

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月26日現在

機関番号：82727

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01310

研究課題名（和文）空気圧制御システムにおけるフェールセーフインタロックシステムの試作

研究課題名（英文）Prototype Making of a Fail-Safe Interlock System for Pneumatic Control Systems

研究代表者

中村 瑞穂（NAKAMURA, mizuho）

独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構職業能力開発総合大学校（能力開発院、基盤整備センター）・能力開発院・准教授

研究者番号：60649193

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では先行研究で示されている構成論理に基づきFSIS-PDを構成している窓監視とウィンドウコンパレータおよびFSIS-PDの試作を行った。試作した窓監視を用いて安全機能の評価方法を検討して実施した。FSIS-PDの試作品により安全機能である停止に必要な時間を求める実験方法を検討して実施して評価を行った。これらにより、先行研究で示されているFSIS-PDの構成論理に停止時間について追加する必要があることが分かった。また、FSIS-PDの実用化には人間が機械類に接近するのに要する時間よりも、FSIS-PDの停止時間が短くなるように設計することが不可欠であることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究ではFSIS-PDを試作して安全機能である停止を実験により評価を行い構成論理に停止が完了する基準時間を追加することが不可欠であることを発見した。安全確認型インタロックシステムの研究において停止時間を加えることで停止の遅れが原因となる事故を防ぐことが可能になる。また、実験による安全機能を評価する方法は他のインタロックシステムの研究に応用することが可能であることから安全確認型インタロックシステムの研究を進める意義がある。また、FSIS-PDは低コストで製作することができ、他の機械類への応用も可能であることから産業現場における労働災害の防止に貢献することが可能である。

研究成果の概要（英文）：In this study, a window monitoring device and a window comparator, both configuring the FSIS-PD based on the configuration logic presented in precedent studies, were experimentally made, and, thereby, the FSIS-PD were experimentally configured. To evaluate their safety functions, two experimentally evaluating methods were developed, one for the symmetric failure mode characteristics (safety side failure) of the window monitoring device, and the other for the stopping time of the FSIS-PD. The prototypes were evaluated by these two evaluating methods to confirm that they were configured based on the configuration logic. It was also found necessary to add the stopping time to the configuration logic of the FSIS-PD presented in prior studies. For the practical use of the FSIS-PD, this study demonstrated it essential to design the FSIS-PD so as to make the time for stopping shorter than that for human beings to approach machines.

研究分野：安全工学

キーワード：機械安全 安全確認型システム フェールセーフ 安全機能

1. 研究開始当初の背景

空気圧システムの動力である圧縮空気の供給圧力は 0.7MPa 程度であるため、受圧面積によっては数トン程度の力になる。非定常作業(修理・保全作業)では、圧縮空気の遮断(動力遮断)と残圧を排気して圧力を消滅させる必要がある。作業を人間が行う際に機器の故障や作業の誤りが原因で重篤度の高い災害が発生する可能性がある。そこで、作業の前に空気圧システムが停止(動力遮断 排気)して、作業を人間が安全に行える状態を確保することが可能であるインタロックシステムが必要であることから 2013 年に中村らにより空気圧駆動システムを対象としたフェールセーフ・インタロックシステム(Fail-Safe Interlock System in Pneumatic Drive System、以降、“FSIS-PD”とする)の構成論理が提案されている。さらに、この論理に基づく実用化が求められることから、本研究はその要請に応えるものである。

申請者が研究を進めている FSIS-PD の試作の主な特徴は以下の通りである。

- 1) FSIS-PD の構成原理：FSIS-PD の安全の妥当性の根拠は「安全を維持する操作に危険側誤りが含まれる場合、安全を常時確認することにより、安全が確認できないときはシステムを停止するインタロックの必要性を主張する」とする安全(確認)の原理で構成されている。
- 2) 市販部品による FSIS-PD の試作：FSIS-PD における窓監視は C 型ブルドン管圧力計とフォトインタラプタ、ウインドウコンパレータは一般的なアナログ回路により試作する。遮断弁はノーマルクローズタイプの市販の電磁方向切換弁を使用している。
- 3) 実験による安全機能の評価(窓監視)：窓監視(試作品)を用いて圧力を変化させ、圧力の上昇・下降時の圧力値を計測して窓の幅が狭まる特性について評価する。
- 4) 実験による安全機能の評価(FSIS-PD)：FSIS-PD の安全機能は停止(動力遮断 排気)であり、停止に要する時間は性能になる。圧力制御の誤りと各種空気圧コンポーネント故障を再現して動画を撮影する。この動画を用いて停止に要する時間を計測することにより性能を評価する。

