

音声駆動型キャラクター群集インタラクティブ戦闘システム

柴浩瑗^{†1} 永江孝規^{†2} 久原泰雄^{†3}

概要：従来のゲームにおけるインタラクティブ戦闘システムでは、多数のキャラクターが関与する群集行動の制御において、操作の複雑化や挙動表現の硬直化といった課題が指摘されてきた。特に、大規模な戦闘場面では、個々のキャラクター行動を直接制御する方式は、操作負荷や表現の柔軟性の面で限界がある。本研究では、これらの課題に対する設計方針の一つとして、音声入力を明示的な命令ではなく、群集状態の変化を調整する連続的な信号として扱う手法を提示し、それに基づくインタラクティブ戦闘システムを構築した。Unreal Engine 5 の MassAI 群集フレームワークを用いて、音響特徴を群集状態パラメータとして組み込むことで、大規模な NPC 群集を対象とした戦術的挙動の変化、および拡張的なゲームプレイ表現の可能性を検証した。システム設計では、群集生成、AI による環境認識、音声インタラクションといった要素を組み合わせ、音声特徴のマッピングが群体運動、および戦闘フィードバックに与える影響を検討している。実験結果から、音声に基づく調整によって、群集シミュレーションにおいて一定の予測性と表現力を伴う挙動変化を生成できることが確認された。また、戦闘シーンにおいても、システムはリアルタイム描画に求められるフレームレートを安定して維持しており、提案手法が Unreal Engine 5 環境下において実用的かつ実装可能であることを示している。

1. はじめに

1.1 研究背景と意義

近年、ゲームエンジン技術と仮想シミュレーション技術の急速な発展に伴い、デジタルゲーム、軍事シミュレーション、仮想訓練環境などの分野において、対話型戦闘システムが広く利用されるようになってきている。これらのシステムでは、多数のキャラクターが同時に関与する群集行動が中核的な構成要素となっており、その制御方法は没入感やインタラクション体験に直接的な影響を及ぼす。[1][15]

従来の群集行動制御は、主として手動によるパラメータ調整や、事前に用意されたスクリプトに基づいて実現されてきた。しかし、群集規模が 50 体を超えるような状況では、個体レベルの挙動と集団としての協調行動を同時に管理する必要が生じ、制御の複雑性が急激に増大する。また、固定的なスクリプトに依存する手法は、動的に変化する戦闘状況や予期せぬ事象への適応が難しく、プレイヤーごとの多様な操作意図や表現的介入を十分に反映できないという問題を抱える。[16]

音声は、人間にとって直感的かつ即時性の高いコミュニケーション手段であり、多様な強度、抑揚、リズムを通じて連続的な情報を伝達できる特性を有する。近年、人間とコンピュータ間インタラクションの分野では、音声入力や音響特徴を活用した操作手法が広く研究されており、音声命令による操作や、感情的音響情報を用いたキャラクター表現など、多様な応用が報告されている。[3] しかし、音声特性をキャラクター群体の行動制御に適用する試みは依然として初期段階にあり、多くの研究は単一の音声特性に基

づく個体行動の制御に焦点を当て、群集内部の協調関係や戦闘状況全体の動的変化を十分に考慮していない。

[4][6][13]

ゲームプレイおよびインタラクション設計の観点から見ると、この問題は単なる実装上の複雑性とどまらず、プレイヤーと群集システムとの制御関係そのものに関わる課題である。キャラクター数が数十体から百体規模に達する場合、プレイヤーが各キャラクターの行動を個別に精密制御する必要性は低下し、むしろ限られた入力によって群体全体の行動傾向を導く「指揮者」としての役割が求められる。したがって、個別命令に依存せず、継続的かつ低負荷な入力手段によって群集戦闘の方向性を誘導する設計を探索することは、対話的戦闘システムの構築における重要な研究課題である。[5]

1.2 関連研究の動向

既存研究を概観すると、音声インタラクションに関する取り組みは、主として音声を単一のキャラクターや局所的な挙動を制御するための入力信号として扱っているものが多い。これらの研究では、音声認識の精度や入力と行動との対応関係の明確さが重視されており、音声命令による操作や、特定の音響特徴に基づく反応生成が中心的な対象となっている。[5] 一方で、音声入力が群集規模においてどのように作用するかという観点は、十分に検討されているとは言い難い。これに対し、群集行動や戦闘システムに関する研究では、Boids モデルに代表される分散型行動モデル、ルールベース手法、さらには強化学習を用いた制御手法などが提案されている。[7][10] これらは、群体内部の協調

