

ほぼ最終稿:再配布はしないでください

手づくりの会話情報学

一人と人工知能の未来のコミュニケーション

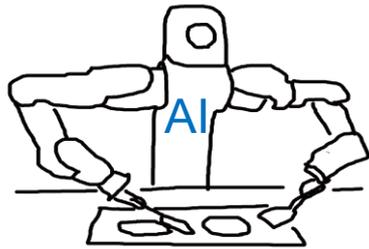
京都大学情報学研究科
理化学研究所 革新知能統合研究センター

西田豊明

私の人工知能研究のフォーカス

人から学び、人を助けるAI

おいしいものを



もっと栄養を

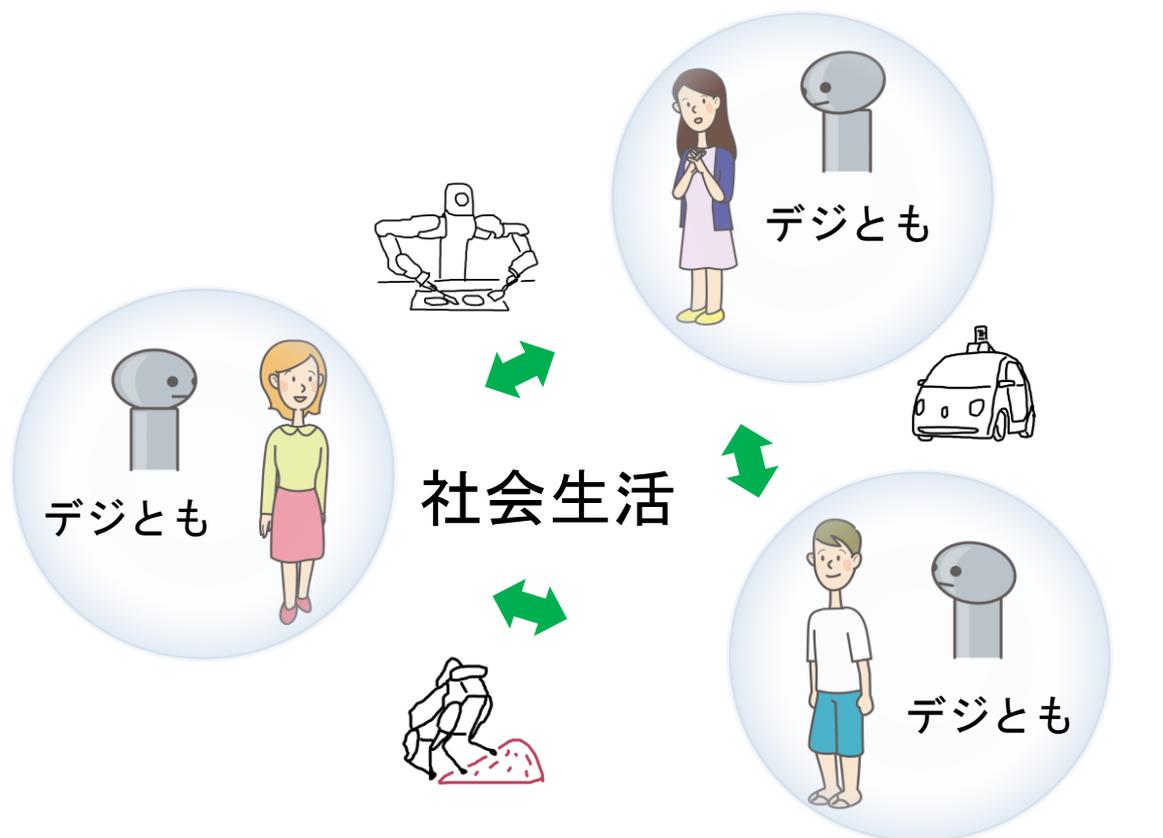


会話

人工知能

人間

デジとも(伴)のいるデジタル社会基盤に支えられた未来生活



デジとも役割

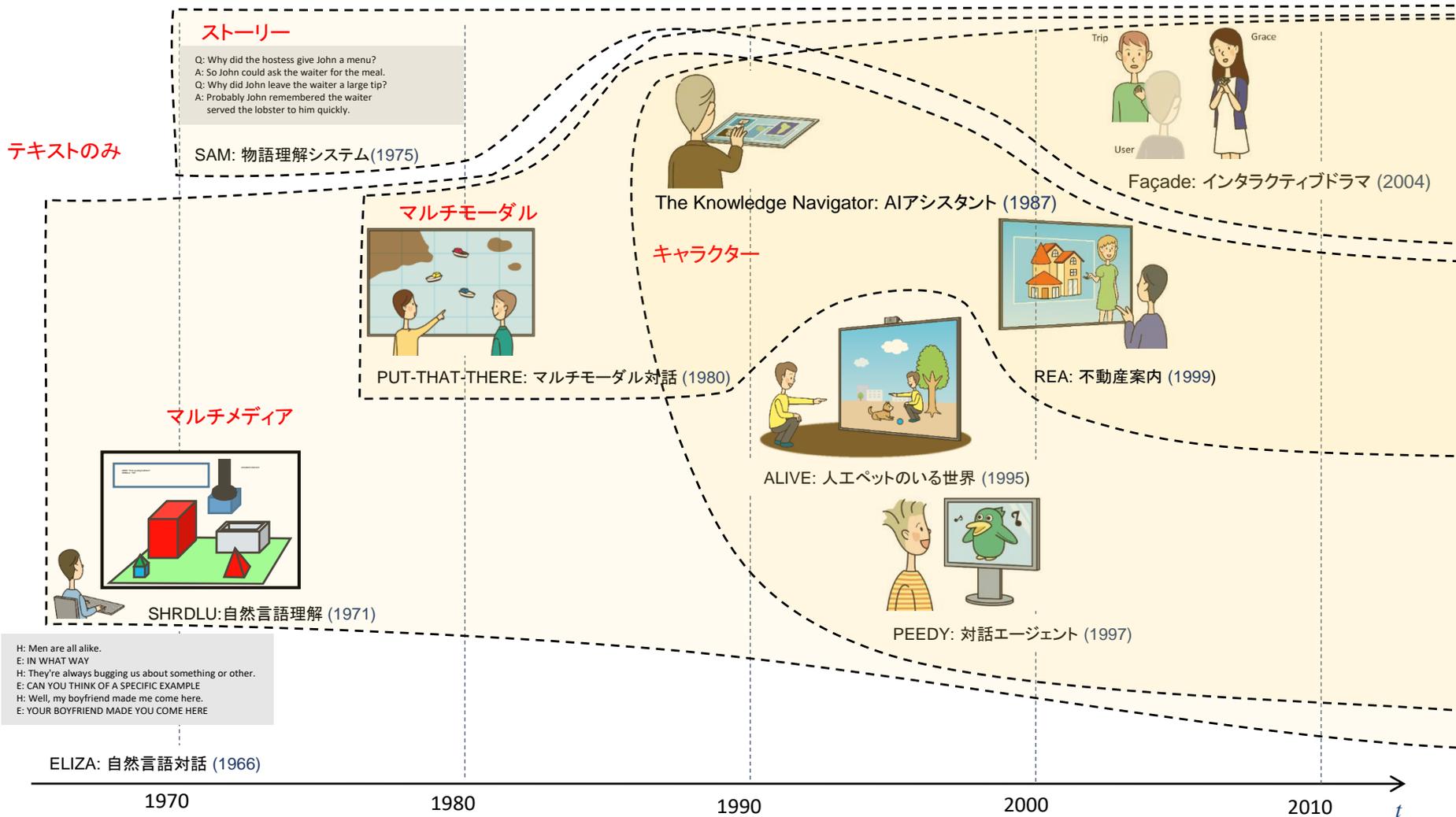
- ボスを守る
- ボスを支援する
- ボスの健康管理
- ボスを和ませる
- ボスに代わって交渉する
- ボスの行動記録をつける
- ボスから学ぶ

みんなの人工知能

AIで人間と社会を強化する

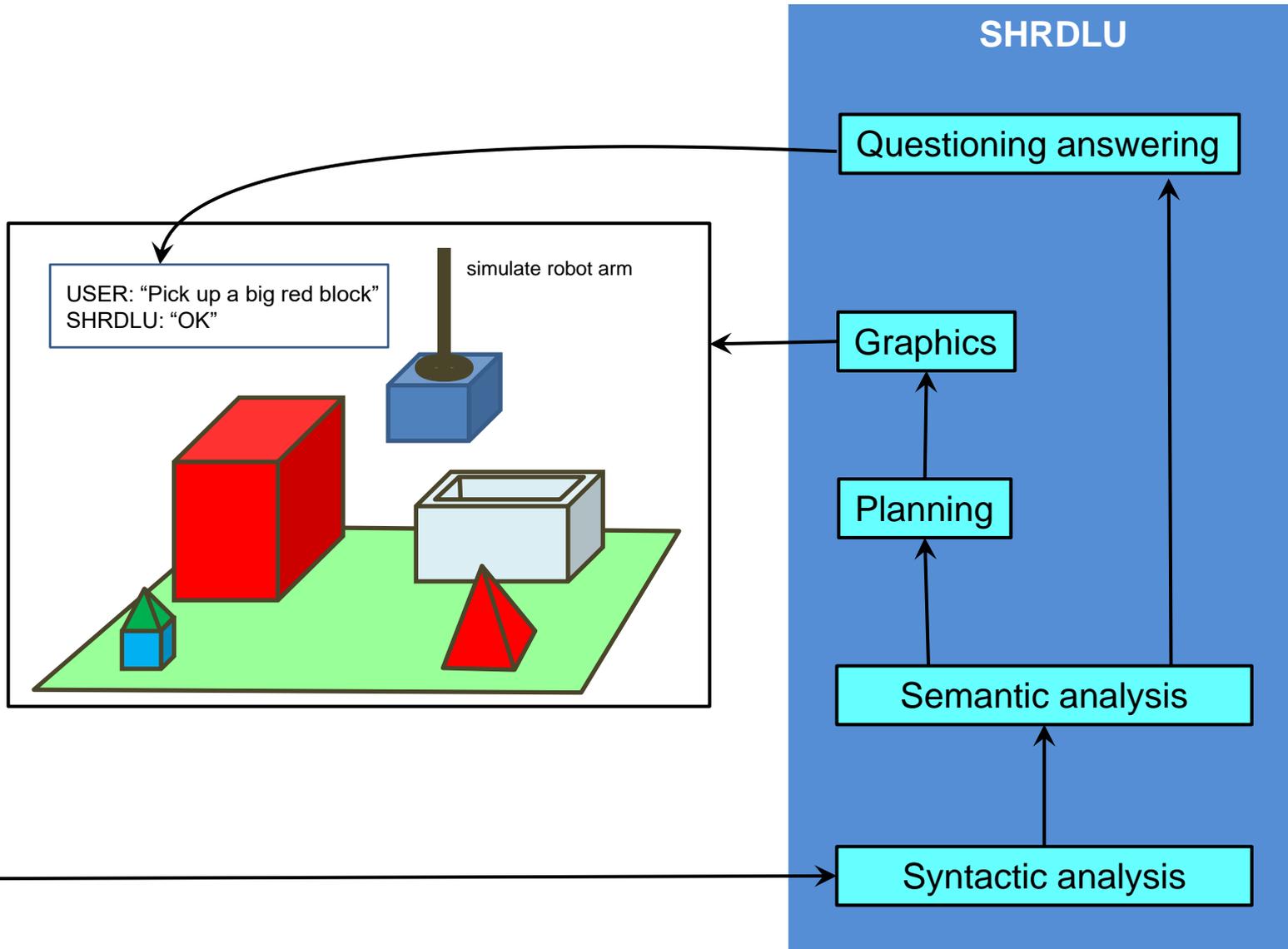
人工知能で強化された社会基盤

会話システム開発の歴史

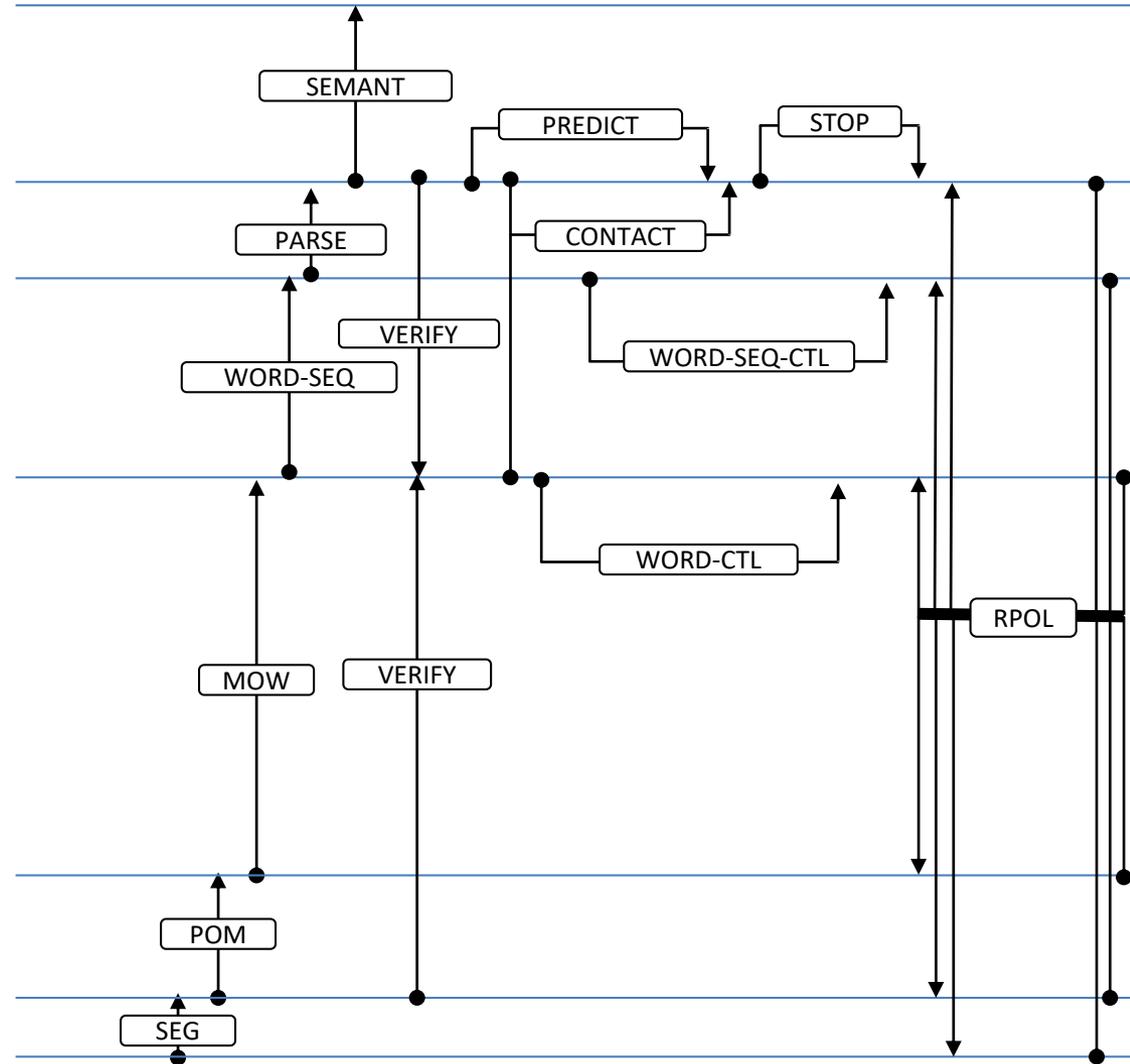
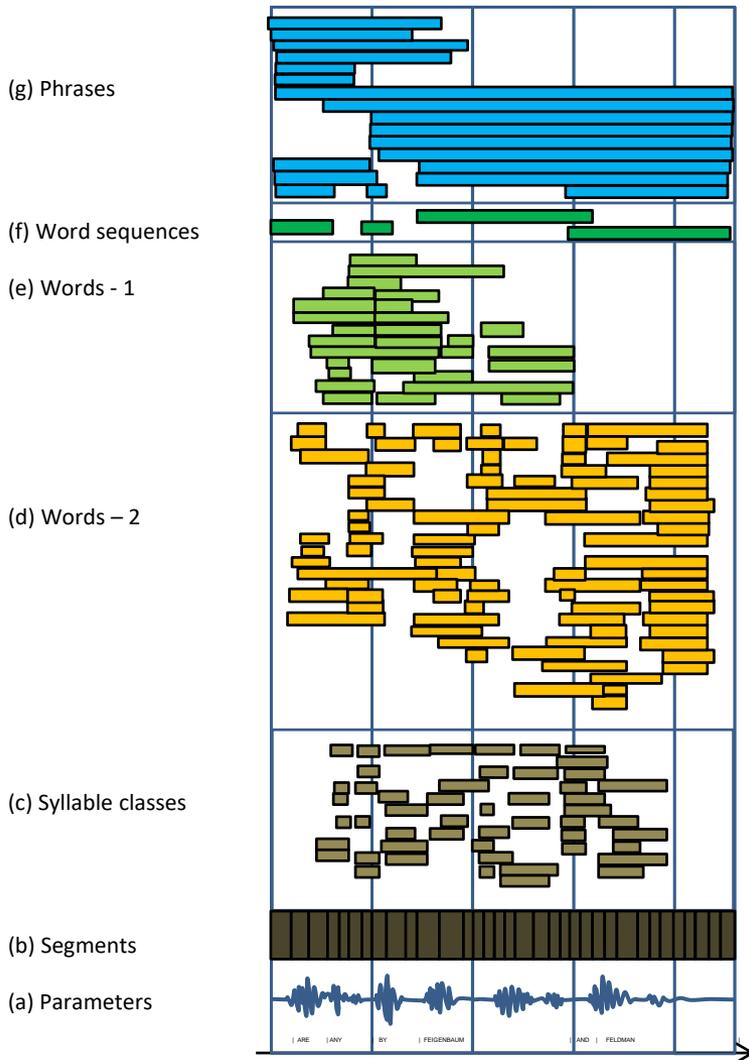


H: Men are all alike.
 E: IN WHAT WAY
 H: They're always bugging us about something or other.
 E: CAN YOU THINK OF A SPECIFIC EXAMPLE
 H: Well, my boyfriend made me come here.
 E: YOUR BOYFRIEND MADE YOU COME HERE

初期の自然言語対話システム



音声対話 ← 黒板システム



マルチモーダル対話

PUT-THAT-THERE

音声入力とジェスチャ入力を併用して大型ディスプレイの内容を操作

コマンドの例

- “Create a blue square there.”
- “Move the blue triangle to the right of the green square”
- “Move that to the right of the green square.” (with pointing)
- “Put that there” (indicated by gesture)
- “Make that smaller” (with pointing gesture)
- “Make that (indicating some item) like that (indicating some other item)”
- “Delete that” (pointing to some item)
- “Call that ... the calendar” (with pointing)

