

【2020年度JKA機械振興補助事業】

「未成年入院患者の学校教育（生活）参加支援 に関する調査開発研究」研究委員会

研究委員会報告書

一般財団法人
ニューメディア開発協会

2021年3月



本研究は競輪の補助を受けて実施しました。
<http://jka-cycle.jp>

「未成年入院患者の学校教育（生活）参加支援
に関する調査開発研究」研究委員会

研究委員会報告書

大阪工業大学
大須賀 美恵子

2021 年 3 月

目 次

1.	総論（要約）	1
2.	はじめに	3
3.	背景	4
3.1	医療現場の現状と課題	4
3.2	教育現場におけるニーズと現状	6
3.2.1	病気療養する子どもを対象とする現在の教育	6
3.2.2	日本における病気療養する子どもへの教育支援の歩み	6
3.2.3	病気療養を必要とする AYA 世代の高校生が抱える課題	7
3.2.4	病気療養する子どもへの「教育の情報化」に関する施策	8
3.2.5	AYA 世代の病気療養する高校生への ICT 活用による教育支援	10
4.	実証実験の目的と概要	12
5.	実証実験の実施内容と結果	15
5.1	実施概要	15
5.2	インタビュー	17
5.2.1	概要	17
5.2.2	受容性	18
5.2.3	効用	20
5.3	気持ち温度計を用いた定量的主観評価	21
5.3.1	「気持ち温度計」概要	21
5.3.2	気持ち温度計の目的	21
5.3.3	評価シートの設計および分析方法について	22
5.3.4	フェーズ 1 Step1：実験番号 1102	24
5.3.5	フェーズ 1 Step2：実験番号 1202	28
5.3.6	フェーズ 1 とフェーズ 2 の比較（Step1）：実験番号 1209/1210	31

5.3.7 フェーズ 1 とフェーズ 2 の比較 (Step2) : 実験番号 1207/1222	36
5.3.8 まとめ	40
5.4 動作・姿勢分析と運用指針	43
5.4.1 動作・姿勢分析の対象実験参加者	43
5.4.2 実験の手続き	43
5.4.3 測定指標	44
5.4.4 分析方法	45
5.4.5 結果と考察	46
5.4.6 動作・姿勢から見たテレポーテーションロボット操作時の人間工学的運用 指針・提言	57
5.5 言語・非言語情報を用いたコミュニケーションの特徴分析	62
5.5.1 分析方法および測定指標	62
5.5.2 各指標の基本集計	63
5.5.3 各指標のクロス集計分析	67
5.5.4 言語・非言語情報を用いたコミュニケーションの特徴分析から見たテレポ ーテーションロボット操作時の人間工学的配慮事項の提言	71
5.6 カメラ映像を用いた姿勢・インタラクション分析の可能性	74
5.6.1 姿勢分析	74
5.6.2 インタラクション分析	76
5.7 生体計測のフィールド応用可能性	80
5.8 映像を用いた定量的評価の可能性	83
5.8.1 低負担, 非接触生体信号計測の背景	83
5.8.2 映像脈波・表情・呼吸 (距離センサ)	85
5.8.3 実証実験データへの適用と考察 (1)	93
5.8.4 計測手法の見直しと改善	95
5.8.5 実証実験データへの適用と考察 (2)	99

5.8.6 映像を用いた脈波，瞬目，呼吸の計測とそれを用いた定量的評価の可能性	103
5.9 視線の分析とカメラ映像を用いた視線推定の可能性	106
5.9.1 アイトラッカーを用いた視線分析	106
5.9.2 正面カメラ映像を用いた視線推定手法の検討	108
5.10 実証実験のまとめ	110
5.10.1 受容性と効用に関する評価方法と提言	110
5.10.2 人間工学的指針および機能の改良・追加に関する提言	111
6. 教育現場からの総評（教育ワークショップ/評価と課題・期待）	112
6.1 教育ワークショップの役割	112
6.2 教育ワークショップから得られた教育現場からの評価と今後の課題・期待... 112	
6.2.1 テレポーテーションロボット導入・運用の教育活動における評価	112
6.2.2 テレポーテーションロボット導入・運用における今後の課題	113
7. おわりに	115

付録 教育ワークショップの開催概要

執筆者一覧

氏 名	所 属	執筆担当
大須賀 美恵子	大阪工業大学 ロボティクス&デザイン 工学部 ロボット工学科	1 章, 2 章, 3 章 1 節, 4 章, 5 章 1,2,6,7,9,10 節, 7 章
滝川 国芳	京都女子大学発達教育学部教育学科 京都教育大学大学院連合教職実践研究科	3 章 2 節, 6 章, 付録
赤井 愛	大阪工業大学 ロボティクス&デザイン 工学部 空間デザイン学科	5 章 3 節
榎原 毅	名古屋市立大学 大学院医学研究科	5 章 4,5 節
鎌倉 快之	大阪工業大学 情報科学部 情報システム 学科	5 章 8 節

1. 総論（要約）

未成年の入院患者は多くの課題を抱えているが、中でも就学に関する問題が大きい。文部科学省が「多様な子供たちを誰一人取り残すことのない、公正に個別最適化された学びの実現」を目標に掲げている。入院患者に学校での授業や活動に参加する機会を与え、患者や家族の不安や学校からの孤立・疎外感を解消し、友人とのコミュニケーションの場を提供することには大きな意義があると言える。オンライン会議ツールを用いた双方向の遠隔授業が普及してきているが、座学以外の授業、授業外の活動や行事への参加、友人とのコミュニケーションという面では現状のツールでは不十分であり、これを補うテレポーテーションロボットシステムの開発と導入には大きな価値があると考ええる。

テレポーテーションロボットシステムとは、機能の異なる複数のテレプレゼンスロボットの間をシームレスに移行するしくみである。本研究では、遠隔から操作できる可動部と操作者の顔を提示する画面（タブレットやスマートフォン）から構成される卓上型ロボット、可搬型ロボット、移動型ロボットの3タイプのテレプレゼンスロボット（テレビ会議システムに遠隔操作できるロボットを組み合わせたもの）を用いた、ロボット間をテレポートする基本機能に加え、日常会話など（ワイワイガヤガヤ（以下、ワイガヤ）の促進をめざし遠隔操作可能な腕、アバターでの参加、スタンプ機能を拡張した。

本研究の目的は、以下の4項目である。

- 1) 入院患者が病院などから学校に設置したテレポーテーションロボットシステムを通して学校教育（生活）に参加できるようにすること
- 2) 入院患者が遠隔で参加している学校の授業や生活に主体的に参加し、自分の存在感をアピールできる場面創出を目指すこと
- 3) 座学の授業など受動的な教育場面だけでなく、グループワークや活動を伴う授業、級友との日常会話（ワイガヤ、シリアスな話）なども実現し、生活充実、成長支援に繋げること
- 4) 学校での実証実験（評価含む）を行い、事業終了後の関連システムの普及に向け「普及モデル」の検討、確立を目指し、普及に向けての関連課題の整理、提言を行う。

実証実験は、開発したシステムの受容性（使ってもらえるか）と効用（役に立つか）の可能性を評価し改良点を抽出することを目的とし、インタビューと参加者自身に記入してもらう質問紙（気持ち温度計）と、遠隔側および教室側にカメラを複数設置して映像を用いた定量的な分析を実施した。気持ち温度計と映像による分析は、インタビューで得られた知見の検証とインタビューでは得られなかった知見を抽出することを目的として導入した。

以下に結果を示す。

実施した実証実験は、遠隔側の（教室から離れた場所から授業に参加）参加者として高校生の患者 2 名，中学生の患者 1 名，高校生の健常生徒 1 名，中学生の健常生徒 9 名を対象とし，延べ 9 日に渡る実験を実施し，以下の結果を得た。

- 1) 入院患者や，患者を模した健常生徒がテレポーテーションロボットシステムを通して学校教育（生活）に参加できた
- 2) 入院患者はテレプレゼンスロボットの機能を利用して遠隔で参加している学校の授業や生活に主体的に参加し，教室側に存在感を示すことができた
- 3) 座学だけでなく，グループワークや実験，体育など活動を伴う授業，級友との会話（ワイガヤ）や食事時間の共有も実現した
- 4) 普及を促進するためには，学校と病院の連携強化，学校での運用支援，通信環境の整備が必須であり，これを支援するコーディネーター，システムインテグレータの存在が必要であることを論じた。また操作時の姿勢について人間工学的観点からの指針を示し，操作性や運用に関する課題，場面・患者の状態・嗜好に適応する機能と運用の必要性を指摘した。さらに，普及モデルにも組み込める評価手法を提案した。

2. はじめに

一般に入院患者は入院により大きな制約を受けるが、未成年の入院患者では特に教育の機会をいかに継続して与えるかということが重要な課題の1つである。中でも AYA 世代（AYA：Adolescent and young adult, 思春期および若年成人, 15～39 歳）の患者には特有の課題が多く、医療施設では AYA サポートチームを組織してその支援に当たっている。教育面では、小・中学生は院内学級での支援体制の整備が進んでいるのに対し、義務教育を終えた高校生や大学生に対する支援は充分とは言えない。文部科学省は 2018 年「多様な子供たちを誰一人取り残すことのない、公正に個別最適化された学びの実現」について言及し、その延長での議論として「病気療養児」への遠隔教育の活用を推奨しており、全国での各種導入成功事例を求めている[2-1]。入院患者に、学校での授業や活動に参加する機会を与え、患者や家族の不安や学校からの孤立・疎外感を解消し、友人とのコミュニケーションの場を提供することには大きな意義がある。

そこで、本調査開発研究（以下、本研究）では、学校現場で下記項目を実現するためのテレポーテーションロボットの機能を開発・拡張し、その受容性（使ってもらえるか）と効用（役に立つか）の可能性を調査するための実証実験を行うこととした。

研究の目的は、第 1 章に示した 1)～4)の 4 項目である。

研究委員会は、研究、医療、教育、IT・ベンダー他の各分野の委員からなり、行政からのアドバイザーの出席も得て 30 名を超える出席者を迎えて 6 回の委員会を開催した。また、研究ワークショップを 1 回、教育ワークショップを 4 回開催した。

本報告書の構成は以下のとおりである。第 3 章では研究の背景となる医療現場、教育現場の現状とニーズを概説する。第 4 章では本研究の意義と目標を示し、第 5 章に実施内容の概要と各評価手法の視点からの結果と考察を記す。第 6 章に教育現場からの総評、第 7 章にまとめと普及モデルに向けての提言をまとめる。なお、第 6 章の拠り所となった教育ワークショップの概要を付録に掲載する。

参考文献

- [2-1] 文部科学広報 第 236 号 (mext.go.jp):<https://www.koho2.mext.go.jp/236/html5.html#page=4>, 最終閲覧日 2021.1.15

3. 背景

3.1 医療現場の現状と課題

ここでは、第1回研究委員会での血液内科医師のプレゼンテーションをもとに、AYA 世代のがん診療の現状と本研究に関連したニーズについて概説する。

がんの発症は加齢とともに増加するため（図 3.1）、10 代後半のがん患者全体の 0.1 % であるが、長期入院を要するがんが多いという特徴がある[3-1]。

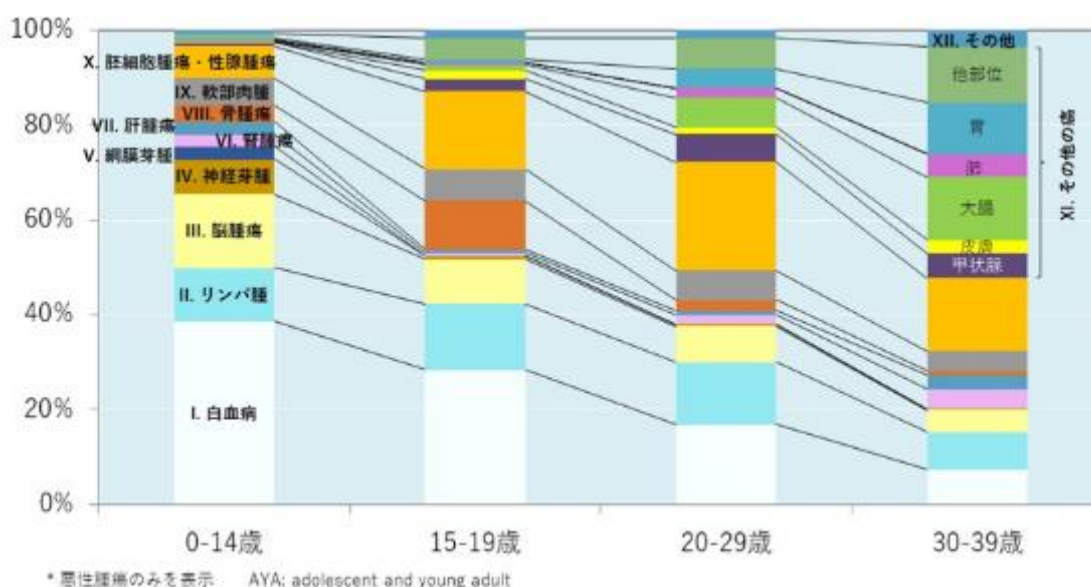


図 3.1 小児・AYA 世代のがん種の内訳の変化（0～39 歳，男性 2009～2011 年）[3-1]

がん患者には、診断～治療終了までだけでなく、治療終了後も再発の有無を追跡し、日常生活における QOL と社会生活面のサポートを継続して行うことが重要である。がんの診断を受けた人々（がんサバイバー）がその後の生活で抱える身体的・心理的・社会的な様々な課題を、社会全体が協力して乗り越えていくという概念をがんサバイバーシップと呼ぶ[3-2]。

AYA 世代のがんサバイバーシップには以下の課題・特徴がある。1) 長期的合併症・再発への不安・恐怖, 2) 思春期は身体的変化（2 次性徴の発現・成熟）, 精神・心理的発達（自己同一性の確立など）の過渡期, 3) がんへの偏見, 周囲との人間関係, ライフスタイル, 4) 数多のライフイベント: 恋愛・結婚, 婚姻関係, 性生活, 育児・育児, 介護, 5) 社会的役割の変化: 復学・就学, 復職・就労, 経済的問題, 6) がんリハビリテーション, 7) 不安, 抑うつ, 生きる意味を含めた実存的問題。

本研究が対象とする課題は上記の 5) に対応する。表 3.1 [3-3] に示すように学業のことは本研究で対象とする未成年 AYA 世代（15～19 歳）のがん患者の悩みの上位に位置づけられる。

表 3.1 若年がん患者の年代ごとの悩み [3-3]

現在治療中(治療中の悩み 年齢別 上位5)								
調査期間: H26年6-11月								
	全体(n=213)	15～19歳(n=33)	20～24歳(n=22)	25～29歳(n=33)	30～39歳(n=119)			
1位	今後の自分の将来のこと	60.9%	今後の自分の将来のこと	63.6%	今後の自分の将来のこと	72.7%	今後の自分の将来のこと	57.1%
2位	仕事のこと	44.0%	学業のこと	57.6%	仕事のこと	50.0%	仕事のこと	47.1%
3位	経済的なこと	41.5%	体力の維持、または運動すること	45.5%	経済的なこと	45.5%	経済的なこと	43.7%
4位	診断・治療のこと	36.2%	診断・治療のこと	42.4%	診断・治療のこと	40.9%	家族の将来のこと	42.0%
5位	不妊治療や生殖機能に関する問題	35.3%	後遺症・合併症のこと	36.4%	不妊治療や生殖機能に関する問題	31.8%	不妊治療や生殖機能に関する問題	36.1%

AYA発症のがんサバイバー(現在の悩み 上位5)								
	全体(n=132)	15～19歳(n=5)	20～24歳(n=15)	25～29歳(n=24)	30～39歳(n=88)			
1位	今後の自分の将来のこと	57.6%	今後の自分の将来のこと	80.0%	不妊治療や生殖機能に関する問題	54.2%	今後の自分の将来のこと	53.4%
2位	不妊治療や生殖機能に関する問題	45.5%	後遺症・合併症のこと	80.0%	今後の自分の将来のこと	54.2%	仕事のこと	43.2%
3位	仕事のこと	40.9%	学業のこと	60.0%	後遺症・合併症のこと	50.0%	不妊治療や生殖機能に関する問題	42.0%
4位	後遺症・合併症のこと	34.8%	不妊治療や生殖機能に関する問題	60.0%	仕事のこと	40.0%	体力の維持、または運動すること	31.8%
5位	体力の維持、または運動すること	29.5%	仕事のこと	40.0%	結婚のこと	40.0%	後遺症・合併症のこと	25.0%

このように AYA 世代の教育支援に対するニーズは大きいですが、義務教育を終えた高校生、大学生への支援は模索段階である（3.2 節参照）。長期に孤独な入院生活を送っている若年がん患者の教育継続・復学支援、がん罹患後の周囲との関係性の再・新規構築、がんへの偏見の克服が課題である。患者の心理的・社会的支援は、治療への取り組み姿勢や治療効果にもポジティブな効果が期待される。

2020 年度は、奇しくもコロナ禍により入院患者ならずとも、在宅での学習が強いられることになった。各学校の状況に応じた工夫により在宅・遠隔授業が始まり入院患者にとっても教育の機会が拡大された。オンライン会議ツールを用いた双方向の遠隔授業も普及し、座学の授業への参加という観点では大きな進展が見られるが、座学以外の授業、授業外の活動や行事への参加、友人とのコミュニケーションという面では現状のツールでは不十分であり、テレポーテーションロボット導入に意義があると考える。

3.2 教育現場におけるニーズと現状

3.2.1 病気療養する子どもを対象とする現在の教育

日本には、病気治療や経過観察中の子どもを対象とする病弱・身体虚弱教育という教育制がある。病気により病院で入院治療することとなった子どもが教育を受けるためには、それまで在籍していた小学校、中学校、高等学校等から、病院内にある特別支援学校（病弱）の小学部・中学部・高等部、小中学校の病弱・身体虚弱特別支援学級等の病院にある学校に転学することが必要となる。しかしながら、入院している児童生徒が、小学校、中学校、高等学校等に在籍したまま長期欠席し、教育を受けることができない事例が少なくない。

特に、AYA 世代の高校生が病気により入院することになると、療養しながらそれまでの学びを継続することは極めて難しくなる。病気療養が必要となる高校生は、高等学校、または特別支援学校（病弱）高等部のどちらかに在籍することとなる。特別支援学校（病弱）高等部が制度上あるものの、おおよそ半数の特別支援学校（病弱）にしか設置されていない。また、高等学校の教育課程は多様化しており、学科には普通科、専門学科、総合学科があり、課程には全日制、定時制、通信制がある。学年制を取らない単位制の高等学校も増えている。入院する病院に特別支援学校（病弱）があったとしても、在籍している高等学校の教育課程と、病院に隣接する特別支援学校（病弱）高等部の教育課程が異なっていることが多い。そのため単位履修、単位の読み替えが容易ではなく、特別支援学校（病弱）に転校して継続した教育を受けることは極めて困難となる。そのため、高校生が入院することになると、義務教育における小中学生のように入院しながら教育を受けることができず、在籍する高等学校を長期間欠席せざるを得ないこととなることが多い。

3.2.2 日本における病気療養する子どもへの教育支援の歩み

1994（平成6）年、当時の文部省は、「病気療養児の教育について」の通知[3-4]を出し、入院中の病気療養児の実態の把握、適切な教育措置の確保、病気療養児の教育機関等の設置、教職員の専門性の向上を求めた。具体的には、「入院中の病気療養児の中には、小・中学校に在籍したまま長期にわたり欠席している場合があるので、入院先や入院期間、欠席日数、病状などを的確に把握して、病弱養護学校等への転学の必要性について適切に判断すること」、「転学事務処理の迅速化、転学手続きが完了していない児童生徒も、病弱養護学校等において、實際上教育を受けられるような配慮が望まれること」、「可能な限り、病院等の協力を得て、養護学校の本校、分校、分教室等の設置や訪問教育の実施、特殊学級（現在の特別支援学級）の設置など病弱教育の特殊性を踏まえた適切な形態により教育を提供すること」としている。

この通知の趣旨を答申した病気療養児の教育に関する調査研究協力者会議は審議のまとめ[3-5]の中で、病院に入院等している児童生徒に対する教育について、病気療養に伴う学習の遅れなどを補完し、学力を補償する上で重要な意義を有するとともに、病気療養児の教育の意義として、1）積極性・自主性・社会性の涵養、2）心理的安定への寄与、3）病気に対する自己管理能力、4）治療上の効果等を挙げて、病気療養しているときであっても、

教育を受けることができることによる有用性と必要性を述べている。

2013(平成25)年1月に、政府の第二期がん対策推進基本計画(2012(平成24)年6月)等に基づき、診療機能の充実およびより良い診療体制の整備のため、専門医療の集約化、ネットワーク化を進めることを目的として、厚生労働省において、全国15か所の「小児がん拠点病院」の指定が行われた。このことをうけて文部科学省は、同年3月に「病気療養児の教育の充実について(通知)」[3-6]を発出し、市町村や都道府県を越えて小児がん拠点病院に入院する病気療養児の教育における留意点を明記した。その中で、入院中の病気療養児の交流および共同学習について充実を図ること、後期中等教育を受ける病気療養について、入退院に伴う編入学・転入学等の手続きが円滑に行われるよう適切に対応すること、病院を退院後も通学が困難な病気療養児の教育環境の整備を図ること、訪問教育やICT等を活用した効果的な指導方法の工夫を行うこと等を求めている。

このようなことを踏まえ今後、病気療養児童生徒の教育支援を行う特別支援学校、特別支援学級とそれまで通っていた学校(以下、前籍校とする)との日常的な連携や復学支援、病気を理由に長期欠席せざるを得ない児童生徒、特に高校生への教育支援等において、ICTを活用した病弱・身体虚弱教育の充実に向けた研究や教育実践が期待される。

3.2.3 病気療養を必要とする AYA 世代の高校生が抱える課題

AYA 世代の高校生は、心身の成長・発達が著しい思春期といわれるこの時期に、周囲から様々な刺激や影響を受けながらアイデンティティを確立し、自分とは異なる他者を受け入れることが可能となる。そして、親からの自立と親への依存との間で両価性(アンビバレンツ)が高まる人生にとって極めて重要な時期である。この時期に病気による欠席や学習時間が確保できない状況は、学習の遅れに直結し、単位修得や進路選択に大きな影響を及ぼす。また、治療に伴う不安や服薬の副作用による肥満や低身長など容姿の変容への劣等感を抱き、病気の予後や将来像への不安など心理社会的な課題を抱えることになる。他者と比較して、自信を喪失したり、自己肯定感を低くしたりすることもある。

平成27(2015)年6月に文部科学省は、平成25年度中に病気やけがによって入院した児童生徒に対して行われた教育等の実態を把握するために実施した「長期入院児童生徒に対する教育支援に関する実態調査」[3-7]の結果を公表した。この調査は、平成26年5月の児童福祉法一部改正に際して、参議院での付帯決議に、長期入院児童等に対する学習支援を含め、小児慢性特定疾病児童等の平等な教育機会の確保等に係る措置を早急かつ確実に講じることが付されたことを踏まえ行われたものである。

高等学校(国立・公立・私立)の結果は、「病気やけがによる入院によって転学等をした生徒の転学先」では、240人中87人(36%)が退学していた。また「転学等をした生徒が復籍を希望した場合の取扱」では、条件付きで復籍を認める学校が4,960校中3,005校(61%)、復籍は認めていない学校が1,246校(25%)であった。このことから、高等学校在学中に入院治療する際に、転学等を行うことは退院後の復籍が容易ではないことがわかる。「病気やけがにより、延べ30課業日以上入院した生徒への対応」では、学習指導を実施していない

学校が、951 校中 684 校（72%）であった。このことから、高校生が入院した際には、教育の機会が奪われてしまうことが明らかである。

文部科学省が行った 2019（令和元）年度「児童生徒の問題行動・不登校等生徒指導上の諸課題に関する調査結果」[3-8]によると、2019 年度間に病気を理由に通算 30 日以上欠席した高等学校（中期教育学校後期課程を含む）における長期欠席者数は、16,358 人である。病気を理由とする長期欠席者は、思春期の大事な時期に、高等学校という場に行くことができないために、学習の機会が著しく少なくなっていること、人間関係や社会性構築のためにも極めて危機的な状況に置かれていることに留意する必要がある。

全国の特別支援学校（病弱）においては、高等部が設置されていない学校も少なくなく、義務教育段階の小・中学生への病弱教育制度に比べて、高校生への病弱教育制度が未だに全く整っていないことを示している。長期入院せざるを得ない高校生への学習支援が喫緊の課題となっている。

3.2.4 病気療養する子どもへの「教育の情報化」に関する施策

文部科学省は 2002（平成 14）年に、「情報教育に関する手引」の全面的な見直しを行い、「情報教育の実践と学校の情報化」[3-9]をまとめた。この中で、病気療養中の子どもの情報教育の意義と支援のあり方について、「病気療養中の子どもに対しての情報活用能力の育成においては、病気で入院治療中であるために移動や体力を使った活動が困難な子どもたちにとって、家庭や前籍校、その他の機関との交流や情報収集が欠かすことのできない課題であるだけに、通常の小・中・高等学校等以上にその具体策を指導して活用させていく必要がある。そして、その結果得るものの大きさもまた計り知れない。同年代の子どもや親元から離れて入院生活を送る子どもたちにとっては、ネットワークによるコミュニケーションの拡大とテレビ会議システムなどによる前籍校等との連携・交流はその心理面においても特に有効である。この支援方策としては、基本的に疲労や健康状態への配慮を中心としながら、インターネットやメール等の活用を通じて学習やコミュニケーションの機会の提供を行えるようにすることも大切である。」と述べている。また平成 22（2010）年に、学校における教育の情報化の充実が図られることになったことを受け、「教育の情報化に関する手引」[3-10]を作成した。この中で、「病弱者である児童生徒への ICT 活用による支援方策として、個々の病気による症状や健康状態への配慮を中心としながら、実際に行うことが難しい観察や実験の補助として、コンピュータ教材によるシミュレーション学習や、インターネットや電子メールなどの活用を通じたネットワークによるコミュニケーションの維持・拡大、テレビ会議システムなどによる前籍校等との連携・交流の機会提供など」を挙げている。加えて、「同年代の児童生徒や親元から離れて入院生活を送る病弱者である児童生徒にとっては、家庭や前籍校等との交流や情報収集が欠かせないだけに、時間や空間に制限されないネットワークは、その特性から児童生徒が自らの生活を豊かにしていく上で有用な方法ということができ、病気による運動や生活の規制がある児童生徒の学習環境を大きく変える可能性がある。これらは、学習上の効果を高めるだけでなく、意欲の向上や心理的な安定などに

も効果がある。」と述べている。

2013（平成 25）年 9 月の学校教育法施行令の改正等に伴う就学手続きの見直しが行われたことを踏まえて、円滑に障害のある児童生徒等への教育支援がなされるよう「教育支援資料」[3-11]がとりまとめられた。この中の病弱・身体虚弱の子供の教育における合理的配慮の観点において、情報・コミュニケーションおよび教材の配慮として、「病気のため移動範囲や活動量が制限されている場合に、ICT 等を活用し、間接的な体験や他の人とのコミュニケーションの機会を提供する。（友達との手紙やメールの交換、テレビ会議システム等を活用したりリアルタイムのコミュニケーション、インターネット等を活用した疑似体験等）」、学習機会や体験の確保として「入院時の教育の機会や短期間で入退院を繰り返す子供の教育の機会を確保する。その際、体験的な活動を通して概念形成を図るなど、入院による日常生活や集団活動等の体験不足を補うことができるように指導する。（視聴覚教材等の活用、ビニール手袋を着用して物に直接触れるなど感染症対策を考慮した指導、テレビ会議システム等を活用した遠隔地の友達と協働した取組等）」を挙げている。

このような状況下において、2017（平成 29）年に公示された特別支援学校小学部・中学部学習指導要領[3-12]では、特別支援学校（病弱）における各教科での指導計画の作成と各学年にわたる内容の取扱いに当たって配慮すべきことの中で、「体験的な活動を伴う内容の指導に当たっては、児童の病気の状態や学習環境に応じて、間接体験や疑似体験、仮想体験等を取り入れるなど、指導方法を工夫し、効果的な学習活動が展開できるようにすること。」と記され、病気の状態や学習環境等のため実施が困難な体験的な活動を VR(Virtual Reality)の技術による仮想体験、Web サイト閲覧やテレビ会議システムでの間接体験、タブレット端末等でのアプリケーション操作による疑似体験等によって学習活動を行うことを求めている。また、「児童の身体活動の制限や認知の特性、学習環境等に応じて、教材・教具や入力支援機器等の補助用具を工夫するとともに、コンピュータ等の情報機器などを有効に活用し、指導の効果を高めるようにすること。」が記され、各種スイッチや入出力支援機器、タブレット端末等の機能を学習活動に活用すること、テレビ会議システムによる遠隔授業やインターネットによる遠隔操作等を求めている。

そして、2019（令和元）年 6 月に文部科学省から「新時代の学びを支える先端技術活用推進方策（最終まとめ）」[3-13]が公表された。この中では、「公正に個別最適化された学び～誰一人取り残すことなく子供の力を最大限引き出す学び～」を実現する上で、学校での ICT 環境を基盤とした先端技術や教育ビッグデータを活用することは、これまで得られなかった学びの効果が生まれるなど、学びを変革していく大きな可能性がある、と記されている。また、「学びにおける時間・距離など制約を取り払う」の項目では、先端技術を活用することで、時間や距離の制約から自由になることが増え、各場面における最適で良質な授業・コンテンツを活用することができるとし、病気療養児に対する遠隔技術の活用により多様な学習方法の支援が可能になることを述べている。そして、「遠隔教育の促進 ～離れた場所との同時双方向の教育の実現～」の項目では、遠隔教育によって教育の質を大きく高める手段の例えとして、病気療養児に対する学習指導など個々の子供の状況に応じた指導を

挙げている。このように、文部科学省も、病気療養によって学習の機会を失うことなく、先端技術を活用することによって遠隔教育等のこれまでにはなかった時間や距離の制約なく、病状や学習状況に応じた新たな教育を推進している。

3.2.5 AYA 世代の病気療養する高校生への ICT 活用による教育支援

病気療養することによって、教育の機会を失うこととなっている AYA 世代の高校生を対象に、ICT 活用による遠隔教育を実施して、それまで通学していた高等学校の教育に参加しながら、入院中の教育機会の確保につながることを期待されている。その際、教室に遠隔地の相手や状況があたかも目の前に存在するように見せてくれるテレポーテーションロボットを設置し、病室や自宅からインターネット経由でロボットを遠隔操作しながら能動的に授業に参加することも効果的である。

2015（平成 27）年 4 月に学校教育法施行規則の一部改正によって、「高等学校等におけるメディアを利用して行う授業の制度化」と「疾病による療養のため又は障害のため、相当の期間高等学校又は中等教育学校の後期課程を欠席すると認められる生徒等に対する特例の制定」が認められ、高等学校の全日制・定時制課程、特別支援学校高等部における遠隔教育が単位履修のための正規の授業となった。在籍する高等学校から離れた病院にある学校や病室において、インターネット等のメディアを利用して、リアルタイムで高等学校の授業配信を行うとともに、質疑応答等の双方向のやりとりを行うことが可能な同時双方向型の遠隔授業が制度化されたのである。このときの法改正では、遠隔授業は、高等学校の全課程の修了要件である 74 単位のうち 36 単位を上限として実施すること、疾病により療養する高校生を対象とする遠隔授業は、制度開始当初、受信側の病室等に当該高等学校等の教員が立ち合うことが必須条件であった。

しかし、2019（令和元）年 11 月からは、教員の配置は必ずしも要しないと実施のための条件が緩和された。なお、その場合には、当該高等学校等と保護者が連携・協力し、生徒の病状を踏まえ、体調の管理や緊急時に適切な対応を行うことができる体制を整えるようにすることが求められている。そして、2020（令和 2）年 5 月には、学校教育法施行規則の一部改正によって、「メディアを利用して行う授業により修得する単位数は、高等学校および中等教育学校の後期課程の全課程の修了要件である 74 単位のうち、36 単位を超えないものとされているが、病気療養中の生徒であって、相当の期間学校を欠席すると認められるものが当該授業により修得する単位については、この限りでないこととする。」となった。以上のことから、病気療養によって、それまで通っていた高等学校に通学することができない高校生が、ICT 活用による教育支援によって、卒業に必要な単位履修を行うことが可能となる教育制度が整備されたのである。次なる課題は、病気療養する高校生の学びに寄与する、そして、同世代の友達と日常的な会話ができ、人間関係や社会性を築くことができる ICT の開発と活用である。これまでの WEB 会議や VR 技術の活用に加え、アバターロボット等のテレポーテーションロボットを容易に積極的に取り入れることも必要である。

- [3-1] 国立がん研究センター：がん情報サービスがん登録・統計，小児・AYA 世代のがん罹患，https://ganjoho.jp/reg_stat/statistics/stat/child_aya.html，最終閲覧日 2021.1.15
- [3-2] Shapiro C., L. : Cancer Survivorship, New England Journal of Medicine, 379(25), 2438-2450 (2018)
- [3-3] 清水千佳子：思春期・若年成人(AYA)世代のがんの現状と課題(2017/12/1 小児・AYA 世代のがん医療・支援のあり方検討会 資料 4)，<https://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-10901000-Kenkoukyoku-Soumuka/0000186548.pdf>，最終閲覧日 2021.3.11
- [3-4] 文部省（1994）病気療養児の教育について（通知）：https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/8315890/www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/nc/t19941221001/t19941221001.html，最終閲覧日 2021.1.15
- [3-5] 病気療養児の教育に関する調査研究協力者会議（1994）病気療養児の教育について（審議のまとめ）：<https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/261724/gauguin.nise.go.jp/db1/html/tk8.html>，最終閲覧日 2021.1.15
- [3-6] 文部科学省(2013) 病気療養児に対する教育の充実について（通知）：https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11373293/www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/nc/1332049.htm，最終閲覧日 2021.1.15
- [3-7] 文部科学省(2015) 長期入院児童生徒に対する教育支援に関する実態調査の結果：https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/tokubetu/1358301.htm，最終閲覧日 2021.1.15
- [3-8] 文部科学省（2020）令和元年度児童生徒の問題行動・不登校等生徒指導上の諸課題に関する調査結果：https://www.mext.go.jp/content/20201015-mext_jidou02-100002753_01.pdf，最終閲覧日 2021.1.15
- [3-9] 文部科学省（2002）情報教育の実践と学校の情報化，https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/020706.htm，最終閲覧日 2021.1.15
- [3-10] 文部科学省(2010) 教育の情報化に関する手引：https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/1259413.htm，最終閲覧日 2021.1.15
- [3-11] 文部科学省(2013) 教育支援資料：https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/tokubetu/material/1340250.htm，最終閲覧日 2021.1.15
- [3-12] 文部科学省(2017) 特別支援学校小学部・中学部学習指導要領：https://www.mext.go.jp/content/20200407-mxt_tokubetu01-100002983_1.pdf，最終閲覧日 2021.1.15
- [3-13] 文部科学省（2019）新時代の学びを支える先端技術活用推進方策（最終まとめ）：https://www.mext.go.jp/a_menu/other/1411332.htm，最終閲覧日 2021.1.15

4. 実証実験の目的と概要

入院患者の教育機会を拡大するための支援が必要であることは一般論としては容易に受け入れられるが、導入段階になると様々なハードルがある。本研究では、実証実験を実施してこのハードルを乗り越えるためのデータを蓄積し、得られた知見に基づいた提言を行う。具体的には、開発したテレポーテーションロボットシステム（以下、システム）を現場に持ち込んで対象者に適用し、受容性（使ってもらえるか）と効用（役に立つか）を評価し、運用面での解決すべき点、システムの改良すべき点を抽出して普及モデルへの提言を行うことを目的とする。

評価の対象は、3種のテレプレゼンスロボットからなるテレポーテーションロボットシステムで、場面に応じてこれらのロボット間をテレポートできることが特徴である。システム開発は図4.1に示すように、2つのフェーズに分けて実施される。実証実験もこれに合わせてフェーズ1では、各ロボットの基本機能とテレポート機能を評価対象とし、フェーズ2はコミュニケーションツール（ワイガヤ機能）の拡張機能を評価対象とする。



図4.1 2つの開発フェーズ

目標とする対象者はAYA世代の入院患者であるが、患者への適用は治療のスケジュールや患者の病状、体調を勘案して慎重に行う必要がある。適応患者が少ない場合は、中学生の患者にも対象を広げる。また、運用や評価システムの検証のため、患者適用の前に、健常生徒を患者に見立てて、教室と離れた場所から授業に参加してもらうというステップも設けることとした。以降、健常な生徒を患者に見立てて実施する実証実験をStep1、患者を対象として実施する実証実験をStep2とする（図4.2）。患者に見立てた生徒と患者を合わせて遠隔側（実験）参加者と呼ぶことがある。この参加者に加え、教室側の生徒、授業を行う教員が直接のユーザである。患者の保護者、医療側では主治医や患者のサポートチーム、学校側では運営・管理に携わる先生方もインタビューとアンケートの対象となる。それぞれ取得

するデータと開示範囲を明確にし、大阪工業大学のライフサイエンス実験倫理委員会および各医療施設の倫理審査を受審して実験を進めた。

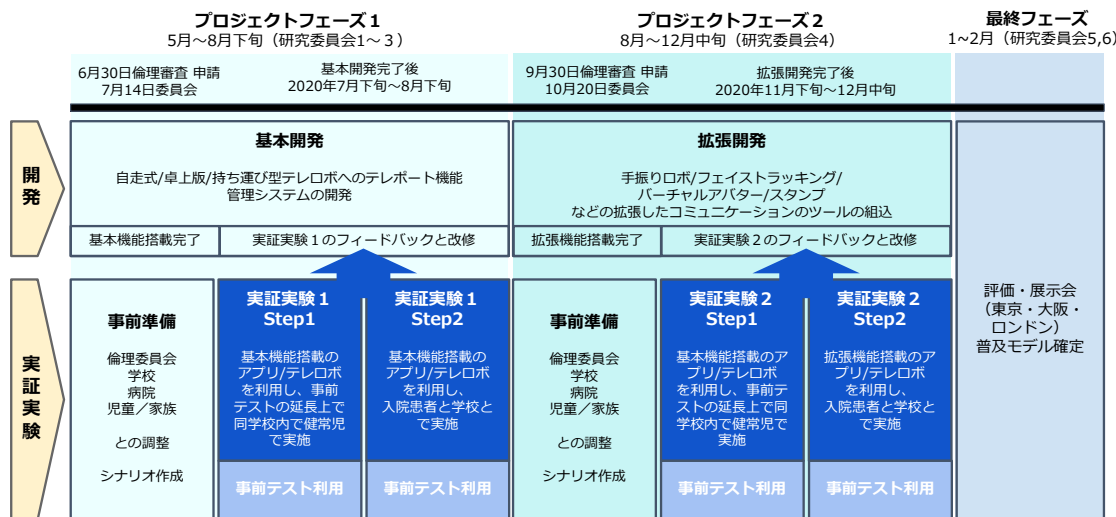


図 4.2 システム開発のフェーズと対象者による実証実験の区分

実証実験における評価方法は、観察やインタビューによる定性的なもの、主観評定や映像解析などによる定量的なものに分けられる。定量的な評価は評価される人（実験参加者）に負担をかけないという観点より映像による評価を主とした評価手法を選定した。図 4.3 に映像系の評価システムの概要を示す。

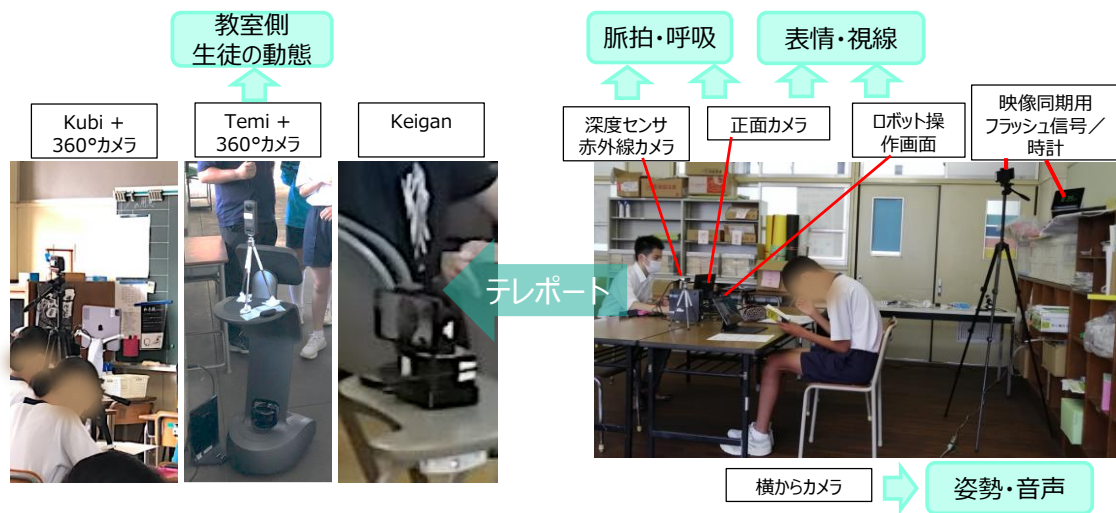


図 4.3 評価システム

主観評定の方法としてそのときの気持ちを温度になぞらえて記入させる「気持ち温度計」を導入する。これは、実験終了後のインタビューでは捉えにくい場面による感情の変化を定量的に捉えるもので、遠隔側と教室側、参加者の属性などによる違いを分析しその要因を他の分析結果と照合することを目的とする (5.3)。

映像の分析は、インタビューで得られた知見の客観的な裏付けを得て原因を検討することと、インタビューで得られなかった知見を抽出することを目的とする。横から撮影したカメラ映像から参加者の姿勢を評価し、人間工学的観点から普及に向けた利用指針を示す (5.4)。これには手作業で行う手法に加え、画像解析 (OpenPose) による手法を用いる可能性も検討する (5.6.1)。

音声記録より両サイトの参加者のインタラクションを解析しテレポーテーションロボット利用の効用を評価する (5.5)。さらに、複数カメラの映像を同期して一度に観察できる動画を作成し、この動画と 360° カメラ映像の分析を通して、インタビューや音声分析で得られた評価の裏付けと要因の検討を行う (5.6.2)。

参加者の申告が得られない (参加者自身も気づかない) 感情を推定するためには、心拍や呼吸、精神活動に伴って生じる皮膚電気活動などの生理反応が有用である。これらを低負担で計測する装置の構成を検討して試作し、健常者を対象に精度評価を行う (5.7)。さらに、非接触計測の検証に用いる (5.8)。

カメラ映像を用いた分析では、正面から撮影したカメラあるいは操作者のタブレットのキャプチャ映像から、顔表情と脈波・瞬目・呼吸の非接触計測を試みる。マスク着用のため従来の顔検出・顔部品手法が適用できないため、新手法の開発に取り組む (5.8)。

非接触で視線を計測できる装置を導入し、遠隔参加者の視線移動を分析してロボットの機能の利用目的を確認し、運用や改良の提案につなげる。さらに普及に向けた検討として正面カメラ映像から視線移動を計測する手法を検討する (5.9)。

5. 実証実験の実施内容と結果

5.1 実施概要

実証実験は大阪工業大学ライフサイエンス実験倫理委員会（承認日 7 月 20 日，承認番号 2020-11，変更申請計画の承認日 11 月 24 日，承認番号 2020-11-1），大阪市立総合医療センターの倫理審査委員会（承認日 8 月 4 日，承認番号 2007064），大阪国際がんセンターの倫理審査委員会（承認日 8 月 21 日，承認番号 20125）の承認を得て，文書による保護者のインフォームド・コンセントおよび実験参加者のインフォームド・アセントを得て実施した。

想定外のコロナ禍により，医療スタッフの繁忙化，患者以外の病棟への立入制限という事態の中で実証実験は計画どおりには進まなかったが，患者と家族の厚意，医療関係者の多大な協力と実験実施者の尽力により，表 5.1.1 に示す実験を実施することができた。

遠隔参加者と教員のインタビューと「気持ち温度計」と呼ばれる主観評価はほぼすべての実験で実施した。AYA 世代（高校生）を対象とした実験は可能な限り映像取得を行ったが，1207【A11】は実験者が病室に入室できなかったため，患者の映像データはネットワークを介して記録できるものと家族に依頼して取得したもののみで留まっている。中学生の患者【A13】を対象とした実験では，映像取得は行っていない。1202【A10】および 1209/1210【A12】を対象として，非接触型の視線計測装置を用いて視線計測を試みた。センサ装着を伴う生体計測は実証実験では実施せず，研究室での比較実験に留めた。インタビューと主観評価はすべての実験を対象とするが，その他の分析については，分析対象データおよび目的に応じて優先順位を決めて実施した。共通的な考え方として，Step2 の AYA 世代を最優先，フェーズ 1,2 の比較ができ視線計測を行った 1209/1210【A12】も優先的に分析する。分析の共通的な視点は，インタビューで得られたことの客観的・定量的な裏付けを得ることと，インタビューで得られなかった知見を得ること，さらに普及モデルでも実施できる評価手法を提案することである。各節にて目的，方法，結果をまとめる。

表 5.1.1 実証実験の実施結果（【A##】は遠隔参加者の識別番号）

		フェーズ 1	フェーズ 2
Step 2	AYA	1202 大阪府 O 病院 ⇔大阪府 H 高【A10】	なし
		1207 京都府 K 病院 ⇔大阪府 J 高【A11】	1222 同左【A11】
	中学生	なし	1221 新潟県 K 支援学校 ⇔兵庫 T 中【A13】
Step 1	AYA	1209 兵庫県 R 高【A12】	1210 兵庫 R 高【A12】
	中学生	0721/22 奈良県 N 中（【A01】～【A03】） 1102 奈良県 N 中（【A08】，【A09】）	なし
		0825/28 兵庫県 K 中（【A04】～【A07】）	なし

実証実験における代表的なテレポート事例を図 5.1.1 に示す。患者や遠隔参加者は座学だけでなく、グループワークや演習を伴う授業、休憩時間や昼食時のワイガヤに参加することができた。



図 5.1.1 テレポート事例

5.2 インタビュー

5.2.1 概要

予め準備したインタビュー項目に従って、実験者が患者、遠隔側参加者、教室側の生徒、教員にインタビューした。得られた返答に応じて質問を追加した。インタビューの様子を動画撮影し、後日書き起こして整理した。

インタビューの取得状況を表 5.2.1 に示す。患者および遠隔側参加者からはほとんどの実験で取得できたが、教室側の生徒からは多くは得られなかった。1221 は中学生の患者対象のためインタビュー映像は取得していない。得られた発言を一覧にし、実験名称（属性は別表）、インタビュー対象者と、肯定的な発言/否定的な発言/ニュートラルなコメントや改善提案に分類し、さらにテレポーテーションロボットならではの効用や課題についてのコメントかオンライン（リモート授業に共通するコメントか）も分類した。さらに、受容性と効用に分けてキーワードを抽出した。これをもとに考察を加え、5.3 以降の定量的評価と照合すべき項目を抽出した。ここにはこれから得られた知見のまとめと考察を記載し、映像などによる検証の対象（文中（*））を示す。コメントや改善提案（文中（**））については「5.10 実証実験のまとめ」に具体的な内容を記載する。なお、教員のコメントについては、6 章に詳しく記載しているためここでは軽く触れるにとどめる。

表 5.2.1 インタビュー取得状況

実験ID	遠隔	教室	Aya	Step	Phase	遠隔生徒	教室生徒	教員
1202	大阪府O病院	大阪府H高	1	2	1	○	×	○
1207	京都府K病院	大阪府J高	1	2	1	○	×	○
1222	京都府K病院	大阪府J高	1	2	2	○	×	×
1209	兵庫県R高	兵庫県R高	1	1	1	○	○4名	×
1210	兵庫県R高	兵庫県R高	1	1	2	○	○2名	○
1221	新潟県K支援学	兵庫県T中	0	2	2	△実験者のメモ	×	○
0721/22	奈良県N中	奈良県N中	0	1	1	○3名	○	○
1102	奈良県N中	奈良県N中	0	1	1	○2名	×	○
0825/28	兵庫県K中	兵庫県K中	0	1	1	○4名	×	○

5.2.2 受容性

1) コンセプト・機能

遠隔参加者（患者，健常者問わず）からは，最初は戸惑いがあったものの，テレポーテーションロボットによる授業参加には肯定的なコメントが多く，通常のインタラクティブなオンラインツールと比べて，参加している感じがあると好評価であった。特定の機能としては，Kubi の首振り機能に対する評価が高く，自分で操作して見たいところを見るというコンセプトは受容性が高い。

