

新しいモビリティを用いた無人物流システム

Unmanned Logistics System Using New Mobility Technologies



矢木 誠一郎①	Seiichiro Yagi
辻内 智郁②	Tomoka Tsujiuchi
掃部 雅幸③※*	Masayuki Kamon
石井 宏志④*	Hiroshi Ishii
原 純哉⑤	Junya Hara
絹川 悠介⑥	Yusuke Kinugawa

物流業界における労働者不足や荷物数の増大への対応などの社会課題の解決のため、空・陸の輸送機器およびロボティクス技術を融合させ、新しい無人物流ソリューションに取り組んでいる。その実現に向けて、配送ロボット・多用途UGV・VTOL無人機の開発を進めている。

To solve social challenges such as labor shortages and the increasing number of parcels handled by the logistics industry, Kawasaki is working on new unmanned logistics solutions that combine air and land transport equipment with robotics technologies. To achieve it, Kawasaki is developing delivery robots, multi-purpose unmanned ground vehicles (UGV), and unmanned vertical take-off and landing (VTOL) aircraft.

まえがき

近年、物流業界では、労働者不足・都市部での渋滞・過疎地への輸送・ECの急成長による荷物数の増大などへの対応が社会課題として顕在化してきている。社会基盤として必要不可欠である物流が十分に機能しなくなると、人々の生活に不便が生じ、さらに経済活動を停滞させてしまうことになる。

1 背景

物流の社会課題の本質は深刻な労働力不足であり、この解決のため政府が示す「2020年代の総合物流施策大綱¹⁾」では、物流DXや物流標準化が提唱されている。

物流DXとは「機械化・デジタル化を通じて、物流のこれまでのあり方を変革すること」を示す。機械化は、これまでの人手に頼っていた輸送や庫内作業を機械によって自動化（無人化または省人化）することである。デジタル化には、手続きの電子化や、各種のマッチングシステムやAIを活用したオペレーションの効率化などがある。加えて、物流DXと並ぶ重要な取組みとして、物流における各種の標準化がある。

当社では、物流の社会課題の解決に貢献するため、物流DXにおける自動化・自律化への貢献を主目的に、新しいソリューションを提供するための技術開発に取り組んでいる。

2 ソリューションのコンセプト

物流の社会課題の解決のため、図1に示す当社の「ロボティクス」×「モビリティ」×「航空」の技術を組み合わせ、荷物の無人輸送や荷物の積み替え時に人が介在しない図2に示すようなシームレスな無人物流のソリューションの提供を目指している。

さらに、長期的には、当社のエネルギー・環境ソリューションとも組み合わせたカーボンニュートラルな輸送を目指し、物流のみならず脱炭素の社会課題解決も見据えている。

現在、シームレス物流ソリューションの輸送・配送手段として、図3(a)に示す配送ロボット・図3(b)に示す多用途UGV (Unmanned Ground Vehicle)・VTOL (Vertical Take-off and Landing aircraft) 無人機の開発を行っている。



図1 人とモノの移動を変える当社技術の融合
Fig. 1 Combination of Kawasaki's technologies that changes the transportation of humans and goods

