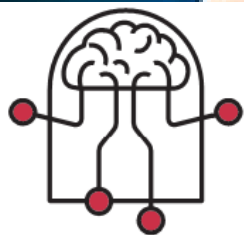
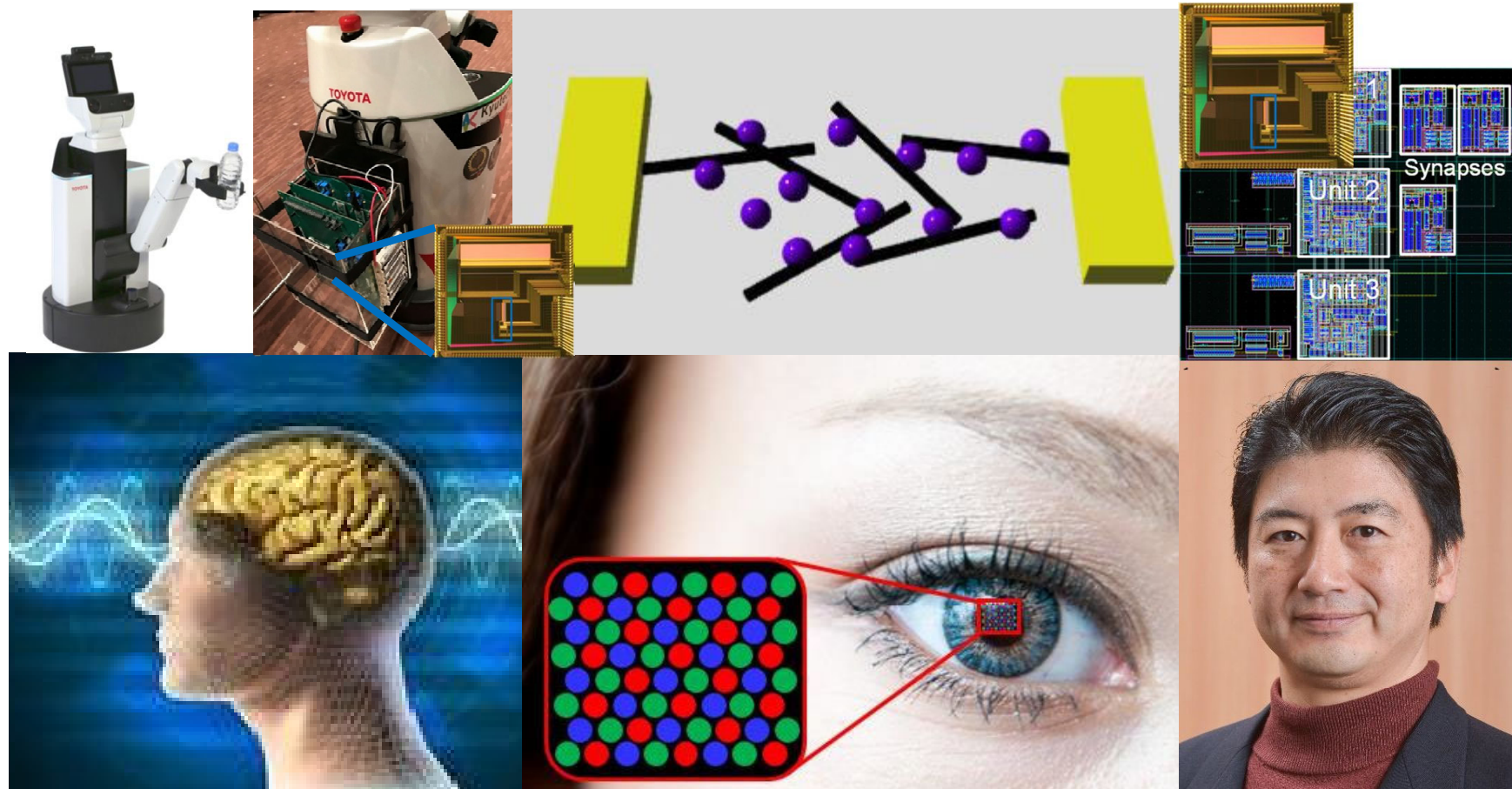


ニューロモルフィックAIハードウェア研究センター ～材料自身を持つ「知能」を活用した脳型AIハードウェアの実現～



Neumorph Center

Research Center for Neuromorphic AI Hardware, Kyushu Institute of Technology

本日のキーワード

ソフトウェアとハードウェア

ソフトウェア

コンピューターを動かす**プログラム**
目で見えないもの(形を伴わない)
→人間の神経シグナル、知識、感情に相当
Windows、ワード、エクセル……



ハードウェア

コンピューターを動かす**道具**
目で見えるもの(形を伴う) →人間の体に相当する

パソコン本体、キーボード、マウス、ディスプレイ、
スピーカー、プリンタ、ハブ、ルーター
機器を構成内部ユニット等(CPU、メモリ、ディスク、ド
ライブ、基盤、電源)
…



我々が扱うハードウェアは**演算を行う物質・物体**のこと

Hibikino-Musashi@Home

サービスロボットの性能を競う

祝 世界大会 3連覇!!



RoboCup 2017 Nagoya 優勝
RoboCup 2018 Montréal 優勝
World Robot Challenge 2018 優勝

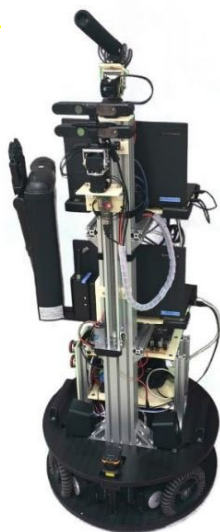


国立大学法人

九州工業大学

大学院生命体工学研究科 (ひびきの学研都市)

九工大のAIシステムの勝利!



AIソフトウェア技術は近々飽和し
電力的に破綻



AIの主戦場はニュー
ロモルフィックAIハード
ウェアへ!!

