

生体・脳科学と情報通信科学技術の融合に関する研究

— 階層的脳科学研究原理に基づくシナプスインフォマティクス研究支援 —

小林 春夫¹⁾ 白尾 智明²⁾ 堀越 淳³⁾ 今村 一之⁴⁾ 石川 信宣¹⁾ 築地 伸和¹⁾ 小林 佑太郎¹⁾ 荒船 拓也¹⁾

¹⁾群馬大学大学院理工学府 ²⁾群馬大学医学系研究科

³⁾NPO Wireless Brain Network 理事長, 群馬大学研究協力員 ⁴⁾前橋工科大学

研究代表連絡先 : 〒376-8515 群馬県桐生市天神町1-5-1 E-mail:k_haruo@el.gunma-u.ac.jp



研究背景・目的

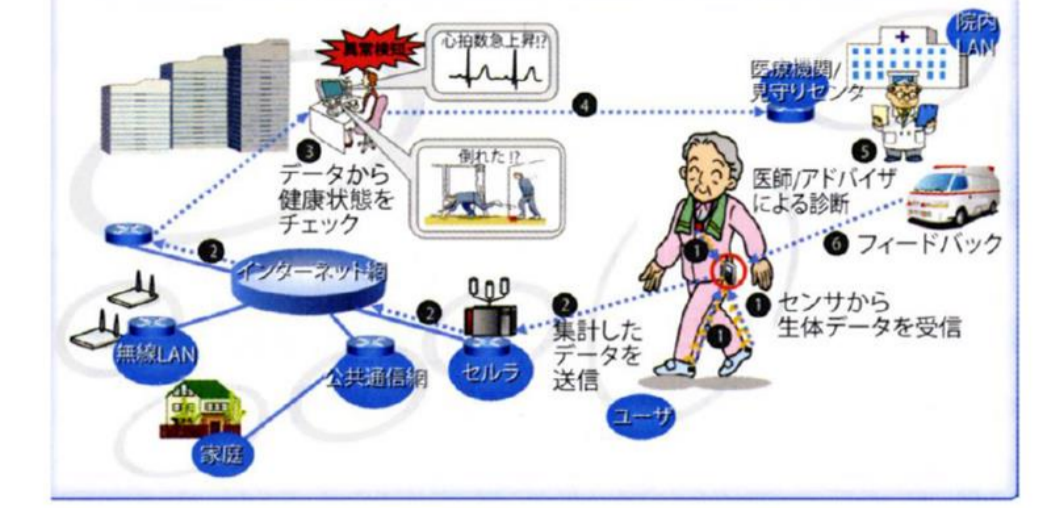
背景

- ニューラル信号・シナプス信号の関連究明による、重度精神障害の治療・回復方法の確立
- シナプス信号の発現構造究明による、新しいBrain Machine Interface(BMI)の開発
- これらの手法では、世界的に未だ有効な研究成果は得られていない

