

中小企業製造技能デジタル伝承実証事業 実証結果報告書

— 認知基盤に着目した技能の見える化による伝承支援 —



1. 実証の背景と目的

背景

富士市内には数多くの中小企業が存在しており、製造業を中心に独自の技能を有している。しかしながら、富士市は少子高齢化が進んでおり、中小企業は人材確保に苦慮している。そのため、従業員の高齢化に伴い、技能の伝承が課題となっている。また、そこに新型コロナウイルスの影響が加わり、対面でのコミュニケーションが低下し、技能伝承がさらに進みにくくなっている。

目的

製造技能の伝承をデジタルの力を活用して進める実証を行い、市内の中小企業に広めるモデルケースを作成することを目的とする。

方法

認知基盤に着目した技能の見える化による伝承支援

- ・従来、身体を使う技能伝承は、学習者が熟練者の動きを見て真似ることや、熟練者からの言葉かけなどに依拠してきたため、習得には長い年月が掛かる。
- ・本実証では、言葉では表現しきれない身体技能の認知基盤を、視覚・触覚・姿勢動作・脳波装置を用いて、客観的なデータで見える化し、比較分析から技能の特徴（コツ）を捉え、熟練者には新たな暗黙知の気づき、学習者には上達に繋がる新たな習得の気づきが獲得できるか検証する。
気づきが獲得できれば学習者の試行錯誤を減らし、技能の習得期間短縮や品質向上に繋がる可能性があると考えられる。

2. 実証実験の流れ

1

作業観察・ヒアリング

作業観察と
技能者へのヒアリングにより
技能のポイントを抽出

技能計測する
熟練者と学習者を決定

2

技能計測

観察とヒアリングから
技能計測の環境構築

技能計測と作業後振り返り
インタビューを実施

3

技能分析

出来栄え評価、
作業工程/時間の可視化、
計測データの可視化、
熟練者と学習者の比較分析
より、差異から
技能の特徴抽出と意味づけ

4

**技能分析結果
提示**

可視化/分析結果を提示し、
熟練者と学習者の
コミュニケーションの場で
更に言語化、意味づけを行い
新たな気づきを創出

利用者インタビュー実施



計測データ・
分析レポート
提供



技能計測風景（センサ装着）



技能計測風景（計測）



技能計測風景（インタビュー）





技能分析結果提示（コミュニケーションの場）

3. 現場作業観察・ヒアリング

- (1) 作業観察とヒアリングにより技能伝承の困りごとと技能のポイントを抽出して技能計測の方針を決定
- (2) 企業と調整して対象技能と技能計測の場所・計測する熟練者と学習者を選定

赤字：困りごと 青字：技能ポイント

選定企業	選定技能と被験者	ヒアリング/現場観察の結果（抜粋）
<p>株式会社 ダイワ・エム・ティ</p> <p>【事業内容】 マスターモデル製作 デザインモデル製作 CFRP成形型 など</p> 	<p>マスターモデル製作 ・ノミ研ぎ、・サンドペーパー仕上げ工程 ・凸R付け工程、・凹R付け工程 以上から対象技能2つを選定</p> <p>【対象行程】 ・サンドペーパー仕上げ工程 ・凸R付け工程</p> <p>【被験者】 熟練者：2名 学習者：中級者1名、初級者1名 (身体技能の分析は、 熟練者1名、学習者：初級者1名)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・会社の資産である熟練者が高齢となり属人化している技能の今後が不透明で不安に感じている。 ・熟練者が業務や技能塾で教えているが、マニュアル化はしていない。 ・動画を活用して理屈も交えて教えているが、動作や感覚的な所が伝えられないため、トライ&エラーでコツを掴んでもらっている（3～10年の習得期間が必要）。 ・サンドペーパーでは形状を崩さず、刃物痕が無くなるように削る。 ・サンドペーパーは対象形状に合わせて、使用する指、持ち方、かけ方を決める。 ・サンドペーパーもカンナ掛けも、バランスよく安定した動作になっていることが重要。 ・熟練者は、それぞれ体格が違うため、個人の特性にあったやり方に変えても良いと教えている。 ・本社工場内で技能計測が可能
<p>有限会社 わかつき (菓亭わかつき)</p> <p>【事業内容】 和菓子製造・販売（豆炊職人）</p> 	<p>【対象行程】 金つばの皮の製造工程</p> <p>【被験者】 熟練者：1名 学習者：ベテラン1名、中級者1名、初級者1名 (身体技能の分析は、熟練者1名、学習者1名)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・社長が熟練者であり、和菓子製造を科学的に捉えて更に品質/技能向上を目指されている。 ・社長の困り事として、製造工程のマニュアル化はしていないが、従業員がある作業工程において熟練者と異なる作業（動作、道具の使い方、チェックの仕方）をする。 ・工程で重要なのは白玉粉を十分に漬す、ダマなく捏ねる・混ぜる、材料が混ざる時の素材の状態をイメージしながら手（泡立器）を動かす。 ・教えるときに、捏ねる・混ぜる時の感覚と捏ねる・混ぜるの終了判断を伝えるのが難しい（見た目と混ぜた時の感触で終了の判断をする） ・社員も自分のやり方で十分と思っている可能性がある。 ・動画はコツが示されていないので活用していない。 ・社長は、守ってほしい技能を伝えたいと考えている。 ・作業場での技能計測は商品に支障がでる可能性があるため場所を変えて計測する。 → 「富士駅北まちづくりセンターの調理実習室」を選定

⇒ 企業の現場へ訪問し、技能者へのヒアリングと観察結果をもとに作業現場に合わせた技能計測の環境構築を実施

4. 技能計測

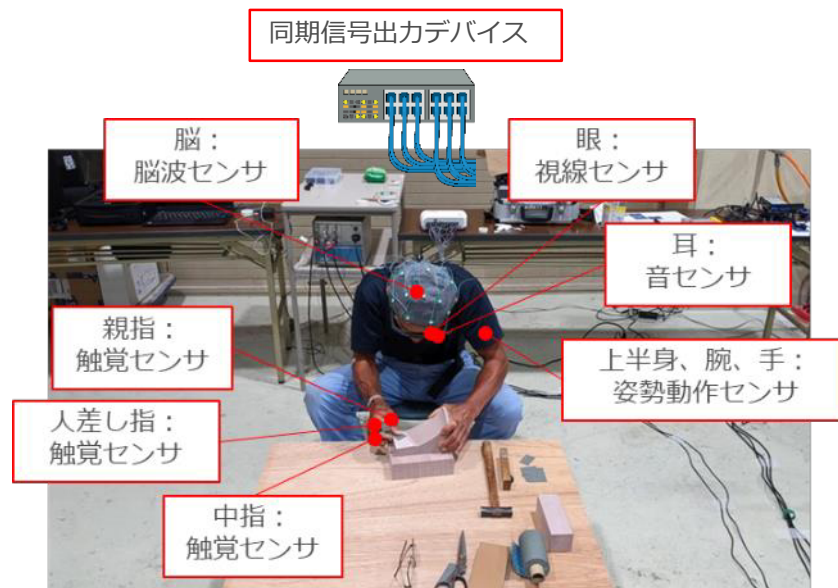
対象技能と作業環境に合わせた技能計測の環境構築

ダイワ・エム・ティ様

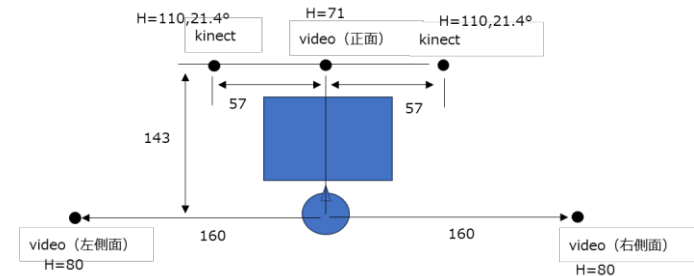
- 対象技能：
- ・ 凸R付け工程
 - ・ サンドペーパー仕上げ工程

場所： 本社工場

- 実施内容：
- ・ 対象技能と作業場所に合わせた機器セッティングの検討
 - ・ 対象技能に合わせた各種センサの選定、装着方法および計測パラメータの調整
 - ・ 技能計測トライアルによる作業タスクと工作物の難易度の調整



技能計測トライアル



技能計測環境

4. 技能計測

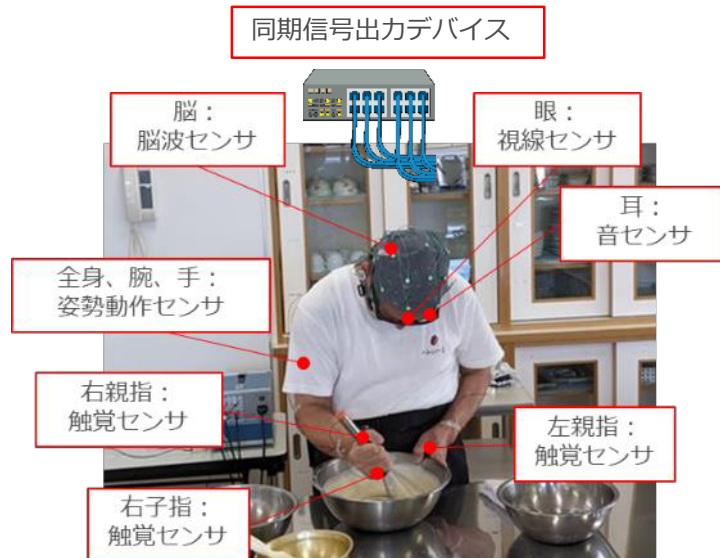
対象技能と作業環境に合わせた技能計測の環境構築

わかつき様

対象技能： きんつばの皮の製造工程

場所： 富士駅北まちづくりセンターの調理実習室

- 実施内容：
- ・ 対象技能と作業場所に合わせた機器セッティングの検討
 - ・ 対象技能に合わせた各種センサの選定、装着方法および計測パラメータの調整
 - ・ 技能計測トライアルによる作業場所変更の影響確認



