産業用インテリジェントロボット制御技術に関する調査研究

大野　宏[*]　木嶋　祐太[**]　石川　淳[**]　三村　和弘[***]　小林　和仁[****]

A Survey of Motion Control Technology for Industrial Robots

OHNO Hiroshi[*], KIJIMA Yuuta[**], ISHIKAWA Atsushi, MIMURA Kazuhiro[***], KOBAYASHI Kazuhito[****],

1.　緒　　言

近年産業用ロボットやサービスロボットでは状況に応じたインテリジェントな制御が求められている。これらの要求を満たすためには，作業の対象を正確に計測する技術や高速かつ高精度の制御技術が必要となる。

本調査研究では，ロボットをインテリジェントに制御するための計測・制御の最新技術動向と，制御を実現するための組み込み技術について調査した。また，県内の工作機械，産業用機械，およびロボットに関連する企業の現状を調査し，これら企業への計測・制御技術の応用可能性を検討した。

2.　調査研究の内容

2.1　概要

ロボットをインテリジェントに動作させるための計測・制御技術と，これらを実現するための組み込み技術の最新動向について調査した。また，計測・制御と組み込み技術に関連する県内企業の現状を調査した。さらに，制御技術に関する技術講演会を3回開催した。

*　　研究開発センター
**　　下越技術支援センター
***　　素材応用技術支援センター
****　　企画管理室

2.2　技術動向

2.2.1　計測技術

非接触で対象の形状等を計測する代表的な手法であるレーザやカメラを使う方法を中心に調査した。

レーザは，測定する対象の材質によりレーザ光が反射しない場合は表面に反射剤を塗る必要があり，逆に反射が強すぎて計測できないものもある。近年，受光素子が改良され，反射の弱いレーザ光から強いレーザ光まで広いレンジを扱えるようになり，計測できる対象が広がった。ただ，レーザをスキャンさせる必要があり，機構が複雑になり計測に時間がかかるという欠点がある。

カメラは広範囲の対象を瞬時に撮像することができるという特徴がある。カメラには CCD（Charge Coupled Device）型と CMOS（Complementary Metal-Oxide Semiconductor）型があり，携帯電話やデジタルカメラの市場拡大により高解像度で低価格になっている。カメラから綺麗な画像を得るためには照明が重要となるが，近年，白色 LED が製品化され小型高輝度で色々な方向から光を当てることが可能となり，これまで難しかった対象も画像処理で扱えるようになった。複数のカメラを利用すれば3次元形状計測も可能であるが，測定精度が悪く処理時間もかかり苦手としている。そのため，特定の部品のみを対象とする場合は，あらゆる角度

から撮像した 2 次元画像から位置や姿勢といった 3 次元情報を推定する研究が行われている[1]。

広範囲の 3 次元情報を瞬時に取得する新しいタイプのセンサも開発されている[2),3)]。これは，光の反射時間からある一定の範囲の 3 次元データを短時間で取得するものである。画素数は約 4 万，距離分解能は数 mm，価格もカメラに比べて高価であるが，新しいタイプのセンサとして利用範囲の拡大が予想される。

(独)産業技術総合研究所は，フェムト秒レーザを利用した瞬時 3 次元形状計測技術を開発した[4]。パルス内で時間とともに連続的に色が変化する光パルス（チャープ光パルス）を対象に照射し，反射光を超高速シャッターで切り出すと，その瞬間にパルスの飛行する位置に応じた色の光が得られる。さらに，2 次元イメージングを組み合わせると，奥行き形状に応じた色の分布を持つ 2 次元の色画像が得られる。

2.2.2 制御技術

モータ制御では PID 制御が古くから使われているが，最近ではロバスト制御[5]が普及しつつある。半導体製造用の超精密位置決め装置ではテーブルの除震のため，加速度センサで震動を検知しフィードバック制御する方法がある。ただし，加速度センサは高価のため外乱オブザーバを適用し，センサなしで同等の除震を実現している[6]。また，外乱オブザーバを利用してモータの電流値と角速度からトルクを推定し，センサなしで力を制御する産業用機械の開発の取り組みがある[7]。

