

原子炉事故等災害救助のためのレーザー・エネルギー供給型 パラレルメカニズムを利用したロボットの研究開発

報告者	大学院総合理工学研究科	教授	山本昌彦
共同研究者	株式会社ロボメカニクス研究所		藤井康夫
	大学院総合理工学研究科	教授	河島信樹
	NEDO フェロー		武田和也
	マイビジョン		松岡久典
	株式会社レザック		柳本忠二

1. 背景と意義

これまでのロボットは一つの可動部分に一つのアクチュエーターを配置し、脚部や腕部の根本部分になるとかなり大きなモーメントがかかってしまい、大型化してしまう構造になっていた。今回のロボットはアクチュエータを小型化してパラレルに接続（パラレルリンク構造）することで、剛性の向上、及び動作の高速化、出力向上が可能となる構造をもっている。この構造を持ったロボットを用いて災害救助を行うことを考えた。

ロボットを実用化するとき問題となってくるのがエネルギー源である。ロボットを駆動するエネルギーをどう供給するかは、現状ではロボット開発がアイデア先行で実際に使われていないものが多いので重視されていないが、本当に実用に供する段階になると大変重要になる。かなりのロボットは、有線で電力を供給されるかあるいは独立型であっても電池で駆動するか間に合うが、人間がアクセスできない領域で働くロボットで一度そこへ入ったら戻ってこれないところ、例えば

1. 原子炉事故で強い放射線に被爆される
2. テロでサリン等の化学物質で汚染される
3. 戻ってはこれるが、戻るのに時間がかかり緊急の長時間作業が要求される

などの場所で活動するロボットにとって、ワイヤレスで電力を供給できることは必須である。

ワイヤレスのエネルギー伝送には、マイクロ波とレーザーが考えられるが、上記のような場合に要求される数 km 程度までの比較的近距離ではレーザーが小型・軽量、利便性などの面で遙かに優れている。

