

原子力発電設備点検保守の遠隔自動化

Remote-automation of Nuclear Power Plant Equipment Inspection and Maintenance

原子力発電設備点検保守の遠隔自動化は、定期検査期間の短縮によるプラント稼働率の向上、作業に伴う放射線被ばく線量の低減、作業の省力化などに大きく貢献している。

本論文では、東京電力株式会社福島第二原子力発電所2号機納め自動燃料取替機、CRD遠隔自動交換装置、新形チャンネル着脱機、耐圧形主蒸気ラインプラグなどに採用した新技術の要点を報告するとともに、CRD分解洗浄装置、使用済み燃料チャンネルボックス及び制御棒減容装置、並びに高放射線下多機能ロボットなどの原子力用遠隔自動機新製品の開発状況概要を紹介し、併せて近い将来に実用化されるであろう最新ロボット技術の開発動向について概説する。

佐々木正祥* Masayoshi Sasaki
中野善之** Yoshiyuki Nakano
出海滋*** Shigeru Izumi
川村博信* Hironobu Kawamura

1 緒言

原子力発電設備点検保守の遠隔自動化は、定期検査期間短縮と作業員の放射線被ばく量低減を最大の眼目として、その開発と改良に努力を続けてきた。以下に最新の技術開発の成果と将来の開発動向について述べる。

2 東京電力株式会社福島第二原子力発電所2号機納め遠隔自動機¹⁾

2.1 自動燃料取替機

初期のプラントでは燃料取替作業は機上手動運転で行なわれていたが、計算機直接制御を採用した自動燃料取替機により、遠隔制御室からのワンマンコントロールで行なえるようになった。本燃料取替機(図1)では、先行機での運転経験を

生かして次の点を改良した。

- (1) 台車構造を従来の門形クレーン構造から箱形構造に変更し、剛性の向上と台車重心の低下による耐震性の向上、及び床面積の拡大による作業性の向上を図った。
- (2) 燃料つかみ装置のワイヤロープ、及びエアホースガイド機構を抜本的に見直して構造を変更し、耐摩耗性ガイド機構を開発した。
- (3) 燃料つかみ装置先端のつかみ具を小形化し、つかみ具による使用済み燃料のキャスクへの挿入を可能とした。
- (4) 上記つかみ具のフック開閉機構に、着座検出時以外はフックの開閉を阻止するメカニカルストップを設けて安全性の向上を図るとともに、着座、フック閉検出機構を改善して信頼性を向上した。

本自動燃料取替機により、燃料取替、シャッフリングなどの作業時間を従来の手動運転に比べ約 $\frac{1}{2}$ に短縮した。

2.2 CRD遠隔自動交換装置

初期のプラントでは手作業により行なわれていたCRD(制御棒駆動機構)交換作業を、CRD遠隔自動交換装置により機械化し、作業に伴う放射線被ばく量の低減に効果を挙げている。本装置では次の改良設計を採用した。

- (1) ペDESTAL室の底面床高さを従来よりも低くして、装置運転時の核計装機器その他機器との干渉を排除し、運転手順を単純化した。
- (2) 全CRDの実据付位置を制御用マイクロコンピュータに記憶させ、装置の交換対象CRD据付位置への自動位置決めを容易化した。
- (3) 着脱装置下端からペDESTAL室内サンプピットに導き、放射性初期ドレンの周辺への飛散による室内の線量率上昇を最小に抑えるようにした。
- (4) 交換CRDをCRDカート内に完全に収納し、放射化部には遮へい体を設置することにより、CRD保護の強化とよりいっそうの放射線被ばく線量の低減を図った。

本CRD遠隔自動交換装置(図2)により、CRD交換作業の際のペDESTAL室内への立入者数、及びその放射線被ばく線量は、従来の手作業に比べ $\frac{1}{3}$ 以下に低減されることが期待できる。

