

GDC2009 ゲームAI分野オーバービュー

三宅 陽一郎

(株式会社 フロム・ソフトウェア)

y.m.4160@gmail.com

2009.3.31

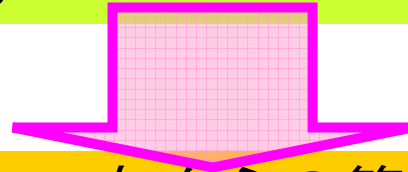
Contact Information

Youichiro Miyake

- Mail: y.m.4160@gmail.com
- Twitter: @miyayou
- Blog: <http://blogai.igda.jp>
- LinkedIn: <http://www.linkedin.com/in/miyayou>
- Facebook: <http://www.facebook.com/youichiro.miyake>

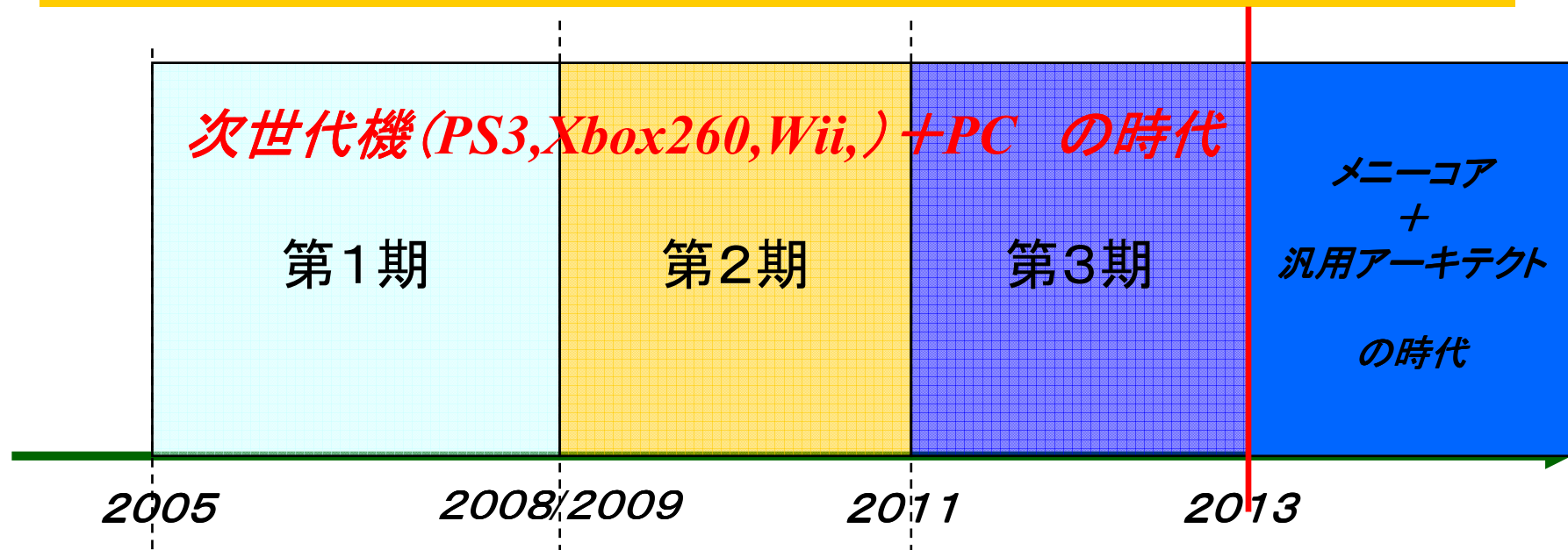
2009年のGDCとは何だったか？

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 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 #define Game AI Preparing for the Future: As a Professional Game AI Developer, What Should I Know? (Panel) Animating in a Complex World: Integrating AI and Animation 2008 GDC Top 100 Games: 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 Characters When Good AI Goes Bad: Tools, Techniques, and Strategies for Testing and Debugging AI From the Ground Up: GTA 4 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! Real-Time Deformation and Fracture – Finite Element Simulation and its Use in STAR WARS: THE FORCE UNLEASHED 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 Reliable Cooperative Experiences Creating a Great MMO: How Mythic Entertainment Solved Production Challenges using a Proprietary 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 UNCHARTED: DRAKE'S FORTUNE State Based Scripting in UNCHARTED: DRAKE'S FORTUNE and UNCHARTED 2: AMONG THIEVES Lionhead Experiments Revealed Player's Expression: The Level Design Structure Behind FAR CRY 2 and Beyond?
--	---	---	---	---

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 a Professional Game AI Developer, What Should I Know? (Panel) Pathfinding And Animation 2008 AI Postmortems: SPORE, GEARS OF WAR 2, and BIOSHOCK (Panel) 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 Characters When Good AI Goes Bad: Tools, Techniques, and Strategies for Testing and Debugging AI From the Ground Up: AI Architecture and Design Choices Structure Vs Style The Photoshop of AI: Deconstructing 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 Pathfinding And Animation Parallelism For AI Real-Time Deformation and Fracture – Finite Element Simulation and its Use in STAR WARS: THE FORCE UNLEASHED Pathfinding And Animation	Pathfinding And Animation On the War Path: Taking AI in DAWN OF WAR 2 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 Player's Expression: The Level Design Structure Behind FAR CRY 2 and Beyond?
---	---	--	---	---

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・アニメーションとゲームAIとの関係
 - 複雑なレベルデザインへの適応
 - キャラクター・モデルとの適合
 - キャラクターの個性付け
- ② 動的なパス検索
- ③ ゲームAIの並列化による実装

アドバンス

- ④ ゲームAIプログラマーとゲームデザイナーの連携
(現段階では溝がある)
- ⑤ 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)

2009年 GDC のゲームAIの動向

基本

- ① キャラクター・アニメーションとゲームAIとの関係
 - 複雑なレベルデザインへの適応
 - キャラクター・モデルとの適合
 - キャラクターの個性付け
- ② 動的なパス検索
- ③ ゲームAIの並列化による実装

アドバンス

- ④ ゲームAIプログラマーとゲームデザイナーの連携
(現段階では溝がある)
- ⑤ 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

- ⑥ Morpheme, Kynapse など統合環境のミドルウェアの台頭

第1章

「キャラクターの身体と知性」 の問題を考える

- ① キャラクター・アニメーションとゲームAIとの関係
- ② 動的なパス検索
- ⑥ Morpheme, Kynapse など統合環境のミドルウェアの台頭

キャラクターAI

身体/アニメーション

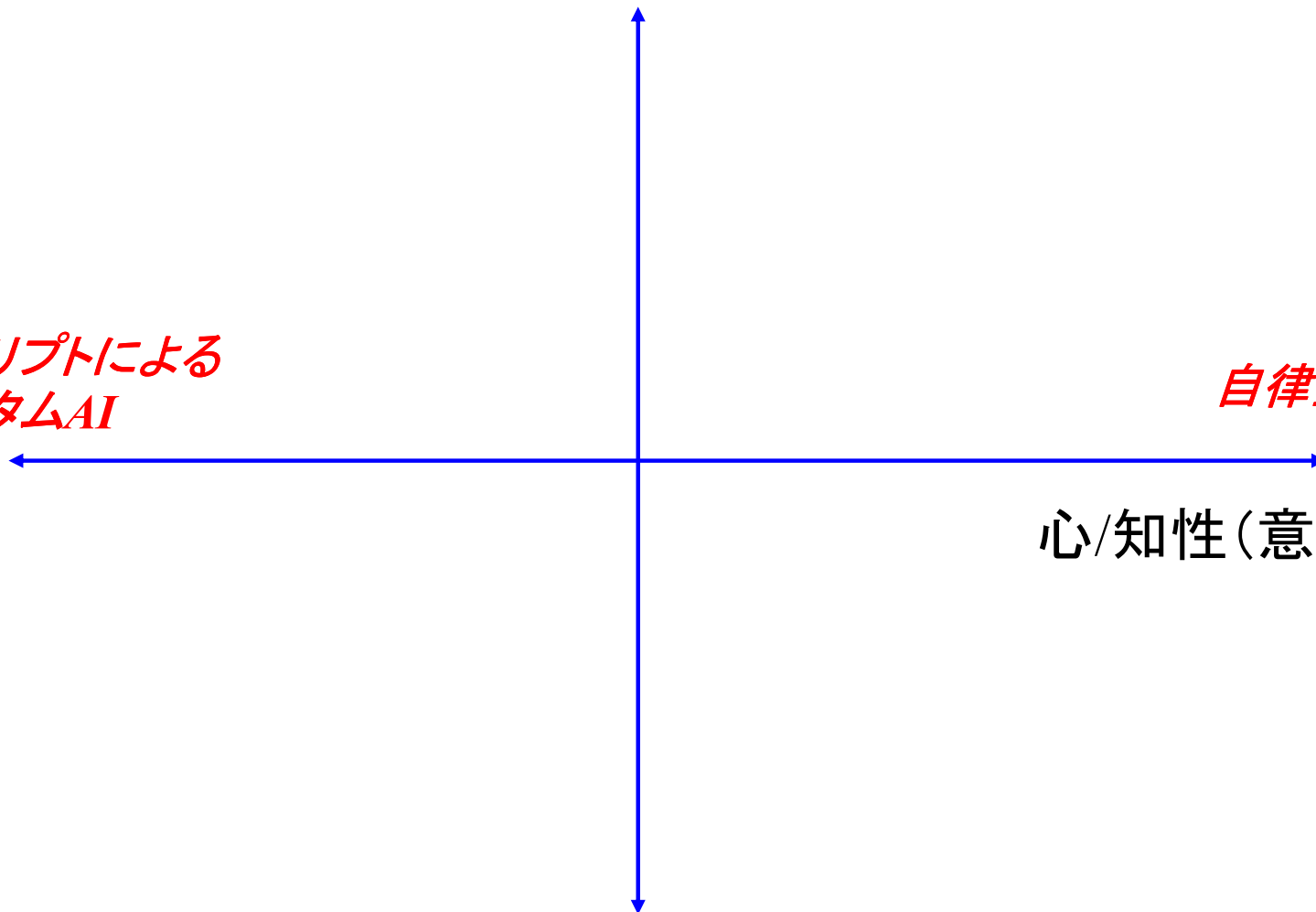
自律型アニメーション

スクリプトによる
カスタムAI

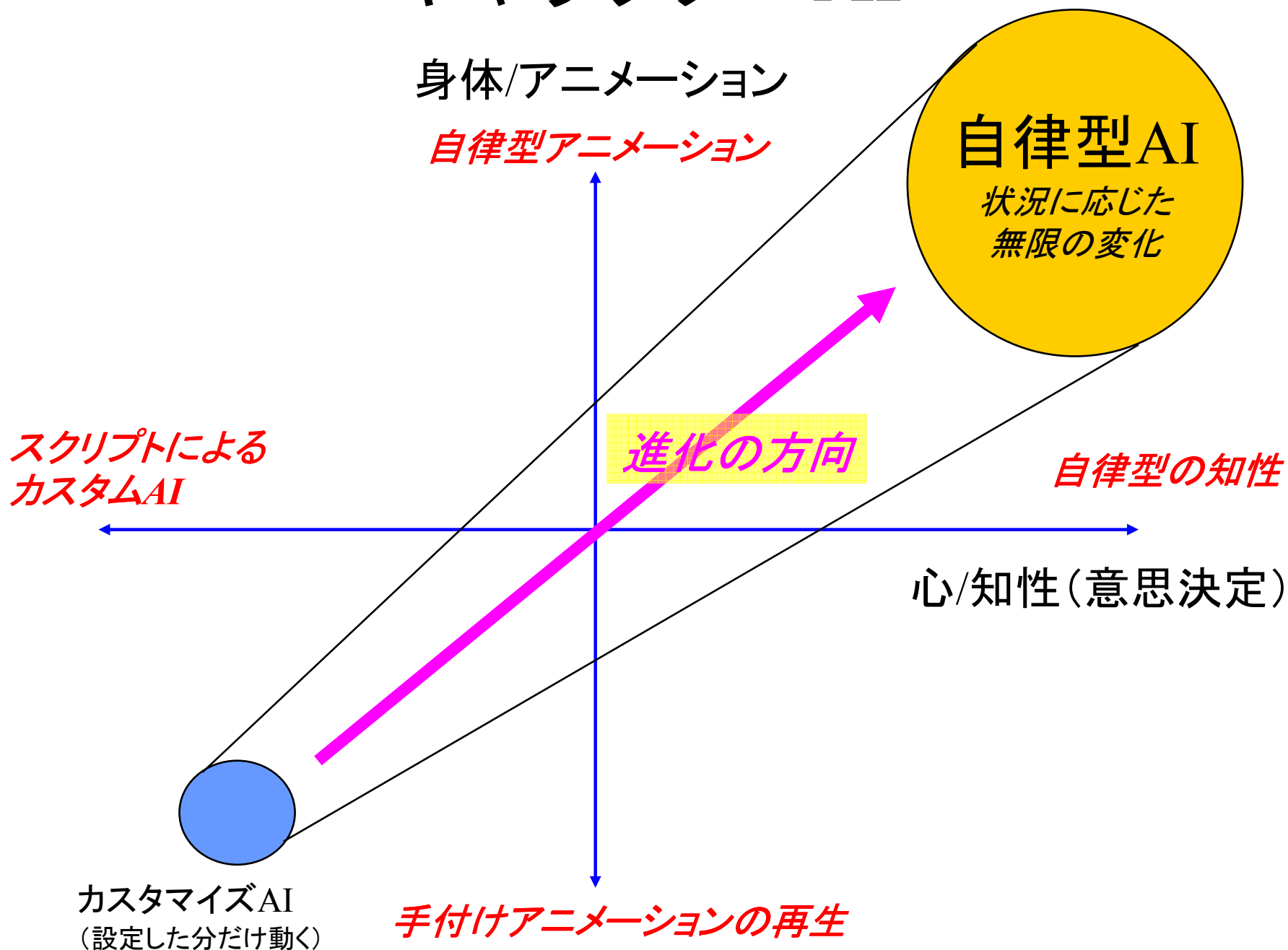
自律型の知性

心/知性(意思決定)

手付けアニメーションの再生



キャラクターAI



キャラクターAI

身体/アニメーション

自律型アニメーション

自律型AI

状況に応じた
無限の変化

スクリ
カスタ

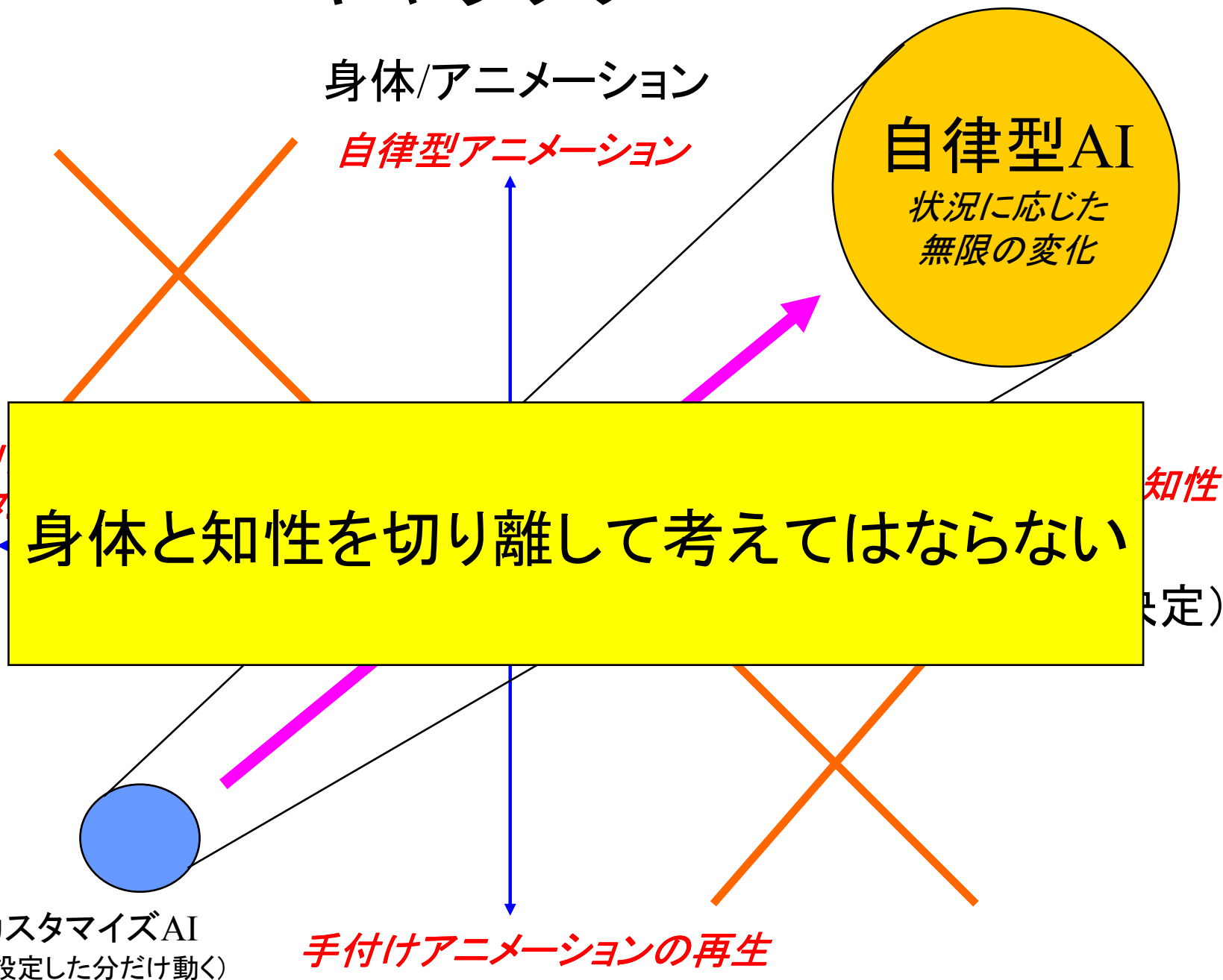
身体と知性を切り離して考えてはならない

知性

決定)

