



ImPACT「タフ・ロボティクス・チャレンジ」の成果と 東北大学タフ・サイバーフィジカルAI研究センターへの発展

東北大学タフ・サイバーフィジカルAI研究センター センター長
大学院情報科学研究科／災害科学国際研究所 教授
国際レスキューシステム研究機構 会長
IEEE Robotics & Automation Society 元会長 (2016-2017)

田所 諭



ロボ		主要な成果：ロボットシステム および 要素技術	
サイバー 救助犬		<ul style="list-style-type: none"> 犬の行動モニタリングと行動指示ができるサイバー救助犬スーツ (世界初) 非侵襲的に犬に作業を指示する方法 (世界初) 軽量で疲れにくいスーツ (世界一) 激しく動く映像から3次元運動とマップを推定 (SLAM) (世界一) 	<ul style="list-style-type: none"> 心拍・加速度から、犬のやる気を精度高く推定 (世界一) 犬の運動と、何をしているかを推定 (世界一) 遠隔映像伝送、機械学習での遺留品発見 日本救助犬協会訓練に毎月参加。行動計測は試験により実用化に近づく
	細径	<ul style="list-style-type: none"> 瓦礫内の数cmの隙間を自走・浮上しながら進入し、内部を調査 (世界初) ボディを浮上させて移動能力と搜索能力を向上 (世界初) 飛行する消火ホースロボ ドラゴンファイヤーファイター (世界初) 騒音を除去し瓦礫内の音声聞き取り (世界初) 	<ul style="list-style-type: none"> 音響で索状ロボの姿勢推定 (世界初) 瓦礫内で触覚により操作支援 (世界初) 狭隘、急激姿勢変化、照明移動、超小型の条件下でカメラ映像から3Dマップ作成と位置推定 (SLAM) (世界一) 空気圧による高速配管内移動 機械学習による瓦礫内物体の識別・発見 福島原発でプロトタイプ使用
太径	<ul style="list-style-type: none"> 配管内外・ダクト・不整地・垂直はしごを自立移動できる索状ロボ (世界初) 様々な物体を精密位置決め無しに把持可能で、尖った物体でも持てる、柔軟ロボットハンド Omni-Gripper (世界初) 火の中でも物体を把持できる、柔軟ロボットハンド (世界初) 	<ul style="list-style-type: none"> ボディ長さ1.7mに対して、1mの高さの段差を昇降可能な索状ロボ (世界一) 配管内での位置推定とマッピング ボディ接触分布を計測する接触・近接覚センサ 超多自由度を遠隔操作する自律機能 プラントや建築物での試験 	

ロボ	主要な成果：ロボットシステム および 要素技術	
脚 ロボ	<ul style="list-style-type: none"> ・プラント内を移動し、遠隔自律で点検ができるロボット ・50kgの物体を無通電把持できる30cmサイズのロボットハンド (世界初) ・脚ロボットによる高トルク(100Nm)のバルブ開閉 (世界有数) ・4足、2足、はらばい、車輪移動、垂直はしご昇降 (世界有数) 	<ul style="list-style-type: none"> ・過去画像による遠隔操作のための仮想俯瞰映像支援 ・自己位置推定と周囲環境の3次元地図作成 ・周囲の音源定位情報マップ ・VRと仮想高速による遠隔操作支援 ・フィールド評価試験により、プラント災害対応機能確認
飛行 ロボ	<ul style="list-style-type: none"> ・悪環境での飛行と情報収集 (世界有数) ・搭載マルチマイクロフォンによる地上音声聞き取り、位置推定 (世界初) ・悪環境下のロボスタ飛行 (強風15m/s、降雨300mm/h、構造物隣接1m) (世界有数) ・プロペラ2枚停止でも飛行継続 (世界有数) ・荷重2kg変化で高度変化50mm (世界有数) 	<ul style="list-style-type: none"> ・アームによる物体把持、運搬 ・飛行ロボの位置共有システム ・高精度3次元地図作成 ・多重解像度データベース ・九州北部豪雨災害における有視界外自律飛行、高精細映像撮影、2Dオルソ画像の提供
建設 ロボ	<ul style="list-style-type: none"> ・二重旋回機構による重作業と精密作業の両方が可能な双腕ロボット (世界一) ・双腕作業に必要な高出力・高精度制御を実現 (世界有数) ・ハンド先端にセンサを搭載しない力覚・触覚フィードバックによる遠隔操作 (世界有数) ・低摺動摩擦油圧シリンダ (世界有数) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ドローンによる実俯瞰映像、および、複数カメラによる仮想俯瞰映像による遠隔操作支援 ・煙霧を透過する視覚 ・没入型遠隔操作コクピット ・腕で支えながら遠隔操作による移動 ・片腕で支えながらもう片腕で遠隔作業

