

8. 産業用ロボットへの適用を目的とした ホールド停止監視装置の開発と評価*

梅崎重夫**, 小林茂信***, 濱田健次郎****, 藤原一志*****

8. The Development and Evaluation of the Stop-Hold Monitor for the Purpose of the Application to Industrial Robots*

by Shigeo UMEZAKI**, Shigenobu KOBAYASHI***,
Kenjiro HAMADA**** and Kazushi FUJIWARA*****

Abstract: This report proposes a new stop-hold monitor for the purpose of its application to industrial robots. The operator sometimes makes the robot stop-hold state, and carries out the maintenance or trouble shooting by approaching the robot very closely. These cases may cause an accident if the robot becomes runaway due to noise or malfunction.

The emergency stop equipment in such cases was developed in this study. Such equipment was called the "stop-hold monitor". It could cut off the power and stopped the robot immediately when the robot under stop-hold state started the runaway. Features of this equipment were described as follows:

- (1) This equipment could be applied to not only the industrial robot but also any other various machines with rotating parts.
- (2) The conventional stop-hold monitor had the shaft combining the driving motor and the stop-hold monitor. This kind of mechanism was very heavy. On the other hand, the new stop-hold monitor used power reed switches that can run over hundred billion times. The lightening of the stop-hold monitor could be realized as the result.
- (3) The fail-safe system was realized by the programmable logic controller with triple redundancy, diversity and self checking mechanism.
- (4) The electro-magnetic noise would not affect this system, since the noise energy is too low to drive power reed switches.
- (5) The excellent reliability and safety could be realized, because the failure rate of power reed switches was very low (for example, less than 0.7 fit).

As this study is under execution at present, the reliability test of power reed switches to switch over two hundred billion times will be carried out, and the safe performance under the actual environment will be confirmed.

Keywords; Safety control, Safety device, Stop-hold monitor, Fail-safe, Redundancy, Diversity, Self checking, Power reed switch, Industrial robot

* 本研究の一部は、日本機械学会第10回交通物流部門講演会（平成13年12月6日）で発表した。

** 機械システム安全研究グループ Mechanical and System Safety Research Group

*** 科学技術振興事業団 重点研究支援協力員 Supporting Staff for Priority Research, Japan Science and Technology Corporation

**** 安川コントロール株式会社 Yasukawa Controls Co., Ltd.

***** 福岡工業大学 Fukuoka Institute of Technology

1. はじめに

最近の安全技術の国際化に伴い、機械設備を対象とした安全制御の分野でも ISO/IEC 規格に規定された安全方策が必要とされている。

このような方策を実施する場合、磁気を使ったパワーリードスイッチは、安価で信頼性が高く（補足1参照）、故障時にフェールセーフな特性を実現でき、かつ電磁ノイズ環境の影響も受けにくいことから、高度な安全方策を実施する上で必須の構成要素と考えられる。このため、本報告書では、第7編でパワーリードスイッチを使用した産業用ロボットの旋回角度監視装置について報告した。本報では、パワーリードスイッチを使用した新たな応用システムとして、産業用ロボットのホールド停止監視装置について報告する。なお、本装置は現在開発中であり、既に完了した部分のみについて報告する。

2. ホールド停止監視装置の必要性

ロボットなどの機械設備では、作業者がロボットをホールド停止状態（ロボットの動力源等を遮断しないまま、プログラム側からの命令によってロボットが一時停止している状態）としたまま、ロボットに近接してトラブル処理、保全等の作業を行うことがある。従来、このような場合の防護装置として、各種の装置が開発されてきた^{1),2)}。

しかし、ロボットのように多くの駆動軸を持つ機械設備では、軸ごとにホールド停止監視装置を取り付けなければならず、従来の装置では経済性の点から問題があった。

また、これらの装置では、通常の作業時はロボットの駆動軸とホールド停止監視装置の従動軸を切り離しておく必要があった。これは、通常の作業時まで両軸を結合させておくと、ロボットが通常作業時に運転しているときもホールド停止監視装置が作動し、ロボットが緊急停止してしまうためである。このため、従来のホールド停止監視装置では、次のような余分な機構を必要としていた。

