

ゲームと社会と人工知能(II)

－ 協調するAI －

東京大学コンテンツ創造科学
産学連携教育プログラム

三宅 陽一郎

(株式会社 フロム・ソフトウェア)

y.m.4160@gmail.com

2008. 6. 25

ゲームと社会と人工知能(II)

ー 協調するAI ー

- (1) 日本と欧米のAIの差を越えて
- (2) マルチエージェントが見せる地平
- (3) 次世代技術とゲームデザイン

マルチエージェントの宇宙へ

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>

第1回コンテンツ

第1部 ゲームと社会

(産業の話)

- (1) ゲームから社会を見る。
- (2) 社会からゲームを見る。

第2部 ゲームと人工知能

(技術の話)

- (1) ゲームAIとは何か？
- (2) 演習(人工知能の基礎概念)
 - ①知識表現・世界表現 ②ゴール指向プランニング

第3部 社会と人工知能

(これからの話)

- (1) 人はゲームAIに何を求めるか？
- (2) ゲームAIの心理学

[付録] ゲームAIの学習・研究の仕方

魚の群 シミュレーション



Craig Reynolds (SCEA)

<http://www.research.scea.com/pscrowd/>

第2回コンテンツ

第1部 マルチエージェント・システムとは？（技術の話）

- (1) マルチエージェント
- (2) 群知能

第2部 ゲームとマルチエージェント（ゲームの話）

- (1) ゲームにおけるマルチエージェント技術の現状
- (2) クロムハウズにおけるマルチエージェントシステム

第3部 社会とマルチエージェント（未来の話）

- (1) マルチエージェントが見せる社会の未来
- (2) 全体の講義のまとめ

[付録] クロムハウズにおける評価値の作り方

コンテンツ

第1部 マルチエージェント・システムとは？（技術の話）

- (1) マルチエージェント
- (2) 群知能

第2部 ゲームとマルチエージェント（ゲームの話）

- (1) ゲームにおけるマルチエージェント技術の現状
- (2) クロムハウズにおけるマルチエージェントシステム

第3部 社会とマルチエージェント（未来の話）

- (1) マルチエージェントが見せる社会の未来
- (2) 全体の講義のまとめ

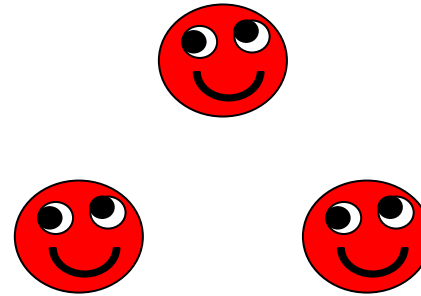
[付録] クロムハウズにおける評価値の作り方

協調するAIとは何か？



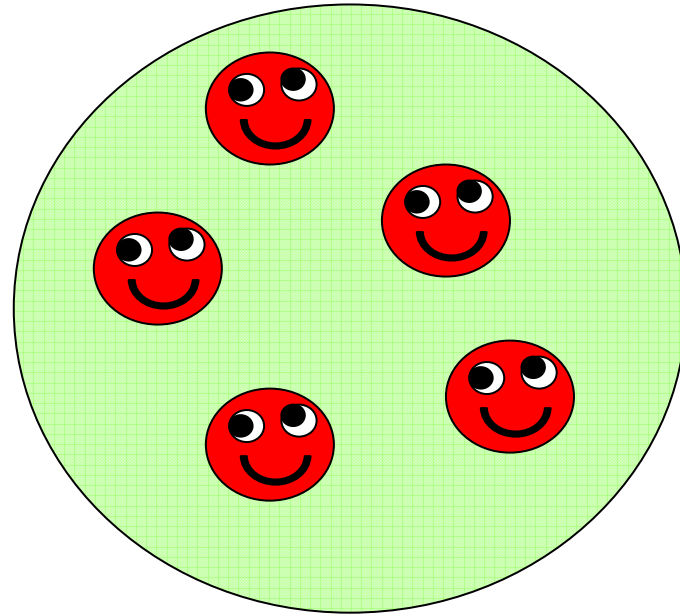
一人と二人ではどう違う？

協調するAIとは何か？



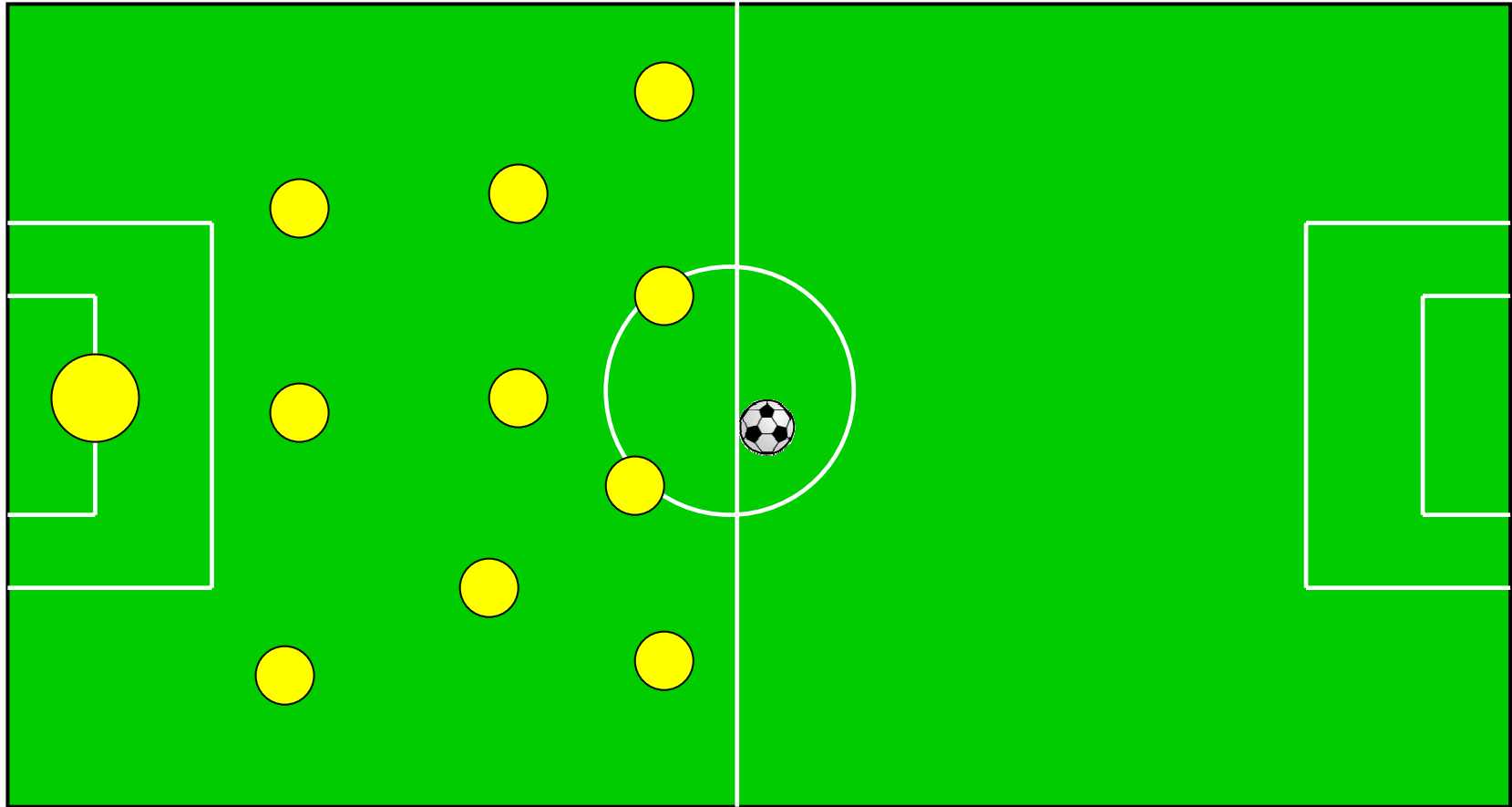
一人と三人ではどう違う？

協調するAIとは何か？



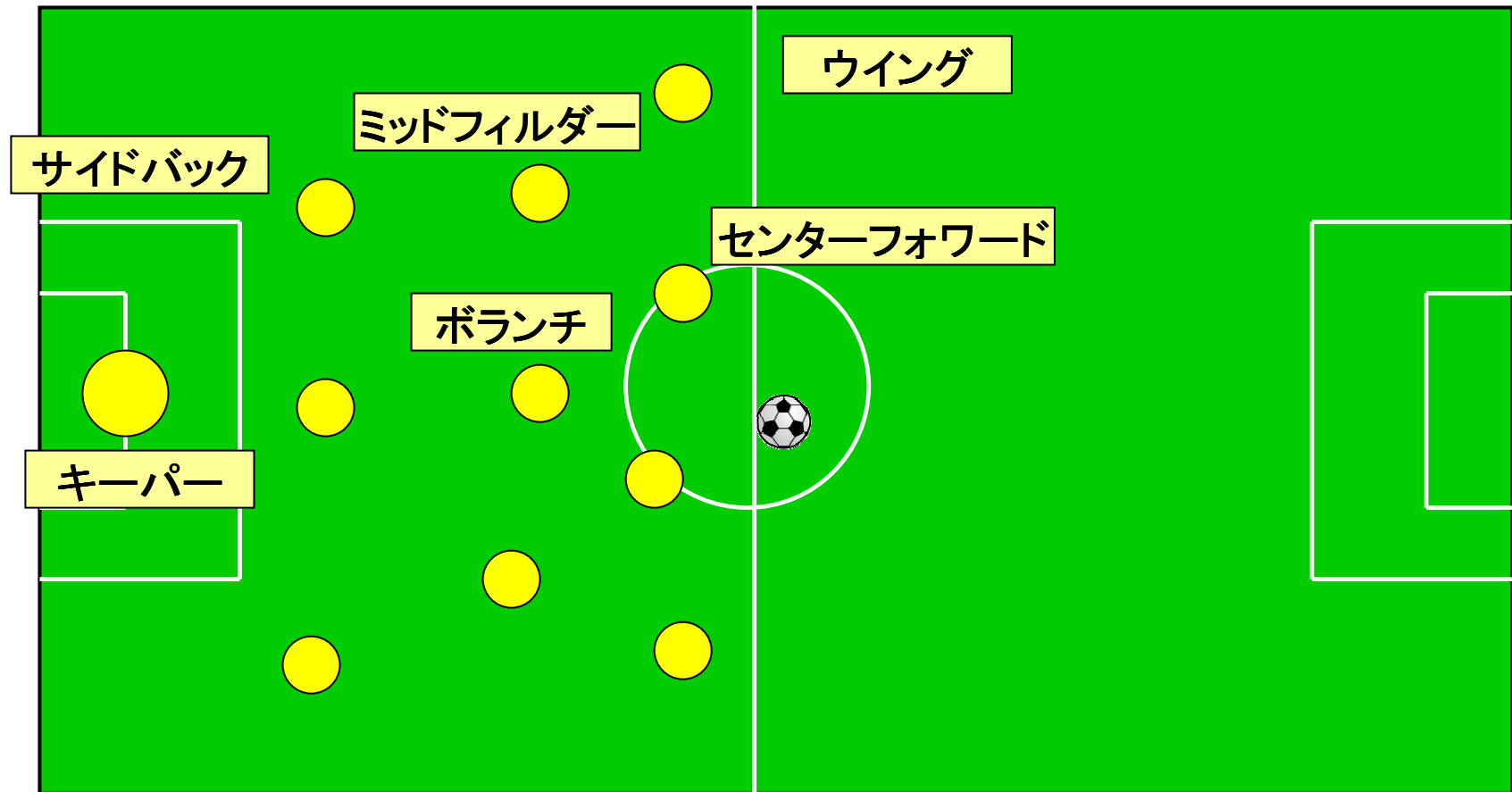
一人と社会ではどう違う？

サッカーゲームのAIを作ってみよう！



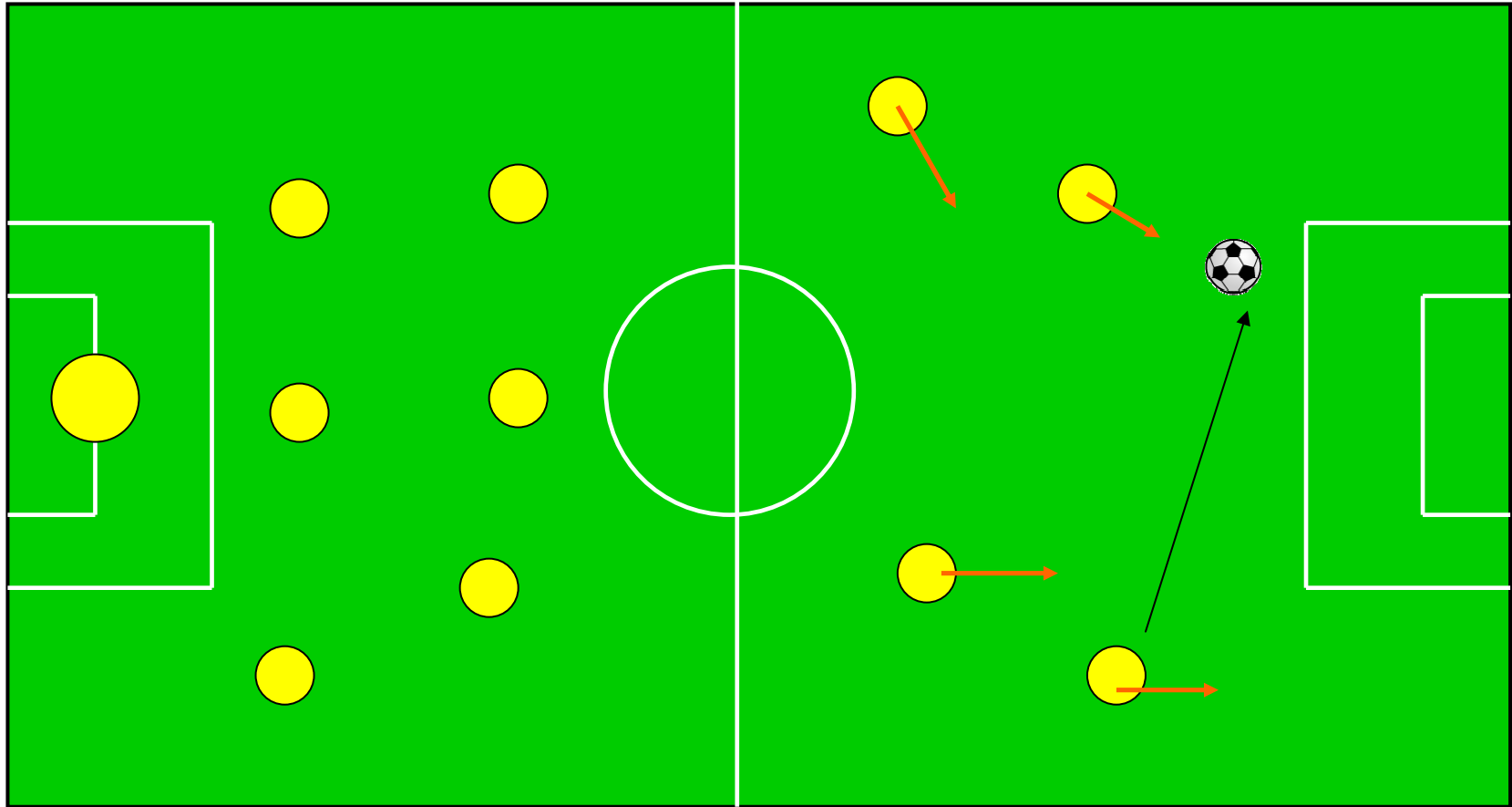
自分で考えてみよう！

サッカーゲームのAIを作ってみよう！



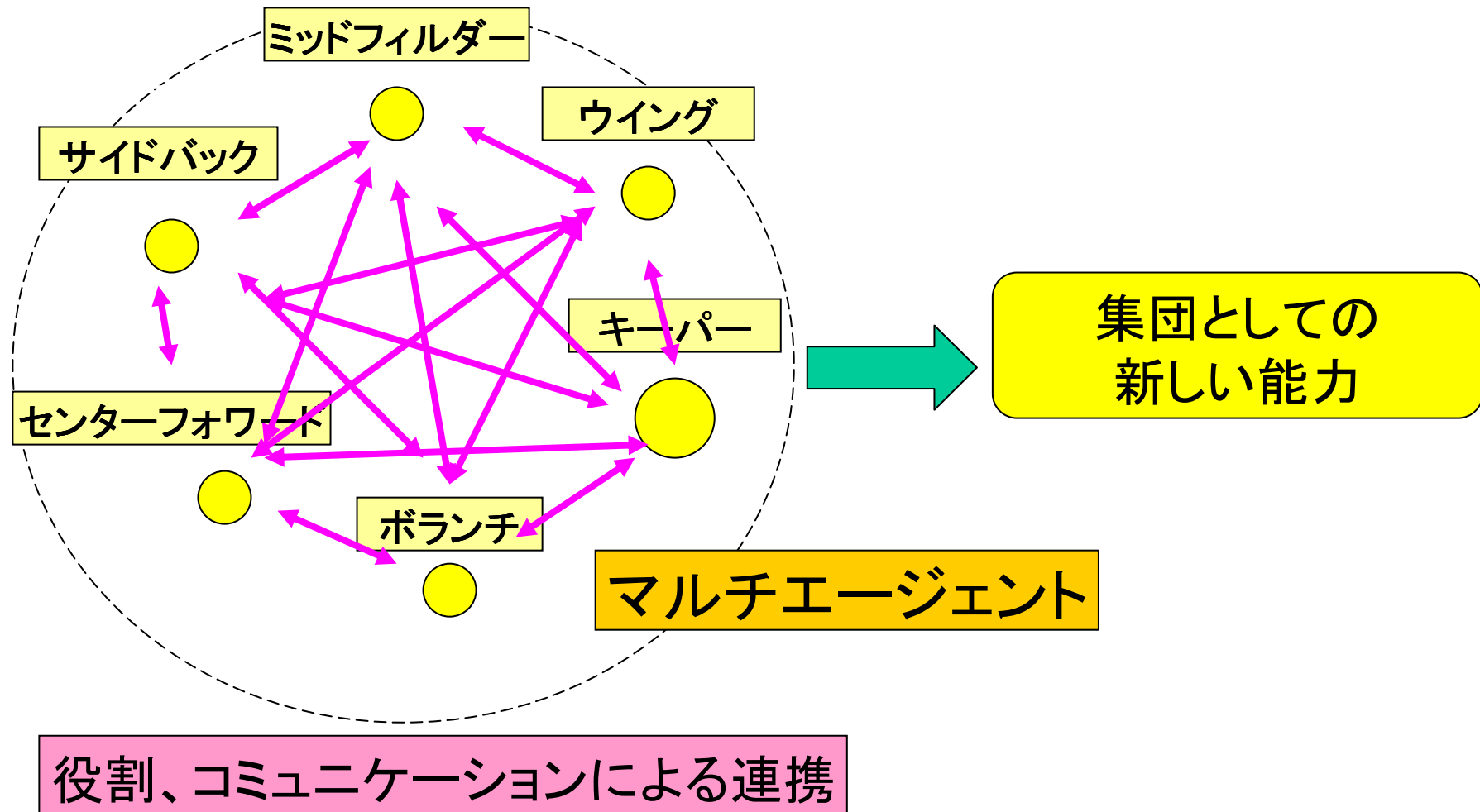
各選手に(だいたいの)役割を与える

サッカーゲームのAIを作ってみよう！



連携する

協調するAIとは何か？



マルチエージェント・システム

AIは

(1) 役割を分担し

(2) 連携する

ことで、**集団として新しい能力を獲得**する。

上記の2つの条件を満たすシステムを
マルチエージェント・システムという。

個としては現れなかった能力が、
マルチエージェント・システムでは現れる。これを

「創発された能力」

という。

マルチエージェントの世界へ

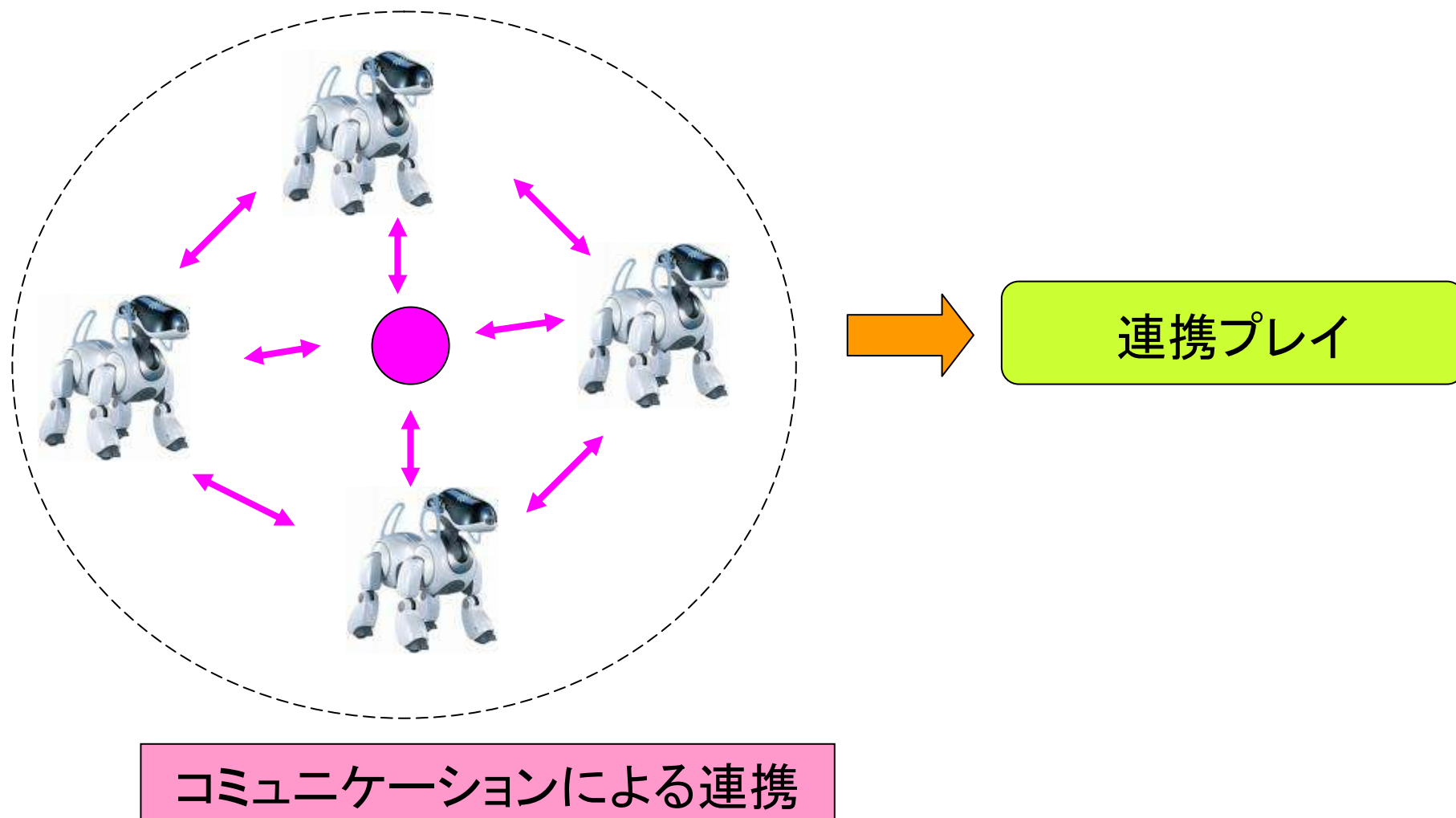
身近なマルチエージェントシステムを探してみよう！

マルチエージェント・システムを作ってみよう！

討論①

マルチエージェント

マルチエージェント(例) ロボカップサッカー



ロボカップサッカー



■ シミュレーションリーグ (出場予定 2D 23チーム 3D 10チーム マイクロロボット 2チーム)

実機を使うことなく、コンピュータ上の仮想フィールドで異なった人工知能プログラミングされた11対11のプレイヤーがサッカーを行うロボカップ最古参リーグです。ドリブル等の個人技や、ワンツーパスといったチーム戦略の両面において洗練されたプレーを見ることができます。高さのない2次元フィールドでの競技と、ヒューマノイド型ロボットが技を競う3次元フィールドでの競技があります。また、サブリーグとして親指サイズのロボットを用いたエコビースystem (シチズン・阪大共同開発) によるフィジカル・ビジュアライゼーションのデモもあります。



■ 小型ロボットリーグ (出場予定 6チーム)

直径18cm以内のロボット5台が1チームとなり、約5m×3.4mの大きさのフィールド上で、オレンジ色のゴルフボールを使って試合をするリーグです。試合時間は10分ハーフ。フィールド全体を見渡すカメラ、あるいはロボット搭載カメラからの視覚情報をベースに、ロボット同士がいかにシステムチックなチームプレイを構築していくかが見所です。人間のサッカーを凌ぐスピード感とロボットの状況判断力に驚かされます。



■ 中型ロボットリーグ (出場予定 7チーム)

縦横50cm未満、高さ80cm以内のロボットが4台から6台でチームを構成しサッカーする競技です。フィールドのサイズは今年から18m×12mに拡大されます。試合時間は15分ハーフ。多くのチームが360度見渡せるカメラを搭載、自分とボールの位置をすばやく判断して人手によるコントロールなしに動きます。迫力ある攻防が見所。



■ 4足ロボットリーグ (出場予定 11チーム)

ソニーのAIBO 4台が1チームとなり、4m×6mのフィールドで、オレンジ色のボールを使って試合をするサッカーリーグです。試合時間は10分ハーフ。共通プラットフォームを採用しているため、各チームのロボットプログラミングの優劣で勝敗が左右されます。鼻の位置に取りつけられたカメラで、味方やボールの色を識別するために盛んに頭を振るしぐさがかわいいと観客に人気があります。AIBOを使ったジャパンオープンが今回の最後の予定。



■ ヒューマノイドリーグ (出場予定 8チーム)

2002年の世界大会より正式種目となった自律型2足歩行ロボットのリーグです。PKや2対2での競技、サッカーの運動技能を競う「テクニカルチャレンジ」競技が行われます。将来的に試合形式のサッカー競技へと発展を目指しています。



マルチエージェント技術の
サンドボックス(実験場)
として、技術が開発が
集結する場



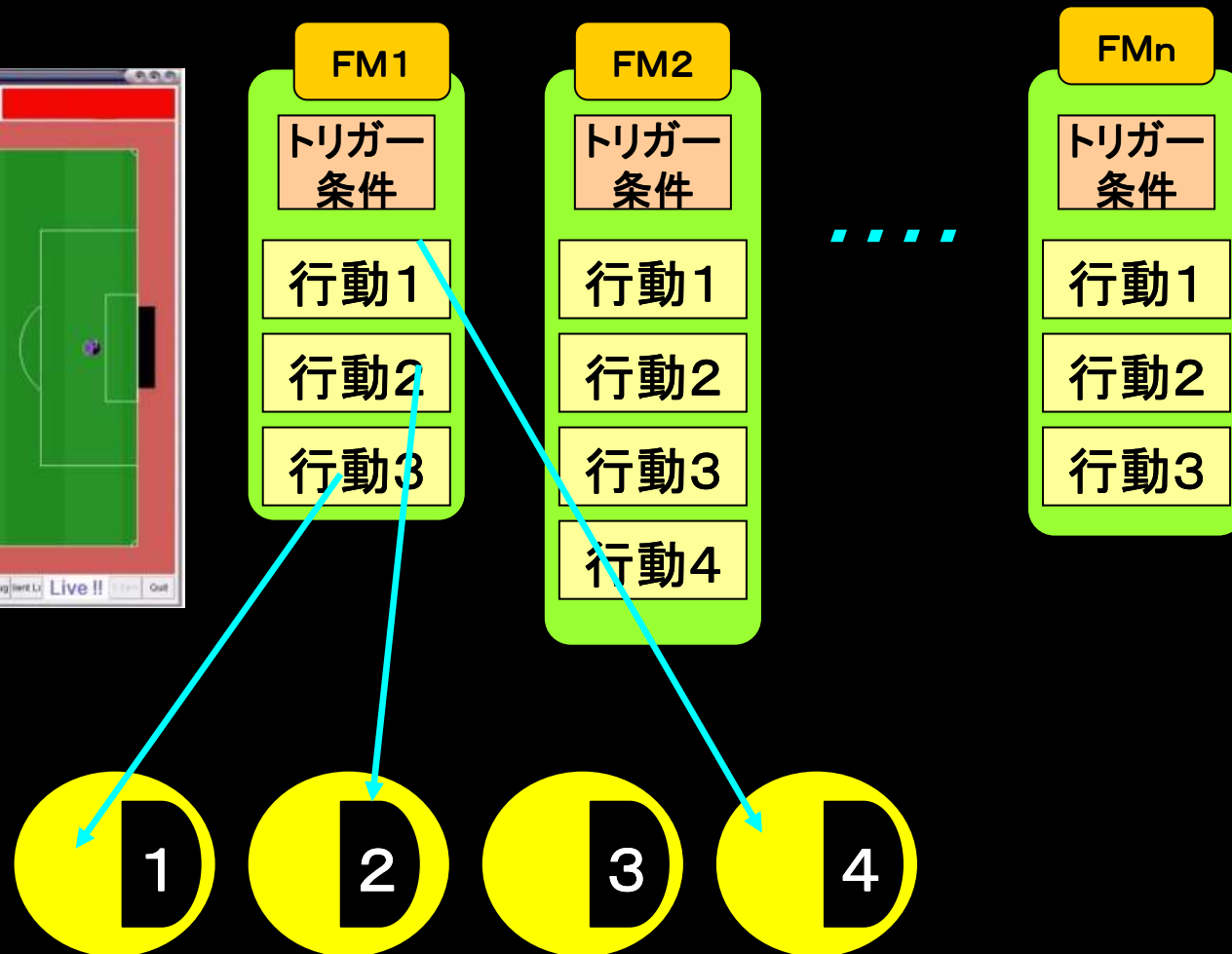
さまざまな方法

<http://www.robocup.or.jp/soccer.html>

ロボカップサッカー

フォーメーション・プレイ制御例

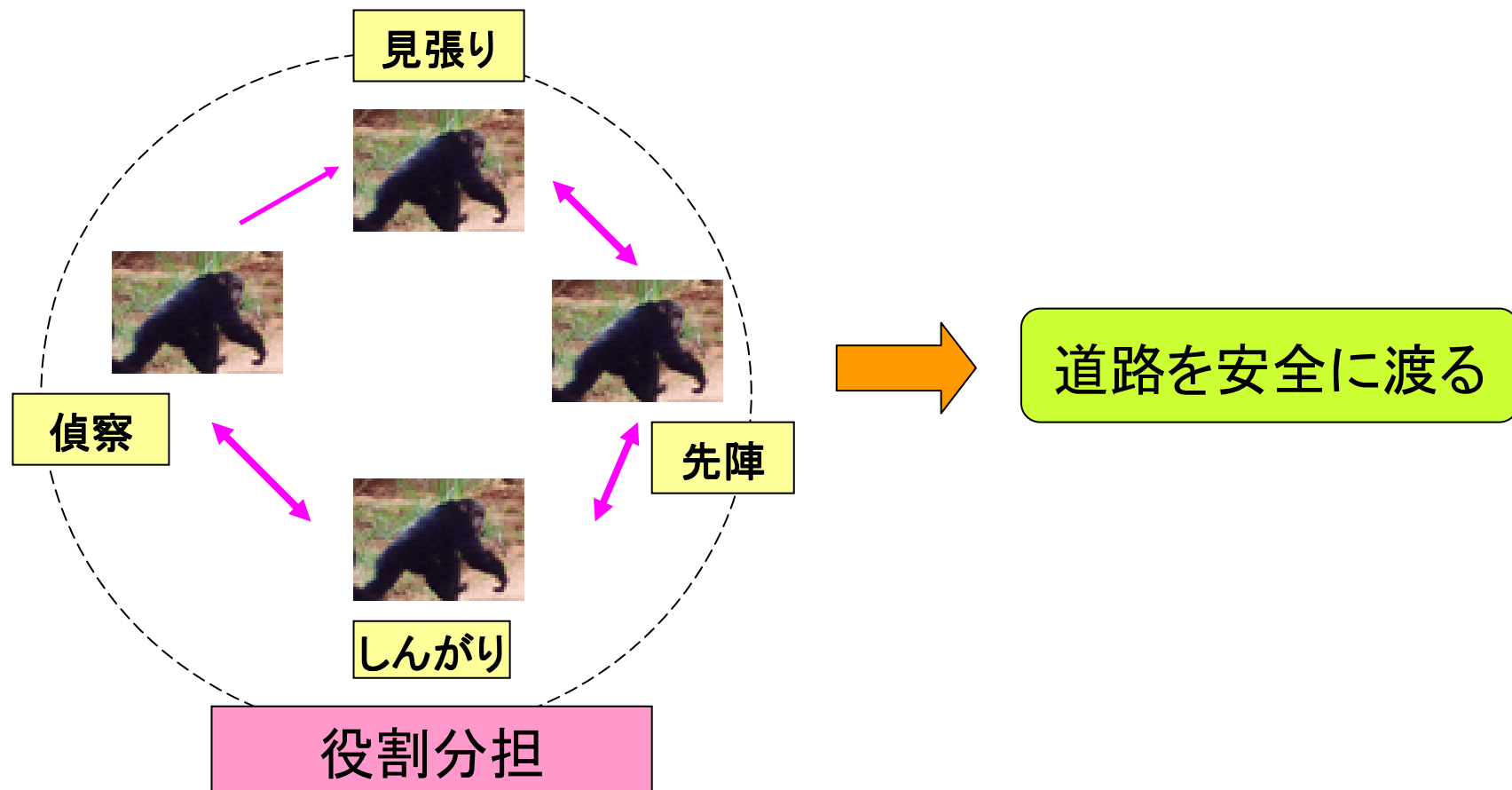
(Peter Stone)



トリガーがオンになったFMが、各行動に適したAIを選んで実行させるシステム

[協調、ロボカップ] Peter Stone, [Layered Learning in Multiagent Systems: A Winning Approach to Robotic Soccer](#) (紹介)

マルチエージェント(例) チンパンジーの群れの協調行動



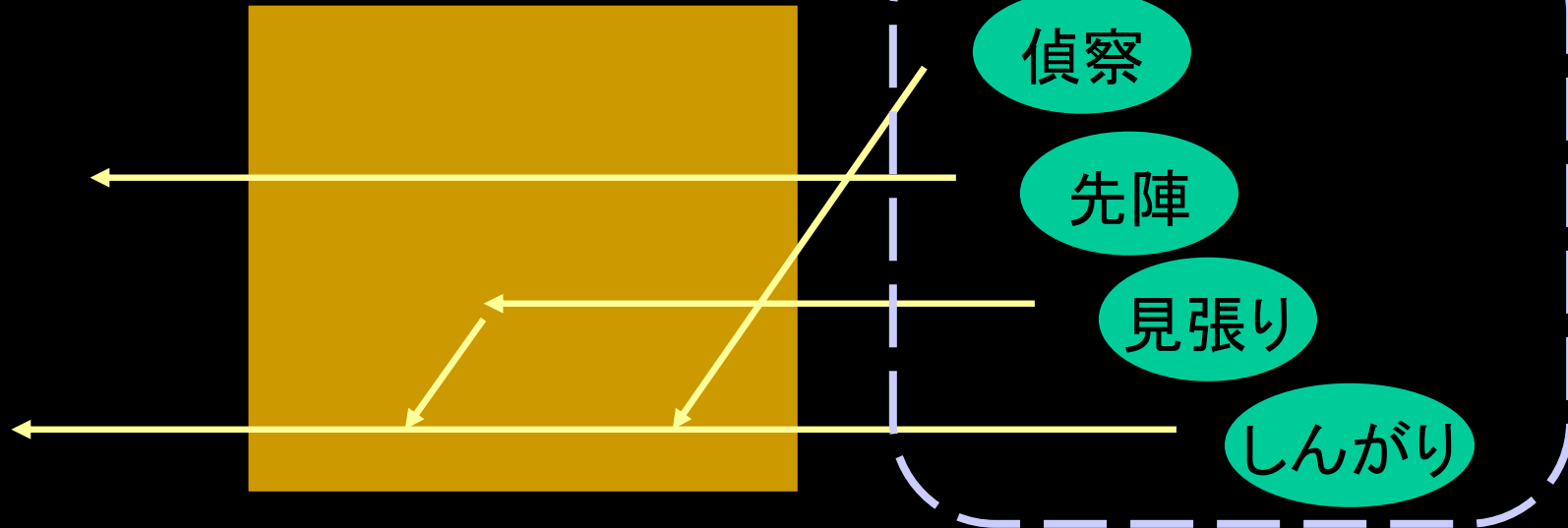
チンパンジーの群れの協調行動



京都大学霊長類研究所 松沢哲郎所長・教授らの研究グループ

「道を渡る野生チンパンジー:危険への対処法」

http://www.kyoto-u.ac.jp/notice/05_news/documents/060905_1.htm



マルチエージェント(例) ザトウクジラの群れの協調行動

相対的に...

