

ロボット遠隔操作技術のご紹介

Introduction of Robot Teleoperation Technology



立石 雄一
Yuichi Tateishi
ロボティクス事業部
西日本センター

本稿にて、ご紹介する“ロボット遠隔操作技術”に関する歴史は古く、1948年アメリカのアルゴンヌ国際研究所で放射性物質を取り扱うために、機械式の“遠隔操作マニピレータ”が開発されたのが始まりである。このように人が立ち入ることが困難な環境での作業を可能とする遠隔操作技術は様々な分野で用いられており、最初は単純な機構であった遠隔操作ロボットは多種多様なニーズに応える形へと進化している。その実例として“災害対応ロボット”や“分身ロボット”などが挙げられるが、社会全体へ広く実装を進めるには至っていない。

ロボティクス事業部は、3K作業を改善したいとの思いの下、種々の案件対応を行ってきたが、広がりには限定的である。そこでロボット遠隔操作をより多くの現場に適用させる事を重点に置き、開発に取り組んできたが、この度、一定の成果を得ることが出来たので、これを整理し紹介するものである。

The history of "robotic teleoperation technology", which is the subject of this paper, dates back to 1948, when the first mechanical "teleoperated manipulator" was developed at the Argonne International Laboratory in the USA for handling radioactive materials. Tele-operation technology, which allows work to be carried out in inaccessible environments such as this, is used in a wide variety of fields, and tele-operated robots, which began as simple mechanisms, have evolved to meet a wide variety of needs. Examples include 'disaster relief robots' and 'alter ego robots', but these have yet to be widely implemented in society.

The Robotics Division has been working on various projects with the aim to improve 3K work, but the uptake has remained limited. In an attempt to break out of this situation, the division has been working on development with a focus on applying robotic teleoperation to more and more workstations. We would like to present the results of our work to date and invite you to share your opinions.

1. はじめに

昨今の日本は、労働人口減少の煽りを受けて、3K“きつい・汚い・危険”イメージが強い業界では、人手不足が深刻化してきており“安全対策”や“重筋対策”を解決するために、産業用ロボットを用いた遠隔操作化への期待が年々高まっている。さらに最近話題の、デジタルツインやAI等の最新技術が“ロボット遠隔操作技術”の展開を後押ししている。このような社会的背景や、時代の流れを踏まえ3Dシミュレーション技術を適用した、ロボット遠隔操作技術（人間がアクチュエータとして使うロボット）への取り組みについて述べる。

2. 遠隔操作ロボットについて

本技術開発では“3K作業から作業者を解放”することを最終目標とした。これらの対策は“安全対策”や“重筋対策”として優先的に取り組まれてきたが、完全自動化には技術面、投資コスト面で課題があると認識しておりその具体例を“表1”に示す。

表1：自動化が課題となる事例

No.	項目	課題となる事例
1	ワーク (対象物)	・ワークのバラツキが大きい(鋳物、プレス品、自然物等)
		・対象になるモデルが無い(初めてのワーク)
		・非量産品(多品少量生産の混流ライン等)
2	複雑な動作	・人間の5感(視力、触覚、視覚、他)相当への対応は高価なセンサや制御システムが必要となりコストが合わない
		・イレギュラー作業などへの柔軟な動作
		・プログラムが困難(臨機応変な対応が必要等)
3	作業環境	・高熱、極寒作業環境でのロボット導入対策はコストが合わない
		・設置スペースに余裕がなく、既設改造が前提条件となりコストが合わない(整備時のスペース確保含む)
		・モデルと現物とが違う(位置関係が変化)ある頻度でレイアウト変更が生じ、都度ティーチングが必要

自動化が困難なケースとして“技術面”では、ワークのバラツキや性状変化による対応と繊細な作業や非定常で適応力が必要となる技能の代替化、更に現場での状況判断を加える自在性への対応が課題である。“コスト面”では、汎用技術での対応が困難となるケースや耐環境対策(熱、粉塵など)が投資効果に見合わない現実がある。

そこで上記の課題に対応し、人がロボットを遠隔操作する事で作業負担を軽減するシステムを検討する事とした。即ち、自動化に対する技術的課題は操作者の役割とする一方で、安全対策と重筋対策はロボットにより実現するものである。具体的には、作業環境や頻度や肉体的負荷が高い条件下での組立・調整、清掃・手入れ作業等を想定している。

