

早稲田大学大学院 基幹理工学研究科

博士論文概要

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1月

ソフトウェア開発においては、高度化・複雑化する計算機やアルゴリズムと、人間にとって扱いやすいプログラムの間のギャップを埋めるために、両者を橋渡しするプログラミング言語やライブラリ、フレームワークの存在が欠かせない。

プログラミング言語 C++は、ゼロコスト抽象化と、決定論的なリソース寿命管理という特長を有し、実行時の速度を重視するソフトウェアや、大規模で複雑な並行処理を行うソフトウェアの開発に広く用いられる。一方で、小さなアプリケーションを開発するだけでも専門的な知識が要求される学習難度と、標準ライブラリでカバーできる領域の小ささから、情報の可視化やユーザとのインタラクションを扱うアプリケーション、プロトタイピングといった小規模かつ高レイヤの開発において用いられる機会は少なく、そのような用途では他のプログラミング言語が採用されることが一般的である。こうした状況は、C++がこれまで蓄積してきた様々な分野にわたるライブラリ資産の活用機会を狭め、400万人以上とされるC++利用者が生み出せるソフトウェアプロダクトの領域を小さくする、もったいない状態を引き起こしている。そこで筆者は、C++が抱えるこのような弱点を克服するために、2011年以降急速にアップデートされているC++の言語仕様を活用するAPI (Application Programming Interface) 設計と、機能設計の工夫を盛り込んだC++フレームワーク「Siv3D」を開発し、9年間にわたって普及と更新に取り組んできた。

本研究では、情報可視化やインタラクションを取り扱う、個人または少人数が数時間から数日で開発する数千LoC (Lines of Code) 規模のアプリケーションのためのプログラミングフレームワークを対象分野に据え、Siv3Dを題材として、現代的なC++フレームワークの設計や、オープンソースソフトウェアの運用に関する一連の取り組みをまとめ、重要な要素や技術的ポイントについて説明した。

本論文は全部で7章から構成されている。以下に各章の概要について述べる。

第1章は、本研究の意義や目的、本論文の構成について述べている。

第2章では、フレームワークの役割、使いやすさを実現するための要素、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の関連研究について述べ、合わせてプログラミング言語C++の位置づけと、Siv3Dの概要、Siv3Dの利用事例について説明している。

第3章では、フレームワークの機能設計全般に関して、Siv3Dの特徴的な事例を取り上げて議論を行っている。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の設計、コンテンツ制作用のアセットを充実させることを目的とした、オープンソースの絵文字・アイコンフォントの活用、ロードに失敗したアセットをフォールバックさせる手段のデザイン、開発イテレーション高速化のためのスクリプティングシステム、そしてフレームワークの更新について述べている。

第4章では、情報可視化や人と計算機のインタラクションに関する大規模フレ

ームワークを、C++を用いて開発する過程で明らかになった、C++言語の使い勝手に関する課題を7つ指摘し、言語仕様の制約の中でそれらの課題の解決もしくは緩和を図った Siv3D の API 設計の工夫を説明している。具体的には、次の項目である。

- ・名前付き引数エミュレーションによるコンストラクタオーバーロードを用いた柔軟な図形定義
- ・ユーザ定義リテラルと bool 型の strong typedef を用いたコードの表現力向上
- ・サブシステムの初期化と終了処理の効率的な実装
- ・RAII を利用したレンダーステートの管理
- ・ヘッダファイルのドキュメント性の向上
- ・C++の難しさを低減させるための標準ライブラリ拡張
- ・演算子のオーバーロードの柔軟な活用

第5章では、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おける事例の分析と評価を行っている。とくに Siv3D 独自の取り組みである、利用者の協働開発参加を促す「実装会」や「チャレンジ」といった施策と、フィードバックの収集方法について説明している。

第6章では、Siv3D の開発における C++の最新仕様や開発ツールの利用状況を報告し、合わせて、フレームワーク開発分野の発展のために、どのような C++言語の進化や、ツールの整備が望ましいか、運用経験を踏まえたフィードバックと提言を行っている。

第7章では、本研究の成果と貢献について、表現工学分野およびプログラミング分野の観点からまとめ、今後の課題と展望について述べている。

本研究の貢献は以下の4点である。

【研究開発を支援するツールセットを提供した】

HCI (Human-Computer Interaction) 研究およびデジタルメディア表現研究に活用できるプログラミングフレームワーク Siv3D を開発し、オープンソースソフトウェアとして公開した。すでに実験や可視化ソフトウェアの開発に Siv3D を活用した学術論文が少なくとも12報発表されている。また、Siv3D が提供する機能を用いて、新しいメディア表現の開発が容易に達成されることを、実際に稼働したアプリケーションの事例によって示した。

【情報可視化やインタラクションを扱うオープンソースソフトウェアの発展に役立つ知見を共有した】

将来のフレームワーク開発者がより少ないコストで Siv3D と同等以上のフレームワークを開発・運用できるよう、Siv3D の設計決定と開発省力化、ユーザコミュニティに関する方法論として、「C++ API 設計におけるコードの表現力の拡張」と、「プログラミングに直接関連しない開発支援要素」に着目して分析を行い、得

