

ノイズを利用した情報処理： 超省エネAIを目指して

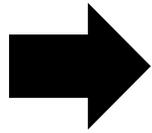
情報通信研究機構 未来ICT研究所

脳情報通信融合研究センター 脳情報工学研究室

主任研究員 細田 一史

2024年10月24日

目次



- 背景
- 従来技術と新技術
- 新技術の着目点
- 新技術
- 新技術の原理
- 新技術の特徴,用途,課題
- 企業への期待

背景 ～AIの電力消費は急増する～

- あらゆる状況にAIが利用されていく
- 人類の電力消費において無視できないほどになる

世界のサーバ総消費電力(予測)

(JST低炭素社会戦略センター2021のデータから作図)



※『このままいけば…』
という予測なので、
もちろん人類はこれを
回避すべく動く。

背景 ～市場も膨大&急増～

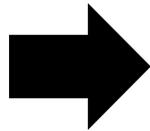
- 故に、市場規模も同様 (チャンスであると同時に・・・)
- AI用計算機の主導権争いに遅れると地獄に

AIハードウェア市場



また国際競争においていかれては・・・
他国のように多産多死でも挑戦しないとイケない

目次



- 背景
- 従来技術と新技術
- 新技術の着目点
- 新技術
- 新技術の原理
- 新技術の特徴,用途,課題
- 企業への期待

従来の技術とその問題点

- 従来の汎用コンピュータ

- 1 V程度のトランジスタを使用したノイマン型
【問題】 万能・正確だがエネルギー消費が大きい

- 期待されている他の技術（全て並列計算）

- 脳型(スパイク)：1000倍以上省エネ（例 IBM TrueNorth）
- 確率的コンピューティング：同程度（例 UCB+東北大）
- 量子コンピュータ、物理リザーバーなどなど

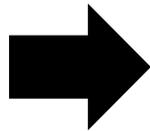
【問題】 技術が高く普及困難。それぞれ用途が限られる。

どれが『良い/悪い』ではなく色々と開発すべき。

新技術の特徴・他の技術との比較

- 『**脳の特徴**』だけでなく、『**生命の特徴**』に注目
- 期待される他の技術とは原理的に異なる
『**ゆらぎ(ノイズ)利用のダイナミクス**』
による理論的な例を示した。
- 電気回路に特有のノイズレベルまで電圧および電力を下げてハード化できれば**他の技術とは異なる超省エネ**（仮に電圧30mVで電流も同倍率下がれば電力約1/1000）、および他の技術との組み合わせによるさらなる**超省エネ**が期待される
（他の技術が悪いのではなく、他と違う、が重要）

