

6. 高齢者の特性を考慮した操作装置の改善に関する研究

深谷 潔*, 池田博康*, 梅崎重夫*, 清水尚憲*

6. Improvement of Operation Devices Suitable for Aged Workers

by Kiyoshi FUKAYA*, Hiroyasu IKEDA*, Shigeo UMEZAKI*
and Syoken SHIMIZU*

Abstract; The most important requirement for an operation of aged workers was the realization of safety of work near the dangerous movable parts of machinery. In the present situation, when many aged workers are engaged in such work, they are forced to use complicated or highly computerized operation devices, and they feel difficulty and anxiety for this operation. Therefore, improvement of operation devices which is suitable for aged workers should be required.

The following proposals were submitted to satisfy above mentioned requirements.

- 1) An operation device is needed to have a "confirmation function for intention" to confirm starting operation by aged workers.
- 2) This confirmation system generates a permission signal for motion of machinery only when an operation signal and a confirmation signal are surely generated.
- 3) Confirmation signal can be generated by methods of "window level judgement", "multiplication" or "key operation".
- 4) Fail-safe control circuit is necessitated to avoid sudden movement of automated machinery.

Several types of operation devices which have above mentioned characteristics were developed or improved so that aged workers can work safely near the dangerous movable parts of machinery.

Devices developed or improved in this research are described as follows;

[A] "ON delay switch" generates the ON signal (permission signal) only when aged workers have kept on pushing it over a certain period.

[B] "OFF triggered start switch" generates the ON signal only when aged workers release it after they have kept on pushing it over a certain period.

[C] "Three position switch" generates the ON signal only when aged workers push it with their appropriate force, that is, the stroke should not be too short nor too long.

[D] "Both hands control system" generates the ON signal only when aged workers push two buttons by both hands at the same time. Strictly speaking, time difference of both hands operation were examined to be under allowable time difference (0.1 sec) by the fail-safe simultaneity discrimination circuit.

Keywords; Safety, Safety Control, Operation, Operation Device, Switch, Aged worker

6.1 緒 言

我国が本格的な高齢化社会を迎えると共に、高齢者の作業特性に適合した機器の開発¹⁾が、産業安全の分野でも極めて重要な課題となってきた。特に、高齢者では、複雑な操作装置の操作に対して苦手意識を感じる者が多く¹⁾、この意味からも操作装置の適正化を図ることが重要と考えられる。

従来の操作装置に関する研究では、操作性の向上を主眼に置いた研究が多い。これらの研究成果は、各種の基準・規格²⁾等にまとめられ、一般に広く普及している。しかし、筆者らが行った調査(補足1参照)によれば、高齢者では、①機械の危険な可動部に近接して行う作業(危険点近接作業)を安全に行うための機能や、②機械停止後の復旧操作を容易化するための機能等に対する要望が強かった。

換言すれば、高齢者向けの操作装置では、様々な操作性向上の手段を設けるよりは、まず、上記①、②の機能を確実に満足できる装置を構成すべきと考えられる。このうち、本研究では、上記①の機能を満足できる操作装置の構成について検討を行った。

6.2 操作の意義と誤動作

6.2.1 意志伝達行為と操作

「操作」とは、人間の意志を機械側へ伝達するため

に、一定の手順に基づいて行われる人間側の意志伝達行為と考えられる。この行為の過程で、人間が直接働きかける対象が操作装置であり、人間側はこの装置を介して機械側が必要とする情報を伝達し、機械側はこのときの操作入力から操作信号を生成し、これに基づいて機械を動作させる。これは、Fig. 6.1のようなモデルで示すことができる。

6.2.2 誤操作の発生過程

上記のモデルでは、目的の設定→判断→操作行為→情報の把握……という閉ループが、人間側の意志伝達過程を表すと考えられる。この過程における誤りには、次の3つの形態が認められる。

第一は、判断過程Pで発生する誤りである。これは、人間による判断に誤りが生じたために、不適切な操作装置の操作が行われる場合である。第二は、情報把握(認知)の過程Rで発生する誤りである。これは、人間による情報獲得行為に何らかの不都合があったために、人間が誤った判断に導かれて、不適切な操作が行われる場合である。

これに対し、第三の形態は、操作行為Qで発生する誤りである。これは、操作入力時に何らかの不都合が生じて人間の意志に反する操作装置の操作が行われる場合であり、たとえば、身体が誤って起動ボタンに触れたために、機械を起動してしまった場合などはこれに相当する。

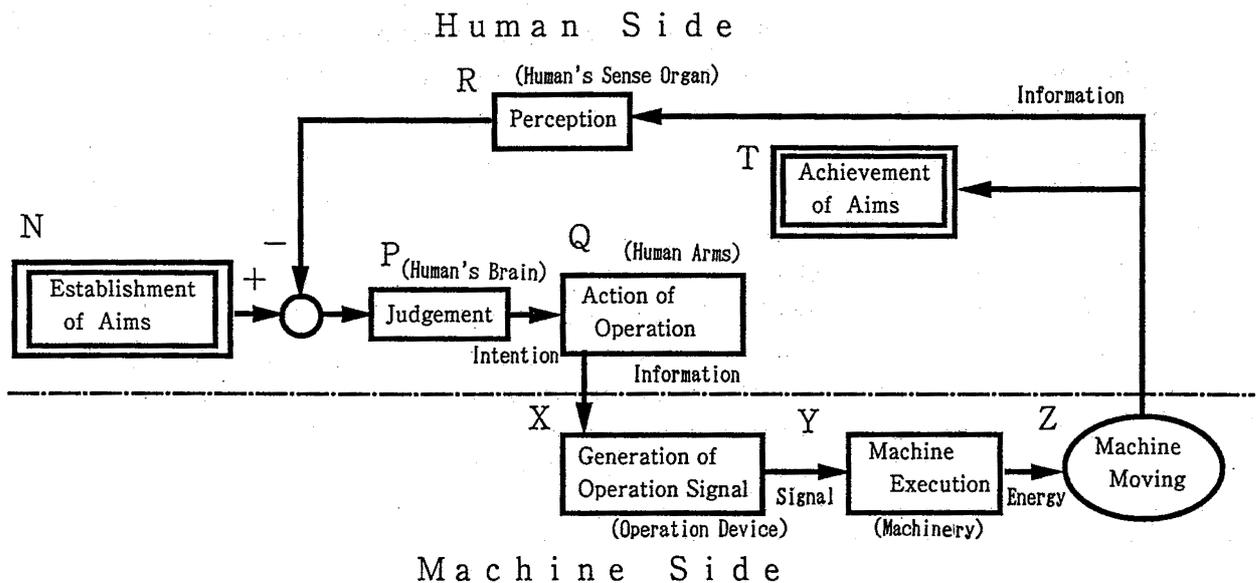


Fig. 6.1 Transmission process of intention in operation
操作における意志の伝達過程

Table 6.1 Examples of accidents in operation adjacent to danger point
危険点近接作業における災害事例

