

人と機械が共存する作業環境の安全性を飛躍的に向上させる 積層表示灯の人間工学的考察

高 英夫^{*1} 山本 晃^{*1} 藤本 正司^{*1} 藤谷 繁年^{*1}

Ergonomic Consideration of Indicating Towers to Significantly Improve Safety of Operators in Work Environment

Hideo Taka^{*1}, Akira Yamamoto^{*1}, Masashi Fujimoto^{*1} and Shigetoshi Fujitani^{*1}

Abstract -In HMI (human machine interface) environment, tower lights have the important role to inform operators of the statuses of equipment and systems. Tower lights convey the status such as running, error, or danger, to the operators both visually and aurally with the condition of light (ON/flash) and buzzer sound. Because human is not immune to making mistakes, tower lights must send the information in the way operators can understand correctly. In this paper, we report on the new structure of tower lights that dramatically reduce the false recognition of the status by operators, and also the favorable effect of using the new tower lights in the working environment.

Keywords: LED Indicating Towers , Safety ,

1. はじめに

人と機械が共存する HMI (Human Machine Interface) 環境において、積層表示灯は装置やシステムの運転状態(正常、異常、危険など)等様々な情報を照光部の点灯・点滅やブザー音により作業者に伝達し、作業ミスの削減や安全な作業環境の構築に使用される。積層表示灯は、光と音だけで人に情報を伝える単純な機器なので、照光の状態やブザーの音を人に、より正確に認知されることが、極めて重要な機能である。

われわれは、視認性と音声知覚特性を向上させた新たな構造を持った積層表示灯を開発し、その効果について人間工学的な考察を行った。その効果について報告する。

2. 積層表示灯とは

積層表示灯は、主に作業者に視覚的に情報を伝える照光部のみのタイプや、それに加え聴覚的に情報を伝えるブザー鳴動部の両方を備えたタイプがある。

また、積層表示灯の大きさや設置方法については、図1に示すように設置される装置の大きさや場所に合うように様々なものがあり、ユーザーは、仕様に合わせて選択、使用している。

例えば、大型の装置を使用するような大規模な工場では、遠くからの視認性を良くするために、装置に見合った大きさと比較的高い位置へ設置できるものが選ばれ、小形の装置を使用するような小規模な工場では、比較的

小型で低位置に設置できるものが選ばれる。

積層表示灯の基本構成は、点灯する照光部ユニットの積層により構成されており、その他、必要に応じてブザーユニットが追加される。

照光部ユニットには、赤・黄・青・緑・白色の5色の照光色があり、各色が単独のユニットとして積み重ねられている。これらのユニットを必要な色、積み重ね段数、積み重ねる順番により、装置やシステムの様子を表現することができる。

さらに、点灯・消灯だけでなく、点滅動作をさせることで、色が同じであっても違う意味を持たせ、作業者により強い注意喚起を行う場合もある。

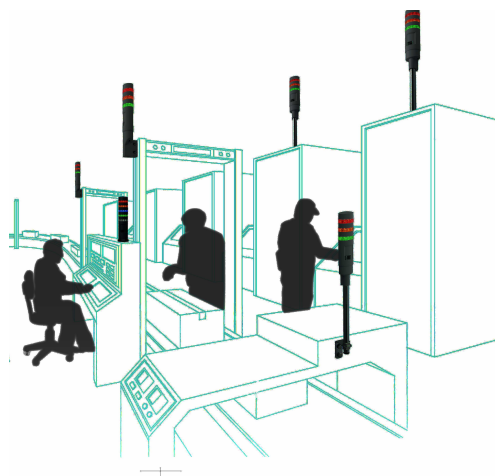


図1 積層表示灯の使用環境の例

Fig.1 Example of the use situation of indicating towers

^{*1}: IDEC 株式会社

^{*1}: IDEC Corporation

表 1 表示灯の色及び機械の状態に関するその意味
(国際電気標準会議 IEC 60073, IEC60204-1 より引用)
table.1 Coding principles for indication devices and actuators
(quoted from International Electric Standard Conference
IEC 60073, IEC 60204-1)

色	意 味	説 明	操作者の行動
赤	非常事態	危険な状態	危険な状態に対処する即時行動
黄	注 意	異常事態 切迫した臨界状態	監視および (または) 介入
緑	正 常	正常な状態	任意
青	義 務 的	操作者の行動を要求する状態を表示	義務的行動
白	中 性	その他の状態 赤・黄・緑・青を使用するのに疑義のある場合いつでも使用してよい	監視

