

メモリスタ回路

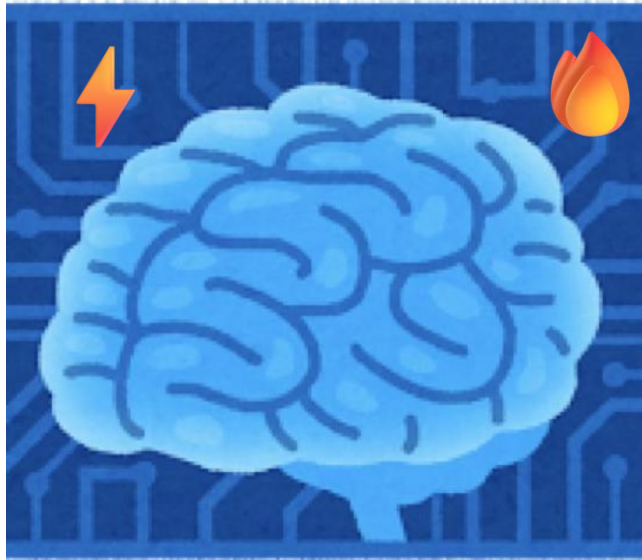
～シンプルな電子回路でニューロン動作を実現～

理化学研究所 開拓研究所
専任研究員 大島 勇吾

2026年6月16日

AIの消費電力問題と脳型回路

現在のAI



- 大規模AIは膨大な電力を消費
- GPU・データセンター依存
- 消費電力増大が社会課題に

人間の脳



- 約20 W程度で動作
- 超高効率な情報処理
- スパイク信号による動作

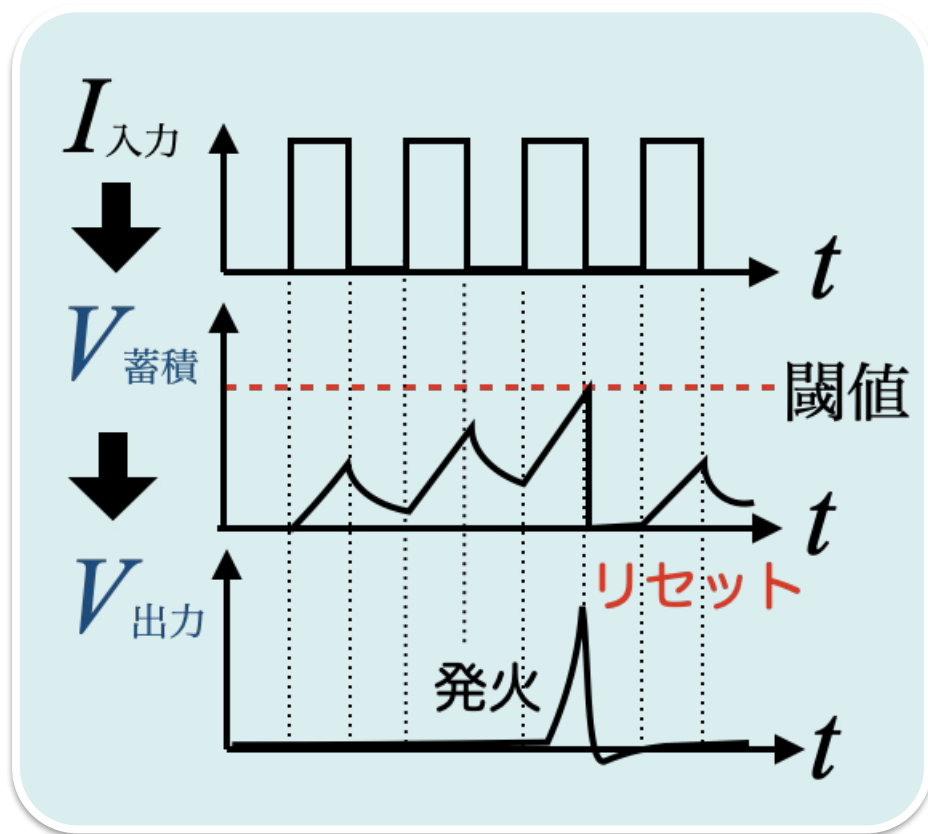
「脳のように動作する
電子回路を、よりシン
プルに実現できない
か？」

ニューロモーフイック(脳模倣)回路への期待

低消費電力AI・エッジデバイス・次世代情報処理

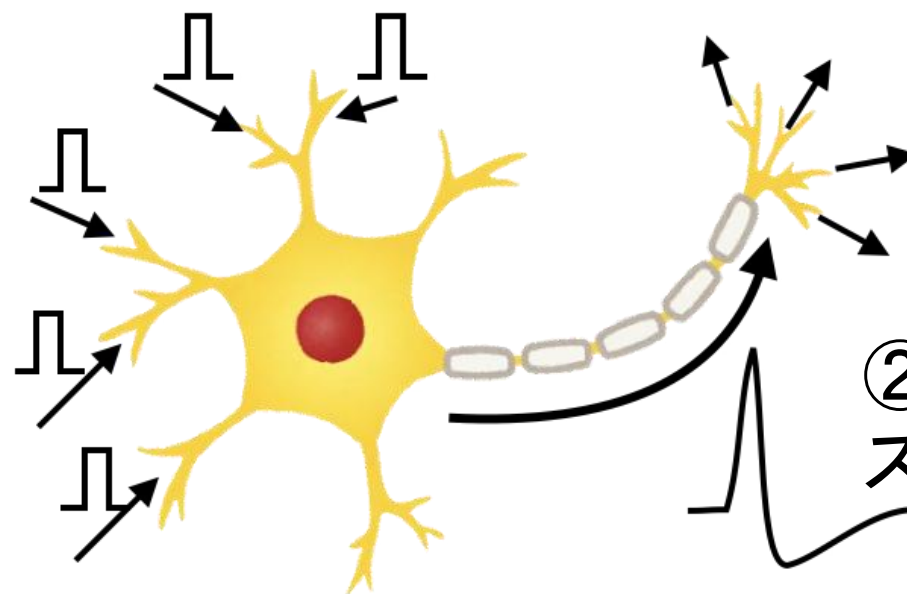
脳内の情報処理:ニューロンの動作

ニューロンの基本動作



①入力信号を蓄積

③次のニューロンへ情報を伝達



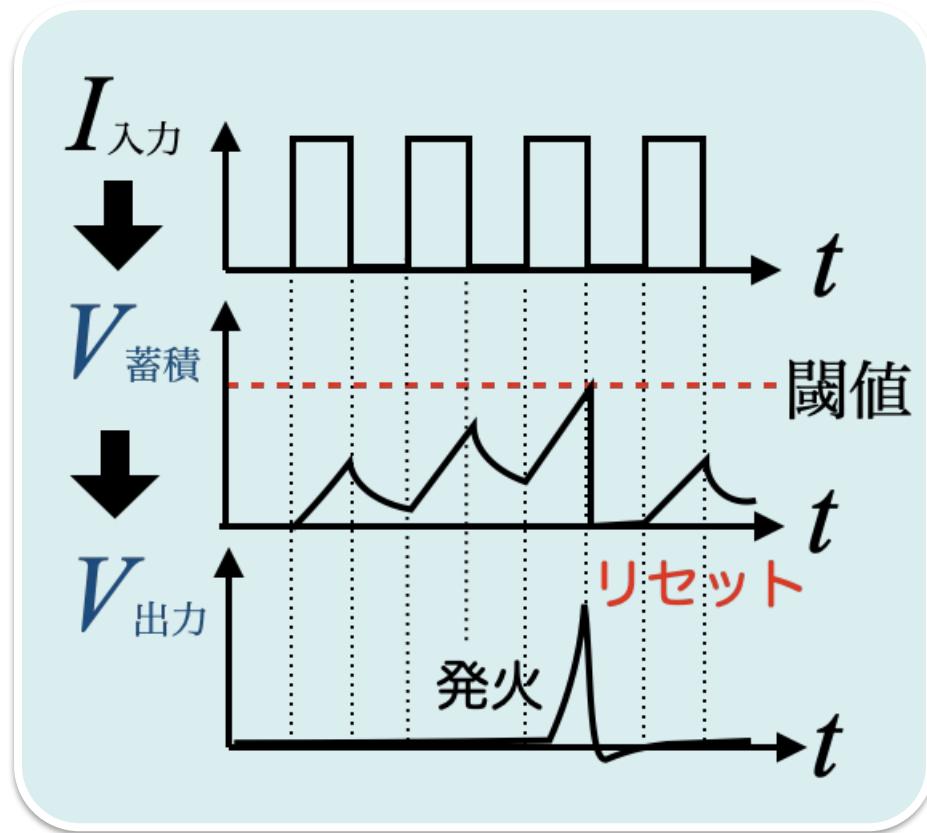
②一定の閾値を超えると
