

# HAI研究に基づいた機能体系の整理と WBA開発による機能設計アプローチ

早稲田大学グローバルエデュケーションセンター

講師 田和辻 可昌

# 目次

- 自己紹介
  - 略歴
  - 博士研究の概要
- 脳の設計と開発における近年の取り組み
  - Purposeful Natural Object設計
    - 眼球運動の例
  - PNO設計の利点と限界
- HAI研究とWBA開発が双方に齎す影響
  - 機能に関するロードマップの提示
  - 多様な人々の振舞いの様態に対する理解

# 自己紹介



- 氏名

- 田和辻可昌 (TAWATSUJI Yoshimasa)

- 略歴

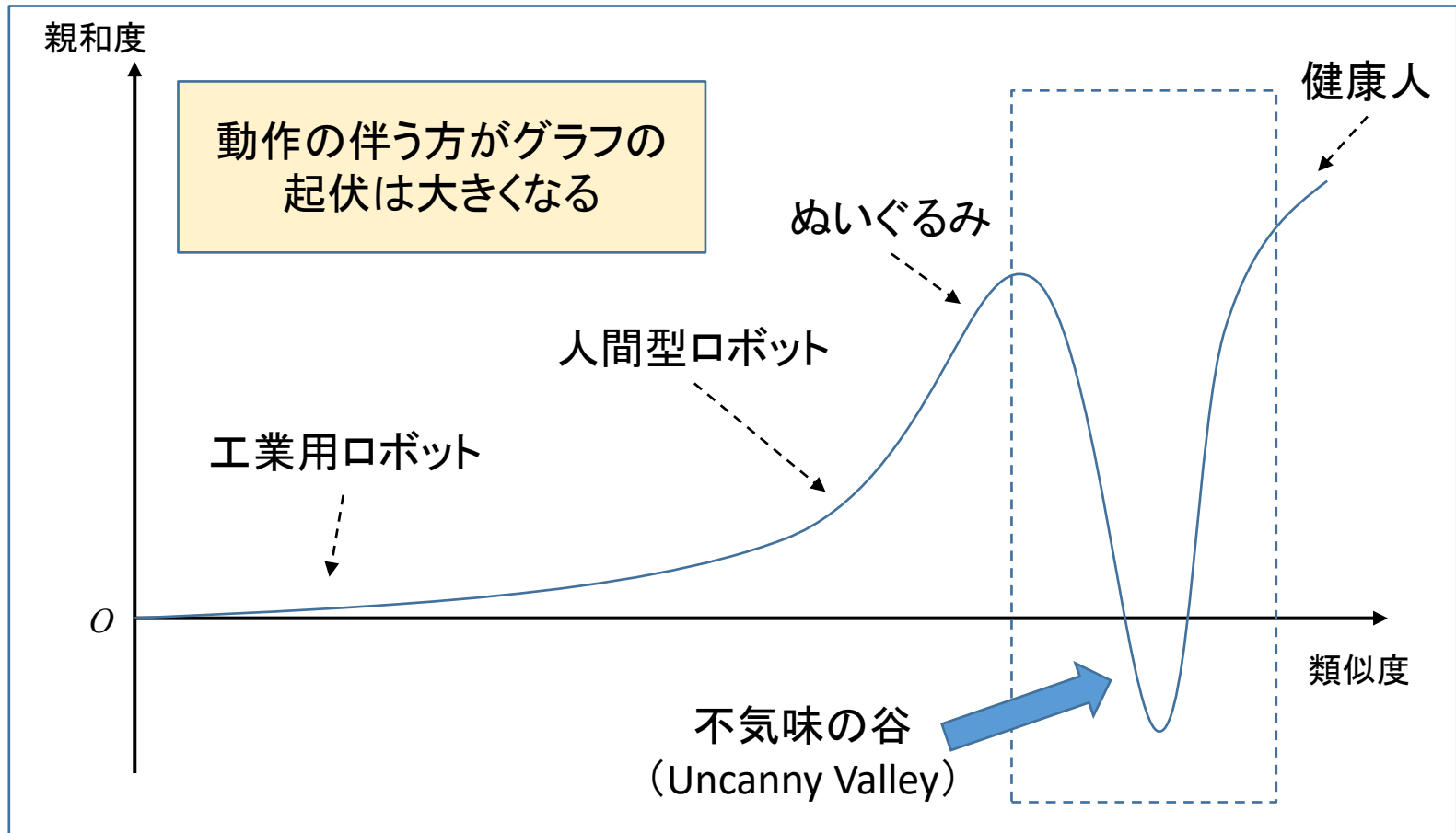
- 早稲田大学 大学院人間科学研究科 博士後期課程 単位取得退学
  - 指導教員: 松居 辰則 先生 (知識情報科学・感性情報科学)
  - 学位: 博士 (人間科学)
- 早稲田大学 人間科学部 助手 (2017年～)
- 早稲田大学 グローバルエデュケーションセンター 講師 (2019年～)

- 専門

- ヒューマン・コンピュータ・インタラクション (HAI) (不気味の谷)
- 知識情報科学, 感性情報科学

# 「不気味の谷」現象

## ▶ 類似度と親和度の非単調増加関係

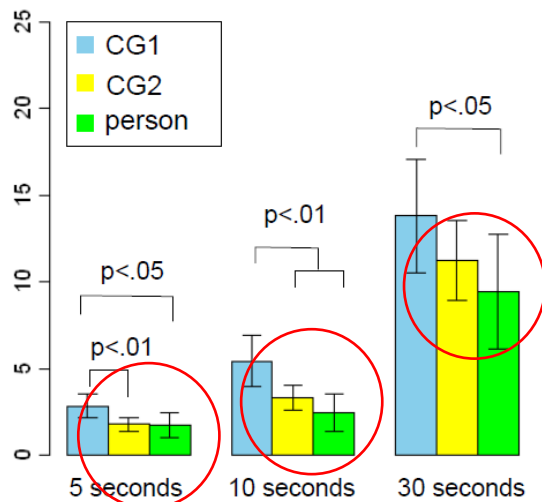


# 心理実験に基づく定性的な脳機能モデル

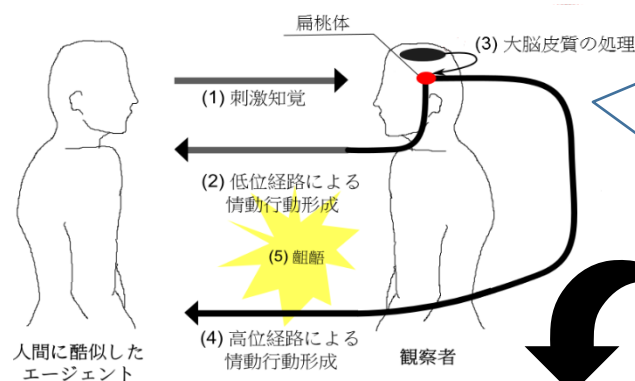
(田和辻ら 2015; 人工知能学会論文誌)

## ▶ 視線停留時間の差の増加と二つの情報処理の齟齬

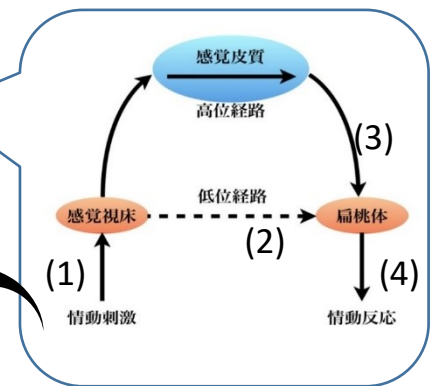
Eye Fixation Duration on the Right Eye



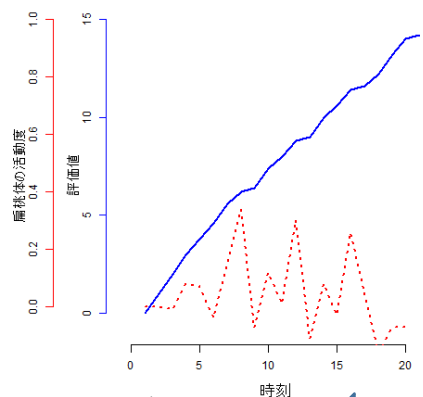
時間経過とともに差が広がる傾向  
⇒ 高次プロセスで差が生み出される



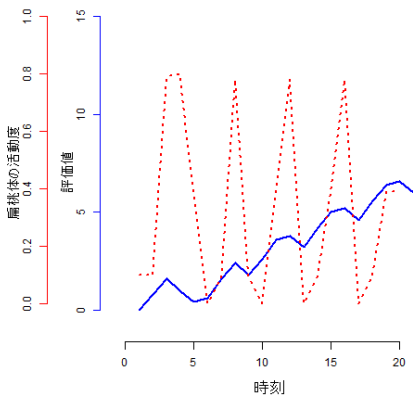
[LeDoux, 96]の図を  
参考に作成



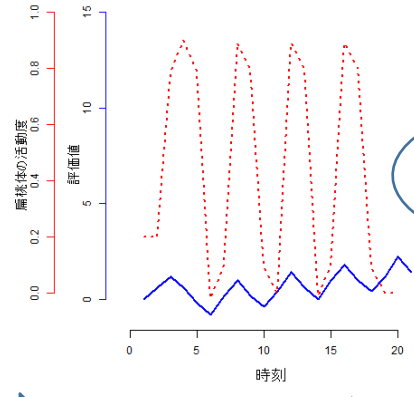
評価値の変動(実践)と扁桃体の活動度の変化(破線)



