特集論文

モーションコントローラのビジョン連携機能

溝上悟史*
安藤友典*

Vision Sensor Cooperation Function of Motion Controller

Satoshi Mizogami, Tomonori Ando

要　旨

三菱電機ではすでに，FA(Factory Automation)統合コンセプトである“iQ Platform”に対応した“高速モーションコントローラQ17nDCPU”，小規模システムに最適な“スタンドアロンモーションコントローラQ170MCPU”を製品化している。工場内の生産設備では，自動化・品質向上に伴い，人間の目による検査や位置調整に代わり，機械が対象物を認識するマシンビジョンの導入が増えている。マシンビジョンとモーション制御を連携させて処理を行う工程も多くなり，より最適な制御が求められている。

今回，マシンビジョンメーカーであるコグネックス㈱との提携に伴い，ビジョンセンサとモーションコントローラのダイレクト接続を実現した。シームレスな通信の連携を行い，最適なアライメント調整(ビジョン認識位置による位置決め処理)を可能とした。モーションコントローラのビジョンセンサ連携機能の主な特長を次に示す。

(1)　ビジョンセンサとEthernet(注1)でダイレクト接続

モーションコントローラとビジョンセンサは，モーションCPU(Central Processing Unit)前面のPERIPHERALインタフェースで直接Ethernet接続する。

(注1)　Ethernetは，富士ゼロックス㈱の登録商標である。

そのため，専用の通信ユニットは不要であり，既存設備にビジョンセンサをそのまま追加することもできる。

(2)　ビジョンセンサ用パラメータ

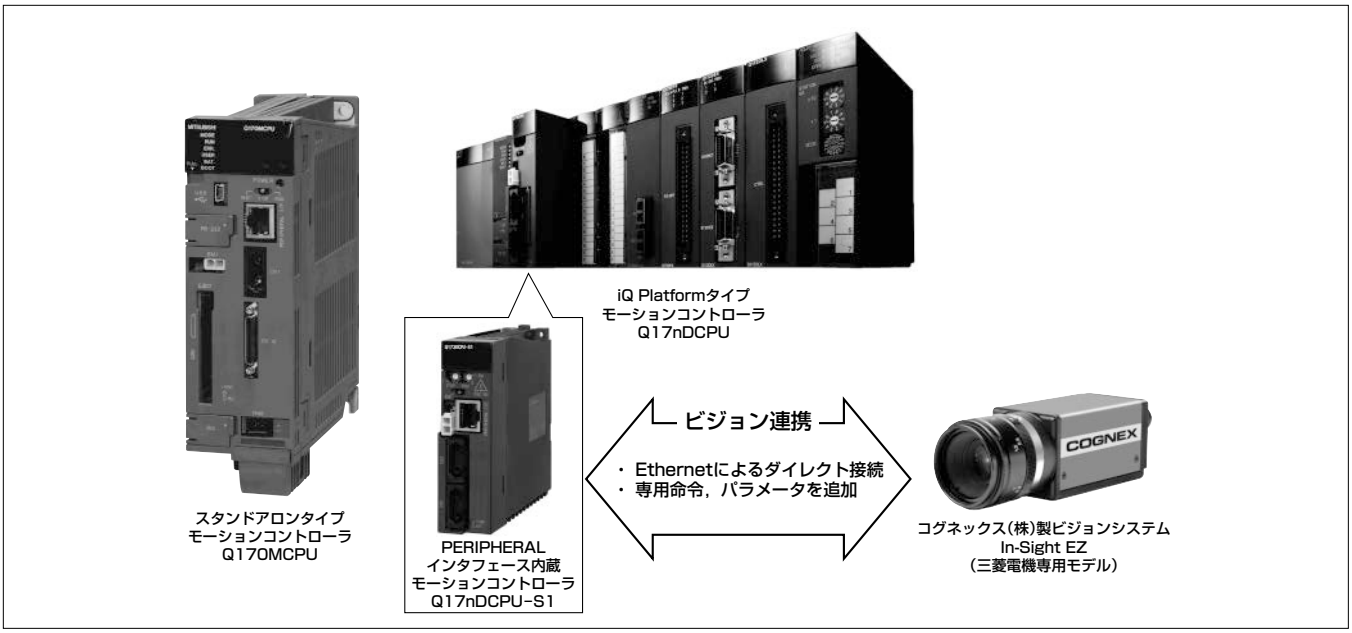
ビジョンセンサとのEthernet通信回線設定，ビジョンプログラム設定はあらかじめパラメータ設定によって事前登録する。

