

人と関わるロボットの研究開発

石黒浩

大阪大学教授・基礎工学研究科システム創成専攻
ATR客員所長・石黒浩特別研究所
JST ERATO 石黒共生HRIプロジェクト研究統括
ishiguro@sys.es.osaka-u.ac.jp
www.is.sys.es.osaka-u.ac.jp



人間ロボット共生社会



ロボット社会

4

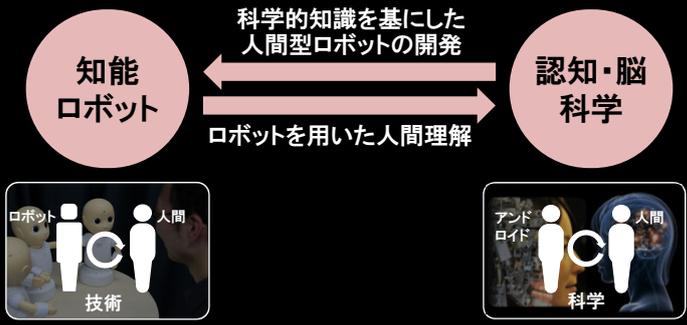
なぜ人間型ロボットが必要になるのか？



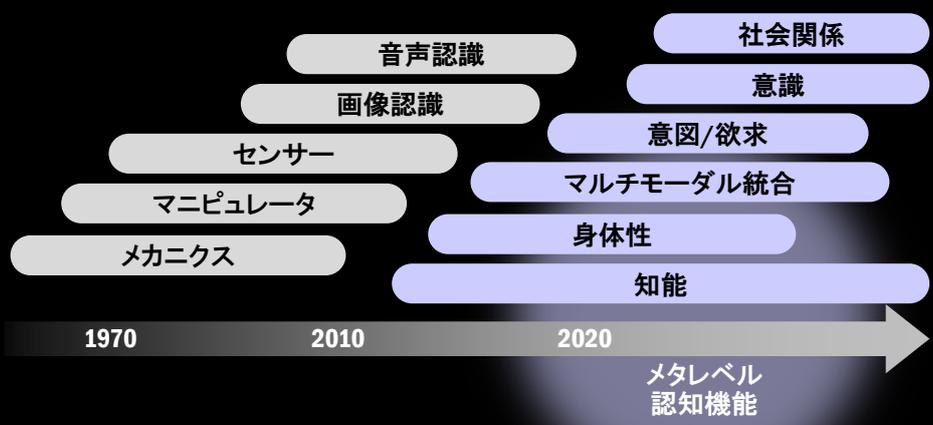
- 人間は人間を認識する脳を持つ。
- 人間にとって理想的なインターフェースは人間。
- 故に、人間を取り巻くロボットや情報メディアは、少なくとも部分的には人間らしくなるべき。
- 一方で、人間らしいロボットやアンドロイドは人間を理解するテストベッドになる。

知的システム実現のための 構成的アプローチ

- 脳科学や認知科学は、記憶、計算、推論等、人間の知能の構成要素を明らかにしてきた。今後はそれらの要素を統合し、如何に知能が実現されるかを研究する必要がある。
- 構成的アプローチは、人間と人間らしく関わる事ができるロボットやアンドロイドの開発を通して、人間のマクロレベルの認知機能の解明を目指すものである。