- ① ロボットの駆動軸とホールド停止監視装置の従動軸の結合と切り離しを行う「軸結合／切り離し機構」（これは電磁石を用いるために重量・体積ともに膨大なものとなる）。
- ② 作業者がロボットに接近するときに操作する「ホールド停止監視開始ボタン」（このボタンからの命令によって両軸を結合させる）。
- ③ 作業が完了したときに操作する「完了ボタン」（このボタンからの命令によって両軸が切り離される）。
- ④ 以上を制御する「安全制御回路」。

さらに、従来の装置では、トランジスタ、抵抗、コンデンサ、トランス、電磁リレー等の電子部品を用いて安全制御用のロジックを組んでいたために、駆動軸の現在の旋回角度の記憶が不可能であるという問題があった。

本研究は以上の問題点を総括的に解決しようとするものであり、その目的は安価であるために多数のロボットの駆動軸を同時に制御でき、軸の結合／切り離し機構が不要で、駆動軸の旋回角度のフェールセーフな記憶機構を備えているロボット用ホールド停止監視装置を開発することである。

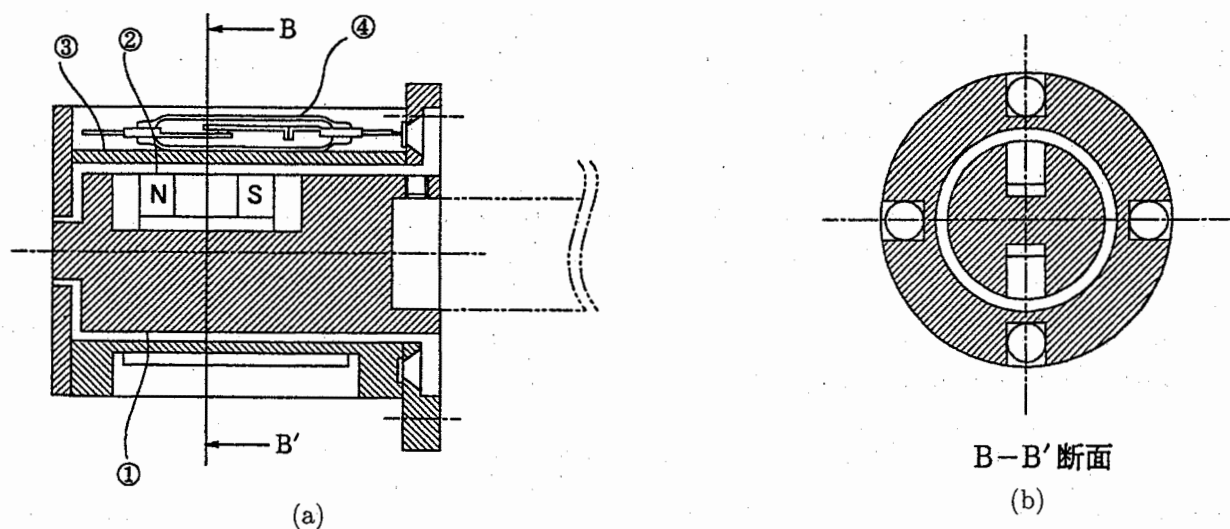


Fig. 1 The structure of hold monitor.
ホールド停止監視装置の構成

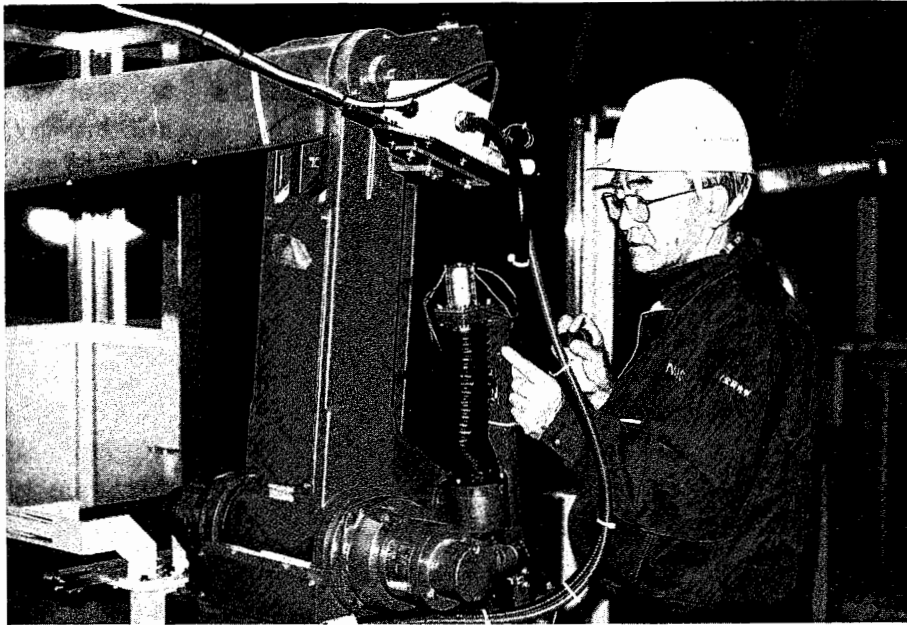


Photo 1 The appearance of developed equipment.
開発した装置の外観

3. システム構成

Fig. 1 に、開発したホールド停止監視装置の構造図を示す。Photo 1 は、この装置を産業用ロボットに適用したときの状況である。

