

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02162

研究課題名(和文) 制御バリア関数に基づくヒューマンアシスト制御理論の構築

研究課題名(英文) Human assist control theory based on control barrier function

研究代表者

中村 文一 (Nakamura, Hisakazu)

東京理科大学・理工学部電気電子情報工学科・教授

研究者番号：70362837

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の研究成果として、人間や自転車などの移動障害物を対象とした時変制御バリア関数を提案し、新たな衝突回避制御法を開発した。制御対象の形状を考慮できる、あらたなヒューマンアシスト制御法を開発した。さらに、国際的に標準となってきた零化制御バリア関数の問題を解消した厳密零化制御バリア関数を提案し、厳密零化制御バリア関数を用いることによりヒューマンアシスト制御が実現できることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、自動車や電動車いすなど制御対象の形状を考慮し、移動する障害物に対しても適用可能な安全アシスト制御フレームワークの構築に成功した。学術的には、従来高次元システムや人間の入力を含む時変システムに対して適用できなかった零化制御バリア関数の問題を解決した厳密零化制御バリア関数に基づく安全アシスト制御理論を構築することができた。これにより、移動体やロボットに対して数学的なフレームワークに基づく安全アシスト制御を容易に設計できるようになった。

研究成果の概要(英文)：As results of the research project, we have proposed a time-varying control barrier function and a collision avoidance control method. Moreover, we have developed a novel human assist control method which can consider shapes of control objects. Furthermore, we have proposed a strict zeroing control barrier function based. With the function, we can design a human assist control method based on zeroing control barrier functions.

研究分野：制御工学

キーワード：制御工学 ヒューマンアシスト制御 制御バリア関数 ロボット制御 電動車いす

## 1. 研究開始当初の背景

研究開始当初、ブレーキ支援システム等を搭載した先進安全自動車の販売が広がっている一方、安全支援システムの突然の介入により多くの利用者が危険を感じている報告(国民生活センター, 2018年1月)や、衝突被害軽減ブレーキが動作しない警告(国土交通省, 2018年4月)が出されていた。また、自動車の自動運転に関する研究も盛んに行われているが、米国におけるUBER社による実証実験中における死亡事故や、テスラ社の自動運転車両の事故など、機械から人間の安全を保障するための制御技術は未だ発展途上であった。

研究開始当初から現在にいたるまで、電動車いす、生活支援ロボット、自動運転車両のラスト1マイルにおける自動車の遠隔操作、原子炉内に代表される危険環境下におけるロボットの遠隔操作、船舶の着積アシストなど、移動体に対する安全アシスト制御は、国民生活を豊かにするキーテクノロジーとして幅広い産業分野で期待されている。ところが、国際自動制御連盟(IFAC)の報告で指摘されているように、システムの安全性を保障するためのヒューマンアシスト制御に関する理論的検討は不十分であった。

制御工学の実用的根幹をなすサーボ制御では、1. 目標値追従性、2. 安定性、の2条件が最低限満たされなければならない条件として広く認知されている。ヒューマンアシスト制御に対しては、研究代表者は以下の2点が最低限満たすべき条件と考えている。

(1) 安全性: あらかじめ規定された安全性を持つこと。

(2) 操作性: あらかじめ規定された規範の下で人間の与える入力が最大限に保持されること。

本研究における学術的「問い」は、これら2条件を満たす数理科学的ヒューマンアシスト制御理論が構築できるのか否か、であった。この問いには、条件中にあいまいに示された「あらかじめ規定された」安全性・規範としてどのようなものが理論的に利用できるのかという問題も含んでいた。

制御理論は、安定性を中心として理論の体系が進められてきた。一方で、人間の入力のように事前に情報が得られないものの取り扱い、理論的に十分に議論されているとは言えなかった。このため、この学術的「問い」に関して数理科学的解答が存在するのかどうかという点から、未だ検討されていなかった。