ロボット技術と人間科学の発展



ロボット開発



コンパニオンロボット

コンサルタントロボット

対話トレーニングロボット



通訳/案内ロボット

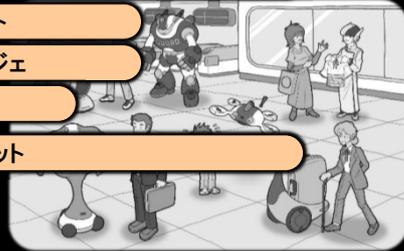
受付/コンシェルジュ

店員ロボット

高齢者や幼児のための対話ロボット

語学教師ロボット

レストラン店員ロボット



2017

2022

2027

科学とロボット開発

科学

知能

身体性

マルチモーダル統合

意図/欲求

意識

社会関係

トータルチューリングテスト



コンパニオンロボット

コンサルタントロボット

対話トレーニングロボット

通訳/ガイドロボット

受付/コンシェルジュロボット

店員ロボット

高齢者や幼児のための対話ロボット

語学教育ロボット

レストラン店員ロボット

ロボット開発

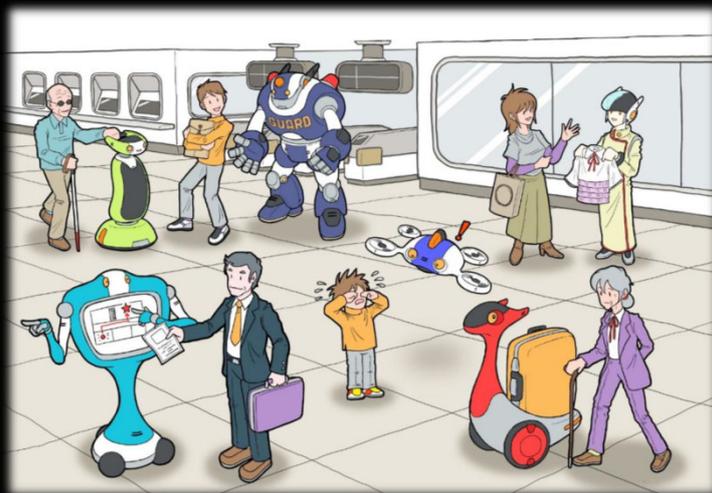
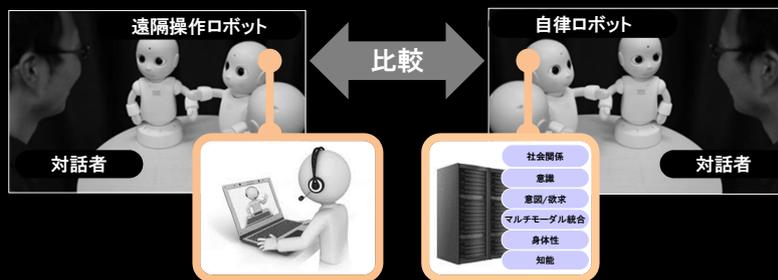
2017

2022

2027

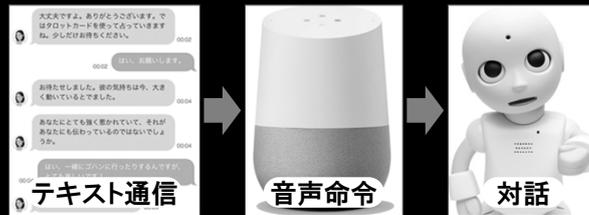
科学技術開発の目標としての トータルチューリングテスト (TTT)

- TTT は人間に操作されたロボットとコンピュータに制御されるロボットとの比較。
- TTTは知能ロボット開発における重要なチャレンジ。
- TTTはロボットの持つ全てのモダリティを通して、全体的な人間らしさを評価(心理学的, 脳科学的評価)。
- TTTはロボットが社会の一員として受け入れられることを評価(1週間以上の長期実証実験)。



