

超音波センサによる乳頭位置の検出システム

—乳房模型の乳頭位置検出—

小宮道士*・川上克己*

System of Detecting the Teat Location Using an Ultrasonic Sensor

—Detecting the Teat Location on the Udder Model—

Michio KOMIYA* and Katsumi KAWAKAMI*

(May, 1990)

緒 論

現在の酪農経営は、機械化により省刀化が進んでいるが国際競争力に負けないために乳牛の多頭飼育は今後も増長されなければならない。しかし、未だ人手に頼るところの多い搾乳作業は、労働時間の中で大きな割合を占めている。

ミルクパラーでの自動化で、乳量の検出によるティートカップの自動離脱装置などが実用化されているが、取り付け過程の自動化には至っていない。自動装着を行うためには、乳牛にダメージを与えることなく正確に乳頭位置を検出することが必要である。

Ordolf^{3,4)}は、乳房部を光学式のセンサによって走査し乳頭位置の検出を行った。また笹島²⁾らは、光学式センサと超音波センサにより2乳頭の位置検出を模擬乳頭によって行った。超音波センサ単体による検出では、模擬乳頭を使用した位置推定精度の実験例が報告されている¹⁾。しかし、4つの乳頭位置を同時に検出した報告はなく、そのためには超音波の指向性の改善をはかり高い周波数の超音波を用いることが必要とされている⁵⁾。

本研究では、取り扱いが容易で指向性の優れた500 kHzの超音波センサを用いて4乳頭の位置を検出する方法について検討し、乳房模型を使ってその検出精度を調べた。

乳頭位置検出システム

乳頭位置の検出は超音波センサ(以下センサ)のヘッド

を下方に向けて、Fig. 1のようにロボットアーム先端部に取り付け、乳頭を上向きにした乳房模型上を探索することにより実施した。

アームに取り付けたセンサは、ヘッドと対象物の乳房模型との距離を自動的に計測しながら円弧状の軌跡を描いて前進する。

実験においてロボットアームの制御ならびに乳房模型までの測距データの転送、解析、乳房の画像表示は1台のコンピュータ(PC-9801VX 80286 10 MHz)で実施した。これらの計測、ロボット制御システムをFig. 2に示す。

1. 超音波変位センサ

供試した超音波センサはセンサとコントローラからなり、仕様は中心周波数が500 kHz、サンプリング周期が5 msecである。また距離測定範囲は35~300 mm、分解能0.3 mm、ビーム径10 mmである。測定対象物までの距離設定はコントローラの粗調整ダイヤル(D)と微調整ダイヤル(ΔD)により行われる。各ダイヤル目盛りと設定距離の関係について、Fig. 3に示す。本システムでは、D、 ΔD ダイヤルをそれぞれ2.4、0.0とした。設定距離は約120 mmである。

コントローラからは、対象物とセンサの距離に比例した電圧(MON. 1)とセンサが受信する対象物からの反射波レベルに比例した電圧(MON. 2)が出力される。反射波レベルは超音波が反射して返ってくる時の強度で、対象物が平面の時大きく、曲面では小さな出力となる。また同じ平面でも近いほど大きな出力となる。従って乳頭

* 酪農学科、農業機械学研究室

Department of Dairy Science (Agricultural Machinery), Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido 069, Japan.

