

図7 体験風景

想物体の切断を行う。まず、(1) デバイス先端部を卓上に押しつけ、(2) スライドすることで、切断平面が表示され、操作確認のため LED が点灯する。そして、(3) デバイスを卓上から離すことで、切断平面に沿って物体を切断できる。切断時には、操作応答を示す効果音を提示する (図 5)。

【ハンマ型デバイスによる結合】

ハンマ型デバイスを振り下ろすことで仮想物体同士の結合を行う。まず、(1) ピンセット型デバイスを用いて物体同士が接するように配置し、(2) それに向けハンマを振り下ろすことで結合できる。結合時には、効果音や振動により操作に対する応答を提示し、結果を示すために物体を一時的に強調表示する (図 6)。

図 7 に体験の様子を示す。

2.4 運用結果

同システムを運用したところ、体験者はすぐに操作方法を理解し、デバイスを手にすると迷うことなくそれぞれの操作を行い、デバイスを用途に応じて使い分けていた。その一方で、操作後のコメントから「並べて配置したり、直角に配置することが難しく疲れる」「直角に切断したり同じ長さに切断する操作が難しい」といった声が聞かれた。

3. 動作拘束による操作補助

実世界では操作物体とその他の物体の位置関係に応じて物体の動きに様々な拘束があり、それを利用して物体の操作を行っている。そこで上記問題を解決するため、本システムでも仮想物体や道具の動作に拘束を設けることによって操作支援を行う。

3.1 仮想物体の動作拘束

物体同士が密着するように配置する際、実世界では物体を押し付ける際に反力が働くため、それを利用して容易に作業が行える。一方で本システムのように仮想の物体を操作して同様の作業を行う場合、こういった物理法則を考慮しなければ物体同士が干渉してしまい目的を達成することは非常に困難である。このような問題に対し、物体の動きに拘束を設けることで解決

を図る手法が提案されている。

清川ら⁶は、直観的な仮想物体モデラを実現する上でブロック玩具を模倣している。ブロック玩具には上部の突起と下部の窪みによって、ブロック同士の接合する面の位置および角度が離散的に限定されるという特徴があり、仮想ブロックにこの挙動を取り入れ移動・回転の単位を離散的にすることで動作を拘束し操作性の向上を図っている。しかし、この手法は基本形状をブロックのような構成単位に保つ必要があり、本システムのように自由な形状の切断操作を含む木材加工を想定した環境には適さない。一方、北村ら⁶は物体間の状態遷移を表すメタファとして擬似的な磁石を取り入れている。物体同士を近づけた際に、あたかも面に貼られた磁石が引き寄せられるように操作物体の位置姿勢を制御して、もう一方の物体に密着するように配置する。また、密着した面の数に応じて、1面であれば3自由度(机の上の並進2自由度と回転1自由度)、2面であれば1自由度(両接触面に平行な方向の並進)というように動作の自由度を制限することで配置作業の精度と効率を向上させている。

本研究ではこの手法を造型システムに取り入れることで、道具型デバイスを用いた仮想物体の配置作業支援を試みる。

3.2 道具の動作拘束

木材加工では板面と切り口が直角になるように切断操作を行うことが多いが、あらかじめ測定してガイドとなる線を引く必要があるなど手間がかかる他、正確な精度でこれを行うのは容易ではない。この問題に対し、実世界では効率よくこれを行うために、治具と呼ばれる道具が用いられる。

治具とは工作物を固定し、切削工具を制御・案内する道具の総称であり、数多くの種類が存在する。中でもマイターボックスと呼ばれる治具は、正確な角度でノコギリを合わせて木材を切断する際に用いられる。形状は3面で構成される箱状の構造をしており、側面にスリットが入っている。ユーザは木材をマイターボックス内の側面に合わせて配置し、ノコギリをスリットに合わせて引くことによってノコギリの動きがスリット方向に制限され、容易に正確な切断が行える。そこで本研究でもマイターボックスを実物体の道具として導入することで、道具型デバイスを用いた仮想物体の切断操作支援を試みる。

4. 実装

まず仮想物体の運動拘束に関しては北村ら⁶の手法をもとに実装を行った。ピンセット型デバイスを用い

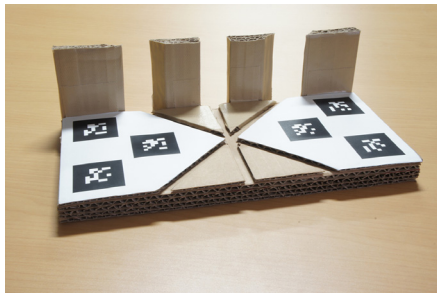
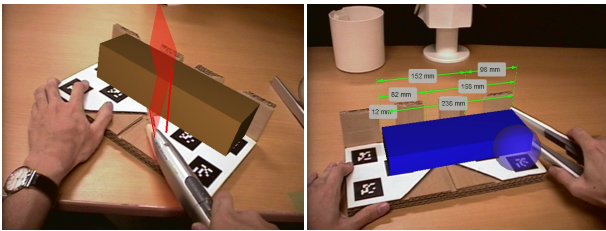


