

脳科学ライフサポートセンター 体験講義レポート

知能機械工学専攻 横井研究室 1432022 坂井郁也

〈全体を通じての感想〉

実験書についてですが、それぞれのテーマ毎でフォーマットがばらばらなのである程度統一した方がよいと思われます。また、本講義ではモニター院生にスライドを配布されており理解と興味を深めることができましたが、本番では配布するのでしょうか。もし、配布しないのであれば、スライドの内容を実験書にある程度加えられたほうがよいと思います。最後に、生物発光イメージングなどでは実験条件を述べられていますが、他のテーマでは述べられていないものもあるので述べておいた方がよいかと思ひます。

ある計測対象に対して複数の手法があり得るのであれば、なぜテーマであげたその計測手法が他の手法と比べて優位なのか、必要性があるのかという点を説明していただくと納得ができます。

〈BLSC の講義を通して重複した内容〉

生物発光イメージおよび将棋における fNIRS のテーマで、fNIRS の操作について重複している点があります。

脳波計測および筋電義手における講義で差動増幅器に関する内容が少しばかり重複している点があります。

筋疲労と運動単位（運動神経，筋繊維）機能の計測と電気刺激におけるでの随意運動の基本構造と運動単位の構造について重複しています。また、ホジキン-ハクスレー方程式，膜電位の説明に関しても重複しています。

●テーマ1 「ホタル生物発光基質の合成と機器分析」感想

講義の感想としましては、丹羽先生にいただいた有機化学と分析法についての解説は非常にありがたく感じました。というのも、私は学部から知能機械工学を専攻していたので、分野違いの有機化学の知識に少々疎いからです。このため、共有結合を棒磁石に例えたり、化学構造式や分析機器の原理を図をまじえたりといった解説は、私にとって直感的な理解が捗りました。特に、有機合成においては、構成原子の種類や数が同じでもつながり方や空間的な配置が異なることで、構造異性体や鏡像異性体ができてしまう。つまり、材料を集めて単純に合成するのではなく、合成プロセスが適切でなければならないということが理解できました。また、分析機器の説明においても、エレクトロスプレーイオン化法についての説明が実験書には具体的には述べられていませんでしたが、講義で図にして解説されたので、理解できた気がします。

実験の感想としましては、初めて扱う実験器具（ピペットなど）や分析機器などの使い方について手取足取り教えていただいたことと、それらの実験補助をしていただいたことが非常に助かりました。丹羽先生とTAによる適切なフォローにより骨格・環構造の構築、官能基の導入・変換、立体化学の調整を1段階で達成し、ホタルルシフェリンを合成することができたと思います。分子構造により決まるラーモア周波数をFIDとして計測する核磁気共鳴吸収分光法や赤外領域の電磁波を照射して吸収の様子を計測する赤外線分光法、質量分析法といった機器分析についても同様です。ただ、薄層クロマトグラフィーに関しては、上昇した試料が混ざってしまい芳しい結果は得られなかったのが残念でした。おそらく、自分たちが試料を多くつけすぎたのが原因ではないのでしょうか。少なくとも自分はそうでした。さらに、自分の試料により行ったエレクトロスプレーイオン化法による分析でナトリウムが検出された件は、自分の手で触ってしまった薬さじを用いたか、サンプル瓶に薬包紙を用いて合成した試料（基質）入れる際に机上に少しこぼしたものをすくって用いたことが原因ではないのでしょうか。最後に、実験においてひとつ質問し忘れたことがあったのですが、化学構造的に鏡合わせとなっている鏡像異性体であるL-ホタルルシフェリンは今回の機器分析により確認できるのでしょうか。もし確認できるのであれば、どの手法が有効でどういった特徴がでるのか疑問が残ります。

感想は以上ですが、講義だけではなく実験のときにも気兼ねなく質問させていただいたのは非常に助かりました。そのおかげで、置いてかれずにすみ、ホタルルシフェリンの合成と機器分析を無事に行えました。ご配慮いただき感謝しています。

