

平成 29 年 6 月 27 日現在

機関番号：22605

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26330299

研究課題名(和文)非専門家向けロボットサービス開発フレームワーク

研究課題名(英文)Network Robot Service Framework for Non-professionals

研究代表者

成田 雅彦(Narita, Masahiko)

産業技術大学院大学・産業技術研究科・教授

研究者番号：30513717

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：サービスロボットの実用化にはロボットの専門知識を持たない技術者が容易に開発やSIをできる基盤が必要である。本研究はこのための基盤の提供を試みた。具体的には、マルチ実装を許容するRSIのサービス基盤上に、必要とされる既存機能モジュールの統合機能を実現し、リアルタイム音声通信機能を統合した。移動ロボット向けには、シミュレーターや遅れを隠蔽する遠隔ナビゲーションサービスを統合した。観光・イベント向けには、本基盤を用いてクラウド上にアクティブセンシングモデルを試作し、大規模イベントで有効性を検証した。本研究は当初目標を達成し、さらに目標を超えた、サービスロボットのマーケティングの活用の可能性が得られた。

研究成果の概要(英文)：In order to make the service robot into practical use, it is necessary for the engineers who have less expertise of the robot to be able to develop and integrate easily. In this research, we tried to provide for non-experts the platform, covering: (1) integration function of required existing function modules on RSI's service platform that allows multi-implementation, and we integrated real time voice communication function, (2)For mobile robots, we integrated simulator and remote navigation service that hide communication delays, (3)For sightseeing and events, we made an active sensing model on the cloud using this platform and verified its effectiveness at big events. This research achieved the original goal, furthermore the possibility of utilizing the tservice robot for marketing beyond that goal.

研究分野：ソフトウェアプラットフォーム

キーワード：知能ロボット クラウドロボティクス ロボットサービス

## 1. 研究開始当初の背景

ロボットの共通プラットフォームの研究には、RTMプロジェクト、次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト、ROS[1]等がある。また、近年のブレイクスルー技術として特徴量を利用した画像やSLAM等の計算技術の発展があり、ロボットの環境地図作成、アーム軌道計算などのロボット要素技術がオープン化され、これらを統合することでロボットシステムを構築できるレベルとなった。一方、Cloud RoboticsやRoboEarthでは、クラウドとロボット技術の融合も模索されている。さらに、研究用の参照モデル化だけでなく、複数の要素技術を集約し、統合プラットフォーム化する動きが活発化している。ロボット視点の統合においては、Baxterが2013年に発表され、SDKを提供することで、多く研究者や技術者が参加可能なアプリケーション開発を促進している。インターネット視点の統合においては、多様なモバイルデバイスの普及とIoTの進行に伴い、IT企業が挙ってロボットをデバイス端末の一つとしてモバイル統合プラットフォームの展開を開始つつある。

起案者は、インターネットとロボティクスを融合する通信方式RSNP(Robot Service Network Protocol)及び、RSNPを利用したロボットサービスプラットフォームの研究を行ってきた[2]。RSNPとは、2004年に発足したRSi(ロボットサービスイニシアティブ)により策定されたロボットの相互接続を実現するためのオープンなロボットサービス向けプロトコル仕様であり、ライブラリが開発されている。インターネット経由のロボットサービスを対象とし、ロボットとサーバ間の、インターネット経由での双方向通信を可能とするモデル、Webサービス技術で標準化技術をもとに高信頼通信機能を組み込む事ができ、インターネット環境と整合性の高いロボットシステム構築を可能としている。

## 2. 研究の目的

本研究の目的はロボット工学の知識を持たないソフトウェアプログラマが、ロボットサービス開発に参画するためのサービス統合基盤を提供することにある。そのため、インターネットとロボティクスを融合するRSiの技術上に、ロボットサービス開発のための統合基盤を構築し、ロボットソフトウェアの要素技術の抽象化層としてのサービス開発フレームワークを明らかにする。とくに、近年オープン化が進行しているロボット共通基盤や要素技術との相互接続研究と、多様な環境へ適合するための汎用サービスの一つとなりうる遠隔操作ロボットのためのツールキットの研究開発を行い、これをクラウド環境へ適用し、クラウドサービスとして提供し普及を試みる。さらに、これらの提案する手法についてフィールド評価を行い、有効性を検証する。