目次



- 背景
- 従来技術と新技術
- 新技術の着目点
- 新技術
- 新技術の原理
- 新技術の特徴,用途,課題
- 企業への期待

新技術が採用した 生命系の特徴：ゆらぎ利用

- 脳だけでなく、筋肉タンパク質ですら、
ゆらぎを利用して情報処理することで動いている

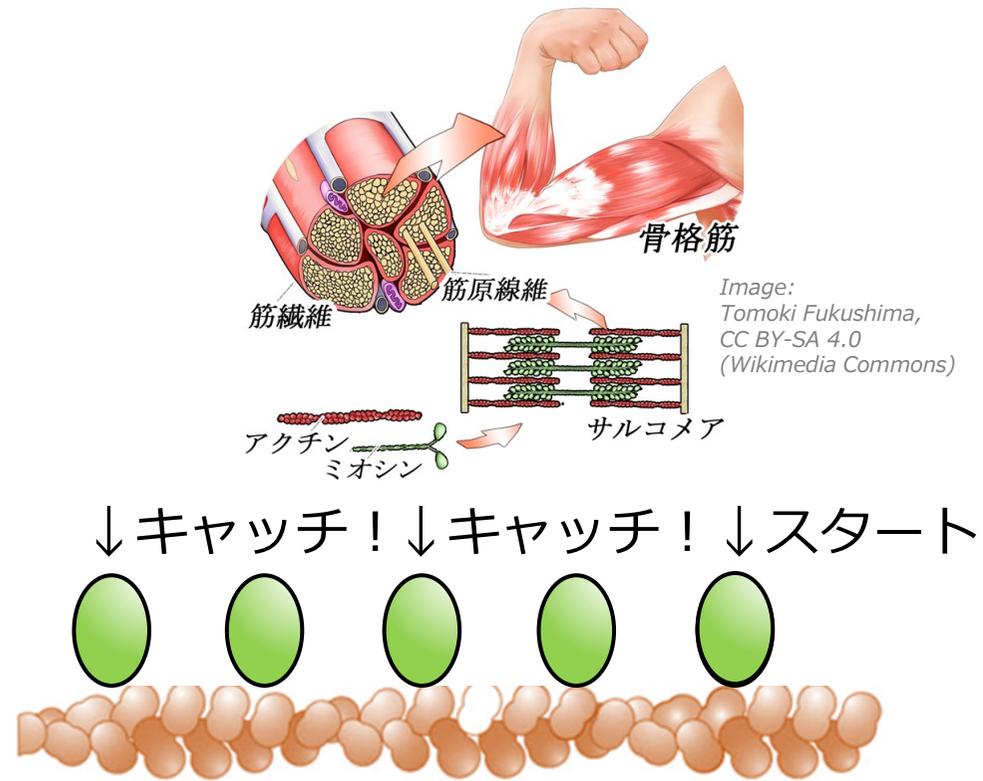
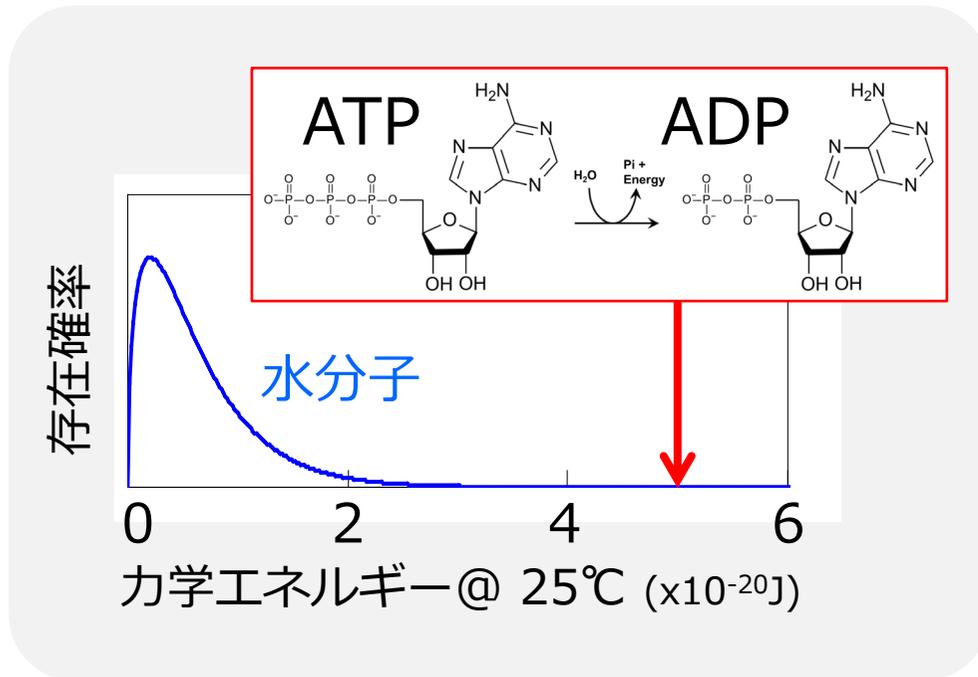


Image:
Tomoki Fukushima,
CC BY-SA 4.0
(Wikimedia Commons)

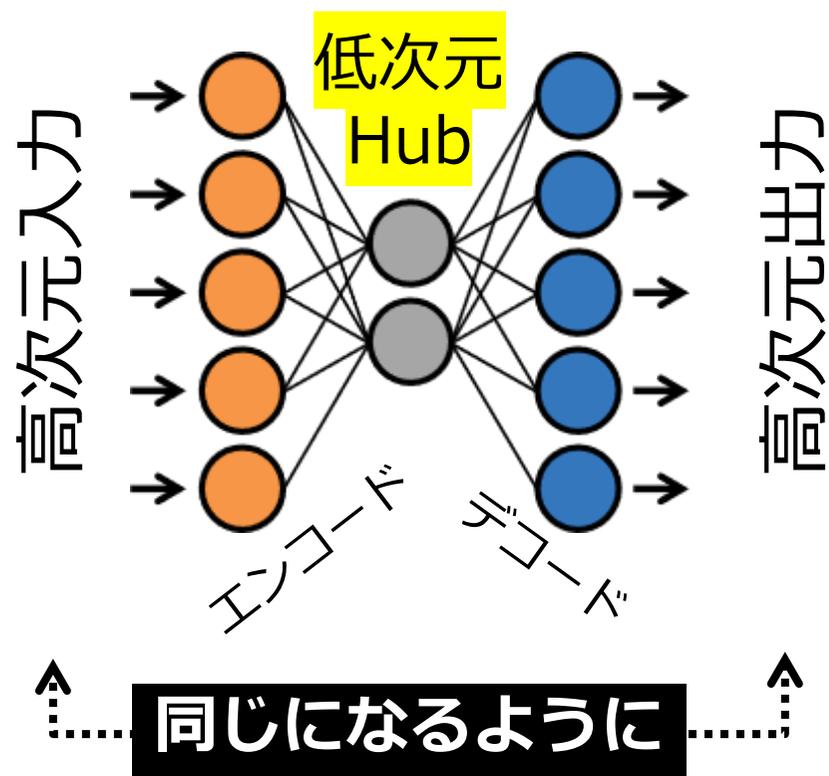
原動力はゆらぎ(温度)!