●テーマ2 「生物発光測定」感想レポート

講義の感想としましては、発光生物とその生物における生物発光の目的からご説明いただいたため、自然界における発光の意義からはじまったため非常に導入しやすかったです。また、化学発光や生物発光は様々な用途から社会に貢献しうるということについて説明いただいたので、ホタル発光はATP センサとして利用するといった生物検査・医学などに価値があり、研究開発の必要性も納得できました。特に、アカルミネは、「生体の光学的窓(650nm-900nm)」の近傍の波長で発光するので、生体内におけるATP センサーとして動物体内の癌細胞や腫瘍といったバイオイメージングに有用であることが理解できました。発光の仕組みについては、分子の状態をエネルギー概念図として表すことで、エネルギー準位の上昇により基底状態から電子的励起状態に移行した分子が基底状態に戻るときに熱・光・蛍光を放出する過程、光の波長とエネルギーとの関係性を直感的に理解できるものでした。生物発光のエネルギー効率がこれほどに良いのは、生物が環境に対して適応した結果なのだろうと非常に感心しました。

実験の感想としましては、ATP-Mg が十分に混合できず、D-ルシフェリンの発光輝度の計測結果では自分のものは発光しているものの Sample と比較して輝度が小さいことが興味深かったです。それはアカルミネの場合も同様です。テーマ1でも実験者によってばらつきが多かったので、人の手が介在する化学実験は実験者の技量に左右されやすいものだと感じました。なので、一定の品質の薬品を調合するときには、人の手が極力介しないように機械で自動的に行わせたほうがよいのでしょうか。また、ただ単に失敗したというのではなく、ルシフェラーゼを混合してもATP-Mg が十分に混合されなければ、発光が小さい(ルシフェリンの場合は、ルシフェリン AMP 化体への反応が生じずルシフェリンのままであるため) ATP センサーの働きの理解できたとも思います。

●テーマ3「ファントムを用いた生物発光の表面計測」

講義では、生物発光イメージングについて学びました。

具体的には、生体内光伝搬と近赤外分光法、光伝搬モデルとシミュレーション、酸素モニタと光マッピング、拡散光トモグラフィ(DOT)を学びました。

物体における光の吸収と散乱特性についてはそれぞれ説明されたのち、生体組織の光学特性値としてまとめられたたていたので非常に流れよく理解できました。また、ソフトウェアによるシミュレーションで散乱係数を任意に設定することで、生体内における光の伝播経路を視覚的に示したのものは直感的に理解できました。

光伝播モデルのうち、決定論的手法と統計論的手法とを述べられました。特に、前者では光拡散方程式について、後者ではモンテカルロ法について述べられましたが、他の手法についても軽く触れるとそれらの方法を採用された根拠が理解できてよいのではないのでしょうか。

また、トポグラフィ画像のスライドでは、長所と短所をあげられていますが、拡散光トモグラフィの場合どのような長所と短所があるのでしょうか。

実験では、小動物を模擬した円柱ファントム（材質には吸収はないが、生体と散乱特性がほぼ同じであるポリアセタール樹脂）内に発光物質を挿入し、暗幕内でファントムを長手方向のz軸と長手方向を軸にして回転(22.5度毎)させることができ、fNIRSのプロブで計測ができるジグに円柱ファントムを設置して、そのときの探索を行うことで生物発光トモグラフィのシミュレーションを行いました。

実験では、初日は生物発光を模したLEDで二日目は蛍の発光物質を用いて行いました。

初日とくらべ二日目は実験経験があったので、スムーズに終わらせることができました。しかしながら、あまりにも実験の計測間隔が短すぎたために、解析に必要なデータ数をとることができていませんでした。なので、ひとつひとつの測定に時間を持たせる必要があると考えられます。

エクセルを用いた解析の際に、データの選択に時間が少しかかっていたので、マクロなどを駆使してその手間を減らすとよいと思いました。

また、知能機械工学を学んでいない人も参加されていたので、実験器具のz軸（高さ）方向の目盛りを読み取るのにノギスなどを用いたことがない人に向けて利用方法や有限要素法についても説明する必要があると思います。