命令→共生

言語で命令ができるのか？



命令から対話・共生へ



意図や欲求を互いに持つから
言語が使える

未来に向けて知的システムは
より複雑により自律的になる。

自律化・自動化とは
意図や欲求を持つことである

複雑なシステムに
どのように命令を伝えるのか？

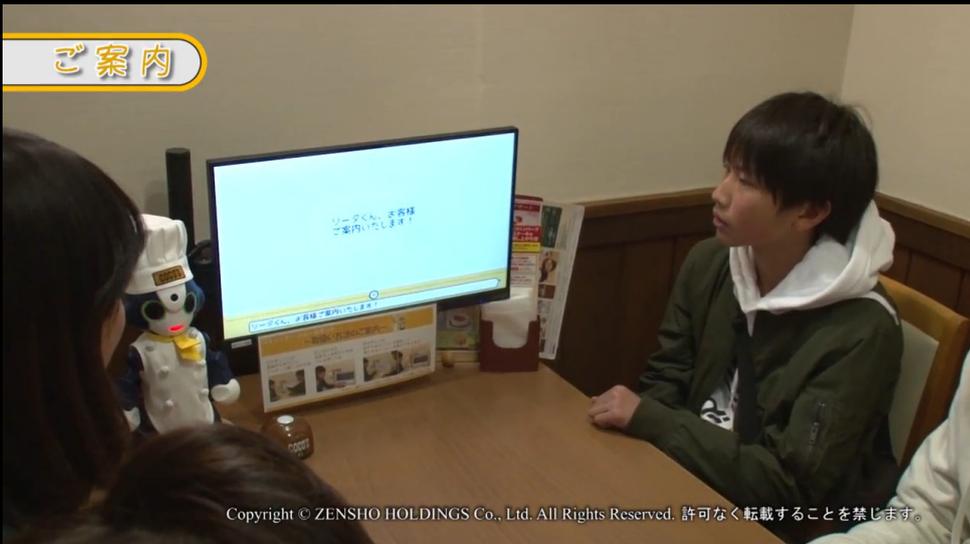
システムの意図を感じやすくする
人間らしくする

実世界で活動するロボット
ロボットによるサービスの提供

家庭の中のロボット



レストランのロボット



人と関わる人間型ロボットに支援される ロボット社会の実現

身振り手振り、表情、視線等
人間のように多様な
モダリティを用いて
対話する人間型ロボット



病院待合室・公共施設



学習・言語教育



高齢者介護



デパート・小売店



駅・交通機関

実世界で活動するアンドロイド アンドロイドによる存在の拡張

石黒のアンドロイド「ジェミノイド」

21



文豪のアンドロイド

22

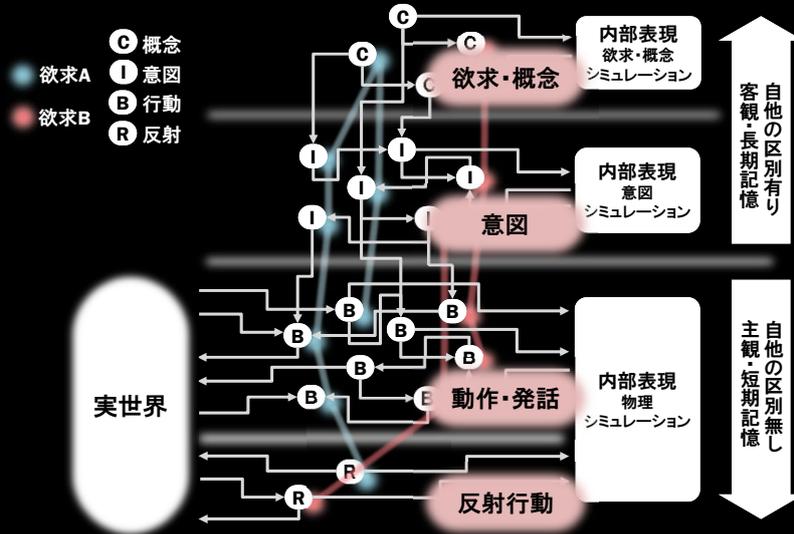


人間の存在とは何か？

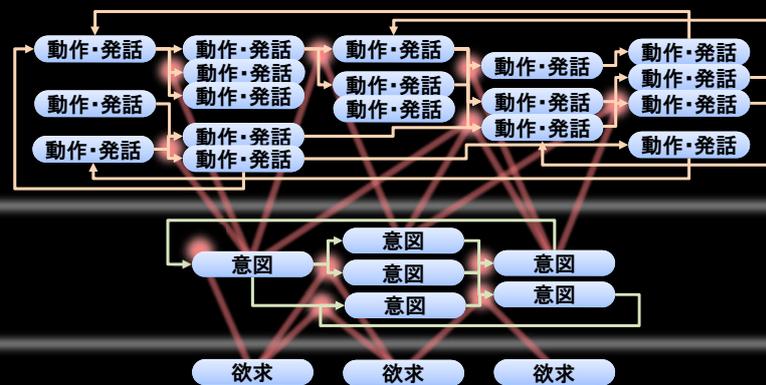


自律的に対話するアンドロイド

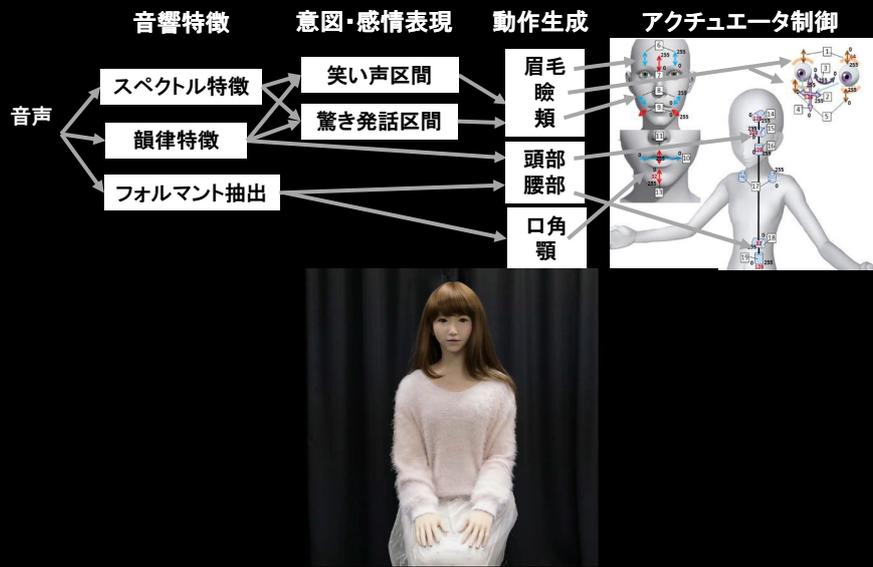
アーキテクチャの概念設計



意図欲求の階層モデル



音声に伴う人らしい動作生成



相槌の自動生成と傾聴システム

with 河原 (京大)

