



触覚刺激駆動型BCIの開発と応用

Review of Stimulus-driven P300-based Tactile BCI Paradigms Developed by BCI-lab group

兒玉拓巳¹, 清水健介¹, 森啓², 牧野昭二¹, ルトコフスキ トマシュ マチェイ^{3,4}

¹ 筑波大学 生命領域学際研究センター, ² 株式会社 NTTデータ,

³ 東京大学, ⁴ 理化学研究所 脳科学総合研究センター(理研BSI)

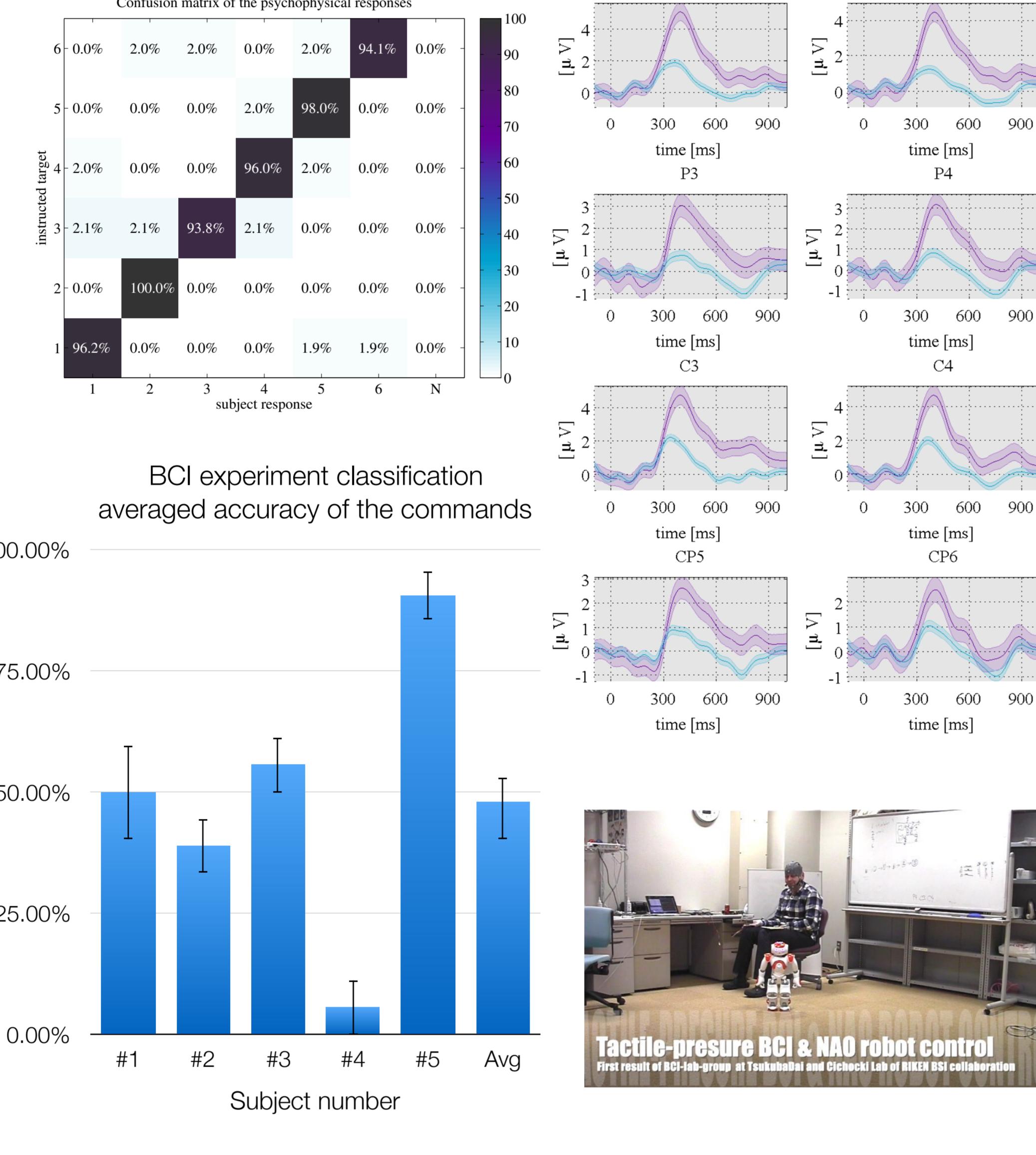
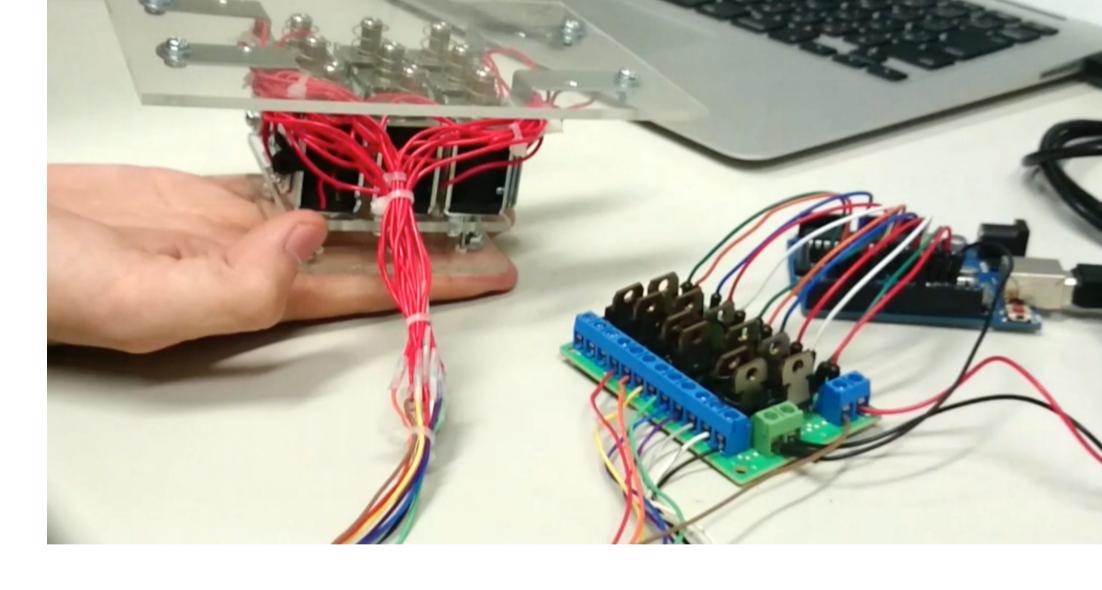
{takumi, tomek} @bci-lab.info • http://bci-lab.info/