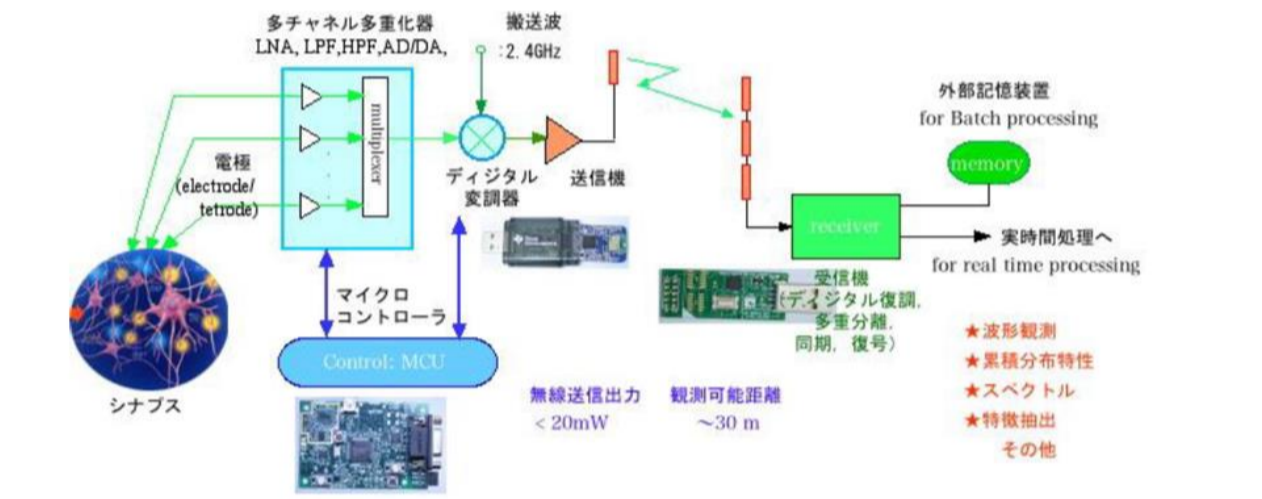


目的

- 新たな手法として自由環境下における動物の活動から得られるニューロ信号・シナプス信号を得るための信号取得機器を開発する
- 検討事項
 - ADCの冗長設計
 - 電源の小型・高効率・低ノイズ化
 - システム要件の検討
 - データ伝送設計・試作



シナプスインフォマティクス研究支援と将来システムの関連イメージ



シナプスインフォマティクス研究支援のための開発中システム基本構成

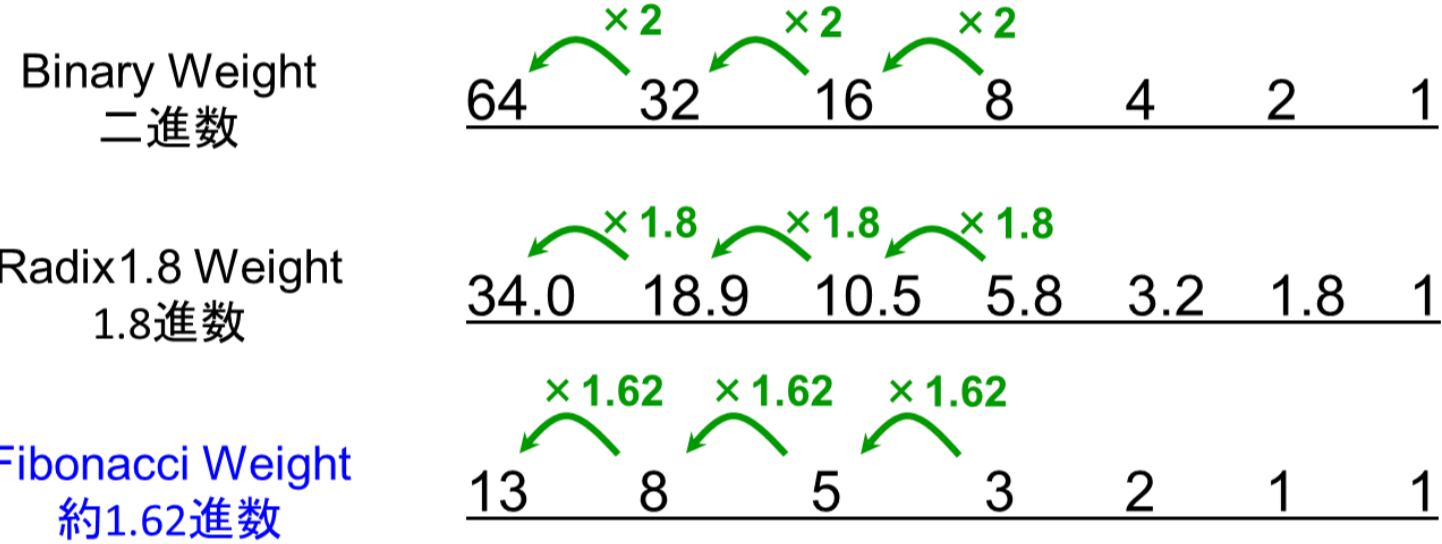
ADCの冗長設計

比較重みp(k)決定の提案手法

N bit全 M step中 k step目の比較重み $p(k)$ を決定 (ただし $p(1) = 2^{N-1}$)

提案手法

フィボナッチ数を $p(k)$ として利用する $\Rightarrow p(k) = F_{M-k+1}$



隣り合う項の比率が黄金比 ϕ に収束する性質

整数のみで約1.62進数 ($radix = 1.62$) を実現できる!



フィボナッチ数を用いたSAR ADC

2点の性質を新発見!