評価値の変動(実践)と扁桃体の活動度の変化(破線)



評価値の変動(実践)と扁桃体の活動度の変化(破線)



快・不快  
評価が振動

形態的異常度が小さい

形態的異常度が大きい

# 表情動作認知における表情速度の影響

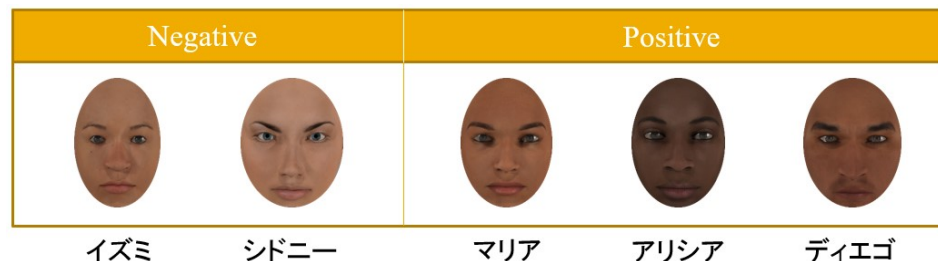
[田和辻ら 19; 教育システム情報学会論文誌]

## ・検証仮説

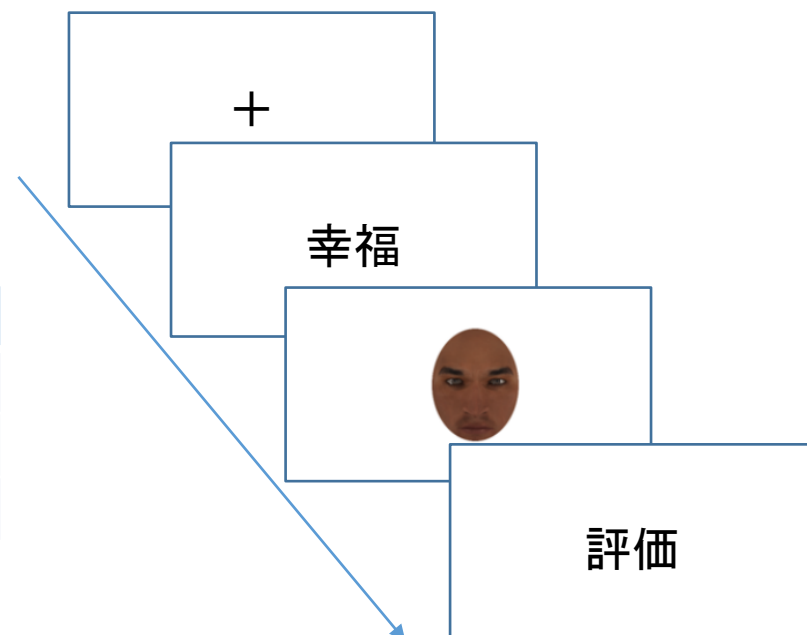
- ・ 非典型的な動作速度は否定的な印象を与える

## ・評価

- ・ リッカート尺度による7段階評定
  - ・ 評価項目: 快-不快, 違和感, 表情の強度, 速度の適切性



|         | Fast       | Medium      | Slow        |
|---------|------------|-------------|-------------|
| [蒲池 98] | 6 frame    | 26 frame    | 101 frame   |
| 幸福      | 5.01 frame | 21.75 frame | 84.37 frame |
| 嫌悪      | 5.79 frame | 25.08 frame | 97.43 frame |

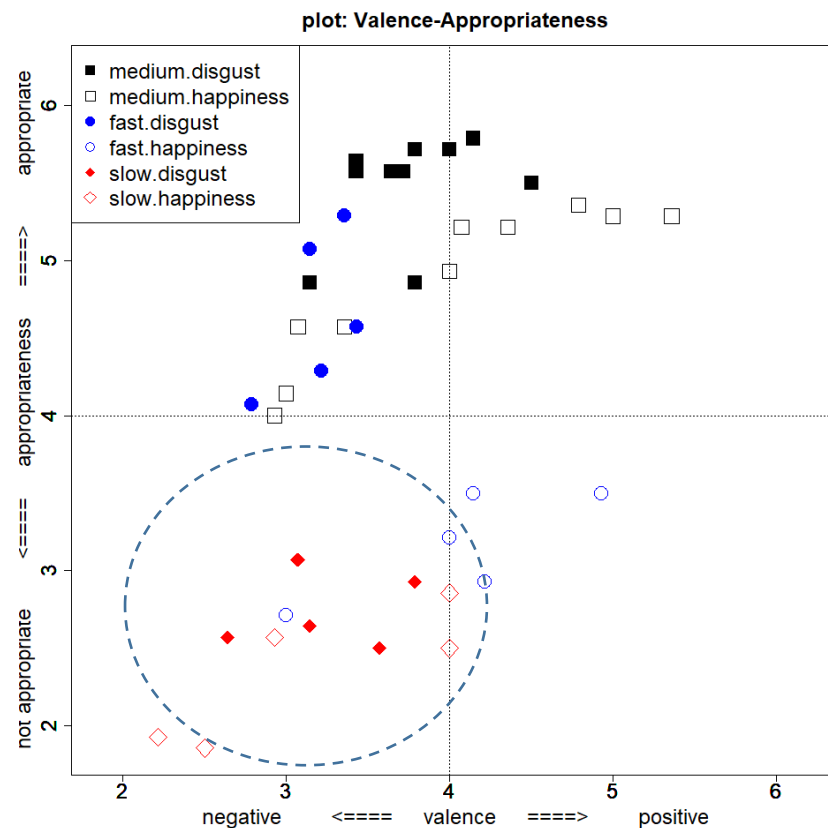
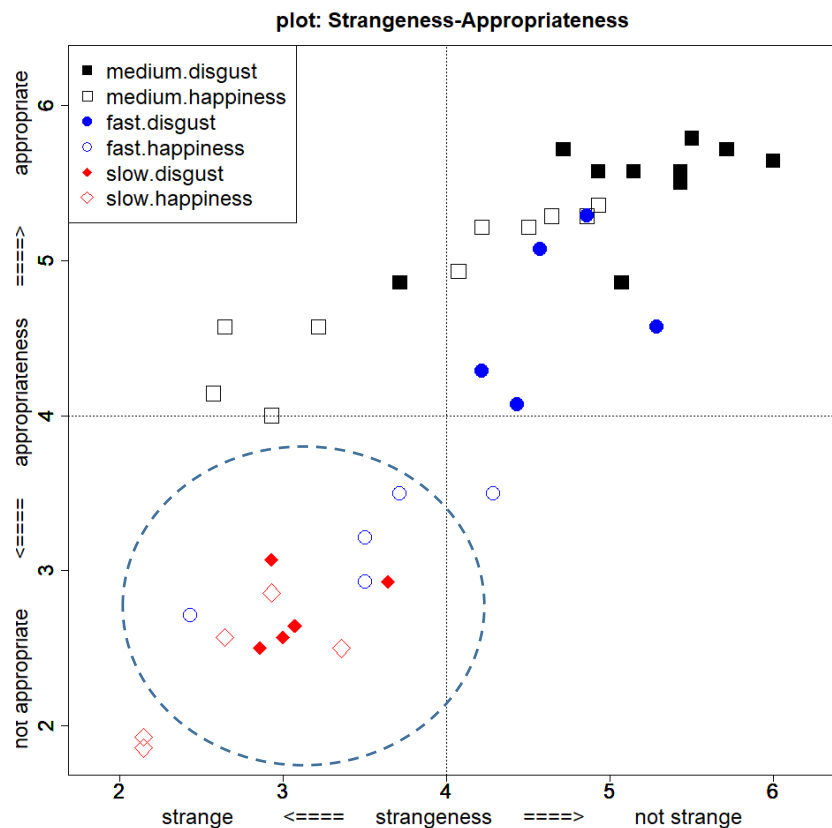


# 表情動作認知における表情速度の影響

[田和辻ら 19; 教育システム情報学会論文誌]

