

多関節型マイクロロボットの動作解析*

永田雅輝**・古池壽夫**・岡田芳一**

Movement Analysis of Micro-Robot with Five-Joints

Masateru NAGATA**, Toshio FURUCHI**,
Yoshiichi OKADA**

(平成3年6月3日 受理)

Today, Japanese agricultural production is required to become at high technology for getting at low cost and high productivity. A method for solving this problem is to develop an agricultural robot instead of a farmer. Recently, several papers concerned with robotic studies as a solution to the above problem were presented in Japan.

This report discusses a movement analysis on the robotics operation in minute agricultural works. The tested robot was a multi-joints type. The length of the robotic manipulator is 400mm and the weight is 7.3kg with a lifting load of 500g. The movement of robot was analyzed by a video camera and an analyzer.

On the space between a free point of A and that of B, a moving route takes place when a robot arm goes to a place from A to B and when it goes back from B to A was not the same. This is because the rotation of each servomotor of a robot arm was different respectively. The route of a pointed end of robot arm moved in a circle. With the moving time of a robot arm on the same route, a downward move was a little fast than that to the upward. This is due to the weight of the robot arm. In order to get an ideal moving route for making the pointed end of the robot arm to move smoothly in a straight line, the rotation of servo motor of each joint must be made to be changeable or by putting several supportable points between one place to another. Bull. Fac Agr., Miyazaki Univ., 38(1), 55-61, 1991.

Key words: Robotic for agricultural works, Micro-Robot, Movement analysis, Minute agricultural works

緒言

日本農業は経営面積が小さいことから、今後はその

生産性を飛躍的に高め、低コスト化をはかるには、高
位な機械化農業を目指すことが要求されよう。それは、
周辺科学、特にハイテクを利用した^{1),6),8)}農業生産シス
テム化を進め、高度な機能と精度と能率をもった機械・

* 精密な農作業のロボット化に関する基礎的研究 (第1報)
Basic Studies on Robotics for Minute Agricultural Works Operation (Part I)
** 農業生産機械学講座

システムの開発により総生産コストの低減化を窺うことも一方策である。

農業の機械化は、これまでも推進されてきたところであり、その成果は近代農業の基盤を作った。これまでの農業機械は、人が何等かの形で関与操縦するタイプであったが、これからの21世紀に向けての農業を考える時、いまま人の手作業に頼らざるを得ないような精密な作業がとって代わられるような人の腕や手の動きに近い機能と知的判断機能をもつような機器、例えばマニピュレータ等による農作業のロボット化が今後期待される場所である。^{2)~6)}

農業生産現場でロボットが果たす役割は、省力化、高能率化、高精度化等での生産性向上や各種作業での危険、重労働、不快からの回避などがある。^{6),7)}

一つの作物を生産するには、多くの農作業工程がある。この一連の工程がスムーズに処理されている場合、即ち機械化等がなされている場合は、生産性は高いと見なしえる。しかし、どこか途中の工程が手作業等の非効率的な作業として残っていると、全体に生産性は低下することになる。この手作業の工程は、作業が細かく面倒であるとか、取扱いにくいとかの理由で、これまで機械化が困難とされている工程である。生産性を高めるには、この工程を解決する必要がある。

そこで、本報は手始めとして細かい手作業が要求さ

れる農作業のロボット化を想定し、市販のマイクロロボットの動きについて研究するもので、使用したロボットは5つの自由度を持つ多関節型で、人の手腕に近い動きをすることから手作業のロボット化への適用性が高いと言える。

手腕の動きを直交座標系上ですばやく動作させるには、最小移動距離となる直線的動き(軌道)が能率的である。そこで、本報では任意の2点間を移動するロボットのアーム先端軌道の軌跡の規則性や各軸の速度、重力によるスピードの違いや、理想的な軌道を求めるための移動中間点の設定などの基礎資料を得ることを目的に、ビデオによる動作解析を行ったので報告する。

