

HMI 環境における安全性向上のための 高輝度 LED 表示技術の開発

馬野 勝三^{*1} 三輪 高仁^{*1} 田辺 伸一^{*1}
福塚 浩史^{*1} 高木 俊和^{*1} 藤田 俊弘^{*1}

Development of high brightness LED display technology aiming to improve Safetyness in HMI environment

Katsumi Mano^{*1}, Takahito Miwa^{*1}, Shinichi Tanabe^{*1},

Hirofumi Fukutsuka^{*1}, Toshikazu Takagi^{*1}, Toshihiro Fujita^{*1}

Abstract To create optimum environments for man and machine, the most important function of pilot lights is to convey information about warning or safety to people securely and directly. IDEC has been developing pilot lights with higher brightness and clearer color, and tried to accomplish longer life and smaller energy consumption. This paper reports a new technology to improve display characteristics: That is high-performance LED devices used as the light source to further increase brightness and save energy. In addition, this paper describes IDEC's display technology for creating the optimum HMI environments.

Keywords : LED, Safety, high brightness, SUI, HMI

1. はじめに

近年の FA(Factory Automation)分野では、HMI(Human Machine Interface) 操作表示環境での人に対する安全意識が高まってきており、国際標準化機構においても安全規格である ISO/CD12100 について現在審議されている。また日本国内でも、グローバル化の流れの中でその JIS 化検討が進められている^[1-3]。

ISO/CD12100 の中では、機械設計時における人間工学原則の遵守として「オペレータのストレスや身体的努力の低減により安全性を増すことに寄与する。」とあり、特に操作表示環境に関する内容として「制御装置、信号点灯表示、データ表示要素のようなオペレータと機械間のインタフェースに関する全ての要素は、オペレータと機械間で明確かつ曖昧でない相互作用が生じるように設計しなければならない」と記述されている^[4]。

これに関連する操作表示機器としては、液晶表示器を用い多くの情報を階層的に表示できる GUI(Graphical User Interface)と、押ボタンスイッチや表示灯に代表される SUI(Solid User Interface)と呼ばれる 2 つのインタフェースの方式がある。GUI と SUI は、それぞれ互いを補完し合う関係にあり、両者を融合させることで最適な操作表示環境が実現できることが報告されている^[5-8]。

この中で LED 表示灯や照光式押ボタンスイッチは、SUI の特長である表示の見やすさにより、機械の正常や異常などの動作情報を人間工学的な観点からわかりやすく伝えることができる。

本稿では、今まで光源として使用されてきた白熱球と LED を安全の観点から比較し、LED を光源とする表示灯が SUI の特徴を最大限活かせる表示機器であると考え、さらなる安全性の向上に対して、高輝度化、長寿命化の観点から考察を行ったので報告する。

2. 表示灯の役割

FA 分野における HMI 環境の代表例として図 1 にモデル図を示す。FA 現場では、多種多様な機械を監視する集中制御室と、広い作業現場で各々の機械に個別に設置されている制御盤により、オペレータは機械を操作監視、そして制御していることがわかる。しかし、自動化が急速に進む現場においては、少人数で多数の機械をコントロールしなければならないのが実状であり、このため特に人を中心とした安全を考えた場合、表示に対する見やすさをさらに追求した環境を整えていくことが急務となっている。

この表示環境において表示灯が担う役割は、遠く離れたところから表示状態を確認できる高輝度化や、操作盤に対して正面以外の角度においても確認できる広視野角化、そして表示が何を意味しているか簡単に識別できる

^{*1}:和泉電気株式会社

^{*1}:IDEC IZUMI Corp.

