

スクウェア・ エニックスのAI

試し読み

for preview only

電子書籍版(PDF)
価格：5,500円
(本体：5,000円＋税10%)

スクウェア・
エニックスの
AI

■ ご注意

本書は著作権上の保護を受けています。論評目的の抜粋や引用を除いて、著作権者および出版社の承諾なしに複写することはできません。本書やその一部の複写作成は個人使用目的以外のいかなる理由であれ、著作権法違反になります。

■ 責任と保証の制限

本書の著者、編集者および出版社は、本書を作成するにあたり最大限の努力をしました。但し、本書の内容に関して明示、非明示に関わらず、いかなる保証も致しません。本書の内容、それによって得られた成果の利用に関して、または、その結果として生じた偶発的、間接的損傷に関して一切の責任を負いません。

■ 著作権と商標

本書に記載されている製品名、会社名は、それぞれ各社の商標または登録商標です。本書では、商標を所有する会社や組織の一覧を明示すること、または商標名を記載するたびに商標記号を挿入することは、特別な場合を除き行なっていません。本書は、商標名を編集上の目的だけで使用しています。商標所有者の利益は厳守されており、商標の権利を侵害する意図は全くありません。

FINAL FANTASY VII REMAKE INTERGRADE© SQUARE ENIX CHARACTER DESIGN: TETSUYA NOMURA / ROBERTO FERRARI

ドラゴンクエストビルダーズ2 破壊神シドーとからっぽの島© ARMOR PROJECT/BIRD STUDIO/SQUARE ENIX

SQUARE ENIX Tech Preview: THE PORTOPIA SERIAL MURDER CASE© SQUARE ENIX

ドラゴンクエストX 目覚めし五つの種族 オフライン© ARMOR PROJECT/BIRD STUDIO/SQUARE ENIX

ヴァルキリーエリュシオン© SQUARE ENIX

Unreal® is a trademark or registered trademark of Epic Games, Inc. in the United States of America and elsewhere. Unreal® Engine, Copyright 1998 – 2024, Epic Games, Inc. All rights reserved.

ROBOTO Apache-2.0 license <https://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0>

謝辞

本書を手にとってくださった皆様に深く感謝申し上げます。

出版元である株式会社ポーンデジタルの皆様に感謝します。

桐生隆司社長、スクウェア・エニックスのすべてのスタッフ、
本書の制作に関わったすべての方々に感謝いたします。

荒牧岳志さん、長谷川勇さん、青池恵美子さん、そして、
原稿のとりまとめをされた内藤ゆみさんに感謝いたします。

執筆者代表 三宅 陽一郎

| ごあいさつ

皆さん、こんにちは。スクウェア・エニックスの三宅陽一郎です。この本は、なるべく多くの人に、平易に、我々が日々取り組んでいる「デジタルゲームのAI」について知ってほしい、という思いから始まりました。「デジタルゲームのAI」は、最高に面白い分野です。とても面白くて、私は2004年から20年ぐらいずっとこの仕事をしています。飽きるということがなく、発展も速く、毎日新しい気持ちで取り組んでいます。

最初に「デジタルゲームのAI」を簡単に説明すると、「**一緒に冒険する仲間キャラクターをより賢くする・敵キャラクターをより生き物っぽくする**」ことです。本書で紹介するAIは他にも様々ありますが、まずはそう考えて頂いてかまいません。そこがすべての出発点になります。

| この本はどんな本？

でも、AIって目に見える分野じゃないから、なかなかわかりづらいところがあります。この分野の面白さや広がり伝えたいのですが、ひとりの力には限界があるため、僕の信頼するスクウェア・エニックスのAIに取り組むメンバーに声をかけ、それぞれの開発・研究分野を解説してもらうことにしました。目標としたのは、「**日本で最もわかりやすい、デジタルゲームAIの入門書**」です（実際、そうなっていると思います）。

