

ロボット制御セル生産システムへの LED表面取付形表示灯の導入による安全性の向上

田中 大樹^{*1} 藤谷 繁年^{*1} 松本 敦^{*1} 樋口 伸夫^{*1}

Safety Improvement of Robot Control Cell Production System with the Use of Surface Mount LED pilot light

Hiroki Tanaka^{*1}, Shigetoshi Fujitani^{*1}, Atsushi Matsumoto^{*1} and Nobuo Higuchi^{*1}

Abstract - Using robots in manufacturing (monozukuri) is extremely effective to enhance productivity. We installed Robot Control Cell Production System in our Takino plant in 2000 and have manufactured more than four thousand million units of products. Also, we have established various safety technologies in Robot Control Cell Production System based on risk assessment. We have recently developed Surface Mount LED pilot light as new advanced-safety technology, which can directly be installed on robots. In this paper, we report on the improvement of operator's safety of Robot Control Cell Production System by using Surface Mount LED pilot light.

Keywords: LED indicator light, Safety, State of the machine, Use of Robot

1 はじめに

ロボットをものづくりに活用することは生産性向上に極めて有効であり、われわれは兵庫県滝野事業所において 2000 年からロボット制御セル生産システムを設置し、今までに 4000 万台以上の制御機器を実生産してきている^[1-8]。また、生産性と安全性を両立するためにリスクアセスメントも実施し、様々な安全技術を適用してきている^[5-8]。図 1(a)に安全に配慮したロボット制御セル生産システムの写真を、図 1(b)にロボット制御セル生産システムでオペレータがティーチングなどの作業をしている様子を示す。この写真からわかるように、オペレータはロボットに近接して作業することから、イネーブル装置は不可欠であり、今までに安全化の事例を発表してきた^[5-8]。

今回は、更なる新規安全技術として、ロボットの状態を作業者へ伝達する LED 表示灯、中でも特に産業用のマニピュレーティングロボットに取り付けやすいLED表面取付形表示灯を開発し、その適切な表示（点灯）および取り付け位置によるロボット制御セル生産システムに係る作業者の安全性の向上について、検討を行った結果を報告する。

2 ロボット操作時における事故発生リスクの低減化

産業用のロボットは一般的に図 2 に示すように、設備立ち上げ（初期設定）、ティーチング（教示）、工程切り替え（段取り替え）、異常／故障処理（チョコ停）、保全（メンテナンス）などを行うことから稼働状態、停止状



