

クアドタッチ錯覚による所有感生起の連鎖

Chain of Ownership Generating in the Quad Touch Illusion

佐藤 優太郎[†], 齋藤 五大[‡], 小鷹 研理[†]

Yutaro Sato, Godai Saito, Kenri Kodaka

[†]名古屋市立大学大学院, [‡]東北大学大学院

Nagoya City University, Tohoku University

sato12yutaro@gmail.com

概要

我々は、自他の指を自ら同時に触れることで、他人の指の接触点まで自身の指に感じ、身体変形感覚を生起する Double Touch Illusion (DTI) を考案し、調査を進めている。実験では、本手法において、相手の指への触れる指の本数が身体所有感にどのような影響をもたらすかを調べた。被験者実験からは、触れる指の本数が増えるほど所有感が強く生起する興味深い結果が得られたため報告する。

キーワード: ownership, body image deformation, self-touch illusion, quad-touch.

1. はじめに

自分の手が他人に触れるのと同期して、もう一方の手で他人の手に触れることで、他人の手への接触がまるで自らが自分の手に触れているかのように感じられる身体的な錯覚に Self-Touch Illusion (STI) がある[1-2]. STI を含む広い意味での Rubber Hand Illusion

(RHI) 研究のほとんどは、視触覚刺激の同期の過程で、自他の身体を含む 2 点の刺激箇所が 1 点に統合され、自身の身体があたかもダミーの身体とすり替わったかのようにして成立する[3]. 一方、このようなボディ・イメージの変調過程とは一見異なる錯覚に、自分と他人の指が向い合わせの状態、2 本の指の背を同時に撫でることで、麻痺感覚 (numbness) が生起する Numbness Illusion (NI) が報告されている[4-6]. NI では、麻痺感覚の他にも相手の指に所有感が生起することや、その分自身の指が太くなったかのような身体変形感が感じられることが確認されている。このことから NI は自他の指へ自ら同期刺激 (double-touch) を与えるタイプの STI とみなすことができるため、NI のような double-touch によって生起する錯覚が、RHI 研究においてどのように位置付けられるのかを調査することは重要である。ところが現状、RHI 研究との関連を含めてもこの種の錯覚についてわかっていることは極めて少ない。

そこで我々の研究グループは、double-touch によって生起する錯覚のパラダイムを構築するため、STI の手続きをベースとした Double Touch Illusion (DTI) を

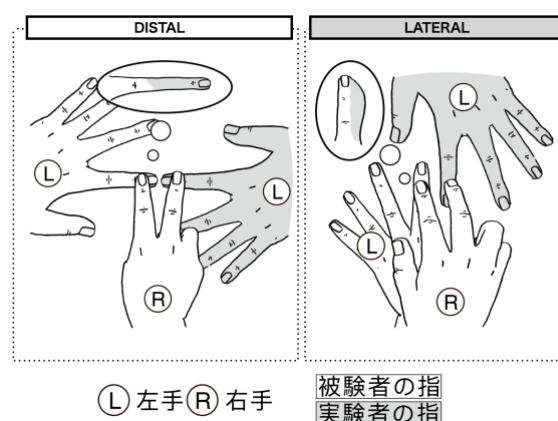


図1 Double Touch Illusion (DTI)

考案し、調査を行ってきた[7]. これまでの実験では、他人の指を自身の指の延長線上に配置する条件 (distal) と、自身の指と並列に配置する条件 (lateral) とで、実験参加者が閉眼で自他の指を同期的にタップした時、セルフタッチの感覚と共に distal 条件では指が伸びた感覚が、lateral では指の幅が広がった感覚が生起することを確認している (図1). さらに、DTI の身体変形感覚の距離限界について、所有感、麻痺感覚、身体変形感の生起を主観評価によって調べたところ、刺激する 2 点の距離が離れるほど評定値が減少するもの、指の長さの軸の方がより遠い距離においてもボディ・イメージが優勢に形成されることを示唆する結果が得られた (指の軸方向に関する身体変形感覚の異方性). 以上のことを整理すると、double-touch によって生起する錯覚は、近接する 2 点刺激の距離をボディ・イメージで埋めることで整合させ、結果として身体変形感覚を生起させるような特徴を持つと考えられる。DTI で特に重要なことは、自ら自身の指に接触することが、2 点の刺激を 1 点統合することの抵抗となり (proprioceptive drift の抑制)、選択的に変形感覚を生起させるという点である。

