

ニューロミメティックコン ピューティング - 脳互換 AI を目指して -

河野 崇

東京大学生産技術研究所
kohno@sat.t.u-tokyo.ac.jp
<http://www.sat.t.u-tokyo.ac.jp/~kohno>

CRDS シンポジウム, 07/03/2017

脳神経系



- ▶ 低消費エネルギー (~20W)
- ▶ 多量の複雑な入力情報を統合し柔軟・知的・高速に処理
- ▶ 自律的な機能獲得能力と環境変化に対する適応性
- ▶ メンテナンスフリーで長期間動作 (耐故障性、自己修復)
- ▶ 低速で比較的単純な素子の超並列結合で高信頼性を実現

ニューロミメティック (神経模倣)

情報処理システム

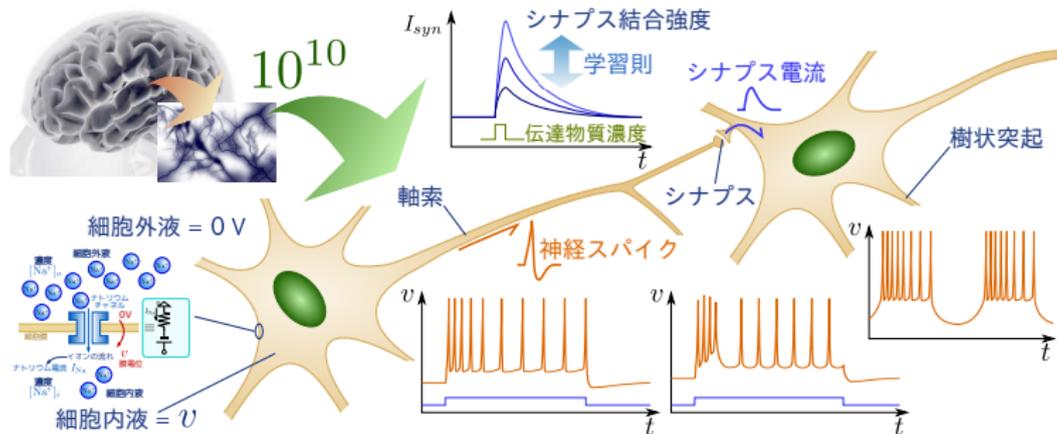
Neuromomimetic Information Processing System

- ▶ 超並列システムである脳神経系を模倣することにより、その優れた特性を受け継ぐ情報処理の実現を目指す。

脳と同等の原理で動くコンピュータを作りたい

シリコン神経ネットワーク

神経細胞・シナプスレベルで神経ネットワークを模倣し、
脳神経系の電気的活動をリアルタイム以上の速度で再現する電子回路

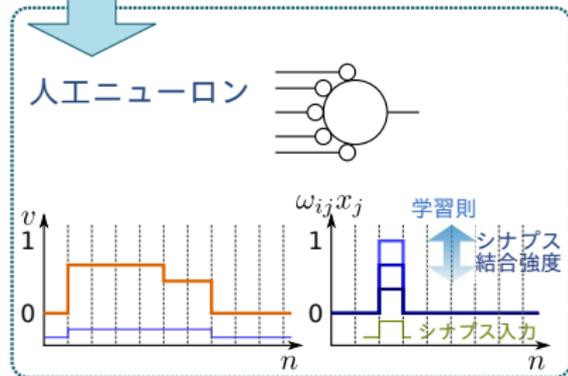
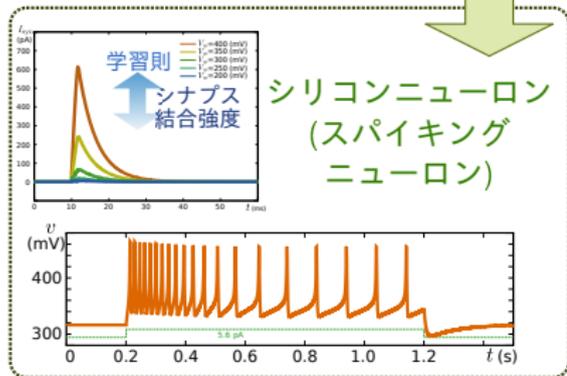
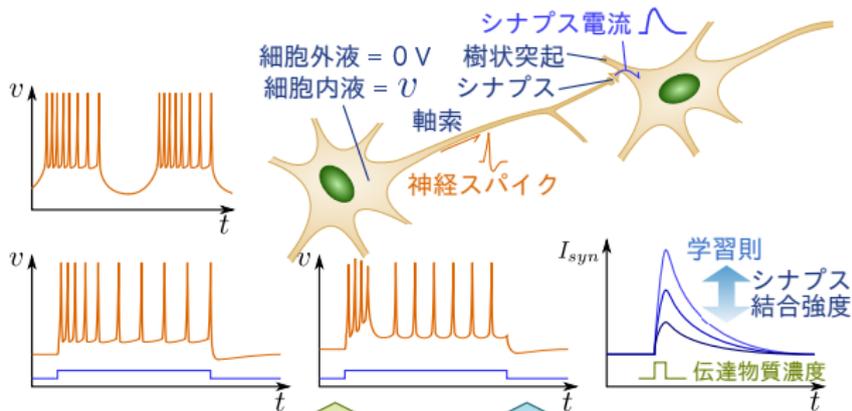


