

気球切離しコマンド機能の二重化
—航空保安用コマンドシステムの開発—

矢島 信之^{*1}・山上 隆正^{*1}・太田 茂雄^{*1}
本田 秀之^{*1}・長尾 和男^{*2}・川瀬 克行^{*2}

A New Command Receiver for Balloon Flight Termination

By

Nobuyuki Yajima, Takamasa Yamagami, Shigeo Ohota
Hideyuki Honda, Kazuo Nagao and Katsuyuki Kawase.

Abstract: A tele-command radio receiver is to be equipped on a large scientific balloon in order to control on-board equipments such as an outlet valve of a ballast hopper, an air duct valve attached at a top of a balloon and also other scientific instruments. In those many functions, the command which terminates balloon flight plays the most important role for balloon flight controls. This command activates a separation mechanism which is inserted in suspension ropes. Then a balloon gondola descends to the ground (or sea) by a parachute. The reliability of this flight termination command had better to be improved by full redundant system.

This paper deals with a newly developed command receiver which has a single function to receive a flight termination command. This command receiver is attached near a balloon bottom and directly connected to the separation mechanism. To combine this receiver and an ordinal command receiver attached in the gondola, the flight termination command becomes dual system.

At first the design concept of this new command receiver is explained in detail in relation to the total command system. Then the actual system construction and some results of its flight test are described.

*1 宇宙科学研究所

*2 松下通信工業電波事業部

1. はじめに

気球を飛翔させる際には、地上から無線で気球を制御するため、コマンド受信機を搭載する。このコマンド受信機の機能の中で、気球吊り紐を切断して観測器をパラシュートで降下させ、同時に気球皮膜も引き裂いて破壊する飛翔終了機能は、気球の飛翔保安上最も重要なものである。この機能は、飛翔中誤って動作したり、あるいは逆に指令したのに動作しないことがないように、高い信頼性が要求される。そのためには、気球の飛翔を終了する機能を多重化する必要がある。これまでに、吊り紐を切断するカッター部については2重化されているが、他の部分は一重システムであった。しかし、関係機関からの強い要請もあり、航空保安上からも実施を急がねばならない状況となったため、気球飛翔終了コマンドのみを実行する単能の装置（航空保安用コマンドシステム）を、受信機部も含めてすべて独立な装置として作り、完全に2重化したシステムとすることとした。

この航空保安用コマンドシステムの検討を開始した際、従来のコマンド受信機を製造しているメーカーより、そこで使用されている主要部品であるコマンド項目を弁別するメカニカルフィルタの生産が継続できなくなったとされた。他の構成部品についても、製作開始から20年を経ているので、調達に困難を生じているものもあることは数年前から問題となっていた。そこでコマンドシステム全体をメカニカルフィルタを用いない新しい方式に更新する必要がある。この検討は現在進められているが、当然、航空保安用コマンドシステムもそれだけを単独で設計するのではなく、新しいコマンドシステムの中の一つとして、全体と整合性のとれたものにすることが望ましい。そこで、本論文では、はじめにコマンドシステム全体について検討し、気球実験での応用につとってどのような機能が適しているか、またその機能を実現するにはどのような方式が適しているかを明らかにする。航空保安用コマンド装置もそうしたシステムの一構成要素として考えることにする。

なお、ここで検討する前提条件としては、おもに使用できる電波の条件として、以下の項目が上げられる。

- (1)コマンド情報の伝達に使うことのできる無線周波数は1波のみ。
- (2)無線通信の方式は狭帯域FM通信方式を若干広帯域化し、音声帯域の200Hzから5kHzまでを伝送できる。
- (3)地上局からの見越し範囲内では、通信回線設計は十分成り立っている。

さらに航空保安用コマンド受信機についてはとくに以下の使用上の条件がある。

- (1)本コマンド受信機の取付位置は、カッターまでの距離が短いように、ゴンドラの外部で気球底部に近い位置とする。
- (2)取り付け位置が観測器から離れているため、コマンドの実行に際し伝送したデータをテレメータで確認することはしない。

こうした前提のもとで新たに導入する航空保安用コマンドシステムの概念図を図1に示す。

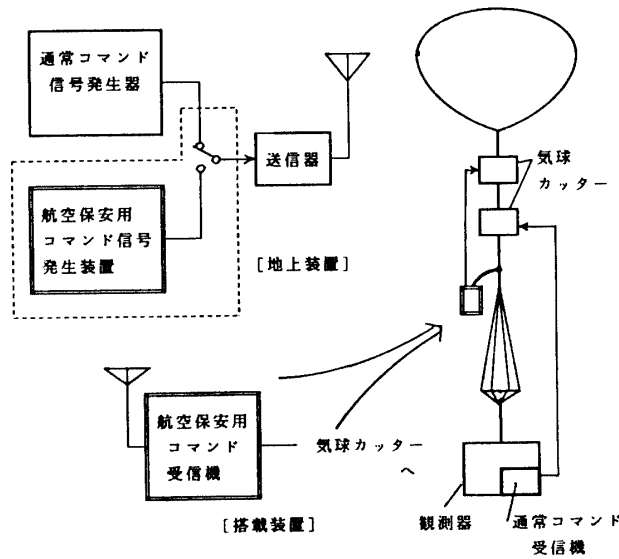


図1 航空保安用コマンドシステムの概念図

2. 気球コマンドの基本機能

一般に、気球に搭載するコマンド装置は大別して以下の2つの目的に使用される。

①「飛翔制御コマンド」：気球の飛翔制御に直接用いるもの、ならびに観測器等を操作するもので、気球の飛翔に重大な影響をおよぼす恐れのあるもの。

項目：気球カット、バラスト投下、排気弁操作、搭載送信器操作等

②「観測器操作コマンド」：観測器の一般的操作に用いるもの。

項目：観測器の起動・制御、観測パラメータ変更等

①の飛翔制御コマンドは、飛球の飛翔における安全性確保にとって重要な項目が多い。ただし、実行時間遅れは大きくてよい。②のコマンドは、観測器によって大きく異なるが、気球の飛翔に直接影響を及ぼすものはない。比較的高度な観測を行う場合にも対応できる機能を備えておく必要があるため、その場合には、コマンド項目は多く、実行時間も短いことが望ましい。そうした特徴を表にまとめると、以下のようなだろう。