パラメータ設定によって，ビジョンコマンド実行時のコマンド内容がシンプルになり，設定を一元管理することができる。

(3)　ビジョンセンサ専用コマンド(モーションSFC命令)

モーションSFC(Sequential Function Chart)プログラム内で実行可能なビジョンセンサ専用コマンドを設けており，ビジョンセンサとの交信に必要な，ログイン，ジョブ(ビジョンプログラム)の起動，トリガー(撮像要求)等が可能である。

モーションSFCプログラム内で，トリガー発行，撮像座標データ取得，アライメント調整用サーボプログラム起動が可能となり，ビジョンセンサとの交信に必要な様々な無駄時間を削減し，ビジョンセンサを使用した各種位置決めを必要とする装置のタクトタイム短縮につながる。



モーションコントローラのビジョン連携機能

モーションコントローラでは，サーボ・モーション制御に必要な各種センサ(アナログインタフェース，同期エンコーダインタフェース，入出力信号インタフェース等)の取り込みが可能であったが，新たに対象物認識用に有効となるビジョンセンサインタフェース機能を搭載した。

*名古屋製作所

1. まえがき

近年のFA分野における市場要求は，コンポーネント単体の機能，性能，コスト力の向上(部分最適)に加え，システム全体のパフォーマンス(全体最適)をも重視する方向に変化しており，当社モーションコントローラとしては，シーケンサCPUとのマルチCPU間の高親和性・高性能化を図ったiQ Platform対応モーションコントローラQ17nDCPUシリーズや，スタンドアロン型モーションコントローラQ170MCPUを発売し，客先システムの規模に応じた最適な製品を提案してきた。

工場内の生産設備では，自動化・品質向上に伴い，人間の目による検査や位置調整に代わり，機械が対象物を認識するマシンビジョンの導入が増えている。マシンビジョンとモーション制御を連携させて処理を行う工程も多くなり，ビジョンセンサを含めたシステムの全体最適化が求められている。

モーションコントローラでは，サーボ制御に必要な各種センサ(アナログインタフェース，同期エンコーダインタフェース，入出力信号インタフェース)の取り込み処理に加え，市場からの要求も強いビジョンセンサ連携に対応するために，今回新たに対象物認識に有効なビジョンセンサインタフェース機能を搭載した。

今回，マシンビジョンメーカーであるコグネックス㈱との提携に伴い，ビジョンセンサとモーションコントローラのダイレクト接続を実現した。モーションコントローラCPU前面のPERIPHERALインタフェースからのEthernet接続によるシームレスな通信，ビジョンセンサ用の専用パラメータやモーションSFC命令による連携を行い，適用アプリケーションとして，最適アライメント調整(ビジョンセンサ認識位置による位置決め処理)等を可能とした。

また，モーションSFCプログラムからトリガー発行，撮像座標データ取得，アライメント調整用サーボプログラムの連続起動が可能のため，ビジョンセンサとの交信に要する様々な無駄時間を削減し，ビジョンセンサを使用した各種位置決めを必要とする装置のタクトタイム短縮につなげることができる。

2. ビジョン連携機能の概要と主な特長

2.1 機能仕様

図1にQ170MCPUのシステム全体構成を，**表1**にモーションコントローラのビジョン連携機能の概略仕様，**表2**にコグネックス㈱製の当社専用モデル“In-Sight EZシリーズ”のモデル別仕様を示す。モーションコントローラのビジョン連携機能の仕様面での特長を次に述べる。

2.1.1 通信回線設定

ビジョンセンサ接続用のEthernet通信回線設定はモーションコントローラのエンジニアリングツールであるMT Works2で実施する。**図2**にMT Works2のEthernet通信設定画面を示す。この設定では，モーションSFCで使用するビジョンセンサ番号に対応したビジョンセンサのIP(Internet Protocol)アドレスやユーザー名等のパラメータ

