解説

ImPACT-TRCにおける飛行ロボットの先進的成果と今後の課題と展望

ImPACT-TRC Advanced Results of Flying Robots and Future Issues and Prospects

野 波 健 蔵* * (一財) 先端ロボティクス財団
Kenzo Nonami* * Advanced Robotics Foundation

1. 災害対応飛行ロボット分科会が目指したもの

飛行ロボットにおけるタフロボットの満たすべきキーワードは、(1) 耐機体故障性 (信頼性, 耐久性, 安全性), (2) 耐自然環境性 (耐風, 耐雨, 耐雪, 耐雷, 耐気温), (3) 耐通信途絶性 (テレメトリ伝送, 画像伝送), (4) GPS 環境下・非 GPS 環境下での自律飛行性能, (5) 飛行空域での障害物回避・衝突回避性能などである。これらは災害対応の有無にかかわらず, 飛行ロボットがどのようなミッションにかかわらず, 常に満たすべき必要条件と言える。そして, 災害対応飛行ロボットとしての以下に示す固有の機能が付加されることで, 上記の必要条件に十分条件が加わり必要十分条件を満たすことになる。

次に, 災害対応用飛行ロボットの固有な機能について述べる。(1) 災害発生直後に瞬時に自動発進することで, 空撮により災害発生直後の被害状況を正確に把握できること。(2) 特に, 低コストで迅速に対応しやすく, 超低空飛行高度で正確かつ精細な被害状況を収集できること。(3) 夜間も含めて 24 時間体制で捜索可能であること。(4) 飛行ロボットによっては非 GPS 空間での自律飛行や FPV 飛行で人命救助が効率化されること。(5) 有毒ガスや高濃度放射線汚染エリアなどの人が侵入できない場所で情報を収集することにより, 二次災害を防ぐことができること。(6) 飛行ロボットの位置情報に基づいて, 要救助者の位置を正確に確認することができること。最近では広域オルソ画像や 3D マップを高精度で再構築し, AI 技術等で詳細な位置特定を可能にしていること。(7) 赤外線カメラを利用すると, 可視カメラでは確認できない熱源を確認できるため, 山岳地帯での人の捜索や, 火災現場などの熱源の確認に役立つこと。(8) 救援隊等のアクセスが容易でない災害現場に要救助者がいる場合, 必要な救援物資を搬送できること。AED (自動体外式除細動器) や無線機器, 水・食料など適切な物品をピンポイントで搬送したり, 水難事故の際の救命胴衣・浮袋等を搬送できること。あるいは, 設置された機器等を回収すること。(9) 飛行ロボットにスピーカー機能を搭載することで, 要救助者に音声指示を与えたり, 逆にマイク

ロフォンを搭載して要救助者の居場所や要望を聞き取ることができること。(10) 将来的に災害現場の画像をリアルタイムで災害対策本部に送信することにより, 災害現場と災害対策本部を双方向でネットワーク化可能であることなどである。

災害対応飛行ロボット分科会が目指した内容は以上の内容であるが, 時間的・人的・財政的制約の中でこれらのいくつかの課題に取り組み, 重要な成果をあげることができた。本稿では, 重要な成果の一部を以下に紹介する。

2. タフロボット型災害対応飛行ロボットに関する研究

2.1 動力系故障診断システムの確立と耐故障制御・セルフチューニング制御

タフロボット型飛行ロボットの必要条件に, (1) 耐機体故障性 (信頼性, 耐久性, 安全性) がある。本研究では動力系故障診断システムの確立と耐故障制御・セルフチューニング制御を実施した。まず, 動力系の故障を瞬時に診断可能なアルゴリズムの確立と, 動力系故障に対する対応としてフォルトトレランス制御技術を確立し, 実機に実装して実用性の検証を行った。そして, プロペラが二つ停止した状態でも安全に着陸が可能な機体の開発に成功した。さらに, 質量や慣性モーメントなどが変化しても常に飛行性能を一定に保つために, 適応制御理論を応用したセルフチューニング制御を適用して有効性を検証した。図 1 は飛行中のドローンから 2 リットルの水を放出した際の様子で, 放出前後の高度変化を 5 [cm] 以内に抑えることができた。

