

JAERI-Research

97-033



ジャイロとオドメトリを併用した移動ロボット
位置推定の評価実験

1997年5月

石川信行・前山祥一*・油田信一*・鈴木勝男

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。

入手の問い合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越してください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1997

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 株式会社原子力資料サービス

ジャイロとオドメトリを併用した移動ロボット位置推定の評価実験

日本原子力研究所東海研究所原子炉工学部

石川 信行・前山 祥一*・油田 信一*・鈴木 勝男

(1997年4月1日受理)

本研究では移動ロボットの自己位置推定精度の向上を図るために、圧電振動ジャイロで測定される角速度を併用した位置推定法の実験的検討を行っている。ジャイロの併用により、誤差発生の一因であるスリップによる瞬時的オドメトリ誤差の低減が可能なことを実験で確認した。実験では、まず圧電振動ジャイロによる角度算出の精度ならびにドリフト特性を測定した。その結果、圧電振動ジャイロではドリフトが比較的大きいためその補正が必要であることがわかった。その補正法としてローパスフィルタを用いた簡便な方法を提案し、その有効性を実験で確認した。位置推定実験では人為的に瞬時的オドメトリ誤差を発生させ、オドメトリだけからの推定法とジャイロを併用した推定法の結果を比較し、ジャイロ併用の有効性を示した。

Experimental Evaluation on Position Estimation of Mobile Robot
by the Combined Use of Odometry and Gyro

Nobuyuki ISHIKAWA, Shoichi MAEYAMA*, Shinichi YUTA* and Katsuo SUZUKI

Department of Reactor Engineering
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received April 1, 1997)

This study aims to improve the accuracy of position estimation of odometry by the combined use of piezoelectric vibration gyro. The method of reducing the sudden odometric error caused by slip of the wheel is investigated examining the measurement accuracy of the rotational angle and drift characteristics of piezoelectric vibration gyro. It is revealed that the amount of drift is so large that the drift compensation is necessitated. A new drift compensation technique based on low pass filtering is proposed and its effectiveness is evaluated by the experiment. Performing the position estimation experiment, two positioning methods, the odometry and the combined use of odometry and gyro, are compared.

Keywords : Position Estimation, Odometry, Sudden Odometric Error, Piezoelectric Vibration Gyro, the Combined Use of Odometry and Gyro, Gyro Drift Compensation

* Tsukuba University

目 次

1. まえがき	1
2. 移動ロボット実験システムの概要	2
3. 圧電振動ジャイロの特性測定実験	5
3.1 圧電振動ジャイロの動作原理	5
3.2 ジャイロの校正試験	5
3.3 ドリフト特性の測定	7
4. ジャイロとオドメトリ併用による位置推定法	11
4.1 オドメトリに基づく位置推定の原理とジャイロ併用のねらい	11
4.2 ジャイロの角速度情報の併用とジャイロドリフトの補正	11
5. 移動ロボットの位置推定実験	13
5.1 オドメトリによる位置推定実験	13
5.2 ジャイロ・オドメトリ併用の位置推定実験	13
6. むすび	20
参考文献	20

Contents

1. Introduction	1
2. Schematic Description of Mobile Robot System for Experimental Study	2
3. Experiment for Measuring the Characteristics of Piezoelectric Vibration Gyro	5
3.1 Principle of Operation of Piezoelectric Vibration Gyro	5
3.2 Calibration Test	5
3.3 Drift Characteristics	7
4. Position Estimation by Odometry Combined Use of Gyro	11
4.1 Position Estimation Method Based on Odometry and Requirement for Gyro	11
4.2 Combined Use of Angular Velocity from Gyro and Drift Compensation	11
5. Experimental Evaluation of Position Estimation of Mobile Robot	13
5.1 Position Estimation by Odometry	13
5.2 Position Estimation by Odometry Combined Use of Gyro	13
6. Conclusions	20
References	20

1. まえがき

移動ロボットを環境内を走行させて与えたタスクを遂行させる場合、自己位置を正確に推定することが必要である。外界センサを用いてランドマークにより自己位置推定値を補正する際にも、内界センサにより十分な精度で自己位置を推定する方法が望まれる。通常、自己位置は車輪に取り付けられたエンコーダで測定した車輪回転速を用いて推定する。この方法は走行系の情報に基づく推定法であり、オドメトリ法とよばれる。オドメトリ法における位置推定誤差はその成因により、定常的誤差と瞬時的誤差に大別できる。定常的な誤差とは、左右車輪の間隔などのキネマティクスパラメータの走行に伴う変動に起因する誤差および推定における累積誤差である。また、瞬時的な誤差とは、床面の状態により車輪がスリップするなどの瞬時的現象に起因する誤差である。オドメトリ法における誤差を低減するため光ファイバジャイロとオドメトリ法を併用した位置推定法が報告されている[1][2]。文献[1]では光ファイバジャイロで測定されるロボット車体の回転角速度がオドメトリによるよりも良いことに着目し、カルマンフィルタの枠組みで定常的な位置推定誤差を低減する試みをしている。また、文献[2]では光ファイバジャイロを用いて瞬時的なオドメトリ誤差を低減する報告がなされている。

本研究では安価な角速度センサである圧電振動ジャイロを用いて瞬時的なオドメトリ誤差を低減することを試みる。そのために圧電振動ジャイロによる角度測定の精度の評価および圧電振動ジャイロのドリフト特性の測定を行った。その結果、圧電振動ジャイロではドリフトが比較的大きいためその補正が必要であることがわかり、その補正法としてローパスフィルタを用いた簡便な方法を提案する。次に、圧電振動ジャイロドリフト補償法とジャイロ併用による瞬時的オドメトリ誤差の低減の可能性を実験で評価する。

本報告書の構成は次の通りである。2章では移動ロボット実験システムの概要を述べる。3章ではジャイロ単体の特性評価のために行ったジャイロ校正実験とドリフト特性測定実験の結果を示す。4章ではオドメトリによる位置推定の原理とジャイロ併用の必要性、そしてジャイロの併用法とジャイロドリフトの補正法について述べる。5章では移動ロボット実験システムを用いて行った位置推定実験の結果を示す。そして6章はまとめである。

2. 移動ロボット実験システムの概要

移動ロボット実験システムとしては、筑波大学知能ロボット研究室で開発されたシステム「山彦」を用いている。移動ロボットは重量が約10kgで、サイズはたて、横、高さがそれぞれ35cm, 30cm, 40cmと小型で実験用として設計されたものである。走行制御は左右の駆動輪の速度を制御することにより行う二輪操舵方式である。

Fig. 2.1に実験システムのハードウェア構成を示す。本実験ではCPUとしてトランスペュータT-805を用いたマザーボード（T-LOCOボード）を用いている。このボードには左右の車輪からのエンコーダカウント値を取り込むためのDI（デジタル入力インターフェイス）がついている。また、ジャイロ信号の取り込みはT-LOCOボード上に装着したAD変換ボードにより行う。このボードはT-LOCOボード用に製作したものであり、変換分解能は12ビット、入力電圧レンジは0～5[V]である。エンコーダのカウント値およびジャイロ信号の値をマザーボード上のメモリに入れるためにはDIおよびAD変換ボードのアドレスが必要である。それぞれのアドレスは以下の通りである。

DI 1（右車輪）： 10000020 (HEX)
 DI 2（左車輪）： 10000030 (HEX)
 AD変換ボード： 3001fe00 (HEX)