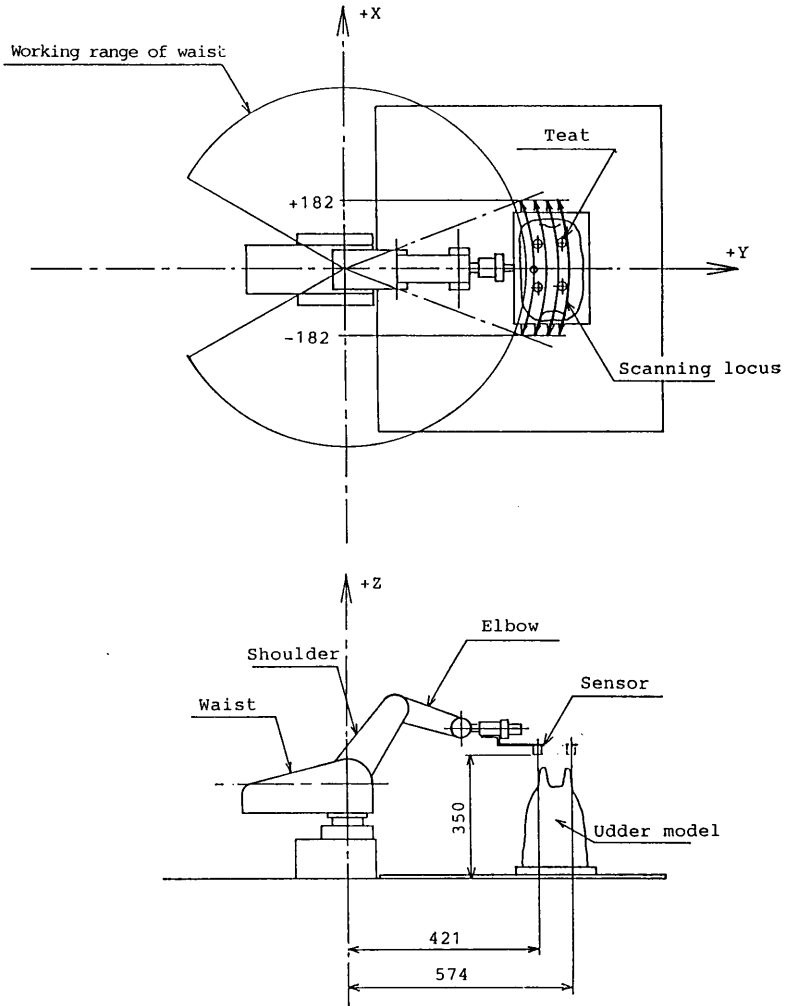


Fig. 1. The robot arm and the method of detecting the teat location.

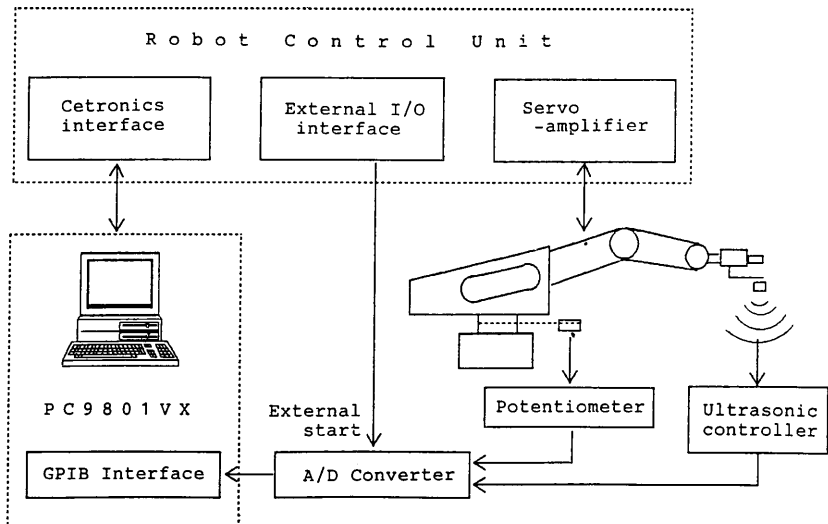


Fig. 2. Schematic block diagram of instrument and control.