カスタマイズAI
(設定した分だけ動く)

手付けアニメーションの再生



キャラクターAI

身体/アニメーション

自律型アニメーション

自律型AI

状況に応じた
無限の変化

スクリ
カスタ

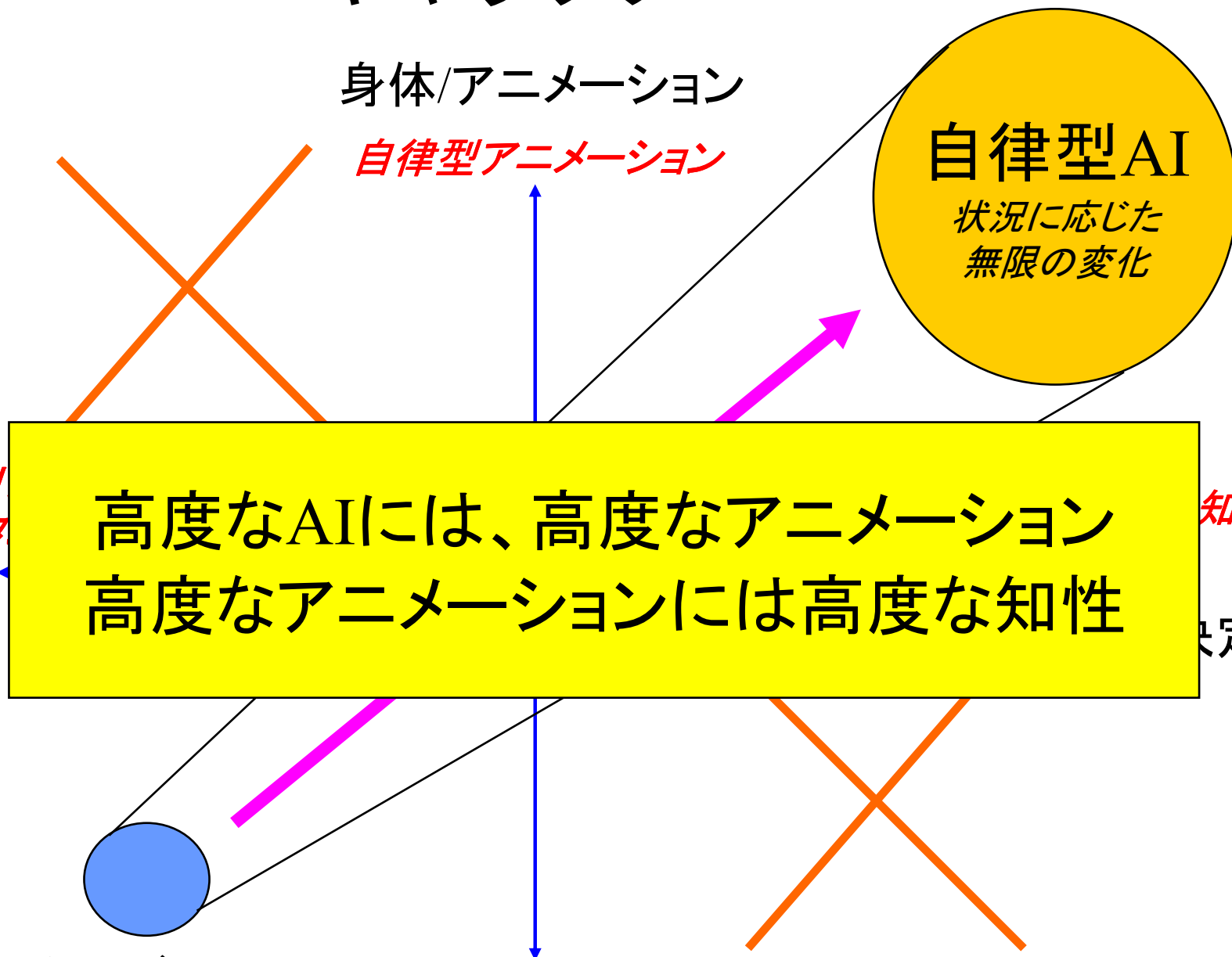
高度なAIには、高度なアニメーション
高度なアニメーションには高度な知性

知性

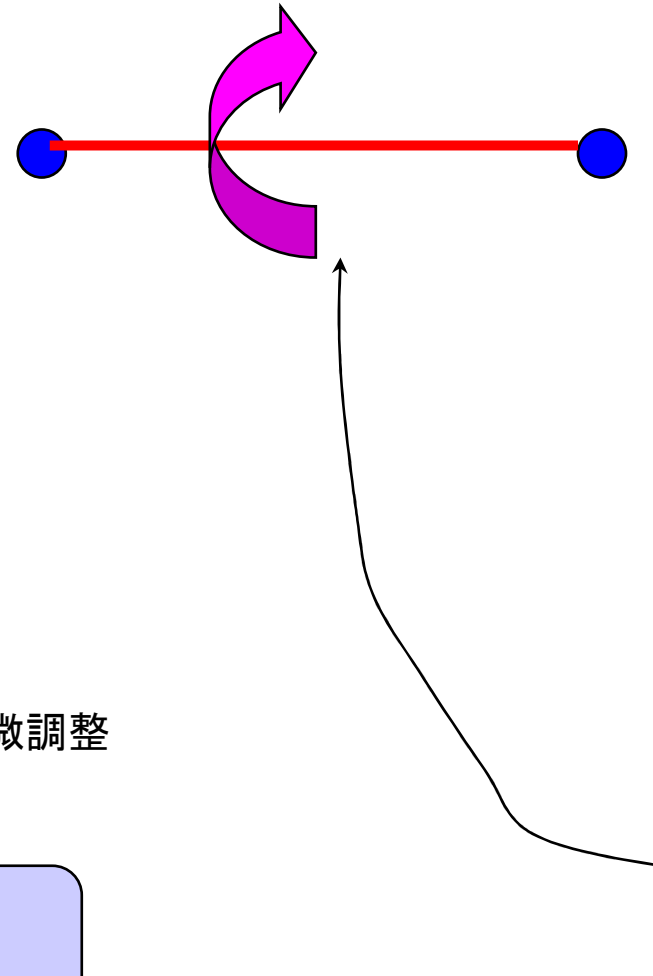
決定)

カスタマイズAI
(設定した分だけ動く)

手付けアニメーションの再生



(例) 走り高跳び

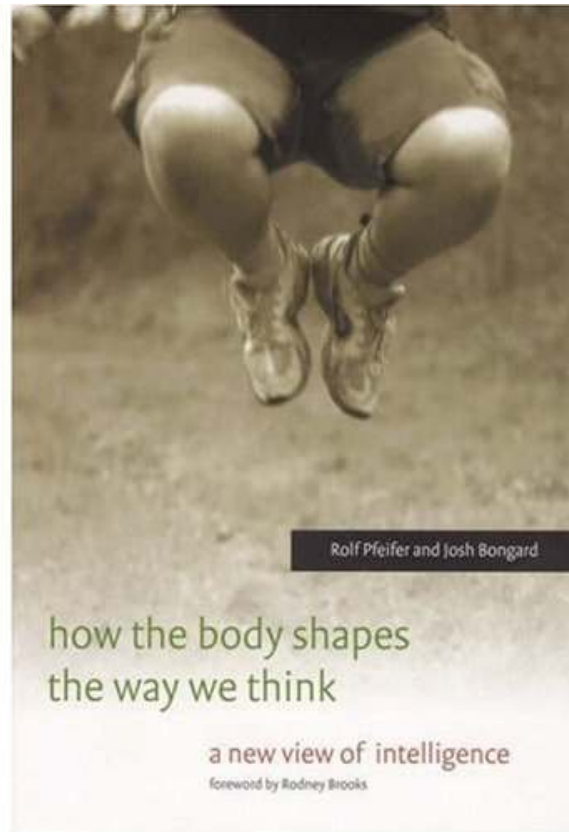


スタート地点から、

- ① パスを見つける
- ② 歩幅と足跡を想定する。
- ③ 走りながらイメージと現実の差異を微調整
- ④ ジャンプ

本来、知性と身体は相互に作用しながら、
行動を産み出す。

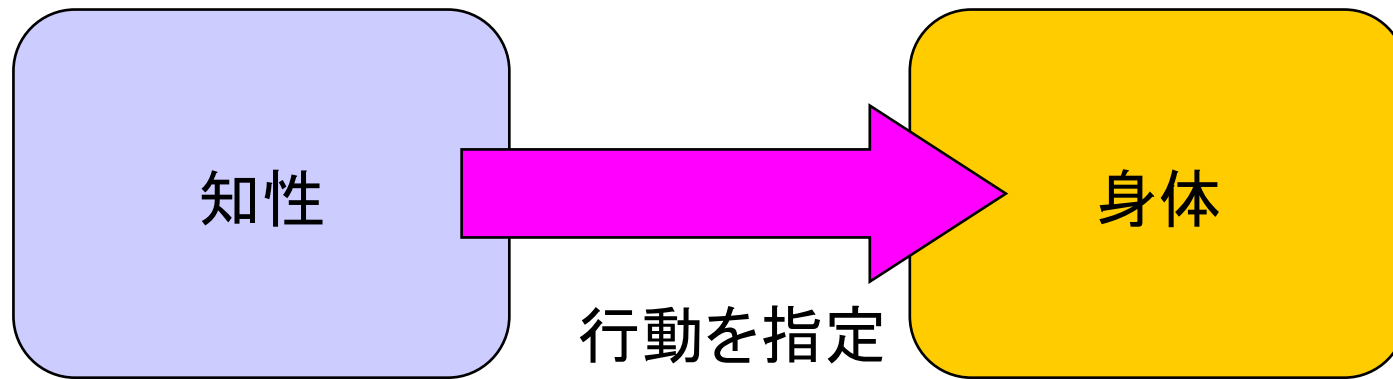
参考文献



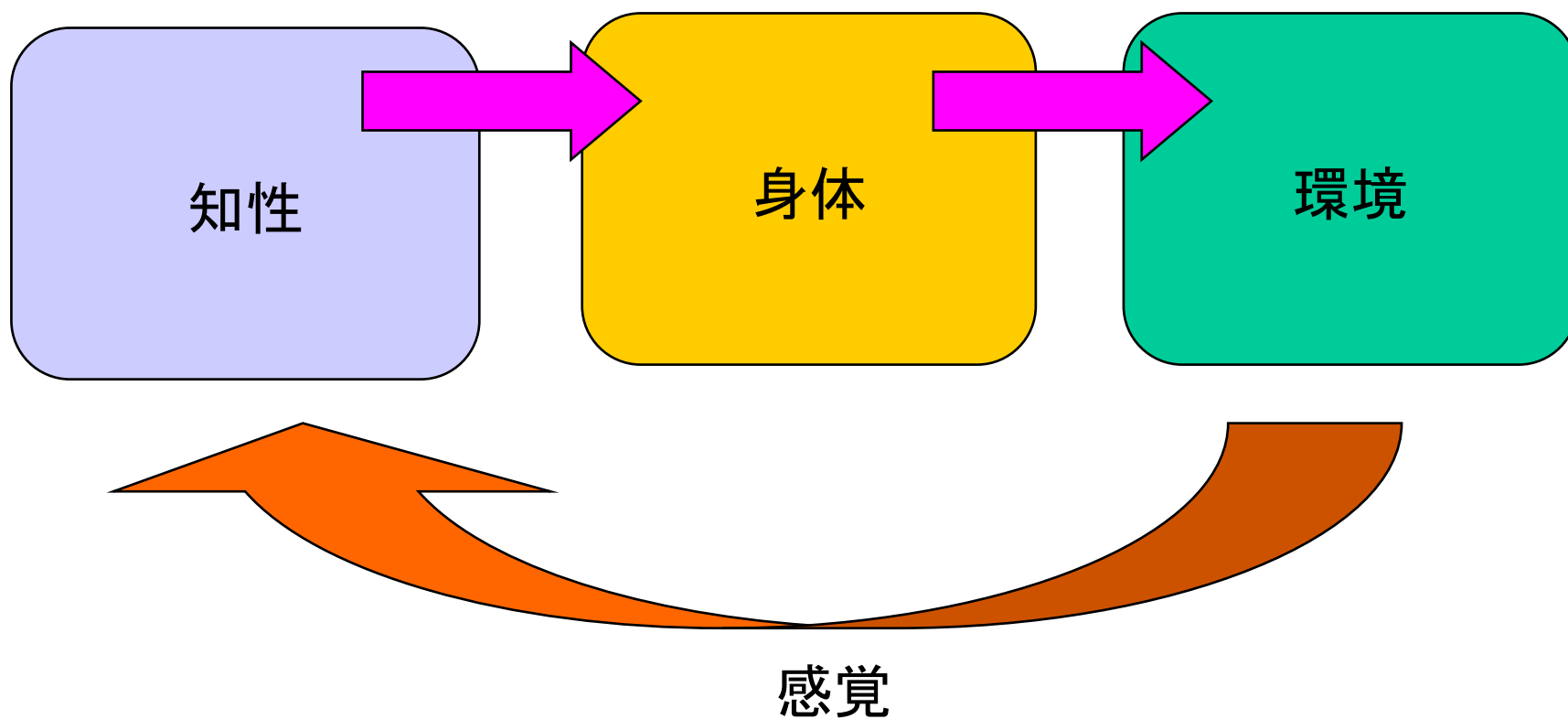
How the Body Shapes the Way We Think: A New View of Intelligence

Rodney Brooks (はしがき), Rolf Pfeifer (著), Josh Bongard (著), Simon Grand (寄稿), Shun Iwasaka (イラスト)

