



ブロックとコネクタを用いた VR 世界構築とインタラクション

市川将太郎¹⁾, 高嶋和毅¹⁾, 北村喜文¹⁾

1) 東北大学 電気通信研究所 (〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1)

概要 : 没入型バーチャル環境内で、ブロックによって簡単にモノやオブジェクトを構築できるだけでなく、そのオブジェクトに、環境との接続を通して、様々な機能を簡単に付与し、多彩なインタラクションを楽しむことができる「コネクタ」を用いたインタラクションの手法を提案する。本稿では、その例として、バーチャル環境内でブロックを組み立てることで乗り物を作り、それとインタラクションすることが可能なシステムとして「Vehicle Factory」を実装した結果について報告する。ユーザスタディにより、ブロックを用いた提案手法の操作性やコネクタを用いたインタラクションの付与方法が有望であることが分かった。

キーワード : 3次元ユーザインタフェース, オブジェクトモデリング, エンタテインメント, 積み木遊び

1. 研究背景

積み木やレゴなどのブロックは、幼児の様々な能力の発達を助ける知育玩具である[1]と同時に優れたモデリングツールとして知られている。そのため、既に多くの3Dモデリングツールに取り入れられている実績がある[2,3,4,5]。ブロックを使うことで簡単にモノの形状を構築(モデリング)できるが、積み木遊びのように独自の世界やストーリーを創造するためには、構築した概略形状のオブジェクトをどのようなモノに見立てて遊ぶのが重要になってくる。しかし、これまでのブロックを用いた研究はモデリング機能の向上を図ったものが多く(例えば[2,3,4])、構築したオブジェクトを使って様々なインタラクションや創造性豊かな遊びへ導く方法については詳細に検討されていない。

これまでは、触れることができるというタンジブルユーザインタフェースの特徴を活かして、実ブロックを用いたモデリングツールが活発に研究されてきたが(例えば[2,3,6])、実ブロックでは大きさ・形・数の制約があり表現性が乏しくなるという傾向がある。そのためにデータベースから3次元モデルを検索して利用するといった解決法も提案されている[7]。一方、近年急速に開発が進んだHMDを用いた没入型バーチャル環境においても、ブロックを使って独自の世界を簡単に構築することができるようになってきた(例えば[5])。しかし、これは、小さなブ

ロックを大量に使うことで精巧な世界やオブジェクトを構築することを重視しており、形状を構築した後の遊び方を拡張したり支援しようとするものではない。

そこで本研究では、没入型バーチャル環境内で、ブロックによって簡単にモノやオブジェクトを構築できるだけでなく、構築した概略形状のオブジェクトに様々な機能を直感的に付与し、多彩なインタラクションを楽しむことができるユーザインタフェースの手法を提案する。提案手法では、ユーザはバーチャル世界の中でブロックを把持し、それらを組み合わせて直感的にオブジェクトをモデリングする。その後、そのオブジェクトに機能(動きやインタラクション)を付与する際には、メニューやモーションなどで個別に選択するのではなく、そのオブジェクトを環境と接続「コネクタ」することで、両者の組み合わせからそれに見合った機能やインタラクションを自動的に付与することができる。本稿では、提案手法の概念の有効性を検討するプロトタイプとして、ブロックで簡単に乗り物を作って、コネクタを用いてそれらに簡単に移動機能やインタラクションを設定して操作することができるシステム「Vehicle Factory」を実装し、検討した内容を報告する。

2. 関連研究

バーチャル環境内のタンジブルな操作インタフェースとして、ブロック型インタフェースはHCIの分野で盛んに研究開発されてきた。例えば、LEGOブロックで組み立てたオブジェクトの3次元形状を認識し、バーチャルオブ

Shotaro ICHIKAWA, Kazuki TAKASHIMA, and
Yoshifumi KITAMURA

ジェットのモデリングを実現した例[3]や、マイコンが内蔵されたブロックの電子的な接続からオブジェクトの形状を認識する ActiveCube[2,6]などがある。実ブロックを用いた場合は、限られた大きさ・形状・個数のブロックによって構築形状が曖昧になりやすいため、組み立てた3次元形状をクエリとしてデータベース内の3Dモデルの中から適切な候補を選定する手法[7]や、所望のモデルから想起される代表的な動きを検索クエリとして用いる手法[8]など、ブロックモデリングの課題を解決する様々な手法が検討されてきた。

