



平成29年2月23日
有識者会議
公開用資料

革新的研究開発推進プログラム(ImPACT) 「タフ・ロボティクス・チャレンジ」

プログラム・マネージャー
田所 諭

- ・ 頻発する自然災害・人為災害．ロボットは情報収集・対策の切り札
 - 災害の予防・緊急対応・復旧，人命救助，人道貢献のために
 - 人間では不可能な作業，人間には危険な作業，作業の迅速化・効率化
- ・ 「タフで，へこたれない」ロボットの実現 ← ひ弱な優等生ロボット

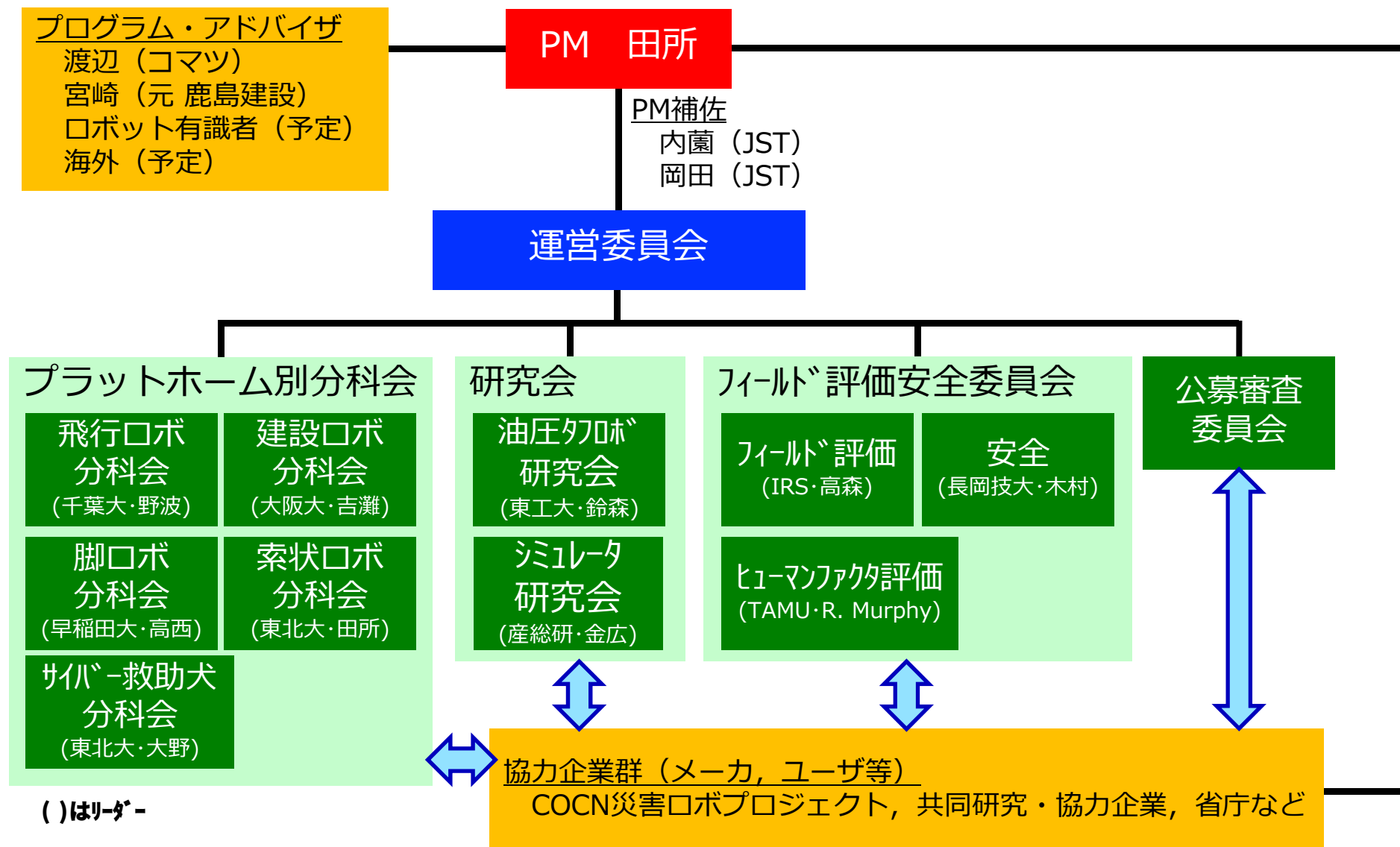


タフでへこたれない ロボット技術

- ・ 厳しい環境条件でも，アクセスできる
- ・ 条件が悪くても，見える，聞こえる，感じることができる
- ・ 失敗しても，やり直すことができる
- ・ 災害環境条件に適合して能力を発揮



研究開発プログラム全体の体制図



- 2016年11月11～12日に東北大学にてフィールド評価会を開催

	11月11日（一般公開）		11月12日（非公開）
	午前	午後	終日
参加者	マスコミ・一般	VIP・一般	VIP・COCN他
参加人数（人）	43	90	56