本研究では、これらの目的を達成するために、制御バリア関数に着目した。研究開始当初から、制御バリア関数を用いた制御に関する研究が世界的に活発に行われていたが、ヒューマンアシストに利用可能であることを言及した論文は研究代表者らの研究のみであった。また、階層的なヒューマンアシスト制御理論は、研究代表者の知る限り存在しなかった。また、時変の制御バリア関数、適応制御バリア関数、微分不可能制御バリア関数に関する議論は全く行われていなかった。

制御バリア関数を用いたヒューマンアシスト制御は、社会問題を解決する大きな手法となりうるにもかかわらず、未開拓のフロンティアであると研究代表者は考えていた。

## 2. 研究の目的

本研究は、安全性と操作性を理論的に保証するヒューマンアシスト制御実現のために、本研究では適応型階層化安全アシスト制御理論を構築することを目的とした。さらに、車両型移動ロボット、電動車いす、ヒューマノイドロボット、船舶に対しこれらの理論を適用し、有効性を明らかにすることを目指した。

## 3. 研究の方法

本研究では、大きく「理論的研究」と「実験的研究」に分けて研究を行った。理論的研究では、解析学的な数学手法を用いて、制御バリア関数を用いたヒューマンアシスト制御法の開発を主に行った。また、制御バリア関数と類似性の高い制御リヤプノフ関数を用いた制御法についても研究を行った。理論の有効性の検証は、主にコンピュータシミュレーションにより行った。実験的研究では、電動車いす、車両型移動ロボット、ヒューマノイドロボットに対して安全アシスト制御を実装し、実機実験により制御法の有効性を検証した。

## 4. 研究成果

3年間の研究により、制御バリア関数を用いた安全アシスト制御は理論面、実機検証の両面から大きな進展が得られた。以下査読有学術誌論文としてまとめた主な研究成果を紹介する。

研究開始時点では、歩行者や自動車など、移動障害物を回避するためのアシスト制御は実現できていなかった。移動障害物を考慮するためには、これまで時間に陽に依存しない、時不変制御バリア関数を、時間を陽に考慮できる時変制御バリア関数として定義する必要があった。このた

めには、移動障害物に接触しない、ということを数学的に定義する必要があった。そこで、研究代表者らは時間と空間の対として定義されるグラフ空間の不変性により、安全性を定義した。またこの定義した安全性に基づいて時変制御バリア関数を定義するとともに、移動障害物を回避するためのアシスト制御法として利用可能な、時変の安全集合を保障する安全アシスト制御法の開発に成功した。さらに、開発した安全アシスト制御法が安全性を保障する入力の中でユークリッドノルムを最小化することを明らかにし、またアシスト入力時間が時間と空間の双方に対して連続性を有することを明らかにできた。(五十嵐ら、計測自動制御学会論文集、2020)

制御バリア関数が設計できれば連続でかつ、アシスト入力の介入がユークリッドノルムの意味で最小となるような安全アシスト制御則が、容易にかつ解析的に計算できるが、制御バリア関数をどのように設計すればよいかという問題は大きな問題であった。この問題に対し、研究代表者らは制御バリア関数と、制御リヤプノフ関数の類似性を明らかにし、制御リヤプノフ関数は必ず逆数型の制御バリア関数となることを明らかにした。すなわち、制御バリア関数が、条件を弱めた制御リヤプノフ関数であることを示した。これにより、数多く提案されている制御リヤプノフ関数設計法を、そのまま制御バリア関数設計法として利用できることを示した。また、制御バリア関数にプロパー性の条件を課さない場合には、座標変換に対する不変性がないことを明らかにした。(Takai et al., Journal of Marine Science and Technology, 2020)

システムの安全性を保障するためには、制御対象の形状を陽に考慮できることが重要である。例えば「自動車の後車軸の中心」の安全性を考えるのではなく、「自動車の車体形状」の安全性を考えられなければならない。機体形状が複数の剛体から構成されると考えると、形状を自由に變形することはできないから、機体形状は明らかに不可制御である。しかしながら、安全保障問題においては、機体形状すべてが安全集合に含まれる、という問題定義が可能であり、機体形状を考慮した制御バリア関数の設計法を提案した。また、この制御バリア関数に基づき、安全集合が凸集合の場合に適用できる、新たな安全アシスト制御法を開発した。(Furusawa & Nakamura, Asian Journal of Control, 2021)