各メンバーの執筆でお願いしたのはひとつ、「とにかく、わかりやすく！」です。具体的には、「解説の半分までは誰でもわかりやすいように書いて！」ということです。だから、各解説の前半は誰しもわかるようになっています。後半から解説の終わりにかけて、ほんの少し専門的になることもありますが、その坂もなるべく緩やかになるように書かれています。そのため、読者の皆さんは、なんの前提知識も必要なく、手ぶらで読み始めても問題ありません。

文系／理系も関係ありません。数式も、どうしても必要な個所を除いて、かぎりなく省いてあります。また、どの章からでも読み始められるので、興味の赴くまま、心の任せるままに、この分野を散歩してみてください。きっと読者の皆さんは、これまで見たことのない、いろんな新しい知識や知見を得ることができるでしょう。

デジタルゲームのAIの風景

1つの山には木立もあり、草原もあり、花々もあり、茂みもあります。同じように、「デジタルゲームのAI」という山にも、様々な場所や風景があります。本書はその山をゆったりと散策する本です。なるべく平坦な道になるように、それぞれの解説が工夫されています。難しいところは「ここからはこんな風景が見えるよ」という程度におさめています。ここでは、これから散策して頂くコースのあらましを紹介していきましょう。

PART1の「**ゲームAI**」は、本書の入り口になります。先ほど言及した「キャラクターを賢くする・生き物らしくする」ことが目標になります。AIで動くキャラクターが、ゲームステージの複雑な地形の中で岩を避けたり、川を飛び越えたり、うまく動き回れるようにするための技術を「**ナビゲーション**」と言います。この分野の専門家のフランソワさんが、飛び回るキャラクターまで含めた「3Dナビゲーション」の世界を案内します。次に、キャラクターたちは自分で考えて行動する必要があります。こういった技術を「**意思決定**」と言い、ゲーム産業では長年、この分野を世界的にリードしてきました。中でも「自分で計画を立てて行動するAI」を「**プランニング**」と言います。これらについて、この数年、プランニングの開発・研究を進めてきた並木さんが解説します。さて、キャラクターである以上、自分の身体は自分で動かす必要があります。身体を動かす技術を「**アニメーション**」と言い、森寅嘉さんは、この分野に修士課程の学生の頃から興味を持っていて、ずっと開発・研究を続けています。本PARTでは、その成果を解説します。

PART2は「**キャラクターインタラクション**」を扱います。ゲームは大きく捉えると、ユーザーとキャラクターのインタラクション（やりとり）からなります。インタラクションの形にもいろいろあり、動作でする場合もあれば、「**言葉**」でする場合もあります。また、キャラクターがただ命令に従う場合もあれば、「**キャラクターが感情をもって接する**」場合もあります。「キャラクターに感情を持たせるには？」というテーマについてゴティエさんが、「言葉によってユーザーと対話する技術」について森友亮さんがそれぞれ解説します。

PART3は「**メタAI**」を扱いますが、この言葉を耳にしたことがない方も多いかと思います。PART1～2は「キャラクター」を扱っているので直感的にわかりやすいですが、「メタAI」というのはゲームシステムがAIとなったものです。つまり、ユーザーを神視点から見て、ゲームを変化させるのです。詳しい解説は本PARTを読んで頂くとして、スクウェア・エニックスでは『FINAL FANTASY XV』（2016年）にも搭載するほど、メタAIに力を入れています。この技術は、ゲーム全体のクオリティをぐっと引き上げる力があります。或いはゲーム開発でどうしても埋まらない「かゆいところ」を補完する力があります。里井さんは、この技術を使ってユーザー体験（UX）を引き上げる開発を主導しており、水野さんは、この技術をオムロン社との共同プロジェクトでロボットに転用し実空間へと応用しました。宋さんは、本技術をブラッシュアップしたコア技術とするプロジェクトを担当しています。

