特集 ■インダストリアル触感デザイン

自動車組立ラインでの触覚デザイン



武居直行 TAKESUE NAOYUKI



村山英之

首都大学東京

MURAYAMA HIDEYUKI

トヨタ自動車

1. はじめに

バーチャルリアリティの一分野として、力覚提示技術は、医療・福祉の分野やエンターテインメントなどにおいて注目され、発展してきた。その一つの形態として、コンピュータ内に作り上げた仮想的な物体を、ハプティックデバイスを通じて触れ、操作するというものがある(図1の上段)。また、別の形態として、遠隔に存在するデバイス同士を情報通信により結合し、あたかもすぐ近くで触れ、操作しているように動作するものがある(図1の中段)。これはマスタ・スレーブ型のテレマニピュレーションとして知られている。本稿では、図1下段に示すように、操作デバイスとワークが遠隔ではなく、近接して"触れる"ことができる生産現場での力覚提示技術の一実例を紹介したい。これはパワーアシストシステムとして知られている形態の一つである[1-4]。

工場では、重量物を取り扱うことが少なくない. その作業者の身体的な負担を軽減するために、スプリングバランサやパワーアシストが使われることがある. バランサは重力を補償してくれるが、慣性力は変わらず、水平方向の加減速や位置決めは作業者に負担を強いる. パワーアシストは、重量物を軽々扱えるように等価的に慣性力なども変化する能力をもつが、単に軽くなればよいというものではない. 対象とする作業に応じて、適した動特性を設定すると、作業性が向上することが知られている [5][6]. その動特性を設定することは、作業者にとっての触感のデザインとも言えるだろう.

作業者にとって、身体的には、筋負担が過度でなく、容易に操作できることが望まれ、パワーアシストはそれを実現する。また、精神的には、神経をすり減らさずとも思いのままに操作できることが望ましい。パワーをア

シストすると、軽々動かすことができるようになるが、 逆にちょっとした手ぶれでも簡単に動いてしまい、思っ た操作ができない。楽に動かし、思ったとおりに操作す ることで作業を達成できたとき、作業者は良い操作感(触 感)を感じる.

本稿では、自動車組立ラインにおけるウィンドウ搭載アシスト(図2)の事例[7]を示す。ウィンドウという、大きくて重量もあるワークを、一人で楽に動かせるだけでなく、手ぶれすることなく思った通りに組み付けることを可能とし、作業者が良好な操作感とともに作業を遂行することを支援する。

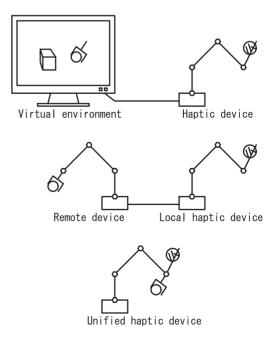


図1 力覚提示の三つの形態

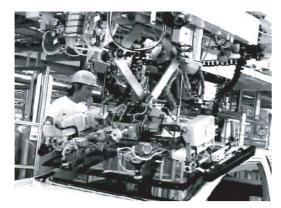


図2 ウィンドウ搭載アシスト

2. ウィンドウ搭載作業

まず、対象とするウィンドウ搭載作業について説明す る. ウィンドウ搭載作業は、10~15kg 程度あるウィン ドウガラスを車体に組み付ける作業である。従来は、バ ランサなどでその重量は支え、図3のように息の合った 二人が左右両側から把持し、組み付けていた.一つの ウィンドウ搭載作業自体は7秒ほどで完了するものであ るが、熟練するには相性の合う二人組で1ヶ月以上を要 していた.

図4に作業の模式図を示す、この図のように、ガラス の上端にはアップストッパーと呼ばれるピンが取り付 けられており、これらを車体の孔に決まった方向で挿入 して組み付ける、また、ガラスの縁一周には接着剤が塗 布されており、ストッパー挿入後にガラスを車体に押し 付け、その接着剤を密着させる、 意匠上の問題および水 漏れ防止のため、接着剤を他の部分に接触させたり、組 み付けをやり直したり、といったことはできない. リア ウィンドウの場合は車体とトランクの隙間(クリアラン ス±15mm) をぶつからないように通して組み付ける必要 があるため、より難しくなる.

図2に示したウィンドウ搭載アシストは、この作業を 片側一人で短期間に行えるよう支援するロボット装置で ある. ロボットでの完全自動化ではなく, 最終的な品質 は人が確認し、機械が人と共存して作業を支援すること で、設備トラブルや生産変動にフレキシブルに対応でき るというメリットがある.

