



## ゲームAI連続セミナー

### 第3回

# 「Chrome Hounds におけるチームAI」

## IGDA日本 ゲームAI運営委員

主催： 国際ゲーム開発者協会日本支部(IGDA日本)

後援： 日本デジタルゲーム学会(DiGRA JAPAN)

協力： 株式会社 フロム・ソフトウェア



クロムハウন্ズ デモ



## 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.igda.jp/modules/eguide/event.php?eid=41>

三宅 陽一郎

[y\\_miyake@fromsoftware.co.jp](mailto:y_miyake@fromsoftware.co.jp)

2007.5.12 東京大学工学部新2号館

# 魚の群 シミュレーション



Craig Reynolds (SCEA)

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

# ゲームAI連続セミナー 第3回 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

[黑板モデル、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」)

# 本講演の構成

はじめに

ゲームAI連続セミナーのご紹介

Enjoy AI !

## 第1部 ゲームAI 技術解説(90分) (講師:三宅)

第1章 集団における知性 概論 (20分)

第2章 群知能の方法 (30分)

第3章 クロムハウズにおけるマルチエージェント技術 (30分)

第4章 発展 (20分)

第2,4章の終わりに質疑応答を行います。

(休憩 10分)

## 第2部 ディスカッション(2時間) (アイデア:IGDAゲームAI運営委員)

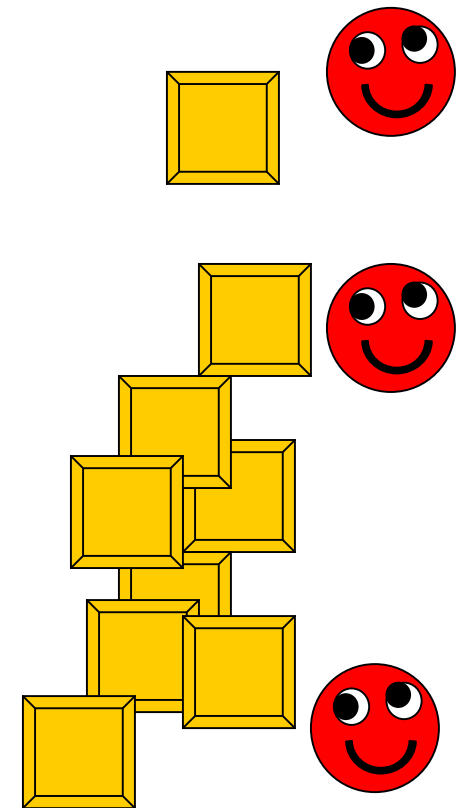
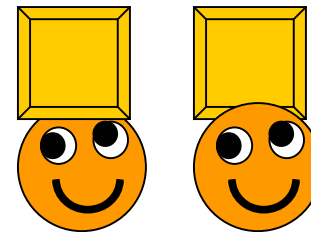
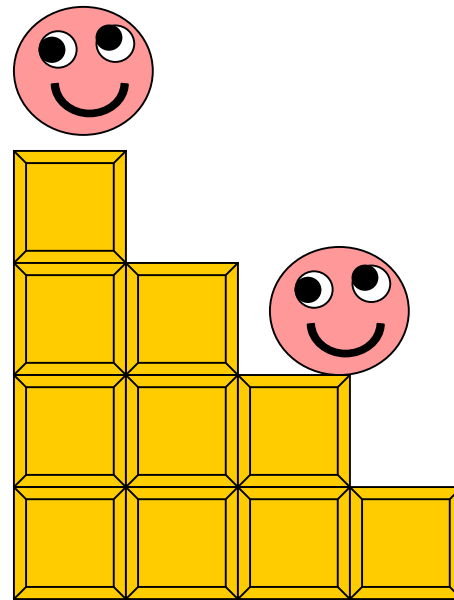
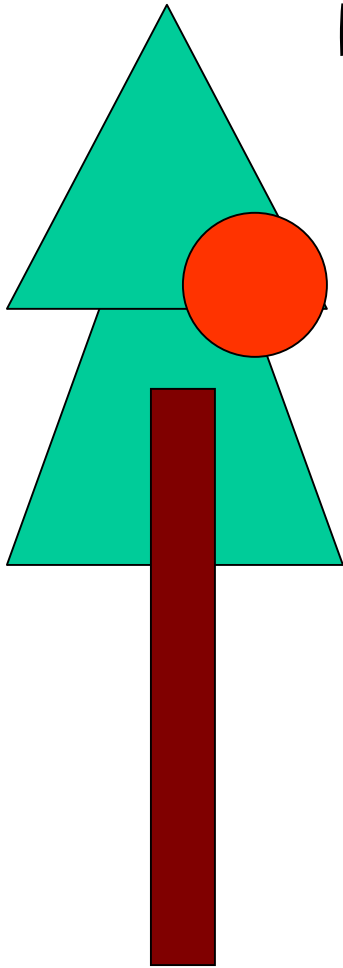
(総合司会 + コーディネート:長久、グループ司会者)

(I) グループ討論(70分+休憩10分)

(I) パネル「集団における知性の可能性」(60分)

はじめに

# ゲームAI連続セミナー全体のご紹介



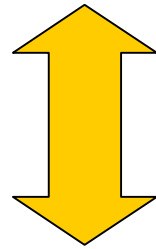
# 目的

- (1) ゲームAIの技術について紹介、発表できる場を作る。
- (2) ゲームAIに関して討論を行う  
オープンな相互インタラクションのできる場を用意する。
- (3) 参加者の意見を取り入れて、  
ゲーム業界で本当に必要なセミナーの形を実現する。  
(運営やスピーカーなど常時募集する)

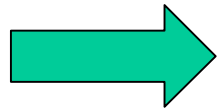


# ゲームAIの特徴

- (1) 一つのゲームにAIの技術を組み込んで行くことで、その技術が潜在的に持っていた力を発見、発展することが出来る。



- (2) 一つのAIの技術を追求して行くことで、新しいゲームデザインが見えて来る



ゲームとゲームAI は、  
お互いを進化させる力を持つ

実際のゲーム開発へ活用する



これからのゲーム開発におけるゲームAIの  
可能性を知る

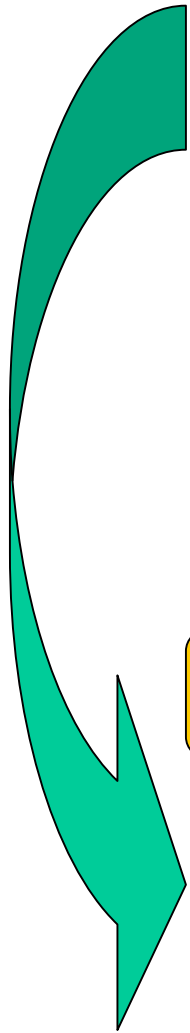


IGDA  
ゲームAI連続セミナー

開発者が一同に介して、  
ゲームAIについて学び、討論する場

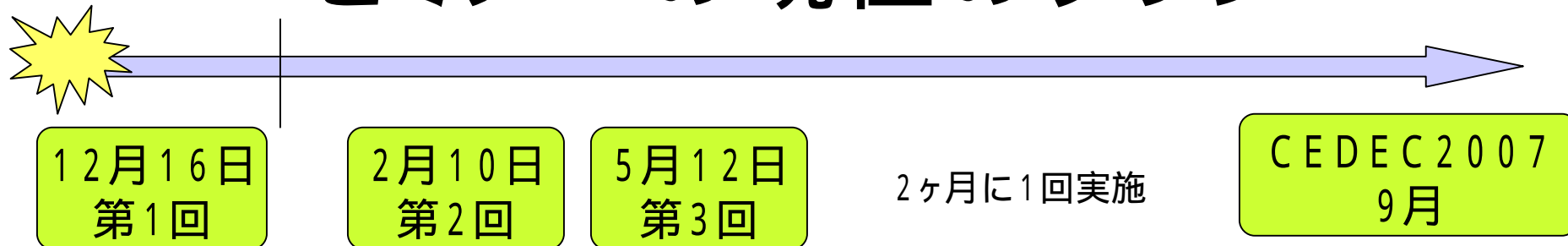
よい循環を形成する

日本におけるゲームAIのセミナー・カンファレンスの場

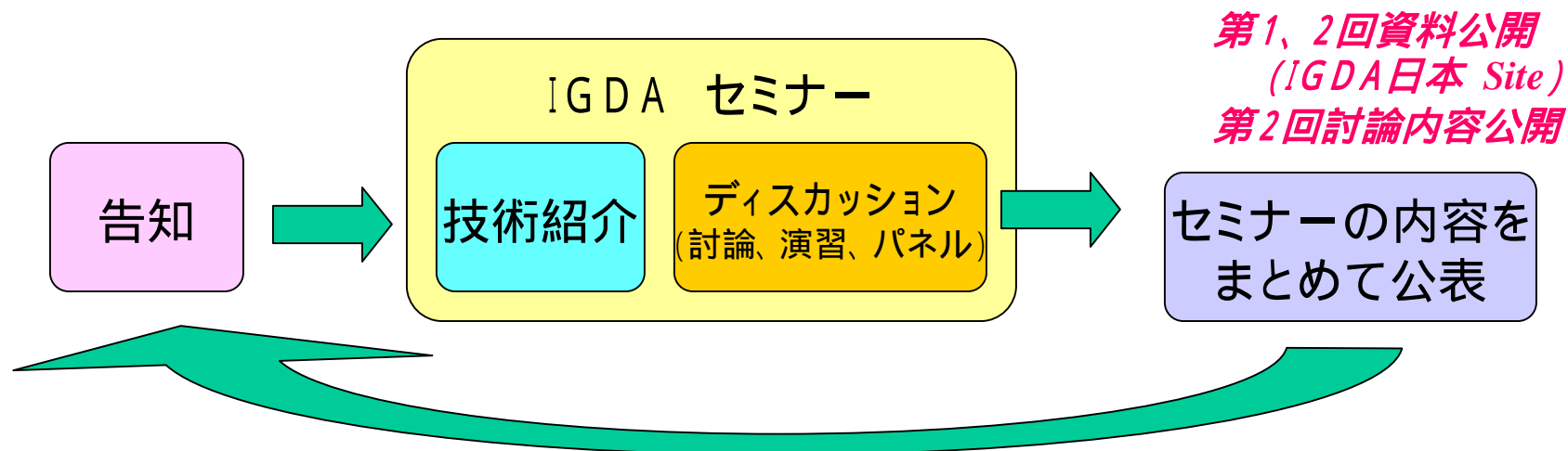


2006年9月

# セミナーの現在のプラン



全6回(継続を目指す)  
会場は大学、企業のホールなど



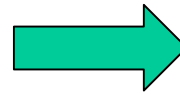
目標へ進みつつ、参加者の意図を汲みながら  
徐々に改善して行く

# 第2回からの反省と改善点

(WEBアンケート協力ありがとうございます！  
今回もよろしくお願いします！)

## (1) 討論

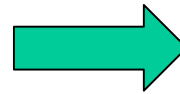
議題が抽象的すぎる



より具体的に

## (2) 資料

事前に欲しい  
テキストは帰ってから読む



事前資料を配布  
セミナー後、完成版、配布

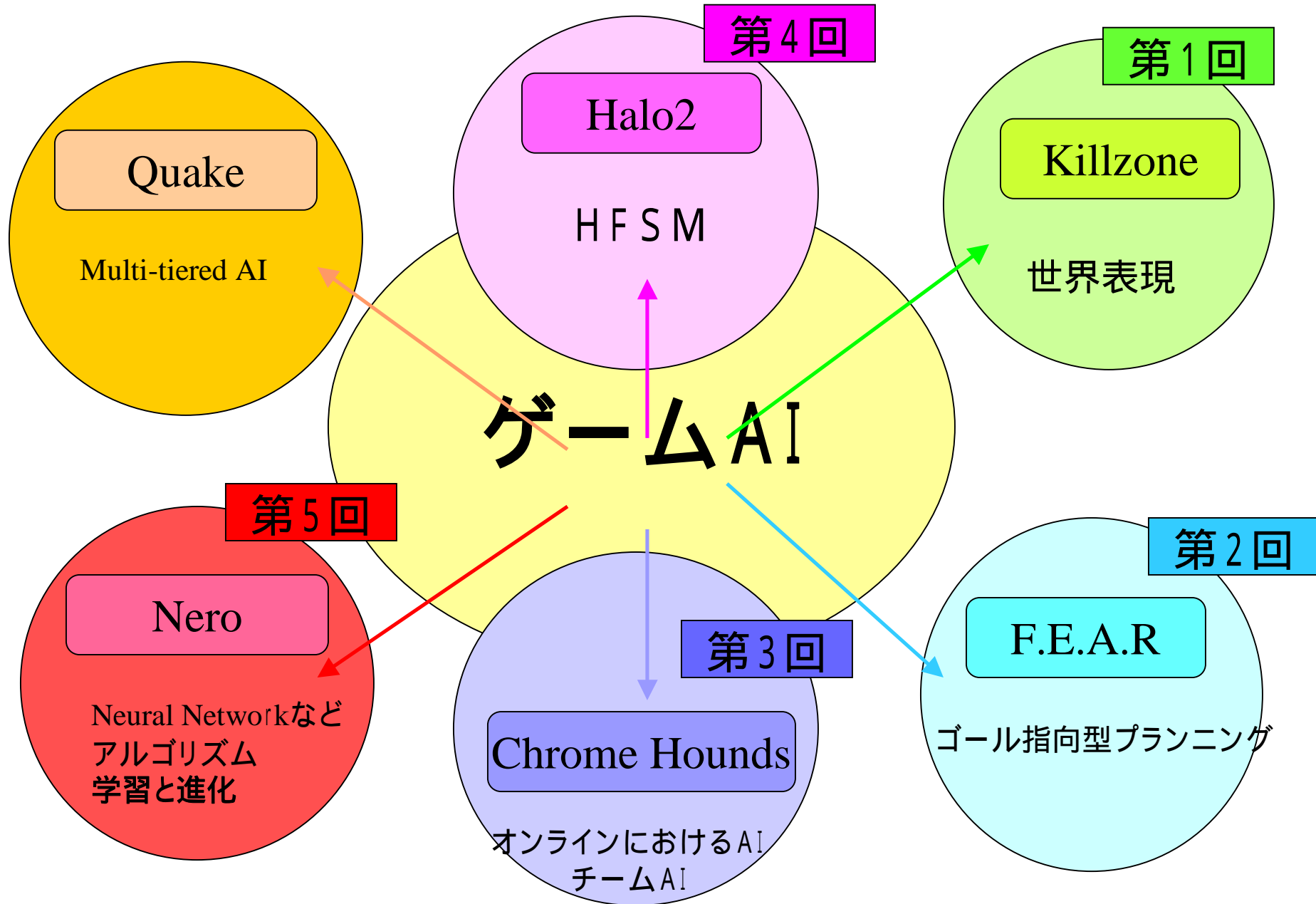
## (3) 運営(継続のために省エネ運営)

IGDA日本に協力してくださる方(ボランティア)を募集！

DIGRA、東京大学 共催  
グループ討論司会者の協力

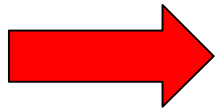
IGDA サイトの利用、 フロムソフトウェアからの協力

# これからのセミナーの展開



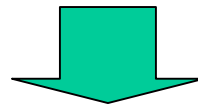
# 今日のセミナーの方針

- (1) この分野はゲーム開発にとって **フロンティア** であり、明瞭なゲームへの応用例を多く示すことができない。
- (2) 発想を得るためには、ゲームを問わず、自然界やゲーム、人工知能研究における **範例を多く知って** 引き出しを増やし、デモを見てセンスを磨く必要がある。



第1章 具体例とデモを多く紹介する。

第2章 詳細にクロムハウন্ズの開発事例を紹介



上記を材料にグループワークでアイデアを絞る

# 第1部 ゲームAI 技術解説(90分)

全体マップ

第1章	集団における知能 概論	(20分)
第2章	群知能の方法	(30分)
第3章	クロムハウズにおけるマルチエージェント技術	(30分)
第4章	発展	(20分)

# 第1章

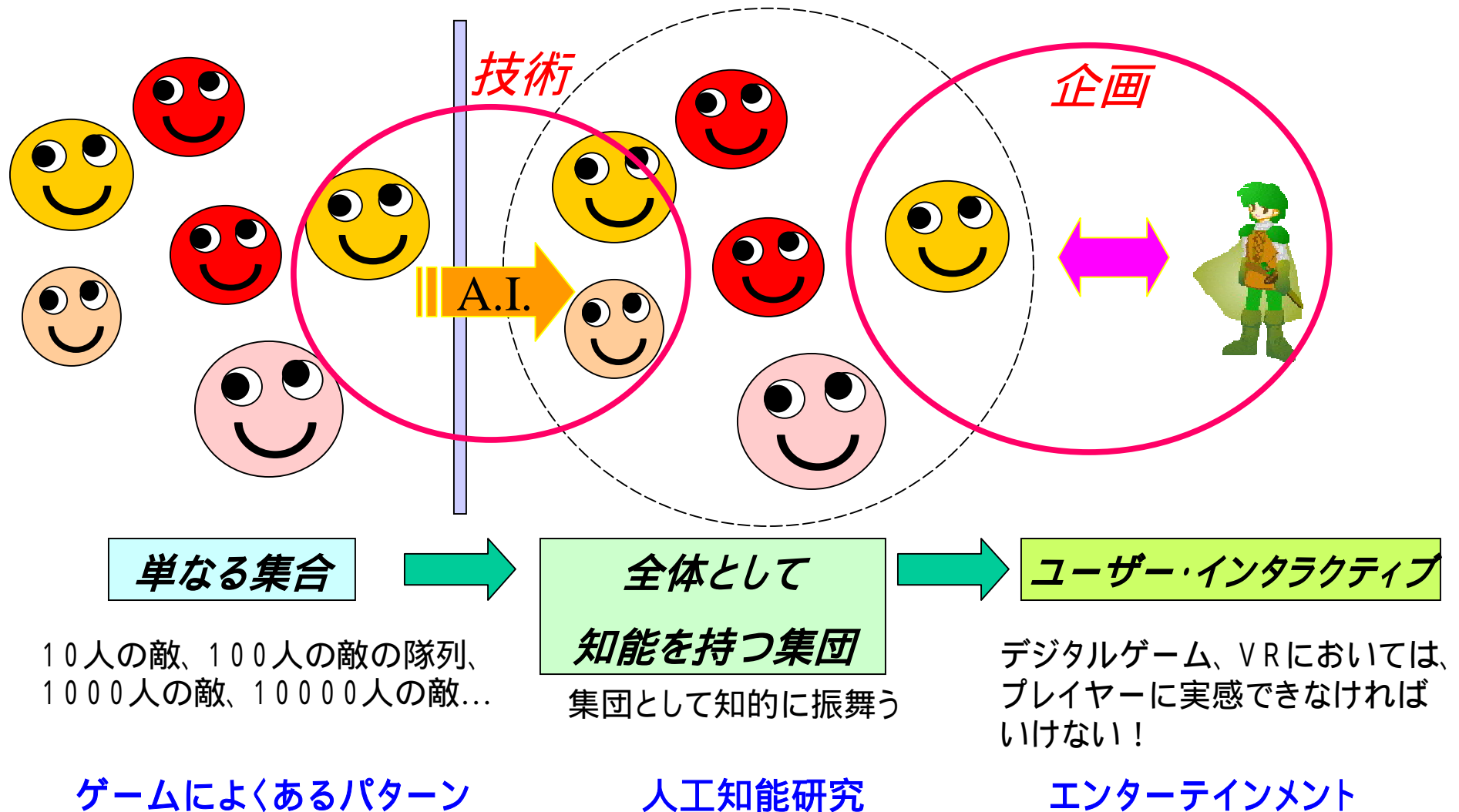
「集団における知能」 (30分)

*「集団における知能」を眺めてみよう！*



# 集団における知性

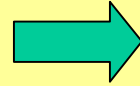
今日のテーマ プレイヤーを楽しませる知能を持つAIの集団を作る。



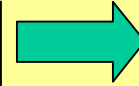
# 全体として知能を持つ集団とは？

集団における知能

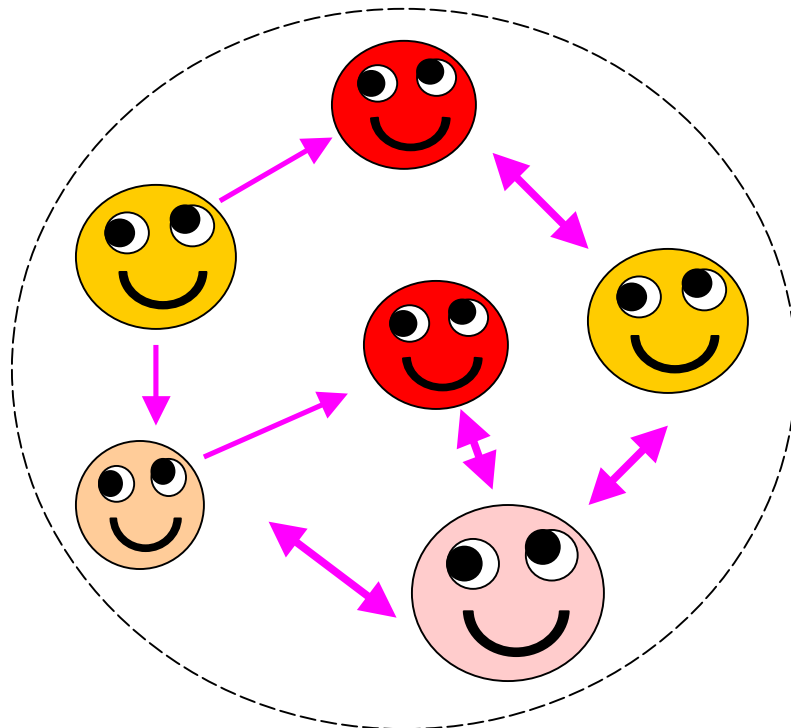
個の知能



連携



全体の新しい機能



外側から見ると



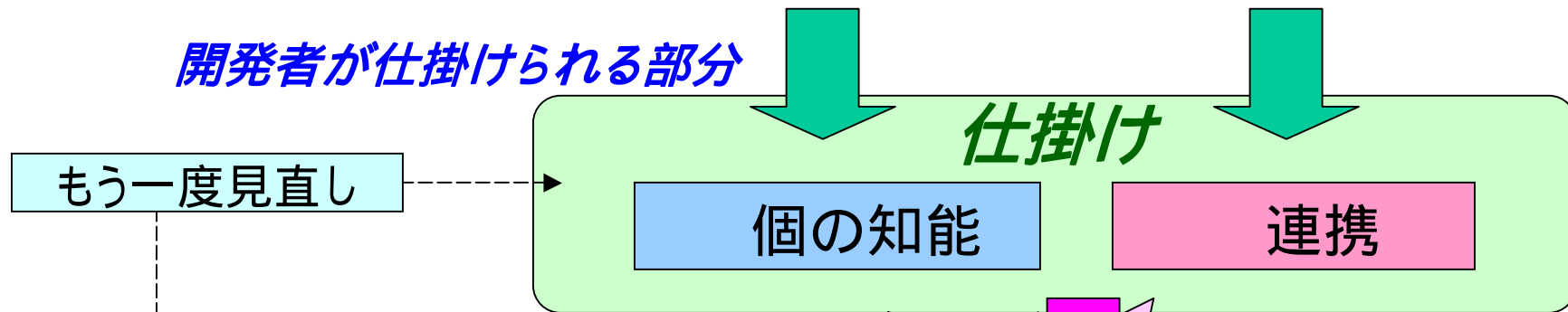
一つの知性

まるで全体として一つの新しい知能であるような集団

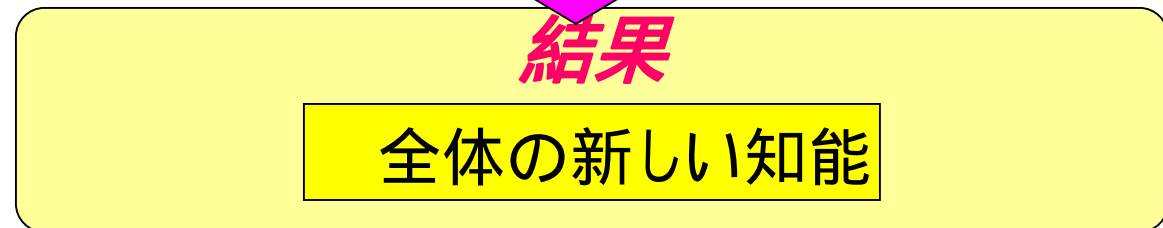
# 集団の知能の作り方

どのような「全体の新しい機能」を実現したいかを明確にする

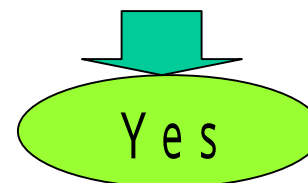
開発者が仕掛けられる部分



結果を受け入れるしかない部分



テスト:「全体の新しい機能」は実現できたか?



No

# 「集団としての知能」二つのアプローチ

## 群知能



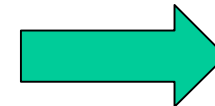
### 第2章

単純な機能しか持たないAIを連携させる技術

**機能性重視**

(例) 蟻、鳥の群制御。協調ロボット

## マルチエージェント



### 第3章

合理的な思考を持つエージェントを連携させる技術

**合理性重視**

(例) クロムハウنز チーム

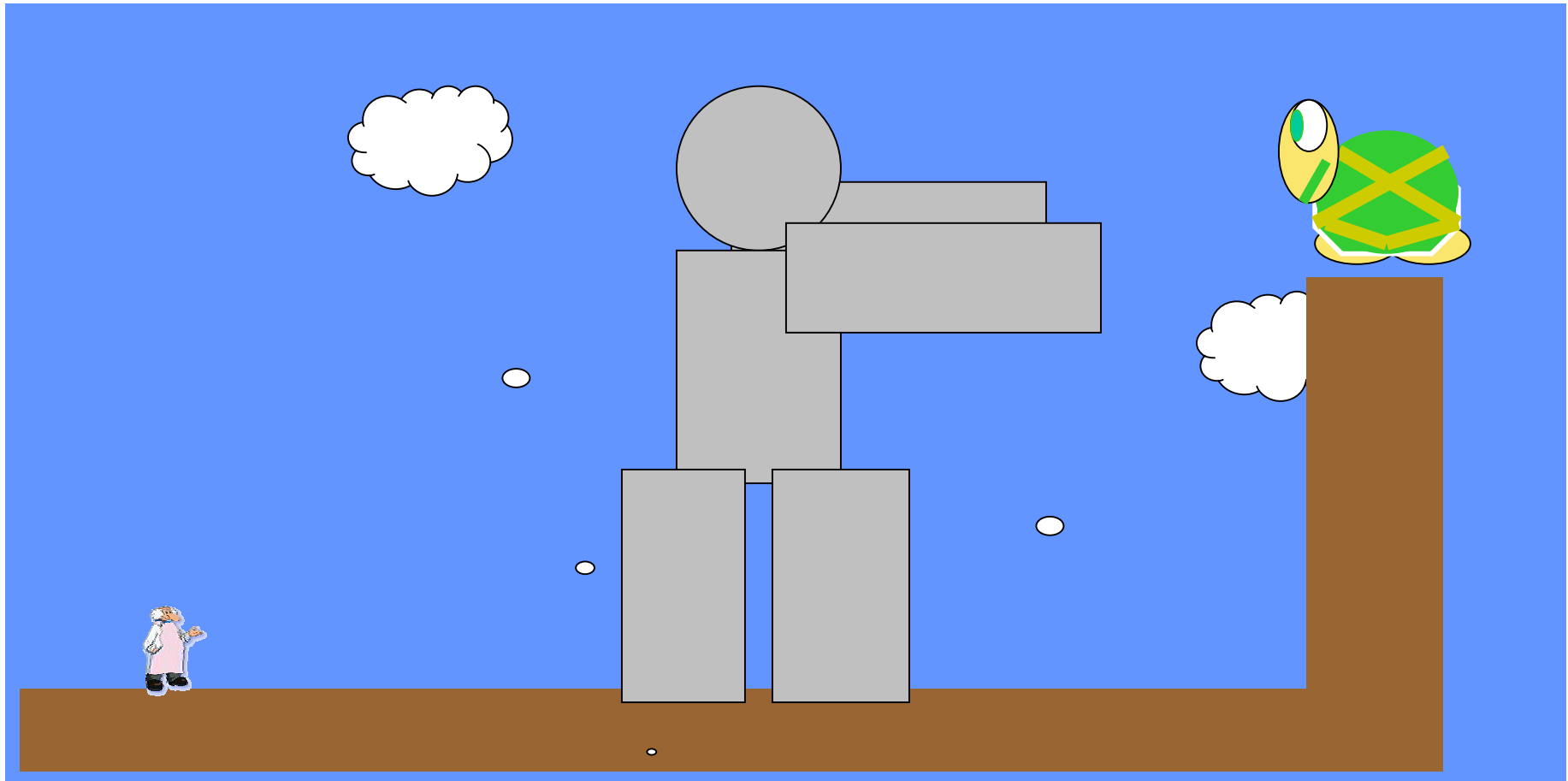
群知能

# 群知能の方法



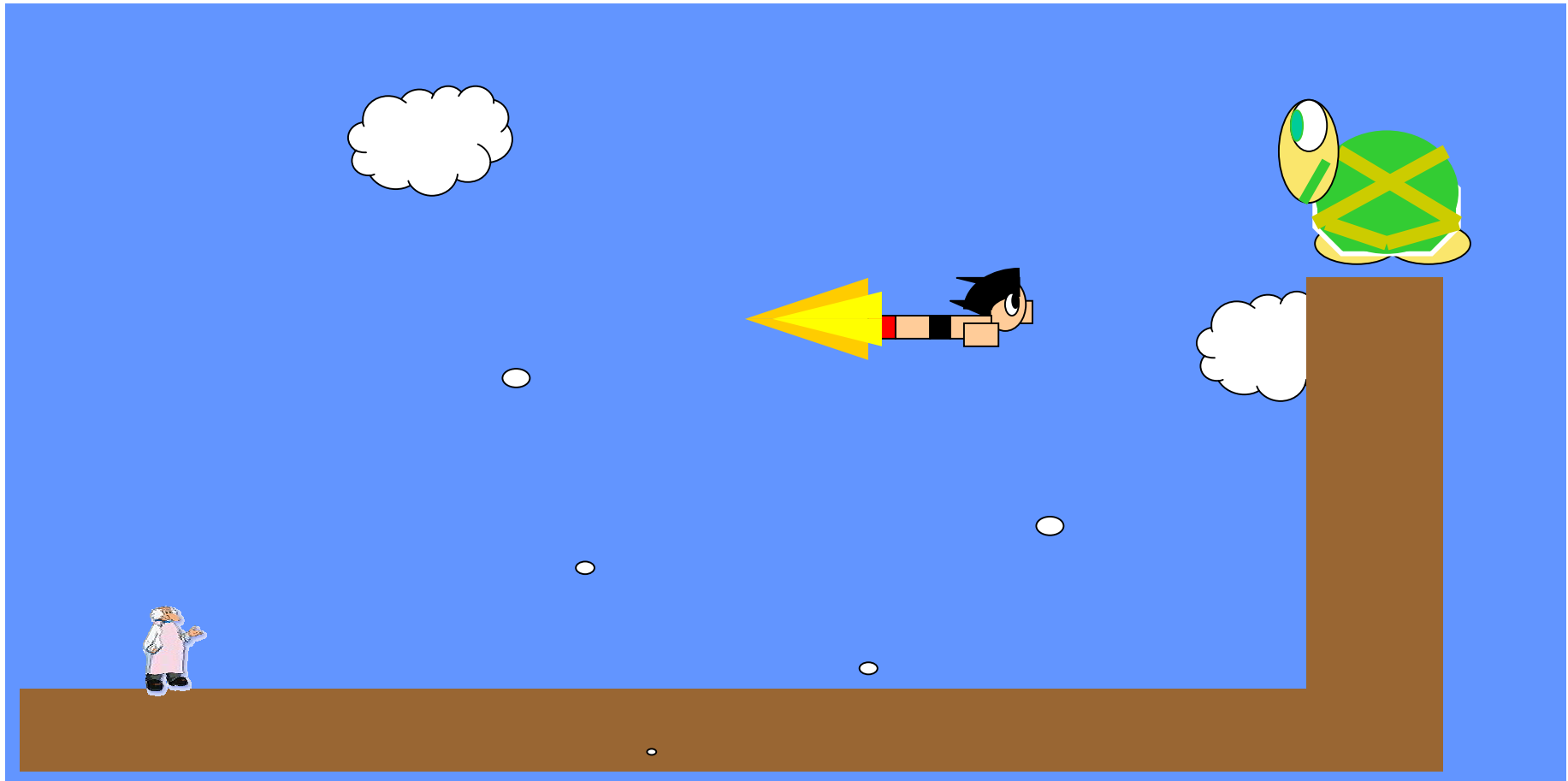
問題： 自分がどんなロボットも作れる技術者とする。  
ロボットを使って崖の上のカメを助けなければならない。  
どんなロボットを作ればいいだろうか？

