

高速動作と使いやすさを両立した先進半導体搬送用ロボット「NTシリーズ, NVシリーズ」

NT & NV Series Advanced Semiconductor-Transferring Robot Balanced between High Speed and Ease of Use



後藤 博彦① Hirohiko Goto
 吉田 雅也② Masaya Yoshida
 井上 政吉③ Masayoshi Inoue
 在田 智一④ Tomokazu Arita
 芝田 武士⑤ Takeshi Shibata

1995年に開発を始めた半導体搬送用ロボットは、その後、高速搬送や高位置決め精度、教示の自動化など、多くの顧客の要望を実現し、現在、業界シェアトップを獲得している。さらに、ロボット単体のみならず、それらをハイレベルで集約したソリューションの提供を行うに至っており、今後さらに事業の拡大が期待される。本稿ではNTシリーズ、NVシリーズを中心に、周辺機能を含めたカワサキクリーンロボットのシステムモデルを紹介する。

The semiconductor-transferring robots for which our development activity was started in 1995 have since served a number of customer needs such as high-speed transfer, high positioning accuracy and automated learning functions, thus, acquiring the top share in the industry at present. Moreover our efforts in the robot field have come to offer not only standalone robots as products but also solutions that integrate our findings from such efforts at a higher level, promising further expansion of our robot business. This paper introduces system models of Kawasaki's clean robots and peripheral features, with a special focus on the NT and NV Series.

まえがき

近年、半導体製造装置のさらなる処理能力向上が求められており、単位時間当たりの搬送枚数の増加が必須となってきた。これに並行して、

- ① ロボットの位置教示の自動化によるメンテナンス向上
- ② 実機の運転前に行う動作シミュレーションの簡便化
- ③ メンテナンスなどによって発生するダウンタイム（ロボットの停止時間）の短縮

などが、求められている。

当社は、1995年に半導体製造装置用ロボットを開発して以来、顧客の半導体製造装置に対し最適化したクリーンロボットソリューションを提供してきた。現在、これらの集大成として、NTシリーズを開発、市場に投入し好評を得ている。このNTシリーズは、高速高精度と使いやすさの両立を実現、また真空用ロボットNVシリーズと組み合わせることで、大気から真空までの搬送をトータルに行うことができる。

1 NTシリーズ

(1) 広い動作範囲とコンパクトな設計

NTシリーズは、半導体の基板となるシリコンウエハを密封して運ぶ容器FOUP (Front Opening Unified Pod) と、

各半導体製造装置工程間での受け渡しを行うEFEM (Equipment Front End Module) と呼ばれるシリコンウエハ出し入れ機構で使用されるロボットで、クリーン度は国際標準化機構 (ISO) の定めた清浄度クラス1を実現している。さらに、従来ではFOUPを4個並べたシステムであれば走行装置が必要とされていたが、アーム旋回中心をEFEM内でオフセットさせた位置にすることで、アームを長くすることが可能となり、上リンクと下リンクの2本のアームで広い動作範囲を実現した (表1)。これにより、従来、走行装置のために必要であった空間を、コントローラ設置などに使用することで、装置空間を有効利用できる (図1)。

また、アームを畳んだ状態での大きさを抑えることで、万一のトラブルによる交換を装置の正面からでも可能とし

表1 NTシリーズ標準仕様
 Table 1 NT series standard specifications

型 式		NT420	NT520	NT620
基本構造		水平多関節型		
動作範囲	θ1軸 (回転) (°)	340	340	340
	Z軸 (上下) (mm)	400	470	600
	θ2軸 (回転) (°)	340	340	340
	H1軸 (回転) (°)	340	380	380
	H2軸 (回転) (°)	340	380	380
位置繰返し精度 (mm)		±0.1	±0.1	±0.1
最大リーチ (mm)		1,280	1,280	1,250.7