ソリューション	ユーザが求める不可能・困難点	何が可能になったか
犬の行動と状態をモニタし、行動を誘導できるサイバー救助犬スーツ	遠隔では犬の行動や状態が不明で、行動指示もできないため、救助犬が人の近傍でしか使えない。活動記録もとれず、使用効果が不明瞭。	救助犬が活動できる範囲が数kmに拡大し、遠隔地からの活用が可能になった。（世界初） 人命救助
瓦礫内の数cmの間隙を自走・浮上して進入し、調査できるロボット	ギャップや段差での運動能力が不足で、調査範囲に限界があった。瓦礫内の位置が不明。要救助者の声が聞こえない。	飛躍的に調査範囲を拡大、見渡すことも可能に。瓦礫内の被災者の声を聞き、瓦礫内のマップ作成が可能になり、搜索性能が大幅に向上。（世界初） 人命救助・緊急対応・災害予防
プラントの配管・ダクト・不整地・急階段・段差・狭所を移動できる索状ロボ	プラントでは運動能力が不足しているため、調査できる箇所が限定的で、省力化にならない。	プラントにおける重要点検箇所について、困難だったいくつもの箇所に移動可能になり、視認検査が可能に。（世界初） 災害予防・緊急対応
多様な物体を把持でき、尖った物体や熱い物体も把持可能な柔軟ロボットハンド	災害で求められる多様な形状の物体をハンドリングするには、複雑な制御が必要。尖った物体を持ってない。熱い物体を持ってない。	尖った物体や、熱い物体を把持可能な、柔軟ロボットハンド。（世界初） 災害予防・緊急対応・人命救助
50kgの物体を無通電把持できる30cmサイズのロボットハンド	災害や産業施設で必要な小型で高出力のハンドが存在しない。把持力維持のために電力を使うため、熱の発生が大きな問題。	無通電で把持力の維持が可能となり、高温にならず、指1本あたり150Nの把持力を発生。（世界初） 災害予防・緊急対応・災害復旧

研究協力企業以外でも、数十社以上が成果を活用・波及

ロボ	研究者	所属	活用企業	活用・波及内容 (* COCN災害ロボットPJ参加企業)
犬	大野	東北大	古野電気 ドーン	サイバー救助犬スーツの製造を委託 スマホHIの製造委託。山岳救助用ドローンとの連携（共同研究）
索状	昆陽	東北大	モリタHD* 清水建設* 三徳商事 * * * * * *	Dragon Firefighterの本格開発を検討（共同研究） 能動スコープカメラプロトタイプを福島第一原発内調査に使用 触覚インタフェースの利用を検討（共同研究） 福島第一原発廃炉に使用検討（共同研究） 高速道路料金所設備定期メンテナンス活用の検討（試験検討） ビルメンテナンス検査への活用検討（試験検討）
索状	亀川・ 田中	岡山大・ 電通大	住友重機械 * * 多数 * * WRS	索状ロボのボイラー点検活用を検討（共同研究） 索状ロボの発電設備点検活用を検討（現場試験） 配管・ダクト内、天井裏、床下の点検作業を検討（現場試験） 製品化の相談 ロボットテストフィールドでの実証試験
索状	多田隈	東北大	日立製作所* * * ベンチャー	福島第一原発の格納容器内調査での利用検討（共同研究） 産業用とでの活用を検討（現場試験） ベンチャー設立準備中、官民ファンド東北大学ベンチャーパートナーズ BIP投資採択
脚	高西	早大	JAXA* * * * *	真空対応アクチュエータユニットの開発（JAXA予算） 脚ロボのビルドインモータ技術での協力を相談 脚の使用の検討
脚	中村	並木精密	* * * *	福島第一原発内作業へのハンドの適用を検討（発注） ロボットハンドとしての使用検討

