

論文内容の要旨

博士論文題目 脈絡膜上経網膜刺激方式人工視覚システムに関する研究

氏名 寺澤 靖雄

(論文内容の要旨)

(1, 200字程度)

後天盲患者の視覚系神経を人為的に刺激し光覚を誘発することで視覚情報の伝達を目指す人工視覚システムの開発が内外で精力的に進められている。本論文ではわが国独自の脈絡膜上経網膜刺激方式による人工視覚システムに関する研究について、以下の構成にて論じる。

まず第1章では研究の社会的背景と目的について述べ、続く第2章にて人工視覚システムの原理を説明する。様々な方式のシステムが研究されているが、それらの長所および短所について論じ他方式との比較を行う。第3章では、人工視覚システムに求められる仕様を検討するために行ったシミュレーション研究について述べる。人工視覚システムにおいて、日常生活に有用な視覚情報を得るためにどれだけの電極や明るさの階調数が必要なのか、といった情報はシステムの仕様を決める上で不可欠である。本章では人工視覚シミュレータの開発を行い、出力画像を健常者に提示する手法により読書能力の定量評価を行う。また得られた評価結果について議論する。続く第4章では、刺激電極アレイの製造プロセスおよびその性能評価について論じる。予備実験にて凸形状を有する刺激電極形状が望ましいことが示されたため、これを有する刺激電極を形成するプロセスを提案し、実際に製作を試みる。また電荷注入能力の評価系を確立し、作成した電極の評価を行う。評価した電極のうち80%が開発目標である $318\mu\text{C}/\text{cm}^2$ を上回った評価結果を示しこれについて考察を行う。第5章では、前章で確立した刺激電極と電流出力回路、電力および信号送受信系を統合したシステム化について論じる。本章ではマルチプレクサを経由して100個の刺激電極を制御する人工視覚システムのアーキテクチャを提案する。さらに実際に実機を試作し、システムレベルでの動作検証を行う。実機の開発や評価試験を通じて得られた結果をもとに将来の実用化に向けた課題について議論する。第6章では刺激電極のさらなる高機能化を目指した3次元形状を有する大表面積の刺激電極を提案する。また実際に試作と評価を行い、その信頼性や機能性評価で得られた結果について議論を行う。最後に第7章にて本研究の成果の総括を行い、将来の課題について述べる。

(論文審査結果の要旨)

後天盲の患者に残存する視覚系神経に電気刺激を与えると、フォスフェンと呼ばれる光覚が誘発されることが知られている。人為的にフォスフェンを多数個誘発し、これを用いて視覚情報を伝達するのが人工視覚システムであり、その実現に向けた研究が内外で精力的に進められている。視覚系神経系のどの部位をどのように刺激するかによって方式の異なる種々のシステムが検討されている。本論文では脈絡膜上経網膜刺激方式人工視覚システムの実現を目指し、システムに必要な仕様の検討、刺激電極の開発、システムレベルでの試作および動作検証、さらに刺激電極の高機能化に関する研究について順に論じてゆく。

人工視覚システムにおいて、どれだけ刺激電極が必要なのか、どれだけ明るさの階調数を識別できれば日常生活に有用な視力が得られるのか、といった情報はシステムの仕様を決める上で不可欠である。これを明らかにするために、人工視覚が実現するであろう視覚情報を仮想的に再現するシミュレータを開発し、出力画像を健常者に提示する手法により読書能力の定量評価を行った。実験の結果、グレーレベルすなわち識別可能な明るさの諧調数は4~8段階程度が適切であり、また十分な数の刺激電極があれば、最高で正常視力時の約60%の読書速度が達成できることが示唆された。

続いて、人工視覚システムにおいて最も重要な部品の一つである刺激電極に関する研究を行った。予備評価によって平板状ではなく凸型形状を有する電極が望ましいこと示唆されたが、従来の薄膜プロセスだけでこれを実現することは困難であった。そこで本研究では電極アレイを3次元化するプロセスを提案し、凸形状を有する刺激電極を実際に製作した。これと平行して、刺激電極の性能として生体および電極を劣化させずに通電可能な最大の電荷量、すなわち電荷注入能力の評価系を確立し種々の評価を行った。その結果、評価した電極のうち80%について開発目標である $318\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 上回ることが示された。

次にマルチプレクサを経由して100個の刺激電極を制御する人工視覚システムのアーキテクチャを提案した。実際に無線にて電力送信と通信が可能な試作機を実現し、システムレベルでの動作検証を行った。デバイスを生理食塩水中および生体内で一定期間正常動作させることに成功するとともに、実機開発や実機の動作試験を通じての将来の実用化に必要な課題を明らかにした。

最後に、刺激電極のさらなる高性能化および高信頼性化を目指して、3次元形状を有する大表面積の刺激電極を提案し、その試作と評価を行った。白金の切削加工によって、表面積が大きいだけでなく耐溶出性に優れたバルク構造電極を実現可能であることを実証した。生理食塩水中および生体内での評価試験により、長期通電しても劣化することなく、また神経応答を誘発可能であることが示された。

以上のように、本研究では脈絡膜上経網膜刺激方式人工視覚システムの実現に向けて研究を進め実用化に貢献する成果が得られており、また学術的意義も極めて大きい。従って、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。