●テーマ4 「脳波解析によるブレイン・コンピュータ・インタフェースの実習」感想

本テーマでは私はTAとして参加しました。

講義としては、ブレイン・コンピュータ・インタフェースとブレイン・マシン・インタフェースについて、脳活動計測の基礎技術について、種々のBMIについて、脳波計測の原理について、事象関連電位について、平滑化および判別について説明されました。

種々のBMIでは時系列で説明していただきましたが、BMI研究の全体像が把握しづらかったので、最近の研究ではどの程度BMIが実現できているかをざっくりとまとめていただけるとよかったです。

脳波計測の原理について、ミクロな観点から細胞膜における分極、細胞外容積伝導体の電位計測、大脳皮質錐体細胞に流れる電流、等価回路による説明がされていました。しかし、それらの神経活動は脳波では実際には頭蓋や頭皮などを介して電極で計測されるという点、そして電極がどのように神経活動を計測しているのだろうかという点を説明していただくとより理解を深めることができました。

平滑化の一例として筋電図の前処理について解説していただきましたが、脳波の前処理についても解説していただけるとよかったです。

線形判別分析における次元圧縮の話については、3次元空間では解釈しづらいものを2次元空間に適切に射影すれば解釈が容易になると、影絵を例に挙げられたのは非常に理解しやすいものでした。

実験書にはモータイメージの実験が記載されているので、それについても説明されているとよかったです。

実験では、P300 スペラを行いました。ほとんど推定することができませんでした。そのP300 スペラで得られたデータを解析して、他の講義と同様にエクセルやMatlabにより解析することが望ましいと思います。また、あらかじめepoc emotivのような簡易脳波計ではなく、よりSN比のよい脳波計での脳波の生データも用意しておき、事象関連電位が実際に確認しておいたほうがよいのではないのでしょうか。

●テーマ5 「fNIRSによる脳活動部計測」感想

講義では、fNIRSについての原理および統計処理について学びました。

fNIRSは、生体の窓と称されている生体透過率が高い電磁波の帯域と物質の吸収率とに着目することで、脳活動の変化を非侵襲的に計測することが可能な光学の技術です。具体的には、生体の窓（約650~1000[nm]）に透過しうる近赤外線（約700~1400[nm]）を用い、特に780, 805, 830[nm]の3つの波長で脳活動変化に関係するとされる脳組織内の血流中の酸素化ヘモグロビンと脱酸素化ヘモグロビンの量に変化を計測しました。また、脳部位ごとによって働きが異なること（脳機能局在論）はブロードマンの脳地図や運動野および感覚野ではペンフィールドのホムンクルスによる知見により、変化が見られるのではないかというものでした。なので、今回のタスクである将棋では指すための手指から上腕を動かすので運動野、状況に応じて指し方を考えるために情動、直感、ひらめき、学習などの高次機能を司るといわれている前頭前野に活動が見られると考えられます。

この計測について興味深かったことは、はじめに各ヘモグロビン量を基準とするので、あくまで相対的に値を見ていることです。つまり、計測されたその値をそのまま見るのではなく、微分もしくは2回微分することで変化をとらえることが重要だとされることです。光学的な計測の利点と欠点を考えてみますと、電磁的ノイズの影響を受けないという利点、その一方で脳活動は脳の神経が電氣的に活動することによって行われているので、直接的に脳の神経活動を計測していない欠点が考えられます。また、神経発火がたたみ込まれて電氣的に計測しているわけではないので、周波数帯域の電力スペクトルを見るといったアプローチは適切ではないとも考えられます。なお補足として、fNIRSは脳活動計測においてどういう立ち位置にあるものか、ほかのものと比較したときのメリット・デメリットを説明していただけるとよかったですと思います。

統計処理については、小数の情報から全体を推論することと情報の基本構造を明らかにすることのために統計学の基本を学びました。これは実験で得られたデータ数が偶然が入る余地がないほど十分大きいか全体を計測できない場合

