

# 自律走行トラクタに関する研究 —電子コンパスによる方位の計測—

大友功一・谷口哲司・岸本 正・大山 毅

(受理：1998年11月30日)

A study on autonomous tractors  
—Measurement of direction by electronic compass—

Koh-ichi OHTOMO, Tetsuji TANIGUCHI, Tadashi KISHIMOTO  
and Tsuyoshi OHYAMA

## 摘 要

農用トラクタの自律走行において、走行方向の確認あるいは指示などに方位は重要な情報の一つである。バーチャルリアリティなどの方位検出に開発された電子コンパスを自律走行用方位検出に利用可能であるか検討資料作成のために方位計測実験を行った。3本のコイルで地磁気を捉え、傾斜計で補正する機構があり、出力にはアナログとデジタルがある。デジタルの分解能は12ビットに相当し、このデータを調査した。電子コンパスとの通信制御にはシーケンサを、データの記録にはパーソナルコンピュータを用いた。屋外および屋内で水平、屋内で傾斜実験を行い、その結果は次に要約される。

1. 計測方位は方位磁石と直線的な関係にあった。
2. 計測誤差は水平の屋内、外で1.73, 1.27, 傾斜で1.40°であった。
3. 最大誤差はそれぞれ2.8, 3.0, 4.0°であった。
4. 屋内、外で精度にほとんど差がなかった。
5. 傾斜補正機能は十分に機能していた。

キーワード：電子コンパス, シーケンサ, 傾斜計, 傾斜

## 緒 言

現在の農業において労働者の減少・高齢化が問題となっている。その解決策の一つとして、農作業の自動化、ロボット化があげられる。現在、農作業の

ロボット化の研究が様々な所で進められており、その中でも自律走行車両の研究は1950年代から始められている。

自律走行では様々なセンシングが必要であり、特に車両の位置と方位の認識が重要である。また、農

帯広畜産大学畜産環境科学科 〒080-8555 帯広市稲田町

Department of Agro-environmental Science, Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Inada-cho, Obihiro-shi, Hokkaido, Japan

用車両において自律走行のシステムは信頼性があり、かつ低コストである必要がある<sup>1)</sup>。以上の点から安価な方位システムを構成するうえで電子コンパスは有用だと思われる。電子コンパスを用いた農用車両の自律走行に関する例は行本ら<sup>2)</sup>や中島ら<sup>3)</sup>によって報告されており、電子コンパスによる自律走行システムは年々拡張・発展している。このような事から、本研究では車両の方位を認識するセンサとして電子コンパスに注目した。バーチャルリアリティなどの方位検出に開発された電子コンパスを自律走行用方位検出に利用可能であるか検討資料作成のために方位計測実験を行い、その精度を確認した。

また、自律走行トラクタを制御する際に重要と考えられる事として、通信制御があげられる。本研究以前にセンサから直接パーソナルコンピュータにデータを転送していたが、パーソナルコンピュータのRS232Cを使用したデータ通信は拡張性に限界があり、また通信エラー時の割り込み処理等の例外処理も複雑なために安定しづらく、高速かつ、安定した処理を求める自律走行車両の通信制御システムとしては不適切であった<sup>4)</sup>。そこで、電子コンパスとの通信制御には信頼性、安定性があり低コストという観点からシーケンサを用いた。またシーケンサは拡張性も高く、増設も可能であることから、将来的に様々なセンサを必要とする自律走行車両において有効とするところに本研究の特長がある。

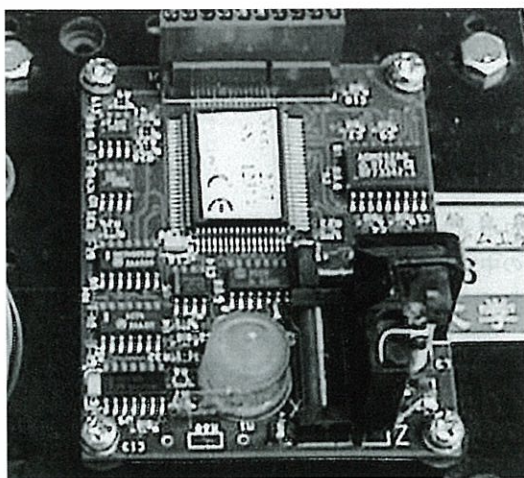


図1 電子コンパスの外観図

## 実験装置

### 1. 電子コンパス

本研究に供試した電子コンパスはTCM2 (PRECISION NAVIGATION, ICN. 製) (図1)である。本電子コンパスはピッチおよびロールの2軸傾斜センサと3軸磁力計を組み合わせた高精度電子コンパスで、傾斜による誤差を補正する機能を持ち、従来の機械ジナル式コンパスと違い小型・計量かつ低電力での使用が可能である。

