

令和 3 年 5 月 31 日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K06488

研究課題名(和文) 制御システムの安全なメンテナンスのための支援技術

研究課題名(英文) Support technology for safe preventive maintenance of control systems

研究代表者

陶山 貢市 (SUYAMA, Koichi)

東京海洋大学・学術研究院・教授

研究者番号：80226612

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：製造物責任や国際規格上、製造者は製品の適切なメンテナンス手法を使用者に告知する義務を負っている。しかし、国際規格にはそれらの作業を安全に行うための環境に関しては何も記載されておらず、学術的にも議論されていない。また、特にプロセス産業では、通常の稼働状態とその環境との間の移行も現場技術者の経験に頼っているのが実状であり、メンテナンス時に事故が多く発生する原因となっている。本研究では、工業製品に含まれる、あるいは生産現場の制御システムのメンテナンスを安全に行うための環境を明確にし、それを作り出す支援技術を世界に先駆けて確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

国際規格に基づく認証は品質、環境に続く「第3の波」として今まさに押し寄せている。日本の工業製品・プラントにメンテナンスのしやすさという新たな価値を付加する道を開き、製造物責任及び国際規格上、国際競争力を向上させる一助となろう。さらに将来、本支援技術をメンテナンス関連の国際規格に反映させることができれば、その新たな価値は国際規格によりオーサライズされた確固たるものとなり、また、学術的な研究成果に裏付けられた日本の世界に対する大きな貢献にもなる。

研究成果の概要(英文)：Product liability makes it obligatory for manufacturers to provide an appropriate and effective preventive maintenance procedure for each product. However, the international standards on maintenance, such as IEC 60300-3-11, and well-known references in the fields of safety and dependability engineering do not describe an operating state suitable for safely performing preventive maintenance of control systems. In this research project, an operating state suitable for safely performing preventive maintenance of each subsystem of a control system has been theoretically clarified for the first time. Furthermore, a new control system design for achieving the operating state has been proposed, where the safety of the bidirectional transitions between normal operation and the operating state is guaranteed. This preventive maintenance support technology can be some help for Japanese products to enhance global competitiveness.

研究分野：制御工学、システム工学、安全工学、信頼性工学

キーワード：制御システム メンテナンス 安全性

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

(1) 産業界における国際規格の重要性の増大と日本の対応の遅れ

この四半世紀、特に自動車分野におけるドイツの世界戦略は、国際規格・法制上で自国に有利な状況を作り出すというものであった。自国発の自動車搭載ソフトウェアの設計手法を自動車製品の安全性に関する国際規格ISO 26262で世界標準としてオーサライズさせたのはその典型である。それに比べて、認証などの制度・システム面及び資金面など、すべてにわたり、日本は重要な国際規格への対応が遅れている。その結果、日本の国際競争力は全体的に低下する一方である。また、何よりも国際規格そのものに対する貢献が決定的に不足している。

(2) 制御システムの安全なメンテナンス技術の未確立

製造物責任及び国際規格上、製造者は製品の適切なメンテナンス（正確には予防保全）手法を使用者に告知する義務を負っている。しかし、メンテナンス関連の国際規格には部品交換などの必須作業が列挙されているだけで、それらの作業を安全に行うための環境に関しては何も記載されていない。また、特にプロセス産業では、通常の稼働状態とその環境との間の移行も現場技術者の経験に頼っているのが実状であり、メンテナンス時に事故が多く発生する原因となっている。このような現状は、メンテナンスを安全に実施するために適した環境について学術的に未だ議論されていないことに起因している。

2. 研究の目的

(1) 制御システムのメンテナンスを安全に実施するために適した環境の明確化

本研究では、運転支援・自動運転技術におけるインフラ側のシステムなど、制御システム全体を停止させてメンテナンスを行うことが必ずしも現実的ではない場合を想定する。そして、制御システムのメンテナンスを安全に実施するために適した環境を学術的に初めて明確にする。

(2) 移行の安全性評価・管理の枠組みの確立

メンテナンス開始前には通常の稼働状態から(1)の環境へ、メンテナンス終了後には(1)の環境から通常の稼働状態へ、制御システムの稼働状態の移行が必要になる。さらに、その過程では、メンテナンスを行う部分・サブシステムを停止あるいは再起動させることが必要である。これらの移行の安全性を定量的に評価・管理する枠組みを確立する。