(エネルギーは方向 = 情報処理に使っている)

Kitamura 1999 Nature
柳田敏雄 前研究センター長

新技術が採用した 基本情報処理：自己符号化

- 入力を一旦別の表現にして同様の出力を返す情報処理



*主に深層学習の
次元削減に使われる

Hinton 2006 Science

新技術が採用した 基本情報処理：自己符号化

- 生命にも蝶ネクタイ構造(bow-tie)のような類似がある



多種栄養 → 20種アミノ酸 → 多種タンパク質
多種環境分子 → MAPK回路 → 多種遺伝子発現

特に細胞シグナル伝達では
時間パターンに情報を埋め込む
と考えられている

Behar 2010 CurrOpinGenetDev

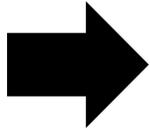
小さなBow-tieモジュールは
生命系の設計プラットフォーム
として期待されている

Prochazka 2014 NatCommun

Csete 2004 TrendsBiotechnol.

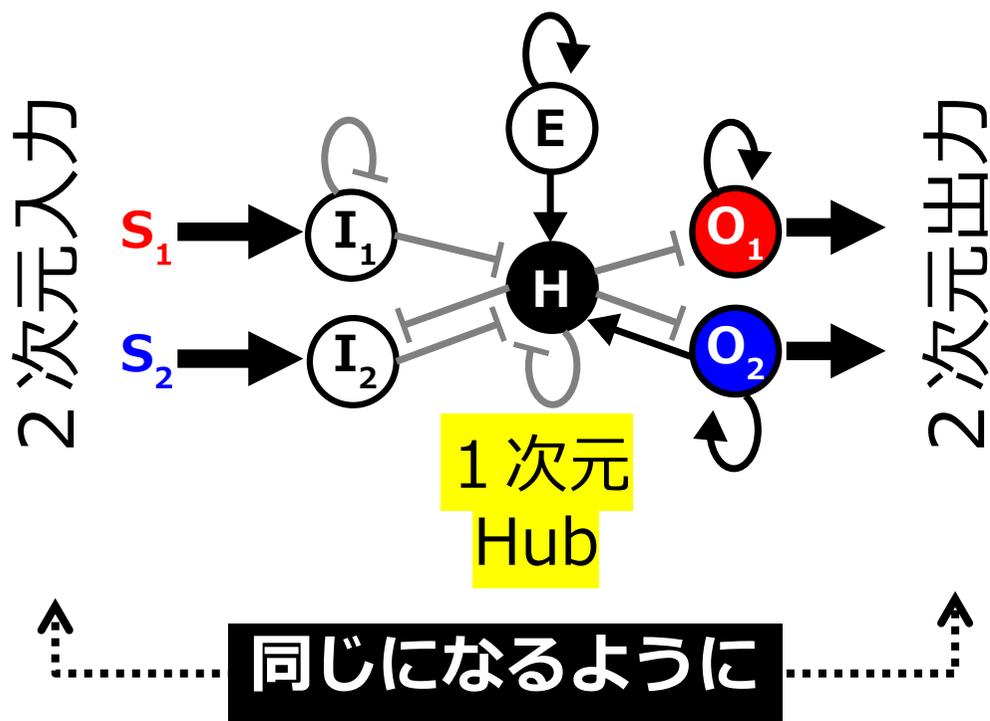
