

マルチエージェント・シミュレーション用 ソフトウェア artisoc Cloud の紹介

小川 倫, 北上 靖大

マルチエージェント・シミュレーション (MAS) は、社会や自然界の複雑な現象を理解し、また今後の社会システムを設計していくうえで重要な手法である。構造計画研究所では MAS を簡単に実行できるシミュレーションソフトウェアである artisoc を開発し、普及活動やコンサルティング事業など MAS に関連する事業に長年取り組んできた。また artisoc の次世代版として、クラウドベースのアプリケーションとして動作する artisoc Cloud を開発している。本稿では構造計画研究所の MAS に関連する事業と artisoc Cloud の機能について紹介する。

キーワード：マルチエージェント・シミュレーション、社会シミュレーション、複雑系

1. はじめに

社会や自然界には、いくつもの要素が絡み合い、個々の要素の動きの結果として現れる全体の挙動の予測が困難な現象が存在する。これらは一般に複雑系の現象と呼ばれる。身近な複雑系の現象としては、「鳥の群れ」「高速道路での自然渋滞」などが挙げられる。ムクドリなどは、特定のリーダーが指令を出しているようには見えないのに、群れを形成し、飛行している。高速道路を走行していると、交通事故でもないのに突然渋滞に巻き込まれ、いつの間にか渋滞が解消していることがある。これらは鳥や車といった個々の要素の単純な足し合わせとしては理解できず、要素間の相互作用に着目することで初めて理解できる複雑系の現象である。また、一般に社会は価値観や行動規範などが異なる多くのタイプの主体が存在し、相互に影響し合う複雑なシステムである。さらに今後の社会システムを設計するためには、想定しうる無数のシナリオや環境条件を考慮し、起こりうる結果を事前に検証することが必要とされる。

マルチエージェント・シミュレーション (Multi-Agent Simulation, MAS) はこのような複雑な現象を扱うために優れた手法である。「エージェント」とは自分の周囲の状況を認識し、それに基づいて一定のルールのもとで自律的に行動する主体のことを指す。MAS ではシステム内における多数のエージェントの振る舞いをシミュレートすることで、エージェント間の相互

作用を含むシステム全体の挙動を再現し、複雑な現象の理解に役立てることができる。また、MAS によって人工社会としてのモデルを構築し、さまざまなルールやパラメタ条件で実行することにより、施策の事前検討などに役立てることができる。今後の社会が複雑化していく中で、MAS を用いた社会現象・社会課題の理解と施策検討はますます重要になっていくと考えられる [1, 2]。

構造計画研究所では、この MAS を容易に構築できるソフトウェアである artisoc を開発し、またコンサルティング事業として MAS を用いた社会課題の解決に取り組み、さらに MAS の考え方を社会に浸透させる活動を長年行ってきた。さらに artisoc の次世代版として、クラウドベースのアプリケーションである artisoc Cloud を開発している。

本稿ではそのような構造計画研究所の MAS に関連する活動の概要と、MAS 用ソフトウェア artisoc Cloud の機能について紹介する。

2. 構造計画研究所の MAS 関連事業

2.1 artisoc の開発

複雑系の科学は 20 世紀の前半から少しずつ発展してきた分野だが、一般向けの啓蒙書の出版などにより世間で大きく注目され始めたのは 1990 年代頃である [3, 4]。構造計画研究所でもこの頃から複雑系科学のメッカとされたサンタフェ研究所と交流を開始するなど、複雑系の科学やそれを表現する MAS に高い関心を持っていた。

MAS は人文・社会科学系を含む幅広い分野で応用可能であるが、とくに理工系でない分野の学生・研究者はプログラミングに不慣れであることが多く、MAS

おがわ とも, きたかみ やすひろ
株式会社構造計画研究所 事業開発部
〒166-0012 東京都中野区中央 4-5-3
tomo-ogawa@kke.co.jp
kitakami@kke.co.jp