- 補正可能範囲 $q(k)$ は必ずフィボナッチ数 F_{M-k-1} になる
- 補正可能範囲 $q(k)$ は必ず次のステップの $q(k+1)$ に接する

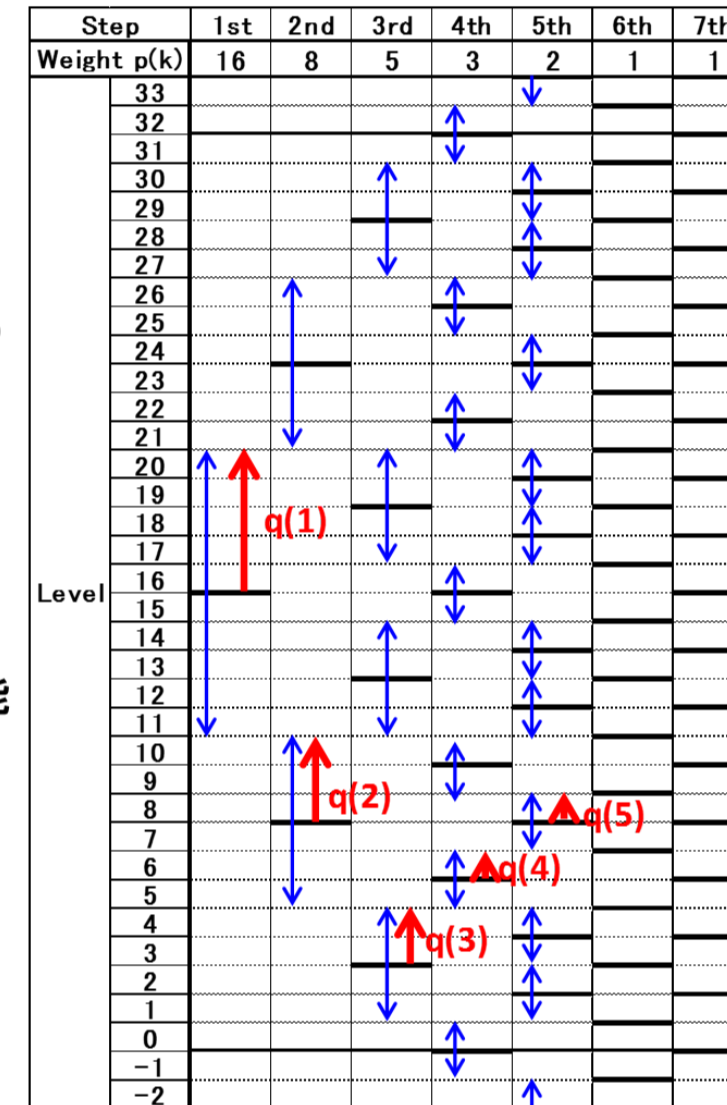
性質②より...