（実際は困難）に統計により全体を推定するときに役立つものです。具体的には、まず検定したい問を設定し、その問に対して否定的な仮説（帰無仮説）と肯定的な仮説（対立仮説）を立てます。そして、その問に関する統計量を計算し、確率を求め、導出した確率があらかじめ設定された有意水準以上であれば帰無

仮説が採用され、未満であれば対立仮説が採用されるといったものです。講義中では、例として差があるかどうかと相関があるかどうかという二つを挙げて説明されました。設問として二つのデータセット間に差があるとした場合の例をあげますと、差がないという仮説（帰無仮説）と差があるという仮説（対立仮説）を立て、統計量である差を計算し、その差が生じる確率を求め、導出した確率と有意水準と比較してどの仮説を採用するか判定する、といった流れを理解できました。なので、このような二つの具体例を挙げていただくと理解がはかどりました。統計を正しく使いこなす点で注意したいところとしては、真実は差がない（第一種の過誤）というものの有意水準が小さければ小さいほど判定と真実が違う確率は小さくなるといったことや、そもそも実験計画がただしく、データ数が適当な大きさであり、適切な検定方法ということです。

実験では、まず、ボードゲームにおける脳活動・身体運動のマルチモダリティ計測として、将棋中の fNIRS による酸化/脱酸化ヘモグロビンと湿式電極による表面筋電位を計測しました。なお、自分自身は将棋をやって遊ぶことはありませんが、定跡などを知らない程度です。なので、2, 3 手先程度までを自分なりに毎回評価して判断して指していました。特に、持ち駒を使うべきかどうか悩んでいるときは手に持って指先で回していました。対戦結果としては残念ながら負けてしまいましたが、勝手も負けても自分自身のデータを解析することにも興味があったので楽しめました。得られたデータにおける統計的解析では、表面筋電位のうち、右肩近傍の筋群のものの相関と前腕の筋群のものの相関が見られました。その一方で、上腕と前腕の間には相関があまり見られませんでした。以上のことから、上腕と前腕は同時に動かしているわけではないことを示唆していると考えられます。また、将棋を指しているときは、駒を手でつかむ（前腕）、駒を腕を動かして移動する（上腕）、駒を手から放す（前腕）といった順序だった動作、また駒を指先で動かす（前腕）といったことから相関がとれたのも納得できました。fNIRS の解析では、酸化/脱酸化ヘモグロビン同士には負の相関があらわれていました。すなわち、神経の活動が活発して酸素を供給することで酸化ヘモグロビンが現象し脱酸化ヘモグロビンが増加するといった知見と一致していることがわかります。補足として行った方がよかったこととしては、統計的解析を講義で学んだので、相関について実際に検定まで

行ってみればより学習効果が高かったと思います。

●テーマ6 「モーションキャプチャによる身体運動計測」感想

本講義では、モーションキャプチャによる身体運動計測の原理について学習しました。具体的には、実際の奥行きと角度を考慮して2次元画像から身体運動を算出するスケールファクター法とカメラを2台以上用いることで得られた画像から光学的に空間を再構築するDLT法を学びました。さらに、高周波のノイズが混じった計測データは有限差分法で微分して得た加速度や速度にきわめて影響を及ぼすこと、サンプリング定理に従わずに高周波のサンプリングした場合にはエイリアシングが発生することというノイズについても学びました。

学んだもののうち、特にノイズ除去の手法であるバターワースフィルタを用いる上で、時系列順にはじめからそのフィルタを適用して平滑化するだけだと実際のものよりも位相が遅れたものになるので、逆順にもう一度適用することで位相を補正するといったことを行っているという点が興味深かったです。なぜなら、これはすでに得られた計測データだからこそ適用できるので、もし計測およびフィルタリングを行いながら平滑化されたデータを見る場合は位相遅れが考えられるからです。

また、光学式モーションキャプチャについて学びましたが、いくつか調査してみると他の方式（例えば機械式や電磁式）があるようです。なので、他の方式と比較した場合の光学式モーションキャプチャの特徴などを挙げていただくと、状況に応じて適切に用いられることができるのではと思います。

