

道徳感情にもとづく NPC の意思決定モデル

高橋拓也^{†1} 床井浩平^{†2}

概要：デジタルゲームに登場する非プレイヤー操作キャラクター（NPC）の振舞の制御にはいくつかの課題がある。本研究では“コミュニケーション”・“感情”・“協調の仕組み”に焦点を当て、ゲームデザイナーが想定したキャラクター性をもとに振舞を決定する「NPCの意思決定モデル」を構築した。構築はHumeの“道徳感情論”と“信念-欲求モデル”に着想を得て行った。3D対戦ゲームを対象として、挙動確認のためのテストケースを作成し結果の確認を行った。結果として、NPCの意思決定は正常に行われており、デッドロックも確認されなかった。今後の課題としてテストケースの追加とゲームデザイナーに向けた直感的に操作可能なインタフェースの追加が必要である。

キーワード：デジタルゲーム、人工知能、ノンプレイヤーキャラクター、意思決定モデル、道徳感情

Decision-Making Model of NPC witch Based on Moral-Sentiments

TAKUYA TAKAHASHI^{†1} KOHE TOKOI^{†2}

Abstract: There are some tasks in controlling behavior of NPC (Non-Player-Character)'s witch exists in Digital-Game. In our study, we constructed a “Decision-Making Model of NPC” witch makes a decision based on a characteristic of NPC witch designed by game-designer by focused on “Communication”, “Emotion” and “Mechanism of Coordination”. We constructed a model by get an impression from “Moral-Sentiments” and “Belief-Desire Model” witch Hume said. In our study, we checked a result of our model by making a test-case and tests in 3D Fighting-Game. In our result, we can checked a correct decision-making of NPC and there are no Dead-Locks. After our study, we need to check some other test-cases for our model and need to add some interfaces witch can use our model intuitive for game-designer.

Keywords: Digital-Game, Artificial-Intelligence, Non-Player-Character, Decision-making model, Moral-Sentiments

1. はじめに

デジタルゲーム（以下ゲーム）の体験に関わる要素の1つとして、ゲーム中に登場する非プレイヤー操作キャラクター（以下NPC, Non-Player-Character）が行う、ゲームシーン中での振舞が挙げられる。本稿で述べるゲームシーンとはゲームにおけるNPCが登場する場面のことを指す。例として、アクションゲームでプレイヤーが敵と戦う状況において、プレイヤーの味方となるNPCが存在する状況を仮定する。この対戦が行われている状況を本稿ではゲームシーンと言い、NPCが行う攻撃や防御といった単位行動を本稿では振舞と呼ぶ。

NPCはAI（Artificial Intelligence）によってその振舞が決定される。今後のAIの課題として、関連研究より様々なものが挙げられる[1]~[24]。

2. 目的

NPCのキャラクター性はゲームデザイナーによってデザインされ、デザインされたキャラクター性をもとにNPCは振舞を決定する。キャラクター性の決定は、ゲームのシナリオに沿って行われることもしばしばあり、適切なシナ

リオの表現も同様にゲーム体験に影響を与える[25]。

ゲームデザイナーがデザインしたNPCのキャラクター性に関する情報は、NPCの振舞としてゲームのプレイヤーに断片的に与えられる。プレイヤーは断片的な情報から、NPCのキャラクター性を感じるようになるが、このとき、ゲームデザイナーが想定したキャラクター性にもとづいて振舞の決定が適切に行われている必要がある。

本研究では、「ゲームデザイナーが想定するキャラクター性」にもとづいた振舞の決定を行う「NPCの意思決定モデル」の構築を目的とし、NPCの振舞を制御するAIの課題として挙げられる内容のうち[26]、以下の3種類がNPCのキャラクター性に強い影響を与える要素として位置づけ、「NPCの意思決定モデル」の構築を行った。

- ① コミュニケーション
- ② 感情
- ③ 協調の仕組み

構築したモデルは関連研究[26]より以下(1)~(2)の要求を満たす必要があると考えた。

^{†1} 和歌山大学
Wakayama University.
^{†2} 和歌山大学
Wakayama University.