実験のためのプログラム開発はホストEWSで行い、作成された実行モジュールをT-LOCOボードにダウンロードして実験を行う。

次に実行モジュールの作成と実行の方法を説明する。実行モジュールはクロスコンパイラHelios Cを使用して作成する。プログラムのコンパイルは次のコマンドで実行される。

```
libecc -o modulename filename
```

オプション `-o modulename` でコンパイルの結果作成される実行モジュール名を指定する。この指定を行わない場合作成されるモジュール名は `a.out` となる。 `filename` はコンパイルするソースファイルの名前である。プログラム内で `sin()`, `cos()` 等の数学関数を使う場合にはプログラムの冒頭でヘッダファイル `<math.h>` をインクルードし、コンパイルのときに `-lm1_0` オプションをつける。すなわち、

```
libecc -o modulename filename -lm1_0
```

作成された実行モジュールはシリアルリンクアダプタを通してT-LOCOボード上へダウンロードする。ダウンロードにはロボット・ホスト間通信プログラム"asagiri"を使用する。実行モジュールのロードは"asagiri"のプロンプト上で次のコマンドを実行する。

```
>put modulename
```

ロードされたモジュールを実行するためには、"asagiri"プロンプト上で次のようにする。

```
>modulename
```

実験においてマザーボード上のAD変換ボード等で取得したデータをEWSで解析することが必要になる。そのためのデータ形式としてユニットという形式がある。ユニットは一般のC言語におけるファイルに相当する概念である。すなわち、取得したデータをユニット形式にしてT-LOCOボードのメモリに駐在させておき、実行終了後にデータユニットをEWSへ転送する。Helios Cでデータユニットを作るためにはプログラム中で次の記述をする。

```
int data;
int UNIT_SIZE;
UNIT *up;
up = unit_open("unitname", "w", UNIT_SIZE);
uprintf(up, "%d¥n", data);
```

"unitname"は作成するユニットの名前である。UNIT_SIZEは作成するユニットのバイト数である。1文字を1バイトとして数え、余裕をみて少し大きめの値を与えておく。変数dataはAD変換ボード等から得られた値を格納するための変数である。モジュールの実行により「山彦」メモリ上に作られたデータユニットをEWSへ転送するためには"asagiri"プロンプト上で次のコマンドを実行する。

```
>get unitname
```

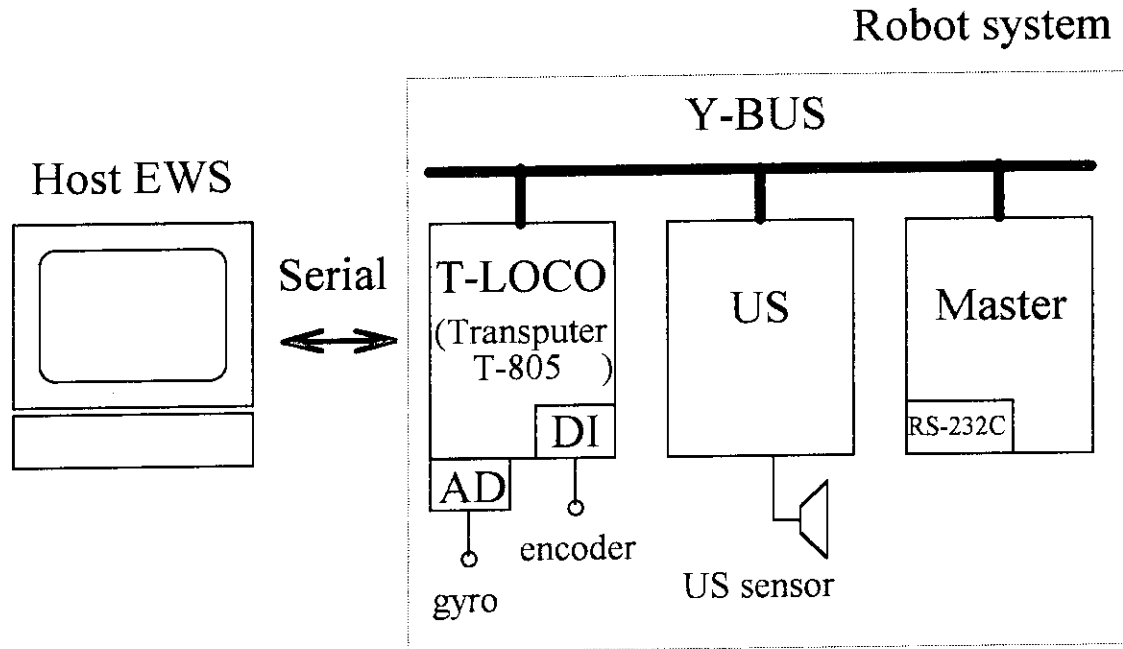



Fig. 2.1 Hardware configuration of experimental robot system

3. 圧電振動ジャイロの特性測定実験

3. 1 圧電振動ジャイロの動作原理

ジャイロは物体の回転軸まわりの角速度を測定するためのセンサである。ジャイロの種類としては、振動型ジャイロ、ガスジャイロ、光ジャイロなどがあり、測定の原理はそれぞれ異なる。ここでは本実験で使用する圧電素子を用いた振動ジャイロ（圧電振動ジャイロ）について説明する。なお、使用した圧電振動ジャイロは村田製作所製の“ジャイロスター”（ENC-05E）である。

Fig. 3. 1に圧電振動ジャイロの動作原理を示す。三角柱振動子の上部側面に励振用の圧電素子が、そして残る2つの側面には検出用の圧電素子が貼り付けられている。励振用圧電素子により三角柱振動子はy軸方向に振動する。そのとき、振動子をz軸のまわりに角速度 Ω で回転させるとx軸方向に Ω に比例した力（コリオリ力）が生ずる。その結果振動子はx方向に変形するので、これを検出用圧電素子で測定すればz軸のまわりの角速度 Ω を知ることができる。

3. 2 ジャイロの校正試験（変換係数の算出）

計測回路によってジャイロ出力はプリアンプで（直流）電圧利得5.7倍に増幅される。ジャイロとプリアンプの接続をFig. 3. 2に示す。ジャイロからは一定値の参照電圧 V_{ref} が出力されている。ジャイロ静止時の出力電圧を $V_g^{(\text{STAT})}$ と記す（以下、ヌル出力電圧とよぶ。なお、ヌル出力電圧はジャイロの動作状態により多少値が異なる。これは後述するドリフトとよばれる現象である）。ジャイロ出力電圧 V_g とヌル出力電圧 $V_g^{(\text{STAT})}$ の差がジャイロで測定される角速度に相当する。

Fig. 3. 2の回路でプリアンプ後のジャイロ出力 V_0 は次式で与えられる。

$$V_0 = \left(1 + \frac{Z_2}{R_1}\right)V_g - \frac{Z_2}{R_1}V_{\text{ref}} \quad (3. 1)$$

$$\text{ここで、} Z_2 = \frac{R_2}{1 + j\omega CR_2}$$

この回路はローパスフィルタであり、カットオフ周波数 f_c は次式である。

$$f_c = \frac{1}{2\pi CR_2} = 22.6[\text{Hz}] \quad (3.2)$$

ジャイロ静止時のプリアンプ出力は次式である。

$$V_0^{(\text{STAT})} = V_g^{(\text{STAT})} + \frac{R_2}{R_1} [V_g^{(\text{STAT})} - V_{\text{ref}}] \quad (3.3)$$

