

早稲田大学大学院 基幹理工学研究科

博士論文審査報告書

論文題目

情報の可視化とアクセス容易化のための C++ フレームワーク
の新たな設計方法に関する研究

Research on a new design method of C++ framework for information
visualization and ease of access

申請者

鈴木 遼

Ryo SUZUKI

表現工学専攻 デジタルメディア表現研究

2022年3月

コンピュータによる情報伝達の普及につれ、視覚情報の果たす役割と多様性が高まりつつある。最近のコンピュータは高度な視覚情報処理能力を備えており、この機能を利用することによって VR（バーチャルリアリティ）のような高度な視覚表現が可能になりつつある。ところが、こうした高度な表現を利用するためには、利用者自身に高度な専門知識やプログラミング・スキルが要求されるため、現在は一部の人々だけしかその恩恵にあずかることができない。

プログラミングの容易化による現状打破の試みは、これまでも世界中で行われてきた。OpenGL のような既存言語の関数ライブラリの拡張による方法、Processing のような新たな言語の開発、ゲームエンジンと呼ばれるプログラミング・スキルレベルを大幅に下げるソフトウェア開発環境の実現などがその代表的なものである。しかしこうした事例では難易度を下げることが成功しているが、その代償として過去のソフトウェア資産の継承を断念するケースが多く見られる。コンピュータを効率的に利用するために、ソフトウェアの利便性は必要不可欠である。ソフトウェアは、コンピュータの利用環境を向上するために日々改良され、その積み重ねによって発展してきた。従って、こうした過去のソフトウェア資産の継承を断ち、新たなソフトウェアに移行することは、ソフトウェア開発の生産性を高めるうえで大きな問題である。

コンピュータを利用した視覚情報処理の歴史は古く、1963 年の Ivan Sutherland による Sketchpad 以来、今日に至るまで半世紀以上の歴史を持つ。1972 年に登場した C 言語は、1980 年代から 90 年代にかけて CG(Computer Graphics)の発展と共に、視覚情報処理系のソフトウェア開発において多用されてきた。1995 年、Windows95 の登場以後は、オブジェクト指向を取り入れた C++言語へと発展しつつ世界中に普及し、現在でもソフトウェア開発言語の中で最も多く利用される言語のひとつである。従って C++言語を用いた視覚情報処理系のソフトウェアは、膨大な過去の資産を有している。

本論文の著者はこの点に着目し、C++言語による視覚情報系ソフトウェア資産の蓄積を生かしながら、プログラマーが必要とされるスキルレベルを下げるためには、フレームワークを利用することが有効であると考えた。そして C++言語のアクセス容易化のために新しいフレームワークの設計を行った。従来のフレームワークがソフトウェア開発全体の生産性向上を狙っているのに対し、著者は C++言語による可視化と視覚表現能力の向上と、そのためのプログラミングの容易化に焦点を絞った。そしてその実現のために独自に C++フレームワーク『Siv3D』を設計し、その開発と社会への普及活動を行ってきた。本論文は、その開発思想と具体化のための手法、そして普及のための活動についてまとめたものである。以下、本論文の各章について概要と評価を述べる。

第 1 章『序論』では、本研究の意義や目的、本論文の構成について述べ、

最後にソフトウェア開発の論文化に関する著者の考え方が述べられている。これは、ソフトウェア開発の学術研究的側面からの価値とその評価について論じたものであり、今後の同種の研究に対する価値判断の材料を提供した点が評価できる。

第2章『フレームワーク』では、まずフレームワークの役割とその利便性実現のための要素について述べている。そして情報可視化やインタラクションのためのプログラミングフレームワークに関する従来研究や過去のソフトウェアについての調査結果を述べた後、C++言語の特徴とその位置づけについて述べている。そして最後に自らが開発した『Siv3D』フレームワークについて、機能や特徴、活用事例について述べている。本章では、フレームワークにおける高度な視覚表現機能の実現にとって必要な機能を整理し、これを実現するために要求される機能を明らかにした点が評価できる。

第3章『機能設計の課題と Siv3D での解決』では、まず高度な視覚情報処理を実現するためにフレームワークが備えるべき機能と、これを実現しようとする際に生じる課題について述べている。そして Siv3D における解決のための実装について述べている。具体的には、フレームワークのアーキテクチャと基本クラス設計、コンテンツ制作用のアセット充実を目的とするオープンソース・リソースの活用方法、ロードに失敗したアセットのフォールバック方法、ソフトウェア開発における試行錯誤を高速化するためのスクリプティングシステムの導入、そしてフレームワークの更新方法などについて述べている。ここでは、フレームワークを利用した高度な視覚表現機能の実現における問題点を明らかにし、各問題に対して考案した新たな実装方法を具体的に示すことで、その有効性を明らかにした点が高く評価できる。

第4章『C++ API 設計の課題と Siv3D での解決』では、C++言語を用いた情報可視化や人と計算機のインタラクションを目的とする大規模ソフトウェア開発における課題について、具体的な問題点の指摘を行いその解決法を述べている。具体的には、柔軟な図形定義を可能にするための名前付き引数エミュレーション拡張、コード表現力向上のためのユーザ定義リテラル・変数型の拡張、サブシステムの初期化と終了処理の効率的な実装方法、そしてC++言語へのアクセス容易化を目的とする標準ライブラリの拡張方法などを述べている。ここでは情報可視化やインタラクション分野へのC++言語適用時に起きる問題点を明らかにし、APIの活用によって同言語が持つ制約の範囲内でも問題解決が可能であることを明らかにした点が評価できる。

第5章『Siv3Dの普及とユーザコミュニティの発展のための施策とその評価』では、オープンソースソフトウェアの普及・発展の観点から Siv3D のユーザコミュニティ運営について、その方針と具体的な方法について述べている。著者独自の取り組みとして「実装会」や「チャレンジ」などのユーザに対する協働開発参加を促すための試みについて、その方法と事例の分析と評価を述べている。ここでは、ソフトウェア普及のためにはその内容や質と

共に普及活動の重要性を、実際の活動とその結果の分析を通じて明らかにした点が評価できる。

第6章『C++およびツール開発者へのフィードバック』では、Siv3Dの開発におけるC++言語の最新仕様や開発ツールの利用状況の分析結果を述べ、フレームワーク開発の継続的な発展のためにC++言語に求められる進化や、ツール整備の方向性に関して、Siv3Dの開発と運用経験を踏まえたフィードバックと提言を述べている。

第7章『結論』では、表現工学分野およびソフトウェア工学分野の観点から本研究のこれまでの成果と貢献、および今後の課題と展望について述べている。

以上要するに、本論文はC++言語による情報可視化およびインタラクションのプログラミングを容易化し、コンピュータによる高度な視覚表現を可能にするための新たな方法と、これを実現するための手法について論じたものである。本研究の成果物である『Siv3D』は、既に幾つかの高等教育機関で利用され、情報科学や芸術分野で成果を挙げつつある。従って、本論文が表現工学分野の発展に寄与するところが極めて大きいことは明らかであり、本論文が博士（工学）学位論文として相応しいものであると認められる。

2022年3月

審査員

主査 早稲田大学教授 工学士 東京工業大学 坂井 滋和

早稲田大学教授 工学博士 東京大学 上田 和紀

早稲田大学名誉教授 芸術学博士 東京藝術大学 長 幾朗

早稲田大学教授 博士（人間科学） 早稲田大学 河合 隆史