

### 3. 音響的安全防護

深 谷 潔\*  
江 川 義 之\*

## Acoustic Countermeasures for Safety

### 3.1 Sound control Emergency Stop device

Kiyoshi FUKAYA\*

The development of automation has brought about many changes in factories. One of them is underpopulation of workers, i. e. work range has broadened and no colleague is around the worker in automated line. When such a worker happen to meet an accident, even though he cries for help, he can not expect help from colleagues. In these circumstances, a device which recognizes voice for help and stops the machine will be great help. The possibility of application of speech analysis technology to emergency stop device was investigated.

The system consists of two sub-system : voice input system and voice recognition system. The system must have the function of distinguishing voice from background noise. In this research, the input system bears this function.

Voice input system consists of microphone and radio wave transmitter and receiver. In order to give worker the freedom of movement, use of radio device is necessary.

In order to lessen the influence of noise, the bone transmitting microphone was used. It detects the vibration which arise in vocal cords and is transmitted through head bone, and therefore it has low sensitivity for sound. The measurement of sensitivity showed sufficient faculty.

Two voice recognition devices of speaker dependent type were tested. Recorded voices were registered and were recognized in various playback condition ; normal, low/high tone, low/high speed, small/large voice, etc. They recognized poorly voices which were not played back but pronounced each time and voices which were played back in high speed. The shift of voice to high pitch resembles the voice in time of emergency. It seemed that they can not cope with the fluctuation of human voice.

In order to distinguish stop command, simple algorithm was adopted : large voice which lasts for a certain duration considered as command for emergency stop. Simple device which fulfills the algorithm was made and tested. The test showed that the total system has the possibility of practical use.

The device developed do not have fail safe function, which is indispensable to "safety device". Therefore this is not safety device but safety assist device. To give them the fail safe function is future problem.

---

\* 機械研究部 Mechanical Safety Research Division

### 3.2 Selection of Auditory Warning Alarm According to Different Unsafe Condition.

Yoshiyuki EGAWA\*

For evaluating the characteristics of auditory warning which were safety measurements using acoustics, this report investigated them from the two points of view as follows.

- I . Warning alarm should have the characteristics not to be masked by ground noise in the factory.
- II . Warning alarm should be made up of wave forms which are suitable for utility purposes of warning usage.

About I theme, the data which we had measured about fifty kinds of ground noises in many factories were classified as eight patterns model-noise by cluster analysis. According to form in 1/3 Oct. analysis, their models were named "Pink-noise, 2 tsu-yama (kōiki), Chūiki-yama, Teiiki-ochi, Owan, Chūiki-ochi, Kōiki-yama, and Teiiki-yama"

Next, spectrum analysis of warning alarm being made use of various occasions was performed. As the result of analysis, four types of alarms were found in auditory warning

From a frequency band viewpoint, it was found that warning alarm had two types which were Wide band type and Narrow band type.

Further, there were two types, which were named Noise spect.-type and Linear Spect.-type from a spectrum form.

Experiments on discrimination four types alarm from eight patterns model-noise were conducted. As the result of experiments on discrimination, Wide band type alarm was more available than Narrow band type in all model-noises and Noise spect.-type alarm was more discriminative than Linear spect.-type in Chūiki-yama model noise.

Regarding as shift type alarm (like a siren) being made use of emergency car (i. e. fire engine), the siren was most discriminative in the case when the parameter indicated 1000~2000 Hz/2 sec.

About II theme, we arranged auditory warning alarm according to the wave form and purpose of warning usage.

This result was illustrated in Table 3.2-5.

KEYWORDS : Voice recognition, Safety device, voice control

Alarming equipment, Factory ground noise, Auditory masking

Spectrum analysis, Wave observation

## 3.1. 音声式非常停止装置

深 谷 潔

### 3.1.1 はじめに

近年、自動化が進み、生産ラインも長大なものになる傾向にある。それに伴い、工場における作業者の人口密度が減少し、作業者の近くの目に届く範囲、または声の届く範囲には、他の作業者がいないという過疎的1人作業も増えてきた。このような作業に従事している時に、機械に巻込まれるなどの事故にあうと、助けを呼んでも他の作業者には伝わらず、そのまま機械につぶされるなどの可能性もある。現実の災害においても、他の誰にも目撃されず、死亡後に発見されるという例も少なくない。これらの事例においても、非常停止装置が被災者の手近にあり、すぐ機械を停止できるか、他の作業者がすぐ非常停止をかければ、大事には至らなかったものが少なくないと思われる。

このような状況において、他の作業者のかわりに、機械が作業者の助けを呼ぶ声を聞いて非常停止をかけることができれば、安全上非常に有効であると思われる。近年著しい発達を示している音声処理技術を非常停止装置に応用する可能性について検討した。

### 3.1.2 システムの構成

今回開発しようとしているシステムの基本的機能は、マイクから音声を入力し、それを音声認識装置で識別し、「止まれ」などの特定の音声に対して、非常停止の指令の信号を出力するというものである。

このために必要となるサブシステムとして、音声認識部がある。音声認識装置としては、すでに何種類かのものが開発・市販されていて、研究的なものだけでなく物流の仕分けなどのいくつかの現場で実用化されているものもある。システムの規模としても、大型計算機を用いるものから、マイコンに組込んで使用するプリント基板一枚からなる簡易なものまで各種のものが存在する。音声式非常停止用に開発されたものは存在しないが、その目的のために使用できるものは存在すると思われる。

しかしながら、これらは騒音・雑音の少ない環境で

使用するように設計されていて、人間のように雑音の中から特定の音を抽出して聞き分けることはできない。音声式非常停止装置は工場内で使用するためのものである以上、騒音下で使用できるものでなくてはならない。そのため、音声の入力部で別段の工夫が必要となる。

マイクとして有線のものを用いると、自由に動かすことができず固定して使用することになるが、必然的にマイクと人との距離が大きくなる場合が出てくる。このような場合には、騒音下では声はうち消されて、マイクでとらえることは不可能になる。従って、マイクは無線式のもので、作業者と共に自由に動かせるものでなくてはならない。こうすれば、マイクを口の近くに置くことができ、騒音で声が消ち消されることもない。

しかし、それだけでは不十分で、マイク自体も、例えば、遠くの音に対して感度が低く近くの声に対してのみ感度が高いといった特性があるものでなくてはならない。今回の研究では、騒音環境下で音声を伝えるという目的で開発された、骨伝導マイクを使用することにした。

これは、声の信号の検出のために声帯の振動を用いるもので、声帯の振動が頭蓋骨内を伝播することを利用している。両手で耳を塞いでも自分の声が聞けるのは、この頭蓋骨内の音の伝播のためである。この振動を耳で検出するイヤマイクと、鼻骨で検出する眼鏡マイクの2種類がある。これらのマイクは、声をピックアップするために、空気の振動ではなく固体の振動をピックアップしているので、騒音のように空気中を伝播するものに対しては感度が低い。

音声式非常停止装置は、骨伝導マイクと無線送受信機より成る音声入力部と、その音声入力を判断・識別して非常停止信号を出力する認識部の2つのサブシステムに分けられる。このサブシステムごとに、評価を行った。

### 3.1.3 音声入力部の評価

#### 3.1.3.1 音声入力サブシステムの構成

評価の対象とした音声入力サブシステムは、骨伝導マイク、ポータブル送信機、アンテナ、受信機よりなる。送信機的主要仕様を Table 3.1-1 に示す。

Table 3.1-1 Specifications of Transmitter and Receiver  
マイク・送受信機の仕様

|            |                            |
|------------|----------------------------|
| (a) マイク    |                            |
| 名 称:       | パイロット電子 イヤマイク 眼鏡マイク        |
| 方 式:       | 骨伝導方式                      |
| (b) 送信機    |                            |
| 型 式:       | 東亜特殊電器 QW-01 M-RED         |
| 電 波 形 式:   | F 3 (FM 音声)                |
| 送 信 周 波 数: | 44.87 MHz                  |
| 使 用 アンテナ:  | ワイヤ アンテナ                   |
| 変 調 方 式:   | 水晶制御周波数変調                  |
| 重 量:       | 101 g (イヤマイクを含む)           |
| (c) 受信機    |                            |
| 型 式:       | 松下電器産業 WX 990              |
| 送 信 周 波 数: | 42.89/44.87/47.27 MHz (可変) |
| 受 信 方 式:   | アンテナ交換スペース・ダイバシティ          |
| 復 調 方 式:   | シングル スーパーヘテロダイン            |

無線を使用する場合、送受信機のアンテナの相互位置によって電波の弱くなるデッドポイントが生じることがある。その影響を少なくするために、複数のアンテナを用いて、一番出力の高いアンテナに切換えて受信するダイバシティ方式の受信機を用いた。なお、今回の測定では、送受信機(アンテナ)間の距離が 3 m 以内という至近距離なので受信アンテナは 2 本しか用いなかった。

#### 3.1.3.2 測定方法

人間の音声及び騒音等の外来音に対する音声入力部の伝達特性を測定した。測定に際して、音声入力部をブラックボックスとみなし一体のものとして扱った。すなわち、マイクに入力した音の大きさと、受信機の実出力電圧の関係を測定した。受信機には出力レベルの調整つまみ等のつまみ類があるが、測定に際しては、

これらは固定しておき一定にして使用した。

人間の音声と騒音では音源が異なるので、別に測定した。

人間の発する音に対しては、以下の測定を行った。イヤマイクまたは眼鏡マイクを正しく装着し、一定の声(「あー」「きゃー」という声)を出させる。口から約 30 cm 離れた位置に騒音計を設置して、声の大きさを測定し、同時に受信機の実出力を記録した。また、これらのマイクは振動を検出するものであるため、くしゃみや咳払いなどの音にも敏感である。そのため、これらの音に対しても同様の測定を行った。

外部からの騒音に対する感度を調べるために、以下の測定を行った。発振器の実出力の純音を増幅してスピーカから出力し、その音をイヤマイクまたは眼鏡マイクに入力して、その際の受信機の実出力を測定した。また、マイクと同じ位置に騒音計を設置して音の大きさを同時に測定した。その状況を Photo 3.1-1 に示す。音の大きさは数段階に変えて測定した。また、音の周波数も 200 Hz から 5 kHz まで数段階に変えて測定した。

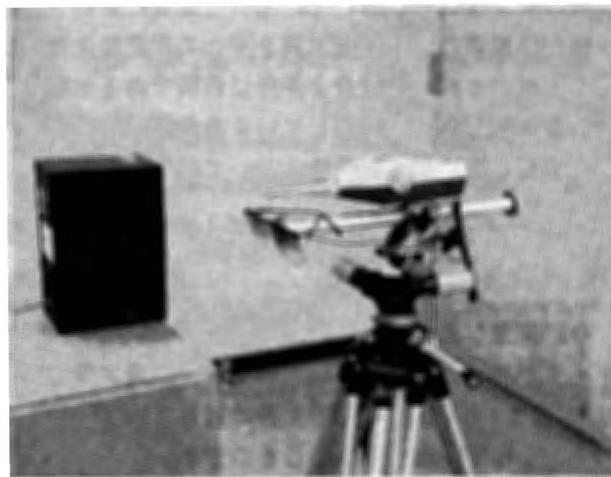
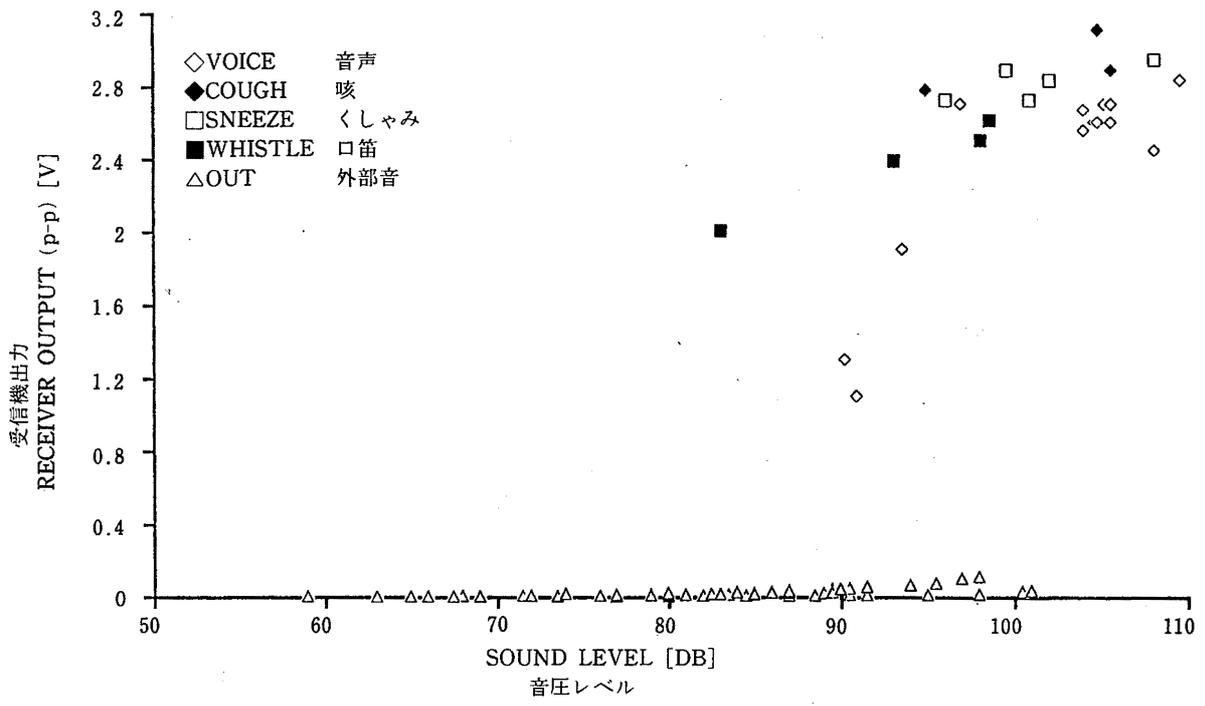


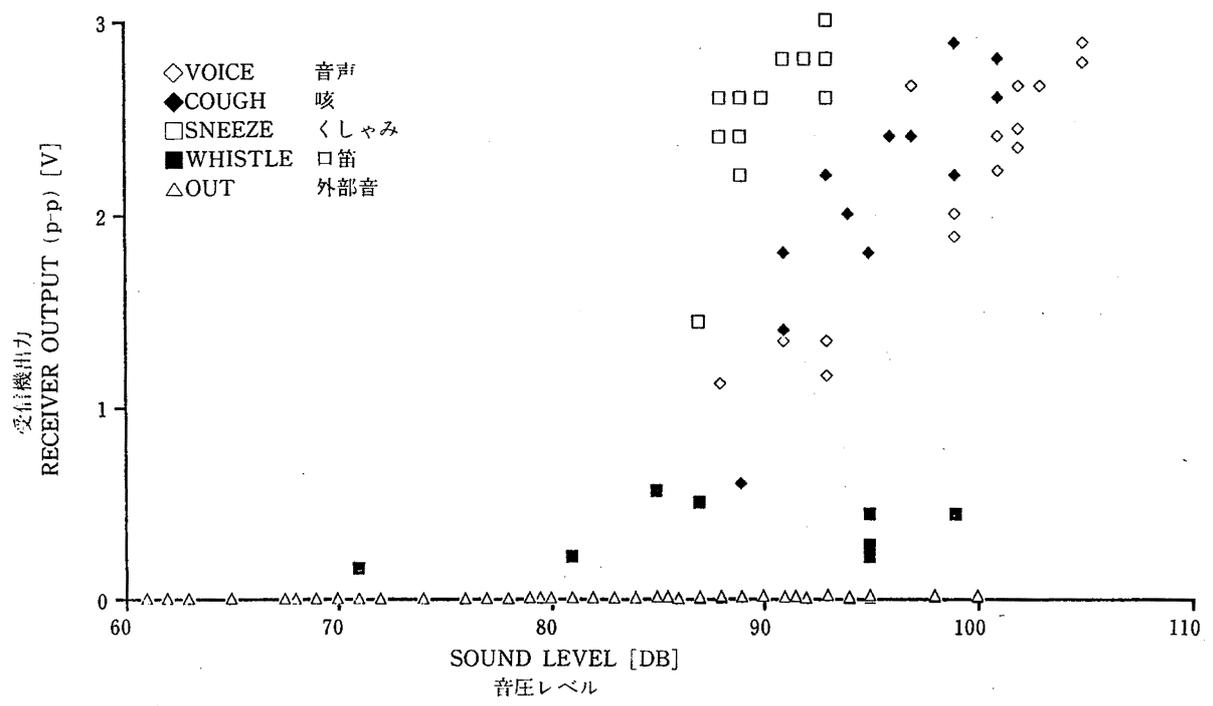
Photo 3.1-1 Measurement of glasses microphone's sensitivity for external sound  
眼鏡マイクの外部音に対する感度の測定