ゲームAIの通常の作り方

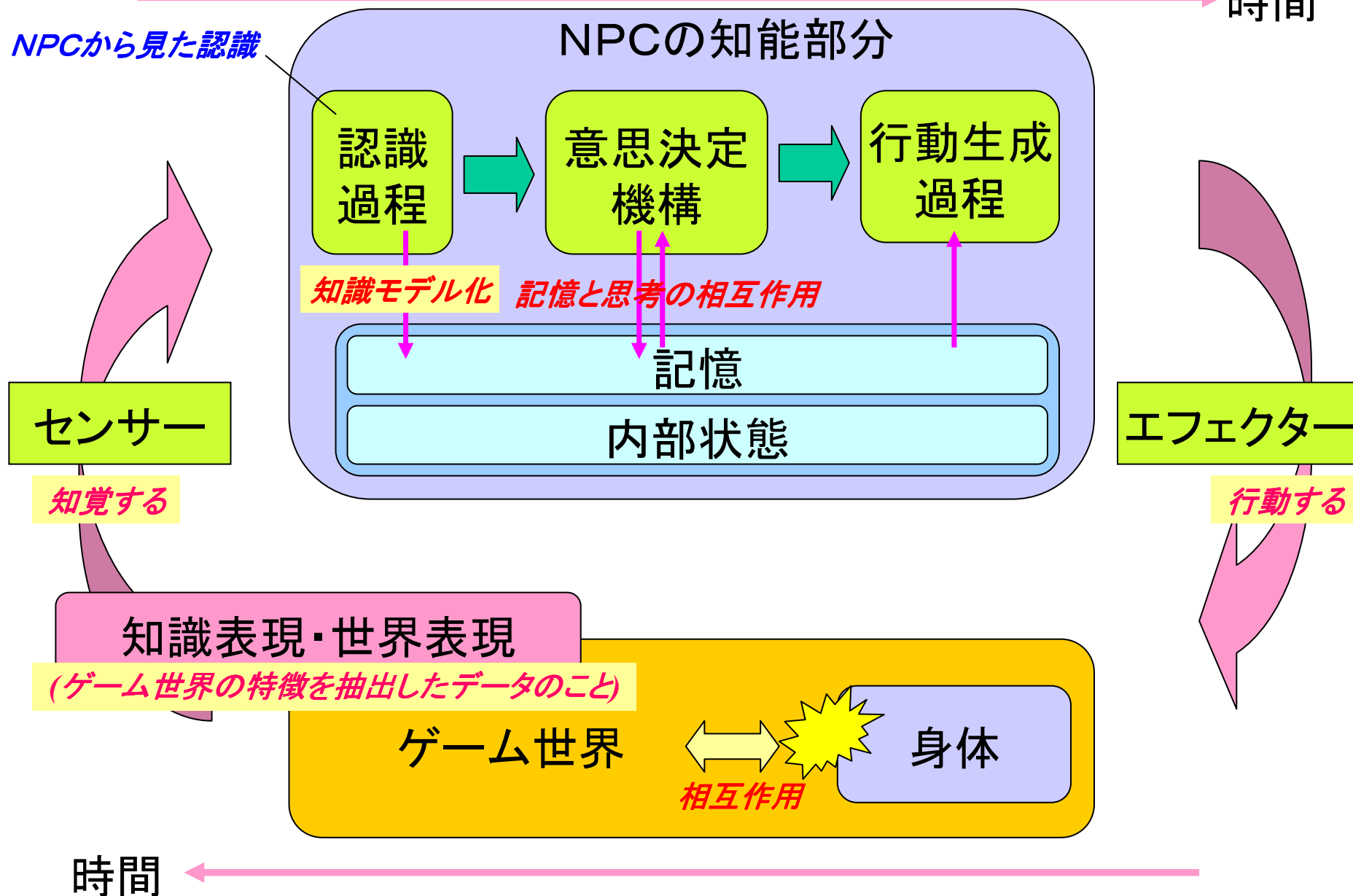


ゲームAIの通常の作り方

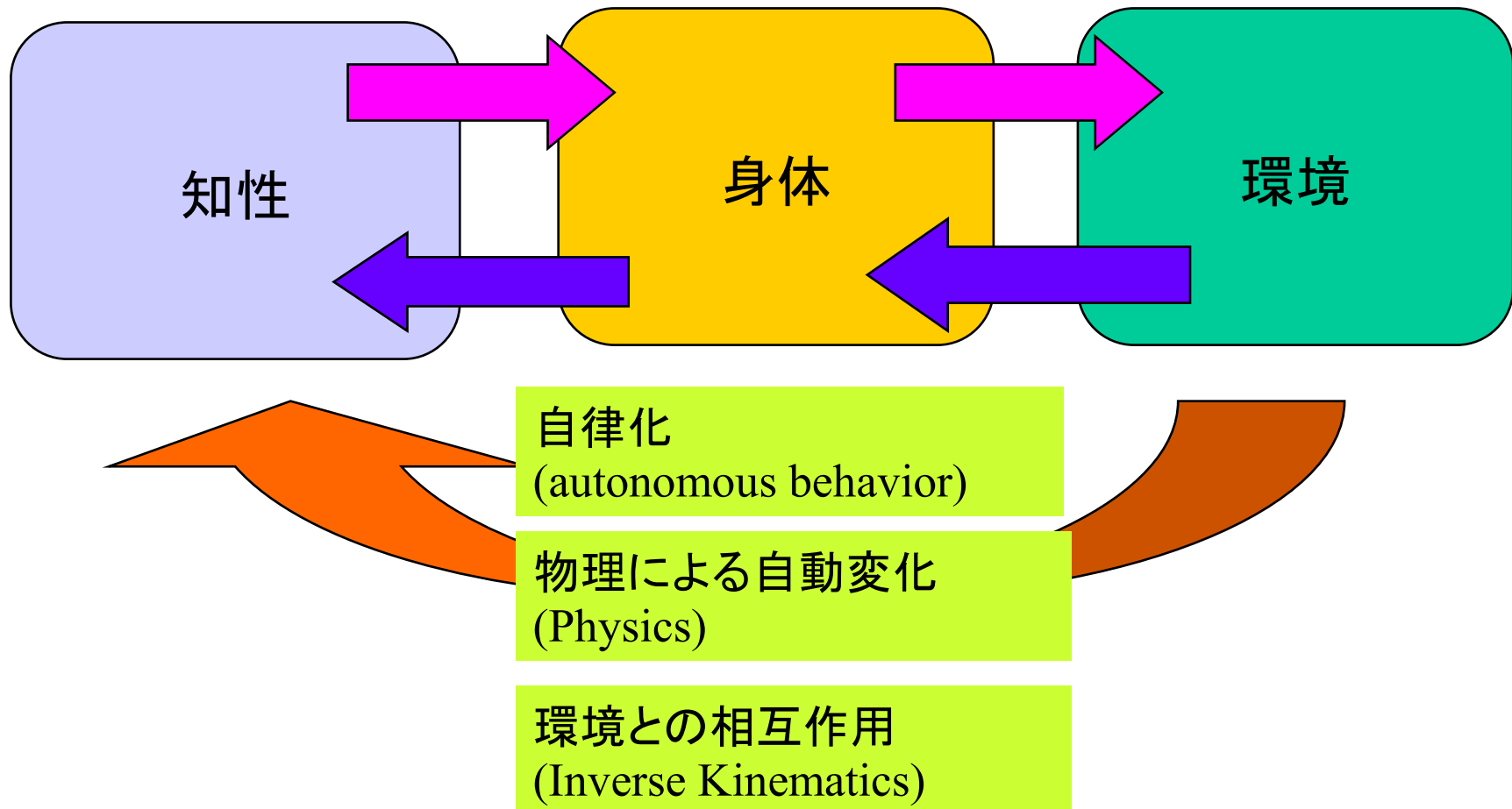


エージェント・アーキテクチャー

時間 →



何が変わったか？

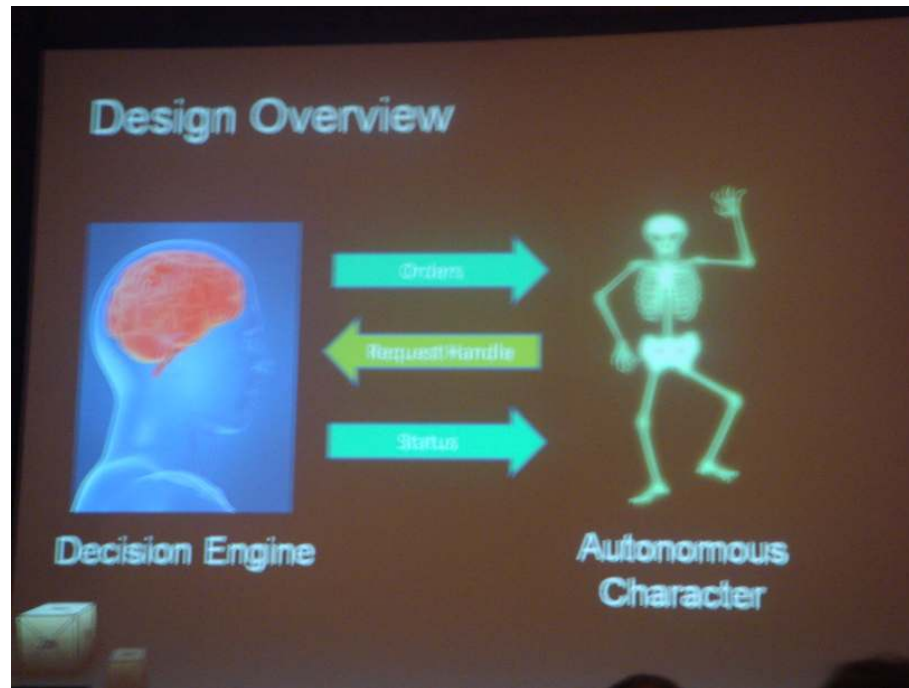


3/23

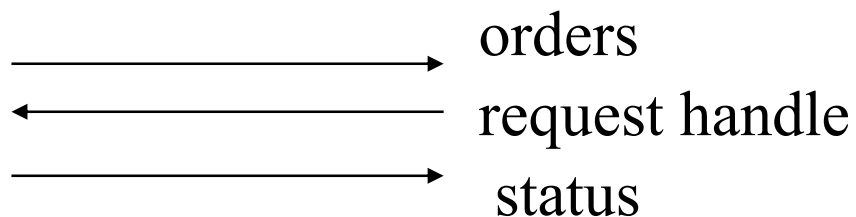
Animating
in a Complex World:
Integrating
AI and Animation

100%自律制御の身体動作は可能 か？

Alex J. Champandard



①歩幅を考慮したパスの作成



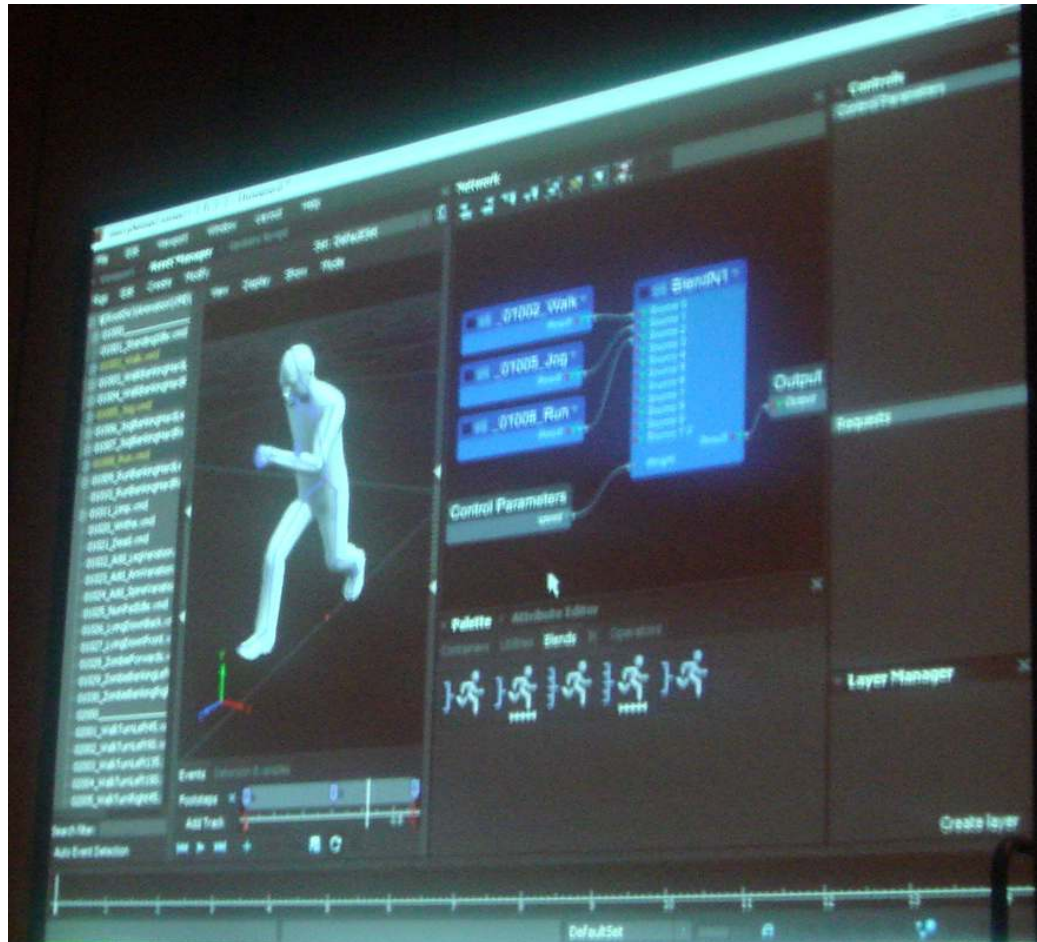
AiGameDev.com

<http://aigamedev.com/>

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

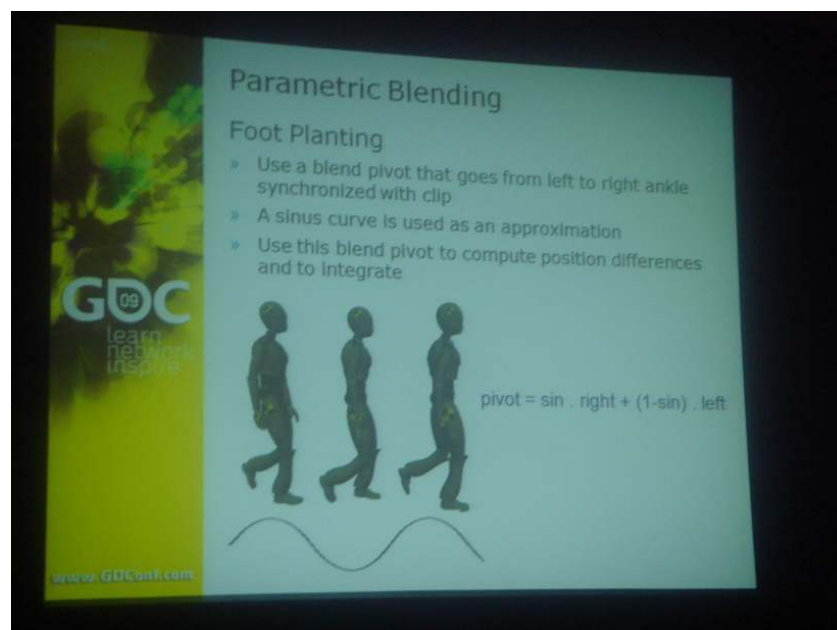
<http://www.naturalmotion.com/morpheme.htm>

3/25

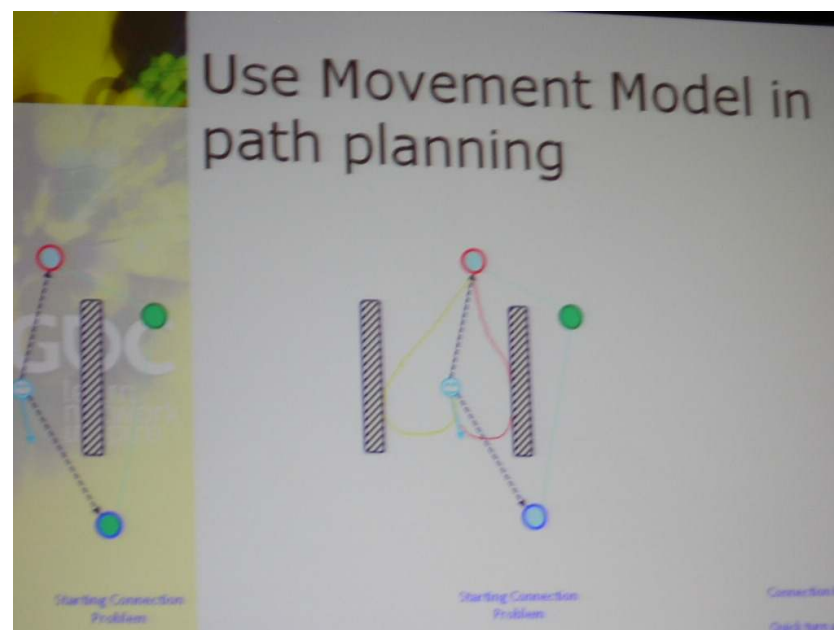
**Character Pathfinding
And Animation:
How to Make Them
Work Together**