3. 遠隔操作ロボットの技術視点

作業者が遠隔操作するため、①操作ミスの防止、②操作に必要な各種情報の提供、そして③操作者の意図に沿うように、動かせる操作性への配慮が重要となる。本稿では、操作ミス防止としてロボットやハンドが他の設備と衝突しない事(接触防止)、接触させる場合に過荷重を与えない事(過負荷防止)、及び作業者の操作意図に沿う事(感覚的操作)に関する技術を紹介する。

4. 技術課題の解決方法について

▶4.1 安全面(接触防止機能/過負荷防止機能)

通常ロボットをティーチングする場合は、ハンドなどを設備と干渉させないために、動作可能領域を定義し、その範囲内で動作させる。具体的には、事前の現場確認、シミュレーション、現地では補助者やセンサーによる作業監視に万全を期している。

現在のシミュレーションは“図1左”に示すように、周辺設備の空間認識を大まかな形状(赤線枠内)で模擬するか、大まかな形状(立方体、円柱等)を複数組み合わせ、現場の複雑な状況を再現するため精度が低く且つ、検証工数が嵩む。

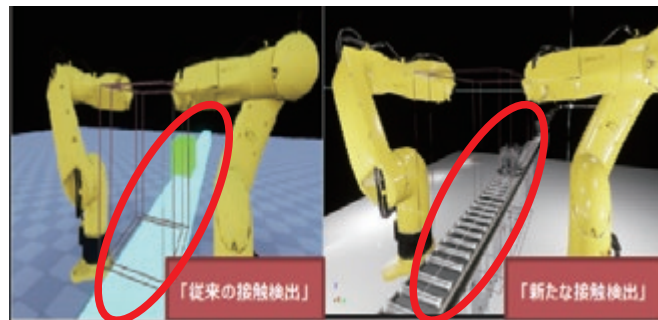


図1：干渉検出の方法(新旧比較)

遠隔操作ではロボットを自由自在に且つ、きめ細かい操作を可能とする為、ロボットと周辺設備との干渉を“図1右”に示すように、高精度な形状(赤線枠内)を簡単に設定できる独自の手法を確立した。接触防止は、現物が接触する手前で停止させるものである。3Dシミュレーション空間内での接触判定は、ロ

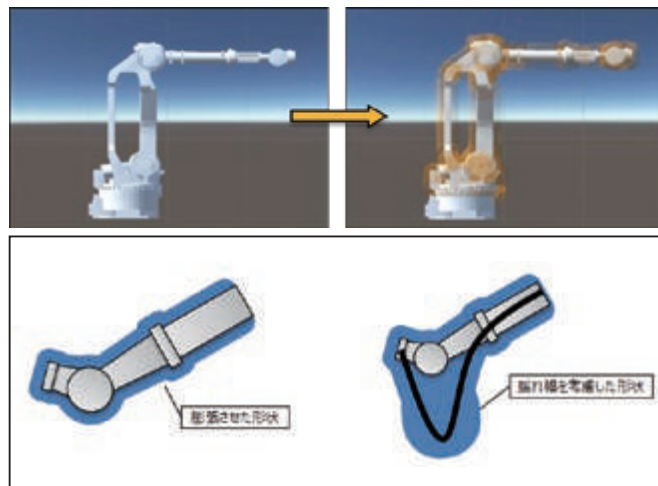


図2：干渉エリア設定のイメージ

ボットやハンドと干渉物表面の重なりを、検出する。その際、判定対象物体を現物より仮想的に大きく設定(干渉エリアと表現)することで裕度を確保する。尚、仮想処理は、任意に選定した空間内の物体を任意の形状に仮想化可能である。

例えばロボット本体全体を、またロボットケーブル艤装部は揺れ幅を考慮して周辺設備との干渉を検出可能である。(図2参照)