我々は本研究の次の段階として、double-touch においてボディ・イメージの形成が確認された 2 点間のスペースに対して、残された他の指を使って刺激を付与した際の所有感、身体変形感、麻痺感覚の評定値に

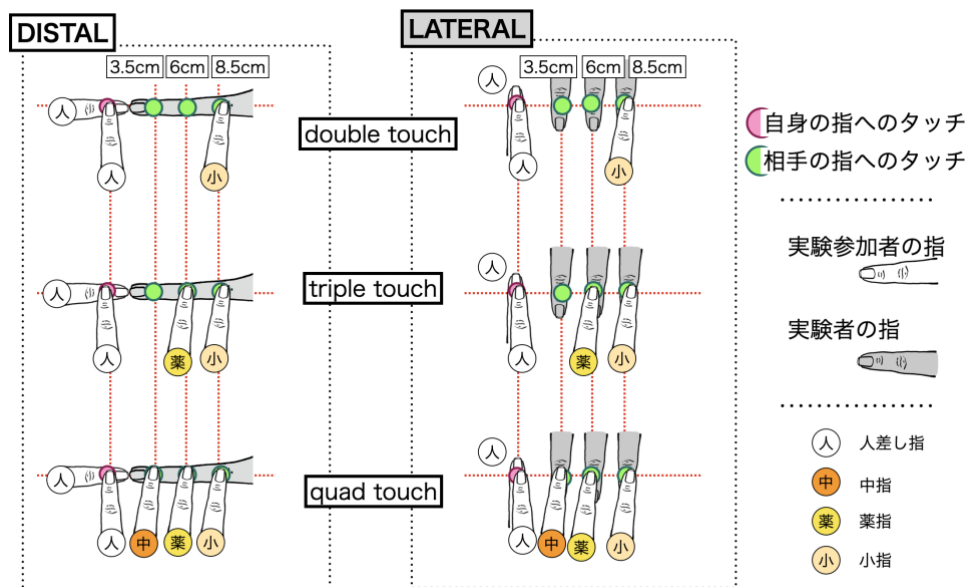


図2 実験計画

のような影響が見られるかを調査した。これらの条件下では、タッチする指の本数が増えるほど、自身の指への刺激と対応する刺激同期の機会が増えると考えられ、それに伴って所有感の評定値も高まるといった仮説が考えられる。本研究では、指の本数の要因 (touch) に加えて、これまでの研究の手続きから引き続き指の軸方向を操作する配置を要因 (layout) として調査を行う。

2. 実験

2.1 実験参加者

実験は、健康な大学生 (n=11) 参加してもらった。その内の1名の参加者については、実験で得た解答に誤解があったことが明らかとなったため、解析はその1名を除いた参加者 (n=10) に対して行った。

2.2 実験手続き

実験では、指の長さの変形 (distal 条件) と幅の変形 (lateral 条件) の各軸方向の配置について、2本指から最大4本指でのタッチ (double-touch, triple-touch, quad-touch) を実施する2要因被験者内実験 (layout × touch) を計画した。指のタッチの距離間隔は、distal 条件において余裕を持ってタップできる最短距離が3.5cmだったため、distal, lateral とともに被験者の人差し指へのタップの地点から3.5cm (double-touch), 6cm (triple-touch), 8.5cm (quad-touch) の距離に刺激を付与した (図2)。

机上には、手を配置する位置を示したシートが置かれており、参加者は右手の人差し指を自身の左手の人差し指の第一関節に配置し、double-touch では右手の小指を、triple-touch では右手の小指と薬指を、quad-touch では右手の小指、薬指、中指を相手の指の上に配置した。参加者は実験者の指示に従って条件に対応する位置に指を配置した。実験参加者は各条件でBPM120のリズムで60秒間のタップを行い、その最中に「実験者の指が自分の指に感じたタイミング」を口頭で「はい」と言って解答してもらった (所有感の onset 計測)。60秒間のタップの直後、さらに「所有感」、「麻痺感覚」、「身体変形感 (指の長さ)」、「身体変形感 (指の幅)」、「proprioceptive drift と身体変形感」と、上記の項目の統制項目3つに関するアンケートに対して-3 (全く感じなかった) から、0 (どちらとも言えない) を挟んで、3 (非常に強く感じた) までの7段階の数字で解答してもらった。つづけて実験参加者は、同じ条件で、20秒間のタップを行い、distal 条件では自分の人差し指の先端の位置感覚を、lateral 条件では人差し指の淵の位置感覚を、それぞれ中指の先端の位置感覚の位置一緒にシートにシールを貼って報告してもらった (proprioceptive drift の計測)。これらの手順を各条件で行い、被験者一人につき合計12回 (60秒間タップと20秒間タップを6つの条件でそれぞれ実施) の試行を行った。