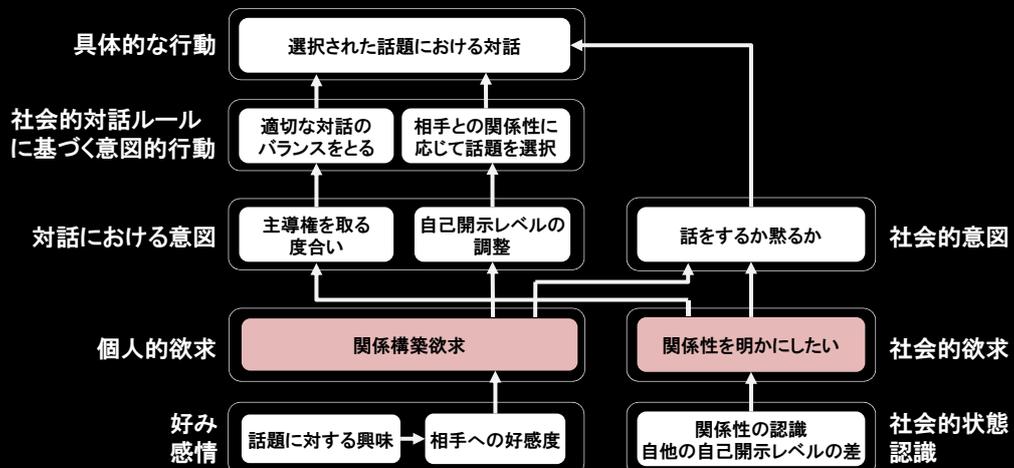


エラーリカバリ



初対面对話における欲求・意図・行動階層モデル

- 個人的欲求と社会的欲求が競合する意思決定が、人間らしいアンドロイドの振る舞いを生み出す



自己承認欲求と関係構築欲求を 持つアンドロイド

33



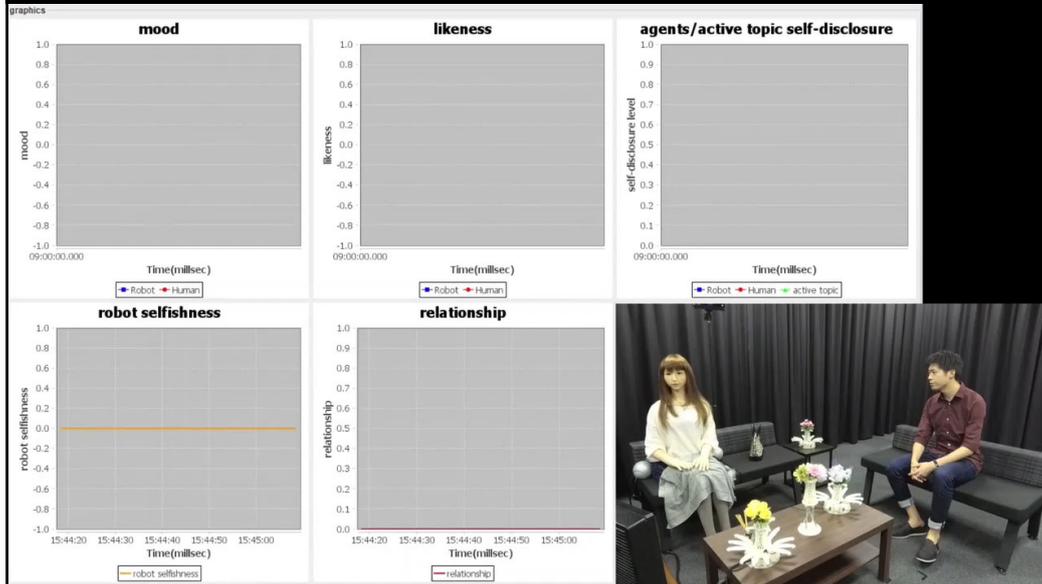
ERICA

34



デモ

互いに相手に好感度を持った場合、互いに開示度の高い話をする関係性になる



36

ERICA



アンドロイドニュースキャスター

日本テレビ放送網共同研究



人と関わるロボットの原理

存在感とは何か？

対話とは何か？

体とは何か？

心とは何か？

存在感とは何か？

対話とは何か？

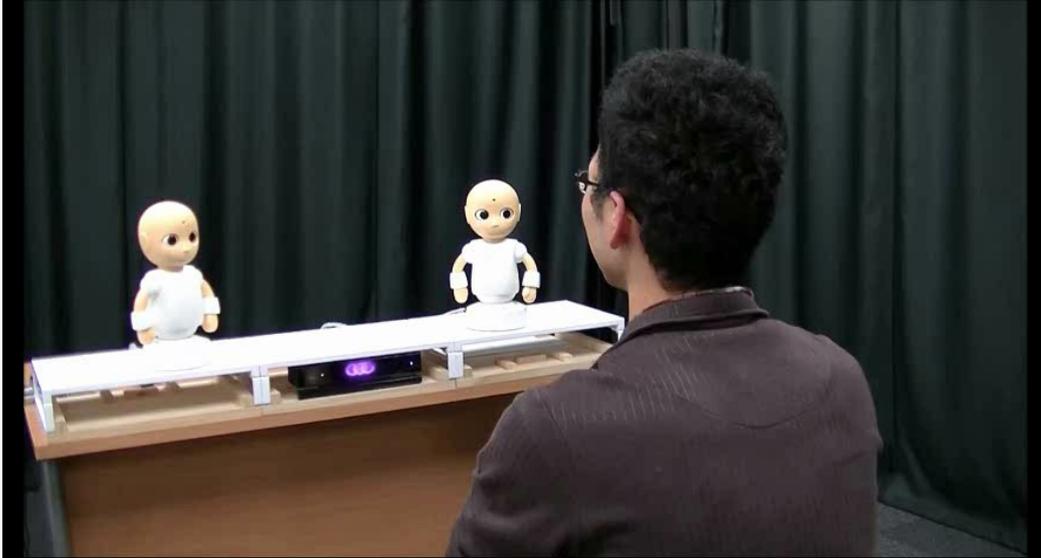
体とは何か？

心とは何か？

対話における認識とは何か？

コミュ：社会的対話ロボット

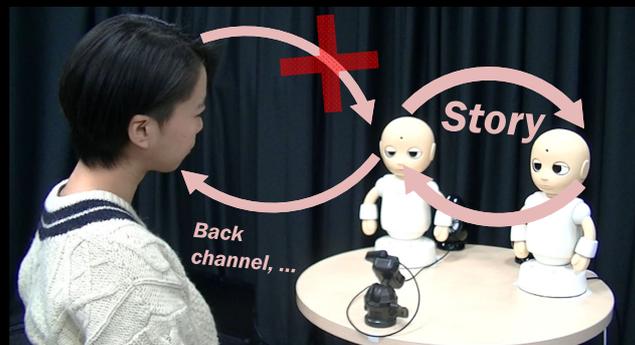
with 吉川(阪大)



音声認識無し対話

with 吉川(阪大)