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

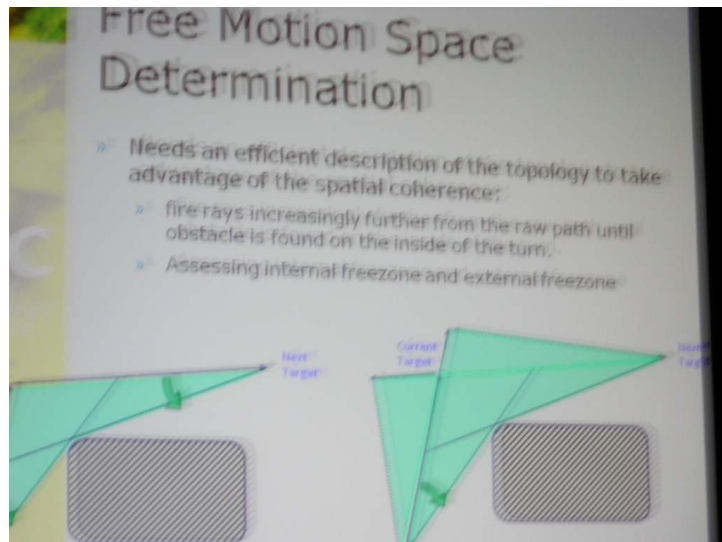
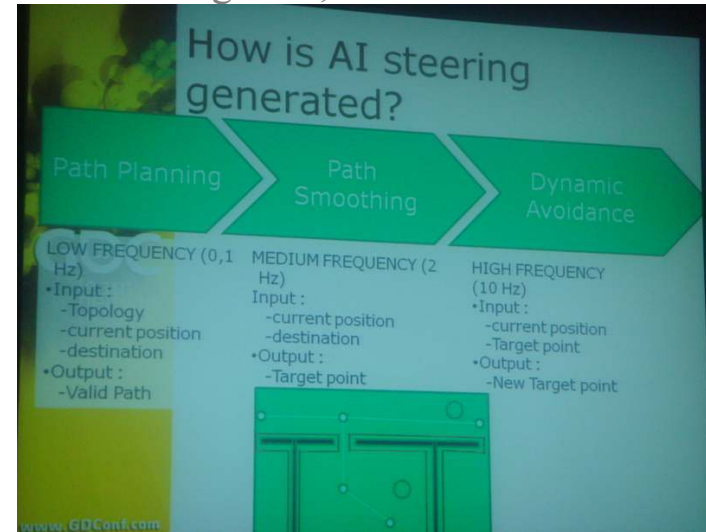
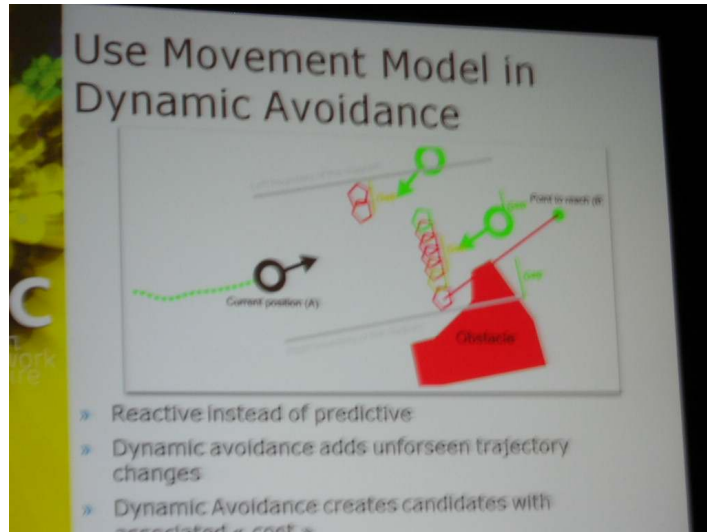
<http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/index?siteID=123112&id=12281405>

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



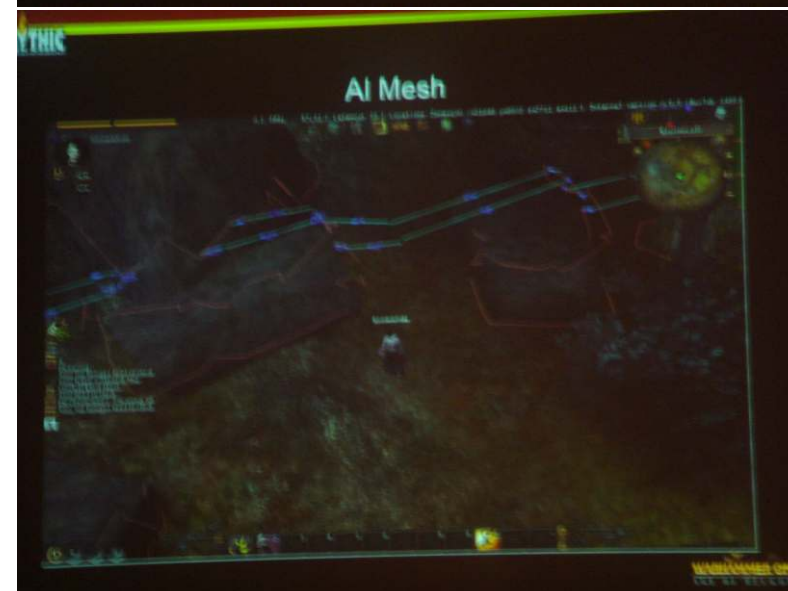
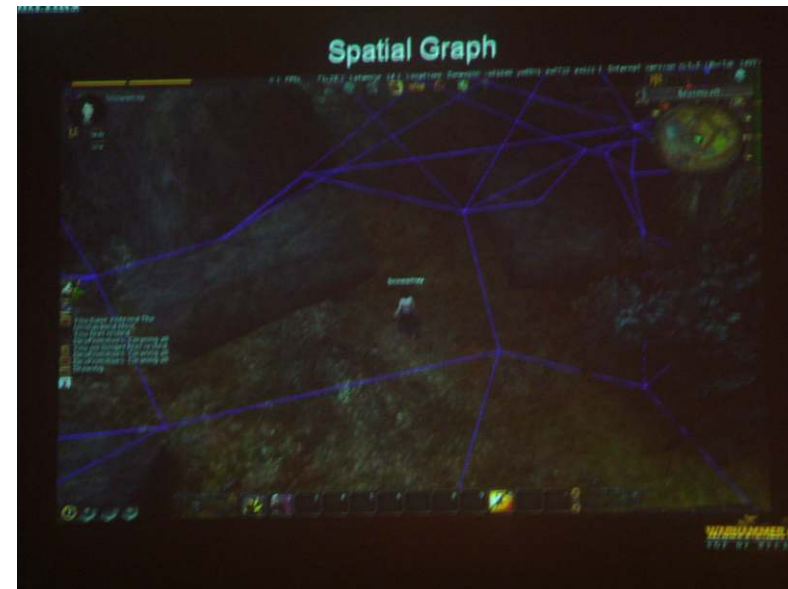
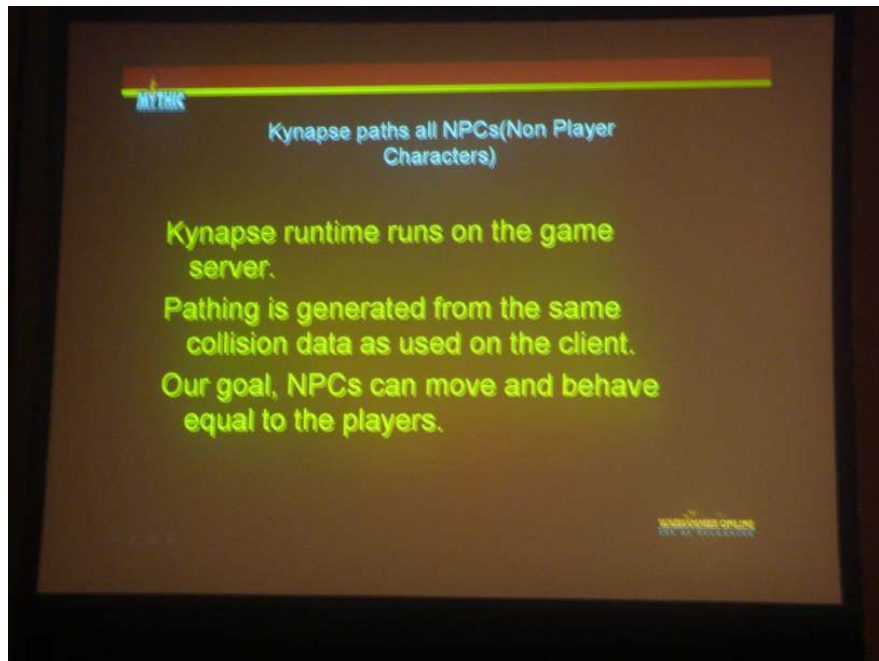
Pathfinding
→Path Smoothing
→Dynamic Avoidance

デモムービー

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...



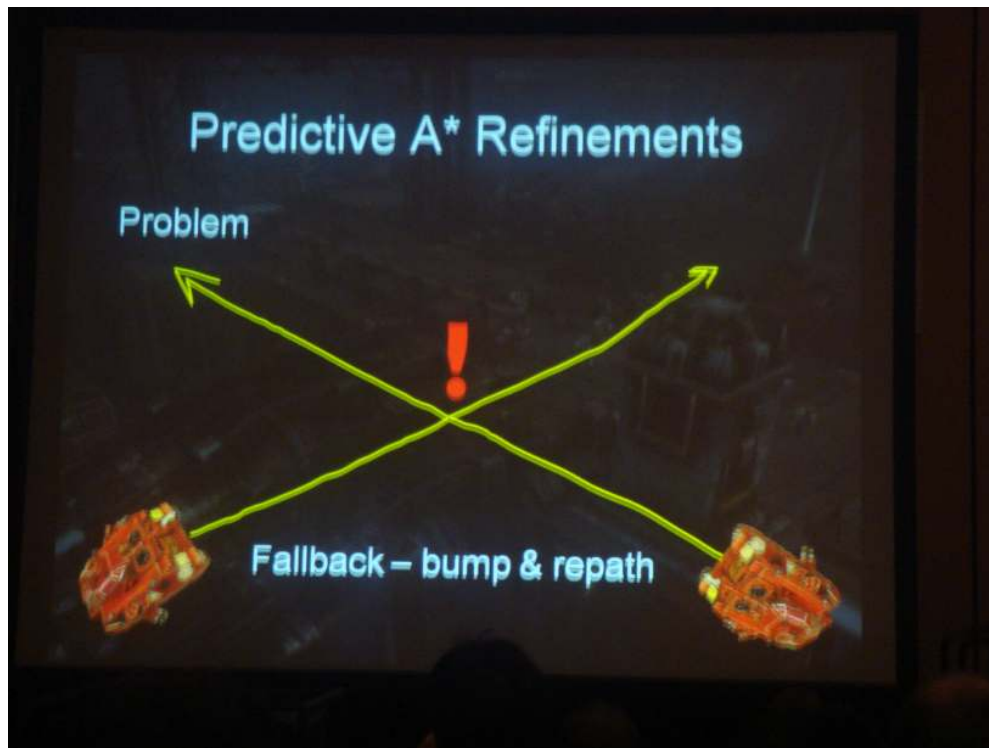
"The power of making war often prevents it."
THOMAS PETERSON, Editor in Chief, Washington Post, 4/1/99

コリジョンモデルからのパスデータの自動生成

3/26

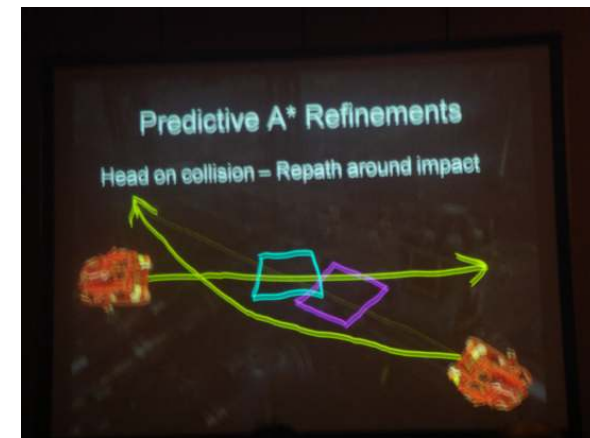
On the War Path:
Tactical AI
in DAWN OF WAR 2

タイルベースによる群れAIの制御



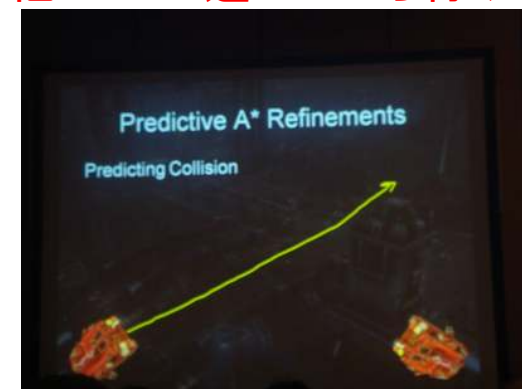
① 空間的

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のパスの衝突の回避の仕方

DAWN OF WAR 2のAIの要件と タイルベースパス

Melee Requirements

- Handle 100 units in a pile
- Widely varying sizes
- Handle dynamic battlefield
- Cinematic melee look:
Braveheart not Renfest



DAWN OF WAR 2のAIの要件と タイルベーススパス

Problem: Unit Overlap

- Tabletop solution
- Consider ring base in A* search
- Only accept goal cells where rings exactly touch



Unit Overlap

- Lots of benefits...
- Exact distance for animators
- Extra room between units to increase mobility of other unit



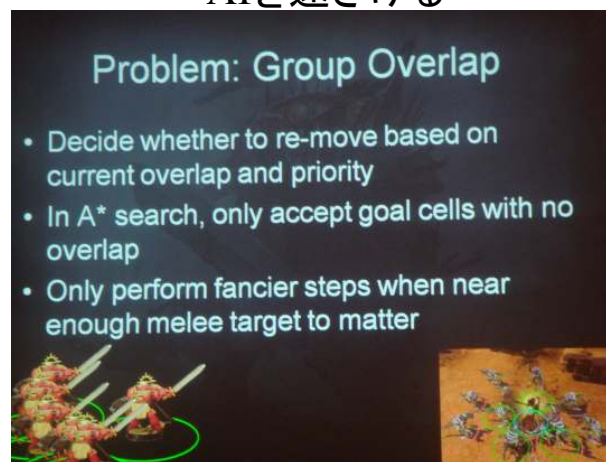
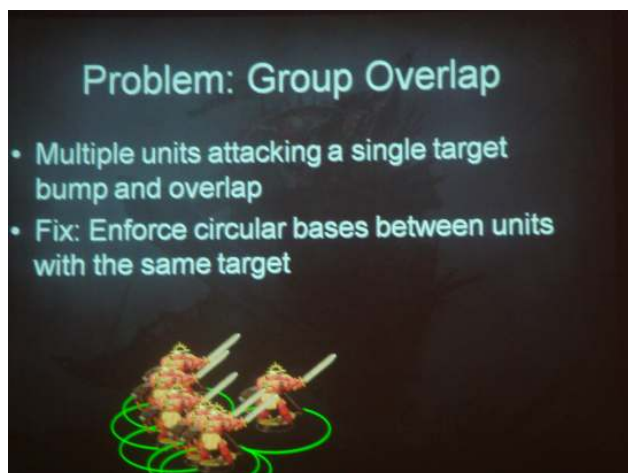
複数のユニット制御とタイルベースパス



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



デモムービー

第2章

ゲームの要求に答えるAI

- ④ ゲームAIプログラマーとゲームデザイナーの連携
(現段階では溝がある)
- ⑤ 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)