#### 3.1.3.3 測定結果

イヤマイク及び眼鏡マイクの測定結果を Fig. 3.1-1 (a), (b) に示す。人間が発する音と外来音では測定条件が多少異なるが、比較の便のため同一の図に記載した。外来音に対する感度が、音声と比較して圧倒的に小さいことがわかる。図に示されたものについて出力を単純に平均すると、イヤマイクでは、音声に対して 2.2 V、外来音に対して 16 mV であり、眼鏡マイクでは、それ



(a) glasses microphone  
眼鏡マイク



(b) ear microphone  
イヤ・マイク

Fig. 3.1-1 Relation between Receiver output & Input sound level  
入力音圧レベルと受信機出力の関係

ぞれ、2.4 V と 21 mV になる。この比は、イヤマイクで 141 倍、眼鏡マイクで 114 倍であり、騒音環境下で認識の対象となる音声だけを認識部に入力するという

目的に対して、十分な性能を示しているものと思われる。

なお、音声入力サブシステム内で電波を用いている

が、今回の測定においては送信機と受信アンテナ間の距離が近い、途中で電波の遮蔽物がない、強力な電波雑音源がないなどの理由で、電波系における信号の乱れは十分小さいものと思われる。

### 3.1.4 音声認識部の評価

#### 3.1.4.1 音声認識技術の現状

機械による音声認識において、人間が通常話すものをそのまま認識できることが理想であるが、現実には多くの技術問題があり、実現されている装置には多くの制約がある。

デジタル音声認識において、共通して行われる処理として次のものがあげられる。①発声された音声を入力しデジタル化する。②その中の特徴パラメータを抽出する。③そのパターンと標準パターンを比較し一番似ているもの（両者のパターン間距離を計算し一番小さいもの）を認識結果として出力する。この各段階に種々の手法があり、方式の差を生じている。

標準パターンの大きさの取り方によって、音素認識、単語認識などに分けられる。前者は、[ə] (母音), [ʃ] (子音)などの音素単位に認識する手法で、後者は、「やま」、「かわ」などの単語単位に認識を行う手法である。単語認識では、認識語数が増すと標準パターンを記憶するためのメモリー容量が増加し、また、パターンマッチングの処理時間が増加するので、認識語数が多いものには向かない。音素認識では、音素の数は有限であり、単語当りの情報量も単語認識の場合と比べてはるかに少ないので語い数を増やす上では有利である。しかし、音素は継続時間が短かく、類似しているものが多い、調音（発声時、前後の音素によって音韻が変化する現象）の影響を受けるなど、単語認識の場合より更に精密な認識方法が必要である。そのため、市販の装置は単語認識方式のものが多い。

標準パターンの作成も問題である。人間のように誰の声でも聞き分ける（「不特定話者方式」と呼ぶ）ためには、多くの人声の分析して標準パターンを作成する必要がある。また認識の際にも、新しい発話者の声に合わせてパラメータを調整する学習機能など、一段上の認識技術も必要となる。そのため、多くの市販の装置は、特定話者方式という方式によっている。すなわち、認識させたい語を、使用者が前もって発声する

登録という作業をしておく。この登録された音声パラメータが、標準パターンとして用いられるわけである。

音声入力時には、区切りの問題が発生する。人間が通常話す時のように連続して音声が発せられる場合、認識対象語がどこから始まってどこで終わるか見極めることは必ずしも音易でない。区切りの良し悪しが認識成績にも影響する。一番容易な対処法は、離散発声による方法である。これは、例えば数字例「123」を読み上げる時に、「いち」「にっ」「さん」と区切って発声させる方式である。音声タイプライタなどの用途には適さないが、荷物の仕分けなどではこの方式でも十分実用になっている。

特長パラメータの徴出には、ハードウェアによるバンドパスフィルターによる方法、FFTによる方法、ケプストラムによる方法、線型予測分析による方法など各種のものが提案、研究されている。

#### 3.1.4.2 実験に使用した音声認識装置について

2種類の音声認識装置を使用した。各機種の仕様を、Table 3.1-2 に示す。両者とも、相対的に安価ではあるが、研究用のシステムではなく、実用を目差しているものと思われる。JH 600 は、音声入力式電卓・音声メモシステムとなっている。SRB64 は、プリント基板1

Table 3.1-2 Specifications of Word Recognition devices  
音声認識装置の仕様

|       |                    |               |
|-------|--------------------|---------------|
| 機種    | 三洋 SRB 64          | 松下 JH 600     |
| 認識方法  | 特定話者（1人または2人）      | 特定話者          |
| 認識単位  | 単語認識               | 単語認識          |
| 発声形式  | 疑似連続               | 離散発声          |
| 最大登録語 | 64語                | 62語           |
| 応答時間  | 平均0.4秒             |               |
| 分析方式  | 16チャンネル・バンドパス・フィルタ | ウォルシュ・アダマール変換 |
| 識別方式  | 線形マッチング+DP マッチング   | DP マッチング      |
| 使用形態  | マイコン制御/スタンドアロン     | スタンドアロン       |

枚よりなり各種機器に組込んで使用できるようになっている。

音声の入力には、それぞれの専用マイクを用いた。

両者とも、登録音声を確認した（マッチングがとれた）ときには、登録番号等を出力し、どの登録パターンともマッチングがとれなかったときには、リジエク

トを出力する。また、声が小さい場合には暗騒音と判定し、何も出力せず無視する。

なお、SRB 64 は、認識と判定する際のパターン間距離の閾値を 4 段目に設定でき、この設定によってリジェクト率が変わってくる。

### 3.1.4.3 音声認識の評価方法

テスト用の単語を十数語選び、これを発声し、テープレコーダに録音する。これを再生して、音声の登録を行う。この登録した単語に対して、種々の条件で単語を再生して認識を行わせ、認識率を測定した。なお再生は同一条件で 10 回行った。また、騒音の影響を避けるため、測定は無響室内で行った。

登録した語は 2 つのグループに分けられる。1 つのグループは無作為に選択した 10 語であり、他のグループは「止まれ」「止めろ」など非常停止の指令となり得る語 7 語である。無作為グループの選択は乱数によった。すなわち、1 つの語に対して 2 つの乱数を発生させ、国語辞典から対応する頁内の対応する順番の単語

を選んだ。また、無作為グループについては、登録語と発音が似た語という意味で、辞書の上で登録語の前後にある単語も参照語として用意した。これらの登録語、参照語を Table 3.1-3 に示す。

再生する際の条件としては、以下に示すようなものを行った。

- A) 登録時と同一条件による再生
- B) トーンを最も H 側にして再生
- C) トーンを最も L 側にして再生
- D) 再生速度を 40 % 速くする
- E) 再生速度を 20 % 遅くする
- F) 音量を大きくして再生
- G) 音量を小さくして再生
- H) 登録語を別途録音したものを再生
- I) 騒音環境下での再生
- J) 登録語と似た参照語の認識

このうち、H は、単語の順序をランダムに変更したものを 10 組、登録語を録音したのとは別の日に録音し、1 回再生させた。また、I はマイクの側方に設置した

Table 3.1-3 Test words (Registered words and words with similarity)

テスト語 (登録語及び類似語)

Group 1 (random selection) グループ 1 (無作為選択)

| Registered words 登録語 |      | Words with similarity 類似語 |       |              |        |
|----------------------|------|---------------------------|-------|--------------|--------|
| taiza                | 対座   | taisa                     | 大差    | daiza        | 台座     |
| suit                 | スーツ  | zuuti                     | 頭打ち   | suutou       | 数等     |
| fukurasu             | 膨らす  | fukuyoka                  | ふくよか  | fukurasuzume | ふくら雀   |
| racket               | ラケット | rakurui                   | 落涙    | rashii       | らしい    |
| shinodazushi         | 信田鮓  | shinosusuki               | しのすすき | shinodamaki  | 信田巻    |
| kansen               | 感染   | ganzenai                  | 頑是無い  | kanzen       | 完全     |
| kougou               | 香合   | koukou                    | 孝行    | goukun       | 毫光     |
| shifuu               | 士風   | shibui                    | 渋い    | shibuuchiwa  | 渋団扇    |
| jachi                | 邪知   | shachi                    | しゃち   | shachikobaru | しゃちこぼる |
| yuuki                | 勇気   | yuukan                    | 憂患    | yuugi        | 遊戯     |

Group 2 (Stop command)

グループ 2 (停止命令)

| Registered words 登録語 |      |
|----------------------|------|
| tomare               | 止まれ  |
| stop                 | ストップ |
| teishi               | 停止   |
| tomero               | 止めろ  |
| yamero               | やめろ  |
| ah-                  | あー   |
| kya-                 | きゃー  |

別のスピーカから一定の音量の雑音を発生させながら、登録時と同一条件で再生した。

SRB 64 では、認識時の類似判定の閾値が変えられるので、閾値を変えて同様の測定（認識）を行った。また、JH 600 では、マイクとスピーカの間隔を変えて、同様の測定（登録・認識）を行った。

### 3.1.4.4 音声認識実験の結果

音声認識実験の結果を、Table 3.1-4 に示す。(a)が正答率、(b)がリジェクト率、(c)が無視率、(d)が誤答率である。このうち、J の類似語については、本来、正答というものはないはずであるが、ここでは、対応する

登録語と認識した場合を正答と見なして集計してある。

また、騒音レベル等との関係を見るため、各再生条件での音声の出力レベル（音圧）のピーク値を騒音計で測定した。この値を Table 3.1-5 に示す。音量を変化させた F、G、別途録音した H、J については当然だが、音質や再生速度を変化させた B～E についても A とピーク値が変わっていることが見られる。

認識成績のうち、無視率を見ると、音量を下げた G において特に大きくなっている。このことから、無視率は音声パターンの音圧に大きく影響されるものと思われる。このことを確認するため、音声パターンの音圧に対して無視率をプロットした。それを Fig. 3.1-1 (a)、

Table 3.1-4 Result of recognition  
認識結果

|        |          | (a) Recognition rate (%)<br>認識率  |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | (c) Neglect rate (%)<br>無視率 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|--------|----------|----------------------------------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 再生条件   |          | A                                | B   | C  | D  | E  | F  | G  | H  | I1 | I2 | I3 | I4 | J1 | J2 | A                           | B  | C  | D  | E  | F  | G  | H  | I1 | I2 | I3 | I4 | J1 | J2 |
| G<br>1 | JH 600.1 | 97                               | 96  | 67 | 18 | 59 | 81 | 28 | 15 | —  | —  | —  | —  | 23 | 17 | 0                           | 0  | 11 | 0  | 1  | 0  | 25 | 40 | —  | —  | —  | —  | 11 | 16 |
|        | JH 600.2 | 100                              | 99  | 81 | 23 | 69 | 82 | 63 | —  | —  | —  | —  | —  | 22 | 7  | 0                           | 0  | 3  | 0  | 0  | 0  | 3  | —  | —  | —  | —  | 0  | 8  |    |
|        | SRB 64.1 | 90                               | 100 | 71 | 38 | 70 | 44 | 42 | 21 | 83 | 74 | 68 | 26 | 37 | 12 | 10                          | 0  | 20 | 0  | 18 | 0  | 50 | 36 | 13 | 18 | 20 | 27 | 11 | 9  |
|        | SRB 64.2 | 90                               | 90  | 56 | 0  | 45 | 10 | 20 | —  | —  | —  | —  | —  | 10 | —  | 10                          | 10 | 20 | 0  | 17 | 0  | 50 | —  | —  | —  | —  | 10 | —  |    |
| G<br>2 | JH 600.1 | 88                               | 81  | 44 | 19 | 39 | 54 | 46 | 7  | —  | —  | —  | —  | —  | —  | 1                           | 0  | 37 | 1  | 7  | 1  | 10 | 11 | —  | —  | —  | —  | —  |    |
|        | JH 600.2 | 96                               | 90  | 53 | 13 | 51 | 67 | 44 | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  | 0                           | 0  | 10 | 7  | 1  | 4  | 19 | —  | —  | —  | —  | —  |    |    |
|        | SRB 64.1 | 100                              | —   | 97 | 10 | 73 | 44 | 61 | 10 | —  | —  | —  | —  | —  | —  | 0                           | —  | 0  | 0  | 0  | 0  | 39 | 17 | —  | —  | —  | —  | —  |    |
|        | SRB 64.2 | 100                              | 94  | 86 | —  | 17 | —  | 37 | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  | 0                           | 0  | 0  | —  | 0  | —  | 37 | —  | —  | —  | —  | —  | —  |    |
|        |          | (b) Rejection rate (%)<br>リジェクト率 |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | (d) Error rate (%)<br>誤答率   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 再生条件   |          | A                                | B   | C  | D  | E  | F  | G  | H  | I1 | I2 | I3 | I4 | J1 | J2 | A                           | B  | C  | D  | E  | F  | G  | H  | I1 | I2 | I3 | I4 | J1 | J2 |
| G<br>1 | JH 600.1 | 3                                | 2   | 12 | 62 | 25 | 17 | 0  | 34 | —  | —  | —  | —  | 54 | 49 | 0                           | 2  | 9  | 20 | 15 | 2  | 17 | 11 | —  | —  | —  | —  | 12 | 16 |
|        | JH 600.2 | 0                                | 1   | 14 | 52 | 26 | 15 | 26 | —  | —  | —  | —  | —  | 68 | 76 | 0                           | 0  | 2  | 25 | 5  | 3  | 8  | —  | —  | —  | —  | 32 | 9  |    |
|        | SRB 64.1 | 0                                | 0   | 9  | 42 | 12 | 56 | 8  | 25 | 4  | 8  | 12 | 46 | 48 | 79 | 0                           | 0  | 0  | 20 | 0  | 0  | 0  | 18 | 0  | 0  | 0  | 1  | 4  | 0  |
|        | SRB 64.2 | 0                                | 10  | 24 | 91 | 38 | 90 | 30 | —  | —  | —  | —  | —  | 80 | —  | 0                           | 0  | 0  | 9  | 0  | 0  | 0  | —  | —  | —  | —  | 0  | —  |    |
| G<br>2 | JH 600.1 | 9                                | 12  | 46 | 77 | 56 | 30 | 34 | 49 | —  | —  | —  | —  | —  | —  | 0                           | 2  | 1  | 1  | 0  | 14 | 0  | 33 | —  | —  | —  | —  | —  |    |
|        | JH 600.2 | 3                                | 10  | 36 | 69 | 46 | 27 | 19 | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  | 1                           | 0  | 1  | 11 | 1  | 1  | 1  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |    |
|        | SRB 64.1 | 0                                | —   | 3  | 90 | 24 | 56 | 0  | 63 | —  | —  | —  | —  | —  | —  | 0                           | —  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 10 | —  | —  | —  | —  | —  |    |
|        | SRB 64.2 | 0                                | 6   | 14 | —  | 83 | —  | 26 | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  | 0                           | 0  | 0  | —  | 0  | —  | 0  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |    |

G1 : テスト語グループ1  
G2 : テスト語グループ2

認識装置の機種と使用条件

JH 600.1 : マイクスピーカ間距離 15 cm  
JH 600.2 : マイクスピーカ間距離 7.5 cm  
SRB 64.1 : リジェクト・レベル1 (リジェクト少)  
SRB 64.2 : リジェクト・レベル3 (リジェクト多)

再生条件

A : 同一再生  
B : トーン高  
C : トーン低  
D : 高速度再生  
E : 低速度再生  
F : ボリューム大  
G : ボリューム小  
H : 別途録音  
I1 : 同一再生と騒音 (80 db)  
I2 : 同一再生と騒音 (85 db)  
I3 : 同一再生と騒音 (90 db)  
I4 : 同一再生と騒音 (95 db)  
J1 : 類似語 (大差)  
J2 : 類似語 (台座)

(b)に示す。(a)の音声認識装置 SRB 64 においては、顕著に音圧の影響が現れているが、JH 600 ではそれ程明からではない。これは、JH 600 にある音声認識に対する自動閾値調節機能の影響と思われる。

音声パターンに対する騒音の影響を示す I1~I4 についての結果を見ると、周辺の騒音の増加につれて、正答率が低下し、リジェクト率、無視率とも増加していくことがわかる。音声パターンのピーク音圧を 85 db 以

