

これからのゲームAIの作り方

Perspective for New Frontier of Digital Game AI

GDC2009 報告会



三宅 陽一郎

y_miyake@fromsoftware.co.jp

(FromSoftware, Inc.)

2009.4.11

これからのゲームAIの作り方

Perspective for New Frontier of Digital Game AI

GDC2009 報告会



三宅 陽一郎

y_miyake@fromsoftware.co.jp

(From Software, Inc.)

2009.4.11

本講演の目次

- 第1部 GDC2009 ゲームAI分野の概観・背景 (10分)**
- 第2部 自律型AIを作る (30分)**
- 第3部 メタAI (15分)**
- 第4部 ゲームAIコミュニティの情報 (5分)**

G D C 資料

*GDC 07,08,09, Austin GDC の発表資料、
一部音声、映像は以下のサイトで公開されています。*

<http://mygdc.gdconf.com/vault/1337>

第1部

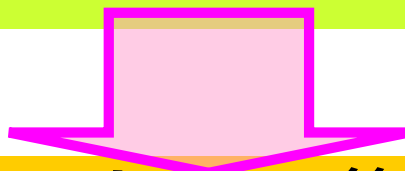
GDC2009 ゲームA分野の概観・背景

(10分)

- ① GDC2009オーバービュー
- ② ゲームAIの基本とその歴史

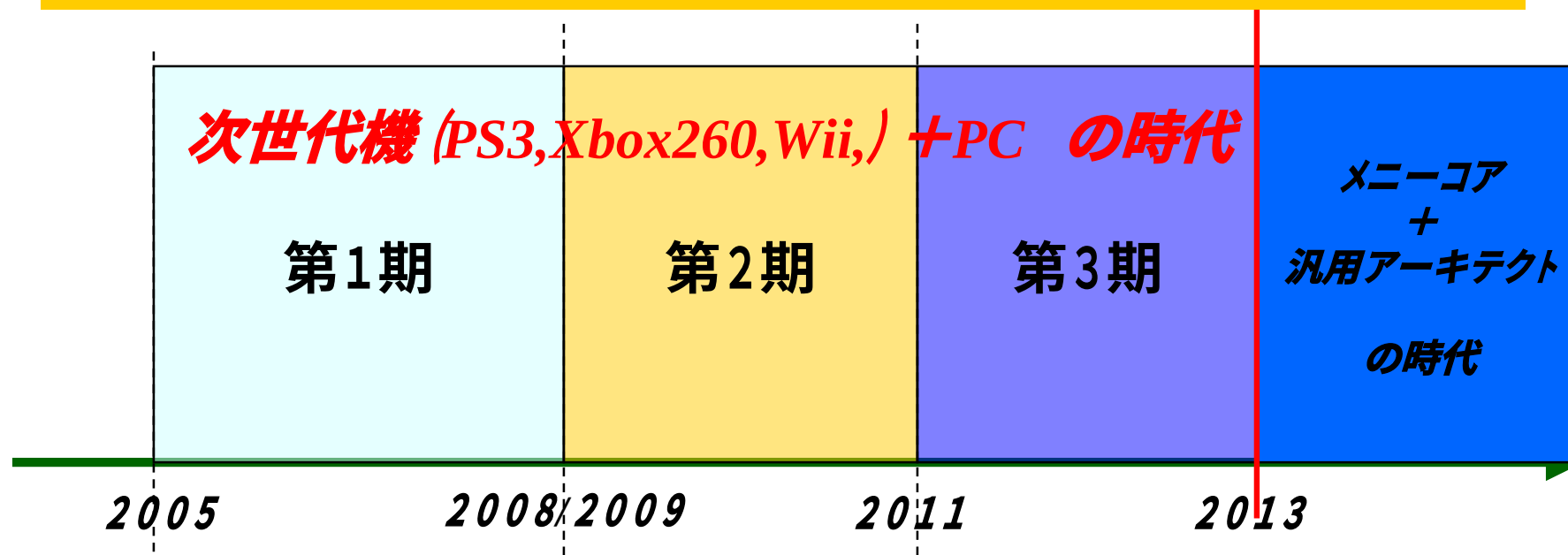
2009年のGDCとは何だったか？

2008年のGDCでは、次世代機の最初の主要タイトルの成果が発表された。



2009年のGDCは、これからの第2期のための蠢動。

- ① 新しい技術を整理して次の開発へ活用する準備をする。
- ② 古い技術をどうブラッシュアップして行くかを検討する。



miyayou@GDC2009

3/23	3/24	3/25	3/26	3/27
AI Summit Introduction and Welcome	Breaking the Cookie-Cutter: Modeling Individual Personality, Mood, and Emotion in Characters	基調講演	On the War Path: Tactical AI in DAWN OF WAR 2	Procedural and Multi-Core Techniques To Take Visuals to the Next Level
#define Game AI				
Preparing for the Future: As a Professional Game AI Developer, What Should I Know? (Panel)	When Good AI Goes Bad: Tools, Techniques, and Strategies for Testing and Debugging AI	Authoring Runtime Animation and Character Physics with Morpheme 2.0	基調講演	Artificial Intelligence SIG
Animating in a Complex World: Integrating AI and Animation	From the Ground Up: AI Architecture and Design Patterns	Threaded AI For The Win!	From COUNTER-STRIKE to LEFT 4 DEAD: Creating Replayable Cooperative Experiences	State-Based Scripting in UNCHARTED: DRAKE'S FORTUNE and UNCHARTED 2: AMONG THIEVES
2008 AI Postmortems: SPORE, GEARS OF WAR 2, and BIOSHOCK (Panel)	The Photoshop of AI: Debating the Structure vs Style Decomposition of Game AI	Real-Time Deformation and Fracture – Finite Element Simulation and its Use in STAR WARS: THE FORCE UNLEASHED	Creating a Great MMO: How Mythic Entertainment Solved Production Challenges using Autodesk Kynapse Middleware and 3ds Max On WARHAMMER ONLINE: AGE OF RECKONING	Lionhead Experiments Revealed
AI and Designers: Mind the Gap (Panel)	Beyond Behavior: An Introduction to Knowledge Representation	Character Pathfinding And Animation: How to Make Them Work Together	HALO WARS: The Terrain of Next-Gen	Player's Expression: The Level Design Structure Behind FAR CRY 2 and Beyond?
Toward Solving Pathfinding	Parallelism in AI: Multithreading Strategies and Opportunities for Multi-core Architectures			
Characters Welcome: Next Steps Towards Human AI(Panel)				

AI Panel & Discussio
AI lecture
Procedural
Game Design

miyayou@GDC2009

3/23

3/24

3/25

3/26

3/27

AI Summit Introduction and Welcome	Breaking the Cookie-Cutter: Modeling Individual Personality, Mood, and Emotion in Character	基調講演	On the War Path: Tactical AI in DAWN OF WAR 2	Procedural and Multi-Core Techniques To Take Visuals to the Next Level
#define Game AI				
Preparing for the Future: As a Professional Game AI Developer, What Should I Know? (Panel)	When Good AI Goes Bad: Tools, Techniques, and Strategies for Testing and Debugging AI	Authoring Runtime Animation and Character Physics with Morpheme 2.0	基調講演	Artificial Intelligence SIG
Animating in a Complex World: Integrating AI and Animation	From the Ground Up: AI Architecture and Design Patterns	Threaded AI For The Win!	From COUNTER-STRIKE to LEFT 4 DEAD: Creating Replayable Cooperative Experiences	State-Based Scripting in UNCHARTED: DRAKE'S FORTUNE and UNCHARTED 2: AMONG THIEVES
2008 AI Postmortems: SPORE, GEARS OF WAR 2, and BIOSHOCK (Panel)	The Photoshop of AI: Debating the Structure vs Style Decomposition of Game AI	Real Time Deformation	Creating a Great MMO: How Mythic Entertainment Solved Production Challenges using Autodesk Kynapse Middleware and 3ds Max on WARHAMMER ONLINE: AGE OF RECKONING	Lionhead Experiments Revealed
AI and Designers: Mind the Gap (Panel)	Beyond Behavior: An Introduction to Knowledge Representation	Modular Procedural Rigging		
Toward Solving Pathfinding	Parallelism in AI: Multithreading Strategies and Opportunities for Multi-core Architectures	Character Pathfinding And Animation: How to Make Them Work Together	HALO WARS: The Terrain of Next-Gen	Dynamic Walking with Semi-Procedural Animation
Characters Welcome: Next Steps Towards Human AI(Panel)				

AI Panel & Discussion
 AI lecture
 Procedural
 Game Design

miyayou@GDC2009

3/23

3/24

3/25

3/26

3/27

AI Summit Introduction and Welcome #define Game AI Preparing for the Future: As Professionals, Game AI Developer, What Should I Know? (Panel) Animating in a Complex World: Integrating AI and Animation 2009 GDC Topics: SPORE, GEAR OF WAR 2, and BIOSHOCK AI and Designers: Mind the Gap (Panel) Toward Solving Pathfinding Characters Welcome: Next Steps Towards Human AI(Panel)	Breaking the Cookie-Cutter: Modeling Individual Personality, Mood, and Emotion in Character New Coding Tools and Techniques, and Strategies for Testing and Debugging AI From the Ground Up: Architecture and Design Patterns The Photoshop of AI: Debating the Structure vs Style Decomposition of Game AI Beyond Behavior: An Introduction to Knowledge Representation Parallelism in AI: Multithreading Strategies and Opportunities for Multi-core Architectures	基調講演 Authoring Runtime Animation and Character Physics with Morpheme 2.0 Threaded AI For The Win! Modular Halo3 Rigging Character Pathfinding And Animation: How to Make Them Work Together	DAWN OF WAR 2 Tactical AI in DAWN OF WAR 2 基調講演 From COUNTER-STRIKE to LEFT 4 DEAD: Creating Realistic Cooperative Experiences Creating a Great MMO: How Mythic Entertainment Solved Production Challenges using Animate's Game Engine Middleware and 3ds Max On WARHAMMER ONLINE: AGE OF RECKONING HALO WARS: The Terrain of Next-Gen	Procedural and Multi-Core Techniques To Take Visuals to the Next Level Artificial Intelligence SIG State-Based Scripting in UNCHARTED: DRAKE'S FORTUNE and UNCHARTED 2: AMONG THIEVES Lionhead Experiments Revealed Dynamic Walking Unity 3D Engine
---	--	--	---	--

AI Panel & Discussio
 AI lecture
 Procedural
 Game Design

miyayou@GDC2009

3/23

3/24

3/25

3/26

3/27

AI Summit Introduction and Welcome #define Game AI Preparing for the Future: As a Professional Game AI Developer, What Should I Know? (Panel) Pathfinding And Animation 2008 AI Postmortems: SPORE, GEARS OF WAR 2, and BIOSHOCK (Panel) デザイナーとプログラマの連携 Pathfinding And Animation Characters Welcome: Towards Human AI (Panel)	Breaking the Cookie-Cutter: Modeling Individual Mood, and Emotion in Character キャラクターの個性付け When Good AI Goes Bad: Tools, Techniques, and Strategies for Testing and Debugging AI From the Ground Up: AI Architecture and Design Patterns Structure Vs Style The Photoshop of AI: Designing the Structure vs Style Decomposition of Game AI Beyond Behavior: Knowledge Representation Parallelism in AI: Multithreading Strategies and Opportunities for Multi-Core Architectures	基調講演 Pathfinding And Animation Parallelism For AI Modular Animation Rigging Pathfinding And Animation	Pathfinding And Animation 基調講演 From COUNTER-STRIKE to LEFT 4 DEAD: Creating Replayable Cooperative Experiences Pathfinding And Animation HALO WARS: The Terrain of Next-Gen	Procedural and Multi-Core Techniques To Take Visuals to the Next Level Artificial Intelligence SIG State-Based Scripting in UNCHARTED: DRAKE'S FORTUNE and UNCHARTED 2: AMONG THIEVES Lionhead Experiments Revealed Dynamic Walking Procedural Animation
--	---	--	--	---

AI Panel & Discussio
 AI lecture
 Procedural
 Game Design

2009年 GDC のゲームAIの動向

基本

- (1) **キャラクターの身体と環境の関係＝アニメーションと環境の相互作用**
・複雑なレベルデザインへの動作の適応 ・パスを辿る動作
- (2) 動的なパス検索
- (3) 知識表現
- (4) キャラクターの個性付け
- (5) メタAI

実地的な問題

- (6) スクリプト制御
- (7) ゲームAIの並列化による実装
- (8) ゲームAIプログラマーとゲームデザイナーの連携
- (9) ゲームAIのための統一的な「構造とスタイル」はあり得るか？
(structure vs style)

ミドルウェア

- (8) Morpheme, Kynapse など統合環境のミドルウェアの台頭

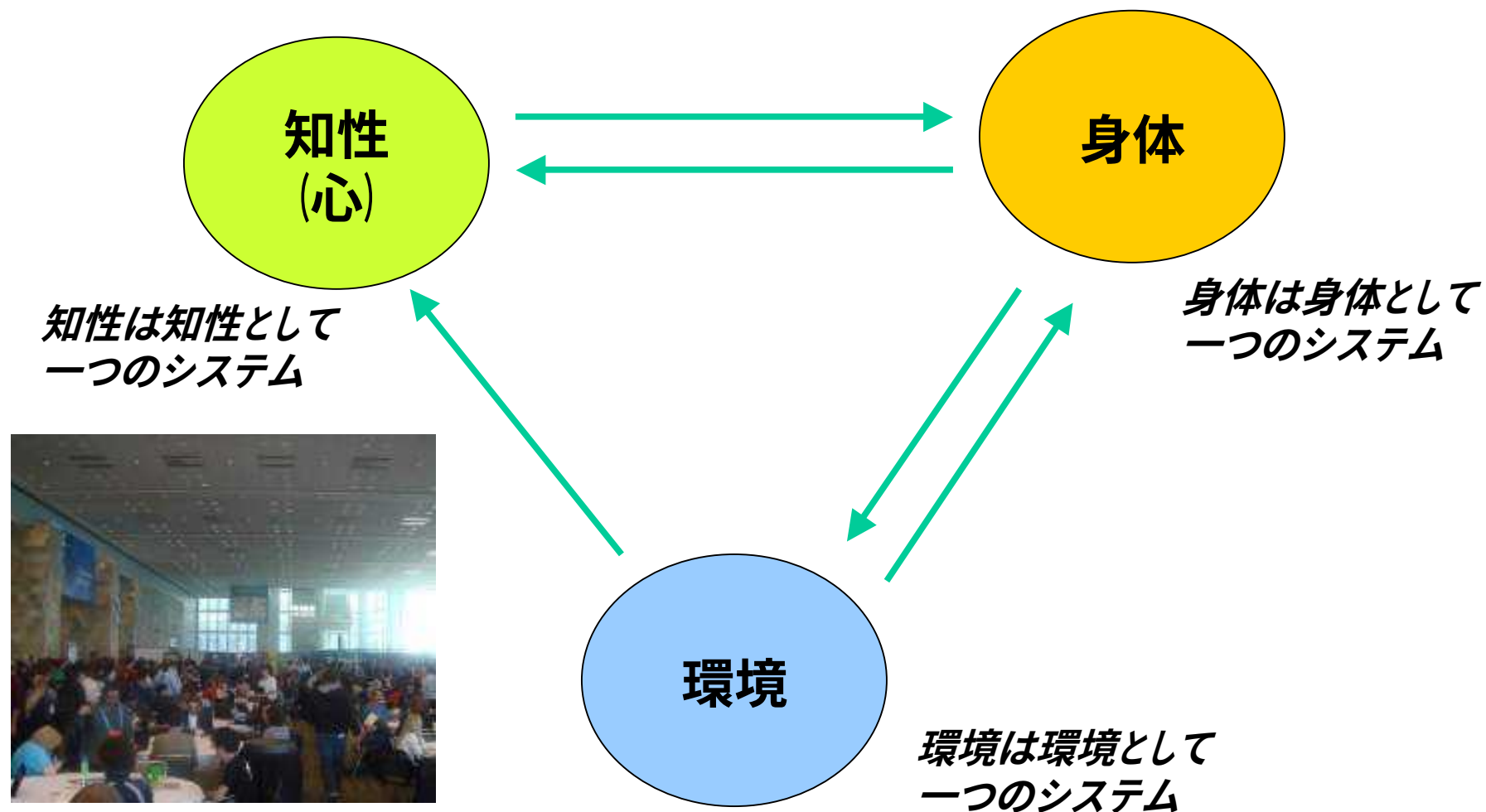
第1部

GDC2009 ゲームA分野の概観・背景

(10分)

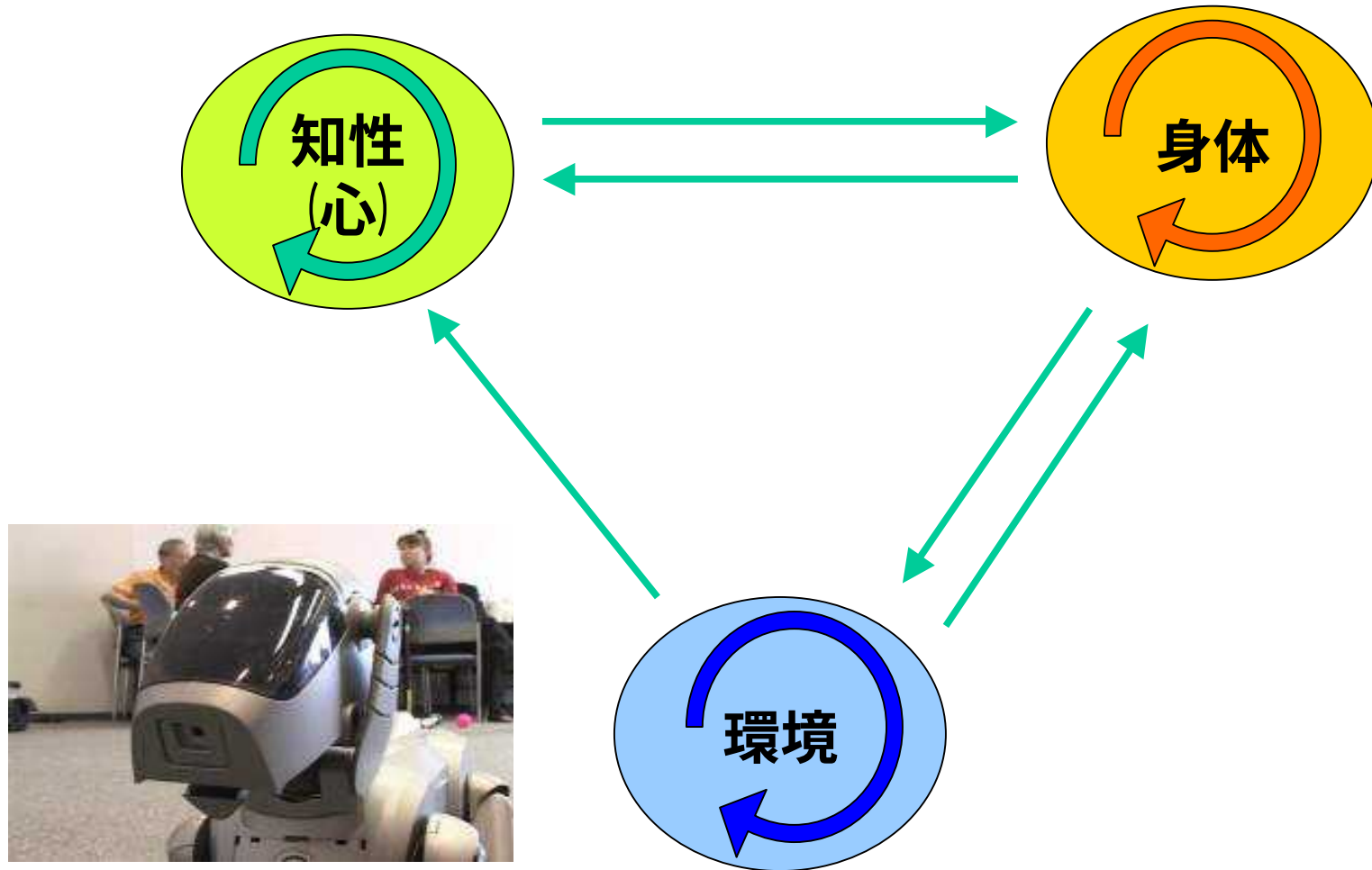
- ① GDC2009オーバービュー
- ② ゲームAIの基本とその歴史

知能の3つの基本要素



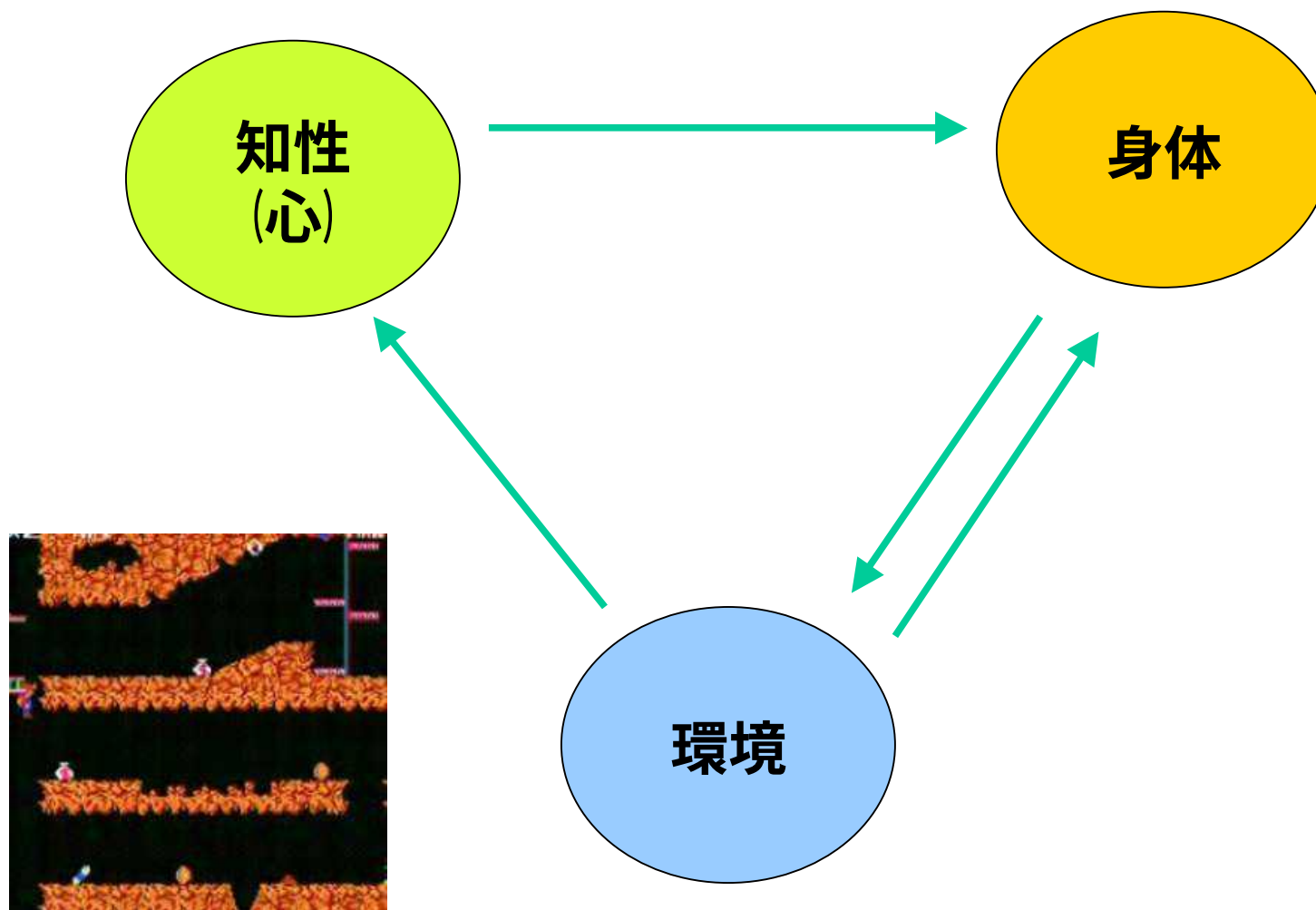
「3つの自律システム」とその相互作用

人工知能の3つの基本要素



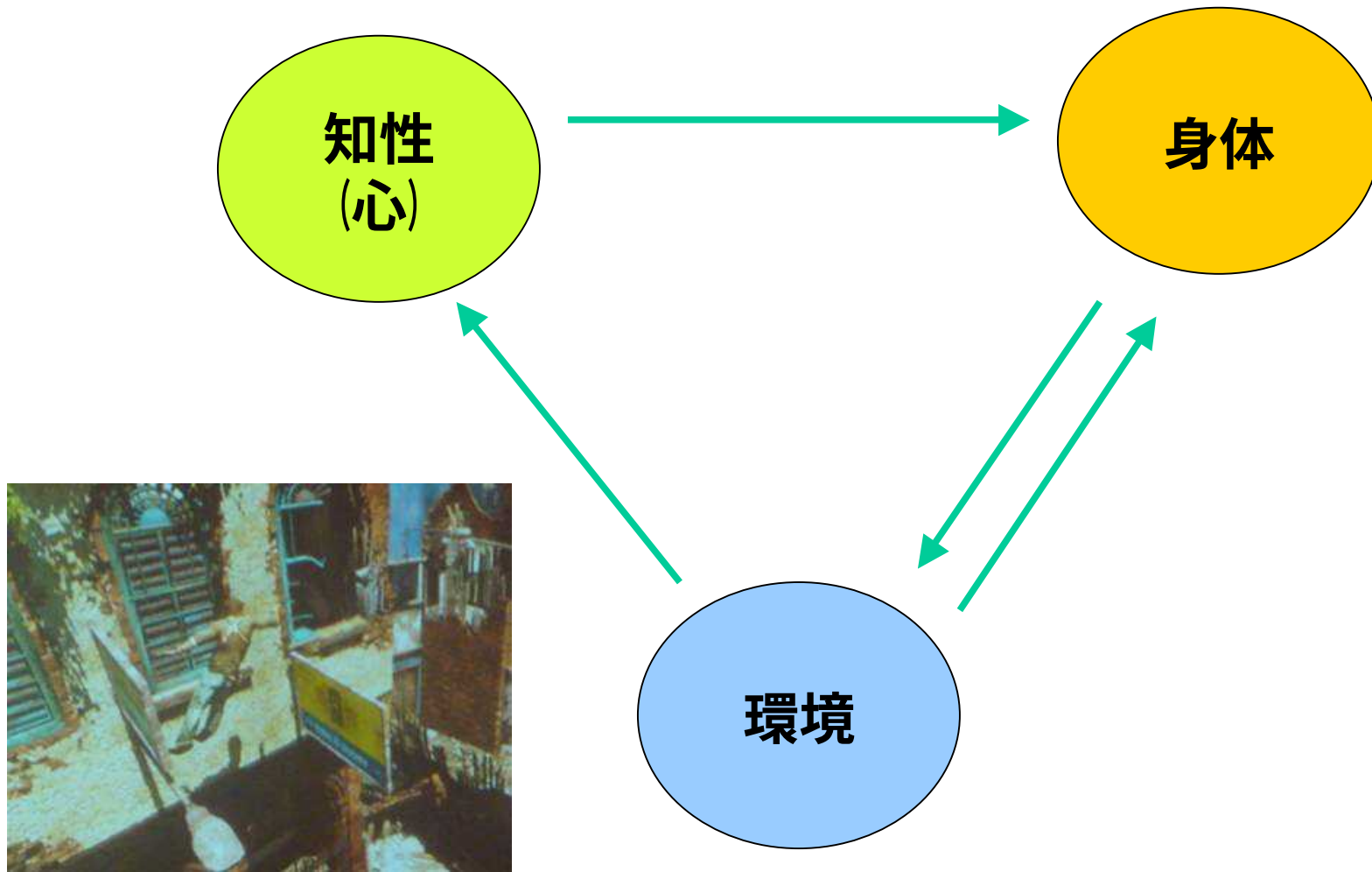
「3つの自律システム」とその相互作用

デジタルゲームのキャラクターAIは？



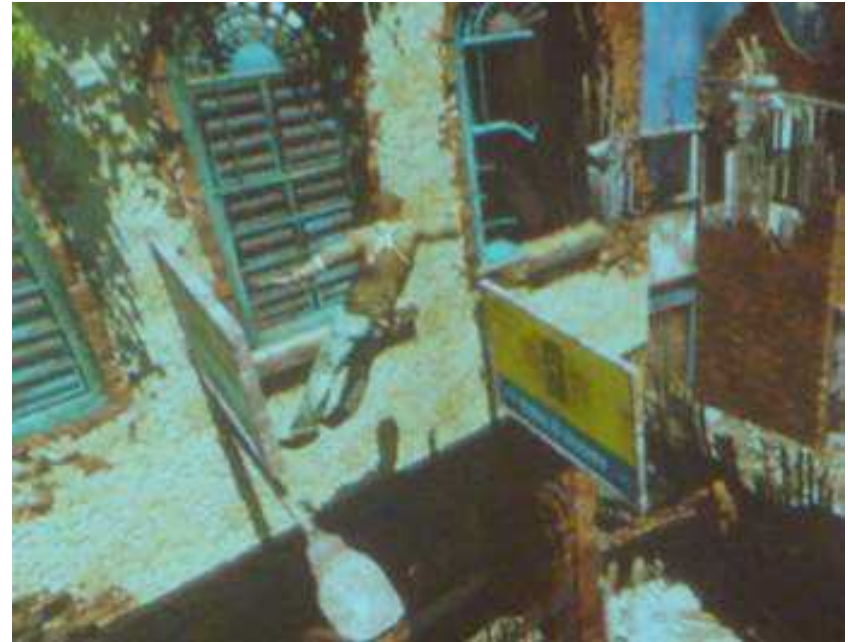
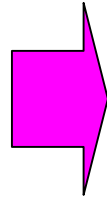
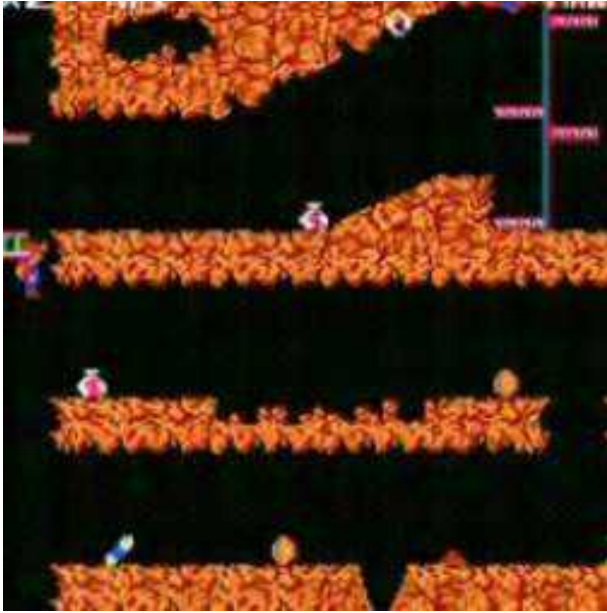
一方向の情報フロー