屋内フィールド
プラント現場を模擬した、
ロボット評価試験フィールド



屋外瓦礫フィールド
熊本大地震・阪神淡路大震災の調
査結果に基づき、倒壊家屋内部、
コンクリート瓦礫を再現



災害現場

ミッション

現在不足の能力

ImPACT-TRCのソリューション



情報収集
上空からの
俯瞰情報

災害対策本部
消防・警察
自衛隊



人命救助
瓦礫内の
被災者発見

消防・警察
自衛隊
救助犬団体



緊急工事
危険箇所の
遠隔工事

熊本地震
ImPACT-TRC 調査団
国交省TEC-FORCE
建設会社

ドローン

but
墜落の危険
風雨に煽られ

飛行ロボット

強風・豪雨下でも飛べ
て、墜落しにくい、遠
隔自律ミニサーベイヤ



救助犬

but
どこに行った？
なぜ吠えた？

サイバー救助犬

遠隔から行動をモニタ
リング，犬を誘導でき
るサイバースーツ

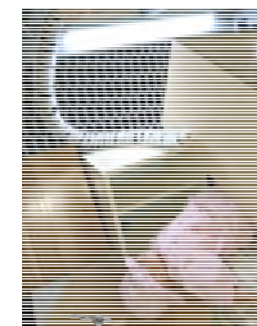


スコープ

but
瓦礫に入らず
挿入位置不明

索状ロボット（細径）

瓦礫奥深くまで要救助者
を搜索，視認・対話でき
る能動スコープカメラ

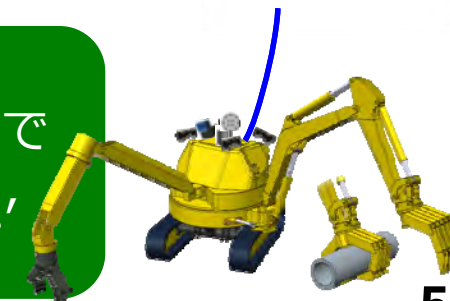


遠隔建機

but
急斜面は無理
能率精度低い

建設ロボット

強力双腕・油圧制御で
作業能力，移動能力，
精度の飛躍的アップ





建設ロボット：社会実装へのマイルストーン



★ 目的・ニーズ

- 災害対応・社会資本維持・メンテに適した次世代ロボット建機の実現
- 100年続いてきた土木工事の方法論にDisruptive Innovationを起こす

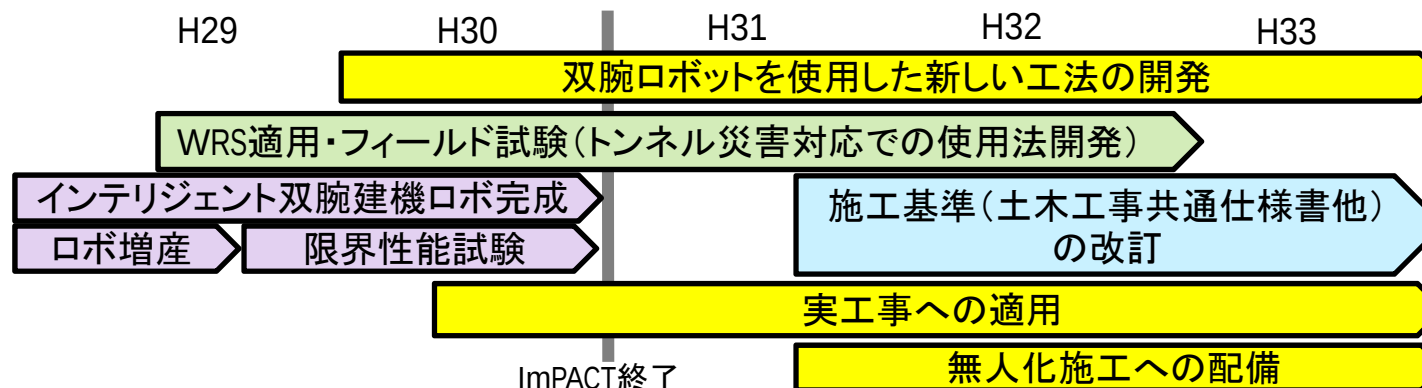
★ そのために必要なこと

- 支えながら作業ができる**双腕建機** ← 重量物を持つパワー + 自在な力のコントロール
- オペレータが双腕を使いこなせるようにするための**遠隔操作支援**（認知，制御，情報支援）
- **限界性能試験**によるミッション遂行能力の確認と改良のループ
 - Full Success: 福島第一原発廃炉の模擬瓦礫片付け，段差・溝・狹隘部がある不整地での遠隔走行
 - Advanced Success: 鉄骨造ビル建築解体，高速道路防音壁・トンネル内パネル組立，急斜面での工事

★ ImPACT終了（H30年度末）時点での成果イメージ

- 高出力双腕建機ロボット + 高精度油圧制御 + 力覚・触覚フィードバック双腕遠隔操作
（困難な点：精度の高い双腕協調力制御，作業機にセンサを搭載しない力覚・触覚）
+ 視点を変えた俯瞰映像 + 障害物透過映像 + ロボット周囲環境認識 ← **資金配分変更が必要**
（困難な点：障害物やロボットボディを透過して認知可能）
- 限界性能試験（困難な点：壊れるかもしれないぎりぎりの実験） ← **予算増額が必要**

★ H30年度以降を含めた必要な取り組み



※WRS=World Robot Summit
(ロボットオリンピック)