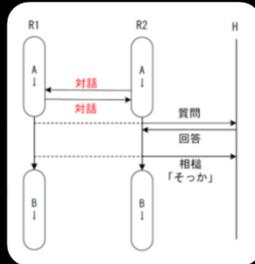
- ロボットが2台あれば人の発話を認識する必要が無い
- 2台のロボットが対話をしながら、人を話に巻き込む。



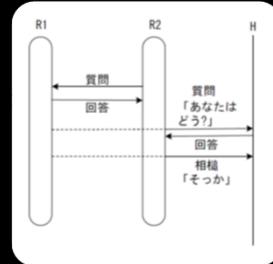
対話を破綻させないルール例

with 吉川(阪大)

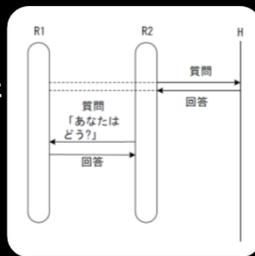
話題を切り替える
タイミングで
人に問いかける



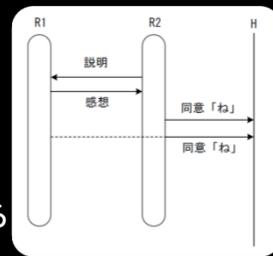
ロボットがロボット
にした同じ質問を
人にする



ロボットが人にした
同じ質問を
ロボットにする



ロボットが
ロボットにした
説明に対して
ロボットが
感想を言い
人に同意を求める



意図認識無し対話

with 吉川(阪大)

- ロボットが2台あれば人の発話の意図を認識する必要が無い。
- 少なくとも誰かに同意しているように聞こえ、対話の一貫性が保たれる。



高齢者対話支援システム 1

with 吉川(阪大)



高齢者対話支援システム 2

with 吉川(阪大)