- ▶ 脳神経系模倣システムへの最も粒度の細かいボトムアップアプローチ。
- ▶ neuromimetic: 脳神経系との”**compatibility(互換性)**”を意識

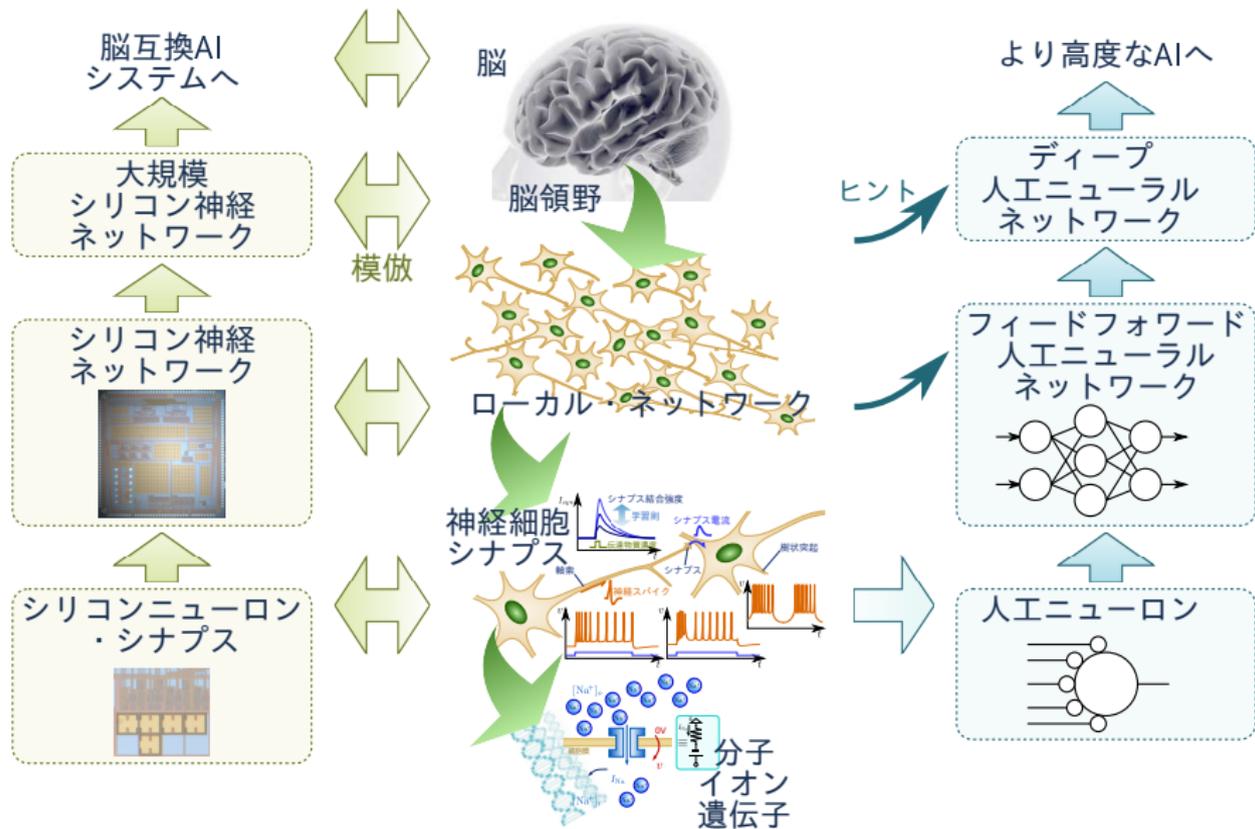
≠ 人工ニューラルネットワーク (**neuroinspired**)

