

「次世代ゲームAIアーキテクチャ」 2012

株式会社スクウェア・エニックス
テクノロジー推進部 リードAIリサーチャー

三宅 陽一郎

miyakey@square-enix.com

@miyayou

2012.11.24

「次世代キャラクターAIアーキテクチャ」

- Luminous AI Architecture -

株式会社スクウェア・エニックス
テクノロジー推進部 リードAIリサーチャー

三宅 陽一郎

miyakey@square-enix.com

@miyayou

2012.11.24

**この1時間は、
知能について深く考えてみましょう。**

CG は よりリアルに、
AI も よりリアルに。

AIに命を吹き込みたい！

Luminous AI Unit Meetings x 160

Luminous AI Architecture

オープンカンファレンス2012発表



次世代ゲームAIアーキテクチャの中心的概念は何かを探究する

2011.4 – 2012.11 AI Meeting (2時間) x 160

次世代キャラクターAI

- (1) より深くゲームの世界を理解し参加して行くAI。
- (2) 環境を認識し、かつ自分自身も認識する。
- (3) 自身の身心の状態を感じる自意識を持つ。
- (4) 高度から低度の多岐にわたる意思決定。



AIと接する新しい感覚
(ユーザー・エクスペリエンス)をユーザーに与える

次世代ゲームAI設計の進め方

①今世代/次世代のAIに想定されるストーリーリストをメンバーでリストアップする。(100~200個)

ストーリーリストとは、AIが動作をなるべく具体的に記述したもの。プログラマー、デザイナー、職種関係なくブレインストーミング的にリストアップ(実際は事前に準備して持ち寄る)。

- (1)風の向きを認識して、風上から草原に火をつけて敵を攻撃する。
- (2)枝を集めて仲間と一緒に自分自身で巣を作る。
- (3)渡れない河に丸太を渡して通れるようにする。
- (4)....

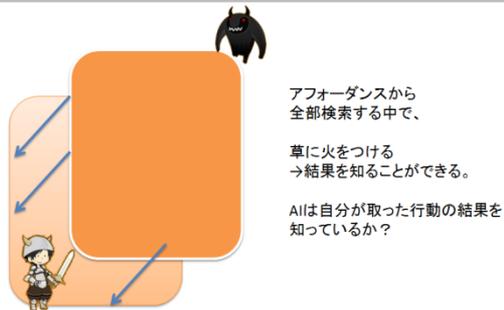
次世代ゲームAI設計の進め方

①今世代/次世代のAIに想定されるストーリーリストをメンバーでリストアップする。(100~200個)

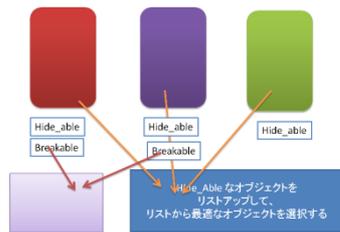
- (1)風の向きを認識して、風上から草原に火をつけて敵を攻撃する。
- (2)枝を集めて仲間と一緒に自分自身で巣を作る。
- (3)渡れない河に丸太を渡して通れるようにする。
- (4)河を堰き止めて水を貯めて一気に放つことで水攻めをする。
- (5)ドアの裏は隠れやすいと認識していて、敵に気付いたら、ドアの裏に隠れる。
- (6)隠れられるものを転がして、後ろに隠れながら移動する。
- (7)資源が有限であることを知っていて、ここぞという時の為に残しながら使用する。

次世代ゲームAI設計の進め方

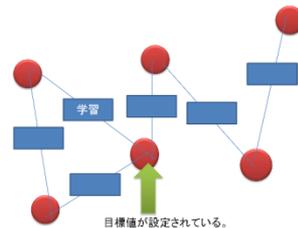
②ストーリーリストを一つ一つ実現するための仕組みを考える。
 一つの方法だけでなく、最もAI的で、最もセンスのある方法から
 ベタな方法まで、様々な手法と概念を考え出す。



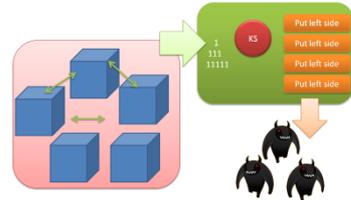
目的に応じたオブジェクトリスト



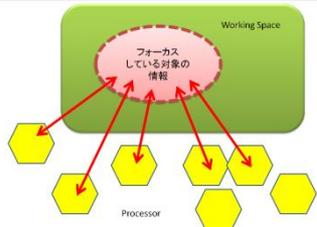
学習ネットワーク



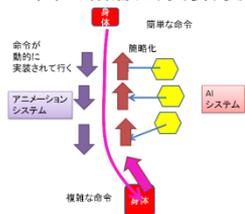
学習(見せかけ)



劇場と観衆のモデル。スポットライトがあたっている部分(注意=フォーカスが向いている対象)に観衆(プロセッサ)が注意して処理を行う。



AI-Animation間の
命令の階層化、実装、変化



概念リスト

- AIが深く世界に参加すること
- 世界の流れ(変化)
- 身体の流れ(変化)
- 意識の流れ(変化)
- 硬化と軟化(学習)
- 反射と遅延
- 遊び
- 言葉・歌
- アフォーダンスの獲得
- 身体の運動可能性
- シミュレーション-アフォーダンス-アニメーション
- コンストラクション
- コレクション
- 敵をシミュレーション
- 時間スケール
- 空間スケール
- シミュレーター
- 遊び
- 記号化 とイメージ

- GWT(Global Working Theory)
- Dennett の劇場モデル
- ステージ
- マルチステージ
- ステージ切り替え
- アテンション
- 対象化
- 知識の修飾
- リカレント
- 意識
- シミュレーター
- CERA-CRANIUM Architecture

- AIとAnimation 単純化、複雑化、階層化
- 延長された身体
- 行動の記述

- センサー・エフェクター
- エージェントアーキテクチャ
- アービター
- 階層型黒板モデル
- サブサンクション
- 記憶階層

- デザインパターン
- モジュール化
- 目的に応じたオブジェクトリスト
- オブジェクト・コミュニケーションモデル

- 記憶
- 想起
- 信頼度 (confidence)
- WORKING MEMORY
- 生きている過去=アクティブな記憶
- Agent-centric
- 状況表現・オブジェクト表現・知識表現・世界表現
- アフォーダンス、行為、効果
- 知識工学
- 事実表現
- 記憶と圧縮
- インフルエンスマップ

- 社会性
- ケミカルコミュニケーション
- ソーシャルグラフ
- うわさ伝搬
- コミュニケーション
- 社会におけるエージェント

- 競合
- FSM
- ルールベース
- 敵味方共有黒板
- 二つの思考
- みせかけの学習
- 本当の学習
- 効用
- タスク
- ゴール
- 投票システムプランニング
- スケジューリング
- 黒板モデル

- 対外構造
- 構築するAI

メタAI

- 定性物理
- 環世界
- アフォーダンス
- アージ理論
- テリトリー

概念リスト

- AIが深く世界に参加すること
- 世界の流れ(変化)
- 身体の流れ(変化)
- 意識の流れ(変化)
- 硬化と軟化(学習)
- 反射と遅延
- 遊び
- 言
- ア
- 身
- シ
- コンストラクション
- コレクション
- 敵をシミュレーション
- 時間スケール
- 空間スケール
- シミュレーター
- 遊び
- 記号化 とイメージ

コンセプト

- GWT(Global Working Theory)
- Dennett の劇場モデル
- ステージ
- マルチステージ
- ステージ切り替え
- ア
- 知
- リ
- 意識
- シミュレーター
- CERA-CRANIUM Architecture

意識モデル

身体・アニメーション

センサー・エフェクター

アーキテクチャ

記憶階層

設計技術

記憶
想起
信頼度 (confidence)
WORKING MEMORY

記憶

知識工学
事実表現
記憶と圧縮
インフルエンスマップ

- 社会性
- ケミカルコミュニケーション

社会的AI

- 競合
- FSM
- ルールベース
- 敵味方共有黑板
- 二つの思考

意思決定
アルゴリズム

建築するAI

メタAI

生態学的AI

概念リスト

- AIが深く世界に参加すること
- 世界の流れ(変化)
- 身体の流れ(変化)
- 意識の流れ(変化)
- 硬化と軟化(学習)
- 反射と遅延
- 遊び
- 言葉
- アニメーション
- 身体シミュレーション
- コンストラクション

コンセプト

身体・アニメーション

センサー・エフェクター

アーキテクチャ

記憶階層

- 社会性
- ケミカルコミュニケーション

社会的AI

社会におけるエージェント

- 競合
- FSM
- ルールベース
- 敵味方共有黒板
- 二つの思考
- 社会性

本講演では主要な概念からソフトウェア設計への橋渡しとなる要素を取り上げ、キャラクターAIを構築するための実践的なフレームワークを説明いたします。

次世代ゲームAI設計の進め方

①今世代/次世代のAIに想定される**ストーリーリスト**をメンバーでリストアップする。(100～200個)

②ストーリーリストを一つ一つ実現するための仕組みを考える。一つの方法だけでなく、最もAI的で、最もセンスのある方法からベタな方法まで、様々な手法と概念を考え出す。

③ストーリーを使って設計をブラッシュアップして行く。
(本日の講演内容はそれをまとめたものです。)

④ Luminous AI に適した形に設計を落とし込んで行く。

講演コンテンツ

はじめに

CEDEC 2012 復習

第一部

エージェント・アーキテクチャ

第二部

認知の統合

第三部

行動の生成

第四部

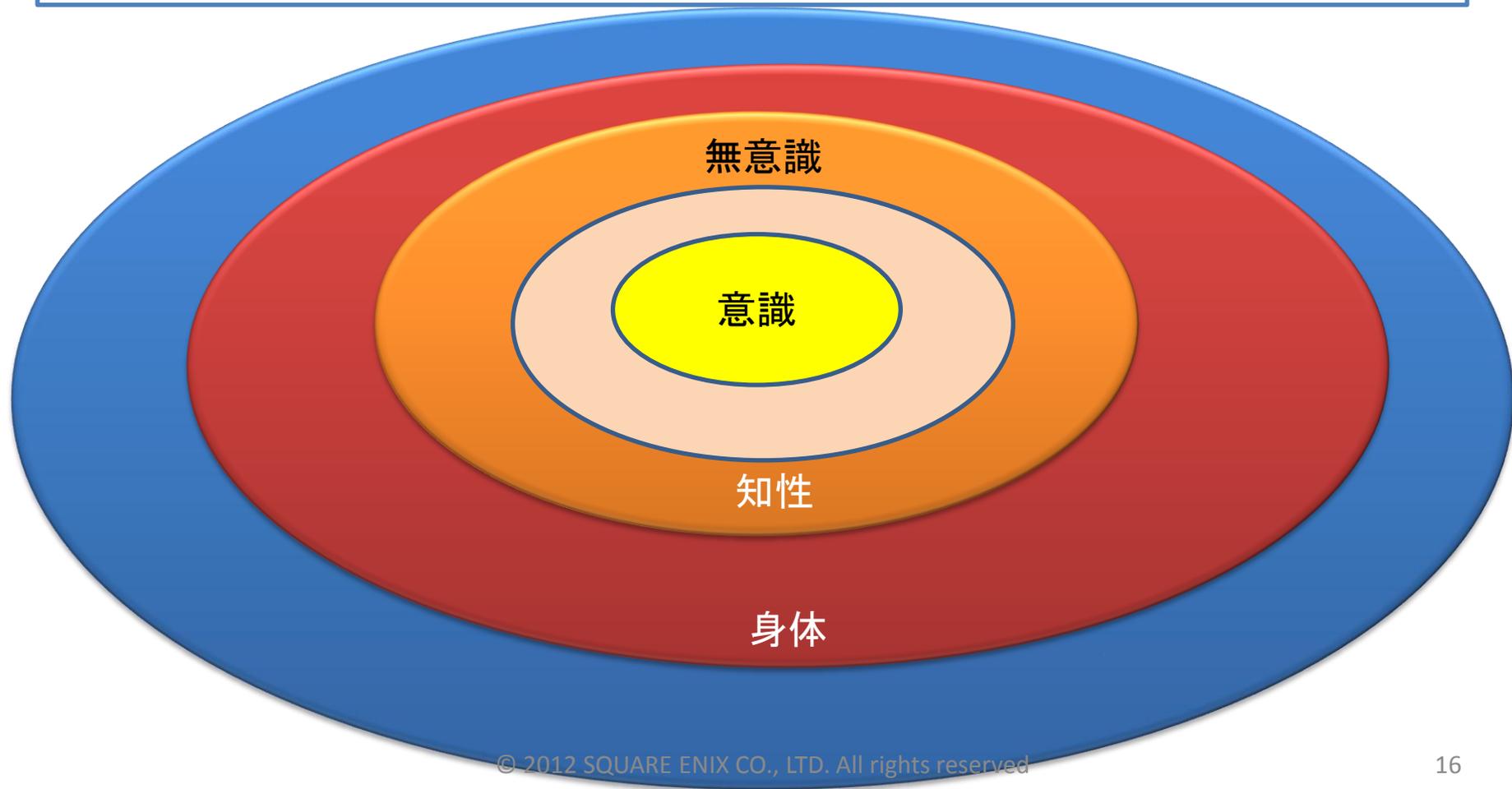
まとめ

「次世代キャラクターAIアーキテクチャーの構築」 (CEDEC 2012)

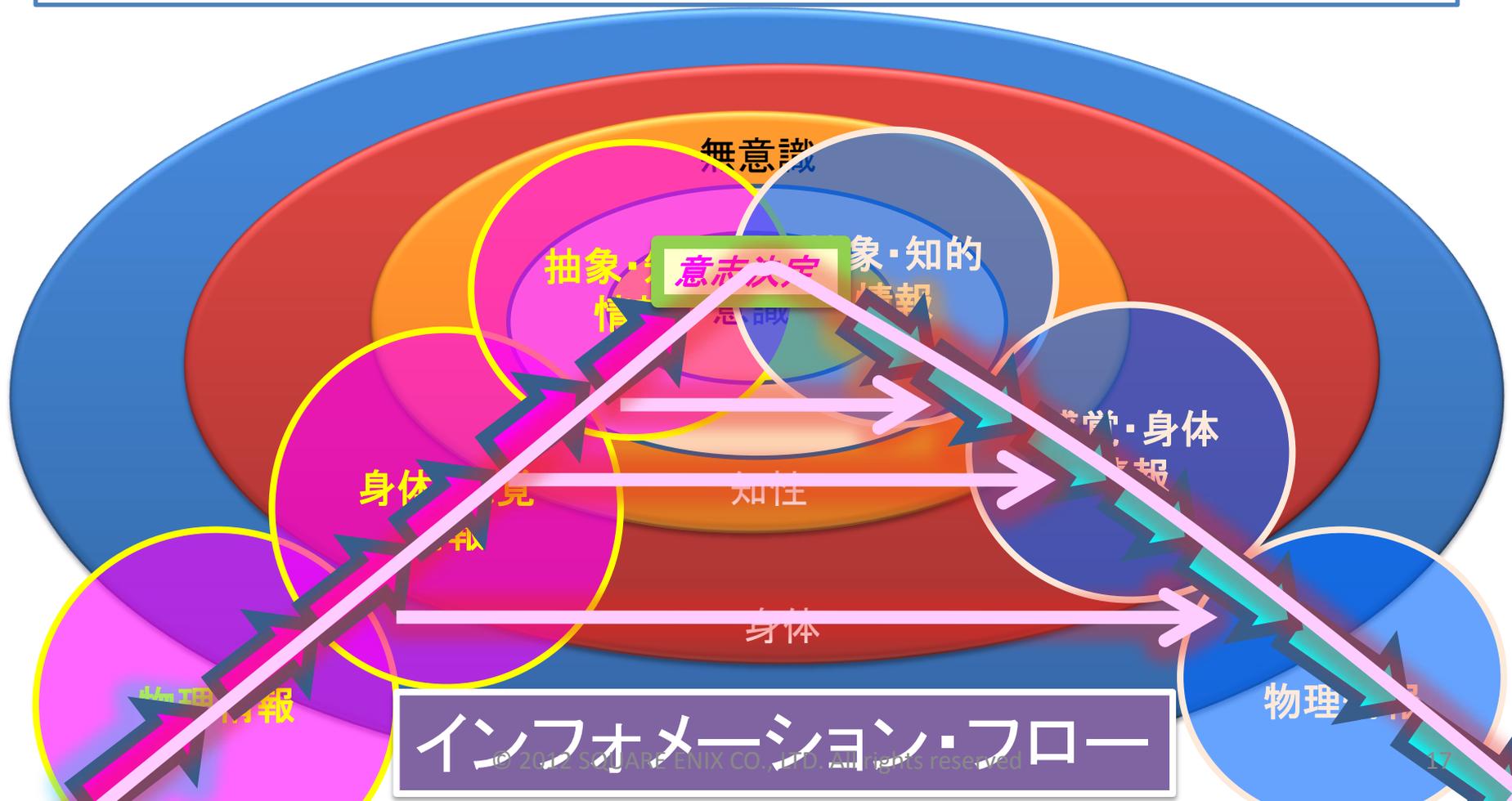
http://cedec.cesa.or.jp/2012/program/PG/C12_P0159.html

CEDEC 2012 復習

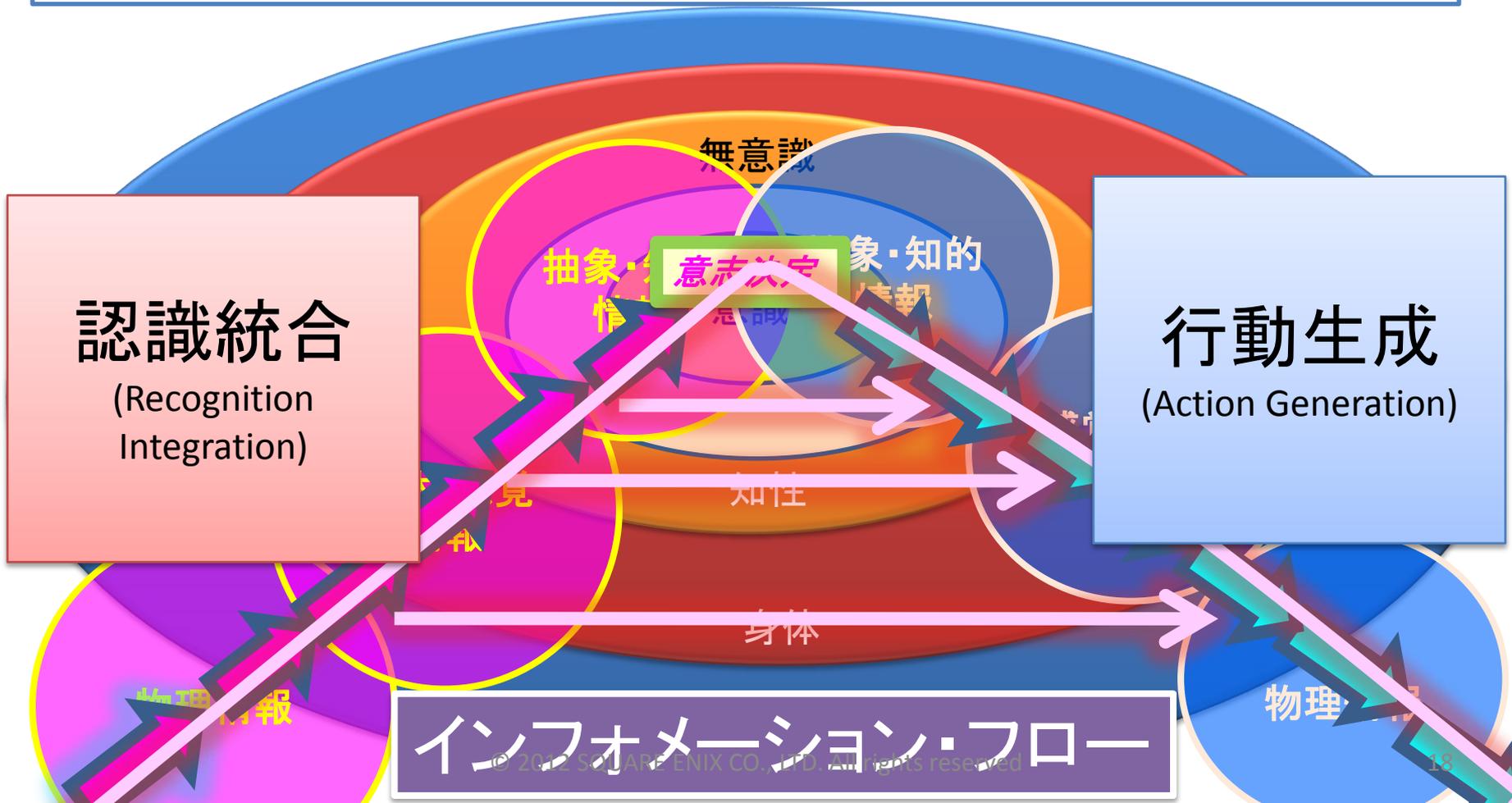
知能の構造図



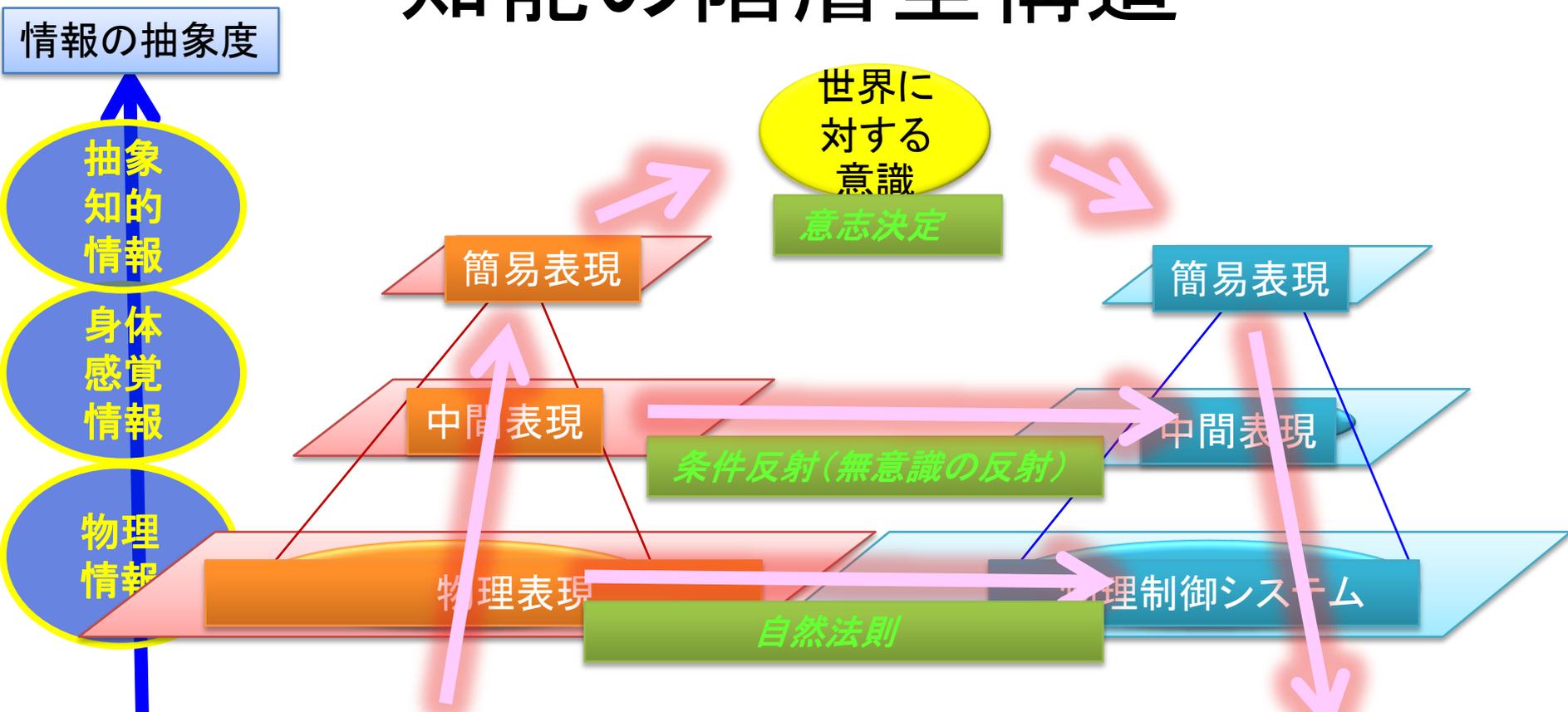
知能の構造図



知能の構造図



知能の階層型構造



認識統合と行動生成

- 認識統合（知覚統合）

Recognition Integration, Sensory Integration

＝知覚・認識の情報から、最終的な認識を形成して行くこと。

- 行動生成

Action Generation (Behavior Synthesis)

＝意思決定・身体から行動を生成して行くこと。

CEDEC 2012 復習おわり

講演コンテンツ

はじめに

CEDEC 2012 復習

第一部

エージェント・アーキテクチャ

第二部

認知の統合

第三部

行動の生成

第四部

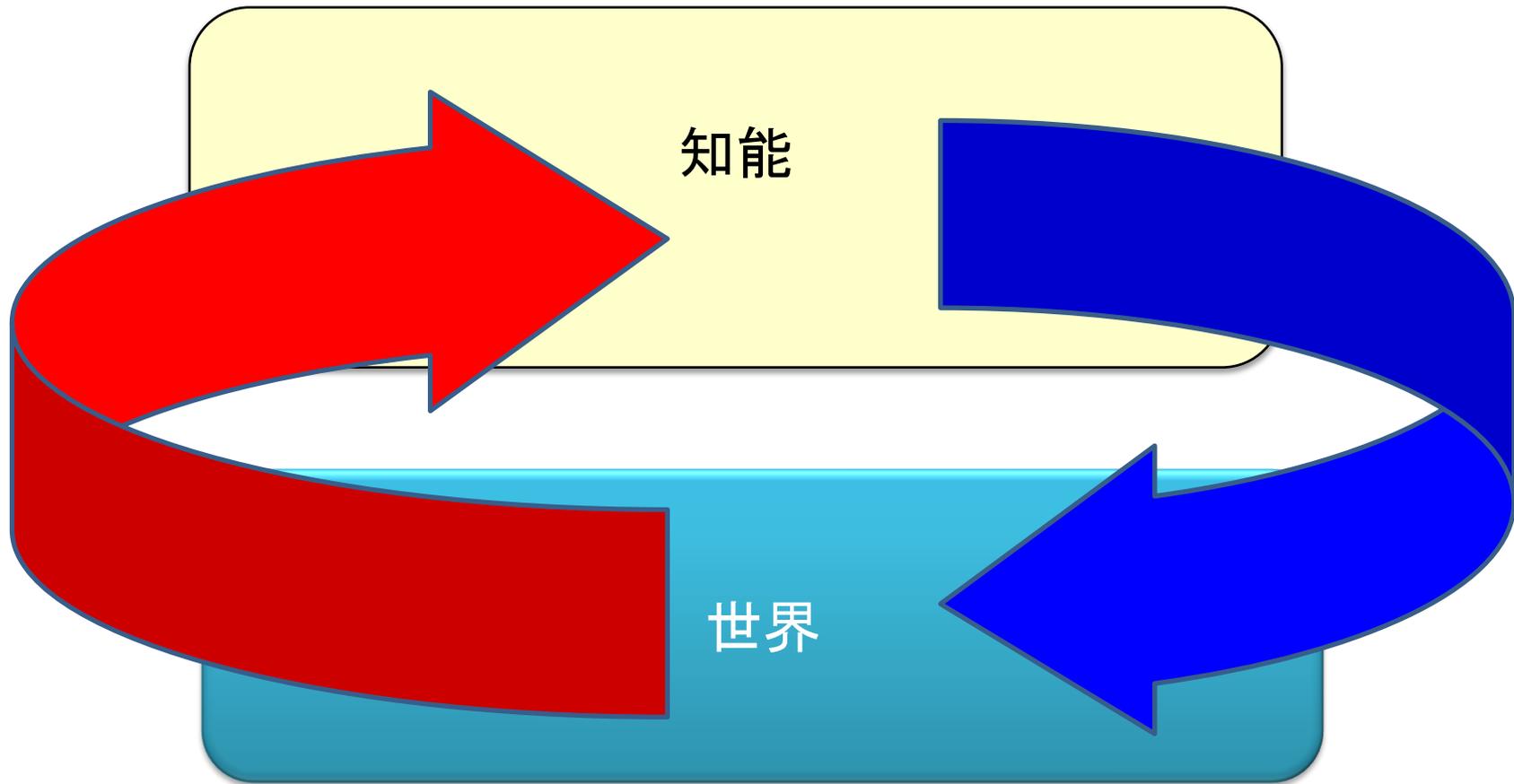
まとめ

Agent Architecture

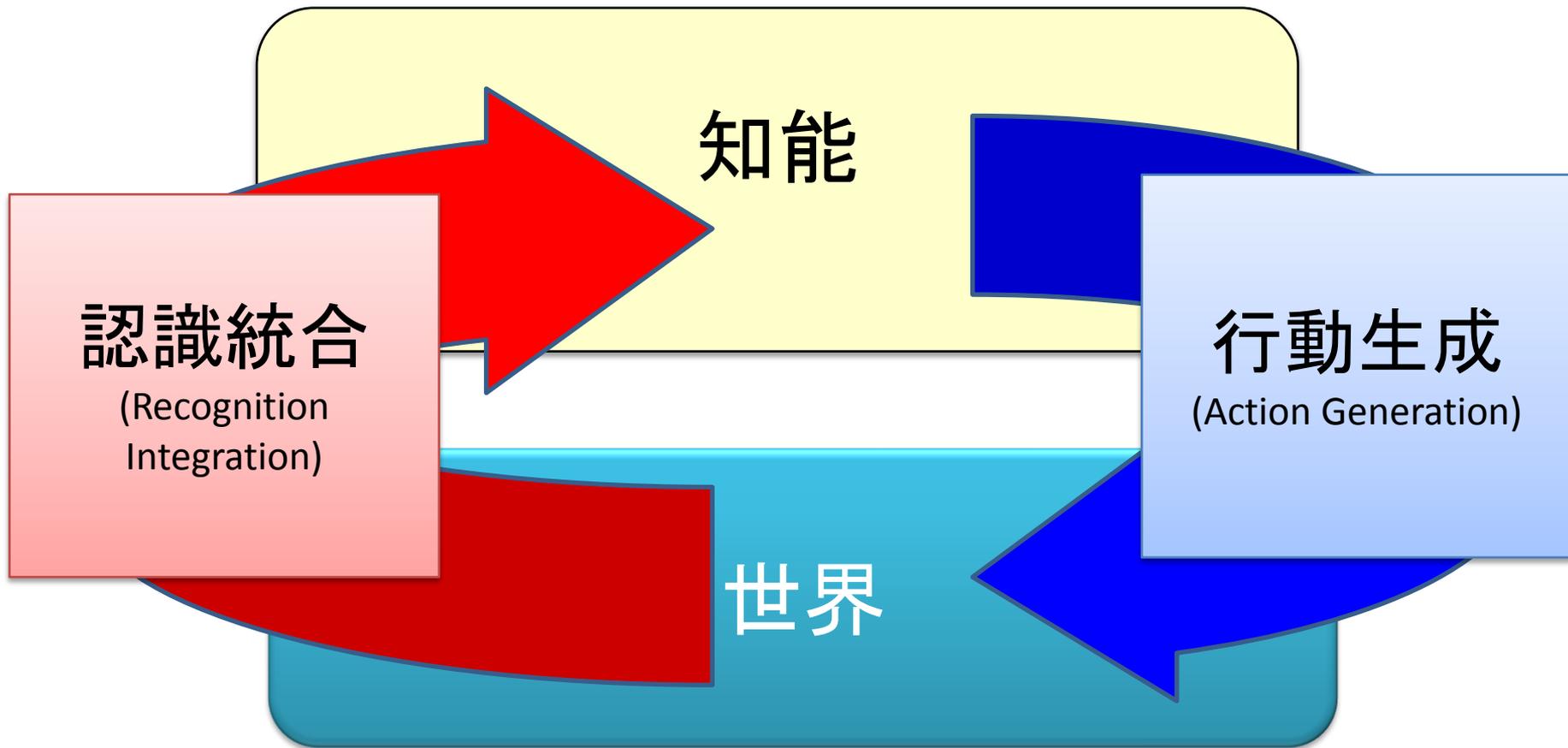
第一部

エージェント・アーキテクチャ

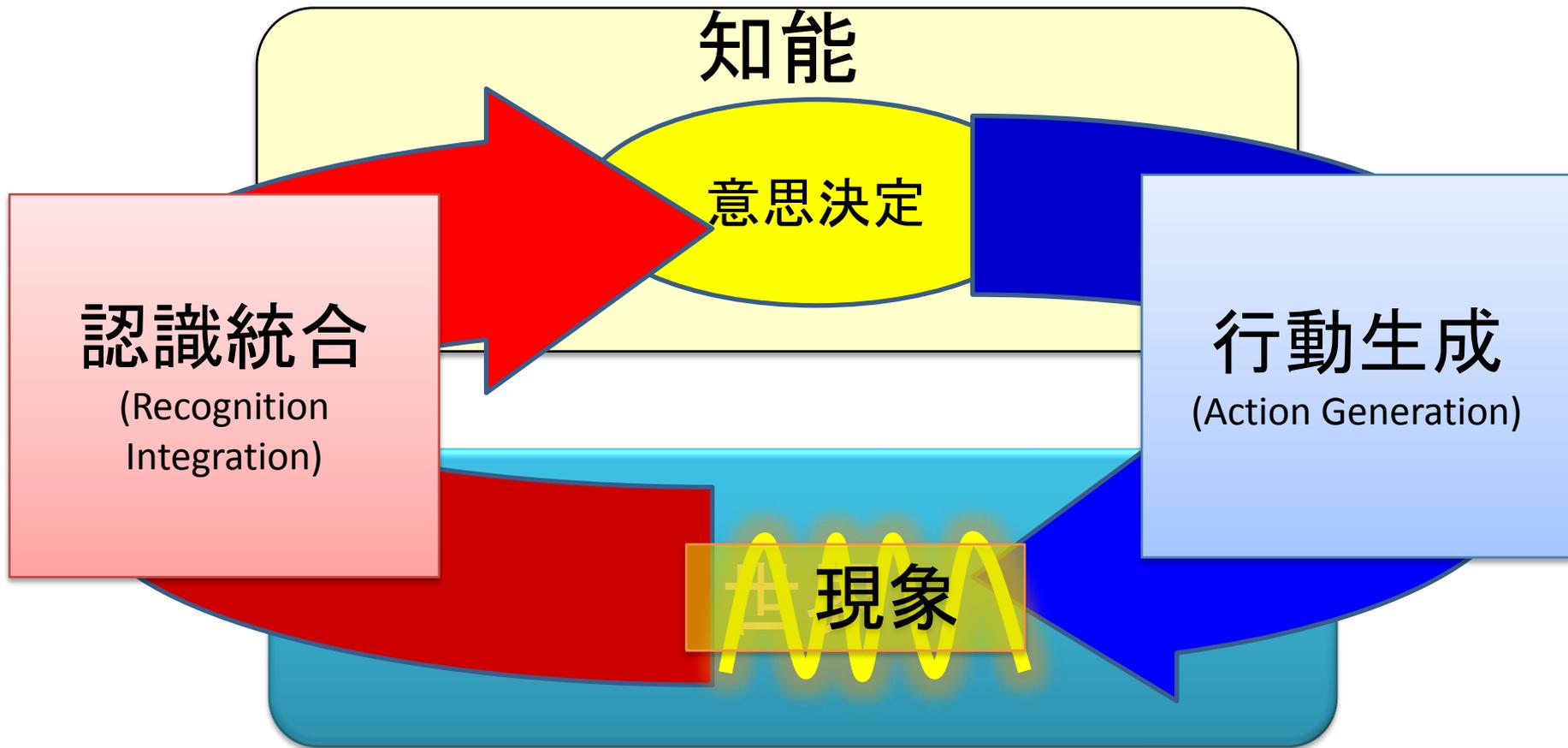
エージェント・アーキテクチャ



認識統合と行動生成



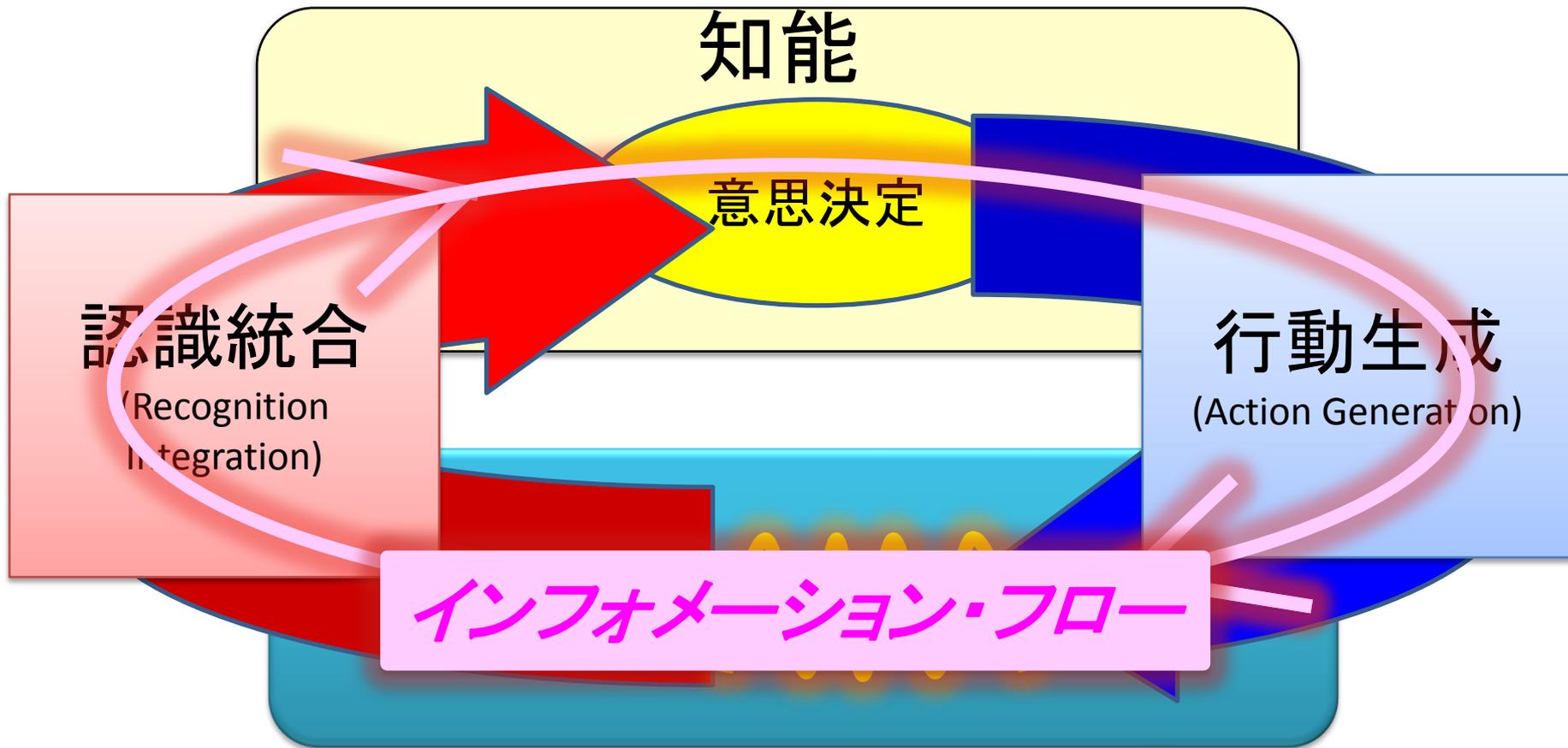
認識統合と行動生成



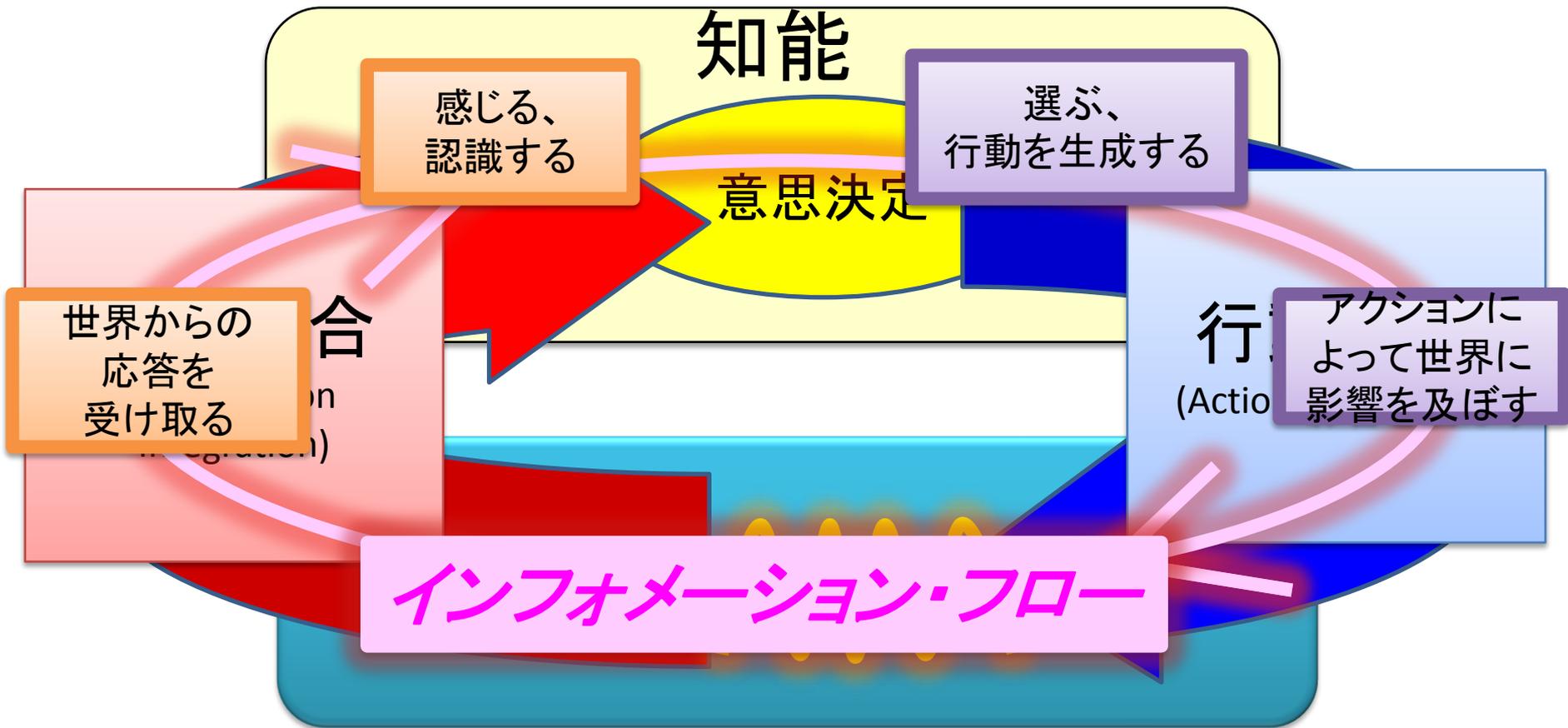
認識統合と行動生成



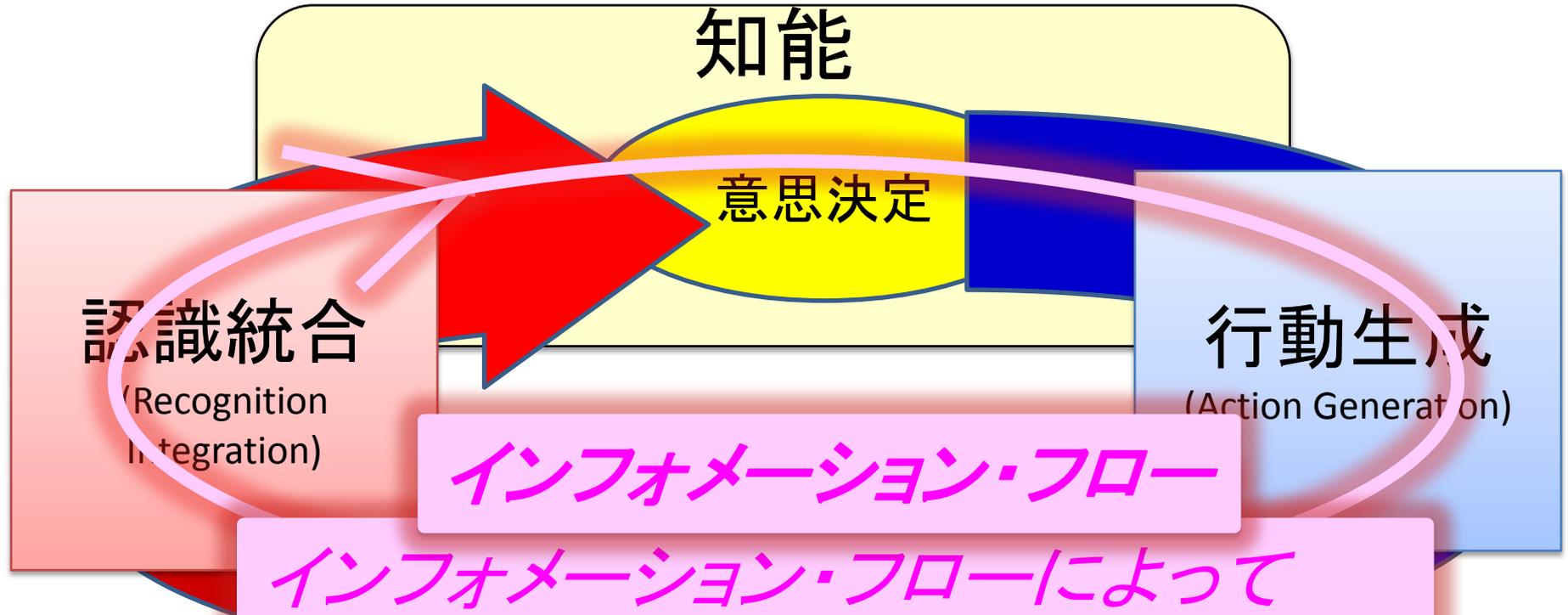
認識統合と行動生成



認識統合と行動生成



認識統合と行動生成



認識統合

(Recognition
Integration)

知能

意思決定

行動生成

(Action Generation)

