

# ヘッドマウントディスプレイ用 CAVELib 互換ライブラリの開発

## Development of CAVELib Compatible Library for Head Mounted Display

- 川原慎太郎, 海洋研究開発機構, 神奈川県横浜市金沢区昭和町 3173-25, kawahara@jamstec.go.jp  
陰山聡, 神戸大学大学院, 神戸市灘区六甲台町 1-1, kage@port.kobe-u.ac.jp  
Shintaro KAWAHARA, JAMSTEC, 3173-25 Showa-machi, Kanazawa-ku, Yokohama  
Akira Kageyama, Kobe University, 1-1 Rokkodai-cho, Nada-ku, Kobe

Abstract: A C++ library called CLCL (CAVELib compatible library) is developed to facilitate porting the application software for CAVE-type VR systems (CAVE) to head mounted display-type VR devices (HMD). It emulates the function calls of CAVELib which is a commercial library for developing application software executable on CAVEs. Porting efficiency of existing application software written by CAVELib to HMDs is greatly improved by using CLCL. Programmers can develop application software for CAVEs and HMDs with almost the same source code by using this library.

### 1. はじめに

バーチャリアリティ (以下 VR) 技術を用いたデータ可視化は、対話性を伴った立体映像を提示することで三次元データ内に含まれる様々な空間構造の直感的な把握を可能にすることから、データ解析のための有効な手段の一つとして知られている<sup>(1)</sup>。海洋研究開発機構では CAVE 型 VR 装置<sup>(2)</sup> (以下 CAVE) を 2003 年に導入し、これまでにさまざまな研究開発を実施してきた。CAVE の大型スクリーンに投影される立体映像からは VR 空間に対する高い没入感が得られる反面、数千万円以上ともなる高額な機器導入費用および大規模な設置スペースが高いハードルとなり、国内外の研究開発の現場における普及率はそれほど高いとは言えない。

一方、Oculus Rift<sup>(3)</sup>や HTC VIVE<sup>(4)</sup>に代表されるヘッドマウントディスプレイ型 VR 装置 (以下 HMD) の性能向上とその低価格化は近年著しく、論文や学会発表においてデータ可視化への利用事例が取り上げられることも年々増えてきている。HMD 用ソフトウェアの開発には、Unity<sup>(5)</sup>や Unreal Engine<sup>(6)</sup>といったゲームエンジンを用いるのが現在の主流ではあるが、この方法では C++ 言語を用いて開発した既存の CAVE 用ソフトウェア資産の活用は困難である。本稿では、既存の CAVE 用ソフトウェアの HMD への移植を容易にする、C++ 言語用ライブラリの開発について述べる。

### 2. CAVELib 互換ライブラリ「CLCL」の開発

筆者らは、CAVE 用汎用可視化ソフトウェア VFIVE<sup>(7,8)</sup>を Oculus 社製 HMD である Development Kit 2 および Rift で動作させること自体については、これまでに実施した研究において既に成功している<sup>(9, 10)</sup>。VFIVE のソースコードは、CAVE 用ソフトウェアを開発するための C++ 言語用ライブラリである CAVELib<sup>(11)</sup>を用いて記述されている。当初、VFIVE の HMD への移植は、ソースコード中の CAVELib で記述された箇所の全てを、GLFW<sup>(12)</sup>などの OpenGL フレームワークと Oculus SDK<sup>(13)</sup> (Oculus 社製 HMD 用プログラム開発のための C++ 言語用ライブラリ) 等を用いて逐次書き換える原始的な手法で行っていた。このため、その作業はソースコード全般に渡る煩雑なものとなってしまう。更に、移植作業後のソースコードは HMD 専用になってしまうため、ソースコードのメンテナンス性も低く、VFIVE 以外の CAVELib プログラムを移植するには都度同様の書き換え作業が必要になるという効率の悪いものであった。この問題を解決するため、CAVELib と同名の関数を OpenGL フレームワークや Oculus SDK を用いて再実装した互換ライブラリを開発し、CLCL (CAVELib Compatible Library for HMD-type VR devices)と名付けた。CAVELib

プログラムでは、OpenGL 等に関する初期化や、描画等フレーム毎に実行される処理をコールバック関数として登録し、それらはメインループ中にバックグラウンド実行される。CLCL では、マルチスレッド処理にてこれを模倣する構成とした (Fig. 1)。