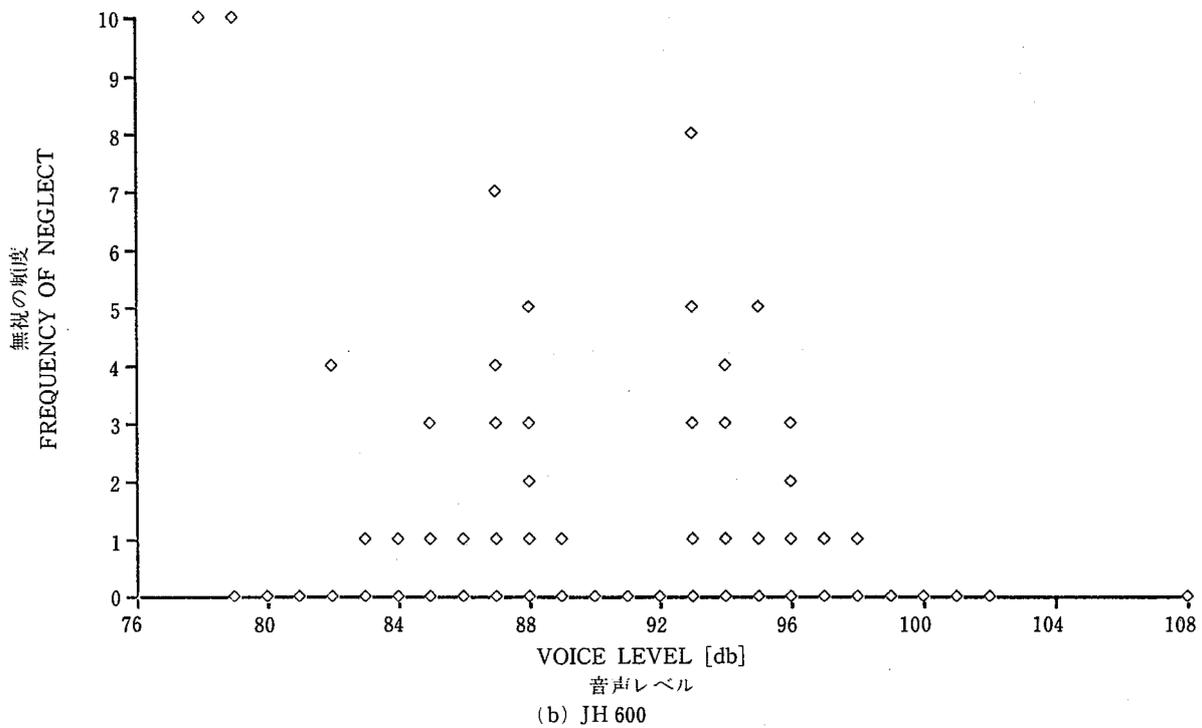
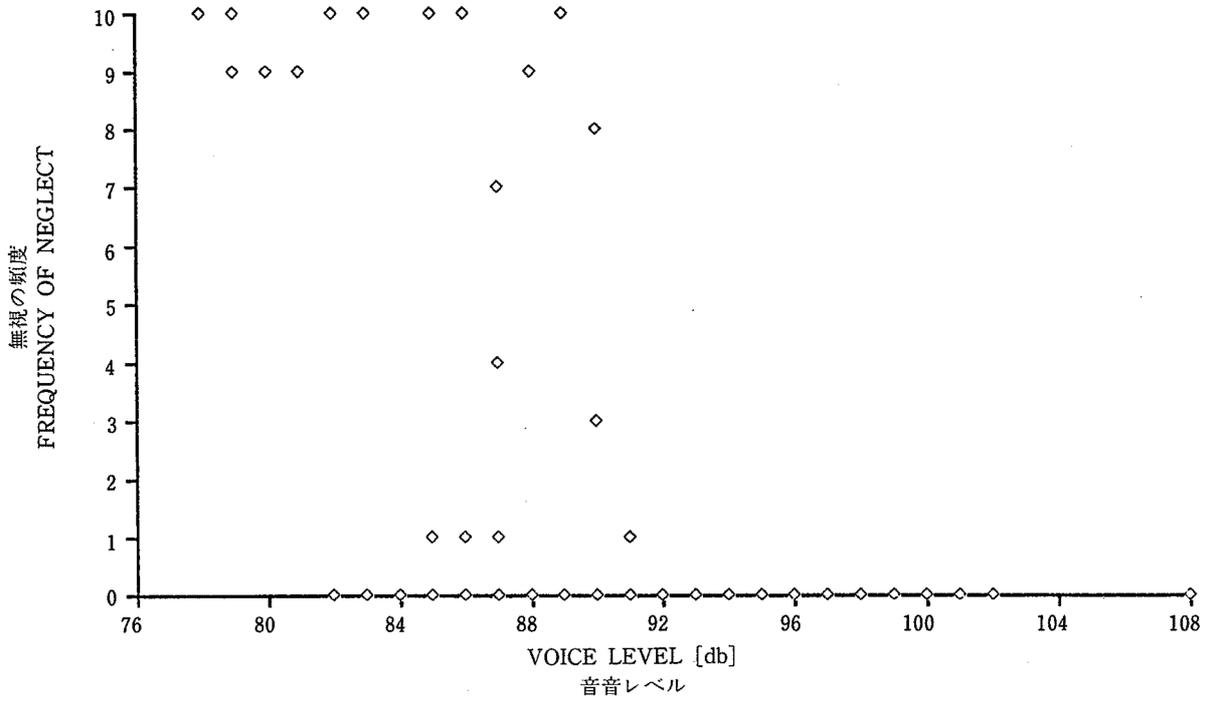


Fig. 3.1-2 Relation between & Frequency of neglect of voice recognition devices  
入力音声レベルと無視の頻度の関係

Table 3.1-5 Peak Volume of Test Words  
テスト語のピーク音圧 (db)

| 再生条件 |      | A  | B  | C  | D  | E   | F   | G  | H  | J1 | J2 |
|------|------|----|----|----|----|-----|-----|----|----|----|----|
| テスト語 | 対座   | 96 | 97 | 96 | 98 | 98  | 102 | 89 | 87 | 96 | 94 |
|      | スーツ  | 89 | 91 | 89 | 95 | 90  | 97  | 83 | 81 | 90 | 93 |
|      | 膨らす  | 95 | 96 | 94 | 96 | 94  | 100 | 88 | 87 | 91 | 93 |
|      | ラケット | 92 | 94 | 92 | 96 | 92  | 98  | 86 | 85 | 92 | 87 |
|      | 信田 鮨 | 95 | 95 | 94 | 94 | 92  | 101 | 87 | 91 | 89 | 89 |
|      | 感染   | 94 | 95 | 93 | 94 | 93  | 99  | 88 | 86 | 93 | 87 |
|      | 香合   | 95 | 96 | 93 | 99 | 94  | 100 | 78 | 87 | 83 | 94 |
|      | 士風   | 85 | 90 | 84 | 90 | 84  | 95  | 88 | 80 | 87 | 88 |
|      | 邪知   | 96 | 96 | 95 | 93 | 93  | 101 | 88 | 90 | 86 | 93 |
|      | 勇気   | 87 | 87 | 85 | 91 | 85  | 94  | 79 | 82 | 89 | 88 |
|      | 止まれ  | 95 | 96 | 94 | 95 | 93  | 98  | 87 | 92 |    |    |
|      | ストップ | 97 | 98 | 96 | 95 | 97  | 108 | 89 | 90 |    |    |
|      | 停止   | 91 | 94 | 87 | 94 | 89  | 98  | 82 | 79 |    |    |
|      | 止めろ  | 95 | 97 | 95 | 94 | 95  | 100 | 87 | 93 |    |    |
|      | やめろ  | 94 | 95 | 93 | 96 | 94  | 98  | 85 | 93 |    |    |
|      | あー   | 96 | 98 | 95 | 96 | 98  | 102 | 86 | 94 |    |    |
| きゃー  | 95   | 97 | 94 | 95 | 97 | 100 | 85  | 93 |    |    |    |

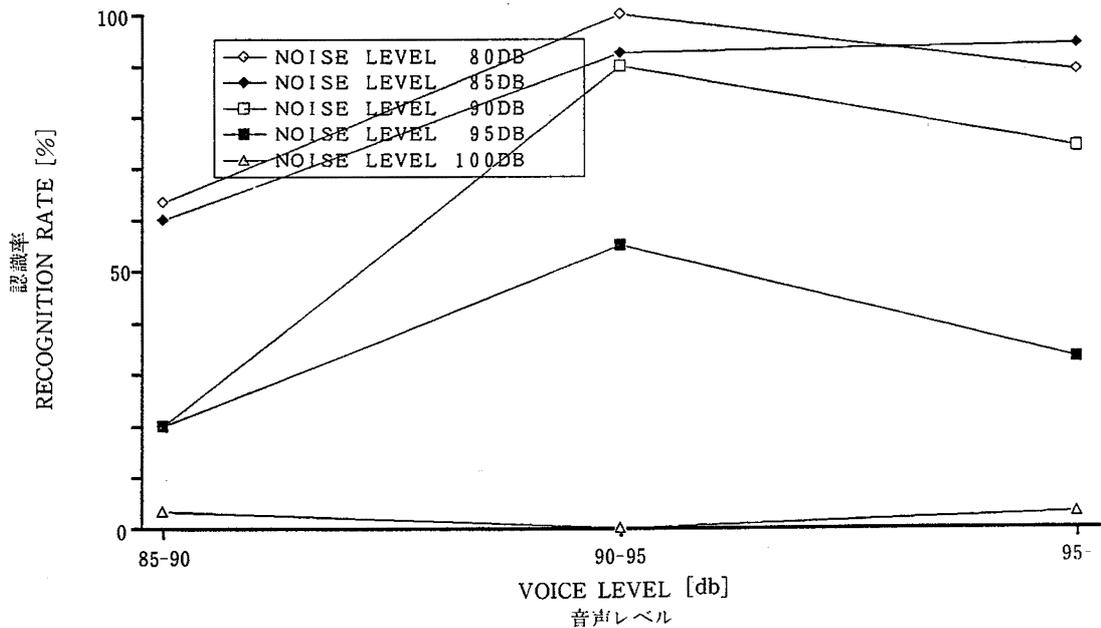


Fig. 3.1-3 Relation between & Mean recognition rate under noise circumstance  
音声レベルと騒音下での平均認識率の関係

上, 90 db 以上, 95 db 以上の 3 段階に分け, 各グループごとに正答率を平均したものを Fig. 3.1-3 に示す。音声パターンの音圧の大きい方が騒音に乱されにくいという傾向が見られる。

再生速度を速くした場合と別途発声した場合の正答率が特に低い。後者については, 音声のレベルが小さいため, 無視率がかなり大きいことも一因として考え

られる。しかし, この分を除いて集計したとしても, 正答率は, 8%~31%と低い。これは, 登録に使用した音声と, 評価用に使用した音声では, 録音した日が全く異なるために, 発声の調子が変わったためのと思われる。このように, 人間の発声は, 日, 時, 状況により大幅に変化し, 特に緊張状態にある時は声が上がるということが知られている。再生速度を速くすると, 音声周波

数が高くなるので、これを上ずった声とみなすと、このような声の変化に対しては十分な認識率が得られないといえよう。

以上の結果から、現在の特定話者方式の音声認識装置では、緊急時の人間の発声パターンの変動に対応できないと思われる。音声式非常停止装置の音声認識部には、不特定話者方式の音声認識装置で広い範囲の声の調子の変化に対応できたものが、別のアルゴリズムに基づき認識装置が必要となる。

### 3.1.4.5 簡易式音声認識装置

ここであらためて、非常停止装置を音声起動式にするメリットを考えてみると、

- 1) 両手がふさがっていても非常停止がかけられる。
  - 2) 非常停止ボタンから離れていても非常停止がかけられる。
- などがあげられる。また、緊急時には慌ててしまい冷静に停止操作を行えない場合も起こりえるが、

3) 非鳴をあげる、大声で助けを呼ぶなどの行動は人間にとって自然である

と言えよう。逆にデメリットとしては、

- a) 騒音等により意図しない時に非常停止がかかる。
- b) 騒音等により音声が消され非常停止がかからない。

という可能性が考えられる。このうち、b)については骨伝導マイクを用いることで対処できると思われる。

a)については「生まれ」「ストップ」などの言葉を認識できることは、信頼性をあげるうえで望ましいといえる。しかし、必ずしもそれらの言葉でなくても、適当な特徴を持たせた特定の音声でも、識別が可能なら

ば実用になるものと思われる。そのような音声として、一定以上の大きさの声を一定時間以上継続して発声することで、非常停止の指令とみなすことを考えた。

これを検出する方式を Fig. 3.1-4 に示す。ブロック図について説明を加えると、まず、交流の音声信号を直流に直して、次にその信号レベルを適当に設定した電圧と比較する。これは、声の大きさを判定することに対応する。さらに、この信号レベルが継続する時間を測定し、この時間が一定以上であれば、非常停止の

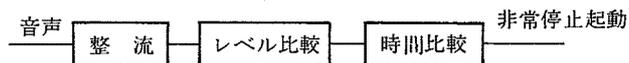


Fig. 3.1-4 Block diagram of command recognition  
音声司令認識のブロック図

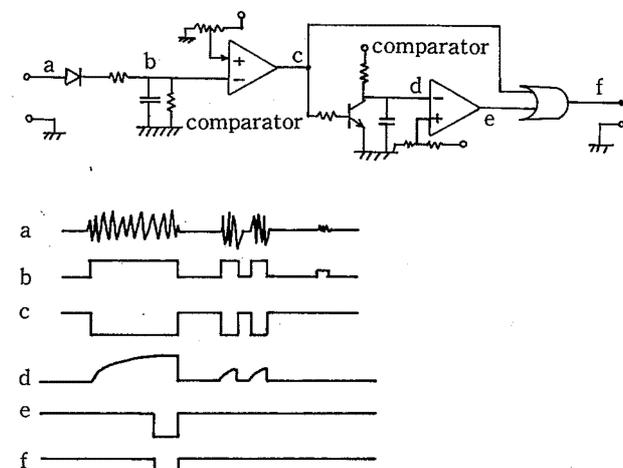


Fig. 3.1-5 Circuit and Time chart  
回路の例とタイミング・チャート

指令とみなす。この方式を実現する回路の一例と、各部の信号のタイミングチャートを Fig. 3.1-5 に示す。

この方式で、実際に、非常停止の指令と他の音を判

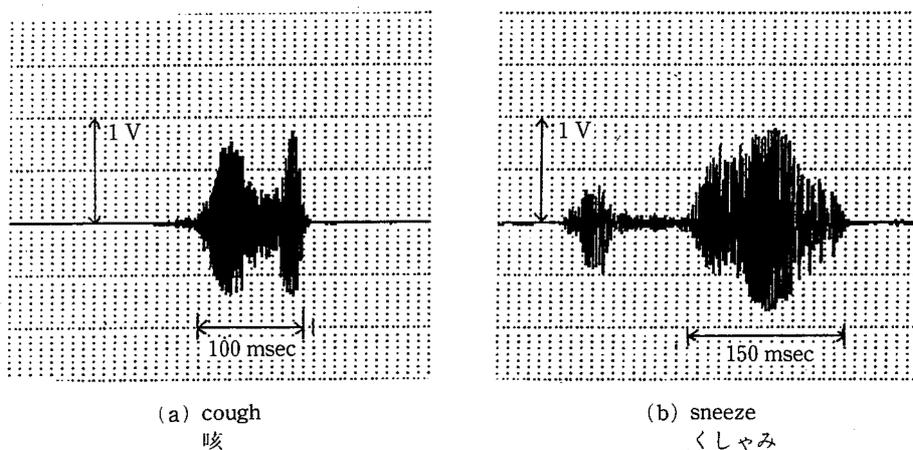


Fig. 3.1-6 Wave form of sneeze and cough  
咳とくしゃみの波形

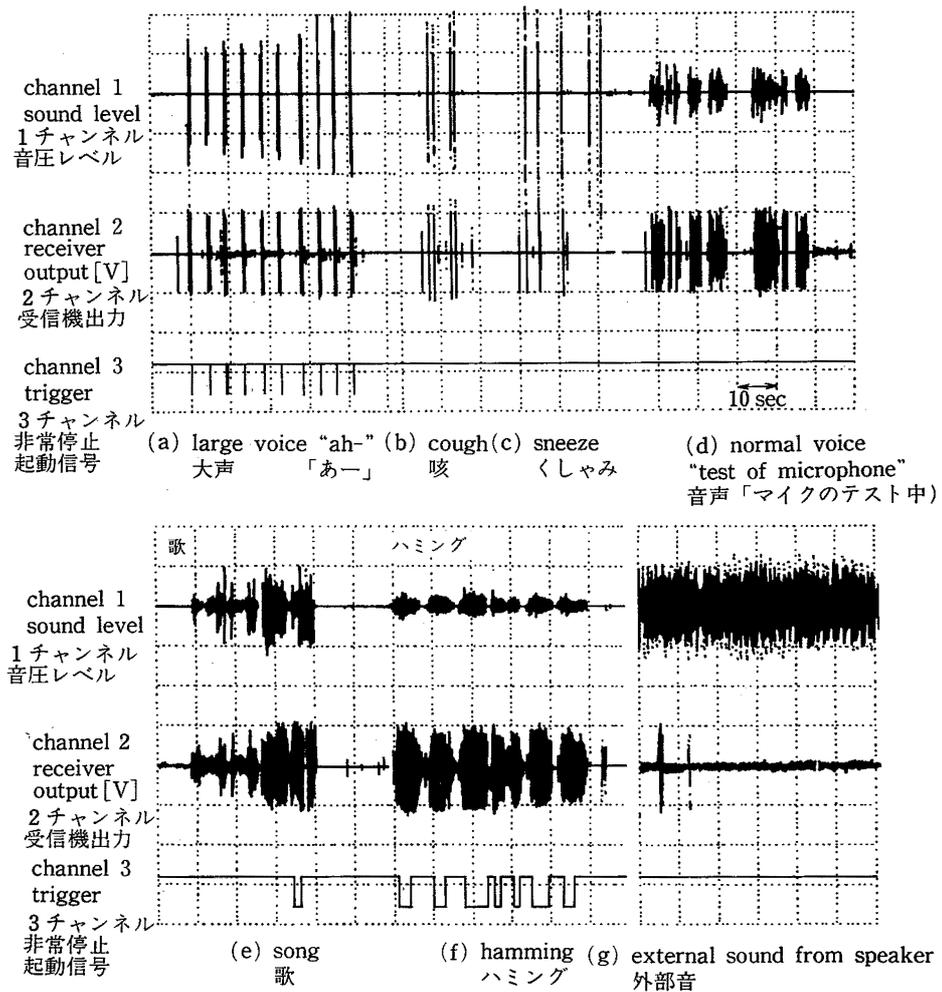


Fig. 3.1-7 Test of Voice control system  
音声制御装置のテスト

別できるかが問題になる。骨伝導マイクを用いた場合には、外部の騒音による影響は小さいものと考えられる。しかし、咳やくしゃみ等により予期しない時に非常停止が作動することや、会話時の発声で非常停止することも設定値によってはあり得る。このようなことがないため、適当な設定値（音圧、時間）を選択しなくてはならない。