例えば、機械式ではポテンシオメータや曲げセン

サなどを身体に取り付けることで直接的に計測することができるのに対して、光学式ではカメラの死角もしくは2台以上のカメラがマーカをとらえていないと計測ができない一方、機械式は取り付けたセンサが

運動を妨げたり肩などの多自由度な関節を計測するのが困難なので、体の複数の部分を取り運動に制限をかけないのであれば、光学式は機械式よりも計測が行いやすいなどです。

また、まずモーションキャプチャのメカニズムについて説明してい

ただけでしたが、全身、上半身全体、下半身全体における身

体運動という計測対象のことについてまず説明していた

だいてからの方が前述のことを考慮することもできるのでよいのではと思いま

す。

男女に班分けされたキャリブレーション精度の競技において、女性の班よりもキャリブレーションが上手くできませんでした。そのとき、私
が実際にキャリブレーションしたときは規則的かつできる限り全面に対して掃引する
ように意識したつもりですが、一度しかキャリブレーション実験を行っていないので確
かなことではありませんが逆に仇になってしまった気がします。

精度よくキャリブレーションするためにはよいやり方があるのでしょうか。

また、実験の際には配布されたマニュアルが、写真と図（スクリーンショット）
を交えて説明されていてわかりやすかつ

●テーマ7 「聴性脳幹反応の計測」感想

解剖学・神経学・機械工学・生物学的に耳から脳までの機序と臨床

応用でよく用いられているその機序のうちの聴性脳幹反応（ABR:Auditory
Brainstem Responce）について学びました。

具体的には、外耳（耳介・外耳道）・中耳（鼓膜・耳小骨・鼓室）・内耳（蝸牛・外有毛細胞・
内有毛細胞）の順に構造と音（振動）に対する機械的性質、そして有毛細胞で処理された音
信号が神経繊維を介して伝導された脳の神経細胞における神経活動、神経活動の計測にお
ける脳波、クリック音で刺激したときの聴性脳幹反応の特徴および応用例、計測機器で
用いられる作動増幅器の電気回路という流れで説明していただきました。そのため、全
体をしっかりと理解できるようなものでした。特に図をまじえて順序よく説明して
いただいたため、直感的にも理解がはかどりました。また、歴史についても説明して
いただいたのでより興味深く聴講できました。講義内容で興味深いことについて、
蝸牛ではメカニカルに周波数解析が行われていることです。なぜなら、一般的に私
たちがマイクなどから得たものに対してフーリエ解析などの手法を用いてソフトウ
ェア的に信号処理することで周波数帯域毎のパワースペクトルを取り出しているの
に対して、蝸牛の構造と外有毛細胞と内有毛細胞によりハードウェア的に実現して
いるという点が生物の機能として非常によくできていると感心したからです。次
に興味深かったものとしては、加算平均を用いている点です。これは定常的に特徴
があらわれ

るという点に着目することで、背景ノイズ（アーチファクト）を低減するという狙いがあります。つまり、脳波計測は定常的なものかつリアルタイムに知る必要性がなければ、加算平均を用いることで信頼できるものだということを考えられます。また、ABR計測で見られると言われる7つの特徴的な波形からどの聴覚機能（I：蝸牛核神経，II：蝸牛核神経 - 延髄，III：上オリーブ核 - 橋，IV：外側横毛体 - 橋，V：中脳，VI：視床 - 内側膝状態，VII：聴放線 - 視床皮質）に異常があるかないか検出できる点ことからABR計測が非常に有用な技術であることが理解できました。

●テーマ8「歪成分音響放射の計測」感想

本授業では歪成分耳音響放射について学びました。

具体的には、有毛細胞には感覚毛の束があり、それらは短いものから長いものへと整然と並んでおり、その感覚毛の毛先にはMechanoElectrical Transduction(MET)チャンネルというものに蓋がついており、長い感覚毛から伸びるTip Link（糸）に接続されているので、音入力によりMETチャンネルが開口されるとK⁺が細胞に流入し、有毛細胞が脱分極をされます。また、指向性がありました。これらについてスライドでは図で示されていたので、メカニズムを直感的にも理解することができました。ただ、講義では詳細に説明していただけたのに対して、実験書にはそのメカニズムについて説明があまりなされていないので、実験書にも図を用いて説明されるとよいかと思います。また、前回と同様に歴史から説明していただいたので、興味深く講義を受講することができました。