→ より脳に近い次世代 AI の基盤技術

シリコン神経ネットワークと人工ニューラルネットワーク (1)



シリコン神経ネットワークと人工ニューラルネットワーク (2)



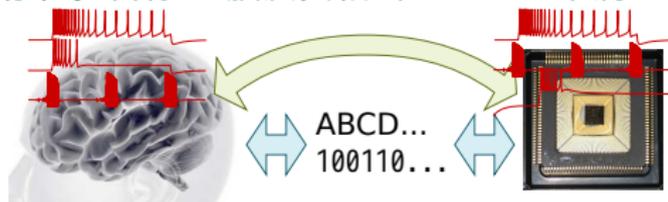
シリコン神経ネットワークによる AI の目指すもの

低消費電力

- ▶ 神経細胞、シナプスと同等の動作速度: 電子回路にとっては非常に低速
数 nW のシリコンニューロン回路が存在。目標: 大脳皮質相当を 200W 未満で

脳との互換性

- ▶ 神経スパイクの活動で情報を扱う。
 - ▶ 言語などを介さず、脳と直接コミュニケーションできる。
感動や感覚など言語表現の難しい情報を扱うことができる。
「人と理解し合える」コンピュータ・ロボット
- ▶ 脳疾患に対する医療デバイスへの応用
IPS などによる組織再生の促進、自律的トレーニング

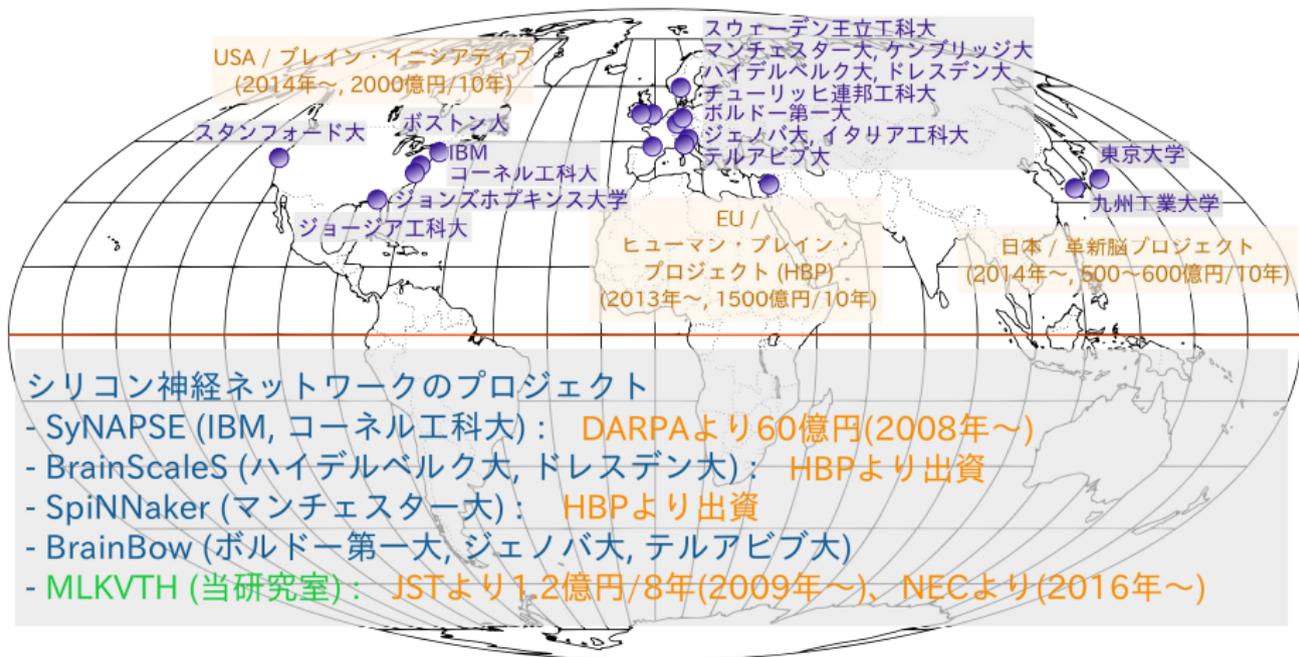


自律的修復

- ▶ 脳内では常に神経細胞が補充されている (アダルトニューロジェネシス)。
 - ▶ 同等のメカニズムにより少しずつ自動修復させることができる。
壊れにくい、壊れても勝手に治るコンピュータ