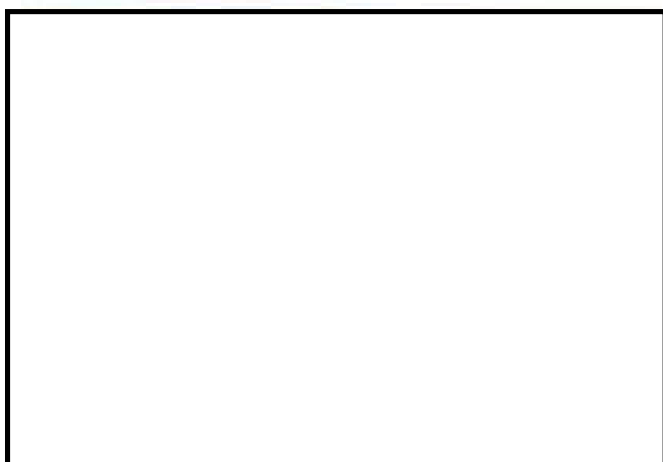


一般的なAIのイメージ？我々のターゲット！



- 将来はロボットと家族団らん？ **人間のように考え動くロボット**
- すべての感情カテゴリーにおいて情報データを持っていて、かつ期待される範疇で答えが返ってくる必要
- **適切な解を見つけるのに相当な計算量が要求される**

AIはソフトウェアベース ＝賢くなるほど電力を莫大に食う

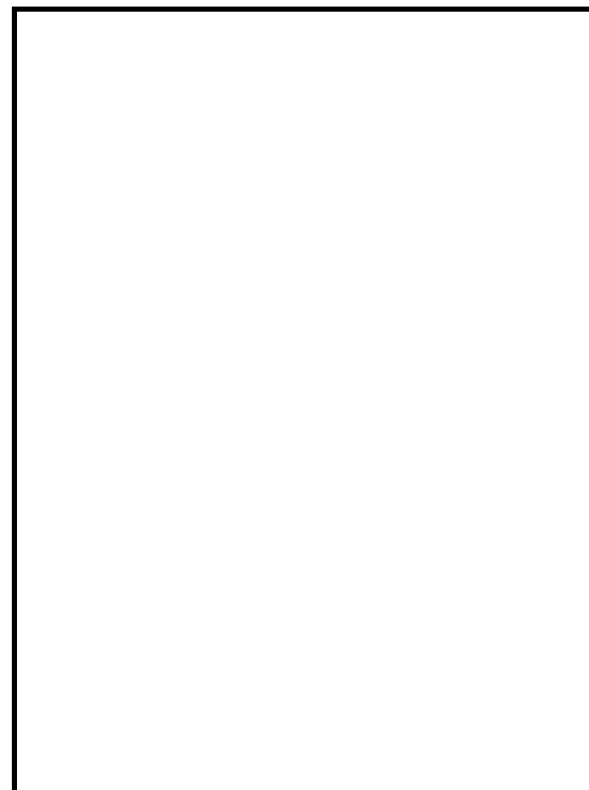
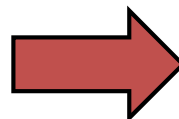


自分で充電ベースに戻る

充電の残りが少なくなると、
充電ベースに自分で戻ります。

AIお掃除ロボット

2時間掃除
2時間充電
しかも1日1回で十分



AI人型ロボット

電池が大きくなる？ → 消費電力増大
たった5分間駆動
3時間充電が普通に????
頻繁に充電ベースに戻る
ロボットと団らんできますか？

脳の演算能力・効率ほどの程度か？



30-40MW
(3-400000000W)
¥1-1.3M / 月

20W !



※富岳コンピュータ(理研・富士通)
ちなみに
黒部川第4発電所335MW

ニューロモルフィック！

脳の演算能力を模倣した計算処理

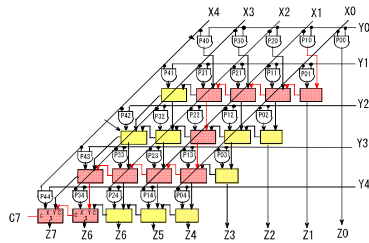
→ より速くより省エネルギーに演算できる
ハードウェアを材料工学ベースでめざす！！

脳が低消費電力な理由

項目	脳	Si集積回路	電力比/備考
動作電圧	0.1 V	1 V	1/100
処理 タイミング	イベント駆動・ 非同期	クロック同期	~1/100 TrueNorth
動作素子	生化学的	CMOS FET	
信号表現	発火・非発火 (2値)	多ビット (ex. 8ビット)	~1/10
計算法	時間領域 アナログ	2進数 デジタル	>~1/100
配線構造	3D	2D/ 階層型	>~1/100?
情報処理	確率的	決定論的	乱数生成負荷 確率共鳴

AIハードでのデジタル方式の限界と新しい流れ

プロセッサ
(演算回路)

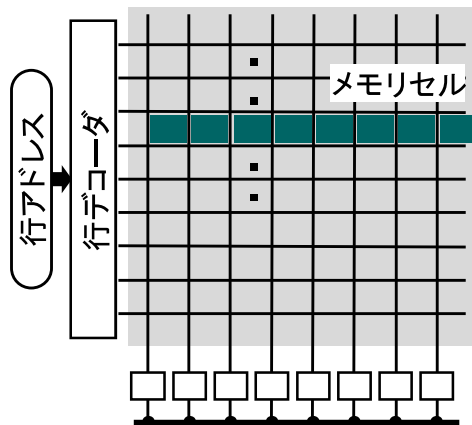


プロセッサとメモリとの間の通信で
伝送遅延・消費電力増大

フォン・ノイマン
ボトルネック

チップ間では演算と
信号伝送に100倍の
エネルギー差

メモリ
(RAM)



デジタル方式を維持
プロセッサとメモリを
小規模化+超並列化

GPU/専用デジタル
AIプロセッサ
(IBM TrueNorth等)