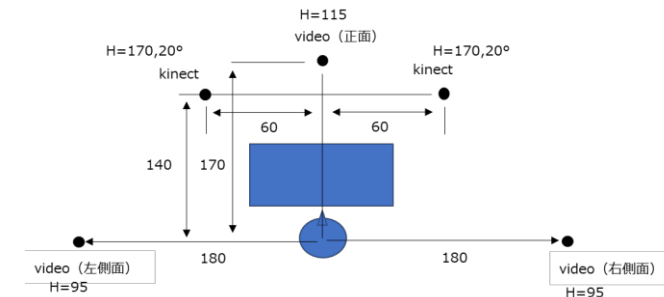
技能計測トライアル



技能計測環境



富士駅北まちづくりセンター（調理実習室）



4. 技能計測

- (1) 被験者に対してインフォームドコンセントを実施し、合意を得た上で技能計測
- (2) 技能計測後に作業を振り返り、技能が必要な難しいポイントを抽出、言語化

ダイワ・エム・ティ様

- 対象技能：・ 凸R付け工程
・ サンドペーパー仕上げ工程

場所： 本社工場

被験者： 4名（熟練者：2名、学習者：中級者1名、初級者1名）

- 実施内容：・ インフォームドコンセント
・ 分析用のアンケート
・ 技能計測
・ 作業後振り返りのインタビュー



技能計測風景（センサ装着）



技能計測風景（計測）



技能計測風景（インタビュー）

4. 技能計測

- (1) 被験者に対してインフォームドコンセントを実施し、合意を得た上で技能計測
- (2) 技能計測後に作業を振り返り、技能が必要な難しいポイントを抽出、言語化

わかつき様

対象技能： きんつばの皮の製造工程

場所： 富士駅北まちづくりセンターの調理実習室

被験者： 4名（熟練者：1名、学習者：ベテラン1名、中級者1名、初級者1名）

実施内容： ・ インフォームドコンセント

- ・ 分析用のアンケート
- ・ 技能計測
- ・ 作業後振り返りのインタビュー



技能計測風景（捏ねる作業）



技能計測風景（混ぜる作業）

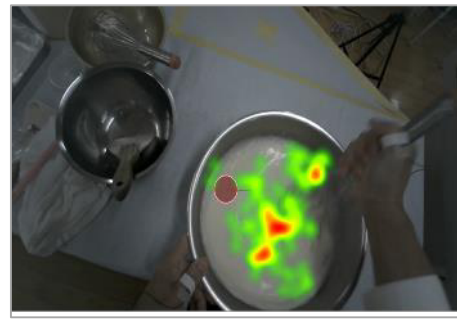
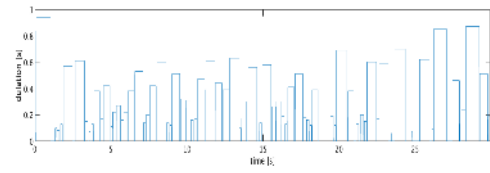
5. 技能分析

出来栄評価、作業工程/時間の可視化、計測データの可視化、熟練者と学習者の比較分析により、差異から技能の特徴抽出と多面的な視点での意味づけ

■ 技能分析の項目（可視化例）

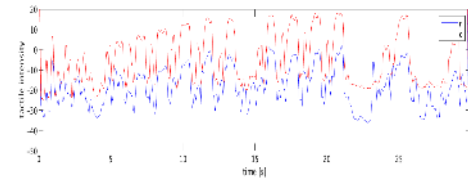
視覚

- ・ 注視時間
- ・ 視線軌跡
- など



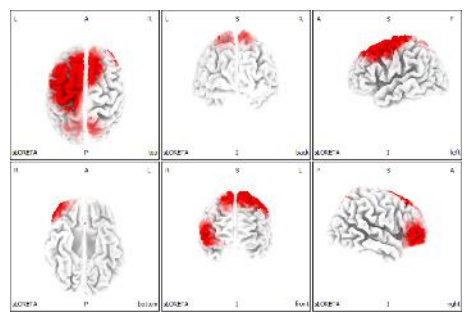
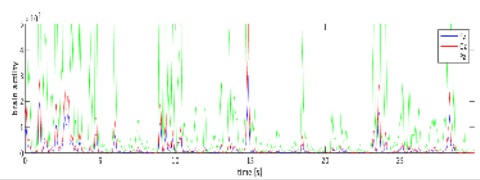
触覚

- ・ 触覚振動波形
- ・ 触覚振動強度
- ・ 触覚体験※
- など



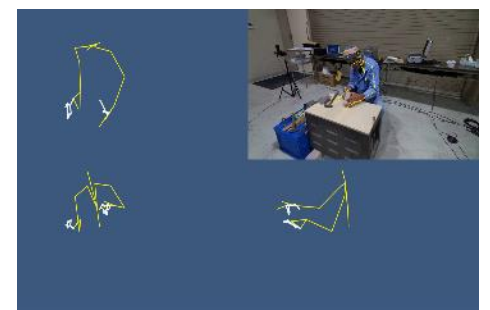
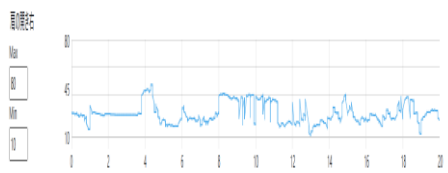
脳波