HMDを用いた没入型バーチャル環境で、バーチャルなブロックを用いたモデリング・世界構築に関するソフトウェアもある。Minecraft[5]は立方体のブロックを組み合わせて、幅広いオブジェクトのモデリングを実現し、ブロック表面のテクスチャの組み合わせることで、自由度の高い世界構築が可能である。しかし、ブロックの大きさや形状は一定であるため、詳細な形状構築を構築しようとする大きな手間がかかる。Leapmotion[9]の提供するアプリケーション「Blocks」では、ジェスチャを利用し直感的にブロックを積み上げたり、大きさを変化させたりできる体験を提供している。バーチャルなブロックを用いることで物理的な制約に囚われない自由度の高い表現が可能になる一方で、ブロックを掴む感触などのタンジブルな特性がないため、ジェスチャによる入力に不慣れなユーザは思い通りに操作することが難しいといった弱点もある。

我々は、これまで、バーチャルなブロックをコネクタに接続することで様々な動物とのインタラクションを楽しむことができる ViBlock[10]やそれを発展させた VR Safari Park[11]を提案している。これらは、没入型バーチャル環境で、コントローラによる把持操作を用いてブロックを接続したり分離したりすることによって様々なコンテンツの出現を管理し、インタラクティブな動物図鑑やサファリパークシミュレーションを実現したものである。

このように没入型バーチャル環境においてもブロックを利用することは有用であることは示されているが、多種多様なオブジェクト形状を構築する機能や、概略形状を持つオブジェクトに機能やインタラクションを付与する方法は十分に検討されているとは言えない。本研究では、バーチャルな世界の「環境」と「機能」の関係性に着目し、構築したオブジェクトを所望の環境に配置（接続）するだけで、データベース上で紐づけられた機能をオブジェクトに付与することができる「コネクタ」インタフェースについて検討する。

3. 提案手法

3.1 直感的なブロックモデリング

没入型バーチャル環境でユーザの能力に依らず誰でも直感的なモデリングや世界構築が可能なインタフェースとして、プリミティブな形状のバーチャルなブロックを使

ったインタフェースを実現する手法を提案する。バーチャルなブロックを用いることで、物理的な制約に縛られずに色や大きさ等を自由に選択することが可能となる。一方で、実ブロックの持つタンジブルな性質が損なわれる懸念がある。そこでコントローラとして、ブロックを「掴む」感覚に近い入力操作が可能で、振動による触覚フィードバックが提示可能な Oculus Touch を用いる。ユーザは木製の積み木のような外観のバーチャルなブロックの位置まで、手に持ったコントローラを移動させ、トリガーボタンを握ることでブロックを「掴んで」操作する。ブロック同士を接続する際には、接続する2つのブロックの対象面の各基準点間の距離があるしきい値以下にある状態で、コントローラのトリガーボタンを放すと接続の判定がなされ、サウンドエフェクトと共に面同士が、磁石のように自動的に接続される。この方法により、ユーザはブロックを繋げる際に細かな修正をする必要がなく、スムーズなモデリングが可能となる。接続されたブロック群は一つのオブジェクトと認識され、ブロック群をまとめてグループとして動かすことやブロックを一つずつ取り外すことも可能である。ブロックの大きさは、ブロックを握った状態で両手のコントローラの距離を変化させるピンチジェスチャによりスケールリングを行う方式とした。また、ブロックの色や表面のテクスチャの変更もメニュー等は用いず、スプレー缶の形状をしたオブジェクトを用いた。一つのスプレー缶が一つの色に対応しており、ブロックと同様に缶を掴んで、対象となるブロックに缶を触れさせる操作で色を変化させる。ユーザがモデリングしたオブジェクトは次節で述べる「コネクタ」インタフェースを利用する際に、モデリングしたオブジェクトの形状が認識され、構成するブロックのメッシュの結合処理を行った後に3Dオブジェクトのデータとして書き出され、オブジェクトの情報をリアルタイムにデータベース上に保存することも可能である。

3.2 コネクタを利用した機能の付与

モデリングしたオブジェクトに対して、動的に機能を付与する「コネクタ」インタフェースについて説明する。ブロックによるオブジェクトモデリングの形状曖昧性を考慮しつつ、ユーザによる個人差が発生しないインタラクションデザインとして、バーチャルな世界に用意される「環境」に着目する。先行研究として挙げた例[7,8]では、実ブロックの形状やモーションのデータと、3Dモデルをデータベース上で紐づけていた。今回我々は、ユーザがモデリングしたオブジェクトと関連する環境を接続することで、データベース上で環境と紐づけられた機能（動きやインタラクション）を、そのオブジェクトに付与するインタラクションスタイルを提案する。つまり、モデリングしたオブジェクトの形状と環境の組み合わせで機能を決定し、それを自動的にオブジェクトに付与できることになる。ユーザはモデリングしたオブジェクトと環境を「接続する」ツールとしてコネクタを用いる。コネクタインタフェースは端



図 1: バーチャルなブロックを用いたモデリング (左) と実際に作られたオブジェクト (中央), モデリングされたオブジェクト (飛行機) と環境 (滑走路) を接続する「コネクタ」インタフェース (右).