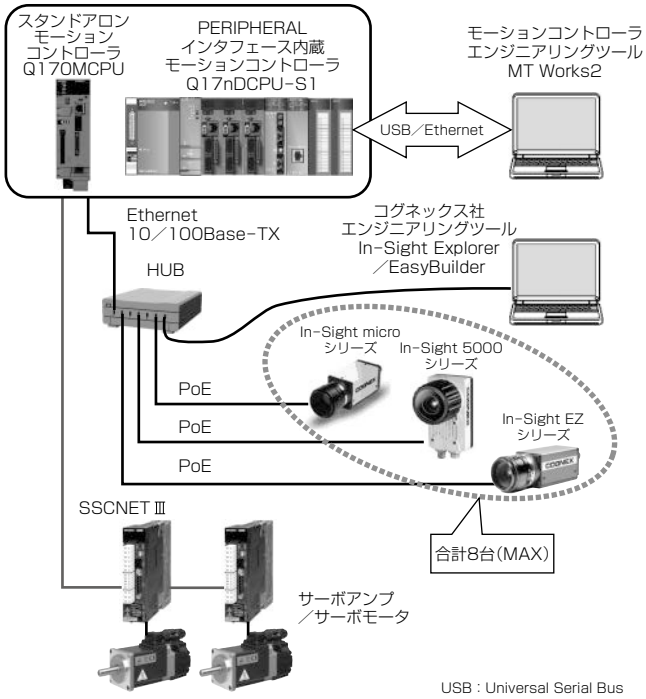


図1．システム全体構成

表1．ビジョン連携機能の概略仕様

項目	仕様
対応CPU	Q173DCPU-S1／Q172DCPU-S1／Q170MCPU
対応OS	SV13／SV22
接続形態	CPU前面PERIPHERALインタフェースからのEthernet接続(10／100Base-TX)
ビジョンセンサ接続台数	最大8台
登録ジョブ数	最大32個
ビジョンセンサ専用命令	8種類(モーションSFC)

表2．In-Sight EZシリーズのモデル別仕様

モデル	特長	処理能力比	解像度
EZ-100	低価格モデル(エントリーモデル)	0.5倍	VGA(640×480)30万画素
EZ-110	スタンダードモデル	1倍	
EZ-140	高速モデル	2.5倍	
EZ-143	高解像度モデル	2倍	UXGA(1600×1200)200万画素

VGA ：Video Graphics Array
UXGA：Ultra eXtended Graphics Array

図2．Ethernet通信設定画面

と，状態格納デバイス，エラーフラグデバイスを設定する(一部設定省略可能)。ログイン等のビジョンコマンドを呼び出す際は，ビジョンセンサ番号を指定するだけでよいため，コマンド記述が簡略化できる。

また，状態格納デバイスやエラーフラグデバイスによって，ビジョンセンサの状態(コマンド実行中等)が分かるため，ビジョンセンサ用命令実行時のインタロックに使用できる。

2.1.2 ビジョンプログラム設定

ビジョンプログラム設定は，あらかじめビジョンセンサのエンジニアリングツールであるコグネックス㈱製のIn-Sight Explorer／EasyBuilderで作成したプログラム内容に基づき実施する。この設定では，モーションSFCで使用するビジョンプログラム番号に対応した，ビジョンセンサ番号，ビジョンプログラム名称(ジョブ名)や，画像データ格納デバイス等を設定する(一部設定省略可能)(**図3**)。ビジョンプログラム起動等のビジョンコマンドを呼び出す際は，ビジョンプログラム番号を指定するだけでよいため，コマンド記述が簡略化できる。

画像データ格納デバイスには，撮像画像に関する座標データ等が自動的に反映され，撮像画像データ取得後のアライメント調整用サーボプログラムの連続起動が可能となる。

2.1.3 ビジョンセンサ専用コマンド

モーションSFCプログラムの新規命令として**表3**のビジョンコマンドを追加した。

ビジョンコマンドでは，ビジョンセンサとの交信に必要なログイン，ビジョンプログラム(ジョブ)の起動，トリガー発行等が可能である。モーションSFCプログラム中でビジョンコマンドを実行すると，ビジョンセンサからの応答を待たず，モーションSFCの実行は次のステップに進む。ビジョンセンサからのアンサーチェックはビジョンコマンド実行以降のステップで実施し，アンサー内容に基づいて目標位置変更を実施するようなユーザーアプリケーションが実現可能である。