研究期間内に何をどこまで明らかにしようとするのか

RTM/RTCやROS等の成果をはじめ、ロボットに必要な基本機能としてのソースやコンポーネントは容易に入手できるようになった。しかし、これらを従来の産業用ロボット以外の有力な分野であるサービスロボット分野に適用するためには、多様な環境へ適合するための柔軟なカスタマイズや、複雑なシステムインテグレーションへ対応への仕組みが必要となり、そこへの取組みは不十分である。これに対応するため、本研究では、RSiの技術を元に普及に配慮したサービス統合基盤を構築し、部品化されているソフトウェアの抽象化層としてのサービス開発フレームワークを明らかにする。これにより、ロボット技術固有の複雑さや難しさを隠蔽し、ロボット技術を広範囲に適用することを目的とする。すなわち、ロボットの非専門家である開発ユーザやプログラマのロボット技術の容易な利用を対象とした、普及のためのサービス統合基盤研究を行う。

サービス統合基盤では、以下の要件の解決を試みる。

- マルチ実装を許容する相互運用可能なサービス統合基盤を実現する。
- システムの核となる互換性のある機能やシステム構造、標準的なユーザ機能モジュールを集約し、サービス開発フレームワークとして提供する。これは、上位/実用レベルの付加価値サービス開発の礎となる。
- ロボット工学の知識を持たないソフトウェアプログラマが、ロボットサービス開発に参画できるインタフェースを提供する。

当該分野における本研究の学術的な特色・独創的な点及び予想される結果と意義

本研究は、ロボットサービスの設計、開発、保守の手法を容易にし、その提供手法まで統合プラットフォームとして提供することで、導入コストの削減や作業効率の向上に寄与し、ロボット技術普及に資するものである。最近では、サービスロボット分野での実用化への取組みは多く行われているが、福祉分野の単機能を対象にしたアプローチが中心であり、汎用的な分野への展開例は多くはない。本研究は、システムインテグレーションの視点へ対応し、低コストかつ容易なロボット技術の実用化と、大規模なアプリケーション構築を促進する。とくに、サービスロボット分野におけるクラウドサービスの推進は、ロボット技術を用いたアプリケーションのプロトタイピングの容易化、新たな形態のコミュニケーションサービス開発、各地に配備されたロボットの運用保守支援などへの活用が期待され、ロボット技術の普及要素として必須である。よって、多くの産業領域でのロボットサービスの社会実装を推進しうるコンピューティング基盤を実現することで、日本のロボット産業の競争力強化への貢献が期待できる。

### 3. 研究の方法

本研究では、2で述べた課題に対応して、研究単位を、1. マルチ実装を許容する相互運用可能なサービス統合基盤のベース機能の研究開発、2. ロボットの遠隔操作サービスを構築するためのツールキット開発、3. ロボット工学の非専門家が、ロボットサービス開発を行うためのインタフェースの研究開発に分割し研究を進めた。

**研究単位1**については、RTM/RTC及びROS等の既存の基盤、音声通信を容易に相互接続可能とする統合技術の研究を推進した。具体的には、ロボットとロボットサービス間の通信プロトコルをWSDLで規定したRSNPや、これを利用した、RTM-Gatewayの洗練を行い、新たにサービスロボットでは必須である音声通信の統合、利用性の向上、ROSモジュールの取り込みを試みた。**研究単位2**については、これまでの研究で得られた知見を発展し、ロボット固有の要素技術を隠蔽し、これを開発フレームワークとして提供することを目的とした。具体的には、MAPTを用いた環境地図作成用RTCのクラウドサービス提供を例とした制御や、インターネットを介したロボット遠隔操作において発生する、実空間情報を仮想空間上にマッピングするための手法、ユーザインタフェース、ネットワーク遅延に対応するためのQoE (Quality of Experience) 制御の手法を明らかにし、これらを共通モジュール化することで、遠隔操作ロボット開発のためのツールキットを体系的に提供する。**研究単位3**については、RSNPを利用することで既存RTCをインターネットへ公開する技術を発展し、クラウドサービスとして提供するためのAPI設計を明らかとする。さらに、これらの提案する手法についてフィールド評価を行い、有効性を検証した。