- ・ 脳波形
- ・ 脳活動マッピング
- など



姿勢動作

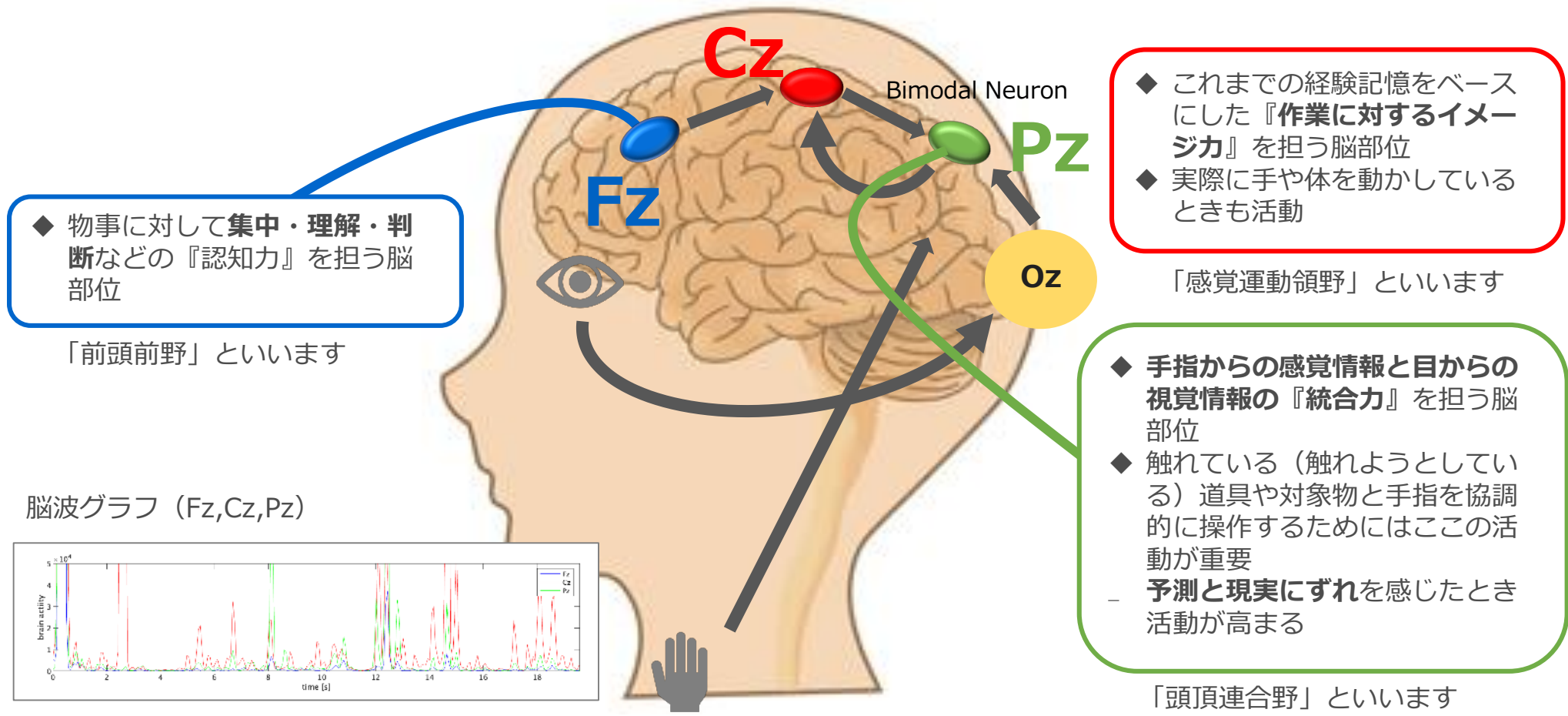
- ・ 関節点軌跡
- ・ 関節点座標
- など



※ 触覚データはアクチュエーションデバイスを用いて振動で再現することで学習者に熟練者の触覚情報を伝えることが可能になる。

5. 技能分析

■ 技能分析で脳波解析した電極部位

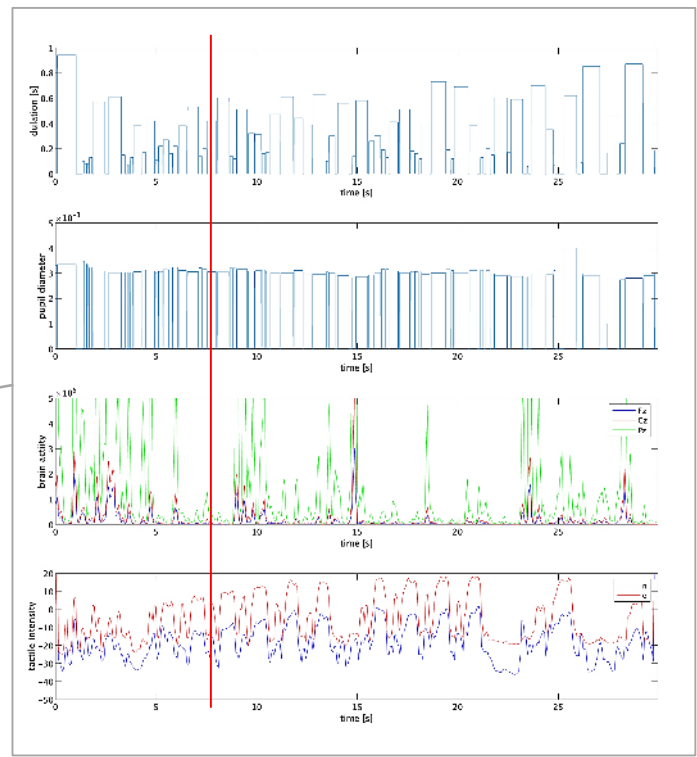
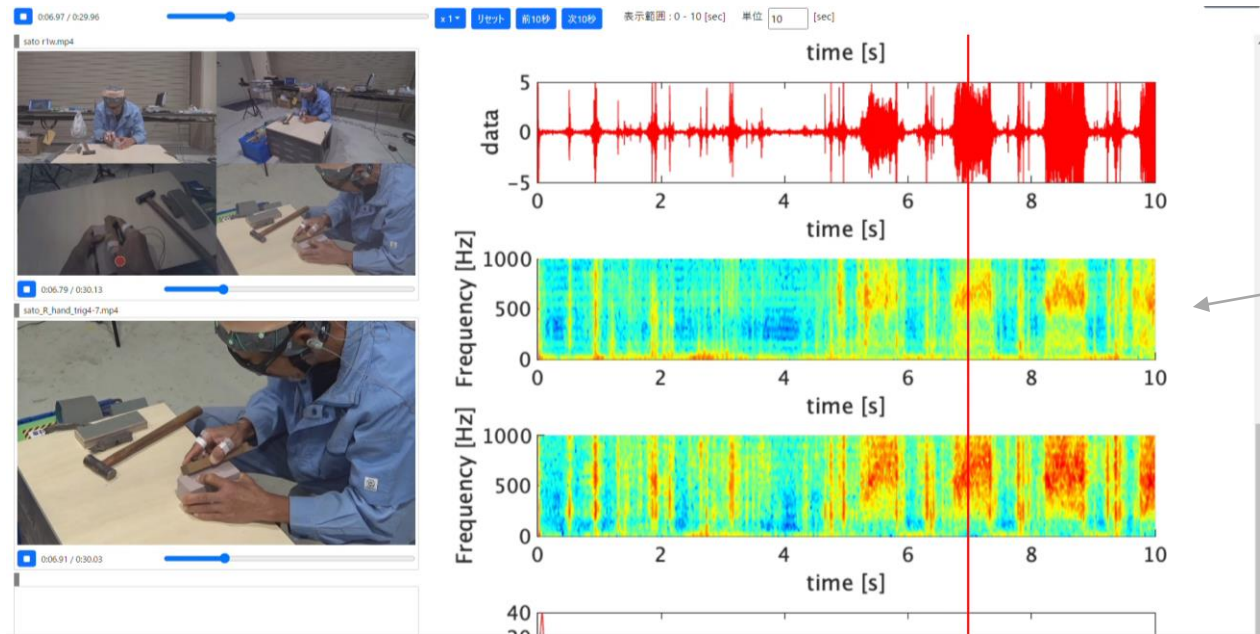


※ 脳波だけでは断定的な意味づけが難しい為、視覚、触覚、姿勢動作など多面的に見て意味づけを行った。

5. 技能分析

■ 技能分析の方法

視覚・触覚・脳波・姿勢動作を高精度に同期計測し、動画+各データ間の連動性を分析



5. 技能分析

■ ダイワ・エム・ティ様 技能分析内容

対象工程：・ 凸R付け工程
・ サンドペーパー仕上げ工程

場所： 本社工場

被験者： 【熟練者】 2名（A氏、B氏）
【学習者】 2名（中級者、初級者）

分析項目：（1）出来栄え評価
（2）作業工程・時間
（3）身体技能

【分析した身体技能】

凸R付け工程 …… カンナ掛け作業（前半、中盤、後半）

サンドペーパー仕上げ工程 …… 溝R部、壁R部の仕上げ作業（各部の前半、中盤、後半）

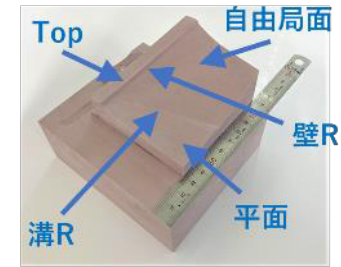
【身体技能を分析した被験者】

熟練者： A氏（一部B氏も含む）

学習者： 初級者（一部中級者も含む）



凸R付けのワーク



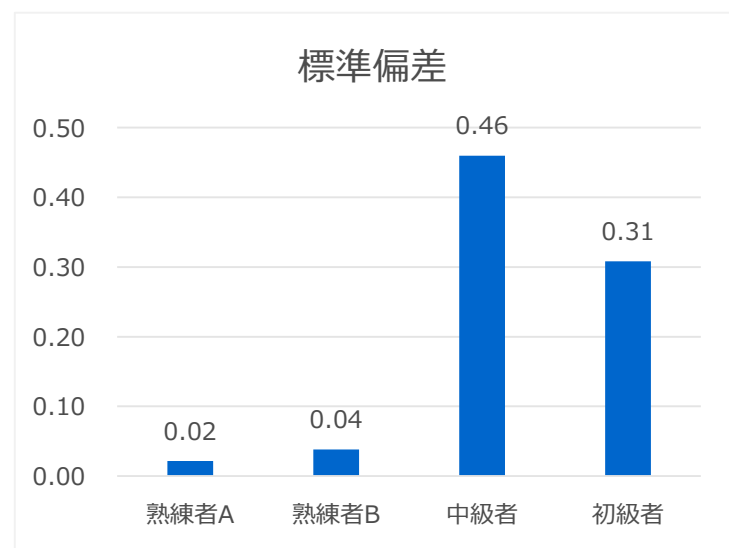
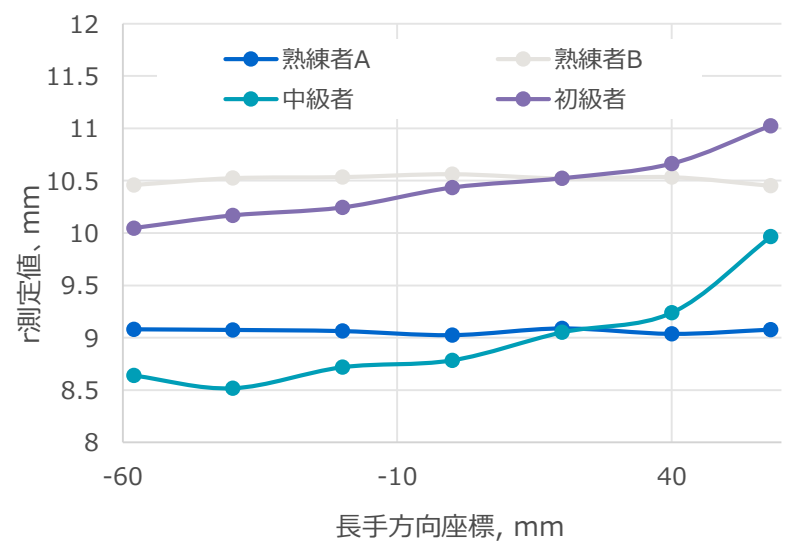
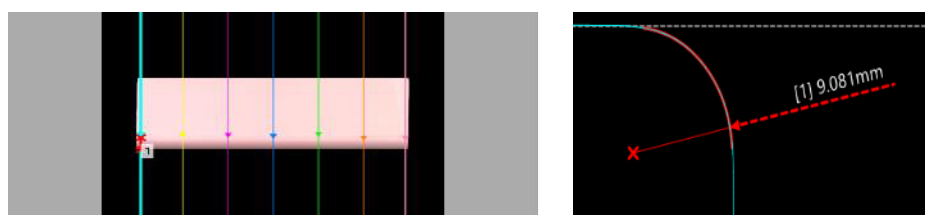
サンドペーパー仕上げのワーク

