

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：16K00998

研究課題名（和文）産業機械の空気式フィードバック制御に関する教材開発

研究課題名（英文）Development of teaching materials for industrial pneumatic systems with mechanical feedback control

研究代表者

市川 修（ICHIKAWA, osamu）

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・教授

研究者番号：80302941

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：圧縮空気を用いて機器を自動制御する空気圧制御技術は、さまざまな用途に用いられている。本研究では、産業機械の空気圧制御システムの設計、製作、制御ができる生産技術者を育成するために、空気圧機器の構造と特性、制御法等を学習するカリキュラムを整備し、教材を開発した。さらに、機械式フィードバック制御された空気圧機器を用いて、空気圧制御システムの設計・製作と性能評価の方法を検討し、それらを応用した実習教材を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

空気圧制御技術は、生産設備、医療機器、自動ドアなど、さまざまな自動化設備に用いられている。しかし、高等教育機関では空気圧制御やその自動化技術など、産業界で必要とされている教育が十分に行われていない。本研究の成果を職業教育に適用すれば、空気圧機器の構造、特性の理解と、空気圧制御システムの設計、製作、評価に関する教育を行うことができ、実践的な生産技術者の育成を行うことができると期待される。

研究成果の概要（英文）：Pneumatic control technique has been adapted to various automated machines. In this study, we developed curriculum and teaching materials for pneumatic control engineers to acquire design, assemble, and control techniques. In addition, we studied design, assemble, and evaluation methods of pneumatic system with mechanical feedback, and we proposed a training setup of the pneumatic positioning system.

研究分野：メカトロニクス工学

キーワード：工学教育 メカトロニクス 空気圧制御

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

空気式PID調節器の原型は、1936年米国テイラー社のカレンダーらによって作り出された。その後、テイラー社のジグラーとニコルスがPIDパラメータの最適調整法の開発に取り組み、1942年PID調整則がASME(米国機械学会)論文集に発表され、空気式PID調節器の本格的な普及が始まった。我が国では、1950年代に入り、空気作動式小型調節計とこれに用いる空気圧変換器の特性に関する研究が本格的に行われるようになり、空気式小型計器をモデルプラントに組み込んで実運転して得られた動的性能の検討結果が日立製作所(日立評論、40巻9号、pp.34-42、1958)から発表された。空気式PID調節器は、1960年代に小型電子式計装システムが普及するまで、プラントのプロセス計装システムの主力として使用され、現在も市販されている空気式液面調節計などに組み込まれている。特長として、信頼性が高いこと、空気圧でダイヤフラム調節弁を直接駆動できること、引火の危険がなく安全であることなどが挙げられる。しかし、電子制御技術の発達によって、空気式フィードバック制御技術は衰退しつつある。

空気圧制御技術は、図1に示すように産業用ロボットや各種製造装置、歯科医療、鉄道車両のブレーキやアクティブサスペンション、洗車機、電車やバスのドア開閉、輸送用車両のエアサスペンションなどに応用されており、あらゆる産業・業種の自動化に貢献している。

このような状況にもかかわらず、高等教育機関では、空気圧制御やPLC(Programmable Logic Controller)によるシーケンス制御など産業機械を扱うために必要な教育が重視されていない。一方、職業教育においては、空気圧機器の構造、特性を理解した上で、空気圧制御システムの設計ができるような自動化機器を扱う生産技術者を育成するため、空気圧制御やシーケンス制御に関する技術・知識を習得させる教育が必要である。

しかし、空気圧機器やシーケンス制御の基本的な技術・知識が習得できるレベルの教材はあるものの、空気圧制御の理論や設計技術を詳細に記述し、かつ、フィードバック制御に関する技術・知識を習得させるための教材は極めて少なく、理論的な裏付けを持った教育体系も確立されていない。このため、空気圧制御に関する教育が不十分であり、空気圧制御設計や空気式フィードバック制御といった空気圧制御の根幹をなす技術が失われかねない危機的状況に陥っている。



