

# AR/VR環境における3Dオブジェクトの 素早い断面選択を実現する操作手法

佐藤 翼<sup>1,a)</sup> 真鍋 宏幸<sup>1,b)</sup>

**概要：**製造業における検図工程のDXを推進するためには、3D CADモデルを用いた確認作業を、高効率かつ高精度に実施できる操作手法が求められる。特に、AR/VR環境下において断面を迅速かつ正確に指定することは、設計意図の理解や不整合の発見において重要な課題である。一般的な3D CADで従来用いられている断面ラベル一覧から選択する手法では、断面の空間的位置関係を把握しにくく、また3Dオブジェクト上で直接選択する手法では、断面同士の重なりにより頻繁な視点操作やオブジェクトの回転を要するという問題がある。本研究では、数字や記号などのラベルが付与された複数の断面を含む3Dモデルの確認作業（検図）を対象とし、ARグラスとタブレットを併用する環境を想定する。そして、タブレットの姿勢に基づいて断面を選択する操作手法を提案し、AR/VR環境下における断面指定作業の効率化を目指す。

## 1. はじめに

製造業におけるデジタルトランスフォーメーション(DX)の進展に伴い、製品設計から製造に至る各工程の中核をなす図面流通にも、大きな転換が求められている。従来の2D図面を中心としたプロセスから、3Dモデリングや3D CADデータを基盤とする開発・製造手法への移行が国際的に加速している。多くの工程で3D CADデータ中心へと移行する取り組みが進められている中で、その移行が難しい工程に「検図」がある。検図とは、設計品質を担保することを目的として、図面に基づき、法令への準拠および設計ルールの遵守を確認するとともに、後工程における製造容易性や組立容易性などが適切に確保されているかを確認する工程である。これまで、複数の断面図が印刷された大きなロール紙を机の上に広げ、指摘事項を手書きで書き込むことで行われてきた。検図のDXを実現するためには、3D CADあるいは3D CADデータを用いた確認作業を高効率かつ正確に行う手法の整備が不可欠である。

検図のDX化を進める方法の一つに、2Dディスプレイで表示した3D CADを用いる方法が考えられる。しかしこの方法では、大きなロール紙を用いた従来の検図よりも小さな画面しか利用できなくなり、効率の低下が危惧される。これに対し、AR/VRを用いれば広大な表示領域を利用することができる。さらに、従来の紙図面ベースの検図

では困難であった、実寸スケールでの形状確認や、立体としての干渉関係や奥行きを理解を支援することも可能となる。これらのことから、我々はAR/VRを用いた検図のDX化に着目する。しかしその一方、現状のAR/VR環境向け操作手法が検図作業に適しているかどうかは明らかとはなっていない。例えば、AR/VRにおいては、指で対象をつまむ、触れるといったダイレクト操作が主流である。レイキャストなどコントローラを用いるインダイレクト操作であっても、ユーザからはそれがダイレクト操作のように感じられる操作が用いられる。これに対して、現状の3D CADでは、テキストで記述された断面リストから選択する方法や、3Dオブジェクト上に表示された断面をマウス等で選択する方法など、マウスを用いたインダイレクトな操作が主流である。また、選択した図面に対して指示を書き込む際にも、従来の紙ベースの検図と同様に手書き、3D CAD利用時と親和性の高いキーボード、あるいはAR/VR環境向け文字入力手法、など複数の選択肢がある。

検図のDX化を進めるためには、適切な断面を素早く正確に指定し、その断面に対する指示書き込みが円滑に行われること、そして確認作業の精度と効率を両立させることが重要である。しかし操作手法の検討が不十分な状況では、今まで紙図面中心で行われてきた検図の作業を3Dデータ中心へ移行する際、作業への負担増大や作業効率の低下などの問題が発生してしまうと考えられる。本研究は、現行の2D図面ベースの検図で行われる「断面図の切替」や「書き込み」を中心とした確認作業の流れを保ちつつ、3Dモデルを用いた新たな検図へ段階的に移行するための橋