More Moore

アナログ演算導入
プロセッサ・
メモリー体化

イン・メモリ計算

新デバイス・材料利用

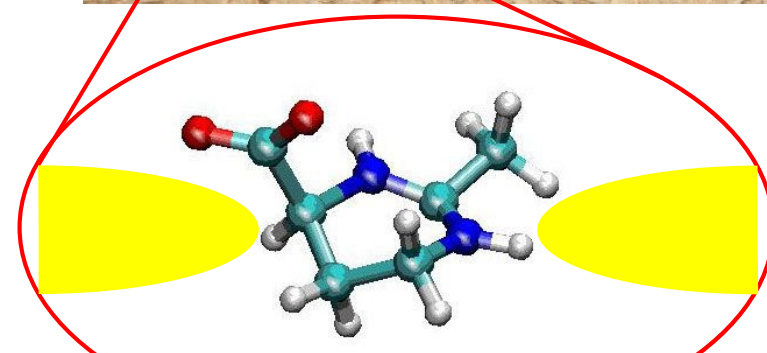
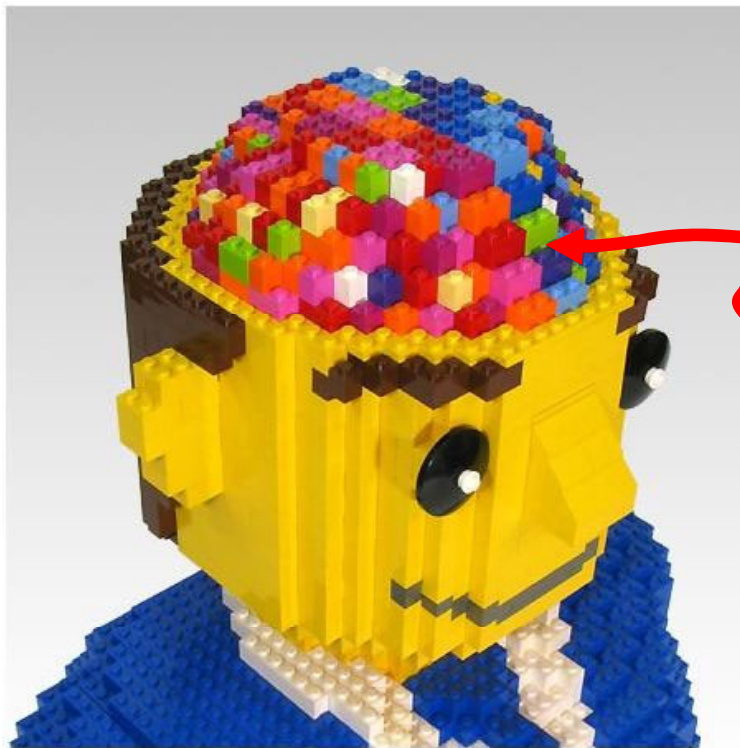
More than Moore
Beyond CMOS

デジタル方式
(ノイマン型アーキテクチャ)

メモリ(RAM)は一度に一行しか
アクセスできない。

本センターの**近い**将来の夢

-脳の特徴を抽出したデバイスでロボットを制御したい-

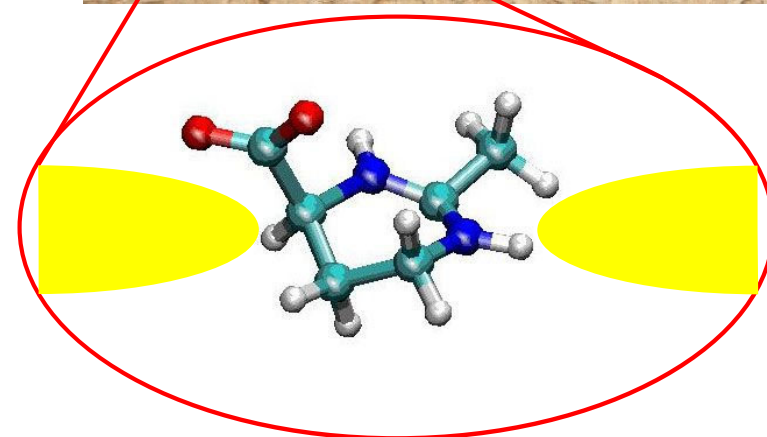


脳の特徴を抽出したデバイス（ハードウェア）でロボットを制御したい
（これならできるだろう！）

→ ニューロモルフィックデバイス→AI

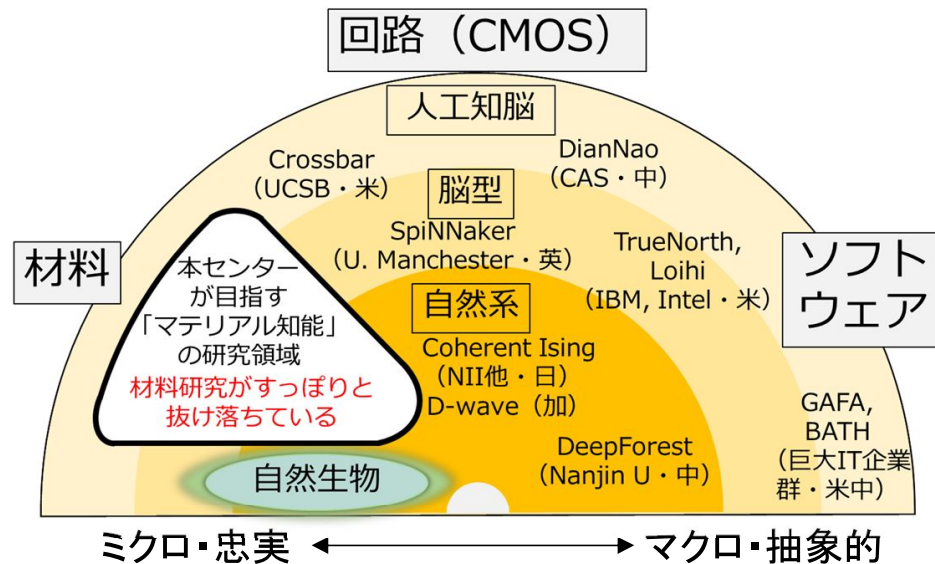
本センターの遠い将来の夢

-人工脳で生体脳システムを置き換え、生物やロボットを制御したい-



人工脳で生体を制御したい
(本センターではやらない)

何をもって国際的特徴を見せるのか？ 世界の人工知能研究の現状から



材料研究がすっぽりと抜け落ちている

学術的意義

自然や生物が行っている計算をマテリアルで実現する「マテリアル知能」をうまく活かし、従来の計算機科学に学術上の新たな発展軸を生み出す。情報爆発やエネルギー問題など、人類の重大な課題を解決できるニューロモルフィックAIハードウェアの創出に世界に先駆けて取り組む