5. 技能分析

■ ダイワ・エム・ティ様 凸R付け工程

出来栄え評価

R形状 (r=10mm) の三次元形状測定結果



熟練者の方が長手方向の形状ばらつきが小さく出来栄えが良い

5. 技能分析

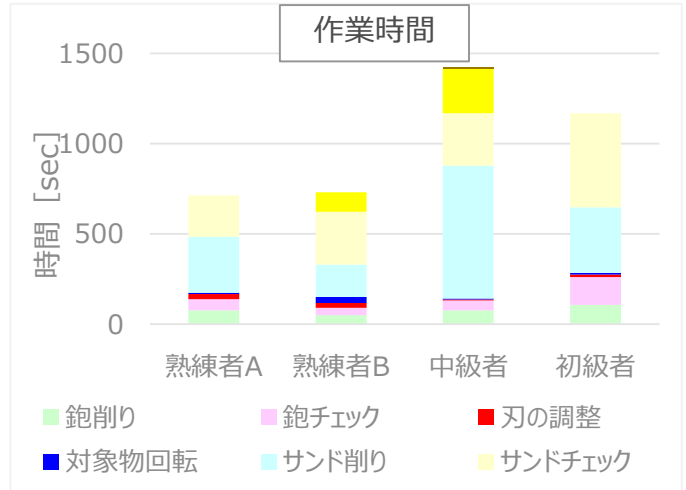
■ ダイフ・エム・ティ様 凸R付け工程

作業工程・作業時間の可視化



<技能の特徴>

- 【熟練者A】**
 - ・カンナの目視にかける時間が短いが、こまめに削って確認を繰り返している。
 - ・カンナとサンドペーパーの目視を削り始めの端部と削り終わりの端部の2か所を常に確認している。
 - ・サンドペーパーは対象物を手持ちで作業している。
- 【熟練者B】**
 - ・特にサンドペーパーで対象物を回転させている。
- 【中級者】**
 - ・サンドペーパーの時間が長い。（カンナの刃先が出過ぎていて材料が欠けたため、サンドペーパーでのリカバリー時間が長くなってしまった）
 - ・カンナ掛けを手にとって掛けているためかカンナが不安定。
- 【初級者】**
 - ・カンナもサンドペーパーも削る工程より、触診で確認している時間が多い。

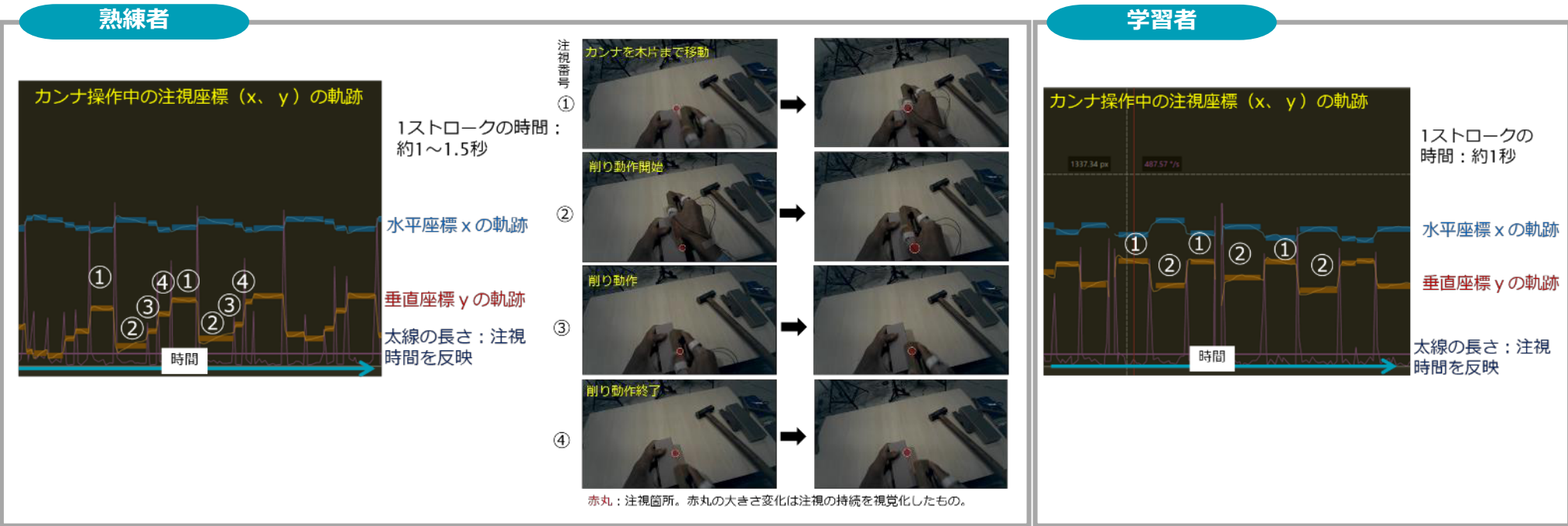


5. 技能分析

■ダイワ・エム・ティ様 凸R付け工程_カンナ掛け作業

視覚：注視パターン

注視（対象物上で視線が停留）＝視覚情報が脳に届く
＝技能を発揮するための**運動調整に不可欠な情報** がそこに存在することを示唆



熟練者は1ストロークの中でより細かく効率よく情報を取得している

<技能の特徴> 運動調整には運動の予測と結果の照合が重要、1ストローク毎に削り面を確認

5. 技能分析

■ダイワ・エム・ティ様 凸R付け工程_カンナ掛け作業

視覚：眼球運動の空間精度

熟練者



注視①（削り動作準備）



注視②（削り動作開始）

カンナ削り動作：カンナを正しい角度や方角に動かす必要がある。

しかしながら、手足の感覚信号や運動指令には“ノイズ”が多分に含まれている
→ シンプルな運動でも想像以上に運動はばらついている

より精緻な動きにするには・・・

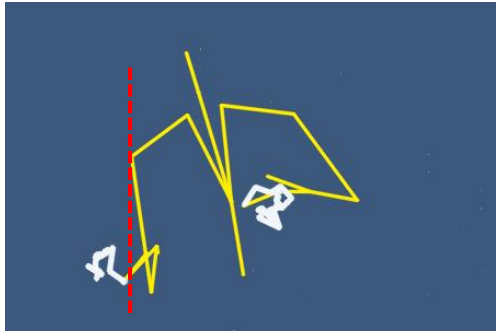
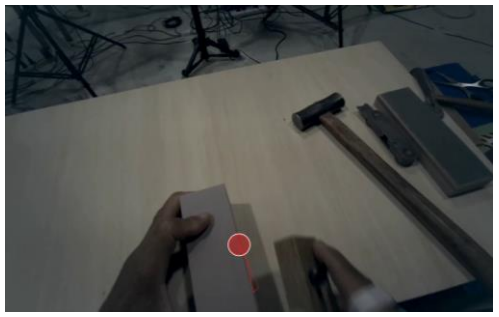
- ① ばらつきのもと **(身体運動要素)** を減らし一定にすること
- ② 精緻な運動のための**羅針盤**を持つこと

5. 技能分析

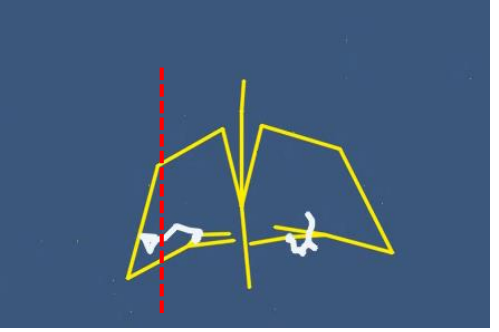
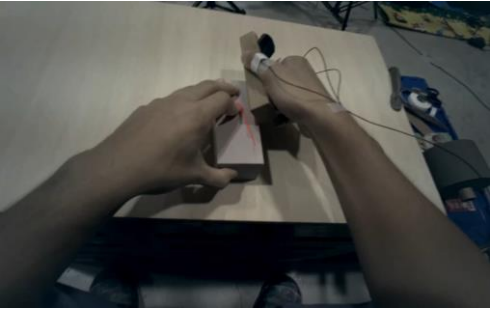
■ダイワ・エム・ティ様 凸R付け工程_カンナ掛け作業