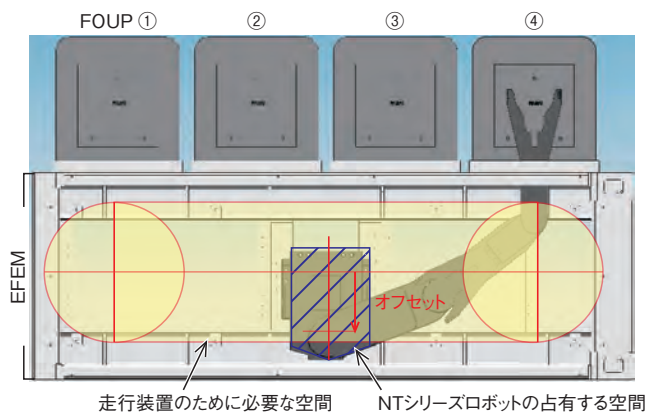


図1 走行装置付きロボットの占有域との比較
Fig. 1 Comparison with robot footprint with traveling device

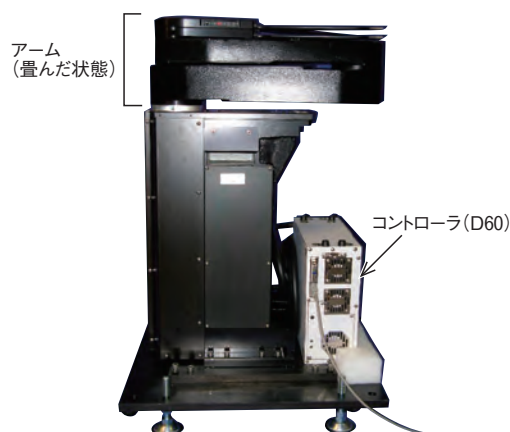


図2 アームを畳んだ状態とコントローラの設置状況
Fig. 2 Robot with arm folded and controller

ている。さらに、コントローラも小型化したので、走行装置に必要であった空間に容易に置くことができる(図2)。

(2) 高速・高精度動作

NTシリーズは、一本当たりのアームの長さを延長することでアーム間の相対角速度を上げることなくウエハ搬送速度を向上させている。これにより、見た目には緩やかで安定した動作であるが、実際には高速ウエハ搬送が可能である。例えば走行装置付きのロボットで、FOUP①からFOUP④まで(1,515mm)移動した際の動作時間が1.2秒だったものが、NTシリーズでは0.9秒へ短縮されている。この高速動作を可能としているのは、当社独自のギアトレイン(ギア列構造)によるアーム駆動である。これまで、NSシリーズやNXシリーズにおいて、ACサーボモータからアームまでギアによる伝達を行ってきた。

NTシリーズでは、各関節部分にギアボックスを配置することでACサーボモータとギアのみ構成としている。これにより、さらに剛性を高めるとともに、伝達機構がシンプルな構成となったことから、伝達によって発生する誤差が低減された。このことは位置決め精度の向上にも寄与し、精度 $\pm 0.1\text{mm}$ 以下を実現した。

また、NTシリーズでは新規設計のギアボックスを採用

している。ギアボックスは、バックラッシュレスであることに加えて長寿命と高剛性も要求される。当社のこれまでの経験に基づいた最新要素技術による耐摩耗設計およびギアの高精度化により、減速比を維持しつつ小型化とギアの段数低減を両立させた。このギアボックスは、バックラッシュレスでありながら非常に滑らかで機械的損失が少なく、ダイレクトドライブに近い特性を持つ。しかし、ダイレクトドライブでは必要な高性能位置検出器や大電流のアンプが不要となるため、レイアウトに関しての自由度があり小型化を可能としている。また、このことは自動教示機能の精度向上にも寄与している。

(3) レイアウトの自由度

NTシリーズは、EFEM内での使用を目的に設計されている。EFEMには、FOUP設置数が2個から4個の場合があり、それぞれに対して共通のプログラムが使用できる。

図3で示すように、FOUPの数が異なる場合でも、ロボットの設置場所を4FOUPを基準にすることにより、各FOUPへのアクセスに対して、同一の動作プログラムを使用して、FOUP番号を指定するだけで対応できる。例えば3FOUP装置であればFOUP①、②、③、また2FOUP装置であればFOUP②、③とすることで対応できる。

