解説

生活・社会・システムを持続可能にする製品開発例

Product Development Example to Make Life, Society and System Sustainable

渡 辺 諒^{*1} 渡 邊 括 行^{*1} 河 野 智 也^{*1} 野 波 健 蔵^{*2}

Ryo Watanabe^{*1}, Katsuyuki Watanabe^{*1}, Tomoya Kohno^{*1} and Kenzo Nonami^{*2}

^{*1}株式会社アイザック ^{*2}千葉大学

^{*1}Aizuk, Inc. ^{*2}Chiba University

1. は じ め に

2011年に発生した東日本大震災では、地震と津波による多くの犠牲者を出した。さらに原子力災害と風評被害が多くの人々の暮らしを奪った。福島県では被害を受けた既存産業の再生に加え、新たな産業の導入として、医療機器関連産業、再生可能エネルギー産業、ロボット産業の推進を行っている[1]。例として、福島県ロボット産業推進室では、ロボット関連産業基盤強化事業、災害対応ロボット産業集積支援事業等の産学官連携のロボット産業補助事業を行っている[2]。これに県内外の多くの機関が参画し、ロボットおよびその要素技術の開発を行っている。株式会社アイザックは2012年より、ふくしま医療福祉機器開発事業にて、介護ロボットの開発を開始した。福島県にて東北発ロボット開発会社としてロボット開発に取り組んでいる。また、2013年より福島原子力発電所の廃炉・除染に向けた作業や、そのほか危険作業用途として災害対応ロボットの開発を行っている。本稿では、これまでに開発してきたロボットの事例を紹介し、特に災害対応ロボットのうち、ドローン用自動バッテリー交換システムについて詳細を解説する。

2. ロボット開発事例

2.1 医療・福祉ロボット

少子高齢化や介護者の負担軽減などを背景に、福島県会津若松市にある会津中央病院[3]のアドバイスおよび医学的知見提供のもと、医療・福祉ロボット開発に取り組んでいる。移乗・移動ロボット Keipu (ケイプ) は、後ろから乗り込む形をした電動車いす型ロボットである(図1)。主に病院の入院患者や介護施設の被介護者の自立支援を目的としたもので、ベッドからの移乗と施設内の移動に利用する搭乗型介護ロボットである。通常ベッドから車いすに移乗する際は、ベッドに対して斜めに置かれた車いすへ旋回

図1 移乗・移動ロボット Keipu

動作を行いながら移乗する。Keipu の場合は、ベッドに対して真っ直ぐに配置し機体後方からベッドと継ぎ目なく移乗することが可能である。これにより移乗時の転倒リスクが車いすに比較して低減される。また、用途を病院または介護施設屋内へ特化させることにより、一般的な車いすに対してコンパクトになっている。人の行き交う場所での使用においても利用しやすく、ベッド脇へ近づきやすくなっている。Keipu の全長は 734 [mm]、一般的な車いすの全長は 1,000 [mm] 程度である[4]。駆動輪は独立二輪駆動となっており、車体の左右にレイアウトしている。機体の超信地旋回を実現し、エレベータ内や人混みで、繰り返し動作を行うことなく旋回動作が可能である。Keipu は製品版として販売を開始するまでに4度の試作を行った。後ろ乗りの基本コンセプトはユニバーサルビークル RODEM [5] を踏襲しているが、病院職員および患者の声を聞きながら形を変化させていった。多くの意見をいただいた中から主に以下の三つの項目について対応した。一つは旋回半径について。車いすを利用する施設は、車いすのために旋回半径 700 [mm] 直径 1,400 [mm] 程度の最小スペースを確保するようユニバーサル設計となっている。しかし、実際にはベッドや様々な障害物がある。たとえ建物が大きく作られていたとしても運用上行き交う人もいるため、できる限り機体サイズや旋回半径を小さくすることが求められる。二つめにシート形状について。後ろから移乗する際、利用者はシートを股の間に滑り込ませる形になる。移乗するには