図 1(a) ロボット制御セル生産システム

Fig.1 a Robot Cell Production System



図 1(b) ロボット制御セル生産システムを
オペレータが操作する様子

Fig.1 b Operator Working with Robot Control Cell
Production System

^{*1}: IDEC 株式会社

^{*1}: IDEC Corporation

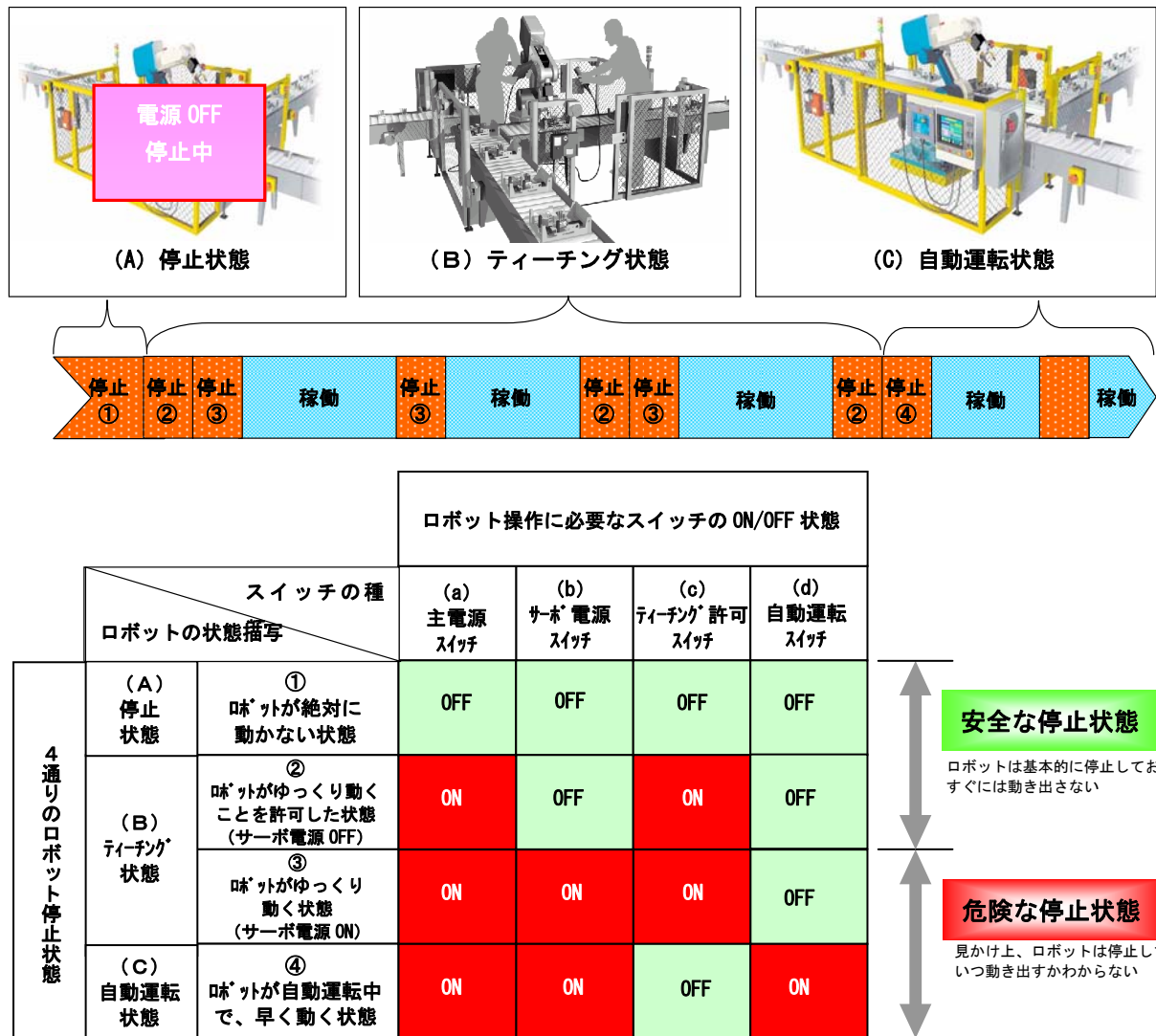


図2 ロボットの様々な停止状態

Fig.2 Various halt conditions of robot

態を繰り返しながら動いている。また、ロボットは見かけ上、停止していても様々な状態があり、大きく分類すると、図2に示したように、(A) 停止状態、(B) ティーチング状態、(C) 自動運転状態があり、具体的には次の4通りの状態である。すなわち、

- ① すべての電源が入っておらず、ロボットが絶対に動かない状態
- ② ティーチングやメンテナンスなどのゆっくり動くことを許可されているが、サーボに電源が供給されていない状態
- ③ ティーチングやメンテナンスなどのゆっくり動くことを許可されており、すぐにもロボットを稼働させられるようにサーボに電源が供給されている状態
- ④ 自動運転中であるが、次の稼働や、ワークを待っている自動運転ウェイト状態

に分かれる。

ロボットを用いた組み立ての現場で作業を行う作業者

にとって、「ロボットが停止している状態」であっても、上記①～④のどの状態かを確実に知らせることが重要であるとわれわれは考えている。すなわち、安全性の観点からは少なくとも、ロボットアームを駆動させるサーボに電源が供給されておらず、すぐに動き出すことのない「安全な停止状態」か、見かけ上ロボットは停止しているが、サーボに電源が供給されており、いつ動き出すかわからない「危険な停止状態」を判別できる必要がある。

産業用ロボットの動作状態の表示に関しては、表1に示すように国際電気標準会議の IEC60073 および IEC60204-1「表示灯の色及び機械の状態に関するその意味」では表示灯の色について規定されており、機械操作盤や制御盤のLED表示灯では、これに倣って使用されている。一方、米国保険業者安全試験所 (UL) の UL1740「ロボットとロボット設備」では、ロボットアーム駆動用の電源が供給されている場合について、作業者に運転中か運転可能状態を知らせるためにマニピュレーティングロボットへの表示機器の搭載とその表示機器の要求事



図3 実験に使用した表面取付形表示灯
Fig.3 Surface Mount Indicator used to experiment

項が規定されている。^[9-11]