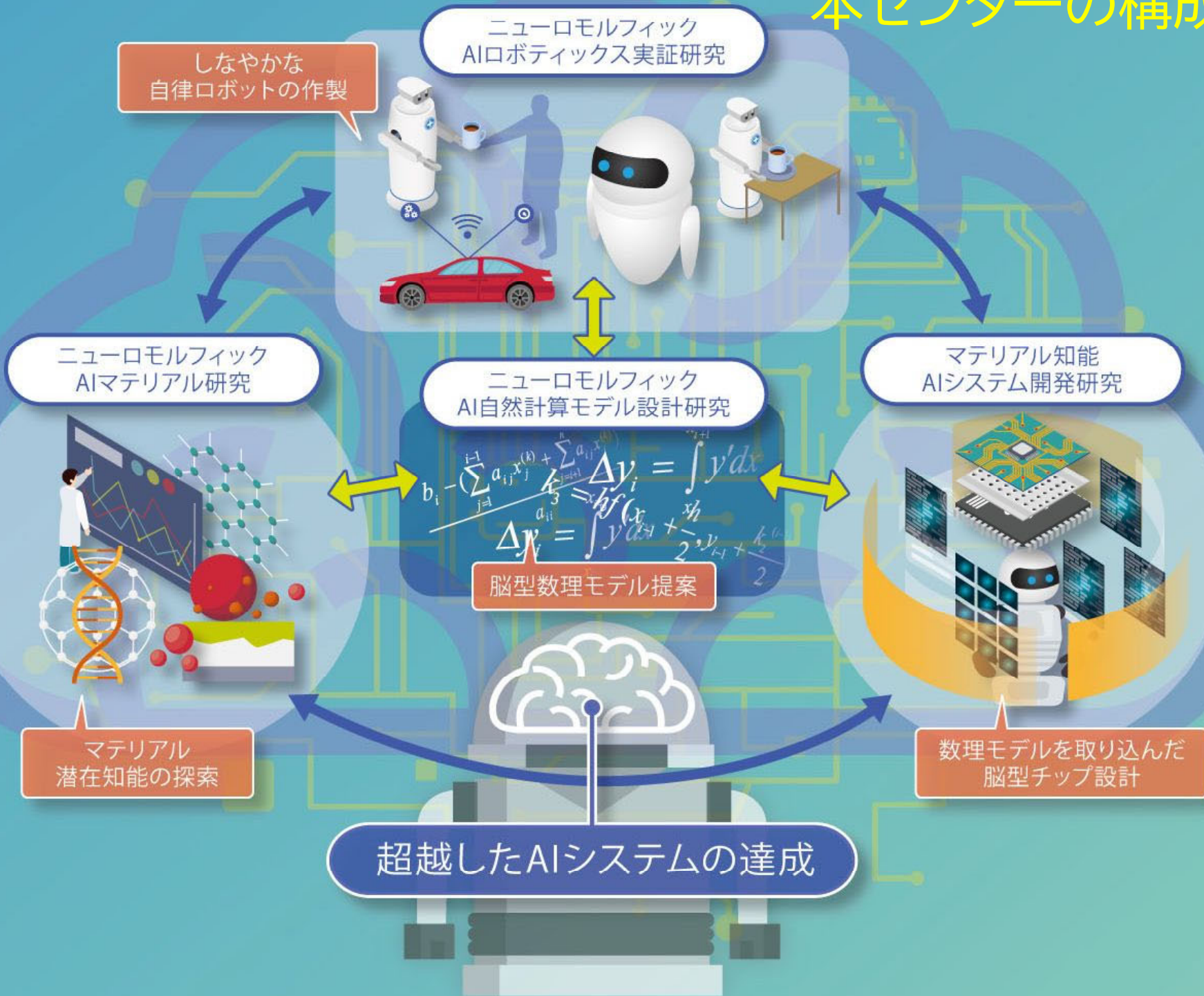
マテリアルからロボティクスまでを通貫する研究分野：日本で唯一材料系からAIロボティクスへ挑むニューロモルフィックAIハードウェア研究拠点を形成する！