# 解答 巨大ロボを使って助ける



問題： 自分がどんなロボットも作れる技術者とする。  
ロボットを使って崖の上のカメを助けなければならない。  
どんなロボットを作ればいいだろうか？

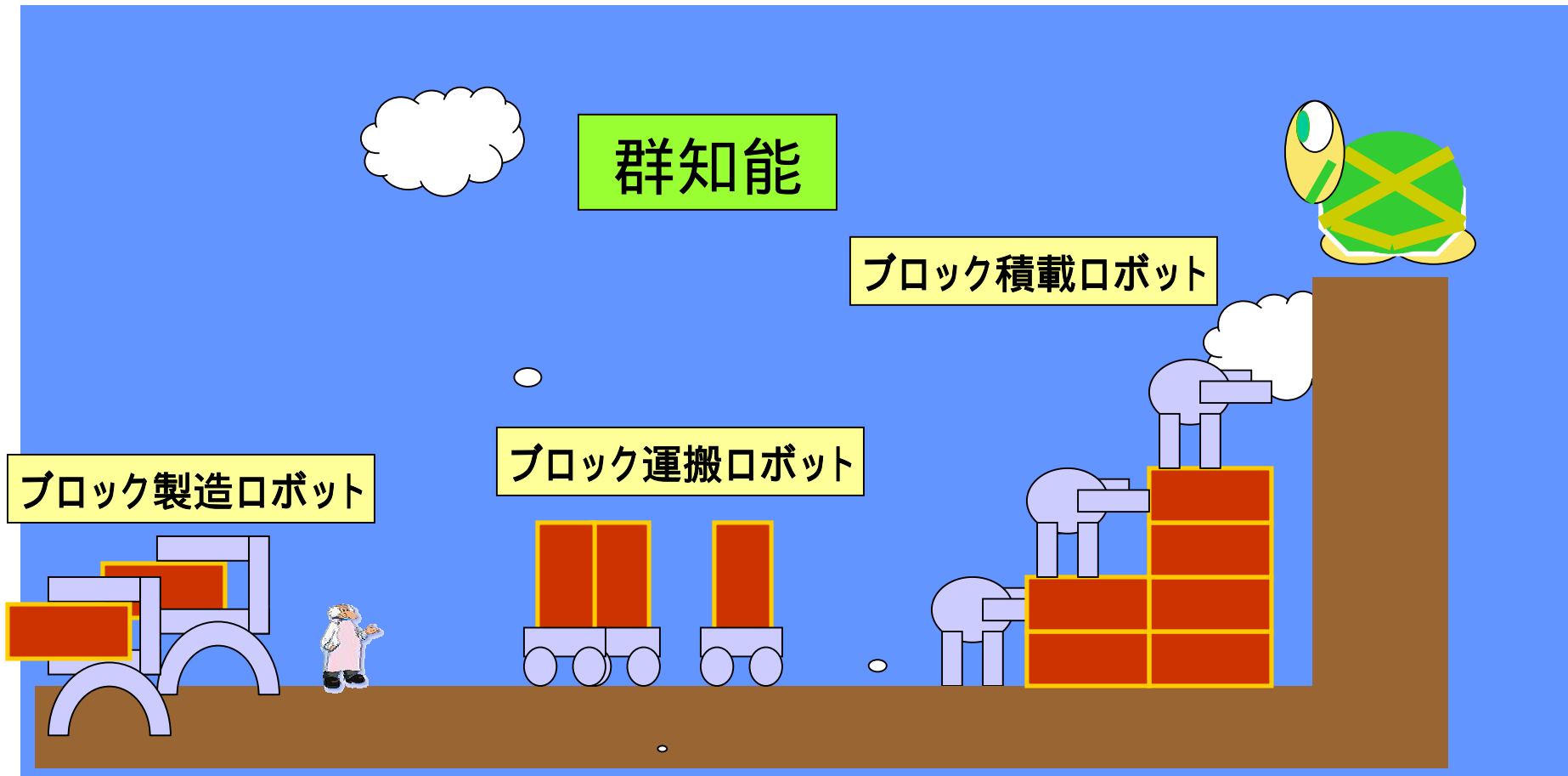
# 解答 高性能なロボットを作って助ける



問題： 自分がどんなロボットも作れる技術者とする。  
ロボットを使って崖の上のカメを助けなければならない。  
どんなロボットを作ればいいだろうか？

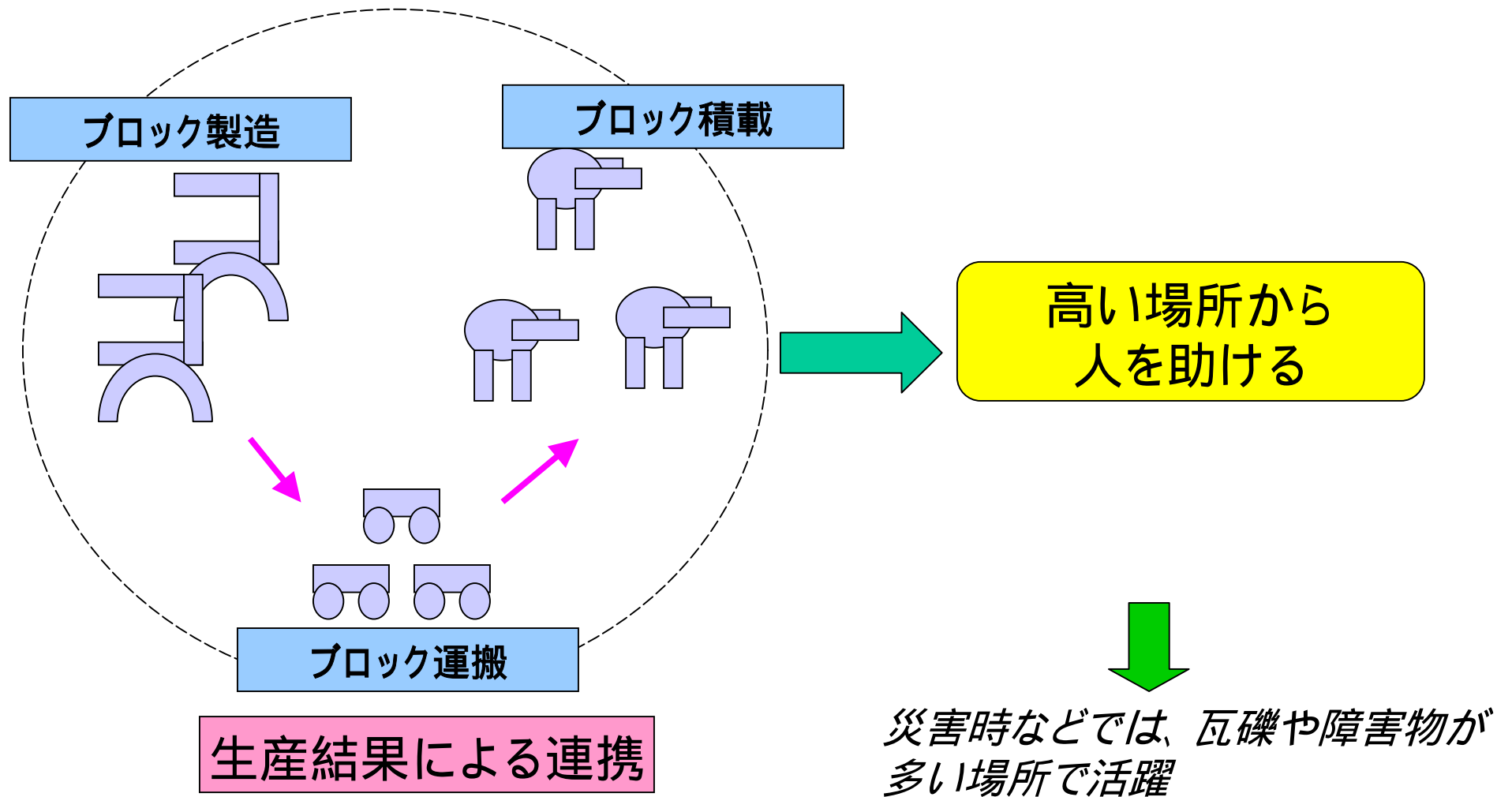


# 解答 小さなロボットを使って連携させる

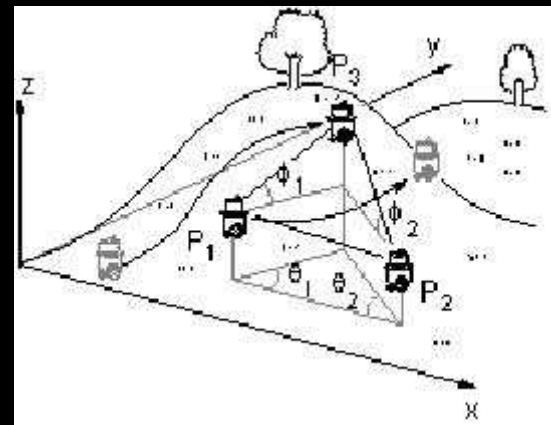


「問題を単純な仕事に分割して、単純なAIを組み合わせて、全体を組み上げる」方法

# 群知能ロボット



# 自動測量ロボット



協調ポジショニングシステムの研究 CPS

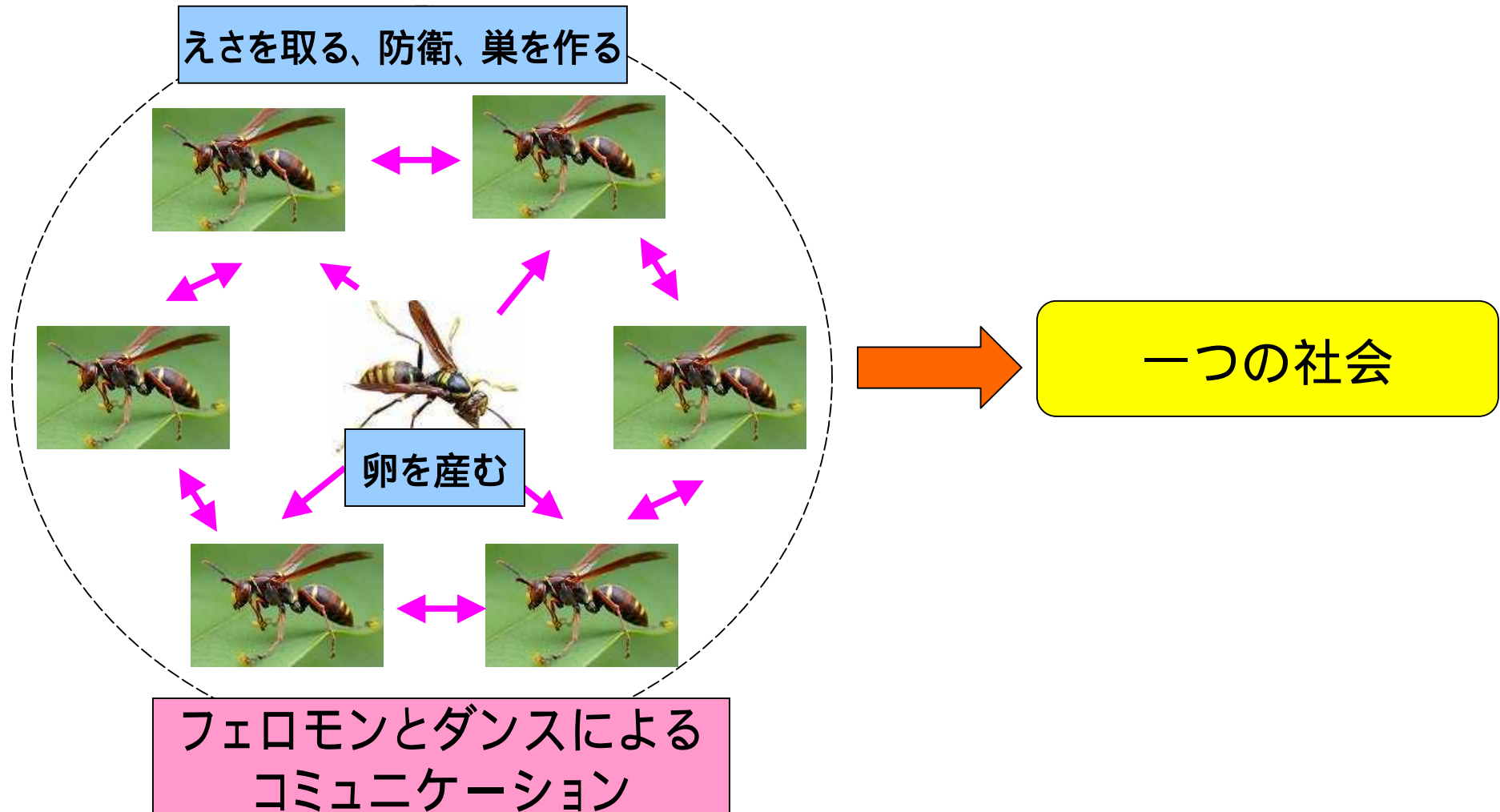
<http://www-robot.mes.titech.ac.jp/robot/group/cps/cps.html>

## (例) 自然全体



自然全体は、長い時間をかけて  
適切な場所に適切な生命を進化させ  
配置し、全体を連携させて生存して来た。

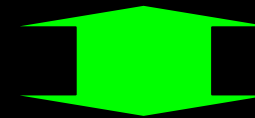
# 蜂の社会



# 蜂の社会



女王蜂



社会構造/  
役割分担

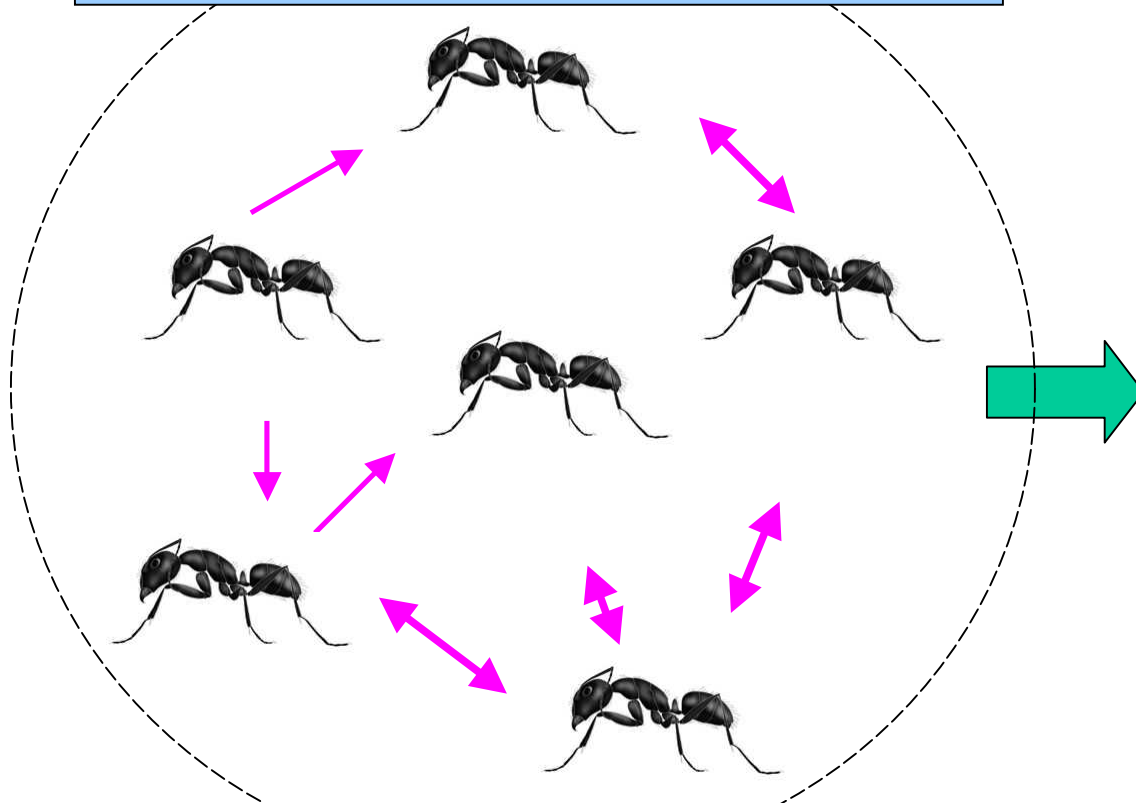
働き蜂



フェロモンとダンスによる  
コミュニケーション

# 群知能(例) 蟻の群

えさをみつける、えさを運ぶ、フェロモンを出す



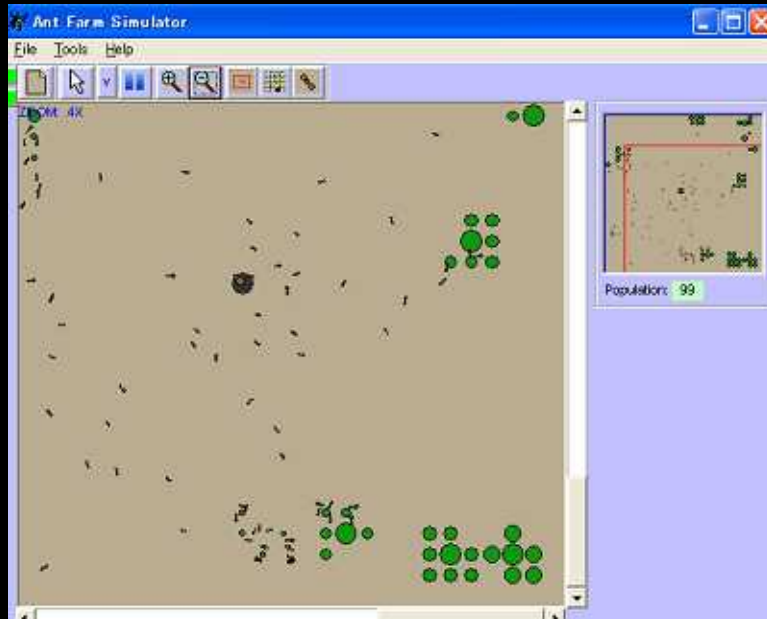
フェロモン分泌による位置の伝達

列形成

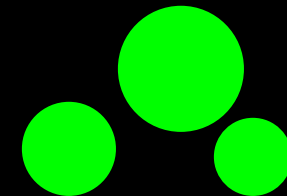


# 蟻の群

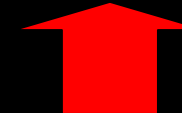
## 関係のさせ方



フェロモン



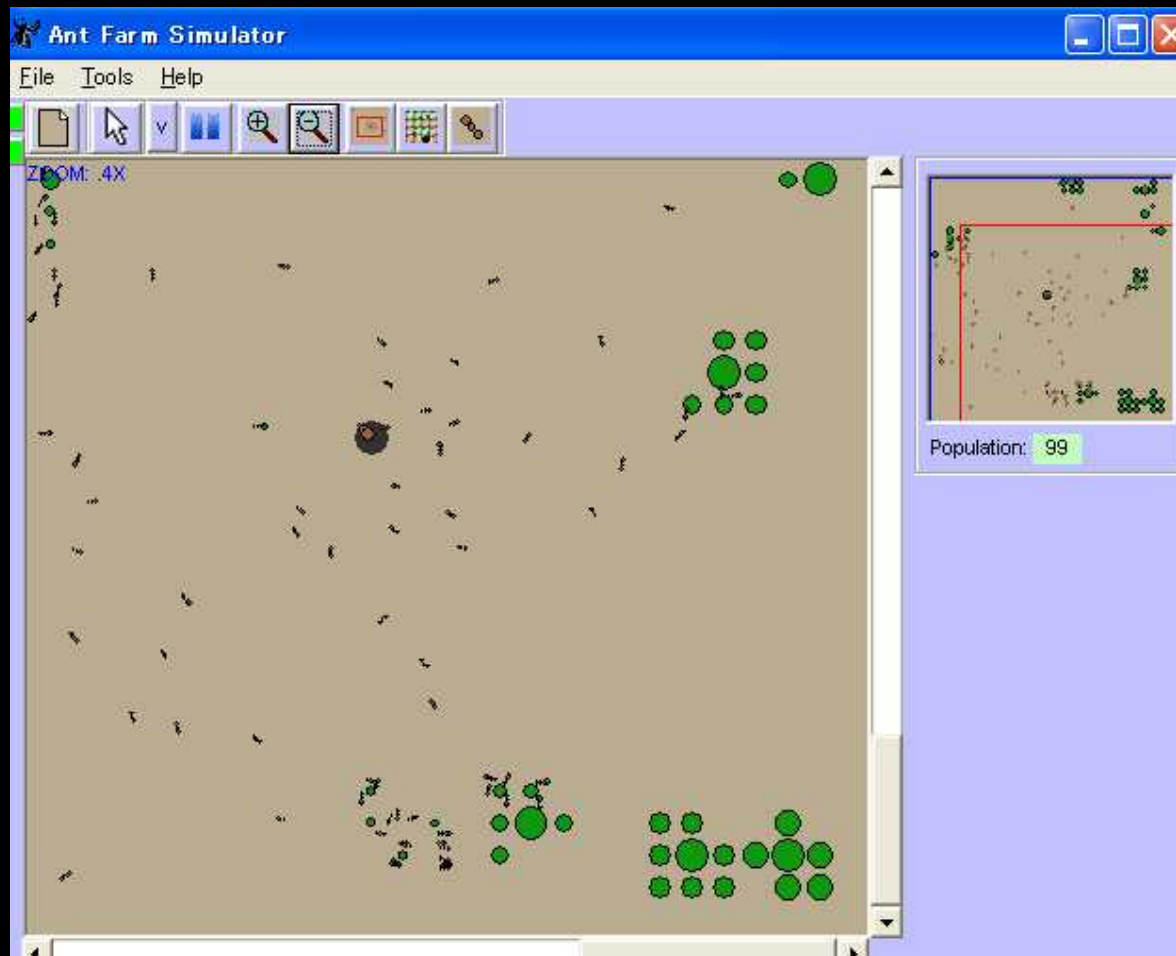
えさ



- (1) えさをみつけた蟻は、フェロモンを出しながら巣へ戻る。
- (2) フェロモンは他の蟻を引き寄せる
- (3) 引き寄せられた蟻は、フェロモンを出しながらえさを巣へ運ぶ

[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」)

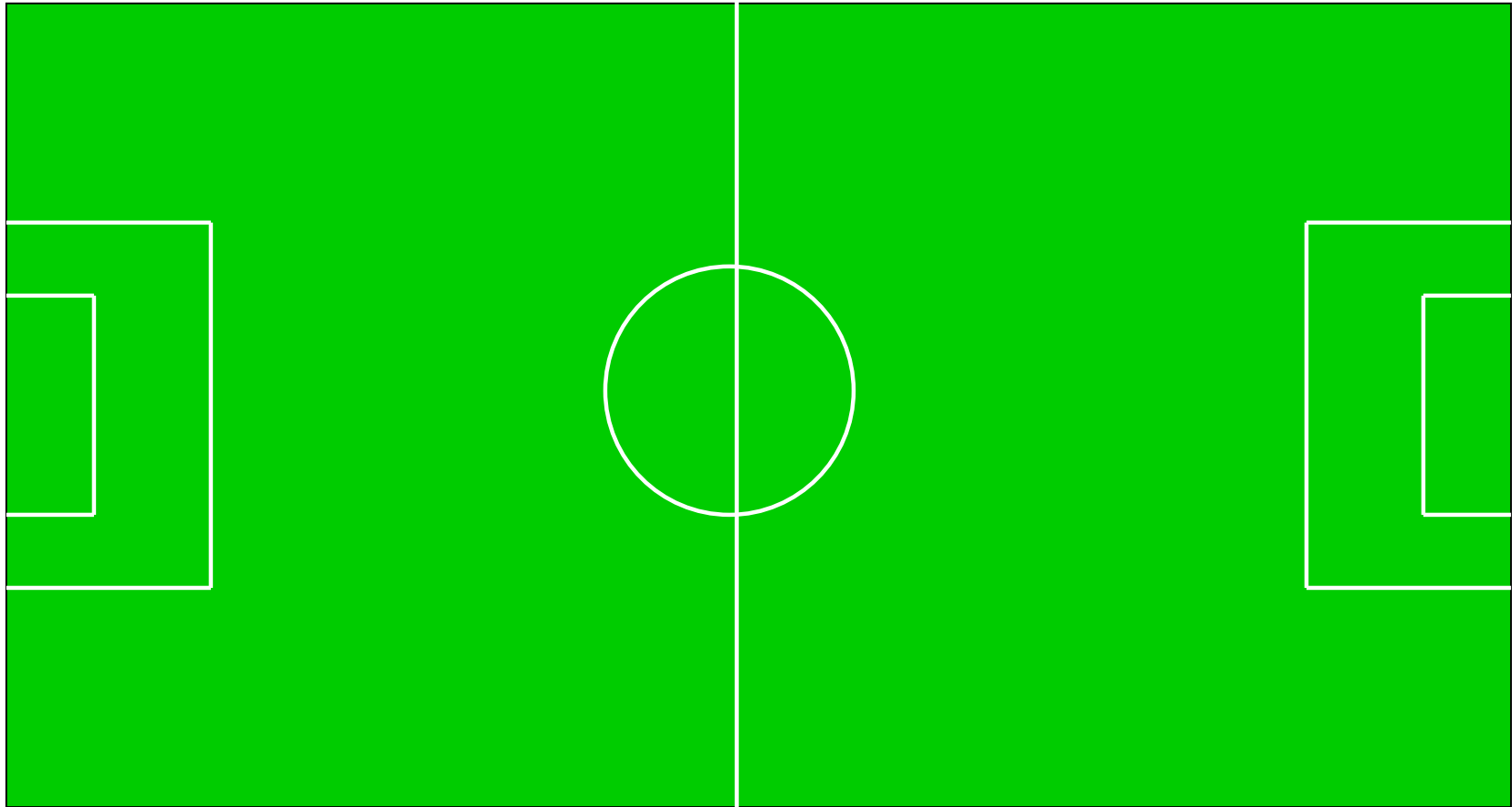




[蟻、デモ] [Roberto Aguirre Maturana の Ant Farm Simulator](#)(Source Code、実行ファイルなど。実行方法:「File->New->再生ボタン」)

マルチエージェント

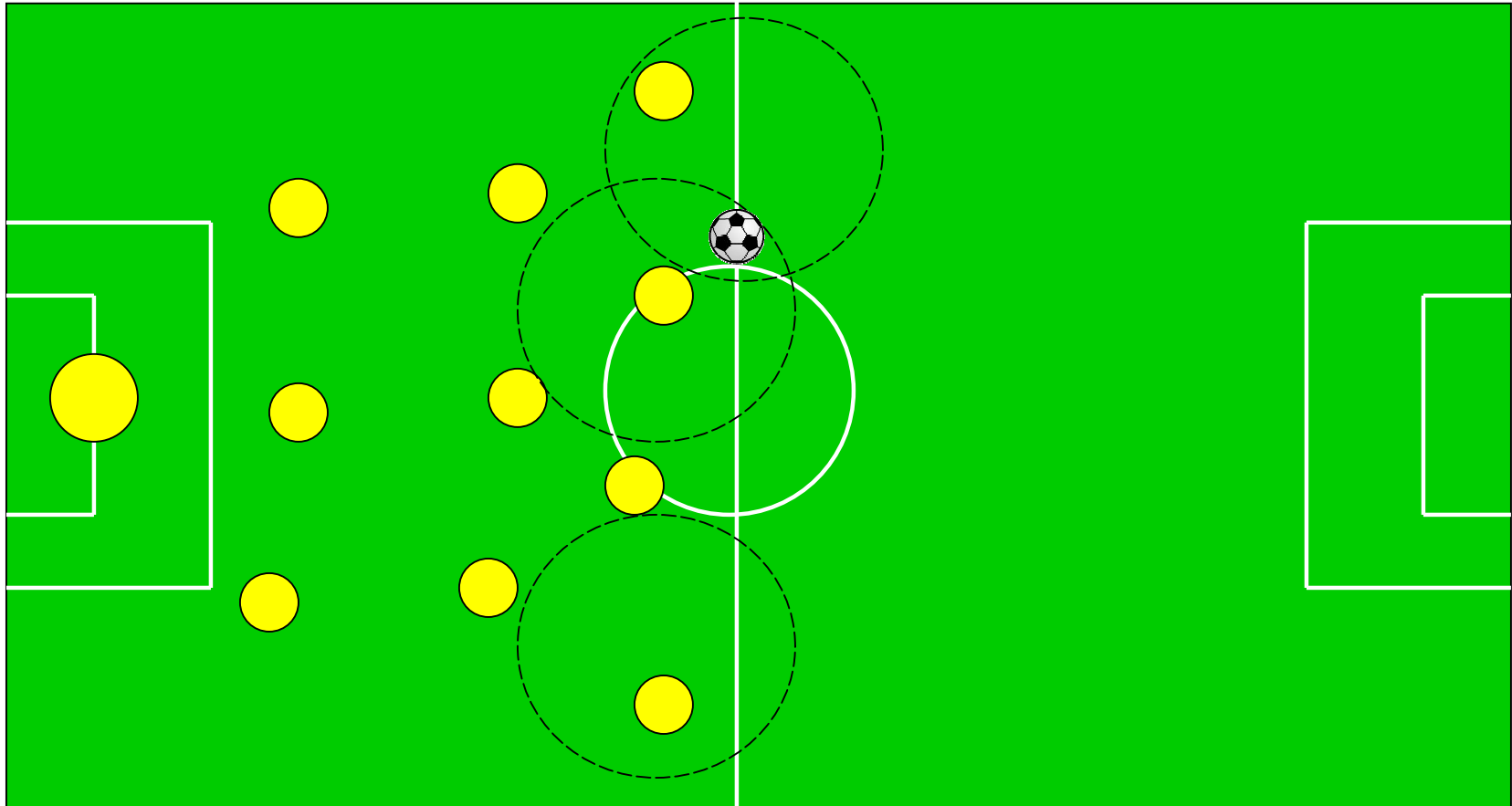
# マルチエージェントの方法



問題：自分がどんなロボットも作れる技術者とする。  
ロボットチームを作ってワールドカップ優勝の人間のチームに  
勝たないといけない。どんなロボットチームを作ればいいだろうか？

# 解答 群知能を使う

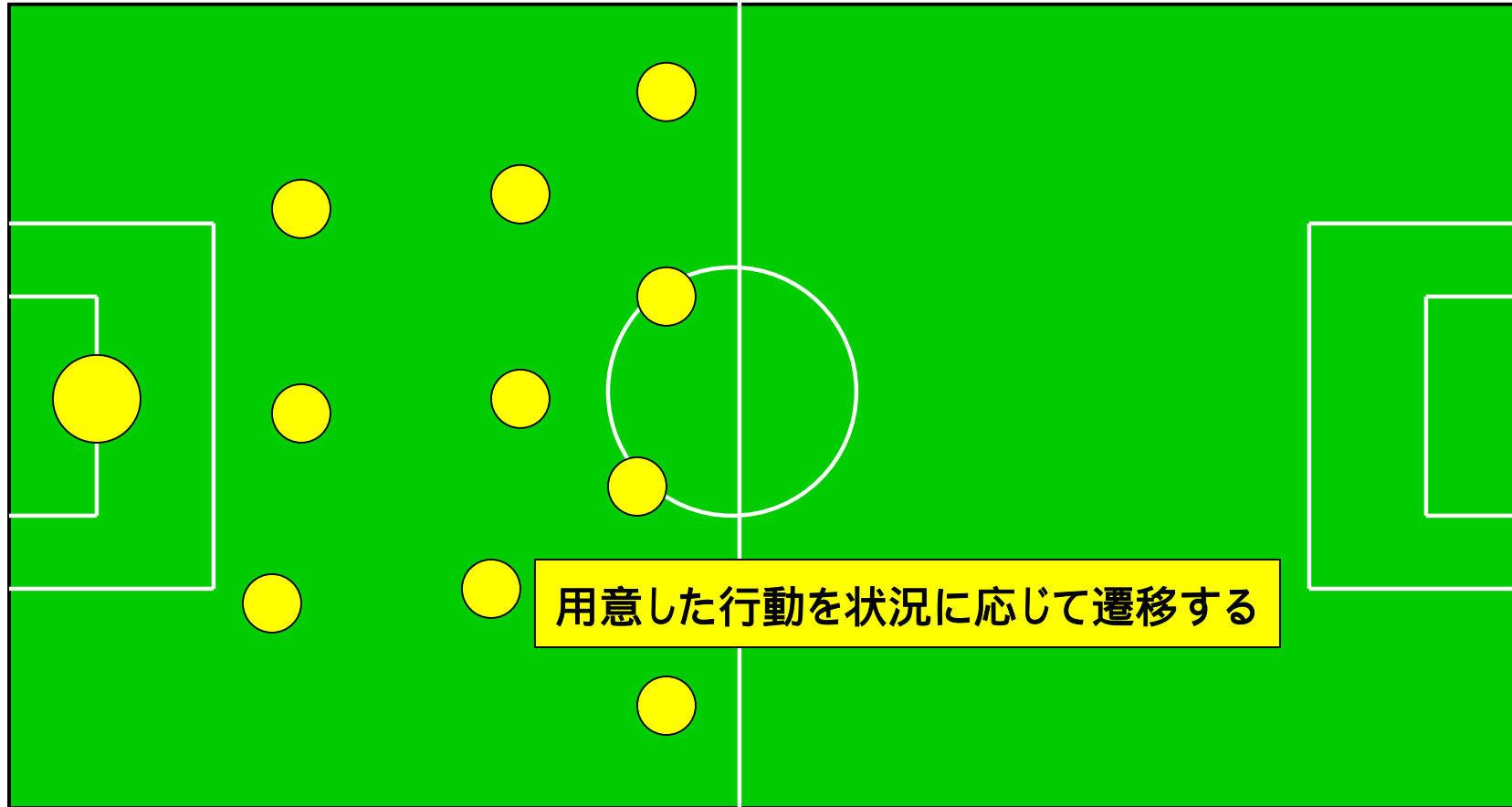
自分とボール、敵、プレイヤーの位置などから反射的に行動を取れるようにする



国立競技場

問題：自分がどんなロボットも作れる技術者とする。  
ロボットチームを作ってワールドカップ優勝の人間のチームに  
勝たないといけない。どんなロボットチームを作ればいいのか？

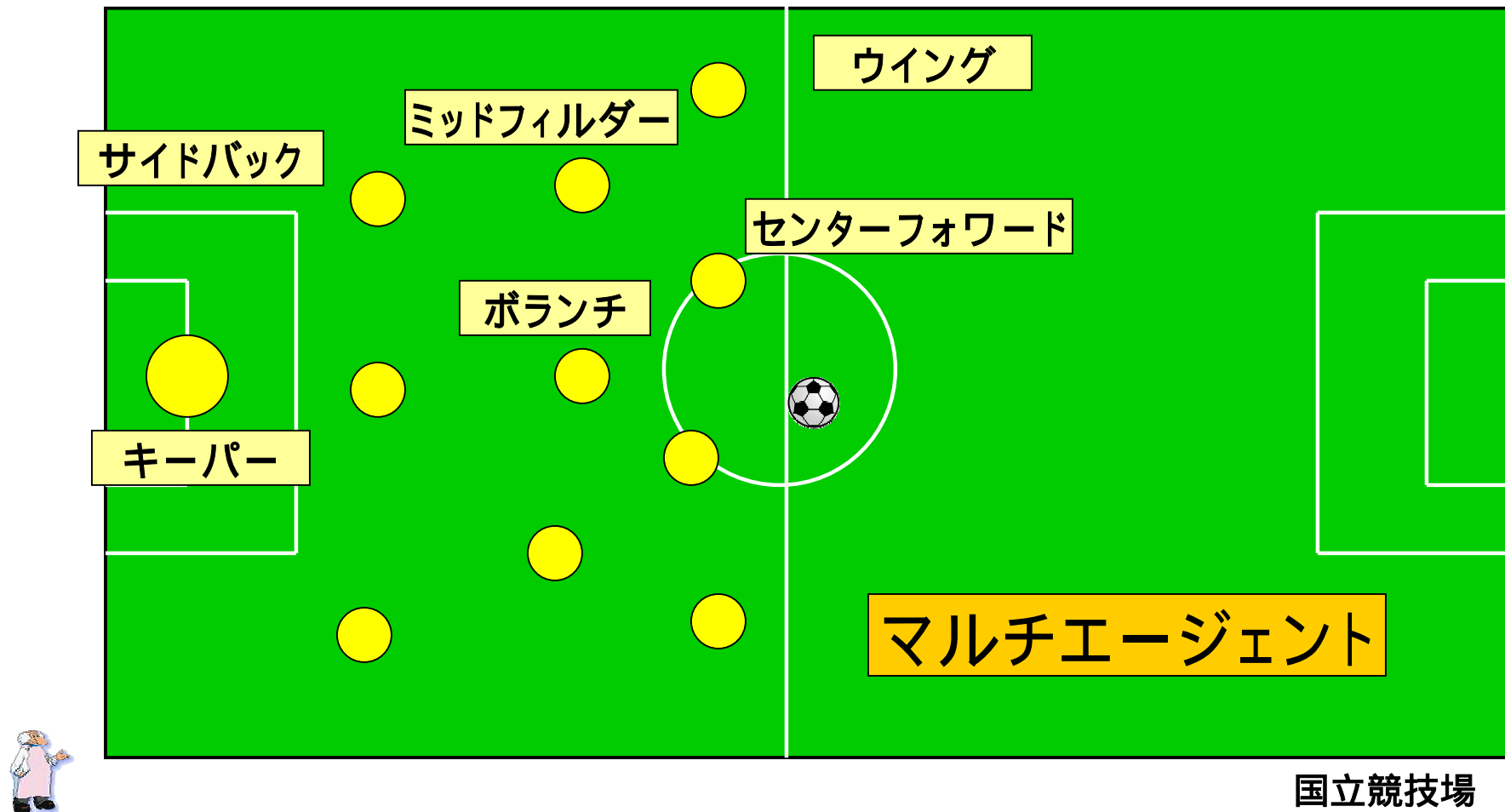
# 解答 有限状態マシン



国立競技場

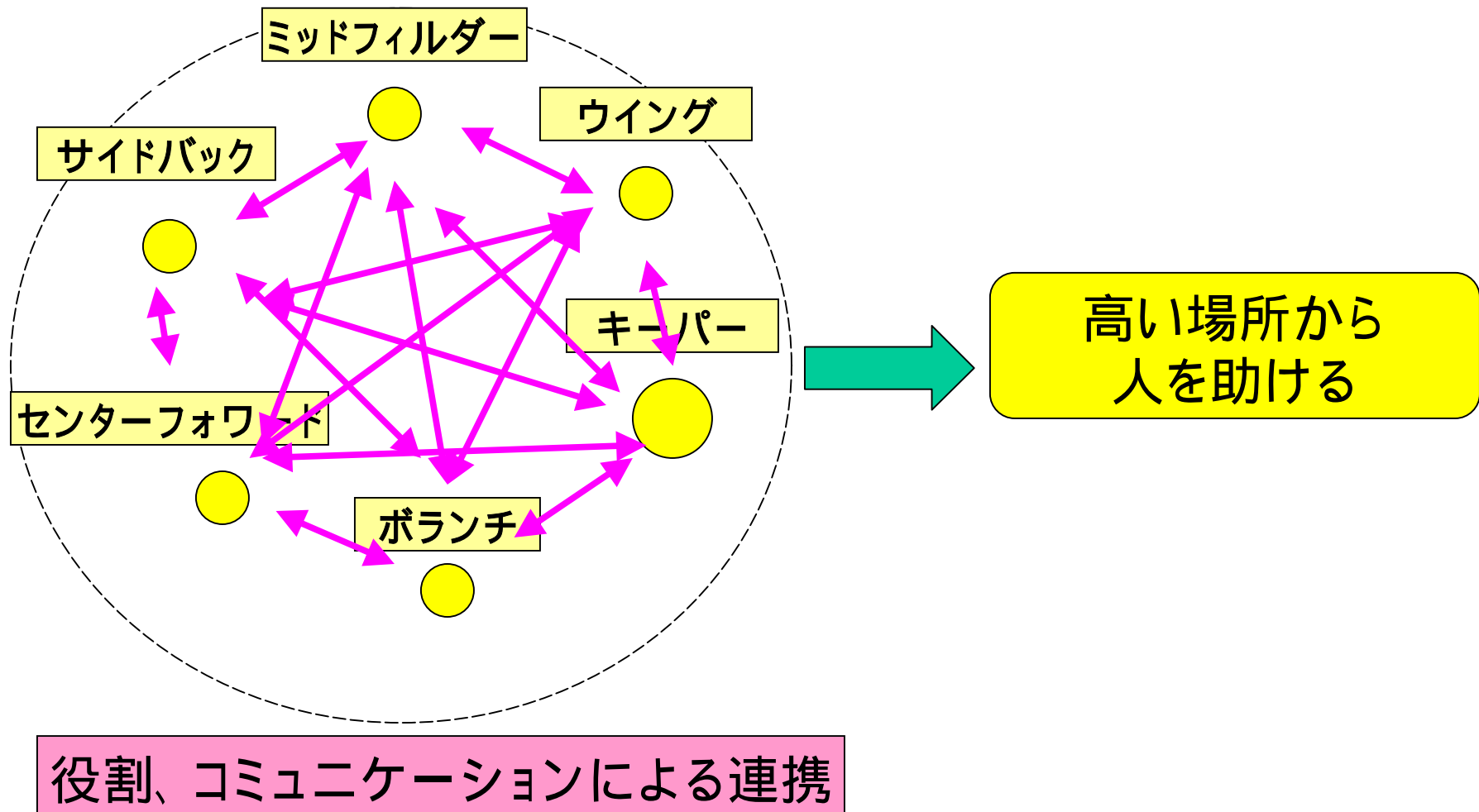
問題：自分がどんなロボットも作れる技術者とする。  
ロボットチームを作ってワールドカップ優勝の人間のチームに  
勝たないといけない。どんなロボットチームを作ればいいだろうか？

