)
- Überwachung (Fahrzeugsteuerung) unter Verwendung von Markierungspunkten, Führungsdrähte und optische Führungssignale; bilaterale Manipulatorkontrolle mittels Programmsteuerung;  
Überwachungskontrolle mit künstlicher Intelligenz.
- Maschinenüberwachung durch den Menschen (Kontrollsystem durch menschliche Stimmen, Computer-Grafik-Darstellungen)

In den Video-Filmen wurden die folgenden Roboter-Typen dargestellt:

- Monorail Typ

Auf diesem "Inspektionsroboter", der an einem Schienensystem fährt, wurde zu Inspektionszwecken eine Stereo-Kamera und ein Mikrophon montiert. Er benutzt als Fahrbahn die im Kraftwerk vorhandenen Katzbahnträger.

- Inspection Vehicle (Abb. 1)

Hierbei handelt es sich um ein 4-Ketten-Fahrzeug. Die notwendigen Steuerungskabel werden über einen "Monorail-Type-Tractor" mit Kabeltrommel nachgefahren. Die entsprechende Steuerungseinheit befindet sich außerhalb der Gefahrenzone.

Die Ketten können in Längsrichtung auseinandergefahren werden, welches Treppensteigen ermöglicht (bis max. 45<sup>0</sup>). Einsatzgebiete können o.a. Containments in Kernkraftwerken sein, wobei das Gerät mit einem Manipulatorarm, TV, US, radiologischen Meßeinrichtungen usw. ausgerüstet ist.

Das Gerät ist 143 cm lang, 124 cm hoch und 50 cm breit. Das Gewicht beträgt 400 kg, die maximale Geschwindigkeit 10 m/min. Die Umgebungsbedingungen für Arbeiten im Containment können bis 70<sup>0</sup>C, 100 % relative Luftfeuchte und ca. 100 rad/h betragen.

Das Gerät wurde bereits im Labor getestet. Die weiteren Entwicklungen haben zum Ziel, das Gesamtgewicht zu reduzieren.

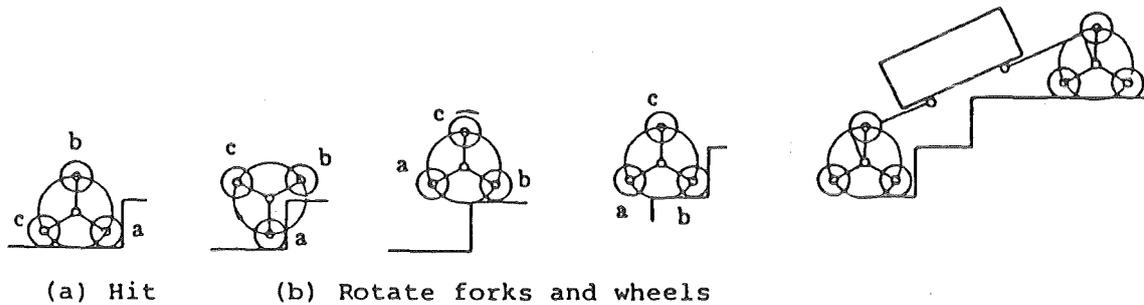
- Maintenance-Roboter AMOOTY (Abb. 2)

AMOOTY ist ein mobiler Roboter, der Treppensteigen und verschiedene Inspektions- und Wartungsarbeiten in chemischen Anlagen oder Kernkraftwerken durchführen kann, wo menschliches Betreten begrenzt ist (z.B. Inspektion und Reparatur von Pumpen und Ventilen, Reinigung von Komponenten und Flächen in Gebäuden).

AMOOTY ist ein "intelligenter" Roboter, der seine Bewegungen in Anpassung an die äußeren Bedingungen regeln kann. Hierfür wurde eine neue Robotersprache "AMORL" entwickelt, die Sehen, Situationserkennung und Meßfunktionen zuläßt.

Zur schnellen Erkennung ist AMOOTY mit visuellen Sensoren, bestehend aus TV-Kamera und Laserstrahl ausgerüstet. Der Roboter erkennt seine eigene Position durch einfache Markierungen im Einsatzgebiet, die vorher angebracht werden müssen.

Zur Überwindung von Hindernissen erfolgt der Fahrzeugantrieb durch 4 freibewegliche individuelle Radsysteme, wobei jedes Rad aus 3 kleinen Rädern besteht.



Die Hauptdaten sind:

- Gesamtgewicht 400 kg
- Manipulatorgewicht ca. 61 kg bei 9 Freiheitsgraden
- Fahrgeschwindigkeit max. 1 km/h
- Treppensteigen, maximale Stufenhöhe 220 mm bei 35° Gesamtneigung

Der Manipulatorarm ist 1,6 m lang und besteht aus 6 Segmenten, die durch 7 Gelenke verbunden sind.

- Bilateralmanipulator

Hierbei handelt es sich um einen Manipulator nach dem "Master-Slave" Prinzip. Die Hand ist mit 2 Fingern ausgerüstet. Es sollten hiermit differenzierte Arbeitsvorgänge möglich sein, weil die Kraftreflexion rückwirkend vom Hantierer wahrgenommen werden kann.

Es wurden keine weiteren Erläuterungen gegeben.

- Ladder Climbing Robot

Der leiterkletternde Roboter (LCR-1) ist in der Lage , vertikale Leitern auf- und abzustiegen.

Der Prototyp ist 1 m lang, 35 cm breit und 26 cm hoch, besteht aus Aluminium und wiegt 32 kg einschl. Kontrolleinheit. Er kann automatisch oder ferngesteuert operieren. Bei einer Maximalgeschwindigkeit von 4 m/min kann eine Last von ca. 7 kg getragen werden.

Der Körper hat 4 Greifer, die die Sprossen beim Klettern umschließen. Jeder Greifer ist in der Lage, sich auf- und abwärts, rechts und links sowie vorwärts und rückwärts zu bewegen. 3 Greifer sind während des Kletterns in kontinuierlichem Kontakt mit der Leiter, um einen Absturz zu verhindern.

Die Entwicklung besteht zur Zeit aus Funktionstests der Bewegungsabläufe, wobei das Mitnehmen von Kamerasystemen untersucht wird. Komplette Manipulationssysteme werden erst in den nächsten Jahren zur Verfügung stehen.

- Heavy Duty Bilateralmanipulator

Der Manipulator für Unterwassereinsatz hat 7 Freiheitsgrade einschl. Hand. Horizontale Rotation ist möglich. Aus Zeitgründen wurde dieser Film abgebrochen.

## 5.2 Besichtigung

- Locomotive Inspection Robot for turbine building interior inspection in KKW's

Dieser Roboter wurde speziell für Inspektionsarbeiten im Turbinenhaus in Kernkraftwerken entwickelt. Der Roboterarm ist auf ein Fahrzeug aufgesetzt, welches durch einen Spalt von 1 m Breite x 1,8 m Höhe fahren können muß. Der Inspektionsraum ist ca. 6,4 m Ø und 4,8 m hoch. Das Gerät wurde für thermische und Vibrationsinspektionen mit zusätzlichen visuellen Einrichtungen ausgerüstet.

Der Manipulatorarm besteht aus 8 Einheiten mit je 2 Freiheitsgraden plus einem an der Armbefestigung. Er ist 243 cm lang. Die Steuerung erfolgt über eine Stereo-TV-Kamera, wobei der Manipulator mit einem Thermometer und Beschleunigungsaufnehmern ausgerüstet ist.

Antrieb und Steuerung erfolgen über Kabel bzw. Glasfaserkabel, deren Kabeltrommel sich im Fahrzeug befindet. Trommelgewicht ca. 20 kg, Kabellänge 100 m (vgl. Abbildung 3).

Der Roboter wurde vor 3 Jahren fertiggestellt und ist auf Rückfrage zum Einsatzgebiet heute nicht mehr im Einsatz (veraltet!). Über zukünftige Geräte wurden keine Aussagen gemacht.

- TESRA-I, Space Manipulator

Bei diesem Manipulator handelt es sich um einen Modell-Versuchsaufbau eines Manipulatorarms zum schwingungsfreien Arbeiten im Weltraum. Dabei sind an den Gelenken Kraft-Momenten-Sensoren zur Schwingungskompensation installiert, während eine zusätzliche Steuerung über eine mitfahrende Kamera und Sensoren an den Gelenken erfolgen soll. Die Steuerung selbst wurde nicht weiter erläutert.

Für den Ausführungsfall eines solchen Manipulatorarms soll dieser eine Länge bis zu 10 m aufweisen.

- Armaturen-Handhabungseinrichtung (Automatic Device for Handling and Transporting of Main Steam Safety Relief Valves)

Hierbei handelt es sich um eine Vorrichtung zum Aus- und Einbau von Großarmaturen im Sicherheitsbehälter unter sehr engen Platzverhältnissen und erhöhter Strahlendosis (bis max. 50 mrem/h). Ein Roboter im eigentlichen Sinne ist dies nicht, vielmehr eine auf den speziellen Zweck zugeschnittene Handhabungseinrichtung.

Die Einrichtung ist an Katzbahnträgern angehängt. Direkt angeflanscht darunter ist ein weiterer drehbarer Katzbahnträger an dem auf der einen Seite ein Kettenzug und auf der anderen Seite ein Doppelkettenzug fahrbar angeordnet sind. Das Anhängen erfolgt nicht automatisch sondern manuell an eine vorher angebrachte Sondertragkonstruktion.

Mit dieser Tragkonstruktion ist eine genaue Fixierung der Komponenten und gezielte Endabschaltung möglich.

Die Einrichtung dient zur Reduktion der Strahlenbelastung des Wartungspersonals, weil in einem bestimmten Rhythmus die Armaturen regelmäßig zur Inspektion ausgebaut werden müssen. Als Angabe hierzu wurde eine Personalreduktion von 6 auf 2 Personen bei gleicher Einsatzzeit vor Ort genannt.

## 6. Ergebnis der Diskussion

Im wesentlichen wurden spezielle Fragen zu technischen Details gestellt, die zufriedenstellend beantwortet wurden, wie z.B.

