

6. 高齢者の作業負担を軽減する起動時の警報システム

深谷 潔*

6. Start-up Alarm System for Reducing Work Load on Aged Workers

by Kiyoshi FUKAYA*

Abstract; Before a start-up of a large machine, such as an automatic warehouse and a long belt conveyor, it is indispensable to confirm the safety condition, which means nobody is in the movable zone of the machine. In many cases this safety confirmation should be conducted by the operator of the machine, but it is difficult especially for an aged worker who is weak-sighted. Because actually many accidents occurred in the start-up process, safety measures which assist the operator to confirm safety are needed.

One of the safety measures is an alarm system for workers in the movable zone of the machine. The alarm system, however, has some defects. For example, a skip of the alarm operation or a failure of the alarm system makes the alarm ineffective. Therefore, the alarm system with foolproof and fail-safe characteristics has been developed.

This alarm system has the following features.

- (1) This system sounds the alarm automatically by start operation of the machine in order to ensure foolproof.
- (2) This system confirms that the alarm really sounds and permits the machine to start in a fail-safe manner.
- (3) In order to make the system fail-safe, fail-safe ICs are used for signal processing.
- (4) The sound frequency of the alarm is rather low, because the aged worker has a tendency to miss a high tone.
- (5) There is a rather long period from the start operation to an actual power supply to the machine, because the worker in the movable zone of the machine needs time to escape out of there.

This system consists of an operation block, an alarm generation block, a sound detection block and a control block. The start-up sequence begins by start-up operation, which makes the alarm sound. When the sound detector detects the alarm, it triggers an on-delay timer to count the time for escape. When the time is up, the machine is powered. If any element of the system fails, the sequence stops at this failure.

Keywords; Alarm, Start-up operation, Aged worker, Fail-safe, Foolproof

1. はじめに

自動倉庫のような大型の機械を起動するときに、機械の動作領域全部を見通すことができず、人間がそこにい

るにもかかわらず機械を起動して事故になったという事例は少なくない。このことは、起動時の安全確認の重要性と困難さを示している。特に視力の低下した高齢者にとっては、自動倉庫のような長大な領域を見通すことは必ずしも容易ではない。従って、機械の動作領域に人がいないということの確認作業を補助する対策が必要となる。

*機械システム安全研究部 Mechanical and System Safety
Research Division

その対策の一つとして、機械の起動時に警報を鳴らすという方法が考えられる。警報は、本来、操作者が行うべき安全確認の役割の一部を、倉庫内部にいる作業にも分担させるものであり、警報を出す側に少なくとも次の2点についての配慮が必要である。

1つは、警報が鳴らないで機械が起動されることがあってはならないということである。例えば、操作者が警報を鳴らし忘れたり、警報装置が故障していればこのようなことが起こり得る。本報では、これに対する対策を中心に研究を行い、起動操作を行うと警報を鳴らし、実際に警報が鳴った時のみ電源の投入が行えるという警報機能付き起動システムを開発した。このシステムは故障によって警報なしで起動するというのを防止するため、フェールセーフなものとした。

他の1つは、警報としては当然のことであるが、確実に聞こえるということである。一般に警報という手段は、聴力の低下が見られる高齢者に対しては必ずしも適切でない場合もあるので、警報機能付き起動システムの実用化に際して配慮が必要となる点について考察した。

2. 警報付き起動システム開発の目的

一般に機械の運転は可動範囲内に人間がいなかったことが条件であり、それを達成するために、第7章で述べるように柵・囲い等のガードを用いるという安全対策が必要である。ガードによって可動範囲が完全に囲われている場合には、人間がいなかったという状態が保てるが、一般には、ガードに物や人の出入りのための開口部を設けることが多い。そのために人間がいなかったという条件が満たされなくなるおそれがあり、人間が機械の可動領域にいないことを継続的に確認する必要が出てくる。このとき、領域全体を監視する代わりに出入りを監視することで済ませることが多い。その場合、人がいないという条件を満たすためには、機械の起動時には機械の可動範囲内に人間がいなかったことが条件であり、起動時にこの確認を行うことが不可欠である。

従来の自動倉庫を含め、この安全確認は一般には起動操作を行う作業者に依存することが多い。しかし、起動操作を行う場所から機械の危険領域が良く見えないと、危険領域に人間がいることを見落とすおそれも少なくない。特に、大型の機械においては、その危険領域の形が立体的であったり凹凸があったりしてその領域内を監視を行うことが著しく困難なことが多く、危険領域にいる人間を見落として起動を行い事故となることも少なくない。Table 1 や第1章(序論)の事例5に示すように、実際に各種の機械において起動時の安全確認の失敗により事故が起きている。