機械のテーブルやステージ等の駆動機構としてボールねじとリニアモータがある。リニアモータの方が高精度の制御ができるものの，冷却装置が必要で価格も高いという欠点があり，ボールねじも改良が進んでおり普及率は高い[8]。一方，リニアモータの欠点を改良し冷却装置が不要で，より高速に動作するトンネルアクチュエータが開発され[9]，超精密位置決め装置に利用されている。リニアモータより高加速度が実現できるため，工作機械への利用も期待されている。

2.2.3 組み込み技術

工作機械や産業用機械の制御にはコンピュータが使用されている。これらの制御装置は組み込み技術と呼ばれ，機能が特定されており，高い信頼性が要求される。組み込み技術のハードウェアとソフトウェアについて調査した。

マイコンは誕生してから 40 年近くが経過し飛躍的に進歩を遂げた。低機能のものから高機能のものまでいろいろあるが，高速化に対応するため複数のマイコンに仕事を分散させ，全体の処理速度を高めるという技術開発が近年盛んである。

DSP（Digital Signal Processor）[10]はデジタル信号処理に特化したプロセッサで，特に積和演算を高速に行うことができる。デジタル家電の普及により DSP の市場も拡大している。年々高速化と低消費電力化が進み，映像処理を対象にしたより高機能の製品化が行われている。

FPGA（Field Programmable Gate Array）は，ユーザが独自の論理回路を書き込むことのできるゲートアレイの一種である。専用チップより動作速度は遅いが，プログラムの書き換えが可能なため開発に要する時間を短縮でき価格も安い。多量のデータを扱う画像処理の分野を中心に普及が進んでいるが，処理速度はプログラムに依存するため，使いこなすまでには時間がかかる。

PSoC（Programmable System-on-Chip）はサイプレス社が開発した新しいタイプの IC チップで，従来はマイコンの周辺回路であったアナログ回路とデジタル回路を全て組み込みワンチップにしたものである。コンパレータやフィルタといったアナログ回路の特性をプログラムで変更できる。利用できる周波数が低いという制限があるものの，電子回路を非常に小型化できるという特徴がある。

リアルタイムOS（Operating System）は，各種処理をリアルタイムに実行するための機能を実装したOSのことである。産業用機械を制御するコンピュータでは，処理時間が一定の範囲内にあることを要求されるため，必要な処理時間の予測を行なう機能や，複数の処理要求が同時に発生した場合でも目的の時間内に終了させるための機構を備えている。組み込みシステムの代表的なリアルタイムOSにITRON[11]があり，コンパクトで性能が良く使いやすい。

これらのプログラムはC言語で開発するのが一般的であるが，慣れるまでに時間がかかる。そのため，MATLAB/Simlink（MathWork社）やLabVIEW（NATIONAL INSTURUMENTS社）といったグラフィカルにプログラムできる環境があり，より簡単に組み込みシステムの開発に取り組めるようになった。

組み込み技術の開発ではそれを担う人材が必要となるため，各地域では技術者研修に力を入れている[12]。宮城県産業技術総合センターは10年ほど前から組み込みリアルタイムOSの開発に取り組み，県内企業向けの研修を行っている。その成果として県内企業から組み込みを利用した製品が出ている。また，(財)にいがた産業創造機構は県内企業のニーズをふまえて2年前から組み込み研修を開始した。その他として，自動車産業の盛んな中京地区，半導体関連産業がある九州地区で人材育成の取り組みがある。