表1 コマンドの目的別機能

	気球飛翔制御用	観測器操作作用
コマンド項目数	10程度	多い場合は50以上
コマンドの種類	ON/OFF コマンド	ON/OFF コマンドとマグニチュードコマンド
機能の自由度	コマンド項目はほぼ固定	実験毎に異なる。可能ならその都度変更。
コマンド実行時間遅れ	早いものでも数秒以上可。	できれば1秒以下。
信頼性への要求	気球の飛翔の安全性に直結し高い信頼性が必要。	誤差動の影響は観測の範囲にとどまる。

このように、基本的に2種あるコマンドの機能はかなり異なっており、両者を同一の方式で伝送することは得策ではない。むしろ、2つのコマンドグループを独立した異なる方式で伝送し、両者の動作が互いに交渉せず完全に独立するようにすることが、以下の点で気球コマンドシステムにとって合理的であると考えられる。

- ①項目数、伝送速度が異なるので、別方式としたほうが各々最適なシステムを構成できる。
- ②飛翔制御コマンドは、使用目的がほぼ限定され頻繁に変更することはないので、使用法を固定化することで信頼性の向上を図ることができる。
- ③観測器操作コマンドは、観測目的によって変更できるよう自由度が大きい方がよい。その場合、飛翔制御コマンドと独立していれば、観測器操作コマンドに変更を加えても飛翔制御コマンドに影響を及ぼさず、信頼性の確保が容易である。

2. 2 誤動作防止のための方策

通常の情報伝達では、誤動作の問題は、ノイズマージンあるいはビット誤率等の問題となる。これは、正常な通信状態で、想定されたノイズが存在する場合に確立的に発生する信号伝送での誤りの発生の問題であり、いかに効率よく情報を伝達するかが課題の場合の指標である。また、機器の信頼性については、故障が発生する確立的な平均時間長さであるMTTF (Mean Time to Faillure) 等を尺度とする。

気球搭載コマンドシステムについてもこうした正常な状態での誤動作の確率的問題は存在するが、特に飛翔制御コマンドについては、情報の伝送効率を落とし、時間がかかっても確実に伝送することを主眼とする。従って、ここで問題となるのは、むしろ確率的誤動作ではなく、正常な状況ではなくなった不測の事態のもとで、誤動作の発生をいかに防ぐかの問題である。ここで考える不測の事態での誤動作とは、

- ①外乱電波による誤動作、
- ②装置事態の故障による誤動作、

である。①の外乱電波の問題は、まったく同じコマンド情報を、同一の無線周波数でより強いパワーで伝送された場合には防ぐことができないが、それ以外の場合には、極力誤動作を防ぐ対策が必要である。そのための方策としては、

(a)周波数領域での防止策

- ・送信電波の周波数を複数にする。(今回のシステムでは採用できないが)
- ・変調信号の周波数領域で帯域幅を狭くする。
- ・複数の離れた変調周波数帯を用いそれらのANDをとる。

(b)時間領域での防止策

- ・一定時間指令が持続しないと動作しないようにする。
(時間遅れ回路、カウンタによる時間積分等)
- ・符合化した時系列信号(パルスパターン)を用いる。
(複数回伝送により符合の一致検証、誤り検出/訂正符合の利用)

(c)情報の返送、確認

伝送したコマンド情報の地上基地への返送と確認。

3. コマンドの伝送

3-1. 伝送方式

多項目のコマンドを伝送するためには、それぞれの項目を区別する信号を発生し、無線で伝送し、受信機で復調された後に各項目に弁別して出力する必要がある。ここで、コマンド情報を伝送する無線装置の機能は狭帯域FM通信に準じるものとして検討を進めるならば、その方式としては下図のようなものになる。

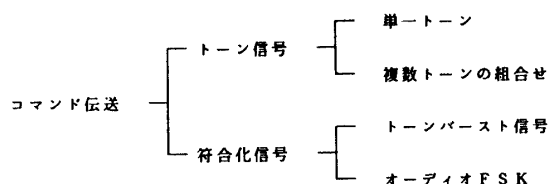


図2 多項目コマンドの伝送方式

(a) 単一トーン方式

コマンド項目毎に特定のオーディオ帯域の周波数1波を割り当てる。受信側は帯域幅の狭いフィルタで周波数を弁別し、その出力がスレッシュホールド・レベルを越えたか否かで判定する。フィルタの帯域が狭いほど多項目が伝送でき、かつ妨害電波の影響を受けにくい。しかし、実際にはフィルタの帯域幅を狭くすることは限界があり、狭帯域を実現し易いメカニカル・フィルタを用いている現用コマンドシステムでも5~10Hz程度である。無理に狭帯域化を図ると、中心周波数の変動の影響が大きくなり実用上無理となる。入出力の遅れ時間も増大する。また、多項目化のためには、フィルタ回路を項目数だけ並列に配置せねばならず、回路構成が単純に大きくなる。

誤動作防止の点からは、妨害電波の復調信号がフィルタの周波数と偶然に一致しているか、あるいは周波数がゆっくり変動している場合には誤動作が発生する可能性がある。

(b) 複数トーンの組合せ方式

前記トーンの伝送で、同時に複数の周波数のトーンを伝送する。n波の周波数の異なるトーンを用意し、その中からm波のトーンを同時に伝送すると、 nC_m の組合せでコマンド項目数を増加させることができる。信号の弁別もn個のフィルタ回路と論理回路で実現できるので、装置を小型化できる。ただし、コマンド送信機の変調レベルを一定とすれば、受信復調信号中に含まれる各周波数のレベルは単純には $1/m$ に減少するので、スレッシュホールド・レベルの信号およびノイズレベルにたいするマージンも $1/m$ に減少してしまう。その上、実際にはプリエンファシス、ディエンファシスの効果に加わり、高域の周波数を用いるほど不利となる。このため、せいぜい2、3波程度の同時送出が実用範囲である。

現用コマンドシステムはこの方式であって、6波中2波の組合せを用いて15項目のコマンドを伝送している。

外来ノイズに対する弁別能力は、二つの周波数成分が同時に現れなければ誤認しないので、単一トーン方式より信頼性は向上する。ただし、選択する二つの周波数が接近していると、ノイズにより同時にONとなる可能性が増大する。