ゲームAIの持つアンビバレンス

デザイナーはゲームの全てを思い通りに制御したい。
しかし、普段ゲームデザインとして
意識しないところは自動的に処理して欲しい。

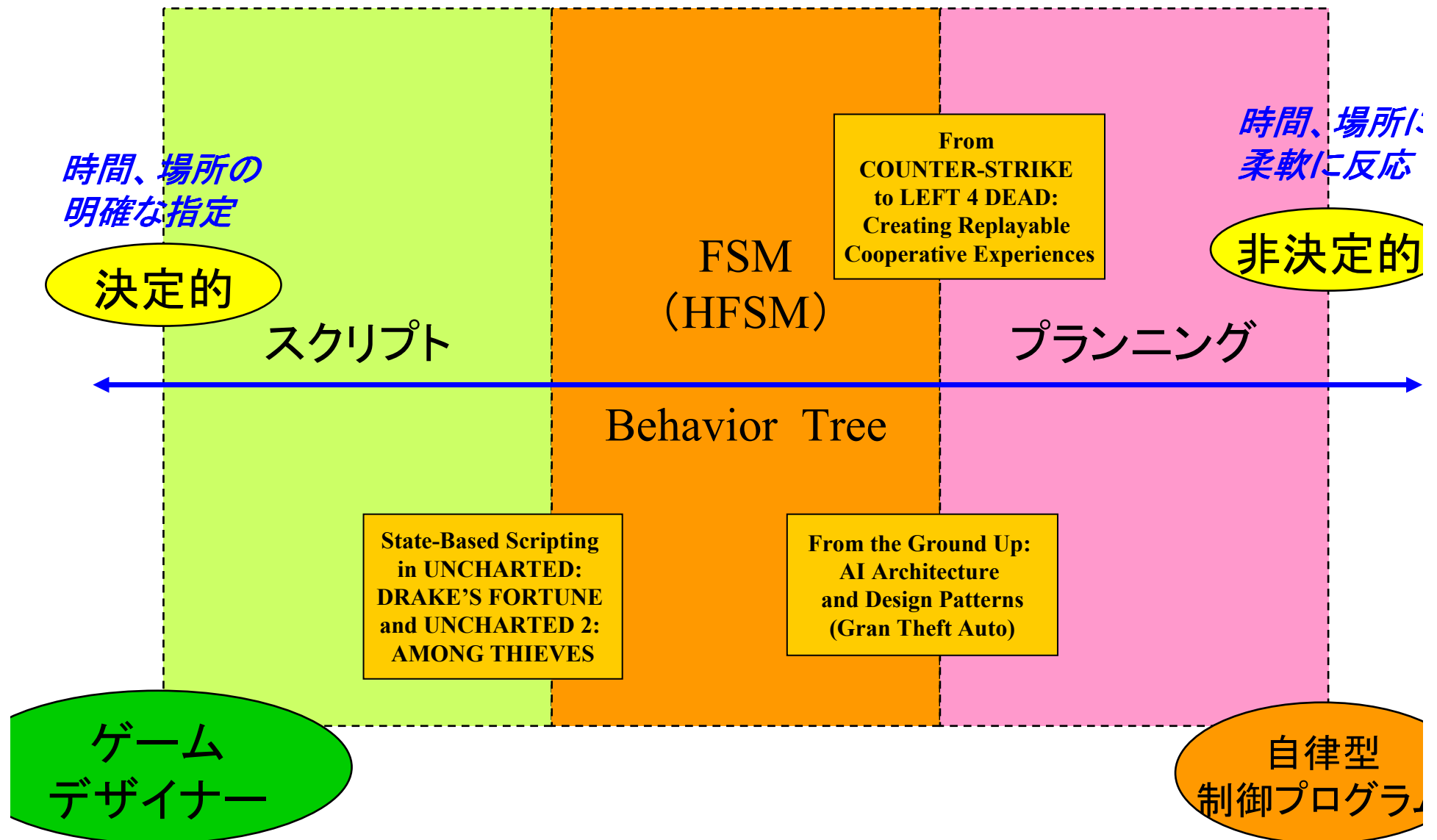
ゲーム
デザイナー



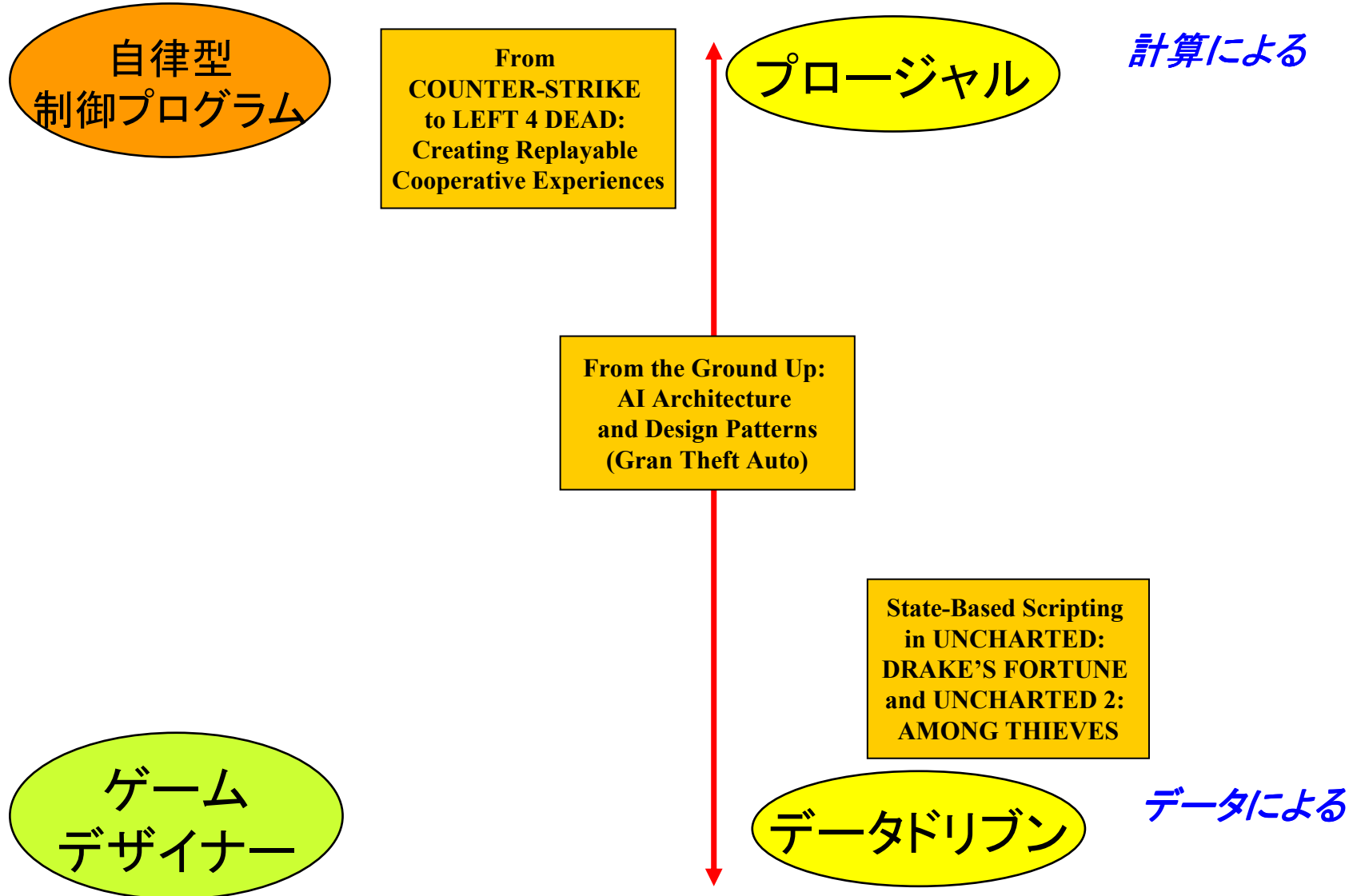
自律型
制御プログラム

しかし、普段意識しないところでも、
ある場面では制御したくなることもあるので、
その時に限り制御したい。

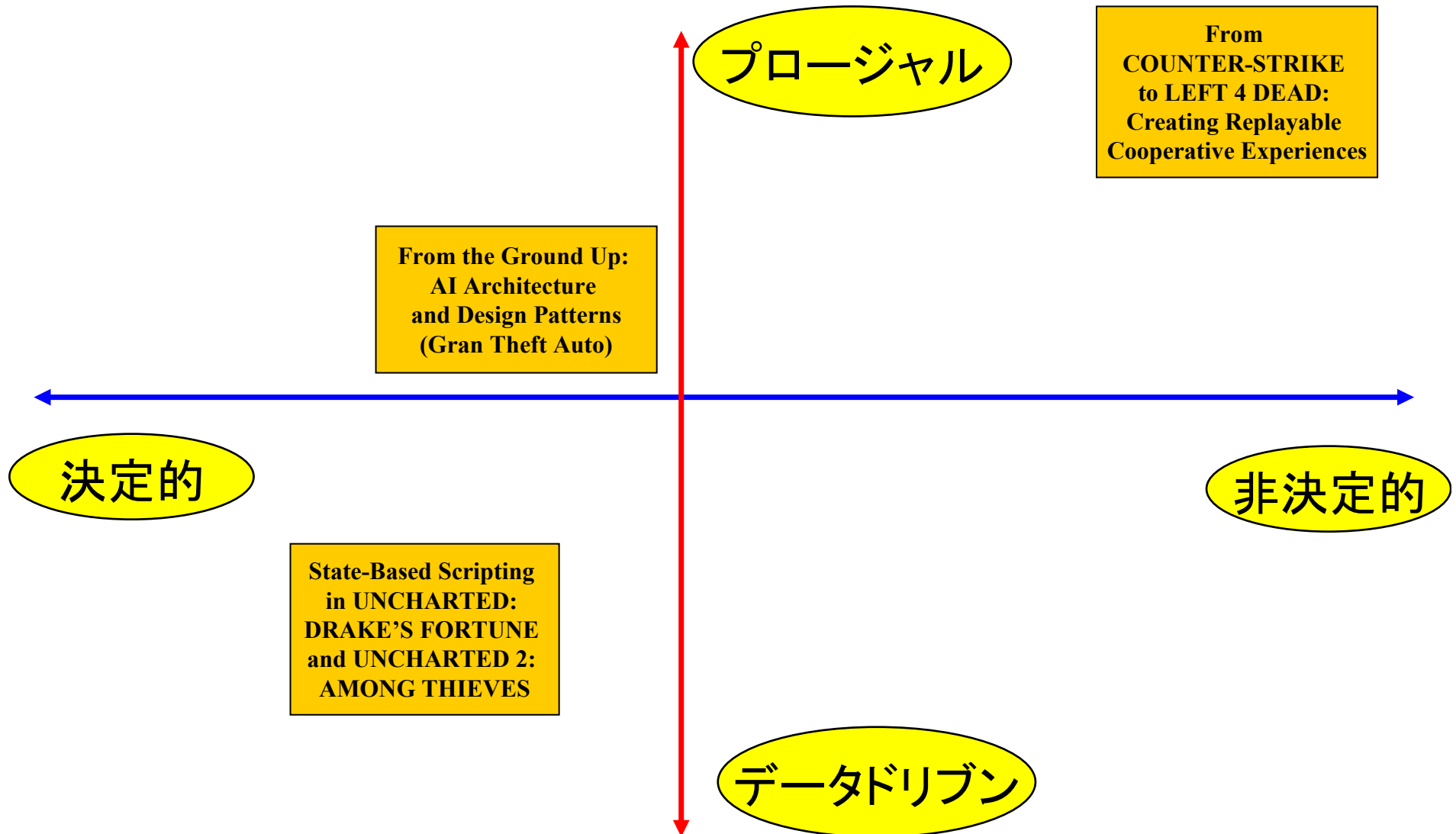
デザイナーの自由度と 自律型プログラムの自由度



デザイナーの自由度と 自律型プログラムの自由度



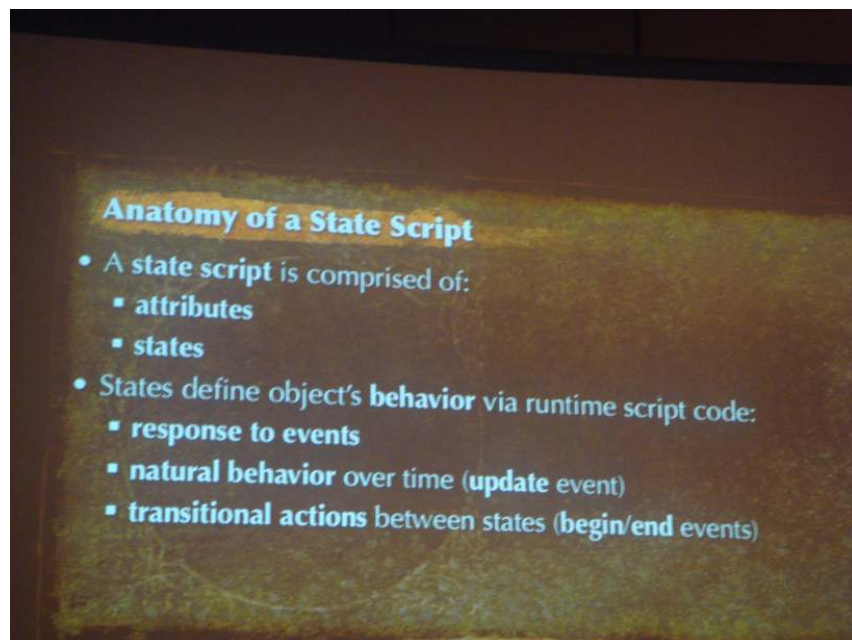
決定的vs非決定的 プロシージャル VS データドリブン



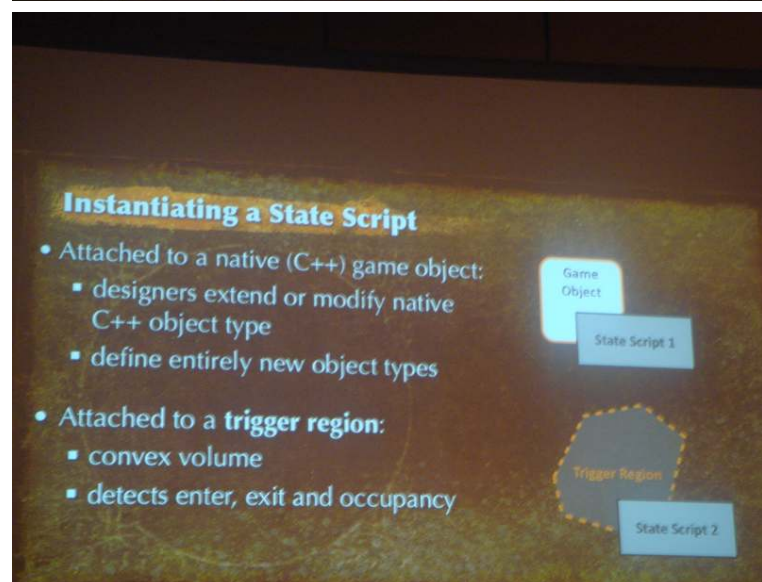
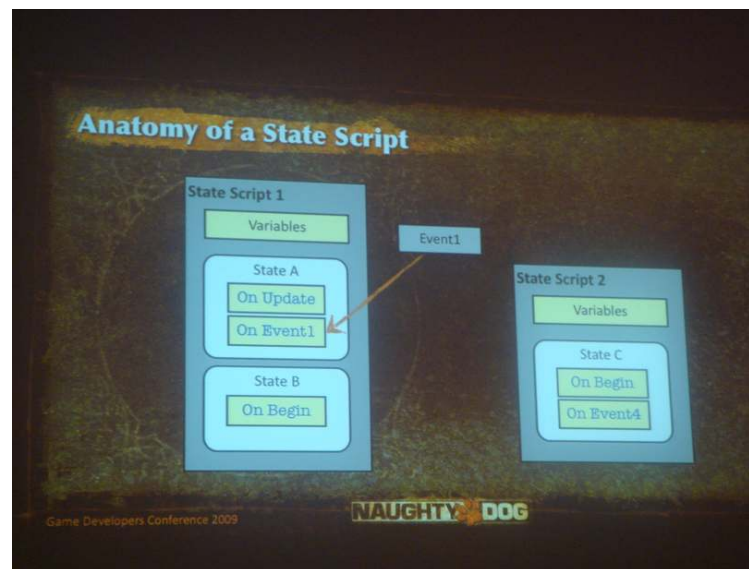
3/27

State-Based Scripting
in UNCHARTED:
DRAKE'S FORTUNE
and UNCHARTED 2:
AMONG THIEVES