区分	災害事例	発生過程
誤操作	<ul style="list-style-type: none"> ○ 可動部が複雑な動きをするため、次の動きを正確に判断出来ず、見当違いの方向へ動かし、危害を受けた。 ○ 人体と離れた位置にある可動部を動かすつもりが、誤って目の前の可動部を動かしてしまい、機械に挟まれた。 ○ 機械を起動したところ、操作者から見えない位置に人間が隠れており、その人間が機械に挟まれた。 ○ 手が滑って起動ボタンに触れたため、機械が不意に起動し、危害を受けた。 	判断 判断, 認知, 操作 認知 操作
誤動作	<ul style="list-style-type: none"> ○ 機械の故障を修復したところ、連動信号が自動的に送信され、他の機械が急に動き出し、危害を受けた。 ○ 制御回路の故障により機械が不意作動した。 ○ 操作スイッチの溶着により、止めるべき機械が止まらなくなった。 	連動異常 故障 溶着

従来の操作装置に関する研究では、上記三つの誤りを広く「誤操作」として捉える傾向がある。しかし、筆者らの考えでは、誤った認知・判断に基づいて(操作入力としては)正しい操作を行ったものと、操作行為そのものに誤りのあったものとは、厳格に区別して扱うべきと考える。そこで、以後の議論では、第一から第三の場合を「広義の誤操作」、第三の場合を「狭義の誤操作」と呼ぶことにする。

6.2.3 危険点近接作業における誤操作

危険点近接作業では、災害の原因は機械の不意作動として扱われる場合が多い。この不意作動の原因となる誤操作は、今回の調査によれば、Table 6.1に示すような形態が多いことが分かった。

そこで、本研究では、このような災害を防止または減少させるために、安全対策の基本³⁾(危険状態の除去→危険状態に対する防護→防護できない場合の災害可能性の減少の順に対策をとる)に基づき、次のような対策を提案する。

《A：危険状態の除去》

広義の誤操作が生じても災害に至ることのないように、可動部の持つエネルギーを人体に危害を及ぼさない程度の大きさに制限する。なお、このときの移動速度は、高齢化による動体視力の低下等を考慮し設定する。

《B：危険状態に対する防護》

上記の対策が困難な場合、可動部に接触式の人体検出センサを設けて、人体がセンサに接触したときは、直ちに可動部を停止させる。

《C：防護できない場合の災害可能性の減少》

上記のような対策も困難である場合、高齢者の操作時には可動部は一方向だけ動き、同時に複数の方向には動作しないようにする。また、ある可動部の動作中には、周辺の可動部はすべて停止させる。これは、高齢者の注意力を一点に集中させて、広義の誤操作を減少させるためである。

《D：狭義の誤操作防止対策》

[C]の対策をとる場合、少なくとも狭義の誤操作を防止するために、操作スイッチ類による起動操作が高齢者の確かな意志に基づいて行われることと確認するシステムを設ける。

以上のうち、[A]～[C]は、広義の誤操作を対象とした問題であり、対象とする機械が特定できなければ、安全対策を一義的に規定できない。

これに対し、[D]は、狭義の誤操作を対象とした問題であり、具体的対象を操作スイッチ類の意志確認システムに限定できる。そこで、本研究では、危険点近接作業を対象に、まず、操作スイッチ類の意志確認システムについて検討を行った。

6.3 危険点近接作業用の意志確認システムの構成

6.3.1 誤操作防止手段の構成

意志確認システムでは、高齢者による操作入力は電気信号に置き換えて処理される。この信号は、高齢者の確かな意志に基づいて生じたのかもしれないし、狭義の誤操作によって生じたのかもしれない。これらは、事実上、区別できない。

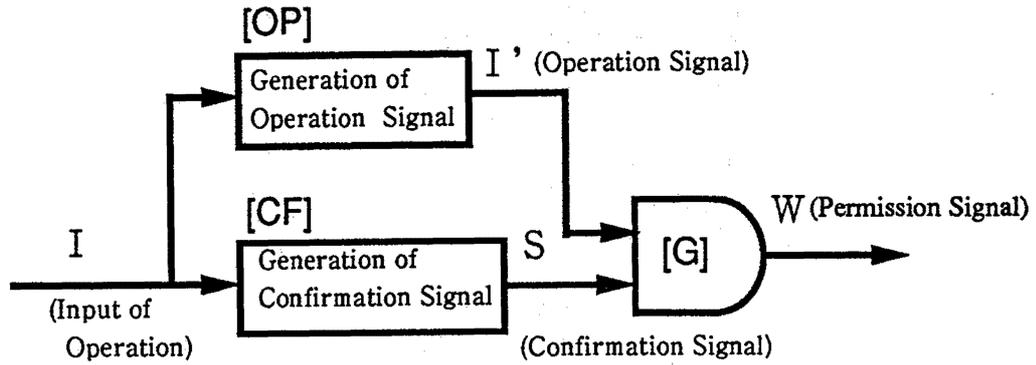


Fig. 6.2 Basic constitution of confirmation system of intention
意志確認システムの基本構成

Table 6.2 Confirmation methods of operator's intention
操作意志の確認方式

No	Methods	Comments	Examples
1	Time window Space window	<ul style="list-style-type: none"> ○ give upper and lower limits on operation time ○ give upper and lower limits on operation force, stroke, etc 	<ul style="list-style-type: none"> ○ ON delay switch ○ OFF start switch ○ Three position switch
2	Double Repeat	<ul style="list-style-type: none"> ○ give command doubly ○ repeat or continue command 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Both hands simultaneity control ○ Enable switch
3	Key operation	<ul style="list-style-type: none"> ○ give special signal 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Interlocking key

そこで、上記の電気信号（操作信号と呼ぶ）とは別に、操作が人間の確かな意志に基づいて行われていることを確認するための信号（確認信号）を生成する機能をこのシステムに持たせ、この確認信号と操作信号が共に生成しているときに限り、機械の起動を許可する信号（許可信号）を生成するようにした。

Fig. 6.2 に、意志確認システムの構成を示す。このシステムでは、操作入力 i は、操作信号の生成要素 [OP] と確認信号の生成要素 [CF] に入力し、各々の要素から操作信号 i' と確認信号 s が生成する。そして、この 2 つの信号が共に生成しているとき論理積判断要素 (AND ゲート) [G] が判断したときに、許可信号 w が生成する。

いま、この関係を論理的に示すために、 I を操作入力を意味する論理変数とし、入力ありを 1、なしを 0 とする。また、 I' を操作信号、 S を確認信号、 W を許可信号の生成を意味する論理変数とし、生成ありを 1、なしを 0 とすれば、以上の関係は、次式で与えら