PART4は「**ディープラーニング**」です。AIとはディープラーニング（深層学習）という認識を持つ方も多いですが、それ以外にもAI技術は様々あり、ディープラーニングは広大なAI技術の1つにすぎません。にもかかわらず、ディープラーニングはやはり重要で、これから「デジタルゲームのAI」分野の変革を担う技術です。それぞれ基礎技術（ディープニューラルネットワーク）は共通していますが、音声、画像、アニメーション分野への応用をレアンドロさん、エドガーさん、遠藤さんがそれぞれ解説します。

PART5は「**AIによる品質保証の自動化**」です。デジタルゲームは大規模かつ複雑になっていて、作成後にバグがないか、ミスがないか、確認する作業がとても大変です。そこで、AIが自動的にプレイして、作品に残っている穴を見つける技術がとても大切になります。ここでは、長年このテーマに取り組んでいるファビアンさん、太田さん、ジョシュアさんが解説します。実際のタイトルにもとづいた原稿で、読み応えのある内容になっています。

本書の読み方

本書のあらましをさっと紹介してきました。「デジタルゲームのAI」っていろいろあるんだなあ、と思って頂けたのではないのでしょうか。ここからは、気の赴くままに読んで、楽しんで頂けたら幸いです。気になる部から読んで、気になる章から読んでよいでしょう。また、本書全体に渡って「注釈」を入れているため、そこから読んでみても面白いでしょう。

本書の内容を楽しんで頂くのもよいですし、ゲームをプレイするときに思い出して、別視点でゲームを楽しんで頂くのもよいです。また、研究分野にするのもよいでしょう。本書を通じて「自分の世界が少し広がった」と思って頂ければ幸いです。では、「デジタルゲームのAI」の世界の冒険へと旅立ちましょう。

■注釈について

正しそうで正しくない少し正しい、かもしれない注釈。難解な語句が多い技術書のなかで、初学者の方でも読み進める手助けになればとご用意しました。PART1は本文執筆者の森寅嘉さんと並木幸介さんが、PART2～5は坂田新平さんが解説をしています。

■お知らせ

2024年4月の組織変更により、旧AI部を含む部門名・職種等に変更がありました。本書では、執筆時点の表記を用いております。



三宅 陽一郎 Youichiro Miyake

スクウェア・エニックス AI部
ジェネラルマネージャー

2022年よりAI部ジェネラル・マネージャー。2011年入社より、リードAIリサーチャー。京都大学で数学を専攻、大阪大学大学院（物理学修士）を経て、博士（工学、東京大学）。2004年よりデジタルゲームにおける人工知能の開発・研究に従事。ゲームAI技術の黎明期からAI技術を収集し、また独自の技術を開発しながら、ゲームAIの体系化とその発展を推進している。「大規模デジタルゲームにおける人工知能の一般的体系と実装 - FINAL FANTASY XVの実例を基に -」にて2020年度人工知能学会論文賞を受賞。『FINAL FANTASY XIV』AIテクニカルアドバイザー、『FINAL FANTASY XV』リードAIアーキテクト、『KINGDOM HEARTS III』AIテクニカルディレクター、『FINAL FANTASY VII REMAKE』QA 自動化AIテクニカルアドバイザー、などを手がける。日本デジタルゲーム学会理事、人工知能学会編集委員会副委員長、ゲーム情報学研究会運営委員。著書に『FINAL FANTASY XV の人工知能』（ポーンデジタル）など多数。CEDEC、GDC (Game Developers Conference)、IEEE CoG(Conference on Game)、SIGGRAPH、SIGGRAPH Asia、人工知能学会など国内外の学会・産業カンファレンスで講演・発表を多く行なっている（肩書、所属は2024年3月時点のもの）。

もくじ

ごあいさつ	4
この本はどんな本？	4
デジタルゲームのAIの風景	5
本書の読み方	6

PART 1

ゲームAI

16

はじめに	18
------	----

キャラクターの定義	20
1. キャラクターの作成	21
2. 操り人形師	22
3. データ、データ、データ!	23

ナビゲーションメッシュ	25
1. 環境の認識	25
2. マッピング（地図の作成）	26
3. ボクセル化	28
4. 接続	32
5. 三角形分割	32
6. 侵食	35