供試した多関節型ロボットの概要

1. ロボット本体

本研究で供試したロボットは、図1に示すような構造の多関節型マイクロロボット88-5型(中日本電子㈱)で、その仕様は表1の通りである。

本ロボットは、小型で動作範囲が大きく、人間の腕と同じ5つの関節を有するので、本研究が目的とする細かい手作業が要求されるような施設内での高精度な播種や移植、小物の果菜類の選別などに適用し得ると思われる。

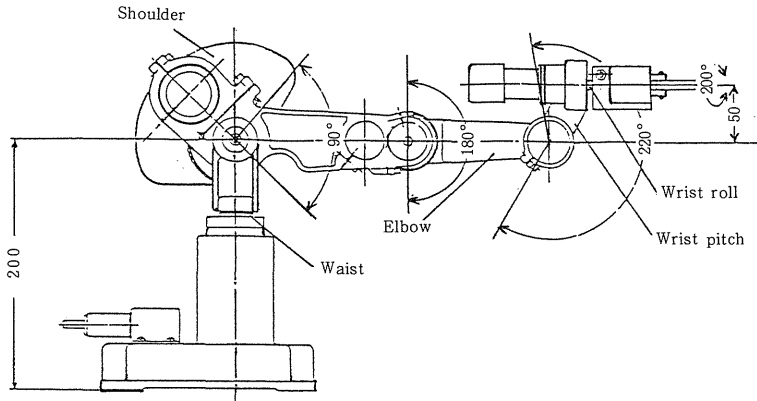


Fig.1. Structure of the tested micro robot with five-joints (88-5 Type).

2. デジタルサーボアンプ

本アンプはティーチングボックスによってプログラムを作成し、そのプログラムを実行し、ロボットに動作を与える装置である。

動作指示キーはロボットの原点復帰のORGキー、

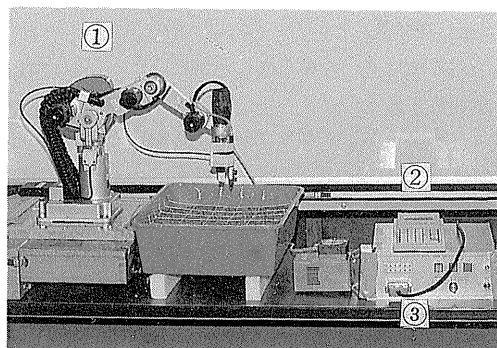
動作開始のSTARTキー、動作停止のSTOPキーがある。またモード設定スイッチはロボットの動作をティーチングするPROGRAMモード、MDI方式(MANUAL DATA INPUT)データの作成、編集のEDITモード、ホストコンピュータとの通信用RS232

Table 1. Specifications of the Tested Micro-robot with Five-Joints

Item	Quantity
Freedam of moving	Five axis
Drive system	DC Servo motor
Length of arm	400mm (150+120+130)
Moving area(deg.)	
Waist	280°
Shoulder	90°
Elbow	180°
Wrist pitch	220°
Wrist roll	200°
Max. moving speed	1200mm/s
Max. lifing weigh	500 g
Repeatability	±0.1mm
Weight	7.3kg

C/LAN モード, 1 ステップ動作の STEP モード, 1 サイクル動作の CYCLE モード, 外部モード選択の EXT モードがある。

ロボットのプログラミングは, ティーチングボックスで各軸を動かし, 位置決めをする。速度, タイマ, 出力, 入力サブルーチンコール, メモリ, 内容の修正, 編集機能等の入力がティーチング・プレイバック方式で行える。図2に本実験に用いたマイクロロボットシステムを示す。



① Micro robot ② Teaching box (Instruction board) ③ Digital servo amplifier

Fig.2. Micro robot system.