2. 事業実施体制と役割分担

2-1. 研究開発責任者

研究開発責任者： 所属・役職 近畿大学総合理工学研究科 教授

氏名 山本 昌彦

電話 06 6721 2332 (内線) FAX 06 6727 4301

近畿大学理工工学部機械工学科

大坪 義一

近畿大学理工工学部機械工学科

小阪 学

近畿大学大学院総合理工学研究科東大阪モノづくり専攻

橋新 裕一

近畿大学大学院総合理工学研究科東大阪モノづくり専攻

中野 人志

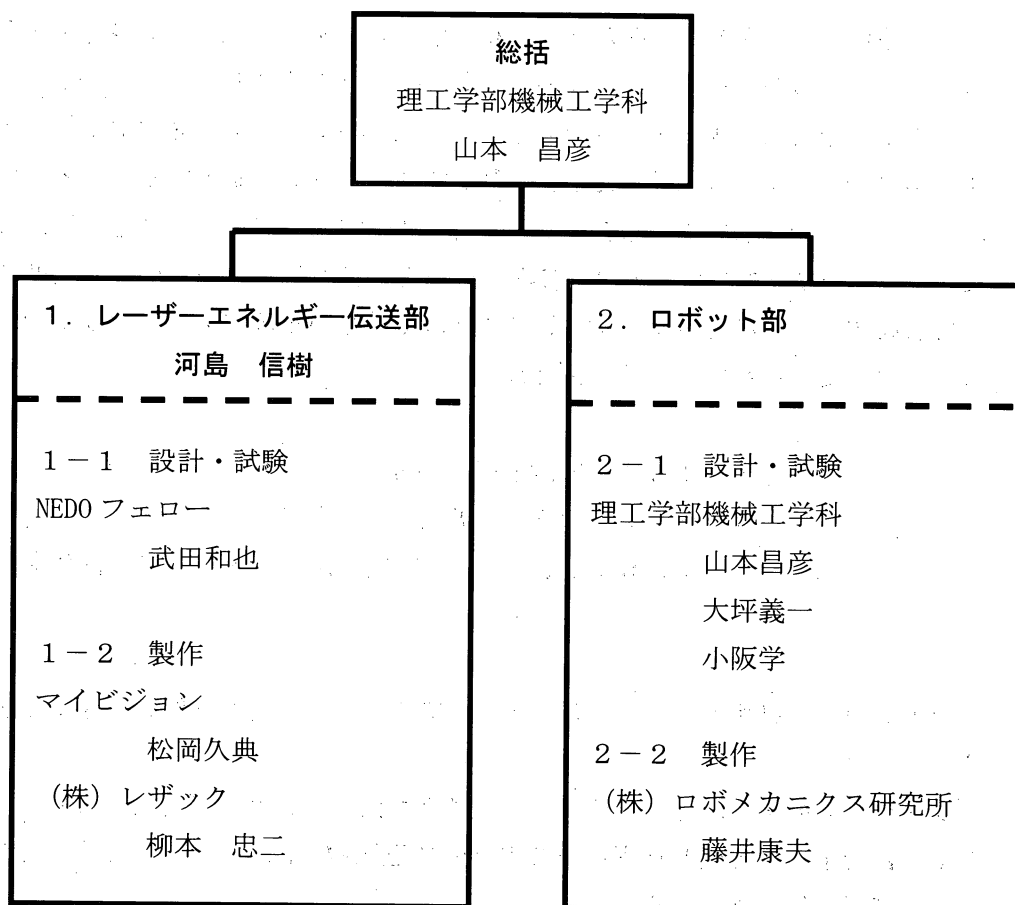
(株) ロボメカニクス研究所

藤井 康夫

(株) レザック

柳本 忠二

2-2. 研究分担



3. 技術基盤

3-1. ロボット技術

理工学部教授山本昌彦、(株)ロボメカトロニクス研究所 藤井康夫 のグループが開発している4足走行多関節ロボットを基盤にして、原子炉事故での人命救助・事故現状把握ロボットを構成する。

従来のロボットの脚部は、複数のリンクを直列に連結したシリアルリンク機構を利用したものが一般的である。この種のロボットは、各関節には減速装置を備えたアクチュエータなどで動作させるようになっている。しかしながら、前述のロボットにあっては、脚部の

先端部から基端部へ向かうに従って、関節に作用するモーメントが増大するため、基端側のアクチュエータが大型化していた。また、片持ち梁の構造となるため、各リンクに曲げ応力が作用することとなり、十分なる剛性を確保するために、高剛性のリンクを必要とし、これによるリンク質量の増大及びアクチュエータの更なる大型化を招いていた。従って、かかるロボットの脚部に用いられるアクチュエータには、脚部を動作させることが可能な出力を確保しつつ、可及的に小型化するという愿望があるが、このような愿望を満たすためには動作の高速化が困難となるという問題や大きなペイロード性を具備することは、ロボット自体を巨大化するなどしなければ困難であった。

当該ロボットは、平行リンク機構を利用することで、従来に比してアクチュエータの小型化、剛性の向上、及び動作の高速化が可能

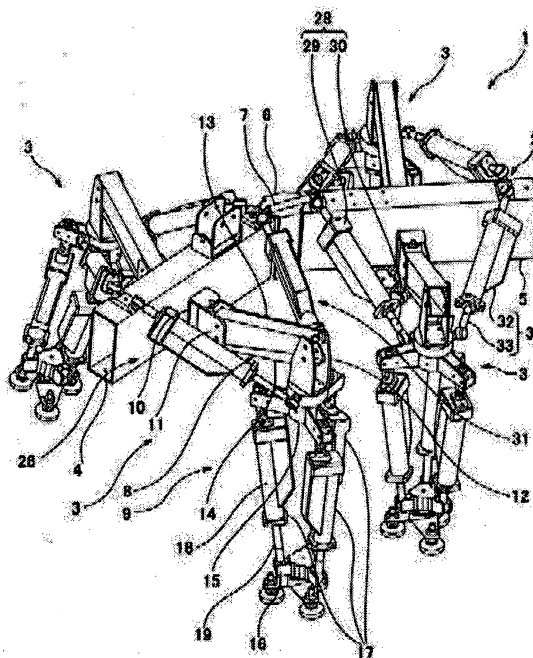


Fig.1 平行リンク型ロボット

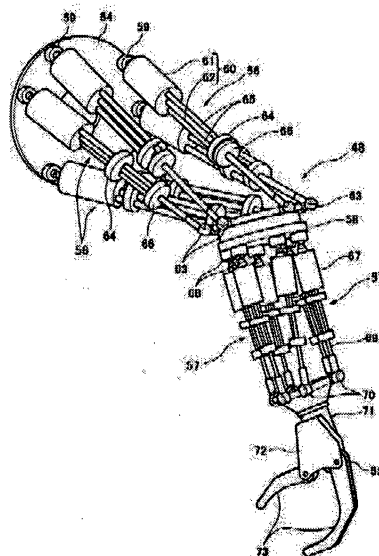


Fig.2 平行リンクのシリーズ接続

であるばかりでなくペイロードの向上と脚部位置決め精度の向上が期待でき、ロボットの重心位置を低く抑えることが出来ることが特徴である。また、従来のパラレルメカニズムの欠点であった可動範囲の狭さは、パラレルリンクをシリーズに接続することで解決したことも大きな特徴と言える。(Fig.1 は、当該パラレルメカニズムを脚部に応用した説明図、Fig.2 は、腕部に応用した時の説明図である。

