

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：14101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18K04197

研究課題名（和文）データ駆動型制御器設計法によるゲインスケジューリング力制御器の設計法の提案

研究課題名（英文）Design Method of Gain-Scheduled Force Controller Based on Data-Driven Controller Design Method

研究代表者

弓場井 一裕（YUBAI, Kazuhiro）

三重大学・工学研究科・教授

研究者番号：10324542

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究ではロボットに知的な力制御を実現するため、環境から得られる反力とロボットに与える入力の情報から現在の状況を判定し、その判定された状況に応じて制御器ゲインを調整するゲインスケジューリング制御系の構築を行った。本研究の特徴的な点は、上記の知的な力制御を実現するにあたり、力制御を構築するシステムのモデルを用いることなく、ロボットより得られる反力の情報とロボットに与える入力の情報のみから実現している点である。どのような状況においても、指定する粘弾性特性を持つ力制御系を構築できるように、現時点で得られているデータから現在の状況の特定を行い、その結果に応じた制御器ゲインの調整を可能にした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は制御対象から得られる入出力データから制御器を設計するデータ駆動型制御器設計法を、ゲインスケジューリング制御器の設計へ拡張する試みとなっている。これにより多様なシステムに対してデータを用いた制御器設計を可能とし、設計に要するコストや設計者の知識や経験に依らない設計法の提案に繋がると考えられる。一方、応用の面からは人間が環境に応じて力の加え方を調整している仕組みをロボットシステムにおいて実現することができ、ロボットが人間に代わる作業者となるための基礎となると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this research project, the design method of the gain-scheduled force controller which can accordingly tune the controller gains in response to the force acquired from the environment and the input to the robot is proposed. The feature of this research project is that the control scheme is achieved without any mathematical model and only with information acquired from the robot and the environment. In order to achieve the desired force characteristic for any environments, firstly identify the current environment from input and output data, and secondly construct the control system to tune the controller parameters in response to the identified environment.

研究分野：制御工学

キーワード：データ駆動型制御器設計法 ゲインスケジューリング制御 クラスタリング サポートベクターマシン
力制御

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、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

本研究は制御対象から得られる入出力データから直接制御器を設計するデータ駆動型制御器設計法を対象とした研究となっている。通常、データ駆動型制御器設計法では制御対象を線形時不変システムと仮定し、固定の制御器を設計する問題を取り扱っていた。しかしながら、現実の制御対象には線形時不変システムとして捉えることができる制御対象は限定的であり、多くは非線形や時変なシステムとなる。これらの背景のもと、本研究では制御対象の特性が操業中に変化する対象に対するデータ駆動型制御器設計法の確立を目指す。具体的な非線形な制御対象として、ロボットの力制御問題を取り上げる。ロボットの力制御問題は、ロボットが作業を行う環境によりその動特性が変化する制御対象となる。人間は無意識に硬い環境や柔らかい環境に対して接触の仕方を調整しているが、それと同様な能力をロボットに持たせることで知的かつ柔軟な制御系の構築が可能になると考えられる。これにより、人間のような滑らかな力制御をロボットにおいて実現可能となり、これまで人間が担っていた精密な力制御が必要な場面でもロボットにより作業を行わせることが期待できる。

2. 研究の目的

本研究は上述の通り、ロボットの力制御問題に対して、接触している環境から得られる反力情報から現在接触している環境が硬い環境であるか、柔らかい環境であるか判断し、環境の硬さに応じて適切に制御器のゲインを調節する仕組みを、制御対象から得られる入出力データのみから実現することを目的とする。これを実現するために必要な技術として以下が必要になると考えられる。

制御対象から得られたデータから、現在の環境がどのような環境であるか判断する機構
現在の環境がどのような環境であるか判断することができたら、その環境において適切な制御器を得られたデータから設計する技術