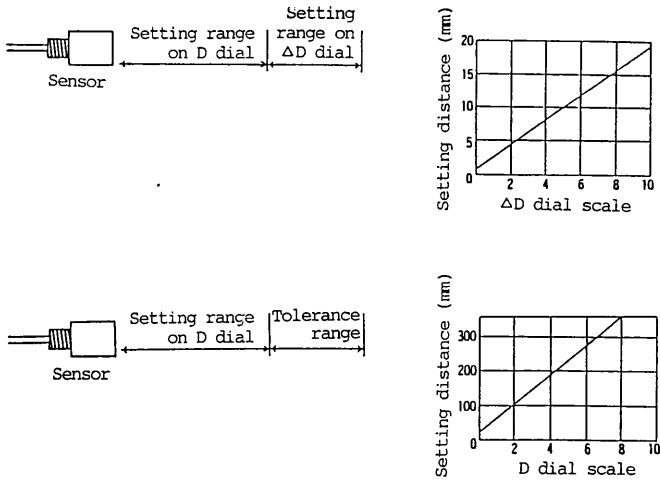


Fig. 3. Relation between dial scale and setting distance.

先端部分や乳房の平らな部分は大きな出力となる。さらにDダイヤルで設定した距離より近い場合はオープンコレクタ形式の出力 (NEAR) が得られる。この出力はデータ処理に用いる測定点を設定値以内に限定するとき用い、データの処理時間短縮に有効である。

温度による影響は、付属の温度センサを超音波センサヘッド付近に設置し自動補正した。

2. センサ移動用ロボット

センサヘッドの移動は5自由度の垂直多関節型軽作業用ロボットのアームによって行った。

ロボットの作動は、予め別のプログラムで作成したアーム先端位置のポジションデータをホストコンピュータ

からロボット・コントローラに転送した後、ポジション番号を指示することによって可能となる。ロボットアームは、ウェイト角を中心に円弧状の軌跡を描きながら乳房模型の上を移動し、センサの測距信号であるコントローラの出力電圧値がA/D変換される。このA/D変換の開始、終了は変換器の外部スタート端子にロボット・コントローラの外部出力からバッファ回路を介した外部トリガ信号を入力する方法で行った。

ポジション間の移動速度は、0~9までのパラメータにより10段階に変えることが可能で、本システムでは3 (146 mm/s) で行った。

センサの位置座標は、ウェイト回転部の前方にポテ

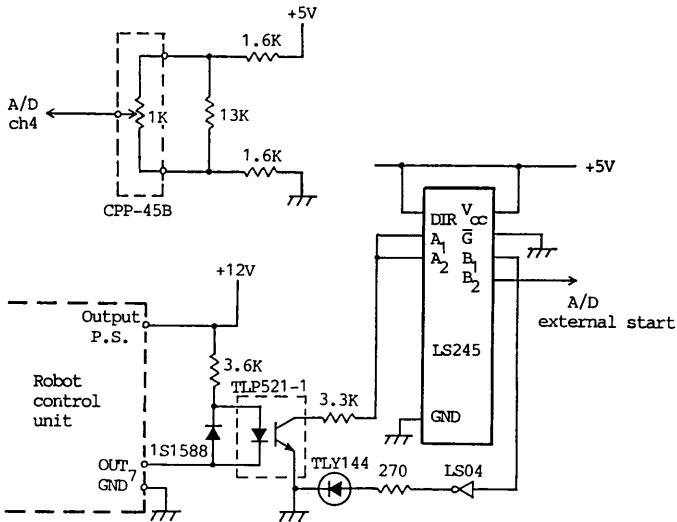


Fig. 4. Potentiometer bridge circuit and external start buffer circuit.

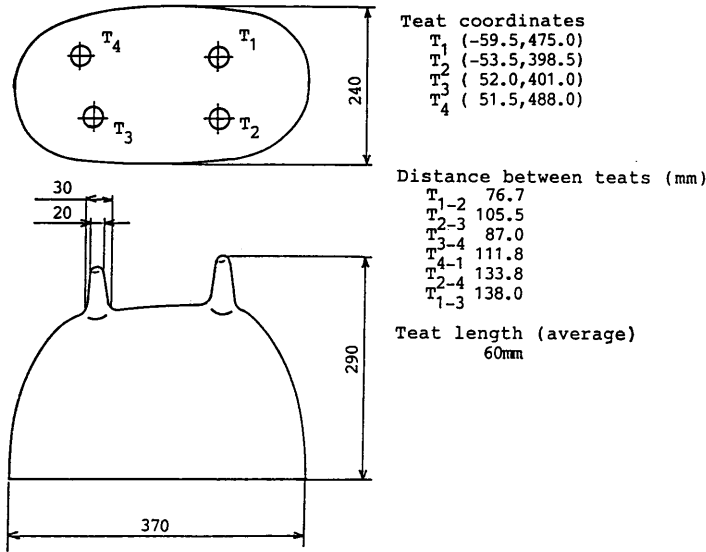


Fig. 5. The udder model.