特許i) -1 “ロボット及びロボット操作システム” (特願2002-178702)

特許i) -2 “ロボット” (特願2002-144906)

特許i) -3 “ロボットアーム及びロボットアーム操作システム” (特願2002-117184)

3-2. レーザー・エネルギー伝送

3-2-1. 実績

研究代表者が約 10 年にわたって宇宙開発「月の氷の存在を確認する無人探査機へのエネルギー伝送」を行っており、2003 年末に 1.2 km 伝送実験を行った。この実験では月面氷探査ローバーの実機大モデルを作成し、大出力ファイバカップリング半導体レーザー (コア径 : $400\mu\text{m}$ 、出力 : 60 W) を使用して実証実験を行った。これほど長距離での大出力半導体レーザーと太陽電池を使用したエネルギー伝送実験はこれまで行われたことがない。大気中での大出力レーザーエネルギー伝送は地上での応用の場合、人間が行きにくい場所で調査・作

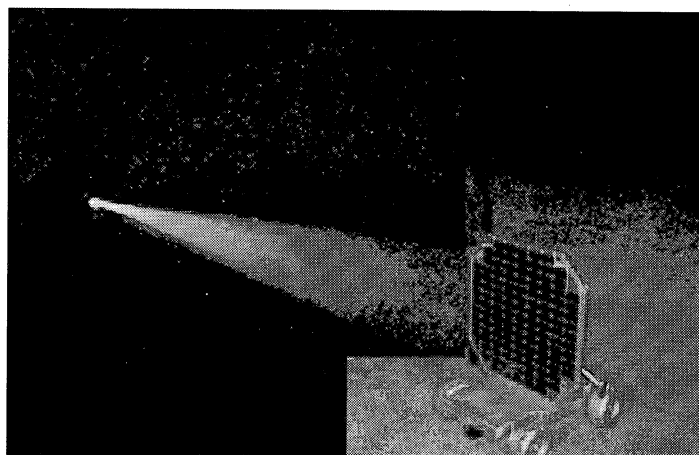


Fig.3 1.2km エネルギー伝送実験

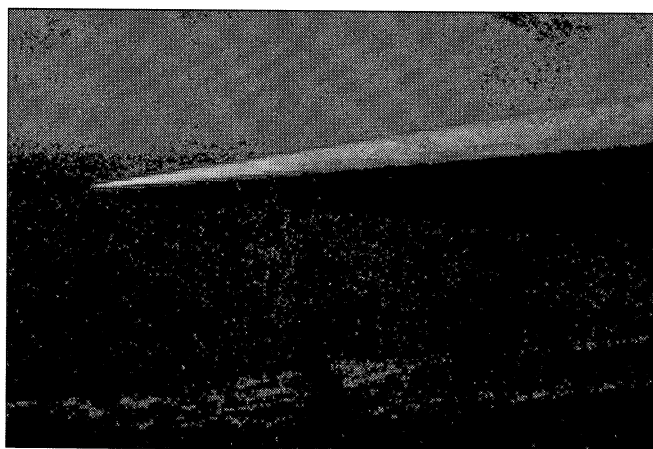


Fig.4 7km レーザー伝搬観測実験

業するロボットに対して長時間活動できるエネルギー源を確保することになる。実験は淀川河川敷にあるゴルフ場において 1.2 km の見通しがある場所を使用して夜間に実験を行った (Fig. 3)。このとき使用した装置では太陽電池パネルの変換効率が 20% 以上で探査模型車を駆動することが確認されている。また、この実験の一環としてさらなる長距離レーザーエネルギー伝送につながる 7 km レーザー伝搬観測も成功している (Fig. 4)。

最近の半導体レーザーの進歩は、高輝度、小型化、高出力化に向かっているという背景があり、半導体レーザー光によるエネルギー伝送がロボットに活用できるところまで発展してきている。またこの半導体レーザーを用いてファイバーを励起する LD 励起型ファイバーレーザーも発光点が小型で高出力が見込めるため検討対象となる。