プリアンプ後の電圧値で見たとき、 $\tilde{V}_0 = V_0 - V_0^{(\text{STAT})}$ が測定すべき角速度 Ω に相当する。ここで、 \tilde{V}_0 はヌル出力成分を差し引いたプリアンプ出力である。プリアンプ後の電圧値と角速度は変換係数 α を用いて次式で表される。

$$\tilde{V}_0 = \alpha \Omega \quad (3.4)$$

角速度を測定をするためには変換係数 α を求める必要がある。そのためには、ジャイロを一定の角速度で回転させその時の出力電圧 \tilde{V}_0 を測定すればよいのであるが、回転台が必要であるなど諸々の困難を伴うため別の方法をとる。ここで用いる方法とは、ジャイロを既知角度 Θ_0 だけ回転させたときの \tilde{V}_0 の積分値から変換係数を求める方法である。すなわち、(3.4) 式を時間で積分して α について解けばよい。

$$\alpha = \frac{\int_0^T \tilde{V}_0(t) dt}{\int_0^T \Omega(t) dt} = \frac{\int_0^T \tilde{V}_0(t) dt}{\Theta_0} [\text{V / deg / sec}] \quad (3.5)$$

上式で T は測定が終了するまでの時間である。

ジャイロ校正実験では Θ_0 を 90 [deg] として 4 回同様の測定を行った。そのときの \tilde{V}_0 の値の一例を Fig. 3.3 に示す。このときのサンプリング周期は 10 [msec] である。ジャイロは AD 変換スタート後 10 秒してから回転させている。ジャイロ静止時の 10 秒間のデータから $V_0^{(\text{STAT})}$ をそれぞれの場合について算出している。それぞれの場合について算出を行ったのは、時間変化に伴ってヌル出力電圧、すなわち $V_0^{(\text{STAT})}$ が変動するためである。これはドリフトとよばれる現象で、時間的にどのように変化するかは次節で述べる。4 回の測定について算出された α の値を Table 3.1 示す。

Table 3.1 Conversion coefficient of gyro

変換係数 α [mV/deg/sec]	平均値からのずれ [%]
6.2289	-0.72
6.2394	-0.55
6.3002	+0.41
6.3279	+0.85

変換係数 (平均値) : 6.2741[mV/deg/sec]

4つのケースについて平均した変換係数 α は、6.2741[mV/deg/sec]である。ジャイロによる角度算出の際にはこの値を用いることにする。各ケースにおける変換係数の平均値のまわりのばらつきは2[%]以内である。このことは(3.5)式の関係よりジャイロデータから算出される角度の精度が2[%]であることを意味している。

なお、ジャイロ特性の測定においてはAD変換器としてPC-98上で動作する市販のボード (canopus製: ADJ-98) を使用した。

3.3 ドリフト特性の測定

ジャイロ静止時のプリアンプ出力電圧 $V_0^{(STAT)}$ は時間が経過するにしたがい変動する。この現象はドリフトとよばれることは前節で述べた。この節では、ドリフトの測定結果を示す。

Fig. 3.4はジャイロを静止させた状態でのプリアンプ出力を2000秒にわたりAD変換器 (ADJ-98) で記録したものである。サンプリング周期は0.5[sec]である。プリアンプ出力で約6[mV]電圧が変動している。結果の表示で波形が階段状になっているのは使用しているAD変換器の最小分解能が2.44[mV]であるためである。プリアンプ後における変動幅が6[mV]というのは、前節の校正の結果より角速度については1[deg/sec]程度のドリフトに相当する。前節で算出したジャイロ変換係数を用いてジャイロ出力を積算して角度を算出した結果をFig. 3.5に示す。圧電振動ジャイロのドリフトは比較的大きいのでその補正が必要であるといえる。これについては次章で述べる。