- (1) 客観的な感情の仕組みをもとにしたモデルである
- (2) NPC は他の NPC の意図を汲んで協調する

要求(1)~(2)を満たすため、本研究では Hume の述べる“道徳感情が人の意思決定に与える影響” [27]~[33]に着想を得て NPC の意思決定モデル（以降本提案モデル）の構築を行った。また、本提案モデルを組み込むための基盤として 3D 対戦ゲームを対象とし、挙動確認のためのケーススタディとして実装を行った。3D 対戦ゲームは、仮想空間内においてプレイヤーが任意の目標を達成する（多くの場合は敵を討伐する）ことをゴールとしたゲームである。

3D 対戦ゲームは下記 3 点の内容を満たしているため、本提案モデルの挙動確認のためのケーススタディに適していると考えた。

- 現行ハード機で多くのユーザーに人気がある[34]
- 主要タイトルのゲームに世界観がある[35]
- 主要タイトルのゲームではシーン上で複数のキャラクターが存在する[35]

3. 提案モデル

2 章で述べた要求(1)~(2)を満たすため、以下の 3 点を満たす NPC の意思決定モデルを構築した。

- NPC が意思決定を行う仕組みを「人の思考プロセスへ近似」させる
- 「NPC の意思決定の仕組み」のベースに 2 章で課題とした“コミュニケーション”・“感情”・“協調の仕組み”を取り入れたものを扱う
- 上記 2 点の内容を含んだエージェント・アーキテクチャを構築する

3.1 NPC の AI のデザインパターン

NPC の AI のデザインパターンについて、三宅は以下の 5 つの原則を押さえる必要があると述べている[24].

1. NPC はゲーム世界の情報をプレイヤーと共有せねばならない（情報の共有）
2. NPC はプレイヤーを認識し、認識していることをアピールせねばならない（プレイヤーの認識）
3. NPC はプレイヤーに対してあたかも意思を持っているように振舞わねばならない（意思の表現）
4. NPC は自分自身を認識し、その知的、身体的特性を生かした行動をとらねばならない（自己認識）
5. NPC が持つ思考は、プレイヤーに適用したときに、プレイヤーの行動を十分に予測できるものでなければならない（人の思考への近似）

本提案モデルでは、三宅の述べた NPC の 5 つの原則について、以下のように内容を整理した。

- (1) NPC が行う行動はプレイヤーから見て視覚的に知覚可能である必要がある
- (2) NPC の振舞いの決定はプレイヤーが行った行動の影響を受ける必要がある
- (3) NPC の振舞いの決定は一定のルールに従って行われる必要がある
- (4) NPC の振舞いはゲームデザイナーがデザインした NPC のキャラクター性の影響を受けなければならない
- (5) NPC の意思決定モデルの仕組みは人間が行動する際の仕組みと近い仕組みである必要がある

上記(1)~(5)について、(1)を満たすためには NPC が行動を実行する仕組みが必要になる。また、(2)・(3)・(5)の条件を満たすためには NPC が振舞いを決定する手法が重要となる。(4)については NPC の個性をゲームデザイナーが反映できる部分が NPC の意思決定モデルの中に必要となる。以上から、本提案モデルは以下の 3 つの部分から構成される NPC の意思決定モデルとした。

- ゲームデザイナーが個性を表現できる仕組み
→ 初期条件
- NPC が行動を実行する仕組み
→ NPC の状態遷移モデル
- NPC が振舞いを決定する手順
→ NPC の意思決定フロー