国際的に本邦の代表拠点となるように材料ベースで脳型AI研究を進める



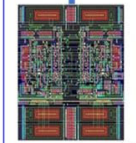
先手を打って次世代AIの国際特許戦略に勝つ！

本センターの構成

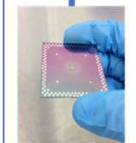




世界大会優勝HSRなどにニューロモルフィックAIハードを実装



ニューロモルフィックデバイスを回路化



ニューロモルフィックデバイス

研究の流れ

これまで：世界トップレベルロボット制御AIシステム
目標：ハイエンドハードウェアに基づいたロボット制御AIシステムによる知財戦略

これまで：脳型アナログ集積回路分野では草分け
目標：ニューロモルフィックアナログ集積回路・海馬モデル回路開発

これまで：世界トップレベルニューロモルフィックデバイス基礎研究
目標：材料の潜在知能を引き出し実現する材料ダイナミクス研究

ニューロモルフィックAIロボティクス実証研究

次世代副センター長 **田向**
 テーマ長 **榎田** (外部委員B)
 自動運転

安川
 生体神経規範型画像処理
 画像認識技術を導入 AIシステムの電力効率削減
 テーマ長 **森江**
 脳型回路

池本 (若手)
 ソフトロボット

宇佐美 (若手)
 確率共鳴素子
 回路化技術提案 ナノテクノロジー技術供与
 田中研 (若手) ポスドク2名

ニューロモルフィックAI材料研究

センター長 **田中** (外部委員A)
 テーマ長 **福間**
 ナノ材料
 スピントロニクス
 テーマ長 **堀部**
 誘電体

小田部 (若手)
 超伝導材料
高林 (若手)
 光デバイス
Gimzewski (UCLA)
 材料提案機構解明

ニューロモルフィックAIハードウェア研究センター組織図

システム提案

ニューロモルフィックAI自然計算モデル設計研究

テーマ長 **古川**
 機械学習理論

立野 (若手)
 脳のモデル研究

石橋 (若手)
 AI理論構築

合原 (東大)
 複雑系数理モデル構築

数理モデル提案

理想的物理提案

これまで：世界トップレベルニューロモルフィック数理モデル提案

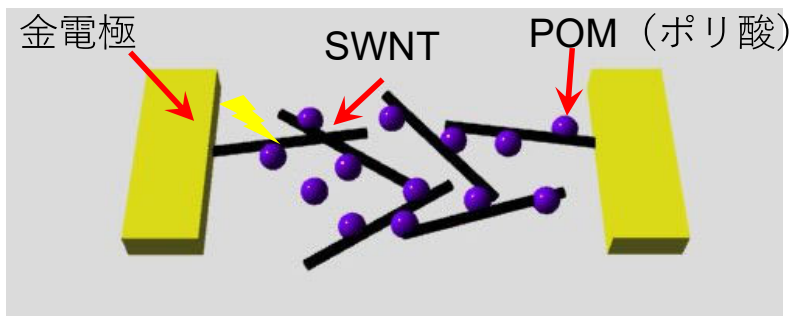
目標：材料の潜在知能を引き出しAI化するアルゴリズム研究

運営会議
 田中センター長
 田向副センター長、URA
 各テーマ長、事務局

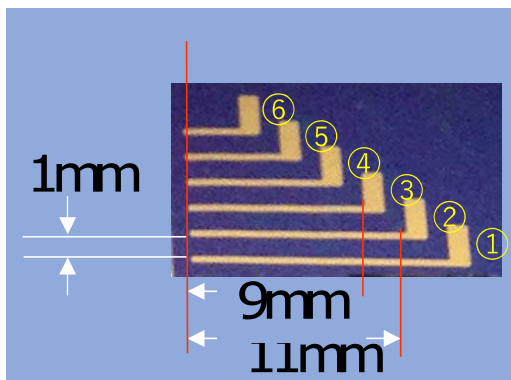
ニューロモルフィック 材料研究の一例

偶発性構造から脳型挙動発現

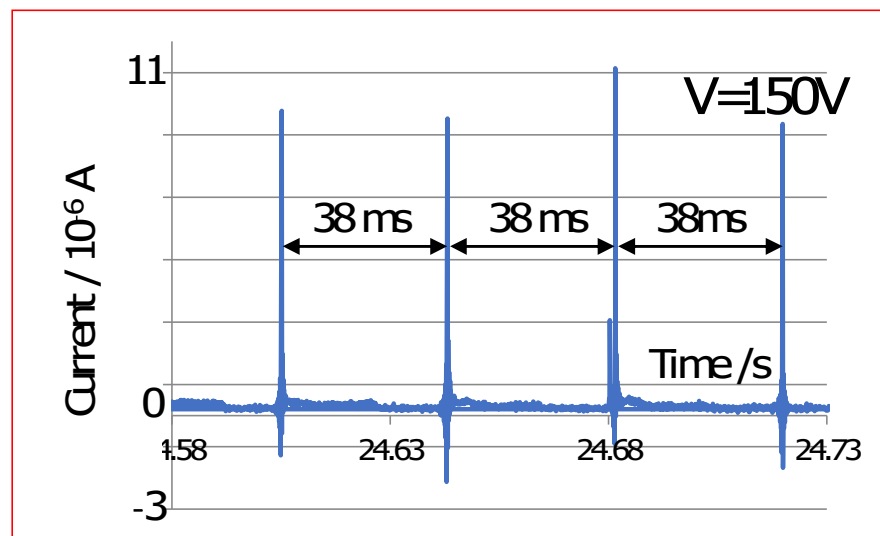
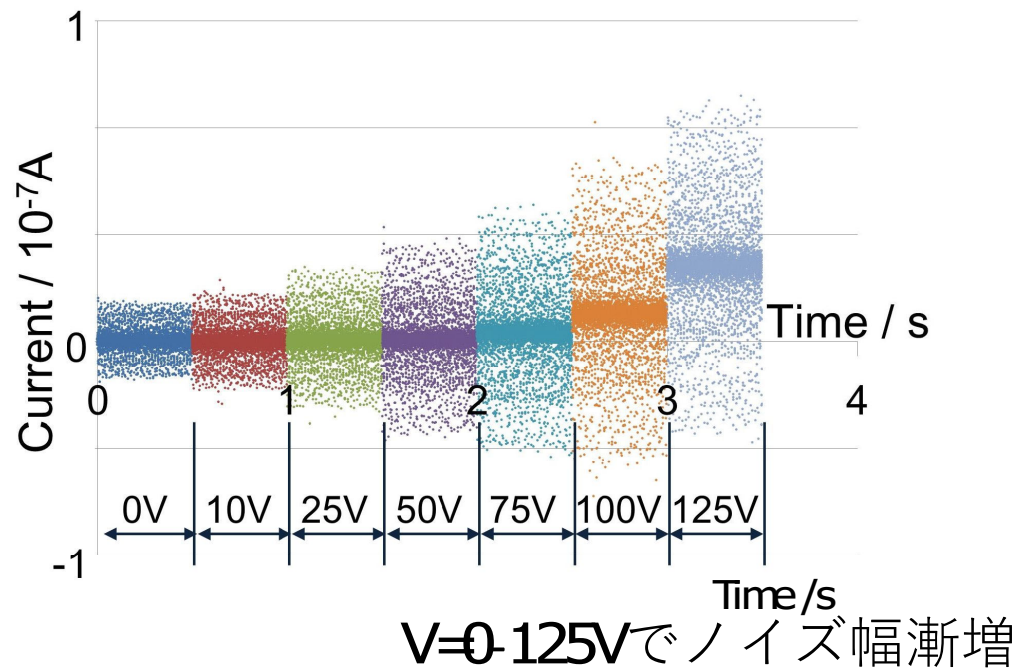
ぐちゃぐちゃな構造