サイバー救助犬：社会実装へのマイルストーン



★ 目的・ニーズ

- 人命救助に千年の実績，瓦礫内搜索・行方不明者搜索などで活躍
- 問題を解決し，能力を最大限に引き出す必要（大災害が頻発，徘徊老人が増加）

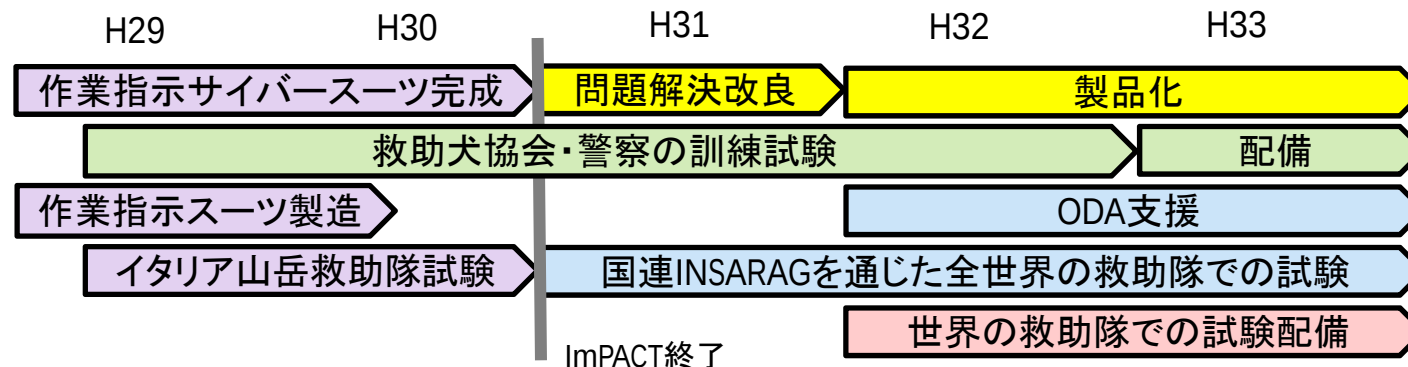
★ そのために必要なこと

- 犬の運動・映像・声・生体信号の**遠隔モニタリング，マッピング**（実現を妨げる困難な条件：
遠近撮影・急激な姿勢変化・照明が移動・直射日光と暗闇が共存・超小型・リアルタイム）
- 犬への**作業指示・情動推定**（困難な点：非侵襲的作業指示・生体信号からの情動推定）
- 訓練の支援と，能力の定量化（訓練に時間がかかるが，適性の高い犬は少数）

★ ImPACT終了（H30年度末）時点での成果イメージ

- 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** ← **資金配分変更が必要**
（イタリア試験の理由）
 - ・救助犬の使用が盛んでニーズが高く，政府機関主導での試験実施．完成度を高め逆輸入
 - ・国際市場への波及の近道．H30年度までに実用化

★ H30年度以降を含めた必要な取り組み





索状ロボット：社会実装へのマイルストーン



★ 目的・ニーズ

- 倒壊家屋奥深くの人命搜索（阪神淡路以降，大震災が世界中で発生．人命・人材の損失甚大）
- 建物内の火元へのアクセス・消火（大規模火災に打つ手がない．火元に直接放水する必要）

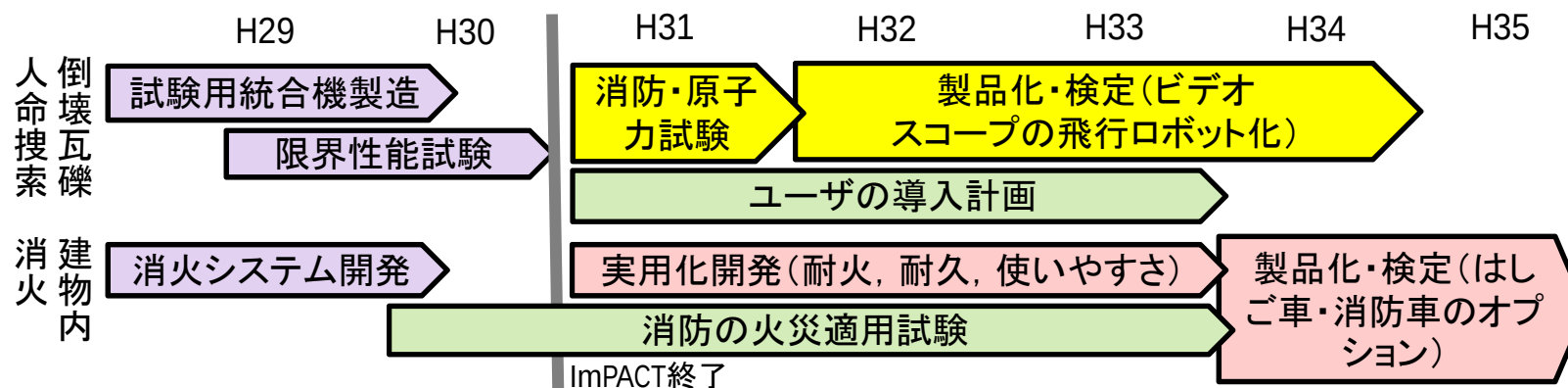
★ そのために必要なこと

- 索状体が**空中に浮上**してターゲットにアクセス（索状ロボ浮上の実現例はない．制御が困難）
- 瓦礫内部の調査・**マッピング**（実現を妨げる困難な条件：遠近撮影・急激な姿勢変化・照明が移動・直射日光と暗闇が共存・超小型・リアルタイム）
- オペレータが**見ながら，聞きながら，触りながら**遠隔操作（実現を妨げる困難な条件：騒音・音響反射・超小型・軽量・瓦礫内耐久性・全体ボディ制御）

★ ImPACT終了（H30年度末）時点での成果イメージ

- 浮上索状体に視覚・聴覚・触覚を統合し，移動能力と遠隔操作能力を飛躍的に向上
- 倒壊瓦礫人命搜索：瓦礫内の実用性能を確保（**限界性能試験で改良**） ← **資金配分変更が必要**
- 建物内消火：窓から建物内に進入し，火元消火できることを実証 ← **資金配分変更が必要**