ンションメータ (CPP-45B) を取り付け、タイミングベルトによってウェイスの回転角を計測して算出した。ポテンションメータ用ブリッジ回路と外部トリガ用バッファ回路について、Fig. 4 に示す。

乳頭検出における乳房模型の乳頭位置座標は、ロボットのウェイスを中心とする空間座標系を基準とした。

3. 乳房模型

乳房模型はほぼ実物大である (Fig. 5)。材質は合成樹脂で一部ゴム製である。表面の仕上げは荒いため超音波の全反射は少ない。乳頭部の長さは平均 60 mm、直径は 20~30 mm で、乳頭先端を上にした場合の乳房模型の高さは 290 mm である。

乳頭位置検出用ソフトウェア

ロボットアームの制御、測距データの A/D 変換器からコンピュータへの転送および乳頭位置座標の算出、解析はホストコンピュータにより実施した。

1. ロボット制御

ポジションデータ (センサの位置データ) のロボットコントローラへの転送はロボットの機械的原点出し、ホームポジションへの移動等の初期設定を行った後に実施した。ウェイス角の較正はウェイスを ±30 度に回転させた時のポテンションメータのからの出力値により求めた。

2. 超音波走査

ロボットアームに取り付けたセンサは、ロボットのポジション番号の指示によってセンサヘッドの高さを 350

mm に保って水平面上を移動する。その時の X 座標は +182 mm から -182 mm で、ウェイスを中心とした円弧の軌跡となる。センサは乳房模型までの距離を測定しながら 1 円弧の走査を終了すると、数 mm 前進し次の走査を繰り返す。

円弧上の測距間隔は測距時間間隔で決めることが可能である。実験での測距時間間隔は、20, 50, 100 ms で距離にすると 2.9, 7.3, 14.6 mm である。

測距データのコンピュータへの転送はロボットのウェイス角をポテンションメータの出力値から求めて 1 円弧分ずつ行われるようにした。

走査の最小半径は 421 mm で、最大 574 mm まで走査した時自動的にデータの解析がなされる。実験での走査間隔は 3, 5, 10 mm である。

3. 乳房模型の画像表示

乳房の外観と乳房位置を観察するためにセンサからの測距データおよびポテンションメータとポジションデータによる位置データを基に乳房模型の立体画像と平面画像をディスプレイに表示した。

立体画像の表示では、走査時の見かけの乳頭先端部を鮮明にするため反射波レベルの高い部分を白くし、乳房全体の形状を容易に観察できるようにした。平面画像の表示では、センサの最大測定距離 (設定値) と見かけの乳頭先端部分の間隔を 4 段階に色分けし、乳頭先端部分および乳頭の太さ等が画像の上で簡単に観察できるようにした。