^{†1} 東京工芸大学 大学院芸術学研究科 メディアアート専攻

^{†2} 東京工芸大学 芸術学部 インタラクティブメディア学科

^{†3} 東京工芸大学 芸術学部 インタラクティブメディア学科

行動や隊形形成、戦術的行動生成を主な目的としており、個体の自律性を前提とした集団挙動の設計に重点が置かれている。しかし、その制御方法の多くは、パラメータ調整や事前に定義された戦略に依存しており、プレイヤー入力との関係性は限定的である。[2][8][9]

近年、Unreal Engine をはじめとするリアルタイムエンジンにおいて、MassAI のような大規模群集を扱うためのフレームワークが整備され、数十体から百体規模のキャラクターを同時にシミュレーションすることが可能となった。しかしながら、このような技術的基盤の発展に対し、「大規模群集システムに適したプレイヤー入力の設計」という視点からの研究は依然として限られている。既存の成果は、特定の群集モデルや単一の実装環境における有効性検証にとどまる場合が多く、異なる群集構造やゲームプレイ文脈を横断した比較・検討は十分に行われていない。[9]

以上の研究動向を踏まえると、音声特徴は群集レベルの状態変化を反映する信号として位置づけられ、対話的戦闘システムにおける入力と群集挙動との関係性を再考する余地があると言える。本研究は、このような問題意識に基づき、音声を群集態勢の調整要素として用い、異なる群集実装における有効性を検証することを目的とする。

2. 関連する理論的基盤

2.1 音声制御の主要な理論

本研究では、音声は単一の行動を直接指示する命令としてではなく、プレイヤーまたは観客の入力によって生じる戦闘状況の変化を反映する信号源として位置づけられる。具体的には、音声入力の強度や変化傾向を用いて、群集レベルでの移動特性、密度分布、攻防の志向性といった状態パラメータを調整することを目的とする。

戦闘シーンでは、リアルタイム性と表現力の両立が求められるため、入力方式は即時的かつ継続的な情報伝達が可能なものであることが重要となる。この観点から、本研究では音声入力を中核的な特徴量として採用し、発話内容そのものの識別ではなく、音響的变化を通じて NPC 群集の挙動に影響を与える設計を採用している。これにより、音声は離散的な操作指示ではなく、戦闘状況全体の推移を緩やかに調整する媒介として機能する。

このような音声制御の捉え方は、個々のキャラクターの行動決定を群集の自律性に委ねつつ、プレイヤーが全体的な行動傾向に関与する余地を残す点に特徴がある。すなわち、音声入力は NPC の具体的な行動を指定するのではなく、群集挙動の方向性や緊張度を変化させる要素として働き、大規模戦闘における操作負荷の軽減と表現の柔軟性を両立させる理論的基盤を提供する。[11][12]

2.2 群集行動モデル

戦闘シーンでは、単純な移動協調だけでは、攻撃や防御、

回避といった多様な行動要求に対応することが難しい。このため、既存研究では、Boids モデルを基礎としつつ、目標への引き付けや脅威からの回避といった拡張規則を導入することで、状況適応性を高める手法が提案されてきた。

これらの手法は、個体の自律的な意思決定を前提としつつ、群体レベルで共有される行動傾向を付加する点に特徴がある。すなわち、各エージェントは局所的な判断に基づいて行動する一方で、全体としては戦術的に意味を持つ隊形や進行方向を形成する。このような設計により、動的に変化する戦闘環境においても、群衆は統一感のある行動を示すことが可能になる。[8]

本研究では、これらの群衆行動モデルに基づき、音声入力によって群体レベルの行動傾向を調整するという視点を導入する。既存の群衆モデルが担う自律的行動生成の枠組みを維持しつつ、外部入力としての音声で戦闘状況の推移に応じた群集挙動の変化を誘発する役割を果たす点に、本研究の理論的特徴がある。

3. システム設計

3.1 システム全体構成

音声によって駆動される群集戦闘メカニズムを異なる群集フレームワークにおいて再利用および検証可能とするため、図 1 に示すような階層化された疎結合型の対話的戦闘システム構成を採用する。入力の解釈処理、群集状態の算出、および実際の群集挙動を生成する実装層を明確に分離し、各機能が相互に独立して設計される構造とした。