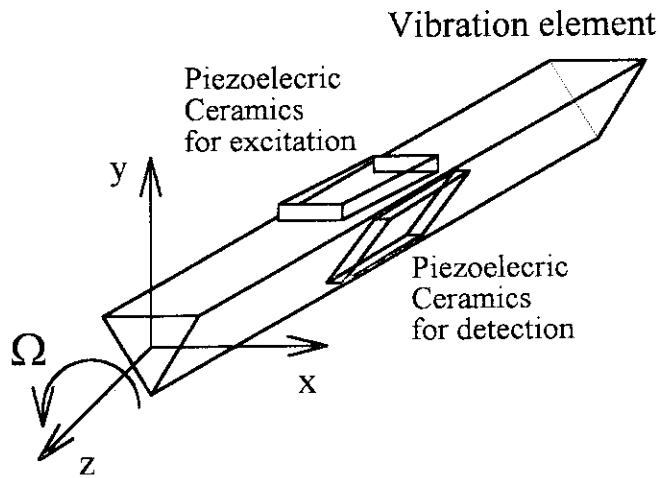


Fig. 3.1 Principle of operation of piezoelectric vibration gyro

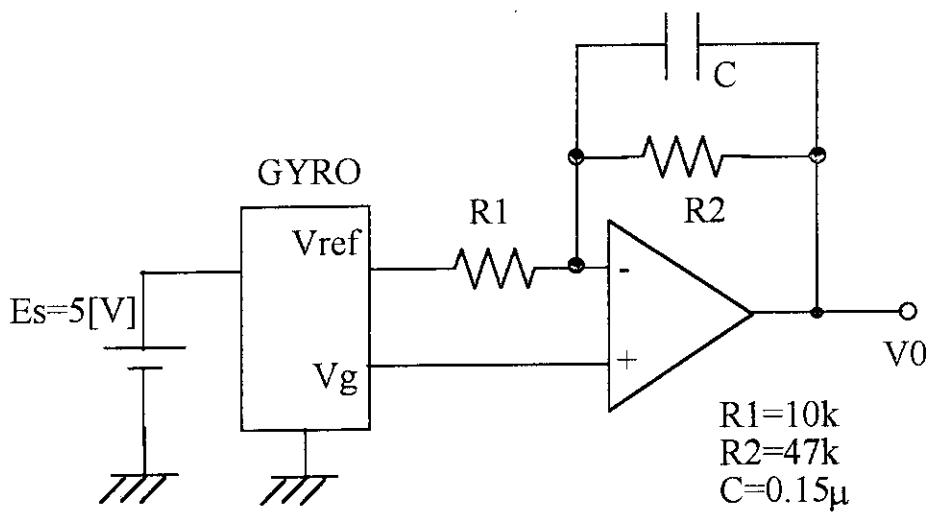


Fig. 3.2 Connection of gyro and pre-amplifier

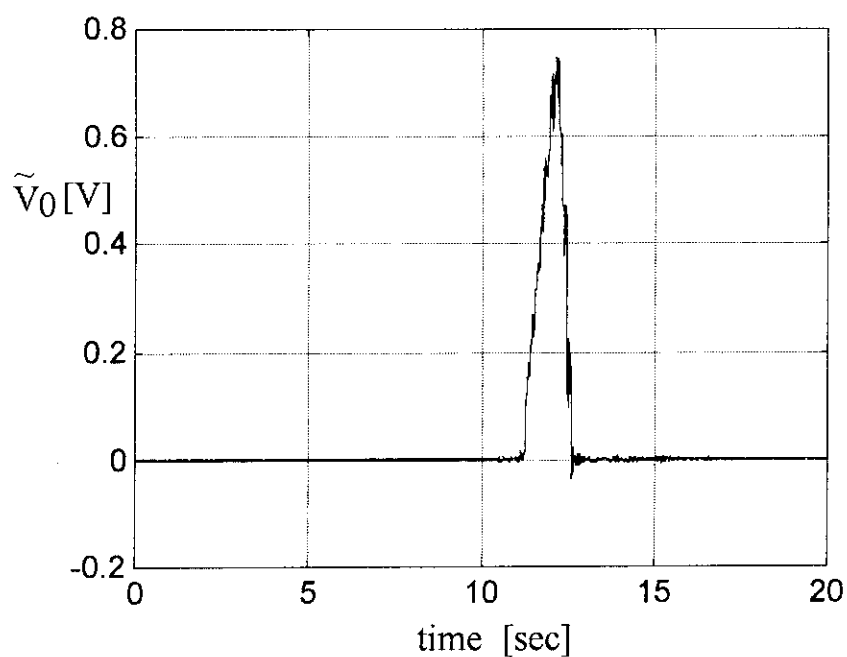


Fig. 3.3 Pre-amplified gyro signal with DC removal

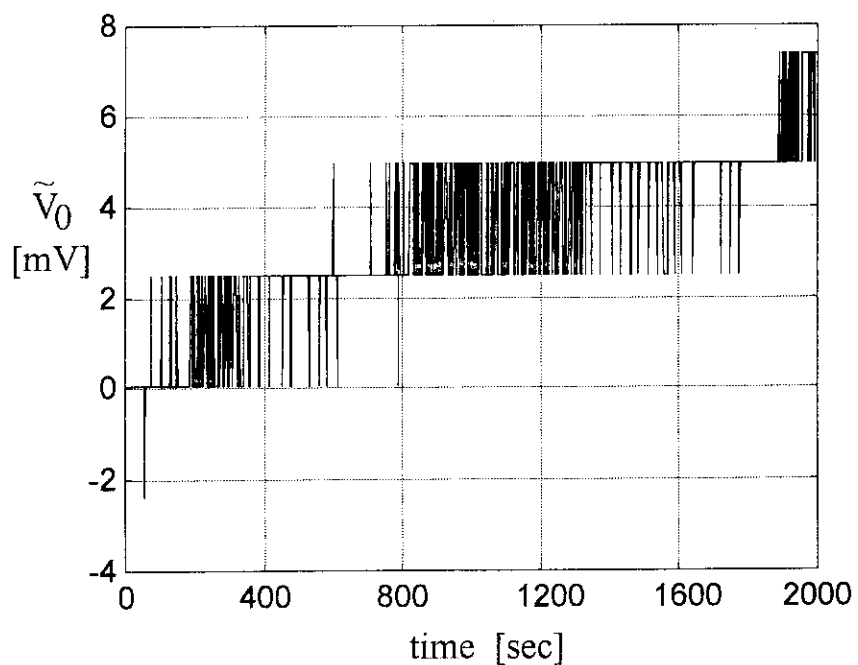


Fig. 3.4 Pre-amplified gyro signal with DC removal while gyro is at a stand still (Gyro drift)

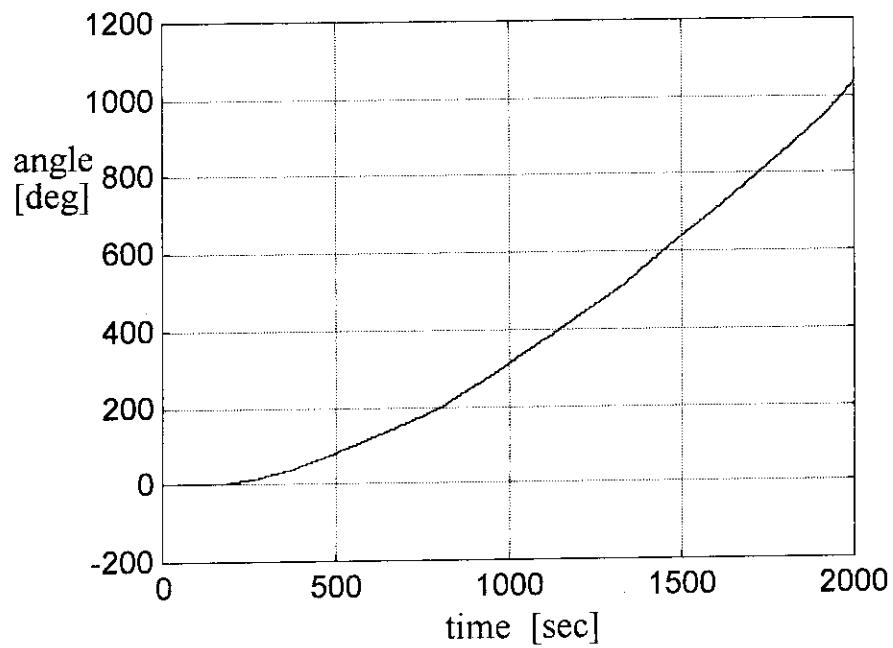


Fig. 3.5 Angle calculated from gyro signal while gyro is at a stand still

4. ジャイロとオドメトリ併用による位置推定法

4. 1 オドメトリに基づく位置推定の原理とジャイロ併用のねらい

車輪型移動ロボットの位置・姿勢の推定法としては、車輪回転軸に取り付けられたエンコーダのデータから算出された移動ロボットの速度および回転角速度を積算する方法がよく使われる。この方法は走行系の情報に基づく方法であるのでオドメトリ法とよばれる。2輪操舵方式の移動ロボットの場合の位置姿勢の計算式は次式である。

$$\Omega(k) = \frac{L[u_R(k) - u_L(k)]}{T}$$

$$v(k) = \frac{L[u_R(k) + u_L(k)]}{2}$$

$$\theta(k+1) = \theta(k) + \tau\Omega(k)$$

$$x(k+1) = x(k) + \tau v(k) \cos\theta(k)$$

$$y(k+1) = y(k) + \tau v(k) \sin\theta(k)$$

演算周期 τ で位置 $x(k), y(k)$ 、および姿勢角 $\theta(k)$ を更新する。上式において、 L は車輪半径、 T は両輪間隔のキネマティクスパラメータである。 $\Omega(k)$ は移動ロボットの回転角速度、 $v(k)$ はその移動速度である。そして、 $u_L(k), u_R(k)$ は左右車輪の回転角速度である。

オドメトリ法では L や T などのパラメータ誤差により、走行距離に比例して推定位置姿勢の誤差が増大する欠点がある。また、高速走行時の車輪のスリップや路面の凹凸なども推定位置姿勢に大きな誤差を及ぼす。車輪のスリップなどの要因で移動ロボットの回転角速度 $\Omega(k)$ の算出に誤差を伴うと、姿勢角 $\theta(k)$ 、および位置 $x(k), y(k)$ の更新の際の誤差の成因になる。そこで、角速度センサであるジャイロを併用して $\Omega(k)$ の算出におけるスリップなどによるオドメトリ的な誤差を低減すれば、位置推定精度の向上を図ることが可能である。

4. 2 ジャイロの角速度情報の併用とジャイロドリフトの補正

前節では、姿勢角の測定誤差が移動ロボット位置推定の誤差の大きな原因になることを述べた。ここでは文献[2]同様、スリップなどの瞬時的なオドメトリ誤差による姿勢角推定の精度を向上させるため、ジャイロセンサの角速度情報を併用する方法をと

