

## 解 説

## オフライン教示

Offline Teaching

松 島 幹 治\* \*川崎重工業(株)FA・ロボット事業部

Kanji Matsushima\* \*Kawasaki Heavy Industries, Ltd., Robot &amp; FA Division

## 1. は じ め に

1960年代に米国で産業用ロボットが誕生したとき、それ以前の自動機械とロボットを区別する大きな特徴の一つに「教示(ティーチング)」があった。現場に据付けたロボットにオペレータが実際に作業を教示してゆくという新しいプログラミング概念は、従来の自動機械が適用されなかった新しい分野にも産業用ロボットが導入される原動力の一つとなった。

ところが人間とはぜいたくなもので、年月がたつにつれ「現場でいちいちロボットに作業を教示するのは面倒だ」とこの歴史的な産業用ロボットの特徴の一つを否定するような方向でオフライン教示の進展が始まった。ここで使われるオフラインという言葉はコンピュータ用語としてのオンライン/オフラインとは異なり、「対象となるロボットが実際に据付けられて作業を行なう工場ラインとは別のところ」ということを示している。

## 2. オフライン教示の目的

ロボットのユーザが、ライン内の実ロボットで教示するのではなくオフライン教示を導入しようとする目的は、各ケースにより少しずつ異なるが次のように分類できる。

## 1) 新ライン立上げ期間の短縮

大量にロボットを導入する新ラインでは、あらかじめ教示データを作成しておくことによりライン立上げ期間を著しく短縮することができる。

## 2) ライン停止期間の短縮またはオペレータ勤務形態の改善

既に稼働しているラインに新しい製品を流す場合など、従来はラインを停止して教示を行なうか、あるいはラインが通常は停止する休日を利用して少しずつ教示データを蓄積する方法が採られてきたが、オフライン教示ではライン

のロボットを使う必要がないのでこれらを改善することができる。

## 3) 教示作業の効率化

オペレータが教示作業にかかるトータル時間を削減することを目的とする。これはユーザ(の特に上層部)に期待されることが多いが、容易に実現できるとは限らない。

## 3. オフライン教示の種類

ロボットユーザで実施されているオフライン教示にはいくつかの種類がある。これらを表1に示す。コンピュータが手軽に利用できるようになる前には、オフライン教示用ロボットを用いてあらかじめ教示データが作成されることがあり、オフライン教示の最初であると考えられる。この方式は現在でも表中に示される条件が整えば実施されることもあるが、コンピュータを利用する諸方式の方が圧倒的に多くなってきている。特に、最近、よく利用されるようになってきたシミュレータ方式とパラメトリック方式については後述する。産業用ロボットの中にはもともとNC工作機械へのプログラミングと同じように作業データを作成する方式のNCロボットがあり、表1で示すようにオフライン教示の一つの形態である。

## 4. 実 施 例

## 4.1 シミュレータ方式

1980年代の前半から、産業用ロボットの適用検討用にコンピュータグラフィックス利用の3次元ロボットシミュレータが導入され、実用化されてきた[1]。ロボットシミュレータの画面例を図1に示す。適用検討では、ある具体的な作業にロボットを適用しようとする場合に、ロボットの最適設置位置検討、動作範囲チェック、サイクルタイム計算、ツール検討、ロボット動作時のワークや治工具との干渉回避検討などを行なう。ロボットモデルが動作するグラフィックス画面を見れば、この適用検討結果から教示データを作成して実ラインロボットにローディングしようとすることは自然な発想であり、原理的には可能であった。しかし実際にはいくつかの課題があり、オフライン教示システ

原稿受付 1995年4月10日

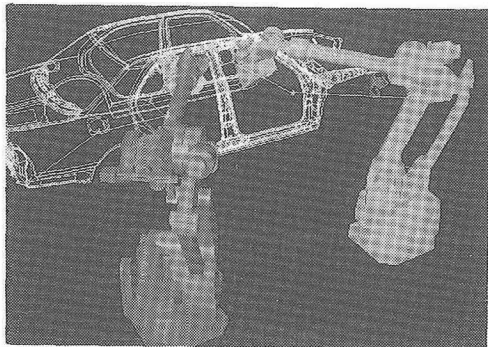
キーワード: Industrial Robot, Teaching, Robot Simulator, Offline Teaching

