

磁性体を利用したバーコード・システムの研究開発

間山正一*

筆者のグループは道路に磁気標識体と空間の組合せによってバーコード・パターンを作り、励磁コイルによって起こされた磁場の変化を検知コイルで検出してバーコード・パターンの信号を読み取るバーコード・システムを開発した。応用研究の一例として車輦位置標定システムについてふれ、道路上に敷設したバーコード・パターン上を磁気センサを取付けた車輦が走行して、その信号を解読できることを明らかにした。

Key Words: bar code, vehicle location system, ferrite byproducts, magnetic marker system

1. 概説

筆者のグループは、自然環境の変化に対して性質が安定しており、安価で大量供給が可能な磁性体である副産物フェライトに着目し、フェライト混合物の磁性と独自に開発した磁気センサの組合せによる磁気標識システムを開発し、さらに、その応用技術について種々の研究開発を行ってきた^{1)~11)}。

本研究で論ずるバーコード・システムもその応用技術のひとつで、基本的にはフェライト混合物で作製した磁気標識体を黒バーとし、黒バーと黒バーの間を白バーとしてその組合せによって色々なバーコード・パターンを作り、磁気センサがこれを検知して情報を交換するシステムである^{12)~14)}。

この応用技術として、磁気センサを取り付けた救急車輦が道路に敷設したバーコード・パターンから現在位置等の情報を読み、さらに運行管理センターがその情報を受けて全車輦から送られる各種の情報を常時把握できる“車輦位置評定システム”¹⁵⁾、あるいは車椅子や無人搬送車等の誘導技術がある。

本研究においては、これ等の研究開発のうち、主として次の事項について紹介したい。

- 1) 独自に開発したバーコード・システム
- 2) 磁気センサの詳細と検知（識別）能力
- 3) 車輦を用いた走行実験結果

2. バーコード・システムについて

(1) バーコードの原理と構成

一般に、バーコードはデータをロジック処理しやすいようにバイナリ・コードにし、理論値“1”と“0”をそ

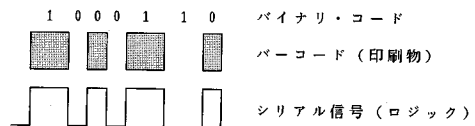


図-1 バーコードにより発生する信号

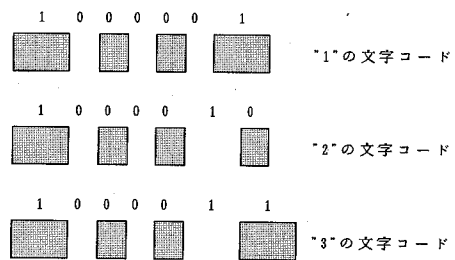


図-2 バーコード・パターンの設定例

れぞれ白色と黒色および細線と太線の組み合わせに対応させてシリアル信号として設定される（図-1）。

バーコードは、スタート・コード、ストップ・コードおよびキャラクタ・コードから構成されているが、バーコードの特性として読み込まれるのは文字とそれに対応するパターンを定めるキャラクタ・コードの部分だけである。図-2に示すバーコード・パターンの場合、バーコードの始まりである最初の黒太・白細がスタート・コードにあたり、次にキャラクタ・コードの組み合わせによって、それぞれ“1”、“2”、“3”が定義されている。たとえば、“1”の文字コードは最初の黒太・白細のスタート・コードに続いて黒細・白細・黒細・白細・黒太で定義されている。

ペイント等の色を使用するバーコード・パターンでは汚れや傷等が原因で変換された電気信号が他のコードに置き換えてしまうことがある。この読み誤りをチェック

*正会員 工博 北海道工業大学教授 工学部土木工学科
(〒006 札幌市手稲区前田7条15丁目4-1)