る。この節ではジャイロの角速度情報を如何に利用して瞬時的なオドメトリ誤差の低減を図るかを説明する。自己位置推定は通常時はオドメトリに基づいて行い、瞬時的なオドメトリ誤差を生じた瞬間のみ、ジャイロで測定される角速度情報を用いる。瞬時的オドメトリ誤差の発生の判定のため次の量を定義する。

$$\Delta(k) = \Omega_{\text{gyro}}(k) - \Omega_{\text{odom}}(k)$$

上式において、 $\Omega_{\text{gyro}}(k)$ はジャイロで測定されたロボット車体の角速度、 $\Omega_{\text{odom}}(k)$ はオドメトリから算出されたものである。スリップが発生した瞬間には偏差 $\Delta(k)$ が大ききな値をとるので、 $\Delta(k)$ の絶対値がある値より大きくなったとき、スリップなどの瞬時的オドメトリ誤差が生じたものとみなすことにする。判定のしきい値を Δ_{max} としたとき、位置推定のための車体角速度は次式のようにする。

$$\Omega(k) = \begin{cases} \Omega_{\text{odom}}(k) & (|\Delta(k)| \leq \Delta_{\text{max}}) \\ \bar{\Omega}_{\text{gyro}}(k) & (|\Delta(k)| > \Delta_{\text{max}}) \end{cases}$$

ここで、 $\bar{\Omega}_{\text{gyro}}(k)$ はドリフト補正したジャイロ角速度である。

次にジャイロドリフトの補正法について説明する。ジャイロ信号は既に述べたように1 [deg/sec]程度のドリフト変動をしている。ジャイロの角速度情報は瞬時的オドメトリ誤差が生じた間だけ使用するが、移動ロボットはある程度長い時間走行するのでドリフト補償が必要である。ここではオドメトリから算出された車体角速度 $\Omega_{\text{odom}}(k)$ を利用したドリフト補正法を提案する。偏差 $\Delta(k)$ の生じる原因としては、車輪のスリップなどによる瞬時的オドメトリ誤差によるものとジャイロドリフトによるものに分けられる。周波数領域で見たとき前者のオドメトリ誤差は高域に、ジャイロドリフトによる誤差は低域に属する。したがって、 $\Delta(k)$ の低周波成分のみを抽出すればドリフト分が推定でき、その補償が可能となる。 $\Delta(k)$ の低周波成分を抽出するためにはローパスフィルタを用いる。ここではフィルタ演算の安定性を考慮して、FIR型のデジタルフィルタを用いる。フィルタの伝達関数を $H(z^{-1})$ としたときジャイロドリフト分 $\bar{\Delta}(k)$ は次式で演算される。

$$\bar{\Delta}(k) = H(z^{-1})\Delta(k)$$

ここで、 $H(z^{-1}) = h_0 + h_1 z^{-1} + \dots + h_N z^{-N}$ であり、 z^{-1} は1ステップ遅れ演算子を意味する。ドリフト補正されたジャイロからの角速度情報は次式である。

$$\bar{\Omega}_{\text{gyro}}(k) = \Omega_{\text{gyro}}(k) - \bar{\Delta}(k)$$

5. 移動ロボットの位置推定実験

5.1 オドメトリによる位置推定実験

オドメトリによる推定精度を評価するためロボットを動かして位置推定実験を行った。原点からロボットを動かし約6mの軌道を1周させて元の位置に戻す実験をした。元の位置に戻ったときの位置推定値により精度を評価する。Fig. 5.1はロボットを反時計回りに動かしたときの位置推定値をプロットしたものである。位置推定は50[msec]周期で行っている。実験ではロボットを手押しで移動させた。元の位置に戻したときの推定位置・姿勢角は(-8mm, -27[mm], 360.8[deg])であった。Fig. 5.2は時計回りに1周動かしたときの推定位置のプロットである。元の位置に戻したときの推定位置・姿勢角は(-50[mm], 75[mm], -363.9[deg])であった。なお、位置推定のためのキネマティクスパラメータとしては、車輪半径が57.4[mm]、両輪間隔が293.3[mm]である。両輪間隔についてはキャリブレーションをして補正している。

Fig. 5.3はロボットを1800[mm]直進させる途中で(900[mm]付近で)左片輪を少し持ち上げたときの位置推定値をプロットしたものである。900[mm]以降の推定結果が車輪持ち上げの影響で大きくずれていることがわかる。最終位置での推定位置・姿勢角は(1720[mm], 215[mm], 15.9[deg])となり進行方向左側にずれた推定結果になっている。この実験ではロボットを手で押して移動させているため車輪スリップによる瞬時的オドメトリ誤差が発生しないため、片車輪の持ち上げで瞬時的誤差を人為的に作り出した。実際のスリップでは車輪が回転しているにも拘らずロボットがその方向に移動しないという現象であるのに対して、人為的に行った片車輪持ち上げはその瞬間に片方の車輪が停止しているにも拘らずロボットは直進しているので現象的に逆であるが、瞬時的オドメトリ誤差の評価のためには妥当な実験設定であるといえる。

5.2 ジャイロ・オドメトリ併用の位置推定実験

この節では前節の実験において、自己位置を4.2節で述べたジャイロ併用の方法で推定した結果を述べる。Fig. 5.4はオドメトリから算出されたロボット車体の角速度 $\Omega_{\text{odom}}(k)$ であり、Fig. 5.5はジャイロから得られた $\Omega_{\text{gyro}}(k)$ である。Fig. 5.5を見るとジャイロ出力が1[deg/sec]程度ドリフトしているのがわかる。Fig. 5.6は $\Omega_{\text{gyro}}(k)$ と $\Omega_{\text{odom}}(k)$ の差、 $\Delta(k)$ を示したものである。瞬時的なオドメトリ誤差を発生させた瞬間に偏差 $\Delta(k)$ の値が大きくなっていることがわかる。Fig. 5.7は $\Delta(k)$ をローパスフィルタに通してジャイロドリフト分を抽出したものである。ドリフト分のみを抽出する

ために、瞬時的オドメトリ誤差が発生してからフィルタの過渡応答時間に相当する部分 (50[msec]*64) の出力をマスク (一定値に保持) している。ここで用いたローパスフィルタは64次のFIR型デジタルフィルタである。フィルタ次数は演算の手間を考えるとなるべく低いのが望ましいが、ここでは0.2[Hz]付近のカットオフ周波数を実現するために64次とした。フィルタの周波数特性をFig. 5.8に示す。Fig. 5.9にジャイロドリフト補正された角速度情報 $\bar{\Omega}_{\text{gyro}}(k)$ を示す。Fig. 5.6と比較するとジャイロドリフトが補償されているのがわかる。Fig. 5.10は4.2節で述べたジャイロ・オドメトリ併用法で自己位置を推定した結果である。ここで Δ_{max} の値は、スリップ発生のないときの $\Delta(k)$ の振動幅を考慮して5[deg/sec]とした。最終地点での推定位置は(1749[mm], -34[mm], -1.4[deg])である。ジャイロ併用により位置推定精度向上の要因である姿勢角について1/10程度の誤差の低減が図られており、ジャイロ角速度情報を併用した推定法の有効性が示されている。