グループワークに参加でき友人とコミュニケーションがとれたことに対する肯定的な評価（*5.3.5, 5.6.2, 5.9.1）が高く，カメラを用いた情報のやりとりや教室側の生徒の協力に対する感謝が述べられていた。 temi の移動性についても座学以外に参加できたこと，授業外で友人とコミュニケーションがとれたことに対し肯定的なコメントが寄せられている。

教室側の生徒からは，画面だけでなく，ロボットを友人が操作して動かしているということで，存在感を強く感じる（*5.3.5）という肯定的なコメントが出ている。 授業の妨げになるなどの否定的な意見は出ておらず，コロナ禍により登校できなかった経験が入院患者への共感の形成にプラスに働いたとも考えられる。教員からも，場面・用途に応じてロボットを選択できるというコンセプトへの共感が得られおり，ICT に興味のない教員の参加のきっかけになるというコメントもあった。

フェーズ 2 での腕の動きの追加，スタンプ機能も肯定的に受け入れられている（*5.3.5, 5.3.6）。 顔出しについては，常に顔を出しているのはストレスを感じるということでアバター機能への受容性もある（特に健常者）。患者こそ体調や見た目変化を気にして顔を出したくないというニーズが大きいと想定していたが実験ではハレの日ということで顔出しに意欲を持った可能性がある。

なお，生徒，教員とも，Zoom などでのインタラクティブなりモート授業を実践していた学校とそうでない学校でインタビュー回答に違いがあり，後者の場合は，テレポーテーションロボットならではのいうよりもインタラクティブな授業参加形態に対する肯定的なコメントが寄せられていた。

2) 授業進行・授業運用

遠隔側参加者の性格と教師の対応によってコメントが大きく分かれたところである。健常参加者はこの日のみ友人と隔離されているだけであるのに対し，患者は長期間教室に参加できていないという違いがある。また健常者は実験に積極的に参加を決めた生徒であり主体性が高いことが伺える。患者が主役になれるようにという目的を持っていたが，教員からの働きかけが多すぎると負担に感じる参加者（特に患者）が多い。教室側の生徒の支援もありがたい・うれしい反面，あまり負担をかけたくないというコメントが複数あった。一方で遠隔参加者が困っている（特に通信の問題）ときに気づいてもらえない（*5.3.5, 5.9.1），会話から取り残されるというコメントもあり，患者の特性を踏まえた適度な支援が課題（**5.10.1）である。

3) 操作性・可搬性

教員からは想定よりも生徒がすぐに慣れて使えるようになったという声が出ている。通常より、スマートフォンやゲーム、オンラインツールに慣れている生徒は、患者、健常者を問わず、操作は簡単であったというコメントが大半を占めていた。一方で、temi の遠隔操作については、周囲が見えないことで不安、操作しにくいというコメントが複数あった (**5.10.1)。Kubi の首振り操作についても時間遅延があるために慣れるまでは操作が難しいが、若い世代には比較的慣れれば使いこなせる (5.3.4, 5.3.7) ようである。Keigan は使用場面が少なくコメントがほとんど得られていない。タブレットを用いた操作に対するコメントはなく、慣れた操作であるからと考えられる。手を伸ばしての操作に対する疲労の訴えもなかった。

テレポーテーション (ロボットの切り替え) については、簡単だったというコメントと難しかったというコメントがある。教員からも切り替え時の時間遅延や接続の失敗などによるストレスが報告されている (*5.3.4, 5.3.5, 5.3.7)。フェーズ 2 のインタフェースについては実験も少ないためコメントが少ないが改善すべき点が挙げられている。

3) 画質・音質・通信状況

この項目については、否定的あるいは改善要求が多数寄せられている。通信環境については、リモート授業共通の課題であるが、普及に向けては避けることのできないものである。通信の途絶えや音の途切れが受容性や効用を低減する結果になっており、実験では通信環境を整えて臨むべきであったと言える。

画質や視野についてのコメントも多い。Kubi の首振りで黒板やスクリーンなどを見ることができるとは、設置位置によっては他の生徒によって視界が遮られたり、教室の前席に設置しないと字や図が鮮明に見えなかったりしている。一方で前の方に設置しすぎると教室の雰囲気がつかめなかったり、周りの友人とのコミュニケーションがとりにくかったりする可能性がある。教材の配信方法については別の方法の併用も検討する必要がある (**5.10.1, 5.6.2)。

音の途切れだけでなく、音質の悪さの指摘も生徒、教員ともに多数あった (*5.3.7)。聞き取りにくさはストレスになり疲労につながる。通信環境の問題だけでなく、マイク・スピーカの機器構成の見直しが必要である (**5.10.1)。

4) 疲労・映像酔い

長時間画面を見続けることによる眼の疲労、temi の映像のブレによる映像酔いは、長期間利用をした健常な遠隔参加者から複数報告されている。患者は時間制限をし休憩をとって実施したため訴えはなかった。姿勢についてのコメントはなかったが、不動や悪姿勢も含めて、人間工学的な運用指針と注意喚起の仕組みが必要である (**5.10.2)。

5.2.3 効用

効用には、座学などでの教育効果の向上と、生徒・教員とのオフィシャルでない交流（ワイガヤ）、さまざまな学校生活への参加が挙げられる。

座学での教育効果の向上については、通常のインタラクティブなオンラインツールでも期待できる効用とテレポーテーションロボットならではの効用の切り分けが難しい。併用、使い分けの必要が示唆される（**5.10.1）。

グループワークや座学以外への参加においては、テレポーテーションロボットの効用が伺えるコメント、場面があった（*5.2.4, 5.3.6）。特にグループワークでは教室側の生徒とやりとりをしながら課題に取り組んだことでポジティブな感情が報告されている（*5.6.2, 5.9.1）。

教室移動時や昼休み、休憩時間の temi の利用も楽しかった、参加できてよかったという肯定的なコメントが多く、ポジティブな感情想起、インタラクションの活性化という効用が見出される（*5.6.2）。

教室側の生徒から、遠隔側の生徒への思いやりや気遣いのあるコメントがあり、教育効果として挙げられる。

5.3 気持ち温度計を用いた定量的主観評価

5.3.1 「気持ち温度計」概要

「気持ち温度計」は、若林ら[5-3-1]により、子ども向けワークショップを対象に、参加者の気持ちの移り変わりの全体像を捉えることを目的として開発された定量的主観評価手法である。温度計をモチーフにした評価シートを用い、参加者自身がプロセスごとに、また最後に全体をふりかえって自らの「気持ち」の温度を記入していく。これらの記入値を標準化することで、参加者間、プロセス間の比較が可能になる。各プロセスの評価項目として、高揚感（わくわくした）、達成感（できた）、難易度（むずかしかった）を表すキーワードを提示している。

5.3.2 気持ち温度計の目的

本節では下記実験を対象に「気持ち温度計」の分析を行う。表 5.3.1 に分析対象とする実験を示す。

表 5.3.1 分析対象とする実験

phase 1	step 1	奈良県N中学校	A08	2020年11月2日
			A09	2020年11月2日
	step 2	大阪府H高校	A10	2020年12月2日
phase 1 phase 2 を比較	step 1	兵庫県R高校	A12	phase1:2020年12月09日
				phase2:2020年12月10日
	step 2	大阪府J高校	A11	phase1:2020年12月07日
				phase2:2020年12月22日

「気持ち温度計」の活用で明らかにできる可能性がある内容は下記の通りである。そのうち「①プロセスごとの気持ちの推移」「②遠隔側と教室側との比較」を主軸に分析をすすめ、実験の条件、状況に応じそれ以外の項目についても分析を進めることとした。

- ①プロセスごとの気持ち（高揚感／達成感／難易度）の推移
- ②遠隔側（本人）と教室側（友人）との比較
- ③授業形式ごと（座学／実験系／体育など）の比較
- ④使用ロボットごとの比較
- ⑤ロボットを介した交流の有無による比較
- ⑥性別による比較
- ⑦インタビューや映像記録との比較、補完

5.3.3 評価シートの設計および分析方法について

本研究における評価シート設計は、これまで小学生を主対象としてきた気持ち温度計の先行研究とは異なる部分がある。(図 5.3.1, 図 5.3.2) その特徴的な部分と分析方法を下記に列挙する。

1) 実験回ごとにプロセスが大きく異なる

本研究では、実験ごとに時間割が異なり、学校によって各教科の授業形態も様々であることから、評価シートに記載するプロセスの内容が異なる。また Step 1 では長時間の実施が可能のため全体のプロセス数は多く、Step 2 ではプロセス数は少なくなることから、プロセス数が多い実験回では評価シートを 2 枚に分けて実施した。

2) 遠隔側と教室側の 2 か所で取得する

気持ち温度計は元々少人数でのワークショップにおいて、複数スタッフがプロセスごとに参加者に対し評価シートへの記入を促すことを想定している。一方、本研究では教室側参加者が 40 人前後と多人数であり、プロセスごとの声掛け・教示が難しい状態である。そのため初期実験回では評価シート内に未記入箇所が散見され、有効回答率が低い状態であった。

そこで評価シートに記入方法や各評価項目の内容について記載し、口頭での教示がなくとも記入可能な状態を目指した。また、評価シートの最後には手書き文字で「未記入の温度計はありませんか」という問いかけを入れることで提出前の見直しを促した。

3) 中高生を対象としている

気持ち温度計は当初小学生を対象に設計されたものであるため、評価項目には「わくわくした」「〇〇できた」「むずかしかった」といった平易な表現を用いている。一方、本研究では対象を中高生としており、教室側の実験参加者にとって遠隔側との関わり方は様々であり「〇〇できた」の内容も多様であることが予想されることから、評価項目も「高揚感」「達成感」「難易度」と解釈に幅をもたせるものとし、その内容について評価シートに示した。

評価項目は「高揚感」「達成感」「難易度」の 3 つとし、難易度に関してはプラス方向が「難しかった」、マイナス方向が「難しくない (簡単)」ことを示している。記入された温度計データは、欠損値のある回答、全項目において同一値を記入している回答は除外し、各項目の記入部分の下端から上端をミリ単位で計測する。このままでは実験参加者によって平均値、標準偏差が異なるため、参加者ごとに標準化を行う。標準化は実験参加者ごとに全プロセス・評価項目の評定値が 0、分散が 1 となるよう値を変換する処理で、実験参加者間の評定値のばらつきを揃えることを目的としている。遠隔側教室側については、温度計記入欄に未記入箇所がない回答のうち、評価者全体の平均値からのズレが $\pm 2SD$ より大きい項目が 3 か所以上ある回答を外れ値とし、これを除くデータを分析対象とする。

5.3.4 フェーズ 1 Step1：実験番号 1102

奈良県 N 中における実験で、遠隔参加者は 2 名である。

奈良県 N 中①【A08】

■実験参加者：遠隔側：【A08】(N=1) 教室側：N=40

■スケジュール/使用ロボット：①朝の会/Kubi ②1 時間目(社会)/Kubi ③休憩時間/ temi ④2 時間目(PC)/Kubi ⑤休憩時間/temi ⑥3 時間目(生物)/Kubi ⑧全体をふりかえって

・遠隔側【A08】の気持ち温度

高揚感は全体に高めに推移している。③⑤（いずれも「休憩時間」）で達成感が大きく下がる点が特徴的である（図 5.3.3）。これは休憩時間に Kubi から temi に移動する作業と次の授業の準備が重なり、交流時間が非常に短くなったこと、インタビューと映像よりテレポート時に通信障害が起きたことも関係していると推測される。特に 1 回目の休憩時間は難易度が大きく上がっていることから、短時間で初めての temi の操作に苦戦する様子うかがえる。しかしながら後半では難易度は低下傾向にあり、時間の経過とともに習熟する様子を読みとることができる。



図 5.3.3 奈良県 N 中学校【A08】遠隔参加者の気持ち温度

・教室側の気持ち温度

N 中学では 7 月にも同様の実験を実施し、その際には教室側参加者の約半数に未記入箇所（欠損値）が見られたため、前項で述べた通り評価シートの記載を修正した。その結果、今回は未記入箇所、無効回答が大幅に減少し、良好な回答を得ることができた。

各図における誤差棒は標準偏差（ばらつき）を示しており、当該実験回では全体に誤差棒が長く、評価者間のばらつきが大きいことがわかる。高揚感、達成感ともに③⑤（いずれも休憩時間）で低下傾向が見られる（図 5.3.4）。これは遠隔側と同様、次の授業の準備などで慌ただしいこと、遠隔側では temi への移行作業があることなどから、コミュニケーションが短時間になったことに起因すると推察される。探求入門（PC）など生徒間の交流が活発な授業では、高揚感・達成感ともに上昇傾向にあり、また実際に移動や操作、会話を伴うことにより、難易度も他授業に比べ高めになっている。彼らにとって難易度の高さは必ずしもネガティブなものではなく、わくわく感を伴うものであることがわかる。ただし、教室側の気持ち温度計は匿名取得のため、テレポーテーションロボットに関わった生

徒とそうでない生徒の切り分けは行えておらず、授業参加による活性化の要因も含まれている。

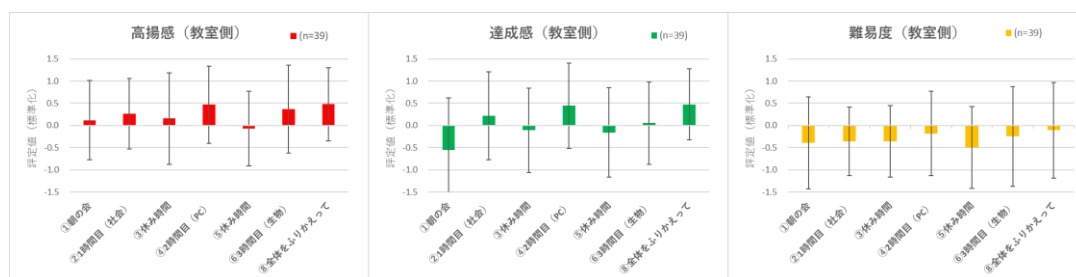


図 5.3.4 奈良県 N 中学校【A08】教室側参加者の気持ち温度

奈良県 N 中②【A09】

■実験参加者：遠隔側：【A09】(N=1) 教室側：N=40

■スケジュール/使用ロボット：①昼食/Kubi ②昼休み/Kubi ③昼の会/ Kubi ④掃除/temi ⑤4 時間目 (理科)/Kubi ⑥休憩時間/Kubi ⑦5 時間目/Kubi (国語) ⑧全体をふりかえって

・遠隔側【A09】の気持ち温度

当該実験回は昼食、昼休みからのスタートであり、「ワイガヤ」の多いスケジュールである。そのため遠隔参加者と交流があった教室側参加者は 40 名中 23 名と、教室内の半数以上の生徒が交流を持つことができている。

そのワイガヤでは、前半の「②昼休み」は高い高揚感に対して達成感が低め、難易度は高めとなっており、Kubi によるコミュニケーションに苦心している様子が見られる (図 5.3.5)。これと比較して「⑥休憩時間」では、高揚感、達成感ともに上がり、難易度が大きく下がっていることから、後半になるに従い、操作に習熟し安定したコミュニケーションが可能になっている様子を見ることができる。

「④掃除」は実際に掃除には参加できないため、疎外感を感じる事が予想されたが、高揚感・達成感が高く難易度は低いという結果が得られた。これは合成映像の観察から、教室側参加者から話しかけられる頻度が高かったことによると推察される。

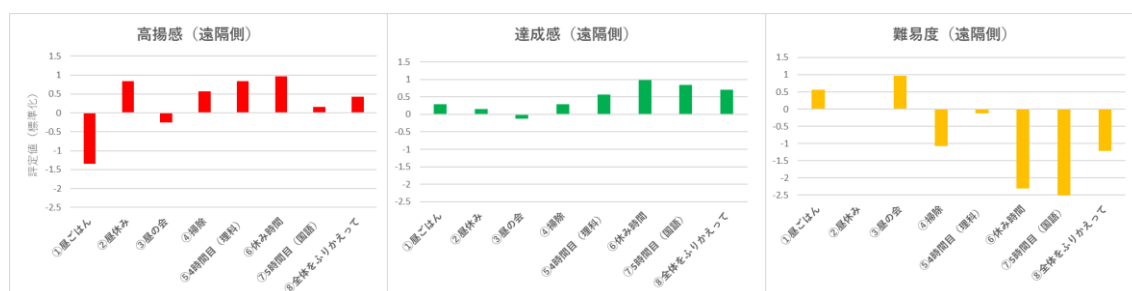


図 5.3.5 奈良県 N 中学校【A09】遠隔参加者の気持ち温度

・教室側の気持ち温度

当該実験回では特に高揚感・達成感において評価者間のばらつきが大きいことがわかる(図 5.3.6)。また有効回答 33 名中、遠隔側と教室側の気持ち温度の正の相関がみられたのは 4 名のみで、両者の気持ち温度の推移の相関は低く、別の動きを示していると言える(ピアソンの積率相関係数(両側) $p < .05$)。

座学では生徒間の交流が難しいが、ペアワークを実施した「⑦5 時間目(国語)」では教室側の高揚感達成感ともに高めとなっている。遠隔参加者が授業に積極的に参加している様子が感じられることが、教室全体の高揚感や達成感を高めていると推察される。

「⑧全体をふりかえって」が高揚感達成感ともに最も高くなっており、このプロジェクトそのものの期待感、受容性の高さを示唆している。

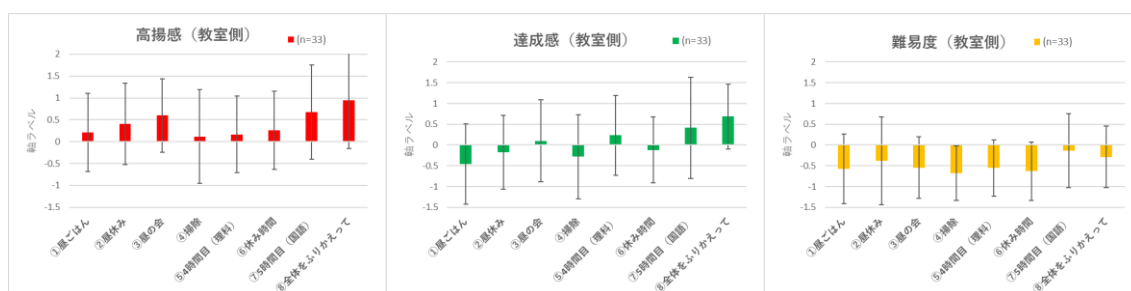


図 5.3.6 奈良県 N 中学校【A09】教室側参加者の気持ち温度

・交流の有無による比較

当該実験回から、教室側参加者に対し、遠隔参加者との交流の有無についての設問を加えている。【A08】、【A09】いずれも交流の有無による全体の傾向の違いは見られない(図 5.3.7 および図 5.3.18)。その中で、【A08】8 の回では「③休憩時間」で交流あり群の高揚感が大きく上昇しており、短時間の交流でありながら、ワクワクして体験している様子がうかがえる。

また、【A08】の「④2 時間目(PC)」 「⑥3 時間目(生物)」、【A08】の「⑦5 時間目(国語)」などは、むしろ交流なし群の達成感が高くなっており、達成感は必ずしも直接的な交流のみによって得られるのではないことがわかる。授業中は遠隔側とのやりとりが教室内の生徒全体に共有されやすく、「遠隔側からも授業に参加できている」という認識の共有が、交流の有無にかかわらず達成感を育む可能性を見ることができる。



図 5.3.7 奈良県 N 中学校【A09】交流の有無と気持ち温度



図 5.3.8 奈良県 N 中学校 (A09) 交流の有無と気持ち温度

・自由記述およびインタビューとの比較

【A08】の遠隔側の自由記述では、プロジェクタ投影面の可読性が低いこと、音声は非常にクリアであったこと等、授業中の操作感について言及されている。temiでの操作については「電波をもう少し強くしないと、使うのは難しいかもしれない」とあり、気持ち温度計の temi を用いたプロセス (③⑤) での達成感の低さ、難易度の高さと合致している。

教室側参加者のうち、自由記述欄に回答があったのは 40 名中 31 名、本研究での取り組み内容や技術面に対しては肯定的な意見が多く見られた。一方で具体的な課題として「音声」と「移動」が挙げられ、遠隔側の音量や雑音が気になるといった意見が 9 件、temi による移動が大変であるといった意見が 5 件見られた。また、音声の遅延、聞こえにくさなどによる会話の違和感についての言及も 5 件あり、「後半では慣れてきて違和感がなくなった」とする実験参加者と「これがずっと続くと大変」とする実験参加者に分かれている。

【A09】の遠隔側の自由記述では、【A08】同様プロジェクタ投影面の見づらさについて言及されている。ロボット操作そのものについては「比較的簡単でよかった」とあり、気持ち温度計での難易度の低さと合致している。

教室側参加者のうち、自由記述欄への回答があったのは 42 名中 31 名で、やはり音の大きさ、雑音が気になるといった「音声」に関する意見が 6 件あった。遠隔側と教室側で、生徒間のペアワークができていたこと、ロボットが礼 (おじぎ) できることなど、クラスへの自然な参加が実感できた事象に対するポジティブな反応が見られ、気持ち温度計での当該授業 (⑦国語) の高揚感・達成感の高さとも合致している。

5.3.5 フェーズ 1 Step2：実験番号 1202

■実験参加者：遠隔側(患者)：【A10】(N=1) 教室側：N=33

■スケジュール/使用ロボット：①説明を聞いて ②1時間目(理科)/Kubi ③休憩時間/temi ④2時間目(英語)/Kubi ⑤全体をふりかえって

当該実験回では、評価シートの仕様を2点変更した。

①教室側参加者用評価シートに性別の記載欄を追加し、遠隔側との相関を見ることとした。

②「説明を聞いて(参加する前は)」を評価に含めた。通常、評価シートに記載している「説明を聞いて(参加する前は)」の項目は温度計の記入練習と位置付けており、評価には含めない。しかしこの実験回を含めた「Step 2」では遠隔実験参加者が入院中の患者であり、多くの場合プロセス数が少ないこと、小学生を対象としたワークショップとは異なり、中高生は理解度が高く記入練習の必要性が低いと考えられることから、「説明を聞いて(参加する前は)」という項目を評価に含め、代わりに練習用プロセスとして「今朝起きた時の気持ちは…」という項目を追加した(図 5.3.9)。

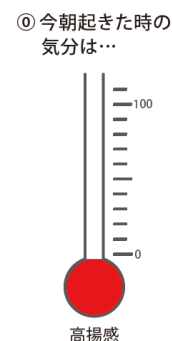


図 5.3.9 Step2
練習用プロセス

・遠隔実験参加者【A10】の気持ち温度

全体を通して高揚感達成感ともに低めで、難易度が高い(図 5.3.10)。これは他の実験回では見られない傾向であり、また当日の観察での意欲的な印象とも合致しない。これは平均値を0、標準偏差を1となるよう変換する気持ち温度計の標準化プロセスにおいて、難易度が非常に高いことから、相対的に高揚感・達成感が低く表れたものである。この難易度の高さは、短時間で Kubi から temi に乗り換えに対する戸惑いがあったこと、当日の通信環境が不安定で、教室側の映像が途切れたり音声聞き取りづらかったりしたためと考えられる。しかし観察では temi への乗り換え、操作に苦心しながらも意欲的に取り組んでおり、「④英語」の授業内では、通信の不具合の中でもグループワークで交流する様子が見られた。「④英語」の高揚感が全プロセスの中で最も高くなっていることから、グループワークへの前向きな気持ちがうかがえる。合成動画、視線計測データからも、temi を用いて移動し親しい友人と手を振り合って笑顔を交わし患者が教室の生徒の顔を見ながらスマートフォンの画面を見せて談笑していること、グループワークでも生徒の顔を時々見ながらカメラ越しに資料を見せてもらったりして交流している様子が確認された。

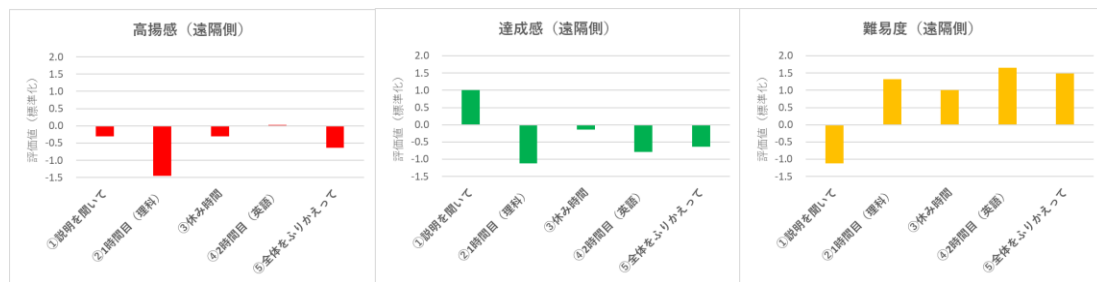


図 5.3.10 大阪府 H 高校 患者【A10】の気持ち温度

・教室側参加者の気持ち温度

高揚感、達成感、難易度ともにスケジュールが進むにしたがい徐々に上昇している（図 5.3.11）。これは遠隔側・教室側双方の慣れと関連する可能性がある。遠隔参加者と正の相関があった教室側参加者は 26 名中 2 名であり、両者の気持ち温度にはほぼ相関が見られない（ピアソンの積率相関係数（両側） $p < .05$ ）。遠隔側が通信トラブルで苦心していることは伝わりにくく、「交流できた」という認識が教室側の高揚感・達成感を大幅に高めていることが、両者の気持ち温度のギャップを大きくしている。これは患者インタビューにも表れており、また、合成映像でも患者が実験者に助けを求めているときに教室側では授業が通常どおり進行されていることを確認した。

「④2 時間目（英語）」ではグループワークによる遠隔側と教室側の活発なやりとりが見られ、高揚感・達成感ともに上昇している。一方でそれに伴い操作の難しさに対する気づきも増え、難易度も少し高くなっている。

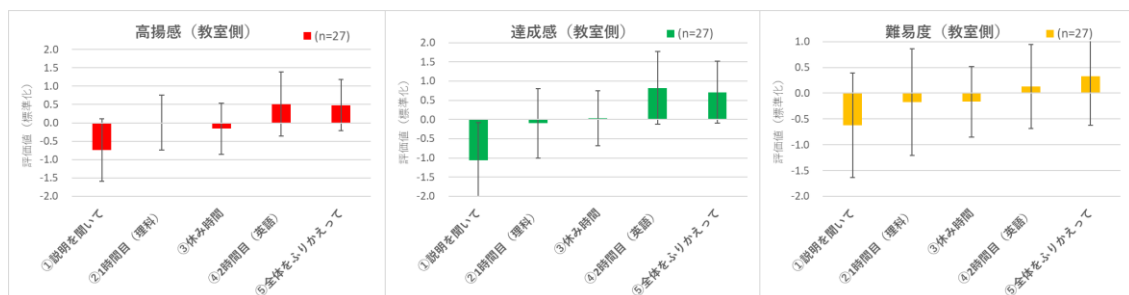


図 5.3.11 大阪府 H 高校 教室側参加者の気持ち温度

・交流の有無による比較

当該実験回では、実施時間が短くプロセス数も少ないことから、実際に交流できた実験参加者は 8 名と少なめである。

交流あり群は「③休憩時間」での高揚感が交流なし群に比べ高くなっており、短時間のやりとりにも関わらず、遠隔側とのコミュニケーションにわくわくしている様子がうかがえる（図 5.3.12）。また遠隔側との交流に慣れるに従い、高揚感達成感とも右肩上がりの推移を示している。

対して交流なし群は「②理科」「④英語」の授業内での高揚感、達成感が高く、「③休憩時間」は低い、M字型の推移を示している。

また、双方とも習熟に伴い難易度が下がるということではなく、特にグループワークが行われた「④英語」では、交流の有無に関わらず高い高揚感達成感を示し、わくわくした、できたという思いと同時に、その難しさも共有していることがわかる。

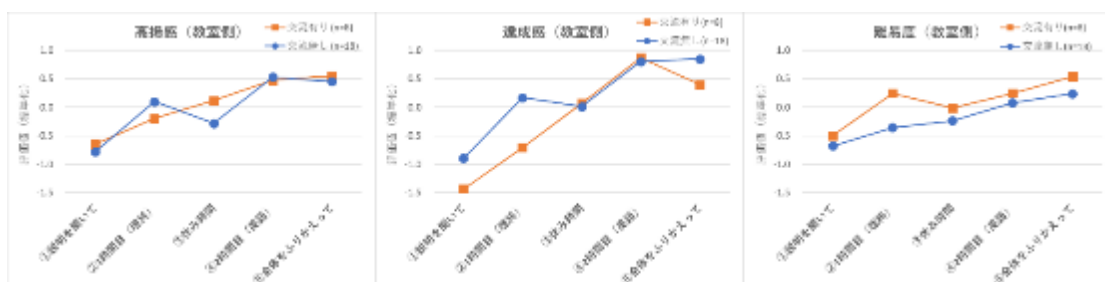


図 5.3.12 大阪府 H 高校【A10】 交流の有無と気持ち温度

・性別による比較

当該実験回では遠隔側との交流の有無に加え性別による比較を行った。その結果、高揚感・難易度に関して男女差は見られず、達成感の一部で異なる結果を示した（図 5.3.13）。大きく異なったのは「④2 時間目（英語）」で、女子群の達成感が高くなっている。グループワークに対しては、交流の有無での差異は見られなかったことから、女子群においては本研究と関係なく、グループワークそのものに対する達成感が高く評価された可能性がある。合成映像からは、隣的女子グループの盛り上がりが確認されたが実験参加グループとのインタラクションもわずかではあるが生じており、このときに患者が隣のグループの生徒に視線を向けていることが確認された。このときの患者の感情を正確には捉えられていないがネガティブなものではないと推察される。



図 5.3.13 大阪府 H 高校【A10】 性別と気持ち温度

・自由記述およびインタビューとの比較

当該実験回では、遠隔参加者（患者）の自由記述は得られなかった。インタビューでは temi の操作が少し難しかったこと、また通信トラブルにより黒板やプリントの文字が見えづらかったこと、音声途切れがちであったことについて述べており、気持ち温度計の達成感の低さ、難易度の高さとも合致している。友人にプリントを見せてもらったことにも

言及しており、通信トラブルの中でも工夫しながらクラスの一員として授業に参加できている様子がうかがえる。

教室側参加者では 33 名中 18 名の自由記述が得られた。これまでの実験と同様に「最新技術にとっても感動した」「まわるのがすごかった」といった、技術への感嘆が多く見られたが、加えて「こういう形でみんなで授業がうけて良かった」「友達が話しかけてるのを見たときすごくホッコリしました。」「なかなか会えないから、顔を見て話ができるのがとても良かった。」(いずれも原文ママ)といった、遠隔参加者との再会を率直に喜ぶ、Step 2 ならではの感想が多く得られた。これらは気持ち温度計の自由記述からのみ得られた知見である。

ロボットの操作面では「機械が動く時の音にとってもビックリした」といった動作音に関する記述が 2 件、ロボットの配置により黒板が見えづらいといった配置に関する記述が 1 件見られた。遠隔参加者が通信トラブルで困っていることに気付いている様子は見られず、反対に画質がよかった、違和感なく会話できていたといったポジティブな記述が 4 件あり、全体を通して大きな不具合の指摘は見られなかった。

5.3.6 フェーズ 1 とフェーズ 2 の比較 (Step1) : 実験番号 1209/1210

兵庫県 R 高校【A12】に対し、フェーズ 1 およびフェーズ 2 を体験してもらう実験である。フェーズの違いによる気持ち温度の差異に加え、プロセス数が非常に多いことから、1 日の学校生活全体を通した気持ち温度の推移を見ること、また 2 日間を通した習熟や慣れの様子を見ることができる。

R 高校は科目選択が可能であるため、生徒によって時間割が異なる。そのため終日全く同じ授業を受ける教室側参加者は不在である。そこで比較的時間割の近い生徒を選定し、共通するプロセスについてのみ回答してもらう形をとった。

・ 実験 【フェーズ 1 Step 1】

■実験参加者：遠隔側：【A12】(N=1) 教室側：N=4

■スケジュール/使用ロボット：①ST/Kubi ②1 時間目 (世界史)/Kubi ③休憩時間/Kubi ④2 時間目 (地学)/Kubi ⑤休憩時間/Kubi ⑥3 時間目 (体育)/Kubi・Keigan ⑦休憩時間/Kubi ⑧4 時間目 (生物)/Kubi ⑨昼食・昼休み/temi ⑩5 時間目 (数学)/Kubi ⑪休憩時間/Kubi ⑫6 時間目 (英語)/Kubi ⑬ST/Kubi ⑭全体をふりかえって

・ 実験 【フェーズ 2 Step 1】

■実験参加者：遠隔側：【A12】(N=1) 教室側：N=3 (有効回答 N=2)

■スケジュール/使用ロボット：①ST/Kubi ②1 時間目 (数学Ⅱ)/Kubi ③休憩時間/Kubi ④2 時間目 (数学 B)/Kubi ⑤休憩時間/Kubi ⑥3 時間目 (コミュニケーション英語)/Kubi ⑦休憩時間/Kubi ⑧4 時間目 (英語)/Kubi ⑨昼食・昼休み/temi,

Keigan ⑩5時間目（S 英語）/Kubi, Keigan ⑪休憩時間/Kubi ⑫6時間目（特別探求）/ Kubi, Keigan ⑬ST/Kubi ⑭全体をふりかえって

・遠隔実験参加者【A12】の気持ち温度：フェーズ1

授業教室移動があるため、休憩時間の十分なワイガヤは難しい状況である。全体に高揚感が高く、達成感は低めの値を示している（図 5.3.14）。特に「⑪休憩時間」では高揚感達成感ともに大きく下がっており、期待した交流を得ることができなかった様子が伺える。

当該実験回では「⑥体育」の一部で Keigan, 「⑨昼食・昼休み」で temi を使用した他はすべて Kubi を使用していたことから、難易度の上下はロボットの操作習熟や種類に起因するものではなく、通信状況（音声、映像など）の不安定による影響が考えられる。

また当該実験回では、「⑥体育」への遠隔参加が試みられている。比較的操作に慣れた Kubi に加え Keigan を使用しての参加で、高揚感・難易度ともに高く、達成感はそれほど高くないという結果を示した。非常にわくわくしているが、実際に「できた」と思える事象が多くなかったためと考えられる。合成動画によると、体育の直前の友人とのやりとりで笑顔が見られ、体育の体操の間は操作せずに座ったまま軽く両腕を回したり上げたりする動作をしているときと、動作はせずに Kubi の操作をして生徒を一人ずつ見て回っているときがあることが確認された。参加しているとよりも俯瞰したり見回ったりする特別な立場を楽しんでいる様子がうかがえた。

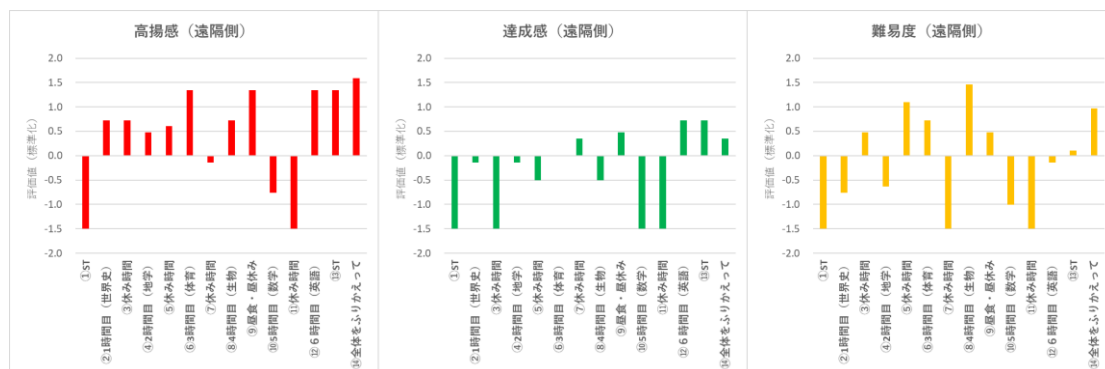


図 5.3.14 兵庫県 R 高校フェーズ1 遠隔参加者【A12】の気持ち温度

・遠隔実験参加者【A12】の気持ち温度：フェーズ2

長時間、かつ連続2日目の使用であり、基本的な操作は習得していることから、難易度は大きく下がっている（図 5.3.15）。「④数学 B」での難易度の上昇理由は不明であるが、同じく大きく難易度が上昇する「⑨昼食・昼休み」は temi を用いての積極的な交流によるものと見られ、高揚感も併せて大きく上昇していることから、必ずしもネガティブなものではなく、わくわくしながらコミュニケーションに挑戦する様子が伺える。

後半（「⑨昼食・昼休み」以降）の高揚感が大きく上昇している。観察では前半はフェーズ2ならではのワイガヤ機能を試し、後半は友人との交流に活用する様子が見られたことから、コミュニケーションの楽しさによる高揚感上昇の可能性はある。

フェーズ1同様、移動や準備に忙しい休憩時間（③⑤⑦）は高揚感達成感ともに顕著に低くなっており、テレポーテーションロボットならではの短時間でのコミュニケーション手法の必要性について、今後の検討が待たれる。



図 5.3.15 兵庫県 R 高校フェーズ2 遠隔実験参加者【A12】の気持ち温度

・遠隔側と教室側の気持ち温度比較：フェーズ1およびフェーズ2

授業内容や教室側参加者も異なり、実験参加者の人数も3～4名と少ないため単純な比較はできないが、遠隔参加者【A12】の気持ち温度の推移を軸に、教室側参加者との関係性について、読み取れる内容を下記に述べる。

フェーズ1の教室側参加者は4名であり、1日を通して【A12】と全く同じ授業を選択している者はいなかった（図 5.3.16）。教室側の気持ち温度のうち、特に高揚感のばらつきが大きく、遠隔側と教室側の気持ち温度の推移に関連が見出しにくい。しかし「⑥体育」では双方が高い高揚感を示しており、座学ではない授業に Keigan などを用いて遠隔参加することは、双方にとって強いわくわく感を生む試みであることがわかる。

フェーズ2は3名が回答、うち一人は全項目が同じ評価値であったため無効とした。

フェーズ2は少人数ながらフェーズ1に比べ高揚感達成感の相関が高く、遠隔側と教室側の温度や推移のパターンが非常に近いのが特徴的である（図 5.3.17）。合成映像で、遠隔参加者が座学中にロボットの近くにいる生徒にフェーズ2の拡張機能を紹介し、生徒がこれに反応している場面が確認され、これが一体感をもたらしただ可能性がある。初回であることに起因したやりとりが多く、他校も含め継続的な観察の必要がある。

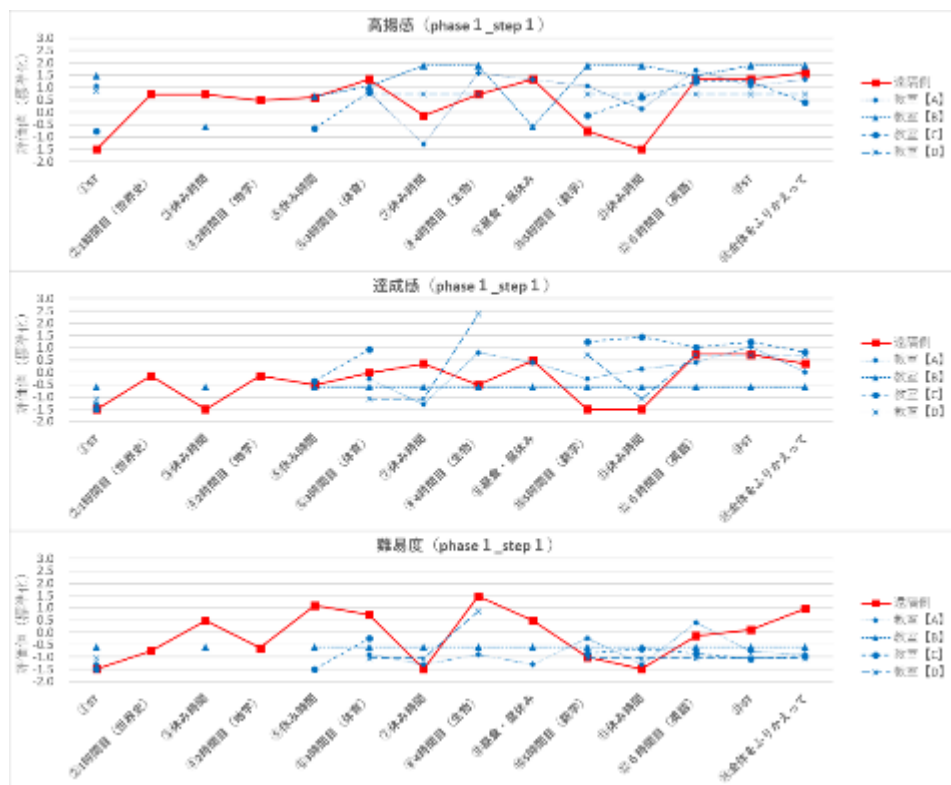


図 5.3.16 兵庫県 R 中学校 フェーズ 1 (遠隔側および教室側実験参加者)

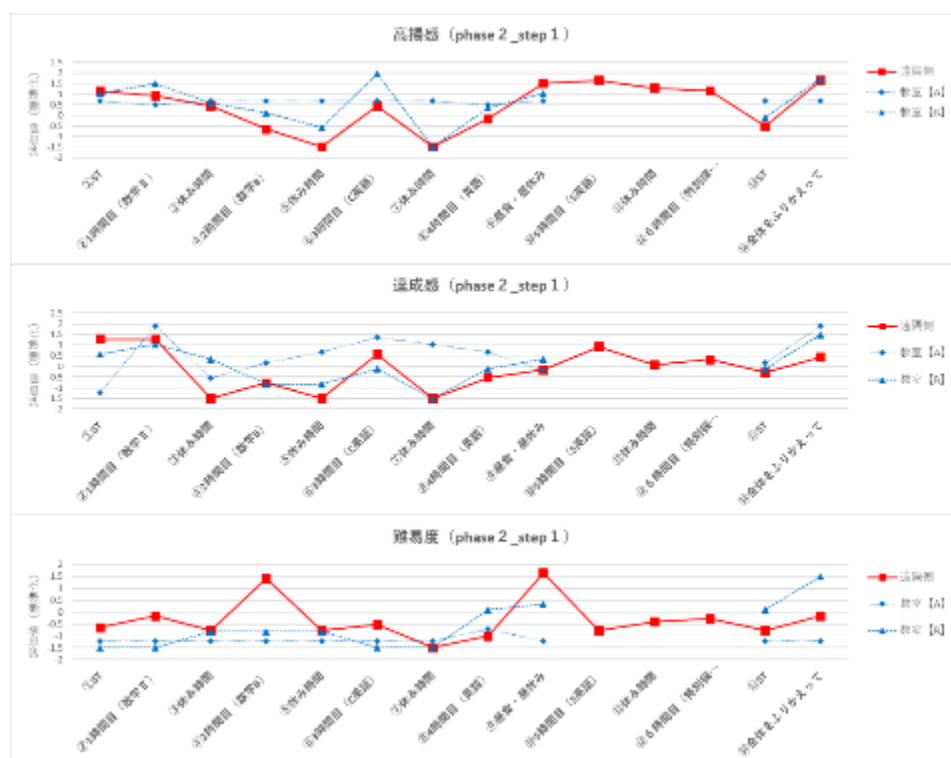


図 5.3.17 兵庫県 R 中学校 フェーズ 2 (遠隔側および教室側実験参加者)

・自由記述およびインタビューとの比較

【フェーズ1・遠隔側】の自由記述では、特に前半部分で「いつもと違う位置で授業を受けないといけない」といった通常時との勝手の違い、「退出に時間がかかる」「画質がよくない」「定期的に音が途切れる」といった通信や仕様の不具合などに関する記述が目立った。後半は「音がだいぶよかった」「友達と前より話せた」と改善や慣れによるポジティブな記述も見られるものの、「紙が反射して見えない」「スライドとともに動かない時があった」といった受講時の困難、「可動域がもっとほしい」といったロボット側の仕様に対する具体的な要望など、インタビューでは抽出されていない指摘が得られている。より自然な授業参加には、まだ解決すべき課題が多くあることがわかる。

【フェーズ1・教室側】の自由記述では、遠隔側同様「画質が悪いから、見えにくかった」「通信が途切れることが多かった。」「遅延」「復帰するまでに5秒くらいかかることがしばしば」といったロボットの仕様や通信環境へのストレスが目立った。一方「小声とかで周りに聞きたいとき、不便そうだと感じた」「小声がすべて大音量で流れる」と、教室側ならではの気づきが見られた。また「体育でその場にいるかのような感じがすごくよかった」「体育の時などにみんなにかこまれていた」と、実際に運動ができなくとも、体育に遠隔参加することがポジティブに受容されている様子が見られた。

【フェーズ2・患者】の自由記述では、前半（プロセス①～⑦）は「音声がつながってるか分からないのと、ミュートなのにしゃべってしまってそこが難しかった」「右下を向くとこわれる」「スタンプがスライドで変わらない（いずれも原文ママ）」といったロボット側の仕様への言及が多く見られた他、「あまり周りの反応がなくなった（慣れた?）」といった記述に、周囲の反応に対する複雑な心理を垣間見ることができる。

対して後半（プロセス⑧～⑭）では「テレポートができたので、ふだんみたいに移動してる気分になれたので良かった」「スタンプがかわいいなと思った」と明るい記述となり、順調なテレポートやワイガヤ機能の習得により実験を楽しむことができた様子が伺え、気持ち温度計後半の高揚感の上昇とも合致している。実験後のインタビューでは楽しいことは特になかったと述べているが、プロセスごとに問う気持ち温度計やその自由記述では素直は気持ちを表現できたものと考えられる。

【フェーズ2・教室側】の自由記述では「手が動かせていてかわいかったです」「手みたいなものがあって昨日よりも進歩していた」と、フェーズ2ならではのワイガヤ機能へのポジティブな言及が見られる。一方で「手の動く音が気になってしまった」と解決すべき課題も示された。2日連続での実験であったことから「【A12】君がリモートなのが慣れました。今度から毎日リモートで大丈夫です!」「食堂などにも行ってとてもすごいと思った」と双方の習熟に対する言及も見られ、遠隔側と教室側がワイガヤ機能を介してポジティブな気持ちを共有している様子が伺える。これは気持ち温度計での、遠隔側と教室側の同調とも関連すると考えられる。

5.3.7 フェーズ1とフェーズ2の比較 (Step2)：実験番号 1207/1222

大阪府 J 高校 【A11】 に対し、フェーズ1およびフェーズ2を体験してもらう実験である。【A11】は継続的に Kubi を使用しており、基本的な操作は習得済みである。長時間の授業参加による負担を避け、いずれの実験回も、プロセス数は「①説明を聞いて」と最後の「⑤全体をふりかえって」を合わせて5つとなっている。この実験では、実験者が病室で立ち会うことができず、保護者が遠隔指示に基づき設営したため映像記録は限定された。

・実験 【フェーズ1 Step2】

■実験参加者：遠隔側：【A11】(N=1) 教室側：N=39 (有効回答 N=32)

■スケジュール/使用ロボット：①説明を聞いて ②3時間目(現代社会)/Kubi ③休憩時間/temi ④4時間目(国語)/Kubi ⑤全体をふりかえって

・実験 【フェーズ2 Step2】

■実験参加者：遠隔側：【A11】(N=1) 教室側：N=39 (有効回答 N=25)

■スケジュール/使用ロボット：①説明を聞いて ②休憩時間/temi ③3時間目(物理)/Kubi ④休憩時間/temi ⑤全体をふりかえって

・遠隔実験参加者【A11】の気持ち温度：フェーズ1 Step2

フェーズ1では全体に高揚感は低めだが、「③休憩時間」で上昇が見られる。達成感はあるプロセスを通して高い状態で安定しており、対して難易度は低いことから、問題なくロボットを操作できていること、授業参加に対する問題やストレスは少ないことがわかる。

「③休憩時間」は高揚感が明確に上昇し、併せて難易度も上がっており、他プロセスよりわくわくして取り組んでいるが、temi への移動や操作にやや難しさを感じている様子を読み取ることができる。これは観察において、休憩時間に temi を使用し自ら教室内を移動、同級生と交流する様子が見られたこととも合致している。

