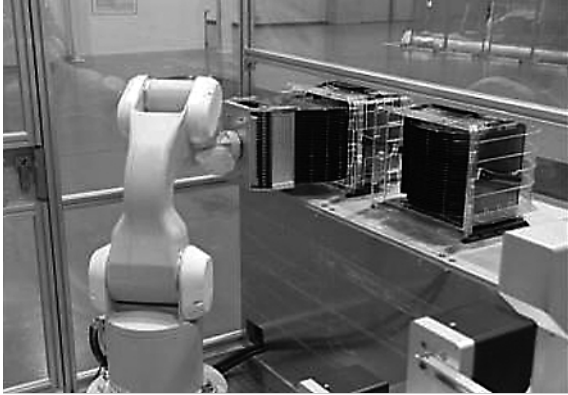


三菱クリーンルーム用ロボット —プラント検査からクリーン搬送まで—

MITSUBISHI CLEAN ROOM ROBOT
Clean Material Handling Originated from Plant
Equipment Inspection

樋口 優 川村 武也 貝 漕 高明
村田 直史 川口 正隆



半導体デバイス及び液晶ディスプレイ工場においては、生産原材料であるシリコンウェハ及びガラス基板の急速な大型化が進んでおり、それらを工場内で搬送するロボットの大型化・高機能化が一つの技術課題となっている。当社では従来、プラント検査用等の特殊作業ロボット及び一般研究・産業向けの可搬式汎用知能アーム（PA10）等を手がけてきたが、このような半導体／液晶メーカーのニーズに対応して新たにクリーンルーム用ロボットを開発、市場へ投入した。本論文では、当社ロボット技術の背景と新たに開発した半導体／液晶搬送用クリーンルーム用ロボットについて紹介する。

1. はじめに

情報化社会を牽引する半導体／液晶の生産現場においては、ウェハのサイズが従来の直径200 mmから300 mmへ、またガラス基板のサイズが従来の1 m角程度（第5世代）から数年中に2 m角以上（第7世代）へ移行するなど急速な大型化が進行している。

これに伴い、半導体／液晶工場内でウェハ／ガラス基板をクリーン搬送するロボットの大型化が不可欠となっており、発電／宇宙機器用等の大型クリーン設備を備えた当社に対しても具体的な引合いが寄せられている。

当社では主力製品である発電プラント機器の現地補修点検を行う必要から、各種特殊作業ロボットの開発を約20年前から手がけてきており（表1）、特殊環境下でのロボット技術について豊富な実績を有している。

また、これら特殊ロボットで培った冗長軸制御技術、軽量化技術をいかした7軸多関節マニピュレータ“可搬式汎用知能アームPA10”を1992年から一般市場に投入した。このロボットは10 kg可搬で自重40 kg未満という軽量さ、業界初の冗長7軸、そしてパソコンで手軽に制御可能という特長が

受入れられ、国内外に累計約310台（2003年4月現在）を販売した。また、従来は特注対応で製作していた特殊作業ロボットについてもPA10の小改造で対応することにより、作業準備期間、コストの大幅低減という効果を得た。図1は水中の発電プラント容器材料を検査する装置に深傷アームとしてPA10ロボットを採用した例。図2は船舶構造内のクレーン型自動塗装装置の先端にPA10ロボットを採用した例である。

2. 半導体ウェハ搬送ロボットの開発

半導体工場においては、規模にもよるが数十～数百台のウェハプロセス装置が設置されており、一般に各プロセス装置間のウェハ搬送はウェハ25枚をカセットに収納した形態、各プロセス装置内のウェハ搬送は装置内に組み込まれたロボットがカセットからウェハを1～複数枚取り出しプロセス部に送り込むという形態となっている。

表1 当社のロボット製品

年代	主なロボット製品
1980～	発電プラント点検補修ロボット 産業用塗装ロボット 海底ケーブル点検補修ロボット 極限作業ロボット（多本指マニピュレータ）
1990～	タンク壁面検査ロボット 大型望遠鏡レンズ交換ロボット 可搬式汎用知能アームPA10
2000～	防災支援ロボット（クローラ走行双腕ロボット）

