

# HCDの自動作成／統合／評価に向けた取り組み

田和辻 可昌

東京大学

# HCDのロードマップ

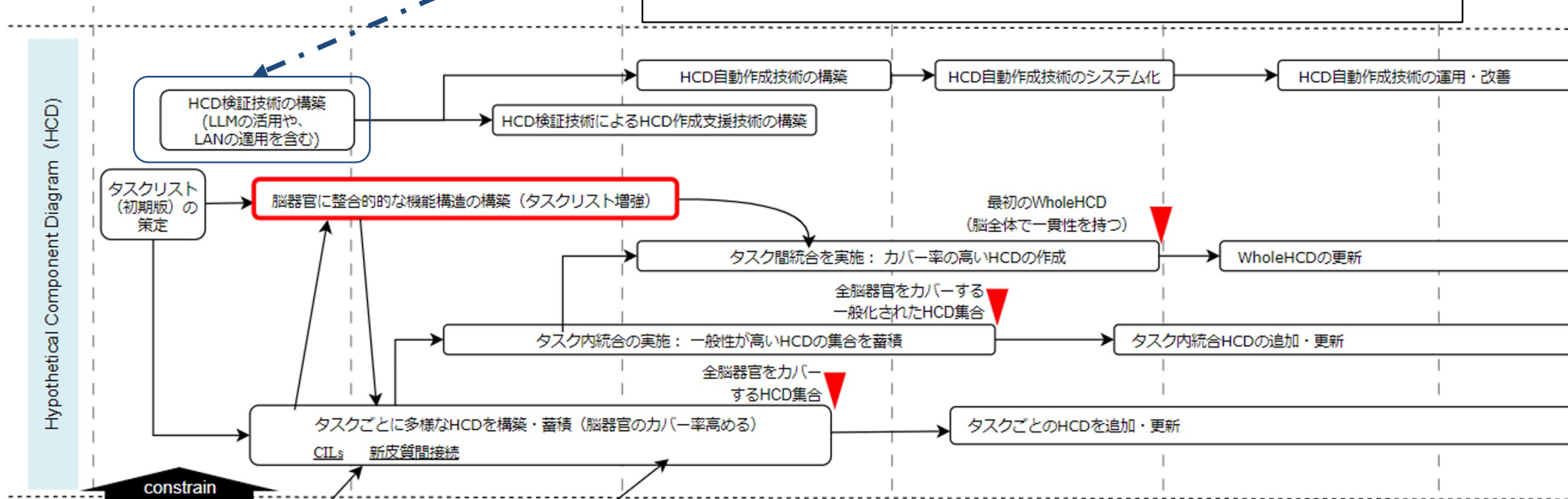
検証・実装に関する内容は後ほど

**実装可能性の探索**

- ・宮本竜也「タイトルLanguage Agent Network (LAN) の提案とBRA駆動開発への活用」