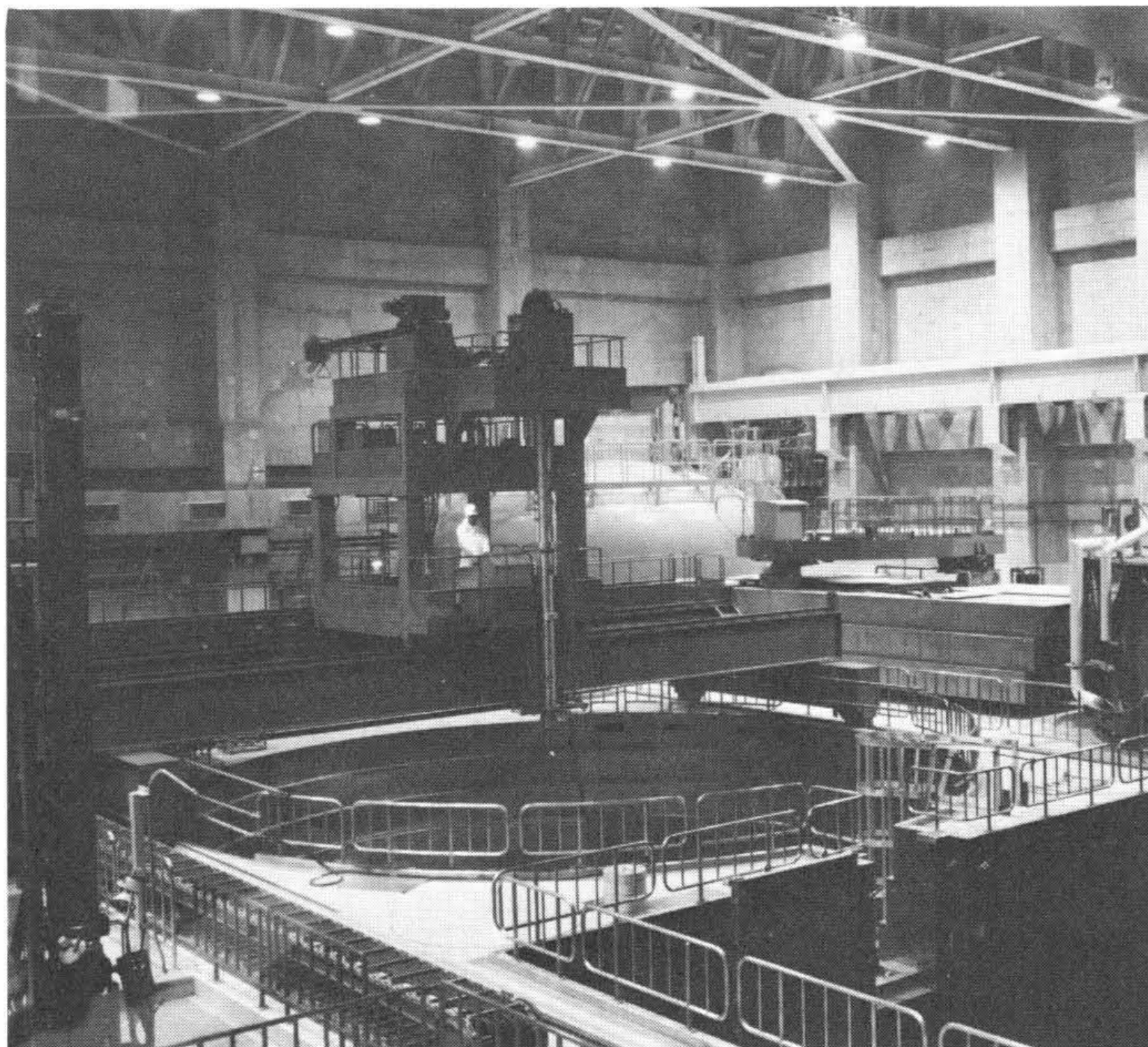


図1 自動燃料取替機 遠隔制御室からのワンマンコントロールで、燃料取替及びシャッフリングを行ない、かつ作業記録の自動作成ができる。

* 日立製作所日立工場 ** 日立製作所機械研究所 工学博士 *** 日立製作所エネルギー研究所

2.3 その他自動機器

その他、原子炉サービス機器の新設計の代表例を以下に記す。

(1) 新形チャンネル着脱機

高速2速の電動機駆動とし、燃料の昇降位置を1mm単位でデジタル表示するとともに、燃料は外力を加えることなく回転可能にした。

(2) 耐圧形主蒸気ラインプラグ

主蒸気管加圧反力に耐えるリング状フレームにプラグユニットを取り付け、燃料取替などの炉内作業に並行して、主蒸気隔離弁及び逃し安全弁の分解点検及びリークテストを可能とした。

3 開発中の遠隔自動装置

現在開発中の遠隔自動化装置のうち、代表例3件を以下に紹介する。

3.1 CRD分解洗浄装置²⁾

CRD分解洗浄装置は、従来数名の熟練作業員の手作業に頼っていた原子炉から取外し直後の放射性クラッドの付着しているCRDの分解洗浄作業を機械化して、熟練作業員不足対策とするとともに、作業に伴う放射線被ばく量の低減を図るものである。ここで開発中のCRD分解洗浄装置は、既設発電所のCRD修理室内の限られたスペース内に設置可能なように小形化されている。

本装置はCRD修理室内に立ち入る作業員一人と、CRD修理室外に設置された操作盤を操作する運転員の二人で運転可能なように設計されており、現在、財団法人発電用熱機関協会