咳やくしゃみの音の波形を Fig. 3.1-6 に示す。これらの継続時間は、150 m sec. 以内である。このことから、時間幅を 0.5 秒に設定した。

Fig. 3.1-1 にみられるように、90 db~100 db の声に対して、受信器の出力はピーク・ツー・ピークで 1.5~3 V である。この中間をとって、音圧レベルの設定を 1 V とした。

この設定時のテスト結果の一例を Fig. 3.1-7 に示す。1 チャンネルは騒音計の出力で（リニア出力であり対

数出力(db)ではない)、2 チャンネルは受信器の出力、3 チャンネルは、非常停止のトリガー出力である。98~102 db の大きさの「あー」という声に対して確実に非常停止が起動されることがわかる。それに対して、咳払い は 102 db 前後、くしゃみは 108 db 前後の音の大きさだが、非常停止は起動されない。また、「本日は晴天なり、ただ今マイクの試験中」という言葉 (19~87 db) にも非常停止はかからなかった。外来騒音の影響をみるため、ラジオ番組（相撲中継）をボリュームをあげて聞いたが (95~100 db) 非常停止は起動されなかった。また、マイクを着用して 1 時間通常の事務作業・会話等を行ったが、誤動作はなかった。しかし、歌を歌う (97 db)、ハミングする (89 db) などの際には、非常停止がかかった。また、目鏡マイクでは、口笛 (86 db) で起動したが、イヤマイクでは口笛 (100 db) では起動しなかった。

これらの結果から、今回の方式でも十分実用になるものと思われる。鼻歌等により、誤って非常停止が起動する可能性はあるが、これは意識的におさえることができるので問題は小さいと思われる。また、この方式では使用する人によらず、音声を登録する手間もいらないので、実用上望ましにものと思われる。

### 3.1.5 おわりに

音声式非常停止システムを開発した。構成が簡単なので、実用化は容易であると思われる。この装置は、必ずしもフェールセーフとは言えないが、安全補助装置としては十分役に立つと思われる。

今回のシステムは、実験室内でのテストしかしていないので、今後実用化するうえで、現場の環境におけ

るテストが必要であろう。

今回の研究では、音声認識装置は十分な性能を示さなかったが、この分野は日進月歩で進んでおり、不特定話者用のものも市販されるようになってきている。これらの技術の活用は、今後の課題であろう。

今回の研究では、無線システムに関しては特に問題がないものとして扱ってきたが、工場内はスパークの火花等の電磁ノイズによる影響、他の無線機器による混信などの影響も考えられる。これらの問題は、実用化に際しては、ぜひ取組まねばならない課題であろう。

今回のシステムは、ヒューマンインターフェースの改善を第一義に考え、フェールセーフ化については十分検討していないが、安全装置として使用するフェールセーフ化は不可欠なので、今後の課題として取り組む必要がある。

## 3.2 用途別警告音の選択\*

江川 義之

### 3.2.1 諸言

音響的安全防護法のひとつとして、工場内において種々の警告音が用いられている。光を用いた警告に比べて音を用いたそれは、知覚時間が短いこと(115~182 mSEC)、方向に局限性がないことなどの利点により、一刻も早く知らせる必要のある警告は聴覚刺激を使用するのが従来から常とされている<sup>1)</sup>。

しかし、最近のサウンド IC の普及により警告音に様々な音色が用いられるようになってきており、利用者側で混乱を生じ始めているというのもまた現状である。

そこで、種々の工場内環境下において、様々な用途に用いられる警告音として、どんな波形特性を有する

ものが適切であるか、研究を行ったので、以下それについて述べる。

警告音が具備する要件として次の2つが挙げられる。ひとつは工場内環境下にとってその警告音が適切であること、具体的には暗騒音に打ち消され(以下「マスキング」という)にくいことであり、他のひとつは、それぞれの用途に対してそれにふさわしい波形が用いられているということである。

まず第1の問題点である工場内暗騒音との関連で警告音をとらえると、昨今の工場内暗騒音は高くなってきており、ILOの定めた注意限界レベル  $L_{Aeq(8h)}$  85 dB (A)<sup>2)</sup> にかかなり近づいている工場が少なくないというのが現状である。確かに警告音は音圧レベルを高めるとマスキングされにくく、清水らの研究によるとマスクされた可聴値より 30 dB 程度高いレベルにすれば最高の条件が得られるという報告<sup>3)</sup>がある。しかし工場内騒

\* 昭和59年度・60年度 日本人間工学会において発表

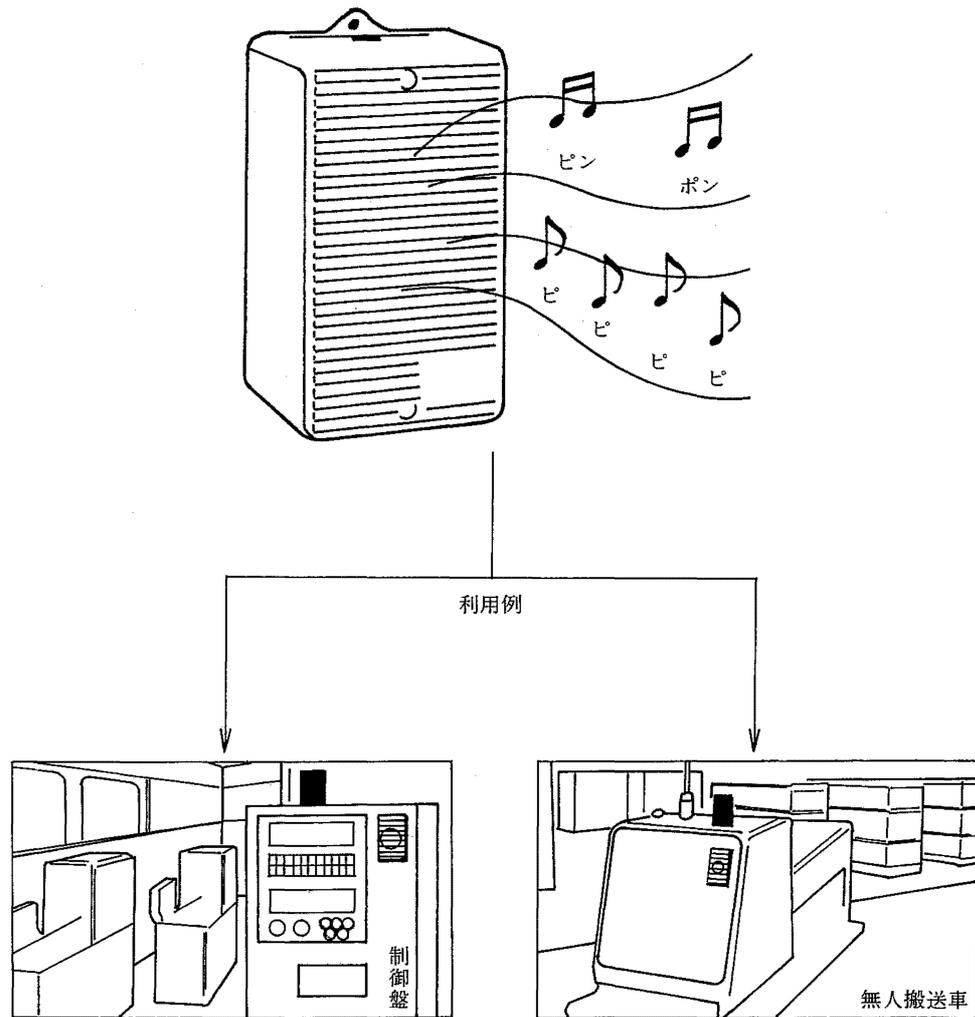


Fig. 3.2-1 Warning Alarm Unit used Sound IC (quoted from a catalogue)  
サウンド IC を用いた警告音発生ユニット

音自体が 85 dB 近くある現在、それプラス 30 dB の音圧レベルを有する警告音は聴覚障害も引き起こしかねないほどのものとなり、より低い音圧レベルでも工場内騒音にマスキングされにくい警告音の周波数特性について検討を進めていく必要がある。

もうひとつ工場内騒音との関連で考えるべき点に次のことがある。人間の聴覚は特性をもっており、当然聞きやすい帯域の音と聞きにくい帯域の音がある。工場内騒音が人間にとって聞き取りやすい帯域 (1000~4000 Hz) を専有するような場合、警告音が騒音を凌駕して更に聞きとりやすくあるためには、どのような特性を有するべきであるかについても検討を進める必要がある。

次に第 2 の問題点である種々の用途にふさわしい警告音の特性に関して述べる。

最近のメカトロニクスの発達は様々なものを生み出

してきているが、警告音の分野では Fig. 3.2-1 のようなユニットが発売され始めた。これはサウンド IC を中に組み込んだ警告音発生ユニットであり、ある電子部品メーカーが販売している。このユニットを無人搬送車や工場内のプラント等警告音を発生する必要のある車両及び設備等を製造しているメーカーでは、警告音発生装置として購入し自社製品に取り付けているが、これは無人搬送車、プラント設備等を購入したユーザー側に次の問題を生じさせている。すなわち、ある工場内において無人搬送車が走行時発する警告音、またある工程でワークのひっかかりが生じ発する警告音、さらにはプラントが異常高温高圧になり発する警告音等が全て同じ音色である場合も考えられ、これが作業者に混乱を与え早急な処置を必要とする時、安全上重大な問題となりうる。

そこで今後警告音を考えていく方向性として、その

用いられる用途別に警告音の波形特性等を類型化した指針を考えてゆく必要がある。

このような作業は航空機のcockpit内警告音についてはすでに行われており、航空機メーカーが異なっても同一の用途に対して同一の音色の警告音が用いられている。工場内警告音においてもこのような動向を踏まえ、用途別警告音の類型化作業を早急に始めていく必要があると考え本研究を行った。

### 3.2.1.1 研究目的

本研究の目的を箇条書きで述べると次の通りである。

- I. 工場内暗騒音にマスキングされにくい警告音の特性を検討する。
  - a) 工場内騒音に対して低い音圧レベルであっても高い弁別性を有する警告音の周波数特性を検討する。
  - b) 工場内騒音の周波数帯域が人間の聞きとりやす

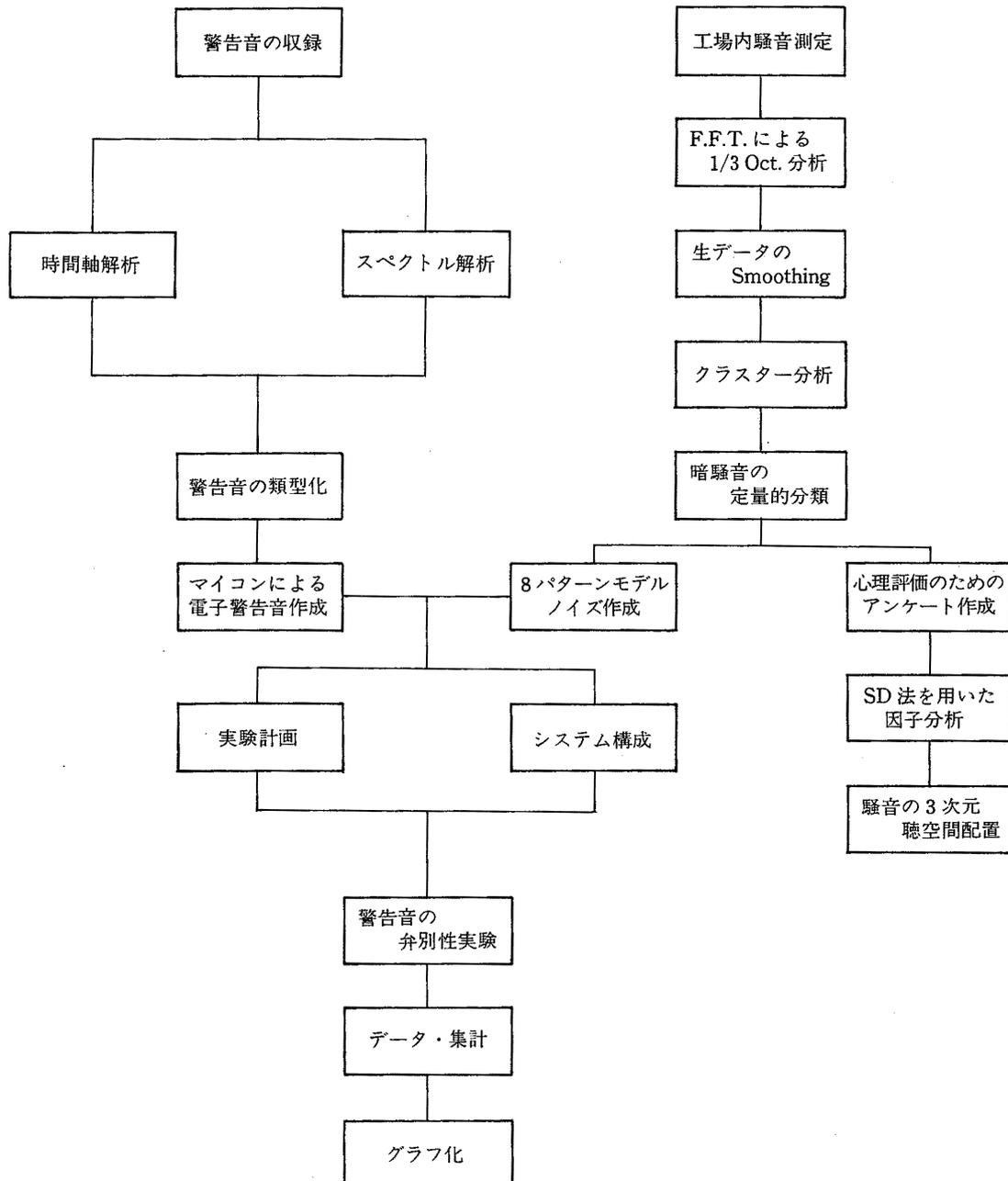


Fig. 3.2-2 The Flowchart of Study Process  
研究のフローチャート

い帯域を専有する場合、弁別性の高い警告音の特性を検討する。

II. 警告音に関して、それが様々に用いられている用途別に波形特性の類型化を検討する。

Fig. 3.2-2 に本研究のフローチャートを示した。従来から警告音を対象にした研究が行われなかった理由のひとつに、文章によるその音色の表現がしにくいという点があった。しかし昨今のマイコンの発達は電子音が容易に発生させられるようになってきており、特にMSX仕様のマイコンはメーカーを問わず同一プログラムで同一の音色の電子音の作成が可能となった。本稿中においてもMSX仕様プログラムが数編記載されており、このような時代背景を踏まえて本研究に着手した。

### 3.2.2 研究方法

研究目的 I にみる、騒音にマスキングされにくい警告音の特性を検討していくための第1ステップとして、まずマスキングをする工場内暗騒音の特性を調べる必要がある。

#### 3.2.2.1 工場内暗騒音の特性

##### 3.2.2.1.1 現場測定

43の工場へ出向き騒音の現場測定を行った。騒音計測方法は、精密騒音計 (RION, NA-61) とテープレコーダ (SONY, WM-D 6) を用い、騒音計で騒音のOA値 (オーバ・オール値) をF特性で計測しつつそのOutputをテープレコーダで記録した。測定位置は工場内において各種機器を操作する作業エリアとし、データ採取時間は工場内騒音は変動性がある場合が多いので約120秒程度とした。

このようにして記録したデータをFFTアナライザー (小野測器, CF-920) にかけて1/3 Oct. 分析を行った。その分析法は工場内騒音の変動性を考え、アベレージングモードを使用し64回のノーマライズ加算平均を行った。