(3) 世界に先駆けた制御システムのメンテナンス支援技術の確立

(1)、(2)に基づいて、制御システムのメンテナンスを安全に実施するために適した環境を作り出し、通常の稼働状態との間を安全に移行させるメンテナンス支援技術を世界に先駆けて確立する。

(4) 日本発の新技术による世界に対する貢献と将来の国際規格化

本研究で確立する制御システムのメンテナンス支援技術を日本発の新技术として発信し、世界に対して大きな貢献をする。また、日本の工業製品・プラントにメンテナンスのしやすさという新たな価値を付加する道を開き、製造物責任や国際規格上、国際競争力を向上させる一助とする。さらに、将来、本支援技術をメンテナンス関連の国際規格に反映させることができれば、その新たな価値は国際規格によりオーサライズされた確固たるものとなる。それこそが本研究の究極の目的である。

3. 研究の方法

(1) 制御システムのメンテナンス支援技術の確立

① 制御システムのサブシステムのメンテナンスを安全に実施するために適した環境

特に運転支援・自動運転技術におけるインフラ側のシステムなどを念頭に、制御システムの一部だけを停止させた上でのメンテナンスを考える。本研究では、制御システムの1つのサブシステムのメンテナンスを安全に実施するために適した環境を以下の(a)、(b)を満たすものとして規定する。

(a) メンテナンス対象のサブシステム以外の部分は、通常稼働時と同等の制御性能で稼働している。

(b) メンテナンス対象以外のサブシステムが不測の異常の発生により緊急停止しても、

(b1) それによる移行の安全性は確保され、

(b2) 残りの部分は通常稼働時と同等の制御性能で稼働を続けることができる。

(a)はメンテナンス実施中の、(b2)は他のサブシステム緊急停止後の、稼働している制御システムの性能が良好に維持されるという条件である。このうち、後者はフォールト・トレランス設計により、理論的な議論が可能である。(b1)は具体的には緊急停止の悪影響が許容範囲内に抑えら

れるという条件であり、②の安全性評価・管理の枠組みにより議論する。

② 移行の安全性評価・管理の枠組み

移行の大きさ・過酷さは、直後の制御システム内の物理量・信号の乱れに注目して、切替 L_2 ゲインにより定量的に評価する。その値が小さいほど安全性が高い。その評価指標の意味で、移行が大きく過酷になる可能性がないように、移行前後の稼働状態、すなわち移行前後の制御システムで用いるコントローラをあらかじめ設計しておくことで、移行の安全性を確保する。さらに、移行実施時の制御システムの状況を考慮することにより、安全性を向上させることが可能である。

③ メンテナンス支援技術の全体像

あるサブシステムのメンテナンス開始前には、以下の手順により、その安全な実施に適した環境を実現する。

1. メンテナンス対象サブシステムの停止
2. 通常稼働時のコントローラから対象サブシステムのメンテナンス専用のコントローラへの切替え

ここで、1.を安全に実施できるように、フォールト・トレランス設計により、通常稼働時のコントローラに機能として対象サブシステムの停止に対する耐性を埋め込んでおく。また、2.のコントローラは、対象サブシステムのメンテナンスを安全に実施するために適した①の環境を実現するためのものであり、①の(a), (b)を満たすように、フォールト・トレランス設計及び切替 L_2 ゲインを用いた多目的設計の手法により、あらかじめ設計しておく。

メンテナンス終了後の通常の稼働状態への復帰に関しても同様に考慮する。

本支援技術で用いるフォールト・トレランス設計及び切替 L_2 ゲインの議論とともに研究代表者らが国内外の制御の分野をリードしている。本メンテナンス支援技術を世界に先駆けて確立することができるのはそのためである。

(2) 研究成果を具現化するソフトウェアの開発

(1)の研究成果である制御システムのメンテナンス支援技術をコンピュータ上のソフトウェアとして具現化する。具体的には、メンテナンスを安全に実施するために適した環境を実現するための対象サブシステム専用のコントローラを設計するプログラム、移行の安全性を評価・管理するプログラムなどである。そのようなソフトウェアがあることは、本支援技術の実用性をアピールする際に重要なポイントとなると考える。