安全集合が凸集合になる場合において安全アシスト制御法の開発に成功したが、非凸安全集合に対する安全保障は難しい問題であることを明らかにできた。例えば、制御対象と障害物との最小距離に基づいた安全保障を行おうとした際に、最小距離に関する微分方程式系が状態に関して不連続になり、この場合安全アシスト入力も必然的に不連続となることを明らかにできた。(濱谷、中村、計測自動制御学会論文集、2022)

安全性を保障する上で、外乱に対する考慮は必須だと考えられる。本研究課題では、新たに入力状態制約安全性制御バリア関数(ISCsf-CBF)を定義し、任意の有界外乱に対して安全性を保障できる新たな安全アシスト制御法を開発した(林、中村、計測自動制御学会論文集、2021)

これまで紹介した研究成果のように、本研究課題では主に逆数型の制御バリア関数を利用して研究を進めたが、世界的には零化制御バリア関数に関する研究が主流となっている。しかしながら、人間の入力に加わるような時変システムには適用できず、相対次数が2次以上のシステムに対してはアシスト入力の連続性が保証できないという大きな問題があった。研究代表者らは、これらの問題をすべて解決した厳密零化制御バリア関数の概念を提案した。また、厳密零化制御バリア関数を用いたヒューマンアシスト制御法を提案した。(Tezuka & Nakamura, IEEE Control Systems Letters, 2021)

制御リヤプノフ関数は制御バリア関数であるから、制御バリア関数設計理論発展のために、制御リヤプノフ関数の設計法の発展も重要な課題である。本研究課題では、特に設計が難しかった有限時間整定、固定時間整定制御のための制御リヤプノフ関数設計法を開発した。(林、中村、計測自動制御学会論文集、2020、2021)

以上の研究成果は理論研究の成果であったが、実験による有効性の検証についての研究成果も順調に得られた。電動車いすに対して制御バリア関数を用いたヒューマンアシスト制御を実装し、有効性を確認するとともに、乗り心地改善のため、アシストプロファイル関数を用いた新たなヒューマンアシスト制御法を開発した。(林、中村、計測自動制御学会論文集、2020)

電動車いすの衝突防止システムに用いる距離センサとしての、深度センサの有効性を検証した。深度センサは計測のばらつきが大きいことが知られているが、このばらつきは距離が近くなるほど小さくなり、またレーザーレンジファインダとは異なり欠測や外れ値計測が少なくなることを示した。これにより深度センサは移動体の衝突回避アシストに適したセンサであることを明らかにできた。(君野ら、システム制御情報学会論文集、2021)

本研究課題において、時変制御バリア関数を用いた移動障害物回避アシスト制御を開発したが、提案法は、障害物の速度が既知でなければならなかった。しかしながら、自動車事故防止問題を考えたときに、歩行者や他の自動車の速度が既知であることは期待できず、速度推定機構が必要であった。そこで厳密微分器を用いた速度推定機構と、時変制御バリア関数を用いた移動障害物回避アシスト制御を持つ移動障害物回避制御法を開発した。開発した制御法を、電動車いすに実装し、実機実験を行うことによりその有効性を明らかにした。(手塚ら、計測自動制御学会論文集、2021)

ヒューマノイドロボットのロボットアームに対し、機体形状を考慮した障害物回避アシスト制御法を実装し、実機実験により有効性が確認できた。(濱谷、中村、計測自動制御学会論文集、2021)

本研究課題では適応型階層化安全アシスト制御理論の開発を目標としたが、前提となる時変制御バリア関数、制御バリア関数設計法、機体形状を考慮した制御バリア関数などの開発に関して成果をまとめることができた。また、実機でも良好な実験結果を得ることができた。以上より、安全性、操作性を有する数理科学的ヒューマンアシスト制御理論は構築できる、という学術的「問い」に対する解答を得ることができた。ここで、操作性の規範についてはユークリッドノルムが利用できることを明らかにできた。

