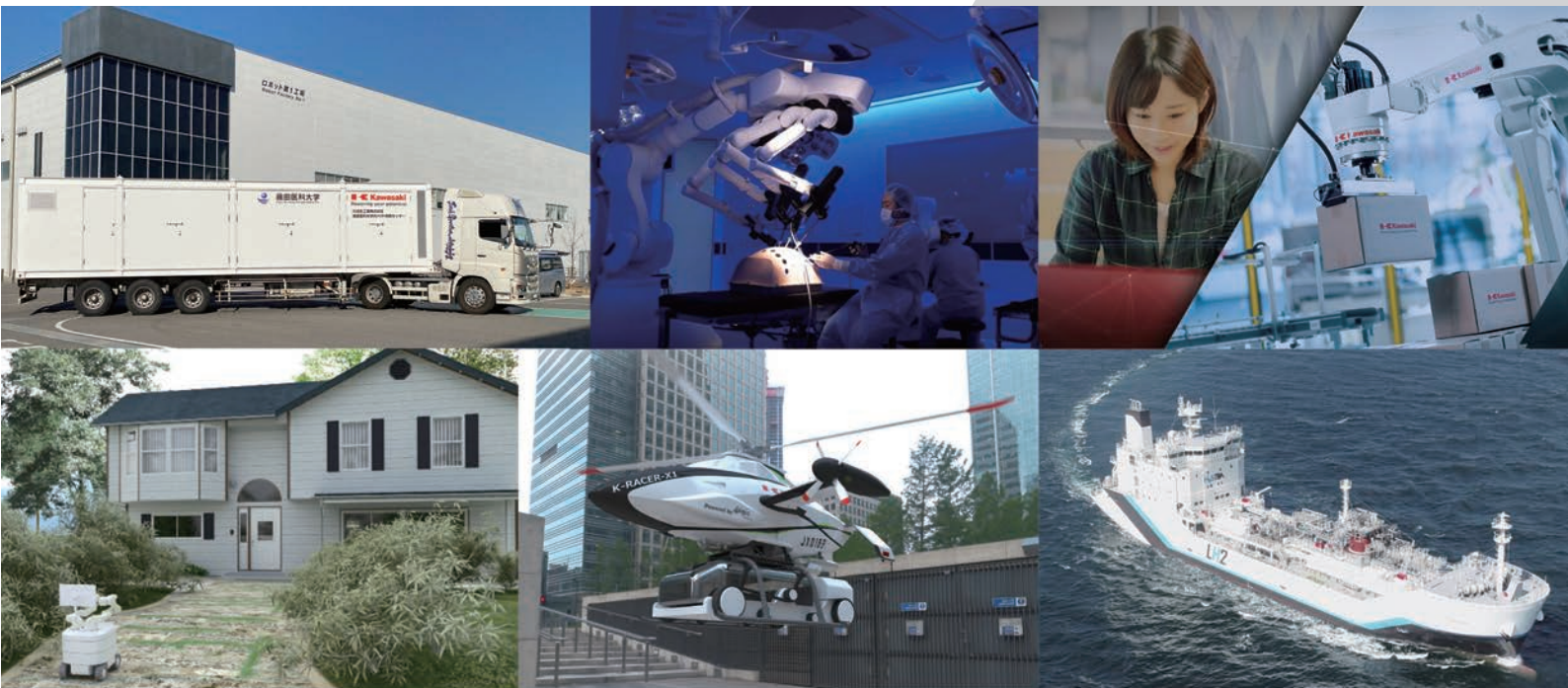


ISSN 0387-7906

川崎重工技報

グループビジョン2030注力分野特集号



TECHNICAL REVIEW

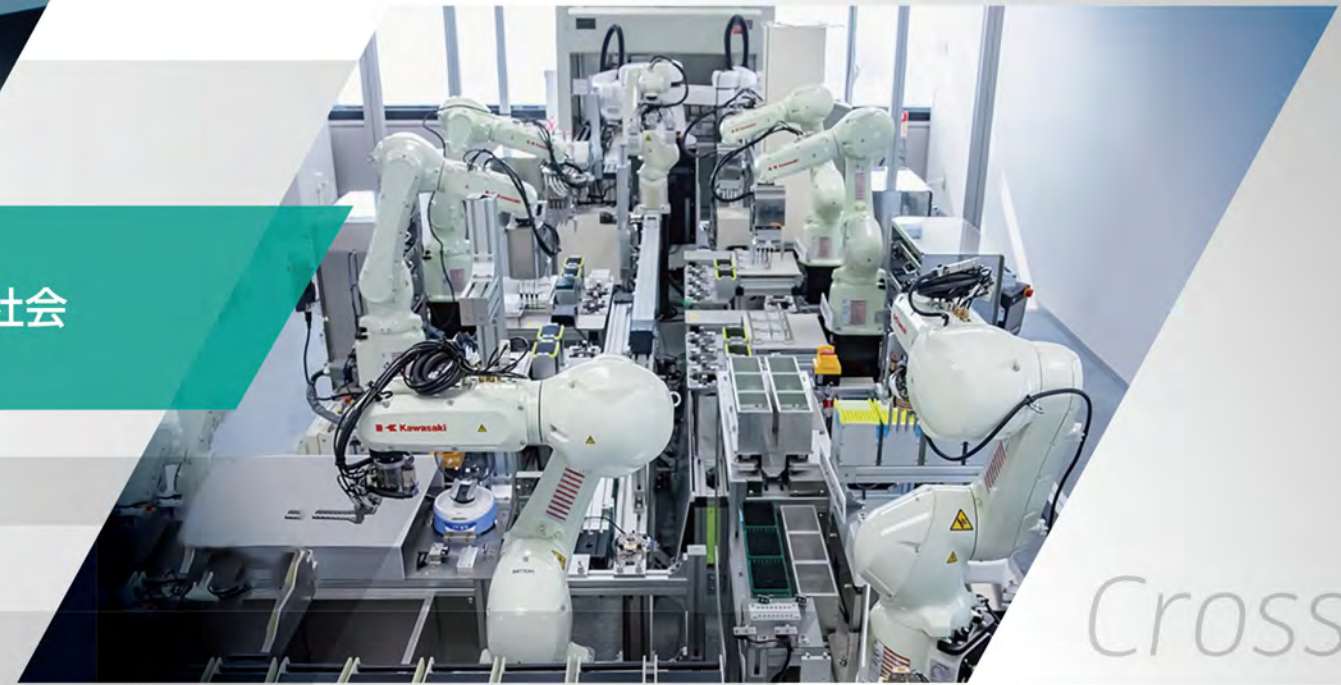
No.183

October 2021

New Values



安全安心リモート社会



Cross Over

つぎの社会へ、
信頼のこたえを

Trustworthy Solutions
for the Future



近未来モビリティ

Frontier



エネルギー・環境ソリューション



■ 巻頭インタビュー	グループビジョン2030の実現に向けて	1
■ 総括説明	3つの注力フィールドにおけるKawasakiのソリューション	2

技術解説

■ 国産初の手術支援ロボット「hinotori サージカルロボットシステム」	hinotori Surgical Robot System, the First Made-in-Japan Robotic-Assisted Surgery System	6
■ 医療の安全と社会の安心を支える感染医療向けロボットシステム	Robot Systems for Infectious Disease Medical Care That Support Medical Safety and Social Security	10
■ リモートでの生産・労働を実現する新ロボットシステム「Successor」	New Robot System Successor, Realizing Remote Production and Working	14
■ 導入から運用/保守までを一括支援する新ロボットサービス	New Comprehensive Services That Cover the Life Cycle of Industrial Robots	18
■ 人・モノの移動を自動化・省人化する自律オフロード四輪	Autonomous Off-road vehicles Enables Automation and Labor-savings of Human and Material Transportation	22
■ 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	26
■ ロボットによる物流センターの自動化	Automating Logistics Centers by Using Robots	30
■ 高い走行性能と環境性能の両立を目指すモーターサイクルの電動化／ハイブリッド化	Development of Electric and Hybrid Motorcycles Aimed at Achieving Both High Riding and Environmental Performance	34

特許紹介

■ 車両	—環境性能とFun to Ride とを両立するハイブリッドモーターサイクル—	38
■ ロボットシステム	—安全安心なリモート社会を支える遠隔操縦システム—	38

【橋本社長に聞く】 グループビジョン2030 の実現に向けて

グループビジョン2030について教えてください

当社グループは2030年に目指す姿として、グループビジョン2030「次の社会へ、信頼のこたえを」を制定しました。これは、刻々と変わる社会に革新的なソリューションをタイムリーに提供して希望ある未来をつくっていくことと、さまざまな枠を超えてスピーディーに行動・挑戦して自らの可能性を拡げ成長し続けていくという意思を表現しています。このビジョンの実現に向けて、3つの注力フィールドを設定し、社会課題の解決に向けた技術開発に取り組んでいます。

3つの注力フィールドについて教えてください

当社グループはこれまでも、その時代における最先端の技術をベースに、高速な移動を支える新幹線、環境にやさしい天然ガス発電を支えるLNG運搬船など、世界初あるいは日本初のさまざまな製品を提供して、世界の人々の豊かな生活と安全・安心な社会の実現に貢献してきました。そして今、新型コロナウイルスなどのパンデミック、地球環境問題、多発する自然災害、エネルギー資源の確保、人口減少・高齢化など、急激に変化している社会課題を見据え、当社グループが注力すべき3つのフィールドを、「安全安心リモート社会」「近未来モビリティ」「エネルギー・環境ソリューション」と設定しました。

「安全安心リモート社会」は、医療・ヘルスケア、ものづくり、産業インフラなどさまざまな分野で、遠隔操作・ロボット技術などを用いて、安全で安心な社会の実現、および新しい働き方・暮らし方を提案します。さらに近年多発する災害から生命と財産を守るためのソリューションを提供します。「近未来モビリティ」は、無人で物資を運ぶヘリコプターや配送ロボットなどと航空機やオフロード四輪車さらにロボット技術などを組み合わせ、新しい輸送や移動手段を用いたスマートな社会を提案します。「エネルギー・環境ソリューション」は、世界に先駆けて水素を「つ



橋本 康彦 代表取締役社長執行役員

くる」「はこぶ」「ためる」「つかう」の水素サプライチェーンを構築するほか、輸送システムの電動化など、地球環境に配慮したカーボンニュートラルな社会の実現に貢献します。

技術面での強みはどういったところですか

「グループビジョン2030」で掲げた3つの注力フィールドは、すべてが新分野で、まさにフロンティアです。特に水素は、脱炭素社会の実現に向けた切り札になると信じ、10年前から他に先駆けて開発を進めてきました。長きにわたり培ってきた水素関連技術や運用のノウハウを、世界共通の規格として落とし込みグローバルスタンダードにできれば、当社グループの大きなアドバンテージになると考えています。これは、医療用ロボットやモビリティなどにおいても同様です。こうした活動によって、多くのプレイヤーと協働しながら、私たちは将来にわたって市場をリードする存在であろうとしています。

最後に

これまでの厳しい競争で培ってきた当社グループの高い技術力は、まだまだ多くの社会課題解決に生かすことができると考えています。そのために必要なのは、変化の激しいマーケットに敏感に対応するマーケットインの発想です。また、多くの従業員が広い視野とチャレンジ精神を持って活躍できるよう人事制度を改革し、全社の力を結集できる仕組みも作りました。これからも当社グループの技術シナジー、さらには関係先との連携によるオープンイノベーションを通じてマーケットが求める社会課題にスピーディーに対応し、グループビジョン2030の実現に向けて、的確なソリューションを提供してまいります。

3つの注力フィールドにおける Kawasakiのソリューション

金子 剛史

執行役員 企画本部 本部長



まえがき

当社は1896年の創業以来、激動する時代の要請に応えるべく世界初や日本初となるさまざまな製品開発に挑戦し、陸海空の分野で100年以上にわたり最先端で高度な技術を培ってきた。一方、昨今は地球レベルで温暖化や感染症問題が進展し、脱炭素技術やDXなどパラダイムシフトと言える歴史の変革期を迎えている。このような非連続かつ不確実な将来に向かう羅針盤としてグループビジョン2030が示された。

1 社会課題と3つの注力フィールド

2020年に全世界へ拡大した新型コロナウイルス感染症は、我々の日常生活をすっかり変えてしまった。治療薬を見いだせずワクチンと変異株との攻防が長期化すれば、医療従事者へ一方的に負荷が集中するばかりではなく、世界の人々の活動の停滞により輸送業界や飲食業界を中心に世界経済にさらなる深刻な影響を与えかねない。ITによるリモート環境はオフィスワーカーへの普及に留まっており、多くの人々が感染リスクを必死の努力で回避しながら就労しているのが実態ではなかろうか。

また近年、地球温暖化の進行が著しいことは誰の目から見ても明らかであろう。気候変動に関する政府間パネルIPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change）による第6次評価報告書では人為的活動が気候変動や海面上昇に与える影響を認め、地球の平均気温を産業革命以前と比較して1.5℃以内に抑えるために、2050年のカーボンニュートラル達成が不可欠との見解を示した。さらに近年は、自然災害の激甚化が問題になっており、防災・減災を担保するインフラ整備が急務である。

これらの社会課題の解決に向け、3つの注力フィールド「安全安心リモート社会」「近未来モビリティ」「エネルギー・環境ソリューション」を設定した。

それぞれの注力フィールドにおいてはカンパニーの枠を超えた取組みが不可欠であり、実行するための体制づくりも進めている。「社長直轄プロジェクト本部」では、各カンパニーと連携しながら技術シナジーを生かし、「自動

PCR検査サービス」「近未来モビリティ」などの早期事業化を目指す。また商用規模の水素サプライチェーン実現に向け、主導的な役割を担う組織として「水素戦略本部」を本社に設置した。

それぞれの注力フィールドにおける当社のソリューションの考え方は以下のとおりである。

2 安全安心リモート社会

「安全安心リモート社会」においては、実作業を伴う職場にリモート技術を適用し、全ての人々の社会参加を実現すること、さらには災害から生命と財産を守るといったことなどを目的に、我々の技術を活用していく。

(1) 医療・ヘルスケア

「hinotori サージカルロボットシステム」は、当社とシスメックスの合弁会社「(株)メディカロイド」によって開発された国産初の手術支援ロボットである。操作性はもちろんのこと、低コスト化と狭い手術室にも収まるようコンパクト化を実現した。今後医師に対する手術負荷の低減を目的として、商用5Gを介した遠隔操作にも取り組む。

新型コロナウイルス感染症対策として開発された「自動PCR検査ロボットシステム」は、検査システムを全自動化することで医療現場のさらなる負荷低減に寄与する。

世界的にワクチン接種の有効性が認められてきているが、新たな変異株の出現が相次ぎ、世界の人流を十分に回復させるためには信頼性の高いPCR検査によるスクリーニ



図1 自動PCR検査サービス事業の展開

ング検査体制の整備が欠かせない。当社製ロボットによる自動操作かつシステムティックな検査システムは、必要充分なすべての工程を省略することなく高精度・短時間で大量の検査を実施することが可能である。過去に前例のないスピードで開発を推し進め、自治体と連携しながらモニタリング検査サービスへの展開を図っている。

本プロジェクトを進めるに際しては、自動PCR検査ロボットシステムの設置に関する許認可などさまざまな制約条件を短期間のうちにクリアしなければならないほか、一般市民に対する「コト売りサービス」に必要なホスピタリティの習得など、技術開発以外の諸課題の解決にも取り組む必要がある。まさにオープンイノベーションとアジャイル開発のお手本のような取組みである。

現在は自治体向けモニタリングサービスが中心であるが、これを各種イベント向けなどのスクリーニングサービスに拡大していくことが今後の課題である。また、国際線においては正式なPCR陰性証明書の提出を入国の条件とする国が圧倒的に多いが、当社の自動PCR検査サービスは国際的に通用する証明書の要件獲得を目指しており、本サービスを普及させることで、国際線による往来を活性化し、最終的には民間航空機事業を成長軌道へ回帰させるという重要な役割を担っている。

(2) 新しい働き方・暮らし方の提案

リモートワークが普及して、時間を有効に使うワークライフバランスが浸透しつつある。しかし、現状リモートを活用できる職種は限られており、事実、コロナ禍の緊急事態宣言下ではエッセンシャルワークに位置づけられた現業職場の出勤が避けられなかった。

工場などにおける実作業を遠隔で実施できれば、人々の働き方を変えるだけでなく、たとえば海外の工場における製造設備も国内から場所を選ばず操作することが可能となる。また、人の移動を伴わないため製造時間も大幅に短縮することができ、ものづくりに関わる産業構造を抜本的に変革することになる。その変革の鍵となる技術がリモートやロボティクスである。

そのひとつとして、当社の技術に遠隔協調を特長とする新ロボットシステム「Successor」がある。ロボットを遠隔で操作するためには人間による判断や感覚を必要とし、

非定型作業が多く存在する製造業にロボットを導入することは極めて困難である。「Successor」は実作業の感覚を再現し、直感的な操作を助ける遠隔協調システムで、離れた場所でも実作業と同じ感覚を得ることができる。これまでロボットで達成できなかった「技術伝承」も可能とし、作業用途に合わせたロボットシステムと組み合わせることができるため多種多様な工場において使用できる。

また、さまざまな分野で求められている自動化を加速するためロボット導入から保守までを一括支援するサービスの提供を検討しており、それに必要となるソフトウェア機能やRaaS (Robot as a Service) プラットフォームの開発を進めている。

さらに実作業を伴うリモートワークは製造業だけでなく、ヘルスケアや物流などさまざまな分野で必要となり、労働力不足を解決するためのソリューションとして期待される。

当社のソリューションに新たな価値を提供するための取組みも実施している。働く意欲のある人と労働力を求める事業者を遠隔で繋ぐリモートプラットフォームの構築において、当社は実現に向け2021年秋にソニーグループと新会社を設立する。

これまで社会活動が困難であった人々も、リモートによる社会参加が可能となり、場所・時間を選ばない新しい働き方・暮らし方を享受することができる。「すべての人々が参加できる社会の実現」に向けて新たなソリューションを提供していく。

(3) 災害から人々を守る

安全安心な社会の実現は、近年激甚化が著しい自然災害への対応に欠かせないものとなっている。

当社は、1995年の阪神・淡路大震災や2011年の東日本大震災においてさまざまなインフラの復興に携わってきたことに加え、防災・減災に貢献する製品・技術やソリューションにも取り組んできている。

災害発生時には、まず電源や水などのライフラインを確保する必要がある。安定した電力供給のためには非常用発電設備の設置が有効である。当社は非常用ガスタービンを取り扱っており「カワサキPUシリーズ」は幅広い出力範囲で全21機種をシリーズ化している。東日本大震災ではメンテナンスが不十分であった1台を除き、震災後100%稼働した実績を誇る。

次に被災地へ物資を輸送するための輸送機であるが、四輪・オフロード二輪は災害によって悪化した路面状態でも迅速かつ安定的に医療や物資を届けることができる。多用途四輪車「MULE PRO-FX (EPS)」は国内で初めて消防車に採用されるなど、悪路における機動性や走破性が高いと評価を受けている。

仮に陸路が途絶された場合でも、患者を運ぶためのドク



図2 プラットフォームによる新たな価値の提供



図3 救難病院船

ターヘリは当社の「BK117」ヘリコプターが多く採用されており遠隔地への医療提供を実現する。エアバス社との共同開発で長年にわたり改良を重ね、高い安全性と運航性能を兼ね備えている。

大規模災害やコロナ禍において政府で救難病院船の検討が進められたが、当社は遠隔手術支援ロボットシステムをはじめ自社のさまざまな製品・サービスを組み合わせたトータルパッケージで提案できることが強みである。