北壁担当



西壁担当



東壁担当

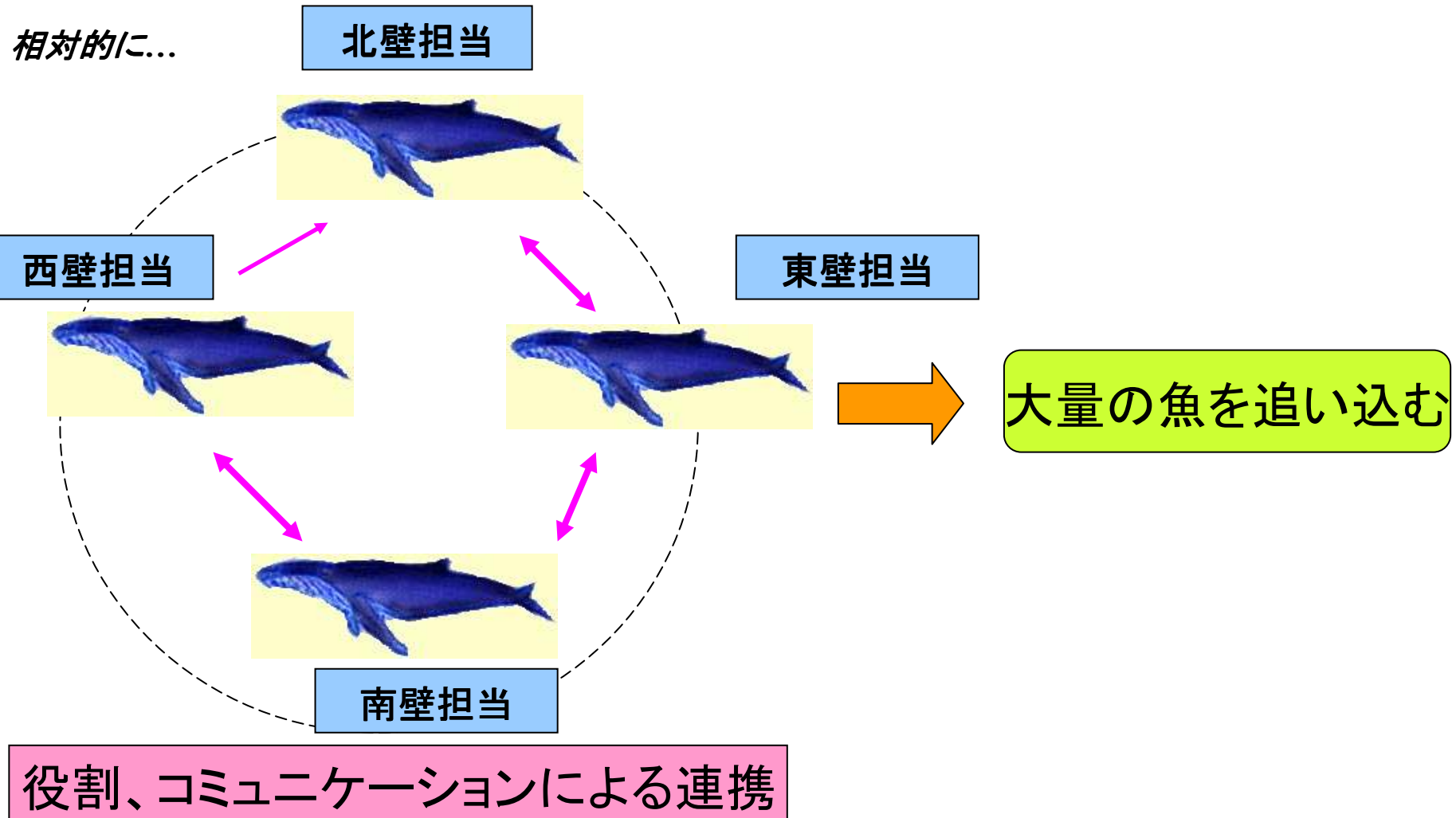


南壁担当



役割、コミュニケーションによる連携

大量の魚を追い込む



ザトウクジラの群れの協調行動

関係のさせ方

くじらの声

UNITS	=	{A, B, C, D, E, F, G}
SUBPHRASES	=	{DE, FF}
PHRASES	=	{BC, DEDEFF, GGGGGG, AAAA}
THEMES	=	{BCBCBC, DEDEFFDEDEFF, GGGGGG, AAAA}
SONG	=	AAABCBDEDEFFDEDEFFGGGGGG
SONG SESSION	=	..A..BC..DEDEFF..G..A..BC..DEDEFF..G..
SOUND PATTERNS	=	{A, BC, DEDEFF, G}

Message のやりとりでお互いを制御
お互い声でコミュニケーションを取りながら、
泡を出して壁を作り魚たちを囲い込んで、
下から口に入れる。

Bubble Net Fishing

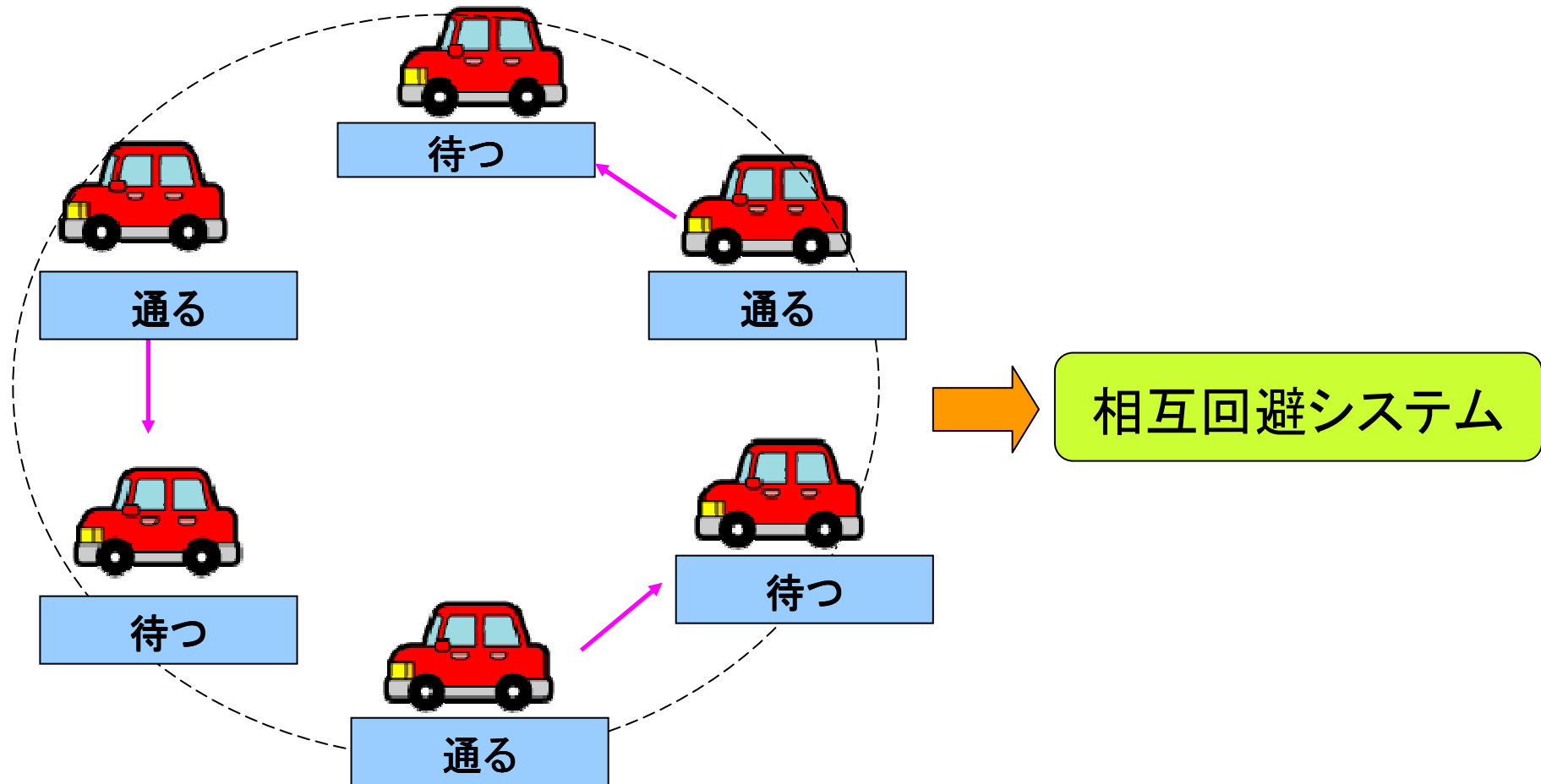
http://echeng.com/journal/images/misc/060705_095108_echeng3649.jpg

http://wwwvideo.beicn.jp/detail.php?id=pspk_UfMdDY

実は自然の殆どの仕組みは
マルチエージェント

孤立した存在は少ない
= 生態系(エコシステム)

マルチエージェント(例) 交通シミュレーター

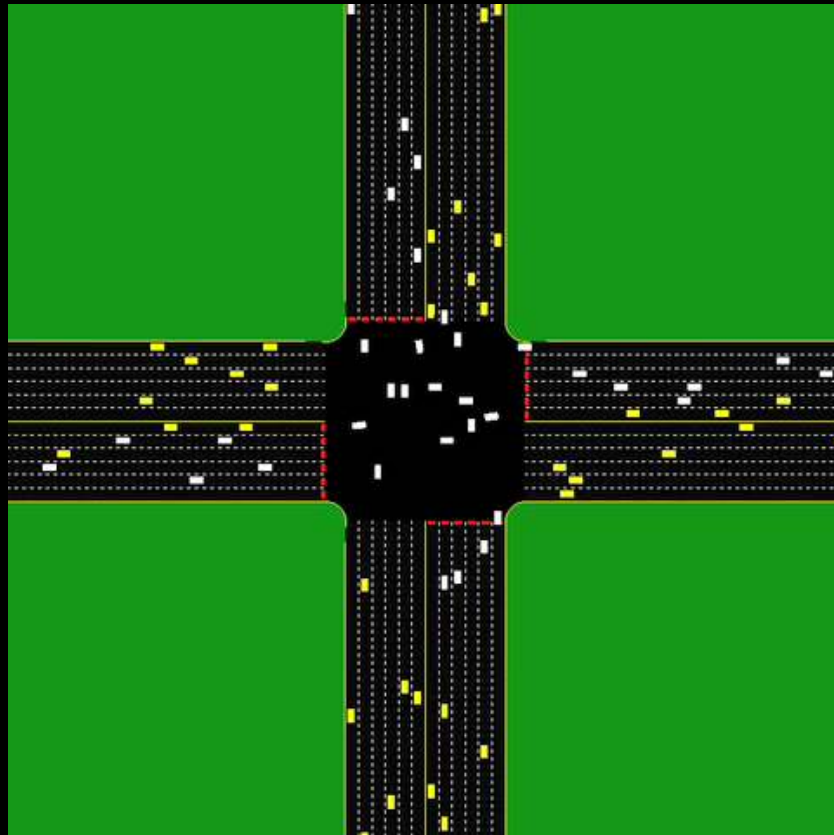


h 二つの役割をコミュニケーションにより動的に規定

交通シミュレーター

待ちます

通ります



Message のやりとりでお互いを制御

- ◆Request ... 接触の可能性のある相手の車に自分の属性と予定のコースと時刻を知らせる
- ◆Change-request ... request の変更
- ◆Cancel ... キャンセル
- ◆Reservation-completed ... 横断完了の知らせ

二つの役割をコミュニケーションにより動的に規定

発展① 集団と進化

③ 賢明な行動

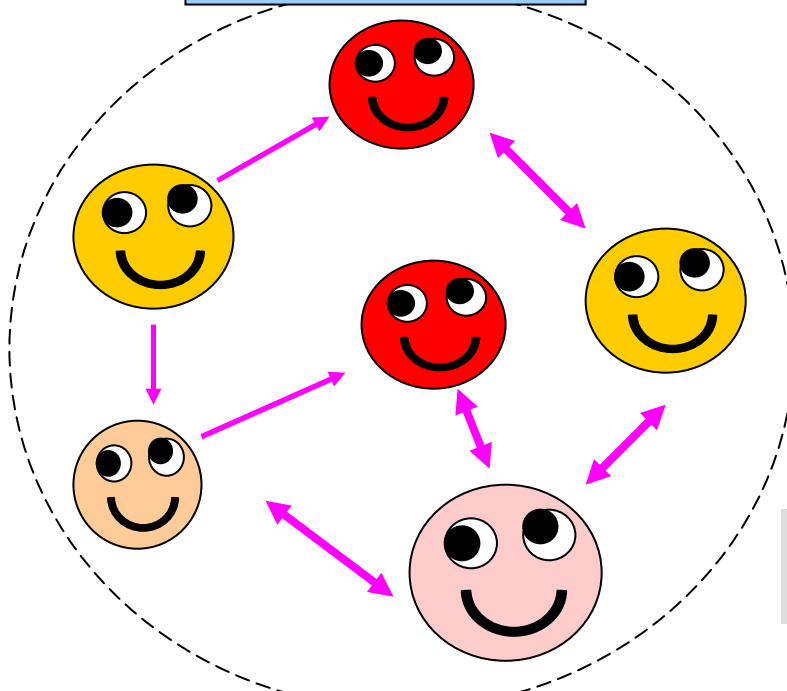
アストロノーカ(1998, muumuu)
遺伝的アルゴリズムを用いた学習



時間軸の
中でとらえる

AI技術を使った傑作！

トラップ回避、生殖



進化

遺伝的アルゴリズム

ゲームとAIは本当に相性がいいのか？(森川幸人、CEDEC2008講演資料)

<http://www.muumuu.com/other/cedec2008/index.html>

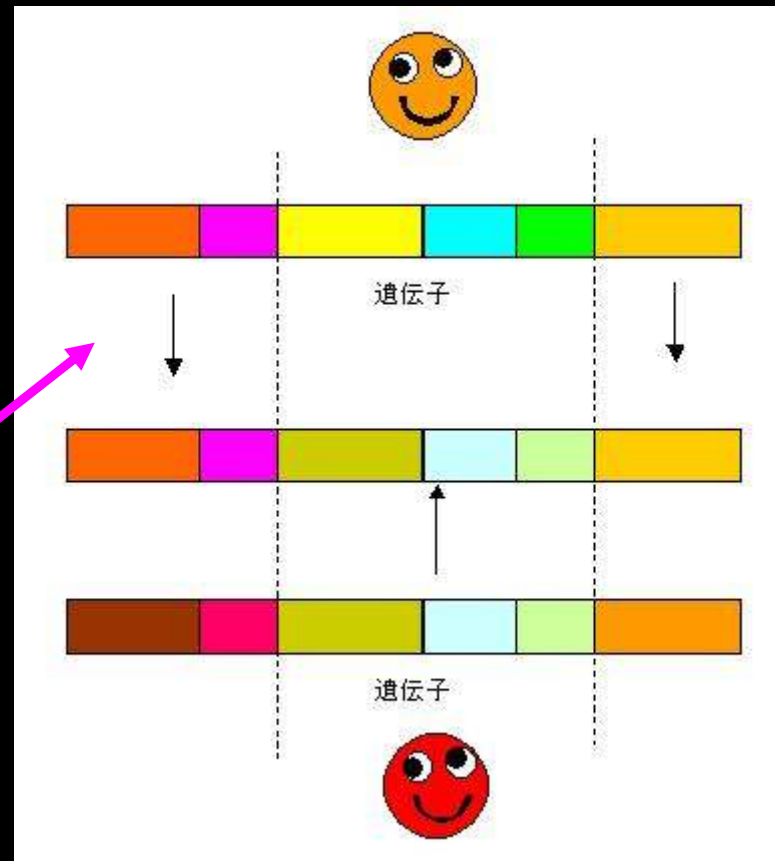
[CEDEC 2008#08]生き物を相手にするようなゲームを作る～遺伝的アルゴリズム(4gamers)

<http://www.4gamer.net/games/051/G005101/20080911055/>

アストロノーカ

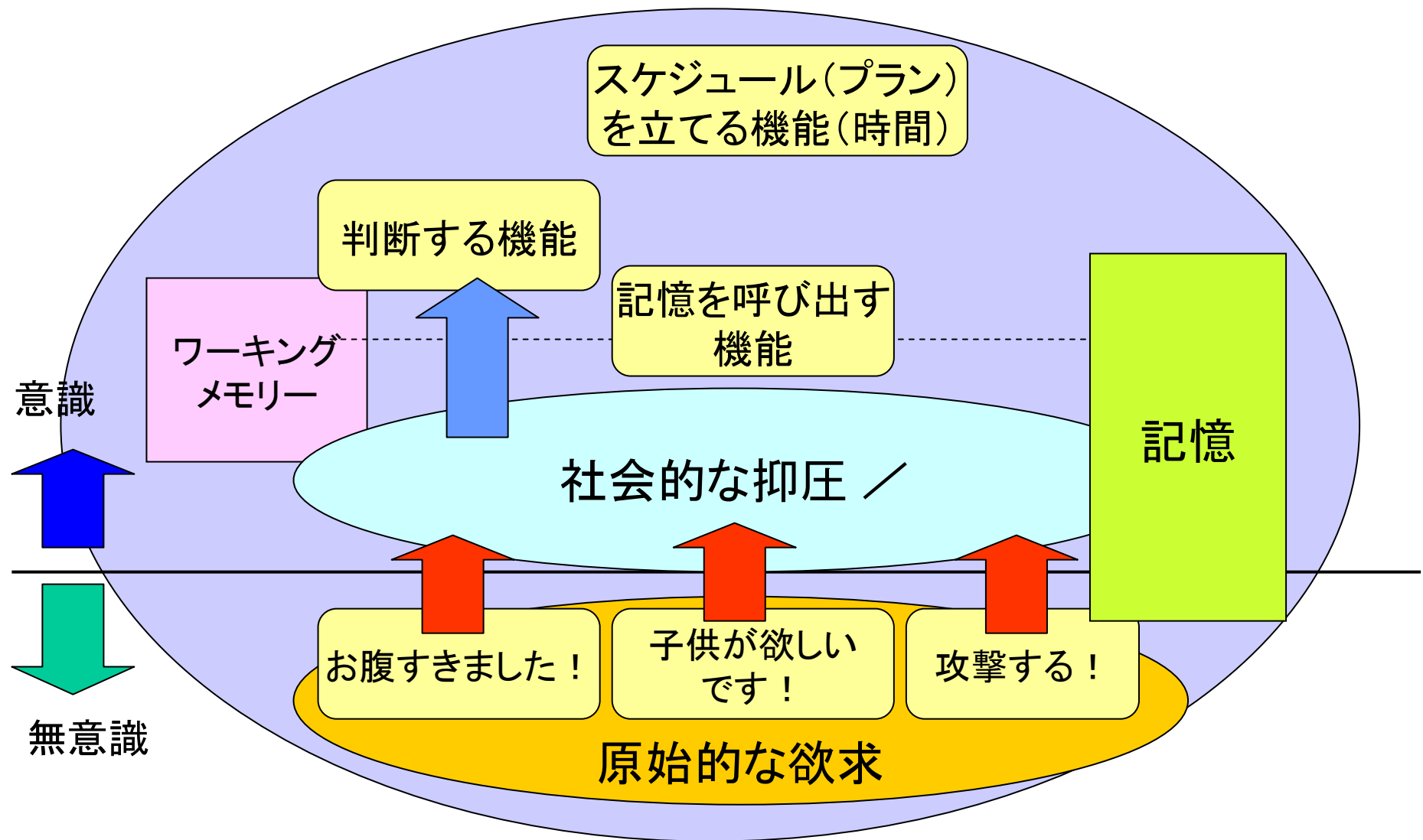


1位	86.3	
2位	78.4	
3位	75.3	
...		
...		
100位	38.2	



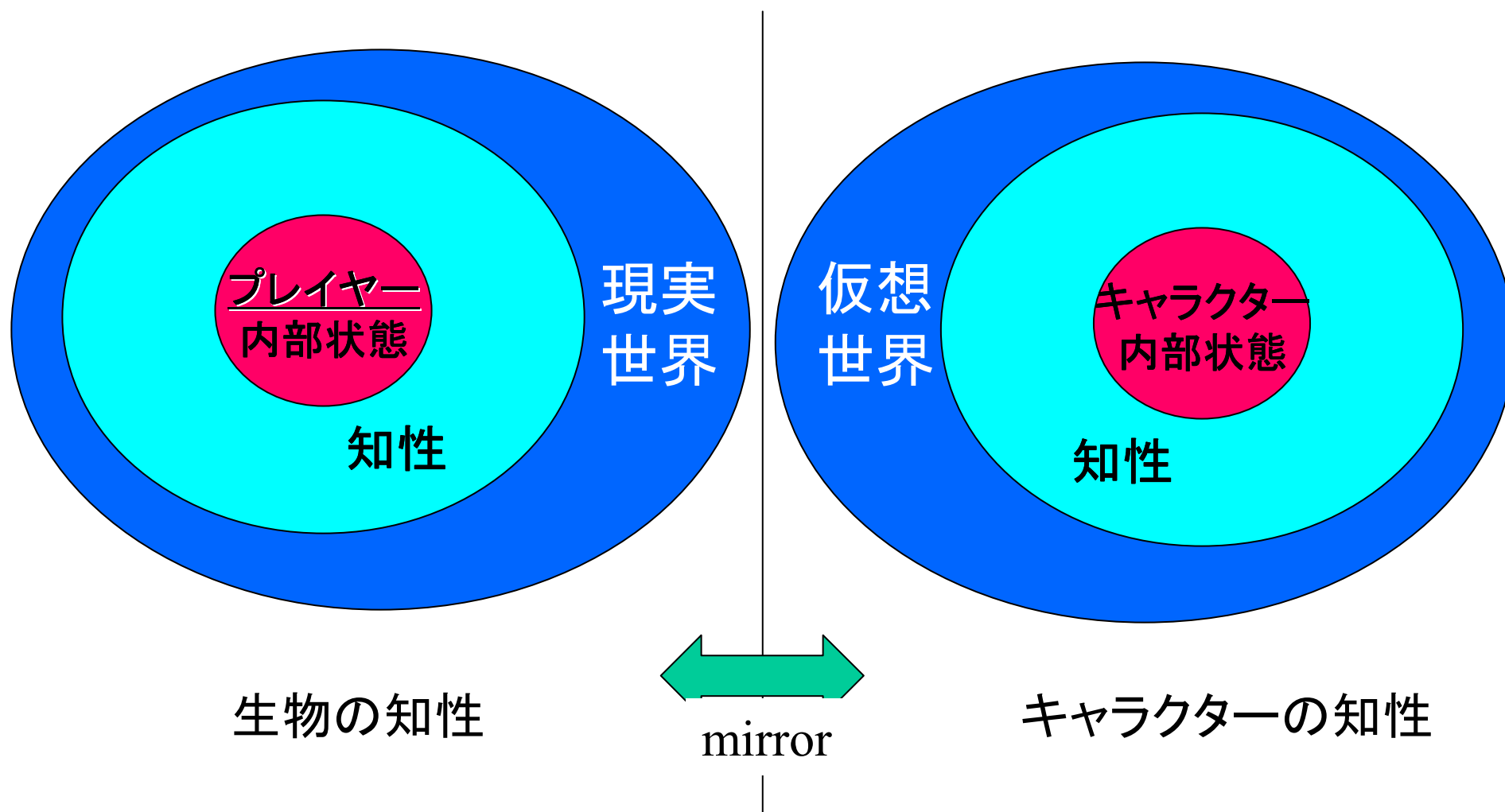
発展② 人のこころ

人の精神（マインド）



人の心も、様々な機能が協調して、全体としての個性を形成している

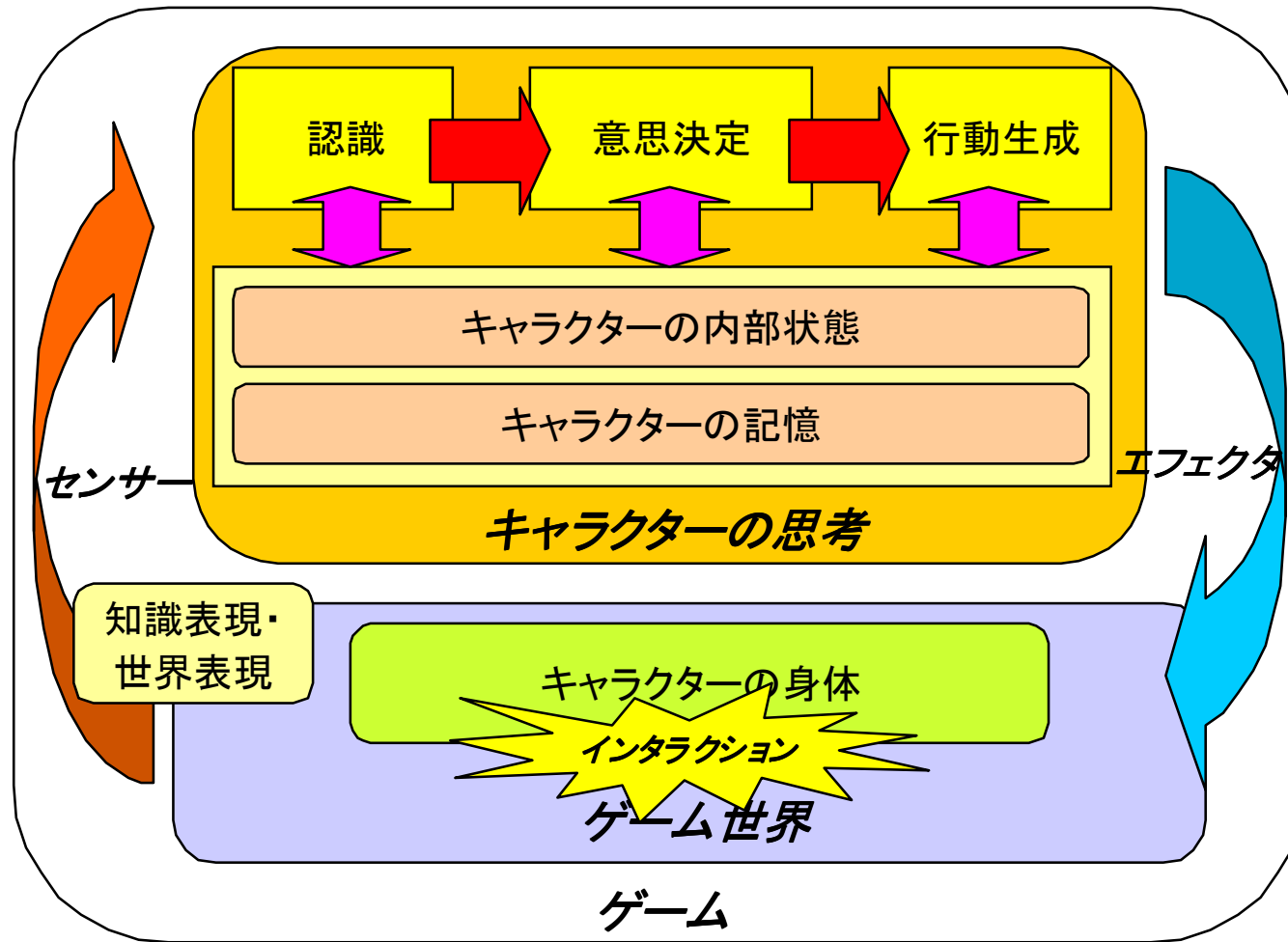
人はいつキャラクターに知性を感じるか？



キャラクターAIを考えるときは、世界における自分の知能と相対させて考えてみよう！

ゲームにおける知能のフレーム

エージェント・アーキテクチャ



まだまだ直線的なおもちゃレベルだが、それでも最先端

個としてのAI

- (1) 人間の心の中もマルチエージェントなシステムと捉えることも可能である。しかし、実際にそうやって実装された例は少ない。
- (2) キャラクターAIの構造は、**まだまだシンプル**な直線的な構造(エージェント・アーキテクチャ)であり、トイモデル(おもちゃモデル)の上に実験がくり返されている。
- (3) これからの発展のためには、**精神医学、心理学、人工知能**の3つの分野の螺旋を巡りながら、深い構造を探求・構築して行く必要がある。

群知能とマルチエージェント

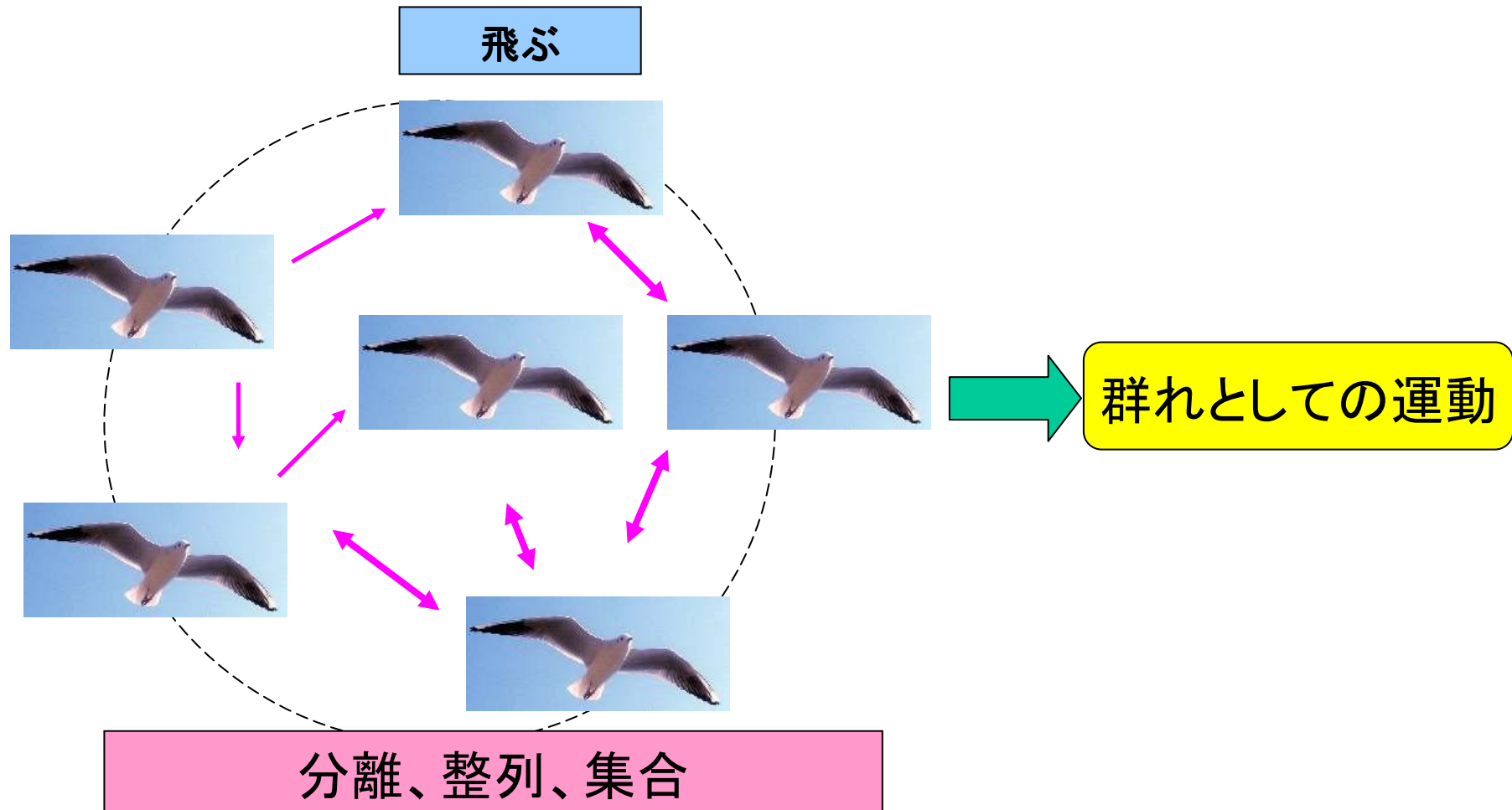


全体特性	機能性	合理性
対象	自然	社会
要素	反射的、単純条件、単一機能を持つ知能、或いは小プログラム	役割、或い目的(ゴール)を持つエージェント
総合	「個々の能力」を総合	「役割」「目的」を組み合わせる
実現可能	進化を含む柔軟なシステム	ドライでソリッドなシステム
得意分野	運動	概念
応用例	群制御、多数の小ロボット制御	社会、経済シミュレーション