図1 空気圧制御のアプリケーション

2. 研究の目的

空気圧制御技術は、空気を動力源として機器を自動化する技術で、あらゆる産業・業種の自動化に大きく貢献している。産業機械の空気圧制御に携わる生産技術者育成のニーズが高まる中、既存の空気圧制御の教材は、シーケンス制御による簡単な空気圧回路に関するものがほとんどであり、産業機械の空気圧制御に関する職業教育が十分に行われていない。空気圧機器の構造と特性を理解した上で、空気圧制御システムが設計できるような生産技術者を育成するためには、空気圧機器の構造と特性、制御法の理解に適しているフィードバック制御の教材を利用した教育が不可欠である。そこで本研究では、空気圧機器のフィードバック制御に関する技術・知識を習得させる教材を開発するとともに、得られた研究成果の空気圧制御機器への応用を目指し研究を行った。

3. 研究の方法

本研究では、空気圧制御系の構築に関する技術・知識の習得に必要な教材を開発するため、下記の課題に取り組み、得られた教材を教育訓練に展開する。あわせて、空気圧制御に携わる生産技術者の効率的な育成を目指し、開発した教材を用いた教育訓練の有効性を検証する。また、空気圧制御の核となる技術を後世に伝えるため、空気式フィードバック制御技術を整理・体系化するとともに、研究成果の空気圧制御機器への応用を検討する。

- ・ 空気式フィードバック制御系の構築と特性の評価、電子式フィードバック制御との比較
- ・ 空気式フィードバック制御系設計技術の体系化と空気式フィードバック制御の最適化
- ・ 空気圧制御機器の高性能化・高機能化への応用

4. 研究成果

4.1 空気圧位置決め装置の特性解析と応用

空気圧位置決め装置は、シリンダとシリンダポジションナを組み合わせたものである。シリンダポジションナは、電気を使わない機械式フィードバックを構成する装置であり、信号空気圧に

対応した位置にシリンダを動作させるための空気を供給するものである。一般に高温・多湿・塵埃の多い雰囲気や爆発性の雰囲気など悪条件の環境下で使用されており、バルブの自動開閉、リフタ位置決め、ホッパーゲートの開閉調整などが用途として挙げられる。シリンダポジションを用いた空気圧位置決め装置の構成を図2に示す。図2において破線で囲った部分がシリンダポジショナ

