



## ムーンショット目標3

2050年までに、AIとロボットの共進化により、自ら学習・行動し人と共生するロボットを実現

# 実施状況報告書

## 2020年度版

2020年12月～2021年3月

一人に一台一生寄り添うスマートロボット

**菅野 重樹**

早稲田大学 理工学術院

 **MOONSHOT**  
RESEARCH & DEVELOPMENT PROGRAM



## 研究開発プロジェクト概要

柔軟な機械ハードウェアと多様な仕事を学習できる独自の AI とを組み合わせたロボット進化技術を確立します。それにより 2050 年には、家事、接客はもとより、人材不足が迫る福祉、医療などの現場で、人と一緒に活動できる汎用型 AI ロボットの実現により、人・ロボット共生社会を実現します。

[https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal3/31\\_sugano.html](https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal3/31_sugano.html)

## 課題推進者一覧

課題推進者	所属	役職
菅野重樹	早稲田大学 理工学術院	教授
尾形哲也	早稲田大学 理工学術院	教授
堂前幸康	産業技術総合研究所 情報・人間工学領域	研究チーム長
村垣善浩	東京女子医科大学 大学院医学研究科	教授
小林英津子	東京大学 工学部	教授
桑名健太	東京電機大学 工学部	准教授
高橋利枝	早稲田大学 文学学術院	教授

## 1. 当該年度における研究開発プロジェクトの実施概要

### 1) スマートロボットの身体と制御システムの構築

#### 1)-1 人間との接触を伴う作業が可能なロボットシステムの構築

評価実験場所の整備と新しいハードウェアの設計・製作準備については、実験環境を設置する場所を早稲田大学 120-5 号館内に確保した。

油圧アクチュエータの基礎実験と4自由度アームの試作・評価については、高い逆可動性と高出力性を持つMRF(磁気粘性流体)ロボットアーム(4自由度)の試作と基本となる制御システムの実装を行った。重量物の運搬補助実験に関しては、試作した制御システムが正常に機能することで、アームが十分な出力を持った上で人と接触して作業が行えることを確認した。平面や曲面に対する倣い動作に関する基礎実験に関しては、手先の力センサからのフィードバックレス力制御によって、周囲の環境に倣って動作を行い、目標の力で作業が行えることを確認した。以上により、提案した制御システムの有効性が確認できた。

### 2) スマートロボットの知能システムの構築

#### 2)-1: スマートロボットによる環境との柔軟なインタラクションの実現

一般家庭や病院、介護施設などで想定される、人間補助を含む作業を想定し、さらに深層予測学習を想定したデータを集められるロボットハードウェアの仕様を研究開発課題1のメンバーと共同で設定した。一般家庭や病院、介護施設を模擬した実験環境に関する概念設計を進め、計算機サーバについては産業技術総合研究所の有する AI 橋渡しクラウド(ABCI)を利用した基礎実験を進めた。プロジェクトの基盤となる技術として、深層予測学習の道具使用モデルを完成させ、画像だけでは把握できない食材の特性を把握し、適切な道具選択および“よそい”動作を実現した。

#### 2)-2: スマートロボットの検証実験のための評価基準策定

深層学習モデルの研究を進めるための基本環境整備として、ロボットがコンビニ環境で商品操作をするためのセッティングを進めた。RGB-D カメラ付きのモバイルマニピュレータにて、人を避けながら自律移動による周遊・商品認識と、深層学習モデルによって棚上に並んだ商品の位置を認識し、該当商品をピッキングする実験環境を構築した。

### 3) スマートロボットの福祉・医療への展開技術の構築

#### 3)-1: 福祉・医療現場に導入可能なロボットの設計とシステム構築と実用化

##### (1) 検査・施設案内が可能なスマートロボット AIREC の開発

サービス業務代行として活用されているソフトバンク社の Pepper などの情報を収集し比較することで、スマートロボット AIREC のオリジナリティを高めるための比較検討を実施した。

##### (2) 5R(正しい;患者、薬剤、用量、用法、時間)を担保した与薬・薬管理可能インテリジェントカートの開発

与薬管理システムの開発では、システム要件定義に向けて、研究・市販されている機能やシステムについて、10 機能を評価項目としてベンチマークを行った。さらに、現行システムや機能の課題を 5 つ程度抽出した。