- Geschwindigkeiten von Manipulatoren und Fahrzeugen
- max. Stufenhöhe für fahrbare Roboter
- Variable Sprossenabstände von Leitern
- Antriebsarten und Anordnung bei Manipulatoren
- Einsatzgebiete

Fragen zu zukünftigen Entwicklungskonzepten wurden nicht detailliert beantwortet.

## 7. Zusammenfassung

Toshiba geht die Entwicklung der verschiedenartigen Roboterkonzepte auf breiter Front an, wobei dies sicherlich auch auf die Förderung im Rahmen des japanischen Nationalprojekts (MITI) "Advanced Robots" zurückzuführen ist. Speziell gehen Entwicklungen in Richtung Einsatz in BWR's, um bei Wartungs- und Inspektionsarbeiten sowie bei Störfallsituationen eine mögliche Strahlenbelastung auf den Menschen zu reduzieren (vgl. z.B. Ladder Climbing Robot, AMOOTY, Inspections Vehicle usw.).

Die vorgestellten und gezeigten Geräte entsprechen im Vergleich zu den Geräten anderer Firmen, die bei dieser Reise besucht wurden, in etwa dem gleichen Entwicklungsstand; wobei aber festzuhalten ist, daß uns die neuesten Entwicklungen offensichtlich nicht gezeigt wurden.

Anmerkung: War bei den anderen besuchten Industriebetrieben ähnlich.

*"AMOOTY"—not only is it mobile and dexterous but intelligent*

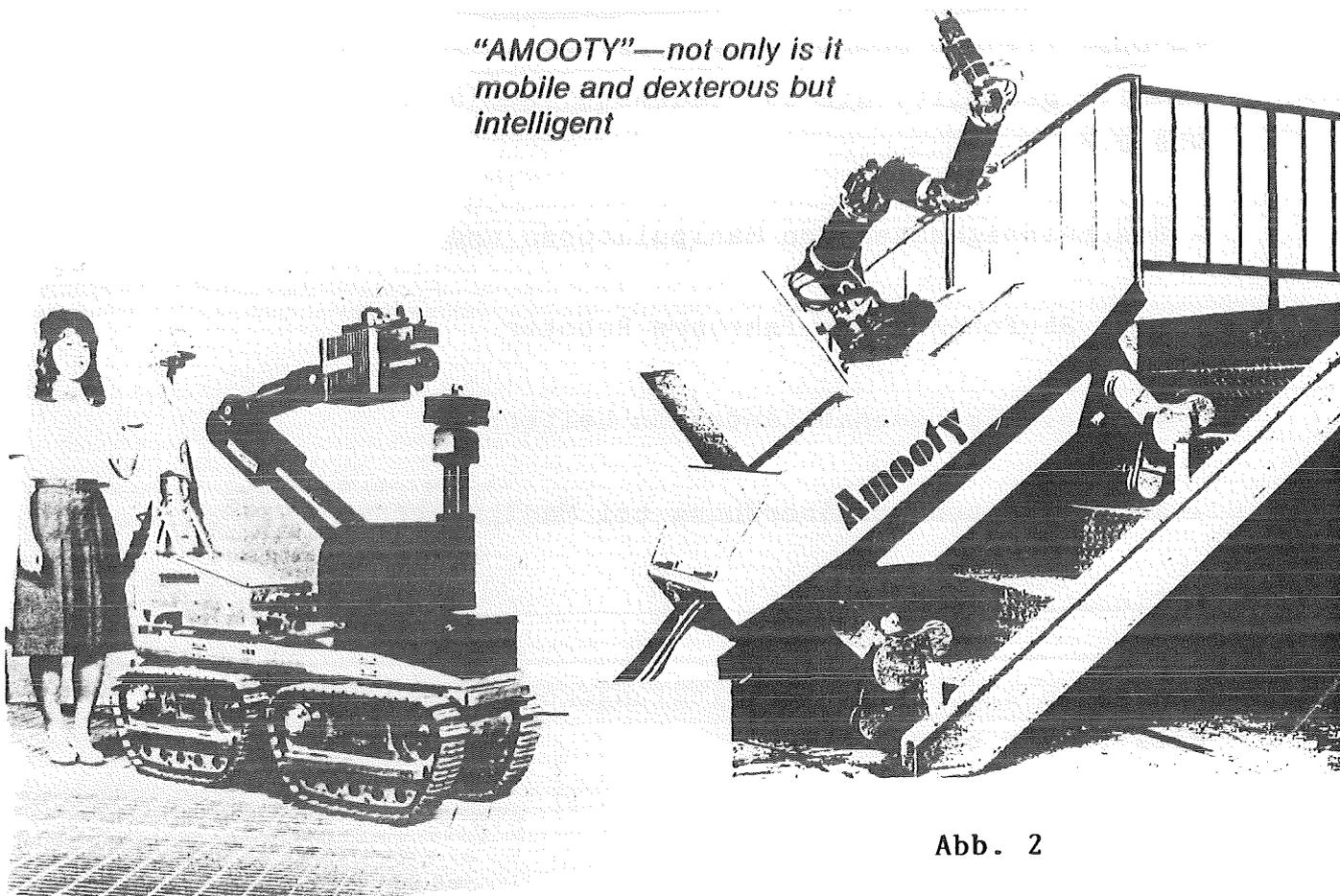


Abb. 2

Abb. 1

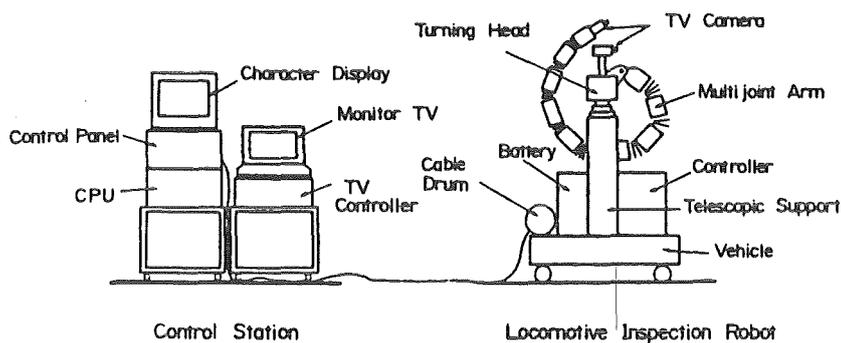
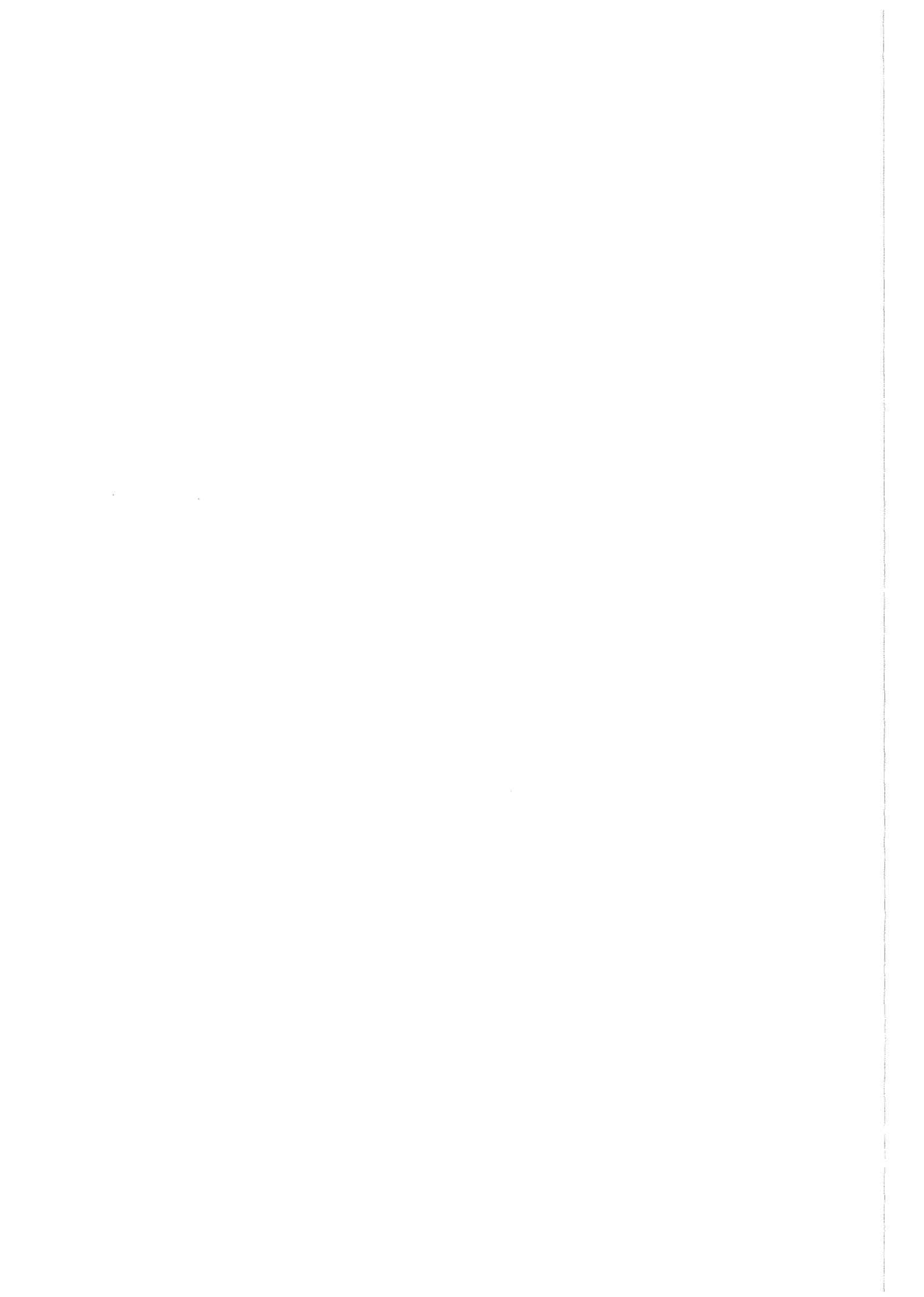


Abb. 3

Bericht über den Besuch der  
Mitsubishi Heavy Industries Ltd.  
von H. Kastl



1. Besuch bei

**Mitsubishi Heavy Industries, LTD** (MHI)

Takasago Research & Development Center  
am 22. September 1986

Anschrift: Takasago Research & Development Center  
1-1, Arai-cho Shinhama 2-chome, Takasago 676

2. **Gesprächspartner**

Dr. Ing. Kazuhiro Shiraki  
General Manager  
Takasago Research & Development Center  
Mitsubishi Heavy Industries LTD.