2.2 従来の飛行ロボットをはるかに凌ぐ, 超ロバストなスーパー飛行ロボットの研究開発

飛行ロボットの (2) 耐自然環境性を向上させるためには, ①強風・突風外乱への対応, ②豪雨・豪雪などの対応, そして, ③耐高温・耐低温等がある。本研究では, ①について耐

図 1 飛行中に重量変化しても高度が変化しないセルフチューニング制御

原稿受付 2019 年 8 月 22 日

キーワード: Flying Robot, Drone, Disaster Response Flying Robot, Robustness

*〒104-0041 中央区新富 2-1-7, 富士中央ビル 6F

*Chuo-ku, Tokyo

強風・突風外乱への対応として、スライディングモード制御という外乱に強い非線形制御を適用した飛行制御技術を一層高度化した結果、風速 20 [m/s] 環境下でのホバリング実施や、平均風速 10 [m/s] 環境下での自律飛行が可能な機体開発に成功した。同時に、長距離飛行を目指した機体性能として、機体構造の改良や設計見直しを施して軽量化・高効率化を達成することで、飛行速度 20 [m/s] (72 [km/h]) で飛行距離 25 [km] をしのぐ自律飛行にも成功し、災害時に運用可能な機体開発に成功した。災害時には監視者なし目視外飛行が想定されるため、機体のテレメトリー情報を把握するための電波を、920 [MHz] 帯による直接通信だけでなく、LTE 通信を用いたインターネット経由での情報取得可能な開発を実施し、災害発生時の際の適用範囲を拡大した。

災害対応飛行ロボットは豪雨時や豪雪時こそ飛行する必要があるため、②についての研究開発を実施した。機体の最適化・軽量化を図り、長距離飛行が可能な ACSL-PF1 の防水化を実施し、IPX3 の認証を取得した。豪雨を想定した環境での試験のため、大型降雨実験施設にて 300 [mm/h] の環境下で 20 分間の飛行に成功した。雨量変化をさせながら、計 100 分間雨天環境での飛行試験を実施し、雨天環境下でも安定した飛行ができることを確認した。図 2 に 300 [mm/h] の降雨環境下での飛行試験の様子を示す。さらに、水面への着水、水面からの離水を可能とする機体も完成し実証している。

2.3 2017 年 7 月九州北部地区豪雨での飛行ロボット有効性の実証

2017 年 7 月、九州北部豪雨において、内閣府からの出動

依頼を受け、飛行ロボットによる災害現場調査を実施した。使用した飛行ロボットは全備重量 7.7 [kg] で全体図を図 3 に示す。飛行ロボットの特徴としては、国内で最も長距離飛行が可能な機体であり、図 3 左下の図のように 4 眼カメラが付いており 8 [fps] (2 [fps/camera]) の高速シャッター速度となっている。1 秒間に 8 枚の写真撮影が可能で、高速飛行しても十分にオルソ画像が生成できるオーバーラップ率となっている。そして、監視者なし目視外飛行という国内では最初の事例となる飛行を実施した。飛行ロボットの映像も地上局に送信できない、地上局からも飛行ロボットにコマンド送信ができないという約 5 分間の完全なブラックアウトの状態で見守りながら自律飛行を実行して、時速約 60 [km]、高度は地表から 100 [m] を維持しながらの飛行で、幅約 400 [m]、長さ 3 [km] という超広域のオルソ画像を、分解能数センチ程度の精細さで作成できることを実証した。筆者らにとって 5 分間もの間、電波が完全に途絶した状態での自律飛行は最初の経験であったが、完璧な飛行とミッション達成を実現したことは、予想以上の大きな成果であった。一方で、得られた課題も多く今後の教訓と課題とした。図 4 は九州北部豪雨飛行現場のオルソ画像を示す。