スパイク発火

「ためて、一気に発火」

ニューロモーフイック回路では、この動作を電子回路で再現

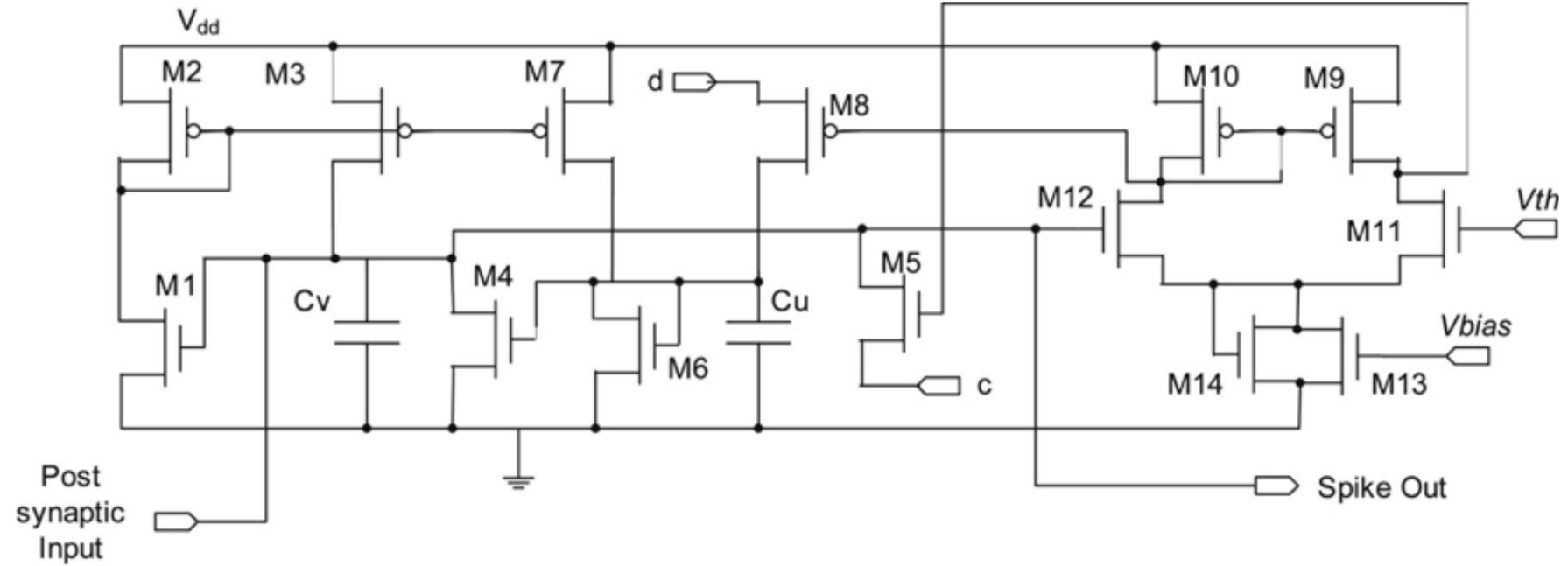
従来的人工ニューロン回路

ニューロンの基本動作



CMOSニューロン回路

J.H.B. Wijekoon, P. Dudek / Neural Networks 21 (2008) 524–534



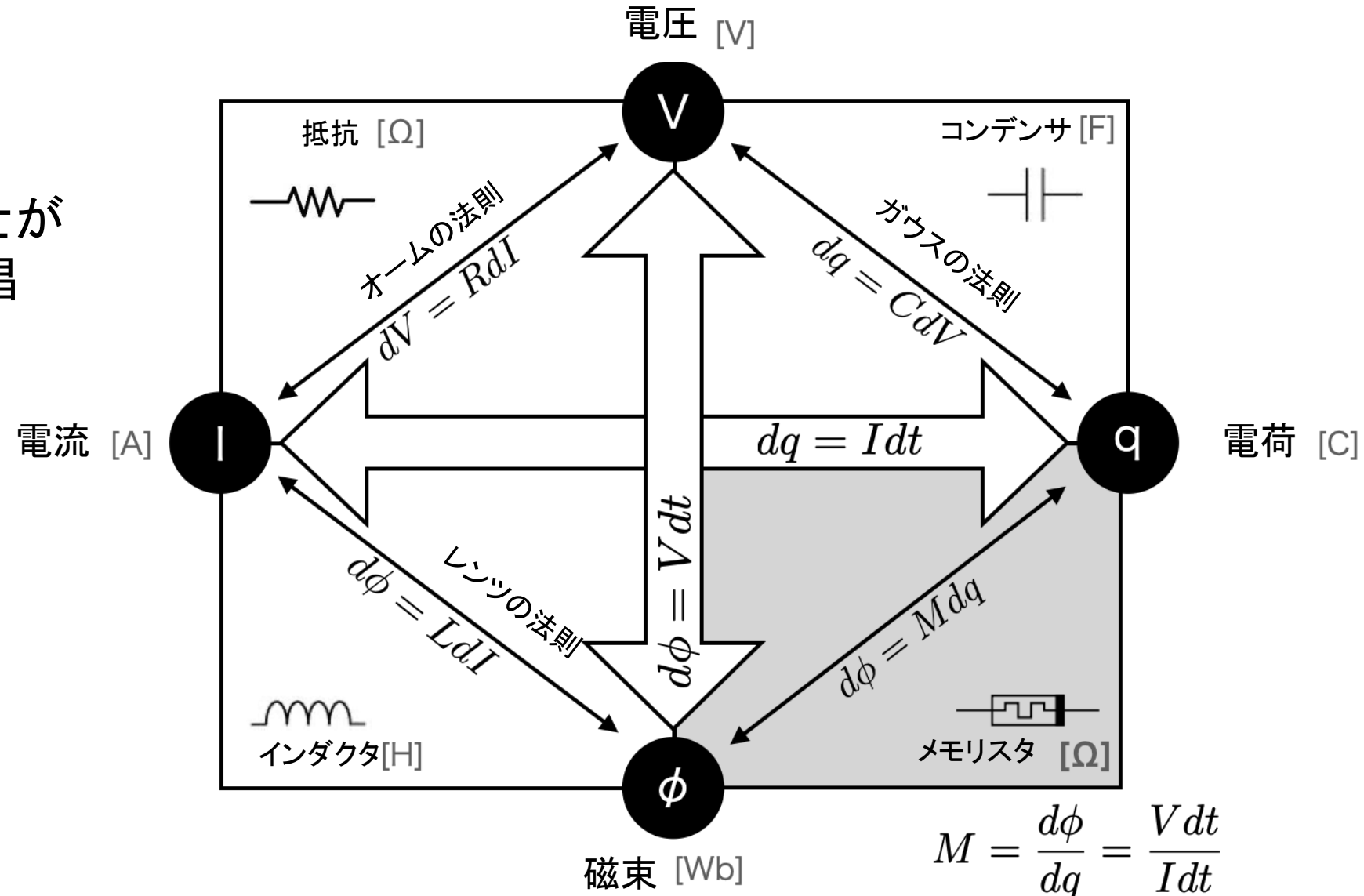
素子数が多い・消費電力・複雑

「もっとシンプルにできないか？」

第4の受動素子：メモリスタ

抵抗/コンデンサ/インダクタに続く第4の受動素子

1971年、
レオン・チュア博士が
コンセプトを提唱



電流の履歴に応じて抵抗値が変化

様々なメモ리스タ材料

ReRAM系(イオン移動型)

・ TiO_2 、 HfO_2 など

無機系(電子相関型・相転移型)

・ VO_2 、遷移金属ダイカルコゲナイドなど

履歴応答を持つ非線形受動素子

分子系(電子相関型・相転移型)

・ 分子性導体、金属錯体など

生体系(イオン応答型)