これらの事故からも明らかなように、起動時の安全確認を機械を起動する操作者に依存するのみでは、事故を防止できない。そのため、本特別研究においては、自動倉庫のスタックレーンの走行路の安全確認は、第5章で述べるレーザー光線式安全装置を用いて実現している。しかし、柵の上はスタックレーンのフォークが出入りする可動領域内部であるが、そこに人間がいなかったことをセンサーで検出することは著しく困難である。それは、1つには「柵は元来荷物を置くための場所であり、柵の上に人間がいなかったことを検出するためには、単なる物体の有無の検出では十分ではなく、それが荷物が人間かを区別する必要がある」ためであり、また、「柵の上に物があるため全体を見通すことができず、数多い柵の1つ1つの検出を行わなければならない」ためである。もちろん、起動操作を行う作業にとって、柵領域の確認は見通しが効かないためさらに困難であることは言うまでもない。

そのため、本報ではこの安全確認に代えて、起動時に警報を鳴らして、危険領域内部の作業者に危険回避行為を行わせるという方法を採用した。これは、危険領域内部にいる作業者自身の注意力に期待するものであり、人間の注意力に依存するという意味で必ずしも確実な方法ではないが、容易に効果が得られるという意味で現実的な安全対策といえる。

ただし、警報装置はただ設ければ良いというものではない。人間の一般的特性として、安易な方に流れ易いということがある。そのため、機械に注意していれば起動することが事前に判るとしても、起動時に警報が鳴る場合には、機械に注意するより警報に注意することの方が容易であるので、機械には注意しないようになる。従って、もし故障して警報が鳴らない場合には事故となる可能性が高い。そこで、警報を用いる以上は警報が鳴らないにもかかわらず機械が起動するという事態だけは避けなければならない。そのために、起動時には警報がなり、かつ、警報の故障時には起動しないという安全機能を有する起動装置を開発した。

3. 警報付き起動システムの要件

警報器付き起動システムの要件を次に示す。

- ① 起動操作を行うことで自動的に警報が鳴る。
- ② 警報装置が故障したときは、起動しない。
- ③ 警報が鳴ってから、退避等を行うのに要する時間の後に起動する。
- ④ 警報音は高齢者にも聞き取れるものである。

操作者が警報を鳴らしてから起動するという操作方式だと、警報を鳴らすことを忘れてたり省略したりする恐れがある。①の要件は、これを防止するためのものである。

Table 1 Accidents caused by a failure of safety confirmation during start-up operation.
 起動時の安全確認の失敗による災害の事例

年・場所	起動対象	事故の型名	発生状況
H2, 神奈川	ミキサー	巻き込まれ	被災者はセメント・スラリー混練り用ミキサー（高さ2.7m, 直径1.94m）の蓋を開けて共同作業者と何らかの作業を行っていた。作業手順書によると、清掃はスラリー製造完了後に、電源を切ってから、作業にかかることになっていたが、事故時にはこれを怠っていたため、遠隔操作により始動したミキサーに巻き込まれて被災した。
S55, 青森	印刷機械	はさまれ	被災者が印刷機の排紙部の紙そろえ棒の片側に付いているスプリングを固定する修理作業を行っていた。工場長が始動合図後すぐに始動スイッチを入れたところ、被災者の頭部が金属製の紙そろえ棒の間にはさまれ死亡した。
S56, 鹿児島	プロペラ	激突され	港に停泊中のタンカーのプロペラ付近のスキュンプ作業（船底に付着したフジツボ、カキ等を落とすクリーニング業務）に4名が従事していたところ、突然、プロペラが回転し、これにはねとばされたもの。作業中のプロペラ回転中止については船側へ申し入れてあり、機関操作箇所には注意版が掲示してあった。元請会社が作業船上にて直接作業指揮を行っていた。災害発生原因は、船員が誤操作によりプロペラを始動させたことにある。
S62, 新潟	液送ポンプ	有害物との接触	工場内の抄紙マシン室内において、抄紙機の運転停止日を利用して、苛性ソーダ液（濃度13.5%）配管の途中に設けられている手動弁の位置を変更する工事中をしていた。一旦取り外した手動弁を取り付けるために、フランジ部分のボルト締を行っている際、手動弁の脇に設けられていたポンプが始動し、フランジのすき間から突然苛性ソーダ液が噴出し、顔面に浴びたものである。
S59, 愛知	架線	感電	車両製作工場の構内軌道試運転用線路において、作業員4名が完成車両の屋根に絶縁シート掛け作業をしていたところ、突然架線に交流25000Vの電気が通電され、車両の屋根に登っていた作業員4名のうち1名が架線に触れ死亡した。
S61, 茨城	ミキサー	巻き込まれ	工場内において、コーテッドサンド（レジンと砂を混合し製造用に使用するもの）を製造するミキサー（容量400kg）内のライニングの交換作業を被害者ほか2名で行っていた。ライニング交換後試運転するため、製造課主任がミキサーのスイッチを押し様子を見ていたが3回目の試運転の際、被害者がミキサーの中にいることを気づかないままミキサーを回転させた。