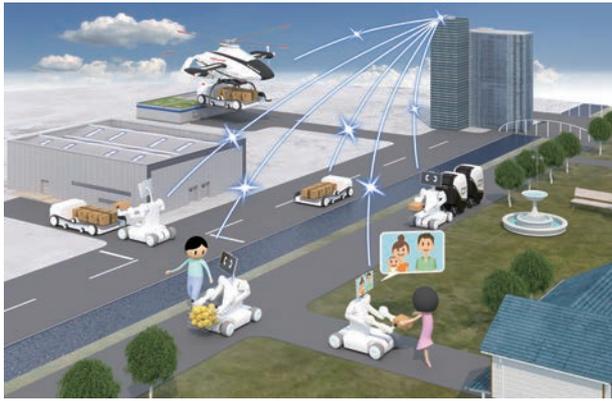


図2 シームレス物流ソリューションのコンセプト
Fig. 2 Concept of seamless logistics solution

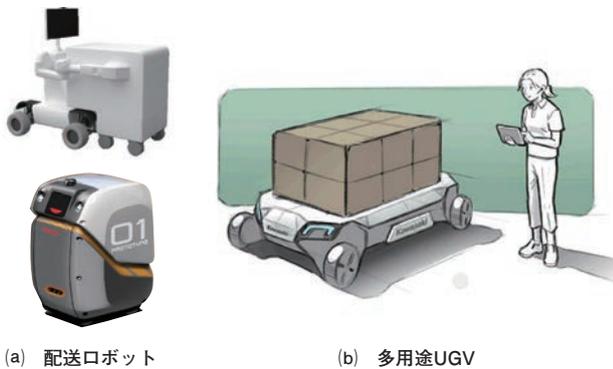


図3 配送ロボットと多用途UGV
Fig. 3 Delivery robot and multi-purpose UGV

(1) 配送ロボット

モーターサイクルの開発で培った小型軽量化技術と走破性の高い足回り、ロボットで培ったアーム制御と環境認識技術を掛け合わせて、配送のみならず荷物の受け渡しや軽作業も行えるロボットを開発中である。本ロボットは物流分野のみならず、製造業や医療・介護などの分野への適用も目指している。

2021年6月現在の開発状況としては、図4に示すように試作1号機による当社明石工場内における屋外通路での



図4 試作1号機による工場内道路における実証試験
Fig. 4 Demonstration test on a factory road of the first prototype

自律走行実証試験に成功している。また、2021年末にパートナー企業と協業して公道における実証試験を予定している。

(2) 多用途UGV

当社が開発してきたオフロード四輪車両の技術をベースに物流向けの無人搬送車の開発を行っている。差別化要素はオフロードで培った高い走破性であり、道路の多少の段差のみならず工事現場のような悪路でも走行可能である。走破性のレベルは用途に応じて設定可能であり、脱炭素化を前提に電動化も図っている。

(3) VTOL無人機

当社が開発してきたヘリコプターの技術およびモーターサイクルで培った小型ハイパワーエンジンを組み合わせることで、ドローンなど無人航空機では実現困難なペイロード200kgを実現することを目標として開発している。将来的には脱炭素化も見据えたパワーユニットとする方針である。

以降、VTOL無人機の開発状況について詳しく説明する。

3 VTOL無人機

(1) 開発方針

最初の市場投入ターゲットとして山岳部輸送を想定しており、量産型では高度3,000mにおいて200kgのペイロードを輸送することを目標として段階的に技術実証していく。

まずは、既存機体に対して低地でのペイロード能力100kgを付与した輸送型実証機「K-RACER-X1」を開発して、顧客の意見を素早く取り入れることを目的として技術実証試験を行う。

次に、高度3,000mでペイロード100kgを搭載可能な機体「K-RACER-X2」を、既存機体および「K-RACER-X1」で獲得した技術やノウハウを適用して新規に開発して、山岳地輸送の技術実証試験を行う。

そして、以上の技術実証試験を経て、量産型の開発に繋げていく。

(2) これまでの取組み（既存機体について）

当社の開発プロジェクト型社内研究として、2015年度に「コンパウンド・ヘリコプター研究用無人試験機の開発」を5カ年計画で開始した。本研究の目的は、無人コンパウンド・ヘリコプターの機体開発と試験実施により、高速化に必要な技術および無人運航に必要な技術の双方を獲得することである。

メイン・ローターのほかに推進力を有するコンパウンド・ヘリコプターの形態としては、エアバス・ヘリコプターズ社のユーロコプター X^{3 2)}、シコルスキー社のX2³⁾が代表として挙げられる。また、ボーイング・ベル社のティルト・

ローター機⁴⁾のような形態もある。本研究では、当社でも開発経験のある従来型ヘリコプターに最も近いユーロコプター X³の形態をベースとして基本構想を固め、開発をスタートさせた。