原稿受付 2017 年 10 月 16 日

キーワード: Rescue Robot, UAV

^{*1}〒965-0033 会津若松市行仁町 9-28

^{*2}〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33

^{*1}Aizu-wakamatsu-shi, Fukushima

^{*2}Inage-ku, Chiba-shi, Chiba

図 2 災害対応小型クローラロボット SPIDER

できるだけシートが小さいほうが邪魔にならないが、移乗した後はできるだけシートが大きいほうが座り心地が良くなる。また、シートがフラットなほうが、滑りながら乗り降りする際には邪魔するものが少なく都合が良い。対してシートに凹凸を持たせるほうが、姿勢の安定につながる。三つめにユーザインタフェースについて、Keipu には走行機能のほかに座面を昇降させる電動リフト機能も備えている。このため利用者には走行操作と座面の昇降操作を求める。それらに付随して座面高さ、現在の設定速度、バッテリー残量などを利用者に提示する。操作は高齢者にとって複雑になり、適切な操作性が求められる。3 度めの試作段階までは操作部を要望に応じて作り変えていたが、対象者の病状や特性によって要望は多岐にわたる。現在では、タッチパネルディスプレイを採用し、用途や対象に応じて機械的に操作機を変化させるのではなく、情報提供する画面をソフト的に作り変えることで対応する方法を採用している。これら検討項目について、病院や病院の関連施設に持ち込みヒアリングを行うことで最適な答えを探った。

2.2 災害対応ロボット

被災した建屋をはじめ、人の立ち入りが困難な空間へ進入し、作業を行うことを目的とした災害対応ロボットの開発を行っている。小型クローラロボット SPIDER は、長岡技術科学大学のクローラ型ロボット [6] をベースに 2013 年より開発を開始した。左右独立駆動のクローラベルトで走行し、四つのサブクローラにより段差乗り越えを行う。倒壊した建物内の調査とサンプル取得を目的としたロボットである (図 2)。福島県平成 26 年度災害対応ロボット産業集積支援事業にて、機体の前後左右にカメラを配置し、狭所での遠隔操作を支援するシステムを加えた。さらに、測域センサとロボットアームを備え、空間の認識とサンプル取得や簡単な作業を行うことができる。

大型クローラロボット援竜 (T54-RTM) は、2015 年に福島県産学ロボット技術開発支援事業にて、会津大学を中心に福島県内のロボット関連企業が参画し、開発を行った災害対応ロボットの一つである (図 3)。建機を改造した

図 3 災害対応大型クローラロボット援竜 (T54-RTM)

クローラ型ロボットで、双腕の作業用ロボットアームを備えている。障害物の除去など、調査用ロボットのための侵入経路確保などを目的としている。この事業では、上述の SPIDER を含む複数のロボットシステムが連携した作業を想定しており、各社の別々のロボットシステムは、ミドルウェアとして OpenRTM-aist [7] を用いてそれぞれの制御を行う。OpenRTM-aist では、ロボットシステムを作る際に、機能要素 (これを RT コンポーネント: RTC と呼ぶ) ごとにプログラムを作成し、RT コンポーネントをつなぎ合わせることでシステムを構築する。災害対応ロボットの場合、用途や現場の状況、作業者の声により細かな改造や仕様変更を行い使用するケースがある。従来のロボットは、制御系の改造を行うには製作者による改造が必要となる。しかし OpenRTM-aist を採用し、OpenRTM の土台の上に作られた制御系により、ユーザによる改造も行いやすくなり、ロボットの汎用性・再利用性が高くなっている。例えば、それぞれ別々のコントローラにより操作していた SPIDER と T54-RTM は、作成された操作用 RTC により、同じ汎用ゲームコントローラで両ロボットを操作することができる。現在このロボットのコンポーネントは RTC-Library-FUKUSHIMA [8] に登録されており、連携する企業の多くが利用している。このコンポーネントは誰でも自由に機能追加や配布をすることができる。

3. ドローン用自動バッテリー交換システム

3.1 目的

バッテリー駆動の産業用ドローンは、農薬散布・空撮・測量といった用途に利用されている。特にマルチロータ型のもは垂直離着陸が可能で、その場にとどまることができるホバリング機能が定点作業や観測用途に適している。ただし、マルチロータ型の場合、固定翼機に比べてバッテリーの消費が大きい。長時間の連続稼働が困難であり、作業時間が限られるという課題がある。バッテリーのエネルギー密度が変わらない場合、稼働時間を向上させようとするればバッテリーを大型化する必要がある。バッテリーを大型化すると飛