要旨

本研究グループでは、P300反応を用いた触覚刺激駆動型BCIアプリケーションの開発を行ってきた。触覚刺激駆動型BCIは、視覚刺激駆動型に比べてコマンド正解率(Classification Accuracy)は劣るもの、盲目的被験者や末期ALS患者などに適用できる利点がある。圧力型、振動型、また超音波による非接触型など、様々な触覚刺激を用い、BCIに最適な刺激提示方法について検討を行った。本発表では、代表的な3つアプリケーションの概要と、被験者実験を行う上で得られた各コマンド正解率、触覚刺激から生じるERPの特徴についても紹介する。

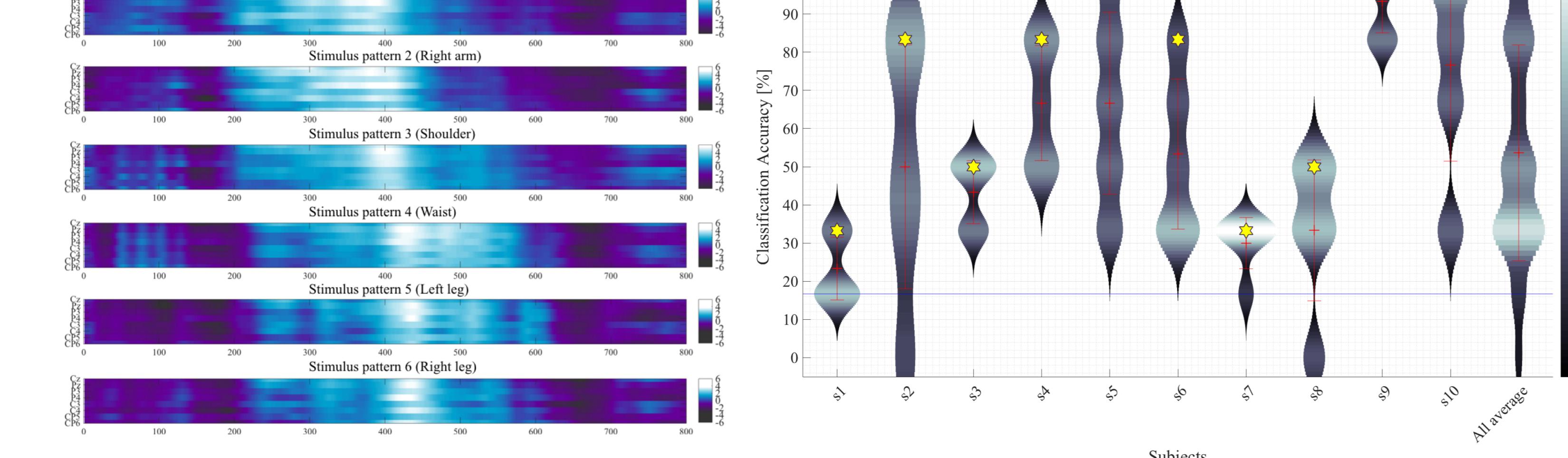
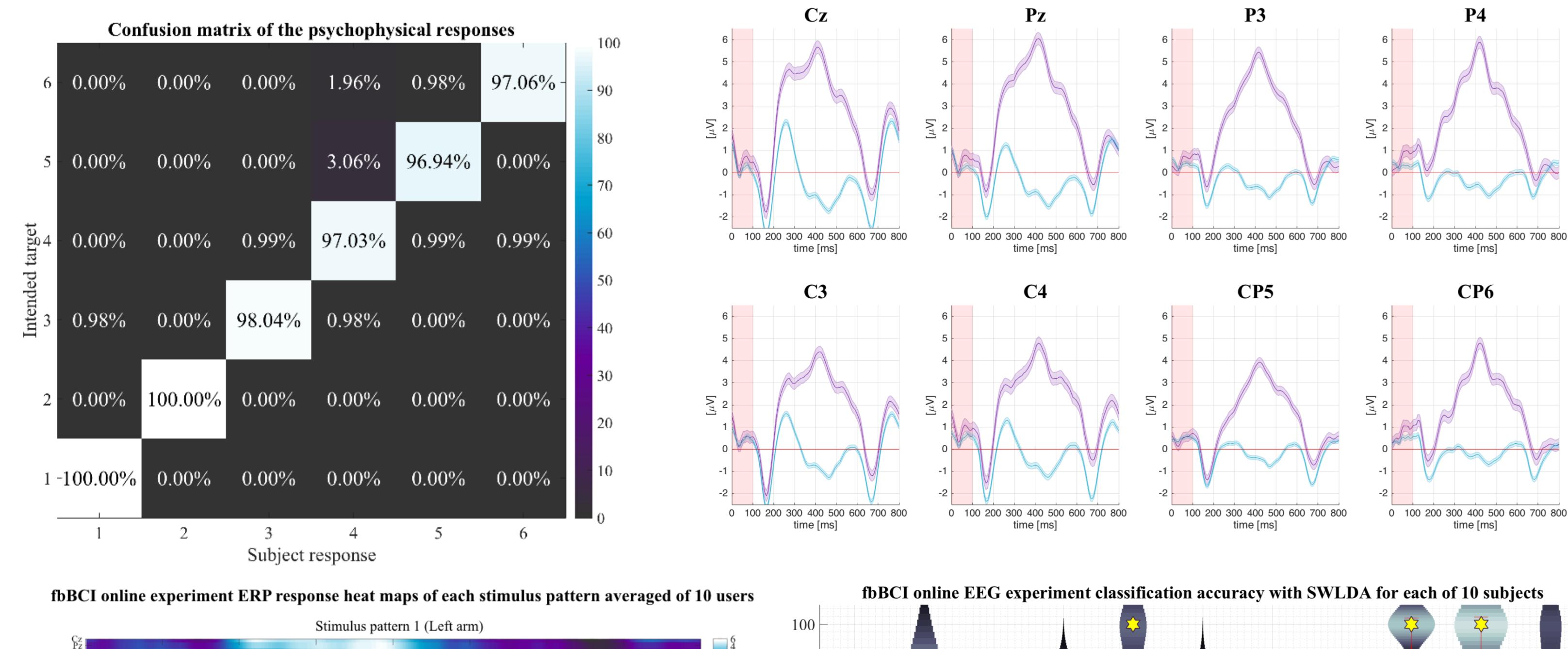
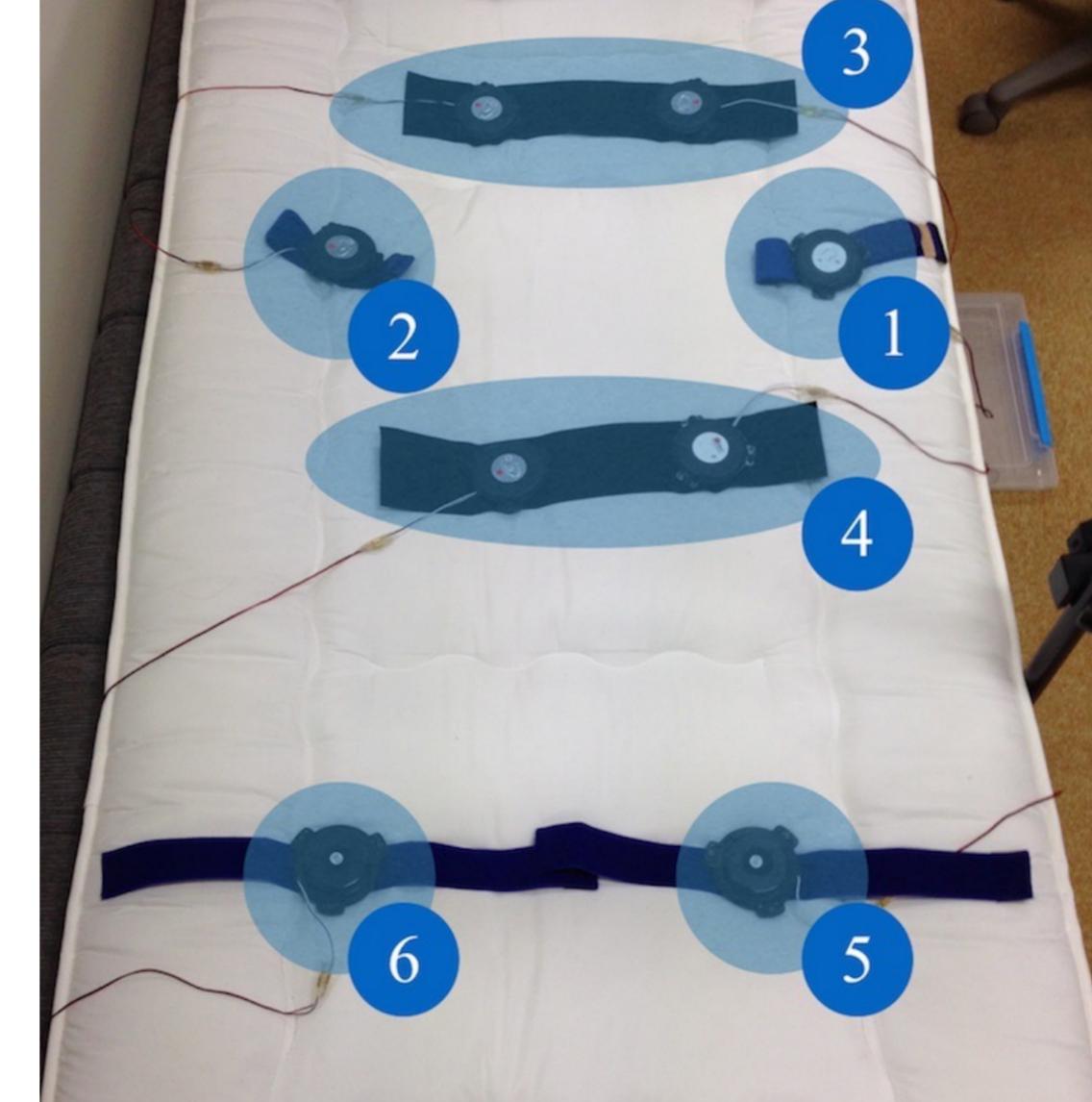
ピン圧力刺激型BCI (Tactile-pressure BCI) [1]