インフォメーション・フロー

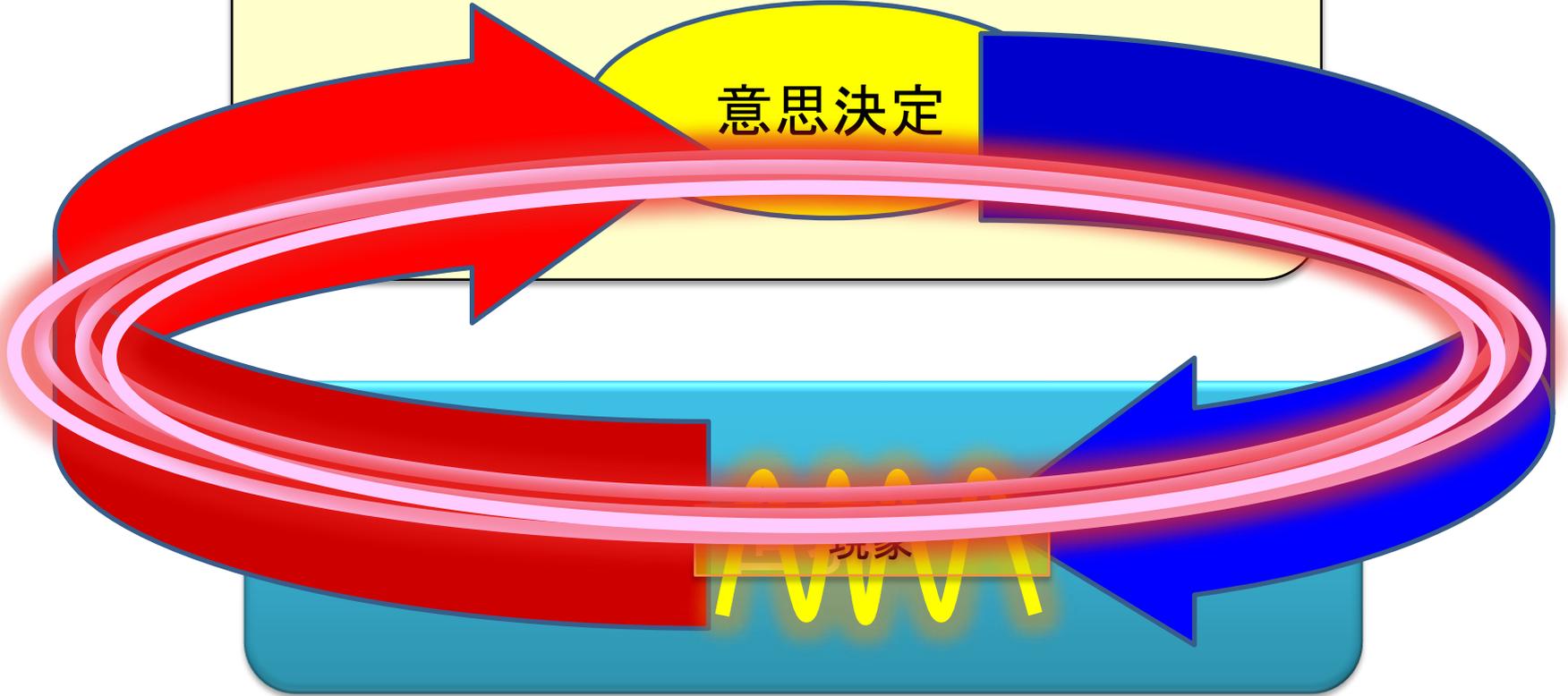
インフォメーション・フローによって
世界と知能が結ばれる。

(特定の現象と意思決定が結ばれる)

認識統合と行動生成

知能

意思決定



認識統合と行動生成

知能

意思決定

インフォメーション・フローは一つではない。
無数にあって、それぞれ固有の仕方で
世界と知能を結ぶ。
= 知能を世界に「バインディング」する。

認識統合と行動生成

知能

意思決定

現象

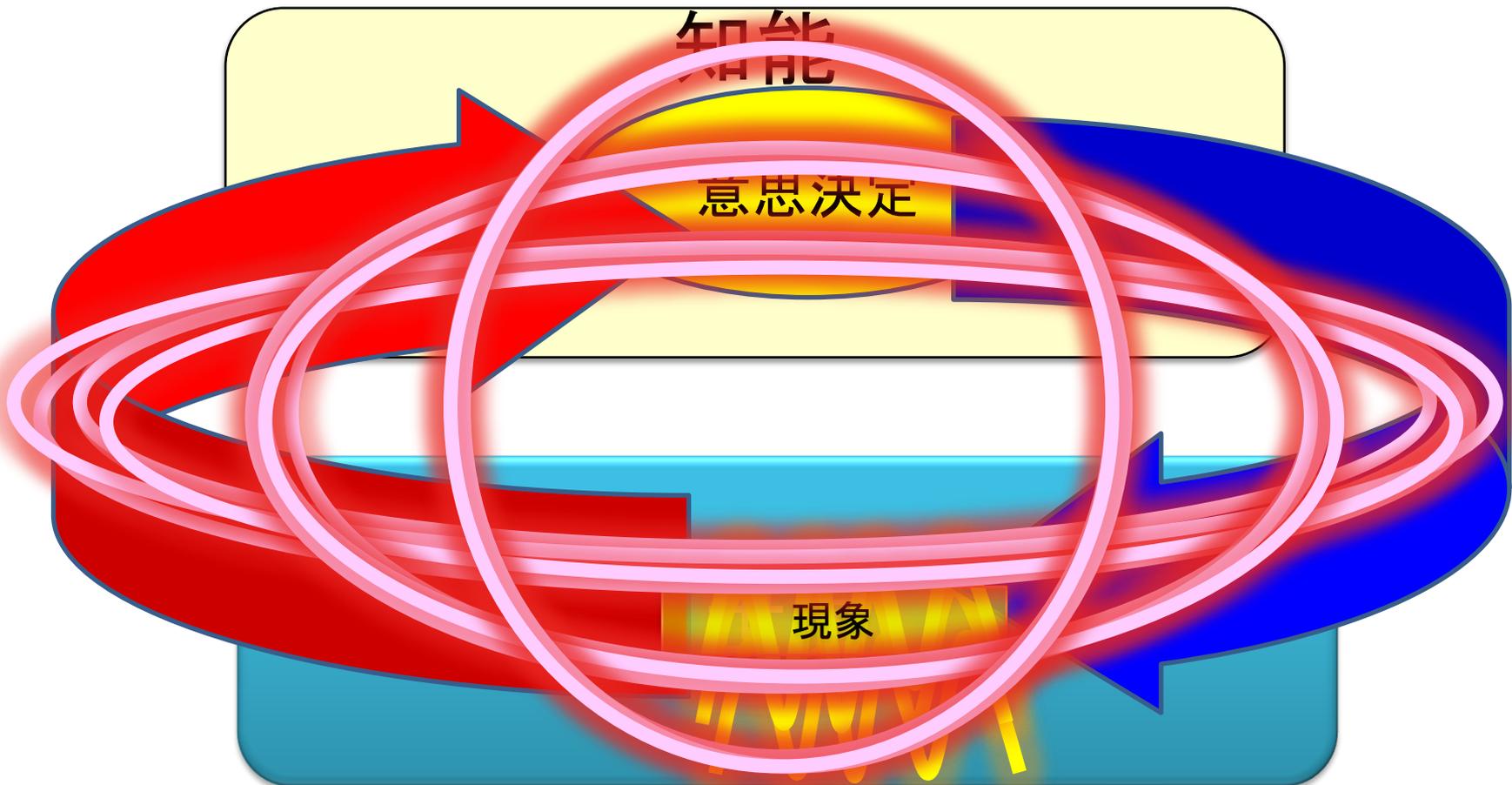
認識統合と行動生成

知能

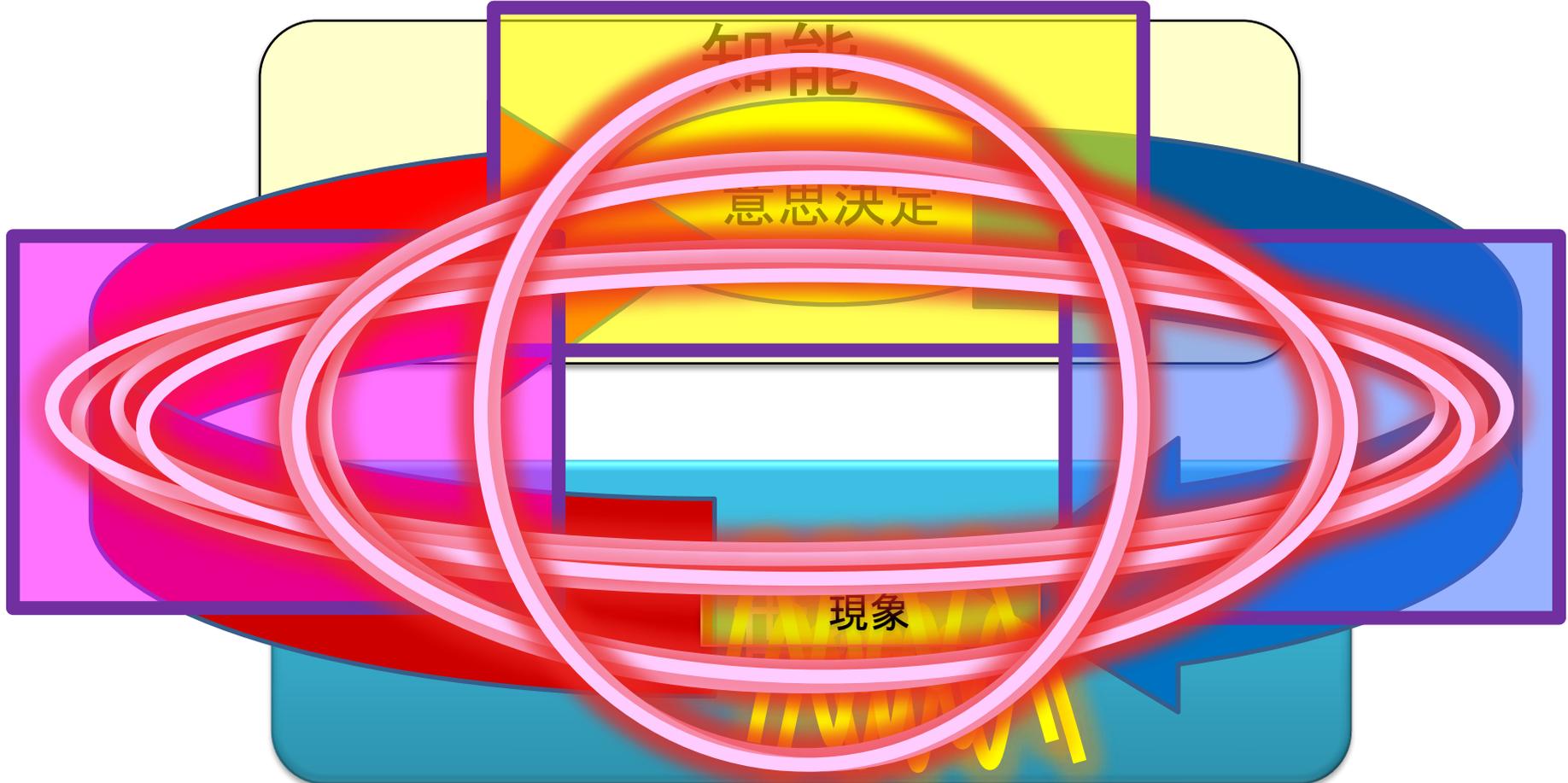
意思決定

インフォメーション・フローの大きな流れは、
束ごとに階層に分かれる。

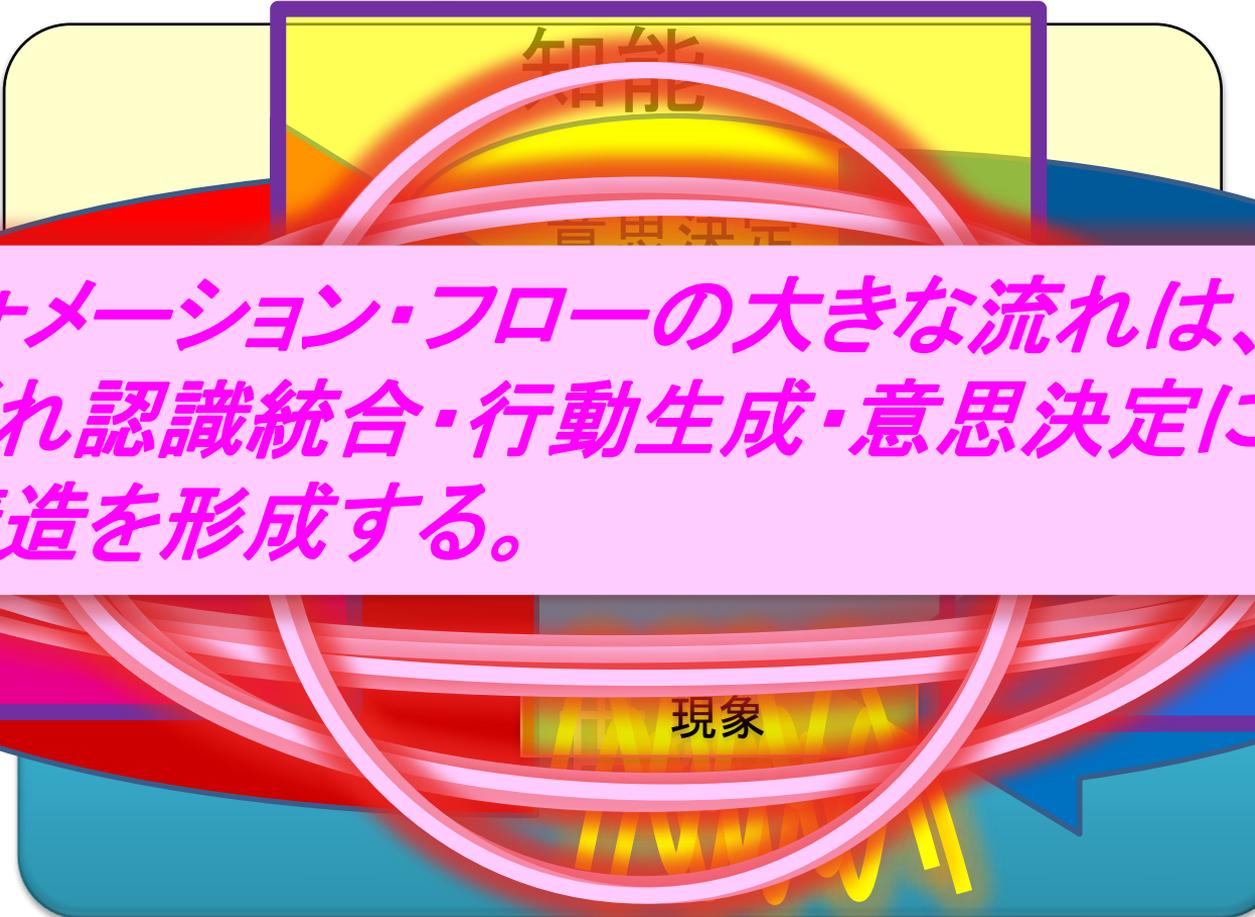
認識統合と行動生成



認識統合と行動生成



認識統合と行動生成



インフォメーション・フローの大きな流れは、
それぞれ認識統合・行動生成・意思決定における
階層構造を形成する。

認識統合と行動生成

知能

意思決定

現象

認識統合と行動生成

知能

意思決定

認識統合

(Recognition
Integration)

現象

認識統合と行動生成

知能

意思決定

現象

行動生成
(Action Generation)

認識統合と行動生成

知能

意思決定

現象

認識統合

(Recognition
Integration)

行動生成

(Action Generation)

エージェント・アーキテクチャ

- 基本としては**エージェント・アーキテクチャ**の上に実装する。
- エージェント・アーキテクチャを、「**認識統合**」「**行動生成**」の二つに分ける。
- **インフォメーション・フロー**によって、「**知能**」「**行動生成**」「**世界**」「**認識統合**」をつなぐ。 = 知能と世界を「**バインディング**」する。

AIを特徴付ける二つのもの

- **アーキテクチャ... 構造。**
 - 環境からインフォメーション・フローを生成し、導き、流す。
 - モジュール・オブジェクトの組み合わせ。
- **フロー ... 構造の間を流れる流れ。**
 - 構造を駆動するデータ(データドリヴン)。
 - 力学系を構成し、動的平衡によってリミットサイクルを形成する。

AIを特徴付ける二つのもの

- **アーキテクチャ... 構造。**

- 環境からインフォメーション・フローを生成し、導き、流す。
- モジュール・オブジェクトの組み合わせ。

- **フロー ... 構造の間を流れる流れ。**

- 構造を駆動するデータ(データドリヴン)。
- データによる力学系を構成し、動的平衡によってリミットサイクルを形成する。

講演コンテンツ

はじめに

CEDEC 2012 復習

第一部

エージェント・アーキテクチャ

第二部

認知の統合

第三部

行動の生成

第四部

まとめ

より深くゲームの世界を理解し参加して行くAI。

Recognition Integration, Sensory Integration

第二部 認識の統合

第二部 コンテンツ

第一章 内知識表現と外知識表現

第二章 認識の統合

第三章 意識モデルの作り方

第四章 認知統合のアーキテクチャ

第二部 コンテンツ

第一章 内知識表現と外知識表現

第二章 認識の統合

第三章 意識モデルの作り方

第四章 認知統合のアーキテクチャ

知識表現・世界表現



人工知能



人工知能は生物のように世界をそのまま認識・解釈できるだろうか？



人工知能



AIが世界(物・事・空間など)を解釈できるように、
世界をうまく表現する = **知識表現 (KR、Knowledge Representation)**

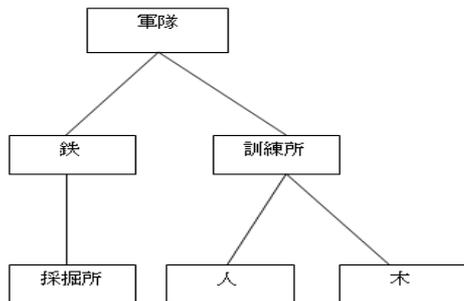
知識表現は世界を捕まえる網



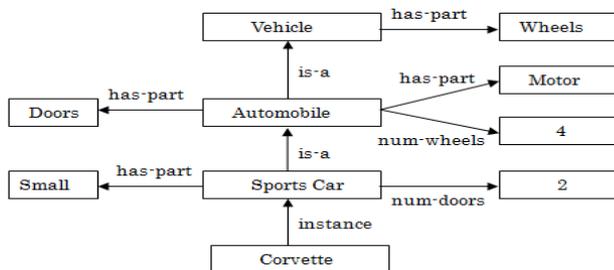
世界

いろいろな知識表現

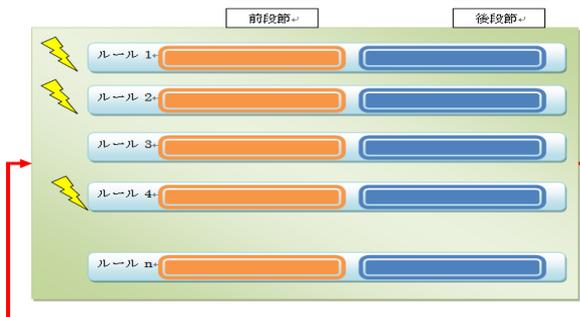
依存グラフ



意味ネットワーク



ルールベース表現



世界表現



敵表現リスト

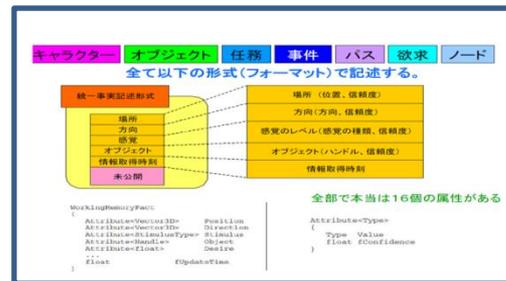
Target Lists

Target			
Perceived data			
location	(x,y,z)	0.99	
action	shoot	0.99	
hitpoints	44	0.99	
Derived data			
Threat	0.8		
Target weight	0.9		
"Intentions"	hurt_me		

Allows AI to make mistakes

Shared computation + expressive power

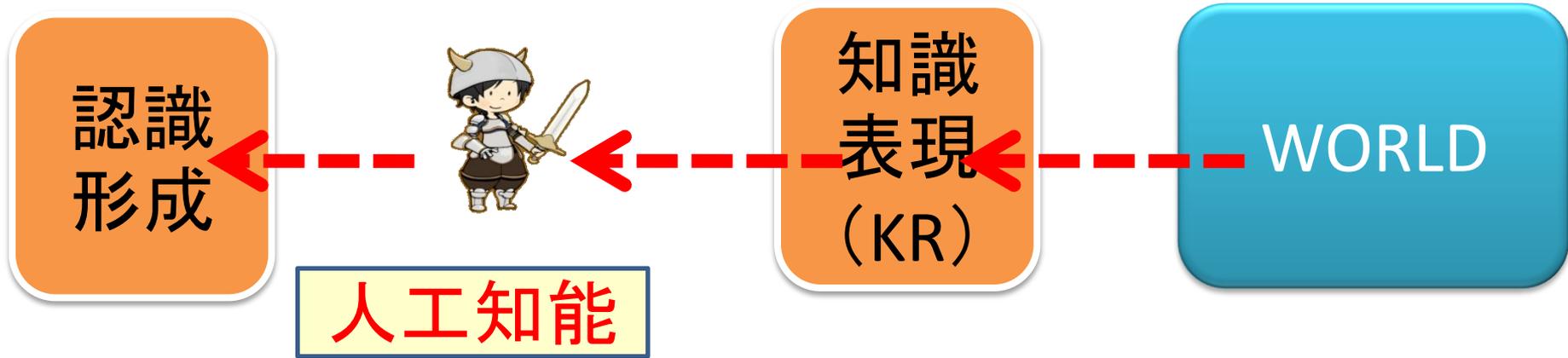
事実表現(信頼度表現)



いろいろな知識表現

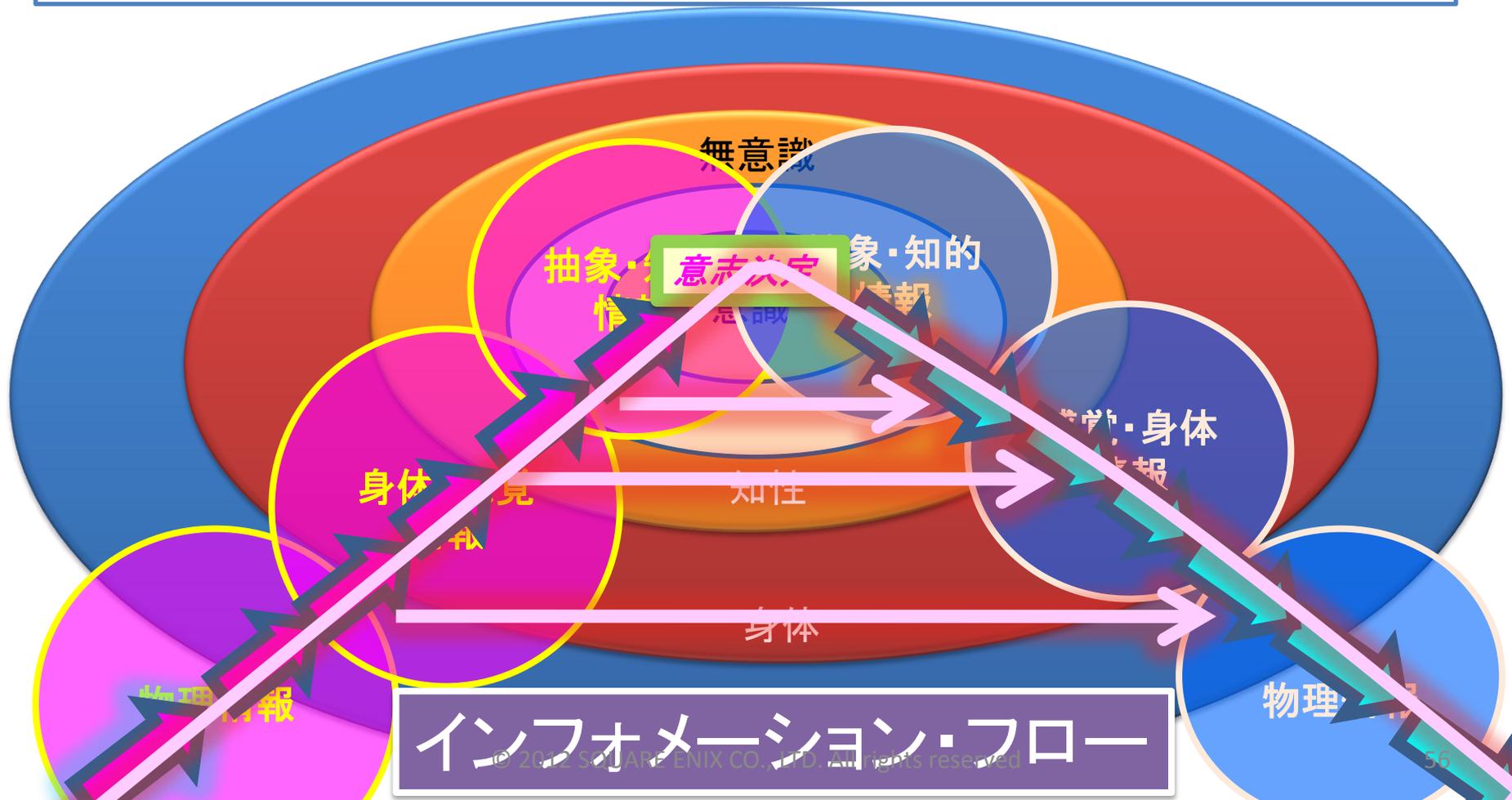
- ユーティリティ
- 統計
- シンボリック・プラン
- ナビゲーション
- 戦術ポジション
- シンボリックポジション
- 会話
- アテンション
- 記憶/知識
- 動的マップ
- 弱点とリスク
- シミュレーション/シンボルプロセス
- ユーザビリティ:
 - 所有権
 - リソース
 - 責任
- ナビゲーション
 - 3D
 - ジャンプ
 - 壁を登る
- 迎撃位置
- 隠れる場所
- アクション
- インタラクティブ・ストーリー
- 戦術解析

知識表現・世界表現



AIが世界(物・事・空間など)を解釈できるように、
世界をうまく表現する = **知識表現 (KR、Knowledge Representation)**

知能の構造図

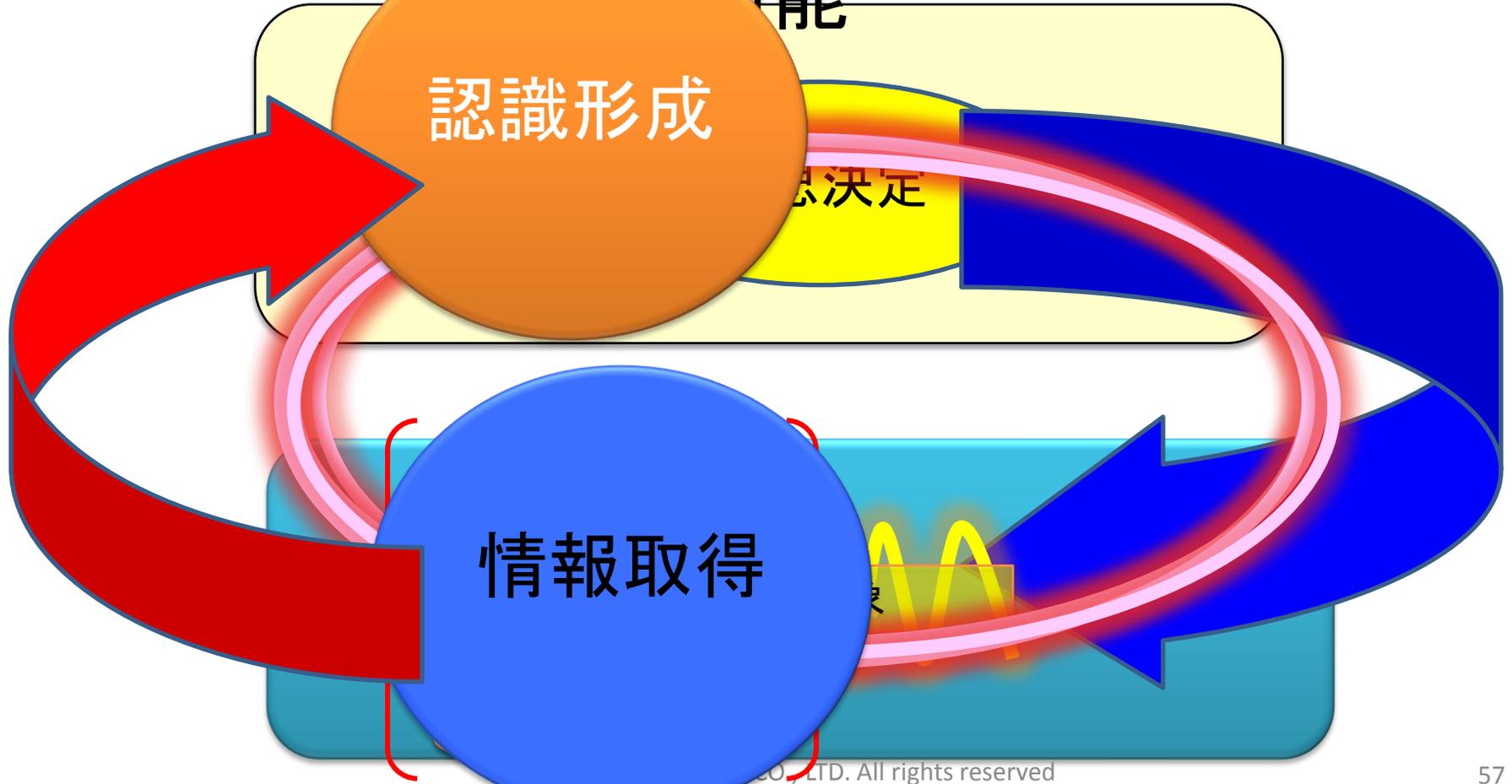


認識統合と行動生成

認識形成

意思決定

情報取得



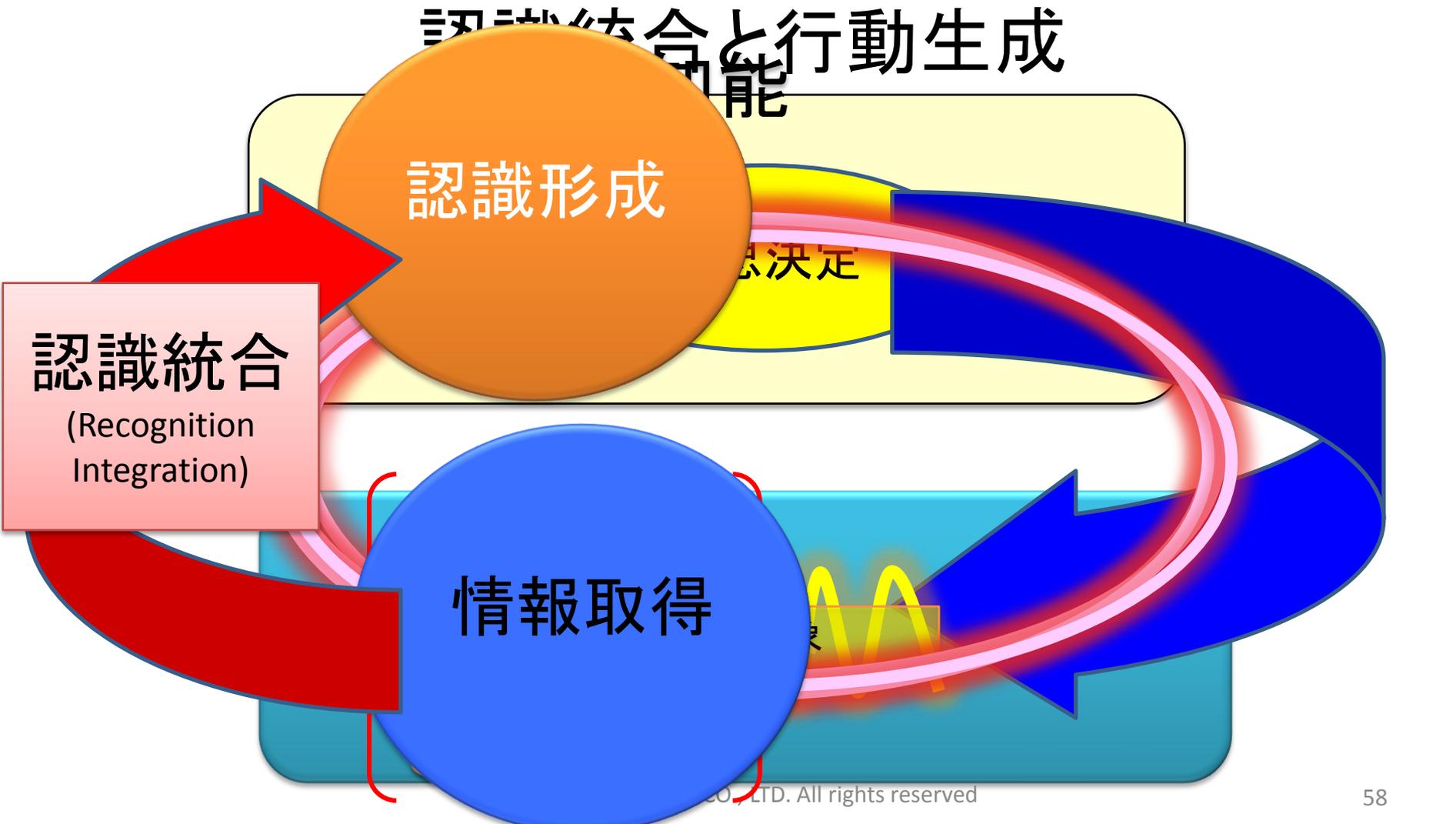
認識統合と行動生成

認識形成

認識統合

(Recognition
Integration)

情報取得



認識統合と行動生成

認識の
表現

認識統合

(Recognition
Integration)

世界の
表現

認識統合と行動生成

人間関係、
事実表現、
信頼性、
経験知識

認識統合
(Recognition
Integration)

オブジェクト表現
地形表現
状況表現
ゲーム表現
ルール表現

認識統合と行動生成

認識の
表現

認識統合

(Recognition
Integration)

世界の
表現

認知統合と行動生成

認識の
表現

どちらも
知識表現

世界の
表現

認知統合
(Recognition
Integration)

認識統合と行動生成



認識統合

(Recognition
Integration)



外知識表現 (KR-OUT)
と呼ぶことにします

認識統合と行動生成

内知識
表現

(KR-IN)

外知識表現という型によって世界から情報を切り取り、認識統合を通じて、
ない知識表現の型による知識と認識を形成する。

外知識
表現
(KR-OUT)

と呼ぶことにします

第二部 コンテンツ

第一章 内知識表現と外知識表現

第二章 認識の統合

第三章 意識モデルの作り方

第四章 認知統合のアーキテクチャ

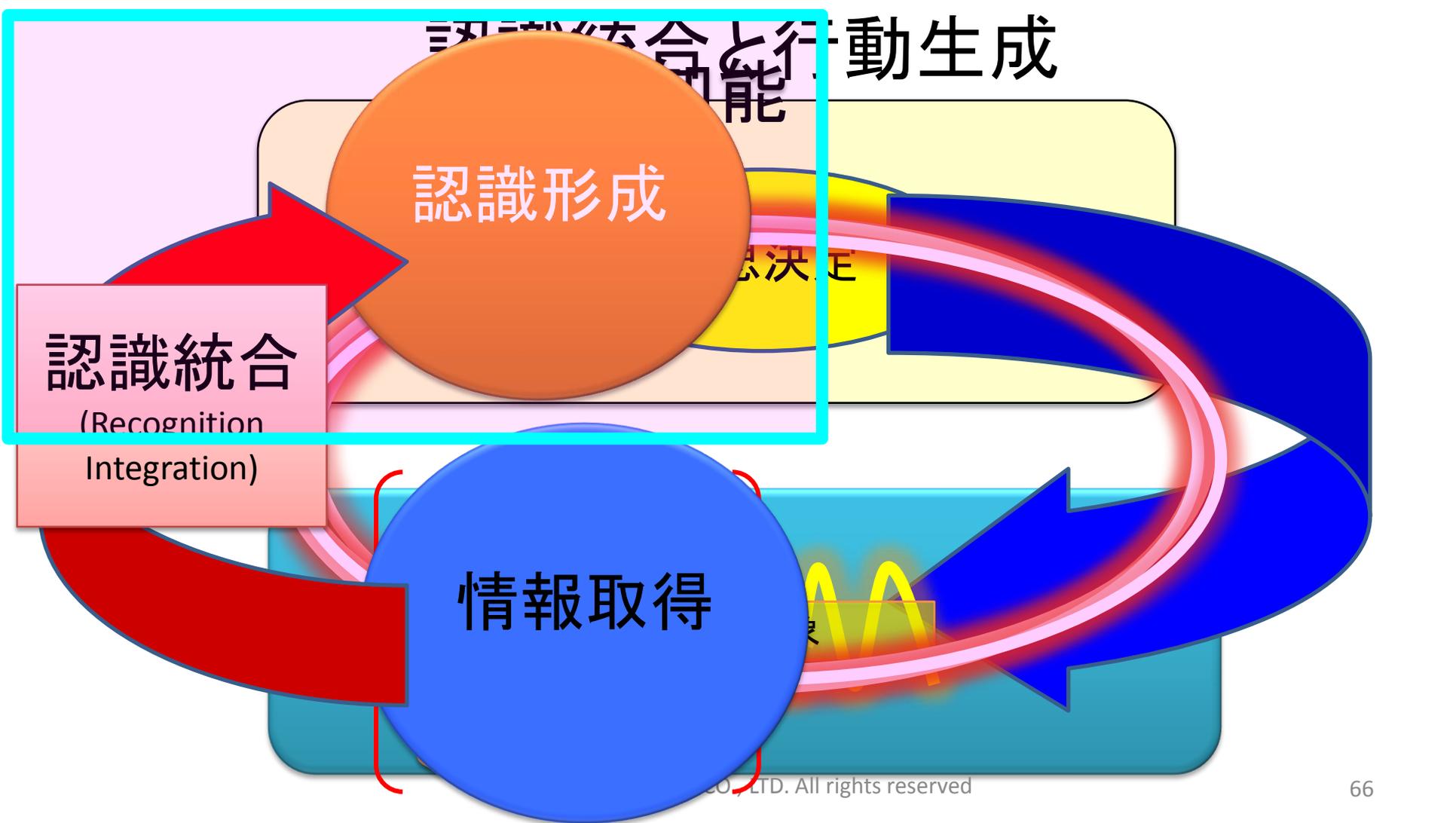
認識統合と行動生成

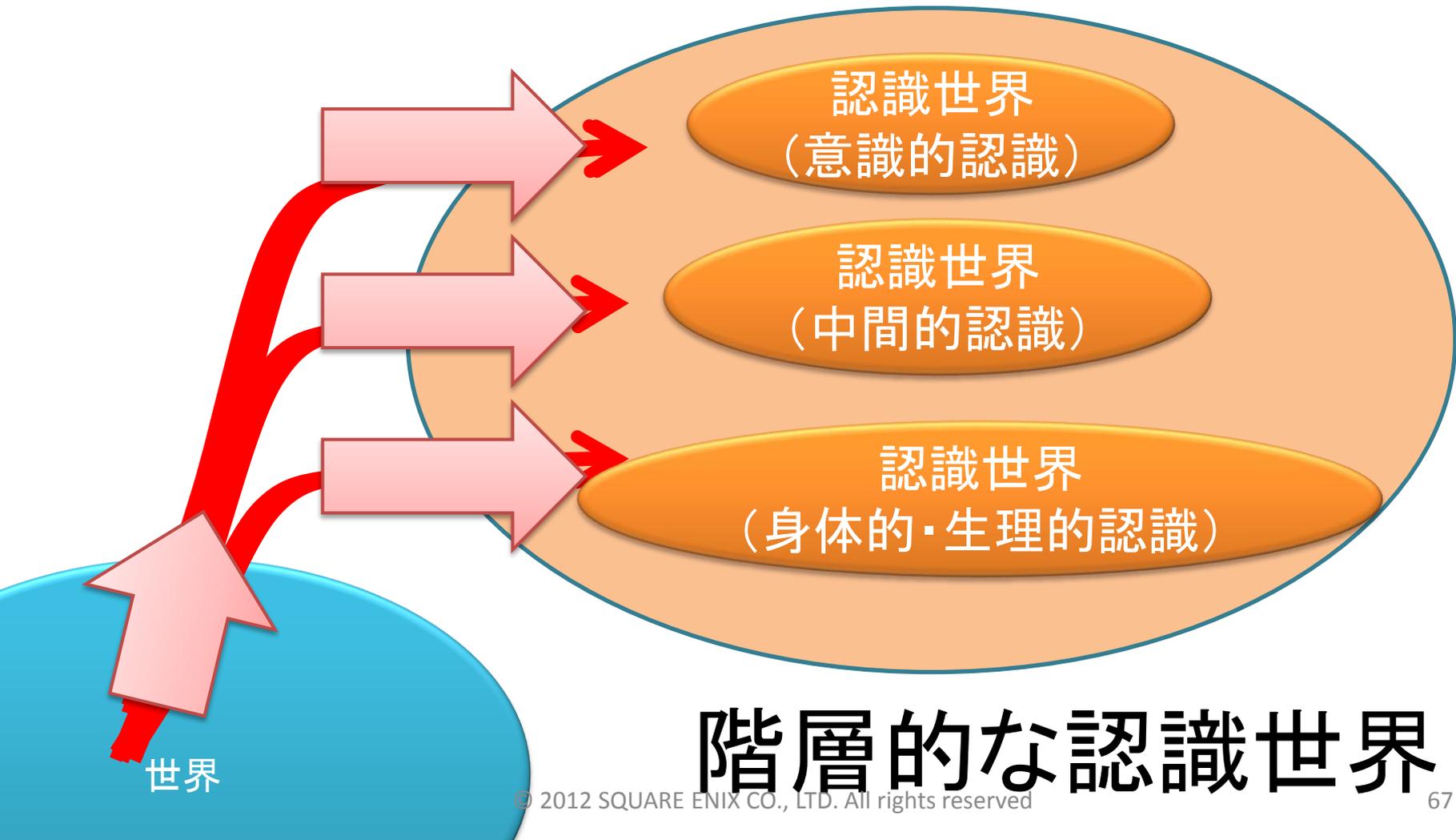
認識形成

認識統合

(Recognition
Integration)

情報取得



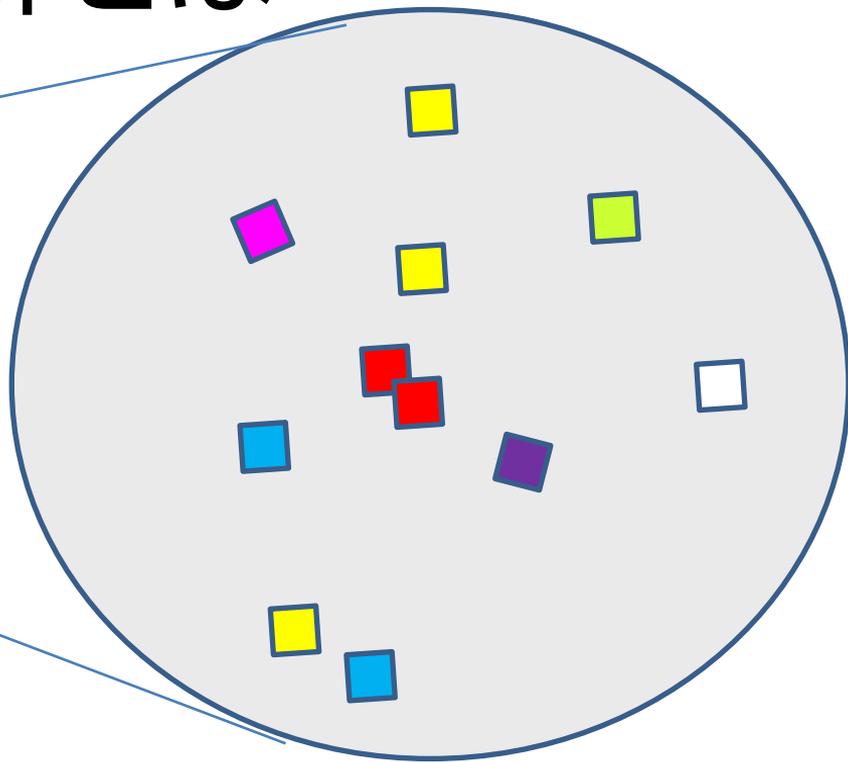


階層的な認識世界

認識世界とは

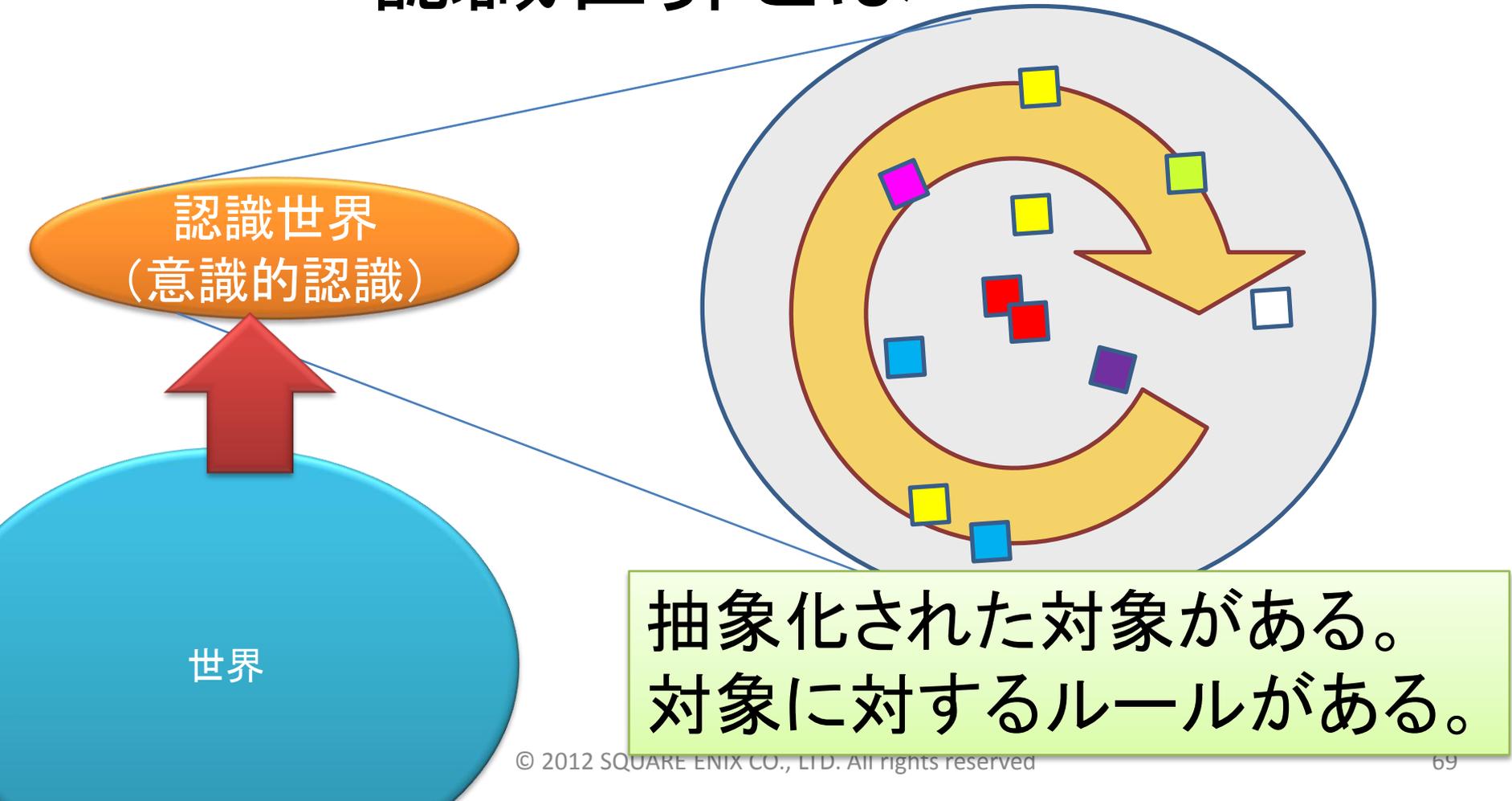
認識世界
(意識的認識)