2.3　県内企業の動向

2.3.1　概要

約 30 社におよぶ県内企業を調査した。調査内容は，自社で開発している製品の計測技術と制御技術の状況，現在の課題，および今後の開発方針などである。

2.3.2　工作機械

県内には多数の工作機械メーカと加工メーカがある。工作機械メーカは大型機械など特徴のある機械を開発しているが，制御に関してはファナック(株)の NC（Numerical Control）を使用している企業がほとんどである。そのため，NC の能力に制約されることも多く，計測と制御技術で独自性を発揮できない。例えば，熱を精度よく計測してより高精度な補正を行いたいという要望があっても，使用している NC が熱電対しか対応していなければ困難である。

2.3.3　産業用機械

長岡市を中心に半導体や薄型パネル等の製造に使用する装置を開発している産業用機械メーカが多くある。これら装置の制御に PLC（Programmable Logic Controller）を使っている企業が多い。PLC はラダーと呼ばれる比較的簡単な方法でプログラムができるため，軽微な変更はユーザ側でも可能である。ただ，プログラムの中味を知られてしまうという欠点があるため，組み込みシステムを開発し制御部をブラックボックス化している企業もみられる。マイコンを利用した組み込みシステムは，価格も安く小型化できるため競争力を高めることができる。

2.3.4　ロボット

ロボットに関連する製品を開発している県内企業は少なく，セル生産用向けの小型産業用ロボットを開発している企業，教育用のロボットを開発している企業，土木作業等の特殊なロボットを受託開発している企業がある。また，製造ラインに産業用ロボットの利用を検討している企業がいくつかあり，プログラム変更で多品種少量生産に対応できるよう導入を進めている。

2.4　技術セミナーの開催

県内企業を対象に制御技術に関するセミナーを開催した。開催したセミナーの一覧を表1に示す。参加者数は3回のセミナーで110余名に至った。また，これ以外にも「先端加工技術に関する調査研究」と合同でセミナーを開催し，ヤマザキマザック(株)の木方氏から工作機械のNCについての講演をいただいた。各回とも活

表１　技術セミナー一覧

No	セミナーと講師	日　時	参加人数
1	匠の技を実現する制御技術セミナー ・新潟工科大学　中嶋新一 ・地域基板技術継承プラザ　相川克壽	2007/9/28　13:00～16:50	40
2	モーション制御技術セミナー ・横河電機(株)　貝瀬季幸 ・(株)テクノ　山中守	2007/12/19　13:30～16:50	34
3	モーションコントロール技術セミナー ・長岡技術科学大学　大石潔	2008/3/4　15:00～16:40	26

表２　県内での先進技術の有無
（○高い　△普通　×低い）

技術項目		新潟県の技術水準
計測	センサ	×
	画像処理	△
制御	産業用ロボット	×
	位置決め	△
	ロバスト制御	△
	高速制御	×
	NC	×
組み込み	FPGA	○
	DSP	△
	マイコン	△

発な質疑応答があり，制御技術に対する関心の高さがうかがえた。

3.　新事業創出可能性

3.1　県内の先進技術の有無

今回調査した技術項目の県内における先進技術の有無を表 2 に示す。県内には多数の工作機械メーカがあるが，制御装置に関してはファナック(株)の NC を購入して組み付けている企業がほとんどで，独自性を発揮できないという課題がある。産業用機械メーカの中には，高精度の位置決め技術，ロバストな力制御，他にはない低コストな小型産業用ロボットを開発している企業がある。組み込みシステムに関しては，FPGA や DSP は海外のメーカが開発しているが，これをプログラムし使いこなすためには高い技術力が必要であり，県内にも数社見られる。これらを組み込み，高性能な製品を開発している企業もある。

3.2　提案

県内の工作機械メーカの多くは，ファナック(株)の NC を組み付けており，制御技術に関して特徴のある工作機械を開発していない。一方，オープン MC（Motion Controller）を提唱する制御装置がある。これは，汎用の NC とは異なり，緻密なモーション制御をユーザが作り込むことができるため，制御技術で独自性を発揮できる。また，基本ソフトウェアとハードウェアが製品化されているため，ハードウェア開発のリスクがない。このオープン MC を利用し，ワークの回転テーブルと刃物台を高速同期させて制御し，非円形状のワークを高速に加工する複合加工機の開発を検討している。このような制御装置を使えばより細かな熱補正ができる工作機械等，インテリジェントでかつ独自性を持つ機械を開発できる。モータ制御やセンサを組み込んでのインテリジェントな制御は工作機械だけでなく，産業用機械にも役立つ。