9つのソレノイドラッチを用いて6種のパターンを生成し、被験者の掌にピン圧力型の刺激を与え、P300反応を誘発する。装置が小さいため、準備手間がかからず手軽に実験が可能である。コマンド正解率は平均で50%前後を記録(5被験者/SWLDA)。



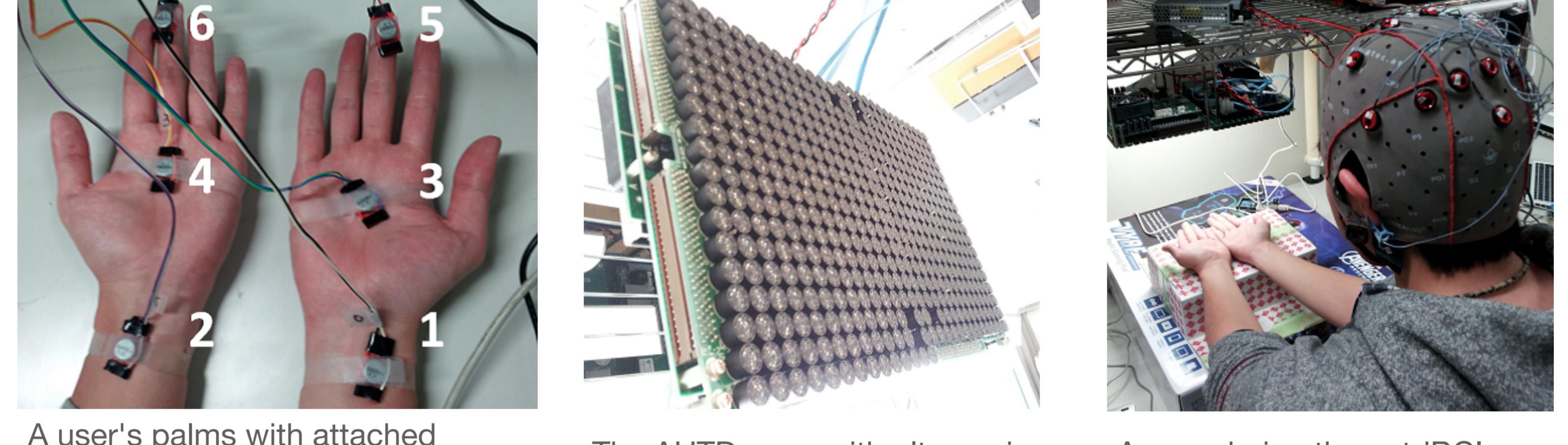
全身振動刺激型BCI (Full-body vibrotactile BCI) [2]

8つの振動子(エキサイター)を被験者の背後部に配置し、6種の振動刺激パターンを与えることによりP300反応を誘発する。各振動子を布団の上に配置し、その上に被験者を寝かせて実験を行うため、寝たきり患者にも適用できるという利点がある。振動刺激パターンの位置は、コマンド識別精度向上のため、左腕、右腕、肩、腰、左足、右足と広範囲に分散させている。ERPにおけるP300反応のピークは、各振動刺激パターンによって異なり、上半身の方がピークが早い。コマンド判別アルゴリズムにはSWLDA/線形SVM/非線形SVMを用い、それぞれ10被験者平均で57.48%/58.5%/59.78%を記録した。人間型ロボットの各動作に当BCIの各振動刺激パターン(6つ)を割り当て、デモ実験も行った。