分類	アンケート文
Q1 ownership	右手の指（中指・薬指・小指のいずれか）で触れている指が自分の指である感じがした。
Q2 numbness	右手の指（中指・薬指・小指のいずれか）で触れている指が麻痺した感じがした。
Q3 deformation (finger length)	自分の指が通常より長くなった感じがした。
Q4 deformation (finger width)	自分の指が通常より幅が広がった感じがした。
Q5 Proprioceptive drift & deformation	人差し指が、タップしている小指を超えて伸びた/幅が広がった感じがした。
Q6 ownership & numbness control	右手の指（中指・薬指・小指のいずれか）で触れている指が熱い感じがした。
Q7 deformation control	自分の指が通常より小さくなった感じがした。
Q8 deformation control	自分の指が相似的に拡大した感じがした。

表1 アンケート

3. 結果

主観評価の結果を図3に、proprioceptive driftの結果を図4に示す ($n=10$)。主観評価アンケートの各項目について被験者内2要因分散分析 (layout×touch) を行ったところ、layoutに関する主効果がQ1, Q3, Q4, で有意に得られ、Q2, Q5では有意傾向に得られた。(Q1: $F(1, 9) = 11.55, p < 0.01, \eta_p^2 = 0.56$; Q2: $F(1, 9) = 3.96, p = 0.08, \eta_p^2 = 0.31$; Q3: $F(1, 9) = 25.73, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.74$; Q4: $F(1, 9) = 11.94, p < 0.01, \eta_p^2 = 0.57$; Q5: $F(1, 9) = 4.97, p = 0.05, \eta_p^2 = 0.36$)。touchの主効果は、Q1, Q2, Q3, Q4で得られた(Q1: $F(1, 9) = 6.34, p < 0.01, \eta_p^2 = 0.41$; Q2: $F(1, 9) = 4.94, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.35$; Q3: $F(1, 9) = 4.20, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.32$; Q4: $F(1, 9) = 5.41, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.38$)。layoutとtouchの交互作用については、Q4のみに有意傾向に得られた(Q4: $F(1, 9) = 3.03, p = 0.07, \eta_p^2 = 0.25$)。touchで得られた主効果に対して多重比較 (holmの方法) をおこなったところ、Q1でtriple-touchとquad-touchの間に有意な差が得られ、double-touchとquad-touchの間に有意傾向な差が確認された(Q1: triple-touch vs. quad-touch, $p < 0.05$, double-touch vs. quad-touch, $p = 0.06$)。次にQ4で有意傾向に得られた交互作用に対して、単純主効果の検定をおこなったところ、layoutに対してdouble-touchとquad-touchで有意な主効果が得られた。(double-touch: $F(1, 9) = 7.88, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.47$; quad-touch: $F(1, 9) = 17.05, p < 0.01, \eta_p^2 = 0.65$)。touchに対してはlateralでのみ有意な主効果が得られた(lateral: $F(1,$

9) = 5.96, $p < 0.05, \eta_p^2 = 0.40$)。さらにtouchに対するlateralの単純主効果について多重比較 (holmの方法) をおこなったところ、いずれも有意な結果は得られなかった。

所有感に対する麻痺感覚、身体変形感 (指の長さ)、身体変形感 (指の幅) の評定値に関して、スピアマンの相関分析をおこなったところ、distalとlateralの条件で、それぞれに有意な正の相関関係が確認された (distal: Q1 vs. Q2, $p < 0.001, r = 0.39$; Q1 vs. Q3, $p < 0.05, r = 0.93$; Q1 vs. Q4; $p < 0.001, r = 0.59$; lateral: Q1 vs. Q2, $p < 0.001, r = 0.52$; Q1 vs. Q3, $p < 0.01, r = 0.46$; Q1 vs. Q4; $p < 0.001, r = 0.95$)。