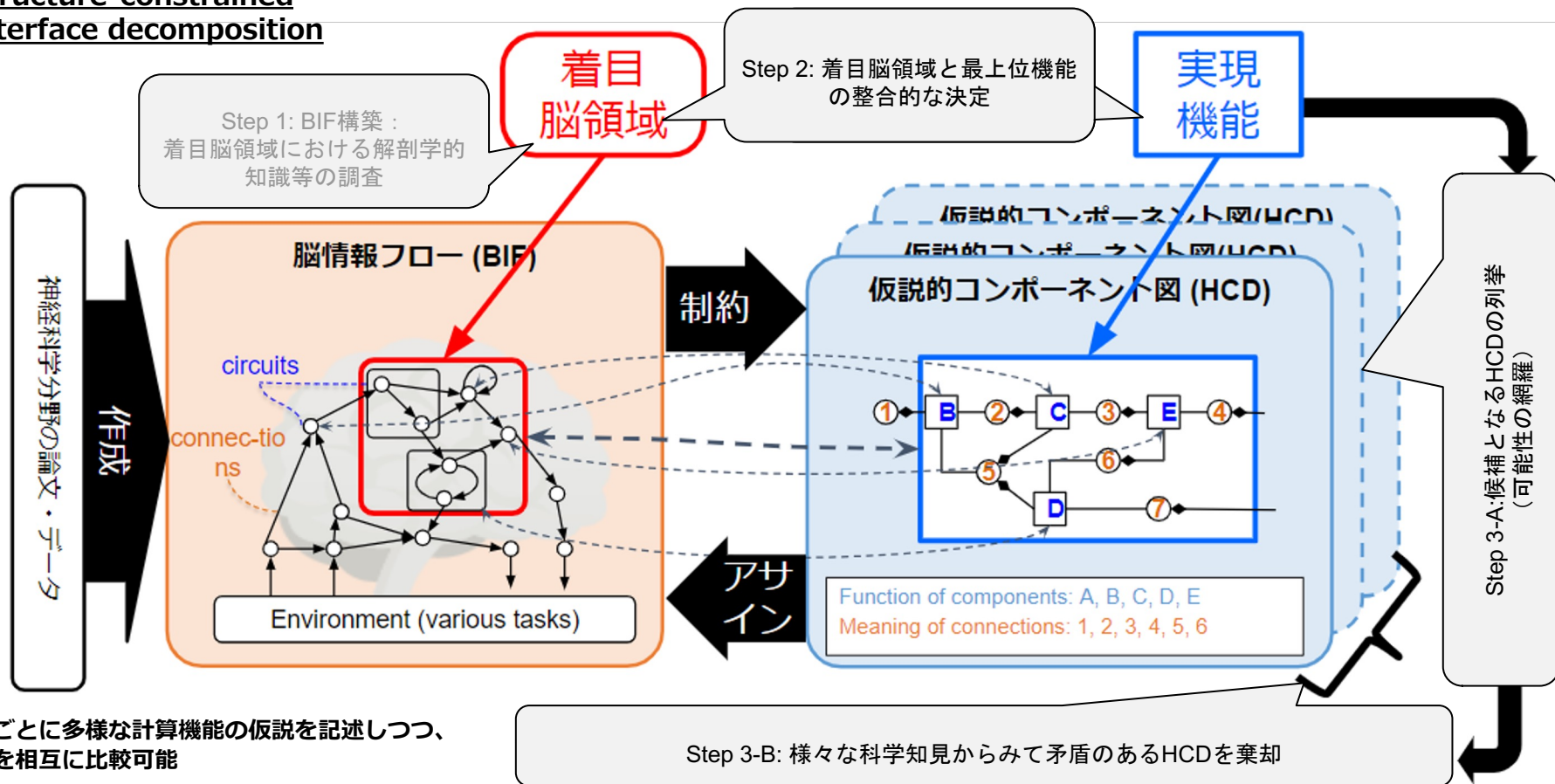
**実装例**

- ・谷口彰「海馬体を参照した確率的生成モデルの実装」



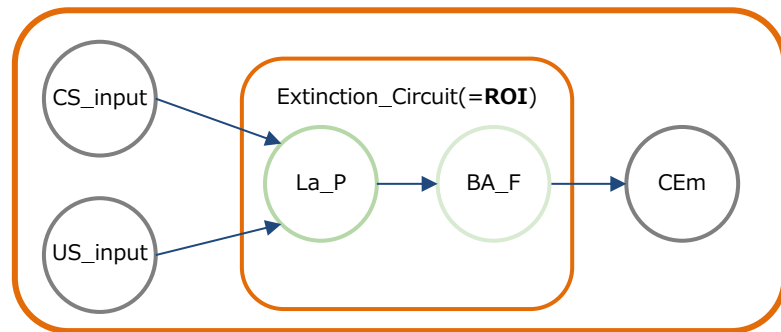
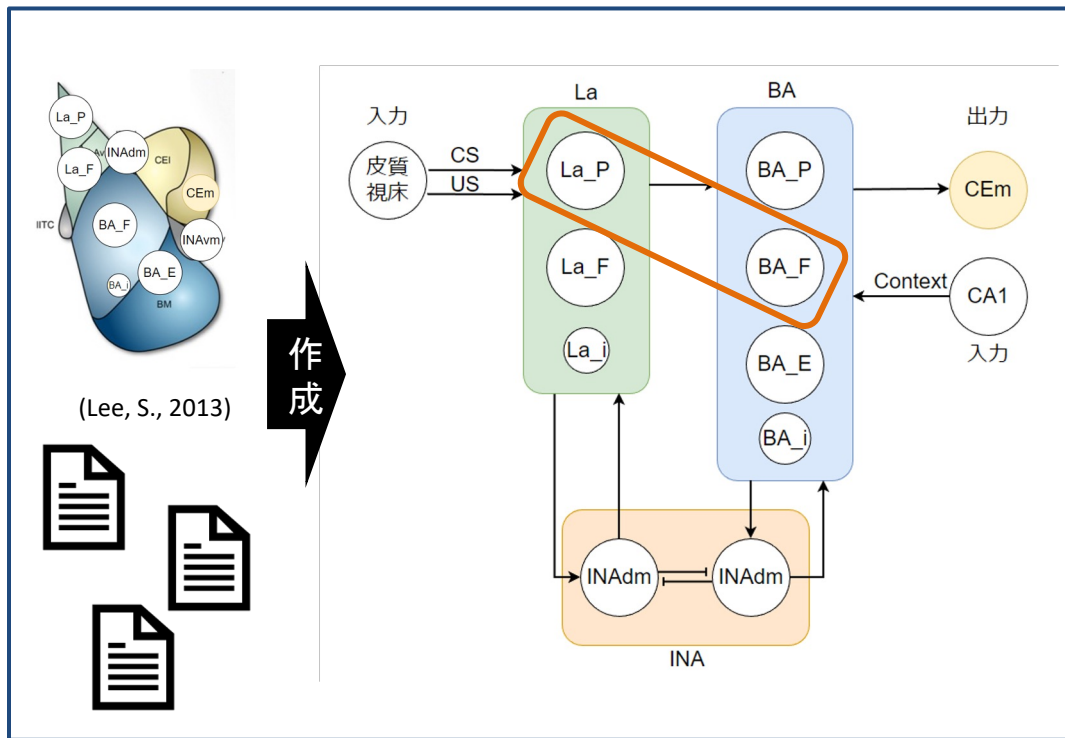
# SCID法におけるHCDデータの作成