研究協力企業以外でも、数十社以上に成果を活用・波及

ロボ	研究者	所属	活用企業	活用・波及内容 (* COCN災害ロボットPJ参加企業)
飛行	野波	ACSL	ACSL	開発技術を搭載，他社との明確な差別化
飛行	高木	広島大	モーチュ，啓文社 製作所，HIVEC	実用化アームの開発，操法・教育のメニュー化．商品販売を目指す（共同研究）
飛行	三浦	NICT	** 電源開発 スカパー 東北通信局	無人航空機運航管理システムへの拡張と実用化（共同研究） 山中電力設備点検への実験評価（実証試験） ドローン位置情報共有技術の小型化（共同研究） ドローンの飛行位置把握に関する調査（実証試験）
飛行	鈴木	早大	テラドローン	製品化・実用化に向けた協議
飛行	鈴木	信州大	**	インフラ点検ドローンの開発（共同研究）
建設	吉灘	阪大	ゼネコン* 鉄道* ** **	土木建設工事への適用の検討 架線工事への適用の検討 工場内での重量物ハンドリング，組み立て機への適用の検討 次世代遠隔操作ステーションへの適用（共同研究）
建設	永谷	東北大	土木研究所 ** **	建設機械の遠隔操作にドローンの適用を評価（共同研究） 橋梁点検での有線給電ケーブルを使った位置計測の検討 ヘリパッド張力調整機構に関する技術提供と製品開発
建設	山下	東京大	清水建設	福島第一原発の建設機械の遠隔操作に適用を検討（共同研究）
建設	田中	東工大	** NEC	可視・遠赤外線同軸カメラの防塵対策を活用 煙環境模擬装置の活用
建設	大道	名城大	**	不定形状の把持ハンドとして適用を検討

研究協力企業以外でも、数十社以上が成果を活用・波及

ロボ	研究者	所属	活用企業	活用・波及内容 (* COCN災害ロボットPJ参加企業)
油圧	鈴木	東工大	H-Muscle * * * *	高出力低摩擦油圧コンポーネントのベンチャーH-Muscle設立 産業用油圧ロボの開発への応用 (受注) 重量物運搬用歩行ロボットへの適用の検討
油圧	桜井	ブリジ ストン	* * * *	油圧人工筋の使用に関する問い合わせ 災害現場への適用に関する検討
油圧	神田	岡山大	* *	冷媒の流量制御への使用の検討
画像	岡谷	東北大	オープンソース	活用事例多数. 問い合わせ多数
画像	山崎	信州大	IHI*	物体性状識別の自社製品への適用を検討 (共同研究)
音響	奥乃・中 臺	早大・ ホンダ	オープンソース * * * * * *	オープンソースHARKのパッケージとして公開. 活用事例多数. 問い合わせ多数 タブレット端末の音声認識フロントエンドに適用 音源探索ドローンの活用の検討
学習	多数	複数	多数	問い合わせ, 共同研究等多数
HI	佐藤	名工大	* *	点検作業に使用を検討
シミュ レータ	金広	産総研	オープンソース JAEA 福島県 WRS	シミュレータのソフトウェアを公開. ベンチャー設立 檜葉遠隔技術開発センターへの導入 福島ロボットテストフィールドへの導入 トンネル事故災害対応復旧チャレンジシミュレータとして活用
フィー ルド評 価	木村・ Sheh	長岡技 科大・ Curtin	WRS NIST	プラント災害予防チャレンジ, 災害対応標準性能評価チャレン ジの競技フィールド開発・情報収集制御システムへの適用 災害ロボットの標準評価試験法の検討 (共同研究)

ロボット	災害出動・調査・訓練等の事例
飛行ロボット ・ PF-1, ACSL ・ ロボハンド, 広島大	<p>九州北部豪雨災害（2018年7月7～8日） ドローンPF-1 (ACSL) が、3 kmのエリアを 60 km/h で飛行し、高解像度オルソ画像 (2 cm/pixel) を収集、消防庁、防災科学技術研究所、他に提供。</p> <p>尾道市防災フェア公開訓練（2018年10月14日） 消防局, 自衛隊との公開訓練で、海で溺れているよう救助者に浮き輪を搬送する実証試験デモを実施。</p> <p>南相馬市立病院（2018年11月2日） 病院からの情報把握, 対応指示を実施。</p> <p>2016年台風10号被災地 地形と地盤構造の調査を実施。</p> <p>2008年岩手宮城内陸地震被災地 断層の地形計測を実施。</p>
細索状ロボット ・ 能動スコープカメラ、 東北大	<p>福島第一原発事故（2016年4月, 2016年12月～2017年2月） 能動スコープカメラプロトタイプが、福島原発1号機の瓦礫内狭隘箇所内部の映像を撮影し、燃料棒搬送機、ウェルプラグ等の状況の3D把握に寄与。ウェルプラグ内の線量を測定。</p> <p>熊本地震（2016年4月） 能動スコープカメラによる建物被害調査</p> <p>西日本豪雨災害（2018年7月25～26日） 岡山市半田山土砂崩れ倒壊家屋調査</p>
太索状ロボット ・ 太索状ロボ、京大、 岡山大、電通大 ・ Omni-Gripper, 東北大	<p>西日本豪雨災害（2018年7月25～26日） Omni-Gripper, 車輪型太索状ロボットが、倒壊家屋から貴重品を回収, 家屋内調査の実証試験を実施</p>
サイバー救助犬 ・ サイバー救助犬スーツ、 東北大	<p>スタンバイ（多数） 日本救助犬協会と定期訓練を実施。イタリア国立山岳救助隊の救助犬で試験。2017年より、救助犬組織に貸し出され、実災害への適用のためにスタンバイ。山岳救助隊からの活用の要請あり。地方自治体からの鳥獣被害調査への活用の要請あり。省庁の管轄する使役犬に対して適用試験。</p>