- 論文 : 1) N. Kawashima : The Importance of the Development of a Rover for the Direct Confirmation of the Existence of Ice on the Moon Trans., Japan Soc. Aeronaut. Space Sci. Vol 43 p. 34-35 (2000)
- 2) 武田和也、河島信樹 : 半導体レーザーによる月氷探査ローバーモデルへの 100m エネルギー伝送実験, 日本航空宇宙学会, 51(2003), pp. 393-396 日本航空宇宙学会
- 3) 武田和也、河島信樹 : 無人月氷探査探査車 (ローバー) モデルへの 1.2 km レーザーエネルギー伝送実験, 宇宙技術, vol. 3(2004), pp. 45-48, 日本航空宇宙学会

3-2-2. 解決すべき技術的課題

高出力レーザーを用いたエネルギー伝送では受光素子に次のような解決すべき技術課題がある。

- ・ レーザー光—電気変換効率の温度依存性と冷却法

高密度のレーザー光が太陽電池パネルに照射された場合太陽電池の温度が上昇する。このとき太陽電池の出力も低下するので冷却の必要性和出力(変換効率)と温度の関係も含め、検討が必要である。この結果から太陽電池パネルに必要な冷却装置の規模を決定していく。

- ・ 太陽電池パネルのセル接続方法最適化による変換効率の向上

電池パネルには太陽電池セルが複数枚使用されているが、直列に接続されているセルの中に蔭ができた場合、その直列は出力が低下し、パネルの変換効率が低下する。この問題の解決のため DC-DC コンバーターを用いてロボットが必要な電圧に変換する方法や、取り出す電力を最大にする最大電力追従回路を用いる装置が必要である。

3-3. 構成

全体の構成は、原子炉の事故での人命救助と事故探査の機能をもつものを創成し、ロボット部とレーザーエネルギー伝送部 通信制御部から構成される。

i). 救助ロボット部

i)-1. ロボット部

緊急人命救助／事故探査ロボット

・構成

ワイヤレス管制装置(無線 LAN)
制御命令受信回路
制御命令伝達部
データ電送部

・通常消費電力

メイン駆動部 : 120[W]
制御部 : 20[W]
ハンド部 : 10[W]以下

・ハンド部

インテリジェント型 3 本指ロボットハンド
ドア開閉、バルブ開閉動作が可能

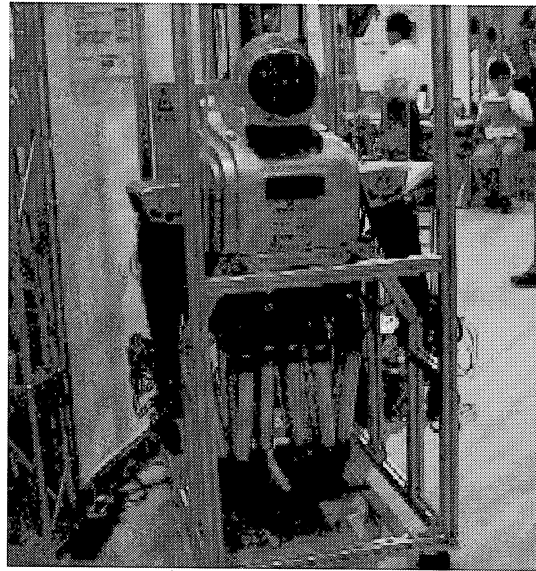


Fig.5 緊急人命救助／事故探査ロボット

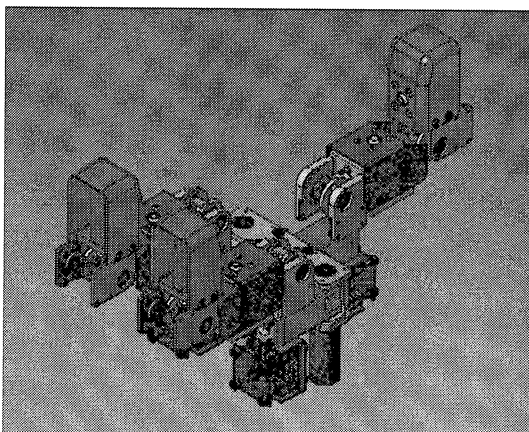


Fig.6 インテリジェント 3 本指ロボット
ハンド

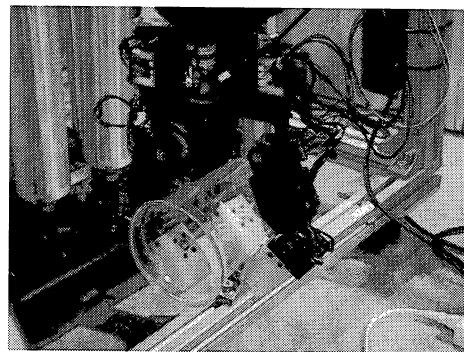


Fig.7 ロボットハンドの作業
ハンド

ロボットハンド仕様

■ 機械的構造及び軸数

- ・フィンガー数 : 3
- ・パーム回転軸 : 2
- ・モーター/ フィンガー : 2 ~ 3 / 1
- ・パーム回転用モーター : 2
- ・ハンド総軸数 : 8
- ・ハンド総モーター数 : 8