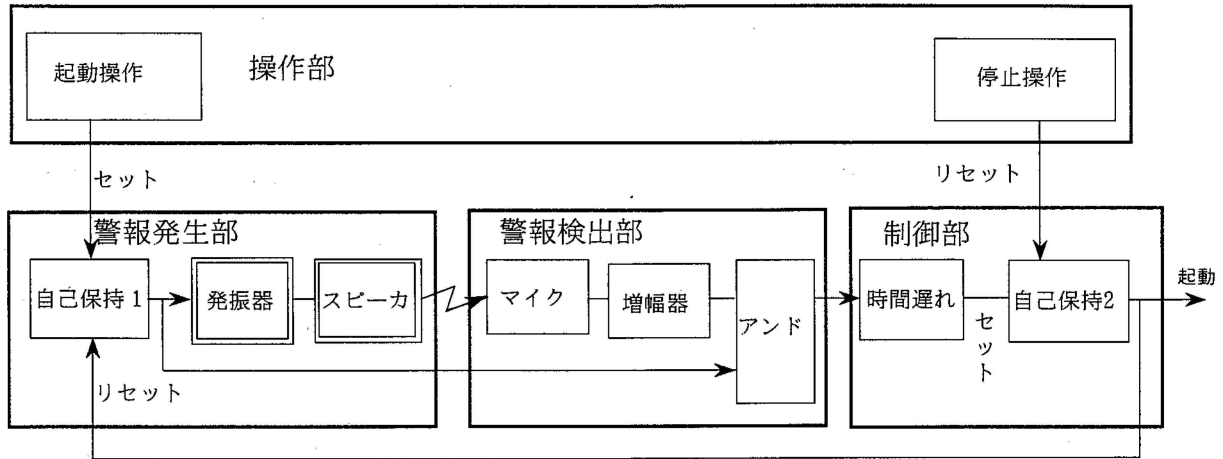


Fig. 1 Blockdiagram of fail-safe start-up alarm device.
フェールセーフ起動警報装置のブロック図

警報器が故障するという事は少なくないので、この場合には起動させないようにしなければならない。②の要件は、そのために装置をフェールセーフにしなければならないことを意味する。

警報が鳴ってすぐ起動するのでは、警報の意味がない。すなわち、警報を聞いてから、退避するか非常停止をかける等の危険回避行動をとる時間的余裕が必要である。③の要件は、このことを要求するものである。

倉庫内の作業者が、若年者に較べ聴力の低下の傾向が見られる高齢者である場合もあるので、警報音の周波数帯域や音圧レベル等についても配慮が必要となる。④はこれを考慮するものである。

4. 警報付き起動システムの構成

システムの構成は、Fig. 1 に示すように、操作部、警報発生部、警報検出部、制御部よりなる。

操作部は起動と停止の操作を入力する部分、警報発生部は警報音を発生する部分、警報検出部は警報が鳴ったことを確認する部分、制御部は警報の確認に基づいて起動許可信号を生成する部分である。

このシステム（操作部の操作ボタンを除く）を Photo 1 に示す。写真の円筒の前部と後部に同一型式のダイナミックスピーカーを取り付け、前部のはスピーカーとして、後部のはマイクとして使用した。また、左側のプリント基板上に制御回路を作成した。これらを、自動倉庫用安全システムの制御盤内に設置し、操作部の操作ボタンを制御盤面上に設置した。

この構成において、起動時には、起動操作→警報発生→警報検出→オンディレー→起動許可→警報停止の順にオン信号が伝達される。停止時には、停止操作→起動不許可の順にオフ信号が伝達される。

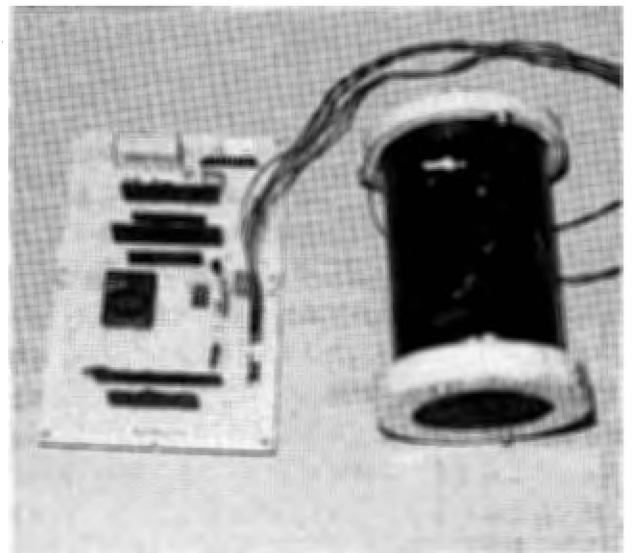


Photo 1 Alarm and control circuit.
警報装置と制御回路

オン信号伝達の最初のステップにより、起動操作に伴い自動的に警報が鳴るという前節の要件①が実現される。

また、オン信号が伝達されることで起動許可が行われる構成とすることで、故障時には起動が許可されないという前節の要件②が実現される。この場合、各信号伝達要素は、誤ってオン信号を出さないフェールセーフなものであることが必要である。