目次

- 背景
- 従来技術と新技術
- 新技術の着目点
- 新技術
- 新技術の原理
- 新技術の特徴,用途,課題
- 企業への期待



新技術

- ゆらぎによって自己符号化する
ニューラルネットワークモジュール



- : ニューロン
- : 興奮性シナプス
- ⊣ : 抑制性シナプス

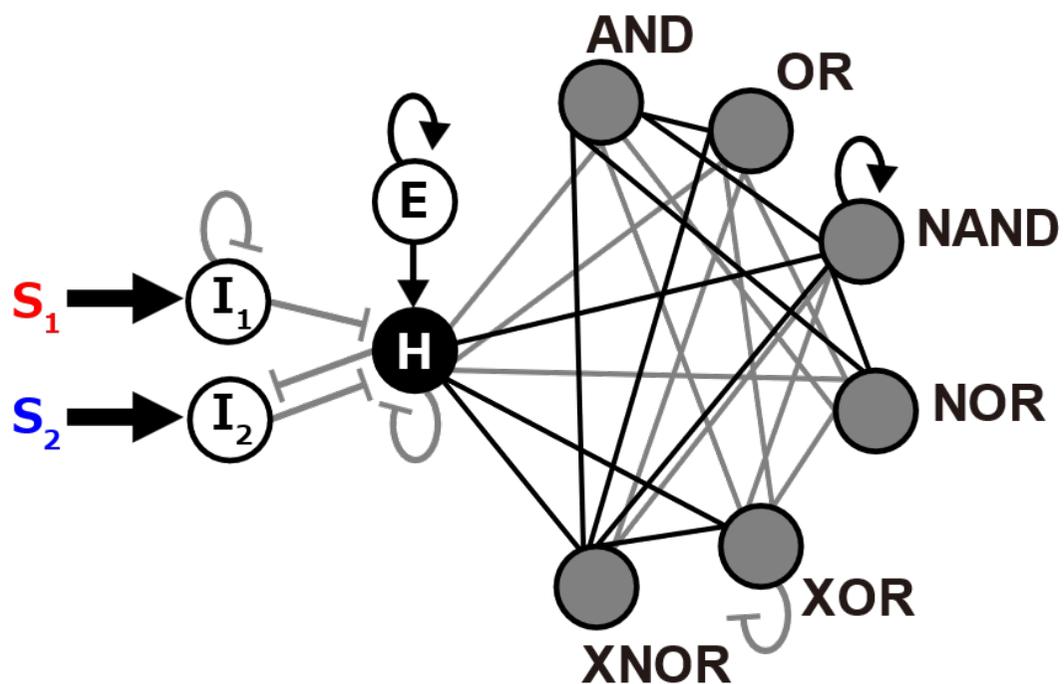
ニューロン活性の変化の式

$$\frac{dx_i}{dt} = \frac{1}{1+e^{-\beta(S_i+\sum C_{ij}x_j)}} - x_i + \eta$$

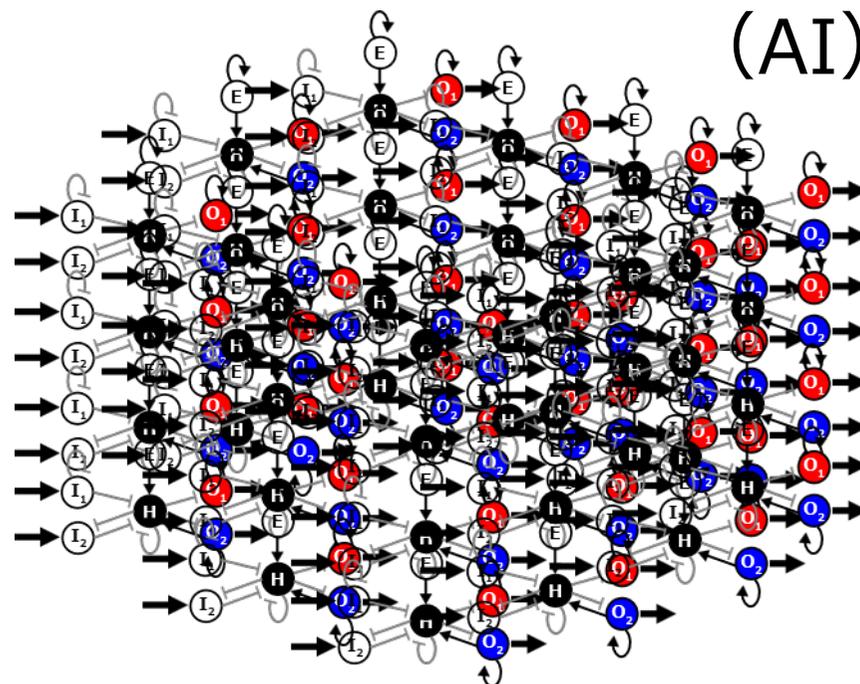
特開2024-042285
(国際PCT/JP2023/30480)

新技術の応用

- 1次元Hubから6つの基本論理演算を取り出せる
- モジュール集合で複雑な情報処理が期待される

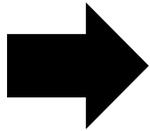


大規模ニューラルネット
(AI)