ロボット運転における非常時作業時のリスクを低減するためには、インターロックやイネーブル装置などの安全機器を用いた技術的な手段に加えて、人間工学の観点から表示機器を用いてロボットの動作状態を作業者に対してより確実に、しかも直感的に伝達することが非常に重要である。

3 LED 表示灯の役割

3.1 ロボットに LED 表示灯を取り付ける必要性

光ることにより作業者に対して状態を知らせる産業用表示灯は、機械や設備において、欠かせない存在である。

前述のようにロボットには様々な状態があり、これまで、これらの状態を作業者が知る手段としては、ロボットの制御モニターなどを確認する必要性があったが、作業者にとって直感的に分かりにくく、危険な状態が起こりやすい環境となっていた。このようにロボットの様々な状態を作業者に対して確実に、しかも直感的に伝達するためには、作業者が常に注意を払っているロボットアームの周辺部へ表示灯を直接取り付ける必要があり、実際にロボットユーザからの要望が強い。

これまでは、ロボットアームの内部スペースなどの制約から、既存の表示灯は奥行きが深く、かさ高いため取り付けることが出来なかった。このため、われわれは図3 のようなロボットアームの表面に直接取り付けることが可能な LH1D シリーズの LED 表面取付形表示灯 (IDEC LED SPIDER®) を開発した。

この LED 表面取付形表示灯をロボットアームに取り付ける場合、作業者に対しロボットの状態を明確に誤解なく伝達するためには、最適な設置場所と数量・色を十分に検討する必要がある。このような観点から、本研究では、表示灯の設置場所と数量・色について基礎的な実

		ロボット状態表示の色と数			
		(X) 現状	(Y) 表示灯を取り付けた場合		
		表示灯なし	(Y-1) 1 色の表示灯を取り付けた場合	(Y-2) 2 色の表示灯を取り付けた場合	(Y-3) 3 色の表示灯を取り付けた場合
4 通りのロボット停止状態	(A) 停止状態	表示灯なし	(A 色 消灯)	(A 色 消灯) (W 色 消灯)	(A 色 消灯) (G 色 消灯) (W 色 消灯)
	(B) ティーチング状態	表示灯なし	(A 色 消灯)	A 色 点灯 W 色 点灯	(A 色 消灯) (G 色 消灯) W 色 点灯
	(C) 自動運転状態	表示灯なし	A 色 点灯	A 色 点灯 W 色 点灯	A 色 点灯 (G 色 消灯) W 色 点灯
	(D) 自動運転中、早く動く状態	表示灯なし	A 色 点灯	A 色 点灯 (W 色 消灯)	A 色 点灯 G 色 点灯 (W 色 消灯)

図4 ロボットに取り付ける表示灯色と数量
Fig.4 Relationship between color and quantity of the indicator

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)
Table1 “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

験を行い、ロボットの操作安全性向上のための最適な条件の検討を行った。

4 表示灯による安全性向上実験

今回の実験では、表示灯の有無、数量を変化させ、それを監視している作業者にロボットの状態がどの程度正確に伝達されたかの実験を行った。

実験では図 4 に示すような 3 色の表示灯 3 種類を用意し、1 色だけ使用した場合、サーボ電源 ON の状態ではアンバー (A) 色を点灯させる。また、2 色を使用する場合、1 色の場合に加えてティーチング時には白 (W) 色を点灯させる。そして、3 色を使用する場合、2 色の場合に加えて自動運転中には緑 (G) 色が点灯するよう設定した。

白色、緑色は表 1 に示すように国際電気標準会議で規定されている IEC60073 および IEC60204-1「表示灯の色及び機械の状態に関するその意味」から引用した。