3 近未来モビリティ

CASE (Connected, Automated, Shared, Electric) の進展はもちろんのこと、人々のライフスタイルの変化などに伴い、モビリティを取り巻く環境が大きく変わろうとしている。当社は人やモノが安全で迅速に効率良く、あるいは楽しみながら移動できる社会を目指して、「近未来モビリティ」を注力フィールドの一つに挙げている。

特に物流は人々の生活を支える重要な社会インフラであるが、新型コロナウイルス感染症の広がりはこの状況を一層加速させた。2020年からの外出自粛による巣ごもり消費の増加と飲食店など各種店舗の営業自粛でこの勢いが強まり、ポストコロナにおいても日常化することは間違いない。

一方、物流業界における労働力不足は深刻化している。新型コロナウイルスに感染することなく配送できる安全安心な環境づくりや、過疎地域への物流網の確保も課題として挙げられ、早急に解決すべき課題である。

このように、eコマースの発展、都市の渋滞、シェアリング化、ポストコロナなど世の中が劇的に変化する中、人やモノの移動にも変革が見られる。

労働力不足や効率的な輸送に対応するための自動運転化の技術開発、過疎地域や災害時に物資を運ぶためのドローン開発、輸送航路の効率化や物品管理に必要なIoTやAIの技術開発などに多くの企業が取り組んでいる。

当社はロボティクス、モビリティ、航空を掛け合わせた新しいソリューションを提供する。

たとえば航空宇宙システム部門が培ってきたヘリコプターの製造技術と「Ninja」で培われた軽量かつ高出力エンジ



図4 無人ヘリコプターによる物資輸送

ンを組み合わせるとどうなるか。それを実際の形にしたひとつが無人コンパウンド・ヘリコプター「K-RACER」である。

「K-RACER」に搭載した自律型配送ロボットが自宅玄関まで荷物を届け、荷物の内容や本人確認は受け手とロボットがAIで対話して行う、これを実現することで物流のラストワンマイルに革新をもたらす。

旋回性・走破性・コミュニケーション機能の性能を確認するための自社工場内でのトライアルを経て2022年サービスインを計画している。

これらの革新技術は、離島輸送や山岳部の鉄塔工事輸送にも適用することができ、地方都市や商業施設および病院などでの社会実装に向けて規制緩和の動きにも積極的に参画していく。

4 エネルギー・環境ソリューション

2021年4月、米国主催で開催された気候変動サミットにおいて、世界各国が温室効果ガス（GHG）削減目標とカーボンニュートラル達成目標を表明している。我が国においても「GHG削減目標を2030年度に2013年度比で46%削減すること、2050年のカーボンニュートラル実現」が宣言された。

脱炭素化実現のための当社のソリューションの基軸は、世界に先駆けて取り組む水素事業である。まずは豪州産の褐炭から得られたブルー水素を液化水素運搬船で日本へ大量輸送する実証試験を開始している。2021年8月、「液化水素サプライチェーンの商用化実証」がNEDOグリーンイノベーション基金事業で採択された。これはカーボンニュートラルを実現する水素の大量消費社会を見据え、CO₂フリー水素サプライチェーンの本格的な社会実装の取組みの一環として、年間数万トン規模の大規模な水素の液化・輸送技術を世界に先駆けて確立し、水素製造・液化・出荷・



図5 水素関連製品・事業のさらなる展開

海上輸送・受入までの一貫した国際間の液化水素サプライチェーン実証を行うものである。

また、再生可能エネルギーから水素を製造・液化し、日本へ輸送するグリーン水素プロジェクトも進めている。2020年12月に鉄鉱石大手のFortescue Metals Groupおよび岩谷産業(株)とMOU (Memorandum of Understanding)を締結し、2020年代半ばの実証に向け現在FS (Feasibility Study)を実施している。

国内における水素利用プロジェクトとしては、2021年8月に西部石油(株)向けのコンバインドサイクル発電プラントにおいて、水素混焼による発電を開始した。

水素は燃焼時にCO₂を排出しないため、クリーンエネルギーとして注目されているが、窒素酸化物(NO_x)が多く発生する。この問題を解決するためドライ低NO_x水素専焼ガスタービンを開発し、世界で初めて実証試験に成功した。水素専焼ガスタービンで生成した電力と熱エネルギーは、神戸市で市街地への供給を実施している。

これらの水素燃焼技術は航空機や船舶、モーターサイクルの分野へも展開しており、航空エンジン燃焼器を対象として、2030年までに実証・デモンストレーションの達成を目指す。

国際海運の分野においては、国際海事機関IMOが、海洋汚染防止のための世界統一ルールを策定しており、「今

世紀中のなるべく早期にGHGゼロ排出を目指す」といった長期目標を掲げている。これを受け、船用水素ガスエンジンの2025年市場導入を目指し、ヤンマーパワーテクノロジー(株)および(株)ジャパンエンジンコーポレーションとの協業を通じ、船用水素ガスエンジンの開発において世界をリードする。

このような脱炭素の取組みは水素のみならず、電動化やハイブリッド化にも取り組んでおり、モーターサイクルやショベルなど建設機械への適用も活発化している。

あとがき

激動の時代を生きた先人達の努力によって当社は100年を超える歴史を重ね、その延長線上で私たちは現在会社生活を送ることができている。

今般のグローバルレベルの歴史的変革期にあって私たちはポスト100年にわたり新しい世代に「川崎重工」という器を残していくことができるのか。創業時代のDNAを呼び覚まし、時代の先を見据えた社会課題に挑戦し続ける企業文化が磐石なものとして根付くよう、社内の体制を柔軟に整備していきたい。

これにより、目まぐるしく変化する社会情勢と、そこから発生する課題に対してスピード感を持って臨んでいく。

国産初の手術支援ロボット 「hinotori サージカルロボットシステム」

hinotori Surgical Robot System, the First Made-in-Japan Robotic-Assisted Surgery System



北 辻 博 明①	Hiroaki Kitatsuji
浦 寛②	Hiroshi Ura
植 田 隆 弘③	Takahiro Ueda
白 木 優④	Yu Usuki
東 條 剛 史⑤	Tsuyoshi Tojo
山 守 啓 文⑥	Hirofumi Yamamori
土 井 航⑦	Wataru Doi

拡大が予想される医療分野における安全安心リモート社会実現の一環として、医療ロボットの導入が進んでいる。

株式会社メディカロイドはコンパクト性・高い安全性・高い操作性をコンセプトとした手術支援ロボット「hinotori サージカルロボットシステム」を開発して、2020年8月に国産初の製造販売承認を取得し、同年12月に初めての手術に成功した。

In the medical field, where future development is anticipated, medical robots have been increasingly adopted in order to realize a safe and secure remotely-connected society.

Medicaroid Corporation developed the hinotori Surgical Robot System, based on the core concepts of compactness, safety and high maneuverability. This system became the first robotic-assisted surgery system created in Japan to achieve Japanese regulatory approval in August 2020. The first human surgery with the system was successfully conducted in December 2020.

まえがき

高齢化により今後ますます拡大が予想される医療分野における安全安心リモート社会実現の一環として、医療ロボットの導入が進んでいる。

1 背景

日本の医療機器の輸入超過額は、2019年時点で約17,000億円となっているが¹⁾、中でも大型の医療機器である手術支援ロボットにおいては、米国 Intuitive Surgical社の da Vinci サージカルシステムが市場を独占している状況にある。一方、日本は世界有数の産業用ロボットを開発・製造・販売する企業を多く輩出しており、その技術力を用いた国産の手術支援ロボットの登場に期待が寄せられていた。

医療ロボットの市場は年々増加し、2025年にはグローバル市場において1兆円を超えていると予測され、その多くは手術支援ロボットが占めると考えられている²⁾。また、米国 Intuitive Surgical社の持つ手術支援ロボットに関する基本特許が切れ始め、国内外の企業が市場獲得のために開発を急いでいる状況にあった。

2 開発の考え方と変遷

開発はマーケットインの考え方を念頭において進めた。まずロボット支援手術で著名な国内外の医師の方々に現状の課題を伺い、その課題解決をニーズと捉え、ニーズを解決する試作機を作成する。そしてその試作機を評価いただき、その結果である新たな課題を元にしてさらなる改良を行うというものである。今回「hinotori サージカルロボットシステム」を完成させるまでに本プロセスを年に1度の頻度で計5回行っており、試作初号機を2015年に製作している。前半の3回はコンセプトを固めるために、後半2回は製品の完成度向上のために実施した。

3 コンセプト

本製品は、腹腔鏡手術を支援するロボットシステムである。図1に示すように、オペレーションユニットに装着した手術用器具（以下、インストゥルメント）や内視鏡を、患者の腹壁に開けられた複数の直径数mmの孔に挿入し、サージョンコックピットの前に座った執刀医が3D映像を見ながらハンドコントロールを操作する。これにより執刀

① 株式会社メディカロイド

② 株式会社メディカロイド 安全規格戦略部

③④ 株式会社メディカロイド 開発部

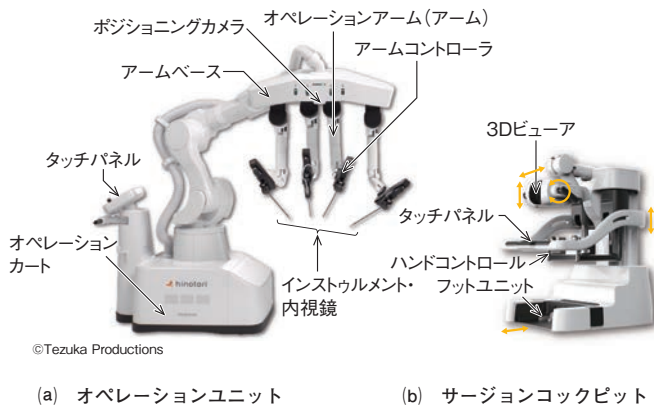


図1 システム構成
Fig.1 System configuration

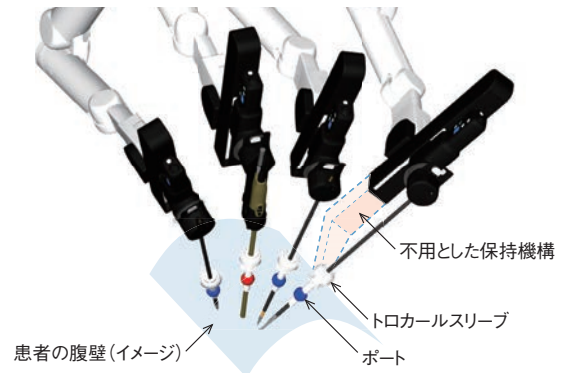


図2 保持機構の排除
Fig.2 Configuration without trocar attachment

医は自らの手を体腔内で動かしているような感覚で手術操作が可能であり、患者の負担の少ない低侵襲の手術を行うことができる。

患者の体腔内での手術操作において、必要な範囲を動きつつアーム同士の干渉を最小限とすることは重要である。また、狭い手術室内での取り回しや動線確保のため、占有体積は小さいことが望ましく、患者やベッド周辺の助手との干渉低減や助手の作業領域確保も重要となる。

本製品は人命に直結するため、ロボットの安全性の確保は絶対的であり、産業用ロボットで培った技術を積極的に取り込むこととした。

さらに、本製品は操縦型ロボットであるため、操作者が違和感なく操作できることも、手術をスムーズかつ確実に遂行するために重要である。また、操作者である執刀医だけでなく、助手やその他スタッフの操作にも配慮する必要がある。

このように開発にあたり、①コンパクト性／②高い安全性／③高い操作性を重要なコンセプトとして設計を行った。また、新しい技術へのチャレンジにも取り組んだ。

4 開発内容

(1) コンパクト性の実現

(i) 邪魔にならないコンパクトなアーム構造

本製品では、コンパクト性を実現するために、モータと減速機構の組み合わせを手術の動きに適したものとなるように設計している。インストゥルメントを操作するロボット本体部には8個の可動軸があるが、それぞれの軸に求められる速度やトルクは異なる。模擬手術動作から必要な速度とトルクを特定し、その条件を満たすようにモータサイズと減速比を決定した。

また、図2に示すように、ソフトウェア制御によりピボット位置の維持を行うことで、患者腹壁に留置されるトロカールスリーブと呼ばれる筒状の器具を保持する機構を無くし、助手の医師の手元作業空間を広く確保している。

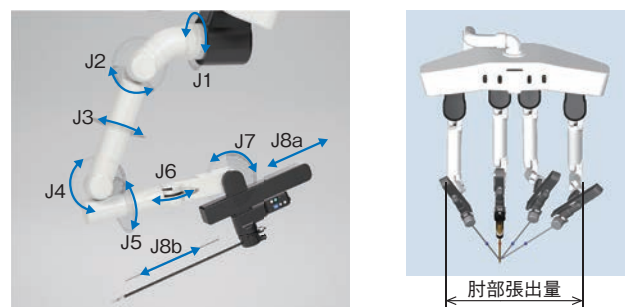
(ii) アーム干渉を低減しつつ広い動作範囲を確保する制御
各アームは、図3(a)に示すように1つの直動軸を含む8つの駆動関節を持つ冗長アームとし、特異点や必要動作範囲の性質から決定した複数の拘束条件をもつ冗長制御を行うことで、動作範囲を確保しつつアーム同士の干渉を低減している。また、図3(b)に示すようにアーム肘部の側方への移動量にも拘束条件を設けて、幅方向への張出量を抑制し、ベッド周辺の助手や看護師の動線を広く取れるよう配慮している。

(2) 高い安全性の実現

(i) 安全性を確保するための相互監視モジュール

アクチュエータおよび入出力の制御は、産業用ロボットで培った機能安全動作監視ユニット「Cubic-S³⁾」の技術を利用し、モータ制御用コントローラとは別体の相互監視モジュールを設けて安全性を向上させている。

① ロボットの動作を伴う操作は、各アームやオペレーションカート後方の操作部のイネーブルスイッチを押している間や執刀医が3Dビューアを覗いている間だけ可能とし、センサ入力を「Cubic-S」で二重監視している。操作していないアームの移動を検出した場合、即座に異常と判定する。



(a) 冗長アームの軸配置 (b) 肘部張出量の抑制

図3 アームの構造
Fig.3 Arm structure

② ピボット位置をソフトウェア制御で維持することは、前述のように助手の手元作業空間の確保につながるが、ピボット位置がずれた場合に患者腹壁を損傷するリスクがある。図4に示すように、指令位置を生成する全体統括コントローラで指令位置がピボット位置を維持しているかを確認するだけでなく、「Cubic-S」でもピボット位置を監視して二重のチェックを行うことで安全性を向上させている。

(ii) 組織損傷のリスクを低減させるアクチュエータ制御

内視鏡の振動は映像に揺れを発生させ、執刀の妨げとなる。また、インストゥルメントの振動は繊細な臓器を損傷する恐れがある。そのため、執刀医の操作入力にノッチフィルタや各種補償を加えることによって、振動を発生しにくい動作指令値を生成している。また、アーム同士の干渉は、インストゥルメント先端に大きな振動を発生させ、組織を損傷するリスクがあるため、干渉方向には移動しないような動作制限も行っている。

(3) 高い操作性の実現

(i) 違和感のない操作感を実現する構造および補償制御

意のままに操作できるようにするためには、意図した操作入力を妨げないことが重要である。操作入力側アームに高出力モータと低減速比の減速機を組み合わせた駆動系を設けて減速機由来の摩擦の低減を図った上、重力・慣性・摩擦補償を行うことで、違和感のない軽い操作感を実現した。

(ii) 疲労軽減を考慮した調整機構

サージョンコックピットを操作する際は、開腹手術時のように術野を覗き込む前傾姿勢や、状態が起きている肩や首への負担軽減姿勢をとることができる。調整機構には、タッチパネル操作によるアームレスト高低調整・フットユニット奥行調整・電磁クラッチによるロック解除機構を設けた手動操作による3Dビューア位置調整があり、術者の体形や好みに合わせて微調整することもできる。

(iii) わかりやすい操作を意識した操作入力部

ベッド周辺の助手がピボット位置を教示するときなどに姿勢変更できるようにするため、患者側の各アームに図5に示すアームコントローラを設けている。

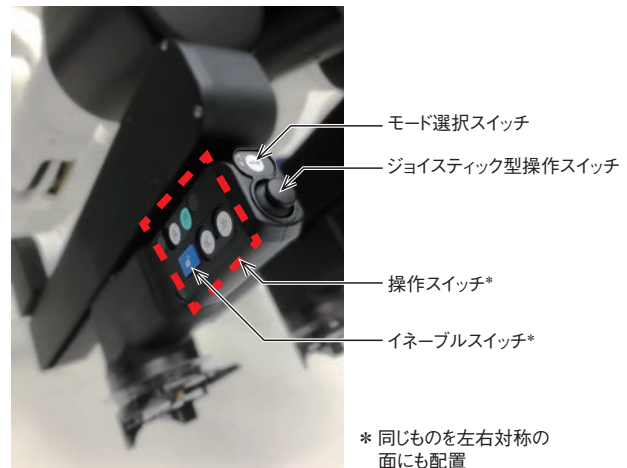


図5 アームコントローラ
Fig. 5 Arm controller

ジョイスティック型の分かりやすい操作系とするとともに、手術部位や動線などによりベッドへのアプローチ方向が変わっても操作しやすいよう左右対称の断面かつスイッチ類を両面に配置した構造とした。

さらに、ベッドにアプローチする際の操作性を確保するため、アームベースの中央部に俯瞰できるポジショニングカメラを設け、カート後方のタッチパネルで映像を見ながらベッドや患者との相対位置関係を調整できる方式とした。

(4) 新しい技術へのチャレンジ

(i) インストゥルメント開発

手術においては、インストゥルメントが患者の体内で動いて、組織の把持や牽引・電気メスでの切開や凝固・糸針を用いての縫合結紮などの必要な処置を行っていくため、最も医療用としての機能や性能が求められる器具となる。当社にはこれまで外科用の医療用器具を設計開発した経験がなかったが、要素開発を繰り返して徐々に必要な技術やノウハウを蓄えてきた。

把持力・先端形状・洗浄性に配慮したインストゥルメントの外観例を図6に示す。

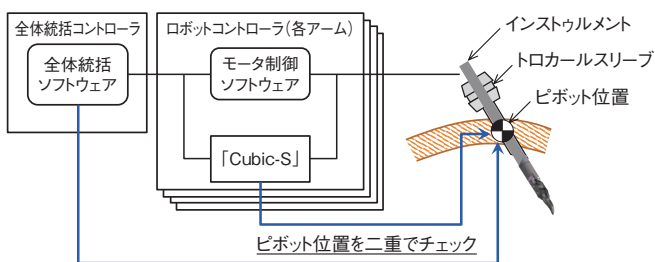


図4 「Cubic-S」によるピボット位置監視
Fig. 4 Pivot position monitoring by Cubic-S

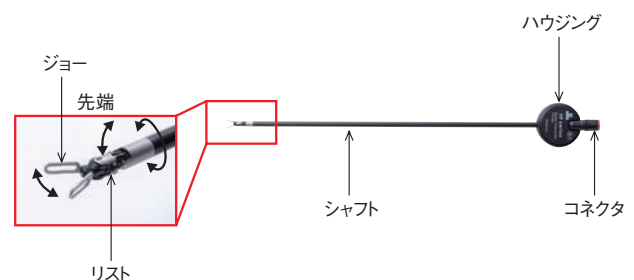


図6 インストゥルメント外観例
Fig. 6 Example of surgical instrument

- ① 把持力：インストゥルメントの最も重要な機能は、組織や針を把持して操作することである。ハンドコントロールのグリップを規定角度まで締め込むとジョー先端が閉じ、さらに締め込むことで必要な把持力を発生させている。シャフト内部に通っている駆動伝達部のワイヤーがシャフトの回転によってねじれることによりワイヤー張力が変化して、把持力が一定にならないという課題があった。本製品ではシャフトの回転角度に応じて補正を行うことで、把持力を一定に保つことができる。
- ② 先端形状：インストゥルメント先端は用途に応じて最適な形状となるように医師による評価を繰り返してブラッシュアップした。たとえば針をつかんで操作するニードルホルダでは、針の滑りを低減するためにチップを把持面に貼り付けて、糸を巻き付ける操作をしたときに引っかかりや傷つきがないよう凹凸を減らす形状とした。把持鉗子は先端から閉じ、根本側に隙間を開けるジョー形状を採用したため、薄い膜から厚い組織まで安定して把持することが可能となった。
- ③ 洗浄性・滅菌性：インストゥルメントの耐用回数は10回であり、繰り返し洗浄・滅菌を行って使用する。そのため、術中に先端へ付着した組織や血液のみならず、シャフトやハウジング内部についても洗浄・滅菌が可能な構造とする必要があった。洗浄性に関しては、シャフト内部の水流シミュレーションや、透明なハウジングカバーを用いた通水時の内部観察などにより、水流が滞る場所を分析して汚れがたまりにくい構造とした。滅菌性に関しては、バイオロジカルインジケータで湿熱滅菌を行うことで菌が十分に殺滅されることを確認した。