群知能

(ここは軽く聞いてください)

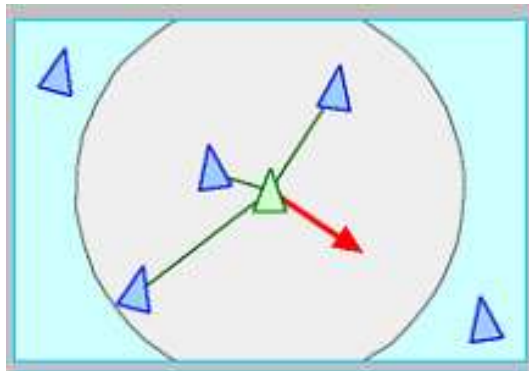
群知能(例) 群制御の方法



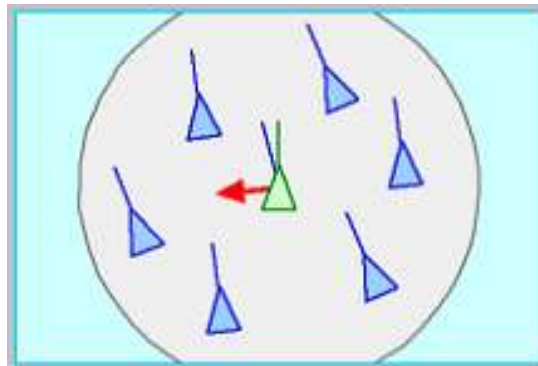
群知能(例) 群制御の方法

群れの動きは「分離」「整列」「集合」の3つのアルゴリズムから構成できる(Craig Reynolds,1987)

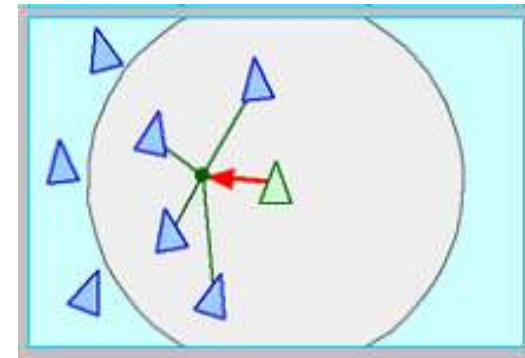
分離、整列、集合



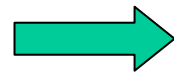
分離(Separation)



整列(Alignment)



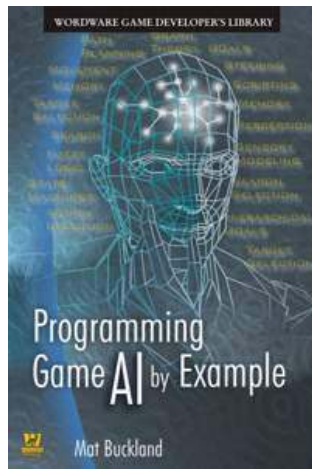
集合(Cohesion)



鳥、蟻、人間の群集への応用

技術デモ

「ゴール指向プランニング」の秀逸なデモ



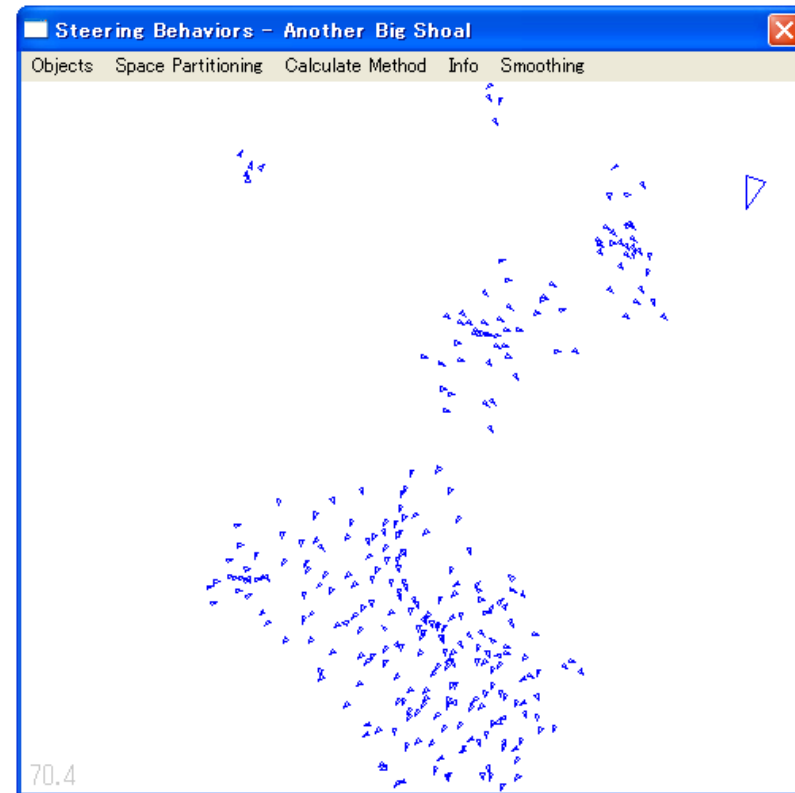
オライリー・ジャパン

「実例で学ぶゲームAIプログラミング」

(Mat Buckland 著、松田晃一 訳)

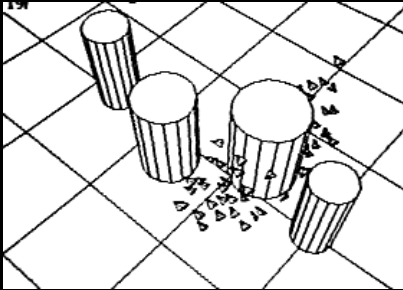
ソースコードはWEB

<http://www.wordware.com/files/ai/>



群制御の一般的な応用例

ゲームクリエイター



1987



2000



2006

ゲームへの
応用

Craig Reynolds

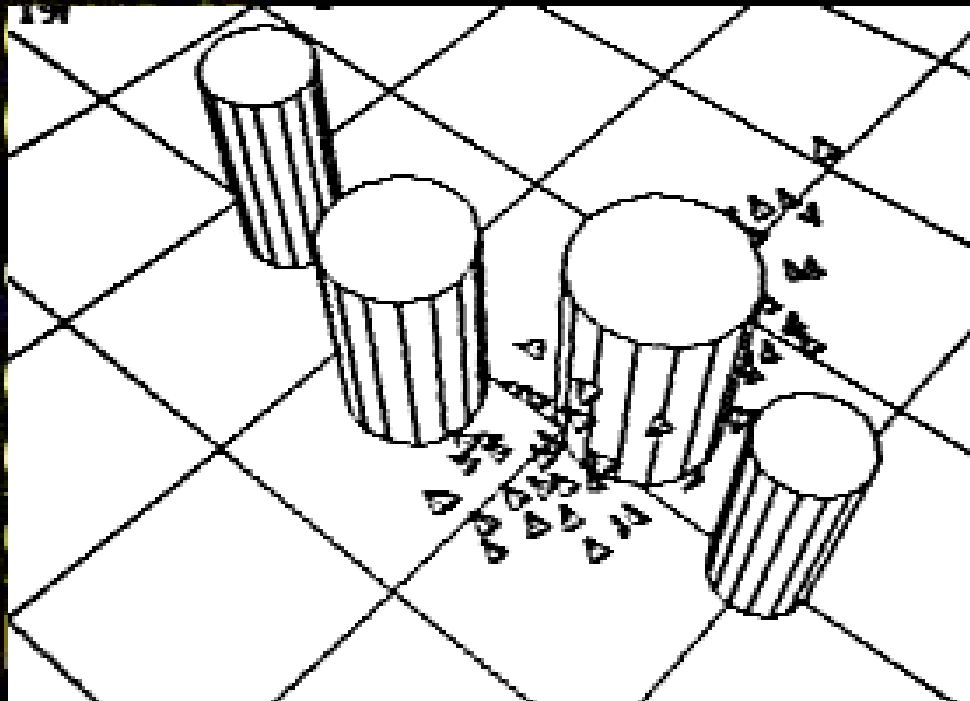


Stanley and Stella in: Breaking the Ice (1987)



2002

単純な技術が実用的へ発展して行く



Craig Reynolds 1987

<http://www.red3d.com/cwr/boids/>



Stanley and Stella in: Breaking the Ice (1987)

<http://www.red3d.com/cwr/boids/>



Craig Reynolds 2000

<http://www.red3d.com/cwr/boids/>



SCE 2002

後藤弘茂「PlayStation 3はどんなゲームを実現するのか—それはワールドシミュレーション」PC Watchより



Craig Reynolds 2006

<http://www.research.scea.com/pscrowd/>

第1章 まとめと考察

- (1) 集団として初めて知性を獲得する知性を、**創発された知性**という。
- (2) 集団の知性には、マルチエージェント・システムと群知能がある。
- (3) **マルチエージェントは構築的な社会的な知性であり、群知能は自然界に融けあう知性である。**(二つの区別には、特にこだわらない方がよい)
- (4) 個としてのAIで解決できない問題は、**集団としての創発された機能によって解決できる可能性**がある。
(常に選択肢として考える習慣を持つことが大切)

自分なら、この技術を
どう使いこなすかを考えてみよう。

討論②

コンテンツ

第1部 マルチエージェント・システムとは？（技術の話）

- (1) マルチエージェント
- (2) 群知能

第2部 ゲームとマルチエージェント（ゲームの話）

- (1) ゲームにおけるマルチエージェント技術の現状
- (2) クロムハウズにおけるマルチエージェントシステム

第3部 社会とマルチエージェント（未来の話）

- (1) マルチエージェントが見せる社会の未来
- (2) 全体の講義のまとめ

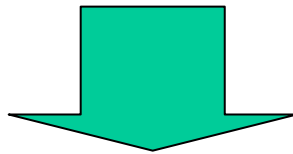
[付録] クロムハウズにおける評価値の作り方

ゲームにおける マルチエージェントシステムの応用

まだほとんどされていない

理由:

- ① マルチエージェント技術を知らない。
- ② どうゲームへ応用してよいか、わからない。
- ③ ユーザーに対してどのような効果を持つかわからない。



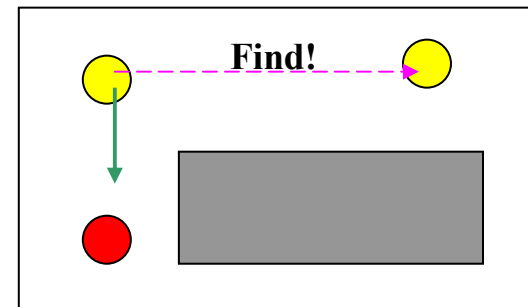
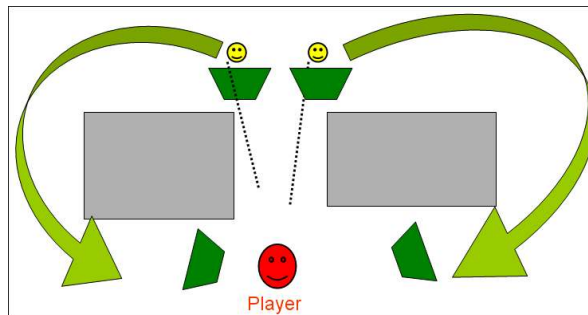
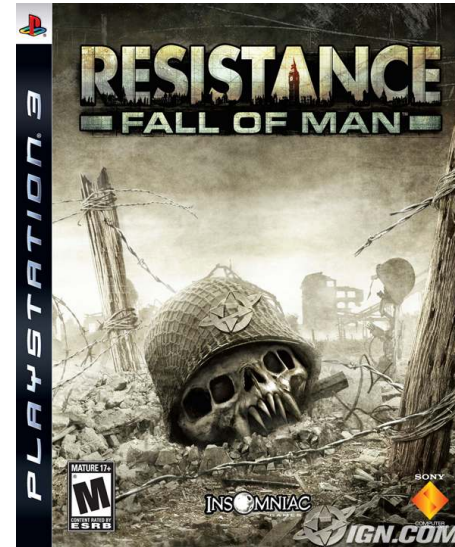
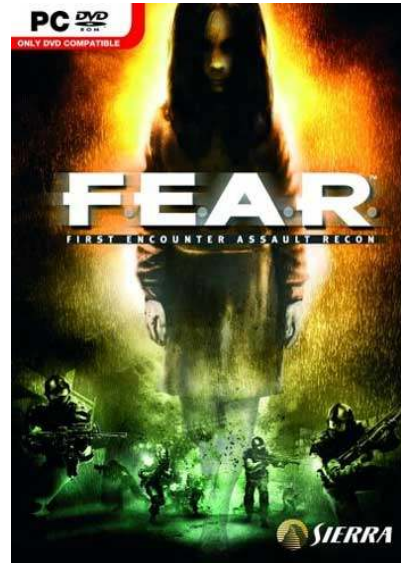
マルチエージェント・システムは
デジタルゲームにおいてどのような意味と機能を持つだろうか？

これからの課題だが、まだ問題意識が低い

(実例が少なすぎる)

最近のゲームAIにおけるマルチエージェント、チームAI

まだほとんどされていない(技術レベルが)



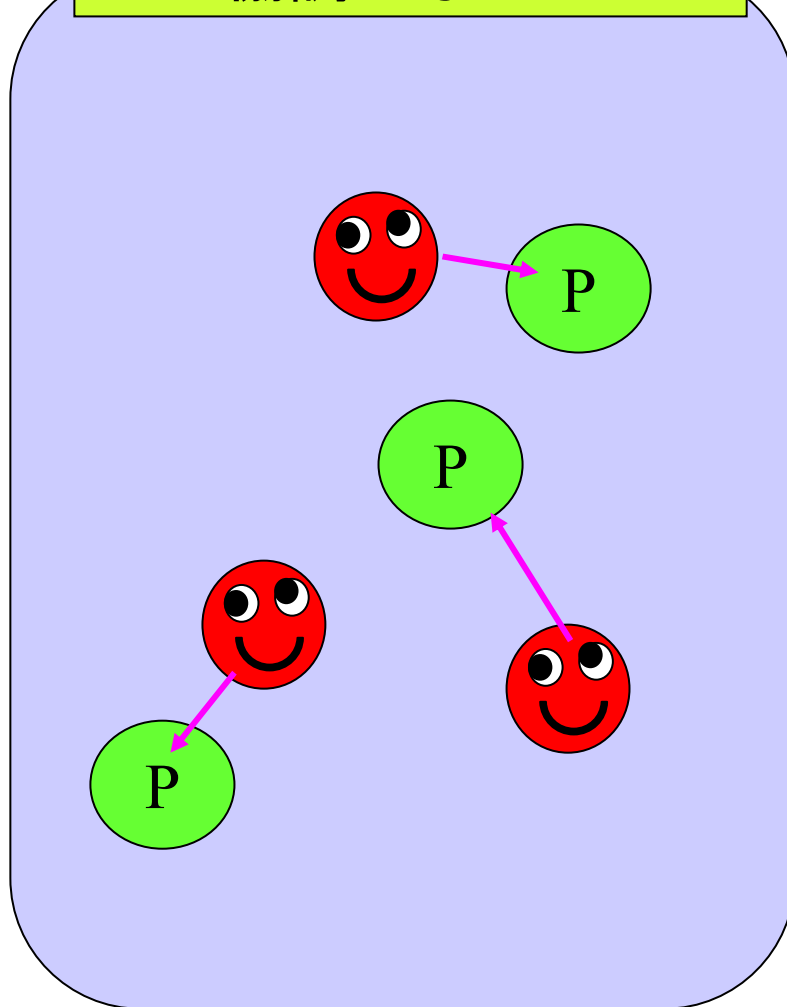
オンラインゲームでこそ威力を発揮する技術だが、
同期の問題などがあり、オフラインゲームへの応用が多い



これからの応用が期待される

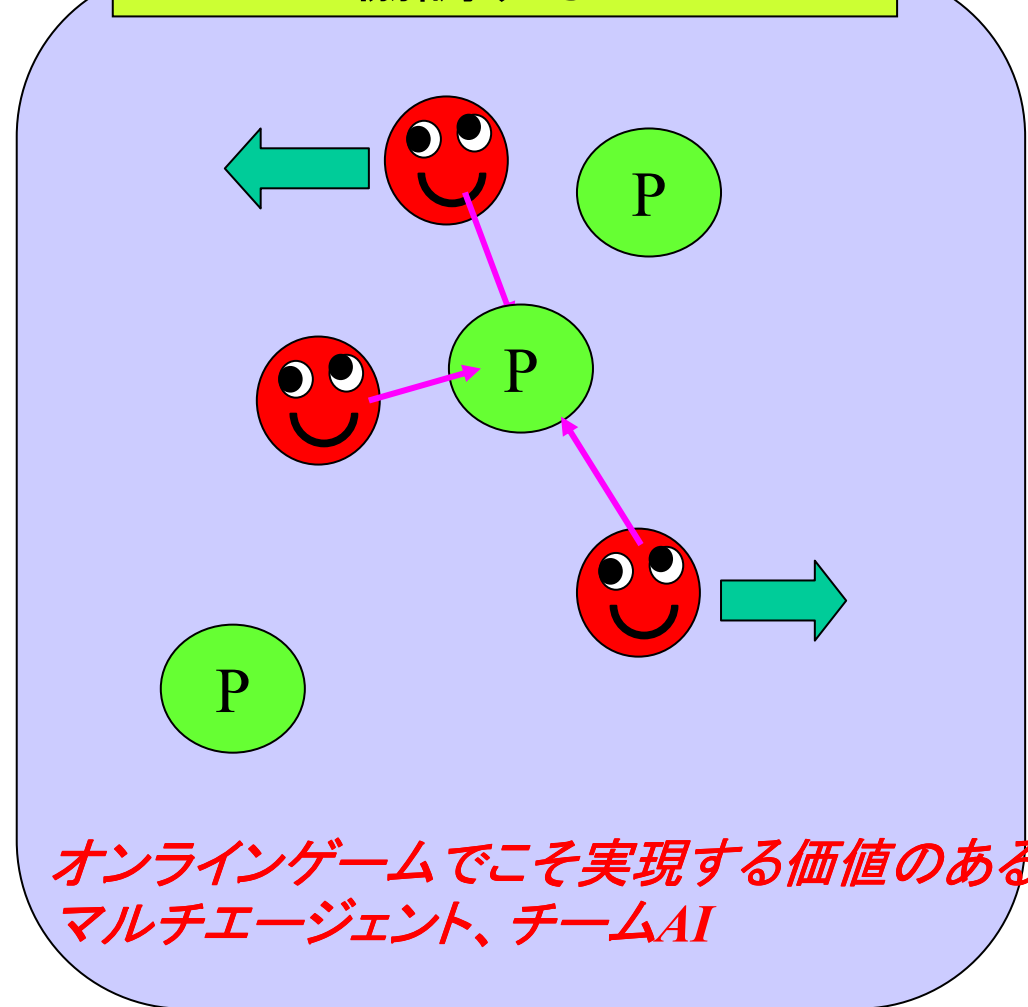
これまでのAIとの比較

協調のないAI



各個撃破(オフラインと同じ)

協調するAI



オンラインゲームでこそ実現する価値のある
マルチエージェント、チームAI

オンラインならではの体験

コンテンツ

第1部 マルチエージェント・システムとは？（技術の話）

- (1) マルチエージェント
- (2) 群知能

第2部 ゲームとマルチエージェント（ゲームの話）

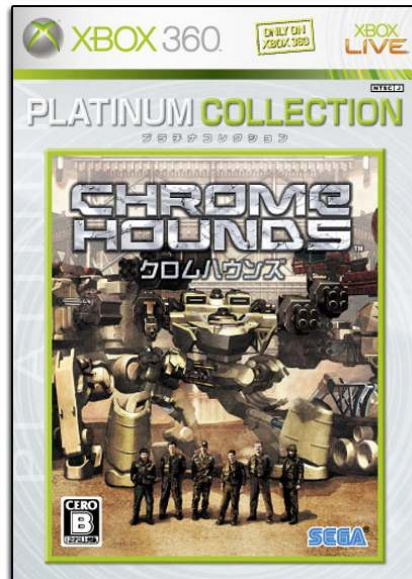
- (1) ゲームにおけるマルチエージェント技術の現状
- (2) クロムハウズにおけるマルチエージェントシステム

第3部 社会とマルチエージェント（未来の話）

- (1) マルチエージェントが見せる社会の未来
- (2) 全体の講義のまとめ

[付録] クロムハウズにおける評価値の作り方

ChromeHounds



内容:オンライン上でロボットチーム対戦

開発元: FromSoftware

出版: SEGA

Hardware: Xbox360

出版年: 2006年

リアルな戦場で、ロボットからなるチーム同士で戦うネットワークゲーム。
オンライン上で、プレイヤーチームと、AIチームとの対戦が可能。

ChromeHounds NPCの課題

人間の代わりに、
プレイヤーチームと戦う COM のチームを作る。

(マルチエージェント)



プレイヤーチーム(最大6名)



AIチーム(最大6名)



===チーム 0===

現在のチーム方針： 本拠地制圧

本拠地制圧 0.672677

本拠地防衛 0.384698

敵殲滅 0.530446

コムバス占拠 0.231318

===チーム 1===

現在のチーム方針： 敵殲滅

本拠地制圧 0.436685

本拠地防衛 0.000659

敵殲滅 0.439338

コムバス占拠 0.206007

Player 4

GOAL_THINK, 寿命 -1.000000

GOAL_ATTACK_TARGET, 寿命 13.553795

GOAL_ESCAPE, 寿命 13.593793

GOAL_JOIN_TARGET, 寿命 13.533296

GOAL_APPROCH_TARGET, 寿命 15.802826

GOTO_POSITION, 寿命 -1.000000

FOLLOW_PATH, 寿命 -1.000000

GOAL_PROTECT_TARGET, 寿命 175.227051

GOAL_ATTACK_TARGET, 寿命 29.848152



234
9998



「クロムハウズ」を例に、

マルチエージェント・システムとは何か？
ゲームにおけるマルチエージェント・システムとは何か？

を考えてみよう。

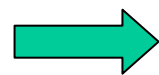
マルチエージェント・システムの作り方

マルチエージェント

個々のAIを、自律した知性(エージェント)として作成し、互いに相互作用させることで、全体として多様な機能を獲得する

Step1 個としてのAIを自律した知性として作る。

Step2 AI間の協調関係を定義する。



全体としての知性

Step3 全体を調整する。

マルチエージェント・システムの作り方

マルチエージェント

個々のAIを、自律した知性(エージェント)として作成し、互いに相互作用させることで、全体として多様な機能を獲得する

Step1

個としてのAIを自律した知性として作る。

Step2

AI間の協調関係を定義する。



全体としての知性

Step3

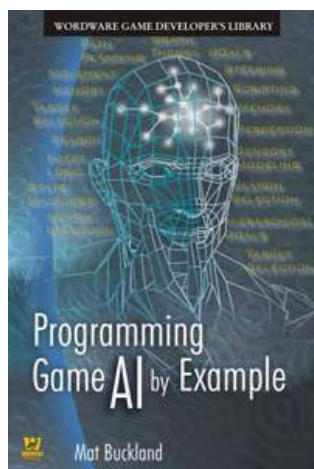
全体を調整する。

Step1

個としてのAIを自律した知性として作る

技術デモ

「ゴール指向プランニング」の秀逸なデモ



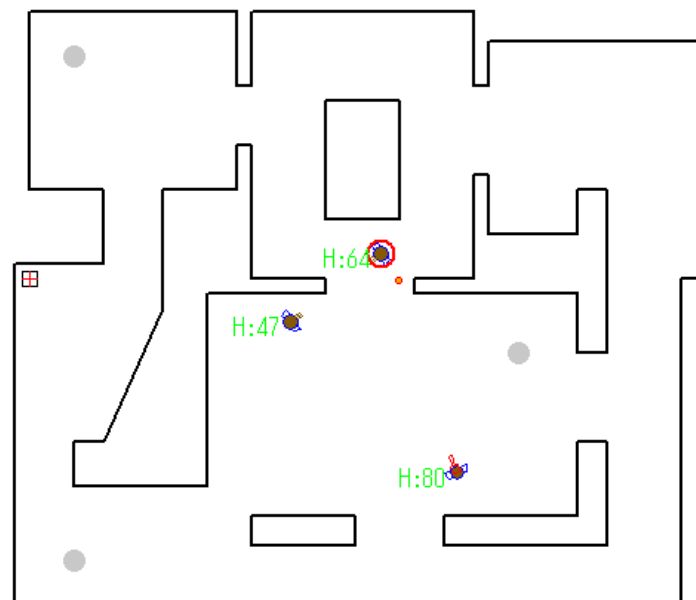
オライリー・ジャパン

「実例で学ぶゲームAIプログラミング」

(Mat Buckland 著、松田晃一訳)

ソースコードはWEB

<http://www.wordware.com/files/ai/>



(これを原型としてクロムハウন্ズのAIが構築された)