研究の推進は、1年目には、すでに行っている試作研究を基に、アーキテクチャの調査/研究を行い。2年目には、各々の要素技術の開発と統合を推進し、各種サービスを構築する。2~3年目には、RSNPコンテストを通して一般開発者から関連技術を募集し、各種イベントにて国際ロボット展、Japan Robot Weekなどの実証実験を行い有効性の評価を行った。



図1 サービス統合基盤の構成

### 4. 研究成果

はじめに、研究対象であるロボットサービス統合基盤について説明する。サービス統合基盤の構成を図1に示す。ベース機能では、RSiの策定したRSNPを元に、既存のロボット技術や様々なIT技術との連携を試みた。サービス開発フレームワークでは、とくに遠隔操作ロボット開発のためのツールキットを研究対象とした。ロボット工学の知識を持たないソフトウェアプログラマーが、容易にロボットサービス開発に参画することができるインタフェースの実現を試み、特に、後述するように観光・イベントで有効なサービス構築のためのインタフェースが得られた。**研究単位1**(マルチ実装を許容する相互運用可能な基盤のベース機能):汎用プラットフォーム連携機能の構築、RTM/ROSインタフェースを持つROSモジュールであるSLAM機能を持つMAPTと本基盤上で相互運用、実ロボットとの連携[5論文]、リアルタイム音声通信機能[5論文]の本基盤への統合を行い、また、本基盤の通信層として軽量なWebSocketの組み込みを検証した。リアルタイム音声通信機能では、(1)実用上十分な性能を確保するためのRSNP通信方式を規格化し、(2)サービス総合基盤に音声通信を統合した場合に、音声認識モジュールとの認識率の観点で十分な品質を持つことを確認し、(3)異なるOSをもつロボットやクライアントに、容易にiOS、Windowsなどのプラットフォームへ適用できることを検証した。これは、RSNPコンテストにて、計測自動制御学会SI部門賞を受賞している。これらの結果、基盤の十分なベース機能を実現した。

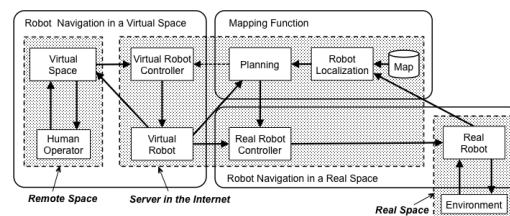


図2 設計した遠隔ナビゲーションモジュールの構成

**研究単位2**(サービス開発フレームワークの提供): 基盤機能の一つとしてロボットの現実世界での移動や状況変化をプラットフォーム内に隠蔽する遠隔ナビゲーションの可能性を検証した。実際、26年度に、実機やソフトウェアシミュレータ環境との連携を検証し、トレースサービスを提案/試作し、遅れを隠蔽する遠隔ナビゲーション手法を考案し[5発表]、28年度に統合した。ここでは、ロボットシミュレータおよび簡易型モバイルロボットを利用した遠隔ナビゲーション実験を行い、擬似的に遅延を挿入したネットワーク環境において、遠隔ナビゲーションが適切に行われない場合があることを明らかにした。そこから、ネットワーク遅延を考慮した制御モデルの必要性を導き、事前

に予測しておいた遅延モデルに従い、観測を遅らせ、制御を早める仕組みを組み込んだ制御モデル(図2)を設計した[5 発表 ]。結果、サービス開発フレームワークの一つとして移動ロボットに於けるサービス機能としてまとめることができた。

研究単位 3 (ロボットの非専門家のロボットサービス開発への参画): ロボットサービス開発を容易にするために、サービス統合基盤の自己拡張機能 API を開発し[5 論文 ]、アンケートサービスの仕様化(アンケートプロフィール API の策定[5 論文 ] [5 発表 ])とそれを用いて、タッチディスプレイやタブレット PC を用いた低価格で実現できるサインエッジロボット(図 3)とクラウドを用いたアンケートサービスを実現した。これらを含め、27 年には、本基盤を用いたロボットサービスのマーケティングへの活用ためのアクティブセンシングを提案した(5 論文、5 発表)。ロボットによるアクティブセンシングのモデル(図 4)とは、ロボットを用いて直接の利用者にサービスを提供すると同時に、ロボット