この装置は、①ロボットの駆動軸と一緒に回転するマグネットホルダー、②マグネットホルダー内に収納した永久磁石、③マグネットホルダーの周囲を取り囲む円筒形のスイッチホルダー、④スイッチホルダー内に収納されたパワーリードスイッチからなる。ここで、マグネットホルダーとスイッチホルダー間のギャップは、Fig. 2 のコイル駆動力 PI^3 (接点がオンするとき

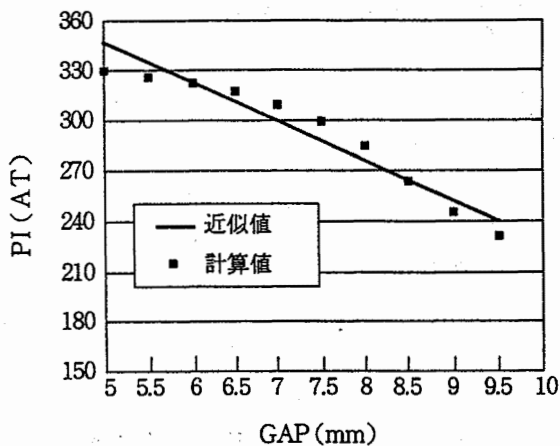


Fig. 2 Calculated value of G and PI when power reed switch is driven by permanent magnet.
パワーリードスイッチが永久磁石によって駆動されたときのギャップGとコイル駆動力PIの計算値

の標準コイルの吸引アンペアターン) の特性に基づき決定する。

4. 実験装置、結果及び考察

4.1 実験装置

実験に使用した産業用ロボットは、安川電機製のL10Wである。パワーリードスイッチには、安川コントロール製のR15 (大容量型、重負荷用) を使用した。これは、印加電圧がDC110Vにおいて定格電流が0.5A、機械的寿命が1億回以上のものである。

装置の寸法は、小型かつ軽量となるように、駆動軸の直径として約30mm、全体長さ約70mm、永久磁石とパワーリードスイッチの隙間として約2mmを目標とした。また、フェールセーフな安全コントローラには、ドイツ・ピルツ社製のPSS3100を使用した。これによって安全リレーを介することなくコンタクトを直接駆動している。