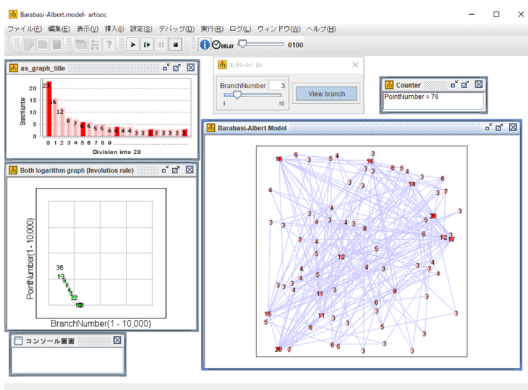


図1 artisoc

を行うためのシミュレーション環境構築は容易ではない。幅広い分野において MAS を用いた研究や教育を推し進めるために、プログラミング初心者でも容易に MAS を構築できるプラットフォームが必要とされていた。

そのような背景から、構造計画研究所では情報処理推進機構 (IPA) による「教育の情報化推進事業」の一環として誰にでも使いやすいマルチエージェント・シミュレータの開発に着手した。最初のバージョンである KK-MAS を経て、2006 年に artisoc を開発した (図 1) [5]。この開発は東京大学 (当時) の山影進教授と共同で行った。その後も artisoc は継続的に機能を追加しながらバージョンアップを続けている。

artisoc は誰でも簡単に MAS のモデルを構築できることをコンセプトとしている。ごく基本的なプログラミングの文法さえ習得すればエージェントの行動ルールを記述でき、モデルの構成や画面出力は GUI 上で設定可能である。これにより、社会科学系も含め幅広い分野で MAS の教育・研究を行うことのできる環境が整った。次節ではそれに関連する取り組みについて紹介する。artisoc の基本的な機能は次世代版である artisoc Cloud に継承されており、第 3 節でより詳しく紹介する。

2.2 教育・研究での利用

artisoc は大学・学校などの教育機関向けには無償で提供されており、幅広い分野の教育・研究に用いられている。大学の学部レベルの教育においては、複雑系科学の考え方の理解 [6]、アルゴリズムの理解 [7]、仮説検証能力の向上 [8] などを目指した教育実践事例が数多く報告されている。また、近年では高等学校の授業における実践事例も増えてきている [9]。これらの対象となる学生にはプログラミングの初心者も多いと報

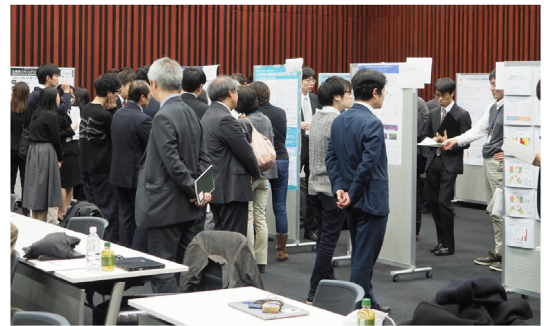


図2 MAS コンペティション

告されており、artisoc がモデリング・シミュレーションを学ぶ入口として機能していることが窺える。研究においてもさまざまな分野で artisoc が利用され、後述する MAS コンペティションなどで数多くの報告がされている。

また、授業や研究での利用の参考になるコンテンツが数多く提供されている。書籍としては artisoc の標準的な教科書と位置付ける『人工社会構築指南』[10]のほか、さまざまなテーマの利用事例を紹介する書籍が出版されている [11–14]。構造計画研究所が運営する web ページ「MAS コミュニティ」[15]では、MAS の考え方や代表的なモデルを一般向けにわかりやすく紹介する記事や、artisoc による数多くのサンプルモデルや研究報告の紹介、さらに実際のモデル構築に役立つ発展的な技法の紹介など、artisoc ユーザに役立つ情報を継続的に提供している。

さらに artisoc ユーザによる利用事例の発表の場として、同社では「MAS コンペティション」というイベントを 2001 年より毎年開催している (図 2) [16]。artisoc の利用者から広く利用事例を募集し、審査員の先生方による審査のもと優秀作品を表彰するイベントである。事例を共有しユーザ間での議論を促すことで、さまざまなアイデアを掘り起こし発展させることを意図している。例年幅広い分野からの発表があり、過去の発表は全て前述の MAS コミュニティ上で公開している。

2.3 実務での利用

構造計画研究所では MAS の考え方をを用いてさまざまな社会の課題を解決すべく、MAS を応用したコンサルティング事業を行っている。その対象領域はマーケティング、制度設計、環境評価など多岐にわたるが、ここでは実務における artisoc の利用例として避難シミュレーションによる津波災害対策の計画立案の事例を紹介する (図 3)。



