

最近の技術から

組立作業のための仮想操作環境

佐 藤 誠

東京工業大学精密工学研究所 T227 横浜市緑区長津田町 4259

1. まえがき

人間と計算機との間で情報のやり取りを行うためのデバイスとしては、アルファベットのような記号情報を入力するためのキーボード、平面上の位置情報の入力のためのマウスやタブレットなどが使われている。しかし物体形状などの空間情報を扱うためのデバイスは、その必要性が高まっているにもかかわらず、今まで十分な開拓がなされていなかった。物体形状のモデリングを行う場合、キーボードでは3次元座標などを数値ベクトルとして入力しなければならず、マウスでも2次元的な指示だけでは操作が容易でない。より自然なヒューマンインターフェースとしては、計算機内の物体形状モデルを実際の物体と同じような手軽さで仮想的に直接操作できることが望ましい。例えば、積木細工のように基本的な形状要素を組み立てることができれば、容易に物体の形状モデリングが可能になるであろう。

実世界における物体形状の操作においては、目や耳からの視覚情報や聴覚情報のほかに手や指先に感じる力覚情報や触覚情報が極めて重要な感覚情報となる。このような感覚のフィードバックを考慮した空間インターフェースデバイス SPIDAR (SPace Interface Device for Artificial Reality) をここでは紹介して、組立作業のための仮想操作環境を構成することにしよう^{1,2)}。

2. 組立作業の基本操作

図1(a)のように置かれている積木を、同図(b)のように組み上げる場面を想定しよう。作業手順は、例えば積木Bを積木Aの上に乗せ、つぎに積木Cを積木Bの横に並べて積木Aの上に乗せる、となるがそれぞれの手順は次のような基本操作に分解される。すなわち、(1)積木を保持する、(2)積木を移動する、(3)積木を配置する。これら(1)～(3)の基本操作を繰返し行うことにより、最終的に目標の形状に組み上げることができる。それぞれの基本操作についてさらに細かく分析してみよう。

(1) 保持操作：手と積木の相対位置を視覚により確認しながら、指先を積木の側面にもっていく。親指と人

指し指の間隔を狭めていき、指先の触覚により積木に触ったことを知る。さらに両指に力を加え、積木を挟み保持操作を完了する。この際積木の表面からの抗力を指先からの力覚により確認しながら力の加減を行い、安定した積木の保持が可能となる。

(2) 移動操作：積木の移動は、主に肩、肘等の関節を用いて腕全体を制御することにより行う。また、積木の回転操作は主に手首の捻りによって行う。これらの操作においては、積木の位置や姿勢は常に視覚により確認しながら行われる。移動操作時においても積木は安定に保持されなければならない。無意識のうちに指先の力覚フィードバックが利用されている。

(3) 配置操作：積木の配置操作においては、積木間の相対位置関係を知るための視覚情報ばかりでなく、他の積木あるいは床面等と接触した際に指先に伝わる接触感や衝突感が重要である。例えば、図1の作業で積木Cを積木Bの横に配置する際には、まず積木Cが積木Aに当たったことを指先の衝突感として判断して、積木Cを積木Aの上に置く。そして積木Bの方に軽く寄せ、指先の触覚で積木Bとの接触を確認して配置を終える。

以上のように組立作業のそれぞれの基本操作において、視覚や聴覚とともに指先の触覚や力覚などのマルチモーダルな感覚情報が有効に使われていることがわかる。

3. SPIDARによる仮想操作環境

積木のような組立作業を行うことのできる仮想作業環境を実現するためのインターフェースデバイス SPIDAR の構成を図2(a)に示す。SPIDARでは物体の把持を可能にするために、操作する手の親指と人差し指にピントをつける。それぞれのピントには4本の糸が取り付けられている。これらの糸の他端は図2(b)に示すよ