2. 研究の目的

本研究は市販品のセンサ類と空気圧コンポーネントを使用して FSIS-PD の構成論理を満たすように窓監視(圧力監視センサ)とウインドウ・コンパレータを試作して遮断弁(常時閉型)と組み合わせることで FSIS-PD の試作を行い実用化を目指す。

3. 研究の方法

3.1 実験装置の製作

FSIS-PD および窓監視における安全機能の性能評価を図 1 の装置で行う。また、図 2 に図 1 の空気圧回路を示す。この装置で窓監視、ウインドウコンパレータの試作品と遮断弁を組み合わせたものが FSIS-PD の試作品である。

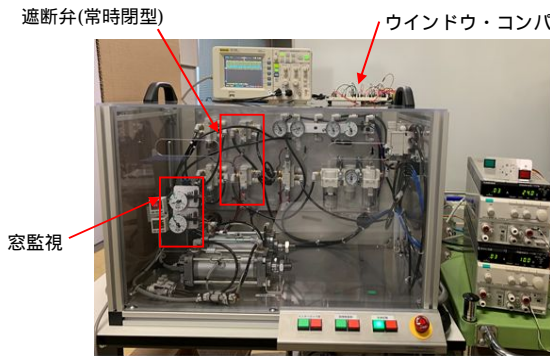


図 1. 実験装置

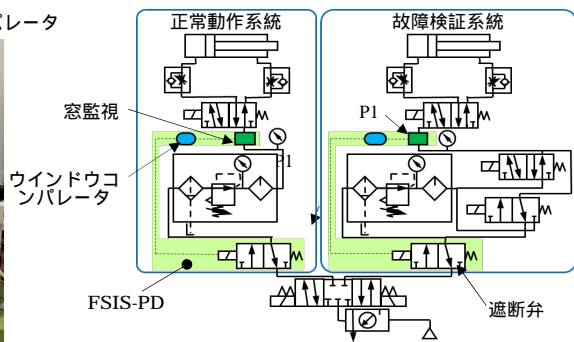


図 2. 実験装置の空気圧回路

3.2 FSIS-PD の試作

窓監視とウインドウコンパレータを製作して市販品の遮断弁と合わせて FSIS-PD の試作を行う。窓監視は図 3 の構成、ウインドウコンパレータは図 4 の回路図により製作する。

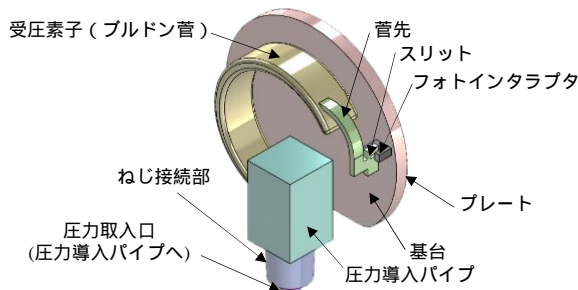


図 3. 窓監視(圧力監視センサ)の構成図

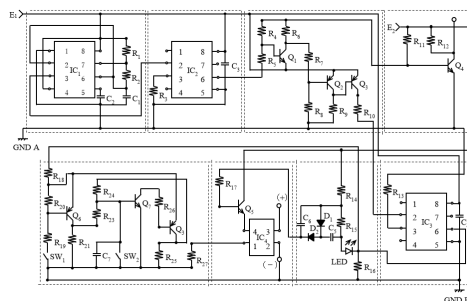


図 4. ウインドウコンパレータ回路

### 3.3 窓監視における安全機能の評価

窓監視を図1に設置してレギュレータを操作して圧力値を変動させることにより、フォトインタラプタのON/OFFで評価を行う。その手順は図6に示すように、レギュレータによる圧力調整部の圧力P1(図2)とフォトインタラプタの動作時間tにより行い(a)~(d)の順にレギュレータを操作して、フォトインタラプタが動作した時点におけるP1を測定する。また、応差(ヒステリシス特性)における繰返し精度の確認のため10回測定を行う。

