

| | |
|-------------|---|
| 氏名 | たに たかはる |
| 氏名 | 谷 卓 治 |
| 研究科, 専攻の名称 | 東北大学大学院工学研究科 (博士課程) バイオロボティクス専攻 |
| 学 位 論 文 題 目 | 良質な医療のための多用途生体信号処理集積回路の研究 |
| 論 文 審 査 委 員 | 主査 東北大学教授 田中 徹 東北大学教授 羽根 一博 東北大学教授 小林 広明 東北大学准教授 福島 誉史 東北大学准教授 鏡 慎吾 |

論文内容要約

日本を含む世界の先進諸国では、医学を含む科学技術の進歩や経済水準の上昇により、人々の寿命が大幅に延びている。その一方で、女性の社会進出や高学歴化に伴う晩婚化、教育費増大などにより出生率が低下し少子化が進行している。このような少子高齢社会の進展は労働力人口の減少を招き、その影響が経済産業全体に及んでいる。特に労働集約的な医療や介護の分野における影響は大きい。こうした事態に対し、高齢者の健康を維持することができれば、医療や介護に必要となる労働力が抑制されるとともに、高齢者自身が労働力となることが期待できる。そのため、健康管理や医療の分野における制度改革やさらなる技術革新が重要となっており、医療の質の向上が強く求められている。医療の質は、その医療に関わる人がどれだけ満足したかにより評価され、求められる内容は患者やその家族、医師、国など立場によって異なる。患者の要求内容としては診療の正確性や苦痛の低減、医師の要求内容としては高い報酬や負担の低減、国の要求内容としては経済性などがある。良質な医療とは、これらの要求内容が高い水準で実施され、医療に関わる様々な人々にとって満足のいく医療のことである。良質な医療を実現するためには、それぞれの立場に対して改善すべき内容が何であるかを明確にし、国や医療機関、医療機器メーカーなど医療を提供する様々な機関にて対応していく必要がある。

現在の課題としては、高齢化に伴う医療費の増加や、人口の都市部への集中による医療水準の地域格差などが挙げられる。罹患率は高齢になるほど指数関数的に上昇しており、医療費の多くを政府が負担する日本や北欧では、より経済効率の良い医療が求められている。高齢者は手術を伴う重篤な疾患の罹患率が高く、さらには合併症を伴う手術も多い。それに対する医療は患者の経済的、身体的負担が大きく、医師には高い専門性と技術が要求される。さらに、こうした高度な医療を提供できる設備や医師を保有する病院は限られており、地域により提供される医療に偏りが生じている。

こうした課題を解決するための方策の1つとして、医療へのICT (Information and Communication Technology: 情報通信技術) の利用が挙げられる。現在ではインターネットが広く普及し、日本は世界最先端のICT基盤を備えるようになった。ICTの利用により、地域格差を補う遠隔医療の実現や、医療における様々な情報を集約し解析することによる医療の効率化や健康水準向上などが期待できる。ICTを利用するにあたっては、取り扱う情報の内容、質、量が重要となる。取り扱う情報としては、患者が受けた診療について医療機関が保険者に請求する医療報酬の明細書であるレセプトや、症例とその診療方法と実績などの情報が挙げられる。それに加えて、各個人での健康管理や病気の診療において取得あるいは記録される、年齢、性別、体重などの身体情報や、体温、脈拍、心電図などの生体信号が挙げられる。医療や健康の分野では、生体信号が大きな情報源となっており、その生体信号を取得するために様々な医療機器が開発され利用されている。身体の状態を表す生体信号を多角的に捉え有効利用することは、医療の質の向上に直

結する。つまり、医療機器の改善が医療の質向上へ大きく寄与している。

また、現状では高齢者に対する医療や入院を伴う医療に対して大きな懸念があり、その改善が強く求められている。医療機器や医療システムは、診療の正確性の向上に加え、診療中の患者への負担低減と医療機器利用の簡便さの向上が求められる。特に神経系疾患の診療においては生体信号記録機器の改善が必要である。現在の神経系疾患の診断や治療では、大型の生体信号記録機器を用いて生体信号の長期的な記録が行われ、入院や入院中の拘束が伴う。さらに、生体信号記録機器の記録帯域が狭く、記録信号精度が低いことから、医療の質はあまり高くはないといえる。これらは現状の生体信号記録機器全般にわたる課題である。これに対して、医療機器が十分な信号記録性能を保ちながら小型化されれば、入院中の拘束の軽減や通院治療が可能になり、医療の質の大幅な改善が期待できる。

このように、医療の質を向上させるためには、多種の生体信号を最適に記録できるとともに、使用の際の利便性が高い生体信号記録機器が求められている。生体信号の中でも電気的な生体信号が利用される場面は多い。その電気的生体信号を記録する医療機器の質が向上すれば、医療の質の向上が期待できる。さらに電気的生体信号は種類が多いため、ICTにおける情報収集に有効である。