Takenori Matsubara  
Deputy General Manager  
Takasago Technical Institute  
Technical Headquarters

Atihiko Koga  
Manager  
Machinery Research Laboratory

### 3. Entwicklungsthemen, Produkte

Das Takasago Werk von Mitsubishi Heavy Industries Ltd. produziert

- Dampfturbinen für Kernkraftwerke und konventionelle Kraftwerke
- Gasturbinen
- Axialgebläse
- Zentrifugalgebläse und Kompressoren
- Wasserturbinen
- Pumpen
- Zentrifugal-Kältemaschinen
- Absorptions-Kältemaschinen

Das Takasago technical institute befindet sich gegenüber dem Takasago Werk. Es befaßt sich in Kooperation mit anderen Mitsubishi Technical Instituten mit Forschung und Entwicklung zur kernkraftwerks- und konventionellen Kraftwerkstechnik sowie Zubehör-Einrichtungen hierfür wie Gasturbinen, Dampfturbinen, Pumpen, Kühlmaschinen.

Die im Rahmen des Besuches der deutschen "Advanced Robotics Study Mission" präsentierten Manipulatoren und Roboter, können praktisch ausnahmslos den Aufgabenbereichen Service (Inspektion, Prüfung, Wartung, Reparatur) in kerntechnischen Anlagen (Kernkraftwerken, WAA's etc.) zugeordnet werden.

#### 4. Allgemeines

Das Takasago Werk wurde als unabhängige Fabrik des Mitsubishi Schiffbaus Kobe für die Produktion von Großanlagen wie Kraftwerkssystemen, Pumpen und Kühlsystemen gegründet.

Das Werk steht in Takasago City, etwa 40 km westlich des Hafens von Kobe.

Von den etwa 4000 Mitarbeitern sind ca. 500 in den Entwicklungslaboratorien beschäftigt.

Speziell mit der Thematik "Serviceroboter für kerntechnische Anlagen"<sup>1)</sup> sind in Kobe ca. 100 Konstrukteure und Software-Entwickler befaßt.

Die Inbetriebsetzung und Erprobung der Manipulatoren und Roboter erfolgt im Takasago R&D-Center durch etwa 30 Ingenieure für die mechanischen Gerätekomponenten und durch etwa 20 Ingenieure für die elektronischen Steuerungen und elektr. Anlagenteile.

Die vorgezeigten Laboratorien bzw. die Testhalle für Roboter sind, soweit dieser erste Eindruck eine Beurteilung zuläßt, sehr großzügig und modernst ausgestattet.

## 5. Präsentationen

### 5.1 Intelligenter Walking Robot

(Quadrupedal walking vehicle)

Dieser mit vier Spinnenbeinen ausgestattete "Walking Robot" wurde ursprünglich vom "Institute für Science and Technology" entwickelt.

Im Gegensatz zu dem dort vorgestellten, durch Kabel mit der Steuereinrichtung verbundenen Roboter war die von MHI gezeigte Roboterversion kabellos fernsteuerbar.

Seine jeden Fuß strahlenförmig umgebenden flexiblen Sensortaster erkennen Hindernisse oder ob der jeweilige Fuß auf "betretbarem" Untergrund auftrifft. In Verbindung mit entsprechender Steuerungs-Software kann der Roboter so treppensteigen oder Hindernisse (wie z. B. Rohrleitungen) überqueren ohne daß hierzu steuernd eingegriffen werden muß.

Einsatzgebiete für Roboter dieser Art und Größe werden bevorzugt Räume mit für Menschen unzumutbaren oder gefährlichen Umgebungsbedingungen oder unbekanntes Terrain sein. Dabei dürfte die jeweilige Aufgabenstellung sich auf Transport von TV-Kameras oder Meßeinrichtungen (z.B. zur Strahlendosisleistungsmessung) beschränken.

### 5.2 Master-Slave "Multifinger-Manipulator"

Ein mit drei Fingern ausgestatteter Master-Slave-Manipulator kann Schrauben und Muttern aufnehmen und handhaben. Wesentliche Verbesserungen gegenüber Vorläufermodellen wurden dabei erzielt, daß der Fingerquerschnitt von rechteckiger in runde Form geändert und die Fingerspitzen mit einer Gummikappe überzogen wurden. Durch "Sensor-signal-feed back" ist die Kontrolle der Haltekraft jedes Fingers abhängig vom Masterfinger kontrollier- und steuerbar. Der "Multifinger-Manipulator" kann so Gegenstände mit "Fingerspitzengefühl" greifen und handhaben.

Bei einer ebenso gezeigten vierfingrigen Version ist jeder Finger mit 2 x 8 taktilen Sensoren (auf Dehnungsmeßstreifenbasis) ausgestattet.

Auf einem Display wird mittels Farbgraphic dargestellt, welcher Fingerteil und mit welcher Druckkraft dieser am Haltevorgang beteiligt ist.

Die Wahl von vier Fingern (statt drei) erbrachte laut MHI die Fähigkeit, kleinere und komplexere Teile handhaben zu können.

### 5.3 Master-Slave-Gelenkarm-Manipulator mit automatisch nachgeführter Stereo-TV-Kamera

Wie aus vorherigen Präsentationen vergleichbarer Manipulatoren deutlich ersichtlich, erfordert die Nachführung der separat manipulierten "TV-Augen" in der Regel einen zusätzlichen Operator.

Der von MHI vorgestellte Manipulator ist mit einem automatischen Nachführungssystem ausgestattet, womit das Stereokamerasystem der Manipulatorhand selbsttätig folgt.

### 5.4 Modular aufgebauter Gelenkarm (Mitsubishi Power Arm/MPA)

Der für unterschiedlichste Aufgaben geeignete 7-gelenkige Manipulatorarm ist für Wartungsarbeiten und Reparaturen in Reaktorbehältern und Dampferzeugern konzipiert. Er kann auch unter Wasser eingesetzt werden.

Sein modularer Aufbau erlaubt relativ einfache Anpassung an die jeweilige Aufgabe. Als Steuerorgane dienen Joystick-Schalter.

### 5.5 Flexibler Arm

Der sogenannte flexible Arm wird von sieben Motoren angetrieben. Seine Gelenkglieder erlauben eine räumliche Verbiegung des Armes, der für Inspektions- und Reparaturzwecke in beengten, schwer zugänglichen Räumen entwickelt wurde.

### 5.6 Magnethaft-Inspektionsfahrzeug

Ein mit permanentmagnetischen Rädern bestücktes Inspektionsfahrzeug ist an ferromagnetischen Behälterwänden auch in Zwangslagen (z. B. Überkopf) einsetzbar. Dabei können eine TV-Kamera oder z. B. Ultraschall-Prüfköpfe transportiert werden.

Nicht vorgeführt wurde ein im Hintergrund aufgebautes Magnet-Kettenfahrzeug. Dieses auffallend leichtgewichtige Inspektionsgerät bewegt sich auf mit kleinen Permanentmagneten bestückten Fahrketten und ist zum Transport von Inspektionsmitteln wie TV-Kamera oder Ultraschall-Prüfkopfsystemen geeignet.

Erfahrungsgemäß bewähren sich Fahrzeuge mit Permanentmagneten als Haftbrücke in der Praxis nicht zufriedenstellend. Aufgesammelte ferromagnetische Teilchen vergrößern den Abstand zur Behälterwand und führen beim Überkopf- oder Zwangslageneinsatz zum Absturz.

### 5.7 Fahrzeug zur Außeninspektion des Reaktortanks eines Schnellen Brutreaktors (MOLE)

"MOLE" (Mitsubishi Original Locomobile) ist ein fernsteuerbares Inspektionsfahrzeug (Abb. 1), welches den Spalt zwischen Reaktortank und umgebenden Schutzbehälter befahren kann (Abb. 2). Auf spezielle Führungsschienen wurde dabei verzichtet. Die überbrückbare Spaltweite kann zwischen 250 und 350 mm variieren. Der Steuercomputer führt das Fahrzeug sowohl in vertikal als auch horizontal orientierten Prüfspuren über die Behälterwand. Hierzu sind die Antriebsräder um 90° schwenkbar. Ein spezieller Mechanismus sorgt für stets konstante Andruckkraft der Antriebsräder gegen die Behälterwände auch bei wechselnder Spaltweite. "MOLE" überwindet Hindernisse bis zu 35 mm Höhe.