経路探索、ステアリング、回避	37
1. 簡単なクエリ	37
2. 経路探索	39
3. 操舵	44
4. 回避	45
5. まとめ	46

ナビメッシュの拡張	47
1. オフメッシュ リンク	47
2. コスト	49
3. 好みとその他の要因	50
4. ナビメッシュを改造する	51
5. ランタイム生成	52
6. 塗装と補修	53
7. まとめ	56

3Dナビゲーション	57
------------------	-----------

1. フルワールド ボクセル化	57
2. 課題	58
3. 疎なボクセル八分木 (スパース ボクセル オクトリー)	60
二分法	62
構築	63
4. その他の課題	65
接続	65
剪定	65
最適化	65
ストリーミング	65
経路探索	66
5. 今後の用途	66
破壊と障害	66
新しい環境	67
より優れたAIの動作	67
音の伝播	67
結論	67
プランニングを用いた意思決定システム	68
1. 計画的なAI	68
2. プランニングAIの弱点	69
3. プランニングAIの実用例	71
リアルタイムの変化への対応	74
状態空間の広さへの対応	74
4. プランニングと機械学習	75
5. 新しい技術開発の難しさ	75
6. 開発支援部門の仕事	76
キャラクターAIとアニメーション	78
1. 私たちはどのように身体を動かしているのか？	78
2. キャラクターAIの問題点	79
3. キャラクターAIの導入事例	80
4. MULSアニメーション生成システム	82
5. まとめ	90
PART 2	
キャラクターインタラクション	92
キャラクターインタラクションとは？	94
感情AIを巡る旅：AIは実際に感情を感じているのか？	96
1. 今までのAIに感情はあったのか？ 感情AIの歴史	96

気持ち、感情、気分	96
AIで動くキャラクター	97
作ろうとしているもの	99
2. 関連研究	100
感情モデル	101
気分モデル	102
モデルについての最終的な決定	103
3. ゲームのための感情要素	105
エモーショナルコンポーネント	106
感情モジュール	107
イベント評価システム	108
気分モジュール	110
性格とは?	111
感情、気分、性格を表現する	111
デザイナーがキャラクターを自分好みに調整するための施策	114
4. エモーショナルコンポーネントの開発から学んだこと	117
5. 付録：ペーパー・研究	121
感情モデル	121
気分モデル	122

自然言語処理 124

1. ゲームキャラクターたちと自由にしゃべろう	126
2. AIで「言葉」を扱う技術	129
3. 開発事例：NLPアドベンチャー	134
アドベンチャーゲームの方式：「コマンド入力式」と「コマンド選択式」	134
「新世代コマンド入力式」の実現に向けて	136
テックプレビュー「SQUARE ENIX AI Tech Preview : THE PORTOPIA SERIAL MURDER CASE」のリリース	139
「デジタルゲームのためのNLP」に必要なこと	140
4. ChatGPT以降の世界	141
ゲームと大規模言語モデル	143

PART 3

メタAI

146

メタAIとは	148
--------	-----

「感情を揺さぶる」メタAI 152

1. メタAIで達成したかったこと	154
2. 2次元感情マップ	155
3. 2次元感情マップに基づくメタAI	158
4. Current EPの推定	158
5. Goal EPのプランニング	160