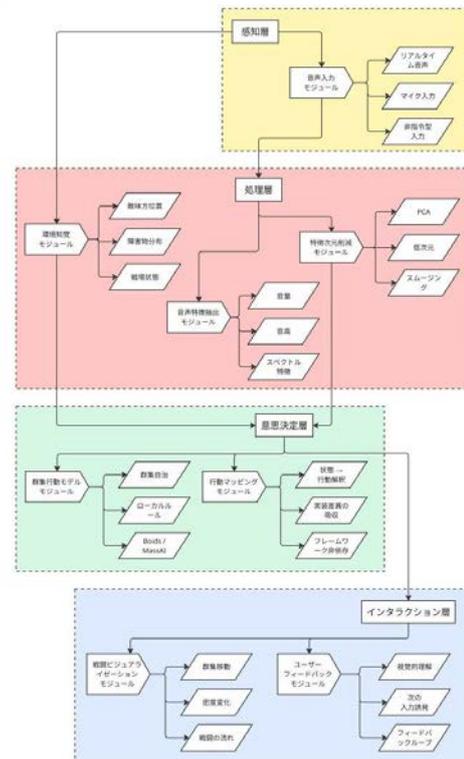


図 1 全体構成図

この構成により、音声入力に基づく制御ロジックは、特定の群集実装に強く依存することなく利用可能となり、異なる群集モデルや実行環境に対しても柔軟に適用できる。また、群集挙動の計算過程と可視化・実装部分を切り離すことで、戦闘表現やスケーラビリティに関する評価を段階的に行うことが可能になる。以上の設計方針は、音声入力を群集レベルの態勢調整要素として扱う本研究の目的に適した基盤を提供する。[11]

(1) 感知層 (Input & Perception Layer)

感知層は、プレイヤーまたは観客から与えられる入力信号を受け取り、システム内部で処理可能な形式へ変換する役割を担う。本研究では、感知層は主に音声取得モジュールと環境認識モジュールの二つから構成される。

音声取得モジュールは、マイクロフォンを通じてリアルタイムで音声信号を取得し、後続の音響特徴解析の入力データとして提供する。一方、環境認識モジュールは、戦闘シーンにおける基本的な環境情報を取得することを目的としており、敵味方の位置関係や障害物の配置といった空間的要素を把握するために用いられる。

この層は、ゲームプレイの観点から見ると、「戦闘態勢を反映する入力インターフェース」として機能する。すなわち、離散的な命令に基づく操作ではなく、連続的かつ非命令的な入力を群集システムへと導入する入口として位置づけられ、後段の群集状態計算に必要な情報を提供する。

(2) 処理層 (Audio Feature Processing Layer)

処理層は、感知層によって取得された音声信号を対象に、解析および特徴抽出を行う役割を担う。本層では、音声データに対する前処理、特徴量の抽出、および次元削減といった一連の処理を通じて、元の音声信号を低次元かつ安定した音響特徴ベクトルへと変換する。これにより、リアルタイム環境においても継続的に更新可能な入力表現を生成できる。

ここで重要なのは、処理層がキャラクターの具体的な行動を直接決定するものではないという点である。この層の出力は、音声入力の強度や変化傾向を反映した中間的なパラメータとして位置づけられ、後続の群集状態計算に利用される。すなわち、処理層は音声と群集挙動の間に位置する媒介的な役割を果たし、入力の変動を群集レベルの態勢調整へと接続する基盤を提供する。

(3) 意思決定・制御層 (Crowd State & Control Layer)

意思決定・制御層は、本システムの中核を成す構成要素であり、音声特徴と環境情報に基づいて、群集レベルにおける行動傾向を算出する役割を担う。ここで扱われる行動傾向には、全体的な移動の動量、集団の凝集度、攻撃・防御に関する優先度などの要素が含まれる。

本層の特徴は、個々のキャラクターに対する具体的な行動指令を直接出力しないことにある。代わりに、群集の状態を記述する複数のパラメータ群を維持・更新し、それら

を下流の群集実装モジュールへ伝達する構成をとなっている。この設計により、群集挙動の生成は個体レベルの意思決定に委ねられるが、全体としては統一された行動傾向が保持される。