■ 動作範囲

- ・フィンガー・パーム回転 : 180°
- ・フィンガー・ベース・ジョイント : 180°
- ・フィンガー先端部 : 100°

■ フィンガーの最高スピード

- ・フィンガーの回転速度 : 315° / 1秒
- ・パームの回転速度 : 630° / 1秒

■ 位置検知

- ・型式 : アナログ式ポテンシオメータ
- ・分解能 : 12ビットA/D変換器/ フィンガー・ベース・ジョイント
4096 / 320°

■ ハンド総重量 : 0.76 Kg

■ 可搬重量

- ・フィンガー全部の場合 : 1.5 Kg
- ・フィンガー1本の場合 : 0.5 Kg

■ 最大フィンガー荷重 : 5 N (フィンガー先端部)

■ モーター型式 : 栄43DSDモータ (DC12V・1.5W)

■ 供給電源

DC 12V (バッテリー / 太陽電池 / 併用)

■ハンド寸法[mm]

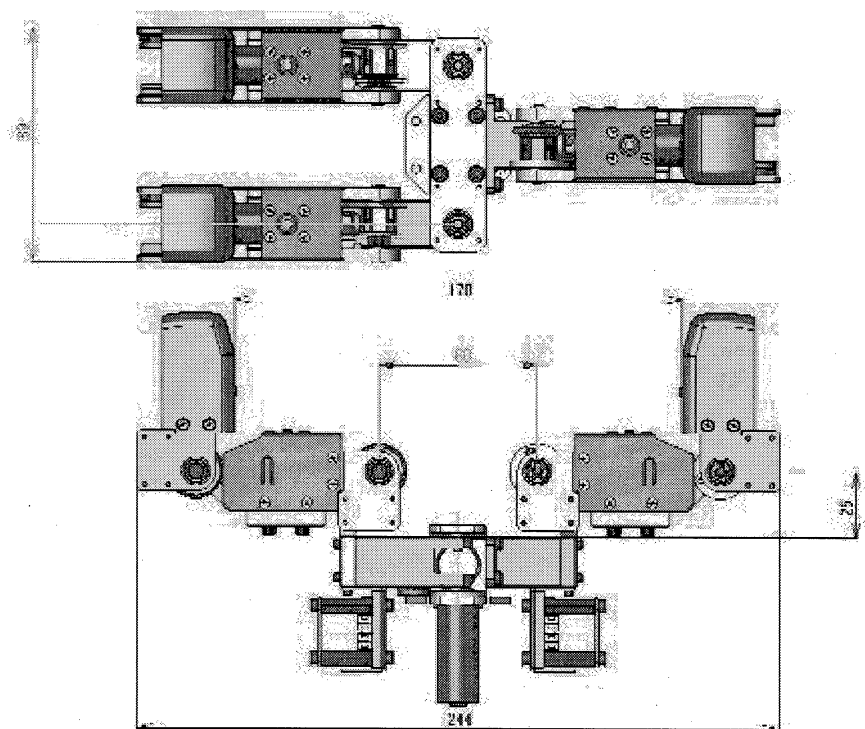


Fig.8 ロボットハンドの寸法

i) - 2. レーザーエネルギー受電部

受電パネル：直径 440mm

(SJ - GaAs 太陽電池セルを使用)

使用セル： 46 枚 (23 枚直列 × 2)

供給電圧： 12V、24V

電気変換効率：25% (最大)

電気出力： 50W (最大)

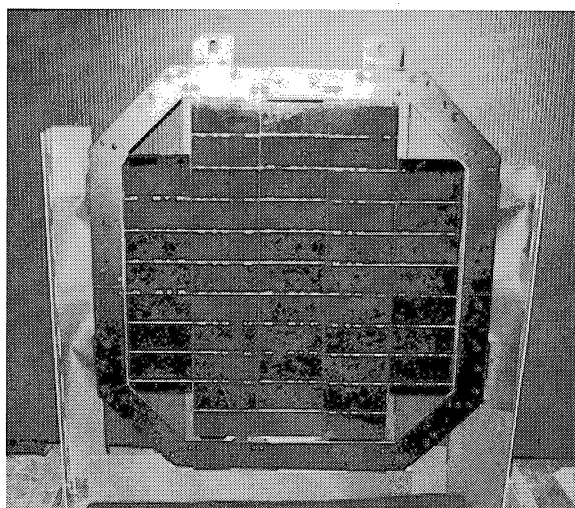


Fig.9 ロボット用太陽電池パネル

ii). レーザー・エネルギー供給部

ii) - 1. 半導体レーザー部

サイズ：縦 540mm×横 340mm×高さ 1190mm

重量： 約 120kg

半導体レーザー

型番：HLU200F400-808 (LIMO 社)