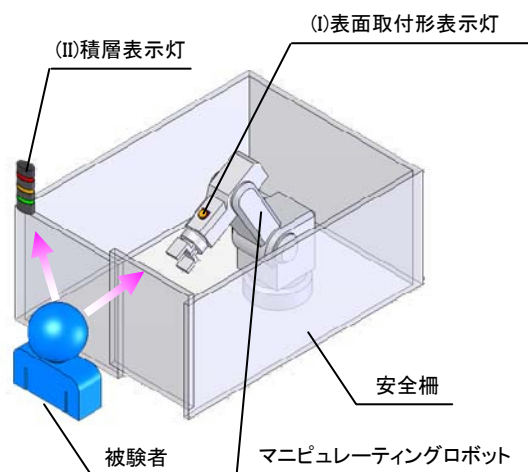


図 5 実験方法
Fig.5 Experimental Setup

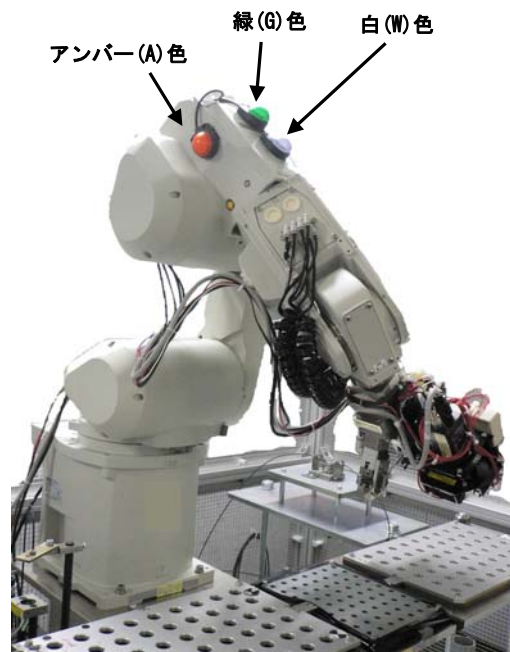


図 6 実験に使用したロボットアームの外観写真
Fig.6 Externals photograph of robotic arm used
to experiment

しかし、サーボ電源 ON 状態の表示に適した表示灯色は IEC60073 および IEC60204-1「表示灯の色及び機械の状態に関するその意味」に規定されていないため、アメリカ保険業者安全試験所 UL1740 規格「ロボットとロボット設備」で規定されているアンバー色もしくは黄色の中からアンバー色を採用した。

図 5 に示すように、まず産業用のマニピュレーティングロボットを設置し、その周囲を安全柵で囲い、模擬的な工場環境を再現した。ロボットの状態を表示する表示灯は、(I)ロボットアーム上に表面取付形表示灯、(II)安全柵上に積層表示灯を取り付けた。

作業者に見立てた被験者が安全柵越しにロボットと (I)、(II) の表示灯が見渡せる状態で、被験者に分からないように、ロボットの停止状態を 4 通りに変化させた。その時、ロボットに取り付けられている LED 表示灯の発光色を図 4 に示すように変化させた。今回の実験に使用したロボットアームの外観写真を図 6 に示す。はじめに被験者が (I)、(II) のどちらの表示灯でロボットの停止状態を判断したのかを調査した。次にロボットアーム上に表示灯がない場合、1 色 (1 個) 取り付けした場合、2 色 (2 個) 取り付けした場合、3 色 (3 個) 取り付けの場合を繰り返し、被験者がロボットをどの状態と認識したかを調査した。最後に感覚飽和を起こさないための最適な表示灯の個数 (色数) についても調査を行った。

今回の実験に参加した被験者は、人数 51 人、男女比率 6 : 1、平均年齢 35 歳であった。

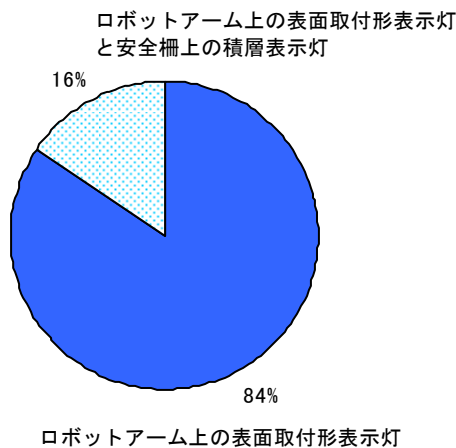


図7 ロボットの状態判断に使用した表示灯
Fig.7 Pilot light used for state judgment of robot

5 実験結果および考察

5.1 表示灯の種類

被験者がロボットの停止状態の認識に用いた表示灯の調査結果を図7に示す。図から分かるように、100%の被験者がロボットアーム上に取り付けている表面取付形表示灯でロボットの停止状態を判断し、16%の被験者がロボットアームの表示灯と、安全柵上の積層表示灯の両方を見てロボットの停止状態を判断していた。