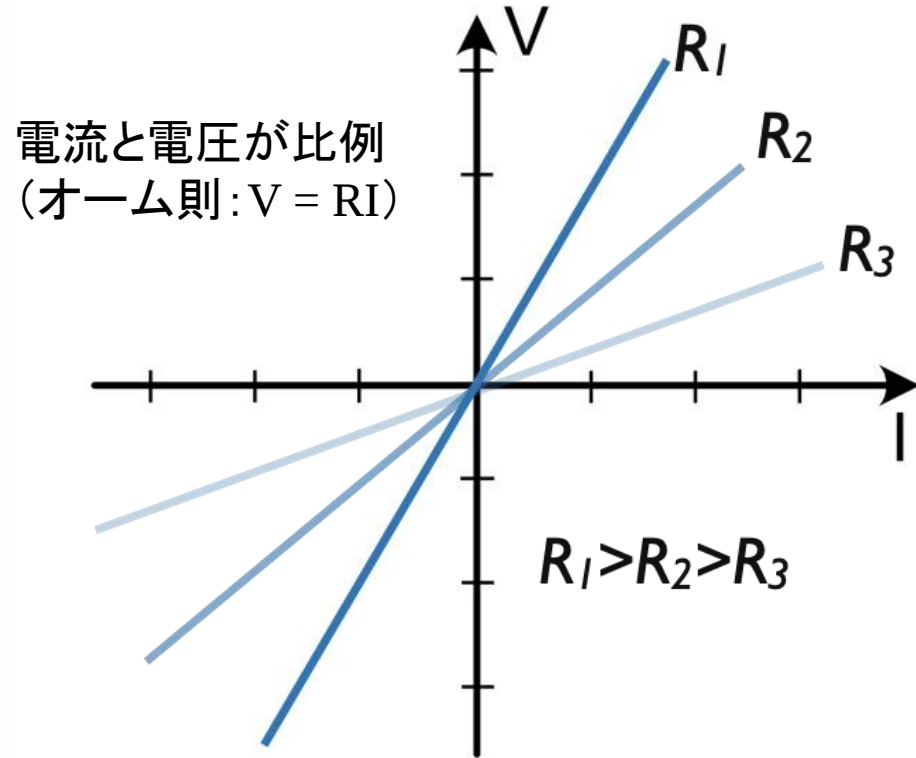
・ 生体ニューロン、生体分子

様々な物理系でメモリスタ的応答が報告されている

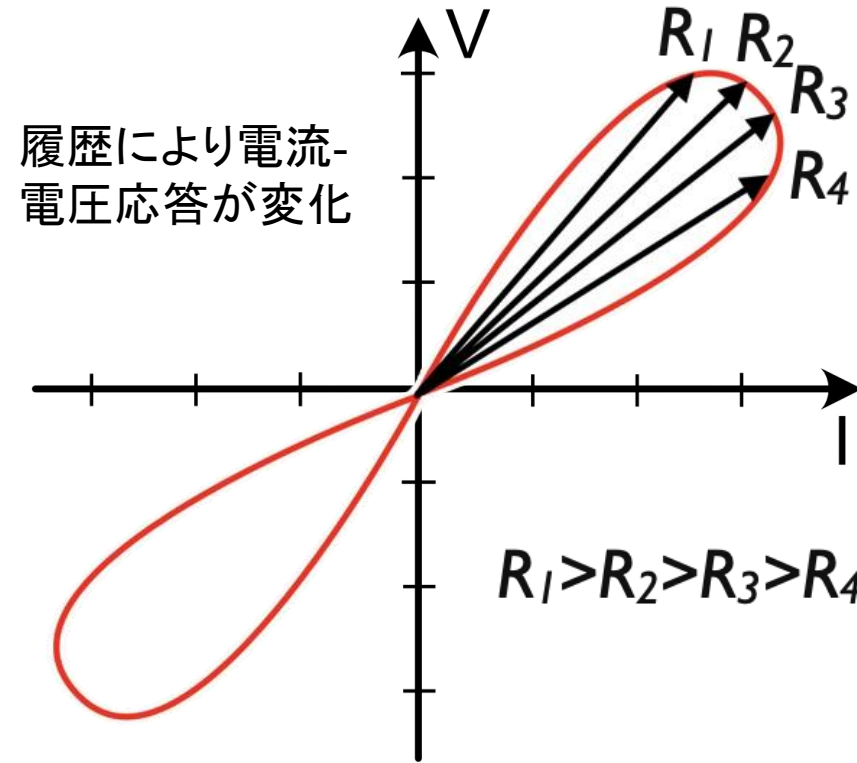
履歴を持つ電子素子：メモリスタ

メモリスタ：電流の履歴に応じて抵抗値が変化する受動素子

抵抗の電流-電圧特性



メモリスタの電流-電圧特性



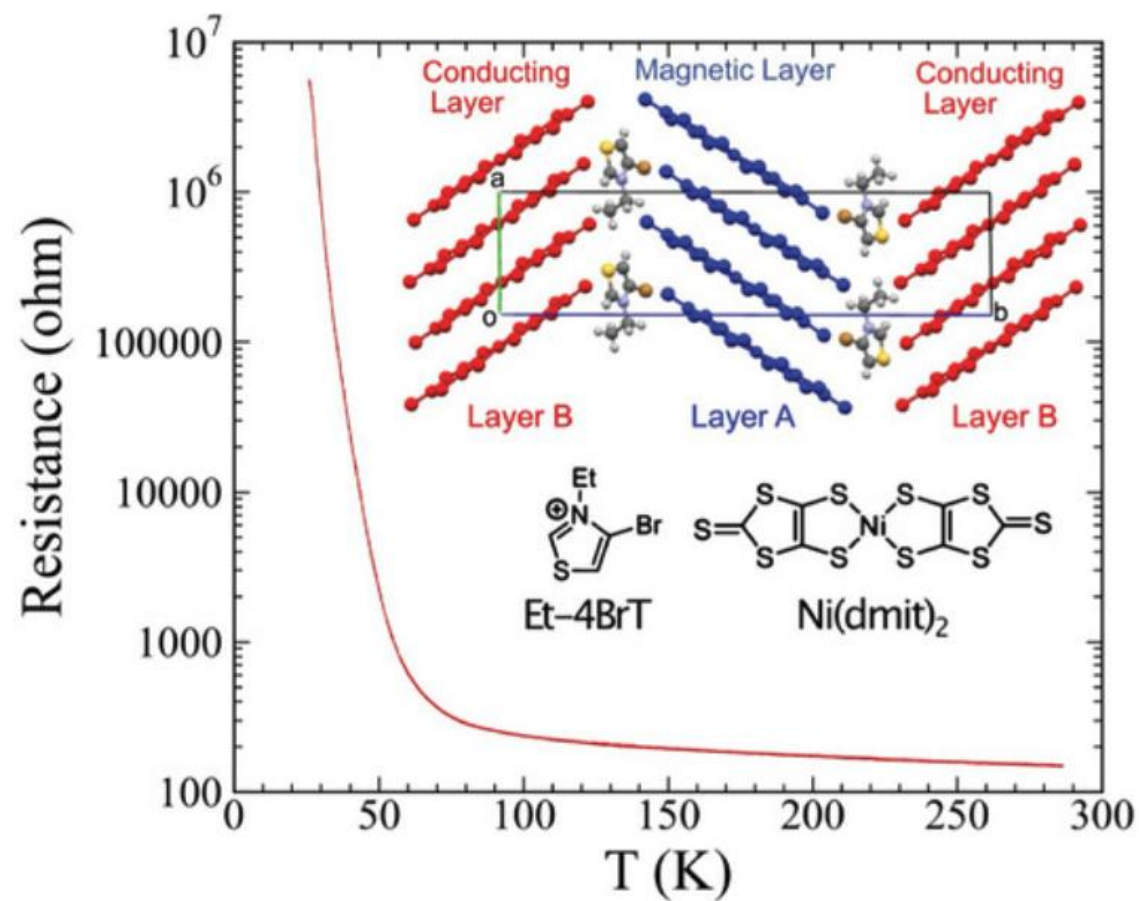
過去に流れた電流
↓
抵抗状態が変化
↓
電圧応答が変わる

メモリスタは特徴的な**Pinched Hysteresis Loop (PHL)**を示す

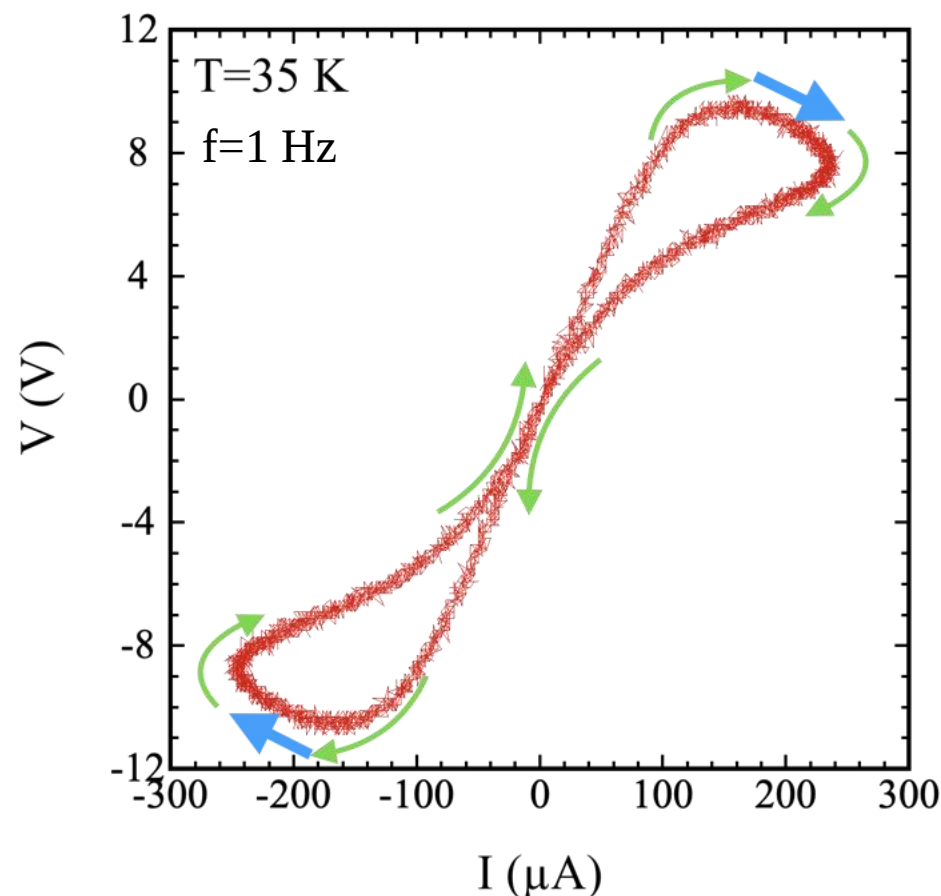
分子性物質で現れるメモリスタ特性

金属ジチオレン錯体(Et-4BrT)[Ni(dmit)₂]₂

Y. Oshima et al., Adv. Phys. Res. 3, 2300117 (2024)



60 Kで**金属-絶縁体転移**



特徴的な**Pinched Hysteresis Loop (PHL)** = メモリスタ