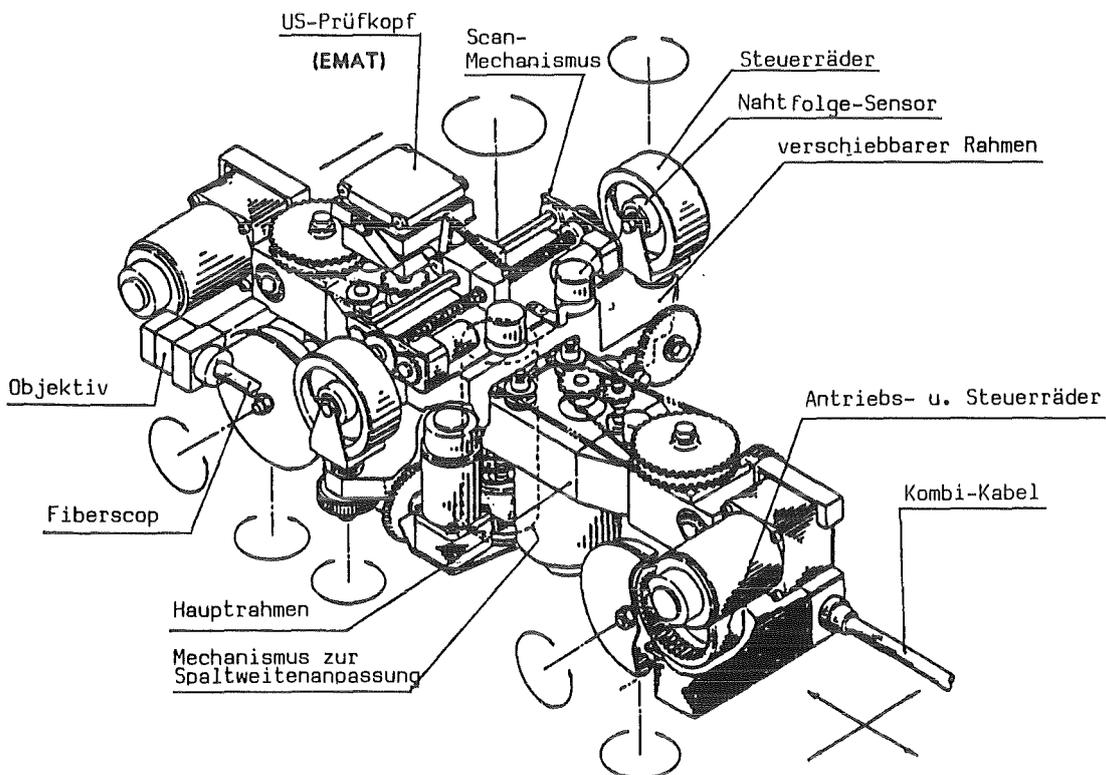


Abb. 1 Fahrzeug zur Außen-Inspektion des Reaktortanks eines Schnellen Brutreaktors

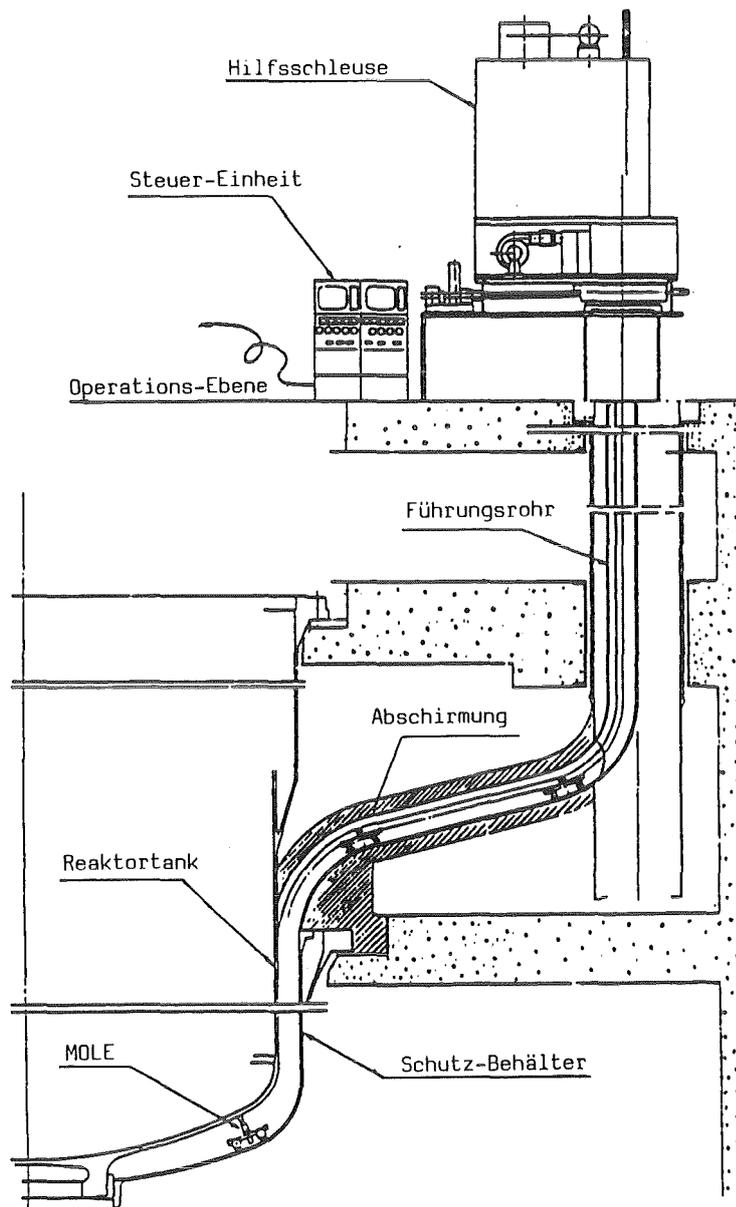


Abb. 1 Konzept des Inspektions-Systems MOLE

Das Fahrzeug wird über eine luftdichte Schleusenkonstruktion durch ein Führungsrohr in den Spalt eingesetzt.

Für die Volumenprüfung der Behälterwand ist es ausgerüstet mit einem EMAT (Electro-Magnetic-Acoustic Transducer). Ein mitgeführtes Quarz-Fiberscop ermöglicht visuelle Inspektionen.

Bei einer Reichweite von ca. 30 m ist MOLE einsetzbar bis zu einer Temperatur von 200°C und einer Strahlendosisleistung von 650 R/h. Das Gewicht wird mit 35 kg angegeben.

Positionierung von MOLE erfolgt über Resolver und Schwerkraftpendel zur Ermittlung der Abweichung von der Sollrichtung. Zusätzlich ist MOLE mit magnetischen Sensoren zur Schweißnahtverfolgung bzw. zur Erkennung von Markierung auf der Behälterwand ausgerüstet.

### 5.8 Montage-Roboter (C/V Robot)

Der Montage-Roboter ist Mitsubishis Antwort auf die Forderung nach Ausführung von Wartungs- und Reparaturarbeiten durch fernsteuerbare, intelligente Roboter. Abweichend vom Konzept des möglichst "menschensähnlichen Roboters" verfolgte Mitsubishi bei diesem von MITI unterstützten 5-Jahres-Projekt eine Version, bei der weitestgehend vorhandene Erkenntnisse über Manipulierung, Teleoperation und Lokomotion sinnvoll kombiniert wurden.

Der Montage-Roboter kann treppensteigen, Hindernisse beseitigen, Ventile öffnen/schließen und verschiedene Werkzeuge handhaben mit gegenüber dem Menschen überlegener Feinfühligkeit und Kraft.

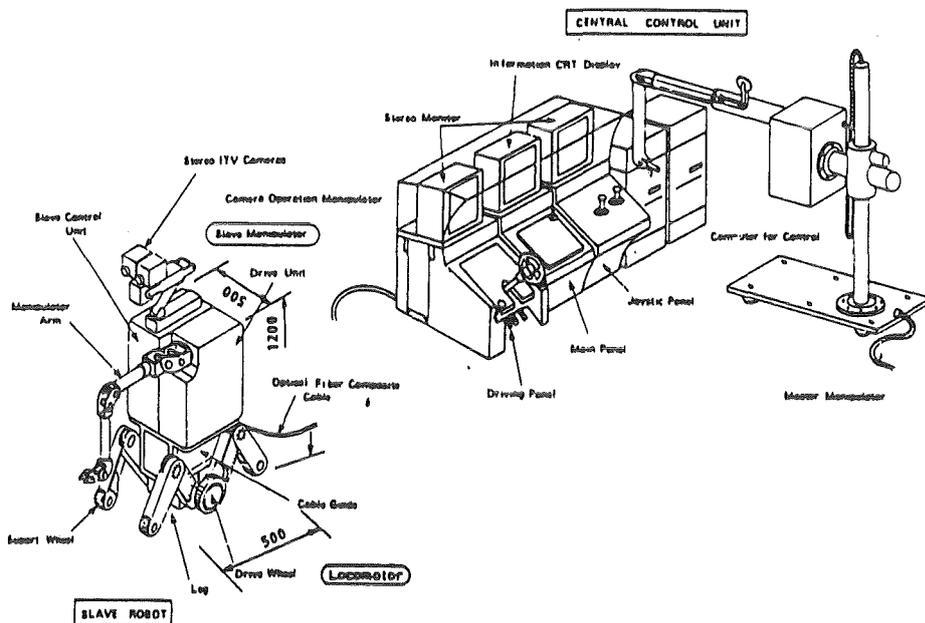
Der Montage-Roboter besteht im wesentlichen aus einem modular aufgebauten Slave-Manipulator mit sieben Freiheitsgraden, einer Bewegungsmaschine (Locomotor) mit 4 zweiteiligen Beinen, zwei Rädern und einem Manipulatorarm mit Stereo-TV-Kameras.

Mittels der zwei Räder ist auf ebener Fläche eine Fortbewegungsgeschwindigkeit von mehr als 10 m/sec. möglich.

Jedes der Beine hat zwei Freiheitsgrade und ist an den "Fußspitzen" mit zusätzlichen Laufrädern ausgestattet.

Bei der Überwindung von Treppenstufen mit Hilfe der Beine ist ein Zeitaufwand von 1 bis 4 min/Step erforderlich. Die Treppe kann dabei bis zu 45° ansteigen bzw. abfallen.

Die Handhabung des sehr komplex aufgebauten Kombi-Kabels aus Glasfaser und Kupfer ist in die Bewegungsmaschine integriert. Es erlaubt einen Operationsradius des Roboters von 100 m.



Der auf der Bewegungsmaschine fixierte Kameraarm kann die Stereo-TV-Kameras der Manipulatorhand automatisch, per Joystick oder über "voice control" durch den Operator nachführen.

Der Montage-Roboter kann bei Temperaturen bis 70°C und 100 % relativer Luftfeuchte eingesetzt werden. Er verkraftet eine Strahlenbelastung bis ca.  $10^6$  Rad.

Das Gesamtgewicht des Montage-Roboters (ohne Werkzeuge) wird mit 400 kg angegeben. Seine Minimalabmaße (im Kompakt-Zustand) betragen 500 x 500 x 1200 (lxbxh).