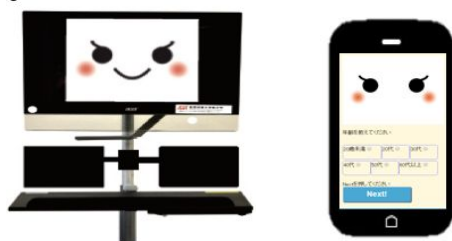


図 3: サインエッジロボット(左)とスマホロボ(右)

からアクティブに話しかけやアンケートを提示することにより利用者の趣向情報を収集(センシング)し活用することである。さらに IT システムやセンサーデバイスと組み合わせ、周辺情報も収集することにより一層精密な分析が可能になる。解析結果はロボットの応対へもフィードバックし、直接利用者の満足度を向上させるだけでなく、マクケッター等の間接利用者也活用できる。この際、利用者がロボットに興味を持って接してくるのが大きな特徴である。このコンセプトは、従来のサービスロボットのエコシステムを改善する可能性を秘めている。システムは本基盤を用いて構築でき、イベントや観光地でマーケティングでの適用の期待がある。

これらを用いて、27 年度、28 年度には、国際ロボット展 2015、Japan Robot Week 2016、産業交流展などの大規模イベント・国際学会・観光地・自治体(品川区)イベント、江東区深川江戸資料館商店街等で実証実験を実施し、有効性を検証した。特に Japan Robot Week 2016 では、6 ブースを連携したアンケートロボット、センサを配置した大規模なシステムにて検証した(図 5)。また、これらの一般参加者、旅行業者、イベント会社、

自治体の専門家から多くのフィードバックを得た。これらの実証実験を通して得られた意見を元に、本基盤にフィードバックし多国語化、スマホロボの実現した、結果、28 年度 RSNP コンテスト(RSi 主催、ロボット学会・NEDO 共催)では最優秀賞を受賞した[5 発表 ]。

これらの成果は、人工知能学会、日本ロボット学会、情報処理学会、国際学会等に発表し、論文は、人工知能学会、ロボット学会へ論文を掲載した。また、人工知能学会では、近未来チャレンジプロジェクトに採択され、現在継続中である。国際的にはブルネイ大学に本プロジェクトの紹介を行い、これを参考として、洪水防止のための IoT システムが試作された。メディアには、27 年度、28 年度の 2 回アンケートサービスのシステム構築のプレスリリースを行い、日本経済新聞、日刊工業新聞の紙面や、読売 Online、毎日新聞などのデジタルメディアに掲載された。

このように、本研究は当初の目標を達成し、目標を大きく超えるマーケティングの活用への展開が得られた。また、JST CREST「エージェント技術に基づく大規模合意形成支援システムの創成」プロジェクトにて、本基盤を利用した実証実験が計画されており、ロボットの非専門家のロボットサービス開発への参画が現実のものになりつつある。次年度以降は、これらを元に「非専門家向けロボットサービスプラットフォームの高度化」として展開する。



図 5: JAPAN ROBOT WEEK 2016 での実証実験システム

#### <参考文献>

- [1] 成田雅彦、中川幸子、小川統一、ロボット技術のオープンイノベーション(その 2) — Robot-OS(ROS)のグローバル戦略と日本のロボットソフトウェア基盤開発の方向性 —、IAM DPS #28 東京大学知的資産経営研究講座、2013
- [2] 成田雅彦 他、インターネットを活用したロボットサービスの実現と開発を支援する RSi (Robot Service initiative) の取り組み、日本ロボット学会誌、Vol.28、No.7、pp.829-840、2010

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

### 〔雑誌論文〕(計 13 件)

成田 雅彦、土屋 陽介、泉井 透、阿久津 裕、安田 福啓、中川 幸子、松日楽 信人、サービスロボットによる分散アンケートサービスの提案~非専門家向け開発フレームワークの応用~、日本ロボット学会誌、Vol. 35、No.5、pp. 403-413、2017、査読有