3. 初期値設定

本ロボットは初期値としての次の項目を設定する必要がある。供試ロボットの初期値は表2のように設定した。

(1) RATIO (減速比) の計算

$$RATIO = \frac{EP \times N}{MD}$$

ただし EP: 1 回転した時のエンコーダのパルス数 (200)

N: 通倍 (= 4)

MD: モータ 1 回転時の移動角度

(2) OFFSET 値

モータの交換, リミットスイッチの位置の変更, または機械的要因により, 作業原点を変更した場合, そ

Table 2. First stage condition.

Item	M1	M2	M3	M4	M5
Moving area (deg.)	280°	90°	180°	220°	200°
Moving angle per a rotation (deg.)	3.2724	1.1975	1.4938	3.6	7.2
RATIO value	24444	66807	53555	22222	11111
Max. Movement	2833	926	1823	2278	2084
OFFSET value	16	14	11	0	42
Standard angle (deg.)	140	48	90	150	20

Remarks: M1; West motor, M2; shoulder motor, M3; Elbow motor
M4; Wrist motor, M5; Wrist roll motor

の変更分の座標を OFFSET 値として設定する。

(3) 基準角

基準角はアームを正面に水平としたときの各軸の表示角度である。

4. ティーチングボックスによる動作入力命令

ティーチングボックスら動作命令をキー入力し、ステッププログラムを作成することで、目的とする動作が実行される。その手順は次のように行った。

モードスイッチを PROG モードとし、各軸を原点復帰させた後、プログラム No, ステップ No, スピード (%入力, 100%まで)、動作命令を入力してプログラムを構築した。

実験方法及び装置

1. 実験方法

手(指)を下向きで行う細かい農作業を想定し、マイクロロボットのリストは垂直下向きの状態で試験を行った。

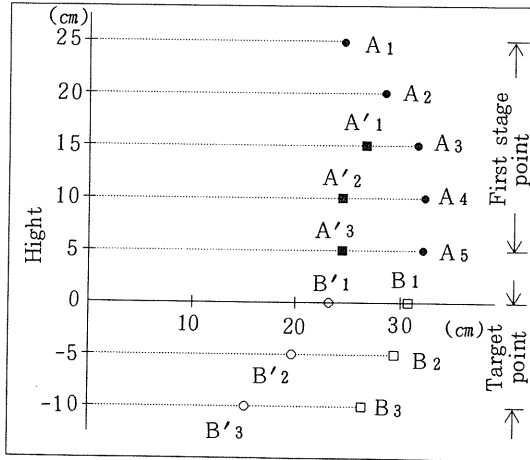


Fig.3. First stage point of A, A' and target point of B, B'.

試験の初期点と目標点は、図3に示すように、アームの長さが最大となる軌跡上の点(●印のA群: A₁ ~ A₅, □印のB群: B₁ ~ B₃)と、最小となる軌跡上の点(■印のA'群: A'₁ ~ A'₃, ○印のB'群: B'₁ ~ B'₃)の14点とした。各々の高さはロボットの握え付け面を基準面(0 cm)として、上下へ5 cm 間隔に設けた。即ち初期点 A, A'群の1点

と目標点 B, B'群の 0, -5, -10cm の3点とを組み合わせて、試験は表3のように24試験区とした。

Table 3. The combination of point A, A', B and B' for the test.

B, B', A, A' (cm)		First stage point of A and A'							
		A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A' ₁	A' ₂	A' ₃
Target point of B and B'	B ₁ 0	○	○	○	○	○			
	B ₂ -5	○	○	○	○	○			
	B ₃ -10	○	○	○	○	○			
	B' ₁ 0						○	○	○
	B' ₂ -5						○	○	○
	B' ₃ -10						○	○	○

Remark: Marks of ○ are test fields.