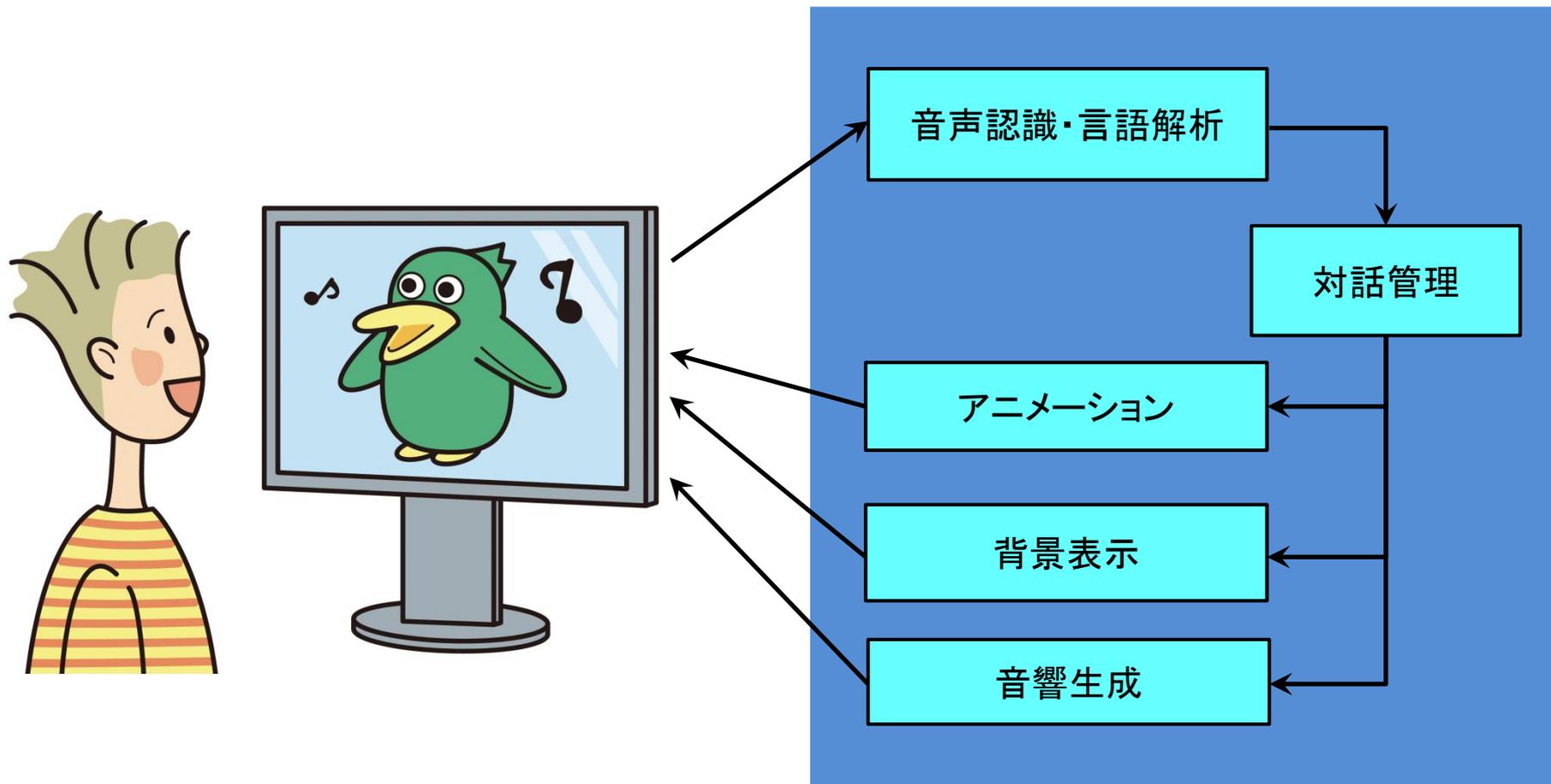


The Knowledge Navigator

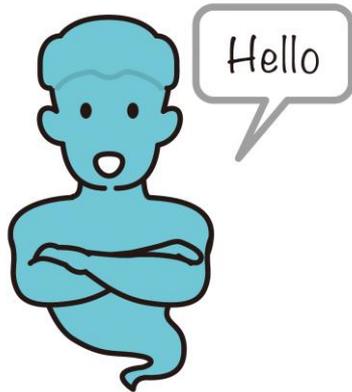
“Phil”: パーソナルアシスタントの具体的イメージ



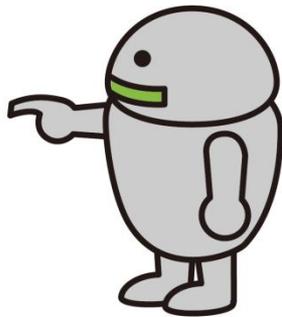
Peedyのアーキテクチャ



スクリプト言語 — Microsoft Agent



Genie



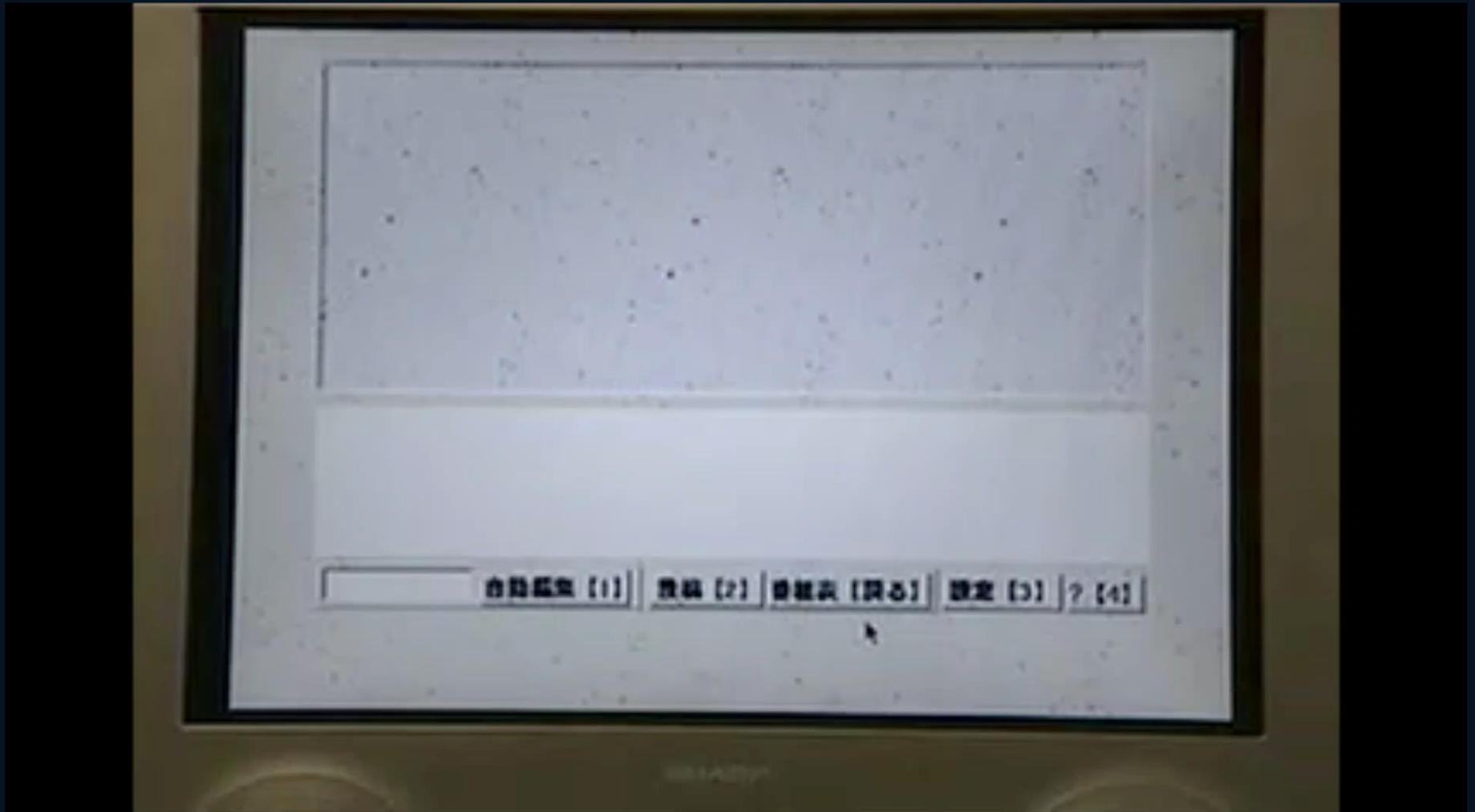
Robby

```
...  
Agent1.Characters.Load "Genie", "http: ..."  
Set Genie = Agent1.Characters("Genie")  
Set Robby = Agent1.Characters ("Robby")  
Genie.Show  
Genie.Play "Greet"  
Genie.Speak "Hello!"  
Robby.Show  
Robby.MoveTo 100,200  
Robby.Play "GestureRight"  
Robby.Hide  
Genie.Hide  
...
```

CoMeMo Community



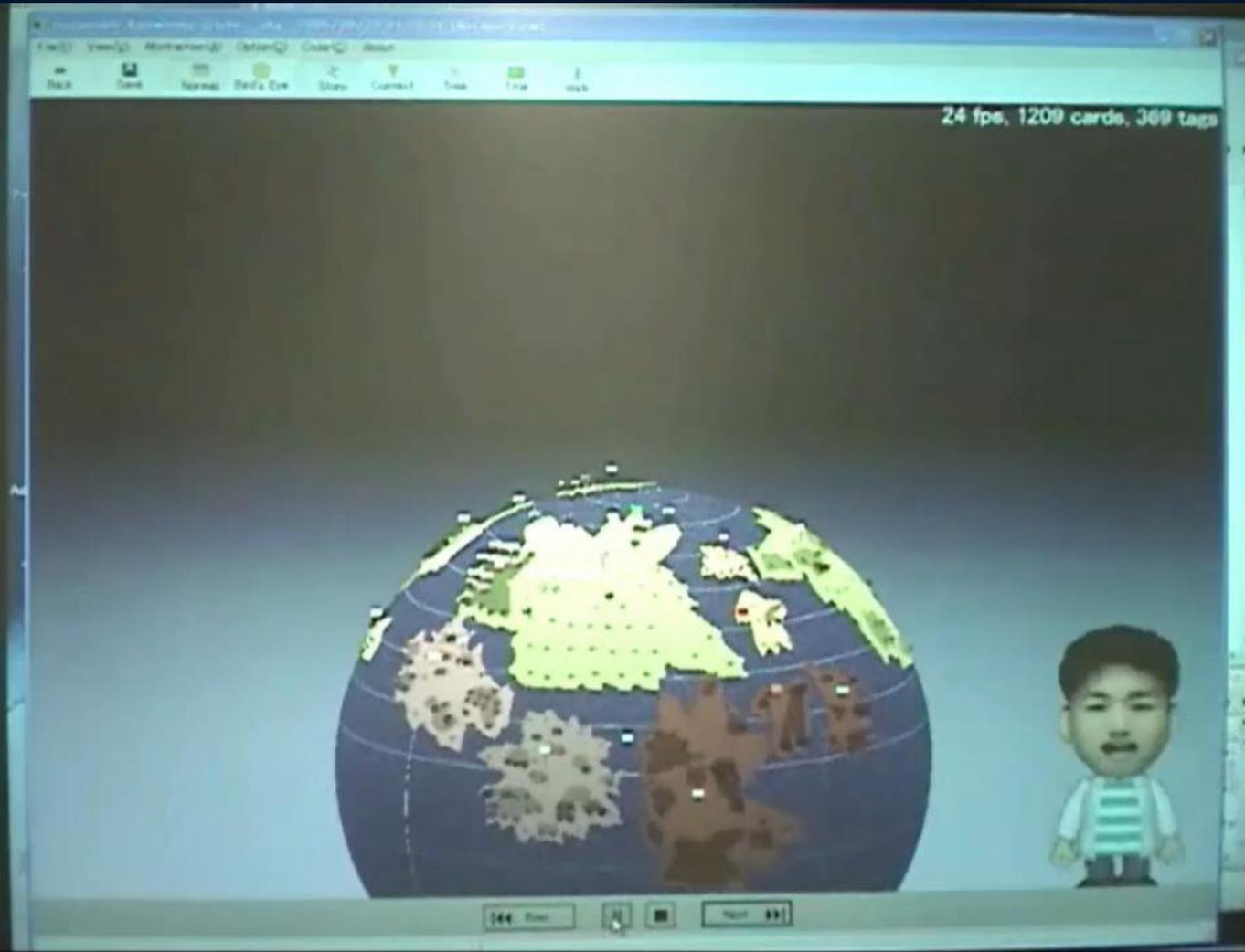
POC TV (KDDI FTTH Trial)



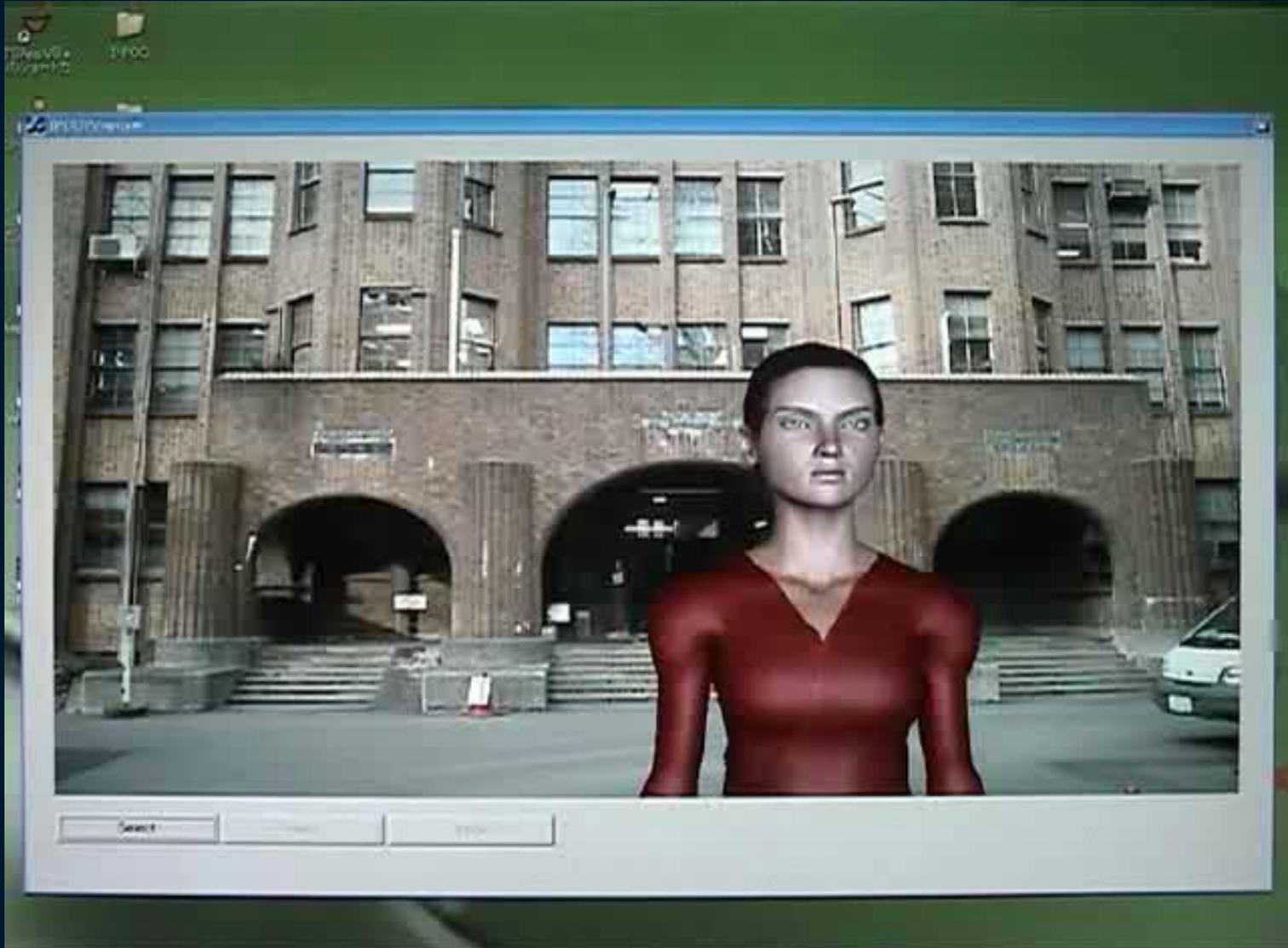
POC: Public Opinion Channel [Nishida 1999]

[Nishida 2002]

知球 (Sustainable Knowledge Globe)