# 解答 人間の「役割」を模倣できるロボット



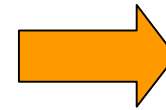
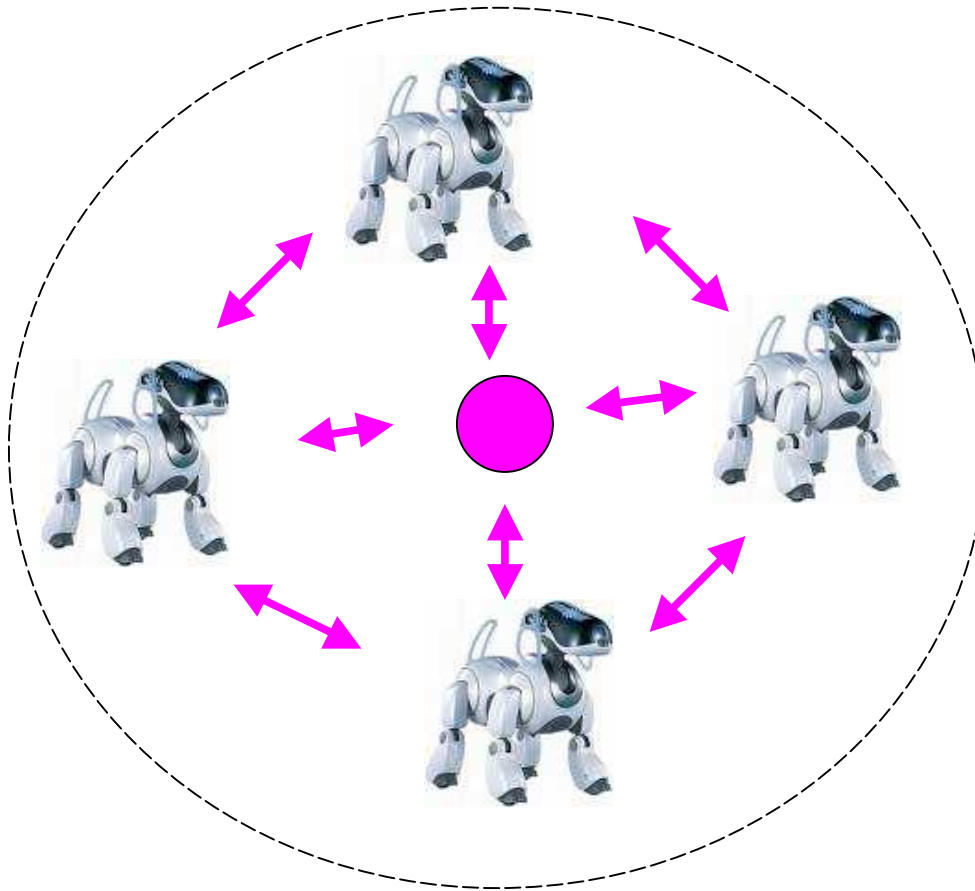
それぞれの役割を果たせるように各ロボットを賢くして、  
連携する

# マルチエージェントサッカーロボット



# マルチエージェント(例) ロボカップサッカー

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



連携プレイ

コミュニケーションによる連携



# 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具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システム(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、ロボット同士がいにシステムチェックなチームプレイを構築していくのが見所です。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は最後の予定。



## ■ 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



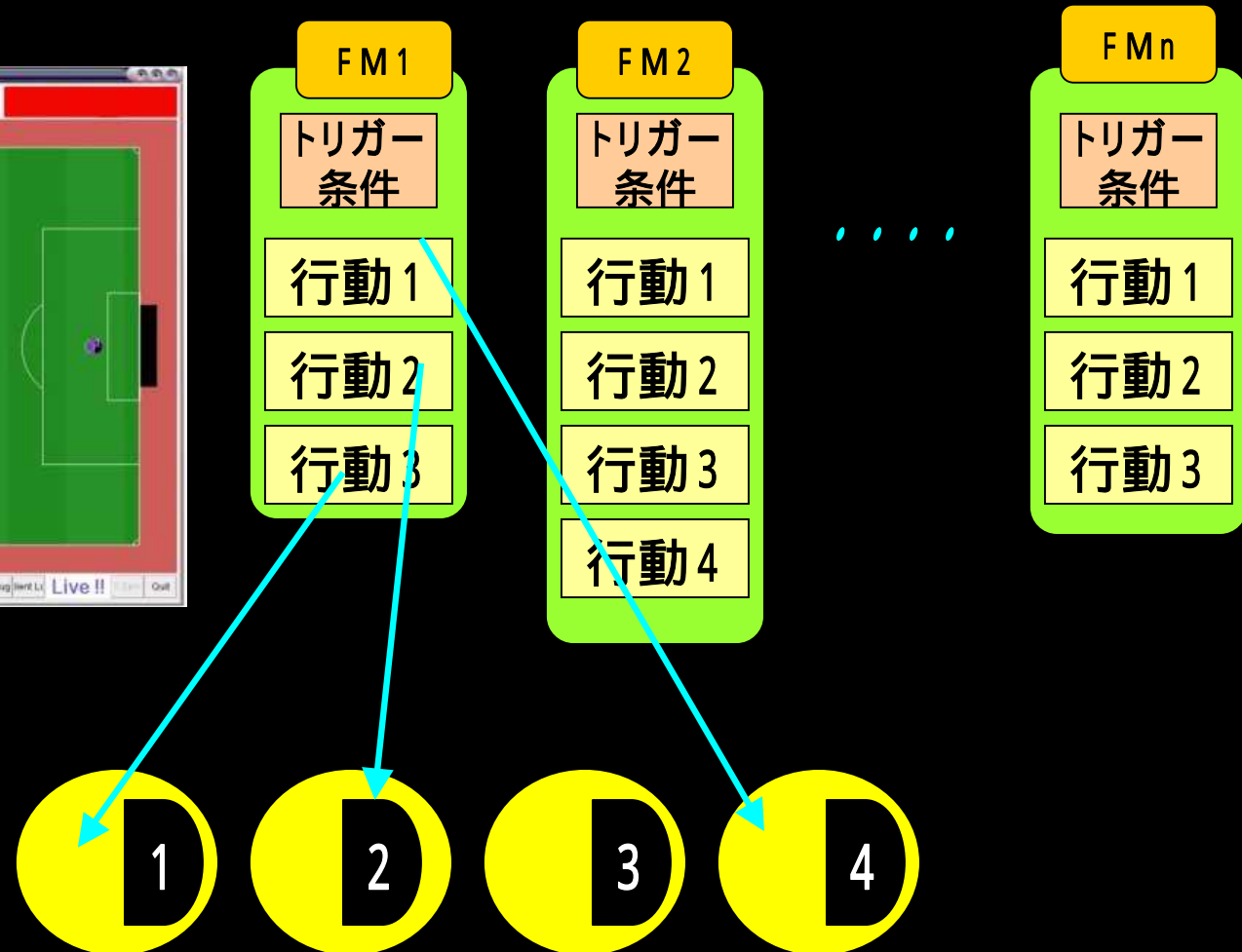
さまざまな方法

<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

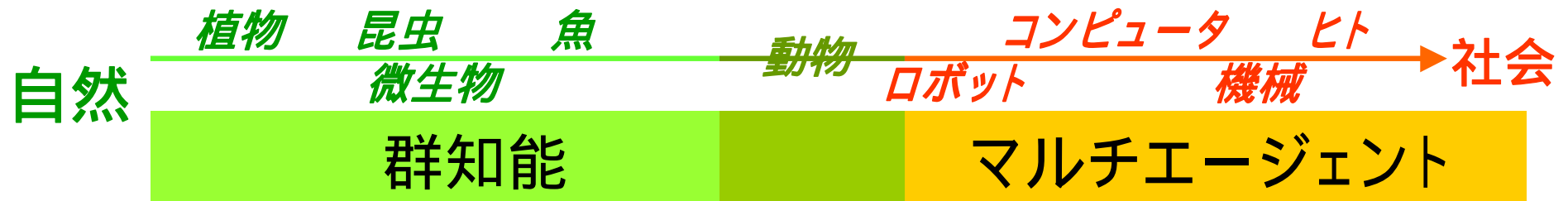
(Peter Stone)



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

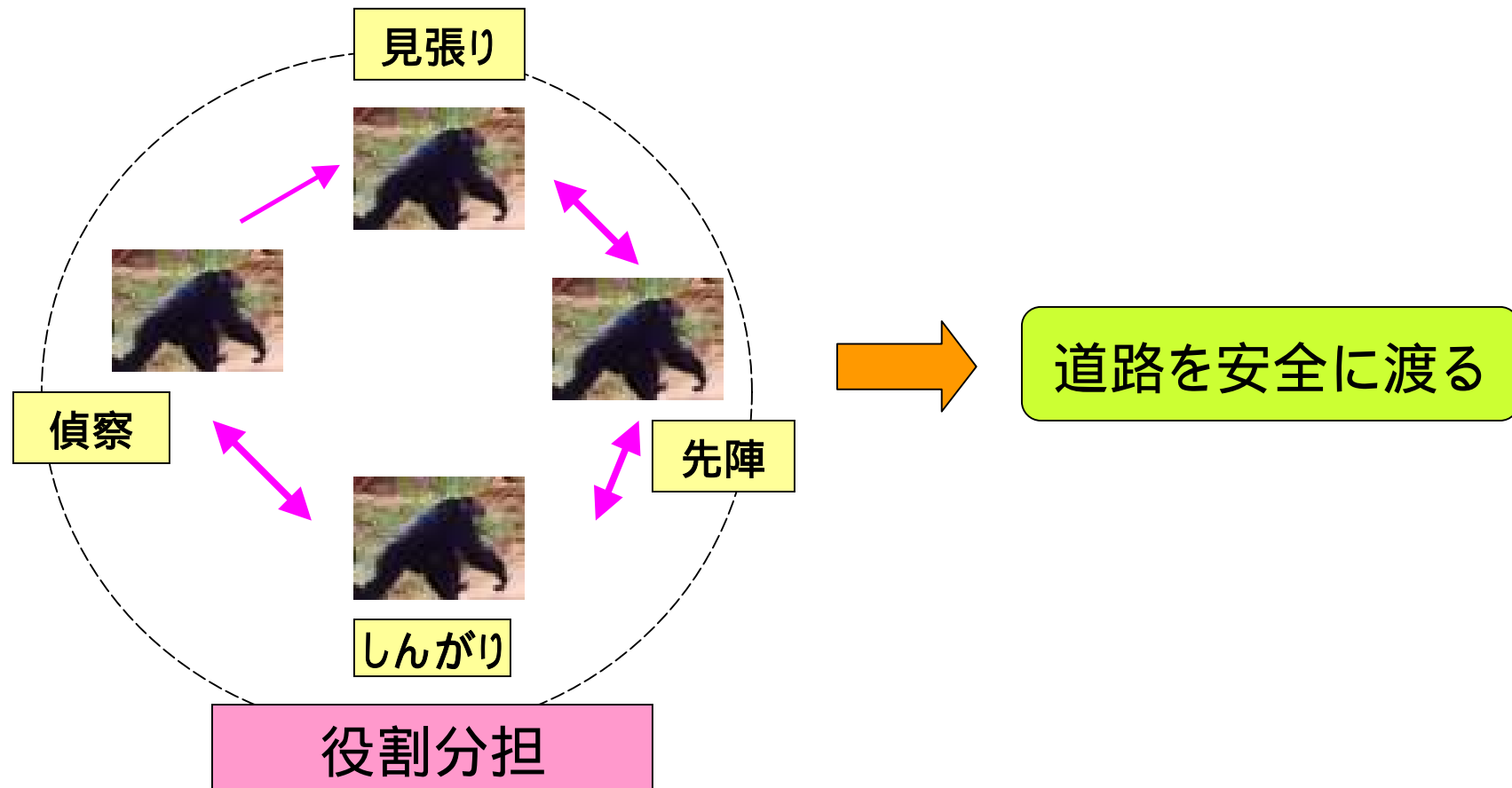
[協調、ロボカップ] Peter Stone, [Layered Learning in Multiagent Systems: A Winning Approach to Robotic Soccer](#) (紹介)

# 群知能からマルチエージェントへ



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

# マルチエージェント(例) チンパンジーの群れの協調行動



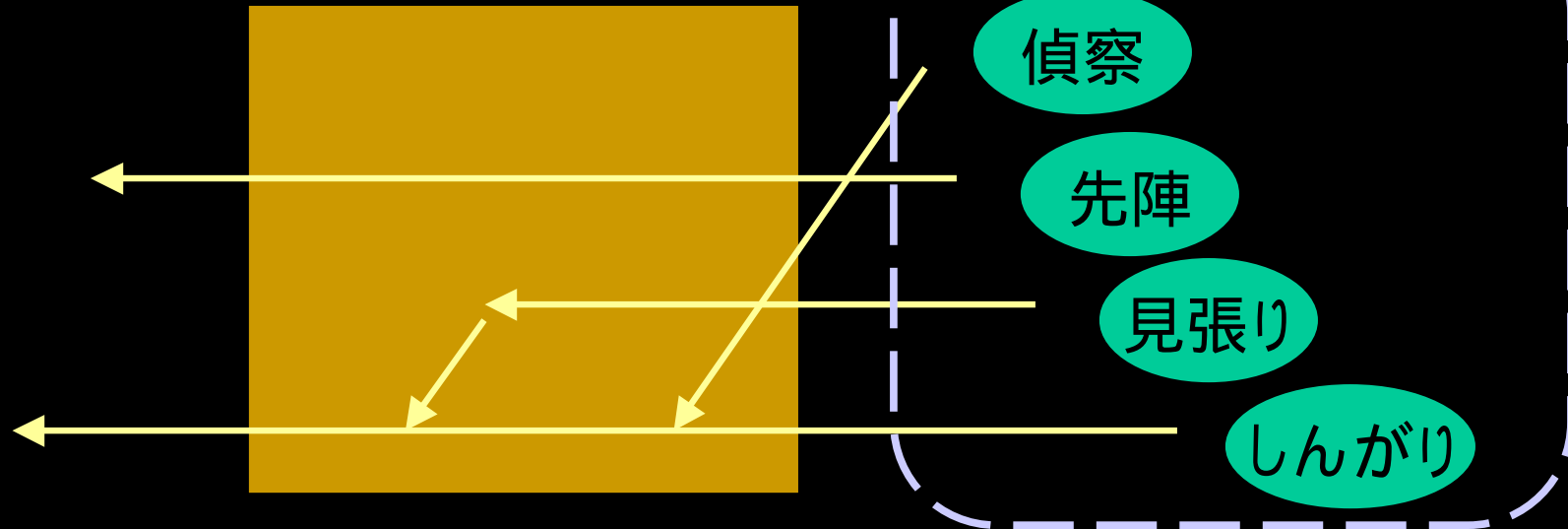
# チンパンジーの群れの協調行動



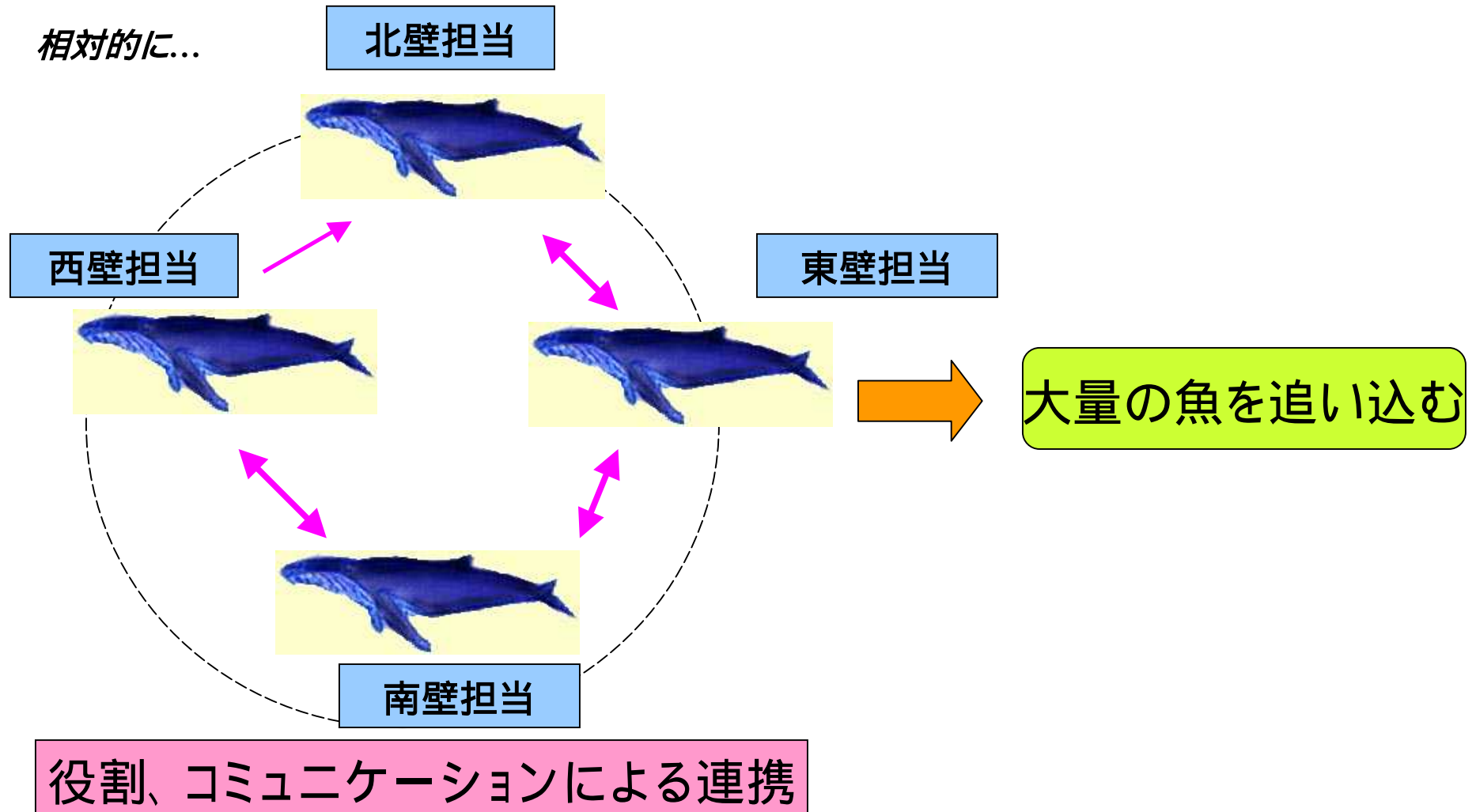
京都大学霊長類研究所 松沢哲郎所長・教授らの研究グループ

「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](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



# 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	=	AAABCBCEDEFFDEDEFFGGGGGG
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。

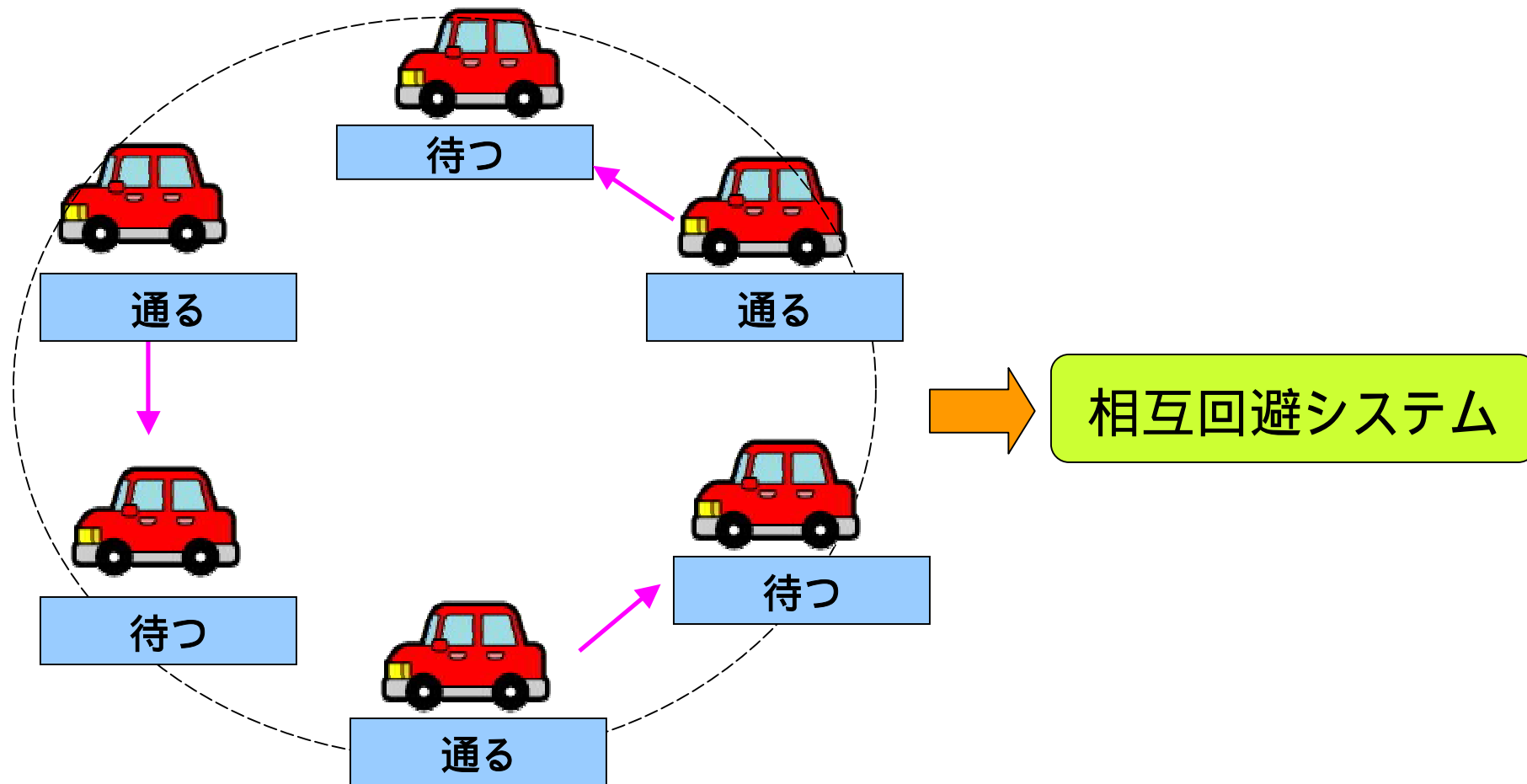
Bubble Net Fishing

[http://echeng.com/journal/images/misc/060705\\_095108\\_echeng3649.jpg](http://echeng.com/journal/images/misc/060705_095108_echeng3649.jpg)

[http://yourvideo.heteml.jp/detail.php?id=pxpK\\_UfMDDY](http://yourvideo.heteml.jp/detail.php?id=pxpK_UfMDDY)



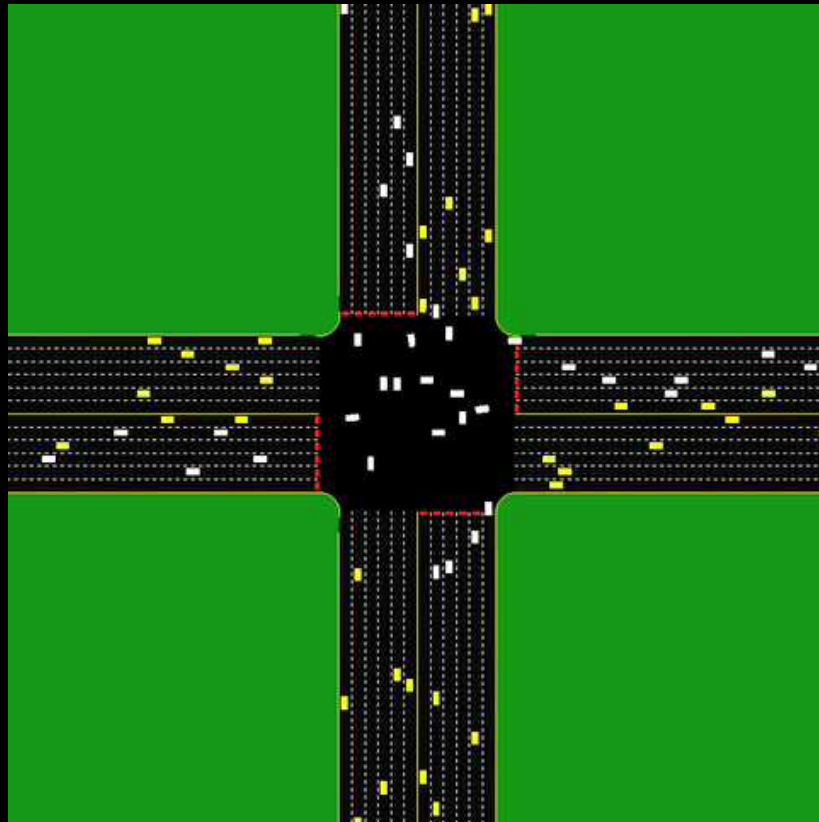
# マルチエージェント(例) 交通シミュレーター



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

The Autonomous Intersection Management project  
<http://www.cs.utexas.edu/~kdresner/aim/>

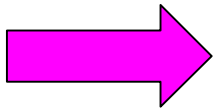
二つの役割をコミュニケーションにより動的に規定

# 第1章まとめ

- (1)「集団の知能」とは、各AIの知能を連携させて全体としての新しい知能を生み出すこと。
- (2)「集団としての知能」には、簡単な機能しか持たないAIを連携させる「群知能」の方法と、役割を果たすことが出来るエージェントを連携させる方法がある。
- (3)何れも、人間は自然界から引き出した方法であり、多くの具体例やシミュレーションが存在する。

# 「集団の知能」ゲームへの応用

「群知能」「マルチエージェント」共に、  
ゲームへの応用は多くはなく、かつ、  
本格的な導入というのは殆どない。



何故？

# 何故、ゲームへの応用が少ないのか？

- (1) 一体のAIなら、力技でなんとか作ることが可能。  
集団全体の知性は誤魔化せない。

→ 真正面からAI技術が必要とされる

- (2) 技術が多岐に及び、どれを使っていいかわからない。

→ ゲーム向けの情報の不足

- (3) その技術の調整の仕方がわからないので、して行け  
最後まで作り込めるか不安である。

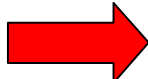
→ ゲーム開発におけるノウハウが少ない


ゲームAIにおけるこれからのフロンティア

# 「集団の知能」はゲームに何をもたらすか？

## 群知能

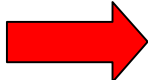
自然の世界を再現


 リアリティのあるAI

 第2章

## マルチエージェント

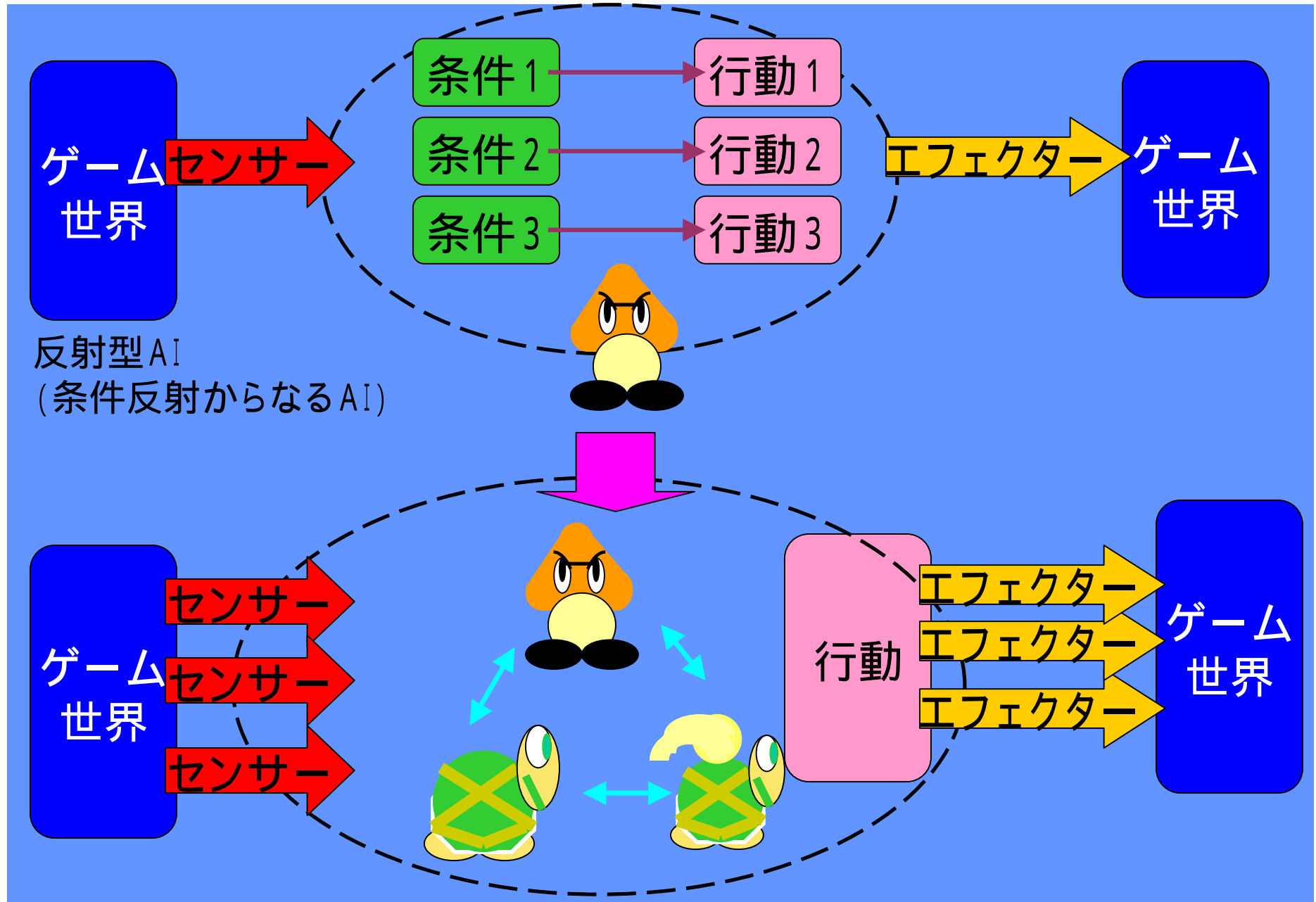
人間に近い連携の仕方を取るAI

 敵、見方、プレイヤーに近い位置で  
チームを組めるAI

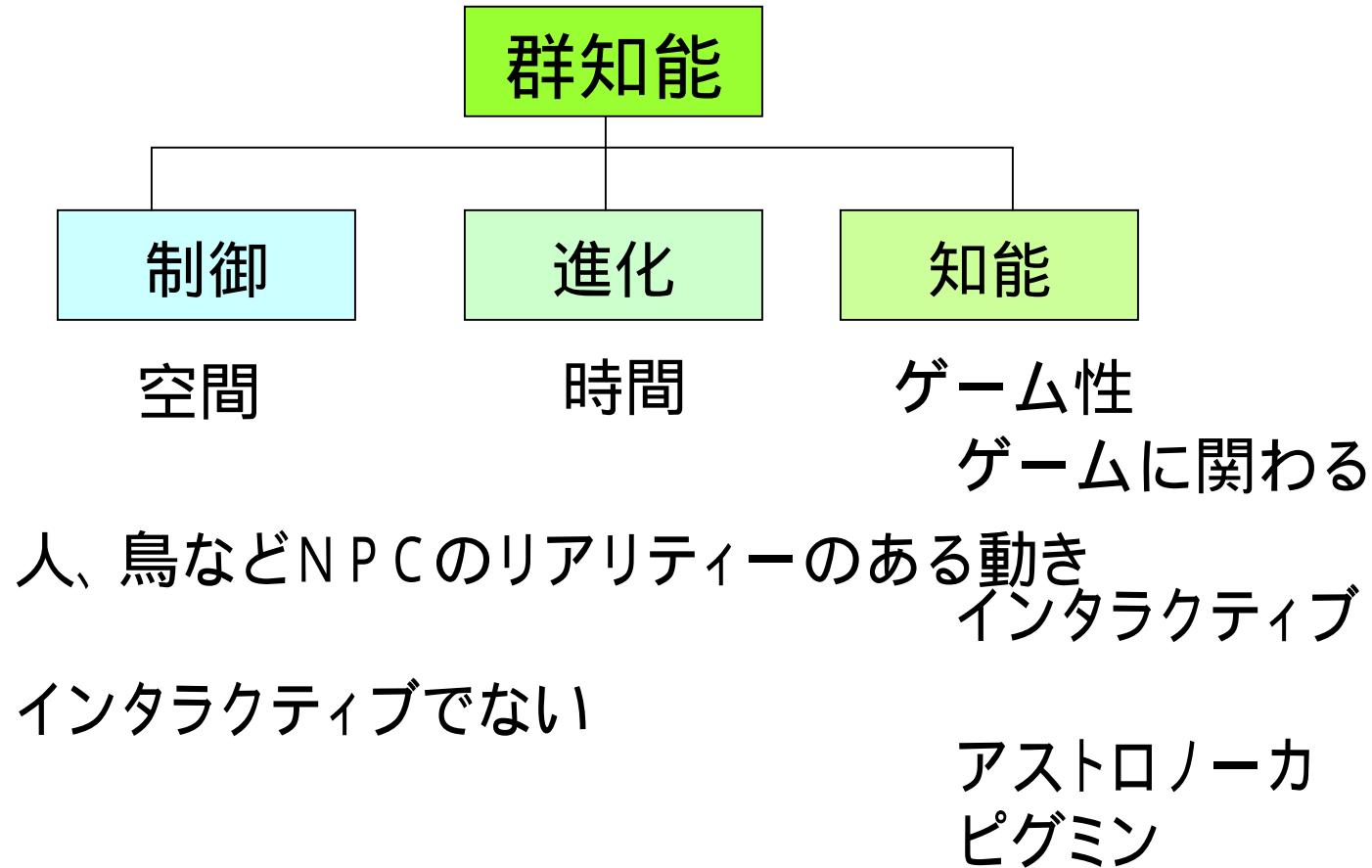
 第3章

## 第2章 群知能の方法

# 「群知能の方法」 構造図



# 群知能のゲームの応用

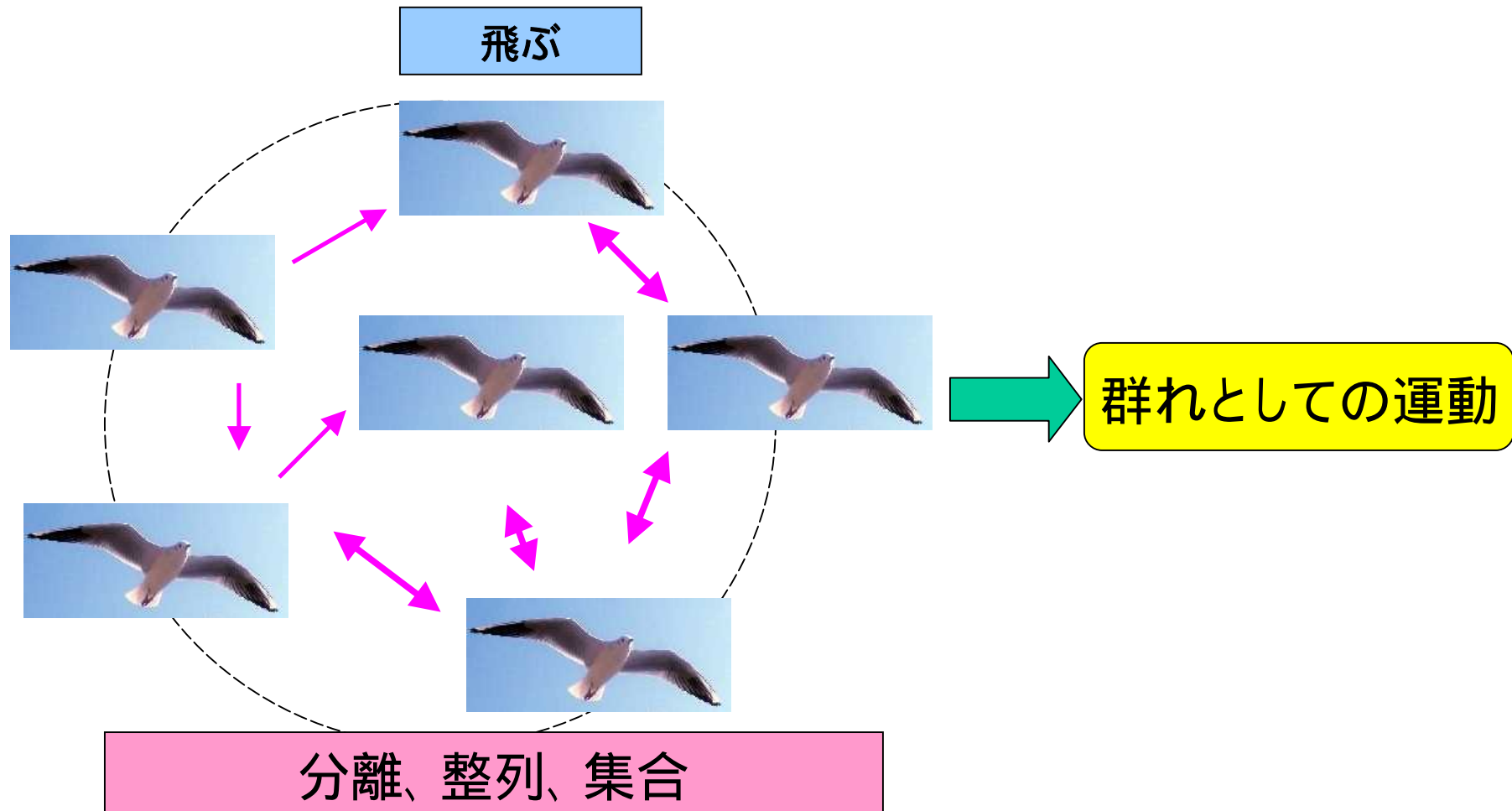




群知能の方法

群制御

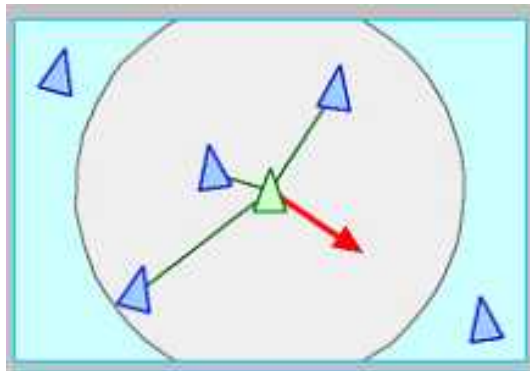
# 群知能(例) 群制御の方法



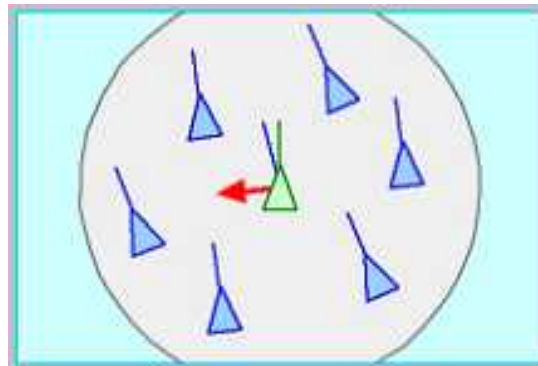
# 群知能(例) 群制御の方法

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)