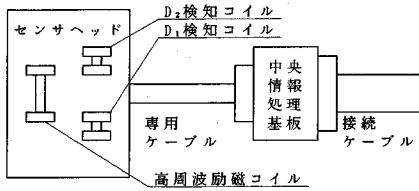


図-3 磁気センサの構成

するためにチェック・デジットをデータの最終に置くこともあるが、フェライト混合物を磁気標識体として磁性の有無によって黒バーと白バーを構成する方法ではこのような誤作動の問題は生じない。チェック・デジットの後にはバーコードの終了を表すストップ・コードを配する。

(2) 磁気センサの構成とスイッチング回路

a) 磁気センサの構成とセンサの出力電圧

磁気センサは図-3に示すようにセンサヘッドと中央情報処理基板からなりたっており、両者は専用ケーブルによって接続されている。センサヘッドは高周波励磁コイル (Exciting coil) と二つの検知コイル (Detecting coil) から構成されており、励磁コイルによって磁場を乱し、二つの検知コイル (D_1 検知コイルと D_2 検知コイル) の双方もしくは片方で磁気標識体から発生している磁力を感知して電圧として出力するしくみである。中央情報処理基板には電源供給用と外部にセンサ信号を出力する接続ケーブルが取り付けられている。

車椅子やゴルフカートの誘導のように本磁気センサを車に付けて磁気誘導に使用する場合には、磁気標識体上を移動する車の左右のズレを両脇に配置した D_1 および D_2 の二つの検知コイルの出力電圧差を利用して修正するように設計されているが、本研究においては磁気誘導で使用されている磁気センサの方向に対して磁気センサを90度回転させて、 D_1 検知コイルが進行方向の前方に (D_2 検知コイルが進行方向の後方に) なるように使用した。つまり、図-3に示したセンサで説明すると、上から下の方向に進行することになる。この使用方法によっても磁気センサが同様に機能することは既に確認してある。また、 D_1 出力と D_2 出力のうち、前者のみを利用することとしたが、その理由は本バーコード・システムにおいては一つの検知出力で十分に情報処理ができること、二つの検知コイルが同じ磁気標識体の上を常に一定距離を保ちながら通過することからこれに時間の関数を入れることによって速度を算出できること等を考えたためである。

これ等の磁気センサの出力を概念的に図-4に示し、説明する。

1) D_1 出力および D_2 出力

D_1 出力および D_2 出力とは、それぞれ D_1 検知コイルお

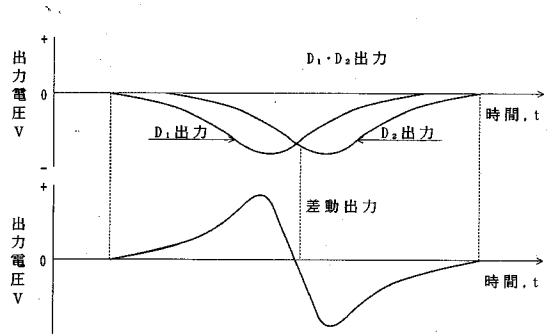


図-4 センサの出力についての概念図

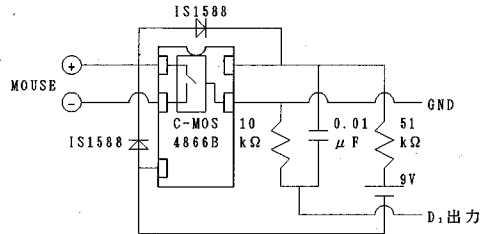


図-5 スwitchング回路の構成

よび D_2 検知コイルから出力される電圧のことで、図-4の上段に示すように負の出力である。 D_1 出力と D_2 出力に位相が見られるが、これは D_1 検知コイルが D_2 検知コイルに先行して磁気標識体上を通過するためで、前述したように、今回はこのうち D_1 出力のみを使用した。

