

論文の内容の要旨

論文題目 触原色原理に基づく電気触覚ディスプレイ
氏名 梶本裕之

電気刺激を用いた皮膚感覚提示は、皮膚表面に配置した電極から電流を流し(経皮電気刺激)、皮膚下の感覚神経の活動を誘発するというものである。経皮電気刺激は機械的な刺激に比べ、壊れにくく小型化が容易など多くの利点をもつ。経皮電気刺激を研究する主な目的は感覚代行や点字の提示など、記号情報の伝達手段としてであり、いかに多くの情報を触覚チャンネルに乗せることが出来るか、という観点から進められてきた。

これに対し本論文の特徴は、電気刺激による「自然」な皮膚感覚提示を目的としている点である。

現在、視覚・聴覚提示装置(ディスプレイ)は既に完成の域に達し、我々が日常生活で目にする風景、耳にする音を再現可能となっている。これに対して触覚ディスプレイは、本格的な研究開発競争が始まった段階である。数多くの提示手法が提案されているものの、どの手法をとっても、提示される感覚は今のところ日常的な触覚とは言い難い。我々の目標は日常生活で体験する皮膚感覚を再現可能な触覚ディスプレイの構築であり、本論文はこの目標を電気刺激によって実現する試みである。

本論文のアプローチは「触原色」というキーワードで表現される。皮膚下には数種類の触覚受容器が存在する。電気刺激では受容器を刺激する代わりに受容器に接続された神経を刺激するわけであるが、この二つは脳にとって等価な入力である。よって機械的な皮膚変形によって生じる神経活動パターンを各受容器に繋がる神経に再生させられるなら、機械的接触と同じ感覚を生じるはずである。

神経活動パターンを再現するために次のような方法を取る。皮膚下には数種類の受容器が存在し、それぞれ異なった役割を果たしている。一種類の触覚受容器の活動をこの活動パターンの基底とし、この基底の合成によってあらゆる活動パターンを表現するというものである。視覚において赤、緑、青、三種類の原色を組み合わせて全ての色を構成できる事

実との類似性から、一種類の触覚受容器の活動を触原色と名づけた。

いまや問題は触原色の生成手法、すなわちいかにして一種類の受容器を選択的に刺激できるか、という点に絞られた。我々は触原色生成の一手法として、電気刺激による神経選択的な刺激手法を提案した。触覚神経は特に指先において、受容器ごとに異なる特徴的な走行を見せる。この神経走行の違いを利用して、電気刺激による受容器選択的な刺激を行う。これによって触原色を実現できることを理論的、実験的に示すこと、さらに触原色の合成によって実際の物理的接触によって生じる皮膚感覚を表現できることを実験的に示すこと、が本論文前半の骨子となる。

しかし考えてみると経皮電気刺激により神経を選択的に活動させるというのは、工学的に極めて魅力的な一般性を持った課題である。境界に配置された有限個の電極は電位の境界条件を規定する。我々に出来ることはこの境界条件を時間的、空間的に変えることで内部の電位分布を制御し、所望の神経の活動を誘発すること、さらに活動させたくない神経の活動を極力抑えるということである。一種の最適制御の手法を援用すれば望ましい刺激手法が得られるであろうことは想像が付く。

こうした選択刺激の問題は実は神経刺激全体における中心課題なのだが、それにもかかわらず経験則の域を超えた一般的な設計手法は提案されていない。本論文の後半では触原色生成という課題を神経選択刺激という一般的な課題としてとらえ直し、刺激の設計手法を提案する。さらに従来経験的に提案されてきた様々な刺激手法の意味を明らかにした後、この成果を触原色生成の課題に適用する。

あらかじめ注意しておけば、本論文は触覚提示という目的に対して電気刺激が万能であることを主張するものではない。将来的には他の刺激手段との併用によってバランスの取れた刺激手法となるだろう。本論文の最大の目的は電気刺激による触原色生成の可能性を全て網羅することで、未だ見ない高品位触覚提示装置のための道標となることである。