(4) シンプルな構成と容易なメンテナンス

2本のアームのうち、下部のアーム部にアーム駆動用のギア減速機構およびモータ2軸分を内蔵している。また上部アーム部には最大2軸までの手首駆動用のギア減速機構およびモータを内蔵している。このように各関節部に駆動系を配置したシンプルな構成となっている(図4)。

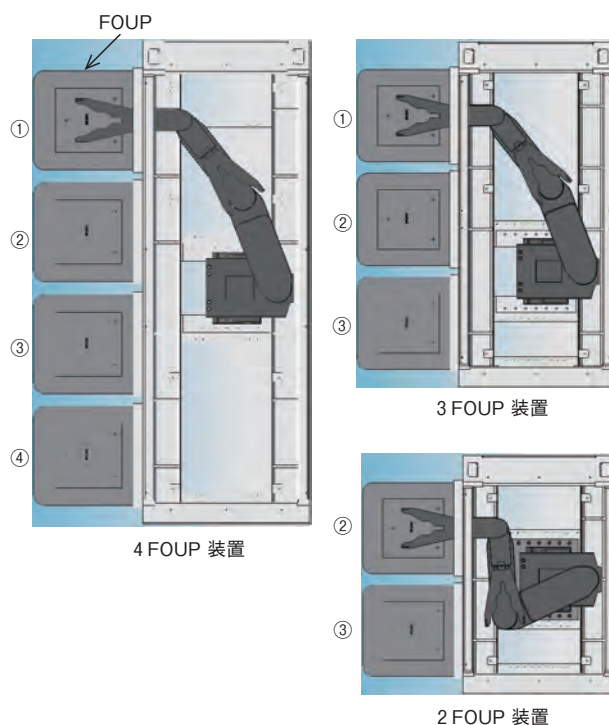


図3 FOUP数2-3-4によるレイアウト
Fig. 3 Layouts of 2/3/4-FOUP devices

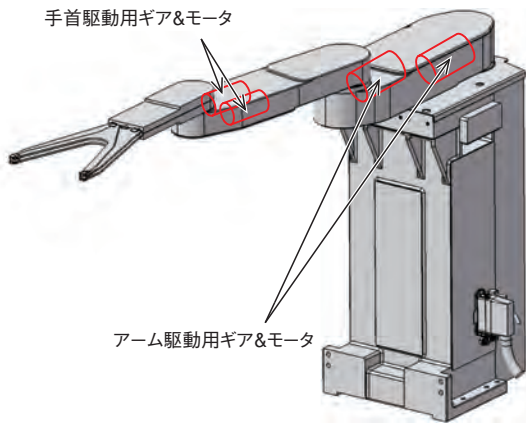


図4 ギアとモータの配置
Fig. 4 Location of gears and motors

表2 コントローラ仕様
Table 2 Controller specifications

制御型式	D60コントローラ	D61コントローラ
寸法 (mm)	W320×H300×D130	W445×H429×D130
質量 (kg)	12.5	18.5
制御軸数	最大7軸 (ロボット2台計6軸, アライナ1軸)	最大12軸 (ロボット2台計11軸, アライナ1軸)
駆動方式	フルデジタルサーボ	
教示方式	AS言語プログラム	
冷却方式	外気導入・強制空冷	
外部専用信号	外部非常停止, 外部停止, Safty fence	外部非常停止, 外部停止, Safty fence 各2系統
通信I/F	RS-232C×1 イーサネット×1	RS-232C×2 イーサネット×1
汎用入出力信号	最大入力信号16, 出力信号8	最大入力信号32, 出力信号16
所要電源	仕様: AC208V±10%, 50/60Hz, 単相 電圧降下: SEMI-F47準拠 接地: D種接地 (専用接地, 100Ω以下)	
外装	SUS304	