「**負性抵抗**」成分を含む**PHL**

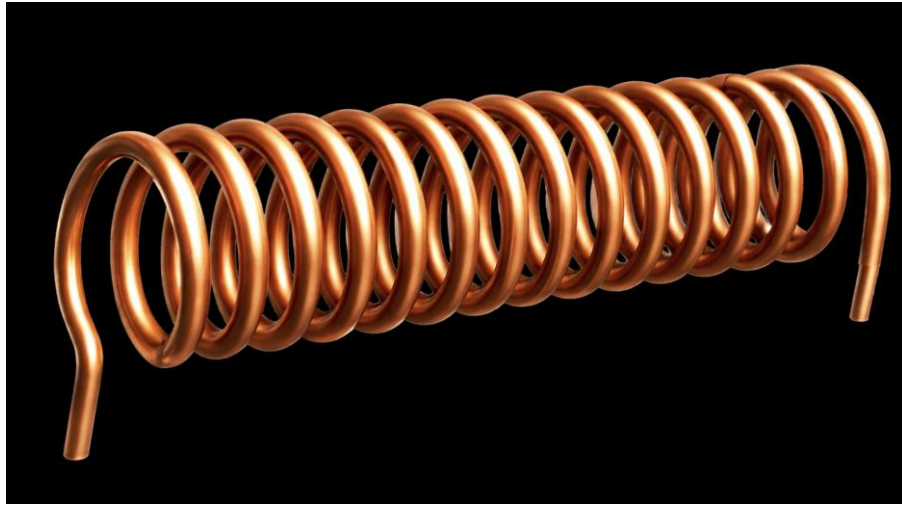
このような履歴応答が、発振やスパイク生成の起源となる

メモ리스タに現れる巨大インダクタンス

Y. Oshima et al., Adv. Phys. Res. 3, 2300117 (2024)

Y. Oshima et al., Sci. Rep. 16, 13023 (2026)

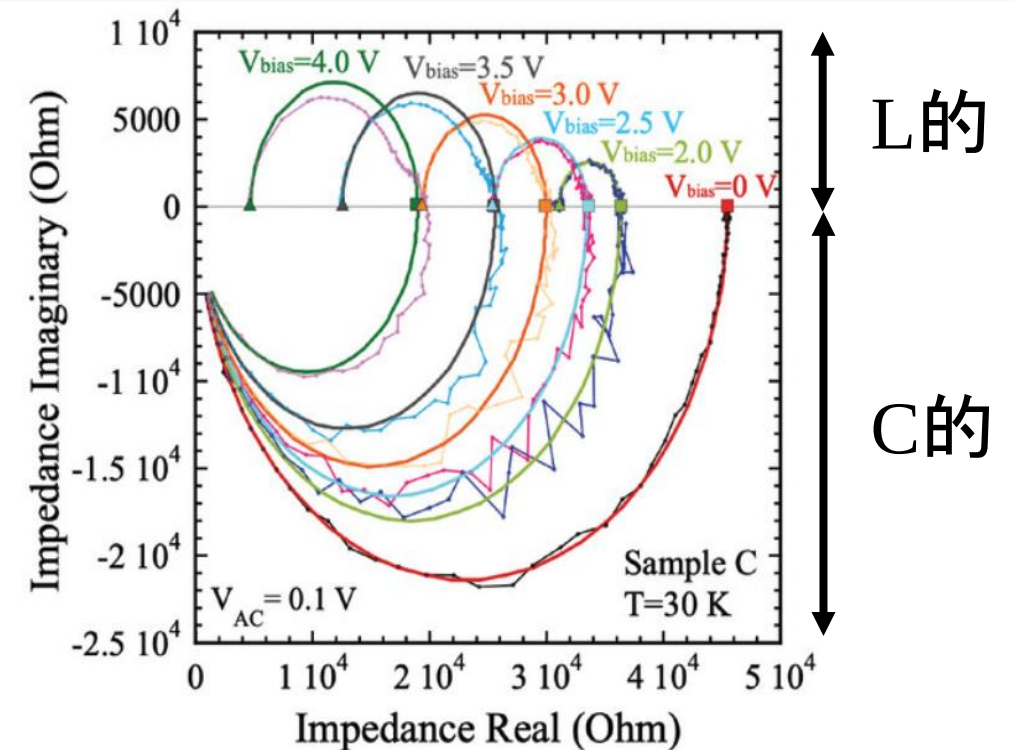
通常のコイル



コイルは磁場として
エネルギーを蓄える

通常: nH~ μ Hスケール

メモ리스タの巨大インダクタンス



直流印加時にコイルのように振る舞う

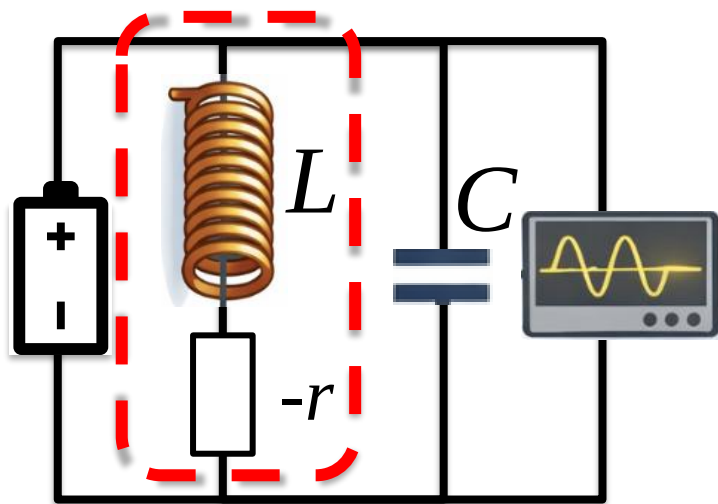
最大 $10^2 \sim 10^5$ H

物質の内部ダイナミクスにより**巨大インダクタンス**が出現

メモristaは発振するのか？

従来の発振回路

コイル+負性抵抗



コイル(L) + 負性抵抗(-r) + コンデンサー(C)