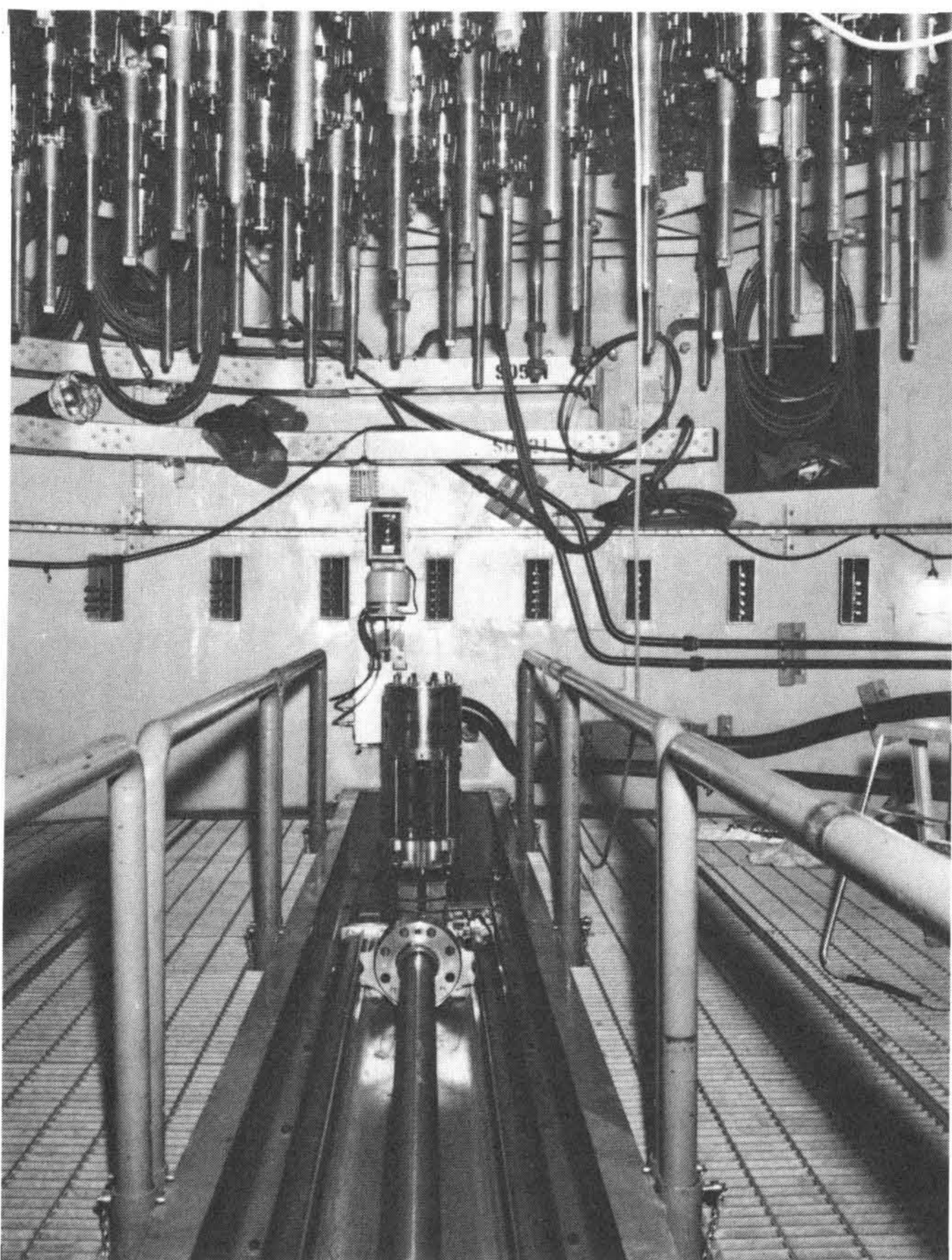


図2 CRD(制御棒駆動機構)遠隔自動交換装置 奥に8本のエアモータ駆動レンチを備えた着脱装置が、手前には水平状態のカート上にCRDが載っているのが見える。

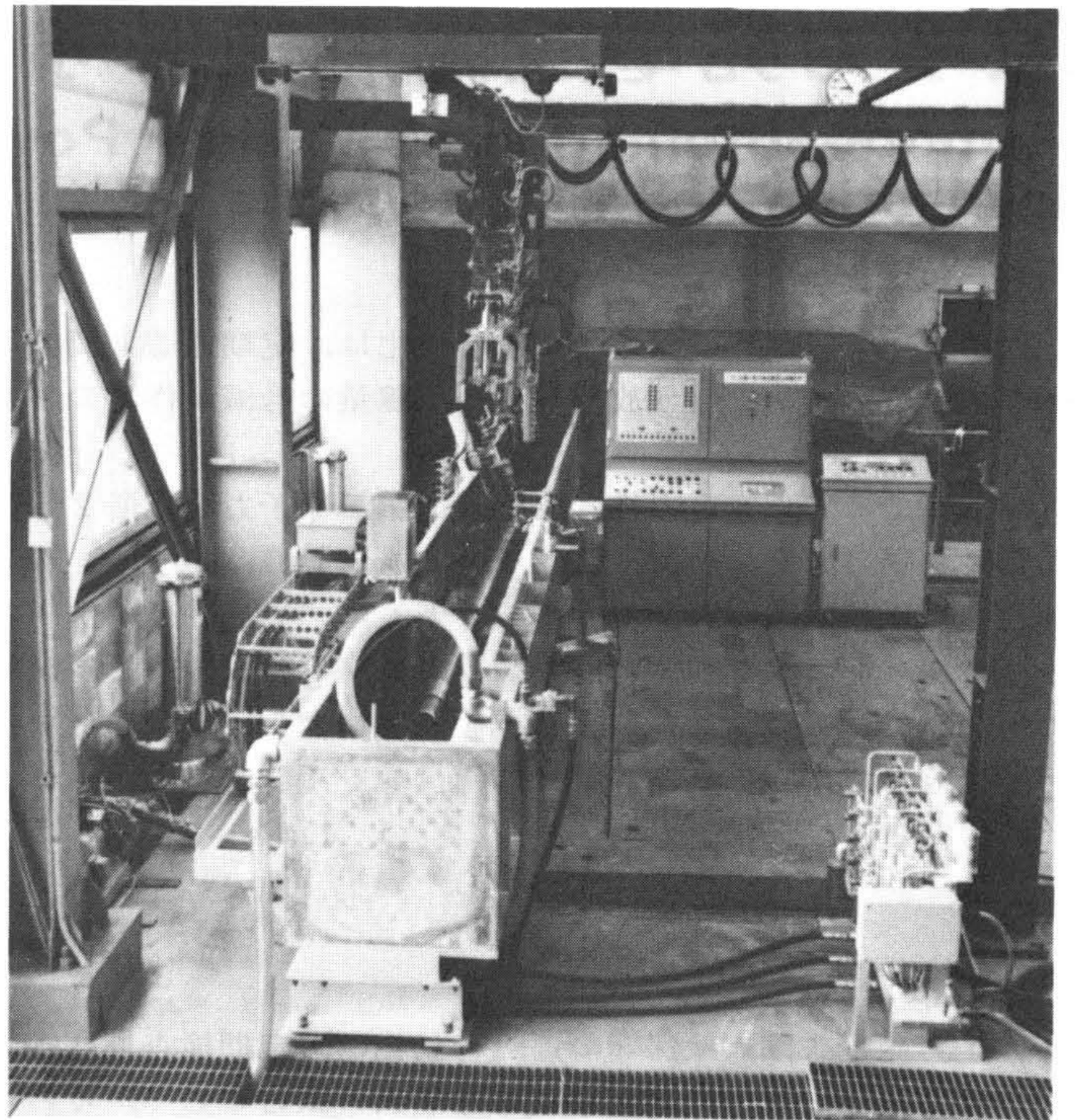


図3 CRD分解洗浄装置 本装置により、運転員と作業員の二人でCRDの分解洗浄作業ができる。

の自動検査装置実証試験の一環として、試作装置(図3)による試験を遂行中である。本装置の採用によりCRD分解洗浄作業に要する作業員数及び放射線被ばく線量ともに $\frac{1}{2}$ 以下に低減できる見込である。

3.2 使用済み燃料チャンネルボックス及び制御棒減容装置

従来原形のまま使用済み燃料貯蔵プール又は放射性廃棄物貯蔵プール内に保管されている使用済みFCB(燃料チャンネルボックス)及びCR(制御棒)の貯蔵スペースファクタの向上を目的として、それらを水中で遠隔自動切断する装置を開発中である。本装置は既設プラントのプール内に設置できるように小形化し、かつ分割組立構造としている。切断には通常の溶接用ワイヤと被切断物との間に放電を起こし、溶融した母材を高圧水で吹き飛ばす、溶極式ウォータージェット切断を採用している。本方式により他方式に比較して低電圧、低消費電力でかつ二次廃棄物としてのガス発生量が少なく、しかも同一装置でFCBとCRの切断が可能となる。切断は隔壁内で行ない、落下ドロス(切くず)は容器に捕収し、浮遊クラッドはフィルタで汙過回収し、発生ガスは希釈汙過することにより環境汚染がないようにしている。本装置の工場内試験設備を図4に示す。

本装置によりFCBは角筒の二隅を切断してL形にし、CRは落下速度リミッタ切断後、更に十字部の中央を切断してL形にし並べ、減容率約 $\frac{1}{3}$ が得られる。