3.2 Hume の道徳感情

Hume の述べる道徳感情は以下の 4 つのルールで構成される。

意思

行動の動機は思いつく欲求・信念に起因する

行動

自身の欲求・信念を満たす行動を行う

判断

希望する行動が自身の持つ道徳に合致するかを判断する

共感

道徳は周囲の人間の「快」・「苦」の感情により形成する

上記 4 つのルールをもとに、NPC の意思決定のためのルールを式(1)~(23)によって定義した。各値の説明は以下①~⑬のようになる。

- ① 欲求 n : NPC の選択可能な行動に対応する欲求
- ② 数値 $desire_n$: 上記①の大きさ
- ③ 関数 $belief_n$: ①に対し一対一に対応する信念
- ④ 行動 $action$: NPC が選択可能な行動
- ⑤ 数値 N_{action} : NPC が選択可能な行動の総数
- ⑥ 数値 $association(i_1, i_2)$: NPC a が持つキャラクター i_1 がキャラクター i_2 に対して抱いている友好度
- ⑦ 数値 X : ⑥のとり得る範囲の上限と下限を決定する値
- ⑧ 関数 f : ①と④の対応付け
- ⑨ 数値 W_{action} : NPC が持つ④が行動の実行対象に与える結果
- ⑩ キャラクター a : NPC 自身
- ⑪ キャラクター i : ゲームのシーン上に存在する任意のキャラクター
- ⑫ 数値 V : キャラクター間の友好度を更新する際の変化量
- ⑬ 数値 P : NPC の「道徳による判断」での結果, 行動の実行可否に関わらず, 欲求の大きさを変化させる変化量

$$N_{action} > 0 \quad (N \text{ は整数}) \quad (1)$$

$$N_{desire} = N_{action} \quad (2)$$

$$S = \sum desire_n \quad (S \text{ は定数}) \quad (3)$$

$$desire_n > 0 \quad (4)$$

$$N_{belief} = N_{desire} \quad (5)$$

$$y_{desire_n} = belief_n(desire_n) \quad (6)$$

$$Max(y_{desire_n}) = y_{n_t} \quad (7)$$

$$f(n_t) \rightarrow action_{n_t} \quad (8)$$

$$x_{aab} = association_a(a, b) \quad (9)$$

$$-X \leq x_{aab} \leq X \quad (X \text{ は定数}) \quad (10)$$

$$W_{action_{n_a}} = \{-1, 1\} \quad (11)$$

$$(W_{action_{n_a}} = 1) Max(x_{aab}) = x_{aat} \quad (12)$$

$$(W_{action_{n_a}} = -1) Min(x_{aab}) = x_{aat} \quad (13)$$

$$x_{abc} = association_a(b, c) \quad (14)$$

$$-X \leq x_{abc} \leq X \quad (X \text{ は定数}) \quad (15)$$

$$r = x_{aab} * x_{abc} \quad (16)$$

$$r_t = \sum r \quad (17)$$

$$D = r_t / W_{action_{n_a}} \quad (18)$$

$$d = association_b(b, c) / W_{action_n} \quad (19)$$

$$(d > 0) association_{new_b}(b, a) = association_{old_b}(b, a) + V \quad (V \text{ は定数}) \quad (20)$$

$$(d < 0) association_{new_b}(b, a) = association_{old_b}(b, a) - V \quad (V \text{ は定数}) \quad (21)$$

$$desire_{n_a} \rightarrow desire_{n_a} - P \quad (P \text{ は定数}) \quad (22)$$

$$P > 0 \quad (23)$$

各値と式の意味について順に説明する. 式(1)~(13)は前述の Hume の述べる道徳感情の 4 つのルールのうち, 意思と行動を表現する処理である.

本提案モデルでは最終的な NPC のキャラクター性を表す出力を単位行動としている. 例として攻撃・防御といった NPC が選択可能な行動のうち 1 つが出力される. それぞれの単位行動にはキャラクター性における意味合いがあり, 例えば攻撃的な性格のキャラクターならば攻撃を選択することに対しては他の選択肢よりも積極的であり, 逆に逃走という選択肢に対しては消極的である場合が想定される. Hume はこの「振舞に対する本来の欲求」と「振舞に対する積極性」は別のものであると述べ, “信念-欲求モデル”と定義している.

本提案モデルでは, NPC が選択可能な各行動に対してそれぞれ 1 対 1 の関係で欲求が結びついている. 欲求はそれぞれ大きさを数値として持つ (図 1 参照). 同様に, NPC が選択可能な各行動に対してそれぞれ 1 対 1 の関係で信念が結びついている. 信念は欲求に対する積極性であるため, 本提案モデルでは, 信念と欲求の大きさの関係を式(6)で表した.

式(14)~(23)は前述の Hume の述べる道徳感情の 4 つのルールのうち, 判断と共感を表現する処理である.