フェールセーフを実現するために、信号処理にはフェールセーフ IC を用いている。また、マイクロフォン（マイク）は音の機械エネルギーを電気エネルギーに変換するムービングコイル型のものを用いているが、これは本質的には発電機であり信号生成に電源を必要としないので、音がないとき電気信号を発生することはない。

Fig. 1において二重線で示した警報発生用の発振器とスピーカーはフェールセーフではないが、これは必ずしもその必要はないためである。すなわち、万一故障して勝手に鳴ったとしても、作業者に危険を知らせるので、それによって事故になるというわけではない。もちろん故障して頻繁に鳴るようだと、人間が警報を信用しなくなり、この意味で警報が無意味になるが、そのような信頼性が低いものはもともとシステムとしては役に立たない。

また、たとえ警報が鳴るとしても、起動させる必要のないときに起動してしまうことは好ましくない。そのため、警報の確認信号と警報発生指令のアンド（論理積）を取ることで、警報の受け入れを起動操作時に限定するようにした。

警報が一定時間鳴り続いてから起動許可を行うという要件③を満たすために、オンディレーを用いて、警報検出部のオン信号を一定時間遅らせて起動許可を出力している。オンディレーは、単に時間を遅らせるだけではなく、一定時間オン信号が継続して初めてオン信号を出力するもので、警報音が途中で途切れる等の場合に起動を阻止するという正常性の判断機能も有する。

要件④を満たすために、低周波数の警報音を用いた。これは、高齢者の聴力の低下は高周波領域において著しく、低周波領域では比較的低下が少ないためである。具体的には、警報発生部の発振器では320Hzの方形波を発生させ、フィルターを通してスピーカーを駆動している。雑音にマスクされにくくするためには、周波数成分は広い方が良いが、方形波はもともと基本周波数以外に高調

波成分を持っているので、方形波を用いた。また、低周波領域の中で320Hzとしたのは、これが音響系の共振周波数であり、他の周波数より大きな音量、マイク出力が得られるためである。これにより、発振器の故障による周波数の変動や別の周波数の騒音に対してはマイク出力が低下してオン信号を出さなくなる。なお、警報の周波数と高齢者の特性の関係については、6.2節で詳しく述べる。

なお、Fig. 1には示していないが、起動操作の入力部にもオンディレーを組み込んである。これは、本特別研究の第1報¹⁾に示したように、一定時間押し続けることで起動時の操作意志を確認するためである。

5. 性能の確認と評価

5.1 基本的性能の確認

この回路の起動及び停止操作時の信号波形を Fig. 2 に示す。この信号波形に従って、装置の機能を以下に述べる。

まず、起動信号は、自己保持され（自己保持1）、この信号によって警報を発生させる。自己保持するのは、人間が起動ボタンから手を離しても警報を鳴り続けさせるためである。自己保持機能を持たせないで、操作者が起動操作を継続するという方式も考えられるが、警報の持続時間は退避に必要な時間以上とする必要があり、大きな機械ではその時間が長くなるので、その間ボタンを押し続けるのは、操作者に負担になると考えられる。