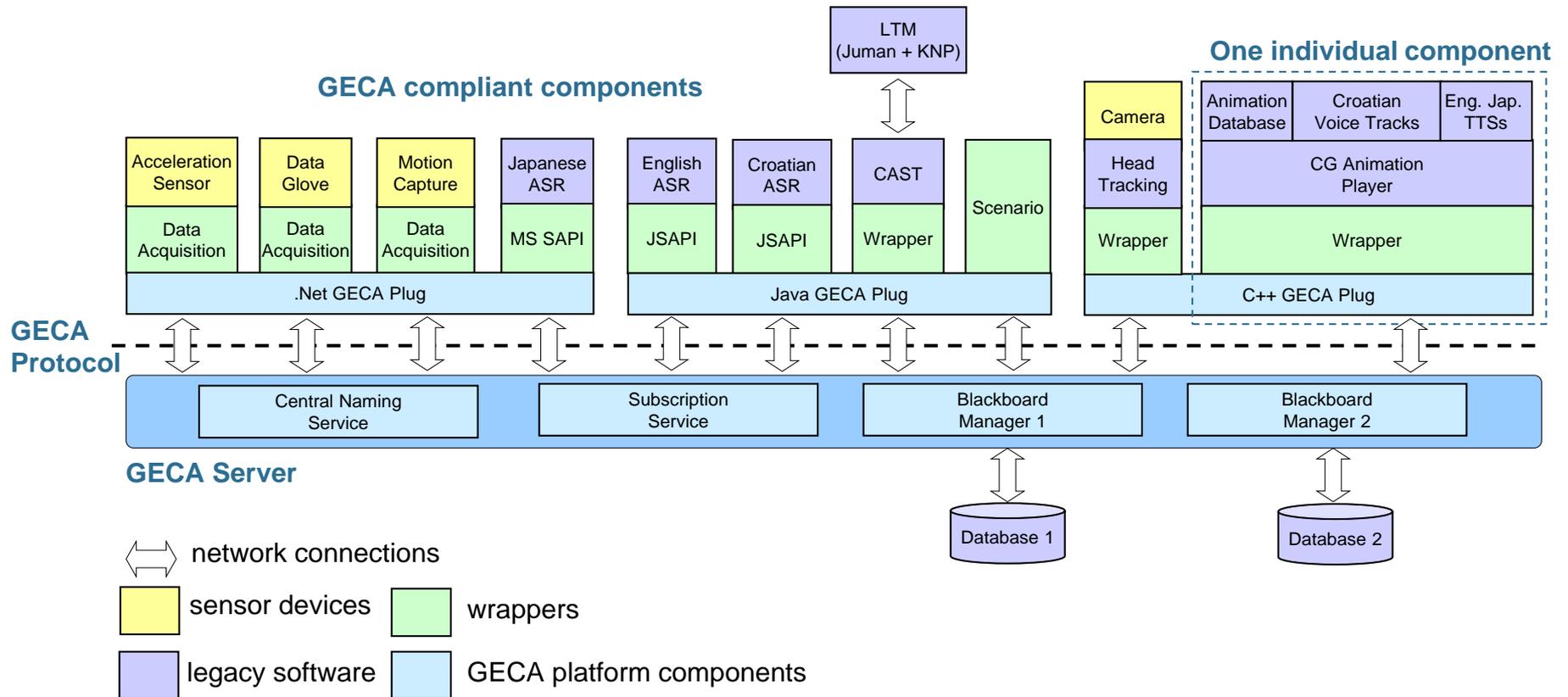


SPOC

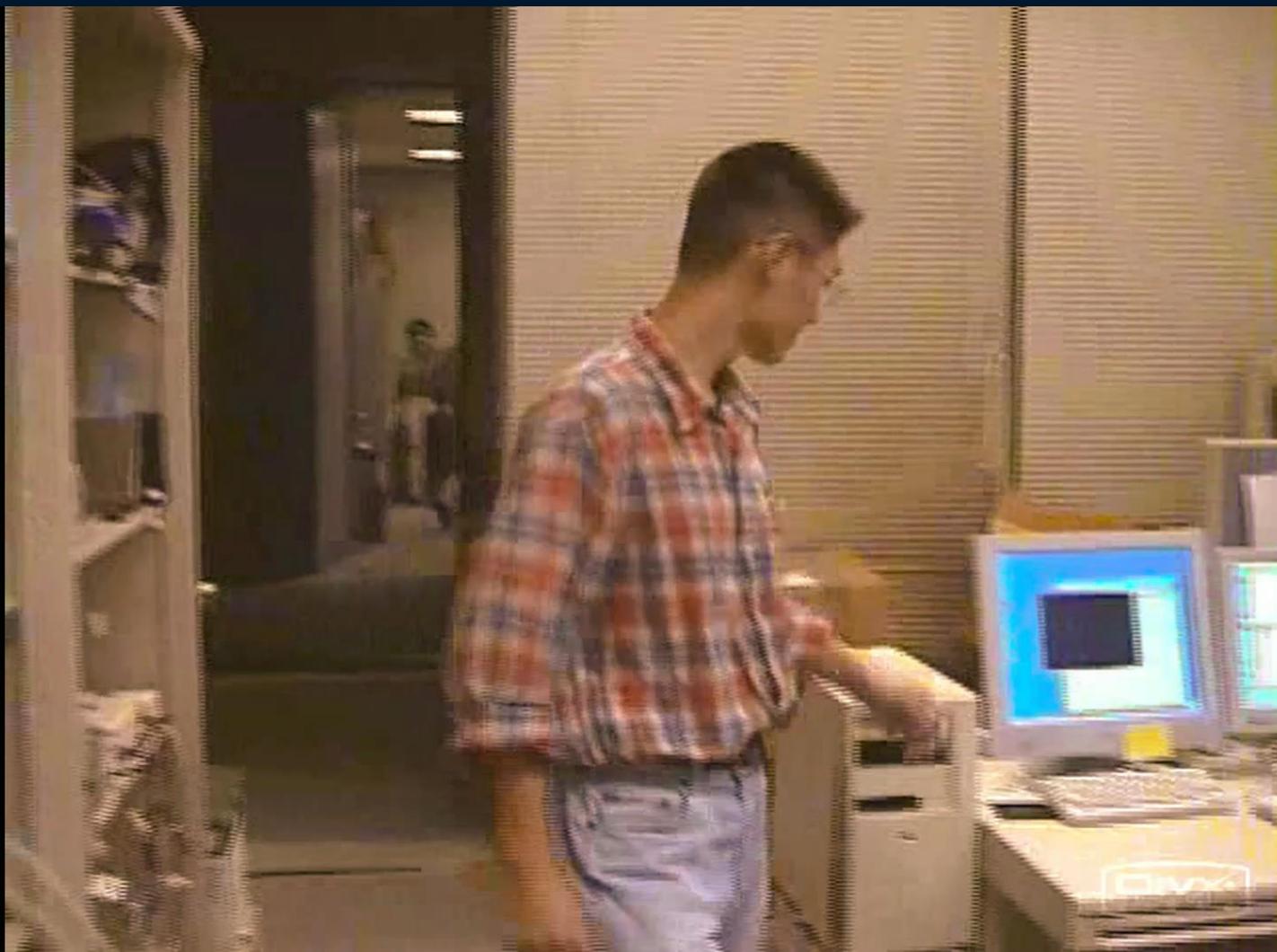


会話エージェントのためのプラットフォーム (GECA)

GECA: Generic Embodied Conversational Agent



動く椅子 (Autonomous mobile chair)

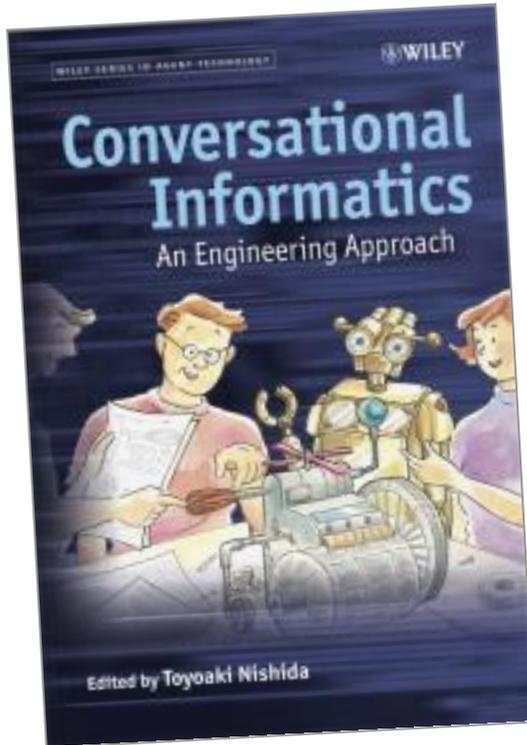


Conversational Informatics

Buy your copy here
or online at

www.Wiley.com

An Engineering Approach



Conversational artifacts shows how synthetic characters or intelligent robots use eye gaze, gestures and other non-verbal communicators to interact.

Conversational contents looks at developing techniques for acquiring, editing, distributing and utilising the contents that are produced and consumed in conversation.

Conversation environment design explains techniques for creating intelligent virtual environments and for representing individuals within a virtual environment

Conversation measurement, analysis and modelling demonstrate how conversational behaviour can be measured and analyzed.

http://as.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-0470026995_descCd-tableOfContents.html



