展 望

ImPACT タフ・ロボティクス・チャレンジの概要

Overview of ImPACT Tough Robotics Challenge Program

田 所 諭* *ImPACT-TRC PM/東北大学大学院情報科学研究科/災害科学国際研究所/国際レスキューシステム研究機構

Satoshi Tadokoro*

*ImPACT-TRC PM / Grad. School of Information Sci. / Intl. Research Inst. of Disaster Sci., Tohoku Univ. / Intl. Rescue System Inst.

1. は じ め に

近年、自然災害や人為災害が頻発しており、ロボットはその対策として、情報収集や災害被害軽減活動の切り札である。災害発生直後の緊急対応（人命救助など）はもとより、災害復旧（工事など）や、災害予防（点検など）において、人間では困難なことを可能にし、人間の危険を防止し、また、コストを下げ、効率を向上させることが、ロボット活用の目的である。

災害ロボットの開発と適用を促進するために、2014年～2018年の計画で、内閣府 ImPACT タフ・ロボティクス・チャレンジ (ImPACT-TRC) プログラム（プログラムマネージャー：筆者）が実施されている。

現在のロボット技術は「ひ弱な優等生」であり、災害のような厳しい環境条件では意気地がなく、できないことだらけであることが、大きな問題である。これを解決し、技術が適用できる条件を緩和して、ロボットをタフに鍛え上げることが ImPACT-TRC の目的である。

図 1 に示すように、5 種類のロボットプラットフォームに極限技術を搭載し、災害の予防、緊急対応、復旧にロボットが貢献できる技術を創り出すことを目指している。

図 1 Overview of impact tough robotics challenge program

2. ImPACT-TRC が目指すもの

ImPACT は政府の成長戦略の一環として開始された政策的な研究開発プロジェクトであり、我が国に非連続イノベーション (Disruptive Innovation) を起こし、再生を図ることを目的としている。

ImPACT-TRC では、災害ロボットで重要な非連続イノベーションとして、下記の三つを目指している。

(1) 技術的非連続イノベーション：

災害極限状況で効果を発揮するタフな基盤技術を創る。5 種類のロボットプラットフォーム、および、それに搭載できる技術を開発し、災害環境フィールド評価試験にて効果を発揮することを実証し、タフ・ロボティクスを確立する。

(2) 社会的非連続イノベーション：

災害の予防・緊急対応・復旧に寄与する。困難な条件下で情報収集・作業を可能にする減災のためのソリューションや、その基盤を提供する。

(3) 産業的非連続イノベーション：

タフな基盤技術が屋外フィールド産業に波及する。タフ・ロボティクスを活用した新事業（部品、システム、および、サービス）を創出する基盤を作る。事業への適用により災害ロボティクスの技術循環を促進する。

研究開発によって創り出す技術的な非連続イノベーションとしては、下記の四つの課題に重点的にフォーカス置いて取り組んでいる。

(1) 極限環境アクセシビリティ：

厳しい環境の現場では、ロボットが移動することが困難である。運動性能やアクチュエーション技術はもとより、操作者がロボットの周囲環境を認識でき、ロボットが自律的に運動できるためのセンシング、ヒューマンインタフェース、ロボットインテリジェンスなどの問題を総合的に解決する必要がある。

(2) 極限センシング：

災害環境では、現場の状況をセンシングすることが困難である。例えば、暗所、濃霧、降雨、直射日光、逆光、火炎などの環境下でも見えること、外部騒音やロ

原稿受付 2017 年 8 月 15 日

キーワード：Disaster, Rescue Robots, Disruptive Innovation

〒 981-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-01

*Aoba-ku, Sendai-shi, Miyagi

ボットの運動に伴って音が発生する環境でも聞こえること、が必要である。

(3) 作業失敗時リカバリ：

ロボット作業においては、誤認識、誤判断、誤操作、故障などによって失敗が起きると、やり直しができず、作業全体が破綻することがある。災害適用のためには、失敗からリカバリして、作業を貫徹できることが必要である。例えば、モータが動かなくなっても帰還できる、自己位置を見失っても回復できるなど。