シリコン神経ネットワーク

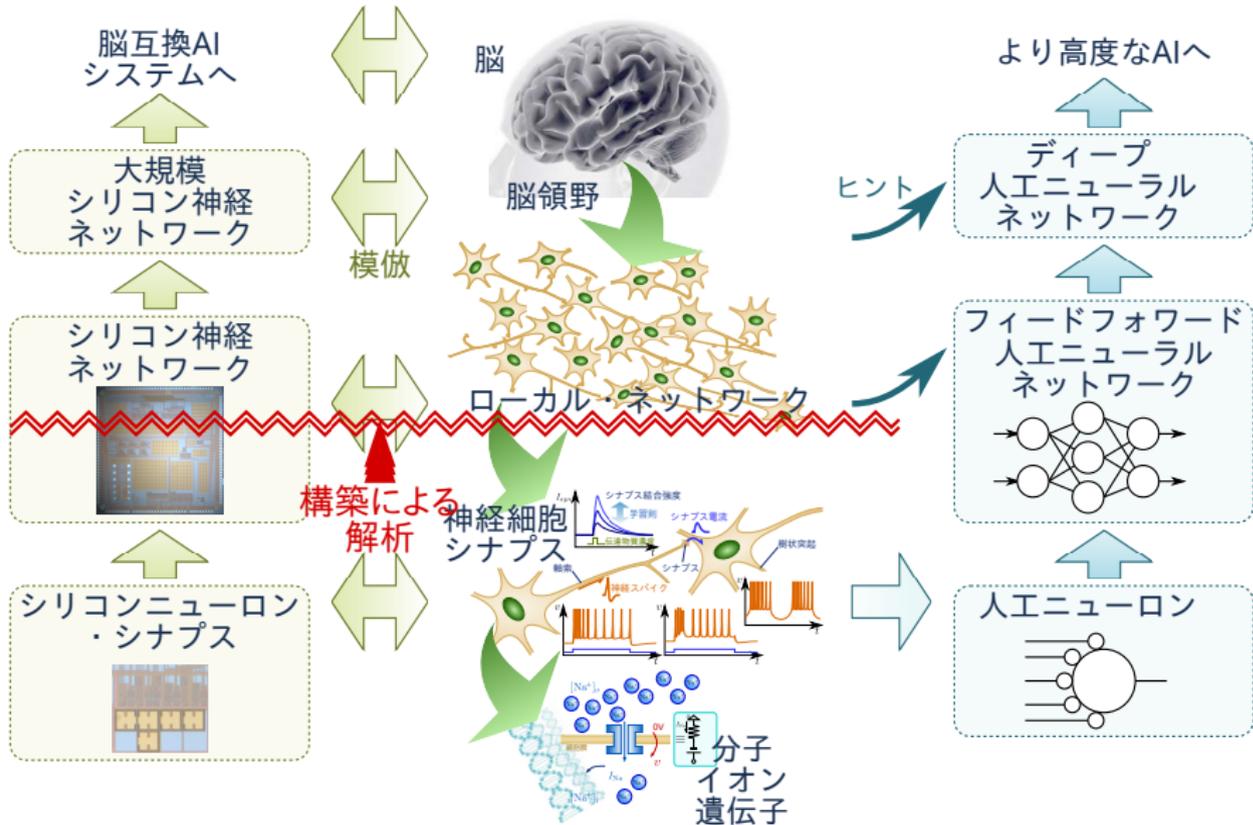
- ▶ 神経ネットワーク: 低信頼性、低速で比較的単純な素子の超並列構造
低速な回路の超並列構造 → 低消費電力化に有利
- ▶ 次世代低消費電力/脳型情報処理システムの有力候補