会話のとらえ方

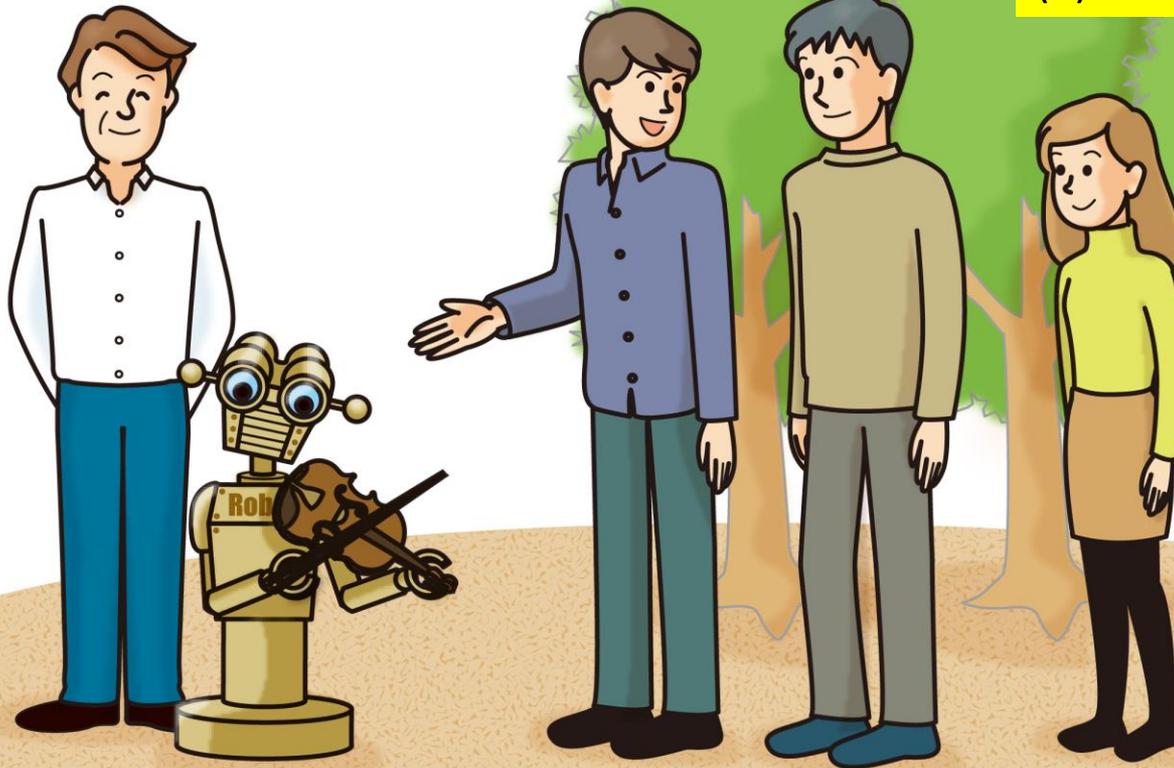
(1) 物語共有

(2) 社会的インタラクション

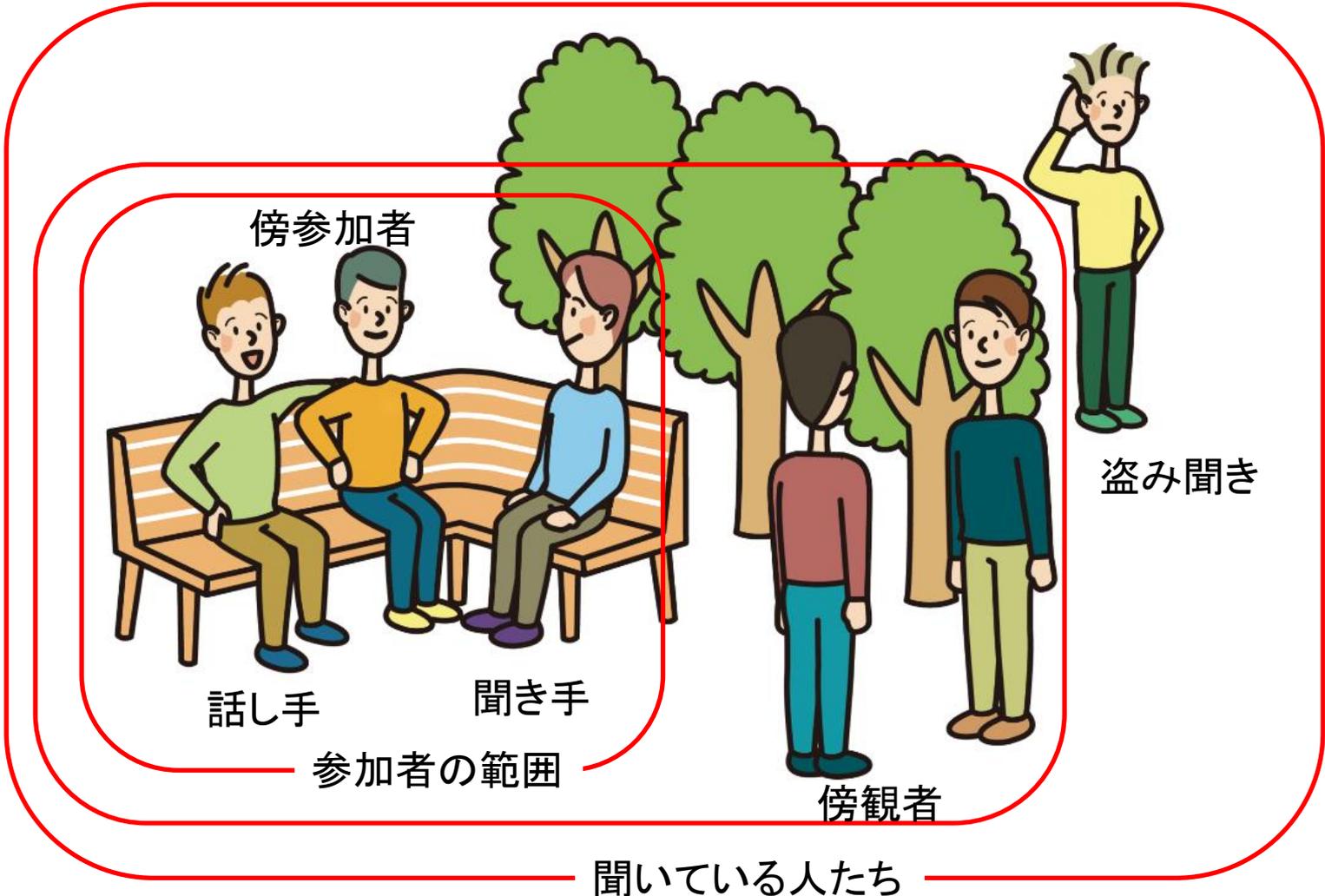
(3) 言語コミュニケーション

(4) 非言語コミュニケーション

(5) 認知プロセス

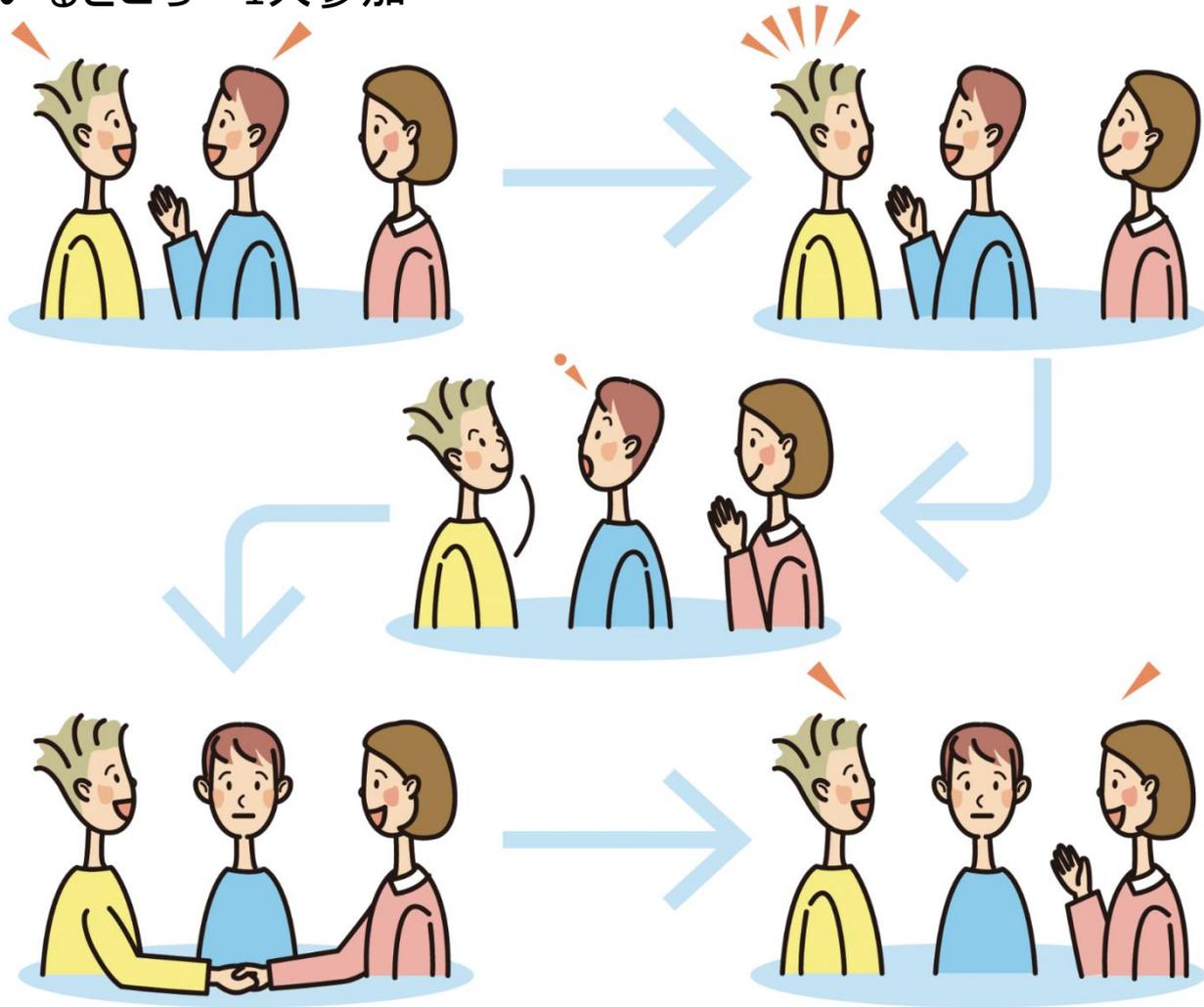


会話への参加の構造



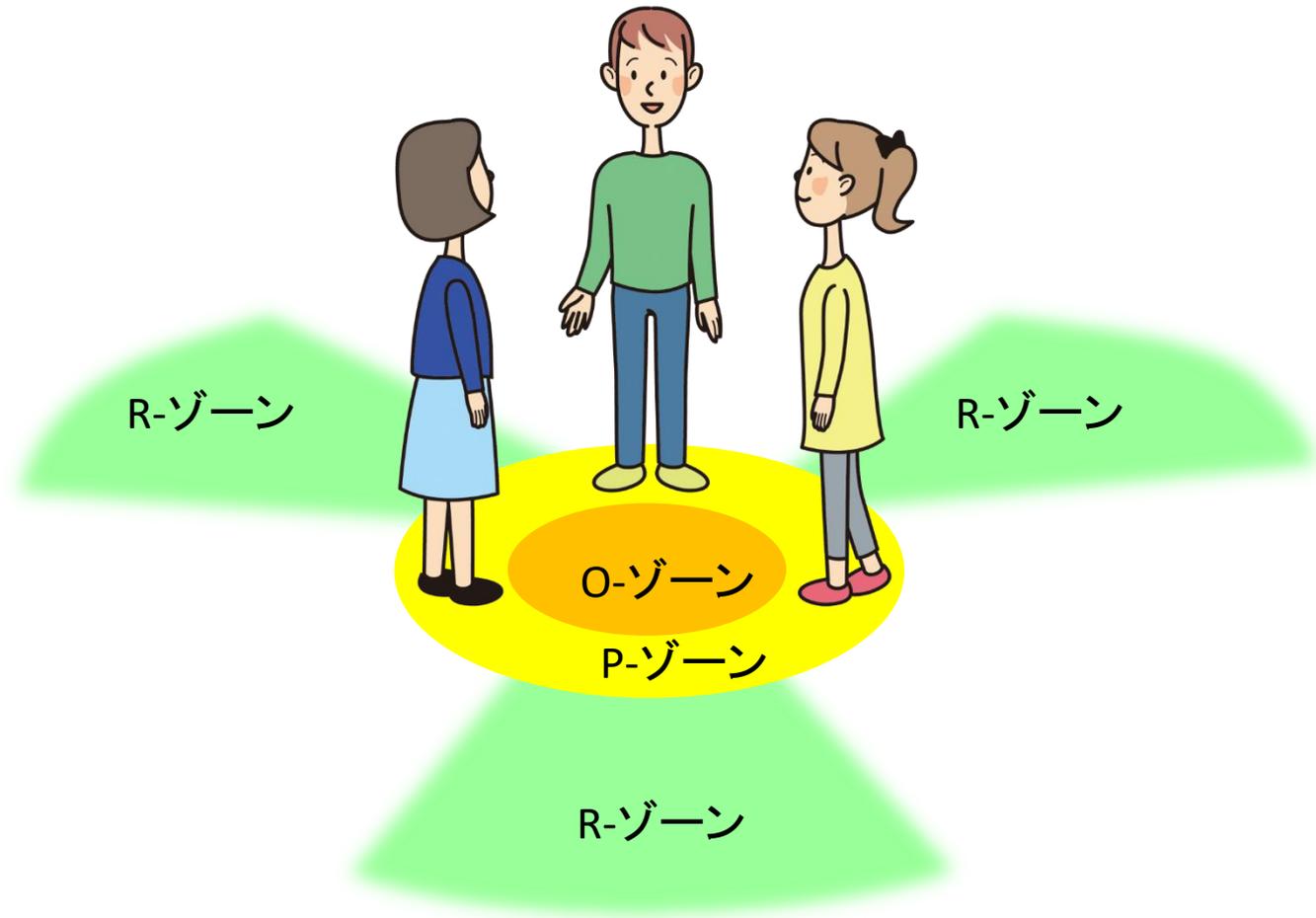
会話への参加手続き

2人が話しているところへ1人参加

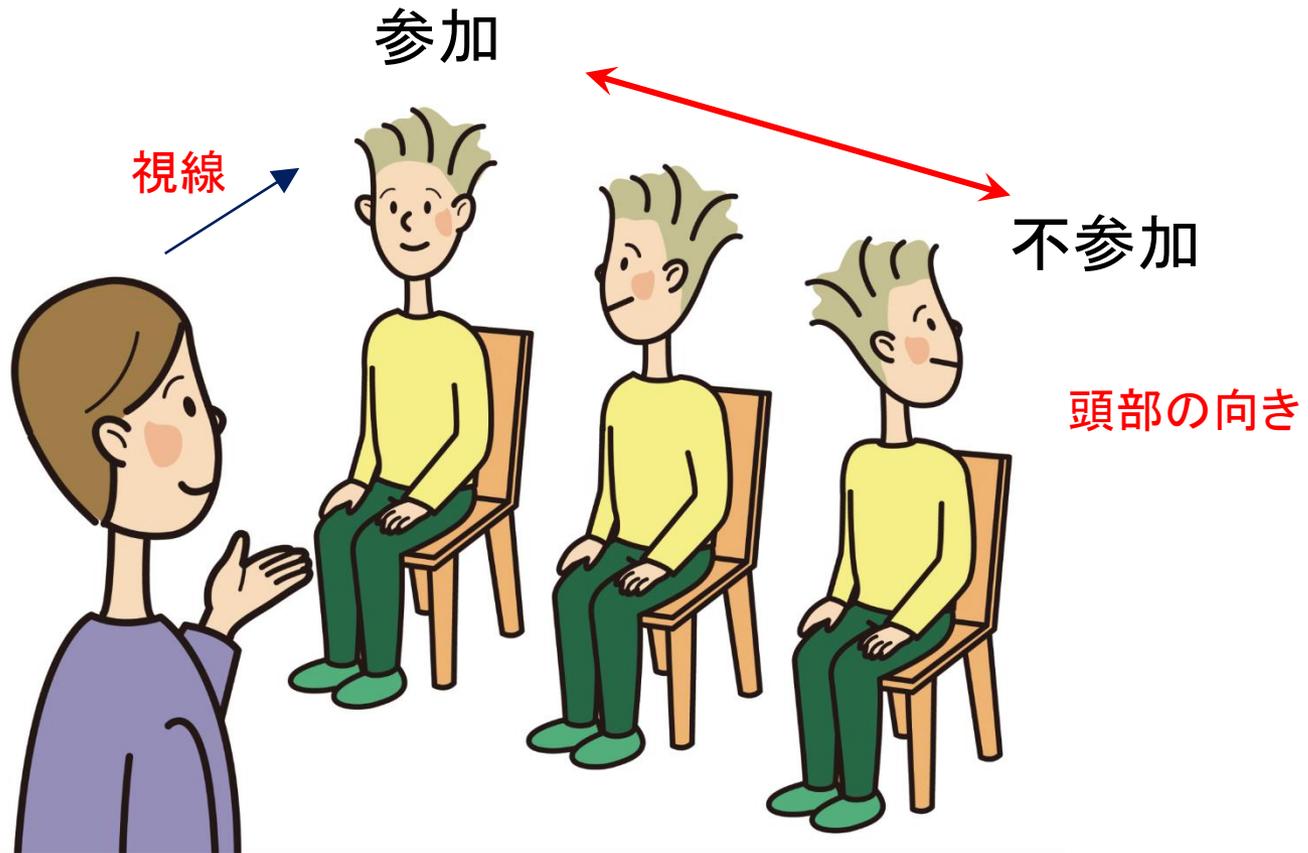


会話の空間的配置

F(acing)-フォーメーション



会話への参加態度の表示



言語使用 — レベル

A+B

レベル	Aの行動	Bの行動
4		提案-考慮
3		意味の生成と理解
2		社会信号のプレゼンと同定
1		誘導と注意

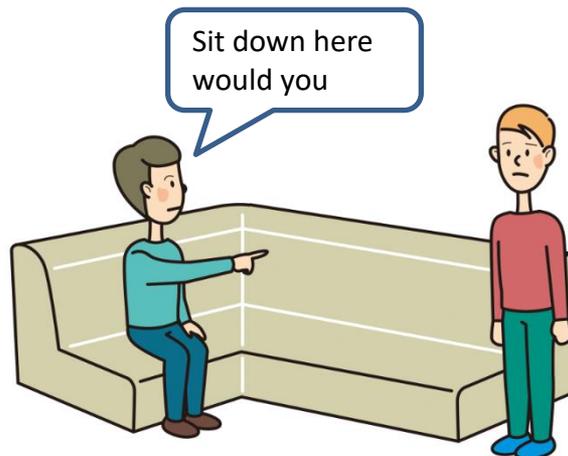
A

レベル	Aの行動
4	AはBに提案
3	AはBに依頼
2	AはBに社会的シグナルを送っている
1	AはBの知覚を誘導している

B

レベル	Bの行動
4	BはAの提案を考慮
3	BはAの依頼を認識
2	BはAの社会的シグナルを同定
1	BはAの知覚誘導に注意を向けている

Adam



Bart

Ostensible Invitation (「表向きの招待」)

Two Stanford University students, Ross and Cathy, have a date to study one evening, but Ross has a problem. Some old friends of his from Southern California have called to say they are arriving at Stanford that evening and want him to go to a basketball game at Berkeley, about an hour away, and he has accepted. He telephoned Cathy, describes the circumstances, explains he is going to the game, and says:

Ross: Do you want to come?

Cathy: That's all right. I'll pass.

理論的背景 — Clark (1996)

表向きの共同行為. 眼前の現実の共同行為を参照しつつ, 共同で「虚構」を演じる:

1. AとBが共同で「虚構を演じる」
(RossとCathyの両方がRossが虚構を演じていると解釈する).
2. コミュニケーション行為. 「共同で虚構を演じる」とは A_i が B_i を E に誠実に招いているというふりをしている
(RossとCathyの共同虚構演技ではRossがCathyを誠実にバスケットボール観戦に誘っている).
3. 対応づけ. 虚構の中の A_i と B_i はそれぞれ実世界の A と B に対応する.
(共同虚構のなかのRossとCathyは実世界のRossとCathyに対応).
4. 対照. A は A と B の両方がこの対照を認識し, A がなぜそのようなことをしたか, 理由を共有する.
(「Cathyと一緒に来てほしいという気持ちはあるが, 今回は来てほしくない」という気持ちをRossは伝え, Cathyも状況が違えばRossは自分を誘っただろうと察した).
5. 両義性. もし本意を訊ねられたら A は自分が B にイベント E に心から来てほしいとも, 来てほしくないとも言えない
(「本当に来てほしいんだ」というのは正直ではない. 「来てほしくないんだ」と公的に認めるのも不本意).
6. 共謀. A は B が虚構に従って反応してくれることを期待している.
(Cathyが協調的であれば, Rossの招待を辞退するだろう).

ペルシャ式価格交渉



Ostensible offer

- C: Hi. How are you?
S: Hi. Welcome to this shop.
C: Thank you. How much are these handicrafts here?
S: Oh, these are called Khaatam .The big ones are 120, [middle sized ones for] 80 tomans and [small ones are] 50 tomans.
C: Um, this is Termeh, right?
S: Yes!
C: What about the Termeh?
S: Actually we have different types of Termeh. We have the red ones there starts from 50 and the brown ones start from 150 and these special ones starts from 300.
C: You know what? I am about to marry, and I am looking for something very nice to decorate my table. Its color is brown. So, what do you suggest?
S: Oh! Congratulations for your marriage!
C: Thank you.
S: We usually go for the red ones for brown tables, but because you are a great customer and you have good taste, probably you would go for this one, this is very beautiful and it is from a very famous designer.

C: Oh, OK. How much is this one?

S: This one? It worth nothing, you can have it [for free].

C: Haha, well, please...

S: The price is 500 tomans.

C: Oh! 500 tomans? It is very expensive? Do you have anything cheaper?

S: This is from a very good brand, we have the no-name ones, you can see up there, and they are cheaper.

C: But the colors of those do not match my table. I would love to buy this if you give me a very good discount. You know, I am about to marry, marriage itself costs a lot, so it would be nice if you would do that.

S: It is your marriage, you should treat us! ... Because it is a happy event I can give it for 450.

C: 450 is still a little bit expensive. Why not we make a deal for 400?

S: 400 is too low, but since it is my first sell of the day, and you are getting married, and everything looks very great I can give it for 430, but you know, I haven't sold it less than 450 so far.

C: You have been so nice so far, why not getting rid of that 30 and make it round for 400. I am sure you are making lots of purchases today with other customers and you can compensate for that. And I'm going to be a frequent customer from now on, I will come to your shop again.

S: We would love to have you again, but the price is somehow at its margin. But, I can guarantee it for one year for you, and I can give it to you for 420, final! This is very good brand, you would never regret it, you would love it, you can have my word that it works for you perfectly and for one year if anything happens to that you can bring it to us and we can fix it for you for free. Ok, I'll write 420 for you.

C: Ok, thank you, you did me a good favor. Thanks a lot.

S: Oh please. We enjoy you being here and please come back soon.

C: Yeah I will. I'm actually going to do more purchases from now on from your shop. I had a good experience.

S: Sure! Have a good time.

ペルシャ式価格交渉

無料の提供にこころから感謝している



無料にすると誠実に
オファー.

Sensible Offer (表向きのおffer)

レイヤ2: 店主のイメージは真のおfferを行い、客のイメージは心から感謝している.

ポジティブなムードの相互認識

Joint
Pretence

誠意を示すための
offerだと分かったから、
辞退.



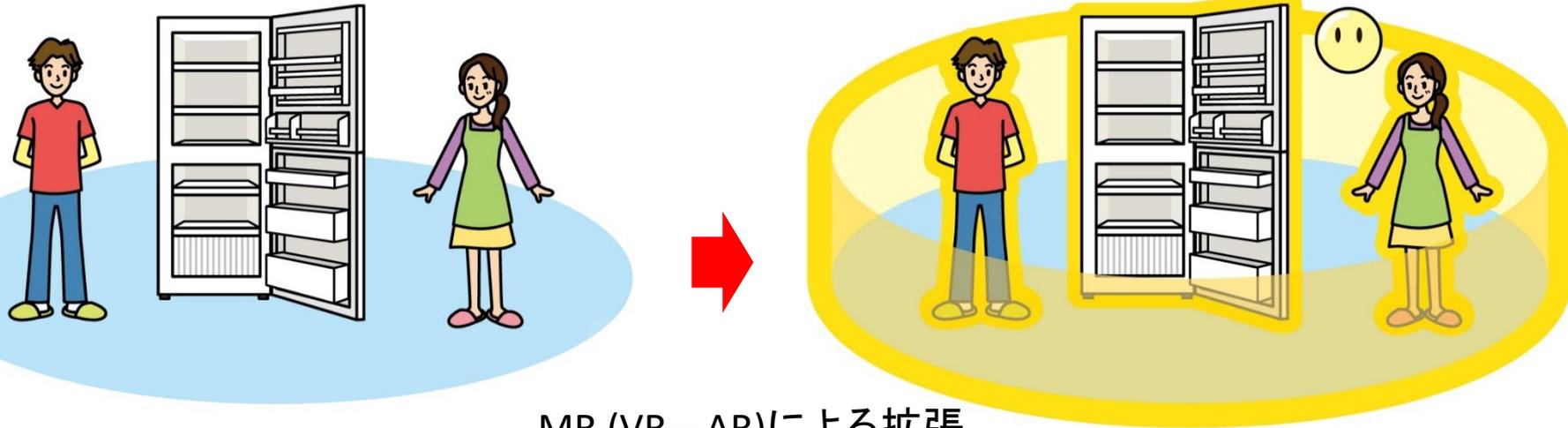
このofferはリアルで
はなく、誠意を示すため
のもの.

レイヤ1: 店主は表向きのおfferをし、客は辞退している.

社会的価値のバランスの達成



アプローチ 1: 日常生活空間を楽しくする



日常生活空間

MR (VR-AR)による拡張

ICIE — 没入型インタラクション環境

会話を取りまく環境の生成

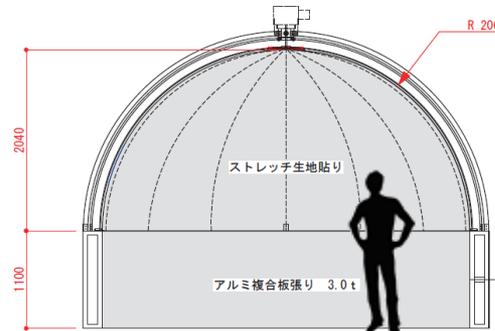


<https://www.youtube.com/watch?v=V-9SKpcMrzk>

インタラクティブドーム

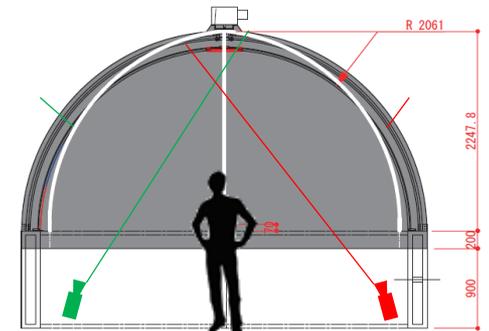


外観



ドーム生地張込み図
上：生地張り
下：アルミ複合板
すき間：オーバーラップ

構造



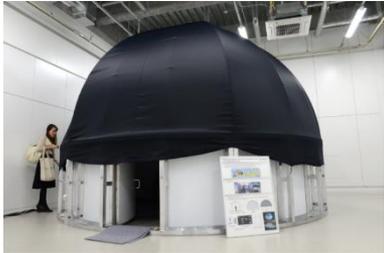
暗幕生地張込み図

プロジェクション



内部の様子

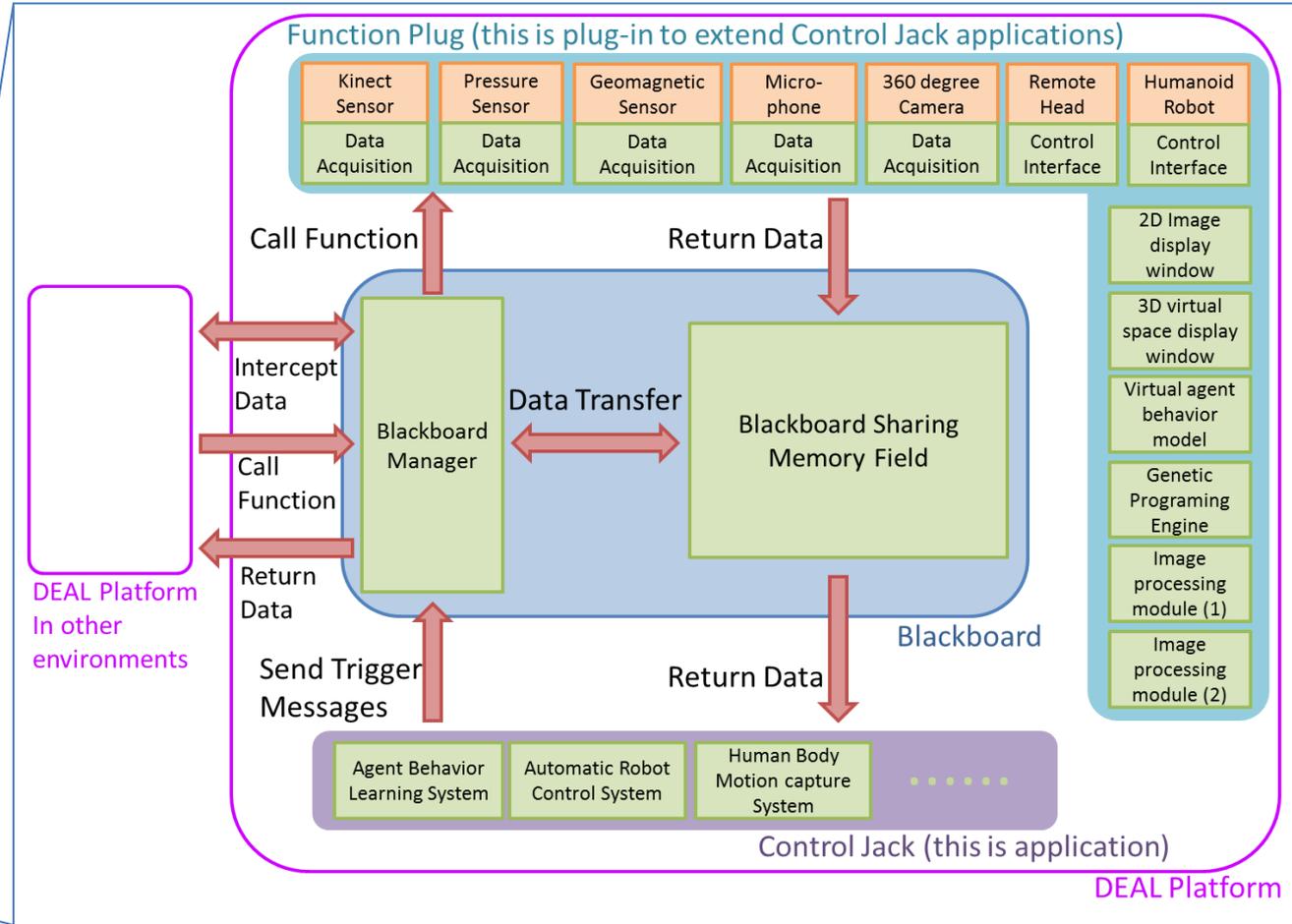
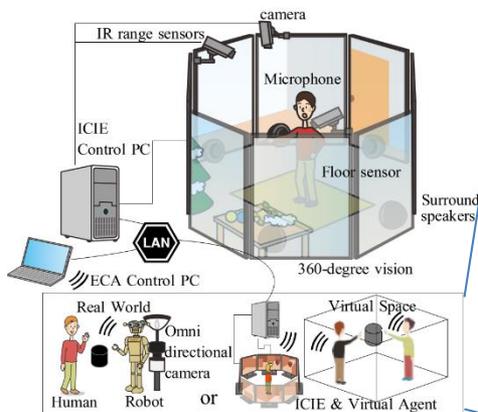
DEAL — 没入型会話環境構築プラットフォーム