段階を踏んで開発を行うため、当初は電動小型機の産業用無人ヘリコプターをベースとしたメイン・ローター直径2m級の小型コンパウンド・ヘリコプターおよび飛行管制装置を製作して、当社製コンパウンド・ヘリコプター用飛行制御則の確認を行った。この段階で、コンパウンド・ヘリコプターによる通過点を設定した自動飛行ができることを実証した。

小型機と並行して、メイン・ローター直径4m級の大型機の設計・製造を進めた。大型機は目標速度200ktの高速飛行を行うため、大きな馬力を必要とする。このクラスの無人機に利用できる既存の無人機用大出力エンジンが無かったことから、本機では当社製モーターサイクル「Ninja H2R」に搭載されているエンジンを使用することとした。

大型コンパウンド・ヘリコプター「K-RACER-IV」は、当社岐阜工場の屋外試験場において2018年12月から2019年3月にかけて地上で機能や共振の有無を確認する試験を実施した。さらに、**図5**に示すように2019年4月に当社岐阜工場グラウンドにおいて初飛行を実施した。この飛行において判明した課題への対応を行い、2回目の飛行試験を2019年11月、12月に岐阜工場グラウンドにおいて実施して、機体としての成立性を確認した。

その後、5カ年計画の最後の試験として、2020年7月に北海道大樹町多目的航空公園において**図6**のように飛行試験を実施し、当社製コンパウンド・ヘリコプター用飛行制御則による安定した飛行を実証した。また、見通し外の自動飛行を見据えた自動帰還機能の確認も行った。

(3) 輸送型実証機の開発

前述の「K-RACER-IV」は、高速飛行を目的とした機体諸元設定であったことから、ペイロードがほとんどない。「K-RACER-X1」では改修箇所を極力少なくペイロード100kgを達成できるように、主にメイン・ローター諸元の変更とペイロード搭載のためのスキッド拡大を行っている。

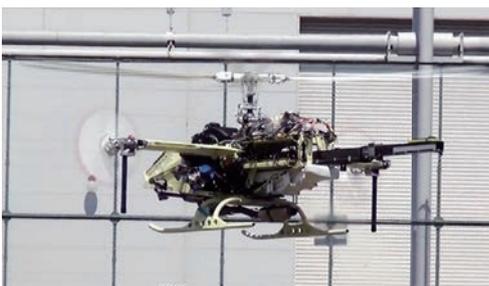


図5 「K-RACER-IV」初飛行(2019年4月5日)
Fig.5 First flight of K-RACER-IV (April 5, 2019)



図6 「K-RACER-IV」大樹町多目的航空公園での飛行試験(2020年7月)
Fig.6 Flight test of K-RACER-IV at Taiki Multi-Purpose Aerospace Park (July 2020)

目標とする「シームレスな無人／省人物流」の実現に対応するため、「K-RACER-X1」では自動離着陸機能を持たせることとした。また、量産機の当初市場投入ターゲットを山岳地輸送としていることから、物資を吊り下げて自動飛行を行う機能も追加する。「K-RACER-X1」は、社内飛行試験をはじめ、自動離着陸機能を含む自動飛行シーケンスの確認を2021年秋頃に実施予定である。自動吊り下げ飛行については開発を継続し、2022年春頃に社内試験による確認を行う計画である。

「K-RACER-X1」の開発と並行して、山岳地輸送向けの「K-RACER-X2」の開発を行っている。「K-RACER-X2」は現在基本設計段階にあり、「K-RACER-X1」で得られた知見を盛り込みながら、量産機を見据えた機体仕様となるように設計を進めており、今後は順次製造に移行していく。社内飛行試験を含め、2022年9月頃までに開発を完了する計画である。

(4) 実証試験

顧客要望を量産機へ取り込むこと、およびVTOL無人機の有用性と安全性を実証することを目的として、実証試験を計画している。

(i) 「K-RACER-X1」

「K-RACER-X1」では、主として飛行場または無人航空機用試験飛行場などの低地の試験場において、ペイロード100kgの輸送・**図7**に示すような配送ロボットとの連携によるシームレス&無人物流の実証試験(2021年秋以降)・自動吊り下げ飛行の実証試験(2022年春以降)を行う計画である。