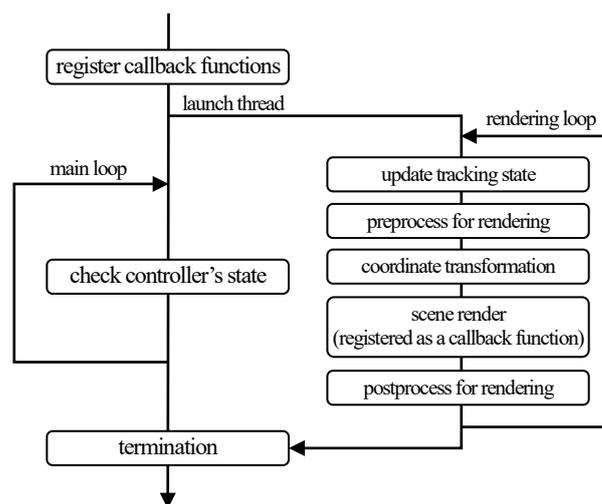


Fig. 1 Processing flow of CLCL for emulating CAVELib.

また、CAVELib には無い CLCL 独自の機能として、HMD 前面に装着したステレオカメラ (Stereolabs 社製 ZED mini<sup>(14)</sup>) による MR 機能の初期実装を完了した。本カメラの特徴として、取得した視差画像からデプスマップを算出する機能があるが、これを用いてカメラで取得した視差映像と 3-D CG のオクルージョン表現を可能とした。これは、機器装着時に実空間の視覚的情報が得られないという密閉型 HMD 特有の問題を解決するものである。カメラの装着状態のチェックや、カメラ機能の有効/無効の切り替えについては、CLCL で再実装した CAVELib 関数の内部に組み込む形とした。このため、CLCL を用いて CAVE 用プログラムを HMD に移植する際、本機能についてプログラマが意識する必要は無い。また、HMD 用 SDK として、Oculus SDK の代わりに OpenVR<sup>(15)</sup>を用いたバージョンの CLCL についても併せて開発した。OpenVR 版 CLCL を用いることにより、Oculus 社製 HMD だけでなく、HTC VIVE でも動作する実行ファイルを生成することができる。Fig. 2 は CLCL の機能を示す概念図である。CAVELib を用いて記述された CAVE 用ソースコードは、CAVELib の代わり

に CLCL をリンクしてビルドすることで HMD 実行ファイルを生  
成できる。本図中の Oculus App および SteamVR は HMD 用実行  
ファイルの起動に必要な基本ソフトウェアである。Oculus  
App は Oculus 社製 HMD 専用の基本ソフトウェアであり、Oculus  
SDK 版 CLCL を用いてビルドした実行ファイルの場合、これを経  
由することで起動することができる。一方、SteamVR は VIVE だ  
けでなく Oculus 社製の HMD にも対応した基本ソフトウェアであ  
る。OpenVR 版 CLCL を用いてビルドした実行ファイルの場合、  
接続されている HMD が VIVE であれば SteamVR のみを経由して  
起動することができるが、接続されているのが Oculus 社製 HMD  
の場合、SteamVR および Oculus App の両方を経由することで起  
動することができる。Oculus 社製 HMD については OpenVR よりも  
自社開発である Oculus SDK の方が親和性が高いため、SDK 別に  
二つのバージョンの CLCL を開発している。

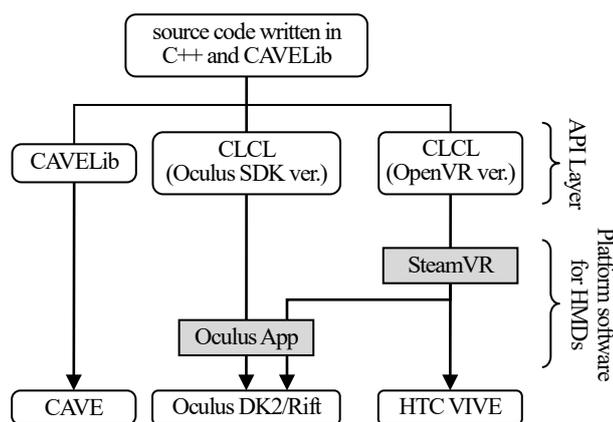


Fig. 2 Conceptual diagram of CLCL.

### 3. CAVELib プログラムへの CLCL の適用

VFIVE のオリジナルソースコードに対して CLCL (Oculus SDK  
版) を適用した。現行バージョンの Oculus SDK は Windows 専用  
であるため、コンパイラとして Visual Studio を用い、ビルド時に  
CAVELib の代わりに CLCL をリンクして実行ファイルを生成した。  
OpenVR 版 CLCL についても、Oculus SDK 版 CLCL の場合と  
同様に Visual Studio を用いて実行ファイルのビルドを行った。こ  
の結果、Oculus SDK 版、OpenVR 版共に元のソースコードにはほぼ  
変更なく、ビルドした実行ファイルが HMD (Oculus Rift および  
HTC VIVE) で動作することを確認した。トラッキング可能な手  
持ちコントローラ (CAVE ではワンドと呼ばれる) によるメニュ  
ーパネルからの可視化機能の選択や、可視化パラメータのインタ  
ラクティブな変更が VFIVE の特徴であるが、HMD でも専用の  
6-DOF コントローラ (Oculus Touch および VIVE コントローラ)  
を用いて同様の操作ができることを確認した。OpenVR 自体はマ  
ルチプラットフォーム (Windows, Mac OS X, Linux) 対応であるが、  
Windows 以外での動作については現在のところ未検証である。