インタラクティブドーム



ICIE



GECAを拡張

Unityと複数個のICIEによる仮想会話環境

(例) ボール当てゲーム : 2個のICIEと2人のプレイヤー+AIプレイヤー



プレイヤー #1 in ICIE #1



赤色の帽子をかぶったキャラクターとして表示



プレイヤー #2 in ICIE #2



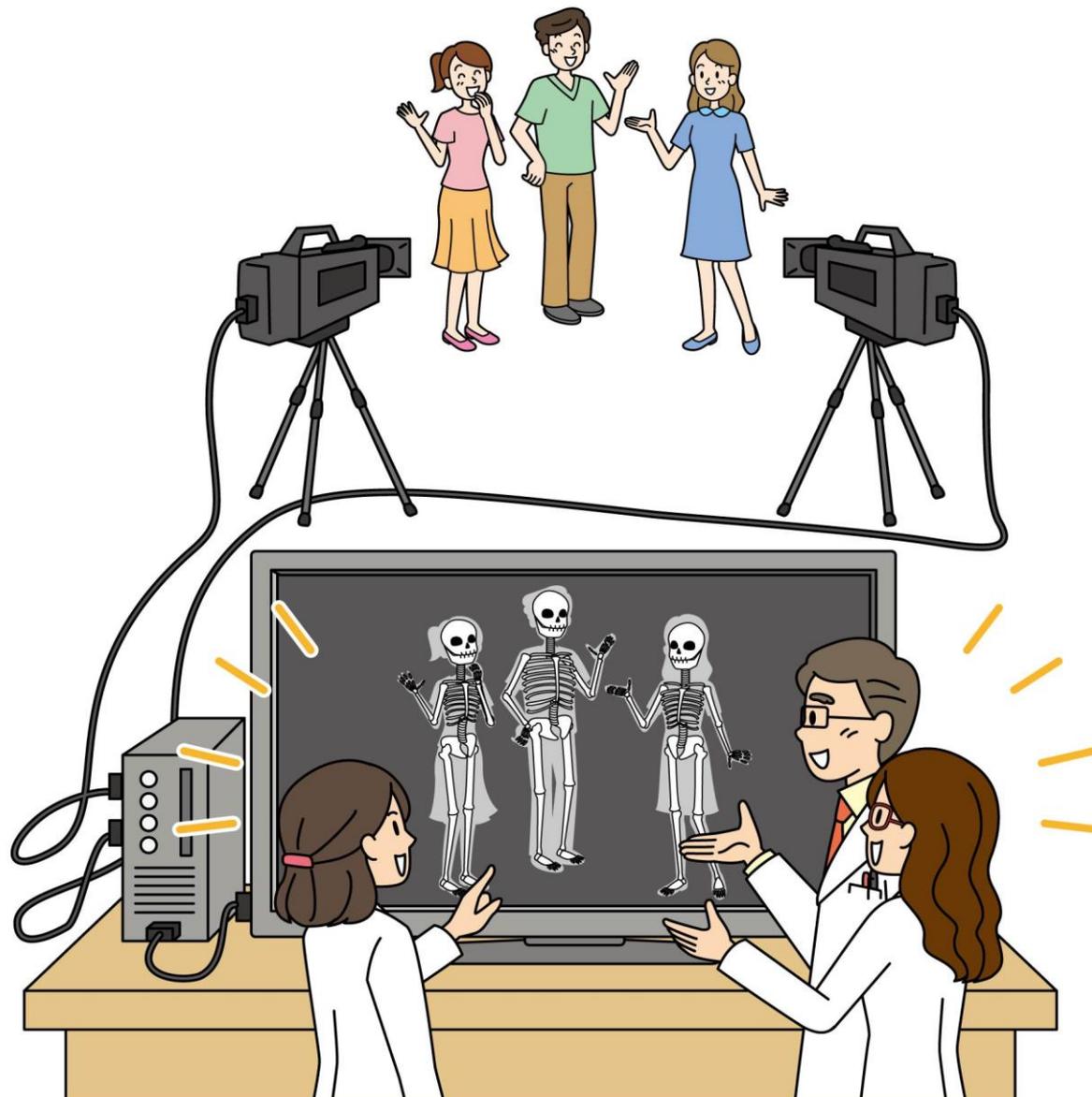
緑色の帽子をかぶったキャラクターとして表示

プレイヤー #3 (AIプレイヤー)