(ii) ルールメイキング戦略

メディカロイドは事業化に向けたルールメイキング戦略の一環として、国際規格の開発へ継続的に参画している。

医用電気機器の安全性は各国の規制当局にとって大きな関心事であり、その技術上の要求事項は主に国際電気標準会議IECの発行するIEC 60601シリーズ規格に基づき各国で法制化されているが、メディカロイドで「hinotori サージカルロボットシステム」の開発が開始された当初にはロボット技術を用いた医用電気機器の安全性に関する規格は存在しなかった。

IECはこの課題を解決するために手術支援ロボット製品群への適用に絞った規格を開発し、IEC 80601-2-77:2019として発行した。同規格の開発において、メディカロイドは日本代表委員団の一員として規格の執筆にあたり、産業用ロボットで実用化されている安全技術を導入するよう働きかけ、提案の多くが採用された。

本製品の薬事承認申請に際してメディカロイドは、この新たな規格への適合を製品安全性の根拠とし、規格発行か

ら半年後には適合性評価を完了させ申請に至った。このスピード感は、川崎重工の保有技術を規格へ織り込めたことや、規格執筆者を輩出する組織であるがゆえに要求事項に精通するからこそであり、ルールメイキング戦略が結実した証のひとつであると捉えている。

あ と が き

「hinotori サージカルロボットシステム」はまだ生まれたばかりの製品であり、これから大きく成長させ、羽ばたかせていく予定である。まずは対象となる診療科の拡大や、米国・欧州・アジア地域などへのグローバル展開といった市場拡大を行う。また並行して、多くの新技術を取り込んで魅力ある製品にしていく予定である。特にロボット内外のデジタル情報をネットワークで接続してデータベース化することで、手術そのものの効率化への助言や医療技術の向上や伝承に役立てるような取組み、遠隔にいる医師がネットワークを通じて手術のサポートを行う遠隔ロボット手術支援などにも注力している。

参 考 文 献

- 1) 令和元年薬事工業生産動態統計年報の概要，厚生労働省，第39表，第41表（2020）
- 2) “2015-2025 Global Surgical Robots Market Forecast and Opportunities”，TechSci Research（2020）
- 3) 亀山，田頭，中田，高見，山守，間瀬，橋本，上野：“ロボット動作監視安全ユニット「Cubic-S」による人に安全な生産システムの実現”，川崎重工技報，第178号，pp.30-33（2017）



北 辻 博 明



浦 寛



植 田 隆 弘



白 木 優



東 條 剛 史



山 守 啓 文



土 井 航

医療の安全と社会の安心を支える感染医療向け ロボットシステム

Robot Systems for Infectious Disease Medical Care That Support Medical Safety and Social Security



駒 徹 郎① Tetsuro Koma
久保田 哲 也②※ Tetsuya Kubota
国 師 弘 樹③ Hiroki Kokushi

昨今の新型コロナウイルス感染症の対策として、PCR検査能力の拡充および医療従事者の安全性確保と負担軽減が求められている。また、世界各国で経済活動が著しく低下しており、感染者の早期発見と経済活動再開が課題となっている。

このため、当社はロボット技術を活用して、短時間かつ大量に高精度PCR検査を自動で行う技術および病院内の見守りや遠隔操作による検体採取するロボットの開発に取り組んでいる。

Recently, as measures against Covid-19, it is becoming increasingly necessary to enhance PCR testing capacity, ensure safety of healthcare workers and reduce the burden they are shouldering. Also, economic activity is declining worldwide, and early detection of infections and resumption of economic activity are priority issues.

In these circumstances, Kawasaki is working to develop technologies to perform accurate PCR testing on a large number of samples in a short time and robots that patrol hospitals or take samples by remote control by utilizing its proprietary robot technologies.

まえがき

2020年初頭に新型コロナウイルスによる感染症が世界各国で拡大し、国内でも同年4月には緊急事態宣言が発出された。このような状況の下、その対策としてPCR検査能力の拡充や医療従事者の安全性確保と負担軽減が求められている。

1 背景

国内のPCR (Polymerase Chain Reaction) 検査能力は十分とは言えず、また検査は医療従事者の手技による部分が大割を占めている。PCR検査数の増大と医療従事者の安全性確保や負担軽減は相反する事象であり、大きな社会課題となっている。

一方、世界各国の移動制限を伴う強い措置の結果として経済活動が著しく低下し、エアラインをはじめとした旅客事業や観光業などさまざまな産業が低迷する状況となり、感染者の早期発見と経済活動再開が喫緊の課題となっている。

2 製品コンセプト

このような課題に対して、当社の所有しているロボット

技術を活用して、「自動PCR検査ロボットシステム」「見守りロボットシステム」「鼻咽頭検体採取ロボットシステム」を開発することとした。

(1) 自動PCR検査ロボットシステム

PCR検査はDNA (Deoxyribonucleic Acid) を増幅する技術であり、RNA (Ribonucleic Acid) ウイルスである新型コロナウイルスを検出するためには、逆転写RT (Reverse Transcription) という操作でRNAをDNAに変換する必要がある。本システムにおいては、逆転写に続いてPCRを行うRT-PCRと呼ばれる技術を用いて新型コロナウイルスを検出する。

一般のPCR検査は、医療従事者の手技により実施されるため、人手と時間が必要である。繰り返し作業を正確に行うというロボットの有する特長を利用することで置き換え、短時間かつ大量の高精度RT-PCR検査の実現を目指している。

採取した検体にウイルスが存在する可能性がある場合は、バイオハザードを考慮した厳格な管理が必要となる。本手法では不活化液中で検体を採取して、検査の初期段階で不活化を行うことで、以降のハンドリングを容易にして医療従事者の安全性を確保する。

(2) 見守りロボットシステム

感染症患者の看護にあたる医療従事者は常に二次感染のリスクにさらされている。また、医療機関の逼迫度合いが増すことに伴い、医療従事者の負担も増加している。そこで、医療従事者に代わって感染隔離エリア内で作業をする「見守りロボットシステム」の開発を進め、医療従事者の感染リスクや作業負担の軽減を図る。

このような医療環境あるいは一般環境に適合するためには課題も多い。周囲の人々に危害を与えない安全性が前提となるほか、配膳ラックやエレベータなどの機器や設備は一般用途に設計されており、それらを利用するためには相応のセンシングや通信インターフェースの構築が必要となる。また、逼迫する医療環境においては、ロボットの不具合により本来の業務が阻害されることは許されないため、安定した運行が求められる。

(3) 鼻咽頭検体採取ロボットシステム

遺伝子検査に使用される検体として、唾液と並び鼻咽頭から採取される鼻拭い液が有効とされている。この鼻咽頭からの検体採取にあたっては、採取者は被験者の鼻孔から医療用綿棒を挿入する必要がある。被験者のくしゃみなどの反射動作によって採取者自身が二次感染のリスクにさらされてしまう。また、被験者の年齢・性別・身体的特徴・疾患などの条件に合わせてロボットが完全自動で採取作業を行うことは、技術的にも極めて難易度が高い。

そこで、採取者が遠隔で鼻咽頭検体採取を行えるマスタースレーブ方式のロボットシステムの開発を進める。これにより、採取者を感染リスクから隔離できるほか、採取者の手元動作を忠実に再現することで被験者の安全確保と確実な検体採取を達成することができる。

3 開発状況

(1) 自動PCR検査ロボットシステム

(i) システム構成

PCR検査は、図1に示すように、検体投入、検体取込に続き、開栓・分注、核酸抽出、試薬調整、PCR測定の間を繰り返して実施する。

これらの各工程を最適化して、コンパクトかつそれぞれの工程に適したロボット配置ならびに制御を行い、効率的に短時間かつ大量の高精度RT-PCR検査を可能とすることが課題となる。

図2に示すように、ロボットシステム全体を建築用コンテナに収納し、検体の取り扱いをコンテナの中に限定することで、検査従事者の安全性を飛躍的に高めている。本コンテナは通常の輸送用コンテナと同様にトレーラーによる移動が可能であり、またトレーラーのシャーシ上での運用も可能としており、機動的に検査環境を提供することがで

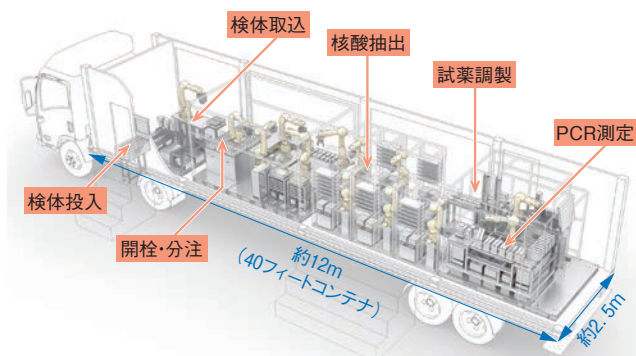


図1 コンテナ式の「自動PCR検査ロボットシステム」
Fig.1 Container-type automated PCR viral testing robot system



図2 コンテナの設置例
Fig.2 Example installation of container

きる。

コンテナ内は、図3に示すように開栓・分注、核酸抽出、試薬調整、PCR測定の間を繰り返して実施する。それぞれの工程に適したロボット配置として、効率的に短時間かつ大量の高精度RT-PCR検査を可能としている。核酸抽出工程は5台のロボットを配置することで、スループットの最適化を図っている。PCR測定工程では、シスメックス社製サーマルサイクラーを16台配置することで、8検体を1バッチとしてPCR測定結果が得られる構成としており、トータル性能として1日16時間稼働の場合で約2,500検体の検査が可能となっている。

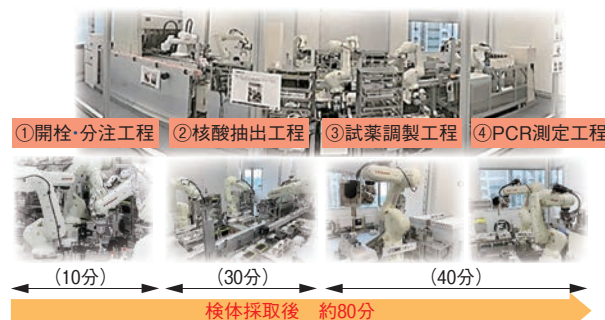


図3 「自動PCR検査ロボットシステム」の構成
Fig.3 Configuration of automated PCR viral testing robot system

(ii) 検査精度に関する取組み

本システムでは、検体封入後は人手を介する必要がなく、ロボットを各工程に最適に配置するとともに、それぞれの工程エリアで適切な空調による圧力制御を行うことで、偽陽性の原因であるコンタミネーションを極力排除している。

一方、検体採取の良否により偽陰性が発生しうが、定量値を得るために使用する内部標準物質を適切に選定（インターナルコントロール）して新型コロナウイルスと同様に増幅曲線を取得することで、検体が適切に採取できていることの判定を可能としている。

検査ごとの精度管理としては、各工程の精度確認を行った後に試薬ロットごとに精度管理用検体を含めて検査を行い、精度管理用検体の検査結果の良否により行う。

PCR検査の状況は、リストで管理しており各種検索が可能である。また、図4に示すように、検査の結果は、被検者や検査に関するデータとともに、測定した増幅曲線と増幅曲線が閾値（Threshold）と交差したサイクル数であるCt（Threshold Cycle）値を出力して、陰性／陽性の判別が可能となっている。また、これら医療情報に関わるシステムについては、厚生労働省や総務省および経済産業省の医療情報システムの安全管理ガイドライン^{1,2)}に従って構築している。

(iii) 医療従事者の負担軽減と安全性確保の取組み

検体容器に検体を採取して封入した後は、医療従事者が検体に触れることなく、「自動PCR検査ロボットシステム」に投入するだけで約80分後にはRT-PCR検査結果として増幅曲線が得られ、Ct値算出や陰性／陽性の判別を自動で行うことができる。このように医療従事者に過度の負担はなく、短時間の検査と高度な安全性の確保を両立している。

(iv) 経済活動の回復に対する取組み

人の移動の流動化による経済の回復については、各国はワクチンの接種などの各種対策を進めることで移動制限を段階的に緩和しつつ、渡航直前にPCR検査を行い陰性証明書を取得することを条件に渡航を許可する仕組みを構築

し、運用を拡大している。当社でもこの仕組みに対応すべく、海外渡航を後押しするために、空港で出国当日に問診・検体採取・PCR検査を行い、出発までの短時間で大量に陰性証明書を発行するスキームを構築している。

(v) 大規模モニタリングへの対応

国ならびに各自治体は、高齢者福祉施設やエッセンシャルワーカーへのPCR検査をはじめとして、市中の定期的かつ大規模なPCR検査によるモニタリング調査を行い、新型コロナウイルスの感染状況を把握する動きを加速している。

当社では、この動きをサポートすべく検査要望のある場所に迅速かつタイムリーにPCR検査環境を提供するため、「自動PCR検査ロボットシステム」をコンテナに収容してパッケージングすることで、容易に道路輸送や海上輸送に供することを可能としている。

さらに、被検者の予約・検査会場での受付・受検者と検体の紐付・検査システムにおける被検者や検体と検査結果の照合・検査結果の通知など、検査前後のシステムも合わせて開発している。これらをクラウドとモバイルシステムに搭載し、移動可能なコンテナと組み合わせることで、従来と比較して機動的な大規模PCR検査を可能としている。

(vi) 検査能力のさらなる向上（プール方式）

RT-PCR検査システムを用いて、より多くの検体を検査する目的で、プール方式に対応したシステムの開発を行っている。プール方式は、その多くが陰性者と予測される集団に対して、時間あたりの検査数を飛躍的に増加させるのに有効な手法と考えられている。

具体的には、厚生労働省のガイドラインに従い、ロボットにより5検体を一つの容器に分注する工程を開発している。プール方式により、検査能力の向上を図るとともに、1検体当たりの検査コストの削減も実現可能としている。

(2) 見守りロボットシステム

「見守りロボットシステム」は、図5に示すように、自

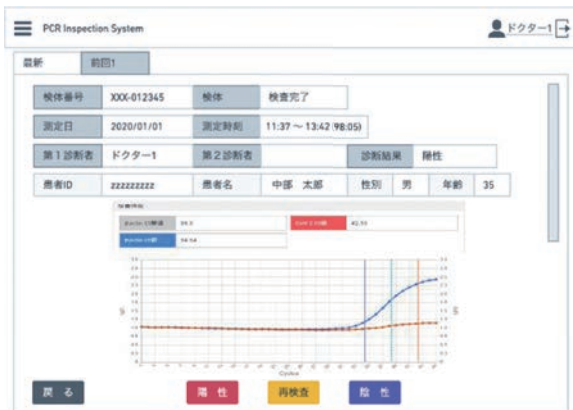


図4 RT-PCR検査結果（増幅曲線）の例
Fig. 4 Example of RT-PCR testing results (amplification curve)



図5 「見守りロボットシステム」の構成
Fig. 5 Monitoring robot system configuration

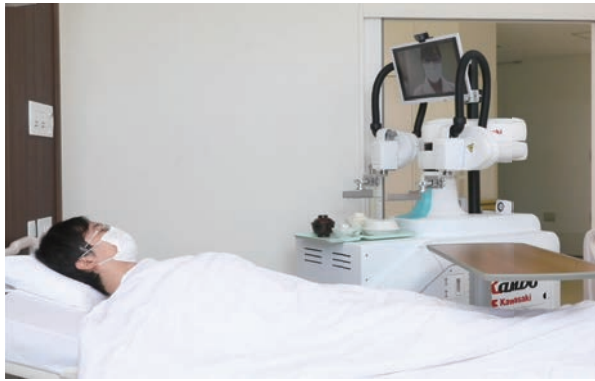


図6 感染患者とのコミュニケーション
Fig. 6 Communication with infected patients

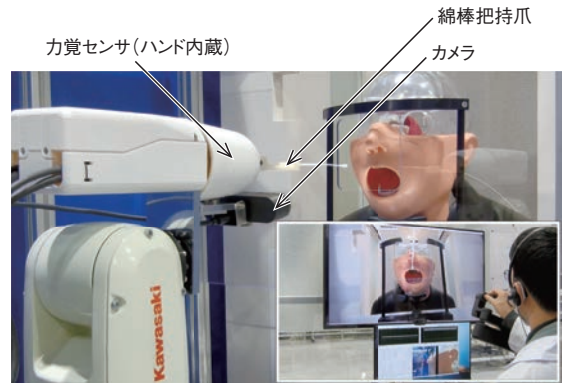


図8 遠隔操縦による鼻咽頭検体採取の様子
Fig. 8 Nasopharyngeal sample collection by remote control

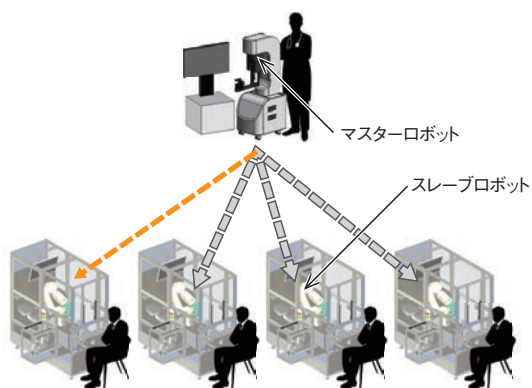


図7 4台のスレーブロボットに対する接続切替
Fig. 7 Switching the connection among four slave robots

自律移動式車体の上に当社製品である双腕型協働ロボット「duAro2」のほか、モニタ・カメラ・スピーカーなどの映像音声機器を搭載した構成となっている。これらの構成により、医療従事者の指示に従って所定の病室に自律移動し、双腕を使った病室ドアの開閉および食事やリネンなどの物品配膳を行うことができる。

また、図6に示すように、医療従事者は安全な環境から遠隔通信で感染患者とコミュニケーションを取ることができる。その他、自律移動式車体は人や障害物を検知するLiDARセンサを搭載しており、対象との衝突前に減速して停止できるような安全設計を盛り込んでいる。

(3) 鼻咽頭検体採取ロボットシステム

「鼻咽頭検体採取ロボットシステム」は、採取者が操作するマスターロボットと、マスターロボットに追従して動作するスレーブロボットから構成される。このとき、図7のように、スレーブロボットは最大4台まで接続することができ、採取者は各スレーブロボットとの通信接続を切り替えながら、順番に検体採取を行う。これにより、採取のサイクルタイム向上を実現している。

また、図8に示すように、スレーブロボットのハンド部には医療用綿棒の把持爪・カメラ・力覚センサなどの機器を搭載している。これにより、採取者は被験者の鼻孔内の状態やハンドに生じる挿入反力をモニタしながら、安全に検体採取作業を行うことができる。

あとがき

世界が経験したことのない新型コロナウイルスによるパンデミック下において、医療従事者の安全を確保しつつ、その負担を軽減することが求められている。また、世界の人々が安心して暮らせることや、経済活動の回復に寄与することも課題の一つと捉えている。これらを可能にする技術として、ロボットによる「自動PCR検査ロボットシステム」「見守りロボットシステム」「鼻咽頭検体採取ロボットシステム」を開発した。安全安心な社会を取り戻すとともに、経済の回復に向けてこれからも取り組んでいきたい。

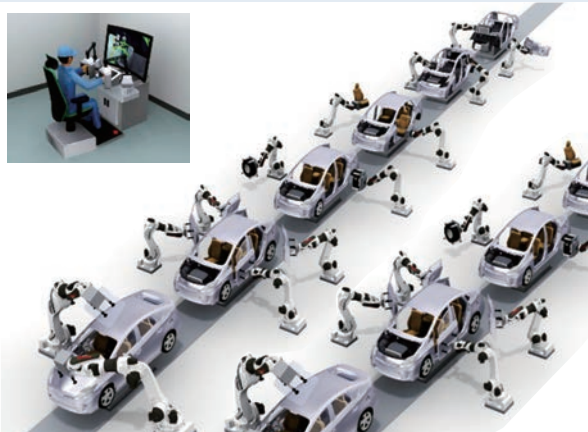
参考文献

- 1) 医療情報システムの安全管理に関するガイドライン第5.1版, 厚生労働省 (2021)
- 2) 医療情報を取り扱う情報システム・サービスの提供事業者における安全管理ガイドライン, 総務省・経済産業省 (2020)



リモートでの生産・労働を実現する新ロボットシステム 「Successor」

New Robot System Successor, Realizing Remote Production and Working



掃部 雅幸^①※* Masayuki Kamon
麻川 はるか^② Haruka Asakawa
蓮沼 仁志^③ Hitoshi Hasunuma

少子高齢化の進展による労働力不足が社会問題となっている。このような状況において、経済発展を目指すにはロボットの利活用と普及率の向上が不可欠である。

これまでロボット化が困難であった作業へのソリューションを提供するシステム「Successor」は、「遠隔協調」と「技能伝承」のコア技術によって、省人化と早期の自動化を果たす。この「Successor」を塗装・研削・組立の各作業に適用して効果を得ている。

Labor shortages due to declining birth rates and population aging has become a social problem. In this situation, utilizing robots and increasing the rate of their introduction are necessary for economic development.