図4 自動バッテリー交換システム

行のためのエネルギーが増大するという悪循環が起こる。そこで、エネルギーを消費し使い終えたバッテリーを満充電のバッテリーと交換することで、ドローンの運用時間の延長を行う仕組みを考えたものがバッテリー交換装置である。また、操作者の目視外飛行による超遠隔操作もしくは自律飛行が実現すれば、用途はさらに広がり、物流や長大インフラの整備用途にも利用が考えられている[9][10]。2017年9月現在の日本では、目視外飛行は航空法で禁止されているが、国土交通省や経済産業省では2018年の山間部の利用と、2020年代の都市部の利用を実現する検討会を行っている[11][12]。これらを踏まえた、操作者の目視外での利用も考慮したドローンの離発着と、自動でドローンのバッテリー交換を行い、人を介さず長時間の連続運用を可能とする自動バッテリー交換システムを開発している。

3.2 内容

ドローン用自動バッテリー交換システムは、2012年より千葉大学野波研究室にて研究開発が行われているシステム[13]について、経済産業省資源エネルギー庁による平成25年度発電用原子炉等廃炉・安全技術基盤整備事業としてアイザックも参画し共同開発を開始した[14]。福島第一原子力発電所の廃炉に向けた、建屋内高所調査に用いられるドローンのバッテリーを、無人で自動交換するためのヘリポートシステムである(図4)。原発対応型の開発を経て、現在は一般産業用途を考慮した開発を行っている。自動バッテリー交換システムの構成を図5に示す。自動バッテリー交換システムはドローンを収容する着陸部と、バッテリーをドローンへ着脱するアーム部と、バッテリーが複数個並ぶテーブル部から構成されている。着陸部(図6)は、着陸スペースとなる平板の周りに傾斜板を配しており、ドローンが着陸する際に位置がずれて着地したとしても目的の位置に滑り落ちる構造になっている。傾斜板はシリンダで動かすことができ、ドローンの姿勢を修正する機能も持っている。加えて、ドローンの着陸時は自らの作る気流により地面から煽られて姿勢が不安定になる。着陸時はソフト的に姿勢制御を修正し、機体の安定化を図ると同時に、スロープ側に風を

図5 システム外観と構成

図6 着陸部外観

逃がすスリットを設けることで、ハード的に煽りを軽減し安定化の配慮をしている。また、ドローンが定位置に確実に着陸するために、ドローンの脚の四隅に球体を取り付け、その四隅の球体が装置側のプラットフォームの四隅のくぼみに着座することにより、ドローンの位置が決まる。さらに、くぼみの脇に透過型のファイバセンサがあり、ドローンが確実に定位置についたかどうかを確認している。アーム部(図7)は、前後と昇降の2軸と、グリップ部の合計3軸が稼働するアームとなっている。着陸したドローンからバッテリーを引き抜き、テーブル部の充電済みバッテリーと交換する。バッテリーケースに脱着用の機構を設けることで、アーム部に複雑な動作を要求せず、バッテリー交換を行うことができる。また、ドローン側のバッテリーコネクタ部分とテーブル部のバッテリーコネクタ部分にはそれぞれ誘いを設け、数ミリのズレについては補正する。開発当初、ドローンの中央下部にバッテリー1個の着脱を行う機構を採用していた。ドローンの用途から、中央にはカメラやセンサまたは荷物の搭載を求められており、バッテリーは中央を避け機体左右に分けて2個配置することとした。それに伴い現在では、アーム2本で2個のバッテリーを着脱する機構を採用している。テーブル部は、交換用のバッテリーがケースに入れて並べられている。ドローンからバッテリーが引き抜かれ

図 7 アーム部とテーブル部の外観

図 8 バッテリー運用

テーブルに置かれた後、ターンテーブルが回転し充電ずみのバッテリーと位置を替える。充電ずみのバッテリーをアームで取り上げ、再びドローンへ装着する。ターンテーブルの下に充電機構を備えており、交換されたバッテリーは順次充電される。開発当初の仕様では利用時間を 120 分と想定しており、バッテリー 1 個当たり 15 分稼働するドローンのため、バッテリー 8 個が並び交換されることで 120 分の稼働を達成する。現在の仕様では、図 8 に示すバッテリー運用を想定しており、バッテリー 2 個一組で 25 分稼働するドローンに対し、5 回のバッテリー交換を行い 125 分の稼働を達成する。この仕様はドローンの仕様や具体的なミッションの仕様により変化する。