3.3 高放射線下多機能ロボット

動力炉・核燃料開発事業団東海再処理工場の使用済み燃料溶解槽に発生したピンホール状の欠陥補修、及び補修後の検査を目的として、高放射線に耐え、かつ限られたスペース内で遠隔作業のできる多機能ロボットを開発した。

多機能ロボットは槽内状態を精密に観察する空中・水中兼用テレビジョン(図5)、補修状態観察ペリスコープ、自動溶接・研磨、PT(液体浸透探傷検査)及びUT(超音波探傷検査)の各機能をもつ6体のロボットで構成される。

開発のかぎは、耐放射線性部品及び材料の選別使用、機構の超小形化及び遠隔操作の単純化であった。この種のロボットは世界でも類がなく、各国の注目を集めている。

4 最新ロボット技術の開発動向

原子力施設での自動化機器の開発は、通常複合した数種のニーズに基づき、経済性、信頼性及び安全性の向上の程度を推進の判断基準として進められてきており、現在までは下記ニーズに対応するものに絞られている。

- (1) 定期検査期間の短縮（例：自動燃料取替機）
- (2) 放射線被ばく線量低減（例：CRD遠隔自動交換装置）

現時点ではこれらのニーズの外に、

- (3) 複雑高度な作業の機械化
- (4) 近接不能区域内作業・監視の機械化

などのニーズも高くなりつつあり、廃炉用自動機器、格納容器内自動点検装置、極限作業条件下での多機能ロボットなどの開発が進められている。

日立製作所ではプロセスロボット技術も活用し、上記ニーズに応じられるよう限りなく人間に近い本格的なロボットの開発に取り組んでいる。特に、移動機能と高度な認識思考機能を備え、器用な手を持ち、かつ高温・高放射線などの環境に耐えられるロボットが実現すれば、自動化範囲の飛躍的拡大が期待できる。ここではそれらを目指した幾つかのロボットを紹介する。