図8 試作した治具



切断支援

距離表示機能

図9 治具による操作の補助

て物体を選択し、物体同士の面が接するよう近づけることで、動作拘束により物体の密着配置が実現される。

一方、道具の動作拘束を実現する治具の実装と治具を使用したインタラクシオンは以下のように実現した。

【治具の実装】

本研究では、マイターボックスを模した治具を試作した(図8)。本来のマイターボックスはコの字型の形状で、木材の大きさに応じて専用の治具を用いるが、今回は1つの治具で様々な大きさに対応することを想定し、側面的一方を取り払ったデザインとした。大きさは一般的な2×4木材用途のマイターボックスに倣い、底面300×140mm、高さ80mmとした。側面には3つのスリット(左右45度、90度)を設け、底面にもガイド用の溝を設けた。これらの幅はナイフ型デバイスがスライドできるよう、ナイフ型デバイスの厚さ26mm、刃先の厚さ6mmを考慮し、スリット幅30mm、溝幅8mmとした。

また、仮想物体を治具に配置する際、その間に不自然なズレが生じないようにするために、2.2節で既に述べた磁気式の位置姿勢センサに加え、既存のビジョンベースによる位置合わせ手法であるARToolKitPlus⁷を用いる。治具に貼り付けられたマーカをHMDのカメラで検出することによって、その間の相対的な位置姿勢を算出し、これにセンサ座標系におけるHMDの位置姿勢を掛け合わせることで、センサ座標系における治具の位置姿勢を求める。

【治具を用いたインタラクシオン】

ピンセット型デバイスで物体を挟み、物体の面が治具と接するよう近づけることで、物理拘束が発生し治

具に密着配置することが可能となる。配置後は治具自体を動かすことで、設置された物体も追従して移動する。そして、治具に配置した物体を切断する際は、治具のスリットにあわせてナイフ型デバイスをスライドさせることで直角、左右45度での切断を行うことができる。また、物体の設置後に再度ピンセット型デバイスで挟んで治具上をスライドするように動かすことで、物体の両端とスリット間の距離を表示し切断の支援を行う(図9)。

4.1 運用結果

まだ少人数ではあるが、実装した操作補助の効果を確認するために本システムを自由に操作させる運用を行った。その結果、体験者らは仮想物体同士を近づけた際の動作拘束に最初は戸惑いを見せたものの、すぐに挙動を理解した様子で、拘束の効果を利用して配置作業を行っていた。治具に関しても同様に、動作拘束の効果によって自然に物体を治具へ設置し、スリットにナイフ型デバイスを通し、溝に沿ってスライドさせることで切断を行っていた。その一方で、操作後のコメントでは「物体を移動する際に、意図しない面に拘束されてしまうことがあった」「治具の測定機能を見ながらの配置が難しい」といった声が聞かれた。

5. むすび

本稿では、道具型デバイスを利用したMR型木材加工システムについて、運用を通して提起された配置・切断操作の問題解決を図るために、仮想物体や道具の動作を拘束することによる操作の補助を試みた。今後は運用を通してデバイス、システムの評価、改良を図る予定である。

参考文献

- 1) G. Wesche *et al.*: "FreeDrawer: A free-form sketching system on the responsive workbench," Proc. VRST 2001, pp. 167 - 174, 2001.
- 2) S. Schkolne *et al.*: "Surface drawing: Creating organic 3D shapes with the hand and tangible tools," Proc. CHI 2001, pp. 261 - 268, 2001.
- 3) 木村 他: "空間型作業での選択・移動操作に適した道具型デバイスの機能設計と評価", 情処論文誌, Vol. 51, No. 2, pp. 314 - 323, 2010.
- 4) 福田 他: "Top-AttachableToolDevice: 先端部が着脱可能な新しい道具型デバイス", 第71回情処全大, 2Y-2, pp. 163 - 164, 2009.
- 5) 清川 他: "両手操作を用いた仮想物体モデラ VLEGO", 信学会論文誌, Vol. J80-A, No. 9, pp. 1517 - 1526, 1997.
- 6) 北村 他: "面間の動的拘束を用いた仮想物体の操作補助法", 信学会論文誌, Vol. J79-A, No. 2, pp. 506 - 517, 1996.
- 7) D. Wagner *et al.*: "ARToolKitPlus for pose tracking on mobile devices," Proc. Computer Vision Winter Workshop, pp. 139 - 146, 2007.