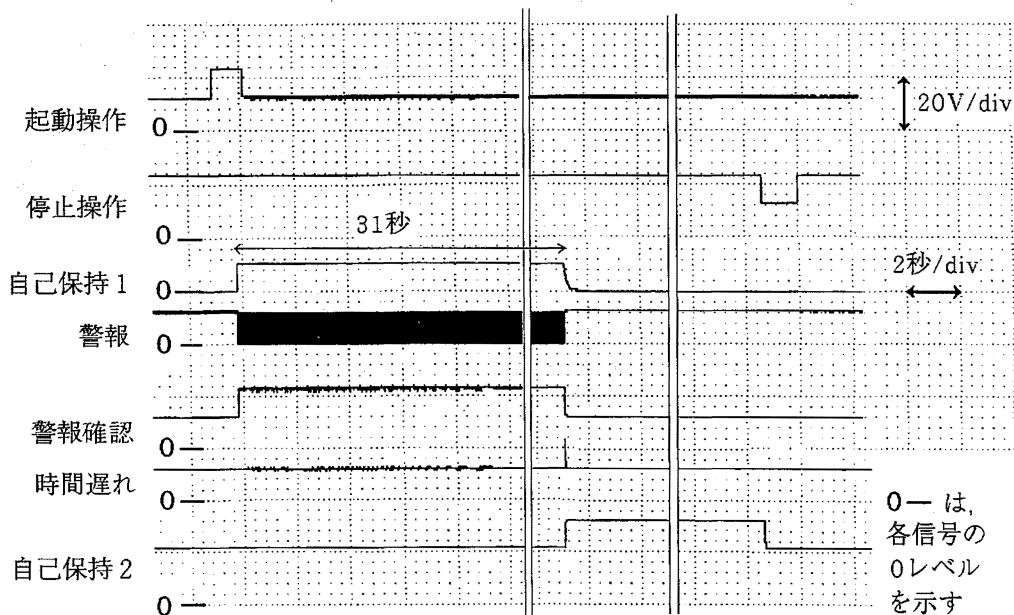
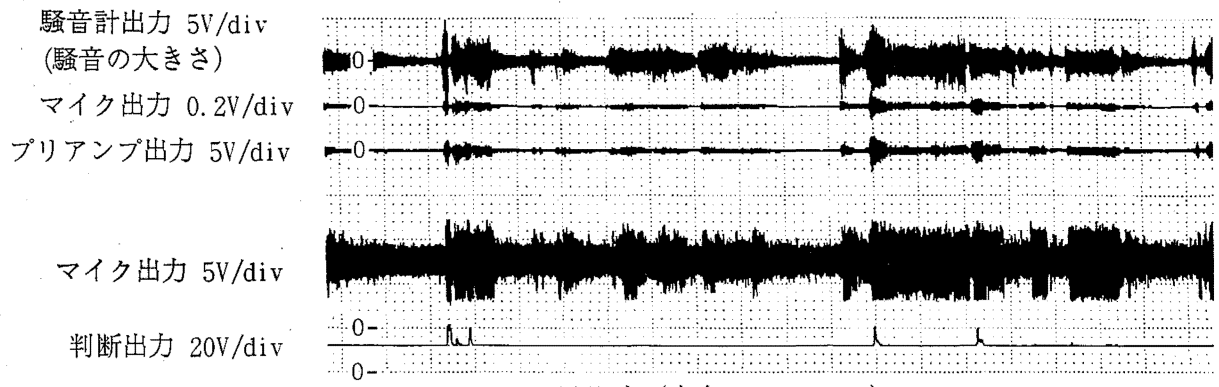
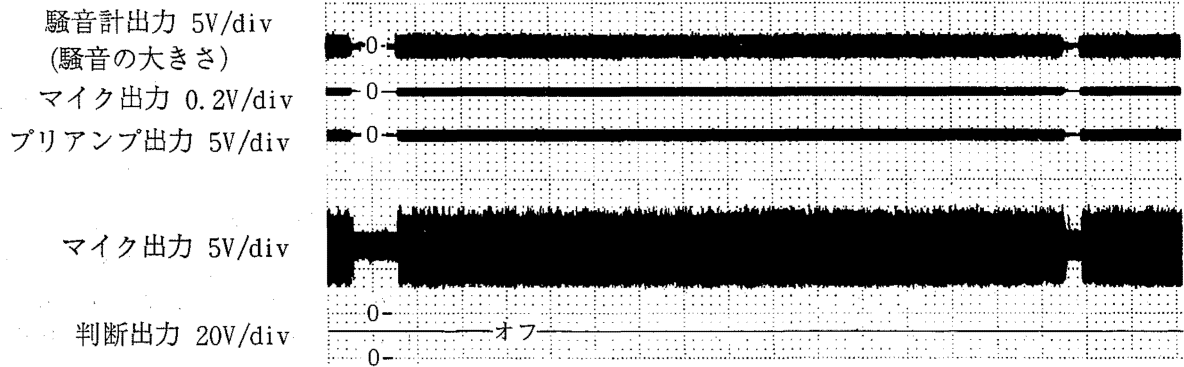


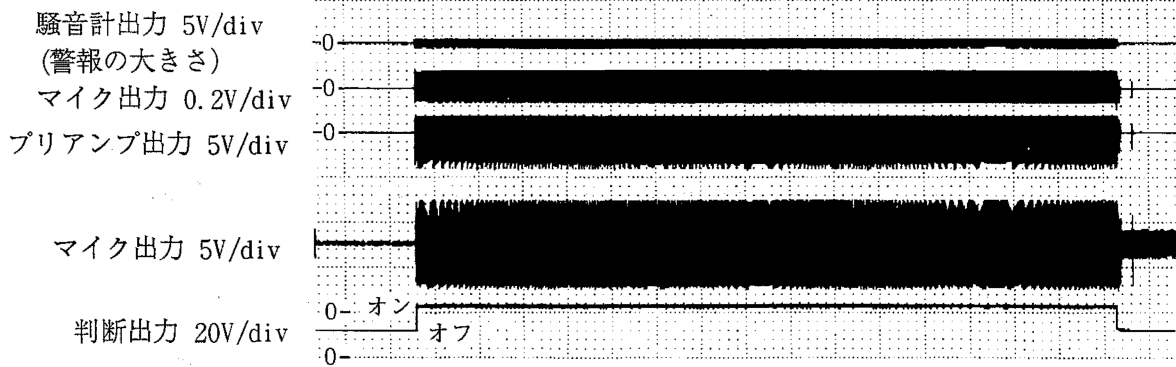
Fig. 2 Output signals of control circuit.
制御回路の出力信号



(a) 騒音 (音楽; 95~108dB)



(b) 騒音 (警報; 100dB)