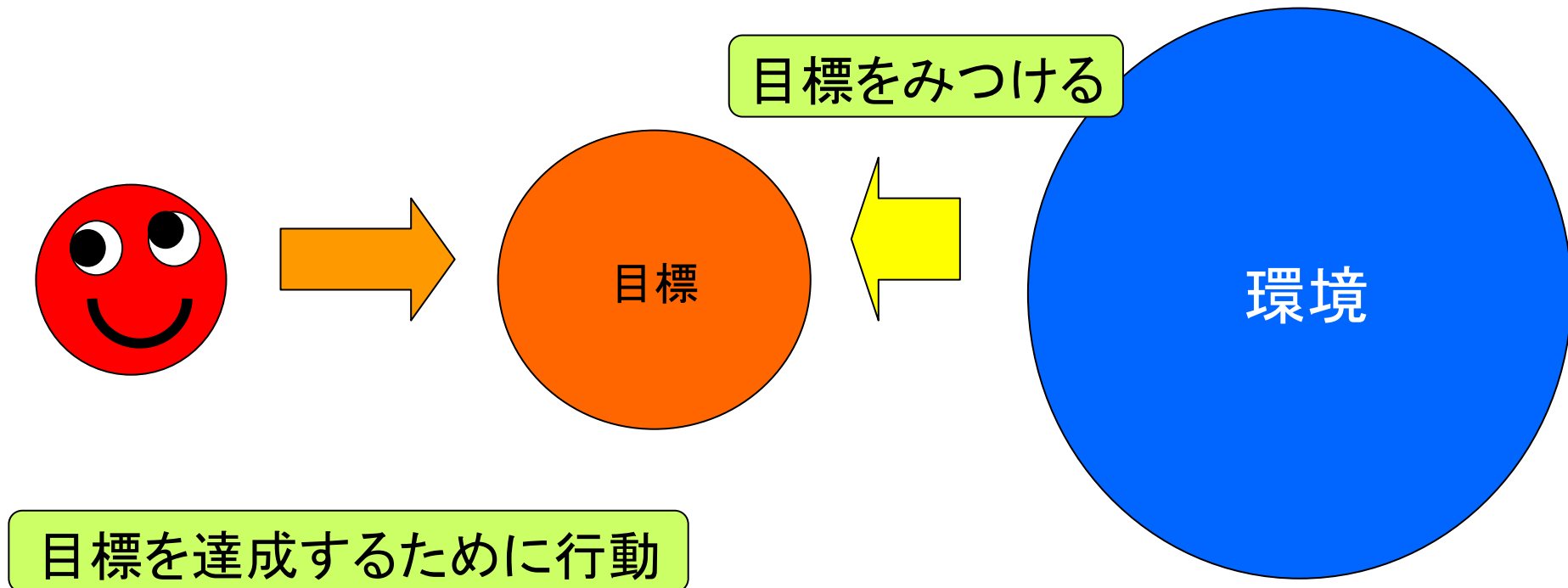
ゴール指向とは？

自分の属する世界から、目標を見つけて行動するAI

一般に、現在の人工知能のレベルで、AIが自発的に環境から目標をみつけることはできない。



目標は人間があらかじめAIに設定する必要がある



ゴール指向型プランニング

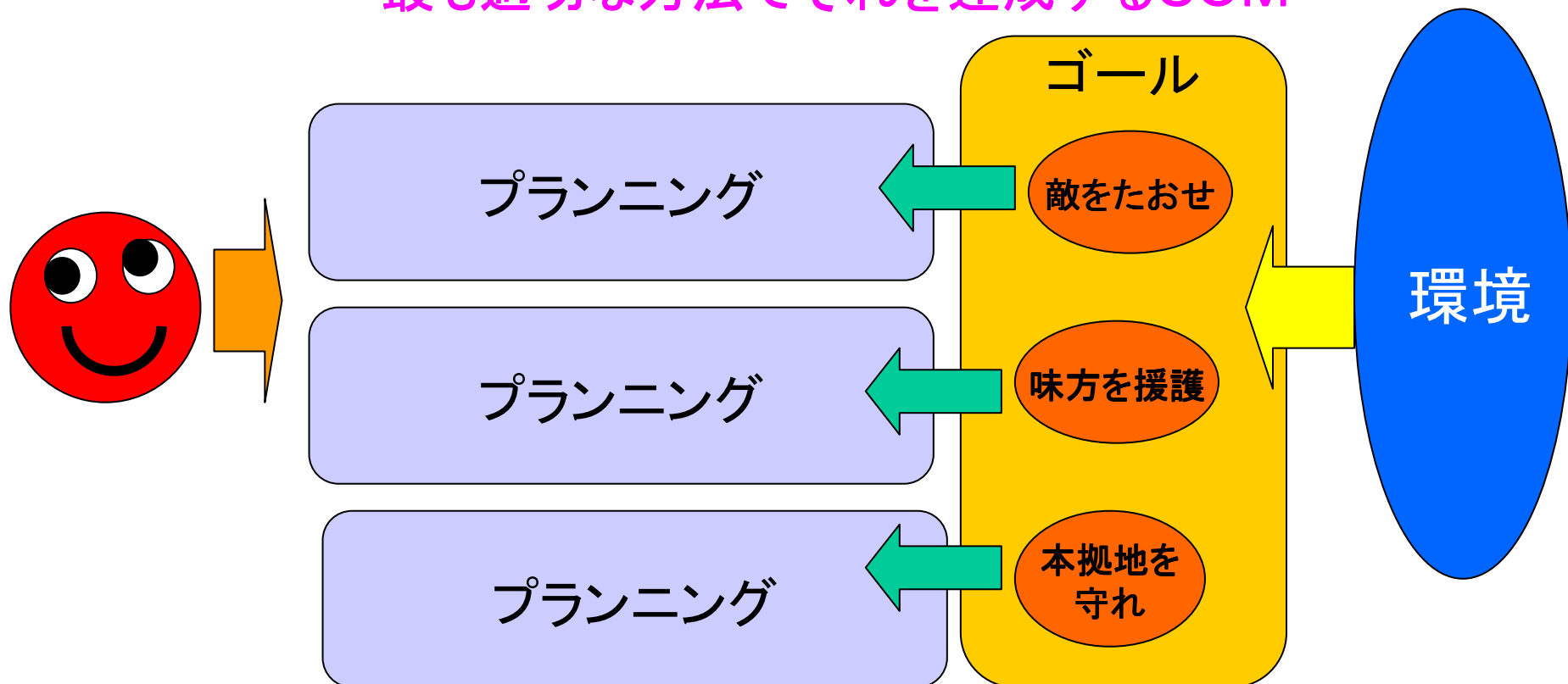
複数のゴール × プランニング

多数の目的

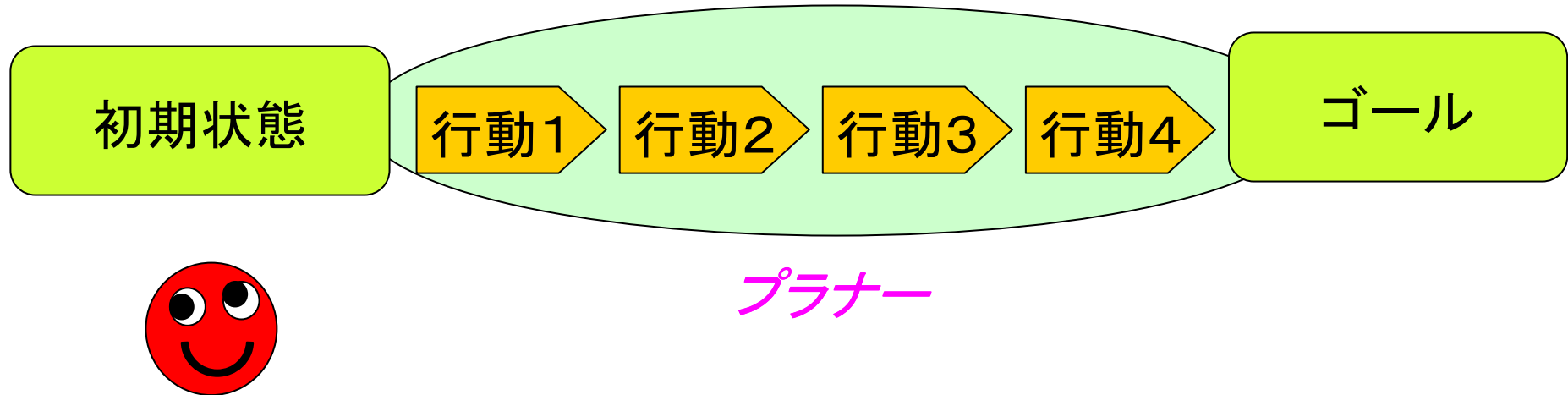
目的に対する多様な行動

=

ゲーム状況から、為すべきことを判断し、
最も適切な方法でそれを達成するCOM



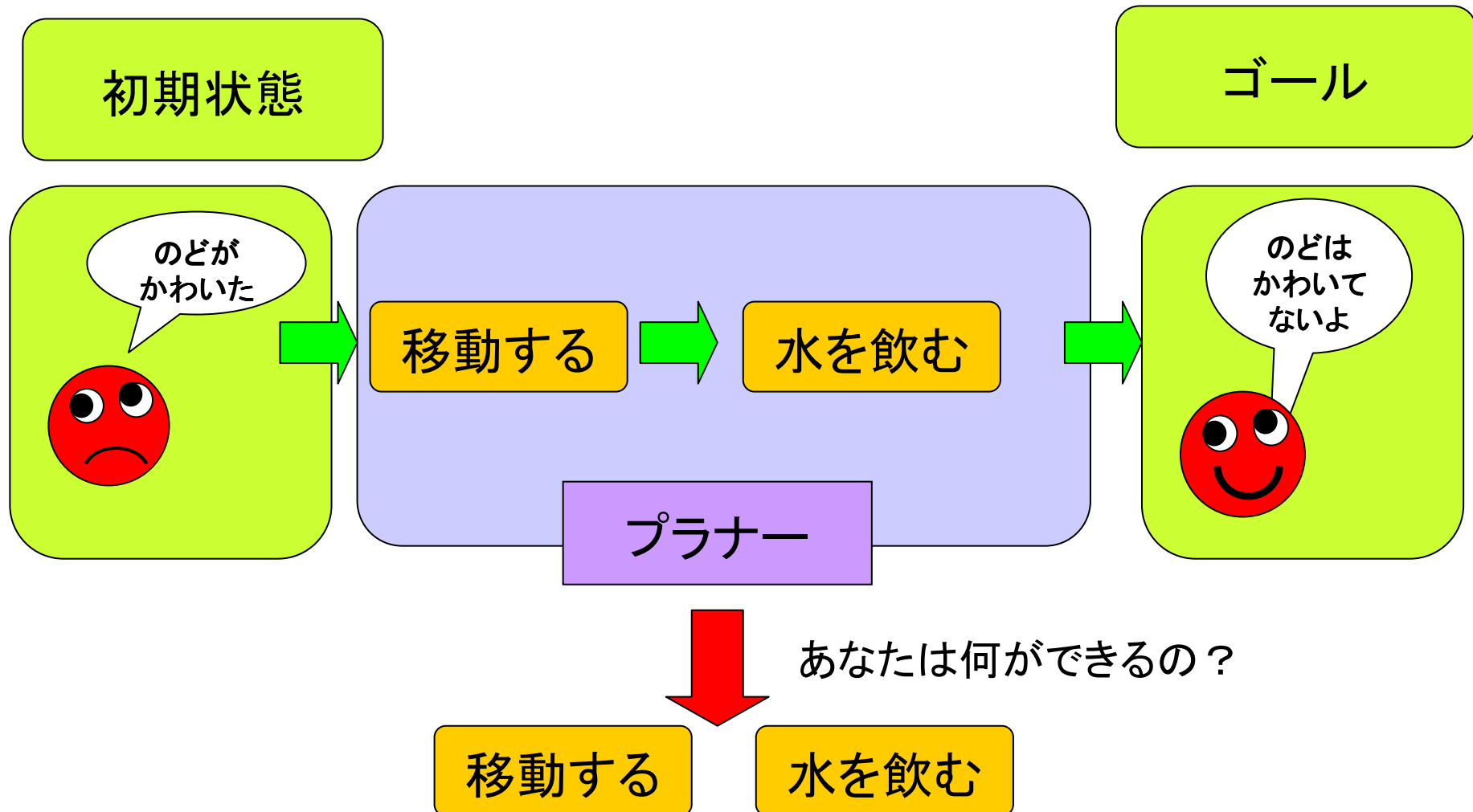
プランニングとは？



基本概念： 初期状態 ゴール プランナー

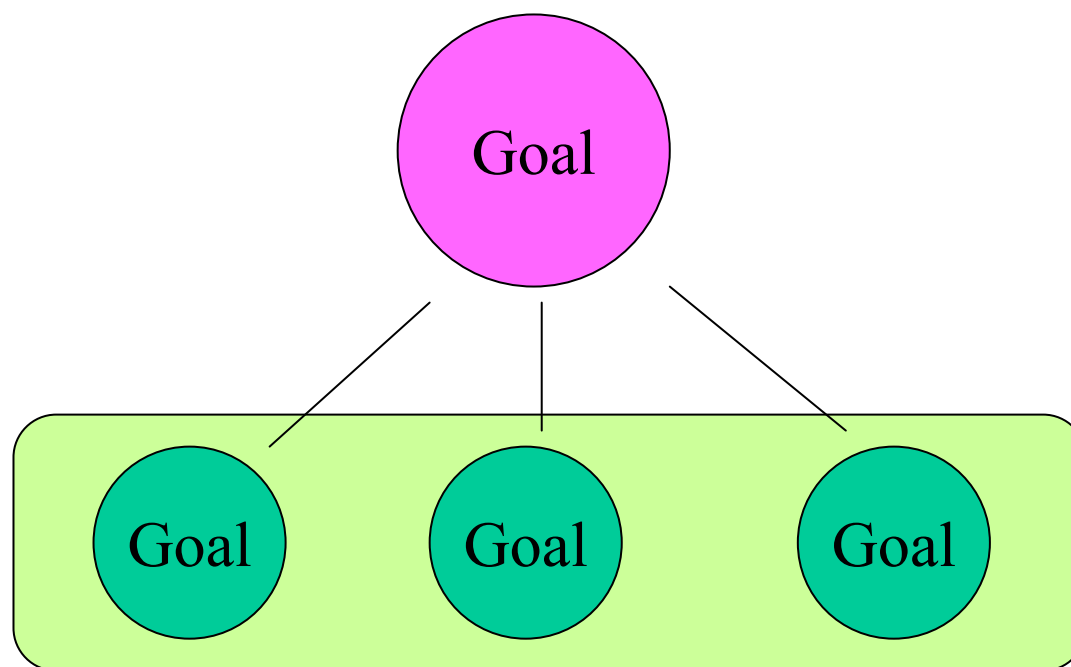
アクションプランニングの例

行動(アクション)によるプランニング = **アクションプランニング**

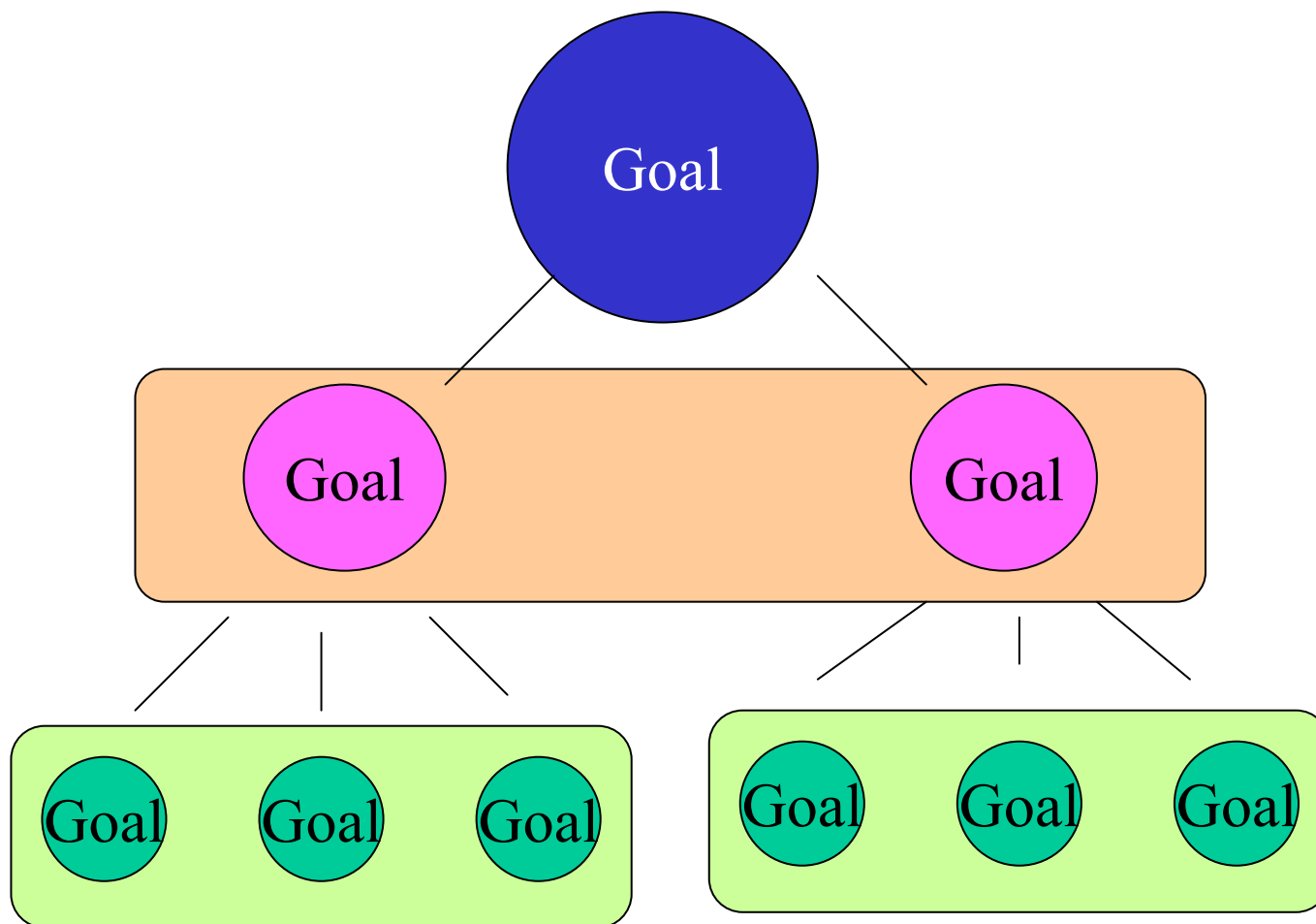


階層型ゴール指向プランニングとは？

一つのゴールはより小さなゴールから組み立てられる



ゴールはより小さなゴールから組み立てられる



ゴール指向型プランニングの考え方

映画を見たい

映画館に行く

映画館は新宿だ

新宿駅に行く

晴れなら

新宿駅へ歩く

雨なら

電車で新宿へ

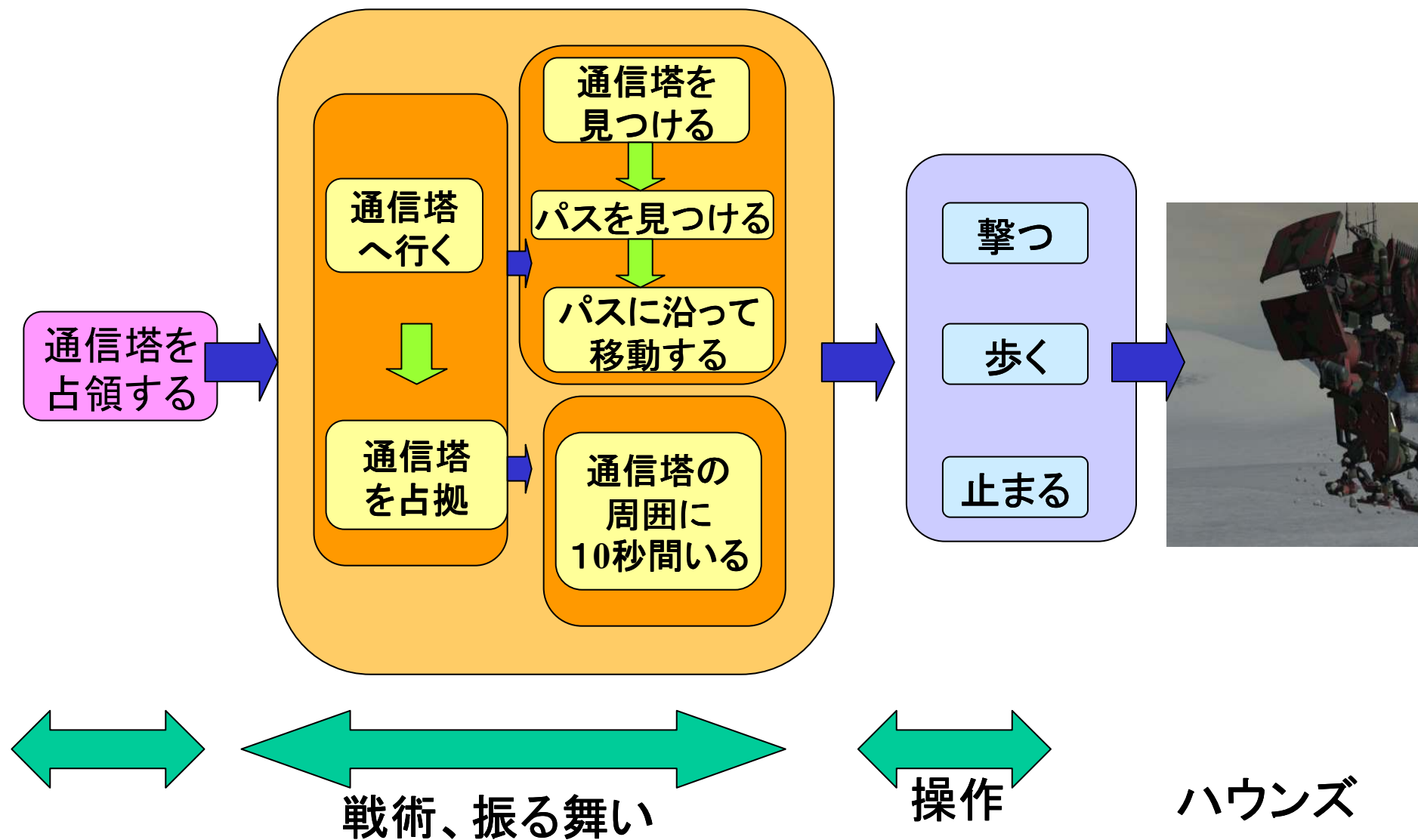
駅まで歩く

電車に乗る

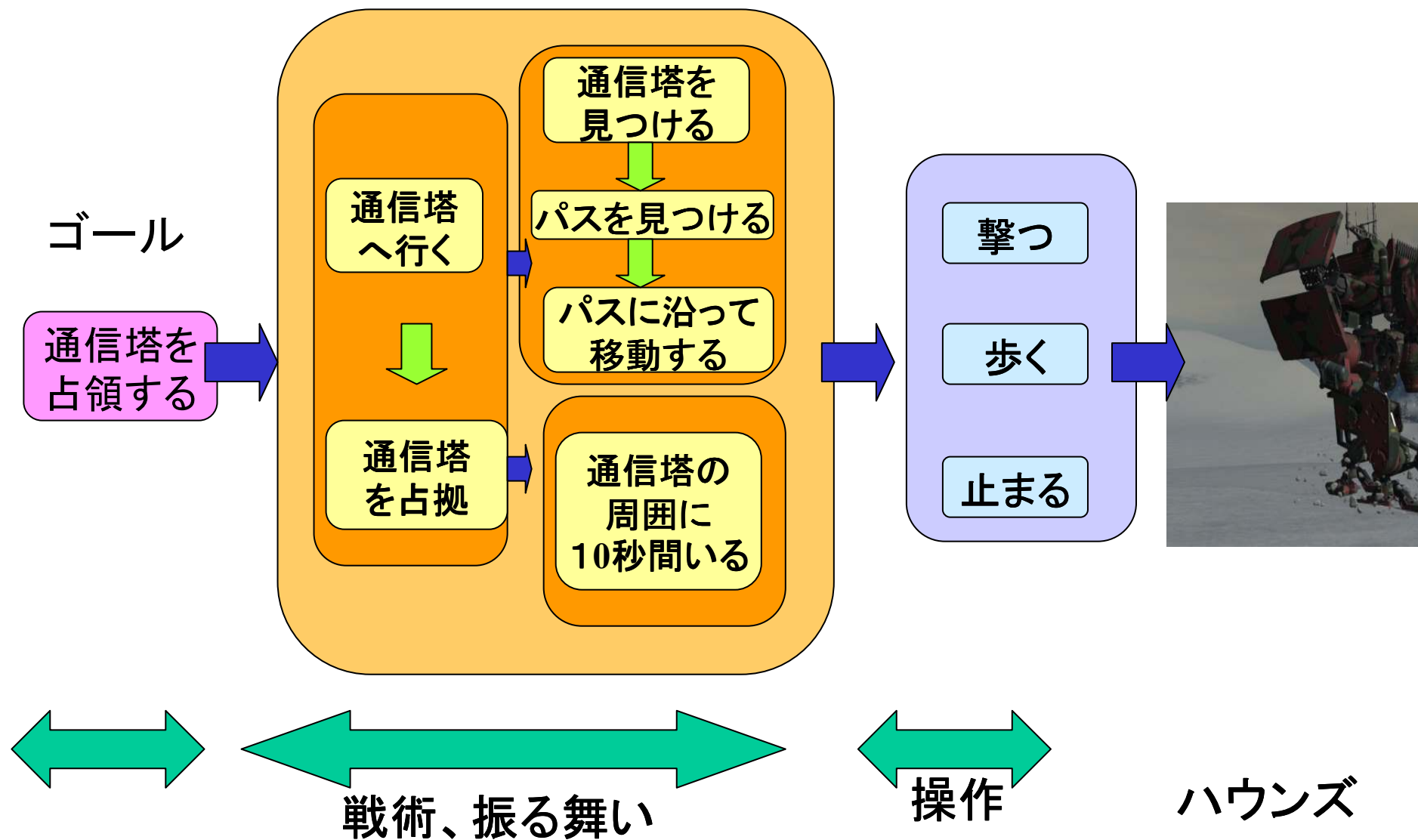
映画館まで歩く

映画を見る

クロムハウنزにおける ゴール指向型プランニング

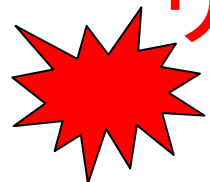


クロムハウنزにおける ゴール指向型プランニング

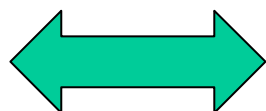
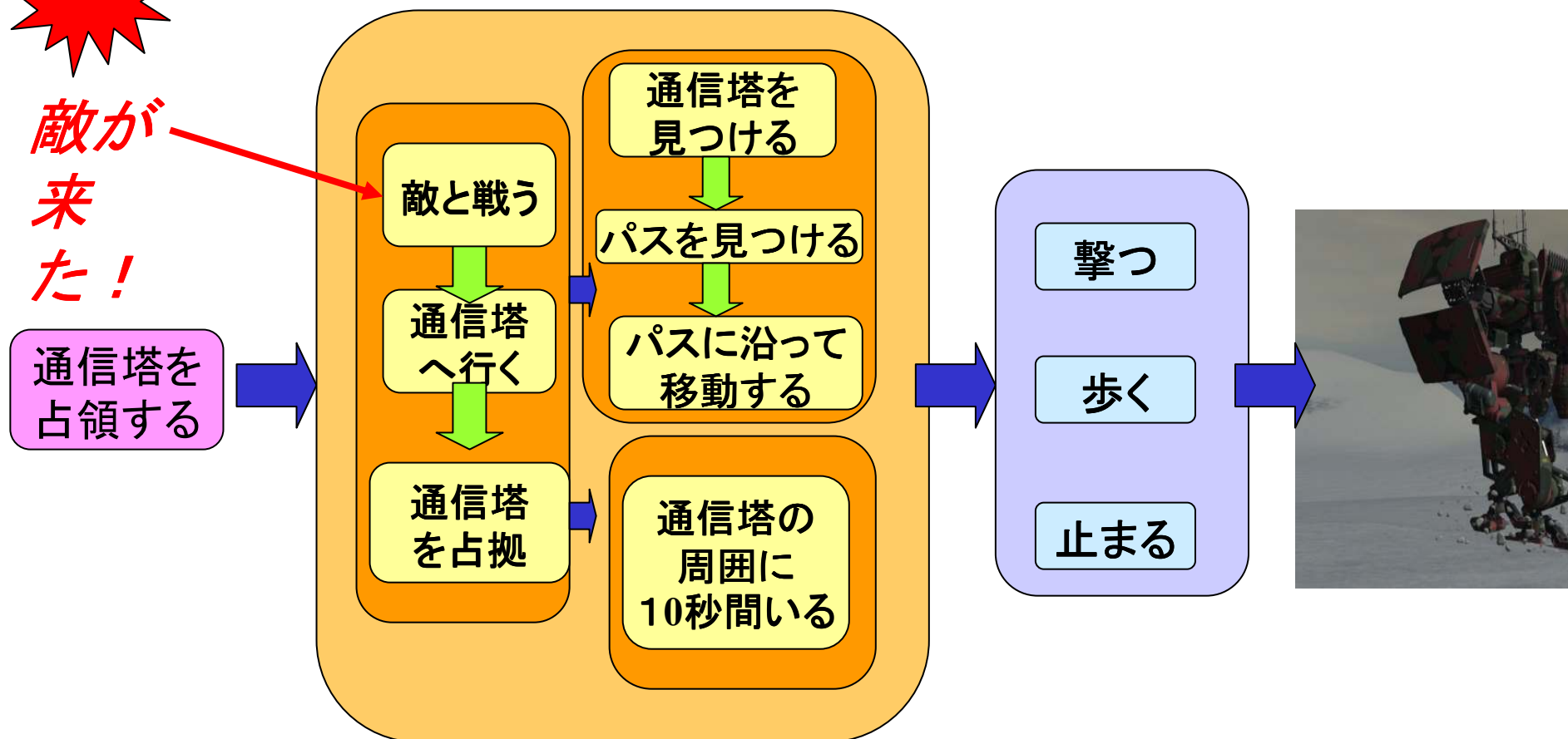


クロムハウنزにおける

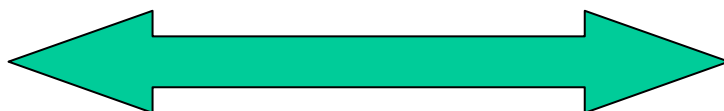
リアルタイムゴール指向型プランニング



敵が
来た！



戦略



戦術、振る舞い



操作

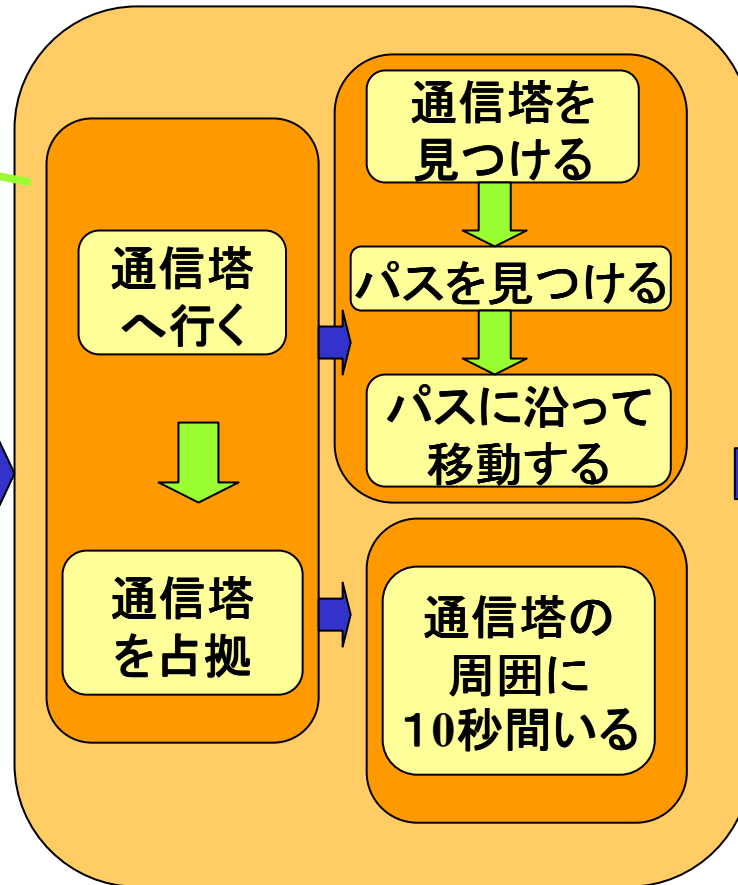
ハウズ

クロムハウنزにおける リアルタイムゴール指向型プランニング



敵を倒した！
Clear!

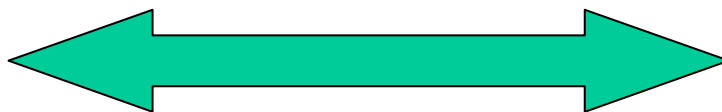
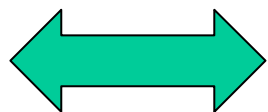
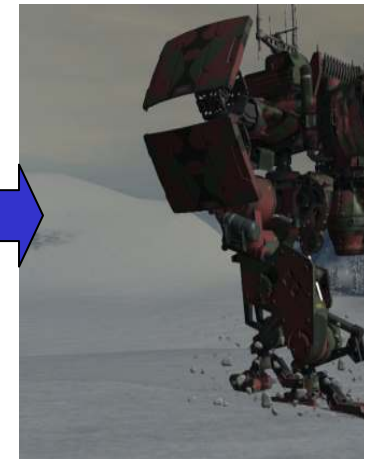
通信塔を
占領する



撃つ

歩く

止まる



戦術、振る舞い



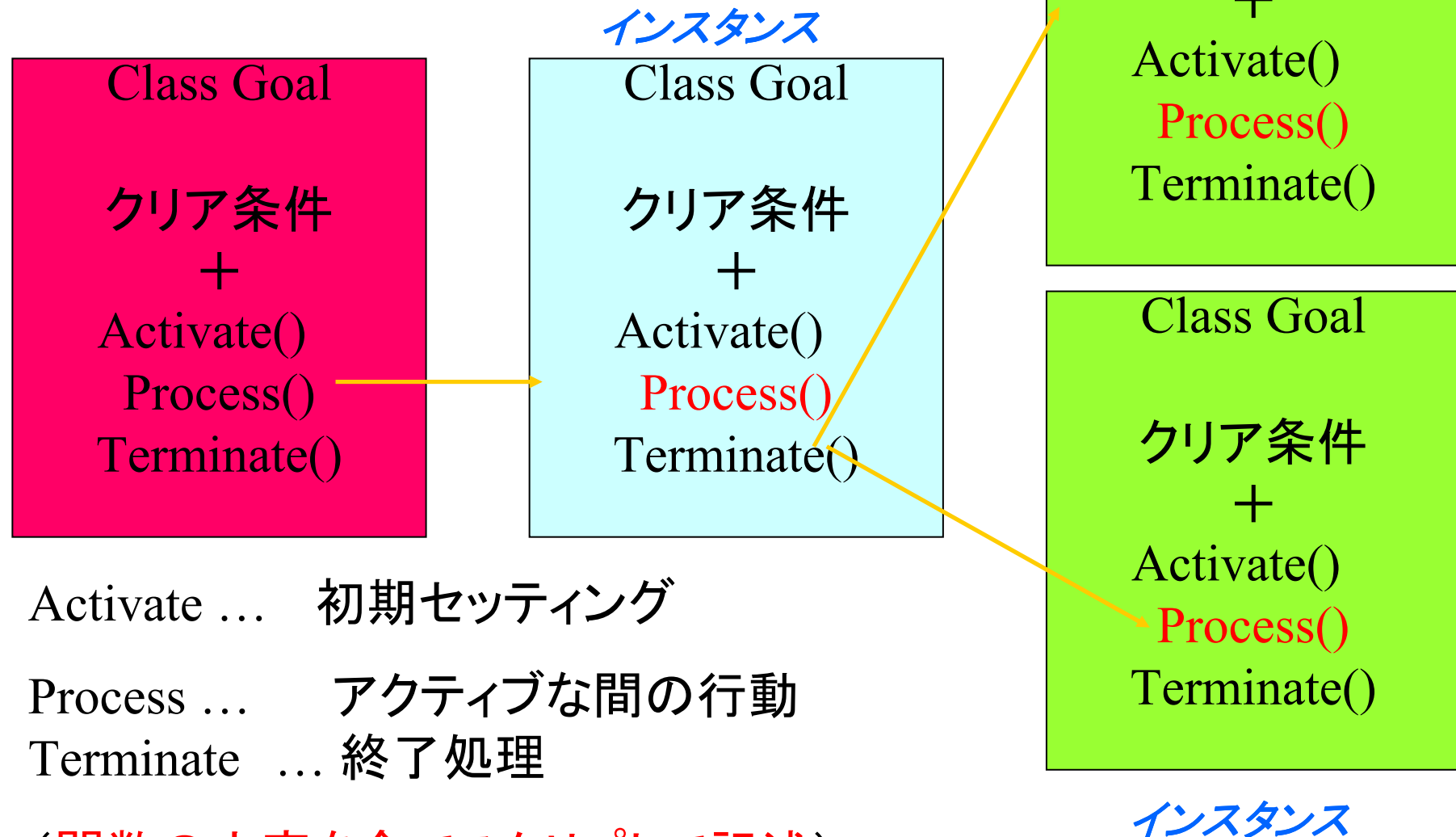
操作

ハウنز

プログラマーのための実装工程

ゴール指向型プログラム構造

(入れ子構造)



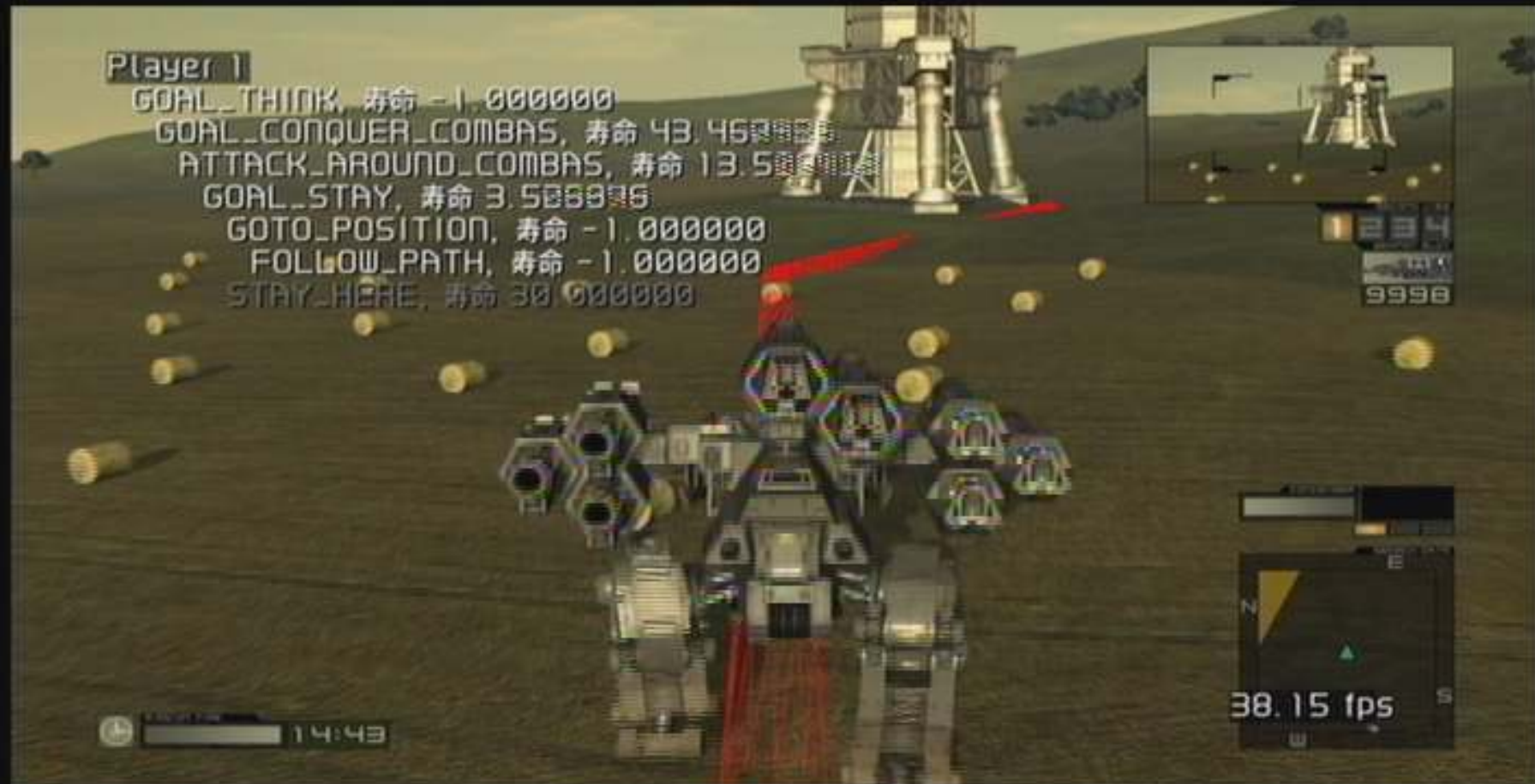
Activate ... 初期セッティング

Process ... アクティブな間の行動

Terminate ... 終了処理

(関数の内容を全てスクリプトで記述)