## ・結果

- ・ 遅い表情動作: 違和感や不快感, 速度の不適切性を印象として与える

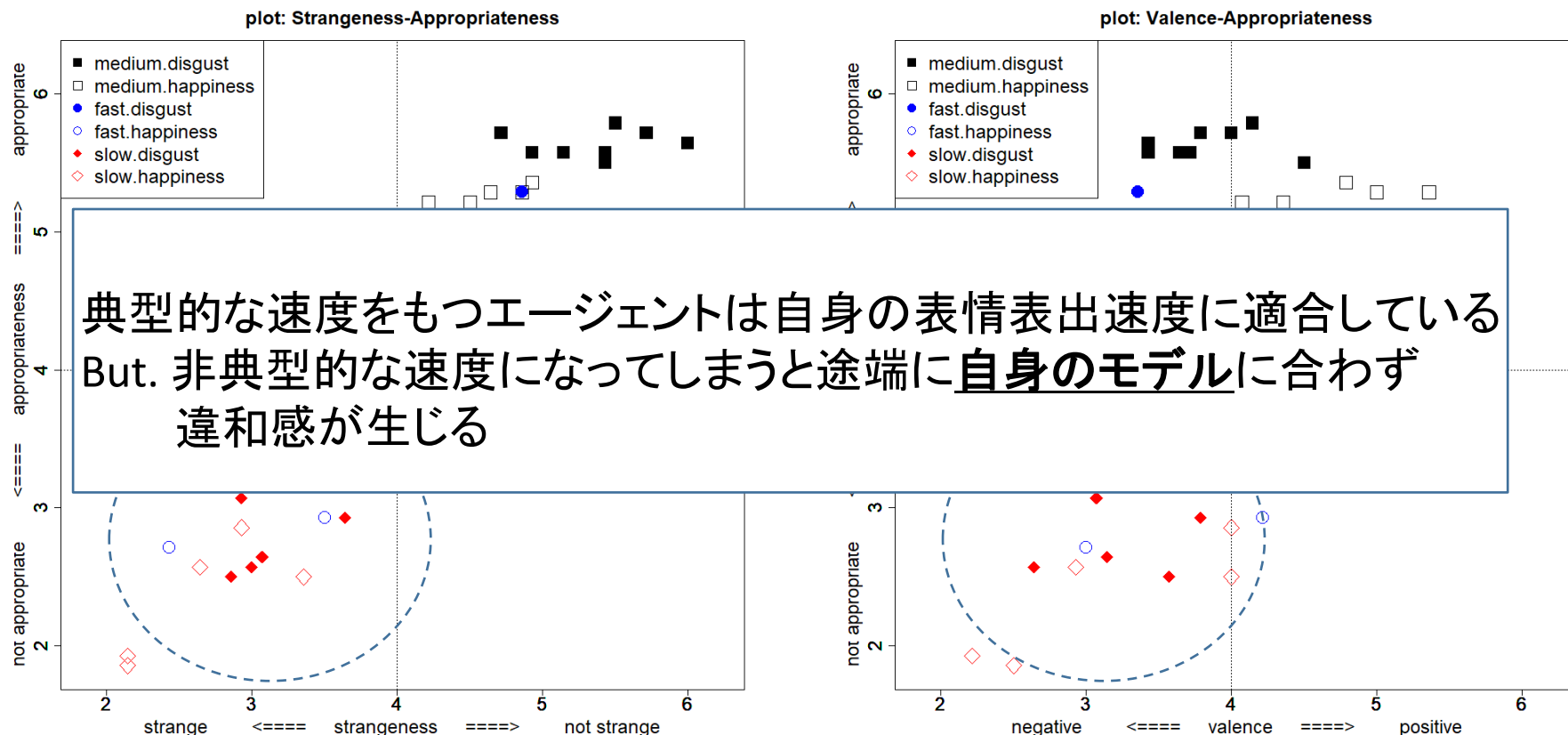


# 表情動作認知における表情速度の影響

[田和辻ら 19; 教育システム情報学会論文誌]

## ・結果

- ・ 遅い表情動作: 違和感や不快感, 速度の不適切性を印象として与える



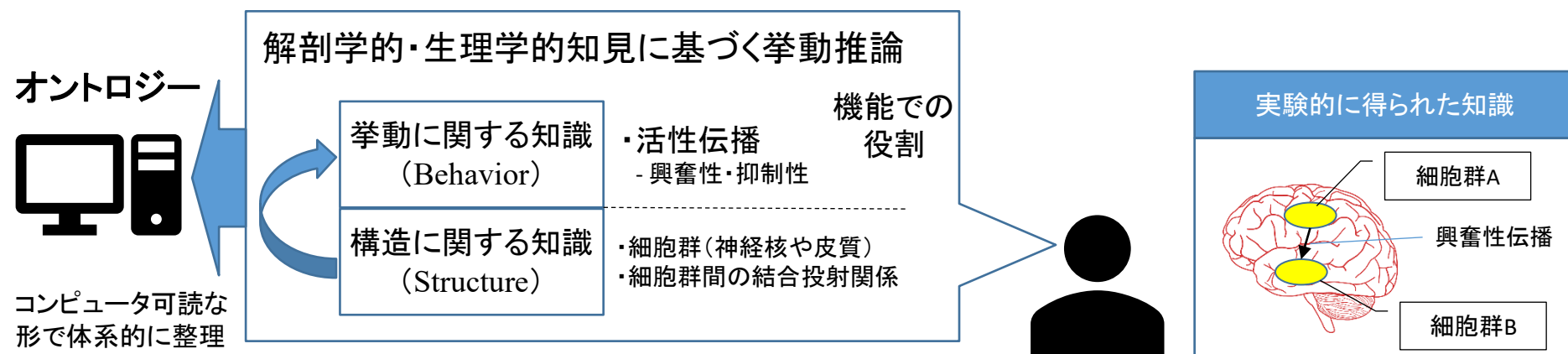


# オントロジーに基づく脳情報処理の体系的整理の枠組み

[田和辻ら, 2018; AGI研究会]

## ・脳神経系の機能に関する体系的整理の枠組みの必要性

- ・神経系の振舞いによるシミュレーション結果と機能の間の関係を知識として整理できないか



## ベース:「オントロジカルAI」(デバイスオントロジー)の考え方

- ・脳の各器官:「達成すべき機能」という文脈の中で特定の「**役割を担う**」存在
- ・「構造」-「振る舞い」-「機能」を「役割」を通して関連付ける

# オントロジーに基づく脳情報処理の体系的整理の枠組み

[田和辻ら, 2018; AGI研究会]

## ・脳神経系の機能に関する体系的整理の枠組みの必要性

- ・神経系の振舞いによるシミュレーション結果と機能との関係を知識として整理できないか

## 脳の設計・開発におけるオントロジーの役割に関心



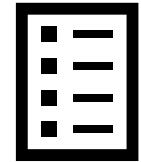
### ベース:「オントロジカルAI」の考え方

- ・脳の各器官:「達成すべき機能」という文脈の中で特定の「**役割を担う**」存在
- ・「構造」-「振る舞い」-「機能」を「役割」を通してそれぞれを関連付ける