このような結果になったのは、被験者の目的がロボッ

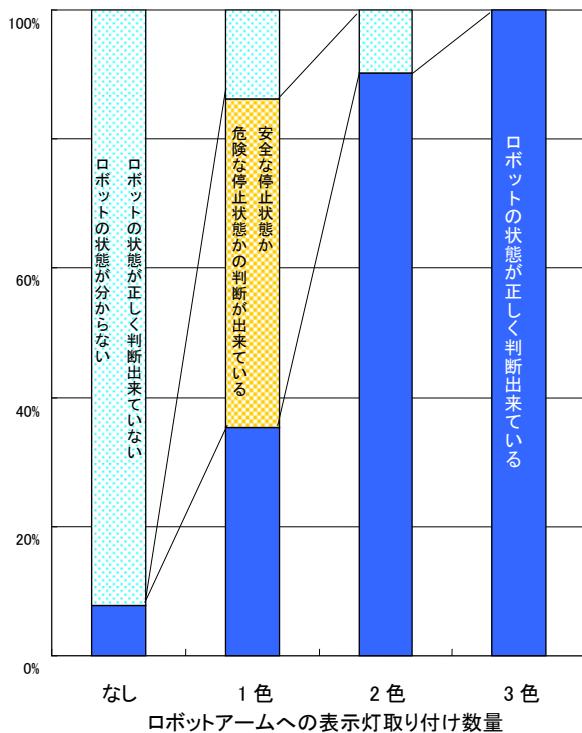


図8 実験結果
Fig.8 Outcome of an experiment

トの状態を認識することであるため、常にロボットへ注意を払っていたからと考えられる。ロボットから遠く離れた位置からロボットの状態を判断するには安全柵に取り付けられた積層表示灯はもちろん有効で、必要不可欠であるが、ロボットの近傍で作業などを行うような非定常時においては、作業者が常に注意を払っているロボットアームにLED表示灯を取り付けることが望ましいと考察できる。

5.2 LED表示灯の有無と個数

表示灯の有無および個数の違いによる被験者のロボット停止状態の認識状況の結果を図8にまとめる。ロボットアーム上にLED表示灯がない場合、被験者の90%以上がロボットの停止状態を正確に判断出来ていないという結果であった。すなわち、ロボットが次にとっさに動き出すのかが分からない状態の心理状態であることが分かり、作業者に大きなストレスを与えている。

表示灯が1個取り付けられることにより、その状態が改善され、ロボットの停止状態を正確に判断出来る割合が増加し、安全な停止状態（サーボ電源 OFF）なのか、危険な停止状態（サーボ電源 ON）なのかを判断出来る割合は86%まで増加している。

また、2色、3色と表示灯の色数を増加させた場合、ロボットの停止状態を正確に判断出来た割合はさらに増加し、安全な停止状態なのか、危険な停止状態なのかの判断は100%行えており、とりわけ、3色のLED表示灯を用いれば、作業者は100%常時ロボットが停止状態の中で①、②、③、④のどの状態かをしっかりと認識出来ていることが分かる。

今回の実験結果より、ロボットアーム上に表示灯を1個取り付けただけで、安全な停止状態（サーボ電源 OFF）なのか、危険な停止状態（サーボ電源 ON）なのかを判断出来る割合が、表示灯がない場合に比べ飛躍的に向上しているのは、1個表示灯を取り付けるだけで、被験者がロボットの状態を視覚的に容易に判断することが可能になり、少なくともサーボ電源のON/OFF状態の判別は出来ているからである。

また、ロボットアーム上に取り付ける表示灯の色数を2色、3色と増加させていくことにより、ロボットの状態認識を細分化でき、被験者がその細分化された状態を表示灯の点灯色から視覚的に判断することによりロボットの状態がより正確に判断できているものと考えられる。

5.3 表示灯の感覚飽和

51人中2人の被験者から「表示灯の色が増えすぎると、状態の判断が難しい」という意見もあった。表示灯の色が増加しすぎると、点灯した表示灯の色は認識出来るが、その色が意味するロボットの状態を抽出することが困難になり、感覚飽和が起こる可能性が考えられる。よって、

1 個以上の表示灯は取り付けが必要があるが、適切な数量決定に関しては、今後もアプリケーションに応じて検証することも重要である。

5.4 表示灯以外の手法による認識

さらに他の被験者から、「ロボットの音で判断しようとした」という意見があった。今回実験を行った模擬的な工場環境は比較的静かな環境であったが、実際の FA の現場は様々な機械が稼働しており、大きな騒音などが発生していることが考えられるため、聴覚に頼ったロボット状態の認識は適していないと考えられる。

5.5 表示灯の取り付け位置

今回の実験結果から分かるように、表示灯をロボットに取り付ける場合、作業者が常に注意を払い、稼働範囲が最も大きいロボットアーム（マニピュレーティング部）に取り付けることが望ましい。様々な制約でロボットアームに取り付けることが困難な場合は、よりロボットアームに近い場所に取り付けることが必要である。