##### (3) シームレスな健康モニタリングを実現する情報基盤システムの開発

AIREC が日常生活のなかで自然に生体情報を取得し健康管理を行うためのデバイスとして、脈拍と SpO<sub>2</sub>、血圧や体温の測定とその結果を抽出可能な機器を 6 つ選定した。

(4) 食事介助・口腔ケア・清拭・エコー操作・器械出しが可能なユニバーサルロボットハンドの開発

AIREC が介護・看護・医療領域で作業するためのロボットハンドを核とした作業ごとの開発計画を立案した。AIREC に必要な仕様を明確化することを目的に、既存ロボットによる実験環境構築のための情報収集を実施した。

ハンド用小型人工筋開発に関して、新規高分子を合成し、水溶液中における水素結合形成能について評価を行った。その結果、高分子鎖の分子内、分子間の水素結合形成能を水溶液中で温度依存的に変化できる機能性高分子を新たに開発した(4種類)。また、文献調査から同様な性質を示す機能性高分子についても調査を行った。これらの評価・研究および調査から水素結合性能を有する高分子を5種類選定した。

### 3)-2:福祉・医療ロボット設計と福祉・医療応用の品質保証・国際標準化

医療・福祉現場における収集すべきデータのリストアップを行った。福祉現場における収集データの検討として、既存のデータ収集システムや、生活支援ロボットの評価研究に関する文献・報告書、介護ポータルサイトをもとに、リストアップを行った。医療現場においては、特に手術を対象とし、現状の情報収集システムにおいて収集されているデータについて、東京女子医大にて研究・開発されている、OPeLiNK システムにおいて収集されているデータを参考に検討した。また、医療・福祉支援ロボットの品質保証・国際標準化に関する現状調査を開始した。本研究にかかわるサービスロボット、福祉機器、手術支援機器、人工知能技術に関して、関係する規格やテクニカルレポート(TR)について調査した。

### 3)-3:福祉・医療ロボット設計と福祉・医療応用のリスクマネジメント

リスク評価を行う介護現場での非接触タスク、間接接触タスク、直接接触タスクのタスクリスト・作業範囲案の作成とリスク評価実施準備を行った。AIREC に実装する介護現場のタスク候補である、非接触タスク「与薬・薬管理」、間接接触タスク「口腔ケア」、直接接触タスク「手を引いた案内」について、リスク評価を行う作業範囲案を作成した。また、次年度以降、リスク評価を行うにあたり、センサ・計測機器群の準備を行うとともに、AIREC の自律度に着目したリスク評価実施の指針を検討した。

## 4) スマートロボットの実用化方策

### 4)-1:ELSI の視点からの AI ロボットのニーズおよび社会受容性の国際評価

国際的アンケートを実施するための委託および海外連携の準備を行った。海外連携に関しては、3大学に協力を依頼した。大規模国際比較サーベイ調査を実施するための委託先として、国内の大規模国際サーベイ調査が可能な調査会社のうち、信頼性の高い 6 社を候補として選出した。

## 2. 当該年度の研究開発プロジェクトの実施内容

## (1) 研究開発項目1:スマートロボットの身体と制御システムの構築

### 研究開発課題 1-1:スマートロボットの身体と制御システムの構築

当該年度実施内容:

#### 1) 工作および実験環境整備

評価実験場所の整備と新しいハードウェアの設計・製作準備については、実験環境を設置する場所を早稲田大学 120-5 号館内に確保した。

#### 2) バックドライバブル流体(油圧)アクチュエータの基礎実験

油圧アクチュエータの基礎実験と4自由度アームの試作・評価については、高い逆可動性と高出力性を持つMRF(磁気粘性流体)ロボットアーム(4自由度)の試作と基本となる制御システムの実装を行った。重量物の運搬補助実験に関しては、試作した制御システムが正常に機能することで、アームが十分な出力を持った上で人と接触して作業が行えることを確認した。平面や曲面に対する倣い動作に関する基礎実験に関しては、手先の力センサからのフィードバックレス力制御によって、周囲の環境に倣って動作を行い、目標の力で作業が行えることを確認した。以上により、提案した制御システムの有効性が確認できた。

また、当初の今年度計画には記載していなかったが、①ウェットロボットのための材料の安定化、②自己修復する構造部材やセンサ、③人の接近と接触力を同時に測定できる低コストの静電容量式近接-力-融合センサ、に関する研究も実施し、これらについても研究成果を得ることができた。