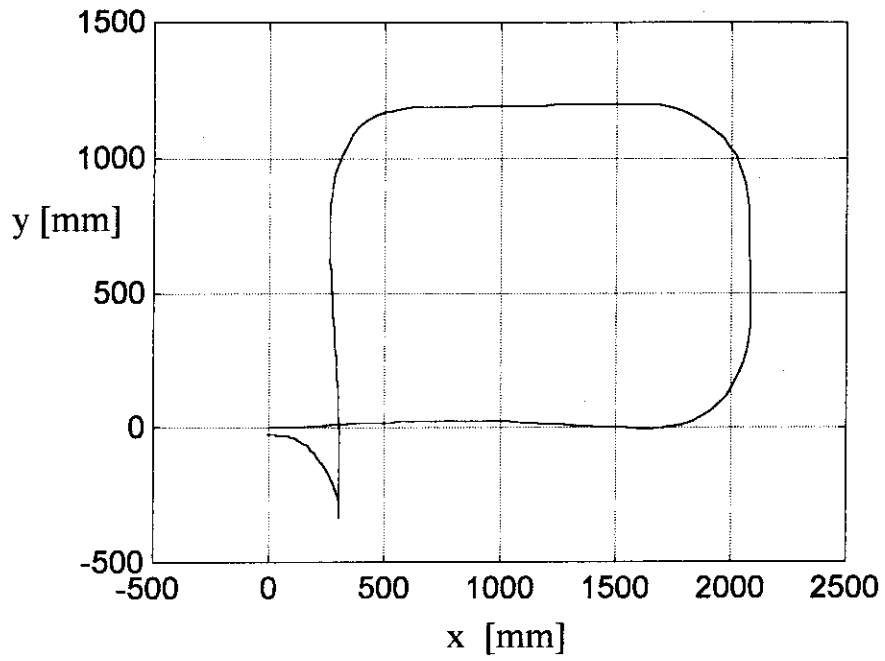


Fig. 5.1 Position estimation with odometry

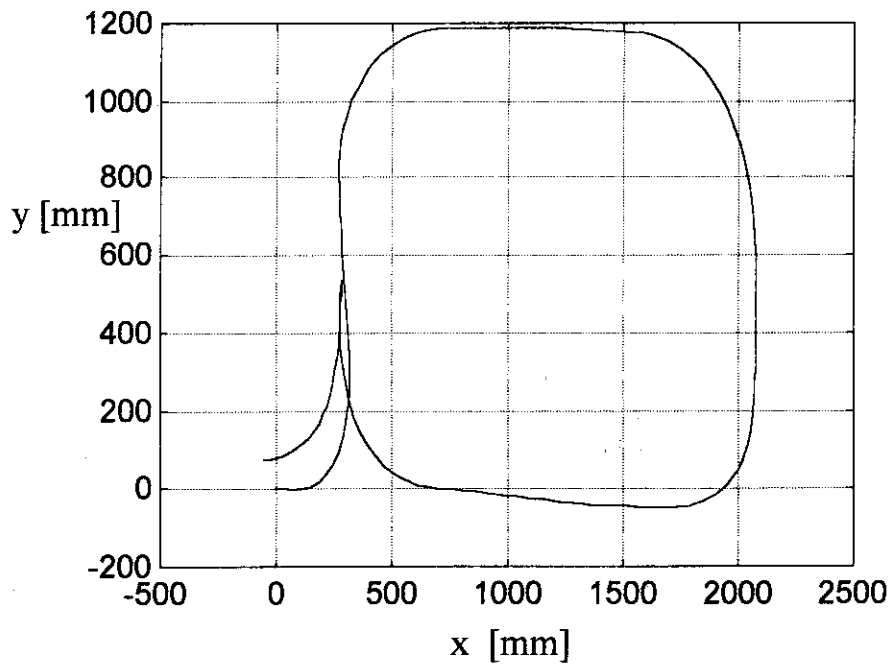


Fig. 5.2 Position estimation with odometry

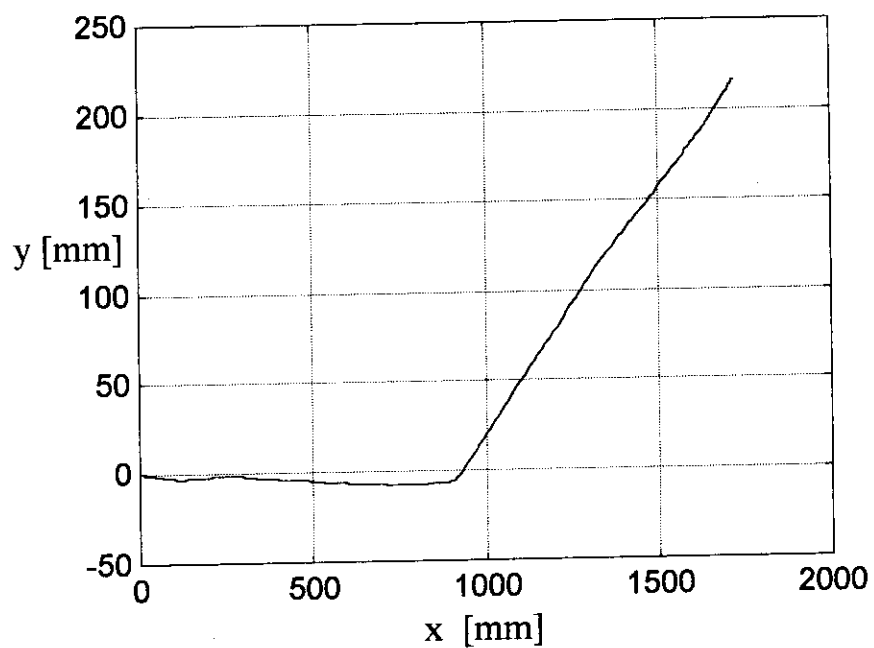


Fig. 5.3 Position estimation with odometry in the case of sudden odometric error occurred

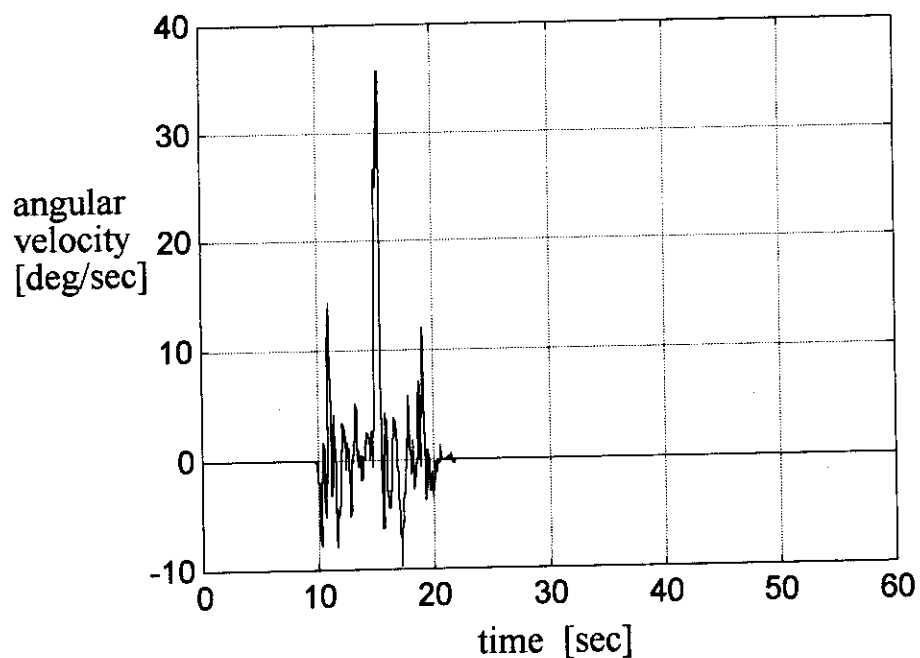


Fig. 5.4 Angular velocity of robot obtained by odometry ($\Omega_{odom}(k)$)