4. 乳頭位置の計算方法

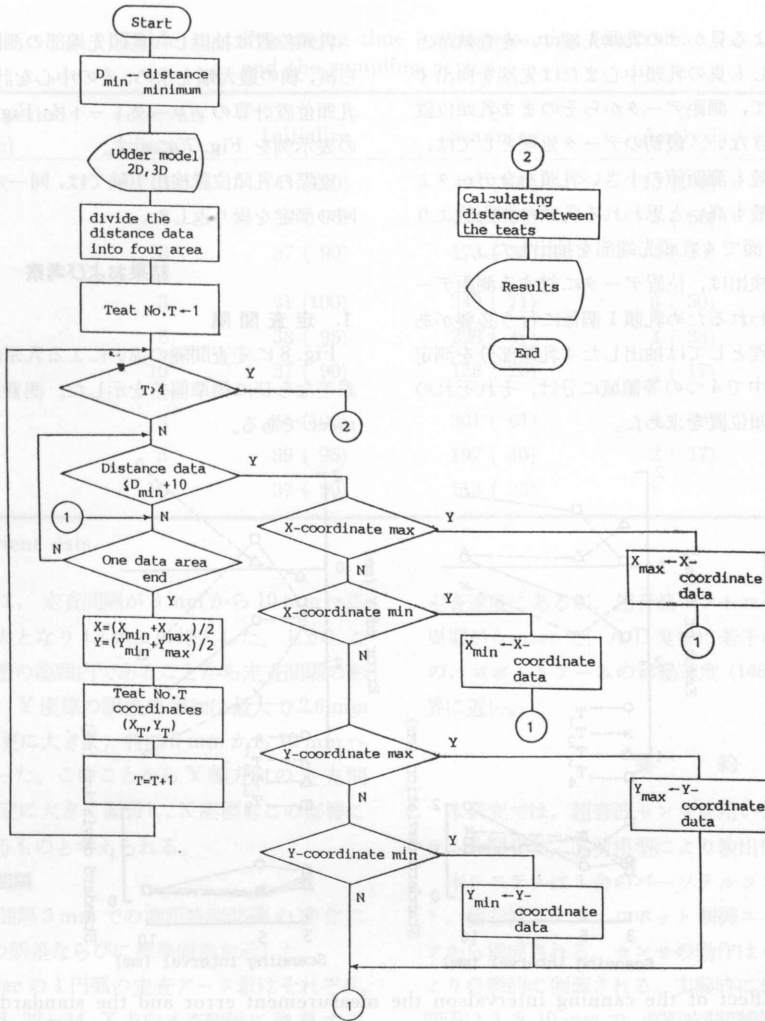


Fig. 6. Flow chart of calculating teat position.

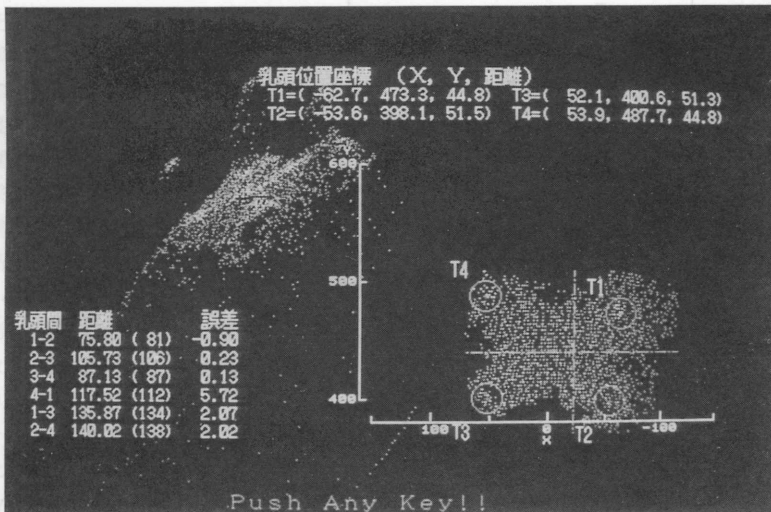


Fig. 7. Example of representation.