(c) 警報発生時 (95dB)

Fig. 3 Outputs of the microphone and the amplifier in noisy circumstances.
騒音環境下における警報検出部出力

警報音はマイクで検出され、プリアンプ及びアンプで増幅され閾値判定される。このプリアンプ、アンプ、閾値判定の機能は一つのフェールセーフ IC 内にまとめられている。この閾値判定出力と警報発生時の自己保持信号の AND を取ったものが警報の確認信号となる。この確認信号をオンディレーに入力する。ここで、一定時間確認信号が継続すれば、オン信号が発生し次の自己保持回路に入力される（自己保持 2）。

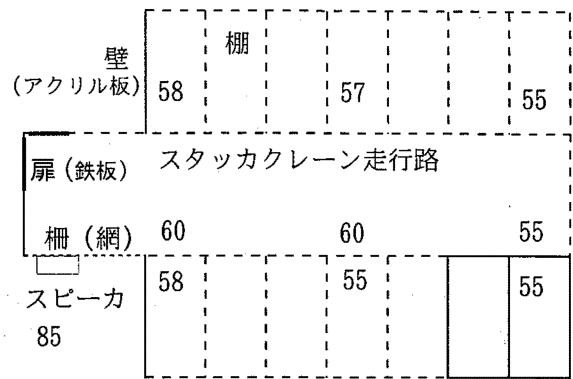
この自己保持は、運転許可を与え続けるためのもので、この信号の立ち上がりで起動操作のリセットを行い、警報音を停止させる。なお、何かの異常により起動許可が得られない場合には、警報が鳴り続けるので、人間の停止操作によりリセットしなくてはならない。

5.2 フェールセーフ性の確認

第 4 節では、マイクと増幅器はフェールセーフであることを述べたが、警報検出がフェールセーフであるためには、実はこれだけでは十分でない。例えば、警報発生箇所が騒音環境下であれば、マイクは騒音を拾い、警報が鳴ってようがいまいが信号を出力する。一般にフェールセーフ化のためには、オン信号は高エネルギー状態で伝達し、このエネルギーはノイズ等の外乱より大きい必要がある。音を信号として用いる場合には、外界の騒音が外乱として入るのでこの条件を満たさない場合があり得る。本装置においては、スピーカーとマイクを同一の共鳴箱に取り付けて信号の伝達効率を高めることで対処しているが、警報（信号）が騒音（ノイズ）より有意に大きいことを確認するために、次の測定を行った。

警報発生時及び騒音下でのマイク出力、プリアンプ出力、アンプ出力、閾値判定出力を測定した。プリアンプ、アンプ、閾値判定の三者は、Fig. 1 に増幅器と示した部分で、単一のフェールセーフ IC に組み込まれているが、個別に出力端子を有している。騒音としては、ラジオの放送（音楽、会話）と最悪の場合として警報を録音したものを増幅してスピーカーから出力したものをを用いた。その測定結果の一例を Fig. 3 (a) (b) に示す。騒音の大きさはマイクと並べた騒音計で測定した。また、警報発生時の測定結果も合わせて Fig. 3 (c) に示す。警報音の大きさは、スピーカーとマイクの距離 (100mm) だけスピーカーと騒音計の距離同じにして測定した。

測定結果から明らかなように、外部からの騒音によってマイク、増幅器等は信号出力を生じているが、これは判定出力に示されるように、100dB では有意な音が入力したとは判定されない。しかし、外からの音でも 105dB を越えると、信号と判定されるようになる。騒音計をスピーカーとマイクの距離 (100mm) だけスピーカーから



実線部は壁、点線部 - - は柱と梁、破線部 --- は金網
数値は警報音の大きさ、単位はdB

Fig. 4 Sound levels of the alarm at various positions in the automatic warehouse.

自動倉庫内部における警報音の大きさ

離れた場合の音圧は 95dB であるので、共鳴用の円筒は 10dB 分効率良く音を伝えていることになる。

5.3 警報の到達範囲の確認

警報音が自動倉庫内部に伝達されるとき倉庫内部の各箇所での音量を、騒音計を用いて測定した。測定箇所は、スピーカーが設置してある制御盤の手前約 1m のところ、自動倉庫の棚のうち、その最も近い棚 (1 番目の棚) の上、最も遠い棚 (7 番目の棚) の上、その中間の棚 (4 番目の棚) の上、及び測定を行った各棚の前の走行路上である。測定結果を Fig. 4 に示す。数値的には暗騒音に近い場所もあるが、そこにおいても感覚的には明瞭に警報音が聞こえる。この理由は 2 つ考えられ、1 つは騒音と警報音の周波数の違いであり、もう 1 つは騒音のような常時変動する音と警報音のような定常的な音の形態の違いである。