以上の仕組みによって、音声入力が戦闘に与える影響は、単一キャラクターの行動を直接制御するのではなく、群集全体の「振る舞い」を調整する形で現れる。すなわち、この層は音声による連続的な入力を群集挙動の傾向変化として反映させる要となる層であり、大規模戦闘における表現力と操作負荷低減の両立を支える基盤を形成する。

(4) 群集可視化・インタラクション層 (Crowd Implementation & Visualization Layer)

群集可視化・インタラクション層は、意思決定・制御層によって算出された群集状態を具体的なキャラクター挙動および画面上の表現として具現化する役割を担う。本層では、群集レベルで定義された行動傾向や状態パラメータを各 NPC の移動、隊形、および戦闘時の振る舞いへと反映させることで、プレイヤーが知覚可能な戦闘表現を生成する。[1]

本研究では、Unreal Engine 5 に搭載された MassAI 群集アーキテクチャを基盤として本層を実装した。これにより、数十体から百体規模の NPC が同時に存在する戦闘シーンでも、群集状態の変化を安定して反映できるかを検証し、音声による群集調整手法が大規模環境下においてどの程度の拡張性とゲームプレイ上の表現力を持つかを評価する。

この層は、システム内部で計算された抽象的な群集状態とプレイヤーが体験する視覚的・動作的なフィードバックとを結び付ける位置にあり、音声入力に基づく群集制御が戦闘体験として成立するための最終的な出力層として機能する。[15][16]

3.2 音響特徴量の抽出と次元削減の実装

(1) 音声前処理

音声前処理の目的は、音響信号の安定性と解析可能性を高め、リアルタイムな特徴量抽出に信頼性の高い入力を提供することである。特に、ゲームエンジン環境における音声入力は、フレーム更新や処理負荷の影響を受けやすいため、後段の解析処理に適した形式へと整形することが重要である。

リアルタイムエンジン上では、MetaSounds や音声入力ノードを用いることで、継続的な音声ストリームの取得が可能である。[12][13] 本研究では、取得した音声データを一定の時間窓に基づいて更新し、各フレームにおける音響解析がエンジンの Tick 処理、または音声コールバックと時間的に整合するように設計した。この処理により、音声特徴量の算出結果はフレーム単位でシステム更新と同期し、群集状態計算への安定した入力として利用可能となる。

(2) 多次元音響特徴量の抽出

音声前処理を経た後、システムは各時間窓ごとに多次元

の音響特徴量を抽出し、音色、音高、強度、及び時間的変動といった側面から音声の特性を記述する。ゲームプレイ及びシステム設計の観点において、これらの特徴量は発話内容そのものを識別する目的で用いられるものではなく、連続的に変化する入力信号として扱われる点に特徴がある。

Unreal Engine 5 の実装環境では、このような音響特徴量は MetaSounds によって提供される音量エンベロープ、スペクトル解析、リズム検出といった各種ノードと高い対応関係を持つ。そのため、音声解析の結果をエンジンの内部パラメータとして直接利用し、群集状態の算出に組み込むか、データインタフェースを介して AI の意思決定モジュールへと受け渡すことが可能である。[16]

このような構成により、音響特徴量の抽出過程は、単なるアルゴリズム検証にとどまらず、リアルタイム性を要求されるゲームエンジン内システムへの直接的な移行を想定した実装として成立する。すなわち、本手法は研究用途と実運用環境の双方に適用可能な音声入力処理の枠組みを提供する。[14]

(3) 特徴量の次元削減

リアルタイムインタラクションを前提とした大規模群集システムにおいて、特徴量の次元削減は計算負荷の低減に寄与するだけでなく、パラメータ変化の平滑性を確保する上でも重要な役割を果たす。入力信号が連続的に変化する環境では、高次元の特徴量をそのまま用いると、群集挙動に過度な揺らぎや不安定な反応が生じる可能性がある。

特に MassAI のような高並列処理を前提とした群集アーキテクチャでは、群集状態を表すパラメータが多数のエンティティ間で共有および同期される。したがって、安定性を保った低次元の特徴表現を用いることは、処理効率の向上だけでなく、システム全体の拡張性を確保する上でも有効である。本研究では、音響特徴量を群集制御に適した次元へと集約することで、リアルタイム性と挙動の一貫性の両立を図っている。[13][15]