所有感のonsetに関する解析に関しては、実験中のonsetの報告率が極めて低かった (distal: 56.7%, lateral: 26.7%)。そこで計画していた解析を諦め、補足的な解析として、各条件のonsetの報告率に関して χ^2 検定を実施した。結果は、double-touchにおけるdistalとlateralの間の報告率の差に有意な傾向が確認された (double-touch: $\chi^2(1, N = 20) = 3.333, p = 0.07, \phi = 0.40$)。

proprioceptive driftの計測で解析する値には、実験参加者の左手の人差し指の第一関節から、実験参加者がシートにシールを貼って記録された指の位置との距離の差分 (実験時の参加者の胸に並行な軸方向) を用いる。すなわち、実験参加者の左手の人差し指の第一関節から、distalでは左手人差し指の先端、lateralでは左手人差し指の第一関節の右淵の位置までの距離を算出した。また各条件で報告された中指の先端の位置についても同様に距離を算出した。以上の2つの条件で算出

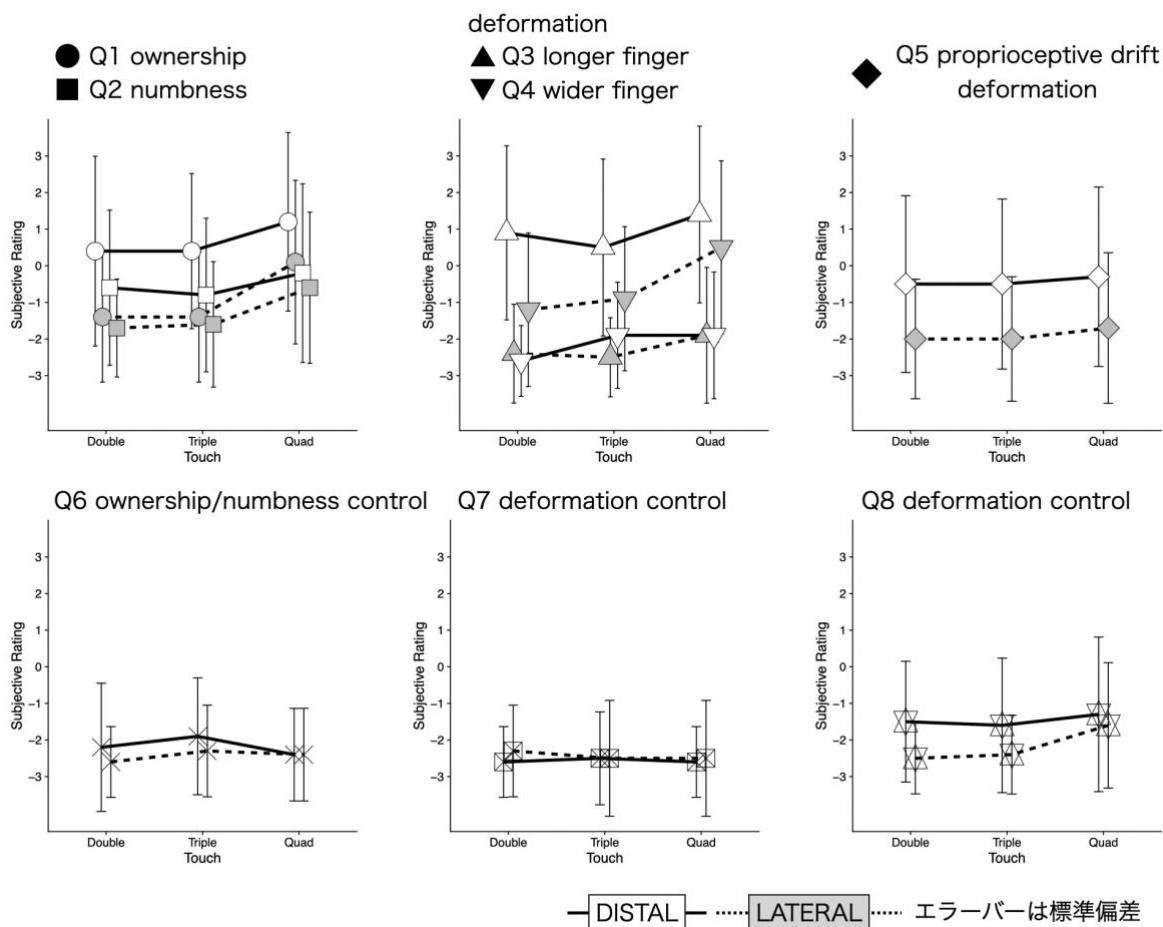


図3 主観評価の評定値

された距離について、計測対象の指の位置 (finger 要因) とタッチする指の本数 (touch 要因) の被験者内 2 要因分散分析 (finger×touch) を実施した。結果は、finger 要因についての主効果が distal と lateral の両方で得られた (distal: $F(1, 9) = 11.26, p < 0.01, \eta_p^2 = 0.56$; lateral: $F(1, 9) = 27.18, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.75$)。