姿勢動作・視覚：頭部、眼球、手の運動

熟練者



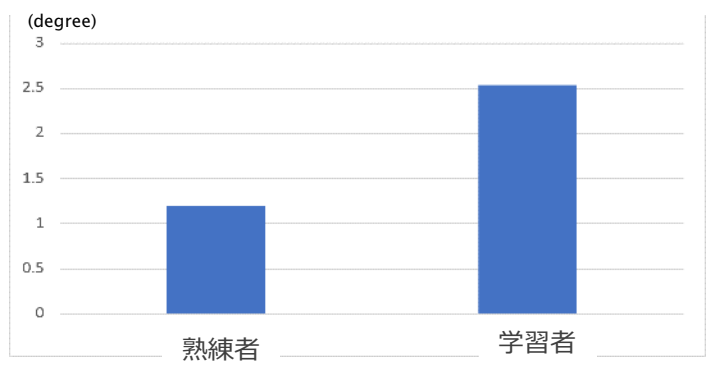
学習者



- 熟練者は、目の動きと頭部の動きが初級者より一定
- 熟練者は、脇が閉まっいて肘の曲げ動作も一定で小さい

視覚：眼球運動のばらつき

カンナ削り動作開始前の眼球運動方向のバラツキ



熟練者の眼球運動方向のばらつきが少ない

<技能の特徴>

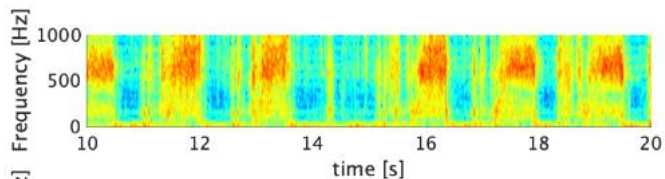
技能に関わる精緻な動作には、脇を閉めて手と頭を一定にし、姿勢動作、視線のばらつきを小さくする

5. 技能分析

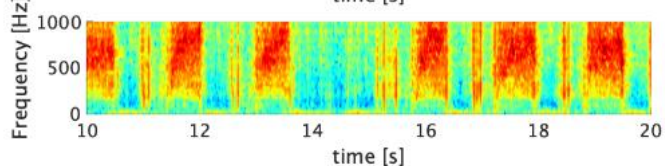
■ダイワ・エム・ティ様 凸R付け工程_カナナ掛け作業

触覚：触覚強度

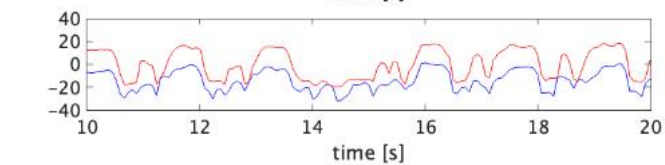
熟練者



【触覚】 中指の触覚強度

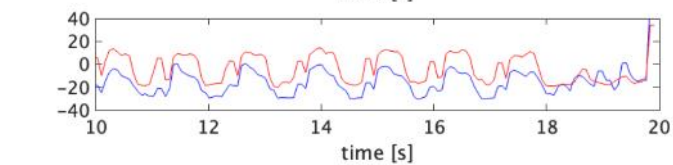
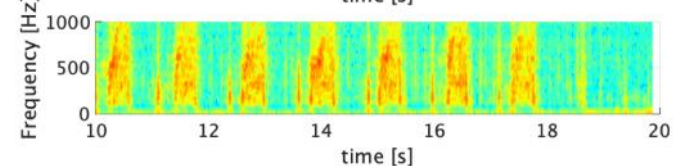
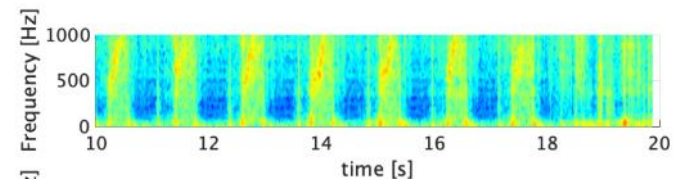


【触覚】 親指の触覚強度



【触覚】 触覚強度
(青：中指、赤：親指)

学習者



- 〈技能の特徴〉
- ・ 中指と親指で触覚強度の波形が似ていることからカナナをしっかりと握っている
 - ・ 触覚強度が大きく、1ストロークのでムラが少ない

5. 技能分析

■ ダイワ・エム・ティ様 凸R付け工程_カンナ掛け作業

マルチ動画 + 触覚体験比較

動画を見ながらデジタルで再現した触覚を比較体験し、触覚の質の違いを抽出、暗黙知の言語化と意味づけを実施

正面

斜め上（姿勢推定視点）

一人称

手元

0:00.00 / 0:30.13

赤丸：注視箇所。赤丸の大きさ変化は注視の持続を視覚化したもの。

動画選択

5. 技能分析

■ ダイワ・エム・ティ様 凸R付け工程_カンナ掛け作業

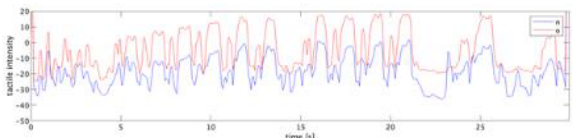
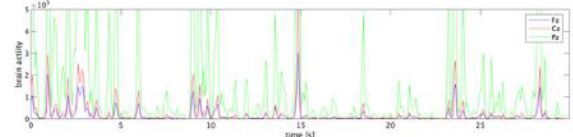
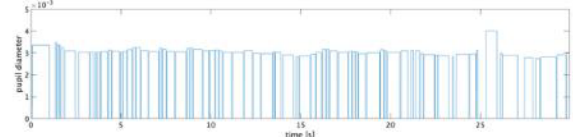
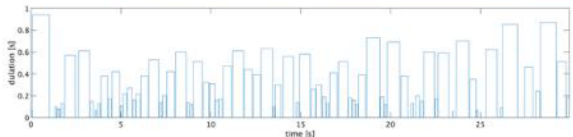
フェーズ毎に各項目比較

動画を見ながら各項目と項目間の連動性を比較提示し、暗黙知の言語化と意味づけを実施

熟練者



学習者

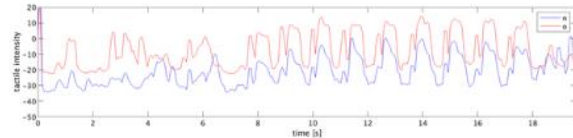
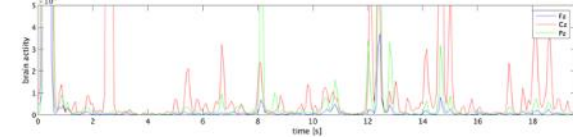
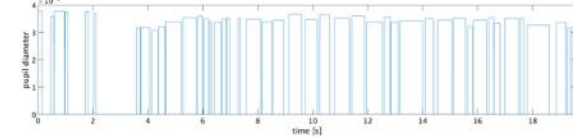
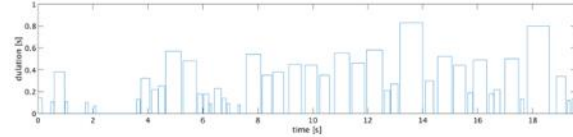


【視覚】 注視時間

【視覚】 瞳孔径

【脳】 脳波
(青 : Fz、赤 : Cz、緑 : Pz)

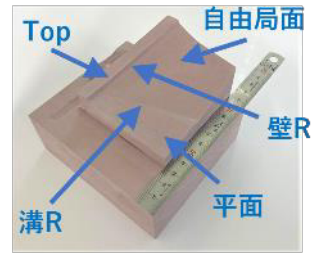
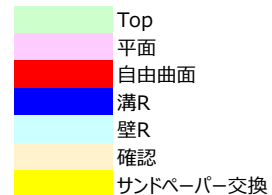
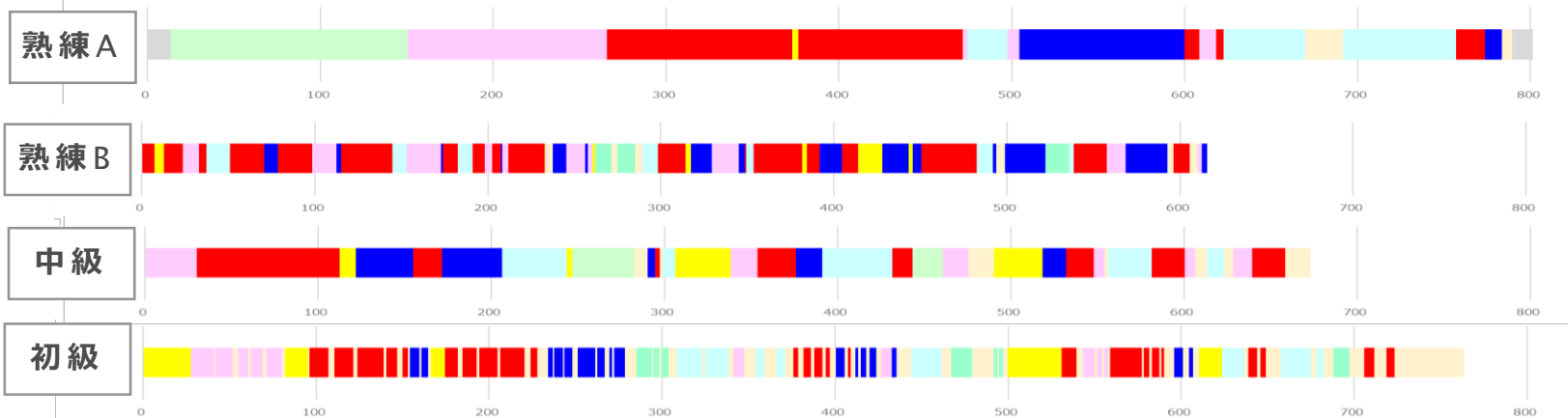
【触覚】 触覚強度
(青 : 中指、赤 : 親指)