一方、東北大学国際災害科学研究所（以下、災害研）の研究グループが 2017 年 12 月からプロジェクトに参加して、飛行ロボットの災害発生時の被災地における広域情報収集の有効性の検証と、防災の観点から飛行ロボットに求められる飛行性能および情報収集のためのセンシングの要件を明らかにしてきた。そして、図 4 で撮像された画像から、Structure from Motion (SfM) による瓦礫の抽出と体積の推定を行った。解析手順を次に示す。手順 1) 図 4 をベ-

図 2 300 [mm/h] の降雨環境下での飛行試験の様子

図 3 2017 年 7 月九州北部地区豪雨で使用した飛行ロボット

図 4 九州北部豪雨飛行現場のオルソ画像

図5 図4のオルソ画像・3D マップ化を用いた瓦礫（流木）の体積推定とマッピング

スに Structure from Motion (SfM) による DSM (Digital Surface Model, 数値標高モデル) 作成, 手順2) 作成された DSM と国土地理院 DEM (Digital Elevation Model, 数値標高モデル) の差分処理による瓦礫の抽出, 手順3) 瓦礫体積の算出とマッピングである。上記手法により, 飛行ロボットが撮影した画像とオルソ画像をベースとして, 手順1から手順3の経過を辿って, 瓦礫の体積推定とマッピングが可能であることが実証された。

災害研では, 上記のほかには大地震後に立入規制される危険地域で地表断層をマッピングし, 地盤変動や地震像を早急に把握すること, 土砂災害の崩壊メカニズム解明, 火口形状や噴出物の体積の経時変化を計測すること, 被災建物外観調査の高速化の検証, 飛行ロボットによる医療施設の情報収集支援, 文化財・歴史資料保全への活用など幅広く研究を実施した。

3. 飛行ロボットのための軽量高把持力ロボットハンドの研究開発

災害対応用飛行ロボットの固有な機能として, 1章で述べた(8)の機能がある。アームとハンドを搭載した最も飛行ロボットらしい機能で, 高所空中作業を可能とする進化型飛行ロボットのあるべき姿である。提案するロボットアームは汎用の飛行ロボットに取り付けても動力伝達系を工夫することによりアームの動きが飛行ロボットの姿勢に影響を与えない特長を持っており, 実機を製作しその動作検証を実証した。図6のようにハンドに500[g]のおもりを把持させ, 250[mm/s]の速さで前後方向に3往復200[mm]動かした場合にどの程度に姿勢を崩し, それに伴いホバリング位置がずれるかを検証した。飛行ロボットは汎用機である DJI 社製の S900 を用いた。同図において赤線は飛行ロボットのマーカー移動軌跡を示している。同図(a)は提案機構を用いた場合であり, 同図(b)は用いない場合である。なお, 手先の動きは両方とも同じである。同図(a)のほう明らかにその場でホバリングしており安定した飛行が実現できている。つまり, 本アームの提案機構が有効に動作していることが分かる。

また, 図7に示すように開発したアームおよびハンドを

(a) 本機構を用いた場合の飛行ロボットの軌跡

(b) 本機構を用いない場合の飛行ロボットの軌跡

図6 アーム・ハンドを有する飛行ロボット

(a) ロープにパン・チルトステージのついたカメラを設置および回収(設置した装置の質量: 1[kg])

(b) 鳥が木の枝に留まるように, パイプを掴み着陸および離陸(着陸時プロペラは停止)

図7 アームとハンドを用いた飛行ロボットの空中作業の様子

用いて設置・回収作業および着陸動作を実現した。同図(a)のように, 高所にあるロープにパン・チルトステージに取り

(a) 高所への LED 灯を運搬、設置

(b) 傾斜地への救急医療品運搬、設置

図 8 高所や傾斜地などに物資を搬送したり備品を回収したりする様子

付けたカメラの設置および回収に成功した。このとき用いたステージおよびカメラ等の全質量は 1 [kg] である。ゆえに、1 [kg] 以下であれば様々なセンサ、ロボット、物資などの設置・回収作業ができるため、様々な応用展開が期待できる。また、このとき特殊な脱着装置は必要なく、取っ手があれば十分に設置・回収ができることも同時に示すことができた。つまり、緊急時に物資を搬送したい場合、取っ手さえ付いていれば、着陸することなく物資を搬送できることが分かった。フィールド評価会では緊急物資の搬送のデモンストレーションを行い成功した。また、同図 (b) のようにアームとハンドを脚として用いて鳥が木の枝に留まるように着陸することにも成功した。着陸時には完全にプロペラを停止することができる。また、離陸にも成功している。