2) 差動出力

本研究では差動出力は使用しないが、磁気センサについての理解を容易にするため、図-4の下段に示して説明する。差動出力とは、情報処理基板の中で正符号に変えられた D_1 出力と D_2 出力の差のことである。実際に利用する場合にはこの出力に任意の定数を掛けて使用する。

b) スwitchング回路の構成と機能

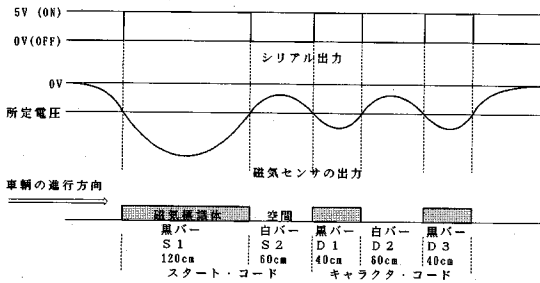
図-5にC-MOS、抵抗、コンデンサおよびダイオードからなるスitchング回路の構成を示す。磁気標識体および空間の長さを検知した磁気センサからの出力電圧が所定出力 (所定電圧) 以上になったときに、センサとパーソナル・コンピュータの間に位置するこの回路がスitchングをし、コンピュータ (のマウス端子) 側からかけられている5Vの電圧をコンピュータ側に送り返す役目をしている。

(3) 磁気標識体

本研究でバーコードの黒バー (磁気標識体) として使用されるフェライトアスファルト混合物¹⁰⁾はストレートアスファルト (針入度: 85, 軟化点: 48.0°C, 針入度指数: -0.37, 比重: 1.020) と副産物フェライトの混合に

表一 副産物フェライトの粒度分布

粒径, mm	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	0.074
Pass %, %	100	99.7	95.6	83.6	65.4	38.0	8.5



図一六 バーコード・パターン、磁気センサの出力およびスイッチング回路から出力される電圧の関係

よって作製される。副産物フェライトは表一に粒度分布を示すように粉体であり、黒色で比重が約5と重く主としてFe₃O₄から構成される化学的に安定な磁性酸化物である⁹⁾。磁気標識体の基本となる寸法は30×30×5cmであり、他の大きさの磁気標識体を必要とする場合にはこれを適宜、組合せて使用した。この場合、磁気標識体につなぎめがあっても磁気センサはそれ等が一体であると認識することを確認してある。

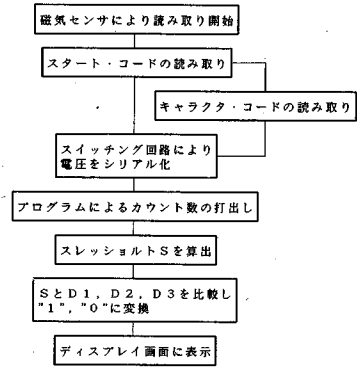
(4) バーコード・システムとデータ処理

a) バーコード・パターン、センサの出力およびスイッチング回路からの出力電圧の関係

図一六は磁気標識体と空間からなるバーコード・パターン、磁気センサの出力、およびスイッチング回路から出力される電圧の“ON”・“OFF”の関係を示した図である。前述したように、スイッチング回路が磁気センサからの出力電圧が所定出力(所定電圧)以上になったときからパーソナル・コンピュータ側に出力を送り返している間(スイッチング回路からパーソナル・コンピュータ側に電圧の出力が開始されてから停止するまでの間)を“ON”と定義し、所定出力未満になり次に出力を開始するまでの間(電圧の出力が停止されてから開始するまでの間)を“OFF”と定義している。

図一六に示したバーコードを読まれる順番に左からそれぞれS1, S2, D1, D2およびD3とした場合、S1, D1およびD3は磁気標識体上における情報であり、S2, D2は空間の情報である。また、S1, S2はスタート・コード、D1, D2およびD3はキャラクタ・コードとして使用した。

一般に、バーコードはこれ等のコードの他にストップ・コードを必要とするが、本研究においてはコンピュータのプログラムによってキャラクタ・コードの個数の指定を行ってストップ・コードを省略することとした。



図一七 解析の手順を示したフローチャート

b) センシングからデータ処理までの流れ

図一七はバーコード・パターン上を磁気センサが通過し、情報の読み取りを開始した後データ処理を行ってディスプレイ画面に表示させるまでの流れを一括して示したフローチャートである。