3.3 音響特徴量と群集行動のマッピング機構

音響特徴量と群集行動とのマッピング機構は、連続的に変化する音声入力を、群集レベルに作用する調整パラメータへ変換するための枠組みである。本研究では、指令型あるいは離散的なトリガに基づく制御方式とは異なり、音響特徴量を入力態勢の変化を反映する信号源として捉え、群集全体の行動傾向に影響を与える設計を採用する。

具体的には、群集の移動速度や攻撃志向性を調整することで、戦闘のテンポや緊張度を表現し、また隊形構造の変化を通じて群集の凝集度に影響を与える。さらに、スペクトルフラックスのような指標は、音響信号における急激な変化を検出するために用いられ、戦闘中における群集の迅速な態勢転換を促す判断材料として機能する。

このようなマッピングを通じて、音声入力が戦闘に及ぼす影響は、個々の行動を直接指定するのではなく、群集全

体の「傾向」や「流れ」を導く形で現れる。すなわち、本機構は、音声を用いた連続的入力を、大規模群集戦闘における制御可能かつ表現的な調整手段として位置づける。

4. 実験と分析

4.1 実験環境およびデータ準備

音声駆動の群集戦闘システムがリアルタイムエンジン環境で実用的に機能するかを検証するため、本研究では Unreal Engine 5 を基盤として実験とプロトタイプ評価を実施した。

実験では、まず MassAI 群集アーキテクチャを用いて、音声入力に基づく制御機構が大規模 NPC 環境においてどの程度の拡張性とリアルタイム性を維持できるかを検証した。音声信号の取得および解析処理はエンジンの実行と同期して行われ、エンジン内の音声入力インターフェースまたは MetaSounds モジュールを通じてリアルタイム音声データを取得する。抽出された音響特徴量は、群衆状態を表すパラメータとして群集制御ロジックへ入力され、エンティティ・コンポーネント・システムおよび更新機構を介して複数の NPC エンティティに同時に反映される。[11]

実験シーンには、複数の敵味方キャラクターおよび障害物を配置し、典型的な戦闘状況における群衆の前進・攻撃・防御、および回避行動を再現した。さらに、統一されたハードウェア条件下において、群衆規模を段階的に変化させたシナリオを実行し、フレームレート、入力から挙動反映までの応答遅延、ならびに群衆挙動の安定性といった観点からシステムの挙動を評価した。

4.2 実験の設計

(1) 音声駆動による群集態勢応答の検証実験

本実験は、音響特徴量が群集態勢を調整する有効な信号として機能し、群集全体の行動に予測可能な影響を与え得るかを検証することを目的とする。実験では、プレイヤーの音声入力を段階的に変化させ、戦闘シーンにおける群衆の前進速度、凝集度、攻撃・防御の志向性がどのように変化するかを観察した。

評価の焦点は、個々のキャラクターの行動が完全に一致するか否かではなく、音声入力の変化に応じて、群集レベルで一貫した行動傾向が現れるかどうかによって置かれている。これにより、音声入力が離散的な命令としてではなく、群集態勢を調整する連続的な入力として機能するかどうかを確認する。

図 2 に Mass Agent (Mass AI) を実装した NPC を示す。このエージェントは周りの音やプレイヤーの声を AI Perception の AI Hearing で感知する。

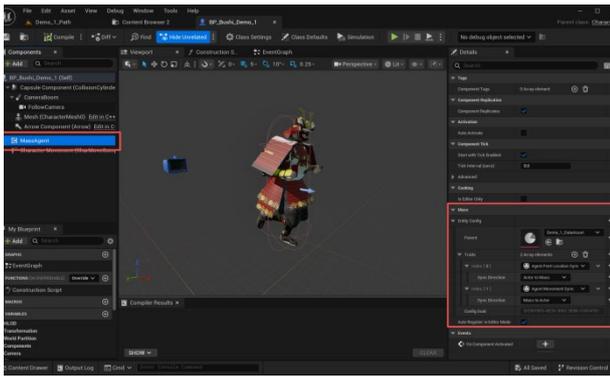


図 2 MassAgent を実装した NPC

(2) システム性能および群集規模に関する拡張性評価の実験

音声駆動型群集戦闘システムがリアルタイムエンジン環境下で安定して動作するかを検証するため、群集規模を段階的に変化させた条件下でシステム性能の測定を行った。具体的には、群集に含まれるキャラクタ数を増加させながら、フレームレート、入力から挙動反映までの応答遅延、および計算資源の使用状況を記録した。