(ii) 「K-RACER-X2」

「K-RACER-X2」では、量産機運用を見据えた山岳地輸送の実証として、実際に山小屋まで物資を輸送するデモンストラクションを計画している。これを実現するためには、まずは実証試験の場を提供してくれる自治体との連携が必要となり、さらにまた、見通し外の無人自動飛行となるこ



図7 「K-RACER-X1」と配送ロボットを用いたシームレス
& 無人物流のデモンストレーション計画

Fig.7 Demonstration plan for seamless and unmanned logistics using
K-RACER-X1 and delivery robots

とから、通信会社との協業や関係省庁との調整が必要となる。現在は実証試験を実現すべく、関係各所と調整を始めているところである。実証試験は2022年秋以降の実施を計画している。

(5) VTOL無人機の市場投入計画／量産機に向けての課題

事業化に関する基本方針として、最初は地上の安全リスクが小さく、かつ一定の市場ニーズがある無人地帯（山岳地）での物資輸送から開始し、段階的に運用範囲を拡大していく計画としている。そのため量産機では、「K-RACER-X2」をベースに、山岳地での実証試験を通して得られた顧客要望と安全性技術を反映した機体仕様とする。量産機は、航空機のカテゴリー上「無操縦者航空機」に分類され、通常の有人航空機と同様、これを運用するためには型式証明および耐空証明を取得する必要がある。しかし、無操縦者航空機は設計に関する具体的な基準（耐空類別／耐空性審査要領）が现阶段では制定されておらず、実際に型式証明を取得して無人輸送機として実運用に供された例もない。

そのため、「K-RACER」を量産機として物資輸送に供するためには、まず、型式証明取得に先立って無操縦者航空機の認証基準作りから始めなければならない。無操縦者航空機の認証基準としては、「搭乗者がいないこと」と「地上から操縦者が遠隔操縦を行うこと」が従来の有人機の基準と大きく異なる点である。これらに対して、通信方法や飛行管制を含め、機体（および全体のシステム）に求められる要件を全て定めていく必要がある。現在、認証基準策定へ向け、航空局と協議を進めているところである。

一方、事業性の面からは、機体の開発コストおよび製品コストは最小限に抑える必要がある。そのためには、無人機による無人地帯（山岳地）での運用というものを、空中リスク／地上リスクの観点から正しく評価し、必要な信頼

性・安全性は確保しつつも過剰な品質とならないような合理的な機体を目指すべきである。そのためには、用途（ユースケース）に対し適正な認証基準を策定することが極めて重要であり、それによって初めてこのような新しいモビリティの実現が可能になるものと考えられる。

あ と が き

まずは、配送ロボットと多用途UGVを早期に市場に投入し、当社のパレタイズ・デパレタイズロボットとも連携して、陸におけるシームレス物流ソリューションの提供を図っていく。その後VTOL無人機を投入して、陸・空での物流のシームレス化を図っていき、物流の社会課題解決に貢献する。将来的には、旅客サービスなどへも事業を拡大し、無人化・遠隔化で人とモノの移動を変革していく。

参 考 文 献

- 1) 国土交通省ホームページ：https://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/freight/seisakutokatsu_freight_tk1_000180.html
- 2) Douglas Nelms：“Aviation Week Flies Eurocopter’s X³”，Aviation Week（2012）
- 3) D. Walsh, S. Weiner, K. Arifian, T. Lawrence, M. Wilson, T. Millott and R. Blackwell：“High Airspeed Testing of the Sikorsky X2 Technology™ Demonstrator”，the 67th Annual Forum of the American Helicopter Society International（2011）
- 4) Bell Boeing：“V-22 Osprey Information Publication”，NAVAIR Public Release（2009）



矢木 誠一郎



辻内 智 郁



掃部 雅 幸



石井 宏 志



原 純 哉



絹川 悠 介