(c) 符合伝送方式

前記トーンの組合せでN項目を伝送することは、伝送路は1つであるが、 $\log_2 N$ ビットのデジタル信号の並列伝送に相当する。これにたいし、伝送情報を2値のデジタル信号に符合化し、時系列信号として伝送する方法が②の符合化方式である。狭帯域FM方式で伝送するため、ロジックレベルそのものを直接伝送できないので、トーン信号の有無で伝送するトーン・バースト方式かオーディオ帯域のFSK（いわゆるモデム）方式で符合を伝送することとなる。

搭載側では、受信・復調した符合化信号と記憶している符合のパターンとを照合し、コマンド項目を判定する。しかし、データの長さを増して誤り発生率を減らしても、長時間外来信号が加わる場合には、符合が一致する可能性が残る。そこで、他の方式と組み合わせ、連続して外来信号が加わらないようにする必要がある。

3. 2 符号化コマンド信号の弁別方式

時系列で送られる符合化コマンド信号の弁別には、伝送された符号パターンを記憶し、あらかじめ蓄えてある基準パターンと比較し、両者の一致を判別する機能が必要となる。そうした機能の実現法としてはハードロジック回路と搭載コンピュータを用いる方法に大別される。両者の利点、難点を比較すると大略表2となる。

表2 符号化コマンド信号の弁別方式の比較

回路方式 特徴	ハードロジック方式	マイクロコンピュータ方式
・回路構成	単純	複雑、高度
・回路の大きさ	複雑なコマンドでは大	コマンド規模にあまりよらない。
・機能の自由度	固定	ソフトの変更で自由度大
・誤差動防止機能	単純な機能のみ	高度な機能可 (ex. 誤り訂正等)
・信頼性の確保	回路の検証で可	ソフトの誤り、完全な検証困難。

こうした特徴を比較するならば、コマンド項目数が少なく、しかもその機能がほぼ固定しているものにはハード・ロジック方式が適し、観測器操作コマンドのように、観測内容によって要求機能が異なり、自由度の大きい方式が望ましい場合には、コンピュータ方を用いた方式が有利である。コンピュータ方式を用いれば高度な誤動作防止機能を利用できるが、そうする事によって、ソフトウェアは複雑になるので、その信頼性を確保することは一層困難になる。従って、気球制御コマンドには、符合弁別のためのハードロジック回路に、他の誤動作防止機能をハードロジック回路で付加する方式が適していると考えられる。

3.3 採用した方式

第2章および3.1, 3.2での検討にもとずき、実際に使用する際の現実的制約を加えて、気球コマンドとして最も適する方式を整理すると以下のようになる。

- ①気球制御コマンドと観測器操作コマンドを別方式とする。前者の信号の伝送には変調帯域中の中で、300Hz～1kHzの間を用い、後者には1kHz～2kHzの間を用いる。
- ②気球制御コマンドでは、2つのトーンを組合せて送出することによる周波数領域での誤動作防止策とコマンドの符合化による誤動作防止策とを併用し、かつ多項目化を図る。(ただし、航空保安用コマンドでは1項目のみ使用)
- ③さらに、特に信頼性要求の厳しい航空保安用コマンドには、一定周期で送出される測距用の500Hz トーン信号を誤動作の防止に利用する。
- ④観測器操作コマンドは、600bps程度の低速の調歩同期PCMデータをオーディオFSK信号に変調して伝送する。(航空保安用コマンドでは使用しない。)コマンド受信システム内では、FSK信号の復調までとし、符号の解読は外部の搭載コンピュータによることとし、自由度を広げる。

上記方式で使用する変調周波数としては、連続トーン信号を300Hz～400Hz(航空保安用コマンドでは360Hz)、符号化コマンドはトーンバースト信号とし、800Hz付近の周波数(航空保安用コマンドでは833Hz)を用いる。

項目③の方式は、通常のコマンドシステムでは、1分毎に10秒間程度500Hzと5kHzを組み合わせたトーン信号を送信する。航空保安用コマンドでは、1分以上の設定した時間を越えてもこのトーン信号が来ない場合にのみコマンドが受付られるようにする。航空保安用コマンドシステムを用いて気球の切離し操作を行う場合には、事前に500Hzの送出を一定時間停止しておく。この機能は、外乱信号が加わるとコマンドシステムは動作しない方向に作用するので、誤まって気球カットが実行されないようにするために有効である。

上記の構成にした場合、狭帯域FM通信の音声周波数帯域内の分割利用は、下図のようになり、通信可能帯域内を有効に使うことができる。

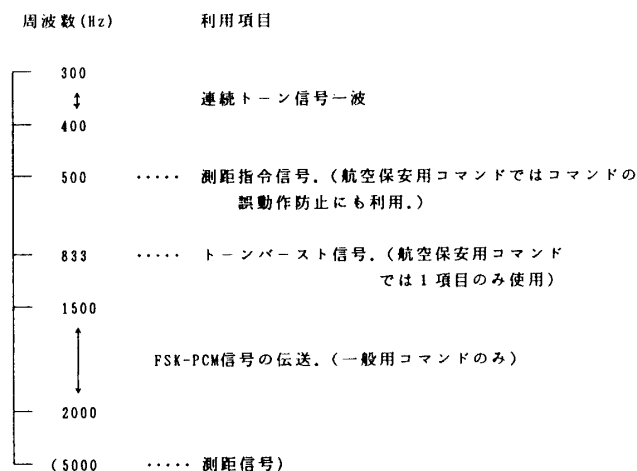


図3 コマンドシステムの変調周波数配分

4. ハードウェア構成

コマンド装置は、気球搭載装置一般に要求されるのと同様に、できるだけ小型で軽量であることが望ましい。かつ、成層圏環境で十分安定に動作しなければならない。とくに航空保安用コマンド受信機はゴンドラの外部に取り付けられるため、耐環境性は一層厳しく要求されることとなる。ここでは、3. で検討したシステム構成をハードウェアとしていかに実現するかを検討する。

4. 1 符合の発生および弁別方式

(1)対象となる IC

すでに3. 3で述べたように、気球の飛翔制御用コマンドの弁別方式としてはハードロジック方式を採用するとしたが、そのためには、専用化されたLSI素子を用ることができれば装置の小型化と高信頼化が図れる。こうした目的に利用できるICの種類は必ずしも多くなく、主に以下のICが利用可能である。

- ①無線システムで通信相手の識別信号の発生・弁別用。
- ②テレビ等家庭電化製品のリモートコントロール用。
- ③その他機器の一般的リモートコントロール用。

現在製作されている種々のICを調査した結果、①の通信相手の識別用としては、我が国では符合化信号は使われず、複数トーンを組み合わせた方式であるので、今回の目的にあったICとして、簡単に入手して利用できるものはない。仮に利用できるものがあったとしても、通信に多く利用されているとすれば、妨害電波にも全く同じ符合が使われている可能性が高くなり、信頼性の確保の点で好ましくない。