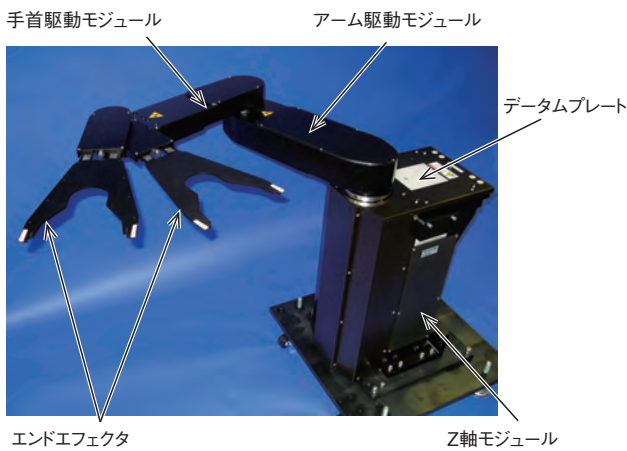


図5 モジュール構造とした駆動系
Fig. 5 Drive system of modular configuration

アーム内ギアへの給脂はアーム関節部のカバーを外すことで容易にアクセス可能であり、定期メンテナンス時のダウンタイムの短縮化が図れる。また、アーム駆動部や手首駆動部をモジュール化しており(図5)メンテナンス箇所を分かりやすくしている。

(5) 高剛性ボディ

モジュール構造とした駆動系を図5に示す。アームおよびZ軸モジュールは高い剛性を持つ構造で、アームの動作中の沈み込みとハンドの上下ハンド位置調整誤差を含めたアクセスポートでの移動中(1~4個のFOUPに対するウエハ取り置きの前方向250mm動作)に、Z方向(高さ方向)のエラーが基準値以内に収まるように出荷管理を行っている。

また、ロボットを設置する際に、デタムプレート上(図5)で水平度を出すことで、各アクセスポート位置に配置したエンドエフェクタ上で水平度が再現できるように出荷管理を行っている。これにより、従来アクセスポートでのレベル調整にとられていた時間を大幅に削減し、ロボットインストール作業の時間を短縮した。

(6) コントローラ

ロボットを駆動するコントローラとして「D60コントローラ」と「D61コントローラ」がある。D60コントローラはコンパクトな設計となっており、D61コントローラは制御軸数を増やすことで軸数の多いロボットを2台駆動することができる。コントローラの仕様を表2に示す。

2 NVシリーズ

(1) コンパクトなボディと安定した動作

半導体製造のための真空用ロボットとして開発されたNVシリーズは、当社NSシリーズをベースとした駆動ユニットを持ち、胴体径を抑えるとともに胴体長を短くしたコンパクトな設計になっている(図6, 表3)。

大気側には、アルミ鋳造部品を使用し、剛性を確保しつつ小型軽量化を行っている。各構成部品も、従来から使用してきた駆動系であることから、信頼性も高く、長期にわたり安定した動作が維持できる。

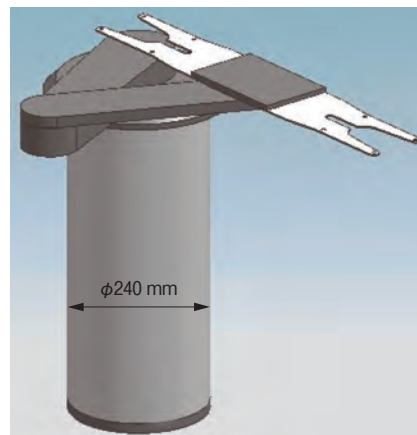


図6 [NV111] 外形
Fig. 6 External view of NV111

表3 「NV111」標準仕様
Table 3 NV111 specifications

型 式		NV111
動作自由度		3
基本構造		水平多関節型
動作範囲	θ軸 (回転: JT 2) (°)	-180~+180
	Z軸 (上下: JT 3) (mm)	0~+30
	X軸 (前後: JT 4) (mm)	-686~+686
位置繰返し精度 (mm)		±0.1
真 空 度 (Pa)		1.33×10 ⁻⁴