## Structure-constrained interface decomposition



# Step.2 ROIとTLFの明示

例) 扁桃体：恐怖反応の生成[宮本 22; NC]



## Top-level function (TLF)

個体の生存にとって価値のあるUS(Unconditioned stimuli)を用いて、中立のCS(Conditioned stimuli)に価値づけを行い、恐怖反応を引き起こす機能

# ProcessとOutput semantics

## 構造（BIF）に沿って、Processを分解

### Process :

入力から出力への変換手順

### Output Semantics :

コンポーネントの出力をシステム外部の観測者の視点から解釈したもの

#### Extinction\_Circuit(ROI)

##### Process:

Extinction\_Circuit process holds  $I(\text{CS\_input})$  to be input at the same time as  $I(\text{US\_input})$  is input and generates  $O(\text{Extinction\_Circuit})$  when the stored  $I(\text{CS\_input})$  is input.

##### Output semantics:

$O(\text{Extinction\_Circuit})$  is fear response signal to conditioned sensory stimuli.

#### La\_P

##### Process:

La process stores the input  $I(\text{CS\_input})$  as soon as  $I(\text{US\_input})$  is input and generates  $O(\text{La\_P})$  when the holds  $I(\text{CS\_input})$  is input.

##### Output semantics:

$O(\text{La\_P})$  is detection signal for conditioned sensory stimuli.

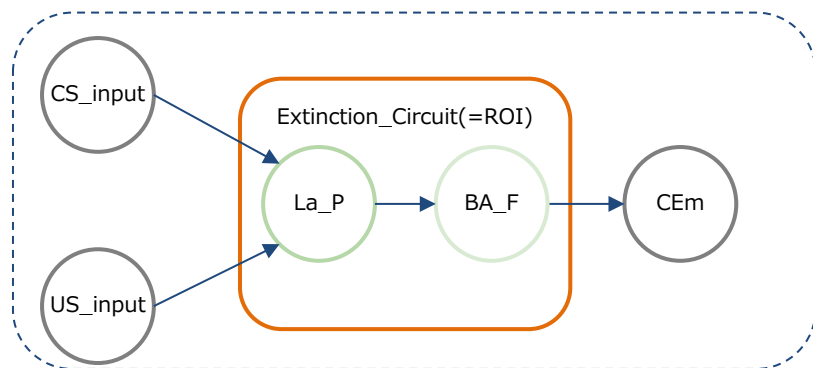
#### BA\_F

##### Process:

BA\_F process generates  $O(\text{BA\_F})$  when  $I(\text{La\_P})$  is input.

##### Output semantics:

$O(\text{BA\_F})$  is fear response.