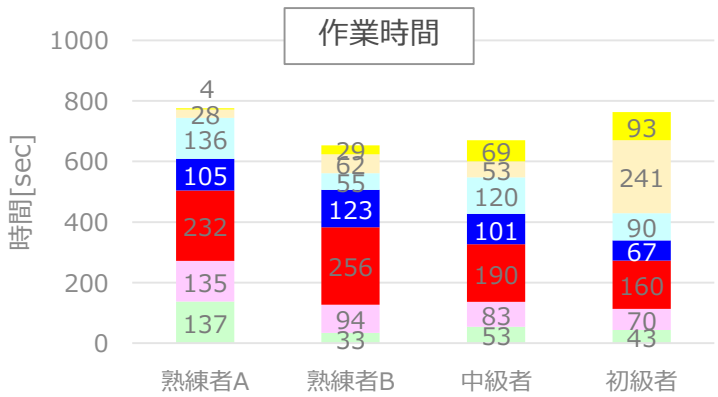
5. 技能分析

■ ダイワ・エム・ティ様 サンドペーパー仕上げ工程

作業工程・作業時間の可視化



<技能の特徴>
 熟練者A：・ 確認時間が非常に短い。
 ⇒ 削りながらサンドペーパーを通して削れ面の状態を読み取っている。
 ・ 削り箇所を順番に仕上げていき、行ったり来たりが少ない。
 熟練者B：各領域を細かく行き来して仕上げる。
 ⇒ 全体バランスを見ながら作業している。
 中級者：熟練者Bほどではないが、各領域を細かく行き来して仕上げる。
 初級者：・ 触診で確認している時間が多い。
 ・ 1つの削り箇所を何回も削っている。



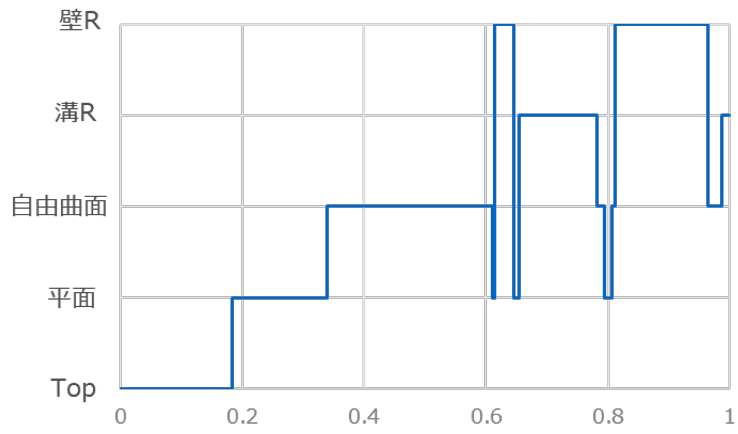
■ Top ■ 平面 ■ 自由曲面 ■ 溝R ■ 壁R ■ 確認 ■ サンドペーパー変更

5. 技能分析

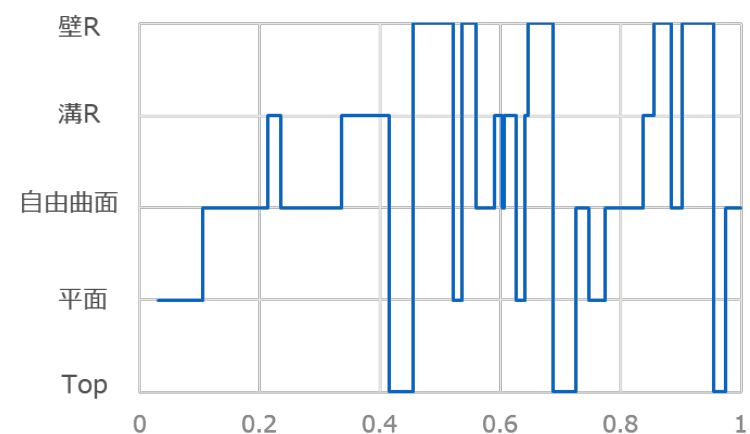
■ダイワ・エム・ティ様 サンドペーパー仕上げ工程

仕上げ面の順番可視化

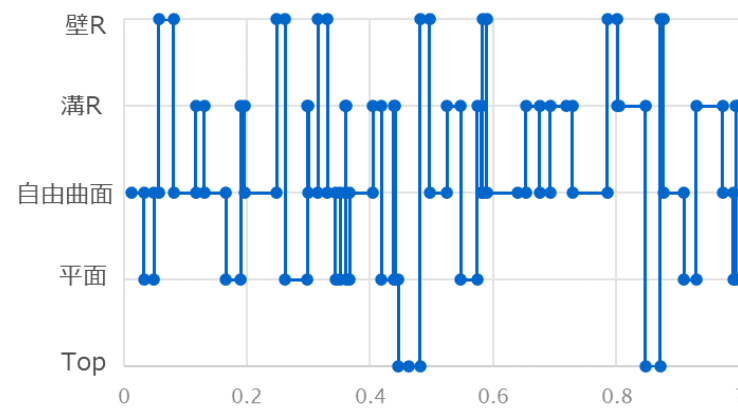
熟練 A



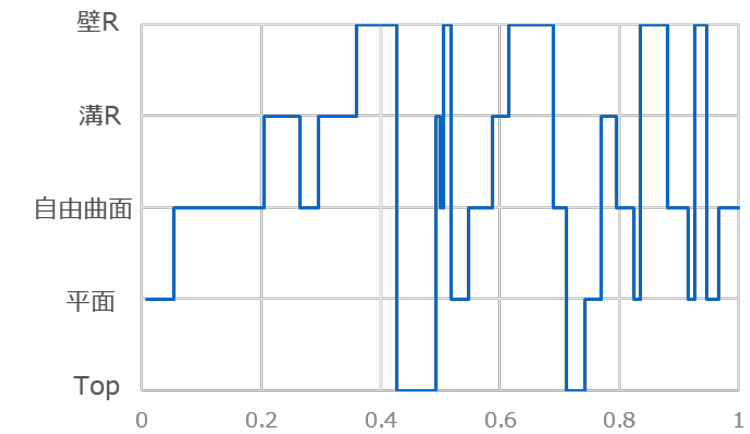
初級



熟練 B



中級



<技能の特徴>

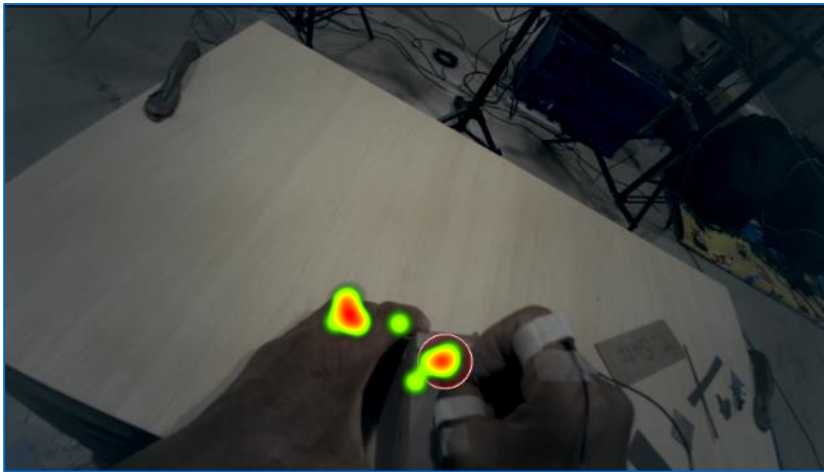
熟練者A：仕上げ面の移動が少ない、各領域ごとに1度の作業でほぼ完成しており、細かい境目の調整も数回程度である

5. 技能分析

■ ダイワ・エム・ティ様 サンドペーパー仕上げ工程_溝R部、壁R部の仕上げ作業

視覚：注視行動

熟練者



壁Rフェーズ1全体のヒートマップ（停留時間）



壁Rフェーズ1の一場面

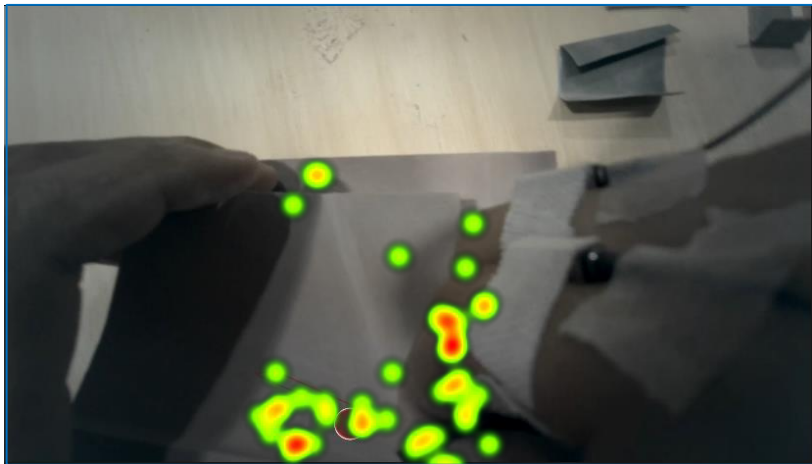
- 特に壁Rフェーズ1で熟練者は特異的な持続注視行動（削り動作20回分程度）を観察。
- 溝Rでは上記のような持続した注視は認めなかったが、削り動作6-7回分程度の持続注視行動を認めた。
- フェーズが後半に移行するとともに注視持続時間は短縮する傾向。
- 手の一か所を注視しながら削り動作を行う場面も観察された。（目を細めているか視覚遮断）