- 災害のための「タフでへこたれない」ロボット技術開発。
- サイバー救助犬
実用化が進み、救助犬団体による災害適用の実績待ち。事業化検討。
- 柔軟グリッパ「Omni-Gripper」
実用化が進み、用途に即した商品化へ。BIP投資でベンチャー設立検討。
- 索状ロボット細径「能動スコープカメラ」
実用技術（移動・センシング）が整い、限定的実績。
使用法の工夫や、用途に即した開発により、適用拡大へ。
- 索状ロボット太径
移動技術が高度化。用途に即した開発により実用化へ。
- 建設ロボット
作業技術が高度化。現場試験により実用化へ。油圧ベンチャー設立。
- 消火ロボット「ドラゴンファイヤーファイター」
新たな消火技術を提案。長尺化により実用化へ。
- ロボットシミュレータ「Choleonoid」
ベンチャー設立。

→ドローンに続き、各種ロボットが危機管理の手段として実用化（期待）



東北大学タフ・サイバーフィジカルAI研究センター

Society 5.0を実現し、新たな未来社会Society 5.1へ導く

- タフ・サイバーフィジカルAIによる**新たな価値創造**
- 生産性及び競争力の向上、エネルギー、環境、災害、インフラ老朽化、高齢化など**社会の課題解決**

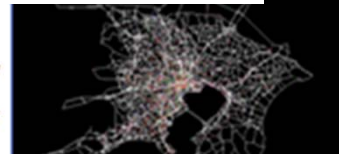
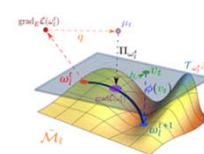
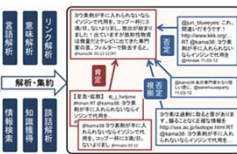
社会や産業のニーズを共に解決する「**タフ・サイバーフィジカルAI研究センター**」を設立

東北大学の強み ▶▶ **タフ・サイバーフィジカルAI**

タフネスとは：実世界で稼働するAIは、無限定で様々な擾乱に晒された環境下で、サイバーフィジカルな“身体性”を以って実世界と関わる。また、“身体”の有限性から、取得できるデータ規模、定常性、品質などに制約を受けることになる。このような過酷な条件下で安定に高信頼で動作するロバスト性や柔軟性と適応性、そして広い適用性を**タフ**と呼ぶ。



- ・実世界の無限定環境で安定に稼働するロボティクス（災害ロボティクス、極限ロボティクス）
- ・AI（言語化／非言語化、構造化／非構造化、少数例からの学習、説明可能性）
- ・スピントロニクスに基づくAI計算モジュール（低電力消費型、高速演算、セキュアな計算）
- ・交通・インフラにおける多元的データに基づく災害時などの非日常の検出と制御



タフ・サイバーフィジカルAI研究開発と社会実装

- パートナーとの共同による**根本的課題解決と新事業創出**
- 実用化研究開発・実証試験と、基盤研究の両輪
- 課題の分析とモデリング、グラウンディング

社会との協働、課題への取組

- 法制度（個人情報、安全性等）の整備
- AI・ロボット活用の倫理
- **投資を生み、人材が育ち、産業が花開く、園場の整備**

実証フィールド

学内、福島県、高速道路、橋梁等

産業界

製造業、通信業、交通事業者等

自治体

仙台市、宮城県及び隣接自治体

他機関

総務省、JAXA、国土交通省等

産業とアカデミアが共同で課題解決に取組み、人材育成、新たな価値創造を行うオープンイノベーションハブ

わが国の社会課題・産業課題の解決と国際競争力強化