色彩の明確化の実現が重要となる。

われわれは、LED 表示灯に関して安全および国際標準化そして使いやすさを考慮して、高輝度化・広視野角化・色彩明確化・長寿命化・省エネルギー化を追求してきた^[9-15]。参考までに、数百人のユーザーを対象に、表示灯の光源として白熱球と LED の使用率に関する調査を行った結果を図 2 に示す。この結果から、LED を 9 割以上使用していると回答したユーザーが、全体の半数以上を占めており、LED 化が進んでいることがわかる。

次に、作業現場における安全に関して、人間工学的側面からの安全と、機械の表示に対する信頼性の両面から見て、LED 表示灯が求められているものが何であるかを、国際規格である IEC や ISO の内容を具体的に採り上げながら説明する。

2.1 人間工学的側面からの安全性の向上

人が外界から受けるすべての情報のうち、視覚を通じて受ける情報は全ての感覚（視覚・聴覚・臭覚・味覚・触覚）から受ける情報の 87% を占めるといわれている^[16]。作業現場において視覚に訴えかける表示灯は、人と機械の情報伝達の大きな役割を担うことになる。

図 3 に実際の操作表示環境の使用例を示すが、ここでは数多くの押ボタンスイッチや表示灯が使われており、中でも表示灯が各々重要な機械の動作状態を人へと伝達している。この使用状況を見た場合、多数の表示灯を識別するためには表示の高輝度化と色彩明確化の実現が重