# 人工物・ソフトウェア設計の流れと特徴

- ・要求仕様, 構想の設計

- ・要件定義およびその具体化: 機能の明示



- ・外部設計

- ・外部から見てどのように動作するかを設計



- ・内部設計

- ・システム内部がどのように動作するかを設計



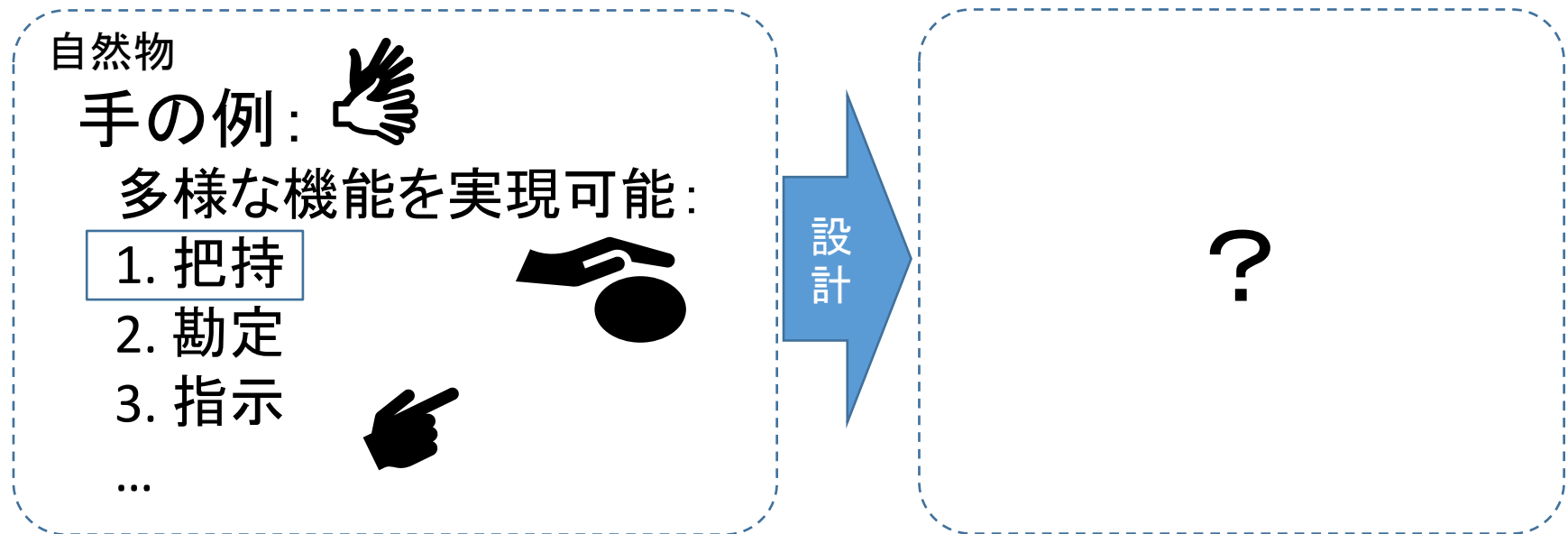
## 人工物・ソフトウェアの設計における特徴

- ・機能(目標)が設定され, 機能の分解によって具体化
- ・内部設計において達成可能な部品レベルまで詳細化

# 自然物を参考にしたアーキテクチャの設計

- 合目的的な自然物の解釈
  - 要件定義での「機能」は人が解釈によって与える

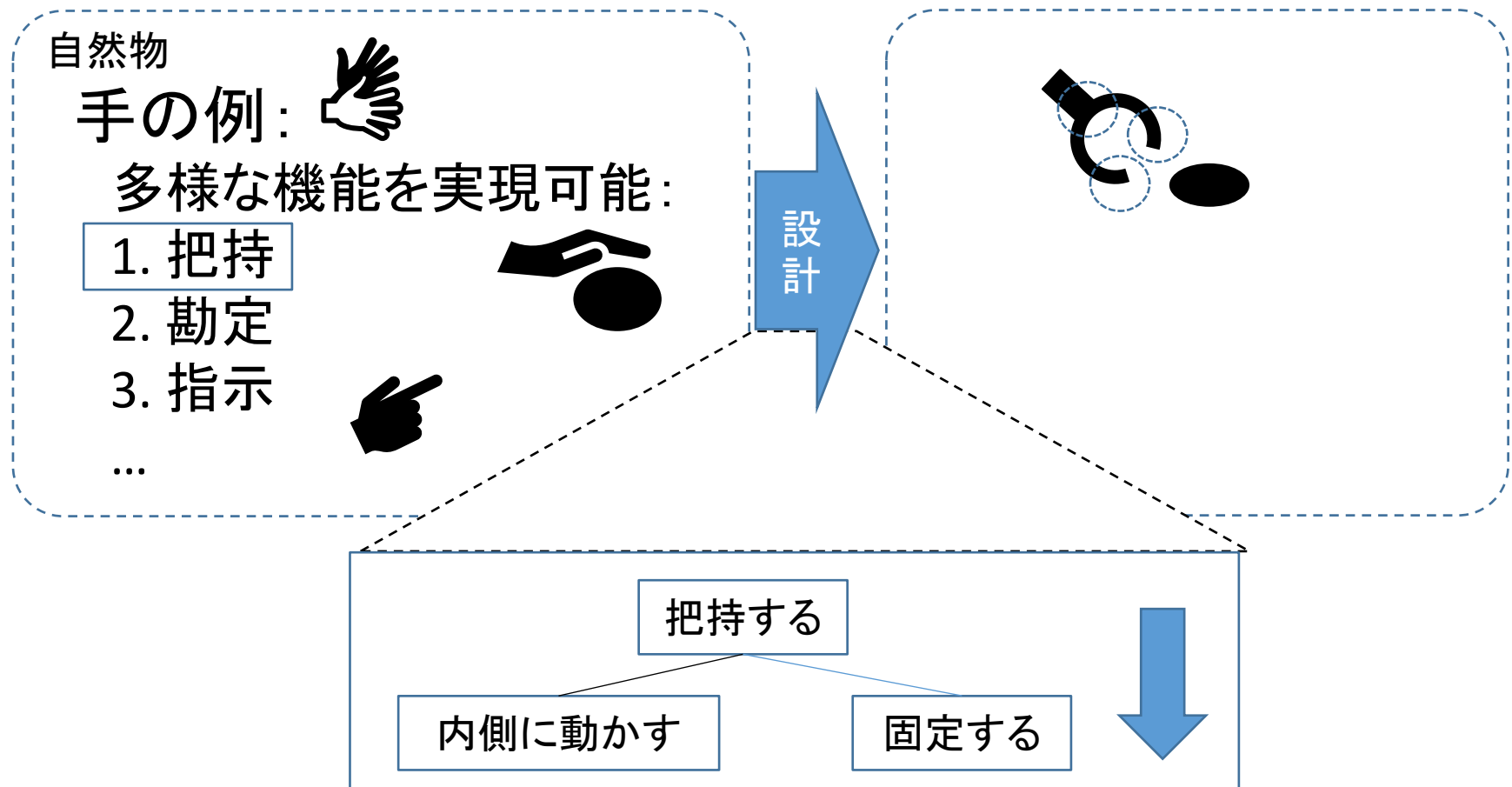
Ref. NI-Goals[Mizoguchi 09]