A new robot system, Successor, provides a solution that makes it possible to robotize operations for which it was previously difficult to deploy robotics, achieving manpower-saving and early automation based on its "remote instruction" and "skill succession" core technologies. Successor has been applied to painting, grinding and assembling operations, producing good results.

まえがき

日本が抱える社会課題に、労働人口減少への対応が挙げられる。これに、近年の働き方改革やコロナ禍の感染予防が社会現象となり、ロボットが世の中に果たす役割にも変化が求められている。

1 背景

労働人口減少があってもなお、世界標準の経済発展を目指そうとすると、ロボットのさらなる利活用は不可欠である。しかしながら、労働人口減少数に対するロボットの普及率は、目標値に対して大きな差異がある¹⁾。

この傾向は実は日本に限ったことではなく、いずれの先進国においてもロボットの普及は不十分な状況である。このことは、人々の生活やモノづくりの過程において、ロボット化できている作業がごく一部に限られていることを示している。

ロボット化可能な作業を増やすことがロボットの普及率向上につながるため、これを実現する新たなロボットシステムの開発を進めている。

2 コンセプト

ロボット化が困難な主な作業として、一品生産や少量生産などの生産回数が少ない作業、そして人間の感覚や技能の駆使が必要な作業を取り上げた。これらの作業へのロボット適用を実現するべく、戦略システムとして開発したのが「Successor」である。

「Successor」は、「遠隔協調」と「技能伝承」という二つのコア技術から構成される。

(1) 遠隔協調

従来の産業用ロボットは、動作を教えるティーチと動作を繰り返すリピートという二つのフェーズで運用されてきた。大量生産ラインで使用されるロボットの場合、リピートフェーズの期間が長く、ティーチフェーズに手間をかける価値があった。しかし、先に挙げた、一品生産や少量生産などの生産回数が少ない作業ではリピートフェーズは短期であり、人間の感覚や技能の駆使が必要となる作業ではティーチフェーズが膨大になる。すなわち、いずれもティーチ対リピートの期間割合が小さくなってしまい、ロボットの導入が敬遠されてきた。そこで、ティーチとリピートのフェーズを区切らない、新しいロボット活用のスタイル

として「遠隔協調」がある。

遠隔協調では、ロボットとは離れた場所にいる作業者が、現場の感覚を感じながら、自らの技能を駆使してロボットを操縦し、作業を実行する。これにより、従来の共存協調ロボットでは困難であった、大型ロボットの高速動作時の本質安全確保、生産効率の低下防止、さらに図1に示すように作業者の複数ロボットとの協調が可能となり、結果的に省人化を果たすことができる。

(2) 技能伝承

遠隔協調は、作業者を3K環境から解放するなどして省人化を実現するが、無人化までは果たせない。これを可能にするのが、「Successor」のもう一つの特長である技能伝承である。

図2に示す技能伝承は、次のようなプロセスで達成される。

- ① 遠隔協調により得られる、作業者に伝えた感覚データとロボットの操縦データを蓄積
- ② 蓄積されたデータをロボットに学習させ、ロボットによる自律動作の試行と、作業者による修正動作を繰り返す
- ③ ロボット単独の自律動作を達成



図1 一人の作業者が複数台のロボットを遠隔で操縦
Fig.1 Multiple robots remotely controlled by one worker

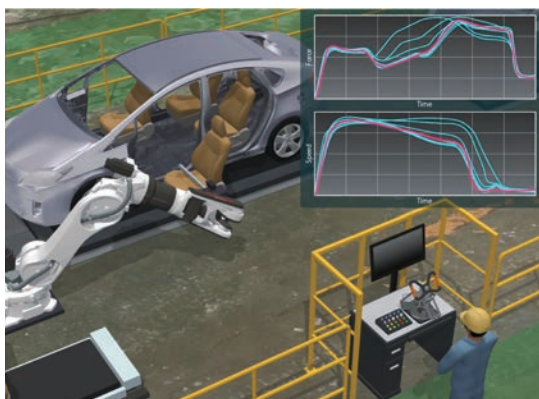
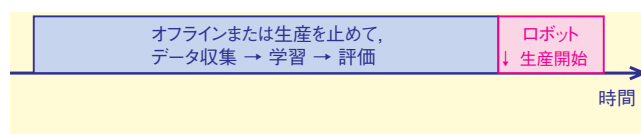


図2 技能伝承による自動操縦の達成
Fig.2 Automatic control achieved through skill succession



(a) 従来のAI活用ロボットの場合



(b) 「Successor」の場合

図3 従来型AIロボットと「Successor」の違い
Fig.3 Differences between conventional AI robots and Successor

AIは製造業においても多くの場面で見られるようになったが、それらのAIは事前に準備された大量の実験データをもとに学習が行われている。すなわち、現場投入までに多くの準備期間を要している。また、現場投入を果たしても、不具合が発生するとラインを停止して、再度学習過程を繰り返すことになる。

一方「Successor」は、実作業をしながら学習を繰り返すOJL (On the Job Learning) と称される新しいスタイルのAIロボットシステムである。図3に示すように人間の感覚・技能作業に対し遠隔協調で対応して早期にロボットを現場投入し、得られたデータを学習することで徐々に自動化する割合を増やしていく。学習が不十分な場合でも、遠隔協調で人がアシストするためライン停止などの状況を防ぐことができる。

3 適用事例

「Successor」は、2017年の国際ロボット展で発表し、これまで社内外でさまざまな要素技術・周辺装置・適用システムを開発してきた。

(1) 全身動作の直感に基づく塗装作業

「Successor」が最初に実用化されたのが、社内の塗装現場である。塗装作業は、腕だけでなく膝や腰また歩幅を含めた全身動作と、目視の直観を駆使する技能作業である。一方で、その現場は高温多湿で、作業者は全身を覆う保護服を装着して悪臭や噴霧に耐えなければならない代表的な悪環境作業である。

そこで、当社の産業用ロボットのマザー工場に、鋳物・板金部品の塗装作業用「Successor」を導入した。このシステムでは、図4に示すように、塗装ブースの外にいる作業者が、ワークの種別や噴射中の状態を目視で確認しながら快適に作業ができる。

全身を駆使する作業者の直観を損なうことがないように



図4 塗装作業用「Successor」での塗装作業
Fig. 4 Painting operation using Successor adapted for coating

に、操縦機（コミュニケーター）として、VR機器を利用した「Wizard」を開発した。同じワークが再び流れてくる場合には、リピート動作に切り替えることもできる。

(2) 力覚制御技術を利用した研削作業

組立や加工などワークの接触を伴う作業の場合、その感覚を遠隔作業者に伝達するためには、視覚だけでなく力覚の伝達が必要となる。特に、研削は粉塵・振動・騒音・苦渋作業を伴う劣悪環境作業であるが、人の手の感覚により作業品質が大きく左右されるため自動化が困難であった。そこで、研削作業用に図5に示すような「Successor-G」を開発した。

研削ツールと大型ロボット手先の間に力覚センサを搭載し、作業中の力覚を遠隔操縦者に伝え、ロボットを操縦して作業ができる。このシステムは、5G通信を活用し、距離の離れた異なる工場間で操縦する試みも進めている。



図5 「Successor-G」での研削作業
Fig. 5 Grinding operation using Successor-G

(3) AI制御技術による組立作業

当社の精密機械工場では、油圧機器のマルチコントロールバルブの組立に「Successor」の技能伝承の導入を試みている。

本組立作業では、ケーシングに設けられた数ミクロンのクリアランス穴に、長さや形状の異なるスプールと呼ばれる棒状の部品を挿入する。作業者は、接触状態を目視できないため手に感じる力覚で挿入状態を確認しながら挿入する。加えて、クリアランスが小さいため組立には熟練が必要となる。技能伝承機能として、図6に示すような熟練者が操縦した作業と同等の作業性能を実現した。

技能伝承機能で自律動作を実現するために、まずは遠隔協調機能で人と同等の作業性能での組立作業を行い、作業で得られた数回の操縦データを用いて学習させた。これにより生成した自律動作で、90%以上の成功率での挿入ができた。一方で、想定外の状態になり一定時間以上が経過しても挿入できないときは、別作業をしている作業者が遠隔協調に切り替えて作業を継続する。図7に示す技能伝承機能のOJLでは、作業者が継続した作業データを活用して、

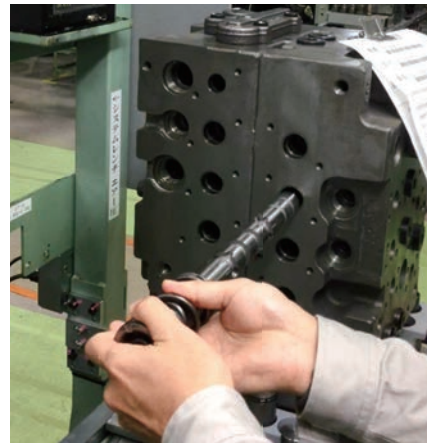


図6 人手によるスプール挿入
Fig. 6 Inserting a spool manually

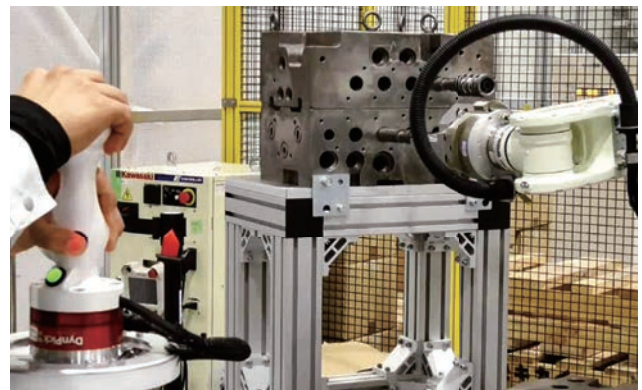


図7 OJLの様子
Fig. 7 On the Job Learning

想定外の状態への対処を追加で学習することで、作業の成功率を99%にまで向上することができた。

4 安全安心リモート社会の実現に向けた次の取組み

労働人口の減少は深刻な社会問題である。特に危険を伴う職場においては、より働き手が減少して後継者不足の状態となっている。昨今のコロナ禍により、オフィスワーカーにおいてはリモートワークの普及が進んできた。一方で、たとえばエッセンシャルワーカーやモノづくりにおけるスキルワーカーなどの現場でしか作業ができない人々は、いまだリモートでの作業が困難な状況にある。

当社では、図8に示すような「eRoboWork」という、リモートロボット技術により、あらゆる作業者にリモートワークを可能とする、新しい働き方を提案する取組みを進めている。さらにソニーグループと当社で、このリモートロボット操作システムのプラットフォームサービスを提供する新会社を設立し、それぞれの親会社の保有する技術を生かして、働き方改革の推進を加速させていく計画である。当社では、この「eRoboWork」を実現する図9に示すような汎用ロボットプラットフォーム「Nyokkey」を開発した。「Nyokkey」は、①当社製産業用双腕スカラロボット「duAro」の人との共存技術²⁾、②「Successor」の遠隔操縦技術やAIを利用したコミュニケーションシステム、③等身大ヒューマノイドロボット「Kaleido」の昇降胴体、④当社独自開発の汎用ハンド、⑤当社製モーターサイクル「Ninja」／オフロード向け四輪車「TERYX」の移動走行技術が結集されている。制御ソフトウェアは、プロフェッショナル向けの産業用ロボットソフトウェアを排除し、ロボット用のソフトウェアプラットフォームであるROSをベースとしたアカデミア／ベンチャーフレンドリーな独自ソフトウェアを搭載している。

あとがき

労働人口減少が進む中、ロボットの利活用方法が変化するだけでなく、人々の働き方も多様化して新たなワークスタイルが求められるようになる。

一方、産業用ロボットは製造業における大量生産という限られた条件において人間を悪環境や単純繰り返し作業から解放してきた。今後は、リモートワークを可能にするロボットシステムにより、人間の身体的能力や居住地などの労働条件によらず人々に労働の機会を与えることで、従来のワークスタイルからの解放が進むと考えられる。

人がロボットを助けて育てていき、人間とロボットが共存共栄する社会システムが新たな時代に必要とされる。そ

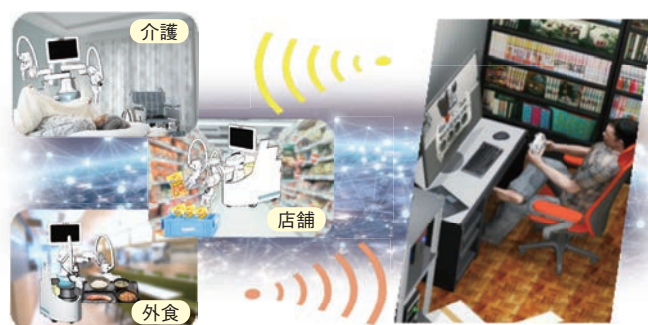


図8 「eRoboWork」のイメージ
Fig. 8 Image of eRoboWork

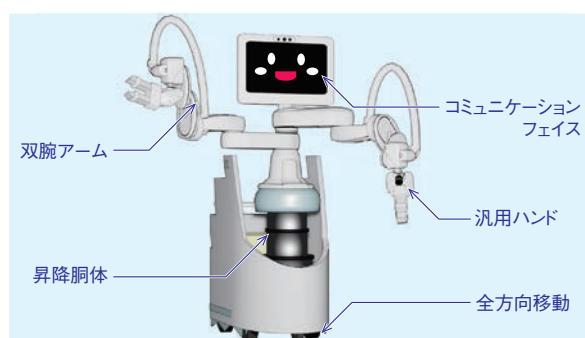


図9 汎用ロボットプラットフォーム「Nyokkey」
Fig. 9 Platform robot, Nyokkey

れらを可能にするのが「Successor」、そして「eRoboWork」である。

これらのシステムを実現・実用することで、世界の人々に、安全・安心なリモート社会を提供していく。

参考文献

- 1) IFR統計局：World Robotics 2017（製造業従業員1万人あたりの産業用ロボット利用台数）（2017）
- 2) 平田，鈴木，村上，日比野，竹林，神原：“人共存双腕スカラロボット「duAro」による人とロボットが共存する生産システム－開発コンセプトと適用事例－”，No.178, pp.6-9（2017）



掃部 雅幸



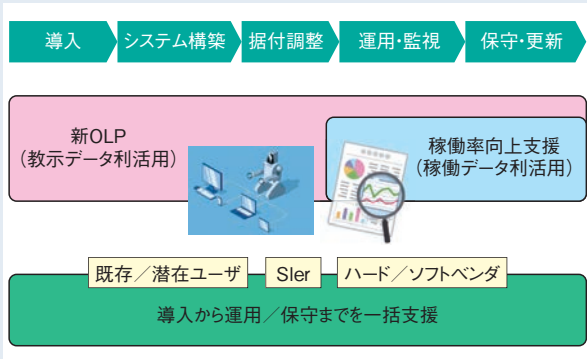
麻川 はるか



蓮沼 仁志

導入から運用/保守までを一括支援する新ロボットサービス

New Comprehensive Services That Cover the Life Cycle of Industrial Robots



宮崎 利彦① Toshihiko Miyazaki
 渡邊 雅之② Masayuki Watanabe
 本多 文博③* Fumihiro Honda
 山口 潤④ Jun Yamaguchi

少子高齢化などによる労働人口不足に伴い、さまざまな分野で自動化ニーズが高まっている。しかし、ロボットなどに精通した技術者を十分に確保できないことが、自動化が思うように進まない要因となっている。この解決策として、ロボット導入から保守までを一括支援するサービスの提供を検討し、それに必要となるソフトウェア機能やサービスプラットフォームを開発している。

Market demands for automation in various fields are emerging due to the shortage of workers derived from the declining birth rate and rapidly aging population. However, the implementation of automation in society cannot be realized as soon as is being expected. This is because experts in operating machinery such as robots cannot be allocated as required. Therefore, Kawasaki focuses on developing a service platform that comprehensively supports the various phases of the robot life cycle.