Der vorgestellte Roboter stellt einen Prototyp dar, mit dem bislang keine echten Kraftwerkserfahrungen vorliegen.

Der Preis für eine Einheit wird mit 200 Mio Yen ( $\approx$ ca. 2,7 Mio DM) angegeben.

## 6. Zusammenfassung

Der Besuch bei MHI-Takasago R&D-Center darf wohl als einer der ergiebigsten betrachtet werden. Dabei überzeugte außer einer ungewöhnlich großen Anzahl der vorgeführten Geräte vor allem deren offensichtliche Qualität.

Die meisten der präsentierten und gesehenen Manipulatoren sind für konkrete Prüf- oder Reparaturaufgaben konzipiert und für den realen gegenwärtig erforderlichen Einsatz gebaut.

Zukunftsorientierte Forschung und Entwicklung im Zusammenhang mit Roboter-Intelligenz, Sensorik, Steuerung-Software usw. dienen dem Aufbau eines beeindruckenden Know how-Potentials. Für eine direkte Umsetzung zugunsten der Aufgabenstellung "Roboter für Wartung und Reparatur im KKW" fehlt auch in Japan die Grundvoraussetzung: das "robotergerechte" Kernkraftwerk. Dieses aber ist für konsequenten Robotereinsatz im Sinne der Minimierung von Strahlenapplikation für Wartungspersonal unabdingbar. So bekannte man sich bei MHI realistisch zum Einsatz im "Unfall-Falle".

Die Übertragung und Nutzung der bei diesen von MITI subventionierten Entwicklungen zum Projekt "Advanced Robotics" zwangsläufig anfallenden "Abfallprodukte" (z.B. Sensoren usw.) bei aktuellen Produkten und Projekten (z. B. Industrie-Roboter für Fertigung und Montage) sichert einen Know-How-Vorsprung und damit interessante Vorteile auf einem heiß umkämpften Markt.

Bericht über den Besuch der  
Shimizu Construction Co.  
von M.C. Wanner



### 1. Firma Shimizu, Tokyo

Adresse: Shimizu Construction Co. Ltd.  
Technology Development Division  
16-1 Kyobashi 2-Chome  
Chuo-Ku, Tokyo

### 2. Gesprächspartner

Herr Dr. Sawada      General Manager  
Herr Yoshida        Gruppenleiter

### 3. Entwicklungsthemen

Die Firma Shimizu beschäftigt sich u.a. mit der Entwicklung und Anwendung von Robotern für die Bauindustrie. Bisher intensive Kontakte mit Prof. Hasegawa von der Waseda Universität.

### 4. Allgemeine Angaben

Shimizu ist eines der größten Bauunternehmungen in Japan, 1977 wurde durch 3 Ingenieure mit den Entwicklungsarbeiten begonnen; inzwischen ist das Team auf etwa 30 Leute angewachsen. Bei o.g. Adresse sind die Labors beheimatet.

### 5. Präsentationen / Besichtigungen

Auslösendes Motiv zur Einführung von Handhabungsgeräten in Japan sind u.a. die hohen Unfallraten, 1984 gab es in Japan etwa 1200 Tote auf Baustellen, mehr als in der ganzen übrigen Industrie zusammengenommen. Gezeigt wurden an Versuchsaufbauten folgende Geräte:

- o Roboter zum Ausspritzen von feuerhemmenden Materialien an Stahlbauträger (Fig. 1 und 2)
- o Autonom mobiles Gerät zum Reinigen und Schleifen von Betonoberflächen (Fig. 3 und 4)
- o Manipulator zum genauen Plazieren von Stahlbauteilen -(Anlage 3)

Alle drei Geräte werden im Feld eingesetzt und sind professionell gemacht. Hiervon konnte ich mich bei einem Baustellenbesuch selbst überzeugen.

### 7. Zusammenfassung

Roboter in der Bauindustrie ist ein sehr wichtiges und auch wirtschaftlich interessantes Thema.

Martin-Christoph Wanner

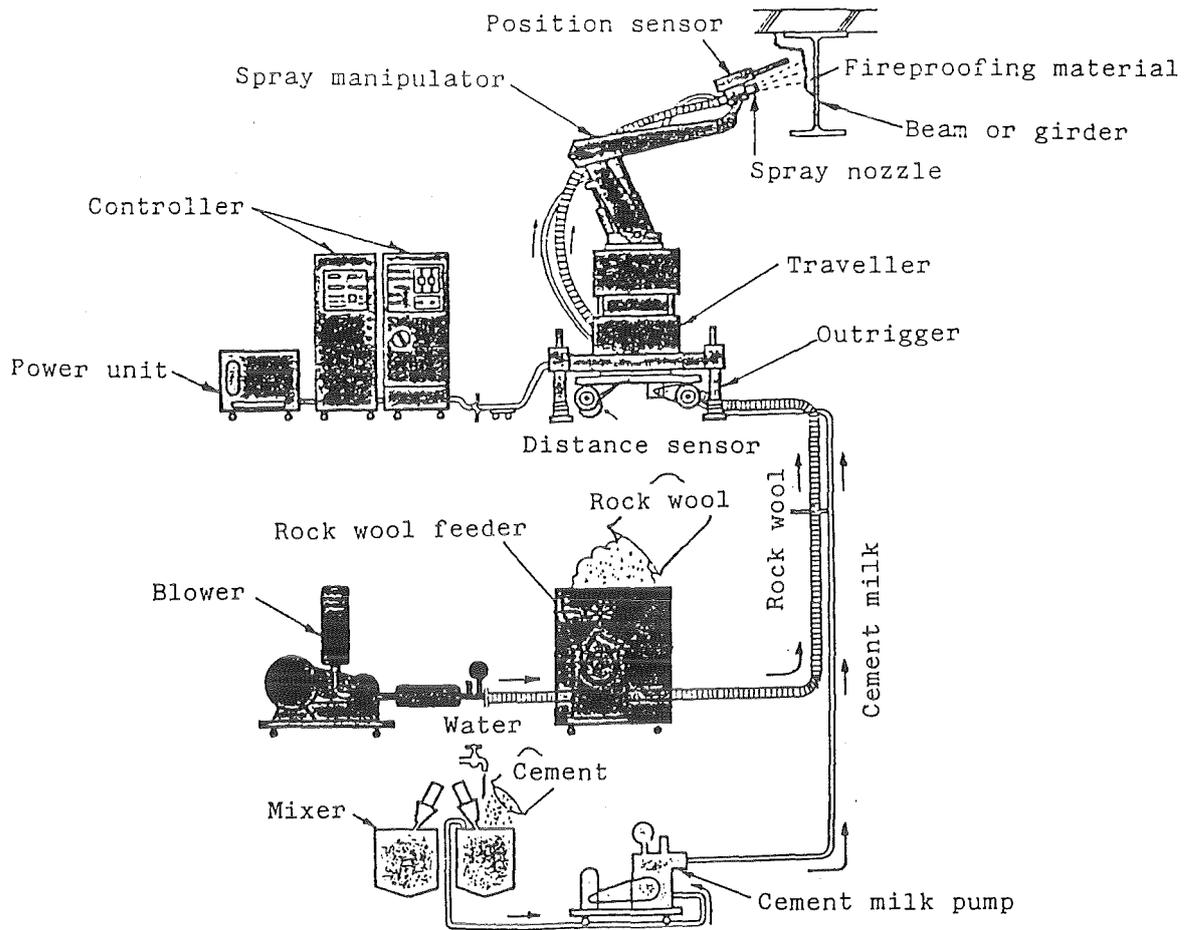


Figure 1. Rock wool spray system with the SSR-2

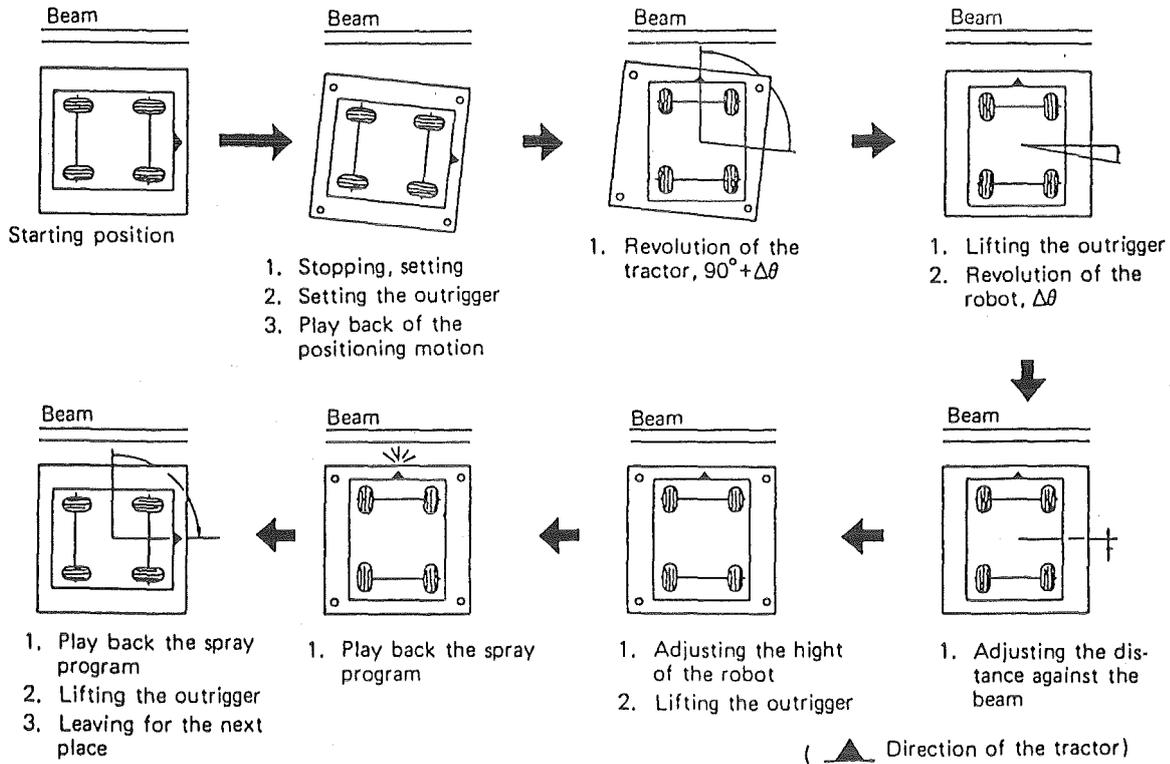
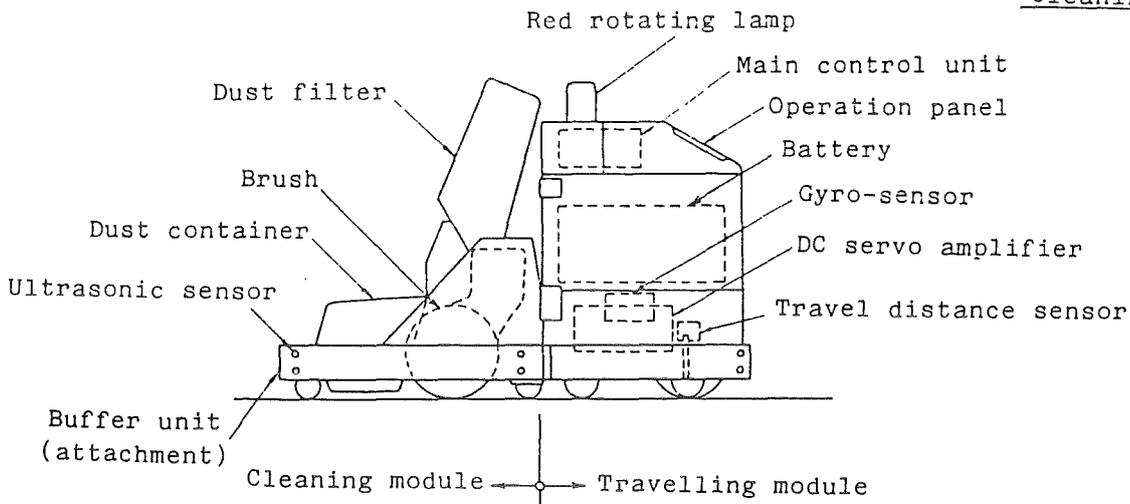