(3) 研究成果の国際規格への反映を目指した活動

研究代表者は、International Electrotechnical Commission (IEC) の Technical Committee 56: Dependability (TC56) の Expert および国内委員会の幹事として、ディペンダビリティ (広義の信頼性)、さらには安全性に関わる国際規格の策定・改定にあたって、日本の意見をとりまとめ、反映させた経験を持つ。メンテナンス関連の国際規格を扱う TC56 の関係者に対して、(1), (2)の研究成果を日本からの貢献としてアピールし、将来の国際規格への反映を目指す。

4. 研究成果

(1) 研究の主な成果

① 制御システムのメンテナンス支援技術の確立

1. 基本構想

サブシステム S_1, S_2, \dots からなる制御システムを考える。サブシステム S_i ($i = 1, 2, \dots$) のメンテナンスに関する本支援技術の基本構想を図 1 に示す。枠で囲まれた部分が本支援技術による通常のメンテナンスプロセスである。また、図中でグレーに網掛けされているのは停止したサブシステムを表す。

キーとなるのは S_i のメンテナンスを安全に実施するために適した環境 (稼働状態) $State\ i_m$ である。稼働状態 $State\ i_m$ では、メンテナンスのために停止している S_i 以外の部分は通常の稼働状態 (Normal operation) と同等の制御性能で稼働している (3. (1)①の(a))。万が一、その稼働中の部分に不測の異常が発生し、別のサブシステム S_j が緊急停止したとしても、それによる移行 Transition i_mj の過渡的な悪影響は許容範囲内に抑えられ (3. (1)①の(b1))、移行後の状況

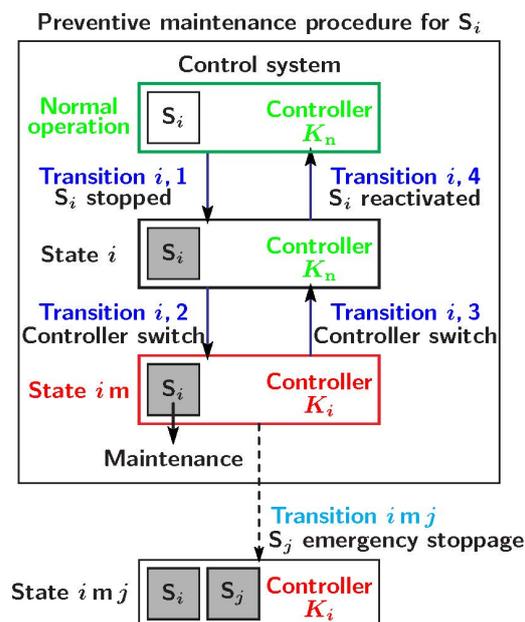


図 1 メンテナンス支援技術の基本構想

State imj においても残された部分は許容範囲内の性能で稼働を続けることができる (3. (1)①の(b2))。したがって、State im では、停止している S_i のメンテナンスを、必要であれば所要時間を気にする必要なく、安全に実施することができる。この環境は、通常稼働時のコントローラ K_n とは別に用意する、 S_i のメンテナンス専用のコントローラ K_i により実現する。

稼働状態 State im における S_i のメンテナンスの開始前には、Normal operation から State im までの移行が、終了後にはその逆方向の移行が必要となる。ただし、Normal operation と State im の間には S_i が停止している稼働状態 State i が存在する。したがって、本支援技術による通常のプロセスでは、図 1 に示した Transition $i, 1$ から Transition $i, 4$ までの 4 つの移行の安全性が確保されなければならない。具体的には、 S_i の停止及び再起動に伴う Transition $i, 1$ 及び Transition $i, 4$ については、 K_n の機能として、フォールト・トレランスなどにより安全性が確保される。また、コントローラの切替えに伴う Transition $i, 2$ 及び Transition $i, 3$ については、切替え後に新たに立ち上げるコントローラの初期値の適切な設定により、安全性が確保される。