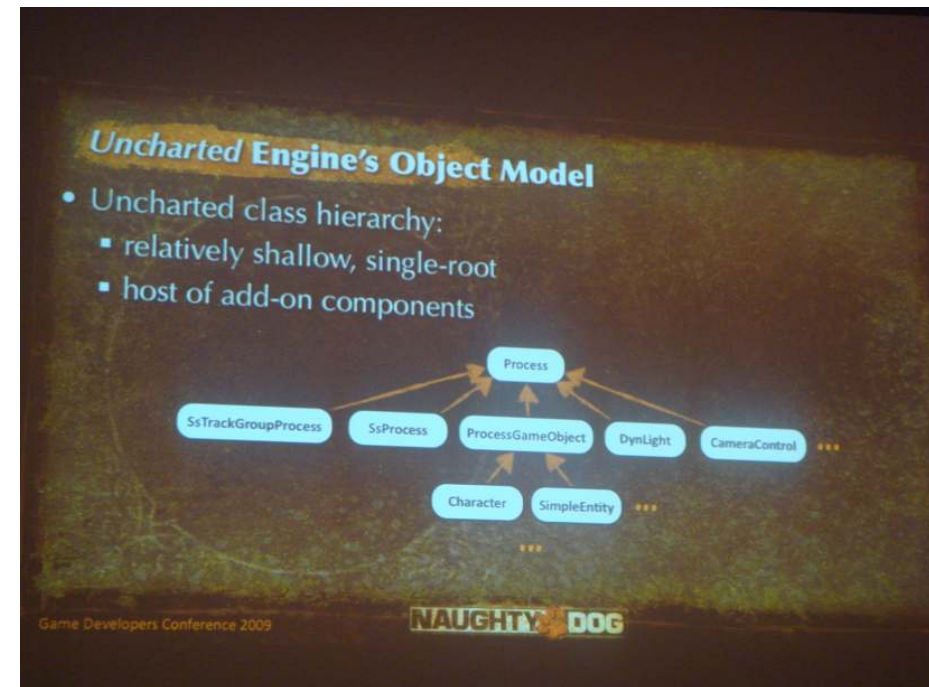
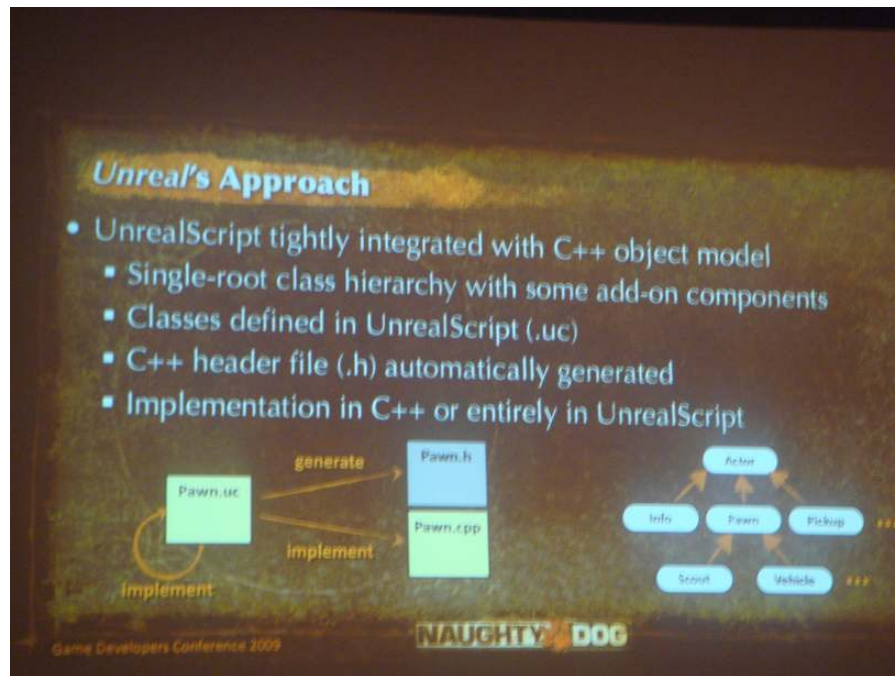
オブジェクト指向言語で AIだけでなくゲーム全体をコントロール



ゲームオブジェクトや
領域に張り付いたスクリプト

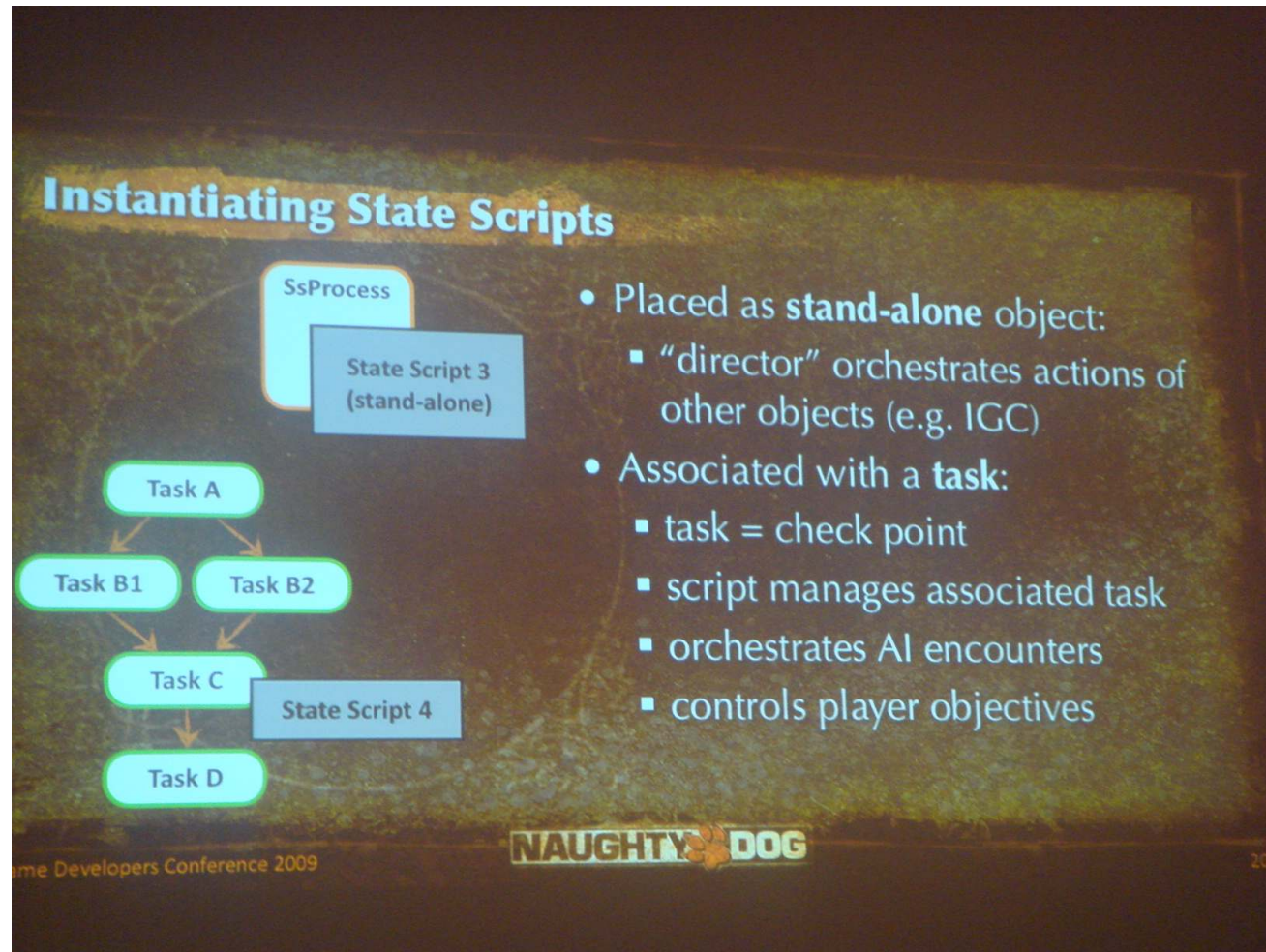


Unrel Script vs Uncharted Script



Unreal はC++のオブジェクトという意味でオブジェクト指向スクリプト

一連のタスクをつないで行くAIの エンカウントを指揮する



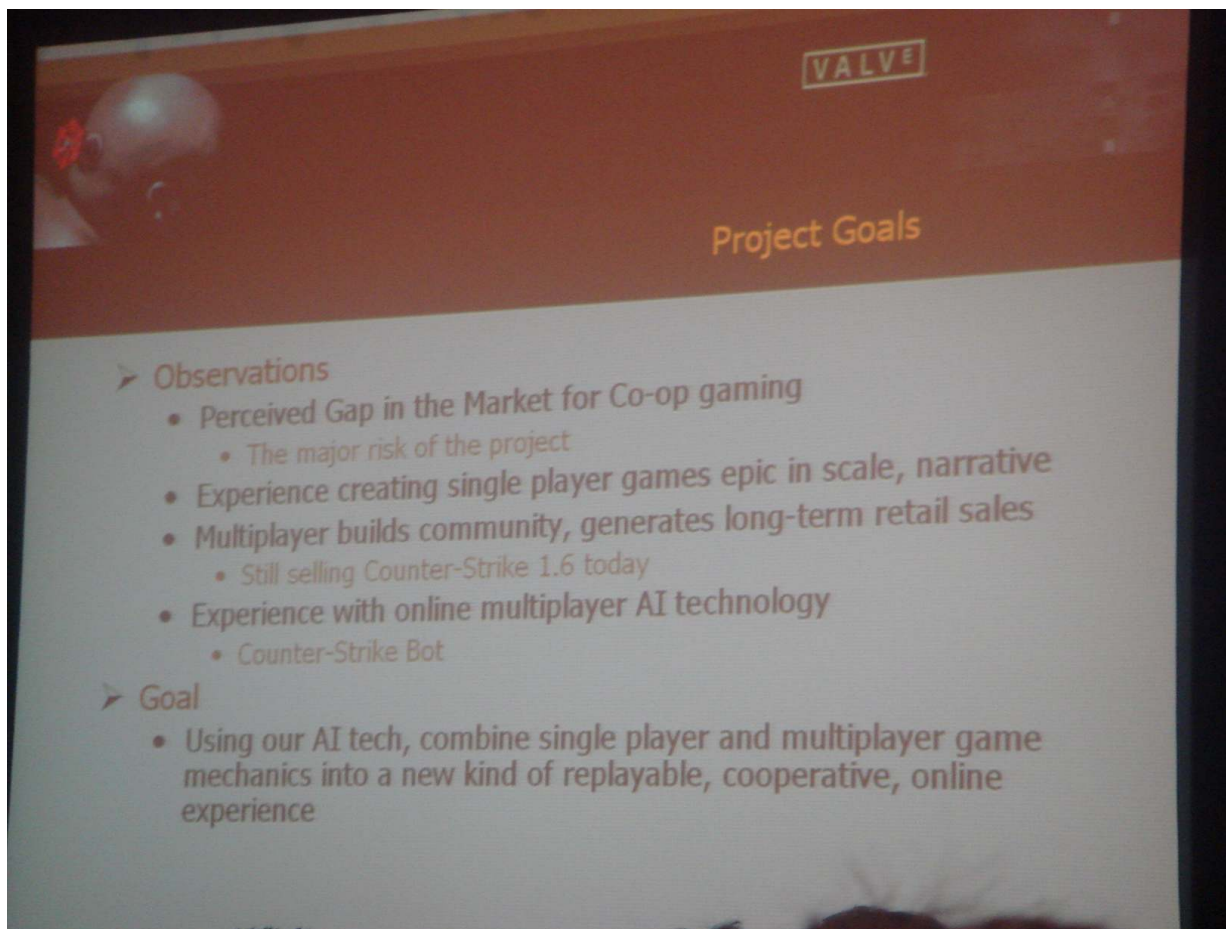
デモムービー

3/26

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

ゲームの流れを制御するAI (おそらく最高のメタAI)

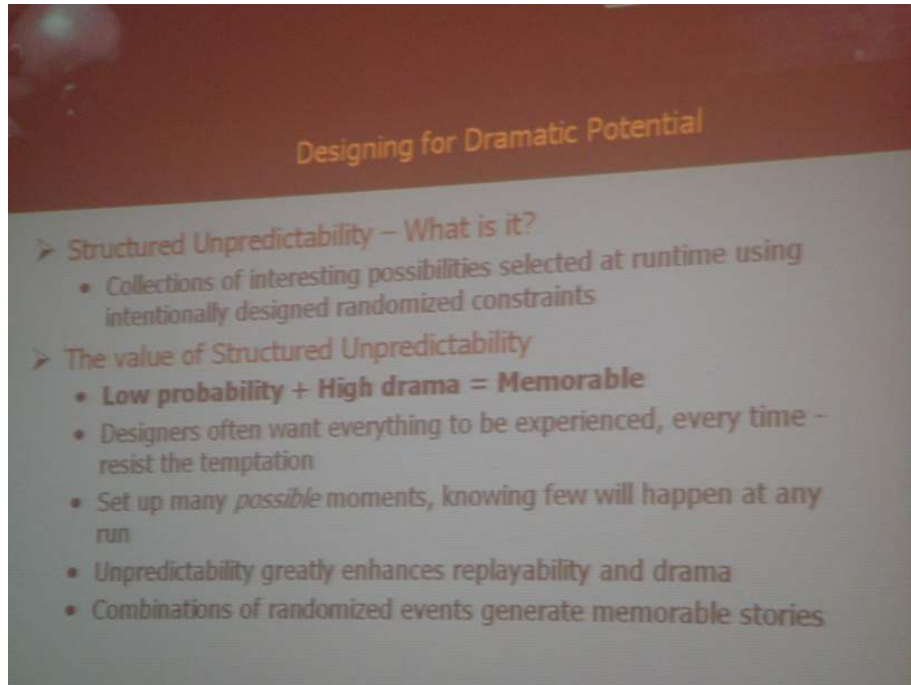
たくさん記事がある(Left 4 Dead AI Director)



Left 4 Dead

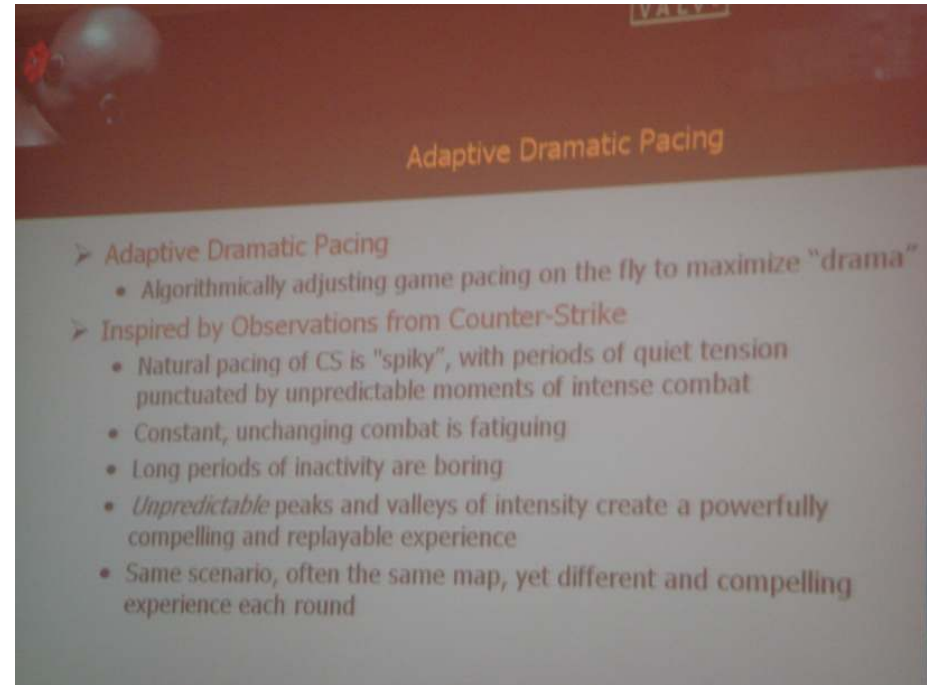
AIによってシングルとマルチプレイヤーゲームのメカニクスを融合する

構築された非予測性



Designing for Dramatic Potential

- Structured Unpredictability – What is it?
 - Collections of interesting possibilities selected at runtime using intentionally designed randomized constraints
- The value of Structured Unpredictability
 - **Low probability + High drama = Memorable**
 - Designers often want everything to be experienced, every time – resist the temptation
 - Set up many *possible* moments, knowing few will happen at any run
 - Unpredictability greatly enhances replayability and drama
 - Combinations of randomized events generate memorable stories