従来から、インスツルメンツパネル(インパネ)搭載 スキルアシスト[6]が実用化されていた.しかし、イン パネ搭載の要求精度は左右 ±5[mm], 上下 ±15[mm] で, 高 精度位置決めを支援するガイド機能はない. また、車体 が搬送される前後方向には、止まるところまで押し込ん



図3 従来の二人作業

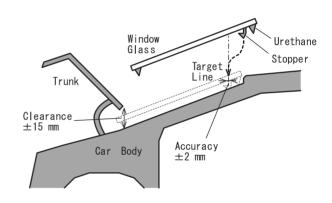


図4 ウィンドウ搭載作業

で行けば良いので精度要求はなく、仮にうまくはまらな いときにはやり直すことができる. これに対し、ウィン ドウ搭載では、接着割があるためやり直しができない上、 前後 ±2[mm], 左右 ±4.5[mm] と要求精度が高く, これまで の技術では実現することが難しかった.

3. ウィンドウ搭載作業での触感デザイン

本ウィンドウ搭載アシストでは, 力覚センサで計測し た操作力に基づき、操作部の機械インピーダンス特性を 仮想的に制御している. 仮想インピーダンスの質量や粘 性を小さくすることで、軽く動作し、負荷を軽減するこ とができる. しかし、ストッパーを孔に挿入するような 位置決めや直進性が必要な作業では、手ぶれにより簡単 にずれてしまい,作業性能(位置精度・作業時間・品質 など)が低下してしまう.

位置決め精度をよくするには、粘性が高いほうがよ い[5]. しかし、高い粘性は高速で移動するときには、重 たい負荷になる. 作業者にとって、「楽に動かせ意のま

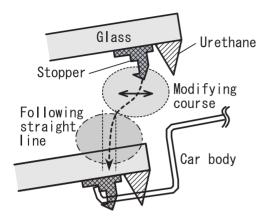


図5 ストッパーの位置修正と挿入

まに操れる」操作感を得るには、固定したインピーダンス特性では難しく、可変インピーダンスが必要となる [5][6][8]. 筆者らは操作力に応じて粘性を変化させる、簡便な可変則 [8] を実装した. しかし、その可変インピーダンスだけでは、±2mm の精度で確実にストッパーを孔に挿入することはなお難しい. 図5にウィンドウガラスの上端部分を示す. この図の点線楕円で示した箇所のように、目標位置への経路を調整しながら、目標前後位置上(一点鎖線楕円で示した箇所)では、ぶれないよう直進性を保ちつつ下降する必要がある.

決められた軌道上を移動する場合は、軌道に沿って仮想的な壁 (virtual fixture. 例えば [9][10]) を配置し、目標地点に誘導する手段が利用できる. ハプティックデバイスとして、そのような仮想環境を構築することは広く行われている. しかし、今回の場合、目標地点は作業者が目視して決めているため. この手法はそのまま利用できない.

他の方法として、位置調整のときには前後方向に移動し、下降・挿入のときには前後方向には動かずに下方だけに移動するように、切り換えることも考えられる.しかし、手動で切り換えるのはわずらわしく、7秒での作業完了は難しくなる. 異方性摩擦[10][11]により、手動で切り換えないことは可能であるが、斜め方向に滑らかに移動させることが簡単ではなかった.

そこで、操作力の方向に着目することにした。作業者が真下に下降させようとしたときの位置誤差 (ぶれ量)と操作力方向の一例を図 6 に示す。最大で 2.7[mm] ほどの誤差が生じているが、操作力方向は平均値 $\mu=0.65[\deg]$, 標準偏差 $\sigma=5.9[\deg]$ となっており、約 20[\deg] (\Rightarrow 3 σ) の範囲で収まっている。

まっすぐに下降しようとしたときに操作力方向が±20[deg]の範囲だったという事実に対して、その逆(この

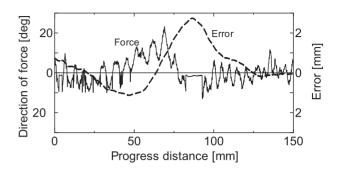


図6 従来方法での直進操作時の誤差と操作力方向

範囲のときには下降しようとしているということ)が必ず成り立つとは限らないが、操作力方向がこの範囲に収まっているときは、下降しようとしている意図と判断し、この範囲から超える場合には位置を調整しようとしている意図と判断することにした。そして、下降しようとしている範囲のときには、手ぶれ(車体前後方向)を抑制するようにガイドすることにした。図7に本手法での実験結果の一例を示す。操作力方向は変動しているが、誤差は±0.5[mm] 以内に収まっていることが確認できる。

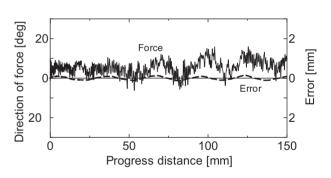


図7 新手法での直進操作時の誤差と操作力方向

このガイドは、操作力をガイドの方向に向けて触ろうとした途端、ガイドが働かなくなるため、通常のガイドのように触ることができない。そのため、ガイドされている触感がないにも関わらず、ガイドされていることになる。その結果、まっすぐに下降させようとすると、あたかも自分がうまくなったと錯覚するほどまっすぐに移動させることができる。またガイドの方向に操作すると、滑らかに位置を修正することも可能であった。このように操作力の方向に応じてガイド機能を切り換える本手法では、熟練者も違和感を持つことなく、修正も容易な手ぶれ補正ガイドとして働き、時間をかけずに作業を完了することができた。