SWNT/POM ランダムネットワーク

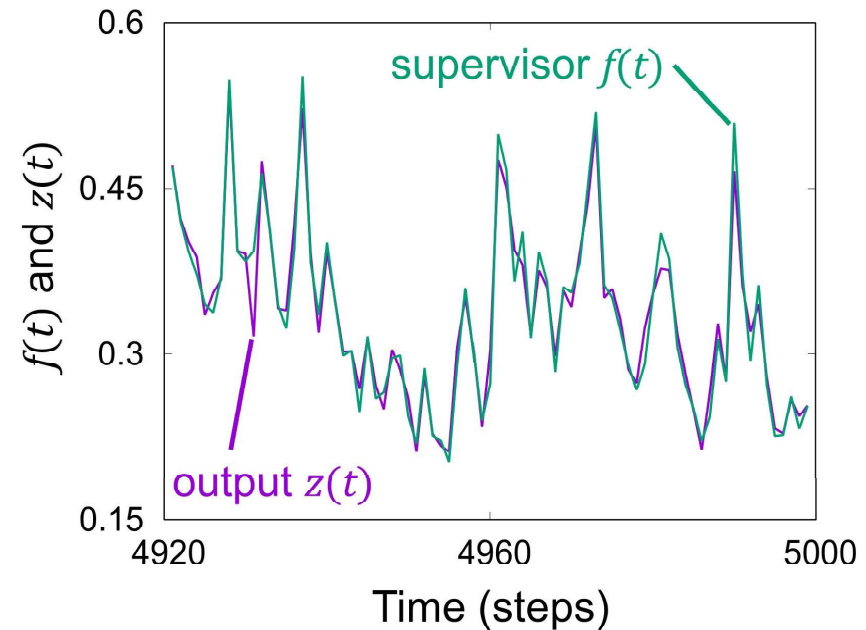
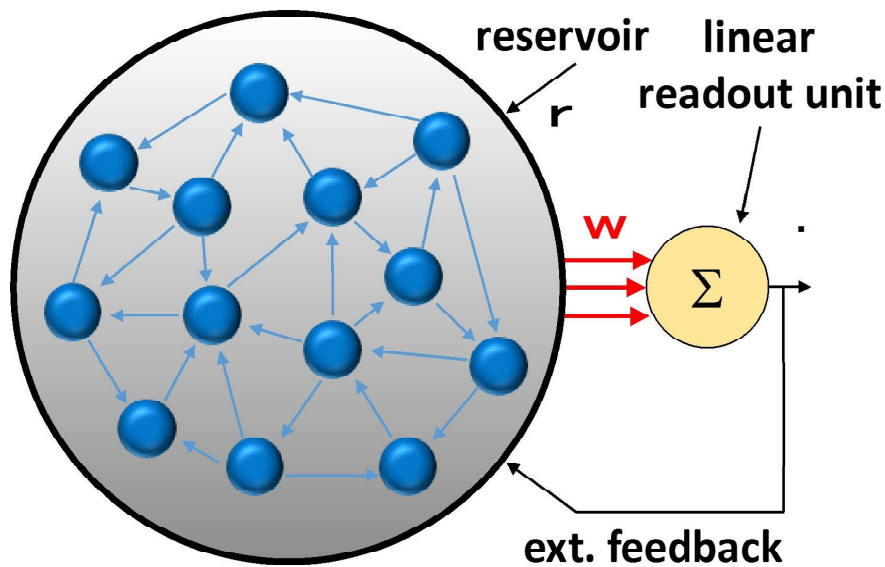


今回作製したサンプルの模式図と
実際の電極



V=150Vでニューロン様パルス発生

SWNT/POM ランダムネットワーク素子を リザーバーコンピューターに応用



セルラーオートマタモデルに基づいたリザーバシミュレーション。

リザーバ：リカレントニューラルネットワークの一種

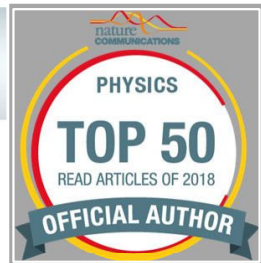
出力信号が教師信号に追従することを証明した。

→SWNT/POM ランダムネットワークが時系列メモリとして利用可能であると期待される。

→音声認識など時系列データの判別を利用

省エネルギー型
ニューラルネット

NatureXコレスポンディング九工大初



ARTICLE

DOI: 10.1038/s41467-018-04886-2 OPEN

A molecular neuromorphic network device consisting of single-walled carbon nanotubes complexed with polyoxometalate

Hirofumi Tanaka¹, Megumi Akai-Kasaya², Amin TermehYousefi¹, Liu Hong^{3,5}, Lingxiang Fu¹, Hakuru Tamukoh¹, Daisuke Tanaka^{3,6}, Tetsuya Asai⁴ & Takuji Ogawa³

H. Tanaka et al., **Nature Commun.** **9**, 2693 (2018).

世界が注目！同誌の投稿論文中
最も読まれた50報に選出

Fabcross for engineer, Jul/18/2018
https://engineer.fabcross.jp/archive/180713_kyutech.html

日本語、英語、中国語版web多数掲載

炭素材料使い再現

脳の神経に似た電気信号

九州工業大学の田中啓文教授らは炭素材料などを使い、脳の神経細胞が電気信号をやりとりする様子を再現する技術を開発した。炭素材料の上に電子を放出する役目の物質を配置し、そこに電圧をかけると、パルス状の電流がランダムに発生し、「トゥルノース」の回路を作る研究が盛んで、現状では脳の複雑な仕組みを簡略化したものしかできていない。

九州工大など
 脳の神経細胞のネットワークに似た構造を薄膜レイトが電子の蓄積と放出を繰り返す。ボンナノチューブで網目を薄膜を置いた装置を試作。100μm前後の高電圧をかけると、数十μsの間隔で電流が発生した。人の脳内で神経細胞が電気信号を発生する間隔に近いという。今後、材料などを改良して低電圧で動くようにする。簡単な問題の計算も試みる。

神経細胞のスパイク発火に類似 CNTとPOMのネットワークで発生成功

九州工業大学大学院生命体工学研究科の田中啓文教授、大阪大学大学院理学研究科の小山琢治教授は、カーボンナノチューブ(CNT)とポリオキソメタレート分子(POM)の高密度ネットワークデバイスを作製、神経細胞(ニューロン)のスパイク発火に似たパルスの信号を発生させることに成功した。