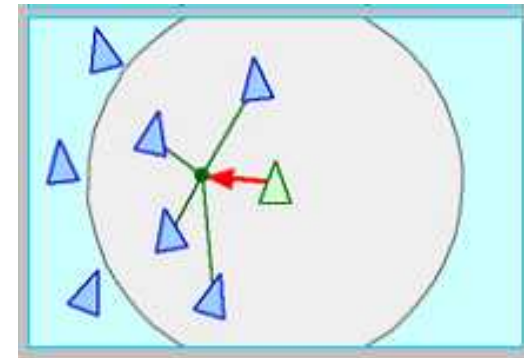
## 分離、整列、集合



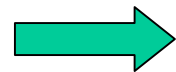
分離(Separation)



整列(Alignment)



集合(Cohesion)

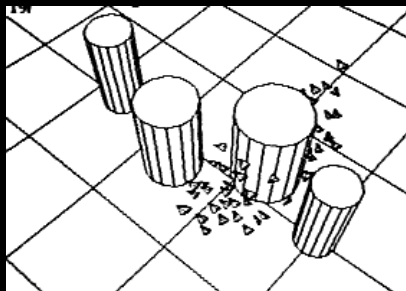


鳥、蟻、人間の群集への応用

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

# 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

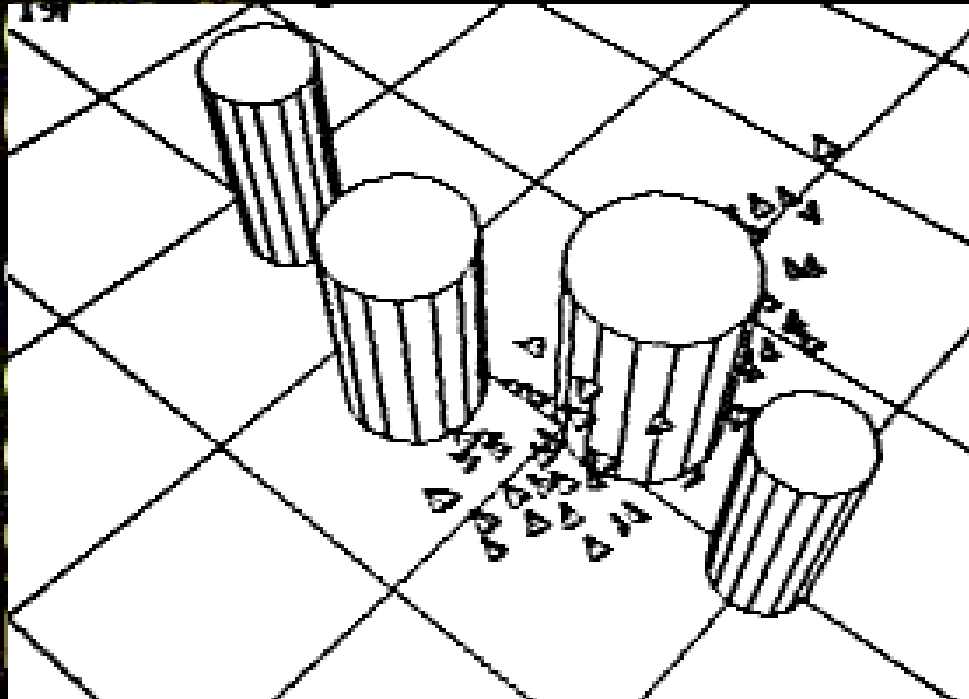


Stanley and Stella in: Breaking the Ice (1987)



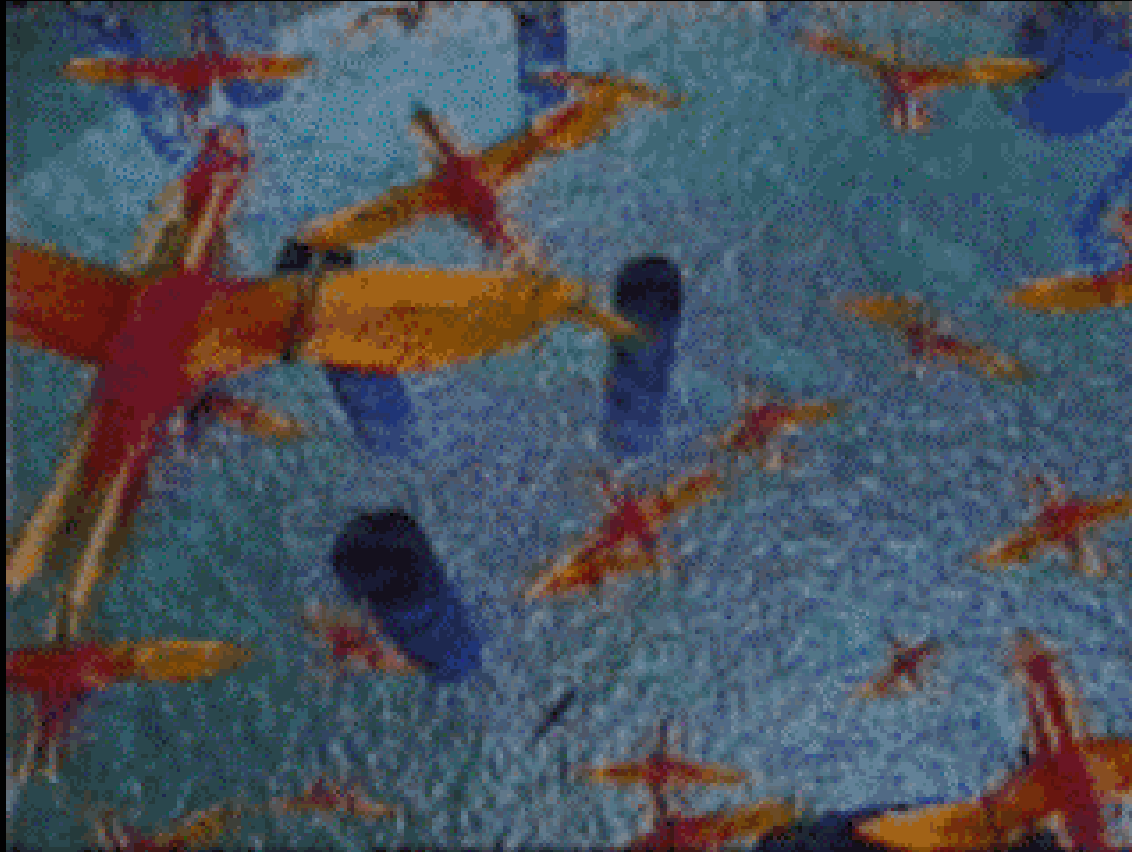
2002

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/>

# 群知能の方法

# 群制御 まとめ

- (1) 群制御は、自然界の生物の動きをシミュレーションする。
- (2) ゲームにおいては、リアリティーのあるNPCたちを作るのに役立つ。

群知能の方法

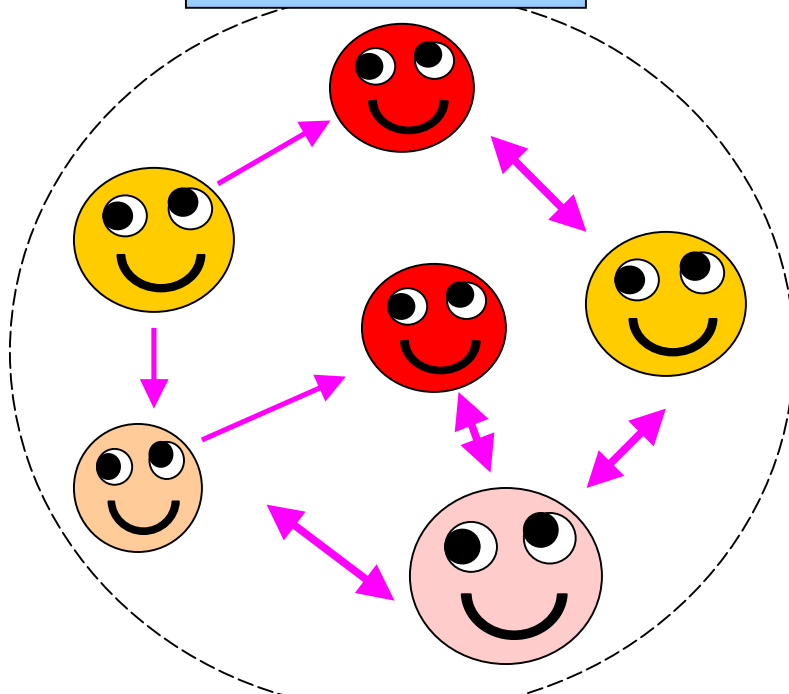
進化

# アストロノーカ (1998, muumuu)

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



遺伝的アルゴリズム



<http://www.muumuu.com/games/astro/>

進化

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>

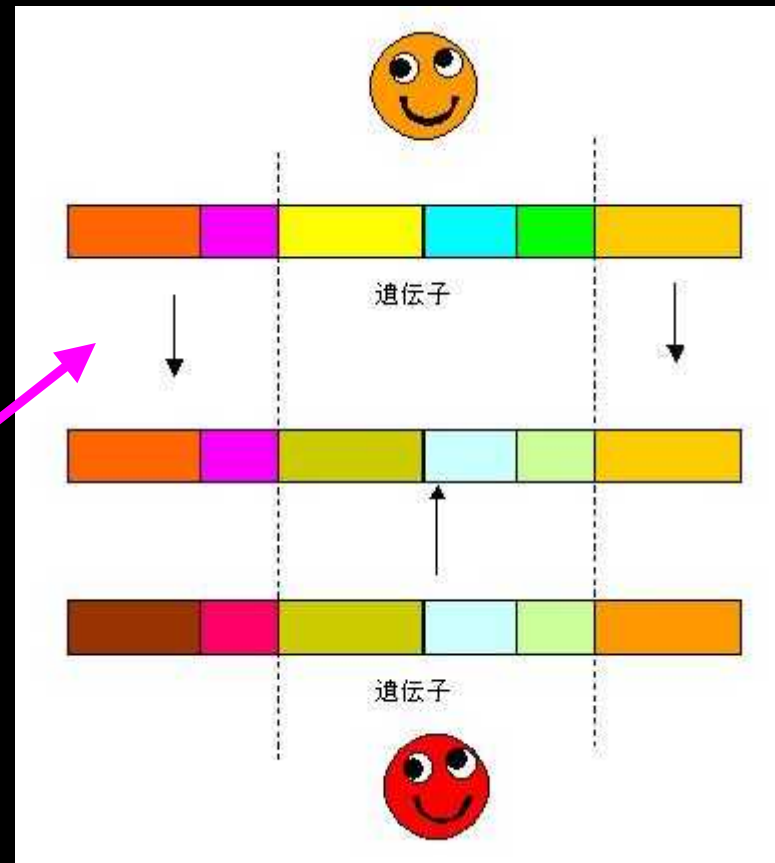
[CEDEC 2008 # 08] 生き物を相手にするようなゲームを作る～遺伝的アルゴリズム (4gamers)

<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	



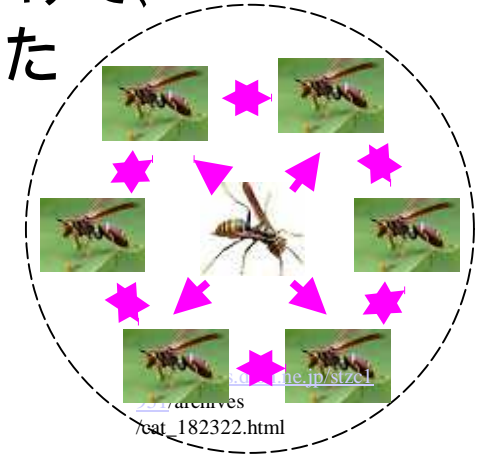
群知能の方法

群知能

# 「群知能」のゲームにおける位置

## 自然

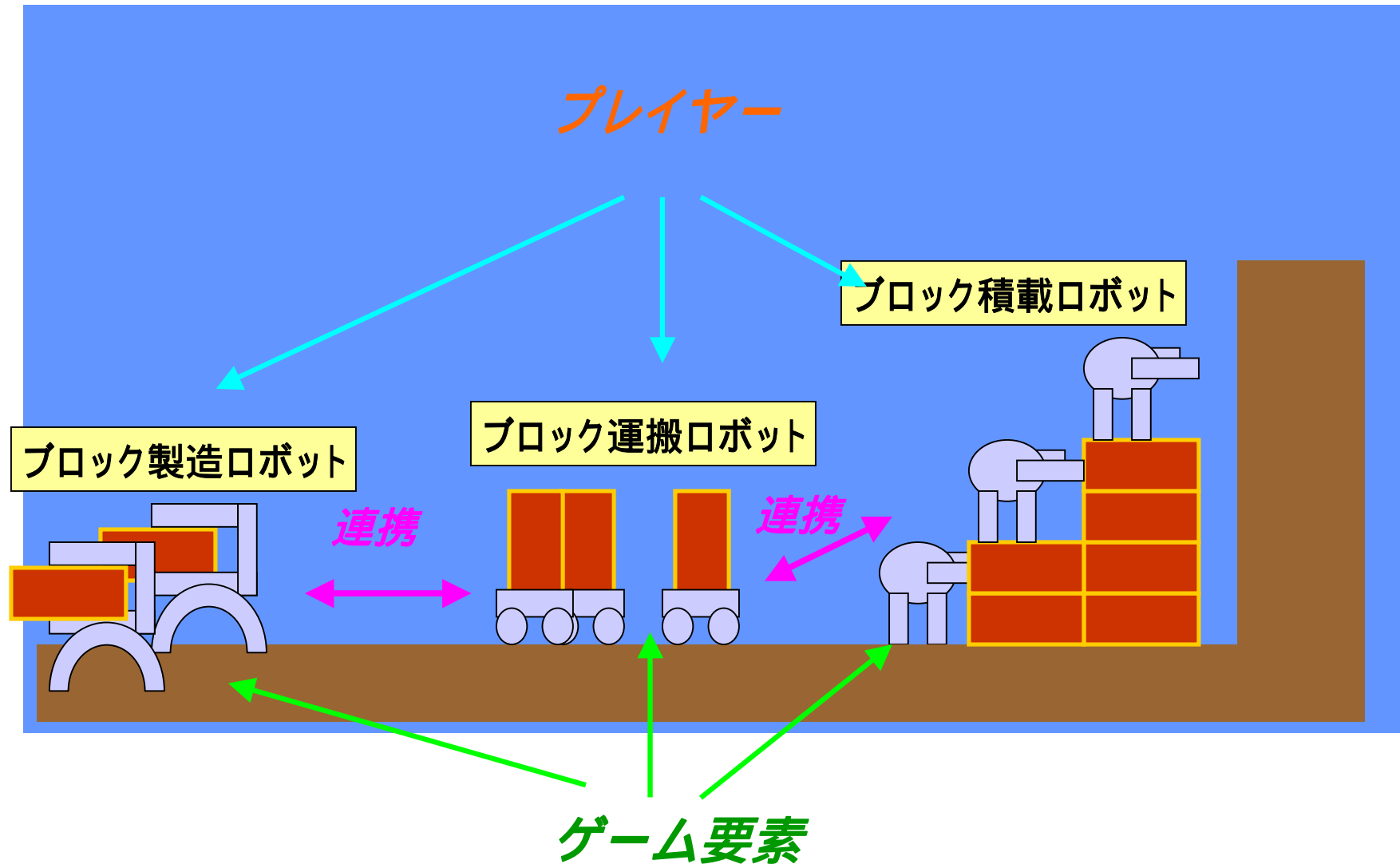
自然界において「群知能」は長い時間をかけて、偶然と必然によって**自然** が作り出していた



## ゲーム

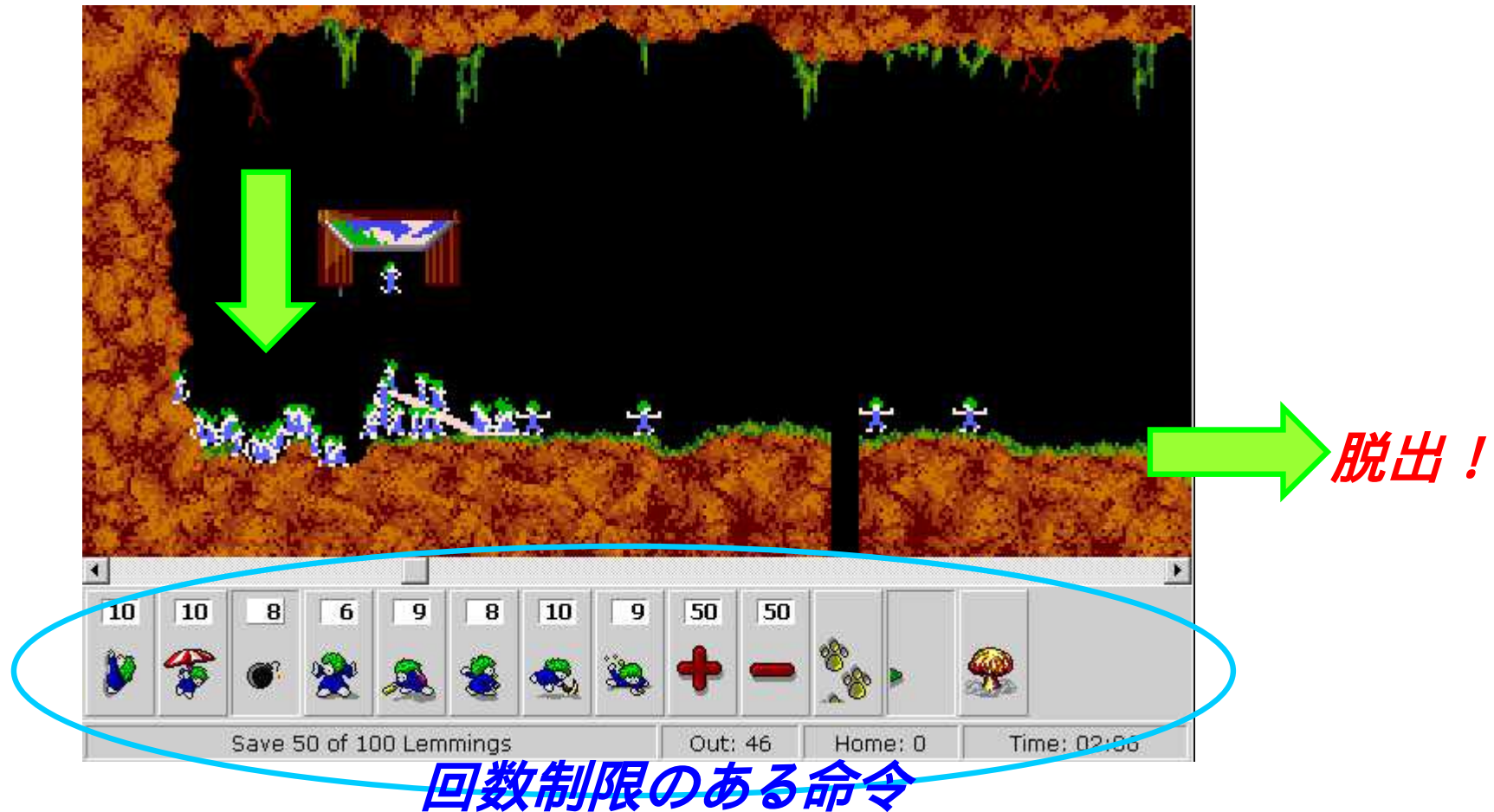
ゲームでは群知能を生み出す立場に **プレイヤー** を置く。

# 小さなロボットを使って連携させる





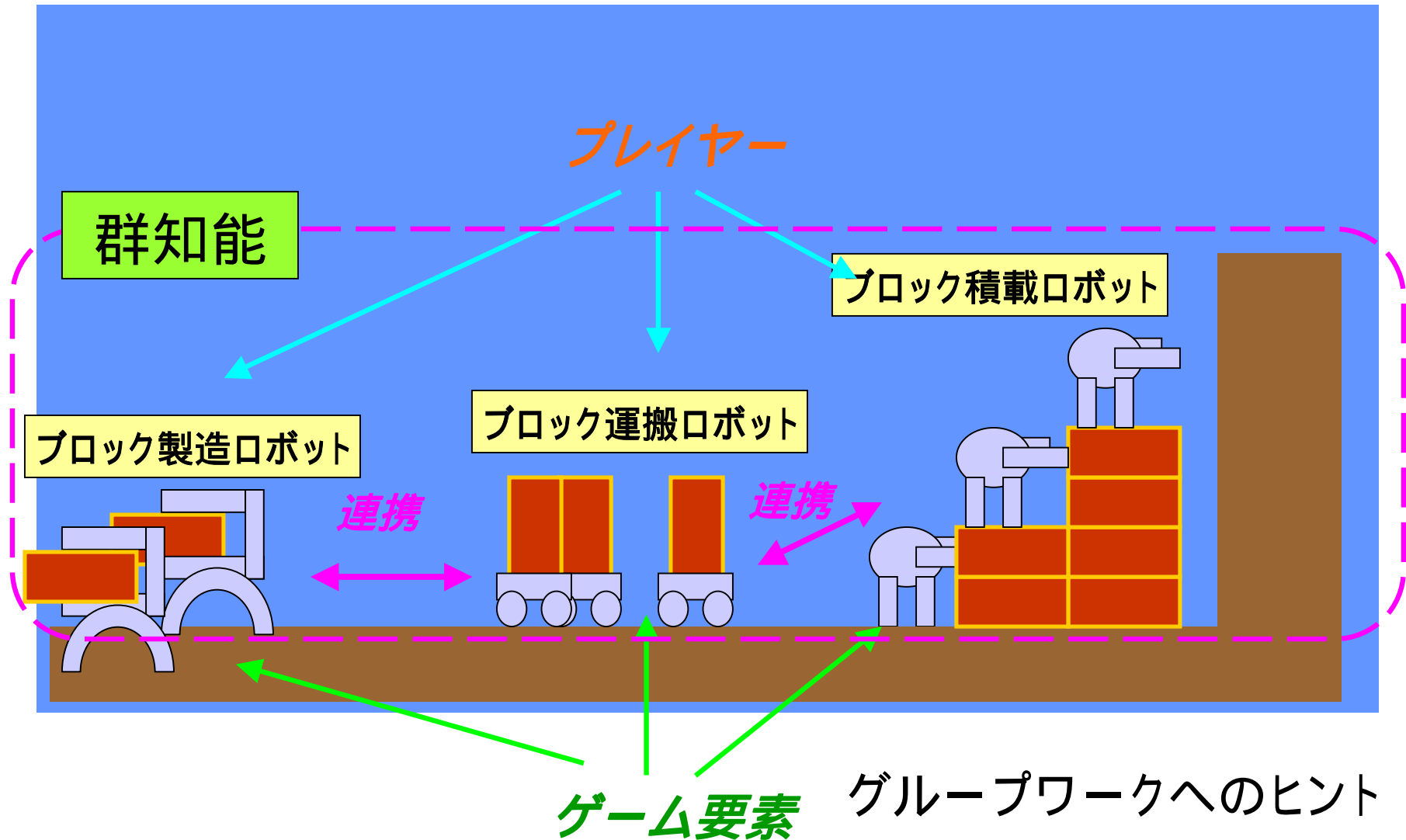
# レミングス (1991,DMA Design)



レミングスは群知能か？ → 群知能ではない！

なぜ？ → 自分たちだけで協調していない。

# 小さなロボットを使って連携させる



# ピクミン (2001,NINTENDO)



ピクミンは群知能か？



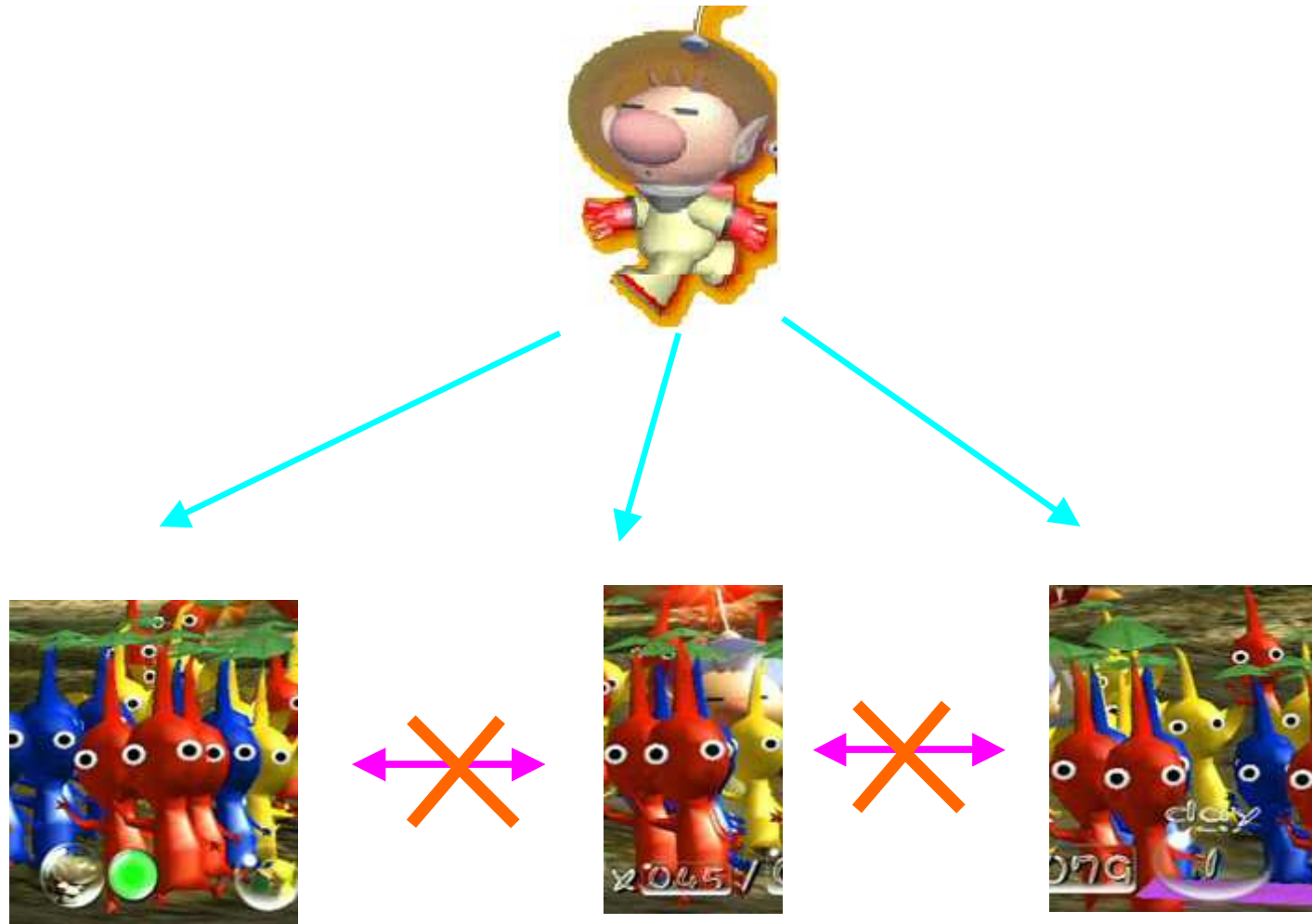
群知能ではない！

なぜ？



自分たちだけで協調していない。

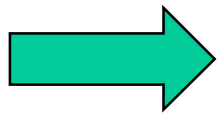
# ピクミンとオリマー(プレイヤー)



惜しい!