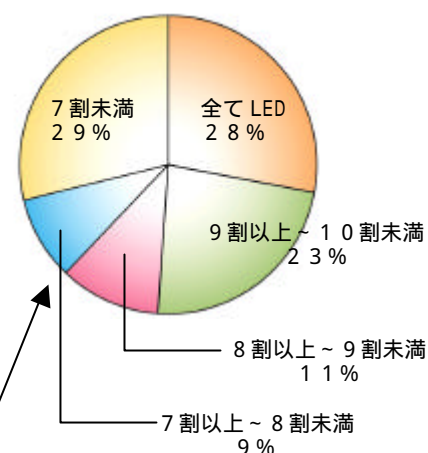


図 2 LED 使用率

Fig.2 Percentage of LED

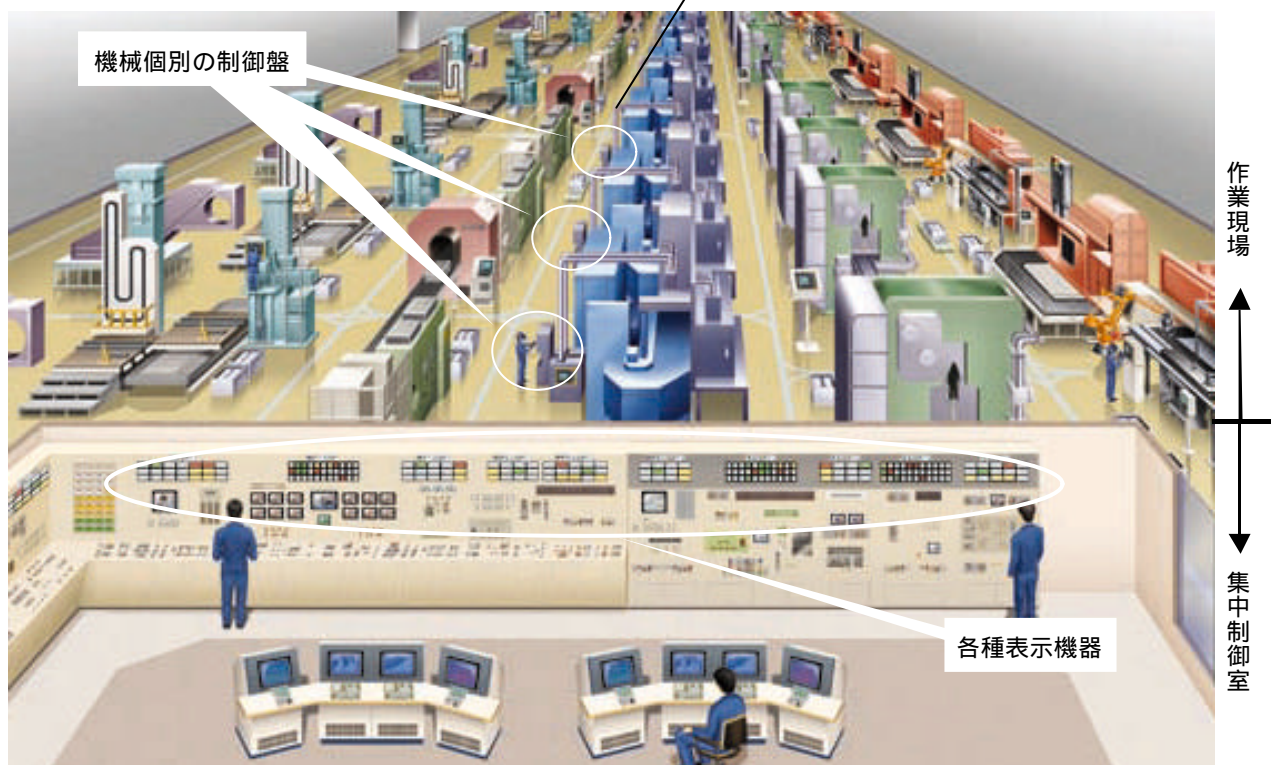


図 1 FA 環境のモデル図

Fig.1 Model of Factory Automation Field



図3 操作表示制御盤使用例

Fig.3 Example of a control display panel

要である。

2.1.1 高輝度化の追求

「ゲシュタルトの法則」もしくは「プレグナンツの法則」として示される人間の知覚特性に関する記載内容から引用すると、人間の知覚特性例とそのパラメータ例として、「光の強さの変化」が採り上げられており^[1]、この人間の知覚パラメータおよび特性に適合した機械設計をすることが重要であると記されている^[17]。例えば操作盤の表示灯が、消灯時から点灯時への明るさの変化が大きいくらいほど、人へ与える刺激は強くなる。

2.1.2 表示の色彩明確化の追求

国際電気標準会議で規定されている IEC60073 および IEC60204-1「表示色の色及び機械の状態に関するその意味」から引用した内容を表1に示す^[18-19]。ここでは、非常事態は赤色、正常は緑色というように表示色の意味が厳密に定義されている。これら規格化された定義色に対して、色彩の明確化を行うことにより誤視認などから起こるトラブルの発生を防ぐことが可能となる。

われわれが調査した、業種別工場設備の操作盤に関する表示灯色の使用例を表2に示す。基本的には規格色に対応しているように見えるが、赤の表示色を「運転」と「重故障」といった2つの異なった意味の表示に使用している場合も見受けられ、規格色が遵守されているとはいえない。現状の表示技術では、表示色数に限界があったためやむを得ないところである。しかし、これでは機械の動作状況を直感的に判断することが困難であり、誤視認する恐れがあるので安全性の観点から見た場合に問題を生じる。

最適な HMI 環境を創造するために最も重点的に取り組む技術要素として挙げられる内容は、高輝度化による刺激の強さの向上と色彩の明確化の向上である。

2.2 機械の動作表示の信頼性向上

ここでは、危険の情報伝達システム^[20]を例に挙げ、機械の動作表示の信頼性と安全との重要な関連性について説明する。今、機械の異常な状態の情報を伝達する手段として、表1に定義されている表示灯の「赤色の点灯」に

より「危険」であると判断するシステムを考える。

まず、表示灯の赤色が点灯した時に、作業者は、機械の状態が危険であると判断し、機械を停止させるなどの非常事態の対策を取ることができ作業者の安全は保たれる。しかし、赤色の表示灯が球切れなどの故障により非点灯状態となっていれば、作業者が表示灯の故障に気付かない限り、機械が安全に動作していると判断する。つ

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, 60204-1 より引用)^[18-19]

Table 1 “Coding principles for indication devices and actuators” (quoted from International Electric Standard Conference IEC-60073,60204-1)