また、近年 FA で使用されている産業用のマニピュレーティングロボットは複雑な動作が可能なものが多く、複雑な動作をした場合でも、作業者から表示灯の点灯状態が確実に確認出来る位置に取り付けられるべきであり、アプリケーションや設置場所に応じて取り付け場所は選択されることが望まれる。場所によっては、前面と後面に同色の LED 表示灯を 2 個取り付けることが安全上望ましい場合もあると考えられる。図 9 は LED 表示灯を数個ロボットアームに取り付けた一例である。

6 まとめ

本稿では、われわれの滝野事業所に設置され、実稼動中のロボット制御セル生産システムの更なる操作安全性の向上を目的に、LED 表面取付形表示灯の役割について

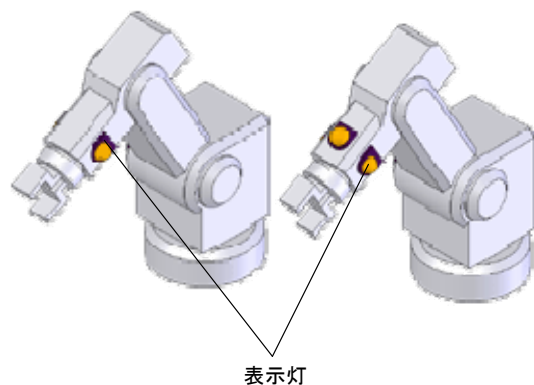


図 9 複数個取り付けした場合の例

Fig.9 Example when two or more pieces are installed

述べてきた。

UL（米国）のロボット設備に係る規格で述べているように、LED 表示灯をロボットアームに取り付けることで、ロボット制御セル生産システムにおけるオペレータに対する安全性を向上するのに、有効であることが明らかになった。

われわれは、ものづくりの進化とよりより快適で安全性の高いオートメーション環境の創造を企業目標に研究開発に取り組んでいる。これからも日本の更なる機械産業振興の視点を持ち、今までに培ってきた安全技術や、ロボット制御セル生産システムを更に進化させるために先見的に開発に取り組んでいく所存である。

参考文献

- [1] 米澤,他: ものづくり文化を革新千手観音モデルによるロボット制御セル生産システム; 計測自動制御学会 第 9 回システムインテグレーション部門講演会 (2008).
- [2] Fujita, T., Higuchi, N., Sugano, Y., Hayashi, H., Ida, K., Takagi, T., Nishino, M., Tokumoto, W., Yonezawa, H., Nishiki, T.: Robot Control Cell Production System of Senju (thousand-handed) Kannon Model Varying Volumes for Eight Years; IEEE CASE2008, pp 478-485 (2008)
- [3] 藤田, 他: 多品種変量生産に最適な千手観音モデルによるロボット制御セル生産システム; ロボット No.173, pp.7-14 (2006).
- [4] 藤田,他: 多品種変量生産への最適性を 6 年間実証した IDEC のロボット制御セル生産システム; 精密工学会 生産自動化専門委員会 第 93 回研究発表会 (2006).
- [5] Okada, K., Maeda, I., Sekino, Y., Nishihara, I., Tokumoto, W., Fujita, T.: Achievement of Safety at Work and High Productivity of Factories with Robot Control Cell Production System; XV III World Congress on Safety and Health at Work, Session No. PS05-09, (2008)..
- [6] Okada, K., Maeda, I., Sugano, Y, Higuchi, N., Nishihara, I., Fujita, T.: Risk Assessment of Robot Cell Production System that Achieved High Productivity and Safety in HMI Environment; SIAS 2007, pp.181-186 (2007)
- [7] 岡田,他: ロボット制御セル生産システムのリスクアセスメントと最適な安全方策; ヒューマンインタフェースシンポジウム 2006
- [8] 藤田, 他: ロボットを用いた次世代生産システム＝アセンブルショップにおける生産性と安全性の向上＝; ロボット No.144, pp.46-57 (2002)
- [9] IEC60073: Basic and Safety principles for Man-machine Interface, Marking and Identification Coding Principles for Indicators and Actuators
- [10] IEC60204-1: Safety of Machinery-Electrical Equipment of Industrial machines - Part 1: General Requirements
- [11] UL 1740: 2002, Robots and Robotic Equipment