★ H30年度以降に必要な取り組み





達成目標と進捗



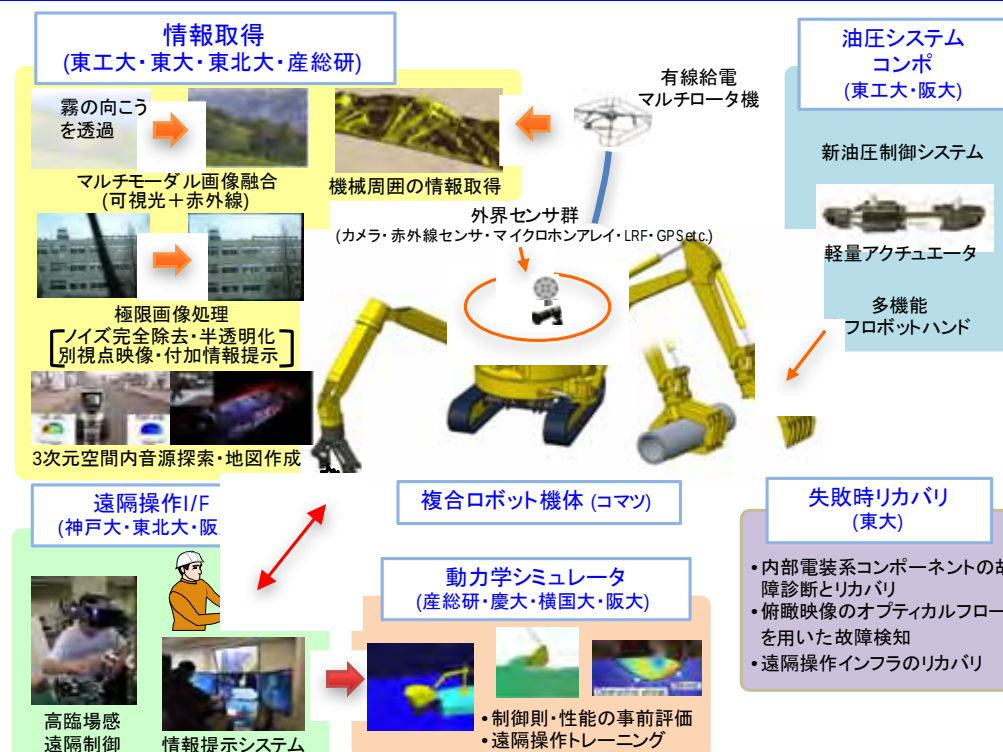
ロボット	出口戦略	プログラム終了時の達成目標	進捗	TRL 現状/目標 (実適用期)
サイバー 救助犬	サイバースーツによる救助犬 能力の飛躍的拡大と全世界 の救助隊への配備	モニタリング・マッピング・作業指示・情動推定 の機能を持つサイバースーツの実現。日本救 助犬協会、イタリア山岳救助隊の訓練使用と フィードバック。	65%	3-7 / 9
索状 ロボット	瓦礫、プラント配管等の狭隘 部・入り組んだ場所での捜索・ 調査・点検の実用化	アクセスが困難な瓦礫内(倒壊家屋等)、プラント内(配管のジャングル等)、火災家屋内の移動と、状況の計測・伝送・認識・マッピングによる救助活動、点検作業支援、消火の実現	65%	4-6 / 8
脚 ロボット	被災プラント等の危険箇所 で調査・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)	60%	4-5 / 6
飛行 ロボット	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	80%	5-8 / 9 期間内実 適用
建設 ロボット	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	60%	4-6 / 8

★実用化の壁

- 双腕で必要な高精度位置・力制御
- 遠隔で現場状況を認識困難
- 複雑な双腕をオペレータが扱えるようにすること

★技術のブレイクスルー

- 高出力双腕機構と高精度油圧制御
- 遠隔操作能力を向上させる
オペレータの認知・制御・判断への支援技術



統合する技術	技術課題	これまでの成果
双腕ロボット (プラットフォーム)	従来の単腕ショベルでは災害現場での作業性・走行性能に限界がある	試験用単腕ロボットの試作, 双腕ロボットの設計 (年度末までに試作)
油圧要素・ハンド	油圧ショベルでは力強い作業と繊細な作業の両立が難しい	双腕作業に必要な高出力・高精度制御を実現, 低摺動摩擦油圧シリンダ, 高出力ハンド開発
情報取得	従来の外界固定カメラ映像だけでは操作が難しく効率が著しく低下する	ドローンによる俯瞰映像, 仮想俯瞰映像による支援, 煙霧を透過する視覚
遠隔操作	繊細な作業をする際の作業機に発生している力が分からない, 奥行き感が分からない	遠隔操作コクピット, 作業機にセンサを搭載しない力覚・接触フィードバック遠隔操作

建設ロボット 災害現場での困難な作業や復旧工事を行う



公開フィールド評価試験（2016.11.11）のポイント

- ・ 高い精度・出力・応答の油圧システム
- ・ 反力と接触を感じながら精密な遠隔操作
- ・ 視点が移動できる俯瞰映像（ドローン、仮想画像）
- ・ 霧煙を透過する視覚