なお、自動倉庫は柱とパレット (棚) の支えから成り、荷物を除いては音を遮るものはないが、一番目の棚の手前には、安全柵としてアクリル板を取りつけてある。図の下側の棚の 6 番目と 7 番目は人が接近するための領域となっており、安全防護のために壁と扉で囲われている。また、スタッカクレーン走行路の左端に警報装置を取りつけている安全柵があるが、これは網状なので音の通過を妨げない。

6. 考 察

6.1 警報確認のフェールセーフ性の検討

5.2 節で示しように、今回開発した警報検出部は、騒

音によってオン信号が出る場合がある。しかし、これがシステムにとって欠陥というわけではない。

基本的に、警報音より騒音の方が大きい環境においては警報が聞き取れないのでそもそも警報が無意味である。従って、警報が意味を持つためには、警報音の方が騒音より音が大きいことが必要であり、この音の大きさに対してオン信号を出力するように増幅器の増幅率、閾値判定のレベル等を調整しておけば、警報が鳴らないのに騒音によりオン信号が出ることはない。また、一般に騒音は必ずしも同一の騒音レベルが継続するわけではなく時によって大きくなったり小さくなったりする。例えば、全般的な騒音レベルが低くても、ある機械が動き出すときなどに一時的に騒音レベルが高くなることもある。しかし、このような場合には、Fig. 3に見られるように、オン信号が出るのはごく短い時間に限られる。警報検出部の出力は、既に述べたようにオンディレーの入力となるので、一定時間継続しないオン信号は無視される。

さらに、本報で用いたようにマイクと警報用スピーカーを同一の共鳴箱に組み込むことや、警報の周波数を共鳴箱の共鳴周波数とすることで、他の周波数の音の影響を低減できる。

以上のように、騒音でオン信号を出力したとしてもそれが警報音より大きい場合には、フェールセーフ性の欠陥とはならない。

6.2 警報の音量と周波数の検討

これは、そもそも警報という手段に内在する問題であるが、警報が鳴ったということが必ずしも危険領域中にいる者に聞こえたということを意味しない。例えば、騒音で警報音が覆い隠される可能性や、聴力が低下している高齢者においては、そもそも、警報音が聞こえなかったり、警報音を聞き逃すという可能性がある。これらに対しては、音量と周波数の2つの点から検討を加えた。

警報音の周波数については、既に述べたように、高齢者に聞こえやすいように低周波のものをを用いた。これについて補足を加える。Fig. 5に若年者と高齢者の等ラウドネス曲線を示す²⁾。これは、同じ音の大きさに聞こえる音圧を各周波数ごとにプロットしたものである。感覚的な音の大きさは物理的な音圧とは一致せず、Fig. 5に見られるように400Hz前後と4kHz前後の周波数の音が一番敏感である。若年者では、特に4kHz前後の音に敏感であるが、高齢者では高い周波数の音が聞こえ難くなり、両者の差はあまりなくなる。本報では高齢者に不利とならない400Hz前後の警報音を用いた。

一般に、自動倉庫内部は大きな音を出す機械もなく相対的に騒音も小さいと思われる。特に起動前には、唯一

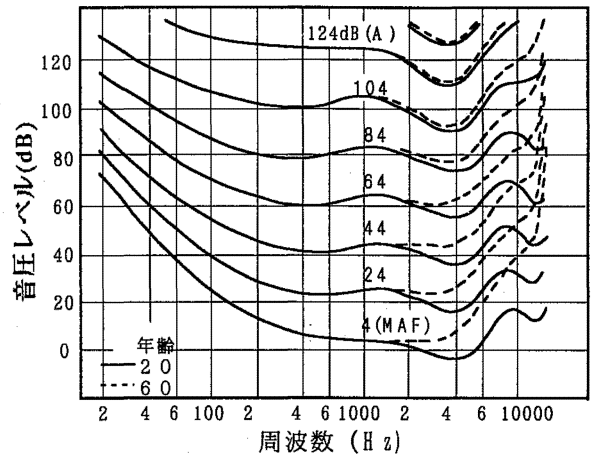


Fig. 5 Equal loudness curve.
等ラウドネス曲線

の騒音源であるスタッククレーンも停止しているので騒音も小さいと思われる。しかし、起動時の警報を必要とするのは自動倉庫に限らないし、自動倉庫でも加工機械に近接して設置される場合には、騒音を受ける場合もあり得る。このような場合には、騒音に対する配慮も必要となる。

騒音の大きい環境では、弁別性を向上させるために今回のものと異なる警報音を用いることが必要となる場合もある。すなわち、騒音の周波数分析を行い、騒音の低周波成分の方が多い場合には、警報に高周波の音を用いることも必要となる³⁾。

また、音量に関連して、スピーカーの設置位置についても検討が必要である。警報音を球面波と仮定すると、単位面積当たりの音のエネルギーは距離の2乗に比例して減衰するので、距離 r の位置での音の大きさは、基準の距離 r_0 での音の大きさに較べて、 $20 \log_{10}(r/r_0)$ だけ減衰する。従って、音源から10mのところでは、1mのところより20dB小さくなる。このことを考えると、スピーカーは制御盤の中ではなく自動倉庫内部に一個ないし複数個設置する必要がある。なお、複数組設置する場合には、警報確認の出力はすべての警報出力のアンドでみなければならないが、これをフェールセーフに行うことは容易である。

