

# 校正不要で超高精度制御を実現する 産業ロボット制御ソフトの開発

株式会社 チトセロボティクス

代表取締役 西田 亮介

(株)チトセロボティクス 西田 亮介

(株)チトセロボティクス 川村 貞夫

(株)チトセロボティクス 立花 京

## はじめに

ロボットには様々な異なる環境での利用が期待されている。そのため、外部環境情報をカメラでコンピュータに取り込み、ロボットアームに利用する方法として、ビジュアルフィードバック制御が注目されている。ビジュアルフィードバック制御では、カメラとロボットの座標系を利用して全体のシステムが構成される。

従来の VF 制御では、座標系などのキャリブレーションが必要となる。キャリブレーションとは、カメラのレンズのひずみを補正し、カメラの座標系、ロボット作業座標系、ロボット関節角座標系それぞれの座標変換の誤差を極小化する作業である。理想的には、位置/姿勢の計測に誤差の無い世界を想定できる。キャリブレーションとは理想世界に現実を合わせる作業となる。しかし、現実世界では、レンズひずみ、カメラ固定フレームの曲がり、床の傾斜、座標系の姿勢の設定誤差、ロボットアームのリンクたわみなどが存在して、理想世界に合わせる努力は苦勞する割には成果が生まれない。

このようなキャリブレーション法は本当に必要か？人間の場合、同じようなことを行っているのか？従来とは異なるシステムインテグレーションの方法は無いのか？などの疑問が生まれる。このような基礎的な疑問から本製品の研究と開発は開始され、原理的にキャリブレーション

作業を必要としない VF 制御法を開発することを志向した。

## 開発のねらい

従来のキャリブレーションを利用する方法は図1に示される。カメラのレンズひずみを調整し、カメラの座標系からロボットの座標系までの変換に生まれる誤差を極小化している。しかし、フィジカル世界は、理想的な直線と平面ではないので、幾何学的誤差は変換のたびに累積する傾向にある。

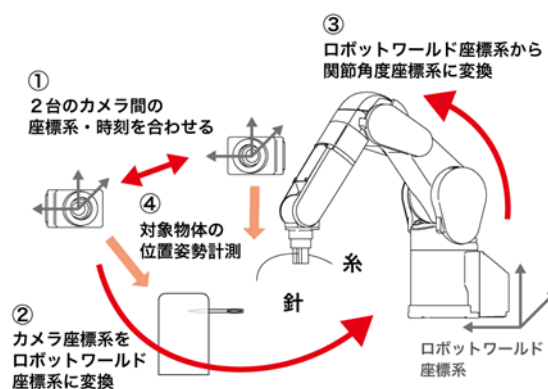


図1 従来法のビジュアルフィードバック制御

### [従来方式のデメリット]

- ・座標変換誤差により位置/姿勢の精度が劣化
- ・キャリブレーション負担が大きくコスト高

このような問題を解決するために、図2に示されるような制御法を我々は開発した。新しい制御法では、カメラ、ロボットの座標系を高精度

にキャリブレーションする必要はなく、適当な精度でカメラやロボットを設置してよい。作業中に座標系が多少変化しても問題ない。

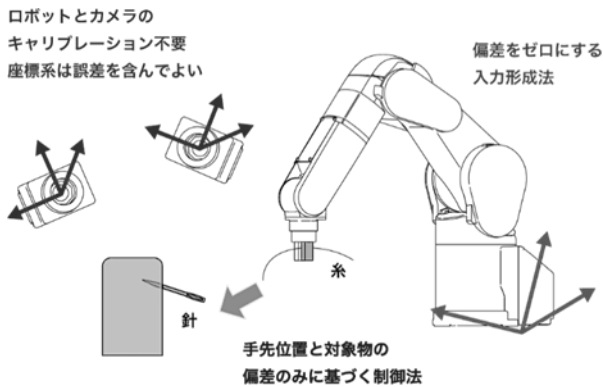


図2 新方式(クルーボ)のVF制御

## 装置の概要

開発技術を搭載し、キャリブレーションの負担ゼロで、カメラを使った高精度なロボットアーム制御を実装できる産業用ロボット制御ソフトとして「クルーボ」という製品を開発した(図3)。