建設ロボット：研究開発・技術統合の進捗状況

★達成目標

- 高出力で自在な力をコントロールできる双腕建機
- オペレータが双腕を使いこなせる遠隔操作支援（認知，制御，情報支援）
- 限界性能試験とそれに基づく改良

現在の達成度

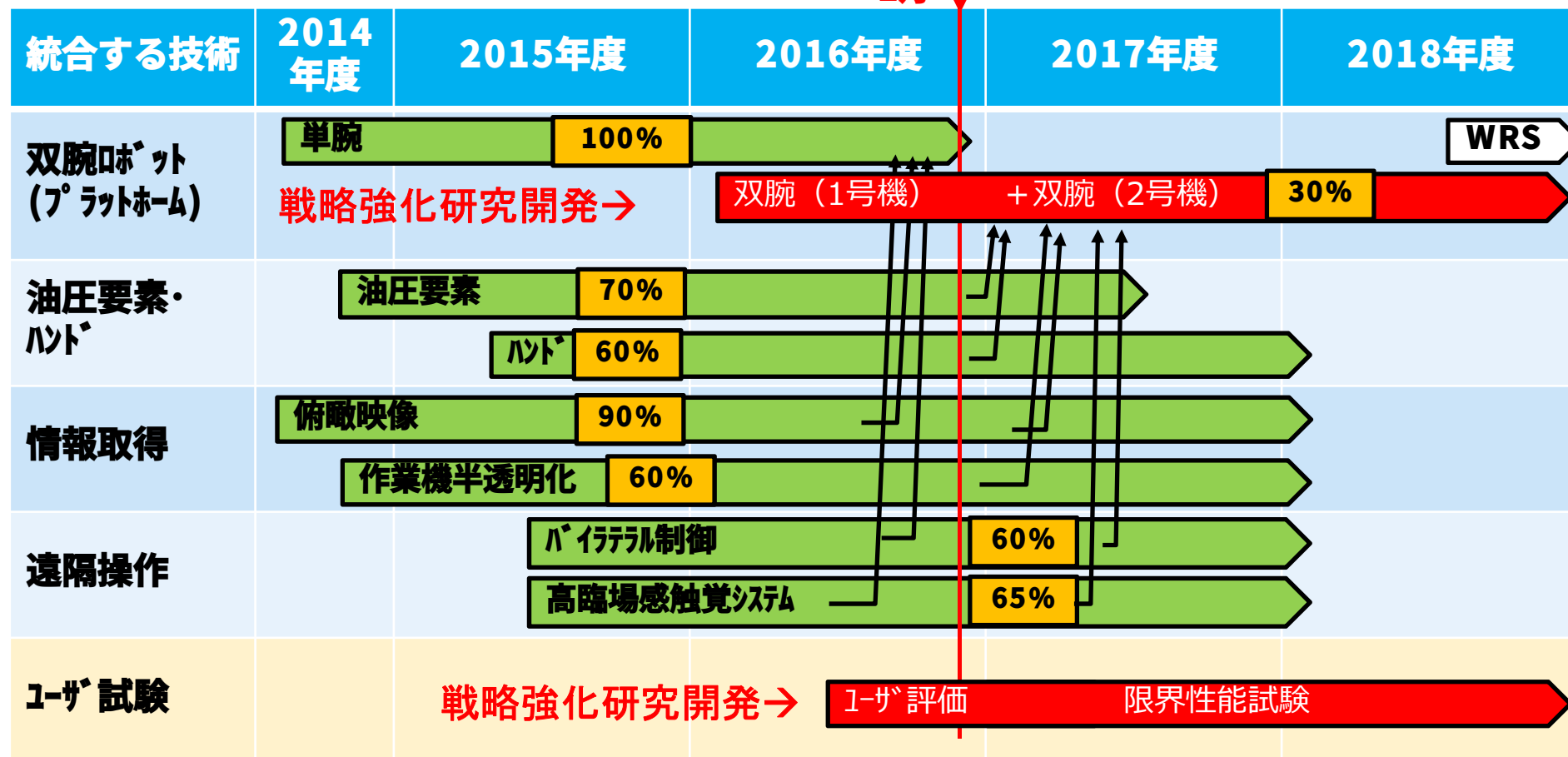
良好・前倒し

予定通り

遅れ

未着手

2月

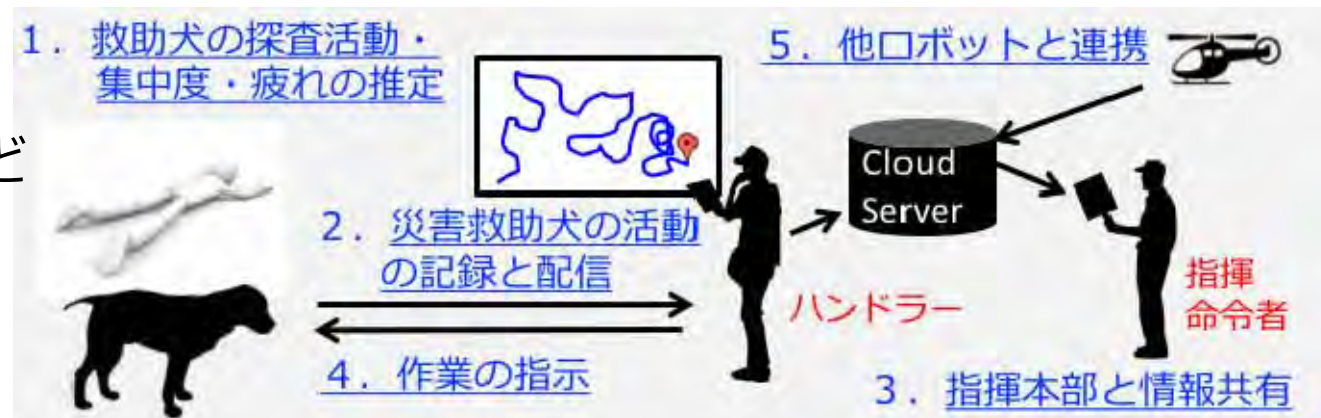


★実用化の壁

- 救助犬の行動と状態の計測・モニタリング（運動・映像・声・生体信号）
- 作業指示・情動推定による，災害救助活動の支援

★技術のブレークスルー

- 活動を妨げないサイバースーツ
- 激しく動く映像から3次元運動推定
- 犬の集中度・疲れなど情動を推定
- 非侵襲的に作業指示



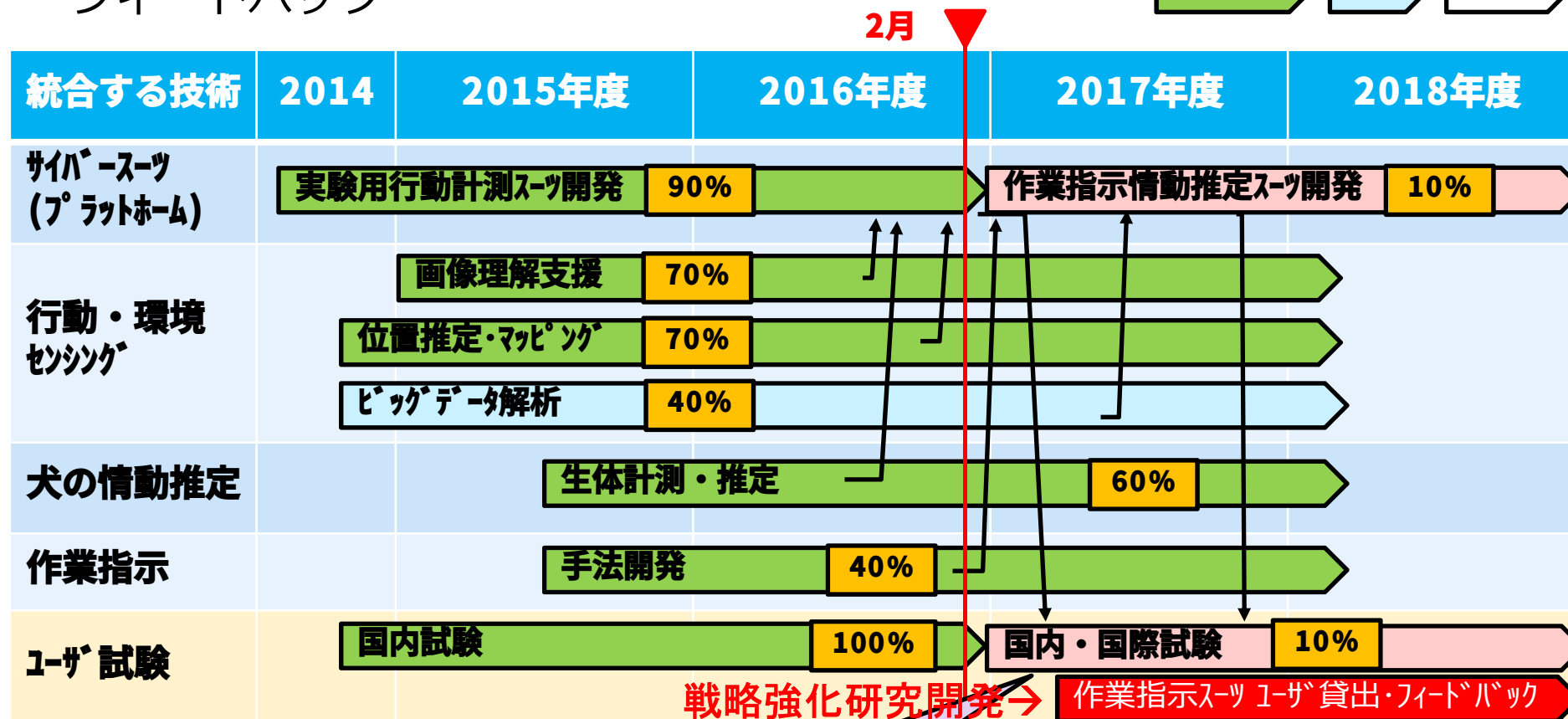
統合する技術	課題	これまでの成果
サイバースーツ (プラットフォーム)	スーツが犬の行動を妨げる，スーツのずれ，重量が犬に疲労を与える	試作改良による軽量で疲れない行動計測サイバースーツ開発（特願）