Hume は, 人間が「自身の欲求に対応した振舞」を行ってもよいかどうかの判断を道徳感情によって行うと述べている. また, 道徳感情の形成は, 「自身の欲求に対応した振舞」を行った場合に周囲の人間がそれを「快」または「苦」のどちらに感じるのかによって行われると述べている. そのため, 各 NPC は自身の推定する任意の 2 キャラクターの友好関係を情報として用い (図 2 参照), 行動の実行可否を判断するための道徳感情の形成を行う (式(14)~(17)). その後, 形成した道徳感情をもとに, 行動の実行可否を決定し, 周囲のキャラクターに対して友好関係の更新を行う (式(18)~(23)).

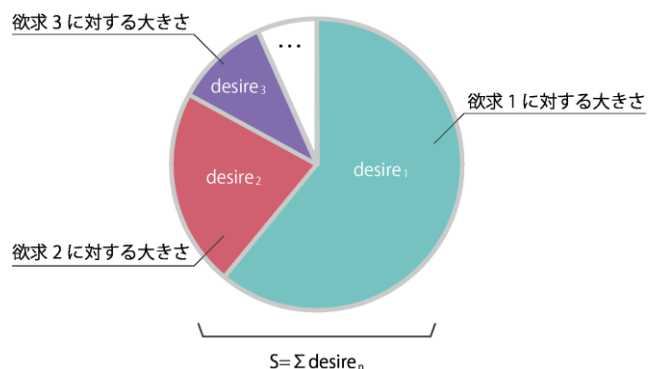


図 1 NPC が持つ欲求と欲求の大きさ
 Figure 1 Value of desire and desire witch NPC has.

好意を抱かれる NPC

	NPC a	NPC b	NPC c	
好意を抱く NPC	NPC a	association _a (a,a)	association _a (a,b)	association _a (a,c) ...
	NPC b	association _a (b,a)	association _a (b,b)	association _a (b,c) ...
	⋮	⋮	⋮	

図 2 NPC a が想定する任意の 2NPC 間の友好度
Figure 2 Friendship between 2NPCs with NPC a suppose.

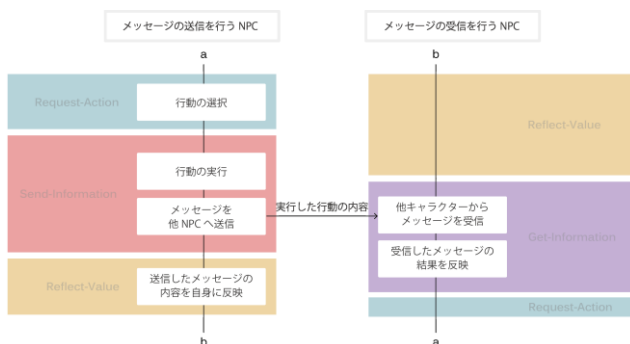


図 3 2NPC 間のメッセージング
Figure 3 Sending message between 2NPCs.

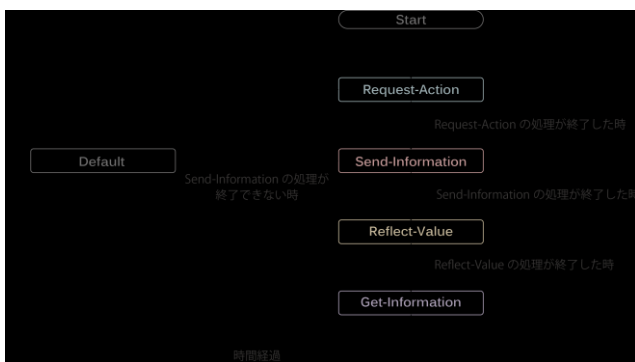


図 4 NPC の状態遷移
Figure 4 Status transition of NPC.

式(19)の結果, 行動が実行不可となった場合, NPC は行動を棄却する.

値 $desire_n$ と値 $association(i_1, i_2)$ はいずれもゲームのシーン上の時間経過に対して変化する. そのため, NPC の振舞はシーンの状況に応じて変化する.