ゲームAIはどのように変化して来たか？

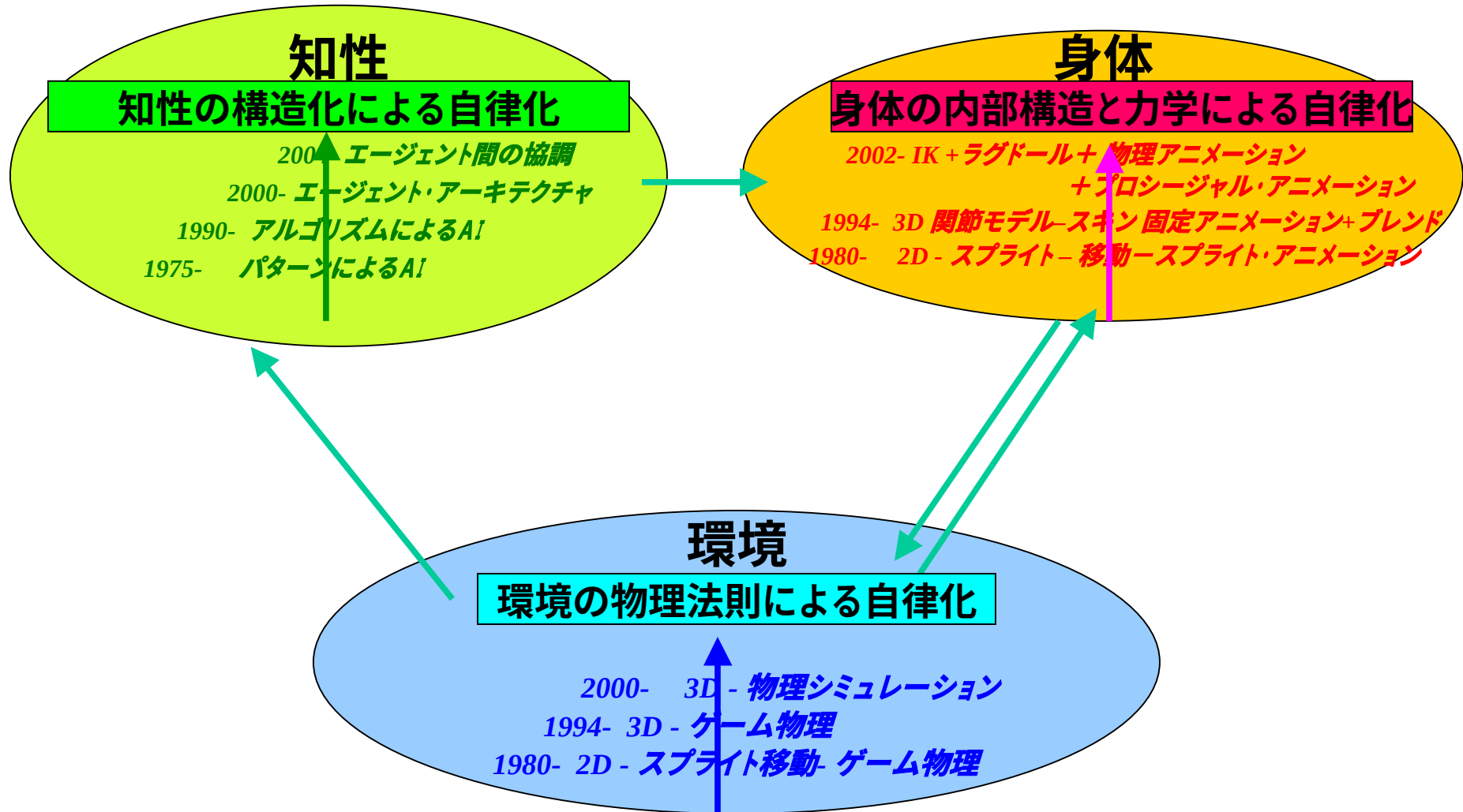


一方向の情報フロー

ゲームAIはどのように変化して来たか？

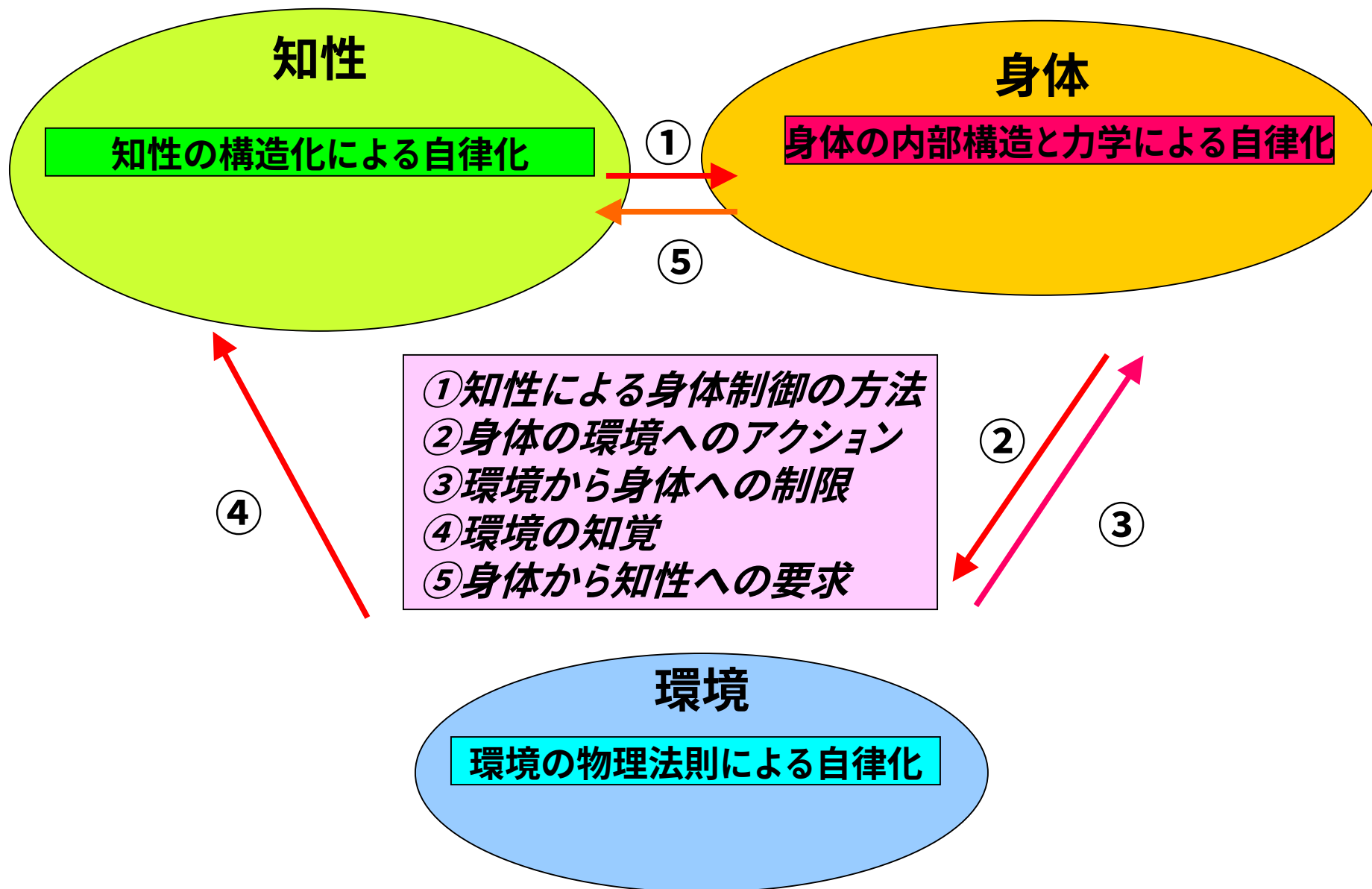


ゲームAIはどのように変化して来たか？



環境、身体、知性は内部に構造と運動を持ち、動的な自律システムとして稼動する方向へ発展した。

そして、これは同時に各システム間に
高度な相互作用の問題を提起することとなった



miyayou@GDC2009

3/23

3/24

3/25

3/26

3/27

AI Summit Introduction and Welcome #define Game AI Preparing for the Future: As Professionals, Game AI Developer, What Should I Know? (Panel) Animating in a Complex World: Integrating AI and Animation 2009 GDC Projects: SPORE, GEAR OF WAR 2, and BIOSHOCK AI and Designers: Mind the Gap (Panel) Toward Solving Pathfinding Characters Welcome: Next Steps Towards Human AI(Panel)	Breaking the Cookie-Cutter: Modeling Individual Personality, Mood, and Emotion in Character New Coding Tools and Techniques, and Strategies for Testing and Debugging AI From the Ground Up: Architecture and Design Patterns The Photoshop of AI: Debating the Structure vs Style Decomposition of Game AI Beyond Behavior: An Introduction to Knowledge Representation Parallelism in AI: Multithreading Strategies and Opportunities for Multi-core Architectures	基調講演 Authoring Runtime Animation and Character Physics with Morpheme 2.0 Threaded AI For The Win! Modular Halo3 Rigging Character Pathfinding And Animation: How to Make Them Work Together	DAWN OF WAR 2 Tactical AI in DAWN OF WAR 2 基調講演 From COUNTER-STRIKE to LEFT 4 DEAD: Creating Realistic Cooperative Experiences Creating a Great MMO: How Mythic Entertainment Solved Production Challenges using a Custom Middleware and 3ds Max On WARHAMMER ONLINE: AGE OF RECKONING HALO WARS: The Terrain of Next-Gen	Procedural and Multi-Core Techniques To Take Visuals to the Next Level Artificial Intelligence SIG State-Based Scripting in UNCHARTED: DRAKE'S FORTUNE and UNCHARTED 2: AMONG THIEVES Lionhead Experiments Revealed Dynamic Walking Unity Sapi-Procudural Animation
---	--	--	--	--

AI Panel & Discussio
 AI lecture
 Procedural
 Game Design

miyayou@GDC2009

3/23

3/24

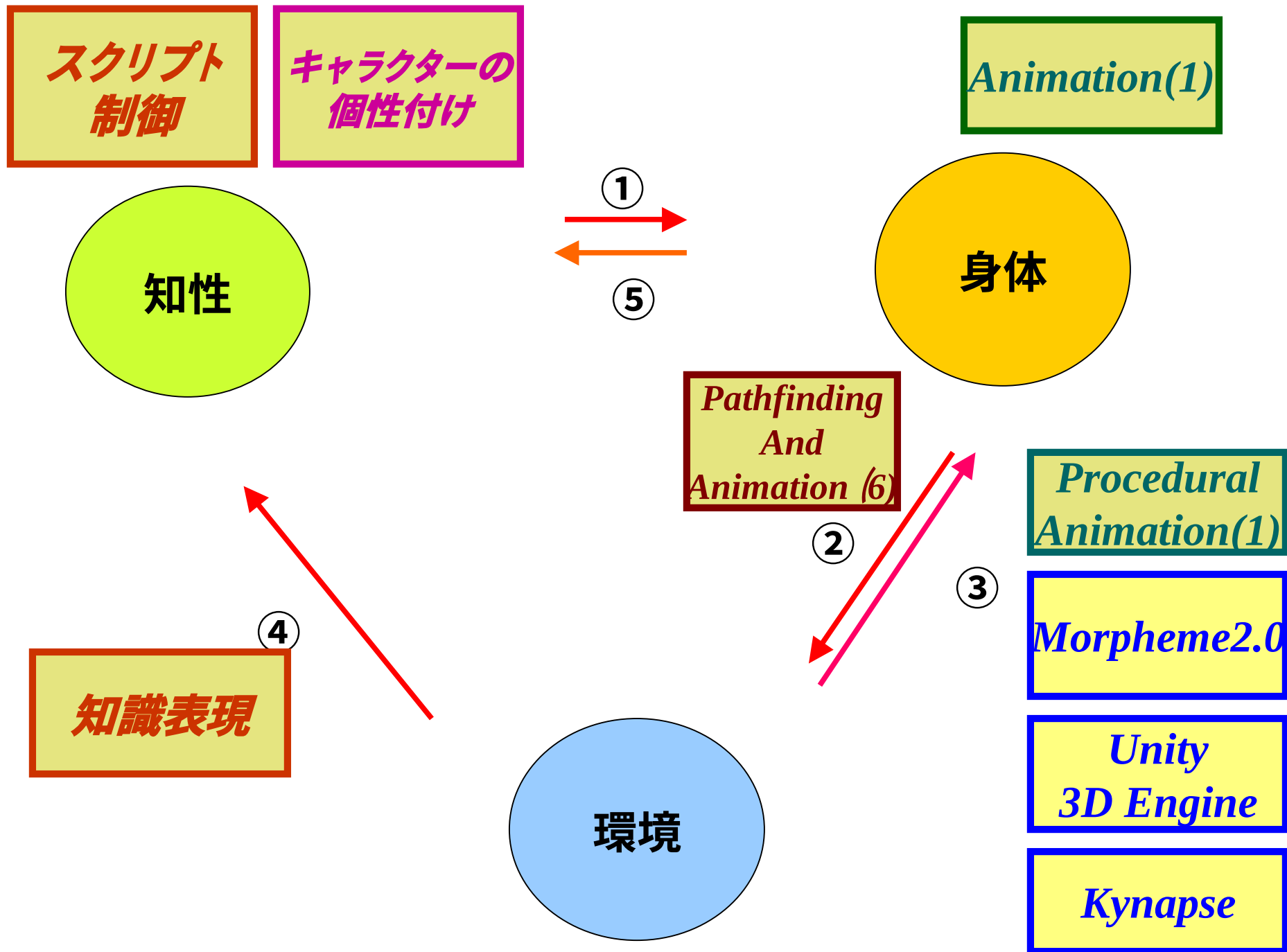
3/25

3/26

3/27

AI Summit Introduction and Welcome #define Game AI Preparing for the Future: As a Professional Game AI Developer, What Should I Know? (Panel) Pathfinding And Animation 2008 AI Postmortems: SPORE, GEARS OF WAR 2, and BIOSHOCK (Panel) デザイナーとプログラマの連携 Pathfinding And Animation Characters Welcome: Towards Human AI (Panel)	Breaking the Cookie-Cutter: Modeling Individual Mood, and Emotion in Character キャラクターの個性付け When Good AI Goes Bad: Tools, Techniques, and Strategies for Testing and Debugging AI From the Ground Up: AI Architecture and Design Patterns Structure Vs Style The Photoshop of AI: Designing the Structure vs Style Decomposition of Game AI Beyond Behavior: Knowledge Representation Parallelism in AI: Multithreading Strategies and Opportunities for Multi-Core Architectures	基調講演 Pathfinding And Animation Parallelism For AI Modular Animation Rigging Pathfinding And Animation	Pathfinding And Animation 基調講演 From COUNTER-STRIKE to LEFT 4 DEAD: Creating Replayable Cooperative Experiences Pathfinding And Animation HALO WARS: The Terrain of Next-Gen	Procedural and Multi-Core Techniques To Take Visuals to the Next Level Artificial Intelligence SIG State-Based Scripting in UNCHARTED: DRAKE'S FORTUNE and UNCHARTED 2: AMONG THIEVES Lionhead Experiments Revealed Dynamic Walking Procedural Animation
--	---	--	--	---

AI Panel & Discussio
 AI lecture
 Procedural
 Game Design



2009年 GDC のゲームAIの動向

基本

- (1) キャラクターの身体と環境の関係＝アニメーションと環境の相互作用
・複雑なレベルデザインへの動作の適応 ・パスを辿る動作
- (2) 動的なパス検索
- (3) 知識表現
- (4) キャラクターの個性付け
- (5) メタAI
- (6) スクリプト制御

アドバンス

- (7) ゲームAIの並列化による実装
- (8) ゲームAIプログラマーとゲームデザイナーの連携
- (9) ゲームAIのための統一的な「構造とスタイル」はあり得るか？
(structure vs style)

ミドルウェア

- (8) Morpheme, Kynapse など統合環境のミドルウェアの台頭

本講演の方針

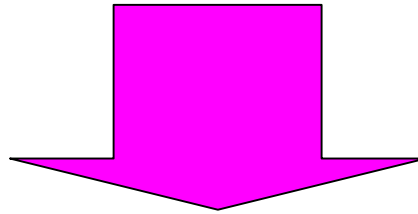
GDC2009の AI分野概要

(既にデジタルコンテンツ協会で説明。
資料は、本資料と共に配布)

GDC2009の AI分野資料

(既にWEBで公開されている。
AIメイリングリストなどで解説)

GDC09 資料 <http://mygdc.gdconf.com/vault/1337>



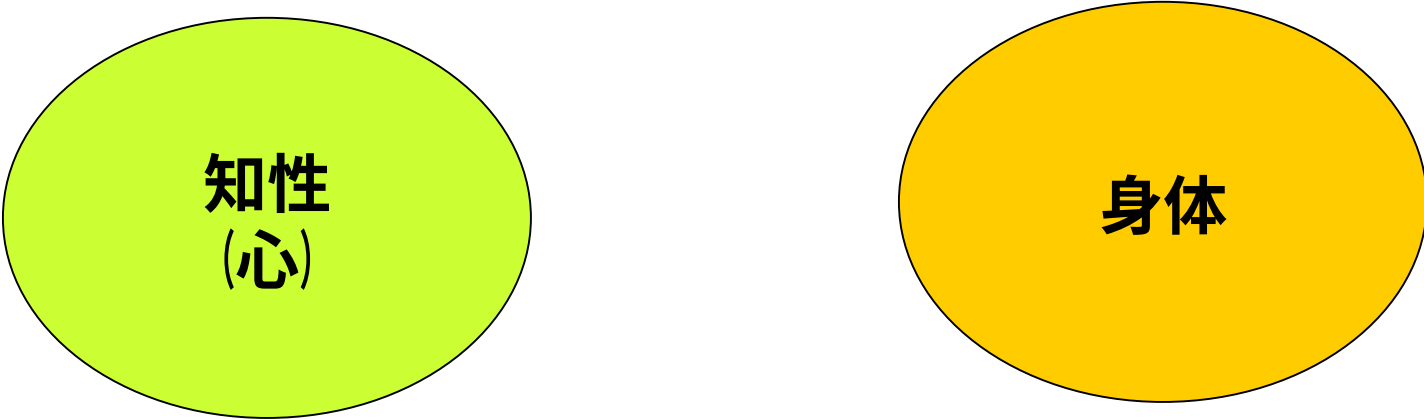
GDC2009の内容を踏まえた、
ゲームAIの作り方を解説する

第2部

自律型AIを作る (30分)

- ① **AIのコア・エンジンの部分を作る**
- ② **AIに環境を認識させる。**
- ③ **知性からキャラクターの動作を制御する。**
- ④ **身体のアニメーションと環境の相互作用を構築する。**

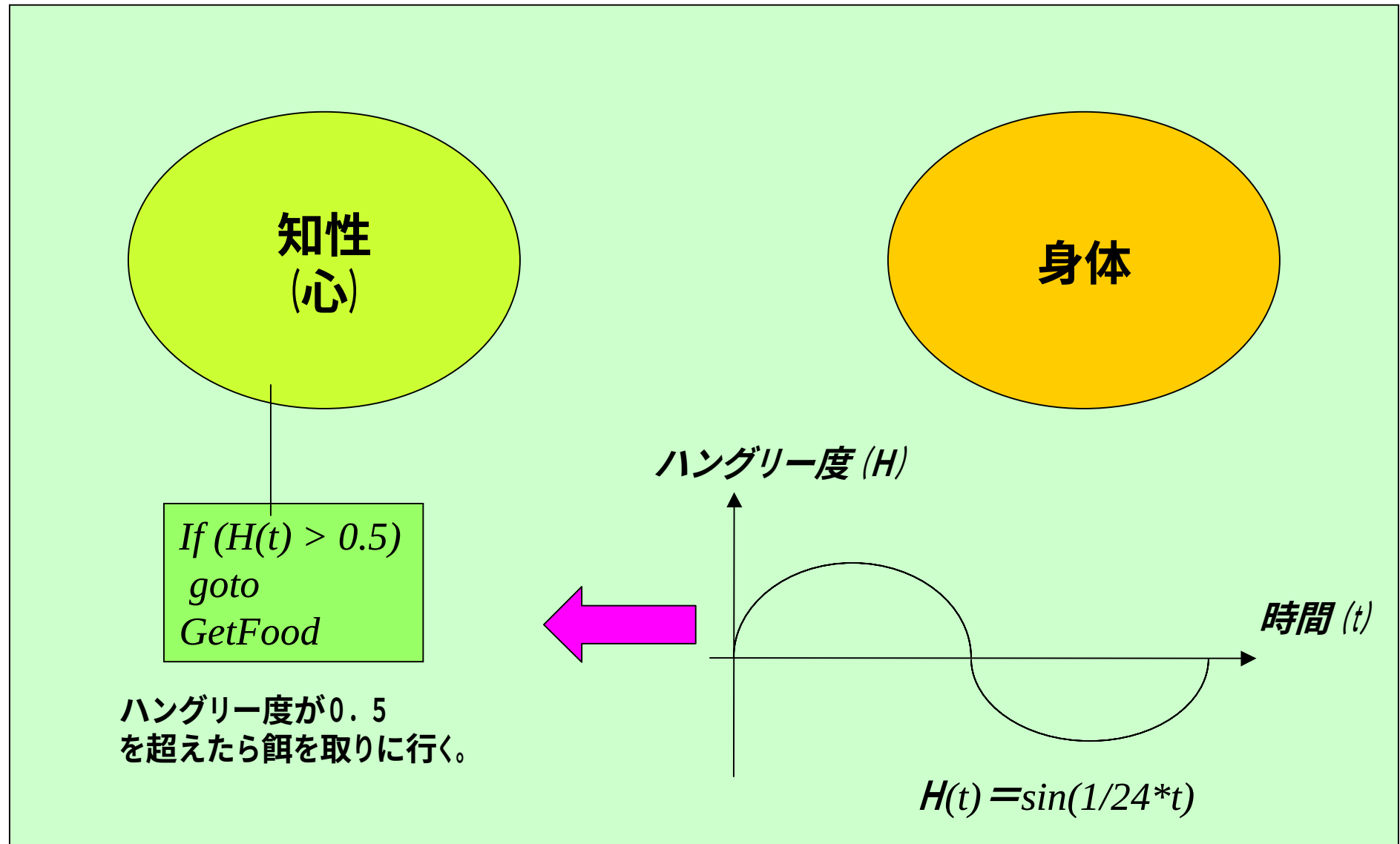
自律型AIの作り方



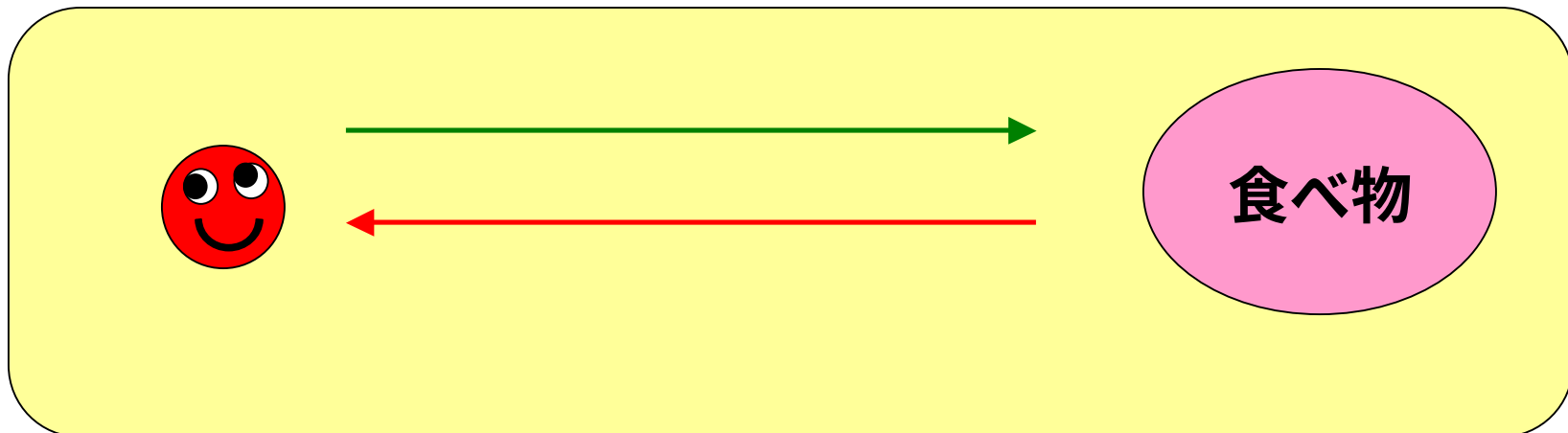
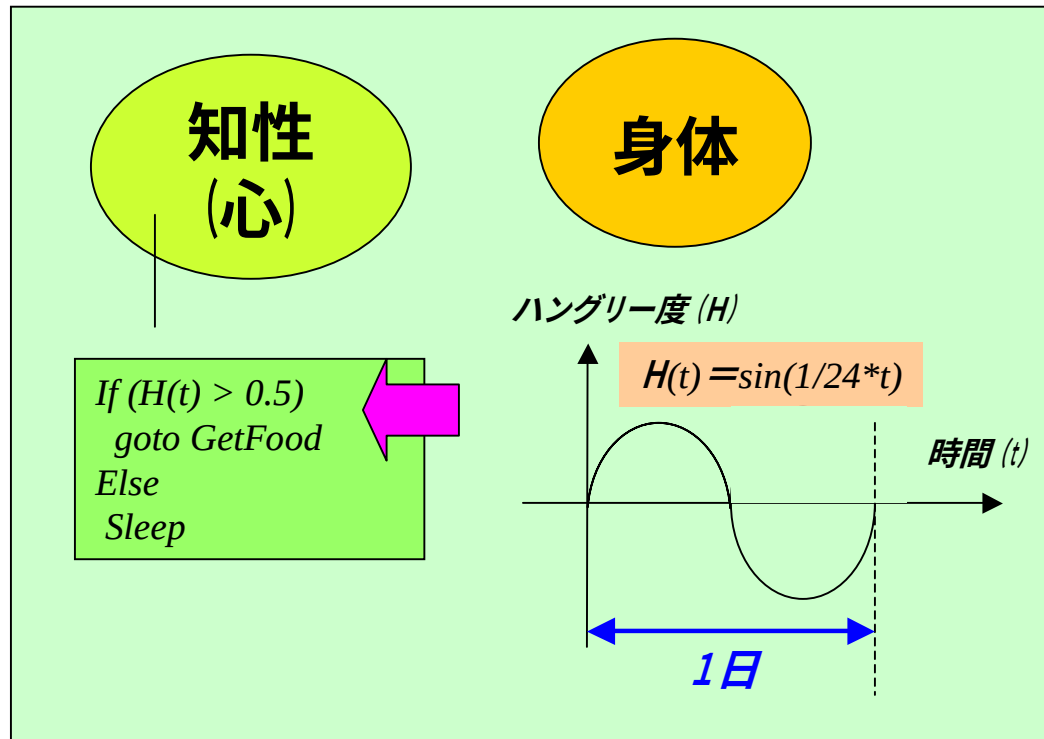
知性
(心)

身体

自律型AIの作り方

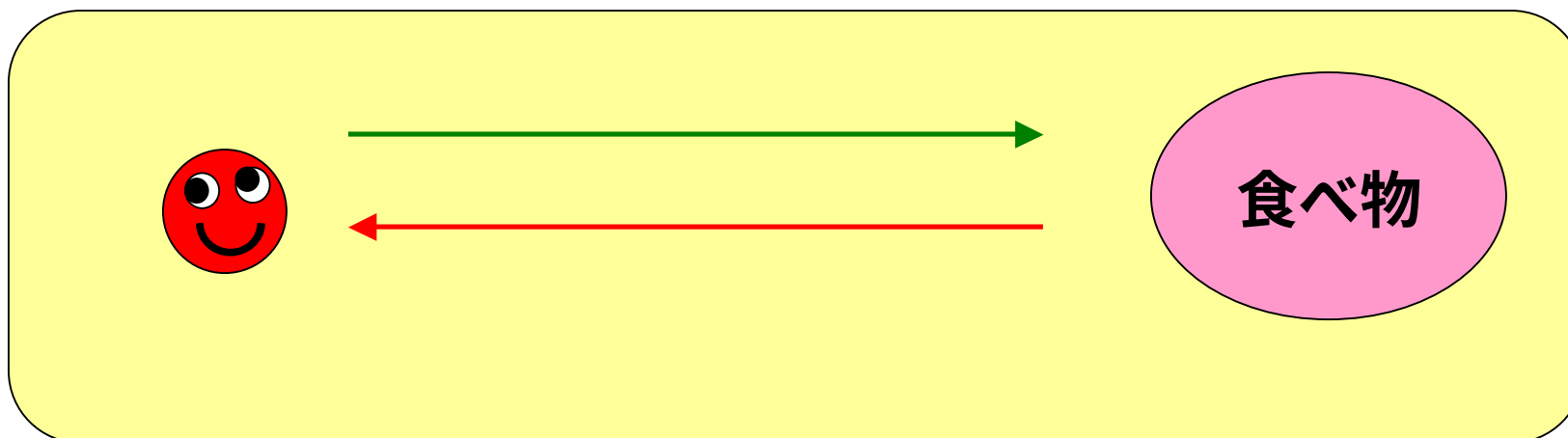
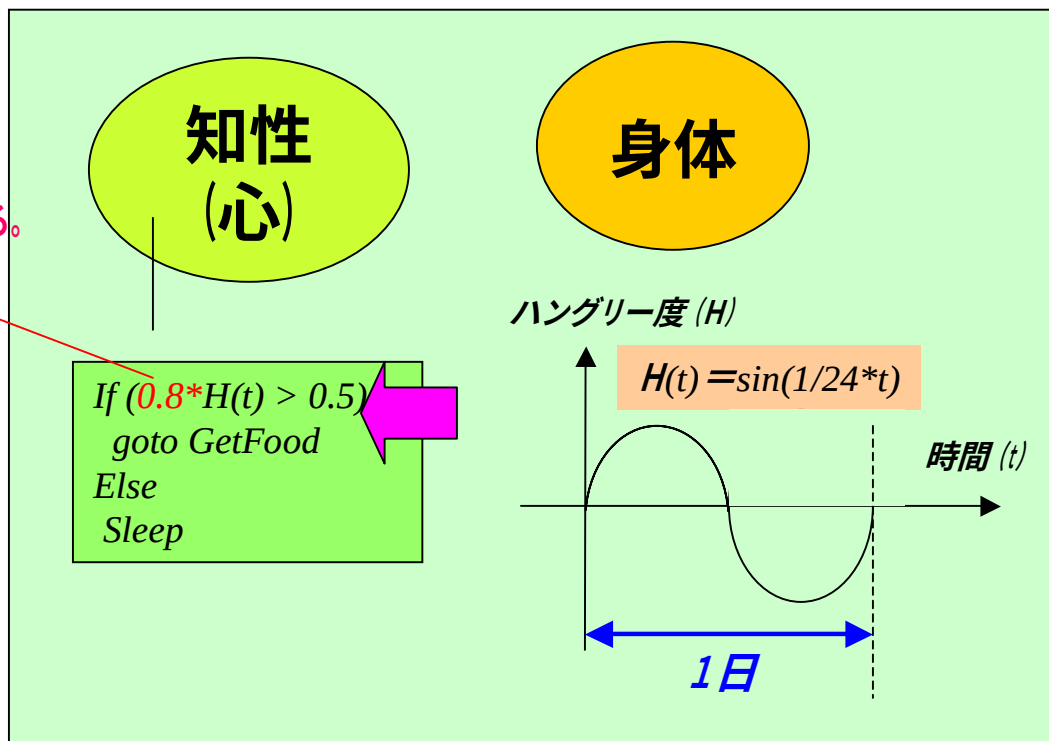


自律型AIの作り方

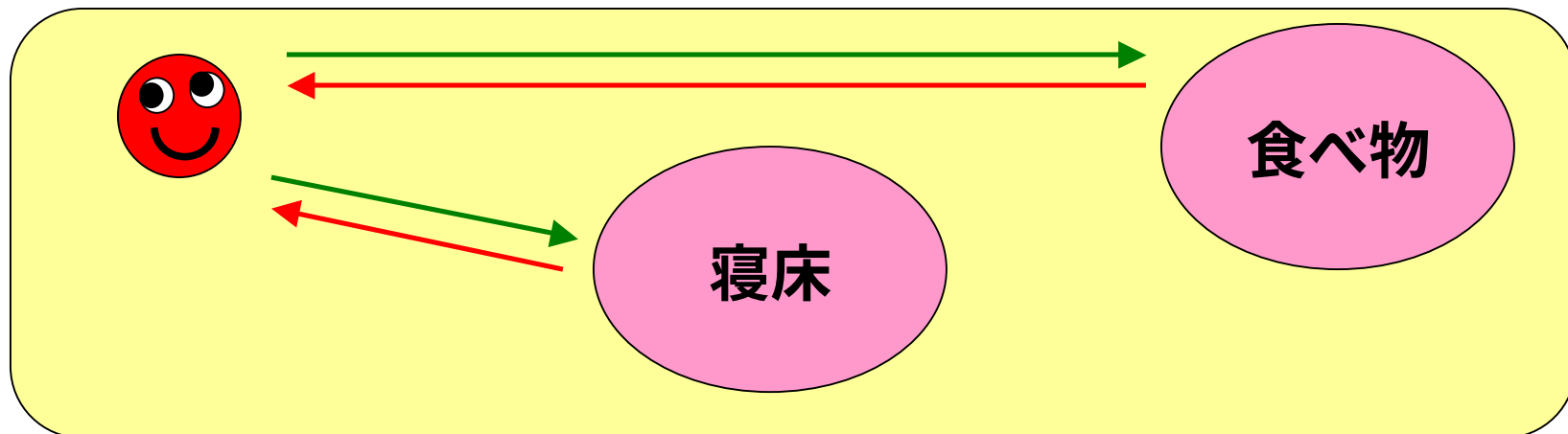
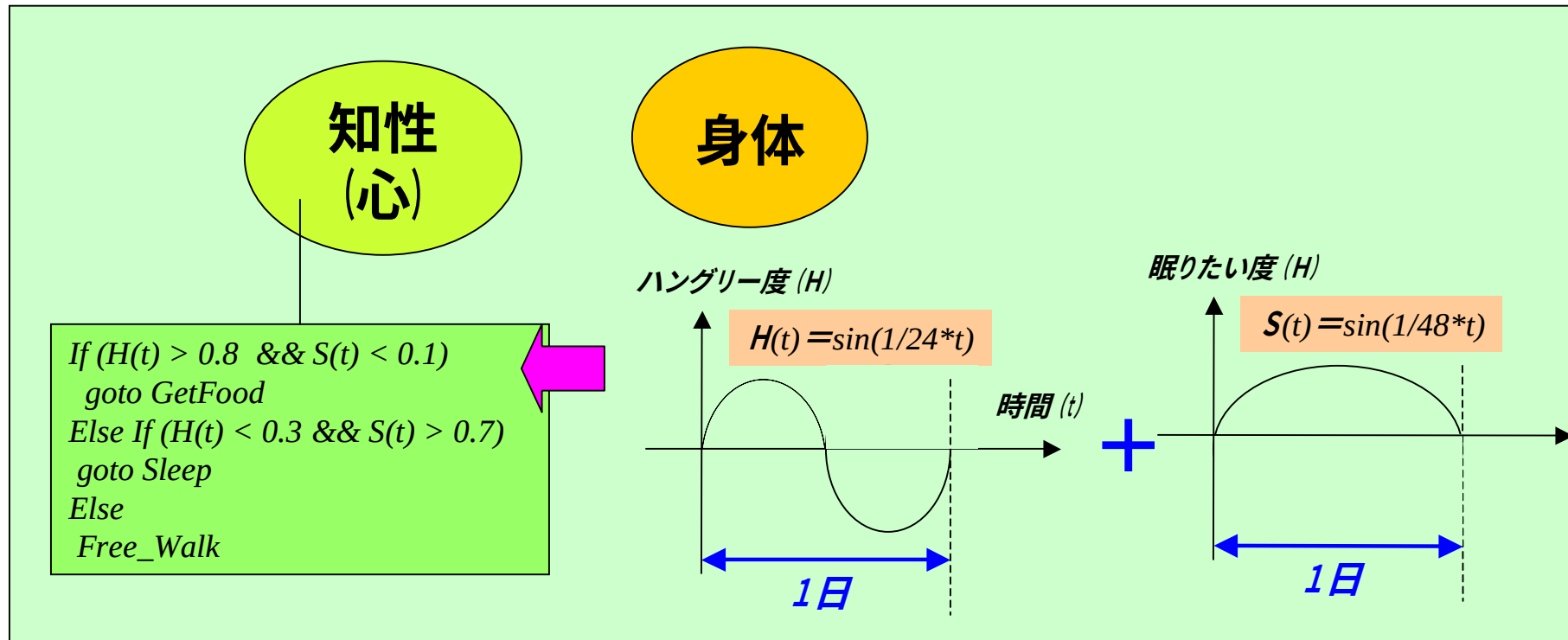


自律型AIの作り方 (個性付け)