Figure 2. Sequence of the position adjustment

Cleaning work



Grinding work

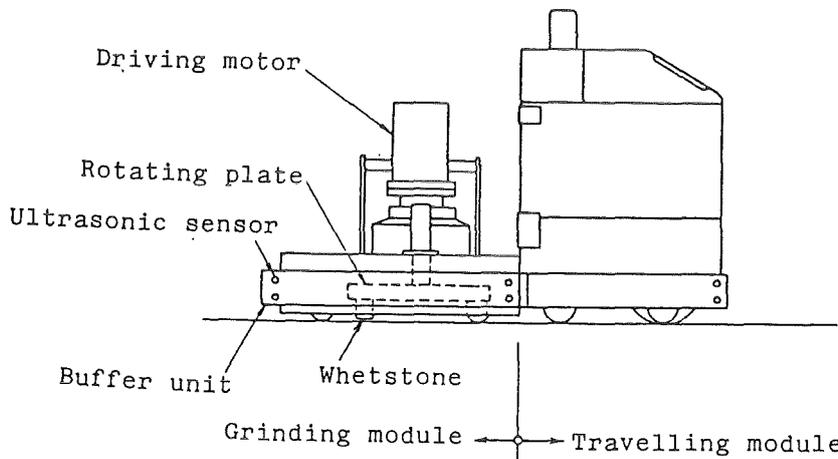


Figure 3. Components of the MTV-1

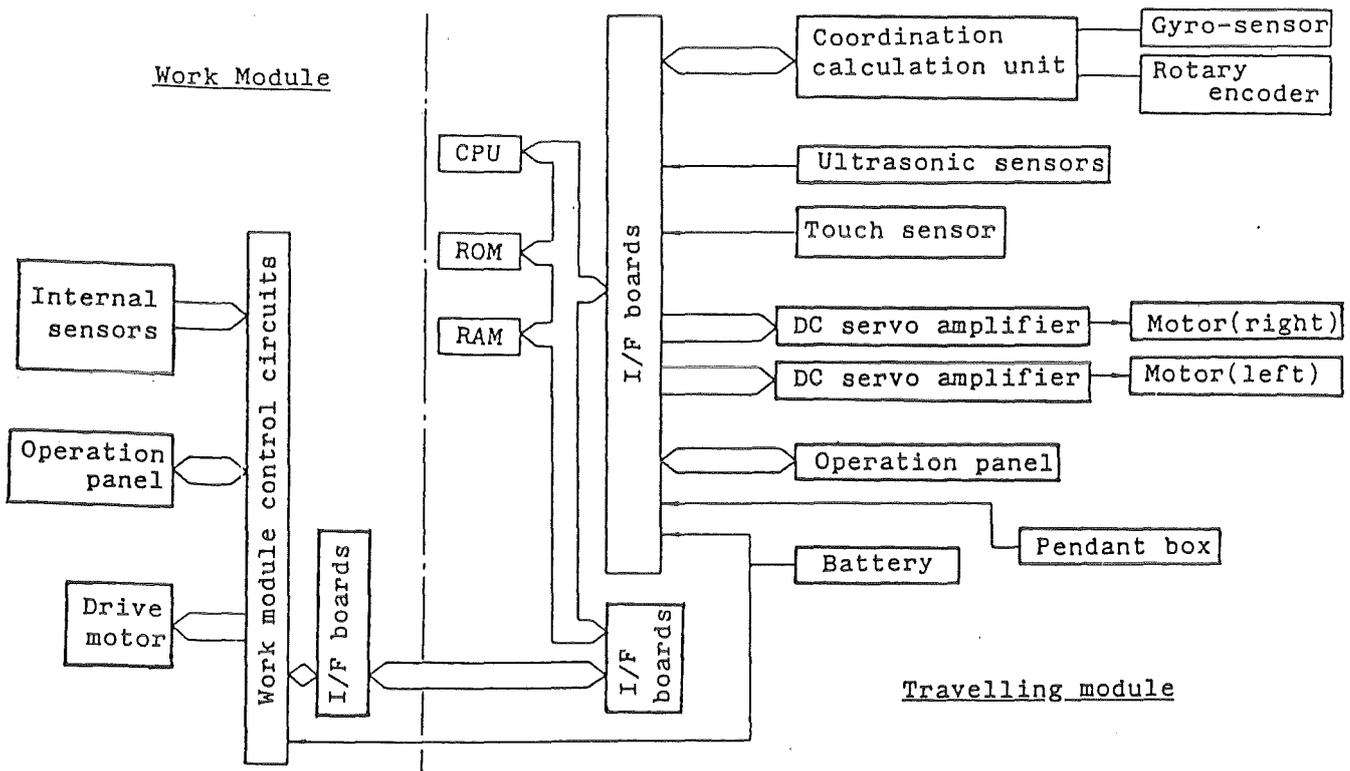


Figure 4. Block diagram for the control system

Bericht über den Besuch der  
Kawasaki Heavy Industries Ltd.  
von K.H. Scholl



Projekt HDR-Sicherheitsprogramm  
Dr. Scholl

30.09.1986 - bo

Teilbericht zur GERMAN ADVANCED ROBOTICS STUDY MISSION TO JAPAN

September 22, 1986 Besuch der Fa. KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES, LTD.

1. **Anschrift**            1-1 KAWASAKI-CHO, AKASHI 673  
                          HYOGO PREFECTURE, JAPAN
  
2. **Gesprächspartner** - KENJI ITOH  
                          Senior Manager of New Robot Project Dep.  
                          Technology Development Group  
                          ("Direktor des technischen Institutes")  
                          - HIDEAKI OHTA  
                          Robot Development Section  
                          ("Chairman of the meeting")
  
3. **Produkte/Entwicklungsthemen der Firma**  
  
- Mitarbeit in "ARTRA" (Advanced Robot Technology Research Asso-  
ziation) und damit Teilnahme am Nationalprojekt "Advanced  
Robot Technology" für Unterwasseranwendungen. Gearbeitet wird  
nach Aussage der Gesprächspartner an  
.. Steuerung  
.. Vibrationsvermeidung  
.. CAD-Einsatz    und  
.. Off-Line Teaching

Fachliche Einzelheiten konnten nicht in Erfahrung gebracht werden.

- Im übrigen arbeitet die Fa. KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES, LTD. in vielen technischen Bereichen und produziert Komponenten, Geräte und Anlagen folgender Art:

- .. Transportsysteme (Schiene, Wasser, Luft)
- .. Stahl-Strukturbau (Hochhäuser, Brücken, Bohrinnseln)
- .. Tanks
- . Raupen-Lader
- .. Industrieroboter (Unimate, Puma, Adept)
- .. Motorräder
- .. Gasturbinen und weitere.

Daneben werden Technologie-Systeme bearbeitet und erstellt zur

- Energieerzeugung
- Wasserreinigung
- Müllverbrennung
- Stahlerzeugung
- Zuckerrohrverarbeitung
- Nuklear-Brennstoff-Herstellung

#### 4. Angaben zur Firma

Im Akashi-Werk von KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES, LTD. sind insgesamt ca. 4.200 Leute - davon etwa 600 Ingenieure - tätig. Der jährliche Umsatz beträgt ca. 1,7 Milliarden Yen.

Einzeldaten zur Robot-Forschung wurden nicht mitgeteilt. Forschungslabors wurden nicht besichtigt.

#### 5. Präsentationen / Besichtigungen

Es wurde eine Übersicht über die oben zitierten Kawasaki-Produkte in Form eines Videofilmes gegeben. Fachpräsentationen fanden nicht statt. Besichtigt wurde die Erprobung von Industrierobotern, die in ca. 48-stündigem Testbetrieb erfolgt. Benutzt werden dazu Steuerungsprogramme, die entsprechend dem späteren Einsatz der Roboter mit dem Käufer abgestimmt sind. Im Prüffeld befanden sich etwa 20 Industrieroboter. Des weiteren erfolgte ein Gang durch die Mo-

torradproduktion. Dabei war z.B. beim Rahmenschweißen eine Mischung von Schweißrobotern (17 vorhanden) und Handschweißern vorzufinden.