各コマンド実行時にエラーを検出した場合は“モーションSFCエラー”が発生し，MT Works2でのエラーモニタで，エラー詳細内容，モーションSFCのエラー発生箇所が容易に分かるため，ビジョンセンサ立ち上げ時のデバッグもスムーズに進めることができる。

図3．ビジョンプログラム設定画面

表3．ビジョンコマンド

コマンド	内容
MVOPEN	ビジョンセンサに接続，ログインする。
MVPST	指定したビジョンプログラムを起動し，結果を受信する。
MVLOAD	指定したビジョンプログラムを起動可能な状態にする。
MVTRG	ビジョンセンサに撮像を要求し，その結果を受信する。
MVIN	ビジョンセンサの任意のセル／タグデータを取得する。
MVFIN	ビジョンセンサ状態格納デバイスの内容をリセットする。
MVCLOSE	ビジョンセンサとの接続を切断する。
MVCOM	ビジョンセンサに任意のNative Modeコマンドを送信する。

2.2 適用例

図4にQ170MCPU使用時のビジョンセンサ連携機能の適用例を示す。

2.2.1 座標系の設定

xyθステージ上の開始エリアに置かれたワーク(位置・角度は任意)を目標エリアに移動するアライメントシステムで，座標系を**図5**のように定義する。簡単のため機械座標系とビジョンセンサの取付け角度を平行にしている。