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

表2 業種別の表示灯色使用例

Table 2 Example of colors of pilot lights classified by type of industry

洗剤工場	乳白	電源、停止
	赤	運転、重故障
	橙	故障、軽故障
	緑	P C R U N
水処理工場	乳白	電源、S L 開閉状態表示
	赤	運転、重故障
	橙	異常、軽故障
	緑	停止
製氷機工場	乳白	脱氷中、手動排出、排出中、 手上、自、手下、電源
	赤	運転、異常リセット、ブザー停止、 開閉、中断、空、搬出入
	橙	異常、断水、緊停、過不可
	黄	リセット、ランプテスト
	緑	停止、製氷中、計量開始、 残氷排出、計量中、滴水、切

まり、危険な状態に対する処置が遅れることになり、作業者を危険な状態に巻き込んでしまう。ここで問題となる点は、機械からの情報伝達が途切れることにより、危険を伝えなければならない状況であっても、全く逆の意味となる「安全である」という情報を誤って作業者に伝達してしまうことである。

特に白熱球の場合は、平均寿命が約2千時間と言われており、振動や衝撃に対しても弱く球切れを起こす。このため長寿命化の技術は、機械の動作状況を常に安定して人に伝え、安全性確保の面で大きく貢献できる。点灯の寿命に関する信頼性は、光源が白熱球から半導体であるLEDへと移り変わることにより飛躍的に向上しており、安全を長時間持続することで作業者に対する安心感を高めている。

以上述べてきた、安全性および表示の信頼性をさらに向上させる手段として、高性能LED素子を表示灯に搭載する技術開発を行ったので、次項に詳しく説明する。

3. 高輝度化による安全性の向上

3.1 スーパーLEDの導入

表示灯の高輝度化のために、従来のLEDよりも発光効率の非常に高いInGaAlPの4元素系およびGaN系のLED素子を採用した。このLEDを以下スーパーLEDと呼称する。

今まで緑色LEDについては、黄色LEDと発光波長が近いため色識別が難しかったが、スーパーLEDでは、波長530nmのLED素子の採用により、色の識別をより明確にできるようになった。さらに青色LEDとピュアホワイト色の追加により、色の選択範囲も広がっている。ピ

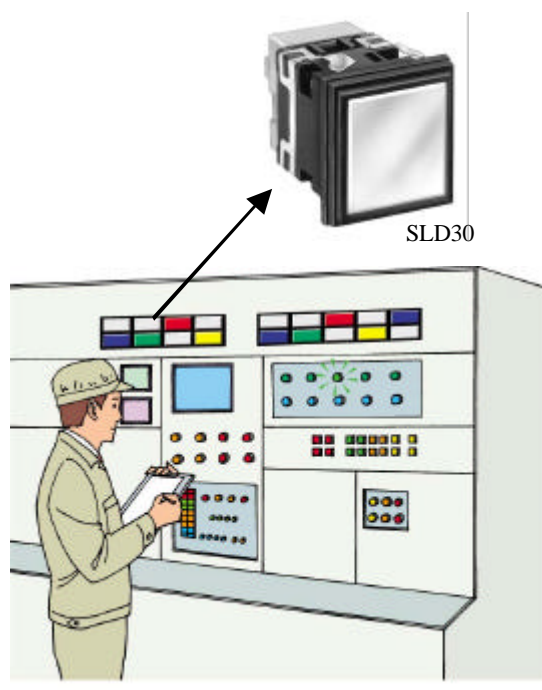


図4 各種表示灯の使用例

Fig.4 Example of the use of pilot lights

ュアホワイト色とは、青色LEDを励起光として、波長変換樹脂プレートに照射することで得られる表示色であり、このプレートのことをラムダコンバータと呼称している^[12-14]。今までオレンジ色に近い乳白色を、IEC規格で定義されている白色表示に使用していたが、ラムダコンバータにより、真っ白な表示色を実現できた。

各種表示灯の使用例を図4に示すが、一例として写真に示す角形表示灯SLD30において、光源に白熱球、LED、およびスーパーLEDを搭載したときの輝度比較の結果を図5に示す。