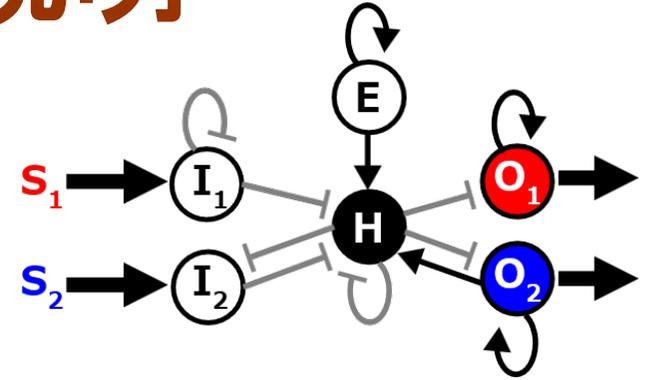
目次

- 背景
- 従来技術と新技術
- 新技術の着目点
- 新技術
- 新技術の原理
- 新技術の特徴,用途,課題
- 企業への期待



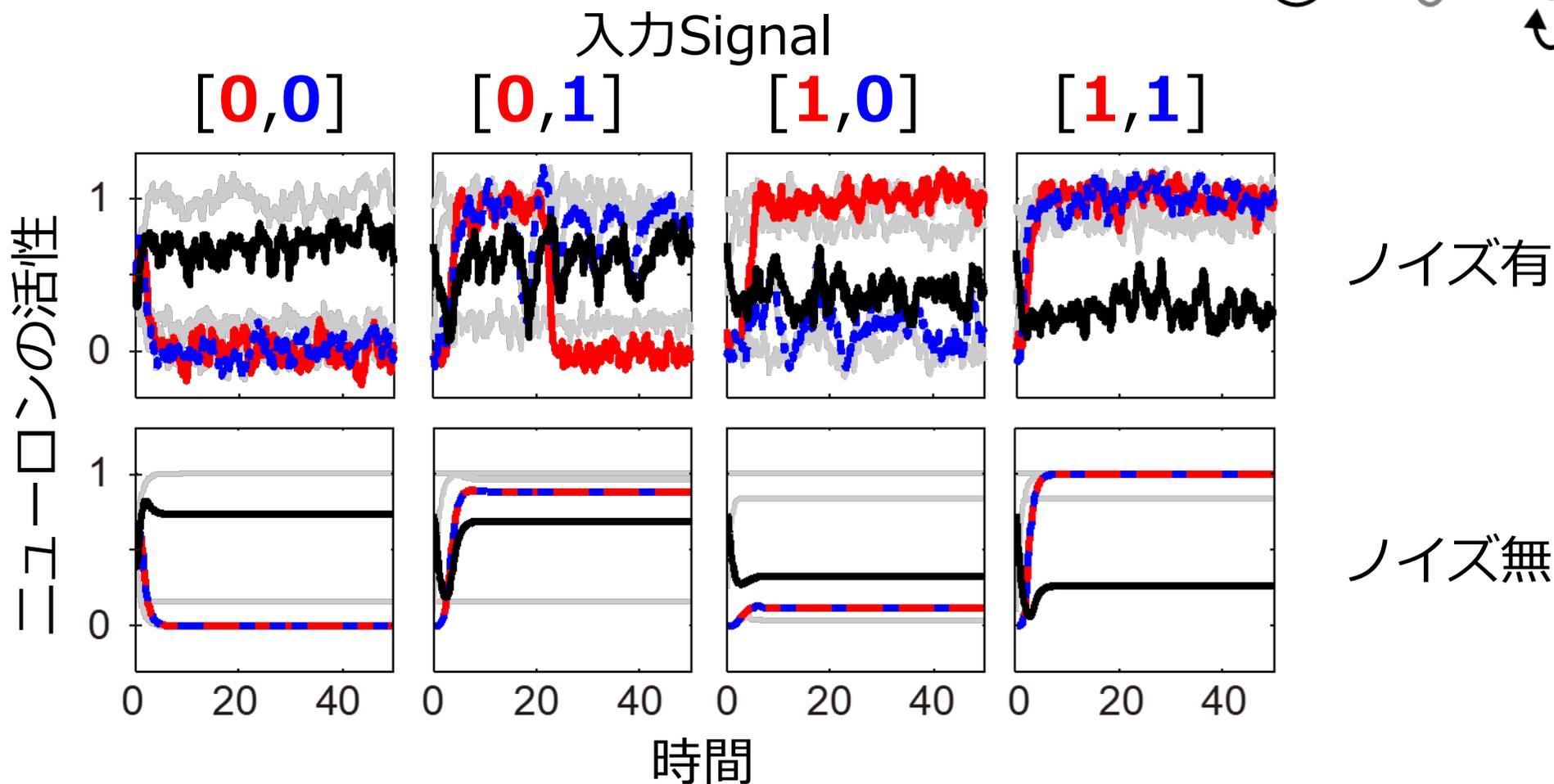
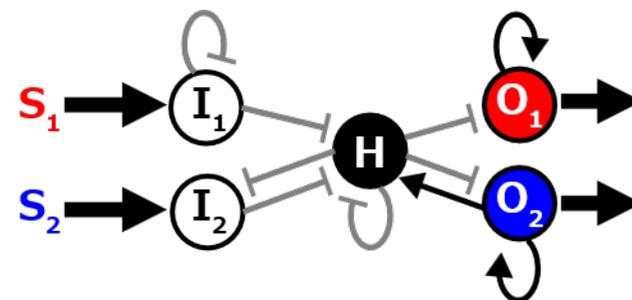
新技術の原理の説明