研究目的の一部に含めていた適応制御バリア関数については、保守性が高いものしか開発に成功しなかったが、ISCSf-CBFの開発に成功することにより、外乱に対する安全性を保證することができるようになった。また、安全アシスト制御の階層化については、学術論文誌論文としてまとめることができていない。ISCSf-CBFの実機検証とともに、今後の課題である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計33件（うち査読付論文 30件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 11件）

1. 著者名 Tezuka Issei, Nakamura Hisakazu	4. 巻 6
2. 論文標題 Strict Zeroing Control Barrier Function for Continuous Safety Assist Control	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Control Systems Letters	6. 最初と最後の頁 2108 ~ 2113
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LCSYS.2021.3138526	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 佐藤 康之、中村 文一	4. 巻 61
2. 論文標題 有限時間整定P-PI制御によるマニピュレータの高精度手先位置制御	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 計測と制御	6. 最初と最後の頁 115 ~ 120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11499/sicejl.61.115	査読の有無 無
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 HAYASHI Takuya, NAKAMURA Hisakazu	4. 巻 57
2. 論文標題 Fixed-time Control Using Locally Semiconcave Control Lyapunov Function	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers	6. 最初と最後の頁 478 ~ 487
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9746/sicetr.57.478	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 HAYASHI Yuka, NAKAMURA Hisakazu	4. 巻 57
2. 論文標題 Control Barrier Function Based Human Assist Control under Disturbance	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers	6. 最初と最後の頁 339 ~ 348
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9746/sicetr.57.339	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 TEZUKA Issei、MATSUURA Jun、NAKAMURA Hisakazu	4. 巻 57
2. 論文標題 Time-varying Obstacle Avoidance Assist Control by Using Exact Differentiator	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers	6. 最初と最後の頁 276 ~ 284
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9746/sicetr.57.276	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 Furusawa Shoma、Nakamura Hisakazu	4. 巻 15
2. 論文標題 Human assist control considering shape of target system	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Asian Journal of Control	6. 最初と最後の頁 340 ~ 349
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asjc.2548	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 Kimino Koki、Yamashita Yudai、Nakamura Hisakazu	4. 巻 34
2. 論文標題 Assisting Control of Electric Wheelchair for Collision Avoidance By Using a Depth Sensor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Transactions of the Institute of Systems, Control and Information Engineers	6. 最初と最後の頁 113 ~ 121
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5687/iscie.34.113	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 中村 文一	4. 巻 65
2. 論文標題 制御バリア関数を用いたヒューマンアシスト制御	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 システム / 制御 / 情報	6. 最初と最後の頁 358 ~ 363
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11509/isciesci.65.9_358	査読の有無 無
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 SatoH Yasuyuki、Iwashita Makoto、Sakata Osamu	4. 巻 54
2. 論文標題 Robust adaptive trajectory tracking of nonlinear systems based on input-to-state stability tracking control Lyapunov functions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IFAC-PapersOnLine	6. 最初と最後の頁 388 ~ 393
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ifacol.2021.10.385	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 Nishimura Yuki	4. 巻 54
2. 論文標題 On Stability Analysis of Sliding-Mode Controlled Systems With Additive Noises	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IFAC-PapersOnLine	6. 最初と最後の頁 647 ~ 652
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ifacol.2021.06.175	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 IGARASHI Motoi、TAKAI Maki、NAKAMURA Hisakazu	4. 巻 56
2. 論文標題 Control Barrier Function Based Human Assist Control for Moving Obstacle Avoidance	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers	6. 最初と最後の頁 432 ~ 441