また、高精度のヘディング、ピッチ、ロールおよび温度情報を、RS232Cインターフェイスを介してホストシステムに出力することができる。TCM2の仕様を表1に示す。

表1 電子コンパス・TCM2の仕様

出力	デジタル 0~359.9(RS232C) アナログ 0~5V(Direct)
サンプリング周期(秒)	0.125~60
電源	5VDC
消費電流(mA)	15~20
動作温度(℃)	-20~70
寸法(cm)	6.3×5.1×2.8

### 2. シーケンサ

本実験で用いたシーケンサはFP10S(松下電工製)である。FP10Sの仕様を表2に示す。FP10Sには拡張ユニットとしてシリアルデータユニット(SDU)が取り付けられており、2台の外部機器と通信が可能である。

電子コンパス方位計の全体の実験装置図を図2に示す。電子コンパスはシリアルデータユニットのチャンネル1(CH1)に接続しており、チャンネル2(CH2)には電子コンパスから送信される一連のデータを保存するためにPCを接続した。接続した電子コンパスから得られたデータはFP10Sのシリアルデータユニットのチャンネル1からFP10S内の共有メモリに保存される。次に、共有メモリに保存された電子コンパスのデータをシリアルデータユニットのチャンネル2からPCへ転送する。

表2 シーケンサ・FP10Sの仕様

項目	FP10S	
	AEP6231	
演算速度 (代表値)	シーケンス命令	0.15 $\mu$ s./1命令
	タイマ/カウンタ命令	1.5 $\mu$ s./1命令
	転送命令	0.30 $\mu$ s./1命令
	加算・減算命令	0.60 $\mu$ s./1命令
	乗算命令	3.9 $\mu$ s./1命令
	比較命令	3.9 $\mu$ s./1命令
プログラム容量	約30Kステップ	
外部入力(X)	4096点	
外部出力(Y)	4096点(内部リレーとしても利用可能)	
内部リレー(R)	14016点(保持/非保持), 設定可能	
データレジスタ(DT)	10240ワード(保持/非保持), 設定可能	
自己診断	メモリの異常検出, 入出力異常検出, プログラムの文法チェック等。	
リンク機能	PCリンク, コンピュータリンク, リモートプログラミング, データ転送	
その他の機能	強制入出力, ICメモリーカード機能, 割り込み処理	
メモリバックアップ	7000時間以上 (実使用値約33000時間)	

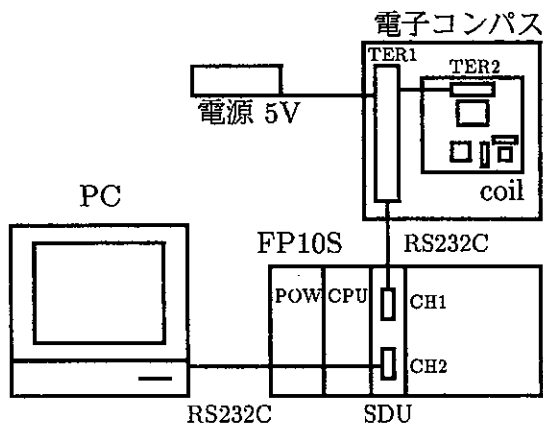


図2 電子コンパス方位計測実験装置

### 実験方法

まず基礎実験として水平計測実験を設定し、屋外、屋内のそれぞれで実験し、建造物による影響もみた。なお、比較対照として方位磁石を用いた。

あらかじめ水平にした平板上に方位磁石で北を測

定し、基準点を設定した。測定した北を0°として時計回りに22.5°ごとに16点マーキングする。次に電子コンパスを平板中心部に設置し、北からマーキングに沿って回転させ、1点につき180秒間測定し、16点についてそれぞれ測定を行った。