(4) 極限環境適合性：

ロボット技術は、条件が合わないことによって作業不能なケースがある、環境適合条件を緩和し、様々な現場で使用できることが必要である。

3. 開発する5種類のロボット

それぞれのロボットについて、図2に示すような達成目標と出口戦略を定め、研究開発を進めている。ここでTRLは技術熟成度（Technology Readiness Level）であり、ここでは表1のように定義している。

これら五つのロボットの活用イメージを災害様相の時間変化に当てはめると、図3のように整理することができる。

災害発生直後には飛行ロボットが緊急出動し、上空から迅速に広域の情報収集を行って意思決定を支援するとともに、支援物資の配送を行う。消防・警察・自衛隊の資機材として、索状ロボット、サイバー救助犬が出動し、人命の救助や捜索を支援する。緊急工事のために、飛行ロボットや建設ロボットが使用され、緊急復旧工事の安全化と効率化に寄与する。

災害が発生する前には、飛行ロボット、索状ロボット、脚ロボット、建設ロボットなどを使用することによって、インフラ、ライフライン、プラントなどの点検補修が安全かつ効率的に行われ、また、これまで困難だった点検を可能にすることによって、災害が起きても被害が大きくなりにくいように備えることができる。

このシナリオを実現するためには、防災活動を行う様々な組織の中に、研究成果がツールとして組み込まれることが必要である。最終的にロボットが災害対応、復旧、予防防災に対して一定の役割を果たせるようになるためには、社会実装の課題を同時に解決していくことが必要である[1]。

災害ロボットのニーズを、大規模地震災害を例に挙げて具体的に例示すると、図4のようになる。震災への緊急対応においては、図中のミッションで示すように、情報収集、人命救助、緊急工事等が必要である。現在、そのための高度機材として、ドローン、救助犬、ビデオスコープ、遠隔建設機械などが使用されている。

しかしながら、図中の現在不足の能力で示すように、ドローンは災害情報の迅速な収集に有効であるが、墜落や衝

ロボ	出口戦略	プログラム終了時の達成目標	目標TRL
サイバー救助犬	サイバースーツによる救助犬能力の飛躍的拡大と全世界の救助隊への配備	モニタリング・マッピング・作業指示・情動推定の機能を持つサイバースーツの実現。日本救助犬協会、イタリア山岳救助隊の訓練使用とフィードバック。	9
索状ロボ	瓦礫、プラント配管等の狭隙部・入り組んだ場所での捜索・調査・点検の実用化	アクセスが困難な瓦礫内(倒壊家屋等)、プラント内(配管のジャングル等)、火災家屋内の移動と、状況の計測・伝送・認識・マッピングによる救助活動、点検作業支援、消火の実現	8
脚ロボ	被災プラント等の危険箇所での調査・点検ができる脚ロボット技術の実用化	プラント内移動(梯子・階段昇降等)と非破壊検査(超音波探傷等)、修繕作業(ハンマードリルでのボア穴開、バルブ開閉操作等)	6
飛行ロボ	従来の飛行ロボットをはるかにしのぐタフな飛行ロボットによるサービスの実現	悪環境下でのロバスト飛行(風15m/s, 雨100mm/h, 構造物近傍30cm)と状況の計測・伝送・認識・マッピングによる作業支援の実現	9
建設ロボ	災害・鉱山開発・都市土木における遠隔自律双腕化による作業効率・安全性の向上	従来の遠隔自律建機が不可能な移動(ギャップ越え、登坂など)と、双腕作業(ドアこじ開けなど)による作業支援の実現	8

図2 Goal of each robot

表1 Definition of TRL (technology readiness level)

レベル	定義
1	科学技術が発見された。
2	技術コンセプトと適用法が発明された。
3	機能性能を解析と実験により示した。
4	要素技術を研究室で実証した。
5	要素技術を模擬現場で実証した。
6	模擬現場で試験システムのデモを成功させた。
7	災害現場で試験システムのデモを成功させた。
8	実システムを災害現場で実証した。
9	実システムが配備、使用実績を上げている。