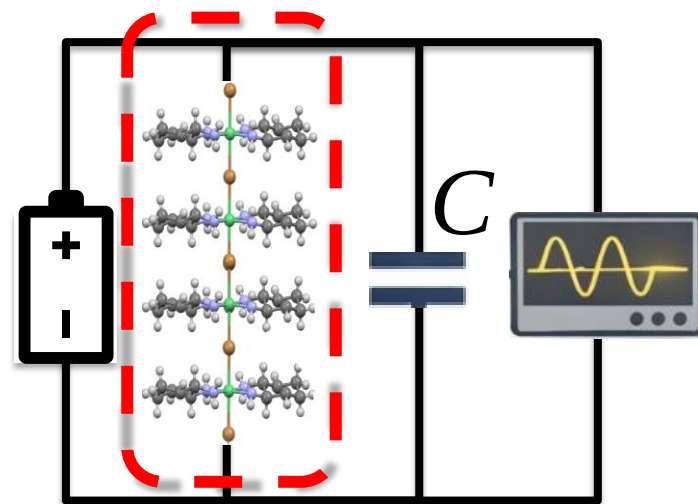
→ 発振

通常、発振にはコイル(L)と
能動素子による負性抵抗が必要

簡素化

メモrista発振回路

メモrista

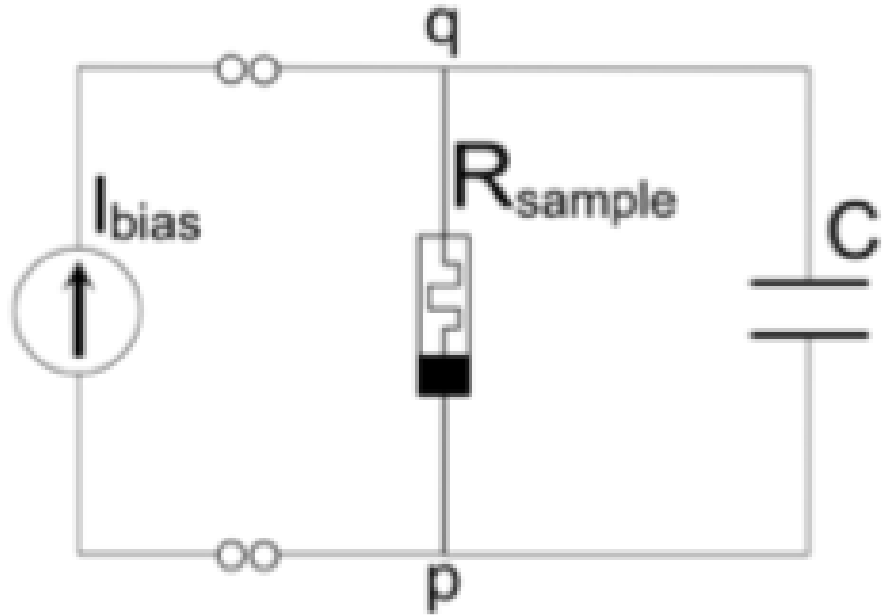


メモrista + コンデンサー(C) → 発振

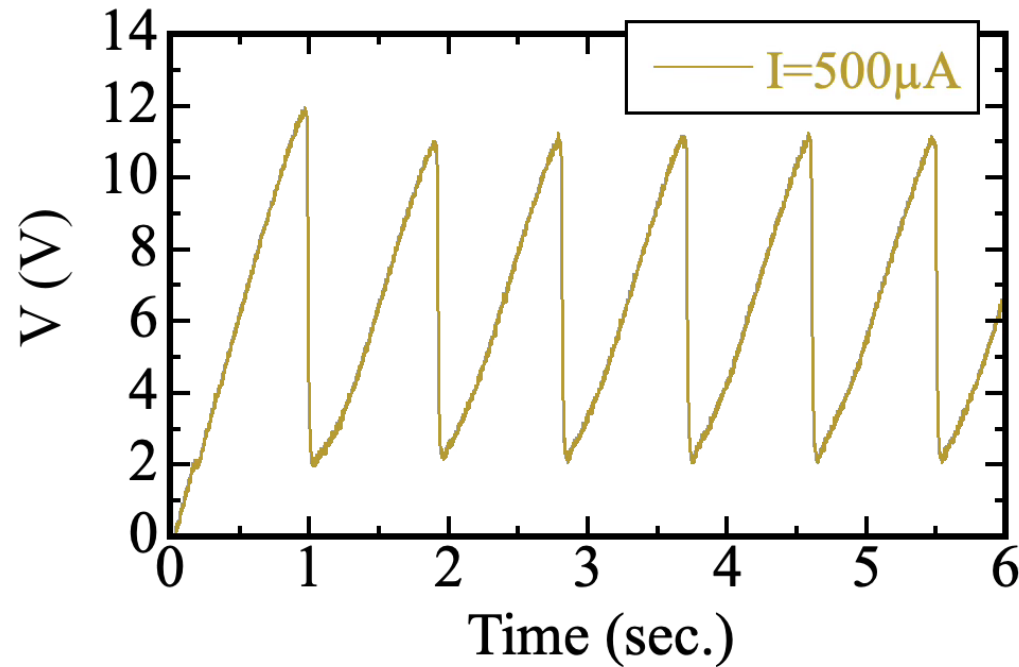
メモristaが「L」と「負性抵抗」を兼ねる