世界



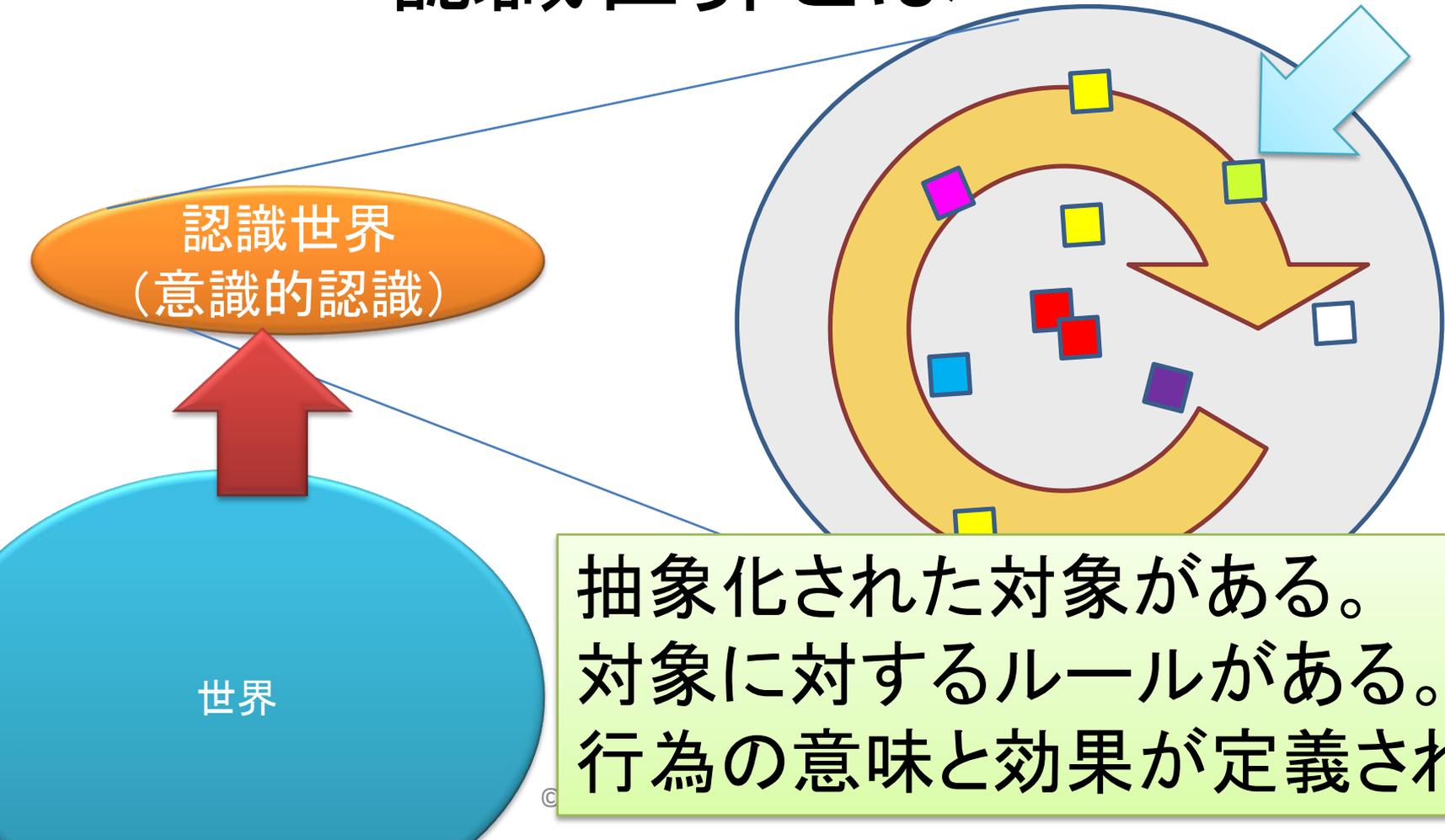
抽象化された対象がある。

認識世界とは



抽象化された対象がある。
対象に対するルールがある。

認識世界とは



認識世界
(意識的認識)

世界

抽象化された対象がある。
対象に対するルールがある。
行為の意味と効果が定義される。

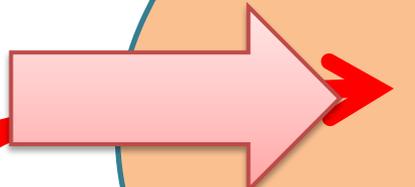
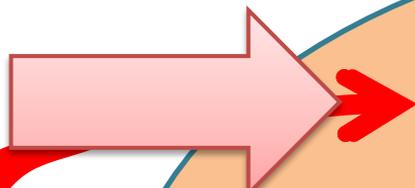
外面的(世界)



内面的(身体的)



世界



認識世界
(意識的認識)

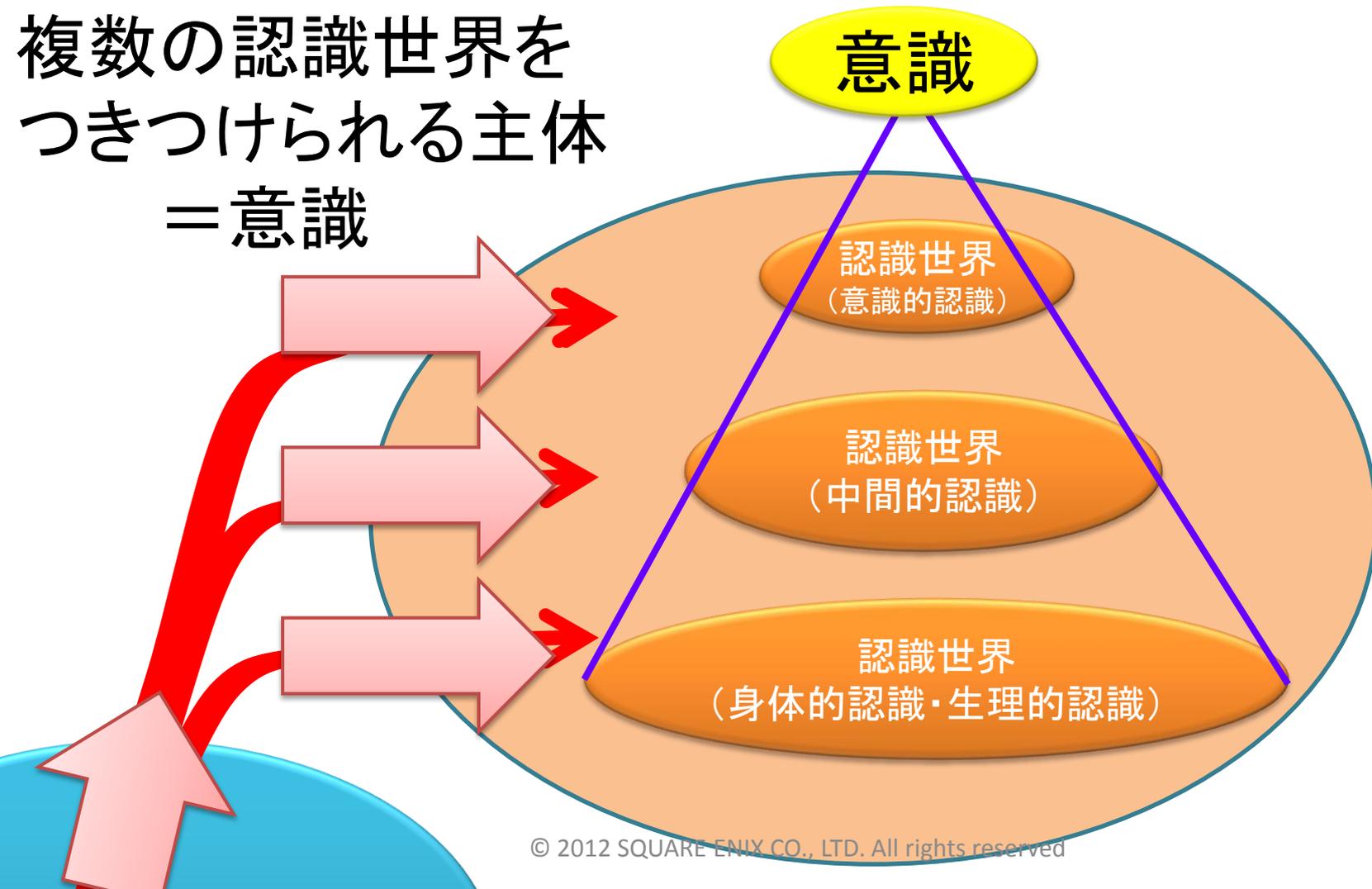
認識世界
(中間的認識)

認識世界
(身体的・生理的認識)

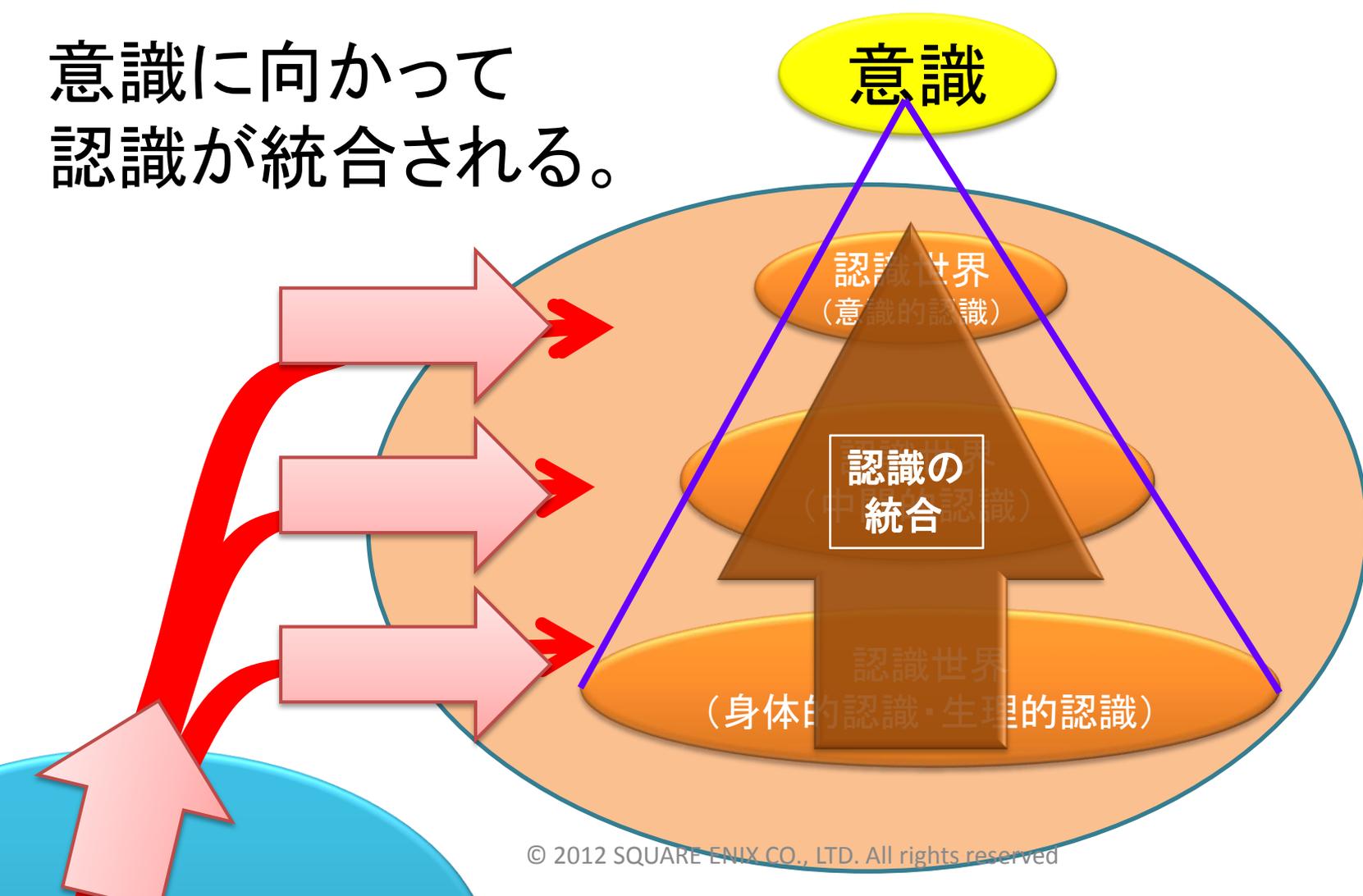
それぞれの
レベルで
認識された
世界

階層的認識の形成

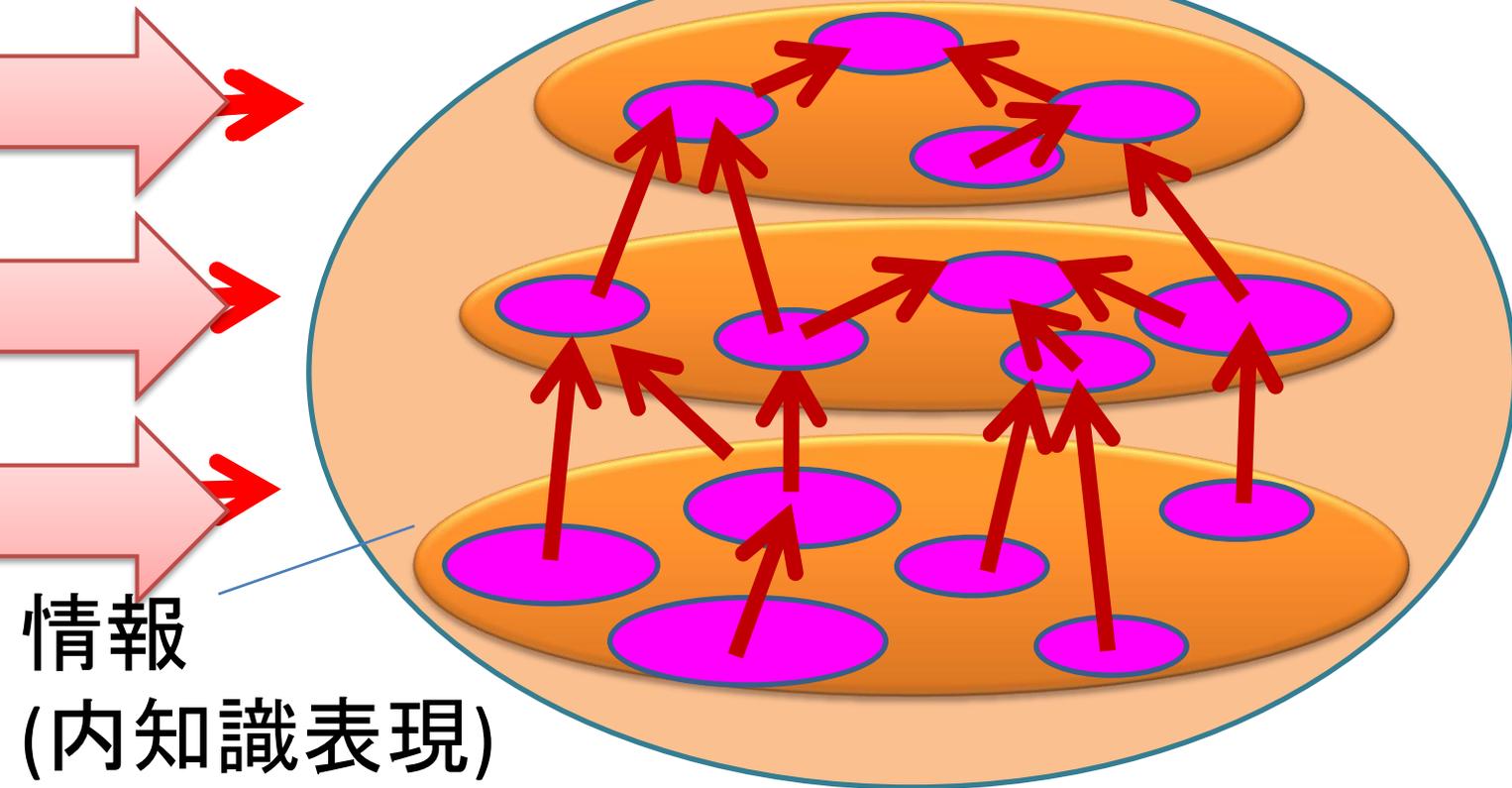
複数の認識世界を
つきつけられる主体
= 意識



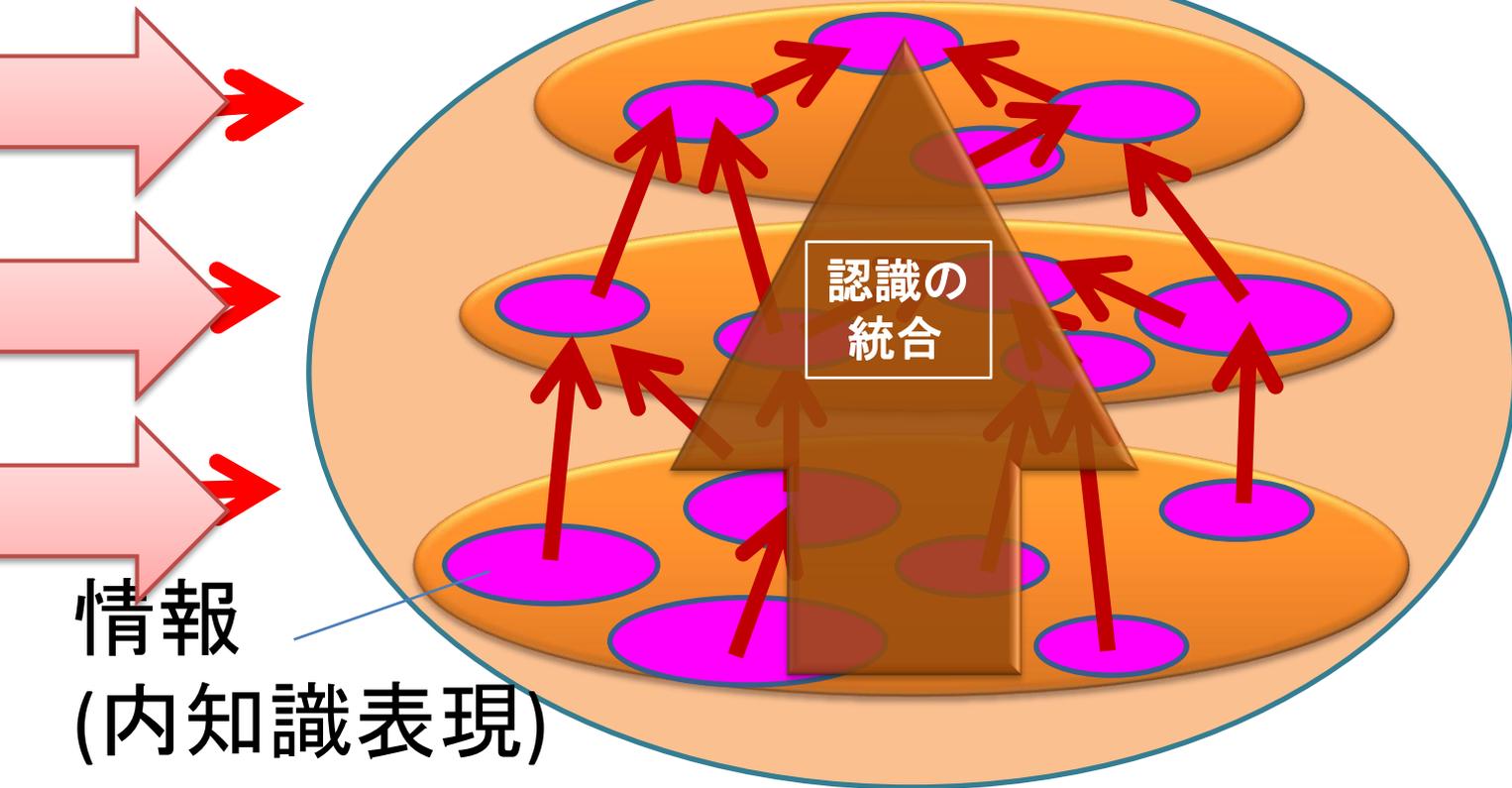
意識に向かって
認識が統合される。



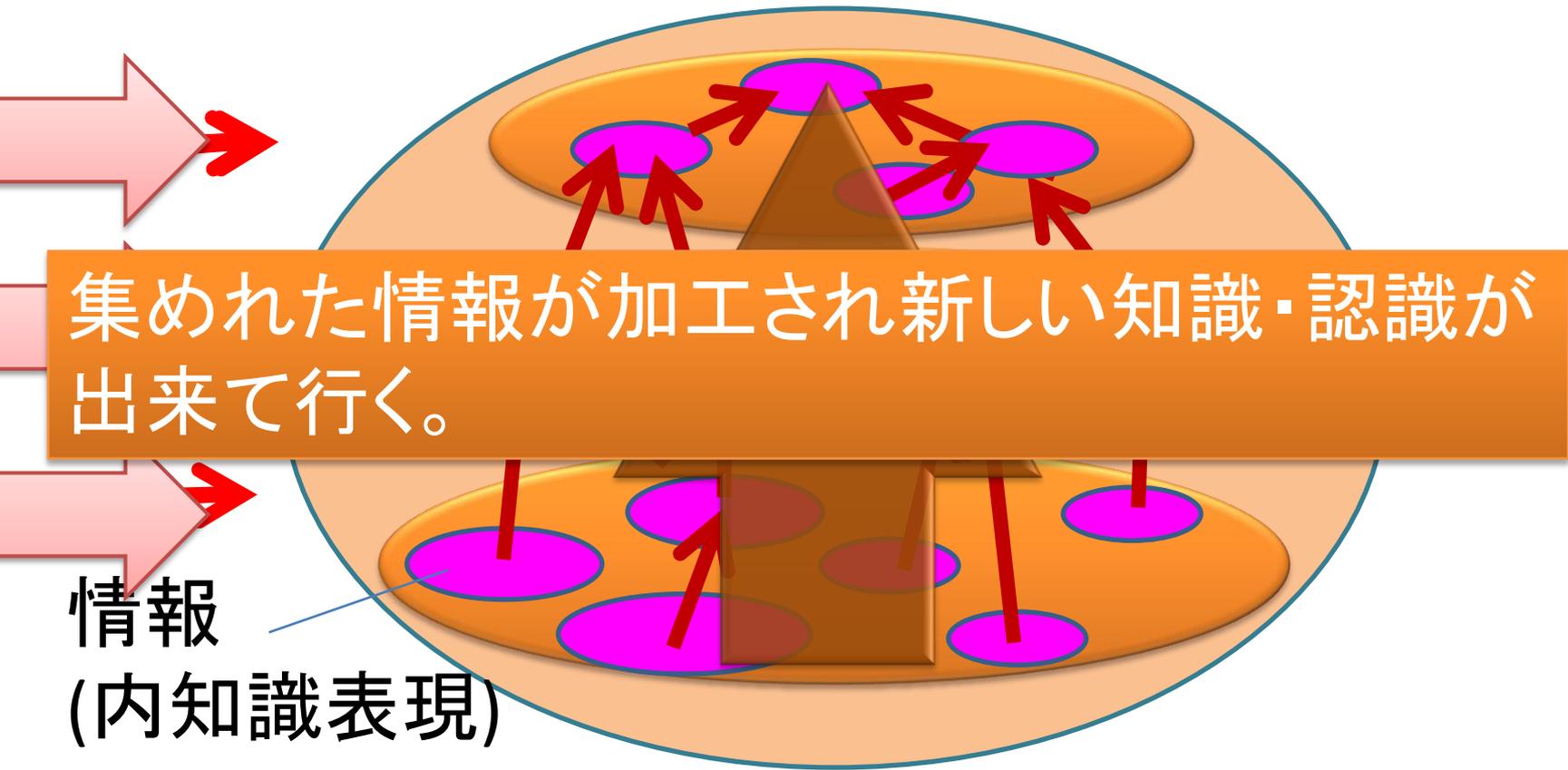
認識の統合



認識の統合

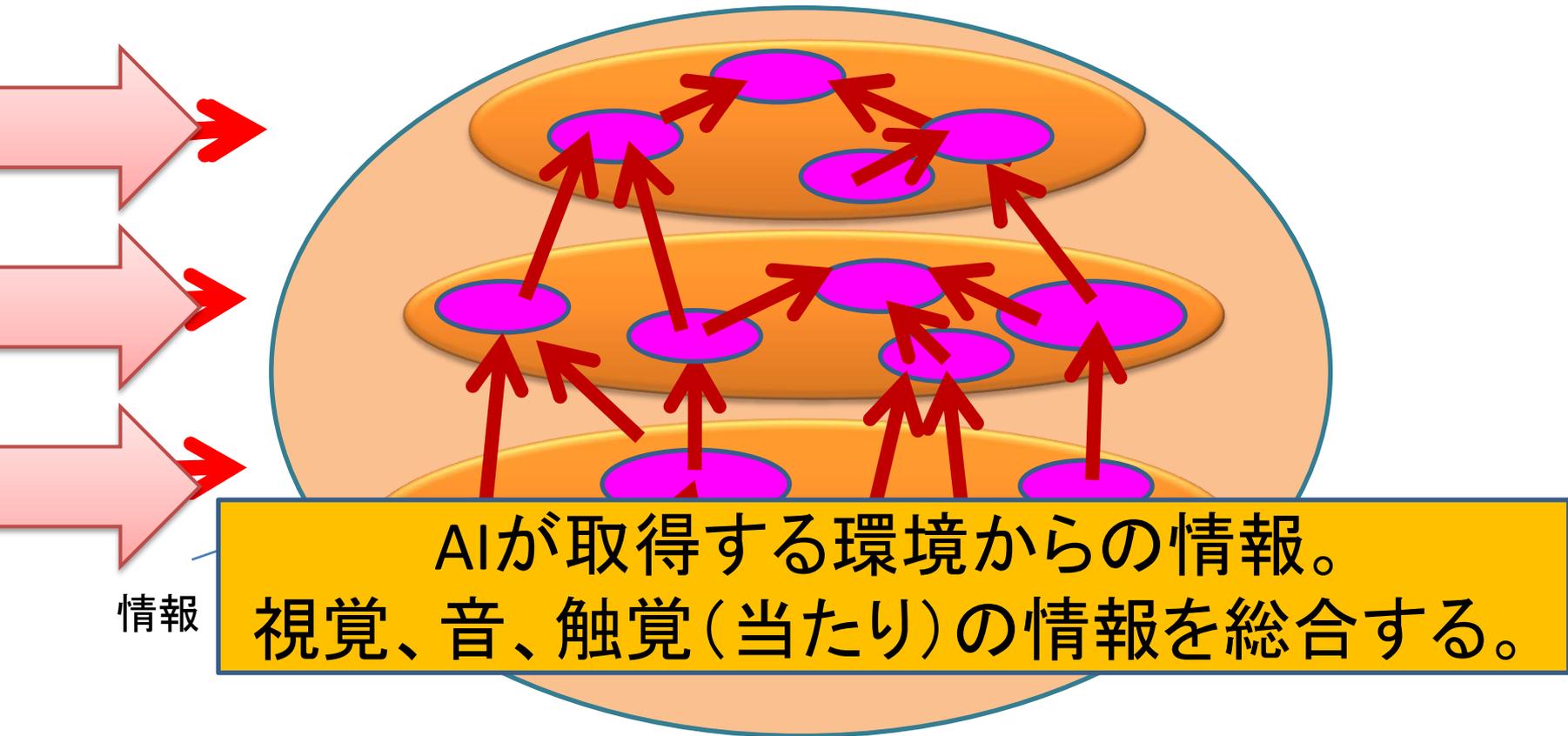


認識の統合



情報
(内知識表現)

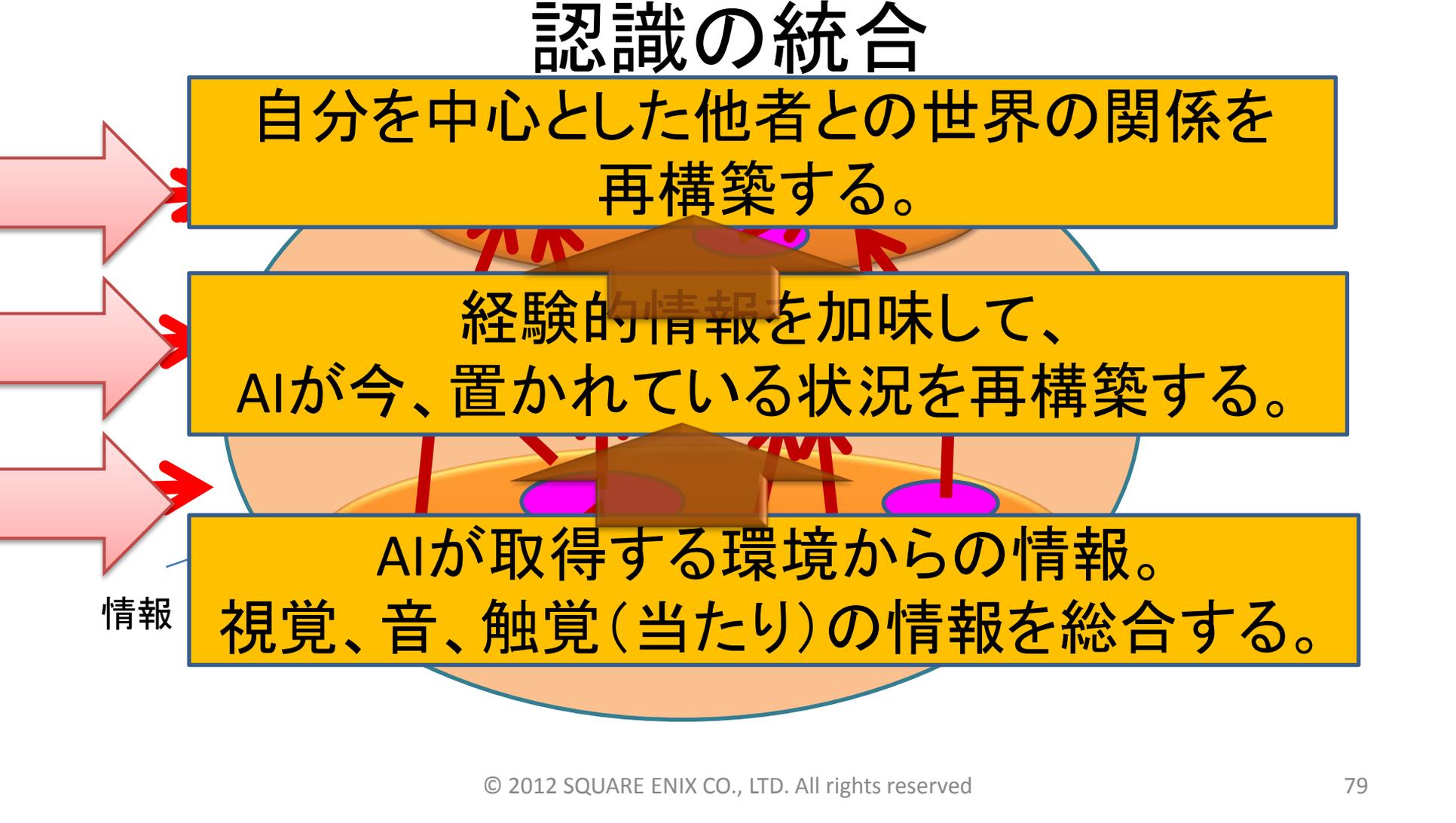
認識の統合



認識の統合



認識の統合



自分を中心とした他者との世界の関係を再構築する。

The diagram features a central orange circle with a blue outline. Inside this circle, there are two brown, house-like shapes pointing upwards. Red arrows point from these shapes towards the top and bottom of the circle. On the left side, three large pink arrows point towards the central circle. The text is contained within yellow rectangular boxes with blue borders, stacked vertically over the central circle.

経験的情報を加味して、AIが今、置かれている状況を再構築する。

AIが取得する環境からの情報。
視覚、音、触覚(当たり)の情報を総合する。

情報

認識の統合

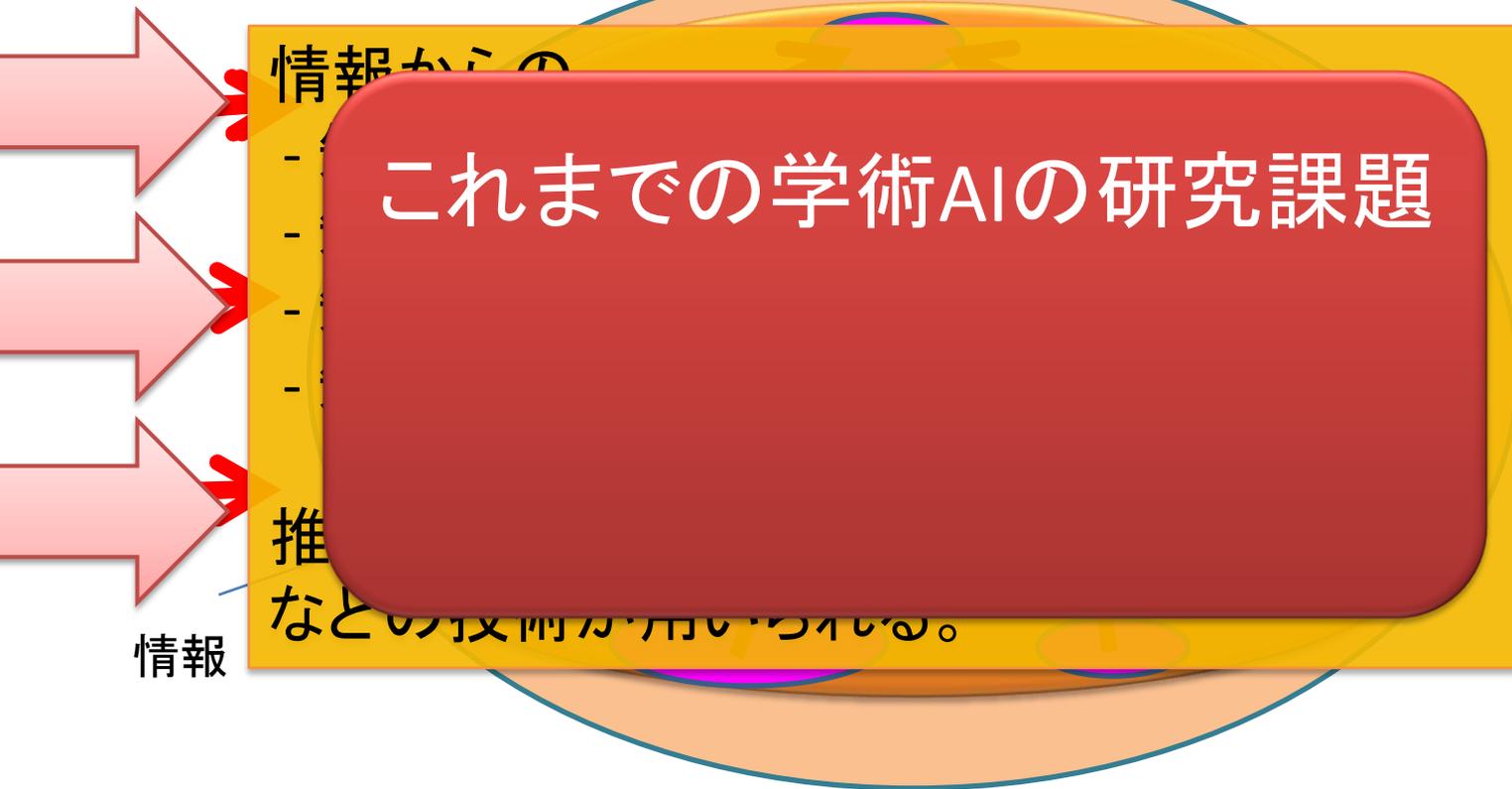
情報からの

- 知識の**創出**
- 知識の**更新(アップデート)**
- 知識の**拡大**
- 知識の**融合**が行われる。

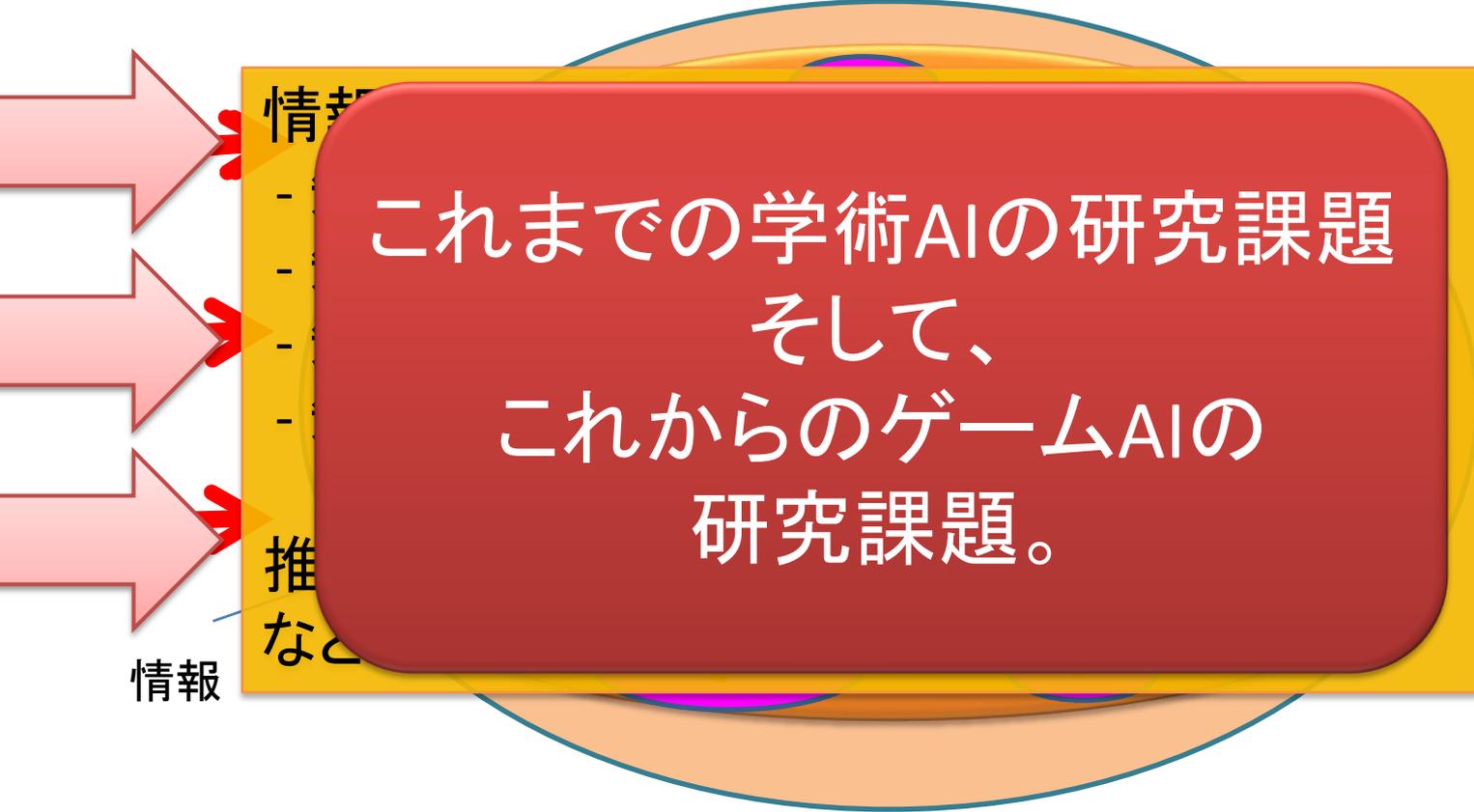
推論(抽出)、類推、データマイニング、補完...
などの技術が用いられる。

情報

認識の統合



認識の統合



これまでの学術AIの研究課題
そして、
これからのゲームAIの
研究課題。

情報

認識の形成のプロセス

- 世界の側に**外知識表現 (KR-OUT)**。
- 知性の内側に**内知識表現 (KR-IN)**。
- **認識世界**は**階層的**に表現される。
- 意識に向かって**情報・知識が統合されて認識**となる。

より深くゲームの世界を理解し参加して行くAI。

第二部 コンテンツ

第一章 内知識表現と外知識表現

第二章 認識の統合

第三章 意識モデルの作り方

第四章 認知統合のアーキテクチャ

意識モデルの作り方

意識モデルの作り方

(1) ブラックボード・アーキテクチャ

(Blackboard Architecture)

(2) GWT = Global Workspace Theory

(Baar, 1988)

(3) MDM = Multiple Draft Model

(Dennett, 1991)

意識モデルの作り方

(1) ブラックボード・アーキテクチャ

(Blackboard Architecture)

(2) GWT = Global Workspace Theory

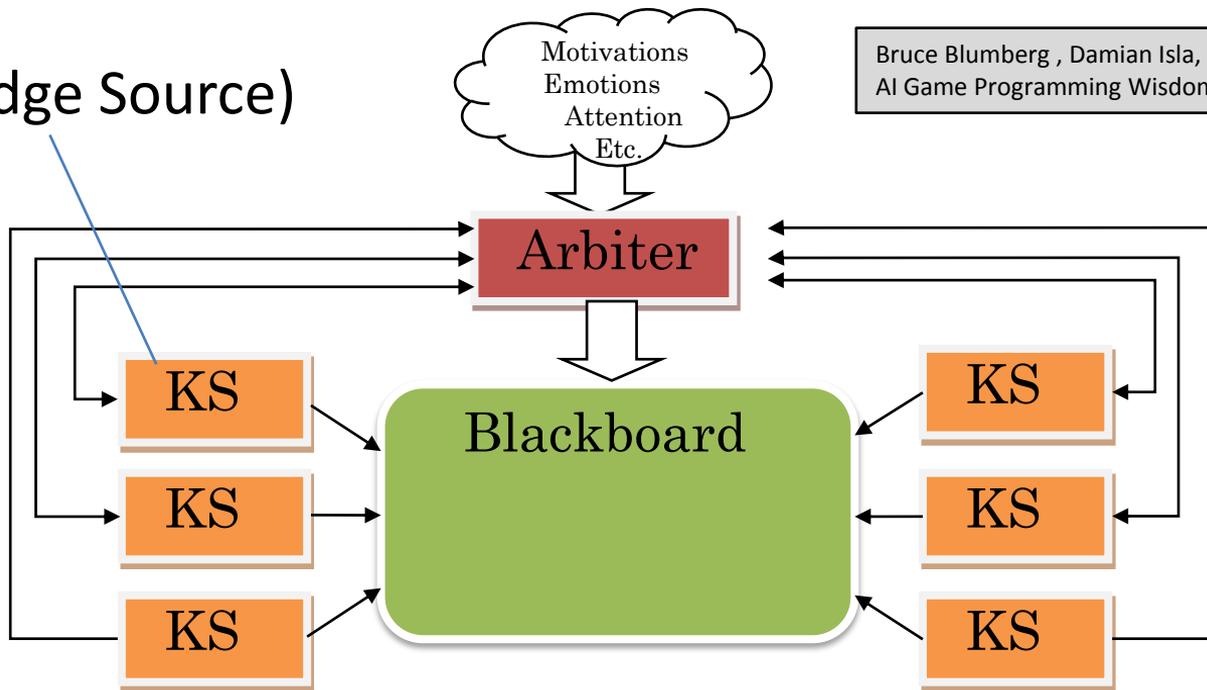
(Baar, 1988)

(3) MDM = Multiple Draft Model

(Dennett, 1991)

(1) ブラックボード・アーキテクチャ(Blackboard Architecture)

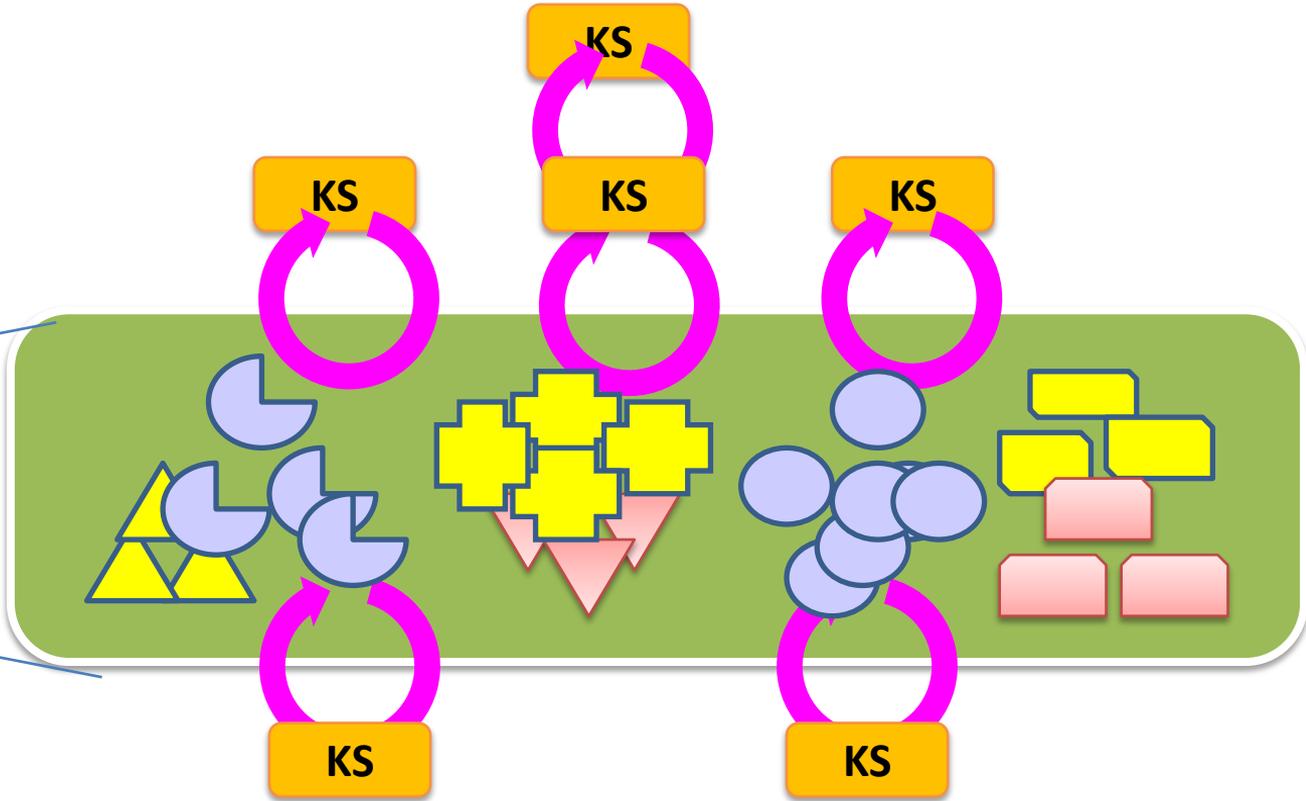
KS(=Knowledge Source)



Bruce Blumberg , Damian Isla, "Blackboard Architectures",
AI Game Programming Wisdom (Charles River Media) , 2002

KSは専門的な知識や技術に基づいた操作を黒板に対して行う。
Arbiter(=調停者)がKSたちがどのように(対象、順序、タイミングなど)動作させるかを行う。

(1) ブラックボード・アーキテクチャ



ブラックボード・アーキテクチャ

意識モデルの作り方

(1) ブラックボード・アーキテクチャ

(Blackboard Architecture)

(2) GWT = Global Workspace Theory

(Baar, 1988)

(3) MDM = Multiple Draft Model

(Dennett, 1991)

3つのアイデアをかけあわせる

劇場モデル = (2)GWT x (3)MDM)

舞台裏とスタッフ

ステージ

スポットライを
浴びる部分

観客

意識モデル＝劇場モデル

コンテキスト生成(舞台裏とスタッフ)

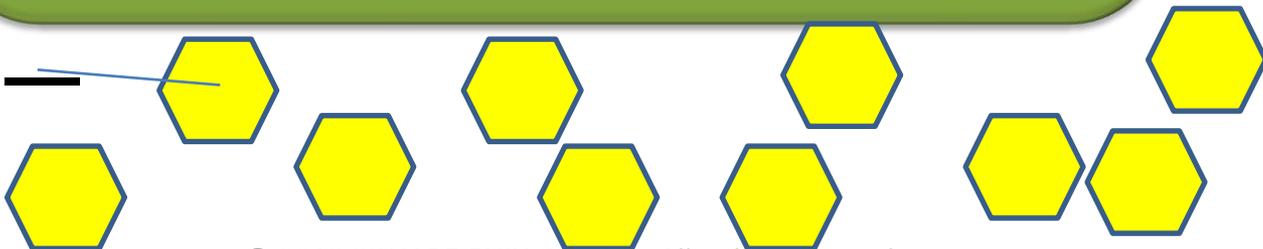
ワークスペース(ステージ)