また、本システムのデータ処理に用いたパーソナル・コンピュータのプログラム(Quick Basic)を図一八に示す。

先に定義した“ON”と“OFF”のそれぞれの長さをプログラム上のループの回数として読み、次のような手順で評価する方法となっている。

- 1) 最初に読まれる“ON”のループの回数、S1と次に読まれる“OFF”のループの回数、S2の算術平均からスレッシュルト、Sを算出する。
- 2) SとD1, D2, D3をそれぞれ比較して、その大小によって“1”, “0”を判別する。すなわち、SよりD1, D2, D3が大きいつきに“1”として判別し、小さいかあるいは等しいときに“0”として判別する。
- 3) キャラクタ・コードについて判別された“1”および“0”の集合体をプログラム上のデータと照合して、たとえば、“0”, “0”, “0”の集合体“000”を「チュウオウク」、 “0”, “1”, “1”の集合体“011”を「ヒガシク」等とディスプレイ画面に表示させる。

3. 応用研究の紹介

(1) 車輛位置標定システムの基礎実験

バーコード・システムに関する研究開発およびその応用研究のうち、車輛位置標定システムの開発の基礎となる車輛の走行路から情報を読み取る実験研究について紹介する。

これは磁気標識体(黒バー)とその空間(白バー)の組合せによって色々なバーコード・パターンを道路上に敷設し、車輛に取り付けた磁気センサがこれを検知して情報を得るシステムの実験研究である。

なお、実用にあたっては磁気標識体用混合物の配合設

```

'デコード処理プログラム (3ビット)
10 $INCLUDE: 'qb.bi'
20 $INCLUDE: 'mouse.bi'
30 CLS
40 MouseInit
50 size = 10000: DIM n(size), adrs$(1000), kus$(1000): RESTORE 20000
60 FOR i = 0 TO 7: READ adrs$(1000), kus$(1000): NEXT
70 bar$ = "": flag = 1: free = 1
80 m = (INP(8H42) AND 4) / 4
90 IF m = 0 THEN 80
100 MousePoll yx, xx, LeftX, RightX
110 m = 0: a = 0: c = 0: sber = 0: bber = 0: n(0) = 0: s = 0
120 S1 = 0: S2 = 0: D1 = 0: D2 = 0: D3 = 0
130 FOR m = 1 TO size - 1
140 IF RightX = -1 THEN
150 n(m) = 1
160 ELSE n(m) = 0
170 END IF
180 B = n(m) - n(m - 1)
190 IF B = 0 THEN a = a + 1
200 IF B <> 0 THEN c = c + 1: a = a + 1
210 IF B <> 0 AND bber = 0 THEN bber = a ELSE sber = a - bber
220 IF c = 2 AND S1 = 0 THEN S1 = sber
230 IF c = 3 AND S2 = 0 THEN S2 = sber - S1
240 S = (S1 + S2) / 2
250 IF c = 4 AND D1 = 0 THEN D1 = sber - (S1 + S2)
260 IF c = 5 AND D2 = 0 THEN D2 = sber - (S1 + S2 + D1)
270 IF c = 6 AND D3 = 0 THEN D3 = sber - (S1 + S2 + D1 + D2)
280 IF c = 6 THEN m = size - 1
290 MousePoll yx, xx, LeftX, RightX
300 NEXT m
310 IF D1 = 0 OR D2 = 0 OR D3 = 0 THEN PRINT "data error!": GOTO 400
320 IF D1 > S THEN bar$ = bar$ + "1" ELSE bar$ = bar$ + "0"
330 IF D2 > S THEN bar$ = bar$ + "1" ELSE bar$ = bar$ + "0"
340 IF D3 > S THEN bar$ = bar$ + "1" ELSE bar$ = bar$ + "0"
350 'address resarch
360 FOR i = 0 TO 7
370 IF adrs$(i) = bar$ THEN flag = 1
380 NEXT i
390 IF flag = -1 THEN PRINT "no address!": bar$
400 PRINT "barcode No.": bar$: "address": kus$(flag)
410 PRINT "S1=": S1: "S2=": S2: "S=": S
420 PRINT "D1=": D1: "D2=": D2: "D3=": D3
20000 DATA 000, 5, 9, 9, 9
20100 DATA 001, 9, 9, 9
20200 DATA 010, 9, 9, 9
20300 DATA 011, 9, 9, 9
20400 DATA 100, 9, 9, 9
20500 DATA 101, 9, 9, 9
20600 DATA 110, 9, 9, 9
20700 DATA 111, 9, 9, 9
    
```