以上より明らかなように、本支援技術は、サブシステムのメンテナンスを安全に実施するため環境・ツールを設計の段階で制御システムに埋め込むことを意図したものである。

2. 具体的なシステム設計

(A) サブシステム S_i のメンテナンス専用のコントローラ K_i の設計

稼働状態 State imj における制御システムの性能指標 H_∞ ノルムを $\gamma(\text{State } imj)$ のように表すことにする。また、移行 Transition imj の大きさ・過酷さの指標としての切替 L_2 ゲインを $\hat{\gamma}_{tr}(\text{Transition } imj)$ のように表すことにする。このとき、3. (1)①の(b1), (b2)は以下のように定式化することができる。

(b1) サブシステム S_j の緊急停止に起因する移行の過酷さが許容範囲内という意味で安全性が確保されているための条件： $\hat{\gamma}_{tr}(\text{Transition } imj) < \hat{\gamma}_{tr,ac}$

(b2) メンテナンス中だった S_i と緊急停止した S_j 以外の稼働している部分の制御性能が許容範囲内であるための条件： $\gamma(\text{State } imj) < \gamma_{ac}$

ただし、 $\hat{\gamma}_{tr,ac}$, γ_{ac} はそれぞれ移行の過酷さの許容限界、制御性能の許容限界を表す。より高い移行の安全性、異常時のより高い制御性能を求めるとすれば、これらの値をより小さく設定する。結局 K_i は、これら (b1), (b2) の制約条件の下で、 $\gamma(\text{State } im)$ を最小化する ((a)に相当) 多目的設計により得られる。ただし、 S_i のメンテナンス実施中に他のどのサブシステムが緊急停止しても対応できるように、条件 (b1), (b2) はあらゆる $j (\neq i) = 1, 2, \dots$ について考えることが必要である。

(B) 通常稼働時のコントローラ K_n の設計

(b1) で双方向の移行を考慮すること以外は、基本的にはコントローラ K_i の設計と同様である。

(b1) サブシステム S_i のメンテナンス開始前の停止及び終了後の再起動に起因する移行の過酷さが許容範囲内という意味で安全性が確保されているための条件：

$$\hat{\gamma}_{tr}(\text{Transition } i, 1) < \hat{\gamma}_{tr,ac} \text{ 及び } \hat{\gamma}_{tr}(\text{Transition } i, 4) < \hat{\gamma}_{tr,ac}$$

(b2) サブシステム S_i 停止中の制御性能が許容範囲内であるための条件： $\gamma(\text{State } i) < \gamma_{ac}$

これら (b1), (b2) の制約条件の下で、 $\gamma(\text{Normal operation})$ を最小化する ((a)に相当) 多目的設計により得られる。ただし、メンテナンスを実施するすべてのサブシステムについて本支援技術を適用するため、条件 (b1), (b2) はあらゆる $i = 1, 2, \dots$ について考えることが必要である。

(C) コントローラの切替えに伴う移行の安全性の確保

移行 Transition $i, 2$ において、新たに立ち上げるコントローラの初期値を、移行実施時の状況を表す直前の制御システムの状態変数ベクトル x_0 に定数の切替え行列 $S_{i,2}$ を乗じた $S_{i,2}x_0$ として決める。このとき、 $\hat{\gamma}_{tr}(\text{Transition } i, 2)$ を最小化するような $S_{i,2}$ を求めることで、最悪の状況で実施された場合の本移行の過酷さを最小にすることができる。

移行 Transition $i, 3$ についても同様である。

なお、目標とする安全性が確保できない、すなわち $\hat{\gamma}_{tr}(\text{Transition } i, 2) < \hat{\gamma}_{tr,ac}$ あるいは $\hat{\gamma}_{tr}(\text{Transition } i, 3) < \hat{\gamma}_{tr,ac}$ が満たされない場合には、 $\hat{\gamma}_{tr,ac}$, γ_{ac} の値をより大きく再設定して安全要求を低くした上で、(A), (B)における K_i , K_n の設計をやり直す。