注意の焦点

Focus of attention

(スポットライト)

専門
プロセッサ
(観客)



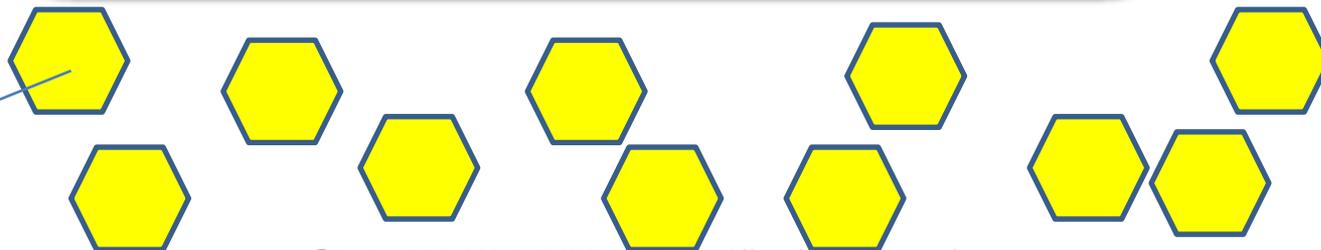
意識モデル

コンテキスト生成(舞台裏とスタッフ)

ワークスペース(ステージ)

注意の焦点
(スポットライト)

専門
プロセッサー
(観客)



意識モデル

コンテキスト生成 (舞台裏とスタッフ)

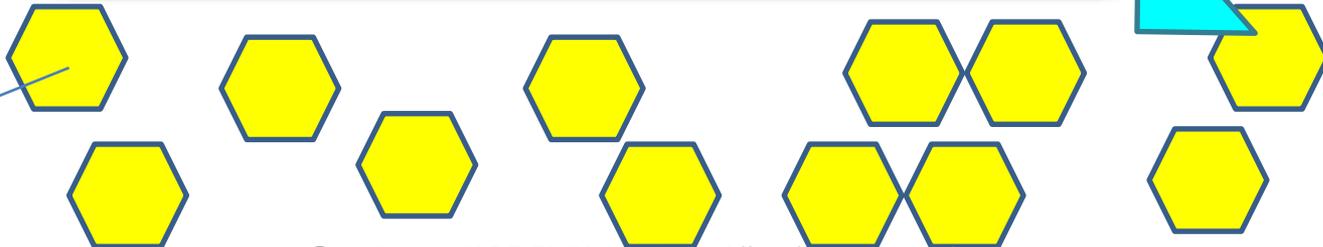
ワークスペース (ステージ)

注意の焦点
(スポットライト)

ブロードキャスト

ブロードキャスト

専門
プロセッサ
(観客)



意識モデル

コンテキスト生成(舞台裏とスタッフ)

ワークスペース(ステージ)

注意の焦点
(スポットライト)

ブロードキャスト

ブロードキャスト

専門
プロセッサー
(観客)

テンポラリー
な連携
(Coliation)

意識モデル

観客(=プロセッサ)はステージ(=ワーキングメモリ)上にスポットライト(=注意、アテンション)が注がれた役者の演技(=オブジェクトの振る舞い)について考えて(=情報処理、思考)意見を役者に伝えます(=ワーキングメモリに書き込みます)。

意識モデル

プロセッサ(PS)と
ブラックボード(BB)と
アービター(ARB)で
知能を作りましょう。

意識モデルの作り方(おわり)

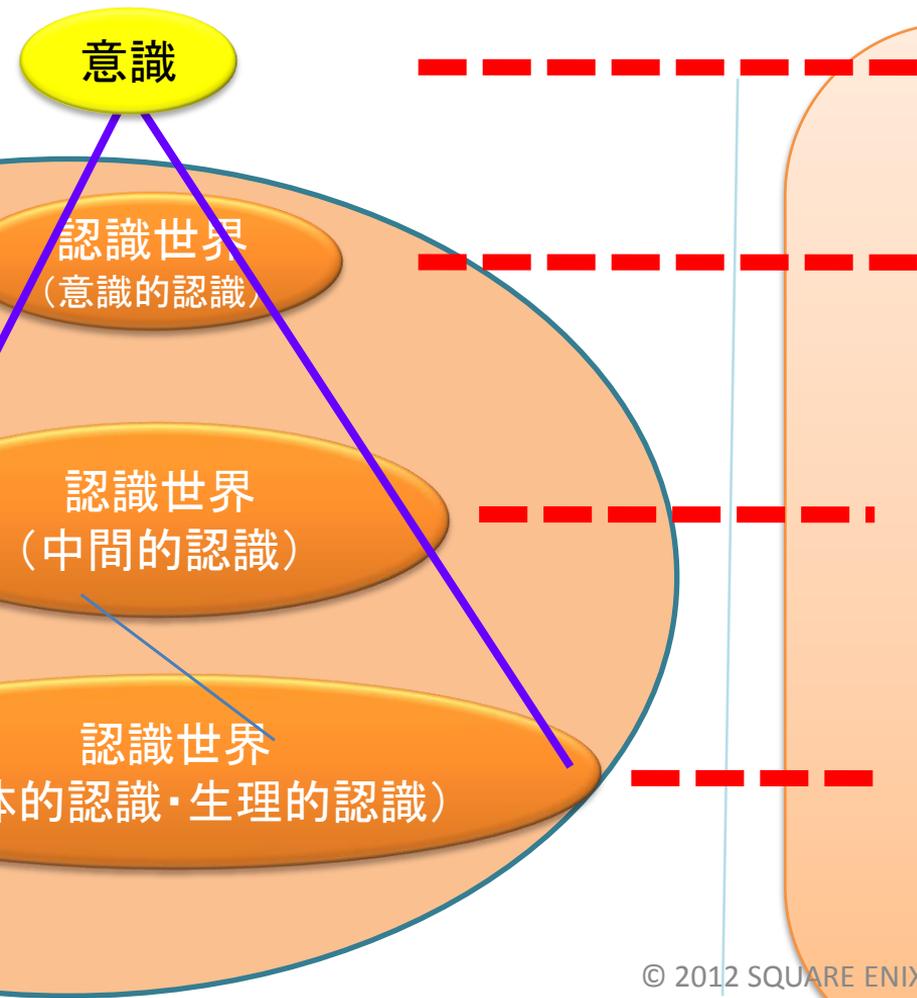
第二部 コンテンツ

第一章 内知識表現と外知識表現

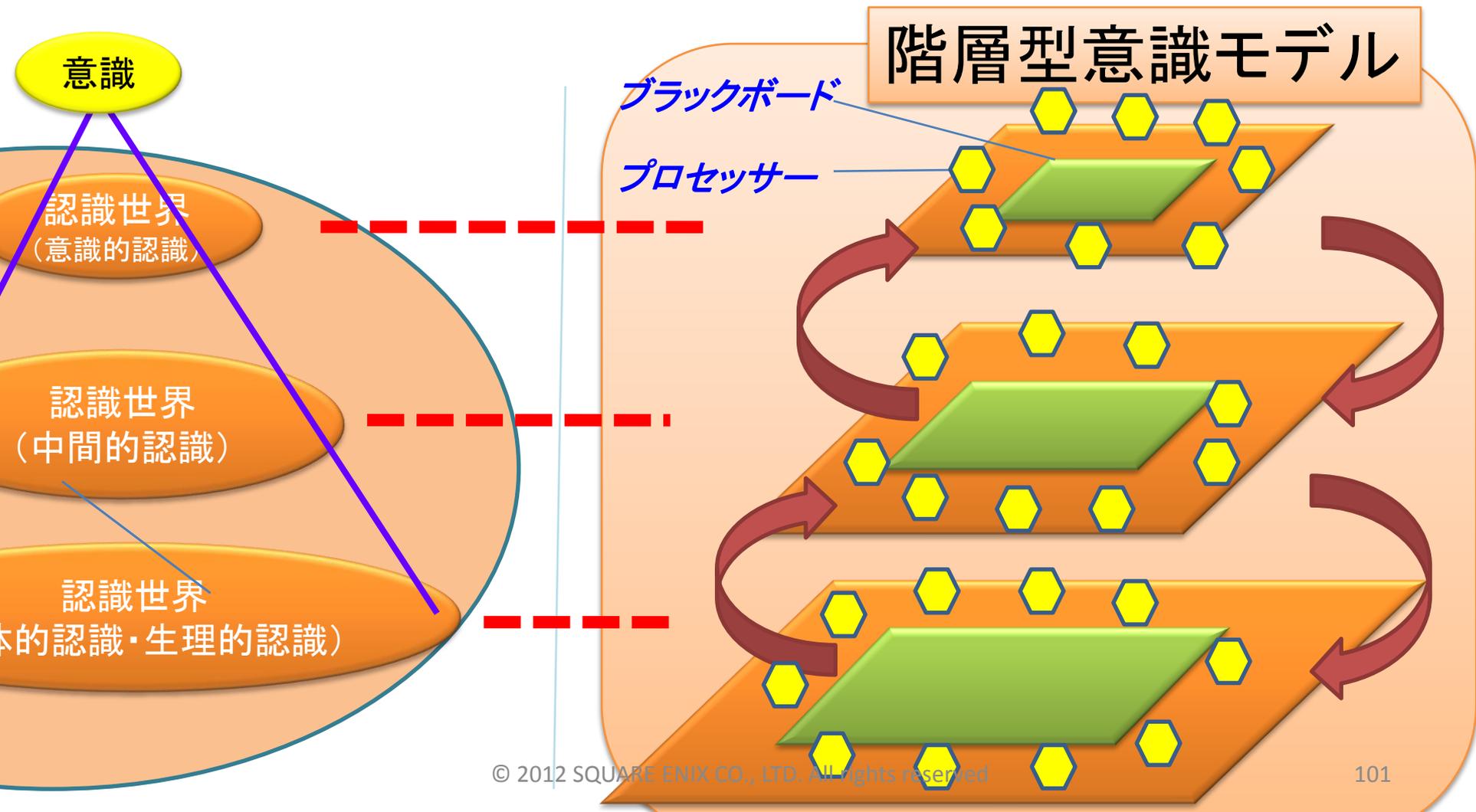
第二章 認識の統合

第三章 意識モデルの作り方

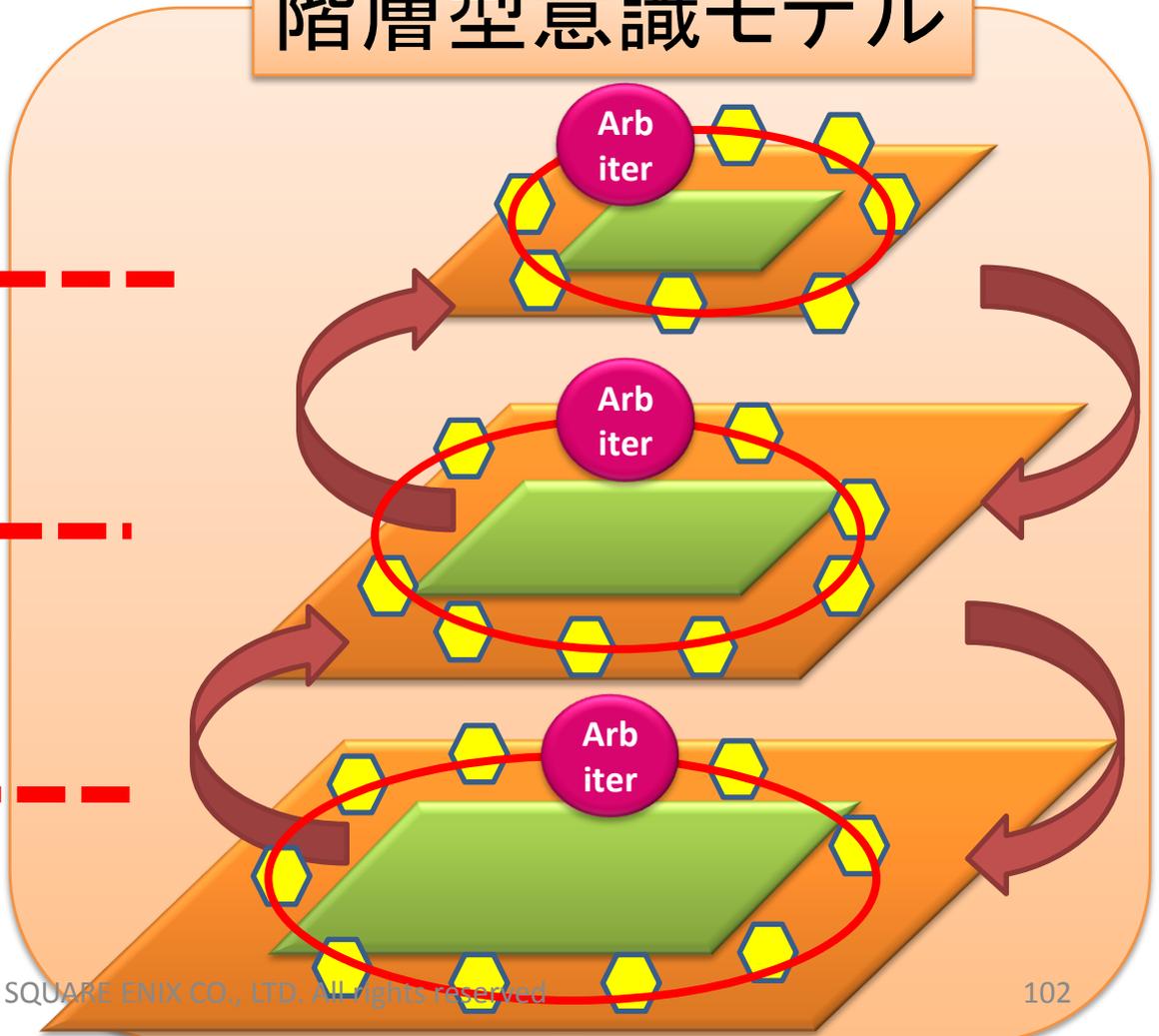
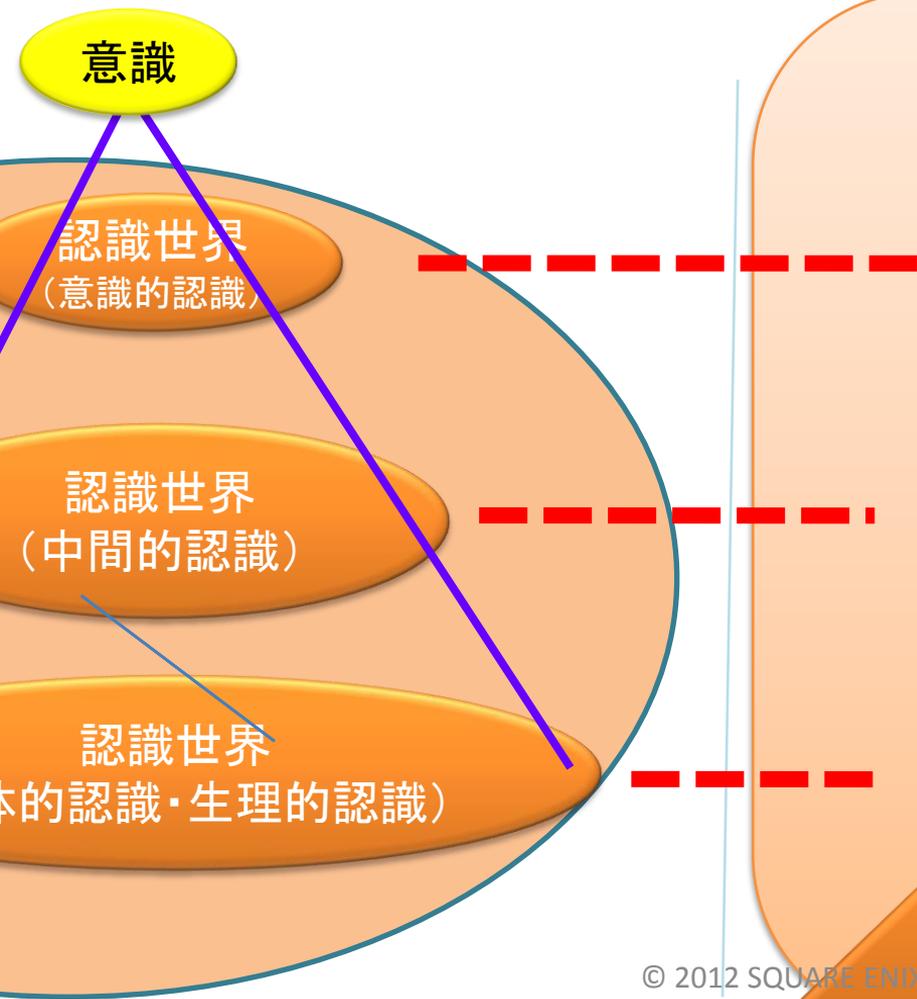
第四章 認知統合のアーキテクチャ

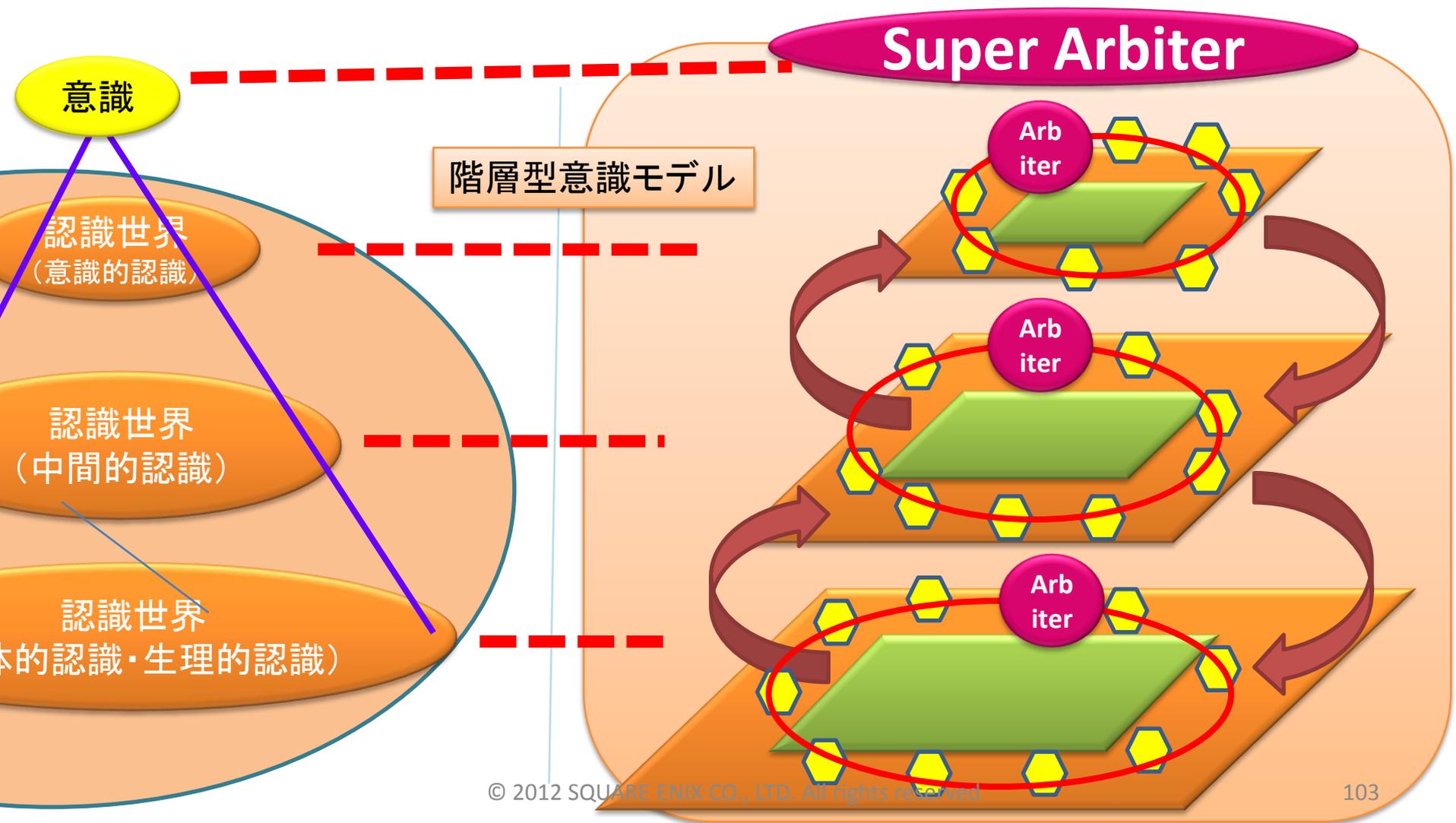


モデルを考えよう。



階層型意識モデル





Super Arbiter

階層型意識モデル

意識

認識世界
(意識的認識)

認識世界
(中間的認識)

認識世界
(本能的認識・生理的認識)

Arbiter

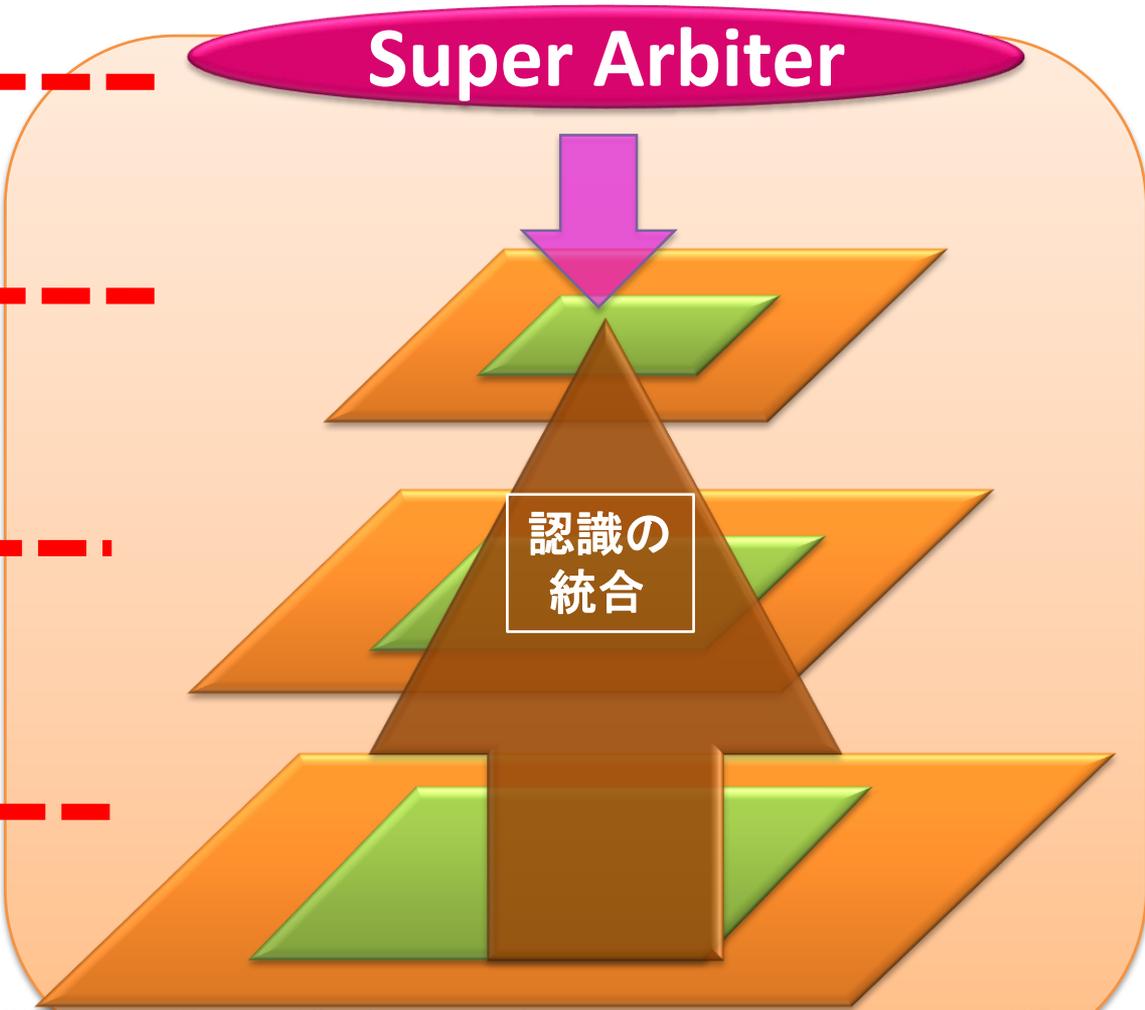
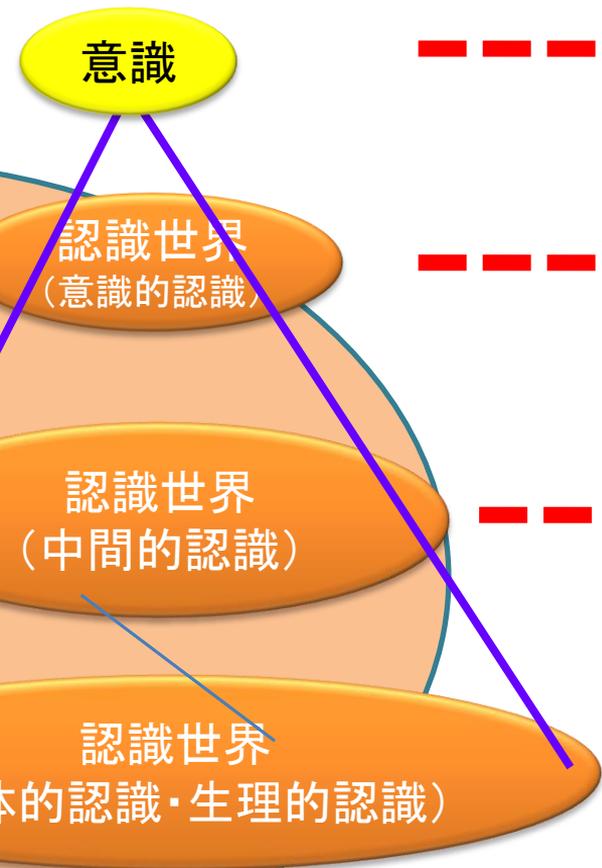
Arbiter

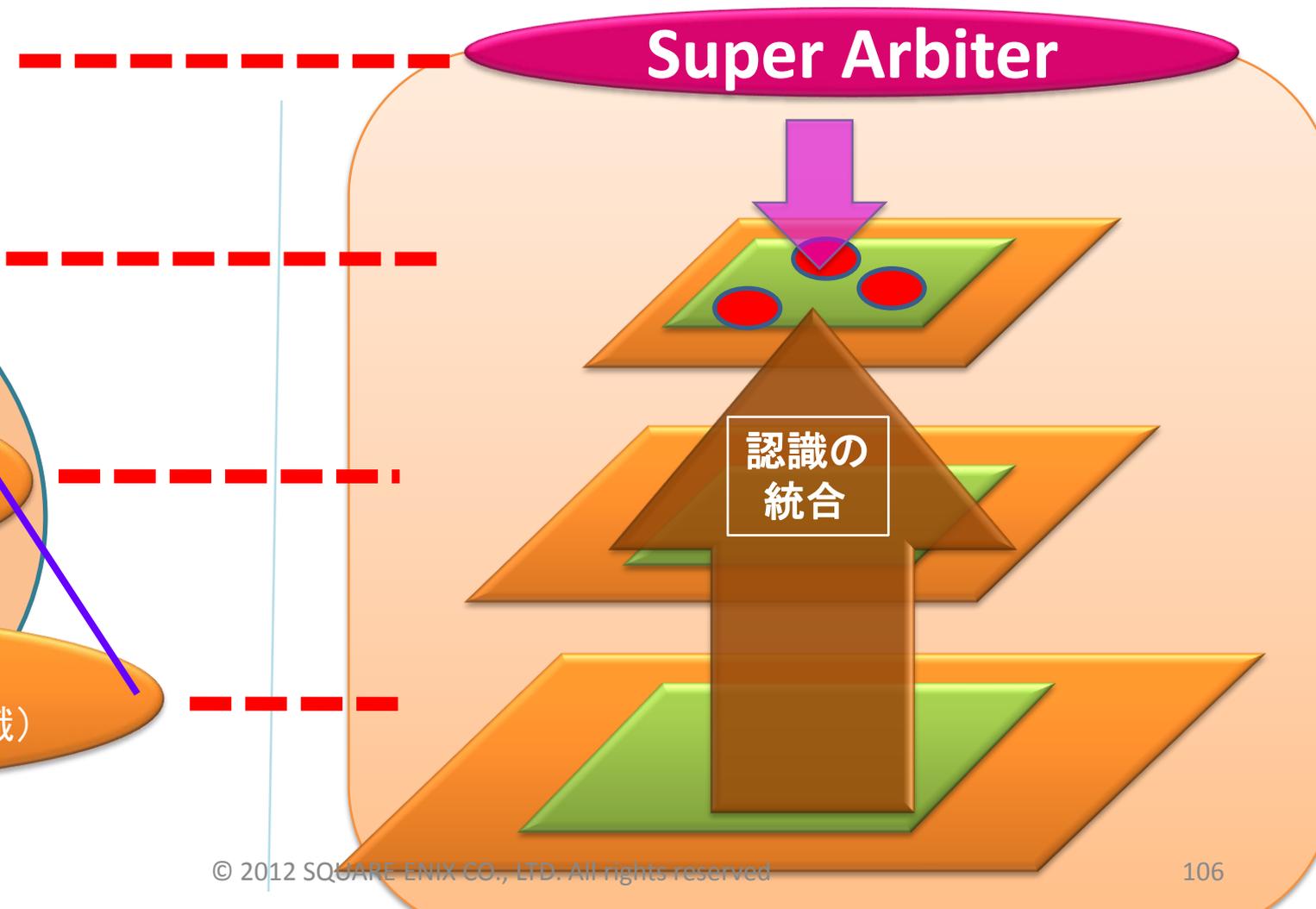
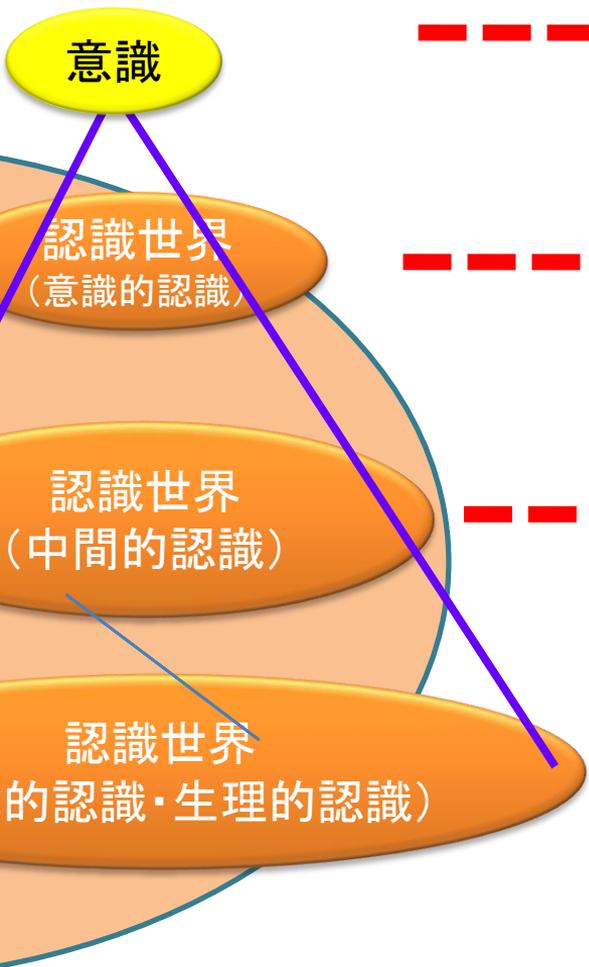
Arbiter

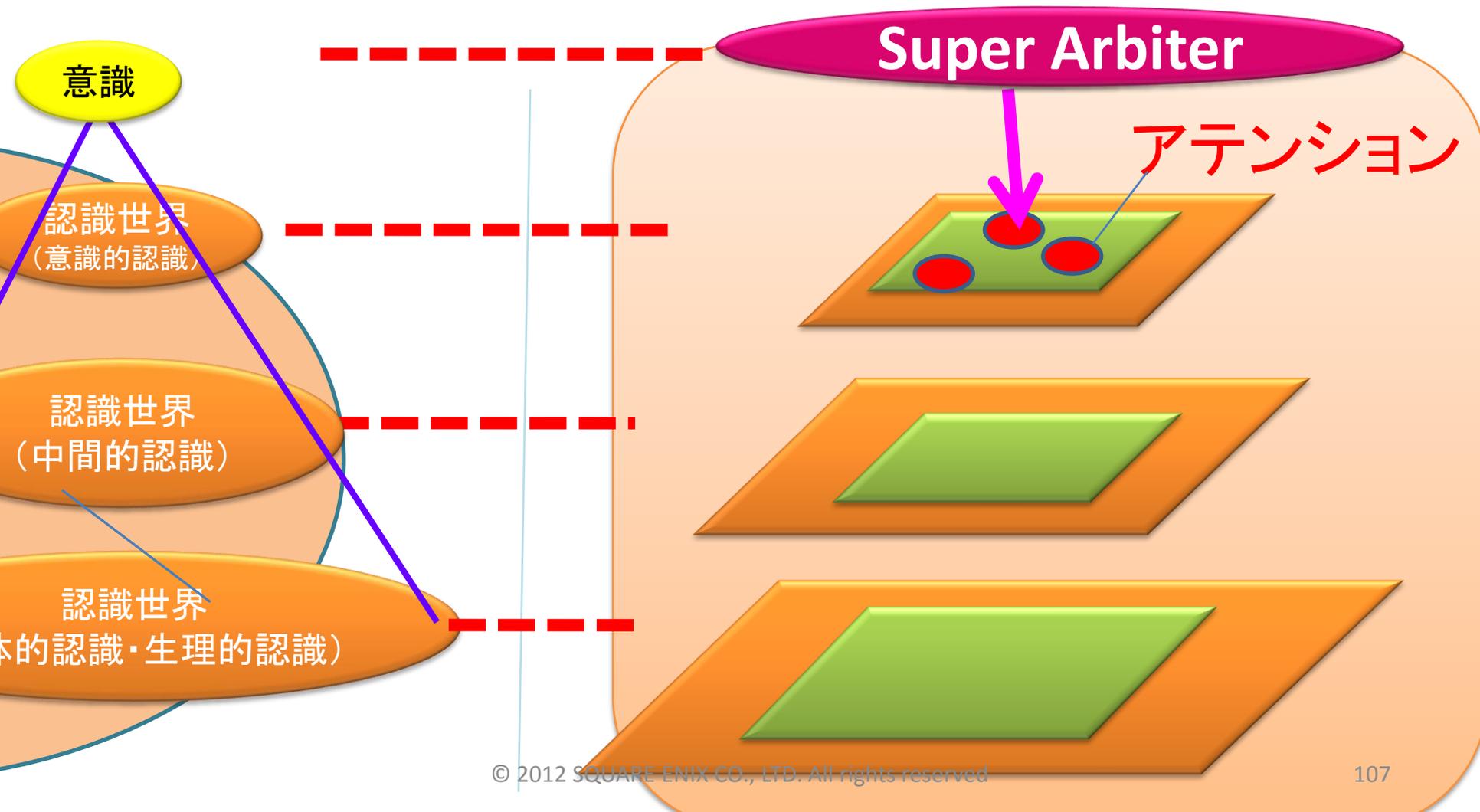
認知統合のアーキテクチャ

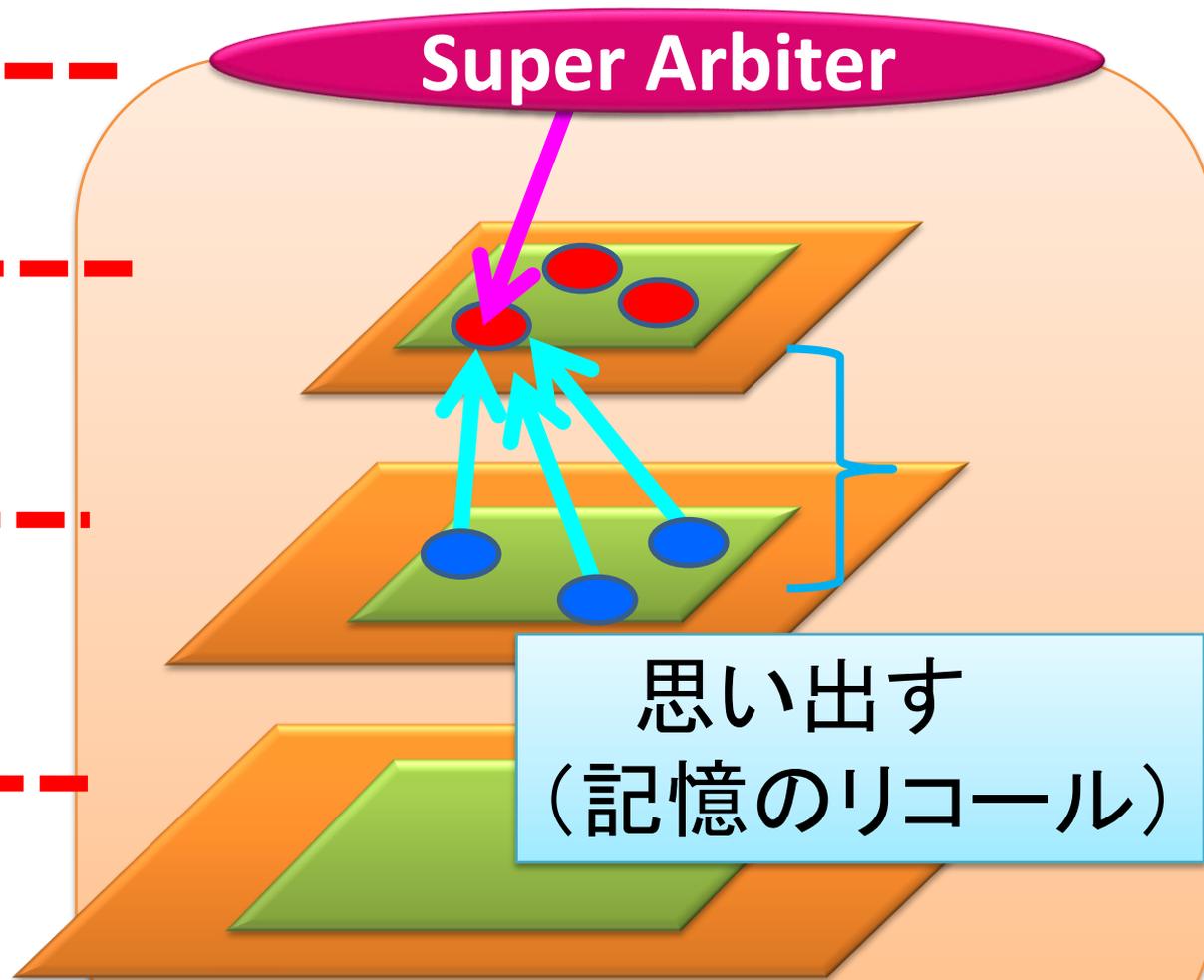
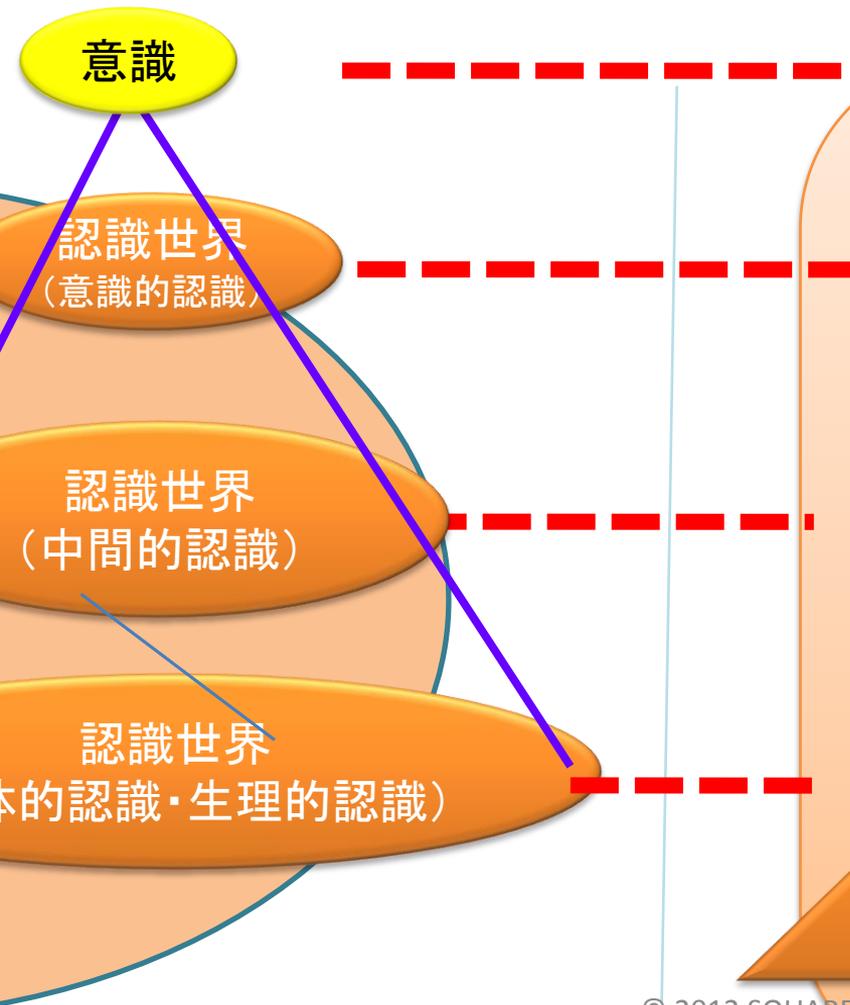
- 各認識世界に「ブラックボード・アーキテクチャ」を対応させる。
- 各階層のブラックボードはプロセッサによって連携する。
- **スーパー・アービター**が全ての階層のブラックボードを制御する。

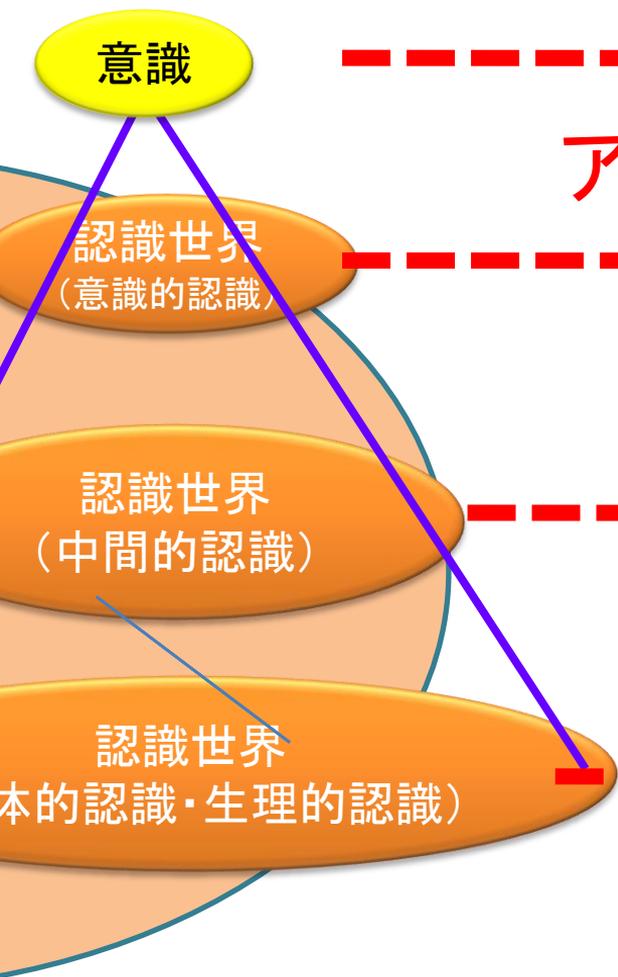
自身の身心の状態を感じる自意識を持つ。











意識

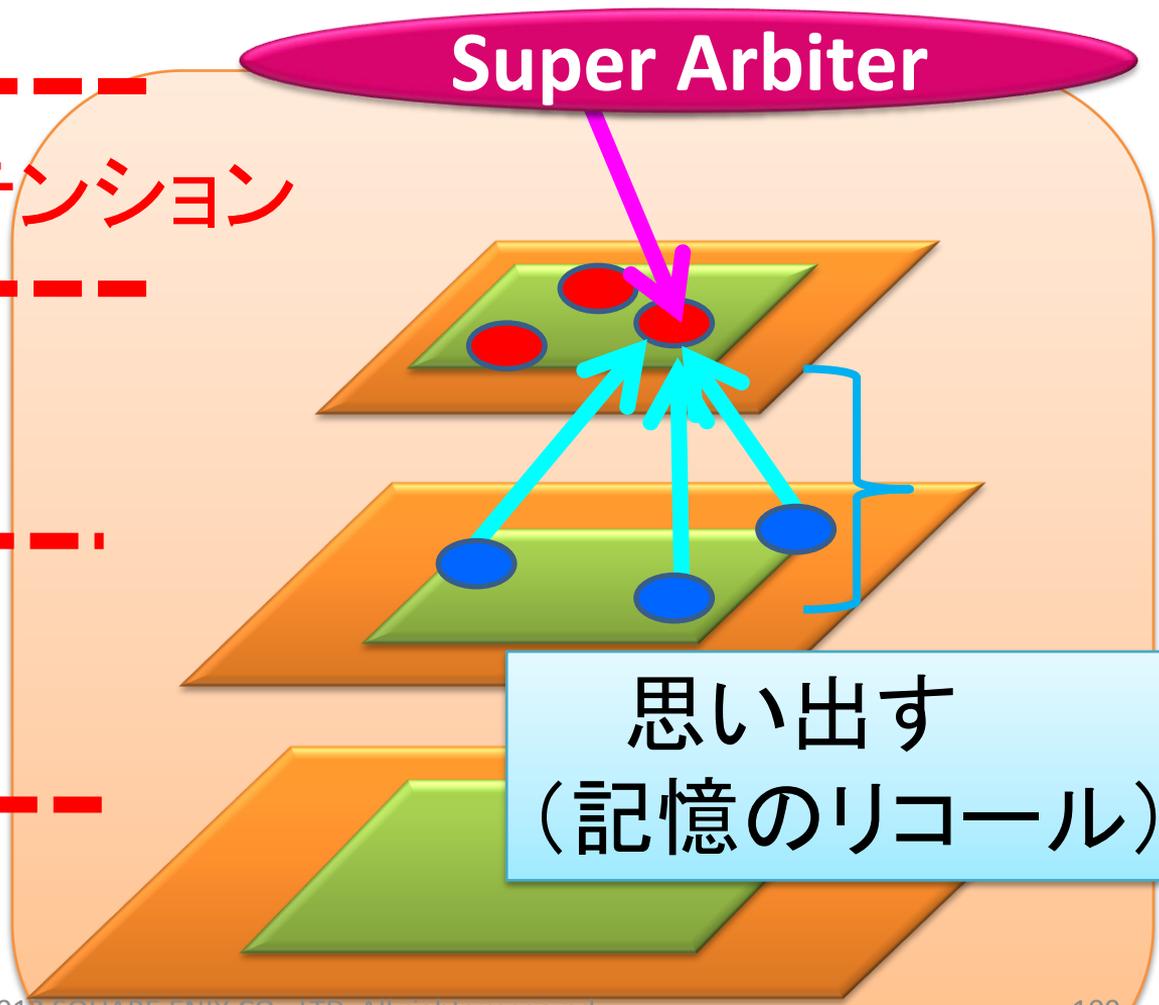
認識世界
(意識的認識)