③の汎用リモートコントロール用ICも種類は少なく、今回の目的に合致していてかつ入手し易いものはなかった。最も目的にあった利用ができるICは、(2)の目的に製作されたICを若干本来の使用法を変えて使うことである。家庭電化製品の制御用として多量に生産され、広く使われているので、入手が容易である。使用実績も多いことから素子の信頼性も高いと考えられる。こうした目的のICは各社で製作されているが、それらを比較検討した結果、東芝製のTA9132(送信側)、TA9134(受信側)を用いることとした。このICはCMOS素子であるので低消費電力であり、動作温度領域も $-30^{\circ}\text{C}\sim 70^{\circ}\text{C}$ と広いため、気球実験には適している。表3に気球に搭載される受信側のIC(TA9134)の最大定格を示し、

表3 パルスパターン弁別ICの最大定格

項 目	定 格
電源電圧 (V_{DD})	0~7 V
入力電圧 (V_{IN})	$-0.3\sim V_{DD} + 0.3$
出力電圧 (V_{OUT})	0~VDD
消費電力 (P_D)	600mW
動作温度 (T_{opr})	$-30\sim 70^{\circ}\text{C}$
保存温度 (T_{stg})	$-55\sim 125^{\circ}\text{C}$

次項でその機能を述べる。

(2)IC の機能

(a)コマンド項目の符合化

エンコーダ IC で作られる符号のパターンを図4に示す。符合は、コードビット3、データビット5にスタートビット、エンドビット等の同期用パルスが数ビット加わった16ビット構成である。送出スイッチが押されると、データの先頭に8 bit 分の0状態を続けた後、誤動作防止のため、この16bitのパターンを2回送出し受信側で照合する。従って一つのコマンドは40ビットで構成される。

3ビットのコードビットは、同一トーン周波数で7台の機器を独立に制御することを目的としており、コマンド項目の拡張あるいは複数の気球を同時に飛翔させ、各々別々に制御する等の応用ができる。航空安全コマンドシステムも、このコードにより通常コマンドシステムと区別する。

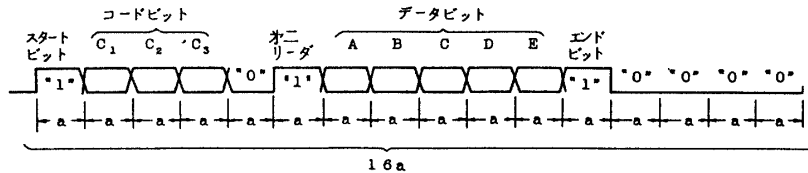


図4 パルス・パターン構成

(b)コマンドの機能および数

この IC は、図5に示すように、入力端子にスイッチマトリックスを付けてコマンド項目を選択する。コマンドの機能は、選択されるスイッチによって、連続送出、単発送出に分かれ、前者はパルスパターンが送出されている間はデコーダ出力が ON となる。後者は、パルスパターンは一回しか送られず、対応してデコーダ IC 出力に短いパルスが一回出る単発

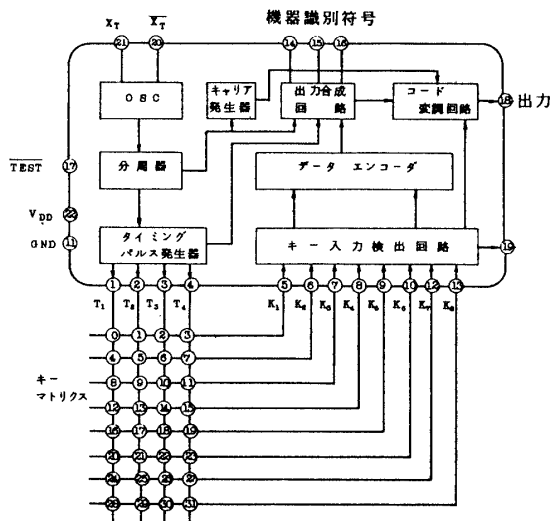


図5 パルス・パターン発生ICの構成

コマンドとスイッチを押すたびに出力状態が反転する反転コマンドに分かれる。それらの機能の一覧を表4に示す。

表4 コマンド機能の一覧

機能	コマンド数
連 続	6
単 発	22
反 転	2

連続、単発等の機能とそのコマンド数は、目的とする気球制御用コマンドの機能とほぼ合致しており、一般用コマンドシステムにそのまま使用できる。航空保安用コマンドシステムには、連続コマンドを1チャンネル当たりでた。

(c)動作クロックと転送時間

このコマンド用ICの駆動用クロック周波数と符号の伝送速度ならびに変調周波数の関係は、クロック周波数を f_x 、変調周波数を f_c 、コマンドパルスパターンの1パルスを伝送する時間を t_o とすると、

$$f_c = f_x / 12$$

$$t_o = 1024 / f_x$$

である。また、1コマンド命令は40bit構成であるので、1命令を伝送する時間 t_a は、

$$t_a = 40 \times t_o$$

となる。

クロック周波数を10kHzとすると $f_c = 833\text{Hz}$ 、 $t_o = 0.102\text{秒}$ となり、1命令伝送時間は4.1秒となる。この伝送時間は従来のコマンドシステムより約3倍長いですが、排気弁やバラスト弁を操作する時間をコントロールする上で特に支障とはならない。

4. 2 トーン弁別用フィルタ回路

オーディオ帯域の正弦波信号を出来るだけ選択度良く弁別するためのフィルタ回路である。360Hzと500Hzの連続トーン信号は、フィルタの通過遅れ時間がほとんど問題とならないので、可能な限りQの高い狭帯域特性を持つバンドパスフィルタが適している。これにたいし、833Hzのトーンバースト信号の場合は、フィルタの通過遅れ時間はパルス1ビットの時間幅の1/10程度にする必要がある。

現用メカニカルフィルタに変わってコマンド受信システムに使用できるフィルタとしては、回路が単純であるが素子が大きいLCフィルタ、フィルタ特製の設計自由度は大きいIC演算増幅器を使うためその温度特製の影響が大きいアクティブフィルタ、アナログデータの遅延に電荷転送方式を使ったスイッチドキャパシタフィルタ、信号をA/D変換した後デジタル演算でフィルタ特性を得るデジタルフィルタがある。後者2つはクロックパルスで動作し、周波数特性もその周期で決まる。表5にそれらの特徴をまとめて示す。

