

UMLによる折り紙シミュレーションシステムの設計

石川 洋*

A Design for Origami Simulation System Using UML

Hiroshi ISHIKAWA*

ABSTRACT

This paper describes a design process for Origami(paper folding art) Simulation System based on UML(Unified Modeling Language). UML is one of Object-Oriented development methodologies and helps us specify, visualize, and document models of software systems, including their structure and design, in a way that meets all of these requirements. Origami is a traditional type of Japanese amusement in which we make various things by folding papers. There are some rules of basic manipulations, for example, folding, unfolding, making a crease, and so on. In this paper, we attempt to specify some of those rules using several diagrams in UML.

キーワード: UML, 折り紙, シミュレーション

Keywords: UML, Origami, Simulation

1. はじめに

UML(Unified Modeling Language)はオブジェクト指向分析・設計の結果をさまざまなダイアグラムを組み合わせることで表現するグラフィカル言語である。同じダイアグラムでも、概念、仕様、実装の各設計段階に応じて、粒度(詳細化の度合)を自由に変化させることで、状況に応じた柔軟な設計書が作成できる。またUMLはソフトウェア開発だけでなく、ビジネスモデルの分析や設計でも活用されており、その適用性は広範囲にわたる。

本稿ではこのようなUMLを利用し、折り紙の生成過程を例に挙げ、折り紙のいくつかの操作に関する段階的な設計の詳細化について報告する。

本稿の構成は以下の通りである。第2節ではUMLおよび折り紙の概略を述べる。第3節では本稿で取り上げる折り紙の基本操作について説明する。第4節では折り紙のUMLに基づく段階的な設計とその詳細化について述べる。第5節は関連研究について、第6節では本稿のまとめと今後の課題について述べる。

2. 諸概念の概要

本節では、オブジェクト指向開発方法論の歴史の概略を述べ、UMLが誕生した経緯を紹介する。また、折り紙についても簡単に述べる。

2.1 オブジェクト指向開発方法論

1970年代から現在に至るまで、様々なソフトウェア開発方法論が提案されている。特に1990年代前半あたりから、オブジェクト指向に基づく開発方法論が数多く登場した。オブジェクト指向では、データと手続き(メソッド)を一体化して保持しているものをオブジェクトとして定義する。オブジェクトは、外部からのメソッド呼び出しでメッセージを受け取り、内部で処理を行い、他のオブジェクトにメッセージを送信したり、自分自身の状態を変更する。オブジェクトをその類似性に基づいて分類した集まりをクラスと呼ぶ。適切に設計されたクラスは独立性が高く、再利用しやすい。このようなオブジェクト指向に基づく開発方法論では、開発対象システムの

* 情報処理工学科

クラス設計(モデリング)作業が、要求記述、仕様決定、プログラム設計といった目的に応じて段階的に行われる。

様々なオブジェクト指向開発方法論が提案されていたなかで、いま述べた各段階において OOSE(Object Oriented Software Engineering) [3], OMT(Object Modeling Technique) [5], Booch Method [1] がそれぞれ他の方法論よりも優れていた部分があった。

2.2 UML

1990年代中頃から OMT 開発者の Rumbaugh, Booch Method 開発者の Booch, OOSE 開発者の Jacobson らによって、それぞれの開発方法論の長所を生かし、統一したビジュアル言語 UML(Unified Modeling Language) [2] [4] が提案された。UML 1.x では9種類、UML 2.0 では13種類のダイアグラムを組み合わせ、システムの分析段階からプログラミング段階まで幅広く使用できる。また、UMLの適用分野は情報システムの分析、設計だけでなく、ビジネスモデルの分析や設計、表記にも活用されている [8]。

本稿では UML 2.0 に基づいて設計を行う。設計書作成では13種類あるダイアグラムのすべてを使用する必要はない。本稿では、利用者の要求とシステムの処理の把握のために、外部から見たシステムの機能を表現したユースケース図および、それぞれの処理の状態を記述し、各状態間の遷移を示すアクティビティ図を利用する。

ユースケース図やアクティビティ図の作成過程で把握した機能を詳細化するために仕様を決定する。その段階では、具体的なシステムの動作や処理、データの流れを文章で表現するシナリオを作成する。シナリオに書かれた動作や処理、データの流れやそれらを記述するために使用した語彙を精査することで、オブジェクトやクラスの設計を行い、それらをオブジェクト図、クラス図で示す。