図3 Usage of robot systems in disaster response, recovery and prevention

突の危険性を排除することができず、風雨に対する脆弱性も問題となっている。救助犬は嗅覚によって迅速に要救助者を捜索することができるが、吠えた理由を正確に把握することができず、遠隔に移動してしまうとその場所の把握が困難であるため、人（ハンドラー）が常に至近にいな

図4 Needs of disaster robotics at large-scale earthquake disasters

ら活動を行う必要がある。ビデオスコープは瓦礫等の狭い場所に閉じ込められた要救助者の捜索に使用されるが、大規模な瓦礫の奥深くまで挿入することが不可能であり、挿入位置を特定することが困難である。遠隔建設機械は、危険箇所での工事に有効であるが、急斜面などでの移動は困難であり、有人建設機械と比べて能率が低く、精度が悪いという問題点がある。

ImPACT-TRCは、同図中のソリューションで示すように、これら災害環境での困難を解決し、ロボットが災害の緊急対応や復旧に活躍できるようになることを目指している。

4. フィールド評価試験

ImPACT-TRCで大きな役割を果たすのが、フィールド評価試験である。表2に示すように、毎年6月と11月に開催するフィールド評価会をマイルストーンとして研究開発を進めるとともに、成果を一般公開している。

2017年6月19日には東北大学に設置された屋外フィールドと屋内フィールドにおいて、5種類のロボットや、種々の要素技術に関するデモンストレーションが行われ、約300名の参加があった(図5)。

ImPACT-TRCにおいてフィールド評価会を計画した目的は次のとおりである。

(1) 参加する研究者にとって：

- 進捗を目に見える形で公開して見せることによって、研究開発の励みとすることができる。
- ユーザからの意見や評価を聞き、研究の方向性の見直しの参考にすることができる。
- 研究者間の相互理解が進み、成果の統合やシステム化、協働での研究を進めやすくなる。
- 個別技術だけでなく、問題に対する総合的なソリューションとして、研究の進め方を工夫するきっかけを与える。
- 優れた研究成果を広く世の中に知ってもらうこと

表2 Field evaluation forum of ImPACT tough robotics challenge

回	時期	規模	環境	技術的目標	社会的産業的目標
1	2015 11月	中規模	模擬環境	目的イメージ共有、個別技術が機能することを見せる、統合のための指針を得る	ユーザ評価・事業化マッチング
2	2016 6.1			目的イメージの明確化、プラットフォームへの統合を試みる	ユーザ評価・事業化マッチング
3	2016 11.11			プラットフォームへの統合、機能を果たすことと、現状の限界を見せる	ユーザ評価・事業化マッチング
4	2017 6.19			本格環境に向けた実証試験、問題点の洗い出し	ユーザ試験導入(1) 第1次事業化(3)
5	2017 11.10	大規模	本格環境	本格環境での実証試験、問題点の解決	
6	2018 06月			本格環境での実用化へのチャレンジ	ユーザ試験導入(3) 第2次事業化(7)
7	2018 10月			本格環境での実用性能を見せる

図5 Field evaluation forum in Tohoku University on 19 June 2017

ができ、若手研究者が将来のステータスを築くための基礎となる。

(2) ユーザにとって：

- 最新の研究成果を理解しやすい形で見ることで、ロボットによって何ができるか、どこに限界があるか、を知ることができ、調達や配備、および、将来計画の参考とすることができる。

(3) 事業者にとって：

- 技術を実際に適用した結果を見ることができ、新規事業を起こすためのビジネスインサイトを喚起することができる。
- 新規事業や自社問題解決のための適用試験、共同研究、技術相談のきっかけを作ることができる。

(4) 一般国民にとって：

- ロボットによって可能になる次世代の防災を肌で感じ、安全安心に対する実感を得ることができる。

この計画は成功を収め、ImPACT-TRCが技術的、社会的、産業的非連続イノベーションを創り出しつつある原動力となっている。

災害ロボットの分野は、市場規模が限定的であるため、社会ニーズは高いが、確立した市場によって駆動されず、経済的にはIll-Posedな分野である。その条件下で、どのようにして必要な技術循環と破壊的イノベーションを促進で