図3 津波避難シミュレーション

日本では大規模な洪水、地震や津波等の災害で甚大な被害が度々発生しており、政府や行政機関が防災施策の検討を行ううえで、災害時の避難者の状況を想定することは重要な情報となる。対象地域は多くの観光客が訪れる観光地であり、対策に当たっては景観保全と防災機能の両立を図る必要がある。とくに、人流をどう制御するのかといったソフト面をより重視した施策が必要であった。観光客や高齢者などさまざまな属性をもつ避難者の行動を模擬した避難シミュレーションを行うことにより、対象地域の避難の課題を抽出し、有効な施策について検討を行った。

避難者の行動特性を把握するため、自治体の担当者へのヒアリング、現地調査・被験者実験を行いエージェントのルールに反映している。現地調査・被験者実験では、複数の被験者に観光客、住民の視点で模擬的な避難行動を取ってもらい、避難行動の意思決定で気付いた点を記録させている。

避難者の行動モデルを構築し津波避難シミュレーションを行った結果、特定の避難経路への避難者の集中による混雑による課題があることがわかった。避難経路を分散させるような施策案を複数立案し、避難シミュレーションでその効果を検証し、提言を行った。

施策の効果について、実際に災害が発生しないと把握できないが、シミュレーションを用いることで、その施策案の効果を一定の合理性の中で定量的に検証することが可能となる。被害の可能性を事前把握し、具体的な施策を検討するために状況をシミュレートする方法は有効な手段である。

3. artisoc Cloud の開発

3.1 コンセプト

artisoc Cloud は次世代版の artisoc であり、artisoc の基本的な機能を継承したうえでクラウドベースのアプリケーションとして動作する。誰でも簡単にモデルが構築できるという artisoc の特徴に加え、さらに以下のことを実現することを目的としている。

〈環境を選ばず動作するシミュレーション〉

従来の artisoc は Java で動作するスタンドアロンのアプリケーションであり、利用するためには PC 上に環境を構築する必要があった。ユーザによってはインストールにつまずく場合もあるなど、環境構築作業はコンピュータに不慣れな者が MAS に入門するうえで一つの障害となっていた。artisoc Cloud は web ブラウザ上で動作するアプリケーションとすることで、環境構築が不要で誰でも簡単にシミュレーションを実行できるプラットフォームを実現する。それにより、シミュレーションにこれまで馴染みのなかった人を含む幅広い人々が MAS に触れるきっかけを提供する。

〈クラウド上でのコミュニティ形成〉

上述のように web ブラウザ上でシミュレーションが実行可能となることで、ユーザが作成したモデルを web ページ上で共有することが容易になる。artisoc Cloud は、ユーザが作成したモデルを自由にアップロードして共有し、モデルの中身について議論し、さらに既存のモデルを継承して発展させることのできるプラットフォームを実現する。それにより、MAS の利用がさらに発展していくようなコミュニティの形成を目指す。

〈柔軟なモデル構築環境〉

従来の artisoc ではルール記述の言語として Visual Basic を模した独自言語を用いており、使用できる機能には限界があった。artisoc Cloud ではルール記述の言語として Python を採用し、外部ライブラリとの連携を可能とすることでより柔軟なモデル構築を可能とする。

〈クラウドのリソースを用いた高度な分析〉

多くの計算量を必要とするシミュレーションを実行するためにはハイパワーなコンピューティング環境が必要であり、その環境の構築には技術面とコスト面の困難が伴う。artisoc Cloud ではクラウド上のコンピューティング環境に容易にアクセスできるインタフェースを提供し、環境の構築に不慣れなユーザでも必要に応じて容易に計算環境を構築することができる。

以下、artisoc から継承している基本的なモデル構築

機能と, artisoc Cloud から追加された機能のそれぞれについて解説する.

3.2 モデル構築機能

本節では artisoc Cloud の基本的なモデル構築機能について解説する. 多くは従来の artisoc の機能をほぼそのままの形で引き継いでいるが, artisoc Cloud ではモデル構築を web ブラウザ上で行うことが大きな相違点である.

3.2.1 モデルルールの構築

モデルの構成は「モデルツリー」という GUI で規定され, ユーザはこれを画面上で操作することによりモデルを構成する. モデルツリーにはデフォルトで「Universe」のみが存在する. これはシミュレーション全体の環境や振る舞いを規定するための要素である. ユーザは Universe の下に空間やエージェントといった要素を追加することでモデルの概形を構築する. エージェントは自律的な行動ルールをもつ主体である. 空間はエージェントが行動するための舞台で, 連続空間や格子状の離散空間を指定することができる. 空間に属さない(空間上では行動しない)エージェントを作成することも可能である.

