

論文内容の要旨

博士論文題目

慢性刺激に向けた AC 駆動人工視覚デバイスと制御システム
に関する研究

氏 名 森 康登

(論文内容の要旨)

本研究は、人工視覚デバイスの慢性刺激に必要なとされる AC 駆動方式とその制御システムに関するものである。本研究では、眼球へ埋植可能なサイズを保ちつつ省電力性、安全性を兼ね備えたシステム構成について検討を行った。

第 1 章では、本研究の背景と目的、および論文の構成について記述し、第 2 章では人工視覚システムとその埋植デバイスについて、現状と研究室における開発の経緯について述べるとともに、本研究の主眼である慢性刺激動作と安全性向上に関する現状を記載している。

第 3 章では、慢性刺激が可能なシステム構成の検討について述べている。カップリング・コンデンサ越しの AC 給電によるデバイスの駆動方法を提案実証した。生体内という多湿環境において DC 給電は埋植デバイスの劣化を早める原因となる。本研究では刺激電極ユニット制御チップの AC 給電化を行うとともに、信号線・刺激経路に関してもカップリング・コンデンサを配置し、ユニット間を GND 分離することで直流電流を低減し安全性向上を行った。また、ショータッピング動作によるチャージバランスの維持が可能な回路の構築を行った。製造誤差等に起因する双方向性刺激電流のアンバランスが生むカップリング・コンデンサへのチャージをアクティブに解消するシステムを導入した。帰還電極のカップリング・コンデンサに加え、メインユニットと刺激電極ユニットを繋ぐすべての電流経路にカップリング・コンデンサを配置したことで、個々のカップリング・コンデンサを放電する必要がある。AC 給電・帰還電極・刺激電極のそれぞれの容量を放電する 2 つのルートを用いたショータッピング動作を考案し、定期的にショータッピング動作を行い、チャージを初期化するこのシステムを構築した。これにより慢性刺激動作が可能であると言える。

第 4 章では、刺激電極ユニット制御チップの設計について述べている。本システムにおける低消費電力化を実証するとともに、より多点における電力消費についての知見を得た。無線伝送による電力供給の制限から、人工視覚システム刺激電極ユニットにおいて、刺激時以外の消費電力の目標値は 10 mW としていた。今回の設計したチップを用いた、8 つの単位モジュールを用いた 48 電極の刺激デバイスを考えた場合、500 μ W \times 8

個=4 mW となり、10 mW 以下を達成している。しかし、目標の 1000 電極刺激を行う場合は、上限の消費電力に達する。そのため、電源電圧の引き下げなどのチップの更なる消費電力の低下が必要である。しかし、生体抵抗に対して定電流刺激に必要な電圧を確保するため、刺激部の電源電圧を下げることはできない。今後より低消費電力を目指すために、より微細なプロセスにおける高耐圧 CMOS が製造可能なものを使用することで、刺激回路の電源電圧を下げることなく、制御回路の消費電力を低減することができると考えられる。

第 5 章では、慢性刺激埋植デバイスの実装・評価について述べている。本システムの *ex vivo* 実験系における有効性を確認した。摘出豚眼を用いた *ex vivo* 環境下において動作確認を行い、開発したシステムが刺激動作・ショーティング動作の一連の動作によって、シミュレーションと同様にチャージバランスの維持が可能であることを確認した。

第 6 章では、本研究の成果と今後の展望について述べている。

(論文審査結果の要旨)

本研究は、人工視覚デバイスの慢性刺激に必要とされる AC 駆動方式とその制御システムに関するものである。本研究では、眼球へ埋植可能なサイズを保ちつつ省電力性、安全性を兼ね備えたシステム構成について検討を行い、以下の成果を得た。

第 1 に、カップリング・コンデンサ越しの AC 給電によるデバイスの駆動方法を提案実証した。生体内という多湿環境において DC 給電は埋植デバイスの劣化を早める原因となる。本研究では刺激電極ユニット制御チップの AC 給電化を行うとともに、信号線・刺激経路に関してもカップリング・コンデンサを配置し、ユニット間を GND 分離することで直流電流を低減し安全性向上を行った。

第 2 に、ショーティング動作によるチャージバランスの維持が可能な回路の構築を行った。製造誤差等に起因する双方向性刺激電流のアンバランスが生むカップリング・コンデンサへのチャージをアクティブに解消するシステムを導入した。帰還電極のカップリング・コンデンサに加え、メインユニットと刺激電極ユニットを繋ぐすべての電流経路にカップリング・コンデンサを配置したことで、個々のカップリング・コンデンサを放電する必要がある。AC 給電・帰還電極・刺激電極のそれぞれの容量を放電する 2 つのルートを用いたショーティング動作を考案し、定期的にショーティング動作を行い、チャージを初期化するこのシステムを構築した。これにより慢性刺激動作が可能であると言える。

第 3 に、本システムにおける低消費電力化を実証するとともに、より多点における電力消費についての知見を得た。無線伝送による電力供給の制限から、人工視覚システム刺激電極ユニットにおいて、刺激時以外の消費電力の目標値は 10 mW としていた。今回の設計したチップを用いた、8 つの単位モジュールを用いた 48 電極の刺激デバイスと考えた場合、 $500 \mu\text{W} \times 8 \text{個} = 4 \text{ mW}$ となり、10 mW 以下を達成している。しかし、目標の 1000 電極刺激を行う場合は、上限の消費電力に達する。そのため、電源電圧の引き下げなどのチップの更なる消費電力の低下が必要である。しかし、生体抵抗に対して定電流刺激に必要な電圧を確保するため、刺激部の電源電圧を下げることはできない。今後より低消費電力を目指すために、より微細なプロセスにおける高耐圧 CMOS が製造可能なものを使用することで、刺激回路の電源電圧を下げることなく、制御回路の消費電力を低減することができると考えられる。

最後に、本システムの ex vivo 実験系における有効性を確認した。摘出豚眼を用いた ex vivo 環境下において動作確認を行い、開発したシステムが刺激動作・ショーティング動作の一連の動作によって、シミュレーションと同様にチャー

ジバランスの維持が可能であることを確認した。

これらにより、CMOS スマート電極ユニットを含む人工視覚システムの慢性刺激機能が実証され、人工視覚システムの実現が大きく進むことが期待される。今後本技術を発展させることで、様々な生体刺激デバイスへの展開が可能であり、その成果は、学術的に新しい知見を見出していると判断され、審査委員一同は、本論文が博士（工学）の学位論文として価値あるものと認めた。