認識世界
(中間的認識)

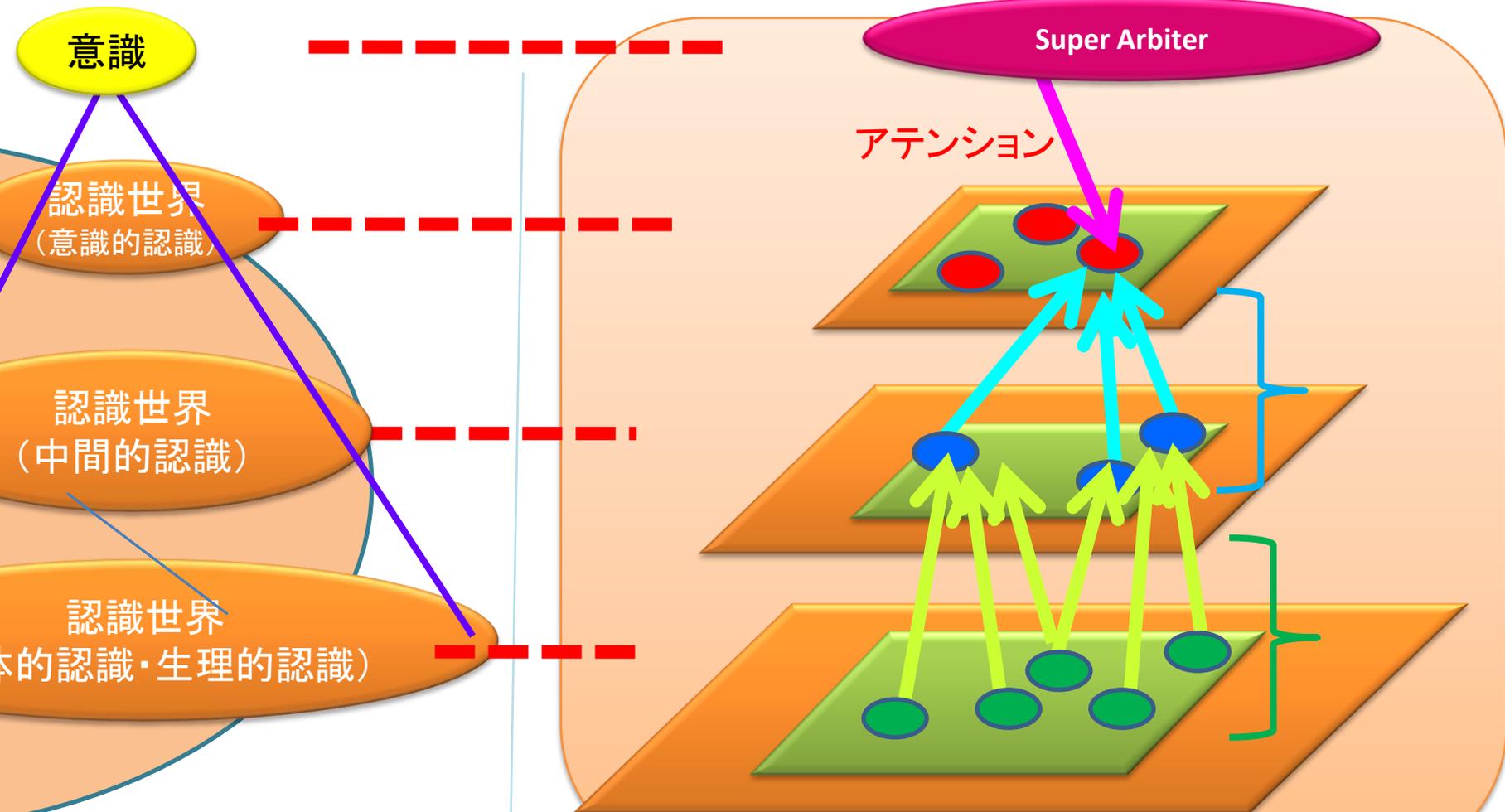
認識世界
(本的認識・生理的認識)

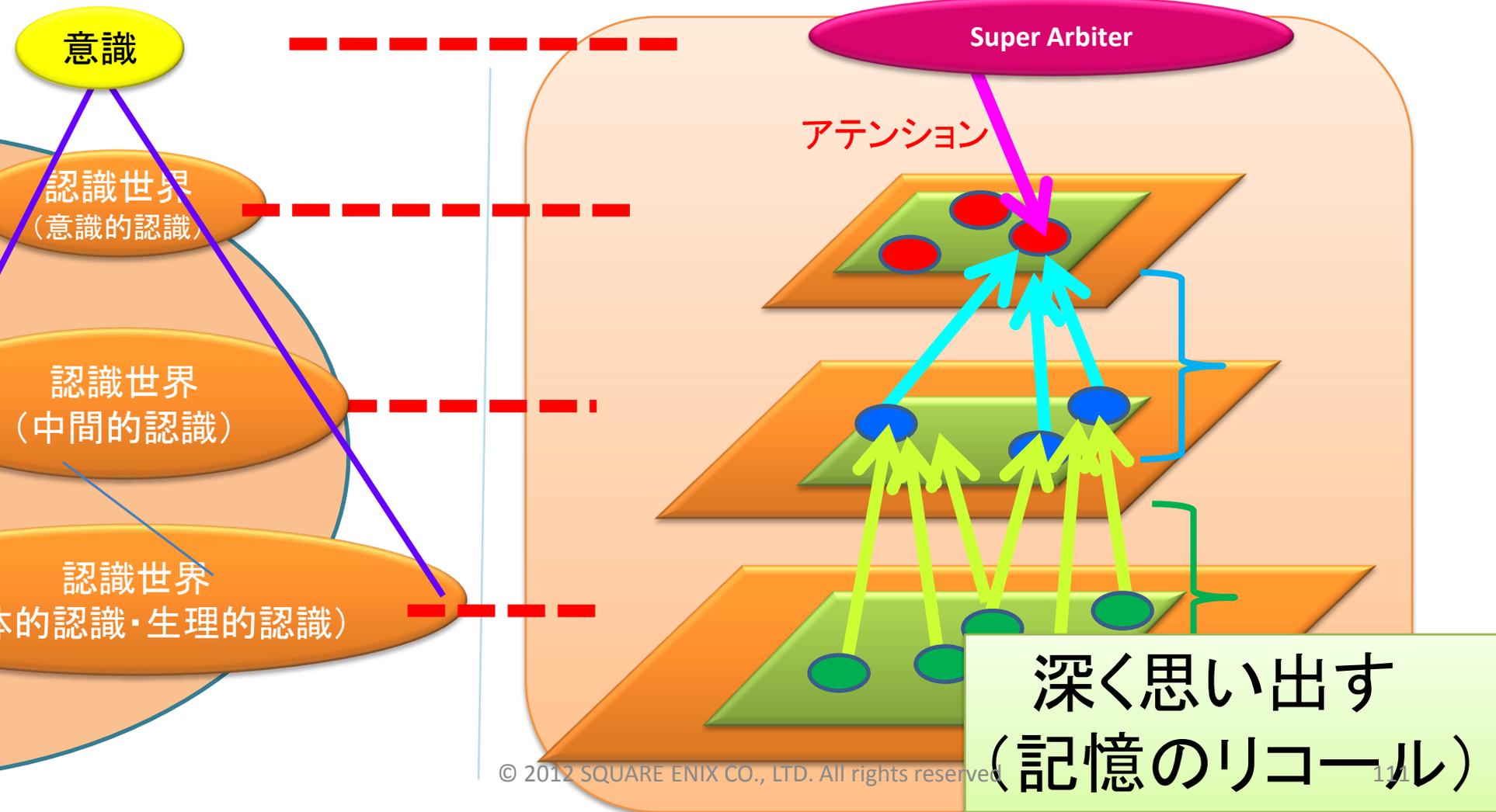
アテンション

Super Arbiter



思い出す
(記憶のリコール)





各階層の連携の仕方

- スーパー・アービターが、最上層でアテンションの対象を選択し全体を制御する。
- 選択された対象に対する記憶情報が下層から上層へ向かって呼び出される(リコール)される。

自身の身心の状態を感じる自意識を持つ。

講演コンテンツ

はじめに

CEDEC 2012 復習

第一部

エージェント・アーキテクチャ

第二部

認知の統合

第三部

行動の生成

第四部

まとめ

Action Generation

第三部 行動の生成

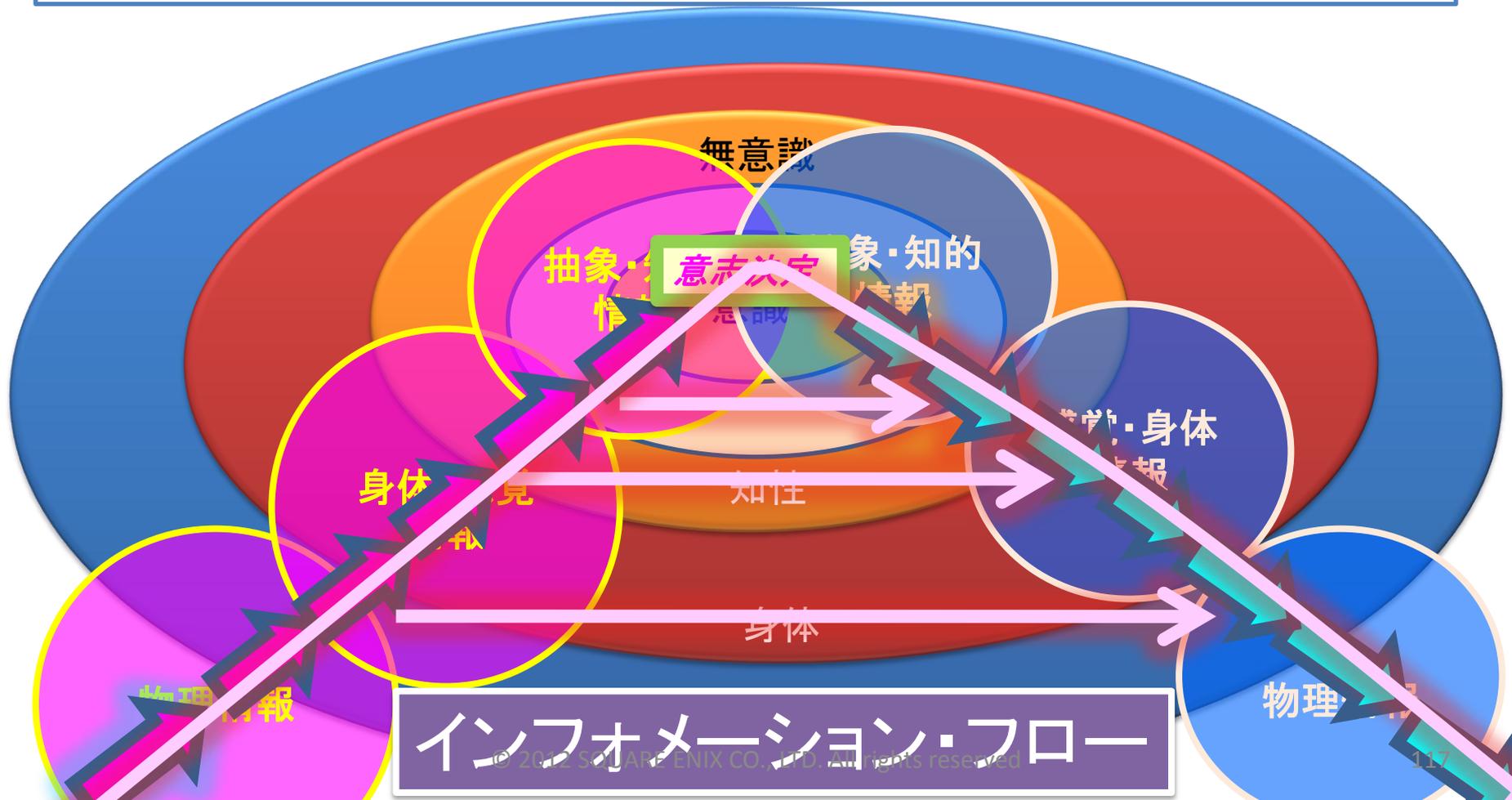
第三部 行動の生成

- 行動のプリプロセス = 認識
- 行動の生成（第一章）
- 行動のポストプロセス（第二章）

第三部 行動の生成

- 行動のプリプロセス = 認識
- 行動の生成（第一章）
- 行動のポストプロセス（第二章）

知能の構造図



認識統合と行動生成

知能

意思決定

現象

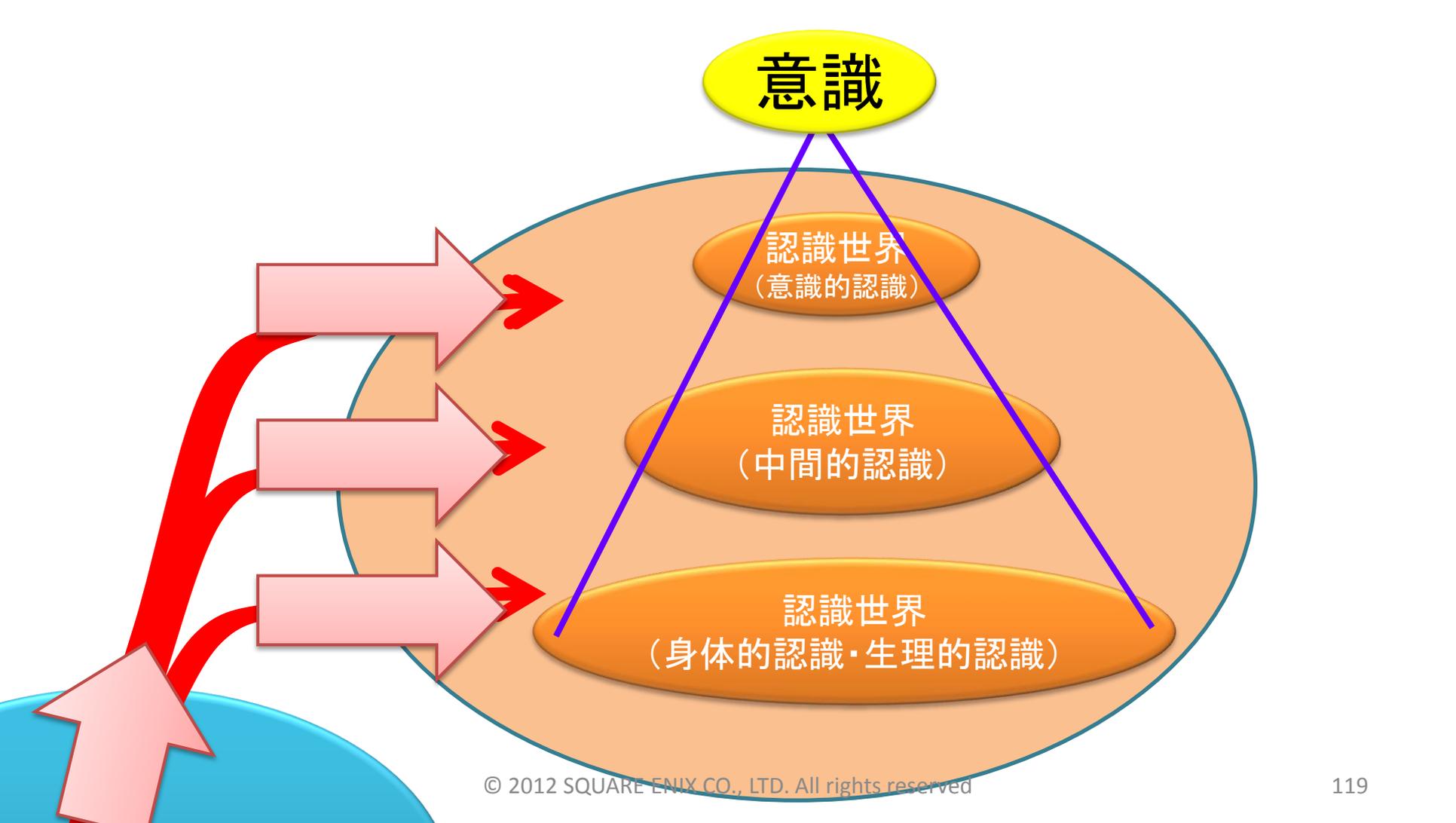
行動生成
(Action Generation)

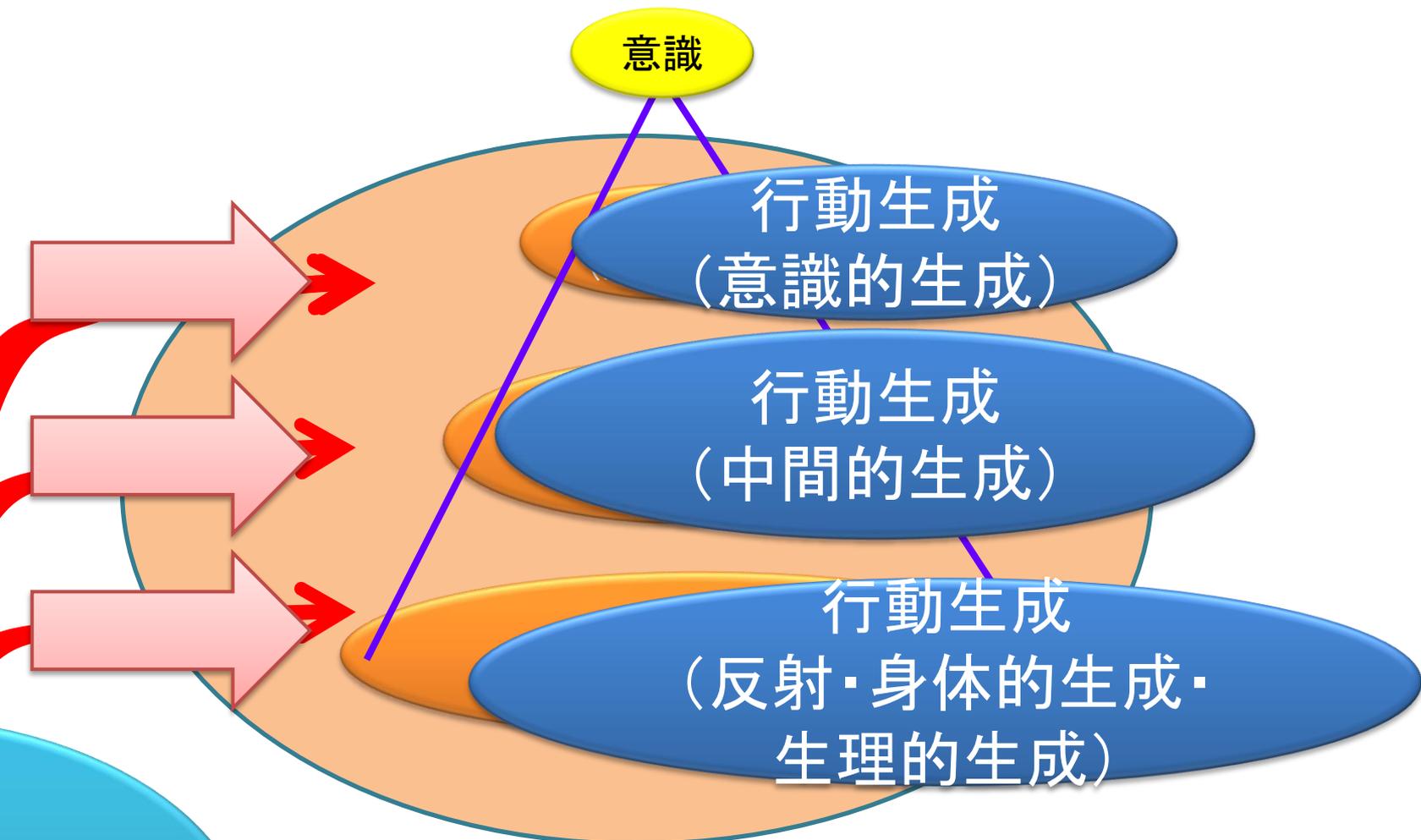
意識

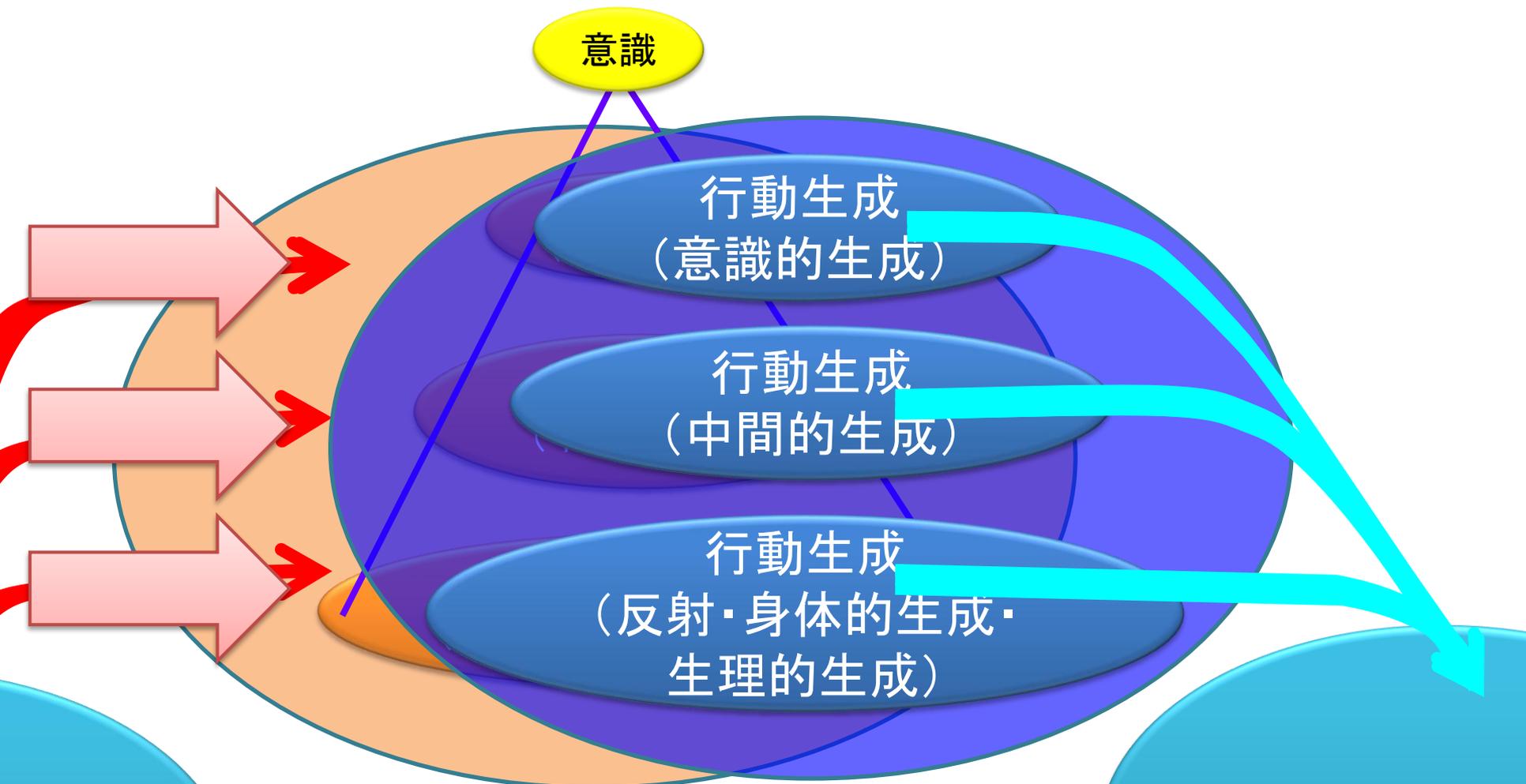
認識世界
(意識的認識)

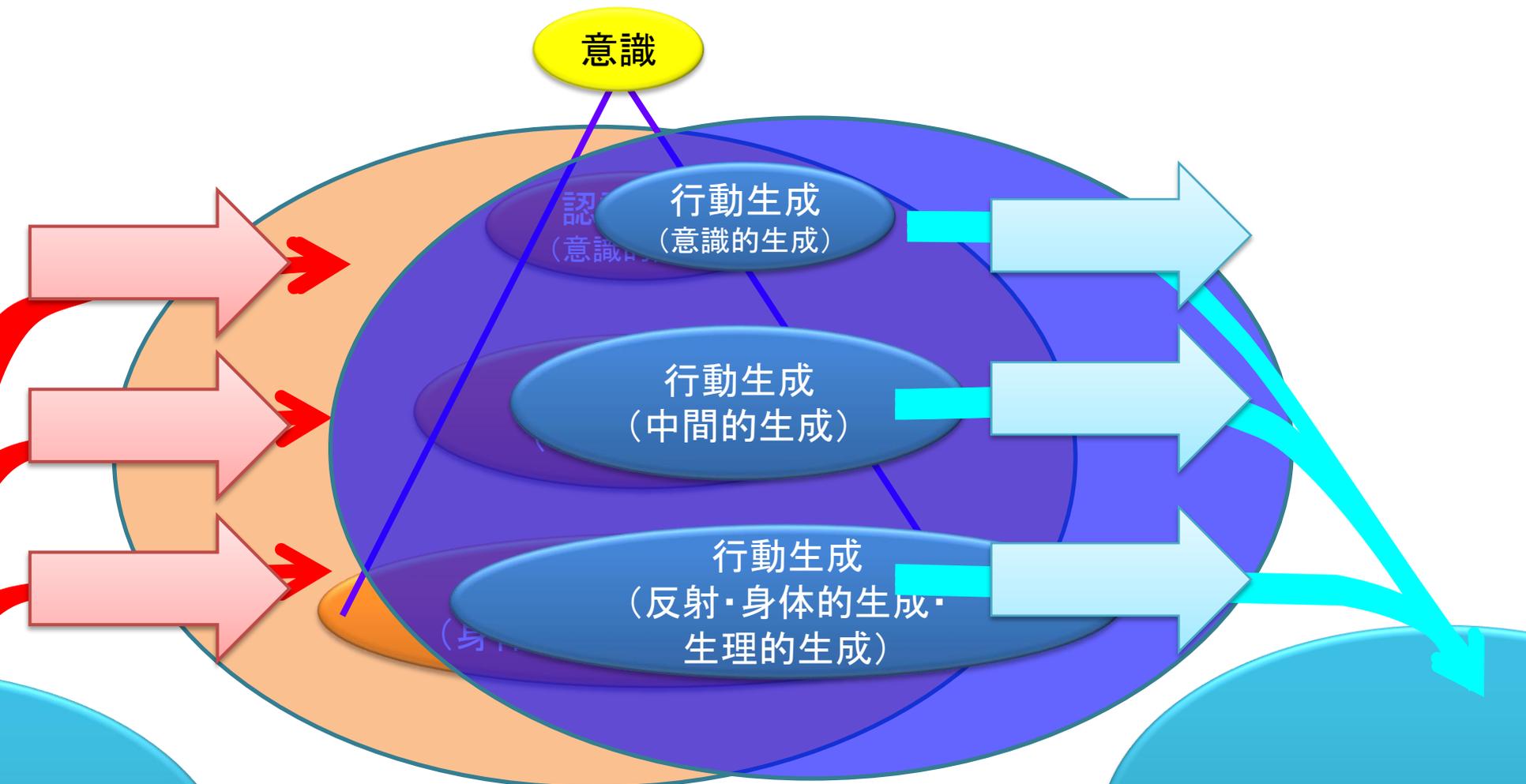
認識世界
(中間的認識)

認識世界
(身體的認識・生理的認識)

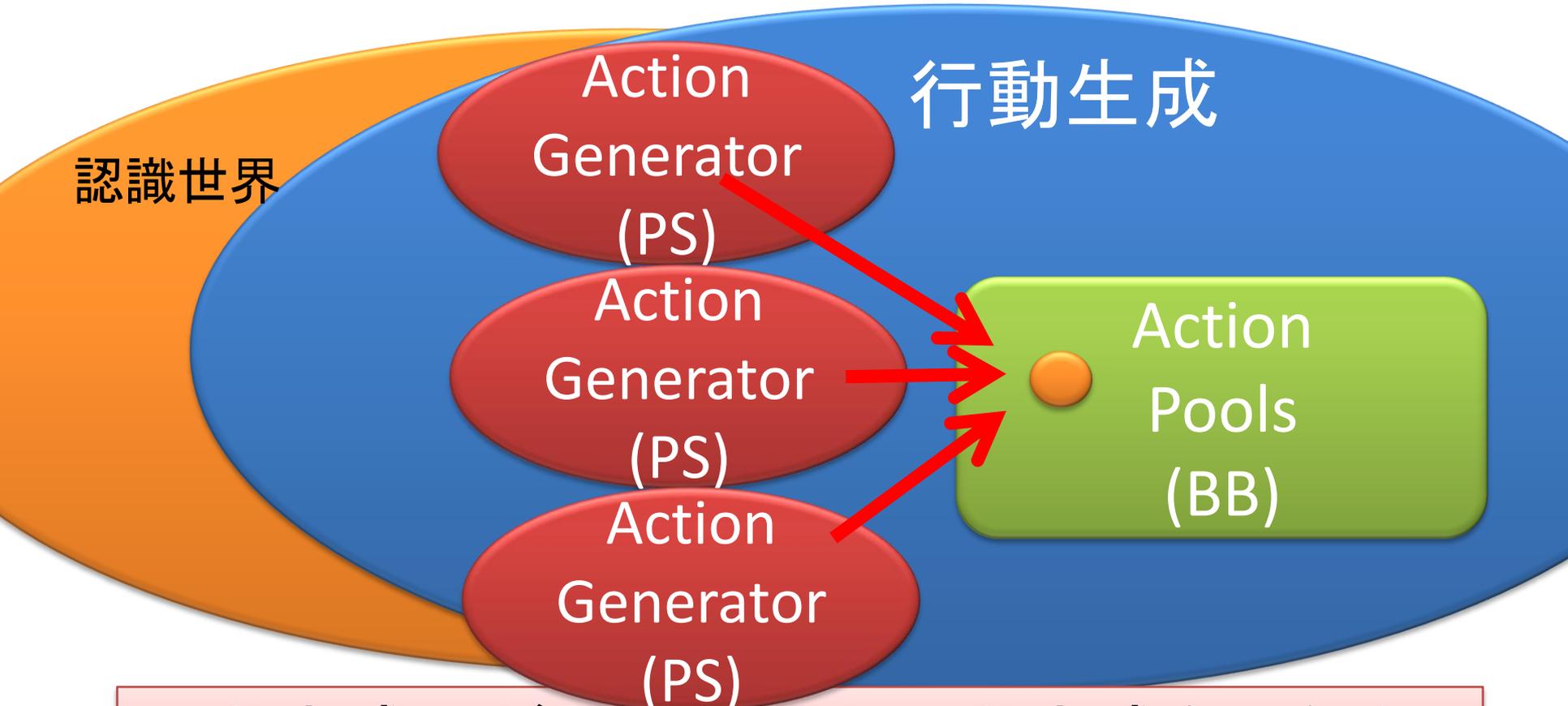






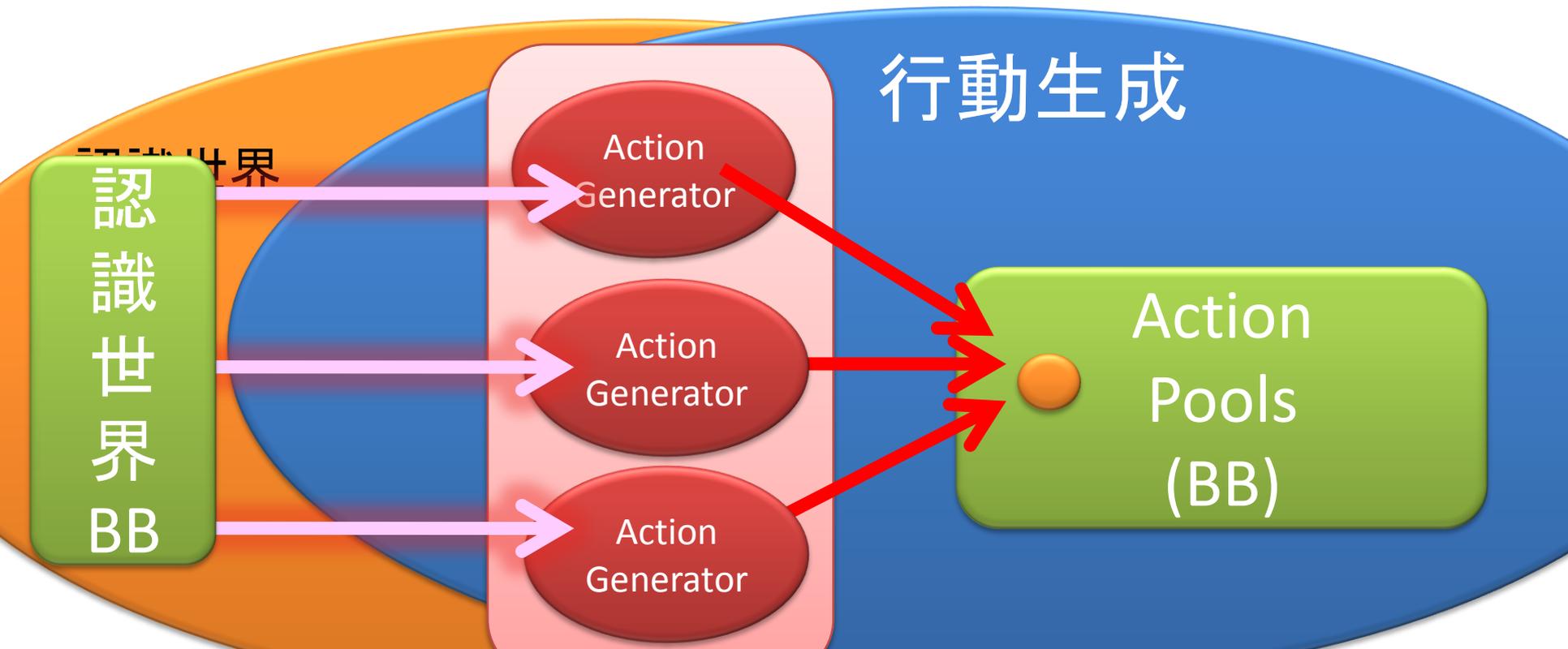


行為生成子(アクション・ジェネレーター)



行動生成子が認識世界と行動生成をつなぐ。

行為生成子 (アクション・ジェネレーター)



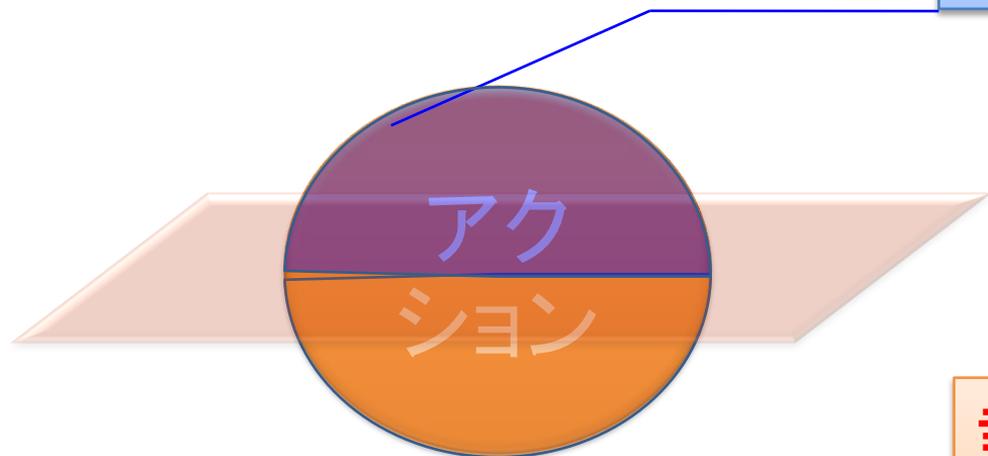
認識世界から行動生成子が行動を生成する。

アクションの記述



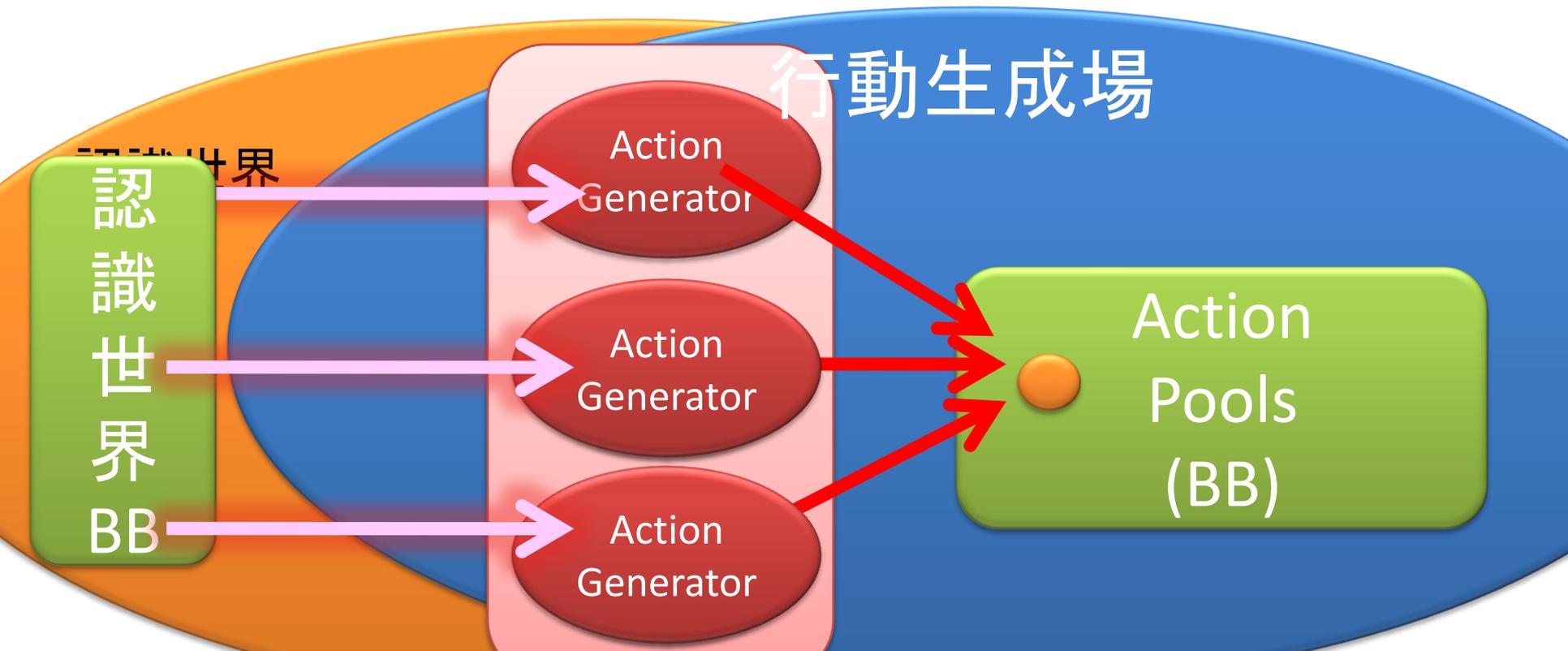
アクションの記述

行動の記述

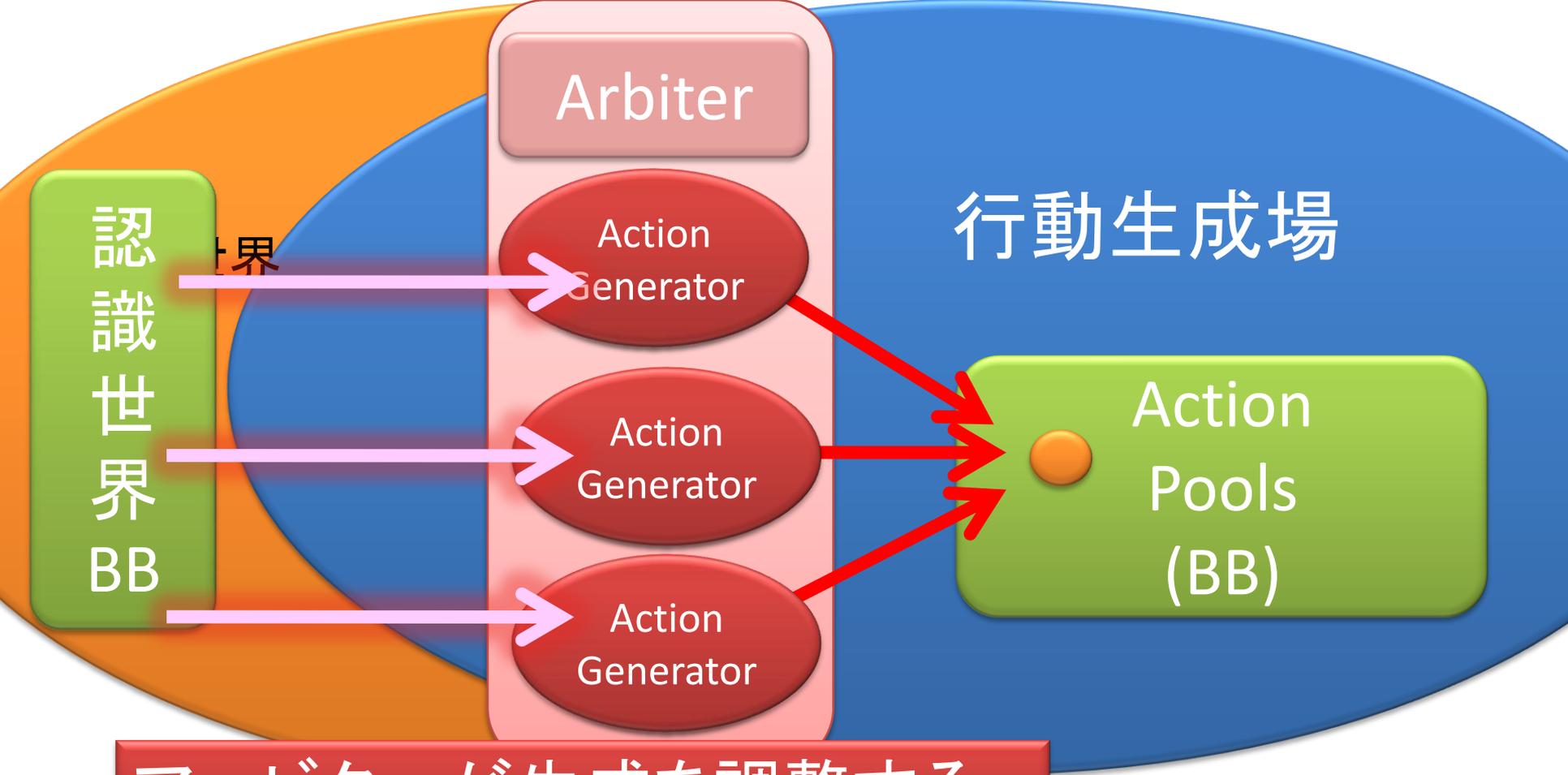


認識世界の中で定義
される
行動の意味・効果

行為生成子 (アクション・ジェネレーター)

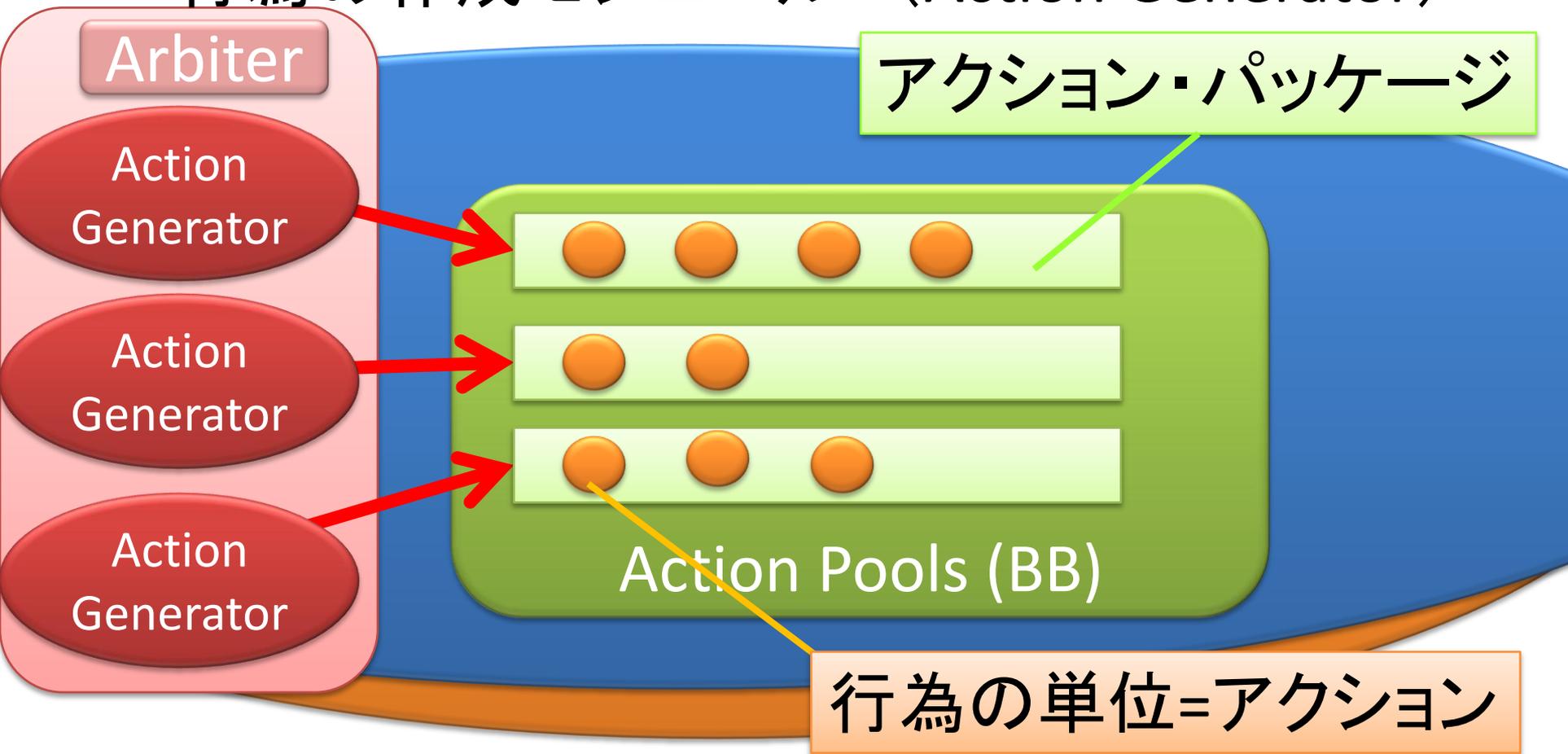


行動生成子が二つのブラックボーをつなぐ。



アービターが生成を調整する。

行為の作成モジュール (Action Generator)



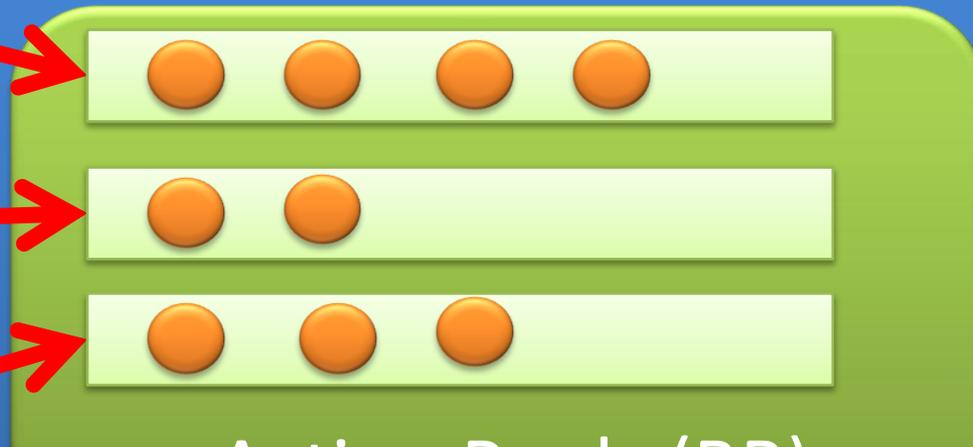
行為の作成モジュール (Action Generator)