# BRAデータ上での記述

機能（HCD : Hypothetical Component Diagram）に関するデータ（Spreadsheet形式データ）

TM23Amygdaloid complex-v1.hcd

ファイル 編集 表示 挿入 表示形式 データ ツール 拡張機能 ヘルプ

100% Arial

| AI         | AB                         | AC                         | AD                         | AE                  | AF                 | AG                         | AH                  | AI                                                                                                                                                      | AJ                                             | AK       |
|------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------|--------------------|----------------------------|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------|
| Circuit ID | Process(t)                 | Circuit ID                 | Component Label (t)        | Output Circuits (t) | Input Circuits (t) | Circuit Summary (t)        | Region Category (t) | Process(t)                                                                                                                                              | Output Semantics (t)                           | Comments |
| 1          | Extinction_Relapse_Circuit | Extinction_Relapse_Circuit | Extinction_Relapse_Circuit |                     |                    | Extinction_Relapse_Circuit | ROI                 | [TLF] Adaptively control fear response facilitation information O(Extinction_Relapse_Circuit) based on US_input (CS_input) and the context signal (CA1) | O(BA_F) Fear Response Facilitation Information |          |
| 2          | CEm                        | CEm                        | CEm                        |                     | BA_F               | CEm (CEm)                  | Output              | (Undefined interface process)                                                                                                                           | O(CEm) Fear response                           |          |
| 3          | CS_input                   | CS_input                   | CS_input                   | La_P                |                    | CS_input (CS_input) [U]    | Input               | (Undefined interface process)                                                                                                                           | Conditioned stimulus                           |          |
| 4          | US_input                   | US_input                   | US_input                   | La_P                |                    | US_input (US_input) [U]    | Input               | (Undefined interface process)                                                                                                                           | Unconditioned stimulus                         |          |
| 5          | CA1                        | CA1                        | CA1                        | BA_E                |                    | CA1 (CA1) [U]              | Input               | (Undefined interface process)                                                                                                                           | Context                                        |          |
| 6          | La                         | La                         | La                         |                     |                    | La (La)                    | ROI                 | O(La)はCS_inputとシナプス入力に基づいてUS_inputの強度を計算する。O(La)はUS_inputの強度に基づいてUS_inputの強度を計算する。                                                                      | O(La)はUS_inputの強度に基づいてUS_inputの強度を計算する。        |          |

Project HCDs References Circuits Connections HCDeditor FTV FTV2 FTV3 Settings AdminOnly