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9746/sicetr.56.432	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 HAYASHI Takuya、NAKAMURA Hisakazu	4. 巻 56
2. 論文標題 Finite-time Control Using Locally Semiconcave Control Lyapunov Function	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers	6. 最初と最後の頁 504 ~ 513
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9746/sicetr.56.504	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 Maki Takai, Motoi Igarashi, Hisakazu Nakamura	4. 巻 28
2. 論文標題 Control barrier function design using revived transformation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Marine Science and Technology	6. 最初と最後の頁 376 ~ 384
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.6119/JMST.202010_28(5).0007	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 Ikeda Ryoya, Hayashi Takuya, Nakamura Hisakazu	4. 巻 -
2. 論文標題 Design of Constructive Tracking Control for Differentially Flat Systems via Minimum Projection Method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2020 IEEE Conference on Control Technology and Applications	6. 最初と最後の頁 827 ~ 832
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/CCTA41146.2020.9206377	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 Kubo Ryoya, Fujii Yasuhiro, Nakamura Hisakazu	4. 巻 53
2. 論文標題 Control Lyapunov Function Design for Trajectory Tracking Problems of Wheeled Mobile Robot	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IFAC-PapersOnLine	6. 最初と最後の頁 6177 ~ 6182
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ifacol.2020.12.1704	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 Takuya Hayashi, Hisakazu Nakamura	4. 巻 -
2. 論文標題 Finite-time control using locally semiconcave control Lyapunov function for differentially flat systems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the SICE Annual Conference 2020	6. 最初と最後の頁 715 ~ 720
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 Ryota Hamatani, Hisakazu Nakamura	4. 巻 -
2. 論文標題 Collision avoidance control of robot arm considering the shape of the target system	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the SICE Annual Conference 2020	6. 最初と最後の頁 1311 ~ 1316
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 Jun Matsuura, Hisakazu Nakamura	4. 巻 -
2. 論文標題 Moving obstacle avoidance by using exact differentiator	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the SICE Annual Conference 2020	6. 最初と最後の頁 727 ~ 731
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 Tsubasa Sano, Hisakazu Nakamura	4. 巻 -
2. 論文標題 Remote operation assist control of humanoid robot in narrow space	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the SICE Annual Conference 2020	6. 最初と最後の頁 1297 ~ 1300
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 Hiroya Kida, Ryoya Kubo, Hisakazu Nakamura	4. 巻 -
2. 論文標題 Trajectory-tracking control of two-wheeled mobile robot using dynamic extension and minimum projection method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the SICE Annual Conference 2020	6. 最初と最後の頁 1301 ~ 1305
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 Ryotaro Hannoe, Hisakazu Nakamura	4. 巻 -
2. 論文標題 Remote human assist control of four-wheeled mobile robot	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the SICE Annual Conference 2020	6. 最初と最後の頁 1306 ~ 1310
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 Kohki Kimino, Hisakazu Nakamura	4. 巻 -
2. 論文標題 Human assist control of an electric wheelchair using depth sensors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the SICE Annual Conference 2020	6. 最初と最後の頁 1333 ~ 1336
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 Hidetaka Kuroda, Hisakazu Nakamura	4. 巻 -
2. 論文標題 Safety assist control of interior permanent magnet synchronous motor using extended control barrier function	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the SICE Annual Conference 2020	6. 最初と最後の頁 1876 ~ 1879