課題推進者:菅野重樹(早稲田大学)

### 研究開発課題 1-2:スマートロボット用ミドルウェアの構築

令和3年度より実施

## (2) 研究開発項目2:スマートロボットの知能システムの構築

### 研究開発課題 2-1:スマートロボットによる環境との柔軟なインタラクションの実現

当該年度実施内容:

#### 1) 深層予測学習のデータ取得のための実験用ロボットの仕様の決定

一般家庭や病院、介護施設などで想定される、人間補助を含む作業を想定し、さらに深層予測学習を想定したデータを集められるロボットハードウェアの仕様を研究開発課題1のメンバーと共同で設定した。

具体的には、多自由度双腕アーム、多指ハンドを有し、人間補助が可能なペイロードおよび、全関節でのインピーダンス駆動、遠隔操縦、などの仕様を決めた。想定発注先との調整の結果、以上の要求を満たすロボットハードウェアを令和3年度前半で利用できる目処をつけた。

#### 2) 実験環境の設計

一般家庭や病院、介護施設を模擬した環境を設置する場所として、早稲田大学 120-5

号館の1F と3F を確保した。仕様設計については、特にシーズ側の「やれること」「やってみたいこと」に偏るのではなく、ニーズ側の「やって欲しいこと」「やっても良いこと(ELSI)」とのバランスを考慮した設計を意識して進め、これも令和3年度前半までに利用可能となる予定である。

#### 3) 深層予測学習の基礎実験用のサーバの準備および大型計算機の利用準備

計算機サーバの検討については、産業技術総合研究所の有する AI 橋渡しクラウド(ABCI)を利用した基礎実験を進めた。今後、理化学研究所「富岳」、また早稲田大学内でのサーバ設置の可能性についても検討する。

#### 4) 深層予測学習による道具使用モデル

研究開発課題1のメンバーと共同で行った、深層予測学習の道具使用モデルを完成させ、ICRA2021 に採択された。同研究は、ICRA Cognitive Robotics Award の Finalist に選出されている。本研究はムーンショットの直接の成果ではないが、プロジェクトの基盤となる技術である。

ロボット身体を用いた”食材のかき混ぜ”という能動的行為から、画像だけでは把握できない食材の特性を把握し、適切な道具選択および”よそい”動作を実現した。本成果は、日本経済新聞などのメディアにも取り上げられた。

課題推進者:尾形哲也(早稲田大学)

### 研究開発課題 2-2:スマートロボットの実証実験のための評価基準策定

当該年度実施内容:

当該年度は、深層学習モデルの研究を進めるための基本環境整備として、ロボットがコンビニ環境で商品操作をするためのセッティングを進めた。RGB-D カメラ付きのモバイルマニピュレータにて、人を避けながら自律移動による周遊・商品認識と、深層学習モデルによって棚上に並んだ商品の位置を認識し、該当商品をピッキングする実験環境を構築した。

具体的には、小売店舗模擬環境における評価に相応しい商品2種類(カップヌードルとおにぎり)を選定し、基本的なロボットピッキングを実現した。

課題推進者:堂前幸康(産業技術研究所)

### 研究開発課題 2-3:スマートロボットにおける AI に関する数理的アプローチ

令和3年度より実施

## (3) 研究開発項目3:スマートロボットの福祉・医療への展開技術の構築

### 研究開発課題 3-1:福祉・医療現場に導入可能なロボットの設計とシステム構築と実用化

当該年度実施内容:

#### 1) ロボットベンチマーキング

現在サービスロボットとして社会実装されているロボットに着目し、それらを介護、看護、治療等に適用する際の機能的ベンチマーキングを実施し、本研究で開発するロボットの差別化要素を検討した。その結果、対話相手の生体情報を把握することの重要性、施設・病院等の環境への移動能力の対応性拡大の重要性が確認された。

#### 2) 薬デリバリー

介護・医療現場で効率化・自動化が求められ、AIREC が装備すべき薬管理システムの要件定義に向けて、現状のシステムの機能の確認およびベンチマークを行った。Meet Pria、PROOFIT 1D、スマート医療キャビネット等の7製品について10機能(正しい患者の検知、正しい薬剤の検知、薬剤補充 等)での比較を行った。「正しい患者」については複数対象者が想定することの必要性、「薬剤補充」については取り間違い防止が課題であること、「薬形状」については液体管理に課題があることが明らかとなった。