5. 技能分析

■ ダイワ・エム・ティ様 サンドペーパー仕上げ工程_溝R部、壁R部の仕上げ作業

視覚：注視行動

学習者



壁Rフェーズ3全体の注視ヒートマップ（停留時間）



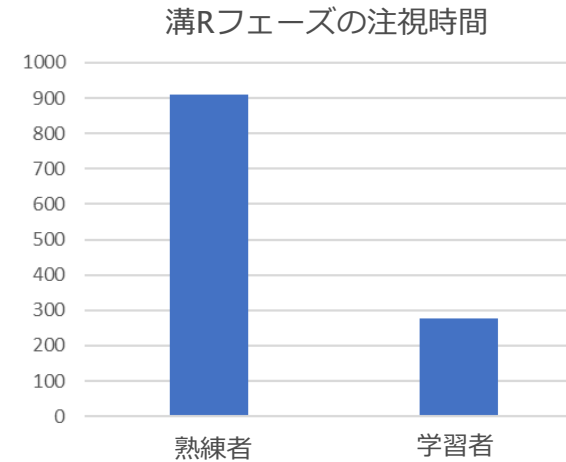
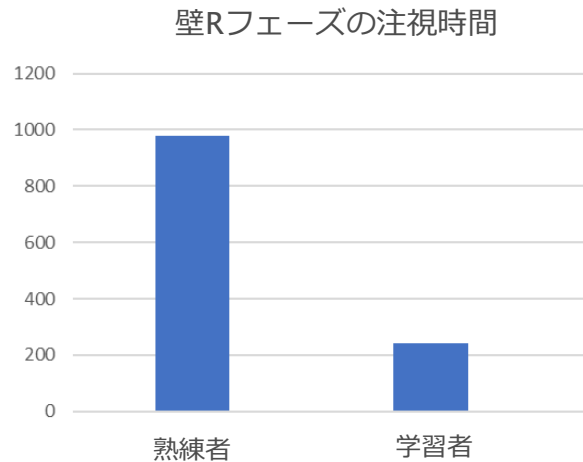
壁Rフェーズ3の一場面

- 熟練者に比べ持続注視行動は短い（3-4回程度が多い）。
- 注視ポイントも分散する傾向。
- フェーズが後半に移行するとともに増加した持続注視が観察された。
- 溝Rと壁Rで注視行動の持続において違いがなかった。

5. 技能分析

■ ダイワ・エム・ティ様 サンドペーパー仕上げ工程_溝R部、壁R部の仕上げ作業

視覚：注視行動



<技能の特徴>

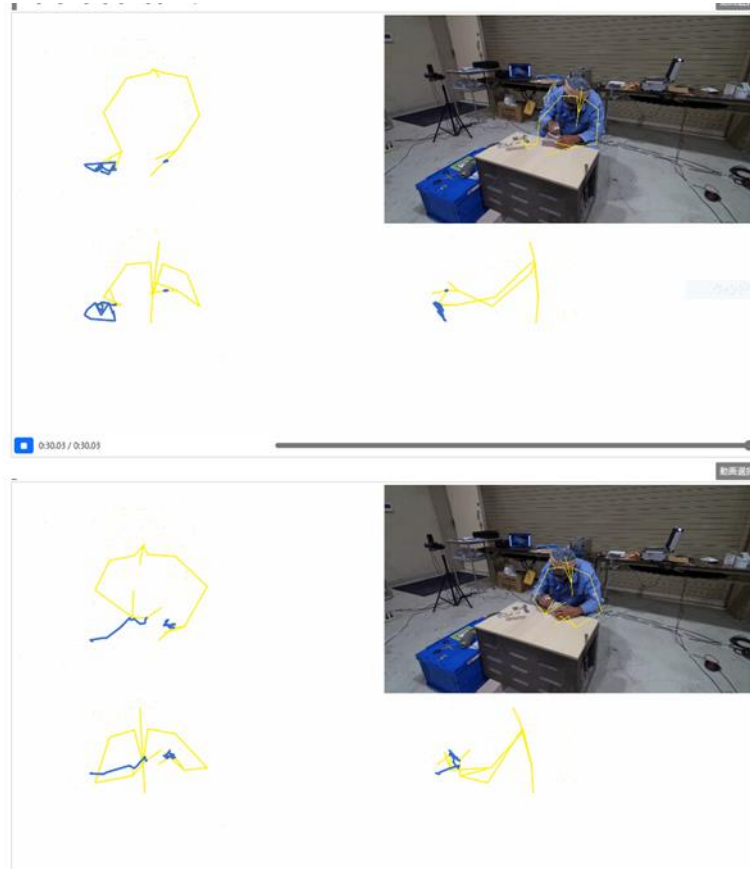
- カンナ操作ほど精緻な空間移動を必要としない削り動作であるが、持続的な注視は手の運動方向の制御には有利となり、より精緻な手の運動方向の制御を下支えする。
- 同時に、削り動作の特性上、削り面の滑らかさや曲面形状、手の触覚情報などは特に重要となる。熟練者の場合、そのような情報取得のための認知処理にも特に注意のリソースを割いているのかもしれない。(特に動作の前半で)
- 学習者は動作の後半で熟練者のような傾向が出現している(学習過程を反映)。

5. 技能分析

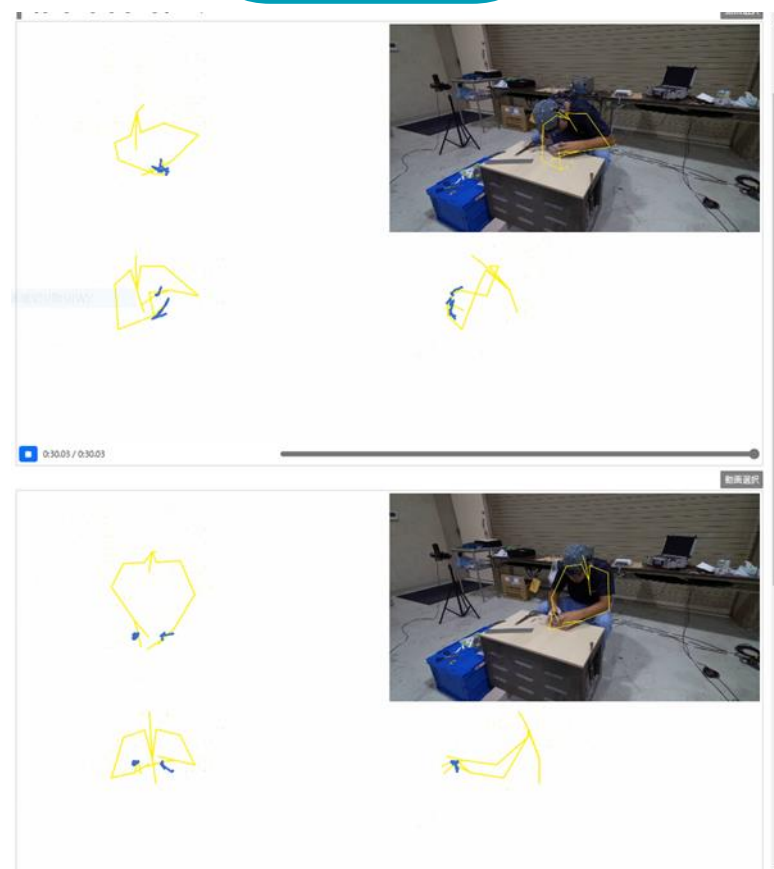
■ ダイワ・エム・ティ様 サンドペーパー仕上げ工程_溝R部、壁R部の仕上げ作業

姿勢動作比較

熟練者



学習者



<技能の特徴> 頭とワークの位置関係が一定（手・肘の角度は磨き面に対応）

5. 技能分析

■ダイワ・エム・ティ様 サンドペーパー仕上げ工程_溝R部、壁R部の仕上げ作業

マルチ動画 + 触覚体験比較

動画を見ながらデジタルで再現した触覚を比較体験し、触覚の質の違いを抽出、暗黙知の言語化と意味づけを実施

正面

斜め上 (姿勢推定視点)