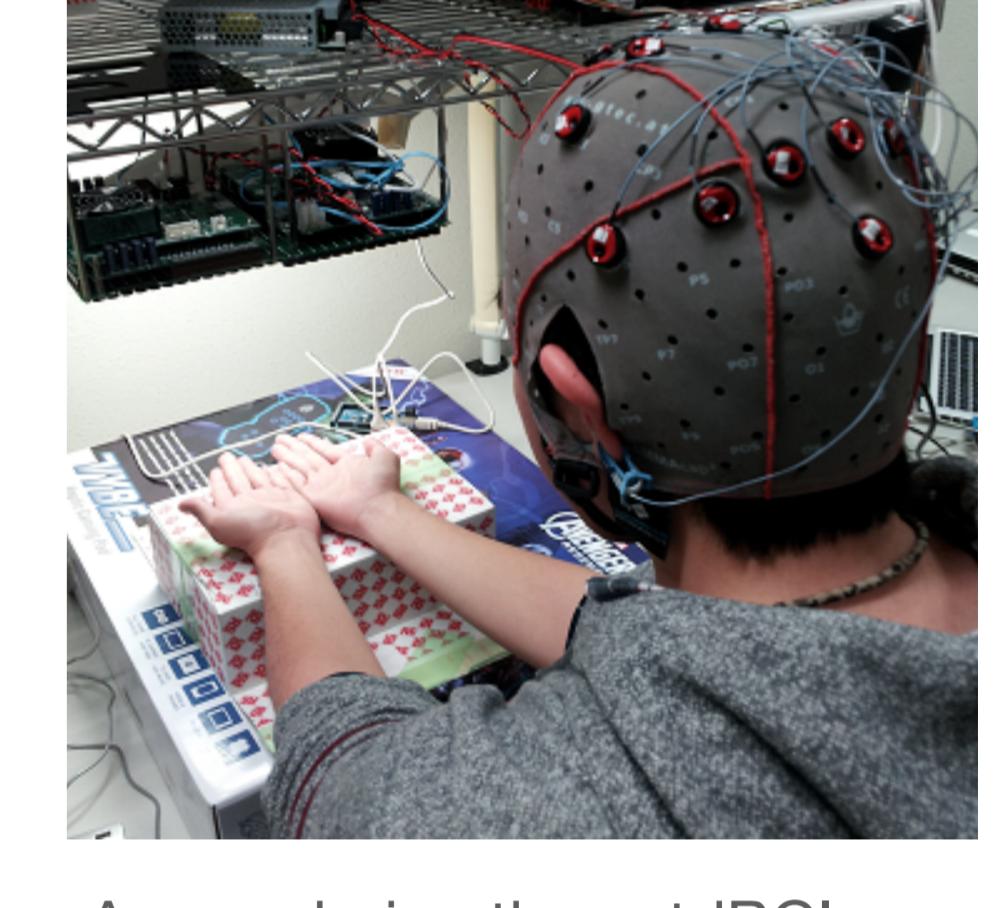
空中超音波非接触刺激型BCI (Airborne Ultrasonic Tactile Display BCI) vs. 接触振動刺激型BCI (Vibrotactile BCI) [3]

空中に不可視な触覚刺激を生成できる超音波スピーカーアレイを用い、6パターンの非接触刺激を被験者の掌に与え、P300反応を誘発する。複数の超音波振動子から生成される空中超音波を一点に集め、放射圧によって擬似的な触覚を人間に与える。デバイス本体は、共同研究先の東京大学・篠田研究室によって開発された。比較実験のために、従来から開発をしていた接触振動刺激型BCIを用いて、同被験者におけるERP反応とコマンド正解率を観測した。P300反応のピークは非接触型が接触型に比べ、130ミリ秒ほど遅れることが判明した。また、コマンド正解率も非接触型の方が低く、実験に参加した13被験者のうち、約3被験者がチャンスレベル(約16%)近辺の結果、そして1被験者が100%を達成したのみであった。本研究は、独創性と先進性が認められ、2014年度BCI Awardを獲得した[4]。