ツリーの要素にはそれぞれ属性として変数を追加することができる. Universe の属性にはシミュレーション全体の環境を規定する変数を, エージェントの属性にはエージェントの状態を規定する変数を指定する. 空間上エージェントには座標や向きといった属性がデフォルトで付与されている.

ツリーの要素のうち, Universe とエージェントにはルールを与えることができる. Universe のルールはモデル全体の振る舞いを規定し, 以下の四つからなる.

- ・ `univ_init()` ... シミュレーション開始時に実行されるルール
- ・ `univ_step_begin()` ... 各シミュレーションステップ開始時に実行されるルール
- ・ `univ_step_end()` ... 各シミュレーションステップ終了時に実行されるルール
- ・ `univ_finish()` ... シミュレーション終了時に実行されるルール

エージェントのルールはエージェントの振る舞いを規定し, 以下の二つからなる.

- ・ `agt_init()` ... エージェント生成時に実行されるルール
- ・ `agt_step()` ... 各シミュレーションステップで実行されるルール

シミュレーションの流れとしては, 開始時に

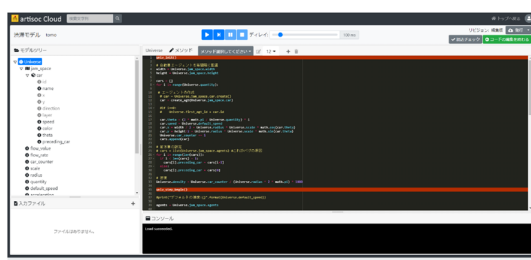


図 4 artisoc Cloud のモデルルール編集画面

`univ_init()` が実行され, 各タイムステップにおいて `univ_step_begin()` → 各エージェントの `agt_step()` → `univ_step_end()` の順でルールが実行される. そしてシミュレーション終了時に `univ_finish()` が実行される. 組み込み関数としては, エージェントの生成・削除や周囲のエージェントを取得するなどの関数が用意されている. エージェントはそのルールの中で Universe や空間, 他のエージェントの状態を取得したり変更したりすることができ, また Universe も空間やエージェントの状態を取得・変更することができる. これにより, エージェント同士の相互作用や環境とエージェントの相互作用を実現している.

ルールの記述には artisoc においては Visual Basic を模した独自言語を用いていたが, artisoc Cloud では Python 言語を用いる. Python は科学技術計算向けのプログラミング言語として近年主流になりつつあり, さまざまな外部ライブラリが提供されている. それらのライブラリをルール記述に用いることも可能となっており, 従来に比べて柔軟なルール記述が可能となっている.

以上のように, artisoc Cloud では MAS を想定したフレームワークがあらかじめ用意されており, モデルの概形は GUI で構築可能である. モデルルールの記述は基本的な Python の文法を習得すれば可能で, オブジェクト指向などに関する高度な知識は必要ない. これにより, 初心者にも理解しやすい直感的なモデル構築を可能としている.

artisoc Cloud のモデルルール編集画面を図 4 に示す.

3.2.2 画面出力

画面上の出力は大きく分けてマップ出力, グラフ出力, コントロールパネル出力の三つに分かれる. それぞれ GUI による操作で定義することが可能である.

マップ出力では, 空間とその上で行動するエージェントをステップごとに出力する. 出力するエージェントの色などはエージェント種別ごとに設定可能であり, 固定値のほかエージェントの属性変数によって指定す

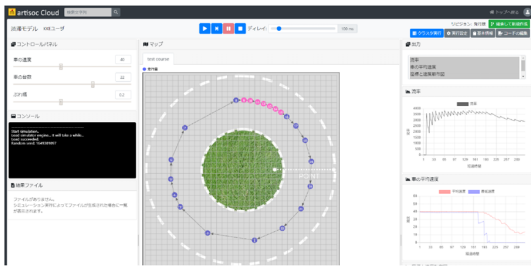


図5 artisoc Cloud のシミュレーション実行画面

ることも可能である。これにより、エージェントの状態に応じて色を変えるなどの出力が簡単に行える。

グラフ出力では、指定した変数の値をステップごとにグラフで出力する。横軸にステップ数、縦軸に値をとる時系列グラフは、値の時間推移を観察するのに便利である。そのほか、棒グラフ、折れ線グラフ、散布図など多くのグラフ種別が用意されている。