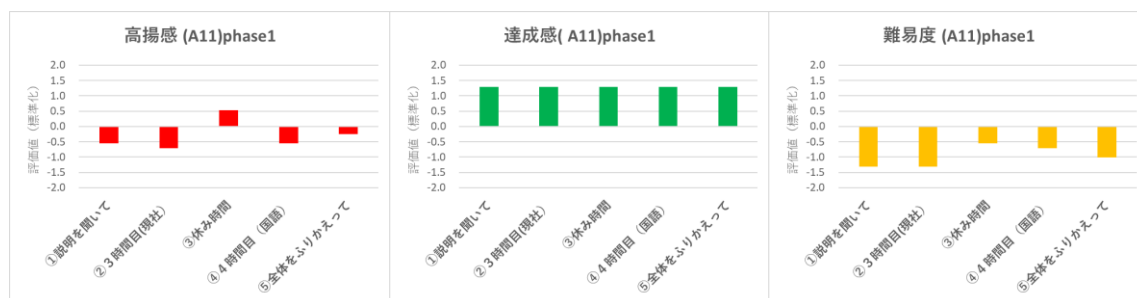


図 5.3.18 大阪府 J 高校 フェーズ1 遠隔実験参加者【A11】の気持ち温度

・遠隔実験参加者【A11】の気持ち温度：フェーズ2 Step2

フェーズ2はフェーズ1とプロセス数は同じであるが、休憩時間から参加、授業は1科目と、時間的な余裕が少ないスケジュールである。

高揚感はフェーズ1と比べると高めであり、特に後半「③物理」「④休憩時間」「⑤全体を振り返って」で大きく上昇している。

一方で達成感、フェーズ1と比較すると低めであり、特に②④「休憩時間」で大きく下がっている。これは当該実験回での参加時間が短く、フェーズ2のワイガヤ機能を十分に活かした交流が十分にできなかったことに起因している。

難易度はフェーズ1と比べやや高くなっているが、格段の問題なく使いこなせている。前半は準備の都合などにより、落ち着いた状態での授業参加が難しかったが、後半（③以降）では高揚感・達成感・難易度いずれも上昇傾向を示している。特に「③物理」ではコミュニケーションに多少の難しさを感じつつ、能動的に授業を楽しむことができてい様子が見ええる。

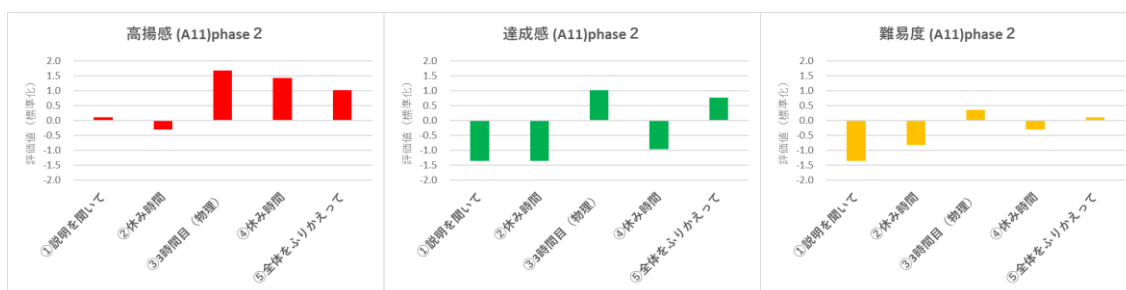


図 5.3.19 大阪府 J 高校 フェーズ2 遠隔実験参加者【A11】の気持ち温度

・教室側参加者の気持ち温度：フェーズ1，フェーズ2の比較

フェーズ1，フェーズ2ともに、高揚感・達成感・難易度いずれの項目もプロセスが進むに従い上昇している。いずれの実験回も開始当初は慌ただしく、徐々に落ち着いて参加できるようになっていることから、教室側の高揚感・達成感を高めるには、遠隔側、教室側双方の“慣れ”や“安定”が重要になる可能性が読み取れる。

また、いずれの回も「⑤全体をふりかえって」で高揚感・達成感がぐっと高くなっている（かつばらつきが小さい）のは、プロセスごとの評価とは別に、「皆で授業を受けられる」という取り組みへの期待や受容性の高さを示していると考えられる。

一方で、フェーズ2「④休憩時間」は患者【A11】の達成感が低くなっているのに対し、教室側では比較的高く、患者がワイガヤ機能を使ってやりたかったことと、教室側の受け止め方のギャップがあったことが推察される。

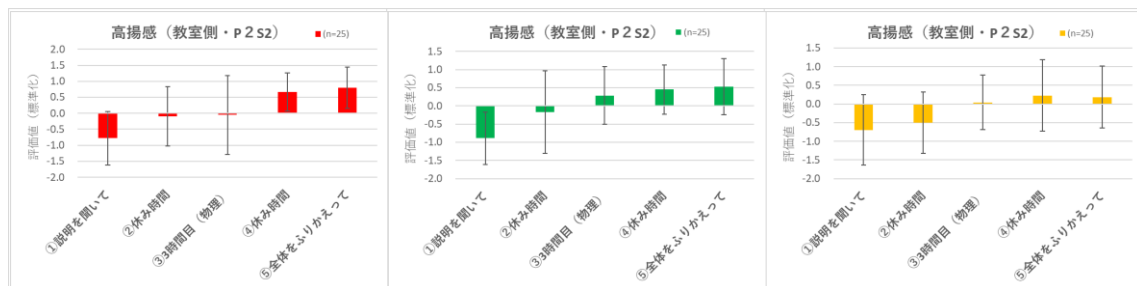


図 5.3.21 大阪府 J 高校 フェーズ 2 教室側参加者の気持ち温度

・ 交流の有無による比較：フェーズ 1，フェーズ 2 の比較

フェーズ 1 では交流あり群が 10 名，交流なし群が 22 名であった。交流の有無による明確な違いは見られず，高揚感・達成感・難易度ともに近い動きを示している（図 5.3.22）。

「④英語」では遠隔側と教室側の活発なやりとりが発生したことから，特に交流あり群において高揚感・達成感・難易度が高くなっていると考えられる。

フェーズ 2 では交流あり群が 3 名，交流なし群が 22 名であり，交流あり群が非常に少なく，参加時間の短さから，多くの生徒とのやり取りが難しかったことがうかがえる。そのため単純な比較はできないが，慌ただしく周囲との交流が難しかった前半の「②休憩時間」では交流なし群の高揚感・達成感が高く，フェーズ 2 のワイガヤ機能を試すことができた後半の「④休憩時間」では交流あり群の高揚感，難易度が高くなっている。これはワイガヤ機能を用いた遠隔側とのやり取りが，難しくもワクワクできるものであったことを示している。また，授業中（③物理）については，高揚感・達成感・難易度すべてにおいて交流あり群なし群がほぼ一致している。

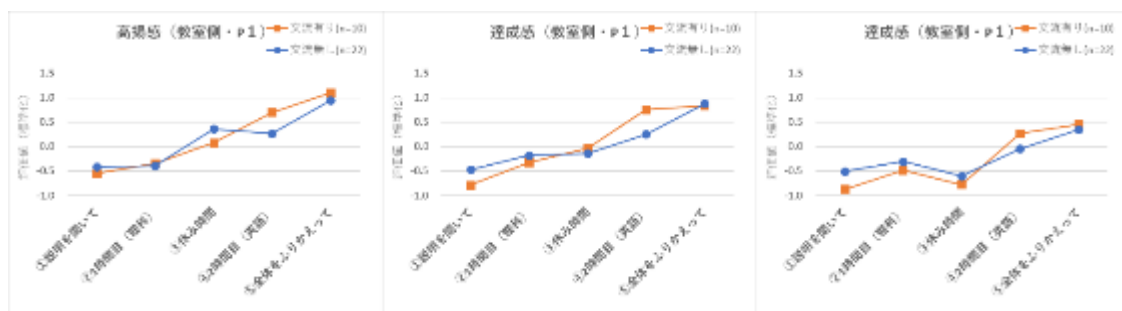


図 5.3.22 大阪府 J 高校 フェーズ 1 交流の有無と気持ち温度

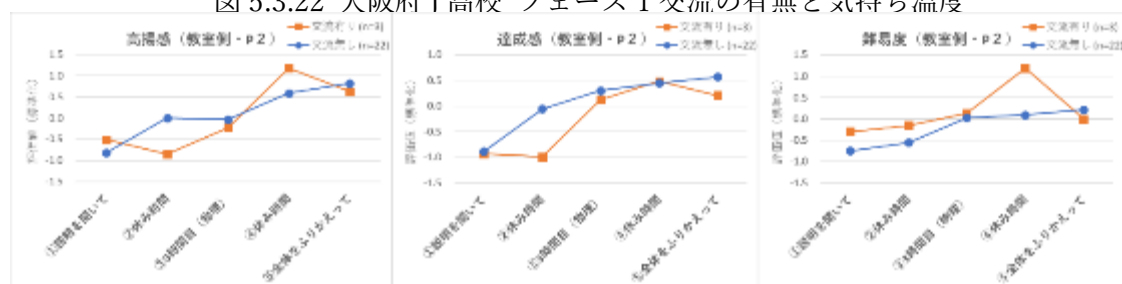


図 5.3.23 大阪府 J 高校 フェーズ 2 交流の有無と気持ち温度

- ・性別による比較

フェーズ 1, フェーズ 2 ともに女子が 10 名以下であることから, 実験参加者ごとのバラつきが大きく反映されているが, 特にフェーズ 1 では男女ともに同様の傾向を示しており, 性別による違いは読みとれない。

フェーズ 2 では, 遠隔側と交流があったと答えた教室側参加者が男子のみであったためか, 男子は高揚感・達成感ともに休憩時間 (②, ④) が高めの傾向を示している。対して女子は, 休憩時間に比べ授業時間 (③物理) の高揚感がやや高めとなっている。

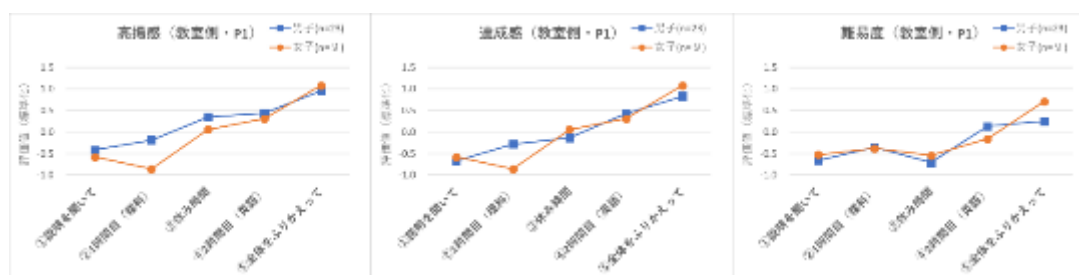


図 5.3.24 大阪府 J 高校 フェーズ 1 性別と気持ち温度

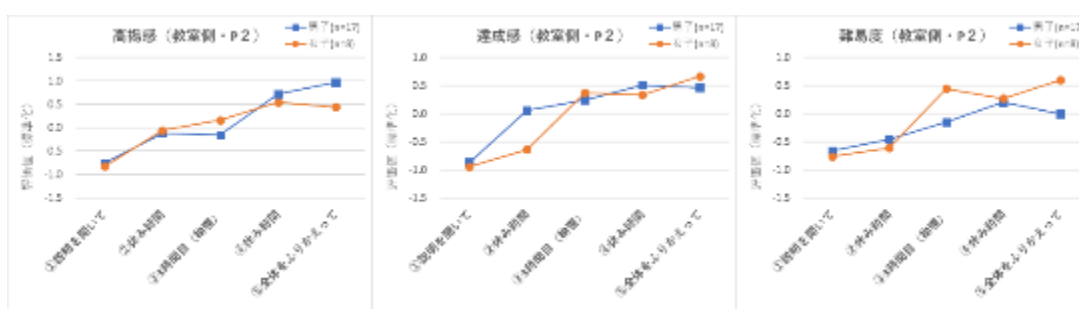


図 5.3.25 大阪府 J 高校 フェーズ 2 性別と気持ち温度

- ・自由記述およびインタビューとの比較

【フェーズ 1・遠隔側】では, 初めて使用した temi による移動の楽しさについて述べている。また, 授業時の改善すべき課題として, プロジェクタの投影面が見えにくいことについては自由記述, インタビューの両方で触れている。

【フェーズ 1・遠隔側】では, 33 名全員から回答を得ることができ, またその記述内容からも, 本研究に対する関心の高さがうかがえる。かねてより Kubi が使用される環境には慣れていることから, 遠隔参加者【A11】と同様, 初めて見る temi への言及と推察される記述が 14 件見られた。移動可能な temi の技術面での感嘆の他, 教室内の移動や段差, 自走範囲など, 移動の自由度や安定性に対する記述が多く得られた。また, ここでも音質改善に関する記述は 5 件あり, やはり「音」が円滑で違和感の少ない授業参加に向けた重要な要素であることが伺える。コミュニケーション面では「授業中, 【A11】君が機械を使っとうなずい

たりして、皆が笑っていたりして楽しそう」といった、「iPad がうなづく」動作に対するポジティブな記述が 2 件あり、Zoom での授業参加では難しい、非言語のやり取りの可能性を見出すことができる。

【フェーズ 2・遠隔側】では「今日は時間が短く、みんなとのやりとりが少なかったので、周りの反応はわかりませんでした」「新しい機能はどれもおもしろく使い勝手がよかったです」「腕を動かす機能は見せてもらった感じだと動きが小さくて気づいてもらえるのかなと思いました」とあり、フェーズ 2 の機能に興味を持ち操作できているが、当該実験回の実施時間が短かったことで、十分に試みることができなかったことがわかる。またインタビューでも、少し手を動かしたが気づいてもらえなかったという話が出ており、気持ち温度計「④ 休憩時間」の難易度の高さとも合致している（図 5.3.21）。

【フェーズ 2・教室側】では 30 名中 27 名の自由記述が得られ、フェーズ 2 のワイガヤ機能への言及と推察される記述は 13 件あった。その多くは新機能への「すごい」といった感想であったが、遠隔側の操作が難しいのではという懸念も 3 件見られた。また、ここでも音に関する記述は 5 件あり、「前回より改善されている」という 1 件の他は、ハウリングに対する内容であった。新たな機能への受容性は非常に高いと考えられる。

・継続的使用による気持ちの変化

【A11】は Kubi を継続的な使用していることから、その気持ちの変化を振り返って気持ち温度計で評価してもらった。継続的使用により、高揚感はやや下がるが、達成感が上昇し、難易度が大きく低下している。操作の習熟にともない、授業中や休憩時間において出来ることが順調に増えている様子がうかがえる（図 5.3.26）。

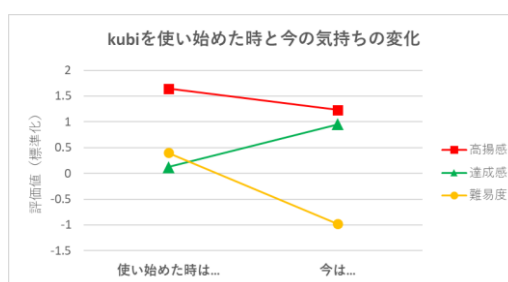


図 5.3.26 大阪府 J 高校 フェーズ 2
Kubi の継続使用による印象

5.3.8 まとめ

本節では、フェーズ 1（Step 1 および Step 2）、フェーズ 2（Step 1 および Step 2）について、気持ち温度計を用い、遠隔側・教室側参加者のプロセスごとの気持ち（高揚感／達成感／難易度）の推移を基に、ロボットによる授業参加を多角的に捉え、課題や可能性を抽出した。ロボットを用いた授業参加を継続的な取り組みにしていくためには、遠隔側だけでなく教室側の受容性を高めていくことが重要であり、教室側の気持ち温度の分析結果はその

ために有用であると考える。各実験回で参加者やスケジュール、環境が異なることから一般化することは難しいが、社会実装に向け、示唆に富む結果を得ることができた。

【全体】

・遠隔側と教室側の気持ち温度は、おしなべて関連が低い（相関が低い）と言える。例外として兵庫県 R 高校【A12】のフェーズ 2 において遠隔側と教室側が近い動きを示していたが、その気持ち温度の共有や同調が、2 日間続けての長時間実験による慣れによるものなのか、フェーズ 2 の機能を使った交流によるものなのかは明らかではない。

・大阪府 H 高校の事例では、通信トラブルなどで遠隔参加者が困っていることに、教室側が気づきにくい可能性が示唆された。こういったことも、遠隔側と教室側の気持ち温度のギャップの一因と考えられる。

・兵庫県 R 高校【A12】ではフェーズ 2 の実験回後半において、ワイガヤ機能による積極的な交流が実現できており、後半部分の高揚感是非常に高く、達成感も高くなっている。双方の自由記述欄でもポジティブな感想が得られた。一方、大阪府 J 高校【A11】フェーズ 2 の実験回では十分な交流時間を持てなかったこともあり、休憩時間の達成感は低く、「手の動きに気づいてもらえないのでは」という不安を述べている。フェーズ 2 の機能を（基本操作の習得だけでなく）コミュニケーションに活用するためには、ある程度の時間（慣れ）が必要である。

【遠隔側】

・遠隔側の気持ち温度計のうち、難易度はおしなべて低く、自由記述やインタビューでも各種ロボットの基本操作に大きな困難は見当たらなかった。また、難易度の高さは必ずしもネガティブな指標ではなく、新たなロボットや機能に挑戦する際、高揚感の上昇とともに難易度も上がる傾向が多く見られ、わくわくしながら新たな機能に取り組む様子がうかがえる。

・授業時間や休憩時間に教室側からの働きかけがあることは、遠隔側の高揚感上昇に強く影響していると言える。働きかけに対し、思うように交流ができなかった場合の達成感は低くなり、うまく交流できた場合は高くなる傾向が見られた。

・大阪府 H 高校（【A10】：Step 2 / フェーズ 1）、大阪府 J 高校（【A11】：Step 2 / フェーズ 2）では授業参加やロボット切り替えのタイミングの慌ただしさが達成感の低下につながったと見られ、「時間」「慣れ」が遠隔側の達成感に大きく影響すると推察された。特に Step 2 の実験参加者（患者）は、体調への配慮や治療のスケジュールとの調整が必要で、余裕を持った授業参加準備が課題の一つと考えられる。

・大阪府 J 高校の遠隔参加者【A11】は継続的に Kubi を使用しており、使い始めた頃と現在とを気持ち温度計で評価してもらった。操作の習熟にともない難易度は大きく下がり、高揚感もやや下がるものの、達成感が大きく上がっていることから、継続的な使用により「できる」ことの実感が強まり、自然な授業参加が可能になっている様子がうかがえる。

【教室側】

・授業中に教員と積極的なやりとりがあった、クラスメイトとのグループワークができた等のプロセスでは高揚感・達成感ともに高くなる傾向が見られたことから、教室側の高揚感・達成感は「遠隔参加者が教室内の“誰か”とコミュニケーションが取れている」ことが強く影響していると思われる。遠隔側と異なり、その交流が円滑であったかどうかと達成感に強い関連はなく、「交流できた」という事実が重要であることが読み取れた。

・教室側の評価シートでは「ロボットを介した交流の有無」についても調査しているが、交流の有無による明確な差異は見られなかった。遠隔参加者と相関の高い教室側参加者を抽出しても、交流の有無との関連は見られなかった。先述の、高揚感・達成感の鍵となる「遠隔参加者が教室内の“誰か”とコミュニケーションが取れている」について、“誰か”は必ずしも自分自身である必要はなく、遠隔側からの授業参加が感じられることが重要であると言える。

・性別による評価傾向についても、明確な差異は認められなかった。

・教室側自由記述からは「音」に関する記述が多く見られた。「遠隔側の音が気になる」「遠隔側の音質が悪い」といった内容の他、「声が大きい」「小声で話したいのに全部聞こえていた」といった音量に関する記述も見られた。

・加えて、おじぎ、頷きといったロボットの動きに対するポジティブな感想もしばしば見られ、ロボットの挙動を目にすること自体が、遠隔からの授業参加に対する高揚感・達成感に影響すると推察される。

これらの結果から、機能面では「より自然なミュート機能の ON/OFF インタフェース」「教室側の音環境に応じた遠隔側の音量調節機能」が双方の自然なやり取りに必要であると考えられる。また、遠隔側が困った時の意思表示方法についても検討の必要がある。

運営面では、遠隔側に対しては「教室側からの働きかけ」が高揚感向上に、「余裕をもったスケジュール」と「継続性」が達成感向上に影響すると言える。教室側に対しては「教室側と遠隔側のやり取りが見えること」が高揚感達成感を高める可能性が高く、授業中の働きかけの他、ロボットの動きなども有効であると思われる。

授業を実施する側にとっては、教室にいる生徒と、ロボット越しの遠隔側生徒の双方を意識するハイブリッド授業の難しさがあるが、遠隔側生徒の円滑な授業参加や積極的交流が、教室側生徒の高揚感・達成感の上昇につながっていると言え、両者の高揚感・達成感はトレードオフの関係ではなく、遠隔側への積極的な働きかけによる両立が可能であると考えられる。

[5-3-1] 政倉 祐子, 若林 尚樹, 田邊 里奈: 子どもの主観評定に基づく体験学習型ワークショップの定量評価—気持ちの変化を捉える評価ツールの提案とケーススタディー. 日本感性工学会論文誌, 15(1), 233-244 (2016).

5.4 動作・姿勢分析と運用指針

5.4.1 動作・姿勢分析の対象実験参加者

本実験趣旨に賛同頂いた N 中学校 2 年生女子 3 名(【A01】～【A03】), K 中学校 2 年生女子 2 名(【A04】 【A05】), および K 高校 1 年生男子 1 名(【A10】)の計 6 名の協力を得た(表 5.4.1). 授業形態や休憩時などの学校生活シーンによって活動内容が異なり, 動作・姿勢にも影響を与えられとされる. そこで, 学校教育生活区分として(PT)実習, (CL)座学, (PE)体育, (BR)休憩時間, (LB)昼食時間, (CT)掃除の 6 区分のカテゴリを設定した.

表 5.4.1 実験参加者の基本属性と実験設定条件

実験参加者コード	学年	性別	学校教育生活区分	内容	サンプリング時間 (秒)	遠隔側・タブレット 傾斜角(⑤)	平均画面距離 (⑥) (mm)	テレロボ		
								Kubi	temi	Keigan
A	N中学 2年(A01)	女	PE	体育	3030	63°	524	○	○	
			PT	PC演習	3585	55°	487	○		○
B	N中学 2年(A02)	女	PE	体育	2925	61°	472	○	○	
			PT	PC演習	3945	52-64°	475	○		○
C	N中学 2年(A03)	女	PT	PC演習	3075	49-61°	522	○		○
D	K中学 2年(A04)	女	BR	休憩時間	890	55-64°	533			○
			CL	座学 (国語)	3045	60°	579	○		
			CL	座学 (理科)	2895	60°	444	○		○
E	K中学 2年(A05)	女	LB	昼食	1110	55-63°	599		○	○
			BR	休憩	1380	60°	511			○
			CT	そうじ	975	58°	410	○		
F	H高校 1年(A10)	男	CL	座学 (理科)	2955	71°	572	○	○	

【区分コード】

PT: Practical Training (実習), CL: Classroom Learning (座学), PE: physical education (体育), BR: Breaks (休憩時間), LB: Lunch Break (昼食時間), CT: Cleaning Time (掃除)

テレロボ: テレポーテーションロボット. タブレット傾斜角⑤および画面距離⑥の定義は5.4.3参照.

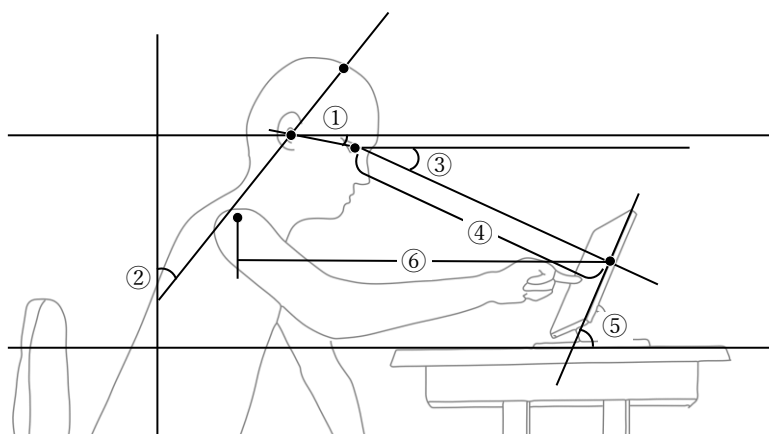
5.4.2 実験の手続き

実際の学校教育生活場面でテレポーテーションロボットを操作・体験した対象場面は, 体育館での体育, ドローンを用いたプログラミング PC 実習, 国語・理科の座学, 休憩時間, 昼食, 掃除であった. 各場面で実験参加者には適宜テレポーテーションロボットを切り替えて使用してもらった(表 5.4.1). タブレットの傾斜角や視距離は各自の好みで調整してもらった. なお, 遠隔側, 教室側には実験者を配置し, テレポーテーションロボットの切り替えや操作時のトラブルなどのサポートを行った.

矢状面（側面）の頭頸部角度や視線情報を測定するために、実験参加者（遠隔側）の着座側面にビデオカメラ（V50 Pro, 1920×1080 pixels, 30fps, mov 形式, AKASO 社製または HDR-CX470, 1280×720 pixels, 29.97fps, mp4 形式, SONY 社製）を設置, タブレット操作時の映像を記録した。

5.4.3 測定指標

図 5.4.1 に示す各計測パラメータを測定した。測定は解剖学的計測点の知識を有する理学療法士および医学部生の 2 名に事前に測定方法を習熟させた後、各画像の計測を行った。撮影した映像から、ワークサンプリング法（15 秒毎）で JPEG 画像として書き出し・プリントし、紙面上で測定を行った（図 5.4.2）。結果として用いるパラメータは、頭部角度、頸部角度、視線角度および視距離および注視率の 5 つである。頭部角度は基準水平線に対し屈曲を－, 伸展を＋, 頸部角度は基準垂線に対し屈曲を＋, 伸展を－, 視線角度は基準水平線に対し下向きを－とした。また、注視率はワークサンプリング法により抽出した画像の目線を基に、注視対象を画面, 机を見る・筆記, 目をつぶる, 前方・天井を見る, 教科書・書類を見る（手に持つ）, スマホを見る, の 6 分類でコーディングした。



計測パラメーター

- ① 頭部角度 (head tilt angle)
基準水平線とまぶたのラインと耳珠を結ぶ線(E-E line)のなす角度
- ② 頸部角度 (neck flexion angle)
基準垂線と外耳孔および頭頂を結ぶ線のなす角度
- ③ 視線角度 (viewing angle)
基準水平線と矢状面のモニター中心と目を結ぶ線のなす角度
- ④ 視距離(mm)
目と矢状面の視認対象物中心との距離
- ⑤ タブレット傾斜角 (tablet tilt angle)
基準水平線と矢状面のタブレットモニター面のなす角度
- ⑥ 画面距離(mm)
肩峰点の水平位置とモニター中心との距離

図 5.4.1 計測姿勢角度・距離の定義

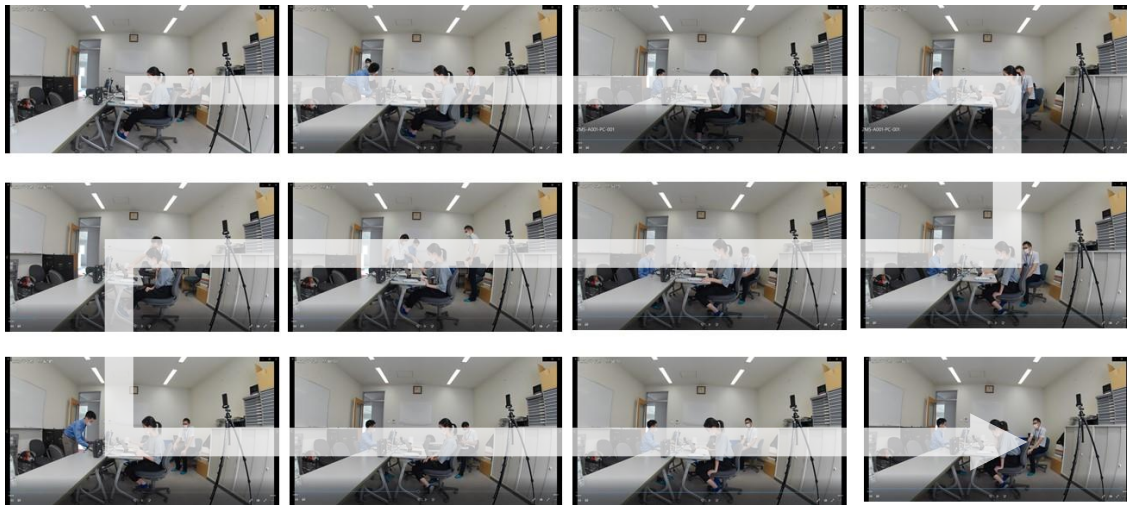


図 5.4.2 ワークサンプリング法の例（各画像は 15 秒毎の画像）

映像を一定間隔（今回の測定では 15 秒毎）で画像書き出しを行い，各画像を計測する．粒度は粗いが，タスク分析において全体像を把握するために古典的に用いられている time study 分野におけるサンプリング法のひとつ．

5.4.4 分析方法

学校教育生活区分コード別に，頭部角度，頸部角度，視線角度および視距離の個人内平均値を算出した．また， t 時点から $t+1$ 時点でどの程度姿勢が変動したかを把握するために，平均二乗偏位 (mean squared displacement) の平方根を平均偏位量（図 5.4.3）として求めた．個人の平均および平均偏位量を二変量のプロットデータとして散布図に示し，必要に応じて線形／非線形回帰モデルを求めた．注視率はワークサンプリング法により抽出した画像 1 枚を 15 秒換算し，全体の時間で除して求めた．平均視距離は，各実験参加者の個人内視距離の平均値および標準偏差を求めた．

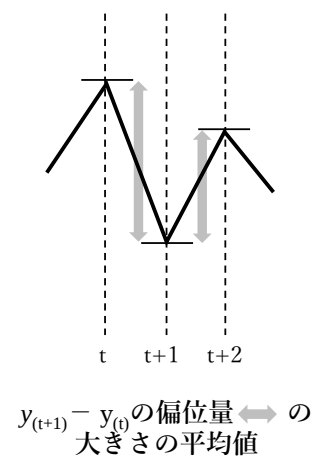


図 5.4.3 平均偏位量（平均二乗偏位の平方根）

また，各角度については，先行研究で参照可能な推奨範囲に関する知見で利用可能なものについては，散布図内に推奨範囲を示すこととした．

5.4.5 結果と考察

図 5.4.4～図 5.4.6 に PC 演習時の頭部角度（実験参加者 3 名）の時系列推移の例を示した（縦軸は正負反転）。基準線（▼）は、人間工学分野で用いられる上肢筋骨格系障害の簡便アセスメント手法である RULA[5-4-1]で採用されている頸部障害のリスク要因となる水準（10°）を示す。また、持続的に 30° を超えないようにすることも推奨されている（基準線（▼▼））[5-4-2]。30° を持続的に超える頭部角度はほとんど確認されなかったが、【A01】および【A02】の実験参加者は平均で 8.1° ～9.9° であること、また、【A12】は標準偏差も他の 2 人よりも相対的に小さく頭部の姿勢変動が少ないなどの特徴的な前屈姿勢が確認された。

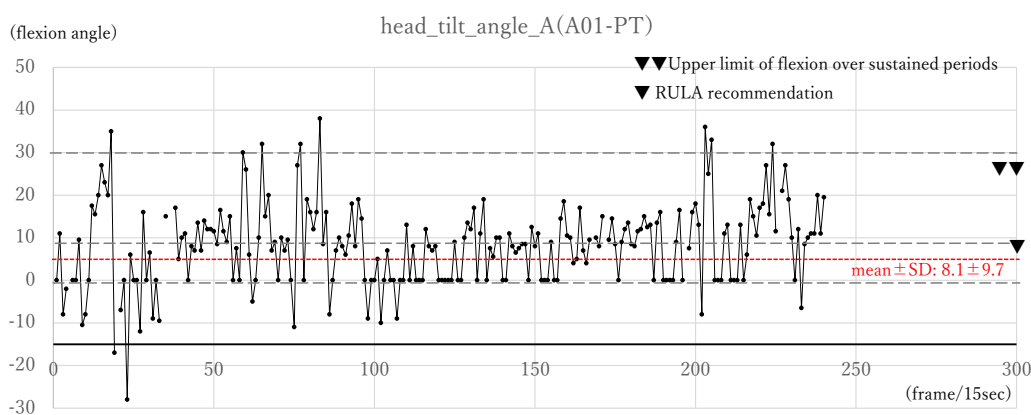


図 5.4.4 PC 演習時の頭部角度の時系列推移（sub.A: 実験参加者【A01】）

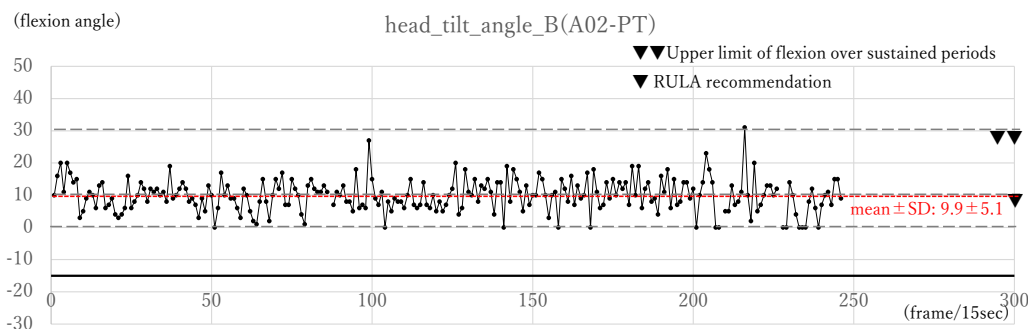


図 5.4.5 PC 演習時の頭部角度の時系列推移（sub.B: 実験参加者

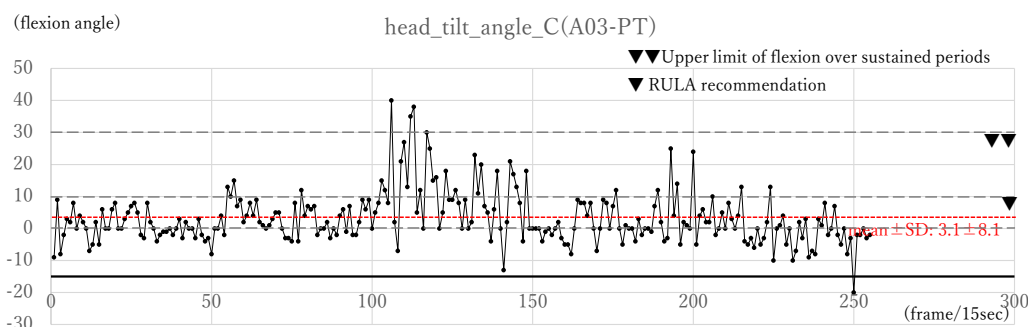
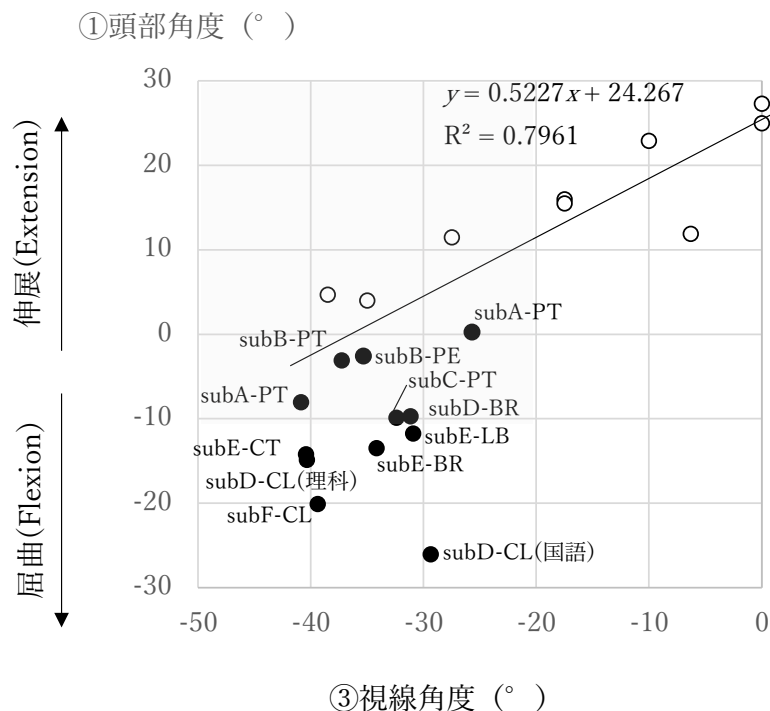


図 5.4.6 PC 演習時の頭部角度の時系列推移（sub.C: 実験参加者【A03】）

1) タブレット使用時の頭部角度と視線角度の関係

図 5.4.7 は授業区分別によるタブレット使用時の頭部角度と視線角度の関係を示す。グラフ内の○データは、情報機器を使うときの視線角度と頭部角度に関する先行研究 3 編 [5-4-3], [5-4-4], [5-4-5] のデータを基に、一般的な情報機器使用時の頭部角度・視線角度の基準ライン（回帰直線）を提示した。ハッチング領域で示した最適な視線角度は $-35^{\circ} \pm 15^{\circ}$ (ISO 9241-5), 頭部角度は 10° (RULA) を基に推奨範囲を示した。



【区分コード】

PT: practical training (実習)
PE: physical education (体育)
LB: lunch break (昼食時間)

CL: classroom learning (座学)
BR: breaks (休憩時間)
CT: cleaning time (掃除)

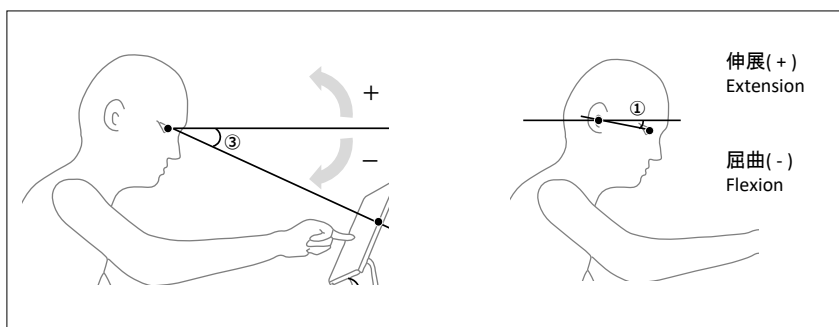


図 5.4.7 授業区分別によるタブレット使用時の頭部角度と視線角度の関係

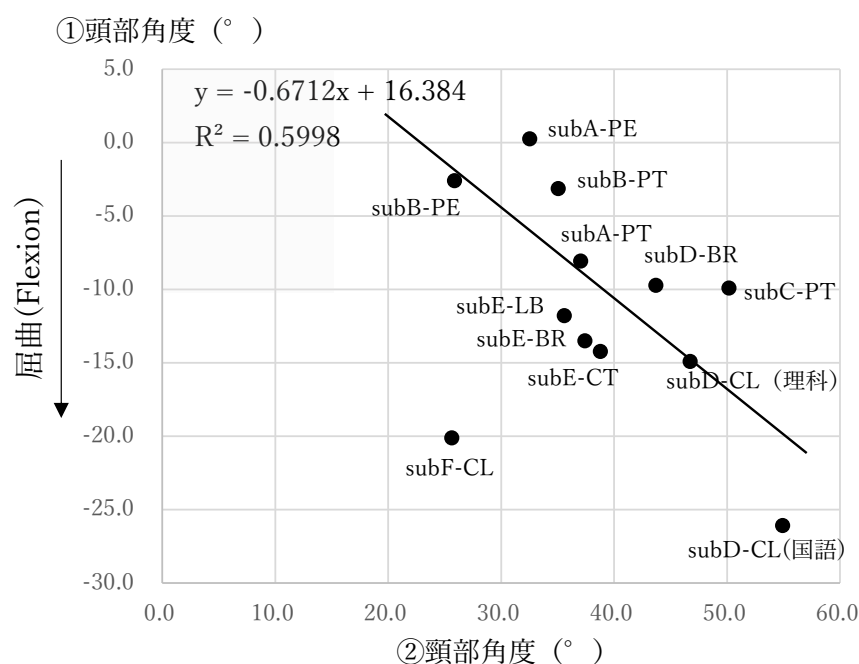
実習(PT)や体育(PE)、休憩(BR)は頭部角度・視線角度ともに推奨範囲に入っているが、座学(CL)は頭部屈曲角度も深く、視線角度も大きくなる傾向があった。また、先行研究で示されている一般的な情報機器使用時の頭部角度・視線角度の基準ライン(回帰直線)よりも、タブレット使用時は全体的に角度が深くなっているのも特徴である。座学(CL)では教科書の閲覧などが加わるため、机上に十分なスペースがない時には膝の上に教科書を置きながら授業を受けるなど、前屈姿勢を誘発する。一般的に、立位時よりも着座時の方が頭部角度は前屈になることが知られている。例えば、背もたれのない状態で“最も快適な座位姿勢”を取るように教示をすると、頭部角度はおおよそ 0° [5-4-6]となるが、通常の垂直座位姿勢では $+2^{\circ}$ 伸展(後屈)する[5-4-7]。垂直立位時は $+15^{\circ}$ 伸展する[5-4-8]ことが分かっている。このように、着座姿勢は立位時よりも頭部角度を前屈させるが、遠隔側でのタブレット操作および授業スタイルによって更に頭部前屈が誘発されていることを示している。

このように、視線角度・頭部角度がより深い前屈姿勢になる理由は主に2つある。ひとつは、タブレット端末を机上に設置するスペースに起因する。今回は実験環境であったこともあるが、タブレット端末の他、筆記用具、筆箱、教科書、ノート、関連の授業プリントなど、多様な教育資材を机上に置き、生徒は授業を受けている。十分なスペースが確保できないため、不自然な姿勢やより深い前屈姿勢を誘発することに繋がっている面が確認された。遠隔側でタブレット端末を使ってテレポーテーションロボットを介して授業を受講するためには、単に操作端末としてのタブレットのことだけを考えるのではなく、ワークステーション全体のレイアウトについても人間工学的に配慮(教科書やノートを置くスペースを考えて、レイアウトや机のサイズを考えるなど)するような、包括的な観点での環境整備が重要となってくる。

第二に、タブレット端末の設置位置があげられる。今回は、実験参加者の肩峰点からタブレットの中央までの画面距離は概ね $410\sim 590\text{mm}$ の範囲に設置されていたが、これは適正な視距離(40cm以上)の観点で設定されており、端末を手で操作するには距離が遠すぎる関係にある。そのために上腕・前腕は中空に挙上し、前のめりの姿勢でタブレット端末を操作する必要が生じるために、不良姿勢を誘発していたと考えられる。この問題は、ノートパソコン使用時の人間工学課題[5-4-9]としても有名であるが、操作部と表示部の適正作業域(reach envelope)は異なるにも関わらず、ノートパソコンは画面とキーボードが分離できないため、コンフリクトが生じる。タブレットにおいても、表示部と操作部が同一画面内に共存していることから、同質の問題が生じている。特に学校の授業のように、45分または50分授業 $\times$ 5、6コマと長時間の使用が伴う場合には、頸肩部の筋骨格系症状の訴えが増加するリスクがあるため、学校利用のテレポーテーションロボットの仕様としては、例えばジェスチャ操作で基本機能を操作できるようにするなど、操作部・表示部の機能配分の人間工学設計が必要であろう。

2) タブレット使用時の頭部角度と頸部角度の関係

図 5.4.8 は授業区分別によるタブレット使用時の頭部角度と頸部角度の関係を示す。ハッチング領域は、情報機器使用時の頸部角度（主にスマホを対象）の推奨角度 0-15° [5-4-10]および頭部角度は 10° を基にした推奨範囲を示す。先行研究で示されている一般的な情報機器使用時の頭部角度・頸部角度の基準角度よりも屈曲角度が大きく、タブレット使用時は全体的に角度が深くなっている。



【区分コード】

PT: practical training (実習)
PE: physical education (体育)
LB: lunch break (昼食時間)

CL: classroom learning (座学)
BR: breaks (休憩時間)
CT: cleaning time (掃除)

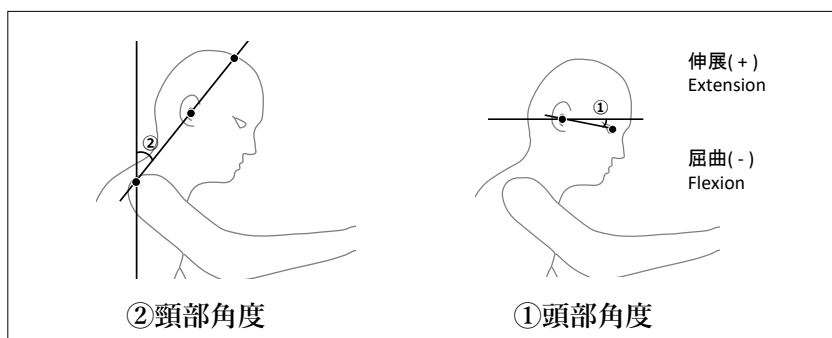


図 5.4.8 授業区分別によるタブレット使用時の頭部角度と頸部角度の関係

先行研究によれば、スマホ使用時の頸部角度は 33-45° (50%ile 値のレンジ) [5-4-11]と深く、非特異的頸部痛の症状との関連が懸念されているが、その角度と今回の実験での頸部角度はほぼ同程度であった。頸部角度が大きくなると、頭部角度も大きくなる関係があり、頸部角度はストレートネック関連の研究でよく用いられる指標のひとつである。人の頭部は一般的に成人男性であれば 5-6 kg の重量がある (図 5.4.9)。頸部角度が 15° 前屈するだけで、生体力学上の計算では頸肩部では約 12.3kg の負荷を保持しなければならず、角度が 30° では約 18 kg にものぼる [5-4-12]。座学 (理科・国語) では筆記割合が多く、実習 (PT) では画面注視に伴い頸部・頭部前屈姿勢が誘発され頸部角度が 50° 以上になるケースも確認された。年代も若く、短時間・短期間では直ちに健康影響が生じることはないと推察されるが、頸肩部に過大な負荷がかかっていることが推察され、頸部にかかる負担は通常の PC 作業よりも大きい可能性がある。このようなタブレット端末の利用姿勢が長時間かつ長期に渡って継続する際には、人間工学的な観点から適正な姿勢を取れるようにワークステーション全般について見直す必要があると考えられる。

なお、図 5.4.8 のプロット内、sub F (座学 (CL)) は他のデータとは傾向が異なり、頸部角度が浅い一方で頭部屈曲角度は深い関係がある。これは、高校の理科の授業で、授業時にテレポーテーションロボットの操作のタブレット端末とは別に、自分のスマートフォン端末を閲覧・操作していることによる。使う情報端末の種類や数によっても、このように姿勢の特徴は異なってくることも視野に置いておくことも重要であろう。

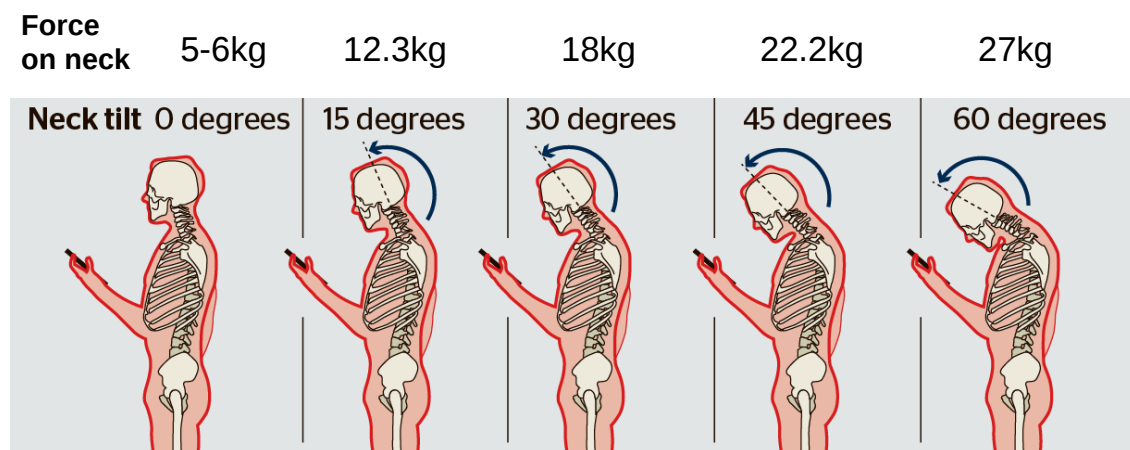


図 5.4.9 頸部角度と頸肩部への負荷の関係 [5-4-12]