### 3.4 FSIS-PDにおける安全機能の評価

FSIS-PDの試作品を用いて図7により圧力値が窓監視のしきい値外である状態をレギュレータで圧力上昇および圧力下降を操作して制御の誤りおよび故障状態を再現する実験(圧力上昇)と実験(圧力下降)を行う。実験の手順はレギュレータにより“圧力を上昇”または“圧力を下降”させて窓の外側である状態を再現することで窓監視の信号が非出力になってから停止する動作をiPhone6SとXS(Apple社製)の高速録画機能により撮影して、動画の再生で停止に要する時間を計測する。評価は窓監視の信号が非出力になる時間 $T_1$ は式(1)、信号の非出力から遮断弁が閉になり、動力遮断が実行される時間 $T_2$ は式(2)および動力遮断から停止に要する時間 $T_3$ は式(3)によって求められる。式(4)によりFSIS-PDの停止時間 $T_4$ を求めることができる。

$$T_1 = t_2 - t_1 \quad (1)$$

$$T_2 = t_3 - t_2 \quad (2)$$

$$T_3 = t_4 - t_3 \quad (3)$$

$$T_4 = T_1 + T_2 + T_3 \quad (4)$$

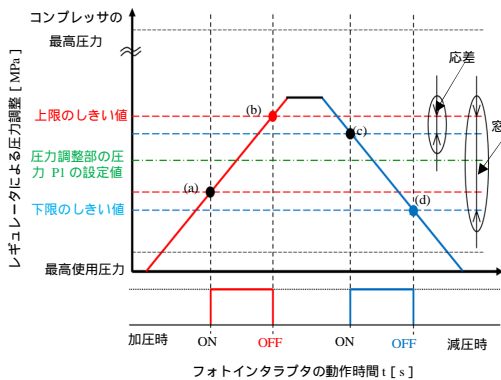


図6.窓監視におけるしきい値の評価

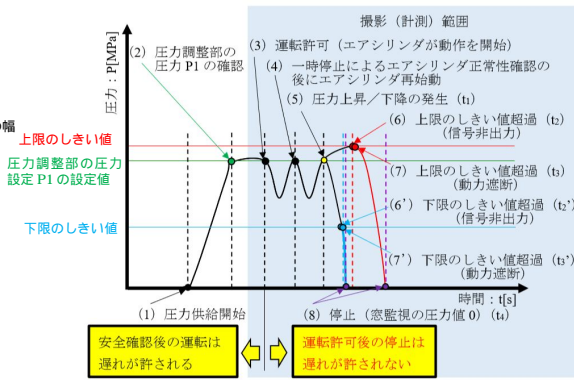


図7.性能評価を行うための撮影(計測)範囲と手順

## 4. 研究成果

### 4.1 窓監視の試作と安全機能の評価結果

窓監視は故障時に信号が非出力となる構造(安全機能)であることが求められるためプレートの取り付け位置と寸法およびスリットのサイズ、ブルドン管とフォトインタラプタの位置関係、基台について設計しており図8に試作品を示す。また、図8を第3.3節に示している手順により安全機能の評価を行った結果を表1に示す。表1によると窓の幅が設定値よりも評価値が0.05MPa小さくなることから非対称故障モード特性(安全側故障)になっていることからFSIS-PDの窓監視として用いることができる。



図8.窓監視(試作品)

表1 窓監視の設定値と評価値

設定値名称	設定値	評価値
上限無反応値	0.55MPa	0.52MPa
下限無反応値	0.25MPa	0.27MPa
窓の幅	0.30MPa	0.25MPa

#### 4.2 FSIS-PD の試作と安全機能の評価結果

第 3.4 節に示している手順により実験（圧力上昇側）と実験（圧力下降側）を行った。実験の結果である図 10 によると圧力上昇の発生時点から停止に要した時間は式(4)により 0.79 秒となっている。