青色の帽子をかぶったキャラクターとして表示

アプローチ 2: 計測に基づく定量的な理解



会話計測環境



(a) the whole of the group



(b) the right side of the facilitator

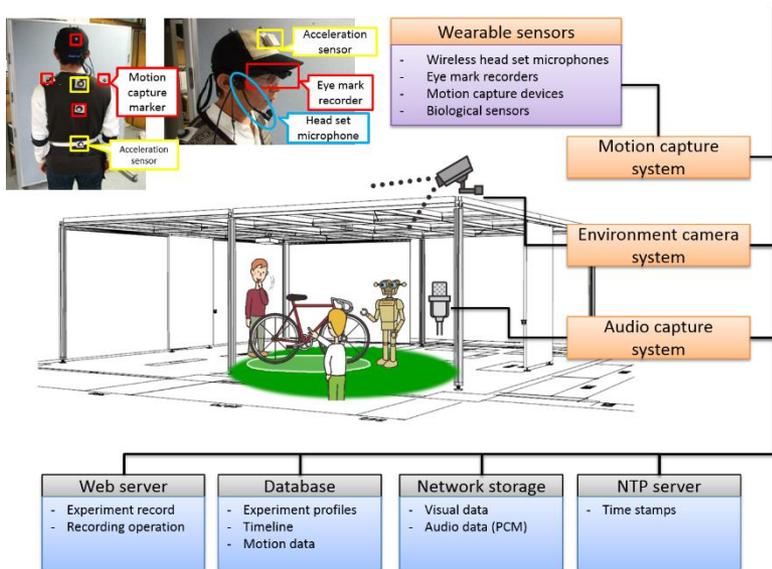


(c) the left side of the facilitator

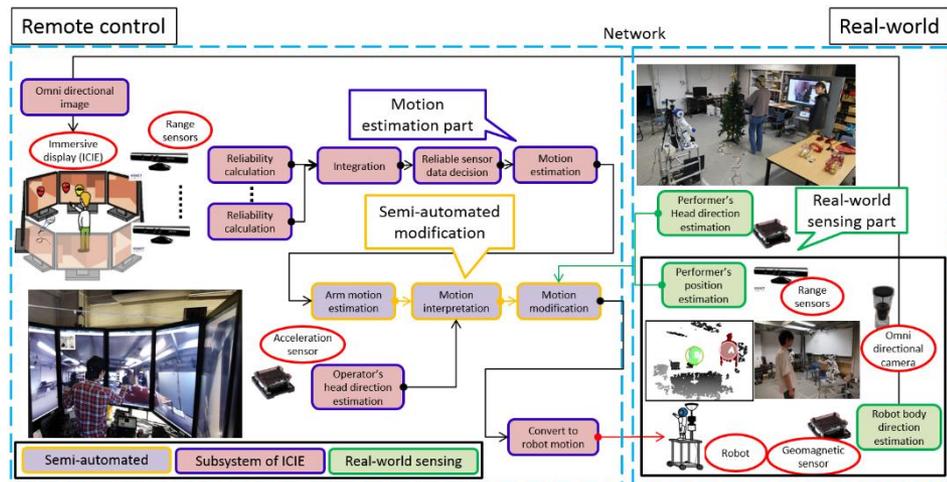


(d) the facilitator face

固定された配置での会話計測



参加者が自由に動き回れる状況での会話計測

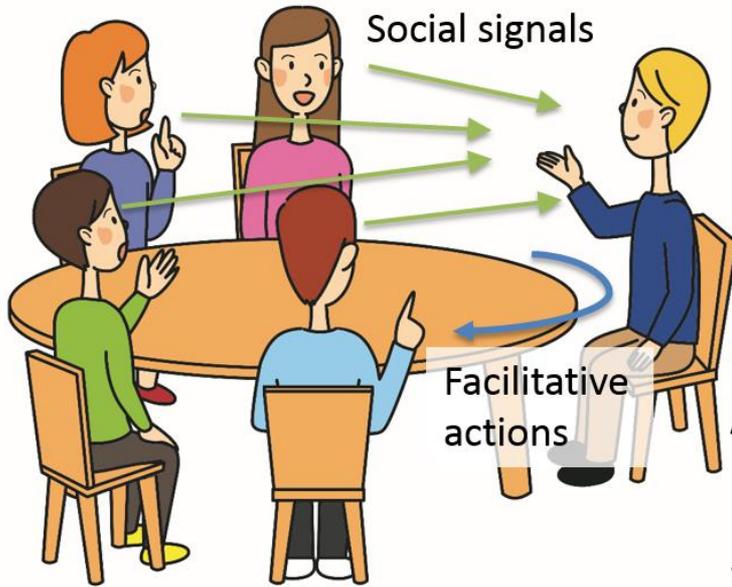


混合空間での会話計測



オープンスペースでの計測とキャプチャ

生理指標を用いたメンタルプロセスの推定



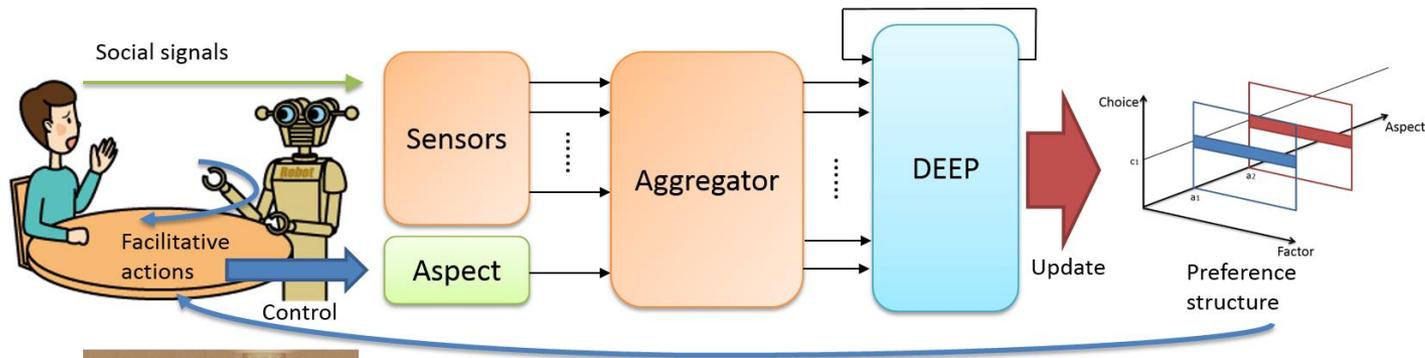
集中度



習熟度



意図は動的に変化する



動的に変化する意図を追跡

志向姿勢の誘発

「ロボットは人のように意図を持ち更新していく」

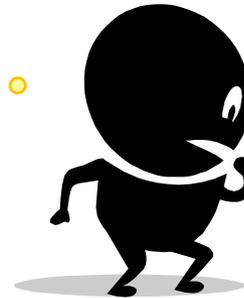
志向姿勢

「ロボットは決められた通りに動くだけ」

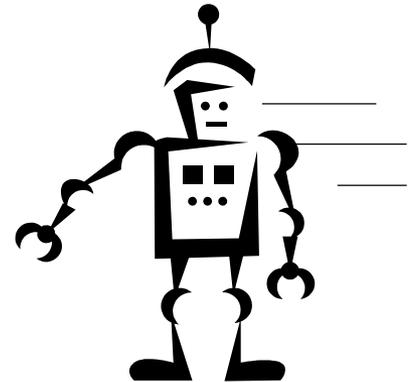
設計姿勢

「ロボットは物体だ」

物理姿勢

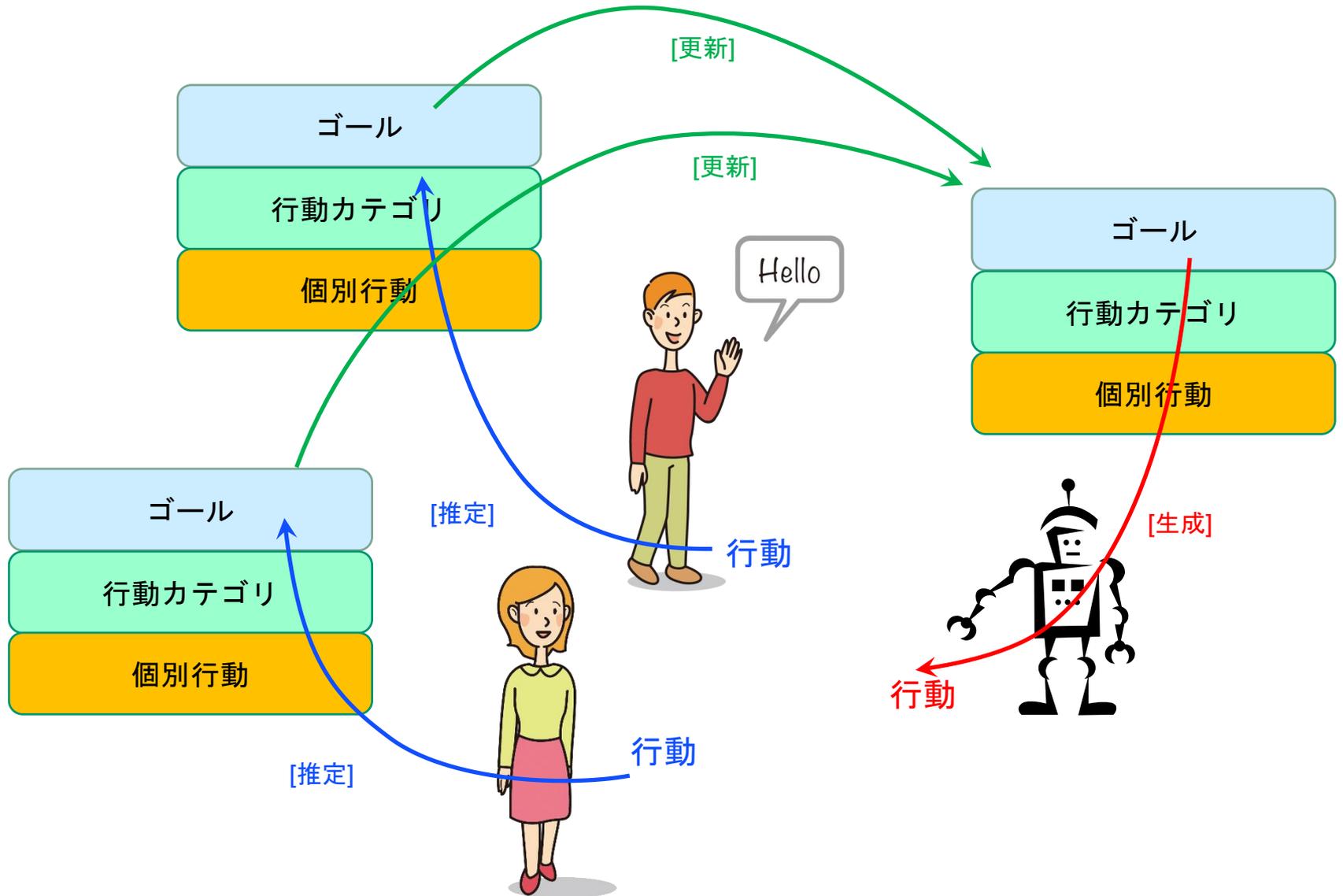


人



ロボット

循環的意図更新



随伴行動

Self-agentとの一体感を誘発したい

仮説：随伴行動生成規則



仮説：エージェントが随伴的な反応（働きかけに関連があると認識できる反応）を返すことで、エージェントがどうしてもそのような反応をするのかに関する関心が高まる

・ポイントをゲット



〈条件〉

LF/HF>20.0
SCR>17.0



汗をぬぐう

・相手プレイヤーをヒット



〈条件〉

LF/HF>20.0



こぶしを振り上げる

・ノックアウトされる



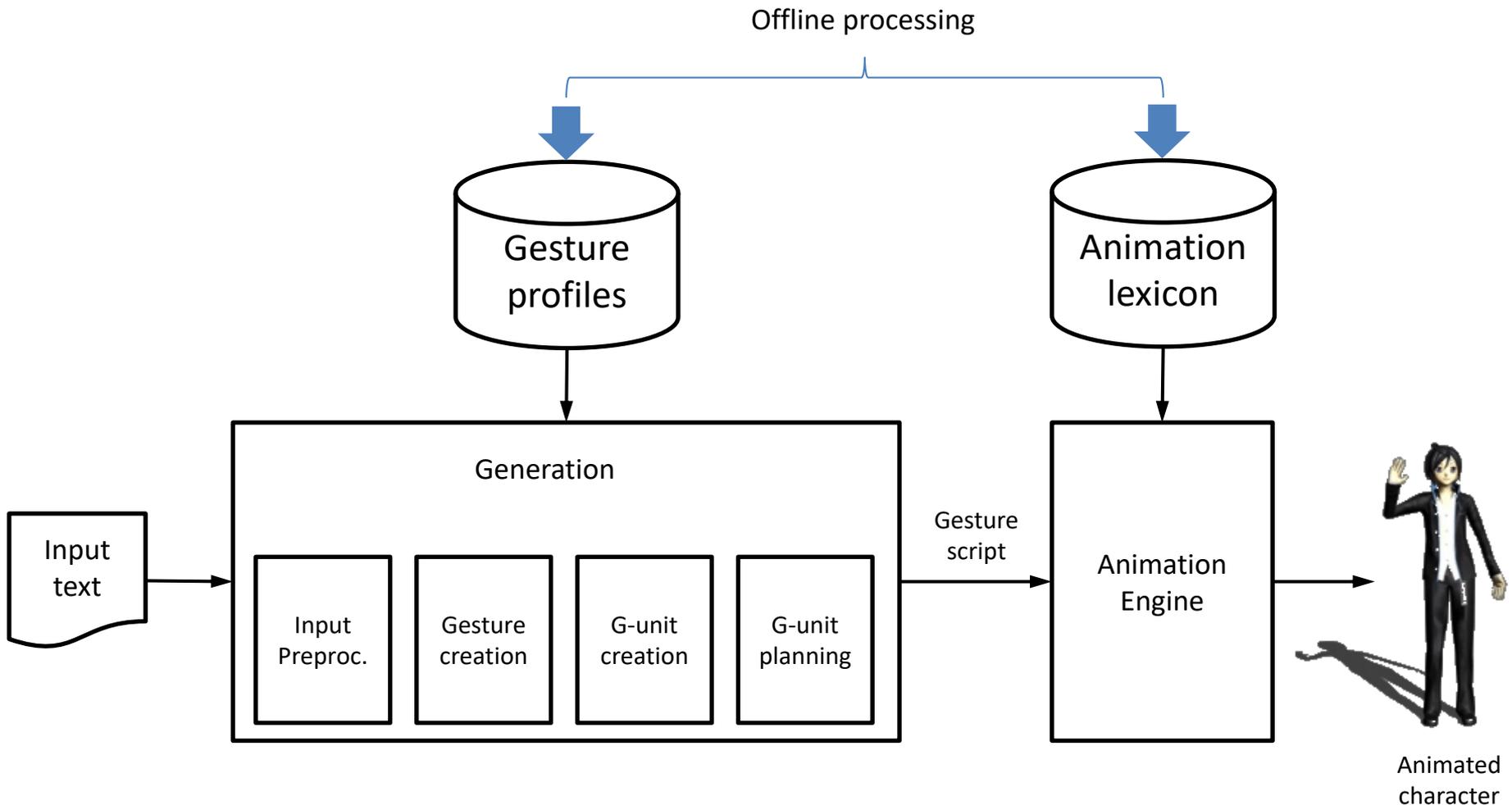
〈条件〉

SCR>17.0

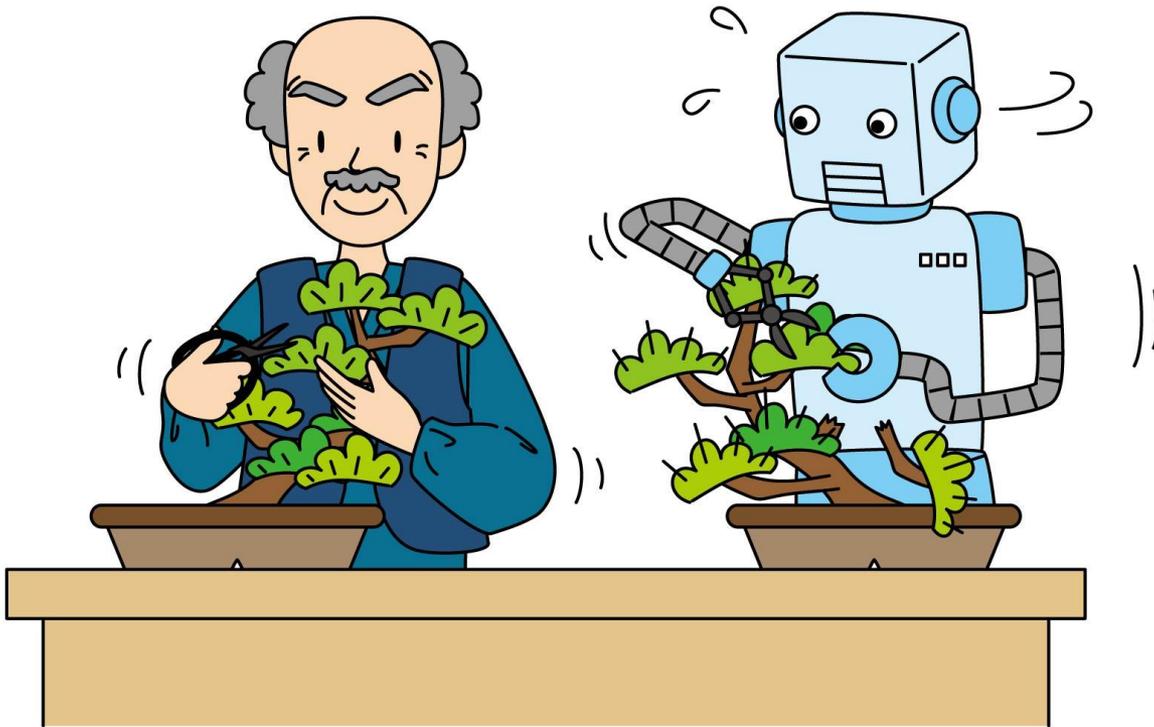


地団太を踏む

コーパスからの非言語行動生成

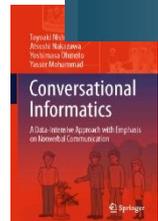
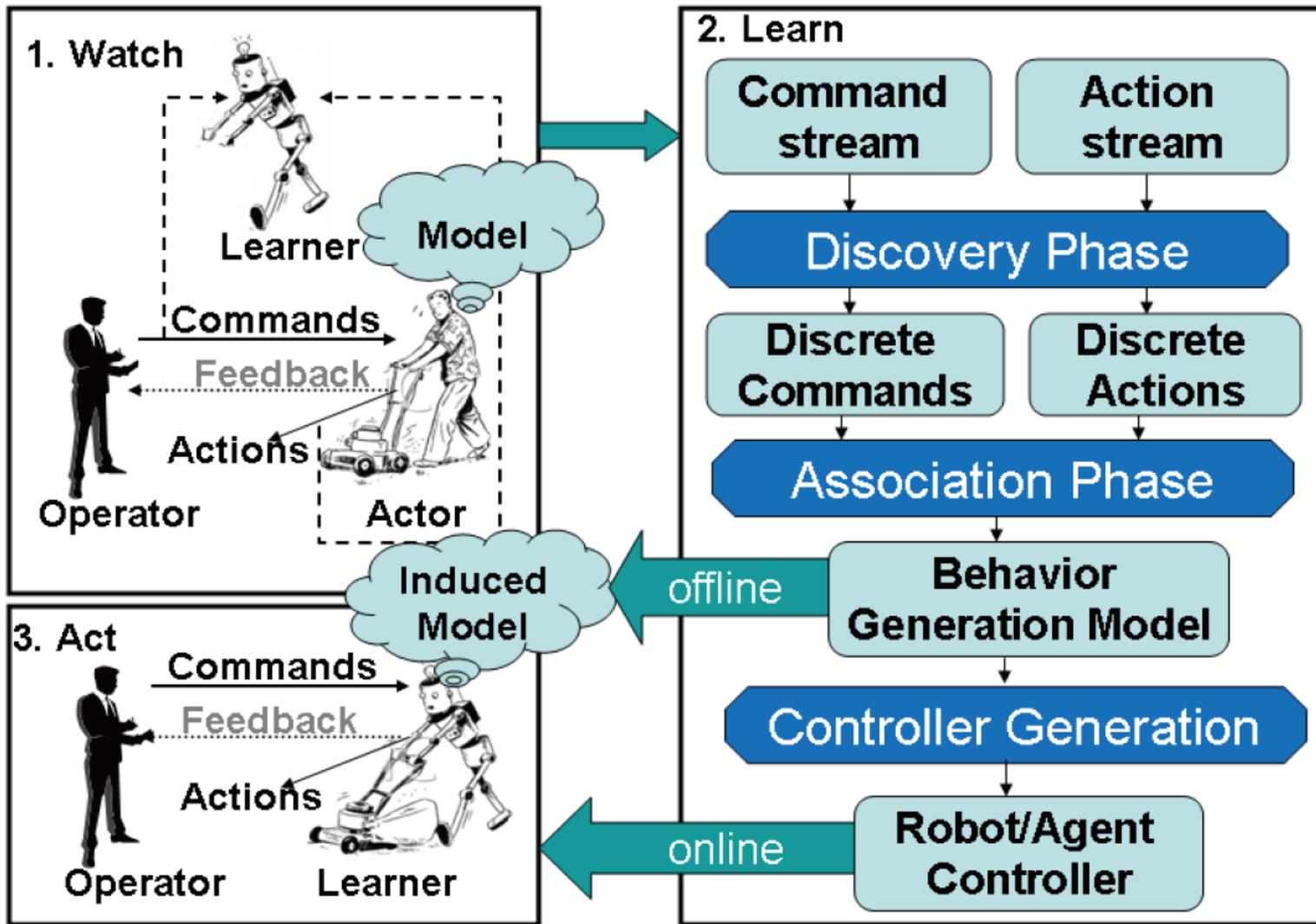


アプローチ3: 模倣学習 — データからの行動生成

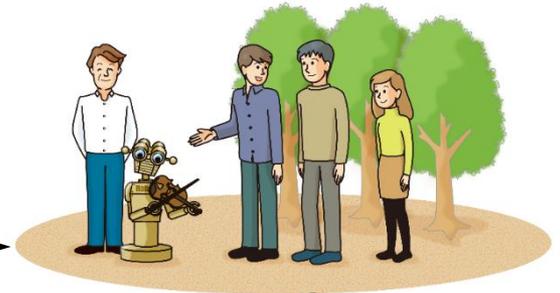


人間の状況依存のふるまいを
模倣するロボット

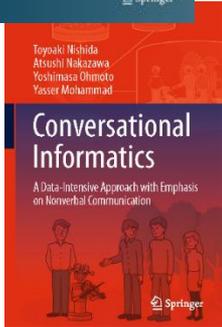
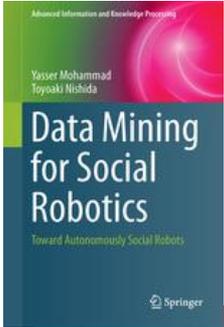
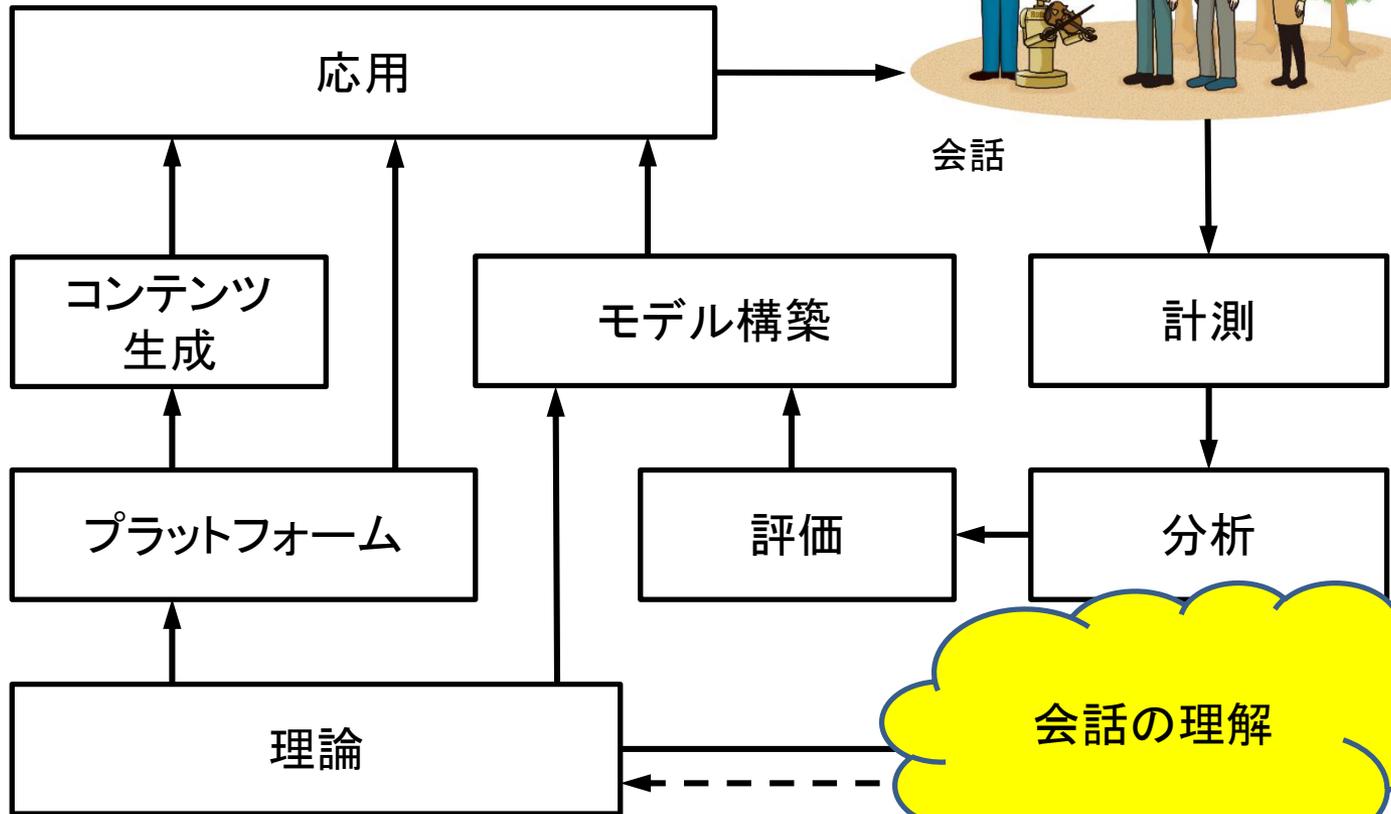
模倣学習 — データからの行動生成



会話情報学



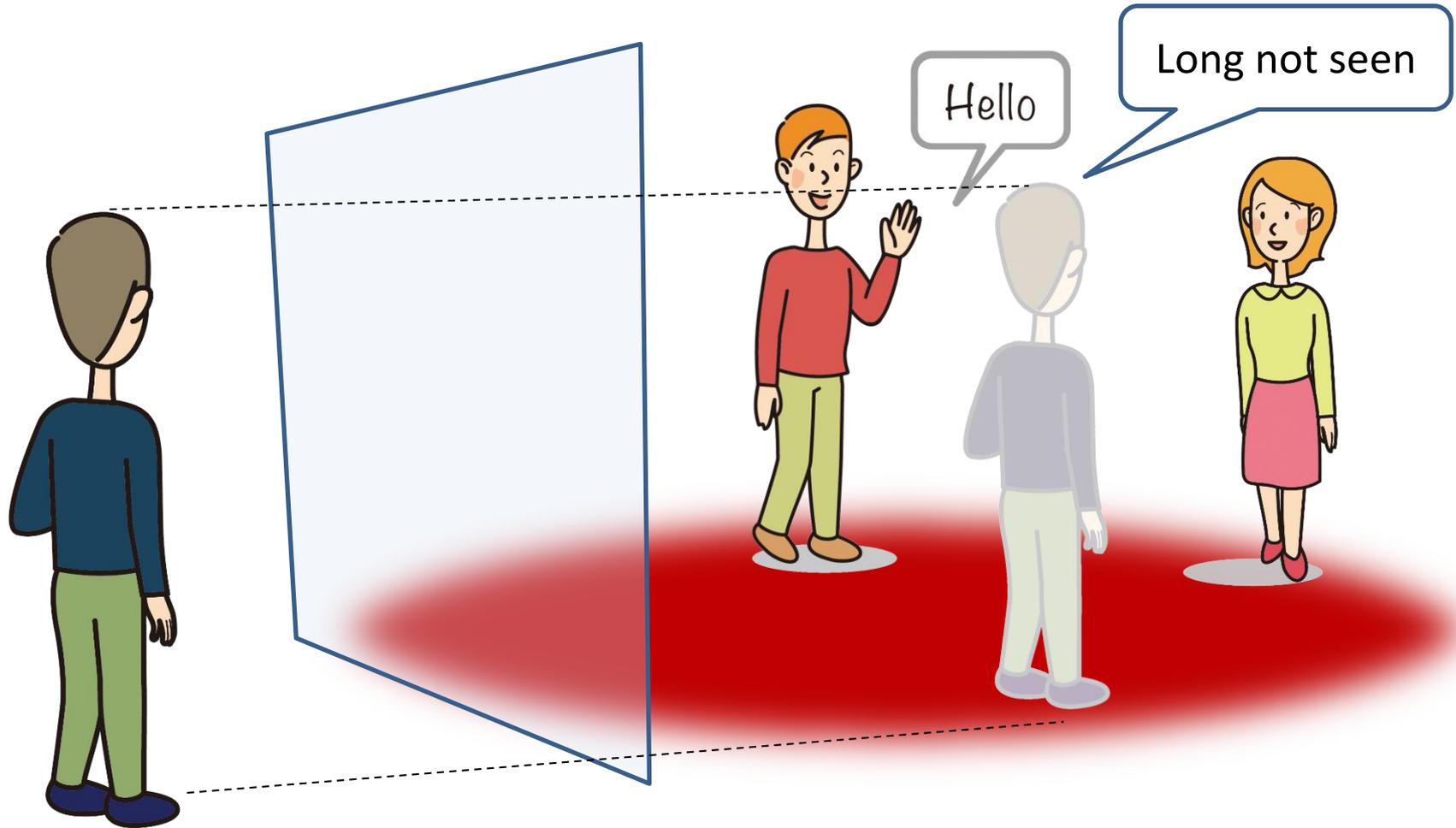
会話



限界

存在感のない会話エージェント

Façade — インタラクティブドラマ



入力に応じて動的にドラマコンポーネントを組み立てる

限界

コンテンツ（インタラクティブドラマ）生成の労力大

共有基盤(Common ground)