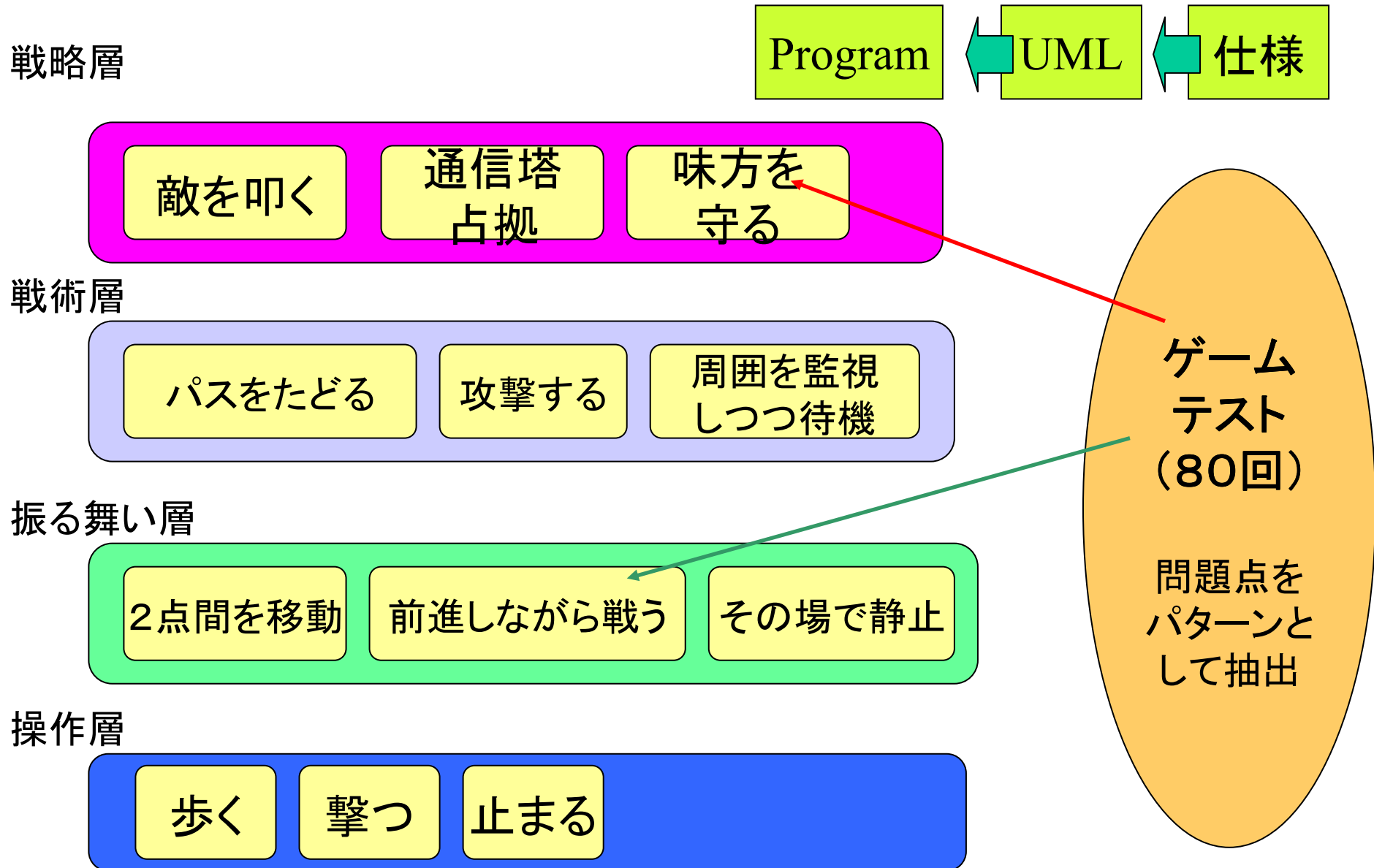
ゴール指向プランニングによって 通信塔を占拠するデモ



左上は階層型プランニングのゴール表示

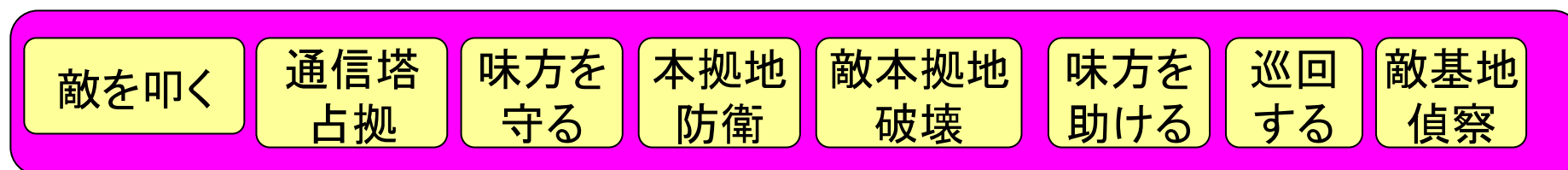
ゴール指向型AIの開発工程

(パターンランゲージによる漸近的成長)

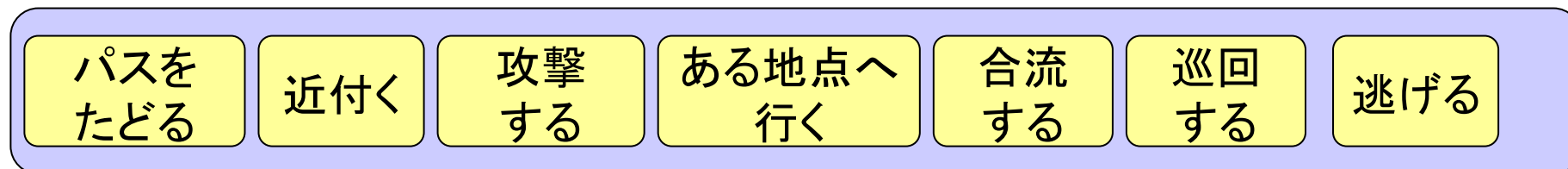


クロムハウズ 最終的なゴール総合図

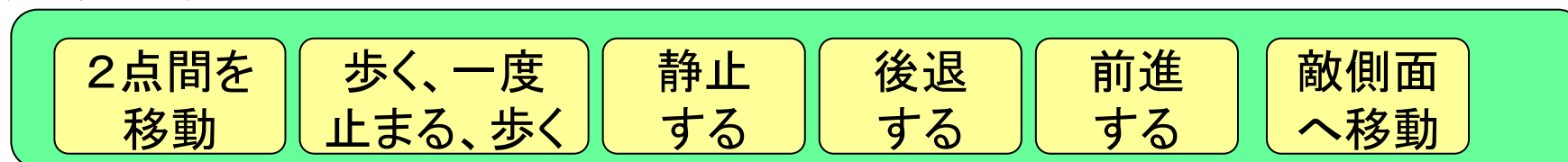
戦略層



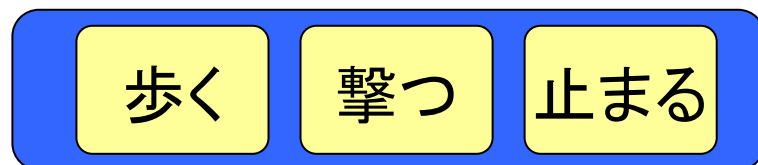
戦術層



振る舞い層



操作層



クロムハウズ ゴール総合図

状況に応じて、戦略を選ぶ知能が必要

ゴールを選択する意思決定機構

戦略層

選択

敵を叩く

通信塔
占拠

味方を
守る

本拠地
防衛

敵本拠地
破壊

味方を
助ける

巡回
する

敵基地
偵察

複数のゴール

戦術層

パスを
たどる

近付く

攻撃
する

ある地点へ
行く

合流
する

巡回
する

逃げる

振る舞い層

2点間を
移動

歩く、一度
止まる、歩く

静止
する

後退
する

前進
する

敵側面
へ移動

操作層

歩く

撃つ

止まる

COMの自律的な意思決定過程

周囲の状況を反映して意思決定する

評価関数法

どれぐらい状況に適しているか、点数をつけて比較する方法

意志決定機構

選択

戦略

本拠地
占拠

敵を叩け

通信塔
占拠

本拠地
防衛

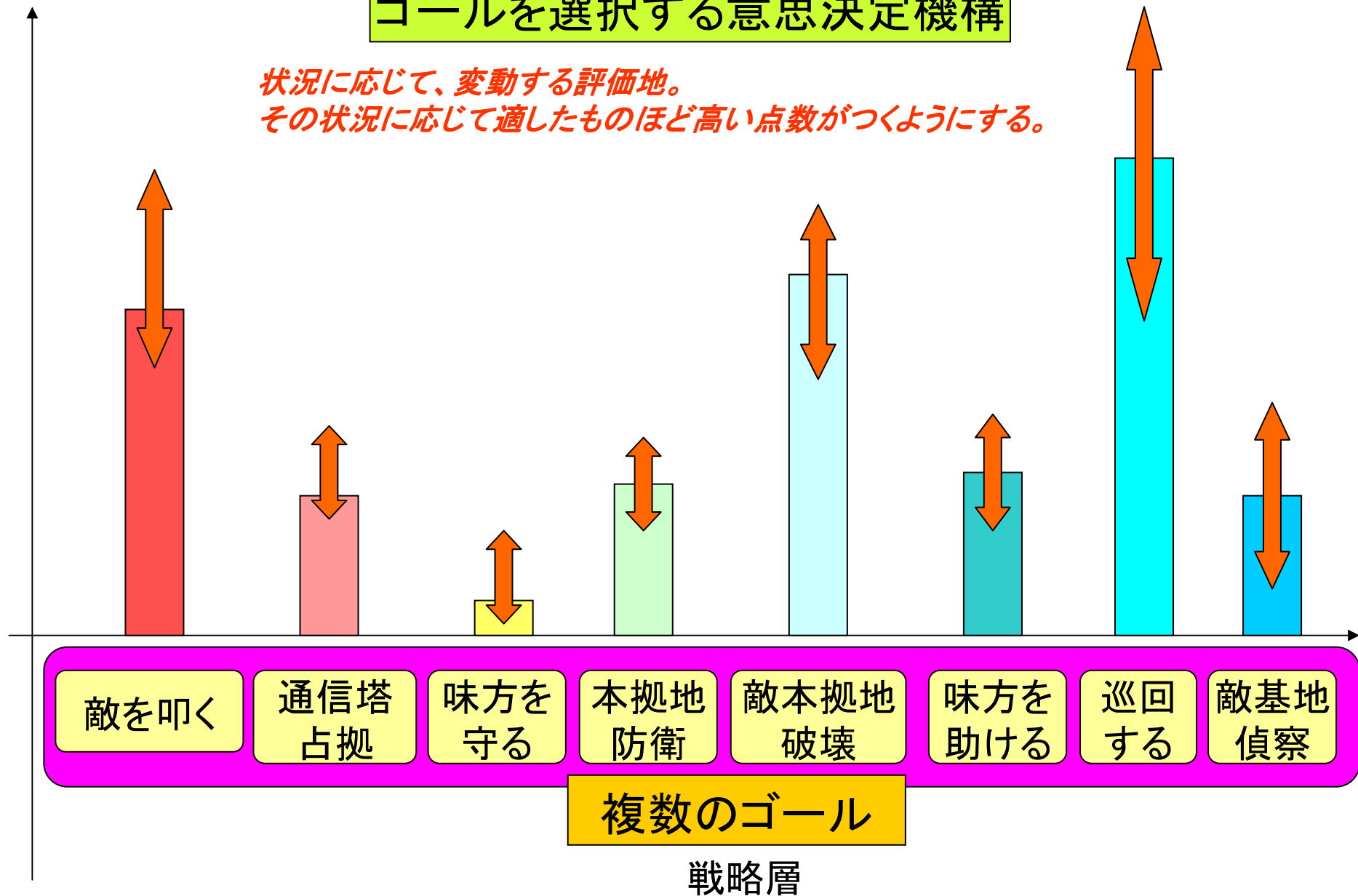
味方機を
助けよ

プランニング

クロムハウنز 状況により変動する評価値のイメージ

ゴールを選択する意思決定機構

状況に応じて、変動する評価地。
その状況に応じて適したものほど高い点数がつくようにする。



意思決定機構のデモ

COMが自分で判断をする様子
をご覧ください。

Player 3

EVAL_ATTACK_TARGET. 0.000000

EVAL_CONQUER_COMBAS, 0.186761

EVAL_CONQUER_BASE. 0.169044

EVAL_PROTECT_TARGET, 0.148441

EVAL_RESQUE_FRIEND, 0.000000

EVAL_DEFEND_MY_BASE, 0.144628

EVAL_SCOUT_BASE, 0.115344

EVAL_TRAVEL, 0.000000

EVAL_CONQUER_BASE_WITH_COMBAS, 0.000000

EVAL_CONQUER_MORE_COMBAS, 0.000000

EVAL_DEFEND_MY_BASE_WITH_COMBAS, 0.000000

EVAL_SCOUT_BASE_WITH_COMBAS, 0.000000

EVAL_CONQUER_BASE_WITH_COMBAS_TO, 0 000000

Player 3

GOAL THINK, 寿命 - 1.000000

GOAL_CONQUER_COMBAS, 寿命 41.062323

ATTACK AROUND COMBAS, 壽命 11.1 26

GOAL_STAY, 寿命 1.129363

GOTO POSITION, 寿命 -1.000000

FOLLOW_PATH, 寿命 - 1.000000



54.31 fps

自律型エージェントの実現

第1回セミナー

リアルタイム パス検索

×

第2回セミナー

リアルタイム ゴール指向型プランニング

×

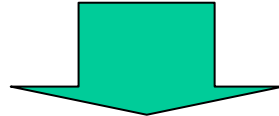
第3回セミナー

意思決定機構



自律型エージェント 完成

個としてのAIの完成



チームとしてのAIへ

マルチエージェント・システムの作り方

マルチエージェント

個々のAIを、自律した知性(エージェント)として作成し、互いに相互作用させることで、全体として多様な機能を獲得する

Step1

個としてのAIを自律した知性として作る。

Step2

AI間の協調関係を定義する。

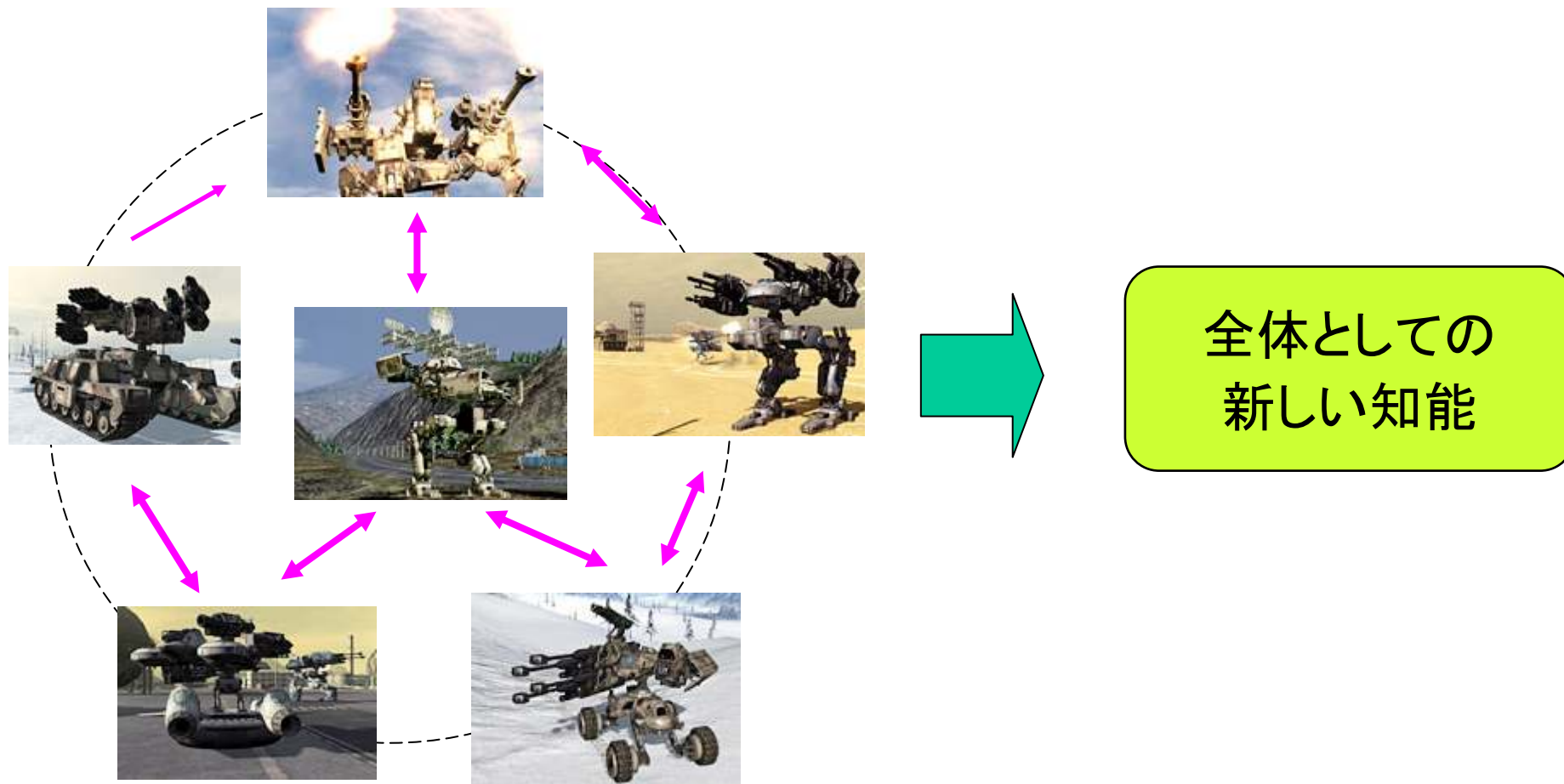


全体としての知性

Step3

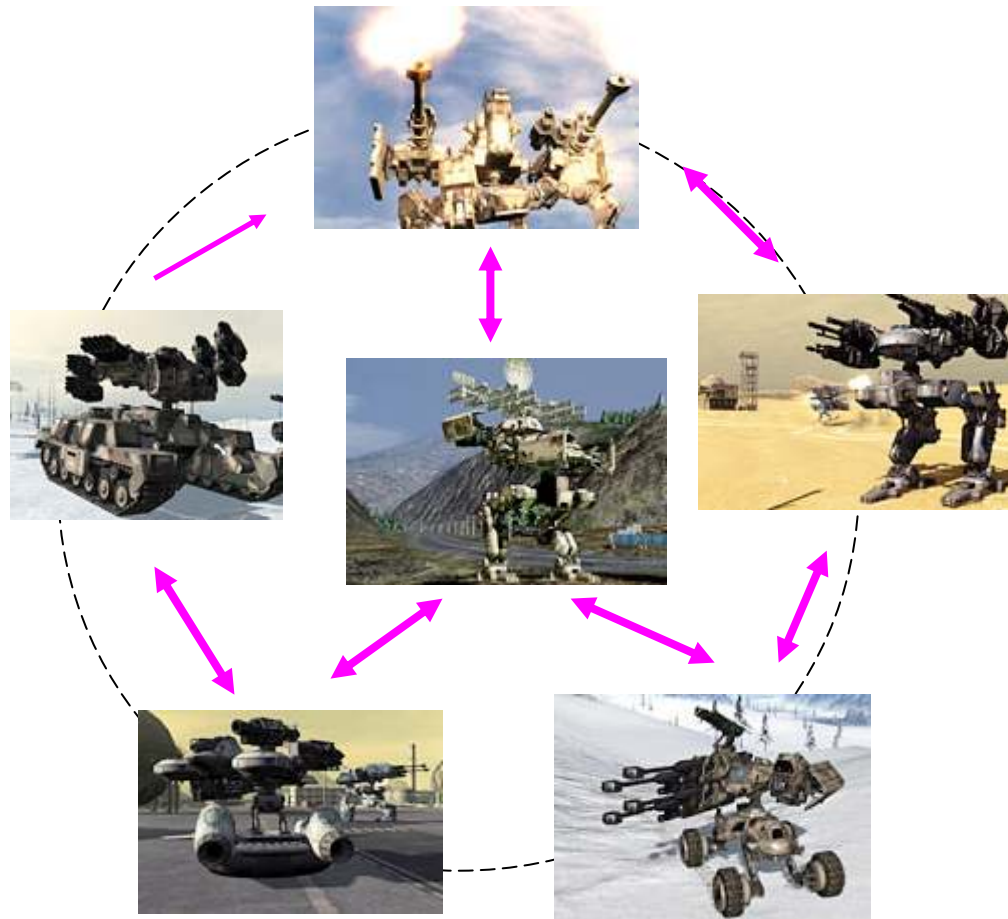
全体を調整する。

マルチエージェント技術



各エージェントがそれぞれの機能を果たすことで、
全体として新しい知能を獲得すること。

集団における知性 クロムハウズ



メンバーの維持

①護衛

②救援

ゴールによる協調

相手チームに対する
状況的優位を築く

③戦闘判断 ④集中砲火

アルゴリズムによる協調

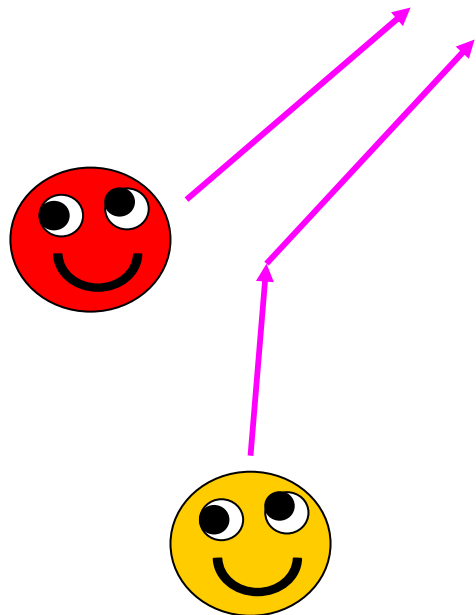
勝利のための
統制された行動

⑤チームAI

チームAIによる協調

クロムハウন্ズにおけるマルチエージェント技術

- ① **護衛** 一体のエージェントが他のエージェントと移動を共にする。



- 「護衛する」というゴールを用意する
- 護衛される対象は戦力が少ないか、移動速度が遅いハウンドが選ばれやすい

Player 2

GOAL_THINK, 寿命 -1.000000

GOAL_PROTECT_TARGET, 寿命 62.909204

GOAL_ATTACK_TARGET, 寿命 2.999113

GOAL_ATTACK_INFIELD, 寿命 9.000000

GOAL_APPROCH_TARGET, 寿命 4.199209

GOTO_POSITION, 寿命 -1.000000

FOLLOW_PATH, 寿命 -1.000000

GOAL_JOIN_TARGET, 寿命 175.256291

GOAL_APPROCH_TARGET, 寿命 16.754825

GOTO_POSITION, 寿命 -1.000000

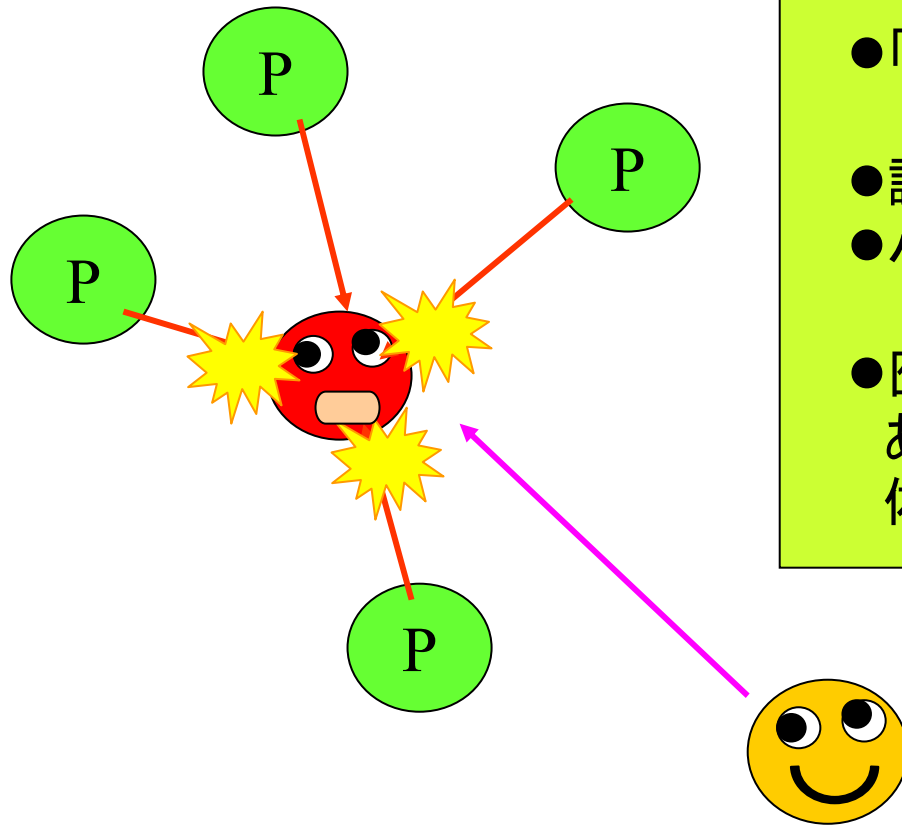
FOLLOW_PATH, 寿命 -1.000000

13:02



クロムハウন্ズにおけるマルチエージェント技術

- ② **救援** 一体のエージェントが窮地にある他のエージェントの戦場に駆けつける。



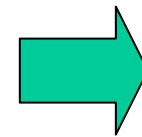
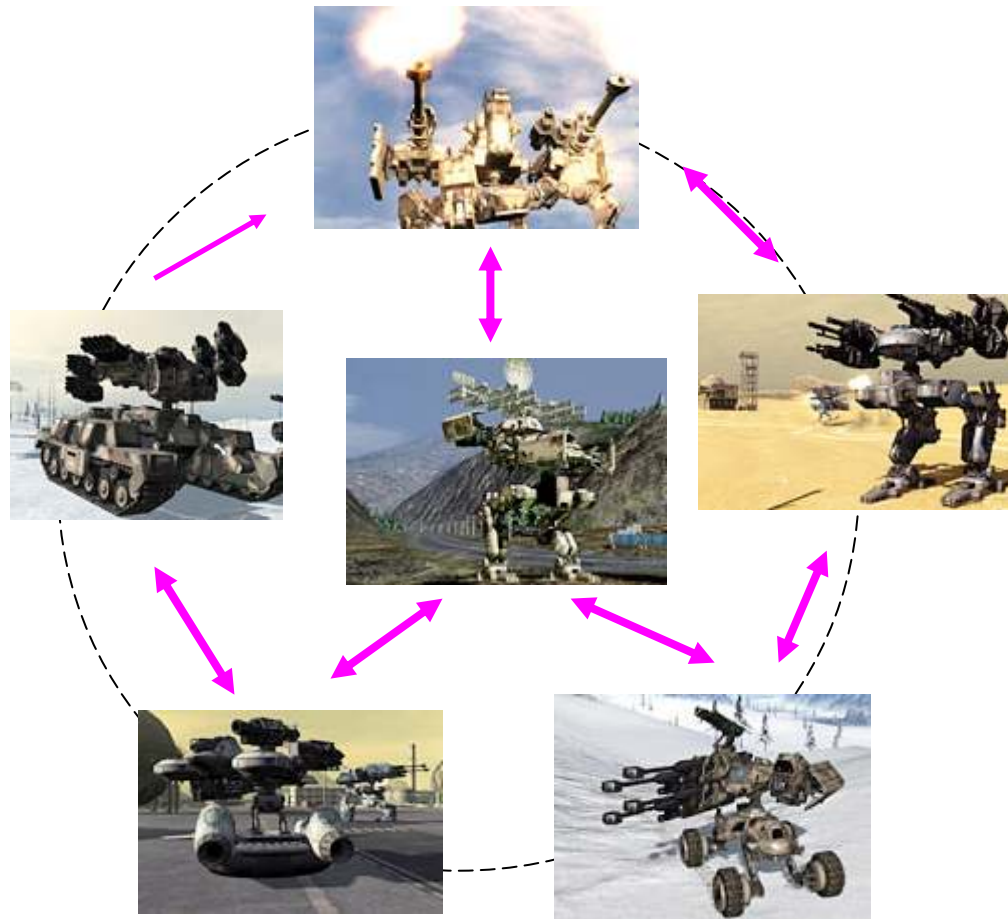
- 「救援する」というゴールを用意する
- 護衛される対象は体力の残りが少ない
- ハウন্ズ
- 囿に使われる可能性があるので、あまりに遠かったり、あまりに体力が少ない場合は、救援に行かない

ALL AI SYSTEM

Player 9
GOAL_THINK, 寿命 -1.000000
GOAL_ATTACK_TARGET, 寿命 7.620000
GOAL_APPROCH_TARGET, 寿命 7.695000
GOTO_POSITION, 寿命 -1.000000
FOLLOW_PATH, 寿命 -1.000000
GOAL_ATTACK_INFIELD, 寿命 20.000000
GOAL_RESOLVE_FRIEND, 寿命 116.543331
GOAL_JOIN_TARGET, 寿命 173.819824
GOAL_APPROCH_TARGET, 寿命 16.704407
GOTO_POSITION, 寿命 -1.000000
FOLLOW_PATH, 寿命 -1.000000