(2) 「NS410」と共通のACサーボモータとギアを採用

駆動機構は、大気用ロボット「NS410」で実績のあるACサーボモータとギアを採用し、信頼性のある駆動機構とした。これにより万一の故障に対して準備する部品を共通化できた。さらに大気用ロボットと共通の駆動系であることから、D61コントローラを使用することで、NTシリーズとNVシリーズ、およびプリアライナの合計3台を1台のコントローラで駆動することができ、さらに省スペースと空間の有効利用を可能とした。

ACサーボモータとギアが共通であることから、これまで大気用ロボットで開発してきた、さまざまなソフトウェアや衝突検知などをはじめとした機能の多くが、汎用的に使用できる。D61コントローラを使用した例を図7に示す。

(3) 真空シールと真空内駆動伝達機構

大気用ロボットと共通の駆動系を採用していることから、大気側から真空側への駆動伝達が必要となる。NVシリーズでは回転駆動力の真空側への伝達部分に磁性流体シールを、上下のZ軸にはベローズを採用している。これらにより安定したシールを維持し、使用可能真空環境として真空度1.33×10⁻⁴ Paを可能にしている。

アームをはじめとした真空内で使用する部品は材料をアルミニウムもしくはステンレス鋼を主体として構成し、部品表面からの放出ガスの低減を図っている。アーム内駆動はタイミングベルトあるいはステンレス鋼ベルトを採用している。ベルトの材質は半導体製造装置のプロセスによって異なり、搬送系に求められる放出ガス性能によって選定している。

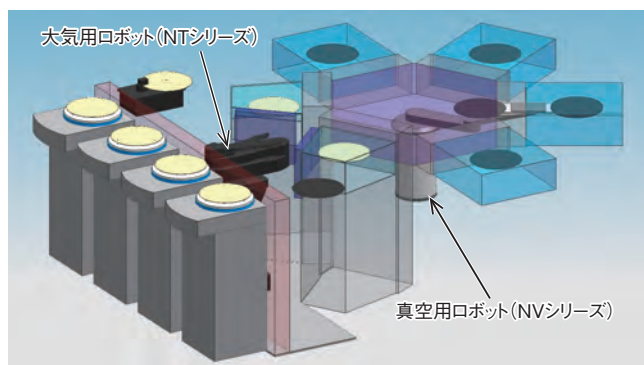


図7 大気用ロボットと真空用ロボットの組み合わせ
Fig. 7 Combination of atmospheric robot and vacuum robot

(4) ウエハ有無検知

「NV111」はハンド先端にウエハ検知用ファイバーセンサを取り付けることが可能であり、センサアンプは大気ロボットと共通のものを使用している。ファイバーセンサの被覆をテフロン系の材料とすることなどで放出ガスの低減を図っている。大気用ロボットとACサーボモータやセンサアンプを共通にすることで、大気用ロボットと同様にウエハのスニッフィング（各ステージでのウエハ有無検知）が、可能になった。今後、このセンサを利用した自動教示についても検討を進めていく。

3 接触式（タッチセンシング式）自動教示機能

(1) 概 要

ますます複雑化する半導体製造装置内の限られたスペースの中で、短時間に精度良くロボットの位置教示を行うには作業者の高度なスキルが要求される。これに対し、当社は作業者のスキルに依存せず容易に教示を行える接触式自動教示機能を開発した。

接触式自動教示機能には次のような特長があり、顧客からも注目されている。

- ① 狭いスペースでも短時間で教示が可能。
- ② 作業者のスキルに依存しないため教示精度のばらつきが小さい。
- ③ 高価なセンサや専用センサ治具が不要。
- ④ 環境（水滴、腐食性ガス、高温など）に依存しないでセンシング可能。