これをティーチングボックスによって教示し、初期点と目標点の2点間を A → B' → A, A' → B → A' のサイクルで往復動作をさせた。この動作をビデオカメラで撮影し、ビデオデジタイザにより画面上に図4に示すように、ロボットの各関節とリスト先端に計測点(P1~P5の5点)を設け、各点が1秒毎に移動する動作の軌跡をビデオ画面の1フレーム毎に写しだし、1/100sec 単位のタイマーカウンターで移動時間を読んだ。

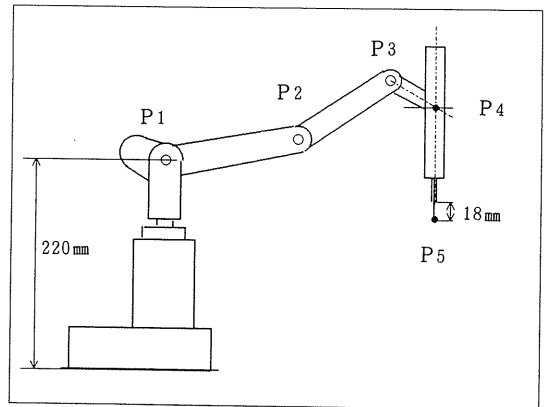


Fig.4. Joints measurement on the robotic manipulator (robot arm) by video analysis.

2. 実験装置

ロボットの動作軌跡の撮影には 8 mm ビデオカメラ (CCV-90) を使用, 録画, 再生にはビデオデッキ (SL-HFR60, EDV-9000) を使用した。

動作時間は, ビデオタイマ (VTG-22) を使用し, 1/100 秒単位で計測した。

ビデオで撮影した動作は 1 フレーム毎にビデオアナライザーシステム (朋栄) を用いて解析した。方法はビデオデッキ EDV-9000 により再生, 静止させた画像をビデオライター FVW-300 に蓄積し, ビデオ画面上で 1 フレーム毎の動作軌道をパーソナルコンピュータ PC-9801Vm で解析するものである。

実験結果と考察

1. ビデオによる動作解析

各試験区間の動作は, 時間, 移動量, 各軸モータの回転量を軌跡の往路と復路毎に求めた。その結果の一部を図 5 及び図 6 に示す。

各試験区の動作軌跡をみると, 往路と復路の軌跡は同一軌道を通らず, 同一動作量でも動作時間は異なっ

た。

往復の軌道がそれぞれ違うのは各軸のモータの回転量が違うので, 各軸が同じ時間で動作を終了しないことが原因であった。

動作にかかる時間が違うのはロボットに加わる重力の影響によるものと思われた。

ロボットの動作時間は移動距離とは関係なく, むしろ各軸のモータ回転量の違いであり, 最大回転量をもつ軸との関連が強いと思われた。

モータは, 全軸同時に動かす時と各軸を単独に動かす時とでは, 回転量が違うことやロボットアームの重さがスピードの変化や加速度に影響してくる等で, 適切な回転量を与えるには, これらの要因を加味した条件が必要となることを認めた。

2. 動作軌跡図

基準面上の A 区間で 5 cm 間隔に設けた各々の 1 点から基準面下の B 区間で設けた 0, -5, -10 cm の 3 点へ動かした動作軌跡図を求めた。その一例を図 7 に示す。