が凹型になったデザインであり、ブロックと同様にコネクタを挿入して移動させ、対象となる環境 (例えば道路や特定の建物などのオブジェクト) にコネクタが接触するように配置する。その状態でコネクタの反対端にブロックで作られたオブジェクトを接続すると、データベースに基づいて環境に対応した機能が付与された 3D モデルが生成される。

4. システム実装例 Vehicle Factory

提案手法の有効性を検証するシステムとして、Vehicle Factory を試作した。ユーザは 5 種類 (立方体, 円柱, 円錐, 三角柱, 四角錐) のプリミティブな形状のブロックを色や大きさを変え、それらの接続を繰り返してオブジェクトを構築する。(図 1 (左, 中央)) バーチャルな世界内に用意された環境 (道路, 滑走路, 発射台等) には、予めその特徴に応じた機能が紐づけられている。ユーザはブロックを用いてモデリングしたオブジェクトと環境をコネクタを利用して接続することで、機能が付与された 3D モデルを生成し、そのモデルとのインタラクションが可能となる。例えば、ブロックを用いて飛行機の“ような”オブジェクトを構築したとする。これを滑走路に配置されたコネクタに接続すると (図 1 右), 飛行機の機能が付与された 3D モデルが生成される。ユーザはコントローラのスティック操作によって、そのモデルを飛行機のように前後進, 上昇下降させる操縦を行うことができる。一方, 道路上にあるコネクタと接続した場合は, 車の機能 (例: ユーザが前進, 後退, 回転を操作できる) が付与された 3D モデルが生成され, 操作できる状態になる。

5. ユーザスタディ

5.1 実験概要

ブロックを用いたオブジェクトモデリングと、コネクタを用いて環境に対応した機能を付与する提案システムの有用性およびユーザビリティを検討するために、ユーザスタディを実施した。参加者は 8 名 (女 4 名, 平均 21.3 歳) で、日常的に HMD を用いた VR 経験がある人はいなかった。また、4 名が 3DCAD 等のソフトウェアを使ったバーチャルな空間での 3D モデリングの経験があった。参加者は操作方法の説明と簡単なチュートリアルの後、約 10 分

間アプリケーションを体験した。参加者は体験終了後、SUS (System Usability Scale) [12] についてのアンケートと独自に作成した体験に関するアンケートに回答した。

5.2 体験中の様子

体験中に参加者が作成したモデルの一部と、飛行機のオブジェクトを滑走路のコネクタに接続している様子を図 1 (中央, 右) に示す。体験開始直後はコントローラを用いてバーチャルなブロックを掴む際に、距離感を掴みかねている様子が見受けられたが、数分後には操作に不自由しなくなっていた。しかし、グループ化されているブロック群からブロックを取り外す際などの操作に戸惑いが見られた為、操作方法に関しては修正の余地があると思われる。コネクタの使用に関しては事前の説明とチュートリアルを受けていた為、操作に不自由な様子は見受けられなかった。

5.3 評価結果

8 名の SUS によるユーザビリティの平均スコアは、66.6 ポイントであった。SUS のスコアの評価方法については諸説あるが、Bangor による評価基準[13]に則ると、「使用するのは十分可能だが改善が可能」なレベルであった。また、コネクタを用いた機能の付与に関するアンケートの結果の一部を表 1 に示す。なお、アンケートは 7 段階リッカート尺度による評価とした。結果から、構築したオブジェクトをコネクタを用いて環境に接続する操作や、それによって機能が付与されるインタフェースシステムに関しては 3 項目とも平均スコアが 7 段階中で 5.9 以上と高評価が得られた。これらの結果より、提案手法は初めて使用するユーザに対しても十分なユーザビリティのあるインタフェースであり、分かりやすい有望なインタラクションスタイルであると考えられる。また、体験全体を通しての感想について、アンケートの回答後に行った参加者へのインタビューからは、「バーチャル空間なら現実ではできない形状を構築できそうで面白そう。」「自分が作ったオブジェクトがコネクタを使うとそのまま動かせるのが面白かった。」などの好意的な意見があった。一方で実ブロックと比べてブロックを取り外すのが難しかった等、主にブロックの付け外しに関して改善を求める声もあった。また、3D モデリング経験のある参加者からは、現在使用している設計ツールは 2 次元と 3 次元の操作の両方が必要で手

間がかかるため、本インタフェースは直感的であり、モデリングツールとして使用できる可能性があるという意見も挙げられた。3章で述べた通り作成したオブジェクトのメッシュを結合して、一つの3Dオブジェクトのデータとして出力できるため、ラピッドプロトタイピングの為のツールとしての応用可能性も考えられる。