##### 3.2.2.1.2 騒音の定量的モデル化(クラスター分析法による)

様々なパターンがある工場内騒音を定量的手法で数種の代表的パターンへ集約し、モデル化を行っていくためクラスター分析法を用いた。

各工場騒音の1/3 Oct. 分析データを、列は14(バンド)から42(BN), つまり25 Hz から16,000 Hz までの29

変量に、行は43の各工場というマトリックス構造で配列した。次にこのマトリックスのr番目の工場とs番目の工場を、

$$\vec{x}_r = [x_{r1}, x_{r2}, \dots, x_{r29}]$$

$$\vec{x}_s = [x_{s1}, x_{s2}, \dots, x_{s29}]$$

という行ベクトルで表示し、r工場とs工場の騒音変量からみたユークリッド距離を

$$d_{rs}^2 = \sum_{k=1}^{29} (x_{rk} - x_{sk})^2 \quad \dots\dots(1)$$

と定義した。更に43工場の全ての組合せにおいて(1)式を用い距離を計算し、 $d_{rs}^2$  からなる類似度のマトリックスを作成した。

この類似度のマトリックス構造をもとに、騒音パターンの類似している工場から順次融合していくクラスター分析を行った。

ある融合段階において、クラスター  $C_f$  とクラスター  $C_g$  が融合されて新しいクラスター  $C_h$  が出来た時、 $C_h$  と残りの他のクラスター  $C_l$  との距離  $D_{hl}^2$  (初段は  $d_{rs}^2$  から始まる) を次の式で定義した。

$$D_{hl}^2 = \alpha_f D_{fl}^2 + \alpha_g D_{gl}^2 + \beta D_{fg}^2 - \gamma |D_{gl}^2 - D_{fl}^2|$$

(Fig. 3.2-3 参照)

上式の各係数 ( $\alpha_f, \alpha_g, \beta, \gamma$ ) は何通りかあるクラスター融合法のうちから、分類感度が高くサイズのそろったまとまりのあるクラスターを生成する最長距離法を用いたため  $\alpha_f = \alpha_g = \gamma = 1/2, \beta = 0$  (ただし、 $D_{fl}^2 > D_{gl}^2$  の

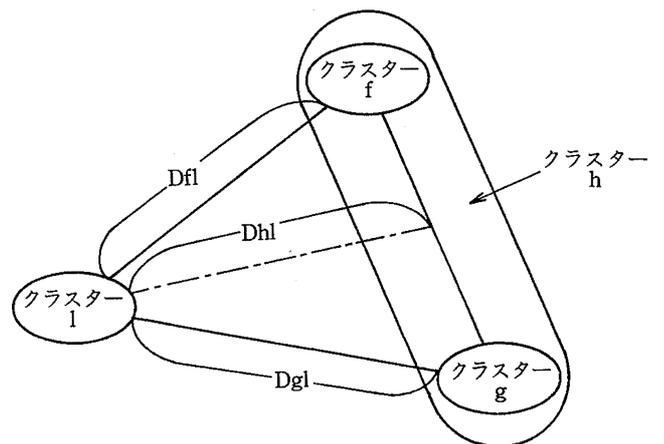


Fig. 3.2-3 Combination Method in Cluster Analysis  
クラスター分析における融合手法

場合) とした。

このようにしてクラスター融合レベル (=  $D^2$ ) を算出しテンドログラムを作成し、工場内騒音の定量的モデル化を行った。

3.2.2.1.3 モデル騒音の感覚実験法

3.2.2.1.2 でモデル化した工場内騒音の 8 パターンを人間が心理的聴空間にどう位置づけているか感覚実験法で調べたので次にその方法について述べる。

まず各モデル騒音をノイズジェネレータ (RION, SF-05), 及びグラフィックイコライザー (Technics, SH-8065) で作成してそれをテープに録音した。

次にこのモデルノイズを  $\bar{O}.A.$  値 80 dB で 40 名 (18 歳~39 歳) の被験者に聞かせた。ノイズの提示法は 8 通りの騒音を 8 秒間づつ聞かせ、その各々の騒音についてアンケートに答えてもらった。

Table 3.2-1 にそのアンケート項目を示す。アンケート対語の選択は、難波<sup>4)</sup>, 山本<sup>5)</sup>, 真辺<sup>6)</sup>らの報告による騒音の感覚評価アンケートを参考として行い、評点は 7 評点法を用いた。

次に回収したアンケートの分析に用いた Semantic Differential 法<sup>7)</sup> (以下「SD 法」という) について述べる。

まず各被験者の解答を平均し、20 のアンケート項目と 8 パターンノイズからなる (20×8) マトリックスを作成し、最終的分析結果である因子軸の解釈がしやすいようにアンケート項目数の削減を図った。削減基準は次の 2 点による。

- i) 各アンケート項目の分散値を求め相対的にこの

値が低い用語は、本研究のノイズパターンの相違を表現する用語としては適切でないとの考えに立ち削除した。

- ii) 各アンケート項目の分散共分散行列を求め、他の項目に比較し相対的にこの値が高い項目が 2 つ以上あれば、代表的項目のみを残し他の項目は削除した。

因子軸の解釈の便を図り、アンケート項目は上記の方法により 20 対語から 11 対語に減少させた (Table 3.2-1 \*印)。

これら 11 対語の各評点が 40 名の被験者から得られこれを  $t_{i\lambda}$  ( $i=1,2,\dots,11; \lambda=1,2,\dots,40$ ) とすると、

$$t_{i\lambda} = \sum_{\alpha=1}^m a_{i\alpha} f_{\alpha\lambda} + E_{i\lambda} \dots (2) \quad \begin{array}{l} f_{\alpha\lambda}; \text{共通因子得点} \\ a_{i\alpha}; f_{\alpha} \text{の共通因子負荷量} \\ E_{i\lambda}; \text{特殊因子} \end{array}$$

という一次線形モデルを考え、(11 対語×40 人) の  $t_{i\lambda}$  から、(11 対語×m 因子) の共通因子負荷量  $a_{i\alpha}$  を求め、それに伴い共通因子の導出を Varimax 回転により行った。

上記の手法により、工場内モデル騒音を人間が心理的聴空間にどう位置づけているか? 聴空間を構成する共通因子軸が決定され、その座標軸上に 8 パターンモデルがプロットされた。

Table 3.2-1 Item of Subjective Symptoms Test for Noise Pattern  
アンケート項目

|        | 非 か や ど や か 非<br>常 な どちらでも な 常<br>に り や い や り に |            | 非 か や ど や か 非<br>常 な どちらでも な 常<br>に り や い や り に |
|--------|---|------------|---|
| *かたい   | _____ やわらかい                                     | つやのない      | _____ つやのある                                     |
| *にごった  | _____ 澄んだ                                       | *割れた       | _____ とけあった                                     |
| *かん高い  | _____ こもった                                      | *豊かな       | _____ 貧弱な                                       |
| 力強い    | _____ 弱々しい                                      | *前に出る      | _____ 引っ込んだ                                     |
| *迫力のある | _____ もの足りない                                    | 広がりのある     | _____ 広がりのかける                                   |
| 騒々しい   | _____ 静かな                                       | *繊細な       | _____ 粗い  |
| はっきりした | _____ ぼんやりした                                    | 大きい        | _____ 小さい                                       |
| *暗い    | _____ 明るい                                       | *気になる      | _____ 気にならない                                    |
| 金属性の   | _____ 深みのある                                     | *いらだつ      | _____ 落ち着いた                                     |
| 汚い     | _____ 美しい                                       | (作業に)集中出来る | _____ (作業に)散漫になる                                |

### 3.2.2.2 警告音の波形解析法

第1ステップである工場内暗騒音の特性のモデル化に続き、第2ステップとして、警告音の波形解析を行い、その周波数特性を検討し、更にその時間軸波形より用途別類型化を検討しなければならない。次にその方法を述べる。

警告音のデータ採取方法は騒音の場合とほぼ同様である。波形解析は小野測器製 CF-920 を用い周波数解析と時間軸解析との双方を行った。

周波数解析は主に 10 kHz レンジで解析を行っており、その警告音の音色を構成する中心周波数及びスペクトルの形態について計測した。

時間軸解析については、警告音が周期性のある音から構成される場合はその周期間隔を、断続音で構成される場合は ON と OFF との間隔を、主に 32 k のマスメモリーを用いて計測した。

また、この時間軸での解析では、警告音が鳴り始める時の波形の形態（以下「波形立ち上がり速度」という）についても計測を行い、その方法は CRT 上に 80 mSEC のレンジで掃引して計測した。

### 3.2.2.3 警告音弁別実験法

3.2.2.1 で工場内騒音のモデル化を行い、3.2.2.2 で警告音の波形解析を行った。そこで本節では第3ステップとして工場内モデル暗騒音に警告音を加え弁別実

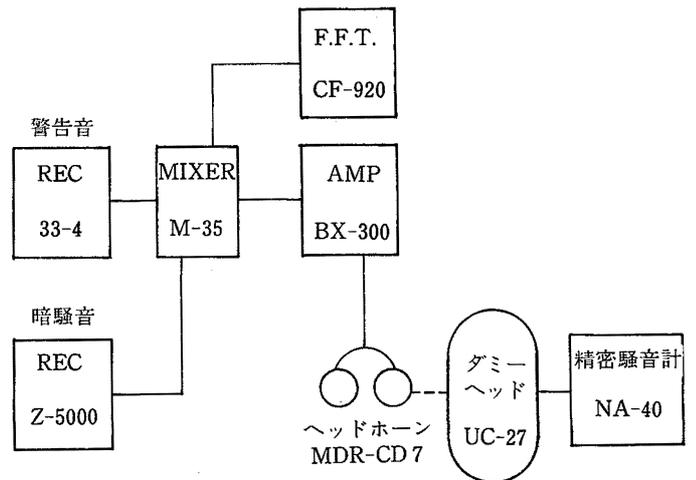


Fig. 3.2-4 Experiment System for Discriminating Alarm from Noise  
弁別性実験システム

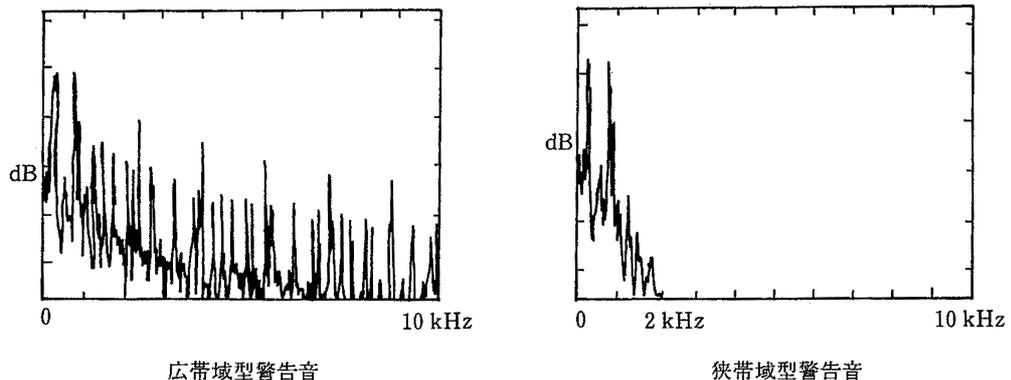
験を行った方法について述べる。

Fig. 3.2-4 に弁別実験システムを示す。

モデル暗騒音の音圧レベルはダミーヘッドを通した精密騒音計で計測し、80 dB(A) になるように設定した。次にこの暗騒音にミキサー (TEAC, M-35) を通して警告音を加えていく。被験者はミキサーのフェーダを操作し、警告音の音圧レベルを変化させ最小弁別閾値を求めた。

#### 3.2.2.3.1 広帯域型警告音と狭帯域型警告音

警告音の特性として広帯域型警告音と狭帯域型警告音を選定し、それを前述した 8 パターンのモデル暗騒



```

1000 RESTORE 1030
1010 FOR I=0 TO 13: READ SD: SOUND I, SD: NEXT I
1020 'EXA 1-A の おと
1030 DATA 140, 0, 191, 1, 116, 1, 15, 56, 16, 16, 16, 123, 5, 14
    
```

Program by MSX Computer

Fig. 3.2-5 Comparison of two Type in Alarm, (Wide band Type and Narrow band Type)  
広帯域型警告音と狭帯域型警告音のスペクトル構成

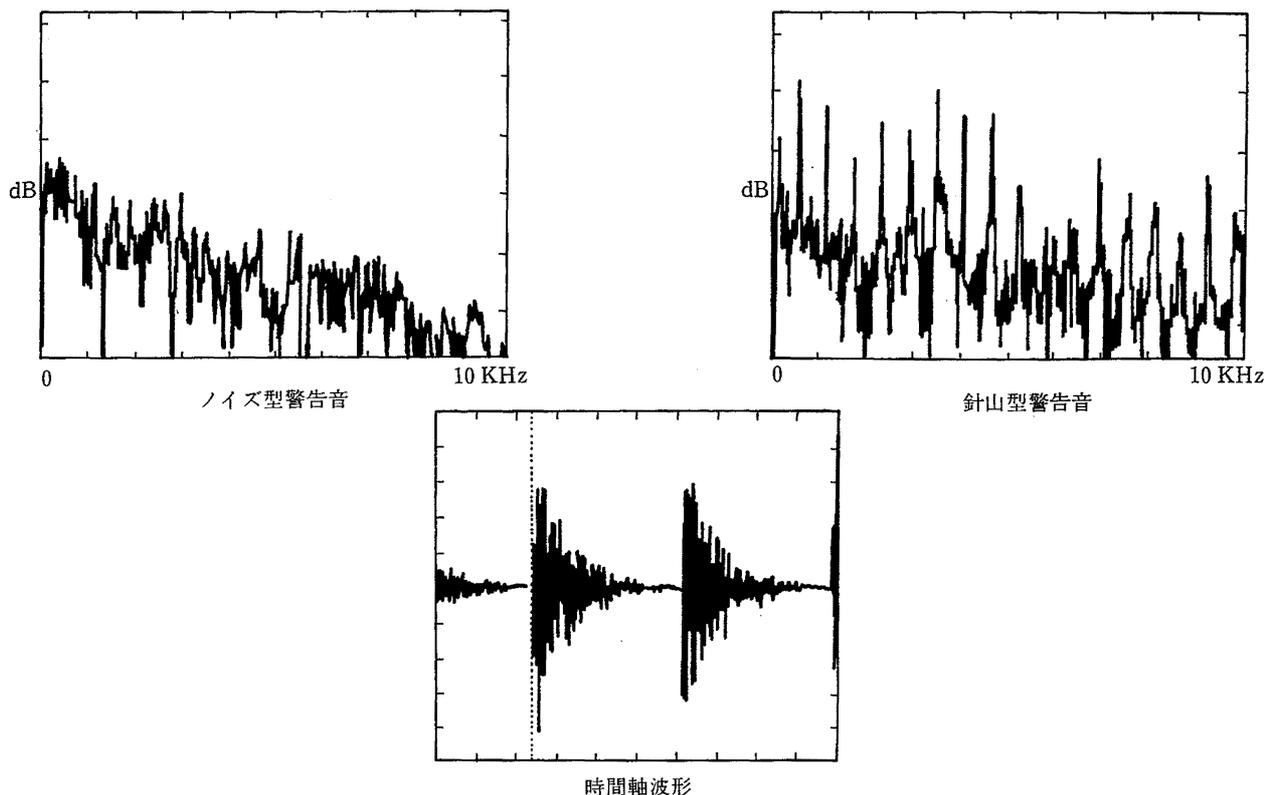


Fig. 3.2-6 Comparison of two Type in Alarm (Noise Spectrum Type and Linear Spectrum Type)

ノイズ型警告音と針山型警告音のスペクトル構成と時間軸波形

音に加え弁別実験を行った。これら警告音の選定理由は 3.2.3.2 で後述する。

Fig. 3.2-5 に実験に用いた警告音のスペクトル構成と MSX 仕様のマイコンで作成した警告音発生プログラムを示した。

広帯域型警告音は、250 Hz, 300 Hz, 800 Hz の 3 重和音から構成され、これらはサウンド IC による矩形波であるため各周波数の奇数倍の周波数にそれぞれ高調波のスペクトルが立ち上がっている。

狭帯域型警告音は、広帯域型警告音をフィルターに通し 2000 Hz 以上の高調波をカットした音である。

### 3.2.2.3.2 ノイズ型警告音と針山型警告音

警告音の特性としてノイズ型警告音と針山型警告音とを選定し、それをピンク・ノイズ型、中域山型、オワン型、中域落型及び 2 つ山型の 5 パターンのモデル暗騒音に加え弁別実験を行った。8 パターンの暗騒音中これら 5 パターンを選定した理由は、これら騒音が研究目的 I の b) で述べた、人間の聞きとりやすい帯域を専有している騒音と逆にそうでない騒音の代表的モデルであるからである。

ノイズ型警告音とはスペクトルの形態がホワイトノ

イズやピンクノイズに似ていることから名付けており、スペクトル密度の高い警告音である。実験にはノイズ波形を 315~5000 Hz のバンドパスフィルターに通したものをを用いた。また、ノイズ型警告音を連続音として