3.3 NPC の状態遷移

NPC の制御アーキテクチャの定義には様々なモデルが提案されている[36]~[38]. 本提案手法では堅実な意思決定

に適した構造であるとされているという理由[8]から, ステートベース AI を用いた. 本提案モデルにおける NPC の振舞の決定は 3 章で述べたルールにもとづいて行われる. NPC は振舞の決定に, 周囲のキャラクターとの友好度を考慮する. よって, NPC の振舞の情報を他の NPC に対してメッセージングする必要がある. 本提案モデルでは NPC の状態を 5 つ定義し, NPC 間のメッセージングを行った (図 3 参照). NPC はゲームシーンの時間経過に対して状態を遷移させる (図 4 参照).

NPC 間のメッセージングは, それぞれの NPC が自身の振舞についての情報を他のすべての NPC に対しブロードキャストする. メッセージ内容は以下の 3 つである.

- NPC の実行した行動が「行動の実行対象にとってメリット・デメリット」のどちらかという情報 (正負の二値で表現)
- NPC の実行した行動の対象となったキャラクター
- 行動した NPC 自身

4. 挙動確認結果

実装後, 本提案モデルによる挙動の確認を行うため, テストケースとして 3 章で述べた各値に対し表 1 ~7 で示す値を用い, 挙動の確認を行った. NPC はシーン上に 4 体配置を行った. その際, ($N_{action} = 4$) ・ ($X = 100$) とした.

テストケースを実行した結果, 想定した挙動を NPC は示した. また, 各 NPC での状態のデッドロックは確認されなかった. そのため, 本提案モデルは 2 章で述べた要求を満たしたうえで, NPC の意思決定モデルとして利用可能であると推測できる.

5. おわりに

NPC の振舞の決定モデルについて, 関連研究で課題として挙げられている項目の内, “コミュニケーション” ・ “感情” ・ “協調の仕組み” について焦点を当て, Hume の述べた人間が行動を決定する過程で道徳が与える影響に着想を得て, NPC の意思決定モデルの構築を行った. 3D 対戦ゲームにてテストケースを作成し確認した結果, NPC の行動選択は正常に機能しており, デッドロック[39]の問題も確認されなかった. よって, 本提案モデルは課題として挙げた “コミュニケーション” ・ “感情” ・ “協調の仕組み” を満たしたうえで NPC の意思決定モデルとしての機能を満たしていると考えられる.

今後の課題として, テストケースを増やしての挙動の確認とゲームデザイナーが直感的に利用可能なインタフェースの導入が必要である.

表 1 NPC が持つ欲求 n に対する大きさ $desire_n$

Table 1 Value of $desire_n$ for each NPC's desire n

	NPC 1	NPC 2	NPC 3	NPC 4
n_1	40	40	40	40
n_2	30	30	30	30
n_3	20	20	20	20
n_4	10	10	10	10

表 2 各 NPC が持つ欲求 n に対する信念 $belief_n$

Table 2 Formula of $belief_n$ for each NPC's desire n

	NPC 1	NPC 2	NPC 3	NPC 4
n_1	$f(x)$ $= x$	$f(x)$ $= x$ $* 0.3$	$f(x)$ $= x$	$f(x)$ $= x$
n_2	$f(x)$ $= x$ $* 0.8$	$f(x)$ $= x$ $* 0.5$	$f(x)$ $= x$	$f(x)$ $= x$ $* 0.5$
n_3	$f(x)$ $= x$ $* 0.5$	$f(x)$ $= x$ $* 0.8$	$f(x)$ $= x$	$f(x)$ $= x$ $* 0.5$
n_4	$f(x)$ $= x$ $* 0.3$	$f(x)$ $= x$	$f(x)$ $= x$	$f(x)$ $= x$ $* 0.5$

表 3 NPC 1 から見た $association_1(b, c)$

Table 4 Value of $association_1(b, c)$ from NPC 1

	NPC 1 _c	NPC 2 _c	NPC 3 _c	NPC 4 _c
NPC 1 _b	10	60	-60	70
NPC 2 _b	70	10	-70	40
NPC 3 _b	-80	-90	20	-20
NPC 4 _b	50	20	-40	30

表 4 NPC 2 から見た $association_2(b, c)$

Table 3 Value of $association_2(b, c)$ from NPC 2

	NPC 1 _c	NPC 2 _c	NPC 3 _c	NPC 4 _c
NPC 1 _b	0	40	-35	-20
NPC 2 _b	35	0	-25	70
NPC 3 _b	-30	-25	10	10
NPC 4 _b	20	20	30	0