6. Next EPの更新とゲームの調整	161
7. メタAIとの接点になるゲーム要素	162
8. 感情を可視化するゲームプレイ分析ツール	163
9. 感情の強さのタイムライン表示	164
10. メタAIの評価	165
Current EPの推定結果とプレイヤーの感情は一致したのか？	165
メタAIによって、プレイヤーの感情を揺さぶることができたのか？	166
難易度が許容範囲か？	166
ゲームデザイナーがバランス調整しやすいと感じたか？	166
11. まとめ	167
シューティングゲームのメタAI	168
1. シューティングゲームの難易度の作り方	168
一般的な手法	169
動的難易度調整	170
2. シューティングゲームにメタAIを入れてみた	170
2-Layer危険度コントロール	172
3つのAI	174
3. 動的難易度調整の注意点	177
4. 将来の課題	177
5. まとめ	178
卓球ロボットのメタAI	179
1. メタAI、ゲームの世界を飛び出す	179
2. 楽しく上達したい！	180
3. 卓球がわからない…	183
4. 卓球とアクションゲームは何が違うのか	184
5. みんなで汗をかいて仮説を検証するぞ	186
6. プレイヤーのモチベーションをコントロールする作戦	188
7. 現実世界でメタAIが動いた！卓球ロボットのメタAI	190
8. ゲームAIよ、ゲームの世界を飛び出そう	191
メタAIの効果検証	193
1. 相関関係と因果関係	193
相関関係	193
因果関係	194
2. 因果関係を検証する：対照実験と盲検化	194
3. まとめ	196
メタAIとゲームUX	197
1. メタAIが使えるゲーム、使えないゲーム	197
2. ゲームUXとは	197
3. 感情の「流れ」を分析する	198

4. ゲームUXの共通言語化 - パターンランゲージ	203
5. まとめ	204

メタAIの展望 205

1. メタAIの使われる場がより広がる	205
より多くのゲームでメタAIが導入される	205
他のゲームAIと組み合わせる	206
非ゲームのインタラクションに応用する	206
2. メタAIで実現する体験がより深まる	207
メタAIがプレイヤーの前に登場する	207
メタAIがプレイヤーの成長を支援する	207
3. メタAIの発展を支える	208
ゲームUXがより可視化され、より客観的に検証されるようになる	208
4. まとめ	209

PART 4

ディープラーニング

210

機械学習とは	212
--------	-----

スタイルトランスファー 220

1. ゲームAIとその感情	220
2. AIでも絵を描けるよ！	220
スタイルトランスファーと感情表現	221
3. 画像生成AIの技術の裏	222
AIってどうやって画像を描くの？	222
画像データの構造	222
CNNの基礎	223
画像生成におけるCNN	225
スタイルトランスファーモデルの概要	226
スタイル情報の注入	227
スタイル概念を獲得せよ：スタイルトランスファーの逆伝播	229
学習ハードウェア	230
推論	232
余談	232
4. AIは絵を描く	233
感情と絵	233
エモーショナルコンポーネント	233
スタイルの選択と出力	234
スタイルトランスファーによるAIの感情表現	235
5. これからの絵による感情表現	236

機械学習による自動リップシンク アニメーション 238

1. データとしての音の表現	238
2. 音声を画像へ変換する	241
3. 絶対音感と相対音感	243
4. 音声の時間経過フローを学習する	248
5. アニメーション生成	251
深層学習によるキャラクターアニメーションの生成	256
1. アニメーションの作成工程	256
キーフレームを打つ	257
自動補間する	258
ベイクする	258
2. キャラクターアニメーション	259
キャラクターアニメーションの作成前の工程	259
キャラクターアニメーションの作成	260
モーションキャプチャの利用	260
3. 深層学習によるアニメーション生成のモチベーション	261
4. 深層学習によるキャラクターアニメーション生成の基本	262
5. 研究内容	264
研究の前提	264
研究対象	265
手法の概略	265
モデル	266
6. 現状の課題と今後の研究について	268
7. 深層学習によるキャラクターアニメーション生成の展望	269
自然言語を用いたアニメーション生成	269
リアルタイムアニメーション生成	269
演技をAIに教える	269
8. まとめ	270
TALK 1 スクウェア・エニックス AI部 座談会 若手メンバー編	
AI部から生まれる、新しいゲームの可能性	272
PART 5 AIによる品質保証の自動化	280
品質保証の概要	282
QAにおけるゲームAIの使用	288
1. シミュレーションテスト	289
2. 探索テスト	290