センサの走査による見かけの乳頭先端は、走査軌跡と測距間隔から必ずしも真の乳頭中心または先端を検出するとは限らないので、測距データからそのまま乳頭位置を求めることはできない。最初のデータ処理としては、4個の乳頭の中で最も測距値の小さい乳頭を全データより探し、見かけ上最も高いと思われる乳頭の測距値より10 mm 根元側の平面で4乳頭先端部を抽出した。

乳頭位置の座標検出は、位置データに対する測距データ相互の比較で行われるため乳頭1個毎に行う必要がある。次のデータ処理としては抽出した4乳頭部分を測定したXY座標面の中で4つの等領域に分け、それぞれの領域毎に個々の乳頭位置を求めた。

乳頭位置は抽出した乳頭先端部の測距時位置データから縦、横の最大幅を求め、その中心を計算して決定した。乳頭位置計算のフローチャートを Fig. 6 に、また結果の表示例を Fig. 7 に示す。

実際の乳頭位置検出実験では、同一走査条件に対し10回の測定を繰り返した。

結果および考察

1. 走査間隔

Fig. 8 に走査間隔の違いによる乳頭位置 X, Y 座標の誤差ならびに標準偏差を示した。測距時間間隔は、20 msec である。

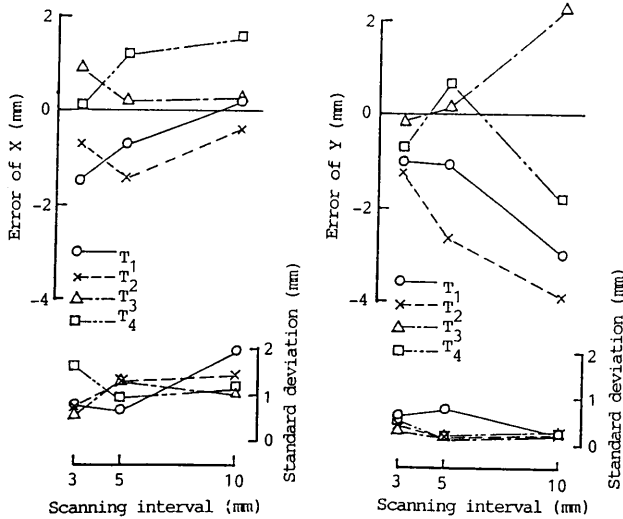


Fig. 8. Effect of the scanning interval on the measurement error and the standard deviation.

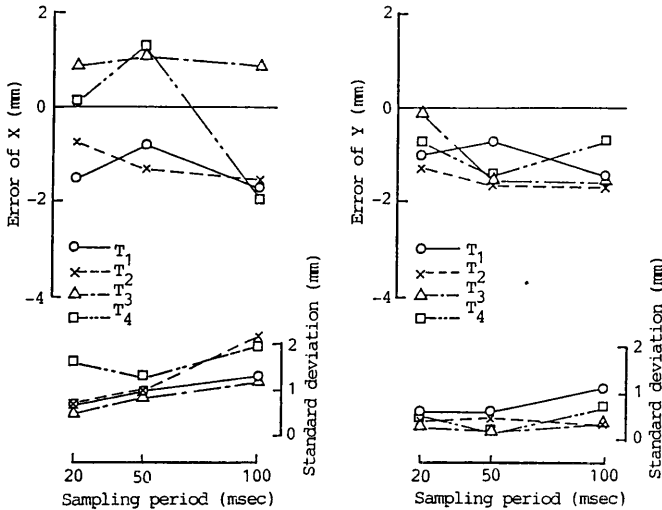


Fig. 9. Effect of the sampling period on the measurement error and standard deviation.

Table 1. Processing time by the scanning intervals and the sampling period

(second)

Sampling period (msec)	Intervals (mm)	1 Initialize	2 Scanning	3 Analysis	2+3 Total
20	3	41 (100)	493 (100)	12 (100)	505 (100)
	5	39 (95)	314 (64)	7 (58)	321 (64)
	10	37 (90)	173 (35)	4 (33)	177 (35)
50	3	41 (100)	349 (71)	6 (50)	355 (70)
	5	38 (95)	226 (46)	4 (33)	230 (65)
	10	37 (90)	128 (26)	2 (17)	130 (26)
100	3	41 (100)	301 (61)	4 (33)	305 (60)
	5	39 (95)	197 (40)	2 (17)	199 (39)
	10	37 (90)	113 (23)	*	

* Insufficient data.