れる。

$$I' = FOP(I) \quad (6-1)$$

$$S = FCF(I) \quad (6-2)$$

$$W = I' \cdot S \quad (6-3)$$

ただし、 $FOP(I)$ と $FCF(I)$ は、 I' と S が I の関数であることを意味する。また、「 \cdot 」は論理積を意味する記号である。

実際の意志確認システムでは、要素 [CF] の性能によって、システム全体の確実性が左右される。そこで、従来の意志確認システム（これには、ボタンを埋頭形としたり、ボタンにカバーを設けるなどの方法がある）と比較して確実性の高いシステムを構成するために、Table 6.2 に示す方式を基礎として、要素 [CF] を構成することにした。ここで、各方式の特徴を述べると、次のようになる。

Table 6.3 Methods to protect unexpected movement caused by malfunctions
誤動作防止の方法

No	Malfunctions	Methods	Comments
1	Deposition of switch (Contact Welding)	<ul style="list-style-type: none"> ○ Contactless switch ○ Non-deposition switch ○ detection of contact welding 	<ul style="list-style-type: none"> ○ make switch contactless ○ make switch not to deposit ○ use circuit to detect contact welding
2	Malfunctions of control circuits	<ul style="list-style-type: none"> ○ Fail-safe control circuits 	<ul style="list-style-type: none"> ○ use fail-safe components such as AND-gate, ON/OFF delay and so on

① 窓方式

この方式では、操作信号 i' が時間的または空間的に規定される上限と下限の範囲内に収まっているときに、確認信号 s を生成する。

② 多重化方式

この方式では、同一の操作信号 i' が繰り返し入力するときに、確認信号 s を生成する。

③ キー操作方式

この方式では、操作信号 i' と前後して、あらかじめ定められた特異な信号が入力されたときに、確認信号 s を生成する。

6.3.2 誤動作防止手段の構成

Fig. 6.1 のモデルでは、操作入力→操作信号の生成→機械作業の実行→目的の達成という過程が、機械側の意志伝達過程を表すと考えられる。この過程における誤りには、次の2つの形態が認められる。

第一は、操作入力を基に操作信号を生成する過程での誤りである。これは、操作スイッチ類の溶着等に起因する場合が多い。第二は、操作信号を基に機械出力を生成する過程での誤りであり、主として機械側制御回路の問題に起因する。たとえば、制御回路の故障により動作すべきでない時に機械が動作したり、連動制御回路の設計が不十分なため、外部からの起動信号により、人間による確認行為を待たずに機械が不意作動する場合などは、この誤りに相当する。

上記の誤りは、いずれも、機械側の不都合に起因して生じる誤りであり、人間側の不都合に起因して生じる誤り（誤操作）とは異なる対策が必要になると考えられる。そこで、以後の議論では、機械側の不都合に起因して生じる誤りを「誤動作」と呼び、誤操作と区別して扱うものとする。

実際の意志確認システムでは、要素 [CF] や [G] の

判定回路の故障や、要素 [OP] の操作スイッチ類の溶着等が生じると、意志が存在しないとき、誤って許可信号を生成しないとも限らない。

そこで、これを防止するために、Table 6.3 に示す方法を利用して、要素 [OP], [G] を構成した。ここで、各方法の特徴を述べると次のようになる。

① 溶着防止

要素 [OP] で使用される操作スイッチ類の溶着を防止するために、無接点化、非溶着化、溶着検出回路等の適用を図る。

② 制御回路のフェールセーフ化

要素 [OP], [CF], [G] で使用される AND ゲート、ON/OFF デイレー等の制御素子が、故障時に誤って ON 信号を出力しないように、フェールセーフ化を図る。

6.3.3 三位置スイッチの必要性

これまで、主に論理的立場から、危険点近接作業用意志確認システムの要件を考察してきた。しかし、論理的考察のみでは、上記のシステムで必要とする全ての要件を抽出できるとは限らない。そこで、次に、高齢者を含む被験者に、実際に作業点近接作業を行わせて、残された要件の抽出を試みた。

実験は、被験者が産業用ロボットの手持ち操作装置を操作している間に、マニピュレータを人体に向けて不意に接近させる。そのときの被験者の行動を観察するというものである。この実験の詳細を補足 2 に示す。

実験の結果、被験者は、危険感が増大するに従い、「操作ボタンを押し続ける」→「操作ボタンを離す」→「非常停止ボタンを押す」→「操作ボタンを反射的に強く押す」という行動をとることが分かった。特に、最後の行動は、当初は全く想定していなかった



Photo 6.1 Operation equipment develop and improved in this research
本研究で試作・改良した操作装置

ものであったが、検討の結果、親指の屈筋反射という生得的反射⁶⁾に基づくものと推察された。

ここで問題となるのは、上記の反射行動が時として安全上不利な側に作用することである。たとえば、この反射行為は、今回の実験では、ロボットを動かす側の行為に相当するから、危険な事態を生じかねない。

そこで、仮にこのような反射行動が発現した場合にも、災害を生じることのないように、後述する三位置スイッチを持つ操作ボタンを提案する。

6.4 試作・改良した操作装置

6.4.1 試作・改良の対象

以上のように、危険点近接作業用の意志確認システムは、Fig. 6.2のようなシステム構成を持つほかに、操作スイッチ類の溶着や機械側制御回路の故障、あるいは生得的反射行動による操作ボタンの押し込み動作等も考慮した構造でなければならない。

そこで、本研究では、現在広く使われている操作装置について、以上の観点から見直しを行い、これらのうち、ON デイレースイッチと両手操作装置について改良を加えた。また、危険点近接作業用の操作装置として三位置スイッチと OFF 起動スイッチを新たに試作したので、この結果について報告する。なお、試作・改良した操作装置を、Photo 6.1 に示す。