また、FA 環境では表示灯における基本的な照光色に対応する装置状態が、表 1 に示すように国際電気標準会議の IEC 60073 及び IEC 60204-1「表示灯の色及び機械の状態に関するその意味」で規定されている^[1-3]。

前述の通り、積層表示灯は、視覚的に情報を伝える機能を持っているが、作業者が何かの作業に集中していたり、装置の近くにいなかったりする場合もあり、作業者が積層表示灯を常に見ているとは限らない。それを補う為に、聴覚的に情報を伝えることができるブザー音が有効となる。積層表示灯のブザー音には、いくつかの鳴動パターンがあるものが多く、伝達したい情報の種類に応じて使い分けができる。また、装置やシステムの設置場所の広さに応じて、ブザー鳴動の大きさを変える必要があり、積層表示灯には、その音量の可変機能も要求される。

これまで述べてきた通り、積層表示灯は、装置やシステムの作業者に対し視覚的、聴覚的に情報伝達を行う目的で、様々な場所で使用されているが、単純な機能ゆえに、これまであまり新しい形状や機能について深く考察されることがなかった。その結果、従来の積層表示灯の大半が同じ形状、機能を有している。

今回我々は、従来品にとらわれることなく、積層表示灯について、人間工学的観点から研究を行った結果、視認性の向上と作業者の誤認識を減少させるため、照光部ユニットとブザーユニットについて新たな構造の提案を行い、図 2 に代表される積層表示灯を開発した。

従来の積層表示灯の照光部は、全面が発光する照光ユニットを積み重ねた構造であった。これに対し、今回提案する構造は、照光部と照光部の間に非照光部を設けた構造であり、これをストライプ構造と呼ぶこととする。



図 2 新しい構造の積層表示灯
Fig.2 Indicating Towers with new structure

図 3 の従来品のような構造であると段毎の区切りが明瞭で無いため点灯時の光が下の照光部にも影響し照光色を区別しにくい。

それに比べ、ストライプ構造では、各色が明瞭で、より誤認の少ない正確な情報を作業者に伝えることができると考えられる。

また、非照光部に黒、灰、白色といった無彩色を使用することで色調をさらに明瞭にしている。

ブザーユニットについては、音の聞きやすさを評価する指標として国際標準化機構で規定されている ISO 226 の”等ラウドネスレベル曲線“を用いて検討を行った。図 4 に示すこの”等ラウドネスレベル曲線“とは、様々な周波数の音を人が感覚的に同じ大きさの音に聞こえる音圧の大きさを結んで作られる周波数特性のことをいう^[4-5]。

これまでの積層表示灯のブザーユニットに使用されている音源は、2kHz 付近の周波数が使用されていることが多い。しかし、この”等ラウドネスレベル曲線“を参照すると 3kHz 付近の周波数の音が、人が感覚的に大きく聞こえる周波数であることが確認できる。このことから、積層表示灯のブザー音の周波数は 3kHz が最適であると考えられる。

3 実験方法

3.1 照光部ユニット

今回の実験では、積層表示灯の直径がφ40mm で上段より赤、黄、青、緑、白色の照光部ユニットを積層した、輝度が等しい実験サンプルを 2 台準備し、1 台はそのまま使用、もう 1 台は、照光部の一部に遮光のための黒いテープを貼り付け擬似的にストライプ構造にしたものを用いた。

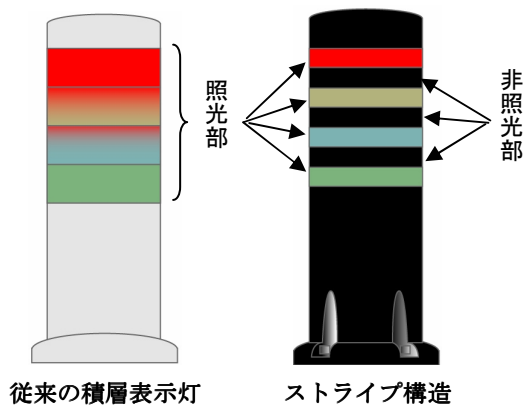


図3 積層表示灯の照光表示部比較イメージ
Fig.3 Comparison of conventional and stripe type of indicating towers