# 自然物を参考にしたアーキテクチャの設計

## ・機能分解

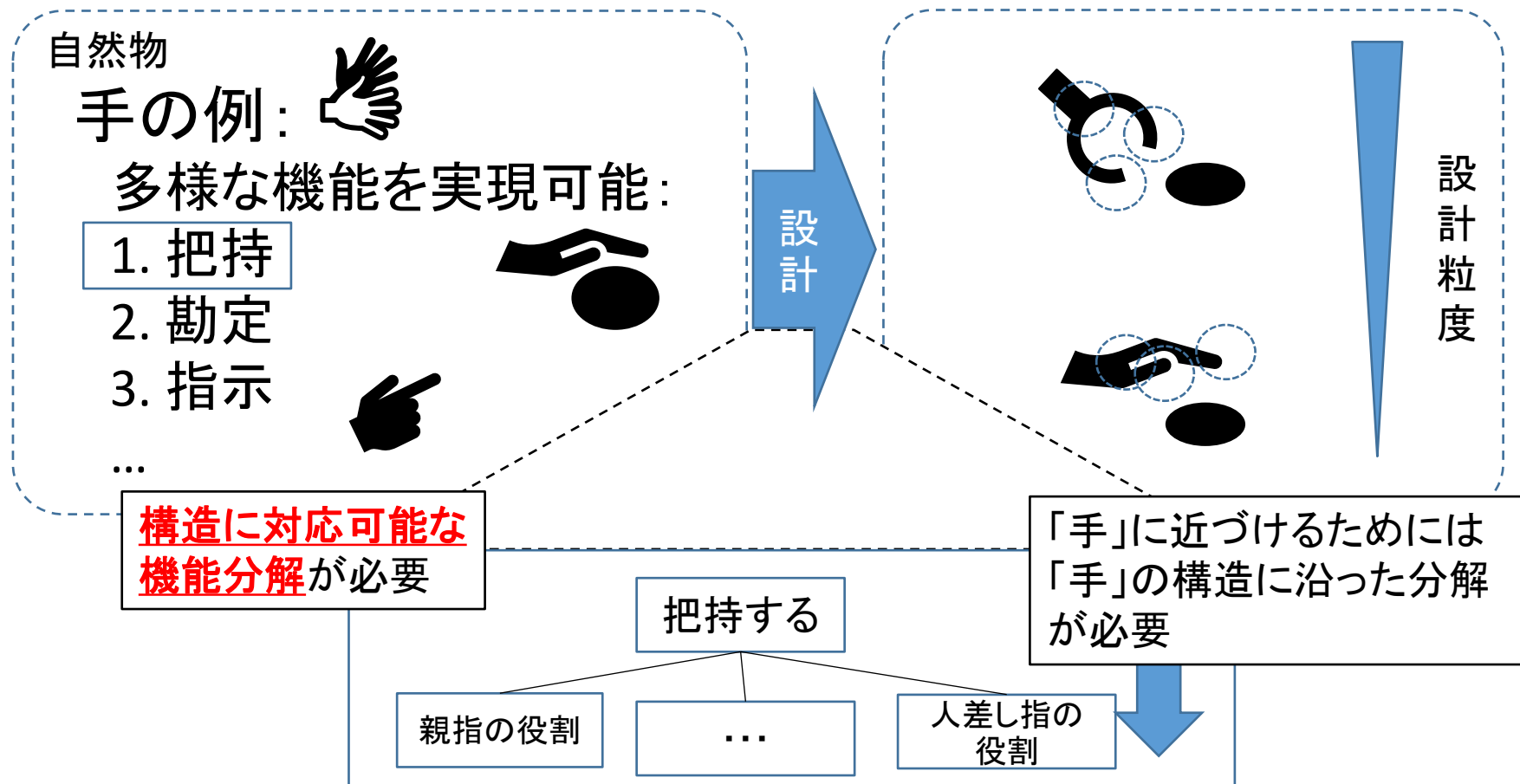
- ・目的を達成する部品と各機能(役割)とを対応付ける



# 自然物を参考にしたアーキテクチャの設計

## ・機能分解

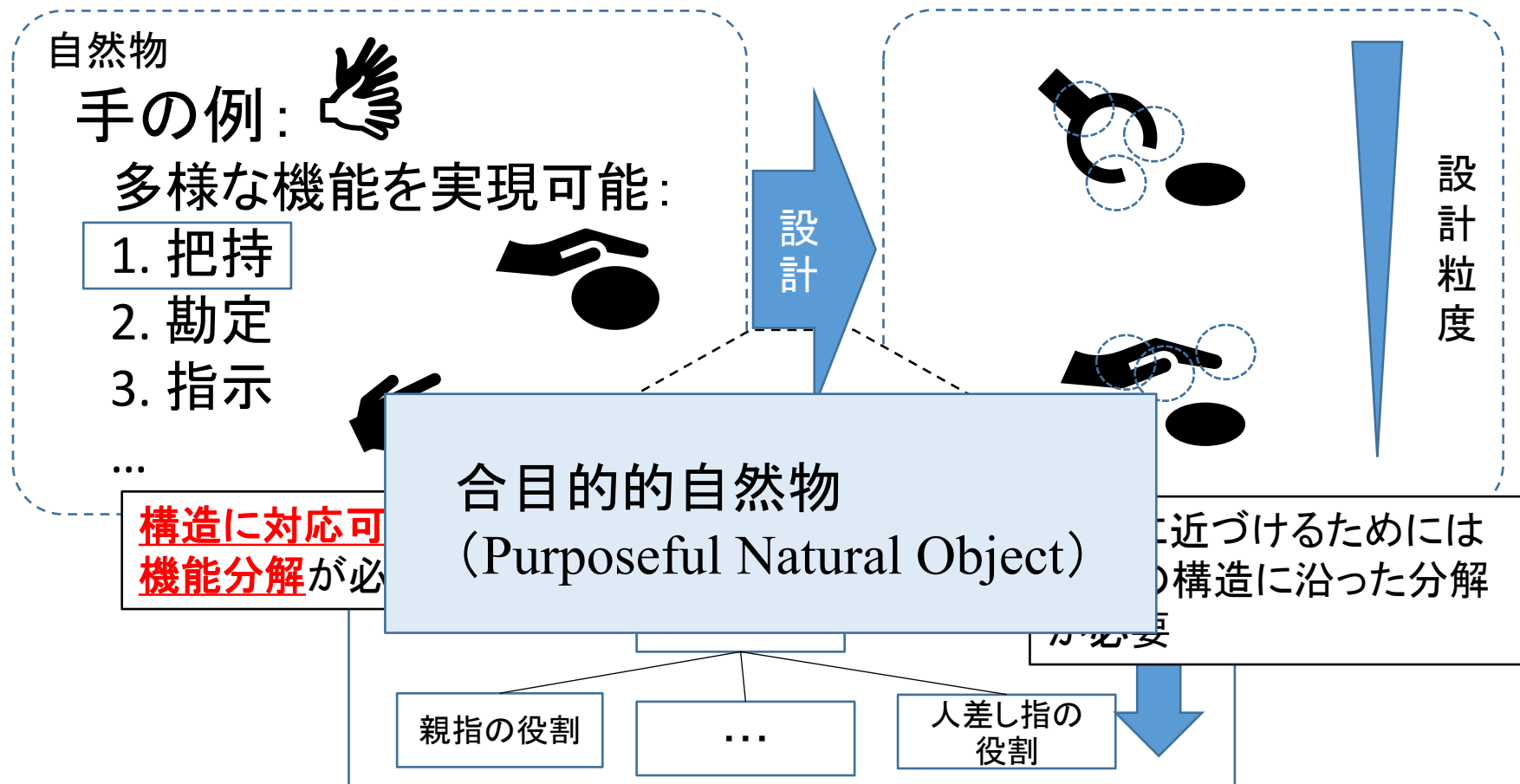
- ・目的を達成する部品と各機能(役割)を対応付ける



# 自然物を参考にしたアーキテクチャの設計

## ・機能分解

- ・目的を達成する部品と各機能(役割)を対応付ける



# 設計・開発の観点

[田和辻ら, 2021; JSAI大会]

- PNO (Purposeful Natural Object) 設計における3つの階層性
  - 自然物を合目的的に解釈:
    - 機能的階層性( $\varphi$ )から物理的階層性( $f$ )を分離
  - ソフトウェアによる開発:
    - 機能的階層性( $f$ )からcode的階層性( $c$ )を分離

- 各階層は全体-部分の関係
- 構造(S), 振舞い(B), プロセス(P)を有する

e.g.  $\varphi S$ : physical Structure  
 $fB$ : functional Behavior

※プロセス:  
一連の順序付けられた振る舞い

機能的階層性  
( $f$ : function)

設計対象を機能  
のレベルで捉え  
る階層

code的階層性  
( $c$ : coded)

ソフトウェアとし  
てcodeレベルで  
捉える階層

物理的階層性  
( $\phi$ : physical)

自然物を物理  
的レベルで捉  
える階層



# PNO設計の第一ステップ

- ・物理的階層性( $\varphi$ ) $\Rightarrow$ 機能的階層性( $f$ )
  - ・機能的階層性: 物理的階層性における自然物を合目的的に解釈する階層性
  - ・  $\varphi S$ ,  $\varphi B$ ,  $\varphi P$ に対応づくように  $fS$ ,  $fB$ ,  $fP$  を決定

▶ 多元的な機能の割り当てが可能

- ・各階層は全体-部分の関係
  - ・ 構造(S), 振舞い(B), プロセス(P) を有する
    - e.g.  $\varphi S$ : physical Structure
    - $fB$ : functional Behavior
- ※プロセス:  
一連の順序付けられた振る舞い

機能的階層性  
(f: function)

設計対象を機能  
のレベルで捉え  
る階層

code的階層性  
(c: coded)

ソフトウェアとし  
てcodeレベルで  
捉える階層

物理的階層性  
( $\phi$ : physical)

自然物を物理  
的レベルで捉  
える階層

# PNO設計の第二ステップ

- 機能的階層性( $f$ ) $\Rightarrow$ code的階層性( $c$ )

- ・コード化作業によるソフトウェアへの実装
- ・物理的階層性とは異なる実質的階層性



- ・各階層は全体-部分の関係
- ・構造(S), 振舞い(B), プロセス(P)を有する

e.g.  $\phi$ S: physical Structure  
 $f$ B: functional Behavior

※プロセス:  
一連の順序付けられた振る舞い

機能的階層性  
( $f$ : function)

設計対象を機能  
のレベルで捉え  
る階層

code的階層性  
( $c$ : coded)

ソフトウェアとし  
てcodeレベルで  
捉える階層

物理的階層性  
( $\phi$ : physical)

自然物を物理  
的レベルで捉  
える階層

# 人工物・ソフトウェア設計の位置づけ

- ・人工物の設計

- ・機能的階層性( $f$ ) $\Rightarrow$ 物理的階層性( $\varphi$ )

- ・ソフトウェアの設計

- ・機能的階層性( $f$ ) $\Rightarrow$ code的階層性( $c$ )

- ・未分化されがち(ref. チューリングマシンの万能性)

・各階層は全体-部分の関係  
・構造(S), 振舞い(B), プロセス(P)  
を有する

e.g.  $\varphi S$ : physical Structure

$fB$ : functional Behavior

※プロセス:

一連の順序付けられた振る舞い

機能的階層性  
(f: function)

設計対象を機能  
のレベルで捉え  
る階層

code的階層性  
(c: coded)

ソフトウェアとし  
てcodeレベルで  
捉える階層

物理的階層性  
( $\phi$ : physical)

自然物を物理  
的レベルで捉  
える階層

# PNO設計の有用性

- ・ 既往の神経系シミュレーション研究の位置づけ
  - ・ 物理的階層性 ( $\varphi$ )  $\Rightarrow$  code的階層性 ( $c$ )

PNO設計 ( $\varphi \Rightarrow f \Rightarrow c$ ) は機能的階層性を介しているため、  
得られる振舞いの機能的解釈が容易

- ・ 各階層は全体-部分の関係
  - ・ 構造(S), 振舞い(B), プロセス(P) を有する
    - e.g.  $\varphi$ S: physical Structure
    - $f$ B: functional Behavior
- ※プロセス:  
一連の順序付けられた振る舞い

機能的階層性  
(f: function)

設計対象を機能  
のレベルで捉え  
る階層

code的階層性  
(c: coded)

ソフトウェアとし  
てcodeレベルで  
捉える階層

物理的階層性  
( $\phi$ : physical)

自然物を物理  
的レベルで捉  
える階層

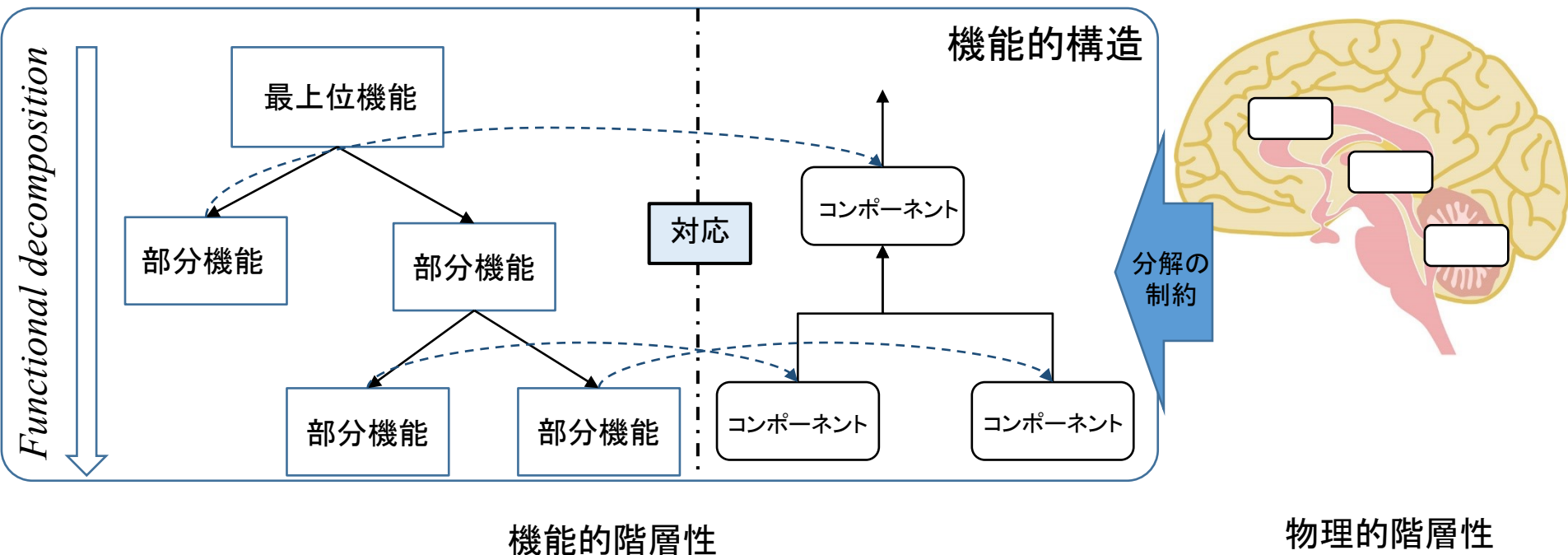
# WBAにおける脳の開発と設計の枠組み

[田和辻ら, 2021; JSAI大会]