6.4.2 ON デイレースイッチの構成

操作意志を確認する最も簡単な方法は、ON デイ

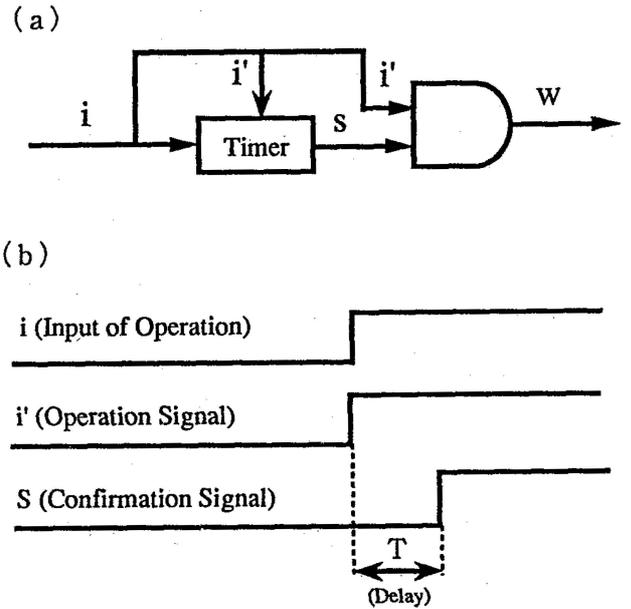


Fig. 6.3 Construction and time-chart of ON delay switch
ON デイレースイッチの構成とタイムチャート

レースイッチを用いることである。この装置では、一定時間以上継続してスイッチを押し続けないと、確認信号を生成しない構成となっている。このような構成とすれば、身体の一部が誤って起動ボタンに触れる等の偶発的な接触は短時間しか継続しないことが多いので、これによって、操作意志の確認とすることができる。この確認方式は、Table 6.2 の時間窓方式に相当する。

Fig. 6.3(a) に、本研究で試作した ON デイレースイッチの基本構成を示す。Fig. 6.3(b) は、タイムチャートである。このスイッチでは、操作信号 i' が時間 T だけ継続したときに限り、確認信号 s を生成する。この時間 T の計測には、従来は市販のタイマー等を利用してしたが、このタイマーの中には故障が生じると、 i' の継続時間が T より短いのに、誤って確認信号 s を生じるものがあった。

そこで、この点を改良するために、故障時には必ず ON 出力が遅れる側となるフェールセーフな ON デイレー回路⁴⁾を本スイッチに適用した。これにより、従来と比較して確実性の高い意志確認システムを構成できる。

6.4.3 OFF 起動スイッチの構成

いま、仮に ON デイレースイッチで、一定時間 T

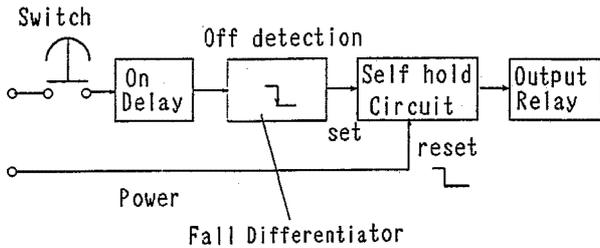


Fig. 6.4 Blockdiagram of OFF start type switch
OFF 起動型スイッチのブロック図

以上継続してスイッチを押し続けた後、スイッチを離さないこと確認信号 s が出力しない構造とすれば、意志確認の確実性が增大すると考えられる。また、このような構成とすれば、スイッチに溶着が生じたときは、確認信号 s を生成しないか、溶着対策としても都合が良い。この機能を持つスイッチが、OFF 起動スイッチである。

Fig. 6.4 に、OFF 起動スイッチの構成を示す。このスイッチは、ボタンを ON してから OFF するときに起動する構成となっており、ON と OFF の両方の発生を確認することで起動スイッチの正常性を確認している。また、起動の意志確認は ON デイレーで行っている。

この方式は、操作スイッチの溶着対策としては有効であるが、使い易さの点では人間に対する表示機能を付加する必要がある。なぜなら、表示機能なしで、機械が動きだしたことでスイッチの動作を判断しなければならない場合、前項で述べたオンデイレー方式のボタンのつもりでこのボタンを操作すると、いつまでもたっても起動できないことになるからである。

6.4.4 三位置スイッチの構成

従来の操作スイッチは、指を押し込む側では ON、指を離す側では OFF となるスイッチ構造（2 位置スイッチ）を持つ。これに対し、三位置スイッチは、操作スイッチの操作力 F が、 $F_{min} \leq F \leq F_{max}$ の範囲にあるときに限りスイッチを ON とし、それ以外の状態、すなわち、スイッチが最大操作力 F_{max} を超えて押されても、操作力 F が最小操作力 F_{min} 以下の力となっても、スイッチを OFF とできる（3 位置スイッチ）構造を持つ。

このような構造とすれば、高齢者の誤操作によってスイッチの押し過ぎが生じたり、生得的反射行動による操作ボタンの押し込み動作等が生じたときでも、誤って機械が起動することはない。そこで、このス

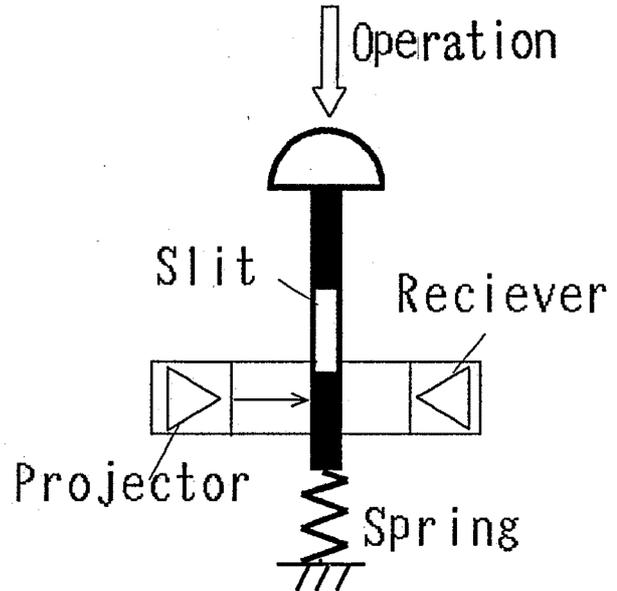


Fig. 6.5 Structure of three position switch
三位置スイッチの構造

イッチを試作して、その効果を見た。

Fig. 6.5 に、試作した三位置スイッチの構成を示す。このスイッチでは、高齢者による操作力 F （操作入力 i ）は、バネの作用によって図のアクチュエータの上下移動量 x に変換される。従って、アクチュエータの適切な位置にスリット穴を開けておけば、力 F の作用によってこれがある程度押し上げられると、投光器からの光がスリット穴を介して受光器に届く。

この受光器出力が操作信号 i' である。次に、この信号 i' をウィンドウ・コンパレータでレベル検定し、予め定められたレベルにあるときに ON 信号を出力する。

これが確認信号 s であり、このときの確認方式は、Table 6.2 の空間窓（ウィンドウ）方式に相当する。

実際の三位置スイッチでは、制御回路の故障により起動意志のないときに、誤って意志ありと判定しないとも限らない。そこで、受光器出力を生成する回路やレベル検定回路（ウィンドウ・コンパレータ）をフェールセーフなものに改良した。なお、このスイッチでは、ON 状態になるのが中間位置であるため、万一接点が溶着しても人間が押し込むことで溶着を解離できる。この点からも、通常の 2 位置スイッチより確実性が高いと考えられる。