さらに、ACSL 社製ドローン ACSL-PF1 にアームとハンドを搭載し、図 8 のように、高所への物品輸送と傾斜地への物品輸送試験に成功し、緊急時の物資輸送に有効な技術であることを確認した。さらに、平成 30 (2018) 年 10 月 14 日に尾道市防災フェアにおいて、消防局と自衛隊とともに公開訓練に参加し、海難救助を想定して海で溺れかけている要救助者に浮輪を搬送するデモを実施している。

4. 飛行ロボットのピッチ角制御方式による機動性向上の研究

飛行ロボットのタフネス化において、1 章で述べた (2) 耐自然環境性の向上は極めて重要である。現在の多くのマルチロータ型飛行ロボットは、機体制作の容易さと飛行制御

の容易さからプロペラピッチ角が固定で、回転数の変動により姿勢制御を実現している。一方、本研究では機動性向上の観点から回転数を固定して、図 9 に示すようなプロペラピッチ角を可変とすることで、姿勢制御を実現する方式の研究開発を実施した。すなわち、コレクティブピッチによる飛行制御にすることで風外乱等への即応性を向上することを目指した。最終的に、入力信号に対する推力変化の時間遅れが 1/6 程度に短縮した。制御工学的には時定数を 1/6 にしたということである。このことは、速い飛行制御が可能になり、激しい突風などの擾乱時での安定な飛行の可能性を意味している。一方で、ヨー軸周りの大きなモーメントを発生するためには、回転数の制御機能も併せ持つことが必須である。さらに、コレクティブピッチによる飛行制御をキーテクノロジーとしたマルチロータ機の高性能化を、複数の視点から検討した。

コレクティブピッチによる飛行制御を採用することによって、以下のことが可能になった。

(1) 負の推力発生によるコントロールモーメントの増大

対称翼型を持ちねじれないブレードを採用することで、コレクティブピッチの符号を変えることで、鉛直上下対称に推力の発生を可能にした。このことによって、下降飛行が速くなり、また、注目する軸に対し左右のブレードの推力の向きを反対にすることで、大きな制御モーメントを発生可能にした。

(2) モータ集約化による機体質量、慣性モーメント低減

同一方向に回転するロータは一つのモータで回転させることにした。このことによって、モータ数はロータ数によらず 2 になり、モータの全質量は低下する。また、これらのモータを重心付近に配置することで 3 軸周りの慣性モーメントを半減させた。なお、モータ数を 1 でなく 2 にするのは、反対方向に回転するロータの回転数に差をつけ、大きなヨーイングモーメントを発生するためである。

(3) ロータのトルク変動配分

同一方向に回転するロータは一つのモータで回転する。同一方向に回転するロータのトルク比を工夫することで、姿勢制御モーメント発生時のモータの出力変化がないようにした。このことで、姿勢制御によってモータ出力にマージンを持たせる必要がなくなる。モータの回転数を変化させるヨーイング運動制御のみが、モータ出力のマージンを考慮する必要があるということである。

(4) オートローテーションの可能性検討

プロペラピッチが可変であるため、モータ故障時にプロペラのコレクティブピッチを変えることで、風車モード（プロペラがモータで駆動されるのではなく、流入する風により駆動される）の性能を上げることができるため、モータ故障時の緊急避難降下飛行であるオートローテーションの可能性が高まる。垂直オートローテーションについて現在までにシミュレーションを行った。1 モータが故障時、ヨーイング運動が起きないように、ほかのモータ、プロペラも停止させると、十分に降下速度を抑えることができない。ただ、1 モータ、プロペラが停止した際、向かい合うモータ、