滑らかな制御を実現するために、制御器の切り替えを離散的に行うのではなく、連続的に行うために制御器ゲインのスケジューリングの機構

上記の技術の確立をしていくことで、未知な環境下においても滑らかな力制御を実現することを目的とする。 について、非線形システムの同定問題を、区分的線形システムの同定問題として捉え、局所的には線形システムに動特性が支配されていると考えられる。 についてはデータ駆動型制御器設計法の利用が考えられる。 により、データを複数の局所的な線形システムにより生じていると捉え、データをそれぞれの局所的な線形システムによるものとして分類することができれば、それぞれのデータ集合に対してデータ駆動型制御器設計法を適用することでそれぞれの局所線形システムに対する制御器を設計することができると考えられる。 を実現するためには により設計された制御器をスケジューリングするためのスケジューリング則を構築する必要がある。これについてはデータの重心から現時刻において得られたデータとの距離に応じた重みづけが利用できると考えられる。これらを用いることでデータに基づいた滑らかな力制御を実現できると考えられる。

3. 研究の方法

研究の方法として、まず、制御対象から得られるデータから制御器の調整を行う方法について検討を行った。VRFT (Virtual Reference Feedback Tuning) と呼ばれる代表的なデータ駆動型制御器設計法に対して検討を行った。制御器設計 CAD である Matlab 上でロボットの力制御系を構築し、入出力データの取得を行った。まずは簡単にするため、ロボットが力制御を行う環境のパラメータであるばね定数は固定であるとした。結果は設計に際して設定した参照モデルの特性とほぼ同一の特性を実現する制御器を得ることができた。複数の環境パラメータに対しても同様に制御器を設計し、どの場合についても良好な制御性能を示す制御器を設計することができた。

次に、実際の力制御を伴う作業を想定して操業中に環境パラメータが変化する状況を作成した。操業中に環境パラメータが変化した場合、様々な環境における入出力データが得られることになる。ここで、データを分類し、硬い環境から得られたデータ、柔らかいデータから得られたデータなど、データが持つ特徴に応じて分類(クラスタリング)し、分類されたそれぞれのデータ集合に対して制御器を設計するのが妥当であると考え。この考えを確認するため、2つの環境間を行き来する力制御を Matlab 上で行い、その際に得られた入出力データが分類した結果がそれぞれ2つの環境で得られたものと一致するかどうかの確認を行った。データのクラスタリングについてはデータサイエンス分野でよく利用されている k-means 法を用いて分類を行った。分類の結果、完全に環境ごとにデータを分類することはできなかったものの、それに近い結果が得られ、未知の環境から得られる力制御結果から環境の変化に応じてデータを分類するこ

とが可能であることが分かった。データを分類することができたので、これらを用いてそれぞれのデータに対して制御器の設計を行った。データの分類が適切に行われているため、制御器の設計は前述の固定した環境から得られたデータを用いて設計した結果とほぼ同じ結果が得られた。これらの結果により、計算機シミュレーション上では制御対象から得られる入出力データを分類することができ、その分類結果がばね定数の異なる環境から得られたデータにおおよそ一致していることが確認できた。

次に現在の環境が、柔らかい環境であるのか、硬い環境であるのか、現時刻の入出力データを与えることで判別を行う識別機の設計を行った。識別機の設計にはサポートベクターマシンを用いた。サポートベクターマシンにより現時刻における環境がどのデータ集合に属しているか判断することが可能になった。それぞれのデータ集合に対して、VRFT を用いて制御器を設計することで、環境の変化により制御器の切り替えが可能となった。しかし、制御器は離散的に切り替えとなるため、滑らかな力制御はできないと考えられる。滑らかな制御ゲインの調整を実現するためにはゲインスケジューリング制御が有効であることが知られている。よって、次に制御器のスケジューリング則について検討を行った。VRFT によって設計する制御器の構造を PID 制御器とした場合、各ゲインを現在の環境に応じて内挿することで滑らかなゲイン調整が可能になると考えられる。分類されたデータ集合の重心に対し、現時刻で得られるデータとの距離を求め、その距離に応じて各データ集合からの寄与度を求め、それを重みとして現時刻の環境における制御器ゲインを決定する方法を提案した。