信頼性の高い設計

$q(k)$ は最小のステップ数で広い範囲を補正可能

基数の基準

冗長SAR ADCの基数基準は黄金比である



フィボナッチ手法による高速化

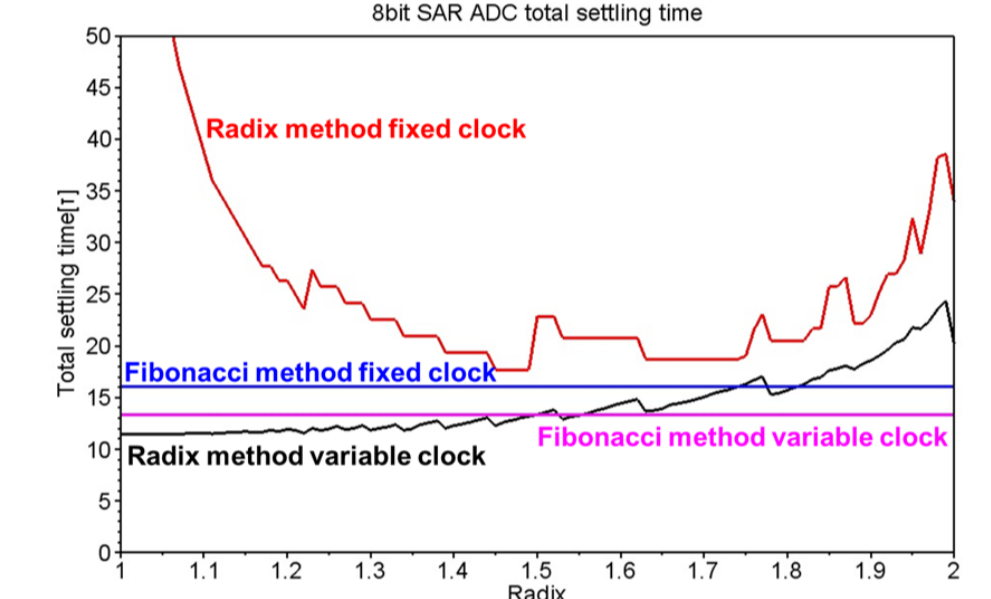
安定時間シミュレーション

◆ 安定時間の合計

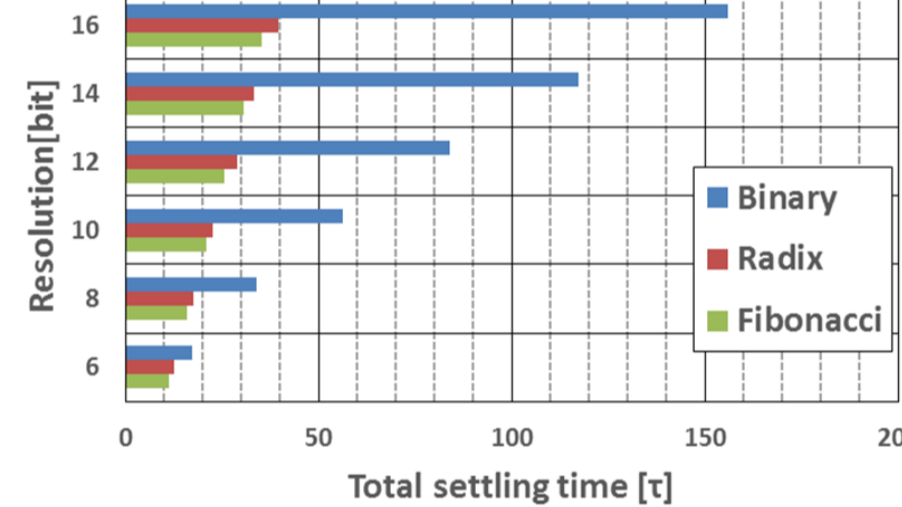