3. スクリプトテスト	290
4. 非侵入型と侵入型テスト	291
5. ACREの趣旨	292
6. 操作記録とリプレイ	293
7. ゲームステート	295
8. 同期	296
9. マップと経路探索	299
10. 探索	301
11. 今後の課題	302
バックエンド システム	303
1. 開発の背景	303
2. ワークフロー	304
3. テストスケジューラー	306
4. スライスパッケージと固定パッケージ	307
5. 機材使用率配分	308
6. 機材の共有と割り当て	309
7. レジリエンス（回復機能）	310
8. 停止時間とトイレの削減	311
優先度付きテスト結果削減	311
セッションのマージとコミット	311
Windows Updateの自動化	312
メトリクス（計測して取得されたデータ）の取得と計測	312
バグの分類とデータ分析	313
1. バグの分類	313
2. フィンガープリントを用いたバグの分類	314
3. バグの再現率と解決	314
4. 通知	316
5. データ分析	318
Metabase™	318
Sentry™	319
結論	321

TALK 2 スクウェア・エニックス AI部 座談会 セクションリーダー編

研究者たちが描く「ゲーム×AIの未来像」	322
-----------------------------	------------

あとがき	332
用語集	334



PART 1

ゲームAI

PART 1は、「AIで動くキャラクターがいきいきとゲーム世界の中で活躍するために必要なAI技術」を解説します。皆さんは、キャラクターがどんなことをしたときに、「ゲーム世界の中でいきいきとしているなあ」と思われますか？ 私はこのテーマにもう20年以上取り組んでいるのですが、それは、ざっとこんなときではないでしょうか？

- キャラクターがゲーム世界の状況をきちんと感じ取っているとき
- キャラクターがゲーム世界できちんと判断しているとき
- キャラクターがゲーム世界できちんと移動しているとき
- キャラクターがゲーム世界でたくみに身体を動かしているとき

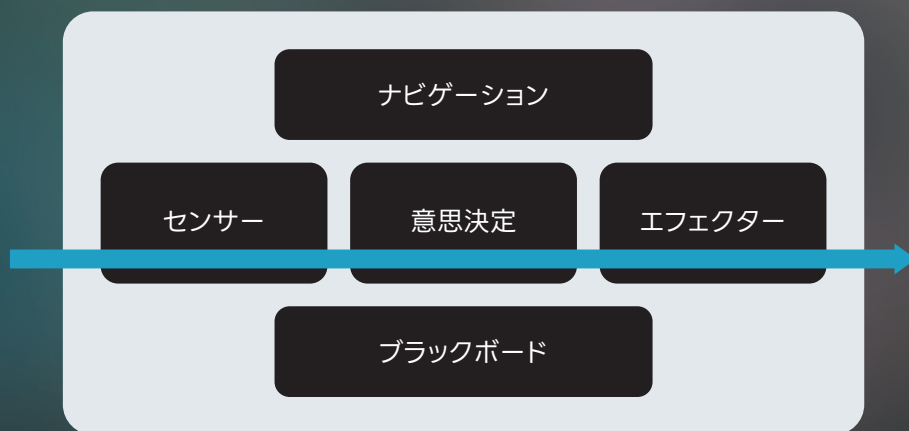
上から順に専門的に言うと、最初の2つが「センシングと認識」「意思決定」、3つ目が「ナビゲーション」、最後が「アニメーション」となります。本PARTの3つの章がこれらに対応し、それぞれのエキスパートであるフランソワさん、並木さん、森寅嘉さんが解説します。

キャラクター1体を動かすのに、これほど多くのAI技術が集結していることに、驚かれるかもしれません。しかし、私たち人間が現実世界で活動するためには、それだけ深く膨大な知能が動いている、ということでもあります。ぜひ、本PARTで、知能の深みというものを感じ取ってください。