実験の結果を図 11 に示しており、圧力下降側の故障発生時点から停止に要した時間は式(4)から 0.31 秒であった。

窓監視の信号が非出力となる圧力のしきい値(上限/下限)の超過は図 10, 11 によるとエアシリンダの方向切換動作(前進と後退)による圧力の挙動と空気圧コンポーネントにおける圧力上昇側および圧力下降側の故障が発生する時間が関係することが解った。停止時間に影響を及ぼす圧力の挙動と故障の関係はエアシリンダの方向切換動作時に圧力下降側と圧力上昇側の故障により圧力が徐々に上昇する状態が重なるため、上限のしきい値に到達する時間が長くなったことが解った。

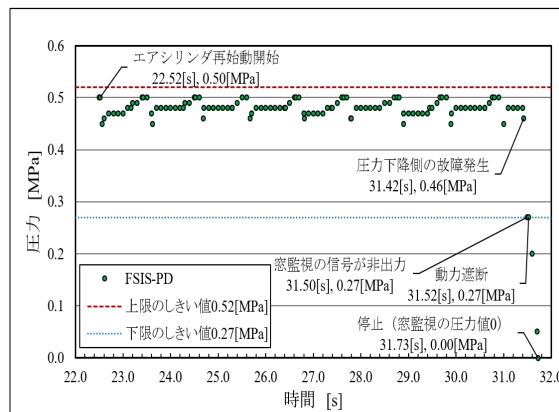
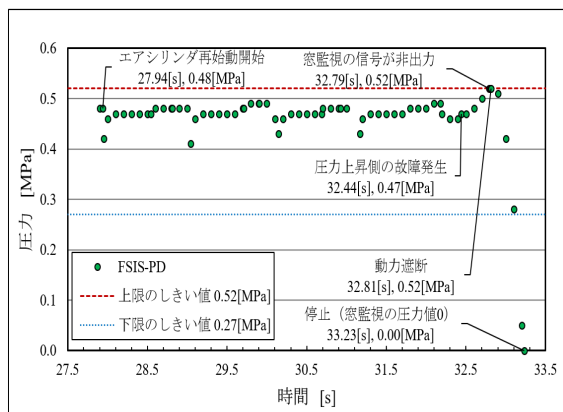


図 10. 実験（圧力上昇側）の圧力挙動のグラフ 図 11. 実験（圧力下降側）の圧力挙動のグラフ

#### 4.3 研究成果のまとめ

本研究で得られた主な成果は ~ の通りであり実験 と実験 は FSIS-PD による停止に要する時間が長くなる側に計測を誤る可能性はあるが、短くなる側には誤らないため有効であると言える。また、実験 と実験 は安全機能の評価方法として妥当であると判断することができる。

構成論理に基づき FSIS-PD を試作することができたので実用化が可能である。

先行研究に基づく窓監視とウインドウコンパレータの試作を行った。

試作品の窓監視を用いて安全機能の評価方法を検討して実施することにより FSIS-PD へ適用することが可能であることを示した。

試作品の窓監視とウインドウコンパレータを市販品の遮断弁と組合わせて FSIS-PD の試作を行った。

FSIS-PD は安全機能が停止(動力遮断 排気)であるため、試作品により停止に要する時間を求めることが可能な実験方法を検討して実施することにより評価を行った。

とにより FSIS-PD の実用化に必要な安全機能の評価が可能であることを示した。

により先行研究で示されている FSIS-PD の構成論理は機械の運転許可条件を示しているのみであり停止に要する時間について示されていないことが分かったことから、構成論理に停止時間について追加する必要がある。

FSIS-PD を構成するコンポーネントは市販品であるため、産業現場の改善活動で実施することが可能であることを示した。

FSIS-PD の実用化には停止に要する時間を求め、設計時に非定常作業時に人間が機械類に接近するのに要する時間よりも、FSIS-PD の停止時間が短くなるようにガード、扉、光カーテン等の設置場所を決めることが不可欠である。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

猪野 款聖, 佐々木 友宏, 三橋 郁, 石塚 禎, 原 圭吾, 市川 修, 千葉 正伸, 中村 瑞穂: 空気圧駆動システムにおけるフェールセーフ・インタロックシステムの検証 共著 電子情報通信学会技術研究報告 安全性 Vol.118 No.370,(2018),5-8 項.(査読無し)

猪野 款聖, 佐々木 友宏, 三橋 郁, 石塚 禎, 原 圭吾, 市川 修, 千葉 正伸, 中村 瑞穂: “ 空気圧システムにおけるインタロックの試作 ”, 電子情報通信学会技術研究報告 安全性, Vol.117, No.365,(2017),5-8 項.(査読無し)