\*〒673 明石市川崎町1-1

\*Kawakichicho, Akashi-shi, Hyogo

表1 オフライン教示方式の分類

方 式	形 態	特 徴	利 用 分 野	普 及 度
オフラインロボット方式	・実ライン以外の場所で、同型式のロボットを用いてあらかじめ教示データを作成する。	・あらかじめロボットが必要となる。 ・確実な教示データ作成が可能。	・海外へのトランスプラントなどのように前もって仮組ラインが設置される場合。 ・多数のロボットを使用しているユーザで教示専用ロボットを保有する場合。 ・ラインに向かい合う形で設置され、ミラー対象作業を行なう場合。	・それほど多くの利用例はないが、昔から左記の条件が整った場合に利用されてきた。 ・コンピュータ利用のオフライン教示精度が向上するにつれ本方式は減ってきた。
コンピュータ利用方式	シミュレータ方式	・3次元ロボットシミュレータを用いてロボットの適用検討と共に教示データを作成する。 ・EWS上の本格的3次元グラフィックスを用い、高度な機能を有する。 ・一部でパソコン上の簡易グラフィックス利用システムもある。	・自動車メーカーのスポット溶接ライン、塗装ラインなど一度に多数のロボットが導入される分野。	・ロボットの導入数の多いユーザで適用検討用を兼ねて徐々に導入されつつある。
	パラメトリック方式	・対象ワーク形状、作業パス、動作パターンなどをオペレータがパラメータ指定することにより、教示データを作成する。 ・パソコンを用いた対象システム専用のオフライン教示システム。	・ワーク形状、作業パスは単純だがワーク毎に異なる場合。 ・アーク溶接システムに専用教示データ作成用として組込まれる。 ・パレタイズロボットのパレタイジングパターン指定による教示データ作成用として使われる。	・厚板用アーク溶接セルなど特定の分野で専用化されティーチングレスシステムとしてかなり普及している。
	NC方式	・NCロボットと称されるロボットに対して、NCマシンに対するプログラミングと同じような方式で教示データを作成する。 ・NCプログラミングと同じ方式。	・直交型構造が多いNCロボットに対して使用される。	・NCロボットには必須のプログラミング方式である。 ・NCロボットの普及そのものが本方式の普及度となっている。



(1) スポット溶接シミュレーション例



(2) アーク溶接シミュレーション例

図1 ロボットシミュレータの画面例

ムとしても実用的に使われ始めたのは1980年代後半であろう。実用化のための課題と、それらへの取組みを表2に示す。かなりの努力にもかかわらず実ラインロボットでの補正のための教示作業はなくなっていない。典型的なシミュレータ方式のオフライン教示手順を図2に示す。

本方式はロボットを大量に導入する大手自動車会社での採用が多く、実用化の進んでいるところもある[2][3]が、まだテストの使用段階と思われるところも多い。各ユーザでの使用上の工夫としては、

- ・オフライン教示データを通信回線でEWSからロボットへ送ることにより操作を効率化する。
- ・一度、現場での基準点教示で求めた実ラインロボットの設置位置やツール寸法をEWSにアップロードすることにより以降は現場での基準点教示、データ変換操作を不要とする。
- ・溶接条件、加工条件などをオフライン教示システムのデータベースからロボットの教示データへ取込むことにより統一管理ができて作業品質が向上する[2]。

などがあり、特に最後のケースは単に従来の教示をオフラインで行なうだけでなく、コンピュータを利用したオフラ

表2 オフライン教示実用化の課題

課 題	内 容	解決手段の例
据付位置補正	ロボットの工場床への据付けは高精度ではできない。シミュレータモデルとは異なる。	数点の基準点を設け、照合することにより据付け位置を算出し全教示データを補正する。実ラインでの基準点計測にはどうしても誤差が入る。
ツール寸法補正	溶接ガンなどのツール寸法は高精度でないことが多く、又、ツール取付けもシミュレータモデル通りとはならないことがある。	数点の教示を行なうことにより、ツール寸法を自動計算する機能をロボットコントローラに持たせて補正する。教示誤差が入る。
作業対象ワーク、治具データの精度向上	紙図面(3面図)からの完全な3次元ワークデータ入力は時間がかかり、かつ誤差をも伴う。適用検討に十分な精度もオフライン教示には精度不足。	最近ようやくワーク、治具設計に3次元CADが普及しつつあり、シミュレータ側がCAD I/Fを設けることにより容易にかつ高精度にデータ入力が可能となってきた。
ロボットの絶対精度向上	関節型ロボットは位置繰返し精度は保証されても絶対精度は保証されない。 (バックラッシュ、重力によるたわみ、エンコーダ零点誤差、寸法誤差、組付誤差、サーボ誤差などの影響)	ロボットメーカーではオフライン教示を意識したロボット作りや補正計算が行なわれるようになってきたがまだ絶対精度は保証できない。
教示テクニックの組込み	現場でのロボット教示熟練者のノウハウの組込みが必要だが、シミュレータ操作は生産技術者しかできない。	オフライン教示システムの操作性向上と現場オペレータの教育、意識改革が少しずつ進んでいる。
対象ワークの精度ばらつき対応	ワーク自体の設置位置や寸法精度が悪く、ばらつくことがある。	センシング手段を用いてその都度検出し、自動補正する方法が採用される。センシングが可能な場合と困難な場合がある。
装置価格の低減	少数のロボットしか導入しないユーザではEWSハード、シミュレータソフトは高価で導入しにくい。	EWSの低価格化、大量のデータ処理を必要としない場合のパソコン利用などが行なわれている。 オフライン教示のみでなく、適用検討、プログラム管理、加工条件データベースによる品質向上など利用範囲の拡大が必要。