コントロールパネルは、指定した変数の値をスライドバーなどのインタフェースで操作できる機能である。これにより、シミュレーションのパラメタ操作を簡単に行うことが可能である。

artisoc Cloud のシミュレーション実行画面を図5に示す。

3.3 クラウド技術を利用した新機能

本節では、artisoc Cloud の機能のうちクラウド技術を利用した新機能について解説する。

3.3.1 シミュレーションモデルの共有

シミュレーションモデルを誰もが手軽に実行できる形で公開することは、モデルが表現する現象や課題の社会への啓蒙や、モデルに関連する研究の透明性の確保などの観点において重要である。artisoc Cloud はこれを容易に行える機能を備えている。

artisoc Cloud はクラウド上の web アプリケーションであるため、ブラウザから指定の URL にアクセスすることで利用できる。トップページには、他のユーザが作成し公開したモデルの一覧が表示されている(図6)。任意のモデルをクリックすることでそのモデルの実行画面が表示され、開始ボタンを押すことでシミュレーションを実行することができる。モデルルールのソースコードを閲覧することも可能である。表示されるモデルは、タグや閲覧数などで分類・並べ替えが可能なほか、検索機能も備えている。それぞれのモデルには「いいね」やコメントをつけることができるなどコミュニティ機能も備えている。以上の操作にはとくにユーザ登録や PC 環境の構築などは必要なく、誰でも行うことができる。



図6 artisoc Cloud トップページ

モデルの作成は、ユーザ登録しログインすることで可能になる。「モデルの新規作成」をログイン後のページより選択すると、3.2 節で説明した方法でモデルを作成することができる。作成したモデルを公開するには、モデルの編集ページより「モデルの公開」を選択する。公開後にモデルを取り下げたり、公開中のモデルを維持しながら裏で編集を行い、上書き形で再公開することも可能である。一度公開したモデルの URL は変化せず、編集が加えられても同じ URL でアクセスできる。

他のユーザが公開したモデルを継承する形で新たにモデルを作成することも可能である。モデルの実行画面上で「継承して新規作成」を選択するとモデルのコピーが生成され、自由に編集し公開することができる。このように作成されたモデルには継承元のモデルの情報が保存され、モデルの基本情報閲覧ページで確認することができる。

以上の機能によって、より気軽にシミュレーションモデルを公開し、また公開されたモデルについて吟味し、議論し、発展させることが容易になった。いわばクラウド上に MAS のコミュニティを形成することにより、学習や研究をさらに活性化させることを目指している。

3.3.2 大量同時実行

MAS はモデル内部にランダム性をもたせることが多く、パラメタの影響度の把握、結果の頑健性の確認のために、大量の試行が必要となる。また、2.3 節の実務における事例で示したような防災などの分野では、想定外のリスク事象を検討するために、偶発性によりわずかに発生しうる稀な事象を、MAS の大量の試行

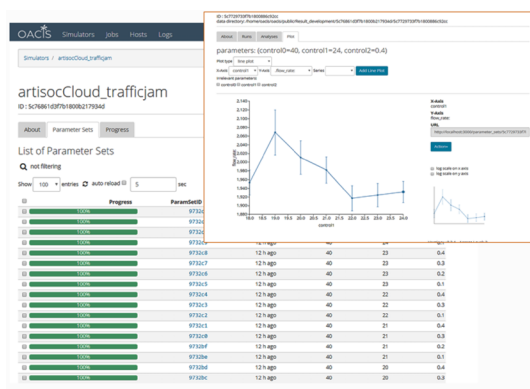


図7 大量同時実行画面

により抽出するような利用も検討されている。大量の試行を行うために大規模なクラスター環境が利用されることが多いが、このような環境の構築は容易ではなく、簡便に利用できることが望まれる。

artisoc Cloud では、作成したシミュレーションモデルを複数のクラウド上の仮想マシンに複製し、試行することができる。クラスター上での実行管理には国立研究開発法人理化学研究所が開発しているシミュレーション実行管理フレームワーク OACIS を用いている [17–19]。パラメタの変動範囲、実行回数等を設定するだけで容易に大量の試行を行うことができる。また試行結果の集約、可視化、分析等を行うことも可能である (図 7)。