3) タブレット使用時の頭部角度と視線角度の平均偏位量の関係

図 5.4.10 は授業区分別によるタブレット使用時の頭部角度と視線角度の平均偏位量の関係を示す。頭部角度の偏位量が大きくなるほど、視線角度の偏位量も大きくなる関係が示された（頭の動きと視線の動きの度合いは正の比例関係にある）。学校教育生活区分コード別にみると、体育(PE)、実習(PT)、休憩（BR）では頭部角度平均偏位量および視線角度平均偏位量とも小さい傾向があった。実習・体育・休憩時でのテレポーテーションロボットの使用時は頭部や視線が拘束（変化量が小さくなる）されていることが伺える。頭部姿勢の変動が小さく姿勢拘束が伴うことは、特に非特異的頸部痛のリスク因子となる。オフィスワーカーを対象とし、1980～2016年に公開された関連論文の中で一定の適確基準を満たすランダム化比較対照試験10編およびコホート研究2編の結果をメタ解析により統合した結果によれば、姿勢拘束に伴う持続的な筋緊張による頸部の筋骨格系症状の発症リスクは2.75倍（95%CI: 1.60-4.72）であった[5-4-13]。体育(PE)、実習(PT)、休憩（BR）では特に教室側の活動へ注意が求められるため、画面を注視し続けることで拘束姿勢が誘発され、平均偏位が小さくなっていると推察された。長時間姿勢拘束が伴う時には、姿勢変化を促すガイド

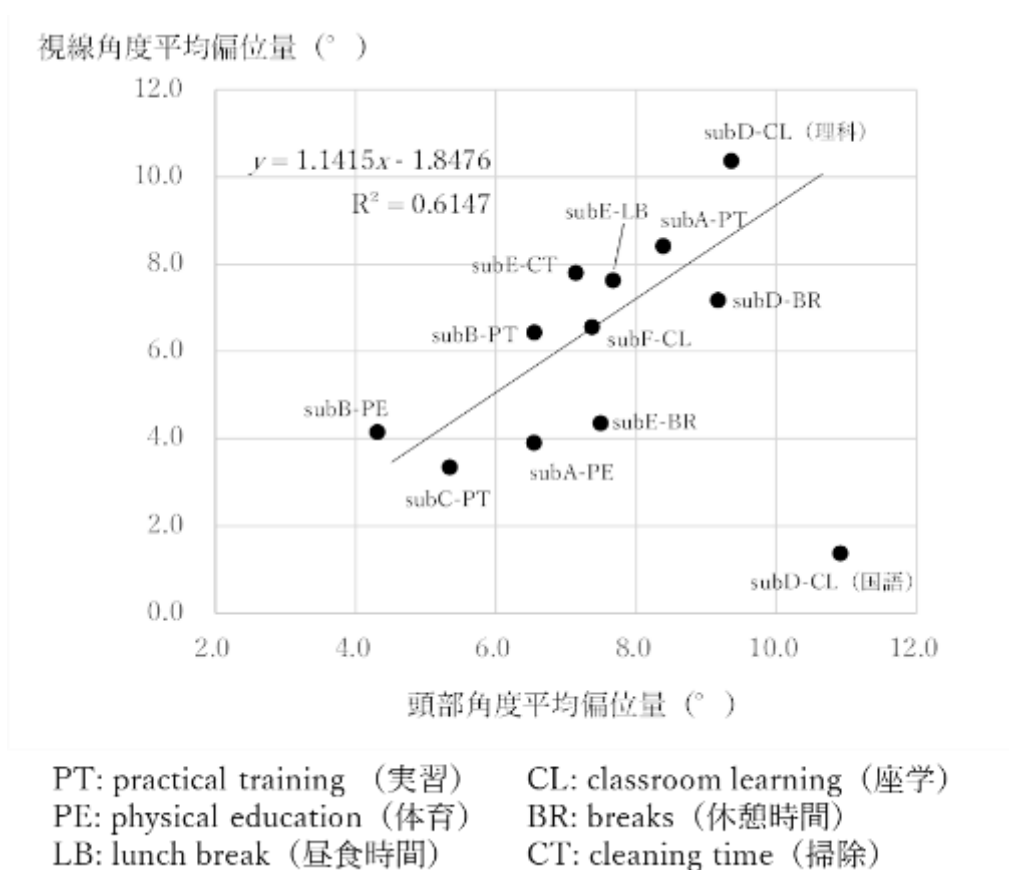


図 5.4.10 授業区分別によるタブレット使用時の頭部角度と視線角度の平均偏位量の関係

を表示するなど、連続して姿勢拘束を引き起こさないような配慮も必要となるであろう。また、頭部と視線の偏位は相互にリンクしていることから、筋骨格系症状と眼精疲労・目の不快感などの症状の訴えとも連動する可能性がある。頸部筋骨格系症状の予防および眼精疲労・目の不快感への総合対策として、「20-20-20 ルール（下記**コラム**参照）」[5-4-14]に代表されるような、情報機器の安全な活用を促す仕掛け・機能をテレポーテーションロボットの機能として実装することが望ましい。

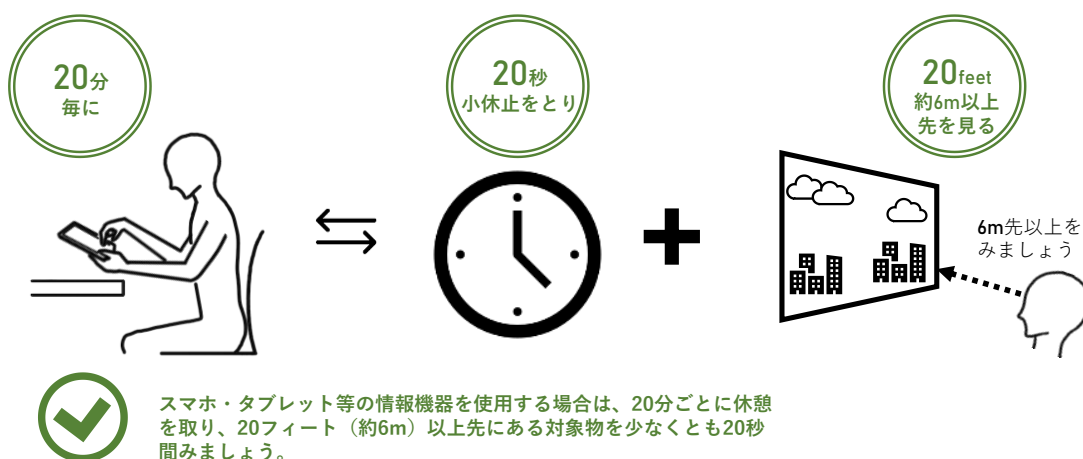
なお、subD-CL のみ、頭部角度平均偏位量が大きいにもかかわらず、視線角度平均偏位量は小さいケースが確認された。これは、国語の授業で教科書を腿の上に置き、教科書を凝視する受講スタイルに伴い発生している特異的なパターンである。

■コラム：「20-20-20 rule」とは？

スマートフォンやタブレット等の情報機器を使用する場合は、20 分ごとに休憩を取り、20 フィート（約 6m）以上先にある対象物を少なくとも 20 秒間みるようにしましょう、という人間工学ヒントです。

画面を長時間見続けることで、眼精疲労や姿勢拘束による筋肉・運動器系の不快感（首・肩の痛みなど）のような、様々な健康上の問題を引き起こす可能性があります。

この 20-20-20 ルールは、主に眼精疲労対策の観点から、カリフォルニアの眼科医 Jeffrey Anshel 氏が提案したものです。今日では、眼精疲労のみならず、筋骨格系障害予防や生産性の維持の観点からも、人間工学的に推奨されている実践のひとつです。



【出典】（一社）日本人間工学会、榎原 毅・松田文子（訳）「タブレット・スマートフォンなどを用いて在宅ワーク/在宅学習を行う際に実践したい7つの人間工学ヒント」日本人間工学会，2020（Creative Commons Attribution License CC-BY の条件に基づくオープンアクセス文書により，図を転載）

4) タブレット使用時の頭部角度と頭部角度平均偏位量の関係

図 5.4.11 は授業区分別によるタブレット使用時の頭部角度と頭部角度平均偏位量の関係を示す。頭部前屈角度が大きくなるほど平均偏位量は大きくなる関係が示された。頸部前屈角度の増加および平均変位量の減少（姿勢拘束）は、いずれか一方であっても非特異的頸部痛のリスク要因となる。それら組み合わせの特徴・傾向は、体育(PE)、実習(PT)では頸部前屈角度は 10 度未満だが頭部角度平均偏位量が小さくなること、逆に座学では頸部前屈角度が深くなるが、タブレット端末の視聴・操作以外にも教科書を見る・筆記をするという他の動作が組み合わさることにより平均偏位量は大きくなる。このように、体育(PE)、実習(PT)のような注意持続を伴う視聴スタイルの講義では連続的な姿勢拘束とならないように注意を促す機能を、逆に座学時には不良姿勢を検知して、姿勢矯正を促す機能を実装するなど、発達過程にある生徒の筋骨格系症状の予防のための配慮機能を実装することも有用であろう。横からの映像があれば画像解析で不良姿勢の検知を行える可能性はある(5.6.1)が、普及モデルへの実装には正面映像からの推定が必要である。また、将来的にタブレットに深度/距離センサ・カメラが実装されれば解決する。

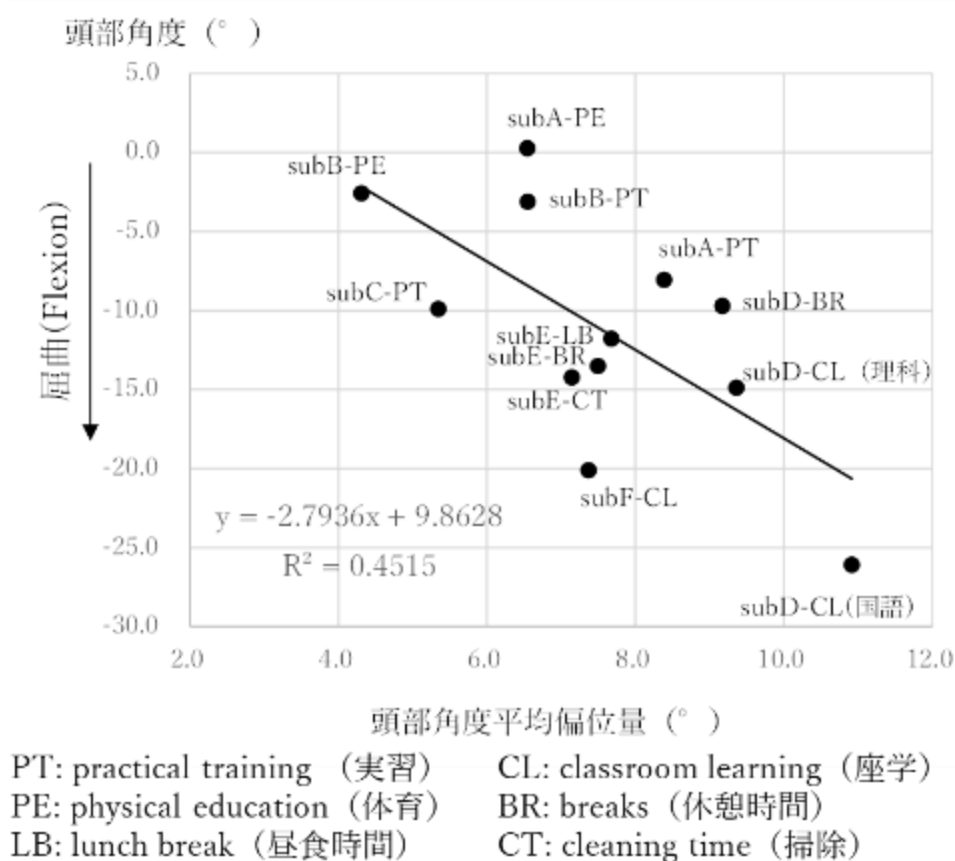


図 5.4.11 授業区分別によるタブレット使用時の頭部角度と頭部角度平均偏位量の関係

5) 視線対象物の注視率

図 5.4.12 は授業区分別によるタブレット使用時の視線対象物の注視率を示す。注視対象を「画面を見る」、「机を見る・筆記」、「目をつぶる」、「前方・天井を見る」、「教科書・書類を見る（手に持つ）」、「スマホを見る」の6分類でコーディングした結果、休憩(BR)、体育(PE)、実習(PT)では主に、注視対象の80%以上は画面をみていた。一方で、座学(CL)では画面注視率は少なくなり、代わりに机を見る・筆記などのタスクが組み合わさることで、常時画面を見続けることが回避されている。一般的に、自発光体であるディスプレイを長時間見続けることは、目の痛み、疲れ、ドライアイ、視力低下などを引き起こすため、回避すべきである。1時間以上情報機器を使用すると目の痛み(訴え率は5.3倍)、目の充血(4倍)など[5-4-15]、若い人に比べ中高年齢者群で訴えが顕著になることが知られているが、若年層においても当然配慮すべきである。特に画面注視率が高くなる体育(PE)や実習(PT)の授業時には、情報機器作業における労働衛生管理のためのガイドライン[5-4-16]に準拠し、常時画面を見続けることのないように、システム側がユーザに注意を促す機能を組み込むなど、配慮が望まれる。画面の連続注視時間や瞬目率は操作者のタブレットのカメラ映像を用いて推定できる可能性があり普及モデルへの実装が期待される。

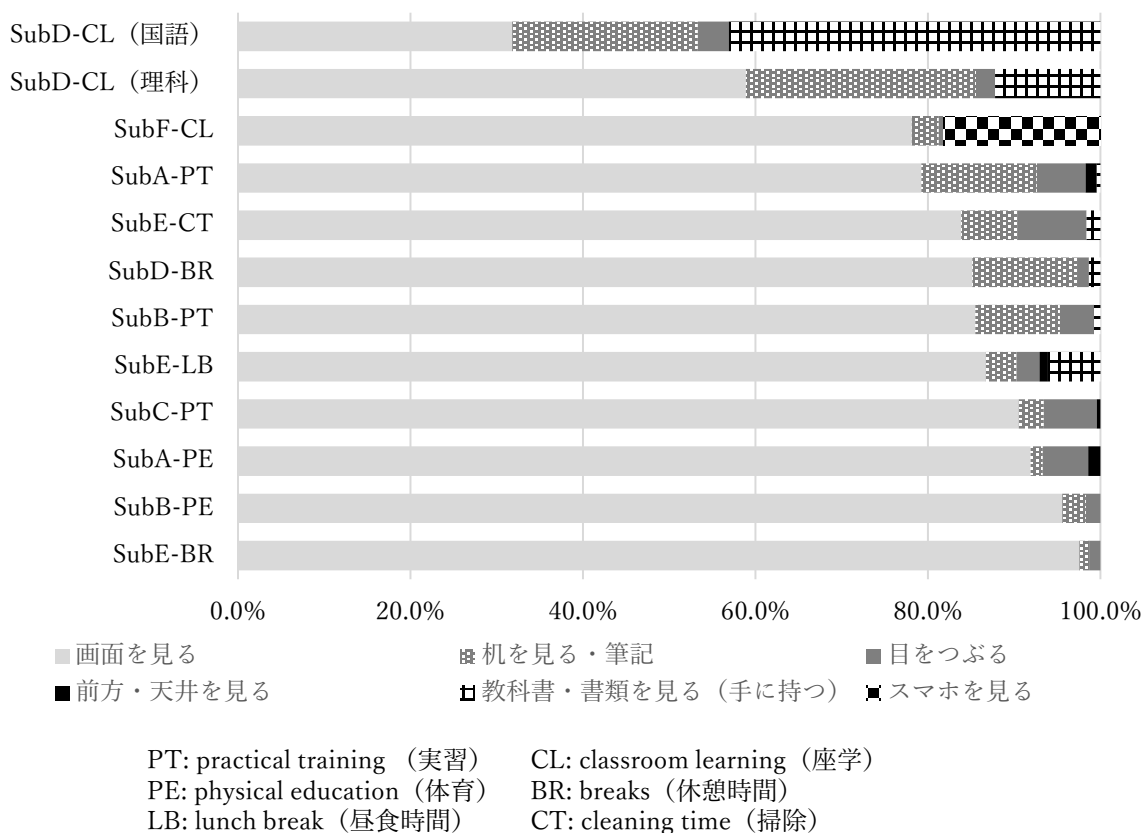
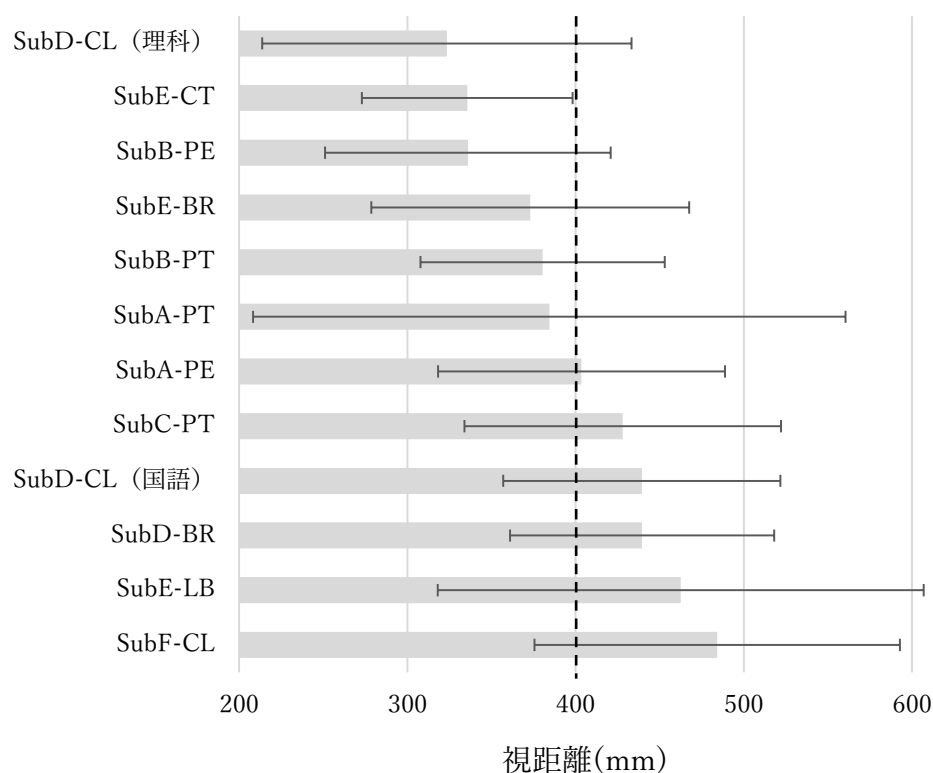


図 5.4.12 授業区分別によるタブレット使用時の視線対象物の注視率

6) タブレット操作時の視距離

図 5.4.13 は授業区分別によるタブレット使用時の視距離（目と矢状面の視認対象物中心との距離）を示す。タブレットの画面を注視するときは、その矢状面における中点と目の距離を、教科書などの対象物の時においても矢状面における中点と目の距離を写真上から測定した。ディスプレイまでの画面距離（表 5.4.1）は、概ね 410～590mm の範囲に設置されていたが、実際には図 5.4.13 に示すように約半数は 400mm を下回っていた。一般的には情報機器の表示部は 40cm 以上視距離を確保することが人間工学的にも推奨されているが、体育(PE)、実習(PT)、休憩(BR)など、教室側とのワイガヤや集中を伴う内容の時は視距離が 400mm よりも短くなる傾向が確認された（前傾姿勢が誘発され、視距離が短くなっていることが考えられる）。このような視距離の変化を当事者は自覚していない場合が多い。短時間・短期間の使用を想定する際には問題とならないが、長時間かつ中長期的に利用するような際には、画面に近づきすぎるときにはアラートを表示する機能など、遠隔側のユーザの健康を害することのないような配慮機能の実装が望まれる。視距離は不良姿勢と同じく横から撮影したカメラ映像の画像解析で推定できるが、普及モデルに実装するには正面映像からの推定手法が必要となる（5.9.2 参照）。



PT: practical training (実習) CL: classroom learning (座学)
 PE: physical education (体育) BR: breaks (休憩時間)
 LB: lunch break (昼食時間) CT: cleaning time (掃除)
 グラフのレンジは標準偏差

図 5.4.13 授業区分別によるタブレット使用時の視距離

7) 画面注視率と頭部角度平均偏位量

図 5.4.14 は授業区分別によるタブレット使用時の画面注視率と頭部角度平均偏位量の関係を示す。画面注視率が増えると頭部角度平均偏位量は小さくなる傾向が示されている。画面を注視すればするほど、頭部姿勢が拘束されるという関係性を利用して、姿勢拘束を回避するメッセージを表示する機能実装の際には、画面注視状況をタブレット内蔵のカメラ映像を用いてセンシングすることで頭部偏位量の推定が可能になると思われる。

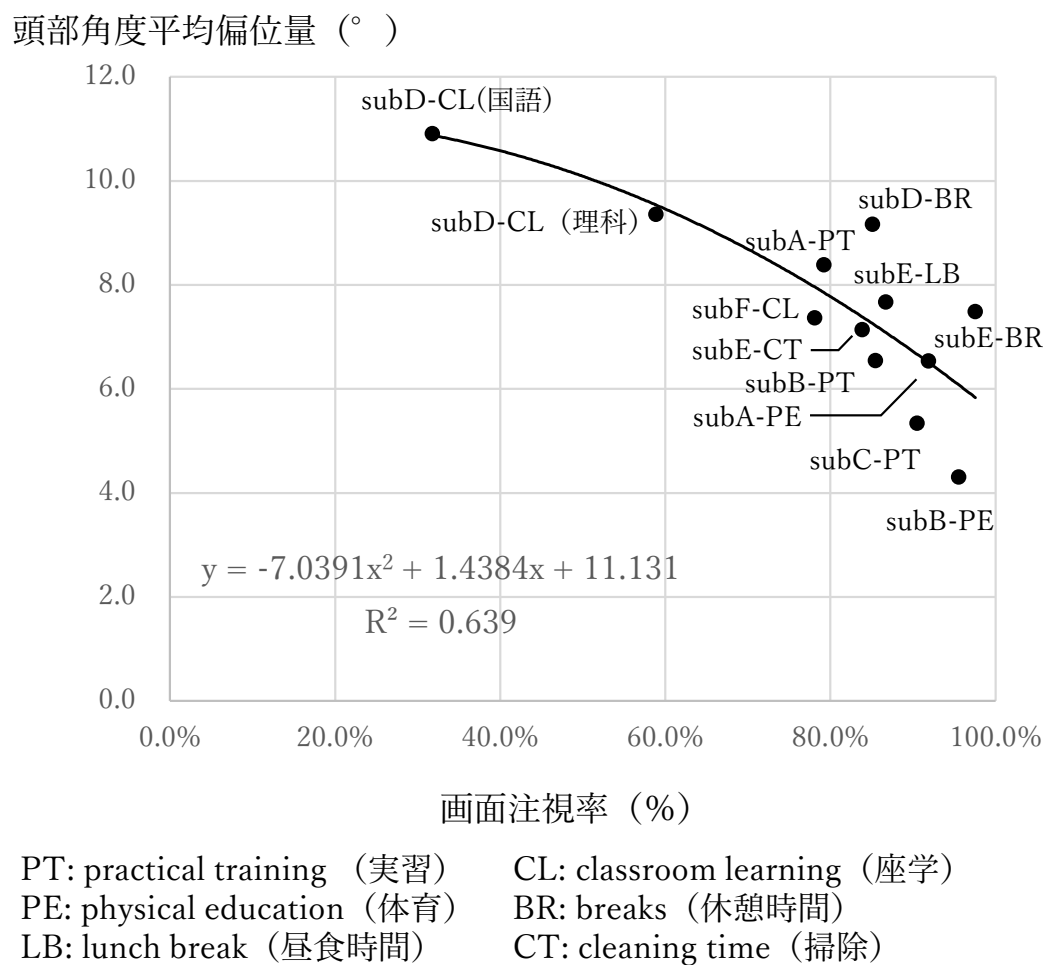


図 5.4.14 授業区分別によるタブレット使用時の画面注視率と頭部角度平均偏位量の関係

5.4.6 動作・姿勢から見たテレポーテーションロボット操作時の人間工学的運用指針・提言

学校教育生活を支援する技術のひとつとして、今後、テレポーテーションロボットの活用が期待される一方、学校生活への適用の際には人間工学的に配慮すべき事項がある。テレポーテーションロボットは遠隔からのアクセスを可能にし、異空間でのコミュニケーションを実現する効用が期待される一方で、ユーザを支援する技術の適切な利用についても同時に製品開発時には考慮しておく必要がある。特に、学校生活は授業のように一定の時間拘束や制約が生じることに伴い、遠隔側での端末操作もまたその文脈の制約を受ける。

テレポーテーションロボットの操作は主にタブレット端末を用いた情報機器操作であり、長時間使用に伴う人間工学課題についても実践導入前にあらかじめ検証をしておくことは肝要である。特にタブレット・スマートフォンを用いた長時間の情報機器使用と非特異的頸部痛の有病率増加[5-4-17]や眼精疲労との関連[5-4-18]などが近年懸念されている。今回の実験で得られた実際の学教教育場面におけるテレポーテーションロボット操作時の頭頸部角度特性や視線情報の結果を基に、生徒・教師とシステムの相互作用を学校教育という文脈および時間経過の観点から見直し、主に動作・姿勢・視線から見たテレポーテーションロボット操作時の人間工学的配慮事項を以下にまとめた。

1. タブレット端末を用いたテレポーテーションロボットの操作は、一般的な情報機器使用時の頭部角度・視線角度よりも特異的に深くなる特徴がある。過度な頭部前屈や視線角度を誘発させないために、操作部と表示部の機能配分の人間工学設計を行うこと。

・過度な前屈姿勢の要因のひとつは、タブレット端末の表示部・操作部の機能設計に起因する。人間工学指針では、適正な視距離は 40 cm 以上が推奨されているが、手作業による適正作業域 (reach envelope) は 40 cm 以下である。今回の実験条件では、画面距離は概ね 410～590 mm の範囲に設置されており、視距離を優先した配置となっているため、作業姿勢の観点からは適正作業域以外での操作を強いられることにより、頭部・体幹の前屈姿勢を誘発してしまう。例えば、テレポーテーションロボットの操作で頻繁に用いる操作はジェスチャ操作を採用したり、操作用コントローラ（たとえば、AYA 世代に馴染みのあるゲームコントローラなど）を用意するなど、表示部と操作部を分離させることで不良姿勢の軽減が可能となる。インタフェースは患者の状態に合わせて選定できるように多様なものを準備するべきである。

・コロナ禍時代の情報機器端末操作においては、非接触インタフェースが今後普及していくという予測もある。技術開発が加速することで、学校教育場面においても今後、表示部は VR ゴーグルを用い、ユーザビリティの高い、精度の高いジェスチャ操作の実現が近未来で普及する可能性もある。ジェスチャ操作を採用する際には、テレポーテーションロボットを介して遠隔側・教室側で行われる非言語コミュニケーションの種類（手を

振る、おじぎをする、などのノンバーバルコミュニケーションの種類)を同定し、それらと競合しない動作をジェスチャ操作に割り当てることに留意する必要がある。

2. テレポーテーションロボットシステムの学校教育場面への応用に際しては、学校生活の利用文脈をシステム視点で包含的に考慮し、必要な授業運営ガイドを提供すること。

- ・テレポーテーションロボットの学校教育への実践導入に際しては、端末操作を行う環境を「ワークステーション」という視点で捉え、人間工学的な環境整備方法に関する情報を提供すること。例えば、タブレット端末の他、筆記用具、筆箱、教科書、ノート、関連の授業プリントなど、多様な教育資材を机上に置き、生徒は授業を受けている。十分な机上スペースが確保できないと、不自然な姿勢やより深い前屈姿勢を誘発することに繋がる。単に操作端末として考えるのではなく、ワークステーション全体をシステム視点で捉え、適切な導入を促すように配慮することが望ましい。
- ・動作・姿勢・視線からみた運用ガイドとしては、体育・実習などアクティビティレベルの高い授業では画面注視率が高くなるため、授業運営に 20-20-20 rule を導入・実践するように講義運営を行うことも有効である。
- ・テレポーテーションロボットの操作に伴い、前傾不良姿勢を誘発するほか、表示される情報の質によってもそのような前傾姿勢は誘発される。例えば、座学では板書の文字が小さいと画面に表示される情報も小さく、焦点距離を短くするために前傾姿勢を誘発する。テレポーテーションロボットを活用する授業を実施する際には、板書の文字サイズに配慮してもらうほか、視聴画面サイズを最大限活用するために、縦横比率 (4:3 または 16:9) を意識した板書を行うなど、授業運営の工夫・協力も必要である。また、画面のズーム機能 (光学ズーム) の実装も解決に寄与する。
- ・講義でプロジェクタを使用する際には視環境を考慮すること。一般的には、現行の web カメラはダイナミックレンジ (光の強さの明暗の範囲) が狭いため、プロジェクタ投影画面を web カメラを介して視聴すると画面内の文字は白飛びしてしまう。このようにコントラスト (輝度比) が高いとスライド内容の識別が困難になるため、照度・輝度バランスを考慮教室内の視環境を整備すること (プロジェクタ使用の際には部屋を暗くする方がコントラストは高くなるので肉眼で見るときは見やすいが、ロボットのカメラを介して見るときにはむしろ部屋は明るい状況にしてコントラストを下げる方が見やすくなる)。
- ・板書やプロジェクタで提示される教材は、ロボットのカメラを介して見るだけでなく、画面共有などによる配信、あるいは事前に共有しておくなど、複数の方法で閲覧できる

ようにすべきである。これは、遠隔参加者のためだけでなく、教室側の生徒にとっても教育の質向上につながると考えられる。

3. テレポーテーションロボットシステムを学校教育場面に本格導入する際には、利用時間および利用期間を考慮し、授業コンテンツに応じた支援機能を実装すること。

- ・学校の授業は45分または50分授業が一日に5、6コマあるため、長時間の情報機器使用となる。中高生は年代も若く、短時間・短期間では直ちに健康影響が生じることはないと推察されるが、目や頸肩部に過大な負荷がかかっていることが推察され、特に頸部にかかる負担は通常のPC作業よりも大きい可能性に留意する必要がある。
- ・体育・実習・休憩の学校生活シーンでのテレポーテーションロボットの使用は、画面の注視率が高く、姿勢拘束を誘発する。画面注視率と頭部角度平均偏位量は相関関係があることから、タブレット内蔵のwebカメラ映像から画面注視状況や瞬目頻度をセンシングし、一定時間注視しているときには拘束姿勢になっていることのアラートを表示するなど、人間工学に配慮した機能を実装すること。
- ・座学時には、拘束姿勢よりも過度な前屈姿勢を誘発しがちになる。不良姿勢を検知してアラートを通知する機能を実装することが技術的に困難であれば、例えば、授業で用いる教育資材の配置や机上レイアウトの適切な設定条件などをインストールガイドとして利用者に伝えることで、適切な環境設定を利用者に促すことも可能となる（筆記・教科書を置く十分なスペースを確保すること、教科書の配置はタッチパネルに近接して配置し、筆記はタッチパネルの手前（体の正中位置）で行えるよう机上空間を整備すること、タブレット端末の設置高は目線と水平かやや下向きになるように高さを調整することなど）。
- ・体育・実習・休憩の学校生活シーンでのテレポーテーションロボットの使用は、画面注視率だけでなく、視距離も短くなる傾向にある。タブレット端末に深度/距離センサ・カメラが実装されれば視距離の推定は容易であるが、タブレット内蔵のwebカメラ映像からも視距離を推定できる可能性があり、画面に近づきすぎる時にはアラートを通知する機能を実装することも有用である。
- ・座学系／実習系／ワイガヤ系モードとして、利用シーンに応じたユーザインタフェースを提供することもひとつのソリューションとなる可能性がある。ユーザインタフェース設計におけるユーザ要求仕様を具体化し、設計仕様に落とし込む人間中心設計プロセスを導入することが有用と思われる。各授業コンテンツの特性を抽出し、その教育効果を最大化させるために必要な技術要件・支援機能要件を整理すると共に利用者の心

身健康リスクを軽減するように、well-being と system performance の適正化視点で実装モードを整理することが望ましい。

参考文献

- [5-4-1] McAtamney L, Nigel Corlett E. RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Appl Ergon.* 1993 Apr;24(2):91-9. doi: 10.1016/0003-6870(93)90080-s.
- [5-4-2] Chaffin DB. Localized muscle fatigue--definition and measurement. *J Occup Med.* 1973 Apr;15(4):346-54.
- [5-4-3] Sommerich, C. M., Joines, M. B., and Psihogios, J. P. Effects of VDT Viewing Angle on User Biomechanics, Comfort, and Preference, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 42(12):861-865, 1998, <https://doi.org/10.1177/154193129804201205>
- [5-4-4] Villanueva MB, Sotoyama M, Jonai H, Takeuchi Y, Saito S. Adjustments of posture and viewing parameters of the eye to changes in the screen height of the visual display terminal. *Ergonomics.* 1996 Jul;39(7):933-45. doi: 10.1080/00140139608964515.
- [5-4-5] Turville KL, Psihogios JP, Ulmer TR, Mirka GA. The effects of video display terminal height on the operator: a comparison of the 15 degree and 40 degree recommendations. *Appl Ergon.* 1998 Aug;29(4):239-46. doi: 10.1016/s0003-6870(97)00048-3.
- [5-4-6] Gray FE, Hanson JA, Jones FP. Postural aspects of neck muscle tension. *Ergonomics.* 1966 May;9(3):245-55. doi: 10.1080/00140136608964375.
- [5-4-7] Hongwei Hsiao, W.Monroe Keyserling. Evaluating posture behavior during seated tasks, *Int J of Ind Ergon.* 1991 8(4):313-334. doi: 10.1016/0169-8141(91)90068-W
- [5-4-8] Jampel RS, Shi DX. The primary position of the eyes, the resetting saccade, and the transverse visual head plane. Head movements around the cervical joints. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1992 Jul;33(8):2501-10.
- [5-4-9] 一般社団法人日本人間工学会. 2010 年版 ノートパソコン利用の人間工学ガイドラインーパソコンを快適に利用するためにー, <https://www.ergonomics.jp/official/page-docs/product/guideline/notePC-guideline-2010.pdf>. 最終閲覧日 2021.3.9
- [5-4-10] Namwongsa S, Puntumetakul R, Neubert MS, Boucaut R. Effect of neck flexion angles on neck muscle activity among smartphone users with and without neck pain. *Ergonomics.* 2019 Dec;62(12):1524-1533. doi: 10.1080/00140139.2019.1661525.
- [5-4-11] Lee S, Kang H, Shin G. Head flexion angle while using a smartphone. *Ergonomics.* 2015;58(2):220-6. doi: 10.1080/00140139.2014.967311.
- [5-4-12] Hansraj KK. Assessment of stresses in the cervical spine caused by posture and position of the head. *Surg Technol Int.* 2014

- [5-4-13] Jun D, Zoe M, Johnston V, O'Leary S, Physical risk factors for developing non-specific neck pain in office workers: a systematic review and meta-analysis, *Int Arch Occup Environ Health*. 2017 Jul;90(5):373-410
- [5-4-14] (一社) 日本人間工学会、榎原 毅・松田文子 (訳) 「タブレット・スマートフォンなどを用いて在宅ワーク/在宅学習を行う際に実践したい 7 つの人間工学ヒント」 日本人間工学会, 2020, https://www.ergonomics.jp/official/page-docs/product/report/7tips_guideline_0623_Jp_final.pdf. 最終閲覧日 2021.3.9. (オリジナル: Japan Human Factors and Ergonomics Society, Ebara T and Yoshitake R (Eds.), *Seven Practical Human Factors and Ergonomic Tips for Teleworking/Home-learning using Tablet/Smartphone Devices*, First Edition, IEA press, 2020)
- [5-4-15] 山本健也, 砂見勝博, 他. 中高齢者における VDT 作業による自覚症状の特徴および要因に関する分析, *産業衛生学雑誌*, 44(suppl):496, 2002
- [5-4-16] 厚生労働省. 情報機器作業における労働衛生管理のためのガイドラインについて (基発 0712 第 3 号, 2019 年 7 月), https://www.mhlw.go.jp/web/t_doc?dataId=00tc4418&dataType=1&pageNo=1. 最終閲覧日 2021.3.9.
- [5-4-17] Cohen SP. Epidemiology, diagnosis, and treatment of neck pain. *Mayo Clinic Proceedings*. 2015, 90(2), p284-99. doi: 10.1016/j.mayocp.2014.09.008. PMID: 25659245.
- [5-4-18] Kim DJ, Lim CY, et al. Visual fatigue induced by viewing a tablet computer with a high-resolution display. *Korean Journal of Ophthalmology*. 2017, 31(5), p388-393. doi: 10.3341/kjo.2016.0095.

5.5 言語・非言語情報を用いたコミュニケーションの特徴分析

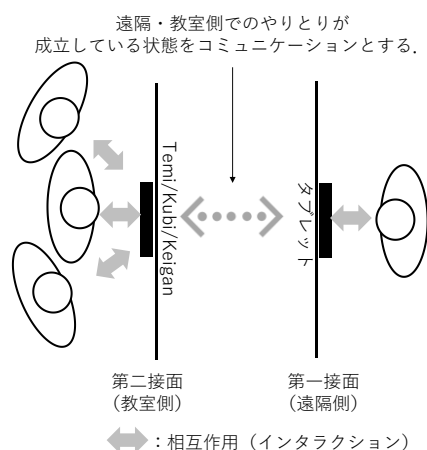
5.5.1 分析方法および測定指標

テレポーテーションロボットシステムを介したコミュニケーションを定量的に評価し、インタラクションの特徴を把握するために発話プロトコル分析[5-5-1]を行った。映像データ(Zoom のキャプチャ画面)から遠隔側・教室側の発話内容・やりとりを言語情報(バーバルコミュニケーション:VC)として時系列に書き起こした。併せて、非言語情報(ノンバーバルコミュニケーション:NVC[5-5-2], 身振り・手振り・笑顔で反応・お辞儀など、言語以外でのコミュニケーション)も時系列でその頻度と内容を書き出した。それらの言語・非情報を手がかりに、

表 5.5.1 言語・非言語コミュニケーションの各指標

指標	内容
①a 発話量 (文字数)	コミュニケーションの総量の指標。遠隔側および教室側それぞれの <u>発話量</u> を集計。
①b 話者間発話比 (%) (VC 比)	発話量 (①a) の話者間比率の指標。遠隔側・教室側のコミュニケーションの <u>均等度</u> 合いを表す。「遠隔側：教室側=1:1」(それぞれ 50%) で均衡が取れている状態を示す。
①c 言語コミュニケーション密度 (words/min) (VC 密度)	単位時間 (1 分間) あたりのコミュニケーション量の指標。言語によるコミュニケーションがどの程度システムを介して行われているかを単位時間あたりの文字情報量で換算した。コミュニケーションの <u>活性度</u> を示す指標。
② 会話方向性	遠隔側、教室側のどちらからコミュニケーションを開始したか (トリガー), 会話のトリガー数比率: [遠隔側/教室側] の指標。数値が 1 以上のときは遠隔側が優位, 1 未満では教室側優位でコミュニケーションの <u>主導権</u> (ピッチャー側) を示す。
③a ノンバーバルコミュニケーション量 (action) (NVC 量)	身振り・手振り・笑顔で反応・お辞儀など、言語以外でのコミュニケーションのアクション数。遠隔側および教室側それぞれの NVC <u>アクション量</u> を集計。
③b 話者間ノンバーバルコミュニケーション比 (NVC 比)	NVC 量 (③a) の話者間アクション数比率の指標。遠隔側・教室側の NVC の <u>均等度</u> 合いを表す。「遠隔側：教室側=1:1」(それぞれ 50%) で均衡が取れている状態を示す。
③c ノンバーバルコミュニケーション密度 (action/min) (NVC 密度)	単位時間 (1 分間) あたりの NVC 量の指標。非言語によるコミュニケーションがどの程度システムを介して行われているかを単位時間あたりのアクション量で換算した。コミュニケーションの <u>活性度</u> を示す指標。

コミュニケーションの活性度やその方向性，割合を用いた各指標を定義し，コミュニケーションの特性を調べた（表 5.5.1）．なお，システムを介したコミュニケーションには，図 5.5.1 に示すように，第一界面・第二界面が存在する．それぞれの界面において人と端末（タブレット，Kubi/temi/Keigan）の相互作用があり，第一・第二界面の相互作用が遠隔側・教室側に適切に遠隔通信にて接続され，人と人が VC または NVC でやりとりされている状態がコミュニケーションとなる．遠隔・教室側の間でのコミュニケーションが成立している状況のみを発話データとして書き出した．



図表 5.5.1 第一界面と第二界面

5.5.2 各指標の基本集計

映像の音声トラックの音声解析が可能であった実験参加者 8 名の各指標の基本統計（解析に用いた総サンプリング時間：1089.5 分）を図 5.5.2～図 5.5.5 にまとめた．発話量は，遠隔側は 151.9 words であったのに対し，教室側では 242.6 words であり，コミュニケーション総量は教室側の方が多かった傾向があった（図 5.5.2）．遠隔側・教室側のコミュニケーションの均等度合いは，VC 比および NVC 比とも均衡度は低く教室側優位であった（図 5.5.3）．また，1 分当たりの言語コミュニケーション密度は 22.7 words/min，ノンバーバルコミュニケーション密度は 1.2 actions/min であり，非言語コミュニケーションも積極的に活用されていた（図 5.5.4）．会話の主導権は，4 回中 3 回は教室側から会話が開始されていた（24.5% で教室側優位，図 5.5.5）．その他，言語・非言語情報を用いたコミュニケーションの各指標の結果一覧を表 5.5.2 に示した．学校教育生活区分，基本・拡張機能区分、中学・高校区分、テレポーテーションロボット区分別に各指標の基礎統計量を示した．

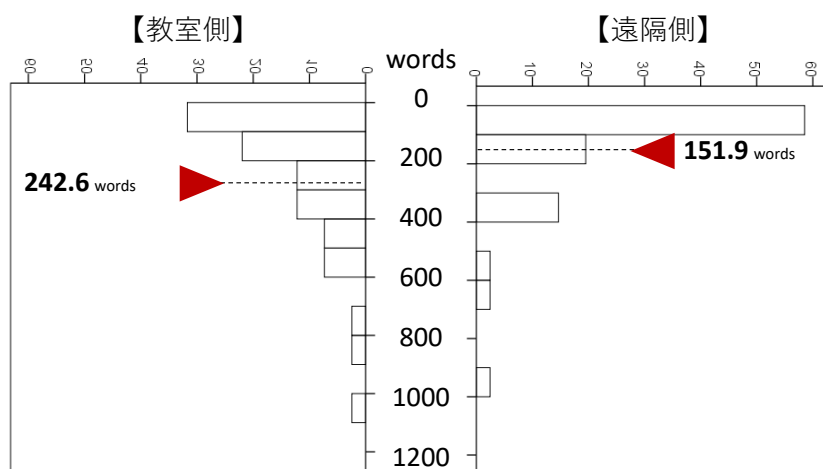


図 5.5.2 遠隔側・教室側の発話量（①a）の比較

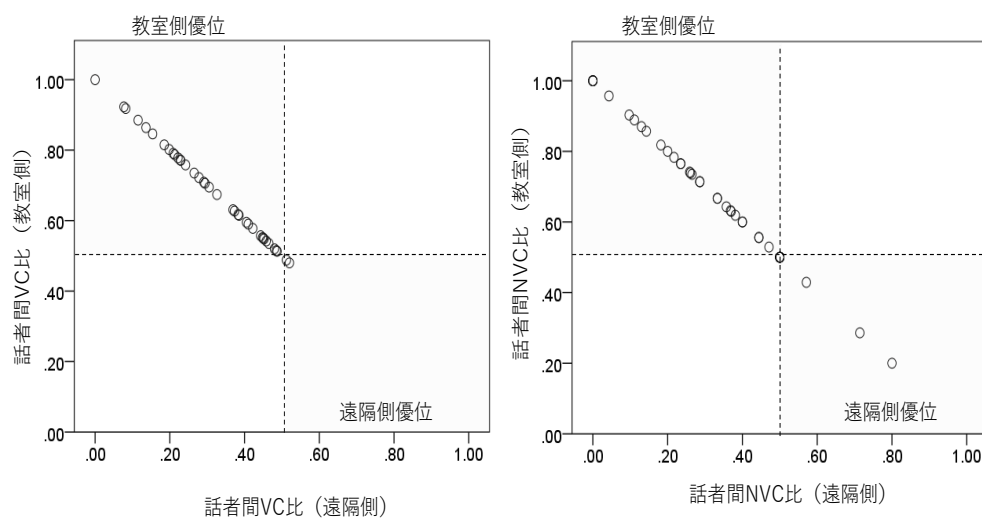


図 5.5.3 話者間発話比 (VC 比, 左) と話者間ノンバーバルコミュニケーション比 (NVC 比, 右)

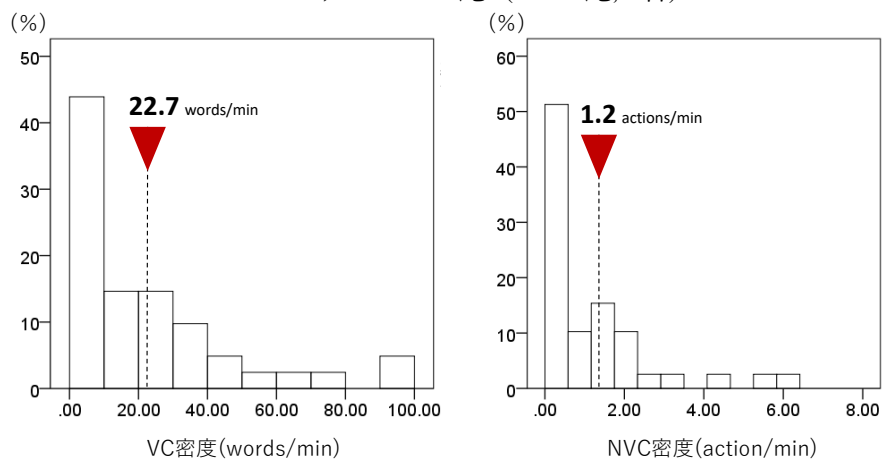


図 5.5.4 言語コミュニケーション密度 (VC 密度, 左) とノンバーバルコミュニケーション密度 (NVC 密度, 右)

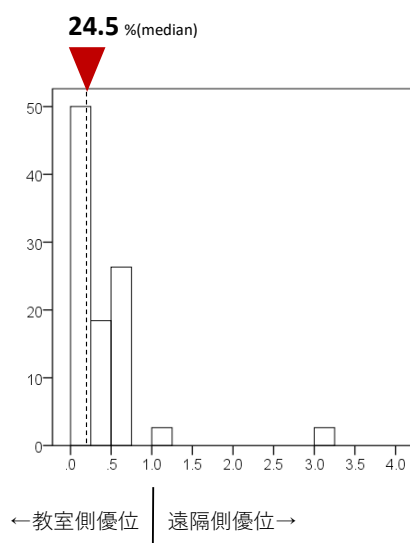


図 5.5.5 会話方向性 (会話のトリガー数比率)