耳音響放射が実際に内耳蝸牛により生成されているかを確認するために、まず外耳道を模擬したU字上の管に計測機器を取り付けた場合とヒトの耳に取り付けた場合の計測を比較しました。その結果、後者においてのみ $2f_1 - f_2$ の周波数の歪み成分が得られたので、耳音響放射が計測できていることと生成されていることが確認されました。このように計測対象であるものとそうでないものを比較することで、説得力がありました。

おおよそ全員は誘発耳音響放射が見られましたが、自発耳音響放射も見受けられました。これは、構造的な個人差が原因かなど疑問が残りました。

●テーマ 9 「筋疲労計測実験」感想

講義では、筋疲労と運動単位（運動神経・筋繊維）機能について学びました。具体的には、随意運動は脳から脊髄を経由して筋のモータニューロンという経路で信号が伝達することで行われていること、そして1本の運動神経とその神経が支配している複数の筋繊維を運動単位（Motor unit）と呼ぶこと、筋繊維は酸素活性が高い速筋と低い遅筋という分類があること、静止膜電位の発生により筋電位が生じることを学びました。興味深かったこととしては、速筋と遅筋は個体差によってその割合が異なるようなので、どちらの筋の割合が多いかでどの競技に向いているかがわかるという話も興味深かったです。補足として、スライドでは電子顕微鏡を用いて撮影した神経筋接合部と筋繊維タイプの写真で説明していただきました。ホジキン-ハクスレー方程式についても、数式が実験書にないので記載したほうがよいかと思います。

実験では、疲労における筋電位と把持力の関係を実験により調査しました。具体的には、筋電位と把持力を計測するために、握力計を繰り返し握りそのときの表面筋電位をセンサで計測しました。その結果、時間がたつにつれて発揮しうる張力は下がっていく一方で iEMG は大きくなっていきました。これを解釈しますと、はじめは速筋・遅筋を動員することで目標とする把持力を達成できましたが、繰り返し行うことで速筋が徐々に疲労し遅筋を多く動員せざる終えなくなる割合が多くなることで筋繊維を疲労していない場合と比べて多く動員され、そして最終的には速筋のほとんどが疲労してしまいほぼ遅筋のみで発揮力をまかなうために遅筋の数で動員していたと考えられるのでしょうか。最後に、随意運動を努力度という指標に客観的にみるということも興味深く、別のテーマで用いた fNIRS を追加して計測した場合、筋張力と筋電位と fNIRS の間には相関関係があるかどうか非常に興味深いです。

●テーマ 11 「電気刺激装置による運動補助」感想

本講義では、電気刺激治療、電気刺激と筋活動、筋収縮の機序、神経支配と刺激部位、FM 干渉型電気刺激装置について説明していただきました。

まずはじめに電気刺激の手法の分類として、Surface FES(表面電極によるもの)・Stranscutaneous FES(埋め込んだ電極によるもの)・Implanted FES(刺激装置・電極ともに埋め

込んだもの)に分類され、電気刺激療法としては治療的電気刺激(TES: Therapeutic Electrical Stimulation)、機能的電気刺激(FES: Functional Electrical Stimulation)、経皮的電気神経刺激(TENS: Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation)に分類されることといった説明

がなされました。なので、機能的電気刺激かつ表面電気刺激はどのような立ち位置にあるか理解と導入が容易でした。

また、筋繊維にはZ 盤とタイチン、ミオシンフィラメント、アクチンフィラメントとで構成されサルコメアがあり、それらが筋収縮が進行されるメカニズムについても理解がはかどる説明がされました。

それは、スライドで図を用いて解剖学的にメカニズムを説明されていたからであり、自分にとってブラックボックスであった筋繊維の収縮のメカニズム(アクチンフィラメント上をミオシンが結合、解離、立ち上がり、力の発生、結合することで移動し、筋が収縮する)について直感的な理解ができました。