4. まとめ

本稿では、自動車組立ラインにおいて実用化されたウィンドウ搭載アシストを、触感デザインという観点から紹介した。従来のウィンドウ搭載作業は、屈強な男性作業員が二人作業で担当しており、習熟まで1ヶ月以上かかるほど、最終組立の中でももっとも技能を要する工程だった。現在では、本ウィンドウ搭載アシストにより、女性作業員も担当できるようになり、また、新人が2週間程度で習熟しており、誰でも容易に搭載できるようになった。さらに、従来は60秒だったサイクルタイムが、現在稼動中のラインでは48秒にすることができた。

本稿が生産現場での触感デザインという題に即した内容になったか不安だが、読者の一助になれば幸いである.

謝辞

実用機を製作頂いた(株)アラキ製作所の高柳課長, 鈴木主任,柴田主任,そして,ライン導入に御尽力頂い た,藤原主幹をはじめとするトヨタ自動車組立生技部 の皆様と,高岡工場組立部第12組立課の現場作業者の 皆様に感謝いたします.

参考文献

- [1] 中内, 安西: ヒューマン・群知能ロボット・インターフェースシステムー人間とロボットの協調についてー, 計測と制御, Vol.31, No.11, pp.1167-1172 (1992)
- [2] 猪岡,池浦:人間工学に接近するロボティクス,人間工学, Vol.38, No.5, pp. 231-236 (2002)
- [3] 山田, 森園: 人間/ロボット共存システム, 人間工学, Vol.38, No.5, pp.243-248 (2002)
- [4] 金岡: マンマシンシナジーを実現するフィジカルインタラクションに関する一考察, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2006), pp.370-373 (2006)
- [5] Y. Yamada, H. Konosu, T. Morizono and Y. Umetani: Proposal of Skill-Assist: A System of Assisting Human Workers by Reflecting Their Skills in Positioning Tasks, Proc. IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics, Tokyo, IV, pp.11-16 (1999)
- [6] 鴻巣, 荒木, 山田:自動車組立作業支援装置スキル アシストの実用化, 日本ロボット学会誌, Vol.22, No.4, pp.508-514 (2004)
- [7] 村山,藤原,武居,松本,鴻巣,藤本:人と協働する技能支援ロボットウィンドウ搭載アシスト,第26回日本ロボット学会学術講演会,RSJ2008AC1B1-04 (2008)

- [8] 武居, 菊植, 佐野, 望山, 澤田, 藤本: 位置決め作業アシストのための操作力依存可変ダンピング制御, 日本ロボット学会誌, Vol.25, No.2, pp.306-313 (2007)
- [9] A. Bettini, P. Marayong, S. Lang, A. M. Okamura, and G. D. Hager: Vision-Assisted Control for Manipulation Using Virtual Fixtures, IEEE Trans. on Robotics, vol.20, no.6, pp.953-966 (2004)
- [10] R. Kikuuwe, N. Takesue, and H. Fujimoto: A Control Framework to Generate Nonenergy-Storing Virtual Fixtures: Use of Simulated Plasticity, IEEE Transactions on Robotics, Vol.24, No.4, pp.781-793 (2008)
- [11] N. Takesue, R. Kikuuwe, A. Sano, H. Mochiyama and H. Fujimoto: Tracking Assist System Using Virtual Friction Field, Proc. of IEEE/RSJ IROS'05, pp.2134-2139 (2005)

【略歴】

武居直行 (TAKESUE Naoyuki)

首都大学東京 システムデザイン学部 准教授 2000年大阪大学大学院工学研究科電子制御機械工学専攻博士後期課程修了. 2000年大阪大学助手. 2003年名古屋工業大学寄附講座講師. その後, 准教授を経て, 2008年より現職. 博士(工学). ロボットの運動制御,触覚テクノロジー, 人間・機械系などの研究に従事. 日本機械学会, 日本ロボット学会, 計測自動制御学会, 電気学会, 精密工学会, IEEE の会員.

村山英之 (MURAYAMA Hideyuki)

トヨタ自動車株式会社 パートナーロボット部 1997年東北大学大学院工学研究科修士課程修了. 1997年より三菱電機(株)生産技術センターにて、半導体と冷熱機器の組立・検査技術開発に従事. 2003年よりトヨタ自動車(株)生技開発部,2005年よりパートナーロボット部にて、パワーアシスト技術、人の技能支援技術と人と協働する組立作業支援ロボットの開発・実用化を行っている.