表 5.5.2 言語・非言語情報を用いたコミュニケーションの各指標の結果一覧

美証実験校 (入院先病院)	Phase		Step	実験 実施日 (2020年)	参加者 (遠隔)	学校教育生活区分	サンプリング時間帯	sampling time (分)	テレロボ		①a_発話量 (words)		①b_話者間発話 (VC)比 (%)		①c_言語コミュニ ケーション (VC)密度 (words/min)	② 会話方 向性(遠隔 側/教室 側のトリ ガー数比 率)	③a_ノンバー バルコミュニ ケーション (NVC)量 (action)		③b_話者間ノンバー バルコミュニ ケーション(NVC)比(遠 隔側/教室側の action数比率)		③c_ノンバーバー ルコミュニケーション(NVC)密 度 (action/min)	
	1 基本機 機能	2 拡張機 機能							Kubi	Temi	Keigan	①a_発話量 (words)	①b_話者間発話 (VC)比 (%)	③a_ノンバー バルコミュニ ケーション (NVC)量 (action)			③b_話者間ノンバー バルコミュニ ケーション(NVC)比(遠 隔側/教室側の action数比率)					
1) 奈良県N中	○	○		7/21~22																		
2) 兵庫県K中	○			8/25	【A04】 中学2年 女子A	BR(休憩・廊下)	9:43:00-9:50:00	7	○	○	73	125	36.9%	63.1%	28.3	0.20	4	10	28.6%	71.4%	2.0	
		CL (授業)	9:50:00-10:40:00			50	○		342	430	44.3%	55.7%	15.4	0.20	15	6	71.4%	28.6%	0.4			
		BR(休憩)	10:40:00-10:50:00 *3分間欠損あり			7	○		77	159	32.6%	67.4%	33.7	0.17	9	9	50.0%	50.0%	2.6			
		CL (授業)	10:50:00-11:40:00			50	○		25	60	29.4%	70.6%	1.7	0.00	4	3	57.1%	42.9%	0.1			
		BR(休憩)	11:40:00-11:47:30			7.5		○	78	203	27.8%	72.2%	37.5	0.17	4	6	40.0%	60.0%	1.3			
					8/25	【A05】 中学2年 女子B	LB (昼食・休憩)	12:47:00-13:22:00	35	○		382	467	45.0%	55.0%	24.3	0.50	20	34	37.0%	63.0%	1.5
		CL (授業)	13:24:00-14:15:00	51			○		98	144	40.5%	59.5%	4.7	0.17	4	1	80.0%	20.0%	0.1			
		BR(休憩)	14:15:00-14:18:00	3			○		3	23	11.5%	88.5%	8.7	0.00	2	4	33.3%	66.7%	2.0			
		CL (授業)	14:29:00-15:15:00	46			○		369	424	46.5%	53.5%	17.2	0.40	4	4	50.0%	50.0%	0.2			
		CT (掃除)	15:15:00-15:36:00 *0.5分欠損あり	20.5			○		373	850	30.5%	69.5%	59.7	0.65	10	10	50.0%	50.0%	1.0			
					8/28	【A06】 中学2年 男子	BR(休憩・ホームルーム)	8:31:30-8:46:00	14.5	○	○	33	39	45.8%	54.2%	5.0	0.00	4	5	44.4%	55.6%	0.6
		BR(休憩・ホームルーム)	9:42:00-9:50:00 *1分間欠損あり	7			○	○	124	200	38.3%	61.7%	46.3	0.57	8	13	38.1%	61.9%	3.0			
		CL (授業)	9:50:00-10:40:00	50			○	○	528	572	48.0%	52.0%	22.0	0.42	6	17	26.1%	73.9%	0.5			
		CL (授業)	10:50:00-11:40:00	50			○		194	185	51.2%	48.8%	7.6	0.11	4	13	23.5%	76.5%	0.3			
		LB (昼食)	12:53:00-13:05:00	12			○		2	7	22.2%	77.8%	0.8	0.00	2	3	40.0%	60.0%	0.4			
			8/28	【A07】 中学2年 男子	BR(休憩)	13:05:00-13:25:00	20	○	○	49	587	7.7%	92.3%	31.8	0.00	1	22	4.3%	95.7%	1.2		
CL (授業)	13:25:00-14:15:00	50			○	○	25	42	37.3%	62.7%	1.3	0.00	0	15	0.0%	100.0%	0.3					
BR(休憩・移動)	14:15:00-14:30:00	15				○	54	344	13.6%	86.4%	26.5	0.50	4	13	23.5%	76.5%	1.1					
CL (授業)	14:30:00-15:15:00	45			○	○	104	326	24.2%	75.8%	9.6	0.00	1	6	14.3%	85.7%	0.2					
CT (掃除)	15:26:00-15:30:00	4			○		18	73	19.8%	80.2%	22.8	0.00	0	7	0.0%	100.0%	1.8					
3) 奈良県N中	○	○		11/2																		
4) 大阪府H高←→ 大阪府O病院	○			12/2	【A10】 高校1年 男子	CL (授業)	8:40:00~9:30:00 *28分欠損	22	○		26	88	22.8%	77.2%	5.2	0.50	2	5	28.6%	71.4%	0.3	
		BR(休憩)	9:30:00~9:40:00 *4分間欠損			6	○		11	37	22.9%	77.1%	8.0	0.50	4	5	44.4%	55.6%	1.5			
		CL (授業)	9:46:00~10:30:00 *5分欠損			39	○		92	340	21.3%	78.7%	11.1	0.67	0	11	0.0%	100.0%	0.3			
						BR(休憩)	10:30:00~10:34:30	4.5	○		32	46	41.0%	59.0%	17.3	3.00	1	8	11.1%	88.9%	2.0	

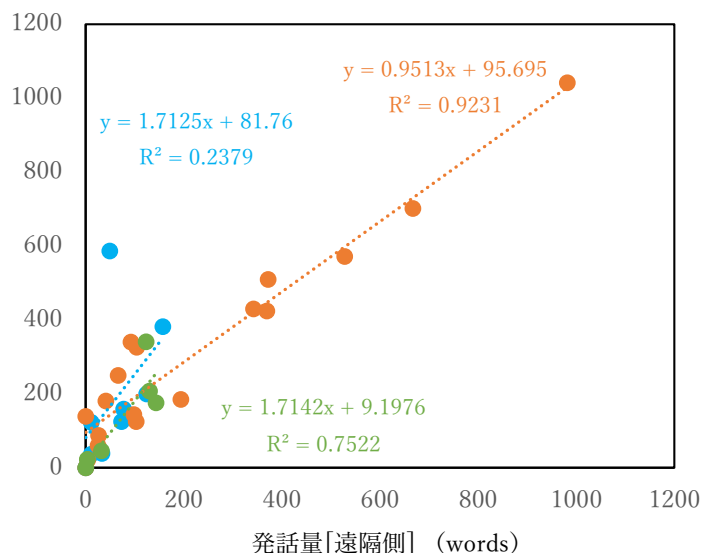
表 5.5.2 言語・非言語情報を用いたコミュニケーションの各指標の結果一覧（続き）

実施実験校 (入院先病院)	Phase		Step	実験 実施日 (2020年)	参加者 (速隔)	学校教育生活区分	サンプリング時間帯	sampling time (分)	テレロボ			①a_発話量 (words)		①b_話者間発話 (VC)比 (%)		①c_言語コミュニ ケーション (VC)密度 (words/min)	② 会話方 向性(「速隔 側/教室 側」のトリ ガー数比 率)	③a_ノンバー バルコミュニ ケーション (NVC)量 (action)		③b_話者間/ノンバー バルコミュニケー ション(NVC)比[速 隔側/教室側]の action数比率)		③c_ノンバーバ ルコミュニケー ション(NVC)密 度 (action/min)
	1 基本 機能	2 拡張 機能							Kubi	Temi	Keigan	(単位:単語数/分)	発話頻度	(単位:単語数/分)	発話率			(単位:単語数/分)	発話率			
5) 大阪府J高↔ 京都府K病院	○		○	12/7	【A11】 高校1年 男子	CL (授業) BR(休憩) 授業 BR(休憩)	10:50:00～11:40:00 11:44:30-11:50:30 11:52:00-12:15:00 12:39:30-12:45:00	50 6 23 5.5	○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○	41 11 0 157	18.5% 8.2% - 29.1%	81.5% 91.8% - 70.9%	4.4 22.3 0.0 98.0	0 0 - 0	6 2 - 3	50.0% 20.0% - 13.0%	50.0% 80.0% - 87.0%	0.2 1.7 - 4.2			
6) 兵庫県R高	○		○	12/9																		
66						BR (ホームルーム・移動)	8:31:40～8:40:00	9.5	○	○	0	-	-	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-
						CL (授業・数学II)	8:40:15～9:30:15	50	○	○	372	42.2%	57.8%	17.6	0.29	7	36.8%	63.2%	0.4			
						CL (授業・数学B)	9:41:00～10:30:00	49	○	○	4	15.4%	84.6%	0.5	0.00	0	0.0%	100.0%	0.1			
						BR (休憩・移動)	10:40:00～10:45:00	5	○	○	123	26.5%	73.5%	92.8	0.38	7	25.9%	74.1%	5.4			
						CL (授業・英語)	10:45:00～11:35:00 *2.5分欠損あり	47.5	○	○	103	45.2%	54.8%	4.8	0.40	5	35.7%	64.3%	0.3			
					【A12】 高校1年 男子	BR(休憩)	11:35:00～11:45:00	5	○	○	130	38.5%	61.5%	67.6	0.67	3	9.7%	90.3%	6.2			
						CL (授業・英語)	11:45:00-12:35:00	50	○	○	66	20.9%	79.1%	6.3	0.29	2	18.2%	81.8%	0.2			
						LB (昼食・昼休み)	12:35:00-13:15:00 *3.5分欠損あり	36.5		○	320	52.0%	48.0%	16.8	0.46	8	47.1%	52.9%	0.5			
						CL (科学英語・PC教室内)	13:15:00～14:05:00 *4.5分欠損あり	45.5	○	△	667	48.7%	51.3%	30.1	1.21	9	26.5%	73.5%	0.7			
						BR (休憩・移動)	14:05 : 00-14:15:00 *5.5分欠損	4.5	○	○	143	44.8%	55.2%	70.9	0.50	3	50.0%	50.0%	1.3			
8) 兵庫県T中		○		12/21		PT (特別探求(実習?))	14:15:00～15:05:00 *2分欠損	48	○	○	982	48.5%	51.5%	42.2	0.72	5	21.7%	78.3%	0.5			
9) 大阪府J高↔ 京都府K病院		○		12/22	【A11】 高校1年 男子	CL (物理) BR (休憩)	10:36:15～11:09:40 *4分欠損 11:10:00～11:21:30 *2分欠損	29.5 9	○ ○	○ ○	0 0	0.0% -	100.0% -	4.7 0.0	0 -	4 0	33.3% -	66.7% -	0.4 0.0			

5.5.3 各指標のクロス集計分析

1) [テレポーテーションロボット種別]×[授業・休憩区分別]の バーバル・コミュニケーション(VC)傾向分析

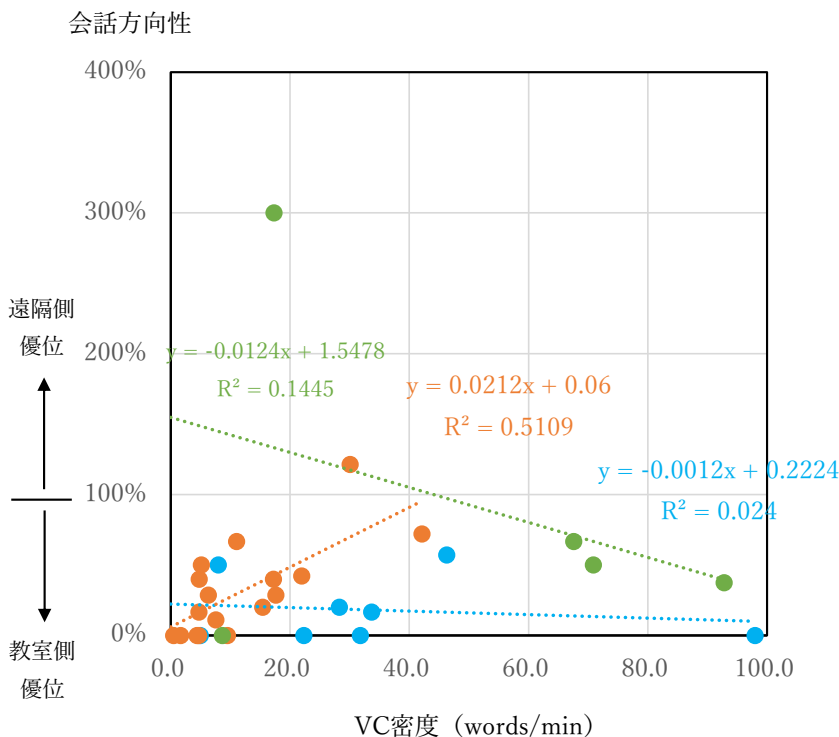
発話量[教室側] (words)



● : Temi×休憩 ● : Kubi×授業 ● : Kubi×休憩

図 5.5.6 遠隔側・教室側の発話量の関係性：授業休憩区分による違い

Kubi×授業は、遠隔側・教室側の発話量バランスが 1:1 に近い ($\alpha=0.95$) (●). また, Kubi および temi の休憩時 (●●) は, いずれも $\alpha=1.71$ 前後で, 遠隔側よりも約 1.7 倍教室側の方が発話量は多くなる. 休憩のようなコミュニケーションに制約が生じず自由意思で行われるインタラクションでは, 教室側のダイナミクスが強くなる傾向がある.



● : Temi×休憩 ● : Kubi×授業 ● : Kubi×休憩

図 5.5.7 VC 密度と会話方向性の関係性

Kubi/temi の休憩 (●●) 中は, コミュニケーション密度と会話方向性に関連は認められなかった (モデル適合度指標である R² 値は小さい). temi の休憩 (●) で VC 密度が高い時は, 自動追従モードを教室側で試行し, temi と教室側の第二接面側でのみインタラクションが生じ, 遠隔側が取り残される傾向が確認された.

Kubi の授業 (●) での使用は, VC 密度が高くなるほど, 双方向のキャッチボール型になる (先生の授業運営が反映されている). 授業の場合は, 密度が増えると質問・回答が 1 対 1 対応のコミュニケーションを形成しやすい (先生が配慮している).

2) [テレポーテーションロボット種別]×[授業・休憩区分別]の
ノン・バーバル・コミュニケーション(NVC)傾向分析

NVC量[遠隔側] (actions)

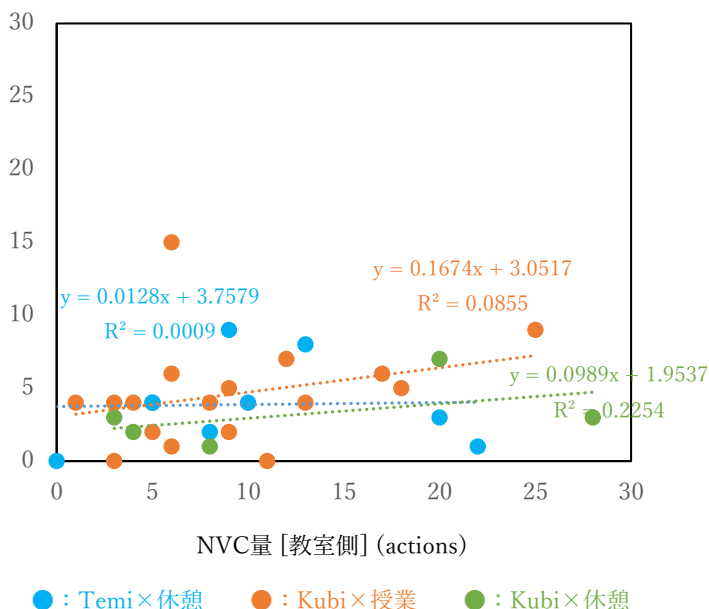


図 5.5.8 遠隔側・教室側の NVC 量の関係性

NVC は教室側, 遠隔側の間で関連性はなく, Kubi/temi の休憩 (●●) および授業 (●) とともに遠隔側ではほぼ一定の発生頻度であった (教室側の NVC の増加と遠隔側は関連しない). モデル適合度指標である R^2 値 (0~1, 1 に近いほど説明力が高い) はいずれも小さく関連性は認められない.

NVC は教室側の方が相対的に変動が大きい (action 数のレンジが横に広い) のに対し, 遠隔側は授業中も休憩時も変動は小さい特徴が認められる.

NVC密度
(action/min)

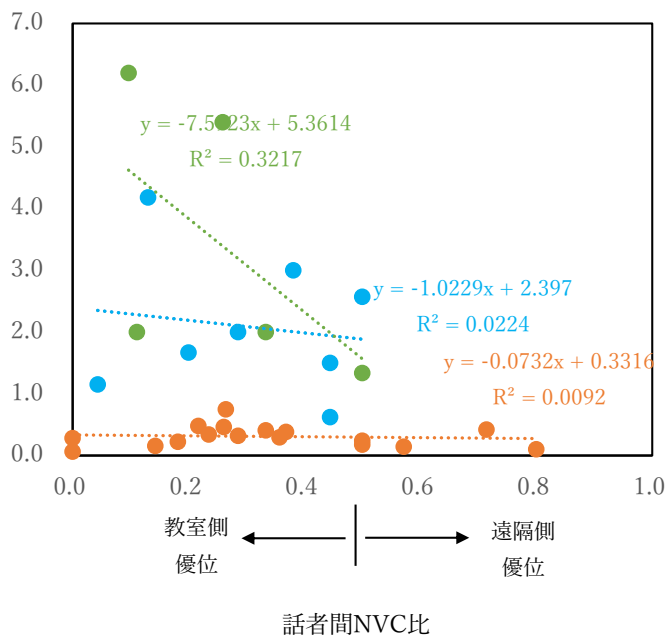


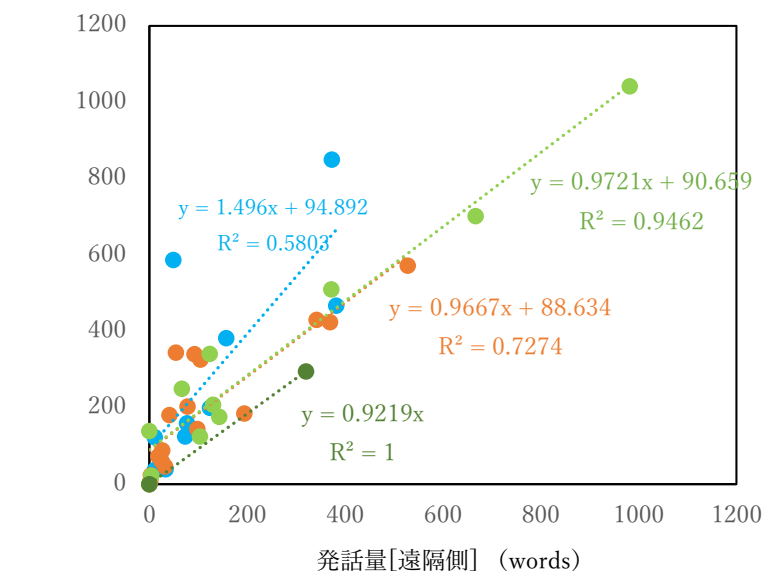
図 5.5.9 話者間 NVC 比と NVC 密度の関係性

Kubi×授業 (●) は, NVC の密度はほぼ一定で, 遠隔側・教室側いずれも優位になることがあり, バランスはとれている.

一方, 休憩時の temi/Kubi 使用 (●●) は, 基本的に教室側の方が NVC が多く (NVC 比<0.5), 教室側が優位になるほど, NVC 密度は高くなる傾向にある (教室側で手を振るなどの動作が増えても, 遠隔側の NVC は少なく, 遠隔・教室間の NVC の対称性が不成立といえる).

3) [テレポーテーションロボット種別]×[基本・拡張機能区分別]の VC 傾向分析

発話量[教室側] (words)

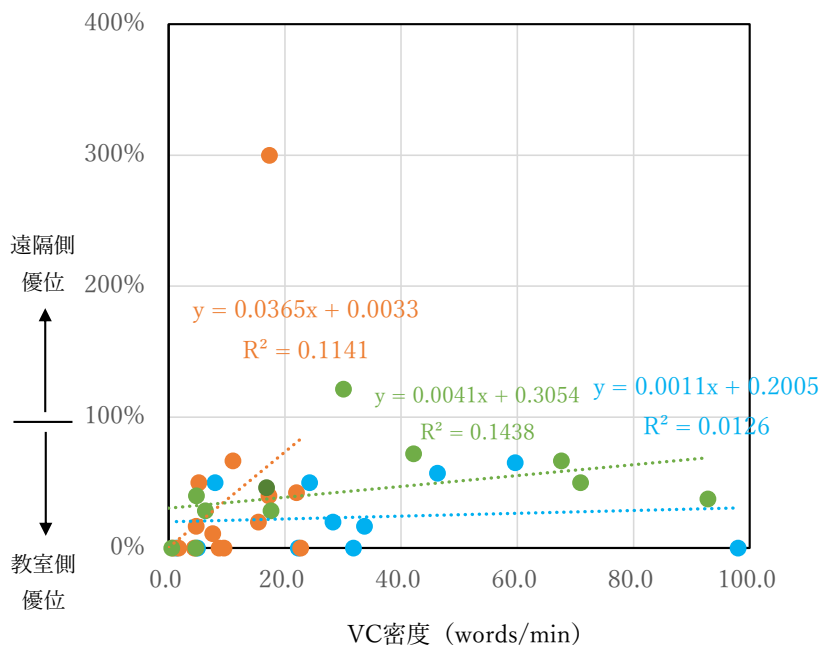


● : Temi×基本 ● : Kubi×基本 ● : Kubi×拡張 ● : Temi×拡張

図 5.5.10 遠隔側・教室側の発話量の関係性：基本・拡張機能による違い

Kubi の基本機能 (●) と Kubi の拡張機能および temi の拡張機能 (●●) では, 遠隔側・教室側の発話量の割合は同じ (傾き $\alpha=0.92-0.97$). 一方で, temi の基本機能 (●) は $\alpha=1.49$ であり, 遠隔側よりも教室側の方が 1.49 倍発話量は多くなっている. temi の基本機能使用時のシーンはほぼ 8 割が休憩時のため, 基本・拡張機能の違いではなく, 授業・休憩時の影響を受けていることが考えられ, 基本・拡張機能による明確な差は確認できない.

会話方向性



● : Temi×基本 ● : Kubi×基本 ● : Kubi×拡張 ● : Temi×拡張(n=1)

図 5.5.11 VC 密度と会話方向性の関係性

会話方向性はほとんどが 100% 以下であり, 教室側からコミュニケーションを開始している. temi × 基本 (●) および Kubi × 拡張 (●) 共に VC 密度が高くなってもほぼ傾きは 0 に近いいため, 密度に関係しない. Kubi の拡張機能 (●) よりも Kubi の基本機能 (●)の方が会話の方向性は遠隔側が優位になりやすい傾向にあるが, 講義スタイルの影響が大きいと考えられる. Kubi の拡張機能 (●) は R^2 がほとんど 0 に近く, モデル適合度が低いため関連性は論じられない. temi の拡張機能 (●) は $n=1$ のため, 回帰式は非算出.

4) [テレポーテーションロボット種別]×[基本・拡張機能区分別]の
NVC 傾向分析

NVC量[遠隔側] (actions)

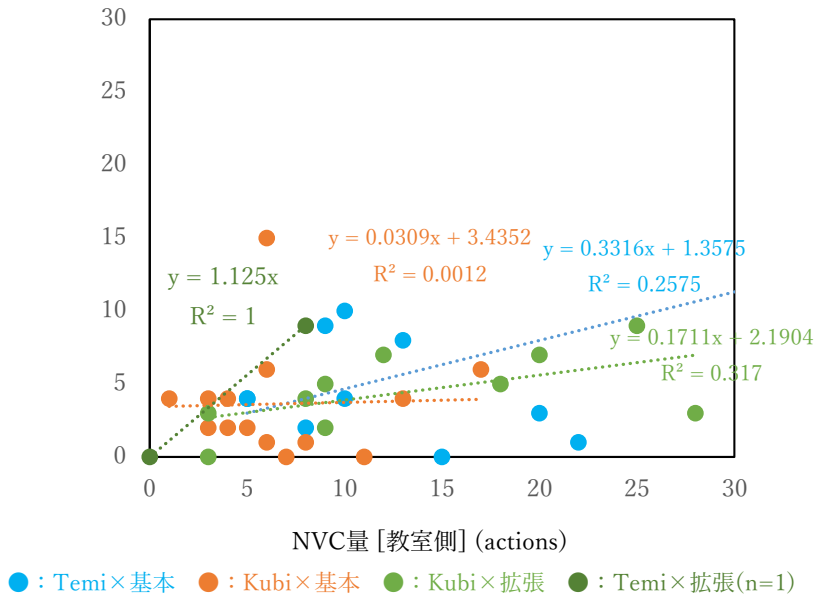


図 5.5.12 遠隔側・教室側の NVC 量の関係性：基本・拡張機能による違い

NVC 量は, temi の基本機能(●)で $\alpha=0.33$ 前後であり、遠隔側の NVC 量は教室側の約 1/3 であった。Kubi の拡張機能(●)だと、 $\alpha=0.17$ 前後であり、さらに教室側の NVC 量の方が相対的に多くなる傾向がある。

一方で, Kubi×基本機能(●)はモデル適合度の R^2 値は限りなく 0 であり、関連性は認められなかった。

NVC密度
(action/min)

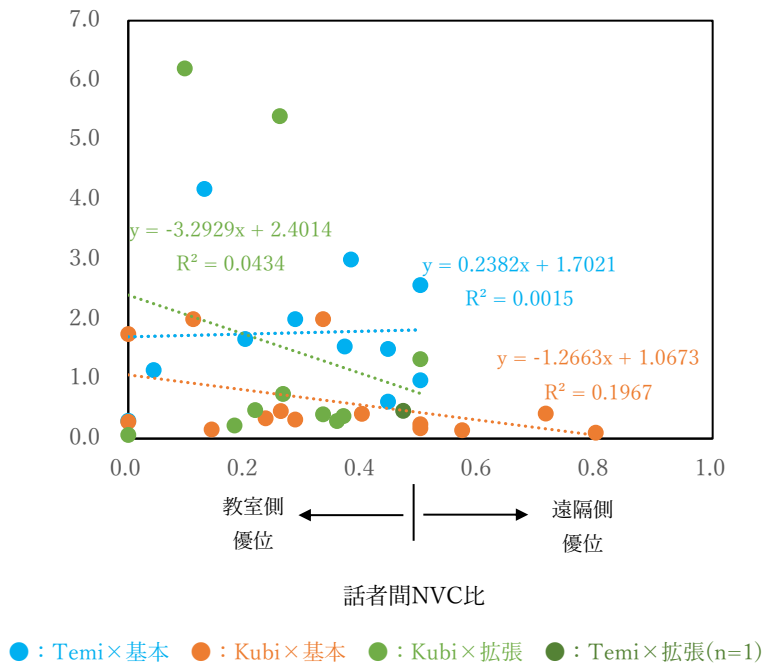


図 5.5.13 話者間 NVC 比と NVC 密度の関係性

NVC 比はほぼ 0.5 以下で, NVC 密度との関連は見られなかった。教室側優位な状況では, 総じて NVC 密度が高い状況にある。 R^2 がいずれも 0 に近いので, モデル適合度が低く関連性は論じられないが, 遠隔側とのコミュニケーションではなく, 第二接面側での NVC のインタラクションが増加している傾向が伺える。

5.5.4 言語・非言語情報を用いたコミュニケーションの特徴分析から見たテレポーテーションロボット操作時の人間工学的配慮事項の提言

対面によるコミュニケーション時において、人は発話音声のプロミネンス（発話を発する時）とジェスチャは同期することが多いことが分かっている[5-5-3]。また、コミュニケーションは言語情報が7%、非言語的な情報（声のトーンや口調、大きさ、話す速さ、相手のジェスチャや視線、表情など）は93%を占めているとされている[5-5-4]。テレポーテーションロボットを介したコミュニケーションにおいても、音声のみではなく映像情報も扱うマルチモーダルなコミュニケーションが行われることから、言語・非言語情報を客観的に測定して特徴の解明を試みた。基本機能・拡張機能による違いは明らかにできず、また、実環境下でのコミュニケーションで多様な交絡要因が介在する状況であったため、科学的な観点から因果関係に基づいた提言を行うことは困難であるが、本解析結果とこれまでの研究成果を照合する中で考え得る人間工学的配慮事項を下記にまとめた。

【テレポーテーションロボットを介したコミュニケーションデザインの人間工学配慮事項】

1. 第一接面・第二接面で行われる相互作用の特徴を考慮し、適切な「人とシステムの機能配分」を行うこと

- ・自動追従機能のような、第二接面で完結してしまう相互作用を誘発する機能を実装することで、教室側の利便性向上に寄与する一方で、コミュニケーションの観点からはVC比、NVC比の均等度を崩してしまう可能性がある。第一接面（遠隔側）と第二接面のコミュニケーションをつなぐ機能配分を考えることが重要となる。
- ・well-being とシステムパフォーマンスの適正化をはかるために、人とシステムの機能配分を図ることが人間工学設計の基礎である[5-5-5]。

2. 言語・非言語情報の双方向率（VC比、NVC比）が均等となるように、遠隔側から第二接面側に発信しやすくする配慮・機能を実装すること

- ・授業以外の非制約条件下では、VC量およびNVC量は遠隔側で常に少なくなる傾向がある。建設的なコミュニケーションは企業の収益と強く関連する[5-5-6]ことが知られており、この例でも建設的なコミュニケーションは双方向率が高いといわれている。双方向率の均衡さがコミュニケーションの質を規定する一側面であることから、VC比・NVC比は遠隔・教室側で1:1に近づけるように、機能実装を検討するのが望ましい。
- ・例えば、「うなずき」や「まばたき」は相手に対するフィードバック機能として重要な意味合いを持つだけでなく、主導権や会話の引き込みの機能（引き込み同調）も包含する。双方のうなずきやまばたき、呼吸などの情報を見える化し、共有し、リズム同調が促進されると親密度が高まり関係性が構築されることが示されている[5-5-7]。このようなNVCを活用して、遠隔側からVC、NVCのキャッチボールを開始しやす

くするような機能実装もひとつの人間工学的配慮事項である。

- ・会話方向性は、個人の性格・授業内容・休憩の過ごし方・友人との関係性などによって左右されるが、会話方向性の優位性は個人の好みに応じて選択できるような柔軟性を有していることが望ましい。

3. 授業用・休憩（ワイガヤ）用など、利用シーンに応じたステークホルダ要求仕様を検討し、デザインや機能に反映させること

- ・授業では、発話量は遠隔・教室側で均衡が取りやすい一方、休憩時は 1.7 倍教室側の発話が多く、教室側が常に優位になりがちであった。授業は統制が取りやすく、また、周辺騒音も軽減し、話者も限定（先生が主など）しているため、遠隔側から音声・映像を介したコミュニケーションも行いやすい（一対一のコミュニケーションをベースとしたインタラクション設計が中心）。
- ・一方で、休憩時は不特定話者の会話を補足しなければならず、また、必ずしも話者が画面に映っていない。周辺音環境や発話指向性に反応し、話者に画面がパンする機能を加えるなど、「一対多」のコミュニケーションの性質などを加味して、機能設計することが必要となる。
- ・周辺音環境に応じて、話者の音量を自動調整したり、授業中の静かな環境下では、あいずちやうなずきを中心としたフィードバックを先生に伝えられるような機能など、利用文脈に応じた機能設計を行うことでコミュニケーションの双方向率および会話方向性の均衡を担保することが重要である。このような配慮は、授業運営を行う先生のテレポーテーションロボット使用への積極的な関与を促すことにも寄与すると考えられる。

4. 人間の特性としての「慣れ」に対応し、Social Isolation（社会的孤立）を誘発させないコミュニケーションツールのあり方を検討すること

- ・今回確認された自動追従機能の使用に伴う第二接面側でのインタラクションは、遠隔側の関与を弱め、結果的に教室・遠隔側間のコミュニケーションを抑制させてしまう可能性が確認された。この行動・反応は、新奇な対象に対する人の好奇心が喚起させる行動である。一方で、人は学習することで「慣れ」や「飽き」が生じる。最初は目新しいテレポーテーションロボットも、中長期的な使用に伴い、どのようにコミュニケーションが変化していくのか、も想定しておくことが肝要である。
- ・例えば、「目新しさ」により、今回確認された自動追従機能に伴う第二接面のみで繰り返される相互作用（遠隔側の実験参加者を置いてきぼり）は、VC 比や NVC 比といった指標の値が極めて小さくなることから客観的に測定・評価可能である。中長期的な使用による「慣れ」や「飽き」は、VC 密度や NVC 密度といった指標で、スコアが小さくなることで評価可能と考えられる。今回測定したデータをリファレンスデータとして用い、中長期的な使用に伴い、どのようにコミュニケーションが変化するかを継続的にフォローアップ評価することも、人間工学の質評価としては重要な観点である。

参考文献

- [5-5-1] 海保博之, 原田悦子. プロトコル分析入門ー発話データから何を読むか, 新曜社, 1993
- [5-5-2] マジョリー・F. ヴァーガス (著), 石丸 正 (訳). 非言語(ノンバーバル)コミュニケーション, 新潮選書, 1987
- [5-5-3] 天谷 晴香. 会話における話者のうなずきと発話音声のプロミネンスの時間関係, 第7回コーパス日本語学ワークショップ予稿集, p.137-142, 2015
- [5-5-4] Albert Mehrabian. Silent Messages: Implicit Communication of Emotions and Attitudes, Wadsworth Publishing Company, 1972
- [5-5-5] 森晃爾 (編). 産業保健マニュアル 改訂7版, 南山堂, p.161, 2017
- [5-5-6] 沼上幹, 加藤俊彦, 田中一弘, 島本実, 軽部大. 組織の“重さ”ー日本的企業組織の再点検, 日本経済新聞出版, 2007
- [5-5-7] Rabinowitch, T. C. and Knafo-Noam, A. : Synchronous Rhythmic Interaction Enhances Children's Perceived Similarity and Closeness Towards Each Other, PloS One, Vol. 10, No. 4, e0120878, 2015

5.6 カメラ映像を用いた姿勢・インタラクション分析の可能性

5.6.1 姿勢分析

OpnePose は、カーネギーメロン大学の Zhe Cao らが深層学習を用いて開発した人物検出手法で[5-6-1], 2次元の静止画・動画から人物を検出し, 28 か所の関節位置を可視化し, その x,y 座標推定の信頼度を出力するライブラリが公開されている [5-6-2]. 姿勢や動作計測には光学式や磁気式, 慣性センサを用いたモーションキャプチャが用いられるが, いずれもカメラやセンサの設置か装着が必要で手間とコストがかかる. 簡便なものとしては Kinect や RealSense など距離センサ (距離画像が得られるカメラ) を用いるものがあるが, OpenPose は 2次元の種々の画像・映像を対象に簡便に利用できる. ただしオクルージョンが起こることや奥行情報が得られないことが欠点である.

今回, この OpenPose を以下の目的で使用した.

- a) 正面カメラ映像 (あるいはそれに代わる映像) に適用し, 両目, 両耳, 両肩など・の関節点を顔検出アルゴリズムの入力データとして提供する. これを利用した顔検出手法と結果を 5.9.2 に記載する.
 - b) 横からカメラ映像に適用し, 姿勢分析の自動化の可能性を探る.
 - c) 教室側の映像 (主に Kubi, temi の 360° 動画) に適用しインタラクションの分析に用いる可能性を検討する.
- a) b) の典型的な検出例を図 5.6.1 に示す. c) については次項 (5.6.2) に記載する.

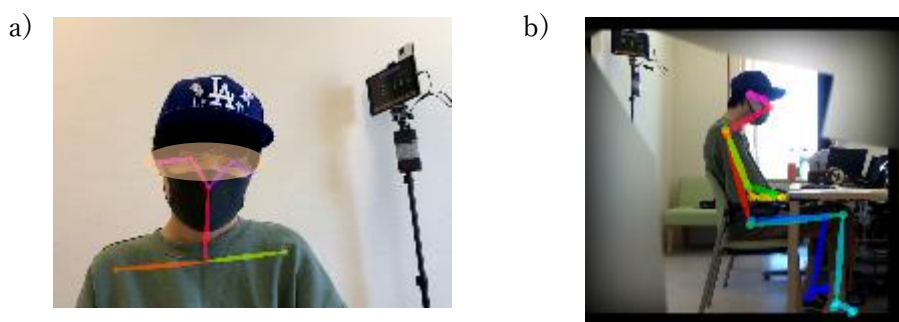


図 5.6.1 典型的な検出例 a) 正面カメラ映像, b) 横からカメラ映像,

OpenPose は検出する人物の人数を指定することができる. a) b) とともに患者か遠隔参加者が中央に大きく写っているので 1 人に限定して検出できればよいのだが, 室内の実験者を検出してしまうことがわかった. OpenPose は立位で全身が写っている人のデータを多く学習しているため坐位で下半身が写っていない参加者より, 下肢まで写っている実験者, に立っている場合には遠くにいても実験者を検出してしまう. 複数人を検出してから分離する方法も試みたが, 実験者は同じ場所に留まるとは限らず移動して参加者と重なることがあり自動的な分離方法を開発するには至らなかった, そこで, 時間はかかるがもとの動画をマニュアルで処理して実験者を隠してから OpenPose を適用するという対策をとった. これにより他の理由で検出できない場合を除き, 9 割程度は参加者を検出するようになった. b) は, 対象者の左側から撮影した場合であれば, 1) 左目, 左耳, 鼻, 喉, 左肩の座標を抽

出, 2) Head tilt angle を 左目と左耳を結んだラインから推定, 3) Head/Neck angle を左肩と左耳（本来は頭頂）を結んだラインから推定という手順で行い（図 5.6.2）, 5.4 のマニュアル計測の結果との照合を行った. 0825 の一部【A04】, 1202 【A10】を対象とした. 【A04】の結果を図 5.6.3 に示す.

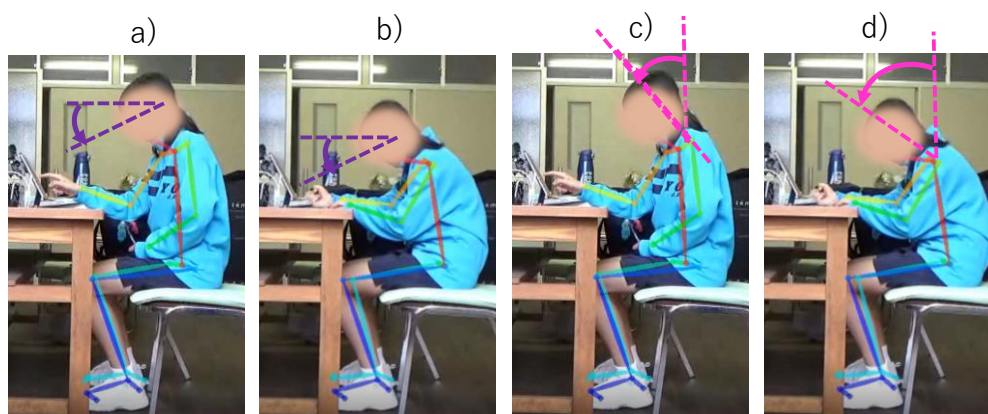


図 5.6.2 OpenPose を用いた姿勢推定 a) Head tilt angle（良姿勢）, b) Head tilt angle（前傾姿勢）, c) Head/Neck angle（良姿勢）, d) Head/Neck angle（前傾姿勢）

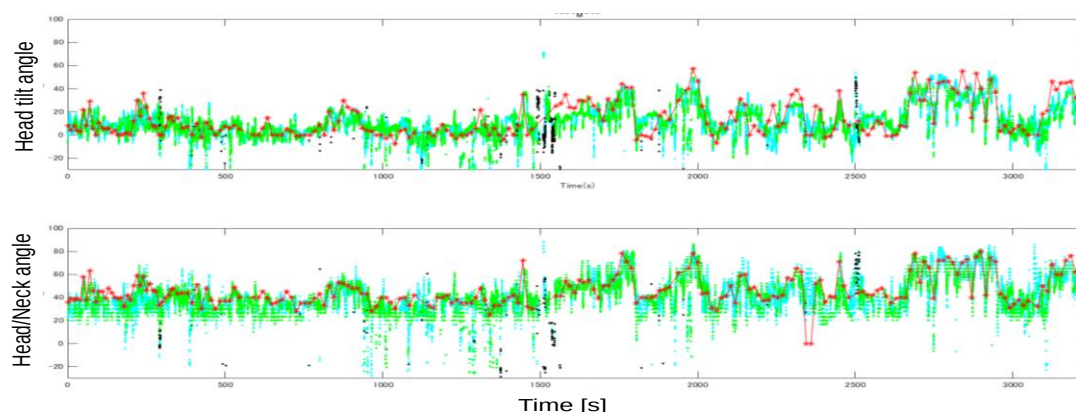


図 5.6.3 マニュアル計測と OpenPose による姿勢評価の比較【A04】

赤：マニュアル, 緑($p \geq 0.9$)/シアン($0.7 < p < 0.9$)/黒($p \leq 0.2$): OpenPose

図 5.6.3 では OpenPose から推定したデータは信頼度によってグラフの色を変えている. 計測点が異なることより値は一致しないが, 相対的な変化は類似している. 0825 では信頼度が 90 %以上の区間では, 0.8 以上の相関が得られたが, 【A10】では【A04】ほどの相関は得られなかった. 着帽による顔部位推定精度の低下と利き手の右側からの撮影で手の動きが悪影響を及ぼしたこと, さらに実験者の介入が多いことが挙げられる. この手法はまだ改良の余地があるが, 実用レベルになれば, 自動化による分析の効率化とフレームレート向上に寄与することができると期待される.

5.6.2 インタラクション分析

テレポーテーションロボットは、病室の患者と教室をつなぐシステムであるので、双方のコミュニケーションが円滑に行われているかどうかを評価する必要がある。患者側の言動や教室側への働きかけ、たとえば、ロボットの操作、発話、画面を通してのジェスチャ、フェーズ 2 では新機能の腕の操作やスタンプ送信をしたときに、教室側の教員や生徒がどのように応えるか、また逆に、教室側の先生や生徒からの働きかけ、たとえば声かけ、画面に近づく、ジェスチャ、カメラに資料を見せるなどに対して生徒がどのように応えるかを調べたい。この目的で、双方で記録したカメラ映像と教室側のロボットのキャプチャ画面、遠隔側の操作画面（視線計測した場合にはこれに注視点を重畳した映像）、Kubi/temi の 360° 映像を同時に見られる合成映像を作成した。

当初は両サイトで同時に点灯したフラッシュや同期のための音信号を自動検出して時間合わせをする予定であったが、同時点灯が難しい、カメラが動いてフラッシュが写らない、フラッシュが人に隠されるなど、実験遂行上の問題が生じてこの方法を断念した。音は環境音に紛れてしまうのと生徒の気が散るということで途中から記録を止めた。また環境により、ロボットの画面、操作の画面は 1-2 秒のずれが生じることがあることも判明した、そこで、デジタル時計を視察し秒の表示が変わるフレームを検出し、このタイミングで複数の動画の時間合せを行うことにした。すべての映像に同時刻に時計が写っているとは限らないため、基準となる映像を少数選びその映像に合わせる方法で撮影された映像を合成した。時計を導入する前の初期の実験（健常中学生対象）では、画面に写っている特徴的なイベントや動きを用いてで能な限り合わせることにした。

このようにして作成した合成映像を各分析対象者に開示し、それぞれの定量的評価で得られた知見の生じた状況を確認し各節の記述に考察を加えた。解析対象の映像や主観評定の文言からの推察が、合成動画を見ることで確認でき、またそれが生じた状況や理由を見つけることができ合成動画の有用性が確認された。

図 5.6.4～図 5.6.5 に事例を示す。図 5.6.4 は休憩時間に temi を操作して教室の席の間の通路を移動しながら友人とコミュニケーションをとった場面で、動画では友人が temi に気づいて顔を向ける（図左上）→友人に近づき顔を見る（図右上）→友人が手を振る（図左下）→患者も手を振る（図左下）→患者が自身のスマートフォンの画面を見せる（図右下）というやりとりがなされた。スナップ写真は個人情報保護の観点より顔部分をぼかしているが、マスク越しに笑顔が確認されている。この場面は、3.5 のインタラクション分析で会話方向性指標が高くなっている（遠隔から教室に働きかけて会話が始まる回数が多い（表 5.5.2））ことと対応している。図 5.6.5 はグループの一員としてワークに参加している（左上）。隣のグループの生徒が遠隔参加を笑顔で見守っている場面（右上）、インタビュー・気持ち温度計で、患者自身だけでなく教室のグループメンバーでない生徒も含めて参加感が評価されたことと対応する。教室のメンバーが皆で課題の紙を見ているが患者側にはこの紙がない（左下）→カメラ越しに課題の紙を見せてもらう（右下）場面である。資料の事前共有は授業運用の課題であるが、それを補う工夫が見られた。患者の発話は少ないためインタラク

ション分析では会話の方向性は低い値になっている場面である。これらの場面では、患者が身を乗り出してロボットを操作したり画面を見たりしているために画面に近づきとなり、アイトラッカーによる視線計測はほとんどできていない

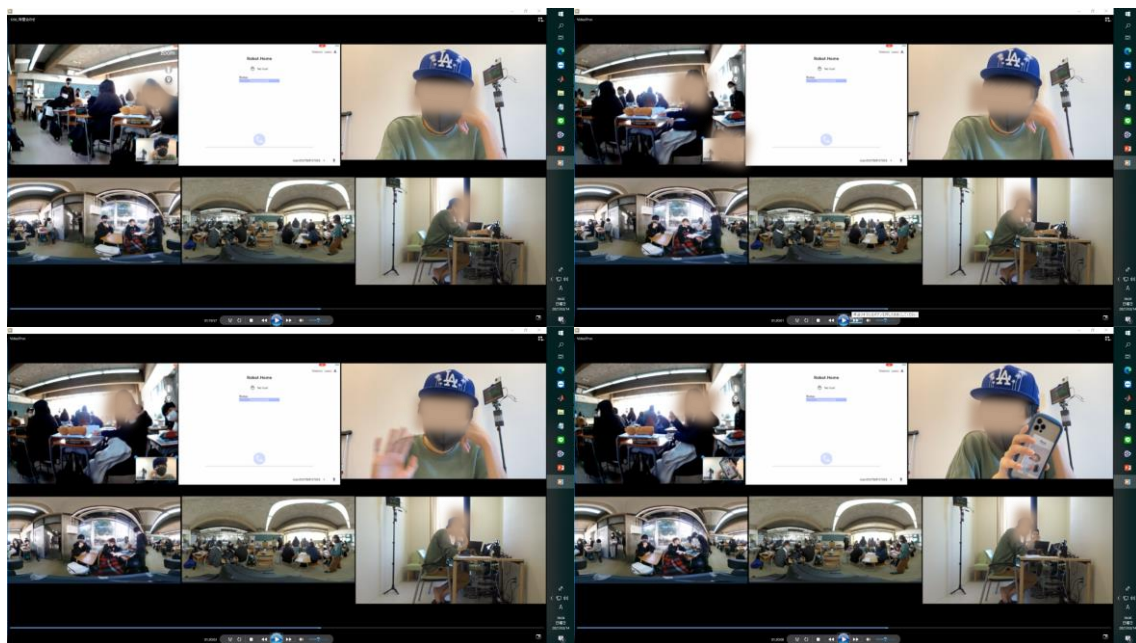


図5.6.5 合成動画のスナップ(1)

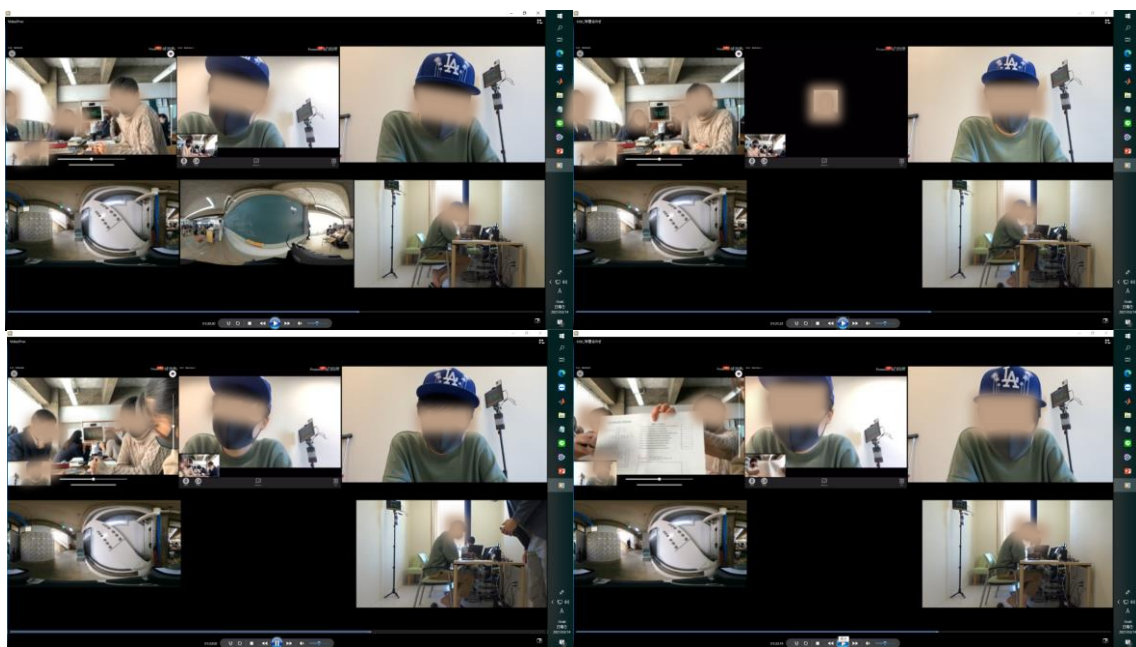


図5.6.5 合成動画のスナップ(2)

図 5.6.6 は座学である。インタラクション分析の会話の方向性の指標が高くなった場面である。教師が順番に生徒を当てて口頭で問題を出している→特別扱いではなく普通に患者も質問され笑顔で答えるが間違っている。この間、教室の左上前方にあるモニターを Kubi

を操作して見ているが画面が光って見えにくい（左上）→教室の生徒にプリントを見せてもらう（右上）→プリントに間違いを見つけて手を挙げるが教師に気づいてもらえない→少し離れた席の生徒が気づき Kubi の横の生徒に知らせる→その生徒が患者の質問をきいて教師に伝える（左下）→教師がプリントの訂正をする→ロボットの腕の動きを選んで喜ぶという流れである。フェーズ2のワイガヤ機能を使いこなし始めていた。

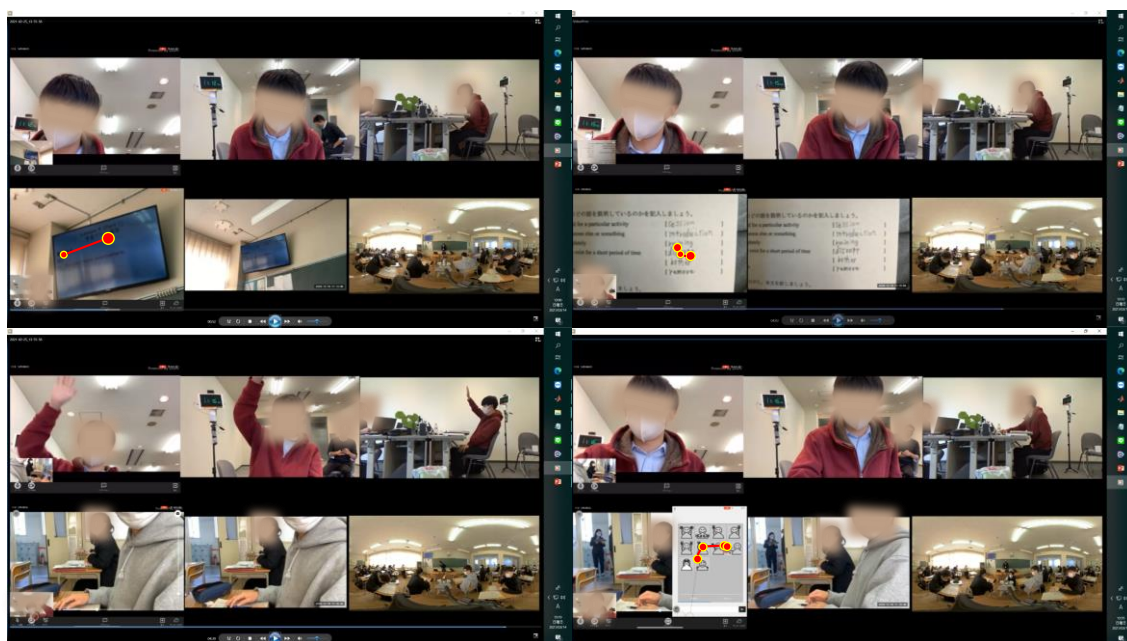


図 5.6.6 合成動画のスナップ(3)

5.6.1 に示した OpenPose による 360° 映像への適用例を図 5.6.7 に示す. OpenPose は前述のように立位の正面を向いた人の検出には優れているが、坐位・後部から撮影した人の検出には弱点がある（図 5.6.8）. 検出される人物の不安定性から、インタラクションの定量的評価の自動化は難しいが、注目すべき場面における教室側の生徒/先生と遠隔側参加者のロボットや端末に近づく動作や身振りの順序を定量的に把握するのには有用である(図 5.6.9).