また3D形状は点群データでも処理可能でありリアルタイムのレーザースキャナーデータに基づく干渉検出も可能である。

“図3”にはロボットと周辺設備との干渉を検出した状態を示す。ハンド部のみでなくあらゆる部分に対し、接触検知が可能である。

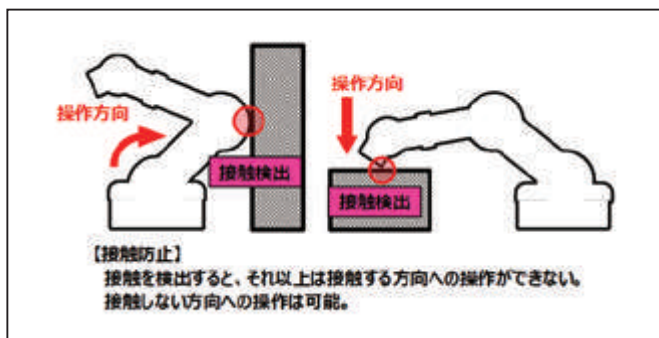


図3: 接触検知後のロボット動作

ロボットの遠隔操作における干渉防止制御は、操作者からの動作指令に対して、操作支援システム内でロボット動作をシミュレーションし、空間内での衝突有無を判定後にロボットへの動作出力を行うアルゴリズムとしている。”図4“に制御構成を示すがロボット制御システムと、シミュレーション機能が連動するシステム構成である。開発した干渉防止制御は、仮想物体

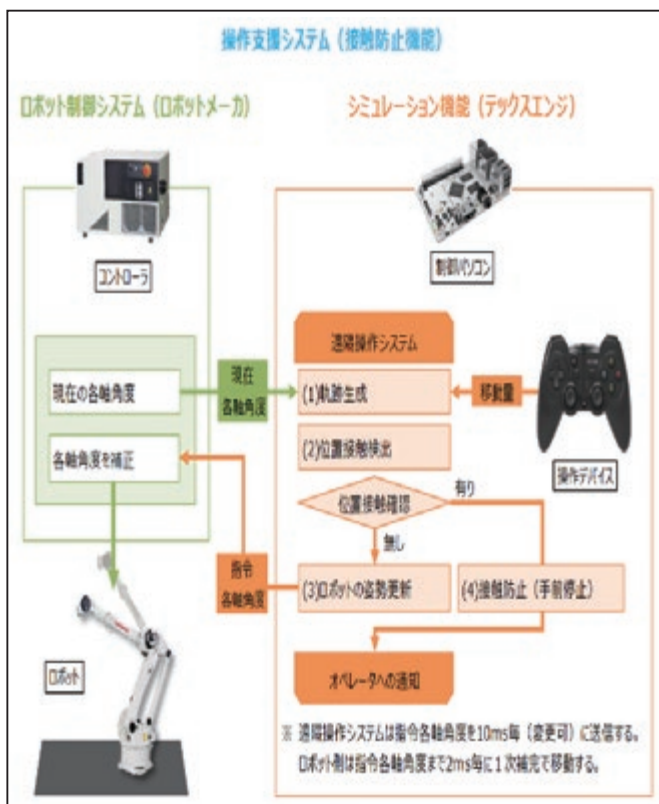


図4: システム構成 (接触防止機能)

の形状やサイズ設定により複雑な状況対応も可能化し、加えて実動作前に干渉予測する事で2重の保護機能を備えている。

以下にシステム構成について説明する。

(1) 軌道生成: コントローラからロボットの現在各軸角度を取得し、ロボットの位置・姿勢を算出し、次に操作機器からの移動量入力に基づいたロボットの将来軌道を生成する。

(2) 位置接触検出: (1) で軌道生成された軌道上で、周辺設備との干渉が無いことを事前確認する。

(3) ロボット姿勢更新: ロボットと周辺設備が干渉しない場合はロボット制御盤へ動作指令を伝送する。

(4) 手前停止: 干渉が予測された場合は姿勢更新出力を伝送せず姿勢維持(停止)状態とする。

以下に実動作試験結果を説明する。

”図5“は、ロボット本体の干渉エリアを100mmに設定してZ方向に下降操作させ、床の手前で停止させる検証試験の状況である。(a) はロボット下降前の仮想空間、(b) はロボットの干渉エリアを仮想空間で検知して停止した状態、(c) は現実空間で停止した際に床とのギャップ100mmを確認。