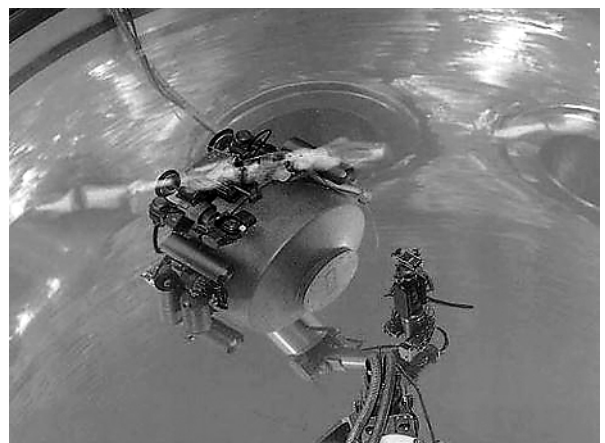


図1 水中プラント検査ロボット

半導体ウェハ上に形成される回路パターン幅は今や0.1 μmを下回っており、ウェハ搬送ロボットに対しては、ロボット動作に伴う粒径0.1 μm以上の発塵がほぼゼロであることが要求される。

また、ウェハ搬送ロボットは従来スカラ型と呼ばれる構造のものがほとんどである。スカラ型ロボットは搬送方向を水平面に限定することで速度・精度に優れるという特長を有するが、ウェハサイズの300 mm化・装置の大型化に伴いスカラ型ロボット設置に不可欠な水平出し作業を省略したい、スカラ型では不可能な搬送中のウェハ姿勢転換を行いたい等の新たなニーズが生まれていることから、自由度の多さ、設置の容易さに特長のある多関節ロボットとの使い分けも図られつつある(表2)。

当社ではこうしたニーズにこたえるため、従来販売してきた可搬式汎用知能アームPA10をベースにクリーン仕様対応版PA10-6C/7C ロボットを2002年夏より市場投入した。PA10-6C/7Cロボットの外観を図3に、仕様を表3に示す。

PA10ロボットは元々、水中プラント検査等にも対応できるように、全関節軸に省スペース・交換容易を特長とするOリングシール機構を採用しており、外気からロボット機内への異物侵入を防ぐほか、ロボット動作に伴う機内発塵を外部に放出しないという特長を有していた。

今回新たに市場投入したPA10-6C/7Cでは、関節軸受保持構造の見直し、グリース材質の見直しなどにより機内発塵の放出を更に低減する対策を実施しており、当社クリーンルーム内の計測では、ロボット関節軸からの発塵がクラス1 (Fed. Std.209準拠 粒径0.1 μm) 以内を満足していることを確認している。

他社ロボットでは関節シール機構を省略してロボット機内を負圧吸引することによりクリーン度を維持するものもあるが、PA10-6C/7Cロボットではこうした付加設備が不要であるので運転コストの低減に寄与する。

また、ウェハ上の精密パターンを損傷することのないよう、ロボット搬送時の加速度、位置決め精度に対しても厳しい要求がある。こうした要求を満足するため、動特性解析モデルによる制御パラメータの最適調整を実施している(図4)。