(a) コレクティブピッチ制御方式

(b) オートローテーション用試験機

図 9 可変ピッチ型（コレクティブピッチ制御）マルチロータヘリコプタ

図 10 ダクト付ロータクワッド機

プロペラは停止させるが、ほかのプロペラはモータ駆動し、推力を発生する。ヨーイング運動が起こるが、その運動は姿勢安定に役立つ。図 9 (b) はオートローテーション試験用クワッド機である。

コレクティブピッチによる飛行制御を採用したことによって可能になるものではないが、以下の件についても検討を行った。これらの技術検討の成果は、すべてのマルチロータ機に利用できるものである。

(5) ダクト

ホバリング時の効率を表す FoM (Figure of Merit) を最大で 70% 程度向上させるダクト形状を実験的に見つけた。図 10 はダクトを装着した機体の飛行を示す。ロータ間の距離が近い場合にはダクト装着によって、横風遭遇時に飛行が不安定化する問題が生じたが、ロータ間の距離を離すことで問題は解決した。また、屋外で、風速 3 [m/s] 以下、ペイロード 1.6 [kg] を積載した状態でのホバリング時の消

図 11 壁面近傍のマルチロータ機

図 12 壁付近でのロータ発生推力係数 $C_L = Z/(\rho\pi R^2 V_{tip}^2)$ (赤点線は壁のない時の値) 図 13 機体に働くピッチングモーメント係数 $C_{MX} = M_X/(\rho\pi R^3 V_{tip}^2)$ (頭上げが正)

費電力を計測したところ、ダクトの搭載により消費電力が 17% 程度削減されることが確認された。なお、ダクト搭載の有効性はペイロード重量が増大するほど増加する。

(6) 壁との干渉に関する CFD (数値流体力学)、EFD (実験流体力学) 手法による検討

インフラ点検等のミッション時、図 11 に示すようにマルチロータ機は壁と干渉する環境で飛行する。CFD、EFD によって、壁付近でのマルチロータ機の空力性能を評価した。CFD 結果の一例として、横壁からの距離とロータ発生推力、機体に働くピッチングモーメントとの関係を図 12, 13 に示す。この成果を用いて、壁付近での飛行制御の新しい方法の検討を現在行っている。

5. 飛行ロボット搭載マイクロホンアレイを用いた音源探索・同定の研究

飛行ロボットの固有な機能として、1章に述べた(9)の機能がある。要救助者を迅速に発見することは、人命救助の観点から大変重要なミッションである。本研究はこの観点から音源探索技術を活用した新たな飛行ロボットの研究に取り組んだ。特に、飛行ロボットを用いた音源探索技術を実現するために以下の課題を設定した。1) UAVに搭載したマイクロホンアレイを用いた音源の時間・位置の検出技術(音源探索技術)、2) 組み込み処理化を通じた音源探索技術と他グループの技術との統合および統合デモ構築、3) 検出した音源に対する音源の聞き分け技術(音源同定技術)、4) オペレータに分かりやすいユーザインタフェース技術(UI技術)である。

音源探索技術の性能については、MUSIC法の組み込み処理化を行った。実時間で処理が可能であることを示し、組み込み処理化によって、基地局へのデータ伝送量を1/100以下に抑えることができた。図14、15に示すように、統合デモについては、極限音響チームの単独デモとして、上述の組み込み処理版の音源探索技術、3D音源位置推定技術を搭載したシステムのデモを行った。また、搭載したマイクロホンアレイは、16チャンネルにマイクの本数を増やすことによって音源探索のカバーエリアを大きくして飛行ロボットが多少傾いてもロバストに音源を検出できるようにした。さらに、雨天時への対応のため、防水型のマイクロホンアレイを構築した。実際に第4回フィールド評価会は雨天であったが、問題なく瓦礫下に閉じ込められた要救助者に見立てた土管の中から漏れてくる声に対して音源探索を行うことができた。