表 5 NPC 3 から見た $association_3(b, c)$

Table 5 Value of $association_3(b, c)$ from NPC 3

	NPC 1 _c	NPC 2 _c	NPC 3 _c	NPC 4 _c
NPC 1 _b	5	40	-60	10
NPC 2 _b	65	15	-30	10
NPC 3 _b	-70	-20	10	10
NPC 4 _b	10	30	40	60

表 6 NPC 4 から見た $association_4(b, c)$

Table 6 Value of $association_4(b, c)$ from NPC 4

	NPC 1 _c	NPC 2 _c	NPC 3 _c	NPC 4 _c
NPC 1 _b	40	30	40	-20
NPC 2 _b	65	50	20	-5
NPC 3 _b	20	30	40	-10
NPC 4 _b	50	60	50	-10

表 7 NPC の行動 $action_n$ が対象に与える W_{action_n}

Table 7 Value of W_{action_n} with effects for target

by $action_n$ of NPC

	NPC 1	NPC 2	NPC 3	NPC 4
$action_1$	-1	-1	-1	-1
$action_2$	-1	-1	-1	-1
$action_3$	1	1	1	1
$action_4$	1	1	1	1

謝辞 本研究にご協力頂いた皆様に、謹んで感謝の意を表する。

参考文献

- [1] Peter E. Hart, Nils J. Nilsson, Bertram Raphael: A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimal Cost Paths, IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics 4 (2), pp.100-107, 1968
- [2] Remco Straatman, Arjen Beij: Killzone's AI : Dynamic Procedural Combat Tactics, GDC Vault, 2005
- [3] I But: Minsky's Frame System Theory, TINLAP '75 Proceedings of the 1975 workshop on Theoretical issues in natural language processing, pp.104-116, 1975
- [4] Allan M. Collins, M. Ross Quillian, Lee W. Gregg: Experiments on semantic memory and language comprehension, Cognition in learning and memory, 1972
- [5] Roger C. Schank, Robert P. Abelson: SCRIPTS, PLANS, AND KNOWLEDGE, IJCAI'75 Proceedings of the 4th international joint conference on Artificial intelligence - Volume 1, pp.151-157, 1975
- [6] D. Isla, P. Gorniak: Beyond Behavior: An Introduction to Knowledge Representation, GDC Vault, 2009
- [7] 三宅陽一郎: 人工知能からゲームの未来を視る-哲学から科学、エンターテインメントまで-, 東京大学工学部電子情報工学科メディアコンテンツラボ主催・学部横断型教育プログラム講義 メディアコンテンツ特別講義 II, 2011
- [8] 白神 陽嗣, 並木 幸介, 三宅 陽一郎, 横山 貴規: FINAL FANTASY XV -EPISODE DUSCAE- におけるキャラクターAIの意思決定システム, CEDEC, 2015
- [9] Peter Cheung: Lecture 12: Finite State Machines, Department of EEE, Imperial College London. Digital Electronics, 2007
- [10] Cygames, Inc.: ゲーム AI - 基礎編(2) - 『はじめてのエンジニアトベースアーキテクチャ』, Cygames Engineers' Blog, <http://tech.cygames.co.jp/archives/2364/>
- [11] Alex Champandard, Tim Verweij, Remco Straatman: Killzone 2 Multiplayer Bots, Killzone Scope Game AI Conference, 2009
- [12] Damian Isla: Handling Complexity in the Halo 2 AI, GDC Vault,