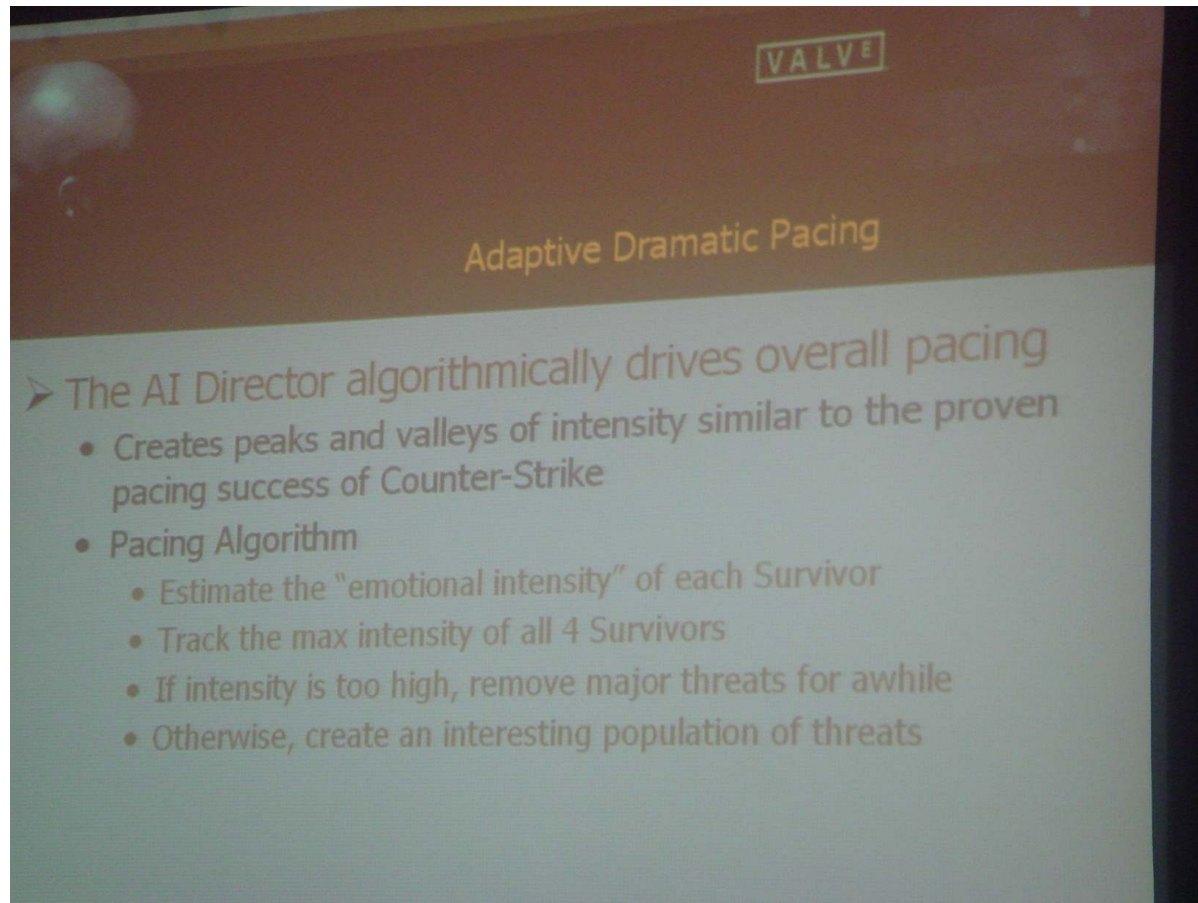


Adaptive Dramatic Pacing

- Adaptive Dramatic Pacing
 - Algorithmically adjusting game pacing on the fly to maximize “drama”
- Inspired by Observations from Counter-Strike
 - Natural pacing of CS is “spiky”, with periods of quiet tension punctuated by unpredictable moments of intense combat
 - Constant, unchanging combat is fatiguing
 - Long periods of inactivity are boring
 - *Unpredictable* peaks and valleys of intensity create a powerfully compelling and replayable experience
 - Same scenario, often the same map, yet different and compelling experience each round

CounterStrike で見つけた緩急による面白さの生成

AI Director – ゲームの緩急を精密に操るメタAI

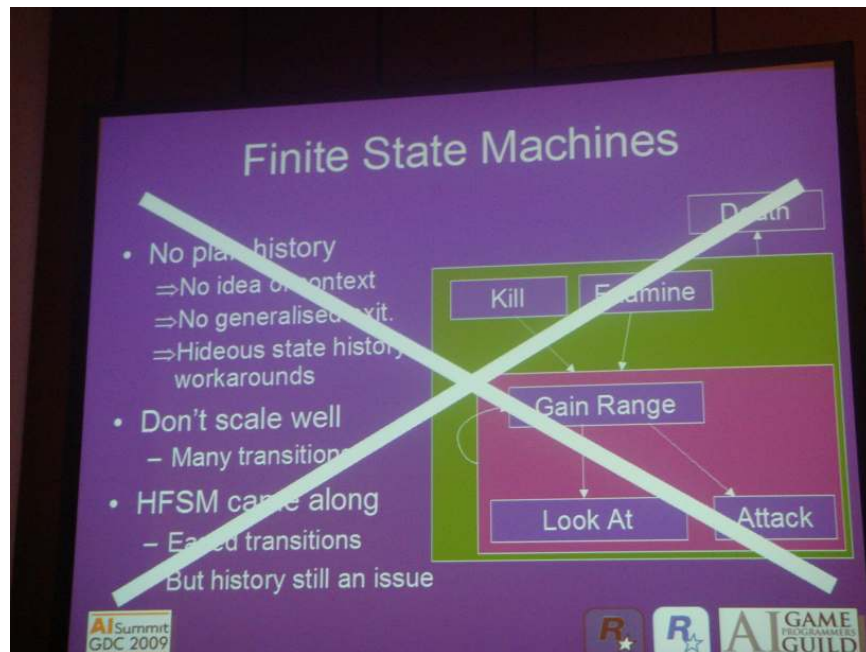


プレイヤーのインテンシティー(緊張感)を計算
→ ピーク時にモンスターを放つ！

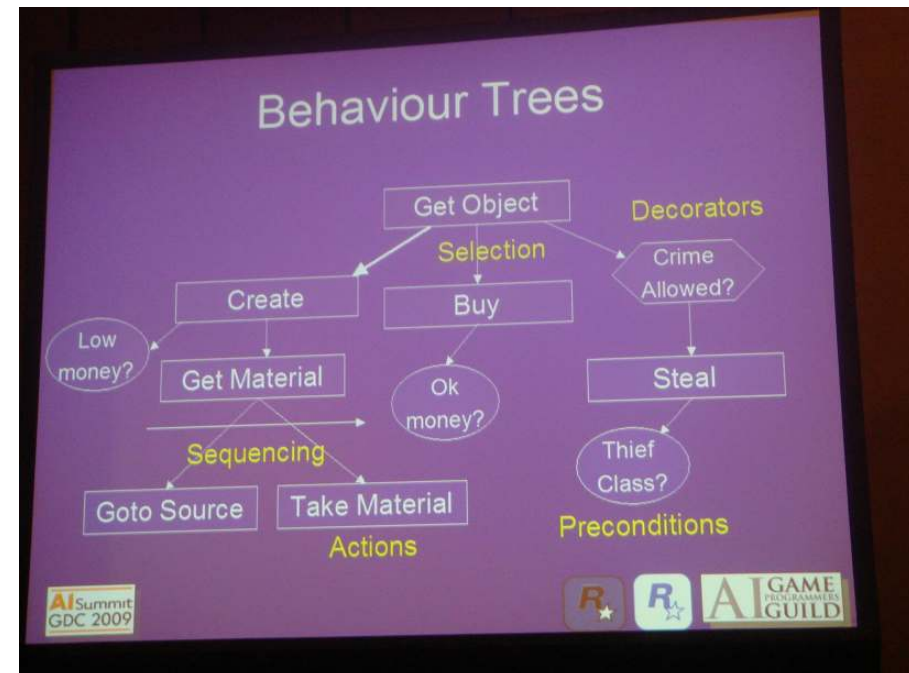
3/24

From the Ground Up:
AI Architecture
and Design Patterns
(Gran Theft Auto)

Gran Theft Auto 4 の 日常的なAI



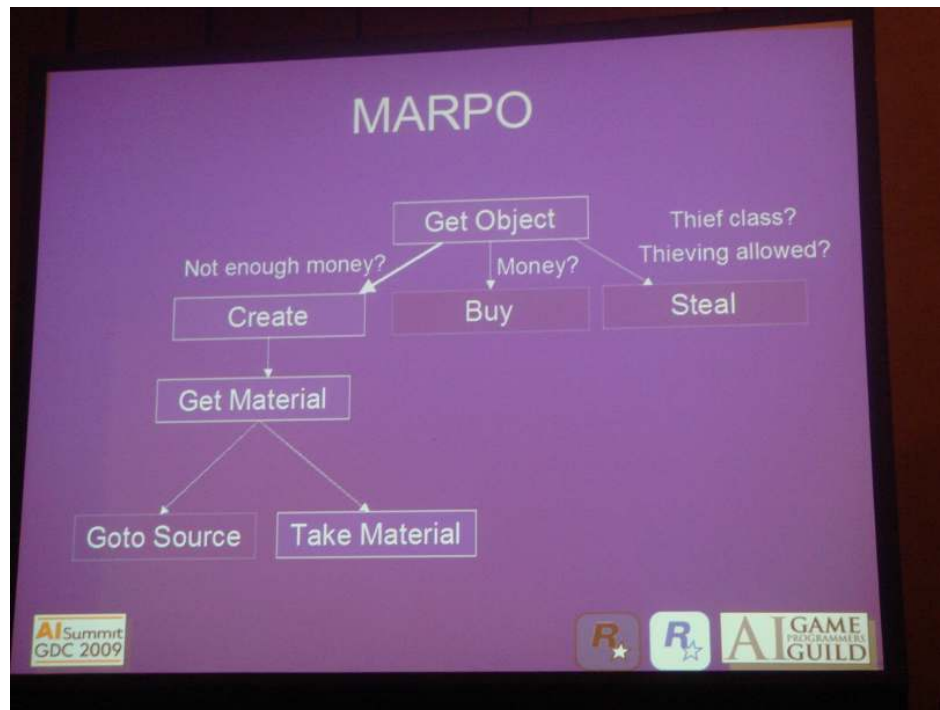
FSMは煩雑になるのでやめた



Behavior Trees を採用した

Behavior Tree と階層型AI

階層

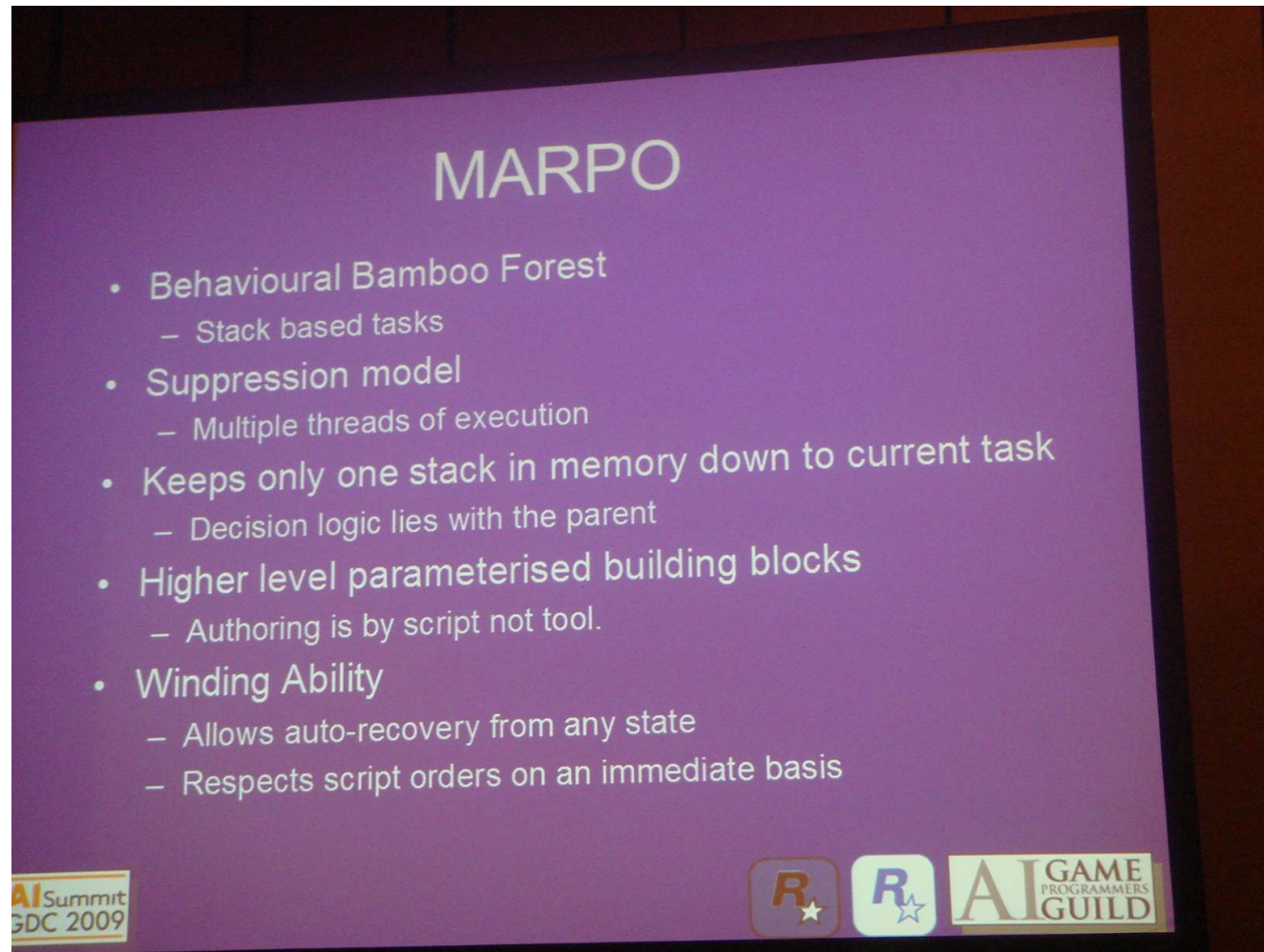


Behavior Tree から
Long Termプランを決定



一つ一つをゴール指向的に
実現する

実装はスタックベース



MARPO

- Behavioural Bamboo Forest
 - Stack based tasks
- Suppression model
 - Multiple threads of execution
- Keeps only one stack in memory down to current task
 - Decision logic lies with the parent
- Higher level parameterised building blocks
 - Authoring is by script not tool.
- Winding Ability
 - Allows auto-recovery from any state
 - Respects script orders on an immediate basis

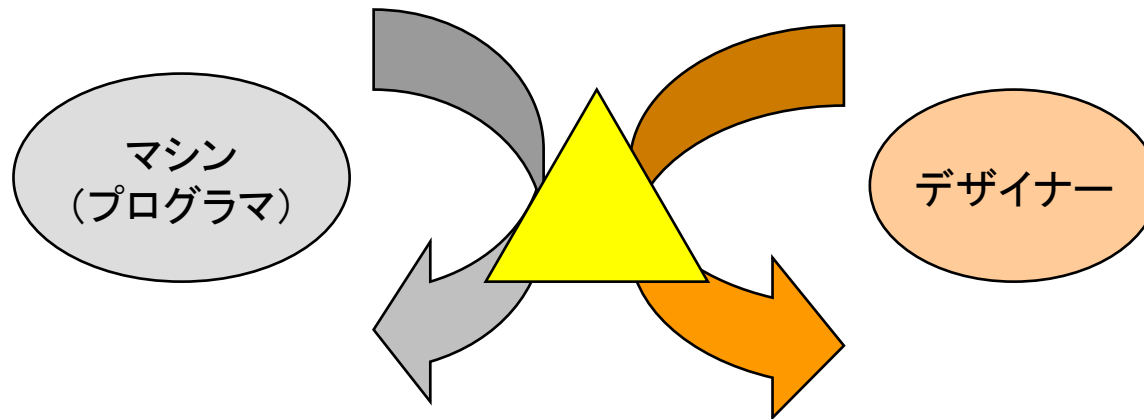
AI Summit
GDC 2009

R★ R★ AI GAME PROGRAMMERS GUILD

まとめ

アドバンス

- ⑤ 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)