$$T_{total} = \sum_{i=1}^M T_i$$

◆ 固定クロック安定時間

$$T_{total, fixed} = T_{max} \times M$$



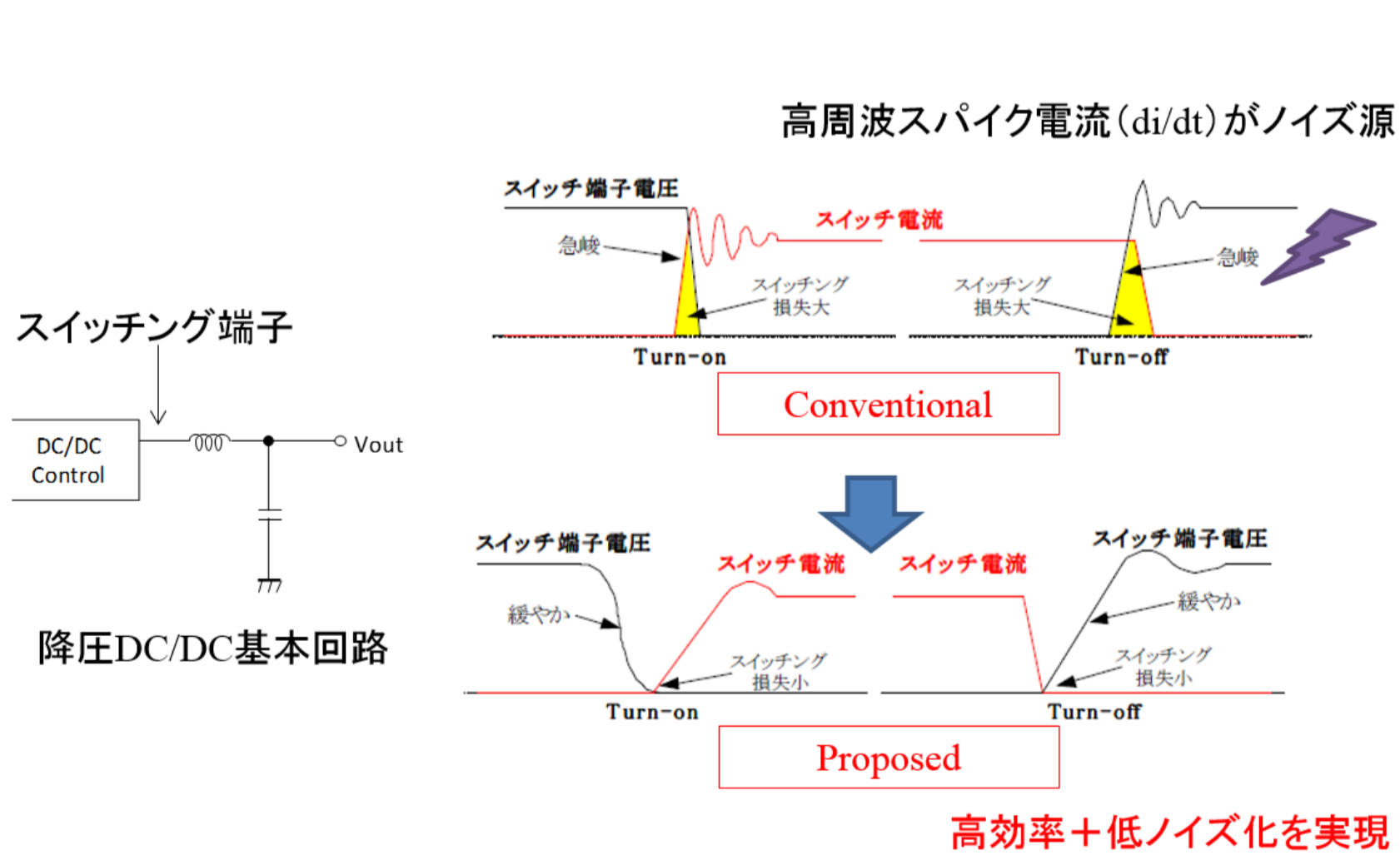
Result of each resolution at fixed clock