また touch の主効果が lateral で得られた (lateral: $F(1, 9) = 5.11, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.36$)。lateral で得られた touch の主効果について多重比較を実施したが、いずれの指の本数の条件間に有意な差は得られなかった。

4. 考察

得られた主観評価の所有感の解析結果では touch 要因に有意な主効果が得られたことから、自他の指の双方を自らで触れる double touch の操作において、タッチする指の本数が増えるほど所有感の生起が増大することを示唆するものとなった。この結果は、指のボディ・イメージの形成には自身の指への刺激に対応する刺激

同期の機会が多いほど優勢となるとした本研究の仮説を支持するものである。注目したいのは、touch 要因における double-touch と triple-touch の所有感の平均評定値が同程度であったことで、この条件間に有意な差が検出されなかったことは仮説に反する結果に思える。ここで touch 要因における指の並びを確認すると、図 2 の通り double-touch では 2 点間の距離が 8.5cm と条件間では指と指との間隔が最も離れており、また triple-touch の指の並びは等間隔ではなく、所有感の生起する足場が指一本分 (1.5~2cm 程度) 抜けているかのような条件となっているが、対して quad-touch では中指、薬指、小指 3 点の刺激点が等間隔に並んでいる。よって本研究の結果は、所有感の生起にはタッチする指の本数に加え、刺激を付与する地点が等間隔になるなどして連続的に感じられる位置関係を持つことが重要であることを示唆しており、これによって連鎖的に所有感が発生した可能性が考えられる。