- 実際にはどんなシステムか？



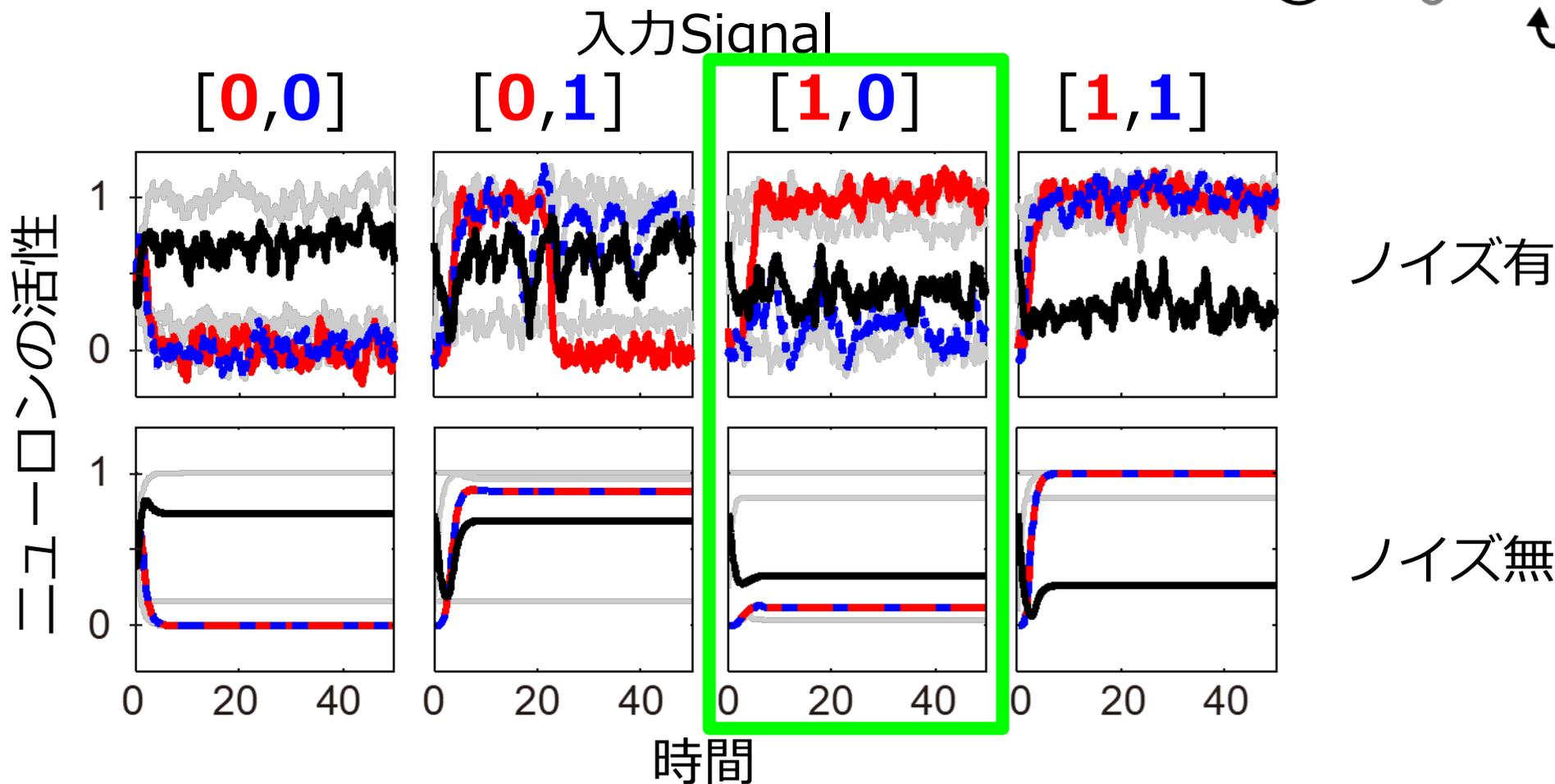
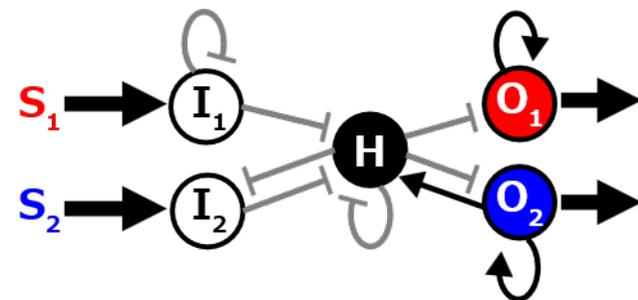
新技術の原理の説明

- 実際にはどんなシステムか？



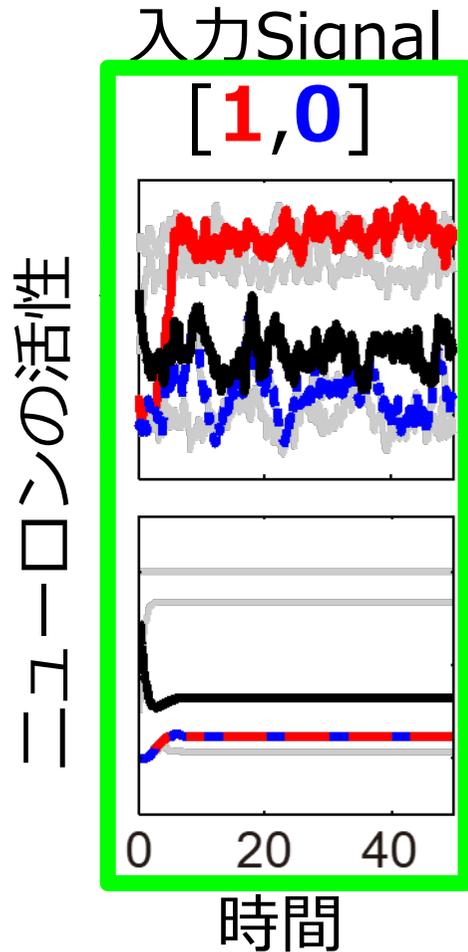
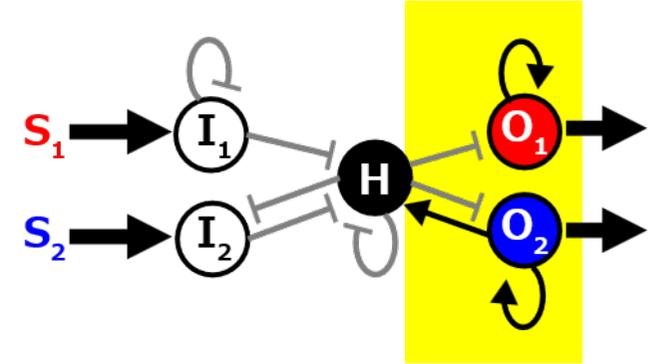
原理①: ゆらぎと動的アトラクタ