これらの測定結果を通じて、音響特徴量の処理および群集状態の調整機構が、高並列条件下においても実用的な性能を維持できるかどうかを評価し、本手法の拡張性とリアルタイム性に関する特性を明らかにする。

図 3 に、一つの NPC を制御することで、すべての NPC を同様に制御するよう示す。



図 3 NPC 群衆の制御

(3) ゲームプレイ認知およびインタラクション体験に関する評価実験

本実験では、システム性能などの客観的指標に加え、ゲームプレイとインタラクション体験の観点から、音声駆動型制御機構の有効性を評価した。具体的には、複数の戦闘シーンで音声入力を用いた操作を行い、群集挙動の可読性、操作時の負担感、および全体的な没入感について主観的な評価を収集した。

評価の主眼は、タスク達成効率の数値的な優劣に置くものではなく、参加者が自身の入力と群集全体の挙動との関

係性をどの程度明確に認識できるかにある。すなわち、音声入力を通じて群集の行動傾向に影響を与えているという感覚が成立しているか、またその体験が、個々のキャラクターを直接操作する「操作者」としての感覚ではなく、群集全体を導く「指揮者」としての認知へと移行しているかを評価軸とした。

この観点から、本実験では、音声入力を用いた群集制御が、操作負荷を抑えつつ、戦闘体験における主体的な関与感をどのように形成するかを検討する。

図 4 に将軍 (プレイヤー) が声で群衆 NPC を指揮するよう示す。



図 4 サードパーソンゲーム

4.3 システム性能評価

音声駆動型群集戦闘システムがリアルタイムエンジン環境下で安定して動作するかを検証するため、実験は統一されたハードウェア条件下で実施した。具体的には、群集に含まれるキャラクター数を段階的に増加させ、典型的な戦闘シーンにおける平均フレームレート (FPS) の推移を測定する。

この評価を通じて、音響特徴量の解析処理および群集状態の調整機構が、高並列条件下でもどの程度の処理性能を維持できるかを検証した。その結果、比較的大規模な NPC 群集を含むシナリオでも、システムはリアルタイム描画に支障のないフレームレートを安定して確保できることが確認された。

以上の結果は、提案する音声駆動型群集制御手法が、より複雑な戦闘状況や高い同時実行性を伴う環境に拡張する際の性能的な基盤を備えていることを示唆している。

5. 結論および今後の展望

本研究では、「音声」が群集戦闘行動の駆動要素として機能し得るか」という問いに基づき、音響特徴量を用いた群集戦闘調整手法を提案、実装し検証を行った。リアルタイムに取得される音声信号に対して特徴抽出と次元削減を施し、それらを群集レベルの主要な行動パラメータへと対応

付けることで、個々のキャラクターを直接操作することなく、戦闘シーンにおける群集全体の進行テンポ、密度分布、ならびに攻撃・防御の志向性を調整可能であることを示した。この構成により、入力は離散的な命令から連続的な態勢調整へと転換され、大規模群集制御に伴う操作の複雑性を緩和する設計が実現された。

表 1 に、群衆のエージェント数とフレームレートの関係を示す。

表 1 フレームレートテスト

| 群集エージェント数 (Agents) | 実行状態 | 平均FPS | 平均フレーム時間 (ms) | 性能変化に関する考察 |
|--------------------|--------------|-------|---------------|-------------------------|
| 20 | 群集シミュレーション無効 | 60.00 | 16.67 | 基準シーン |
| 20 | 群集シミュレーション有効 | 60.00 | 16.67 | 群集規模が小さく、CPU・GPU 負荷は低水準 |
| 40 | 群集シミュレーション無効 | 60.00 | 16.67 | 基準シーン |
| 40 | 群集シミュレーション有効 | 59.96 | 16.68 | 群集行動計算の開始により処理負荷が発生 |
| 60 | 群集シミュレーション無効 | 60.00 | 16.67 | 基準シーン |
| 60 | 群集シミュレーション有効 | 51.24 | 19.52 | リアルタイム描画の下限に近い水準 |
| 80 | 群集シミュレーション無効 | 60.00 | 16.67 | 基準シーン |
| 80 | 群集シミュレーション有効 | 37.72 | 26.51 | 群集規模の拡大に伴いフレーム時間が増加 |
| 100 | 群集シミュレーション無効 | 60.00 | 16.67 | 基準シーン |
| 100 | 群集シミュレーション有効 | 32.55 | 30.72 | インタラクション可能なリアルタイム性能を維持 |