受動素子のみで発振を実現

メモ리스タが生み出す自己発振

メモ리스タを用いた発振回路



メモリスタ発振



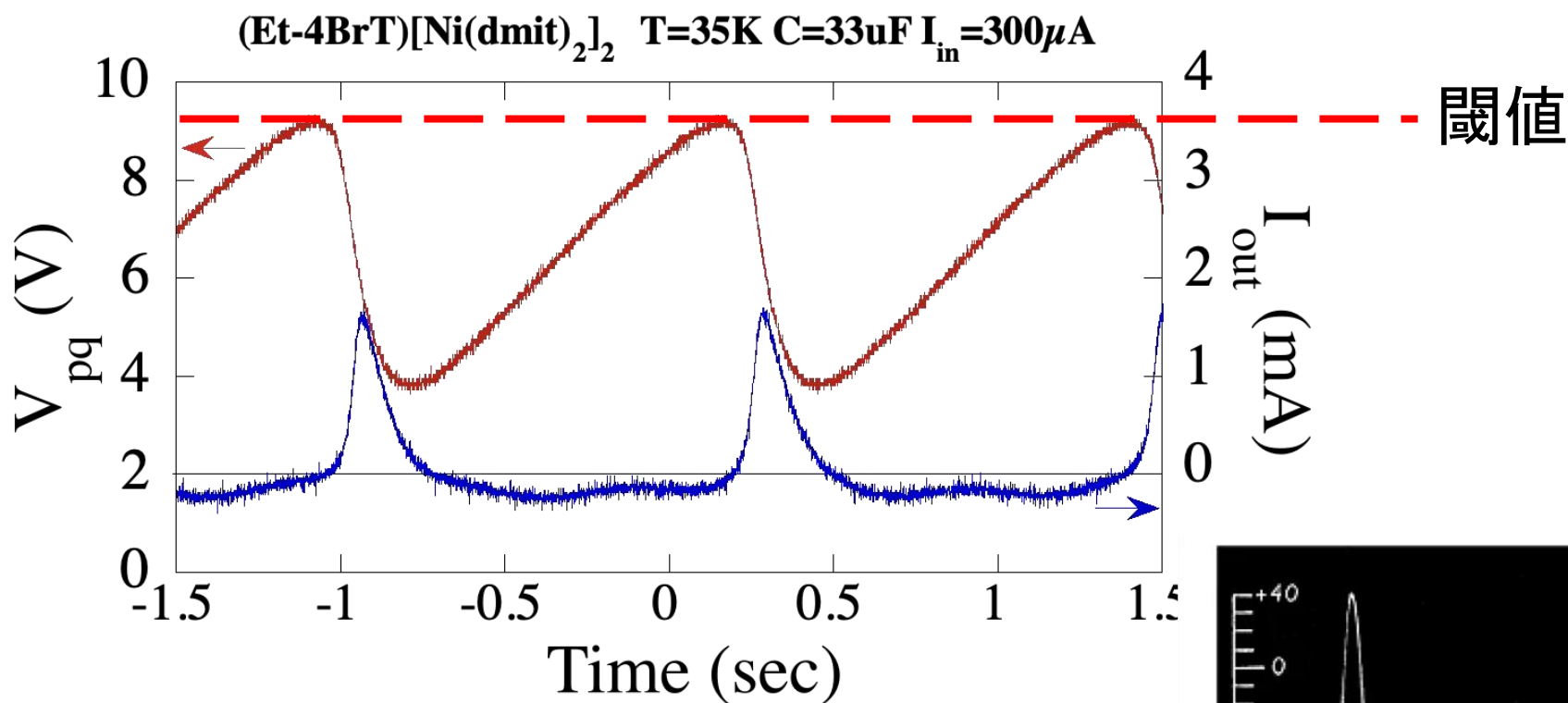
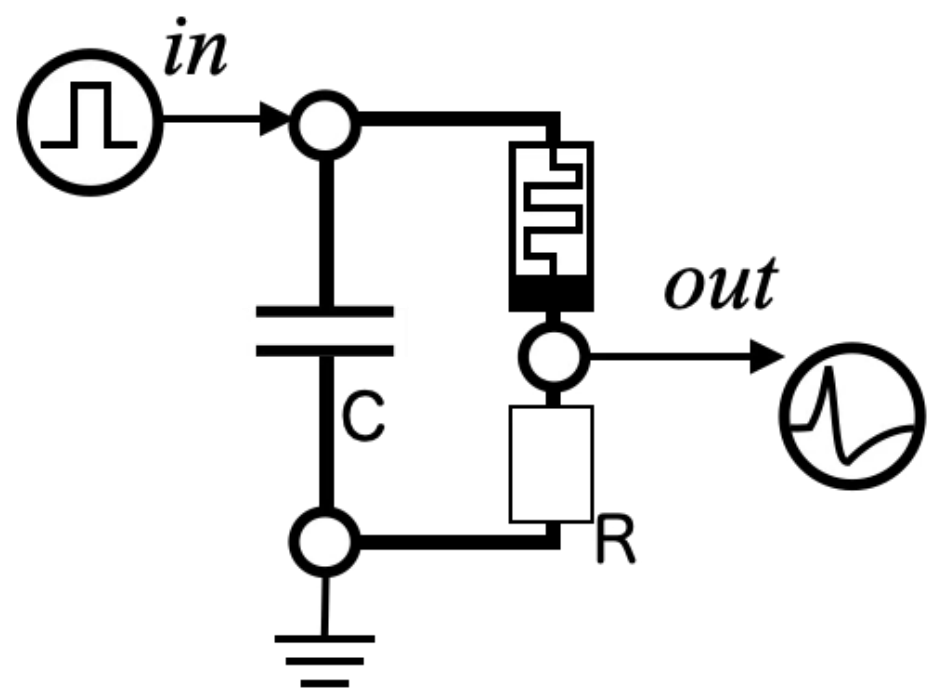
Y. Oshima et al., Adv. Phys. Res. **3**, 2300117 (2024)
Y. Oshima et al., Sci. Rep. **16**, 13023 (2026)