<sup>1</sup> 芝浦工業大学

<sup>a)</sup> al22030@shibaura-it.ac.jp

<sup>b)</sup> manabehiroyuki@acm.org

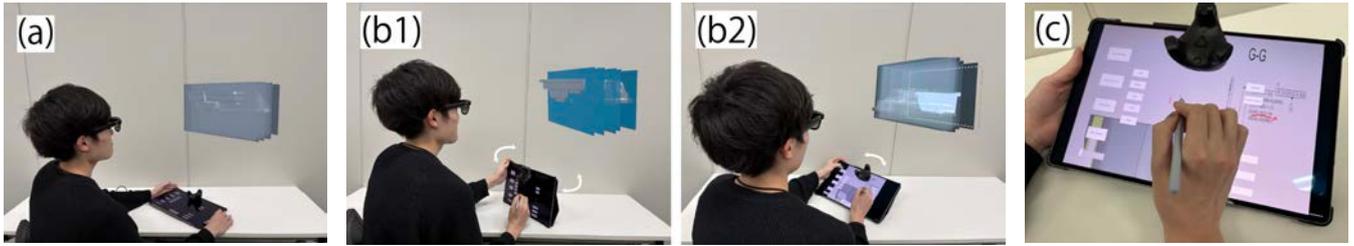


図 1: 操作手順. (a) 断面位置の確認, (b1) 角度モードによる断面選択, (b2) 断面選択モードによる断面選択, (c) 選択した断面の断面図閲覧と書き込み.

渡しをすることを目的とする. そのために, タブレットと AR グラスを用いて, 空間内に離散的に配置された 3D オブジェクトの断面を素早く選択し, 手書きでの書き込みを可能にする手法を提案する.

## 2. 関連研究

物理的なオブジェクトを併用して断面選択を行う手法が提案されている. 例えば, Handsaw[1] では, ユーザの手やレーザーラインによって空間上に直接スライス操作面を投影し, その断面情報を隣接ディスプレイに表示することができる. AR/VR 環境向け断面選択手法としてタブレットを併用する手法が提案されており, AR 上に固定された 3D モデルに対して, ユーザが手持ちのタブレットを移動させることで, 任意断面を 2D スライス画像として取得・操作することができる [2]. また, TabletInVR[3] では, マルチタッチタブレットを VR 空間内に統合するためのデザイン空間を提示し, さまざまなアプリケーション領域における利用可能性を評価している. これらの研究では, AR/VR 環境においてタブレットを併用することや, それを介したダイレクト操作が有効であることが示されている.

断面選択手法としてこれらの先行研究を捉えた場合, それらでは断面位置を連続的なパラメータで制御し, 任意断面を探索する操作が主に対象にしている. 一方, 本研究が対象とする検図作業では, 寸法や公差などの情報を効率的に確認することが目的のため, それらの情報が埋め込まれている複数の断面候補から一つを選択することが必要であり, 任意断面を指定できるようにする必要はない.

## 3. 提案手法

本研究では, AR グラス上に表示した 3D モデルに対し, タブレットに表示する断面をタブレットの位置・姿勢により選択する手法を提案する. 既存の断面操作では連続的探索が主な対象であったのに対し, 本手法では, 検図の際に必要な, 事前に設定された離散的な断面候補から目的候補を選択する状況を対象としている. タブレットを併用するのは, 検図の際に必要な手書きでの書き込みを行うためだけでなく, 物理的なオブジェクトを用いたダイレクトな操作感を提供するためでもある. さらに, ダイレクトな操作

感を残しながら作業効率を向上させるために, スナップ (候補に一定以上近づくと自動的に選択位置を補正する仕組み) や, タブレットの傾きを用いた選択などのインダイレクトな要素を導入する. つまり本手法は, タブレットの傾き操作や AR グラスでの立体視によるダイレクト感をユーザに提供しつつ, 内部的にはインダイレクトな要素を組み込むことで, 快適さと素早さを両立させることを目指す.

本手法の操作手順を以下に示す.

- **ステップ 0**: AR グラス上に表示された 3D モデルと断面位置を確認する.
- **ステップ 1**: ユーザはタブレットを傾けて, タブレットの傾きと選択する断面の角度を一致させる (角度モード). 同一角度の断面が複数存在する場合には, タブレットのボタンを押した後, さらにタブレットを傾けることで選択候補を切り替えることができる (断面選択モード).
- **ステップ 2**: タブレットのボタンを押すことで選択断面を確定させ, タブレット上で断面図の閲覧や, 断面図への書き込みを行う.