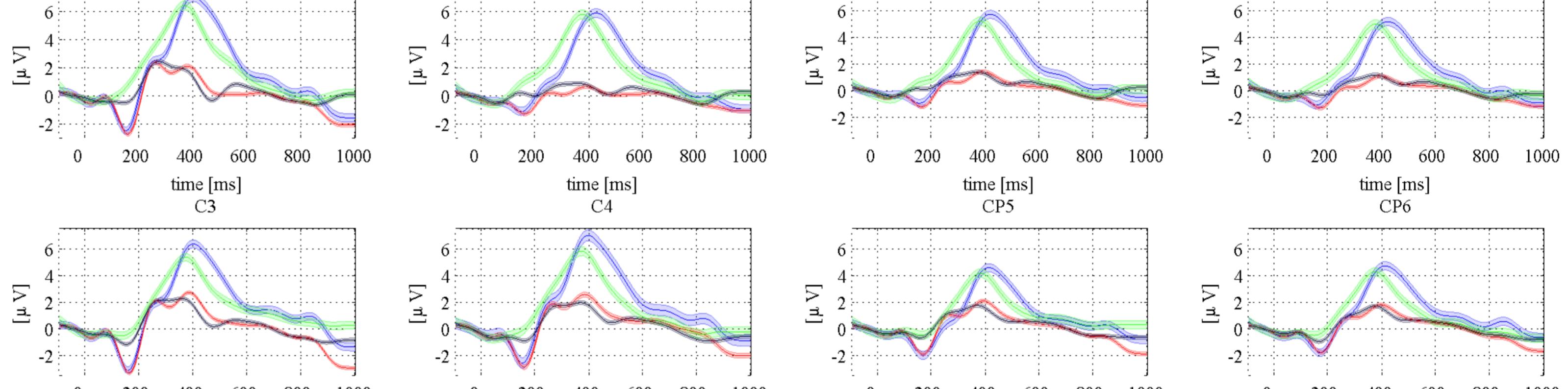


A user's palms with attached vibrotactile transducers used in vtBCI experiments. The stimulus locations are represented by digits to be spelled.