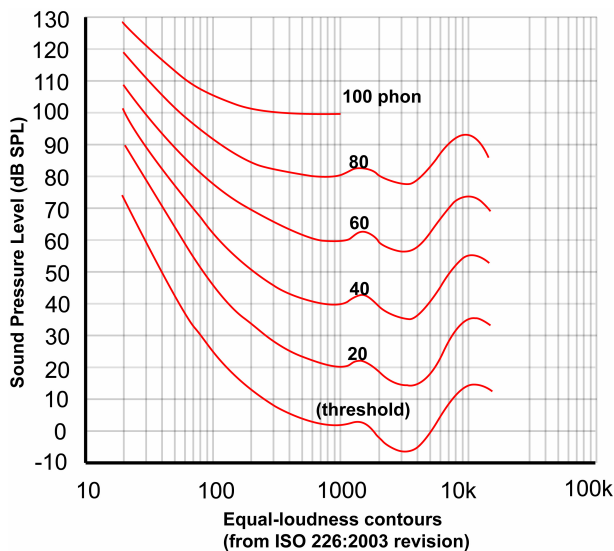


図4 等ラウドネスレベル曲線
(国際規格 ISO 226 より引用)
Fig.4 equal-loudness-level contours
(quoted from ISO 226: Acoustics -- Normal equal-loudness-level contours)

両方のサンプルを、工場などの大型の機械装置に設置したと想定し、実験室で図5に示すように積層表示灯の頂点が2.3mになる位置に設置した状態で積層表示灯と被験者との距離及び照明の点灯、消灯により部屋の明るさを変更しサンプルの見え方に対し被験者に以下の質問を行った。

・質問

- ①点灯した照光部が、明るく見えるのはどちらか？
- ②照光部の点灯色が、はっきり見えるのはどちらか？

その他実験条件は以下の通りである。

照明点灯時の積層表示灯周辺の照度：1360 (lx)

照明消灯時の積層表示灯周辺の照度：35 (lx)

積層表示灯と被験者との距離：1m、3m、5m

積層表示灯の点灯状態：全色同時点灯

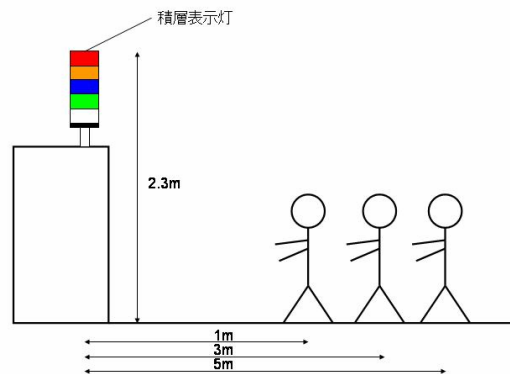


図5 実験方法(積層表示灯と被験者との距離)

Fig.5 Experimental setup

被験者：人数 50 人、平均年齢 33 歳

3.2 ブザーユニット

ブザーの音圧が等しく音の周波数が異なる積層表示灯を図5の位置に並べて設置し、被験者に周波数 2kHz と 3KHz の音を聞いてもらい、どちらの音が聴き取りやすいかを被験者に対して質問した。その他実験条件は以下の通りである。

ブザー音の鳴動周期：約 35 回／分の断続音

ブザー音圧：約 90dB

積層表示灯と被験者との距離：5m

被験者：人数 50 人、平均年齢 33 歳

4. 実験結果及び考察

4.1 照光部ユニットの視認性

実験結果を図6、図7に示す。

照光部の明るさに関する実験では、観察位置が積層表示灯に近い場合にはストライプ型の方が明るく感じられたが、観察距離が遠くなるに従い従来型の方が明るく感じられる結果となった。暗い部屋に対して明るい部屋の方がストライプ型はやや優位であったが、観察距離が5mの場合では部屋の明るさに関わらず従来品の方が優れている結果となった。

これに対して点灯色の明瞭度に関する実験では、観察距離が遠くなるにつれてストライプ型の優位性は低くなるものの、いずれの観察距離においてもストライプ型の方が優れているとの感じる結果となった。また、部屋の明るさに関わらずストライプ型の方が優れている結果となった。

照光部の明るさに関する実験では、観察距離が遠くなるにつれて従来品との比較結果が逆転するにも関わらず、点灯色の明瞭度に関する実験では距離が遠くてもストライプ型の方が優位なのは、ストライプ構造の効果によるものと考えられる。