行動・環境 センシング	犬が吠えた原因が分からない，非GPS環境では犬の位置・行動が分からない	映像伝送，激しく動く映像からの3次元運動推定，機械学習による遺留品発見
犬の情動推定	犬の集中度や疲れが分からない	心拍・加速度から犬の集中度を推定（特願）
作業指示	ハンドラーと犬が離れていると，犬に作業指示を与えることができない	非侵襲的に作業指示を行う効果的な方法の特定



サイバー救助犬：研究開発・技術統合の進捗状況

★達成目標

- モニタリング・マッピング・作業指示・情動推定機能を併せ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



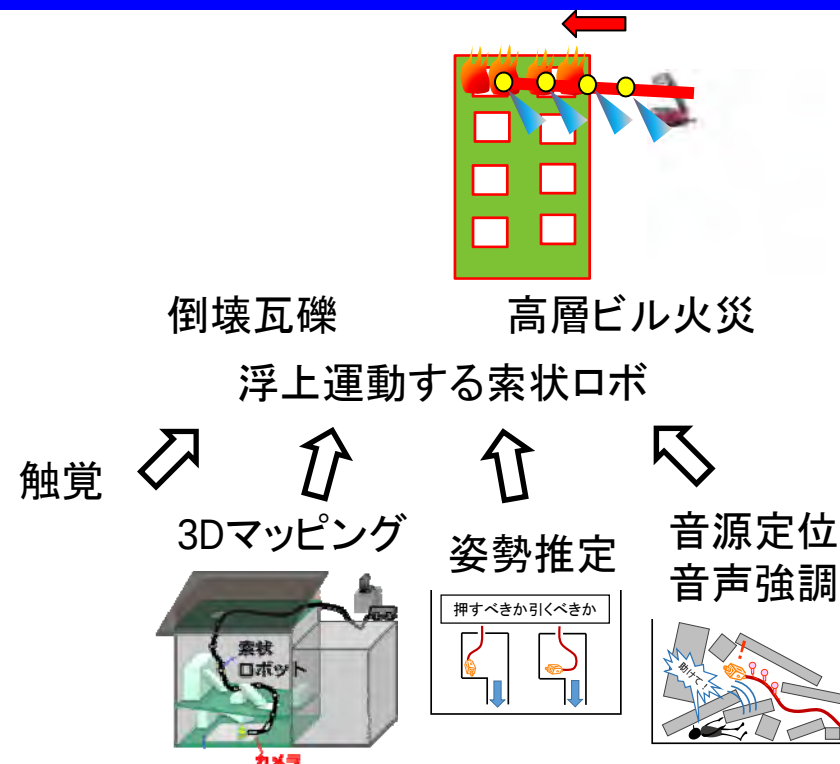
イタリア山岳救助隊(CNSAS; corpo nazionale soccorso alpino e speleologico) の救助犬への試着，評価試験 → 絶大な効果を示し，隊より高い評価，2017年の訓練参加要請