メモリスタの履歴応答
↓
外部コイルなしで発振
↓
動的信号生成が可能

簡便な回路で自発的に発振

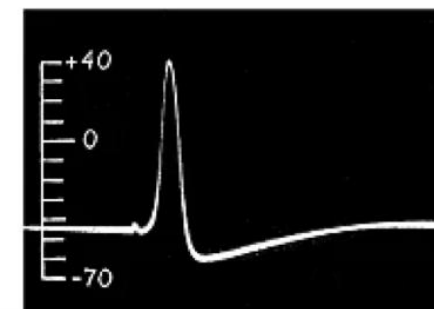
抵抗付加によるスパイク生成

メモristaを用いたニューロン回路&スパイク発振



蓄積電圧が閾値を超えるとスパイク発火

受動素子のみ(省エネ)でスパイク発火を実現

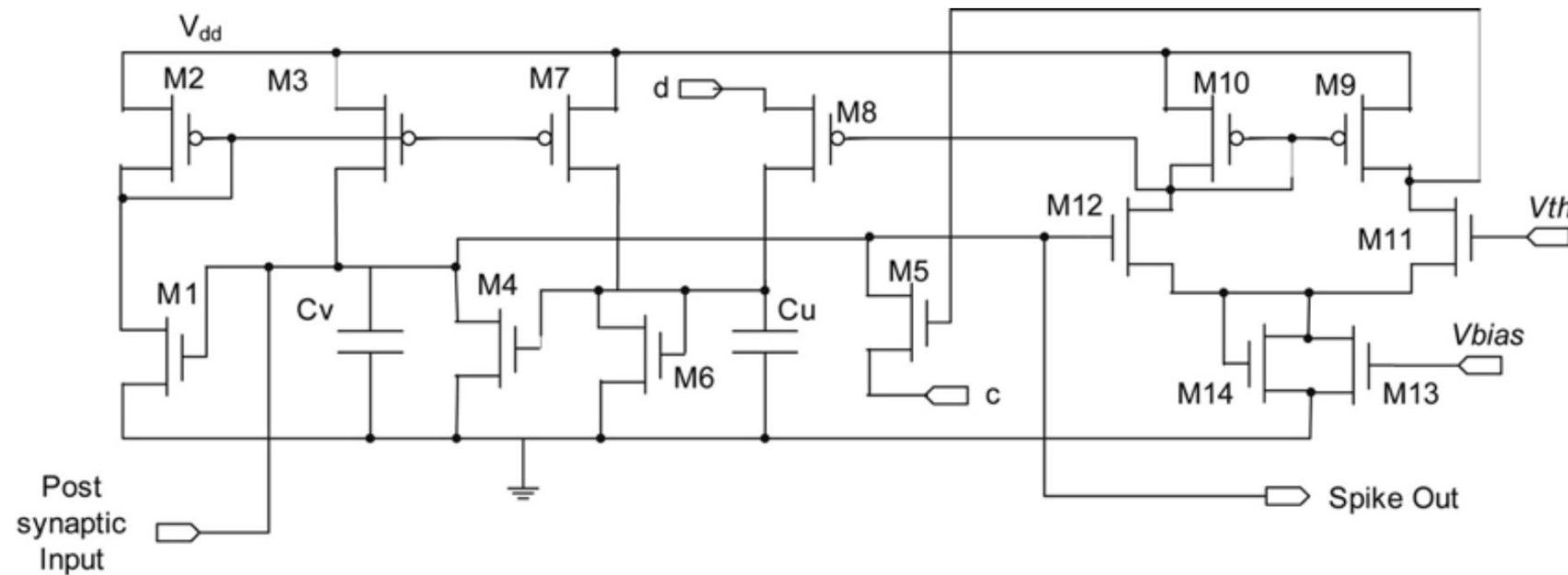


ニューロンの活動電位

従来回路との比較

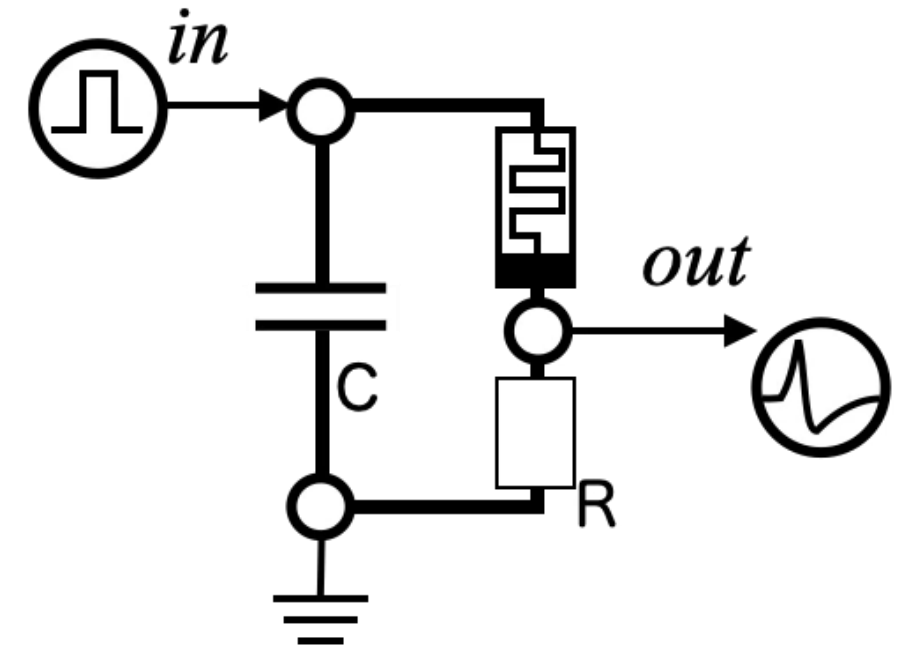
CMOS型

J.H.B. Wijekoon, P. Dudek / Neural Networks 21 (2008) 524–534



高機能だが素子数が多く回路が複雑

メモrista型

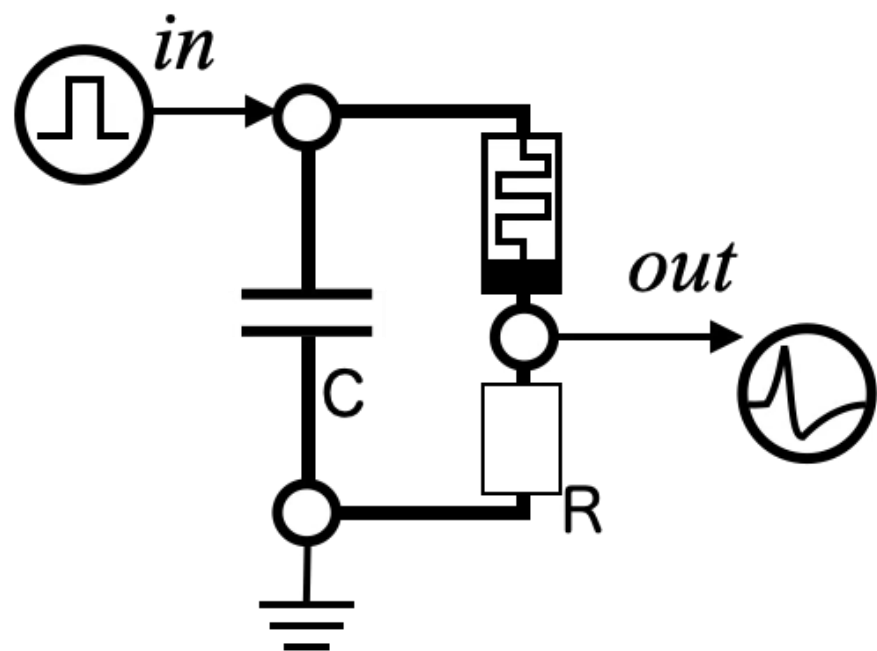


素子数が少ない・受動素子のみ

従来のCMOS型ニューロン回路に比べて大幅に簡素化

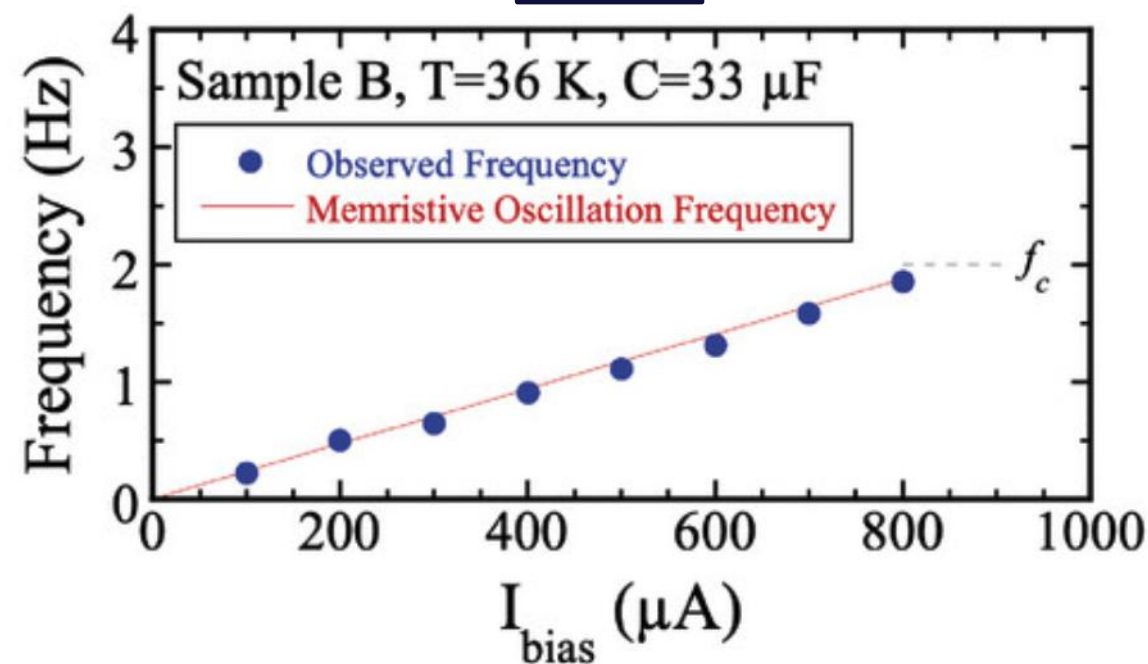
メモrista型ニューロン回路の利点/課題

利点



素子数が少ない
受動素子のみ(省エネ)

課題



巨大Lにより発振周波数は低周波に制限
メモrista特性により発振周波数に上限

発振周波数の上限は物質依存・高周波化には適切な物質探索が必要

想定される用途

- 本技術の特徴を生かすためには、低消費電力なエッジAI回路やセンサ信号処理回路へ適用することで、小型化・簡素化・省電力化のメリットが期待される。
- また、外部コイルを必要としない簡便なスパイク発振回路として、小型発振器や信号生成デバイスへの応用も期待される。
- さらに、単一回路で多様なスパイク動作を実現できる点に着目すると、将来的にはニューロモーフィックデバイスや次世代情報処理回路への展開も可能と思われる。

実用化に向けた課題

- 現在、分子性メモリスタを用いたスパイク発振およびLIF動作の再現まで実証済み。しかし、耐久性や室温動作については今後の課題である。
- 今後、素子材料や回路条件の最適化を進め、エッジAI・ニューロモーフィック用途への適用条件を検討していく。
- 実用化に向けて、集積化・低消費電力化・耐久性・長時間安定動作を実現する技術の確立が必要である。