(2) 位置検出方法

教示作業では、ウエハの取り／置き動作を行う位置のX、Y、Z座標を登録する必要がある。タッチセンシングを用いた基本的な位置検出動作を図8に示す。タッチセンシングでは、ロボットが通常動作する時に必要な位置検出器（エンコーダ）を接触位置判定に使用しているため、新たに外部センサを追加する必要がない。当社独自の高剛性ギアトレイン構造を採用しているNTロボットは、負荷側から駆動しても、モータ／エンコーダ側でのヒステリシス、パツ

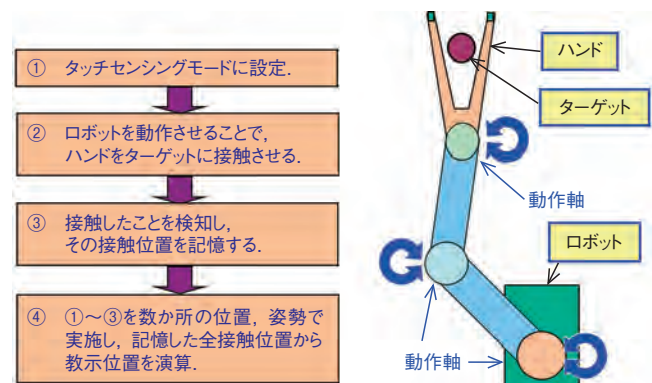


図8 タッチセンシングの基本動作
Fig. 8 Motion of touch sensing

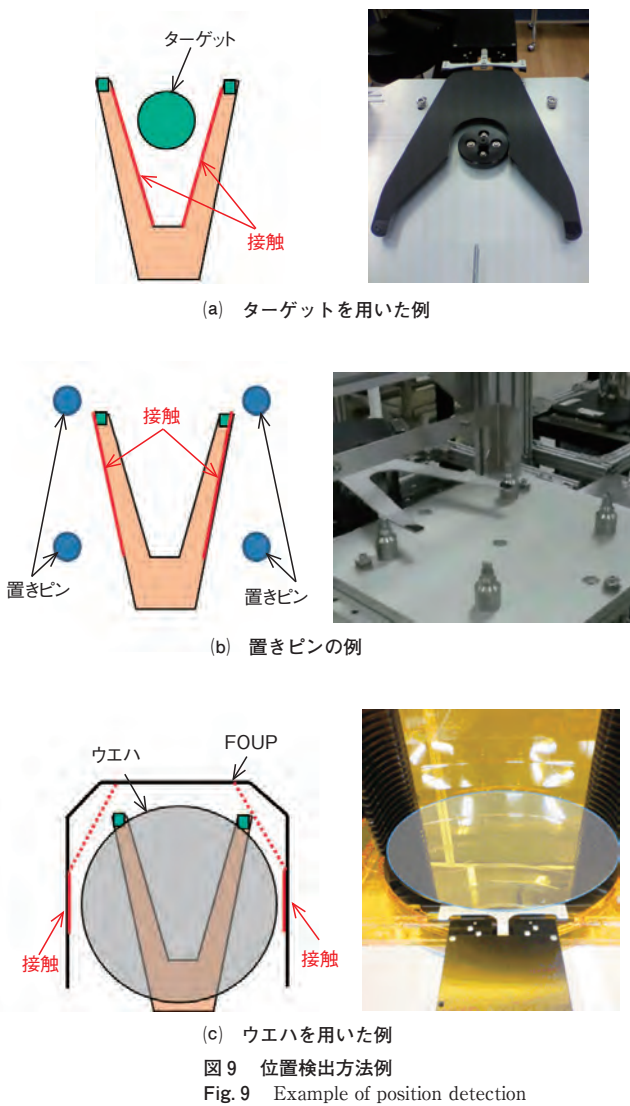


図9 位置検出方法例
Fig.9 Example of position detection

クラッシュがほとんど無く動作させることができる。そのため、ベルト駆動や差動減速機駆動とは異なり、負荷側からのタッチによる微小のズレでもモータ軸での検知が可能で、さらに、最大力が1～2Nという微小力でタッチするため、ターゲットにダメージを与えることがない。