2.3 折り紙

折り紙 [9] は、身近な素材である紙を折り曲げることによりなんらかの形をつくり出す、日本の代表的な伝統文化の一つである。

折り紙は、山折り、谷折りといった折り方、一度折った部分を展開する(開く)、折り紙の回転、裏返しや、切り込みをいれるなどの基本的な操作を適宜適用することで、飛行機や鶴といった具体的な形を生成する。

折り紙の折り方は、多くの書籍で紹介されており、折り方の約束記号と基本の折り方は、日本折紙協会で行われている記号を用いているものが多い。基本の折り方には山折り、谷折りの他に、鶴の頭の部分に見られる中割り折りなどがある。

折り紙はその名の通り紙を折る操作が主体であるが、場合によっては紙に切り込みをいれる場合がある。本稿では簡単のために、切り込みをいれる操作は考慮しないものとする。

3. 折り紙の操作

ここでは折り紙の過程で使われる操作のうち、本稿で扱う主要な3つの操作「折る」「広げる」「回す」について述べる。

3.1 折る

紙を折る操作は折る方向により、山折り(図1)、谷折り(図2)がある。各図において、紙には表、裏があり、裏が見えているものとする。このとき、山折りは表が重なるように基準線(破線で表現)で折り曲げる操作だといえる。また、谷折りは、裏が重なるように基準線(破線で表現)で折り曲げる操作といえる。破線は折り目を作る基準なので、これらの操作を行う前にはその形跡はない。

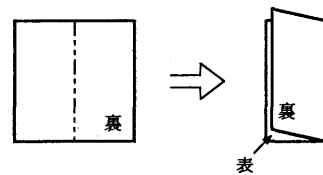


図1 山折り
Fig.1 Folding-Out

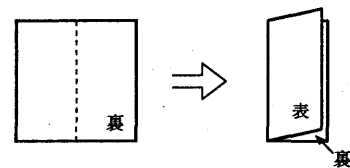


図2 谷折り
Fig.2 Folding-In

折る操作には、鶴の頭の部分に見られる中割り折り(図3)と呼ばれるものがある。この折り方は折り紙を部分的に広げ、折り目がある部分と基準線の部分を谷折りすることで実現できると解釈する。したがって、本稿では、中割り折りは広げる操作と谷折りの操作の組み合わせとして扱う。

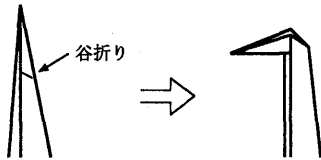


図3 中割り折り
Fig.3 Inside Reverse Fold

3.2 広げる

折り紙では折り目をつけることがある(図4右の正方形中央にある, 端点が正方形の辺に接していない垂直な実線). 一度折り曲げた紙を折り曲げる前の状態に戻し, 折り曲げた跡を残すものである. 紙を折り曲げるには山折り, 谷折りがあるが, どちらを選択するかは, 折り目をつけた後の折り方に依存する. 折り目をつける操作は, 折り曲げる操作と元に戻す操作を組み合わせたものと解釈できるので, 元に戻す操作を広げるという名前の操作として扱う.

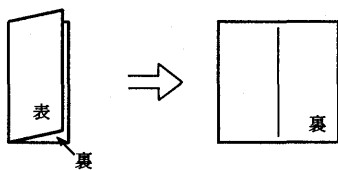


図4 広げる
Fig.4 Unfolding

3.3 回す

机の上で折り紙をしていると仮定すると, 折り紙の回転面は机の面と水平か垂直となる. 回転面が机の面と水平の場合, 折り紙の回転方向は時計(右)周り, 反時計(左)周りとなる. 回転面が机の面と垂直の場合, 裏返しとなる. これらを回す操作として扱う(図5). 紙を垂直方向に回す操作は, 上に向いている面を変更することになり, 欠くことのできない操作である. 水平方向に回す操作は, これを行わなくても折る操作, 広げる操作は可能である. しかし, 実際に紙を折り曲げる際は, 紙を折りやすい位置に回転させていることを思い出せば, この操作にも意味があると考えられる.