- 2009
- [13] Richard Evans: Modeling Individual Personalities in The Sims 3, GDC Vault, 2010
- [14] Dave Mark, Kevin Dill: Improving AI Decision Modeling Through Utility Theory, GDC Vault, 2010
- [15] Cygames, Inc.: ゲーム AI 実践編 -Shadowverse に見る TCG AI 開発の事例(1)-, Cygames Engineers' Blog, <http://tech.cygames.co.jp/archives/2853/>
- [16] C. Karen Liu, Zoran Popovic: Synthesis of Complex Dynamic Character Motion from Simple Animations, ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH 2002), 2002
- [17] Alan D. Baddeley, Graham Hitch: Working Memory, Psychology of Learning and Motivation. Volume 8, pp.47-89, 1974
- [18] 並木 幸介, 岡村 信幸: AI に命を. 「ぼかほかアイルー村」のアフオーダンス指向による AI 事例, CEDEC, 2011
- [19] Michael Booth: The AI Systems of Left 4 Dead, Valve Developer Community, 2009
- [20] R. Burke, D. Isla, M. Downie, Y. Ivanov, B. Blumberg: CreatureSmarts: The Art and Architecture of a VirtualBrain, GDC Vault, 2001
- [21] Jaime Griesemer, Chris Butcher: Creating the Illusion of Intelligence: Where AI and Level Design Overlap in Halo's AI, GDC Vault, 2002
- [22] 三宅 陽一郎: 「社会シミュレーションとデジタルゲーム」, igda Japan ゲーム AI 連続セミナー第 7 回@芝浦工業大学, 2010
- [23] B. Hayes-Roth: A blackboard architecture for control, Artificial Intelligence archive Volume 26 Issue 3, pp.251 - 321, 1985
- [24] 三宅 陽一郎, 横山 貴規, 北崎 雄之: エージェント・アーキテクチャに基づくキャラクターAIの実装 -クロムハウズズのキャラクターAIを例として-, 第 4 回デジタルコンテンツシンポジウム, 2008
- [25] 山下利之, 清水孝昭, 栗山裕, 橋下友茂: コンピュータゲームの特性と楽しさの分析, 日本教育工学会論文誌 28(4), pp.349-355, 2005
- [26] 三宅陽一郎: 次世代デジタルゲームにおける人工知能の研究課題について, ゲームプログラミングワークショップ@箱根セミナーハウス, 2012
- [27] 林 誓雄: ヒュームにおける道徳感情と道徳的な行為の動機づけ, 倫理学年報 58, pp.93-107, 2009
- [28] 林 誓雄: 「欲求」の捉え方: 「ヒューム主義」に関する一考察, 実践哲学研究 = Studies for practical philosophy (35), pp.75-93, 2012
- [29] 矢嶋直規: ヒュームのシンパシー論 -人間的自然の原理としての-, 人文科学研究 : キリスト教と文化 : Christianity and culture. p27, 2010
- [30] ヒューム道徳哲学における認識論的基礎, 実践哲学研究. 第 29 号, pp.25-45, 2006
- [31] 林 誓雄: 「道徳感情論」入門 -D. ヒュームと W. スミスの倫理思想-, 京都大学 哲学基礎文化学系ゼミナール II. OD リレー講義配布レジュメ, <https://ocw.kyoto-u.ac.jp/ja/faculty-of-lettersja/002-006/pdf/200905relay1.00.pdf>
- [32] 大鹿 勝之: 共感と感覚 : ハチスンとヒュームの議論, 大学院紀要 = Bulletin of the Graduate School Toyo University 51(文学(哲学)), pp.73-85, 2014
- [33] 奥田 太郎: マイケル・スミスのヒューム主義とヒューム道徳哲学の比較検討の試み, 実践哲学研究. 第 27 号. pp.1-28
- [34] カドカワ株式会社 マーケティングセクション: ファミ通ゲーム白書 2016, カドカワ株式会社, 2016
- [35] GOD EATER 2(ゴッドイーター2), BANDAI NAMCO Games Inc., 2014
- [36] Kim On CHIN, Kim Soon GAN, Rayner ALFRED, Patricia ANTHONY & Dickson LUKOSE: Agent Architecture: An Overview, TRANSACTIONS ON SCIENCE AND TECHNOLOGY 2014. Vol. 1. No 1. pp.18-35, 2014
- [37] PL Kaelbling: Chapter 4 State Machines, MIT OpenCourseWare: 6.01SC Introduction to Electrical Engineering and Computer Science, 2011
- [38] Marek Perkowski: DIGITAL DESIGN AUTOMATION FINITE STATE, Department of Electrical Engineering. Portland State University, 2016
- [39] Edward G. Coffman Jr, Michael J. Elphick, Arie Shoshani: System Deadlocks, ACM Computing Surveys. 3 (2), pp.67-78, 1971