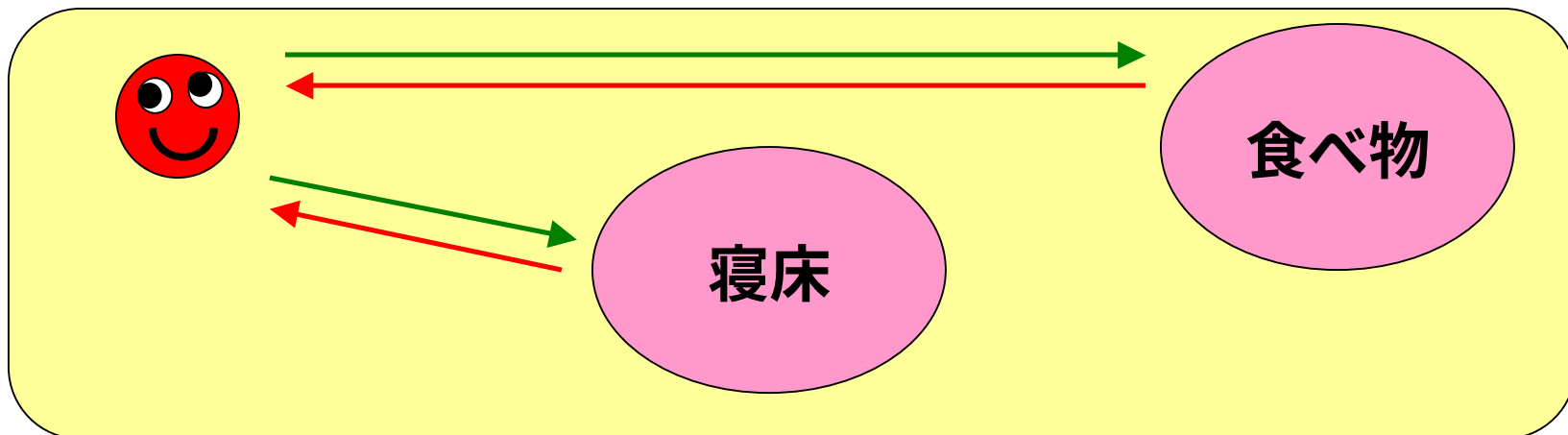
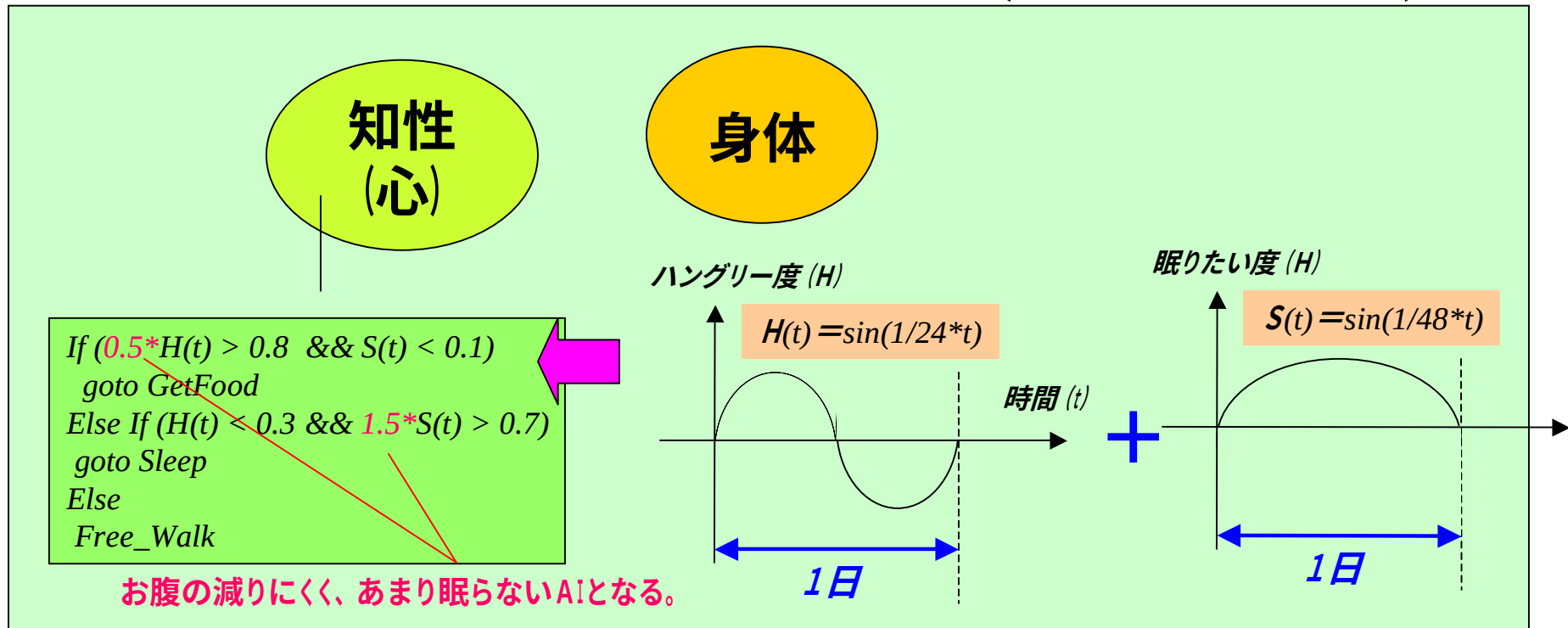
お腹の減りにくいAIとなる。



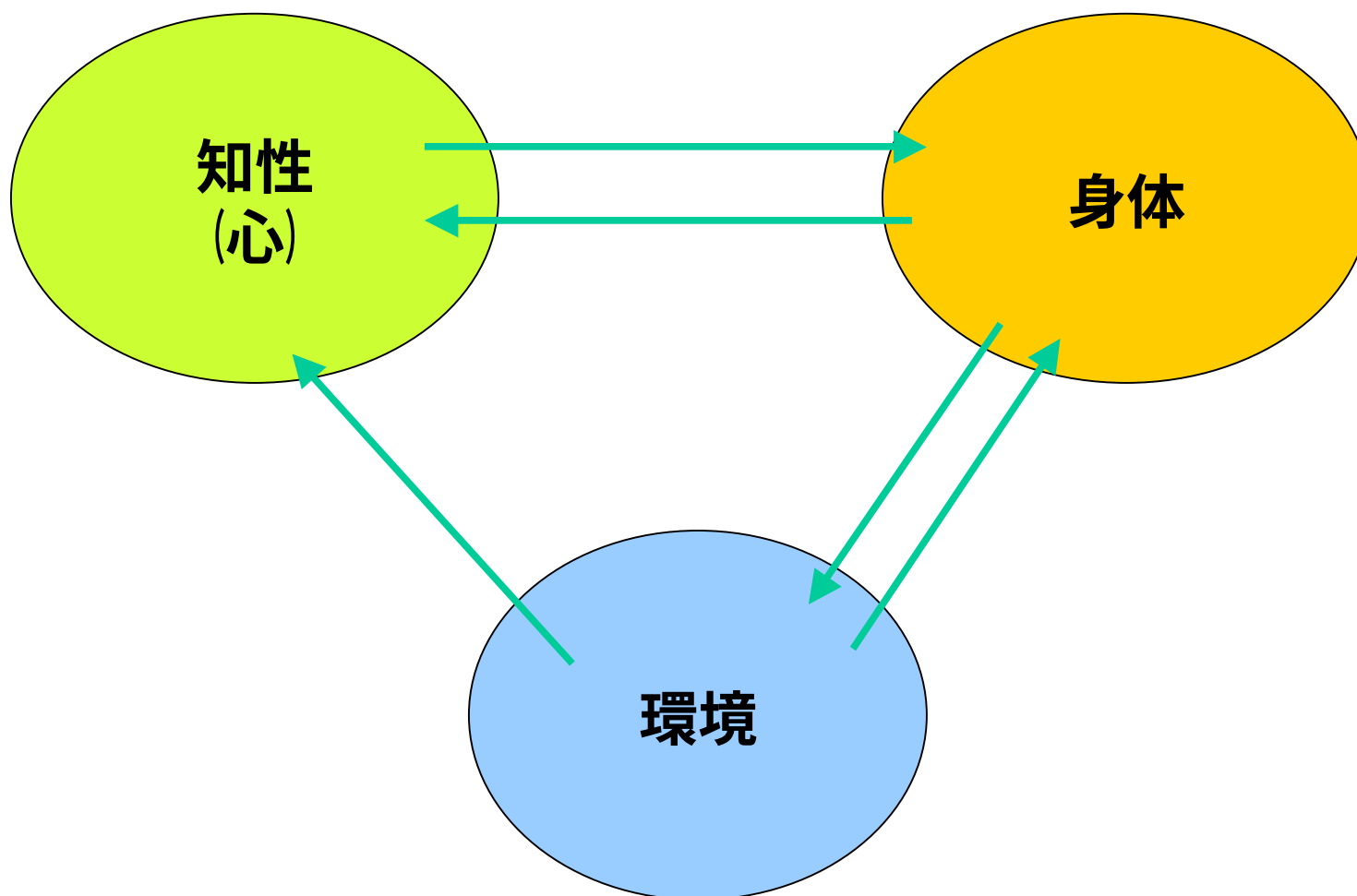
自律型AIの作り方



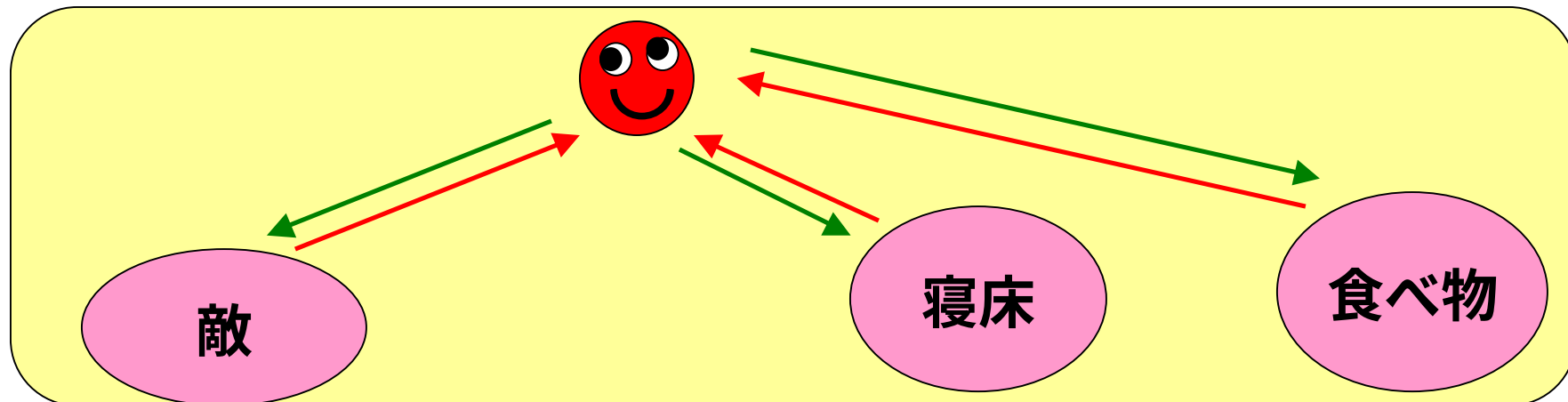
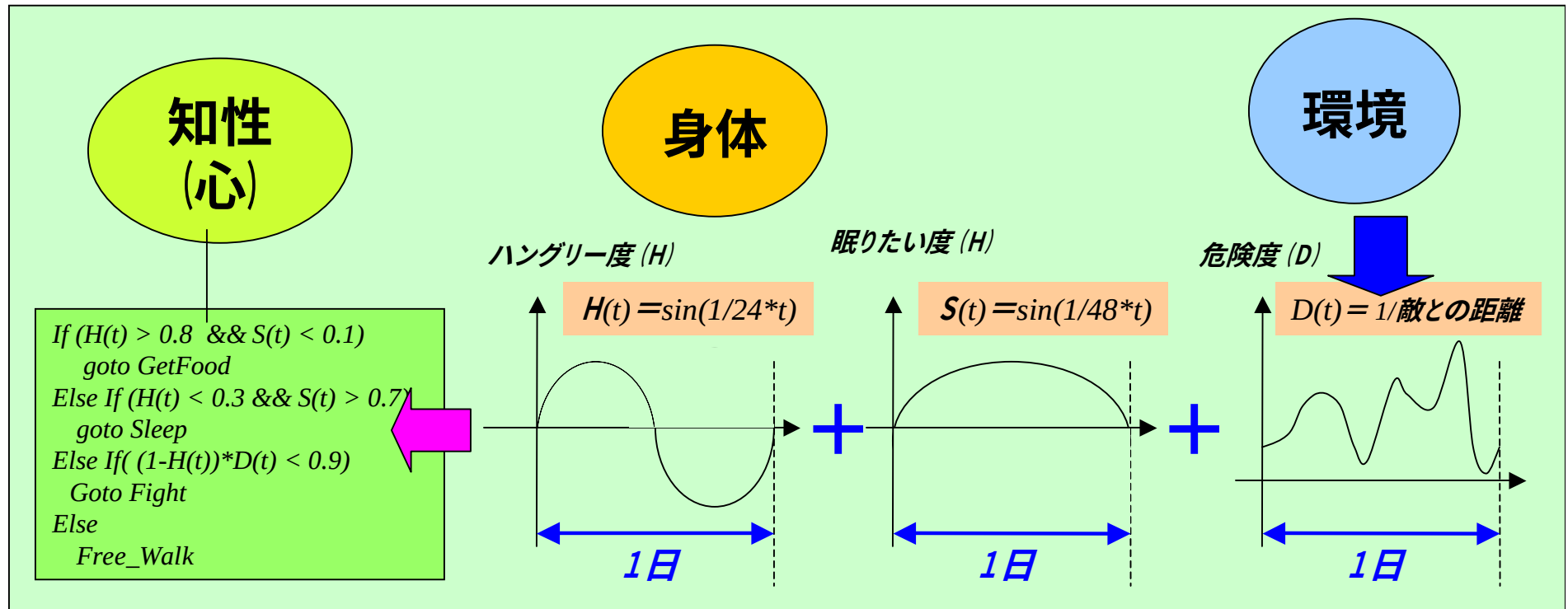
自律型AIの作り方(個性づけ)



自律型AIの作り方 (+環境)



自律型AIの作り方

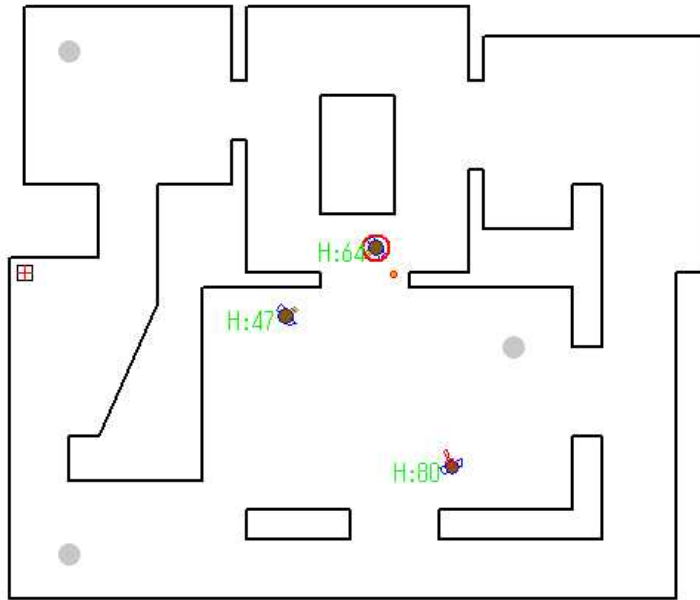


自律型AIのコアの作り方

- ① AIの内部変数として、時間的に自律変化する変数(=関数)をセットする。
- ② その変数値(と外部環境の変数を結び付けながら)、異なる行動を取るようにプログラムを書く。
- ③ そういった変数を複数増やして、組み合わせることで、複雑な 内部構造を持つAIを作ることが出来る。

[参考] ゴール指向AI, BDIアーキテクチャ

Mat Bucklandの自律型エージェントのデモ



デモ



オライリー・ジャパン

「実例で学ぶゲームAIプログラミング」

(Mat Buckland 著、松田晃一 訳)

<http://www.oreilly.co.jp/books/9784873113395/>

目標を持ち、目標ごとに内部状態に応じて変動する関数を持つ

- ① 攻撃する
- ② 移動する
- ③ 回復アイテムを取る
- ④ 武器を取る

...

意思決定: 全てのゴールのうち、最大値を持つゴールを選択して行動する。

(例) ③

$$H(t) = 0.8 * ((1 - \text{現在のHP}) / \text{回復アイテムまでの距離})$$

こういったデモに3Dモデルを被せると...

① Chromehounds (Fromsoftware, Xbox360,2006)



ゲームAI連続セミナー第3回「Chrome HoundsにおけるチームAI」

<http://www.geocities.jp/mnagaku2000/igda/gate.html?gameai3.zip>

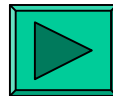
Breaking
the Cookie-Cutter:
Modeling Individual
Personality,
Mood, and Emotion
in Characters

こういったデモに3Dモデルを被せると...

② *The Sims 3* (Maxis, EA)



ムービー



Trait ... 特性。性格パラメーター
Wish ... 将来の目標

Sims Getting Smarter: AI in The Sims 3(IGN)
<http://pc.ign.com/articles/961/961065p1.html>

GDC09 資料 <http://cmpmedia.vo.llnwd.net/o1/vault/gdc09/slides/Combined.ppt>

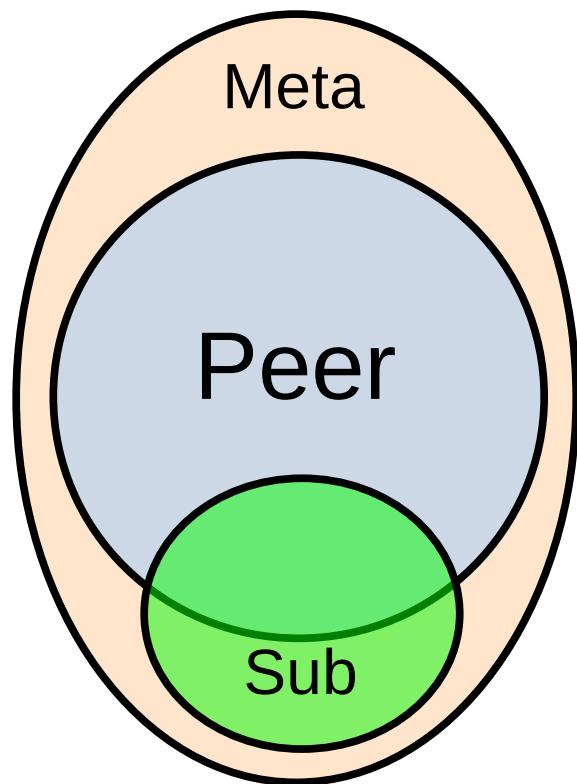


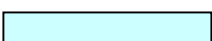
**ここから8ページほど、
The Sims のAIの概要の説明です。
詳しくは以下の資料を見てください。**

三宅陽一郎、「Spore におけるゲームAI技術とプロシージャル」
(DiGRA Japan 第14回 月例研究会)

<http://www.igda.jp/modules/mydownloads/visit.php?cid=2&lid=77>

The Sims シリーズのAIの作り方



Meta 
Peer 
Sub 

[原則] 周囲の対象に対する、あらゆる可能な行動から、Happiness 係数を最大化する行動を選択する。

Sims (not under direct player control) choose what to do by selecting, from all of the possible behaviors in all of the objects, the behavior that maximizes their current happiness.

人をダイナミクス (力学系、動的な数値の仕組み) として動かす。
世界を動かす PeerAI(=キャラクターAI) を構築。

オブジェクトに仕込むデータ構造

Data (Class, State)

Graphics (sprites, z-
Animations (skeletal)

Sound Effects

Code (Script)

- Main (object thread)
- External 1
- External 2
- External 3

パラメーター

グラフィックス
アニメーション

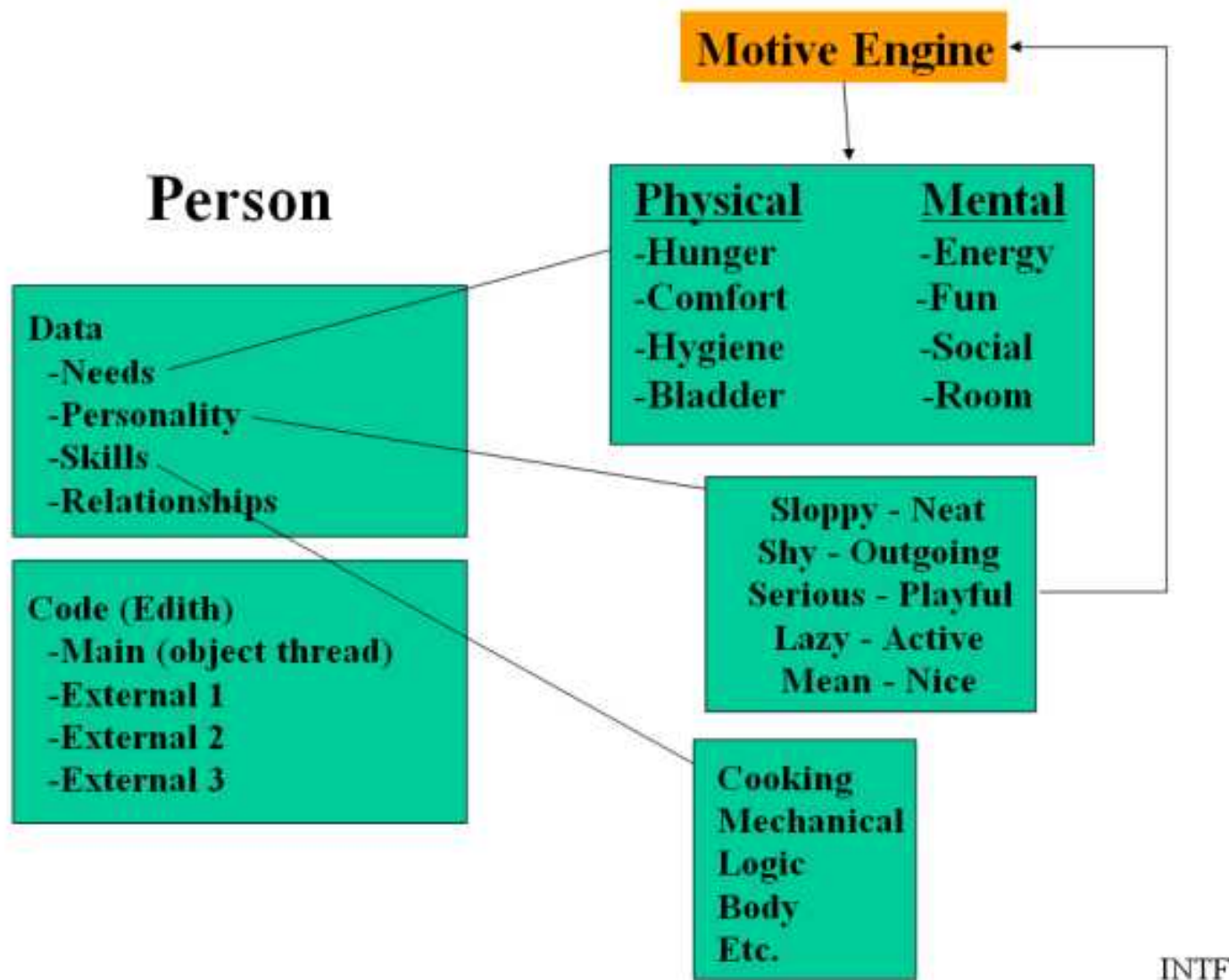
サウンド

メインスレッド

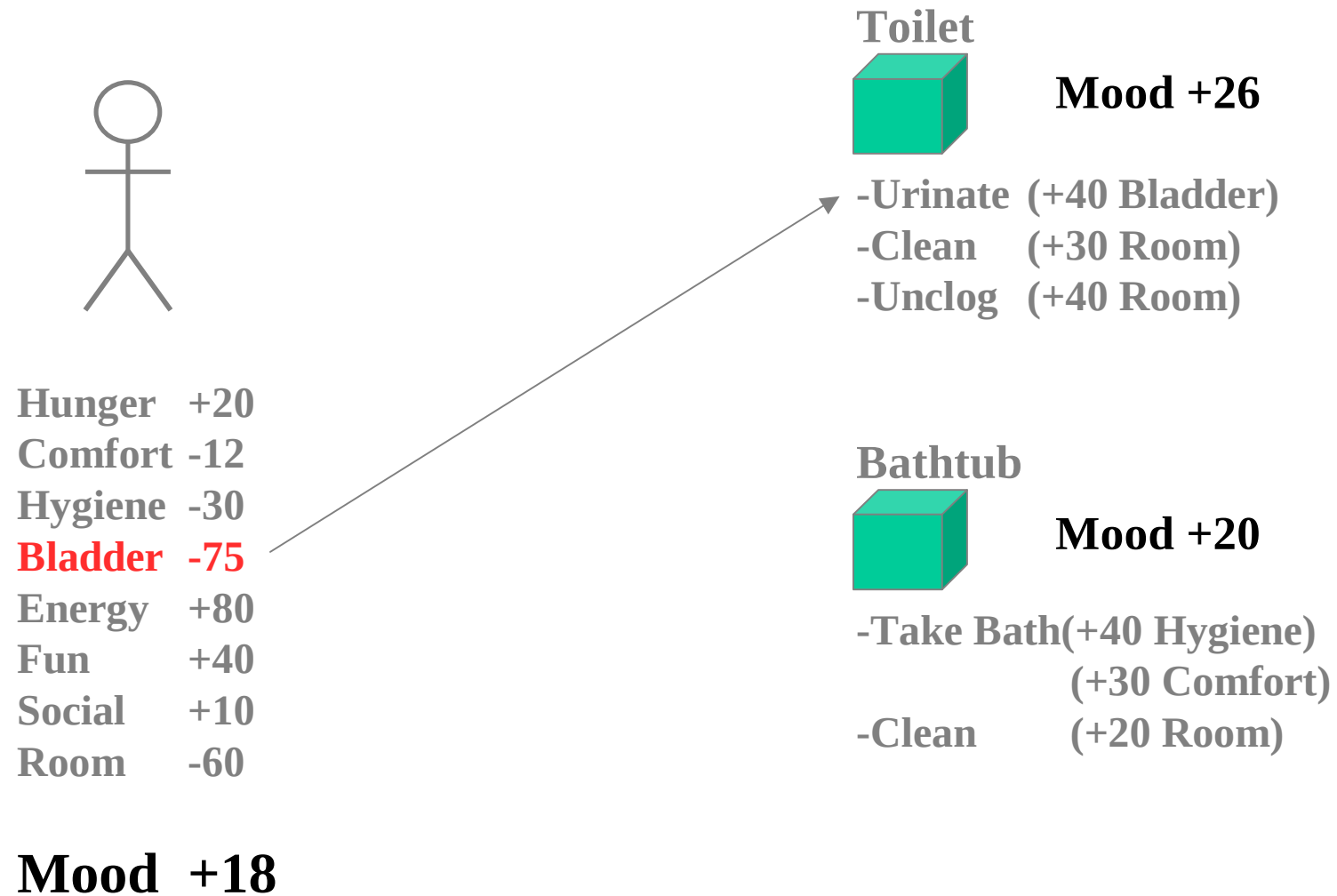
いろいろなインタラクションの仕方



N P Cに仕込むデータ構造

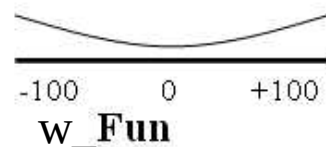
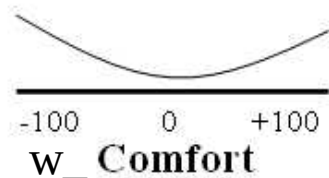
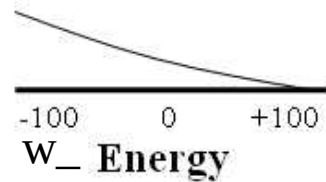
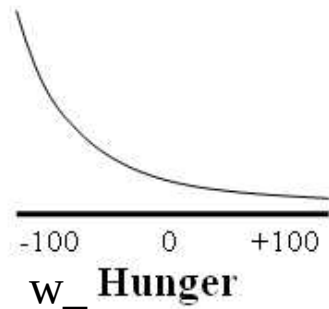


最適な行動を選択する

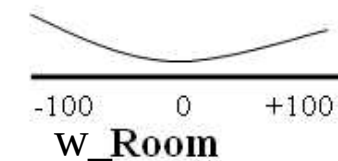
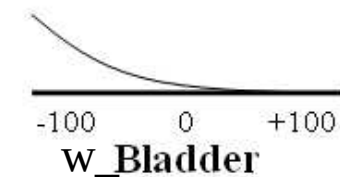
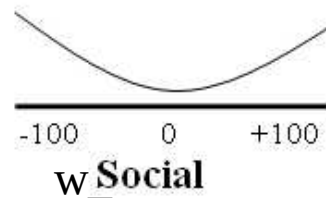
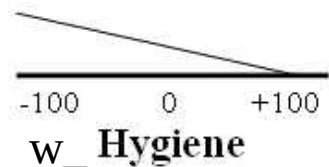


[原則] 周囲の対象に対する、あらゆる可能な行動から、Happiness (ここではMood) 係数を最大化する行動を選択する。

Happiness 係数の計算のためのウェイト



= Mood (-100..+100)



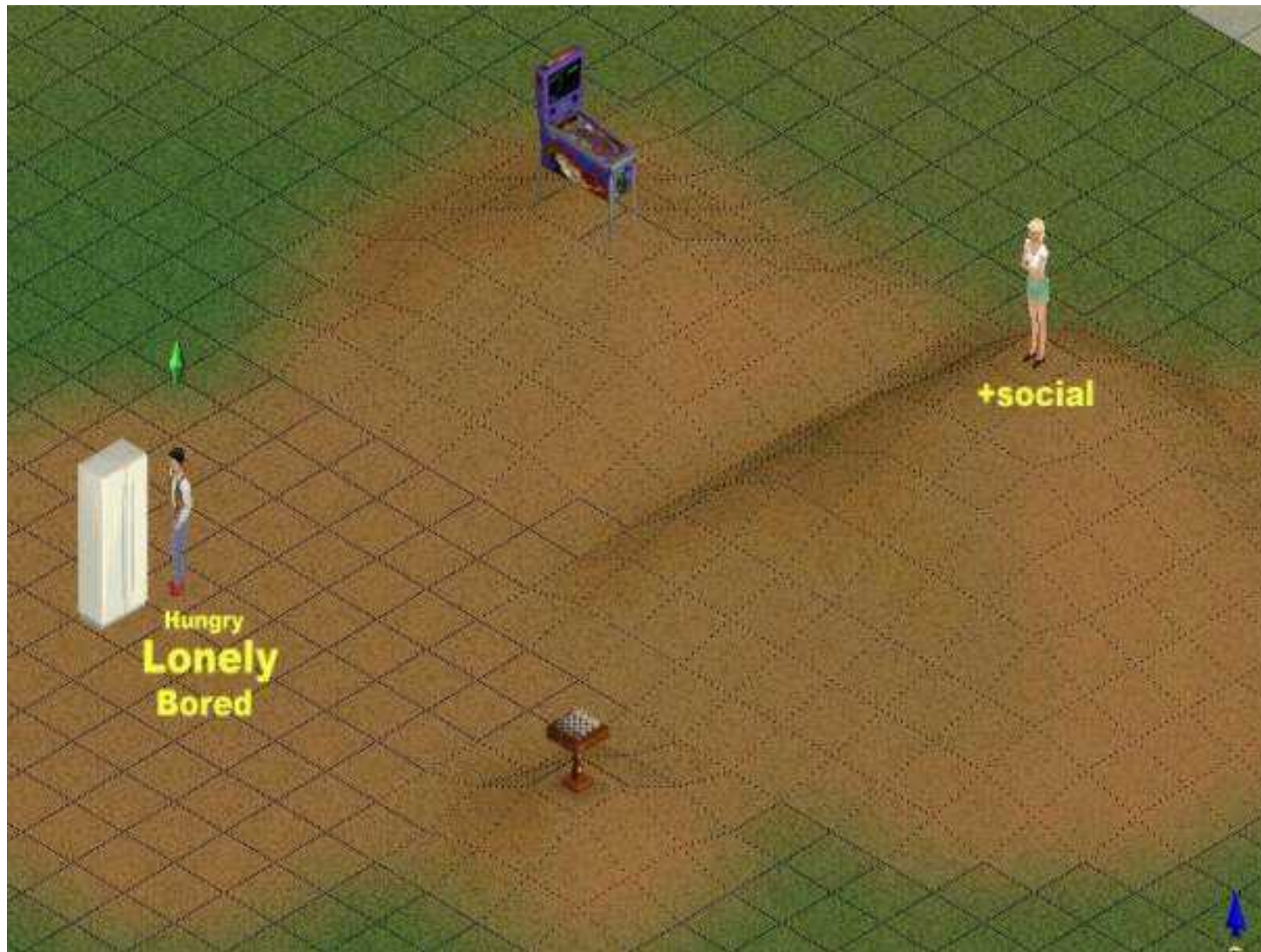
$$\text{Happiness} = w_Hunger * \text{Hunger} + w_Energy * \text{Energy} + \dots$$

Happiness を最大化



冷蔵庫が最も総合的にHappinessを上昇させるから

Happiness を最大化



冷蔵庫へ行きます。

Happiness を最大化



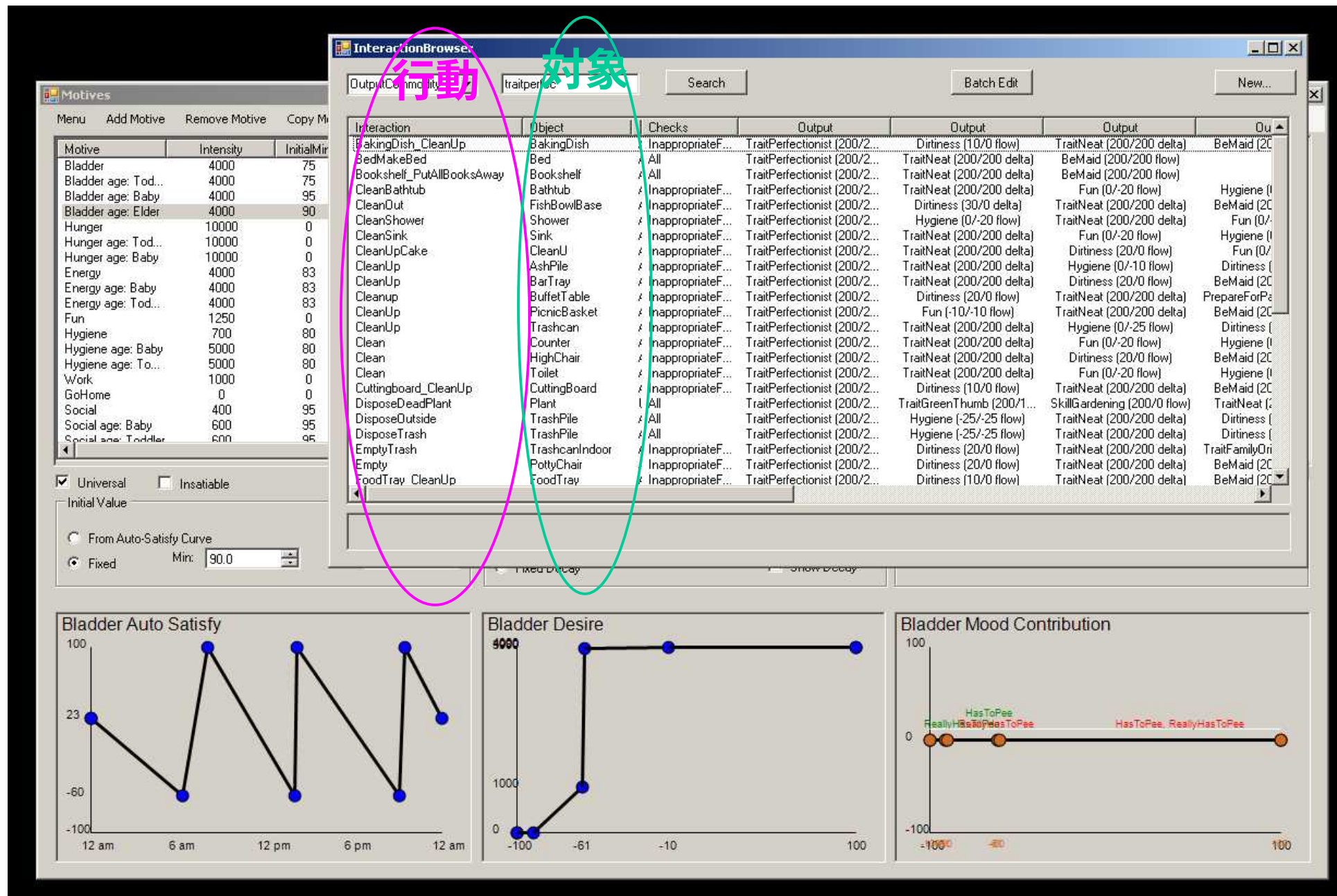
お腹が膨れたので、ちょっと退屈だから、女の子と話します。

**ここまでの8ページが、
The Sims のAIの概要の説明です。
詳しくは以下の資料を見てください。**

三宅陽一郎、「Spore におけるゲームAI技術とプロシージャル」
(DiGRA Japan 第14回 月例研究会)

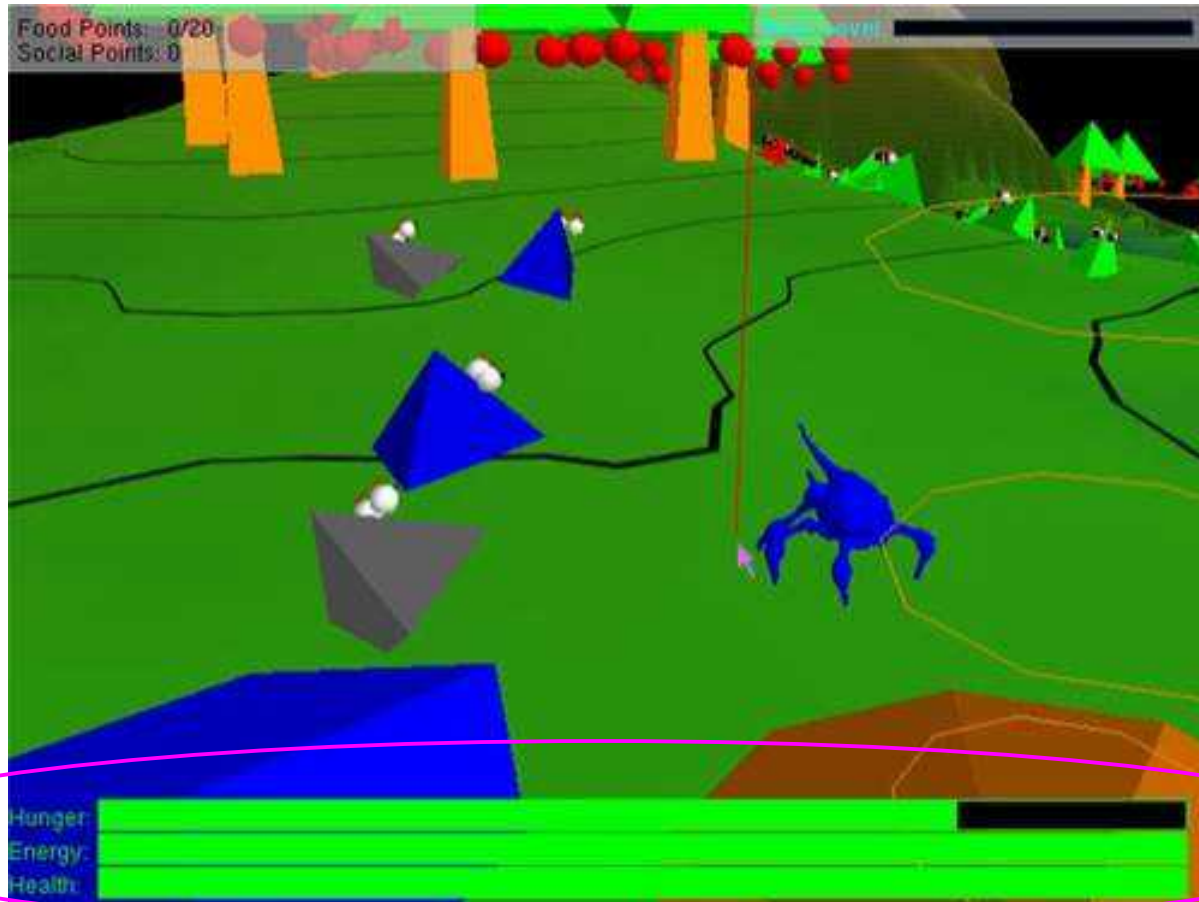
<http://www.igda.jp/modules/mydownloads/visit.php?cid=2&lid=77>

The Sims 3 では、多くのムードや欲求が準備される。



こういったデモに3Dモデルを被せると...