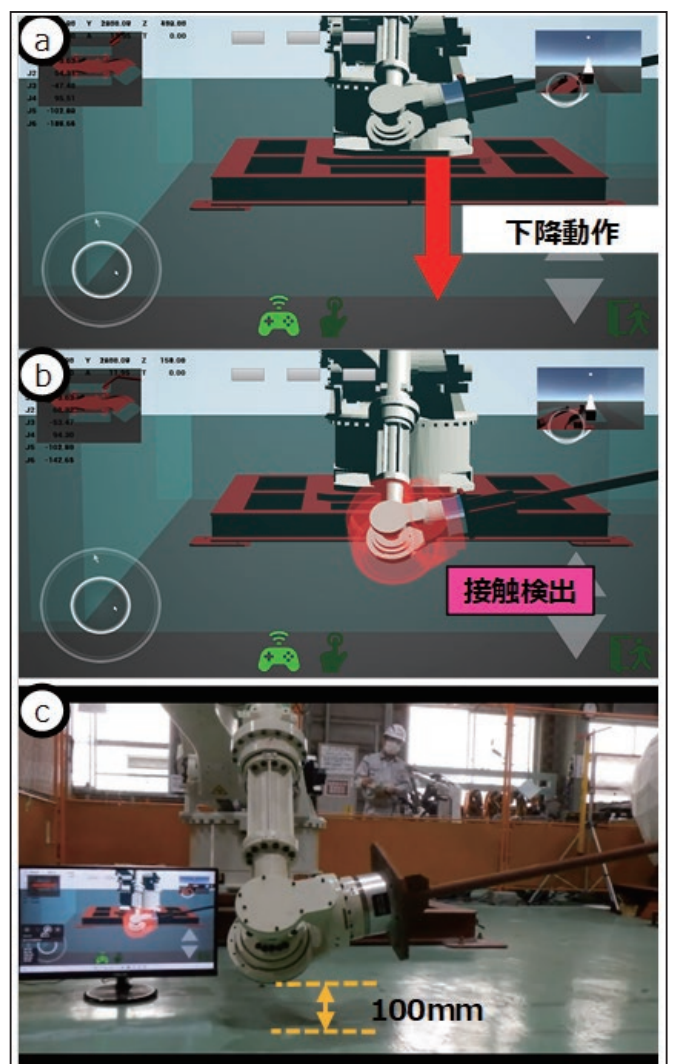


図5: 接触防止の検証結果

これらの機能はシミュレーション空間と現物一致が前提となる。レーザードistance計測、画像機器等のセンサーを利用して微細

な形状を取得したとしても、物体形状や位置の差異が残存する可能性は残存し、加えて現場の状況は常に変化する事を前提にすべきと考えている。そこで現場導入に当たっては、思わぬ接触時に速やかに停止させる、合わせて後退動作させる機能が必要である。

また、意図的に接触状態で動作させる作業もあり、これらの機能対応として力覚センサーを用いている。接触検知制御は、力覚信号を3Dシミュレーションに反映させることで実現している。

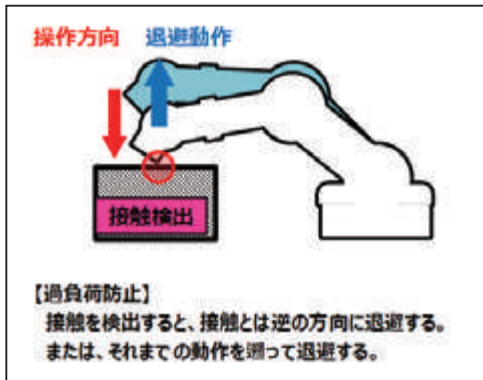


図6：過負荷検知後のロボット退避動作

“図6”は過負荷を検知した後、指定距離分ロボットを退避動作させて、非接触状態とする動作例を示したイメージ図である。以下に実動作試験結果を説明する。

“図7”はロボットにシャベルを持たせ砂利に挿し込み横移動させた際に生じる反力が所定の閾値以上検出した際に退避する動作の試験事例である。具体的には30kgの負荷情報を与え、検出後に100mm後退する設定での試験を行った。(a)は負荷を検出する前の状況、(b)は負荷を検出した状況、(c)は検出後に100mm退避して停止した状況を示す。

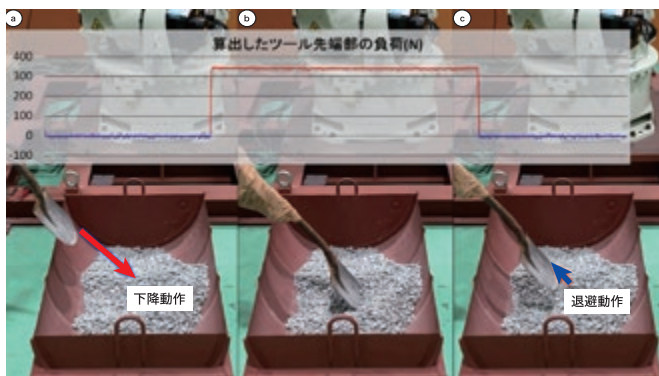


図7：過負荷防止の検証結果

このような接触防止機能と過負荷防止機能を実装することにより、作業者は周辺設備とロボットの干渉や、過剰な操作量による設備破損（ツール破損やロボット故障）を気にせず遠隔操作することが可能になると考えている。