〔学会発表〕(計 8 件)

Nakamura M, Ino M, Mitsuhashi K, Sasaki T, Hara K, Ichikawa O, Chiba M, Sujino T, Ishizuka T  
Prototype Making of a Fail-Safe Interlock System for Pneumatic Control Systems, Proceedings of  
9th International Conference Safety of Industrial Automated Systems , 2018 年 .  
猪野 款聖, 中村 瑞穂：“空気圧駆動システムにおけるフェールセーフ・インタロックシ  
ステムの試作(4)”, 日本機械学会 産業・化学機械と安全部門 研究発表講演会 2018 秋  
安全・安心な産業・化学機械システムの構築, 2018 年 .  
猪野 款聖, 来島 弘賢, 千葉 正伸, 三橋 郁, 原 圭吾, 市川 修, 佐々木 友宏, 石塚 禎,  
中村 瑞穂：“窓監視システムの試作”, PTU フォーラム 2018 第 26 回職業能力開発研究発  
表講演会, 2018 年 .  
猪野 款聖, 千葉 正伸, 三橋 郁, 原 圭吾, 市川 修, 石塚 禎, 佐々木 友宏, 中村 瑞穂：  
“空気圧駆動システムにおけるフェールセーフ・インタロックシステムの試作(3)”, 日本機  
械学会 2018 年度年次大会, 産業・化学機械と安全部門, 2018 年 .  
猪野 款聖, 来島 弘賢, 千葉 正伸, 三橋 郁, 原 圭吾, 市川 修, 佐々木 友宏, 石塚 禎,  
中村 瑞穂：“窓監視の試作”, 2018 年度 実践教育研究発表会, 2018 年 .  
猪野 款聖, 佐々木 友宏, 三橋 郁, 石塚 禎, 市川 修, 千葉 正伸, 中村 瑞穂：“空気圧  
駆動システムにおけるフェールセーフ・インタロックシステムの試作”, 日本機械学会 2017  
年度年次大会, 産業・化学機械と安全部門, 2017 年 .  
中村 瑞穂, 市川 修, 鈴木 重信, 原 圭吾, 千葉 正伸：“空気圧制御システムにおけるフ  
ェールセーフ・インタロックシステムの試作に関する取組(第 2 報 試験装置の仕様)”,  
職業大フォーラム 2016, 第 24 回 職業能力開発研究発表会, 2016 年 .  
中村 瑞穂, 市川 修, 鈴木 重信, 原 圭吾, 千葉 正伸：“空気圧制御システムにおけるフ  
ェールセーフ・インタロックシステムの試作に関する取組”, 実践教育 2016 実践教育研究  
発表会, 2016 年 .

〔図書〕(計 1 件)

実践技術者のための安全衛生工学, 半田 有通, 後藤 康孝, 大屋 昌弘, 中村 瑞穂, 湯浅  
幸敏, 一般財団法人 職業訓練教材研究会, pp.58-83, 2017 年

## 6 . 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名： 原 圭吾

ローマ字氏名：(HARA, keigo)

所属研究機関名：独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構職業能力開発総合大学校(能  
力開発院,基盤整備センター)

部局名：能力開発院

職名：教授

研究者番号(8桁)：00750746

### (2)研究分担者

研究分担者氏名：鈴木 重信

ローマ字氏名：(SUZUKI, sigenobu)

所属研究機関名：独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構職業能力開発総合大学校(能  
力開発院,基盤整備センター)

部局名：能力開発院

職名：准教授

研究者番号(8桁)：60726339

### (3)研究分担者

研究分担者氏名：市川 修

ローマ字氏名：(ICHIKAWA, osamu)

所属研究機関名：独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構職業能力開発総合大学校(能

力開発院,基盤整備センター)

部局名：能力開発院

職名：教授

研究者番号(8桁): 80302941

(4)研究分担者

研究分担者氏名：千葉 正伸

ローマ字氏名：(CHIBA, masanobu)

所属研究機関名：独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構職業能力開発総合大学校(能力開発院,基盤整備センター)

部局名：能力開発院

職名：教授

研究者番号(8桁): 80649210

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。