存在感とは何か？
対話とは何か？
体とは何か？
心とは何か？

遠隔操作型アンドロイド「ジェミノイド」



インターネット



操作者

操作者のジェミノイドへの適応



インターネット

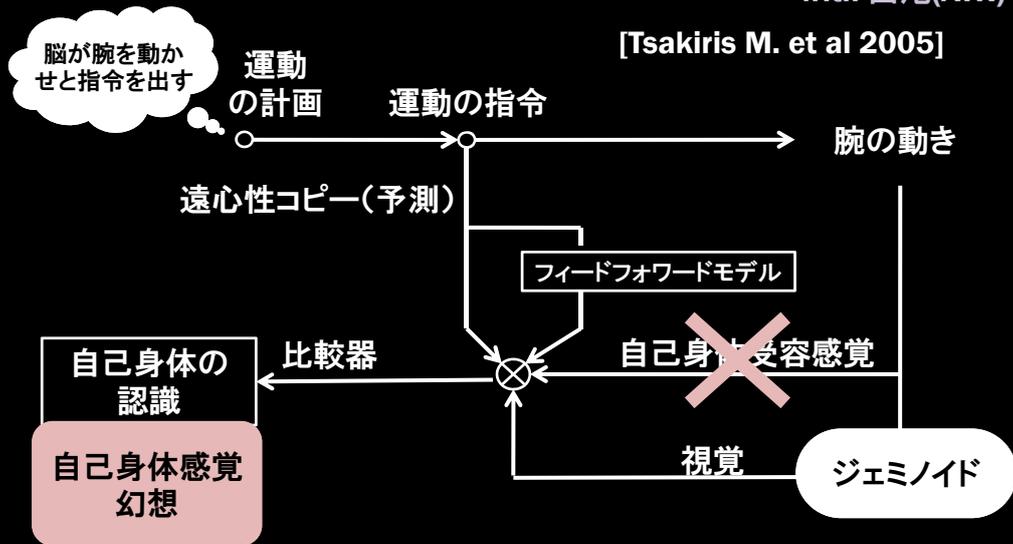


操作者

自己身体感覚を必要としない適応

with 西尾(ATR)

[Tsakiris M. et al 2005]



自己身体感覚を必要としない適応

- 体が全く動かない状態で, BMIによりアンドロイドの左右の手の動きを制御. 突然, アンドロイドの手に注射.
- 体が動かなくても脳でアンドロイドを制御できれば, アンドロイドの体を自分の体のように錯覚する. *Scientific Reports, 2013*

The image shows the experimental setup and results for a study on body illusion. On the left, a participant is shown wearing a first-person view camera, an electrode cap for EEG recordings, an HMD covered by cloth, and a blanket. On the right, a close-up shows the injection to the robot's hand. Below the images are two bar charts:

感じたかという質問 (Question about feeling):

Condition	Score
Still	~2.5
Match	~4.5
Raw	~3.5

Match > [Still, Raw] * (p < 0.05)

手のひらの発汗 (Palm sweating):

Condition	Peak Value (μS)
Still	~1.0
Match	~2.0
Raw	~1.5

Match > Still * (p < 0.05)

アンドロイドニューロフィードバック

The image shows the BMI operation and neurofeedback results. On the left, a participant is shown wearing an electrode cap for EEG recordings, an HMD covered by cloth, and a blanket. On the right, a participant is shown operating the BMI. Below the images are two scatter plots showing the improvement of the user's brain wave pattern:

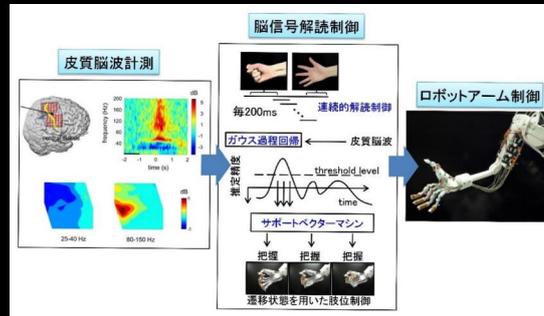
利用者の脳波パターンの改善 (Improvement of user's brain wave pattern):

The plots show the change in brain wave patterns from $J_1=0.05$ to $J_2=0.45$. The x-axis ranges from -0.5 to 0.5. The plots show a shift in the distribution of data points, indicating improved performance.

- アンドロイドをBMIにより制御すると, 脳波がBMIの性能が向上する方向に変化. *Frontiers in Systems Neuroscience, 2014*
- アンドロイド以外のロボットでは変化し難い.

BMIによる実時間ロボット制御

by 平田(阪大)



- 人の脳表面に設置した電極により、ガンマ活動という高周波の脳波を計測・解読してロボットアームのリアルタイム制御に成功した。 *Neuroimage 2009, J Neurosurg 2011, Ann Neurol 2012*
- MEGを用いて人の脳磁界強度を計測・解読し、ロボットアームのリアルタイム制御に成功した。 *Brain Res 2012, Front Hum Neurosci 2014*

54

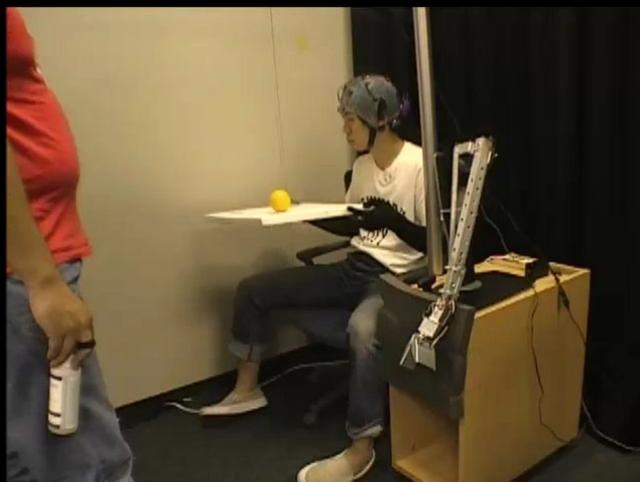
アンドロイド追加肢の制御

by 西尾(ATR)