スーパーLEDの輝度は、発光色によって異なるが白熱球に対して約3.1～21.8倍、またLEDに対しても約2.0～5.5倍と大幅に向上していることがわかる。そのため、周りの照度が明るい環境においても、点灯識別が可能である。なお、スーパーLEDは、高輝度化のみならず消費電力においても白熱球の約1/3、LEDの約1/2で実現している。^[14-15]

高輝度化の実現によって、より広い範囲から表示灯の点灯の有無、つまり機械の動作状況を把握することが容易にでき安全性も向上している。

3.2 長寿命化による安全性の持続

次に、各々の光源の点灯寿命に関する内容について例を挙げながら説明する。

機械装置が約10万時間（約11.4年）の長年にわたり連続して使用されると仮定し、各種光源の点灯時間による輝度変化を図6(a)に示す。ここでは、よりわかりやすく比較するため、LEDと白熱球の初期輝度がほぼ同等であるアンバー色を例に挙げた。

白熱球の場合は、平均寿命である約2千時間ごとに、光源を交換すると仮定する。図の中で上向き矢印で示した部分が交換する時間であり、10万時間では50回交換することになる。図6(b)は、図6(a)A部の白熱球について拡大した図であり、2千時間ごとに交換した場合の推

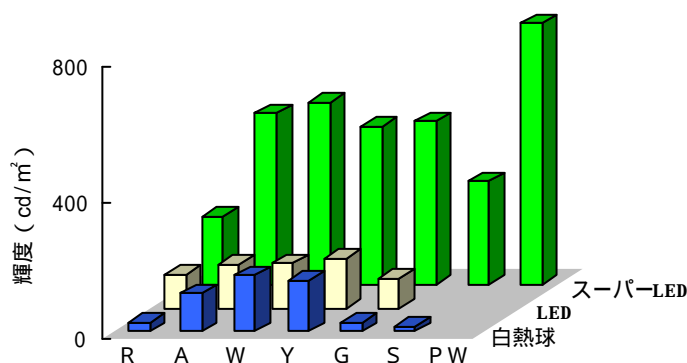


図5 光源別輝度比較

(R:赤, A:アンバー, W:乳白, Y:黄, G:緑, S:青, PW:ピュアホワイト)

Fig.5 Brightness of each light sources

移と、交換しないで球切れするまで放置した場合の推移を示している。交換することで視認性を持続できるが、そのまま放置した場合は、いずれ球切れにより輝度が0となる。これは 2.2 節でも述べたとおり、機械の動作表示の信頼性を無くすことになる。

次に LED の場合では、半導体であるため球切れすることはないが、輝度は徐々に減衰していくため、初期輝度の 50% になる時点の 5 万時間を点灯寿命とし、図中 B 部の時点で交換使用されている。

スーパーLED については、初期輝度が白熱球や、LED の約 5 倍あるため、5 万時間後でも他者の初期輝度よりも高く、高視認性が長時間持続され、見やすさや表示に対する信頼性も長時間持続されていることがわかる。

以上が表示灯の性能面での検討であるが、実際機械を運転する際に安全を持続させる上で、図 4 に示した SLD30 の表示灯 1 灯を 10 万時間継続して使用した場合に必要な諸費用について考察する。

図 6(c) に、図 6(a) のような輝度を持続する上で必要となる維持費用の時間累積を示す。この中には、交換に要する工賃などの諸費用および点灯のための電気代などが含まれている^[14]。

この図から分かるように、LED は、初期投資額は白熱球よりも高いが、消費電力や交換回数が少ないため、長時間使用するほど白熱球と比べ安くなる。特にスーパーLED は、LED に対しても省エネルギー化を促進しているため、10 万時間という長い期間を考えれば、3 つの光源