まえがき

少子高齢化を背景に労働人口不足が社会問題となる中で、それに対するソリューションとしてロボット活用のニーズが高まっている。

1 背景

産業用ロボットの適用先は、従来の溶接・塗装・搬送などの作業から組立・検査などの作業へ拡大しており、作業内容が複雑化している。また導入先は大手企業だけでなく中小企業へ広がり、ロボット技術者の支援が必要な状況が増えている。そのような状況への解決策として、ロボット活用に関する導入検討から保守までをサポートするサービスが求められている¹⁾。

2 サービスのコンセプト

ロボット導入検討時と操業時のそれぞれにおいて、現状の課題と提案するサービスを示す。

(1) ロボット導入検討支援サービス

(i) 現状と課題

生産工程を自動化するためには、人手で実施している作業を分析して、どうすればロボットに置き換えられるか、そのために周辺機器をどう配置するか、作業時間は間に合

うかなどのさまざまな検討が必要になり、多くの場合はそれをシステムインテグレータSIerが行っている。しかし、実際には昨今の自動化ニーズに対してSIerが不足しており、ロボット活用による自動化の普及を加速できない状況にある。

SIerがロボット導入の検討時に使うツールとしてオフラインプログラミングツールOLPがある。これは3Dデータを使った仮想空間内でロボット動作プログラムを生成するツールで、ロボットのレイアウトやサイクルタイムを検証し、その動作プログラムを実際のロボットに転送して使用することができる。しかし、SIerのOLP使用においては周辺機器との連動まで検証することができないことや、実機製作段階でさまざまな変更が加わることも多く、初期の粗検討にしか使えないという課題がある。またロボットの動作プログラム作成や動作経路の検討には時間がかかり、さらにスキルによってその出来栄に差が生じる。特に、組立などの複雑な作業をロボットで実行しようとする時、センシングや力覚制御などのスキルが求められる機能を作り込む必要があり、設計や動作プログラム作成により多くの時間を要することになる。

(ii) 概要

ロボットの導入検討を効率的に進められるよう支援するため、OLPにおいて以下のようなサービスの提供を実現する。

- サードパーティ製ソフトウェアと連携/データ共有することで、さまざまな周辺機器との連動などを可能にする機能

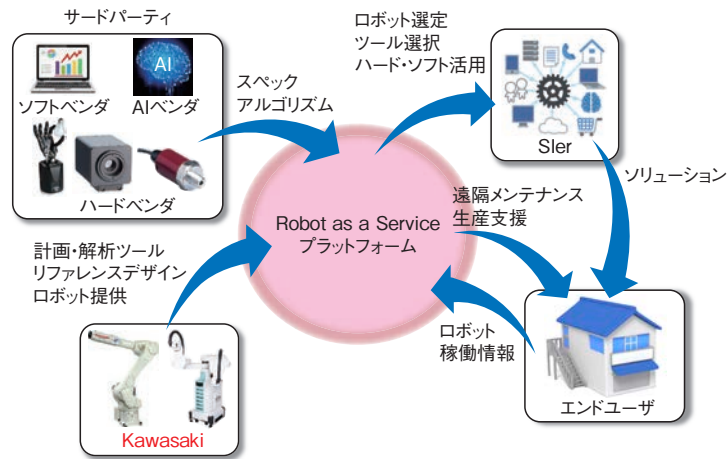


図1 Robot as a Service プラットフォームのイメージ
Fig. 1 Concept of the platform for Robot as a Service

- ハンドなど既成周辺機器を利用した、センシングや力覚制御などのスキルが必要とされる動作プログラムのライブラリ
- 最適な動作経路を自動生成する機能
- 事務所と現場、SIerとユーザーなど、異なる場所で容易にデータを共有して編集できる環境

サービス提供にはクラウドサーバを使用し、継続的に追加/改善されるコンテンツを最新状態で提供できるようにする。クラウドサーバには、SIer以外に当社の営業や技術メンバーも接続することで、さまざまなサポートを効率的に提供することも可能になる。将来的にクラウド上に多くのデータが蓄積されると、そこでノウハウが共有され、ロボット導入の敷居を下げることもつながる。また集まったデータを解析することで、より便利な新機能を開発することも考えられる。さらにはロボット導入に関するノウハウの一部をAIに置き換えるようなことも想定している。

こういった機能開発は当社だけで進めるのではなく、図1に示すようなサードパーティが開発した機能もコンテンツとして取り込める Robot as a Service プラットフォームを提供し、さまざまなステークホルダーが参加できるマーケットプレイスとすることを旨とする。

(2) ロボット操業支援サービス

(i) 現状と課題

ロボット導入後のサービスとして、稼働中のロボットのデータを監視して故障タイミングを予知することで、不慮のシステム停止を防止するという取組みを従来から実施している。

しかし、故障以外でも事前検証とは異なる運用条件が発生することで、ロボットの作業効率を維持できないケースがあり、故障と同じくユーザーにとって大きな問題となっている。ロボットの作業効率が低下する要因としては、周辺機器との連動タイミング・対象ワークのバラつき・ワー

ク供給ミスなどさまざまあり、ユーザーだけの解決が難しい場合も多い。しかし、問題が発生するたびにSIerが現場に赴いて解析することは効率が悪く、またユーザーとしても安心してロボットシステムを導入/運用できない。

(ii) 概要

ロボットの効率的な操業を支援するため、図2に示すような以下のサービスを提供する。

- ロボットだけでなく周辺機器からもデータを収集し、稼働状況を可視化するツール
- 収集したデータを遠隔で分析して、稼働率低下要因を特定し運用改善のための情報を提供するツール
- OLPデータと現場収集データを共有することで、遠隔で状況を把握して、改善プログラムも遠隔から導入できる環境

収集データの分析は、最初は人手で実施しつつそれをAIに学習させて、将来的には自動化することを目指す。収集データは工場全体の稼働状況監視に連動させることなど、ユーザー要望に合わせてさまざまな機能を追加していく。前述のOLPと同様、図1に示すような収集データをクラウドで蓄積して、サードパーティが開発した機能もコン

サービス概要	監視対象	狙う効果
生産支援 製造監視	生産ライン 	生産性向上
開発中 ロボット作業監視	ロボットシステム 	作業失敗削減
稼働中 ロボット故障監視	ロボット単体 	ダウンタイム削減

図2 ロボット操業支援サービスの位置付け
Fig. 2 Support layers for robot operation

テンツとして取り込める Robot as a Service プラットフォームを提供することで、継続的に進化可能な環境を作る。

3 技術課題

2章であげたサービスを実現する上で、次のような技術課題がある。

① 情報セキュリティ確保

ノウハウの詰まったデータにさまざまなSIerやベンダーがアクセスして活用できるようにすることで、機能開発の加速やロボット適用拡大につなげることができる。しかし、そこには秘匿性のある顧客情報や技術情報が含まれる可能性があるため、セキュリティを担保しつつ利便性を損なわない仕組みが必要になる。

② 実機と仮想環境の同期

ロボットの導入検討や稼働監視の遠隔実施にOLPを有効活用するために、生産現場の実機とOLP上の仮想環境を常時一致させておく必要がある。そのために、3Dデータ簡単作成・環境センシング・周辺機器情報の取込みなどの機能開発が必要になる。

③ OLP操作性の向上

OLPにさまざまな機能を付加すると便利になるが、機能が複雑になるので操作が難しくなる面もある。このため、機能向上と併せて使い勝手を向上させる必要がある。

④ クラウドとエッジの使い分け

さまざまなデータや機能コンテンツをクラウドサーバ上に蓄積していくことで、新たな価値が生まれる可能性がある。一方でサーバ容量はサービスコストに影響し、通信速度は利便性に影響を及ぼすことを考慮しなければならない。すべてをクラウドサーバに持たせるのではなく、エッジコンピュータ上での処理を併用することで、バランスの取れたシステム構成にしていく必要がある。

⑤ データ選定と分析

ユーザーにとって本当に役に立つサービスを提供するためには、収集対象データや分析手法を検討していく必要がある。また情報提供の仕方にも工夫が必要となる。

4 取組み

(1) OLP開発

さまざまな分野での自動化ニーズに対応するため、大規模化する3D環境データに対応して高速・高精度なシミュレーションを実施する機能や、複雑なワーク形状に対して自動的にプログラムを生成するような教示支援機能が必須となる。

当社はロボットの動作を高い精度で模擬可能なロボットシミュレータ「K-ROSET」を有している。「K-ROSET」は実機コントローラ相当の機能を有し、ロボットプログラ

ムの動作チェックやサイクルタイムの事前検証に活用されている。一方で、当社はCADジオメトリ情報を利用した教示支援ツール「KCONG」も保有している。「KCONG」はワーク形状に基づいて稜線に沿った教示点を生成することが可能であるほか、作業条件データベースに対応した動作プログラムの自動生成などの機能を有している²⁾。

これら保有ソフトウェアを有効活用する形で、図3に示すように「K-ROSET」および「KCONG」を統合した次世代OLPの開発に取り組んでいる。このソフトウェアをベースとして2章で述べたコンセプトを実現するべく、クラウドサーバを利用した機能や3章で示した課題①～③を解決する機能を追加開発していく。

また、次世代OLPソフトの開発と並行して、クラウドサービスを利用したサービスの検証を進めている。具体的には、2章で示したさまざまなサービス案について、複数のSIerの協力のもと実際にサービス提供が可能かどうかの検証を行っている。技術的な課題だけでなく、データを共有するにあたっての知的財産の扱いなど運用上の課題の洗い出しを進め、早期のサービス提供につなげていく。

(2) データ収集分析システム開発

3章で示した課題④と⑤に対する解決策検証とスタートを兼ねた社内の生産性向上を目標に、社内生産設備のロボットシステムを対象として、作業成功率向上に向けた稼働データの収集・分析と作業品質の可視化に取り組んでいる。

(i) システム概要

データ収集分析システムは、図4に示すように現場でデータの収集と一次処理を行うエッジコンピュータ・それら

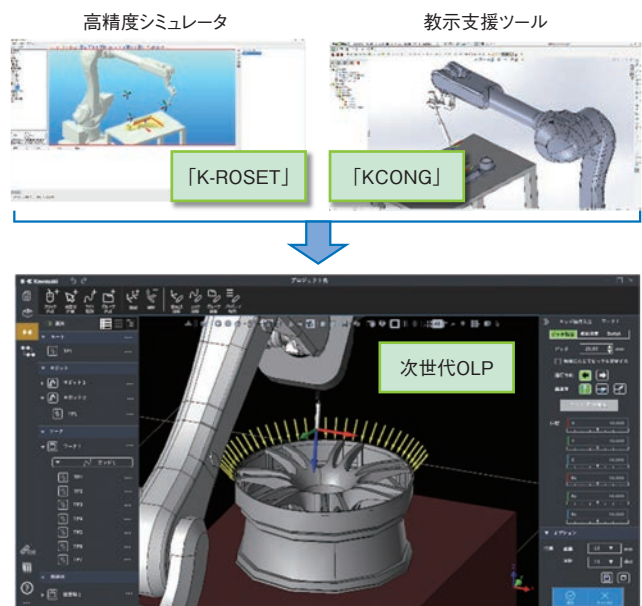


図3 開発中の次世代OLPソフトウェアのイメージ
Fig.3 Image of the next-generation OLP software under development

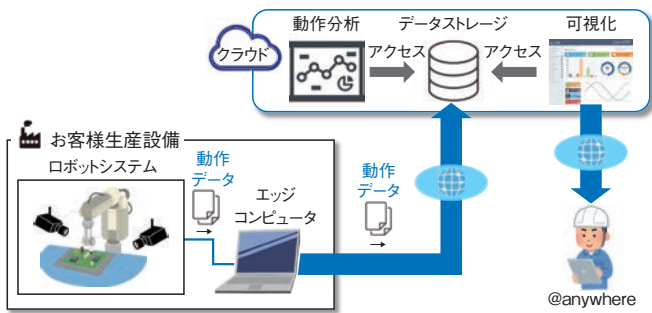


図4 データ収集分析システムの概要
Fig. 4 System overview for data acquisition and analysis

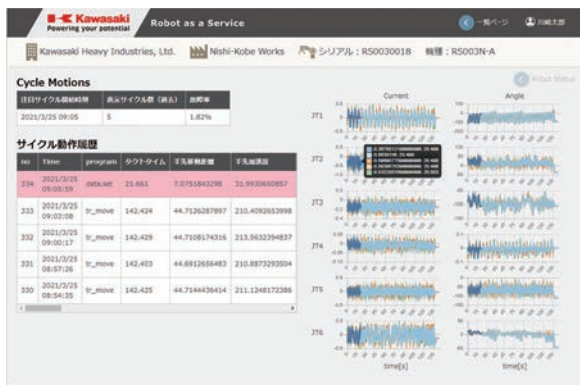


図5 ダッシュボード画面の例
Fig. 5 Example of monitoring system

のデータを蓄積して分析を行うクラウド・エッジとクラウドをつなぐデータ通信ネットワークで構成される。

エッジコンピュータでは、ロボット運転データやカメラ画像などの周辺機器データに対して、作業情報の抽出や画像処理などの一次処理を行いクラウド転送用データを生成する。

クラウドに転送されたデータは時系列データベースに格納され、同じくクラウド上の分析アプリケーションがこのデータにアクセスしてロボットの作業失敗要因分析などの各種処理を行う。分析結果や稼働情報はタブレットなどのモバイル端末に図5に示すようなダッシュボードとして表示される。これらの情報により現場では生産性の維持・向上に向けた運用改善の具体化が可能となる。

(ii) 収集データの分析

データ分析の性能がロボットユーザの生産性に大きく影響することから、クラウド上の分析アプリケーションが本システムのキラーコンテンツとなる。

今後コンテンツを順次拡充していくが、現在はユーザーの生産性に直結するロボット作業の失敗原因を可視化する分析アプリケーションの開発に注力している。

ロボット作業の失敗はさまざまな要因が重なって発生す

るケースが多い。ところが、ロボット・ツール・ワークの単体監視では問題無しとなることが多いため、ロボットの作業失敗要因を特定することが困難である。そこで異常を精度よく判定することを目標に、複数の情報を組み合わせで分析するマルチモーダル解析^{3,4)}を適用する。

現在はロボットが作業に失敗したときのデータの変化の組合せを抽出する相関分析に取り組んでいる。この結果からマルチモーダル解析の対象とするデータを見極め、作業失敗要因を特定する分析アプリケーションの開発を行う。

あとがき

労働人口不足に対するソリューションであるロボット活用を支援するサービスに取り組んでいる。

サービス提供においては、ユーザーとの接点を強化し、より多くのデータを収集することで継続的な機能改善につなげることが重要となる。さらに将来的には収集したデータを分析することで市場ニーズを把握し、技術開発やロボット開発に活用する。また、OLPを他社連携のツールとして活用し、オープンイノベーションを加速していく。

参考文献

- 1) みずほ銀行：“日本産業の中期見通し”，みずほ産業調査，Vol.66，pp.174-197（2020）
- 2) 吉村，渡邊，北嵐，川端，藤森，二之湯：“適用拡大に向けた教示作業自動化への取り組み”，川崎重工技報，Vol.178，pp.34-37（2017）
- 3) AI-SCHOLAR：“マルチモーダル学習で未来が変わる”（2019）
- 4) Mercari Engineering：“マルチモーダルによる不正出品の検知”（2019）



宮崎 利彦



渡邊 雅之



本多 文博



山口 潤

人・モノの移動を自動化・省人化する自律オフロード四輪

Autonomous Off-road vehicles Enables Automation and Labor-savings of Human and Material Transportation



石井 宏 志①* Hiroshi Ishii
 佐野 敦 司②※ Atsushi Sano
 長坂 和 哉③ Kazuya Nagasaka

高齢化による労働人口の減少や自然災害への対応などの社会課題解決に向けた取組みとして、作業の自動化・省人化を目指した自律走行車両の開発に取り組んでいる。

舗装路だけでなく山間部などの起伏のある地形においても、自律走行を可能とするための要素技術を確認した。また、路面粗さや旋回半径などを考慮した独自の最適自律走行ロジックを開発し、実車においてその優位性を検証した。

As an effort to solve social challenges, such as a decreasing labor force due to an aging society and natural disasters, we are developing autonomous vehicles with the aim of achieving automation and reducing labor.

We have demonstrated element technologies that allow such vehicles to drive autonomously not only on paved roads but also on uneven surfaces in mountains and other areas. Also, we have developed a unique optimal autonomous driving logic that takes into account road surface roughness, turning radius and other such conditions and verified its advantages with the actual vehicles.

まえがき

高齢化による労働人口の減少や自然災害への対応のため、作業の自動化・省人化を目指した自律走行車両が求められている。

1 背景

舗装路を対象とした自律走行車両の研究開発が進められているが、今後は未舗装路や山間部などの起伏のある地形においても、人・モノの移動において自動化や省人化が求められる可能性がある。

当社はオフロード多目的四輪車「MULE」シリーズを販売しており、これらは主に北米の大規模農場や工場などでの移動用・運搬用として使われている。そして、未舗装路や山間部なども走行できる走破性能と、車両自身の堅牢さで広く支持されている。自然災害やパンデミックなどにより人々の移動が制限される中、物流面を中心に自律化の取組みが加速している。

2 自律オフロード四輪

新型コロナウイルス蔓延の影響下でも、この「MULE」

シリーズの市場は伸長を維持しており、各社新しいフィーチャーを導入して市場競争は激化している。また、この「MULE」のような車両で行う作業についても、コスト削減の観点から自動化や省人化の要望が出てきている。

そこで、なるべく簡易なシステム構成で単純作業や運搬の省人化・無人化を可能とする自律走行車両を開発することとした。具体的には「MULE PRO-FX¹⁾」をベースとして、これが持つ走破性の高さ・堅牢さ・積載性能を生かしつつ、未舗装路走行特有の自律走行技術開発に着手した。

3 開発方針

(1) 商品コンセプト

「MULE」のユーザーから市場調査を行った結果、図1に示すように農場・牧場などを中心に幅広い用途で利用されている中で、物資の運搬や見回りとといった繰り返しを伴う定常作業が大きな割合を占めていることがわかった。

これに対し、従来の量産機種に自律走行機能をアドオンして、状況に応じて自動運転／遠隔操作／マニュアル操作の選択ができるようにした。これにより、量産機種ベースの自律走行機能をユーザーに体感してもらい、ユーザーからのフィードバックを得ながら、より良い車両を作り上げていく。



(a) 農場・牧場用



(b) 作業員の輸送



(c) レジャー用



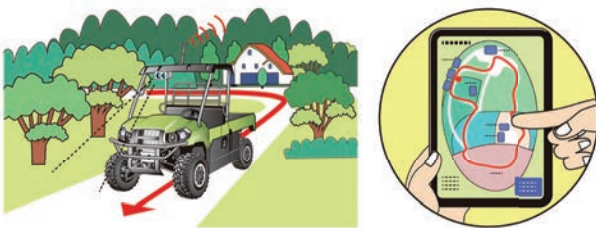
(d) 狩猟 (ハンティング)用

図1 市場調査の概要 (「MULE」ユーザーの用途)
Fig. 1 Overview of market research (for MULE users)

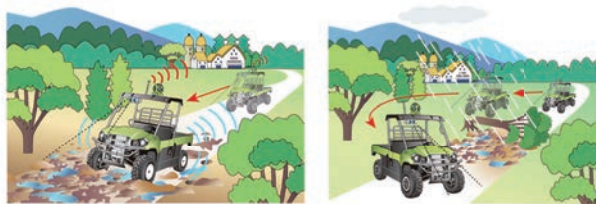
ユーザーとの対話を通じて、「MULE」の走破性の高さ・堅牢さ・積載性能を維持しながら、作業用に特化した無人専用の車体プラットフォームの提供も見据えている。

(2) ユースケース

農場・牧場で行われている定常作業の省人化および自動化をターゲットとして、実運用を想定したユースケースを設定した。図2に示すように、ユーザーは走行経路をタブレット端末などへ入力することで、指定した経路に沿うように自動で低速走行を行う。または、作業開始時に手動運転により経路を記録し、走行経路の指定に置き換えるケースも想定した。



(a) タブレットで指定した経路に沿った走行



(b) 路面環境の変化に応じた走行

(c) 障害物の検知・回避

図2 ユースケースの一例
Fig. 2 Examples of use cases

「MULE」が使用される路面環境は未舗装路であるため、自動走行する際に路面環境の変化に応じた車速の制御や障害物の検知・回避も必要となる。

4 技術課題

未舗装路で安全かつ経路に沿って走行するために解決すべき技術課題を示す。

(1) 悪路状況下での自律走行

一般的な舗装路を走行する車の自動運転システムでは、図3に示すようにカメラ・レーダ・LiDARのセンサ出力に基づき、道路構造をはじめとする走路環境および歩行者や車両などの交通参加者を認識するとともに、自己位置推定機能により全球測位衛星システムGNSS (Global Navigation Satellite System)・地図情報・カメラを用いて地図上での自車位置を認識する。リスク予測機能は、認識された情報を用いて、交通参加者の未来の行動・意図・潜在的なリスクを予測する。これらの上流機能が認識または予測した情報に基づいて、行動計画機能が安全かつスムーズな運転を実現できるように走行軌道と速度を決定する。そして車両制御機能が、駆動力 (パワートレイン)、制動力 (ブレーキ)、操舵量 (ステアリング) を決定する。