3.3 課題

現在、バッテリーの着脱を容易とするため、防塵・防水性に弱い部分がある。屋外での使用を考えれば当然必要な機能となり、今後の一般産業用途のためには解決すべき課題となっている。また、バッテリーを交換するシステムは、単に充電をするだけのシステムに比べて、ストックしておくバッテリーの分コスト高になる。今後のバッテリーの低コスト化やバッテリーの充電速度、運用されるサービスの形態次第ではあるが、求められるシステムが充電するだけのものか、バッテリーを交換するものなのか見極める必要がある。さら

に、ドローン用の電源系はまだ標準化が進んでおらず、充電コネクタの形状や、バッテリー形状は各メーカー様々である。ドローンの安全性の向上を図り、ドローンを使ったサービスを普及させるためにも、標準化が進むことに期待する。

4. 展 望

災害対応ロボットについて、福島県には、植葉遠隔技術開発センター [15]、福島浜通りロボット実証区域 [16]、福島ロボットテストフィールド [17] など、実際の環境で動きを試験するための施設整備が進められており、開発したロボットを持ち込み、動作確認を行いやすくなっている。これまでも開発したロボットを評価する目的で利用し開発を行っているが、今後さらに整備が進むうえで、より多くの意見や評価を取得し、ロボット単体の技術だけでなく運用上の使いやすさを考慮したシステムの開発を進めていきたい。災害対応ロボットの場合、文献 [18] にも述べられているように、災害が発生してから必要に迫られてロボットを選定または開発するケースが多く、非常事態において即時運用を開始することができない。また、災害時にしか用いられないロボットを開発しても製品としては成り立たない。小型クローラ SPIDER からは教育用の小型クローラ型ロボットの開発が派生しており、SPIDER 同様 RTM による制御系が備わっているため、ハードウェアの相違をあまり意識することなくソフトウェアの開発を加速させるプラットフォームとして利用できるものと考えられる。これら教育用ロボット開発を通じて、災害対応ロボットの開発や操作に長けた人材の育成にも一助となれることを期待する。ドローン用自動バッテリー交換システムは、災害対応用として開発に携わったが、製品化のため一般産業用途として開発を行っている。ドローン技術を特別なものとせず、日常的に利用する環境整備（法整備やサービスの充実）が行われれば、非日常である災害時にも利用しやすいものとなり、普段から製品として開発を進める企業も多様化すると考える。さらにバッテリー交換システムによってバッテリーの持続時間に依存すること無く、自由で多様な利用形態が確立すればドローン産業の幅が広がる。バッテリー交換システムをドローンサービスのオプションとして製品化し定着させることで、ドローン産業の拡張に貢献していく。

5. ま と め

2011 年の東日本大震災以降、福島県はロボット産業を推進している。アイザックは 2012 年より東北発ロボット開発会社として医療・福祉ロボットと災害対応ロボットの開発に取り組んでいる。本稿ではこれまで取り組んできたロボット開発事例について紹介し、特にドローン用自動バッテリー交換システムについて詳細を解説した。これまで開発したロボットについて、今後はより利用してもらえるよう

に実際の環境で使いやすいものとする必要がある。現場で運用上の使いやすさを考慮したシステム。特別なときしか使わない非日常のものではなく、当たり前のように誰でも使えるシステム。ロボットを苦手としない意識や操作技術をもつ人材の育成。一般的なサービスとして製品化し定着させることを目指す。