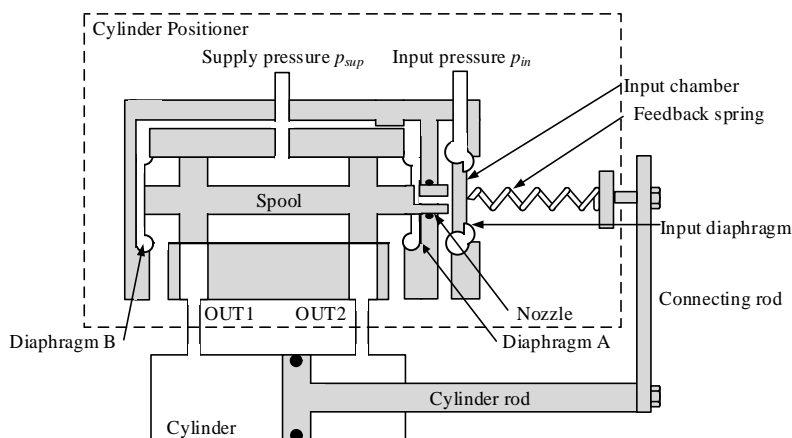


図2 空気圧位置決め装置の構成

である。信号空気圧 p_{in} が入力室に流入すると、入力ダイアフラムが左方向に変位するため、入力ダイアフラムとノズルの間隔が狭くなり、ノズル背圧が高くなる。ノズル背圧によるダイアフラムAの発生力がダイアフラムBの発生力に打ち勝って、スプールが左方向へ移動し、OUT1側に供給空気圧 p_{sup} が供給される。OUT2側は排気され、シリンダロッドが右方向へ動き出す。この動きは連結棒を介してフィードバックスプリングに伝達され、入力ダイアフラムの信号空気圧による発生力とフィードバックスプリングの発生力が平衡するまでシリンダロッドが動くため、信号空気圧に比例した変位が得られる。シリンダポジショナは、機械的にフィードバックをかけるため、摩擦や外力の影響を受けにくく、目標の停止位置を保持できるなどの特徴を有する。図3は空気圧位置決め装置の試作機である。

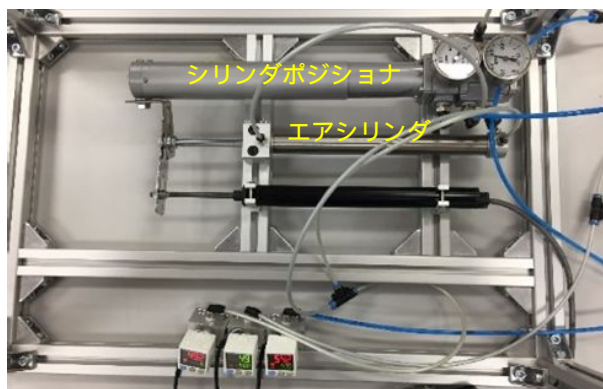


図3 空気圧位置決め装置

図4の実線は、シリンダ直径20mm、ストローク180mmのエアシリンダを組み込み、ステップ応答を測定した結果である。信号空気圧に比例した変位が得られている。また、本装置をモデル化し、パラメータ同定を行った結果、図4の点線で示すように実験結果とほぼ同様のシミュレーション結果が得られることを確認した。実測結果にはオーバーシュートがあらわれ、シミュレーションと若干の差が生じている。また、オーバーシュート直後にアンダーシュートが生じている。これは、信号空気圧に対応した変位を超えてシリンダが前進したことにより、フィードバックがはたらき、スプールが中立位置に戻り、ピストン側の推力がロッド側の推力より小さくなった結果生じていると考える。これらの装置の特性測定、シミュレーションを通じ、空気圧機器の特性測定、モデル化、解析手法を整理、確立した。

また、空気圧位置決め装置の応用として、高放射線下や爆発性の高い雰囲気中でも使用が可能な、マスタースレーブロボットへの適用を提案し、試作装置を製作した。

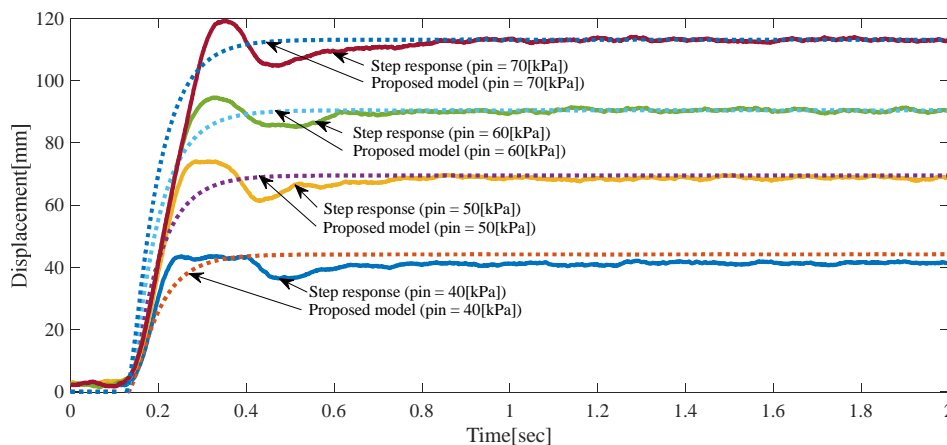


図4 空気圧位置決め装置のステップ応答

4.2 空気圧制御分野の教育内容の検討と検証

空気圧制御システムは、図5に示すように幅広い技術を組み合わせることによって構成されている。空気圧制御システム技術者に必要な素養として、空気圧機器の詳細な構造、特性を知っていること、空気圧制御の詳細な理論を知っていること、空気圧回路の本質を理解していること、詳細な設計技術や特性評価に関する技能・技術知識を習得していることなどが挙げられる。