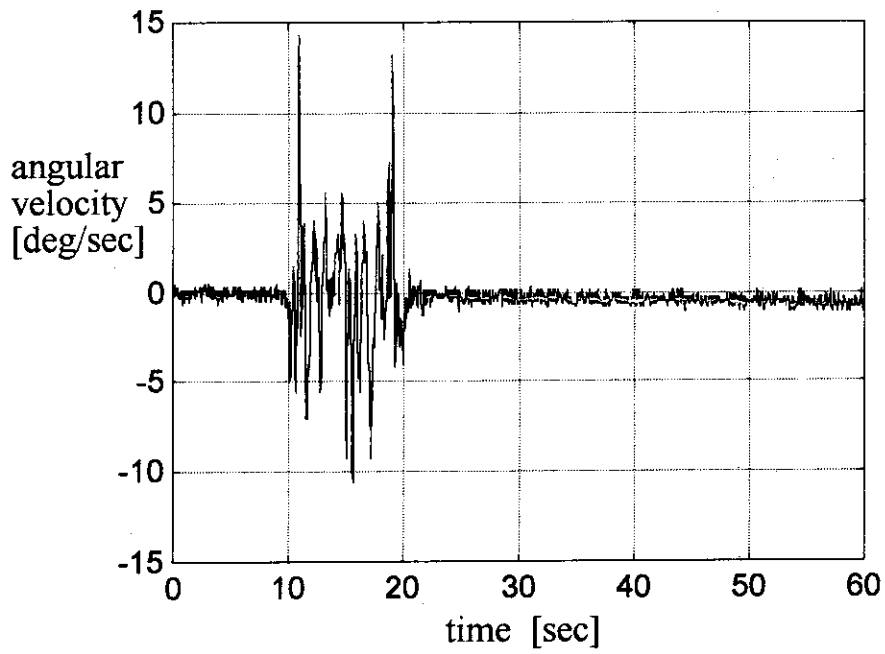


Fig. 5.5 Angular velocity of robot measured by gyro ($\Omega_{\text{gyro}}(k)$)

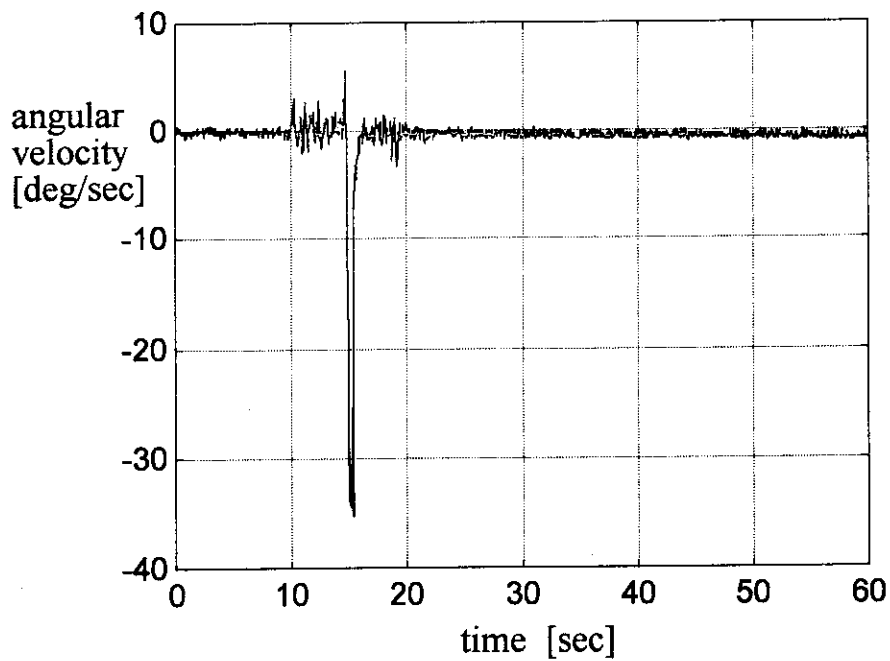


Fig. 5.6 Difference of angular velocity obtained by odometry and gyro ($\Delta(k)$)

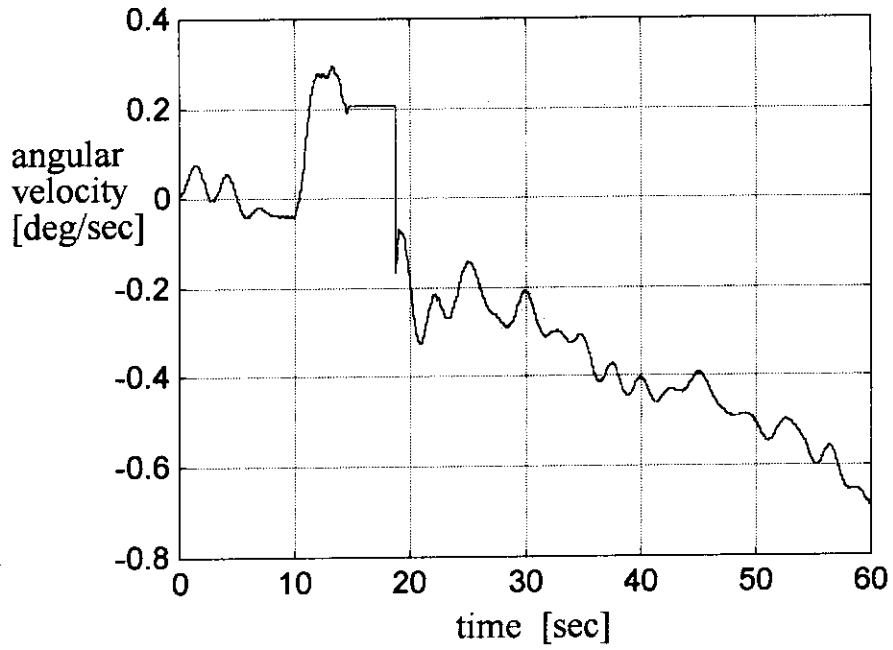


Fig. 5.7 Drift estimation by the 64-th order FIR lowpass filter

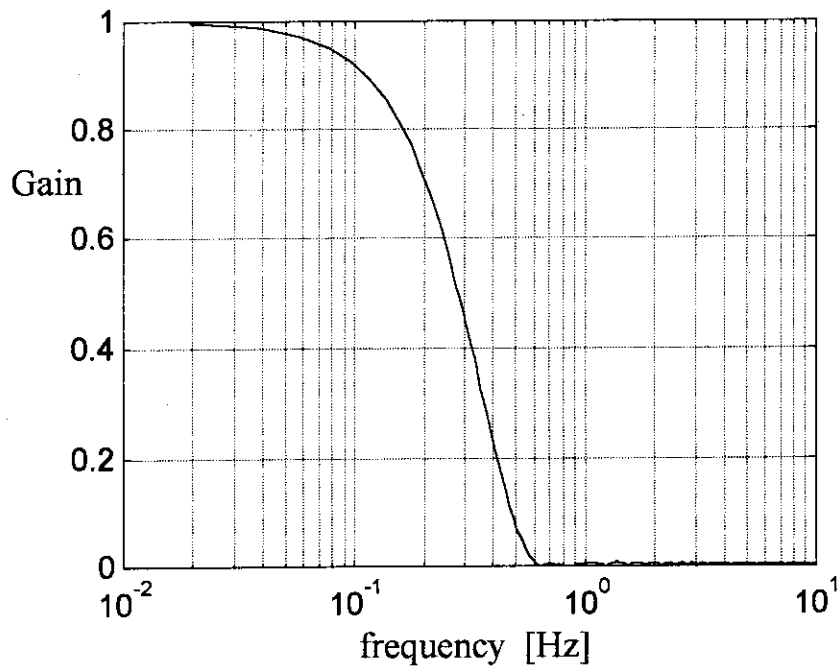


Fig. 5.8 Frequency response of the 64-th order FIR lowpass filter for drift estimation