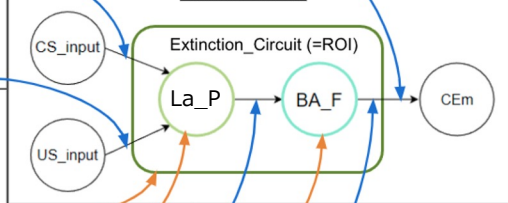
## Function Tree Viewer

Process/Output semanticsの階層構造を表示

### Function Tree Viewer (FTV)

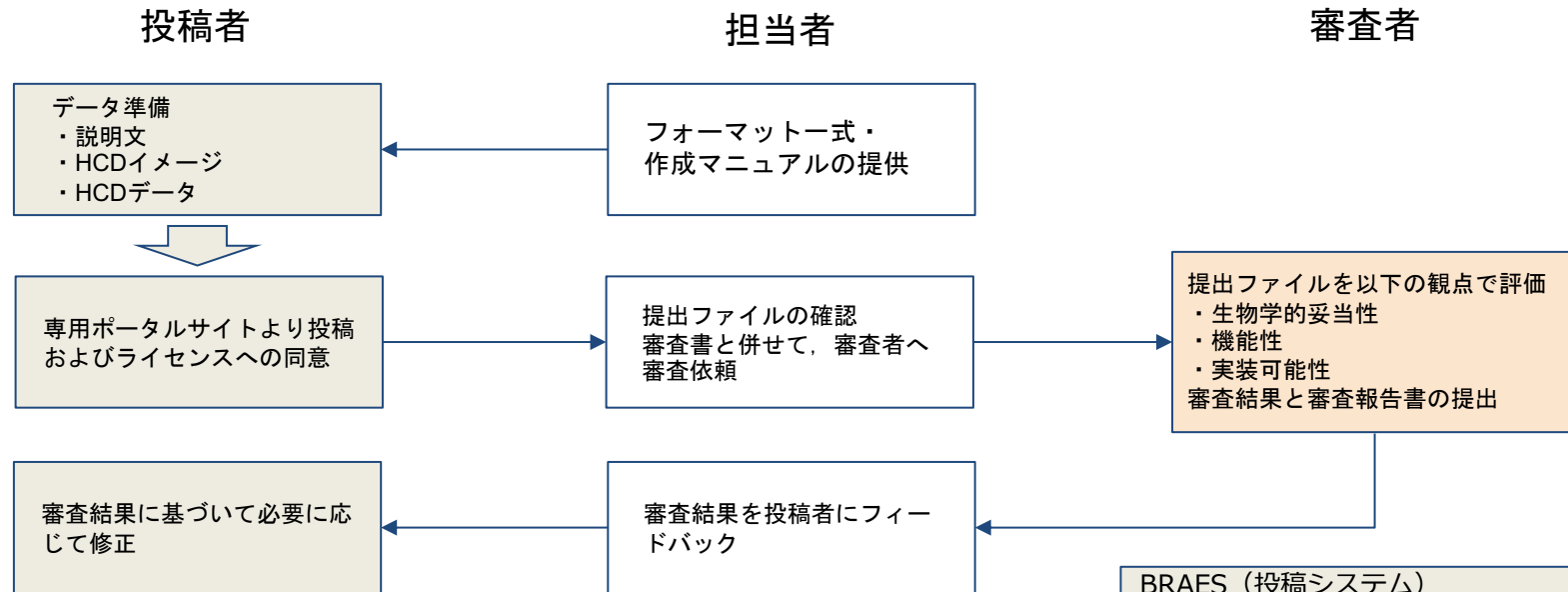
| Region Category | Depth = 0                                                                                                               | Depth = 1                                                                                                                                                                   | Depth = 2                                                                    | Depth = 3 |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Output          | CEm (CEm)<br>-- Input Circuits --<br>BA_F<br>-- Output Circuits --                                                      | (Undefined interface process)                                                                                                                                               | O(CEm) Fear response                                                         | -         |
| Input           | CS_input ( ) [U]<br>-- Input Circuits --<br>-- Output Circuits --<br>La_P                                               | (Undefined interface process)                                                                                                                                               | Conditioned stimulus                                                         | -         |
| Input           | US_input ( ) [U]<br>-- Input Circuits --<br>-- Output Circuits --<br>La_P                                               | (Undefined interface process)                                                                                                                                               | Unconditioned stimulus                                                       | -         |
| ROI             | Extinction_Circuit (Extinction_Circuit)<br>-- Input Circuits --<br>CS_input<br>US_input<br>-- Output Circuits --<br>CEm | Extinction_Circuit process holds I(CS_input) to be input at the same time as I(US_input) is input and generates O(Extinction_Circuit) when the stored I(CS_input) is input. | O(Extinction_Circuit) is fear response signal to conditioned sensory stimuli | -         |
| inROI           | La_P (La_P) [U]<br>-- Input Circuits --<br>CS_input<br>US_input<br>-- Output Circuits --<br>BA_F                        | La_P process stores the input I(CS_input) as soon as I(US_input) is input and generates O(La) when the held I(CS_input) is input.                                           | O(La) is detection signal for conditioned sensory stimuli                    | -         |
| inROI           | BA_F (BA_F) [U]<br>-- Input Circuits --<br>La_P<br>-- Output Circuits --<br>CEm                                         | BA_F process generates O(BA_F) when I(La) is input                                                                                                                          | O(BA_F) is fear response                                                     | -         |

### Neural circuit





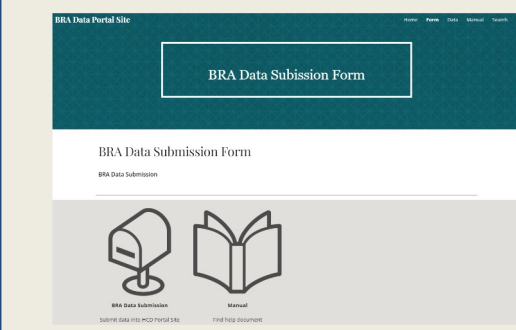
# 投稿・審査：BRAES (BRA Editorial System)