高精度を要求される場合には、現場での教示修正が残る。

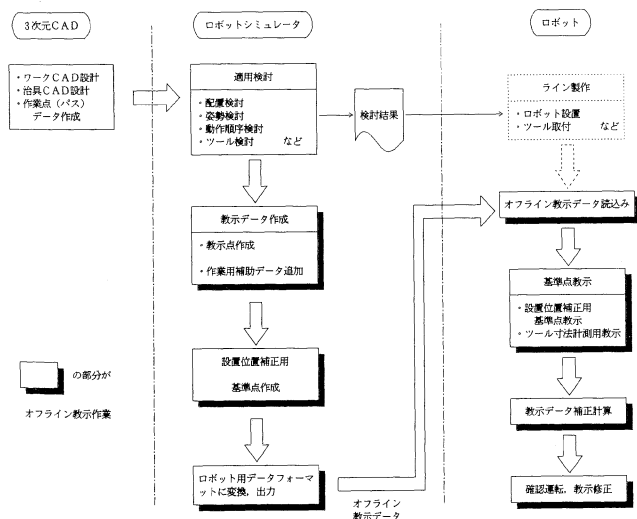


図2 シミュレータ方式によるオフライン教示手順

は、形状とアーク溶接をするべき個所は決まっているが寸法や板厚はその都度異なる。オペレータはパソコン画面の要求に従って必要なワーク寸法を入力するだけで良い。鉄骨コアはワーク精度がかなりラフなことが多いが、アーク溶接ではワイヤタッチセンシングやアークセンシングという方法でロボット自らがワーク位置や作業パスを検出する技術が普及しており、オフライン教示のモデルと実ラインの相違をカバーしてしまうため完全な教示レスシステムが実現されている。さらに、パラメータ指定も上流工程のコンピュータから通信回線で送られてくるため完全自動化されているシステムもある[4]。また最近ではパレタイズロボットにおいて、図4に示すように、パソコン画面で積付けパターンとパラメータを入力するだけでロボットの動作プログラムができるようになっているものがある。

本方式は汎用的なシミュレーション機能は用いず、対象となるセルやシステムに特化されているのでパソコンで充分実用的に使用できる場合が多い。

## 5. オフライン教示の今後の展望

産業用ロボットが汎用性を有する機械である以上は、オペレータによる何らかの作業教示は必要である。その作業教示はますます現場のラインロボットから離れたところで前もって効率的に行なう方向に進むのは間違いない。表2で示した各種の課題も少しずつ解決されつつある。また、