#### 3) 生体情報

脈拍と SpO2 の測定と抽出が可能なウェアラブルデバイスと携帯端末とのアプリケーションを介した連動により測定結果を抽出可能な、血圧、体温が測定できる機器を6つの仕様を確認し、AIREC への実装性について検討を行った。

#### 4) ハンドモジュール

既存ロボットハンドを用いた AIREC の仕様検討のために様々な産業用ロボティクスハンドを比較検討した。COBOTTA、ジャミングハンド、TRX ハンド、OPEN AI を比較検討し、THK 社のロボットハンドで実証実験を行う方針を立てた。また、ハンド用アクチュエータの基礎研究として、可逆的な水素結合性形成能によって高伸展性、自己修復性を示す機能性高分子の化学構造の特徴に着目し、従来的高分子では難しいとされていた生理的環境条件下における水素結合性能を発現する高分子の開発を行った。

課題推進者:村垣善浩(東京女子医科大学)

### 研究開発課題 3-2:福祉・医療ロボット設計と福祉・医療応用の品質保証・国際標準化

当該年度実施内容:

医療・福祉現場における収集すべきデータのリストアップを行った。福祉現場における収集データの検討として、既存のデータ収集システムや、生活支援ロボットの評価研究に関する文献・報告書、介護ポータルサイトをもとに、リストアップを行った。具体的には、(1)現在開発が行われている、情報共有サービスにおいて収集されているデータ群、(2)人を相手に音声や動作で働きかける機能を持つロボットにおける収集データそれぞれについてまとめた。医療現場においては、特に手術を対象とし、現状の情報収集システムにおいて収集されているデータについて、東京女子医大にて研究・開発されている、OPeLiNK システムにおいて収集されているデータを参考に整理した。また、医療・福祉支援ロボットの品質保証・国際標準化に関する現状調査を開始した。本研究にかかわるサービスロボット、福祉機器、手術支援機器、人工知能技術に関して、関係する規格やテクニカルレポート(TR)について調査した。

課題推進者:小林英津子(東京大学)

### 研究開発課題 3-3:福祉・医療ロボット設計と福祉・医療応用のリスクマネジメント

当該年度実施内容:

介護現場での非接触タスク、間接接触タスク、直接接触タスクに着目し、リスク評価を行うタスクのリスト作成と各タスクの作業範囲案を作成した。また、次年度以降にリスク評価を実施するにあたり、現場の観察や状況記録に必要なセンサ・計測器類の準備を行った。

具体的には、AIREC に実装する介護現場のタスク候補である、非接触タスク「与薬・薬管理」、間接接触タスク「口腔ケア」、直接接触タスク「手を引いた案内」について、作業範囲案を作成した。AIREC が実施するタスクの作業範囲の大枠を、AICERC の当該タスクへの導入、運用(目的のタスク実施)、管理(目的のタスク実施に必要なその他タスク)、当該タスクからの解除とし、AIREC の自律レベルごとに対象との接触の有無に着目してリスク評価を実施することとした。

また、対象との接触や環境・受益者の状態を計測するためのセンサ・計測機器群の準備を行った。具体的には、対象との接触状態を計測するためのスポンジ状変位センサや環境情報を計測するための 360° カメラ、サーモカメラ、LiDAR スキャナを導入した。

課題推進者:桑名健太(東京電機大学)

#### (4) 研究開発項目4:スマートロボットの活用化方策

##### 研究開発課題 4-1:ELSI の視点からの AI ロボットのニーズおよび社会受容性の国際評価

当該年度実施内容:

国際的アンケートを実施するための委託および海外連携の準備を行った。海外連携に関しては、以下の研究機関に協力を依頼した。

- ・ ハーバード大学「インターネットと社会」研究所
- ・ スタンフォード大学コミュニケーション学部
- ・ ケンブリッジ大学「知の未来」研究所および「リスク」研究所

また、大規模国際比較サーベイ調査を実施するための委託先として、国内の大規模国際サーベイ調査が可能な調査会社のうち、信頼性の高い 6 社を候補として選出した。

課題推進者:高橋利枝(早稲田大学)