音源同定は、これまで開発を行ってきたCNNベースの音源同定システムをオンライン化してデモを実施し探索した。これにより、タフワイヤレス(NICT)が開発した無線システムと統合を行い第7回のフィールド評価会にてデモを実施した。

また、本研究では以下の取り組みも行っている。

1) 複数のマルチロータからの音情報を統合するシステム開発

平成28年度のシステムで12[ch]のマイクアレイと、機体本体に内蔵した音響信号収録装置と信号処理用PCを組み合わせて音源方向を検出を実現していたが、マルチチャンネルの音響情報を地上局で処理する際に広帯域の情報伝送が必要であった。特に、複数のマルチロータが同時に音源定位する際に十分な通信路を確保するうえで障害となる。そこで、音響処理装置を包含した一体型の16[ch]アレイを開発し、機上で音源方向推定処理までを実現することで、地上との通信に必要な帯域を削減した。

2) 音源の位置推定技術の確立

平成28年度では音の到来方向を検知実現した。平成29年度は、別のマルチロータヘリコプタによって計測した点群マップ情報を用い、音源が地上に存在するという仮定の

図14 マイクロホンアレイを搭載した飛行ロボット

図15 PC上にオンラインで音源名が識別表示

図16 第7回フィールド評価会で使用した機体全景

下で、音源方向情報に機体の位置・姿勢情報と統合することで、音源の三次元位置を直接推定する手法を開発した。

また、空中からの収録では、定位対象となる音源が複数検出されることが多いことが分かったため、これらの音源を適切に識別する手法を開発した。

マルチロータヘリコプタに搭載可能な音響モジュールとして、完成度の高いシステムが構築でき、2018年11月のフィールド評価会では非公開デモながら、図16に示す機体を用いて機能することを実証できた。特に、音源の位置を直接に特定できること、デモでは瓦礫中(土管)に埋もれている人の発する声を定位できた点、成果として強調したい。さらに、図17のように複数の音源からの信号を分離し、これらを識別することで、個別に定位する手法、ならびに環境中の音源どうしが近く、分離の難しい場合に繰り返しベイズ推定によって音源位置を推定する手法も提案した。

飛行ロボット用マイクロホンアレイによる集音と音源探索については、実フィールド評価会で人の叫び声や土管

図 17 音源識別を併合した飛行ロボットによる複数移動音源定位の例

の中からの叫び声に対する音源位置推定が実時間でできることが実証できた。

6. ま と め

本稿は、内閣府の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 (TRC, 2014～2019 年), PM: 田所諭教授, 東北大学」で実施された研究のうち, 飛行ロボット分科会 (座長: 野波健蔵) の最終研究成果のごく一部を要約したものである。ここで, 紹介させていただいた内容は 4 テーマで, 1) タフロボット型災害対応飛行ロボットに関する研究, 2) 飛行ロボットのための軽量高把持力ロボットハンドの研究開発, 3) 飛行ロボットのピッチ角制御方式による機動性向上の研究, 4) 飛行ロボット搭載マイクロホンアレイを用いた音源探索・同定の研究である。1), 3) は飛行ロボット自身のタフロボット化であり, 1) は耐機体故障性, 耐自然環境性, 3) は耐自然環境性についての研究であった。2) と 4) は災害対応用飛行ロボットの固有な機能の付加という観点からの研究で, 2) は要救助者への物資搬送や機器の回収, 4) は要救助者の SOS 音声を発見するもので, 人命救助には必須の研究である。

ImPACT-TRC の飛行ロボット分科会の研究テーマはこれらのほかに, 飛行ロボット自身のタフロボット化を目指した, 5) タフ・ロボティクスのためのタフ・ワイヤレス技術の研究開発, 6) 劇的な周囲環境変化に対してタフなスーパーバイザ型ナビゲーション・制御システムの開発, 7) コヒーレント・ドップラー・ライダーによるドローンの落下を防ぐ橋梁近傍の微小風観測システムと, 災害対応用飛行ロボットの固有な機能の付加という観点から, 8) 生物の柔軟構造を規範とした超ロバスト回転翼, 9) マルチ GNSS アンテナによるロバストかつ高精度な位置姿勢推定と超高精度レーザ計測の実現, 10) 地勢の多重解像度データベースを用いた飛行プラットフォームによる被災状況の効率的な把握と情報提示のテーマがある。