10:31

集団における知性 クロムハウズ



メンバーの維持

①護衛

②救援

ゴールによる協調

相手チームに対する
状況的優位を築く

③戦闘判断 ④集中砲火

アルゴリズムによる協調

勝利のための
統制された行動

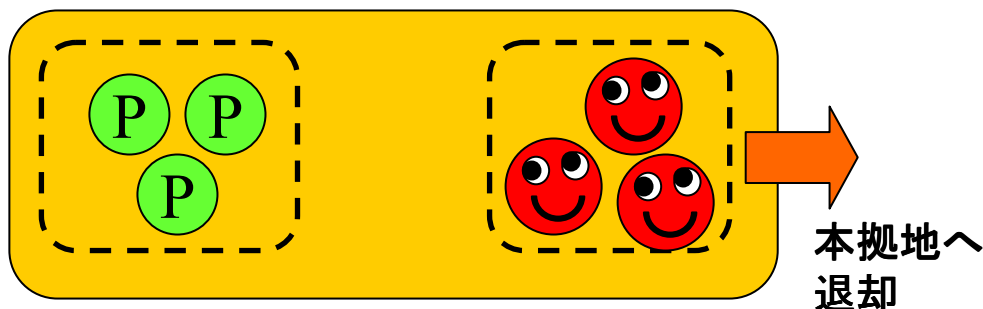
⑤チームAI

チームAIによる協調

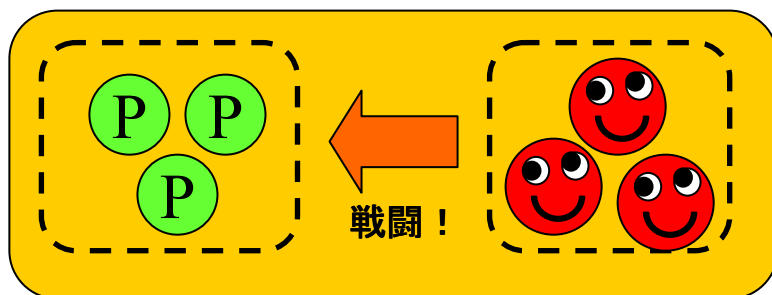
クロムハウنزにおけるマルチエージェント技術

- ③ **戦闘判断** エージェントが周りの敵と味方の戦力を計算して戦うべきか、逃げるべきかを判断する。

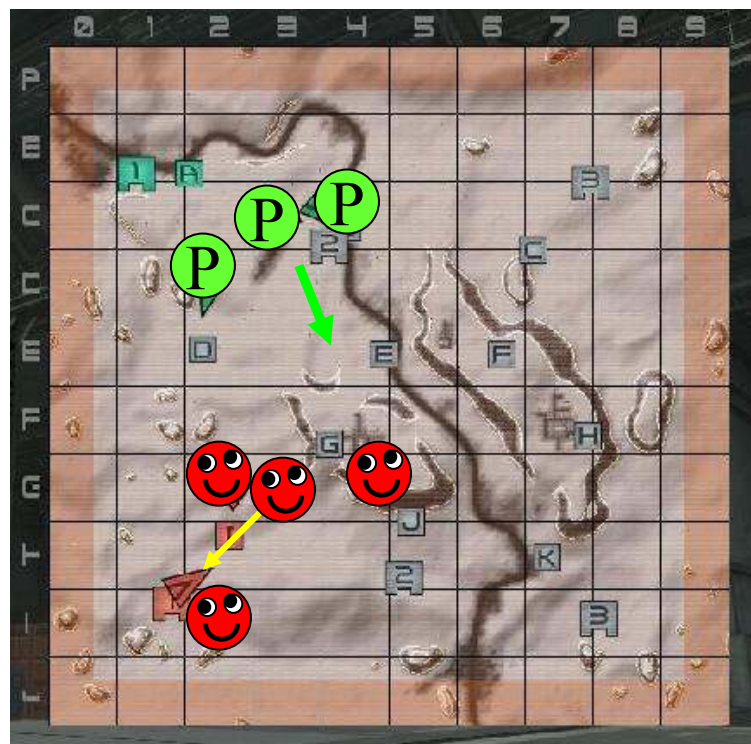
デバッグの過程で追加



プレイヤーたちの戦力 $> 1.4 \times$ エージェントたちの戦力



プレイヤーたちの戦力 $< 1.4 \times$ エージェントたちの戦力



戦力比が大きい無駄な戦闘を回避し、常に相手を上回る戦力を増築してプレイヤーに対抗する



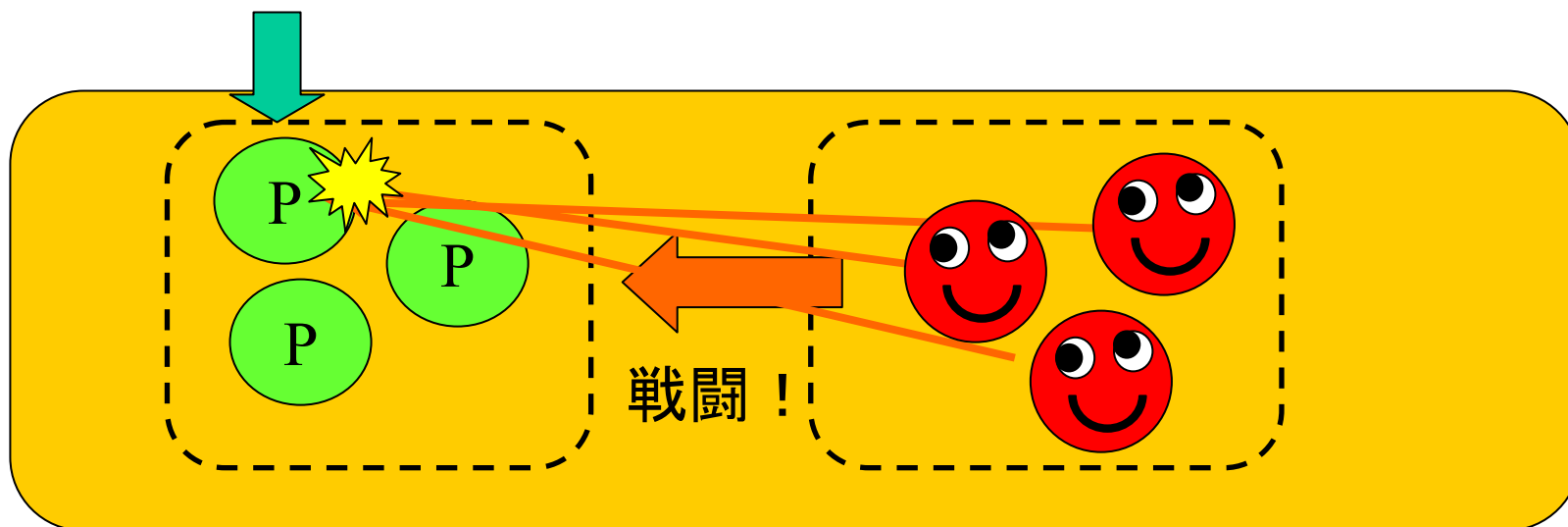
ALL AI SYSTEM AIチーム vs AIチーム 戦デモ

クロムハウズにおけるマルチエージェント技術

- ④ **集中砲火** 複数のエージェントが複数の敵ターゲットに対し
ターゲットを統一する

デバッグの過程で追加

その場で戦力が最も低い敵を集中的に攻撃する

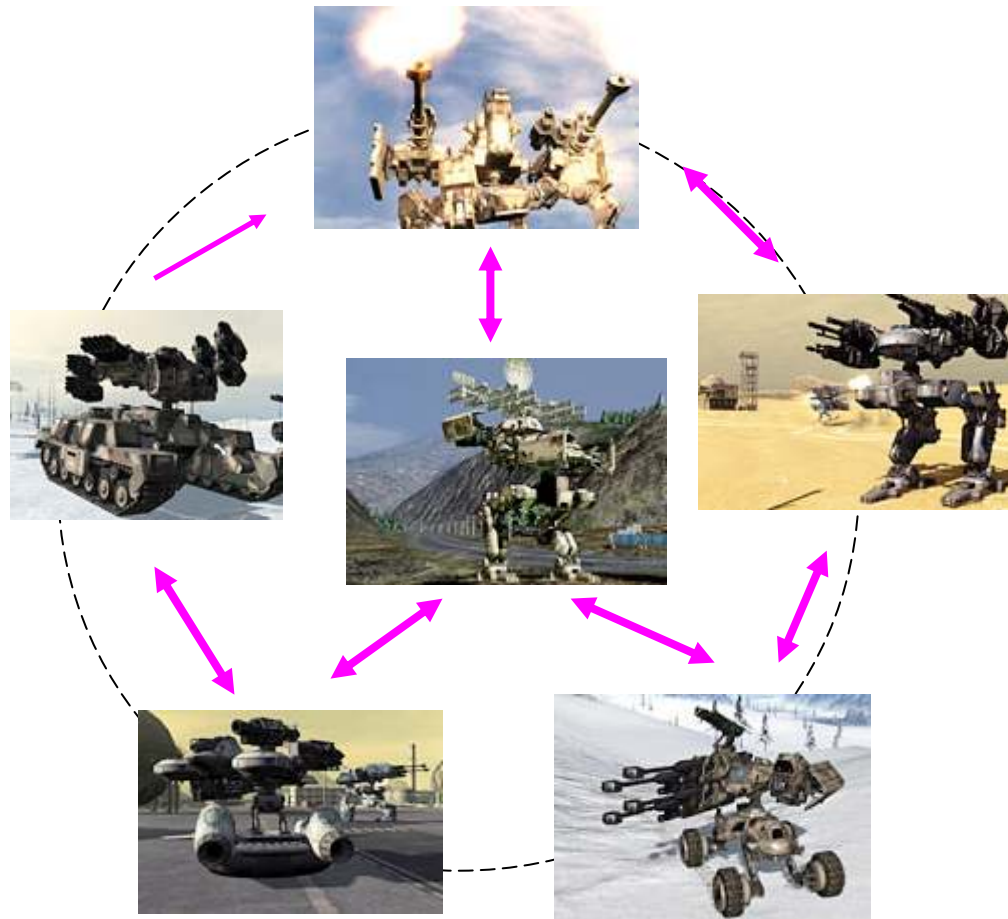


その場で戦力が最も低い敵を集中的に攻撃し
ダメージの分散を防ぐ



ALL AI SYSTEM AIチーム vs AIチーム 戦デモ

集団における知性 クロムハウنز



メンバーの維持

①護衛

②救援

ゴールによる協調

相手チームに対する
状況的優位を築く

③戦闘判断 ④集中砲火

アルゴリズムによる協調

勝利のための
統制された行動

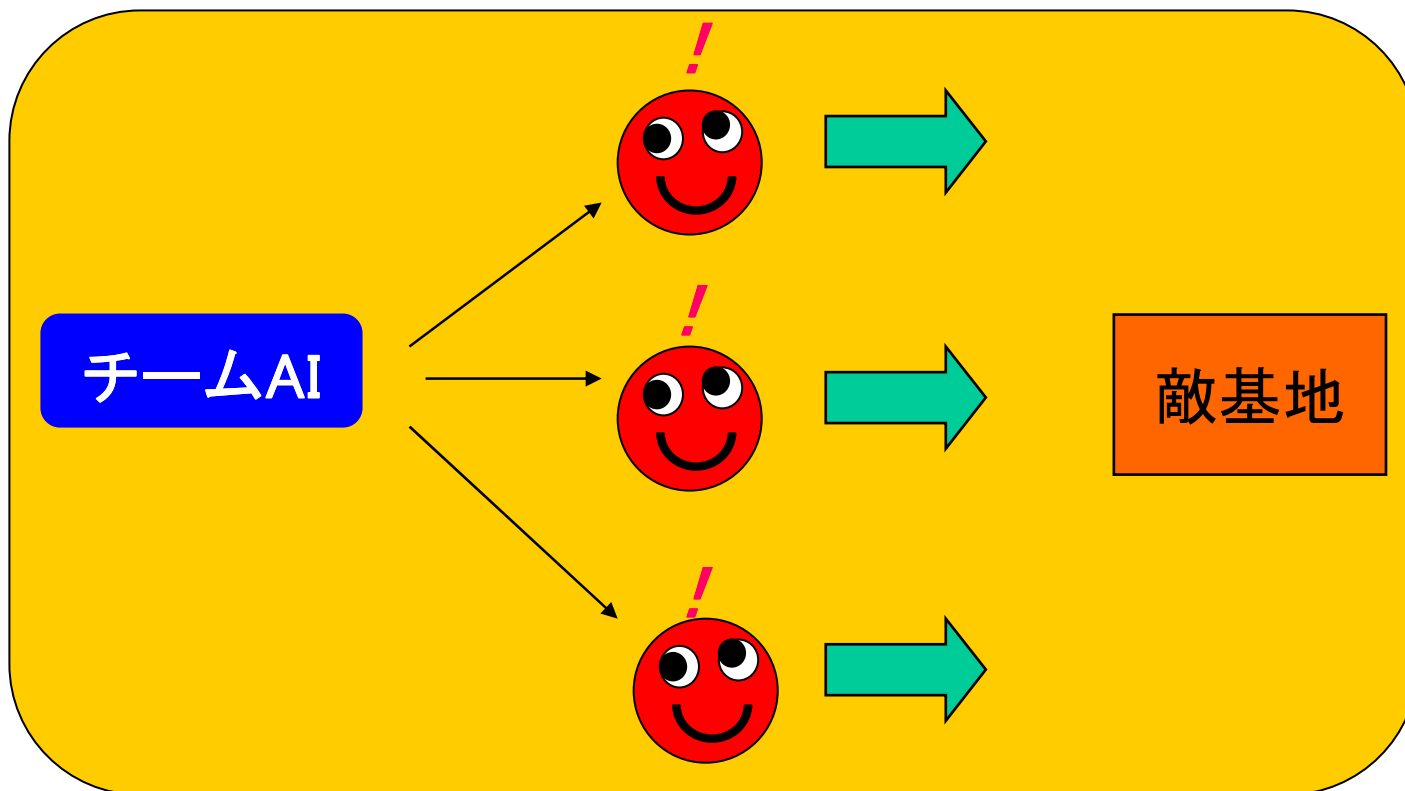
⑤チームAI

チームAIによる協調

クロムハウズにおけるマルチエージェント技術

⑤ 勝利のための統制された行動

複数のエージェントがゴールを共有する



勝利のために目的を共有する

チームAIの構造

4つの戦略を持ち、ゲーム全体の状況を反映する
評価関数によって、一つの戦略を決定する。

(評価関数による意思決定 = 個体の意志決定と同じ方法)

チームAI 意志決定機構



敵殲滅

本拠地
防衛

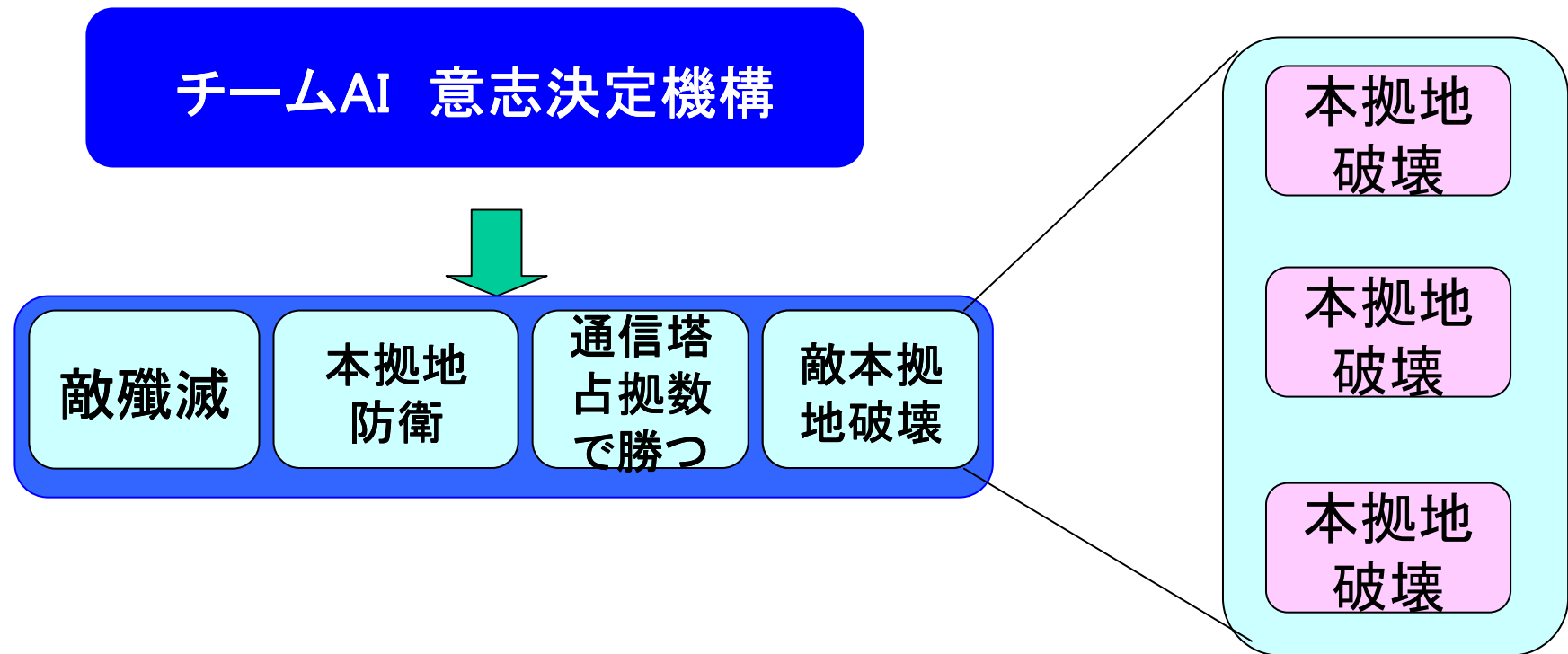
通信塔
占拠数
で勝つ

敵本拠地
破壊

チームとしての戦略
(=勝利条件と同じ)

チームAIの構造

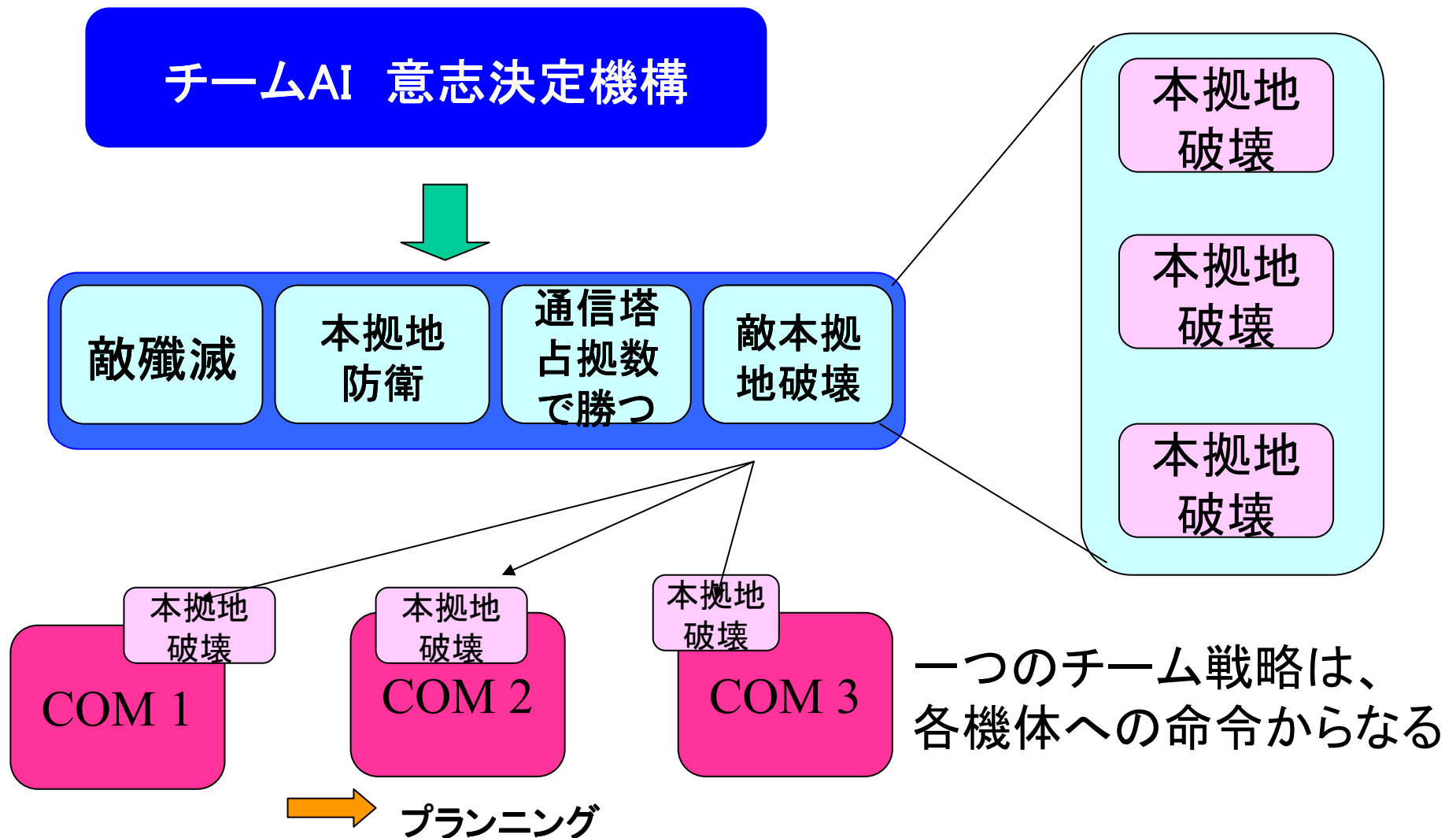
4つの戦略を持ち、評価関数によって、一つの戦略を決定する。
(評価関数による意思決定 = 個体の意志決定と同じ方法)



一つのチーム戦略は、
各機体への命令からなる

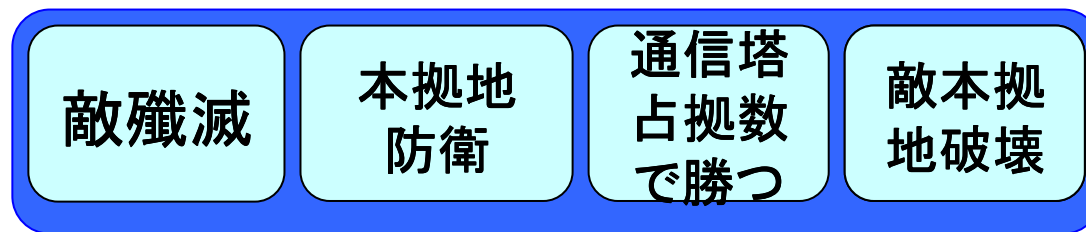
チームAIの構造 = ゴール指向型の拡張

COMのゴール指向プランニングの上に、チームAIを積み上げる



チームAI の意思決定と COMの判断 を比較して、最終的に決定する

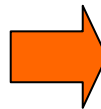
チームAI 意志決定機構



組織としての合理性

本拠地破壊

COM 2



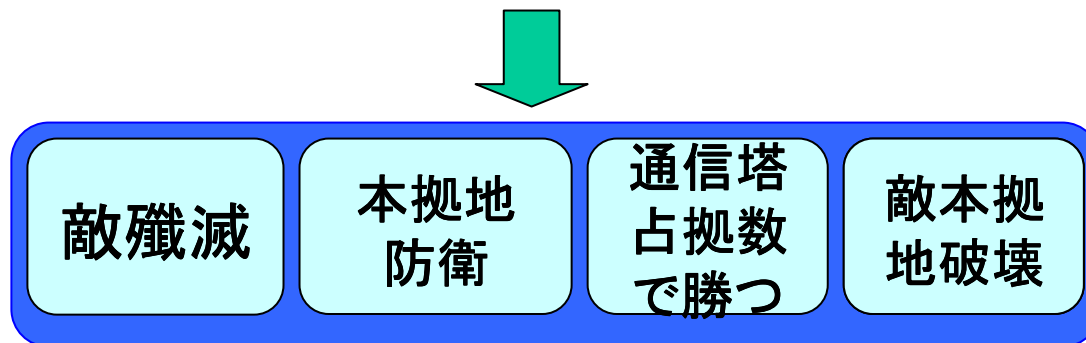
通信塔占拠

個としての合理性

チームAI の意思決定と COMの判断 を比較して、最終的に決定する

チームAI 意志決定機構

チームAIとCOMの
ゴールの評価値を
比較して高い方を選択する。



~~本拠地破壊~~

実行評価値 : 76

COM 2

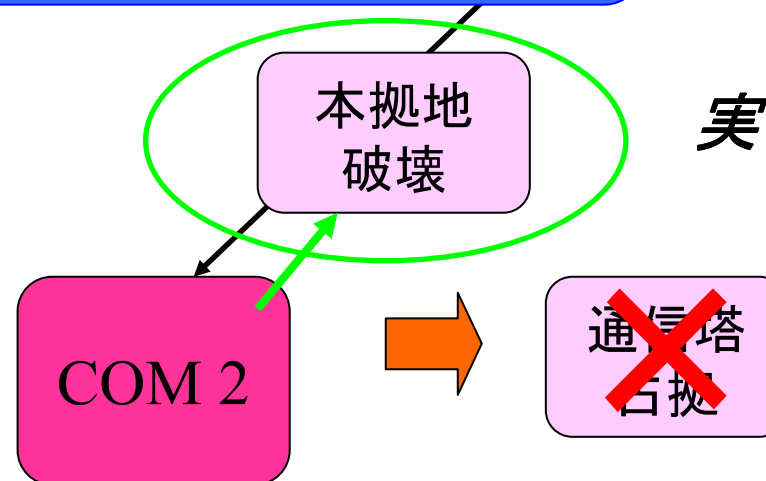
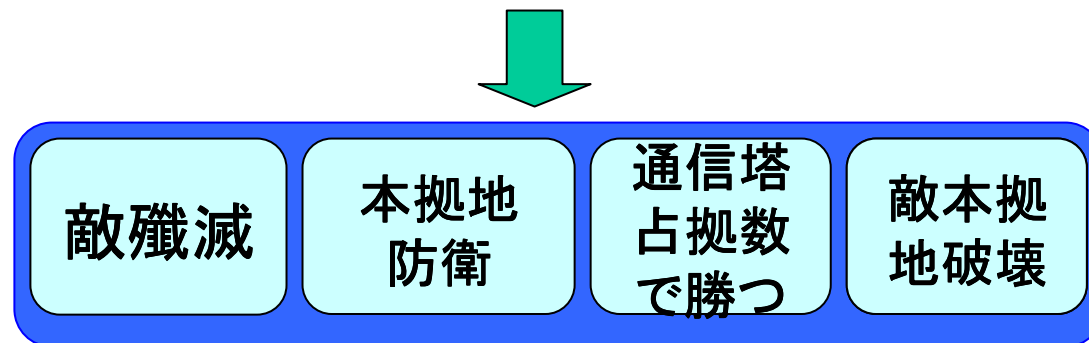
通信塔
占拠

実行評価値 : 88

チームAI の意思決定と COMの判断 を比較して、最終的に決定する

チームAI 意志決定機構

COMが二つの評価値を
比較して高い方を選択する。



実行評価値：64

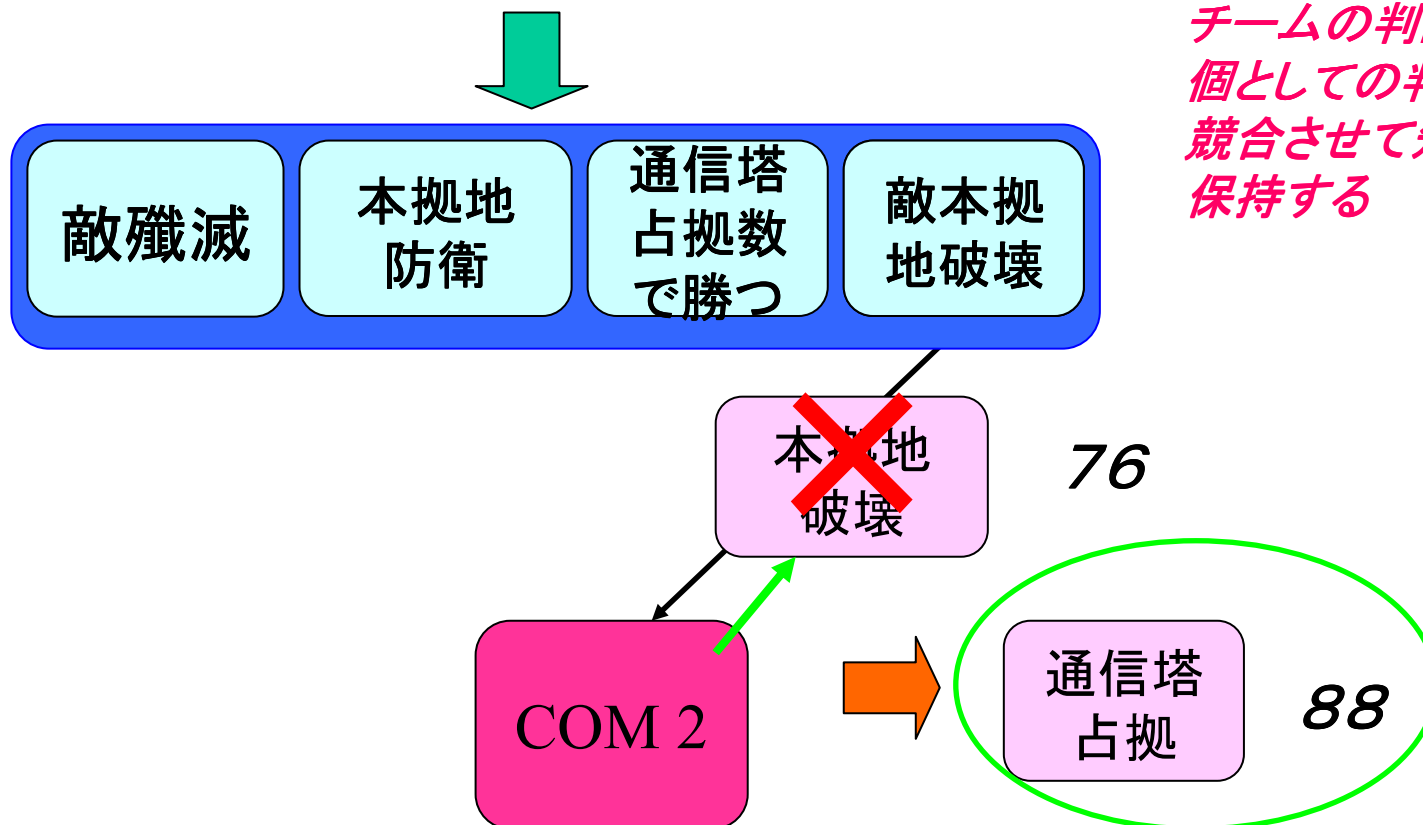
実行評価値：53

チームAI の意思決定と COMの判断 を比較して、最終的に決定する

チームAI 意志決定機構

COMが二つの評価値を
比較して高い方を選択する。

チームの判断、
個としての判断を
競合させて知的な柔軟性を
保持する

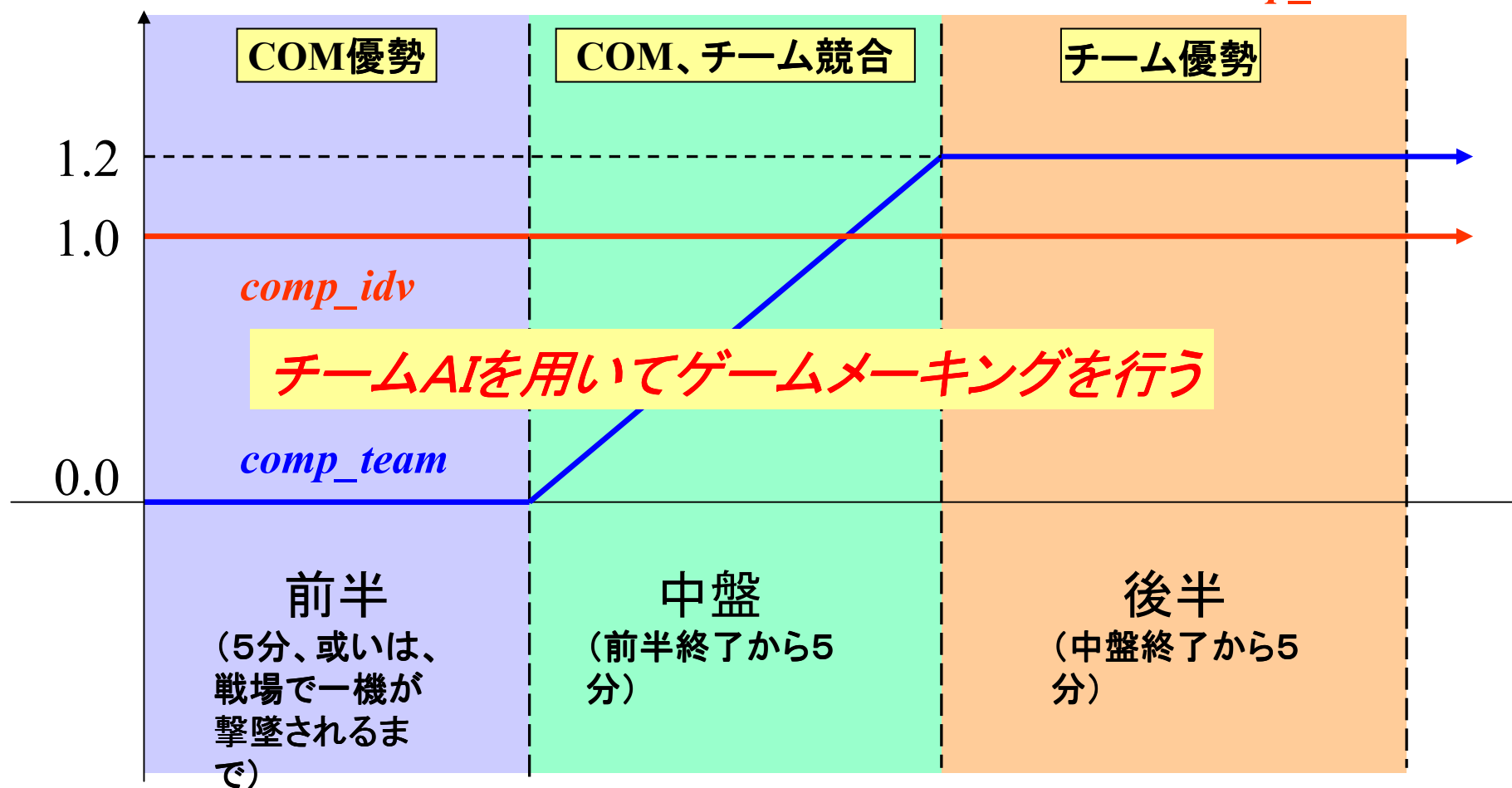


チームAIの介入の仕方

前半はチームAIより個としてのAIの判断を優先、
後半はチームAIの判断を優勢にしたい。

比較のためのチームAIゴール評価値 = ゴール評価値 $\times$ $comp_team$

比較のためのCOM AIゴール評価値 = ゴール評価値 $\times$ $comp_idv$



===チーム 0===
現在のチーム方針： 本拠地制圧
本拠地制圧 0.672677
本拠地防衛 0.384698
敵殲滅 0.530446
コムバス占拠 0.231318
===チーム 1===
現在のチーム方針： 敵殲滅
本拠地制圧 0.436685
本拠地防衛 0.000659
敵殲滅 0.439338
コムバス占拠 0.206007

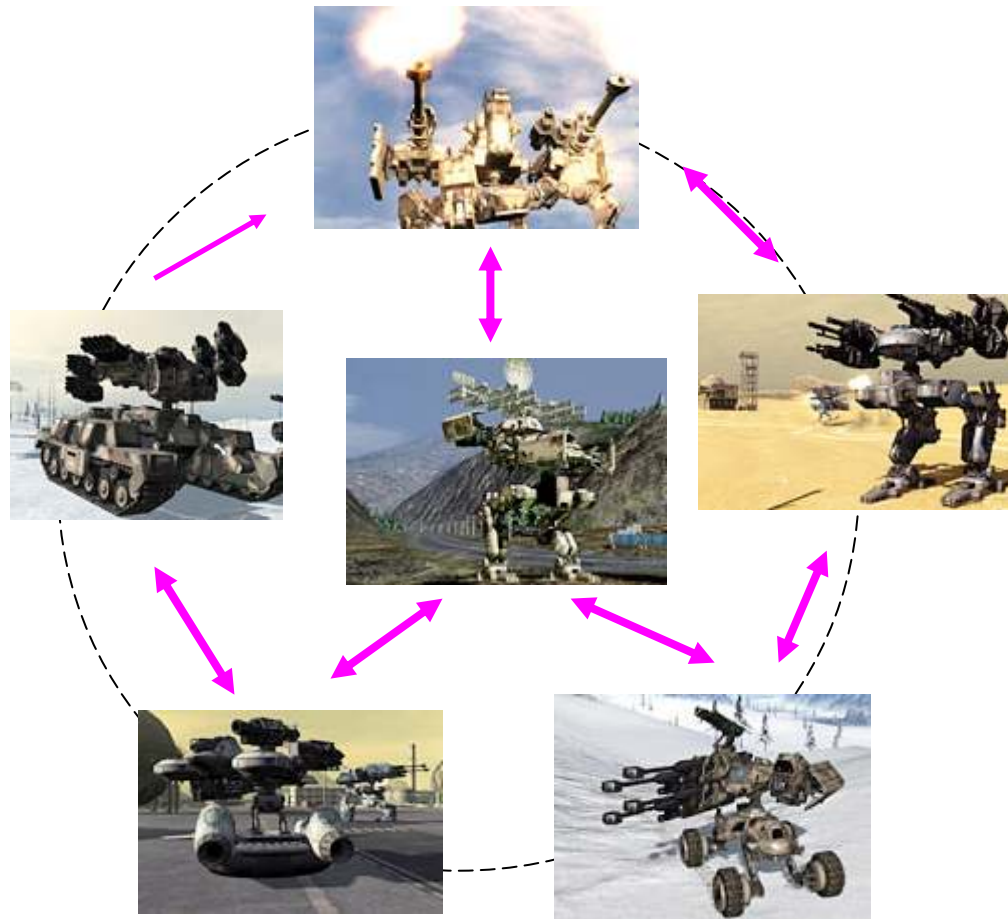
Player 4

GOAL_THINK, 寿命 -1.000000
GOAL_ATTACK_TARGET, 寿命 13.553795
GOAL_ESCAPE, 寿命 13.540793
GOAL_JOIN_TARGET, 寿命 13.530296
GOAL_APPROCH_TARGET, 寿命 15.800226
GOTO_POSITION, 寿命 -1.000000
FOLLOW_PATH, 寿命 -1.000000
GOAL_PROTECT_TARGET, 寿命 175.227051
GOAL_ATTACK_TARGET, 寿命 29.848152



ALL AI SYSTEM

集団における知性 クロムハウنز



メンバーの維持

①護衛

②救援

ゴールによる協調

相手チームに対する
状況的優位を築く

③戦闘判断 ④集中砲火

アルゴリズムによる協調

勝利のための
統制された行動

⑤チームAI

チームAIによる協調

技術デモ

AI12体の完全自律デモ



クロムハウズAI技術デモ





第2章 まとめと考察

- (1) マルチエージェント・システムを本格的に導入したゲームはクロムハウنزなど数例しかない。
- (2) 技術の導入は、ゲームデザインが決める。なので、ゲームAI技術はできるだけ共有して、ゲーム業界全体でAIのためのチャンスを逃さないことが大切である。
- (3) クロムハウنزでは**ゴール指向に基づいたマルチエージェント・システム**を構築した。
- (4) 個としてのAIからマルチエージェント・システムで、**集団としての強さ**を獲得した。