三宅 陽一郎

はじめに

PART 1 では、スクウェア・エニックス AI部による「ゲームAI」への取り組みについて、ご紹介します。今日のゲームで使われているキャラクターAIは、「センサー」「意思決定」「エフェクター」の3つのメインモジュールで構成されています。センサーが環境から情報を取得し、意思決定システムで行動を決め、エフェクターで動作を生成します。これに共有情報を記録する「ブラックボード」システム、環境情報を処理するための「ナビゲーション」システムを加えたものが、現代の基本的なキャラクターAIの構成となっています（図A）。

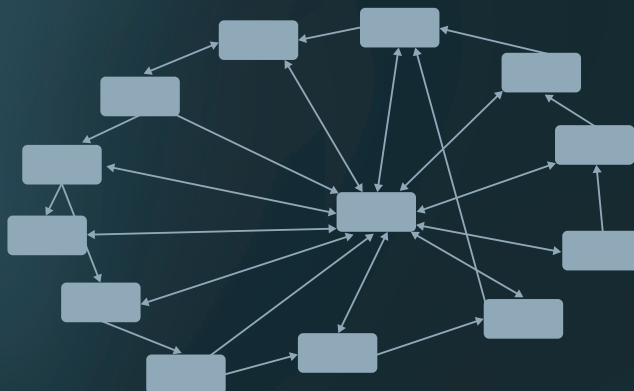


図A キャラクターAIの構成

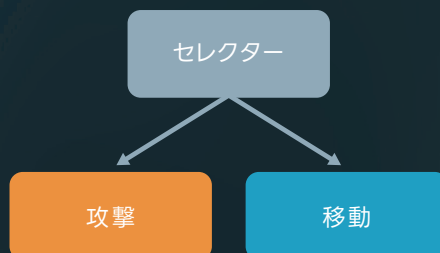
本PARTでは、最初にドゥリス・ジャンフランソワさんが一般的なAIについての説明と、AI部で開発を進めているナビゲーションシステムの取り組みをお話しします。次に並木さんがプランニングを用いた発展的な意思決定システムを、最後に森寅嘉さんがゲームAIとアニメーションシステムを接続するプロシージャルアニメーション技術について解説します。ここでは、PART 1 で共通して出てくる用語をいくつかご紹介します。

FSMとビヘイビアツリー

現代のゲームで使われている代表的な意思決定の手法に、「FSM（有限状態マシン）」と「ビヘイビアツリー」があります。FSMはゲーム業界で古くから使われてきた手法で、状態間の遷移でAIの振る舞いを記述するシステムです。FSMは現代でもよく使われていますが、状態が増えるにつれて状態間の遷移が爆発的に増えてしまうという問題を抱えています（図B）。



図B 状態遷移が爆発してしまったFSMデータの例。こうなってしまうとデータの管理がとて大変に



図C ビヘイビアツリーの例

この問題に対処して一定の成功を収めたのが、ビヘイビアツリーと呼ばれる手法です（図C）。これはAIが実行するタスクを記述するシステムで、コンポジットタスク（合成タスク）とプリミティブタスク（原初タスク）という2種類のタスクを使って振る舞いを記述していきます。FSMで状態間の遷移として記述していた制御ロジックが、ビヘイビアツリーではコンポジットタスクに置き換わっています。これにより、状態間遷移の増加を抑制しようというアイデアです。

ゲームエンジン

ゲームを開発するために必要なソフトウェア、ツール、描画システムが揃った開発パッケージのことです。テクノロジーの進歩に伴ってゲームは高度化し、ゲームを構成する最低限の要素を準備するだけでも膨大な労力が必要とされるようになりました。そのため、現代のゲームは基本的に「ゲームエンジン」と呼ばれる一定の開発環境を使って、開発・制作されています。有名なものでUnreal Engine、Unity、Godot Engineなどの商用エンジン、自社内のみで使用する内製エンジンがあります。