HMD (Rift) 上で動作する VFIVE のスクリーンキャプチャを  
Fig. 3 に示す。本図では、外部ステレオカメラを有効にした場合  
のオクルージョン表現により、実空間映像と VFIVE で描画された  
3-D CG との前後関係が正しく示されていることがわかる。この他、  
他機関で開発されたものも含む複数の CAVE 用ソフトウェアに対  
して本ライブラリを適用し、ソースコードへの軽微な変更のみで  
HMD でも概ね動作することを確認している。

### 4. まとめ

本稿では、開発した HMD 用 CAVELib 互換ライブラリ CLCL  
の概要と、CAVELib プログラムへの適用事例として CLCL を用

いた VFIVE の HMD への移植について紹介した。本ライブラリの  
開発により、CAVELib プログラムを HMD へと容易に移植するこ  
とができるようになった。これは同時に本ライブラリを用いて開  
発した HMD 用ソフトウェアを CAVE で動作させることも可能で  
あることを示しており、両装置間の共通開発基盤としての今後の  
利用が期待できる。

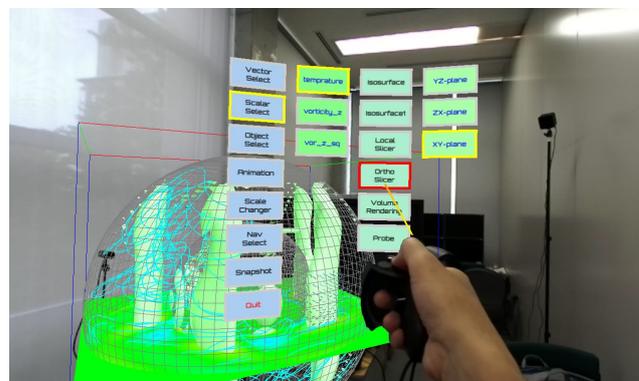


Fig. 3 A screen capture of VFIVE ported by CLCL. Occlusion  
representation using the external camera (ZED mini) can be confirmed.

### 謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP16K00178 の助成を受けたものです。

### 参考文献

- (1) Andries van Dam et al., "Immersive VR for Scientific Visualization: A progress report", IEEE Computer Graphics and Application, Nov./Dec. 2000 (2000), pp.26-52.
- (2) C. Cruz-Neira et al., "The CAVE: Audio Visual Experience Automatic Virtual Environment", Comm. of the ACM, 35:6 (1992), pp.64-72.
- (3) Oculus Rift: <https://www.oculus.com/rift/> (2018年10月18日閲覧)
- (4) HTC VIVE: <https://www.vive.com/> (2018年10月18日閲覧)
- (5) Unity: <https://unity3d.com/> (2018年10月18日閲覧)
- (6) Unreal Engine: <https://www.unrealengine.com/> (2018年10月18日閲覧)
- (7) A. Kageyama et al., "Visualization of Vector Field by Virtual Reality", Progress of Theoretical Physics Supplement, 138 (2000), pp.665-673.
- (8) VFIVE: <http://www.jamstec.go.jp/ceist/aird/avcr/vfive.ja.html> (2018年10月18日閲覧)
- (9) S. Kawahara and A. Kageyama, Data Visualization by Video See-through Head Mounted Display, Plasma and Fusion Research, Vol.10:1201087 (2015)
- (10) 川原, 杉山, "バーチャルリアリティ装置を用いた都市熱環境シミュレーションの可視化", 第 31 回数値流体力学シンポジウム (2017)
- (11) CAVELib: <https://www.mechdyne.com/software.aspx?name=CAVELib> (2018年10月18日閲覧)
- (12) GLFW: <http://www.glfw.org/> (2018年10月18日閲覧)
- (13) Oculus SDK: <https://developer.oculus.com/downloads/package/oculus-sdk-for-windows/> (2018年10月18日閲覧)
- (14) ZED mini: <https://www.stereolabs.com/zed-mini/> (2018年10月18日閲覧)
- (15) OpenVR: <https://github.com/ValveSoftware/openvr/> (2018年10月18日閲覧)