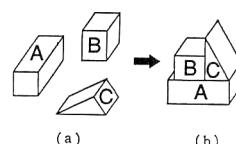


図1 組立作業の具体例

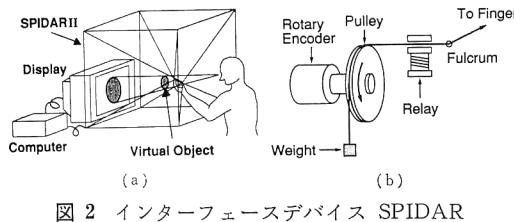


図 2 インターフェースデバイス SPIDAR

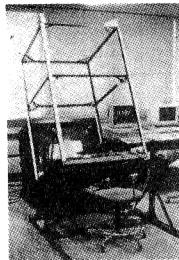


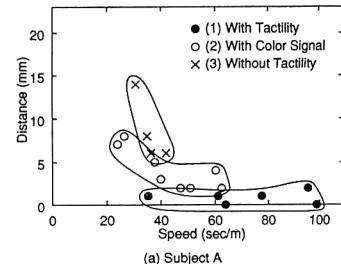
図 3 SPIDAR を用いた仮想操作環境

うにおもりが付けられており、糸は常に直線的に張られている。糸はロータリーエンコーダの軸に取り付けたブーリーに巻き付けられており、ポインタからブーリーまでの長さを計測することができる。そして4本の糸の長さを計ることにより、ポインタの三次元位置座標を知ることができる。また、糸はリレーのコイルと可動鉄片の間を通っており、コイルの電流を制御することにより、糸の動きを拘束したり解放したりすることができる(図2(b))。指先が仮想空間の物体に触ったときや物体同士が衝突したときに糸を拘束することにより、指先に接触感や衝突感を与えることができる。

この SPIDAR と立体映像の表示装置を組み合わせることにより、図2(a)に示すように仮想操作環境が構築できる。操作者は表示装置に映し出された仮想世界の物体を自らの親指と人差し指とで直接操作することができる。図3に SPIDAR を用いた仮想操作環境の外観を示す。

4. Pick and Place 作業の評価実験

組立作業の最も基本的な操作の一つである Pick and Place (PP) 作業を仮想操作環境の下で行った。作業課題は、立体表示された二つの積木のうちの一つを取り上げ、もう一つの積木の直前に置く、というものである。この作業課題を、(1)触覚情報を提示した場合、(2)触覚情報を視覚情報で代行した場合、(3)触覚情報を与えない場合について、二人の被験者に作業してもらい、その操作速度と作業精度の比較を行った。なお、(2)の視覚情報による代行とは、被験者が積木を持ったときと二つの積木が接触したときに、積木の色を変えることによ



(a) Subject A

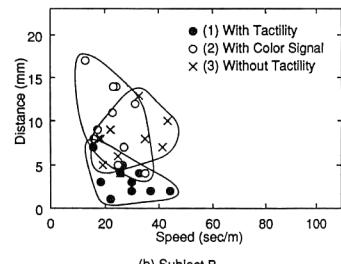


図 4 Pick and Place 作業の操作実験

より、被験者にそのことを知らせるものである。

図4に二人の被験者の実験結果を示す。PP 作業の操作速度（横軸）と配置の作業精度（縦軸）をプロットしたものであるが、被験者Aと被験者Bいずれも触覚情報を与えた場合の方が操作性が良いことがわかる。被験者Aでは操作速度と作業精度のどちらにも効果が認められる。被験者Bの場合は主に作業精度に効果が表れている。視覚による触覚の代行については、被験者Aで効果が認められるのに対して、被験者Bでは効果がはっきりせず、むしろ逆効果になる場合もあった。これは恐らく被験者Bが視覚代行の意味を十分に理解できず、うまく適応できなかつたためと考えられる。

5. あとがき

組立作業のための仮想操作環境の具体例を紹介した。実世界と同じように仮想世界の物体を直接操作して組立作業を行うためには、指先による自然な物体操作を可能にしなければならない。ここでは SPIDAR を用いてこれを実現した。また、PP 作業の操作実験により、組立作業における触覚、力覚情報の重要性を明らかにした。

文 献

- 1) 佐藤 誠、平田幸広、河原田弘：“空間インターフェース装置 SPIDAR の提案”，信学論，J74-D-II (1991) 887-894.
- 2) 平田幸広、水口武尚、佐藤 誠、河原田弘：“組立操作のための仮想作業空間”，信学論，J76-D-II (1993) 1788-1795.

(1994年5月23日受理)