シリコン神経ネットワークのプロジェクト

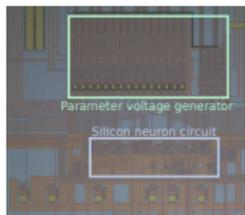
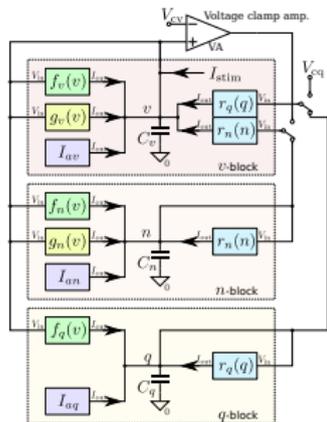
- SyNAPSE (IBM, コーネル工科大): **DARPAより60億円(2008年～)**
- BrainScaleS (ハイデルベルク大, ドレスデン大): **HBPより出資**
- SpiNNaker (マンチェスター大): **HBPより出資**
- BrainBow (ボルドー第一大, ジェノバ大, テルアビブ大)
- MLKVTH (当研究室): **JSTより1.2億円/8年(2009年～), NECより(2016年～)**

シリコン神経ネットワークの課題

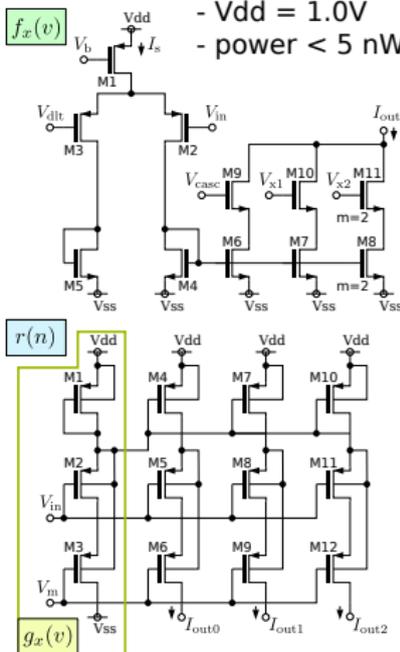


定性的モデルに基づいた超低消費電力 SN 回路

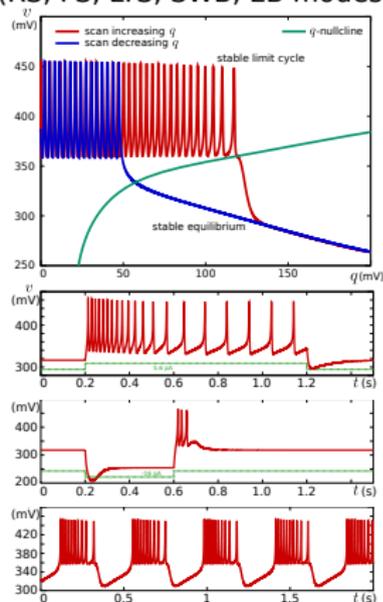
[Kohno & Aihara, 2016]



TSMC 0.25um CMOS



- $V_{dd} = 1.0V$
 - power < 5 nW (RS, FS, LTS, SWB, EB modes)

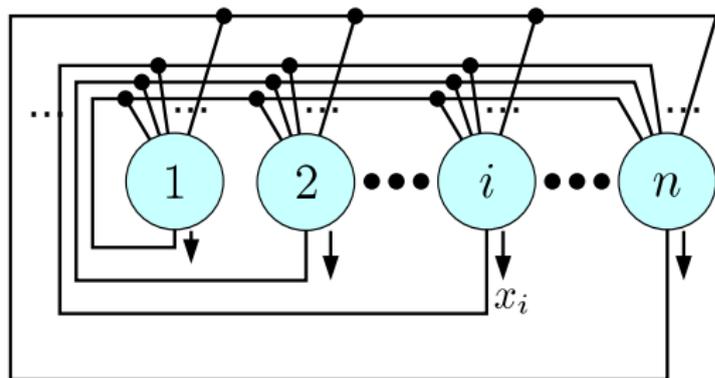


- ▶ サブスレッショルド **MOSFET** 回路用 3 変数定性的モデル
- ▶ 消費電力 ~ 5 nW (パラメータ電圧保持回路込み)
- ▶ パラメータ電圧調整用回路搭載