## • PNO設計の一種

### • SCID法[Yamakawa 21]

- 物理的階層性である脳神経系を合目的的に解釈
- 機能的階層性において最上位機能を物理的階層性に整合するように部分機能へ分解



# 設計・開発のアプローチ

## Step I

- ・眼球運動(※例)を実現する構造や機能を神経科学的知見から抽出
- ・回路図の作成



## Step II

- ・ROIとそれに対応する最上位機能の決定
- ・各入出力信号のセマンティクスを決定
- ・各神経核が有する機能を, 構造的制約条件の下で矛盾なく決定



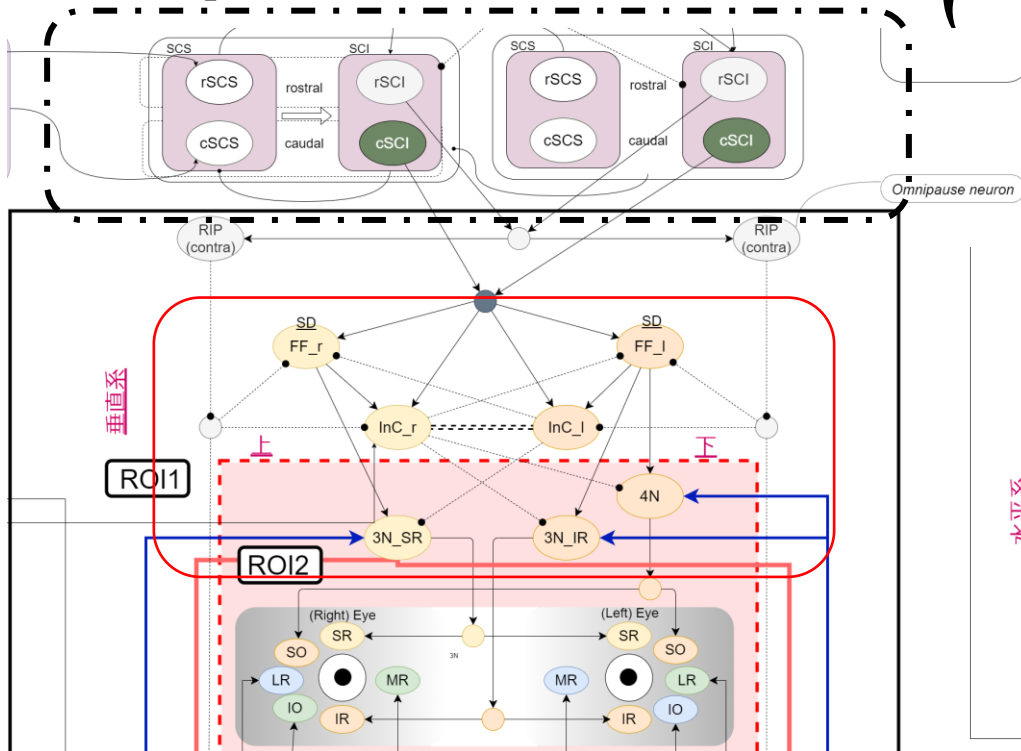
## Step III

- ・妥当性の検証: 既存の神経科学的知見との照合

# e.g. 眼球運動

BIFで定義された記述の枠組みに基づいて知識を記述

## 上丘 (Superior Colliculus)

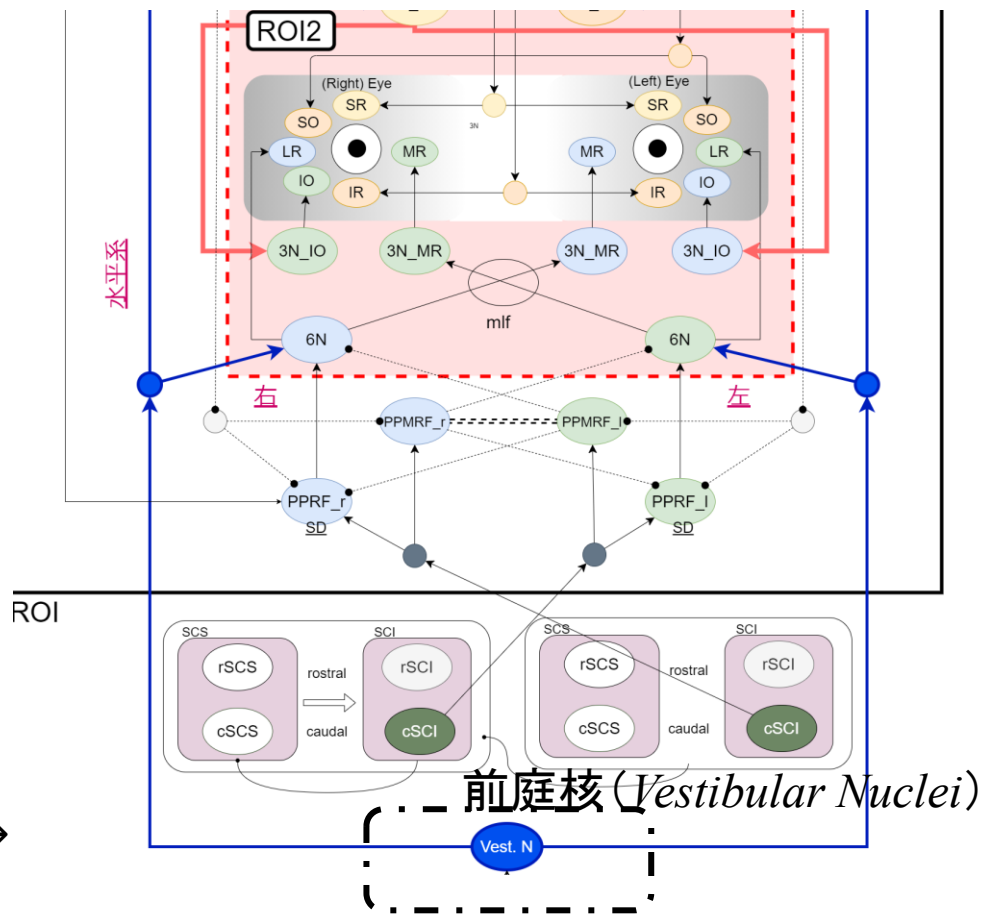


↑垂直系サッケードの神経回路

水平系サッケードの神経回路→

[Tawatsuji et al. 20; Sympo. AIBS2020]

| ID   | names                                                    | hasParts               |
|------|----------------------------------------------------------|------------------------|
| SC   |                                                          | cSCS; cSCI; rSCS; rSCI |
| cSCS | caudal parts of superior colliculus, superior layer      |                        |
| cSCI | caudal parts of superior colliculus, intermediate layer  |                        |
| rSCS | rostral parts of superior colliculus, superior layer     |                        |
| rSCI | rostral parts of superior colliculus, intermediate layer |                        |
| Pn   | pons                                                     | PMn; PPRF; PPMRF; RIP  |



前庭核 (Vestibular Nuclei)