図-8 デコーダ処理プログラム

計、種々のバーコード・パターンとその圧縮率、磁気標識体と磁気センサの距離、車輛の走行速度の影響等検討すべき項目が多く、この車輛走行に関する研究だけでも別途大きなテーマを構成することになるため、ここでは成果の一部についてのみ報告し、他は割愛したい。

(2) 車輛走行実験の実験機器の構成とバーコード・パターン

a) 車輛走行実験の実験機器の構成

車輛走行実験に用いた実験装置は、2000CC 乗用車、磁気センサ (センサヘッドおよび中央情報処理基板)、スイッチング回路、ノート型パーソナルコンピュータ (32ビット, 16MHz, 80386SX), 15V バッテリ、データレコーダから構成される (図-9)。

b) バーコード・パターンと実験条件

アスファルト量が7%のフェライトアスファルト混合物を磁気標識体として使用し、空間との組合せによって磁気センサに情報を与えるバーコード・パターンを道路上に敷設した。図-10に示したA1およびA2のバーコード・パターンの違いは、A1のバーコード・パターンを100%とした場合、A2のそれは黒バーおよび白バーともに75%に縮小したものであり、この2種類のバーコード・パターンについて走行実験を行った。なお、このバーコード・パターンの信号 (コード) および表示はそれぞれ "000", 「チュウオウク」としてある。

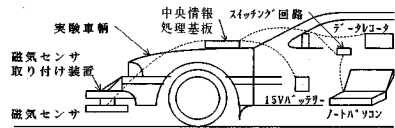


図-9 車輛走行実験の実験機器の構成

バーコード パターン	信号: 0 0 0 表示: チュウオウク
A 1	
A 2	

図-10 本研究で使用したバーコード・パターン

車輛走行の安全等を考慮して道路上に置かれた幅60cm, 厚さ5.0cmの磁気標識体中央部からの垂直距離が17.0cmになるように磁気センサを実験車輛に取り付けた。この距離は乗用車等の最低地上高等を考慮して設定した。

また、急な制動をかける等の極端な速度変化は磁気センサにバーコード・パターンの誤認をさせることになるので、所定の速度で磁気標識体上を走行させることにする。ここでは、車輛 (磁気センサ) の走行速度20km/h~60km/hの範囲で、1パターン・1速度につき3回づつ走行実験を行った。

(3) 走行試験結果

図-10に示した二つのバーコード・パターンについて走行試験を行った結果について紹介する。

図-11は車輛が道路に敷設されたバーコード・パターンA1上を40Km/hで走行したときに得られた磁気センサ (D1 検知コイル) の出力を示した図である。検知コイルが黒バー (磁気標識体) を検知してからその上にある間は負の電圧を出力し、白バー上で元に戻るが、次の黒バーを検知してまた電圧を出力していることがわかる。

前述したように、磁気センサの出力電圧が所定電圧以上になったときにスイッチング回路がコンピュータ側からかけられている5Vの電圧を送り返して、"ON"・"OFF"のシリアル出力を作りだしているわけであるが、本研究においてはそのスイッチングする電圧を3Vに設定した。