出力：200W/cw

波長：808nm

冷却方式：水冷

ファイバーコア径：400 μ m

ファイバークラッド径：480 μ m

ファイバー長：1.5m

温度センサー：Pt100

LD 内部温度：10～30℃

LD 用電源

型番：PS20-54 (ケンウッド)

最大電圧：20V

最大電流：54A

電源：AC100V

LD 用チラー

型番：TQ400AM

設定水温：15℃

冷却能力：760W (水温 15℃時)

電源：AC100V

温度コントローラー

型番：NR4 (Pt100 対応)

電源：AC100V

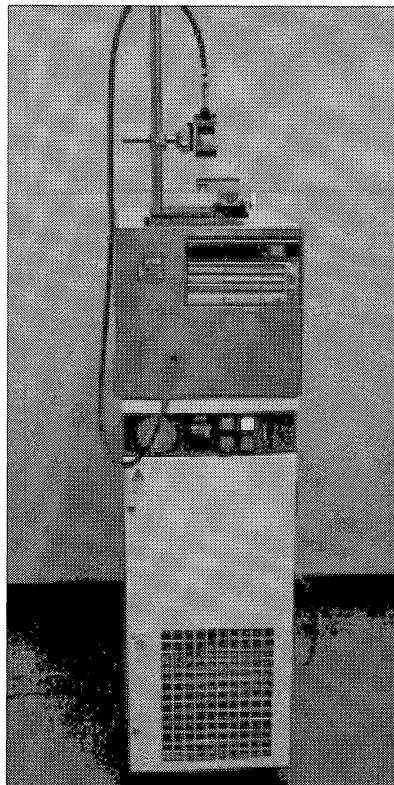


Fig.10 半導体レーザーシステム

ii) - 1. 光学部

エネルギー伝送用集光レンズ

直径 : 25 mm
 焦点距離 : 20 mm
 伝送距離 : 10 m
 (スポット径 : 約 44 cm)

追尾光学系

(受光側) : 4分割フォトダイオード
 偏光フィルター
 (太陽電池パネル側) : コーナーキューブ + 液晶シャッター
 射出角制御回路 : ロボットトラッキング用モータドライバ
 射出角度制御部 : 追尾用自動ステージ

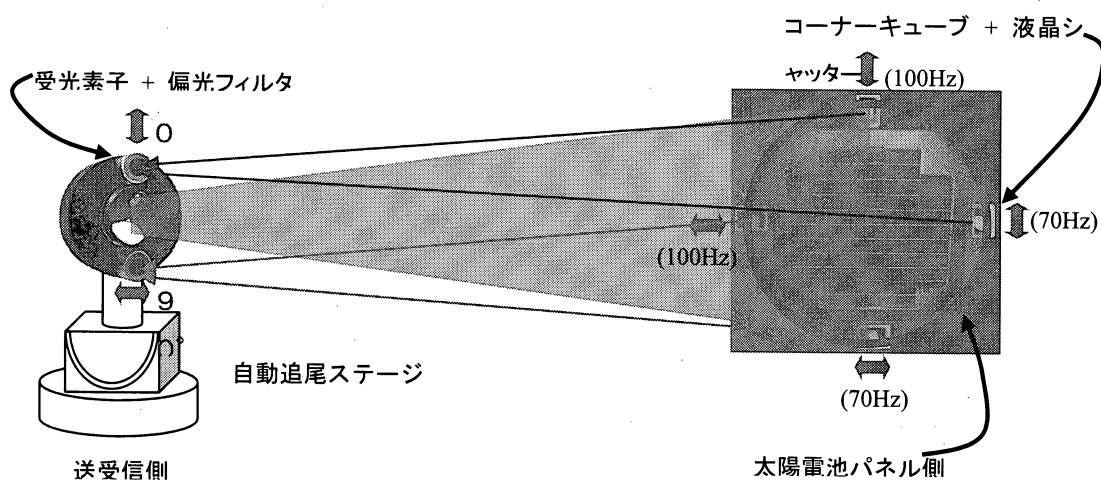


Fig.11 レーザー追尾機構

3. ロボット駆動実験

ロボットのハンド部分へのレーザーエネルギーのみでの電力を供給し、駆動テストを行った。ロボットの駆動電力は6W弱で、レーザー出力30Wで駆動した。このときの変換効率は約20%であった。また、このとき追尾機構の試験も行い、人の手によってロボットを左右に動かすとその動きにレーザーが追尾することを確認した。