図 5.6.9 は休憩時間に廊下で temi でコミュニケーションをとろうとしている場面である. 積極的に関わってくる生徒もいるが、遠巻きに眺めている生徒もいる. temi は実験当日のみの利用となったため、物珍しさと興味、恥ずかしさが入り混じった反応であった. 個人識別機能を開発し、慣れによる関わりの変化を定量化に捉えたいと考えている.



図 5.6.7 360° 動画への OpenPose 適用例(1) (坐位後部からの検出率は悪い)

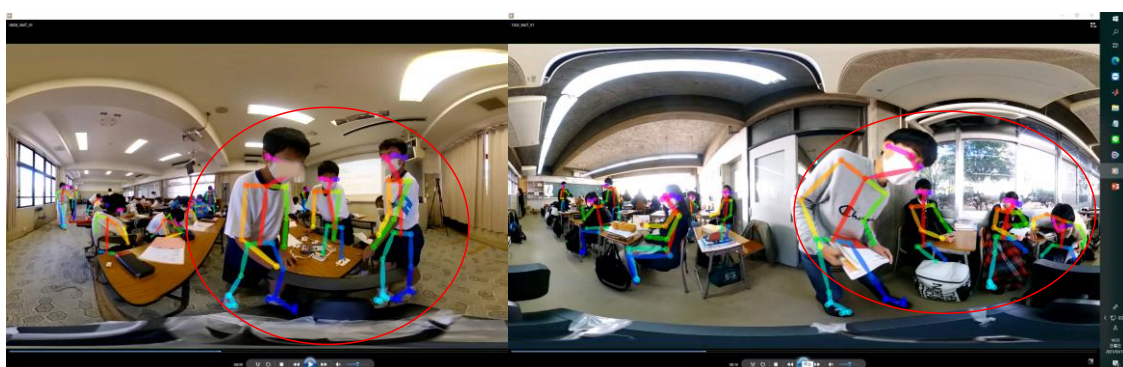


図 5.6.8 360° 動画への OpenPose 適用例(2)



図 5.6.9 360° 動画への OpenPose 適用例(3)

参考文献

- [5-6-1] Cao, Z., Hidalgo, G., Simon, T., Wei, S. E., & Sheikh, Y. (2019). OpenPose: realtime multi-person 2D pose estimation using Part Affinity Fields. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 43(1), 172-186.
- [5-6-2] 【OpenPose】のインストール方法とコンパイル詳細. <https://qiita.com/kinkin0204/items/5db5c2b06c258c9adec9>, last accessed 2021.1.20

5.7 生体計測のフィールド応用可能性

計画では患者/遠隔参加者，教室の参加者のうちロボットを操作する一部の生徒に，低負担の生体計測装置を装着して生体信号の変化から感情変化を定量的に捉えることにより，言語化されない内部状態を把握する予定であった．しかしながら，試作装置を実験に適用することの承認が得られなかったこと，コロナ禍でセンサ装着への抵抗がより強くなったこと，市販の装置は安価なものは生データを取得できず，計測不備の際にデータ補完されてしまうことなどから検証実験への導入は断念し，一部試作した装置のフィールドでの利用可能性と精度検証を行うに留め，5.8.6 に示す映像から推定する手法の検証にのみ用いることとした．

計測対象とした生理反応は，心拍（脈拍），呼吸，皮膚電気活動（Skin Conductance, SC）である．これらよりは，ラッセルの感情円環モデル[5-7-1]（図 5.7.1）における Arousal（覚醒—非覚醒）の変化を捉えるのに有用な指標が得られる．筆者らは，心拍，心拍変動，呼吸周波数，呼吸の安定性（と場合によっては SC）の変化の組み合わせで集中度[5-7-2]や不安[5-7-3]の定量的評価を行っている．ラッセルの感情円環モデルのもう 1 つの軸である Valance（快—不快）は表情や瞬目の頻度から推定される．

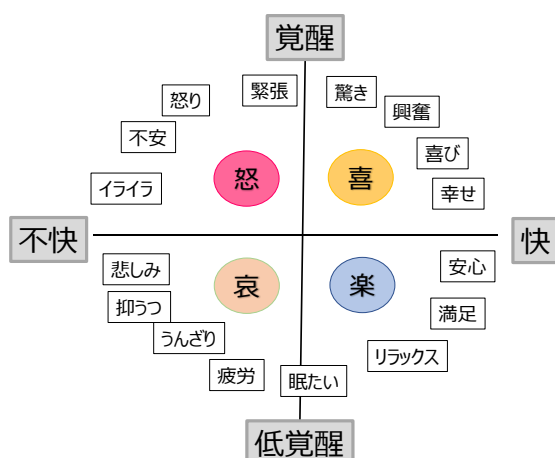


図 5.7.1 ラッセルの感情円環モデル[5-7-1]より改変

低負担のウェアラブル生体装置で自律神経系指標（心拍，脈拍，呼吸，皮膚電気活動）が得られるもののうち使用経験のあるについて機能や受容性（装着の負担度）について表 5.7.1 にまとめる．海外で販売されている装置のリストは Taj-Eldin らのサーベイ論文[5-7-4]を参照されたい．その他の生体信号の低負担計測手法に関する現状は，5.8.1 に記載する．表 5.7.1 の BITalino 以外は市販の装置で前述の指標を網羅したシステムは販売されていない．BITalino は，低価格・小サイズの生体計測用のアンプやセンサのキット[5-7-5]で自由に組み合わせ用いることができるが，キットの配線や装着方法はユーザが作成するか特注する必要がある．この装置を用いた計測の負担はセンサの取り回しと装着方法に依存する．そこで，腰ベルトに装着して呼吸と心拍，3 軸加速度を計測する装置と，脈波と皮膚電気活動（Skin Conductance, SC），3 軸加速度を計測するアームバンド式の装置の構成と装着方法を検討し，このうち腰ベルトに装着するタイプを試作した．センサ（使い捨ての粘着シールつき電極）の貼りつけは必要であるが，一人で装着することができ，一旦装着すれば自由に動け邪魔にならない．BITalino の計測精度の評価については報告があるが[5-7-6]，ここでも動作確認のため，健常成人を対象として人間工学などの分野で使われている市販の生体計測装置(8ch アンプ BA 1008, 日本サンテクト，伸縮性可変抵抗を用いた市販の呼吸ピックアップ (TR-751T, 日本光電)を用いて心電図・呼吸を同時計測した (倫理審査番号:2020-

7). また、カメラを用いた推定手法との比較のために、実証実験で正面映像の取得に用いたスマートフォン (iPhone11 pro) を用いて実験参加者の顔映像を取得した。データ間の同期には手動スイッチで電圧付加し LED を点灯させる回路を用いた。8ch アンプは電圧の立ち上がりを検出、BITalino は LED 点灯を照度センサ出力変化で検出、カメラ映像は LED 点灯による画面の明るさ変化を検出して同期をとった。実験プロトコルは、安静、呼吸統制 2 種 (2 秒で吸って 3 秒で吐く普通の速さの呼吸、4 秒で吸って 6 秒で吐くゆっくりした呼吸) をそれぞれ約 100 秒、実証実験で遠隔側で用いたものと同様のタブレット操作を約 3 分とした。カメラ映像との比較のためにこのシーケンスをマスクあり・なしで 2 回繰り返した。装置の装着や実験装置の操作は新型コロナ感染症の感染予防のため実験参加者が行った。このデータを用いて、BITalino と 8ch アンプで計測した波形を比較して同等の計測ができていることを確認した (図 5.7.3)。呼吸波形が異なるのは増幅器の特性の違いによるものであり、呼吸周期の推定には支障がないが、BITalino ではゲイン調整なしでオーバーフローを防いでいるため呼吸振幅 (呼吸の深さ) の変化を過少評価することに留意する必要がある。カメラ映像との比較結果は 5.8.6 に記載する。

表 5.7.1 ウェアラブル生体計測装置の比較

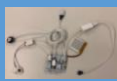
	リストバンド BITalino	ベルト BITalino	スマートシャツ Hexisokin	リストバンド E4	リストバンド FitBit	クリップ式 Spire	リング式 Aura
							
受容性	○	○ センサ装着	△ 要サイズ選択 /要洗濯	○ やや大きい 厚み有	◎	◎	○ やや邪魔
心拍・脈拍	△ 脈拍・手の動 きに弱い	○ 心電	◎ 心電	△ 脈拍・手の動 きに弱い	△ 脈拍・手の動 きに弱い	×	○ 脈拍
呼吸	×	○ 腹部のみ/AC	◎ 胸部・腹部 /DC	×	×	○ 腹部のみ	×
3軸加速度	◎	◎	◎	◎	○	×	○ 指の加速度
生データ取得 (SDK)	◎ リアルタイム	◎ リアルタイム	○ クラウド経由 /ロガー	○ クラウド経由	△ SDK入手可 /処理後データ	×	△ SDK入手に は数量の縛り



図 5.7.2 BITalino を用いて試作(特注)した腰ベルト式生体計測装置試作装置

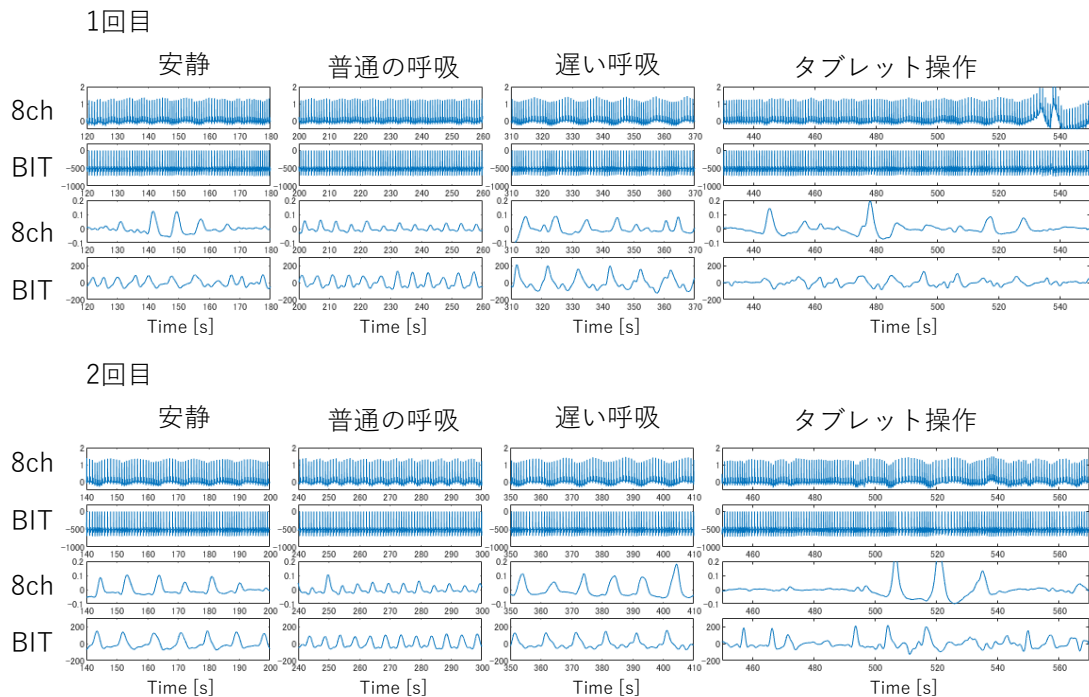


図 5.7.3 BITalino と 市販の装置(詳細本文中)を用いて同時計測した心電図と呼吸の比較

参考文献

- [5-7-1] Russell, J. A. : A circumplex model of affect. *Journal of personality and social psychology*, 39(6), 1161 (1980)
- [5-7-2] Ohsuga, M.: Development of Chairs for Nonintrusive Measurement of Heart Rate and Respiration and Its Application. *In Congress of the International Ergonomics Association*, 392-404 (2018)
- [5-7-3] Koba, H, Ohsuga,M. : Estimation of Anxiety Level Using Physiological Measures for Virtual Reality Exposure Therapy Systemin: *Joint Conference of the Asian Council on Ergonomics and Design and the Southeast Asian Network of Ergonomics Societies*. Springer, Cham, 15-22 (2020)
- [5-7-4] Taj-Eldin, M., Ryan, C., O'Flynn, B., & Galvin, P. : A review of wearable solutions for physiological and emotional monitoring for use by people with autism spectrum disorder and their caregivers. *Sensors*, 18(12), 4271 (2018)
- [5-7-5] 生体センサアプリ開発キット BITalino(Plux) : <https://www.creact.co.jp/category/item/measure/bitalino>, 最終閲覧日 2021.2.28
- [5-7-6] Batista, D., da Silva, H. P., Fred, A., Moreira, C., Reis, M., & Ferreira, H. A.: Benchmarking of the BITalino biomedical toolkit against an established gold standard. *Healthcare Technology Letters*, 6(2), 32-36 (2019)

5.8 映像を用いた定量的評価の可能性

5.8.1 低負担、非接触生体信号計測の背景

生体信号計測を用いた人の状態推定技術は、自動運転化技術や IoT (Internet of Things) 技術など、非常に身近な ICT (Information Communication Technology) システムの重要な要素として導入されてきており、COVID-19 危機を迎え、その活用の方法や範囲は今後さらなる発展、拡充が期待されている。例えば、瞬目や脈拍、表情などから覚醒の状態や眠気への対抗の状態、疲労、集中・散漫などといったドライバの状態の推定の可能性が示唆されており[5-8-1]、推定した状態を自動運転操作やドライバへの権限移譲の可否判定などに生かすことが試みられている。また、アップルの Apple Watch[5-8-2]や Google のグループとなった Fitbit[5-8-3]などをはじめとする腕時計型の IoT デバイス(スマートウォッチ, 図 5.8.1 (a), (b)) は、脈拍や血中酸素濃度、移動距離(歩数)、皮膚温、皮膚電気活動など人の活動量や生理反応を計測、記録することで日常的な健康管理に生かすことができる。Nintendo Switch のソフトウェアであるリングフィット・アドベンチャー[5-8-4] (図 5.8.1 (c)) では、コントローラに搭載された赤外線センサと加速度センサを活用し、ユーザの姿勢や運動の状態などを測定することで、健康のための運動(フィットネス)のサポートを実現している。

このような、人の状態を活用した人の状態に適応的なシステムでは、日常生活の中で人の「自然な状態」を「継続的」に取得することが重要である。そのため、これらのシステムにおいては、低負荷または非接触で非侵襲な生体信号計測の測定方法が必要であり、ウェアラブル、またはウェア'レス'(非接触)な生体信号計測装置の利用が考えられる。生体信号計測が可能な非侵襲で低負担な IoT デバイスやウェアラブルデバイスとしては、上記の Apple Watch や Fitbit の他に、ロガーを接続したシャツを着ることで、シャツに縫い込まれた導電



図 5.8.1 非侵襲で生体情報計測が可能な IoT 汎用デバイス
(a)Apple Watch, (b)Fitbit, (c)リングフィット・アドベンチャー
(d)Hexoskin, (e)Tobii グラス, (f)JINS MEME

布とロガーに搭載された加速度センサから着用者の心電（心拍）、呼吸、姿勢・動作を計測、記録することができる HEXOSKIN スマートシャツ[5-8-5]（図 5.8.1（d））、専用のメガネをかけることで被測定者の視線を追従することができるトビー・テクノロジーの Tobii グラス[5-8-6]や JINS の JINS MEME[5.8.7]のようなスマートグラスなどが挙げられる（図 5.8.1（e）、（f））。一方、非接触な生体信号計測では、一般的なイメージセンサや温度や距離などが計測可能なセンサを搭載したカメラで被測定者を撮影し、映像処理技術を用いて解析することで生体信号を推定する。映像処理による非接触生体信号計測の対象は、表情、瞬目・視線や顔の向き、脈波、呼吸、姿勢や動作など多岐にわたっており、イメージセンサの高精細化や、計算機の小型高速化、機械学習機能の高機能汎用化などによって精度も向上してきていることから、様々な手法が提案されてきている。ただし、非接触計測においては、被測定者や測定機器周辺の光環境の変化と人の動きの影響を強く受けることが知られている[5-8-8]。これはイメージセンサが皮膚に直接接触していないため、従来型のセンサや低負担計測に見られる簡易接触型のセンサよりも信号の強度が低下するためである。また、非接触計測においてはサンプリングレートが低く、S/N 比が小さいことから、測定結果が従来知られている生理学的指標と同様に扱うことが可能であるかについては、関連学会や研究者などによって議論、検証が行われているというのが現状である。

本実証実験では、実験参加者へのセンサや測定機器の装着を行わないことから、非接触での生体信号計測を試みた。非接触計測の対象は、実験参加者の実験中の脈波（脈拍）、呼吸、瞬目・視線、表情、姿勢とした。これらを指標とすることで、テレポートロボットシステム使用中や授業受講中の喜怒哀楽といった感情、視線の動き、集中や散漫、覚醒状態、快・不快といった心理状態の推定などにつながる可能性がある。



図 5.8.2 実証実験時の機器配置例

5.8.2 映像脈波・表情・呼吸（距離センサ）

(1) 使用機器と計測手法の概要

本実証実験では、実験参加者の正面にインテルの RealSense[5-8-9]を配置し、実験参加者の正面からの顔を中心に肩から胸部の上部にかけての部分が入るように撮影した（図 5.8.2）。ここで使用した RealSense D435（図 5.8.3）は、イメージセンサの露光と読み出しがすべてのピクセルで同じタイミングで行われるグローバルシャッター方式を採用し、通常のカラーイメージセンサ（RGB）の他に、近赤外線（NIR）プロジェクタと IR ステレオカメラによって奥行き 10m を上限として被撮影物までの距離（Depth）を計測可能な RGB-D カメラである。

RealSense の RGB カメラの映像からは顔の領域と目、眉、鼻、口、輪郭といった顔のパーツの特徴点を検出し、顔面上の皮膚の色の变化から脈波、顔のパーツの位置の変化から表情、特に眼瞼の形状（開口度）変化から瞬目、顔のパーツの位置関係から顔の向き、目領域の位置と瞳の位置の関係から眼球の向きを算出、推定を試みる。また、RealSense の Depth（距離）のデータから動き、特に胸部または肩の領域とカメラとの距離の変化から呼吸波形の算出を試みる。

(2) 顔、顔パーツ検出手法

映像処理を使った顔、顔パーツ検出は、複数の手法が提案されているが、本実証実験では、すでに顔、顔パーツ検出やそこからの生体情報抽出について実績[5-8-10]のある、Dlib C++ Library[5-8-11]（以降 dlib）を利用した手法を採用した。dlib は、顔、顔パーツ検出や物体検出などを含む機械学習用ライブラリで、C/C++言語や Python、Matlab などで利用可能である。dlib に実装された顔、顔パーツ検出は、HoG（Histogram of Oriented Gradients）特徴量と SVM（Support Vector Machine）による学習によって実現されており、いずれも



図 5.8.3 Intel RealSense と撮影画像例

（上）Realsense 外観[5-8-9]，（下左）RGB 画像，（下右）距離に応じて彩色した距離画像

学習済みデータが提供されている。図 5.8.4 に、dlib に実装された正面顔検出機能を用いて顔領域を検出した結果と、dlib から提供されている「68 点の顔パーツの特徴点を検出するための学習済みデータ」(shape_predictor_68_face_landmarks.dat) の利用と実装された特徴点検出機能を用いて顔パーツを検出した結果を示す。

筆者らは文献[5-8-10]などにおいて、dlib に実装されている KAZEMI アルゴリズム[5-8-12]による顔検出とテンプレートマッチングを用いた顔領域の追跡の組み合わせによる顔検出と、dlib による顔パーツ検出を実装することで 30FPS (Frame/Second) の映像に対応可能な顔検出手法を提案しており、本実証実験でもこれを用いた。

表 5.8.1 は、縦 480px、横 640px、30FPS の Web カメラの前に着座した被測定者の顔を 10 秒間撮影し、顔、顔パーツ検出を行った際に、その処理に要した時間から算出した 1 回あたりの平均時間を示したものである。dlib に実装されている顔、顔パーツ検出をそのまま利用したとき、被測定者が静止している場合は 0.025 秒、フレームアウトしない範囲で顔を正面に向けたままランダムに動いた場合 0.044 秒であった。これに対し、筆者らが提案し、採用した手法ではそれぞれ 0.004 秒、0.013 秒であった。この差は、画像解像度が高くなるほどより顕著となることがわかっている。

なお、本結果は、誤検出や非検出の場合も含んでいる。顔、顔パーツ検出においては、顔の向き（上下左右）や傾き、動きなどに非常に弱く、また、被測定者や測定機器周辺の光環境の変化の影響を強く受ける。これらの影響によって、実際の顔や顔のパーツの位置と検出位置がずれる誤検出や、顔、顔パーツそのものが検出されない非検出などが生じる。これは、顔や顔パーツの検出が学習に基づく画像の特徴量に基づいて行われているためで、顔の向きや環境光によって生じる顔領域の陰影変化によって特徴量が変化することに起因する。一度検出した顔領域の周辺画像を切り出し、テンプレートとして顔領域を追跡するテンプレートマッチングを導入した採用手法では、dlib のみを用いた場合より多少の改善がみられ



図 5.8.4 顔、顔パーツ検出例

(左)元画像、(右)顔領域検出結果（白枠）、顔パーツ検出結果（シアン点）

表 5.8.1 顔、顔パーツ検出の処理 1 回あたりの時間

	dlibのみ（秒）	採用手法（秒）
静止	0.025	0.004
ランダムな動作	0.044	0.013

るものの、被測定者の顔の向き（上下左右）や傾き、動きなどに非常に弱く、また、被測定者や測定機器周辺の光環境の変化の影響を強く受けるという特性は同様である。

（3）脈波（脈拍）抽出

脈波や心電波形は、前出の通り、計測装置が様々なデバイスに組み込まれており、心（脈）拍数や心（脈）拍変動を利用した自律神経活動の推定、健康面のモニタリングに利用されている。その計測方法は図 5.8.5 のように複数存在する。その中でも近年特に用いられているのが映像脈波法とも呼ばれ、反射型の光電脈波測定法と類似する、カメラ映像を利用して非接触での計測が可能な手法である。なお、心電図とは、心臓の電氣的な活動の様子をグラフに表したものを指し、その他の手法で計測される脈波は、計測対象の皮下の血管に血液が流れた時の血管の容積変化をグラフに表したものとなる。図 5.8.6 に示すように、心電図波形と脈波波形は大きく異なっており、解析方法や得られる情報は区別して扱うべきである。これまでの種々の研究などにより、脈波と脈波の波形間隔は、心電図の心室の収縮から次の心

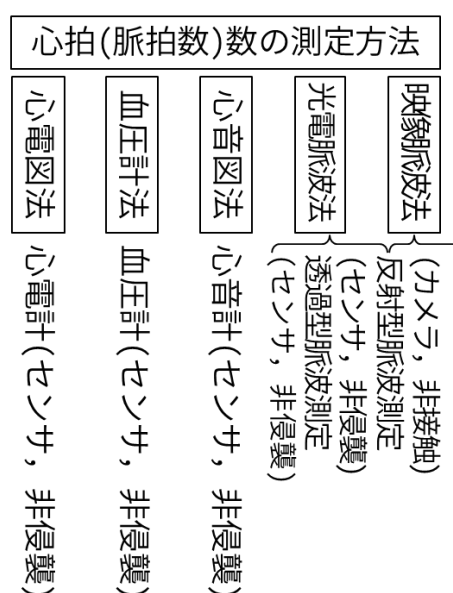


図 5.8.5 心拍（脈拍）数の測定方法

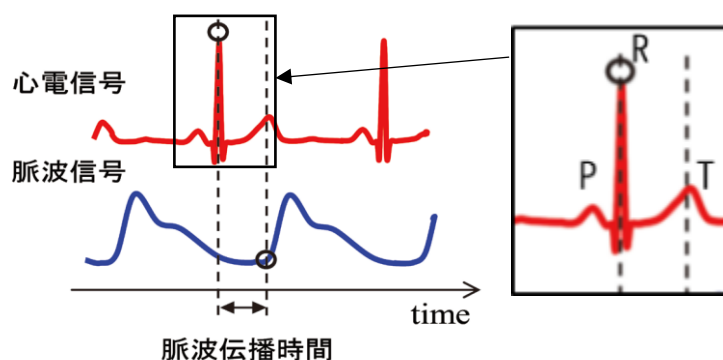


図 5.8.6 心電図波形と脈波波形の比較[5-8-13]

室の収縮までの間隔で、その変動である心拍変動から自律神経活動の推定にも利用される R-R 間隔と同様に扱うことが可能であることや、脈波の波の個数から算出される脈拍と心電図の波の個数から算出される心拍数は同様に扱うことが可能であることが示されてきている。

映像脈波法を含む光電脈波法では、血液中に含まれる血中ヘモグロビンの吸光特性を利用している。血中ヘモグロビンの吸光スペクトルを図 5.8.7 に示す。図 5.8.7 に示す通り、血液は約 500~600nm 付近の可視をより吸収している。そのため、血液は人間の目には赤色として検知される。人間の肌の色は、主に皮下の血液中のヘモグロビンと皮膚組織中のメラニンによって決定され、皮脂や汗、表面形状、環境光などによってさらに複雑に変化する[5-8-14]。

このことから、皮下の動脈が心拍に伴って拡張と収縮を繰り返すことにより、皮下の血液量（ヘモグロビンの量）は心拍に伴って増減し、肌の色は同調して変化する。パルスオキシメータや、指尖や耳朶などで計測する透過型の光電脈波計測、スマートウォッチなどで採用されている反射型の光電脈波計測では、肌に近赤外光や、赤色または緑色の可視光を照射し

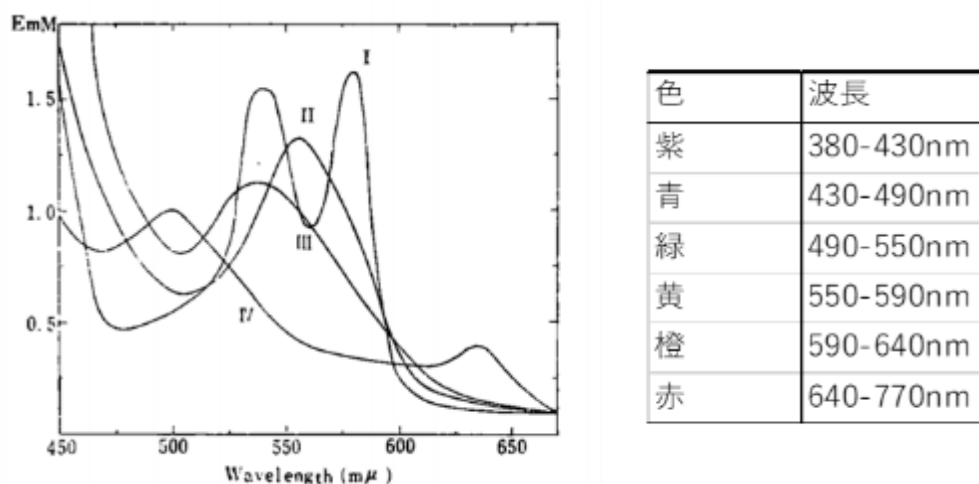


図 5.8.7 血中ヘモグロビンの可視部吸収像[5-8-15]

I. Hb-O₂, II. Hb, III. Hi-CN, IV. Hi-H₂O

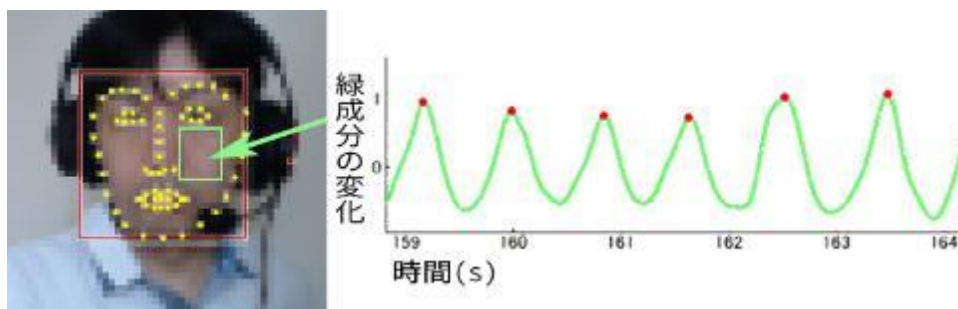


図 5.8.8 映像脈波の測定例

ており、散乱（反射）、透過した光を検出する。この光は皮下の動脈血中の脈動に応じたヘモグロビンの量の変化に同調して減衰量変動することから、光の減衰量の変化を示した波形から脈波を導出している。一方、今回採用した映像脈波法では、近赤外光や可視光の照射は行わず、自然光（環境光）下の肌の反射光、つまりカメラのイメージセンサで捉えた色（波長）自体の変化を利用しており、その色を赤（R）、緑（G）、青（B）へと分解し、緑色成分の変化量から脈波を導出している。

文献[5-8-10]などでは、映像脈波の対象とする関心領域（ROI, Region of Interest）を、顔パーツの特徴点から推定した被測定者の頬領域（矩形）としている。計測対象の映像について、フレームごとに顔と顔パーツを検出し ROI を設定する。脈波は、ROI に含まれる画素の平均値を算出して赤（R）、緑（G）、青（B）の成分に分解し、時系列に並べたその緑色成分の値に適切な周波数フィルタを適用することで算出する。図 5.8.8 に ROI と抽出した脈波の例を示す。

このとき、映像脈波法での脈波検出で最も重要な条件は、ビデオフレームの欠損に特に注意し、サンプリング間隔を正しく維持することであることがわかっている。

（4）瞬目波形抽出、瞳位置抽出

瞬目は、眼瞼の開口度合いの時系列変化から抽出することが可能である。映像から抽出した瞬目の波形は、眼窩周辺に貼付した電極から眼球運動に伴う電位変動を検出することで得られる眼電図（EOG, Electro-oculogram）から抽出した瞬目波形と類似する。また、瞬目の数や間隔だけでなく、開眼～閉眼、閉眼～開眼にかかる時間、上瞼と下瞼の距離の変化をパラメータとして分類することで、覚醒状態をはじめとした人の状態推定の可能性が報告されている[5-8-1]。図 5.8.9 に瞬目波形とパラメータ分類例を示す。図 5.8.9 に示す瞬目波形のカテゴリは、覚醒状態の高低や眠気への対抗の状態、集中や散漫などによって出現頻度が変わる。

瞬目波形を dlib の顔パーツから得る場合は、眼瞼の上下の距離を目尻と目頭の距離で除算して規格化したものを時系列に並べ、適切な周波数フィルタを適用することで算出する。図 5.8.10 に抽出した瞬目波形の例を示す。なお、図中の 130.5 秒頃と 132 秒頃から開始される山形の波形が瞬目となる。

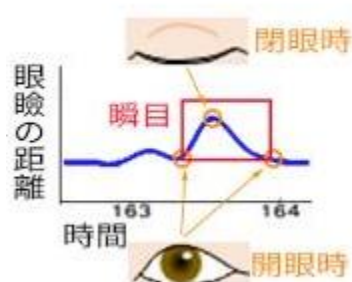
瞳の位置は、顔パーツの眼瞼領域内の画像を抽出して、二値化、膨張収縮などの画像処理を適用し、重心を求めることで抽出することが可能である（図 5.8.11）。本手法は、虹彩への照明の映り込みやまつ毛の影、眼瞼領域のサイズなどによって十分な検出ができないことも多い。RGB 画像より、近赤外光画像の利用やスマートグラスや視線検出用の非接触デバイスなどを利用する方が検出精度は高くなる。

なお、成人の眼球のサイズは 23～24mm とされていることから、眼瞼領域の中心位置を A、検出した瞳の位置を B としたとき、A から眼球の中心位置 O を推定し、OA と OB のなす角を算出することで眼球角度の推定が可能であることが、筆者らが別途行った実験によって示されている。

(5) 顔の角度抽出

顔の角度は、顔パーツからいくつかの点を選出してモデル特徴点の座標を定義、そこに回転行列を適用したものが顔パーツ検出によって得られた特徴点の座標になるという仮定に基づくものである。モデル特徴点の座標と検出特徴点の座標から回転行列を逆算し、顔の回転角を推定する（図 5.8.12）。

算出した顔の角度と(4)で視線角度から、視線の方向を推定することが可能である。視線の方向は被測定者がどこを見ているかを推定するだけでなく、視線の軌跡によって、集中や



カテゴリ	定義	
A		標準
B		(PA 大 or PA 中) and (T1 大 and/or T2
C		PA 小 and not (T1 小 and T2
D		not PA 大 and (T1 大 and/or T2
E		PA 小 and T1 小 and T2

図 5.8.9 瞬目波形とパラメータによる分類

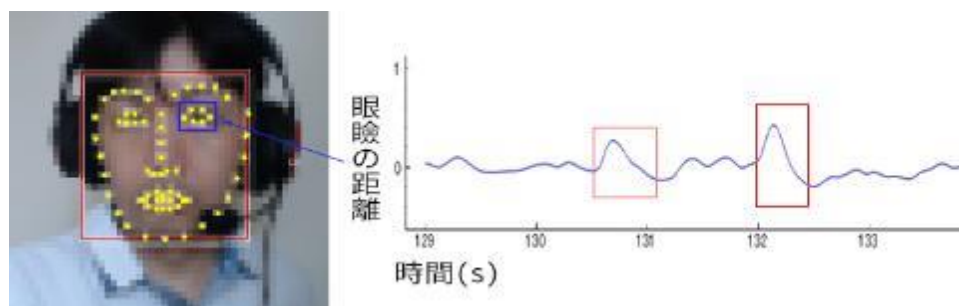


図 5.8.10 瞬目波形の測定例
(グラフ中の赤枠内が瞬目を示す)

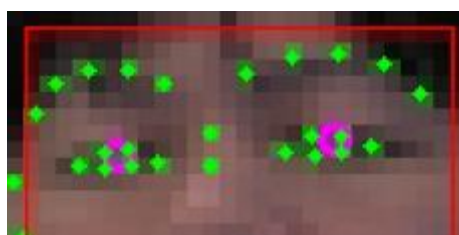


図 5.8.11 瞳の検出結果例
(緑色点：顔パーツ、マゼンダ色点：瞳位置：赤直線：顔領域)

散漫、興味の有無といった人の状態を推定できる可能性も示唆されている。筆者らが別途行った、ラップトップ PC で興味のある／ない短い動画を視聴した際の視線の動きを調べた実験では、興味のある動画では画面中央を中心に視線がほぼ画面内に集中して動いたことに対し、興味のない動画では視線の動きが画面外まで大きく発散することが示された。本実証実験においても、視線やその動きの検出によって、教科書やノート、ロボット操作のタブレットなど、どこを見ているのかだけでなく、瞬目や脈波など、その他の生理指標と組み合わせることで、上記のような人の状態の推定に寄与することが可能であると考える。

(6) 表情検知

目尻や眉、口角、鼻幅などの変化から表情の変化を捉え、感情や人の状態を推定する試みは古くから行われている。そのうちで広く知られているもののひとつに、顔の表情の動きを符号化（コード化）した顔面動作符号化システム（FACS, Facial Action Coding System）がある[5-8-17]。FACS は、1978 年に開発され、2002 年に改訂版が発表されている。FACS では、顔を解剖学的な知見をもとに 32 の Action Unit (AU) と 9 の Action Descriptor (AD) に分類し、その 41 の基本動作を組み合わせることによって様々な顔の動き（表情の変化）をコード化して表現している。FACS を用いた表情のコード化では、「笑顔」というひとつの表情についてでも、その強度や状態によって複数の分類、記述が可能であるとされている。そのため、CG アニメーションや汎用的な表情検知デバイスなどにも応用されている。FACS をプログラムとして実装したライブラリとして OpenFace[5-8-18]が開発されており、AU などの FACS に利用されるパラメータの他に顔、顔パーツ、顔の向き、視線の向きなどの検出も可能であるが、これらは本報告書で示した OpenCV や dlib が基本要素として利用されている（OpenFace のインストール要件に OpenCV や dlib のインストールを要求される）。OpenFace の利用には、NVIDIA が開発・提供している GPU 向けの汎用並列コンピューティングプラットフォームである CUDA (Compute Unified Device Architecture) が利用可能で、高速、高性能な演算処理が可能な計算機が要求される。そのため、テレポートロボットシステムに組み込んでリアルタイムに表情検知を行うためには、それに適応した形でのシステムの改変（開発）と組み込みが必要である。また、オフラインでの表情検知においても、

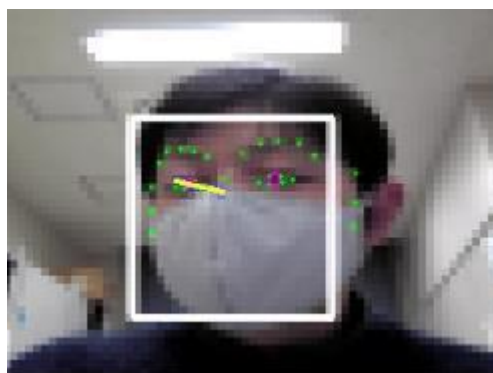


図 5.8.12 顔の角度推定例

（緑色点：顔パーツ，マゼンダ色点：瞳位置，黄色線：顔の角度を示すベクトル）

どのような評価を行うかと得られる映像やデータに合わせたシステムの改変（開発）と組み込みが必要であり，継続的な分析や解析が必要であると考える．

（7）呼吸波形検出

呼吸波形は，心（脈）拍などと合わせ，自律神経活動の推定などに用いることが可能な生理情報である．非接触での測定方法には汎用的な手法は存在していない，提案されている手法として，温度検知が可能なサーマルカメラなどを利用して鼻や鼻の下領域の温度を計測して呼吸を計測する手法がある．呼吸の際に鼻や口から吐く息である呼気と，鼻や口から吸う息である吸気は，体温などの影響によって温度に違いがある．その呼気と吸気の温度の違いによって鼻や鼻の下領域の温度が変化することを利用し，サーマルカメラを用いてそれを捉えることで呼吸波形（「吸う」動作と「吐く」動作の時系列変化）を得るものである．本手法の問題点としては，サーマルカメラは高価なものが多く近年普及してきたスマートフォンなどにも接続可能な USB タイプのものでも安価とはいえないことが挙げられる．また，RGB カメラとの同期の問題や，後述する実験参加者のマスク着用など，被測定者の鼻や口の領域が隠蔽されることで測定が難しくなることも問題となる．

一方，本実証実験において採用した手法は，距離カメラを利用し，呼吸に伴う胸部や腹部の動きを捉えることで呼吸波形の取得を試みるものである．これは，筆者らが文献[5-8-19]などにおいて報告している手法である．本手法で得られた呼吸波形は，センサによって胸部，腹部の周囲長の変化を捉えるスマートシャツなどで得られる波形と同等のものであることが示されている．

RealSense を被測定者の正面に設置したとき，図 5.8.3 に示したような距離画像を得ることが可能である．また，RealSense は RGB カメラを有していることから，アライメント（位置合わせ）を行うことで，各画素が完全に対応した RGB 画像を得ることが可能である．以上のことから，RealSense で撮影した被測定者の RGB 画像に本項（2）の手法を適用して取得した顔領域の位置や顔パーツの位置，それらから推定した胸部や両肩部の位置から，同時刻の距離画像の対応した座標を参照することで，RealSense デバイスからの対象位置までの物理的な距離を導出することが可能である．人の胸部や腹部は，胸式呼吸や腹式呼吸によって位相のずれが生じる可能性があるものの，呼吸の方式によらず呼吸動作によってわずかに上下（前後）する．このことを利用し，採用手法では，胸部や腹部の距離とカメラとの距

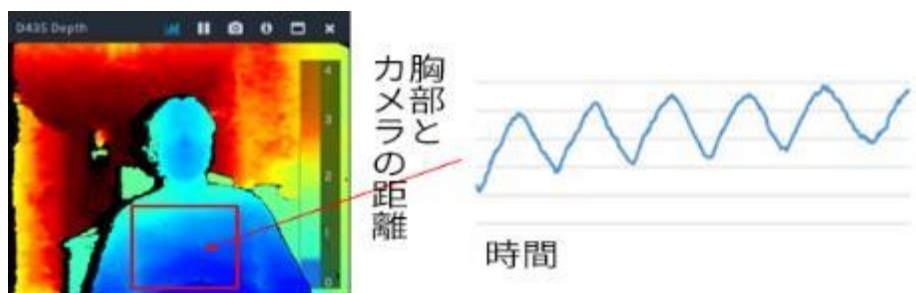


図 5.8.13 呼吸波形の測定例
（距離画像中の赤枠内の平均値を時系列にプロット）

離の変化を捉えることで呼吸動作による動きを検出し、呼吸波形を得ることを試みるものである。図 5.8.13 に距離の変化を利用した呼吸波形の例を示す。このとき、顔の位置と大きさから胸部領域を推定し、領域内の距離データを平均することで、カメラと胸部との平均距離を算出し、その時系列データに適切な周波数フィルタを適用することで呼吸波形としている。

本手法の問題点として、RealSense と計測領域との間に手やモノなど、距離計測を遮蔽するものがあつた場合や、被測定者自身の動きによって RealSense と計測領域の距離の相対距離が変化することによって呼吸による胸部や腹部等の微小な距離の変化が埋没してしまうことなどが挙げられる。

5.8.3 実証実験データへの適用と考察 (1)

(1) 実証実験におけるデータ収集

本実証実験においては、図 5.8.2 に示すような配置で、RealSense と表情検知用の RGB カメラを実験参加者の顔から上半身の上部が画角内に入るように実験参加者の正面の机の上に設置した。本実証実験中はリアルタイムでの生理信号計測は行わず、映像の録画と距離データの保存のみを行い、実験終了後に 2 節に挙げた処理を適用して分析を試みた。図 5.8.2 に示すように複数のデバイスを用いて撮影、記録、計測を行っていることから、分析に際してはそれらの計測データの同期が重要となる。RealSense と RGB カメラには、一定間隔で明滅するフラッシュと電波時計が撮像データ内に含まれるようにした。

RealSense は、デバイスに標準の録画形式ではデータサイズが膨大なものとなり、長時間撮影には向かない、また、図 5.8.3 に示すように、RGB カメラと距離計測のための赤外線カメラが独立していることから、画角や解像度などもそれぞれ異なっており、標準の録画方式では撮影後に再度アライメント（位置合わせ）の処理が必要となる。以上のことから、本実証実験では、撮像時に RGB 映像と距離データをアライメント（位置合わせ）し、RGB 映像を動画ファイルとして、距離データを HDF 形式（Hierarchical Data Format, 階層的データ形式）で、それぞれ独立して保存するプログラムを開発し、これを利用した。HDF 形式とは、大量のデータを構造化して格納するために設計されたデータ形式で、時系列データなどの保存に適している。RealSense で計測された距離データについて、1 フレームごとに 2 次元の距離データが得られるため、これを時系列に格納した。

(2) 予備実験データからの考察（実験手法、装置について）

実験中、実験参加者以外の実験者や視察者等の映像への映り込みや実験参加者との会話などが散見された。これにより、顔、顔パーツ検出や各種生理データの誤検出や検出漏れが誘発されることがあつた。また、実験運用上の問題から、計測データの同期のためのフラッシュの明滅を遠隔と教室を同時に一定間隔で行いこれを撮影することができず、また当初バックアップとして記録していた音信号も授業の妨げになるため記録を中止したため、正確な時間合わせを行うことができなくなった。

RealSense による実験参加者の録画データについては、断続的なフレームレイトの低下や

フレーム落ち（データの記録失敗）、実験後半には記録処理の強制停止などが発生した。特にフレームレイトの低下は顕著で、計測データのほとんどが 10FPS 以下となり、ばらつきも大きな結果となった。

（3）予備実験データからの考察（実験参加者について）

実験中、実験参加者は実験前の想定よりも短い間隔で断続的に種々の「動き」を行うことがわかった。例えば、テレポートロボットシステムを介して実際の授業を遠隔で受講する場合、教室側のカメラ映像が提示されるロボット操作用の操作タブレットを注視している時間は短く、かつ断続的である。実験参加者は多くの場合、座学を聴講している場合であっても、並行して板書をしたり、教科書を見たりといった授業中の通常動作を行う。この動作は机上で行われることが多く、ロボット操作用のタブレットよりも下を向くことが多いため、RealSense や表情検知用のカメラに写る実験参加者の顔の角度が、顔や顔パーツの検出が不可能な範囲となることが多いことがわかった。板書や教科書を見るといった並行動作がない場合でも、頬杖を突く、髪や顔を触る等の無意識の癖、小刻みな頭の動きによって、顔の向きや顔の形状が変わったり、顔の一部が隠れたりすることが散見された。演習やワイガヤなどの時間においては、実験参加者が教室側の状況の詳細に見ようとロボット操作用のタブレットの方に身を乗り出したり、会話や教室側の状況に興奮したように手や頭や体を動かしたりする所作も散見された（図 5.8.14）。

実験参加者の風貌については、複数の実験参加者について前髪等により眉毛や眼の周辺を隠してしまうことがあった。特に実験参加者が患者の場合には、着帽やウィッグなどによ



図 5.8.14 実験参加者の動作の例

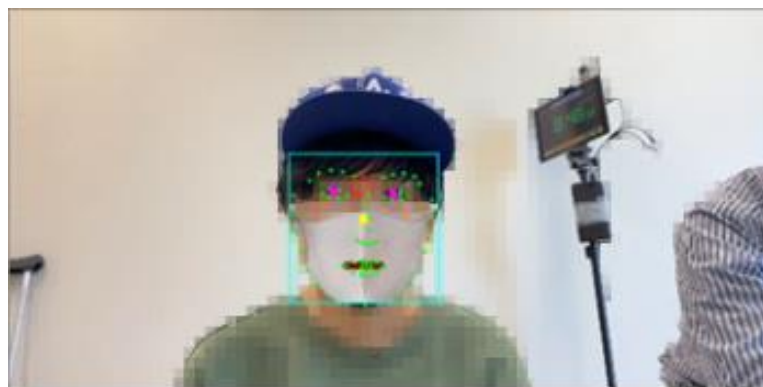


図 5.8.15 マスク上に疑似的な口（濃褐色の直線）を描画した場合の顔パーツ検出例

って眉毛や目の周辺を隠してしまうような場合があった。これらは状況によっては、顔らしい特徴を隠蔽し、顔、顔パーツの検出に影響を与える。また、コロナ禍の影響により、実験者や視察者等が長時間接触する実験時においては実験参加者がマスクを着用する必要性が生じた。