▶4.2 操作性（感覚的操作機能）

設備破損防止の観点（フェイルセーフ）から、操作支援機能について紹介したが、周辺設備の形状に沿って動作させたり、狭い空間に入り込んで動作させたり、一定距離を保って動作させたいという操作者の技能的な意図に対する支援機能も必要

と考える。具体的には作業者が産業用ロボットを遠隔で操作する際には、近くで設備を確認できない事への①知覚情報提供や、高度な遠隔操作技能を必要としない②感覚的操作で高度な作業を可能とする支援機能である。3Dシミュレーションを駆使することで、②の支援機能を提供する事例を以下に紹介する。

“図8”は左上対象物の傾斜界面にロボット先端部を沿わせて移動させたい場合の操作例を示している。人の感覚的操作は、赤矢印方向（左）であるが、シミュレーション上は進行方向界面に対して、青矢印方向に沿って動作させる。操作者が青矢印方向に沿って操作するには、界面の形状認識と習熟した操作技能が必要になるが沿わせたい意図（壁からの距離、姿勢、移動速度など）を反映し、操作自由度を少なくした入力により、意図する軌道を実現させる支援機能とした事例である。

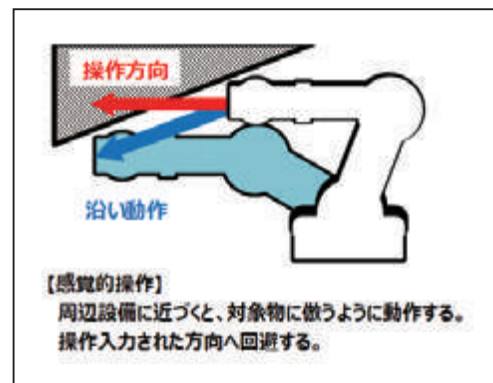


図8：感覚的操作とロボット軌道制御

図8”は斜面形状だが、緩やかな曲面に沿ったり、狭い空間に入り込ませたり、壁を回避するなど一定距離を保って、あるいは距離を変化させながら動作させることが可能である。感覚的操作機能は、ロボット本体以外にロボットハンド（ツール）にも適用可能であり具体的な動作イメージを“図9”に示す。

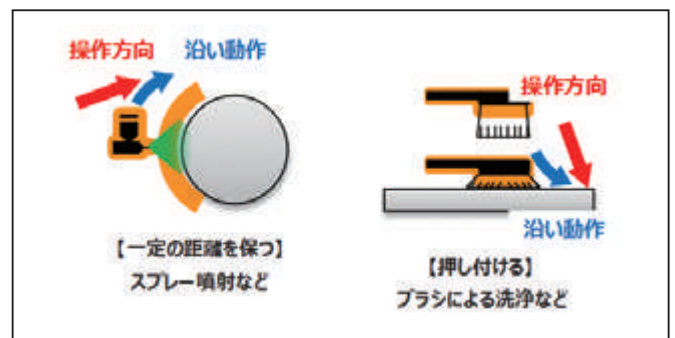


図9：ロボットハンドを一定距離に保つ事例

“図9左”はスプレー作業を想定したものである。具体的な操作方法としては操作端から大まかな操作（赤矢印）入力により、円筒の柱に一定距離を保って倣わせる動作（青矢印）を容易に実現できる。“図9右”はブラシによる洗浄作業を想定したものであり、操作端から大まかな操作（赤矢印）入力により、対象とする表面に押し付けながら倣わせる動作（青矢印）を実現できる。また、操作端への入力を“強く（大きい）”すると、速く動作し“弱く（小さい）”すると遅く動作する。感覚的操作機能により、作業者は監視モニターを見ながら、周辺設備に沿わせたい

かな遠隔操作入力で、ロボットハンドを対象設備の3D形状に沿った動作軌跡とすることが可能になる。但し、適用する現場、現物や作業プロセス毎に干渉エリアの大・小や力覚値を事前に設定しておく必要がある。