X座標の誤差は、走査間隔が3 mmから10 mmへ広がると誤差も最大となり1.7 mmに増大した。しかしこの変化は標準偏差の範囲内であることから走査間隔の影響は判別し難い。Y座標の誤差の増加は最大で2.6 mmとX座標よりも更に大きく、特に5 mmから10 mmへの変化が大であった。このことからY軸方向の走査間隔はY座標の測定に大きく影響し、X座標もこの影響により多少変化するものと考えられる。

2. 測距離時間間隔

Fig. 9 に走査間隔3 mmでの測距時間間隔の変化によるX, Y座標の誤差ならびに標準偏差を示した。

20, 50, 100 msecの1円弧の走査データ数はそれぞれ、157~214, 63~86, 32~44, X方向走査間隔に換算すると1.7~2.3 mm, 4.5~5.8 mm, 8.3~11.4 mm, 全走査データ数はそれぞれ10334, 4182, 2134であった。X座標, Y座標の測定誤差ともに測距時間間隔による変化は少ないが、1円弧のデータ数が減少するに従い標準偏差は増大し、測定精度が低下する傾向を示した。

3. 処理時間

Table 1 にそれぞれの条件における処理時間を示した。いずれの場合においても超音波走査に要する時間は全体の80~90%を占め、処理時間短縮が課題である。

以上の結果から走査間隔が5 mm, 測距時間間隔が50 msecの時、測定誤差が1.0~1.5 mmと満足できる範囲内で処理時間は最も短く、その時の走査と解析処理に必要な時間は230秒であった。

本報のシステムではプログラム言語にBASICコンパイラを使用した。他の言語に置き換えて処理時間の短縮を図ることも可能である。本システムの大きな課題は

走査速度にあるが、超音波コントローラのサンプリング周期が5 msecで、A/D変換に若干の余裕があるものの、ロボットアームの移動速度(146 mm/sec)はほぼ限界に近い。

要 約

本研究では、超音波センサを用いた乳頭位置検出システムを開発し、乳房模型により検出性能を調べた。

本システムは1台のパーソナルコンピュータ、ロボット、超音波センサ、ロボット制御ユニットとソフトウェアから構成される。センサの動作はロボットシステムにより自動的に制御される。実験時におけるセンサの走査間隔は3, 5, 10 mmで、測距時間間隔は20, 50, 100 msecとした。

実験結果を要約すると以下の通りである。

1. 乳頭位置の測定誤差は走査間隔と測距時間間隔により影響される。
2. 処理時間が短くまた測定誤差が1.0~1.5 mmの範囲内であるための走査間隔と測距時間間隔はそれぞれ5 mmと50 msecであった。この場合処理時間は230秒であった。

文 献

- 1) 小宮道士, 川上克己, 1989: 超音波センサによる乳頭位置の検出方法について. 農機北支報, 30: 20-26.
- 2) 根釧農試酪農施設科, 1987: 昭和62年度酪農機械研究成績書, 79-88.
- 3) Ordolff, D., 1984: A system for automatic

- teatcup attachment. J. Agric. Engng. Res., **30**: 65-70.
- 4) Ordolff, D., 1987: Safety considerations for automatic milking system. J. Agric. Engng. Res., **38**: 91-98.
- 5) 丹波 登, 1982: 超音波計測. pp. 1-44, 昭晃堂, 東京.

Summary

The system of detecting the teat position using an ultrasonic sensor was developed, and tested to measure the teat position on the udder model.

This system was mainly composed of a personal computer, a robot, an ultrasonic sensor, a control unit of the robot, and software. The operation of the sensor was controlled automatically by the robot system. The scanning intervals of the teats were 3, 5, 10 mm and the sampling periods of the sensing were 20, 50, 100 msec.

The results obtained were as follows

1. The measurement error of the teat position was affected on the scanning intervals and the sampling period.
2. To obtain a measurement with an error in the range of 1.0 to 1.5 mm and to ensure rapid processing, the scanning intervals and the sampling period were 5 mm and 50 msec respectively. In this case, the processing time was 230 seconds.