これらの素養をあわせ持った生産技術者を育成するためには、指導員も図6に示すような空気圧の概要、空気圧機器の構造や特性、速度制御回路や圧力制御回路などの空気圧回路、フィードバック制御、モデリング、シミュレーションなどの自動制御、制御系、機械系の設計・製作、測定系の構築など幅広い分野の要素に関する技能・技術・知識を習得しておくことが不可欠である。従前、機械式制御を組み込んでいた空気圧制御システムは、大部分が電子制御に置き換わったが、機械式制御を電子制御にどの程度置き換えるかは制御対象によって異なる。したがって、機械式制御と電子制御の双方に精通し、最適な置き換えを判断する能力の習得も必要である。

職業教育においては、自動化機器を組み込んだ空気圧制御システムの設計ができる生産技術者を育成するため、空気圧制御はもとよりシーケンス制御など自動制御に関する技能・技術・知識を習得させるための教育訓練が必要である。したがって、指導員も PLC による空気圧システム制御、空気圧機器選定、空気圧システムの省エネルギー技術などに関する実践的な技能・技術・知識を習得しておくことが必要である。また、教材開発、テキスト作成を含め、実際の装置に即した適切な指導方法を習得しておくことも不可欠である。あわせて、限られた訓練時間の中でいかに効率よく必要な要素を習得させられるかというような指導方法も習得する必要がある。

そこで、教育訓練効果を高めるために必要な教材を開発した。教材開発に際しては、空気圧機器の構造と特性が理解でき、空気圧制御システムの構築に必要な技術・知識が習得可能で、かつ、将来的に空気圧機器を組み込んだ先進的制御システム開発への見通しを得ることを目的として教材開発に取り組んだ。本研究では、比較的低速で ON/OFF のみの単純な制御に使用されているシリンダポジションに着目し、図3に示す空気圧位置決め装置を教材として利用することとした。空気圧の概要を効率的に習得させ、その後の空気圧制御システムの設計・製作に関する内容の理解を深めることを目的として、空気圧制御の基礎に関するテキストを作成し、指導員養成を対象とした空気圧制御実習で使用している。従前のテキストと比較して図や写真を30%以上増やすとともに、シミュレータとリンクする実習課題を追加して内容を充実させたことにより、限られた訓練時間の中で空気圧制御に関する基礎的な技能・技術・知識が効率よく習得できるよう工夫している。

指導員養成を対象とした空気圧制御分野の職業訓練に対する教育内容の妥当性と作成したテキストの効果を検証するため、長期養成課程機械指導科の学生8名に対して、訓練前と訓練終了時に習得度測定を実施した。訓練時間が限られているため、空気圧技術と空気圧システム、空気圧分野における圧力、エアシリンダの推力計算、空気圧機器の名称、空気圧制御実習時の安全に関する分野から習得すべき内容を絞り、合計12問出題し、制限時間を30分とした。訓練前と訓練終了時に実施した習得度測定結果を図7に示す。訓練前の平均正答率が57.2%、訓練終了時の平均正答率が79.2%となり、20%以上改善した。また、全員の正答率が向上してい