開始位置から目標位置までの移動中にワークを撮影→位

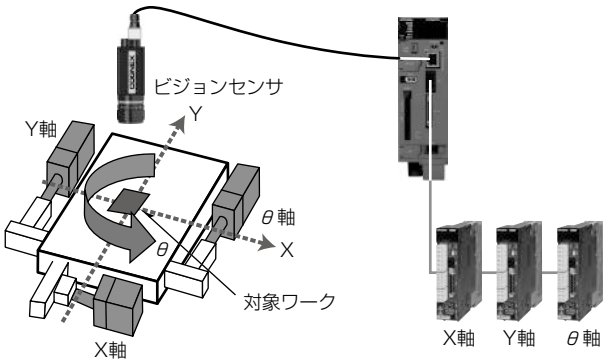


図4．モーションビジョン連携の適用例

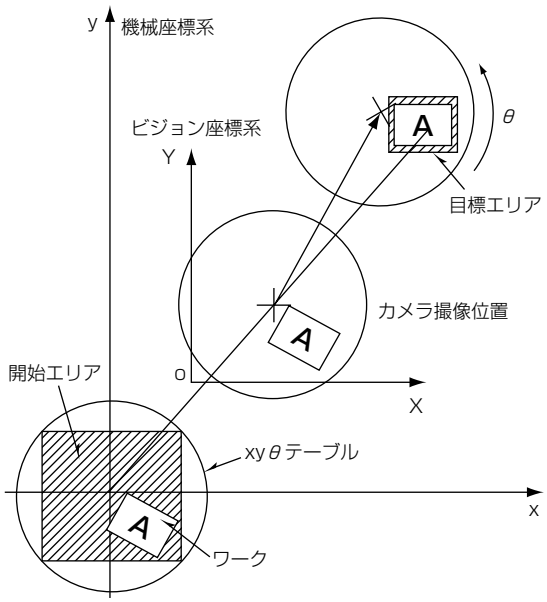


図5．アライメントシステムの座標系

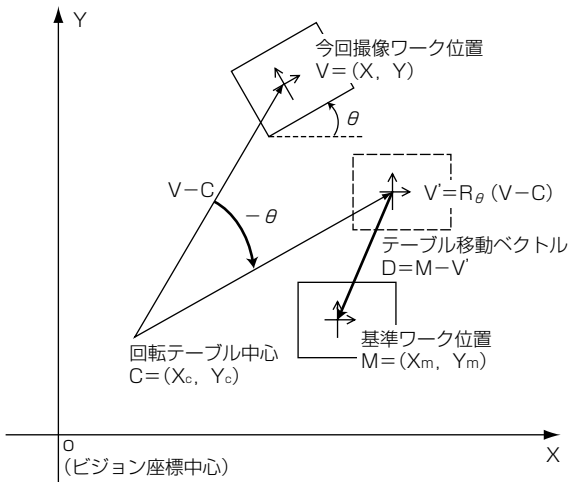


図6．アライメント補正量の演算

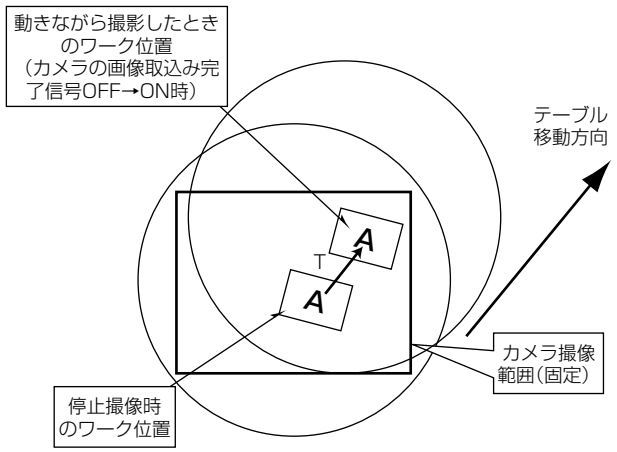


図7．撮像位置補正

置と角度のズレ量を検出→撮像位置から目標位置までの残移動量を補正と，一連の動作を連続して(一時停止することなく)行うことができるため，タクトタイムの短縮が可能である。

2.2.2　アライメント補正量の演算

次に，アライメント補正量の算出手順を示す(**図6**)。

なお，ビジョン座標系での回転テーブルの中心C＝(X_c, Y_c)と，基準のワーク位置M＝(X_m, Y_m)をキャリブレーション(注2)で明らかにしておく。

(1)　テーブルをカメラ撮像位置まで移動し，トリガーコマンドを発行する。画像認識結果としてビジョン座標系におけるワーク位置V＝(X, Y)と回転角度θを得る。

(2)　回転テーブル中心から見たワーク位置は，ビジョン座標系ワーク位置Vと回転テーブル中心Cの差分(V-C)で表され，このベクトルを($-\theta$)だけ回転させる($R_{(-\theta)}$：回転行列)とワークの傾きを補正したワーク位置V'が得られる。

(3)　基準ワーク位置への移動ベクトルDは，基準ワーク位置と補正ワーク位置との差分(M−V')によって得られる。すなわち，目標エリア中心から，Dだけオフセットした位置にテーブルを移動させれば，ワークを目標エリアに整列することができる。

(注2)　画像処理(ビジョンセンサ)の座標系から，機械の座標系へと変換するための座標変換のこと。

$$D = M - V' = M - R_{(-\theta)}(V - C)$$
$$= \begin{pmatrix} X_m - (X - Xc)\cos(-\theta) + (Y - Yc)\sin(-\theta) \\ Y_m - (X - Xc)\sin(-\theta) - (Y - Yc)\cos(-\theta) \end{pmatrix} \quad \cdots\cdots(1)$$

2.2.3　動的撮像時の撮像位置補正

ワークを移動しながら撮影すると，期待した機械位置とは異なる位置で画像が取り込まれ，補正位置誤差の要因となる(**図7**)。そこで，ビジョンセンサから出力される画像取り込み完了信号を利用して，画像を取り込んだ瞬間のテーブル機械位置をラッチし，期待した位置との差分(**図7**上のTに相当)を求める。このTをビジョンセンサから取得したVから差し引いた上で，補正量の計算を行うことによって，テーブル高速移動時のアライメント補正量のばらつきを抑制することができる。

3. む　す　び

モーションコントローラのビジョンセンサ連携機能として，ビジョンセンサ用パラメータ設定，モーションSFCプログラムの新規命令としてビジョンコマンドを追加した。

今後は更にビジョンセンサとの連携を図るために，キャリブレーション機能や，ビジョン座標変換処理等を充実させ，適用分野の更なる拡大を目指していく所存である。