ロボットの動作軌跡は, 2 点間の移動において直線的な軌跡はとらず, 目標点を越えて到達したり, 曲線

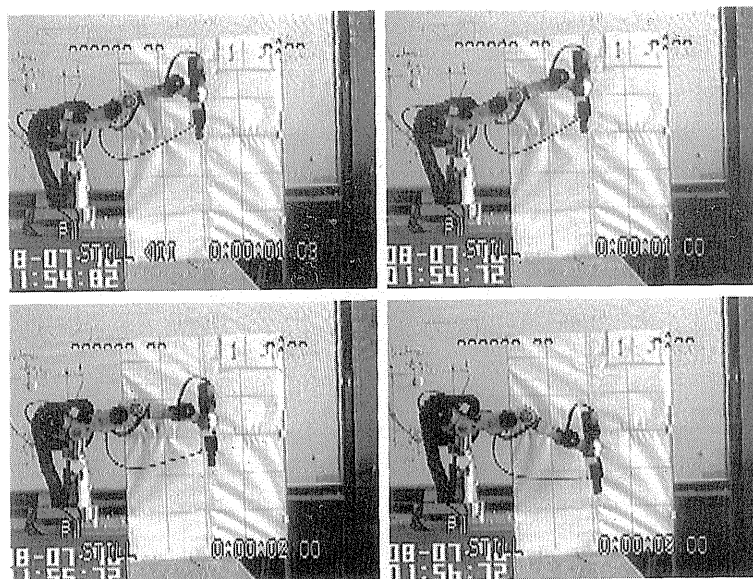


Fig.5. Example on the movement of the tested micro robot.

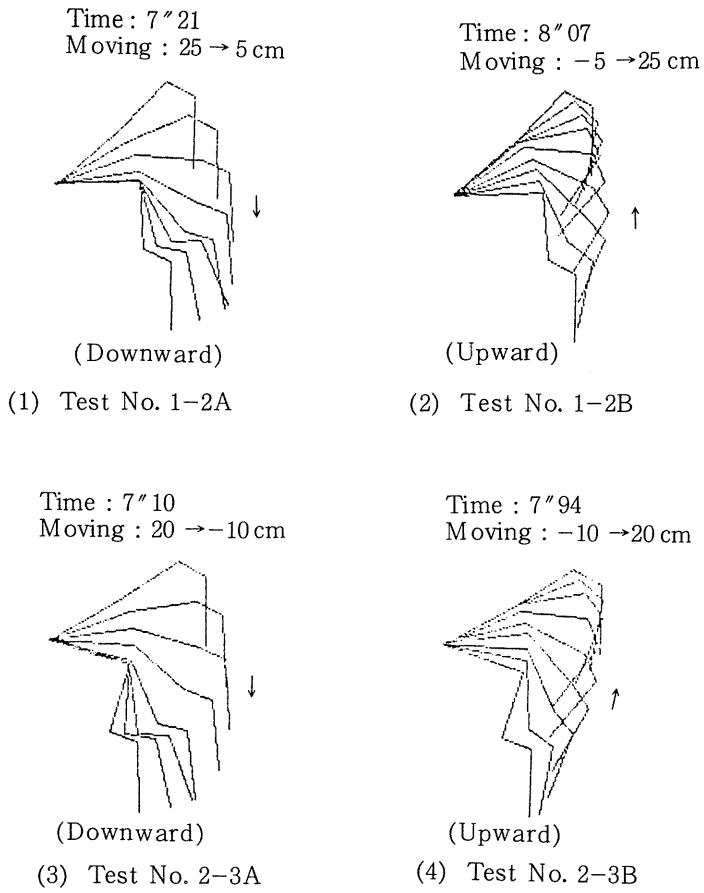


Fig.6. Example on the movement of robotic manipulator by video analysis.