- 実際にはどんなシステムか？



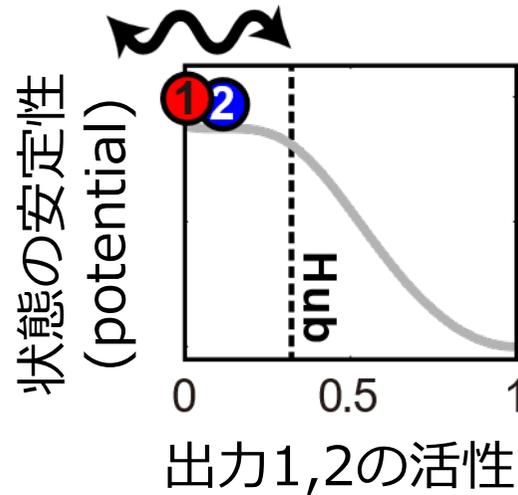
原理①: ゆらぎと動的アトラクタ

- ゆらぎが『違い(情報)』を作る！

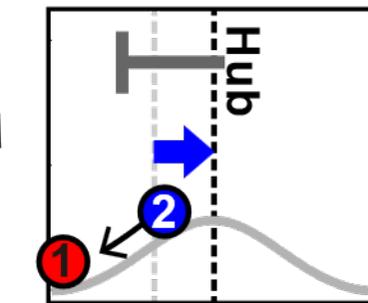
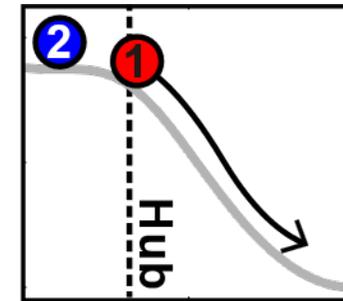


$$\frac{dx_i}{dt} = \frac{1}{1 + e^{-\beta(S_i + \sum C_{ij}x_j)}} - x_i + \eta$$

ゆらぎがキツカケ



①はそのまま変化

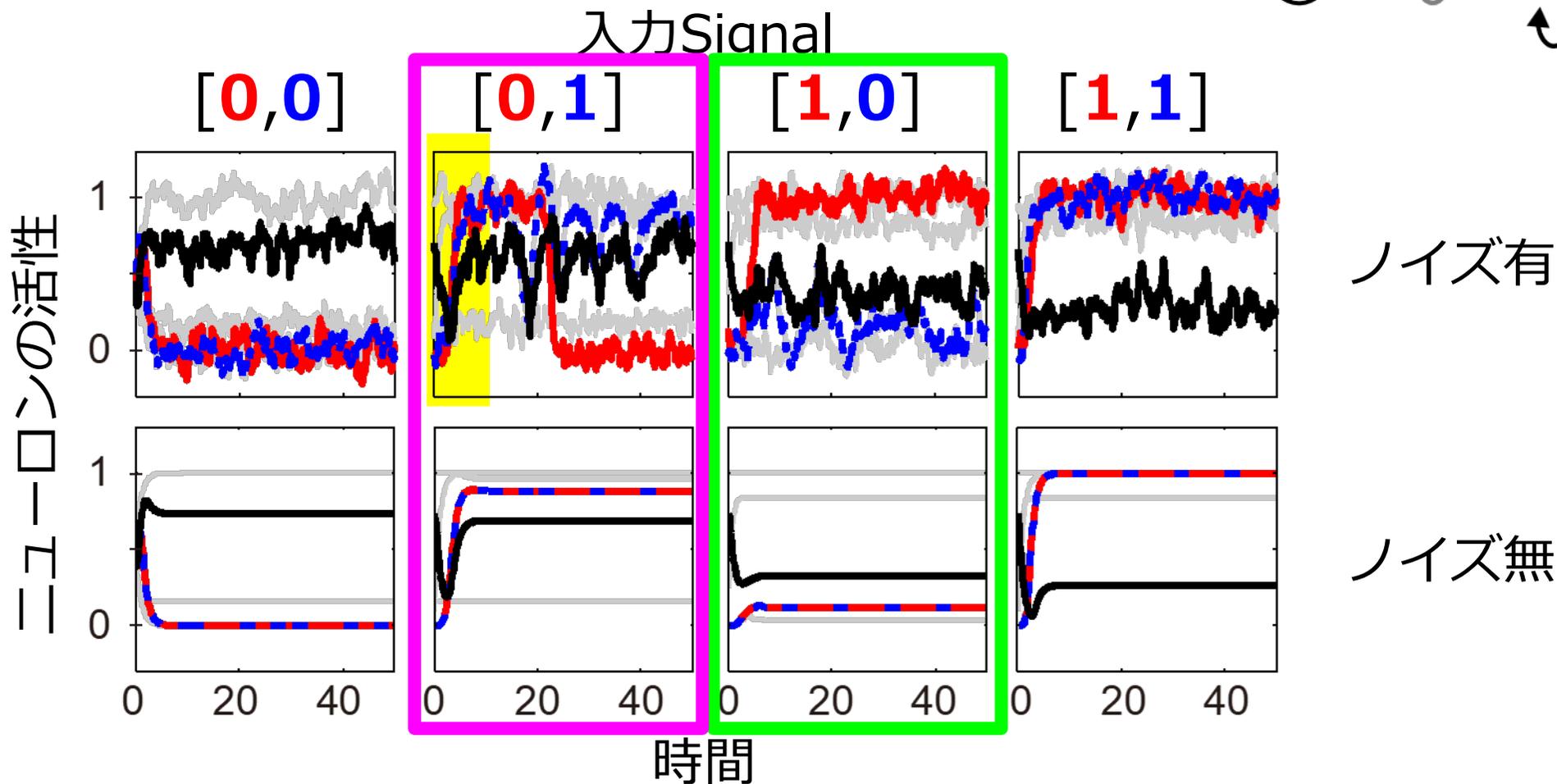
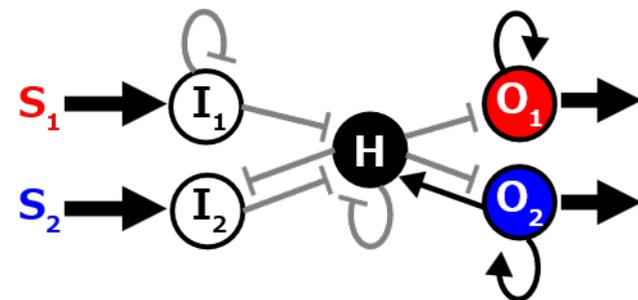