参 考 文 献

- [1] 福島県：知事記者会見 平成 28 年 2 月 3 日（水），<http://www.pref.fukushima.lg.jp/site/chiji/kaiken20160203.html>（参照 2017-09-13）。
- [2] 福島県：平成 29 年度ロボット関連産業基盤強化事業の補助対象事業の募集について（募集を終了しました），<https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/32021f/kibankyoka2901.html>（参照 2017-09-13）。
- [3] 一般財団法人温知会会津中央病院，<http://www.onchikai.jp/>（参照 2017-09-13）。
- [4] 一般社団法人日本自動車工業会：車いす寸法表，<http://www.jama.or.jp/welfare/wheelchair/index.html>（参照 2017-09-13）。
- [5] 株式会社テムザック：RODEM，<http://www.tmsuk.co.jp/portfolio-item/rodem>（参照 2017-09-13）。
- [6] 森和也，木村哲也：“サブローラを有するレスキューロボットの階段昇降性能解析”，日本機械学会北陸信越支部総会・講演会公演論文集，vol.43，pp.235-236，2006。
- [7] 産業技術総合研究所：OpenRTM-aist，<http://www.openrtm.org/openrtm/ja>（参照 2017-09-13）。
- [8] 会津大学：RTC-Library-FUKUSHIMA，<https://rtc-fukushima.jp>（参照 2017-09-13）。
- [9] 楽天株式会社：楽天，ドローンを活用した配送サービス「そら楽」を開始，2016 年 4 月 25 日プレスリリース，<https://corp.rakuten.co.jp/news/press/2016/0425.01.html>（参照 2017-09-13）。
- [10] 東京電力ホールディングス株式会社，ほか：電力設備を自動点検する「ドローン飛行支援システム」の共同開発について，2017 年 3 月 24 日プレスリリース，<http://www.tepco.co.jp/press/release/2017/1396501.8706.html>（参照 2017-09-13）。
- [11] 国土交通省：物流分野における小型無人機の活用，http://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/freight/seisakutokatsu_tk_000024.html（参照 2017-09-13）。
- [12] 経済産業省：無人航空機の目視外及び第三者上空等での飛行に関する検討会を開催します，2017 年 8 月 29 日ニュースリリース，<http://www.meti.go.jp/press/2017/08/20170829002/20170829002.html>（参照 2017-09-13）。
- [13] 鮎澤秀夫，ほか：“小型飛行体の自動バッテリー交換システムの開発”，ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集，vol.2A2-J09-1-2A2-J09-4，2012。
- [14] 経済産業省：平成 25 年度発電用原子炉等廃炉・安全技術基盤整備事業（高所狭あい空間調査のための遠隔技術及び環境マップ作成の基盤技術開発），入札公告，<http://www.enecho.meti.go.jp/appli/advertisement/130913b/>（参照 2017-09-13）。
- [15] 国立研究開発法人日本原子力開発機構：植葉遠隔技術開発センター，<http://naraha.jaea.go.jp/>（参照 2017-09-13）。
- [16] 福島県：福島の浜通り地域でロボットの実証試験と操縦訓練ができます！，<https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/32021f/roboshitsu-jissyoukuiki.html>（参照 2017-09-13）。
- [17] 福島県：福島ロボットテストフィールドの概要，<https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/32021f/test-field.html>（参照 2017-09-13）。
- [18] 浅間一：“災害時に活用可能なロボット技術の研究開発と運用システムの構築”，日本ロボット学会誌，vol.32，no.1，pp.37-41，2014。

渡辺 諒 (Ryo Watanabe)

2013 年信州大学大学院繊維システム工学専攻博士前期課程修了。同年株式会社アイザック入社，現在に至る。機械設計に従事。

河野智也 (Tomoya Kohno)

2014 年 千葉工業大学未来ロボティクス専攻修士課程修了。同年株式会社アイザック入社，現在に至る。機体制御に従事。主に災害対応ロボットの開発を担当。

渡邊括行 (Katsuyuki Watanabe)

2001 年会津大学大学院コンピュータ理工学研究科情報システム工学専攻博士前期課程修了。システムハウス勤務などを経て 2013 年（株）アイザック入社，現在に至る。これまでに音声同時字幕システム，医療・介護系ロボット，災害対応ロボットなどの研究・開発に従事。情報処理学会，電子情報通信学会，日本音響学会各会員。

野波健蔵 (Kenzo Nonami)

1979 年東京都立大学大学院工学研究科機械工学専攻博士課程修了。1985 年米航空宇宙局（NASA）研究員・シニア研究員。1994 年千葉大学教授。2008 年千葉大学理事・副学長（研究担当）。同年から千葉大学産学連携知的財産機構長も兼任。2012 年ミニサーベイヤコンソーシアム会長。2013 年大学発ベンチャー「（株）自律制御システム研究所」代表取締役 CEO。2014 年千葉大学特別教授。
(日本ロボット学会正会員)