★実用化の壁

- 倒壊家屋瓦礫内や火災建物内で，移動と遠隔操作が困難
- オペレータが狭隘空間内の状況を知覚することが困難

★技術のブレークスルー

- 浮上による運動能力の飛躍的向上
- 音声識別強調で騒音下で聞き取り可能
- 悪条件下で認識・マッピングを可能に
- 周囲を触りながら遠隔操作を可能に



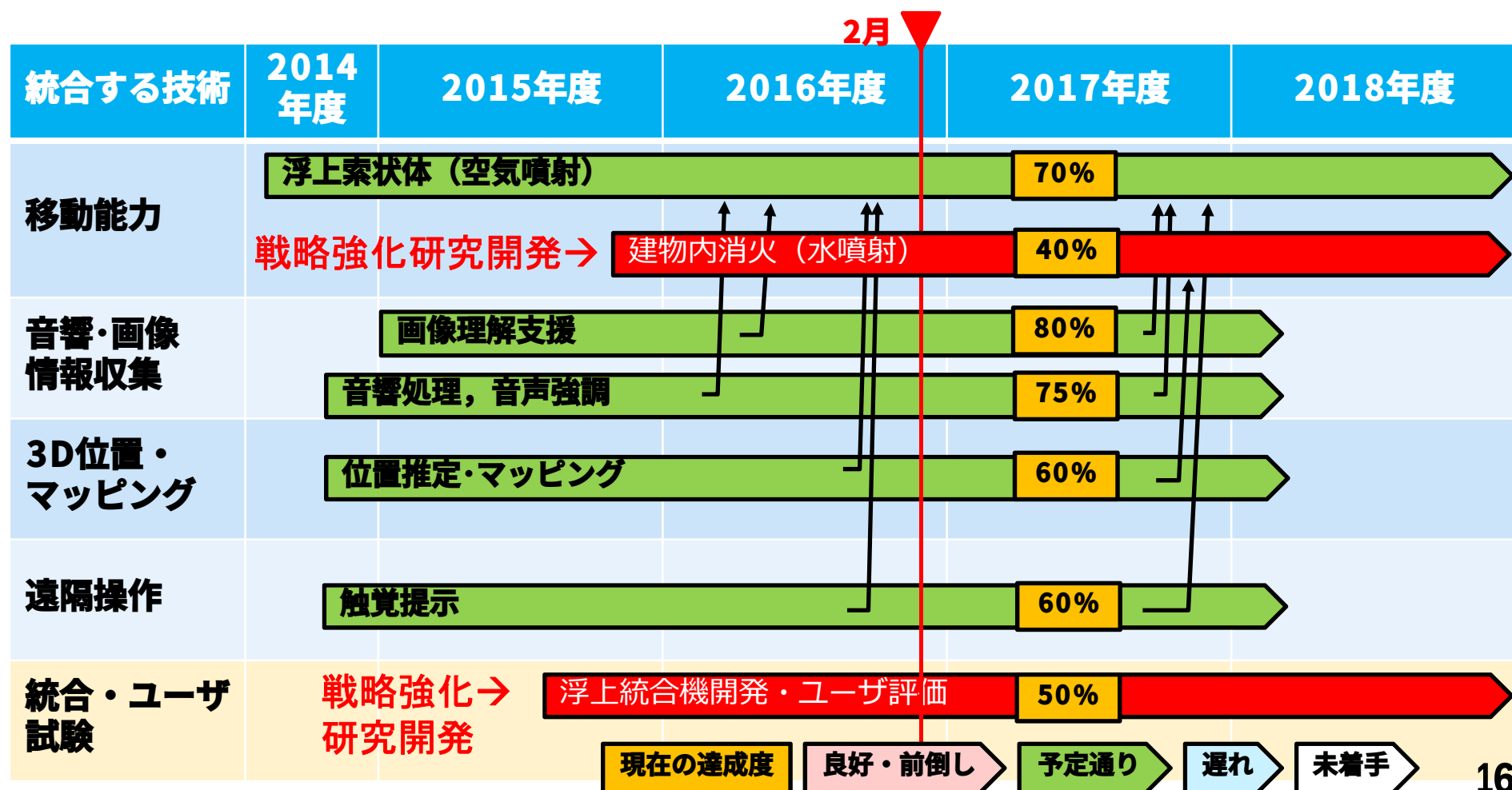
統合する技術	技術課題	これまでの成果
移動能力	瓦礫・配管内外移動が難しい．移動速度が遅い．火災内での移動	空気噴射による浮上移動（カメラ搭載）．水噴射による浮上（索状単体）
音響・画像情報収集	ロボットの姿勢が分からない．被災者の声が聞こえない．映像識別が困難	騒音を除去して瓦礫内音声を強調し聞き取り．音響による姿勢推定．瓦礫内物体の識別・発見
3D位置・マッピング	狭隘空間での位置推定・マッピングが不可能	狭隘・急激姿勢変化・照明移動・超小型の悪条件下でリアルタイムに，カメラ映像から位置推定が可能
遠隔操作	先端カメラの情報だけでは狭隘空間での遠隔操作が難しい	触覚により周囲を触りながら，視聴覚との併用で遠隔操作を可能に．壁に沿って動く浮上移動



索状ロボット(細径)：研究開発・技術統合の進捗状況

★達成目標

- 浮上索状体に視覚・聴覚・触覚を統合することによるシステム化
- 倒壊人命捜索：瓦礫内での実用性能を確保（破壊を恐れず限界試験）
- 建物内消火：窓から建物内に進入し，火元消火できることを実証





PMに関する機関への研究開発資金配分変更 (研究費総額の範囲内での見直し)