4.2 実験結果と考察

実験は、永久磁石2個で4個のパワーリードスイッチを駆動させる方式を採用した。Fig. 3は、そのときの実測結果である。図からも明らかなように、永久磁石の作動範囲 (以下「動作領域」と呼ぶ) を90度だけ動かしたとき、パワーリードスイッチがオンを維持する範囲 (以下「復帰領域」と呼ぶ) は128度となり、隣接するパワーリードスイッチ間で復帰領域がオーバーラップするという問題が生じた。

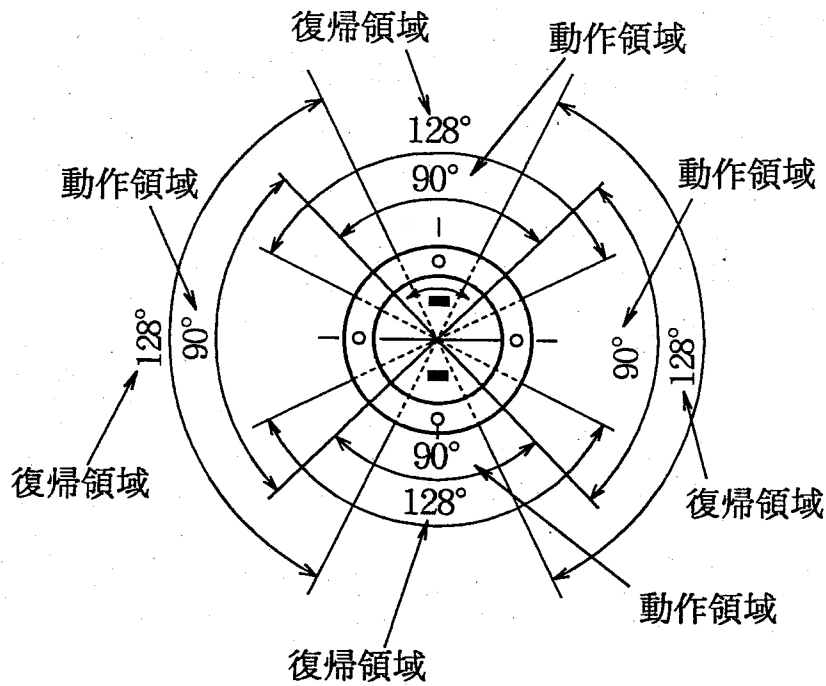


Fig. 3 The experimental results of the stop-hold monitor.
 ホールド停止監視装置の実測結果

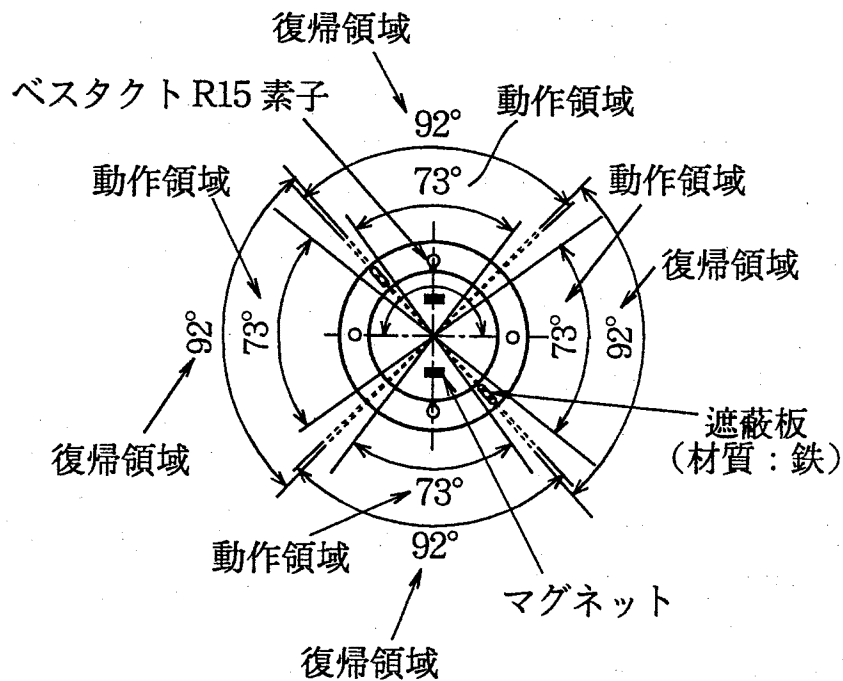


Fig. 4 The effect of the shielding board.
 遮蔽板の効果

そこで、このオーバーラップをなくすために、隣接するパワーリードスイッチの間に磁気遮蔽板を設置した。Fig. 4は、そのときの実測結果である。図からも明らかなように、復帰領域は92度まで縮小でき、駆動軸の暴走を迅速、確実に捉えることが可能となった。

5. システムの総合評価と今後の課題

本研究では、装置の試作と平行して安全技術の専門家による評価を行った。この評価は、第7編で述べた旋回角度監視装置と併せて行ったため、評価者は第7

編に記載した専門家と同じである。また、指摘事項も基本的には第7編に記載した事項と同じであるが、特に現場管理者からは軸の結合/切り離し機構を不要としたことについて高い評価を得た。

今後は、実用的な装置を完成させるとともに、①第2編で提案した理論に基づく装置の定量的な安全性評価、②装置のFMEA解析とフィールドデータ（特に、既にパワーリードスイッチを使用している鉄道システムでのデータ）との突き合わせによる非対称誤り率（発生するすべての故障に対する危険側となる故障の比）の推定、③スイッチ接点のオン/オフ回数の2億超えを目標とした信頼性試験などを行い、実環境下での装置の真の安全性を確認する予定である。

6. おわりに