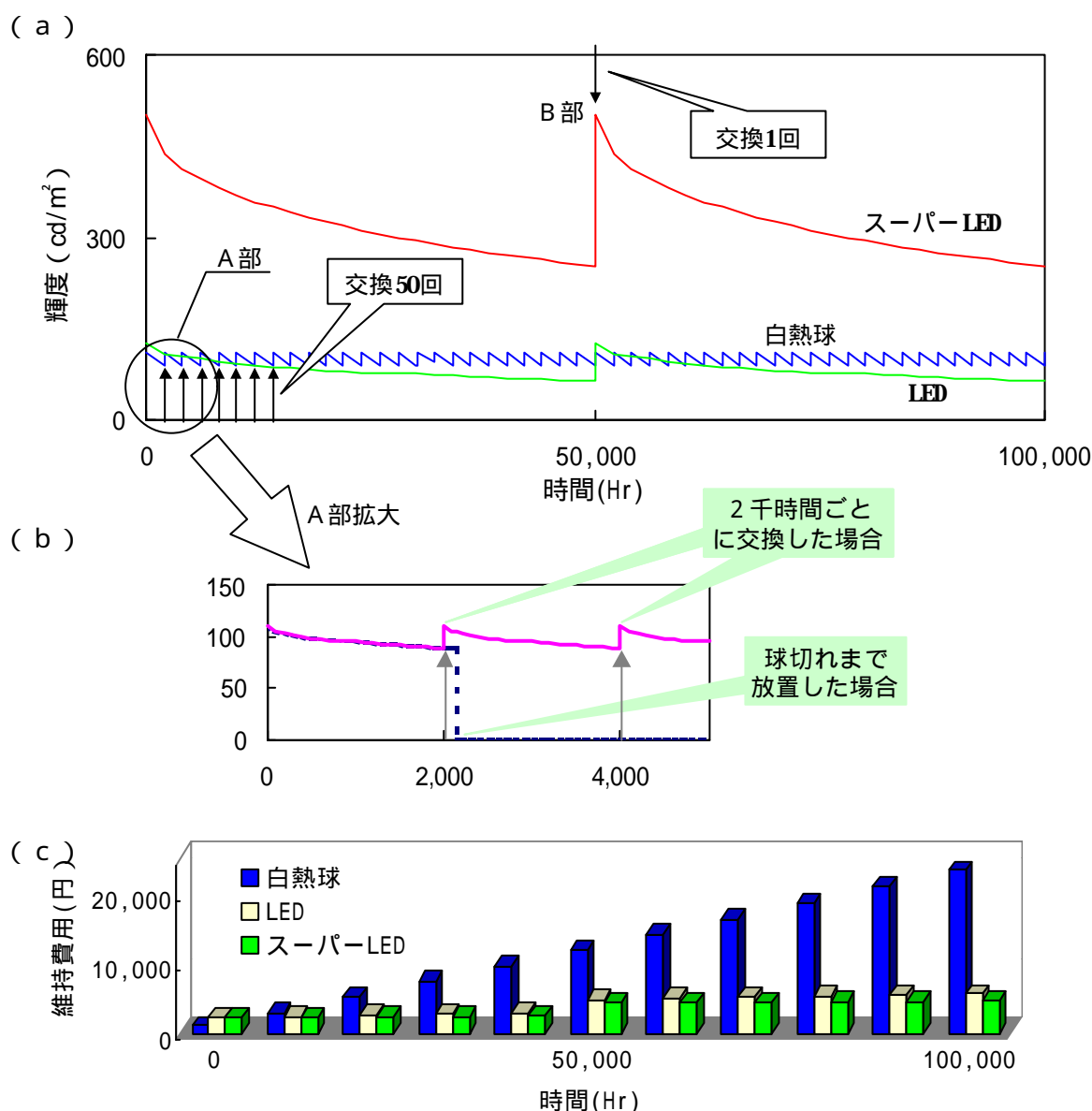


図 6 (a)連続点灯時の輝度変化, (b)白熱球寿命詳細図, (c)輝度持続に要する費用

Fig.6 (a)The change of brightness at the continuous lighting, (b) A detailed drawing of lamp's lifetime

(c)Cost of maintenance to keep high-brightness

を比較した場合に一番少ない維持費用で高輝度を持続することができる。例えばごく一般的な例として、一つの工場において約5千個の表示灯や照光式押ボタンスイッチが10万時間使用されると仮定すると、スーパーLEDの維持費用は白熱球に対して約9,300万円(1灯あたり約18,500円)、LEDに対しても約500万円(1灯あたり約980円)の維持費を省く効果がある。