ゲームプレイおよびインタラクション設計の観点から見ると、本研究で扱った音声駆動機構は、キャラクター行動の精密な指定を目的とするものではなく、群集の自律性と全体的な傾向誘導と両立させる点に特徴がある。その結果、戦闘過程には一定の不確定性と動的なリズムが生まれ、音声という非指示的な入力媒体を通じて、表現性と参与感を伴う集団戦闘体験が形成される。とりわけ、観客参加型演出や没入感を重視する戦闘表現において、本手法は新たな設計可能性を提示すると考えられる。

今後の課題としては、音響特徴量と空間情報との結合を深化させ、音声で群集態勢の調整にとどまらず、空間配

置や隊形生成にも関与する仕組みの検討が挙げられる。また、MassAI をはじめとする大規模群集フレームワークにおいて、より高次の戦術的意思決定構造を導入することで、音声入力が戦闘段階の遷移や戦略的選択に影響を与える可能性も考えられる。さらに、機械学習手法を音声-群集マッピング過程に組み込むことで、入力特性に応じて適応・学習する群集応答モデルの構築が、今後の展開として期待される。これらの拡張を通じて、より複雑で表現力に豊かな音声駆動型群集戦闘システムの実現が見込まれる。

参考文献

- [1]李軍, 王浩, 張宇: 仮想戦場における群集キャラクタ行動モデリングとシミュレーション, システムシミュレーション学会誌, Vol.32, No.5, pp.897-904 (2020).
- [2]Reynolds, C. W.: Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model, Computer Graphics (SIGGRAPH '87 Proceedings), Vol.21, No.4, pp.25-34 (1987).
- [3]張磊, 李婷, 劉杰: 音声指令に基づく仮想キャラクタ群集制御手法, 計算機応用研究, Vol.38, No.7, pp.2189-2192 (2021).
- [4]Raj, A., Krishna, K., Murthy, H. A.: Audio-driven Character Animation for Games, Journal of Visual Communication and Image Representation, Vol.62, pp.107-115 (2019).
- [5]Zhang, Y., Wang, L., Chen, J.: MFCC-based Voice Command Recognition for Virtual Reality Applications, Multimedia Tools and Applications, Vol.79, No.35, pp.25671-25688 (2020).
- [6]Li, M., Zhang, H., Liu, Y.: Emotion-aware Audio-driven Character Animation, Computer Animation and Virtual Worlds, Vol.33, No.3, e2025 (2022).
- [7]Van der Helm, R., Bakker, B., de Vries, K.: Vision-based Flock Control for Real-time Games, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol.27, No.4, pp.2012-2021 (2021).
- [8]王鵬, 趙春霞, 陳錢: 改良 Boids モデルに基づく群集目標追従アルゴリズム, 計算機学報, Vol.42, No.8, pp.1796-1808(2019).
- [9]Wang, X., Li, J., Zhang, S.: Obstacle Avoidance for Flock Behavior Based on Improved Boids Model, Journal of Computational Science, Vol.45, 101198(2020).
- [10]Chen, Y., Liu, J., Wang, Z.: Reinforcement Learning-based Flock Behavior Control in Dynamic Environments, Neural Computing and Applications, Vol.33, No.15, pp.9567-9580(2021).
- [11]Epic Games: Unreal Engine 5 MassAI Documentation(オンライン), 入手先 <<https://dev.epicgames.com>>.
- [12]Epic Games: MetaSounds Overview and Technical Guide(オンライン), 入手先 <<https://dev.epicgames.com>>.
- [13]Lerch, A.: An Introduction to Audio Content Analysis, Wiley (2022).
- [14]Wright, M., Freed, A.: Open Sound Control: A New Protocol for Communicating with Sound Synthesizers, Proceedings of the International Computer Music Conference, pp. 101-104 (1997).
- [15]Millington, I., Funge, J.: Artificial Intelligence for Games, 2nd ed., CRC Press (2016).
- [16]Isla, D.: Managing Complexity in the Halo 2 AI System, Proceedings of the Game Developers Conference (2005) (オンライン), 入手先 <<https://www.gdcvault.com>>.