### 3. 当該年度のプロジェクトマネジメント実施内容

#### (1) 研究開発プロジェクトのガバナンス

進捗状況の把握

PM 支援:早稲田大学次世代ロボット研究機構(ロボット機構)と協議し、本プログラムの予算管理、研究実施場所の管理、人事などの進め方について決定した。また、プロジェクト全体において実務経験や専門知識を有するマネジメント・技術の補佐を行う PM 補佐の選任を行い、次年度当初から人事配置することとした。

運営会議:当該年度は、運営会議は開催しなかったが、PD、JST 参加の下、2021 年 1 月 8 日(金)にキックオフミーティングを開催した。ミーティングにおいて、各研究開発項目に関する意見交換などが行われ、尾形教授、村垣教授、高橋教授がサブ PM となることが決定した。

進捗管理:上記のキックオフミーティング等において、プロジェクト全体の進捗や今後の進め方について確認した。

#### 研究開発プロジェクトの展開

従来から協働関係にあった企業と次年度以降の協働について協議した。英国 Alan Turing Institute とは、人事交流等を含めた今後の連携のあり方について議論した。

#### (2) 研究成果の展開

国際的アンケートを実施するため、海外連携の準備を行った。具体的には、以下の研究機関に協力を依頼した。

- ・ ハーバード大学「インターネットと社会」研究所
- ・ スタンフォード大学コミュニケーション学部
- ・ ケンブリッジ大学「知の未来」研究所および「リスク」研究所

#### (3) 広報、アウトリーチ

早稲田大学において、本研究開発プロジェクトのホームページを開設し、日本国内および世界にプロジェクト内容を広報した。さらに、課題推進者からの情報提供により、本研究開発プロジェクトのリーフレット原稿を取りまとめ、次年度早々完成の目途を付けた。

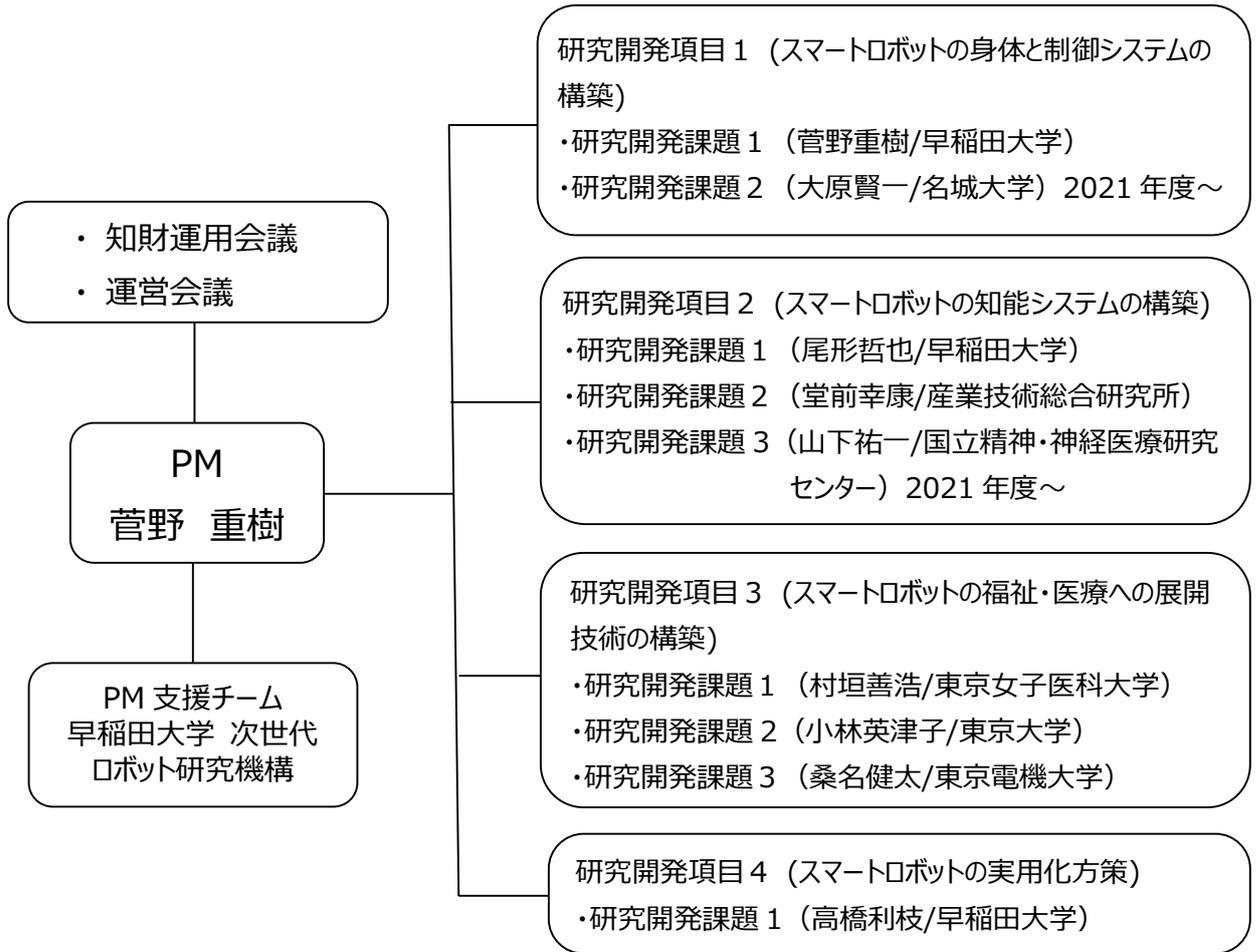
早稲田大学次世代ロボット研究機構主催の「第 6 回早稲田大学次世代ロボット研究機構シンポジウム(令和 3 年 2 月 27 日オンライン開催)」において、ムーンショット型研究開発制度の目標 3(2050 年までに、AI とロボットの共進化により、自ら学習・行動し人と共生するロボットを実現)において採択された菅野 PM が実施する「一人に一台一生寄り添うスマートロボット」プロジェクトの概要を、2050 年の目標からバックキャストする形で紹介した。