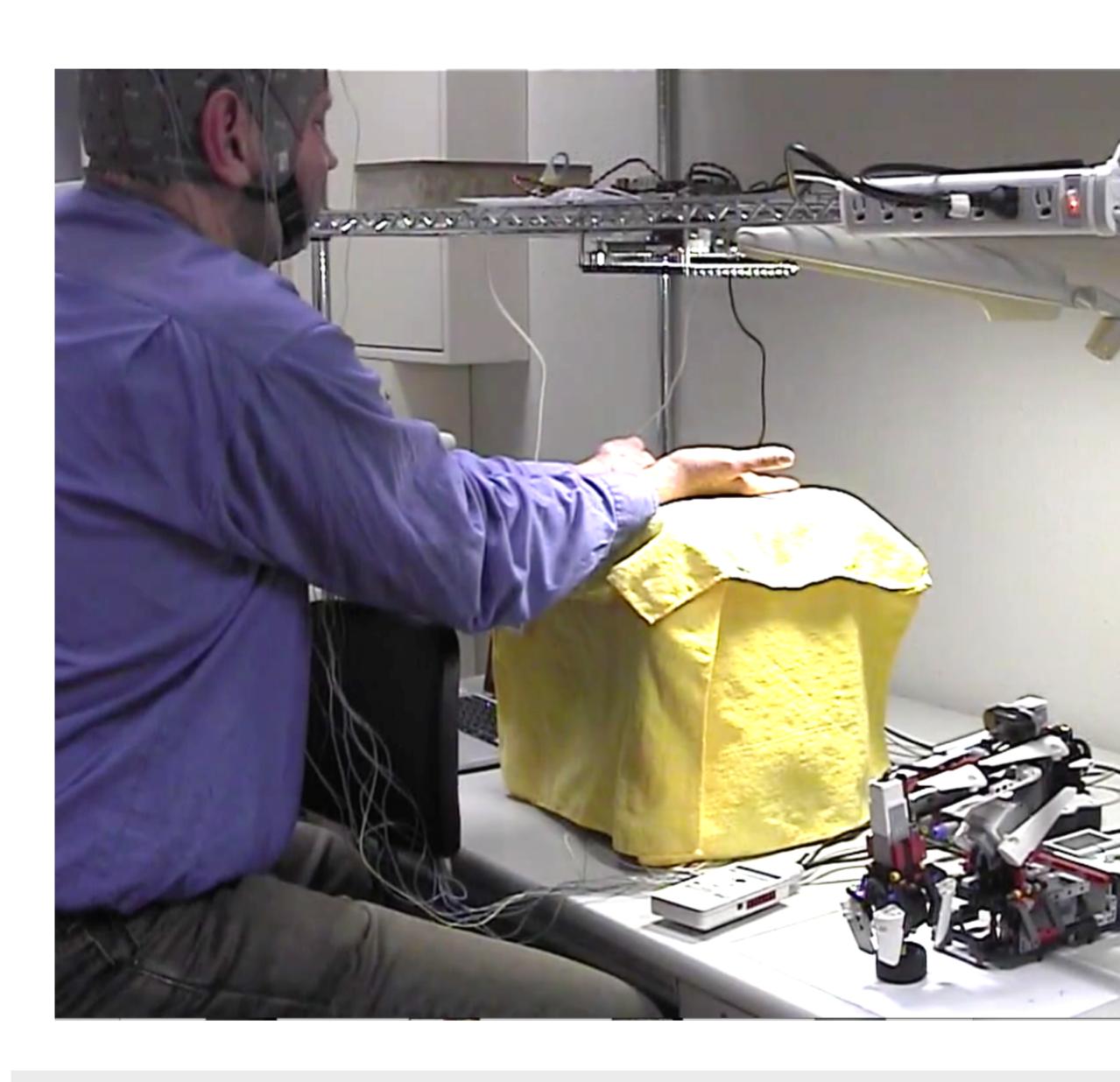
The AUTD array with ultrasonic transducers used to create the contact-less tactile pressure sensation.



A user during the autdBCI experiment with both palms placed under the AUTD array with ultrasonic transducers.



The autdBCI (blue - targets; red - non-targets) and vtBCI (green - targets; black - non-targets) grand mean averaged ERP responses, together with standard error bars. The responses AUTD resulted with significant negative latencies at 130 ms for the both attended and ignored patterns.



まとめ / 今後の展望

本研究グループで研究開発を行ってきた、3つの触覚刺激駆動型BCIアプリケーションについての解説を行った。触覚刺激を用いたP300型BCIの有効性を評価するために、各アプリケーションに於いてオンライン実験を重ね、一連の発表を行ってきた。しかしながら、実際のALS患者を始めとする対象被験者と実験を行えていない点や、コマンド正解率が4~50%台と、他のBCIよりも比較的低い点は本研究グループの課題である。これらのBCIの実用化による、よりよい社会の実現のためにも、今後も各課題を解決できるよう、引き続き様々なアプローチから研究開発を行っていきたい。

References

- Shimizu K, Makino S, Rutkowski TM. Inter-stimulus Interval Study for the Tactile Point-pressure Brain-computer Interface. In: 2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Press; 2015. p. 1910-1913.
- Kodama T, Shimizu K, Rutkowski TM. Full Body Spatial Tactile BCI for Direct Brain-robot Control. In: Proceedings of the Sixth International Brain-Computer Interface Meeting: BCI Past, Present, and Future. Asilomar Conference Center, Pacific Grove, CA USA: Verlag der Technischen Universitaet Graz; 2016. p. 68.
- Hamada K, Mori H, Shinoda H, Rutkowski TM. Airborne Ultrasonic Tactile Display Brain-computer Interface Paradigm. In: Mueller-Putz G, Bauernfeind G, Brunner C, Steyrl D, Wriessnegger S, Scherer R, editors. Proceedings of the 6th International Brain-Computer Interface Conference 2014. Graz University of Technology Publishing House; 2014. p. Article ID 018-1-4.
- Annual BCI Research Award, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Annual_BCI_Research_Award.