コンテンツ

第1部 マルチエージェント・システムとは？（技術の話）

- (1) マルチエージェント
- (2) 群知能

第2部 ゲームとマルチエージェント（ゲームの話）

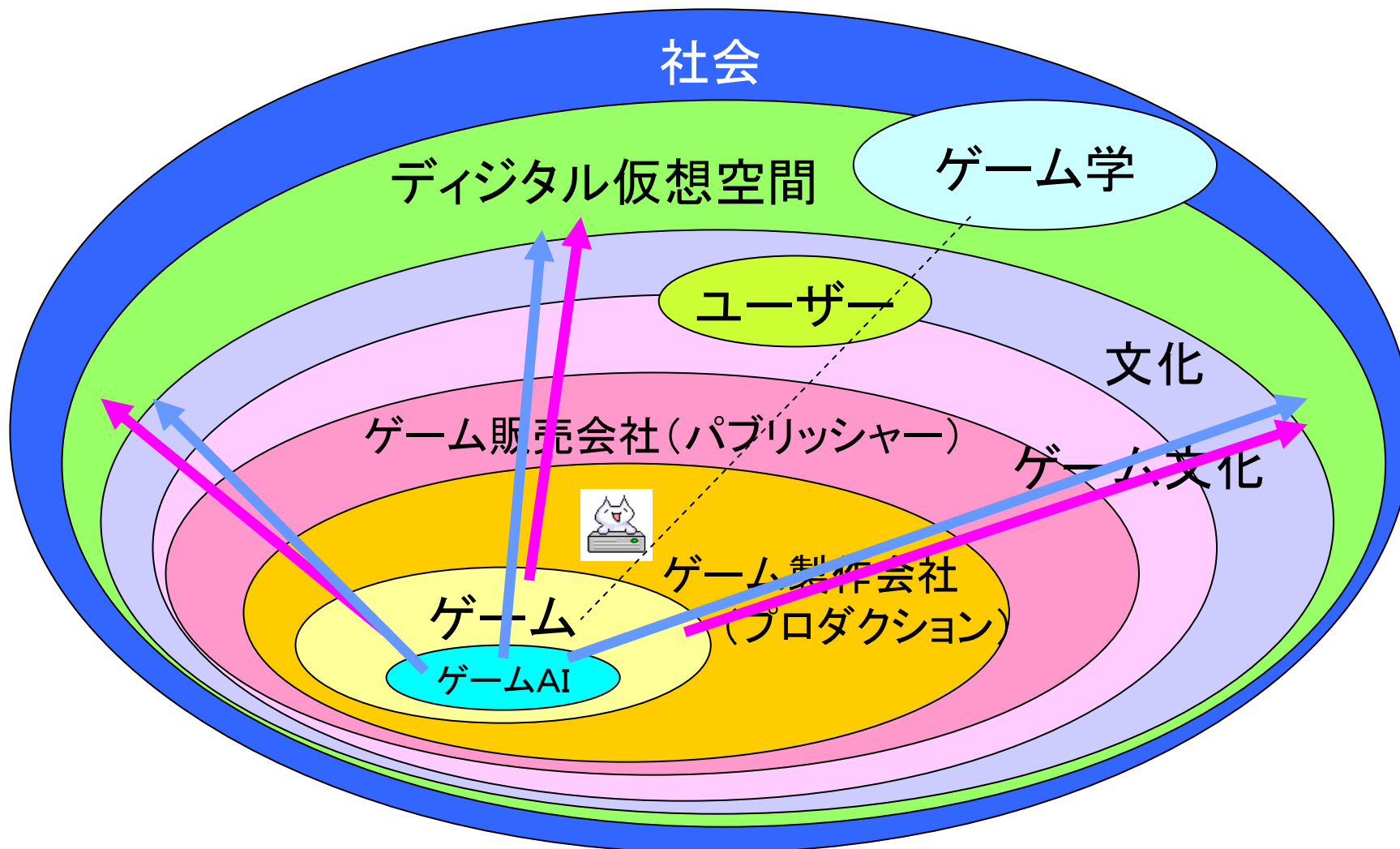
- (1) ゲームにおけるマルチエージェント技術の現状
- (2) クロムハウنزにおけるマルチエージェントシステム

第3部 社会とマルチエージェント（未来の話）

- (1) マルチエージェントが見せる社会の未来
- (2) 全体の講義のまとめ

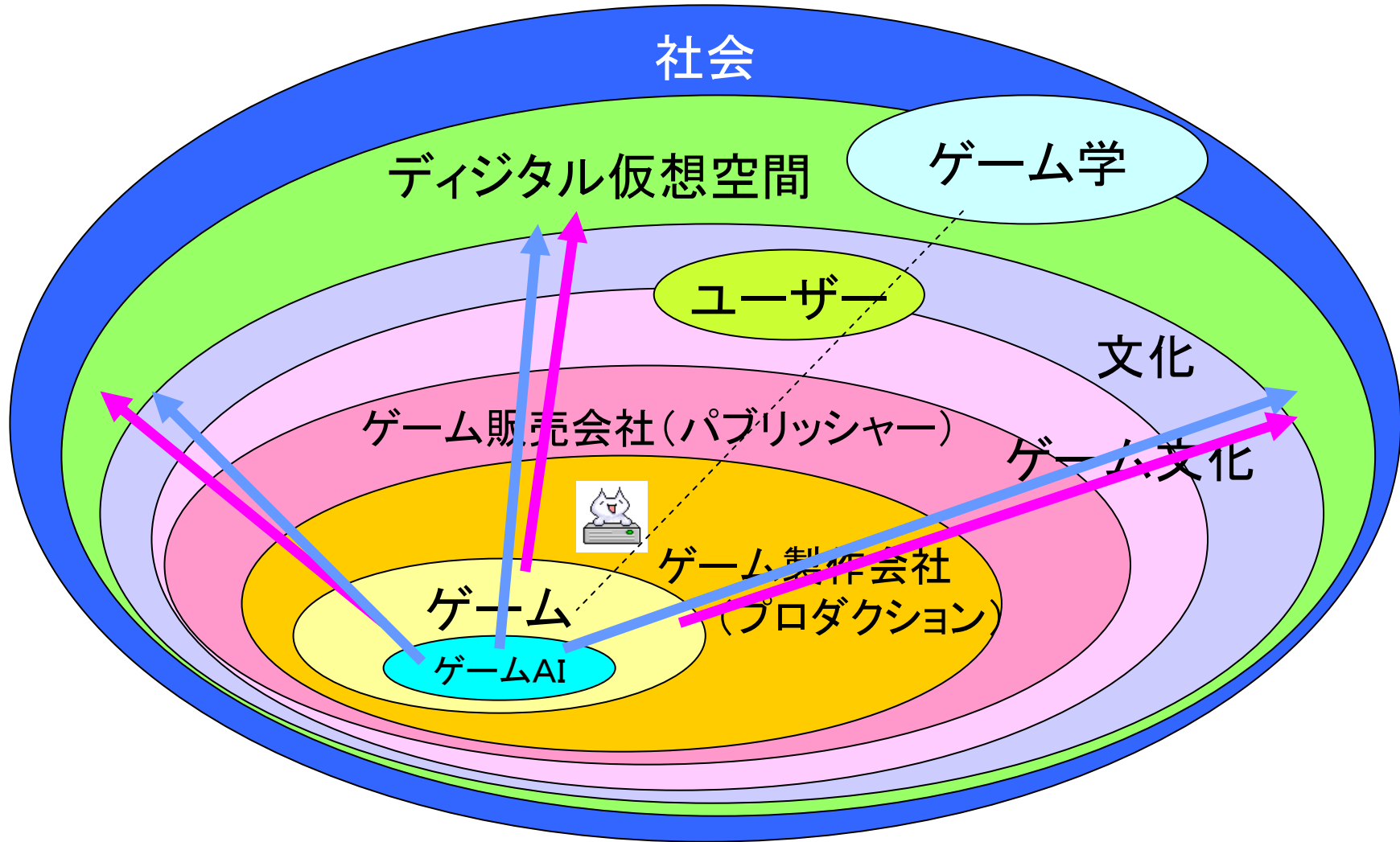
[付録] クロムハウنزにおける評価値の作り方

ゲームAIから社会を見る(第1回スライド)



- (4) 社会はますます仮想化されデジタル空間が拡大して行き、
AIの活躍の場はますます広がる。その中でもゲームは
最も密度の濃い内世界を構成し、人工知能の進化の場となるだろう。

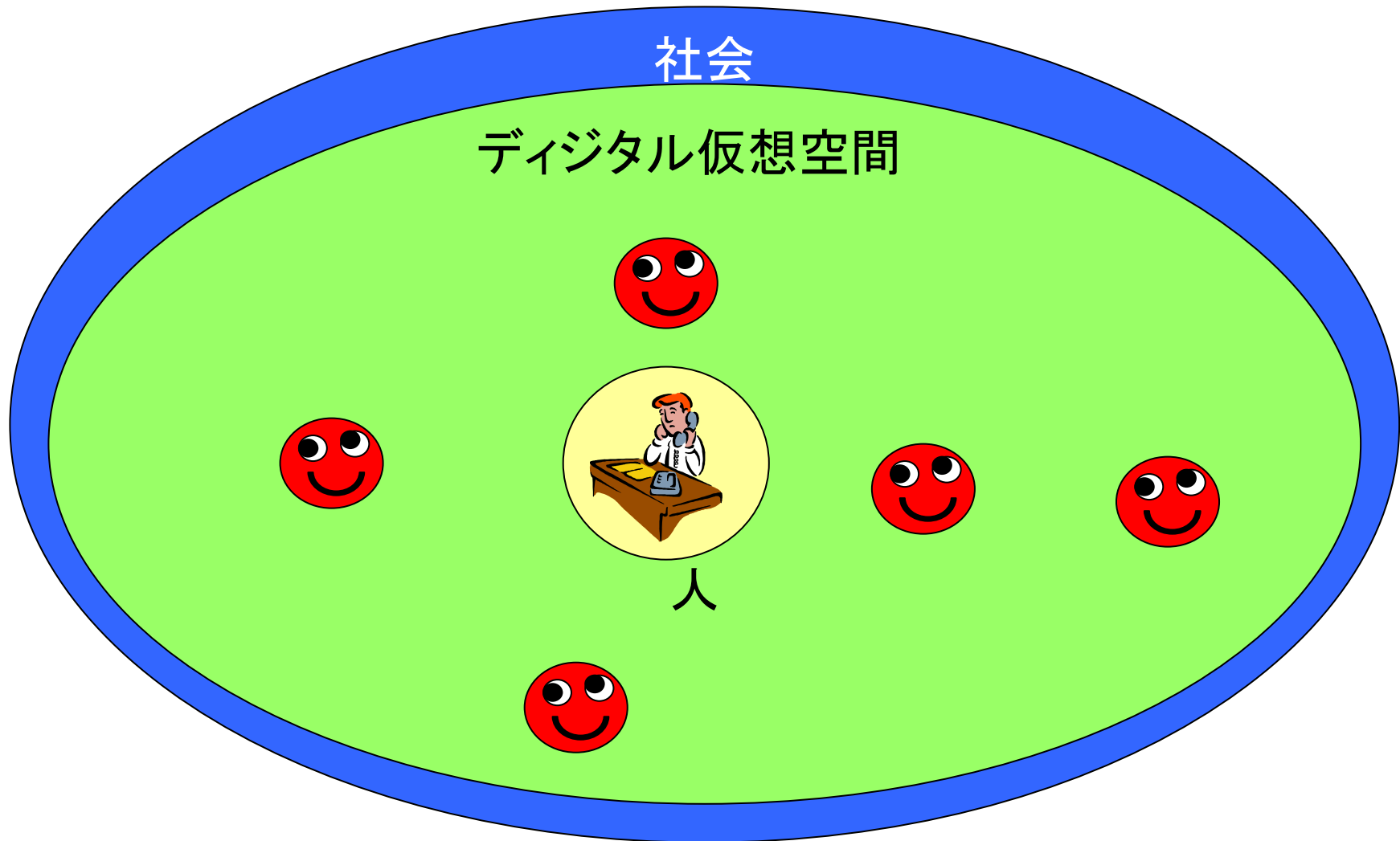
ゲームAIから社会を見る(第1回スライド)



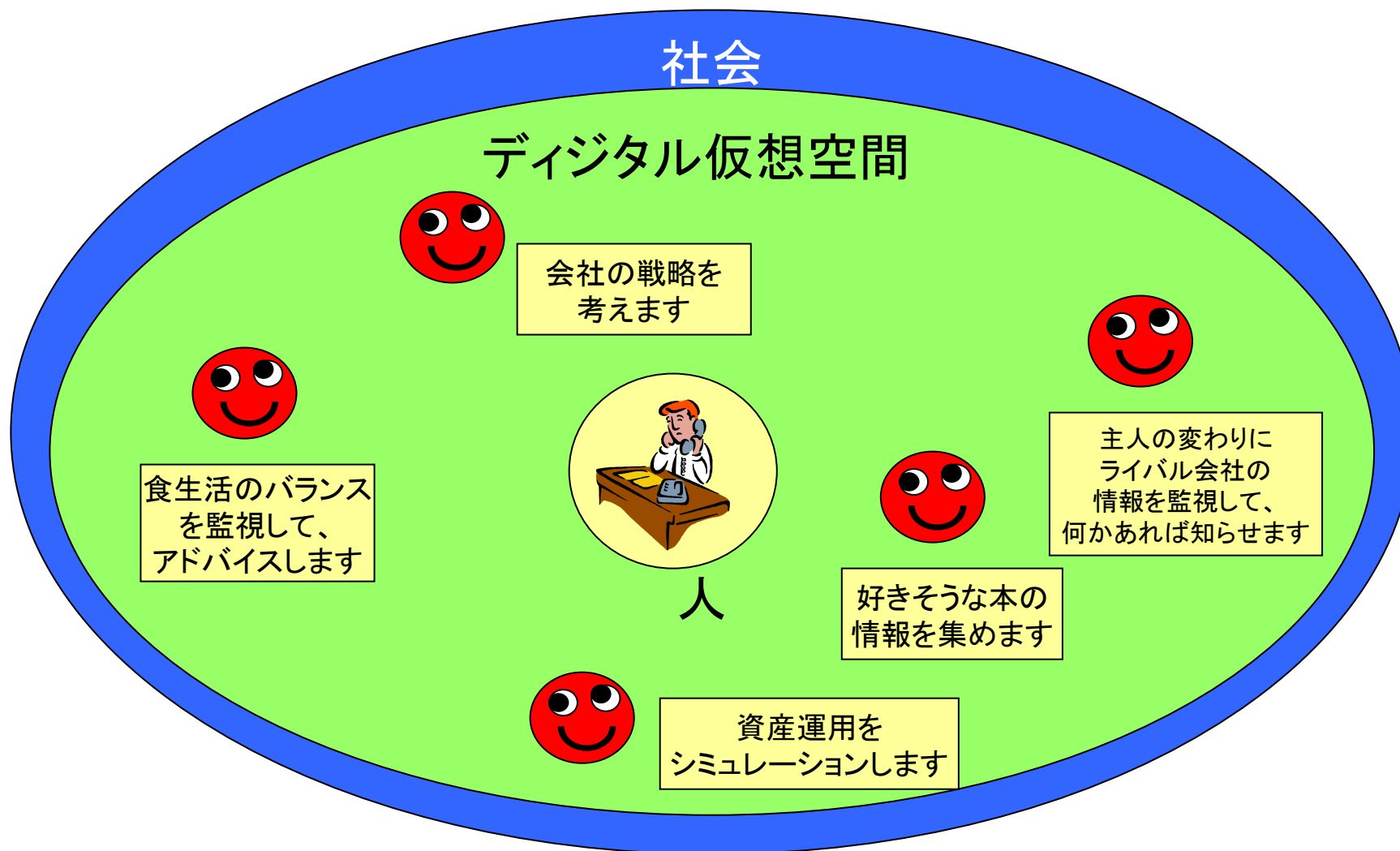
どうやって社会にAIが広がって行くのか？

= マルチエージェント (1つの解答)

マルチエージェントが人をサポート

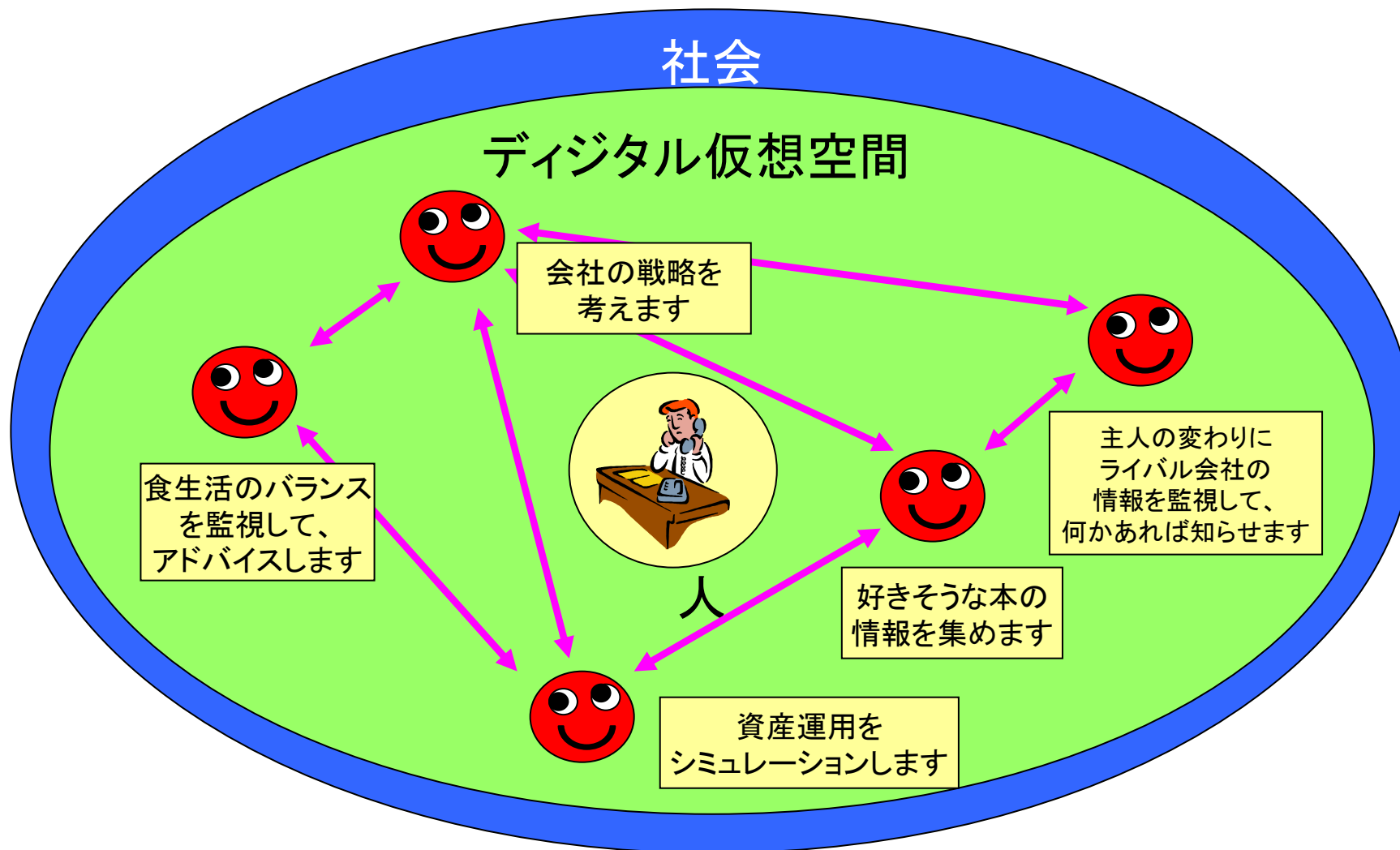


Step1: マルチエージェントが人をサポート



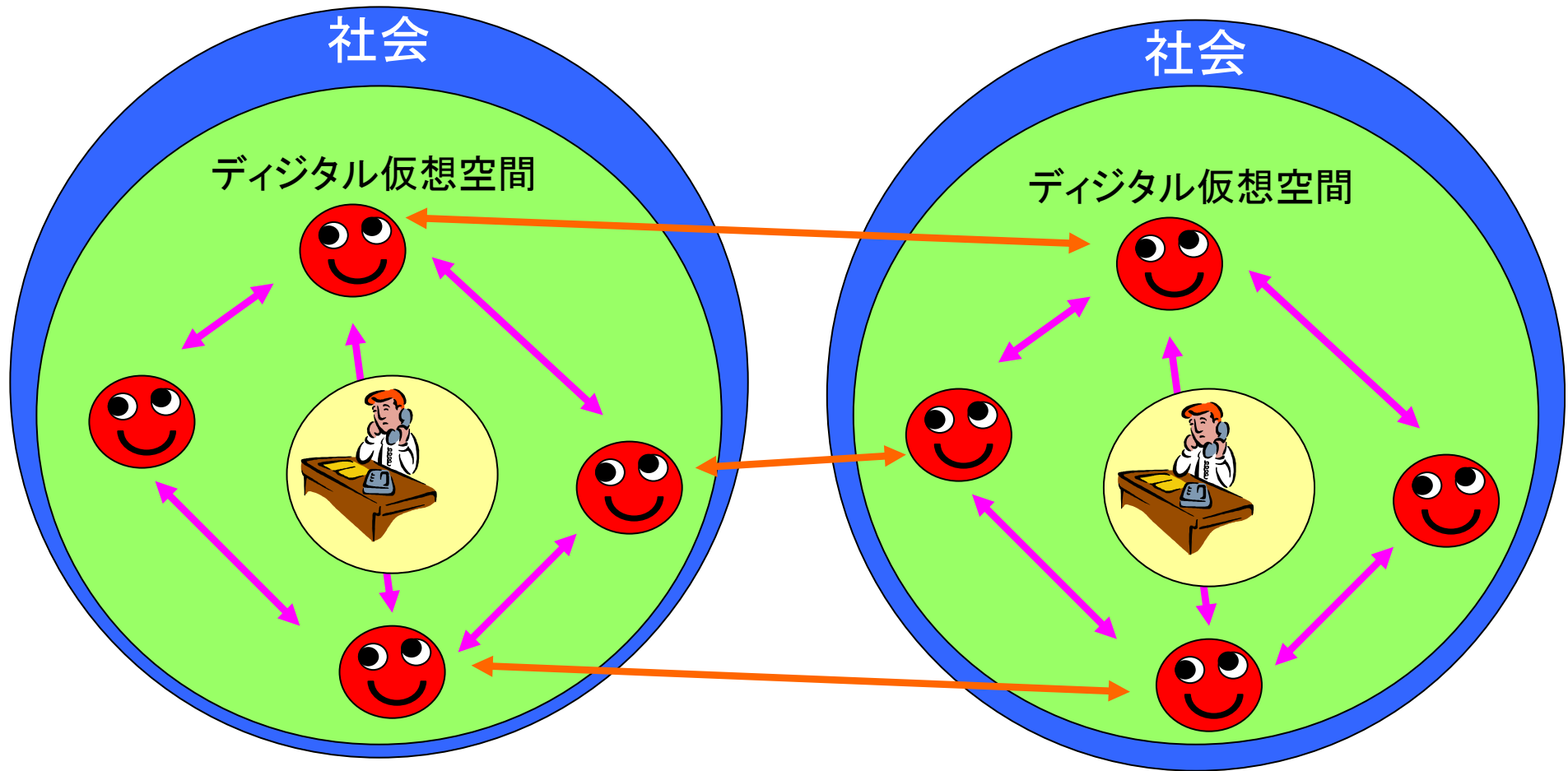
マルチエージェントによるサービスの時代がやって来る

Step2: マルチエージェントが連携して 人をサポート



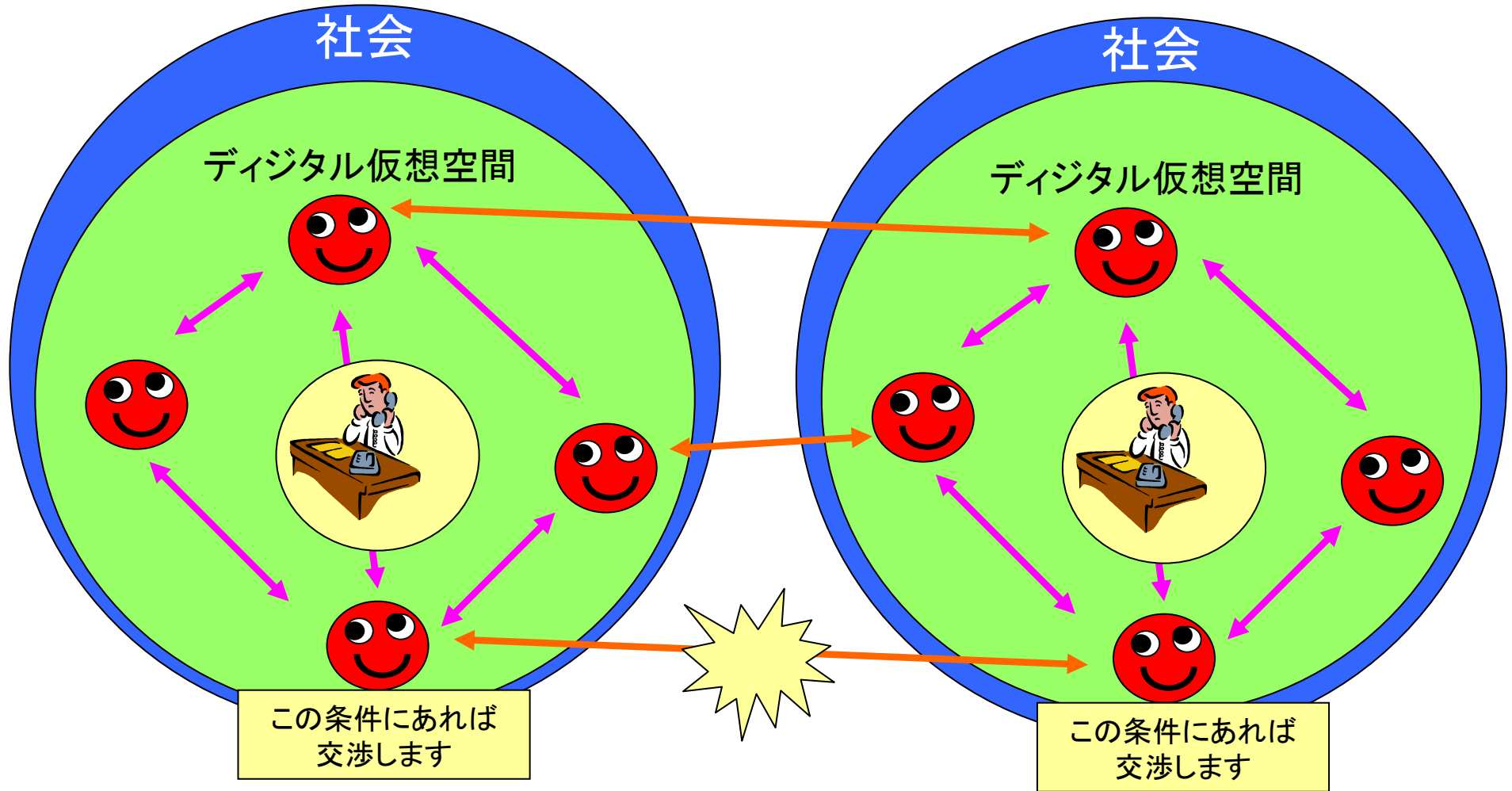
マルチエージェントの協力によるサービスの時代がやって来る

Step3: マルチエージェントが社会システム基盤となる



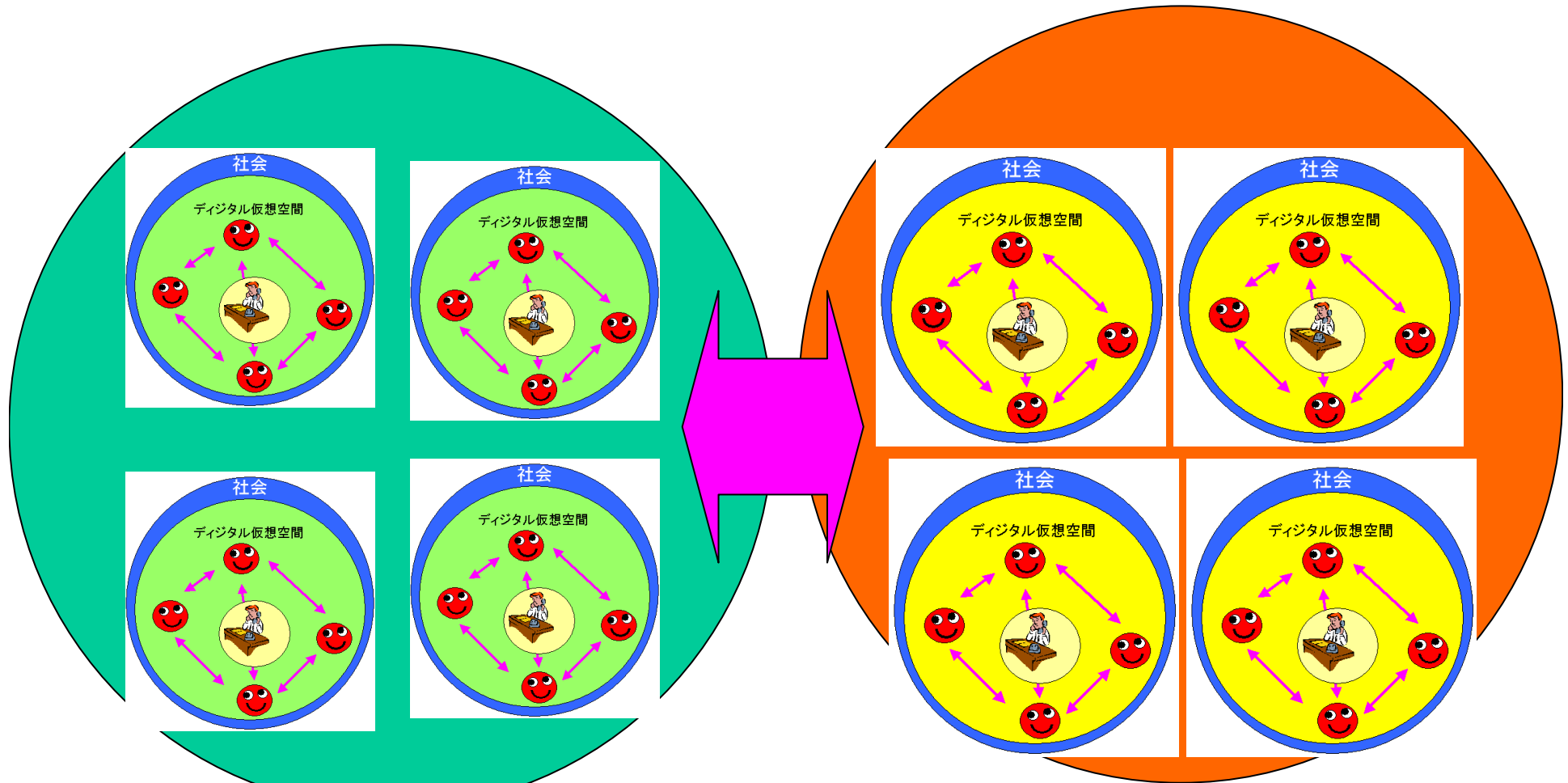
人-(エージェント)-(エージェント)-人 コミュニケーション
エージェントの社会が人の社会をサポートする

Step3: (例)

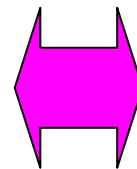


本交渉の前にAIが事前に交渉してマッチングする

Step4: マルチエージェントによる社会の構造化

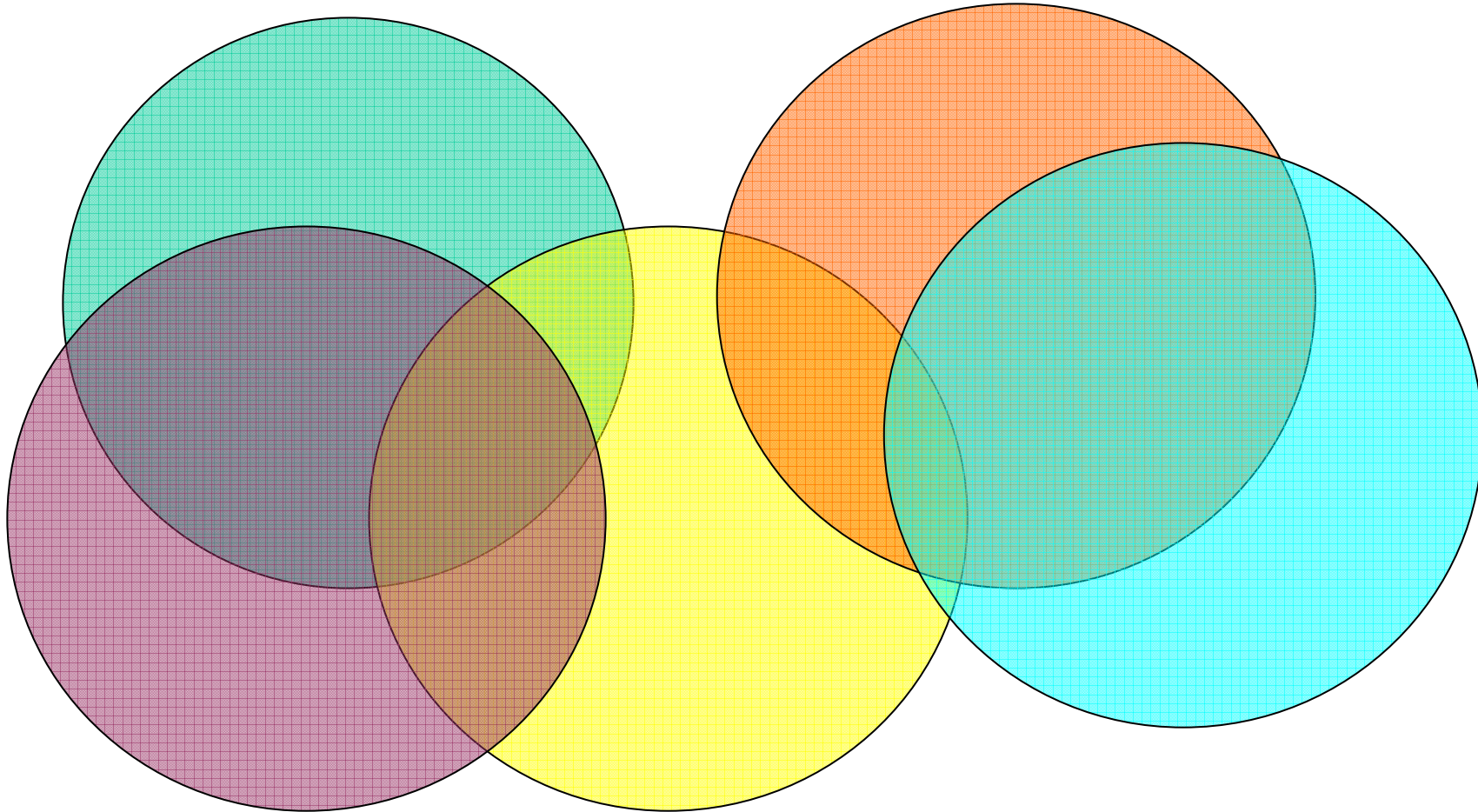


A社のマルチエージェントサービス圏
(A社内のエージェントは連携して
メンバーをサポート)