ロボットなどの機械設備では、作業者がロボットをホールド停止状態としたまま、ロボットに近接してトラブル処理、保全等の作業を行うことがある。そこで、本研究では、ホールド停止中のロボットが暴走を開始したときは、直ちにロボットを緊急停止させるホールド停止監視装置を開発中である。

この装置の特徴は次の通りである。

- 1) ロボットの暴走監視に磁気を使ったパワーリードスイッチを使っているため、故障時にフェールセーフな特性を実現でき、かつ電磁ノイズ等の影響を受けにくい。
- 2) パワーリードスイッチの故障率が0.7 fit以下ときわめて小さいため、安全性と信頼性の両方に優れた装置を構成できる。
- 3) 安価なパワーリードスイッチを使って多数のロボットの駆動軸の挙動を同時に監視できるため、経済性

に優れた装置を構成できる。

- 4) 軸の結合/切り離し機構が不要なため、装置の軽量化とコンパクト化が図れる。
- 5) 汎用安全コントローラとの併用によって、駆動軸の旋回角度のフェールセーフな記憶が可能である。

今後は、実用的な装置を完成させるとともに、第2編で提案した理論に基づく装置の定量的な安全性評価、装置のFMEA解析とフィールドデータの突き合わせによる非対称誤り率の推定、スイッチ接点のオン/オフ回数の2億超えを目標とした信頼性試験などを行い、実環境下での装置の真の安全性を確認する予定である。

参考文献

- 1) 杉本旭他，産業用ロボットの安全システムの構成 — セーフティホールド安全装置の構造 —，第5回日本ロボット学会学術講演会，(1987)。
- 2) 蓬原弘一他，回転停止確認に基づく安全作業システムの一構成法，機械学会論文誌，C，Vol.60，No.576，(1993)，pp.240-247。
- 3) 飯盛憲一，不平等磁界中でのパワーリードスイッチの駆動，電気学会論文誌，Vol.J73-C-II，No.8，pp.447-452。

[補足1]

パワーリードスイッチを製造している安川コントロール株式会社によれば、スイッチの接点においてオン/オフに異常を生じる確率は0.7 fit (0.7×10^{-9} 回/h)以下とされている。

(平成14年1月10日受理)