また、屋内では応用実験として電子コンパスの傾斜による方位角(ヨー角)の影響を調査した。西側を高くなるように、5.9°の傾斜角をつけた平板上で測定を行った。

電子コンパスから収集したデータはFP10Sを経由してパーソナルコンピュータに転送され、ファイルとして保存された後、解析された。

### 結果および考察

#### 1. データ通信用プログラムの開発

図3に開発した電子コンパスから方位角、ピッチ角、ロール角等の収集を目的としたFP10Sシーケンサ用ラダープログラムを示す。図4に図3のプログラムの流れ図を示す。

まず、電子コンパスが接続されているチャンネル1からFP10Sが受信した一連のデータを共有メモリに読み込む。

次に、読み込まれたデータをチャンネル2の送信用メモリに書き込み、接続されているPCに送信する。

シリアルデータユニットのチャンネル1の受信用バッファとチャンネル2の送信用バッファをクリアする。クリアした後、チャンネル2からの受信データを共有メモリに読み込む。読み込まれたデータをチャンネル1の送信用メモリに書き込み、電子コン

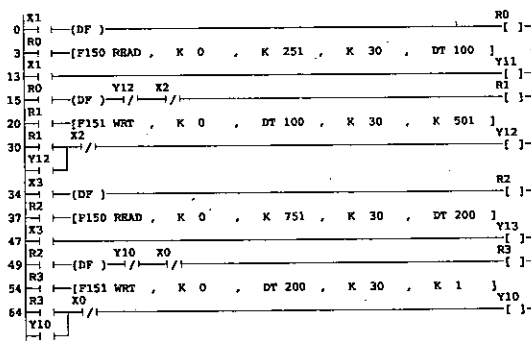
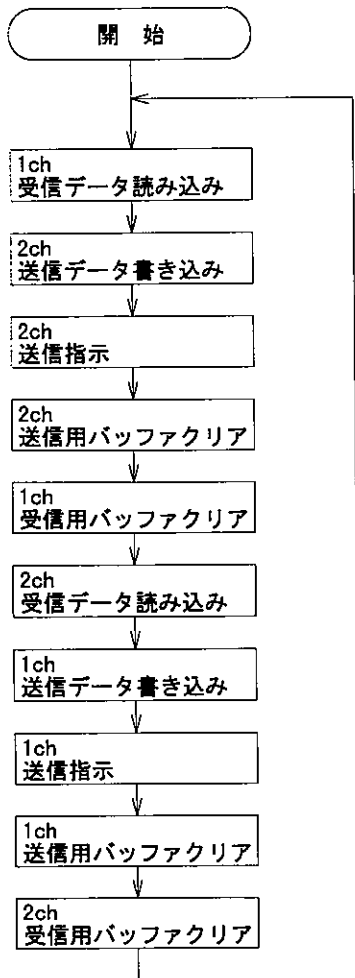


図3 FP10Sシーケンサ用ラダープログラム



1ch: 電子コンパス  
2ch: パーソナルコンピュータ

図4 FP10S用に開発したデータ処理プログラムの流れ図

パスに送信し、チャンネル1の送信用バッファとチャンネル2の受信バッファをクリアする。

以上の処理を繰り返す過程で、電子コンパスはFP10Sを通してPCによって制御される。

なお、この実験における電子コンパスのサンプリング周期は1秒に設定した。これは今後の研究課題であるGPSのサンプリング周期1秒と同期にすることを当面の目的としたことによる。