以上のアルゴリズムを数値シミュレーションと通して実行し、環境の変化に対して滑らかな制御ゲインの調整を可能とし、良好な制御結果が得られることを確認した。

上記の提案手法を実際に構築した力制御システムに適用し、提案手法の有効性の確認を行った。実験システムにおいてはシミュレーション環境では考慮していなかったクーロン摩擦の影響によりシミュレーション程の制御性能は得られなかった。そこで、シミュレーション結果と同等の結果を得るために、フィードフォワード補償によりクーロン摩擦を相殺することで性能の改善を実現した。

4. 研究成果

本研究では制御対象から得られる入出力データのみから力制御系を構築することを目的とし、環境の変化を特別なセンサを設置することなくロボットの入出力データから滑らかな制御ゲインのスケジューリングを行うことで滑らかな力制御を実現した。非線形システムの動特性の変化を区分的線形システムの切り替えとして表現する考え方に着想を得て、得られる入出力データを環境の変化に応じてクラスタリングし、それぞれのデータ集合に対してデータ駆動型制御器設計法により PID 制御器を得ることで分類した環境(硬い環境・柔らかい環境)に適した制御器の設計を実現した。これらの制御器を環境の硬さの変化に応じて切り替えることで力制御系は実現できるが、これはスイッチング制御系となり、滑らかな力制御の実現は困難となる。そこで、制御器ゲインを滑らかに切り替えるためにデータ集合の重心位置と現時刻で得られているデータとの距離に応じた重みを求め、それぞれのデータ集合に対して設計された制御器ゲインをその重みに応じて合成することで、現時刻における滑らかな制御器ゲインの調整を可能にしている。上記のアルゴリズムを数値シミュレーションおよび実験システムにおいて適用し、提案手法の有効性の確認を行った。実験システムにおいては考慮していない非線形摩擦であるクーロン摩擦の影響により数値シミュレーションにより得られる結果よりも劣る結果となった。今後はクーロン摩擦の影響を考慮した形でアルゴリズムの改良を加えることでより簡易に滑らかな力制御系の実現が可能となると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Sakatoku Taiga, Yubai Kazuhiro, Yashiro Daisuke, Komada Satoshi	4. 巻 16
2. 論文標題 Data Driven Controller Tuning with Closed Loop Response Estimation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering	6. 最初と最後の頁 1397 ~ 1406
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/tee.23436	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 Ito Kohei, Yubai Kazuhiro, Yashiro Daisuke, Komada Satoshi	4. 巻 141
2. 論文標題 Numerical Optimization Approach for Robust Performance Controller Using Frequency Responses	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 1360 ~ 1370
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.141.1360	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 Toshiya Nakamura, Daisuke Yashiro, Kazuhiro Yubai, Satoshi Komada	4. 巻 140
2. 論文標題 Torque Control of a Series Elastic Actuator Using an Ultrasonic Motor with Angular-Velocity Saturation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Industry Applications	6. 最初と最後の頁 378 ~ 386
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejias.140.378	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 Taiga Sakatoku, Kazuhiro Yubai, Daisuke Yashiro, Satoshi Komada	4. 巻 28
2. 論文標題 Constraints to Guarantee Gain and Phase Margins for Data-Driven Controller Tuning Methods	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Marine Science and Technology	6. 最初と最後の頁 385 ~ 393
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Taiga Sakatoku, Kazuhiro Yubai, Daisuke Yashiro, Satoshi Komada	4. 巻 141
2. 論文標題 Estimation of Closed-Loop Response Using Input and Output Data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 396 ~ 397
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.141.396	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 Date Munemitsu, Yubai Kazuhiro, Yashiro Daisuke, Komada Satoshi	4. 巻 139
2. 論文標題 Proposal of NCbT Guaranteeing Closed-Loop Stability and Stability Margins	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 460 ~ 468
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.139.460	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 Yanagawa Kosuke, Yubai Kazuhiro, Yashiro Daisuke, Komada Satoshi	4. 巻 139
2. 論文標題 Data-Driven Output Complementary Sensitivity Shaping by One-Shot Experimental Data	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 874 ~ 881
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.139.874	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 Date Munemitsu, Yubai Kazuhiro, Yashiro Daisuke, Komada Satoshi	4. 巻 139
2. 論文標題 Proposal of NCbT Guaranteeing Closed-Loop Stability and Stability Margins	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 460 ~ 468
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.139.460	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28件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 18件）