5.8.1 にも記載したように、実験参加者の動きは非接触計測に重大なアーティファクトとなり、検出は難しいものとなる。また、マスクも、顔らしい特徴の大部分を隠蔽してしまうことから、顔、顔パーツの検出への影響は前髪以上に強いものであった。顔面に密着する白いマスクの場合には鼻筋等に表示される陰影が補助的な役割を果たすことで顔、顔パーツの検出が可能な場合もあったが、黒いマスクの場合には顔、顔パーツの検出はほぼ不可能であった。ただし、着帽や前髪等の影響、マスクの影響を受けた場合であっても、顔領域の検出ができれば、顔パーツの検出が可能となる場合が多かった。鼻や口がマスクで隠蔽された場合には、当該フレーム画像のマスク領域の上に、直線描画によって疑似的に鼻や口を描くことで顔パーツの検出が安定することもわかった（図 5.8.15）。

脈波の検知は、着帽または前髪の影響とマスク着用の影響によって肌の露出部分がほとんどなくなってしまうことから、ROI を頬領域に設定することができず、また実験参加者の動作が加わることで、ほとんどの区間で難しかった。

瞬目の検知は、顔パーツが検出可能な区間で、実験参加者の動きが少ない範囲であれば検出の可能性が示唆された。また、同様の区間においては、図 5.8.15 中のマゼンタ色の点で示すように、5.8.2 (4) に示す手法を適用することで瞳の検出の可能性も示唆された。

5.8.4 計測手法の見直しと改善

(1) 実験手法、装置の見直し

実験中の実験者や観察者等の映像への映り込み問題については、実験運用上の注意事項の明示等によりある程度改善されたが、実験作業上致し方ないことも多く、完全な解決には至らなかった。同期のためのフラッシュが正確でなかった問題も、種々の方法で解決を試みたが、完全な解決には至らなかった。データの同期は、各種計測データを比較して分析、検証するためには重要かつ必要なもので、今後実験が行われる際には解決が必須なものである。RealSense による録画のフレームレートの低下や撮影の断続的な停止は、RealSense 自体の計測に伴う演算によってチップが発熱し、動作保証温度を超えてしまうことに起因と考えられた。RealSense のカメラの動作保証温度は外気温 0～35℃、表面温度 44℃とされており、動作温度以外の過酷な環境で使カメラを使用するには、カメラを保護するための筐体を設計する必要があるとされている。そのため、RealSense の背面に M2.SSD 用のヒートシンクを装着した（図 5.8.16）。

これによりフレームレートの低下とばらつきは大幅に改善され、断続的ではあるが 30FPS での距離データの取得が可能となった。RealSense では、録画開始時点を起点としたフレーム数を取得することが可能なため、取得できた距離データを RGB データや他の計測データと同期することができる。



図 5.8.16 背面にヒートシンクを装着した RealSense

(2) 顔領域と顔パーツ検出用の学習データの再学習

前節 (3) に挙げたように、本実証実験では実験参加者のマスク着用により、鼻と口を含む顔の下半分が隠蔽されることにより、顔領域の検出が難しい結果となった。そのため、以下の手順によってマスク着用時でも顔領域の検出が可能となるよう学習データの再学習を行った。なお、本項(2), (4)の成果は、本研究の成果の一部として、IEA2021, The 21st Triennial Congress of the International Ergonomics Association[5-8-20]において報告する予定である。

dlib における顔検出においては、顔の輪郭や眉、目、鼻、口などの位置やサイズ、その陰影などに基づく HoG 特徴量を用いている。そのため顔パーツがマスクによって隠蔽されることによって顔の検出が不可能となる。このことから、まず学習用に複数の顔画像を準備し、その顔画像について通常の顔と顔パーツ検出を行う (図 5.8.17)。それぞれの顔パーツの検出結果について、頬から顎のラインを示す特徴点と鼻筋の中央を示す特徴点からなる多角形を導出し、その内部を黒色または白色で塗りつぶすことで疑似的なマスク画像を生成する (図 5.8.17)。

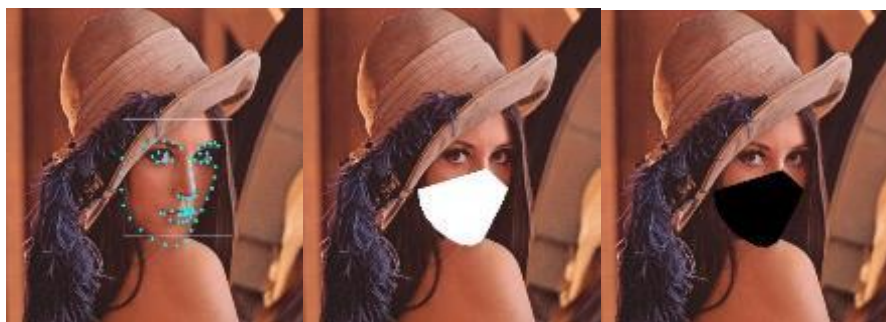


図 5.8.17 疑似マスク画像の生成

(左) 通常の顔, 顔パーツ検出, (中, 右) 生成した疑似マスク画像

疑似的なマスク画像から検出されるべき顔領域は元画像の顔検出結果として、元画像、白マスク画像、黒マスク画像を学習データとする。このデータを学習用データセットとして顔検出の学習データの再学習を行った。同様に、顔パーツ検出について、68点の顔の特徴点のうちマスクで隠蔽される鼻の下部、口、頬から顎にかけての計38点を削除し、眉と目、こめかみ周辺の30点の特徴だけを抽出し、これを元画像、白マスク画像、黒マスク画像と30点の特徴点を学習データセットとして顔パーツ検出の学習データの再学習を行った。

再学習データの利用により、図 5.8.18 に示すように、疑似マスク画像においても顔領域と30点の顔パーツの検出が可能となった。

なお、顔パーツ検出から頬から顎のラインを削除したのは、マスク対応によって検出対象者の首に写る顎の影や頬の横の髪の毛の部分の部分を顔領域（マスク領域）として誤検出するためである。

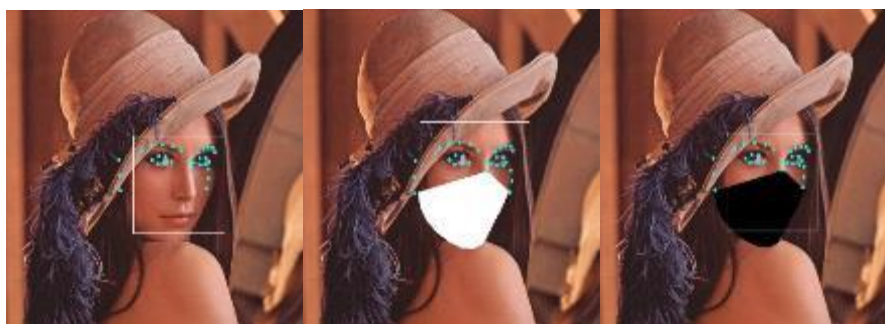


図 5.8.18 再学習データによる顔、顔パーツ検出結果例
顔領域検出結果（白枠）、顔パーツ検出結果（シアン点）

(3) 視線・姿勢の映像からの顔領域の推定（OpenPose）

5.6 に記載したように OpenPose[5-8-21]とは、カーネギーメロン大学が CVPR2017 で発表した、画像や映像の中から、顔、体、手、足に設定されたキーポイント（特徴点）で示される骨格を検出し、姿勢や、体の向きや動き（ポーズ）を推定するライブラリである。OpenPose の利用には、OpenFace などと同様に CUDA が利用可能で、高速、高性能な演算処理が可能な計算機が要求される。近年、CUDA を必要としない通常の計算機でも利用可能な CPU 版も発表されているが、高速、高性能な演算処理性能が要求され、リアルタイムでの検出処理は難しい。5.6 では、実験参加者の実験中の姿勢を非接触かつ動的に検出する試みに用いられている。

OpenPose を実験参加者の正面映像に適用した場合、検出されるキーポイントは左右の目と耳、鼻の頭の5点である。OpenPose の検出は映像、画像中の人らしい領域を探索し、骨格モデルとその間接部分であるキーポイントを検出するものであり、顔や顔パーツのみの特徴や陰影を用いるのではない分、計測対象者のマスクの着用や頭髮、着帽などの影響を受け難い。そのため、顔らしい特徴が隠蔽されて dlib による顔検出が難しい場合でも、

OpenPose では目や耳の位置を検出できる可能性がある。例えば、図 5.8.19 のように、着帽、黒マスクの着用、前髪による眉や瞼の隠蔽がある場合、本項 (2) の手法であっても顔領域の検出が難しい。しかし、OpenPose では骨格の検出が可能である場合が多い。

以上のことから、姿勢検知のために実施された OpenPose の検出結果のデータの提供を受け、その両目と鼻頭の位置から実験参加者の顔領域を推定し、この方法を本項 (2) の顔検出過程に置き換えて顔パーツ検出を行う手法の検討を行った。その結果、図 5.8.20 のように顔パーツの検出が可能であった。図 5.8.20 では、顔面中の左右の目を示すマゼンタ、グリーンの点、鼻の頭を示すイエローの点が OpenPose の結果として提供されたものである。この 3 点の距離などから推定顔領域を算出した結果がシアン色の枠となる。この顔領域の情報を基に顔パーツ検出を行った結果が、眼瞼、眉、こめかみの輪郭上に配置されたシアン色の点となる。マスク上に描画された濃褐色の直線は疑似的な口を表すために描画したもので、鼻の付け根から斜めに伸びる青い直線は顔の角度を示すものである。これらについては、本項 (5) に後述する。

OpenPose は、姿勢や動作を検出可能であるため、図 5.8.20 のように実験参加者が何かしらの動作を行っている場合も顔領域を検出可能なことが多い。演算負荷の高さからリアルタイムでの処理には不向きであるが、オフラインでの顔検出の一手法としての利用は十分に有効性が高いと考えられる。



図 5.8.20 OpenPose データを利用した顔、顔パーツ検出の結果例

(4) 脈波抽出における ROI の変更

脈波については、本項 (3) に示した通り、マスクの着用により、脈波抽出の対象である ROI となる頬領域が隠蔽されるため、抽出が難しい。実験参加者の映像中で肌が露出する部位を検討した結果、額は前髪によって隠蔽される可能性が高く、首は着衣によって隠蔽される可能性が高いことから、眉間から鼻の付け根の部分の脈波抽出の ROI として設定することとした。

先行調査として、脈波抽出の ROI を従来の頬領域と、本項 (2) の顔パーツ検出手法で得られた眉間と鼻の付け根の特徴点の周辺領域に設定した場合の脈波の抽出結果の比較を行った。図 5.8.21 に示す結果例のように、小さな位相のずれが生じている可能性はあるものの、ROI によらず同程度の脈波検出の可能性が示唆された。そのため、本実証実験のデータ

における脈波抽出の ROI には眉間領域を利用することとした。

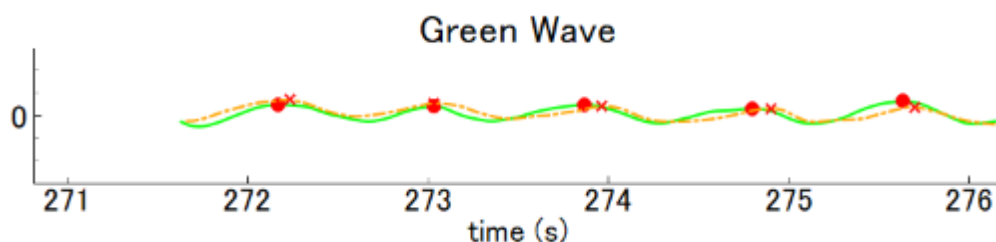


図 5.8.21 ROI の違いと抽出脈波の比較
(緑直線：眉間領域，橙破線：頬領域)

(5) 顔方向，視線方向の推定

5.8.2 (5) で示した顔の角度の算出方法においては，顔面上の 6 個以上の特徴点と，その特徴点のモデル上での 3 次元位置のデータが必要となる．その特徴点は，顔面上にある程度分散し，また，表情の変化などによって動き難い場所に設定する必要がある．そのため，図 5.8.20 に示すように，図 5.8.15 で示した手法と同様にマスク上に疑似的な口を描画し，両目尻，眉間，鼻の付け根，仮想的な口の両端の計 6 か所を顔向き推定に利用する特徴点に設定した．

視線の方向検出のための瞳位置の検出は，5.8.2 (4) で示した手法の適用は可能であったが，OpenPose のデータの観察により，OpenPose で検出した目を示すキーポイントは瞳の位置であることが確認されたため，瞳位置は OpenPose で得られた特徴点の座標自体を利用することとし，顔パーツ検出の結果得られた眼瞼形状との位置の比較から，眼球方向の検出を行うこととした．

5.8.5 実証実験データへの適用と考察 (2)

(1) 検出を行った実験データ

前節に示した実験手法の見直しと改善を実施し，再度実証実験データへの適用を試みた．対象とした実証実験データは表 5.8.2 のとおりである．実験番号 1202_MF_01 の実験参加者は，着衣は丸首のトレーナーで，カメラとの距離は比較的近く，背面が白い壁であることから，左右からの実験者の映り込み等を除けば，非接触計測に比較的好条件が揃っている．しかし，ロゴ入りのキャップと黒マスクを着用していることや，実験参加者の動きや体勢が頻繁に変化すること，実験者の腕や体の介入も頻繁であることなどから実際には各検出が非常に難しい結果となった．また，前髪は上瞼の高さに横は目尻にかぶっていること，手の動きが多めで遠隔側の実験者の行動の観察や周囲の人物との会話のために左右を向くことが多いことも影響が大きい．実験番号 1209 と 1210 の実験参加者は同一の人物で，1209_MF_01 では，フード付きのパーカーと黒マスクを着用，髪が上瞼の高さにかぶっており，各検出が非常に難しい．1209_MF_02 からは，実験参加者の協力により白い襟付きのシャツと白マスクの着用に変更いただいたため，着衣は改善されたが，背景に天井の照明やガ

ラス張りの戸、待機中の実験者などが映っていることも影響が大きい。実験参加者は、実験中下を向いて伏せ目気味で、小刻みに動いたり、前髪で目そのものが見えないほど極端に下を向いたり居眠りをしたりしている場合（1209_MF_04, 1209_MF_05 など）もあり、その場合はほぼすべての顔のパーツの検出が難しい結果となった。

表 5.8.2 対象データと分析の状況

実験番号	顔, 顔パーツ	脈波	瞬目	顔向き	呼吸
1202_MF_01	一部可能	一部可能	かなり困難	一部可能	—
1209_MF_01	一部可能	一部可能	困難	一部可能	—
1209_MF_02	概ね可能	一部可能	かなり困難	概ね可能	—
1209_MF_04	困難	困難	困難	困難	—
1209_MF_05	一部可能	かなり困難	困難	一部可能	—
1210_MF_01	一部可能	一部可能	困難	一部可能	—

なお、表中の可能、困難は各推定値の算出の可・不可を示すものであり、その正確性については、比較、検証するリファレンスが存在しないため、ここでは言及しない。

以降では、これらの結果から得られた考察について、各検出手法ごとにまとめる。

(2) 顔, 顔パーツ検出

再学習データと OpenPose の利用により、被測定者が正面を向いている区間や多少の動きのある区間も含めて大部分の区間で検出が可能となった。5.8.2 (2) でも利用したパターンマッチングによる追跡処理を加えることで、dlib による顔領域の検出や OpenPose による目の検出ができず顔の検出が難しい場合でも、以前のフレームで検出された顔領域の画像を検索パターンとすることで、その類似性から顔領域の検出が可能になることがあるなど、検出可能性が向上した。ただし、マスクの着用と前髪による眉毛の隠蔽の影響は大きく、特に、マスクの着用により、顔や顔のパーツを判断する特徴が目および眉のみ（一部鼻筋の陰影）となるため、特に黒マスク着用時において、前髪で眉を隠した状態で実験参加者が下を向く、伏し目勝ちになる等によって目の形状が変形したり黒目勝ちになったりした場合、顔パーツの検出は検出が不可能となる。

(3) 顔の向き、視線の推定

顔, 顔パーツの検出が可能な区間においては、マスク上への疑似的な口の描画によって、顔の向きの推定データの取得がある程度可能であった（図 5.8.22）。

ただし、顔, 顔パーツの検出と同様に顔が上下左右に深く向いているとき、顔が傾いているときには、顔パーツの検出のうち、特にこめかみ部分の顔の輪郭検出がうまく行えないことが多く、また、口の描画が実際の口の位置とうまく合わないことが多いことから、顔の向きの推定が不正と思われることがあった。観察により、OpenPose で検出された目の位置は、眼球位置とある程度一致していたことから、眼球角度の推定は、前述の方法を OpenPose の目の位置に代え、顔パーツ検出の眼瞼の輪郭との位置関係から算出することも可能である



図 5.8.22 顔，顔パーツの検出と顔の向き検出の例

(白色矩形：顔領域，緑色点：顔パーツ，青色直線：顔の角度を示すベクトル，マゼンダ色円：瞳位置，赤色点：仮想的な口の両端を示す点，赤色矩形：脈波抽出領域)

と考える．これらの算出結果と，それを基にした注目領域の推定，視線カメラによる計測結果との比較検証については 5.9.2 に記載する．

(4) 脈波，瞬目波形の抽出

顔，顔パーツ検出の改善と ROI の眉間領域への変更によって一部区間において脈波検出の可能性が示唆された (図 5.8.23)．ただし，(2) と同様の理由で顔，顔パーツ検出が難しい場合や，顔パーツが検出できた場合でも顔の傾きによって ROI 内に肌色以外のアーティファクトとなる領域が含まれる際には検出が難しい．また，リファレンスとなるデータが存在しないため，検出脈波の精度については検証ができず，脈波のデータとそれ以外の指標やアンケート結果などを総合して検証する必要がある．図 5.8.23 は実験参加者が板書をノートに書き写しているという，頭の動きがあまりないシーンのものである．脈波から脈拍の推定や人の状態を推定するに際しては，10 秒程度かそれ以上の安定で連続した計測が必要と考えられるが，本実証実験において，いずれの実験参加者においても，これに合致する「10 秒以上頭の動きがあまりない」区間はほとんどみられず，本計測計測結果からの応用はかなり困難であると言わざるとえない．これは，テレポットロボットシステムの導入によって，

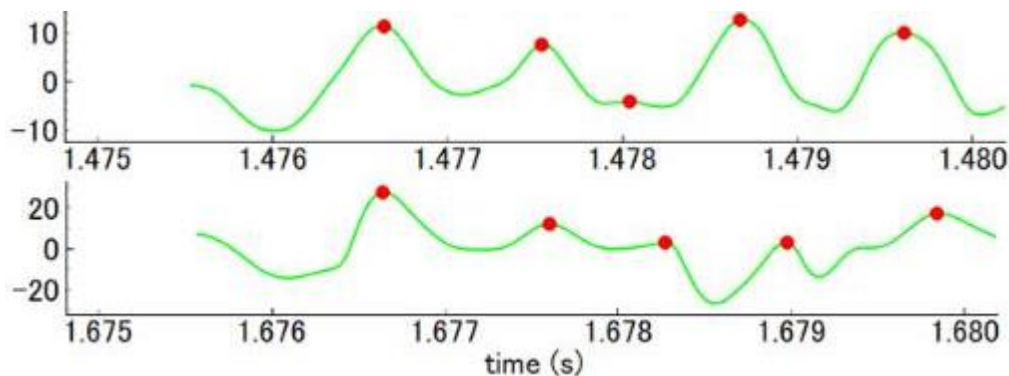


図 5.8.23 実証実験中の脈波検出例

(緑線：検出脈波，赤点：ライブラリ関数を用いた緑線のピーク点)

教科書、ノート以外に教室側の状態を提示し、ロボットを操作するためのディスプレイが配置されたことで、首や頭をより頻繁に大きく動かす必要が生じたこと、特にロボット操作用のディスプレイのサイズや教室側の映像の解像度の問題などから実験参加者が教室側の状況や黒板の板書、提示資料などを詳細に見ようと操作タブレットの方に身を乗り出してしまうような場面があったことや、テレポートロボットシステムへの物珍しさなどから必要以上にディスプレイを注視したり、操作したりしたことなど、実験参加者が、安静着座状態のはずの座学授業などの受講中も含めて筆者らが想定していたよりもかなり頻繁に種々の動作を行ったことに起因すると考えている。実験参加者の動作が、一般的な講義の受講時でも同様なのか、テレポートロボットシステム導入の影響やテレポートロボットシステムへの慣れの不足などによる一時的なものなのかについては、今後比較実験などを追加して検証、分析に取り組む必要がある。加えて、人の状態推定のための脈波、脈拍計測を行うためには、より被測定者の動きにロバストで安定的に計測が可能な手法の検討も進める必要がある。

瞬目波形は、顔パーツ検出のための学習データの変更により顔パーツの検出の対象となる特徴が減少した上、頭髮の影響で顔パーツの検出結果が安定せず、別途行った検証実験時に比べて検出がかなり困難な結果となったが、一部の区間において検出の可能性が示唆された（図 5.8.24）。

瞬目についても脈波と同様、顔、顔パーツの検出に依存して検出が難しくなるが、本来、脈波検出に比べて被測定者の動きには多少ロバストであるが、特徴点の減少により必ずしも期待した結果となっていない。瞬目については覚醒状態の推定や、それに向けた瞬目波形の分類などが可能であるため、より適切な検出方法の検討が必要である。

(5) 呼吸波形の抽出

呼吸波形の抽出においては、5.8.4 (1) でも述べたように、温度対策を行ったうえでも RealSense の計測データのフレームレイトが一定でないなどもあり、距離データと映像やその他の計測データの同期の作業が難しく、十分な解析に至っていない。ただし、5 FPS 以上で距離データの取得ができており、実験参加者が動かない、遮蔽物がない限定した区間では

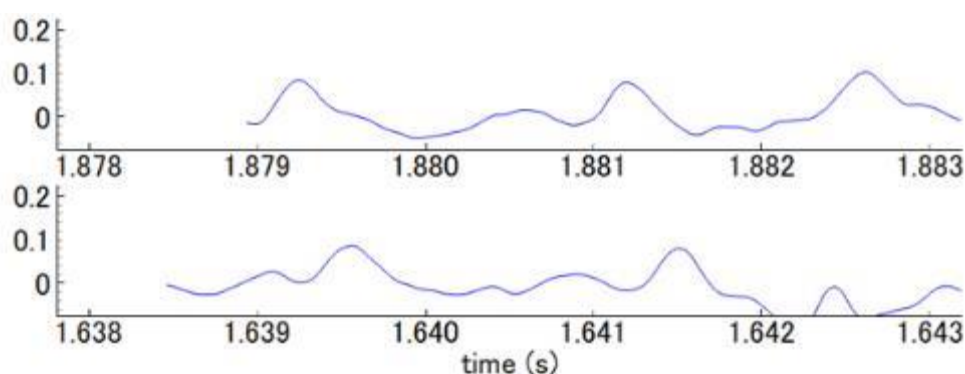


図 5.8.24 実証実験中の瞬目波形検出例
(青線：瞬目波形、波形中の大きく鋭い波が瞬目)

検出の可能性がある。ただし、呼吸波形についても、脈波と同様に一定時間以上の安定で連続した計測区間が必要であるため、人の状態推定に用いるだけの指標が得られる区間はごく限られている。なお、距離データの利用により、顔の向きの検出精度の向上や被測定者の姿勢や動き、ジェスチャの検出の可能性があるなど、有用なデータとなる可能性があることから、今後解析に取り組みたい。

(6) 映像を用いた脈波、瞬目、呼吸の計測とそれを用いた定量的評価の可能性

前述をまとめると、映像を用いた非接触計測は、種々の対策を講じることで一定の改善が見込めたものの、被測定者の動き、動作へのロバスト性が低く、非接触計測で得られたデータだけを用いた定量的な評価は困難である。5.8.1 でも述べたウェアラブルデバイスなど低負担計測手法を併用して、安定的で連続した計測を可能とすることが必要不可欠ではないかと考える。また、非接触計測を用いた人の状態の推定やその定量的評価の可能性を探るための「実験」を行う上では、教示等により被測定者の動きにある程度の制限を加えることや、状態推定や定量的評価に用いるためのエビデンスとなるデータを習得できるような実験の計画が必要であり、その結果を自然な状態の被測定者へと適用することで、検証や発展的な分析、解析に取り組む必要があると考える。

5.8.6 映像を用いた脈波、瞬目、呼吸の計測とそれを用いた定量的評価の可能性

前述をまとめると、映像を用いた非接触計測は、種々の対策を講じることで一定の改善が見込めたものの、これまで知られている通り、被測定者の動き、動作へのロバスト性が低く、非接触計測で得られたデータだけを用いた定量的な評価は困難であった。定量的な評価を目的とした実験では、5.8.1 でも述べたウェアラブルデバイスなど低負担計測手法を併用し、安定的で連続した計測を可能とすること、非接触計測からの人の状態推定や定量的評価に用いるためのエビデンスとなるデータを並行して取得できるようにすることが必要不可欠であると考ええる。

5.7 にも示したように、当初計画では実験参加者に低負担の生体計測装置を装着し、非接触計測との同時計測を行う予定であったが叶わなかった。そこで、5.7 に記載した低負担計測実験時に記録した顔映像に本 5.8 で述べた非接触計測手法を適用して、脈波波形の推定を行った。得られた脈波と BiTalino による低負担計測装置で得られた心電波図と比較した結果を図 5.8.25 に示す。

図 5.8.25 に示される通り、実験中の安静、2 種類の呼吸統制、本実証実験に類似したタブレット操作時のいずれにおいても、一部に検出漏れや過検出、潜時のばらつきはあるものの、心電図の R 波（図中青色線）と R 派の間に脈波（図中緑色線）のピーク（図中赤色 x マーク）が視察され、本節で示した手法によってマスクのあり・なしに関わらず心電図と同調した脈波波形が計測可能であった。検出漏れや過検出、潜時のばらつきの原因は被測定者の目や顔の動きによる ROI の変動、環境光の変化、検出時に適用した周波数フィルタの影響、脈拍の判定方法の影響、および皮下の血量変化自体による影響などが考えられ、これらにつ

いてはさらに詳細な検証が必要である。

以上のことから、非接触計測を用いた人の状態の推定やその定量的評価については、安定した環境下に限り、その可能性が示唆されたが、被計測者の動きの影響や検出脈波の正確性を検証し状態推定や定量的評価に用いるためのエビデンスとなるデータを習得できるような実験をさらに重ねる必要があり、その結果を自然な状態の被測定者へと適用することが必要であると考える。

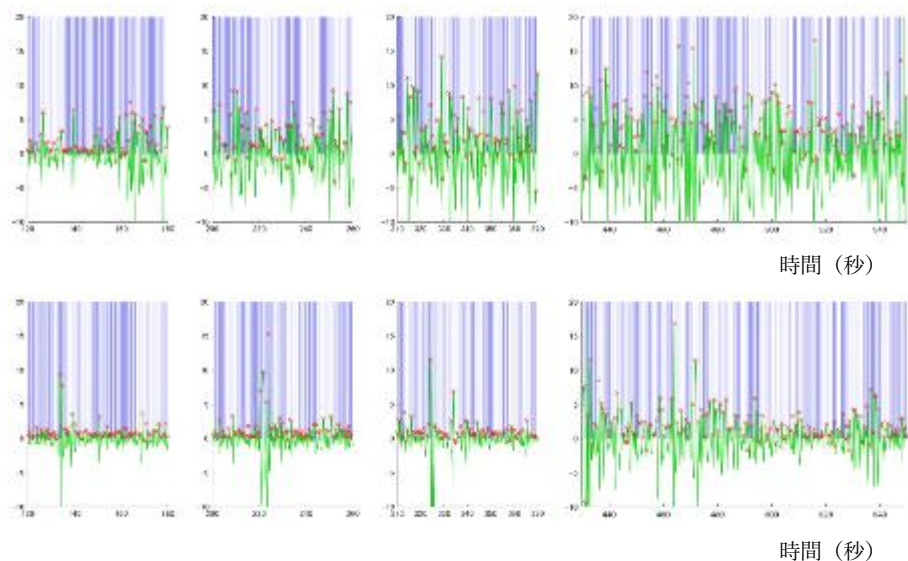


図 5.8.25 非接触計測による映像脈波と低負担計測 (BITalino) による心電図の比較

(青線：心電図の R 波，緑色線：映像脈波，赤色 x 点：映像脈波のピーク点，

上段：マスク有，下段：マスクなし，

いずれも左から，安静時，2 秒-3 秒呼吸時，4 秒-6 秒呼吸時，タブレット操作時)

参考文献

- [5-8-1] 鎌倉快之，大須賀美恵子，井上裕美子，野口祥宏: ドライバの覚醒水準評価をめぐった瞬目の分類について，自動車技術会論文集，38(4)，pp.173-178，(2007)
- [5-8-2] Apple, <https://www.apple.com/jp/watch/>, last accessed 2021/02/05
- [5-8-3] fitbit, <https://www.fitbit.com/jp/home>, last accessed 2021/02/05
- [5-8-4] Nintendo, <https://www.nintendo.co.jp/ring/>, last accessed 2021/02/05
- [5-8-5] Hexoskin, <https://www.hexoskin.com/>, last accessed 2021/02/05
- [5-8-6] Tobii Technology, <https://www.tobiipro.com/ja/>, last accessed 2021/02/05
- [5-8-7] JINS MEME, <https://jins-meme.com/ja/>, last accessed 2021/02/05
- [5-8-8] Kumar, M., Veeraraghavan, A., Sabharwal, A.: DistancePPG: Robust non-contact vi-talsigns monitoring using a camera. Biomed Opt Express, 6(5), 15.85–1588 (2015).

- [5-8-9] Intel RealSense Computer Vision, <https://www.intelrealsense.com/>, last accessed 2021/02/05
- [5-8-10] 竹内大樹, 中村瑞稀, 鎌倉快之, 大須賀美恵子: 1D3-7 心拍 (脈拍)・呼吸の低負担計測手法の比較, 人間工学 55 (Supplement), 1D3-7-1D3-7, (2019)
- [5-8-11] dlib C++ Library, <http://dlib.net>, last accessed 2021/02/05, last accessed 2021/02/05
- [5-8-12] Kazemi, V., & Sullivan, J.: One millisecond face alignment with an ensemble of regression trees. 2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Columbus, OH, 1867-1874(2014)
- [5-8-13] 中川剛他: 自動車運転における体調管理, DENSO TECHNICAL REVIEW Vol.21 2016, pp.103-108, (2016)
- [5-8-14] 化粧品用語集, 日本化粧品技術者会 SCCJ, <https://www.sccj-ifsc.com/library/>, last accessed 2021/02/05
- [5-8-15] 梶田昭彦, 上代皓三: ヘモグロビンの吸光スペクトル, J-STAGE 生物物理, 2 巻, 2 号, pp.76-82, (1962)
- [5-8-17] Ekman, P., W. V. Friesen, The facial action coding system: A technique for measurement of facial movement. 1978
- [5-8-18] OpenFace, <https://cmusatyalab.github.io/openface/>, last accessed 2021/02/05
- [5-8-19] 中村瑞稀, 竹内大樹, 鎌倉快之, 大須賀美恵子: 1D3-6 カメラを用いた非接触生体信号計測, 人間工学 55 (Supplement), 1D3-6-1D3-6, (2019)
- [5-8-20] IEA2021, The 21st Triennial Congress of the International Ergonomics Association, <https://iea2021.org/>, last accessed 2021/02/05
- [5-8-21] OpenPose, <https://cmu-perceptual-computing-lab.github.io/openpose/web/html/doc/index.html>, last accessed 2021/02/05

5.9 視線の分析とカメラ映像を用いた視線推定の可能性

5.9.1 アイトラッカーを用いた視線分析

視線は非接触型のアイトラッカー (Tobii Pro フュージョン[5-9-1]) を用いて計測した。この視線計測装置は 2 つのカメラで被測定者の顔を計測することにより輻輳 (奥行方向の視点移動) にも対応している。精度のよい計測には、機器の配置の再現性 (位置関係のパラメータの正確性) と実験前に実施するキャリブレーションの精度に依存する。機器配置の再現性を高めるために 3D プリンタを用いてカメラ設置用の治具を作成した (図 5.9.1 左)。設置例を図 5.9.1 右) に示す。カメラ視野に適正なサイズで顔を入れるにはカメラの角度を被測定者の座高 (と椅子の高さ) に合わせて調整する必要があるため、治具は 20~50°, 5° 刻みで 7 種類作成した。

アイトラッカーでも顔と瞳孔の検出をしており、5.8 に示したようにマスク着用で計測が難しくなっている。



図 5.9.1 アイトラッカー設置用治具 (左) と配置例 (右)

視線計測した 1202 【A10】、1209/1210 【A12】では全計測時間中、20~40 %程度の区間で計測が行えた。今回は画面 (遠隔参加者の操作画面をキャプチャした画面) の中での視点位置を捉えるモードで計測したため、画面外、たとえば手元の資料やスマートフォン、同室にいる実験者や来訪者の方を向いたときにも計測不備になる。画面内を見ているのに計測不備が起こる一因は、マスク着用 (特に黒いマスク) により顔検出不備が起こることである。また、Kubi を利用してグループワークに参加している場面で、映像からは互いの顔を見ていると推察されるが、画面に近づきすぎているため視線は計測できていない (5.6.2 参照)。また temi で友人と会話し笑顔で手を振っているときにも画面に近づきすぎて視線計測ができていない (5.6.2 参照)。教室側とより密にコンタクトをとろうとするとタブレットに近づく傾向があるのは当然であり、このときに視線計測不備が起こるのは今回の設備と設置条件に起因しており今後の課題である。顔検出の不備は、マスクに加え前髪がかかっていることが影響していると考えられる。AYA 世代の生徒は髪型に対するこだわりが強いためこの問題も手法側で解決すべきことである。計測できているときの計測精度は高く (定量的には評価できないが) 図 5.9.2 に示すように妥当な注視点を検出できている。

図 5.9.2 は座学における遠隔参加者 【A12】 (健常者) の特徴的な注視点の動きを示してい

る。赤丸は注視点、赤線は視線移動を示している。左上は板書している教師の顔と手元を見しており、中央上では板書と友人の顔を交互に見ている。中央右は板書の式と自分の顔、左下は自分の顔と時計を見ている。中央下は教師に質問されたときで板書のグラフと教師の顔を見ている。下右は黒板の右側がよく見えるように Kubi を回転させた直後の注視点で操作の意図が推察できる。

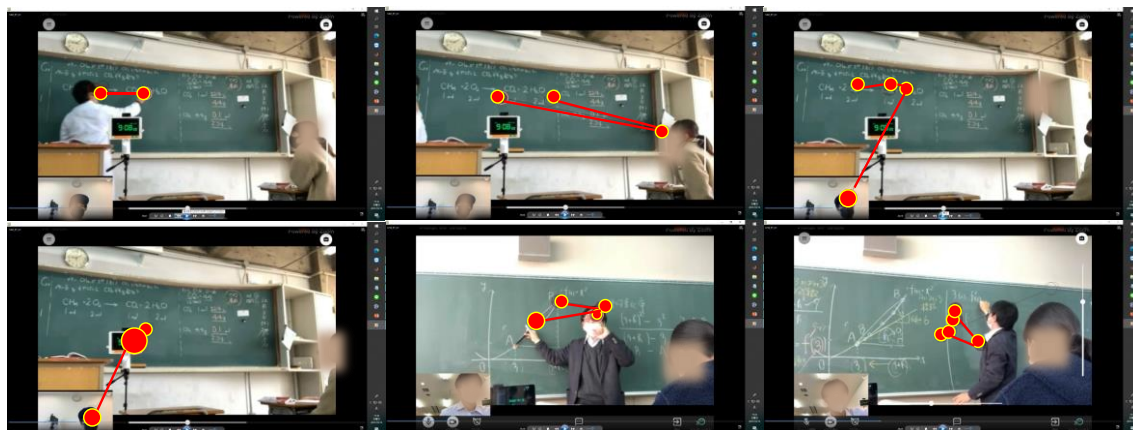


図 5.9.2 特徴的な注視点移動例(1)

遠隔参加者は患者、健常者ともにワイプの中の自分の顔をときどき見ることが視線計測して初めてわかった。相手にどのように見えているかを確認していると考えられる。参加者【A10】(患者)はこの実験のためにウィッグと帽子を準備したそうで医師によるとこのような行動は患者の精神状態によい影響を与えるということである。図 5.9.2 の参加者 A12 (健常者)は常に顔を表示し続けるのは心理的負担になると言っている。健常者と患者では顔を見せたくない理由は異なるはずである。残念ながら【A10】(患者)にフェーズ 2 を試してもらうことができなかったので、顔出ししない選択についてのコメントを得ることはできなかった。図 5.9.2 にも一例を示したように、授業の後半になると、時計や教室の他の学生をよく見るようになることもわかった。これは集中の途切れを示している。

図 5.9.3 の左と中央は Keigan で演習に参加している場面である。左では一緒に演習している 2 人の生徒と 1 人の手元、後ろにきた教師の顔を交互に見ている。中央ではフェーズ 2 のワイガヤ機能であるロボットの腕を動かしているときで画面に出ている腕のアイコン(赤丸)を見ている。右は体育の授業に参加しているときで体操している生徒を順に見ながら軽く手を動かしている。

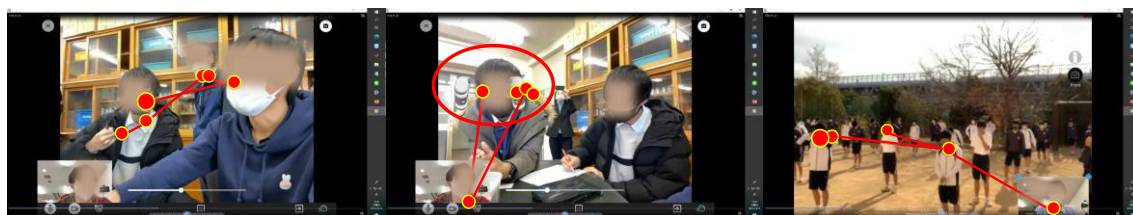


図 5.9.3 特徴的な注視点移動例(2)

図 5.9.3 は屋外の例である。左は画面を覗き込んだ生徒の顔を見て話しをしている。右は移動中で進行方向を見ている。以上より、視点計測により、参加者が興味を持っている対象を推察することができ、操作の意図が汲み取れることが示された。

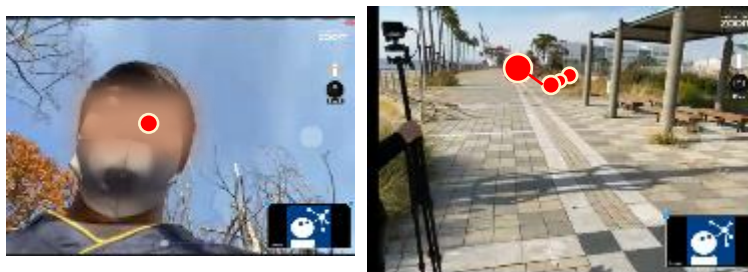


図 5.9.3 特徴的な注視点例(3)

5.9.2 正面カメラ映像を用いた視線推定手法の検討

OpenPose により検出された目の座標を虹彩中心と仮定して、5.8.4 (3) に示した手法により目特徴点の中心（目尻と目頭の 2 点間の中心位置）の座標を用いて、2 点間の距離を算出し、眼球回転半径を標準的な値である 12 mm としたときの眼球回転角度を幾何学的に算出した。各データの全体的なずれを正すため、1 フレーム目における頭部角度、頭部位置 (x, y のみ)、眼球回転角度をそれぞれ 0 としている。

頭部回転角度は 5.8.4 (5) に示した手法で取得し、カメラ座標系からみた視線角度を、眼球回転角度と頭部回転角度の和として求めた。カメラ座標系からみた頭部位置の推定値 (tvec_z)、すなわちカメラと頭部の距離 z [mm] と視線角度から、画面上における頭部の位置から視点までの変位（以後、 $\angle x$ ）を算出した。これ値の単位は [mm] であるため、事前に内眼角幅から推定した単位ピクセルあたりの長さ [mm]/[pixel] を用いて、[pixel] に変換している。変換後、画像上におけるカメラの中心（以降、光学的中心）を、画像の中心（画像サイズが 1920*1080 の場合 (960, 540)）とし、光学的中心の x 座標と $\angle x$ の和を画像上の視点の x 座標とした。この推定は、目の左右方向 (yaw) のみに適用しており、上下方向 (tilt) には適用していない。これは眼瞼や睫毛により虹彩が隠れその中心が正確に推定できていないからであり、上下方向については顔の正面を見ていると仮定した。すなわち、視線の y 座標に光学的中心の y 座標をそのまま採用した。従って、上目づかいや下目づかいのときには y 軸座標の誤差が大きくなる。

図 5.9.4 に実証実験のデータに適用した例を示す。対象は 1209 (【A12】) の移動と体育、休憩時間を含む 1 時間分である。赤点が本手法で推定した視点、青線がアイトラッカーで計測した視線である。誤差は大きいが見え方の傾向は捉えている。推定精度の定量的評価と手法改良は今後の課題である。今回の検証は、前から撮影したカメラ映像で行ったが、レポート先の教室側のロボットの画面に出る遠隔参加者の映像を用いても同様のことが行え、普及モデルに実装し、遠隔参加者の興味や意図に応じたシステムの制御に応用できる可能性がある。

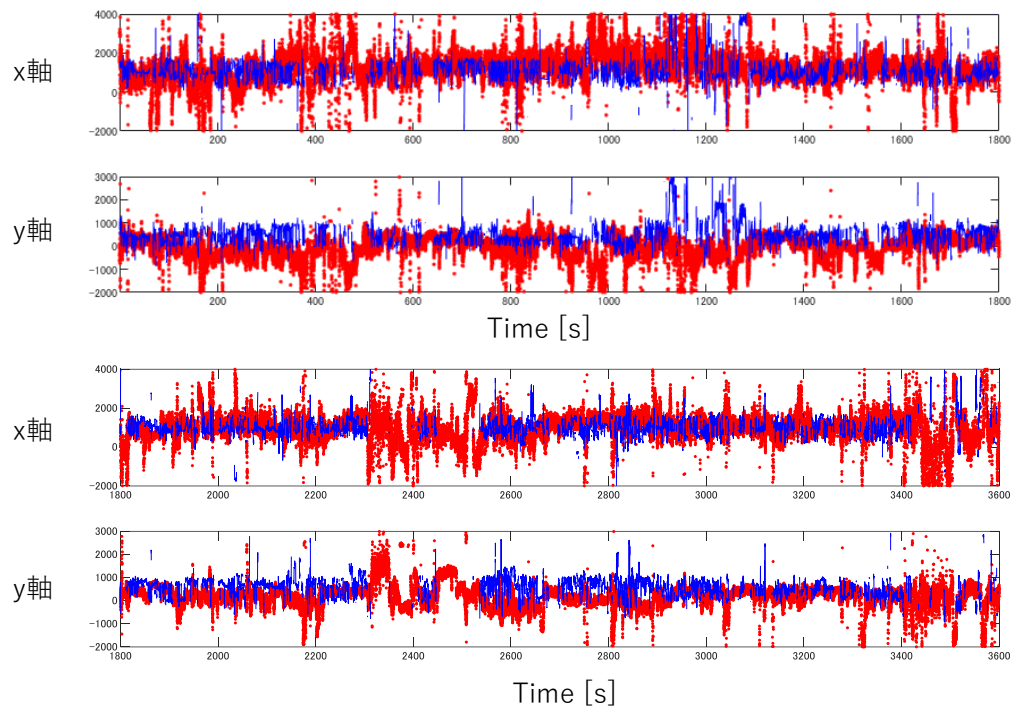


図 5.9.4 提案手法により推定した視点座標(赤)とアイトラッカーで計測した視点座標(青)

参考文献

[5-9-1] Tobii Pro フュージョン: <https://www.tobii.com/ja/product-listing/tobii-pro-fusion/>,
last accessed 2021.1.15

5.10 実証実験のまとめ

5.10.1 受容性と効用に関する評価方法と提言

コンセプトの受容性は、インタビュー、気持ち温度計によって示され、カメラ映像やその合成動画、アイトラッカーを用いた視線分析などによる客観的評価によってその裏付けや要因検討が行えた。インタビューでは把握できなかった場面ごとの気持ちの推移や、インタビューで得られなかったコメントが気持ち温度計の自由記述から得られた。教室側生徒のインタビューは少数しか得られなかったので、気持ち温度計の自由記述が教室側生徒の反応を把握するのに役立った。重要な知見は、提案システムの効用を得るには、「時間」と「慣れ」が必要であるということである。これには機器の操作性だけでなく、遠隔から種々のロボットにテレポートしながら授業に参加する/参加する生徒がいるという事態への「慣れ」も含まれる。普及モデルでも、利用前後などに気持ち温度計のような主観評定を行える簡便なツールを組み込んでデータ収集し継続的にシステム評価を行うことは有用であると考えられる。また、利用者が情報交換の場を提供し、開発者もコメントを収集することができるチャットシステムなどの併用も期待される。

遠隔参加者の主体的参加については、Kubiの首振り機能は、見たいところを見ることができるということで、遠隔参加者自身と教室側の生徒・教員双方から高い評価を得た。Kubiの操作は遅延はあるが慣れれば問題ないということもわかった。動作音については遠隔参加者がロボットを動かすことで存在感をアピールできる効用があるものの、音が大きすぎるという指摘もあった。temiの移動機能は教室以外の授業や休憩時間のワイガヤで受け入れられ、temiを取り囲んでのコミュニケーションは遠隔参加者の存在感のアピールに役立つことが示された。カメラ映像の分析より、活動場所の移動時には自動追従モードが役に立つが、コミュニケーション目的の利用の場合にはこの機能を利用せず、遠隔参加者が操作の方が主体的参加につながることを提案した。temiには障害物検知機能があり安全ではあるが、周りが見えないところで遠隔操作するのは不安であり操作しづらいという意見が複数示されており、広角カメラを搭載してリアルタイム映像を配信することが望まれる。Keiganは可搬性と手軽さ、操作性の良さ、静音性が特徴であるが、利用場面が少なく十分な評価、改良提案は行えなかった。

音声の定量的分析により、遠隔側と教室側の生徒のインタラクションの評価と提言が行えた。さらに複数の合成動画からは、インタラクションの順番を確認し、マスク越しの表情変化を捉えた。インタラクションはどちらかの発話、手を振るなどの非言語情報の発信、遠隔者のロボット操作など多様な形で開始される。インタラクションの活性化への提言にはさらなる定量的分析が必要である。今回のシステムがワイガヤに有用であることは示せたが、シリアスな会話への適用は現状では難しいことがわかった。会話内容による音量調整機能が望まれる。

一部ではあるが視線分析により、遠隔参加者の注意(興味)の変遷を捉えることができた。Kubiの操作の後の注視点を捉えることにより操作の意図がくみ取れる。想定外の知見として、遠隔参加者が操作画面の窓の中の自分の映像をよく見ることがわかった。自分の見え方

を気にしていることから、顔出しを希望しない場合にはアバターによる参加機能が有用であると考えられる。気に入っている本人の顔画像（静止画）をカメラで撮影したそのときの顔表情で動かす機能も選択肢の一つとして組み込むことを提案する（たとえば、Xpressionというサービスがすでに実用化している）。

テレポーテーションロボットシステムの受容性と効用を高めるためには、通信環境の改善が必須である。スムーズにテレポートできないことや、通信の遅延や画面のフリーズ、音の途切れは、双方の利用者のストレスと疲労につながる。音質については、現状の内蔵マイク・スピーカだけでなく、ノイズキャンリング機能のついたマイク・スピーカの装備が望まれる。教室全体、グループ内、あるいは対面者に限定（ひそひそ話）して音声が行きわたるようにスピーカの音量を制御してコミュニケーションの範囲を場面に応じて制御する機能を追加するとなおよいと考える。