6.4.5 両手操作装置

高齢者の操作意志の確認手段として二重化がある。

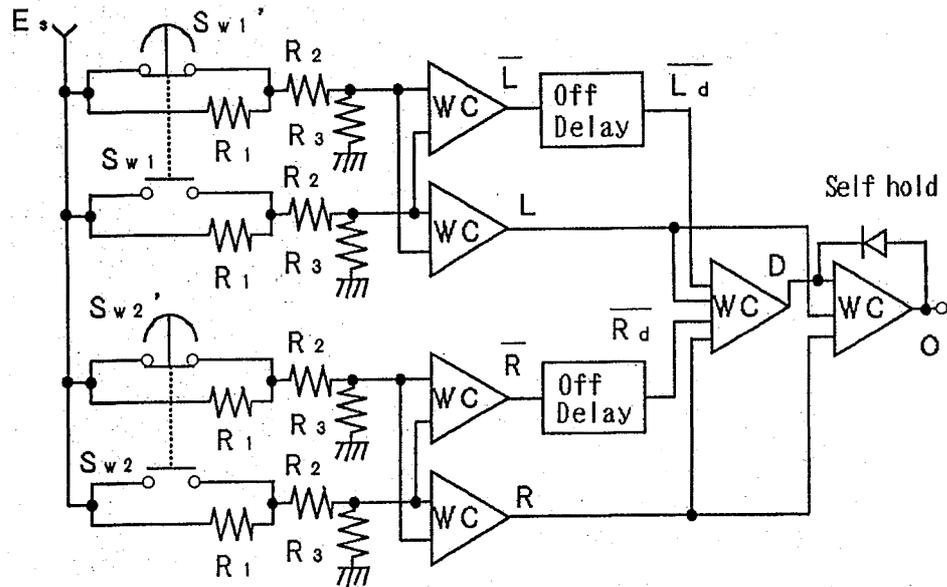


Fig. 6.6 Blockdiagram of both hands start control system having discrimination function of simultaneity
同時性判定機能を持つ両手起動制御系

これは、動作指令と意志確認のための2つの操作を行うことで、はじめて有意な操作と認めるというものである。その一例として両手操作ボタンがある。

両手操作ボタンでは、許可信号出力の条件を、単に「ボタンが2つとも押されていること」として設定すると、片方のボタンを押しっぱなしにしたまま、もう一方のボタンを押すような場合にも、許可信号が発生する。それで構わない場合も少なくないが、これを許容すると一方のボタンを押した状態で固定するという人間の不正行為が行われる可能性がある。そのため、このような構成では、両手で操作しているという保証も得られないし、操作意志の確認もできない。

そこで、高齢者が確かに両手でボタンを操作していることを確認するために、左手と右手が行う操作の同時性を検定するという方法が一般に用いられている。この方式では、右手側の操作信号 i_1' と左手側の操作信号 i_2' の両方が共に生成しているときに限り操作信号 i' が生成され、しかも、 i_1' と i_2' の両方が所要の同時性を持つときに限り、確認信号 s が生成される。従って、これは、Table 6.2 の多重化による方式と時間窓による確認方式を併用したものと考えられる。

以上のような観点からすれば、この方式は非常に現実性が高いと考えられるが、従来、この同時性判定

に使われる回路がフェールセーフでないために、両手で同時に操作していないにもかかわらず、誤って同時に操作していると判定することがあった。そこで、本研究では、同時性をフェールセーフに判定するための回路構成について検討を行った。

いま、両手ボタンが押される時間差が d 以内であるということを論理変数 D で表わすと、

$$D = (L \cdot \bar{L}d) \cdot (R \cdot \bar{R}d) \quad (6-4)$$

となる。ここで、 L, R はボタンを押していることを示す論理変数であり、 $\bar{L}d, \bar{R}d$ はそれを d だけ遅らせて否定したものである。ここでは、 D のオンにより同時性の確認が得られる。

この論理構造を電気的な素子で構成することで、同時性の判定回路ができる。それを、Fig. 6.6 に示す。信号処理には、フェールセーフなウィンドウコンパレータと ON デイレーを用いている。

スイッチには、トランスファー接点のものを用いることによって双対系⁵⁾を構成している。これによって、処理回路をフェールセーフにできる。すなわち、ウィンドウ・コンパレータ (WC) のそれぞれの入力、スイッチのオン状態とオフ状態を検出する W_1, W_2 の2つのウィンドウに対応し、例えば \bar{L} では $Sw1'$ のオンと $Sw1$ のオフを確認している。

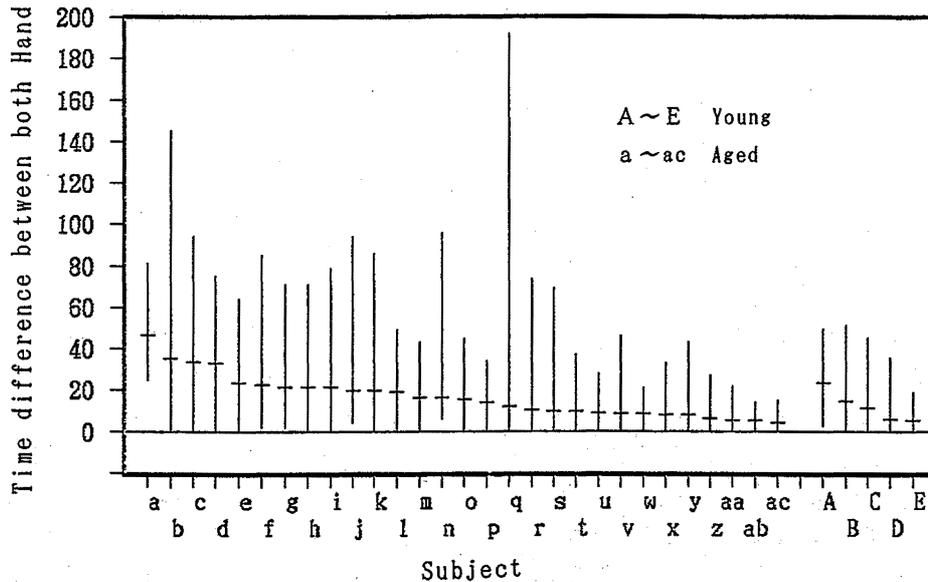


Fig. 6.7 Time difference between both hands manipulation of push buttons
押しボタン両手操作時の時間差

ここで、Sw1等をボタンの状態を示す論理変数とし、それぞれの出力状態を論理変数 L, R で示すと、

$$L = Sw1 \cdot \overline{Sw1'}, \quad \bar{L} = Sw1' \cdot \overline{Sw1} \quad (6-5)$$

$$R = Sw2 \cdot \overline{Sw2'}, \quad \bar{R} = Sw2' \cdot \overline{Sw2} \quad (6-6)$$