アンドロイド追加肢の制御

by 西尾(ATR)



x1.25

Science Robotics, 2018

存在感とは何か？

対話とは何か？

体とは何か？

心とは何か？

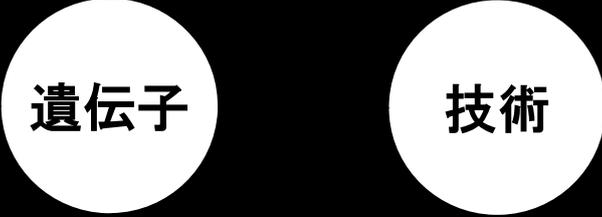


人間ロボット共生社会

人間とロボットの関係

ロボットは人間になり
人間はロボットになる

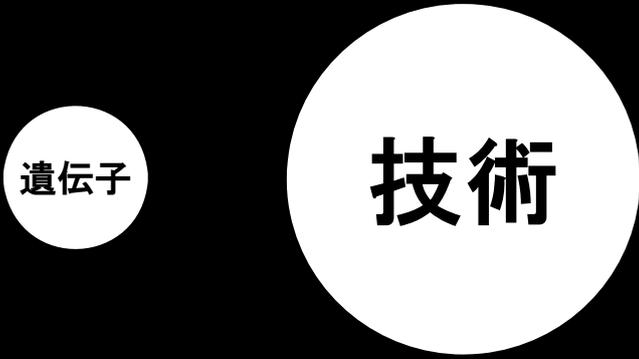
未来の人間の存在
数万年後の未来
人間はどのように進化するのか？



遺伝子

技術

技術による進化は
遺伝子による進化よりも
遙かに速度が速い



遺伝子

技術

技術による進化



人間=動物+技術



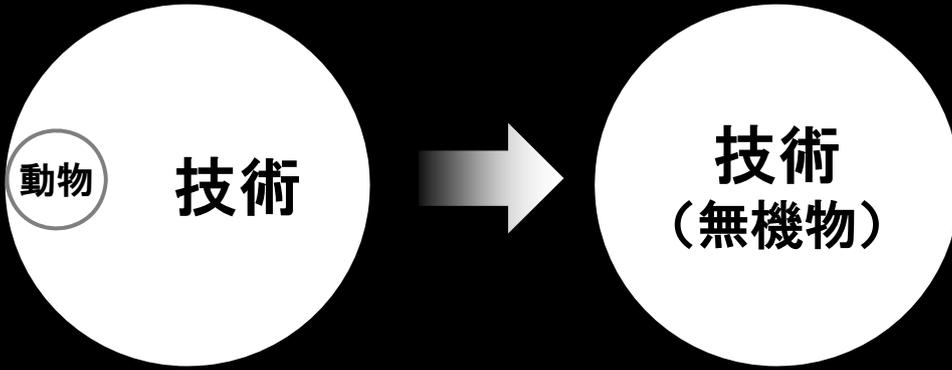
人間は能力を拡張して生き残っていくという
遺伝子に刻み込まれた使命に従って
その能力を拡張し続けている。