また本研究においても、指の軸方向に関する身体変

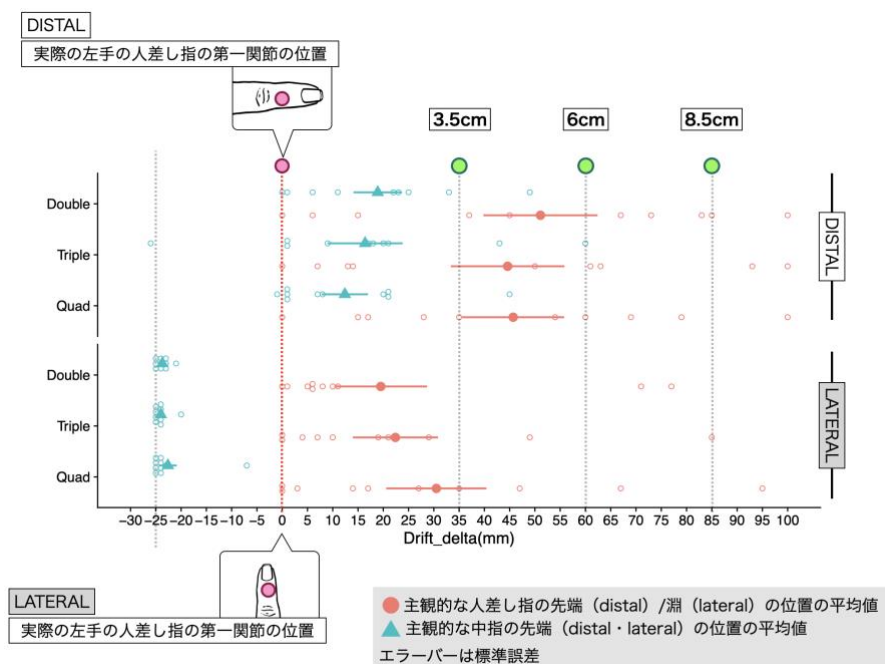


図4 proprioceptive drift の計測結果

形感覚の異方性が再現された。layout 要因に対する主効果が所有感で得られたことは、タッチする指の本数を増やした条件においても、指の長さの方向の方が幅の方向と比してボディ・イメージを形成しやすいことを裏付けている。また身体変形感に関する評定値も、distal では指の長さ、lateral では指の幅に関する評定値と正の相関関係を持つことが示され、所有感の生起と矛盾しない結果となった。他方で前段落の考察で取り上げた所有感に関する touch 要因の主効果について、多重比較の結果が quad-touch がその他の条件よりも有意に高まったことは、lateral においても指の本数の増加が所有感の生起に影響したことを示唆しており、指の身体変形感覚の異方性の観点から見ても興味深いものである。我々は、指の所有感生起が異方性を持つことの仮説として、指の変形が lateral 方向に起こると、指先の細かな運動に支障をきたし合理的でないことに由来して変形が抑制されると考えているが、quad-touch ではこの効果を幾分か相殺するような結果が得られた。このことは、指への同期刺激の機会が付与された時には、指の変形が起こりにくいような条件においても強引に所有感を生起させることが可能であることを示唆している。

proprioceptive drift 計測の結果については、解析結果からは、タップする指の本数を増やしても proprioceptive drift の距離が増加するような効果は確認

できなかった。本実験では、いずれの条件についても刺激地点の最大距離をとる小指の接触 (8.5cm) を付与していた。そのため図3のQ3のグラフのように、少なくとも lateral と比して身体変形感の生起が一定に確認できる distal については実験参加者が指の先端を条件ごとに区別して報告することが困難であった可能性が考えられる。一方で図4を見ると lateral×quad 条件における平均的な proprioceptive drift の量が、double-touch および triple-touch と比較して若干量増えていることが確認できる。このような proprioceptive drift の計測については、その差異が明確に検出できるよう、今後実験操作を精査する必要がある。

最後に proprioceptive drift の結果が distal で finger 要因の主効果が有意となったことについて述べる。この結果は、distal の全ての条件で本来人差し指よりも長い中指を追い越す形で人差し指の proprioceptive drift が生起したことを示しており、手全体の移動ではなく指の先端の変形が起こっていたことを、行動的な指標において裏付けるものである。

文献

- [1] Ehrsson, H. H., Holmes, N. P., & Passingham, R. E. (2005). Touching a rubber hand: Feeling of body ownership is associated with activity in multisensory brain areas. *Journal of Neuroscience*, 25(45), 10564-10573.
- [2] Aimola Davies, A. M., White, R. C., & Davies, M. (2013).

- Spatial limits on the nonvisual self-touch illusion and the visual rubber hand illusion: Subjective experience of the illusion and proprioceptive drift. In *Consciousness and Cognition* (Vol. 22, Issue 2, pp. 613–636).
- [3] Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands ‘feel’ touch that eyes see. *Nature*, 391(6669), 756–756.
- [4] Dieguez, S., Mercier, M. R., Newby, N., & Blanke, O. (2009). Feeling numbness for someone else’s finger. In *Current Biology* (Vol. 19, Issue 24).
- [5] Martuzzi, R., van der Zwaag, W., Dieguez, S., Serino, A., Gruetter, R., & Blanke, O. (2015). Distinct contributions of Brodmann areas 1 and 2 to body ownership. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 10(11), 1449–1459.
- [6] Aymerich-Franch, L., Petit, D., Kheddar, A., & Ganesh, G. (2016). Forward modelling the rubber hand: Illusion of ownership modifies motor-sensory predictions by the brain. *Royal Society Open Science*, 3(8).
- [7] 佐藤優太郎, 齋藤五大, 小鷹研理, 「指の長さ vs 指の幅: ダブルタッチ錯覚における変形距離限界」, ポスター発表, 日本認知心理学会第 19 回大会, 大阪大学(オンライン), 2022, 2.

謝辞 本研究は, JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム JPMJSP2130 の支援を受けた。