きるか、はこの分野における根本的な課題である。

フィールド評価会はその解決のための工夫であり、オープンイノベーションを促進することによって、一定の成果を上げたと考えている。

5. 非連続イノベーションの実現のために

ImPACT は文科省科研費に代表されるような Curiosity-Driven の研究とはそもそもの成り立ちが異なっており、特定の社会問題を解決するための戦略的・政策的な投資、として設計されている。研究成果が社会で活用され、問題解決に効果を上げるために何を行うべきか、という視点でバックトラック的に計画され、問題を解決し、非連続イノベーションを起こすために実施されているプロジェクトである。

そのため、引用数の多い論文がどれだけ書かれたか、ということは直接的な評価尺度にはならず、社会や産業にどれだけのインパクトをもたらしたか、が重要である。

これまで3年間の研究開発を経て、各5種類のプラットフォームロボットや、それに搭載するコンポーネント技術として一定の成果が得られてきた。特に、図2の中で目標TRL=9のロボットについては、ImPACT 期間内に具体的な社会的成果を上げることが、大きなチャレンジとして期待されている。

2017年7月5日～6日に発生した九州北部豪雨では、福岡県、大分県において死者36人、全壊・半壊家屋750棟の大きな被害を出した。ImPACT では7月7日～8日にかけて、ドローンによる被災地域の情報収集を行い、災害緊急対応に貢献した。(株)自律制御システム研究所が開発したミニサーバイヤー PF-1 は、片道3[km]の谷筋の区間を経由点を指定した有視界外飛行によって60[km/h]の速度で上空からの撮影を行い、高精細の映像を取得した。データは総務省消防庁、防災科学技術研究所他に提供され、広く共有された(図6)。

サイバー救助犬は、NPO 法人日本救助犬協会との訓練を毎月のように繰り返している。認定救助犬にサイバースーツを装着し、実使用における問題点の洗い出しと、それに基づいた改良を行っている。イタリア山岳救助隊からは、救助犬に試着しての評価試験で、実配備に向けた相談もあった。

産業的波及も進みつつあり、研究に参加している企業以外でも、20社以上で成果活用のための事業化検討、現場試験、共同研究などが行われている。

建設ロボットと脚ロボットは、World Robot Summit の

図6 Gathered data in Toho Village, Fukuoka Prefecture on 8 July 2017 at Northern Kyushu Heavy Rain Disaster

トンネル災害競技のプラットフォームロボット(シミュレーション)に選定された。

2018年はImPACT-TRCの研究開発の最終年度である。計画した三つの非連続イノベーションの実現に向けて、成果を出していく所存である

それぞれのロボットの研究開発成果については、本特集号の解説を参照されたい。

謝 辞 本プロジェクトの成果は、研究に参加している研究者、協力をいただいている企業やユーザ、マネジメントやフィールド評価会を開催している方々、賛同いただき外部からご支援をいただいている方々、内閣府、JST、国際レスキューシステム研究機構の方々など、数多くの人たちの協力によって創られています。多大なご協力に対し、ここに深く感謝いたします。

参 考 文 献

- [1] 田所: “防災ロボットについて我が国が取り組むべき中長期的課題”, 日本ロボット学会誌, vol.32, no.2, pp.154-161, 2014.

田所 諭 (Satoshi Tadokoro)

東京大学工学系大学院精密機械工学専攻修士課程修了。博士(工学)。1999年ロボカップレスキュー創設。2001年IEEE RAS TC on Safety, Security and Rescue Robotics創設。2002年NPO国際レスキューシステム研究機構(IRS)設立。2005年～東北大学大学院情報科学研究科教授。2002～2006年文科省大大特。2006～2010年NEDO戦略先端研究開発研究代表者。2011年福島原発にQuinceを投入。2014～2018年ImPACT-TRC PM。2002～2003年RSJ理事。2007～2008年SICE理事。2008～2010年IEEE RAS理事。2009年ロボメカ部門長。2012～2014年IEEE RAS副会長。2016～2017年IEEE RAS会長。2008年「今年のロボット」大賞優秀賞。2009年IEEE Fellow。2011年RSJロボット活用社会貢献賞(IRS)など受賞。

(日本ロボット学会正会員)