カメラ映像の自動分析は、コロナ禍におけるマスク着用に阻まれ新手法の開発が必要となるなど挑戦的な課題となり、実証実験データに適用しての定量的評価には至らなかった。しかしながら、マスク着用はニューノーマルの中での利用や無菌環境の患者への適用を考えると避けられない条件であり、新しい手法が提案できたことには意義があると考えられる。普及モデルへのカメラ映像を用いた評価の実装にはまだ課題が残されているが、遠隔参加者の状態や感情をリアルタイムに評価し教室側にフィードバックすることで、授業の進め方やファシリテーションの仕方を適応的に変化させるのに役立つと考えている。

5.10.2 人間工学的指針および機能の改良・追加に関する提言

普及モデルへの提言として、遠隔側のシステム操作時の姿勢について人間工学的観点より指針を示した。タブレットを用いたロボット操作時は、一般的な情報機器使用時の頭部角度・視線角度よりも特異的に深くなる特徴があり、過度な頭部前屈や視線角度を誘発させないために操作部と表示部の分離（ジェスチャ操作や手元で操作できるゲームコントローラの採用など）を行うこと、実習・座学など授業スタイル・コンテンツにより姿勢拘束や画面注視率が異なることから、利用シーンに応じたユーザインタフェース設計・操作系を提供することなどの提言を得た。また、言語・非言語情報を用いたコミュニケーションの特徴分析からは、授業以外の非制約条件下（休憩など）では、遠隔側・教室側での発話量および非言語情報量（手振り、笑顔で反応など）は遠隔側で常に少なくなる傾向があり、コミュニケーションの双方向率が均等になるような支援機能の実装も重要な要件となることが示された。遠隔側・教室側の会話の方向性について、個人の性格・授業内容・休憩の過ごし方・友人との関係性などによって左右されるが、会話方向性の優位性は個人の好みに応じて選択できるような柔軟性を有していることが望ましいとの提言を得た。

以上の指針の運用には、遠隔者が用いるタブレットに内蔵されたカメラで取得する映像の画像分析により、自動的継続的な評価とアラーム機能の実装が望まれる。本研究ではその実現に向けての手法を提案したが実装にはまだ解決すべき課題がある。

6. 教育現場からの総評（教育ワークショップ/評価と課題・期待）

6.1 教育ワークショップの役割

本研究においては、病気に罹患したことによって、罹患前までの学校教育を継続することが困難となり、教育の遅れや人間関係の形成が不十分となってしまう AYA 世代の入院患者の生活支援を目指して、テレポーテーションロボットの活用による普及モデルの検討と確立を目的とした。

そこで、教育ワークショップ（以下、教育 WS とする）は、「教育側面」である学校教育関係者と医療関係者とが各々の立場から発信いただき、情報共有と意見交換を通して、学校教育におけるテレポーテーションロボットの導入段階から普及利用，そして促進に向けた段階における課題，改善策案，期待について明らかにすることを役割とした。

6.2 教育ワークショップから得られた教育現場からの評価と今後の課題・期待

6.2.1 テレポーテーションロボット導入・運用の教育活動における評価

病気療養する子どもの治療にかかわる医療関係者からは、治療期・終末期にかかわらず、症例ごとのニーズに合わせた教育支援が必要であり、教育と医療が適切に連携することによって、子どもの身体的苦痛、精神的苦痛を最小限に留めることができるとの意見があった。さらに、小児がん診療においては、診断や治療による喪失から人生を再構築する過程を支援する役割が教育にはあるとの声が聞かれた。

入院を余儀なくされているまさにその時に、病院での学校教育活動にテレポーテーションロボットが導入されることによって、入院中の疎外感が軽減され、ロボットの首振り機能などを用いて病床と学校とがつながっている感覚を抱き、主体的な学びにつながる事が実証実験によって確認された。特に、「教室から離れた場所からの遠隔授業であったが、教室の皆と一緒に授業に参加している感じがある」との感想に象徴されるように、これまでの学校教育にはなかった新たな教育空間の場を構築することができたことは大きな効果である。このことは、実証実験の「気持ち温度計を用いた定量的主観評価」においても確認されたところである。

そして、入院中から、入院前に通っていた学校の教室と遠隔教育活動を通してつながっていることは、復学の際の心理的負担を軽減し、スムーズな復学につながる極めて効果的な支援方法であることも明らかとなった。

また、授業時間だけではなく、本研究で大事にした「ワイワイ・ガヤガヤ」を実証した休憩時間、給食や掃除の時間に、学校外の場所からテレポーテーションロボットを操作して活動に参加したり、友達と会話をしたりすることも、療養中の QOL 向上に寄与することが確認できた。高等学校入学直後に、病気を発症し入院した生徒に対して、テレポーテーションロボットを導入した事例では、新たな友達とのコミュニケーションが十分にできていない状況であったにもかかわらず、Kubi の運用によって、クラスメイトとの良好なコミュニケーションの機会とすることができた。

以上のように、学校教育において、未成年患者の生徒が、「テレポーテーションロボットを病院と学校とのつながりのために使う」ということは、学びの継続と心理的な安定に寄与する効果がある。

利用した学校教員からは、「普段使いができる ICT のツールである」、「通常の学校教育活動において、テレポーテーションロボットの普段使いができる」、「手応えを感じた」との感想があったことから、病気療養する生徒への遠隔授業を行う際に、比較的負担なく、有効な教具として運用することができることを確認した。

6.2.2 テレポーテーションロボット導入・運用における今後の課題

1) 導入までの課題

テレポーテーションロボットの導入に関しては、療養する子ども本人・保護者の了承が大前提となる。治療の副作用等によって、体調不良があったり、容姿の変容があったりする。遠隔教育によって、入院中に学校の友達や先生と会いたくないと考えることも少なくない。テレポーテーションロボット導入に際しては、医療関係者の了承のもと、導入にかかる本人および保護者のインフォームド・コンセントが適切に成り立っていることが重要である。

そして、配信側の教室にいるクラスメイトには、テレポーテーションロボットを用いた遠隔授業によって入院中の友達が勉強をしていることの説明と、本人と保護者の了承のもと病状の説明を行うプロセスが、その後の人間関係やテレポーテーションロボット運用に大きな役割を果たすことから、誰が説明を行うかということが課題となる。さらに遠隔授業の実施に当たっては、配信側となる学校教育関係者の理解も必要となる。入院療養している期間に授業を配信することの意義を説明し、学校教職員が共通理解を図る必要がある。そのためには、配信側のクラスメイト、学校教育関係者と受信側の病院医療関係者、本人・保護者との関係調整を行うコーディネーターの存在が極めて重要となる。実証実験においては、学校の特別支援教育コーディネーターや医教連携コーディネーター、病院スタッフである医療ソーシャルワーカー（MSW）が、関係者間のコーディネーター機能を果たすことによって、テレポーテーションロボットの順調な運用を可能にすることが改めて確認できた。教育機関と医療機関、患者本人と保護者のそれぞれの思いや役割を把握することは容易ではなく、今後、テレポーテーションロボットによる遠隔教育を推進していくためには、関係調整を行うコーディネーターをいかにして確保するかが課題となる。

2) 運用における課題と期待

テレポーテーションロボットの運用の際には、配信側の教室映像を受信側の病院において入院患者生徒以外の他校の児童生徒が閲覧できる状態での、個人情報保護、著作権、肖像権等の課題がある。このことについては、配信側のプライバシーの確保については、今後、丁寧に検討する必要があると考えるが、文部科学省からは同時双方向型遠隔授業を正規の授業として認めるとの通知も発出されていることを踏まえて、病気療養する児童生徒の学びの保障を確保していく必要がある。

また、テレポーテーションロボットの操作面、音声が画像等の仕様・設備面での技術的な課題が挙げられた。特に、英語などの語学の授業において、音声が途切れたり不明瞭になったりすることは、学びにくさや集中力が途切れる原因になる。ローカル 5G の導入、より高速通信が可能となる無線 LAN 等のネットワーク設備の充実が期待される。

遠隔授業による健康面への配慮も欠かせない。実証実験では、テレポーテーションロボットを介した映像によって、画像酔いの状態になった生徒が生じた。長時間の映像視聴は、療養する生徒にとっても様々な健康面への悪影響を及ぼす可能性が高い。学習指導要領には、病弱者である児童生徒に対する教育を行う特別支援学校での各教科での配慮事項として、「病気のため、姿勢の保持や長時間の学習活動が困難な児童については、姿勢の変換や適切な休養の確保などに留意すること」が挙げられている。テレポーテーションロボットの運用や遠隔授業の際には、実証実験での「映像を用いた定量的評価」の分析を踏まえた上で、内容、方法を検討することが大事となる。

3) まとめ

本研究の実証実験や教育 WS によって、病気療養を必要とする AYA 世代の入院患者である生徒に対するテレポーテーションロボットの導入と運用は、治療と向き合うエネルギーを生みだし、これまで培った友達関係、人間関係の維持と促進、学習活動の継続に繋がることが明らかとなった。テレポーテーションロボットの普及と運用の確立のためには、学校関係者、医療関係者への一層の理解啓発と機材導入と運用、維持のための予算確保が必要である。今後とも、病気療養する AYA 世代の生徒の生活の充実と成長支援につながる学校教育の充実を目指していきたい。

7. おわりに

未成年の入院患者は多くの課題を抱えているが、中でも就学に関する問題が大きい。文部科学省が「多様な子供たちを誰一人取り残すことのない、公正に個別最適化された学びの実現」を目標に掲げており、小・中学生への支援は進んできているが、義務教育を終えた高校生に対する支援は充分とは言えない。学習の遅延、単位履修の問題だけでなく、高校生活で得られる人間形成に有意義な経験を得る機会を損失させている。そこで、入院患者に学校での授業や活動に参加する機会を与え、患者や家族の不安や学校からの孤立・疎外感を解消し、友人とのコミュニケーションの場を提供することには大きな意義があると言える。本調査開発研究（以下、本研究）の企画段階では想定できなかったコロナ禍により、オンライン会議ツールを用いた双方向の遠隔授業が普及し、入院患者にも教育の機会が拡大された。しかしながら、座学以外の授業、授業外の活動や行事への参加、友人とのコミュニケーションという面では現状のツールでは不十分であり、これを補うテレポーテーションロボットシステムの開発と導入には大きな意義があると考ええる。

テレポーテーションロボットシステムとは、機能の異なる複数のテレプレゼンスロボットの間をシームレスに移行するしくみである。本研究では、遠隔から操作できる可動部と操作者の顔を提示する画面（タブレットやスマートフォン）から構成される3タイプのテレプレゼンスロボットを用いた。3タイプのロボットとは、座学やグループワークに適した左右・上下の首振り機能のある卓上型ロボット(Kubi)、教室移動や動きのある授業に適した左右の首振りができる可搬型ロボット(Keigan)、授業外のコミュニケーションや広い場所での移動に適した自立移動型ロボット(temi)のことである。ロボットの基本機能に加え、ワイガヤの促進のために、ロボットに遠隔操作可能な腕、アバターでの参加、スタンプ機能などを追加した。

本研究では、入院患者が病院などから学校に設置したテレポーテーションロボットを通して学校教育（生活）に参加できるようにすること、入院患者が遠隔で参加している学校の授業や生活に主体的に参加し、自分の存在感をアピールできる場面創出を目指すこと、座学の授業など受動的な教育場面だけでなく、グループワークや活動を伴う授業、あるいは、級友との日常会話（ワイワイ・ガヤガヤ（ワイガヤ）、シリアスな話）なども実現し、生活充実、成長支援に繋げることを目的とし、このシステムの開発と受容性と効用の可能性を評価し改良点を抽出するための実証実験を行い、事業終了後の実際の関連システムの普及に向け「普及モデル」の検討、確立を目指し、普及に向けての関連課題の整理、提言を行うことを目的とした。

実施した実証実験は、基本機能を対象としたフェーズ1と拡張機能を対象としたフェーズ2、健常者を対象としたStep1と患者を対象としたStep2に分けられ、さらに高校生と中学生に分けられる。遠隔側の参加者として高校生の患者2名、中学生の患者1名、高校生の健常者1名、中学生の健常者9名を対象とし、延べ9日に渡る実験を実施した。フェーズ2はこのうちの3日間、高校生の患者1名、中学生の患者1名、高校生の健常者を対

象に実施した。

実証実験では、インタビューと参加者自身に記入してもらう質問紙（気持ち温度計）に加え、遠隔側、教室側にカメラを複数設置して定量的な分析を実施した。

本研究の結果、テレポーテーションロボットを通して学校教育（生活）に参加するというコンセプトへの受容性と参加可能であることが確認された。また、可動部のあるロボットを操作することでオンラインツール会議ツールよりも主体的な参加が望めることが示された。患者のパーソナリティによっては困っているときには支援がほしいが通常は存在感をアピールというより普通に接してほしいという場合があり、教員や教室側の生徒の適切な対応にはノウハウの蓄積が必要であることが指摘された。テレポート機能はグループワークや体育・実験などの活動を伴う授業で効力を発揮したが、ロボット間の移行に時間がかかること、通信が途絶えるなどのトラブルがあり改善が必要であることが指摘された。移動型ロボットの操作性改善の必要性も指摘された。友人との日常会話がはずむことも確認されたが、シリアスな話や限定された人にもみ伝えたい話をするための音量制御機能の追加が望まれた。フェーズ2の拡張機能については、遠隔参加者から操作は簡単で教室側の注意をひく手段として好評であったが、1回ずつのトライアルにとどまり初回の物珍しさによる評価も含まれており、繰り返し利用で慣れが生じた後の評価が必要である。実証実験全体での課題は、遠隔側も教室側も、実験進行のために複数の実験者が参加者に介入することが多く、このことが参加者や取得データの質に影響を与えることが多かったことである。また、接続不備や音の途切れ、音質の問題の指摘が多々あり、環境を整えて実験すべきであったが、現場の実情を把握し普及に向けての対策を提言することにつながったとも言える。

普及モデルへの提言として、テレポーテーションロボットを安心・安全・健康に利用するために、操作姿勢と健康予防に焦点を当てた人間工学指針を示した。頸部筋骨格系症状や眼精疲労予防の観点から操作部と表示部の分離（ジェスチャ操作や手元で操作できるゲームコントローラの採用など）を行うこと、姿勢拘束や画面注視率の観点から授業スタイルに応じたユーザインタフェース・機能を提供することなどの提言を得た。また、コミュニケーションの量・質の効用を高めるための指針としては、コミュニケーションの双方向率が均等になるような支援機能の実装も重要な要件となることが示された。加えて、会話方向性は個人の好みに応じて柔軟に選択できることが望ましいとの提言を得た。

以上の指針の運用には、遠隔者が用いるタブレットに内蔵されたカメラで取得する映像（画像・音声）によりリアルタイムに状態推定し、健康リスクの軽減・予防に寄与する支援機能の実装が望まれる。本研究ではその実現に向けての手法を提案したが実装にはまだ解決すべき課題がある。

教育ワークショップでは学校教育関係者と医療関係者の情報共有と意見交換を通して、学校教育におけるテレポーテーションロボットの導入段階から普及利用、そして促進に向けた段階における課題、改善策案、期待について明らかにした。学校教育において、未成年患者の生徒が、「テレポーテーションロボットシステムを病院と学校とのつながりのために使う」ということは、学びの継続と心理的な安定に寄与する効果がある。実証実験を通して、

このシステムを導入し、従来の学校教育にはなかった新たな教育空間の場を構築することができたことは大きな成果である。システム導入までの課題としては、本人および保護者のインフォームド・コンセントが適切に成り立っていることが重要である。また、入院療養している期間に授業を配信することの意義を説明し、学校教職員が共通理解を図る必要がある。そのためには、配信側のクラスメイト、学校教育関係者と受信側の病院医療関係者、本人・保護者との関係調整を行うコーディネーターの存在が極めて重要となる。運用にあたっては、個人情報保護、著作権、肖像権等の課題がある。配信側のプライバシーの確保については、今後、丁寧に検討する必要があると考えるが、文部科学省からは同時双方向型遠隔授業を正規の授業として認めるとの通知も発出されていることを踏まえて、病氣療養する生徒の学びの保障を確保していく必要がある。教育ワークショップでも、テレポーテーションロボットの操作性の課題、音声や画像等の仕様の改良点、通信などの設備面での技術的な課題が挙げられた。

本研究を通して、病氣療養を必要とする AYA 世代の入院患者である生徒に対するテレポーテーションロボットシステムの導入と運用は、治療と向き合うエネルギーを生みだし、これまで培った友達関係、人間関係の維持と促進、学習活動の継続に繋がることが明らかとなった。テレポーテーションロボットシステムの普及と運用の確立のためには、学校関係者、医療関係者への一層の理解啓発をこれを支援するコーディネーター、機材導入と運用を担うシステムインテグレータ、これらの維持のための予算確保、行政の支援が必要である。今後とも、テレポーテーションロボットシステムの普及を支援し、病氣療養する AYA 世代の生徒の生活の充実と成長支援につながる学校教育の充実に寄与したい。

付録 教育ワークショップの開催概要

4回の教育WSを開催した。概要は以下。

1. 第1回WS

【開催日時・開催形式】

開催日時 2020年6月26日（金） 16:00～17:40

開催形式 WEB会議システムZoomによるオンライン会議

【次第】

1. 研究委員長挨拶（教育WS開催背景説明・教育WSへの期待）（研究委員会委員長）
2. NMDA実証実験計画概要・実証実験対象校の学校情報（iPresence委員）
3. 参加メンバーからのプレゼンテーション
 - (1) 小学校でのテレポーテーションロボット体験会（神戸市教育委員会委員）
 - (2) 教育現場でのAVATAR利用状況（ニーズ）普及の課題・対策（奈良女子大学附属中等教育学校委員）
 - (3) 病気療養児の教育支援の現状と課題（教育WSリーダー）
4. 質疑応答・ディスカッション

【概要】

＜参加メンバーからのプレゼンテーション＞

- ① 小学校でのテレポーテーションロボット体験会（兵庫県K教育委員会）
 - ・新型コロナウイルスの影響で外部の人の教育実習を受け入れてない現状の中、学校でテレポーテーションロボットのデモンストレーションを実施
 - ・保護者の意識が高く、近未来はこのようなテレポーテーションロボット活用と予測
 - ・現在小児がんの児童が遠隔学校参加している小学校あり
 - ・ギガスクール計画は、新型コロナウイルスの影響で停滞
 - ・病気の人のテレロボ学校参加は、現場サイド(校長、委員会、首長)は前向き
- ② 「教育現場でのAvatar利用状況（ニーズ）、普及の課題、対策」（奈良県N中）
 - ・学校の教育現場において、テレポーテーションロボット活用のニーズはさまざまな局面で存在
 - 1 けが・病気で通学できない生徒
 - 2 何らかの事由で通学できない生徒
 - 3 中山間地や離島での少人数学級の拡張
 - 4 授業参観や授業見学
 - ・教員のテレポーテーションロボット操作スキルが高くない場合、操作に詳しい生徒の補助による運用も可能
 - ・不登校生徒を対象としたテレポーテーションロボット活用の際し、保護者の希望や配慮が必要

- ・不登校生への活用により、学校に来ている周囲の生徒が「学校に来ないテレポーテーションロボットによる学び」を「これで良い」と考えてしまうリスクの可能性あり
- ・国公立学校の予算は限られており、テレポーテーションロボット運用にかかる機材・設備費等の経費負担に課題
- ・生徒による機材の破損等について、現在での「保護者による金銭的負担が原則」のなかテレポーテーションロボットの破損等で誰が損害費用等を負担するに課題
- ・休憩時間、昼食時のテレポーテーションロボット運用の際、教員立ち会い必要の可能性
- ・休憩時間等の生徒の暴言等へは、教員対応の可能性

(参考) 国の ICT 活用に関する指針の学校現場への周知、運用方法明確化が学校間で様々

③ 「病気療養児への教育支援」(教育 WS リーダー)

- ・通常、病気の生徒は病院内の特別支援学校への転校必要
- ・高等学校で「病気、怪我で 30 日以上教育を受けていない生徒への学校の対策」の最多回答が「何も実施していない」(文科省調査)
- ・文部科学省は「生徒が遠隔授業を受けた授業は単位認定」と通知しているが、学校内規等が従前の為、現場の先生方は「授業として認めがたい」と判断
- ・「同時双方向授業の正規授業認定」の制度経緯
 - 受信側の病院・自宅に在籍する学校の教員が配置必要(平成 27 年 4 月：初認定)
 - 「受信側の病室等に当該高等学校等の教員を配置することは必ずしも要しない」(令和元年 11 月)
 - 「修得単位数の上限(36 単位)の算定に含めない(令和 2 年 4 月)
- ・入院療養中の高校生は、退学や留年、通信制等の高等学校への転校を余儀なくされることが極めて多い。(15 ある小児がん拠点病院は高等学校過程が無い。14 の病院にある小・中学校課程のみ)
- ・病院の医療関係者、在籍学校の連携調整を「医教コーディネーター」、「特別支援学校(病弱)の特別支援教育コーディネーター」が実施している地域あり。

<質疑応答・ディスカッション>

- ・「学力向上目的なら、ロボットを用いないオンラインやオンデマンド、AI 導入での教育でも良いのでは」という声がある事に対して、「ただ Zoom を通して繋がるだけではなく、一緒に授業を受けて学ぶことで人間性等の教育面でメリットがある」と考える
- ・「嬉しかったが、多くの人に遠隔授業での教育支援してもらっているのに、単位を落とすわけにはいかないというプレッシャーはあった」(遠隔教育成功した高校生)
- ・「病気の生徒が Zoom 等で授業を受け、テレポーテーションロボットを能動的に動かすメリット」に関して、生徒自らが能動的に見たいところを見られるメリットあり。周囲の生徒は「当初動くロボットの存在が気になっていたが、慣れた後は一緒に勉強している実感があった」との感想が多数。「テレポーテーションロボットは動くのが良い」という意見もあり

- ・テレポーテーションロボットをデコレーションして教室に置いたら、感動した患者生徒がいた
- ・「ホームルーム等、生徒が自由に動ける場面でのテレポーテーションロボットの状況」に関して、積極的に使って壊されるということもないが、運用当初にクラスメイトへの「このロボットを使って入院中の友達が勉強をしている」との説明プロセスが大切
- ・小中学校の特別支援学校は対応に慣れている先生が多いが、高校の先生は慣れていない印象があり、実証実験対象選定が大事

2. 第2回WS

【開催日時・開催形式】

開催日時 2020年12月11日（金） 16:00～17:20

開催形式 WEB 会議システム Zoom によるオンライン会議

【次第】

1. 事務局挨拶・参加者紹介
2. 研究委員長挨拶（研究委員会委員長）
3. 主旨・目的説明（教育WSリーダー）
4. 普及に向けた現場での課題，期待（参加メンバーからのプレゼンテーション）
 - (1) 大阪府J高
 - (2) 京都府T支援学校
 - (3) 奈良県N中
 - (4) 兵庫県K教育委員会
 - (5) 兵庫県K中
 - (6) 兵庫県R高
 - (7) 兵庫県T中
5. 全体質疑
6. 総括（研究委員会委員長・教育WSリーダー）

【概要】

<主旨・目的>（教育WSリーダー）

- ・本研究は、「未成年患者（特にAYA世代）の生徒さんが、どのように学校生活に参加できるか」という大きな課題解決に向け、「テレポーテーションロボットを教育現場に使う」という選択肢の可能性を検証することが目的
- ・試行・体験を学校で実施し、現場の先生方から意見や要望から、テレポーテーションロボット活用実証実験や体験会を通して得られた所感（良いところ、改善点、期待など）をご紹介頂く
- ・積極的なご意見や情報交換を通して、今後の普及促進に向けた課題等を探る

<普及に向けた現場での課題，期待（参加メンバーからのプレゼンテーション）>

① 大阪府 J 高

- ・京都府立医科大学附属病院に入院中生徒（1 年生）がおり，京都府 T 支援学校の医療連携コーディネーターによる病院と本校との連絡調整を経て，2020 年 8 月から Zoom 会議システムによる遠隔教育を開始．10 月にテレポーターションロボット Kubi の紹介を受け，入院生徒での 11 月から Kubi 運用開始
- ・Zoom では学校側，入院生徒側双方で接続事前準備が大変だが，Kubi は生徒自らがスイッチを入れるのみで，準備が容易
- ・高等学校入学直後の入院のため，友達とのコミュニケーションが十分にできていない状況があったが，Kubi により良いコミュニケーション機会となっている
- ・担当教員も，入院生徒と Kubi を介した直接会話が出来，生徒指導上でも有効手段

② 京都府 T 支援学校

- ・小児がん拠点病院（京都大学医学部附属病院・京都府立医科大学附属病院）に，分教室（小学部・中学部）を設置
- ・平成 23 年度から ICT 活用遠隔授業を継続実施し，文部科学省の ICT 活用にかかる事業に継続取組み，全国的にも ICT 活用遠隔授業実施校としての実績あり．入院児童生徒は，病室等から日常的に遠隔授業で学習に参加
- ・高等部の設置は無いが，小児がん拠点病院入院高校生支援のための同時双方向型授業（高校の教室⇔療養している自宅 / 高校の教室⇔病室）を実施．「入院前の学びの継続」が可能となっている
- ・病院の医療関係者と学校の教育関係者との関係調整を行う桃陽総合支援学校の「医療連携コーディネーターの役割」が重要

③ 奈良県 N 中

- ・第 2 回目の実証実験において，「複数の教科の授業場面」，「昼食・昼休み場面」でテレポーターションロボットを，無理なく利用
- ・遠隔参加の生徒から，「教室から離れた場所からの遠隔授業であったが，教室の皆と一緒に授業に参加している感じがある」との感想
- ・利用した教師から，「普段使いができる ICT のツールである」，「通常の学校教育活動において，テレポーターションロボットの普段使いができる」，「手応えを感じた」との感想
- ・神奈川県の中学生在が神奈川県から temi を操作し，奈良市の本学学園祭参加の取り組みを行い，「テレポーターションロボットが校内で動いていることにより，Zoom とは異なり親しみをもつことができた」との感想

④ 兵庫県 K 教育委員会

- ・小児がん拠点病院である兵庫県立こども病院にある支援学校の児童生徒が，学校からテレポーターションロボット temi を使って神戸青少年科学館科ツアーを実施
- ・将来的には，科学館に来られない子供たちを対象としたテレポーターションロボット活用

を視野

- ・実証実験において感じたテレポーテーションロボット活用の良い点
 - 双方向でコミュニケーションがとれる為、いかなる状況下でも同じ空間、同じ時間を共有できる
 - アバターを操作することで主体的に参加でき、「ワイワイ・ガヤガヤ」のアナログ的な人間味あふれる温かい雰囲気を共有できる
 - 病弱者などがロボットを活用することで未来に対する希望がもちやすくなる
 - 病弱者がロボットなど科学テクノロジーに従事してみようという希望をもてるようになった
- ・実証実験におけるテレポーテーションロボット活用の改善点、課題
 - ICT 機器やテレポーテーションロボットを活用した授業づくりに関する教師の意識改革と研修体制の在り方の検討必要
 - テレポーテーションロボットを学校教育のどの場面で活用していくのが効果的なのか、絞り込み検討必要
 - テレポーテーションロボット導入に関して教職員への広報、人的、物的環境の整備を委員会として支援方法
 - 大学などとの共同研究体制構築方法
 - GIGA スクール構想下でのリモート学習と比して、テレポーテーションロボットによる双方向型の遠隔授業とはどのような違いがあるのか、優位性はあるのか等の検討必要
 - テレポーテーションロボット導入に意欲的になって貰うためのアピールポイント明確化必要
- ・テレポーテーションロボット学習における技術的課題として操作面、設備面があり、法的課題として、個人情報保護、著作権、肖像権が挙げられる

⑤ 兵庫県 K 中

- ・実証実験には、各クラス1名ずつ計4人（男子2人、女子2人）参加し、遠隔操作でテレポーテーションロボット temi は休憩時間の廊下走行、Kubi は授業時間や給食時間に教室内に設置し作動
- ・テレポーテーションロボットの周りに自然と他の生徒が集まっていた
- ・参加生徒は積極性があり、比較的友達も多いことも影響したかもしれないが、友達があまり多くない生徒の場合は、テレポーテーションロボットの周りに集まってくるのかという思いがある
- ・コロナ禍で「配信授業だけでいいのではないか」とも言われているが、休校期間中友達とのつながりを欲していた多くの生徒にとっても、「ワイワイ・ガヤガヤ」を大事にしている本取り組みは重要

⑥ 兵庫県 K 高

- ・SSH：スーパーサイエンスハイスクール 9 年目

- ・体験会を9月2日（高2女子）・3日（高2男子）、実証実験を12月9日・10日（体験会参加の高2男子）実施

- ・実証実験では iPresence 社にいる生徒が、兵庫県 K 高設置のテレポーテーションロボットを操作して学校の教育活動に参加。

- ・体育授業はコースを徒歩で参加する生徒がテレポーテーションロボットを手持ちし長距離走に参加

- ・女子生徒は、テレポーテーションロボットから送信されてる映像によって画面酔いの症状が出現したが、テレポーテーションロボットの Kubi, temi の利活用は問題なし

⑦ 兵庫県 T 中学校

- ・教員研修（10/28）、実証実験（10/29, 11/9）実施

- ・下半身の筋力が低下していく病気の中学1年生生徒が在籍

- ・新潟病院で年に数回都度1ヶ月程度の入院治療を行うため、国立病院機構新潟病院に設置されている新潟県 K 支援学校に転学しリハビリ治療実施

- ・中学校の教室に Kubi を設置、K 支援学校校舎内にいる生徒が、実証実験初日から、iPad を用いた遠隔操作を難なく行って中学校の授業に参加。

- ・現在毎日 K 支援学校校舎内から T 中の授業に参加

<質疑応答・ディスカッション>

- ・「教室の映像を、入院患者生徒以外の他校の児童生徒が見ることができる状態でのプライバシー」に関し、「配信側のプライバシーの確保については、今後、丁寧に検討する必要があると考えるが、文部科学省からは同時双方向型遠隔授業を正規の授業として認めるとの通知も発出されていることを踏まえて、病気療養する児童生徒の学びの保障を最優先に考えてほしい」

<総括>

- ・学校教育において、未成年患者の生徒が、「テレポーテーションロボットを学校とのつながりのために使う」ということは、学びの継続と心理的な安定に寄与する可能性が大きいことが示唆された。

- ・未成年入院患者（病気療養する児童生徒）が、在籍している、または在籍していた学校等の授業を、テレポーテーションロボットなどを活用して受けるためには、配信側と受信側双方の技術的課題克服が不可欠

- ・「配信側の学校教育関係者と受信側の病院医療関係者、本人、ご家族との関係調整を行う立場の存在も極めて重要」であることが確認

3. 第3回WS（医療パート）

【開催日時・開催形式】

開催日時 2021年2月5日（金） 15:00～16:30

開催形式 WEB 会議システム Zoom によるオンライン会議

【次第】

1. 事務局挨拶・参加者紹介
2. 研究委員長挨拶（研究委員会委員長）
3. 主旨・目的説明（教育 WS リーダー）
4. 普及に向けた現場での課題，期待（参加メンバーからのプレゼンテーション）
 - (1) iPresence 委員
 - (2) 大阪国際がんセンター委員
 - (3) 京都府立医科大学大学院医学研究科小児科学
 - (4) 大阪市立総合医療センター小児血液腫瘍科
 - (5) 大阪市立総合医療センター委員
5. 全体質疑・意見交換
6. 総括（研究委員会委員長・教育 WS リーダー）

【概要】

<主旨・目的>（教育 WS リーダー）

・入院中児童生徒，特に AYA 世代の生徒がどのようにしたら，学校教育にアクセス可能かを医療現場で生徒と直接に向かい合っている医師の先生方からテレポーテーションロボットの導入，運用も含め，忌憚のないコメントをいただくことを目的

<普及に向けた現場での課題，期待>

① 大阪国際がんセンター委員

・AYA 世代サポートチームスタッフとして医療に携わっている

・2018 年度の新規がん患者（5416 例）のうち，5.5%（296 例）が AYA 世代である．15 歳から 19 歳は，4 例と症例は少ないが，少ないが故に経験が少なく，患者のニーズに如何に対応していくべきかが課題

・中学生以下の小児を受け入れておらず，院内に学校は設置されていない．そのため，相談支援センターMSW や病棟看護師，AYA 世代サポートチームを中心に，高校・大学と連携して個別対応を実施

・高校 2 年生男子患者を対象に，テレポーテーションロボットを用いた教育支援介入を行った．本人，保護者へのインフォームド・コンセントを取得，病棟内に個室を用意し Kubi を用いて 1 日 2 コマの遠隔授業に参加した．グループ形式の授業にも参加し，休憩時間は，temi でレクリエーション等も実施

・導入後，本人からは「授業を頑張るか，という気持ちになった．体調の問題はなかった．」，担任からは「ロボットの首振り機能などを用いて，病床と学校とがつながっている感覚を感じられた．生徒が主体的に自分の意思で参加する形式が有意義である．」等の好意的な意見があった．

・実証実験が円滑に進んだ要因として，クリス委員が，病院と学校・教育委員会との連絡調

整を綿密に実施したことがある。医療と教育とのハブとなる部署の存在が重要であり、教育現場での支援への理解が必要である。

- ・治療期・終末期にかかわらず、症例ごとのニーズに合わせた教育支援が必要である。

② 京都府立医科大学大学院医学研究科小児科学

- ・小児がん診療のあらゆる時点で教育がもたらす効果は大きい。診断や治療による喪失から人生を再構築する過程を支援する役割が教育にはある。

- ・小児がん患児は、診断時、初発治療中、治療後復学時、再発時、治療抵抗性の様々な時期において、身体的、精神的な苦痛を経験する。

- ・精神的な苦痛は、主に、同年代と同じことができなくなってしまうことに起因することが多い。

- ・教育と医療が適切に連携することにより、身体的、精神的な苦痛を最小限にとどめることが可能

- ・小児がん罹患した高校生が、様々なものを喪失する中で、「高校生としての自分」をあきらめずに、治療を受けることができる環境整備が求められている。

- ・同時双方向遠隔授業によって、学習意欲が向上し、入院中の疎外感や復学時の心理的負担軽減につながる。

- ・遠隔授業を支える周囲の方々の姿が、患児には精神的な重荷になる様子も見られることから、心理的なサポートは不可欠である。

- ・学校の教室側にいる生徒の病気への理解度を把握しておくことは重要

③ 大阪市立総合医療センター小児血液腫瘍科

- ・病院の医療ソーシャルワーカーのコーディネートにより、入院治療する高校生の在籍校よりテレポーテーションロボット Kubi の導入が速やかに承認され、病院からの遠隔授業参加の際に、病院職員の確認によって出席扱いとすることができた。

- ・テレポーテーションロボット導入により、患児の治療意欲向上、学習意欲を保つという効果が見られた。

- ・黒板の端の方の板書が見にくい、接続が乱れる、スワイプへの Kubi の反応が遅い等の課題がある。また遠隔操作中は、「気まずくて授業中は発言しにくい」との感想があった。

- ・今後の取り組みでの改善策として、受講側端末操作のパソコン対応等が挙げられる。

- ・コロナ禍で AYA 病棟が閉鎖となったため、小児病棟においても、遠隔授業を安心して受けられる環境づくりが求められる（当院の課題でもある）。

④ 大阪市立総合医療センター委員

- ・ICT 活用により病気の子どもが治療と学業を両立できる時代となり、学校の友達とのつながりも維持できるようになった

- ・「学びと就労と社会参加の支援」のリーフレットを作成し、患者さんやご家族に、療養時における支援メニューを紹介

・新しい形の学びや学校参加の体制構築ができるように、学校と病院が柔軟に連携していく必要あり

<質疑応答・ディスカッション>

・医療の立場の先生方からのお話を伺い、「学校の教員の発言が、本人やご家族に大きな影響を与えていること」を改めて痛感

・Kubi の運用については、ニーズも高く、学習面での効果も極めて大きい。しかしネットワーク回線の接続状況、費用面での課題あり

・小児医療に携わる医療関係者の場合は、遠隔授業実施の理解を得やすいが、成人病棟等に入院する高校生では、医療関係者から遠隔授業実施の理解に困難なことが多い

・コロナ禍で多くの高等学校で遠隔授業実施が通常授業でも行われるようになったため、病気療養生徒の遠隔授業実施も容易になったことは喜ばしい

<総括>

・本人、保護者、学校関係者、医療関係者の連絡調整を行うコーディネーターの役割が極めて大きいことを再確認した

4. 第4回WS（教育パート）

【開催日時・開催形式】

開催日時 2021年2月9日（火） 13:00～15:00

開催形式 WEB 会議システム Zoom によるオンライン会議

【次第】

1. 事務局挨拶・参加者紹介

2. 主旨・目的説明（教育WSリーダー）

3-1. 現場でのテレポーテーションロボット導入効果、普及促進に向けた課題、改善策、期待1

・健常生徒におけるテレポーテーションロボット利用

(1) 奈良女子大学附属中等教育学校委員

・入院患者生徒におけるテレポーテーションロボット利用

(2) 新潟県 K 支援学校

・質疑、ディスカッション

4. 最新状況報告「文部科学省・国立教育政策研究所における教育への ICT 活用の最新情報」（国立教育政策研究所）

3-2. 現場でのテレポーテーションロボット導入効果、普及促進に向けた課題、改善策、期待2

・健常生徒におけるテレポーテーションロボット利用

(3) 兵庫県 R 高

(4) 兵庫県 K 中

(5) 兵庫県 K 教育委員会

- ・入院患者生徒におけるテレポーテーションロボット利用

(6) 大阪府 H 高

(7) 大阪府 D 高

(8) 京都府 T 支援学校

- ・質疑，ディスカッション

5. 全体質疑，意見交換

- ・テーマ 1 国，自治体への期待，組織を超え調整するコーディネーターの必要性

・テーマ 2 患者の置かれた各状況に対する，求められるテレポーテーションロボットへの期待値

6. 総括（教育 WS リーダー）

【概要】

<主旨・目的>（教育 WS リーダー）

・テレポーテーションロボット活用の実践における導入時の状況と明らかとなった課題，今後の普及に向けた期待，課題，改善点について，各学校での取り組みの報告を踏まえ，意見交換実施

・教育への ICT 活用に関する国策の最新情報について情報収集を行い，今後の普及促進に向けた取り組みへの一助とする。

<現場でのテレポーテーションロボット導入効果，普及促進に向けた課題，改善策，期待 1>

●健常生徒におけるテレポーテーションロボット利用

①奈良県 N 中

・第 2 回目の実証実験を体育の授業と課題解決学習 PBL（Project Based Learning）の時間に実施。テレポーテーションロボットを利用した生徒は，中学 2 年生男子 2 人，女子 3 人

・複数の教科の授業，昼食・昼休み・掃除場面においてもテレポーテーションロボットを利用

・実証場面で違和感なく利用でき，テレポーテーションロボットを操作している生徒も教室から離れた場所からではあるが，教室の授業に参加している感じがあるとのことであった。

・教室の生徒も違和感なく対応。また生徒からの自然な手助けも見られた。

・教師からは，学校に導入する場合，普段使いができるかどうかのポイントになるだろう，今回，普段使いができると実感，手応えを感じた，との感想

・テレポーテーションロボット運用にかかる係を設定したり，PBL による学びとしたりすることで普段使いが十分にできると予測

・慣れると「temi などのテレポーテーションロボットがあるのが当たり前」という状況なるだろうと実感

・テレポーテーションロボットは，Zoom よりもその場にいる感覚を生み出すことができた。

(課題)

・教室外でテレポーテーションロボットを操作している生徒が、特にグループ活動や共同活動でのディスカッションや作業などの際に、「テレポーテーションロボットを介して、自分が問いかけることで、教室で活動している生徒の妨げにならないか」と非常に気にしたり、躊躇したりする場面が複数回見られた。テレポーテーションロボット運用時に気をつけないといけないポイント

・テレポーテーションロボットを使用する生徒とどのようにして一緒に活動していくのかがいいのかを教室にいる生徒が考えることによって他者理解を促す意義のある教育活動となる。教師が一方的に提案、指示するのではなく、教師と生徒とが一緒に考えることがよい

●入院患者生徒におけるテレポーテーションロボット利用

②新潟県 K 支援学校

・小児用 HAL（サイボーグ型パワードスーツ）、自走式ロボット Double をすでに学校教育で導入

・対称生徒は、県外から 2 ヶ月に 1 回の割合で HAL のリハビリとして入院し、中学校と特別支援学校との転入、転出を繰り返している。

・本学在籍時には前籍中学校にテレポーテーションロボットを設置し、中学校の授業に参加

・接続先中学校の生徒とお互いを意識した時間が共有できていることが一番である。疎外感の軽減、所属意識の高揚の効果あり。各教科の授業においても有用であった。

・テレポーテーションロボット導入は、治療に対するモチベーションの維持、向上に効果をもたらしている。

(課題)

・双方の担任同士で授業内容や持ち物、進捗などの確認が必要であるが、打合せや準備に時間を要した。また、教科担任制であるので、校内での連絡調整窓口が必要であることが分かった。

・通信が途絶えてしまうことがあり、ネットワーク環境の整備が必要

・英語など音声が必要となる会話場面で音声聞き取りにくく、集中することができない。理科の実験場面では、映像を見ているだけになることもあった。

<最新状況報告>

「文部科学省・国立教育政策研究所における教育への ICT 活用の最新情報」

(国立教育政策研究所)

・ OECD/PISA2018 年 生徒の学習到達度調査、ICT 活用調査について

→日本の子供達は、学習に ICT を活用していない

・ GIGA スクール構想について

→探求のプロセスにおいて、ICT を効果的に活用できる能力の育成を目指している

・ 学習者用デジタル教科書普及促進事業について

・ オンライン学習システム（CBT システム）の全国展開について

- ・高度情報技術の進展に応じた教育革新に関する研究について

<現場でのテレポーテーションロボット導入効果，普及促進に向けた課題，改善策，期待 2
>

●健全生徒におけるテレポーテーションロボット利用

③兵庫県 R 高

・体験会と実証実験でのテレポーテーションロボット導入効果として，教職員と参加生徒の双方において，テレポーテーションロボット利用への意識の向上が見られた．

- ・学校に通学できない生徒が発生した場合の模擬授業とすることができた

(課題と改善策)

- ・テレポーテーションロボットの置き場所（スペース，セキュリティ，充電）について
→専用部屋の設置，ロボットの小型化，安全な充電設備
- ・補助する教職員の配置について
→市教委専属スタッフの配置，補助が不要となるシステム構築
- ・実技を伴う授業への参加について
→教職員の理解啓発，市教委による指針の作成
- ・ネットワーク環境について
→ローカル 5G の整備と教育関係の無償利用

④ 兵庫県 K 中学校

- ・4 人の生徒を対象に，Kubi，temi 等のテレポーテーションロボットの実証実験実施

・教室に入ることが困難な生徒，登校を渋りながらも学習が気になる生徒を対象に，既存の学校備品による遠隔教育を試みたが，PC カメラの画素数の問題等の様々な苦労があった．

・今回の実証によって，ワイヤレスであることや生徒自身がカメラを操作するという，これまで当たり前と考えていたことが極めて便利であることに気づいた．ぜひ，普及してほしいと考えている．

(課題)

- ・ネットワーク環境に関して，神戸市独自のセキュリティのために，神戸市外とのネットワーク接続が困難
- ・教員や生徒に提供されている器材による接続が困難

⑤ 兵庫県 K 教育委員会

・現場でのテレポーテーションロボット導入効果として，いかなる状況下でも同じ時間，同じ空間を共有しながら学習できる．

(課題，解決策)

- ・GIGA スクール構想下でのリモート学習と，どのような違いや優位性があるのかの明確化
(例：家庭に持ち帰る ICT 活用とテレポーテーションロボットの活用での違い 等)

→どの場面で活用するのが GIGA スクールでの端末と比して効果的であるかを検証

→テレポーテーションロボットの性能向上（集音性、機動性）

- ・人的環境、物的環境の整備を市教委として、どのように進めていくのかの検討が必要

●入院患者生徒におけるテレポーテーションロボット利用

⑥ 大阪府 H 高

（テレポーテーションロボット導入までの経過）

- ・高校 2 年生の生徒が、高校 1 年生の時に病気発症
- ・新型コロナウイルス感染症等の予防のため、登校が難しかったり、遅れて登校したりするなど、学校での活動時間確保が困難
- ・大阪府教委による長期入院生徒学生支援制度（1 日 1 時間程度の病院訪問による教科指導）の運用を試みたが、生徒の体調不良のため、運用はほとんどできなかった。
- ・主治医から Kubi 導入提案があり、校内で検討結果、導入決定
- ・iPresence によるサポートと教員の見守りの下、Kubi を活用して、病室と教室とを繋ぎ、授業を実施。

（導入効果）

- ・グループ学習場面では、教室側の生徒が声かけをしたり、Kubi に設置したカメラにワークシートを提示したりするなどの行動があった
- ・授業以外の場面では、担任等が本人とコミュニケーションに役立った
- ・導入時期については、「入院した早い段階から Kubi 等の導入があることで、生徒への支援になる」と考えている。

⑦ 大阪府 D 高

- ・2020 年 12 月に Kubi を導入。
- ・導入当初、ネット接続時における突然の切断、Kubi の電源入れ忘れ等のトラブルあり。同じクラスの生徒に電源確認依頼によって、電源入れ忘れは解決。

（課題）

- ・Kubi による遠隔授業に関する学校内規がなく、いかに新たに内規を策定するかが大きな課題。文部科学省通知には、遠隔授業によって単位を履修することが「できる」、という規程までであり、「出席とする」「授業を受けさせなさい」という文言は見当たらない。
- ・遠隔授業による単位認定、成績評価のルールづくりが喫緊に必要

⑧ 京都府 T 支援学校

- ・医教連携の取組を通して、出席認定に繋がる同時双方向型配信授業実施において必要だと考えるのは次の事項である。

- 当該生徒(保護者)からの教育相談窓口
- 関係機関への制度の周知
- 医療側の理解
- 高等学校側の理解
- 配 信 方 法
- 学 習 場 所
- 使 用 機 材
- 無 線 環 境

- ・同時双方向型配信授業での課題と解決策

課題：どうすれば板書全体が見えるか.

→タブレット2機(モバイルwifi利用)で左右から板書を配信

課題：「自分が見たいところを見たい. 先生が示すところを見たい.」

→リモートカメラを導入

課題:無線環境が悪い(=授業者のモチベーションが下がる)

→ 解決方法は見つからない

課題：心理的に不安を抱えた時のサポート体制

(不安のケース) ニーズに合った配信(見たいこと,知りたいことに近づける配信)ができない時, 体調不良時, 自分はリアルに参加できない苛立ちや辛さを感じる時

→主治医や看護師,高校教員と病院側生徒の様子を連絡しサポート体制を整えた

課題:入退院を繰り返し,体力的にも自信がなく,休学を決意したが,休学しても学校の様子を見学し,授業の視聴は続けたいという希望がある.

→常に学校を身近に感じ,友だちとも繋がりが持てるよう,Kubi ロボットを使用.

そのことによって, コミュニケーションをとるきっかけになっている, Kubi を使っている間は, 教室にいると錯覚してしまうくらいリアルな感覚をもって学ぶことができるとの感想

<全体質疑・意見交換>

・テレポーテーションロボット等の導入が, 必要なときに, スムーズに導入が可能となる仕組みづくり, 体制づくり, 制度づくりがこれからは重要

・遠隔授業が必要となった際に, 教員の加配が行われる制度づくり, 法的根拠が必要.

・新しい事業を開始するときには, 自治体教育委員会, 学校に対して人的配置が不可欠であるという考え方が必要

・テレポーテーションロボットを用いた教育活動が, 各自治体や病院のセキュリティー・ポリシーに位置づけられることが運用には必要

・テレポーテーションロボット, WiFi 環境等をパッケージにして準備しておいて, 必要となる学校にパッケージごと届けて, 遠隔教育を開始するという手段も有効

・テレポーテーションロボットの音声の明瞭さや発話の声の大きさ, 動作性等の調整改善がより一層進むことにより今の効果以上に入院療養する生徒の生活の質 QOL の向上につながると期待

<総括>

・テレポーテーションロボットがあることで, 療養を必要とする生徒にとって, 治療と向き合うエネルギーとなり, これまで培った友達関係, 人間関係の継続に繋がるという大きなメリットがある.

・医療と教育の連携の際, 教育サイドにコーディネーターが存在することによって, 入院療養する生徒の教育ニーズに対して, 的確に対応が可能となる

(例えば, 京都府 T 支援学校とその関連病院との連携)

- ・学校間での連絡調整を行う際には、両校の担当所管の教育委員会の了解のもと、教育サイドのコーディネーターが学校間の連絡調整を行うことが重要
- ・私立高等学校の先生方が遠隔授業に関する相談することができる一元化した窓口があることによって、遠隔授業やテレポーテーションロボットの早期からの導入が可能となり得る。

以上

2020年度JKA機械振興補助事業

「未成年入院患者の学校教育（生活）参加支援に関する
調査開発研究」研究委員会

研究委員会報告書

2021年3月