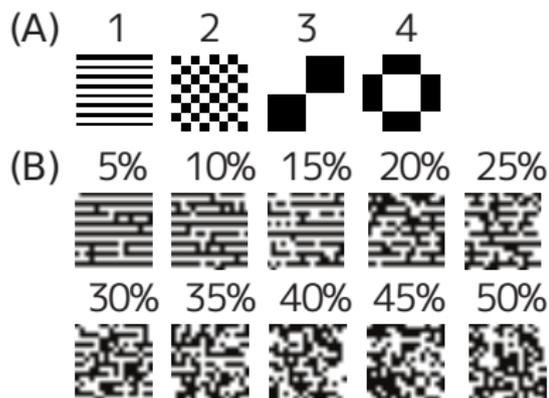
DSSNNによる自己想起型連想記憶メモリ

[Li, Katori, & Kohno, 2012][Li, Katori, & Kohno, 2013]

全結合 DSSN ネットワーク



記憶パターンと入力パターン例

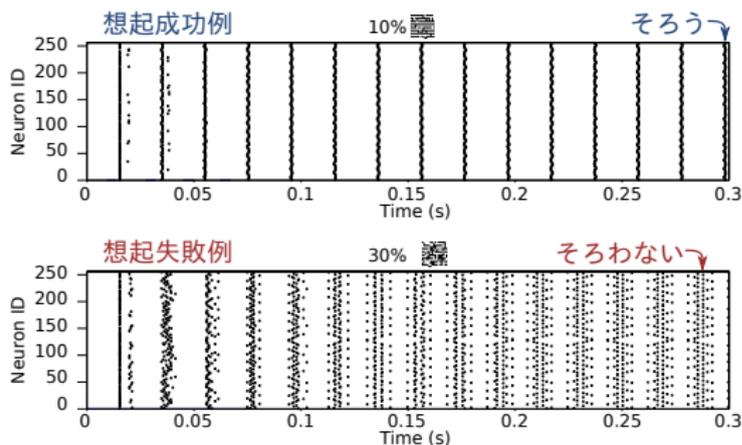


- ▶ 256 ニューロンのネットワーク (Spartan-6 LX45)
- ▶ Hebb 学習 (or 相関学習) により (A) の 4 パターンを銘記
- ▶ 銘記パターンの一部を反転させた (エラーを付加した) パターンを入力

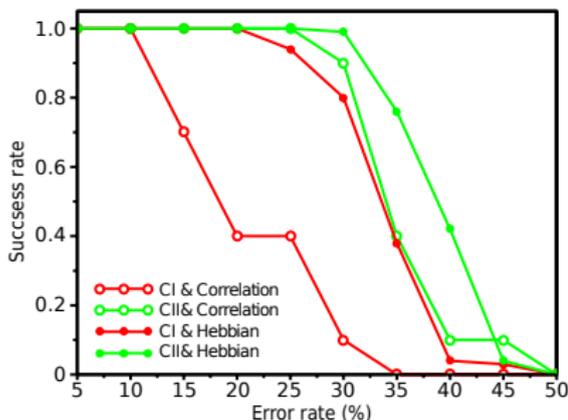
DSSNNによる自己想起型連想記憶メモリ

[Li, Katori, & Kohno, 2012] [Li, Katori, & Kohno, 2013]

想起プロセス



想起パフォーマンス



- ▶ 白黒を神経スパイクの位相に変換して入力
- ▶ 想起成功/失敗が神経スパイクの同期/非同期でわかる
 - ▶ 想起成功 ⇔ 神経スパイクが同期
 - ▶ 想起失敗 ⇔ 神経スパイクがばらばら
- ▶ 想起性能 (よりエラーの多いパターンから銘記パターンを想起する能力)
ニューロンモデルが Class II > Class I

まとめ

- ▶ シリコン神経ネットワークは、高度な AI へのもうひとつのアプローチ
- ▶ 脳互換 AI: 脳と「共生する」コンピュータ
 - ▶ 脳と同等の形式で情報を表現: 感覚などを直接扱える。
 - ▶ 医療デバイスへの応用も考えられている。
 - ▶ 低電力。高性能パソコンと同程度以下が視野に。
 - ▶ 壊れにくい。壊れても自然に治る。
- ▶ 定性的モデリングに基づく回路に設計より低電力と互換性を両立。
世界初のシリコン神経回路である南雲回路 (東大, 1962) を受け継ぐ