これらの 10 テーマすべてについて, 文献 [1] に詳細に収録されているので, ぜひ, 文献 [1] をお勧めしたい。なお, 同時に英文単行本として文献 [2] に示すように, Springer からも出版されているので, 合わせてお勧めしたい。本稿の

3～5 章の内容については筆者の独断で表現等を多少書き換えた箇所があるが, ご容赦いただければ幸いである。

2 章で述べたように, 航空局から特別の飛行許可を取得して実施した, 監視者なし目視外飛行という国内では最初の事例となる飛行を行った結果, 飛行ロボットの映像も地上局に送信できない, 地上局からも飛行ロボットにコマンド送信ができないという約 5 分間の完全なブラックアウトの状態ではなかったが, 完全自律飛行を実行して, 時速約 60 [km], 高度は地表から 100 [m] を維持しながらの飛行で, 幅約 400 [m], 長さ 3 [km] という超広域のオルソ画像を, 分解能数センチ程度の精細さで作成できることを実証した。筆者らにとって 5 分間もの間, 電波が完全に途絶した状態での自律飛行は最初の経験であったが, 完璧な飛行とミッション達成を実現したことは, 予想以上の大きな成果であった。一方で, 得られた課題も山積している。一般に, 大災害発生時は携帯電話用基地局が破壊されているということを前提として, インターネットが使用できない環境下での自律飛行ミッションのあるべき姿を早急に確立する必要がある。

ImPACT で 5 年間の歳月と日本の飛行ロボット関連研究者の頭脳の集積とで多くの課題が解決された, あるいは解決する糸口が見えてきた。と同時に, 新たな課題も浮上してきた。まさに, ImPACT のいう不連続イノベーションが起きたことは事実である。特に, 研究者ネットワークが構築されて大学間・研究室間の垣根が低くなり, 自由な共同研究の土壌が生まれつつある。同時にフィールド評価会を介した産業界とのつながりも生まれて, 産学連携も活発化しようとしている。これこそ, ImPACT-TRC が仕掛けたパラダイムシフトであったと思われる。この成果を基礎に次へのステップを展望して行くべきであろう。この烽火を消してはならない。

災害対応飛行ロボットが果たさなければならない課題は 1 章に述べたとおりで, 多くの課題がある。ImPACT-TRC が起爆剤になって, さらなる不連続イノベーションを巻き起こして行くことが必要であろう。そして, 日本は災害大国であることを念頭に置くならば, 次世代災害対応飛行ロボットの社会実装を世界に先駆けて実施すべきであろう。

参 考 文 献

- [1] 田所諭 (編著), ImPACT「タフ・ロボティクス・チャレンジ」最終成果報告書, 内閣府, 2019 年 3 月.
- [2] S. Tadokoro (ed.): Disaster Robotics—Results from the ImPACT Tough Robotics Challenge. Springer, 2019.
- [3] 野波健蔵, 井上翔介: “ImPACT/TRC 飛行ロボット分科会の研究について”, 日本ロボット学会誌, vol.35, no.10, pp.700–706, 2017.

野波健蔵 (Kenzo Nonami)

1979 年東京都立大学大学院博士課程修了, 1985～1988 年米航空宇宙局 (NASA) 研究員・シニア研究員, 1988 年千葉大学助教授, 2004 年千葉大学教授. 2008 年千葉大学理事・副学長, 2012 年ミニサーバイヤーコンソーシアム (2017 年に改組して日本ドローンコンソーシアム) 会長, 2013 年千葉大学発ベンチャー (株) 自律制御システム研究所 (ACSL) を創業して代表取締役 CEO, 2014 年千葉大学特別教授 (名誉教授), 2018 年 ACSL 東証マザーズ上場, 2019 年一般財団法人先端ロボティクス財団を設立し理事長就任.
(日本ロボット学会正会員)