# 「群知能」を使ったゲームを探す

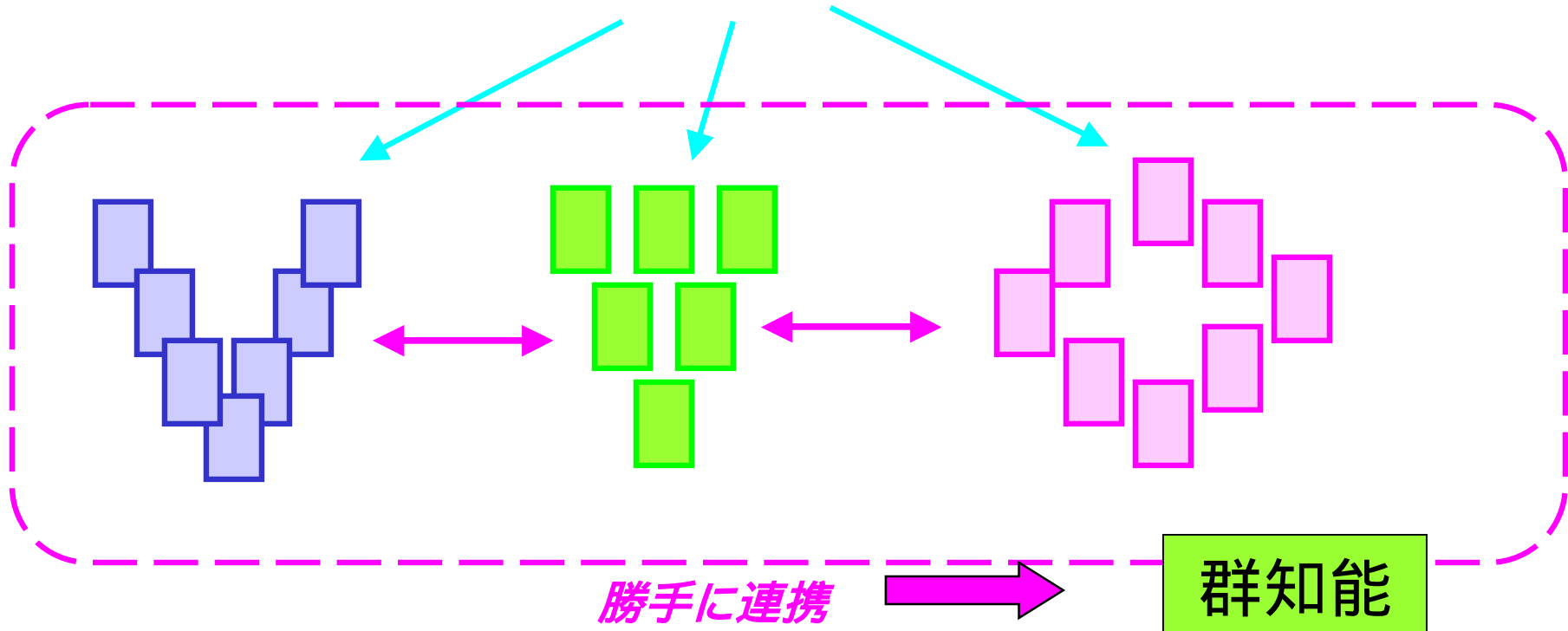
プレイヤーが幾つかの集団に命令を出して連携させるゲーム



プレイヤーの手の届かないところで、勝手に連携されては困る

# 戦略シミュレーションゲーム

プレイヤー



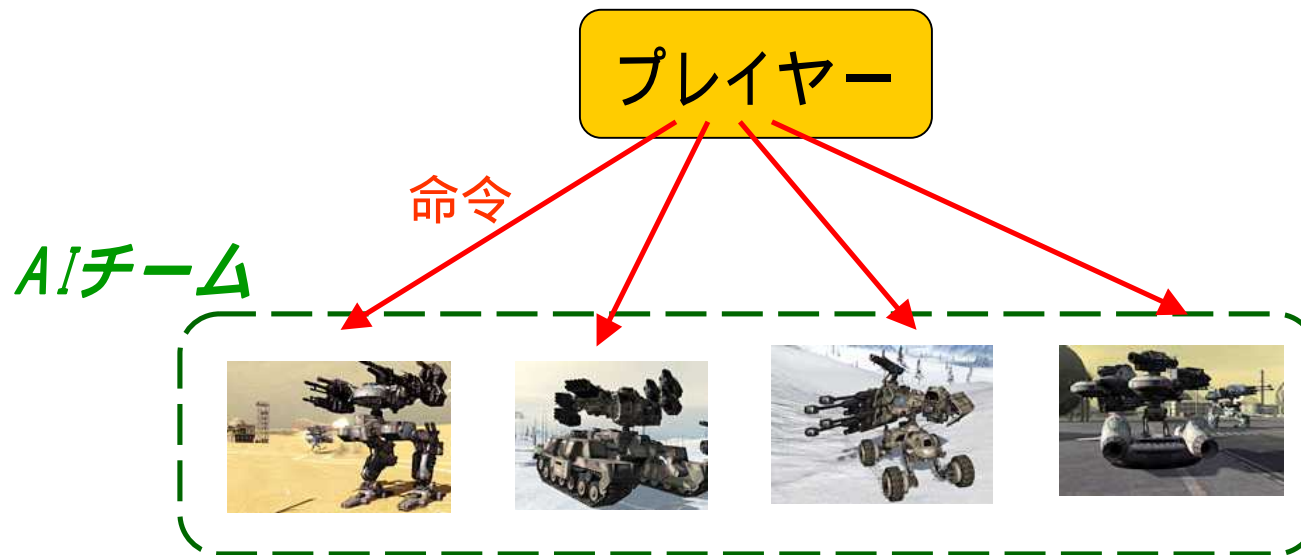
それはゲームとして成立するのか？

無意識のうちにゲーム開発者が拒否

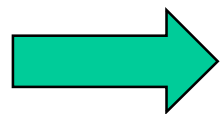
群知能は知らないうちに開発の盲点となる

# クロムハウন্ズ (2006, Fromsoftware)

## オフライン コマンダーミッション



自律性を抑える  
連携はなし



AIが勝手にミッションをクリアしては困る

ゲームというのは、必ずプレイヤーによって決着せねばならない



# Populus → ブラック アンド ホワイト ゴッドゲーム

N P C は単純な行動しか出来ない。

レミングスの逆 **単純なAIたちが連携できるように障害をなくす**



ブラック アンド ホワイト  
は群知能か？



？

なぜ？ →

？



# 群知能まとめ

- (1) 群制御は、ゲームにおいては、リアリティーのあるNPCたちを作るのに役立つ。
- (2) (群)進化もまた群知能の一つと捉えることが出来る。
- (3) 群知能は、ゲームにおいて近い応用がされながら、本質的には取り入られていない。

# 第1部 ゲームAI 技術解説(90分)

## 全体マップ

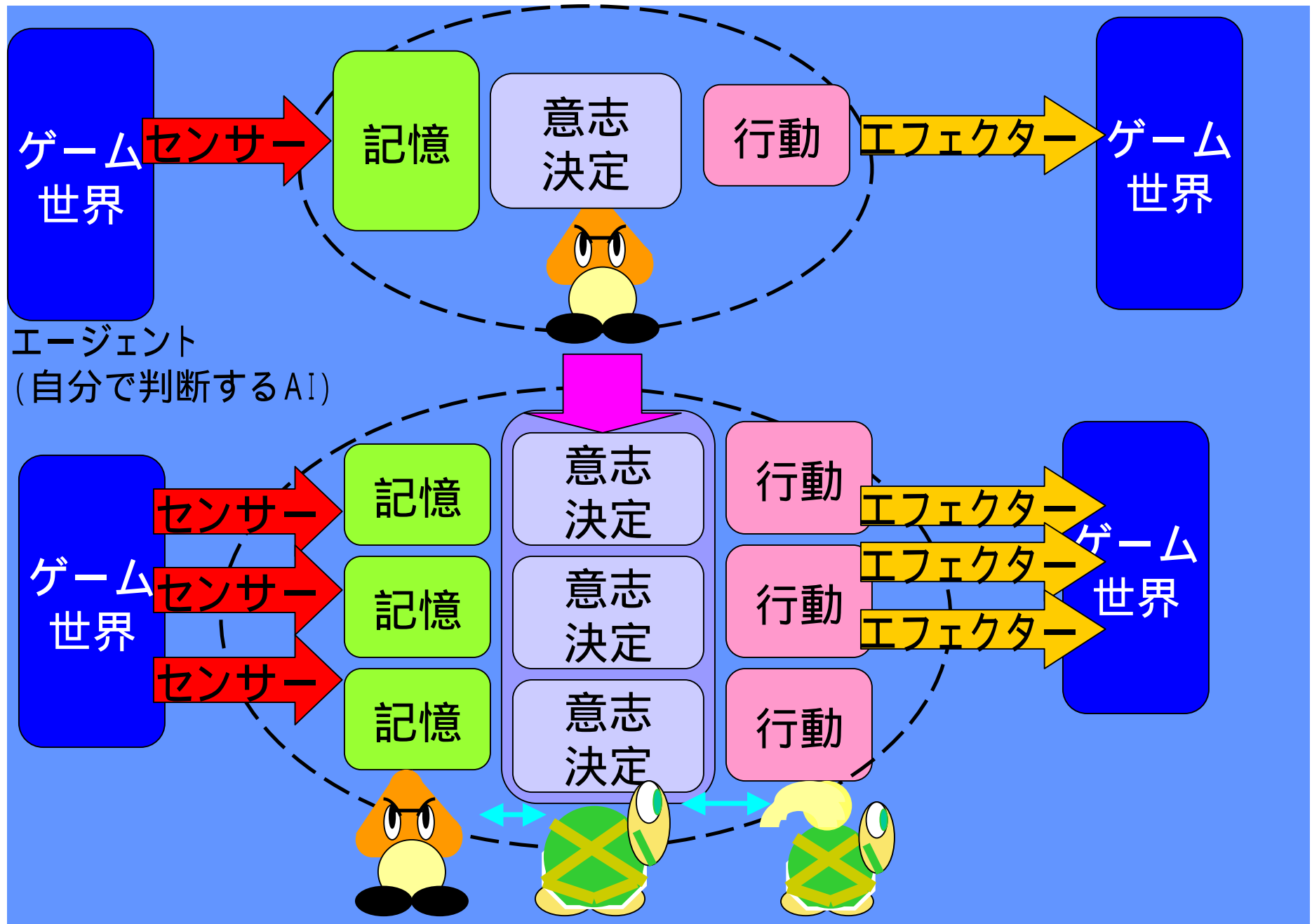
第1章	集団における知性 概論	(20分)
第2章	群知能の方法	(30分)
第3章	クロムハウズにおけるマルチエージェント技術	(30分)
第4章	発展	(20分)

## 第3章

# クロムハウন্ズにおける マルチエージェント・システム

(ゲームAI連続セミナー第2回の資料を先に読まれることをお勧めします)

# 「マルチエージェントの方法」



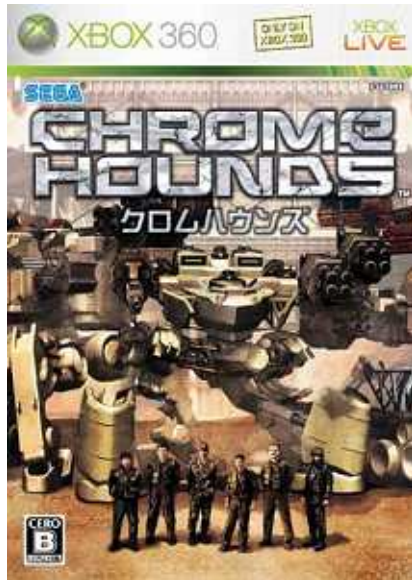
# クロムハウズ紹介



クロムハウズ デモ

# クロムハウন্ズ

発売元                   : セガ  
デザイン                : フロムネットワークス  
開発元                  : フロムソフトウェア



2006年6月、世界7カ国で、同時発売

(C) SEGA Corporation / FromNetworks, Inc. / FromSoftware, Inc. , 2006

# クロムハウন্ズはどんなゲームか？

## 基本設定:

- (1) オンライン
- (2) アクション
- (3) 勝利条件
- (4) スカッドと呼ばれるチームをベース
- (5) 80を超える複雑なマップ
- (6) コミュニケーションのシステム
- (7) 戦略の重要性

Multiplayer Online Battles on Xbox 360

詳細





## (1) オンライン



オンラインでチーム同士で戦う

## 基本設定

### (2) アクション



基本はメカ対メカのアクションゲーム

## 基本設定

### (3) 勝利条件



15分以内に、敵全員を殲滅するか、敵本拠地を破壊！

時間切れの場合は、コムバス占拠数がより多い側が勝者！



## (4) スカッドと呼ばれるチームをベース



最大6人のプレイヤーがスカッドとなって、一度に同じ戦場に出ることができる。

## (5) 80を超える複雑なマップ



市街、山岳、さばく、河、湖、海など、  
多岐に渡る80以上のマップ  
ハウন্ズは15mのスケール、マップは3km四方

## (6) コミュニケーションのシステム



コムバス(通信塔)を占拠してネットワーク領域を作り、  
初めてチームメンバーと通信可能！  
コムバスをどう取るか、  
敵、味方の情報をどう伝えるか、の情報戦だ！





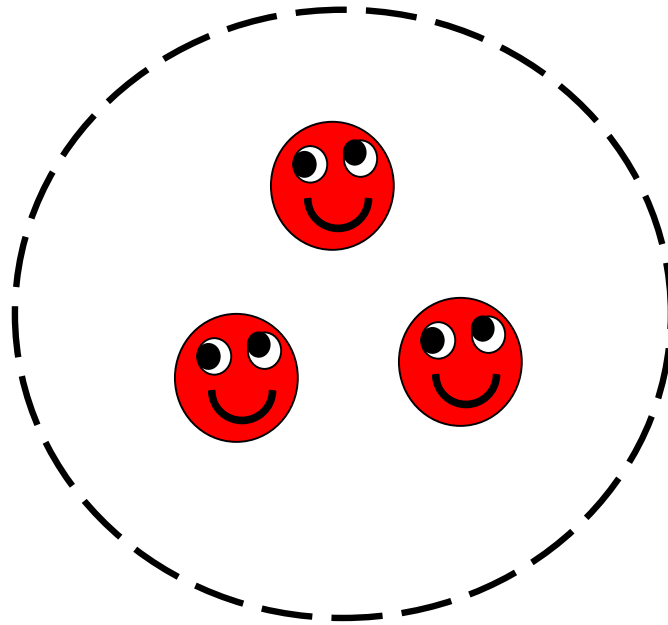
各プレイヤーは、広大なマップを15分間、  
敵を予測して、戦略を立てなければならない。  
接近戦だけで、勝敗はつかない

# COM への要求

クロムハウズで、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



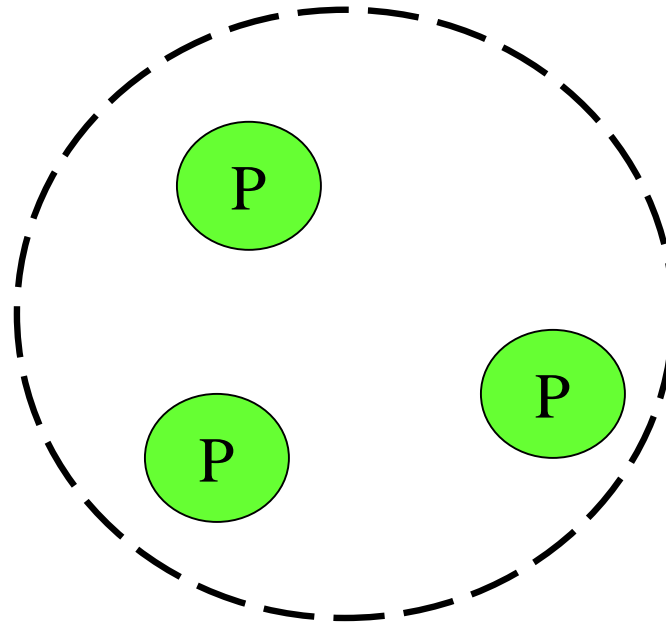
# クロムハウズAIの目指したもの



協調するAI

だけでもない。

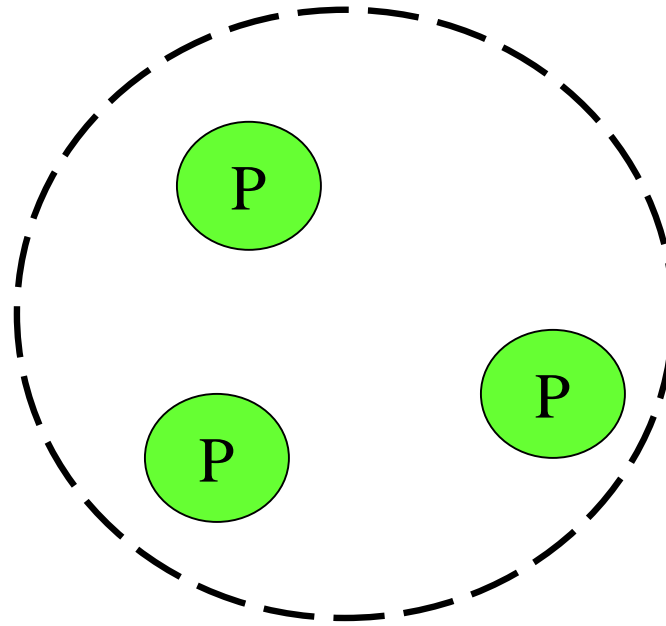
# クロムハウズAIの目指したもの



協調するプレイヤーたち

だけでもない。

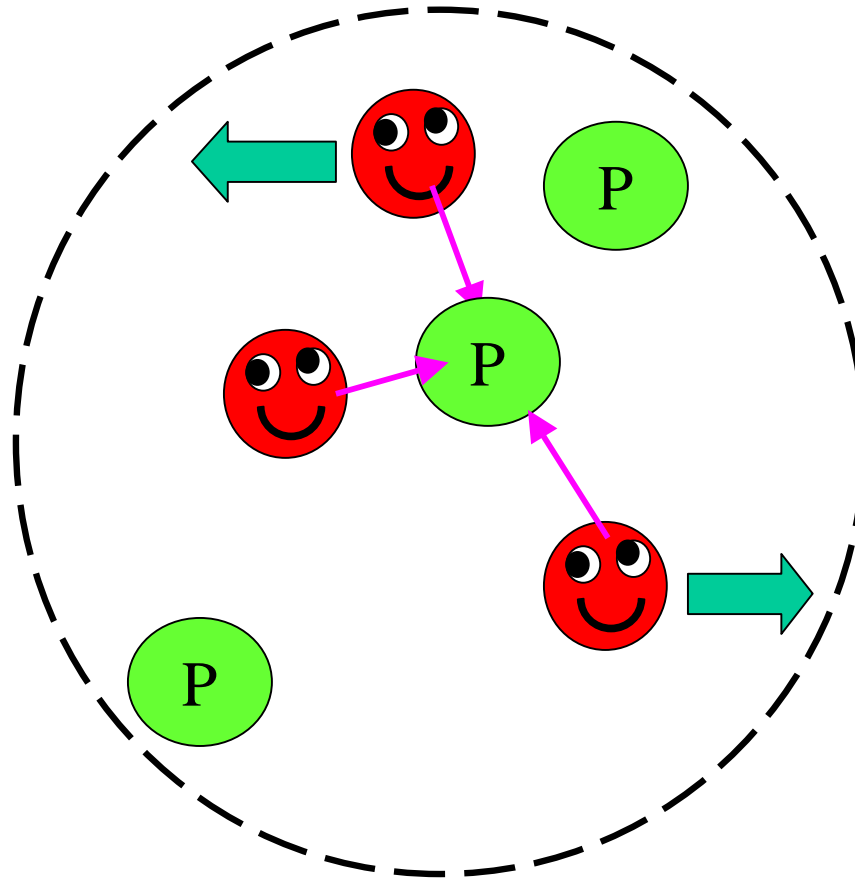
# クロムハウズAIの目指したもの



協調するプレイヤーたち

だけでもない。

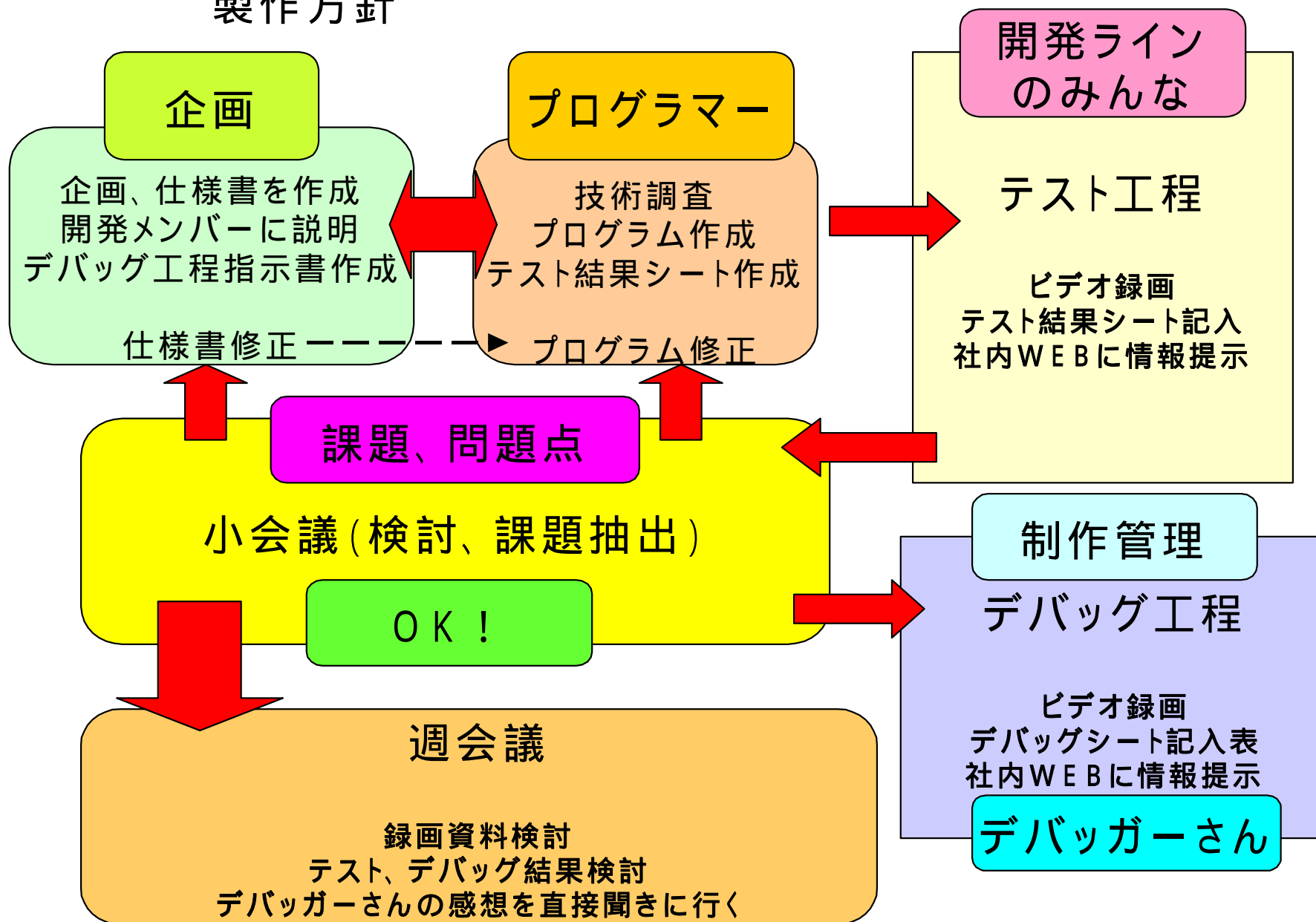
# クロムハウズAIの目指したもの



プレイヤーたちとAIたちが対等に争いながら競合する  
新しいゲーム空間を創造したい

そのために、人間のチームから学べるものは全て学び、AIに実装する

## 製作方針



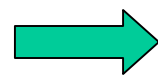
# マルチエージェント・システムの作り方

## 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

復習

# プランニングとは？

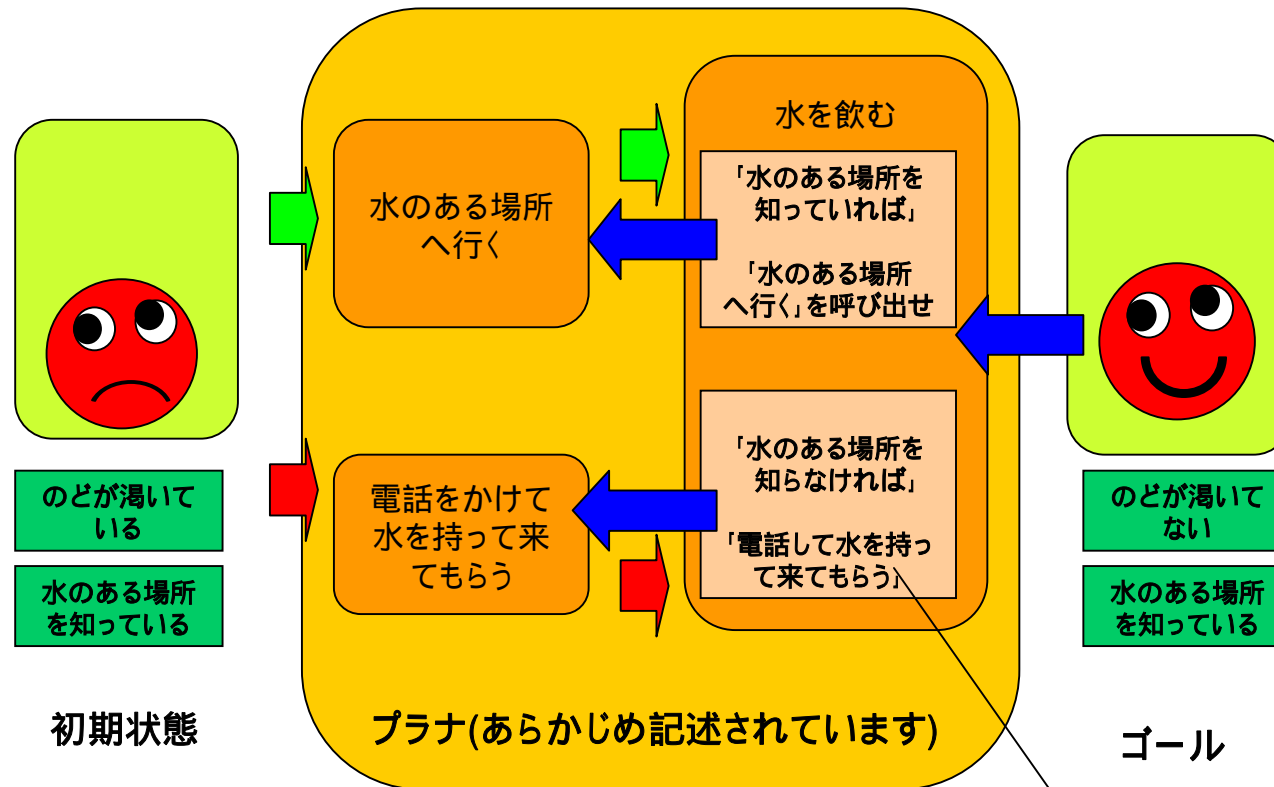


基本概念： 初期状態      ゴール      プラナー



## 人手による方法

# 行動の間の呼び出しを定義



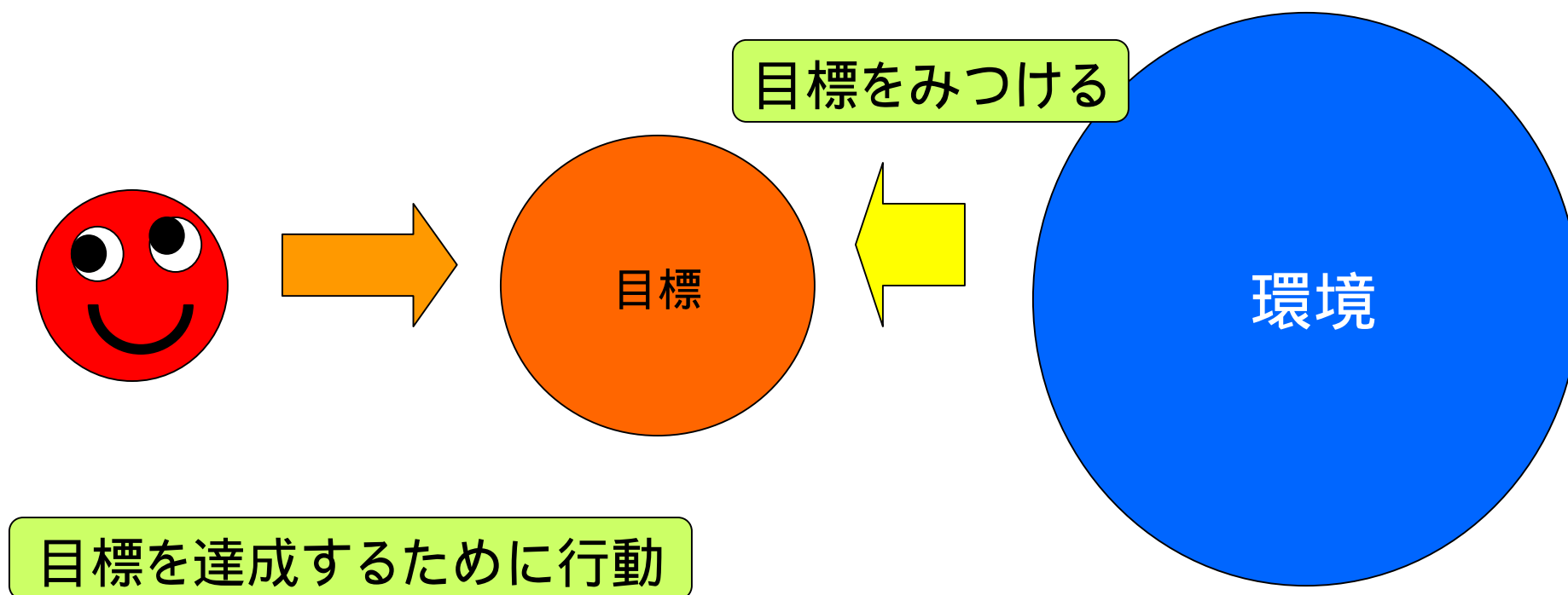
# ゴール指向とは？

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

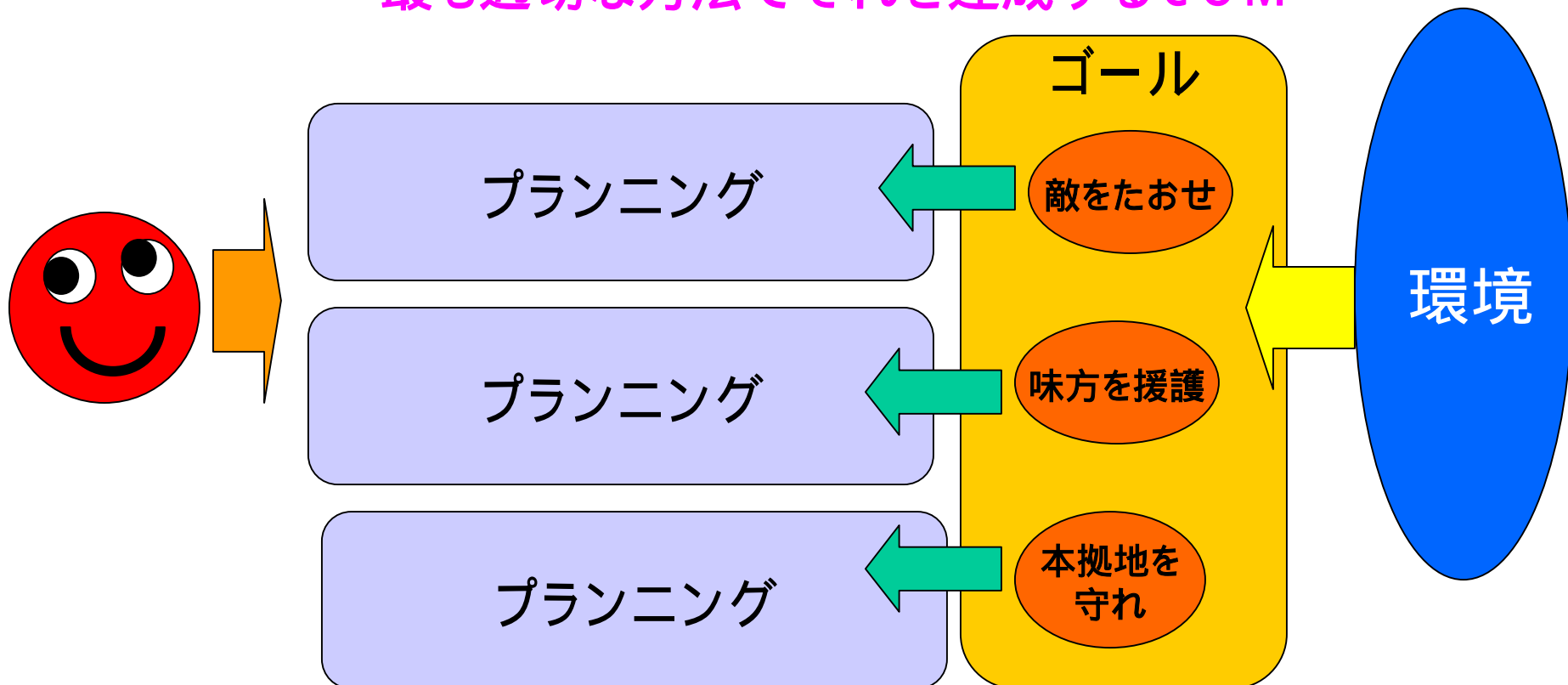
複数のゴール × プランニング

多数の目的

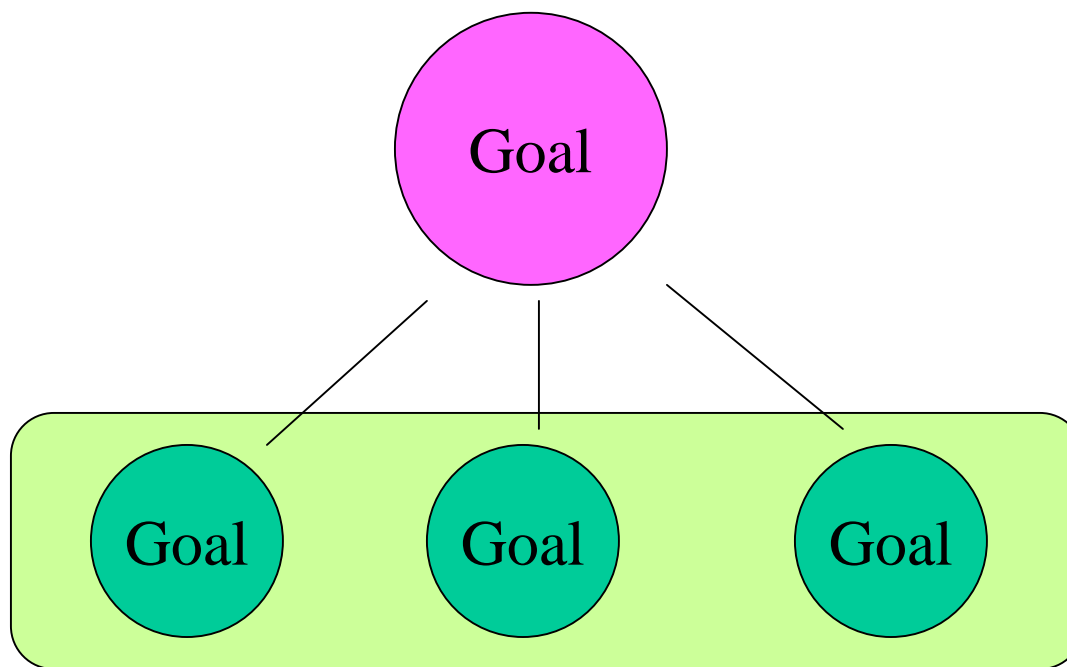
目的に対する多様な行動

=

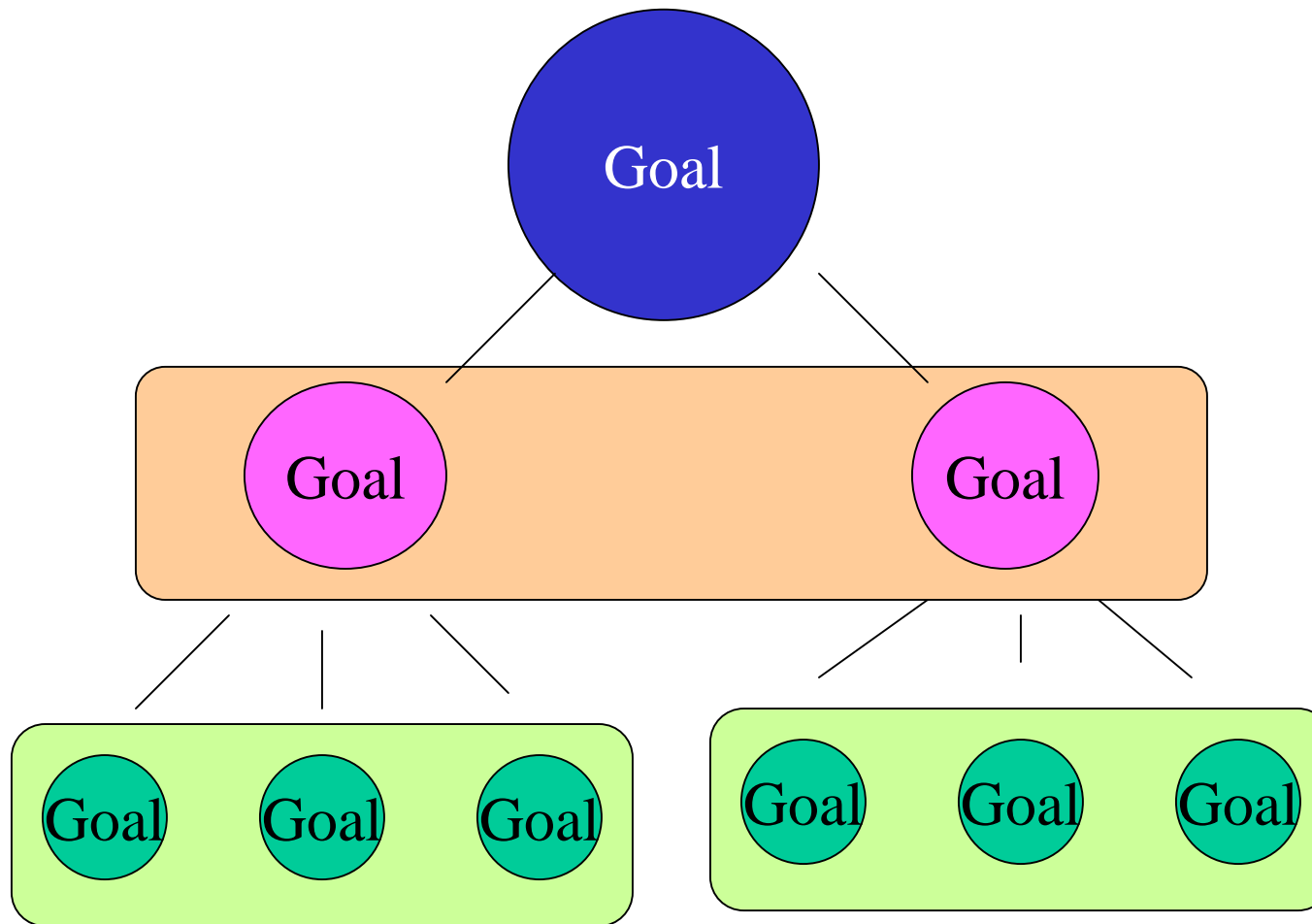
ゲーム状況から、為すべきことを判断し、  
最も適切な方法でそれを達成するCOM