表-2はバーコード・パターンA1についてシリアル化された出力電圧をプログラムがカウントしたループの回数であり、20Km/h, 40Km/hおよび60Km/hの車輛の走行速度ごとに示したものである。120-60-40-60-40cmのバーコード・パターンを反映して車輛の走行速度に無関係にS1のループの回数が最も多く、また、走行速度が速くなるほどループの回数が少なくなること

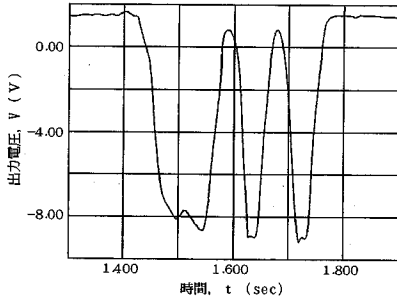


図-11 車輛がバーコード・パターン A1 上を 40Km/h で走行したときに得られた磁気センサの出力

表-2 バーコード・パターン A1 についてカウントされたループの回数

速度 Km/h	No	カウントされたループの回数							信号
		S 1	S 2	S	D 1	D 2	D 3		
20	1	155	51	103.0	67	50	50	000	
	2	138	51	94.5	50	49	50	000	
	3	155	68	111.5	50	49	50	000	
40	1	69	34	51.5	33	33	34	000	
	2	87	34	60.5	33	33	17	000	
	3	69	34	51.5	16	34	33	000	
60	1	52	34	43.0	16	34	16	000	
	2	35	34	34.5	16	17	17	000	
	3	52	34	43.0	16	17	17	000	

がわかる。どの条件における走行実験においても“000”の信号(コード)が得られており、ディスプレイ上に「チュウオウク」と表示される。

同様に、表-3はバーコード・パターン A1 を75%に圧縮した90—45—30—45—30cmのバーコード・パターン A2 についての車輛走行実験の結果を示したものである。バーコード・パターンの圧縮率が75%であることから、どの黒バーおよび白バーにおいても A1 のパターンについて得られたループの回数よりも当然少ない回数が測定されているが、信号は“000”であり、ディスプレイ上に「チュウオウク」と表示される。

なお、両表において S2 と D2 のように同一のバーコードであってもループの回数は17と34になっているが、これはハードウェアやソフトウェアの割り込み周期によって生ずる現象であって、実用上はスレッシュリットとキャラクタ・コードの比較によって“1”、“0”を判断するので問題が無い。

また、ここでは“0”の信号についてのみ例示したが、“1”の信号を示すバーコード・パターンについても既に検証済みである。

このように、実車輛による走行実験を行って得られたデータから、独自に開発した本バーコード・システムはバーコード・パターンの圧縮率および車輛の走行速度が変化しても読み取りが可能であり、十分に実用性能を持つものと言えよう。

表-3 バーコード・パターン A2 についてカウントされたループの回数

速度 Km/h	No	カウントされたループの回数							信号
		S 1	S 2	S	D 1	D 2	D 3		
20	1	103	34	68.5	50	34	33	000	
	2	120	34	77.0	50	34	50	000	
	3	121	34	77.5	50	33	50	000	
40	1	52	34	43.0	16	17	33	000	
	2	52	34	43.0	16	17	33	000	
	3	52	34	43.0	16	17	17	000	
60	1	35	17	26.0	16	17	16	000	
	2	34	17	25.5	17	17	16	000	
	3	35	17	26.0	16	17	16	000	

4. まとめ

本研究で明らかにした事項を列記する。

1) フェライト混合物で磁気標識体を作製し、これと空間の組合せによって磁気を利用したバーコード・パターンを作りだした。

2) センサヘッドおよび中央情報処理基板からなる磁気センサ、スイッチング回路、ノート型パーソナルコンピュータ等の機器とバーコード・パターンから構成されるバーコード・システムを開発し、その原理について詳しく説明した。

3) バーコード・システムの応用研究の一例として車輛位置標定システムについてふれ、その基礎データとして道路上に敷設したバーコード・パターン上を磁気センサを取り付けた車輛が走行して、その信号を読み取ることができることを明らかにした。