となる。ここで、'が付いた記号はトランスファー接点における否定側の動作を表し、また $\overline{\quad}$ は否定を示す。従って、 $\overline{Sw1'}$ 等は二重否定を意味し論理的にはSw1と等価である。ここで、片方のボタンしか操作しない、あるいは、接点溶着によってSw1またはSw2がオフしなかったり、Sw1'またはSw2'の接触不良によりオンしなかったりすると、ウィンドウから外れ L, R とも出力を行わない。

6.5 高齢者適合性の評価

実際の操作装置では、意志確認システムが追加されることによって、高齢者側の負荷は増大する。そこで、今回試作・改良した操作装置のうち、高齢者にとって最も作業負荷が大きいと考えられる両手同時操作装置について、高齢者適合性に関する評価実験を行った。

実験では、両手で同時にボタンを押す場合の2つのボタンがオンする時間の差を計測した。

被験者は、55才以上の高齢者29名と、20~23才の若年者9名である。

実験に使用した両手操作装置には、2つの埋頭型押しボタンスイッチ(径24φ)の中心を300mmだけ離して設置した。そして、高齢者には、この2つのボタンをなるべく同時に押すように指示し、その時間差をカウンターで測定した。これを各人共2秒間隔で100回繰り返した。

各被験者ごとの平均値、最大値、最小値をFig. 6.7に示す。高齢者の平均が17msで、若年者の平均は12msであったが、この両者には、有意の差はない。

以上の結果より、1人で両手同時操作を正常に行うためには、特別な道具を用いない限りは同時性の時間は数十msの時間差で十分である。動作が一般に遅いと言われている高齢者であっても差は平均17msで最大でも180msである。起動操作については、たとえ起動に失敗しても再度起動操作をやり直すことが許されるので、人間側からは、同時性の範囲として100ms以内であれば、十分と思われる。一方、機械側から言ってもスイッチ接点のチャタリングは高々5ms以内と考えられるので、100msあれば十分である。以上の考察から同時操作における同時性の定義を、時間差0.1s以内とすることを提案する。

なお、同時性の時間差については、従来0.2s, 0.5s, 1sのいずれかを選択するという規定⁵⁾があるが、本研究の結果からいえば、少し遅過ぎると考えられる。

6.6 結 言

従来の操作装置に関する研究では、操作性の向上を主眼に置いた研究が多い。しかし、筆者らが行った調査によれば、高齢者では、①機械の危険な可動部に近接して行う作業（危険点近接作業）を安全に行うための機能や、②機械停止後の復旧操作を容易化するための機能等に対する要望が強かった。そこで、本研究では、上記①の要件を満足できる操作装置の構成について検討を行い、次のような結果を得た。

- 1) 誤操作を、高齢者の認知・判断過程での誤りに起因して生じるものと、狭義の操作過程（操作入力時）での誤りに起因して生じるものに区別して扱うことを提案した。ここでは、前者と後者を統括して「広義の誤操作」、後者を「狭義の誤操作」と呼ぶ。
- 2) 狭義の誤操作防止対策として、起動操作が高齢者の確かな意志に基づいて行われていることを確認するシステム（意志確認システム）が必須であることを示した。
- 3) 意志確認システムの基本構成を明らかにした。このシステムでは、高齢者の操作入力に基づいて生成する信号（操作信号）とは別に、操作が高齢者の確かな意志に基づいて行われていることを確認する信号（確認信号）を生成する必要がある。この確認信号の生成方式には、窓（ウィンドウ）方式、多重化方式、キー操作方式等の方法が考えられる。また、システムでは、機械側の故障による誤起動（誤動作と呼ぶ）を防止するために、溶着防止対策や制御回路のフェールセーフ化等を図る必要がある。
- 4) 1)～3)の結論に基づき、高齢者が行う危険点近接作業に有効と考えられる各種の操作装置の試作・改良を行った。試作・改良した装置は、次のものである。

① ON ディレースイッチ

一定時間以上継続してスイッチを押し続けると、確認信号を生成しないスイッチ。従来と比較して確実に高い意志確認システムを構成するために、タイマー回路等のフェールセーフ化を図った。

② OFF 起動スイッチ

一定時間以上継続してスイッチを押し続けた後、スイッチを離さないで、確認信号を生成しないスイッチ。ON ディレースイッチより確実性が高く、また、スイッチに溶着が生じたときは確認信号を

生成しないから、溶着対策としても都合が良い。

③ 三位置スイッチ

必要以上の力で操作スイッチが押されたときは、スイッチをOFFとできる三位置構造を持つ。生得的反射行動（6.3.3節の実験参照）による操作ボタンの押し込み動作等が生じたときに、誤って機械を起動しないために必要である。

④ 両手操作装置

二本の手が同時にボタン操作したときに、機械の起動を許可する装置。従来と比較して確実性の高い意志確認システムを構成するために、同時性判定回路等のフェールセーフ化を図った。

以上、危険点近接作業における狭義の誤操作防止対策について述べたが、誤操作防止対策は、これに留まるものではなく、広義の誤操作防止対策として、可動部の持つエネルギーを人体に危害を及ぼさない程度の大きさに制限したり、可動部に接触式の人体検出センサを設ける等の対策も必要である。本報告では、これらの問題についてまでは、明確な回答を与えることが出来なかったため、今後、第7章あるいは第2報において、稿を改めて検討を行う予定である。

また、今回の報告では、作業頻度の少ない危険点近接作業を対象としたが、高齢者に過大な負担を与えかねない。このときの負担軽減対策については、稿を改めて検討を行う予定である。

謝 辞

本研究で、フェールセーフ同時性判定回路の開発などに協力いただいた日本信号（株）の蓬原弘一氏に深く感謝致します。また、本研究に関する討論に参加いただいた当研究所の杉本主任研究官、糸川主任研究官と、試作・改良に御協力いただいた村田氏に感謝致します。

[補足 1]（高齢者の操作に関する調査）

本研究では、高齢者を対象とした操作装置が具備すべき要件を明らかにするため、以下の調査を行った。

(a) 管理・監督者に対する調査

港湾荷役、自動倉庫等の非定常作業の多い現場へ出向き、現場の管理・監督者を対象に、聞き取り調査を行った。調査方法は、高齢化、操作および安全をテーマに問題点、意見等を自由に述べてもらい、それを記録するという方法をとった。また、これらの現場で使用されている操作装置の配置、操作方法、異