4. UMLに基づく段階的設計

前節で述べた折り紙の操作を, いくつかの図(ダイアグラム)や表記法を用いて段階的に記述し, UMLに基づ

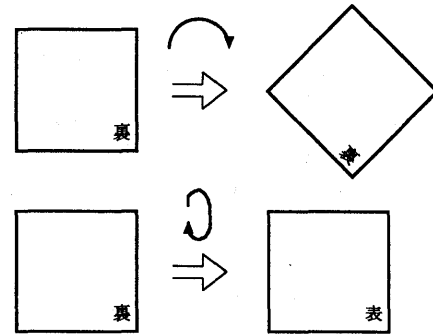


図5 回す(上: 時計周り, 下: 裏返し)
Fig.5 Rotate(Upper: Clockwise, Lower: Reverse)

く設計を段階的に行う. 設計段階は, 要求記述, 処理・データ構造設計, クラス設計の順に行う.

各設計段階の概要とそれに対応する成果物(設計書)をまとめた(表1).

4.1 要求記述

要求記述では, 折り紙を折る人の視点で折り紙の生成過程をモデル化し, ユースケース図, ユースケース記述, およびアクティビティ図で表現する. ユースケース図は折り紙を折る人(アクタ)が折り紙の生成過程で利用可能な操作(ユースケース)を図示するものである. 各操作の概要はユースケース記述として文章で与える. さらに, アクティビティ図を用いて, 折り紙の操作の操作の流れを明示する. 記述すべき折り紙の操作は前節で述べた分析に基づく.

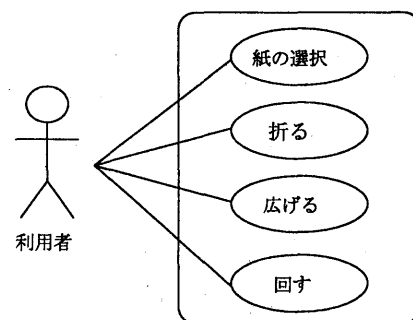


図6 折り紙の操作のユースケース図
Fig.6 Usecase Diagram for Origami

ユースケース図は, 折り紙を折る人と, 折り紙の生成過程である3つの操作に, 折り紙を選択する操作を追加し, それをモデル化した(図6). 人型(利用者)と楕円(ユースケース)を結ぶ実線は, 利用者がある操作を利用できることを意味する.

表1 設計段階と成果物

Table1 The Design Phases and their corresponding Documents

設計段階	概要	成果物
要求記述	折り紙をする人の操作を定義する段階であり、各操作の説明は概要でよい。また、操作の流れも明示しておく。	ユースケース図 ユースケース記述 アクティビティ図
操作・データ 構造設計	要求記述で定義した操作に対し、操作の対象となるオブジェクトや、その操作の事前・事後条件を決定する。	シナリオ オブジェクト図
クラス設計	オブジェクトやクラスの設計は同時に行う。	クラス図

ユースケース記述はユースケース名、ユースケースの操作の概要、ユースケースを利用可能なアクタ、操作の内容・順序を記述するものである。各ユースケース記述は次のようになる(表2, 表3, 表4, 表5)。

4つのユースケースのメインフローで、「選択する」という表現が使用されている。この部分は具体的な選択方法を明示する必要があるが、この時点では保留しておく。

これらの操作(ユースケース)の流れを表現したものがアクティビティ図(図7)である。これは従来の設計手法のフローチャートに類似するものである。

表5 回すユースケース

Table5 Usecase for Rotation

ユースケース名	回す
概要	折り紙を水平または垂直方向に回す
アクタ	利用者
メイン フロー	回す方向を選択する 選択した方向に紙を回す

表2 紙の選択のユースケース

Table2 Usecase for Selecting Paper

ユースケース名	紙の選択
概要	折り紙を選択する
アクタ	利用者
メインフロー	折り紙を選択する

表3 折るのユースケース

Table3 Usecase for Folding

ユースケース名	折る
概要	折り紙を折る
アクタ	利用者
メイン フロー	折り方を選択する 紙を折る

表4 広げるのユースケース

Table4 Usecase for Unfolding

ユースケース名	広げる
概要	折った部分を広げる
アクタ	利用者
メイン フロー	広げる部分を選択する 折った部分を広げる

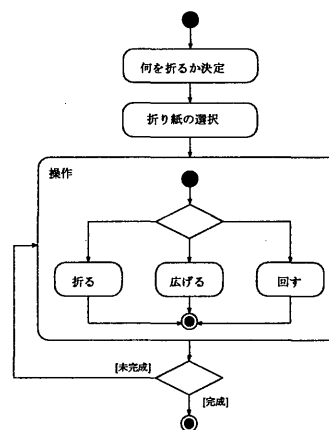


図7 折り紙の操作のアクティビティ図

Fig.7 Activity Diagram for Origami

4.2 操作・データ構造設計

次に、折り紙を折る人(アクタ)が利用する操作のシナリオを記述する。シナリオとは特定の操作について、その操作が始まる前の状態(事前条件)、操作過程(ステップ)、その操作が終了したときの状態(事後条件)を記述するものであり、操作の仕様を決定するために作成する。各操作のシナリオは次の通りである。