## 4. 実装

AR グラスとして XREAL Air 2 Ultra, タブレットに Galaxy Tab S10 Ultra を用いて実装を行った. AR グラス側の処理を行うために, AR グラスは XREAL Beam Pro に接続しており, タブレットの位置や姿勢を測るために, Vive tracker (3.0) をタブレットに貼付している. AR グラスとタブレットのアプリケーションは Unity で作成し, PC 上のリレーサーバーを介して, 両者間の通信を実現している. これにより, タブレットの姿勢や位置, どの断面を選択しているのかなど情報を相互に受け取ることが可能になっている.

### 4.1 2つの傾き入力モードとスナップの設計

断面選択のために, 角度モードと断面選択モードの 2つを用意した, 角度モードで複数の断面候補を選択した場合にのみ断面選択モードは使用される.

- **角度モード**：選択したい断面の傾きに、タブレットの傾きを一致させることで断面を選択するモードであり、ほぼダイレクトな操作である（タブレットの位置を断面の位置と一致させる必要はない）。傾きが同じ、あるいは近い断面が複数ある場合には、一度に複数の断面が選択される。
- **断面選択モード**：タブレットの一边を机に接触させ、その一边を軸に回転させる操作を行う。複数の断面候補から1つを選択するためのモードであり、タブレットの傾きに応じて、選択される断面候補が切り替わる。タブレットの傾きと選択される断面の傾きは一致せず、インダイレクトな操作となっている。

いずれの傾き入力モードに対しても、操作の素早さや快適さを高めるため、スナップ領域を設定した。角度モードでは、タブレット姿勢から得られる入力角度と、各候補の角度との差を評価し、その差が閾値以下の場合に、その候補が選択される。モデルや断面によって閾値は変化させており、例えば、断面角度の集合を少数のクラスに分割できるときには閾値は大きくなる。これにより、ダイレクトな操作感を残しつつ、素早い選択を可能としている。一方、断面選択モードでは、タブレットを傾ける操作で取り得る傾きの範囲を、角度モードで選択した断面候補の数で分割するのが基本となる。そのため、断面候補が多い場合にはスナップ領域は狭くなり、少ない場合には広がる。ただし、楽な操作で素早い選択を可能とするために、タブレットの傾き範囲やスナップ領域の設定には調整を加える。断面選択モードはインダイレクトな操作であるが、物理的なオブジェクトの姿勢を入力に用いることでダイレクトな操作感を提供する。

実装したシステムを用いて、図1に示すステップ0~2の一連の操作を複数回行い、断面候補の切替、断面の確定、およびタブレット上での断面図閲覧と手書き書き込みを連続して行えることを確認した。導入したインダイレクトな要素に極端な違和感はなく、全体的にダイレクトに操作している感覚を得ることができた。今後、ダイレクト操作による効果や、インダイレクトな要素による効率向上についての評価を行っていく必要がある。

## 5. まとめ

本研究では、VR/AR環境で行う検図を想定し、空間内に離散的に配置された3Dオブジェクトの断面をタブレットを用いて素早く選択する操作手法を提案した。タブレットの傾きによって3Dオブジェクトの断面選択を行うことができるなど、ダイレクトな操作感を提供しつつ、インダイレクトな要素を組み込むことで作業効率の向上を図った。ARグラスとタブレットを用いた実装を行い、実際に動作することを確認した。今後、ユーザースタディを行い、提

案手法の有効性について検証を行っていく。

## 謝辞

本研究は、ヤマハ発動機との共同研究の一環として実施されたものである。研究の遂行にあたり、ヤマハ発動機の平野啓典氏および上村拓人氏には、研究進捗に関して多くの有益な助言をいただいた。ここに記して、深く感謝の意を表する。

## 参考文献

- [1] Bonanni, L., Alonso, J., Chao, N., Vargas, G. and Ishii, H.: Handsaw: tangible exploration of volumetric data by direct cut-plane projection, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, p. 251–254 (online), DOI: 10.1145/1357054.1357098 (2008).
- [2] Luo, W., Goebel, E., Reipschläger, P., Ellenberg, M. O. and Dachselt, R.: Exploring and Slicing Volumetric Medical Data in Augmented Reality Using a Spatially-Aware Mobile Device, *2021 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, pp. 334–339 (online), DOI: 10.1109/ISMAR-Adjunct54149.2021.00076 (2021).
- [3] Surale, H. B., Gupta, A., Hancock, M. and Vogel, D.: TabletInVR: Exploring the Design Space for Using a Multi-Touch Tablet in Virtual Reality, *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, p. 1–13 (online), DOI: 10.1145/3290605.3300243 (2019).