固定クロックでフィボナッチSAR ADCはRadix SAR ADCより高速!
(Radix手法より10%短縮)

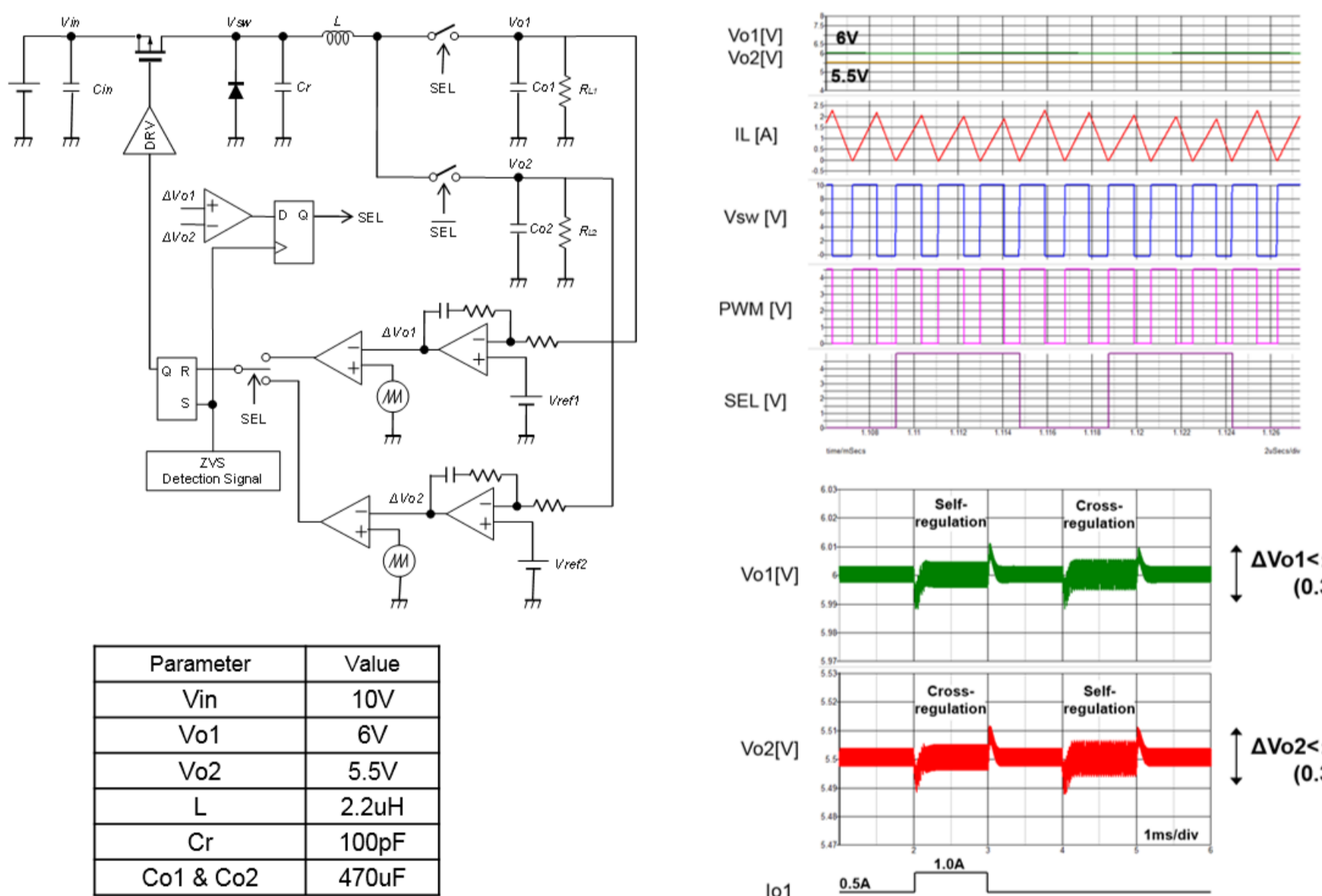
電源の小型・高効率・低ノイズ化

ゼロ電圧スイッチング

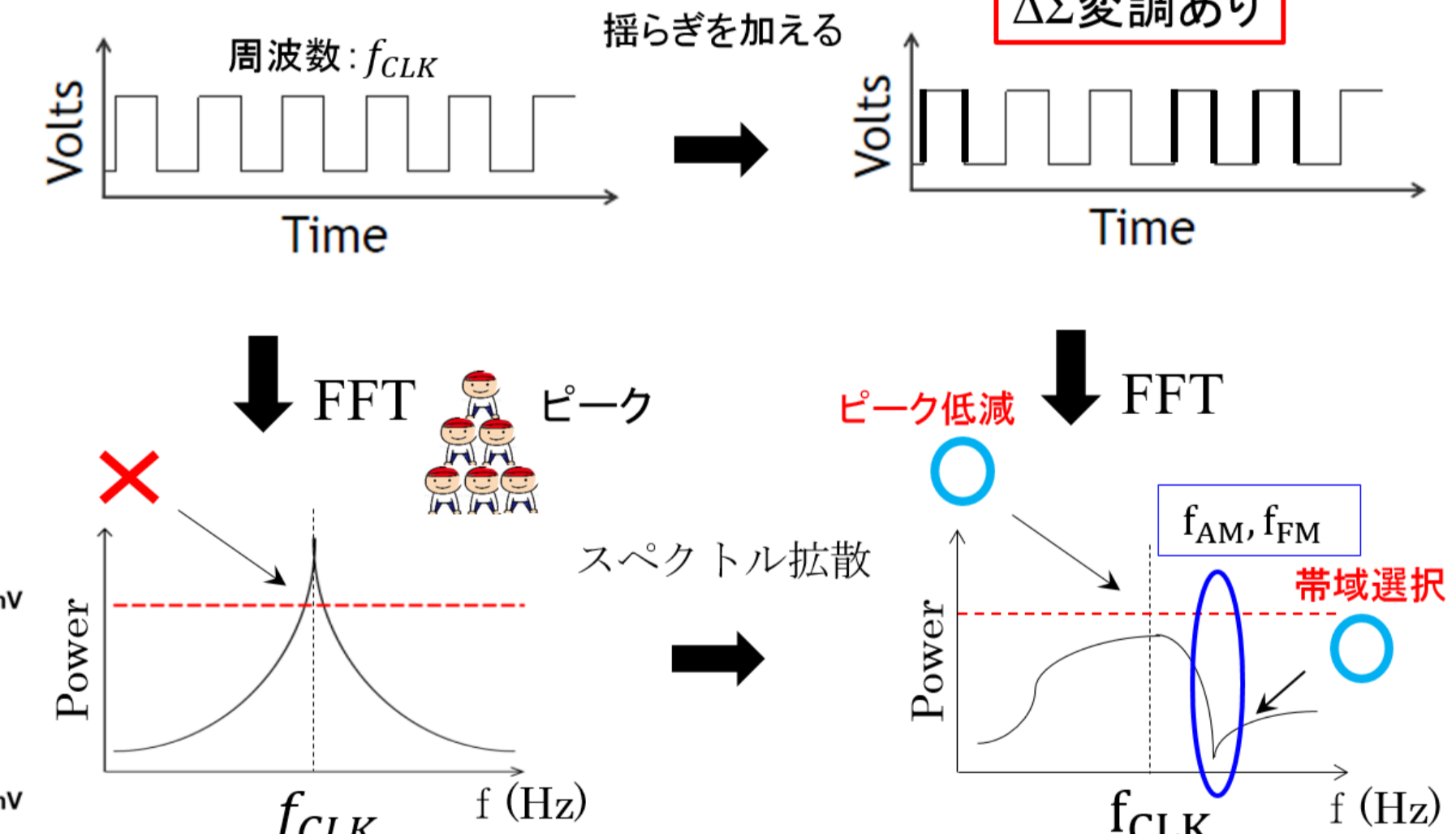


高効率+低ノイズ化を実現

ゼロ電圧スイッチング制御の単一インダクタ2出力電源



$\Delta\Sigma$ 変調を用いた帯域選択スペクトル拡散



システム要件の検討

プローブ近辺のニューロンやシナプスの活動変化(電位変化)から有意な情報を抽出する部分のハードウェア測定装置設計全体のシステム要件を検討し次のことが必要であることを示した。

- シナプスの活動電位が測定できる
- ドレブリンがシナプスに集積している
- グリオーシスの程度が少ない

上記研究にて関連特許を出願

- 特願2014-164695 (IP26-015)
- 発明者: 白尾智明、石塚佑太、山崎博幸
- 発明の名称: ドレブリンAおよびドレブリンEの特異的定量法

データ伝送系設計・試作

プロトタイプ装置試作・伝送実験