4.1 遠隔点検保守作業用走行形マニプレータ

このロボットは原子力施設内を移動し、機器の点検や補修あるいは放射性物質の取扱いなどを行なうものであり、日本

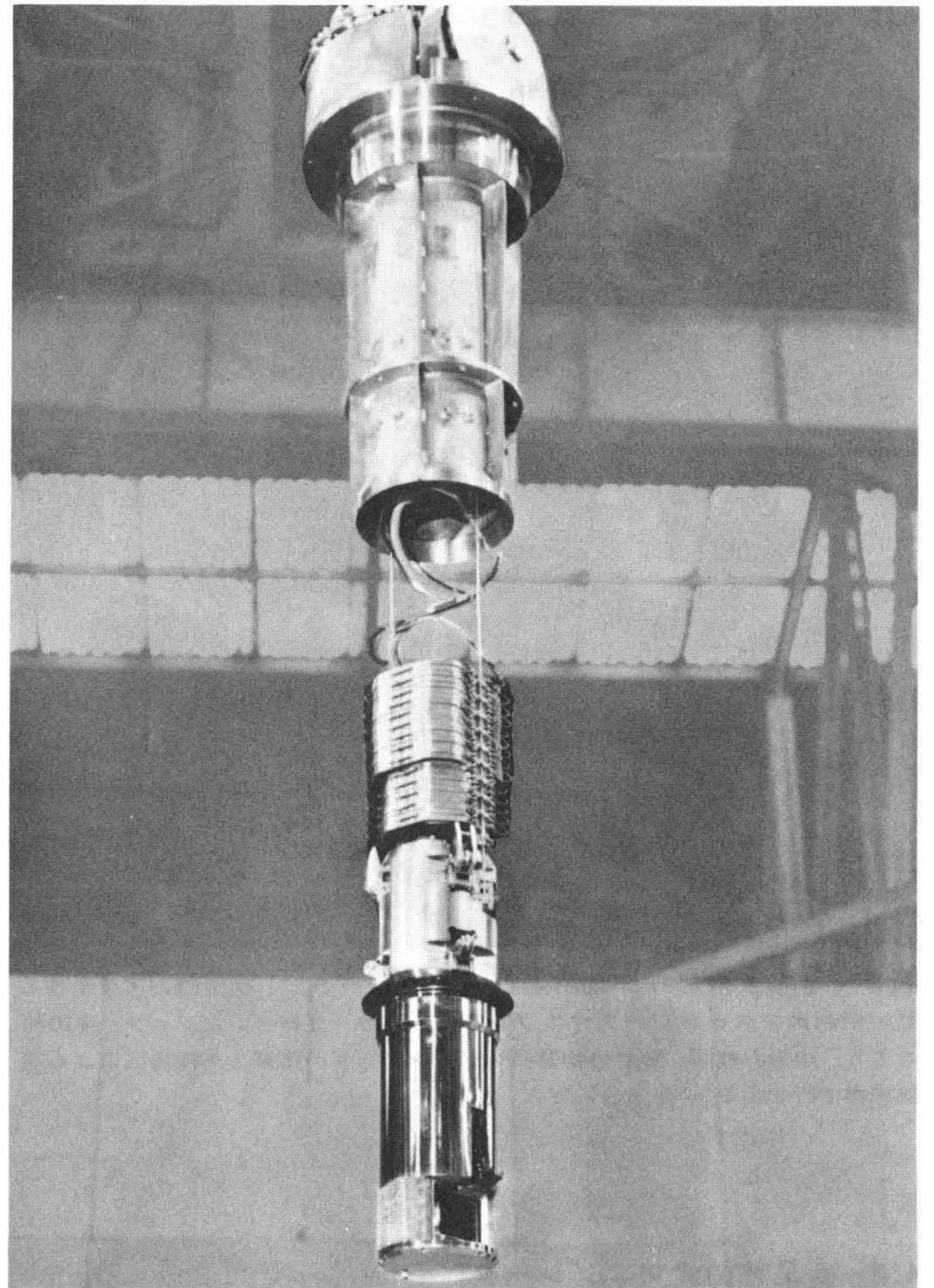


図5 水中空中兼用テレビジョン 高放射線に耐え、空中及び水中のいずれでも使用可能である。

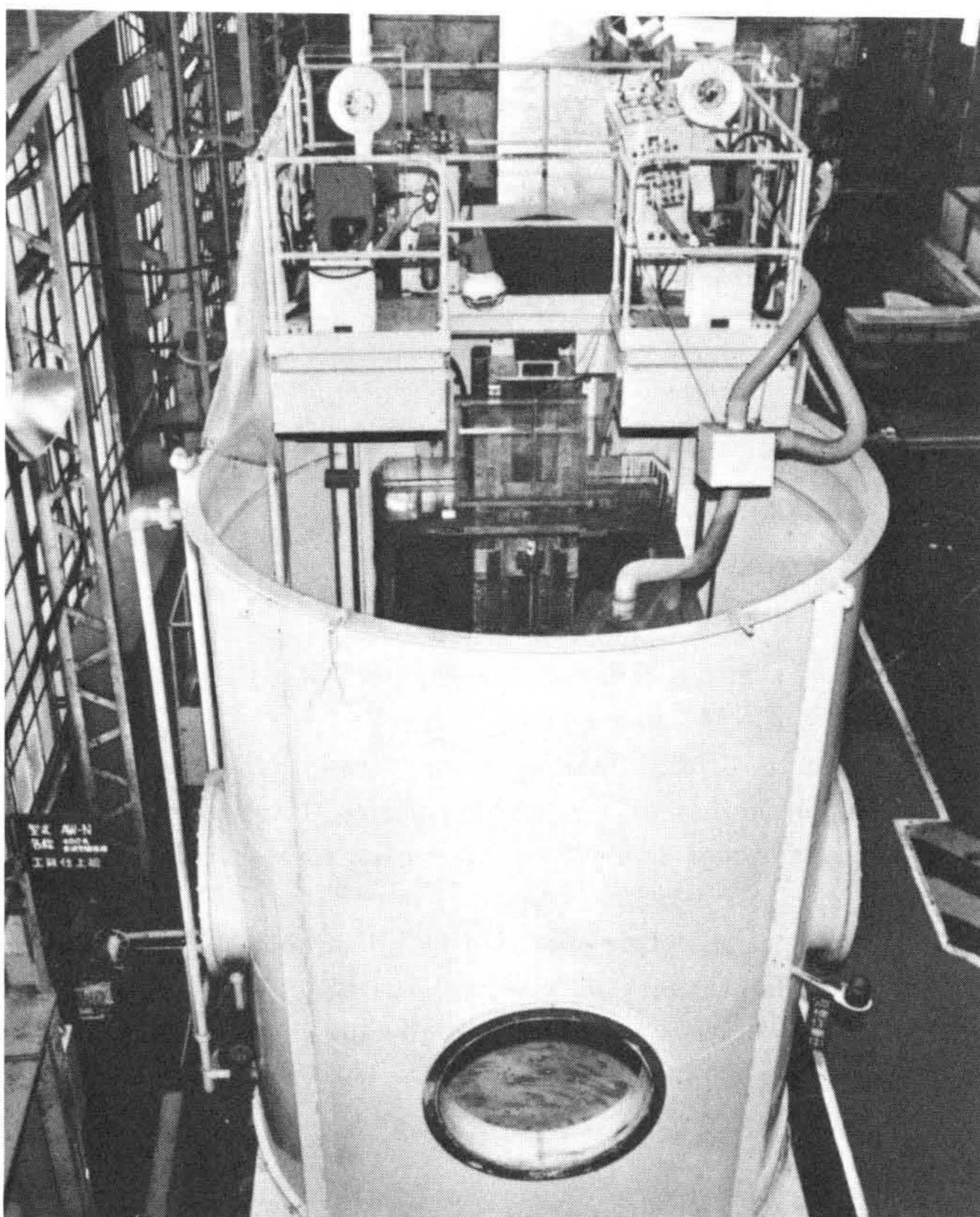


図4 使用済みFCB(燃料チャネルボックス)及びCR(制御棒)減容装置 使用済みのFCB及びCRを水中で遠隔自動切断して、その体積を約半に縮小できる。

原子力発電株式会社ほか、関係電力会社各社との共同研究で開発された。図6に示すように作業をする電動式マスタスレーブマニプレータは、通常のロボットよりも多い8自由度(把持を含む。)で構成され、人間の腕並みの器用さを発揮する。スレーブマニプレータは走行車に搭載するため、軽量強力化を重点に開発し、自重150kg、腕長1mでありながら20kgの重量物を操作できる。四つのクローラから成る移動機構は、それぞれを独立に駆動、又は折り畳むことにより、狭い通路や階段などを移動できる。視覚装置としてはカメラの視角差調整と焦点合せを自動化したカラーテレビジョンカメラを搭載し、その他各種の環境センサを装備している。ロボットの制御は遠隔操作ステーションで行ない、その間の信号伝送には多重無線通信を採用し、また動力源にバッテリーを用いているので機動性が高い。

4.2 形状可変クローラ移動車³⁾

このロボット用移動車は、2個のクローラの形状を地表面形状に応じて変化させることにより、小形・軽量化を図ったものである。図7に示すように、車体の両側面に形状変化用の腕をもったクローラユニットを備えており、車輪に巻き掛けた履帯の形を路面状態に応じて変化することにより、高い段差への乗り上げを容易にしたり、急傾斜の階段でも転倒しないように安定性を保つことができる。例えば、同図に示すように障害物を乗り越えるときは、遊星輪により腕を前方に移動して大きな迎え角で押し上げる。また階段を昇降するときは、腕を伸ばして安定な状態を作り出すことができる。