## 評価の目的

- (1)生物学的妥当性
- (2)機能性（最上位機能を実現するような機能の組織化）
- (3)計算モデルの実装可能性の評価によるモデルの利活用（再利用性）支援

## BRAES（投稿システム）



# 投稿・審査：BRAES (BRA Editorial System)

## 投稿者

データ準備

- ・説明文
- ・HCDイメージ
- ・HCDデータ

フォ  
作成

専用ポータルサイトより投稿

データの作成方法や審査についてのより詳細は、  
第4回WBAIレクチャーも参照

審査結果に基づいて必要に応  
じて修正

審査結  
ドバツ

## 評価の目的

- (1)生物学的妥当性
- (2)機能性（最上位機能を実現するような機能の組織化）
- (3)計算モデルの実装可能性の評価によるモデルの利活用

WBAI Whole Brain Architecture Initiative

ホーム イベント・勉強会 研究 活動に参加する ブログ 言語

Blog

第4回 WBAIレクチャー [オンライン] 脳のコンポーネント図の作り方：プロセス間関係の整理と確率モデルによる記述

WBAIからのお知らせ, WBAIレクチャー - 2022年11月11日

WBA LECTURE The Whole Brain Architecture Initiative

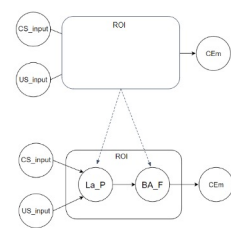
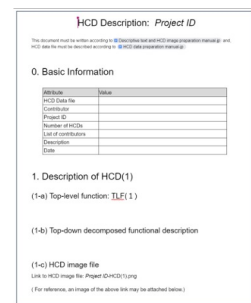
現在 [Vimeo](#) にて録画を無料配信中！

## 開催趣旨

当法人では、脳全体のアーキテクチャに学んで脳型のソフトウェアを構築するための標準化された方法論として、脳参照アーキテクチャ (BRA) 駆動開発を発展させてきた [1]。BRA 駆動開発では、まずメソスコピックレベルの解剖学的知見を脳情報フロー (BIF) データとして構築し、それと整合するように計算機能の仮説である仮説的コンポーネント図 (HCD) データを付与する、ことで脳機能のリバースエンジニアリングを行う。作成された HCD は、当然ながら脳型人工知能の仕様情報として活用できる [2]、神経科学実験において検証すべき仮説ともなりうる。さらに HCD の設計作業は、(計算論的) 神経科学者が解剖学的構造に整合した計算機能を分析し、計算モデルを設計することに役立ち、さらには神経科学を計算論的に把握することをトレーニングする教材としても有用であろう。そこで、本レクチャーにおいては、HCD を作成する方法を紹介し、これを学ぶためのハンズオンを行う。さらに各コンポーネントを確率的生成モデルとして記述するアプローチ [3] についても詳説する。



# HCDの評価のためのデータ一式

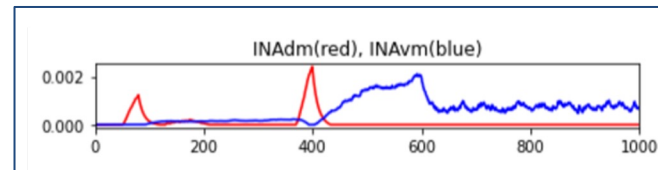
| ファイル                                | 概要                                                                                                                                 | ファイル形式とテンプレート                                                                                          |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| BRAイメージ<br>(BRA Images)             | ROIに含まれるCircuit/Uniform Circuitの解剖学的構造、およびROIに対する入力および出力をノードとリンクで表現した図。                                                            | 画像ファイル<br>(png)<br> |
| 説明文<br>(HCD<br>Descriptive<br>text) | HCD作成においては、「設定したTLFを、ROIの解剖学的構造に基づいてトップダウンに分解することで、Uniform Circuitの機能を決定」する。<br>説明文では「TLFを解剖学的構造に対して矛盾なく、どのように分解したのか」をトップダウンに説明する。 | Docファイル<br>         |
| HCDデータ                              | ROIに含まれるCircuit/Uniform Circuit、Uniform Circuit間のConnection、Uniform Circuitに割り当てられた計算上の意味や計算プロセスを記したファイル。                          | Spreadsheetファイル                                                                                        |