このようにクリーン度に優れたPA10ロボットを活用した

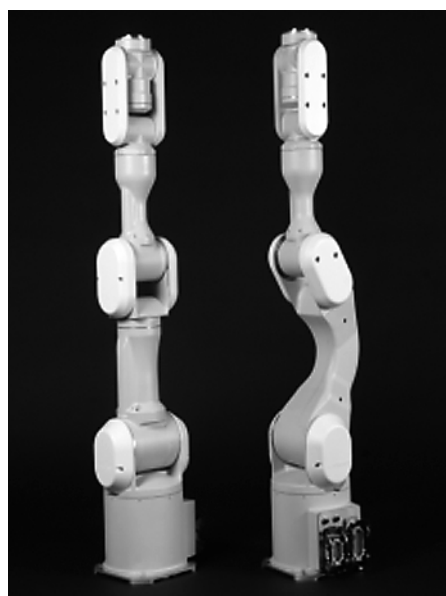


図3 PA10ロボット(クリーン仕様)外観
左: PA10-7C 右: PA10-6C

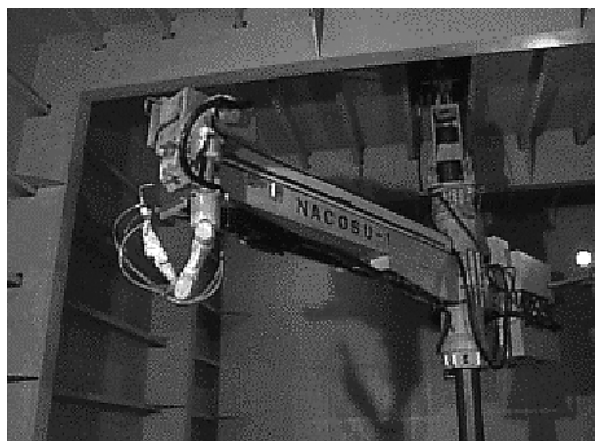


図2 船舶構造塗装ロボット(株)ナカタマックご提供)

表3 PA10ロボット(クリーン仕様)仕様

型 式	PA10 - 6C	PA10 - 7C
関節軸数	6	7
最長関節間距離 (mm)	930	
自 重 (kg)	38	40
可搬重量 (kg)	10	
動作速度 (/s)	根元28.5 肘57 手首180	
位置繰返精度 (mm)	±0.1	
クリーン度	クラス1 (機内吸引不要)	
保護構造	防塵・防滴 (IP54)	
ユーザ配管・配線	アーム先端まで内臓可能	

表2 スカラ型ロボットと多関節型ロボットの比較

	スカラ型ロボット	多関節型ロボット
自由度	ウェハ姿勢を変えずに搬送	搬送中のウェハ姿勢転換が可能 (5自由度以上ロボット)
可搬重量	ウェハ5枚程度が限度 (先端垂れ許容量が小)	ウェハ25 - 50枚搬送可能 (先端垂れの補償が可能)
速度・精度	一般に高速・高精度	速度・精度はやや劣る
設置の容易性	設置面の水平出し必要	水平出し不要

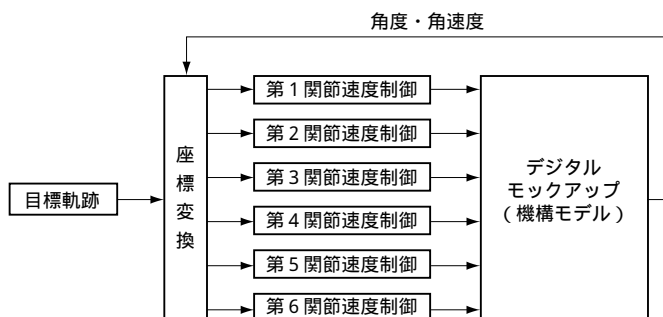


図4 PA10ロボット動特性解析モデル例

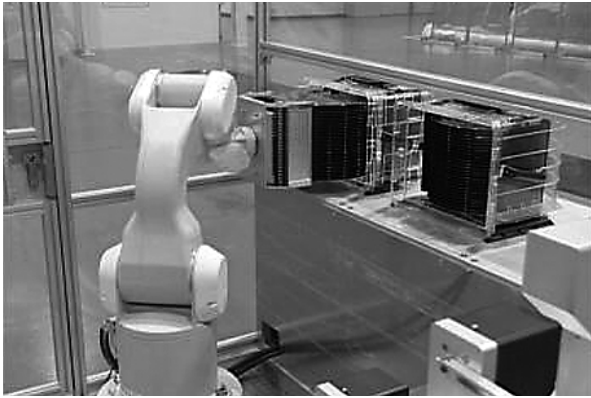


図5 PA10ロボット利用によるウェハ25枚搬送の例



図6 PA10ロボットによるレチクル搬送 (株)アルバック成膜ご提供)

半導体分野の応用例としては次のようなものがある。

- ウェハ25枚一括搬送 (図5)
- ウェハカセット搬送
- 露光用レチクル搬送 (図6)