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 西村 悠樹	4. 巻 64
2. 論文標題 非平滑リアプノフ関数による確率安定性解析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 システム / 制御 / 情報	6. 最初と最後の頁 264 ~ 269
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11509/isciesci.64.7_264	査読の有無 無
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 Fukuda Syunsuke, Satoh Yasuyuki, Sakata Osamu	4. 巻 -
2. 論文標題 Trajectory-Tracking Control Considering Obstacle Avoidance by using Control Barrier Function	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2020 International Automatic Control Conference (CACs)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/CACS50047.2020.9289780	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 TAKAI Maki, SHUDAI Hiroki, NAKAMURA Hisakazu	4. 巻 56
2. 論文標題 Regulation Mapping Design for Nonlinear System via Revived Transformation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers	6. 最初と最後の頁 198 ~ 207
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9746/sicetr.56.198	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 HAYASHI Yuka, NAKAMURA Hisakazu	4. 巻 56
2. 論文標題 Human Assist Control of Electric Wheelchair by Using Control Barrier Function	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers	6. 最初と最後の頁 132 ~ 140
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9746/sicetr.56.132	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 Tezuka Issei, Nakamura Hisakazu	4. 巻 -
2. 論文標題 Time-varying Obstacle Avoidance by Using Exact Differentiator	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society	6. 最初と最後の頁 571 ~ 576
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IECON.2019.8926883	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 Saito Masayuki, Nakamura Hisakazu, Hayashi Takuya, Yoshinaga Takao	4. 巻 -
2. 論文標題 Locally Semiconcave Control Barrier Function Design for Human Assist Control	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society	6. 最初と最後の頁 430 ~ 435
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IECON.2019.8927572	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 Igarashi Motoi, Tezuka Issei, Nakamura Hisakazu	4. 巻 52
2. 論文標題 Time-varying Control Barrier Function and Its Application to Environment-Adaptive Human Assist Control	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IFAC-PapersOnLine	6. 最初と最後の頁 735 ~ 740
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ifacol.2019.12.050	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 Hayashi Y., Igarashi M., Nakamura H.	4. 巻 52
2. 論文標題 Contact Assist Control Barrier Function for Human Assist Control	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IFAC-PapersOnLine	6. 最初と最後の頁 741 ~ 746
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ifacol.2019.12.051	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 Ryo Shimamura, Hisakazu Nakamura	4. 巻 -
2. 論文標題 Human assist control of two-wheeled mobile robot based on stochastic control barrier function	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of SICE Annual Conference 2019	6. 最初と最後の頁 1611 ~ 1614
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 Kengo Shinozaki, Ryota Hamatani, Hisakazu Nakamura	4. 巻 -
2. 論文標題 Collision avoidance system for humanoid robot Pepper by using relaxed control barrier function	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of SICE Annual Conference 2019	6. 最初と最後の頁 1627 ~ 1630
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29件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 君野 功季, 山下 湧大, 中村 文一
2. 発表標題 深度センサを用いた電動車椅子の衝突回避アシスト制御
3. 学会等名 第64回システム制御情報学会研究発表講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 飯橋 亮太郎, 中村 文一
2. 発表標題 遠隔操作された四輪車両移動ロボットに対する安全アシスト制御システムの開発
3. 学会等名 第64回システム制御情報学会研究発表講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 手塚 一成, 中村 文一