# HCDの忠実度評価：活動再現性評価

HCDに基づいて脳型ソフトウェアを実装し、シミュレーション結果と実験により得られている神経活動データとを比較することでHCDの神経科学的妥当性を評価する

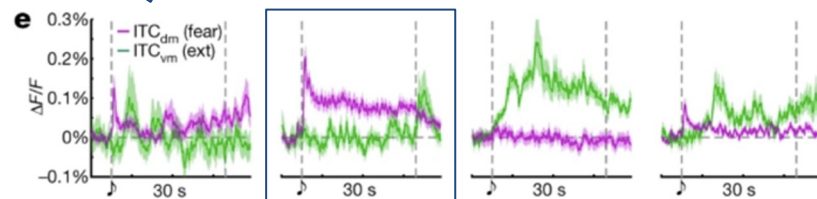
脳型ソフトウェアの実装



実験による神経活動データ



比較・評価



(Hagihara, 2021)

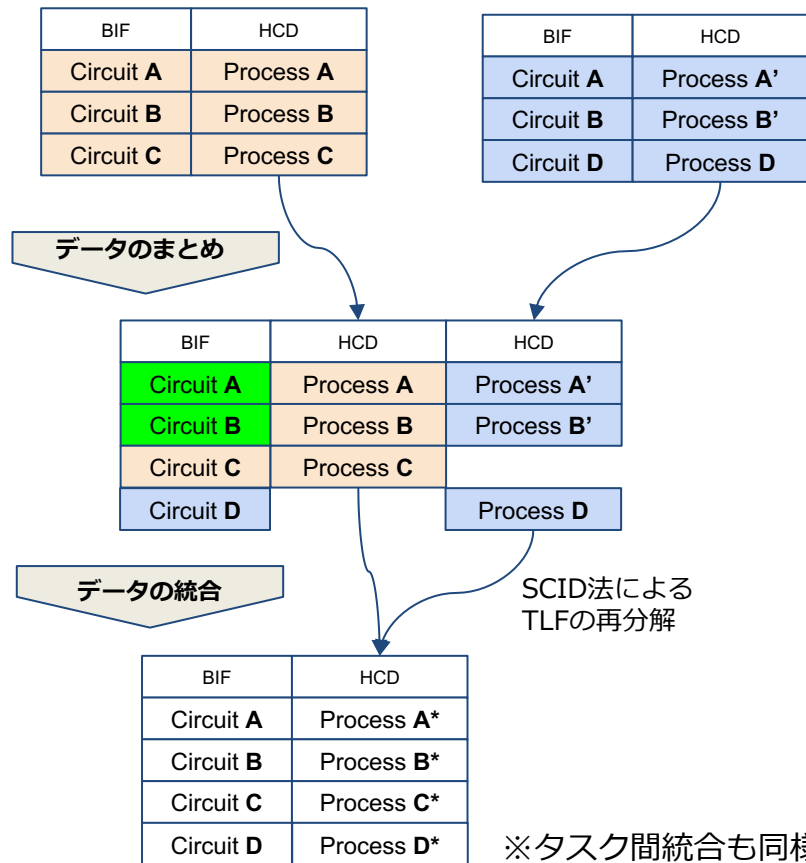
# HCDの統合プロセス

1. タスク内統合：同一のタスクを実現する複数のHCDを統合
2. タスク間統合：異なるタスクを実現するHCDを統合

タスク内統合は、以下の2ステップからなる  
step.1) 「データのまとめ」  
step.2) 「データの統合」



2027年度にはタスク間統合HCDである  
WholeHCDの初期版を作成完了予定

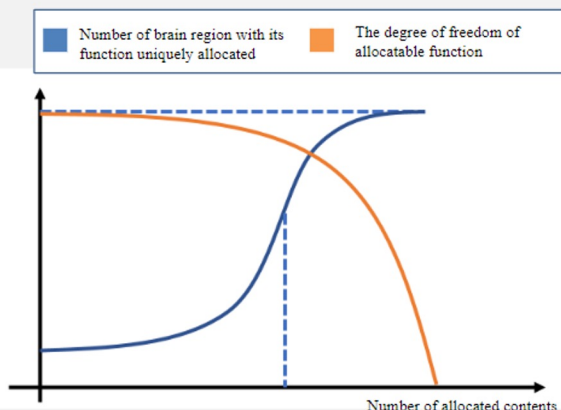


# 脳機能の全容は巨大クロスワードの如く急速に解明されるかもしれない

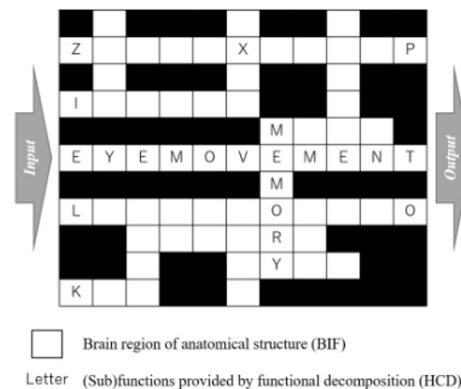
|                                         | Crossword puzzle                              | Reference Architecture of the Brain                                   |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Structure                               | <b>Puzzle framework</b><br>Squares and blanks | <b>(Mesoscopic) Neural Structure</b><br>Brain regions and connections |
| Contents                                | Letters allocated to each square              | Subfunctions<br>(provided by functional decomposition)                |