Arbiter

Action
Generator
(PS)

Action
Generator
(PS)

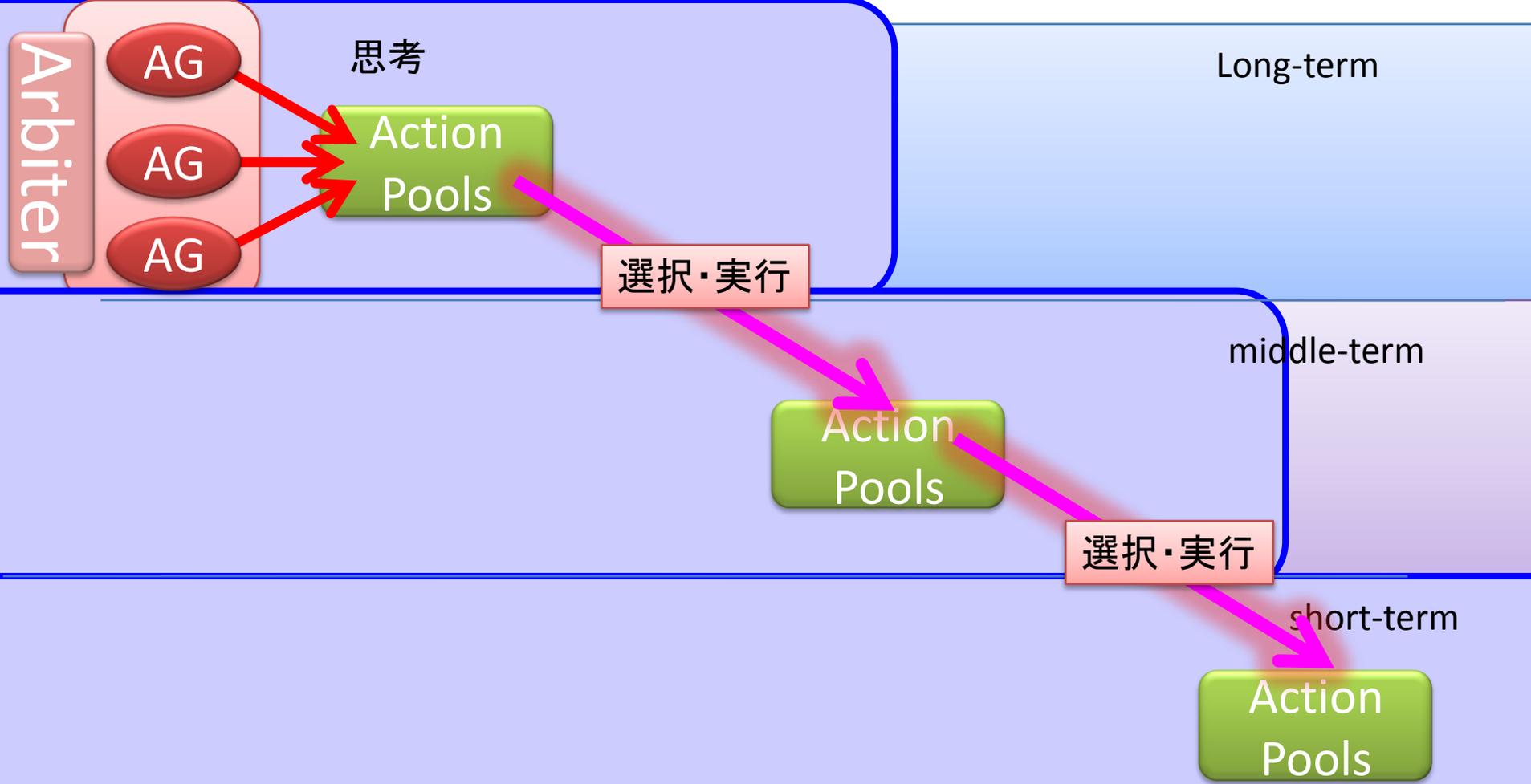
Action

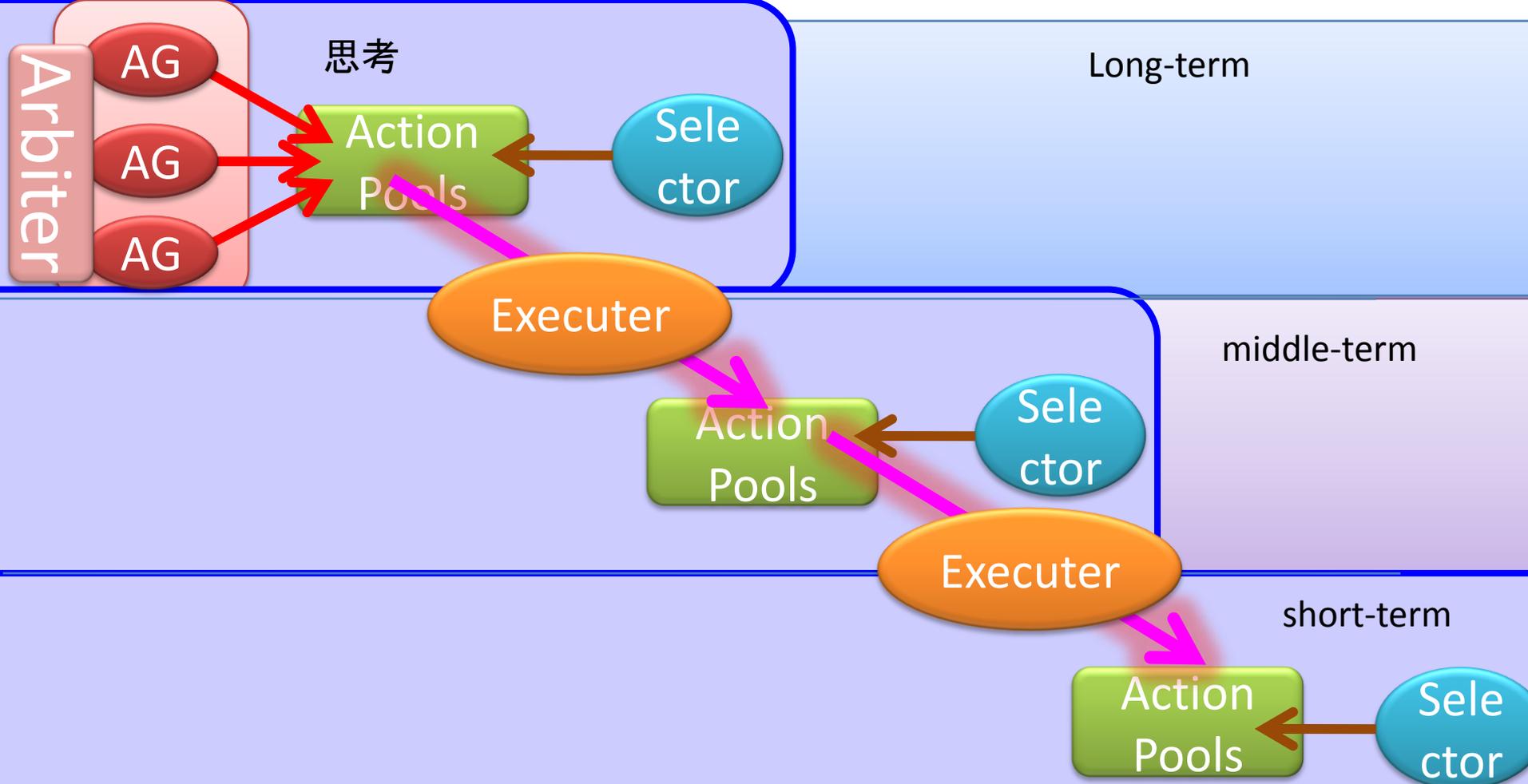


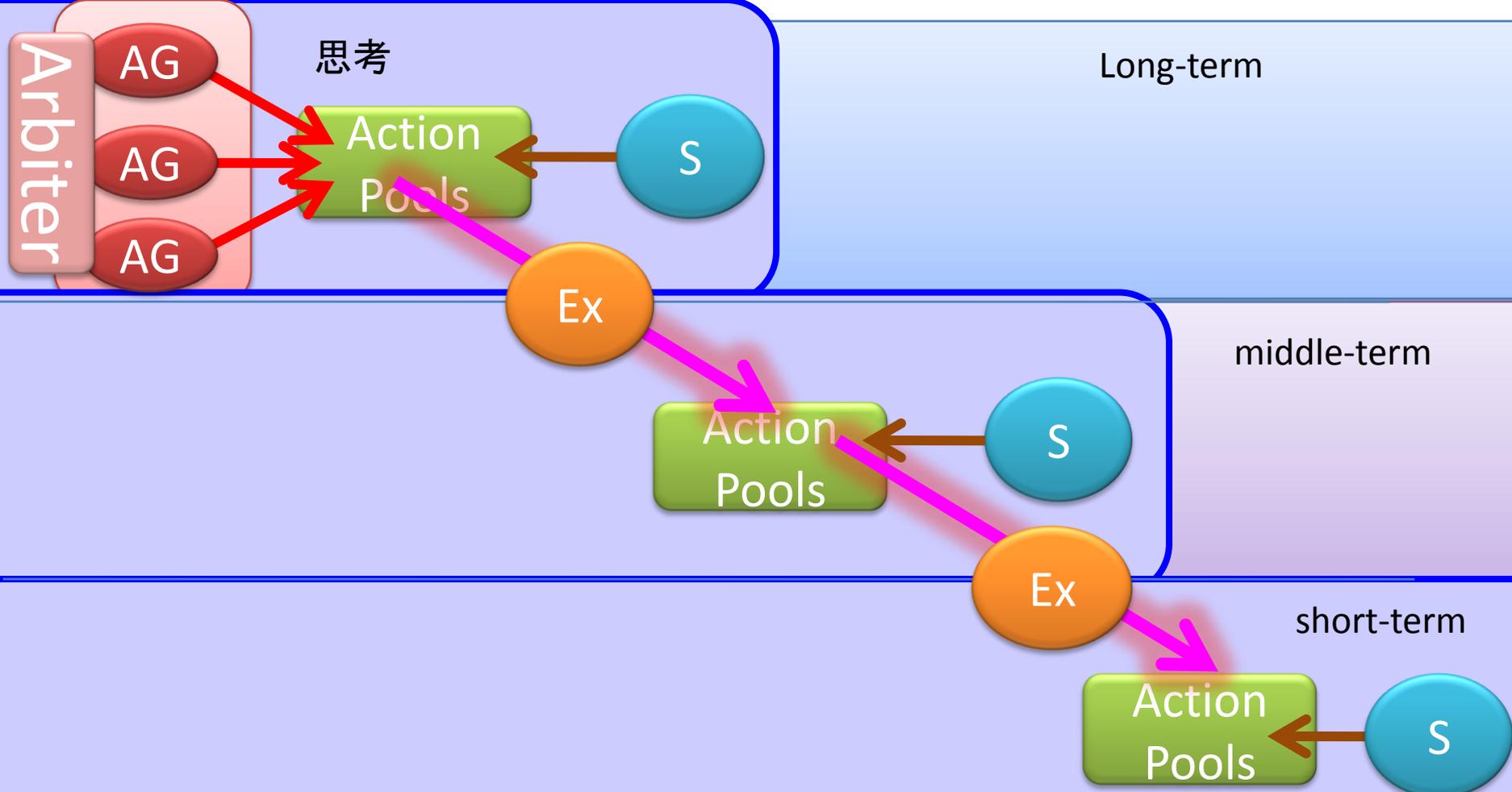
- 競合性 (Competitive) = 各アクション・パッケージ同士競合。
- 非排他性 (Non-exclusive) = 競合はするが排他でない。
- 保持性 (persistent) = 選択・実行されなかったアクションも保持。
(一定時間・一定の条件の元に削除される)

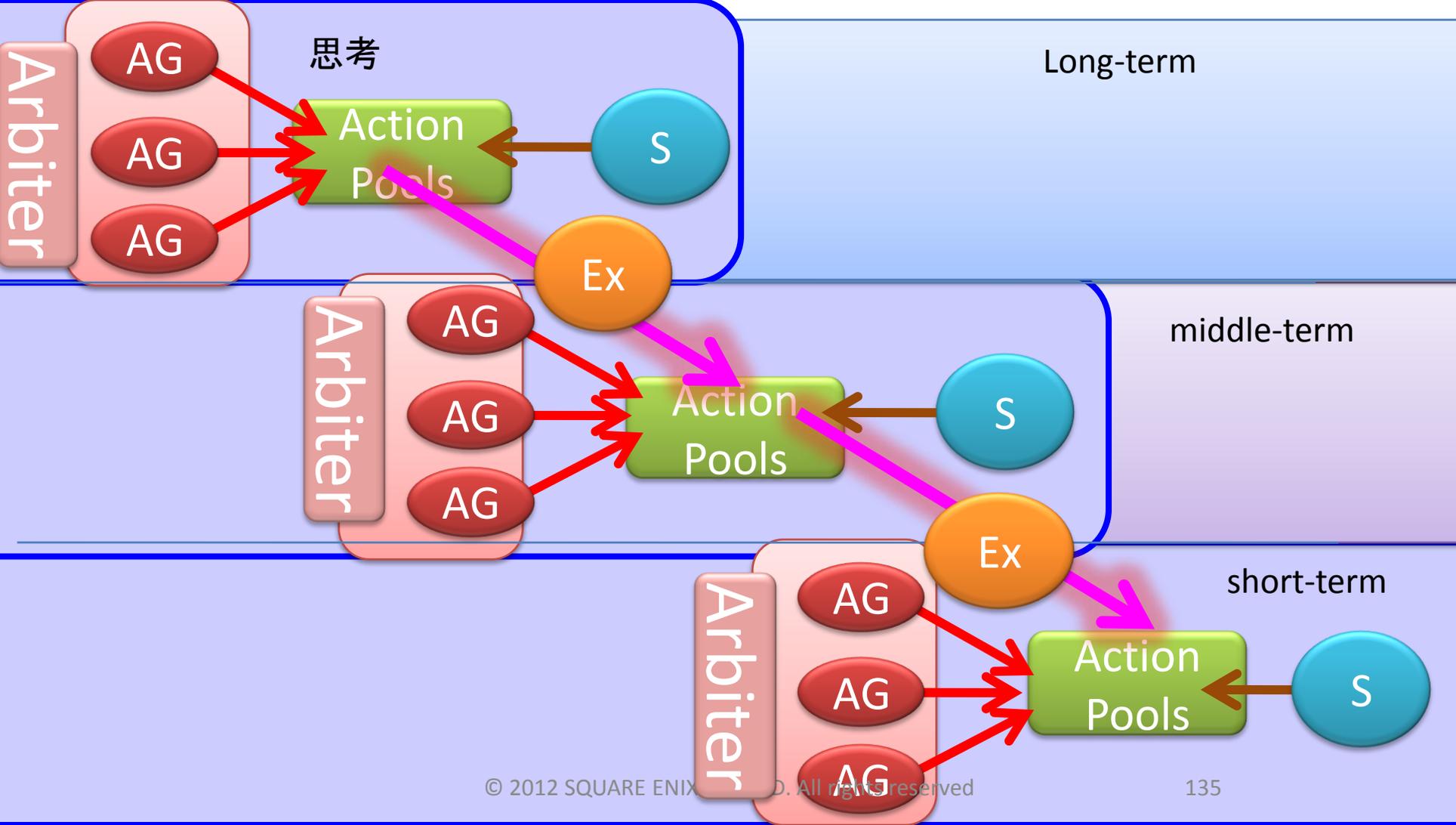
行動と認識をつなぐアーキテクチャ

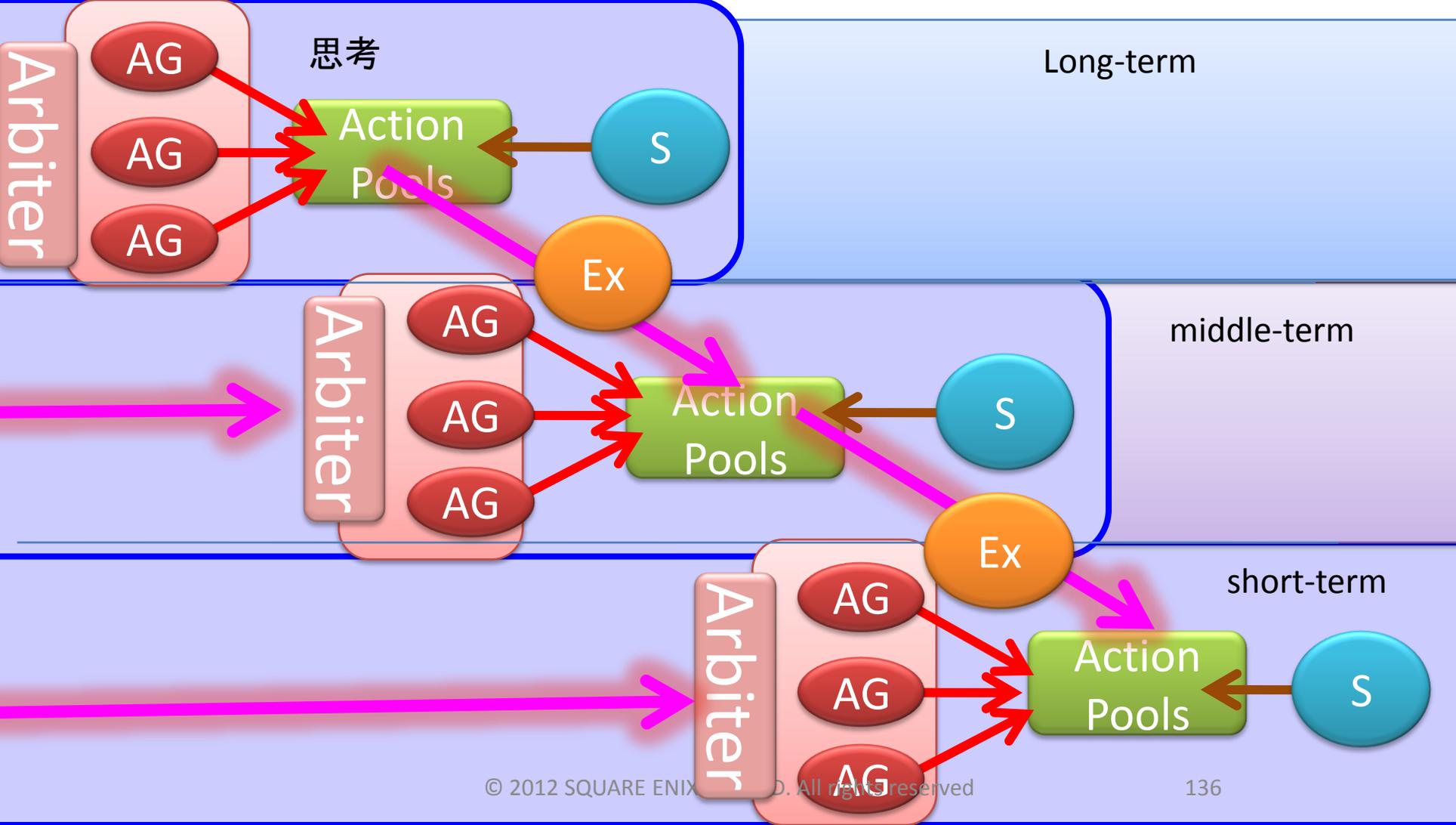
- 認識世界と行動生成の層を対応させる。
- アクション・プール(Action Pool)に対して、行動生成子(Action Generator)が単一のアクション、或いは一連のアクションを生成する。
- 行動生成子は認識世界の情報を用いる(認識世界に根を張る)。











Long-term

思考

階層型思考の構成

middle-term

思考

short-term

思考

行動生成アーキテクチャ

- **アクション・プール**におけるアクション・パッケージから一つが**選択**される。
- 選択されたアクションは**実行器 (エグゼキューター)**によって**実行**される。
- アクションは下の層のアクション・プールに向かって、**分解・実行**される。
- 各層のアクション・プールには上層からの他に、**その層の行動生成子が生成するアクション**がコミットされる。

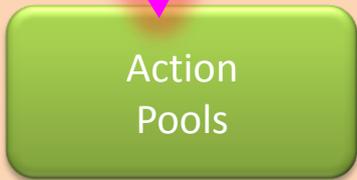
Long-term



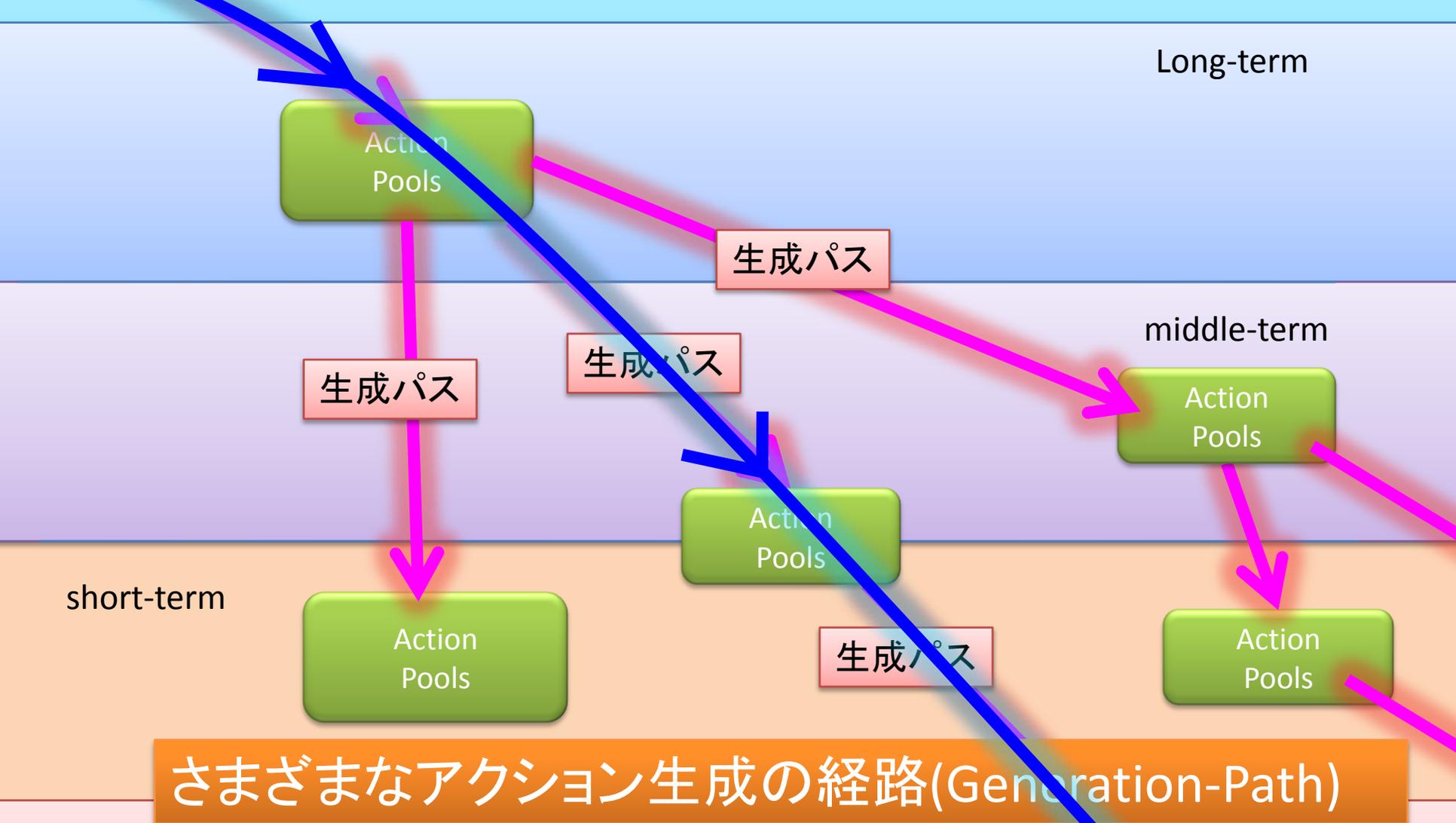
middle-term



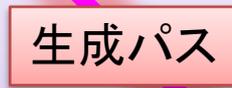
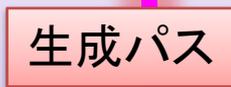
short-term



さまざまなアクション生成の経路(Generation-Path)



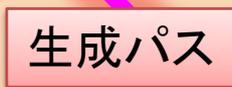
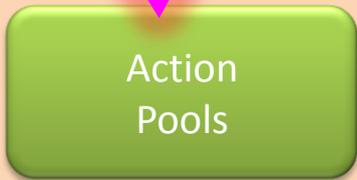
Long-term



middle-term



short-term



さまざまなアクション生成の経路(Generation-Path)

Long-term



生成パス

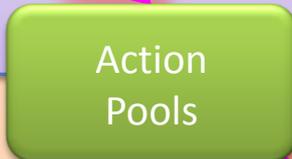
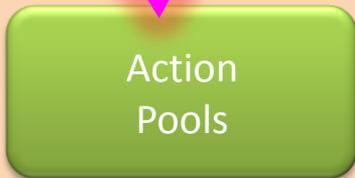
生成パス

生成パス

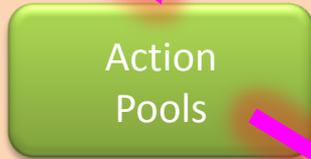
middle-term



short-term



生成パス

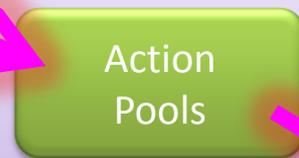
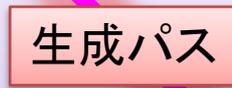


さまざまなアクション生成の経路(Generation-Path)

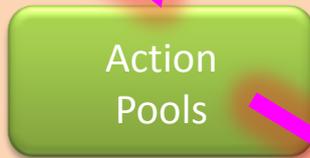
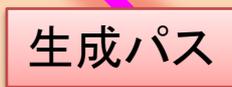
Long-term



middle-term



short-term



さまざまなアクション生成の経路(Generation-Path)

行動生成アーキテクチャ(2)

- 行動生成パス
- アルゴリズムを自由に選択することができる。

高度から低度の多岐にわたる意思決定。

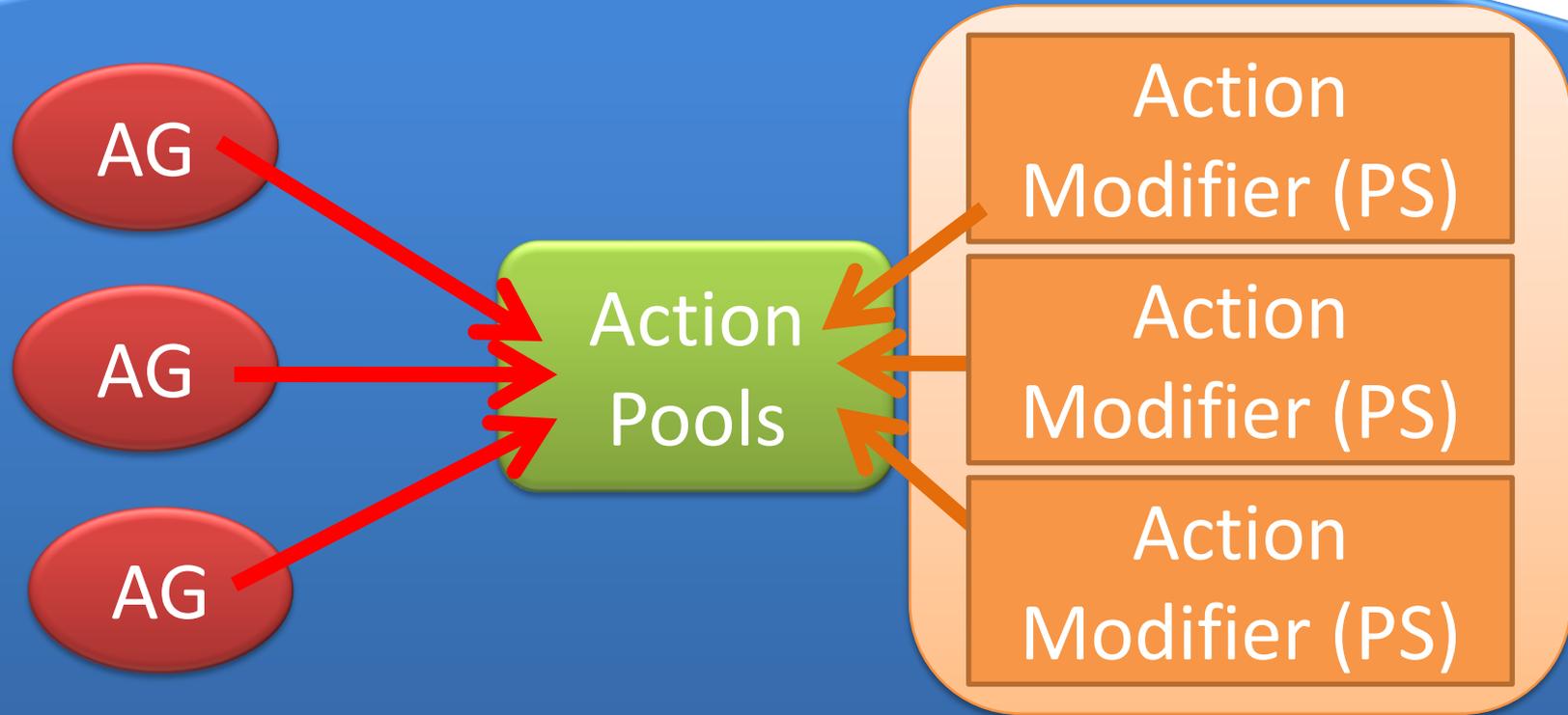
第三部 行動の生成

- 行動のプリプロセス = 認識
- 行動の生成（第一章）
- 行動のポストプロセス（第二章）

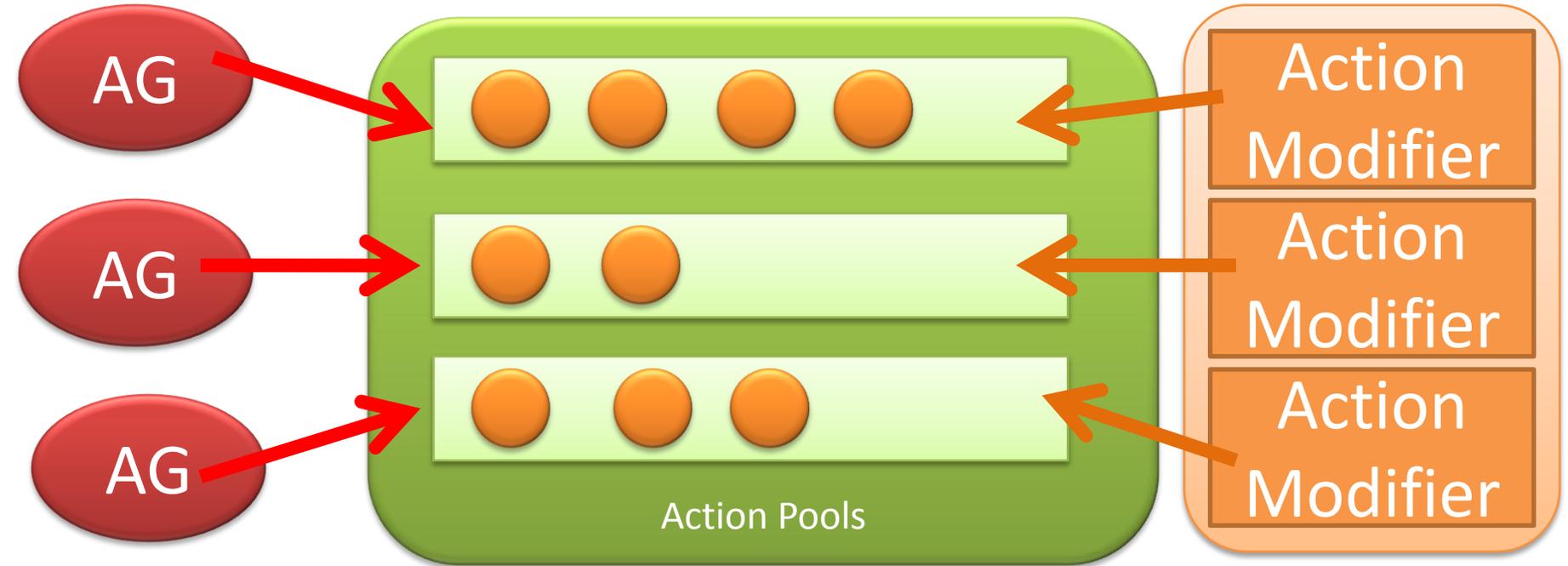
第三部 行動の生成

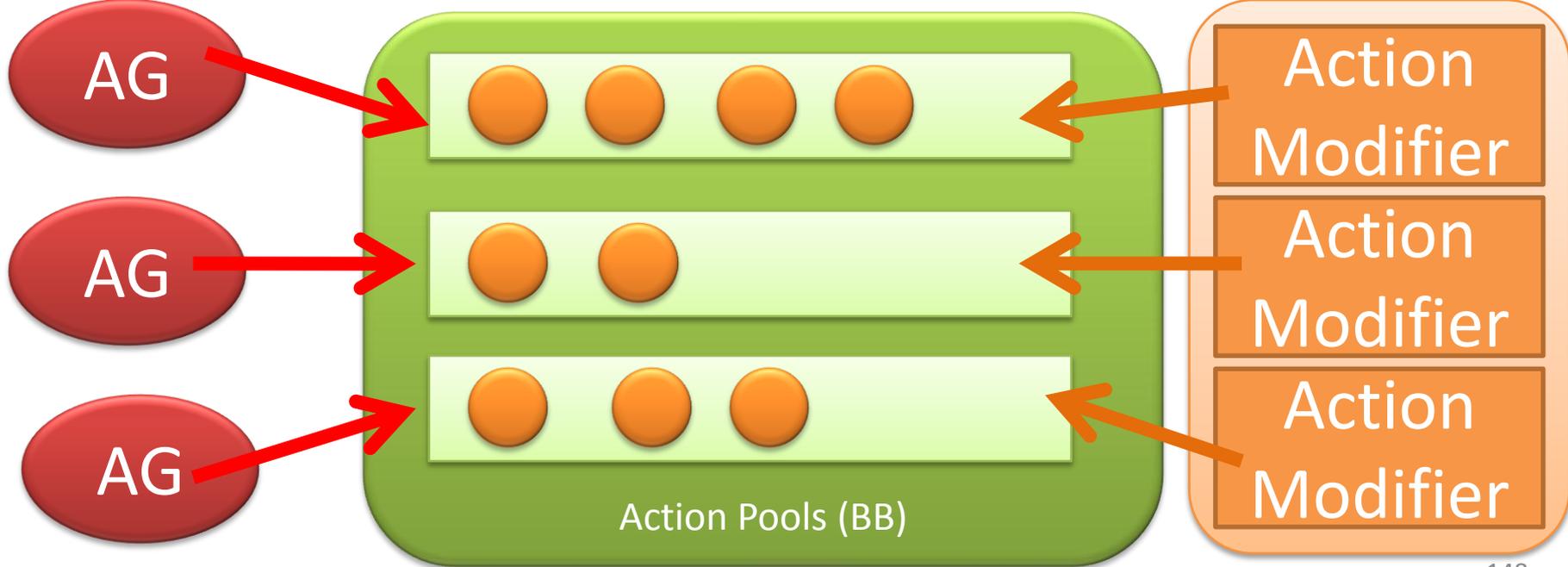
- 行動のプリプロセス = 認識
- 行動の生成（第一章）
- 行動のポストプロセス（第二章）

行為の作成モジュール (Action Generator)



行為の作成モジュール (Action Generator)



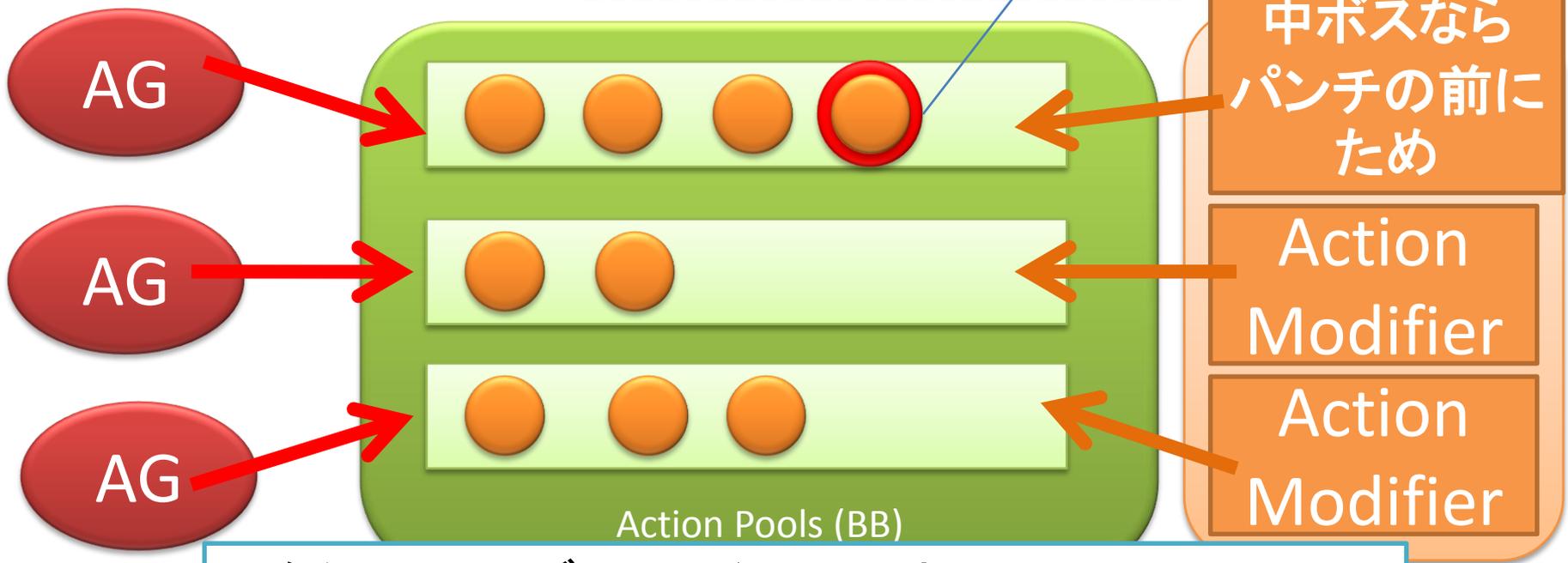


148

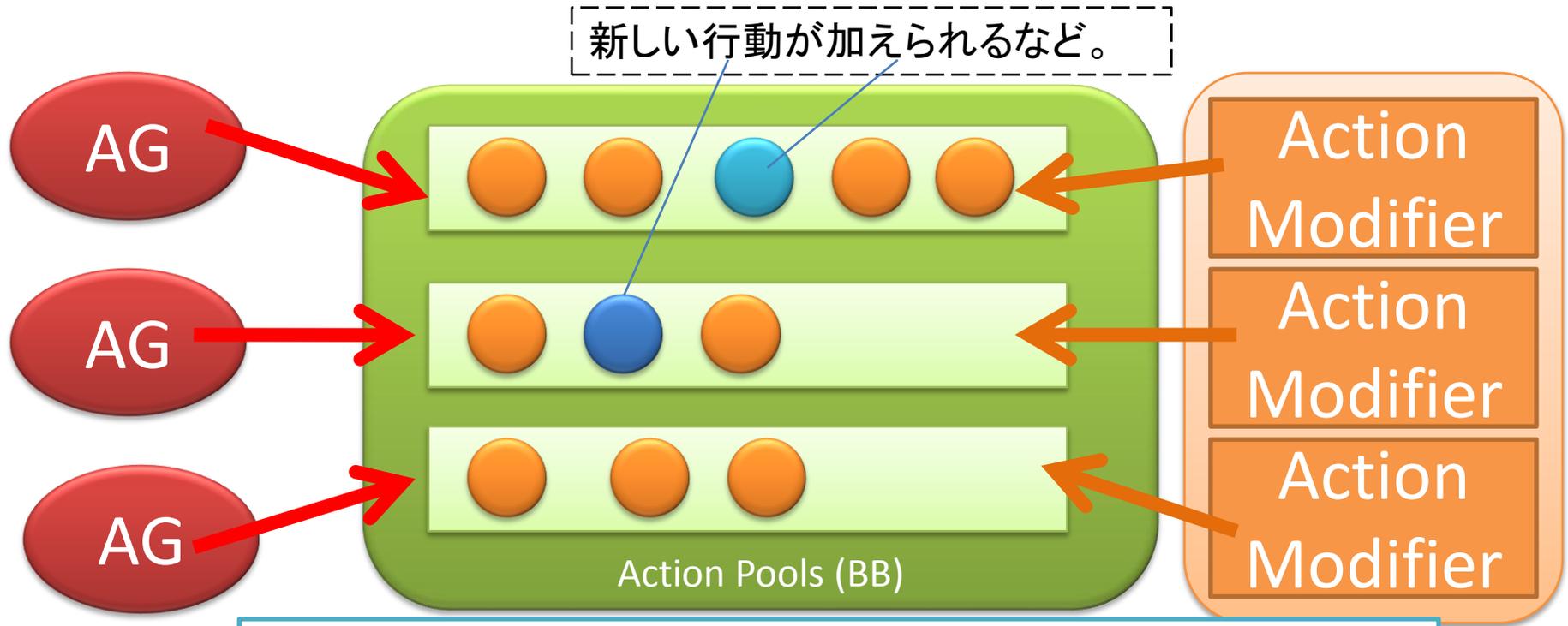
アクション・モディファイアーによって

- アクションが 修飾される (Action Modified)
- アクションが 拡張される (Action Expansion)
- アクションが 統合される (Action Integration)

特定のキャラクターに応じて変化



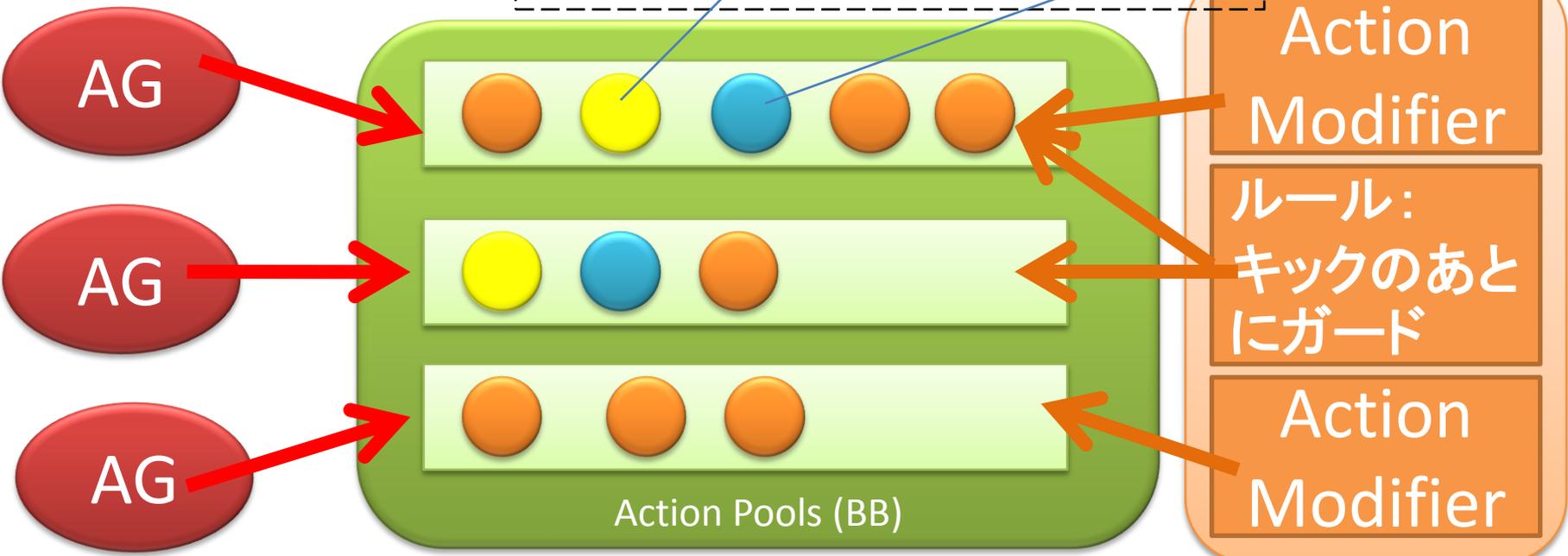
- アクション・モディファイアーによって
- **アクションが修飾される (Action Modified)**
 - アクションが拡張される (Action Expansion)
 - アクションが統合される (Action Integration)



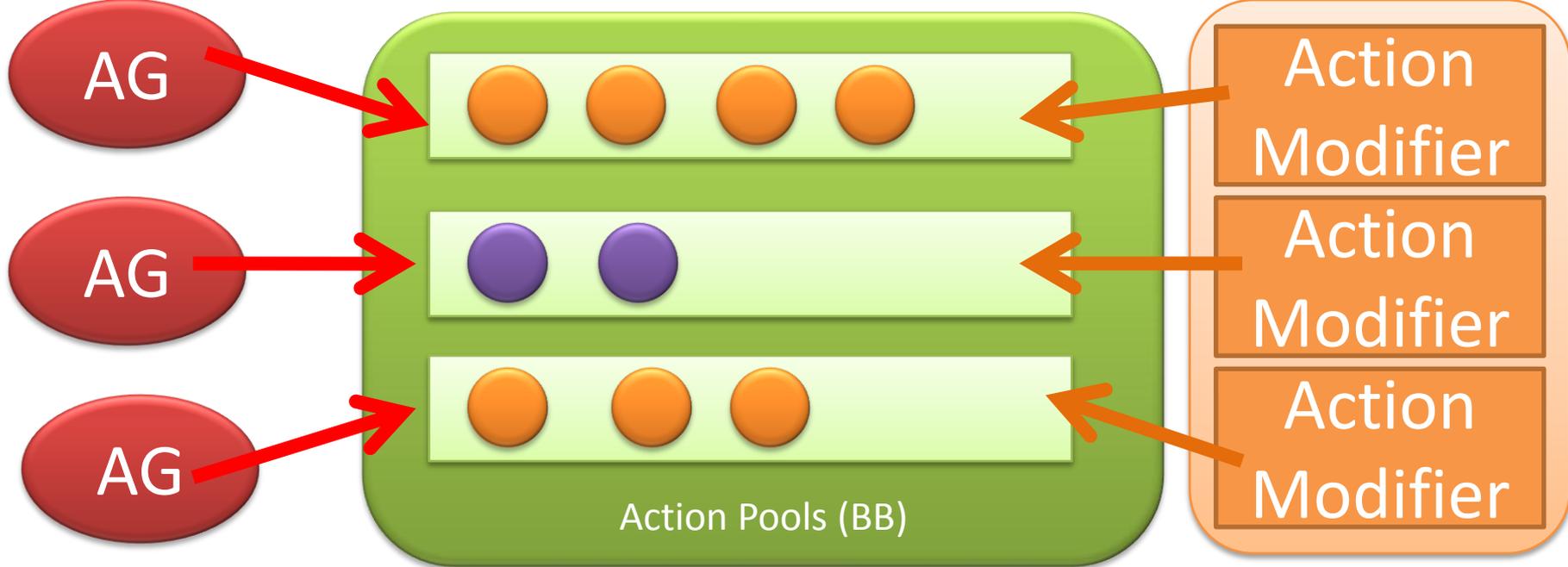
アクション・モディファイアーによって

- アクションが修飾される (Action Modified)
- アクションが拡張される (Action Expansion)
- アクションが統合される (Action Integration)