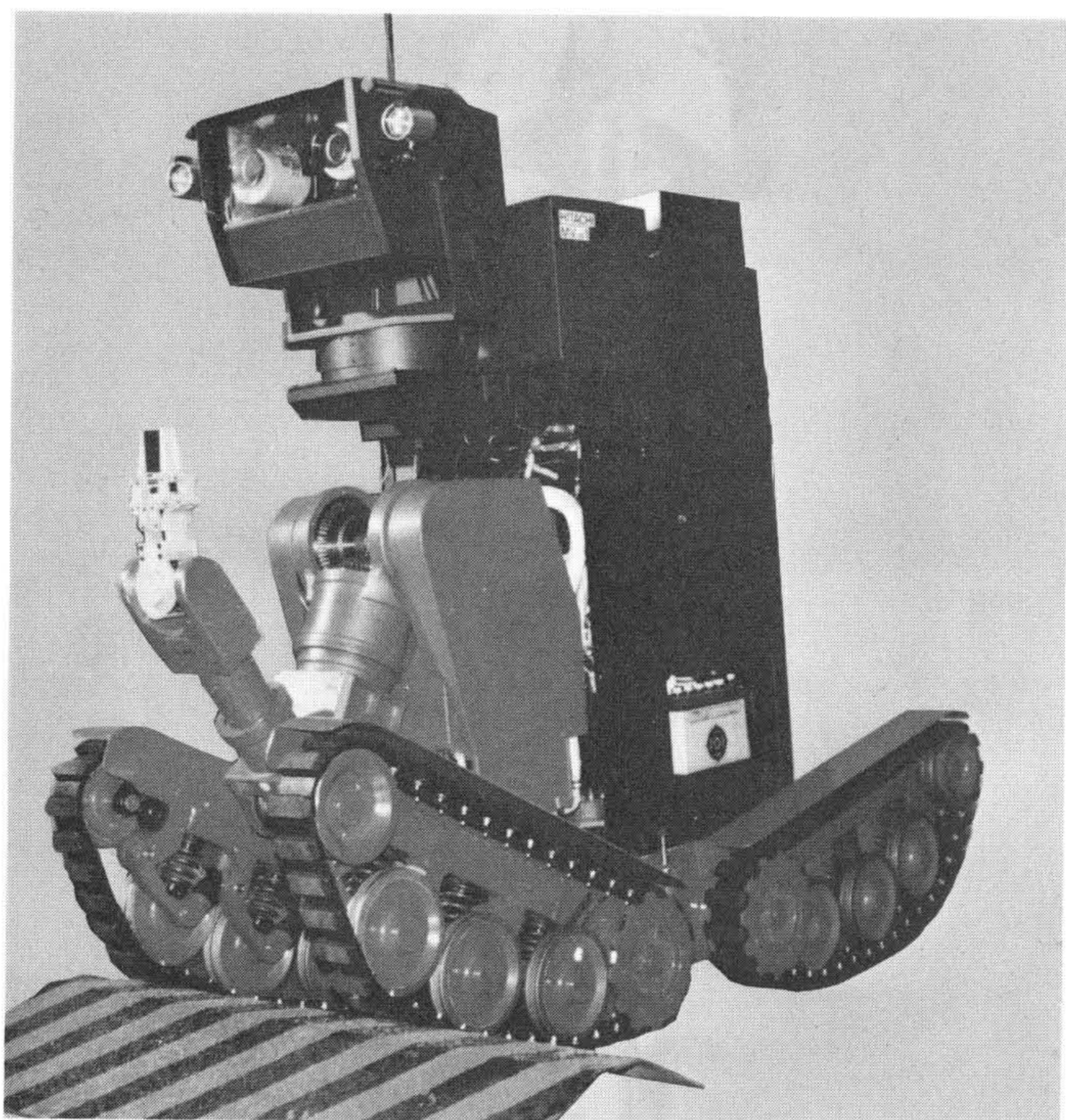


図6 遠隔点検保守作業用走行マニプレータ カ帰環バイラテラルサーボ制御マスタスレーブマニプレータ，カラー立体テレビジョン，その他をもち，小形弁開閉，放射性物質ハンドリングなどの作業を無線通信による遠隔操作で行なえる。

4.3 5足移動式マニプレータ⁴⁾

図8は5本の足をもつ走行機構にマスタスレーブ形マニプレータを搭載したものである。このロボットでは，

- (1) 5本の足の上下と姿勢制御により，斜面走行だけでなく階段の登り降りも可能である。
 - (2) カ帰環方式バイラテラルサーボ制御により，スレーブマニプレータの受ける荷重を，マスタマニプレータを操作するオペレータが感じ取ることができる。
 - (3) 制御のデジタル化により，オペレータの力を任意に増幅して，スレーブマニプレータに伝達できる。
- などの優れた機能を実現している。

5 結 言

以上，原子力用遠隔自動化技術について，自動燃料取替機その他の実用装置の最新技術，CRD分解洗浄装置その他新製品の開発状況，及び将来を志向した遠隔点検保守作業用走行マニプレータその他の技術開発動向を概説した。これらの研究開発に当たって，電力会社その他のユーザー各位の並々な御指導，御援助に対し心から感謝の意を表わすとともに，今後も極限作業ロボット，その他の開発プロジェクトに積極的に参加し，次世代ロボット技術の開発に向かって着実に前進することを誓うものである。