|                                         | Words                                         | (Top level) Functions                                                 |
| Clue for which contents to be allocated | Clues<br>("across" and "down")                | Neural behavior<br>("What information each region codes")             |

*In the latter part of problem solving, allocating should rapidly progress*

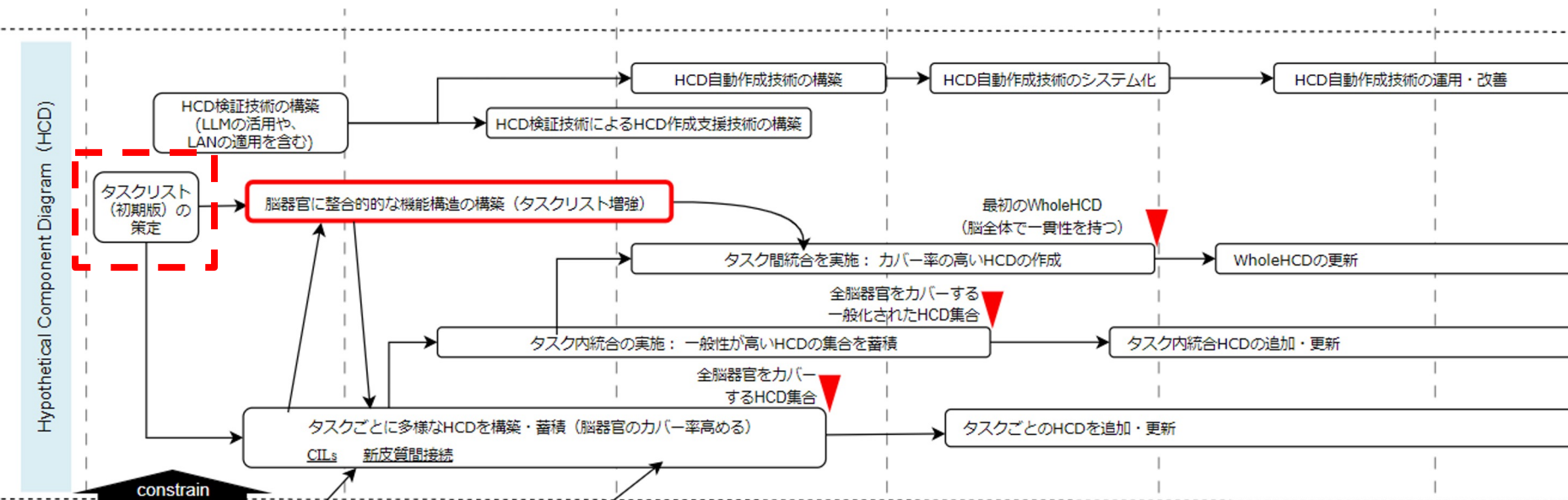
- Allocatable contents for one structure get restricted as the contents are allocated to the peripheral structure
- At the point of the allocating progress, the allocatable contents drastically decreases



*"Crossfunction" puzzle*



# タスクリストの策定が喫緊の課題



- AGI実現に向けた設計開発すべき初期タスクリストの策定が喫緊の課題

→ 行動テストバッテリーやLLMによるタスク整理を検討中



- BIF/HCDデータからなるBRAデータの作成方法を説明した
- HCDの評価：
  - Formal review
    - HCDのBIFへの整合性
  - 専門家による機能性評価
    - エンジニアリングの専門性が求められるが、昨今の大規模言語モデルの進展から自動化が期待される
- 投稿・審査
- HCDデータの統合は、タスク内でのHCD統合、タスク間でのHCD統合を経て2027年度にWholeHCDの初期版の完成を目指す