成田 雅彦、土屋 陽介、中川 幸子、阿久津 裕、泉井 透、野見山 大基、松日楽 信人、本村 陽一、マーケティング分野への適用を目指したスタンプラリーとアンケートサービスの CRSP を用いた構築 ~クラウドベースのロボットサービス統合基盤の進展~、人工知能学会論文誌 Vol. 32、No.1、pp. NFC-B\_1-13、2017、査読有

土屋 陽介、成田 雅彦、泉井 透、RSNP 仕様拡張のためのカスタムプロファイル機能の実装、産業技術大学大学紀要、Vol.10、pp.67-72、2017、査読有

成田 雅彦、泉井 透、中川 幸子、土屋 陽介、松日楽 信人、加藤 由花、ネットワークを活用したロボットサービスのための非専門家向け開発フレームワークの提案、日本ロボット学会誌、Vol. 33、No.10、pp.807-817、2015、査読有  
大澤 秀也、朝倉 健介、小原 範子、藤田 尚宏、佐藤 健、中川 幸子、成田 雅彦、RSNP 拡張によるロボット制御と音声通信の統合のためのロボットサービスプラットフォーム、日本ロボット学会誌 Vol. 33 No. 2、pp.41-52、2015-3、査読有

### 〔学会発表〕(計 61 件)

Yuka Kato、Mamiko Tanaka、A Delay-conscious Communication Model for Mobile Robot Navigation、The 2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2017)、2017(5)( Marina Bay Sands、Singapore )

Nobuto Matsuhira、Masahiko Narita、Toru Yamaguchi、Service Robot Development Strategy using a Community-Based App.roach、ICIRA2016、059、Tokyo、2016、2016年8月22-24日、東京

Sachiko Nakagawa、Hiroshi Akutsu、Yosuke Tsuchiya、Masahiko Narita、Nobuto Matsuhira、Demonstration experiments of a robot service of stamp-rally and questionnaires for tourism destination marketing、1st International Conference on Enterprise Architecture and Information Systems (EAIS 2016)、2016、2016年7月10-14日、熊本

Yuka Kato、Mamiko Tanaka、A Remote

Navigation Method with Network Delay for Low-cost Mobile Robots、The IEEE International Symposium on Robot and Human

Interactive Communication ( Ro-MAN 2016)、pp. 389 - 390、2016(8) ( New York、USA )

成田 雅彦、土屋 陽介、中川 幸子、松日楽 信人、加藤 由花、RSi の活動と非専門家向け開発フレームワークの展開、第17回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会、3A2-1、2016年12月15-17日【キーノート】

青木 大起、前佛 達也、中村 隆宏、宮内 真紀江、井上 直己、増田 均、泉井 透、成田 雅彦、スマートデバイスとサービスロボットの連携によるマーケティングプラットフォーム構築の拡張、日本ロボット学会学術講演会 2016、1R2-01、【RNP コンテスト最優秀賞】、2016年9月

加藤 由花、田中 麻美子、クラウド環境を利用した移動ロボット遠隔ナビゲーション手法、人工知能学会全国大会、2017 Daisuke Nakagawa、Hiroshi Akutsu、Naoto Furuta、Kimikazu Yasuda、Kyosuke Takahashi、Mitsuo Watase、Sachiko Nakagawa、and Masahiko Narita、Marketing system utilizing a robot and smartphone、2015 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII)、pp.662-667

Yosuke Tsuchiya、Liyanage C De Silva、Muhammad Saifullah Abu Bakar、Yoshihide Chubachi、and Masahiko Narita、Robot Services Development by International Collaborative PBL(Project Based Learning) with Universities in Three Countries、2015 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII)

Yuka Kato、A Remote Navigation System for a Simple Tele-presence Robot with Virtual Reality、The 2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2015)、Hamburg、Germany、pp.4524-4529、2015(10)