簡易な操作で大規模なシナリオのシミュレーションを高速に実行することができ、特異的な結果が発生するリスクやそれを引き起こす条件の発見など、システムの理解に役立てることができる。

4. おわりに

MAS は現実世界の複雑な現象を理解し、今後の社会システムを設計していくうえで重要な手法である。構造計画研究所ではコンサルティング事業として MAS を用いた社会課題の解決に取り組み、また MAS の考え方を社会に浸透させるための普及活動を行ってきた。

artisoc Cloud は MAS モデル構築のためのクラウドベースの web アプリケーションである。プログラミング初心者でも簡単にモデルが構築できるほか、クラウド上で作成したモデルを共有したり、大量同時実行による高度な分析を行うことが可能である。

構造計画研究所では、artisoc Cloud を通じてより

多くの人々が MAS に触れる機会を提供することにより、MAS を通じた学習・研究・社会課題の解決をさまざまな分野において推進することを目指している。

参考文献

- [1] 寺野隆雄, “なぜ社会システム分析にエージェント・ベース・モデリングが必要か,” 横幹, **4**, pp. 56–62, 2010.
- [2] 藤垣洋平, 坂平文博, 森俊勝 “不確実な社会を解くには—マルチエージェントと最適化—,” オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学, **61**, pp. 24–29, 2016.
- [3] S. レビー (服部桂訳), 『人工生命—デジタル生物の創造者たち—』, 朝日新聞社, 1996.
- [4] M. M. ワールドロップ (田中三彦, 遠山峻征訳), 『複雑系—科学革命の震源地・サンタフェ研究所の天才たち—』, 新潮社, 1996.
- [5] 山影進, “社会認識を変えたマルチエージェント・シミュレーション—文系学生にもなぜ MAS を体験させる必要があるのか—,” オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学, **62**, pp. 481–486, 2017.
- [6] 三浦政司, “教養教育としての複雑系科学入門授業,” オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学, **62**, pp. 494–499, 2017.
- [7] 向直人, “アルゴリズムの実装と可視化のための MAS—プログラミング教育の明日に向けて—,” オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学, **62**, pp. 500–506, 2017.
- [8] 和泉潔, 米納弘渡, “教育現場におけるエージェント・モデリング演習—プログラミングだけでないプログラミングの講義—,” オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学, **62**, pp. 487–493, 2017.
- [9] 井手広康, “シミュレーション利用による社会システム予測,” 『小・中・高等学校でのプログラミング教育実践』, 日本産業技術教育学会 (編), 九州大学出版会, pp. 247–255, 2019.
- [10] 山影進, 『人工社会構築指南』, 書籍工房早山, 2007.
- [11] 兼田敏之, 『artisoc で始める歩行者エージェントシミュレーション—原理・方法論から安全・賑わい空間のマネジメントまで—』, 書籍工房早山, 2010.
- [12] 阪本拓人, 『領域統治の統合と分裂—北東アフリカ諸国の事例とするマルチエージェント・シミュレーション分析—』, 書籍工房早山, 2011.
- [13] 阪本拓人, 保城広至, 山影進, 『ホワイトハウスのキューバ危機—マルチエージェント・シミュレーションで探る核戦争回避の分水嶺—』, 書籍工房早山, 2012.
- [14] 山影進, 『アナーキーな社会の混沌と秩序—マルチエージェント国際関係論のフロンティア—』, 書籍工房早山, 2014.
- [15] 構造計画研究所, 『MAS コミュニティ』, <https://mas.kke.co.jp/> (2019 年 12 月 25 日閲覧)
- [16] 山影進, “MAS コンペの軌跡とこれからの行方,” オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学, **62**, pp. 480, 2017.
- [17] 理化学研究所計算科学研究センター, OACIS DOC, <http://crest-cassia.github.io/oacis/> (2019 年 12 月 25 日閲覧)
- [18] 村瀬洋介, 内種岳詞, 伊藤伸泰, “パラメータ空間探索フレームワーク OACIS の紹介,” アンサンブル, **20**, pp. 247–252, 2018.
- [19] Y. Murase, T. Uchitane and N. Ito, “An open-source job management framework for parameter-space exploration: OACIS,” *Journal of Physics: Conference Series*, **921**, 012001, 2017.