1. 発表者名 Kohei Ito, Kazuhiro Yubai, Daisuke Yashiro, Satoshi Komada
2. 発表標題 A Tuning Method of Gain-Scheduled Model Error Compensator Using Frequency Response by Numerical Optimization
3. 学会等名 SAMCON 2022 The 8th IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kouki Tanaka, Kazuhiro Yubai, Daisuke Yashiro, Satoshi Komada
2. 発表標題 Experimental Validation of Controller Design for Inverter via Data-Driven Approach
3. 学会等名 SAMCON 2022 The 8th IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Naoki Nakayama, Kazuhiro Yubai, Daisuke Yashiro, Satoshi Komada
2. 発表標題 Tuning of Youla Parameter with Passivity-Based Stability Constraint
3. 学会等名 SAMCON 2022 The 8th IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Daichi Kondo, Daisuke Yashiro, Kazuhiro Yubai, Satoshi Komada
2. 発表標題 Load Torque Control of an Electromagnetic Motor with a Reduction Gear and Motor/Load-Side Encoders
3. 学会等名 IECON 2020 The 46th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masaya Inukai, Daisuke Yashiro, Kazuhiro Yubai, Satoshi Komada
2. 発表標題 Design of Adaptive Controller for Bilateral Control Systems Including a Propeller-Driven System
3. 学会等名 IECON 2020 The 46th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Taiga Sakatoku, Kazuhiro Yubai, Daisuke Yashiro, Satoshi Komada
2. 発表標題 Proposal of Estimation of Closed-loop Response Using Input and Output Data
3. 学会等名 2020 International Automatic Control Conference (CACS) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuki Nishii, Daisuke Yashiro, Kazuhiro Yubai, Satoshi Komada
2. 発表標題 Design of a Contact-Force Controller including State Feedback Controllers for Propeller-Driven Systems
3. 学会等名 IECON 2020 The 46th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuki Kato, Daisuke Yashiro, Kazuhiro Yubai, Satoshi Komada
2. 発表標題 Design of a Gain-scheduled Rotor Thrust Controller Using Airspeed and Rotor Angular Velocity
3. 学会等名 IECON 2020 The 46th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuki Nishii, Daisuke Yashiro, Kazuhiro Yubai, Satoshi Komada
2. 発表標題 Estimation and Compensation of Airframe's Disturbance Force using Rotor Angular Velocity for Propeller-driven Systems
3. 学会等名 2021 IEEE International Conference on Mechatronics (ICM) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Daichi Kondo, Daisuke Yashiro, Kazuhiro Yubai, Satoshi Komada
2. 発表標題 Load Torque Control of an Electromagnetic Motor with a Reduction Gear, a Spring, and Motor/Load-Side Encoders
3. 学会等名 2021 IEEE International Conference on Mechatronics (ICM) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 酒徳大雅, 弓場井一裕, 矢代大祐, 駒田諭
2. 発表標題 ゲイン・位相余裕を保証するデータ駆動型制御器設計法
3. 学会等名 第63回システム制御情報学会研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森田晃史, 弓場井一裕, 矢代大祐, 駒田諭
2. 発表標題 データを用いた安定かつ最小位相なH _∞ 制御器の設計
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 長瀬瑛, 弓場井一裕, 矢代大祐, 駒田諭
2. 発表標題 入出力データを用いたYoula/パラメータの分母・分子多項式調整
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 森田晃史, 弓場井一裕, 矢代大祐, 駒田諭
2. 発表標題 データを用いたH _∞ 多変数制御器の設計