折る操作のシナリオのステップの中で、山折りまたは谷折りを実行する記述がある。このような条件分岐は前出のアクティビティ図(図7)には記載されていない。操作の流れを見直し、新たなアクティビティ図(図8)を作成することで、設計書の詳細化が可能となる。

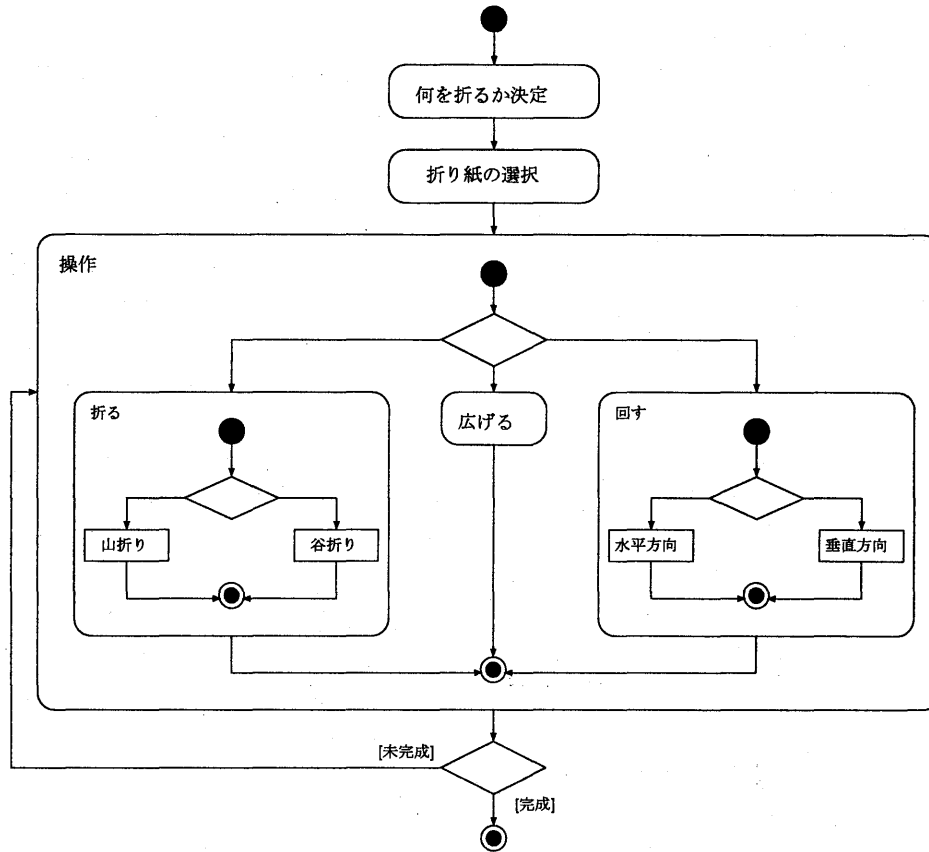


図8 折り紙の操作のアクティビティ図(詳細化)
Fig.8 Activity Diagram for Origami(Refinement Version)

表6 折る操作のシナリオ
Table6 Scenario for Folding

シナリオ名	折る
シナリオ概要	「山折り」か「谷折り」に折る
事前条件	・折り方が決定している ・折る位置が決定している
ステップ	折る位置を基準として「山折り」 または「谷折り」に折る
事後条件	紙が折られた状態にある

表7 広げる操作のシナリオ
Table7 Scenario for Unfolding

シナリオ名	広げる
シナリオ概要	折られた状態の紙を広げる
事前条件	・広げる位置が決定している
ステップ	折る位置を基準として「山折り」 または「谷折り」に折る
事後条件	折り目があり、紙が広げられた 状態にある

次に、データ構造の設計について述べる。折り紙で扱うのは「紙」である。この「紙」は折られていない初期状態から、様々な操作を適用することにより完成した折り紙(例えば鶴)に状態が遷移していく。そこでオブジェクト(インスタンス)は紙、オブジェクトが持つ属性は、完成形の名称、状態(未完か完了か)、操作の履歴、初期状態から完成形までの操作の手順、形状情報(現時点での紙の形状の情報)があるものとする。