PI名(機関名)	資金配分変更の理由
大野和則 (東北大学)	・サイバー救助犬のサイバースーツは著しい性能・機能向上が見られ、日本救助犬協会、イタリア国立山岳救助隊、警察等から、実用性が高い技術として実地試験を行って性能を確認する要請が寄せられる段階に至った。すなわち、作業指示・情動推定機能を有したサイバースーツの研究開発成果を社会的イノベーションにつなげるために、実地現場、救助訓練でのユーザ試験を行うことが必要となった。 ・その実現のためには、現場での繰り返し試験に耐えられるように、作業指示・情動推定機能を有し、かつ耐久性の高いサイバースーツの製造および所用の試験費の確保が必要と判断した。
昆陽雅司 (東北大学)	・細索状ロボットプラットフォームへの研究成果の機能統合が進み、その結果として消防やプラント等のユーザと連携してより厳しい環境での性能試験が必要となった。そのため、現場での繰り返し試験に耐えられる耐久性の高い装置を製造することが必要であると判断した。 ・浮上索状体システムの大規模消火への高い効果が指摘され、フィージビリティスタディによってその実現可能性が明らかになった。そのため、本格的に追加研究開発を行うこととした。 ・建設ロボットの触覚フィードバックを双腕建機に搭載するために、配線の無線化、防塵防水、耐久性向上を実現するための製造費確保が必要と判断した。 ・東北大に設置しているフィールド評価会会場の場所借用、光熱水費、人件費、他、会場提供して実施を現場でサポートする上で必要な経費を負担する必要が生じた。
高森年 (国際レスキューシステム研究機構)	・研究開発が予定通り進み、5種類のロボットに対して、当初予想したよりも本格的な環境やエネルギー源を整備し、人手をかけて、フィールド評価試験を行う必要が生じた。 ・フィールド評価会の多数の見学者によく見ていただき十分なディスカッションを可能にするとともに、安全性を確保するために、十分な対策が必要となった。 ・2017年度以降には、建設ロボット・索状ロボットの限界性能評価を行うことになった。 ・2018年度は福島に整備されるロボットテストフィールドを活用して評価試験を行うこととなったが、そこに試験評価環境を設置する必要が生じた。

- プロジェクト全体として、計画通りに成果が出て来つつある【自己採点：80点】
- 技術開発の進捗状況は概ね計画通りで、順調に進みつつある【自己採点：80点】
- **フィールド評価会（効果的マネジメント）**の効果は計画通り【自己採点：90点】
 - 研究者が見て感じることによる自主的フィードバックが効いてきている
 - 防災ユーザが要素技術の有効性を認めつつある
 - それをきっかけとして注目する企業が増え、事業適用の検討事例も出て来つつある
- 出口シナリオや目標イメージは研究者に浸透し、その実現のための研究者間でのディスカッションも進んでいる【自己採点：70点】
 - 出すべき成果イメージの共有と、目標の明確化
 - 実現のために、研究者が自主的に創意工夫
- **重点化、絞り込み、選択と集中**を進めつつある
 - 評価項目に従い自己評価・評価委員評価・PM評価 → 研究開発資金配分変更
- 今後の課題
 - 貸し出し機、デモ機の準備、防災ユーザへの売り込み → 研究開発資金配分変更
 - フィールド評価試験、現場試験、ユーザフィードバックをさらに充実
→ 研究開発資金配分変更 + 予算増額
 - ロボットオリンピックのプラットフォームとして採用 → ロボットオリンピック予算



増額要望内容：双腕建設ロボットの限界性能調査を実施

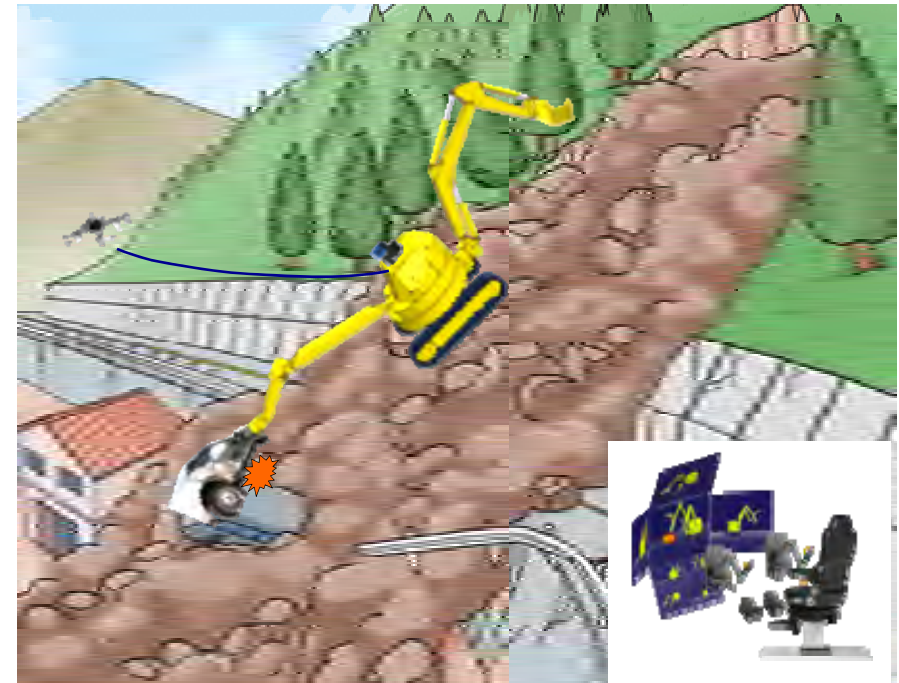
★現行の計画と課題

- 双腕で高効率高精度の次世代型建設機械の試作（1台，2017）
- 安全条件下での模擬試験・要素試験
- 改造・調整中は実験不能
- きびしい実験や大幅改良が困難

★増額により期待される成果

**限界性能試験により，ミッション
遂行能力の確認と改良のループを回す**

- 双腕2号機試作→壊れることを恐れず，ぎりぎりの実験が可能.
→ **問題点を根本的に解決する
大改造が可能．壊れてもいい．**
- ユーザとの共同試験を強化，
新たな使い方の開発を推進
→ **100年続いてきた建機の方式と，
土木建築工事の方法論に，
革命を起こす**



用途：
地震災害，土砂崩れ，福島原発
ユーザ：
ゼネコン，土木工事，国交省