(3) 位置検出方法例

ターゲット（教示用としてウエハの替わりに設置する治具）を用いた場合の例を図9(a)に示す。教示位置は、センシングにより検出した複数位置、ターゲットの寸法と取り付け位置、ハンド寸法から演算により求める。ターゲットは装置側にあらかじめ据え付けておくか、教示作業を行う時に取り付けることにより運用することも可能である。

図9(a)ではハンドの内側とターゲットを接触させて位置検出を行うが、接触させる“箇所”や“もの”があらかじめ決まっているわけではない。図9(b)は、ハンドの外側と、ウエハを置くための置きピンを接触させて位置検出を行う場合の例である。また、図9(c)はFOUFの例で、ハンド上に把持したウエハを側壁に接触させて位置検出を行っている。

半導体搬送用ロボットは、顧客や装置によってハンドの形状やウエハ把持方法（エッジグリップ、吸着など）が異なり、さらに、ウエハを取り／置きするポジションの構造も異なる。接触式自動教示機能を用いれば、教示ポジション近くで、位置、形状、寸法などのあらかじめ定まったポイントがあれば、それを利用して教示を行うことが可能となる。接触させる箇所（場所、個数）や方向に違いはあるが、ソフトウェアの変更のみでほとんど対応できるため、既存の装置に対して追加機能として対応する場合でも導入が容易となる。

(4) 応用技術

NTシリーズは、動作伝達系の剛性が高く、タッチセンシング時には、検出軸の位置変化をモータやエンコーダに最少のロスで伝達できるため、高精度なセンシングを行うことが可能である。また、このタッチセンシング技術を利用すれば、次のようにロボットの自己診断機能として応用することも可能である。装置内の特定のポイントを定期的にセンシングして位置を確認することで、その結果からロボット状態の変化を経時的に監視し、閾値を超えると装置側にワーニングとして知らせることで、その後に起こり得るトラブルを未然に防ぐことができる。

4 半導体搬送用ロボット専用シミュレータ

(1) 概要

受注活動からロボット納入時、装置稼働後まで幅広く活用できる半導体搬送用ロボットに特化した専用シミュレータの開発にも積極的に取り組んでいる。パソコン上で動作するシミュレータで、表4のような機能がある。シミュレータは、I/O画面やティーチペンダント画面、AS言語（ロボット言語）の入力を行う操作画面と、速度、位置などの波形表示を行うグラフ表示画面やロボットの3次元描画面から構成される。画面構成を図10に示す。

(2) 容易なロボット適用検討

専用ツールを使用することで、装置レイアウトの図面からロボットの動作可能範囲設定、アクセスする位置での対象パーツの描画などを容易に行える。また、動作パラメータ（ロボット姿勢、動作用各種オフセット値）や動作順序を設定することで、標準動作ソフトで読み込むデータを自動で生成し、干渉確認、動作軌跡の検討、動作シーケンスの確認やサイクルタイム計測などもできる（図11）。これ