4.3 クラス設計

オブジェクト(いわゆるインスタンス)を紙と捉えることにしたので、その集合をクラス「折り紙」、属性はオブジェクト指向の継承の考え方からオブジェクトと同じものを持つ。操作(メソッド)は折る、広げる、回すの3つとする。クラス、オブジェクトおよび、それらの関係は図9のようになる。

表8 回す操作のシナリオ
Table8 Scenario for Rotating

シナリオ名	広げる
シナリオ概要	折られた状態の紙を広げる
事前条件	・折り方が決定している ・折る位置が決定している
ステップ	折る位置を基準として「山折り」 または「谷折り」に折る
事後条件	紙が広げられた状態にある

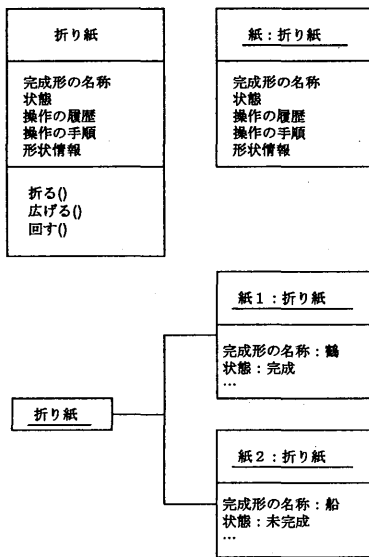


図9 折り紙クラスおよびオブジェクト
Fig.9 Class Origami and its Object

5. 関連研究

本稿は [6] を発展させたものであるが、この他に UML に基づいて折り紙シミュレーションシステム的设计やその设计に基づく実装はまだ報告されていない。実装例としては折り紙の対話型操作が可能なシミュレーションシステム [7] がある。このシステムでは、折り紙は折れ線により分割された複数の面の集合であり、基本的にはサーフェースモデルで表現されている。データ全体は面層、辺層、頂点層と呼ばれる三つのデータ層により構成されてる。

6. まとめと今後の課題

本稿では折り紙を「折る」「広げる」「回す」の3つの操作に注目してモデル化し、UML の記法を用いて記述した。これらの操作から、操作の流れ(アクティビティ)、オブジェクトやクラス的设计を行い、UML で提供されて

いるダイアグラムで記述した。また、操作のシナリオを記述する段階で、3つの操作の詳細化が必要となり、アクティビティ図が詳細化される過程を説明した。

今後の課題であるが、本研究の最終目標はこのモデル化をより詳細化し、その设计書に基づいて折り紙をコンピュータ上で扱えるシミュレーションシステムのプログラムを実装することにある。現時点ではクラス、オブジェクト、それらが持つ属性やメソッドの定義だけが行われている。ここまでの成果物はシステム開発における上流工程で得られるものなので実装が可能となるほど具体的な设计は与えていない。メソッド(操作)のアウトラインはユースケース記述やシナリオで与えているが、実装にあたってはより精緻な分析や设计が必要となる。また、オブジェクトが持つ属性についても、具体的な構造を定義していないので、さらに设计をすすめる必要がある。

参考文献

- [1] G. Booch, *Object-Oriented Analysis and Design with Applications*, Benjamin/Cummings, 1994.
- [2] M. Fowler, *UML Distilled Third Edition: A Brief Guide to the Standard Object Modeling Language*, Pearson Education, 2004.
- [3] I. Jacobson, M. Christerson, P. Jonsson, and G. Övergaard, *Object-Oriented Software Engineering: A Use-Case Driven Approach*, Addison-Wesley, 1992.
- [4] I. Jacobson, G. Booch, and J. Rumbaugh, *The Unified Software Development Process*, Addison-Wesley, 1999.
- [5] J. Rumbaugh, M. Blaha, W. Premerlani, F. Eddy, and W. Lorenzen, *Object-Oriented Modeling and Design*, Prentice Hall, 1991.
- [6] 石川, UML による折り紙の操作の詳細化に関する考察, 電気・情報関連学会中国支部第 57 回連合大会講演論文集, to appear, 2006.
- [7] 宮崎, 安田, 横井, 鳥脇, 仮想空間における折り紙の対話型操作の実現, 情報処理学会論文誌, Vol.34, No.9, pp.1994-2001, 1993.
- [8] 森, 宗平, 左川, ビジネスモデル設計のための UML 活用, 毎日コミュニケーションズ, 2006.
- [9] 山口真, おりがみ事典, 西東社, 2004.