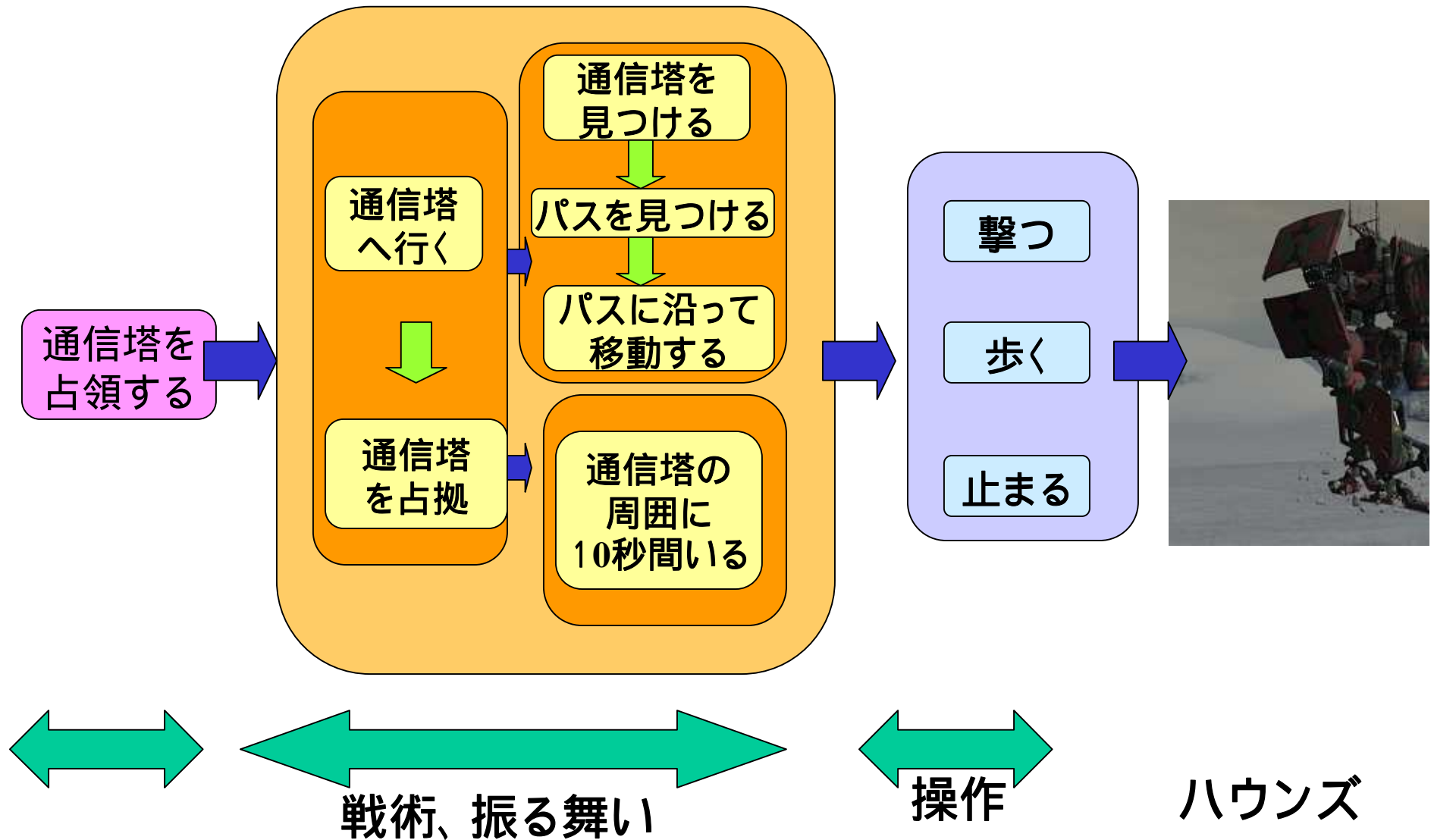
一つのゴールはより小さなゴールから組み立てられる



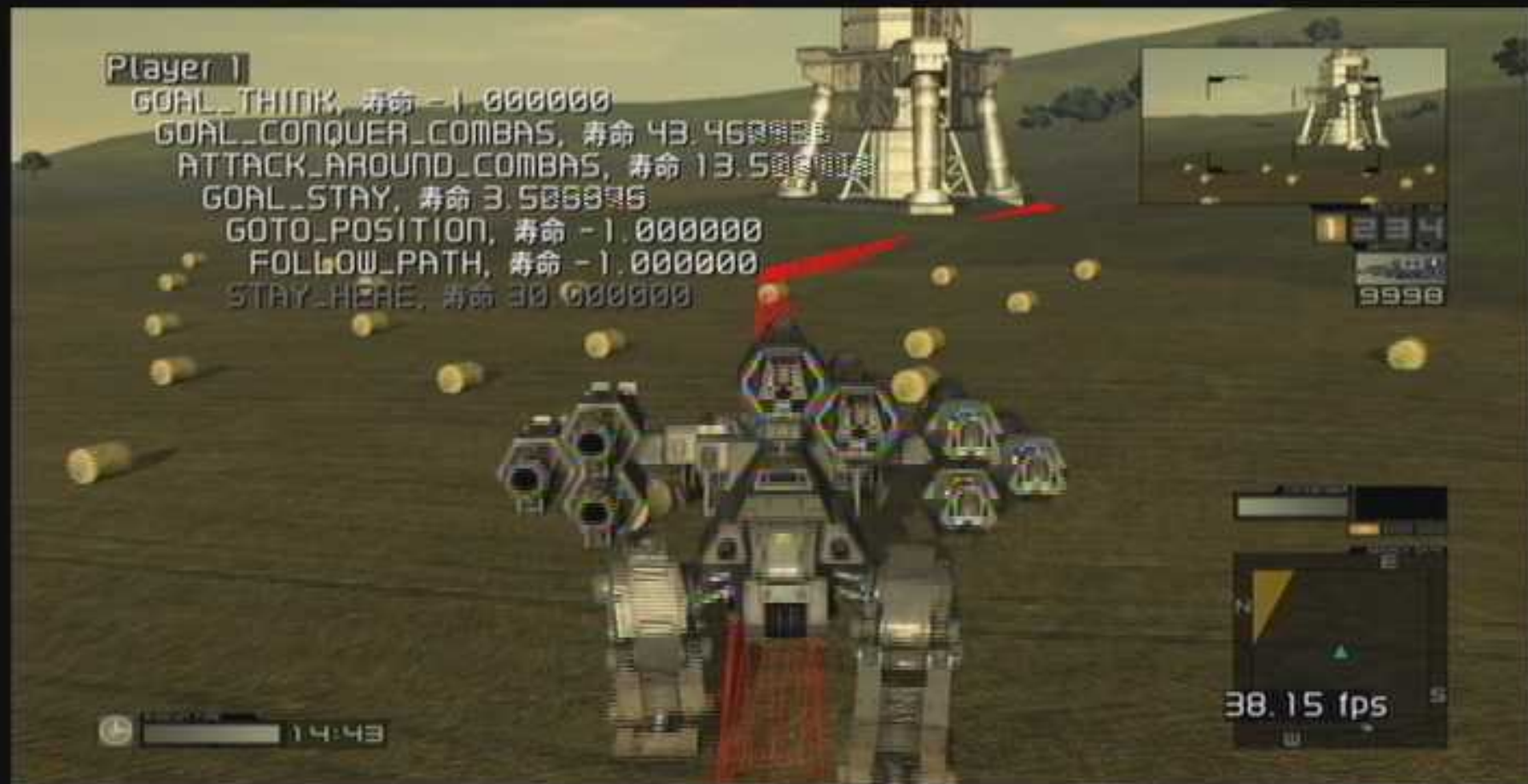
ゴールはより小さなゴールから組み立てられる



# クロムハウنزにおける ゴール指向型プランニング



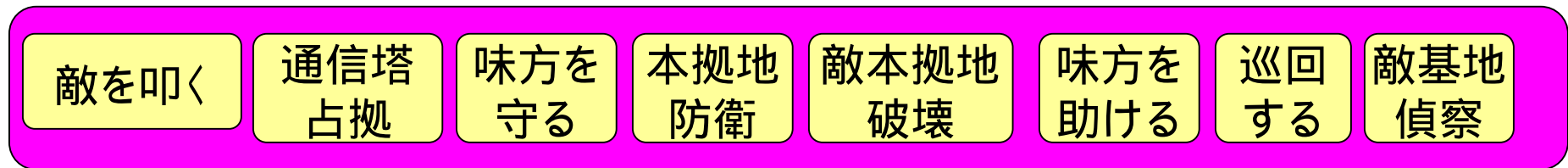
# ゴール指向プランニングによって 通信塔を占拠するデモ



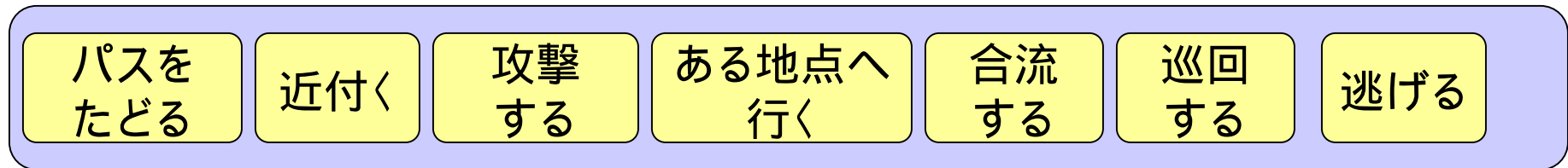
左上は階層型プランニングのゴール表示

# クロムハウنز 最終的なゴール総合図

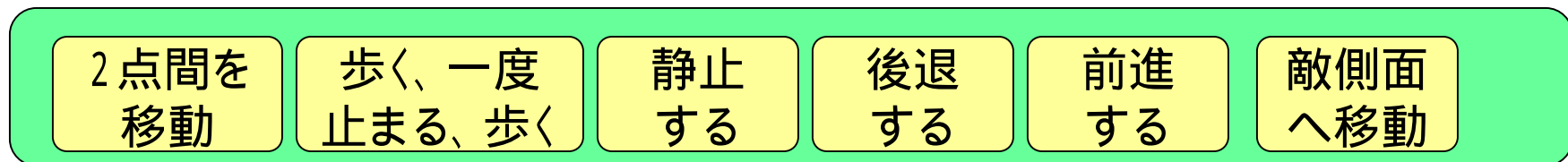
## 戦略層



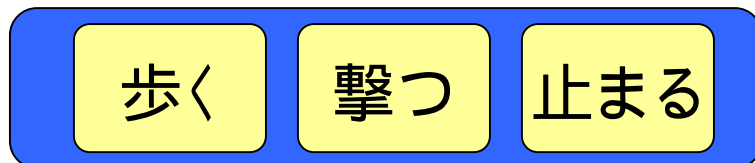
## 戦術層



## 振る舞い層



## 操作層





# 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

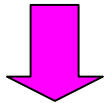
個としてのAIを自律した知性として作る

# クロムハウズAI コンセプト

人間の心理的な葛藤を人工知能に取り込む

人間

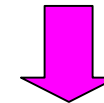
「常に複数の欲求を持ち、知能がその内から最適な行動を選択する」



AI

複数のゴール

ゴールを選択する意思決定機構



# クロムハウنز 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

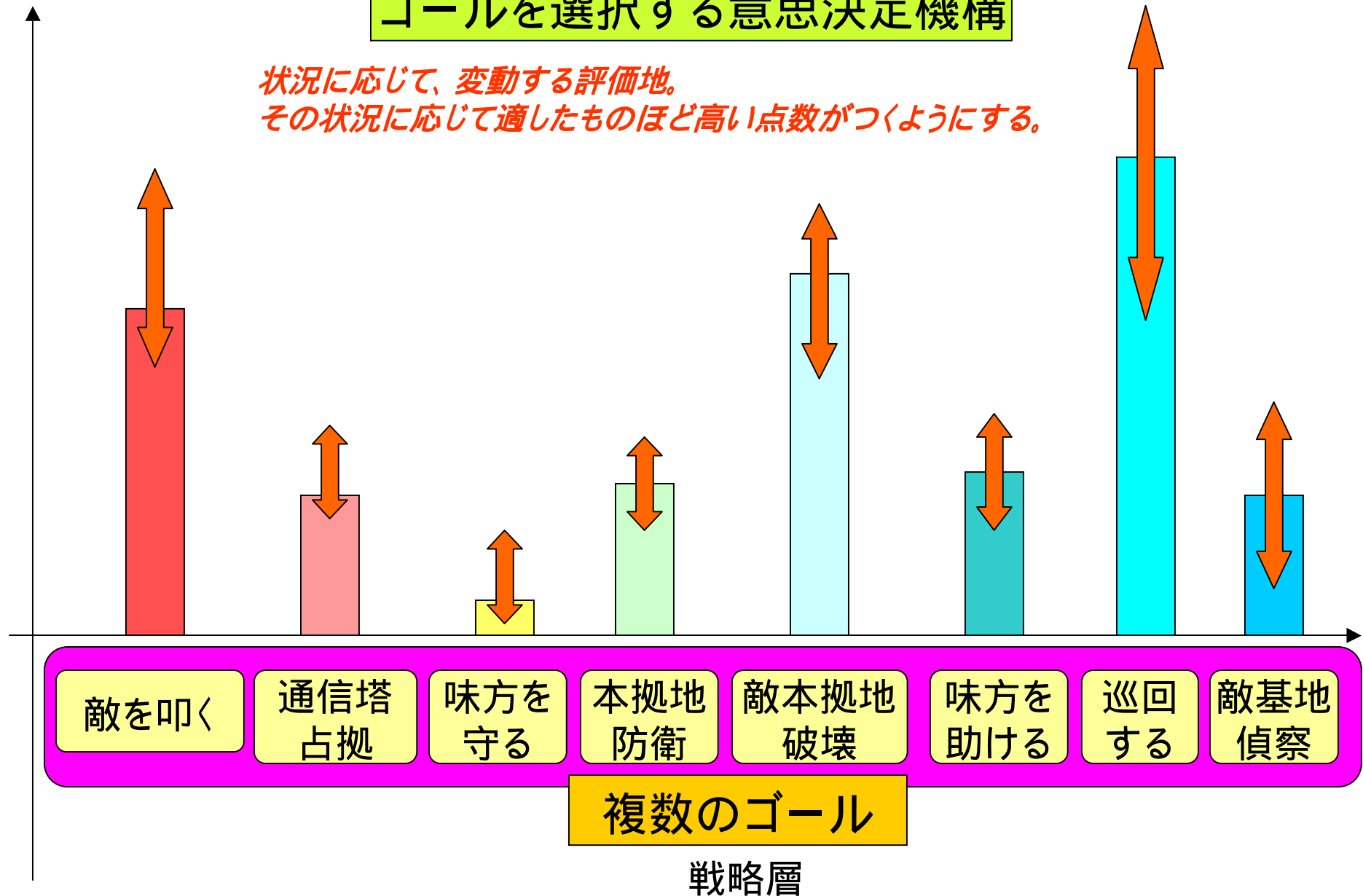
味方機を  
助けよ

プランニング

# クロムハウズ 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。



# 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) 通信塔同士との関係 (通信塔 - Combus)

$$S = W\_EBase * ( F( L\_EBase, L\_MapScale ) * Est\_Base\_NonConstFactor \\ + W\_SBase * F( L\_SBase, L\_MapScale ) \\ + W\_InComNet * Est\_InComNet$$

$$W\_EBase + W\_SBase + W\_InComNet = 1$$

$$Est\_InComNet = W\_static * Est\_Static\_Combus + W\_dynamic * Est\_Dynamic\_Combus$$

$$Est\_Static\_Combus = (Connectable\_Number - Connected\_Number) / Max\_Connectable\_Number$$

$$Est\_Dynamic\_Combus = Connected\_Number / Max\_Connectable\_Number$$

$$W\_static + W\_dynamic = 1$$

...



# 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نز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نزが通信塔からどれぐらいの距離にいる

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

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نزの個性が決定

テストをくり返しながら

計 100 近くのパラメーターを調整

# 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 41.062800  
ATTACK\_AROUND\_COMBAS, 寿命 11.112126  
GOAL\_STAY, 寿命 1.129883  
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

×

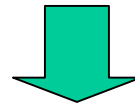
第2回セミナー

リアルタイム ゴール指向型プランニング

×

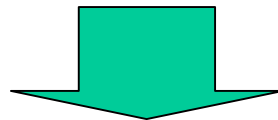
第3回セミナー

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

Step2

## AI間の協調関係を定義する

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。

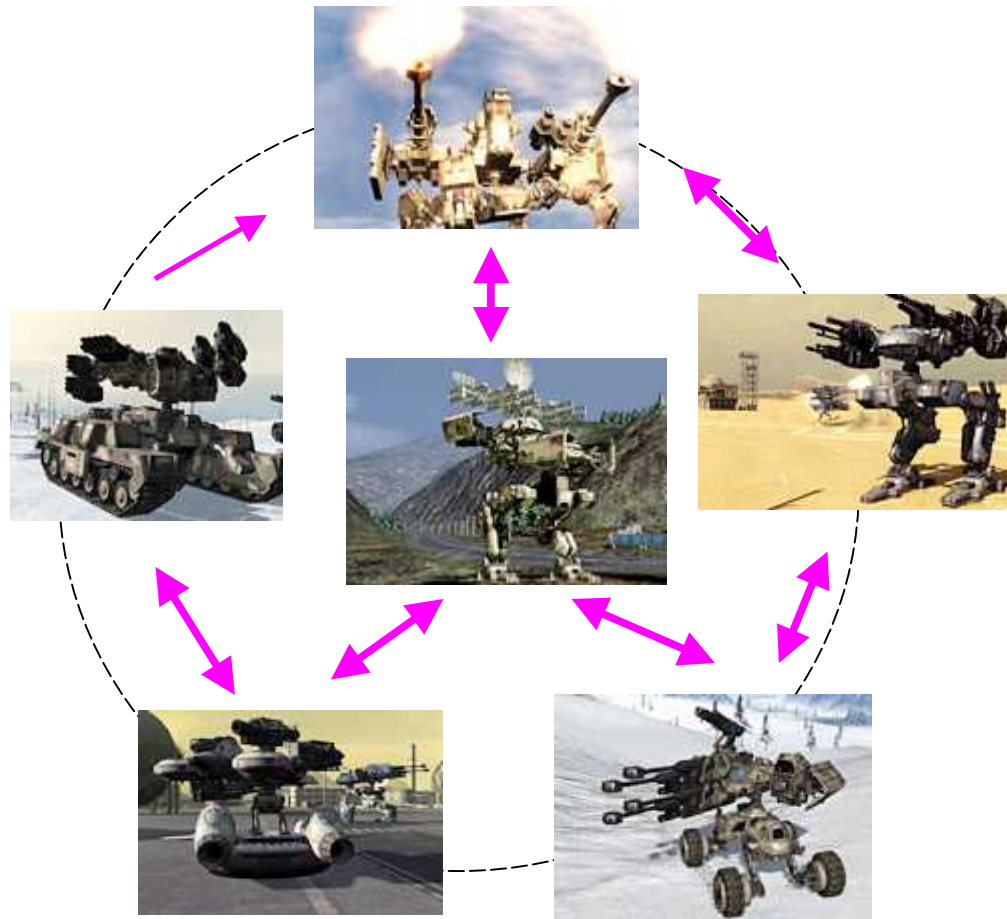
Step3

全体を調整する。

# 集団における知性 クロムハウズ

最初はチームAIを入れない。

チーム対戦をくり返しながら、必要なAI技術を導入し調整する。



メンバーの維持

護衛

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

戦闘判断

集中砲火

アルゴリズムによる協調

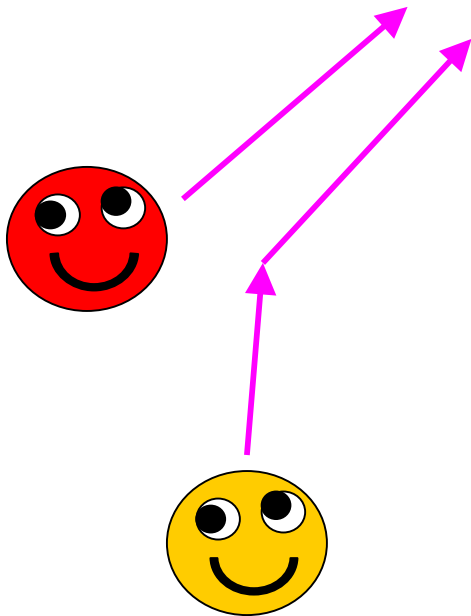
勝利のための  
統制された行動

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

**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



===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 13.593799

GOAL\_ESCAPE, 寿命 13.593799

GOAL\_JOIN\_TARGET, 寿命 13.593799

GOAL\_APPROCH\_TARGET, 寿命 15.803226

GOTO\_POSITION, 寿命 -1.000000

FOLLOW\_PATH, 寿命 -1.000000

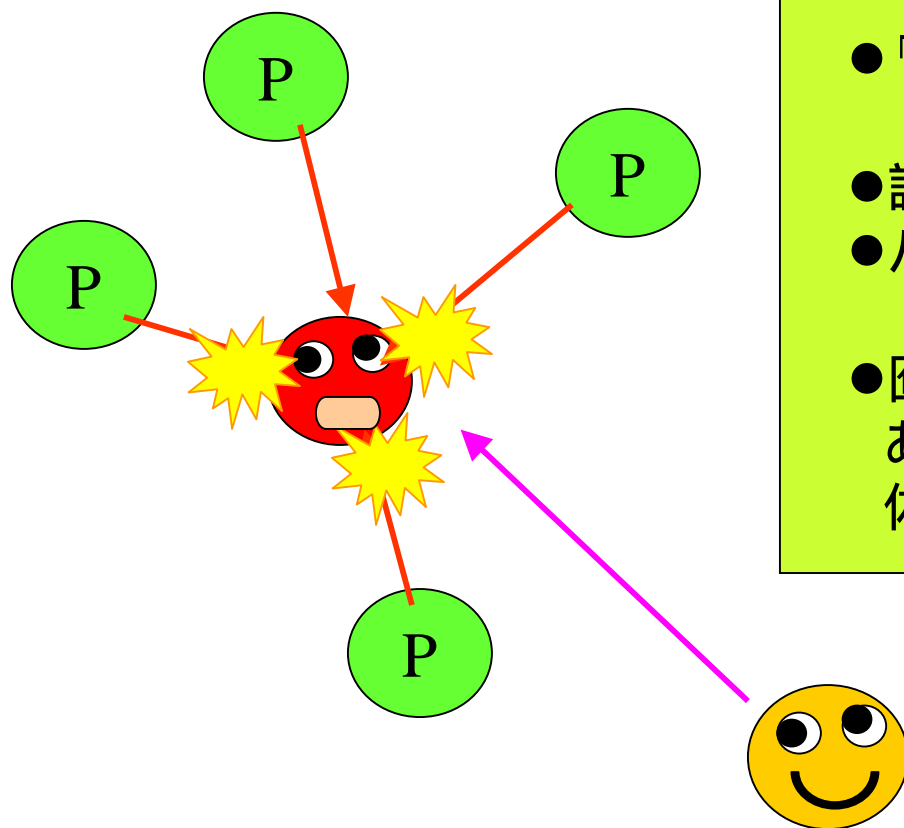
GOAL\_PROTECT\_TARGET, 寿命 12.222051

GOAL\_ATTACK\_TARGET, 寿命 29.848152



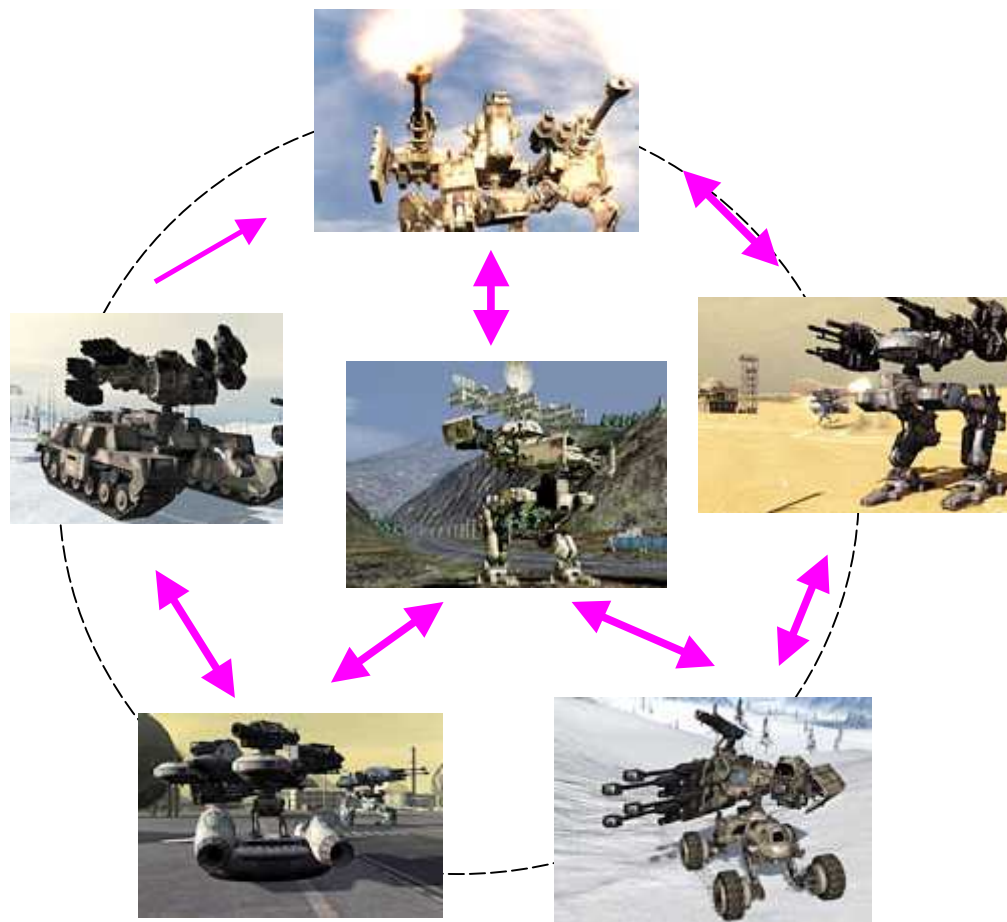
# クロムハウズにおけるマルチエージェント技術

**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
- ハウズ
- 図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

# 集団における知性 クロムハウنز



メンバーの維持

護衛

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

戦闘判断

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

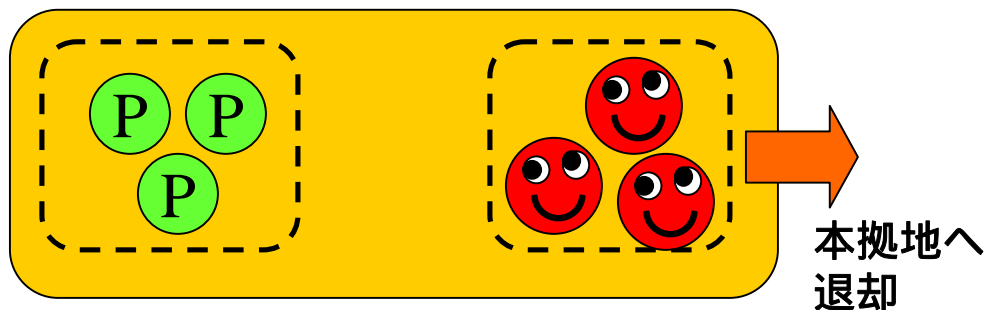
チームAI

新しいAIによる協調

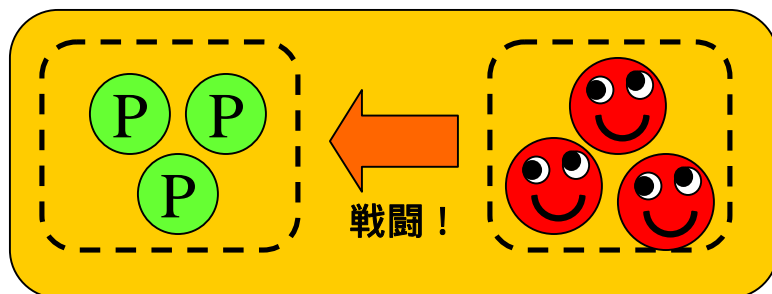
# クロムハウنزにおけるマルチエージェント技術

**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。

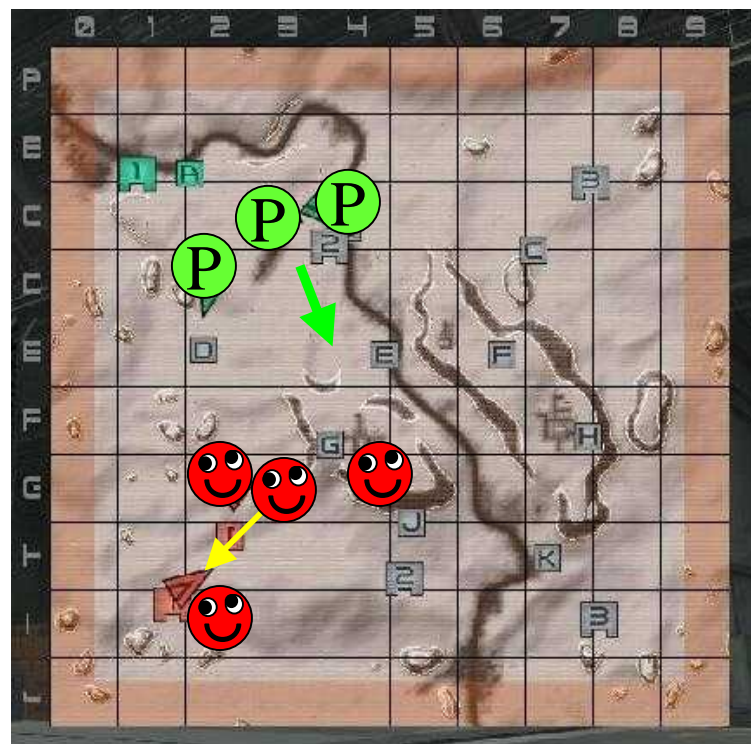
デバッグの過程で追加



プレイヤーたちの戦力 > 1.4 x エージェントたちの戦力



プレイヤーたちの戦力 < 1.4 x エージェントたちの戦力



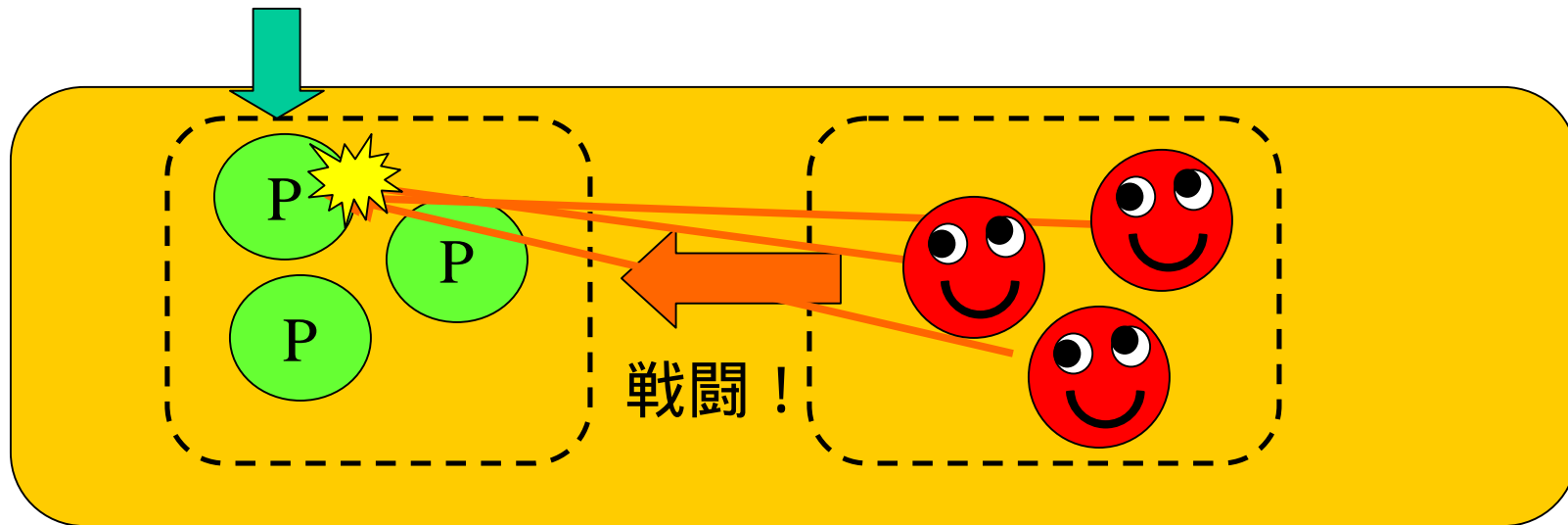
戦力比が大きい無駄な戦闘を回避し、常に相手を上回る  
戦力を増築してプレイヤーに対抗する