③ *Spore*(Maxis, EA, 2008) (以下はプロトタイプ画像)



Sims Engine から転用されたのは描画だけではない。A!!

<http://www.gamasutra.com/features/20060329/spore02.jpg>

http://www.gamasutra.com/features/20060329/waugh_01.shtml

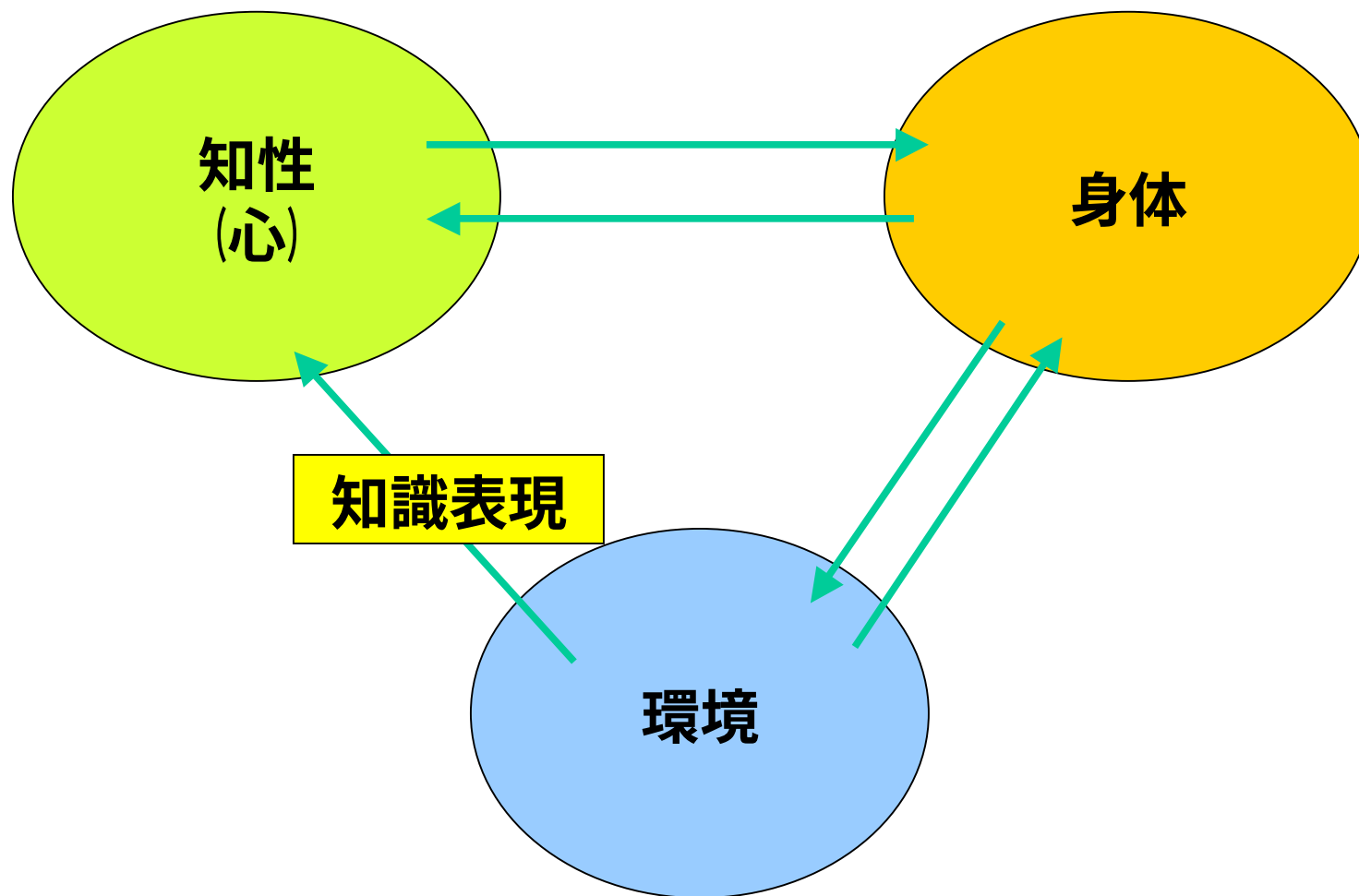


第2部

自律型AIを作る (30分)

- ① AIのコア・エンジンの部分を作る
- ② AIに環境を認識させる。
- ③ 知性からキャラクターの動作を制御する。
- ④ 身体のアニメーションと環境の相互作用を構築する。

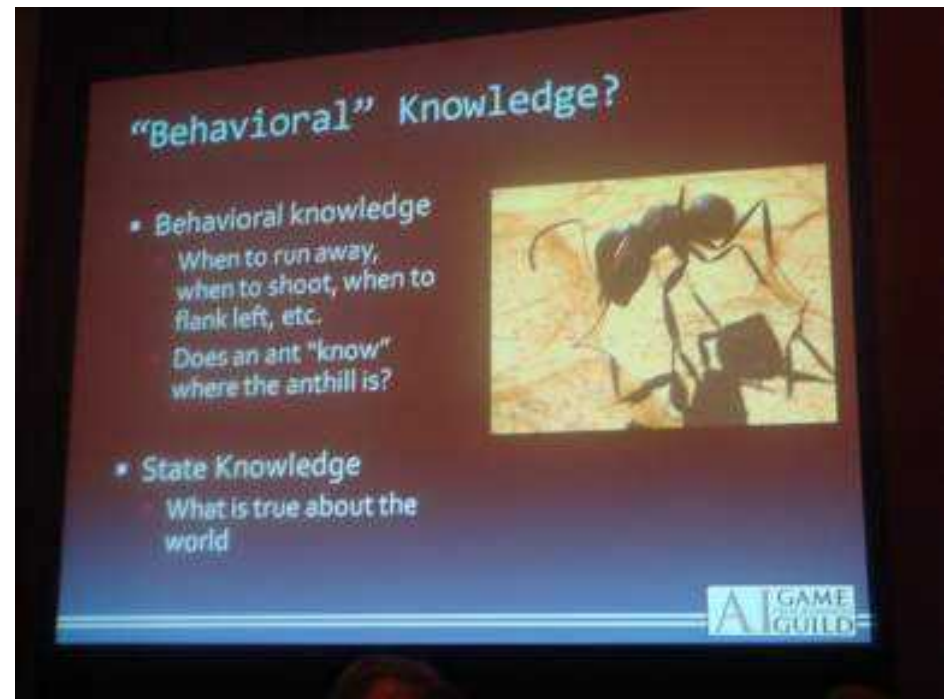
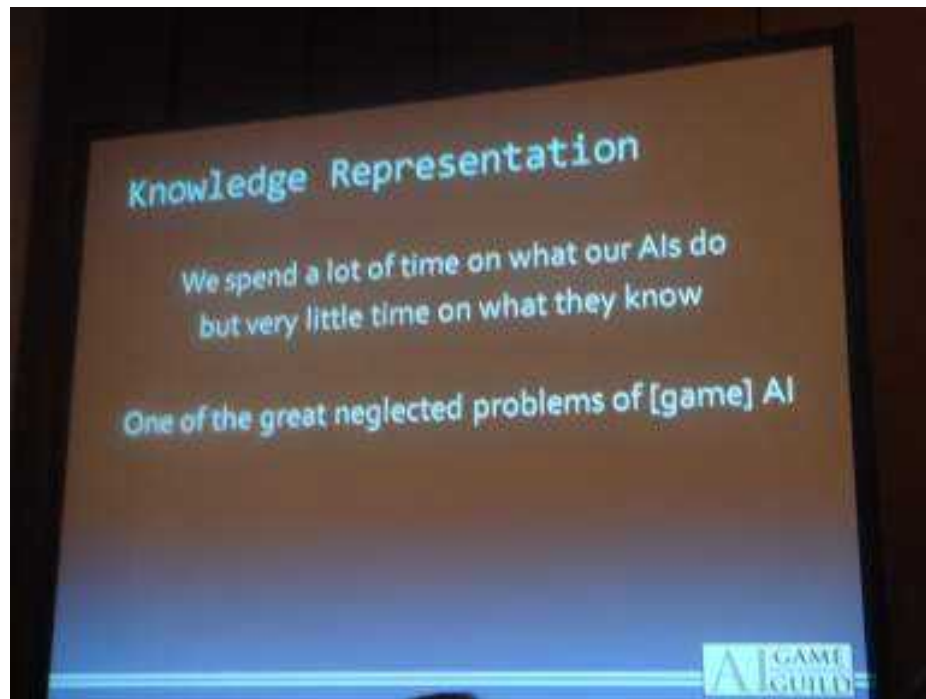
自律型AIの作り方 (+環境)



Beyond Behavior:
An Introduction to
Knowledge Representation

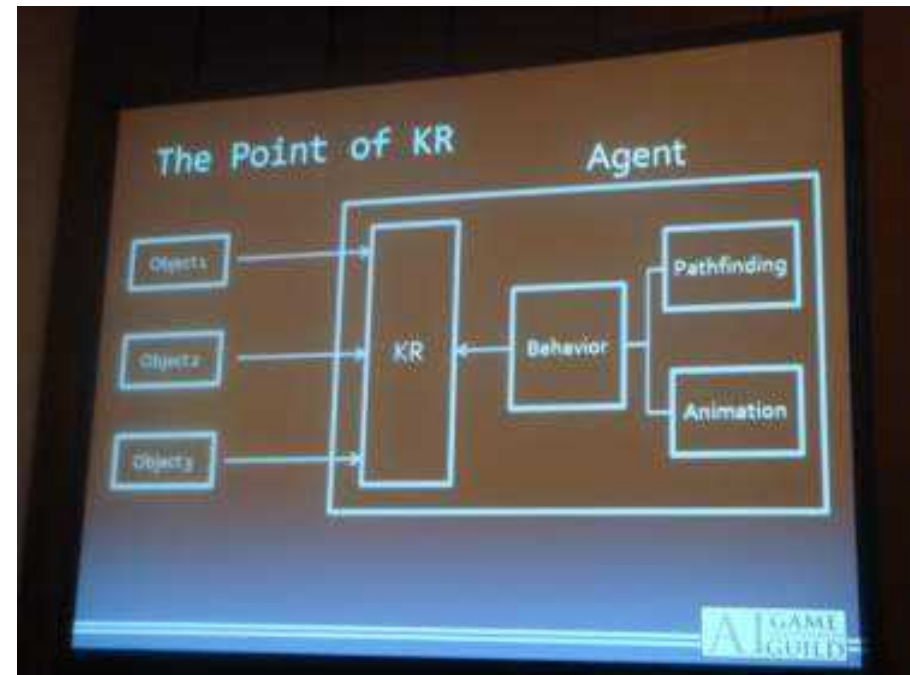
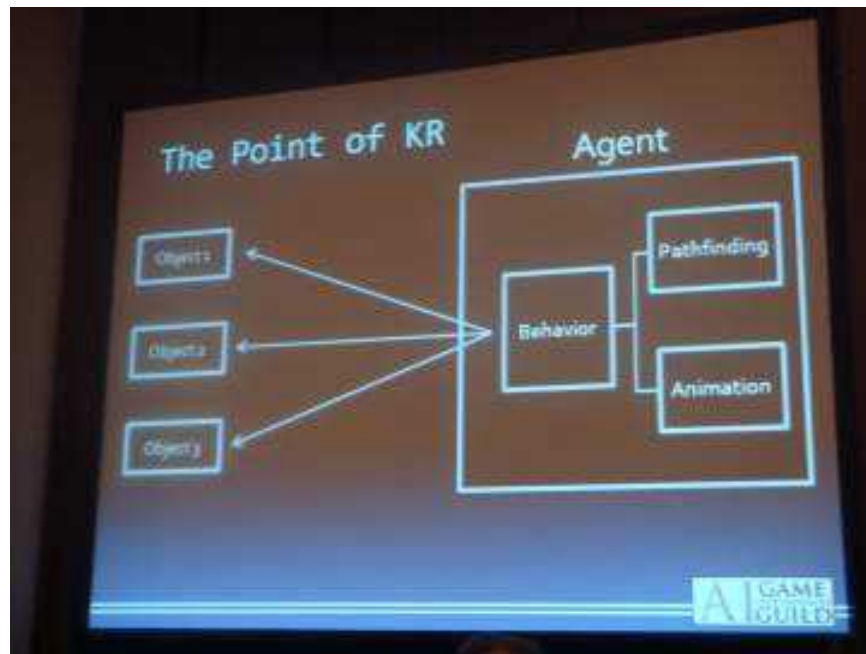
知識表現

AIが「知る」こと自体を作る技術



ゲームAIで最も重要な技術の一つだが、
無視されることが多い。

知識表現



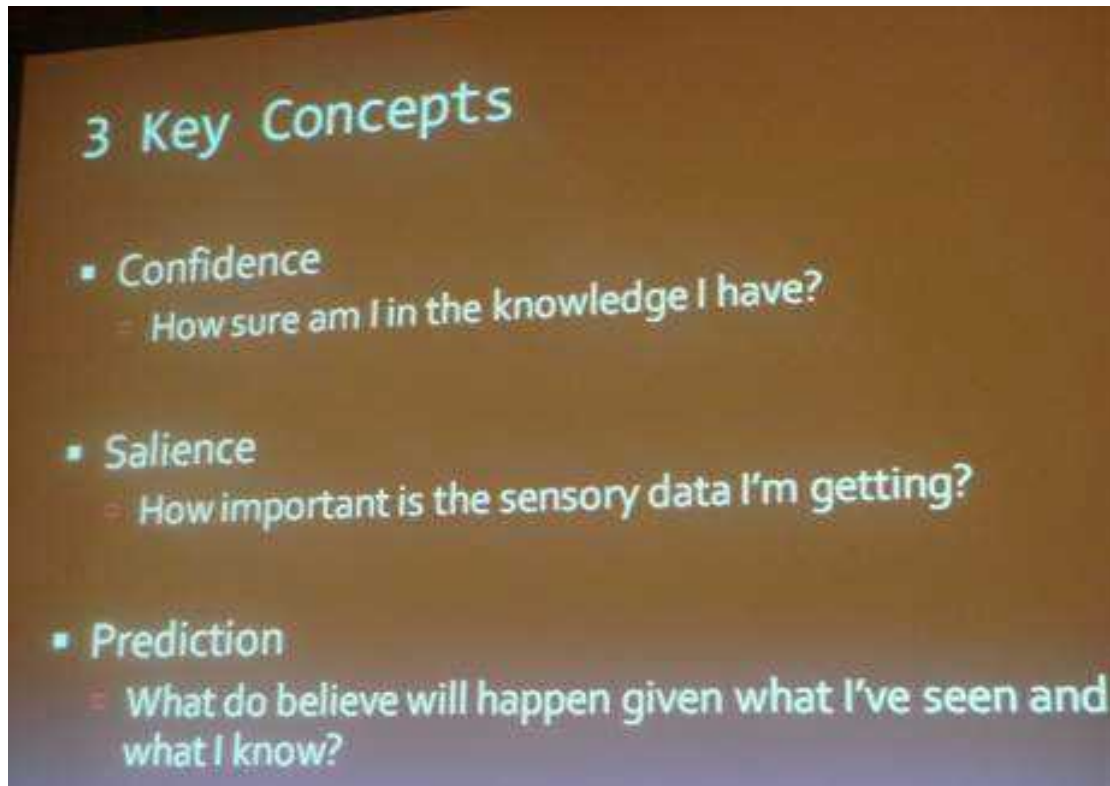
**ゲーム内のオブジェクトをどう認識するか、
ということは、開発者がAIに与えてやらねばならない。**

(プログラムでも知識表現は暗黙ではなく、きちんとフォーマットして実装するべき)

GDC09 資料 <http://cmpmedia.vo.llnwd.net/o1/vault/>

に資料が上がっているが、現在のところリンクが切れている。

知識表現で大切なこと



情報の正確性の指標

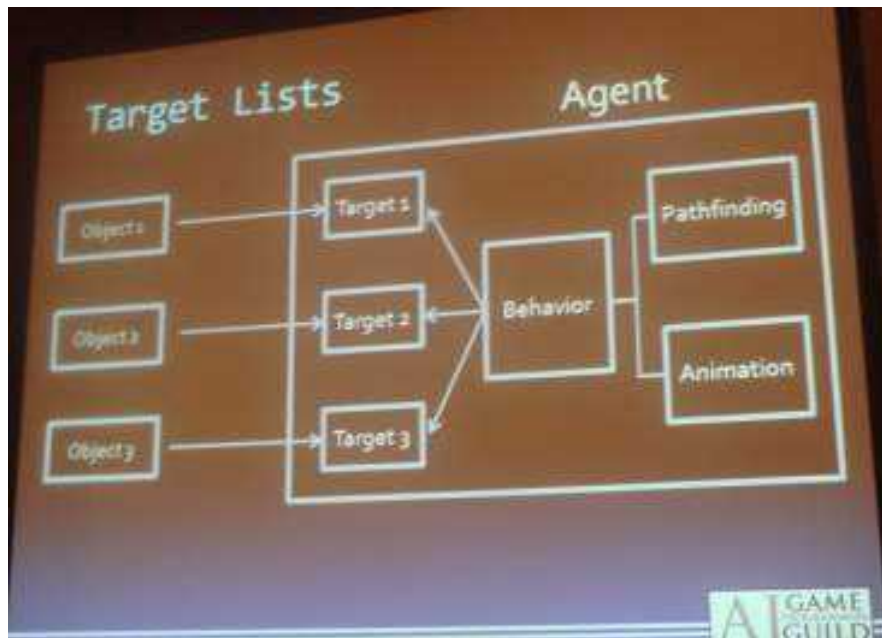
重要性

認識した事柄から
何が予測できるか？

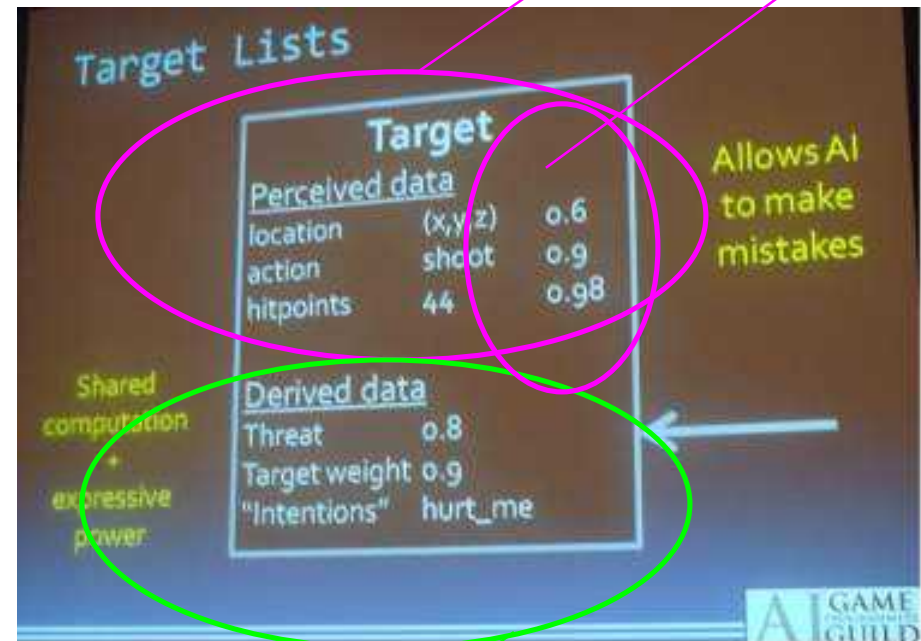
知識表現

直接、知覚した敵ターゲットの情報

信頼度



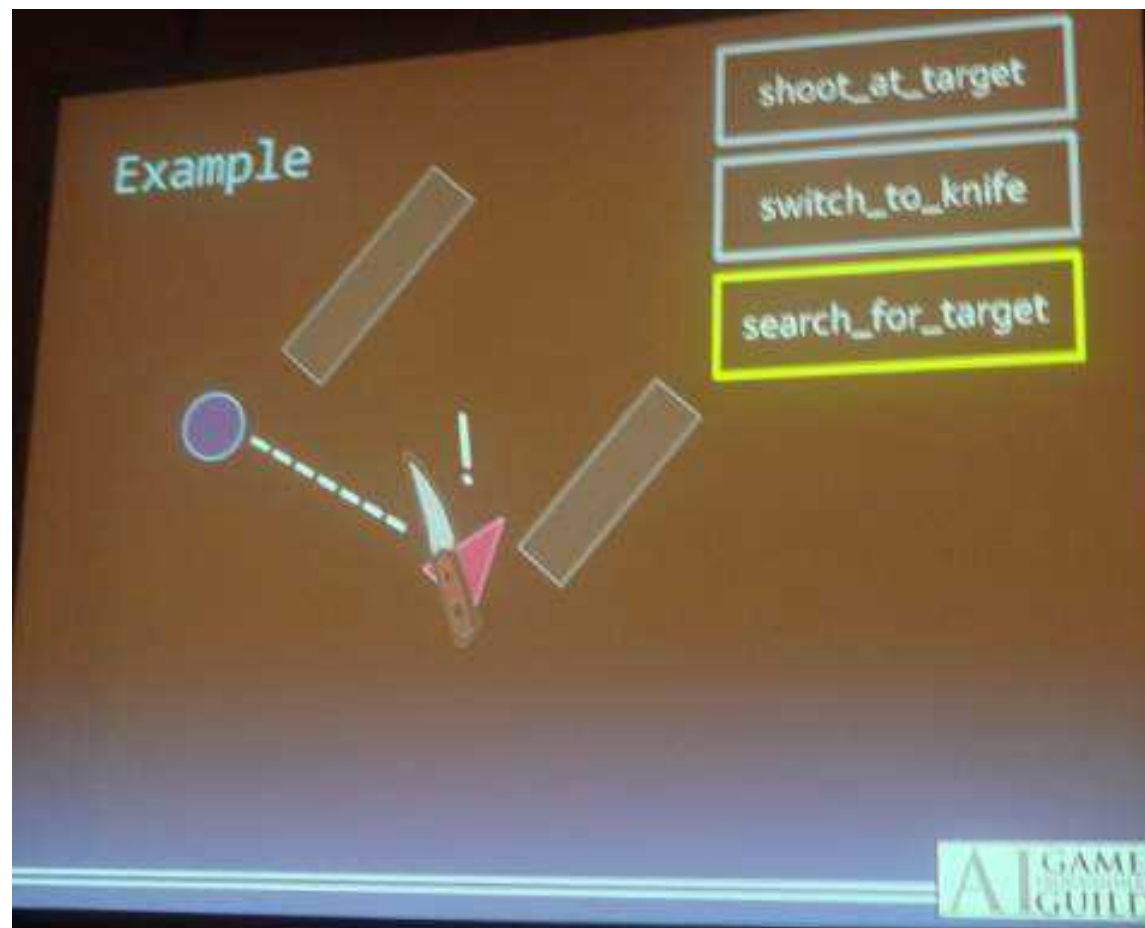
ここでは、敵をどう認識するかを考える。



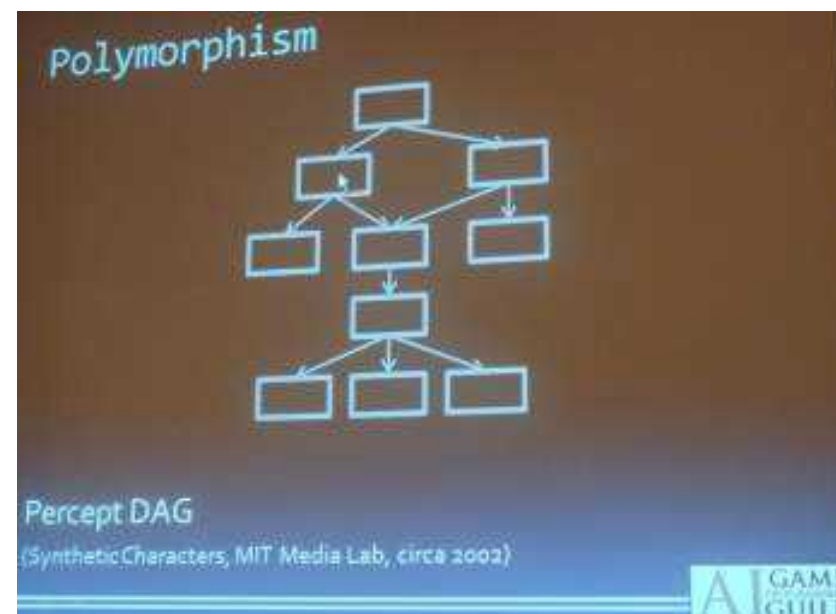
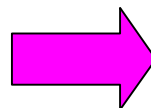
ターゲットのための知識表現。

知覚した情報から導いた情報

知識表現で得た情報から行動を決定



物の認識のための世界表現



多様な世界をどう捉えるか？

認識ツリーで捉える。

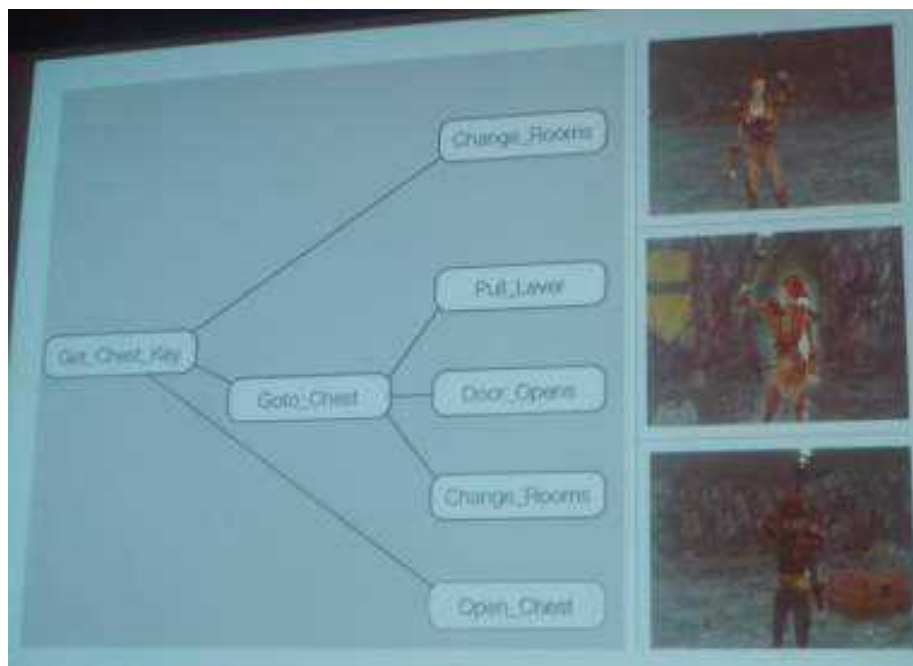
利点：情報量が減らせる

判断＝分岐

分岐条件を学習できる

特に重要なものの「アフォーダンス」表現

ゲーム内でオブジェクトやその場で出来る行為のこと
どのような行為が許されているか＝アフォーダンス



参考文献

- (1) **ゲームAI連続セミナー第1回「KillzoneにおけるNPCの動的な制御方法」**

<http://www.igda.jp/modules/mydownloads/visit.php?cid=2&lid=60>

- (2) Bungie Publication Site (Damian Isla **の書いた資料には、常にこの知識表現の大切さが説かれています。それは、Halo AI の基礎になっています**)

<http://www.bungie.net/Inside/publications.aspx>

- (3) **「エージェント・アーキテクチャーから作るキャラクターAI」**

(CEDEC2007、三宅)

<http://www.igda.jp/modules/mydownloads/visit.php?cid=2&lid=78>

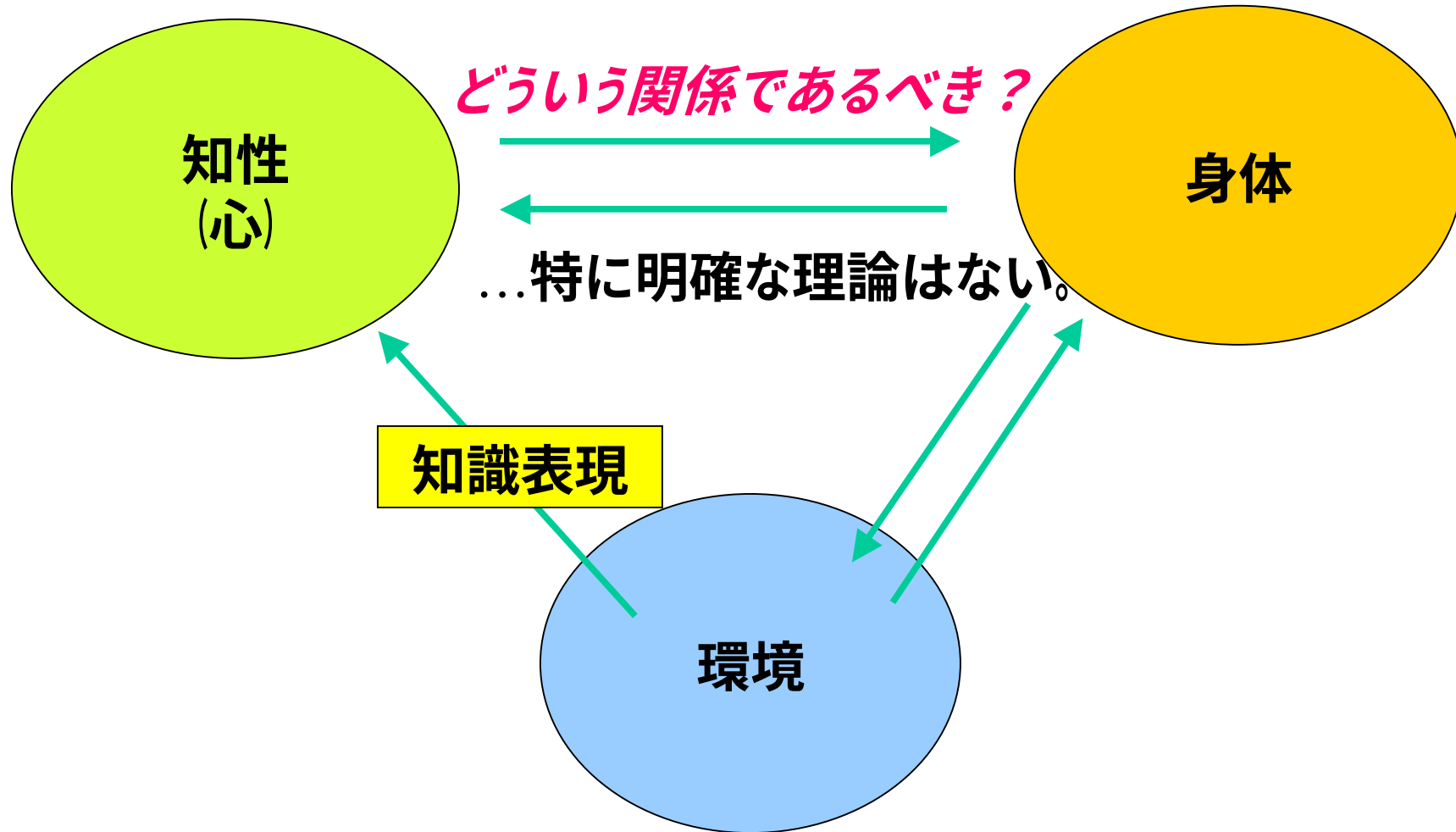
(MIT メディアラボのバーチャルな世界の犬の学習について解説しています)