3 ループサーボ系の例を示す。ループ 1, 2, 3 がそれぞれサブシステム S_1, S_2, S_3 に相当する。図 2 は、ループ 1 のメンテナンスに本支援技術を適用した場合の、ループ 2 の挙動を示している。4 つの移行時の悪影響が抑えられていること、及びループ 1 のメンテナンス中においても目標値 r_2 をループ 2 の出力 y_2 が追従するサーボ性能は通常の稼働状態と同等に良好である。図 3 は、ループ 1 のメンテナンス中にループ 3 が緊急停止した場合のループ 2 の挙動を示している。緊急停止の影響が抑えられていること、及びその後のサーボ性能も良好である。結局、本支援技術は、必要な移行の安全性を確保した上で、ループ 1 のメンテナンスを安全に実施するために適した環境を実現しており、有効であることが分かる。

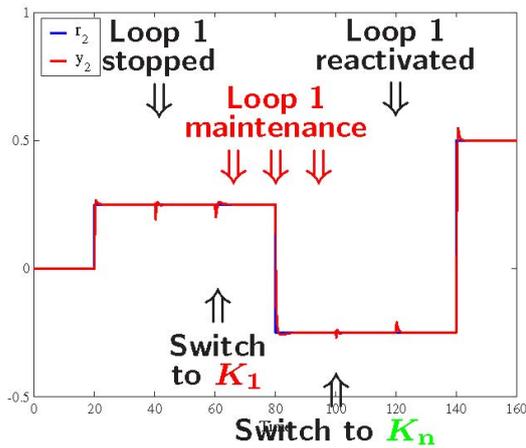


図 3 本支援技術の通常のプロセスでループ1のメンテナンスが実施された場合のループ2の挙動

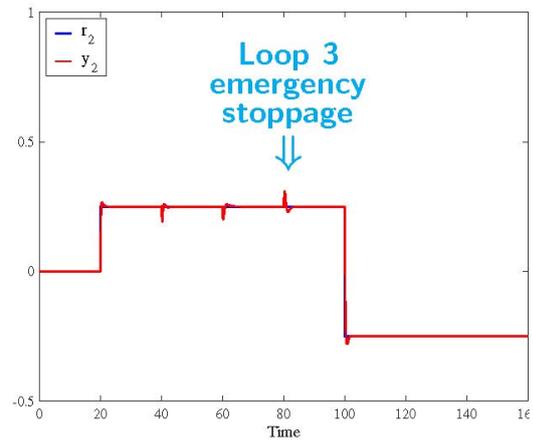


図 2 ループ1のメンテナンス中にループ3が緊急停止した場合のループ2の挙動

② コントローラの切替えに伴う移行の安全性の向上

①2. (C)では、新たに立ち上げるコントローラの初期値を移行実施時の状況から決めるための切替え行列を設計することにより、Transition $i, 2$ 及び Transition $i, 3$ の安全性を確保した。これは、移行実施時の状況が事前に既知であるとは限らないからである。しかし、実際には、事前に計画された制御システムの定常状態において移行が実施されることも多く、そのような場合には移行実施時の状況を表す制御システムの状態変数ベクトル x_0 は実施前に既知である。その情報を用いて、切替え時の状況を x_0 に限定して考える状態依存型切替 L_2 ゲイン $\hat{y}_{sd-tr}(Transition\ i, 2; x_0)$ を最小化することにより、移行時の状況 x_0 に応じてもっとも過酷さが小さくなる最適な初期値を直接的に決めることができる。この手法によれば、最悪の状況で実施された場合を想定する①2. (C)の切替え行列を用いた初期値決定よりも、コントローラの切替えに伴う移行の過酷さを必ず小さくすることができる。したがって、Transition $i, 2$ 及び Transition $i, 3$ の安全性を向上させることができる。

(2) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

国際規格に基づく認証は品質、環境に続く「第3の波」として今まさに押し寄せている。日本の工業製品・プラントにメンテナンスのしやすさという新たな価値を付加する道を開き、製造物責任及び国際規格上、国際競争力を向上させる一助となろう。それは、将来、本支援技術をメンテナンス関連の国際規格に反映させることができれば、その新たな価値は国際規格によりオーサライズされた確固たるものとなり、また、学術的な研究成果に裏付けられた日本の世界に対する大きな貢献にもなる。