# クロムハウズにおけるマルチエージェント技術

**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

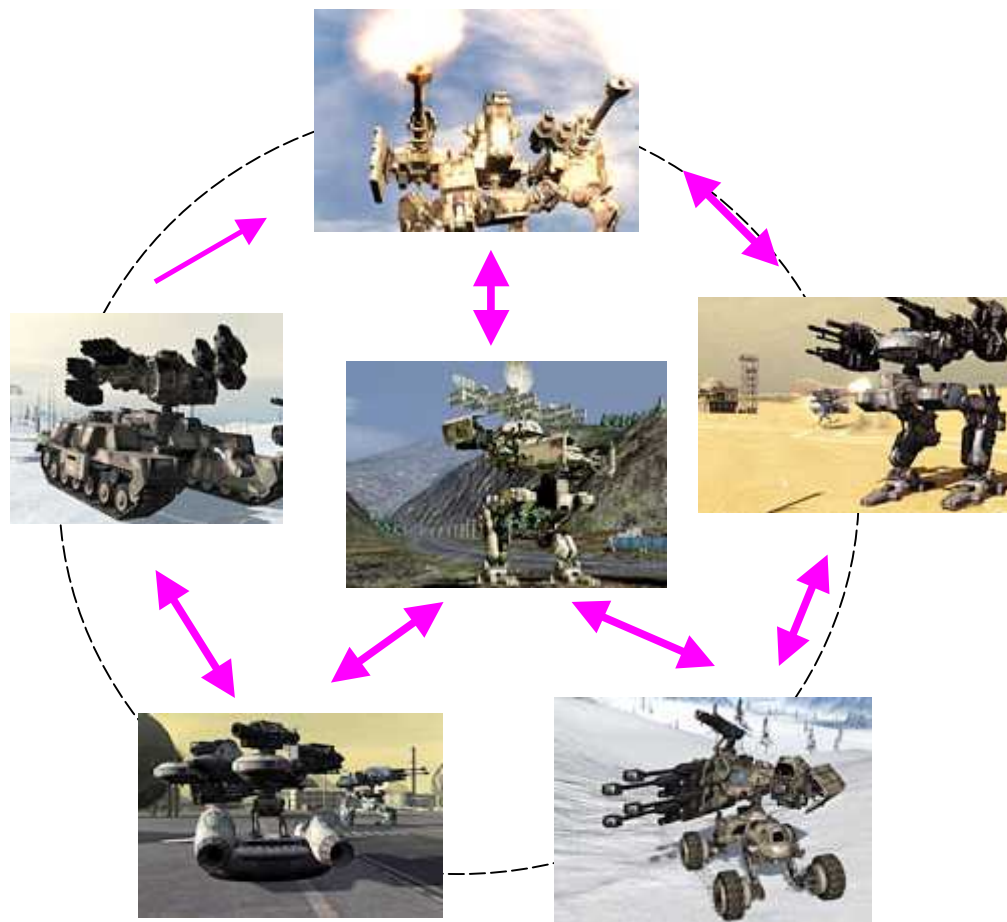
その場で戦力が最も低い敵を集中的に攻撃する



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



# 集団における知性 クロムハウنز



メンバーの維持

護衛

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

戦闘判断

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

チームAI

新しい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

## チームAIを作る

クロムハウズ チームAI コンセプト

人間の組織の葛藤をチームAIに取り込む

組織と個人

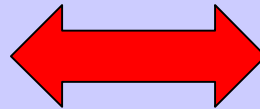
「組織としての利益の行動と、個人としての利益の行動は必ずしも一致しない」

チームAI

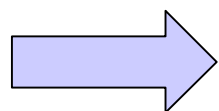
組織としての合理性

個のAI

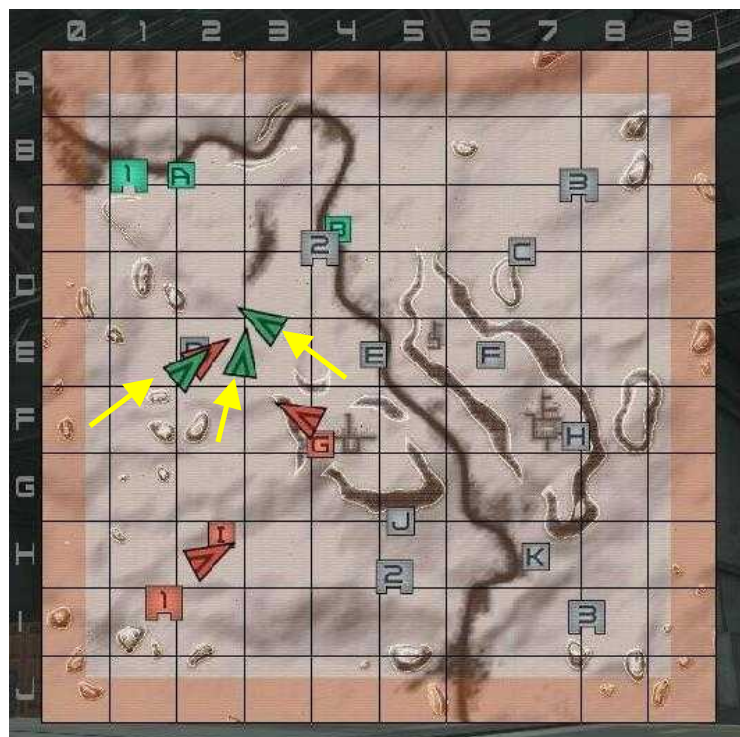
個人としての合理性



# 例えば、チームとして こういうことをさせたい



実際の戦闘がどうなっているかパターンを集めてみよう



一機だけの戦闘で戦局が  
変わることはない。

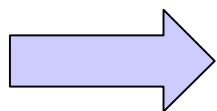


敵をやっつける時は、なるべく  
多 vs 1 になるようにする

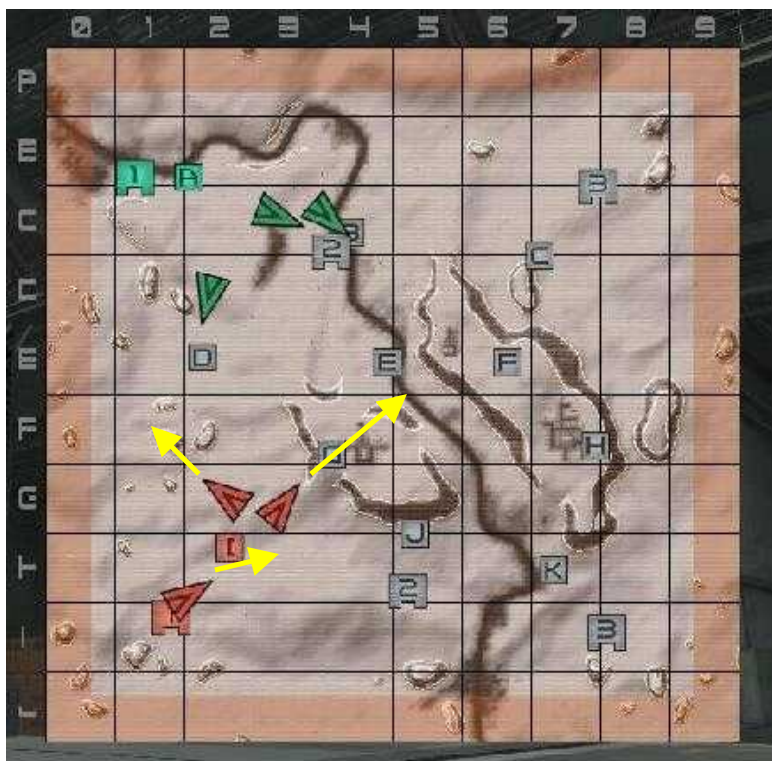
戦力を集中させたい



# 例えば、チームとして こういうことをさせたい



実際の戦闘がどうなっているかパターンを集めてみよう



勝負が決まり始める後半では、  
勝つための方針がばらばらに  
ならないようにしたい

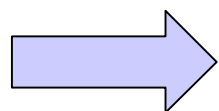


ゲーム後半では、チームAIが  
方針を決定する

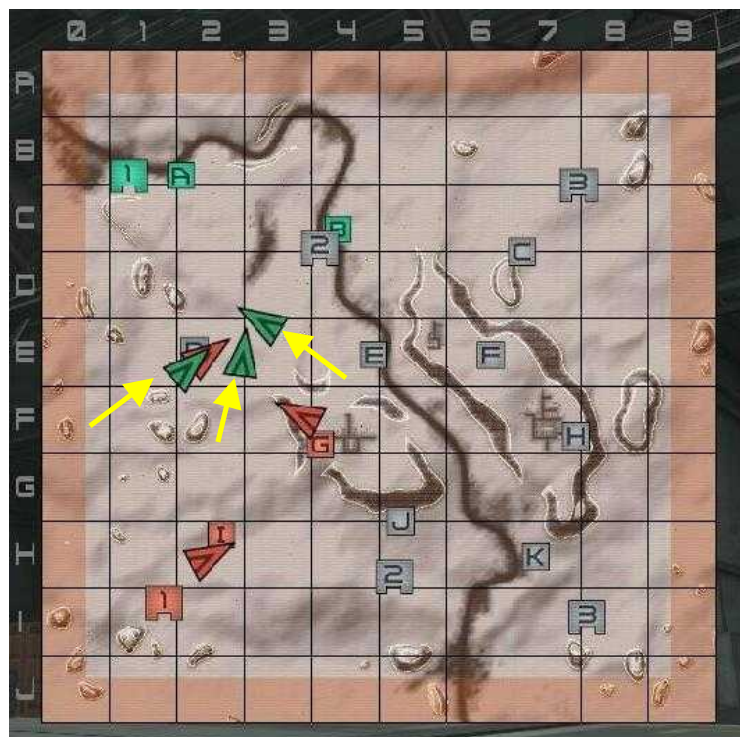
ゲーム後半では、方針を統一

ゲームメイキング

# 例えば、チームとして こういうことをさせたい



実際の戦闘がどうなっているかパターンを集めてみよう



ゲームメイキング

敵基地を落とすのは、  
火力が必要



1体で行っても、火力が足りない上に  
敵が防衛している



本拠地は多数の機体で攻めたい

勝負をかけるタイミングを  
あわせたい

# 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

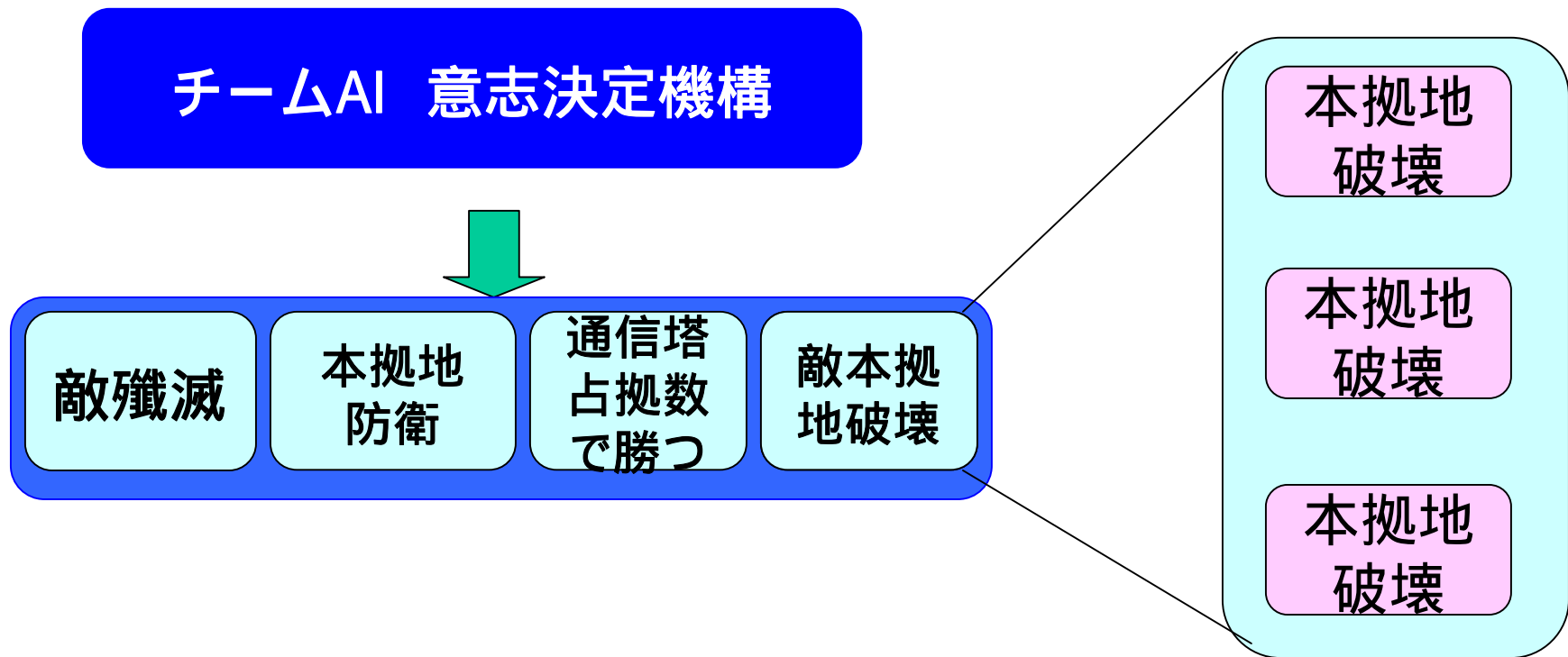
通信塔  
占拠数  
で勝つ

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

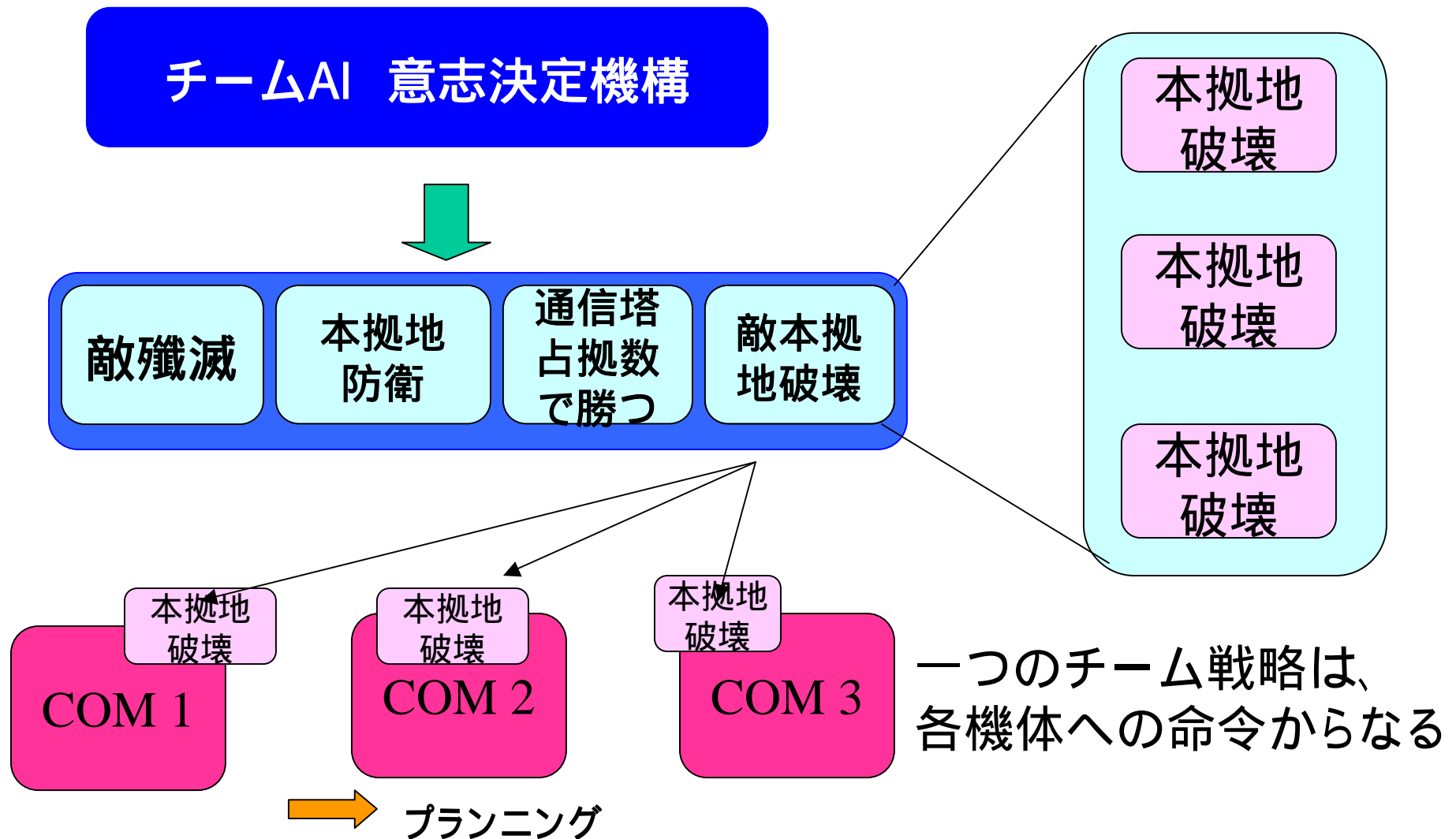
4つの戦略を持ち、評価関数によって、一つの戦略を決定する。  
(評価関数による意思決定 = 個体の意志決定と同じ方法)



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



観察すると、チームAIの判断がある時は正しく、  
個体AIの方の判断がある時は正しい

何故か？

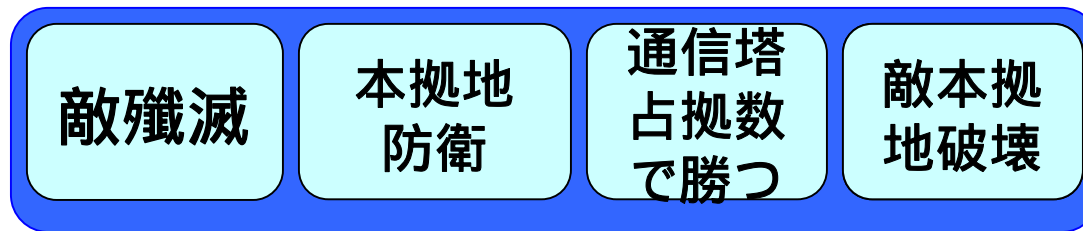
個体はハウズは、自分の廻りの局所的な情報を元に判断  
チームAIは、戦局全体の情報を元に判断

➡ 両方の判断を比較して正しい方を選択するべきだ



# 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

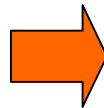
チームAI 意志決定機構



組織としての合理性

本拠地破壊

COM 2

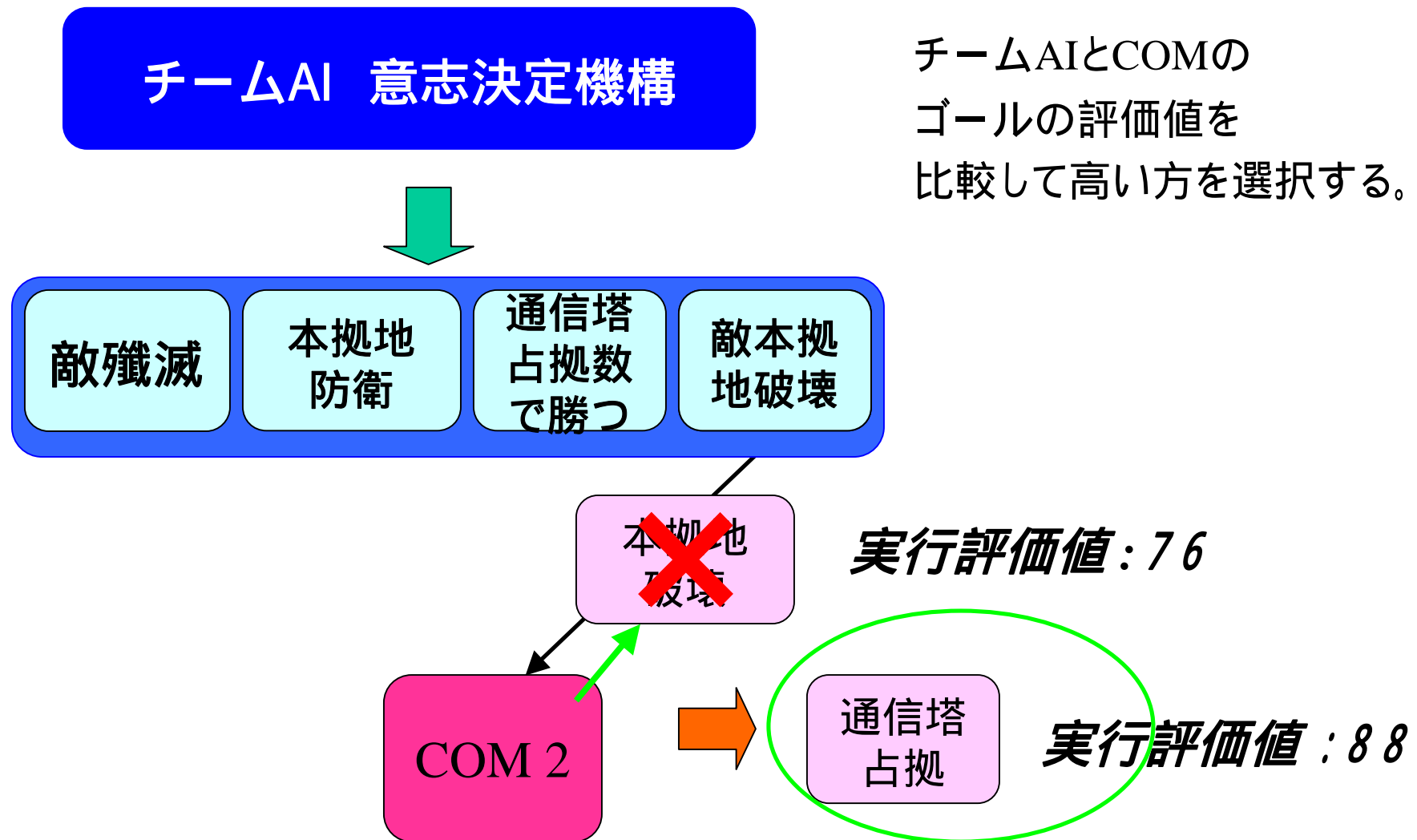


通信塔占拠

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

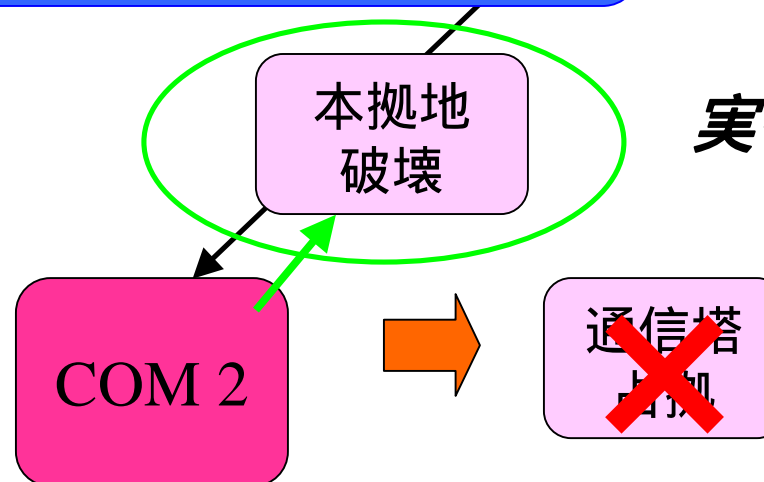
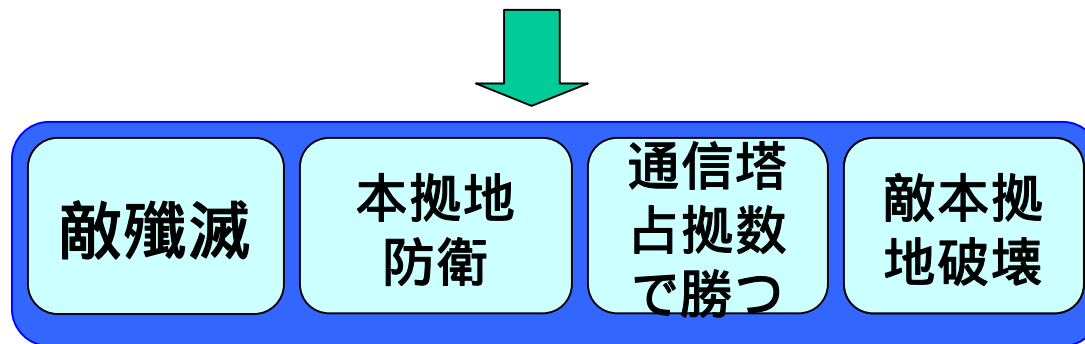




# チームAI の意思決定と COMの判断 を比較して、最終的に決定する

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。



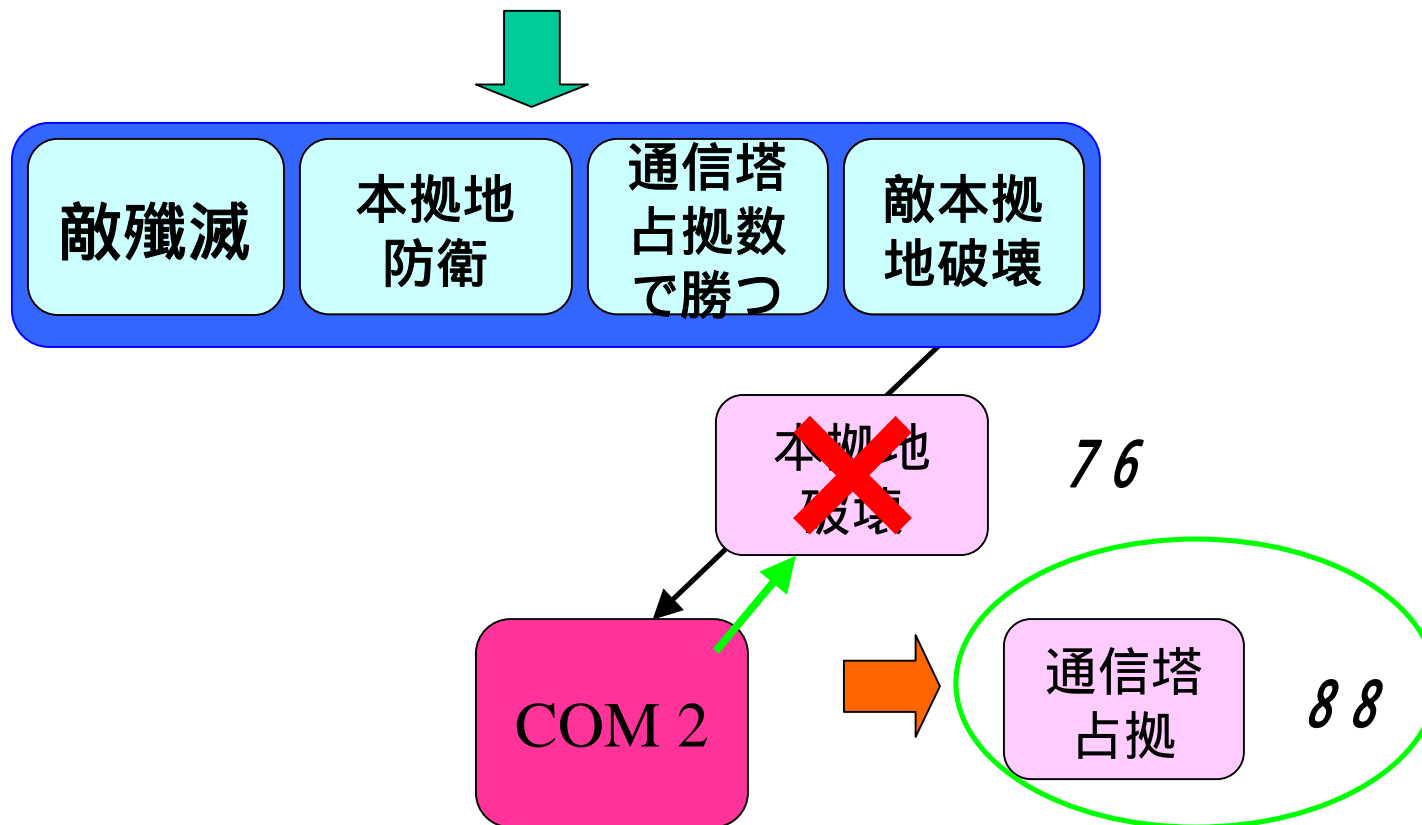
実行評価値：64

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。

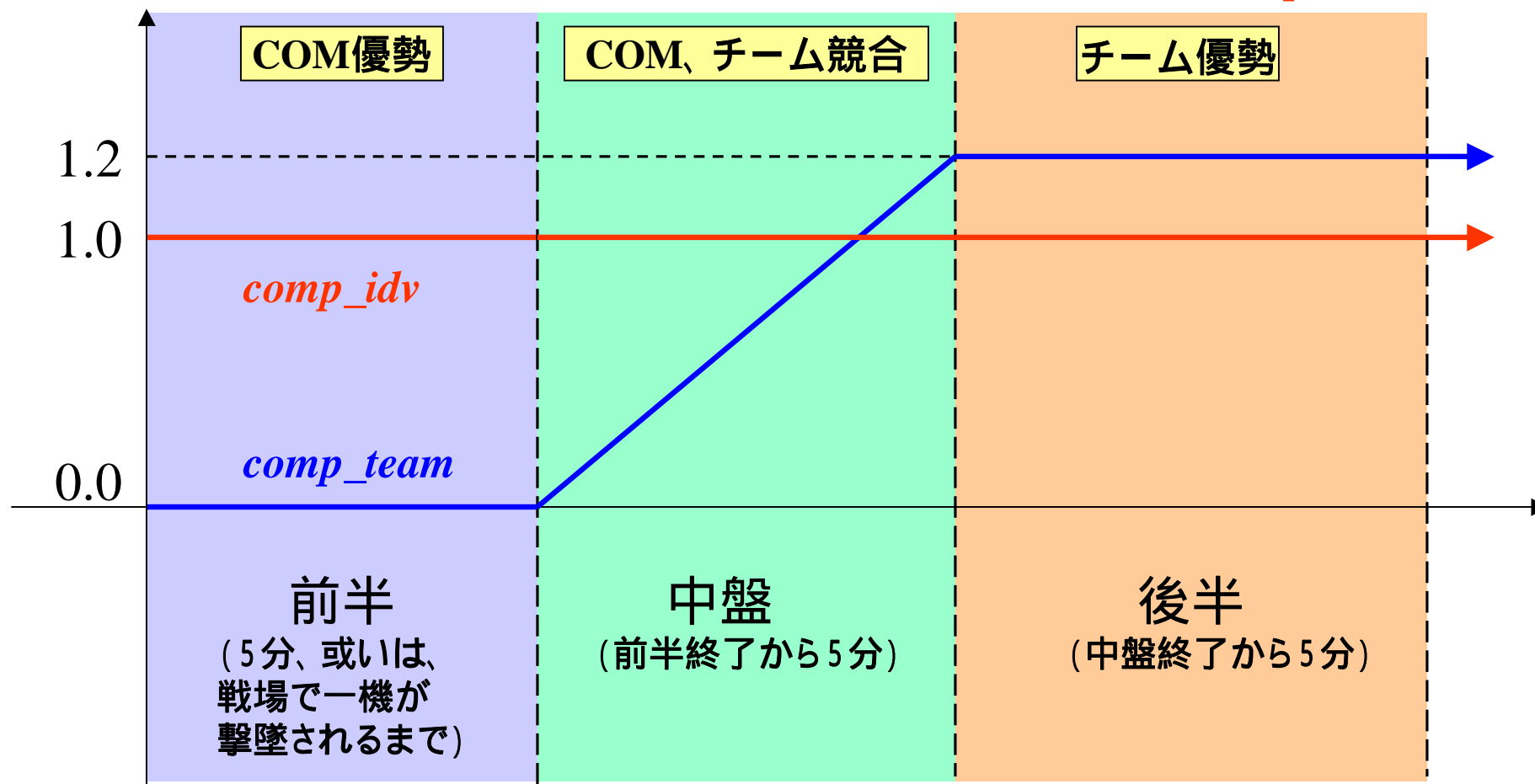


# チームAIの介入の仕方

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AIを用いてゲームメイキングを行う

# チームAIのデモをご覧ください



===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 13.593799

GOAL\_ESCAPE, 寿命 13.593799

GOAL\_JOIN\_TARGET, 寿命 13.593799

GOAL\_APPROCH\_TARGET, 寿命 15.803226

GOTO\_POSITION, 寿命 -1.000000

FOLLOW\_PATH, 寿命 -1.000000

GOAL\_PROTECT\_TARGET, 寿命 12.222051

GOAL\_ATTACK\_TARGET, 寿命 29.848152



1 2 3 4  
9998



# クロムハウنزにおけるマルチエージェント 技術まとめ

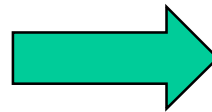
- (1) クロムハウنزは、各NPCが役割を持って協調するマルチエージェント構造である。
- (2) 各NPCは個体としてはゴール指向プランニングの思考を持ち、ゴールによって協調する。
- (3) 全体の動きはアルゴリズム的な運動によっても制御される。
- (4) ゲーム全体に渡っては、チームAIが制御し、プレイヤーとのゲームメイキングを行う。

# クロムハウズAI

プレイヤーたちとAIたちが対等に争いながら競合する  
新しいゲーム空間を創造したい

## 学べたもの

人間の心の葛藤  
人間の組織の葛藤



行動の自由  
集団としての自由度

## 学べなかったもの

柔軟な計画性 ... 常に、個人としてもチームとしても  
複数のプランを描き、行動している。

暗黙の協調性 ... 言葉で伝え合わなくても、意図を伝え合う。  
(例) 「おまえがこうやと思ったから」など

# 第1部 ゲームAI 技術解説(90分)

## 全体マップ

- 第1章 集団における知性 概論 (20分)
- 第2章 クロムハウズにおけるマルチエージェント技術 (30分)
- 第3章 群知能の方法 (30分)
- 第4章 発展 (20分)





クロムハウズAI技術デモ





# 第4章 発展

詳細は予習資料

「集団における知能を用いてゲームを組み立てる」へ

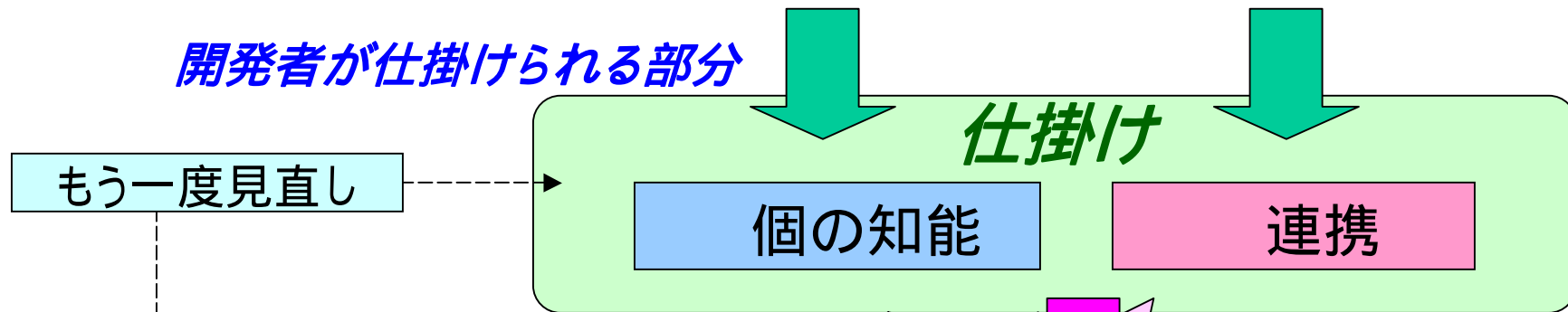
# 「集団における知能」つくり方

これまでの、多くの具体例をもとに、  
「集団の知能」の骨格を抜き出してみる。

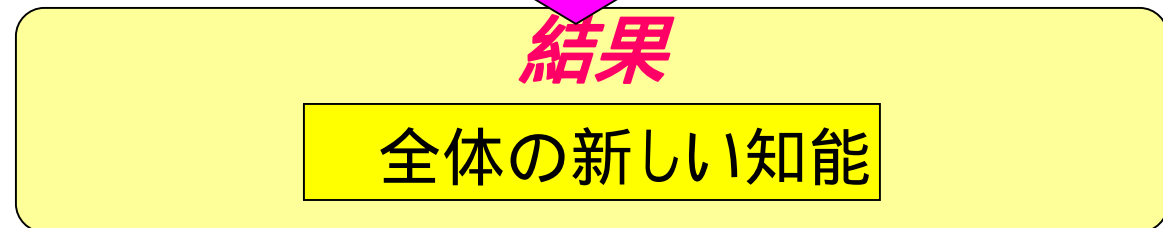
# 集団の知能の作り方

どのような「全体の新しい機能」を実現したいかを明確にする

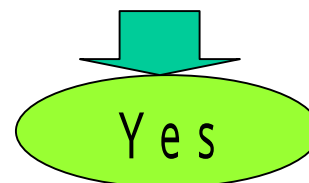
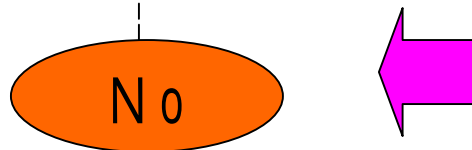
開発者が仕掛けられる部分



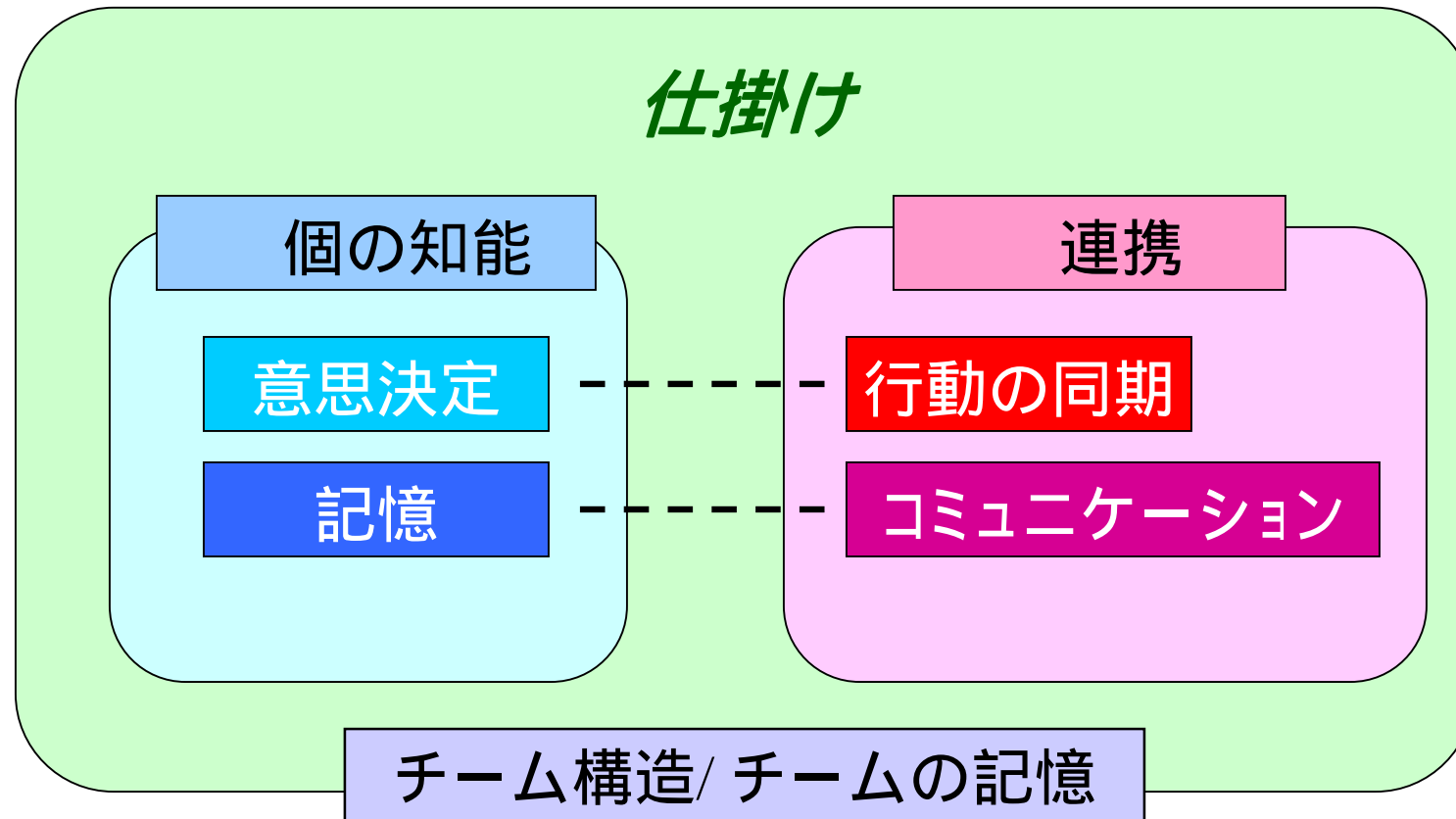
結果を受け入れるしかない部分

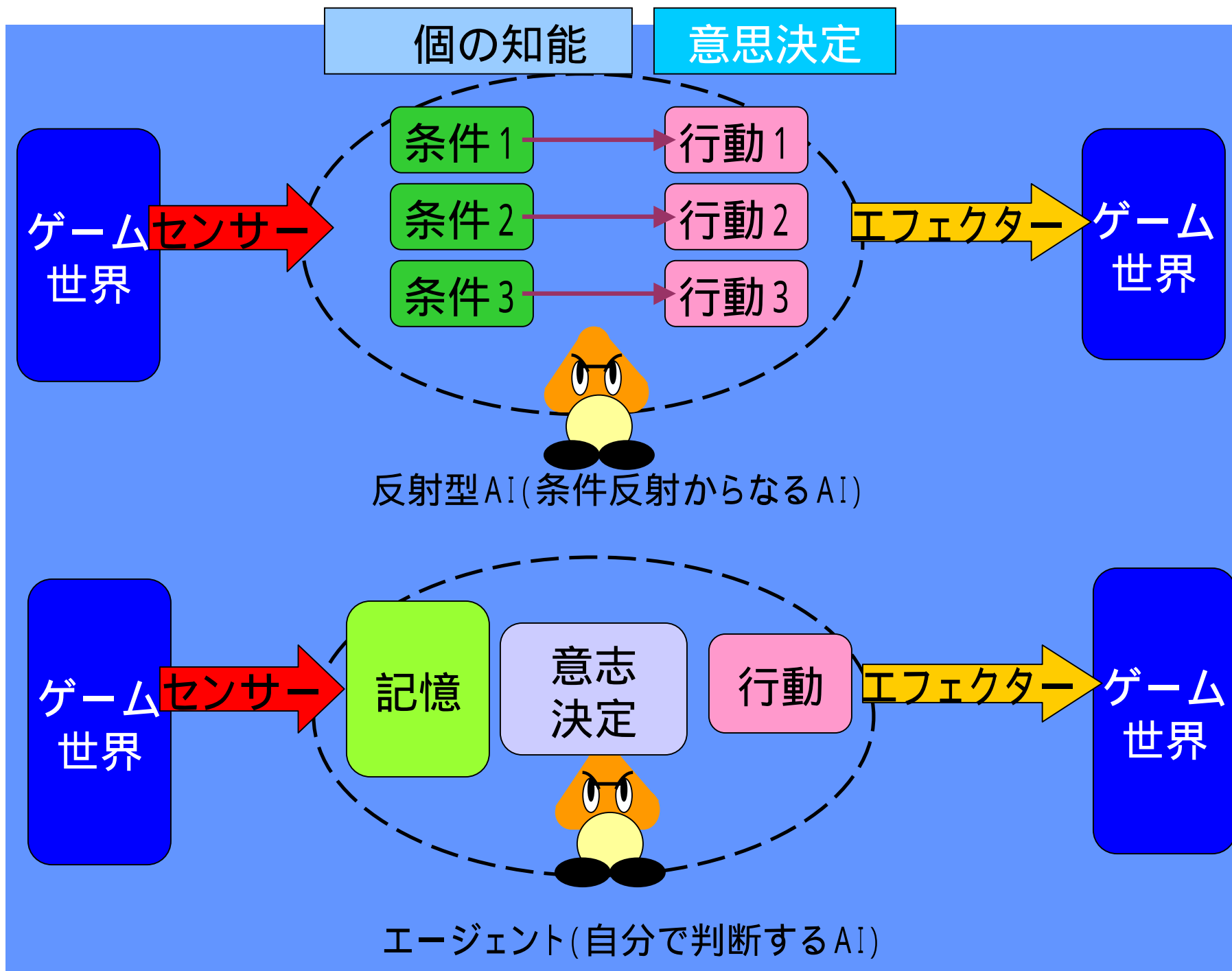


テスト:「全体の新しい機能」は実現できたか?