一方、未舗装路などのオフロード環境での走行では、泥はねや走行時の振動によってLiDARやカメラなどの環境認識センサが正常に機能しない場合もある。そのため、自律走行システムとして冗長性を持たせる意味でも、環境認識センサに依存しない車両の制御方法が必要となる。

(2) 実機サイズでの経路追従性

想定しているユースケースでは、起伏が激しく路面環境も逐次変化する。車両の積載条件もさまざまであり、自律走行中に積載物の落下または車体の転倒といったリスクも考えられる。そのため、上記のような路面条件において従来のGNSSをベースとした経路追従機能で走行可能かどうか、走行シミュレーションおよび実機サイズでの走行試験により検証する必要がある。

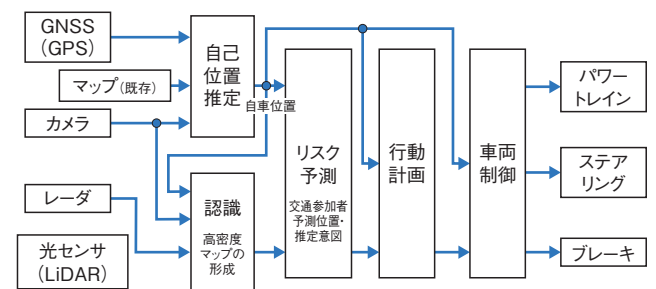


図3 自動運転システムの概念図
Fig. 3 Concept of autonomous driving system

5 要素技術の開発

技術課題で示した「悪路状況下での自律走行」に対して、車体挙動をもとにした悪路状況推定ロジックの構築に取り組んだ。環境認識センサに依存せずに、悪路を安全かつ効率的に走行できるような速度計画作成ロジックを、以下のように構築した。

- 初回走行時の車体挙動から、経路の路面粗さを推定
- 路面粗さと旋回半径に応じた制限速度を設定
- タイヤ力の摩擦円範囲内で加減速を最大化

(1) 路面粗さの推定

走行中の車体挙動から路面粗さを推定するためには、路面粗さと相関の強い車体バネ上加速度・車速・サスペンションストロークなどの計測項目を用いる必要がある。

この中で、計測が容易である車速とバネ上加速度を用いて推定を行うことにした。実使用条件では走行の都度積載条件が変化することもあり、バネ上振動加速度に影響するため積載荷重の違いによる影響も検討する必要がある。

車速・加速度・積載条件が既知である場合に路面粗さを推定可能であるか検証するために、図4に示す路面粗さを変えた3パターンの走行路面において、想定される車速で走行シミュレーションを実施した。路面の凹凸の程度および周波数成分を知る方法としてパワースペクトル密度PSDで示されることが一般的であるため、各路面の粗さをPSDで整理した。シミュレーションから得られた各走行路面別の車速とバネ上加速度の関係を図5に示す。車速とバネ上の上下方向加速度RMSおよび積載条件が既知である場合に、路面粗さの推定が可能である。

(2) 路面粗さと旋回半径を考慮した車速制御

上記の検討で得られた路面粗さの情報および設定された経路情報をもとに、悪路状況下で車速制御の指標となる制

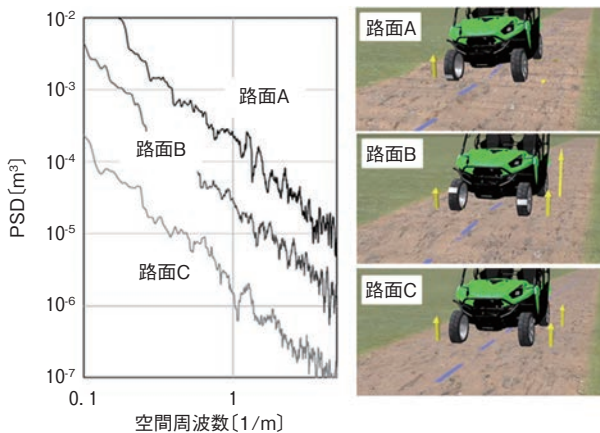


図4 シミュレーションに用いた路面の粗さ
Fig. 4 Roughness of the road surfaces used for simulation

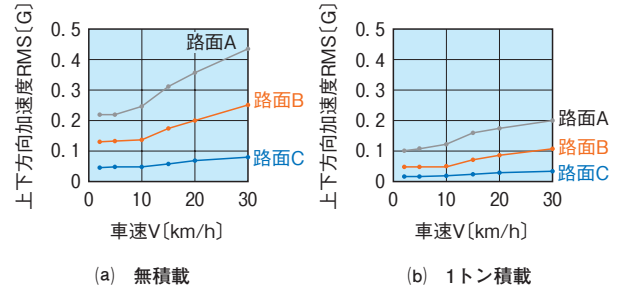


図5 各路面における車速、バネ上加速度の関係
Fig. 5 Relationship between vehicle speed and vertical acceleration

限速度を設定した。制限速度は路面粗さに反比例すると仮定し、路面粗さの代表値として10km/hで走行した場合に推定される値をもとに算出した。また、曲率半径の小さいカーブを走行する際に、積載物の落下を防ぐため旋回時に発生する横加速度が既定値以下となるように、制限速度を設定した。

(3) タイヤ力の摩擦円を考慮した加減速

タイヤの特性上、摩擦円範囲内の力しか生み出すことはできない。つまり、悪路走行中で摩擦円自体が小さくなっている場合や旋回中で横力を発生している場合は、発生可能な前後力が小さくなる。これを考慮して、前後加速度が上限値以下となるように制限速度を設定した。

6 走行試験

技術課題で示した「実機サイズの経路追従性」を検証するために、「MULE PRO-FX」をベースに改修した試作車を開発し、平坦路および起伏を有する悪路状況下での走行試験²⁾を実施した。

(1) 平坦路での走行試験

実機サイズでの自動走行パラメータのチューニングを目的として、平坦路での走行試験を実施した。図6に示すように、最大速度10km/hで通過点を設定して、四角形周回コースと8の字周回コースを精度良く走行できることを確認した。また、遠隔操作によるユースケースも想定して、ラジコン操作による走行制御も確認した。

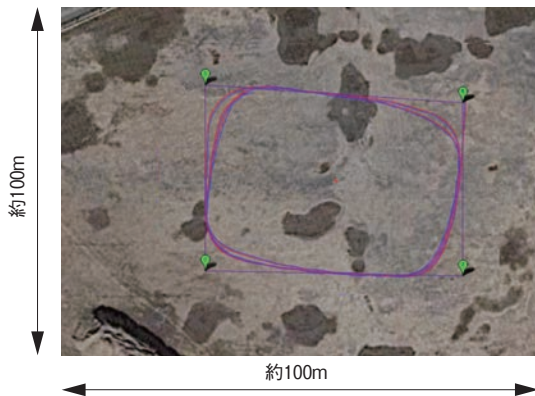
(2) 起伏を有する悪路状況での走行試験

起伏を有する路面での走行試験結果を示す。図7ではあらかじめ8の字周回コースとして通過点を設定し、GNSSによる経路追従走行試験を実施した。

四角形周回コースにおける最大速度10km/hと15km/hでの走行軌跡をそれぞれ図7(a)と図7(b)に示す。最大速度10km/hでは精度良く走行できることを確認した。一方、最大速度を上げていくとカーブの際に大回りして、経路追



(a) 走行状況



(b) 走行経路

図6 平坦路での走行試験
Fig.6 Self-driving test on a flat road

従性の精度が悪くなることが確認された。以上のように車体の慣性影響により、平坦路では見られなかった旋回時の経路追従性の課題が明らかとなった。今後、車両の制御およびスロットル・ブレーキなどのハード側でも対策が必要となる。

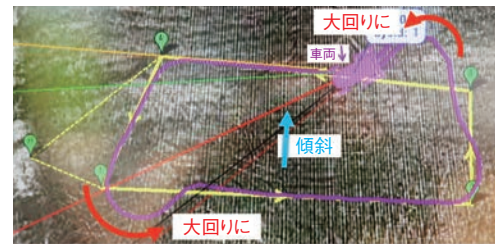
あとがき

労働人口の減少や自然災害への対応などの社会課題解決に向けて、作業の自動化・省人化を目指した自律走行車両の開発に取り組んでいる。

基本的な技術開発を完了させ、今後は国内自治体と協力して実証実験ステージへ移行する。具体的には農場や林道で実際の作業の代替として自律四輪による実証実験を行い、性能や利便性について確認していく。現地のユーザーを始めとするマーケットとの対話を通じながら最適なシステムを構築し、早期の上市を目指す。



(a) 最高速度10km/h



(b) 最高速度15km/h



(c) 傾斜のようす

図7 起伏路面での走行試験
Fig.7 Self-driving test on an uneven surface

参考文献

- 1) 久田, 高橋, 糸尾, 高馬: “オフロード多目的四輪車「MULE PROシリーズ」の開発”, 川崎重工技報, No.180, pp.24-27 (2019)
- 2) 川崎重工業モーターサイクル&エンジンカンパニーの公式YouTubeチャンネル: “Kawasaki RIDEOLGY meets SELF-DRIVING / 自律走行自動運転” (2020)



石井宏志



佐野敦司



長坂和哉

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

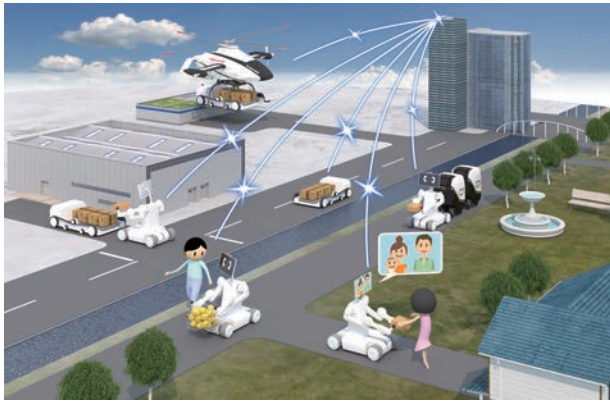


図2 シームレス物流ソリューションのコンセプト
Fig. 2 Concept of seamless logistics solution

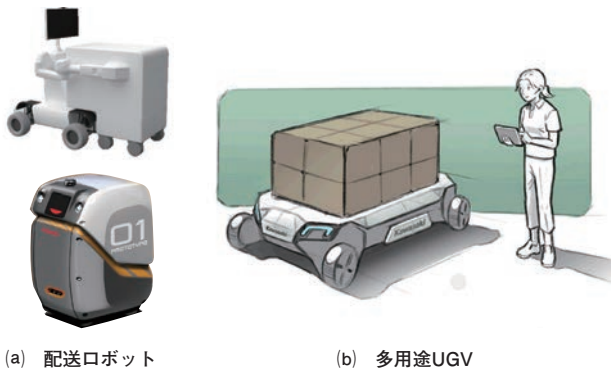


図3 配送ロボットと多用途UGV
Fig. 3 Delivery robot and multi-purpose UGV

(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レー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



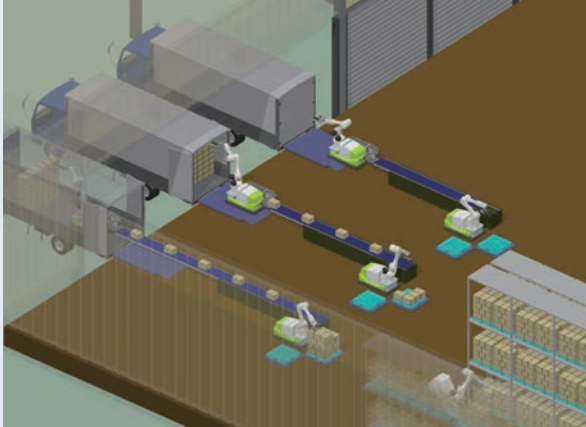
原 純 哉



絹川 悠 介

ロボットによる物流センターの自動化

Automating Logistics Centers by Using Robots



山根 秀士①	Hideshi Yamane
徐天奮②	Tianfen Xu
高山裕規③	Yuuki Takayama
春風圭佑④	Keisuke Harukaze
森尾宏平⑤	Kouhei Morio

社会全体が労働力不足に陥っており、物流業界も同様に深刻化している。さらに昨今の感染症問題によりEC(electronic commerce) 事業が急成長を遂げた状況からも、物流業界全体の自動化への関心は高い。まずは自動化要求の高いコンテナからの荷降しやバラ積みワークのピッキングおよびパレタイズ/デパレタイズについて、3Dビジョンなどのセンシング技術を用いて自動化に取り組んでいる。

Society as a whole is experiencing a labor shortage, and the logistics industry is experiencing a similarly severe shortage. Meanwhile, due to the current problem of the infectious COVID-19 disease, the electronic commerce (EC) business has been growing rapidly. In these situations, the entire logistics industry is extremely interested in automation and there is a strong demand to use automation for devanning, picking bulk workpieces, palletizing and depalletizing. Focusing on these processes first, we are working on automating logistics operations by using 3D vision and other sensing technologies.

まえがき

社会全体が労働力不足に陥っており、物流業界においても同様に深刻化している。また、昨今の感染症問題によりさらにEC需要に拍車がかかっている状況も相まって、業界自体の自動化への関心も高まっている。

1 背景

物流センターでは、入荷された荷物が行き先別に仕分けられて出荷が行われる。荷物が保管されずに直接出荷される宅配ターミナルに対して、物流センターには開梱・棚入れ保管・種類別の仕分けが加わる。

物流センターでの作業工程は、図1に示すように入荷工



図1 物流センター内の工程
Fig.1 Processes in a logistics center

程と出荷工程に大別される。これらの工程においては、一部自動化が進められているが人手による作業も多く残っている。物流センターの工程別従業員比率およびマテハンメーカーやユーザーへの自動化ニーズに関するヒアリングにおいては、人件費抑制やヒューマンエラー防止に対する要求が高い。これらを総合すると、工程別ではピッキングが最もニーズがあり、棚入れ・荷降ろし・検品・荷積みも高い。

これまでの自動化設備は、単機能ソリューションがほとんどを占め、単機能であるためすべての作業工程に自動化を応用することが難しかった。しかし、自動搬送車とパレタイズ/デパレタイズロボットあるいはパレタイズ/デパレタイズロボットと画像認識のように、機能を組み合わせることで対応可能となる。

最終的には物流センター全工程そして宅配ターミナルへの自動化拡大を目指す。当社のロボット技術と画像認識技術の応用で実現可能な適用であること、また市場規模が大きく自動化ニーズの高い作業工程である荷物の積み降し(バンニング/デバンニング、パレタイズ/デパレタイズ)とピッキングを参入工程として選定した。

2 バンニング/デバンニング

コンテナ内のケースの荷降しや荷積み作業は、2mを超える高所作業かつ重量物も扱うので危険を伴う。また現場は屋外が多く過酷な作業である。このためデバンニングは国内需要も多く、自動化要求も高い。

(1) 技術課題

コンテナへのアクセスは後方の扉からのみなので、ケースの画像認識やケースの把持および搬送も後方からのみ可能である。また内部のケースは必ずしも整然と積み上げられているとは限らない。物流センターでのコンテナの待機時間は2時間以内の場合が多く、超過すると追加料金が発生する。ケースにダメージを与えず搬送することも重要である。

以上のような条件を達成するため、荷姿が不定で作業方向の制限があるなか、所定内の処理時間でケースにダメージを与えずに搬送することが技術課題となる。

(2) これまでの取組み

コンテナ内に積まれたケースのビジョン認識において、多方向から撮影して荷姿情報を得ることは壁との干渉やサイクルタイムの観点からも難しい。そこで3Dカメラをロボットハンドに搭載し、対象の三次元位置を計測してロボットで位置補正を行うソフトウェア「K-VStereo」を採用した。図2に示すように3Dカメラ・ビジョンPC・ロボットコントローラからなるシンプルな構成で、単載認識から開発を着手した。



図2 デバンニングにおける「K-VStereo」のシステム構成
Fig.2 Configuration of the K-VStereo system for devanning

ケースの三次元的な傾きは、その計測面の三次元点群からXYZ軸それぞれの回転角度を算出して、その回転角度に合わせてロボットの補正動作を行う。壁との干渉回避も備えており設定以上の傾斜を検出するとロボットは停止し、作業者がケースを取り除くか整列させ、自動運転を継続させる。

デバンニングハンドは、図3に示すようにロボット外部軸であるサーボモータがベルトを介して吸着ユニットを駆動する。このベルトは吸着されたケースを載せるコンベアベルトの役割も担っており、ケースを優しくハンド内に引き込む。床上のケースは吸着ユニット内の昇降機能で一旦持ち上げられてハンド上に引き上げる。3Dカメラは吸着ユニット内に配置している。

具体的なケースとして、1コンテナ分1,000個を2時間以内に処理することを想定した。7.2sec/個の処理能力に関する要求仕様に対して、ロボット動作は平均12.5sec/個だったので、サイクルアップのため横置き上下2段のケースを同時に搬送することを検討した。上段下段ともに横向きと認識すれば2個取り可能と判定する。条件により2個取り不可の場合は、ズレ量にしきい値を設けて自動で1個を取り出す機能も備えている。2個を同時に取る場合は平均6.25sec/個を達成した。

図4に示すアームの走行は、自動デバンニングで自動搬送車にロボット搭載を計画していた中西金属工業株式会社と協業した。ロボットはコンテナの種類による天井高さの

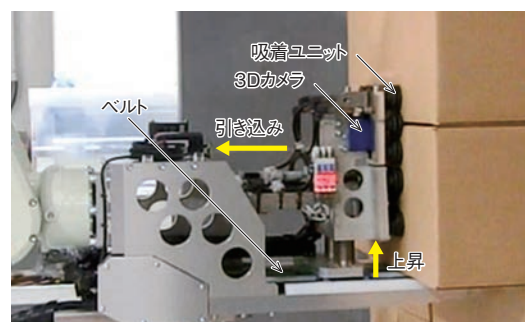


図3 デバンニングハンド
Fig.3 Devanning hand



図4 走行アーム
Fig. 4 Traveling arm



図5 実際のコンテナを使用した検証
Fig. 5 Verification using actual containers

違いにも対応可能な動作範囲を持った「RS080N」を採用した。また、デバンニングは作業エリアと待機エリアの往復を基本としており、この運用では電源の有線接続が可能でロボット用バッテリーを搭載する必要がないことから、自動搬送車の小型化が可能となった。

(3) 今後の取組み

図5に示すように実際の物流センターでコンテナを使用したテストおよびデモ実施の実績を得た。また、ハンドやビジョンの無いベース機のテスト用として販売実績もできた。

これにより多くの声を聞く機会が増え、多品種対応や速度アップについての要求が高いことを再認識している。今後は混載AIによる多品種対応デバンニングとさらなる高速化について開発を進める。

3 ピッキング

ピッキングは、伝票や指示書などに基づいて、出荷するピース（商品の最小単位）を取出して集める工程であり、物流倉庫内において非常に多くの人手を要している。

(1) 技術課題

ピッキングは自動化の技術的ハードルが非常に高い。そ

の理由の一つは、ピッキング工程におけるピースの供給形態の不規則性にある。具体的には、ピースは折畳みコンテナや段ボール箱などの容器の中で整列しているとは限らず、荷崩れしていたり乱積みされていたりすることもある。このような状況下でロボットがピースを取出すためには、容器との衝突を避けつつ、周囲のピースも回避する必要がある。あらゆる状況を想定した動作をさせるロボットプログラムの作成は、専門家であっても困難を極め、膨大な手間と時間がかかる。したがって、ピッキングの自動化を実現するためには、ロボットプログラム作成の手間を低減することが不可欠である。また、人間の作業と比べると現状のロボットによるピッキングは遅く、作業の高速化が課題である。