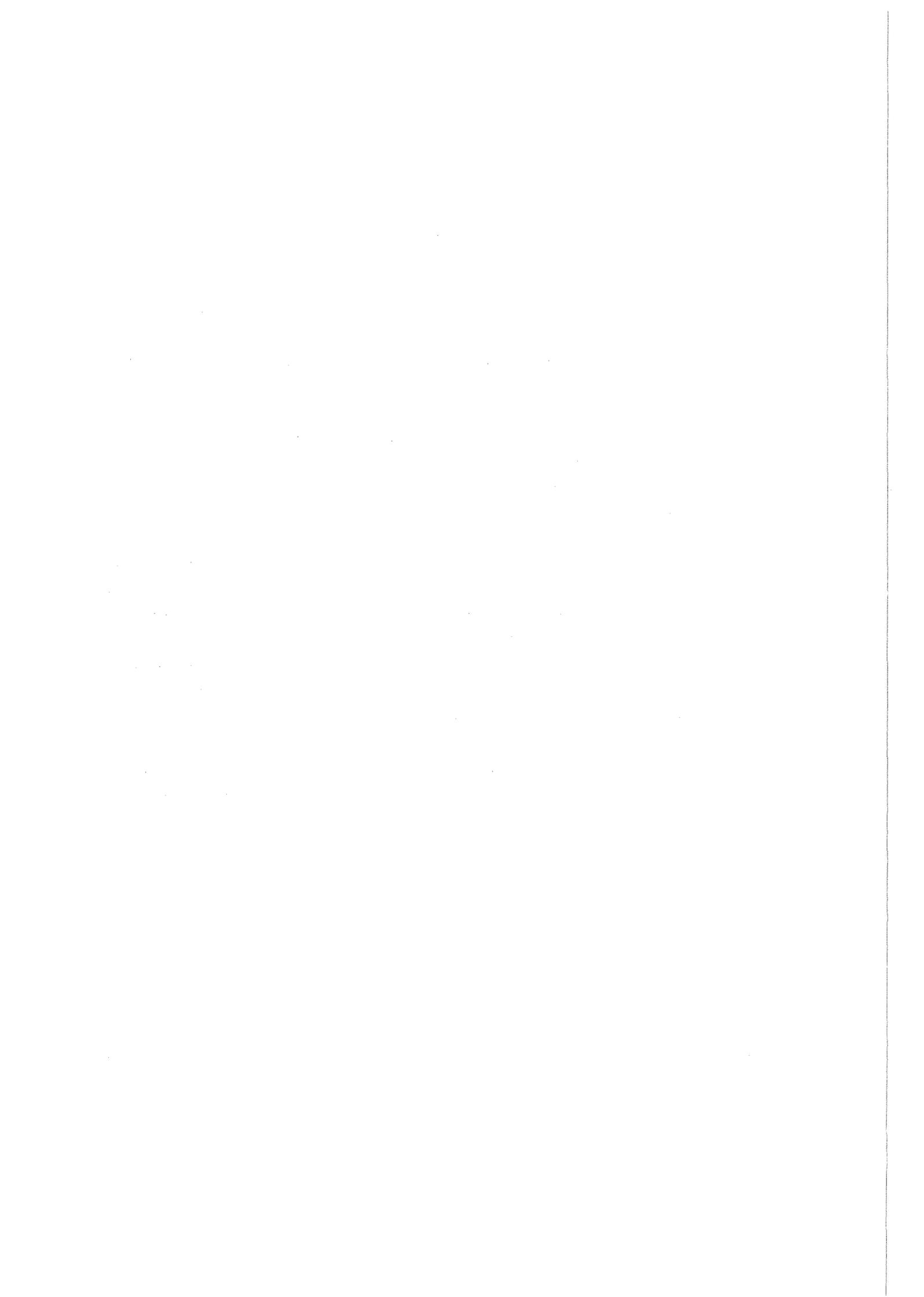
## 6. Ergebnis der Besichtigung, Diskussion und Zusammenfassung

Das eigentliche Interessengebiet der Study Mission wurde nur am Rande berührt.

In Bezug auf die vorgeführten Abnahmeprozeduren der Industrieroboter sowie die Roboter selbst, ebenso wie über die Motorradfertigung ist nichts besonderes festzustellen. Geräte und Verfahren können als bekannt gelten.

Die Motorradproduktion weist nicht den mit heutigen Verfahren möglichen Stand der Entwicklung auf. Dies ist offensichtlich auch nicht das Ziel der Verantwortlichen bei Kawasaki, scheint man doch mit dem Ergebnis von 45.000 Einheiten pro Monat bei einem Personalaufwand von 425 Mann zufrieden zu sein. (In diesem Zusammenhang wurde die Frage nach den Kosten eines Schweißer-Arbeitsplatzes mit 4 Mio Yen (ca. 55 TDM) pro Jahr angegeben.)

Hinsichtlich der Zukunftsentwicklungen, die lt. Kawasaki für das Nationalprojekt "Advanced Robotics" gemacht werden, war wenig in Erfahrung zu bringen.



**Anhang:**

- Namen und Adressen der Teilnehmer
- Angaben zum Advanced Robotics Project



GERMAN ADVANCED ROBOTICS STUDY MISSION TO JAPAN (Sept. 14-26, 1986)

Members of Delegation

Name, given names, title  
position, institution, city

MARTIN, Tomas, Dr.-Ing. (head of delegation)  
Project Manager/Manufacturing Technologies Program,  
Nuclear Research Center (KfK), Karlsruhe

BARGEL, Bernhard, Dr.-Ing.  
Head of Robotics Group,  
Research Institute for Information Processing  
and Pattern Recognition (FIM), Ettlingen

FRIESEN, Eckart, Dipl.-Ing.  
Project Manager/Components and Remote Handling Reprocessing Plant,  
Kraftwerk Union AG (KWU), Offenbach/M.

GRAEFE, Volker, Prof. Dr.-Ing.  
Head of Institute of Measurement Science,  
German Armed Forces University, Munich

HOLLER, Elmar, Dr.-Ing.  
Head of Robotics Control Development,  
Nuclear Research Center (KfK)/Institute for  
Technical Data Processing (IDT), Karlsruhe

KASTL, Hans, Dipl.-Ing.  
Department Manager/Development of Service Equipment for Reactors,  
Kraftwerk Union AG (KWU), Erlangen

KIRCHHOFF, Renate, Mrs.  
KIRCHHOFF, Uwe, Dr.-Ing.  
Head of Robotics Department,  
Fraunhofer Institute for Production Systems  
and Design Technology (IPK), Berlin

KÖHLER, Wolfgang, Dipl.-Ing.  
Head of Manipulator Development/Remote Systems Division,  
Nuclear Research Center (KfK)/Central Engineering Department, Karlsruhe

MÜLLER-DIETSCHKE, Walter, Dipl.-Ing.  
Project Manager/Handling Techniques Project,  
Nuclear Research Center (KfK), Karlsruhe

NIEPOLD, Ruprecht, Dr.-Ing.  
Group Leader/Sensor controlled Processes,  
Fraunhofer Institute for Information and  
Data Processing (IITB), Karlsruhe

PATER, Heinz-Georg, Dipl.-Ing.  
Head of Transport Engineering and Robotics Department,  
Fraunhofer Institute for Transport Engineering and  
Physical Distribution (ITW), Dortmund

RAMM, Hartmut, Dr.-Ing.  
Chemical Engineer,  
German Company for Reprocessing of Nuclear Fuels (DWK), Hannover

REICHLING, Bernhard, Dipl.-Ing.  
Scientific Assistant,  
University/Institute for Machine Tools and Production  
Technology (WBK), Karlsruhe

REMBOLD, Ulrich, Prof. Dr.-Ing.  
Professor for Process Control Computers and Robotics,  
University/Institute of Information Science III, Karlsruhe

RININSLAND, Hermann, Dr. rer. nat.  
Head of Central Engineering Department,  
Nuclear Research Center (KfK), Karlsruhe

SCHOLL, Karl-Heinz, Dr.-Ing.  
Project Coordinator/Handling Techniques Project,  
Nuclear Research Center (KfK), Karlsruhe

SCHULTHEISS, Georg F., Prof. Dr.-Ing.  
Director of the Institute for Technical Equipment/Underwater Technology,  
GKSS Research Center, Geesthacht

SMIDT, Dieter, Prof. Dr. rer. nat.  
Head of Institute for Nuclear Reactor Development (IRE),  
Nuclear Research Center (KfK), Karlsruhe

TENNIE, Manfred,  
Department Manager/  
Fuel Element Transportation and Remote Handling Equipment,  
Kraftwerk Union AG (KWU), Offenbach

WALZE, Harald, Dipl.-Ing.  
Project Coordinator/Handling Techniques Project,  
Nuclear Research Center (KfK), Karlsruhe

WANNER, Martin-Christoph, Dipl.-Ing.  
Fellow Scientist,  
Fraunhofer Institute for Manufacturing  
Engineering and Automation (IPA), Stuttgart

Wanner-Suzuki, Mieko, Mrs.

Adressen der Teilnehmer

Dr.-Ing. Tomas Martin  
Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH  
Projektträger Fertigungstechnik  
Postfach 36 40  
D-7500 Karlsruhe 1

Dr.-Ing. Bernhard Bargel  
Forschungsinstitut für Informations-  
verarbeitung und Mustererkennung - FIM -  
Eisenstockstr. 12  
D-7505 Ettlingen 6

Dipl.-Ing. Eckart Friesen  
Kraftwerk Union AG - KWU -  
Postfach 9 62  
Berliner Str. 295-303  
D-6050 Offenbach/M.