ロボットハンド消費電力	約 6W
レーザー出力	30W
太陽電池パネル変換効率	約 20%

Table.1 ロボットレーザー駆動実験結果



Fig.12 試験に使用した半導体レーザーシステム

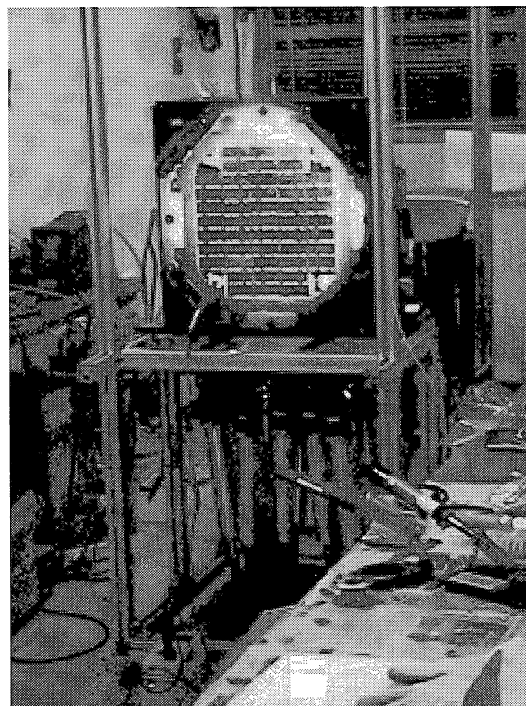


Fig.13 レーザーによるロボット駆動テスト

4. ROBOTREX2005への参加

平成17年7月13日～17日に大阪市のインテックス大阪に於いて「ROBOTREX (ロボトレックス) 2005」がロボカップ国際委員会・日本経済新聞社などの主催で行われた。この展示会へは近畿大学と株式会社ロボメカニクス研究所との産学連携であるレスキューロボットを出展した。

[日程] 平成17年7月13日～17日

[場所] 大阪府東大阪市 インテックス大阪

[主催] ロボカップ国際委員会・日本委員会・大阪大会開催委員会、日本経済新聞社

[内容]

この展示会は毎年行われているロボットの競技会「ロボカップ」と同時に行われるロボットテクノロジー産業展示会である。この展示会に今回開発したレーザーエネルギー供給型レスキューロボット「KUPM」を出展した。会場では実際にロボットをレーザーで駆動させるデモンストレーションを行った。