人間の能力を拡張する新しい技術は
この世に生き残るという使命を帯びた人間に
とっては非常に魅力的なもの。

それを手に入れ生活を豊かにすることが
生きる目的(経済の発展)。

故に人類の歴史において
技術が衰退したことは殆ど無い。

さらなる人間の進化
脳をコンピュータで置きかえる



人類は無機物から生まれ無機物に戻る

無機物

45億年前 地球の誕生

35億年前 生物の誕生

有機物

500万年前 人類の誕生

1万年前 農耕(技術)の始まり

現在 人間機械化の始まり

無機物

千年後 人間完全機械化

分散型人間

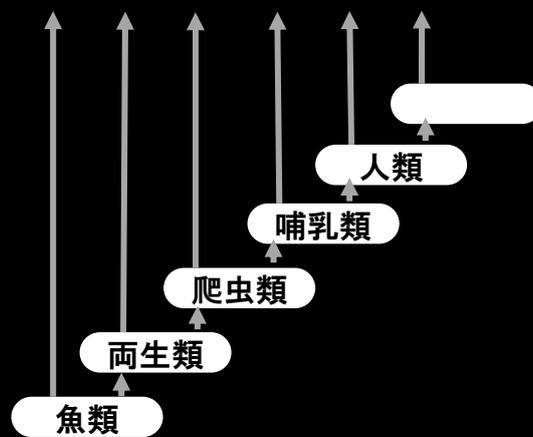
有機物が存在した意味

複雑な分子構造を持つ有機物は
環境適応性が高い

一方、その複雑な構造は壊れやすく
永遠に維持できない

人間という有機物の体は
物質の進化(知能化)
を加速させるための手段にすぎない

二極化は人間の進化なのか？



無機物の
知的生命体

進化とは多様性である

進化における多様性
機械の体によるカンブリア爆発

人とロボットの境界が無くなる

存在感とは何か？

対話とは何か？

体とは何か？

心とは何か？

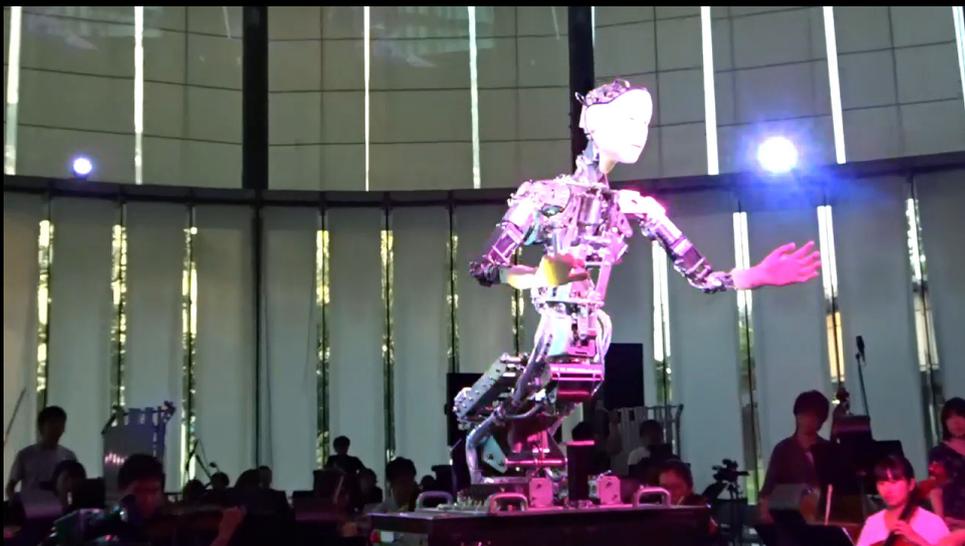
生命とは何か？

生命感アンドロイド

生命感ロボット Alter with 池上・小川



Scary Beauty with 渋谷・池上・小川



Alterの技術的意味

ロボットの持つ「生命らしさ」を外見だけでなく、運動の複雑さで実装したAlterは、42本の空気圧アクチュエータで構成された体と、年齢・性別が不明な「誰でもない」顔を持つ。

その運動は、CPG(Central Pattern Generator: 脊髄に存在し、歩行などの周期的な運動を生成する仕組み)をモデルにした周期的な信号生成器、ニューラルネットワーク(人間の脳の神経回路のしくみを模したモデル)、そしてAlterの周囲に設置したセンサーによって制御される。

AlterのCPGとニューラルネットワークにより生成された動作は、自らの周囲を認識する照度センサーや距離センサーの値にも反応し、なめらかでカオティックな身ぶりを見せる。

メカニズムも存在目的も生物とは異なる機械が、ときに生物よりも生命性を感じさせるのはなぜかという問題を提起する作品。

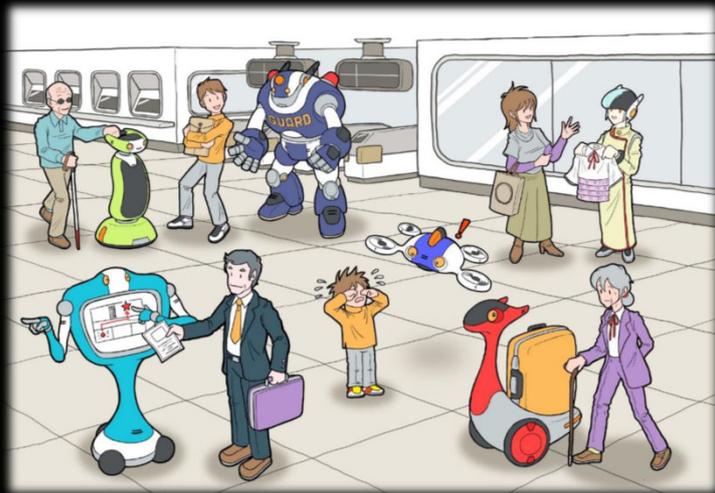
Alterの芸術的意味

未来に向けて人間は今よりも人工物をその体に受け入れ、機械と融合していく。

しかし、それは必ずしも人間が生物らしさや人間らしさを失うことを意味するのではない。

むしろより生物らしく、より人間らしくなる可能性がある。このAlterはそうした未来の人間の姿を予見させるものである。

社会養育ロボティクス Ibuki with 仲田



人間の存在について考える社会