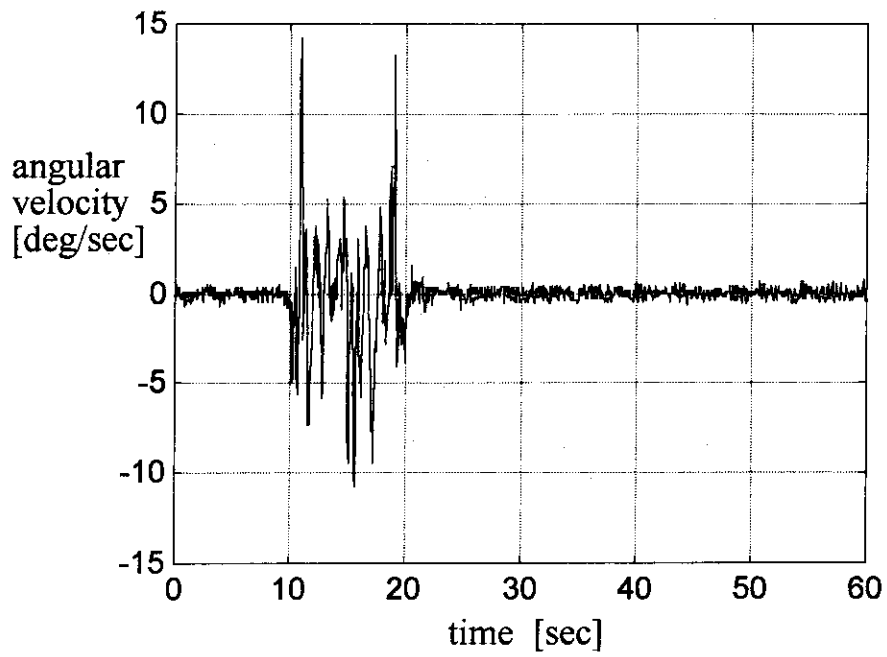


Fig. 5.9 Angular velocity of robot measured by gyro with drift compensation

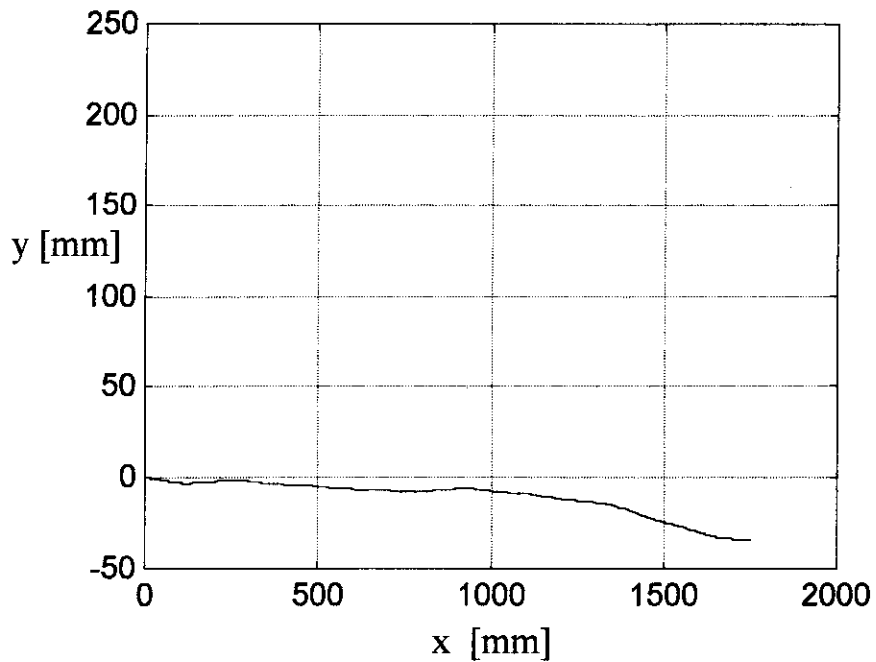


Fig. 5.10 Position estimation by the combined use of odometry and gyro in the case of sudden odometric error occurred

6. むすび

本研究では圧電振動ジャイロで測定される角速度情報を併用して瞬時的オドメトリ誤差の低減が可能なことを実験により評価した。あわせて、圧電振動ジャイロによる角度算出の精度が2%程度であること、ならびにドリフトが1[deg/sec]程度あることをジャイロ単体の特性測定実験から明らかにした。移動ロボットの長時間走行を考えるとドリフトを補償することが必要である。本稿ではローパスフィルタを用いたドリフト推定法を提案しその有効性を実験で示した。位置推定実験では瞬時的オドメトリ誤差を人為的に与え、オドメトリだけからの推定法とジャイロを併用した推定法の結果を比較し、ジャイロ併用の有効性を確認した。

本研究は原子力基盤クロスオーバ研究自律型プラントのための分散協調知能システムの開発の一環として実施したものである。今後は本稿で検証した方法をシステム化し、人間協調型ロボットシステム構成のための要素技術としてまとめる予定である。

参考文献

- [1]小森谷, 大山: 光ファイバジャイロを利用した移動ロボットの位置推定の一方法, 日本ロボット学会誌, Vol. 14, No. 4, pp. 532-537 (1996)
- [2]前山: オドメトリと光ファイバ・ジャイロの融合によるデッドレコニング性能の向上, 1995年度第3回山彦シンポジウム予稿集 (非公開資料), pp. 101-104 (1996)

6. むすび

本研究では圧電振動ジャイロで測定される角速度情報を併用して瞬時的オドメトリ誤差の低減が可能なことを実験により評価した。あわせて、圧電振動ジャイロによる角度算出の精度が2%程度であること、ならびにドリフトが1[deg/sec]程度あることをジャイロ単体の特性測定実験から明らかにした。移動ロボットの長時間走行を考えるとドリフトを補償することが必要である。本稿ではローパスフィルタを用いたドリフト推定法を提案しその有効性を実験で示した。位置推定実験では瞬時的オドメトリ誤差を人為的に与え、オドメトリだけからの推定法とジャイロを併用した推定法の結果を比較し、ジャイロ併用の有効性を確認した。

本研究は原子力基盤クロスオーバ研究自律型プラントのための分散協調知能システムの開発の一環として実施したものである。今後は本稿で検証した方法をシステム化し、人間協調型ロボットシステム構成のための要素技術としてまとめる予定である。

参考文献

- [1]小森谷, 大山: 光ファイバジャイロを利用した移動ロボットの位置推定の一方法, 日本ロボット学会誌, Vol. 14, No. 4, pp. 532-537 (1996)
- [2]前山: オドメトリと光ファイバ・ジャイロの融合によるデッドレコニング性能の向上, 1995年度第3回山彦シンポジウム予稿集 (非公開資料), pp. 101-104 (1996)