表 5 オーディオ周波数弁別フィルタの比較

種別	特徴	回路サイズ	回路の単純さ	Q の大きさ	安定度
LC Filter		×	◎	×	△
Active Filter		○	△	○	×
Switched Capacitor Filter		◎	○	○	○
Digital Filter		○	△	○	◎

上記の比較から、回路構成が簡単で、フィルタの特性が温度変化の影響を受けにくいスイッチドキャパシタフィルタが、気球用コマンド装置に適していると考えられる。種々のフィルタ IC を調べた結果、実用的に実現可能な Q の値の最大値は 85 程度であって、これまで使用してきたメカニカルフィルタが 5 Hz 程度であるのに対し、スイッチドキャパシタフィルタでは、20Hz 程度である。

5. システム構成および装置

5. 1 地上装置

図 6 に航空保安用コマンド信号の発生部を示す。360Hz と 833Hz のトーン信号は、周波数を安定させるため、水晶発振によるクロック信号をもとに、カウンタと D/A 変換回路で正弦波信号を作っている。833Hz のトーンは TA9132 により作られるコマンド符号でアナログスイッチ回路を開閉し、トーンバースト信号を得る。360Hz と 833Hz は同時に伝送するが、送出指令スイッチは別々にし、誤って簡単にコマンドの送出ができないよう、2 段階の動作とした。

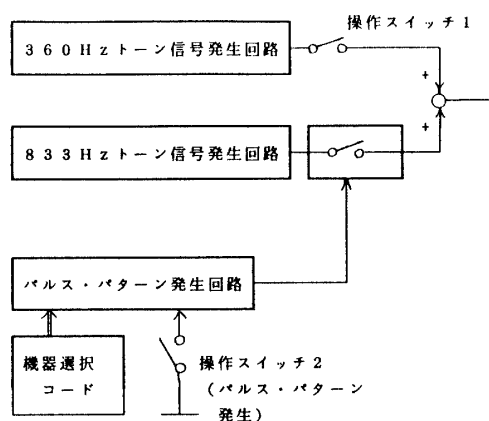


図 6 コマンド信号発生部

5.2 搭載装置

5.2.1 全体構成

図7に気球に搭載する航空保安用コマンドシステムの構成図を示す。受信機出力は、360Hz、500Hz、833Hz フィルタに入力される。360Hzと500Hzのフィルタ IC は松下通信工業製の MN6515 で、回路の内部に比較回路も入っていて、その出力はロジックレベルとなる。833Hz の回路は、フィルタの次段に比較回路をおいてロジックレベル出力を得る。

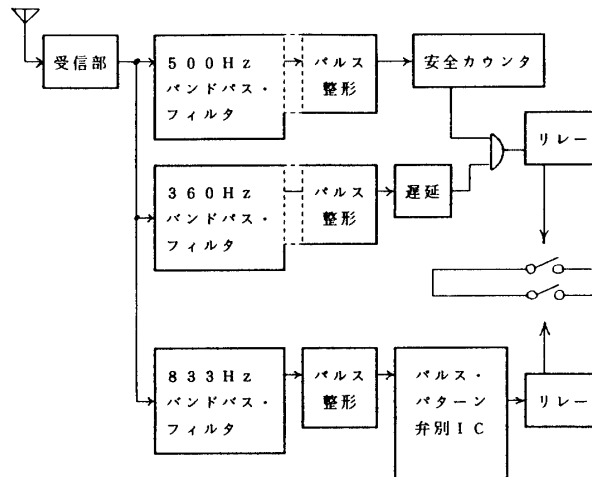


図7 航空保安用コマンド受信システム

5.2.2 周波数弁別フィルタの構成

図8に、360Hz トーン信号を弁別するためのフィルタの周波数特性を示す。バンド幅は約20Hzであるので、フィルタを通過する際のトーン信号の遅れは図9の波形に示すように、おおよそバンド幅の逆数の50ms となる。単一トーン信号の弁別にはこの遅れは問題にならないが、トーンバースト信号では、各パルスの立ち上がり立ち下がりでの遅れで誤動作や不動作が起きぬよう、遅れ時間は1パルスの時間幅(102ms)の1/10の10.2ms 以下となる