## 2. ヨー角の測定

### (1) 基礎実験

屋外の計測方位と磁石の方位を対比させ図5に示した。図で明らかなように方位磁石と電子コンパスとは直線的な関係にある。

次に、屋内の計測方位と磁石の方位を対比させ図6に示す。屋内の場合も図5と同様に、方位磁石と電子コンパスとは直線的な関係を示した。

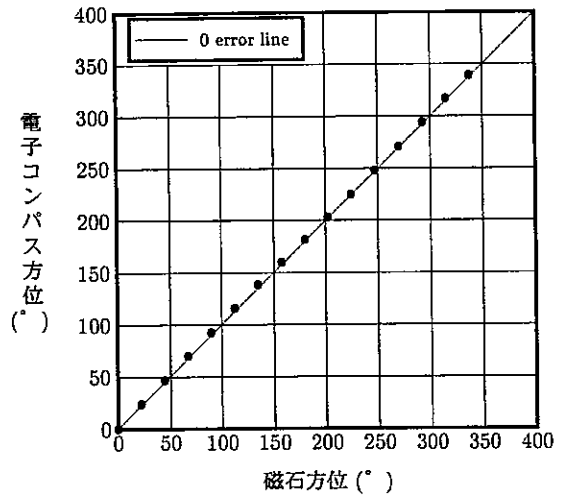


図5 屋外電子コンパスの計測方位

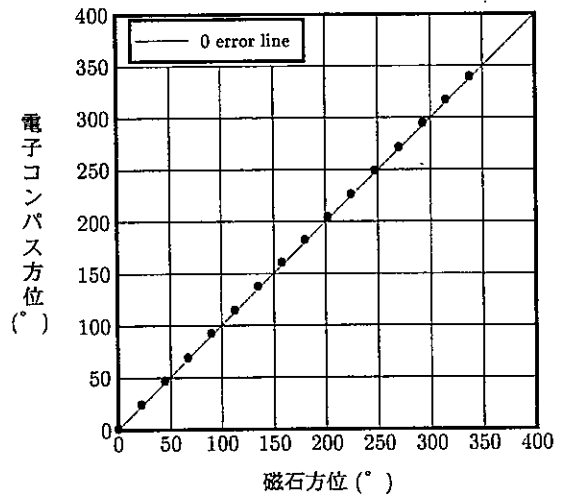


図6 屋内電子コンパスの計測方位

以上の図5, 6は共にグラフのスケールが大きい  
ため、詳細な誤差の認識が困難である。そこで、屋  
外、内の電子コンパスの方位磁石に対する偏差値と  
ピッチ、ロール角の関係図を求め、詳細な誤差につ  
いて解析を試みる。解析にあたり、方位磁石の各マ  
ーキングと、各マーキングで計測した電子コンパス  
データ平均値との差を計測誤差とし、また各マーキ  
ングの最大誤差を求めた。

屋外の電子コンパスの方位磁石に対する偏差およ  
びピッチ、ロール角を図7に示す。屋外での平均計  
測誤差は1.27°であった。最大誤差は3.0°で、方位角  
が135°の時現れた。電子コンパスの偏差はピッチ、  
ロール角との間に相関は無かった。

次に、屋内の電子コンパスの方位磁石に対する偏  
差およびピッチ、ロール角を図8に示す。この時の  
平均計測誤差は1.73°であった。最大誤差は2.8°で、  
方位角が157.5°の時現れた。電子コンパスの偏差は  
図7と同様にピッチ、ロール角との間に相関は無か  
った。

これらより、電子コンパスの偏差は屋外、屋内と  
もにピッチ、ロール角の変化に無関係に出力してい  
るのが確認された。またピッチ、ロール角の変動に  
影響されずに計測方位を正確に出力していることか  
ら、後述の傾斜補正機能が作動していたことが確認  
できる。

次に、既に上述の結果から明らかであるが屋外、

内の電子コンパスの方位角が直線的な関係であるこ  
とを確認するために、屋外の計測方位と屋内の計測  
方位を対比し図9に示した。本研究で明らかになっ  
たことは静止時における電子コンパスデータは屋外  
と屋内においてほとんど等しく、コンクリート製建  
造物の影響を受けていないことから、今後屋外、内  
で共通のデータで制御可能であることが確認できた。