Hubの
変化で
Potential
が変わる

②は戻される

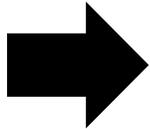
原理②: 時間コーディング

- Hubが『下がって上がる』情報
(+先ほどのゆらぎ効果)



目次

- 背景
- 従来技術と新技術
- 新技術の着目点
- 新技術
- 新技術の原理
- 新技術の特徴,用途,課題
- 企業への期待



新技術の特徴

- 他の新技術同様、プロセッサによる計算と異なり **全体が並列に動く**ことで情報処理が実施される
- **ノイズを利用して**情報処理できる。
- 不可避なノイズの10倍程度まで電圧を下げることで、**超低電力ハードウェア実装**の可能性がある
- 現在のような万能性はないが、**AI用の超低消費電力計算機**として普及される可能性がある

想定される用途

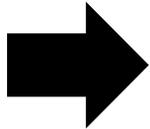
- **AI用の超低消費電力計算機**として
- 特に、**日常にありふれるAI機器**、例えばカメラに付随するような、その場での処理（エッジコンピューティング）として
- **サーバでのAI用計算機**としても

実用化に向けた課題

- **理論的に、モジュールの集合で大規模化したときに、どのような情報処理が可能か？**
- **アナログ計算機として実装できるか？**
- **低電圧で実装できるか？**
 - リレー、スピントロニクス、MEMS、メモリスタ、CMOS、サブスレッショルド領域などの利用？
(当方の専門外だが開発されている分野)

目次

- 背景
- 従来技術と新技術
- 新技術の着目点
- 新技術
- 新技術の原理
- 新技術の特徴,用途,課題
- 企業への期待



企業への期待

- 理論的な研究は当方で実施
- ブレッドボードモデルとしての簡単な電子回路での実装も当方で可能と考えている
- **大規模かつ複雑な電子回路での実装 and/or 低電圧での実装でのご協力を期待**
- **NICT発ベンチャー**を考えているため、**その協働や資金提供**などのご協力も期待
(他に、ひらめくAIの開発などもしています)

企業への貢献、PRポイント

- **革新的な超省エネAI用計算機ができる**
- 実現可能性が高いわけではないが、成功すれば革命的で**市場規模も膨大**
- 超省エネ技術として**社会貢献度も膨大**

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 自己符号化を行うシステム、プログラム、および方法
- 出願番号 : 特願2022-146887
特開2024-042285 (国際PCT/JP2023/30480)
- 出願人 : 情報通信研究機構
- 発明者 : 細田 一史

産学連携の経歴

- 2013年-2021年 リーディング大学院に從事
(グローバルイノベーター育成；教務委員長)
- 2019年- あんさんが研究舎 **開業** (個人事業)
- 2024年- うめきた 2期での**産学官民連携**
プロジェクト開始

お問い合わせ先

国立研究開発法人情報通信研究機構
イノベーション推進部門
知財活用推進室

T E L 042-327-6950

e-mail ippo@ml.nict.go.jp