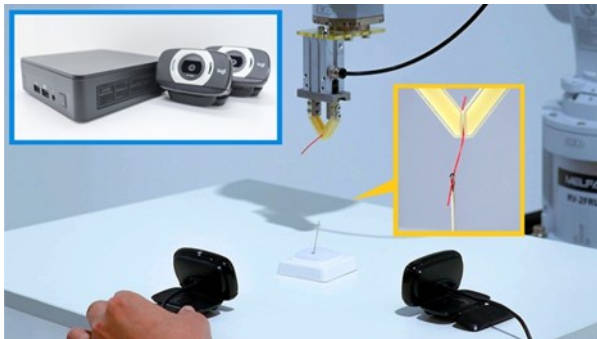


図3 開発技術をインストールしたコンピュータとカメラで針の穴に糸を通すデモの様子

クルーボはロボット制御ソフトウェアであり、インストールされた制御用コンピュータと、産業用ロボットアームに接続して動作する。ソフトウェアとしての実態はLinuxを搭載した制御コンピュータ上で動作する画像認識プログラムとロボットモーションコントロールプログラム、センサ信号処理プログラムの集合である。この制御コンピュータとロボットは、イーサネットケーブル1本で接続するだけで、画像認識、軌道計算、センサ処理をすぐ実装することができ、現場でのス

ムズなロボットシステム立ち上げに貢献する。

開発した新方式のビジュアルフィードバック制御を搭載した制御ソフトウェア「クルーボ」の特徴は図4にまとめられる。従来方式での精度達成限界値0.5mm(経験則)を超える位置決め精度をビジュアルフィードバック制御で実現した。カメラとロボットの設置などが容易であり、システムの実装や変更も負担なく行えるため、システム構築の負担(図縦軸)は極めて少なく、安価に実装可能となっている。

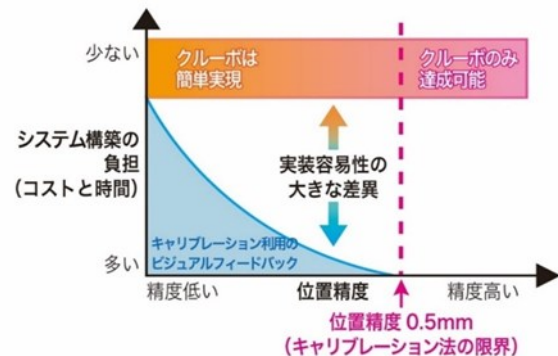


図4 開発技術を搭載した「クルーボ」の特長

機能①キャリブレーションなしでも、手先制御精度20マイクロメートルの制御ができる

当社発明の相対的位置誤差に基づく制御によって、ロボットパラメータやカメラパラメータに誤差があっても視覚情報とロボット内界センサ情報を統合して制御することでロボットの手先位置制御精度を高める。針の穴に糸を通すことも容易で、これまでは人の目と手が必要な現場における高精度、かつ柔軟な自動化に貢献する。

機能②ケーブル1本でロボット/PLC/カメラと接続し、迅速なシステム構築ができる

当社発明の産業用ロボット等制御技術によって、制御コンピュータとケーブル1本の接続で制御が可能。従来ロボットシステムはケーブル配線がスパゲティ状態の制御盤が必要だったが、配線数が減って製造工数費用が下がり、人手不足に困るエンドユーザの初期投資額を抑えることにつながる。

機能③ 3.6 ミリ秒サイクルで目標物体を追従し、変動環境下でも物体ハンドリングができる

当社発明のリアルタイム軌道生成技術によって、高速なロボットと制御コンピュータの通信を行って逐次軌道を変更しながら動作可能。コンベア等で高速に、ランダムな部材が流れてくる状況において、対象物体をトラッキングし、素早く、高精度に移動しながら取り上げたり（ピッキング）、組み付けたり（アッセンブリ）することができる。

## 技術上の特徴

本開発技術の原理は、目標の位置/姿勢と対象物の位置/姿勢の偏差のみの情報によってロボットを運動制御する方法にある。この発想は、ヤコビ転置行列を利用するトルク制御法から生まれている [1]。ただし、[1]では、ヤコビ行列の各係数は正しい運動学に基づいて計算されたと想定していた。そこで、立命館大学ロボティクス学科川村研究室では、1998年ごろからヤコビ行列の係数に誤差が含まれる場合について、研究が開始され、運動安定性が数学的に証明された [2] [3]。しかし、これらの方法はトルク制御法となっており、現状の産業用ロボットコントローラにおける位置制御に直接利用はできなかった。そこで、2012年ごろから同じように相対的偏差のみを利用して、位置制御ベースでも利用可能な方法が提案され、学会報告もされている [4]。しかし、当時の提案法は運動の停止と開始を繰り返す必要があり、長い収束時間や振動などの問題があった。そこで、一連の技術に関係した研究室の卒業生らを中心に株式会社チトセロボティクスが立ち上げられ、連続運動を比較的高速で実現する新しいVF制御手法（クルーボ）を開発した。