Nobuto Matsuhira、Shinichi Ishida、Hiroshi Ogiya、hibaura Motohiro Yasuda、Development of a Teleoperated Multiple Robot System with Robot Service Network Protocol - Support Function and Following Task by Two Mobile Robots -、2015 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2015)、SuB4.2、Nagoya、2015、12/11-13

Daiki Nomiyama、Nobuto Matsuhira、Masahito Sano、Toru Yamaguchi、Enhancement of Interface Robot Using RT Middleware and RSNP Network Protocol、The 2015 IEEE International Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts (ARSO 2015)、Lyon、France、2015(7)

Hiroshi Ogiya, Shinichi Ishida, Motohiro Yasuda, Nobuto Matsuhira, Teleoperation via head-mounted display motion with the Robot Service Network Protocol, The 34th Chinese Control Conference and SICE Annual Conference 2015 (CCC&SICE2015), ThC05-5, July 28 to 30, 2015 Hangzhou, China

Motohiro Yasuda, Hiroshi Ogiya, Nobuto Matsuhira, Shared map for multiple teleoperated robot system with RSNP to perform a collaborative task: An exploration experiment by two mobile robots, The 6th International Conference on Advanced Mechatronics (ICAM2015), Tokyo, 1A1-21, 2015/12/5-8

成田 雅彦, 中川 幸子, 土屋 陽介, 松日 楽 信人, 加藤 由花, RSi の活動と非専門家向け開発フレームワークとマーケティングへの適用の試み, 2M1-1, 第16回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 【キーノート】成田 雅彦, 土屋 陽介, 中川 幸子, 加藤 由花, 村川 賀彦, クラウドベースのロボットサービスの統合基盤の2年間の進展と今後, 2015年度人工知能学会全国大会(第29回), 3H3-NFC-03a-1, 2015 中川 大助, 阿久津 裕, 古田 直人, 安田 公和, 高橋 恭裕, 渡瀬 満夫, 成田 雅彦, スマートデバイスとサービスロボットの連携によるマーケティングプラットフォーム構築の試み, 【RSNP コンテスト優秀賞受賞】, 日本ロボット学会学術講演会 2015, 3N3-01, 2015

成田 雅彦, 中川 幸子, 土屋 陽介, 松日 楽 信人, 非専門家向け開発フレームワークを活用したロボットサービスのマーケティングへの展開の提案, 日本ロボット学会学術講演会 2015, 3L1-01, 2015 佐々木 智典, 成田 雅彦, RSNP と RT ミドルウェアを利用した移動ロボット遠隔操作システムのシングルボードコンピュータ上での構築, 日本ロボット学会学術講演会 2015, 3L1-04, 2015

Sachiko Nakagawa, Hideya Osawa, Kensuke Asakura, Noriko Obara, Yosuke Tsuchiya, Masahiko Narita, Web application technologies for integration of remote operation, camera image and voice communication into a cloud-based robotics platform, MECATRONICS 2014 (10th France - Japan Congress, 8th Europe - Asia Congress on Mechatronics), 2014-11

- ②① 成田 雅彦, 中川 幸子, 土屋 陽介, 松日 楽 信人, 加藤 由花, RSi の活動に基づくネットワークを活用したロボットサービスのための非専門家向け開発フレームワーク, 第15回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, SI2014, 2014年12月, 東京【キーノート】

- ② 林 昌純, 中川 幸子, 成田 雅彦, RSNP シミュレーション環境と応用, 第32回日本ロボット学会学術講演会, 1G2-02, 014年9月, 【RSNP コンテスト日本ロボット学会ネットワークを利用したロボットサービス研究専門委員会賞受賞】

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

○取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

成田 雅彦 (Narita Masahiko)  
産業技術大学院大学・産業技術研究科・教授  
研究者番号: 30513717

### (2) 研究分担者

松日 楽 信人 (MATSUHITA Nobuto)  
芝浦工業大学・工学部・教授  
研究者番号: 20393902

加藤 由花 (KATO Yuka)  
東京女子大学・現代教養学部・教授  
研究者番号: 70345429

土屋 陽介 (TSUCHIYA Yosuke)  
産業技術大学院大学・産業技術研究科・客員研究員  
研究者番号: 90445037

### (3) 連携研究者

### (4) 研究協力者