第2部

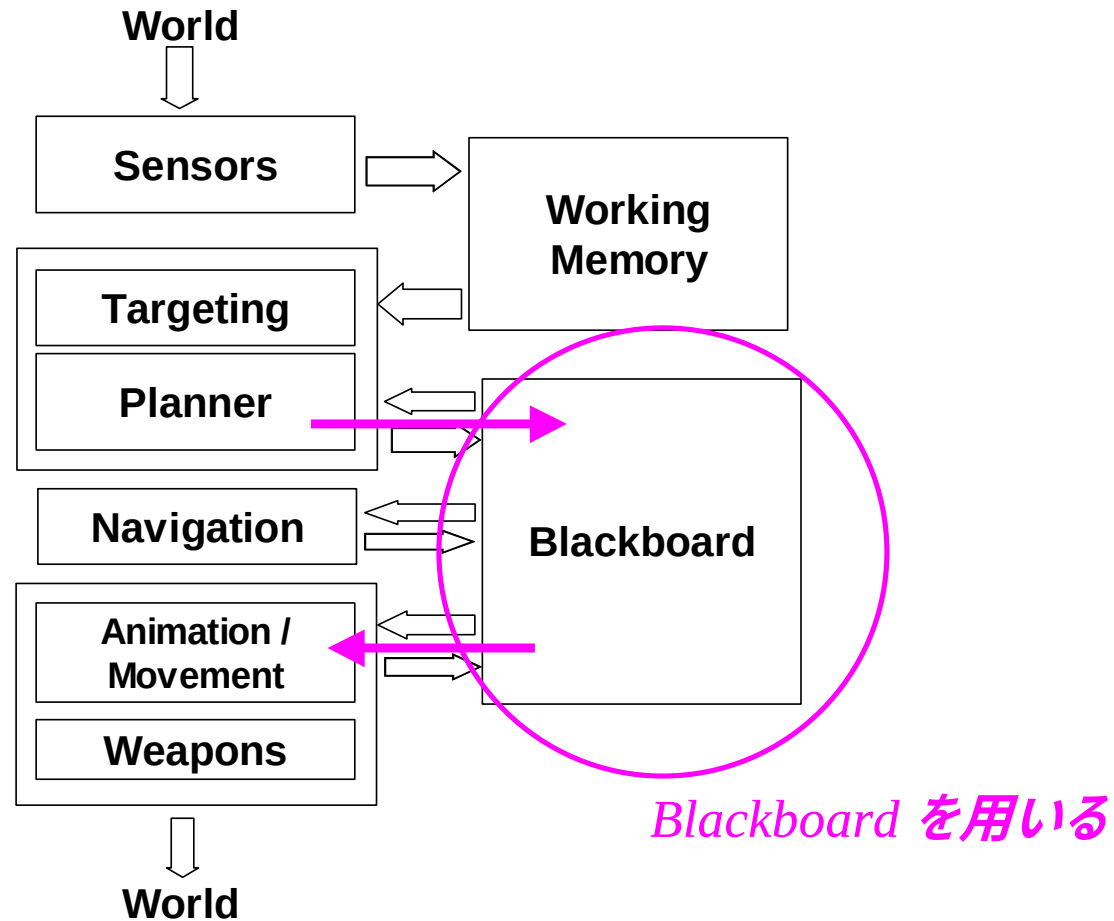
自律型AIを作る (30分)

- ① AIのコア・エンジンの部分を作る
- ② AIに環境を認識させる。
- ③ 知性からキャラクターの動作を制御する。
- ④ 身体のアニメーションと環境の相互作用を構築する。

自律型AIの作り方 (+環境)



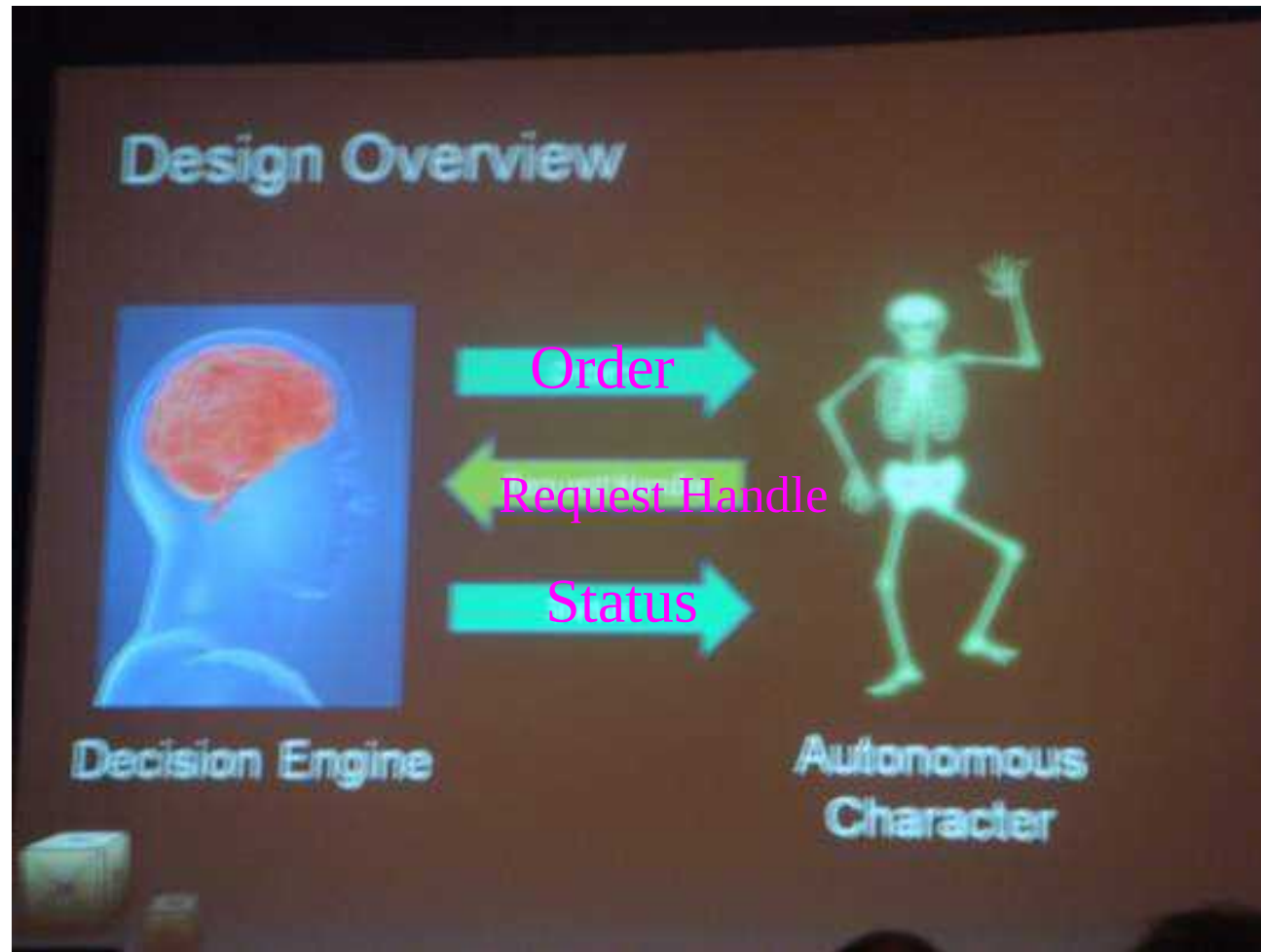
実装例：Jeff Orkin による F.E.A.R.(Monolith Soft)の実装



Jeff Orkin <http://web.media.mit.edu/~jorkin/>

Animating
in a Complex World:
Integrating
AI and Animation

実装例: Christian Gyrling(Naughty Dogs)



AIとキャラクター、アニメーションの分離

AI and Character Separation

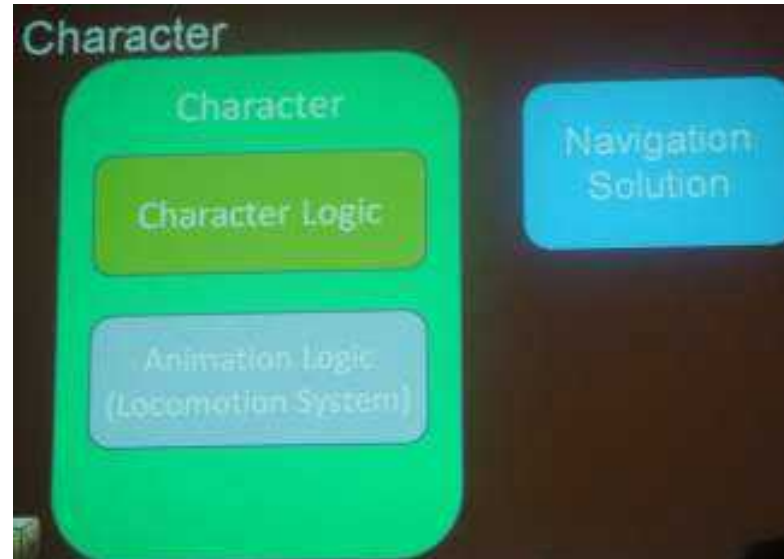
- Not just AI and Animation any more...
 - AI, Character and Animation
- Character testing drove this natural separation
 - 3 users of the Character Interface
 - AI
 - Animators and Character Programmers
 - Scripters

意思決定部分と身体制御部分は、独立したシステムとして実装し、コミュニケーションするようにする。

分離する利点

Character

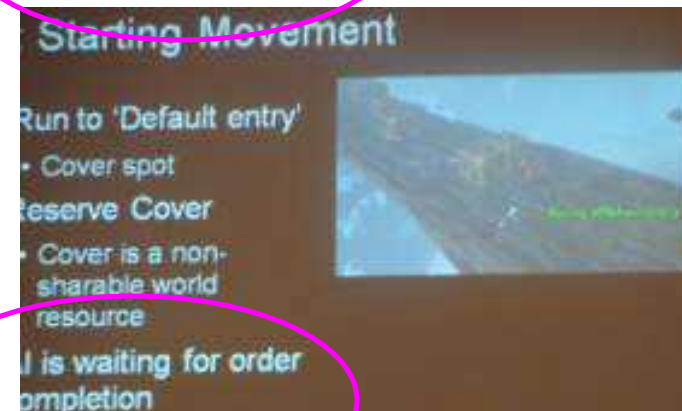
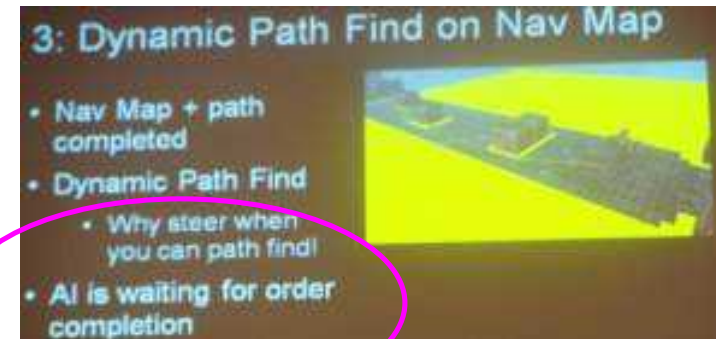
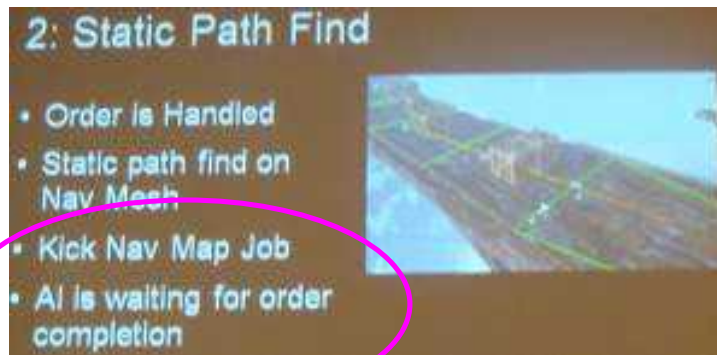
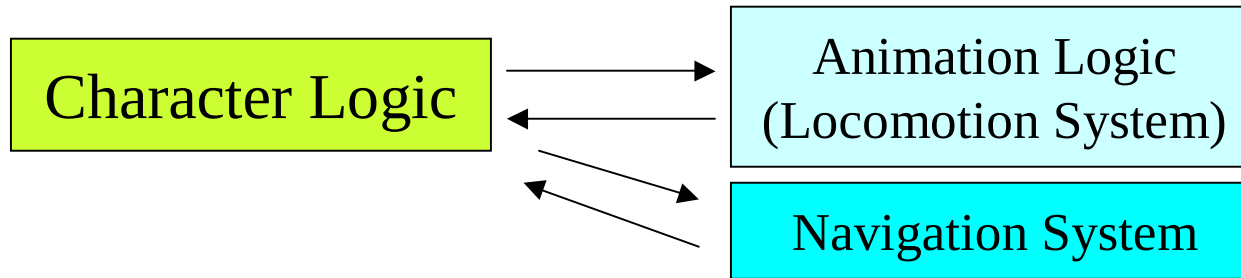
- Handling Orders
- World / Navigation Queries
- Path Finding
- Animation Modules
- Voluntary and Involuntary Movement
 - Walk vs. Hit Reaction



Advantages of this separation

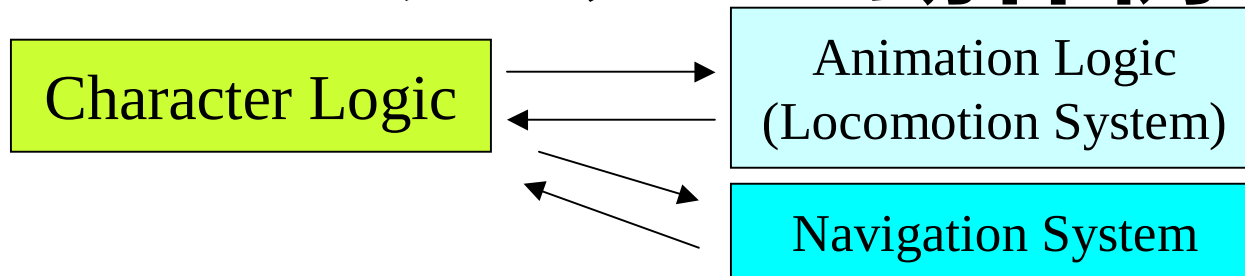
- Behavior logic is separate from Animation Logic
 - Simpler and less behavior code
- Navigation and Animation complexity is not Character's responsibility
- AI logic update rate and frame rate can be different
- Behavior Logic is easily shared
- Great for asynchronous code...

ランタイム動作例



AIはオーダーを投げて、それが完遂されるのを待つ。

ランタイム動作例



5: Resolving Entry

- Found Special Entry Animation
- Re-path to 'start of cover entry animation' position



7: Entering

- Special cover entry animation is now playing
- AI is still waiting for order completion



6: Adjusting

- Adjusting speed and direction to entry
- No Pose Matching
 - Not required due to speed of Character



8: Cover Reached

- 'In Cover' pose reached
 - Blending still ongoing
- Order is completed
- AI makes new decisions and issues new orders



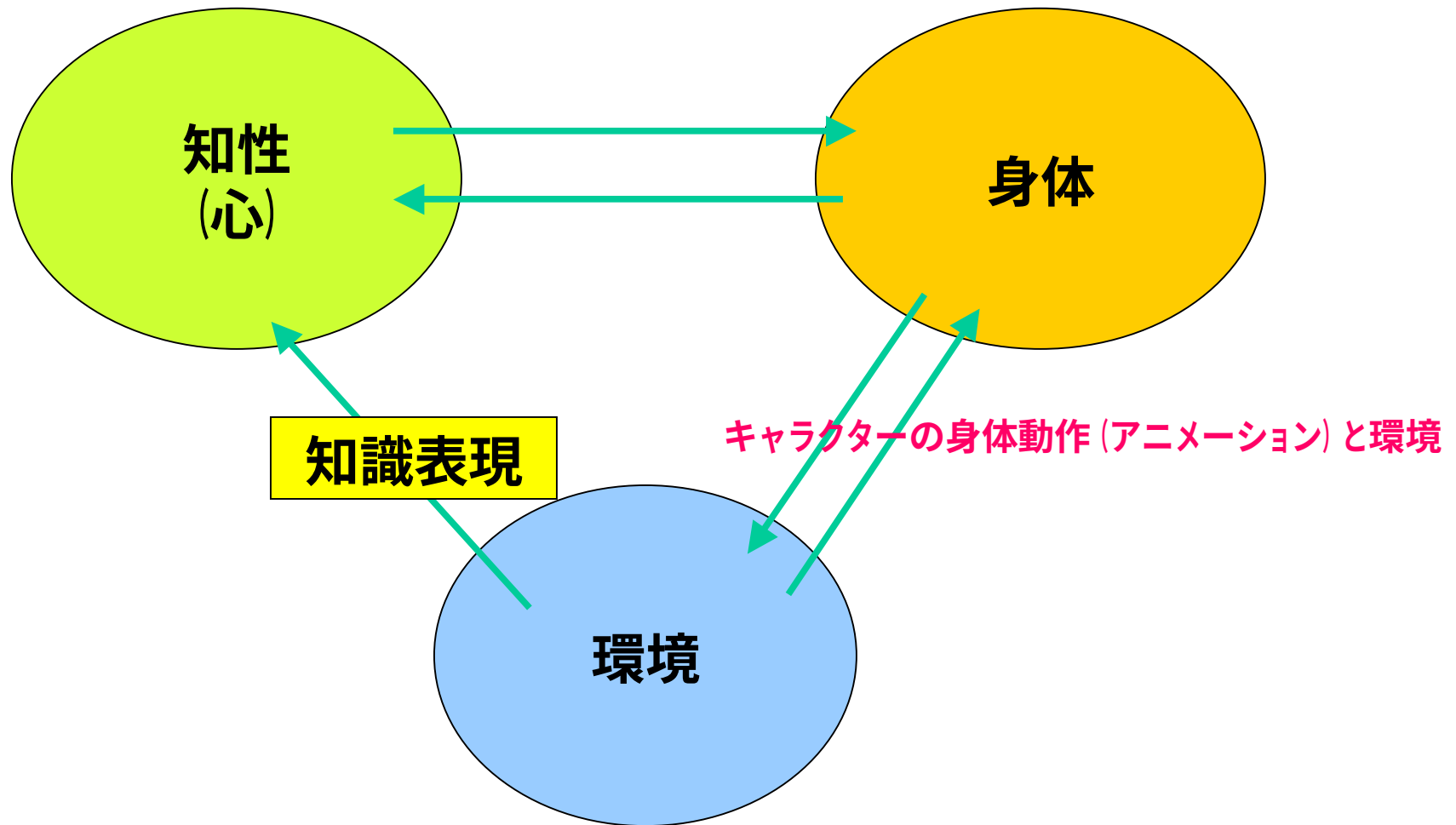
AI, キャラクター、動作・システム、アニメーション・システムは、優れたインターフェースで分離しているのが一番よい。

第2部

自律型AIを作る (30分)

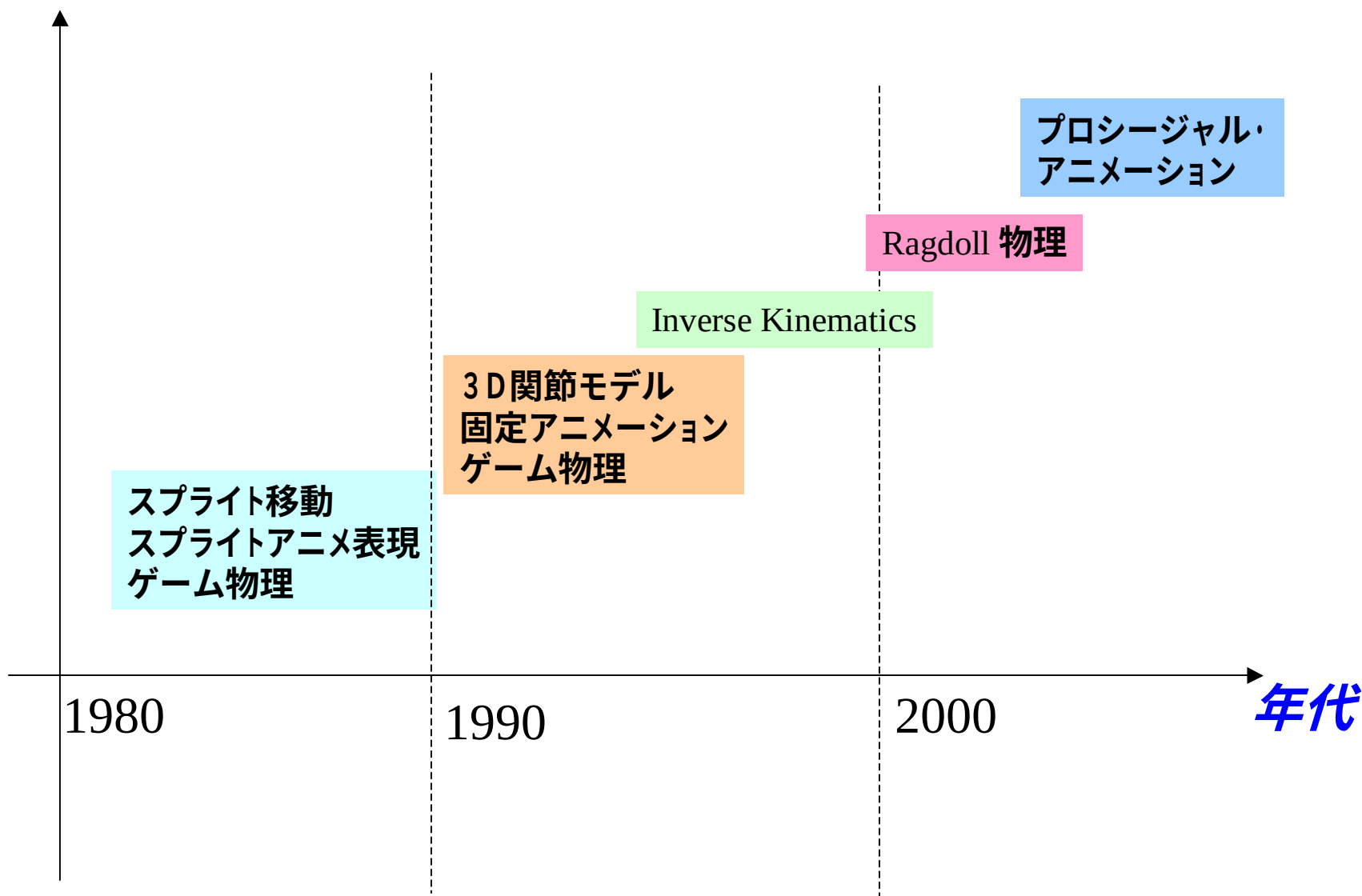
- ① AIのコア・エンジンの部分を作る
- ② AIに環境を認識させる。
- ③ 知性からキャラクターの動作を制御する。
- ④ 身体のアニメーションと環境の相互作用を構築する。

自律型AIの作り方



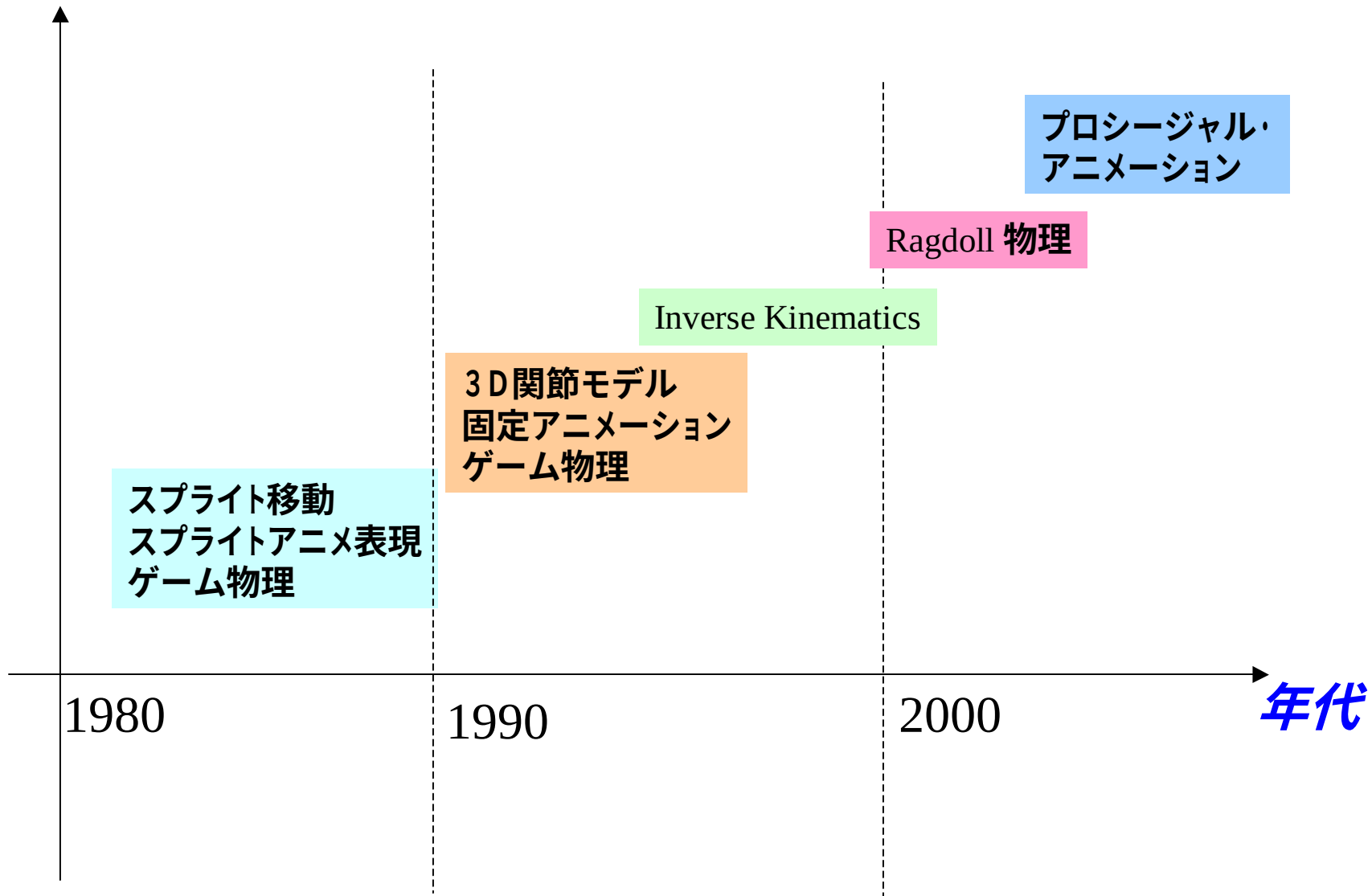
キャラクターの身体動作の歴史

内部構造の複雑さ



キャラクターの身体動作の歴史

運動の自律性

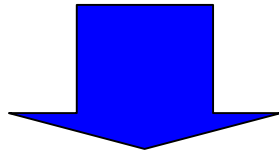


何が課題か？

前提として目指した来たもの

環境との相互作用

衝突処理など環境との相互作用を楽にこなしたい
自然な物理 (ゲーム的にかっこよければよい)
環境内でパスを見つけて、それをたどる。



AIとしての目標となって来たもの

環境を予測した動作

衝突してから対応するのではなく、
あらかじめ予測した行動 (旋回半径のある戦車のパスなど)
パス検索と動作の融合
AIとしてより自然な動き (カーブは滑らかに曲がる)

miyayou@GDC2009

3/23

3/24

3/25

3/26

3/27

AI Summit Introduction and Welcome #define Game AI Preparing for the Future: As a Professional Game AI Developer, What Should I Know? (Panel) Pathfinding And Animation 2008 AI Postmortems: SPORE, GEARS OF WAR 2, and BIOSHOCK (Panel) デザイナーとプログラマの連携 Pathfinding And Animation Characters Welcome: Towards Human AI (Panel)	Breaking the Cookie-Cutter: Modeling Individual Mood, and Emotion in Character キャラクターの個性付け AI Summit When Good AI Goes Bad: Tools, Techniques, and Strategies for Testing and Debugging AI From the Ground Up: AI Architecture and Design Patterns Structure Vs Style The Photoshop of AI: Designing the Structure vs Style Decomposition of Game AI Beyond Behavior: Knowledge Representation Parallelism in AI: Multithreading Strategies and Opportunities for Multi-Core Architectures	基調講演 Pathfinding And Animation Parallelism For AI Modular Animation Rigging Pathfinding And Animation	Pathfinding And Animation 基調講演 From COUNTER-STRIKE to LEFT 4 DEAD: Creating Replayable Cooperative Experiences Pathfinding And Animation HALO WARS: The Terrain of Next-Gen	Procedural and Multi-Core Techniques To Take Visuals to the Next Level Artificial Intelligence SIG State-Based Scripting in UNCHARTED: DRAKE'S FORTUNE and UNCHARTED 2: AMONG THIEVES Lionhead Experiments Revealed Dynamic Walking Procedural Animation
--	--	--	--	---

AI Panel & Discussio
 AI lecture
 Procedural
 Game Design

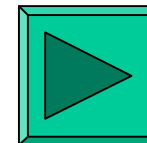
動的なパス検索

Killzone 2 における動的なパス検索

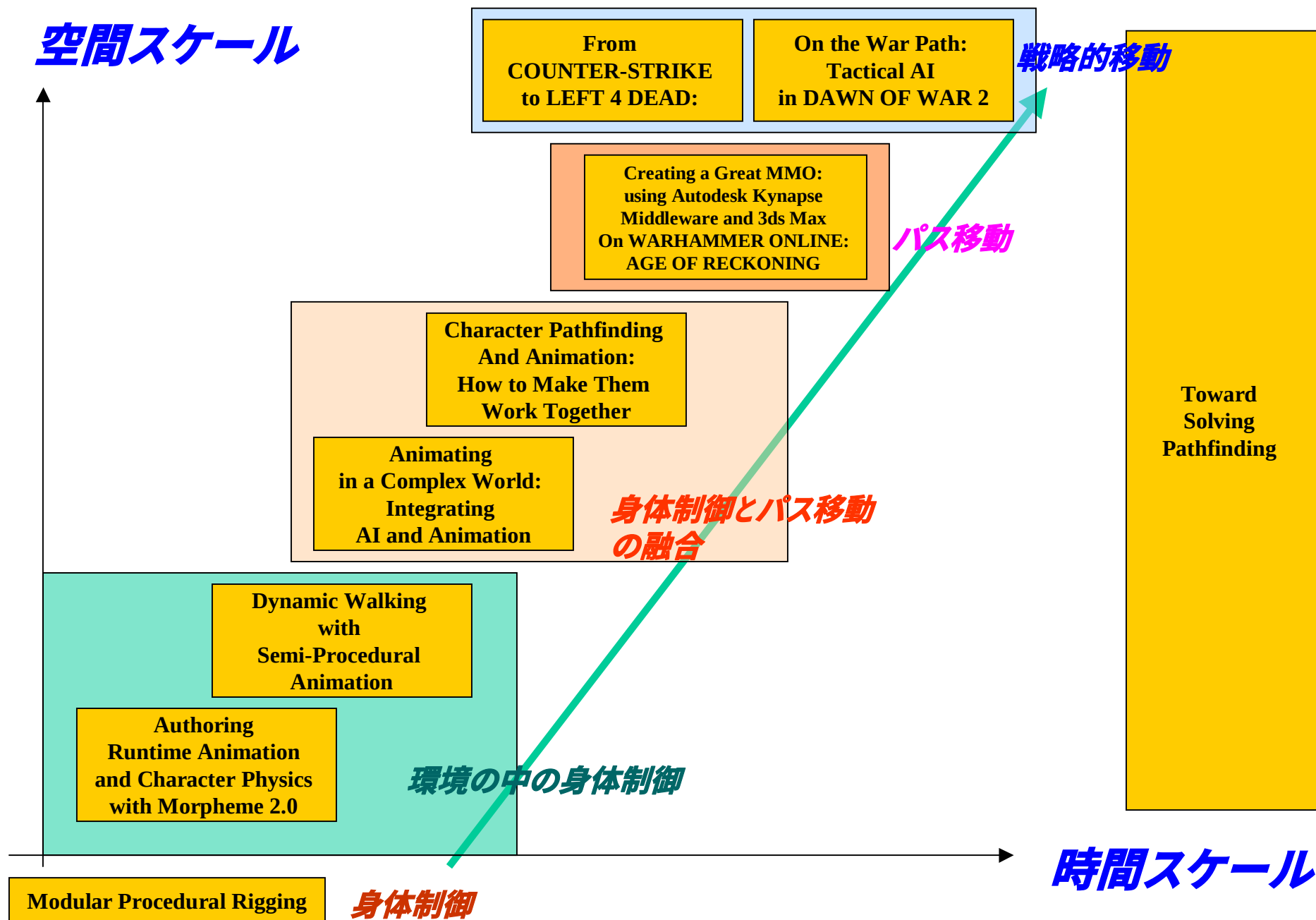


<http://aigamedev.com/videos/sneak-peek-killzone-ai>

ムービー

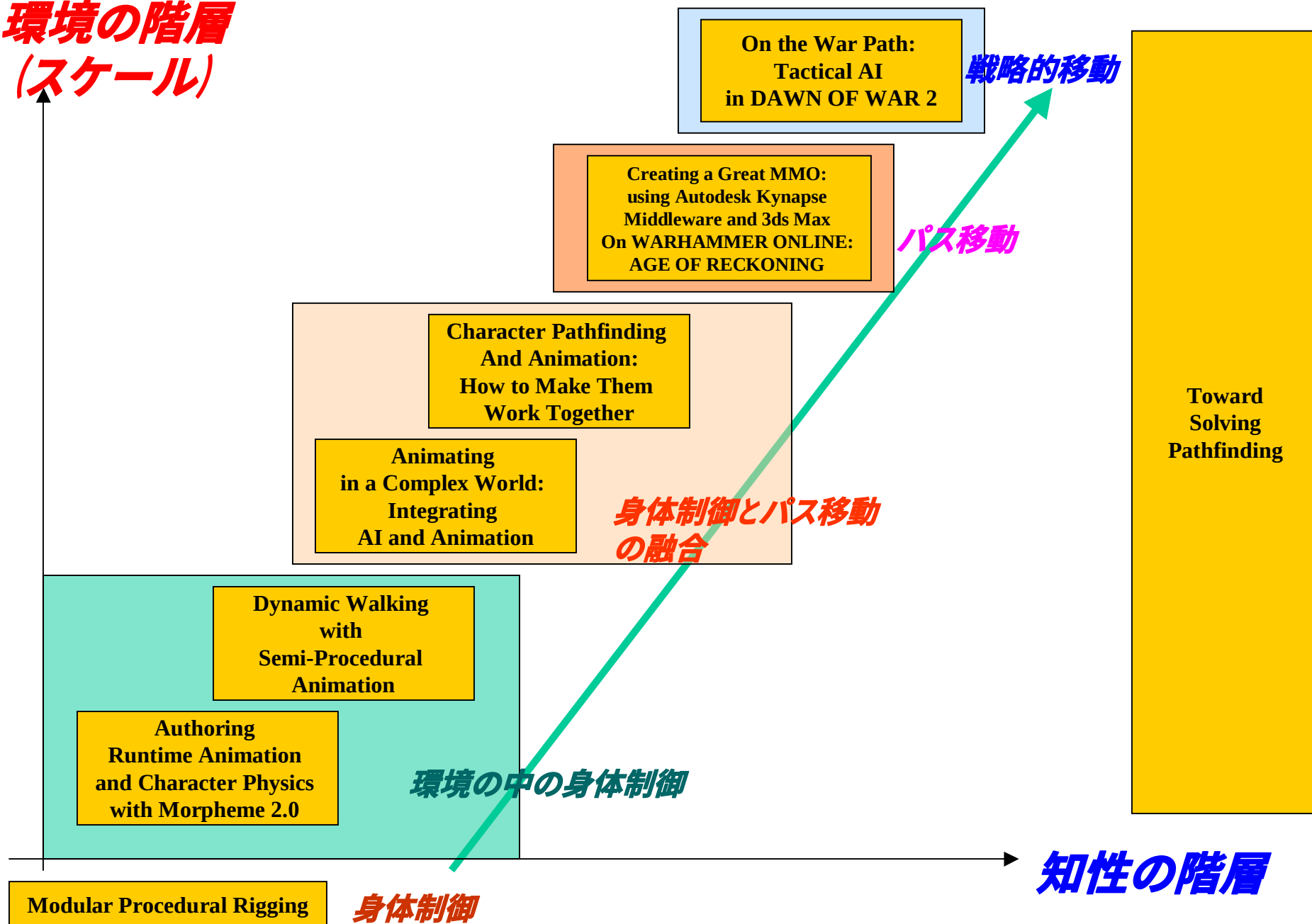


パスファインディングの階層



パスファインディングの階層

環境の階層
(スケール)