3. 学会等名 電気学会制御研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 酒徳大雅, 弓場井一裕, 矢代大祐, 駒田諭
2. 発表標題 入出力データを用いた閉ループ応答の推定と制御器の再調整
3. 学会等名 電気学会制御研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 辻井祥太郎, 弓場井一裕, 矢代大祐, 駒田諭
2. 発表標題 データ駆動型制御器設計法と機械学習に基づいたゲインスケジュールド力制御器の設計法の提案
3. 学会等名 電気学会制御研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Akifumi Morita, Kazuhiro Yubai, Daisuke Yashiro, Satoshi Komada
2. 発表標題 Data-Driven Tuning of Stable Minimum Phase H _∞ Controller
3. 学会等名 2019 International Automatic Control Conference (CACS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Taiga Sakatoku, Kazuhiro Yubai, Daisuke Yashiro, Satoshi Komada
2. 発表標題 Proposal of Constraints to Guarantee Gain and Phase Margins for Data-Driven Controller Tuning Methods
3. 学会等名 2020 International Automatic Control Conference (CACS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shotaro Tsujii, Kazuhiro Yubai, Daisuke Yashiro, Satoshi Komada
2. 発表標題 A Data-Driven Design Method of Gain-Scheduled Force Controller for Variable Environments
3. 学会等名 The IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion, and Optimization (SAMCON2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Akifumi Morita, Kazuhiro Yubai, Daisuke Yashiro, Satoshi Komada
2. 発表標題 Multivariable H _∞ Controller Design Using Data-driven Tuning
3. 学会等名 The IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion, and Optimization (SAMCON2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 辻井祥太郎, 弓場井一裕, 矢代大祐, 駒田諭
2. 発表標題 データ駆動型制御器設計法に基づいた切換型力制御器の設計法
3. 学会等名 平成30年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森田晃史, 弓場井一裕, 矢代大祐, 駒田諭
2. 発表標題 不安定な極零相殺を回避した感度最小化のためのデータ駆動型制御器設計
3. 学会等名 平成30年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊達宗充, 弓場井一裕, 矢代大祐, 駒田諭
2. 発表標題 閉ループの安定性と指定された安定余裕を同時に保証するNCbTの実機検証
3. 学会等名 電気学会制御研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柳川晃佑, 弓場井一裕, 矢代大祐, 駒田諭
2. 発表標題 データ駆動型制御器設計における閉ループシステムの安定性を保証する解更新法
3. 学会等名 電気学会制御研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kosuke Yanagawa, Kazuhiro Yubai, Daisuke Yashiro, Satoshi Komada
2. 発表標題 Output Complementary Sensitivity Shaping for MIMO Systems without Multiple Experiments
3. 学会等名 The 37th Chinese Control Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shotaro Tsujii, Kazuhiro Yubai, Daisuke Yashiro, Satoshi Komada
2. 発表標題 A Study on Design Method of the Switching System for Force Control
3. 学会等名 12th France-Japan and 10th Europe-Asia Congress on Mechatronics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akifumi Morita, Kazuhiro Yubai, Daisuke Yashiro, Satoshi Komada
2. 発表標題 Data-Driven H _∞ Controller Tuning by Iterative Convex Optimization
3. 学会等名 The 5th IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shotaro Tsujii, Kazuhiro Yubai, Daisuke Yashiro, Satoshi Komada
2. 発表標題 A Fundamental Study on Switching Control System with Multiple Modes for Force Control
3. 学会等名 A Fundamental Study on Switching Control System with Multiple Modes for Force Control (国際学会)
4. 発表年 2019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
---------	---------