イン教示を積極的に生かそうとしたもので今後の一つの方向を示唆している。

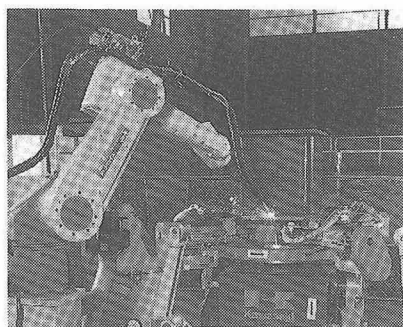
オフライン教示に使用されている市販の主なロボットシミュレータを表3に示す。

### 4.2 パラメトリック方式

本方式の代表的な例は、鉄骨コア溶接セルのオフライン教示システムである(図3)。対象ワークとなる鉄骨コア

表3 オフライン教示に使用される代表的なロボットシミュレータ

シミュレータ名 比較項目	CAITA ROBOTICS	CIM STATION	IGRIP	ROBCAD	WORK SPACE	CALPURNIA CAE
メーカー(国)	DASSAULT SYSTEMS (フランス)	SILMA (アメリカ)	DENEB (アメリカ)	TECNOMATIX (イスラエル)	Robot Simulation (イギリス)	BPA, 川崎重工 (日本)
日本での取扱会社	日本 IBM	三井造船	DENEB JAPAN	日本テクノ マティックス	丸紅ハイテック・ コーポレーション	BPA 川崎重工
ハードウェア	Main Frame EWS	EWS	EWS (パソコン版も あり)	EWS	パソコン	EWS
特徴	IBMの3次元CAD「CATIA」に組み込まれるオプションモジュールのひとつ。歴史は古く「CATIA」利用者は手軽に導入可。	シミュレータ専門メーカーの市販ロボットシミュレータ				ロボットメーカー製シミュレータから出発しているため登録ロボット種類少ない。スポット溶接適用には機能多く、オフライン教示実績も多い。
		歴史的に古く、累計販売実績多い。日本ではアーク溶接システムへの適用例多い。	工場シミュレーションモジュールや普及版のUltraシリーズなど幅広い製品群を有する。自動車会社への販売に注力中。	欧米での大手自動車会社での大量導入もあり近年シェア急上昇。日本でのオフライン教示実績も多い。	数年前に市場参入した新しい製品。パソコンであり、安価。大量のデータ処理には向かないので小規模システム対象。	



(1) 鉄骨コア溶接セル

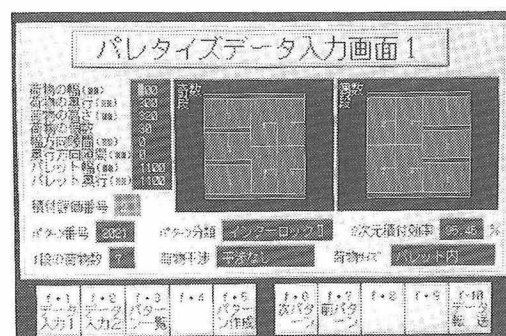
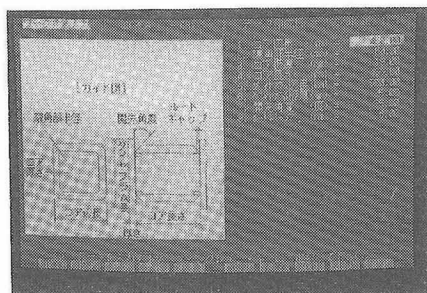


図4 パレタイズロボットのプログラミング画面



(2) オフライン教示画面

図3 鉄骨コア溶接セルのオフライン教示

本稿中で紹介したように、単に従来の教示をオフライン化するだけでなくコンピュータを利用したオフライン教示を積極的に生かし、システム全体の性能向上をはかるべきであろう。将来はロボットの知能化、センサー技術の進歩などで教示そのものの形態が変わり、オフライン教示という概念そのものが意味を持たなくなる可能性があるが、そのときはロボットと人間のインタフェースが格段に良くなっているものと期待される。

## 参考文献

- [1] 三橋寛治：“ロボット配置計画とシミュレーション”，日本ロボット学会誌，vol. 3, no. 2, pp. 52-58, 1985.
- [2] H. Nakamura, T. Itaya, K. Yamamoto and T. Koyama: “Development of Robot Offline Programming System and Its Application for the Automobile Body Spot Welding Process”, Proc. 25th ISIR, pp. 471-476, 1994.
- [3] 中村尚範, 吹田和嗣, 板谷敏郎: “ロボットのオフラインプログラミングシステムのための簡便な機械誤差補正法”，精密工学会誌，vol. 60, no. 15, pp. 1500-1504, 1994.
- [4] 田中清秋: “船殻ブロック溶接システム”，川崎重工，no. 113, pp. 96-97, 1992.
- [5] 村上昇, 岸利喜太郎: “大型フレームワークのアーク溶接を主体としたFAラインシステム”，三井造船技報，no. 147, pp. 31-41, 1992.
- [6] 遠山茂樹: “ロボットのオフライン教示”，日経メカニカル，1993-6-14, pp. 86-91.



松島幹治 (Kanji Matsushima)

1946年9月14日生。1969年大阪大学基礎工学部卒業。同年、川崎重工業(株)入社産業用ロボットの制御装置の開発に従事。FA・ロボット(事)設計部制御設計課長。

(日本ロボット学会正会員)