(例)「キック」のあとに必ず「ガード」する。

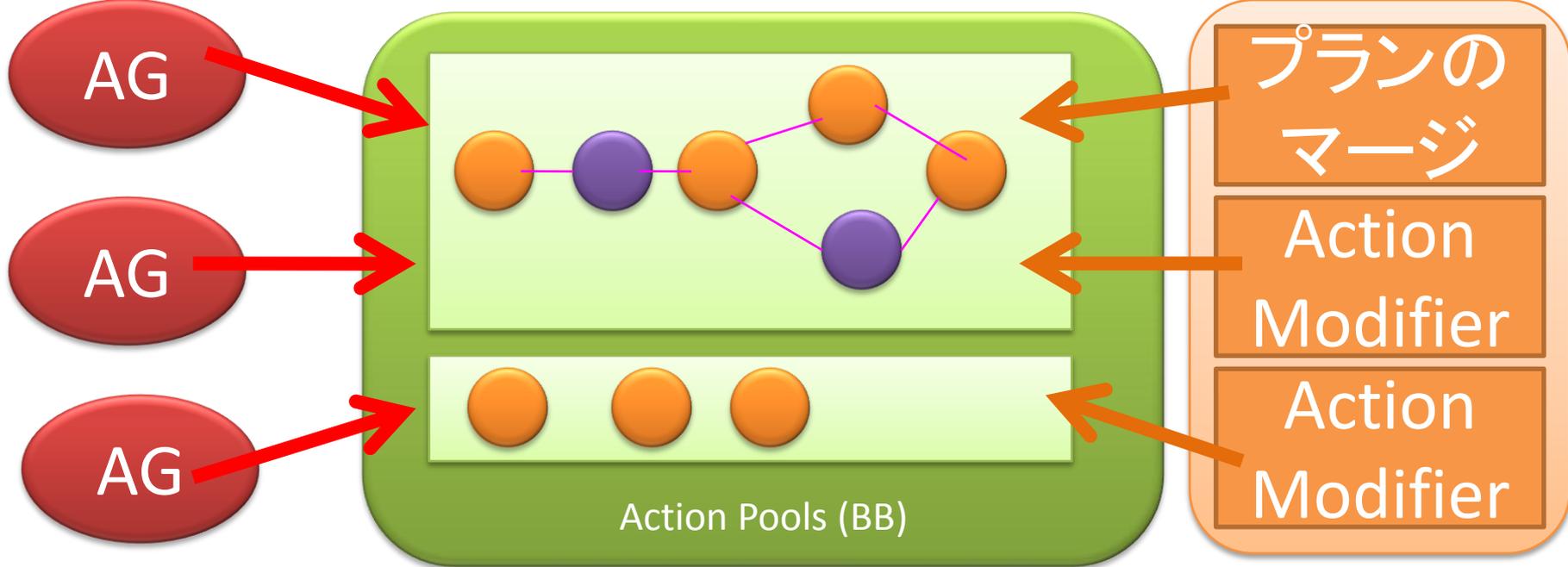


- アクション・モディファイアーによって
- アクションが 修飾される (Action Modified)
 - **アクションが 拡張される (Action Expansion)**
 - アクションが 統合される (Action Integration)



アクション・モディファイアーによって

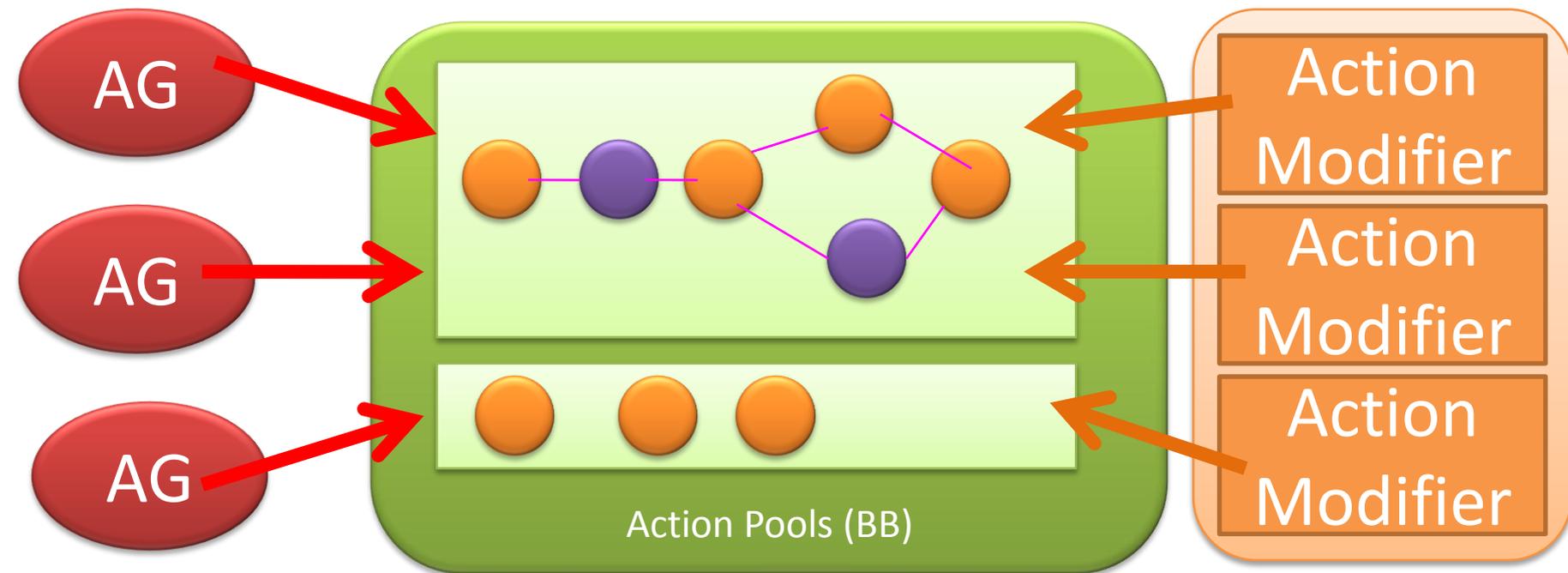
- アクションが 修飾される (Action Modified)
- アクションが 拡張される (Action Expansion)
- **アクションが 統合される (Action Integration)**



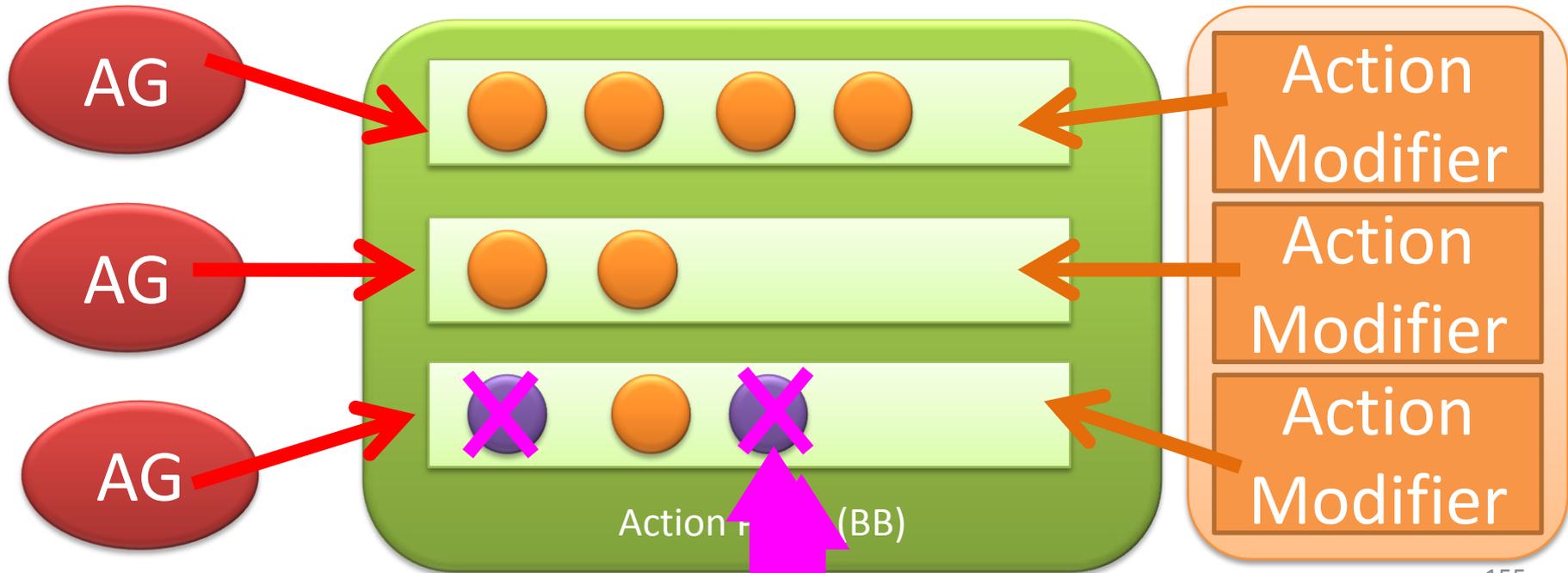
アクション・モディファイアーによって

- アクションが 修飾される (Action Modified)
- アクションが 拡張される (Action Expansion)
- **アクションが 統合される (Action Integration)**

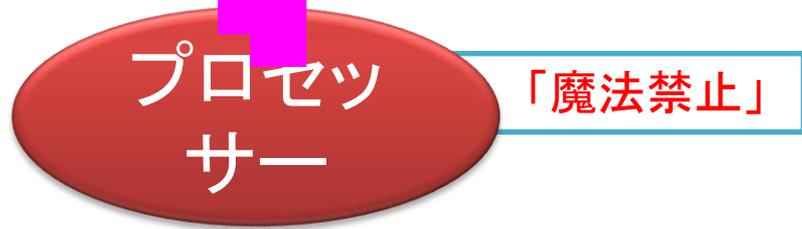
行為の作成モジュール (Action Generator)

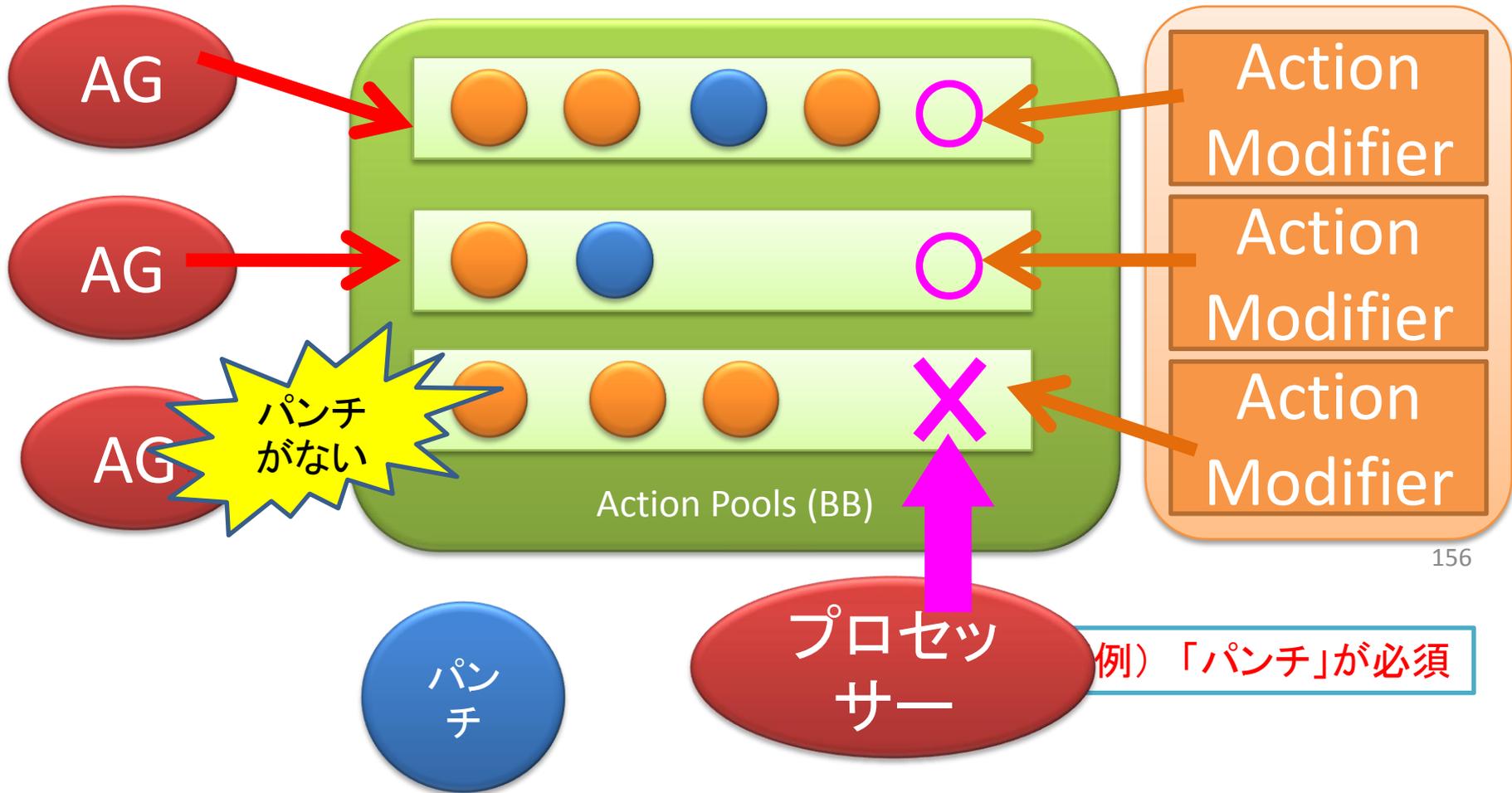


その他、さまざまなゲームに応じた行動を加工するルールを自由に記述したプロセッサで、ブラックボードを拡張することができる。(例)「魔法禁止」「パンチ必須」

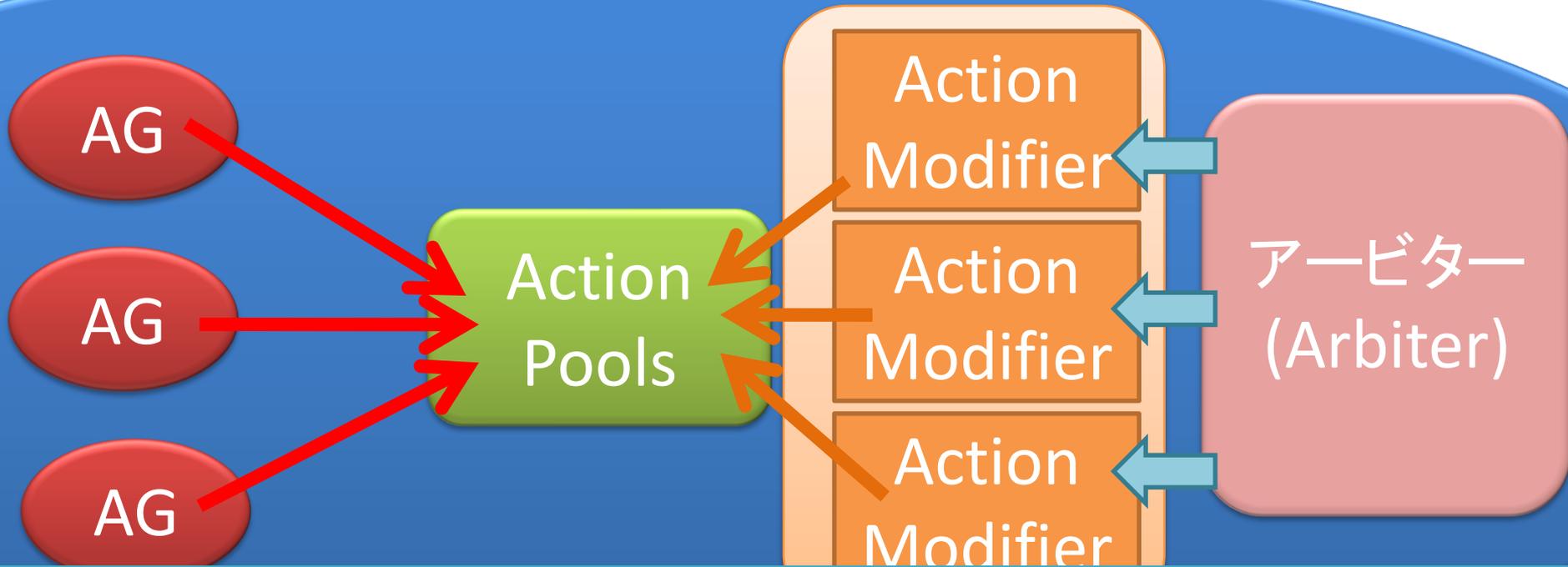


155



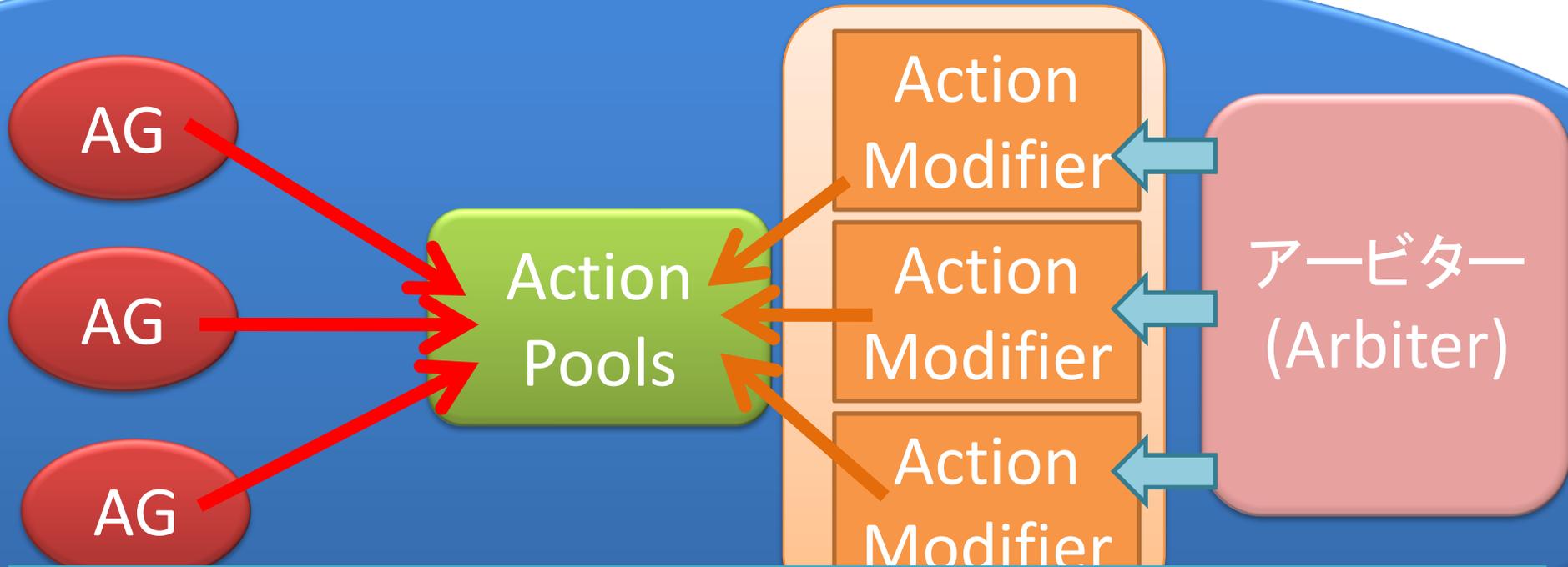


行為の作成モジュール (Action Generator)

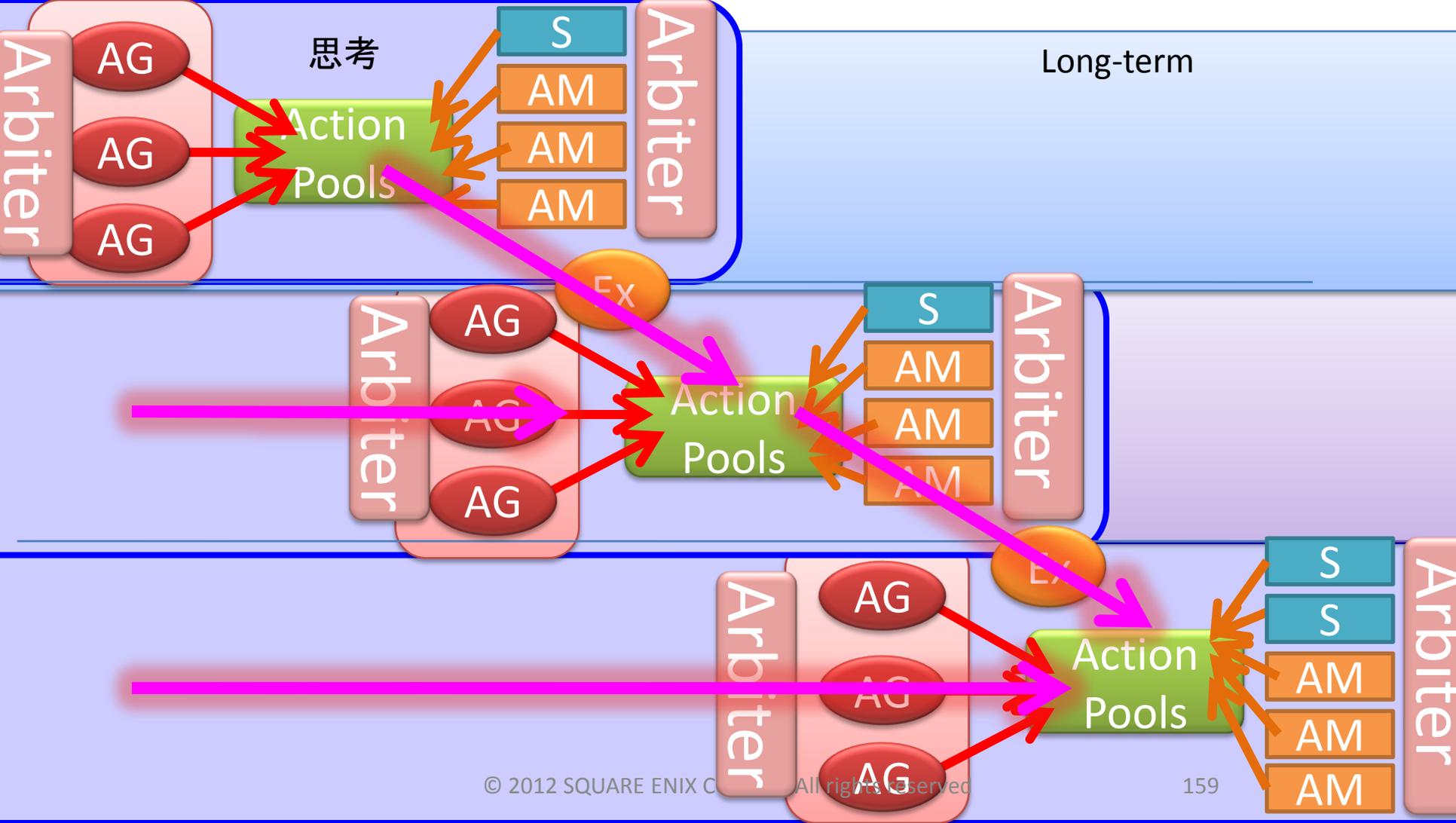


どのような行為の操作を行うかはメタAIが決定する。

行為の作成モジュール (Action Generator)



アクション生成は同じでも、あとからキャラクターに応じて行動をアレンジすることができる。



行動のポストプロセス

- アクション・プールにプールされたアクション (パッケージ) は、修飾子 (アクション・モディファイアー) によって、修飾・拡張・統合される。

講演コンテンツ

はじめに

CEDEC 2012 復習

第一部

エージェント・アーキテクチャ

第二部

認知の統合

第三部

行動の生成

第四部

まとめ

Integration

第四部 まとめ

第四部 まとめ

第一章 全体像のイメージ

第二章 行動と認識のインタラクション

第四部 まとめ

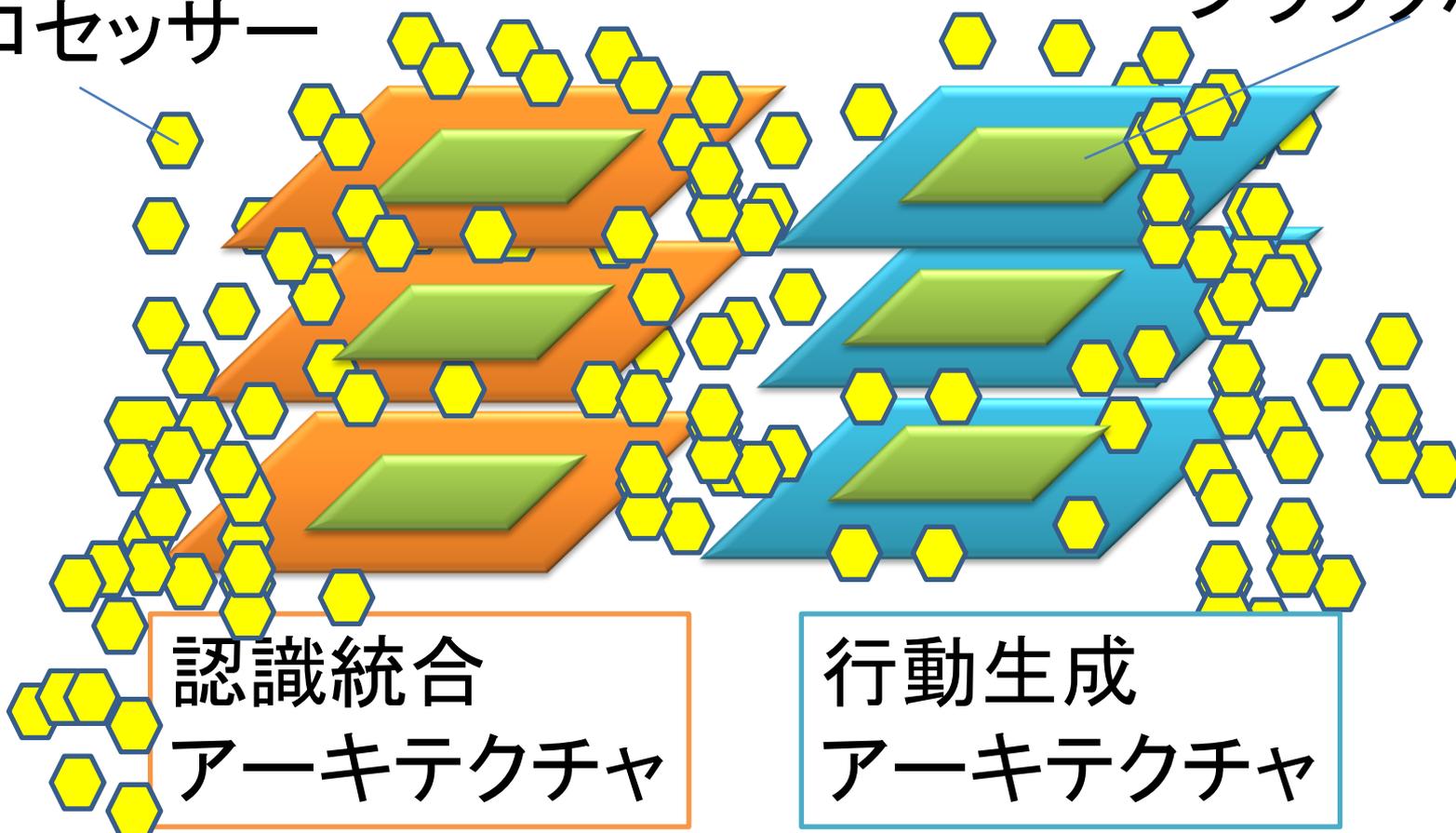
第一章 全体像のイメージ

第二章 行動と認識のインタラクション

全体像（イメージ）

ブラックボード

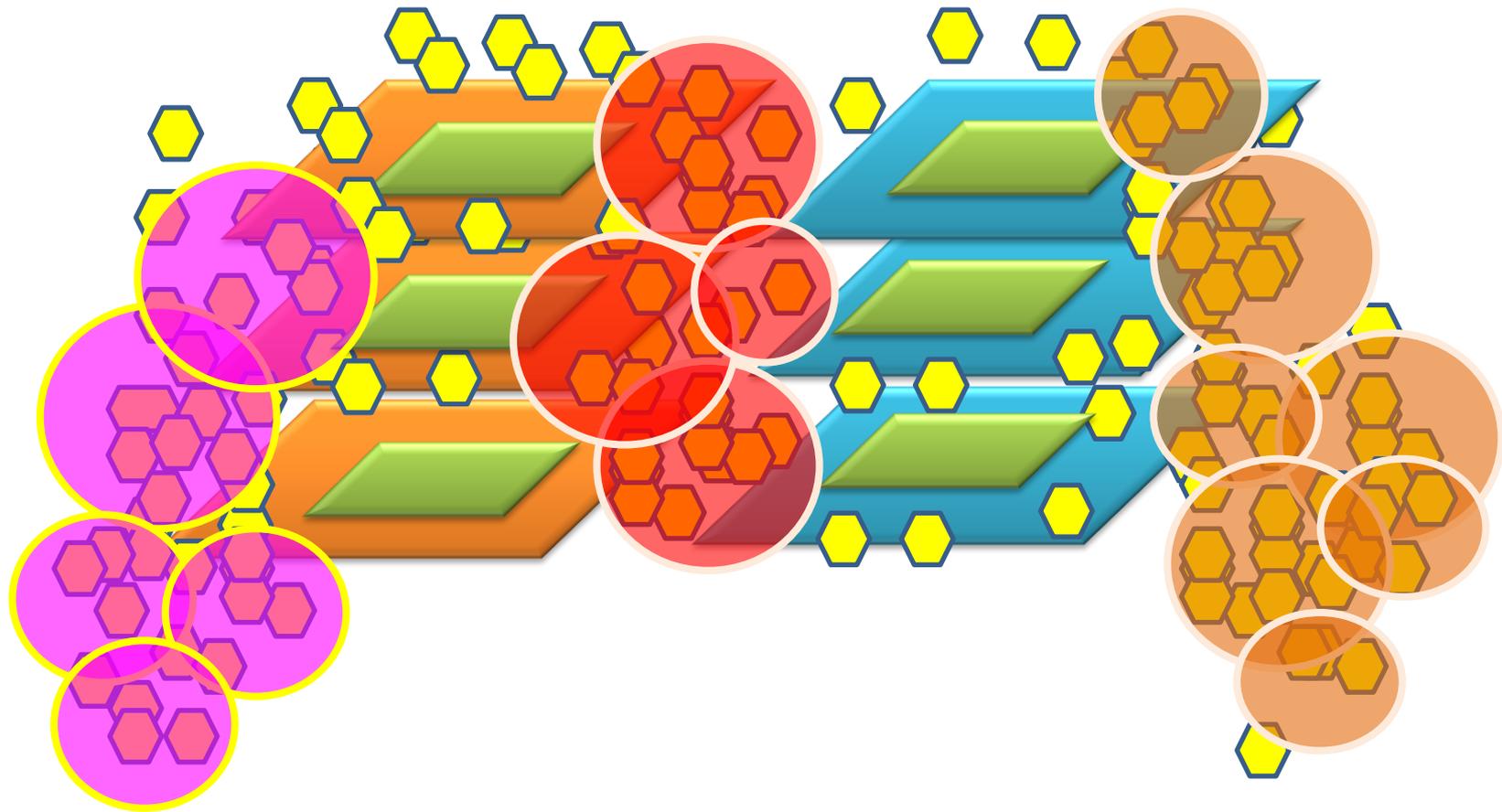
プロセッサ



認知統合
アーキテクチャ

行動生成
アーキテクチャ

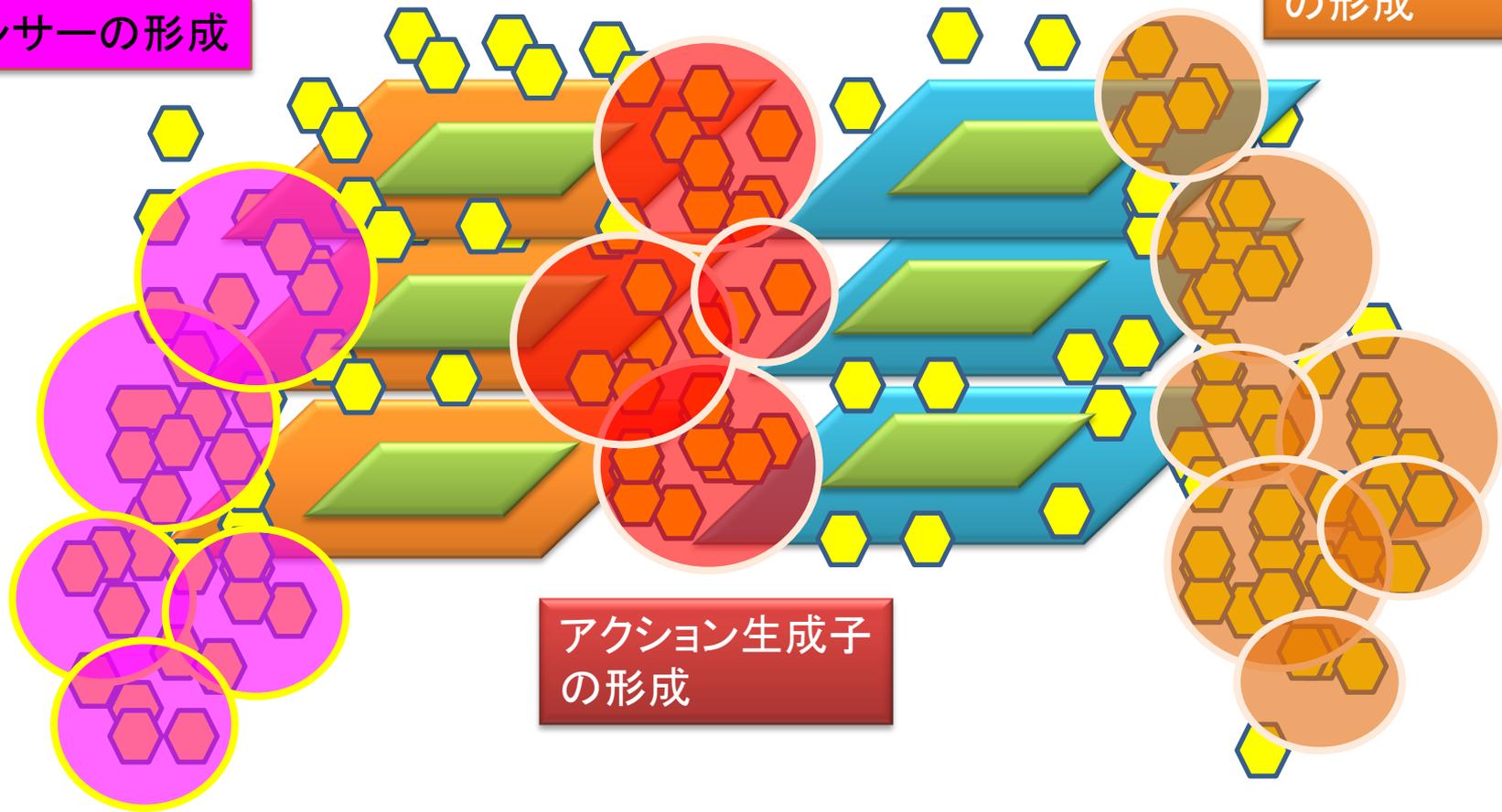
全体像(イメージ)



全体像 (イメージ)