2. 発表標題 ハイゲインオブザーバを用いた移動体障害物回避制御
3. 学会等名 第63回自動制御連合講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松浦 隼, 中村 文一
2. 発表標題 制御バリア関数を用いた機体座標系による移動障害物回避制御
3. 学会等名 第63回自動制御連合講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 國松 武史, 中村 文一
2. 発表標題 時間軸変換を用いた車両系型移動ロボットの軌道追従制御
3. 学会等名 第63回自動制御連合講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長谷川 侑広, 手塚 一成, 中村 文一
2. 発表標題 ハイゲインオブザーバを用いた電動車いすの移動障害物回避
3. 学会等名 第63回自動制御連合講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 八楸 雅生, 佐野 翼, 中村 文一
2. 発表標題 VRを用いたヒューマノイドロボットの遠隔操作
3. 学会等名 第63回自動制御連合講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本 大心, 中村 文一, 佐野 翼, 濱谷 亮太
2. 発表標題 拡張制御バリア関数によるSciurus17の機体保護制御
3. 学会等名 第63回自動制御連合講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐野 翼, 中村 文一
2. 発表標題 遠隔操作ヒューマノイドロボットの外部環境に対する安全アシスト制御
3. 学会等名 第63回自動制御連合講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林 拓哉, 中村 文一
2. 発表標題 結合制御リヤブノフ関数を用いた固定時間整定制御
3. 学会等名 第8回計測自動制御学会制御部門マルチシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 濱谷 亮太, 山本 大心, 中村 文一
2. 発表標題 障害物の形状を考慮したロボットアームの衝突回避制御
3. 学会等名 第8回計測自動制御学会制御部門マルチシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹森 公哉, 佐野 翼, 中村 文一
2. 発表標題 簡易脳波計を用いたロボットアームの遠隔制御
3. 学会等名 第8回計測自動制御学会制御部門マルチシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 飯橋 亮太郎, 中村 文一
2. 発表標題 四輪車両型移動ロボットに対するステアリングアシスト制御
3. 学会等名 第8回計測自動制御学会制御部門マルチシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村 文一
2. 発表標題 微分フラットシステムに対する非線形2自由度制御
3. 学会等名 第8回計測自動制御学会制御部門マルチシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masayuki Saito, Issei Tezuka, Hisakazu Nakamura
2. 発表標題 Complex obstacle avoidance control for a mobile robot using nonsmooth control barrier function
3. 学会等名 SICE International Symposium on Control Systems 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 Yudai Yamashita , Tsubasa Sano , Hisakazu Nakamura
2. 発表標題 Human assist control of electric wheelchair by using control barrier function
3. 学会等名 SICE International Symposium on Control Systems 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西村悠樹
2. 発表標題 ラフシステム制御理論～確率システムを内包するより一般的な制御システム表現
3. 学会等名 第8回計測自動制御学会制御部門マルチシンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高井 麻希、中村 文一
2. 発表標題 システム蘇生変換を用いた入力アフィン非線形システムに対する連続レギュレーション写像設計
3. 学会等名 第62回自動制御連合講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 林 優花、中村 文一
2. 発表標題 制御バリア関数を用いた外乱を抑制するヒューマンアシスト制御
3. 学会等名 第62回自動制御連合講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 五十嵐 基、中村 文一
2. 発表標題 制御バリア関数を用いた時変の障害物に対する2輪車両型移動ロボットの衝突回避アシスト制御
3. 学会等名 第62回自動制御連合講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 黒田 英嵩、中村 文一
2. 発表標題 制御バリア関数を用いた埋込型永久磁石同期電動機の安全アシスト制御
3. 学会等名 第62回自動制御連合講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤 将之、中村 文一
2. 発表標題 制御バリア関数を用いた円形障害物に対するステアリングアシスト制御
3. 学会等名 第62回自動制御連合講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 濱谷 亮太、中村 文一
2. 発表標題 機体の形状を考慮したロボットアームの衝突回避制御
3. 学会等名 第62回自動制御連合講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松浦 隼、五十嵐 基、篠崎 謙吾、中村 文一
2. 発表標題 ヒューマノイドロボットの時変障害物回避アシスト制御
3. 学会等名 第62回自動制御連合講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐野 翼、中村 文一
2. 発表標題 狭隘空間におけるヒューマノイドロボットの遠隔操作アシスト制御
3. 学会等名 第62回自動制御連合講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奥田 恭之、佐野 翼、中村 文一
2. 発表標題 脳波制御電動車いすのヒューマンアシスト制御
3. 学会等名 第7回制御部門マルチシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大石 純平、佐野 翼、中村 文一
2. 発表標題 遠隔操作移動ロボットの衝突回避アシスト制御
3. 学会等名 第7回制御部門マルチシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山下 湧大、佐野 翼、中村 文一
2. 発表標題 制御バリア関数を用いた電動車いすの回転運動時のヒューマンアシスト制御
3. 学会等名 第7回制御部門マルチシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松浦 隼、五十嵐 基、中村 文一
2. 発表標題 厳密微分器を用いた電動車いすの移動障害物回避制御
3. 学会等名 第7回制御部門マルチシンポジウム
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
研究分担者	西村 悠樹 (Nishimura Yuki)  (20549018)	鹿児島大学・理工学域工学系・准教授  (17701)	
研究分担者	佐藤 康之 (Sato Yasuyuki)  (40738803)	東京電機大学・未来科学部・助教  (32657)	

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
---------	---------