電気的生体信号には、脳の活動に伴う信号の脳波、皮質脳波、局所的集団神経電位、活動電位や、筋肉の運動に伴う信号の筋電図、心臓の運動に伴う信号の心電図などがある。これらの生体信号は、その発生メカニズムや記録電極の設置箇所により、信号振幅や周波数帯といった信号特性が異なる。生体信号記録機器は、対象とする生体信号を精度良く記録するため、一般的に周波数帯域によるフィルタリングや信号の増幅などアナログ信号処理機能を備えている。また、情報の取り扱いを簡便にしたり記録した信号を後で解析したりするために、アナログデータをデジタルデータに変換する機能も備えている。しかしながら、現在神経疾患の診療に用いられている生体信号記録機器や、研究されている生体信号処理集積回路は、対象とする生体信号を限定しその信号特性に合わせて記録性能が設定されており、複数の生体信号を対象としている場合は最適化が不十分となっている。

そこで本研究では、医師とのヒアリングや実際の医療現場の調査をもとに、生体信号処理集積回路に求められる仕様を明らかにし、種々の生体信号を同時かつ最適に記録する多用途生体信号処理集積回路と、多用途生体信号処理集積回路を有する携帯可能な生体信号記録システムを提案した。

提案する多用途生体信号処理集積回路は、増幅器、マルチプレクサ、ローパスフィルタ、アナログ-デジタル変換器からなり、各要素で記録性能の切り替え機能を有している。初段の増幅器では、差動入力とすることにより、体動や計測環境から混入するノイズを同相成分として除去することを可能とした。また、入力に対し静電容量を直列に挿入することにより直流成分を除去している。帰還素子には静電容量と抵抗の両方を用い、抵抗値をスイッチで切り替えることにより、低域遮断周波数について 0.1 Hz～200 Hz の範囲での調整を実現した。この帰還抵抗は MOS トランジスタを用いて構成しており、小面積で高抵抗を得ている。マルチプレクサ後段に設けたバッファ回路と負荷容量で構成したローパスフィルタでは、バッファの駆動電流と負荷容量の値をスイッチで切り替えることにより高域遮断周波数を 200 Hz～10 kHz の範囲での調整を実現した。これらの遮断周波数調整機能により、多種の生体信号に対し最適な記録帯域で記録可能であることを示した。増幅器は複数段設けており、2 段目以降の増幅器にて、帰還容量の値、あるいは帰還抵抗の値をスイッチで切り替えることにより、利得を 20 dB～80 dB の範囲での調整を実現した。これにより振幅の異なる多種の生体信号を最適に増幅することが可能であることを示した。アナログ-デジタル変換器では、サンプリングと変換の工程をインタ

ーリープ動作とすることにより、前段の増幅器に要求される駆動能力を 1/16 に抑制することを実現した。また、論理回路にてデジタルアナログ変換制御機構を設けることにより分解能の 1 bit~12 bit での調整を実現しており、ICT 利用の際に考慮すべき情報量の調節が可能であることを示した。これらの結果より、設計した多用途生体信号処理集積回路は、利得と帯域の調整範囲が広くさらに各生体信号に適した値に切り替えることが可能であり、それぞれ特性の異なる脳波、皮質脳波、局所的集団神経電位、活動電位、筋電図、心電図といった種々の生体信号の同時かつ最適な記録が可能であることを示した。

また、試作した多用途生体信号処理集積回路を有する携帯可能な生体信号記録システムを構築した。この生体信号記録システムは、多用途生体信号処理集積回路と既製の電源回路や制御回路を小型に実装し、無線によるデータ通信機能を設けているため、携帯可能である。さらに、使用上の安全性を確保できる絶縁機構を備え、生体信号入力部や電源供給部、無線通信規格には既存のものを用いており、臨床応用が可能である。構築した生体信号記録システムを用いて、実際に人体から筋電図、心電図といった生体信号を記録することができることを確認し、その有用性を実証した。この生体信号記録システムは携帯可能であり、さらに多種類の生体信号に対し最適な記録が可能であるため、神経疾患診療における課題を解決し、ICT 化にも有効であることから、医療の質の向上に貢献できる。

上述したように、本研究においては、多種類の電氣的生体信号に対し 1 チップで最適な記録が可能な生体信号処理集積回路の設計及び試作を行い、良好な動作結果を得た。さらにその試作した回路を有する携帯可能な生体信号記録システムを構築し、人体から生体信号を記録可能であることを実証した。本システムを用いることにより、神経疾患の術前検査を自宅で行い、日常的に負荷無く ICT のための情報収集を行うことが期待される。本研究で作製した多用途信号処理集積回路を多チャンネル化することで、医療の質を大幅に向上する多用途生体信号記録システムの実現が可能となる。