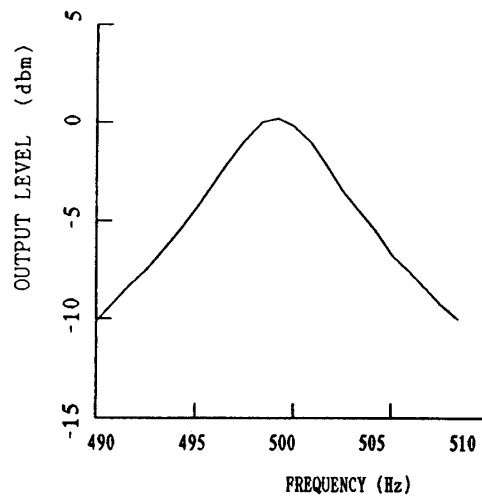


図8 連続トーン弁別フィルタの周波数特性

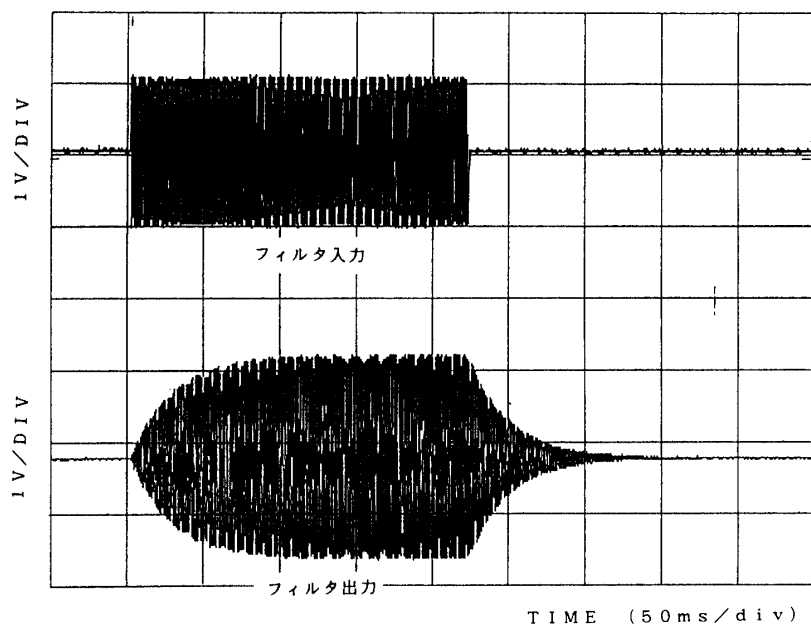


図9 連続トーン弁別フィルタの応答波形

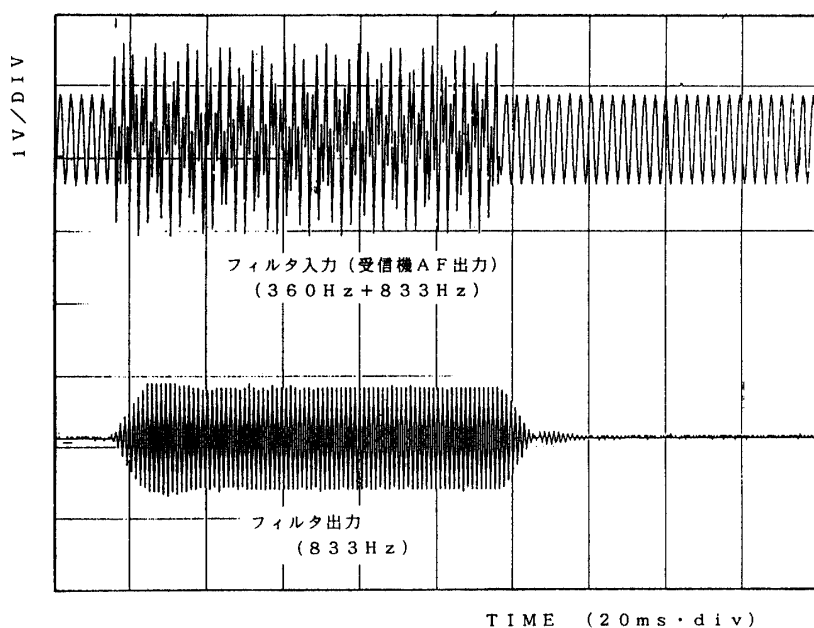


図10 受信出力とトーンバースト用フィルタ出力

ようにした。そのため、バンド幅が可変のフィルタ MF8 (ナショナルセミコンダクタ) を用いバンド幅を約100Hzとし、フィルタ通過遅れを10ms以下とすることにした。

図10に360Hzの連続波と833Hzのトーンバースト波が加わった受信機検波出力と、その信号から833Hzを弁別したフィルタ出力を示す。図11(a)にフィルタで弁別して得られたパルス・パターン信号を示し、同図(b)にその1パルス分の拡大波形を示す。送出パルス幅102msにたいし、フィルタによる弁別・波形整形後のパルス幅は107msであって、偏差は

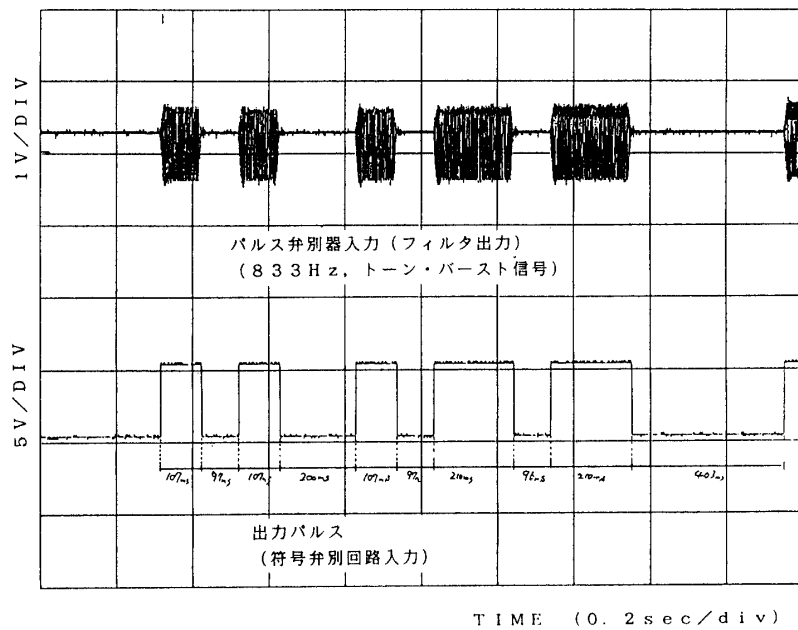


図11 (a) トーン・バースト弁別フィルタ出力

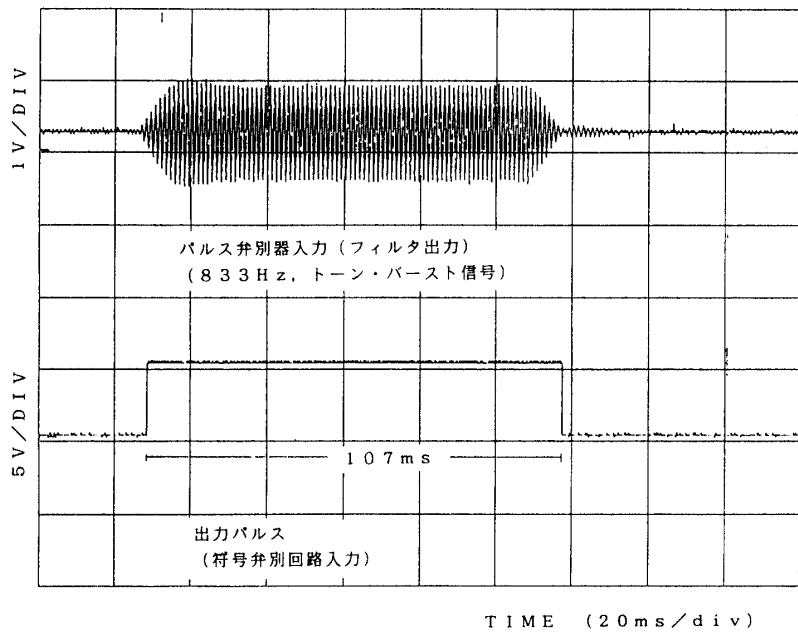


図11 (b) 出力パルスの時間遅れ

規定の半分の 5 ms となっている。

5. 2. 3 スレッシュホールドレベルの設定

フィルタで弁別した正弦波にたいし、スレッシュホールドレベルを設定してロジックレベルに変換する。このレベルは、大きいほどノイズの影響を受けないが、信号レベルが変動し小さくなった場合に動作しなくなる可能性がある。この受信機の温度特性は -20°C で 2 dB 程度