非拘束状態(自由行動環境)におけるシナプス信号原理に基づいた思考や行動の符号化・復号化を実現するための情報伝達を目的としたサブシステムを試作

- システム構成
 - ADC: 24 bit $\Delta\Sigma$ 型ADC/250 sps~16K sps可変
 - 8-chマルチプレクサ($\times k$)
 - ワイヤレス伝送: Bluetooth 2.1+EDR class 1出力

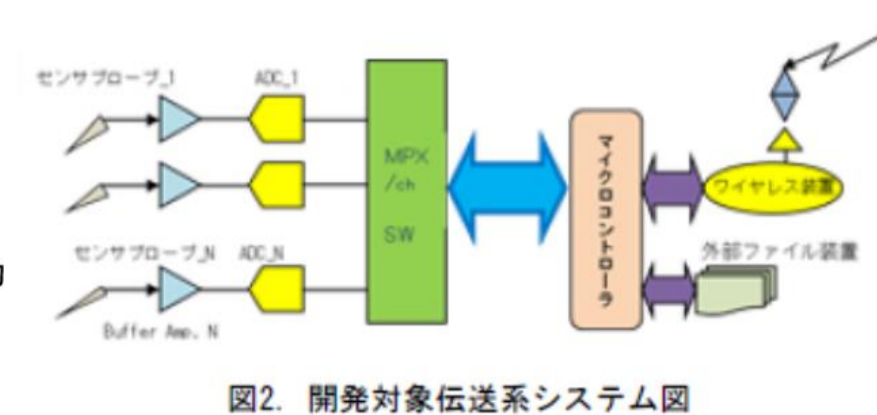


図2 開発対象伝送システム図

脳波信号(EEGセンサ)の取得・伝送及びそのPC monitor表示を行い、数十メートルの伝送距離を実現



図3 プロトタイプ伝送系装置部分(EEGセンサプローブ装着)

今後の課題

<ADCの冗長設計>

- 実機検証

<電源の小型・高効率・低ノイズ化>

- 高効率・低ノイズの定量化
- 2次 $\Delta\Sigma$ 変調器への展開

<システム要件の検討>

- 取得ニューロ信号・シナプス信号の特性解析と特徴抽出プログラム開発
- 電極近傍の意味のある変化パターンの抽出と応用への展開

<データ伝送系設計・試作>

- ニューロ信号の取得
- 伝送系装置の更なる小型化