#### Table 3.2-2 Program of Noise Type Alarm and Normal Type Alarm

ノイズ型警告音と針山型警告音のプログラム

```
500 RESTORE 505
501 FOR I=0 TO 13
502 READ SD : SOUND I, SD
503 NEXT I
504 '---EXA 2-A---
505 DATA 0, 0, 0, 0, 0, 40, 7, 16, 16, 16, 10, 2, 8
```

ノイズ型警告音のプログラム

```
1000 RESTORE 1005
1001 FOR I=0 TO 13
1002 READ SD : SOUND I, SD
1003 NEXT I
1004 '---EXA 2-B---
1005 DATA 176, 0, 117, 0, 88, 0, 15, 56, 16, 16, 16, 10, 2, 8
```

針山型警告音のプログラム

用いるとホワイトノイズのようであり警告音としては聞こえにくいいため、振幅変調 (VCA) をかけ 75 mSEC の周期音に加工して実験に用いた。

針山型警告音とはスペクトルの形態が線スペクトルとして突出する、いわば針山のような形で、従来から警告音にはこのタイプが多い。実験には、635 Hz, 956 Hz, 1271 Hz の 3 重和音で構成された音を用い、ノイズ型警告音と比較してその有用性を検討するため、315~5000 Hz のバンドパスフィルターを通し、並びに振幅変調により 75 mSEC の周期音に加工する等ノイズ型と同様にした。

Fig. 3.2-6 にこれら警告音のスペクトル構成と時間軸波形が、Table 3.2-2 に警告音発生プログラムが示してある。

### 3.2.2.3.3 うなり音パラメータに関する実験法

本項でいう「うなり音」とは周波数をシフトさせるタイプの警告音であり、消防車・パトカーなど緊急車両に用いられている。

うなり音を決定するパラメータとして、何 Hz から何

Table 3.2-3 Program of Shift Type Alarm in Frequency Band  
うなり音のプログラム

```

10 CLS : LOCATE 2,3 : PRINT" うなり おん の
   こうせい"
20 LOCATE 5,5 : INPUT"FROM
   Hz" ; A : A=INT (1789800#/(16*A))
30 LOCATE 5,7 : INPUT" TO
   Hz" ; B : B=INT (1789800#/(16*B))
40 LOCATE 5,9 : PRINT"FROM SOUND O," ; A
50 LOCATE 5,11 : PRINT" TO SOUND O," ; B
60 LOCATE 5,13 : INPUT" STEP=" ; C
70 SOUND 7,62 : SOUND 8,12
80 FOR I=A TO B STEP C
90 P=INT(I/255) : Q=INT(I-255*P)
100 SOUND O,Q : SOUND 1,P
110 NEXT I
120 GOTO 80
    
```

Hz までをシフトさせるかという周波数シフト帯域と、そのシフト帯域を何秒でシフトさせるかというシフト周期 (秒) がある。

本項の実験では暗騒音としてどの帯域も音圧レベルが一定であるピンクノイズを用い弁別性の高いうなり音を決定した。実験方法は次の通りである。まず実験 1 で周波数シフト帯域を求めるため、500~1500 Hz,

1000~2000 Hz, 2000~3000 Hz, 3000~4000 Hz を 2 秒でシフトさせ最も弁別性の良いパラメータを決定した。次に実験 2 では実験 1 で決めた周波数シフト帯域のシフト周期を求めた。シフト周期とし 0.6, 1, 2, 3, 4 秒の 5 つのパラメータを用いた実験を行い弁別性の良いうなり音を決定した。Table 3.2-3 にうなり音のプログラムを示しておく。

## 3.2.3 研究結果

### 3.2.3.1 工場内暗騒音のモデル化

工場内騒音の現場調査を実施する以前は、騒音の周

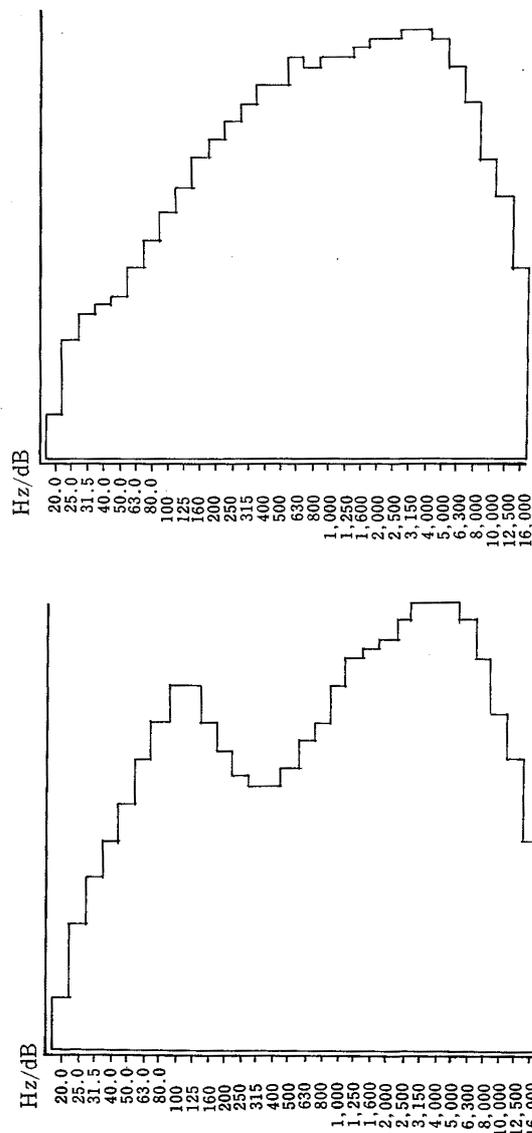


Fig. 3.2-7 Measurement of Air Blow Noise at various area  
様々な場所で計測されたエアブローノイズ

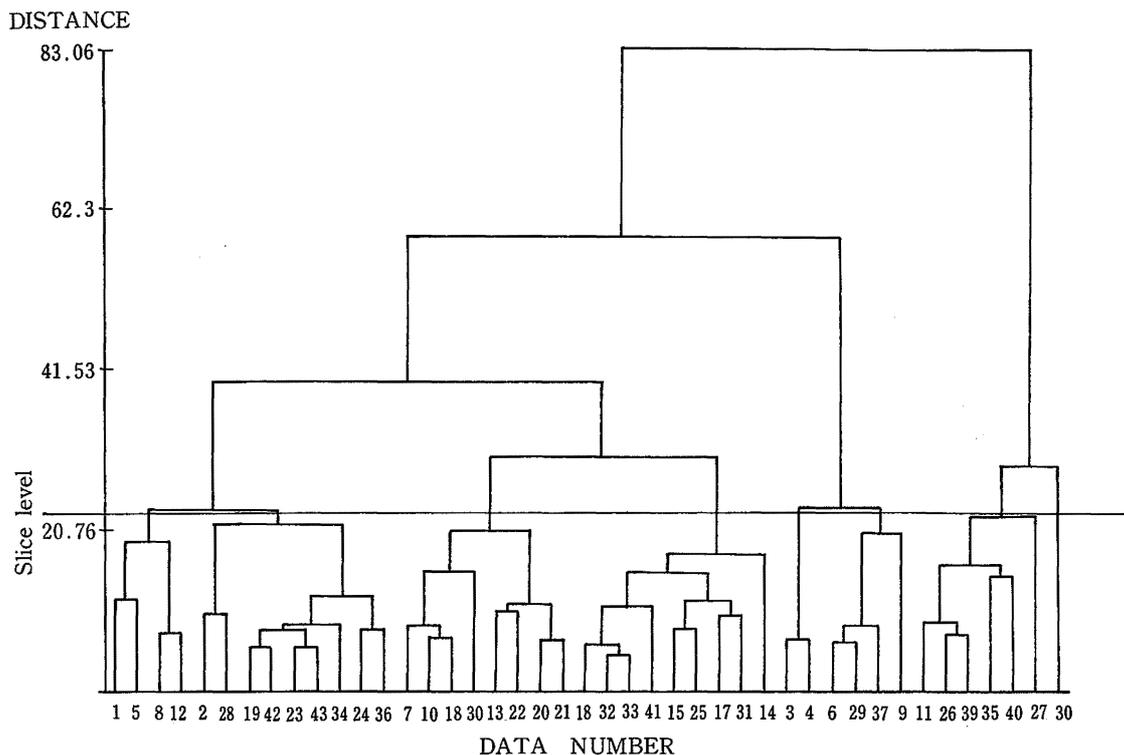


Fig. 3.2-8 Dendrogram (by Furthest neighbour method)  
デンドログラム (最長距離法による)

波数特性はその工場で用いている製造機器の種類（旋盤、フライス盤等）で決定されるという仮説を立てていた。

しかし現場における騒音測定を繰り返していると次のことがわかり仮説に修正を加えざるを得なくなった。

工場内騒音の周波数特性はその工場で用いている製造機器の種類のみで決定されるのではなく、その機器をどこで用いたか（壁面の近くか、壁面から遠く離れているか等）にもよることがわかった。

Fig. 3.2-7 にその結果が示してある。この図はエアブローを使用した時の騒音の 1/3 Oct. 図である。エアブローは高圧空気をノズルの先から噴出させ切り粉を吹き飛ばす装置のため、それ自体は 4000~5000 Hz にピークをもつ高い周波数の騒音を発する (Fig. 3.2-7 上)。しかしこのエアブローを壁面近くで用いると、下図のように 125~200 Hz にも音圧レベルの高い帯域が現われる。

そこで工場内暗騒音のモデル化は生産機器別のモデル化ではなく、工場内作業者の作業エリアにおける騒音の周波数特性のモデル化を行うこととした。

### 3.2.3.1.1 8パターン・モデル騒音

Fig. 3.2-8 にモデル作成のために用いたデンドログラ

ムを示す。横軸には現場調査をした 43 の各工場が配列されており、縦軸にはクラスターの融合距離が示されている。デンドログラムは 43 工場の騒音パターンを最終的には 1 パターンへと集約していく手法であるが、それを Fig. 3.2-8 に示すレベルでスライスし 8 パターンのモデルに集約化した。

その根拠とし、騒音の帯域を大きく分けると低域、中域、高域の 3 通りがあり、それぞれの帯域で音圧レベルの高い状態と低い状態の 2 つがあるとすると 8 通り (=2<sup>3</sup>) 程度に集約していくのが適切であると考えたためである。Fig. 3.2-9 に 8 パターンのモデル騒音を示す。

- A. ピンク・ノイズ型；ピンクノイズのような形をしており、1/3 Oct. で先端がフラットである。
- B. 2ツ山(高域)型；高域のピークが 4000 Hz, 低域のピークが 125 Hz, 谷が 400 Hz にある。低域のピークと谷の落差は 10 dB, 高域のピークと谷の落差は 20 dB 程度の音圧レベル差があるタイプ。
- C. 中域山型；1000~1250 Hz の中域に山頂があり、低域側、高域側にそれぞれ 40 dB 程度の落差をもつタイプ。
- D. 低域落型；中域から高域にかけてはピンクノイ

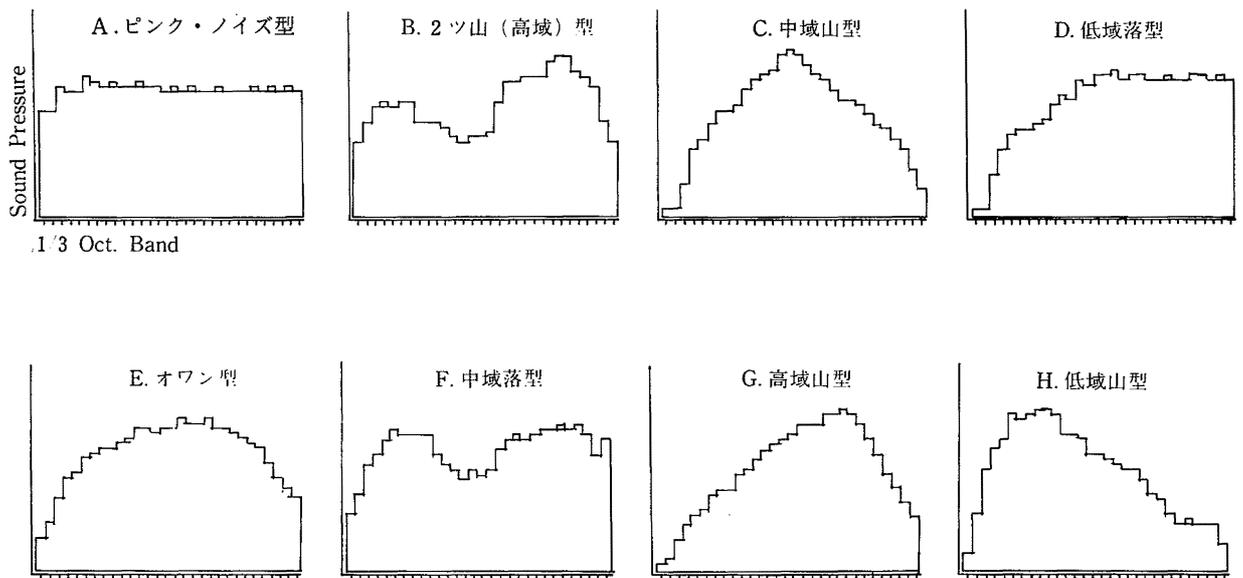


Fig. 3.2-9 8 Model Patterns of Ground Noise in Factories  
工場内暗騒音の8モデルパターン

ズ型に似ているが、400 Hz 未満の低域は 30 dB 程度低下しているタイプ。

E. オワン型；400～3150 Hz にフラットな山頂がつぶき、ちょうどお椀を伏せたような形の 1/3 Oct. 図で現わされるタイプ。

F. 中域落型；高域のピークが 4000 Hz, 低域のピークが 125 Hz, 谷が 400 Hz にある。低域ピーク、高域ピークと谷の落差は 15 dB 程度の音圧レベル差があるタイプ。

G. 高域山型；4000 Hz にピークを有し、中・低域側

に 40 dB 程度音圧レベルが低下しているタイプ。

H. 低域山型；125～160 Hz にピークを有し、中・高域側に 40 dB 程度音圧レベルが低下しているタイプ。

これら、A～H が 8 パターンの工場内モデル騒音の 1/3 Oct. 図からみた周波数特性である。

### 3.2.3.1.2 モデル騒音の感覚実験結果

本項では、3.2.3.1.1 項で求めた 8 パターンの工場内モデル騒音を人間が心理的聴空間にどう位置づけて聞いているか SD 法を用い検討した結果について述べる。

Table 3.2-4 にその結果である第 2 因子までの因子負荷量の高い項目と累積寄与率が示してある。累積寄与率は第 1 因子の導出で 43.4 % を示し、因子負荷量の高い項目としては、繊細な—粗い、明るい—暗い、かん高い—こもったという対語の項目が挙げられる。これら項目より第 1 因子の意味づけは、各騒音パターンが含みうる周波数帯域つまりその騒音が高周波成分を多く含んでいるか、低周波成分を多く含んでいるかを決定する因子であると解釈される。次に第 2 因子まで導出すると、その累積寄与率は 58 % と約 6 割近くを示す。因子負荷量の高い項目としては、いらだつ—落ち着いた、迫力のある—もの足りない、気になる—気にならない、豊かな—貧弱な、とけあった—割れたという対語の項目が挙げられている。それ故第 2 因子は、各騒音パターンが人間の可聴帯域のスペクトル成分量をどの程度含みうるかを決定する軸であ

Table 3.2-4 Item of High Factor Loading and Accumulated Proportion  
SD 法における因子負荷量と累積寄与率

| 因子負荷量の多い項目         |                       |
|--------------------|-----------------------|
| 第 1 因子             | 第 2 因子                |
| 繊細な—粗い<br>0.994    | いらだつ—落ち着いた<br>0.997   |
| 明るい—暗い<br>0.959    | 迫力のある—もの足りない<br>0.996 |
| かん高い—こもった<br>0.829 | 気になる—気にならない<br>0.995  |
|                    | 豊かな—貧弱な<br>0.857      |
|                    | とけあった—割れた<br>0.826    |
| 累積寄与率 (%)          |                       |
| 43.38%             | 58.03%                |