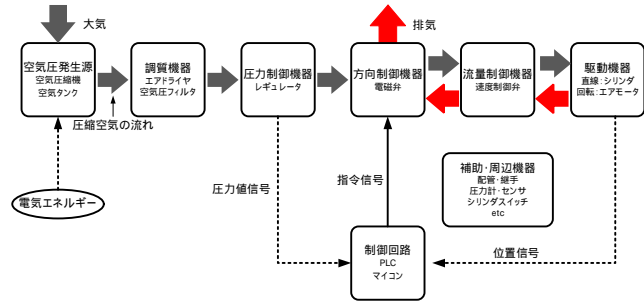


図5 空気圧制御システムの構成

空気圧概論
・空気圧概要、基本法則・原理、空気圧システムの基本構成
空気圧機器
・空気調質機器、制御弁、アクチュエータ、空気圧機器選定
空気圧回路
・速度制御回路(基本回路)、圧力制御回路
・中間停止回路、落下防止回路、吸着回路
自動制御
・シーケンス制御、フィードバック制御
・伝達関数、安定判別、モデリング、シミュレーション
空気圧制御システム設計・製作
・制御系設計、機械設計、測定系の構築(計測制御)

図6 習得すべき技術要素

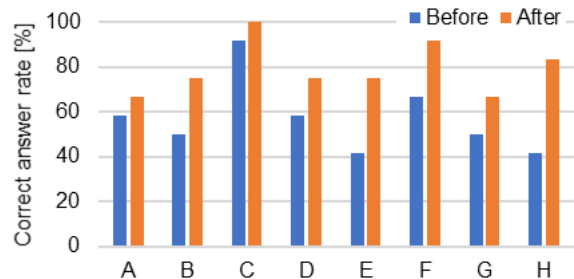


図7 習得度測定結果

る。今回、習得度測定の対象とした長期養成課程機械指導科の学生は、工科系の4年制大学を卒業または大学院修士課程を修了しており、基礎的な知識を習得しているため、訓練前の平均正答率が比較的高くなったと推測される。受講者の平均正答率がほぼ80%に達していることから、空気圧制御の基礎的な内容はおおむね習得できたと判断できる。したがって、教育訓練に対する内容の妥当性とテキストによる習得度向上が確認でき、教育訓練効果が検証できたと考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

森口 肇、市川 修、田川 泰敬、機械式フィードバックによる空気圧位置決め装置のモデル化と特性解析、日本機械学会論文集、査読有、84巻、2018
DOI:10.1299/transjsme.17-00580

〔学会発表〕(計7件)

森口 肇、市川 修、小林 浩昭、空気圧制御分野の職業訓練に関する教育内容の検討と教育訓練効果の検証、第26回職業能力開発研究発表講演会、2018
三枝 信淳、市川 修、森口 肇、小林 浩昭、空気圧シリンダ位置決め装置における空気圧信号伝達特性の測定、第26回職業能力開発研究発表講演会、2018
Hajime Moriguchi, Osamu Ichikawa, Yasutaka Tagawa, Development of a master-slave robotic system using pneumatic positioning mechanism with mechanical feedback, The 14th international conference on motion and vibration (MoViC 2018), 2018
三枝 信淳、市川 修、森口 肇、小林 浩昭、正弦波空気圧発生装置の製作、第25回職業能力開発研究発表講演会、2017
森口 肇、市川 修、小林 浩昭、空気圧制御に関する効果的な教育訓練実施に向けた検討、第25回職業能力開発研究発表講演会、2017
森口 肇、市川 修、田川 泰敬、機械式フィードバックによる空圧位置決め装置のモデル化と特性解析、第15回「運動と振動の制御」シンポジウム、2017
森口 肇、市川 修、小林 浩昭、空気圧制御に関する教育カリキュラムの検討、第24回職業能力開発研究発表講演会、2016

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名： 小林 浩昭
ローマ字氏名： (KOBAYASHI, hiroaki)
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)： 40770285

(2) 研究分担者

研究分担者氏名： 森口 肇
ローマ字氏名： (MORIGUCHI, hajime)
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： 助教
研究者番号(8桁)： 60769826

(3) 研究協力者

研究分担者氏名： 田川 泰敬
ローマ字氏名： (TAGAWA, yasutaka)