(2) これまでの取組み

ピッキングにおけるロボットプログラム作成の負荷軽減に向け、図6に示すように、3次元視覚センサの情報をもとにロボットの動作経路を自動生成するシステムを開発した。本システムでは、視覚センサにより取得した2次元・3次元画像からコンテナ内のピースのピッキングポイントを特定し、その位置を終点としたロボット経路を自動生成する。

経路の生成にあたっては、シミュレータ内でロボットと周囲との3次元的位置関係を再現し、衝突を回避できる経路を探索的に求めている。なお、シミュレータ内の3次元情報は、ロボットなど既知のものは事前に3D形状モデルとして与え、荷崩れして変化するピースの位置関係は視覚センサから取得している。

また、ロボットによるピッキングのスループットをさらに向上するため、複数のピースを連続で取出す技術を開発している。取出し後のピースを置きに行く動作を1回にまとめて、作業を効率化している。

これは、図7に示すように可動式のピース保持部を複数もつロボットハンドと、本ハンドの動作も考慮した経路生成技術により実現する。保持部Aで先に保持したピースも考慮して、保持部Bでのピッキングにおいても衝突しない

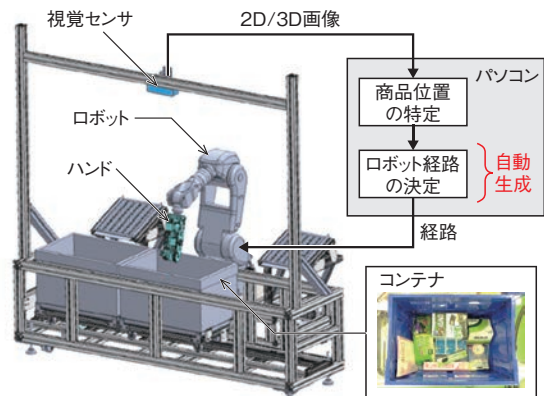


図6 ピッキングシステムの構成
Fig. 6 Configuration of the picking system

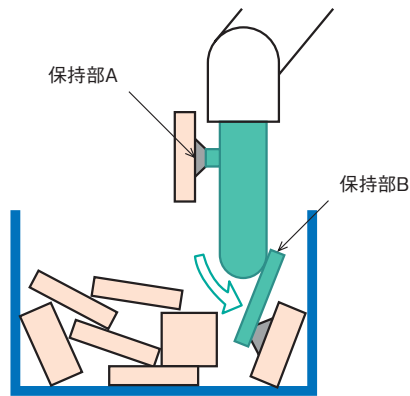


図7 隅のピースの取出し
Fig.7 Picking a piece placed in a corner

経路を生成している。また、可動式の保持部を活用することで、コンテナの隅のピースの取出しも可能である。供給側でピースを厳密に整列する必要がなく、人間が段取りをする手間を軽減する効果が期待できる。

(3) 今後の取組み

ピッキングのもう一つの大きな課題として、多品種のピースへの対応がある。現時点ではピッキング対象を吸着可能な小箱系のピースに限定しているが、今後は適用対象を拡大するために視覚センサやロボットハンド技術の高度化を進める。

4 パレタイズ／デパレタイズ

(1) 技術課題

異なる箱サイズや袋などの不定形品が混在した状態においては、認識技術だけでなく把持搬送ツールの開発も非常に難しくなる。また、パレタイズでは積載計画が重要なので、事前情報の無い混載パレタイズは技術的難易度が非常に高い。

(2) これまでの取組み

他社も開発中の混載対応をいち早く市場に展開するため、アーム動作に関わるコア技術は当社にて、認識技術はスタートアップとの協業により獲得して、早期製品化を目指すこととした。スタートアップ企業のDexterity社は画像処理に関するAI技術に優れており、2019年から共同開発契約を締結して、パレットとケースの組み合わせ適用から開発した。

3Dカメラでサイズを把握したケースをロボットが搬送する。パレット上空には複数の3Dカメラを設置し、積載情報から最適な置き位置を決定する。搬送されてくるケースの順序情報は無く、リアルタイムで積載を行う。基本的な形状のケースは事前学習を必要とせず、把持・吸着位置を自動で生成する。

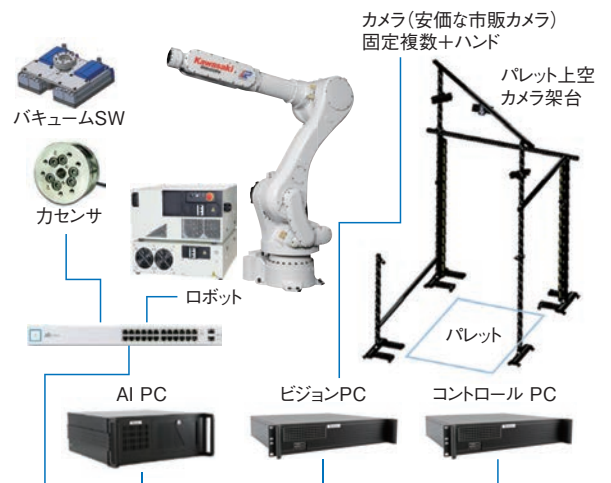


図8 パレタイズにおけるAIロボットビジョンシステム構成
Fig.8 Configuration of the AI robot vision system for palletizing

図8に示すように、システムは動作を生成するコントロールPC・混載AIを搭載したAI PC・画像処理用ビジョンPCで構成される。安価な3Dカメラを複数台使用することで機能とコストを両立させることができた。

iREX2019国際ロボット展に混載パレタイズ／デパレタイズを共同出展して、これを機に日本物流業界から多数の関心が示されている。

(3) 今後の取組み

カゴ車への対応や箱以外の搬送など適用範囲を拡大させて、システム自体の能力向上を目指す。

あ と が き

労働力不足への対応の一環として、物流センターの自動化に取り組んでいる。各工程に共通の課題として多品種対応と高速処理化があり今後は、それら課題を解決しつつ、物流センターへの導入を進めていく。

検証にあたり協力いただいた関係会社に感謝の意を示す。



山根 秀士



徐 天 奮



高山 裕 規



春風 圭 佑



森尾 宏 平

高い走行性能と環境性能の両立を目指すモーターサイクルの電動化／ハイブリッド化

Development of Electric and Hybrid Motorcycles Aimed at Achieving Both High Riding and Environmental Performance



陳 尾 健 一①	Kenichi Jino
細 谷 和 弘②	Kazuhiro Hosoya
北 川 英 作③	Eisaku Kitagawa
大 林 恒 介④	Kosuke Obayashi
河 合 大 輔⑤	Daisuke Kawai
寺 井 昭 平⑥	Shohei Terai

地球温暖化防止のためCO₂フリーやカーボンニュートラルの実現が求められており、自動車業界においてもその実現に向けて取り組んでいる。

こうした社会情勢を踏まえ、当社はモーターサイクルを電動化／ハイブリッド化して、高い走行性能と環境性能を両立した近未来モビリティとして提供すべく、モーターサイクルパッケージに適した電池やモーターの開発（小型・高出力化）に取り組んでいる。

CO₂-free and carbon-neutral are required to prevent global warming. In the automotive industry as well as other industries, efforts are being made to achieve CO₂-free and carbon-neutral.

Given this social situation, Kawasaki is developing batteries and motors that are suitable to be packaged into motorcycles (with reduced size and increased power) in order to develop electric and hybrid motorcycles and offer them as near-future mobility that has both high riding and environmental performance.

まえがき

地球温暖化防止のためCO₂フリーやカーボンニュートラルの実現が求められている。経済産業省は関係省庁と連携し「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」を策定した。この中では2030年代半ばでの新車（乗用車）の電動化が検討されている。これを受けて、自動車業界としても、カーボンニュートラルを目指す宣言の実現に向けて全力でチャレンジすることを表明した。

1 背景

環境問題に対する解決策として、都市部に低排出ゾーンLEZ（Low Emission Zone）を設定することで、環境ステッカー貼付の義務付けと環境基準をクリアできない二輪車の乗入れが規制されている地域がある。また、ガソリン車やディーゼル車の新車販売規制の動きは法制化に至る地域はまだ少ないものの多くの国で計画されており、電動化への動きが加速している。電動車の普及加速が求められつつある社会情勢に対し、当社は新たなソリューションを世に問いかけるべくモーターサイクルのハイブリッド化にも注

力して近未来モビリティとして提供すべく取り組んでいる。

2 開発概要

高い走行性能と環境性能の両立を実現する新たな製品コンセプトを確立すべく、そのモーターサイクルパッケージに最適となる「電池」「モーター」「システム」などの電動化コア技術の開発を進めている。

(1) 電動モーターサイクルのコンセプト

電動モーターサイクルの有すべき特性として、静音・ゼロエミッション・「Fun to Ride」（走る喜び、操る楽しさ）を定めた。

低騒音・ゼロエミッションを実現しつつ、従来のモーターサイクルにはない電動特有の「Fun to Ride」（走る喜び、操る楽しさ）を創出する。

(2) ハイブリッドモーターサイクルのコンセプト

ハイブリッドモーターサイクルの有すべき特性として、従来のモーターサイクルと同等以上の走行性能と利便性・低速走行時における静粛性と高い操縦性・低エミッションを

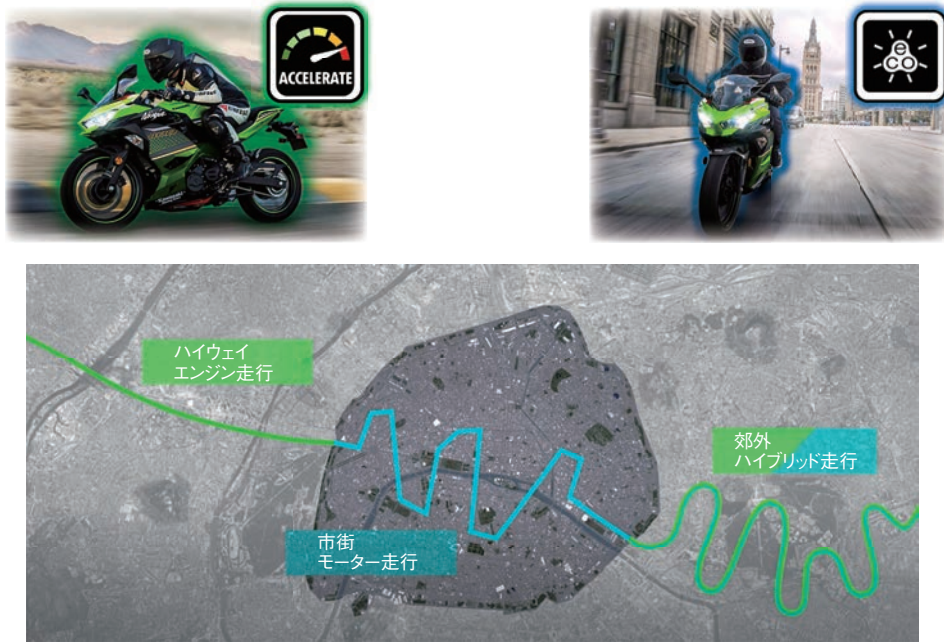


図1 製品コンセプト
Fig. 1 Figure 1 Product concept

定めた。

図1に示すように、従来のモーターサイクル同様に郊外や高速走行時の快適性を満足しつつ、市街地などにおいては電動走行を可能とすることで静粛性・高い操縦性・エミッション低減を実現する。

(3) 技術課題

モーターサイクルの電動化／ハイブリッド化を実現する上で重要となる技術課題を以下に示す。

① 電池の小型・高出力化（共通）

胸がすくような加速，頻繁な加減速への対応，モーターサイクルに搭載可能なコンパクト性，低コストを実現する電池を開発する必要がある。

② モーターの小型・高出力化（共通）

高頻度運転領域での高効率化，モーターサイクルに搭載可能なコンパクト性，耐環境（冷却・耐振）性を有するモーターを開発する必要がある。

③ 電動モーターサイクルのコンポーネント配置とFun創出（電動化システム）

電池・モーターなどのエンジン車両にはないコンポーネントを効率的に配置するとともに，エンジン車両同様に操作して楽しい車両とする必要がある。

④ モーターとエンジンの協調制御（ハイブリッド化システム）

モーターとエンジンのそれぞれの長所を活用して，トルク特性と燃費を向上させる必要がある。

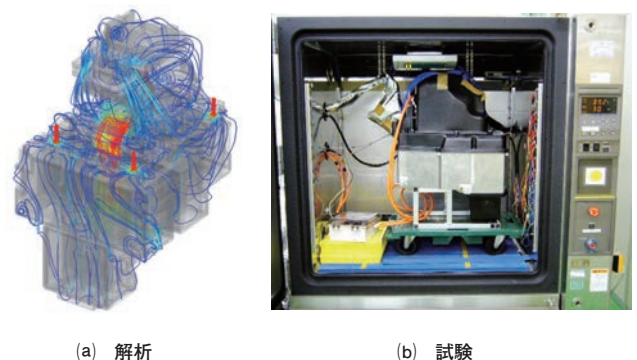
3 要素技術開発

(1) 電池の小型・高出力化

電池には鉛蓄電池・ニッケル水素電池・リチウムイオン電池など多くの種類があるが，小型・高出力化を実現するにあたり，高出力かつ高エネルギー密度であることに加えて，比較的 low コストであるリチウムイオン電池を選定した。

高頻度で充放電を繰り返すとバッテリーが高温となり劣化を招くため，効率的に冷却する必要がある¹⁾。この課題に対しては，図2に示すようなCFDなどの解析と試験による確認を繰り返すことで最適化を図っている。

セルの出力性能は，状態により大きく変化することが知られている。そこで，温度・充電状態・劣化状態といったパックの状態の検知技術を開発するとともに，図3に示す



(a) 解析 (b) 試験

図2 バッテリーパック冷却最適化
Fig. 2 Optimization of battery pack cooling

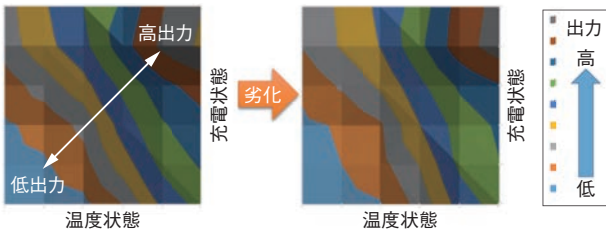


図3 バッテリーパック状態検知
Fig.3 Detection of battery pack condition

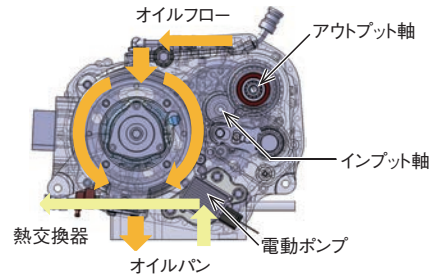


図5 駆動モーター油冷却構造
Fig.5 Oil cooling structure of the traction motor

ように検知した結果を基に出力性能を推定し、車両制御へ反映させる技術も併せて開発している。

(2) モーターの小型・高出力化

駆動用モーターには、エンジンが不得意とする低回転の高トルク特性・最高速回転での高速回転特性・高頻度運転領域での高効率化が要求される。また、限られたスペースにモーターを収めることが重要であり、電動モーターサイクルとハイブリッドモーターサイクルともに、低コスト化のためにも小型軽量化が要求される²⁾。

図4に示すように、モーターサイクルで高頻度に運転される領域に着目し、その領域で最も効率が高くなるようなモーターを目指し設計している。また、ハイブリッドモーターサイクルではエンジンとモーターを組み合わせ切り替えながら走行するため、エンジンが不得意とする低回転で高効率となるモーターを開発している。

高出力かつ小型化を目指すにあたり、大きな発熱量を小さな放熱面積で効率よく冷却するという課題があるため、高い抜熱能力を有する油冷式を採用した。油は絶縁性を持たせることが可能であり、モーター内部に油を流通してコイル・コア・磁石などの発熱部位を直接冷却することで、高い冷却効果を得ることができる。より高い冷却効果を得るために効率的に冷却できる流路を解析し、図5に示すような冷却構造を開発している。

にはないコンポーネントの配置を考慮する必要がある。特に電池に関しては、重心や動力配線の距離さらに感電対策や転倒時の保護などの要件を考慮する必要がある。

電動車両のコンポーネント構成の例を図6に示す。この車両は駆動電圧が高電圧となるため、ほとんどの高電圧部をバッテリーパックへ収めてフレーム内に配置している。これによって高電圧部を保護するとともに配線距離を短くすることを実現している。また、急速充電CHAdeMOコネクタを近傍に配置するなど、メンテナンス時も含めた取り扱いが容易な構造となっている。

電動車両は固定速とするのが一般的であるが、この車両には有段の手動変速機を搭載している。これにより、低速域のトルクが大きいモーター特性をより強く感じることができる。

また、モーターの回生ブレーキ量を操作して、調整できるレバーを図7のように装備し、操作している楽しさを感じることができる車両となっている³⁾。

(4) モーターとエンジンの協調制御

本開発のハイブリッドシステムは図8に示すようにモーターとエンジンとがクラッチを介して並列関係にあるパラレルハイブリッド方式である。モーターのみの動力で走行する状態と、モーターとエンジン双方の動力で走行する状

(3) 電動モーターサイクルのコンポーネント配置とFunの創出

電動車両においては、電池・モーターなどエンジン車両

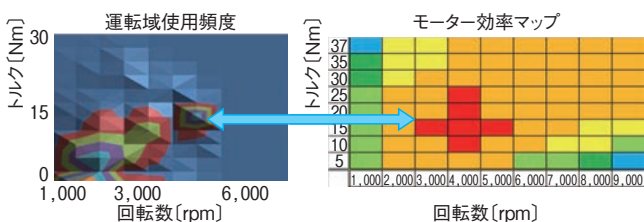


図4 駆動モーター高効率領域の最適化
Fig.4 Optimization of the high efficiency region of the traction motor

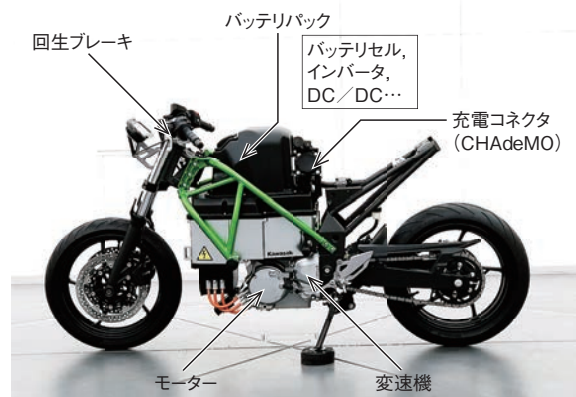


図6 電動車両コンポーネント
Fig.6 Electric vehicle components



図7 回生ブレーキ操作
Fig. 7 Regenerative brake operation

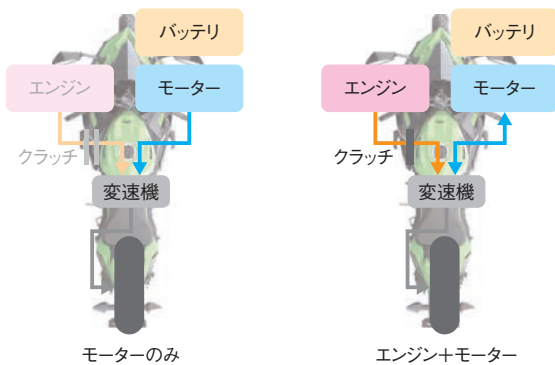


図8 ハイブリッドシステムの構成
Fig. 8 Hybrid system configuration

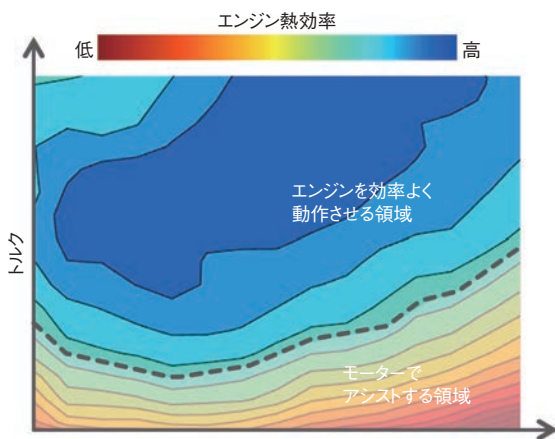


図9 エンジン熱効率特性
Fig. 9 Thermal efficiency characteristics of the engine

態とをクラッチによって切替えることが可能である。これにより、シチュエーションに応じて走行方法や動力分配を切替えることで、環境性能と走行性能の両立を実現する^{4,5)}。