Table 6.4 Problems on operation
操作に関する問題点

No	キーワード	問題点	具体的意見
1	高齢化	1-1 操作システムに対する考え方 1-2 高齢者の作業特性 1-3 高齢者間の個人差	<ul style="list-style-type: none"> ○ 現在 20 才台, 60 才台の 2 世代が一緒に仕事をしているが, 操作システムに対する考え方が各世代で大幅に違う。たとえば, 20 才台では操作の容易性を重視するが, 60 才台では「自分が操作を誤ったり上手に操作できないことによって, 作業が停止したり, 致命的な不良品を作ったり, 甚だしいときは災害を起こして他人に迷惑をかけたりしないか」を重視する。 ○ 作業者の年齢が高齢化しており, 操作時間や応答時間が若年者と比較して長くなる傾向が認められる。また, 複雑な操作方式を持つ新規設備を導入する際に, 事前に教育を実施しても, 高齢者が完全にマスターできない場合がある。さらに, 新規設備の操作に加えて, 安全システムの操作・復旧方法等も習得しなければならないが, 高齢者がついてこれなくなっている。 ○ 高齢者の中には, きわめて容易に新設備の操作に習熟する者がいる一方で, 習熟に著しい困難を伴う者もあり, 個人差が大きい。ワープロや VTR の操作についても, 同様な傾向が認められる。
2	起動操作	2-1 作業の複雑化による誤操作の増大 2-2 制御方式の変化 2-3 その他	<ul style="list-style-type: none"> ○ 作業の複雑化により, 設計意図を理解しないで操作したり, 経験で判断してトラブルが発生した後, やり直すことが多くなった。このため, 誤操作しにくい装置や, 誤操作しても致命的にならない装置が必要である。 ○ 電源を投入したまま, 機械の危険な可動部に近接した状態で, オペレータが対象物を見ながら操作する作業(作業点近接作業)が増加しているが, 誤操作が心配である。 ○ 立体自動倉庫のように可動範囲が広い機械では, 機械の起動時に全可動範囲の安全を確認できるとは限らず, このときの誤操作が心配である。 ○ コンピュータ制御やシーケンサ制御が増えており, これに伴って制御方式や操作方式も複雑化し, たとえば, 操作盤もタッチパネル化したりして, 複雑になっている。 ○ 制御盤等はキーで管理することになっているが, 多台持ち等も増えており, このため現実にはキーを付けっ放しにせざるを得ず, 役にたっていない。 ○ オペレータの多台持ちが増えてきているが, マンマシンシステムが, この作業を適切に遂行する設計にはなっておらず, 問題である。
3	停止操作 非常停止操作	3-1 非常停止操作に対する心理的障壁 3-2 非常停止をかけたことによって生じる問題 3-3 再起動時の問題	<ul style="list-style-type: none"> ○ 作業者は, 出来れば機械を止めたくないという意識が常に働くものであり, また, トラブルを巧みに処理すると恰好が良い, 機械を止めれば残業になるかもしれない, 出荷に間に合わなくなるかもしれない等の理由で, 非常停止操作を躊躇する場合も多い。 ○ 非常停止は原則として必要と考えられるが, 研削盤等のように急停止すると, かえって危険なものがある。このような機械には, 安易に非常停止を設けるべきではない。 ○ ロボットが最高速度で運転している状態で非常停止をかけると, ロボット本体が損傷したり, ワークを放出等の問題がある。 ○ 一度機械を停止させると, 復帰操作が複雑であり, 再起動時に時間がかかるため, 現場では, なかなか停止したまらない。 ○ 機械の操作にプラスして, 安全システムを含めた機械の復旧方式も習得しなければならないが, 年配者だけでなく若年者までもが, これについてこれなくなっている。

No	キーワード	問題点	具体的意見
		3-4 操作機器や制御方式の不統一	<ul style="list-style-type: none"> ○ 購入した機械の非常停止スイッチの配置や形状がバラバラで、現場が混乱している。 ○ 非常停止後の応答が機械によって異なっている。たとえば、非常停止をかけた位置で機械が停止したままとったり、原点位置に戻ったりする。 ○ 安全上、停止すべき機械の範囲について悩んでいる。たとえば、トラブル処理時には動力を遮断する必要があるが、復帰時に、原点復帰等の作業が必要であり、遮断するところを限定したい。
4	非常常作業時の操作	4-1 作業点近接作業の存在 4-2 インタロックの無効化 4-3 連動制御の不適切	<ul style="list-style-type: none"> ○ トラブル処理、保守・点検、補修、調整等の非常常作業では、電源を投入したまま、機械の危険な可動部に近接した状態で行う作業があり、安全上問題となっている。 ○ 非常常作業では、安全装置のインタロックを一時無効にしたり、動作チェックを手動モードにしたりして、危険な作業を行わざるを得ない。 ○ 自動生産システムでは、複数の機械を連動して制御しているが、機械相互の連動制御が適切でないため、トラブル処理中にすぐ横の機械が突然動きだし、災害に遇うことも多い。

注) 本表は、現場作業者と現場管理者の代表的な意見を基に集約したものである。

常時の措置等についても調査した。

(b) 高齢者に対する調査

本特別研究の実験に参加した高齢者約 30 名を対象に、ME 機器を操作する際の困難性等について聞き取り調査を行った。

(c) 機械の設計者に対する調査

機械の設計者約 200 名を対象に、各設計者が安全上解決困難と考えている問題についてアンケート調査を行い、このうち、特に、安全、操作、高齢化に係わるものを集約した。

Table 6.4 に調査結果の概要を示す。この結果から、高齢者では、操作装置に対して次のような要望を持っていることが明らかになった。

第一は、操作装置に対して求める機能が、若年者では操作性を重視するが、高齢者では「自分が操作を誤ったり、上手に操作できないことによって、作業が停止したり、致命的な不良品を作ったり、甚だしいときは災害を起こして他人に迷惑をかけたらしんないか」を重視する。これは、高齢者では、作業にあたりまず自らの責任を確実に果たすことを考えるためである。この傾向は、管理・監督者の熟練労働者で特に強い。このことは、「高齢者の責任感の強さ」という点に重点を置いて、全く新たな観点からシステム設計を考え直す必要があることを意味している。

第二に、最近の傾向として、機械の危険な可動部に近接した状態で行う作業や、操作装置によって修正を繰り返しながら行う作業に高齢者が従事することも多くなっていることが分かった。このような作業では、誤操作が直ちに災害に結びつくため、誤操作しにくい装置や、誤操作しても災害に至ることのない装置が強く要望された。このことは、従来にも増して確実性の高い誤操作防止機能を持つ操作装置の開発が必要であることを意味している。

第三は、作業員一般に、停止のための操作を躊躇または省略する傾向が広く浸透していることである。この傾向は、一般には、停止をすると再起動が「面倒である」ことから生じる問題と考えられている。