6.3 警報の継続時間の検討

起動操作を行ってから実際に機械が起動されるまでの時間、すなわち警報が鳴り続ける時間は、長めに設定する必要がある。これは、高齢者に機敏な退避行動を期待することは困難であると考えられるからである。

危険領域外への退避には、退出口から最も離れた位置からの時間を見込む必要がある。さらに、緊急時の退避

Table 2 Walking speed of Japanese⁵⁾
日本人男女の平均歩行速度

年齢 (歳)	男 性		女 性	
	歩行速度 (m/min)	例数	歩行速度 (m/min)	例数
10~14	66.5(12.1)	26	79.1(9.8)	34
15~19	91.6(13.3)	39	72.0(8.1)	58
20~24	87.6(9.9)	82	74.1(12.7)	144
25~29	85.2(10.4)	92	74.2(9.4)	95
30~34	95.5(13.6)	58	72.2(9.3)	66
35~39	85.3(13.5)	42	67.2(8.6)	40
40~44	82.3(9.1)	42	71.0(9.1)	41
45~49	82.5(12.2)	51	78.6(15.1)	72
50~54	77.8(10.5)	63	67.2(10.5)	49
55~59	72.6(8.8)	82	63.5(6.4)	42
60~64	70.1(9.7)	54	59.2(8.1)	44
65~69	63.8(7.7)	57	59.8(8.3)	48
70~74	60.7(7.8)	32	55.0(6.7)	32
75~79	54.5(6.0)	12	50.7(5.0)	18

(注) 平均値. () 内は標準偏差

行動として、人間にはたとえ遠回りであろうとも通って来た経路や普段通行している経路などの自分がよく知っている経路をたどろう一般的特性があり⁴⁾、最短のコースをとることは期待できない。従って、退出口が複数ある場合にも、一番近い退出口に行くことは期待すべきではない。

また、退避行動における歩行速度も、緊急時であるから敏速に行動すると考えることは誤りであろう。機械の危険領域内部は主に機械が動作する領域であるので、一般に足場が悪いと考えられ、また、退避時に走ったりすると転んでかえって遅くなるおそれもある。従って、退避は高齢者がゆっくり歩く速度を基本にして、さらに足場の悪い分を割引いて考えるべきであろう。例えば、本特別研究において用いた自動倉庫は小規模で全長が約15mしかないが、スタックレーンが走行路をふさぐので通行が困難であり、一番奥から退出口まで普通に歩くのに、筆者の場合20秒以上要する。そのうちスタックレーンの前後5mの通行に10秒以上かかったが、この区間の平均速度が0.5m/秒、その他の区間の平均速度が1m/秒という計算になる。ちなみに、筆者の屋外の道路での通常の歩行速度は、筆者と同年代(40歳台)の平均歩行速度

と同じ1.4m/秒であり、1.0m/秒という歩行速度は、60歳台の女性のものである(Table 2参照)。なお、1.4m/秒という歩行速度は筆者の感じではどちらかといえば急ぎ足である。

退避行動としては、危険領域外への退避の他、非常停止装置を働かせて起動を阻止する等が考えられる。大型のシステムでは警報時間を短くするために、危険領域内部に非常停止装置を設置する等の安全対策を行うことが必要となろう。

7. まとめ

従来からも機械の起動時に警報を出すことは行われていたが、これは、必ずしも起動操作と連動しているわけでもなく、その運用はオペレータに依存することも多かった。また、警報が付いていても故障で聞こえないということも少なくなく、そのため、事故となることもあった。本研究においては、警報が鳴ることを確認して起動する起動制御装置を開発した。本装置の特徴は、

1. 操作者のミスを考慮したフルプルーフ化
2. 機器の故障に配慮したフェールセーフ化

である。

また、高齢者職場に適用する場合に考慮すべき点について考察した。すなわち、退避に要する時間を確保するための起動前の警報継続時間や、警報の音源の配置、警報音の音量について検討すべき点を示した。

本装置は、起動時の安全確認の失敗による事故の防止に役にたつものと期待される。

参考文献

- 1) 深谷潔・池田博康・梅崎重夫・清水尚憲, 高齢者の特性を考慮した操作装置の改善に関する研究, 産業安全研究所特別研究報告, RIIS-SRR-NO.13, 57~70 (1993).
- 2) Robinson, ISO/TC-43 (Secretariat-32), (1955).
- 3) 江川義之, 用途別警告音の選定, 産業安全研究所特別研究報告, RIIS-SRR-86, NO.1, 85~102 (1986).
- 4) 安倍北夫, 災害心理学序説, 91~94, サイエンス社, (1982).
- 5) 阿久津邦男, 歩行の科学, 56~57, 不味堂出版, (1975).

(平成8年3月15日受理)