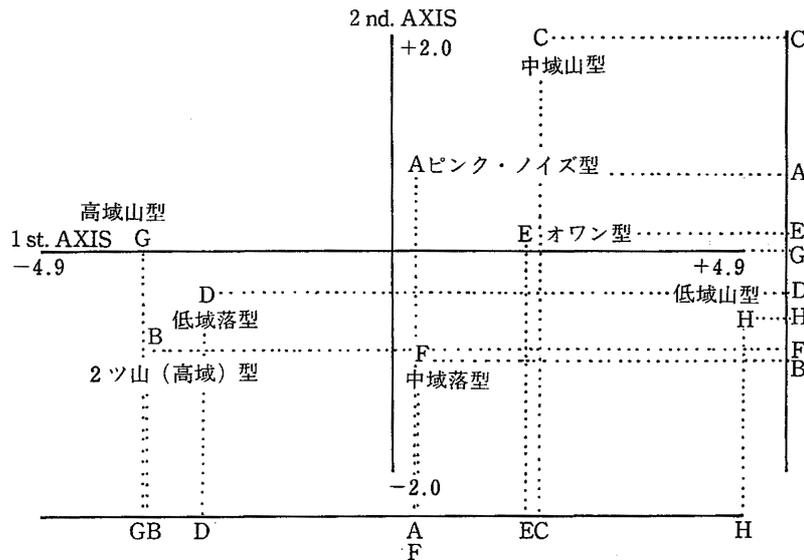


Fig. 3.2-10 Plotting 8 Model Patterns on Psychological Audio-Space  
心理的聴空間におけるモデル騒音の位置づけ

ると解釈する。

Fig. 3.2-10 にこれら各因子軸を直交させた平面上に、工場内暗騒音の 8 モデルパターンをプロットした図を示す。X 軸は第 1 因子である各騒音パターンが多く含む周波数帯域を示す軸であるが、右側に低域山型が、左側に高域山型、2 ツ山 (高域) 型、低域落型がプロットされ、その中間に、低域成分と高域成分を同量含む中域落型や、中域成分のみを含む中域山型及びオワン型がプロットされている。それ故各モデルパターンが有する周波数成分において左側にゆくほど高周波成分、右側にゆくほど低周波成分を多く含むモデルであることを示している。

Y 軸は、第 2 因子である騒音パターンが人間の可聴帯域の成分量をどの程度含むか決定する軸である。軸上側に中域山型が、軸下側に、中域が谷のようなパ

ーンを示している中域落型、2 ツ山 (高域) 型がプロットされていることから、上方にゆくほど人間の可聴帯域の成分を多く含むモデルであることを示している。

Fig. 3.2-10 は換言すると、SD 法を用い人間の心理的聴空間を示した図であるが、これによると人間は各種騒音を少なくとも 2 つの因子で聴空間に配置しており、そのひとつは騒音が高域成分を多く含むか、あるいは低域成分を多く含む騒音かということ、また他のひとつは、その騒音が可聴帯域の成分量をどの程度多く含んでいるかということである。

人間は警告音を打消す (マスキング) 作用をする工場内暗騒音を前述した 2 つの因子で感覚的にとらえていることがわかった。これは取りも直さずマスキングされにくい警告音の特性も、これら 2 つの側面から考えてゆく必要があることを示している。

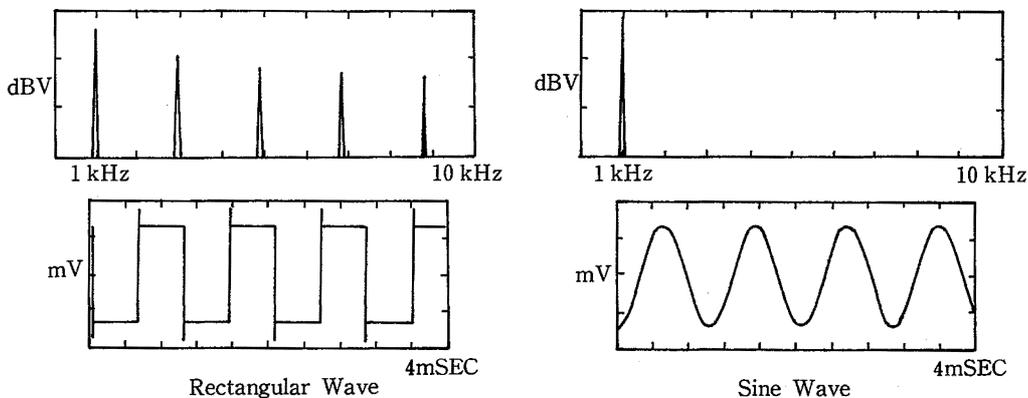


Fig. 3.2-11 Differences in spectrum of Sine Wave and Rectangular Wave  
サイン波と矩形波のスペクトル解析

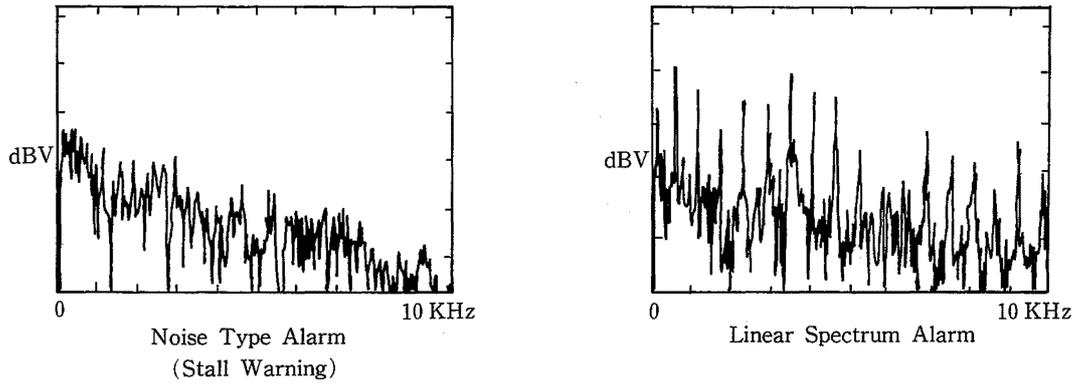


Fig. 3.2-12 Differences in Noise Type Alarm and Linear Spectrum Alarm  
ノイズ型警告音と針山型警告音との相違

### 3.2.3.2 警告音の周波数帯域からみた特徴

波形解析の結果、警告音の周波数帯域からみた特徴として次の2点が挙げられる。

第1点は警告音にはスペクトル解析の結果広帯域型の警告音と狭帯域型の警告音とがあることが計測され、サウンド IC の普及により、除々に広帯域型の警告音が多くなってきていることがわかった。

サウンド IC から発せられる波形はサイン波ではなく ON, OFF の繰り返しからなる矩形波である。1秒間に1000回の周期を繰り返す1000 Hzのサイン波と同じく1000 Hzの矩形波のスペクトル解析を行った場合、サイン波は1000 Hzに1本の線スペクトルが突出するのみであるが、矩形波は1000, 3000, 7000 Hzと奇数倍のポイントに広帯域にスペクトルが突出する (Fig. 3.2-11 参照)。

そこでサウンド IC を用いている広帯域型の警告音は騒音にマスキングされにくい特性をもつことが推測される。というのは人間は工場内騒音をそれが高い周波数成分を含むか、あるいは低い周波数成分を含むかという因子で感覚的にとらえていると前項で述べたが、警告音のスペクトルが広帯域に突出している場合、高い周波数成分を含む暗騒音には警告音の低帯域のスペクトルがマスキングされにくく、低い周波数成分を含む暗騒音には警告音の高帯域のスペクトルがマスキングされにくい現象が考えられるからである。

以上の仮説を検証するために、広帯域型と狭帯域型の警告音を8パターンモデル暗騒音に加えた弁別実験を行ってみた (3.2.3.3.1項参照)。

警告音の周波数帯域からみた特徴の第2点として、スペクトル密度の高い警告音が計測された点が挙げら

れる。従来型の警告音は線スペクトルが針山のように立ち上がるタイプ (以下「針山型警告音」という) のものが多かった。

しかし最近の航空機のcockpit内の警告音には、Over Speed Warning, Stall Warning (失速時警告音) のように極めて密度が高く、ピンクノイズやホワイトノイズにそのスペクトル形態が似ているタイプの警告音 (以下「ノイズ型警告音」という) が計測された (Fig. 3.2-12 参照)。

なぜ航空機のcockpit内において、このようなスペクトル密度の高い警告音が使われているのか? その理由を検討するためcockpit内の暗騒音を計測したところ、前述した8パターンのモデル騒音のうち中域山型を示した。

中域山型は3.2.3.1.2項で述べたとおり人間の可聴

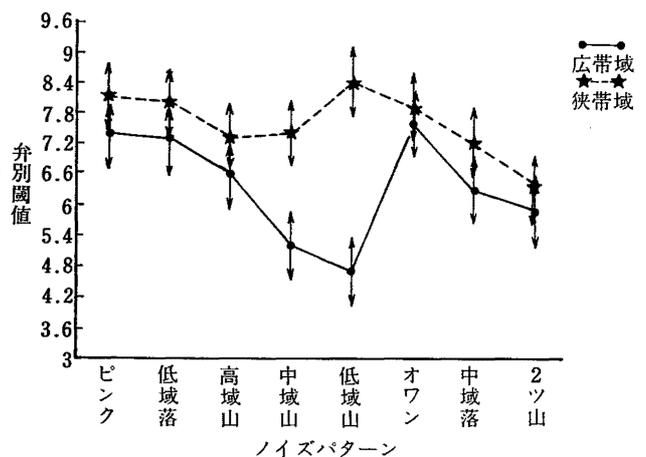


Fig. 3.2-13 Experiment in Comparison of two Alarm-Types (Wide band Type and Narrow band Type)  
広帯域型警告音と狭帯域型警告音の弁別実験結果

帯域の成分を多く含む騒音パターンである。コックピット内の騒音特性をも考慮し、航空機にはスペクトル密度の高い警告音が用いられてきているのかどうかを検討するために、針山型警告音とノイズ型警告音を前述したモデル騒音に加え弁別実験を行ってみた(3.2.3.3.2項参照)。

### 3.2.3.3 警告音の弁別実験結果

#### 3.2.3.3.1 広帯域・狭帯域型警告音弁別実験結果

Fig. 3.2-13 に広帯域型警告音と狭帯域型警告音の弁別実験結果を示す。

横軸には8パターンのモデル暗騒音が、縦軸には感覺量である最小弁別閾値が示してあり、グラフは下にプロットされている方が弁別性の良い警告音であることを示す。

相対的に比較して狭帯域型警告音より広帯域型警告音の方が、どの暗騒音パターンに対しても弁別性の良い結果を示し、特に中域山・低域山型騒音に対しこの傾向は顕著である。これは広帯域にスペクトルを突出させた警告音は、暗騒音にマスキングされない帯域にもスペクトルが立ち上がっており、このマスキングされていない帯域においては暗騒音の音圧レベルの影響は受けず警告音はかなり低い音圧レベルであっても聞き取りえることが、聴覚の臨界帯域説<sup>9)</sup>によって理解可能である。

本項における弁別実験結果は研究目的 I の a で示した、「工場内騒音に対して低い音圧レベルで高い弁別性をもつ警告音の周波数特性について」の検討結果でも

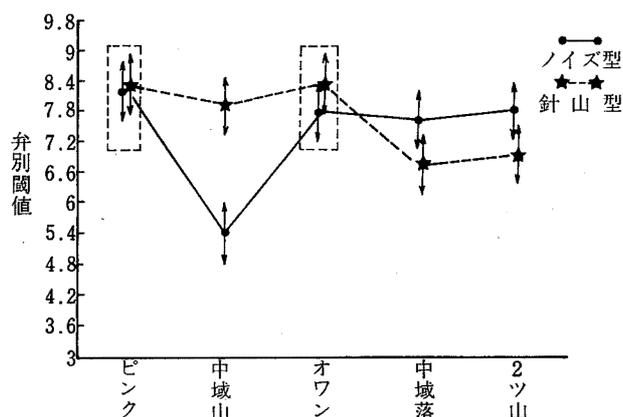


Fig. 3.2-14 Experiment in Comparison of two Alarm-Types (Noise Type and Linear Spectrum Type)  
ノイズ型警告音と針山型警告音の弁別実験結果

あり、今後の警告音はサウンド IC による矩形波を用い、それも3重和音からなる合成波等で構成し、広帯域にスペクトルを立ち上げた警告音であることが望ましいと考えられ得る。

#### 3.2.3.3.2 ノイズ型・針山型警告音弁別実験結果

Fig. 3.2-14 にノイズ型警告音と針山型警告音の弁別実験結果を示す。

グラフの横軸・縦軸の表記は Fig. 3.2-13 と同様でありグラフ下にプロットされている方が弁別性の良い警告音であることを示す。

Fig. 3.2-14 によるとノイズ型警告音は針山型警告音に比較し、中域山型で弁別性が良いが、中域落型・2ツ山(高域)型で弁別性が低い結果が得られている。

この結果を Fig. 3.2-10 の Y 軸と対応させ考えてみると、Y 軸は第2因子を示し各騒音パターンが人間の可聴帯域の成分量をどの程度含むかについて決定する軸であった。軸上方に中域山型が軸下方に中域落型・2ツ山(高域)型がプロットされているということは、中域山型が可聴帯域成分量を多く含み、中域落型・2ツ山型は余り含んでないことを示している。

ノイズ型警告音が中域山型で弁別性が良く、中域落型・2ツ山型で弁別性が低いことは、このタイプの警告音は、人間の可聴帯域の成分量を多く含んだ暗騒音

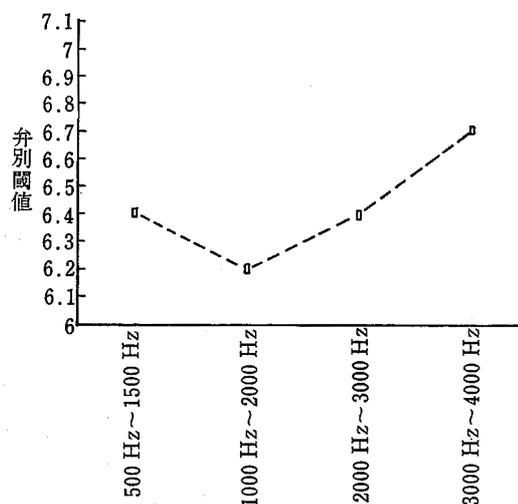


Fig. 3.2-15 Experiment of Shift Frequency in Shift Type Alarm

うなり音のシフト帯域に関する弁別実験結果に対しては弁別性が良く、そうでない場合は弁別性が低いという特徴を現わしている。

本項における弁別実験結果は研究目的 I の b で示した、「工場内騒音の周波数帯域が人間の聞きとりやすい

帯域を専有する場合、高い弁別性をもつ警告音について」の検討結果でもあり、今後ノイズ型警告音は加えられるべき暗騒音の特性を考慮した上で用いられるべきである。

### 3.2.3.3.3 うなり音の構成パラメータ実験結果

本項においてはまずうなり音の弁別実験結果について述べ、次にその理由について検討する。

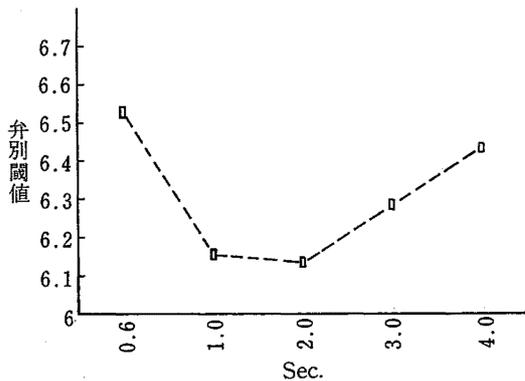


Fig. 3.2-16 Experiment of Shift Period in Shift Type Alarm

うなり音のシフト周期に関する弁別実験結果

Fig. 3.2-15 に実験 1 である周波数シフト帯域の結果を示した。なお実験 1 ではシフト周期は 2 秒に統一した。この実験から、1000~2000 Hz 帯域をシフトさせた時最も弁別性が良いという結果が得られた。

次に実験 2 でこの 1000~2000 Hz 帯域を何秒のシフト周期でシフトさせた時、弁別性が良いか実験を行った。

Fig. 3.2-16 にその結果を示すが、2 秒のシフト周期でシフトさせた時、最も弁別性が良いという結果が得られている。

実験 1 と 2 より、弁別性の良いうなり音を構成するパラメータは、シフト帯域 1000~2000 Hz、シフト周期 2 秒であるとわかったが、次にその理由について検討してみる。

人間の聴覚において蝸牛管内の基底膜は、その部位ごとにおいて決められた帯域の音のみに共振を起こすことが知られている。これは聴覚機構の中に可聴周波数帯域全体にわたって、ある帯域幅のバンドパスフィルタが順番に並んでいることにたとえられ、この帯域幅を臨界帯域という。

ここで Fig. 3.2-17 を用い周波数をシフトさせるタイプの警告音である「うなり音」の弁別性のよいパラメータについて臨界帯域との関連性で検討してみる。

Fig. 3.2-17 は横軸に臨界帯域の中心周波数、縦軸に各臨界帯域を周波数が移動して通過する時間が示してある。

弁別性の良いうなり音とは次の 2 つの条件を満たすことである。第 1 の条件は、周波数が移動して通過する臨界帯域の数が多いうことであり、第 2 の条件は、1 つの臨界帯域の通過時間がおよそ 300~350 mSEC 程度であるということである。

第 1 の条件から Fig. 3.2-17 をみると、パラメータが 500~1500 Hz の場合は 6 バンド、1000~2000 Hz の場合は 5 バンド、2000~3000 Hz と 3000~4000 Hz の場