しかし、筆者らの今回の調査によれば、高齢者では、複雑な機械の操作に不慣れなため、再起動の方法が不明であったり、若年者と比較して再起動に時間がかかるため、機械を停止せずに作業を行う者も多いことが分かった。従って、この問題を解決するには、仮に高齢者が誤操作しても可能な限り停止を避けることができるようシステムを構成すると共に、万一停止したときにも、システムの復帰を容易化するための機能を具備する必要があると考えられる。

最後に、高齢者では、必要以上に高機能されたシステムよりは、多少機能は劣っても単純明快なシス

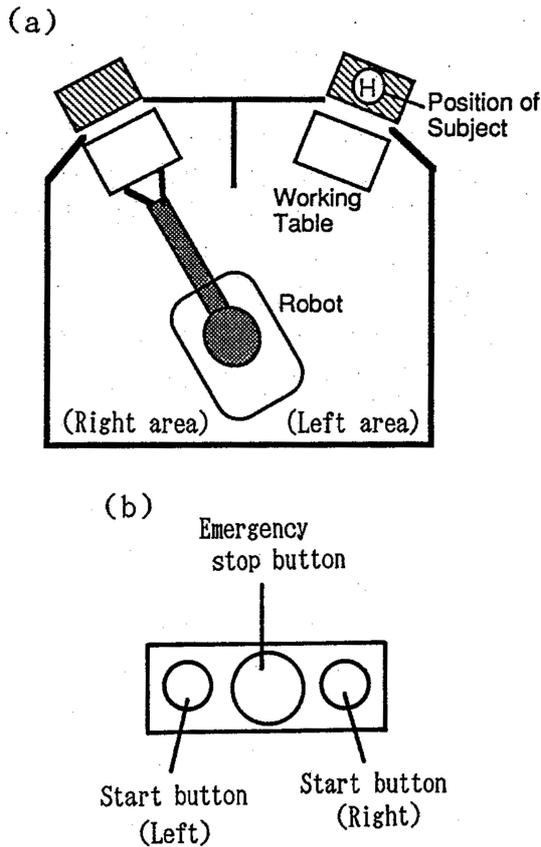


Fig. 6.8 Experiment of robot operation
ロボット操作の実験

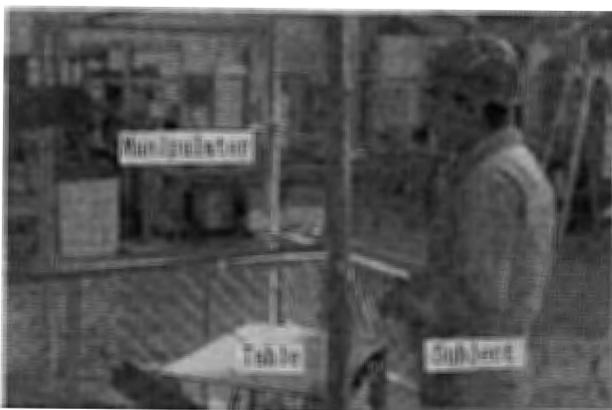


Photo 6.2 A view of experiment of robot operation
ロボット操作の実験

テムを好むことが分かった。この点は、高齢者向けの操作装置を構成する際の重要な鍵となる（なぜなら、この点に関する検討が不十分であると、実際の現場では役に立たないからである）。従って、この点を十分考慮した上で、実際のシステム設計を行う必要がある。

[補足 2] (高齢者の操作実験の方法)

被験者は、60才以上の高齢者16名（内女性2名）と、60才未満の非高齢者9名である。

実験に使用したロボットは、安川電気（株）製の Motoman-L10W（5軸多関節ロボット）である。実験にあたっては、このロボットの作業領域を、Fig. 6.8(a)のように、左右の2領域に区分しておき、被験者が Fig. 6.8(b)の手持ち操作盤の左（右）側にある緑色の起動ボタンを押し続けることによって、マニピュレータは左（右）領域へ移動し、その後は左（右）領域で作業を続ける。また、操作盤の中央には、赤色の非常停止ボタンを設けている。

実験にあたっては、まず、被験者に Fig. 6.8(a)の Hの位置に操作盤を両手で支持した状態で直立してもらう（Photo 6.2 参照）。このとき、被験者の視線は Fig. 6.8(a)の作業台の中央を向くものとする。

次に、被験者に対して、「これからロボット操作の実験をします。まずは、操作に慣れてもらうために練習をします」と指示した後、被験者に何回か起動ボタンを操作させて、左右各々の領域での正常な作業を体得させる。これにより、被験者は、起動ボタンの操作によって、これ以後も同様な作業が行われるであろうとの思いこみを持つことが期待できる。

その後、被験者には、「引き続き緑色の起動ボタンを押し続けて、同じ作業をして下さい。それから、何もないとは思いますが、万一暴走したら困るので、その時は赤色の非常停止ボタンを押して下さい」と指示し、実際には、被験者がボタンを押し初めてから数秒後に、被験者に向けて不意にマニピュレータを急接近させ、このときの操作盤の操作の状況や、腕・手・指等の動きを観察する。なお、マニピュレータの人体への接近状況は、各被験者ごとに、次の3種類の危険度のいずれかを選んで実施した。

危険度 1: 身体の正面 50cm の位置を左から右へ向けて、移動角速度 $90^\circ/s$ で移動する。

危険度 2: 身体に向かい、移動速度 1000m/s で身体の正面から約 20cm の位置まで急接近する。

危険度 3: 上記の危険度 2 の条件下で、マニピュレータは作業台の上にある発泡スチロールを打撃しこれが人体に向けて飛来する。

実験終了後、各被験者が実際に感じた危険感を、「全然驚かなかった」、「少し驚いた」、「非常に驚いた」の中から選択してもらう。

(平成 5 年 10 月 1 日受理)

参考文献

- 1) 高齢者向け ME 機器等の研究開発報告書, 労働省 (高齢者向け ME 機器等の開発に関する研究調整会議) (平成 2 年) .
- 2) たとえば, 野呂, 図説エルゴノミクス, 日本規格協会 (1990) pp, 63-73, G. Salvendy, Handbook of human factors, 同文書院 (1988), JIS B6011 (工作機械の操作方向), JIS C0601 (電気装置のための操作と状態の表示).
- 3) たとえば, 松本, PL (製造物責任) 予防のための製品安全設計ノート (1991), pp. 45-46.
- 4) 糸川・杉本・深谷・江川・梅崎・池田・清水・田嶋・富田, 高齢者向け ME 機器の開発・改善に関する特別研究, 産業安全研究所特別研究報告, RIIS-SRR-90 (1990), pp. 49-52.
- 5) JIS B6015-1989 (工作機械の電気装置, 7.2.6.3).
- 6) 伊藤, 脳と神経の生理学, 培風館 (1991) pp. 112-122, pp. 163, pp. 196-208.