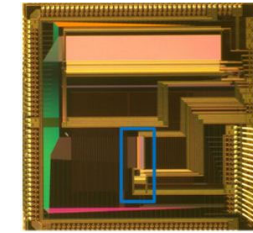
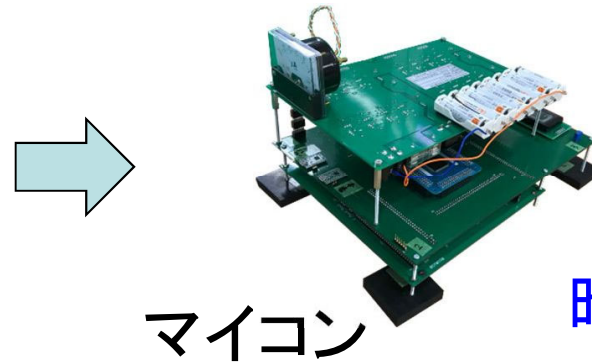
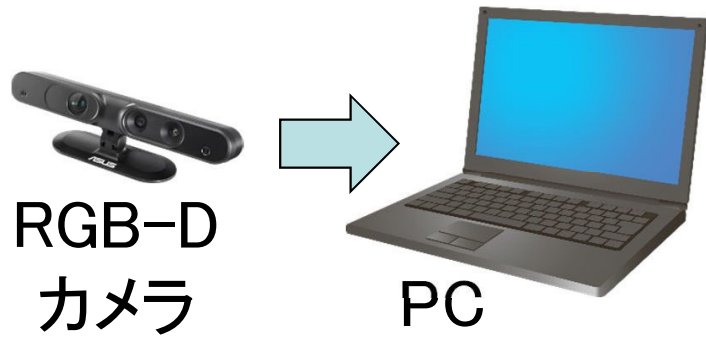
これまで神経様発火(ニューロン発火)のスパイクの研究(脳信号とよく似たスパイク電流・電圧を発生させるデバイス)が多くなされてきたが、複雑な電気回路を必要とした。もし、ゆらぎ・ノイズの介在下で、デバイスがパルス発生を可能とするならば画期的なものとなる。さらに、そのデバイスが自身で演算可能な「脳シミュレーションや情報処理、人工知能・ロボット工学に発展する。そこで今回CNTとポリオキソメタレートのランダムネットワークを用いて実験を試みた。その結果、ゆらぎ・ノイズの介在によるニューロン発火様パルス発生をCNT/POMランダムネットワークデバイスで成功した。またシミュレーションによりこの挙動が、人工知能の一種であるリザイバコンピュータリング(人工ニューラルネットワークの応用形態)に利用できる可能性を示すことができた。

田中教授の話「将来は脳の構造を模したコンピュータリングに用いたい。今回シミュレーションで可能が実証されたリザイバコンピュータリングの実証を今後行っていく。また、実証に致四所有の自動運転ロボットに利用し、人工知能の精度向上と消費エネルギーの低減を目標したい」

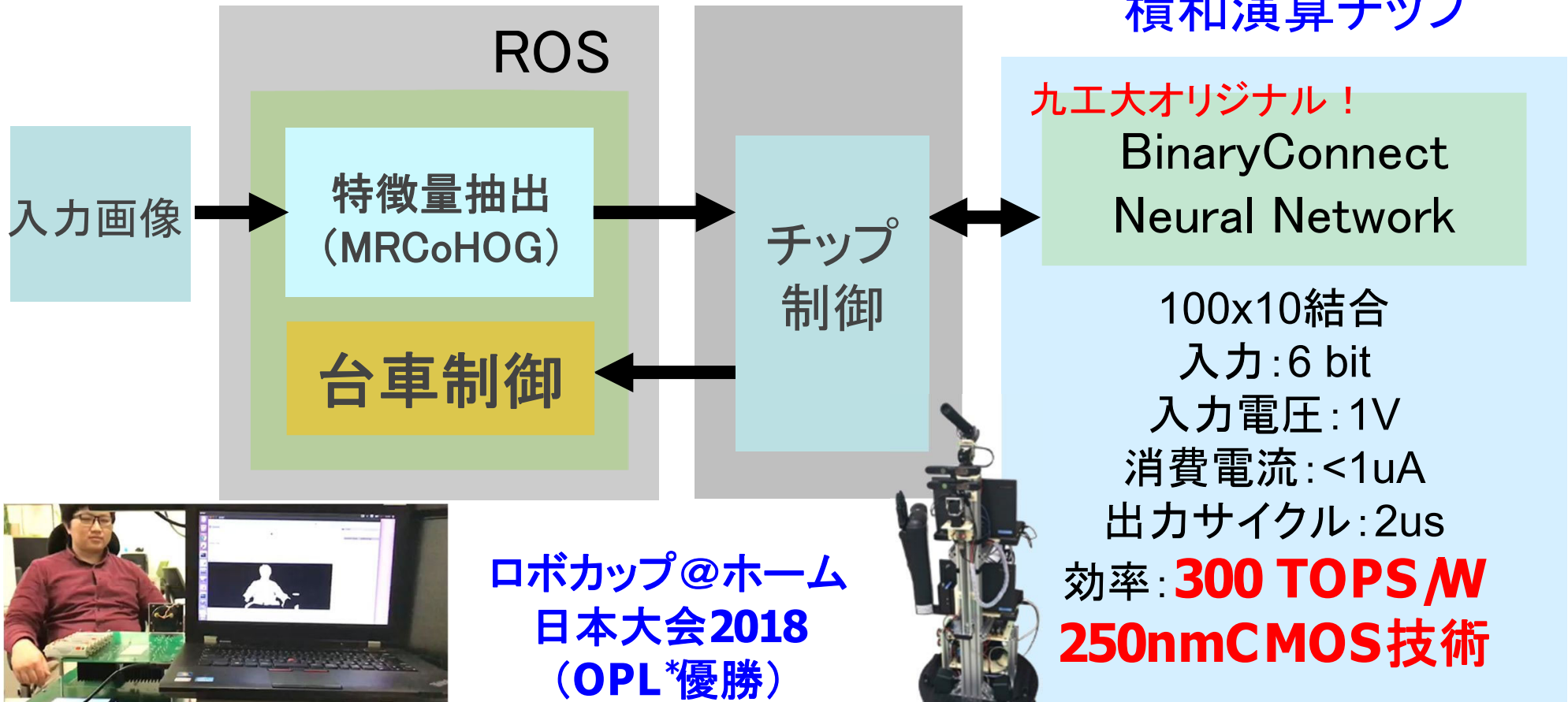
Nikkei Business Daily, JPN (日経産業新聞) Jul/18/2018