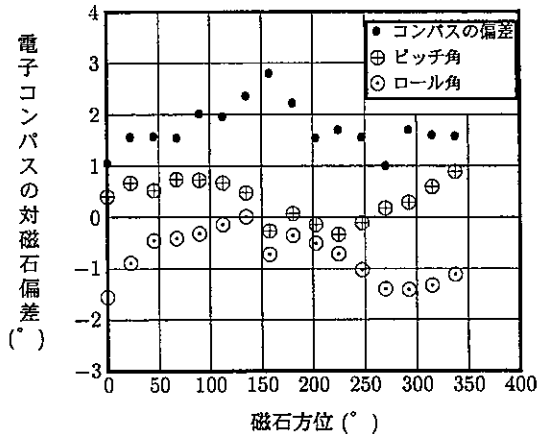


図8 屋内電子コンパスの対磁石偏差とピッチ,ロール角

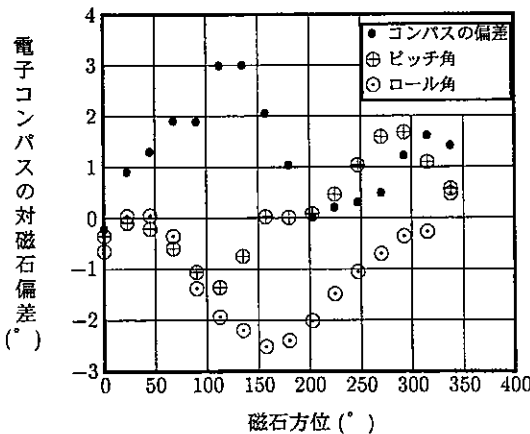


図7 屋外電子コンパスの対磁石偏差とピッチ,ロール角

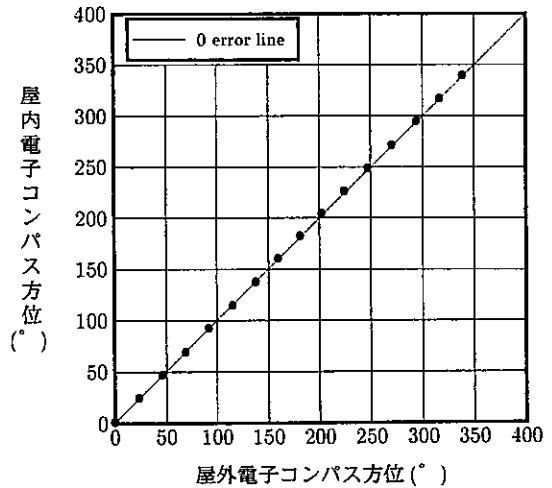


図9 屋外電子センサ出力対比図

## (2)応用実験

屋内での傾斜時における電子コンパスの計測方位を図10に示す。傾斜による電子コンパスの方位データへの影響はみられないことから、電子コンパス内の補正機能が正しく作動していることを確認した。また、水平時と同様に詳細に誤差を検討するため、傾斜時の電子コンパスの方位磁石に対する偏差およびピッチ、ロール角を図11に示した。平均計測誤差は $1.4^\circ$ であり、最大誤差は $4.0^\circ$ であった。その時の

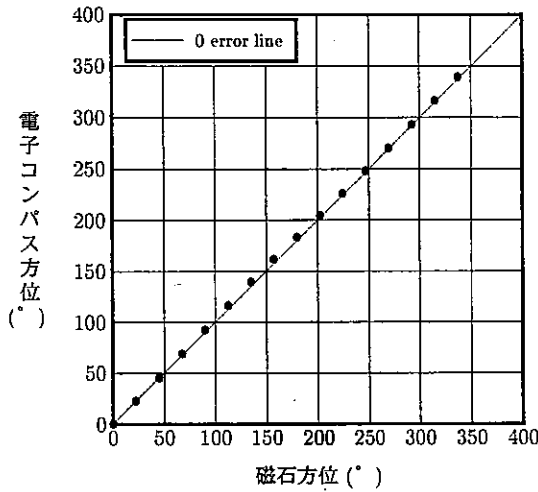


図10 傾斜時における電子コンパスの計測方位

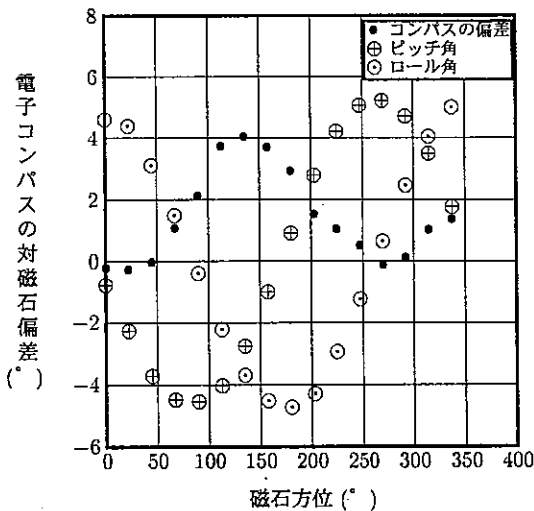


図11 傾斜電子コンパスの対磁石偏差とピッチ、ロール角

方位角は $135^\circ$ であった。水平時と同様に、偏差値はピッチ、ロール角と無関係であった。出力されたピッチ、ロール角の最大値はそれぞれ $5.06^\circ$ 、 $5.0^\circ$ と実験時に設定した傾斜角 $5.9^\circ$ より多少小さい値を示した。