現在は、これら用途に対応した最適な搬送速度・精度を実現するロボットシステムの開発に取り組んでいる。

3. 液晶ガラス搬送ロボットの開発

ウェハサイズの直径200 mmから300 mmへの大型化が結果的に10年近くをかけて行われてきたのに対し、液晶ガラス基板サイズはここ数年で1 m角クラス (第5世代) から2 m角クラス (第7世代) へ急速に大型化することが現実視されている。これは液晶ディスプレイの爆発的な普及と大型化によるものであるが、ガラス基板を収納するチャンバや搬送ロボットが単品で3 mを超える大きさになることから従来の製造・輸送方法等の大幅な見直しが不可欠となっている。

当社では、大型チャンバの低コスト製作に道を開く超厚肉電子ビーム溶接技術とともに、これまでに培ったロボット技術をいかした大型液晶ガラス基板搬送ロボットの開発に取り組んでいる。

液晶ディスプレイ工場におけるガラス基板の搬送も、半導体ウェハと同様プロセス装置間ではカセット搬送、プロセス装置内は組込みロボットによる枚葉搬送となっている。代表的な液晶ガラス真空プロセス装置における搬送ロボットの構成を図7に示す。

液晶ガラス搬送系は、ガラス基板を複数枚収納したカセッ

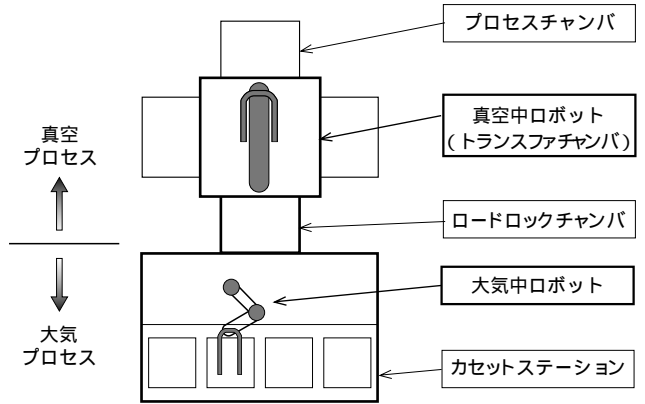


図7 液晶ガラス搬送システムの構成



図8 液晶ガラス基板ロボット (大気中搬送用)

表4 液晶ガラス基板搬送ロボットの仕様
大気中搬送ロボットの仕様

ガラスサイズ	2.0×2.0m以上
構成	垂直軸+水平移動ハンド(2本)
動作範囲	垂直1800mm 水平2500mm 以上
クリーンクラス	クラス100相当

真空中搬送ロボットの仕様

ガラスサイズ	2.0×2.0m以上
構成	垂直軸+水平移動ハンド(2本)
動作範囲	垂直200mm 水平2500mm 以上
クリーンクラス	クラス100相当

トから基板を一枚ずつ取り出し、真空前室 (ロードロック) チャンバに送り込む大気ロボットと真空前室から真空本室 (プロセスチャンバ) に基板を送り込む真空ロボットより構成されており、一般的に大気ロボットはカセット高さに対応するため垂直ストロークが大きい、真空ロボットは基板の吸着が行えないため加減速ショックを極限まで低減させた水平搬送運動制御が必要という特長がある。