# 集団の知能の作り方 4つのポイント

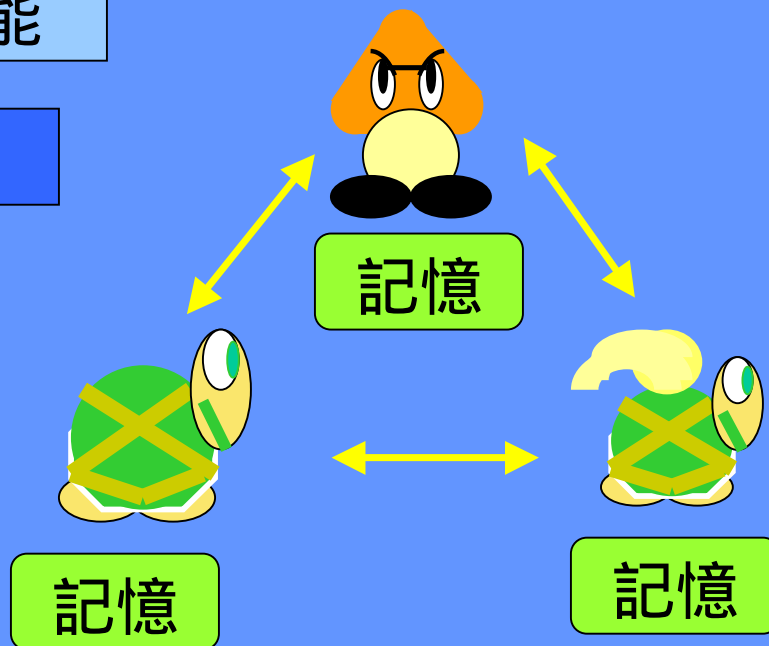




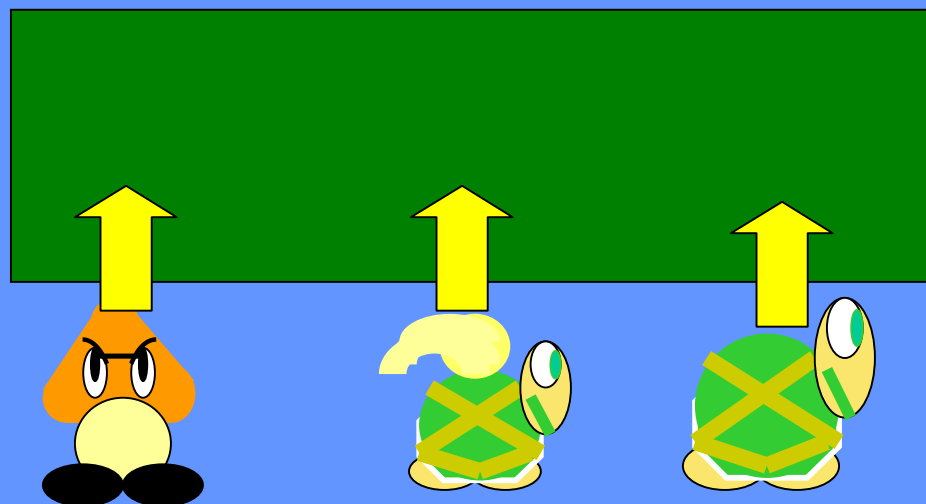


個の知能

記憶



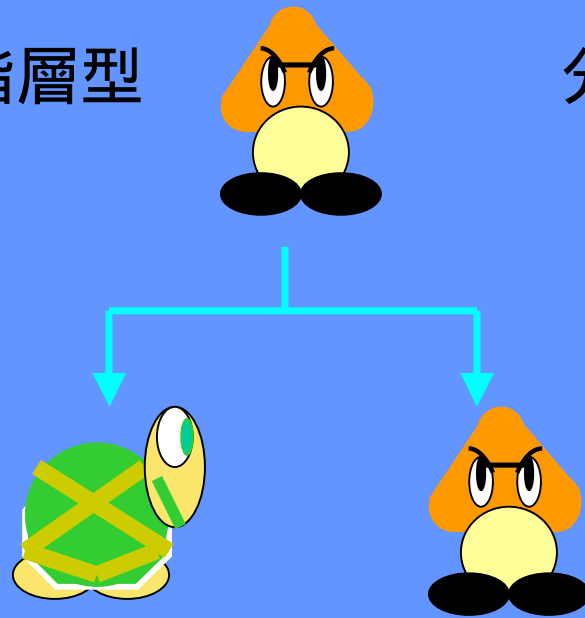
知識交換モデル(お互いの足りない記憶を伝え合う)



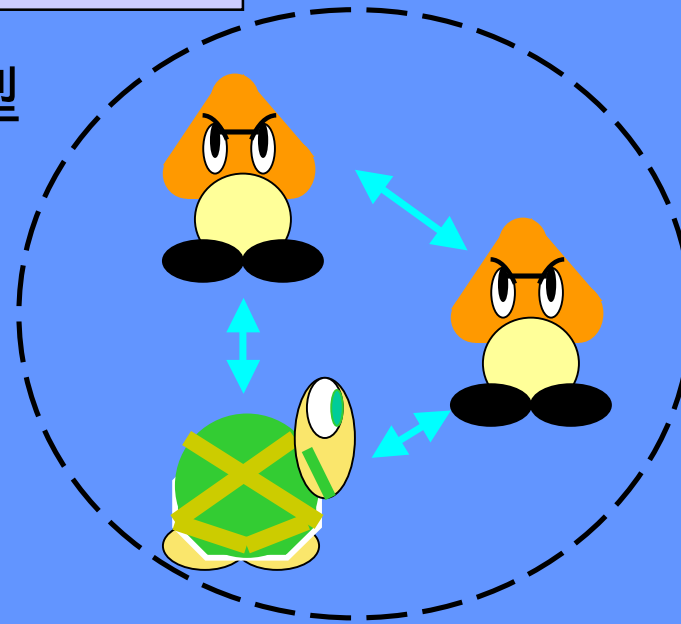
共有メモリ、或いは黒板モデル(同じ場所で記憶を共有することで情報を伝え合う)

# チーム構造

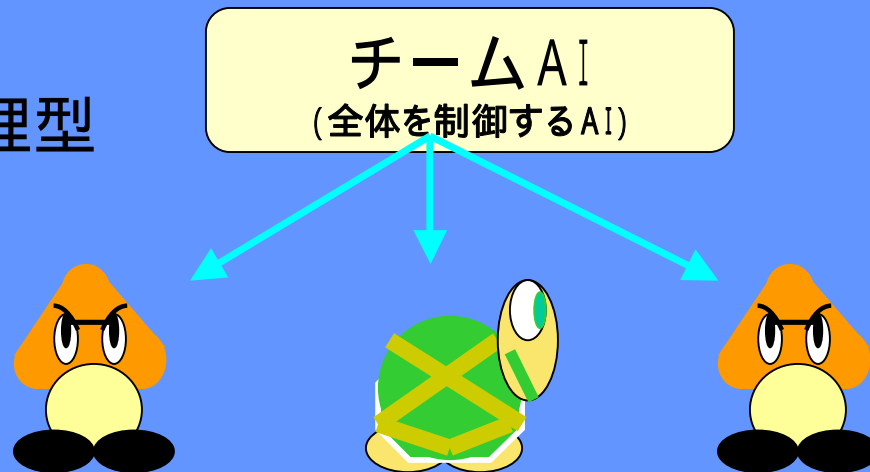
階層型



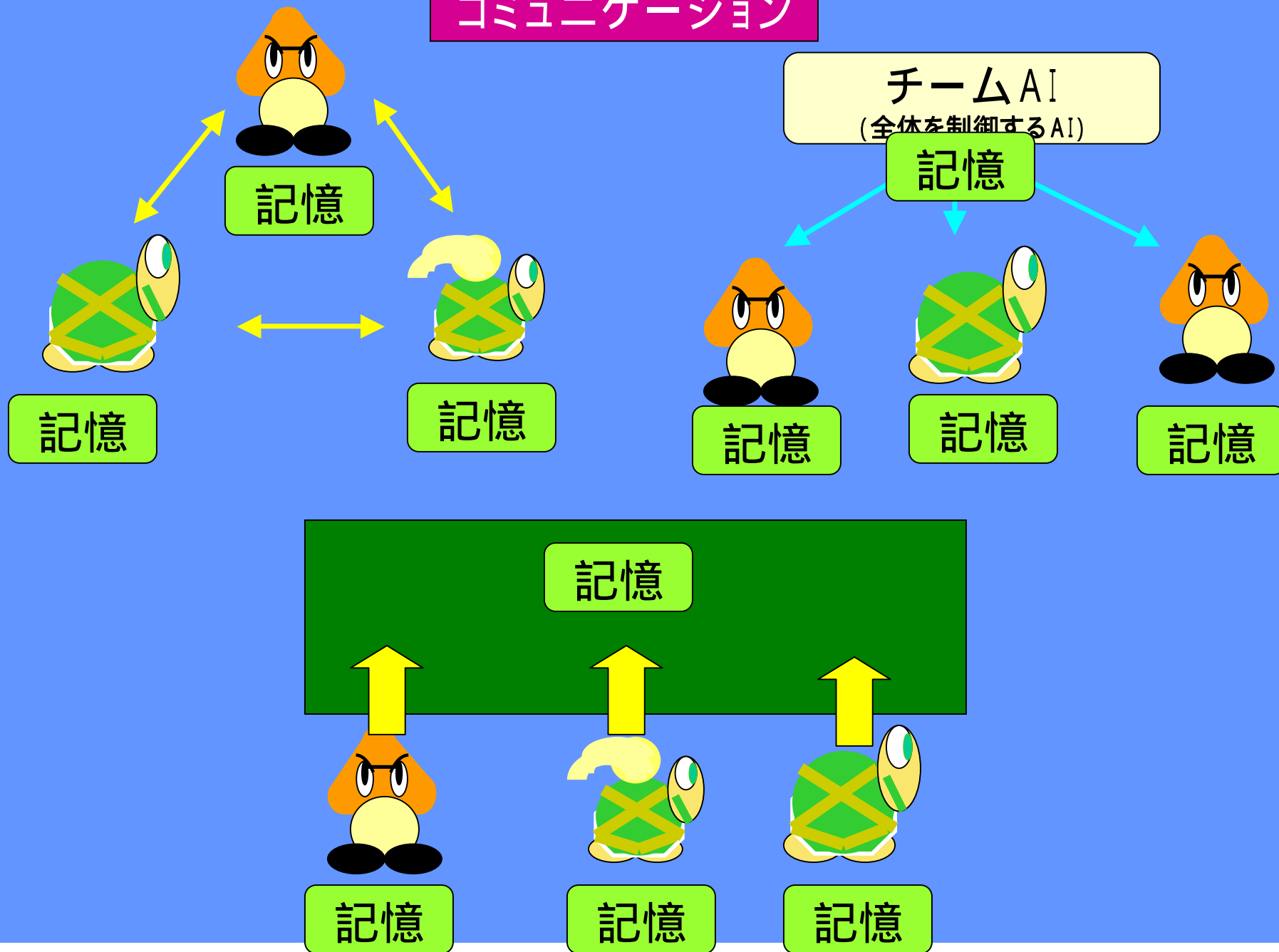
分散型



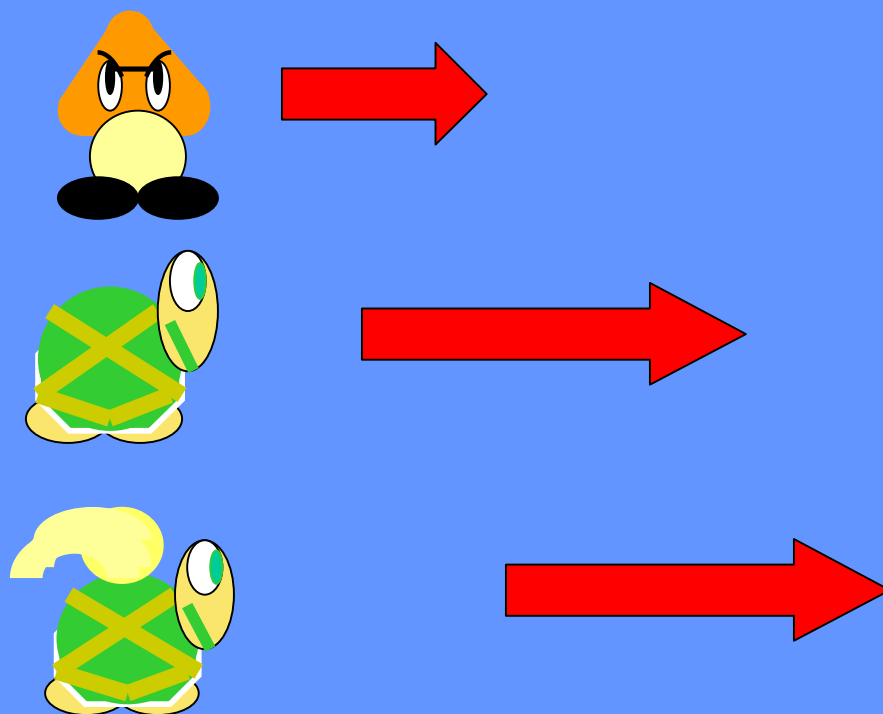
集中管理型



# コミュニケーション

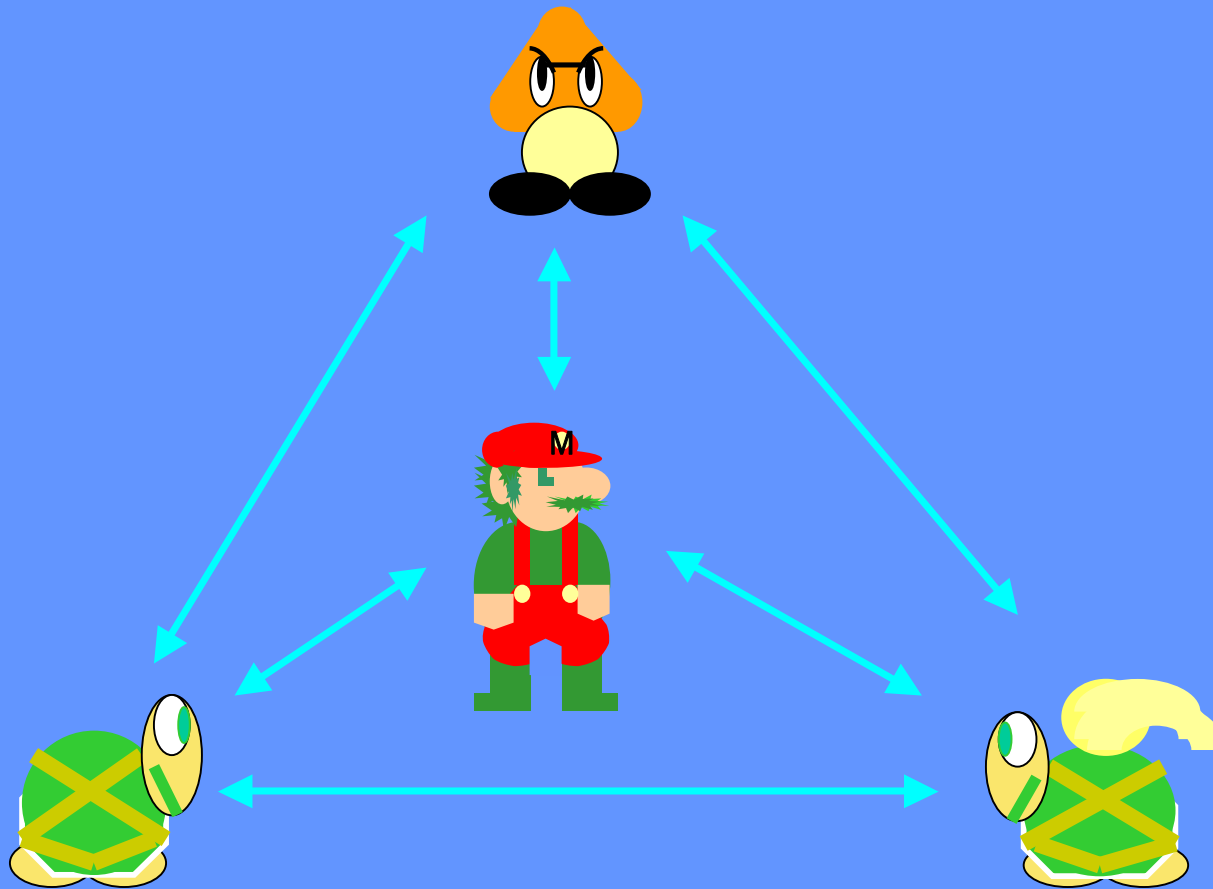


## 行動の同期



その(1) 特に狭いフィールドなので、行動のタイミングなんて考えてもしょうがないので、特に考えないことにする。

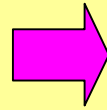
フィールドが広くなったり、AIの行動時間が長くなると、この問題はかなり真剣に考えなくてはいけなくなりますが、そうでない場合もあります。



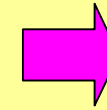
その(2) 反射型AIでは、お互いの相対位置などから、行動が決まるので、同期の問題は特にはない。しかし、うまく、プレイヤーを翻弄するように、反射のアルゴリズムを組んでおく必要がある。

## チームAIによるチームのためのプラン

敵の前から  
急襲せよ



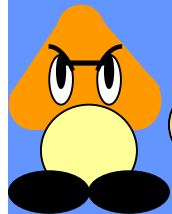
敵の後ろから  
攻撃せよ



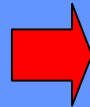
上から攻撃

成功？失敗？

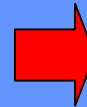
成功？失敗？



前から急襲



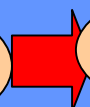
成功



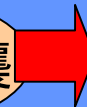
前から攻撃



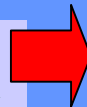
敵の後ろへ  
まわるこむ



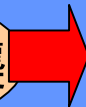
後ろから急襲



失敗



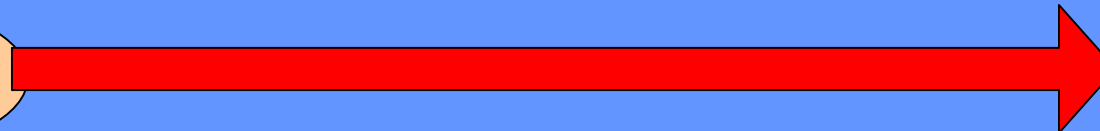
後ろから急襲



成功

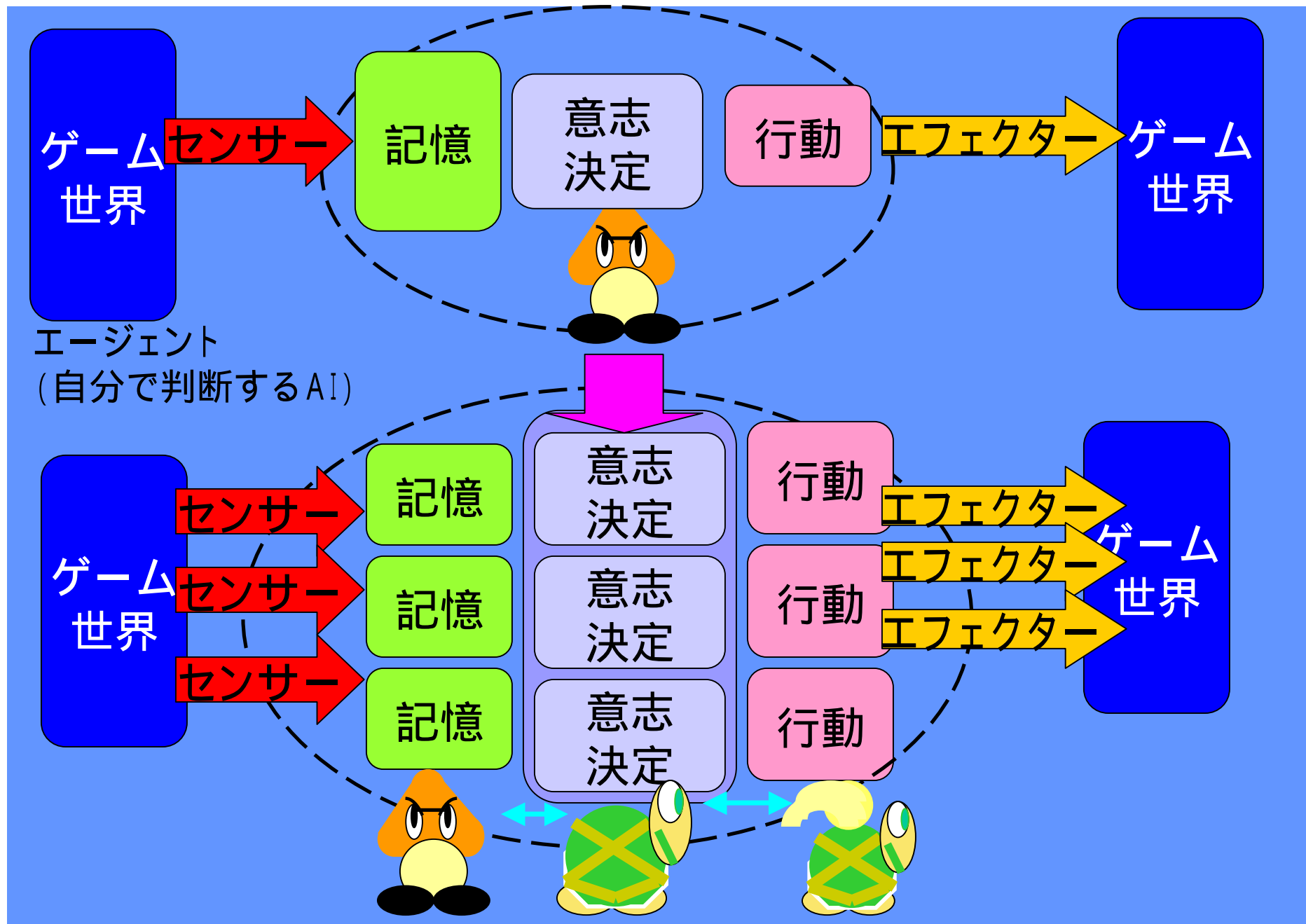


高い位置へ  
移動する

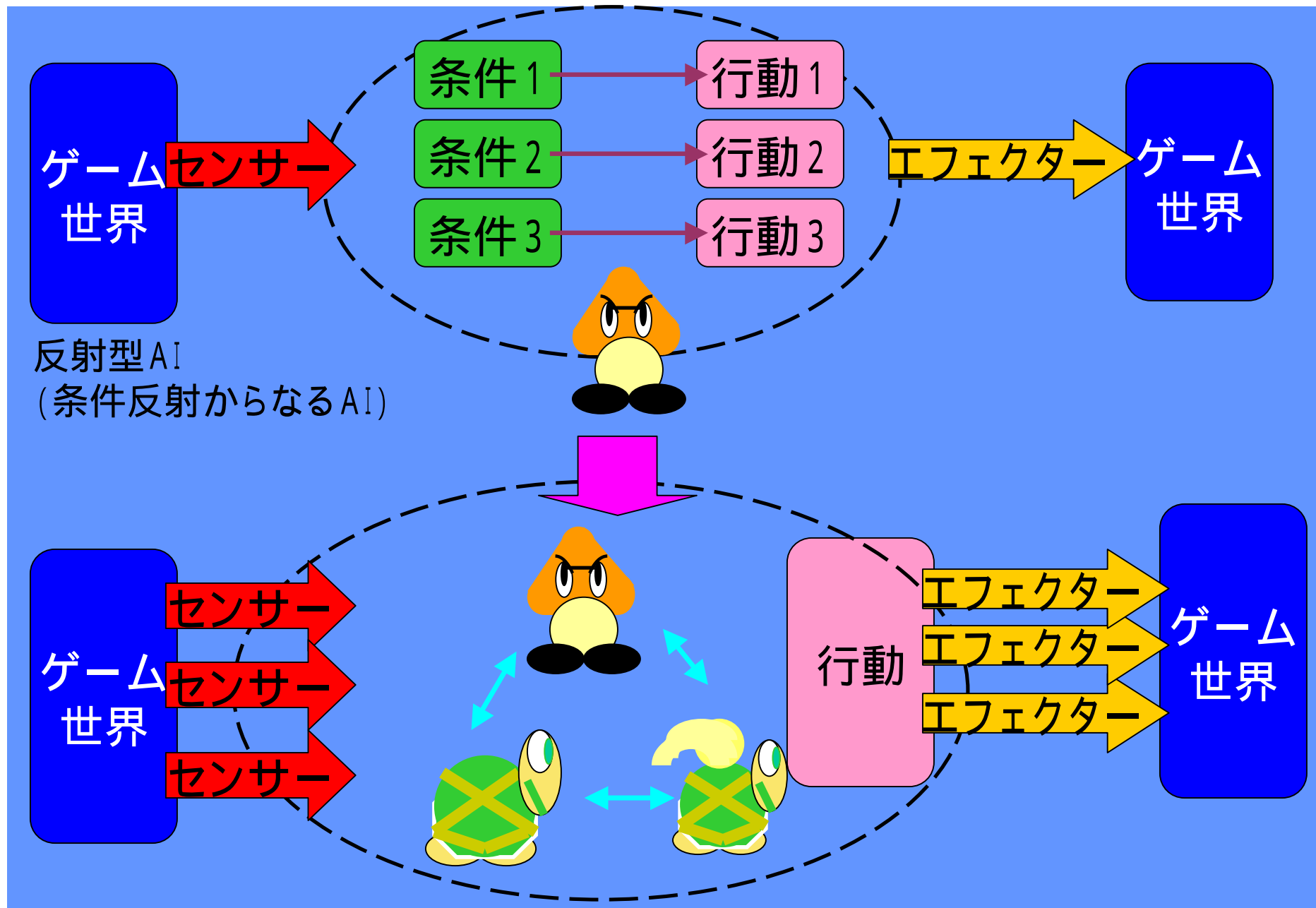


上から攻撃

その(3) 「結果共有」の方法。マルチエージェント・プランニング(チーム全体の行動プラン)がある場合には、今、こういった小目標を達成したかを共有して、それをトリガーとして各NPCが次の段階の行動に移る。



エージェントを連携させる「マルチエージェント」の方法

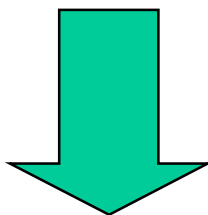


反射型AIを連携させる「群知能」の方法



# 「集団における知能」つくり方

これまでの、多くの具体例をもとに、  
「集団の知能」の骨格を抜き出してみる。



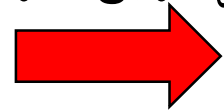
逆にこれを手がかりとして「集団における知能」  
を作って行く。

グループワークへ

たくさんの実例を知っておくことが役に立つ

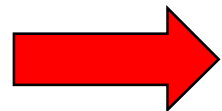
# 本講演のまとめ

- (1) 第1章では、「集団における知能」の全体像を、「群知能」「マルチエージェント」という2極から概観した。
- (2) 第2章では「群知能」がゲームの世界にどのように入り込んでいるかを探求したが、ゲームはまだその本質にたどりついていない。



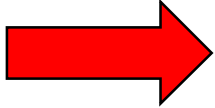
これからの開発者に期待

- (3) 第3章では「クロムハウズ」を例に、ゴールからなるマルチエージェントの方法を理解した。



マルチエージェントは明瞭な方法

(4) 第4章では第1～3章をもとに「集団における知能」の作り方を抽出した

 シンプルな骨格に肉付けをして、  
知性としてリアリティーのあるNPCのチームを  
実現できる。

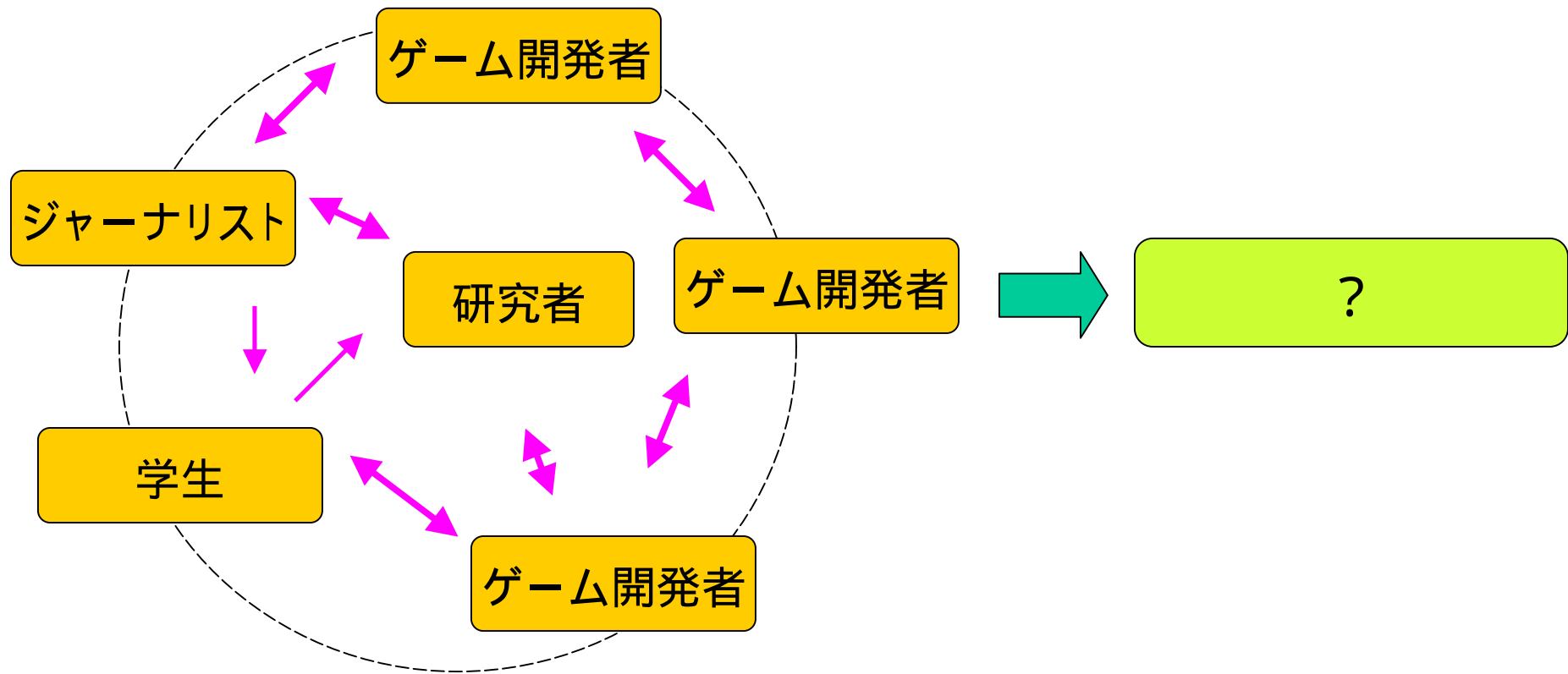
ご清聴ありがとうございました。

## 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](mailto:y_miyake@fromsoftware.co.jp)

# ゲーム業界における知性 (例)IGDA日本 グループワークへ



ご清聴ありがとうございました。  
我々も、開発者個人が集まったゲーム開発者団体です！



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 )

WEB上の意見交換にはIGDA Japanのサイトをご利用ください

<http://www.igda.jp>

# ゲームAI連続セミナー 第4回

日程 2007年6月未定

場所 未定

テーマ 「Halo2 におけるHFSM(階層型有限状態マシン)」



Halo2 のゲーム性を支えるAIたち

「ゲームにフィットしたAI」とは何だろう？

# ゲームAI連続セミナー 第4回 参考文献

- Damian Isla (2005), “Dude, where’s my Warthog? From Pathfinding to General Spatial Competence”,  
<http://www.aiide.org/aiide2005/talks/isla.ppt>  
[http://nikon.bungie.org/misc/aiide\\_2005\\_pathfinding/index.html](http://nikon.bungie.org/misc/aiide_2005_pathfinding/index.html)
- Damian Isla (2005), Handling Complexity in the Halo 2 AI, Game Developer's Conference Proceedings.,  
[http://www.gamasutra.com/gdc2005/features/20050311/isla\\_01.shtml](http://www.gamasutra.com/gdc2005/features/20050311/isla_01.shtml)
- Jaime Griesemer(2002),The Illusion of Intelligence: The Integration of AI and Level Design in Halo,  
<http://halo.bungie.org/misc/gdc.2002.haloai/talk.html>
- Robert Valdes(2004), “In the Mind of the Enemy The Artificial Intelligence of Halo2”,  
<http://www.stuffo.com/halo2-ai.htm> (現在はclosed)



# グループワークへ

グループワーク資料

+

予習資料

「集団における知能を用いてゲームを組み立てる」