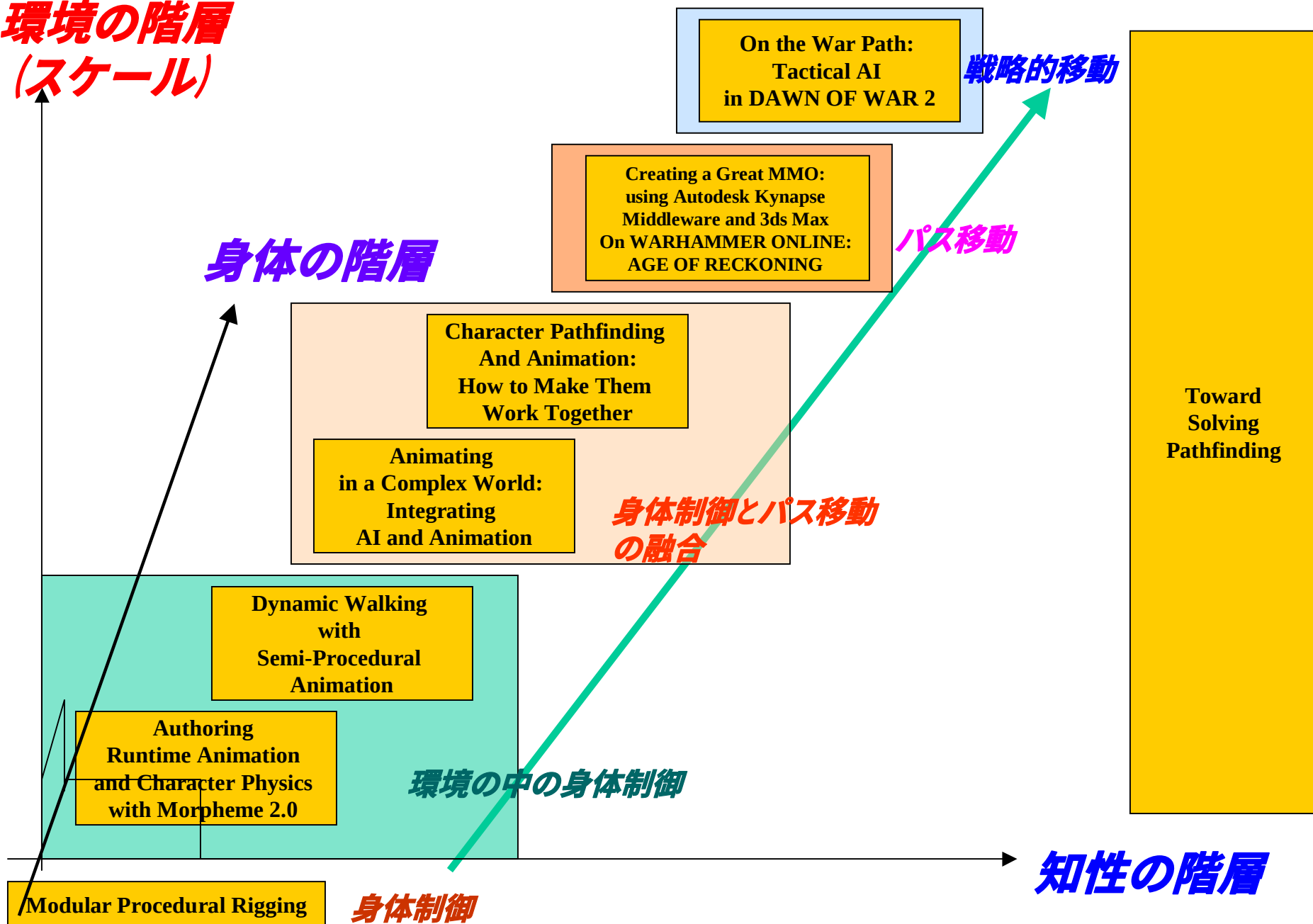


パスファインディングの階層

環境の階層
(スケール)

身体の階層

知性の階層



3/25

Authoring
Runtime Animation
and Character Physics
with Morpheme 2.0

環境とインタラクションしながら リアルタイム・アニメーション動的生成

NaturalMotion



- ①FSM図による遷移図
- ②アニメーション・ブレンドと比率の設定
- ③衝突モデルのGUIによるカスタマイズ

<http://www.naturalmotion.com/morpheme.htm>

3/27

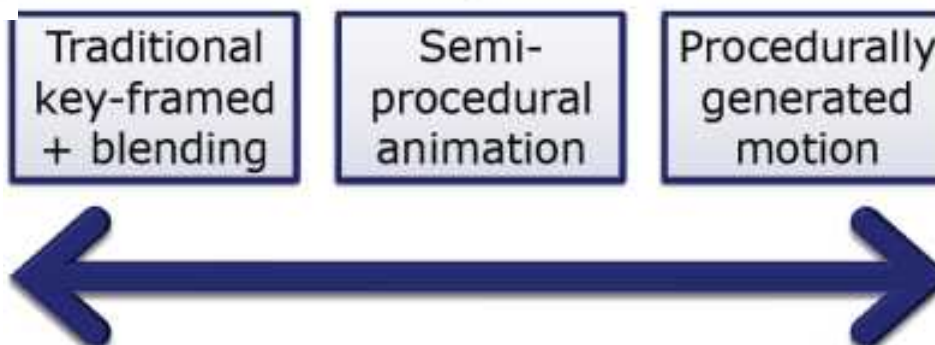
Dynamic Walking
with
Semi-Procedural
Animation

セミ・プロシージャルなアプローチとは？



Best of Both Worlds

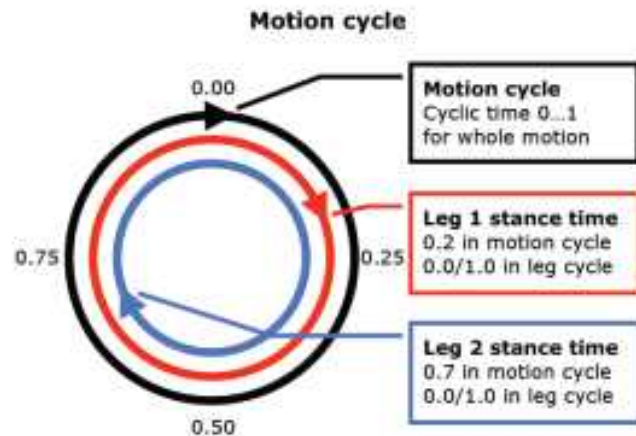
- » Full control over style
- » Dynamic movements



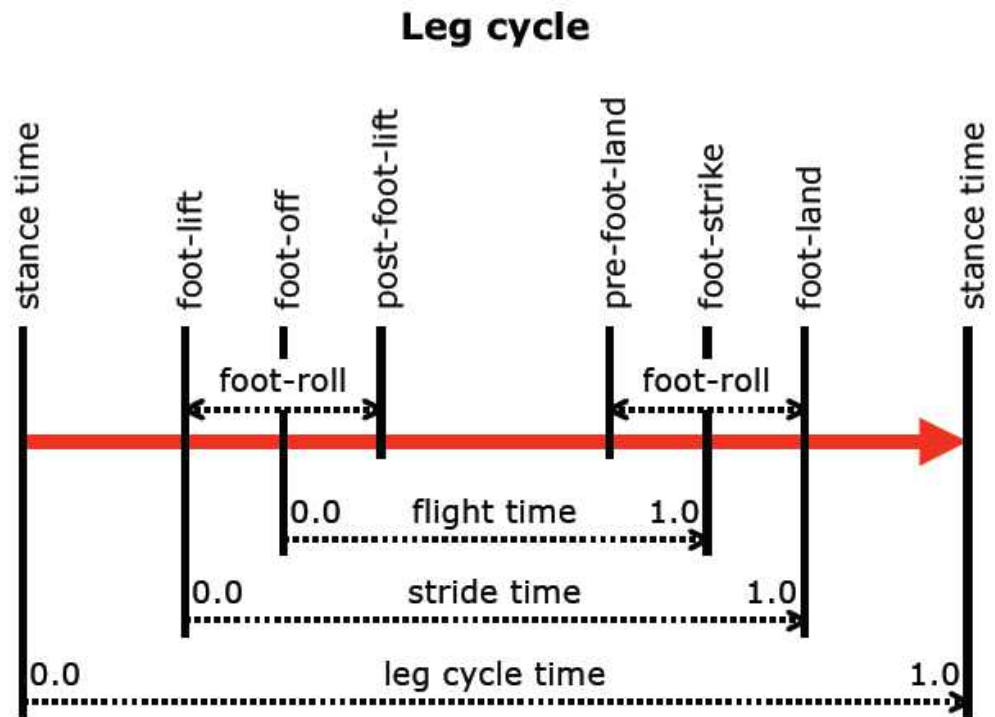
デザイナーが作ったアニメーションと、
その動作を解析した情報を組み合わせて、
プロシージャルに動作を生成する手法

アニメーション・サイクルに着目

The Motion Cycle

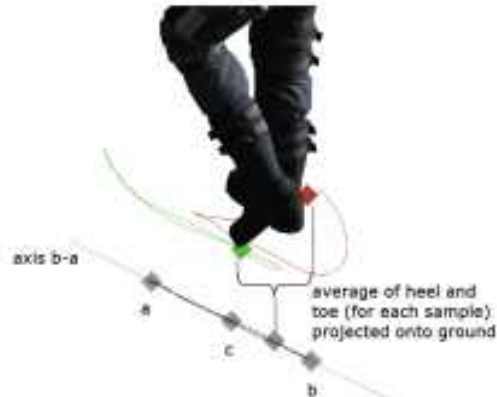


Leg Cycle and Keytimes



作られた動作を解析

Movement Axis



Stance Time

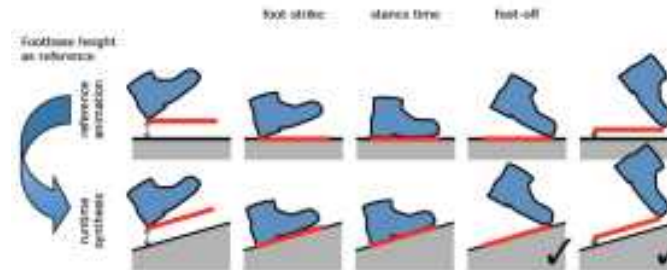


To determine the stance time, a cost value is calculated for each sample based on:

- Height of the heel and toe at that sample
- Position along movement axis (middle=low cost)



The Footbase



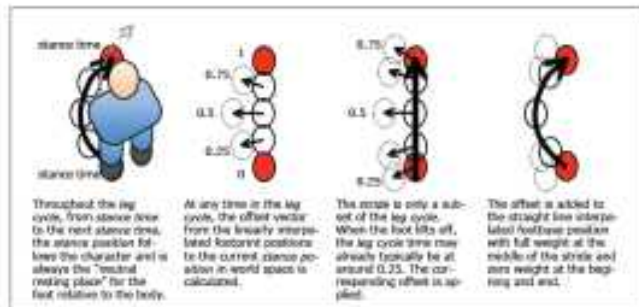
How to measure height of foot over the ground?

- » Find the footbase, given position and alignment of foot, and the slope of the ground
- » Measure the height of the footbase above the ground



解析した情報を応用して、 環境に対してプロシージャル (その場で計算しながら) に適用

Proper Horizontal Curve!



- Use straight line trajectory as a basis.
- Add offset based on current stance position relative to lerped position between prev and next footprint.



Foot Alignment

Pose in original motion

Adjusted pose at runtime

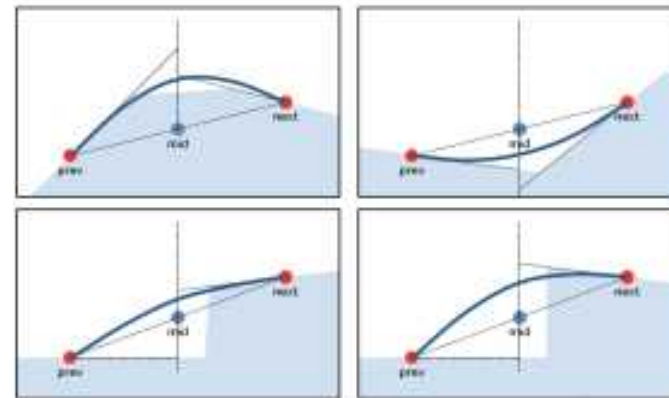


Use IK to get bone alignments between hip and ankle again.

Done. (Perform all steps in each frame.)



Vertical Lift Fitting the Terrain



(This is the base trajectory. The original lifting is later added on top.)



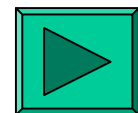
Proper Horizontal Curve!



- Nice smooth curve for any adjusted movement.
- Acceleration ("ease in / ease out") is still based on normalized footbase trajectory.



ムービー



参考文献

(1) Locomotion System (Rune Skovbo Johansen氏のページ)

<http://runevision.com/multimedia/unity/locomotion/>

(2) Unity Locomotion System

<http://unity3d.com/support/resources/example-projects/locomotion-ik>

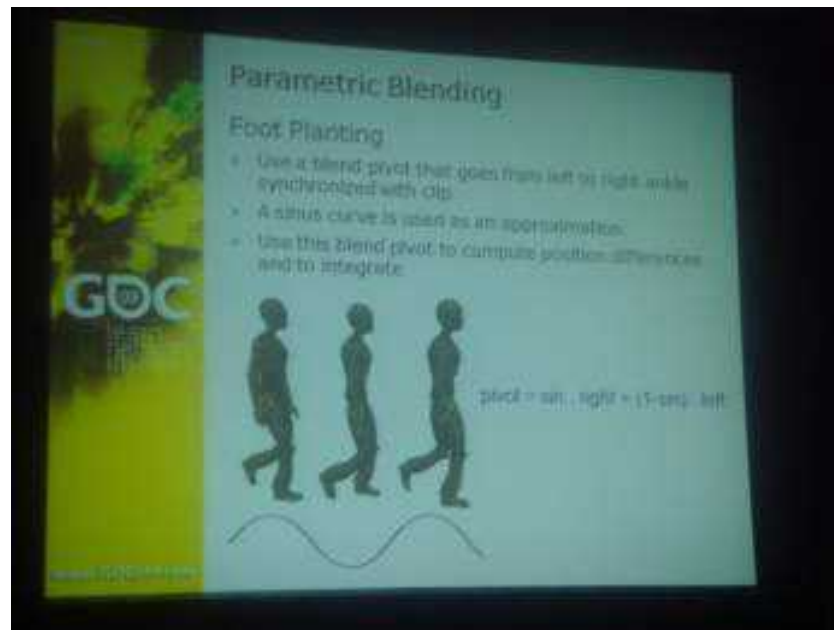
3/25

**Character Pathfinding
And Animation:
How to Make Them
Work Together**

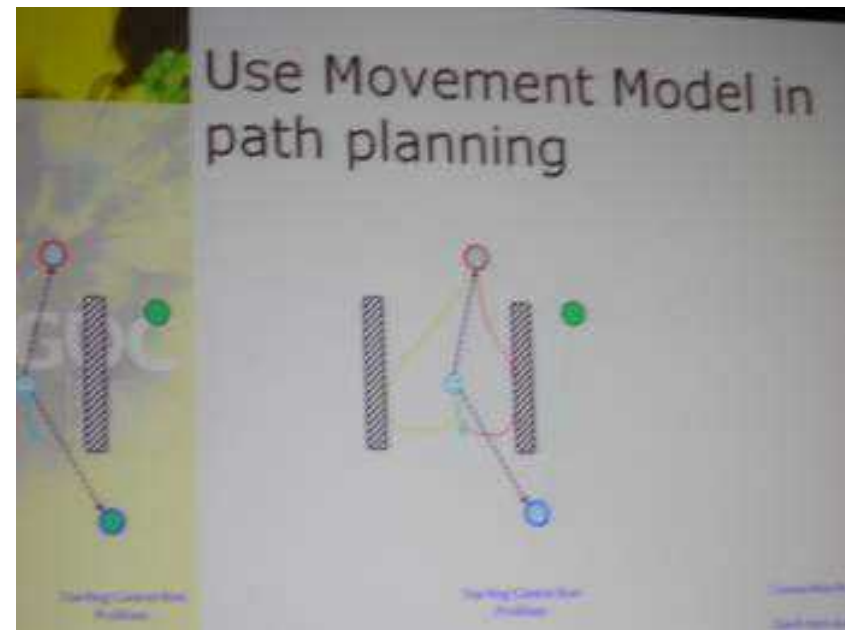
アニメーションと パスファインディングの融合 (試論)

Pierre Pontevia, Senior Director of Product Development, Autodesk

Robert Lanciault, Senior Product Engineer, Autodesk



パラメトリックなモーションの生成



スピードや向きを考慮したモーションの軌跡を
想定したパスの生成

<http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/index?siteID=123112&id=12281405>

Company of Heroes のAIの 旋回半径を考慮したパス検索



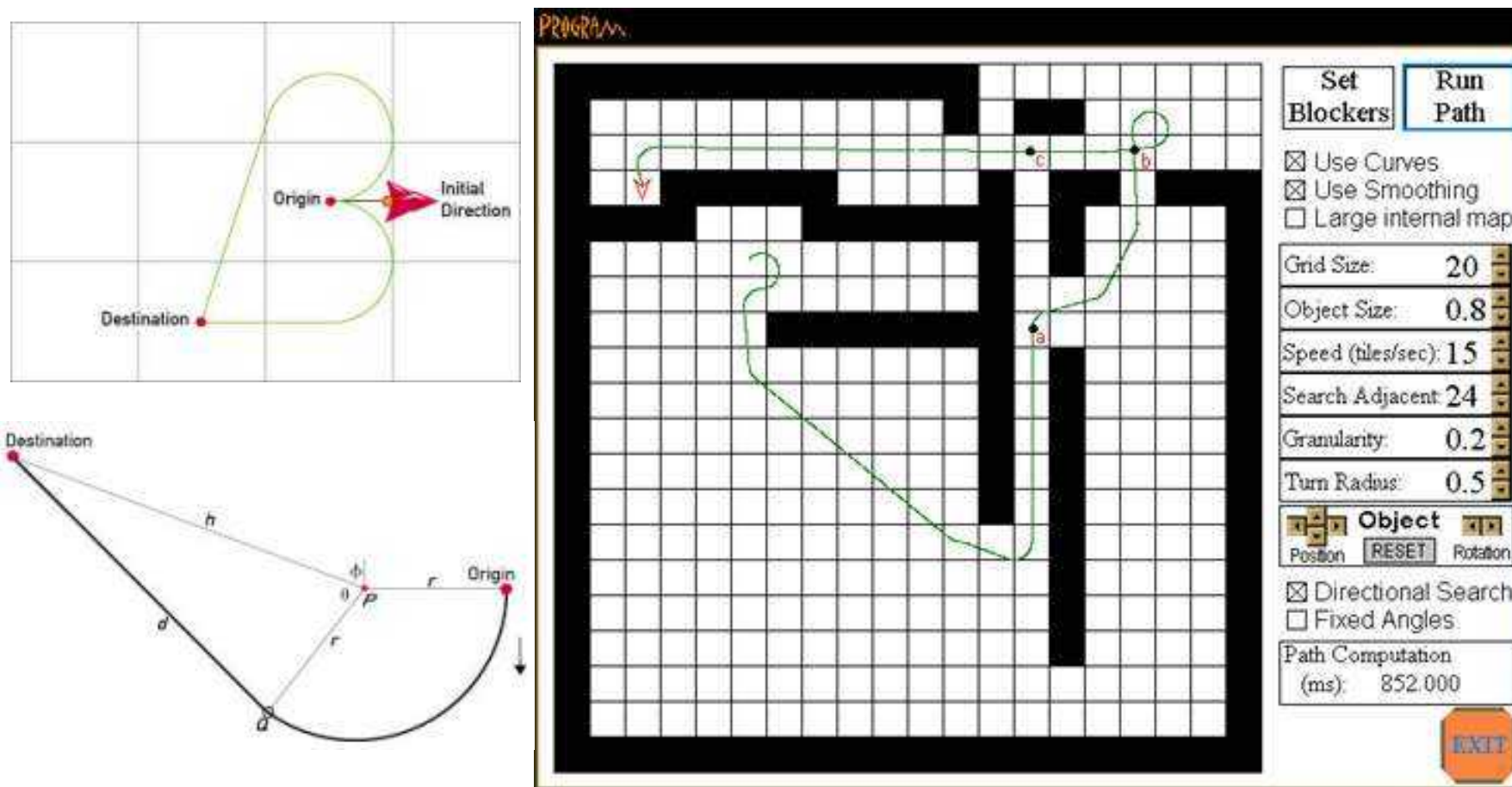
From the book: AI Game Programming Wisdom 4

2.1 Company of Heroes Squad Formations Explained Chris Journey (Kaos Studios)

2.11 Postprocessing for High-Quality Turns Chris Journey (Kaos Studios)

<http://gdc.chrisjourney.com/>

AIの旋回半径を考慮したパス検索



Toward More Realistic Pathfinding

http://www.gamasutra.com/features/20010314/pinter_pfv.htm

3/25

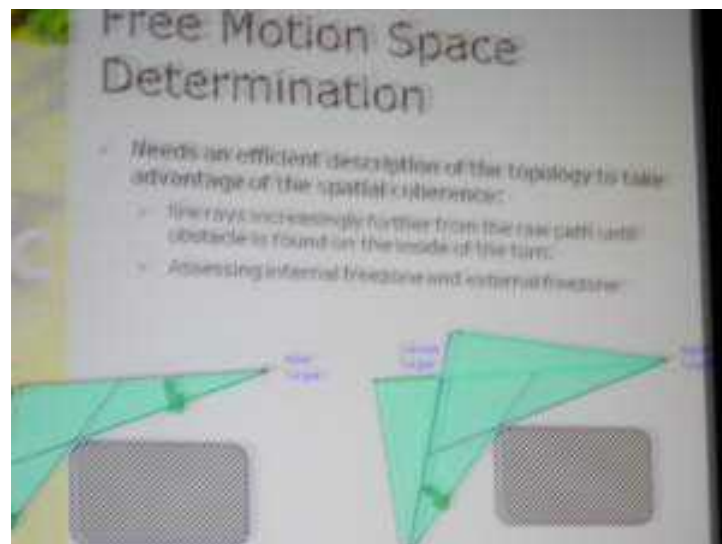
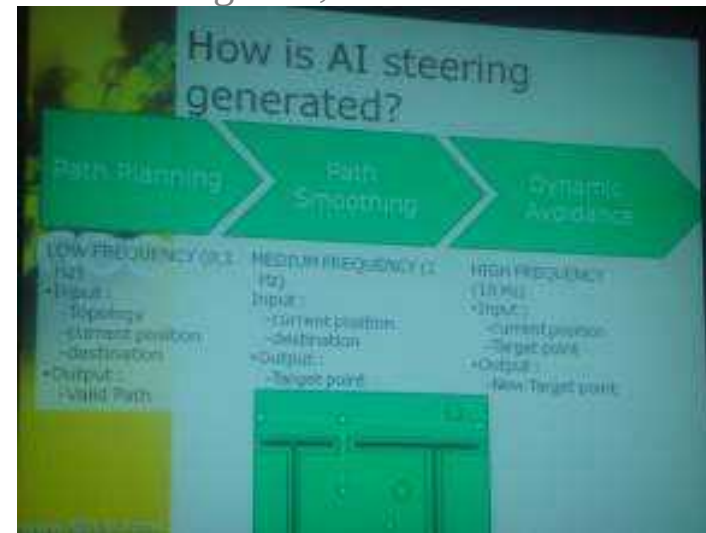
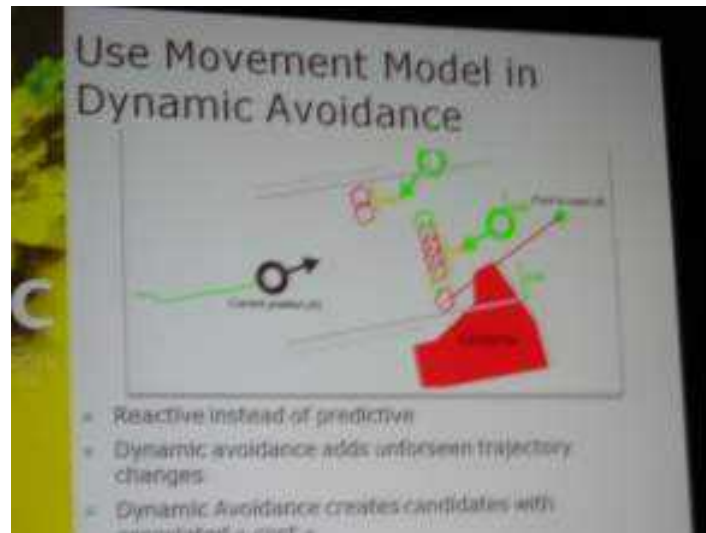
**Character Pathfinding
And Animation:
How to Make Them
Work Together**

アニメーションと

パスファインディングの融合 (試論)

Pierre Pontevia, Senior Director of Product Development, Autodesk

Robert Lanciault, Senior Product Engineer, Autodesk

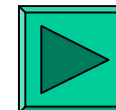


Pathfinding

→ Path Smoothing

→ Dynamic Avoidance

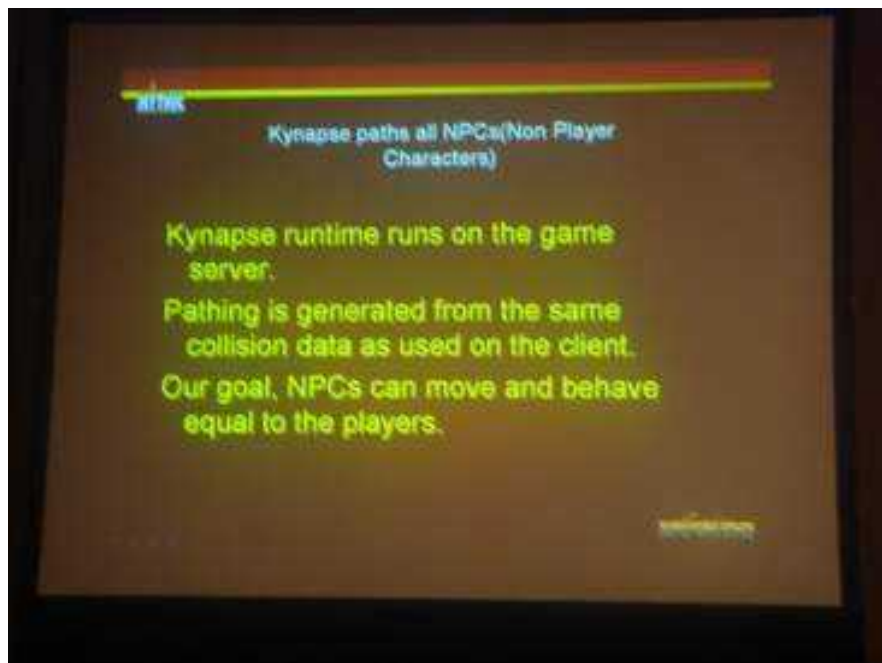
ムービー



3/26

Creating a Great MMO:
How Mythic Entertainment
Solved Production Challenges
using Autodesk Kynapse
Middleware and 3ds Max
On WARHAMMER ONLINE:
AGE OF RECKONING

ミドルウェアによる キャラクター制御の解決



3/26

Creating a Great MMO:
How Mythic Entertainment
Solved Production Challenges
using Autodesk Kynapse
Middleware and 3ds Max
On WARHAMMER ONLINE:
AGE OF RECKONING

ミドルウェアによる キャラクター制御の解決

MYTHIC

Pathing still takes time or how Kynapse
reduced global warming

- Our old pathing system would literally take a day or more to path a zone.
- Kynapse, with its distributed generation allows us to repath a zone in minutes.
- Expect to dedicate some machines to this...



"The power of making war often prevents it."