上記より、照光部のストライプ構造は、従来品よりも情報をより正確に作業者に伝えることができる構造である。

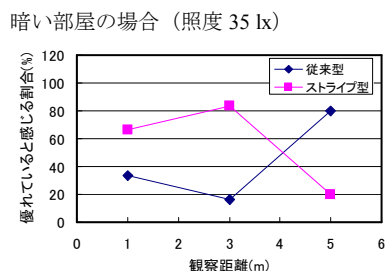
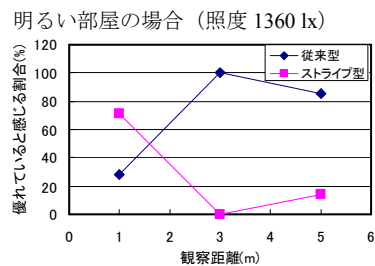


図 6 実験結果

『点灯した照光部が明るく見えるのはどちらか？』

Fig.6 Outcome of an experiment

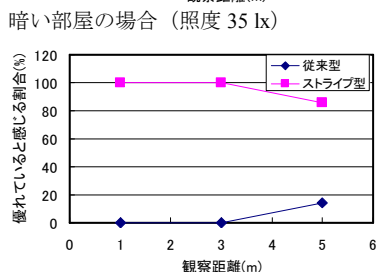
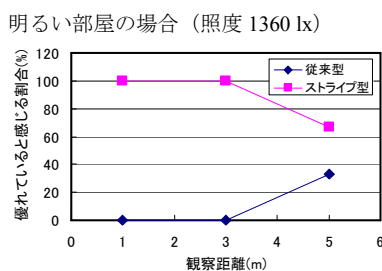


図 7 実験結果

『照光部の点灯色がハッキリ見えるのはどちらか？』

Fig.7 Outcome of an experiment

と考える。それにより、HMI 環境をより安全にすることができる。

4.1 ブザー音の聴きやすさ

図 8 に示すように、86%の被験者がブザー周波数約 3kHz の方が聴こえやすいと感じ、14%の被験者がブザー周波数約 2kHz の方が聴こえやすいと感じた。

この実験結果より、“等ラウドネスレベル曲線”で示されている通り、同じ音圧レベルでも人間にとって感度の良い 3kHz の周波数を選択することにより、より大きな音量として感じることができることを確認できた。

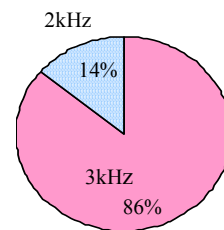


図 8 実験結果

『どちらの音が聴き取りやすいか？』

Fig.8 Outcome of an experiment

このように人間工学的な観点から聴覚感度の良い周波数約 3kHz のブザー音を積層表示灯に使用することで従来品よりも確実に情報を伝えることができ、作業者の誤認識を減少させることが出来ると考えられる。

5 まとめ

本稿では、作業現場の安全性向上のため、作業者の視覚及び聴覚に正確な情報を伝えることのできる積層表示灯の新たな構造を提案するとともにその効果について報告した。現在数多くの積層表示灯が存在するが、その機能を人間工学的な観点から改良するという研究は、これまで十分に行われていなかった。

本稿で述べてきたように積層表示灯において、照光部と照光部の間に非照光部を設けたストライプ構造は、視認性の向上に有効であることが確認できた。

また、ブザー音についても、聴覚感度の高い周波数を使用することにより、作業者に聴こえやすくすることが可能であることも確認できた。

今後もさらに研究を進め、より安全で快適な作業環境の構築に貢献していきたい。

参考文献

- [1] 三輪他：波長変換技術を用いた表示灯の高効率化と色彩明確化による HMI 環境での安全性向上；ヒューマンインタフェースシンポジウム 2001 論文集 (2001)
- [2] IEC 60073: Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification - Coding principles for indication devices and actuators
- [3] IEC160204-1: Safety of Machinery - Electrical Equipment of Industrial machines - Part 1: General Requirements
- [4] 独立行政法人 産業技術総合研究所: 聴覚の等感曲線の国際規格 ISO226 が全面的に改正 : http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2003/pr20031022/pr20031022.html
- [5] ISO 226: Acoustics -- Normal equal-loudness-level contours