センサーの形成

アクション修飾子の
形成



アクション生成子
の形成

全体像（イメージ）

センサーの形成

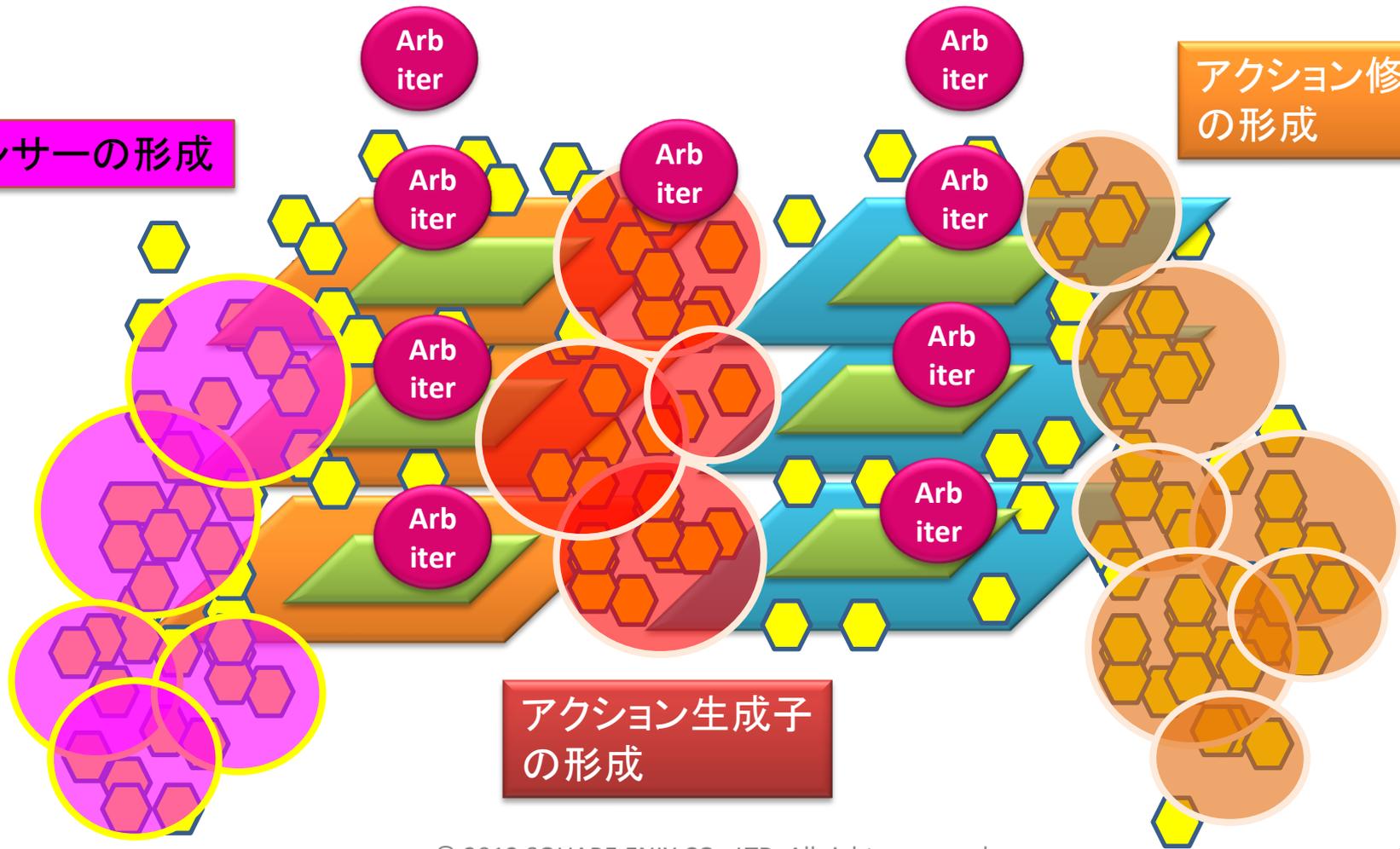
アクション修飾子の形成

単純なプロセッサーが連合（Coalition）することで、高度なセンサー、ジェネレーター、モディファイアーが（動的に・静的に）形成されて行く。

アクション生成子の形成

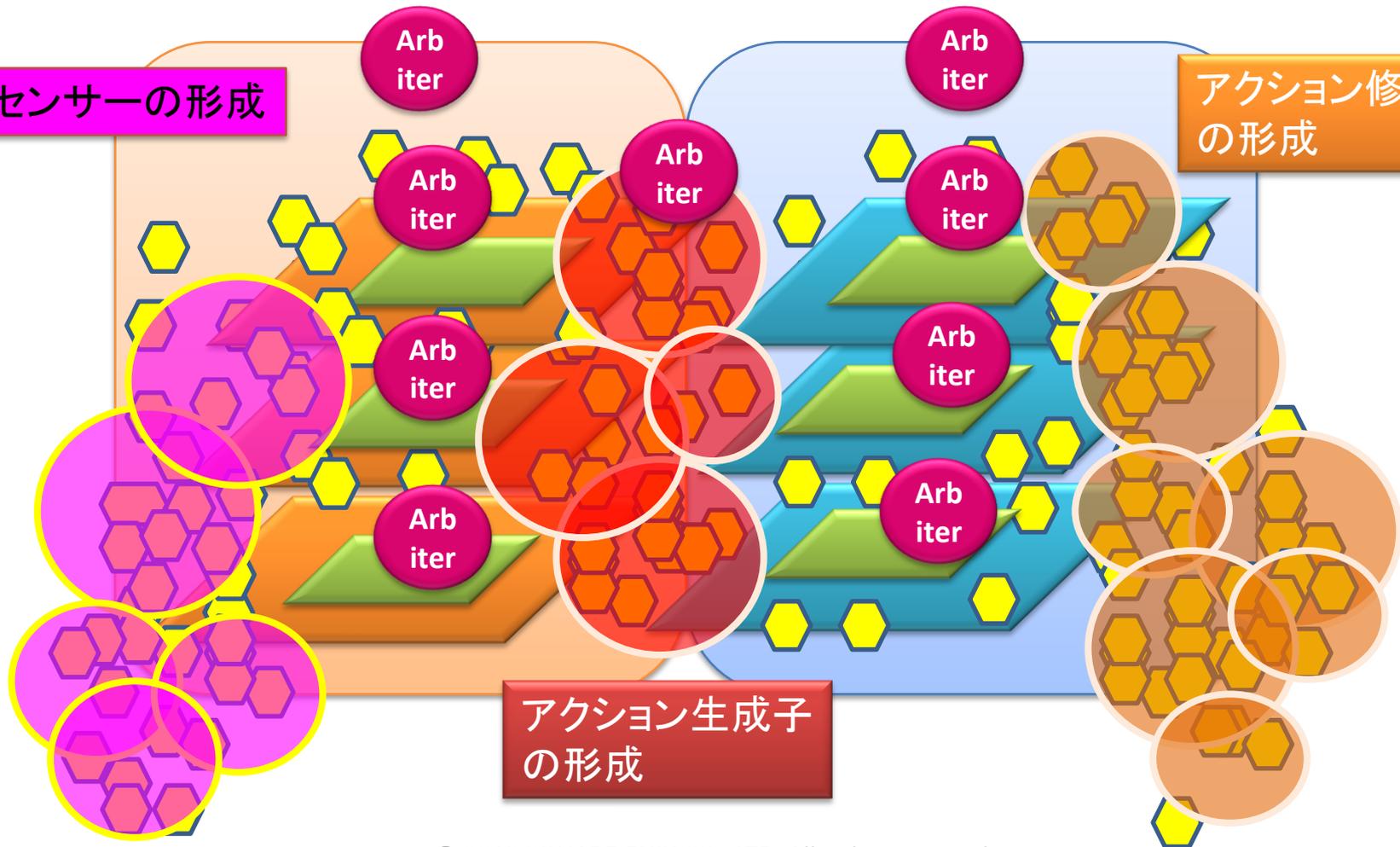
センサーの形成

アクション修飾子の形成

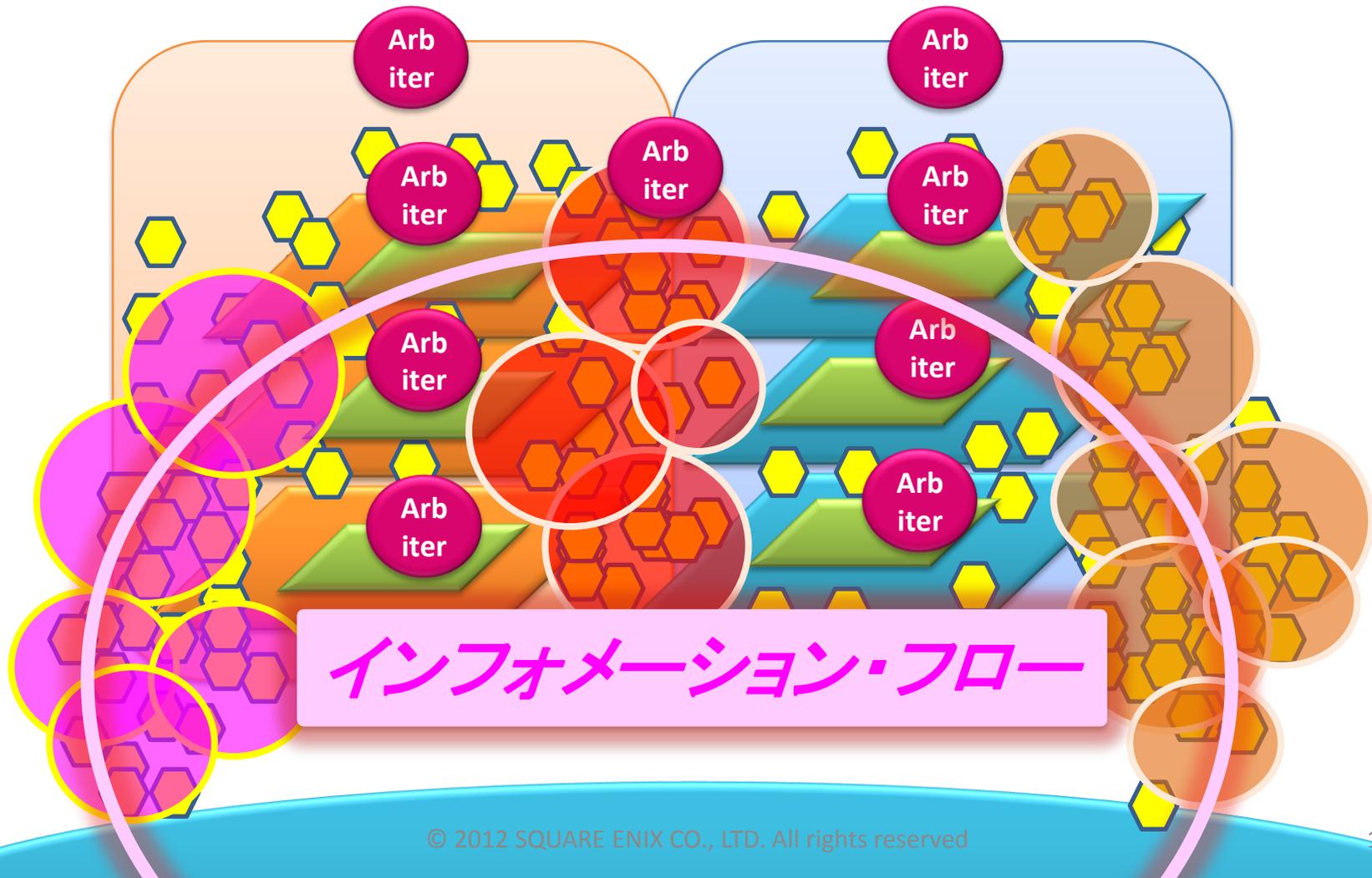


センサーの形成

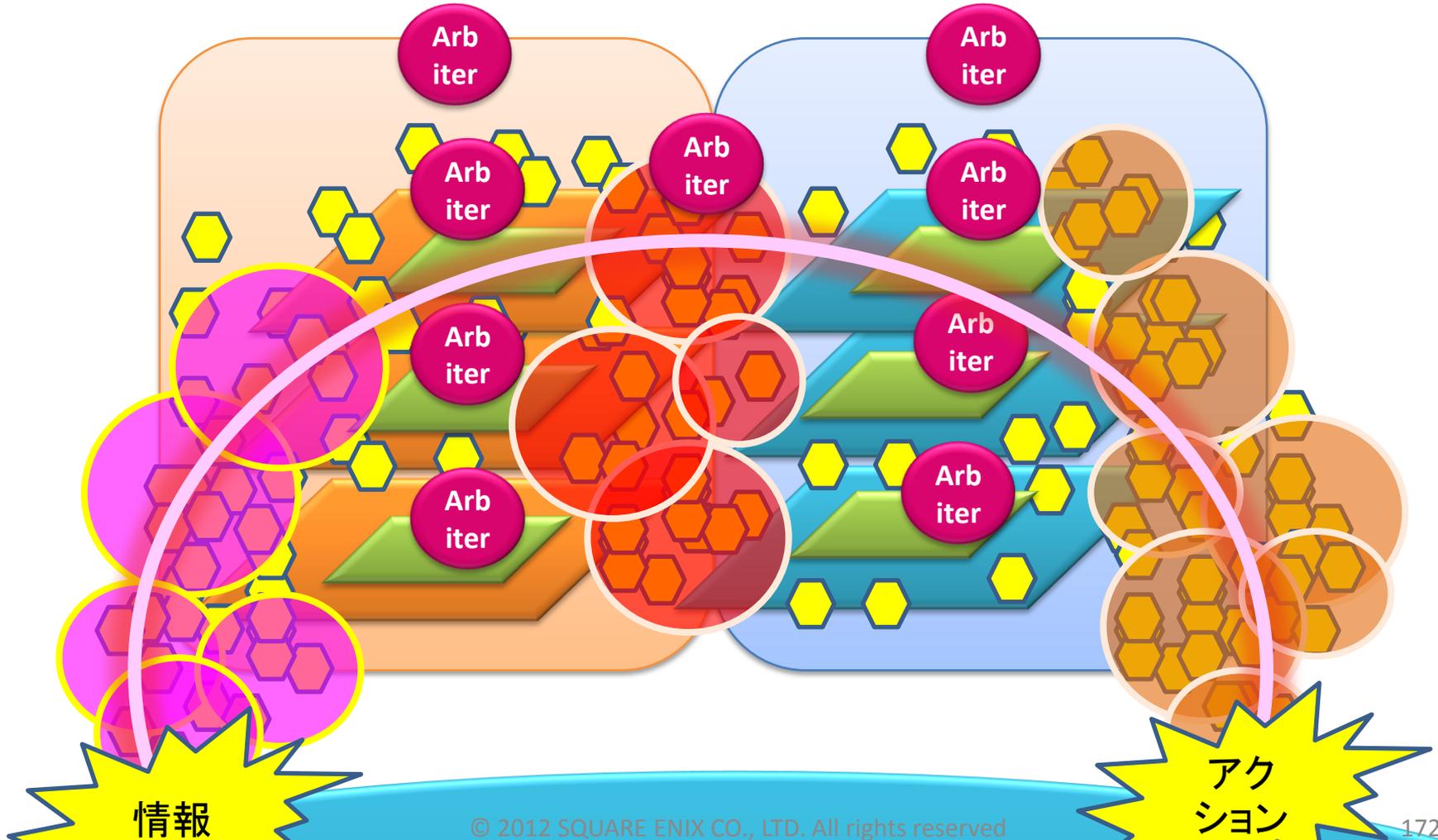
アクション修飾子の形成



アクション生成子の形成

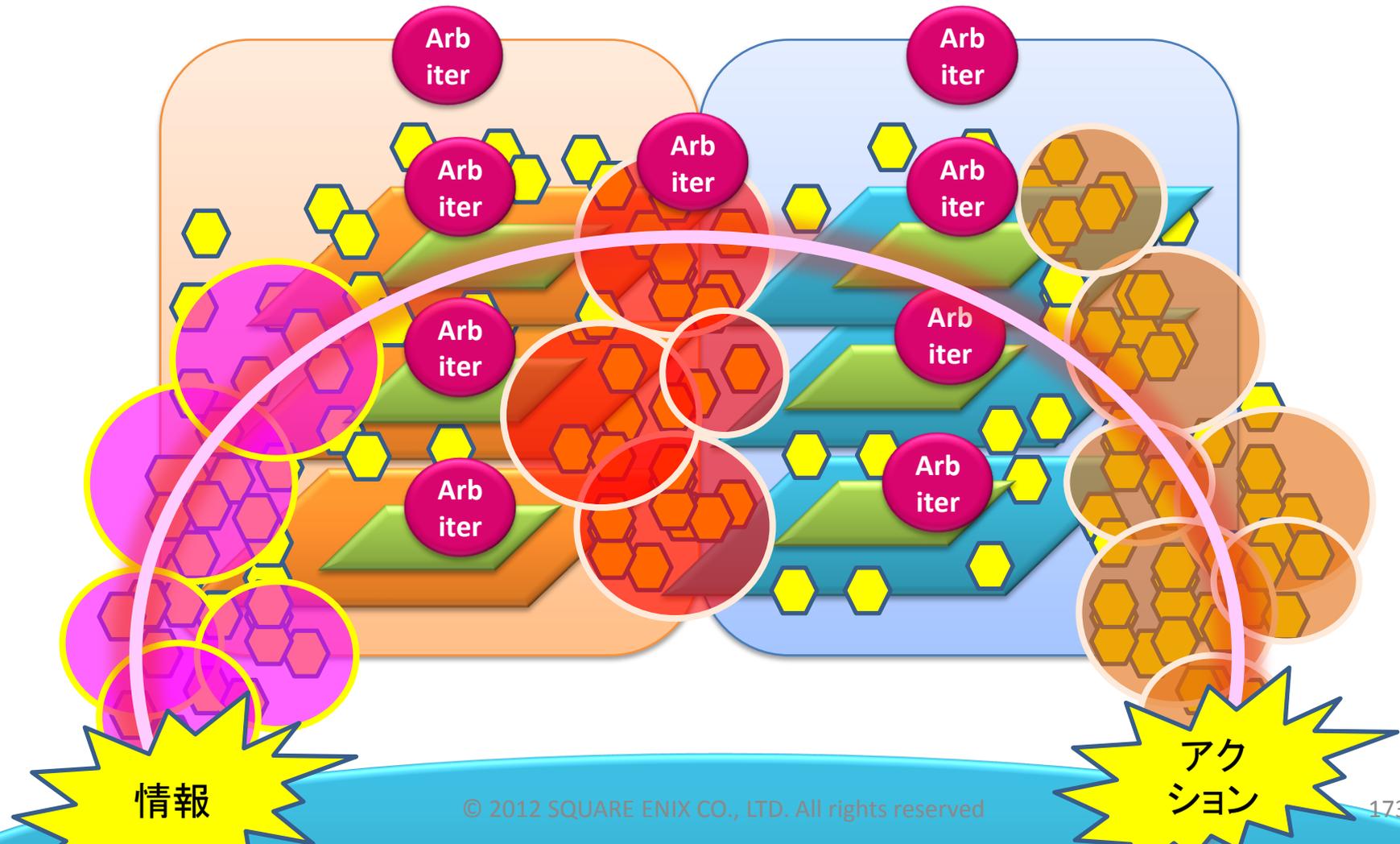


インフォメーション・フロー



情報

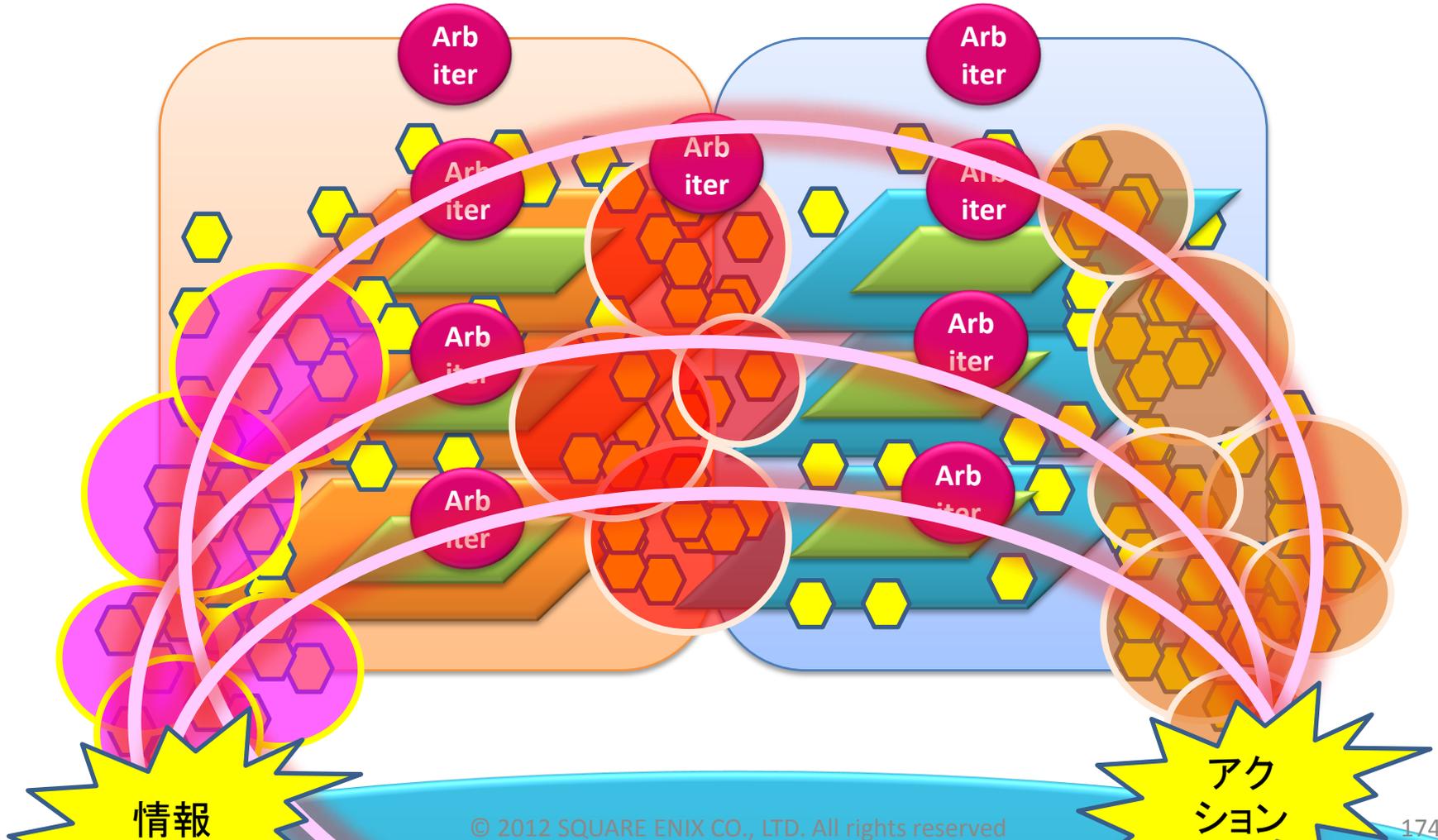
アクション



Arb iter

情報

アクション



情報

アクション

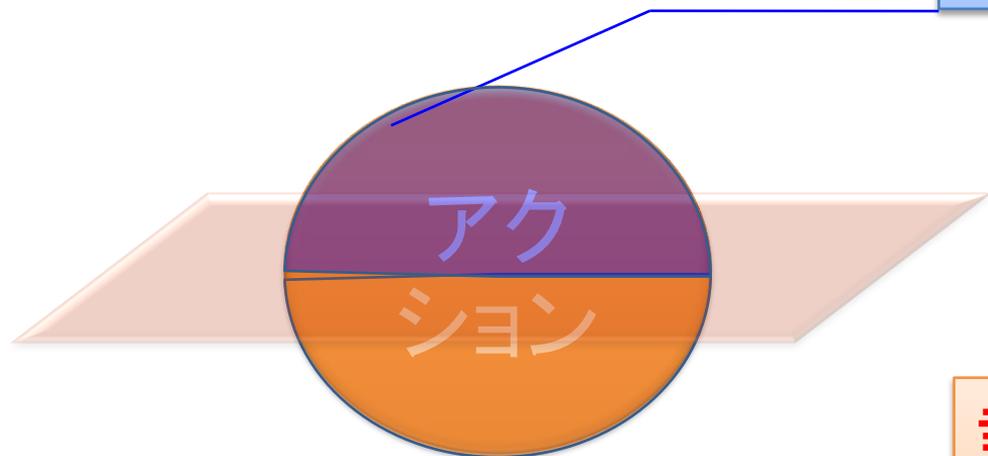
第四部 まとめ

第一章 全体像のイメージ

第二章 行動と認識のインタラクション

アクションの記述

行動の記述



認識世界の中で定義
される
行動の意味・効果

行動・認識の表現

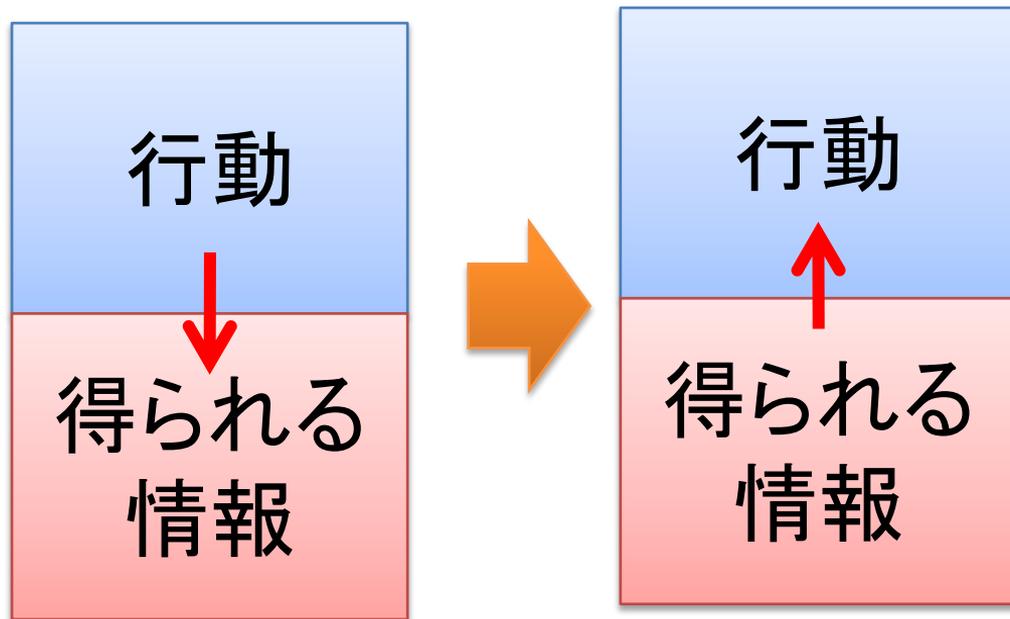


(例)

物を叩いたら、感触がわかる。

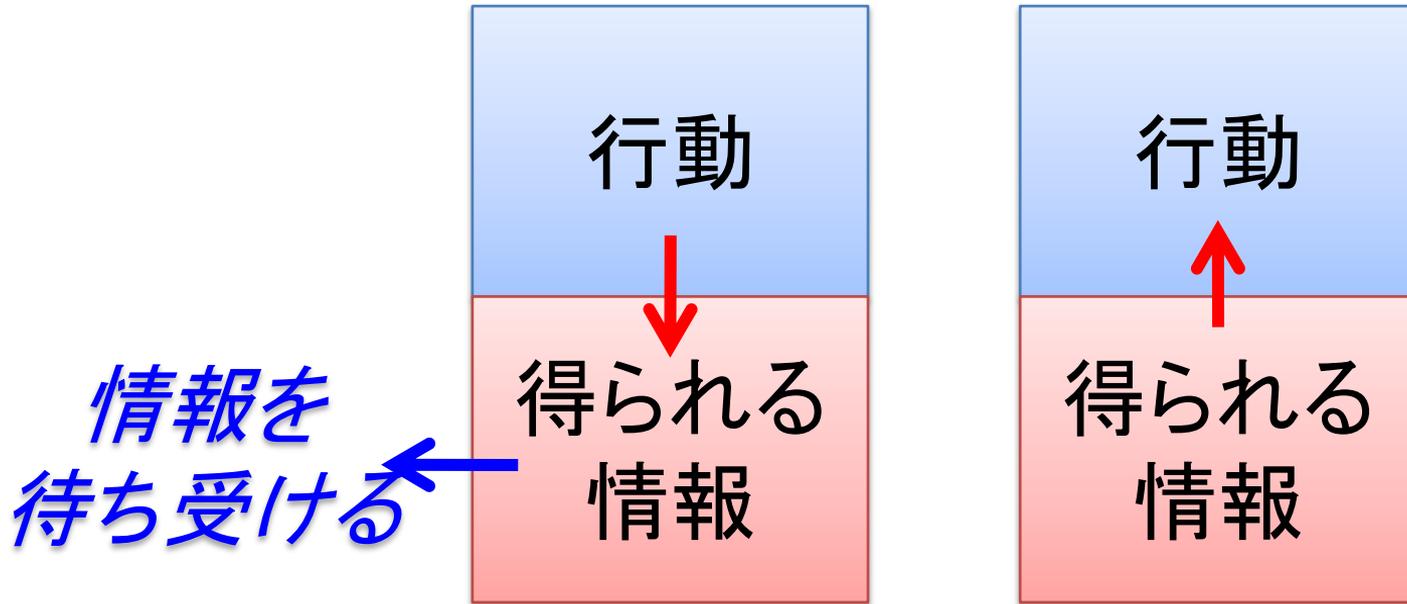
石橋を叩いてみたら、反応がわかる。渡れるかどうかがわかる。

行動・認識の表現

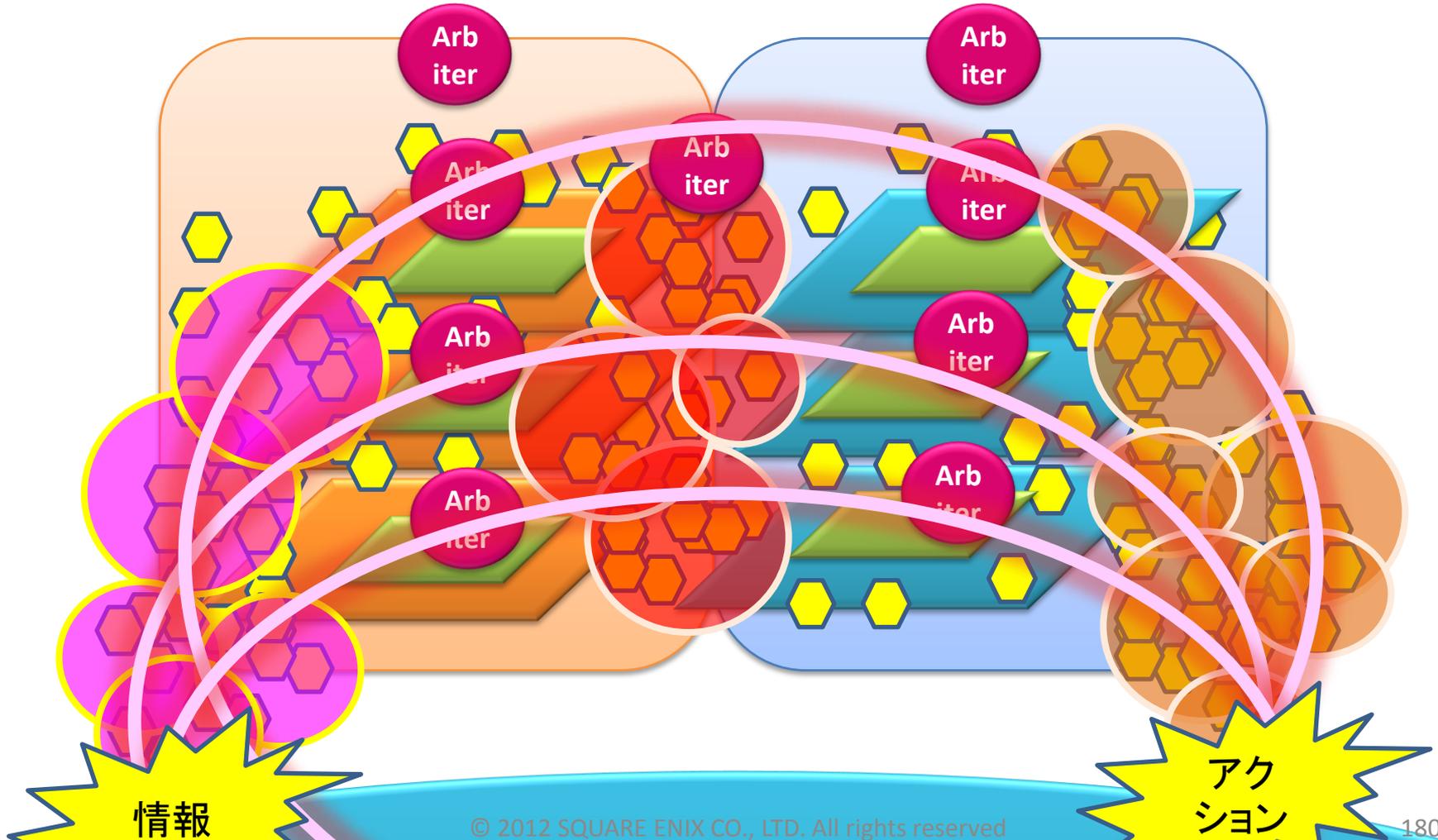


(例) 感触を知るには、叩いてみる。
石橋を渡れるかどうか、叩いてみる。

行動・認識の表現

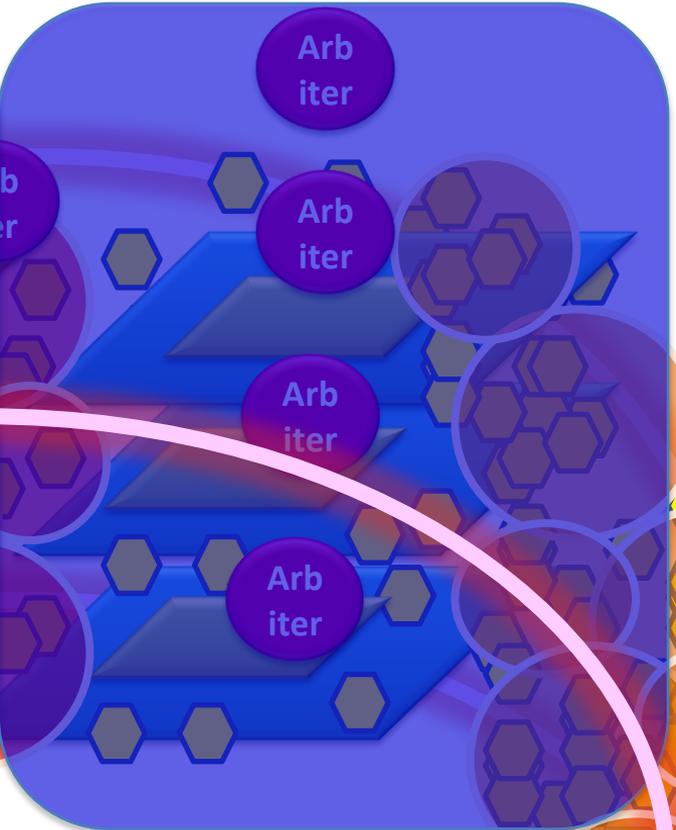
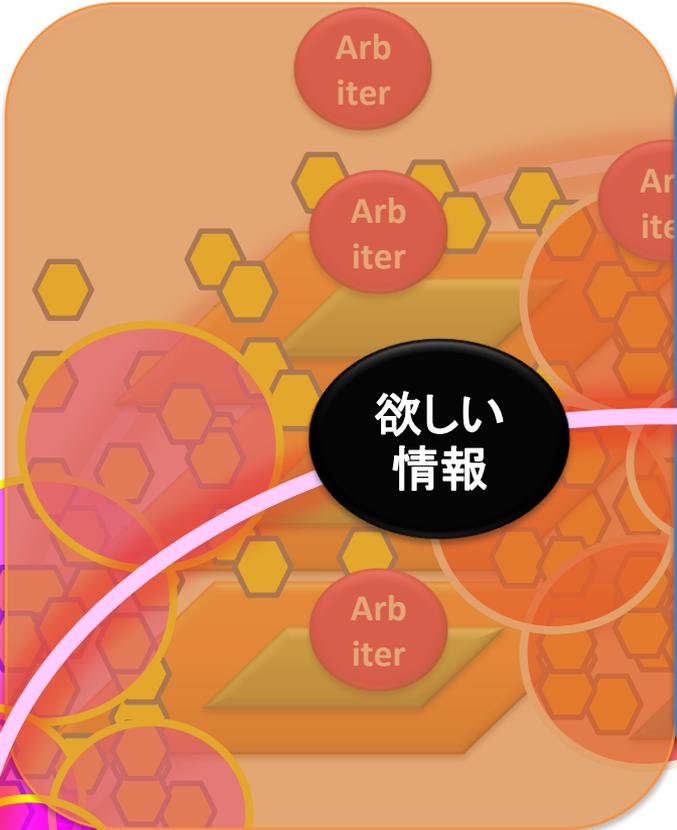


- (例) 暗闇で、足を踏み出して感触を得る。
足の裏に神経を集中する。
暗闇で、石を投げる。石の反響を待つ。



情報

アクション



感覚を研ぎ澄ます

欲しい
情報

情報

ア
シ
ン

行動を促す

欲しい
情報

すべき
行動

情報

ア
クション

行動を促す

欲しい
情報

すべき
行動

欲しい情報が得られるまで、
行動をくり返す。

情報

ア
シ
ン

行動を促す

欲しい
情報

すべき
行動

- ・敵が見えるまで、前進する。
- ・宝箱を見つけるまで探す。

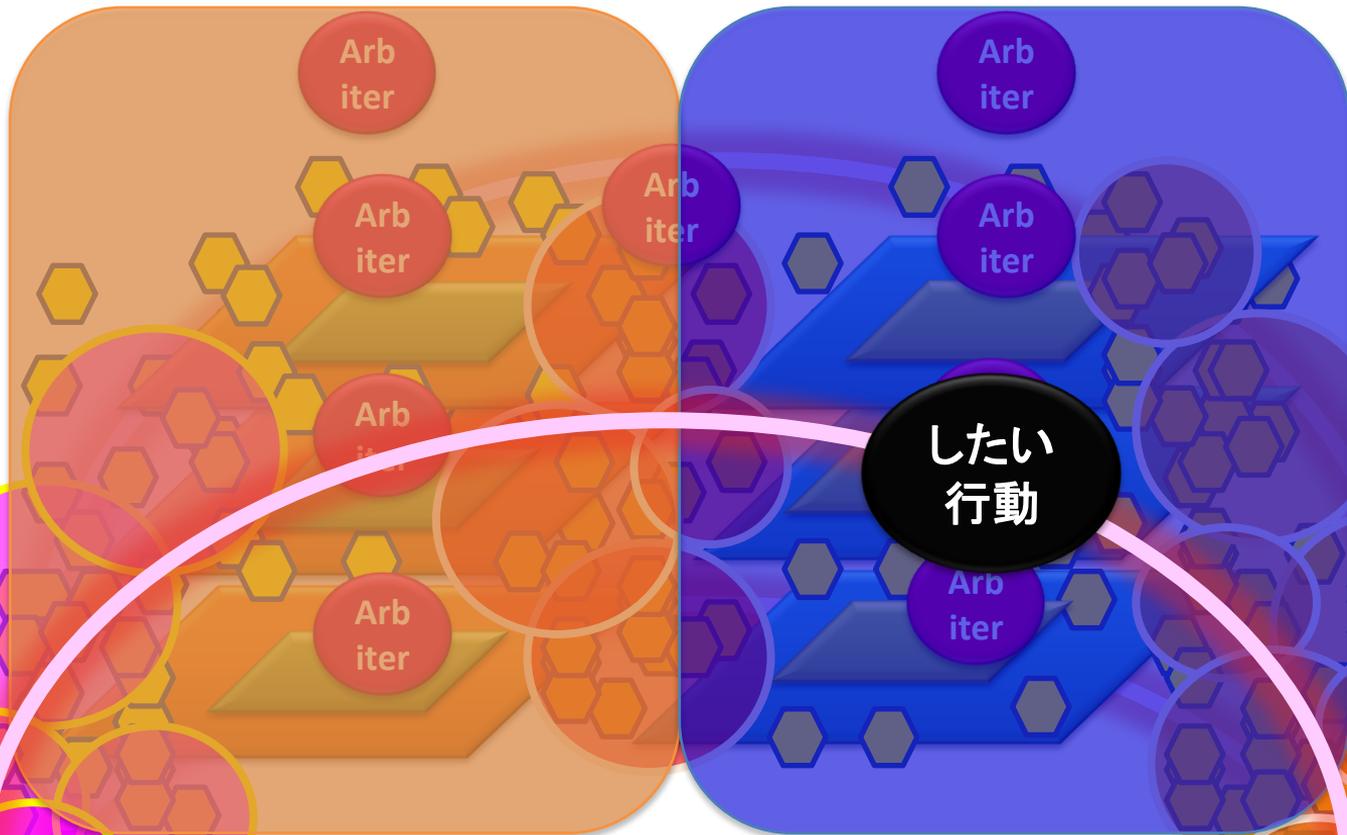
情報

ア
クション

行動・認識の表現



(例) 敵を倒したいので、
敵の位置を知りたい。



情報

アクション

知識を求める

必要な
情報

したい
行動

記憶から
リコール

情報

ア
シ
ン

知識を求める

必要な
情報

したい
行動

記憶から
リコール

敵をやっつけたい→敵はどこにいたか？

感覚を研ぎ
澄ます

知識を求める

必要な
情報

したい
行動

・敵をやっつけたい→敵はどこか→あたりを見渡す

知識を求める

必要な
情報

したい
行動

すべき
行動

行動を促す

情報

ア
シ
ン

知識を求める

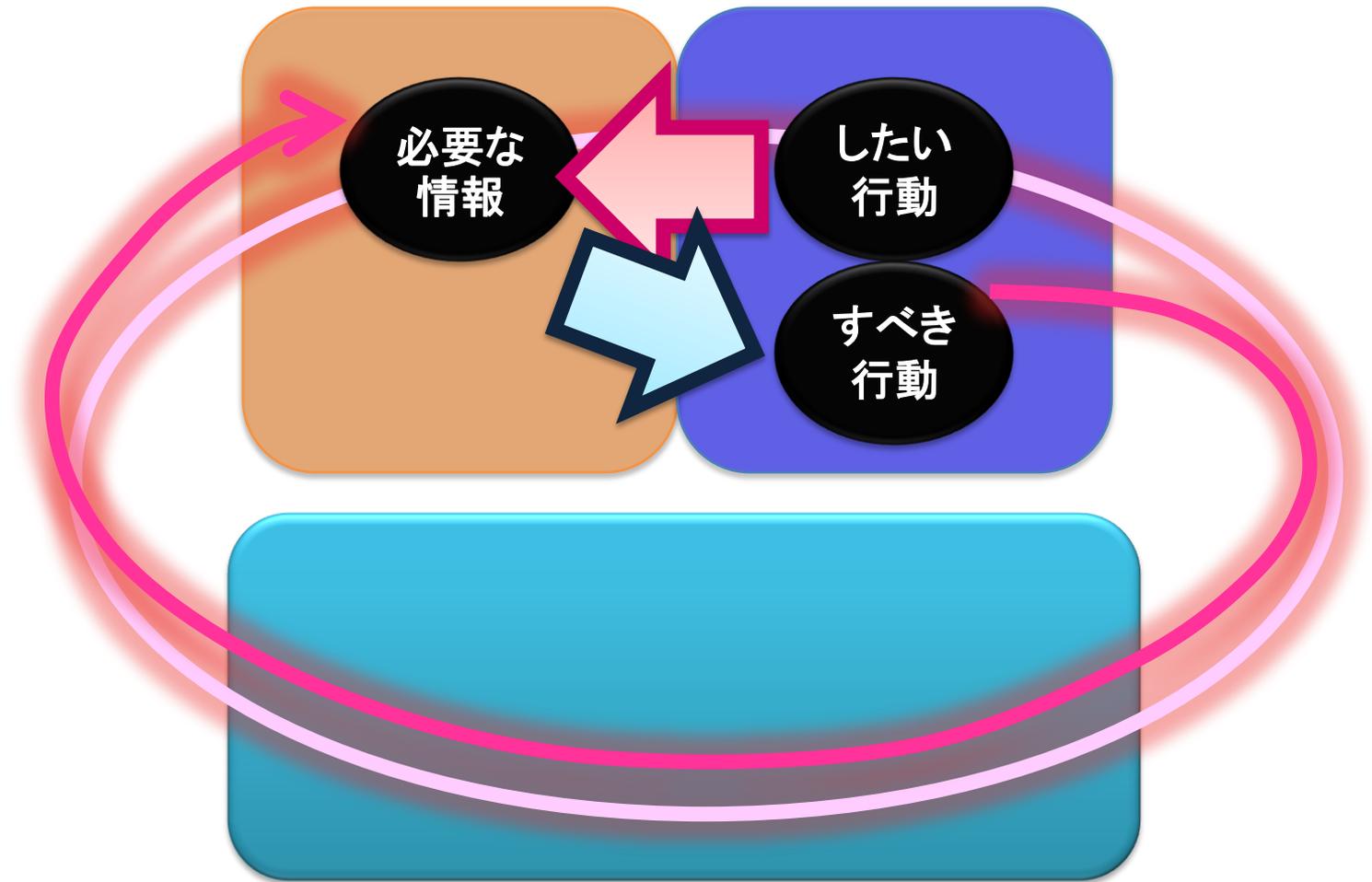
必要な
情報

したい
行動

すべき
行動

行動を促す

- ・敵をやっつけたい
- 敵はどこか→発見するために歩きまわる



必要な
情報

したい
行動

世界との関係の中で行動が認識を育み、
知性の内側で認識が新しい行動を産む。

このダイナミカルなリズムが知能の運動。

Arb
iter

Arb
iter

必要な
情報

したい
行動

必要な
情報

すべき
行動

必要な
情報

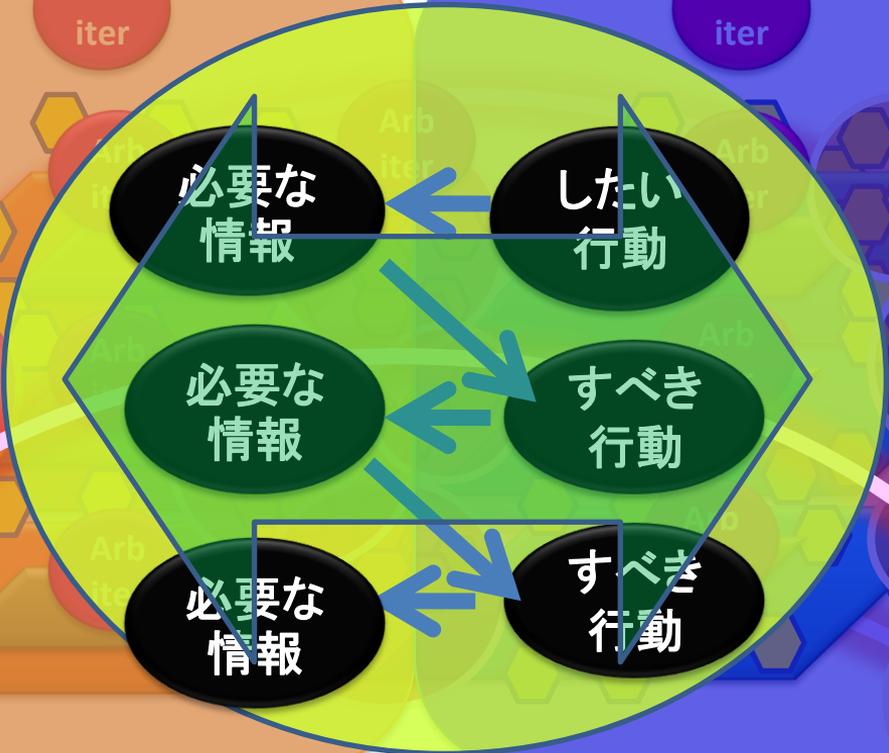
すべき
行動

情報

ア
ク
シ
ン

Arb
iter

Arb
iter



認識統合と
行動生成の間
の
インタラクション

思考/ 行動シミュレーション

情報

ア
シ
ン

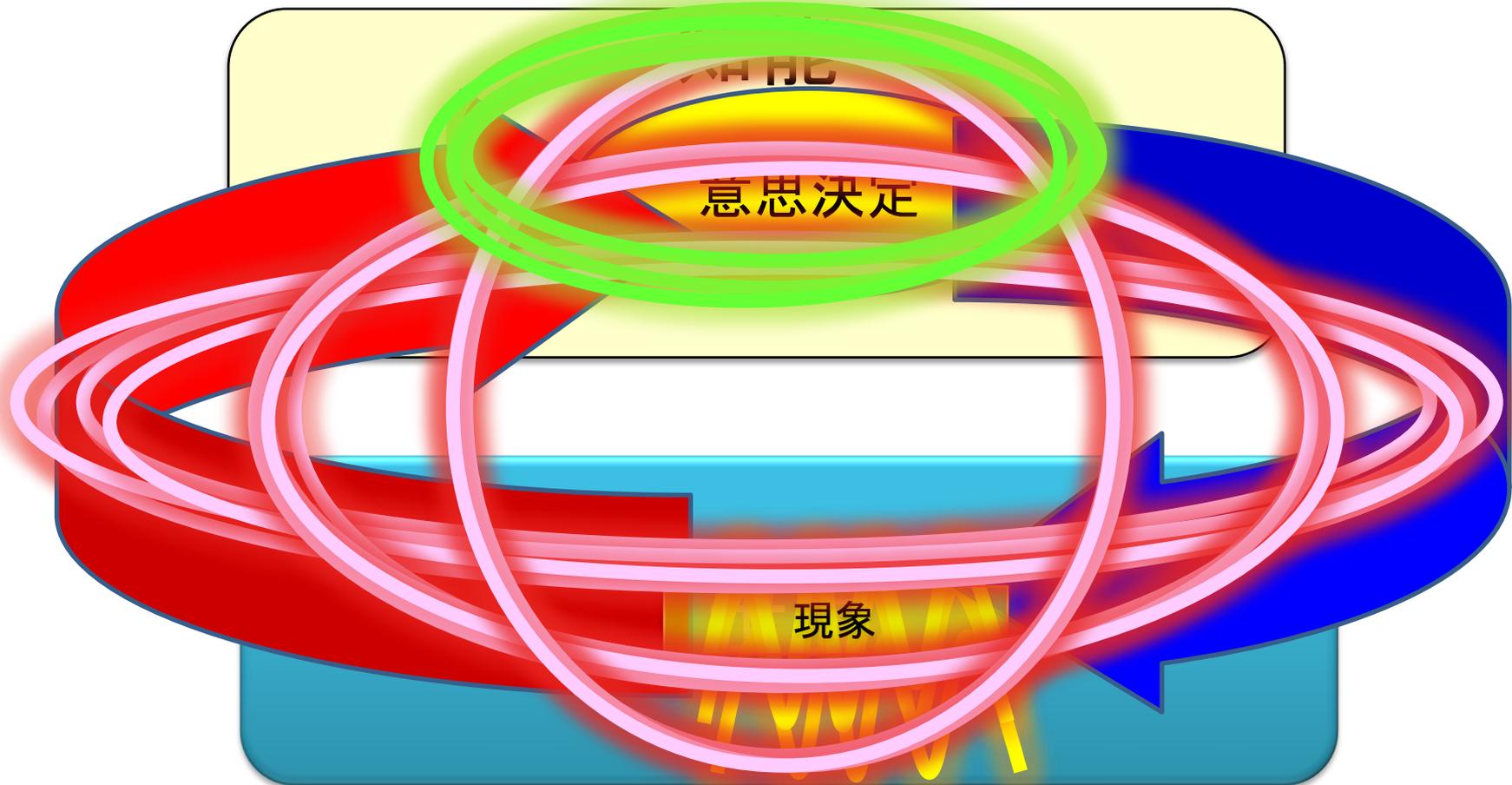
認識統合と
行動生成の間
の
インタラクション

具体的な
仕組み

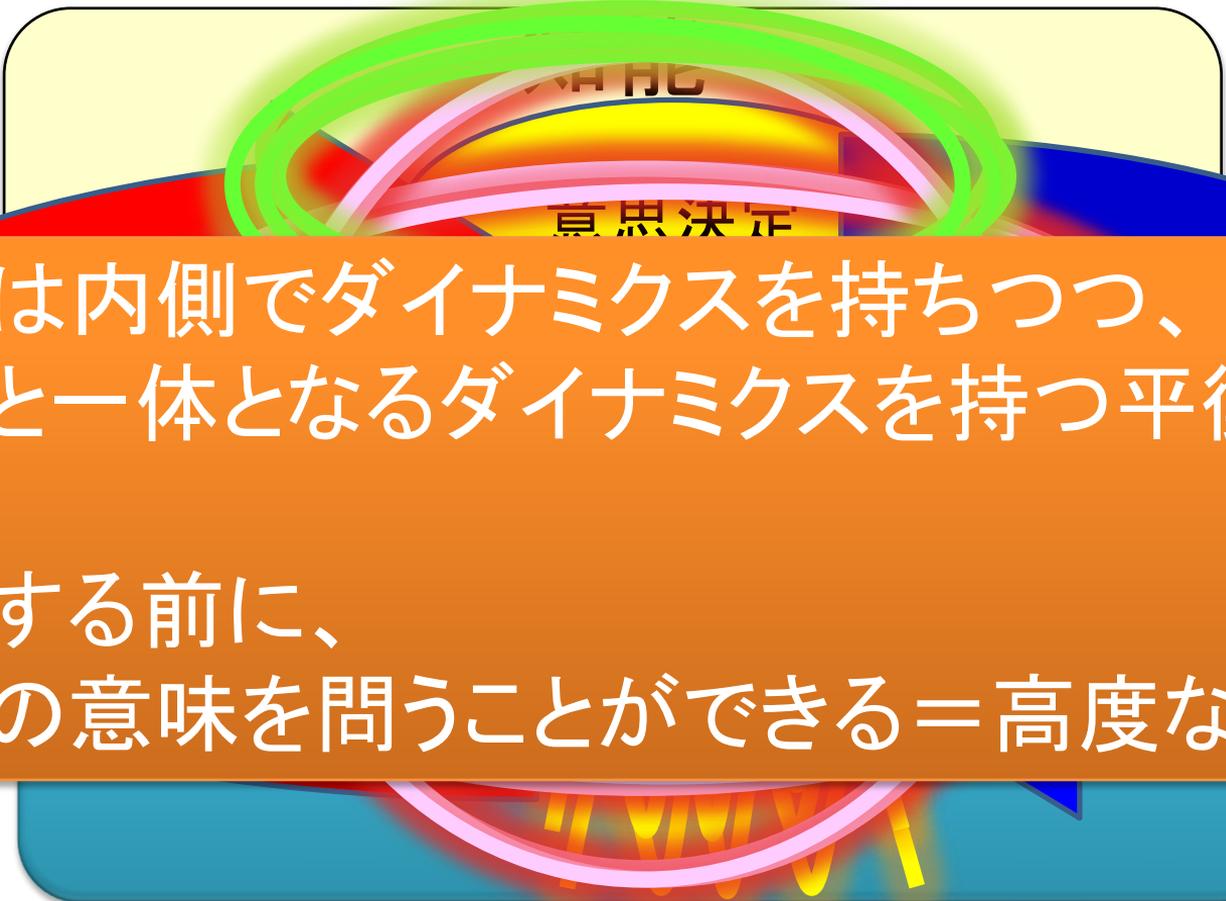
情報

ア
クション

認識統合と行動生成



認識統合と行動生成



知能は内側でダイナミクスを持ちつつ、
世界と一体となるダイナミクスを持つ平衡系。

行動する前に、
行動の意味を問うことができる＝高度な知性

行動と認識のインタラクション

- 自分で認識を補完する・求める行動ができるAI。
- 行動に必要な知識を求めることができるAI。
- 認識と行動が連鎖して行く。

行動と認識のインタラクション

- 自分で認識を補完する、求める行動ができるAI。
- 行動に必要な知識を求めることができるAI。
- 認識と行動が連鎖して行く。
- 作られた行動は認識世界で意味を持ち結果が予想される。

深い自律性

行動と認識のインタラクション

- 自分で認識を補完する、求める行動ができるAI。
- 行動に必要な知識を求めることができるAI。

深い自律性

- 認識と行動が連鎖して行く。
- シミュレーションとプランニング
作られた行動は認識世界で意味を持ち結果が予想される。

まとめ

第一部

インフォメーション・フローが世界と知能を結びつける。

第二部

知識表現から階層的な認識統合の仕組みを作る。

第三部

行動生成と認識統合を行動生成子によって結び付ける。

第四部

行動生成と認識統合内部のダイナミクスを形成する。

Making your dreaming AI!
ご静聴ありがとうございました！



Future Works

- 具体的な認知統合のプロセス。
- 具体的な競合可能な行動表現。
- 認知統合と行動形成の間のダイナミクス。

References :

勉強しよう。

参考文献：

【ブラックボード・アーキテクチャ】

- H. Penny Nii, "The Blackboard Model of Problem Solving and the Evolution of Blackboard Architectures"
<http://www.aaai.org/ojs/index.php/aimagazine/article/view/537>
- H. Penny Nii, "Blackboard Application Systems, Blackboard Systems and a Knowledge Engineering Perspective"
<http://www.aaai.org/ojs/index.php/aimagazine/article/view/550>
- 石田亨、片桐恭弘、桑原和宏「分散人工知能」(コロナ社)

【CERA-CRANIUM Cognitive Architecture】

The Awakening of Conscious Bots: Inside the Mind of the 2K BotPrize 2010 Winner

<http://aigamedev.com/open/article/conscious-bot/>

CERA-CRANIUM Cognitive Architecture

<http://www.conscious-robots.com/raul/machine-consciousness/34-machine-consciousness-research/67-cera-cranium.html>

Arrabales, R. Ledezma, A. and Sanchis, A.

"Towards the Generation of Visual Qualia in Artificial Cognitive Architectures".

http://www.conscious-robots.com/raul/papers/Arrabales_BICS2010.pdf

Arrabales, R. Ledezma, A. and Sanchis, A.

"Towards Conscious-like Behavior in Computer Game Characters

http://www.conscious-robots.com/raul/papers/Arrabales_CIG09.pdf

【環世界】

- (1) ユクスキュル/クリサート 「生物から見た世界」(岩波文庫)
- (2) 日高敏隆 「動物と人間の世界認識」(ちくま学芸文庫)
- (3) ユクスキュル 「生命の劇場」(講談社学術文庫)
- (4) ユクスキュル 「動物の環境と内的世界」(みすず書房)

【エージェント・アーキテクチャ】

- (1) R. Burke, D. Isla, M. Downie, Y. Ivanov, B. Blumberg, (GDC2001), “CreatureSmarts: The Art and Architecture of a Virtual Brain”, <http://alumni.media.mit.edu/~solan/creatureSmarts.pdf>
- (2) D. Isla, R. Burke, M. Downie, B. Blumberg (2001)., “A Layered Brain Architecture for Synthetic Creatures”, <http://www.naimadgames.com/publications/ijcai01/ijcai01.pdf>
- (3) D. Isla, B. Blumberg (2002), “Object Persistence for Synthetic Characters”, <http://www.naimadgames.com/publications/aamas02/aamas02.pdf>
- (4) Movies of Duncan , <http://web.media.mit.edu/~bruce/whatsnew.html>

Making your dreaming AI!
ご静聴ありがとうございました！