コリジョンモデルからのパスデータの自動生成

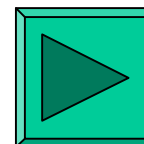
動的なパス検索

Killzone 2 における動的なパス検索



<http://aigamedev.com/videos/sneak-peek-killzone-ai>

ムービー



参考文献

- (1) ゲームAI連続セミナー第1回「KillzoneにおけるNPCの動的な制御方法」 <http://www.igda.jp/modules/mydownloads/visit.php?cid=2&lid=60>
- (2) Killzone2 Dynamic Pathfinding
<http://aigamedev.com/videos/sneak-peek-killzone-ai>

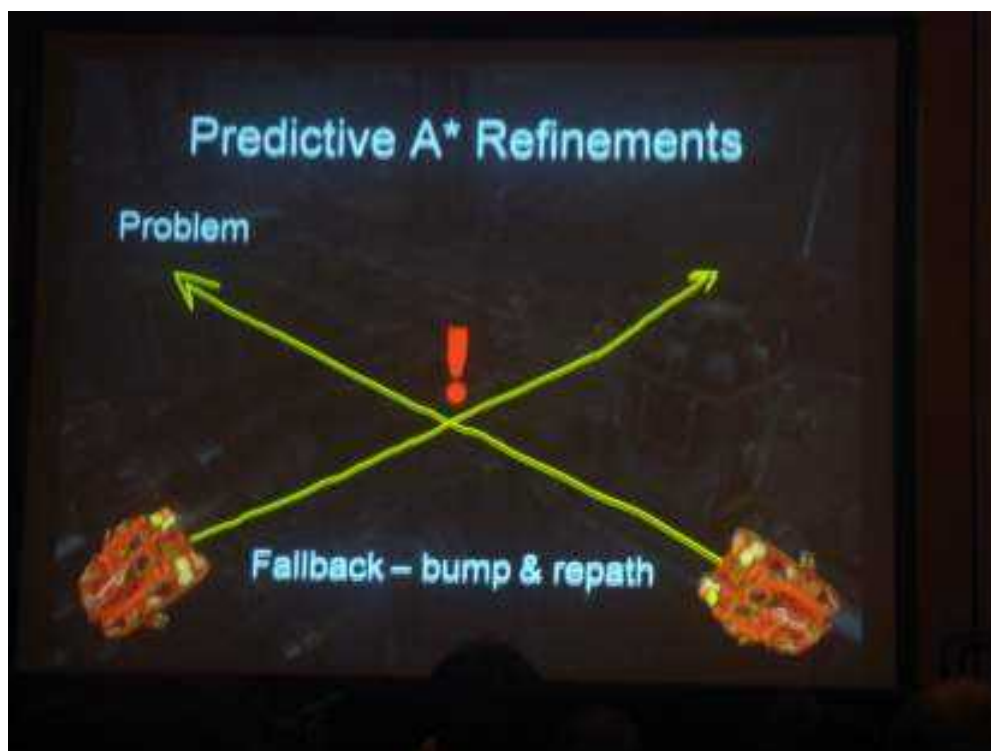
3/26

On the War Path:
Tactical AI
in DAWN OF WAR 2

タイルベースによる群れAIの制御

① 空間的

他のAIが通るメッシュへ行かない



② 時間的

他のAIが通ってから行く



複数のAIの予測されるパスの衝突の
回避の仕方

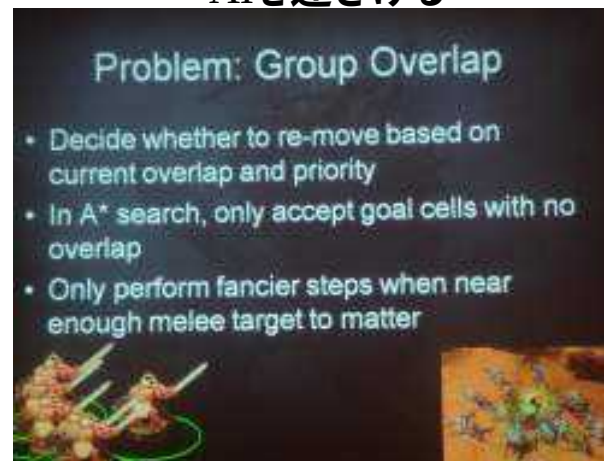
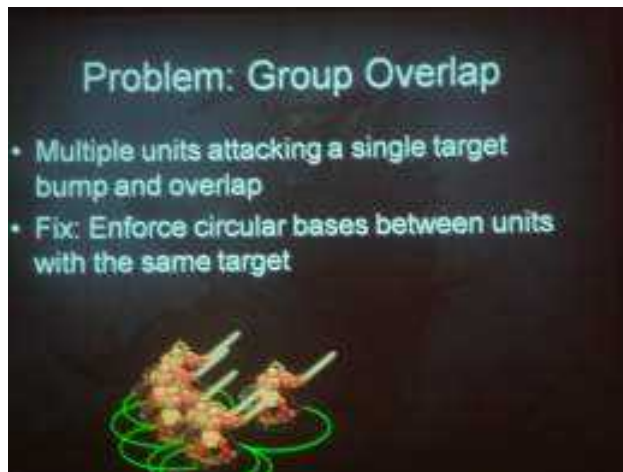
複数のユニット制御とタイルベースパス



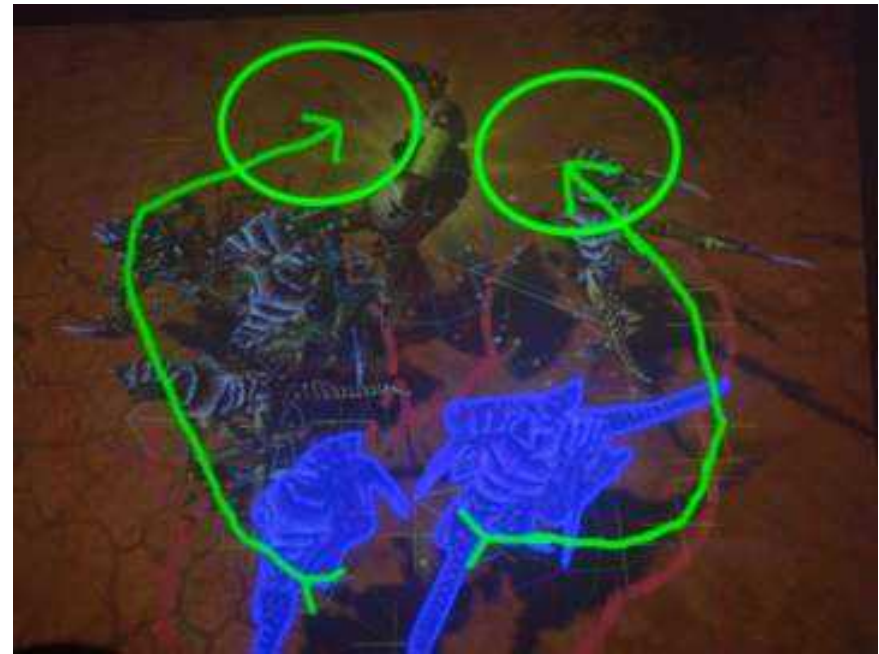
単体ならスイスイと進む



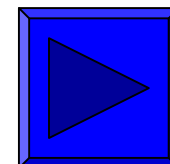
複数のときは、サークルベースで衝突を避ける
また、オーバーラップと優先度から混在した
AIを遠ざける



複数のユニット制御とタイルベースパス



ムービー



参考文献

「Dawn Of War 2」のパス検索の講演

<https://www.cmpevents.com/GD09/a.asp?option=C&V=11&SessID=8855>

の資料が、以下で公開されていますので、ご参照ください。

<http://gdc.chrisjurney.com/>

2007年から、Chris Journey が講演した資料が含まれています。

Relic で使われている A* のコードもあります。

第2部まとめ

- ① AIの内部変数として、時間的に自律変化する変数 (=関数) をセットすることで、自律的な知性のエンジンを作ることが出来る。
- ② 知識表現を用いてAIに認識を作ることが出来る。
- ③ 知性から身体の制御を行うには、階層的な構造が適している。
- ④ 環境と身体の間は、プロシージャル、半(semi)プロシージャル、固定アニメーションとブレンドの手法があり、これから最も注目される部分である。

第2部まとめ②

**パス検索 (キャラクター移動) はAIの足腰である。
その上にはじめて、高度な意思決定が可能になる。**

**自然な移動が出来るようになったということは、
もうAIの7割が出来たと思ってよい。**

第3部 メタAI (10分)

- ① AIのコア・エンジンの部分を作る
- ② AIに環境を認識させる。

デジタルゲームの簡易モデル

基本的にこの4つの要素の
何れにも、AI (知的機能) を
組み込むことが出来る。

開発者

ゲームの意図

ゲームシステム
(ゲーム・ロジック)

ゲーム・デザイン

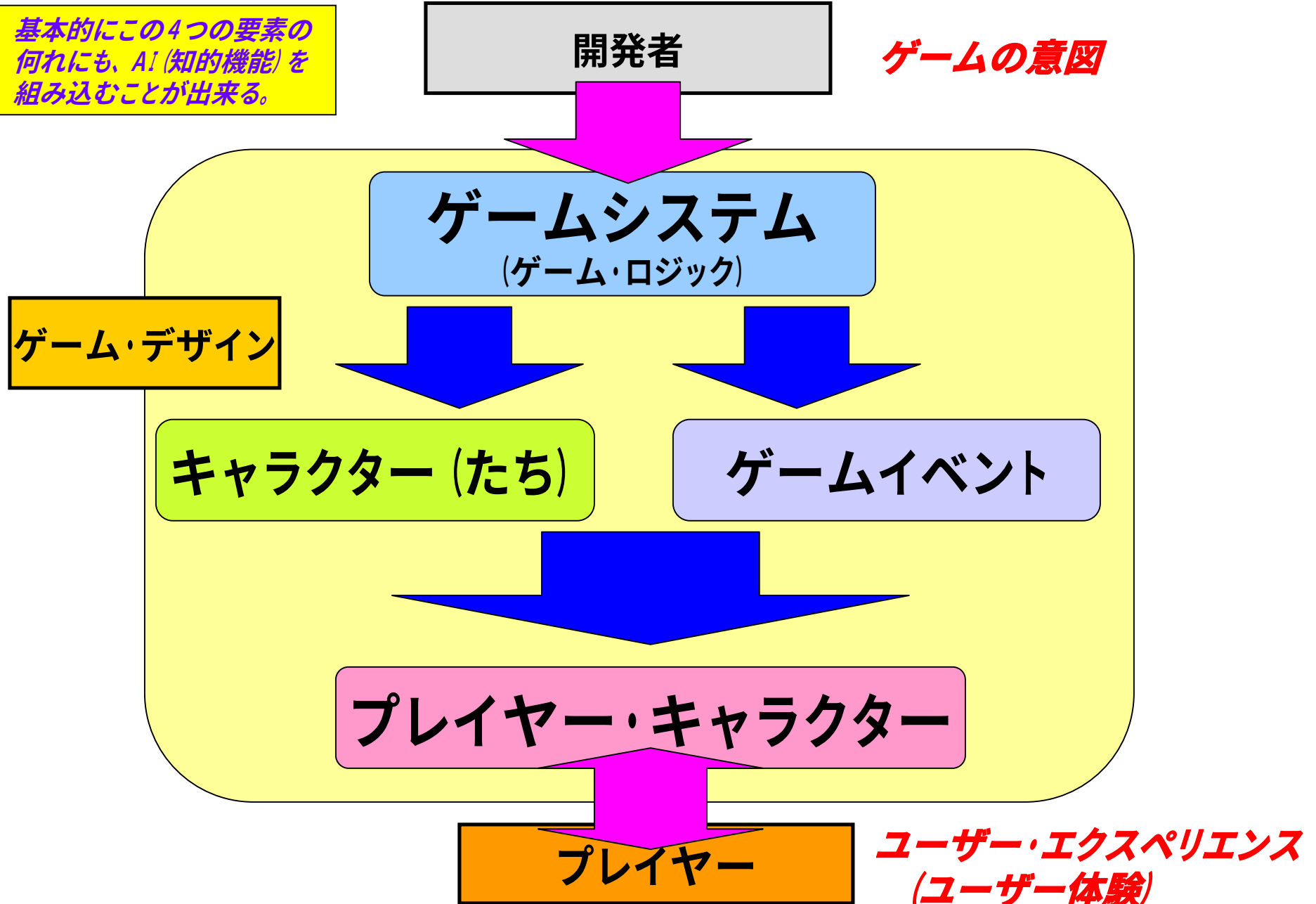
キャラクター (たち)

ゲームイベント

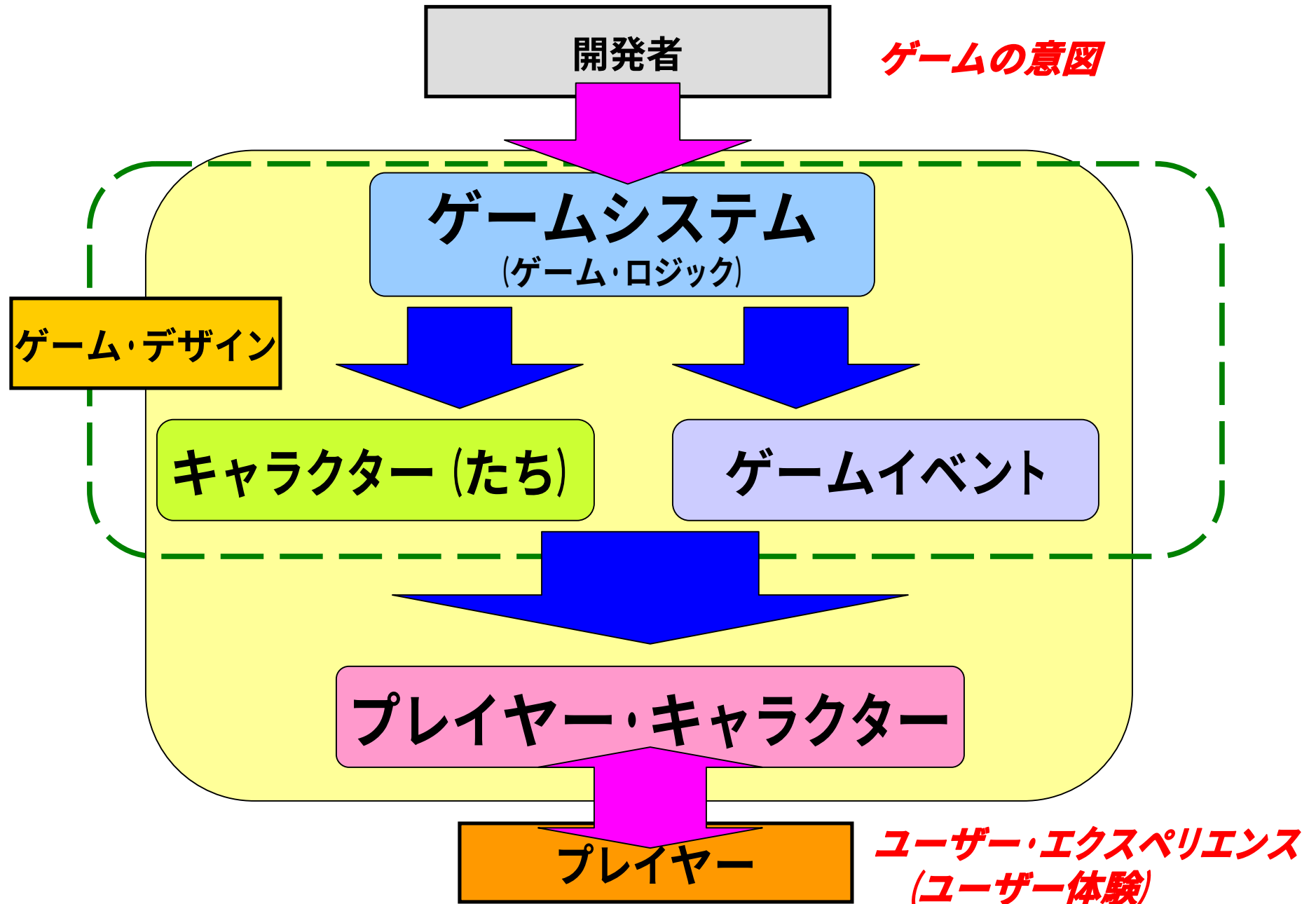
プレイヤー・キャラクター

プレイヤー

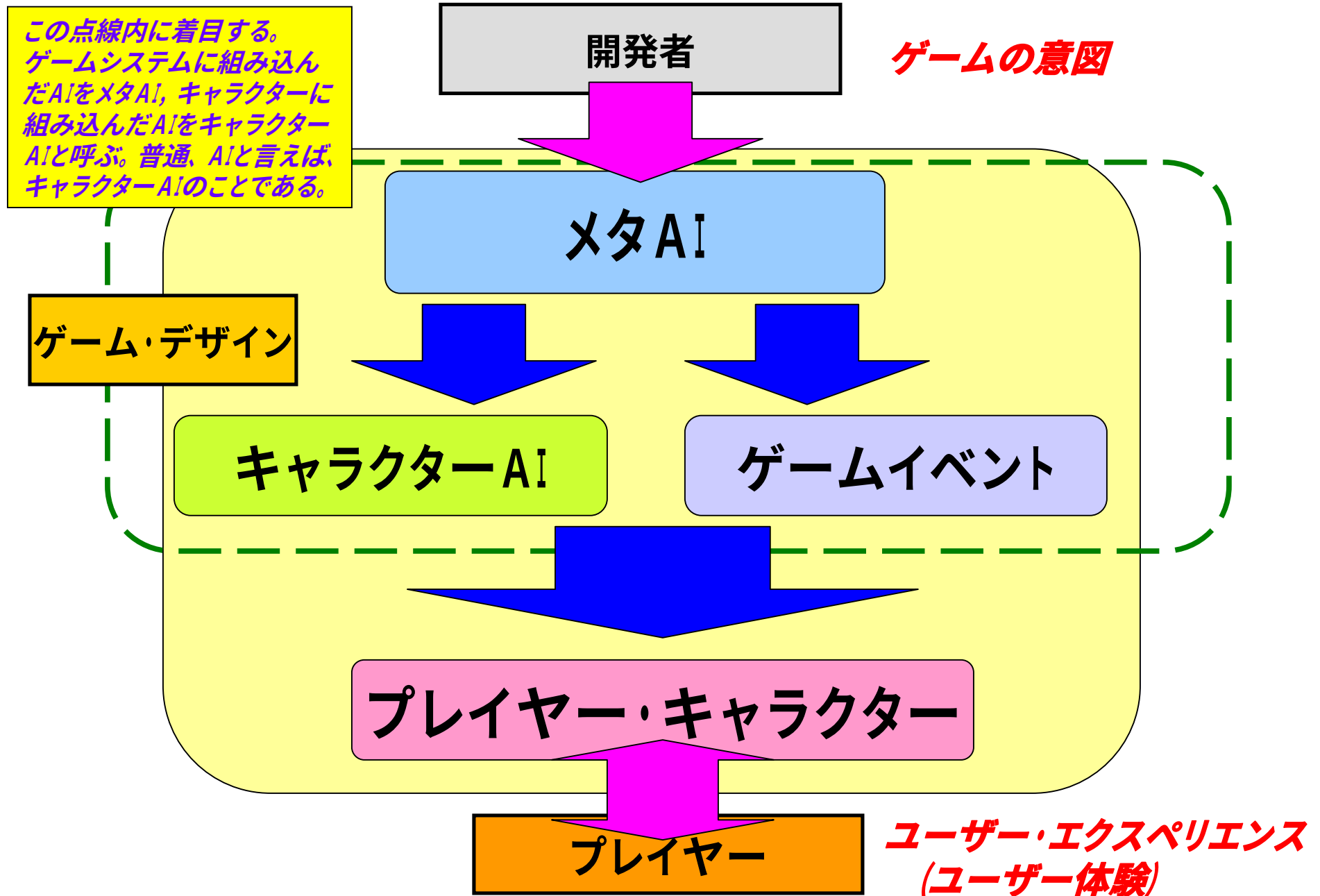
ユーザー・エクスペリエンス
(ユーザー体験)



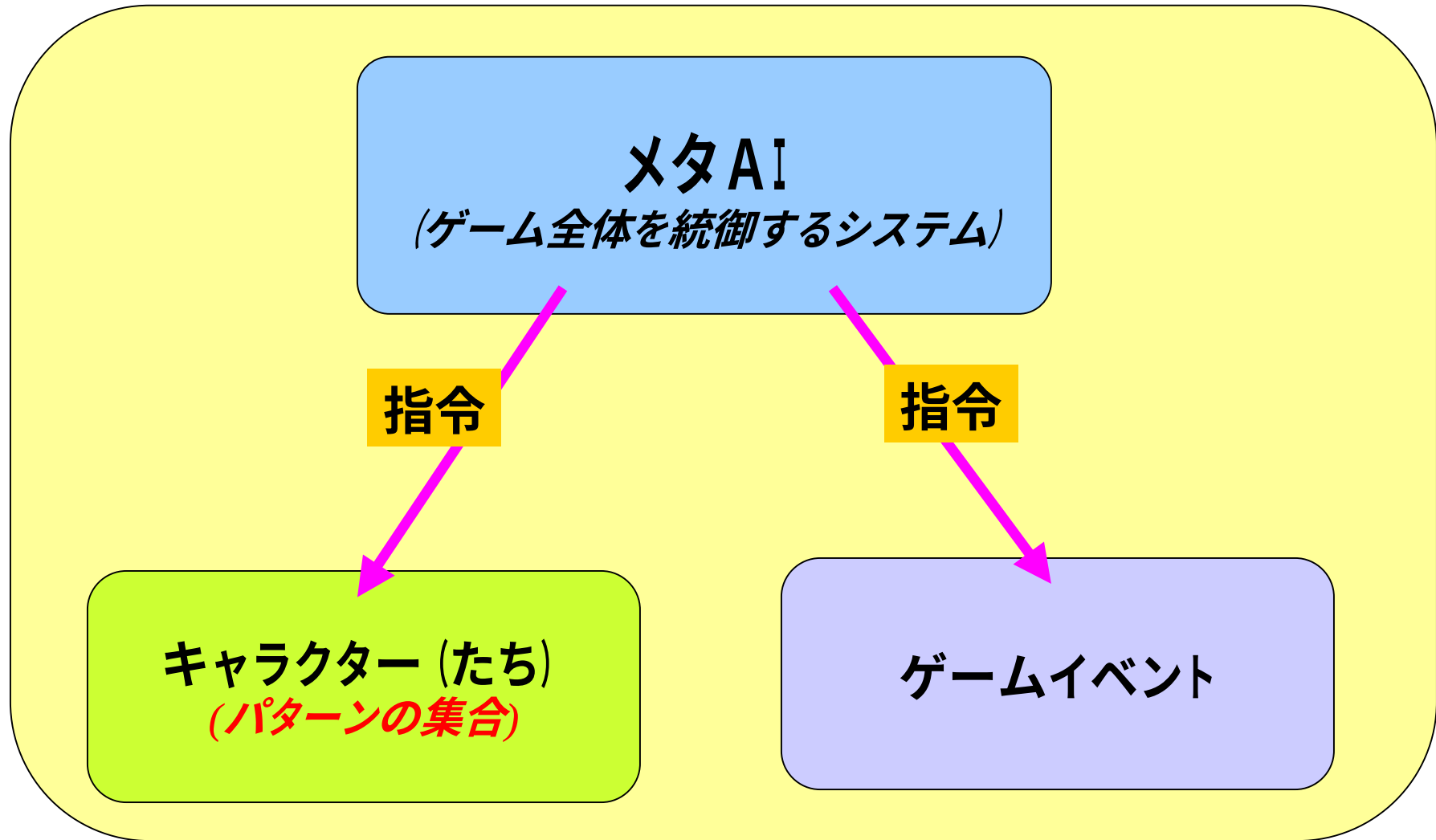
デジタルゲームの簡易モデル



デジタルゲームの簡易モデル

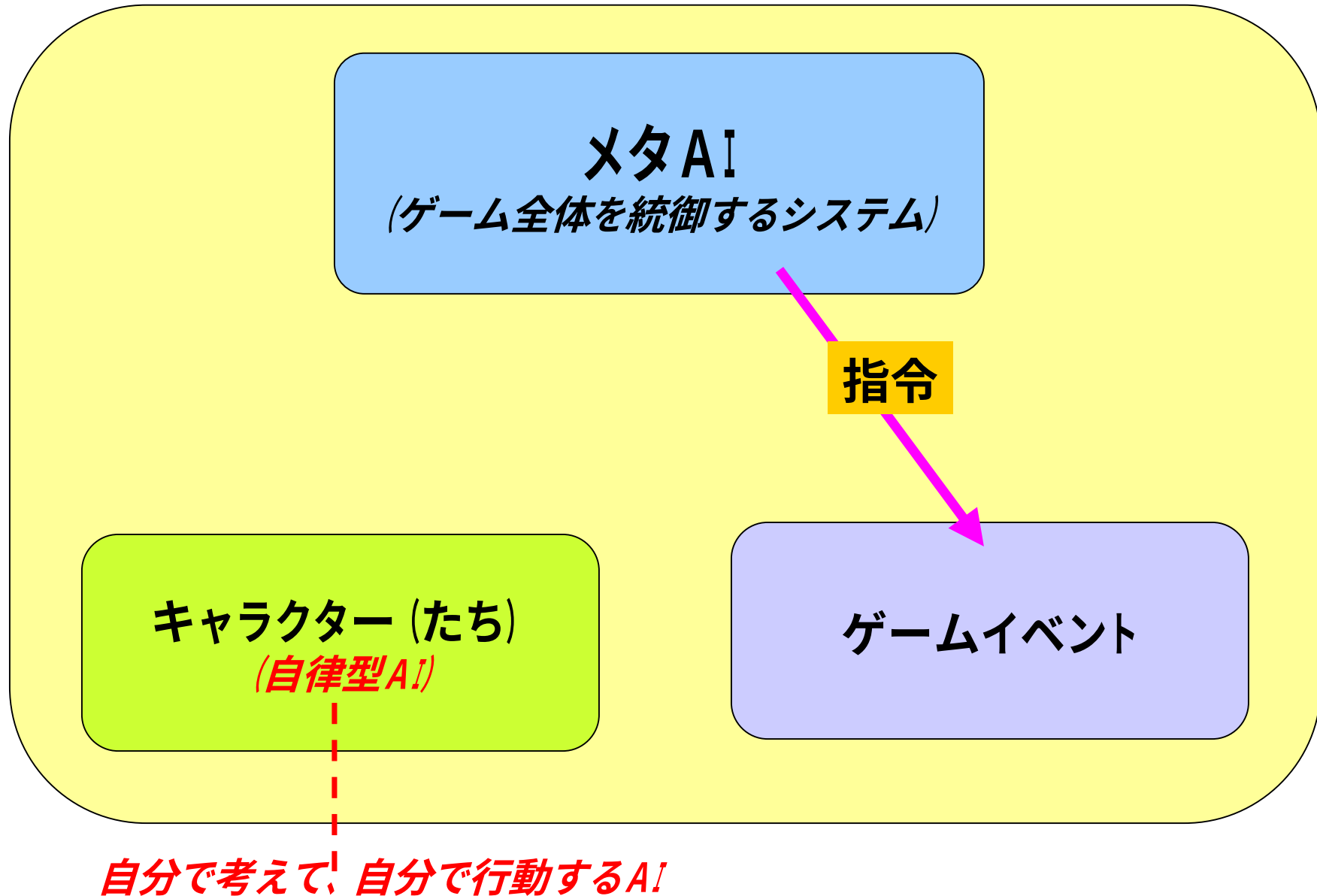


かつてのゲームAIの全体像 (フルフレーム)

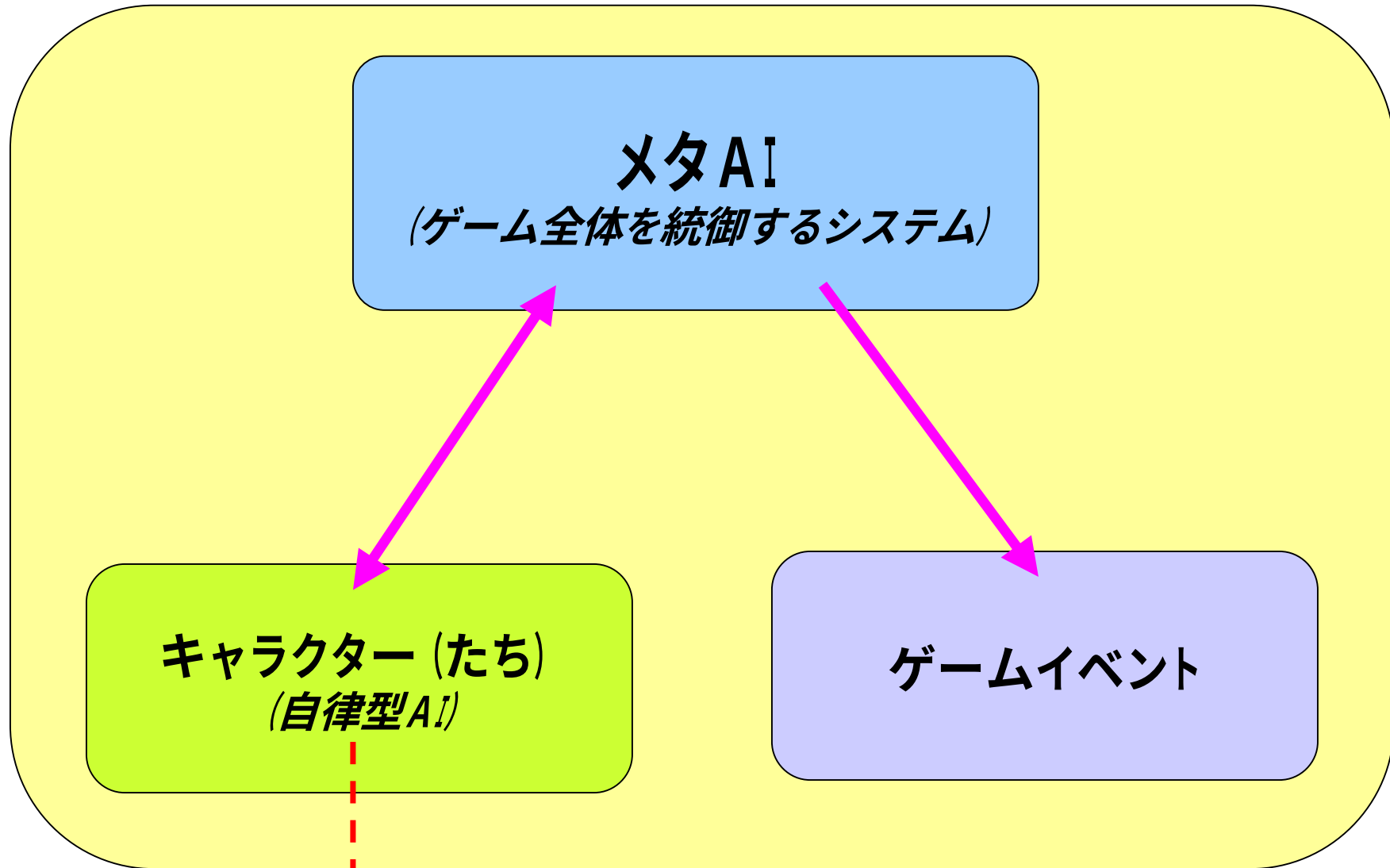


ゲームシステムはゲームステージの一部として、
キャラクターが制御される (お化け屋敷AI)

最近のゲームAIの全体像 (フルフレーム)



最新のゲームAIの全体像 (フルフレーム)



自分で考えて、自分で行動するAI

From
COUNTER-STRIKE
to LEFT 4 DEAD:
Creating Replayable
Cooperative Experiences

Counter Strike から L4D へ： くり返し遊べる協力ゲーム体験

From
COUNTER-STRIKE
to LEFT 4 DEAD:
Creating Replayable
Cooperative Experiences

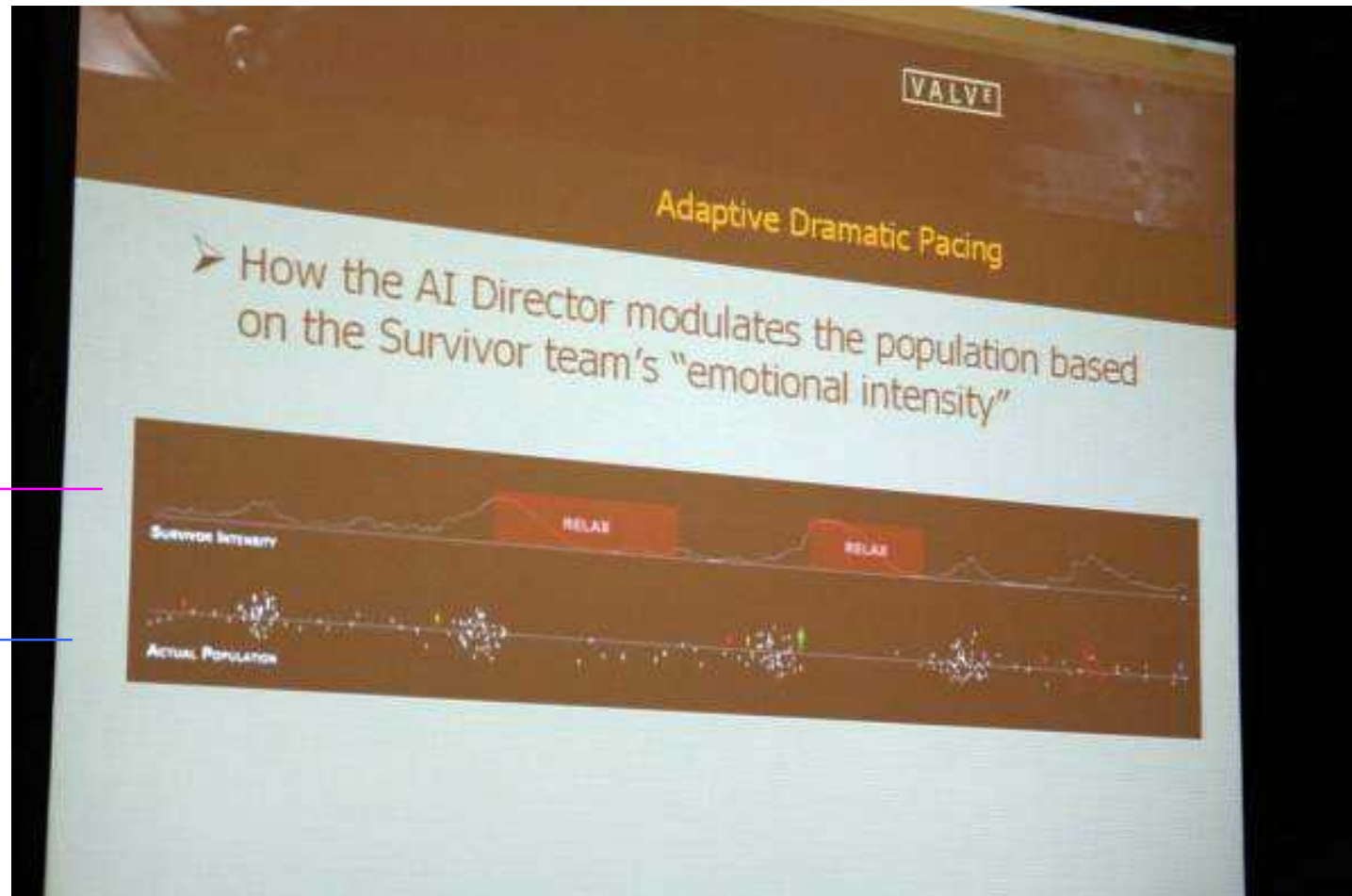
Counter Strike から L4D へ: くり返し遊べる協力ゲーム体験

構築された非予測性

http://game.watch.impress.co.jp/docs/news/20090327_80051.html

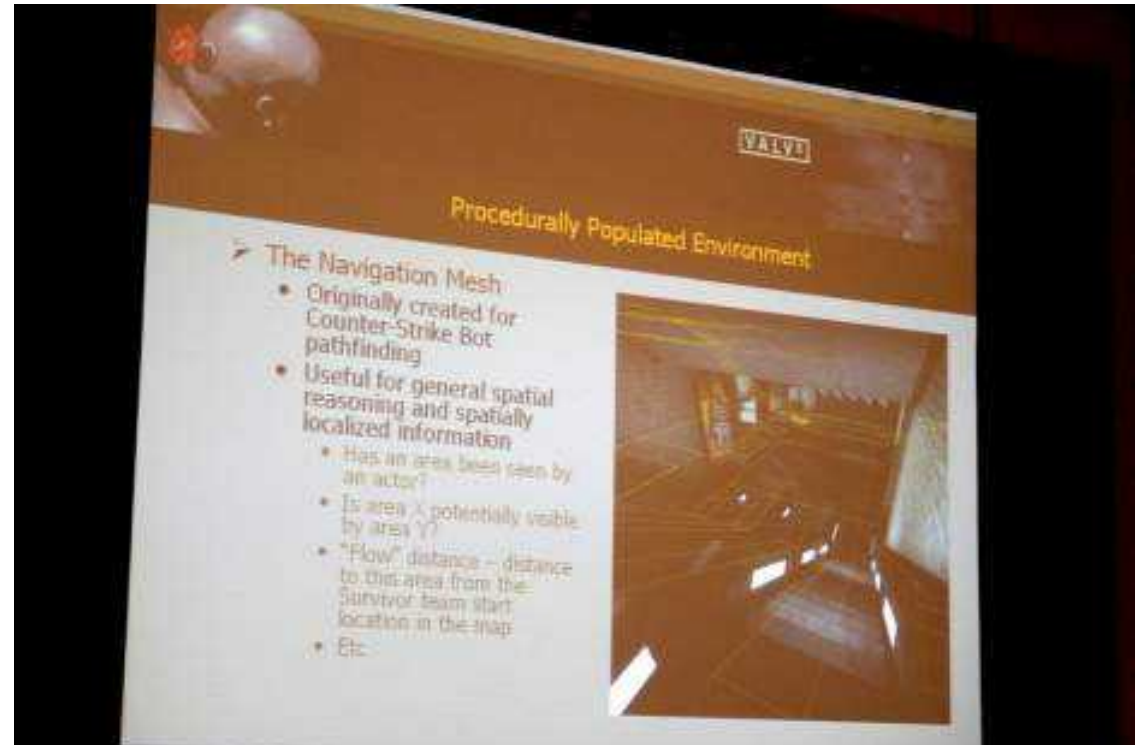
パーティの感情:
総合的な緊張感

モンスターの
配布



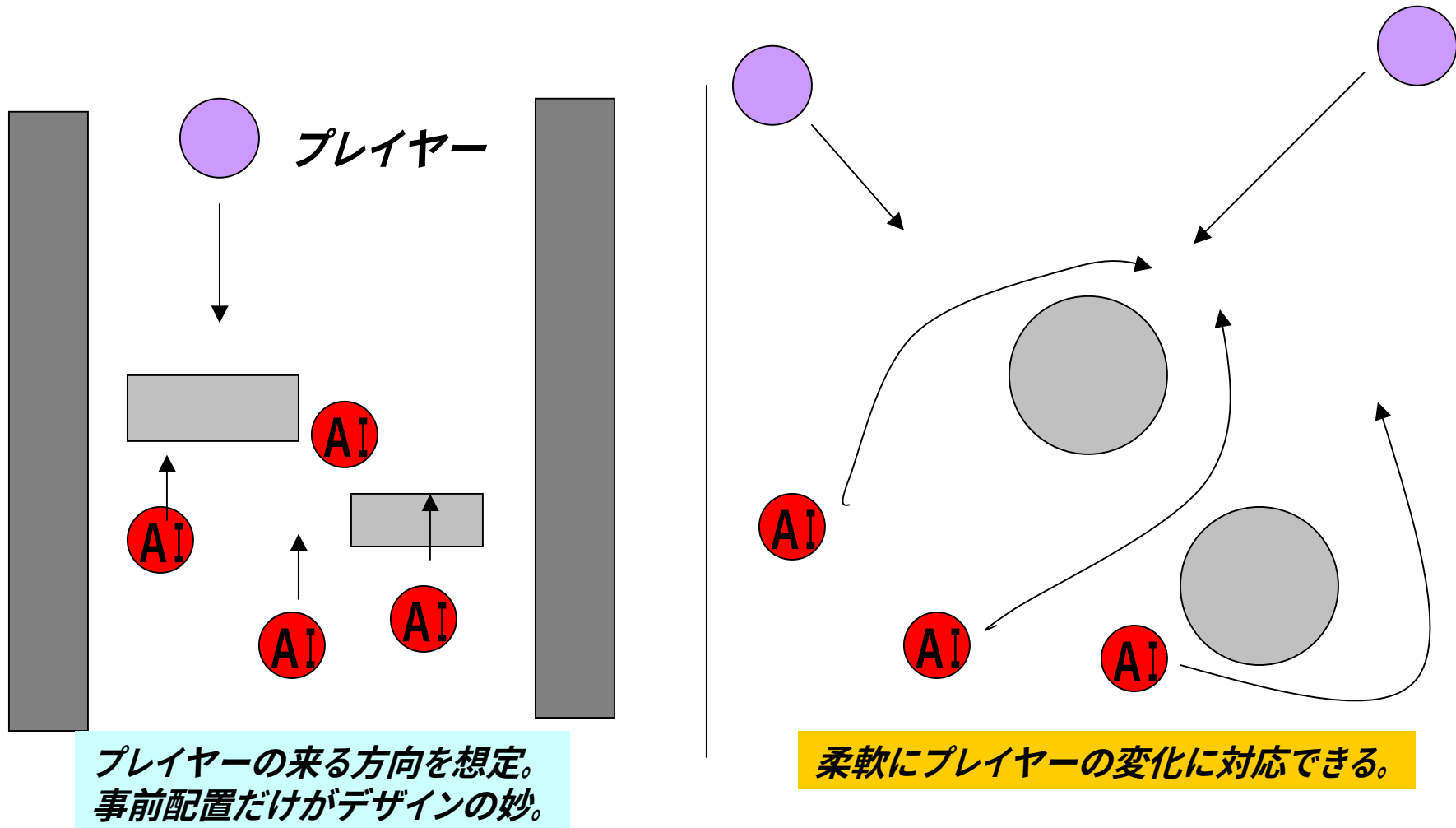
プレイヤーのインテンシティー (緊張感) を計算→ リラックスした後にモンスターを放つ！