下がるので、余裕を4～8 dB以上とり、6から10dBの点にスレッシュホールドレベルを設定できることが望ましい。実際には、360Hzと500Hz信号の場合には、受信機からFMノイズが出力される場合のピーク値にたいしスレッシュホールドレベルの余裕は10dBと十分とれたが、833Hzの場合にはフィルタのバンド幅が広いため、FMノイズによる出力は4 dB多く、余裕は6 dBとなった。ただし、833Hzの場合にはパルスパターンの一致が必要なため、この余裕の差は問題にならない。

5. 2. 4 誤動作防止用遅延特性

瞬時ノイズで動作しないよう、各周波数のロジック出力の後段に数秒の遅れ回路、ないしカウンタ回路を置き、一定時間連続して出力がない場合には次段に出力が伝わらないようにしている。さらに500Hz用回路の後段には、安全カウンタがあり、あらかじめセットされた時間以内にリセット信号が来ない場合のみ、このカウンタ出力がONとなり、コマンドを受付可能状態にする。このセット時間を測距実行周期より若干長くしておけば、測距が通常の周期で正常に行われ、500Hzの信号が受信されている場合にはコマンドが受付られないようになり、飛行中の誤動作を防ぐ。従って、気球カットを実行する場合には、あらかじめ測距動作を中断し、一周期以上の時間を待たねばならない。この動作シーケンスを図12に示す。

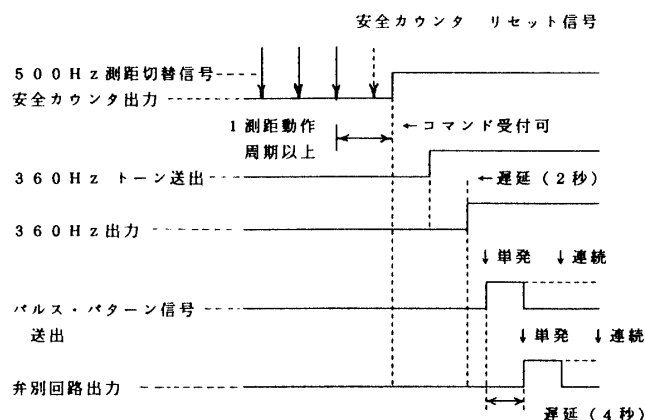


図12 航空保安用コマンドの動作シーケンス

5. 2. 5 コマンド符号の弁別

パルスパターン信号は、符号弁別用 IC、TA9134の入力に加えられ、内部のパターンとの一致を判別される。図13に TA9134の内部回路構成を示す。入力信号はまずシフトレジスタに格納され、ここで2回送られてきたデータを比較し、一致している場合のみ、3ビットのコードビット符合と設定されている符合とを照合するとともに、5ビットのデータビットをデータ・デコーダ部で内部の基準パルスパターンと照合しその結果を出力する。このように、2回送られたデータの照合を行い誤動作の防止機能を強化している。

5. 2. 6 連続トーン信号との一致回路

航空保安用コマンドには、連続出力の1チャンネルを当てており、この出力と360Hz出力のANDを取って気球カッター起動用出力とする。この場合、AND回路が誤動作し出力

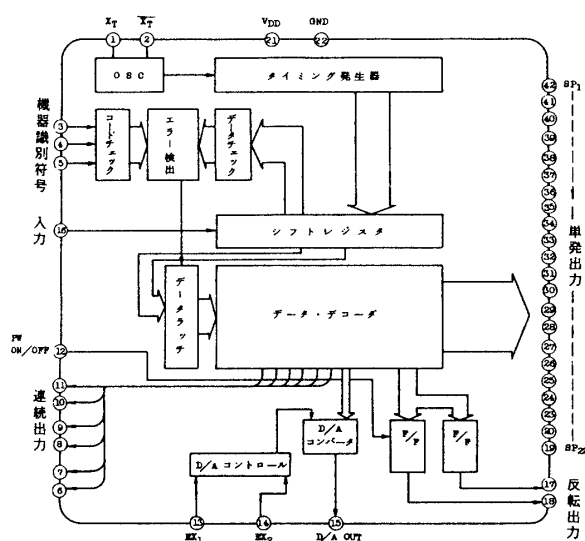
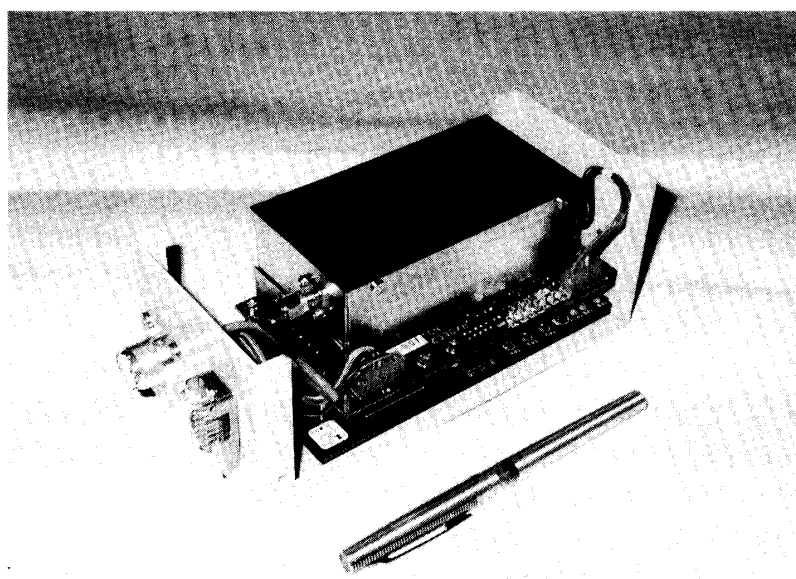


図13 パルス・パターン弁別 IC 内部構成

が1となると、それ以前の安全性を確保する方策が全て効力をもたず、直ちにカッターが作動してしまう。そうした誤動作の発生を防ぐため、360Hzと833Hzの出力から別々の回路でリレーを駆動し、その接点を直列接続してANDを取ることにした。この結果、この二つのリレー自体の誤動作で同時にONとなる要因は、外部からの機械的ショック以外には考えられず、内部回路の故障による誤動作の発生を防止する事ができる。