Vest. N

# 対象とする領域, TLFを決定する

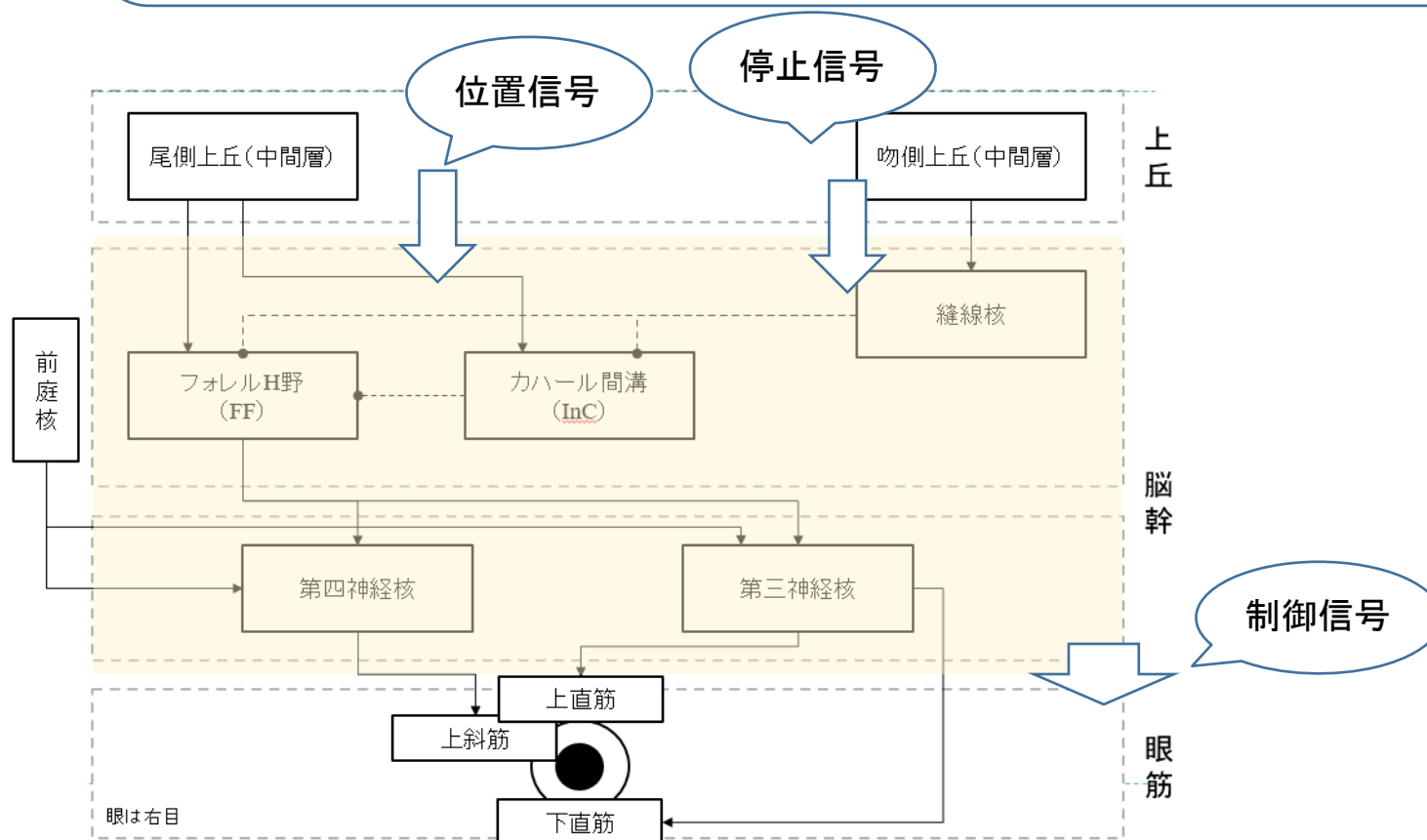
## TLF (Top Level Function)