文化的背景, 背景知識, 会話の文脈, 参加者の知識・目的・興味・知覚・情動等



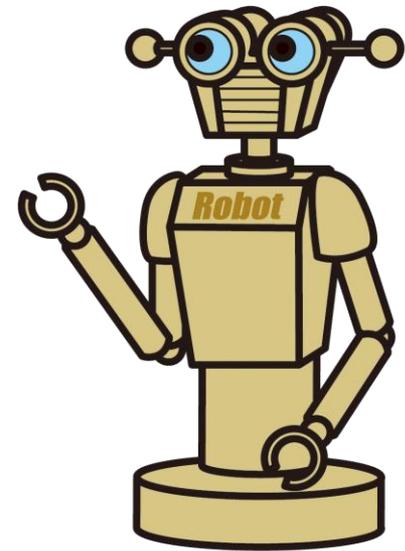
参加者たちが
共同構築し,
管理する心
的情景

相乗的發展

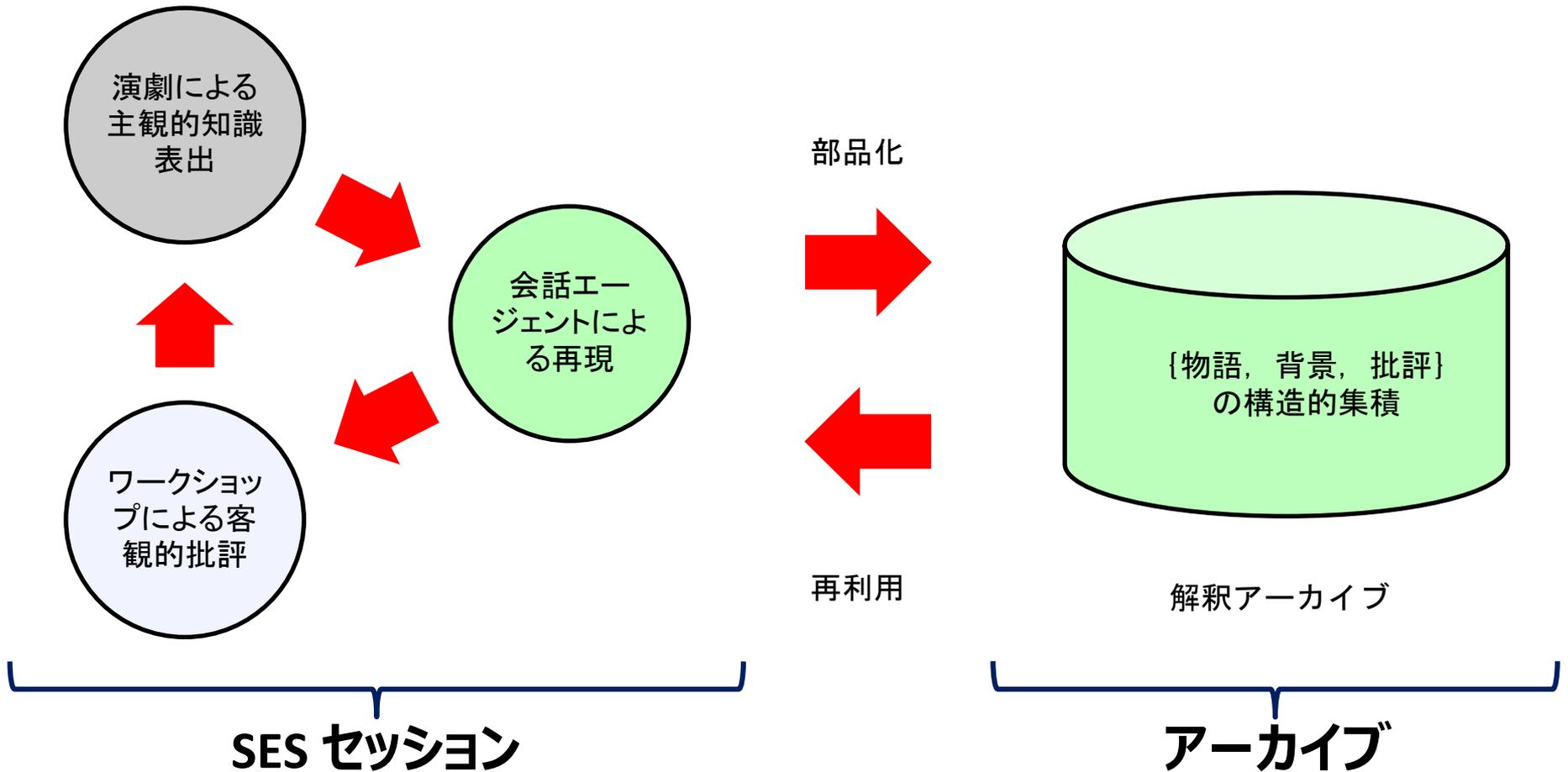
会話の物理的状況

心の世界を含めた背景
(共有基盤)を人間と人
工知能の間に確立する

構成的考証法: 身体も使って伝える



構成的考証法の枠組み



構成的考証法 — 適用例

例えば、忠臣蔵松の大廊下シーン

1701年3月14日(4月21日)巳の下一刻(午前11時半過ぎ)、江戸城本丸御殿の大広間から白書院へとつながる松之大廊下で、浅野長矩は「此間の遺恨、覚えたるか」と言いながら背後から吉良義央を小刀で斬りつけた。吉良が振り返ったので小刀は吉良の眉の上を傷つけた。そして吉良が向きかえって逃げるところを追いかけ、また2度斬りつけた。すぐさま、浅野はその場に居合わせた梶川頼照らに取り押さえられ、...

[Wikipedia]



構成的考証法 — 演劇フェーズ



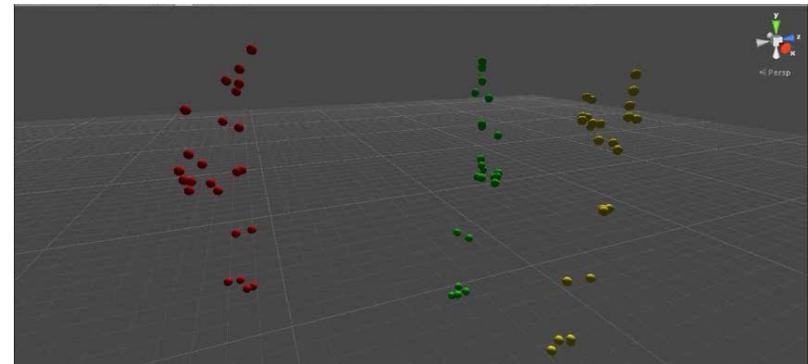
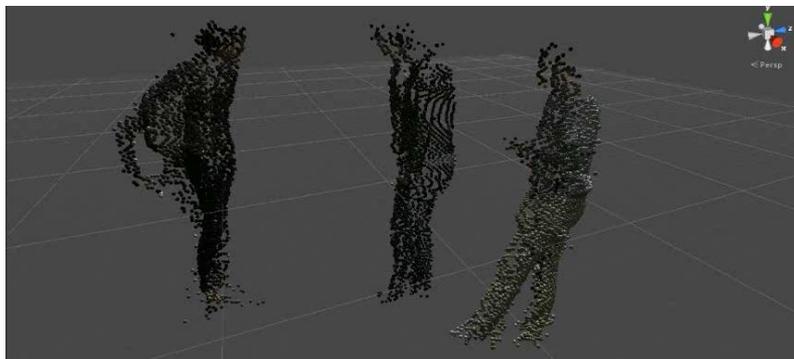
構成的考証法 — 劇をキャプチャ



User Selection: Select 55:011



User Selection: Select 55:001



構成的考証法 — 討論フェーズ

3人称視点

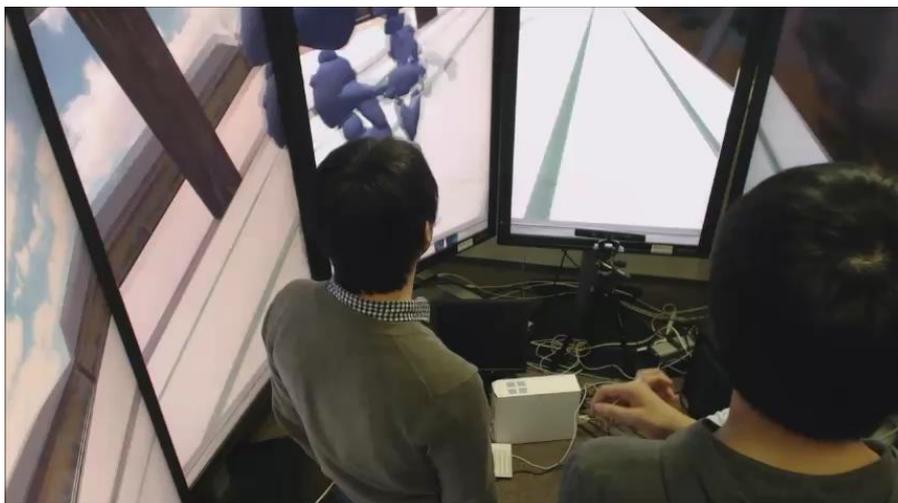


1人称視点

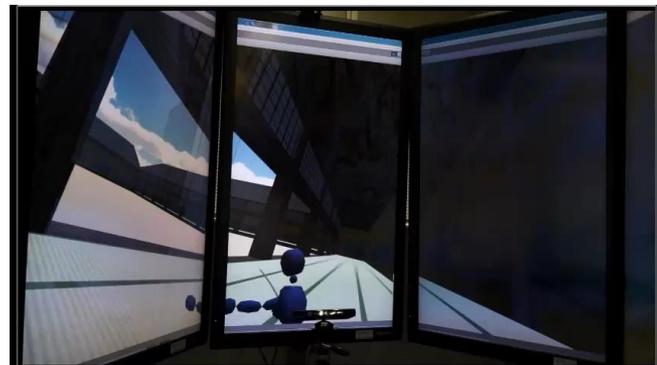
浅野



討論



吉良



梶川

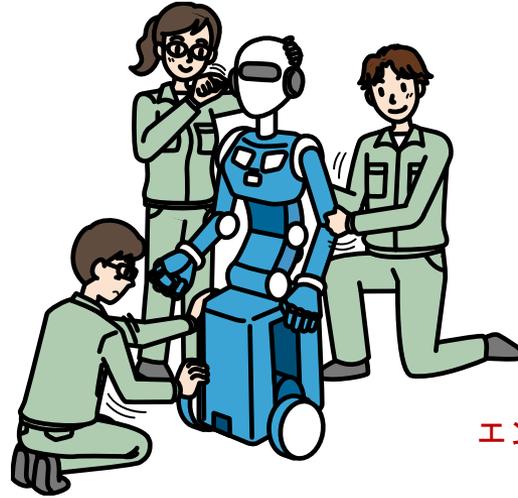


様々なステークホルダーの間の会話を支援



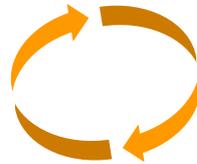
デザイナー

デザインステージ



エンジニア

製造ステージ



エンドユーザ

所有者

トレーナー

アドバイザー

評価者

運用ステージ

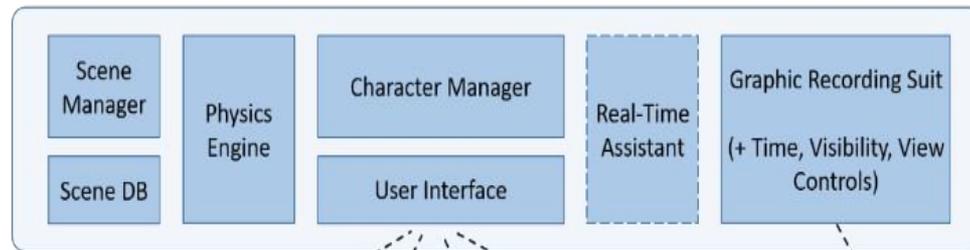
AIに媒介されたコミュニケーション

1. 人とAIのコミュニケーションの共有基盤
2. 共有基盤の定常的な更新としての会話
3. 会話を可視化する
4. 会話内容映像化支援 (Conversation envisioner)