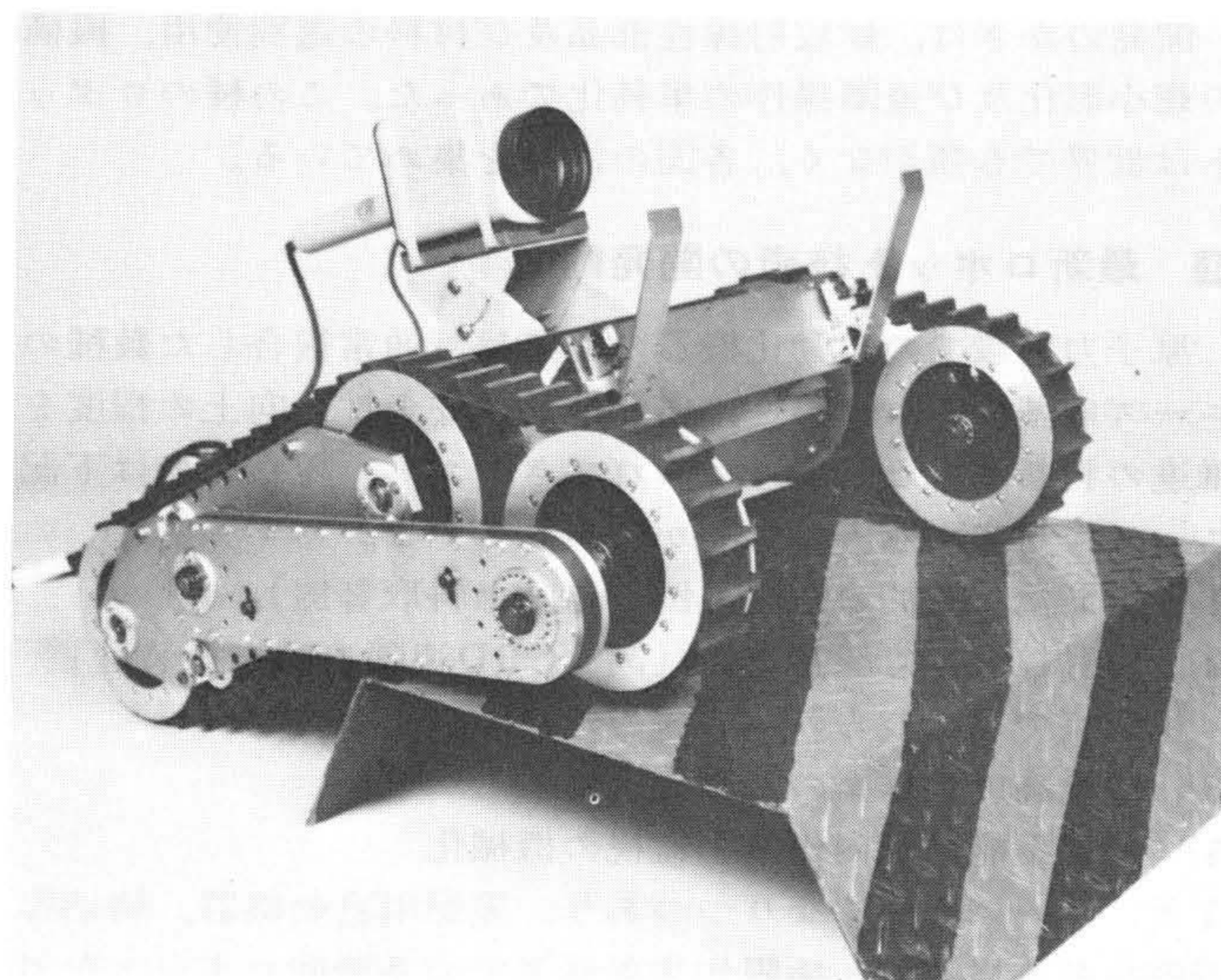


図7 形状可変クローラ移動車 踏破すべき障害物の状況に対応して，クローラの形状を変えることにより，障害物の乗越えや階段の昇降を容易に行なうことができる。

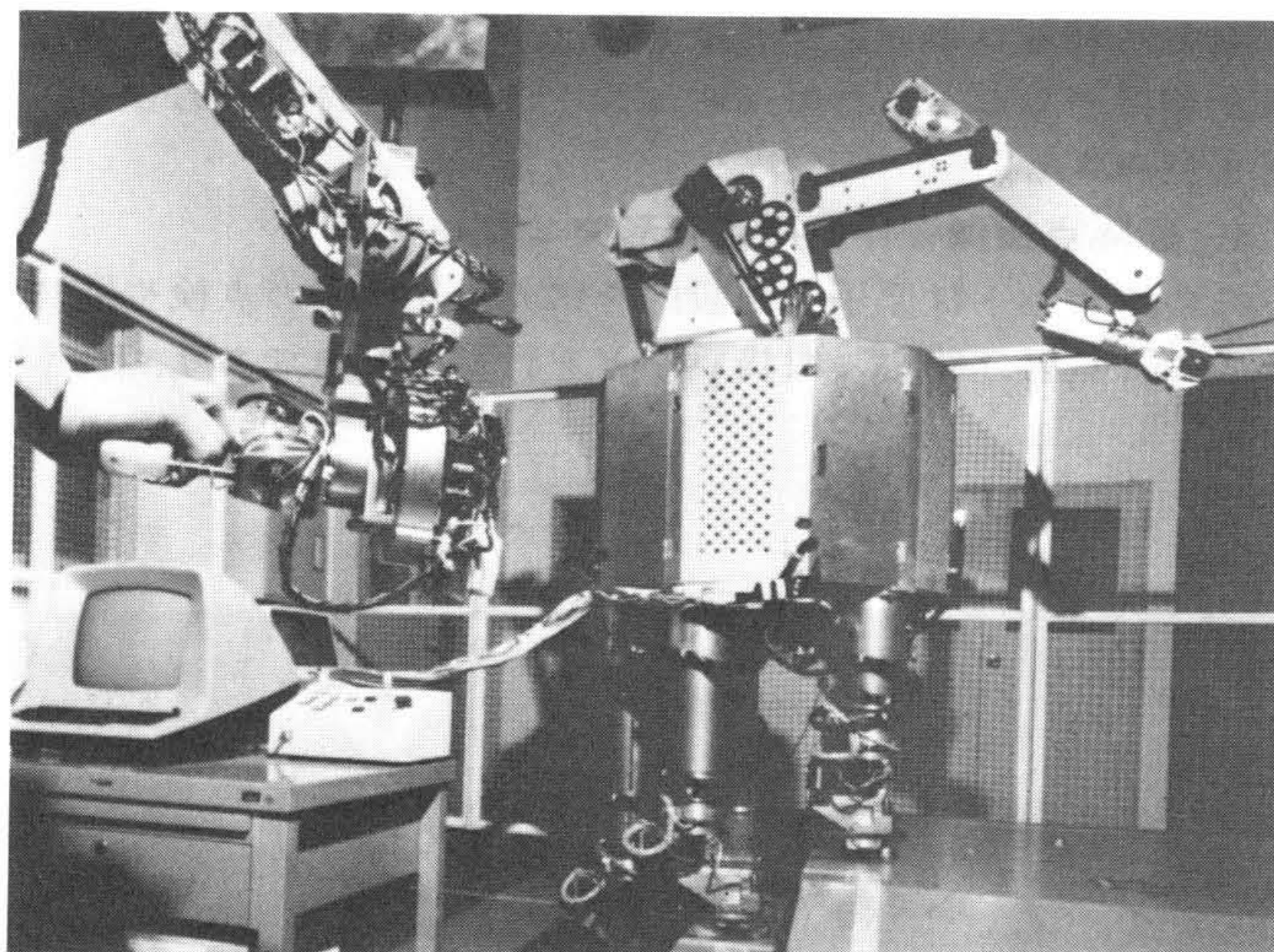


図8 5足移動式マニプレータ 5本の脚と車輪をもち，斜面，階段などを踏破し，マスタスレーブマニプレータにより軽作業を行なう。

参考文献

- 1) 佐々木：原子力とロボット，工業技術，24，5，24～32（昭58-5）
- 2) 大沢，外：実用発電用原子炉自動検査装置等実証試験，火力原子力発電，34，61～82（昭58-3）
- 3) T. Iwamoto, et al. : Transformable Crawler Mechanism with Adaptability to Terrain Variations, Proceedings : '83 International Conference on Advanced Robotics, 285～291 (Sep. 1983)
- 4) N. Ozaki, et al. : Tele-operated Mobile Robot for Remote Maintenance in Nuclear Facilities, Proceedings : '83 International Conference on Advanced Robotics, 67～74 (Sep. 1983)