ナビゲーションメッシュによる オフライン・リアルタイム空間情報解析



その領域をプレイヤーは見たか？
あるエリアは他のエリアから見えるか？ など。

覚えておくべきこと： パス検索はゲームデザインの幅を広げる

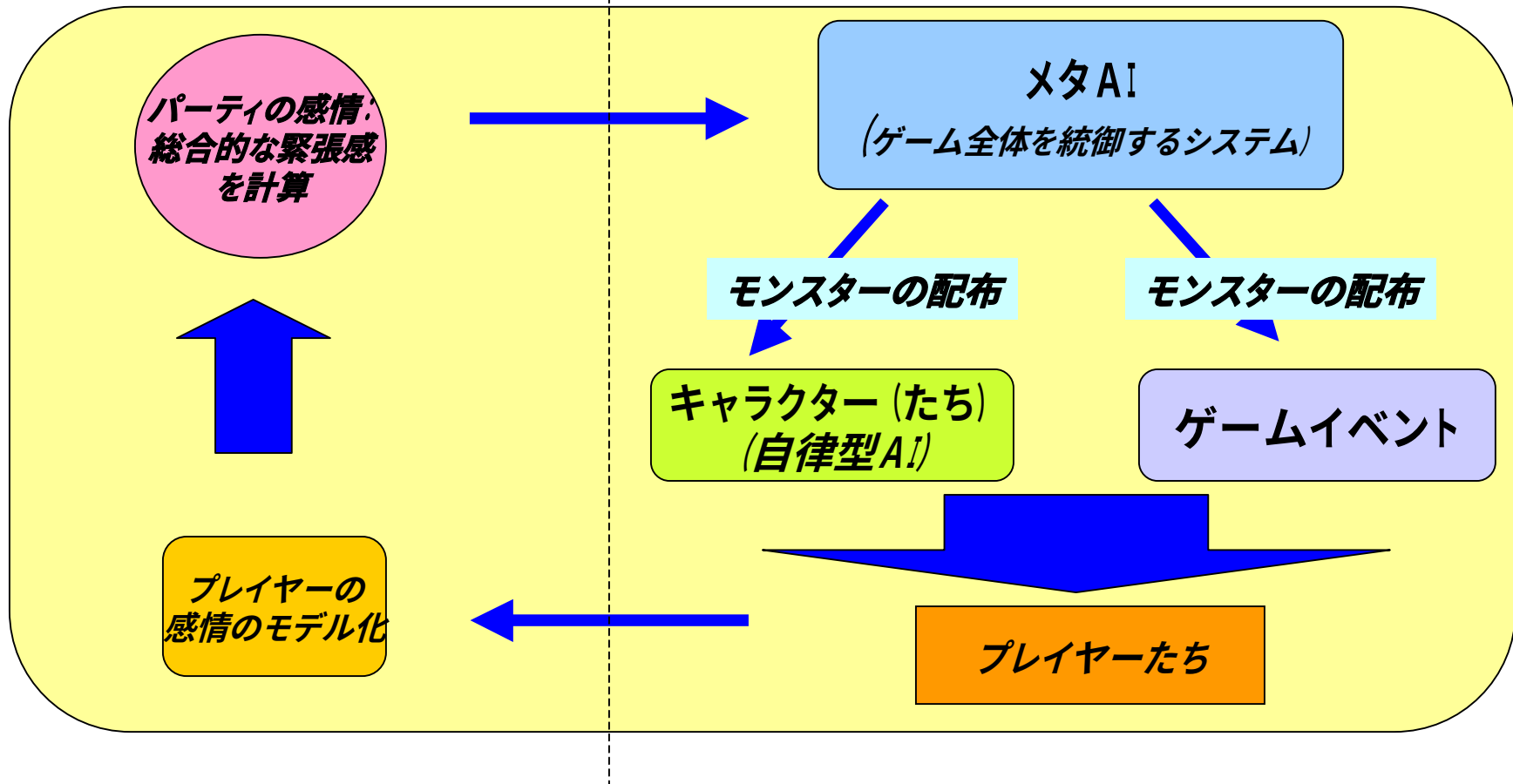


パス検索ある、なしでは、そもそも、ゲームデザインの可能性に圧倒的な差が出る。

From
COUNTER-STRIKE
to LEFT 4 DEAD:
Creating Replayable
Cooperative Experiences

Counter Strike から L4D へ: くり返し遊べる協力ゲーム体験

構築された非予測性

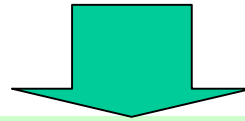


From
COUNTER-STRIKE
to LEFT 4 DEAD:
Creating Replayable
Cooperative Experiences

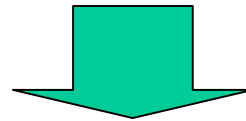
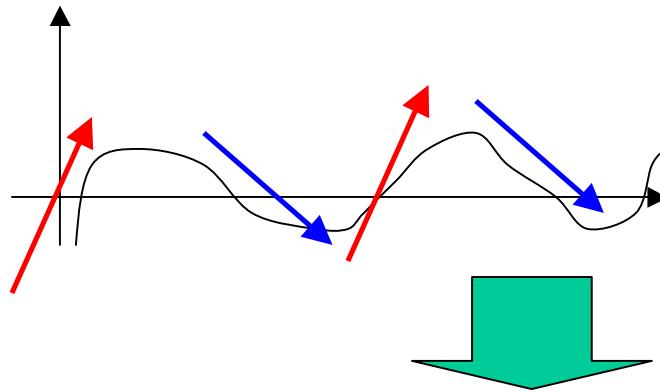
Counter Strike から L4D へ: くり返し遊べる協力ゲーム体験

構築された非予測性

- ① カウンターストライクは今なおロングセラー →何故？
→分析→オンラインゲームでの緊張感と緩和の緩急



- ② プレイヤーに緊張の波を作りたい→敵の出現でコントロール



- ③ ゾンビ恐怖ゲームが最適！

参考文献

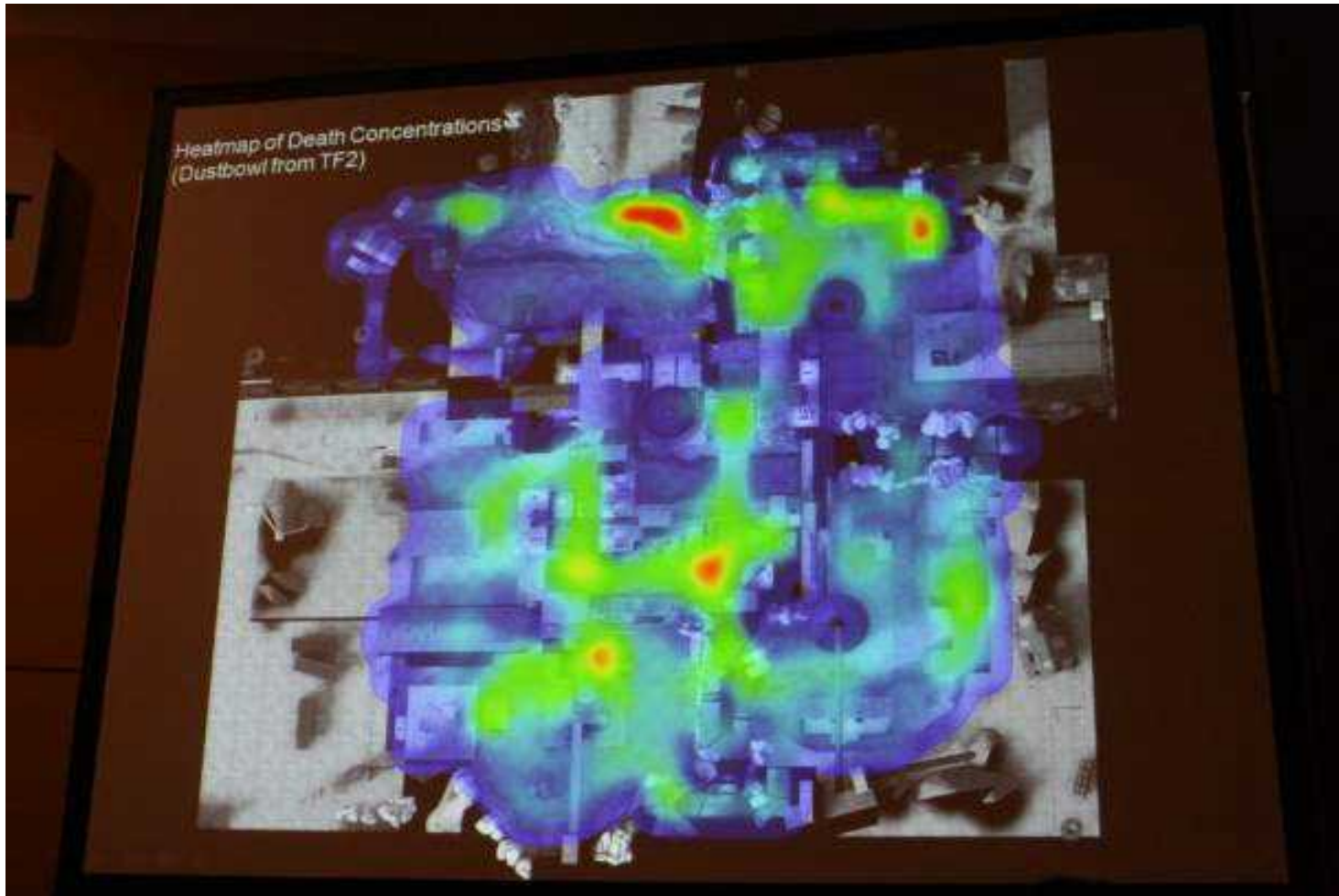
- (1) 良質なゲームを生み出すプレイテストのアプローチ Valveの実験心理学博士が明かす、プレイテスト手法のあれこれ(GameWatch)
http://game.watch.impress.co.jp/docs/news/20090329_80132.html
- (2) Valve語る、「Counter-Strike」から「Left 4 Dead」へ
協力プレイ、リプレイ性、AIディレクターの秘密(GameWatch)
http://game.watch.impress.co.jp/docs/news/20090327_80051.html
- (3) Valve Software、「Physical Gameplay in Half-Life2」 (GameWatch)
物理エンジンが生むリアリティーとゲームとしての面白さのバランス
<http://game.watch.impress.co.jp/docs/20060325/valve.htm>
(実験段階)
- (4) Left 4 Dead Interview (Eurogamer)
<http://www.eurogamer.net/articles/left-4-dead-interview>
- (5) なんのためにボスキャラがいるのか？ (4gamers)
「Left 4 Dead」に見る、プレイヤーをCo-opに誘う仕掛け
<http://www.4gamer.net/games/035/G003579/20090327043/>

参考文献

昨年までのValve の発表資料です。

- (1) How To Go From PC to Console Development (GDC 2008)
http://www.valvesoftware.com/publications/2008/GDC2008_CrossPlatformDevelopment.pdf
- (2) GRID Broadband Content Delivery Platform (GDC 2008)
http://www.valvesoftware.com/publications/2008/GDC2008_StylizationWithAPurpose_TF2.pdf
- (3) Source Engine 解説
<http://source.valvesoftware.com/SourceBrochure.pdf>

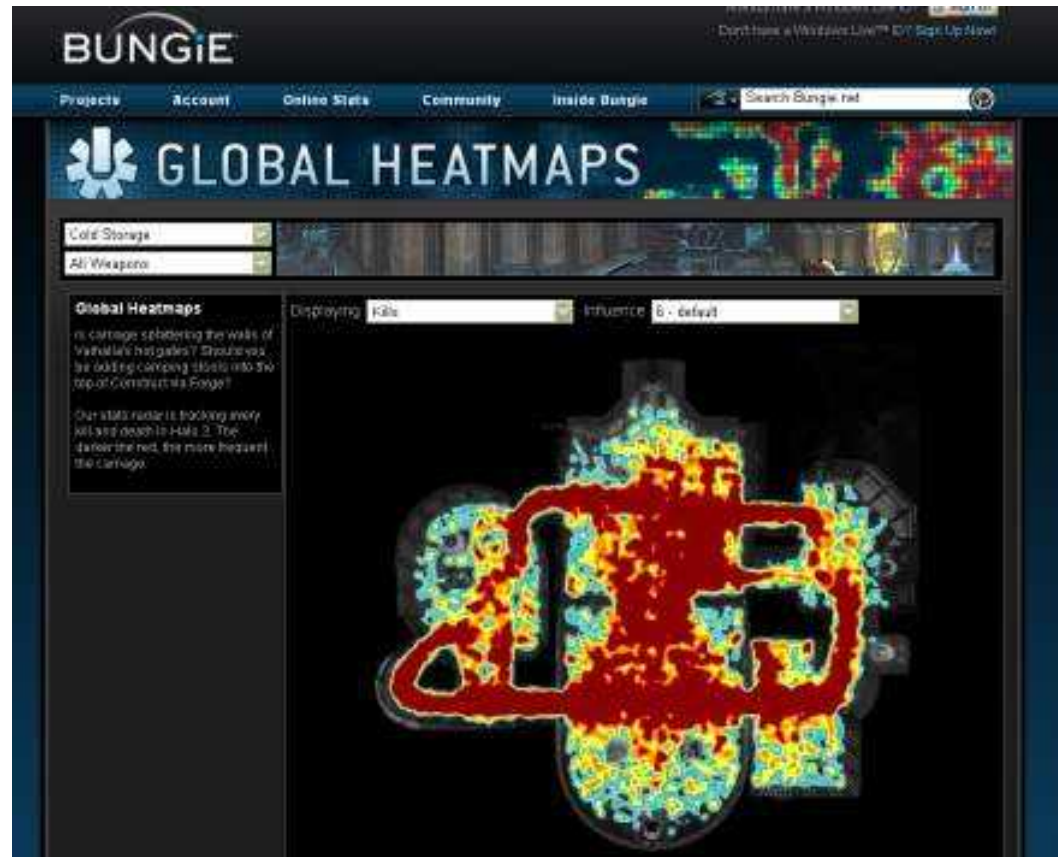
メタAIのための統計的手法とデータマイニング



http://game.watch.impress.co.jp/docs/news/20090329_80132.html

TEAM FORTRESS 2 における、
あるステージでのプレイヤーの死亡頻度マップ

メタAIのための統計的手法とデータマイニング



Halo3 における、あるステージでのプレイヤーの死亡頻度マップ。
殺傷武器別の Heatmap も描画できる。

<http://www.bungie.net/Online/HeatMaps.aspx>

メタAIの歴史①

岩谷徹氏： ファンと一般のユーザーを満足させる方法のひとつは人工知能AIのような考え方です。プレイヤースキルをプログラム側から判断して、難易度を調整していくというものです。これを私はセルフゲームコントロールシステムと呼んで10年以上前から開発に使っています。

— International Game Designers Panel —

http://game.watch.impress.co.jp/docs/20050312/gdc_int.htm

遠藤雅伸氏 あと面白い機能なんですけれど、ゼビウスには非常に簡単なAIが組み込まれています。「プレイヤーがどれくらいの腕か」というのを判断して、出てくる敵が強くなるんです。

強いと思った相手には強い敵が出てきて、弱いと思った相手には弱い敵が出てきます。そういったプログラムが組み込まれています。ゲームの難易度というのは「初心者には難しく、上級者には簡単だ」ということが、ひとつの難易度で(調整を)やっていくと起きてしまうので、その辺を何とか改善したいな、ということでそういったことを始めてみたのですけれど、お陰で割合にあまり上手くない人でも比較的長くプレイできる、うまい人でも最後のほうに行くまで結構ドラマチックに楽しめる、そういった感じになっています。 — ゼビウスセミナー —

<http://spitfire.client.jp/shooting/xevious2.html>

メタAIの歴史②

「エージェント・アーキテクチャーから作るキャラクターAI」
(CEDEC2007、三宅)

<http://www.igda.jp/modules/mydownloads/visit.php?cid=2&lid=78>

...その他、多数の使い方がある。

Left 4 Dead のメタAIの新しい点

Left 4 Dead は、メタAIを、調整と言う意味ではなく、

- ① ゲームの面白さを作るために、**積極的に用いた**
- ② ユーザーをモデル化してプロシージャルにユーザーの状態を解析して対応した。

という2点で、これまでのメタAIの使い方とは違う。

メタAIを使う場合の注意

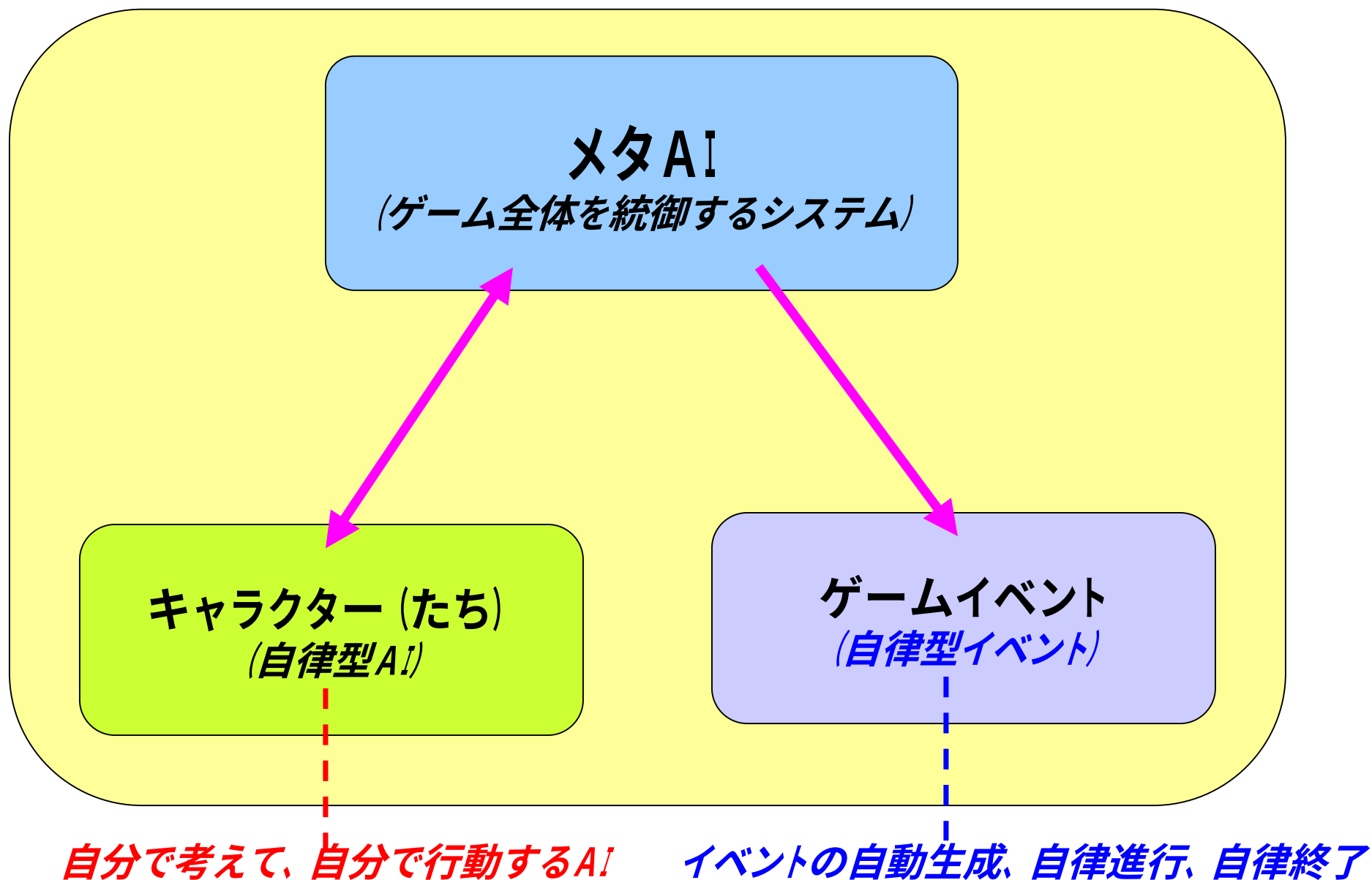
個々のAIはローカルな変化に対応し、
メタAIは、グローバルな状況と時間的变化を解析する。

メタAIは、個体のAIがある程度できた後でこそ、
最大の威力を発揮する。

個体のAIの不備は、グローバルなAIで埋めようとしても
埋まらない。そして、ユーザーのファースト・インプレッションは、
個々のAIの振る舞い、ゲーム全体としては、メタAIで決まる。

メタAIを使う場合は、
まず、個々のAIの知性をある程度完成させることが必要。

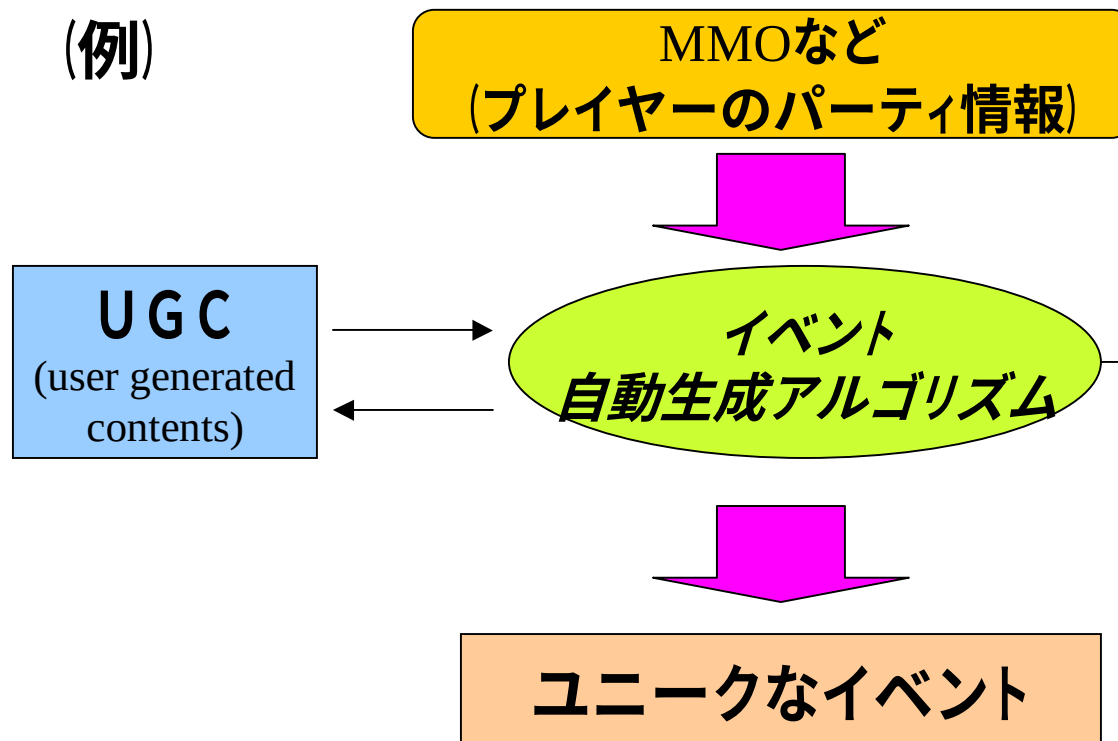
これからのゲームAIの全体像 (フルフレーム)



イベントの自動生成はあり得るか？

- アルゴリズム (プランニング、イベントグラフなど)
- パス検索技術によるNPCの非局在化
(これまでのイベントのように場所を限定する必要がない)

(例)



テクニック

① ある程度、内容が決まったイベントで、トリガー条件が満たされれば、発生する。
(例) ユーザーが作る家の密度が増すと、ドラゴンが出て来て焼き払おうとする。

② プレイヤーに善悪度や評判度というパラメーターを振っておき、その数値によって街の人々の対応や、イベント発生率、商店での価格が変化する。
(例) Fable (Lionhead Studio)

③ シナリオ生成: あらかじめ決められたシナリオの役割に、プレイヤーやAIを当てはめる。
(例) パーティで一番強いプレイヤーの一人が 他のプレイヤーから魔物に見えてしまうイベントなど。MMOの中で、「宿敵」を自動選別して、マッチングさせる。

④ プランニング: イベントの単位を、(前提条件、イベント、結果) という形で複数用意し、それを連鎖アルゴリズムで、条件に応じてつないでいく。

(例) Façade (Michal Metas, CMU, Oz Project)

参考文献

- (1) FABLE (XBOX, Lionhead Studio, published by Microsoft)
<http://www.xbox.com/ja-JP/games/f/fable/>
- (2) Façade <http://www.interactivestory.net/>
- (3) Oz Project
<http://www.cs.cmu.edu/afs/cs.cmu.edu/project/oz/web/papers.html>

第4部 ゲームAIコミュニティ (5分)

日本でもゲームAIを盛り上げて行こう！

(1) IGDA日本 ゲームAIメイリングリスト

スパムのようにゲームAIの情報がたくさん！
参加されたい方は、三宅まで、
企業名と名前、登録メールアドレスを送ってください。

(2) IGDA日本 SIG-AI (ゲームAI専門部会)

上記のMLと同義です。

(3) ゲームAIコミュニティ in mixi

SIG-AI の mixi のコミュニティ・サイトです。
ML や SIG-AI に関係なく自由に参加してください。

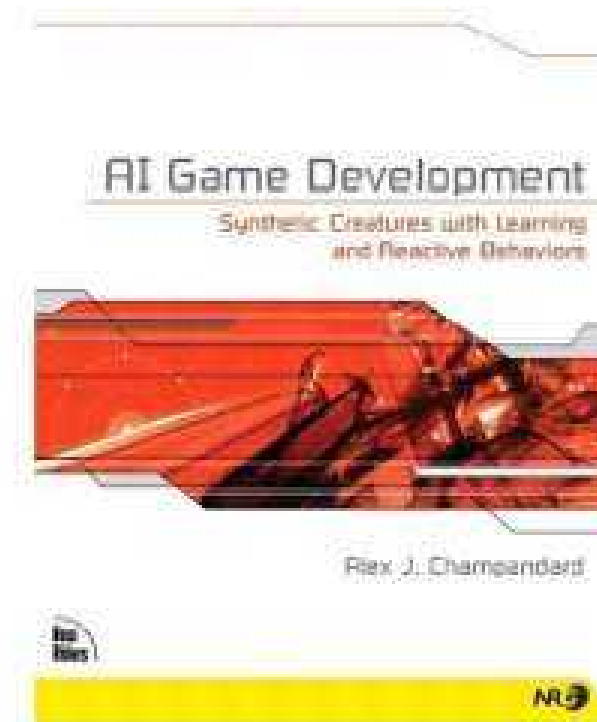
(4) CEDEC 2009 AI Day

スタッフ、講演者募集中(20分、40分講演も検討中)。
開催未定。三宅まで連絡



AiGameDev.com

Alex.J.Champandard による圧倒的な情報量を誇るゲームAIサイト



この著者のサイトでもある。

IGDA SIG-AI

12年に渡るゲームAIのコミュニティ

- SIG-AI Meeting
- AI Progammmers Dinner (毎年、最終日の夕方)

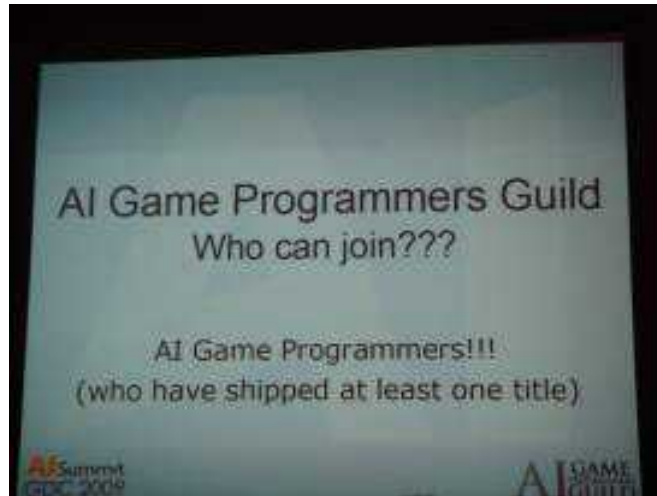
Neil Kirby and Steve Woodcock さんが主催

(申し込みは、AI ラウンドテーブルで、Kirby 氏に直接申し込み。20ドル程度)



AI Game Programmers Guild

ゲームAIの世界を大いに盛り上げるための団体



少なくとも1タイトルリリース
したことがある。



レビンさんまでグーグルでメール
三宅で101番目のメンバー。



ご相談は三宅まで。

AIWisdom.com

AIWISDOM.COM GAME AI ARTICLES & RESEARCH

338 Game AI Articles and Counting...
We help you find expert articles on commercial game AI development. Since many of these articles are published in books, this is the only site that helps you find them.

Thanks,
Steve Rabin
Principal Software Engineer, Nintendo of America Inc.
Instructor, DigPen Institute of Technology and University of Washington Extension

NEWS

Join the AI Game Programmers Guild!

If you are a professional game AI developer with at least one published commercial title, then you can become a member of the AI Game Programmers Guild. The guild has over 80 members and is a great place to discuss game AI with the best in the business. We just organized the 2-day AI Summit at OOC 2009 and were planning more events and activities. Just e-mail Steve Rabin with your credentials to join. Click on this ["Contact" link](#) to get the e-mail address.

NEWS

Call For Proposals:
AI Game Programming Wisdom 5 (deadline May 17th, 2009)

Once again Conge and series editor Steve Rabin are looking for game developers to share their wisdom in the next brand new volume of the groundbreaking AI Game Programming Wisdom series. Anything that is AI game

Featured Book:

10% off discount

Recommendations:
"Latest from a must have series"
[Game Programming Wisdom 4](#)
"Cutting-edge graphics techniques"
[GPIC Game 3](#)
"Weird AI techniques from commercial games"
[AI Game Programming Wisdom 4](#)

<http://www.aiwisdom.com/>

参考情報

(1) AI Summitレポート (GameWatch)

AIのサミットは初の開催。活発な知識共有が行なわれる

http://game.watch.impress.co.jp/docs/news/20090325_79918.html

(2) 「ゲームAI」とは何か？

AIプログラマーのギルドがセミナーを開催 (4gamers)

<http://www.4gamer.net/games/027/G002744/20090324048/>

(3) 4th Annual AI Programmers Dinner (Gamasutra)

http://www.gamasutra.com/features/20010423/dybsand_01.htm

(4) 8th Annual AI Programmers Dinner

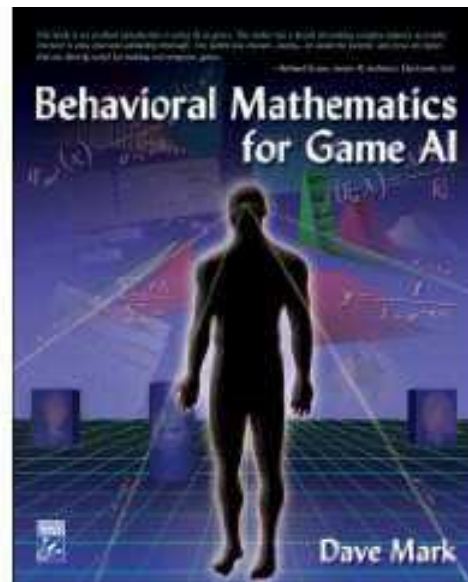
http://www.gamedev.net/columns/events/coverage/feature.asp?feature_id=65

IA on AI

Dave Mark さんによる、ゲームAIの情報サイト

Intrinsic Algorithm

<http://intrinsicalgorithm.com/IAonAI/>



ご清聴ありがとうございました。

質疑応答

これ以外に、意見や質問があれば、メールへ

y_miyake@fromsoftware.co.jp

この資料はIGDA日本のサイトにアップされます (たぶん)。

<http://www.igda.jp>

ご清聴ありがとうございました。



これ以外に、意見や質問があれば、メールかアンケートへ

y_miyake@fromsoftware.co.jp

(IGDA Japan登録アドレス yoichi-m@pk9.so-net.ne.jp)