ロボットに触れてもらう企画を行ったところ家族連れに大変評判が良く順番に並んで握手してもらった。

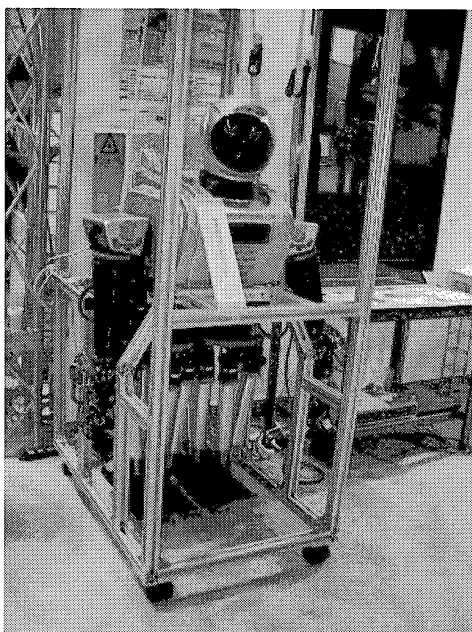


Fig.14 展示中のレスキューロボット



Fig.15 賑わう展示会場

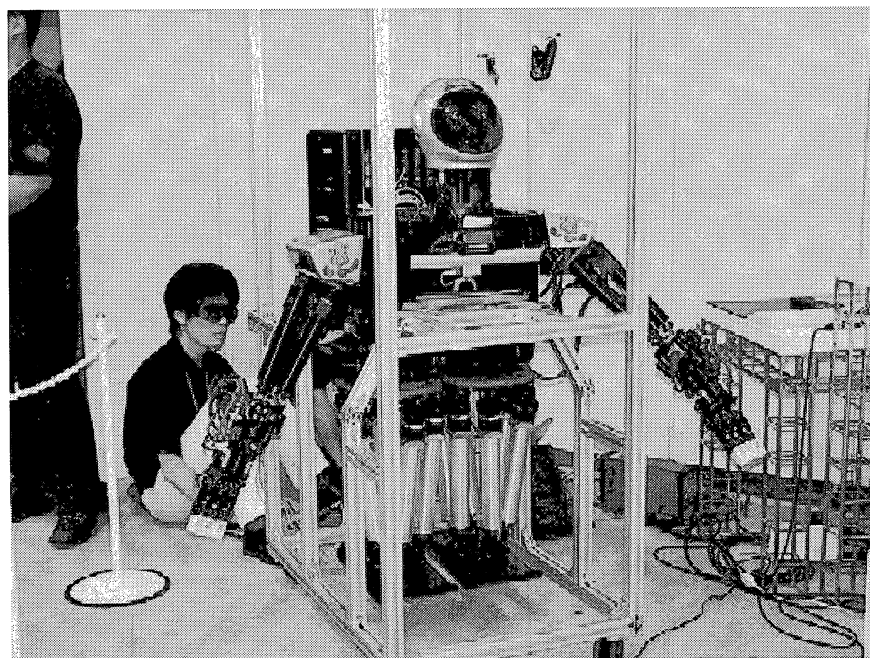
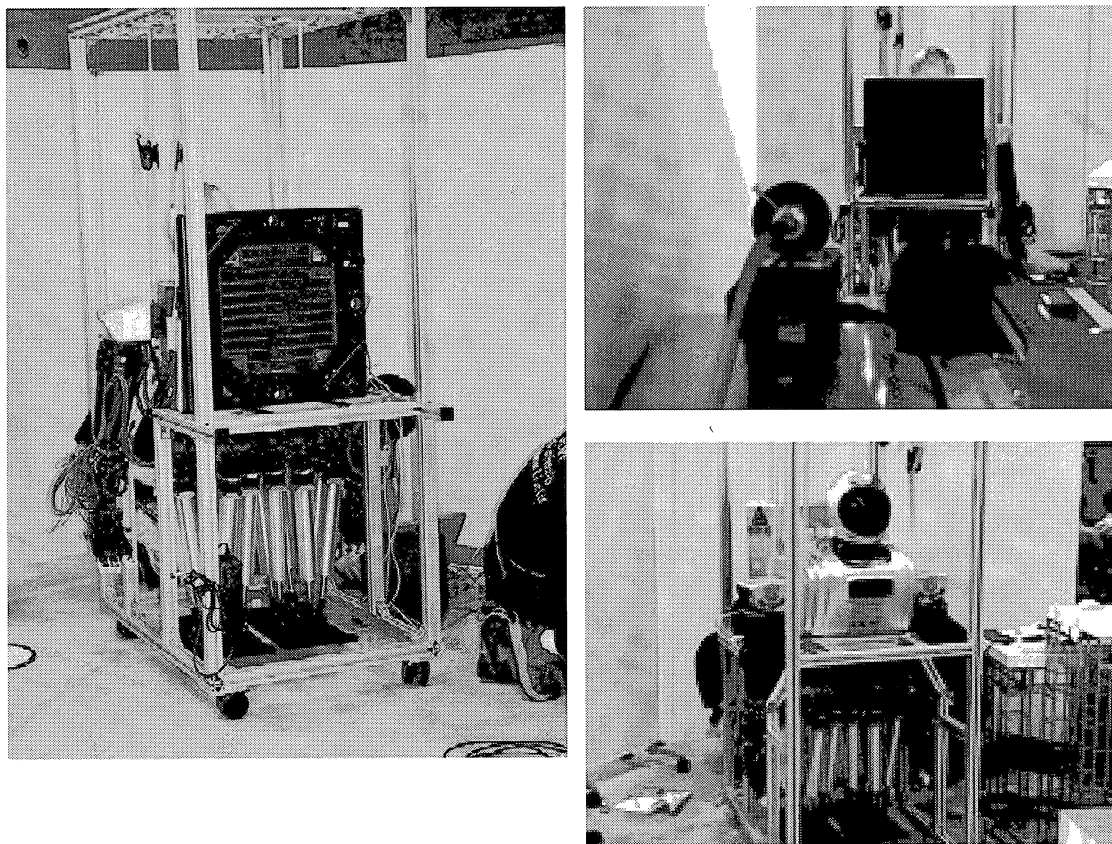


Fig.16 ROBOTREX2005 デモンストレーションの様子