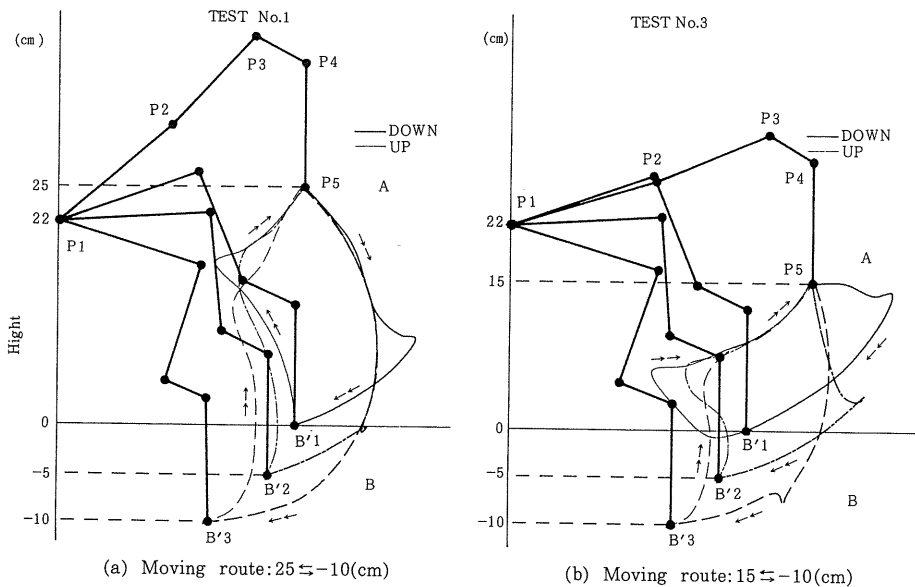


Fig.7. Example on the moving route of the tested micro robot.

の動きで目標点の水平面に接触したりすることがあった。これは各軸がそれぞれ円運動をするため、各軸が次々と動作を終了していく過程で、まだ動作を終えていない軸があった場合などに、その軸の円運動で目標値に達することが原因といえる。

ロボットの軌跡を考慮した動作をさせるならば、その動作量やモータの回転量をスピードとの関連で制御する必要がある。本ロボットでは同時動作で各軸毎のモーター制御ができないことから、動作の動線を直線とする理想的な軌跡を得るには、各軸の回転量をその理想直線に近い値とするか、あるいは動作がぎこちなくなるが移動中間点を数点設定してやることで、理想的な動作に近づけられる。

要 約

1. 本研究は人の手作業の動作に近い機構（マニピレータ）によって、精密な農作業のロボット化を試みるために市販の多関節型マイクロロボットを用いて、ロボットの鉛直面（X-Z面）での任意の2点間往復移動するロボットの軌跡をビデオ解析し、ロボットの理想的な移動軌跡を見いだそうとしたものである。その結果、以下の所見を得た。
2. 往路と復路の動作は、モータの回転量が少ない順に動作が終わっていくために、各軸のモータ回転量が同じでない限り同じ軌道を通らなかった。本ロボットの場合、各軸が円運動をしているため、軌跡も円弧に近いものであった。
4. 移動時間は移動距離とは関係なかった。また、同一の軌跡を往復する動作時間が同一時間とならなかったのは、ロボットアームの重さの影響と思われた。
5. ロボットの動作を規定させるには、各モータのスピードをその動作量、回転数から計算し制御する必要がある。
6. 理想的な動線である直線軌跡の動作を行わせるには、本ロボットでは各軸の回転量を近い値とするか、

あるいは動作がぎこちなくなるが移動点を数点設ける必要を認めた。

キーワード：多関節型マイクロロボット、農作業のロボット化、動作分析

謝 辞

本研究は、文部省科学研究費補助金試験研究B（課題番号63860033）の補助を受けて遂行した中の一部で、ここに関係各位に感謝申し上げます。また、実験等に当たっては、農業機械学研究室の専攻学生諸君の多大な協力を得た。記して感謝する。

参考文献

- 1) メカトロニクス編集部：最先端のアクチュエータ，技術調査会（1986）
- 2) 岡本嗣男・木谷 収：バイオテクノロジー作業の自動化に関する研究（第1報），農業機械学会誌，51，37-45（1989）
- 3) 木谷 収・岡本嗣男・愛野茂幸：接木用グリッパおよびマニピレータに関する研究，農業機械学会講演要旨，45，117（1986）
- 4) 岡本嗣男・木谷 収・鈴木 健：ロボットによる植物組織培養移植操作の自動化に関する研究，農業機械学会講演要旨，46，123（1987）
- 5) 岡本嗣男・木谷 収：バイオテクノロジー作業の自動化に関する研究（第2報），農業機械学会誌，52，79-85（1990）
- 6) 農業機械学会：農業機械のロボット化に関する調査研究，昭和62年度
- 7) メカトロニクス編集部：最先端の産業ロボット，技術調査会（1988）
- 8) 見城尚志・高橋 久：マイコンによるメカトロニクス制御，技術調査会（1986）