### 様々なTargetを中心窩で捕捉・維持

衝動性眼球運動: 間欠的に周辺視野におけるTargetを中心窩で素早く捉える

滑動性眼球運動: 運動するTargetに合わせて中心窩を滑らかに変化させて維持

固視: 静止しているTargetを中心窩に維持





# $\phi$ に基づいた機能( $f$ )の分解

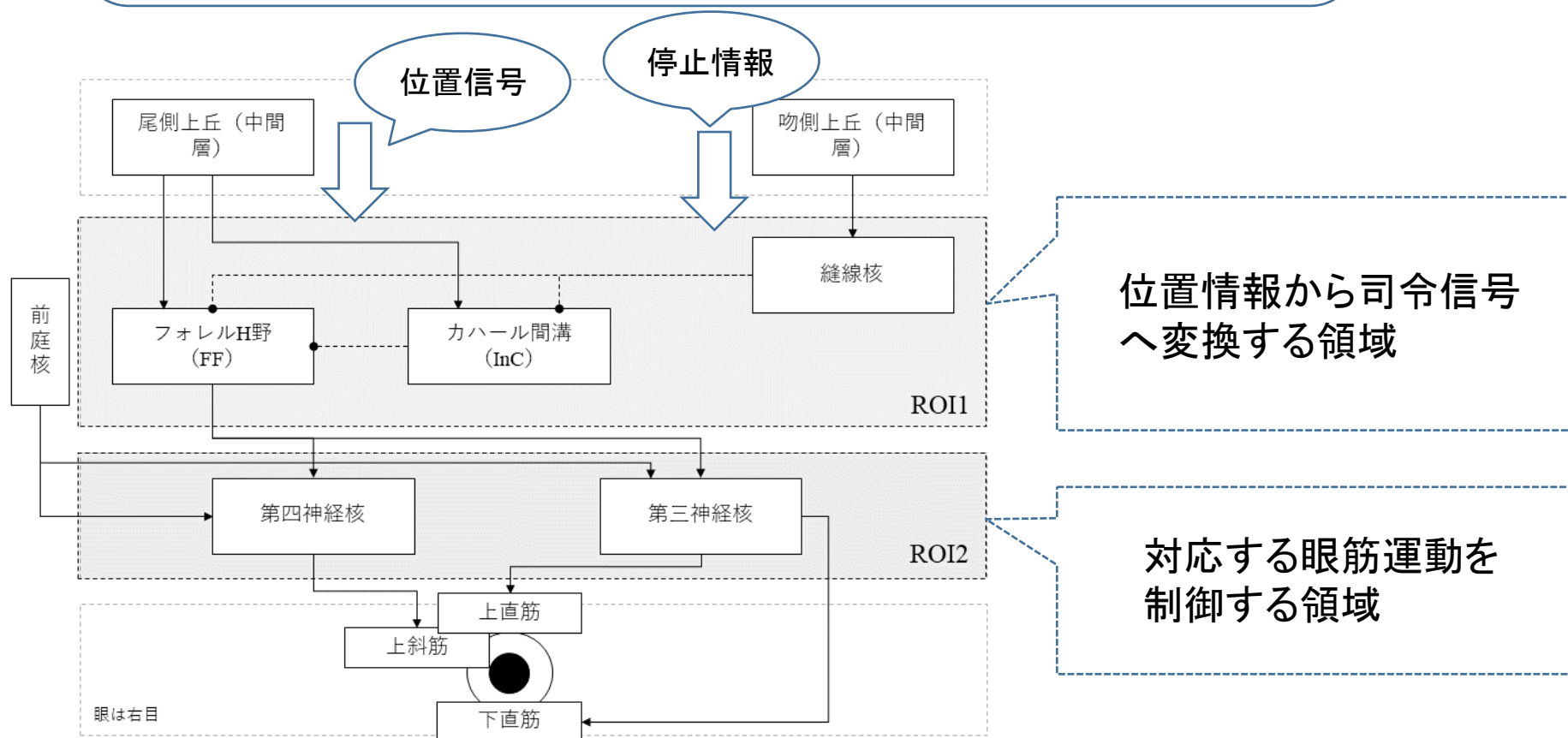
## TLF (Top Level Function) を決定

### 様々なTargetを中心窩で捕捉・維持

衝動性眼球運動: 間欠的に周辺視野におけるTargetを中心窩で素早く捉える

滑動性眼球運動: 運動するTargetに合わせて中心窩を滑らかに変化させて維持

固視: 静止しているTargetを中心窩に維持



# $\phi$ に基づいた機能( $f$ )の分解

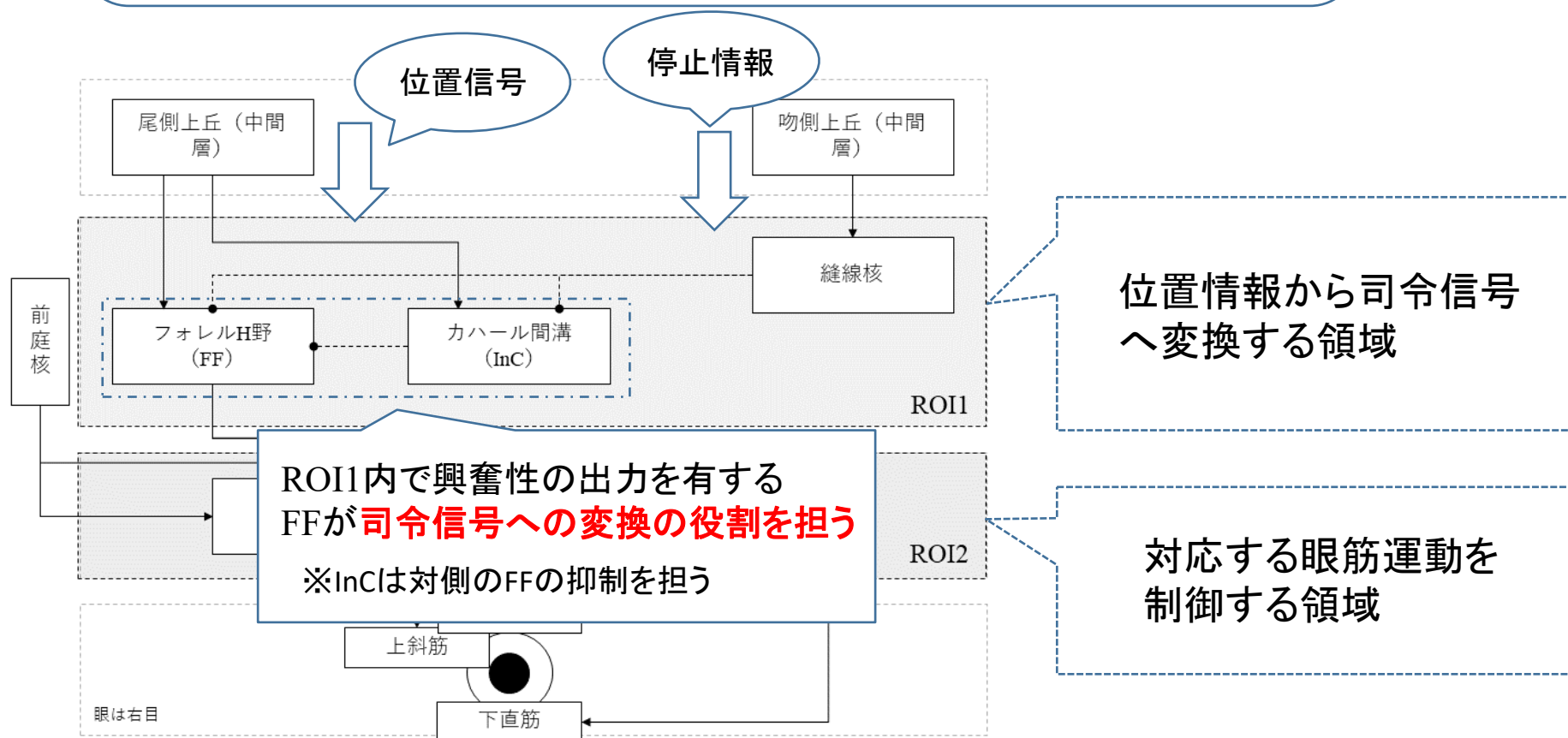
## TLF (Top Level Function) を決定

様々なTargetを中心窩で捕捉・維持

衝動性眼球運動: 間欠的に周辺視野におけるTargetを中心窩で素早く捉える

滑動性眼球運動: 運動するTargetに合わせて中心窩を滑らかに変化させて維持

固視: 静止しているTargetを中心窩に維持



# WBAからの中間成果物

## ・眼球運動の例から見た現状

### ✓ (1)脳との整合性が取れた工学モデル

☞ PNO設計(SCID法)によって物理的階層と整合する  
情報の流れが定義

### △ (2)特定のタスクに依存しない汎用性

☞ 眼球運動に関してはタスクの根幹の個所  
しかし、割と作り込みのところは大丈夫だが...

### ? (3)特定のタスクでの性能は高いとはいえない

# 本設計アプローチの限界と課題

- ・設定されたROIおよび(最上位)機能以外については検討しない
- ・対象とするROIや機能の設定基準
  - ・対象の神経回路網が比較的明らかにになっているか



どの機能から手を付けるべきかに関するロードマップが必要

# 機能の設定におけるHAI研究の役割

- ...では問題が大きい
  - ヒトと技術の調和を考えると、「人とエージェントの円滑なインタラクション」は重要な応用先
- HAIでは機能設定の重要性が指摘されてきた
  - 適応ギャップ[Komatsu 11]

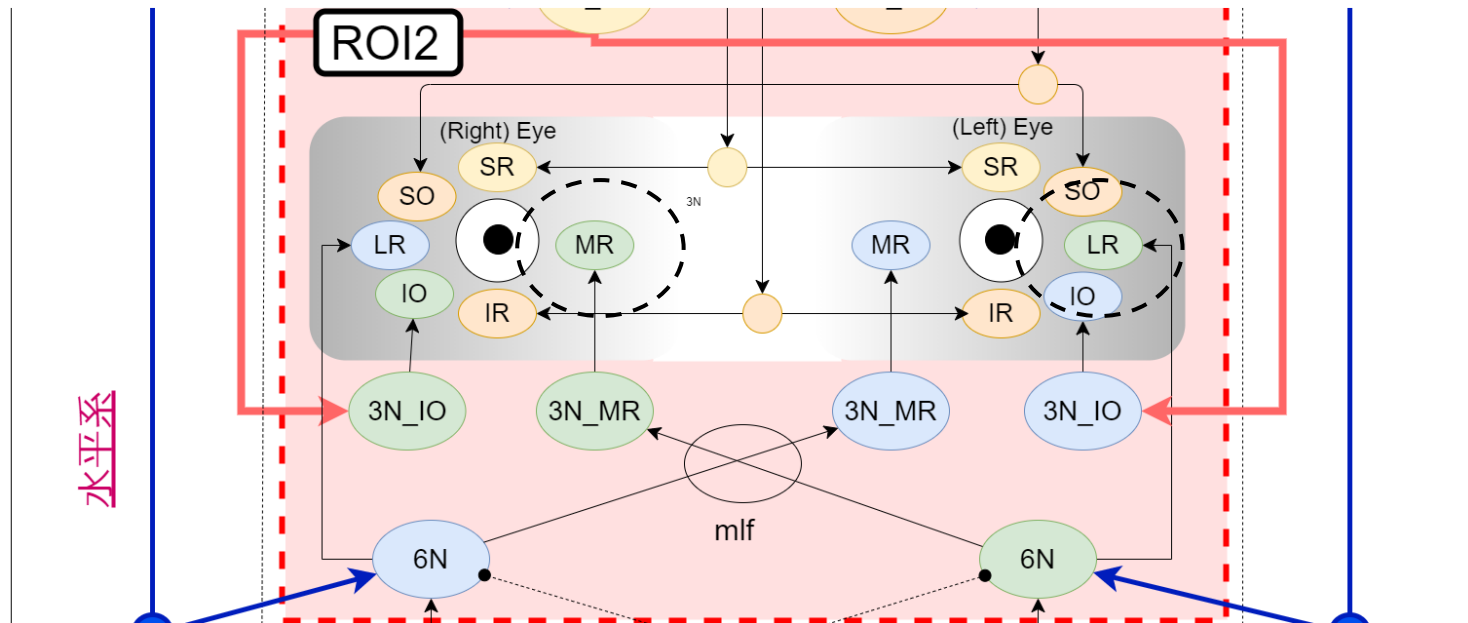
$$GAP = F_{after} - F_{before}$$

こういった「機能」(目標)がインタラクションにおいて重要かをHAI視点から明示

しかし、機能をアドホックに定義してもそれらは一貫性がない  
⇒構造と対応付けられることが重要

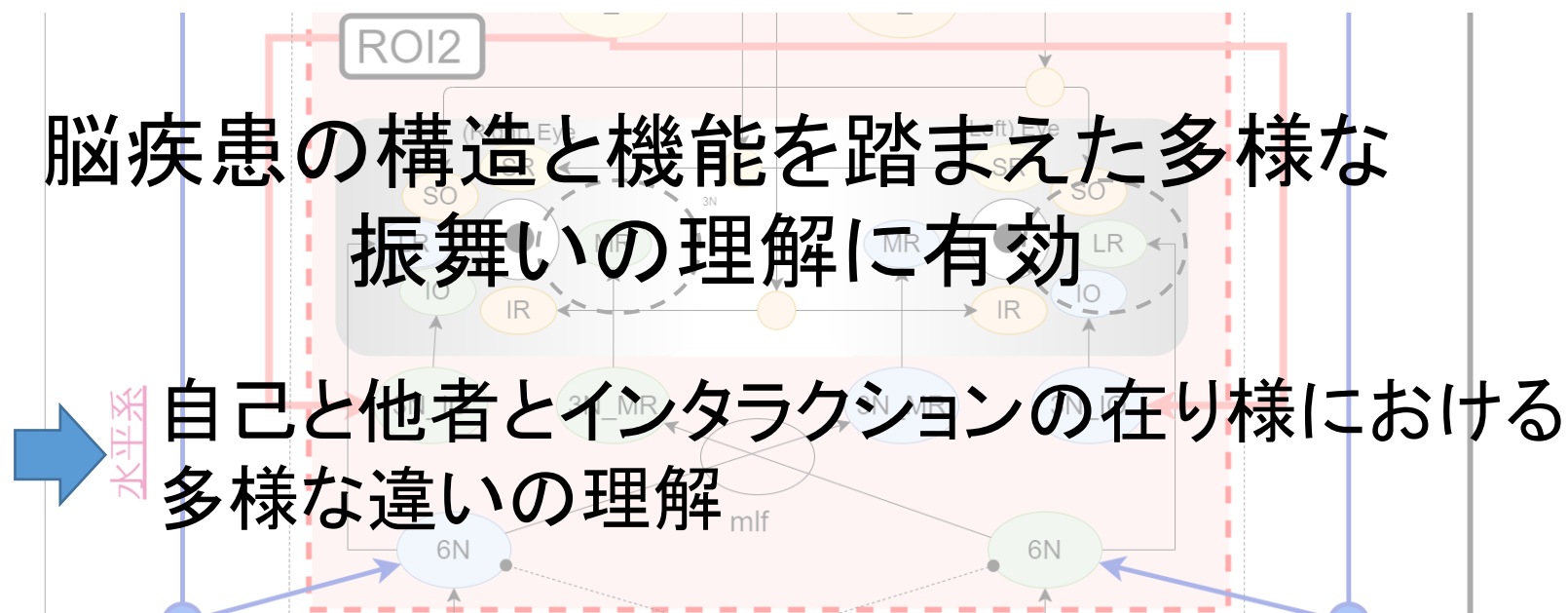
# 機能( $f$ )を踏まえた脳のモデルの意義

- 脳疾患を構造と機能を紐づけて理解すること
  - 眼球運動の例で言えば
    - 向かって右を向くときは左の内側の筋肉(内直筋)を動かす必要がある
    - 途中の経路に障害があると内側に筋肉を動かせない



# 機能( $f$ )を踏まえた脳のモデルの意義

- 脳疾患を構造と機能を紐づけて理解すること
  - 眼球運動の例で言えば
    - 向かって右を向くときは左の内側の筋肉(内直筋)を動かす必要がある
    - 途中の経路に障害があると内側に筋肉を動かせない



# まとめ

- 脳の設計と開発における近年の取り組み
  - Purposeful Natural Object設計
    - 眼球運動の例
  - PNO設計の利点と限界
- HAI研究とWBA開発が双方に齎す影響
  - 機能に関するロードマップの提示
  - 多様な人々の振舞いの様態に対する理解