以下に実動作試験結果を説明する。

”図10”は、ロボットにスコップを持たせて、ドラム缶（曲面）内の砂利を掬いあげる動作試験を実施した。具体的な操作方法としては操作端から (a) (b) (c) (d) (e) の大まか操作（赤矢印）により、ドラム缶形状に沿わせながら微い動作（青矢印）を実現した。(a) から (b) が挿し込み動作 (c) (d) (e) でドラム缶形状に沿わせながら掬いあげる動作で、結果としてドラム缶（曲面）内の砂利を掬いあげる作業を実現した。仮想空間と現実空間の差が無ければ、大まかな操作入力により、人による感覚的操作を容易に実現することが実証できた。

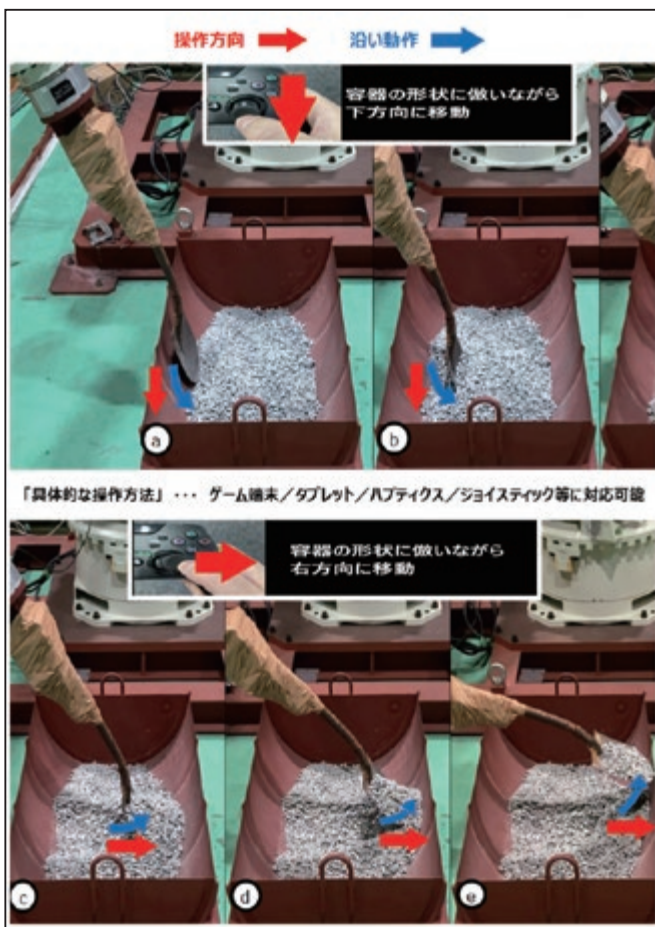


図10：非接触回避（沿わせる）検証結果

3Dシミュレーション技術を適用したロボット遠隔操作技術に関する3つの機能（接触防止機能、過負荷防止機能、感覚的操作機能）の現状について紹介してきたが今後の展望に関して以下に述べる。

感覚的操作機能をティーチング作業のサポート機能として、活用するものである。

例えば”図10”のドラム缶の内側に沿わせるティーチング作業を実施する際に、対象物に対して指定した距離を保った動作軌跡を予め3Dシミュレーションで生成し、作業者は狙いの位置へロボットを補正移動させて、思いのティーチングとする。

プロセス系のロボット動作には多くの調整要素があり同時に全てをチューニングするには高度な技能と経験が必要である。

そこでシミュレーションにて一次動作を行い、作業者が調整したい項目に特化して補正を加えるティーチングで負担軽減を図るものである。現在この手法について開発中である。

5. まとめ

本稿は、これから実機適用を進めるロボット遠隔操作技術を、紹介したものであり、実装に向けてはマンマシンインターフェースはじめ、対象プロセスに応じた感覚的操作モデリングの創出や検証など多くの課題がある。今後のロボット遠隔操作による3K作業改善の一助となればとの思いで纏めたものである。

当社ロボティクス事業部は生産ラインの自動化／省力化を通じて、安全性向上／作業負荷低減／生産性向上／品質の安定化など、お客様の様々な課題を解決してきたと自負する。今後もこれまでの経験や知見に加え新技術の習得により一層の自動化／省力化提案で社会貢献に努めて参りたい。

お問い合わせ先

ロボティクス事業部
本社企画管理部 営業Gr.

TEL 03-6860-6627

西日本センター

TEL 079-237-5377

東日本センター 名古屋ロボティクスGr.

TEL 052-604-4164

東日本センター 苫小牧ロボティクスGr.

TEL 0144-57-0177