当社で開発中の液晶ガラス基板搬送ロボットの外観と仕様を図8, 表4に示す。

大型ガラス基板搬送ロボットの技術課題としては次のような項目が挙げられる。

大負荷・高速・長寿命の要求に耐える垂直駆動軸の製作。

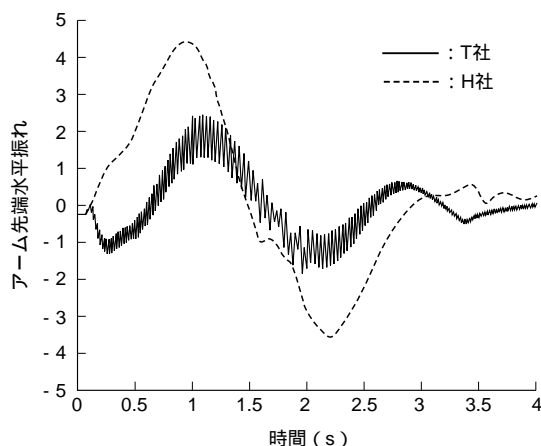
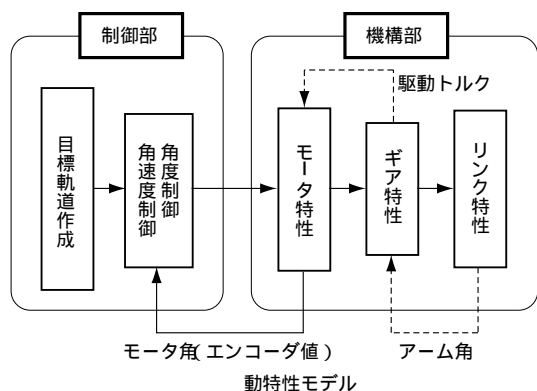


図9 大気中ロボットの水平搬送動特性シミュレーション

2 m角のガラス基板を1/10 mm精度で位置決めすることのできる水平駆動軸の製作。

ガラスパネルとカセット・チャンバの取合い寸法を満たし、かつ軽量のフォークハンドの製作。

ロボット動作軸からの発塵を最小限に抑えるクリーン度技術。

これらの技術課題の中でも、高精度位置決めが可能な水平駆動軸の開発は特に重要であるため、当社ではウェハ搬送ロボットの開発でも適用した駆動軸機構の動特性評価を事前実施し、最適な部品選定等に役立てている。図9は、大気中ロボットの3軸型水平駆動機構について、2機種の減速機についての搬送軌跡精度の事前評価を行った例である。この例ではバックラッシの大小、剛性の大小で両者一長一短であったが、シミュレーションの結果ブラノセントリック方式の減速機の方が良好な軌跡精度が得られることが分かった。

また、ロボットの製作に先立って図10のような三次元モデルにより機器間相互の干渉チェック等を行い、製作試験時の手戻りを最小限としている。

真空中基板搬送ロボットについては、米国Brooks-PRI Automation社と技術提携を締結し、独自の機構・制御による第7世代対応ロボットを開発中である。

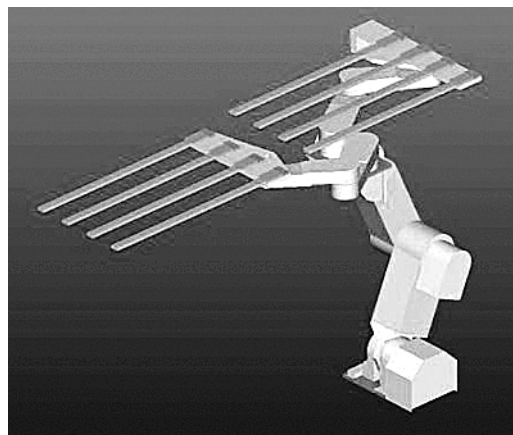


図10 大気中搬送ロボットの三次元評価モデル

4.まとめ

当社ロボット技術の歴史を簡単に振り返りながら、昨年新たに市場投入したクリーン仕様可搬式汎用知能ロボットPA10-6C/7C、及びPA10ロボットを活用して開発中の半導体ウェハ搬送ロボットと液晶ガラス基板搬送ロボットの仕様及び技術的特長について紹介した。

半導体/液晶の搬送分野は、技術面・コスト面ともに競争と変化が激しいが、当社が保有する多様な技術、設備が顧客に少しでもお役に立つことができるよう全力を尽くしていく所存である。

参考文献

- (1) 可搬式汎用知能アームの実用化 日本ロボット学会誌 Vol.18 No.1 (2000) p.55-56
- (2) 次世代ガラス基板搬送用ロボット 日本ロボット工業会 ロボット151号 (2003) p.42
- (3) 可搬式汎用知能アームPA10当社ホームページ <http://www.robot-arm.com>



樋口優
神戸造船所
新製品・宇宙部ロボットG



川村武也
神戸造船所
新製品・宇宙部ロボットG



貝漕高明
技術本部
高砂研究所
機器・自動化装置研究室



村田直史
技術本部
高砂研究所
制御システム研究室



川口正隆
技術本部
高砂研究所
振動・騒音研究室主席