社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装への取り組みについて
基礎研究	・分子性メモristaにおける発振・スパイク動作を発見・LIF動作および多様なスパイク動作を実証	・学術論文発表・基本特許出願
現在	・単一回路による多様なニューロン型スパイク動作を実現・閾値制御による入力応答変調を確認	・新技術説明会による企業連携探索
3年後	・動作安定性・耐久性の向上・室温動作に向けた材料・回路条件最適化	・試作デバイスのデモンストレーション
5年後	・集積化・小型化技術の確立・低消費電力動作の評価	・エッジAI・センサ用途への応用検討
10年後	・ニューロモーフィック情報処理回路への展開・多素子化・大規模回路化	・次世代脳型情報処理デバイスへの応用

企業への期待

- 現在、最大の課題である耐久性・室温動作・集積化については、材料開発およびデバイス集積化技術との連携により克服できると考えている。
- 材料開発技術、電子材料技術、回路設計技術を有する企業との共同研究を希望する。
- また、エッジAI、センサ信号処理、ニューロモーフイック分野への展開を検討する企業に対して、本技術の導入が有効と考えられる。

企業への貢献、PRポイント

- 本技術は、受動素子のみでの発振やニューロン型スパイク動作が可能のため、回路の小型化・簡素化・低消費電力化に貢献できると考えている。
- 本技術の導入にあたり必要な追加実験や耐久性評価を行うことで、実用化に向けた科学的検証を進めることが可能である。
- また、エッジAI、センサ信号処理、ニューロモーフイック分野への展開に向け、回路設計・材料開発・集積化技術に関する共同研究を期待している。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : メモリスタ、メモリスタ回路、発振装置、信号処理回路、ニューロモーフィックデバイス、および圧力検出装置
- 出願番号 : 特願2025-133274
- 出願人 : 理化学研究所
- 発明者 : 大島 勇吾

お問い合わせ先

株式会社理研イノベーション
ライセンス部

license-contact@innovation-riken.jp

TEL : 048-235-9308 (代表)