3 月 27,28 日に開催された「ムーンショット目標1&目標3 キックオフシンポジウム」及び「ムーンショット目標1&目標3 国際シンポジウム」において、構想を紹介した。

#### (4) データマネジメントに関する取り組み

当該年度はデータマネジメントの対象となるデータは取得しなかった。

#### 4. 当該年度の研究開発プロジェクト推進体制図



##### 知財運用会議 構成機関と実施内容

- ・ 構成機関：早稲田大学、東京女子医科大学、名城大学、産業技術総合研究所、国立精神・神経医療研究センター、東京大学、東京電機大学、研究プロジェクト遂行に関する企業等
- ・ 実施内容：知財の発生は速やかに PM に報告するが、PM が必要と認めた際に知財運用会議を開催し、各研究開発課題遂行時に発生する知財の情報共有、特許申請、運用方法について検討する。当該年度は知財が発生しなかったため、未実施。

##### 運営委員会 運営会議 分科会 実施内容

- ・ 研究プロジェクト全体の進捗管理のために、PM と研究開発項目代表者から構成する運営委員会を設置し、定期的に運営会議を開催する。
- ・ 研究開発項目（ロボットハードウェア、AI、福祉・医療、ELSI）に応じて分科会を設置する。分科会構成員は研究開発項目の課題推進者とし、代表者が分科会をまとめる。分科会代表者は、PM および PM 補佐と定期的に進捗確認・情報共有する。
- ・ 当該年度は、PD、JST 参加の下、2021 年 1 月 8 日（金）にキックオフミーティングを開催。

## 5. 当該年度の成果データ集計

知的財産権件数				
	特許		その他産業財産権	
	国内	国際(PCT含む)	国内	国際
未登録件数	0	0	0	0
登録件数	0	0	0	0
合計(出願件数)	0	0	0	0

会議発表数			
	国内	国際	総数
招待講演	1	1	2
口頭発表	4	0	4
(うち、査読有)	0	0	0
ポスター発表	0	0	0
合計	5	1	6

原著論文数(※proceedingsを含む)			
	国内	国際	総数
件数	0	0	0
(うち、査読有)	0	0	0

その他著作物数(総説、書籍など)			
	国内	国際	総数
総説	0	0	0
書籍	1	0	1
その他	0	0	0
合計	1	0	1

受賞件数		
国内	国際	総数
0	0	0

プレスリリース件数
0

報道件数
1

ワークショップ等、アウトリーチ件数
1