産業用機械は，一部でマイコンを利用した制御基板を自社開発し組み込んでいる企業もあるが，多くの企業は PLC を利用している。PLC も改良され小型低価格化が進んでいるものの，マイコン等を利用した組み込みシステムにくらべて装置が大きく価格も高い。組み込み技術を利

用するためには開発を行う人材が必要になるため，初期コストは高いものの一度開発すれば継続して利用でき，競争力を高められる。

最近，画像処理を使った検査装置の開発に取り組んでいる企業が多く見られる。人による目視検査は疲労により基準が変動する等の理由から，自動化の要求は以前から高かったが，カメラやコンピュータ等，画像処理に必要な機器の性能が飛躍的に向上したこと，プログラムの開発ツールがグラフィカルになり取り組みやすくなったことが，その要因になっている。ただ，綺麗な画像を得るための照明のノウハウが必要であり，小さな傷の有無を検査するためには高解像度の画像データを高速に処理する必要がある。そのため，これら企業の取り組みを製品化につなげるためには，FPGA やソフトウェアによる並列処理などの高速処理技術の開発を行う必要がある。

4. 結　　言

(1) 計測・制御技術を調査した結果，一定の範囲の 3 次元情報が瞬時に得られる新しいセンサや，リニアモータの欠点を解消したトンネルアクチュエータが開発され，改良が進められている。

(2) 県内工作機械メーカのほとんどが既製品の NC を使用しており，制御技術での独自性を出していない。ただ，制御技術開発の要求はあり，高速で高精度の制御技術の研究開発を行う必要がある。

(3) 産業用機械メーカでも既製品の PLC を使用しているが，一部の企業では組み込み技術で制御装置を自社で設計している。また，自動機の開発から始め，自社製品の開発に成功し成長している企業も多くある。

(4) 組み込みシステムを開発している企業は，(財)にいがた産業創造機構の組み込み研修を上手に活用している。組み込みに使われる技術は進歩が激しいため，最新のチップを使いこなす人材の育成が競争力のある製品開発には重要である。

参考文献

1) 玉木徹他，“画像列の遷移行列のブロック対角化による部分空間を用いた物体の姿勢推定”，第 10 回画像の認識・理解シンポジウム，2007，p558.
2) 吉沢徹，“最新光三次元計測”，朝倉書店，2006，p106-113.
3) 株式会社日本クラビス，“製品案内　3 次元距離測定ミニチュアカメラ”，http://www.j-clavis.co.jp/Mesa-sr3000/index.html,（平成 20 年 3 月 6 日閲覧）
4) 平尾一之他，“フェムト秒テクノロジー”，化学同人，2006，p173-177.
5) 社団法人精密工学会　超精密位置決め専門委員会，“次世代精密位置決め技術”，フジ・テクノシステム，2000，p475.
6) 大塚二郎，“ナノテクノロジーと超精密位置決め技術”，工業調査会，2005，p117.
7) 本田昭他，“新しいサーボ制御の基礎と実用化技術”，トリケップス，2003，p167-172.
8) 株式会社オプトロニクス社，“ポジショニング EXPO2007 特別セミナー資料”，2007
9) 株式会社日立製作所，“製品案内　トンネルアクチュエータ”，http://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2004/04/0409.html,（平成 20 年 3 月 6 日閲覧）
10) 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社，“DSP 講座資料”，2008
11) 藤倉俊幸，“リアルタイム／マルチタスクシステムの徹底研究”，CQ 出版社，2003，p133-154.
12) 翔泳社編集部，“組込みソフトウェアレポー2006”，翔泳社，2005，p131-163.