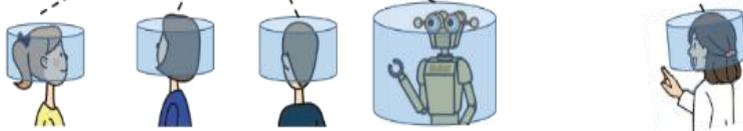


共有基盤の
定常的な
更新としての
会話

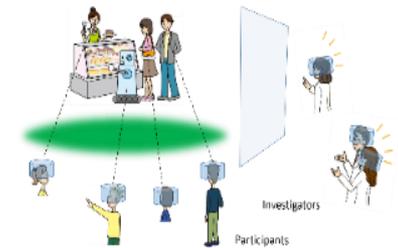
Conversation envisioner



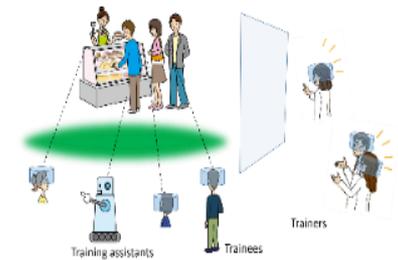
Motion Capture, Mic



分析



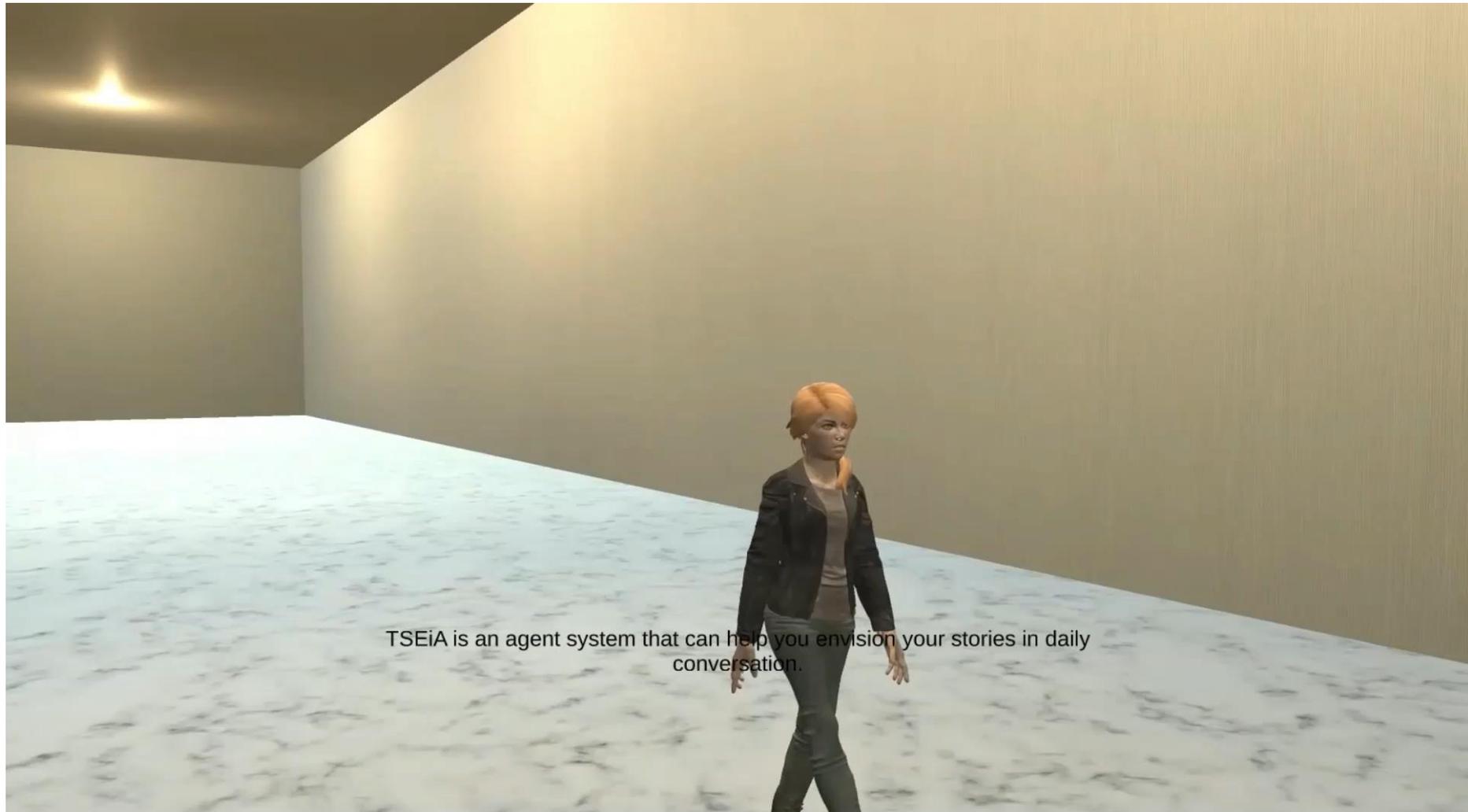
トレーニング



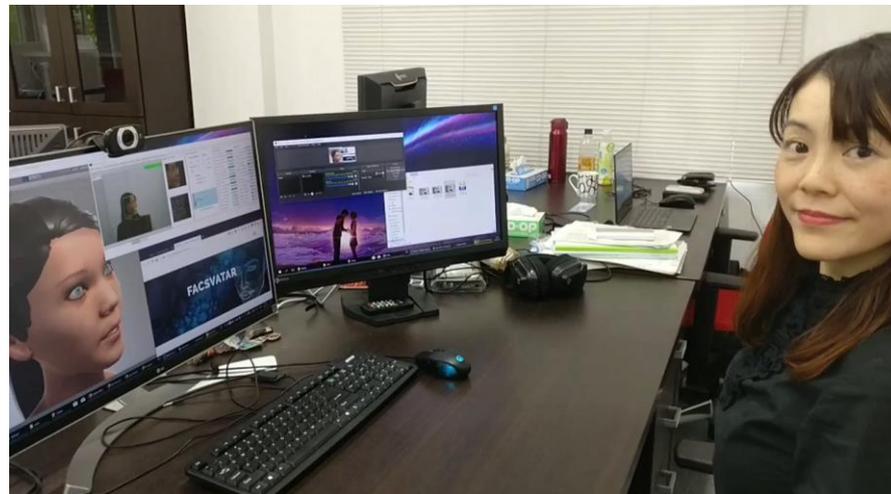
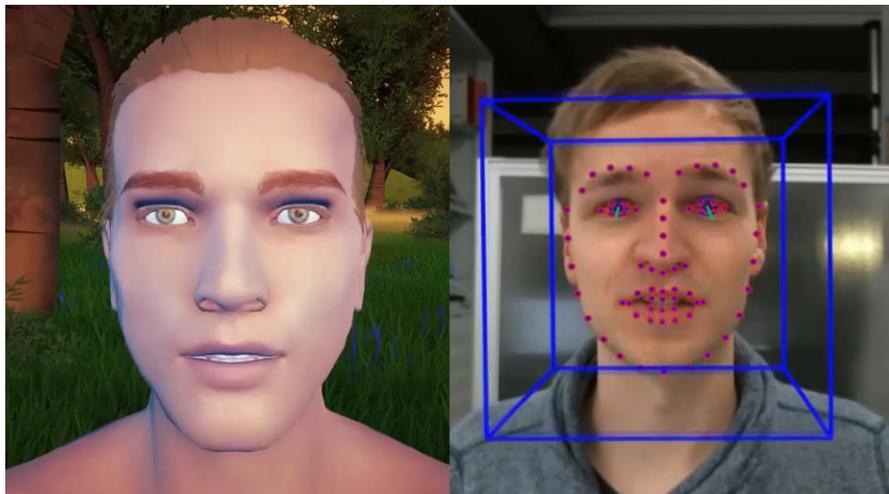
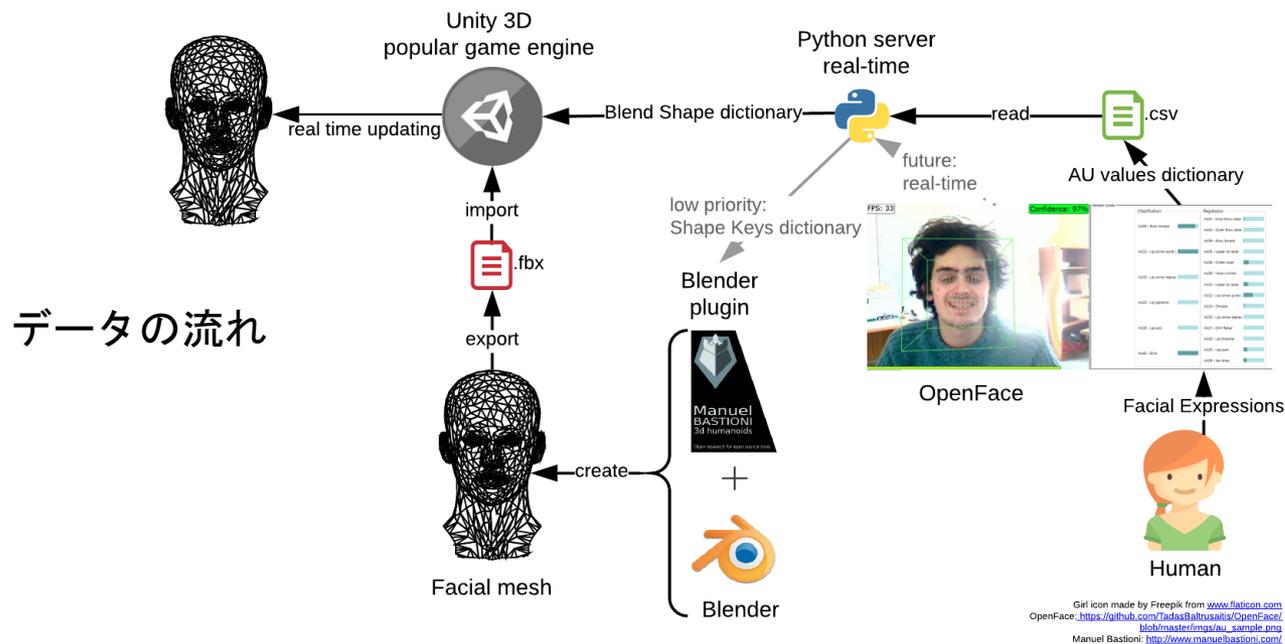
支援



TSEiA (会話内容映像化支援エージェント, 開発中)



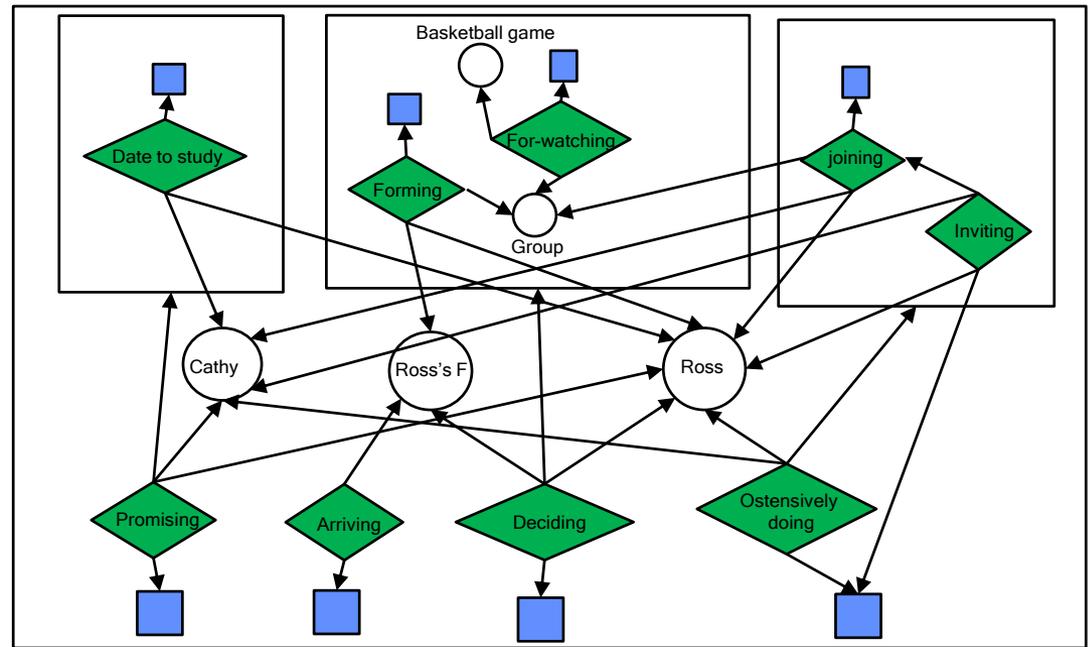
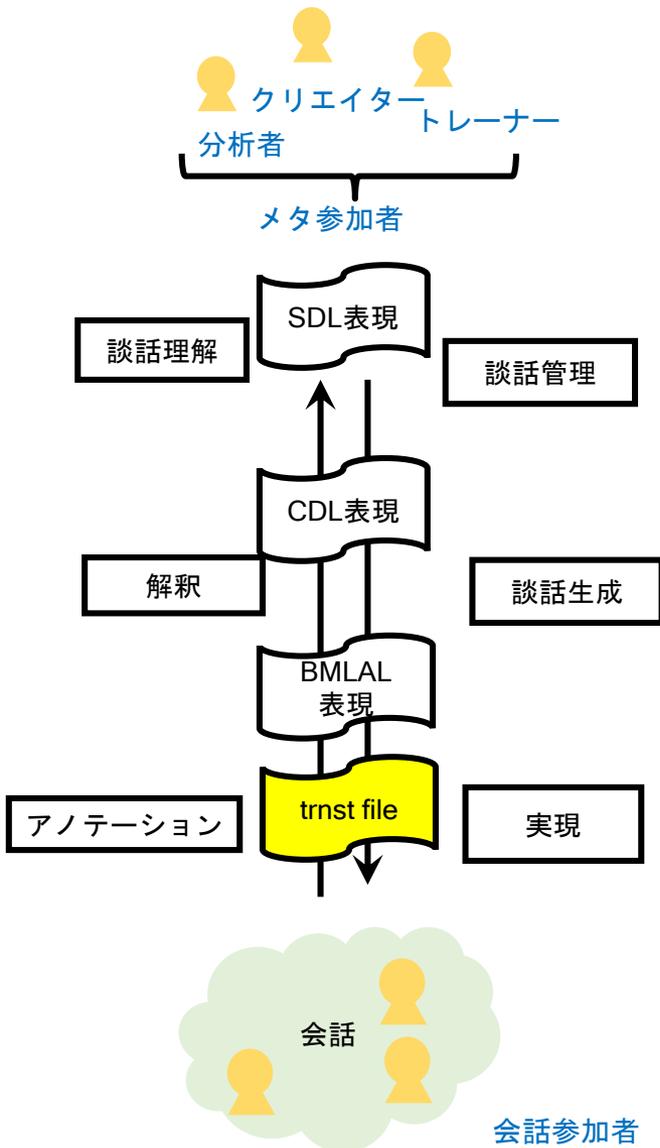
FACSを中間表現とする顔表情認識・生成(オープンソース)



顔表情コミュニケーションのための汎用研究基盤

[<https://github.com/NumesSanguis/FACSVatar>]

会話の構造的記述



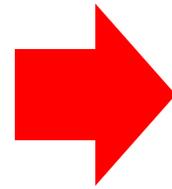
- SDL (Story Description Language : 談話構造の記述)
 - Discourse units {discourse, index, association, referents}
 - Story structure
 - Layers for discourse
 - Hypothetical objects and layers
 - No variables (ontological promiscuity)
 - Index mechanism (differentiate from logic)
- CDL (Conversation Description Language : 談話構造の操作)
 - Update to SDL
 - Cognitive commands (+, +p, =)
- BMLAL (Behavior Markup Language (BML)-like Annotation Language)
 - BML extended to generic behaviors (beyond speech acts)

次のステップ: 人と共に進化する会話環境

人

会話基盤

ストーリー



超会話：
伝統的な会話を超越した
インタラクション

相互作用しながら発展

会話エージェント

未来の人間社会のための会話情報学

- 未来社会の生活
 - 名誉や富ではなく、生きがいのために生きていく
 - 精神世界の爆発的成長
 - 生きがい構築の支援が必要
 - 自分流の脳の使い方を見つける。苦難の道。
 - つながってほしい。相互に学びあう。
- 会話情報学の役割
 - 自分の人生ストーリーの構築と共有支援
 - 納得できるストーリー作り
 - 人生のストーリーの共有支援。
 - 虚構の面白さの追求の支援。
 - 伝統的な会話を超える

➡ みんなのAI

まとめ

1. 人と人, 人とAIの間の主要コミュニケーションメディアとしての会話
2. 会話システムの研究開発の流れ
3. 会話情報学 ver1 会話エージェント, 会話コンテンツ, 会話環境, 会話理解
4. 学際研究の重要性: 研究者は, 会話という現象を深く理解する必要
5. 会話情報学 ver2 会話環境, 計測による理解, 機械学習での一般化
6. 会話環境～エージェント～コンテンツの存在感, 構築コスト
7. 会話情報学 ver3に向けて: 共有基盤, 構成的考証法, AIに媒介されたコミュニケーション
8. 人とともに発展する会話環境～エージェント～コンテンツ→みんなのAI

より詳細について (1/2)

- [Mohammad 2015] Mohammad, Y., Nishida, T. Data Mining for Social Robotics: Toward Autonomously Social Robots, Springer 2015.
- [Nishida+ 2014] Nishida, T., Nakazawa, A., Ohmoto, Y., Mohammad, Y. Conversational Informatics—A Data-Intensive Approach with Emphasis on Nonverbal Communication, Springer 2014.
[Amazon Kindle] <https://www.amazon.co.jp/Conversational-Informatics-Data-Intensive-Nonverbal-Communication-ebook/dp/B00RZJROZG>
- [Huang 2008] Huang, H., Cerekovic, A., Pandzic, I., Nakano, Y, and Nishida, T.: The Design of a Generic Framework for Integrating ECA Components, Proceedings of 7th International Conference of Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS08), Estoril, Portugal, pp128-135, May, 2008.
- [Nishida 2007] Toyoaki Nishida (ed.). Conversational Informatics: an Engineering Approach, John Wiley & Sons Ltd, London, 2007.
<https://www.wiley.com/en-gb/Conversational+Informatics%3A+An+Engineering+Approach-p-9780470026991>
- [Nakano 2005] Masashi Okamoto, Yukiko I. Nakano, Kazunori Okamoto, Ken'ichi Matsumura and Toyoaki Nishida. Producing effective shot transitions in CG contents based on a cognitive model of User Involvement, IEICE Transactions of Information and Systems Special Issue of Life-like Agent and Its Communication, IEICE Trans. Inf. & Syst., Vol. E88-D, No. 11, pp. 2623-2532, 2005.
- [久保田 2004]久保田秀和, 角康之, 西田豊明.「知球」: 持続的に発展可能な時空間記憶の構築, 情報処理学会研究報告「ヒューマンインタフェース」, Vol.2004, No.90, 2004.
- [Nishida 2002] T. Nishida. Social Intelligence Design for Web Intelligence, Special Issue on Web Intelligence, IEEE Computer, Vol. 35, No. 11, pp. 37-41, November, 2002.
- [Terada 2002] Kazunori Terada and Toyoaki Nishida. Active Artifacts: for New Embodiment Relation between Human and Artifacts, In Proceedings of The 7th International Conference on Intelligent Autonomous Systems (IAS-7), Marina del Rey, California, USA March 25-27, 2002.
- [Kubota 2000] Hidekazu Kubota, Toyoaki Nishida, and Tomoko Koda. Exchanging Tacit Community Knowledge by Talking-virtualized-egos, in: Proceedings of Agent 2000, pp.285-292, 2000.
- [Nishida 1999] Toyoaki Nishida, Nobuhiko Fujihara, Shintaro Azechi, Kaoru Sumi, and Hiroyuki Yano. Public Opinion Channel for Communities in the Information Age, New Generation Computing, Vol. 14, No. 4, pp. 417-427,1999.
- [Nishida 1998] Toyoaki Nishida, Hideaki Takeda, Michiaki Iwazume, Harumi Maeda, and Motoyuki Takaai. The knowledgeable community: Facilitating human knowledge sharing. In: Toru Ishida (ed.): Community Computing: Collaboration Over Global Information Networks, Chapter 5, pp. 127-164. John Wiley & Sons, 1998.
<https://www.britannica.co.jp/products/jboy.html>
- [西田 1997] 西田豊明. 知識コミュニティプロジェクトからのメッセージ, 招待講演, 第3回知能情報メディアシンポジウム, 電子情報通信学会, 慶応大学三田キャンパス, 1997年12月10日.

より詳細について (2/2)

- [西田 2017g] 西田豊明(編), 小特集「人工知能とインタラクション」, シミュレーション学会誌, Vol. 36, No. 4, 2017年12月号.
- [西田 2017f] 西田豊明, 選択肢としての人工知能, 情報管理 Vol. 60, No. 9, p. 655-661, 2017.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/johokanri/60/9/60_655/article-char/ja
- [西田 2017e] 西田豊明, スキーマ・マシンとしての人工知能のインパクト, 情報管理 Vol. 60, No. 5 p. 339-344, 2017.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/johokanri/60/5/60_339/html/-char/ja/
- [弦間 2017] 【特別対談】人工知能時代の医学教育と日本医科大学の選択, 日本医科大学 弦間 昭彦 学長 × 京都大学大学院情報学研究科 西田 豊明 教授
https://www.jhcs.or.jp/no_category/index.html?cid=28
- [西田 2017d] 西田豊明, 人工知能の歩み—第3次AIブーム, ブリタニカ国際年鑑2017.
<https://www.britannica.co.jp/products/jboy.html>
- [西田 2017c] 西田豊明, 人工知能と技術倫理, 電気評論, 2017年5月号
<http://www.ehyo.sakura.ne.jp/page030.html>
- [Nishida 2017] Nishida, T. (ed.) Human-Harmonized Information Technology, Volume 2, Horizontal Expansion, Springer 2017.
<http://www.springer.com/jp/book/9784431565338>
- [西田 2017b] 西田豊明, 人工知能スキーマ:人々は人工知能をどうとらえているか, 視点, 情報管理, Vol. 60, No. 1, pp. 50-55, 2017.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/johokanri/60/1/60_50/html/-char/ja/
- [西田 2017a] 西田豊明, 人工知能の現状と展望, インターネット白書2017, 2017年2月1日
<http://www.impressrd.jp/news/170201/NP>
- 西田 2016] 西田豊明, 人工知能の光と影(上)—日米欧, 倫理問題対応急ぐ, 日本経済新聞・経済教室, 2016年9月6日.
有料会員限定リンク: <http://www.nikkei.com/paper/article/?b=20160906&ng=DGKKZO06882280V00C16A9KE8000>
- [Nishida 2016] Nishida, T. (ed.) Human-Harmonized Information Technology, Volume 1, Vertical Impact, Springer 2016.
<http://www.springer.com/in/book/9784431558651>
- [人工知能学会 2016] 人工知能学会監修, 松尾 豊(編), 中島 秀之, 西田 豊明, 溝口 理一郎, 長尾 真, 堀 浩一, 浅田 稔, 松原 仁, 武田 英明, 池上 高志, 山口 高平, 山川 宏, 栗原 聡: 人工知能とは, 近代科学社, 2016年5月30日
<http://www.kindaikagaku.co.jp/information/kd0489.htm>
- [西田 2015] 西田豊明, 人工知能がもたらす未来の「スマート」, CEL (Vol.111), 2015年11月02日
http://www.og-cel.jp/search/1230453_16068.html
- [西田 2014b] 西田豊明. 人間力・社会力を強化する情報通信技術:人工知能を中心に, 情報管理 Vol. 57, No. 8, pp. 517-530, 2014.
<http://dx.doi.org/10.1241/johokanri.57.517>
- [西田 2014a] 西田豊明. 人工知能の社会実装がもたらし得ること. 人工知能, 29巻5号, pp. 524-532, 2014.
<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009841788>
- [西田 2013] 西田豊明. 人工知能とは(2), 人工知能学会誌, 28巻2号, pp. 326-335, 2013.
<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009594470>
- [西田 2012] 西田豊明. 人工知能研究半世紀の歩みと今後の課題, 情報管理 Vol. 55, No. 7, pp. 461-471, 2012.
<http://dx.doi.org/10.1241/johokanri.55.461>
- https://www.ii.ist.i.kyoto-u.ac.jp/?page_id=5558&lang=ja