表 1: アンケート結果

アンケート項目	平均値	標準偏差	中央値
ブロックをコネクタに取り付ける操作は分かりやすかったか	5.9	1.1	6
コネクタの機能が配置する環境により変わるシステムは分かりやすかったか	6.0	1.3	6.5
ブロックをコネクタに取り付けると、機能が付与されるシステムは分かりやすかったか	6.6	0.5	7

6. 議論

ユーザスタディの結果より、概ね肯定的であったが、ブロックの操作については慣れが必要であり、デバイスの使い勝手等について課題が見られた。異なる操作デバイスを用いるか、パラメータの調整等が必要とみられる。また、今回実装したアプリケーションでは、バーチャル空間内にある環境のオブジェクトは事前に設置されていた上、3種類と少数であったこともあり、初めて体験する参加者でも、コネクタを用いた機能の付与がスムーズに行えた。今後はより多くの組み合わせが発生した複雑な環境におけるコネクタの効果を検証する必要がある。また、実際にデータベースを仮に設定してみたり、環境自体をブロックで構築することなども興味深いと考える。

7. 結論

本稿では、没入型バーチャル環境内で、ブロックによって簡単にモノやオブジェクトを構築できるだけでなく、その概略形状のオブジェクトに、環境との接続を通して様々な機能を簡単に付与し、多彩なインタラクションを楽しむことができるユーザインタフェース構築のための手法を提案した。バーチャルなブロックを用いたオブジェクトモデリングする機能と、構築したオブジェクトに「環境」に基づいて動的に機能を付与するコネクタインタフェースを検討した。初期の検討として簡単なプロトタイプを制作し、ユーザスタディを通して提案手法が十分な操作性と可能性を持つことを示した。今後は、システム全体の設計と実装をして、より大きく現実的な規模で、ブロック遊びに基づく世界構築の方法について検討を進めていきたい。

参考文献

[1] S. Cartwright, Play can be the building blocks of learning, *Young Children*, 44-47, 1998.

- [2] Y. Kitamura, Y. Itoh, F. Kishino, Real-time 3D interaction with ActiveCube. *CHI EA '01*, 355-356, 2001.
- [3] D. Anderson, J. Frankel, J. Marks, A. Agarwala, P. Beardley, J. Hodgins, D. Leigh, K. Leigh, K. Ryall, E. Sullivan, J. S. Yedidia, Tangible interaction + graphical interpretation: a new approach to 3D modeling. In *Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques (SIGGRAPH '00)*, 393-402, 2000.
- [4] 北村 喜文, エイミー イー, 岸野 文郎. 面間の動的拘束を用いた仮想物体の操作補助法, *電子情報通信学会論文誌*, Vol. J79-A, No.2, pp.506-517, 1996.
- [5] Minecraft. <https://minecraft.net/ja-jp/> (7/27)
- [6] Y. Itoh, S. Akinobu, H. Ichida, R. Watanabe, Y. Kitamura, F. Kishino, TSU.MI.KI: Stimulating Children's Creativity and Imagination with Interactive Blocks, In *Proc. C5 '04*, 62—70, 2004.
- [7] 市田 浩靖, 伊藤 雄一, 北村 喜文, 岸野 文郎, 実物体を利用した3次元形状モデル検索, *情報処理学会論文誌* Vol. 44, 2556-2564, 2003.
- [8] 伊藤 雄一, 高嶋 和毅, 小川 兼人, 安部 登樹, 岸野 文郎, 実物体のモーションをクエリとして用いた3次元形状モデル検索, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, 17 巻, 4 号, p. 369-379, 2012.
- [9] Blocks, Leapmotion, [https://gallery.leapmotion.com/blocks/\(7/27\)](https://gallery.leapmotion.com/blocks/(7/27))
- [10] M. Ishikawa, T. Hagiwara, K. Takashima, Y. Kitamura, Viblock: block-shaped content manipulation in VR. In *SIGGRAPH ASIA 2016 VR Showcase (SA '16)*. 2 pages, 2016.
- [11] 市川 将太郎, 高嶋 和毅, 北村 喜文, 世界樹とブロックのメタファによる探索型インタフェースを活用した VR Safari Park の試作, *エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2017 論文集*, 85-91, 2017.
- [12] J. Brooke, SUS : A Quick and Dirty Usability Scale, *Usability Evaluation in Industry*, 189-194, 1996.
- [13] A. Bangor, P. Kortum, J. Miller,. Determining what individual SUS scores mean: adding an adjective rating scale. *J. Usability Studies* 4, 114-123, 2009.