本研究では屋外、内また傾斜とは無関係に電子コンパスの計測誤差が正の値を示す傾向にあった。これは電子コンパスの方位が方位磁石より時計回りにややずれていることを意味する。また、最大誤差が $135^\circ$ 付近に現れており、供試した電子コンパスの固有特性と推察している。

一般に電子コンパスの誤差がでる要因として、地磁気の日変化、永年変化、磁気嵐、周囲の鉄骨構造物などの磁気環境があげられる。本器はこれらに対して補正機能がついているが、今回それについて検討できなかったが、今後の検討課題としたい。磁気環境に対し補正を行うには使用環境のそれぞれに対して対策をとる必要がある。現段階では磁気嵐等の自然を原因とする変化に対して補正するのは困難を伴うが、常に点検する機構を導入し、別なセンサを併用して補正することが可能と考えられる。

## ま と め

電子コンパス単体での方位の検出は微細ながら偏差を伴うことがわかった。トラクタを制御する時はこの点を考慮しなければならない。例として水平な路面を各条件の計測偏差で $0.5\text{m}$ 進行させたと仮定した時と、 $100\text{m}$ 進行させたと仮定した時の誤差についての試算値を表3に示す。表3から $0.5\text{m}$ 時の横方向誤差は $1\sim 1.5\text{cm}$ となり、 $100\text{m}$ 時では $2\sim 3\text{m}$ となった。

したがって、実際のは場の走行において様々な誤差を伴うことを考慮する時、センシングの時間間隔を短くし、その都度補正を行う必要がある。

今回はデジタル出力で方位データの計測を行っ

表3 各条件ごとの横方向誤差

計測条件	計測偏差 ( $^\circ$ )	横方向誤差(m)	
		0.5m時	100m時
屋内傾斜付き	1.40	0.012	2.443
屋内	1.73	0.015	3.019
屋外	1.27	0.011	2.216

た。データ出力の最小単位は $0.1^\circ$ で、今後更に精度の高い方位データを求めるにはアナログ出力を用いることが考えられる。アナログ出力はA/D変換の分解能を高くすることにより、デジタル出力より高精度のデータを収集することが可能で、今後検討に値すると考えられる。

また、今後の研究課題としては移動中の方位の計測、およびデータ通信システムの自律走行トラクタへの実装を検討している。

## 謝 辞

本研究を行うにあたって、草地畜産機械学講座の網島康介氏に協力頂いた。記して謝意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 行本修：農用車両の自律走行 [1]，農業および園芸，65(2)，41-44，1993
- 2) 行本修：農用車両の自律走行 [2]，農業および園芸，65(2)，41-44，1993
- 3) 中島健一郎，寺尾日出男，野口伸：航法用地磁気方位センサの高精度補正法（第1報），農機誌，59(1)，49-58，1997
- 4) 横田秀次郎：実用RS-232C通信プログラム作成法，CQ出版，1994
- 5) 由本正英：パソコン通信プログラムの全て，CQ出版，1993

## Summary

Direction is one of the important information for the determining the travel direction of agricultural tractors in autonomous operation. Experiments of the direction measurement by an electronic compass that was developed for the detecting the direction in the virtual reality system were conducted to make basic data to apply it to an autonomous tractor. The electronic compass that installs an inclinometer to compensate its tilt detects geomagnetism with three coils. The compass has both analog and digital outputs. The resolution of the digital output is 12bits, and the outputs were investigated. The outputs of the compass were transmitted to a sequencer and

recorded in a personal computer. The inclinometer of the electronic compass which is set up horizontal was verified by the outdoor and indoor experiments. The inclinometer of the electronic compass that is set up inclined was verified by the indoor experiments.

The main results of this study were summarized as follows.

1. The relationship between the direction measured by electronic compass and the one by the pocket compass was linear.
2. Detected measurement errors were  $1.73^\circ$  indoors and  $1.27^\circ$  outdoors in horizontal position of the electronic compass. The error was  $1.40^\circ$  indoors in inclined position of the electronic compass.
3. Maximum errors were  $2.80^\circ$  indoors and  $3.00^\circ$  outdoors in horizontal position of the electronic compass. The error was  $4.0^\circ$  indoors in inclined position of the electronic compass.
4. There was little difference in measured data between outdoor and indoor experiments.
5. The tilt compensation of the electronic compass works well.

**Key words** : electronic compass, inclinometer, tilt.