The Science News, JPN (科学新聞) Aug/3/2018

専用チップとROS-FPGA: ロボット・人物追跡システム



時間領域アナログ
積和演算チップ



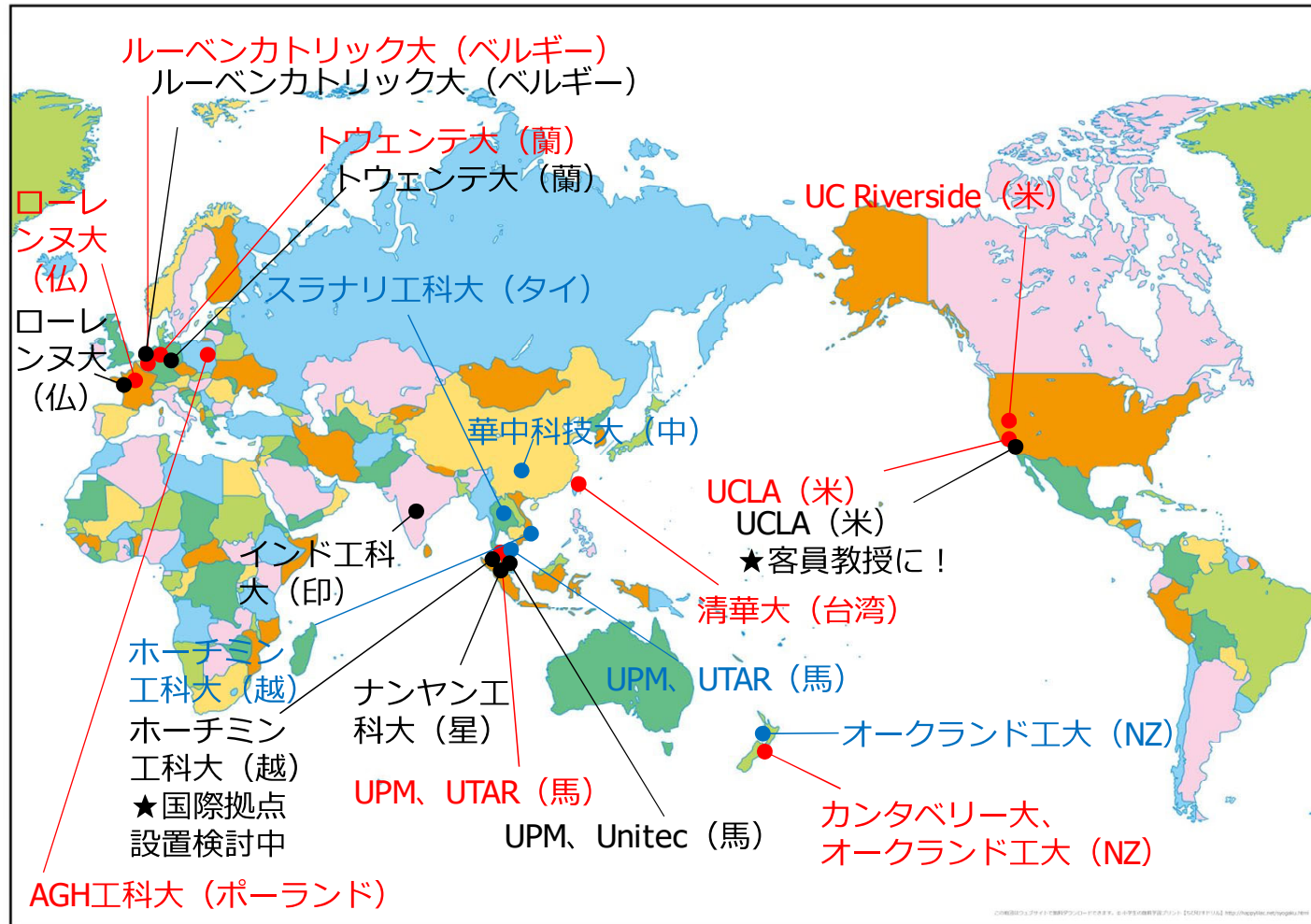
ロボカップ@ホーム
日本大会2018
(OPL*優勝)

*Open Platform League



世界へ展開！

ニューロモルフィックAIハードウェア 研究センターの国際連携



【教育に貢献：
インターンシップ】
赤：学生の派遣先
青：学生の受け入れ先

黒：国際共同研究先
ホーチミン工科大には
国際拠点設置検討中

謝辞：国際マインド他

国際共同研究を進める
日本人学生の海外派遣を可能な限り100%に近づける

研究会設立で国内学会を牽引中

H31 年応用物理学会春季学術講演会 分科企画シンポジウム

物質に内在する学習・最適化能力を活用する

マテリアル知能科学

Science of the Material Intelligence

日時：H31年3月10日(日)13:30～

マテリアルの潜在的機能から生命知能に迫り
新しいコンピューティング技術として
実現しようと邁進している
最前線の研究者が集結し、将来の
脳型演算・人工知能デバイスを生み出す
マテリアルの可能性を議論します



【招待講演者】(仮タイトル)

浅井 哲也 (北大) ニューロモルフィック工学とマテリアル

赤井 恵 (阪大) 学習するマテリアル～ニューラルネットワーク構築～

長谷川 剛 (早大) シナプス・ニューロン模倣素子用新材料技術の開発

青野 真士 (慶大) 粘菌アメーバに学んだナノアーキテクトニクス計算

高橋 宏知 (東大) 知能を生み出す脳のメカニズム

若宮 直紀 (阪大) 脳の情報処理メカニズムを応用した情報通信システム

葛西 誠也 (北大) 電子アメーバと自律ロボット制御

世話人：松本卓也 (阪大)、田中啓文 (九工大)、河口研一 (富士通)

応用物理学会でニューロモルフィックAIハード (マテリアル知能) シンポジウム主催
2019. 3. 10



UCLAジムゼウスキー卓越教授を招聘し、国内のニューロモルフィックAIハード研究者によるセンターキックオフ国際シンポジウム
@八幡ロイヤルホテル 2019. 12. 11

助成

九工大：研究力強化経費・国際共同指導経費
生命体工学研究科長裁量経費

文科省トビタテ！留学JAPAN

北九州観光コンベンション協会

空を飛ぶのが大好きです

高みから次世代AIを俯瞰しつつ、着実に達成する
研究センターを目指して参ります！！



田中センター長@ビクトリアの滝（ジンバブエ・ザンビア国境）にて