られた知見を説明した。

【大規模フレームワーク開発における C++の使い勝手を改善する技法を提案、実証した】

C++を用いて情報可視化や人と計算機のインタラクションに関する大規模フレームワークを開発する過程で明らかになった、C++の使い勝手に関する課題を複数指摘し、それらの解決もしくは緩和を図る API 設計技法を提案、それらを Siv3D への実装を通して実証した。あらゆる開発者がその技法を容易に再利用できるよう、完全なコードをオープンソースライセンスで公開した。

【新しい C++開発環境へのフィードバックを報告した】

Siv3D の開発プロジェクトでは、直近に策定された C++言語規格や、新しい C++ ツールなど、開発環境の進化を先取的に採用し、それらの活用事例と評価について、将来の言語仕様策定プロセスや、C++アプリケーション開発者が参照できるよう報告した。

Siv3D のソースコードはすべてオープンソースライセンスで公開されている。Siv3D のソフトウェア開発キット (SDK) のダウンロード数は年間 1 万回に及び、Siv3D を活用したプログラムは、ソースコード共有サイト上において 1 万ファイル超が共有されている。実験や可視化ツールなどで Siv3D を活用した研究成果も 12 報発表されている。こうした実績が、Siv3D が現実のソフトウェア開発に貢献していることを示している。

Siv3D 本体を構成するソースコードは、独自に実装した部分だけで 2,200 ファイル、22 万行に及び、これ以外に 90 のサードパーティ・ソフトウェアが追加で組み込まれている。公開コードリポジトリ上では 5,000 回以上のコードの追加や変更 (コミット) が行われ、30 人以上がコミッタになるなど、活発な開発とユーザコミュニティ運営が続いている。

本研究成果は、登場して間もない C++17/C++20 の最先端の言語仕様を効果的に活用しつつ、大規模で競争力のあるフレームワークを設計するという先駆的な取り組みであることから、とくに C++のフレームワーク開発者にとって有用な知見集であり、将来のフレームワーク設計の品質向上と、アプリケーション開発の発展に寄与するものである。

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

氏名：鈴木 遼

印

(2022年 1月 現在)

種類別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者(申請者含む)
○論文	<u>Ryo Suzuki</u> , and Ikuro Choh. Using Emoji as Image Resources in Educational ProgrammingTools, International Conference on Human-Computer Interaction. Springer, Cham, 2020. p. 325-331, 2020年7月,1カラム7ページ
○論文	鈴木遼,長幾朗. Siv3D:インタラクティブアプリケーションのためのC++フレームワーク,コンピュータソフトウェア 34(4) 17-38, 2017年11月, 2カラム22ページ
○論文	<u>Ryo Suzuki</u> , Takuto Takahashi, Hiroshi G. Okuno. Development of a robotic pet using sound source localization with the HARK robot audition system, Journal of Robotics and Mechatronics 29(1) 146-153 2017年2月,2カラム8ページ
論文	<u>Ryo Suzuki</u> , Takuto Takahashi, Kenta Masuda, and Ikuro Choh. Implementing Node-Link Interface into a Block-Based Visual Programming Language, International Conference on Human-Computer Interaction. Springer, Cham, 2018. p. 455-465, 2018年7月,1カラム11ページ
総説	鈴木遼.音や画像で遊ぼう-インタラクティブアプリケーションのためのC++フレームワーク「Siv3D」,情報処理58(6) 474-480, 2017年5月,2カラム7ページ
講演	鈴木遼,上田和紀,坂井滋和.情報可視化やインタラクションのためのライブラリSiv3Dの機能強化とC++17, C++20への対応,日本ソフトウェア科学会第38回大会, オンライン, 2021年9月, 2カラム17ページ
講演	鈴木遼,松村哲郎,安藤弘晃.ゲーム開発者のためのC++11~C++20,将来のC++の展望, CEDEC2020, 日本 神奈川, 2020年9月
講演	鈴木遼,長幾朗. C++14における名前付き引数の実装,情報処理学会第79回全国大会講演論文集 2017.1: 201-202, 日本 名古屋, 2017年3月, 2カラム2ページ
講演	鈴木遼.音や画像で遊ぼう,日本ソフトウェア科学会第33回大会企画FTD 2016, 日本 宮城, 2016年9月
講演	鈴木遼,長幾朗.ゲームとインタラクティブメディアのプログラミングを容易にするC++ライブラリの開発,情報処理学会第77回全国大会講演論文集2015.1: 97-98, 日本 京都, 2015年3月,2カラム2ページ
講演	鈴木遼.メディアアート制作の敷居を下げるC++プログラミングライブラリ, CEDEC 2014, 日本 神奈川, 2014年8月
その他(著書)	鈴木遼.冒険で学ぶ はじめてのプログラミング,技術評論社, 2018年
その他(講演)	鈴木遼, 曹暘. 視線情報を利用したテキストエリアの選択. 情報処理学会第 78 回全国大会講演論文集, 2016.1: 383-384, 日本 神奈川, 2016年3月,2カラム2ページ
その他(講演)	Takuya Kato, Akira Kato, Naomi Okamura, Taro Kanai, Ryo Suzuki, and Yuko Shirai. Musasabi: 2D/3D intuitive and detailed visualization system for the forest. In ACM SIGGRAPH 2015 Posters (pp. 1-1). Los Angeles, U.S.A., 2015年8月,2カラム1ページ
その他(論文)	Mariano Perez Pelaez, Ryo Suzuki, and Ikuro Choh. Research on a large digital desktop integrated in a traditional environment for informal collaboration, International Conference on Human-Computer Interaction. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013. p. 348-357, 2013年, 1カラム10ページ