新方式（クルーボ）の性能概要は図3に示される。図中では横軸に達成可能な位置/姿勢の精度、縦軸にキャリブレーションに必要な作業負担としている。本方式では原理的に通常のキャリブレーション作業は不要であるので、縦軸の作業負担は極めて少なくなっている。横軸の位置精度限界 0.5mm は経験則で、科学的データに

基づいていないものの、従来法でのビジュアルフィードバックでは事実上の限界値と我々は想定している。本手法では、すでに 20 $\mu$ m 程度の位置精度を実験的に確認している。キャリブレーションの負担低減のみならず、従来方法では到達できなかった位置精度を達成している特徴が本技術の優位性となっている。

## 実用上の効果

### ①ラフな環境設定でも高精度制御を実現

ロボット設置床面が傾いている、アンカー固定ができない、頻繁なロボットの移動があるなど、ロボットのキャリブレーションが困難な環境でも高精度な制御を実現した。従来のビジュアルフィードバック制御とは異なり、座標変換による誤差の影響を受けずに制御精度を高められる本開発技術の特長が活きる（図5）。



図5 移動式マニピュレータによるLED挿入  
(柔軟タイヤ変形の影響下でも可能)

### ②モデル化困難なワークハンドリング

リアルタイムのビジュアルフィードバック制御によって変化する環境とワークオブジェクトへの追従制御を実現した。自動車製造におけるワイヤーハーネスや、電機製造におけるケーブリングなどの作業を自動化できる。図6では、ロボットの手先に搭載したカメラで認識した画像からロボットの手先位置と手先姿勢をケーブルのしなりやうねりにあわせてロボットへの制御入力を行っている。



図6 不定形ケーブルのトラッキング作業  
(ケーブルの位置姿勢変化も対応可能)

### ③パラメータの異なるロボットを協調制御

産業用ロボットはサイズやメーカーによってリンク長さやモータ仕様、通信サイクルなどのパラメータが異なる。そのため複数台のロボット制御は実現が困難であった。図7では、4台のロボットをクルーボがインストールされたコンピュータ1台で制御する例を示す。2台のロボットはカメラを持ち、1台が針、もう一台が柔軟な糸をつまんでいる。この4台のロボットが様々な位置と姿勢で、針穴に糸を通す作業を達成している。



図7 メーカーが異なるロボットアームを位置校正なしで4台協調制御する例

## 知的財産権の状況

本開発品の装置に関する特許登録は下記の通りである。

### ① 日本国特許第6307431号

名称:ロボット制御装置

概要:パラメータに誤差を含んでも高精度ロボットアーム制御を実現するアルゴリズム

### ② 日本国特許第6485620号

名称:ロボット制御装置

概要:未校正カメラからの情報に基づいて産業用ロボットアームを制御する

その他3件を権利化済。

## むすび

ロボットアームのビジュアルフィードバック制御において、キャリブレーションの呪縛から解放されれば、従来は困難と思われていた様々な作業を達成できると期待される。今後もロボット活用促進を実現するロボット制御技術の創出に挑戦を続ける。

## 参考文献

[1] M. Takegaki and S. Arimoto: "A new feedback method for dynamic control of manipulators," Trans. of the ASME J. of Dynamic Systems, Measurement and Control, Vol. 103, No. 2, pp. 119-25, 1981.

[2] C. C. Cheah, S. Kawamura, S. Arimoto, "Feedback control for robotic manipulator with an uncertain Jacobian matrix" Journal of Robotic Systems, 16 2, 119-134

[3] C. C. Cheah, M.Hirano, S. Kawamura, S.Arimoto, "Approximate Jacobian Control for Robots With Uncertain Kinematics and Dynamics" IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol.19, No.4, pp.692-702, 2003

[4] 相原貴拓、河村晃宏、川村貞夫: "視覚フィードバック繰り返しPTP制御によるロボットアームの高精度運動制御"、第32回日本ロボット学会学術講演会、九州産業大学、2014.9.4-6, 3N2-01