表4 シミュレータの主な機能
Table 4 Main functions of simulator

・干渉チェック	・動作軌跡表示
・サイクルタイム検証	・TPシミュレーション
・I/Oシミュレーション	・外部通信接続
・動作波形表示	

TP : Teach Pendant

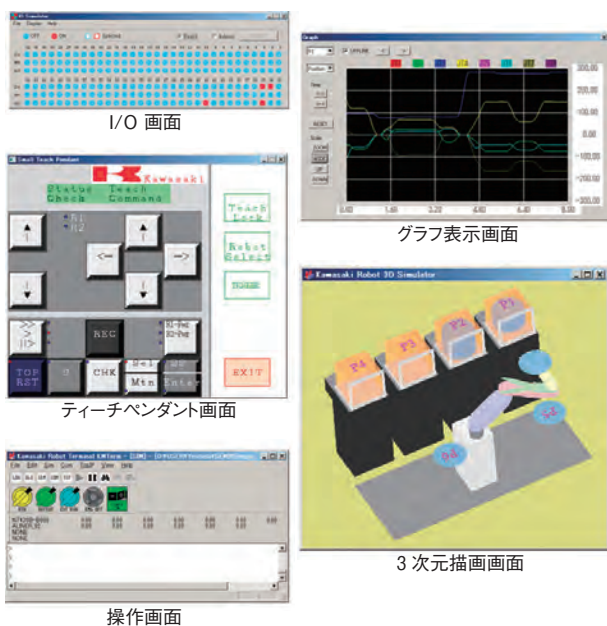


図10 シミュレータの画面構成
Fig.10 Screen of simulator

らの作業は、ソフトウェアの専門的な技術を必要とせず、短時間に対応できるため、新規顧客に対して、装置導入イメージをわかりやすく伝えるツールとしても幅広く活用することが可能である。

(3) 外部通信接続

パソコンのイーサネットポートやRS232Cポートを使用して外部装置と接続できる。そのため、顧客にロボットを納入する前の段階でも、装置と接続（図12）して通信

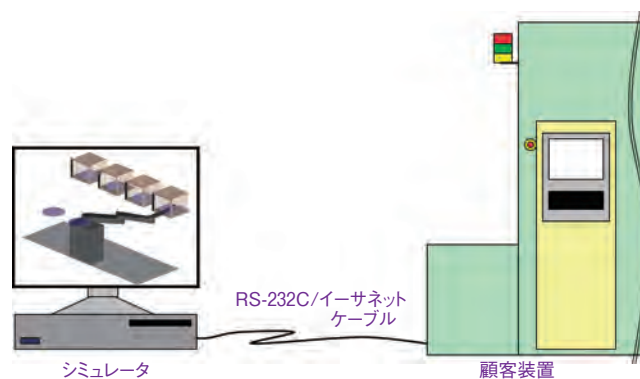


図12 装置との接続
Fig.12 Connection with equipment

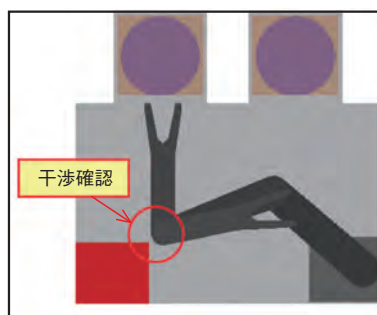
インターフェースの確認やロボット動作の確認を行うことが可能となる。従来は、ロボットを納入後、装置に組み付け、電気やエアの配線・配管を行うなどロボットが動作できる状態にするという段取りを経て、初めて装置側ソフトウェアとの連動確認を行っていた。これに対して、シミュレーションで使用するロボットソフトウェアは、そのままロボットコントローラにインストールして使用できるため、オフラインで連動確認することで、実機での評価期間が短縮できる。さらに、十分にデバッグを行った完成度の高いソフトウェアを使用することで、実機評価時における干渉事故などの発生リスクも低減できる。

(4) トラブル時の対応

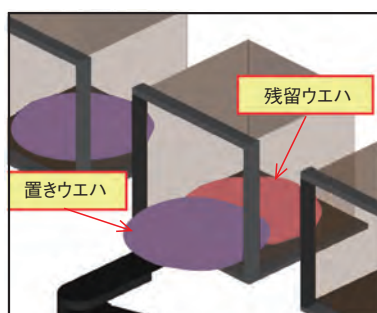
納入先でのトラブル発生時には、その時のセーブデータをシミュレータに読み込ませることにより、トラブルの再現確認を行えるため、迅速な原因究明、トラブル解決に役立つことができる。

あとがき

半導体搬送用ロボットは、今後も高速化が進み、さらにはシリコンウエハの大径化も進んでいく。現在の状況に甘んじることなく技術を磨き、今後も顧客の満足を得続けることができるよう努力していく所存である。



(a) 干渉確認



(b) 動作シーケンス確認

図11 シミュレータの機能
Fig.11 Simulator functions



後藤 博彦



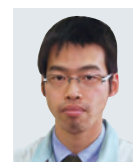
吉田 雅也



井上 政吉



在田 智一



芝田 武士