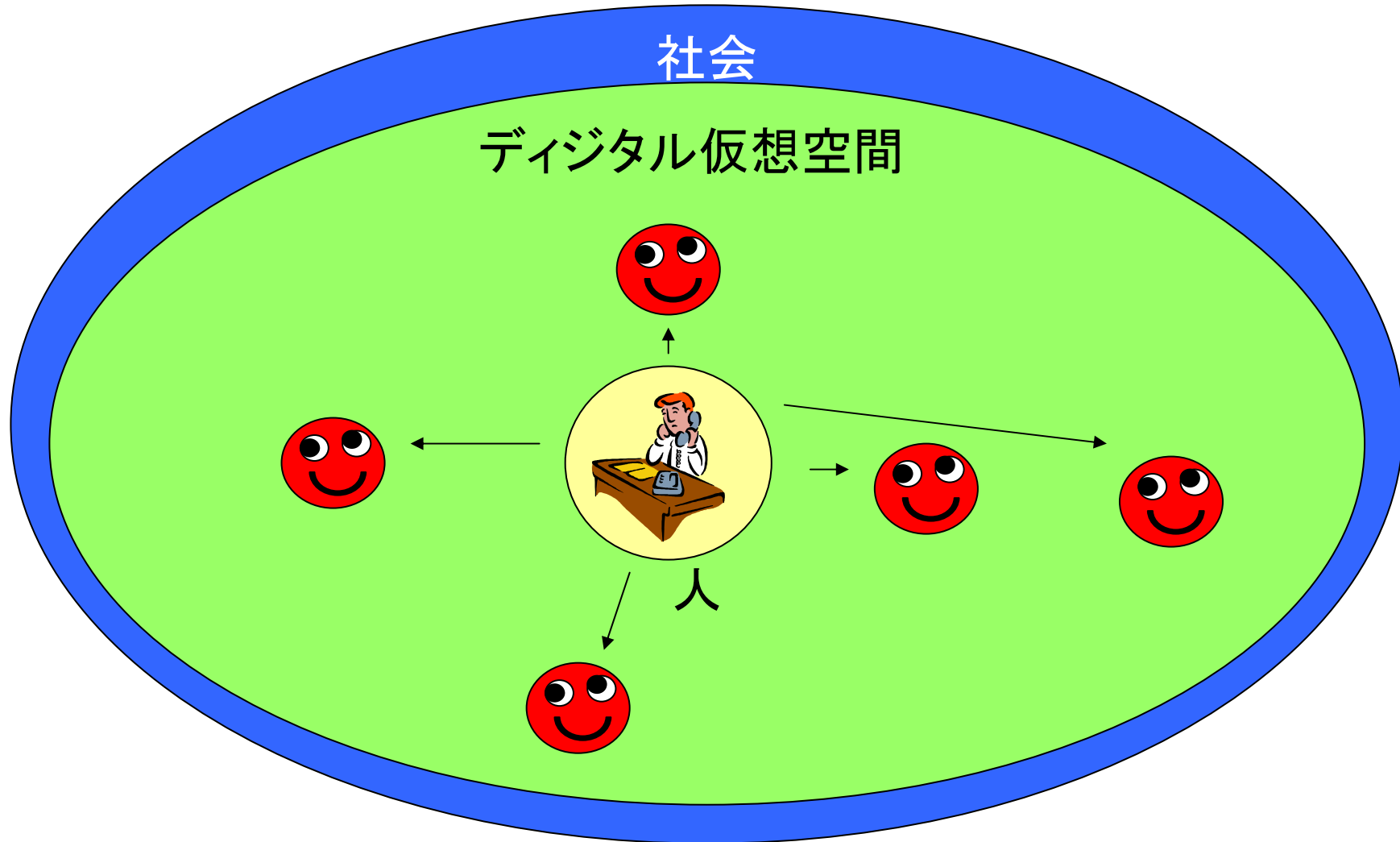
B社のマルチエージェントサービス圏
(B社内のエージェントは連携して
メンバーをサポート)

Step5: マルチエージェント圏



このようにして個人では得られない能力を
集団によって獲得し、人をサポートする。

Step6: マルチエージェントとライフスタイル

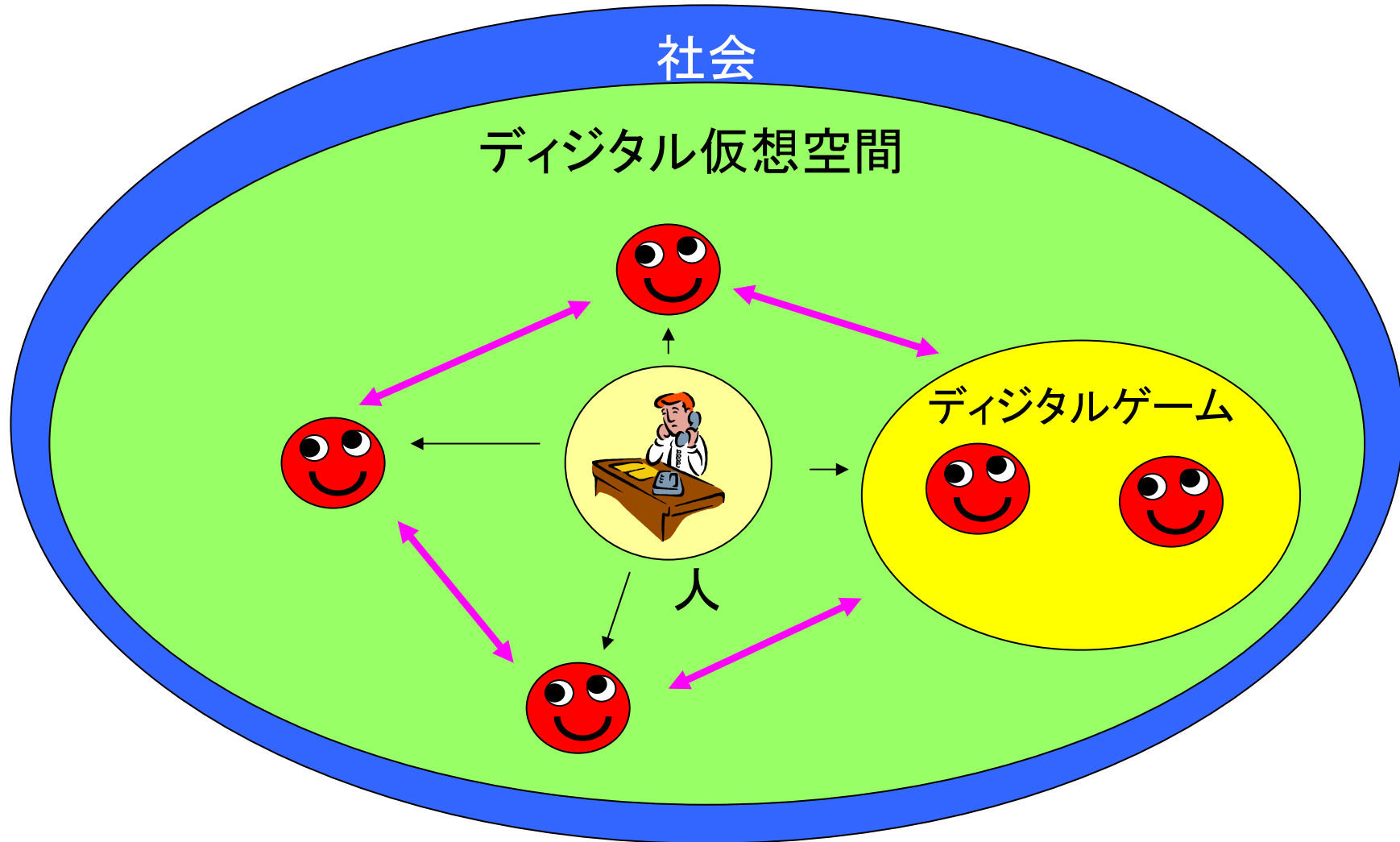


「アプリケーションをうまく使いこなす」から
「エージェントたちをうまく使いこなす」ライフスタイルへ

そんな時代に、
ゲームは一体何処にあるのだろうか？

演習③

新しい時代のゲームへ



現実が仮想化されて行く中で(AIが人と社会に近くなる中で)、
ゲームは逆の現実を取り込んで行くことができる。

ゲームは社会の中にある。

ゲームを変えて行くものは、
ゲーム自身だけではなく、

ゲームを取り巻く状況であることも覚えておこ
う！

コンテンツ

第1部 マルチエージェント・システムとは？（技術の話）

- (1) マルチエージェント
- (2) 群知能

第2部 ゲームとマルチエージェント（ゲームの話）

- (1) ゲームにおけるマルチエージェント技術の現状
- (2) クロムハウنزにおけるマルチエージェントシステム

第3部 社会とマルチエージェント（未来の話）

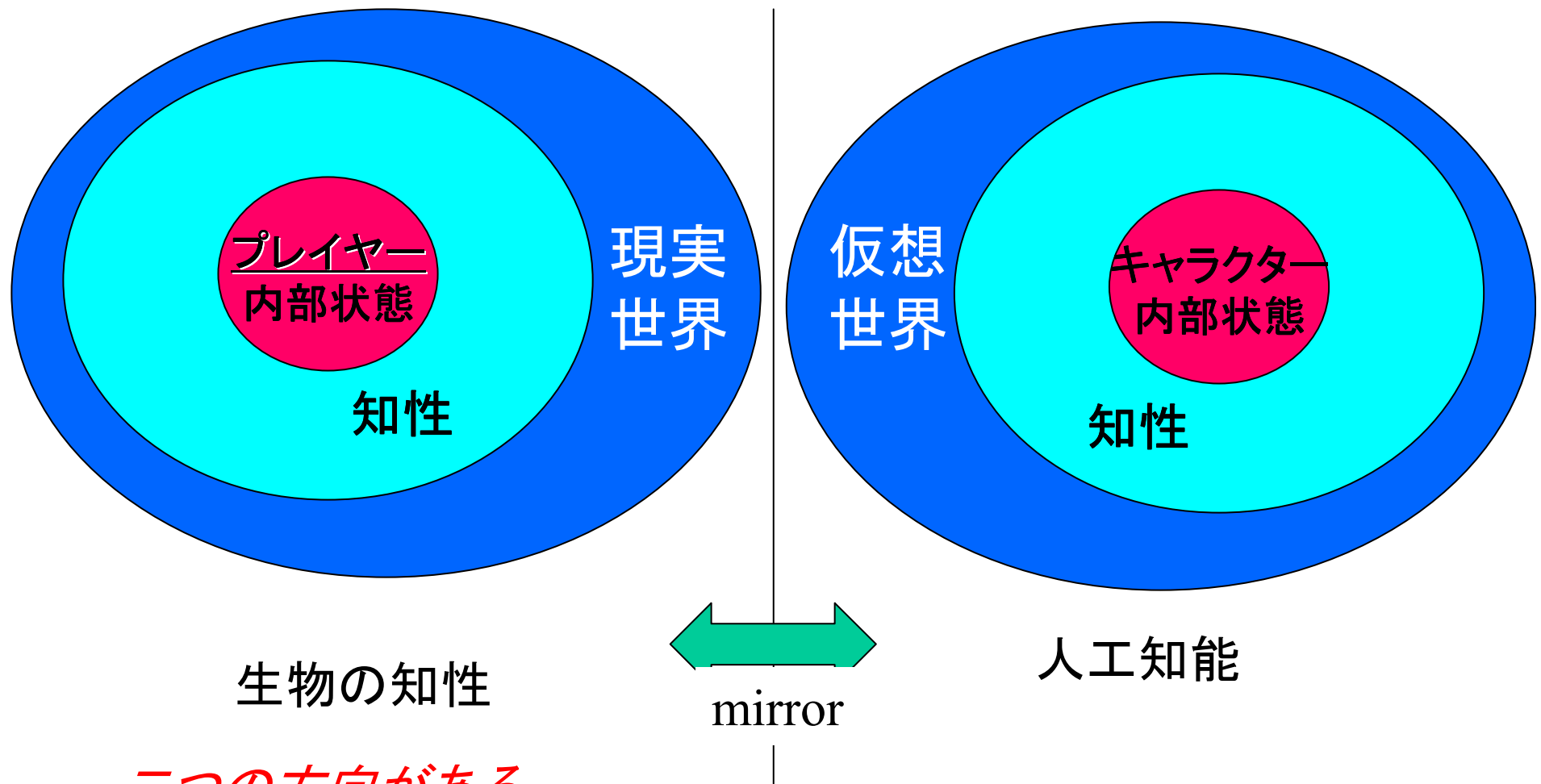
- (1) マルチエージェントが見せる社会の未来
- (2) 全体の講義のまとめ

[付録] クロムハウنزにおける評価値の作り方

全体の講義のまとめ

なぜ人工知能を学ぶか？

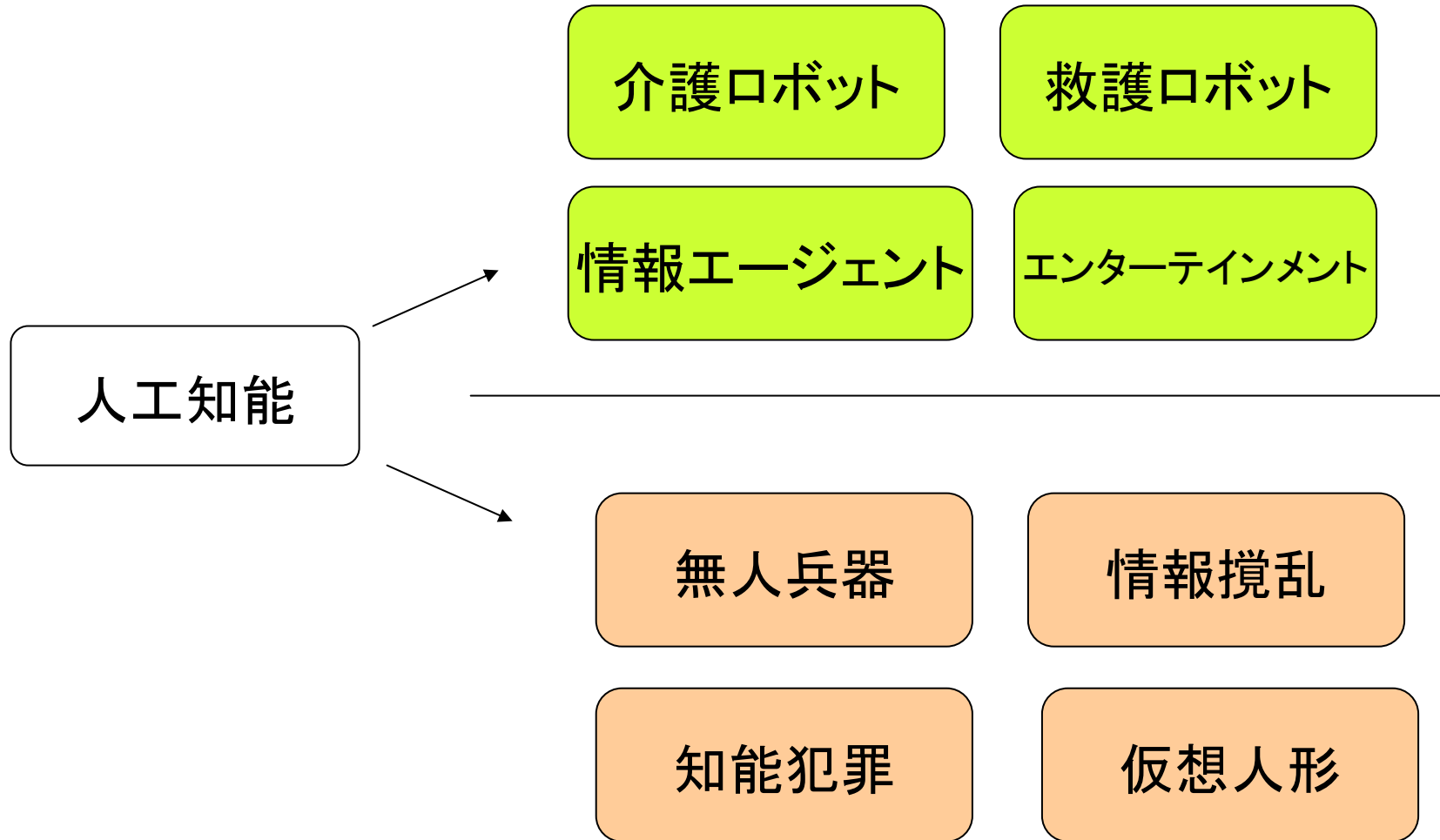
なぜ人工知能を学ぶか？



二つの方向がある。
われわれ人間の知性を知って人工知能を構築する(解析的)。
人工知能を作ること、人間の知性を知る(構造的)。

人工知能は人に何をもたらすか？

人工知能は人に何をもたらすか？



技術はいつも白い。それに色をつけるのは人間である。

ゲームは人に何をもたらすか？

ゲーム自体は善でも悪でもない

ゲームクリエイター

ゲームの可能性をあきらめない人

ゲームを巡る
冒険

ユーザー

ゲームをする人

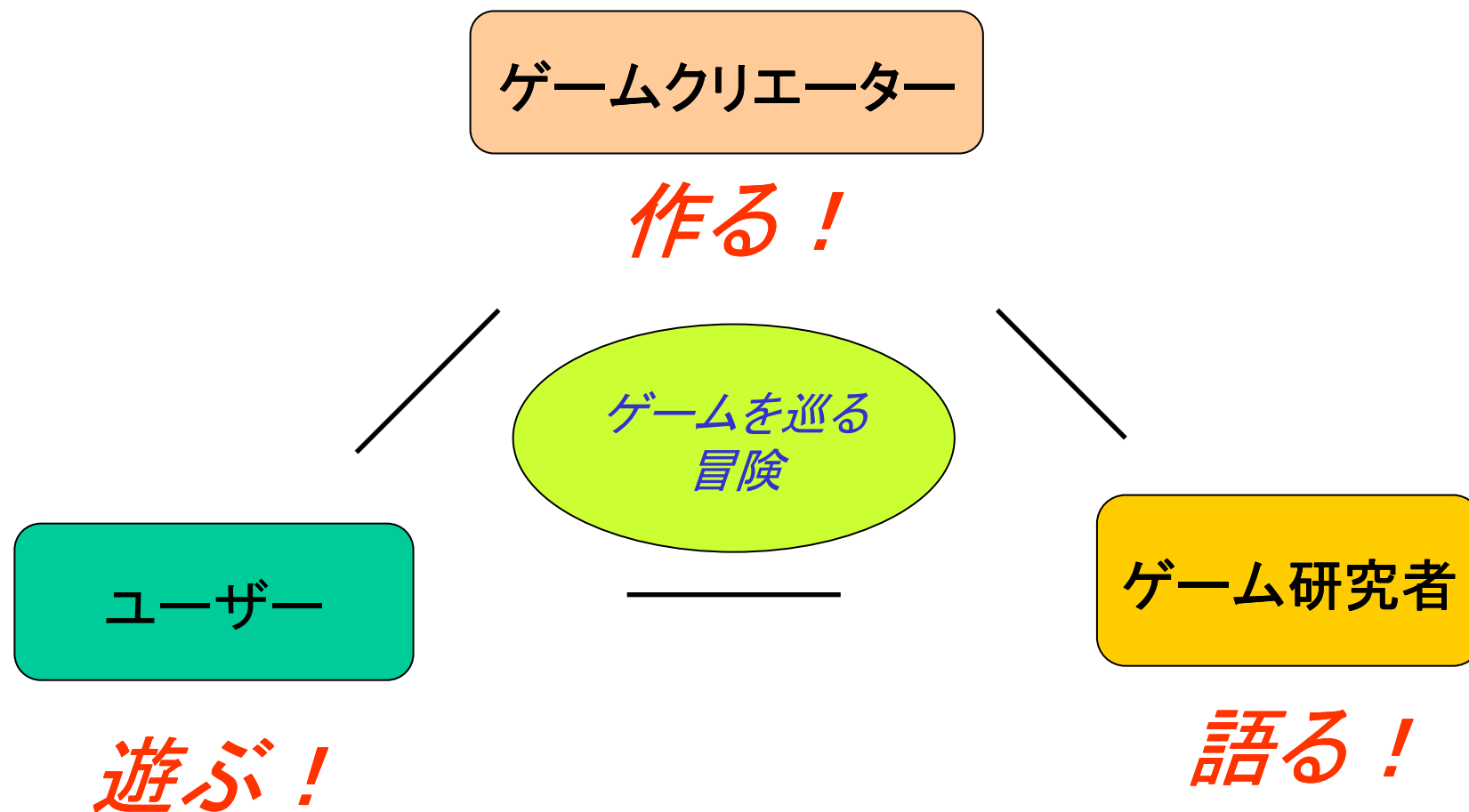
ゲーム研究者

公正にゲームをあらゆる面から
批判・研究する人

批判も研究があって、初めて文化として成熟した分野と言える。
これからは、3者が刺激し合う運動が大切だ

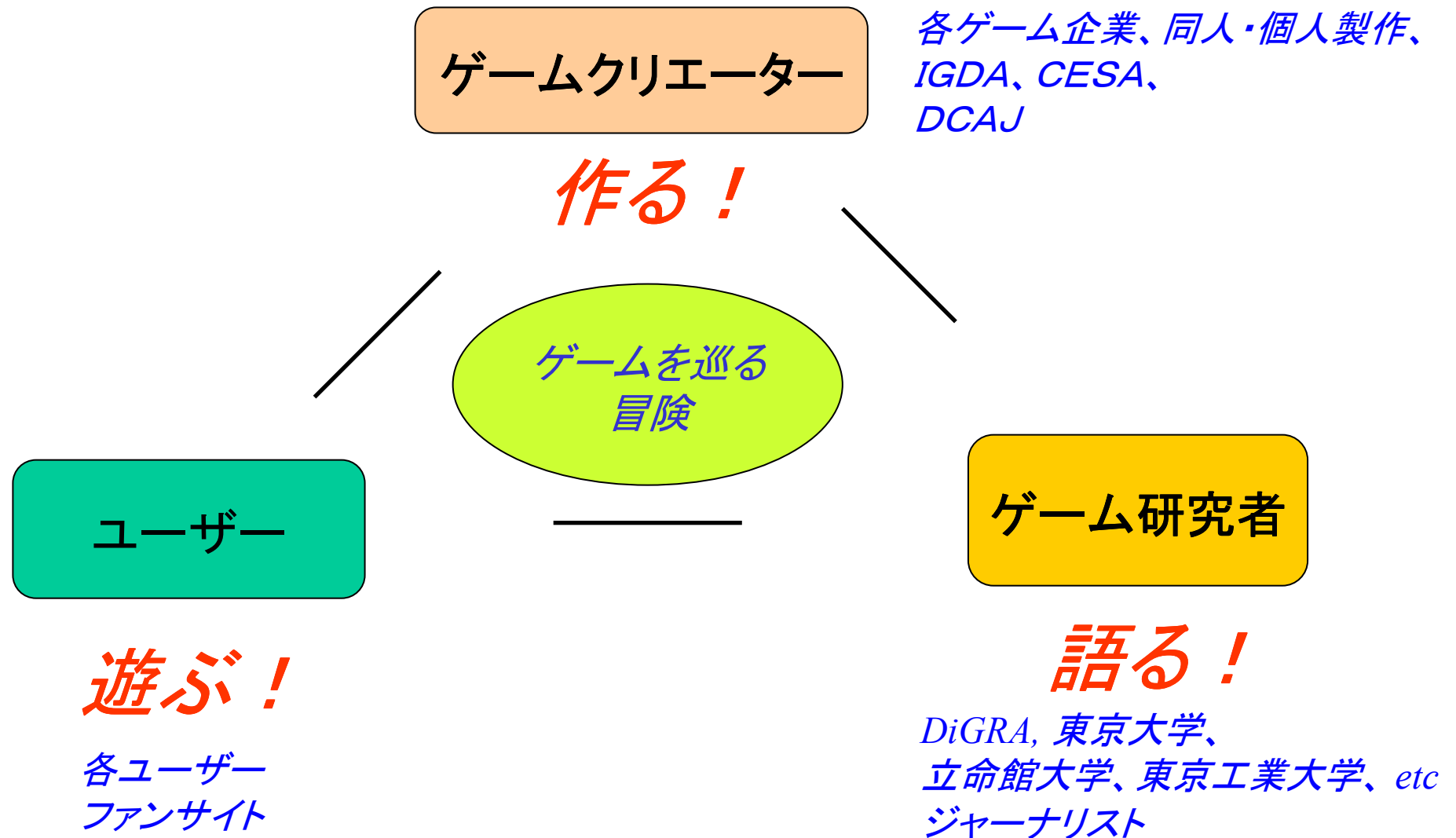
ゲームをもっと楽しもう！

ゲームの3つの楽しみ方



ゲームをもっと楽しもう！

ゲームの3つの楽しみ方



ご清聴ありがとうございました。



Photo from <http://www.cyberleaf.com/>

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.m.4160@gmail.com

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

<http://www.igda.jp>

三宅のブログ「ゲームAI千夜一夜」(IGDA日本サイト)もよろしく！

参考文献

■ 「チームAI」

[階層型AI] GClark Gibson, John O'Brien, [The Basics of Team AI](#) (GDC2001)

[HTN, Unreal Tournament] HAI Hoang, Stephen Lee-Urban, Hector Munoz-Avila, [Hierarchical Plan Representations for Encoding Strategic Game AI](#)

■ 「マルチエージェント」

[概観、デモ] 後藤弘茂「[PlayStation 3はどんなゲームを実現するのか--それはワールドシミュレーション](#)」PC Watch

[黒板モデル、F.E.A.R] Orkin, J. (2006), P.13-17, [3 States & a Plan: The AI of F.E.A.R.](#), Game Developer's Conference Proceedings.

[協調、ロボカップ] Peter Stone, [Layered Learning in Multiagent Systems: A Winning Approach to Robotic Soccer](#) (紹介)

[ロボカップ] 野田五十樹「[RoboCupSoccerとRoboCupRescue](#)」情報処理 Vol.48 No.3

[マルチエージェント・プランニング] 石田亨、片桐恭弘、桑原和宏

「分散人工知能」(コロナ社)

■ 「群知能」

[概観] 森川幸人、赤尾容子「[アリの知恵はゲームを救えるか？](#)」CEDEC2003 ([インタビュー](#))

[概観] 森川幸人「[マッチ箱の脳](#)」1011.com

[鳥の編隊制御、デモ] [Craig Reynolds による鳥の集団の制御](#)(群知能における先駆的で有名な研究。リンク集あり)

[蟻、デモ] [Roberto Aguirre Maturana の Ant Farm Simulator](#)(Source Code、実行ファイルなど。実行方法:「File->New->再生ボタン」)

ゲームAIの情報リソース

- ① 日本のゲーム企業は殆ど、外に技術情報を公開しない。
- ② 欧米のゲーム企業は競ってGDC(Game Developers Conference)などで、技術情報を公開する。

(I)参考文献(日本語)

再録

- ①「世界表現」「プランニング」については、IGDA日本のHPの「ダウンロード」から、三宅が書いた第1, 2, 5, 6回セミナーの教科書、CEDEC2006の資料がDLできます。

<http://www.igda.jp/>

(センサーの実装の仕方、記憶の利用法などを知りたい方は必読)

- ② デジタルコンテンツ協会

デジタルコンテンツ制作の先端技術応用に関する調査研究報告書(第3章)

http://www.dcaj.org/report/2007/ix1_07.html

(PDFファイルがダウンロード出来ます。)

- ③ 人工知能学会誌 Vol. 23 No. 1 (2008 年 1 月) 「ゲームAI特集」
「デジタルゲームにおける人工知能技術の応用」(三宅)

- ④ 第4回 デジタルコンテンツシンポジウム プロシーディングス
「エージェント・アーキテクチャに基づくキャラクターAIの実装」(三宅)

(II)参考文献(英語)

再録

WEB

Mat Buckland

ai-junkie <http://www.ai-junkie.com/ai-junkie.html>

Craig Reynolds

RAYNOLDS <http://www.red3d.com/>

リンク集 <http://www.red3d.com/cwr/games/>

Steven Rabin

GameAI <http://www.gameai.com/>

CGF-AI

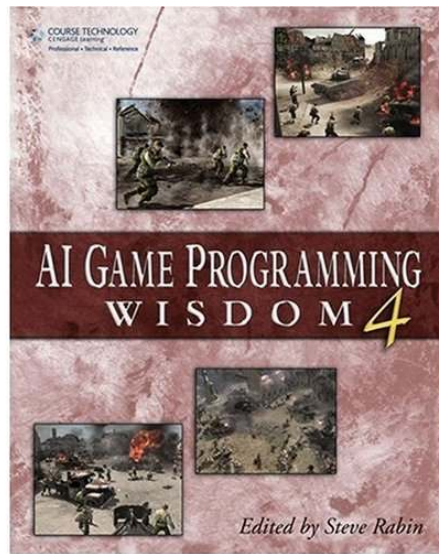
CGF-AI <http://www.cgf-ai.com/>

リンク集 <http://www.cgf-ai.com/links.html>

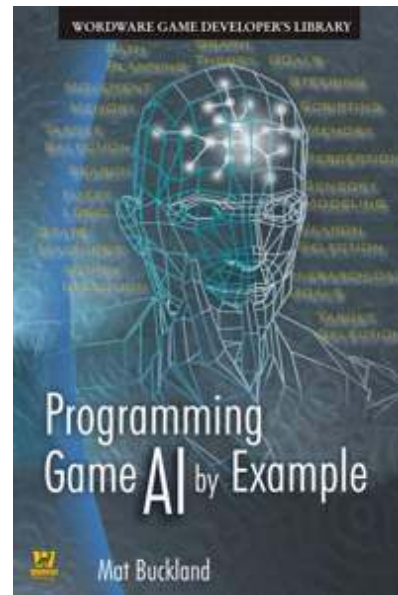
(II)参考文献(英語)

再録

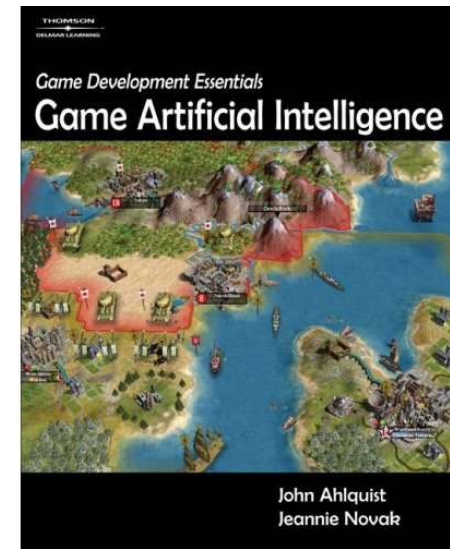
書籍



AI Game Programming Wisdom 4



Progrmming Game AI by Example



Game Artificial Intelligence

[付録] クロムハウズ 意思決定における評価値の仕組み

エージェントが意思決定をする仕組み

その戦略を達成することで得られる **見返り(S; 重要度)** と、それを達成するための **リスク(R; 危険度)** の兼ね合い

$$\text{実行評価値(E)} = S * (1 - R)$$



本拠地
破壊

通信塔
占拠

1 E = 24

C E = 20

2 E = 12

D E = 32

3 E = 6

F E = 3

J E = 21

通信塔の「重要度 S」

3つのファクターから決まる。

- (1) 味方司令部との関係 (通信塔- 敵司令部)
- (2) 敵司令部との関係 (通信塔- 味方司令部)
- (3) 通信塔同士の関係 (通信塔- Combus)

$$S = W_EBase * (\sum F(L_EBase, L_MapScale) * Est_Base_NonConstFactor \\ + W_SBase * F(L_SBase, L_MapScale) \\ + W_InComNet * Est_InComNet$$

$$W_EBase + W_SBase + W_InComNet = 1$$

$$Est_InComNet = W_static * Est_Static_Combus + W_dynamic * Est_Dynamic_Combus$$

$$Est_Static_Combus = (Connectable_Number - Connected_Number) / Max_Connectable_Number$$

$$Est_Dynamic_Combus = Connected_Number / Max_Connectable_Number$$

$$W_static + W_dynamic = 1$$

...

通信塔の「重要度 S」

3つのファクターから決まる。

- (1) 味方司令部との関係（通信塔- 敵司令部）
- (2) 敵司令部との関係（通信塔- 味方司令部）
- (3) 通信塔同士の関係（通信塔- Combus）

$$S = W_1 * \text{味方司令部との距離による関数} + \\ W_2 * \text{敵司令部との距離による関数} + \\ W_3 * \text{隣の通信塔の占拠状態からなる関数}$$

W ... 重み

通信塔の「危険度 R」

3つのファクターによる。

- (1) 敵ハウন্ズが通信塔からどれぐらいの距離にいるか。
- (2) ザコ敵がどれぐらいの距離にいるか。
- (3) 味方ハウন্ズが通信塔からどれぐらいの距離にいる

$$R = W_1 * \text{敵ハウন্ズの通信塔との距離による関数} \\ + W_2 * \text{ザコ敵と通信塔の距離による関数} \\ + W_3 * \text{味方ハウন্ズ通信塔との距離の関数}$$

W ... 重み

パラメーターと関数の形を調整する

意志決定の形やハウন্ズの個性が決定

テストをくり返しなら

計 100 近くのパラメーターを調整