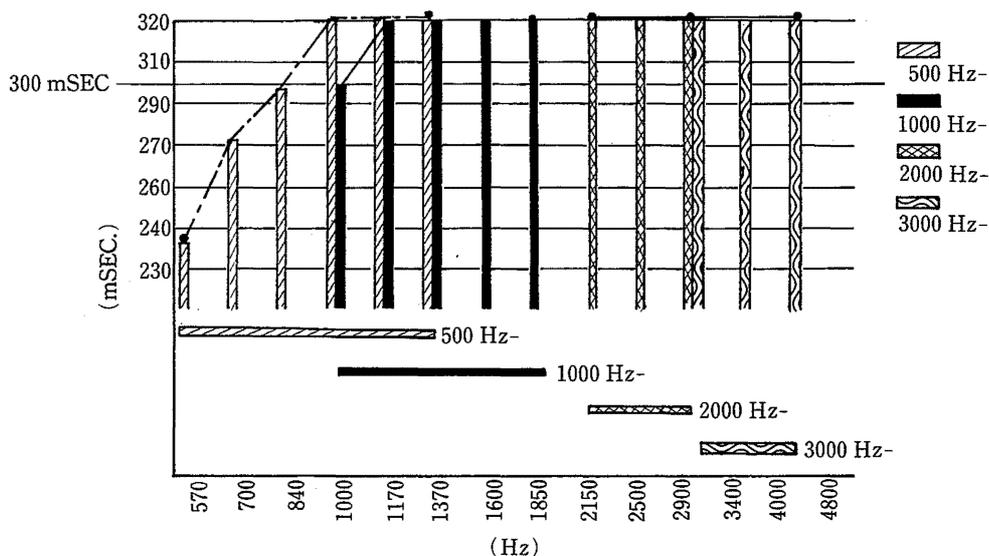


Fig. 3.2-17 Relation between Critical Band and Shift Type Alarm  
臨界帯域とうなり音の関連性

合は3バンド通過している。よって第1条件からみると500~1500 Hz 周波数がシフトするうなり音が6バンド通過しているのが最も聞き取りやすいことになるが、ここで第2の条件を考えてみる。

第2の条件は1つの帯域通過時間が300~350 mSECであることだが、Fig. 3.2-17(シフト周期2秒の場合)において通過時間が300 mSECを越えている臨界帯域は、500~1500 Hz シフトの場合は3バンド、1000 Hz~2000 Hz の場合は4バンドとなり、第1と第2の条件を合わせて考えると、1000~2000 Hz 周波数をシフトさせる「うなり音」が最も聞き取りやすいことになる。

以上が聴覚のメカニズム(臨界帯域)と弁別性の高い「うなり音」の関連性である。

### 3.2.3.4 警告音の用途別類型化

3.2.3.2項では警告音の特性について周波数帯域から検討し、その結果に基づき3.2.3.3項で、工場内暗騒音とのマスキングの可能性について述べた。

警告音の特性について、本項では時間軸波形としての側面から検討し、用途別類型化を行った結果について述べる。

警告音は様々な用途に、種々の波形特性をしたものが使われて今日に至っている。そこでその波形のもつ特徴を何点か洗い出し、用途別に類型化することを試みた。

従来から経験的に用いられてきている様々な対象(例えば階段など)に対して、工学的計測データから共通点を集約し用途別に類型化することは、人間工学研究の重要なテーマのひとつである。

本項では警告音についてその作業を行っており、こ

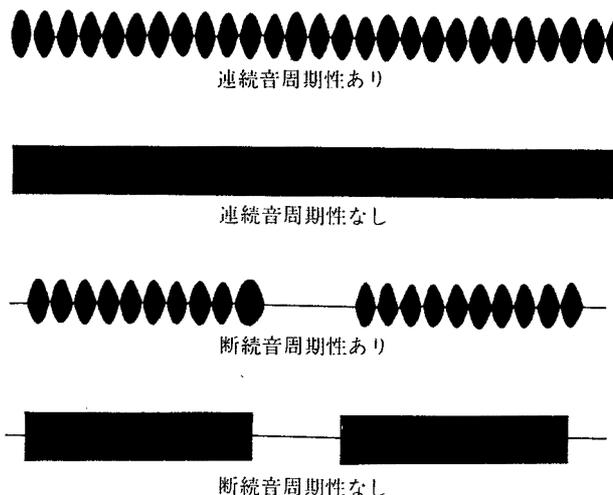


Fig. 3.2-18 Kind of Auditory Alarming Wave  
警告音の種類

これは研究目的IIに対する検討結果でもある。

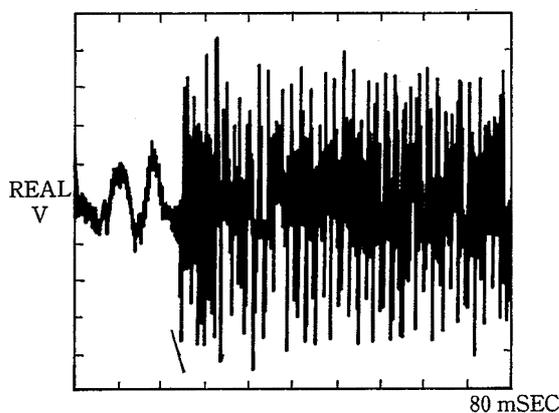
Fig. 3.2-18 はオシロスコープ上に掃引された警告音波形であり、周期・断続間隔の長短については種々見られるが、巨視的にみて警告音はこの4種類しかない。

「連続音周期性あり」は、文で表現すると「ルルルル…」という警告音であり、「ル」という周期が連続的に繰り返されるタイプである。

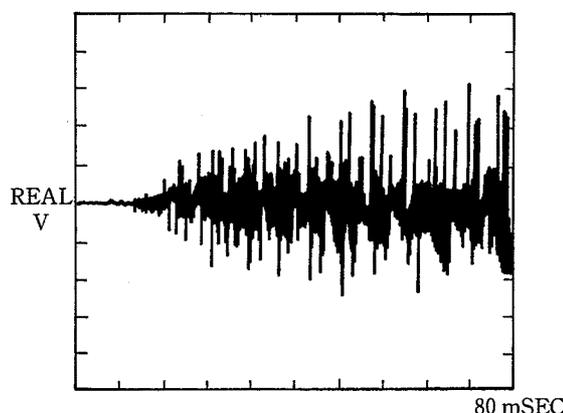
「連続音周期性なし」は、周期性をもつ「ルル……」がなくなり「ル～」と連続的に聞こえるタイプの警告音である。

「断続音周期性あり」は、「ルルルル」と鳴り (ON 間隔)、少し鳴りやみ (OFF 間隔) また鳴り出す警告音である。電話のベルがこのタイプであるため、警告音としてはこの種類はあまり用いられていない。

「断続音周期性なし」は、周期性がなくなり「ル～」と鳴り、少し鳴りやみ、また鳴り出す警告音であり、



絶壁立ち上がり型警告音



ゆるやかな立ち上がり型警告音

Fig. 3.2-19 Differences in Initial Envelop Patterns of Alarming Waves  
絶壁立ち上がり型警告音とゆるやかな立ち上がり型警告音

以上警告音はこの4種類から成り立つ。

Fig. 3.2-19には警告音が鳴り始める時、波形がどのようなスロープを描き鳴り出すか（以下「波形立ち上がり」という）、80 mSECで掃引した図を示す。

左側に絶壁立ち上がり型警告音、右側にゆるやかな

Table 3.2-5 Classification of various Uses in Auditory Warning  
警告音の用途別類型化

| 分類        | 内容  | 波形特性  |
|-----------|---|---|
| そのけ・そのけ型  | 車両等(移動物体)が人間に近づいたことを知らせる警告音                       | 走行中常時鳴らす必要があるので耳ざわりでない音<br>波形立ち上がりは“なめらか型”<br>連続音周期性あり(なるべくなら断続音は用いないこと)<br>緊急車両の場合ウナリ音(周波数をシフトさせる)を用いるのが慣例 |
| システム異常検知型 | あるシステム内において、その正常な稼動から外れたことを知らせる警告音                | 連続音周期性なし・断続音周期性なしが用いられている例が多い<br>オペレータの素早い応答を期待する場合は、波形立ち上がり“絶壁型”   |
| 動作抑止型     | 結果型<br>人間側が危険物体に近づいたことを知らせる警告音(プレス稼動域に手を侵入させた場合等) | 連続音周期性なし→人間がその危険動作をやめるまで鳴り続ける必要性あり<br>波形立ち上がりは“絶壁型”   |
|           | 喚起型<br>おだやかな形で人間の注意を喚起させる(踏切の警報器など)               | 波形の立ち上がりは“なめらか型”<br>周期性を持たせている例が多い  |

立ち上がり型警告音が表示されているが、これら2つを相対的に比較すると、絶壁型は人間を驚かす効果をもつ。警告音はある状態を人間に気付かせる役割を有するため、少し人をビックリさせることが重要な要件のように思われているが必ずしもそればかりではない。右図のように波形がゆるやかに立ち上がり耳ざわりの良いタイプの警告音もある用途には用いられている。

前述した4つの警告音の種類とその波形立ち上りを組み合わせて考えると、時間軸の側面から警告音は用途別の類型化が可能になり、Table 3.2-5にその結果が示してある。

警告音はその波形特性と用途から、「そのけ・そのけ型」、「システム異常検知型」、「動作抑止型(結果

型・喚起型)」の3つに類型化される。

そのけ・そのけ型は移動車両等が人間に近づいたことを知らせる警告音であり、走行中常時鳴らしているのでなめらかな波形の立ち上がりを用い耳ざわりを良くしている。

このタイプに絶壁立ち上がり型を用いると耳ざわりになるので、作業者が警告音回路を切断してしまうことが行われたりする。また、連続音周期性ありが用いられ、その周期の長さは移動車両の速度との関連性で決まる。緊急車両の場合ウナリ音を用いることが多い。

システム異常検知型はあるシステム内において、例えばタンク内が異常に高温・高圧になった場合など、その状態を人間に知らせて素早い応答を期待する警告音である。連続音、断続音共周期性をもたない波形が用いられている。また波形の立ち上がりは絶壁型が多い。

動作抑止型・結果型は人間側が危険物体に近づいたことを知らせる警告音であり、そのけ・そのけ型の反対であくまで動いているのは人間側である。人間が危険な動きをやめるまで鳴り続ける必要があることから連続音周期性なしが用いられることが多く、波形の立ち上がりは絶壁型である。

警告音の波形特性を検討し続けているうち、動作抑止型には結果型以外にもうひとつのタイプがあることがわかった。駅の発車ベルや踏切の警報器のように、人間動作の抑止を促す用途をもちながら、波形特性は周期性のある連続音で、しかもその立ち上がりはなめらかなタイプのタイプである。そこでこのタイプを「喚起型」と名付けた。動作抑止型・喚起型は、連続音周期性あり、立ち上がりはなめらか型と波形特性上そのけ・そのけ型と同じである。しかしそのけ・そのけ型に比較して、その周期の短いことに特徴がある。

以上警告音の時間軸波形としての側面から用途別類型化について述べたが、これが研究目的IIの結果である。

### 3.2.4 考察

これからの警告音のあり方を考察した場合その問題点は2つある。第1の問題点はかなり大きくなってきた工場内騒音に対して、警告音は低い音圧レベルでもマスキングされない特性を持つということである。そして第2の問題点はサウンド ICの普及で様々な警告音

が鳴らされて混乱を生じ始めているため、用途別の波形特性の統一を考えた類型化の作業を進めなければならないということである。

本研究は第1の問題点に対し、工場内騒音をモデル化し、騒音を人間がどういう因子で感じとっているか明らかにした。またいろいろな警告音をスペクトルの側面から解析し、2～3の知見を得た。

それによると第2の問題点を生じさせたサウンド IC の普及は第1の問題点では解決の糸口を提供している。ON-OFF 発振により生じる電子音は矩形波形をもつため広帯域型警告音になりうる。広帯域型警告音は暗騒音にマスキングされない帯域をもつため低い音圧レベルでも弁別が可能になる。今後警告音は電子音のこの利点を生かし矩形波の3重和音等により構成されていくべきであろう。

人間が騒音を感じとる因子のひとつに可聴帯域成分をどの程度含んでいるかという尺度の因子がある。可聴帯域成分を多く含んだ暗騒音に対しどのような警告音の弁別性が高いか(研究目的 I - b)。この課題に対し、航空機のコックピット内の暗騒音と警告音がヒントを与えてくれた。コックピット内の騒音は正にこのタイプ(中域山型)であり、そこで失速時等に用いられているスペクトル密度の高い警告音(ノイズ型警告音)は弁別実験の結果、弁別性の優れた結果を示した。今後可聴帯域成分の多い騒音(中域山型)に対してはノイズ型警告音は有用であるが、逆に成分が多くない騒音(中域落ち・2ツ山(高域))に対してはこのタイプの警告音はあまり効果を示さない。ノイズ型警告音とは加えるべき暗騒音のパターンを考慮した上で用いるべき警告音である。

第2の問題点に対してアプローチするため、様々な警告音に対し時間軸の側面から解析を行った。

それによると警告音は時間軸波形からみて4種に集約化されること、またその波形立ち上がりには「絶壁立ち上がり型」「ゆるやかな立ち上がり型」の2種があることがわかった。

従来から経験等により用いられてきた警告音を、前述した4種とその立ち上がり方の2種とを組み合わせた波形特性から再整理すると、ある程度の用途別類型化(Table 3.2-5 参照)が可能になってきた。

今後用途別の警告音は大きくはこの類型化を参考とし使用されることが、サウンド IC 普及による混乱を減少させる方へつながり得ると考えている。

### 3.2.5 結論

本研究により次の結論を得た。

(1) 警告音が満たしているべき要件として2点挙げられ、そのひとつは(A)工場内暗騒音に打ち消されにくいこと、他のひとつは(B)それぞれの用途に対してそれにふさわしい波形が用いられていることである。

(2) (A)の観点から工場内暗騒音のモデル化を行った。クラスター分析法によると、「A. ピンクノイズ型」「B. 2ツ山(高域)型」「C. 中域山型」「D. 低域落型」「E. オワン型」「F. 中域落型」「G. 高域山型」及び「H. 低域山型」の8パターンモデル騒音に集約化が可能である。

(3) 8パターンモデル騒音を人間が心理的聴空間にどう位置付けているかSD法を用いて実験した。

その結果2つの因子が導出され、第1因子はその騒音が含まれている周波数成分(高域を含んでいるか、低域を含んでいるか)であり、第2因子はその騒音が人間の可聴帯域成分をどの程度含んでいるかということであり、その2つの因子で聴空間に位置付けていることがわかった。

(4) (A)の観点から警告音の周波数分析を行った。

警告音をスペクトルの側面から解析すると、広帯域型警告音及び狭帯域型警告音、並びにノイズ型警告音及び針山型警告音があることがわかった。

(5) (2)の工場内モデル騒音に、(4)の周波数特性をもつ警告音を加えて弁別実験を行った。

その結果広帯域型警告音は狭帯域型より弁別性が優れていること、また、ノイズ型警告音は、(3)で述べた第2因子の高い騒音に対して、弁別性が優れていることがわかった。

(6) 緊急車両等に用いるウナリ音を構成する有効なパラメータは、シフト周波数 1000 Hz～2000 Hz、シフト周期 2 秒程度が弁別性に優れていることがわかった。

(7) (B)の観点から警告音の波形分析を行った。

警告音を時間軸の側面から解析すると4種の警告音の種類があることがわかり、それらは「連続音・周期性あり」「連続音・周期性なし」「断続音・周期性あり」及び「断続音・周期性なし」の4種である。

また、警告音の波形の立ち上がりを計測すると「絶壁立ち上がり型」と「ゆるやかな立ち上がり型」とがあることがわかった。

(8) (7)の波形特性と警告音の用途から、用途別類型化を行った。

Table 3.2-5 にその結果が示してある。

### 参考文献

- 1) 大島正光, “人間工学からみた警報システムのあり方” 安全, 30(11), PP.24~28 (1979)
  - 2) ILÖ, “Protection of workers against Noise and Vibration in the working environment”, International Labour Office, Geneva
  - 3) 清水正路・他, “騒音下の信号音のきこえに関する研究”, 鉄道労働科学, 28, PP.35~45(1974)
  - 4) 難波精一郎, “官能検査と騒音評価”, 官能検査シンポジウム, 3, PP.15~24 (1973)
  - 5) 山本武夫, “最近のステレオの音質と商品開発”, 官能検査シンポジウム, 8, PP.111~118(1978)
  - 6) 真辺・難波, “日章丸における人間工学的研究”, 人間工学, 4, PP.145~152 (1968)
  - 7) 斎藤幸子, “セマンティック・ディファレンシャル法”, 人間工学, 14(6), PP.315~325 (1978)
  - 8) 境久雄・他, “聴覚と音響心理”, コロナ社, PP.119~123 (1982)
-