CGでは、テクスチャーのついたポリゴンは、
マシン(プログラマ)が操作する単位であり、
またデザイナーがそこからグラフィックを作る単位であり、
両者の共通する土台であると同時に、お互いに干渉せずに作り上げることができる

ゲームAIでもそのような単位が存在するだろうか？

第3章

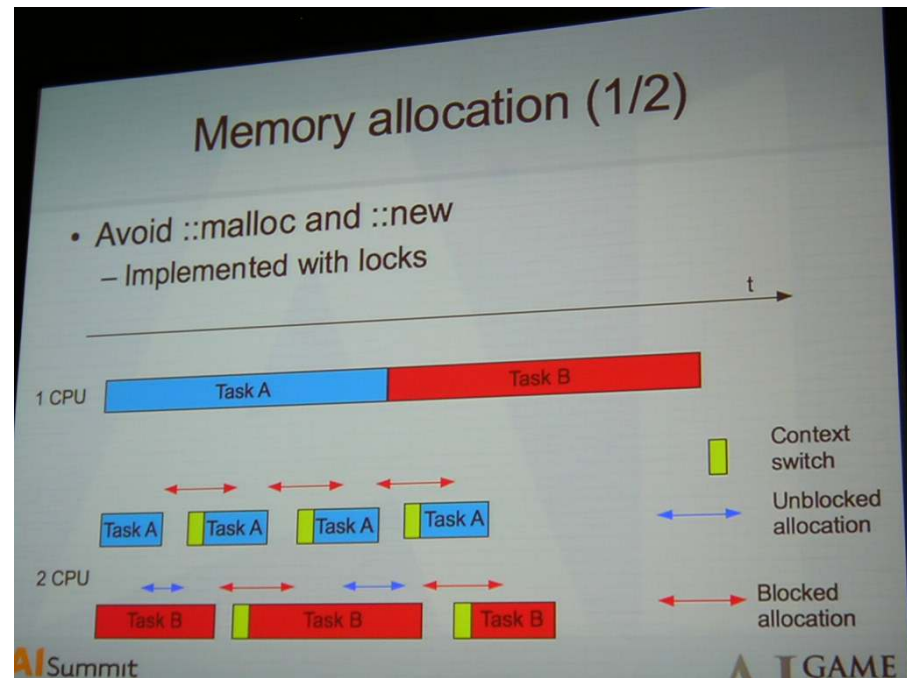
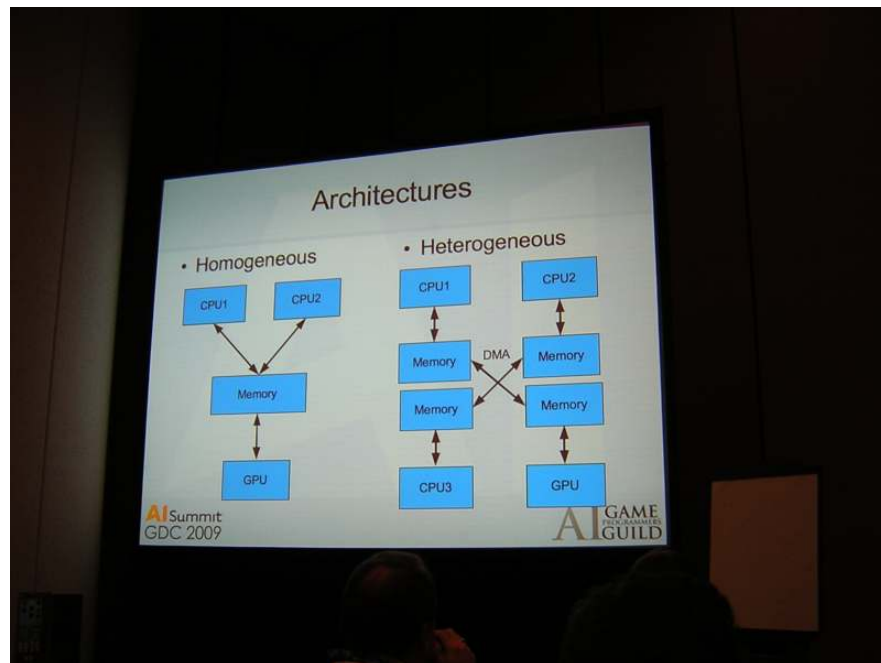
これからのAIの実装 — 並列化

③ ゲームAIの並列化による実装

3/24

**Parallelism in AI:
Multithreading Strategies
and Opportunities for
Multi-core Architectures**

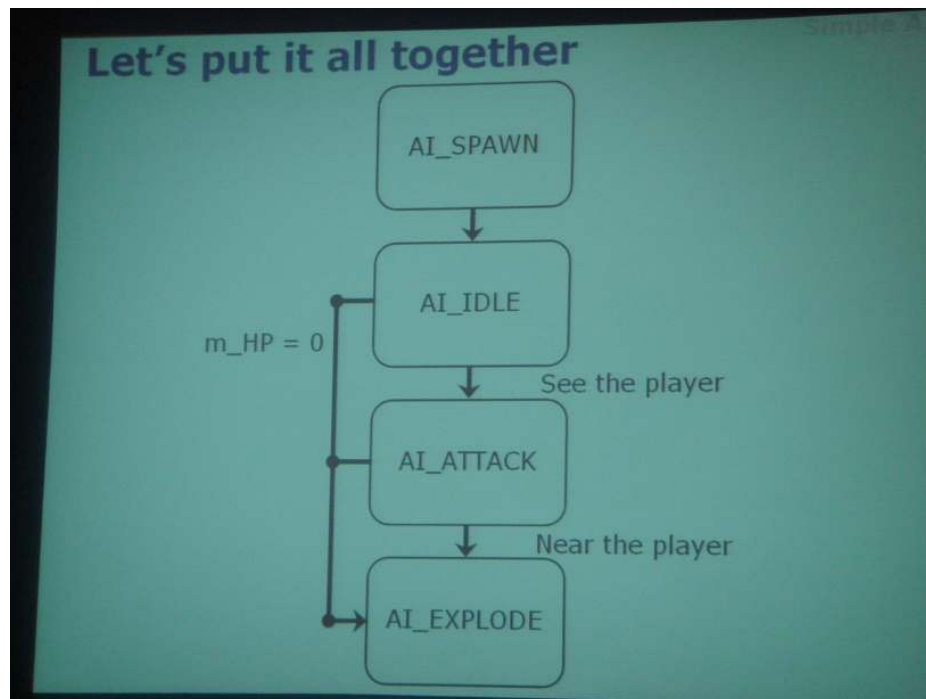
並列化実装の注意



3/25

Threaded AI
For The Win!

Intel AIの並列化実装



Use data decomposition

The diagram shows a stack of **AI** entities. Each entity contains a **State Machine**, which in turn contains **Collision** and **Pathfinding** components. This represents data decomposition where each AI entity is a self-contained unit.

```
class ParallelAIContext {
    void operator()( const tbb::blocked_range<int> &range )
    {
        for( int i = range.begin(); i != range.end(); ++i )
        {
            g_AI_Array[ i ].Update();
        }
    }
}

void UpdateAI( void )
{
    tbb::parallel_for( tbb::blocked_range<int>(0, g_Num_AI),
        *pParallelAIContext );
}
```

- Divide the AIs into groups. This is data decomposition.
- Submit the AIs to a job queue or use threading API like OpenMP or Intel® Threading Building Blocks.

FSMを想定

(別にFSMでなくても出来るとは言っていた)

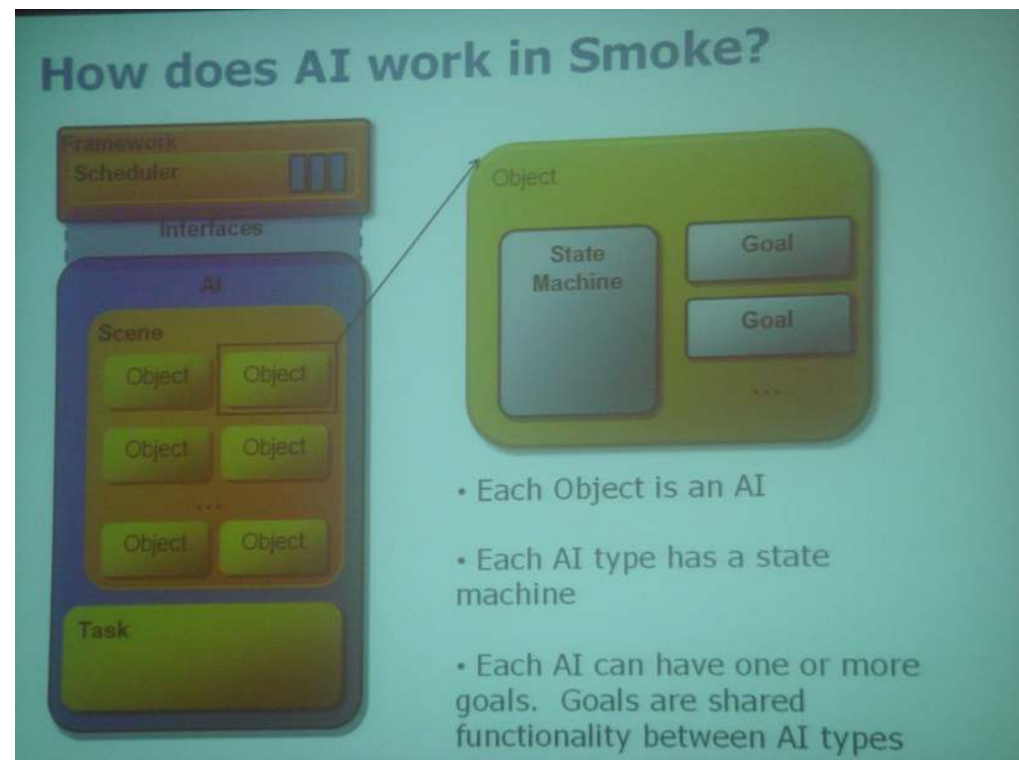
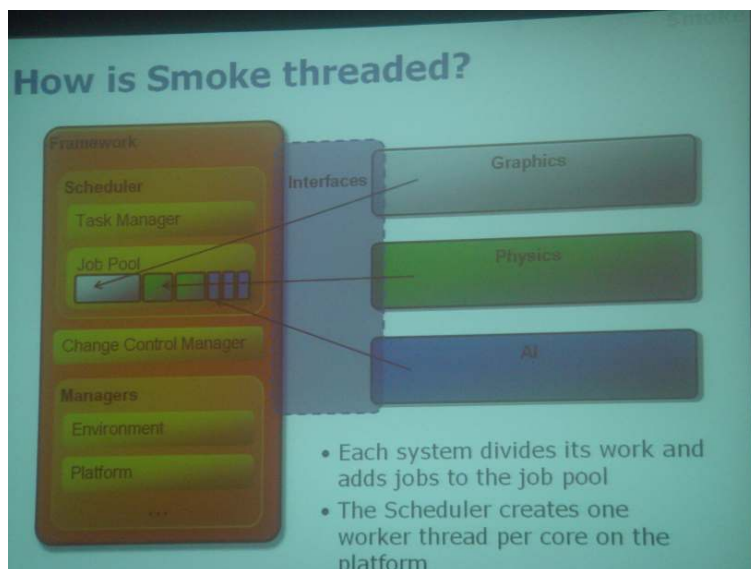
データの分解

Smoke のデモ内でAIを実装

Smoke is a Multithread Land!

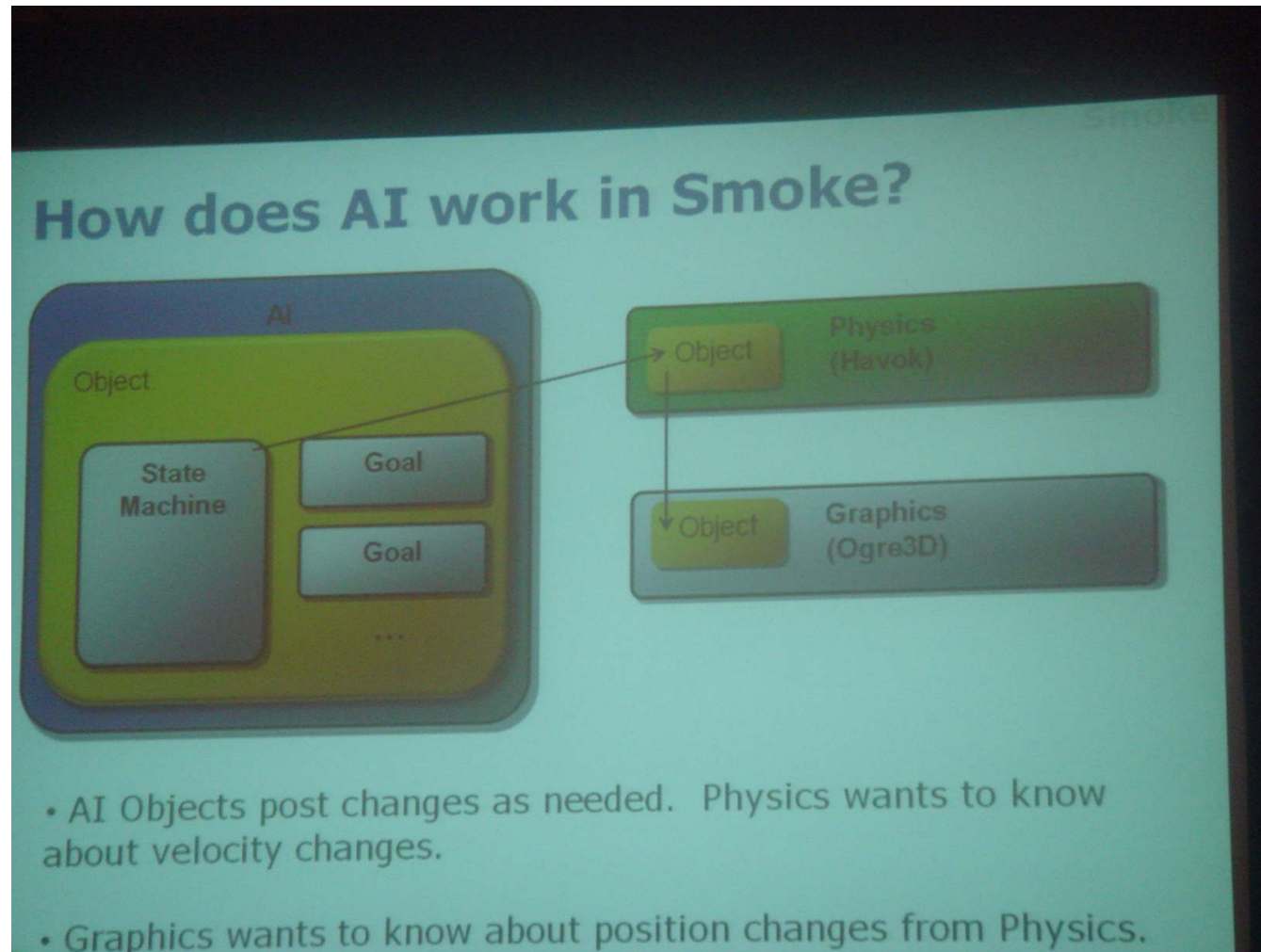


- Framework built by Intel for N-threads
- Demo uses real game technologies: Havok, FMOD, Ogre3D, DX9, animation, AI, and procedural content
- Well partitioned and configurable



MTフレームワークに似た
ジョブハンドリング

Smoke のデモ内でAIを実装



シークエンス

発表のまとめ

- (1) 自律型AIも、カスタマイズするAIも、双方が高いレベルを目指して発展している。
- (2) AIを量産するには、「プロシージャルか、データか」、「自律型か、デザイナーが指定するか」をはっきりと方針を決めた方がよい。
- (3) 大型ゲームはどちらかを選択して、そこまで到達しなければならない。
- (4) これまでになかった次元に自律的なAIが出現し始めいてる。(自律アニメーションなど)
- (5) ゲームをコントロールするメタAIは、ゲームを設計するときに考えるファクターに入れておいた方がよい。