5. 2. 7 装置の外観

この航空保安用コマンド装置の外観図を図14に示す。通常の装置と異なり、ゴンドラの外部、パラシュートの上端または下端に取り付けられるので、内部回路をコンパクトにするこ

図14 航空保安用コマンド受信システムの外観
(カバーは外してある)

とを努め、できるだけ小型化を図った結果、縦7cm、横8cm、長さ17cmとなった。

6. 環境テストおよびフライトテスト

6. 1 低温テスト

この装置は、気球吊り紐の途中に挿入されるため、特に低温環境での動作を慎重にテストした。表6は、受信感度の変化を -20°C ～ $+50^{\circ}\text{C}$ まで測定したものであって、カッター駆動用リレーが動作する最低入力電界で表している。試作した10台中5台分のデータを示しているが、他も同様である。動作温度の低下とともに若干感度が低下するが、充分実用範囲に入っている。なお、これ以外に、 -50°C まで冷やし、動作が停止しないことも確認しており、通常の気球の飛翔では夜間でも十分確実に動作するものと考えられる。

表6 最低動作感度の温度変化

機器番号	-20°C	常温	$+50^{\circ}\text{C}$
1	-6.2	-9.7	-7.7
2	-8.2	-9.7	-8.7
3	-7.2	-9.7	-9.2
4	-8.2	-9.7	-8.7
5	-8.2	-9.7	-7.7

(dB μ)

6. 2 フライトテスト

平成3年9月2日に放球したB15-77気球にこのコマンド受信機を試験的に搭載し、動作テストを実施した。コマンド受信機は、厚さ約5mmの発砲スチロール箱にいれ、外側をさらに多重サーマルブランケットで包み、ゴンドラの外部上端に取り付けた。動作テストとしては、スイッチド・キャパシタ・フィルタの動作確認とトーンバースト信号によるパルスパターン信号の弁別機能の確認を中心として実施した。図15はそのテレメータ出力波形であって、パルスパターン信号は1パルスが短いため、カウンタで数えた波形をD/A変換して伝送している。それ以外の出力はそのままON/OFF信号として伝送した。

テスト結果は良好であって、コマンド信号の受信、解読はすべて誤りなく行われた。唯一の問題点は、連続トーン信号の360Hzが従来のコマンド受信機の500Hz弁別回路に妨害をあたえたことである。これは、従来のコマンド受信機の周波数弁別フィルタはメカニカルフィルタであるため、低い周波数領域にレベルは低い副共振点があり、この周波数とたまたま一致してしまったためである。実験時は、360Hzの送信レベルを実験に支障がない程度に僅かに下げることで妨害が解消したので、実験を続けた。しかし実際の応用では、しばらくの間、従来のコマンド受信機と併用されるので、この周波数を若干ずらすことで対応した。気球飛翔範囲は、三陸大気球観測所から最大直線距離で350kmであったため、動作限界の確認には至らなかった。

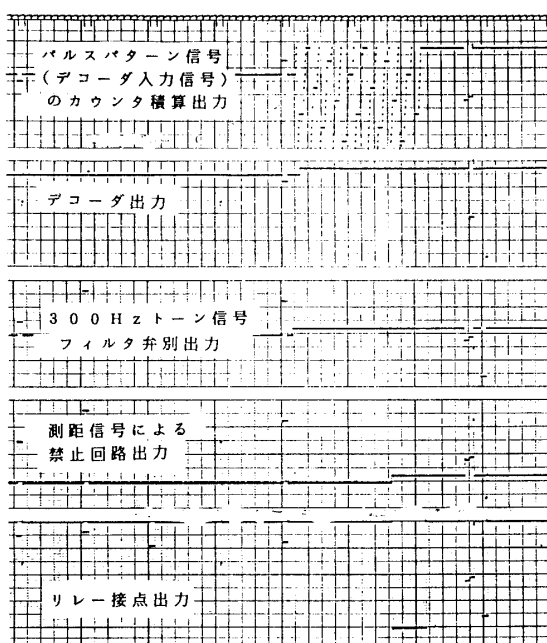


図15 フライト中のコマンド受信機の各部の応答波形 (直線距離約330km)

つづいて、平成4年5月28日にはB50-37、8月29日にはB15-80気球に搭載してフライトテストを行った。いずれも、気球切り離し装置に接続し、本格的利用を開始することとした。B50-37では使用する機会がなかったが、B15-80では、通常のコマンド装置は正常であったが、この航空保安用コマンド装置を使って気球切り離しを実行し、成功した。

7. 終わりに

かねてより懸案であった、気球切り離し用コマンドシステムの2重化を図った。この装置は切り離し用カッターを起動するための機能しか持たない単機能のものであるが、従来から使用している、多項目のコマンド項目がおくれる通常コマンドシステムも含めた全体システムの中に位置づけ、総体として合理的に設計されている必要がある。こうした視点から、まず全体システムの検討を行い、高い信頼性が要求される気球制御用コマンドには、コマンド項目を時系列の符号化信号にして送ることとした。かつこの符号化信号の弁別には装置の信頼性確保の観点から、専用化されたICを用いることで回路の単純化を図った。また、多項目でかつ多機能であることが望ましい観測器操作用コマンドは、気球制御用コマンドと干渉しない別方式で伝送する事とした。

上記の基本構想にもとずき、航空保安用コマンドシステムの試作を行った。周波数の弁別には従来のメカニカルフィルタに変わり、純電子式で中心周波数がクロックパルスで決まるスイッチド・キャパシタ・フィルタを用いた。このため、回路構成は単純化することができた。装置のサイズも、小型化に努めた結果、気球下部に取り付ける上で、実用上問題のない大きさとなった。

ゴンドラの外に出して使うため、低温特性には十分注意してたが、 -20°C まで基本特性には全く問題がなく、 -50°C まで冷やしても動作することが確認できた。実際のフライトテストも他の機器との交渉もなく正常であった。

以上、今回開発した航空保安用コマンドシステムを適用し、気球飛翔管制の要となる気球切り離し機能の二重化を実現できるもの判断できる。ただし、その機能の重要性から、本格的実用化まで、なお慎重に試験を重ねてゆきたいと考える。