Prof. Dr.-Ing. Volker Graefe  
Hochschule der Bundeswehr  
FB Luft- + Raumfahrttechnik  
- Meßtechnik -  
Werner-Heisenberg-Weg 39  
D-8014 Neubiberg

Dr.-Ing. Elmar Holler  
Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH  
Institut für Datenverarbeitung  
in der Technik - IDT -  
Postfach 36 40  
D-7500 Karlsruhe 1

Dipl.-Ing. Hans Kastl  
Kraftwerk Union AG - KWU -  
Abt. R 852  
Postfach 32 20  
D-8520 Erlangen

Dr.-Ing. Uwe Kirchhoff  
Fraunhofer Institut für Produktions-  
anlagen und Konstruktionstechnik - IPK -  
Pascalstr. 8-9  
D-1000 Berlin 10

Dipl.-Ing. Wolfgang Köhler  
Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH  
Hauptabteilung Ingenieurtechnik - IT/PB -  
Postfach 36 40  
D-7500 Karlsruhe 1

Dipl.-Ing. Walter Müller-Dietsche  
Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH  
- PHDR/HT -  
Postfach 36 40  
D-7500 Karlsruhe 1

Dr.-Ing. Ruprecht Niepold  
Fraunhofer Institut für Informations-  
und Datenverarbeitung - IITB -  
Sebastian-Kneipp-Str. 12-14  
D-7500 Karlsruhe 1

Dipl.-Ing. Heinz-Georg Pater  
Fraunhofer Institut für Transport-  
technik und Warendistribution - ITW -  
Postfach 50 05 00  
D-4600 Dortmund 50

Dr.-Ing. Hartmut Ramm  
Deutsche Gesellschaft für Wiederaufarbeitung  
von Kernbrennstoffen mbH  
Hamburger Allee 4  
D-3000 Hannover 1

Dipl.-Ing. Bernhard Reichling  
Lehrstuhl und Institut für Werkzeug-  
maschinen und Betriebstechnik - WBK -  
Universität Karlsruhe  
Kaiserstr. 12  
D-7500 Karlsruhe 1

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Rembold  
Institut für Planungs- und  
Programmiertechniken  
Universität Karlsruhe  
Zirkel 2  
D-7500 Karlsruhe 1

Dr. rer.nat. Hermann Rininsland  
Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH  
Hauptabteilung Ingenieurtechnik - IT  
Postfach 36 40  
D-7500 Karlsruhe 1

Dr.-Ing. Karl-Heinz Scholl  
Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH  
- PHDR/HT -  
Postfach 36 40  
D-7500 Karlsruhe 1

Prof. Dr.-Ing. Georg F. Schultheiss  
Forschungszentrum Geesthacht GmbH  
Max-Planck-Straße  
D-2054 Geesthacht

Prof. Dr. rer.nat. Dieter Smidt  
Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH  
Institut für Reaktorentwicklung - IRE -  
Postfach 36 40  
D-7500 Karlsruhe 1

Manfred Tennie  
Kraftwerk Union GmbH - KWU -  
Postfach 9 62  
Berliner Str. 295-303  
D-6050 Offenbach/M.

Dipl.-Ing. Harald Walze  
Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH  
- PHDR/HT -  
Postfach 36 40  
D-7500 Karlsruhe 1

Dipl.-Ing. Martin-Christoph Wanner  
Fraunhofer Institut für Produktions-  
technik und Automatisierung - IPA -  
Nobelstr. 12  
D-7000 Stuttgart 80



# Internationale Zusammenarbeit bei der Entwicklung fortgeschrittener Robotertechnik

(Advanced Robotics Project)

Forschung und neuentwickelte Techniken werden die Leistungsfähigkeit der Wirtschaft und die Schaffung neuer Beschäftigungsmöglichkeiten in den 80er Jahren nachhaltig beeinflussen. Sie stellen die Industriestaaten vor neue Herausforderungen und Aufgaben, deren Lösung wegen der zunehmenden Verflechtung der Weltwirtschaft eine engere Abstimmung staatlichen Handelns zwischen diesen Staaten notwendig macht. Aus diesem Grunde haben die Staats- und Regierungschefs der westlichen Industrieländer auf dem Weltwirtschaftsgipfeltreffen in Versailles im Juni 1982 eine Arbeitsgruppe beauftragt, die Bedeutung von Forschung und Technologie für Wirtschaftswachstum und Beschäftigung zu untersuchen. Das Ergebnis dieser Untersuchung hat die Gruppe in ihrem Bericht „Technologie, Wirtschaftswachstum, Beschäftigung“ [1] zusammengefaßt.

## Fortgeschrittene Robotertechnik

Der Bericht über das Projekt „Fortgeschrittene Robotertechnik“ stellt unter anderem folgendes fest: Ein für staatliche Aktivitäten und staatliche Zusammenarbeit besonders geeigneter Bereich sind fortgeschrittene Robotersysteme, die den Menschen die Arbeit unter schwierigen Bedingungen oder an gefährlichen Arbeitsplätzen abnehmen.

Die Entwicklung fortgeschrittener Robotersysteme für derartige Arbeiten erfordert eine neue wesentlich höher entwickelte Technik als die für die heutigen Industrieroboter verfügbare. Eine internationale Zusammenarbeit der Industrieländer zur Entwicklung einer solchen Technik ist in hohem Maße wünschenswert. Die Bundesregierung hat deshalb beschlossen, auf diesem Gebiet mit folgenden Industrieländern zusammenzuarbeiten: Canada, Großbritannien, Frankreich, Italien, Japan und USA. Inzwischen sind diesem Kreis auch folgende Länder mit Beobachterstatus beigetreten: Niederlande, Norwegen, Österreich und Europäische Gemeinschaft.

Das Projekt wird von einem Projektleitungsausschuß, dem sogenannten Koordinierenden Forum, geleitet. Dieser Ausschuß besteht aus je einem Mitglied jedes Landes, das von dem jeweils zuständigen Ministerium, bei uns dem Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT), entsandt wird. Deutsches Mitglied und damit Kontaktperson und Koordinator ist Dr.-Ing. Tomas

Martin, Projektträgerschaft Fertigungstechnik, Kernforschungszentrum Karlsruhe. Ausschulleitung und Sekretariatsführung versehen Frankreich und Japan im jährlichen Wechsel.

Mögliche Themen der Zusammenarbeit im Projekt reichen vom bloßen Informationsaustausch über die Definition von Normen und Bewertungskriterien bis hin zu gemeinsamen Entwicklungen und Pilotanwendungen. (Neben dem Gebiet fortgeschrittener Robotertechnik arbeitet die Bundesrepublik Deutschland auf Beschluß des Wirtschaftsgipfels auch noch auf 17 weiteren Gebieten zusammen [1].)

## Bisherige Arbeiten

Bisher sind vom Ausschuß Technologiefelder und Anwendungsbereiche, in denen man zusammenarbeiten möchte, erarbeitet worden. Die Technologiefelder sind: Systemarchitektur, künstliche Intelligenz, Sensoren, Mensch-Maschine-Beziehungen, Manipulation, Mobilität und Aktoren. Für die Anwendungsbereiche wurden je ein oder zwei Länder benannt, die Arbeitsprogramme aufstellen und Aktionen anstoßen sollen, sogenannte initiiierende Länder. Die Anwendungsbereiche sind (mit den initiiierenden Ländern jeweils in Klammern):

- Weltraum (Italien)
- Unterwasser (Frankreich, Japan)
- Kerntechnik (Frankreich, Japan)
- Bergbau (Frankreich, England)
- Landwirtschaft (Frankreich)
- Bauwesen einschließlich Schiffbau (Deutschland, USA)
- Anlagenbedienung (Frankreich, Italien)
- Feuerbekämpfung, Rettungsdienste (Japan, USA)
- Dienstleistungen (Frankreich, Italien)

Zur Klärung der Aufgaben für fortgeschrittene Robotersysteme wurden folgende Arbeitstagungen veranstaltet:

- Industrieroboter im Bauwesen (in USA),
- Industrieroboter bei der Feuerbekämpfung (in Japan),
- Stand der Roboterforschung allgemein (in Italien).

In Frankreich und Japan haben sich die Roboterhersteller zu Forschungsgemeinschaften institutionell zusammengeschlossen, um fortgeschrittene Robotertechnik gemeinschaftlich zu entwickeln.

## Situation in der Bundesrepublik Deutschland

Die Bundesrepublik Deutschland ist auf dem Gebiet der Robotergrundlagenentwicklung gegenüber mehreren anderen Ländern eindeutig im Hintertreffen. Deshalb müßte sie aus der Zusammenarbeit Vorteile ziehen können. Leider sind die deutschen Hersteller nicht so bereit zur Zusammenarbeit wie die französischen und japanischen. Mit den jetzt zu beginnenden, im Programm Fertigungstechnik geförderten Verbundprojekten entsteht allerdings eine neue Chance, daß die Hersteller Forschungsergebnisse besser nutzen als bisher.

Die Förderung fortgeschrittener Robotertechnik sollte bedarfsorientiert geschehen. Dabei liegt nun das weitere Defizit darin, daß die zukünftigen Anforderungen in den verschiedenen Anwendungsgebieten und damit des Marktes noch gar nicht hinreichend bekannt sind. Aus diesem Grunde hat das Kernforschungszentrum Karlsruhe, das seit langem Entwicklungen auf dem Gebiet ferngesteuerter Manipulatoren betreibt, in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart, im November 1984 eine Bedarfs- und Marktanalyse begonnen. Da es sich größtenteils um neuartige Anwendungsgebiete handelt, sind gründliche Recherchen wie Expertenbefragungen und Arbeitsplatzanalysen einer aus Ingenieur- und Sozialwissenschaftlern gemischten Arbeitsgruppe vonnöten. Das Ergebnis soll Mitte 1985 vorliegen und die Spezifikation zweier Prototypsysteme einschließen.

Es ist sehr zu wünschen, daß das Interesse an neuartigen Anwendungen fortgeschrittener Robotertechnik bei Anwendern und Ausüstern in der Bundesrepublik Deutschland steigt.

Interessenten mögen sich wenden an: Projektträgerschaft Fertigungstechnik, Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Postfach 3640, 7500 Karlsruhe 1, ☎ (07247) 82-5290 oder 82-5298.

## Schrifttum

1. Technologie, Wirtschaftswachstum, Beschäftigung. Broschüre. Bonn: BMFT 1983