一般的にエンジンは、図9に示すように出力しているトルクが低い領域ほど熱効率が低い特性を有する。そのため、エンジン車は発進や低速走行など、低トルク域を用いる走行で燃費が悪化する傾向がある。

ハイブリッドシステムはエンジンの苦手な低トルク域をモーターからのトルクでアシストし、システムレベルで熱効率の変化幅を小さくすることで燃費改善を図る。また、走行中にモーターを発電機として動作させてエンジンの動作点を発電負荷分高効率側にシフトさせることで、アシストで消費した電力を回復しつつ通常走行域の燃費も向上させるといった動力分配も実施可能である。

あとがき

すでに小型クラスの二輪車においては、世界的に電動車の製品化が徐々に進められつつある。その背景として、電池やモーターなどの技術進化により、当該クラスにおいて徐々に性能とコストのバランスがとれてきつつあることが伺える。

一方、中大型クラスの二輪車では、求められる性能が大きく異なる点からも、未だ解決すべき課題は多い。今後も本開発を継続し、製品化へ向けたコア技術の早期確立を目指していく。

また、将来の脱炭素化を見据えて、クリーンエネルギーである水素燃料を使用したモビリティ開発を検討中である。

参考文献

- 1) 特開2020 - 198271：“乗物の電池パック”
- 2) “ハイブリッド／電気自動車駆動モータ用電磁鋼板の最近の動向”，新日鉄技報，第393号（2012）
- 3) Y. Matsuda：“A Study of Electric Motorcycle”，Small Engine Technology Conference, 2014 - 32 - 0012（2014）
- 4) 特願2019 - 507482：“ハイブリッド車両”
- 5) 特開2020 - 097309：“ハイブリッド式リーン車両の制御装置”



陳尾健一



細谷和弘



北川英作



大林恒介



河合大輔



寺井昭平

特許 第6820404号

発明の名称：車両

発明者：松田 義基

—環境性能とFun to Ride とを両立するハイブリッドモーターサイクル—

当社は低炭素社会の実現に向けて、動力源としてモーターとエンジンを備えるハイブリッドモーターサイクル（図1）の開発に取り組んでいる。

ハイブリッド化にあたりバッテリーの搭載が必要となるが、二輪車はサイズが小さく、大容量のバッテリーの搭載が不可能であるため、エンジン駆動車のような航続距離を実現することは難しい。また、バッテリーの搭載による重量増は、二輪車の運転フィーリングを悪化させる。

このように、航続距離・運転フィーリングと言う観点から、ハイブリッド化は二輪車に乗る楽しさ（Fun to Ride）に大きな影響を与える。

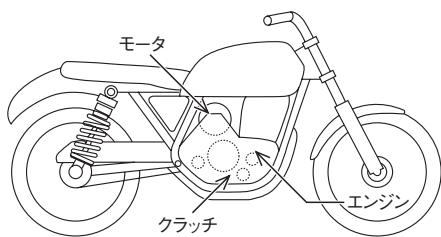


図1 ハイブリッドモーターサイクルの構成

本発明では、図2に示すようにモーターの出力軸が変速機入力軸に直結されるとともに、クラッチを介してエンジンの出力軸が変速機入力軸に接続されている。さらに、クラッチの接続・接続解除を電子制御することが可能となっており、モーターのみで駆動するEVモードとハイブリッドモードの二種類の駆動方式を実現することができる。

これにより、たとえば郊外ではハイブリッドモードで走り街乗りではEVモードで走るといったように、走行場所や距離に応じた駆動方式の最適化が可能となり、航続距離の低下を抑制できる。また、ライダーの運転に応じた駆動方式の選択が可能であることから、運転フィーリングも向上できる。このように、本発明により、環境性能とFun to Rideを持ち合わせたハイブリッドモーターサイクルを実現することができる。

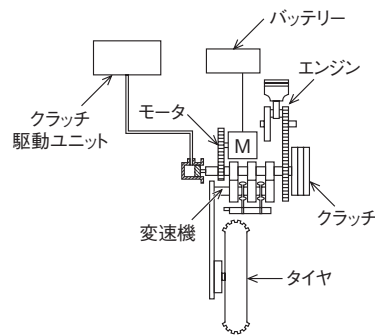


図2 ハイブリッドモーターサイクルの駆動系統

特許 第6871857号

発明の名称：ロボットシステム

発明者：橋本 康彦, 下村 信恭, 前原 毅, 掃部 雅幸, 黒沢 靖, 田中 繁次

—安全安心なリモート社会を支える遠隔操縦システム—

新型コロナウイルス感染症（COVID-19）をきっかけとした新しい生活様式（いわゆるニューノーマル）での安全安心なリモート社会では、人とロボットが互いの特長を生かして作業を分担する新しい形の遠隔操縦システムが求められている。「Successor」は、遠隔協調で熟練作業者の技能をロボットに伝承可能な新しいコンセプトのロボットシステムである。図1に示すように、作業者がコミュニケーターと呼ばれる操縦装置で遠隔地のロボットを操縦すると、このロボットが感じる力覚や触覚などの手元感覚がコミュニケーターで再現され、直感的なロボ

ット操縦が実現される。

本発明は、ロボットが自動動作する自動モード、作業者が操縦する手動モード、自動モードで動作するロボットを作業者の操縦で修正する修正自動モードの3つのモードを有し、さらに自動モードで動作するロボットの停止時に自動モードを継続するか否かを判定する継続判定部を有している。図2に示すように、自動モードで動作するロボットがワークを組付け位置に搬送して複雑な組付作業に直面した時点で、自動モードの継続判定が行われて手動モードに切り替わり、介入した作業者がコミュニケーターを操縦してワークの組付けを行うことが可能となる。

当社の「Successor」は、必要ときに必要なだけ作業者を介入させる遠隔操縦システムであり、新しい形の人とロボットの協調が可能となる。これにより、安全安心なリモート社会の実現に大きく貢献することができる。

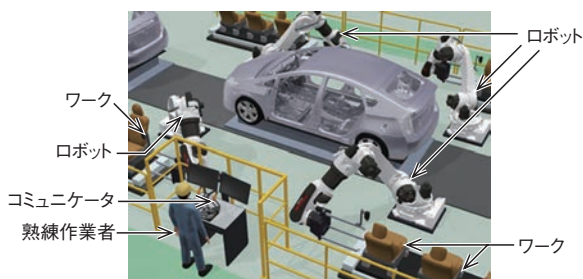


図1 「Successor」の全体構成

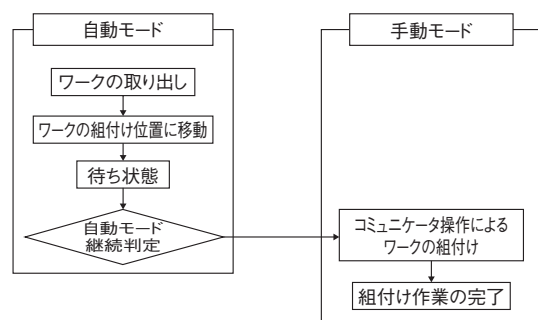


図2 「Successor」の協調制御

事業セグメント別主要製品／生産拠点

事業セグメント	主 要 製 品	主要製品拠点
陸・空輸送システム	・航空機（固定翼機、ヘリコプター）、誘導機器、電子機器、宇宙関連機器、シミュレータ	岐阜工場 名古屋第一工場 名古屋第二工場 Kawasaki Motors Manufacturing Corp., U.S.A.（アメリカ）
	・航空機部品、標的システム、ロケット部品、宇宙機器、航空機整備・改造	日本飛行機(株)・横浜工場 日本飛行機(株)・厚木工場
	・航空機用エンジン、航空機ギアボックス	明石工場 西神工場
	・鉄道車両、新交通システム、貨車	兵庫工場 播磨工場 Kawasaki Motors Manufacturing Corp., U.S.A.（アメリカ） Kawasaki Rail Car, Inc.（アメリカ）
	・ロータリー除雪車、凍結防止剤散布車 ・軌道モーターカー、重量物運搬車	(株)NICHIJYO・曙工場 (株)NICHIJYO・稲穂工場
モーションコントロール & モータービークル	・建設機械用油圧機器、産業機械用油圧機器・装置 ・船用舵取機、船用各種甲板機械 ・産業用ロボット ・医薬・医療ロボット	明石工場 西神戸工場 Kawasaki Precision Machinery (U.K.) Ltd.（イギリス） Kawasaki Precision Machinery (U.S.A.), Inc.（アメリカ） Wipro Kawasaki Precision Machinery Private Limited（インド） 川崎精密機械（蘇州）有限公司（中国） 川崎春暉精密機械（浙江）有限公司（中国） 川崎（重慶）機器人工程有限公司（中国） Flutek, Ltd.（韓国）
	・油圧プレス	川崎油工(株)
	・モーターサイクル、ATV（四輪バギー車）、レクリエーションユティリティビークル、多用途四輪車、パーソナルウォータークラフト「ジェットスキー®」 ・汎用ガソリンエンジン	明石工場 加古川工場 Kawasaki Motors Manufacturing Corp., U.S.A.（アメリカ） Kawasaki Motores do Brasil Ltda.（ブラジル） India Kawasaki Motors Pvt. Ltd.（インド） Kawasaki Motors Enterprise (Thailand) Co., Ltd.（タイ） P.T. Kawasaki Motor Indonesia（インドネシア） Kawasaki Motors (Phils.) Corporation（フィリピン） Kawasaki Motores de Mexico S.A. de C.V.（メキシコ） 常州川崎光陽発動機有限公司（中国）* Bimota S.p.A.（イタリア）*
エネルギーソリューション & マリン	・各種産業用プラント（セメント、化学、搬送プラント） ・各種陸船用ボイラ（発電事業用ボイラ、産業用ボイラなど） ・ごみ処理設備 ・各種低温貯蔵設備（LNGタンク） ・シールド掘進機、トンネル掘削機	播磨工場 安徽海螺川崎節能設備製造有限公司（中国）* 安徽海螺川崎裝備製造有限公司（中国）* 上海海螺川崎節能環保工程有限公司（中国）*
	・船用ガスタービンエンジン ・ガスタービン発電設備、コージェネレーションシステム	明石工場 西神工場
	・蒸気タービン、ディーゼル機関、ガスエンジン、大型減速装置 ・船用推進装置（サイドスラスト、旋回式スラストなど） ・各種空力機械（天然ガス圧送設備、送風機など）	神戸工場 播磨工場 武漢川崎船用機械有限公司（中国）
	・空調機器、汎用ボイラ	川重冷熱工業(株)・滋賀工場
	・破碎機、環境関連機器	(株)アーステクニカ・八千代工場
	・LNG運搬船、LPG運搬船、油槽船、ばら積み船、コンテナ船、自動車運搬船、超高速船、艦艇、官公庁船	神戸工場 坂出工場 Kawasaki Subsea (UK) Limited（イギリス） 南通中遠海運川崎船舶工程有限公司（中国）* 大連中遠海運川崎船舶工程有限公司（中国）*

- [Cubic-S], [duAro], [Successor], [Successor-G], [Wizard], [eRoboWork], [Nyokkey], [Kaleido], [Ninja], [K-ROSET], [MULE], [K-RACER], [K-VStereo] は、川崎重工工業株式会社の商標または登録商標です。

- [hinotori], [hinotori] ロゴは、株式会社メディカロイドの商標または登録商標です。

 **hinotori hinotori**

©Tezuka Productions

- 本誌に記載されている社名、商品名、サービス名などは、それぞれ各社が商標として使用している場合があります。

川崎重工技報 第183号

2021年10月1日

編集・発行 兵庫県明石市川崎町1番1号
川崎重工工業株式会社 技術開発本部

発行責任者 技術開発本部長 中谷 浩

発行人 技術開発本部 技術企画推進センター長
占部 博信

印刷 広島県広島市中区中島町9番6号
株式会社 秀巧堂

禁無断転載

事業所・生産拠点・研究開発拠点

東京本社

〒105-8315 東京都港区海岸1丁目14番5号
Tel. 03-3435-2111 / Fax. 03-3436-3037

神戸本社

〒650-8680 兵庫県神戸市中央区東川崎町1丁目1番3号
(神戸クリスタルタワー)
Tel. 078-371-9530 / Fax. 078-371-9568

技術開発本部

〒673-8666 兵庫県明石市川崎町1番1号(明石工場内)
Tel. 078-921-1611 / Fax. 078-921-1867

北海道支社

〒060-0005 北海道札幌市中央区北5条西2丁目5番
(JRタワーオフィスプラザさっぽろ14階)
Tel. 011-281-3500 / Fax. 011-281-3507

東北支社

〒980-0021 宮城県仙台市青葉区中央1丁目6番35号(東京建物仙台ビル16階)
Tel. 022-261-3611 / Fax. 022-265-2736

中部支社

〒450-6041 愛知県名古屋市中村区名駅1丁目1番4号
(JRセントラルタワーズ41階)
Tel. 052-388-2211 / Fax. 052-388-2210

関西支社

〒530-0057 大阪府大阪市北区曽根崎2丁目12番7号(清和梅田ビル16F)
Tel. 06-6484-9310 / Fax. 06-6484-9330

中国支社

〒900-0013 広島県広島市中区八丁堀14番4号(JEI広島八丁堀ビル6階)
Tel. 082-222-3668 / Fax. 082-222-2229

九州支社

〒812-0011 福岡県福岡市博多区博多駅前1丁目4番1号
(博多駅前第一生命ビル)
Tel. 092-432-9550 / Fax. 092-432-9566

沖縄支社

〒908-867 沖縄県那覇市久茂地3丁目21番1号(國場ビル)
Tel. 098-867-0252 / Fax. 098-864-2606

岐阜工場

〒504-8710 岐阜県各務原市川崎町1番地
Tel. 058-382-5712 / Fax. 058-382-2981

名古屋第一工場

〒498-0066 愛知県弥富市楠3丁目20番地3
Tel. 0567-68-5117 / Fax. 0567-68-5161

名古屋第二工場

〒490-1445 愛知県海部郡飛鳥村金岡7番地4
Tel. 0567-68-5117 / Fax. 0567-68-5161

神戸工場

〒650-8670 兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号
Tel. 078-682-5001 / Fax. 078-682-5503

兵庫工場

〒652-0884 兵庫県神戸市兵庫区和田山通2丁目1番18号
Tel. 078-682-3111 / Fax. 078-671-5784

西神工場

〒651-2271 兵庫県神戸市西区高塚台2丁目8番1号
Tel. 078-992-1911 / Fax. 078-992-1910

西神戸工場

〒651-2239 兵庫県神戸市西区榎谷町松本234番地
Tel. 078-991-1133 / Fax. 078-991-3186

明石工場

〒673-8666 兵庫県明石市川崎町1番1号
Tel. 078-921-1301 / Fax. 078-924-8654

加古川工場

〒675-0112 兵庫県加古川市平岡町山之上向原170番地
Tel. 079-427-0292 / Fax. 079-427-0556

播磨工場

〒675-0180 兵庫県加古郡播磨町新島8番地
Tel. 079-435-2131 / Fax. 079-435-2132

坂出工場

〒762-8507 香川県坂出市川崎町1番地
Tel. 0877-46-1111 / Fax. 0877-46-7006

海外事務所

台北事務所

15F, Fu-key Bldg., 99 Jen-Ai Road, Section 2, Taipei, Taiwan
Tel. +886-2-2322-1752 / Fax. +886-2-2322-5009

現地法人事務所

Kawasaki Heavy Industries (U.S.A.), Inc.

60 East 42nd Street, Suite 2501, New York, NY 10165 U.S.A.
Tel. +1-917-475-1195 / Fax. +1-917-475-1392

Kawasaki do Brasil Indústria e Comércio Ltda.

Avenida Paulista, 542-6 Andar, Bela Vista, 01310-000, São Paulo, S.P., Brazil
Tel. +55-11-3289-2388 / Fax. +55-11-3289-2788

Kawasaki Heavy Industries (U.K.) Ltd.

4th Floor, 3 St. Helen's Place, London EC3A 6AB, U.K.
Tel. +44-20-7588-5222 / Fax. +44-20-7588-5333

Kawasaki Heavy Industries Middle East FZE

Dubai Airport Free Zone, Bldg. W6, Block-A, Office No.709,
P.O. Box 54878, Dubai, UAE
Tel. +971-4-214-6730 / Fax. +971-4-214-6729

Kawasaki Heavy Industries (India) Pvt. Ltd.

Room No: 1777, ITC Maurya, Sardar Patel Marg, Diplomatic Enclave,
New Delhi - 110021, India
Tel. +91-11-4358-3531 / Fax. +91-11-4358-3532

Kawasaki Heavy Industries (Singapore) Pte. Ltd.

6 Battery Road, #23-01, 049909 Singapore
Tel. +65-6225-5133 / Fax. +65-6224-9029

Kawasaki Trading (Thailand) Co., Ltd.

12Ath Floor, Unit B, Kamolsukosol BLDG, 317 Silom Road,
Bangrak, Bangkok Thailand
Tel. +66-0-2631-1151 / Fax. +66-0-2234-4756

Kawasaki Heavy Industries Management (Shanghai), Ltd.

10F, Chong Hing Finance Center, 288 Nanjing Road West,
Huangpu District, Shanghai 200003, People's Republic of China
Tel. +86-21-3366-3100 / Fax. +86-21-3366-3108

Kawasaki Trading (Shanghai) Co., Ltd.

10F, Chong Hing Finance Center 288 Nanjing Road West,
Huangpu District, Shanghai 200003, People's Republic of China
Tel. +86-3366-3700 / Fax. +86-3366-3701

KHI (Dalian) Computer Technology Co., Ltd.

Room 205, International Software Service Center, Dalian Software Park, 18
Software Park Road, Dalian, China
Tel. +86-411-8474-8270 / Fax. +86-411-8474-8275

Hydrogen Engineering Australia Pty Ltd

Level 6, Suite 6. 09, 2 Queen Street, Melbourne, VIC 3000, Australia
Tel. +61-404-809-288

Kawasaki Heavy Industries Russia LLC

Office 1803 (18th Floor), Entrance 3, Krasnopresnenskaya nab. 12, 123610,
Moscow, Russian Federation
Tel. +7-495-258-2115 / Fax. +7-495-258-2116

Kawasaki Heavy Industries (Thailand) Co., Ltd.

28th FL, Sathorn Square Office Tower, 98 North Sathorn Road Silom,
Bangrak, Bangkok 10500, Thailand
Tel. +66-2-163-2839 / Fax. +66-2-163-2841