(3) 今後の展望

線形時不変制御システムのサブシステムのメンテナンスに関しては、支援技術としてほぼ完成された形に確立することができた。本支援技術を将来、メンテナンス関連国際規格へ反映させることを目指す上でキーとなるのが、実用レベルでの適用実績である。しかし、線形時不変、あるいは実際にはそのように見なすことができる制御システムである、サブシステムの分割が明確であるなど、適用のためにはいくつかの条件がそろわなければならない。今後とも継続して適用可能な実システム例を探す予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Koichi Suyama and Noboru Sebe	4. 巻 Vol.22, Issue 5
2. 論文標題 A safety assessment framework of control systems according to international standards	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Asian Journal of Control	6. 最初と最後の頁 1741-1754
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asjc.2131	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Koichi Suyama and Noboru Sebe	4. 巻 -
2. 論文標題 Initial state design for controller switches by using state-dependent switching L2 gain	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 17th European Control Conference	6. 最初と最後の頁 1257-1262
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/ECC.2019.8796131	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Koichi Suyama and Noboru Sebe	4. 巻 -
2. 論文標題 Control system design for safely performing preventive maintenance	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of 14th IEEE International Conference on Control and Automation	6. 最初と最後の頁 1087-1094
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICCA.2018.8444281	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kodai Nakano, Noboru Sebe, Sae Deguchi, and Koichi Suyama	4. 巻 Vol.51, Issue 25
2. 論文標題 State assignment method for improvement of transient response caused by controller switching	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IFAC-PapersOnLine	6. 最初と最後の頁 365-370
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ifacol.2018.11.134	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Koichi Suyama and Noboru Sebe	4. 巻 -
2. 論文標題 State-dependent switching L2 gain for analyzing the fluctuations in transient responses after a system switch	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 57th IEEE Conference on Decision and Control	6. 最初と最後の頁 6263-6268
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/CDC.2018.8618974	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Koichi Suyama and Noboru Sebe	4. 巻 Vol.50, Issue 1
2. 論文標題 Support technology for safe preventive maintenance of control systems	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IFAC PapersOnLine	6. 最初と最後の頁 10369-10376
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ifacol.2017.08.1690	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Koichi Suyama and Noboru Sebe	4. 巻 Vol.19, No.6
2. 論文標題 Controller reset strategy for anti-windup based on switching L2 gain analysis	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Asian Journal of Control	6. 最初と最後の頁 1877-1890
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asjc.1530	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kodai Nakano, Noboru Sebe, and Koichi Suyama	4. 巻 -
2. 論文標題 Optimization of state transition matrix at switching using switching L2 gain analysis	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of the International Conference on ICT Robotics	6. 最初と最後の頁 23-26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Koichi Suyama and Noboru Sebe	4. 巻 Vol.92, Issue 5
2. 論文標題 Switching L2 gain for evaluating the fluctuations in transient responses after an unpredictable system switch	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Control	6. 最初と最後の頁 1084-1093
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00207179.2017.1381884	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mai Ichikawa, Noboru Sebe, Koichi Suyama, and Katherin Indriawati	4. 巻 -
2. 論文標題 A bias fault estimation of actuators and sensors by optimization with ell0 norm constraint	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2017 Asian Control Conference	6. 最初と最後の頁 1443-1448
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ASCC.2017.8287385	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Koichi Suyama, Noboru Sebe	4. 巻 Vol.53, Issue 2
2. 論文標題 Initial state design for suppressing undesirable effects of controller switches	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IFAC-PapersOnLine	6. 最初と最後の頁 6452-6458
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ifacol.2020.12.1788	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Koichi Suyama, Noboru Sebe	4. 巻 -
2. 論文標題 Safety design of control systems according to international standards	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 19th European Control Conference	6. 最初と最後の頁 掲載確定
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Kana Shikada, Noboru Sebe, Koichi Suyama, Katherin Indriawati
2. 発表標題 Robust fault-tolerant servo system against sensor failure and plant uncertainties
3. 学会等名 59th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鹿田佳那, 瀬部昇, 陶山貢市, Katherin Indriawati
2. 発表標題 センサ故障に対する耐故障サーボ系における外乱オブザーバ構造の有効性
3. 学会等名 第63回自動制御連合講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------