以上の結果より、スーパーLEDは安全面においては、ISO/CD12100やIEC60204-1を、またISO14000に示されている低消費電力化による地球環境負荷低減の概念を取り入れており、高い安全性を省エネルギーで長時間持続できる技術である。

4. まとめ

今回、FA環境において広く使用されている表示灯の安全性について、光源が白熱球の場合とLEDの場合との比較を行い、LED、特にスーパーLEDの優位性について述べてきた。

今後も機械を的確に制御するための表示機器としてLED表示灯に対する見やすさの要求がさらに高まってくるであろうが、これと並行して、多数の機械を運用する際の地球環境を配慮した省エネルギー化の促進も重要な要素であると考えている。

謝辞

今回の高輝度LEDに関する論文の執筆にあたり、ご協力いただきました、関係者の皆様にこの場を借り深く感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 向殿：ISO「機械安全」国際規格；日刊工業新聞社、(1999)
- [2] 蓬原、桑川：安全への新たなアプローチ；安全技術応用研究会編、(1996)
- [3] 杉本：工作機械制御回路のフェールセーフ化手法；平成9年度安全技術講演会(特別講演会)講演概要集、p22-p29、(1997)
- [4] ISO/CD12100-2:1998, Safety of machinery -- Basic concepts, general principles for design-- Part 2: Technical principles and specifications 3.6
- [5] 坂村：新版トロンヒューマンインターフェース標準ハンドブック；トロンHMI研究会、パーソナルメディア、(1996)
- [6] 藤田：新しい時代のHMI操作表示環境＝標準化・オープンネット・省・安全への対応＝；システムコントロールフェア'97技術講演会資料、(1997)
- [7] 中井 他：GUIとSUIの融合による新しいHMI操作表示環境の構築；計測自動制御学会ヒューマン・インタフェース部会、第14回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集、(1998)
- [8] 中井 他：HMI操作表示環境における最適なシステム化手法の提案；(社)計測自動制御学会、システム/情報合同シ

ンポジウム'98論文集、(1998)

- [9] 馬野 他：高輝度面発光LED表示灯の開発；IDEC REVIEW, 和泉電気株式会社, p.34-41, (1996)
- [10] 間宮 他：ホログラムと面発光LEDを用いた高視認性表示技術の開発；計測自動制御学会ヒューマン・インタフェース部会、第12回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集, p.493-p.500, (1996)
- [11] 馬野 他：青色LED搭載コントロールユニットの開発；IDEC REVIEW, 和泉電気株式会社, p.50-56, (1997)
- [12] 間宮 他：青色LED励起による波長変表示技術の開発；計測自動制御学会ヒューマン・インタフェース部会、第13回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集, p.493-500, (1996)
- [13] 三輪：青色LEDを励起光にした多色表示技術～ラムダコンバータによる面照光表示灯の実現；電子技術, 日本工業新聞社, p.52-56, (1998)
- [14] 馬野 他：安全性の向上並びに省エネルギー化を実現する高輝度・多色LED表示技術の開発；IDEC REVIEW, 和泉電気株式会社, (1999)
- [15] 田辺 他：高輝度コントロールユニットの開発；IDEC REVIEW, 和泉電気株式会社, (1999)
- [16] 山中：色彩学の基礎；(株)文化書房博文社, 初版, p. 9, (1997)
- [17] ISO/CD12100-2:1998, Safety of machinery -- Basic concepts, general principles for design-- Part 2: Technical principles and specifications 3.6.7
- [18] 国際電気標準会議 IEC 60073: Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification -- Coding principles for indication devices and actuators, (1996)
- [19] 国際電気標準会議 IEC 60204-1: Safety of machinery - Electrical equipment of machines - Part1: General requirements, (1997)
- [20] 安全技術応用研究会, 電気担当者用教育資料作成委員会：機械安全制御入門, p.3-4, (1999)