スライド中には文章が多く散見されているので、その部分に関してはややわかりにくいと感じました。

ひとつ疑問が残ったこととしては、「2 次運動ニューロンは興奮性を維持しているため、電気刺激で発火させることは容易であり、神経近傍に電極を留置した場合、1 ボルト程度の電圧で筋収縮を生じさせることが可能である。」とスライドにありましたが、神経からのシグナルを受け取って筋細胞膜に活動電位を発生させることで筋を収縮させていることは、電気刺激は外部からこの筋細胞膜に活動電位を直接発生させることで結果的に筋を収縮させることに影響はしていないのでしょうか。

電気刺激で末梢の第2 次ニューロンにどの部位を脱分極させているのか説明していただければと思いました。

●テーマ 12 「EMG を用いた外部機器の制御」感想

講義では, EMG を用いた外部機器制御として筋電義手について学びました.

具体的には, 筋電センサから得られた筋電位を筋電コントローラで情報処理し, 外部機器であるロボットハンドに対して動作量の指令値を送信することでロボットハンドを動作させることでヒトの運動機能の代替を行うというものです. また, 筋電位の計測で用いられている技術である差動増幅の回路の仕組みについても学びました.

スライドの感想としては筋電義手の特徴, 必要性, 現状, 利点・欠点, 難しさを端的かつ図をまじえてに順序よく説明していただいたので, 非常に理解しやすかったです. ただ, スライドのタイトルおよび本テーマが「EMG を用いた外部機器の制御」というものなのに, 筋電義手だけを取りあげているのは少しばかり違和感を感じました. なので, 筋電義手以外にも筋電位を用いている外部機器についても説明していただければよかったですと思います.

実験では, 筋電義手を用いて比例制御・閾値処理+符号化・個性適応型制御の比較と低自由度義手を用いて Pick-and-Place を行いました. 比例制御は筋電位の振幅の大きさに握力や動作速度を比例的に操作, 閾値処理+符号化は筋電位の振幅の大きさを閾値処理してコマンドとして開きや握り, 動作箇所の変更を操作, 個性適応型制御では周波数特徴を利用した機械学習によりパターン識別により操作するというものです.

比例制御の所感としては, 筋を強く収縮させればより強い筋電位が発生することから, ある程度直感的に操作することができました. ただし随意での筋収縮の加減調整を常に意識せざる終えないという点で不便さを感じました.

次に筋電位の閾値+符号化による制御では, 筋電位をコマンドとすることで使い分けができる操作ができました. ただし筋電位の閾値と

収縮させる筋の使いわけに苦労しました. なので, 符号化することで様々な動作意図を筋電義手に伝える利点がありますが, 上手く使いこなすには習熟が必要だろうと考えられます.

以上の2つの制御手法は, 本実験ではPCのモニターで筋電位の状態が視覚的に把握できていたのでわかりやすかったものの, モニターなどがない実環境下で用いることを考えるとより困難だと思えます.

一方、個性適応学習による制御は、筋を収縮させる部位と度合いというものを特に意識することないので義手を動作できるという点で扱いやすく、比例制御・閾値処理+符号化と比較して習熟が楽という点で優位だと考えられます。

また、筋電位の比例または閾値による制御は直感的に仕組みが理解しやすい物の、パターン識別はどのようなことを行っているかも興味深いので直感的にも理解しやすい説明をしていただけるとよかったですと思います。

低自由度義手の実験では、用意された物の把持や運搬を自由に行うことができたので非常に楽しいものでした。また、皿の把持やペットボトルの蓋を開閉を様々なアプローチで試みて困難だったことから義手のパフォーマンスを体感することができました。

しかしながら、実験書に記載されている Pick-and-Place 実験を行っていないので、評価を行えず少し残念でした。

また、筋電義手にエラストマーグローブを装着したことで、物の把持が明らかに容易になったことから、エラストマーグローブを装着したものとそうでないものを比較してタスクを行わせることもよいのではないのでしょうか。