4) このバーコード・システムはパターンの圧縮および車輛の走行速度が変化しても使用できることを明らかにした。

5. 後記

独自に開発した磁性を利用したバーコード・システムについて基本的な考え方、開発された各種の機器、応用技術の研究開発の一部について報告させていただいた。このシステムは既報²⁾の磁気標識システムをさらに高度化したもので無人搬送車や車椅子、視覚障害者の誘導システム等にも応用可能な技術であることを付記したい。

最後に、本研究を進めるにあたり、日本電気環境エンジニアリング(株)の辻俊郎社長には貴重な御助言をいただき、実施にあたっては北海道工業大学間山研究室の標識隊の皆さんに格別の御助力をいただいた。ここに厚く謝意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 辻俊郎：廃水処理で得られる副生フェライトの再利用，化学教育，第28巻，第2号，pp. 75-77，1980.
- 2) 間山正一・小山泥舟・辻俊郎・菅野出：磁気標識システムの交通安全への応用に関する基礎的研究，北海道科学研究費による共同研究報告，p. 114，1982.
- 3) 間山正一・山内文雄：副産物フェライトを利用した磁気標識体，土木学会論文集，第379号/VI-6，pp. 102-106，1987.
- 4) 三浦徳紀他：磁気標識体を用いた無人搬送システム，第7回日本応用磁気学会学術講演概要集，9pD-13，p. 300，1983.
- 5) 藤本淳・山内文雄：車速度計，第7回日本応用磁気学会学術講演概要集，9pD-11，p. 298，1983.
- 6) 間山正一・山内文雄：副産物フェライトの土木工学への応用，土木学会誌，1987-5，Vol. 72，pp. 35-40，1987.
- 7) 間山正一：フェライトエポキシ混合物の材料性状と用途，接着，Vol. 24，No.6，pp. 18-23，1988.
- 8) 間山正一：フェライトの土木工学への応用，第8回武井セミナー，pp. 80-87，1988.
- 9) 間山正一：高分子複合材料と表面・界面技術，第6章第8節を分担執筆，pp. 365-370，村上謙吉編，技術情報協会，1991.
- 10) M.Mayama：Magnetic-Marker System using Ferrite Composite Materials，Advanced Composites'93，pp. 169-172，Wollongong，Australia，1993.
- 11) 間山正一：副産物フェライトを利用した新しい建築材料，石膏と石灰，No. 246，pp. 98-105，1993.
- 12) 間山正一・初田健：副産物フェライトを用いたバーコード・システム，土木学会第47回年次学術講演会講演概要集，VI-38，pp. 98-99，1992.
- 13) 間山正一：副産物フェライトを用いたバーコード・システムの研究開発，複合材料学会1993年度研究発表講演会，pp. 49-50，1993.
- 14) 間山正一・田中治雄：バーコード用磁気標識体の実用的配合に関する研究，土木学会第48回年次学術講演会講演概要集，VI-217，pp. 454-455，1993.
- 15) 初田健他：救急医療情報伝送システムの高度化—副生フェライトによる救急車輛位置標定システム—平成4年電気関係学会北海道支部連合大会，29，p. 32，1992.
- 16) 間山正一：フェライトアスファルト混合物の振動性状，土木学会論文集，No. 390/V-8，pp. 235-238，1988.2

(1994.2.14 受付)

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF THE BAR CODE SYSTEM USING A MAGNETIC SUBSTANCE

Masakazu MAYAMA

The author's group has developed a bar code system consisting of the magnetic marker used as a bar code pattern embedded in a road and portable magnetic sensor made up of an exciting coil and a detecting coil. The detecting coil senses small changes in the magnetic field induced by the exciting coil and detects the bar code patterns made of the magnetic markers and spaces. The switching circuit reads a voltage from the exciting coil and transfers it into a serial signal for micro-processor. We have applied this system in a vehicle location system and succeeded in positioning the sensor-attached car which has passed through the bar code pattern on the road.