一人称

手元

赤丸：注視箇所。赤丸の大きさ変化は注視の持続を視覚化したもの。

0:00:00 / 0:40:10

0:00:00 / 0:30:09

0:00:00 / 0:40:10

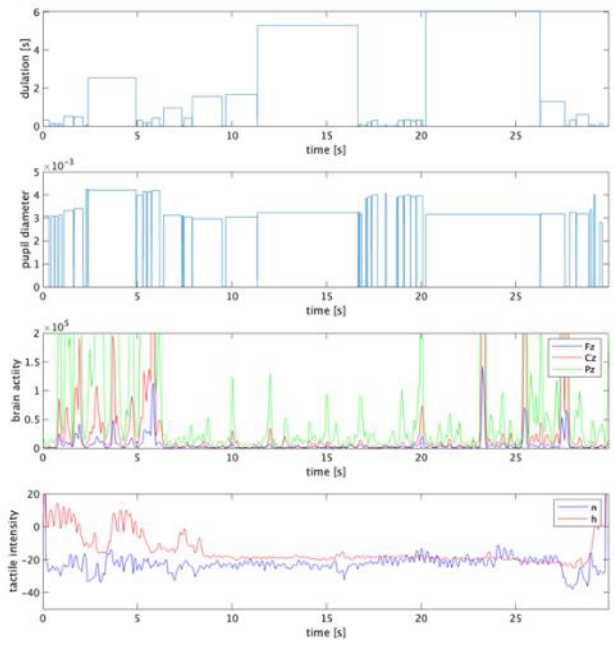
5. 技能分析

■ ダイワ・エム・ティ様 サンドペーパー仕上げ工程_溝R部、壁R部の仕上げ作業

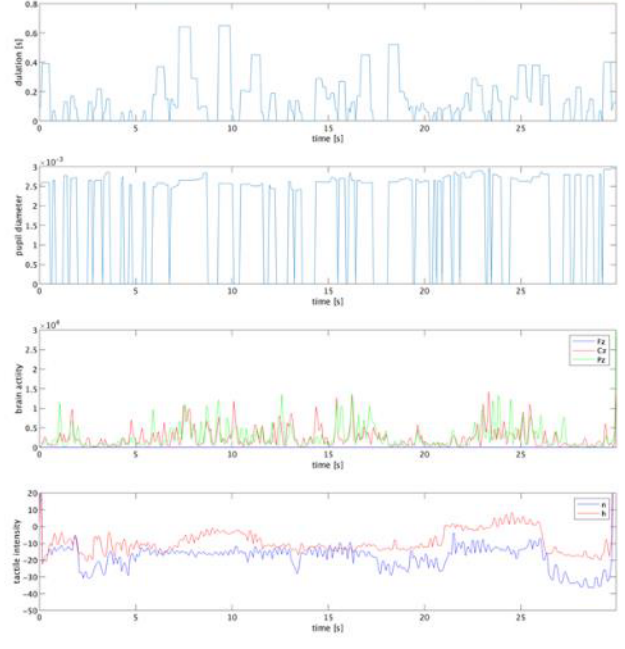
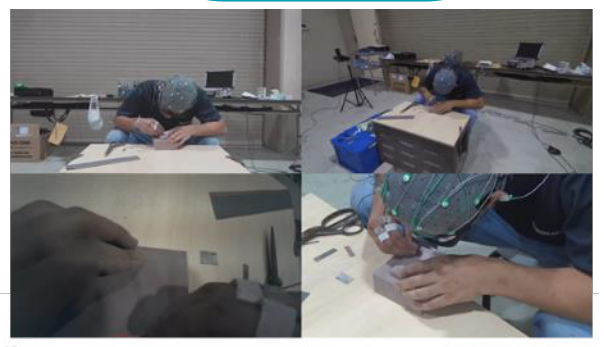
フェーズ毎に各項目比較

動画を見ながら各項目と項目間の連動性を比較提示し、暗黙知の言語化と意味づけを実施

熟練者



学習者



【視覚】 注視時間

【視覚】 瞳孔径

【脳】 脳波
(青 : Fz、赤 : Cz、緑 : Pz)

【触覚】 触覚強度
(青 : 中指、赤 : 人差し指)

5. 技能分析

■わかつき様 技能分析内容

対象工程：きんつばの皮の製造工程

場所：富士駅北まちづくりセンターの調理実習室

被験者：【熟練者】1名

【学習者】3名（ベテラン1名、中級者1名、初級者1名）

分析項目：（1）作業工程・時間 ※非公開

（2）身体技能

【分析した身体技能】

きんつばの皮の製造工程の混ぜる作業

（小麦粉投入後の前半・後半、CNFと卵白投入後の前半・後半）

【身体技能を分析した被験者】

熟練者と学習者1名

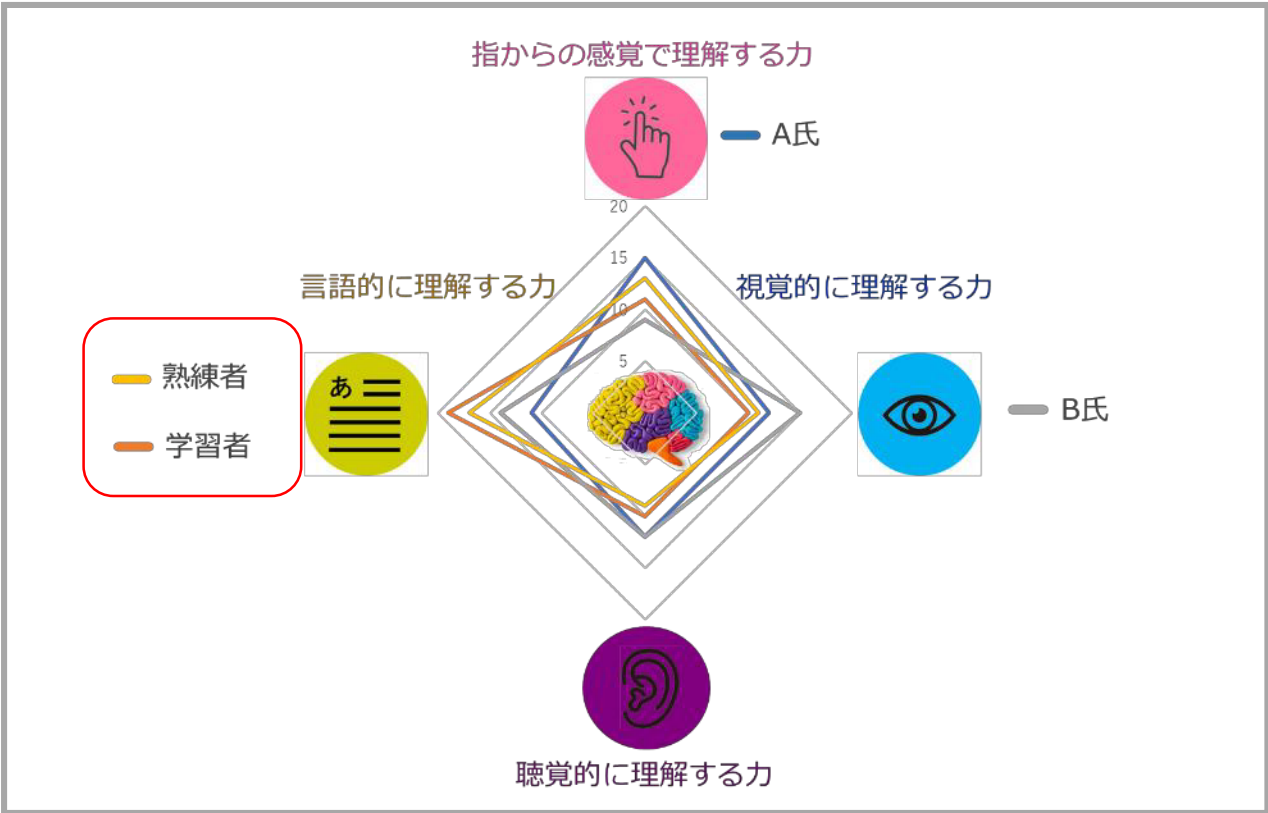


混ぜる作業

5. 技能分析

■ わかつき様 きんつばの皮製造工程_混ぜる作業

感覚優位性 (簡易テスト結果)



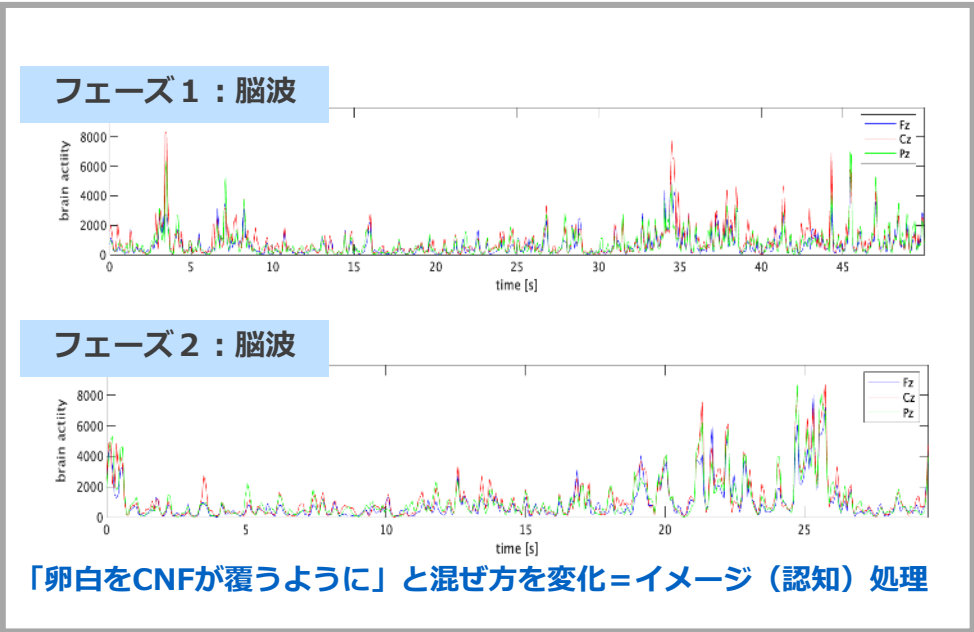
被験者の優位感覚を把握：熟練者、学習者共に言語理解が優位タイプ
→教わる側のタイプにあわせて教え方を合わせることで習得が早まることが期待

5. 技能分析

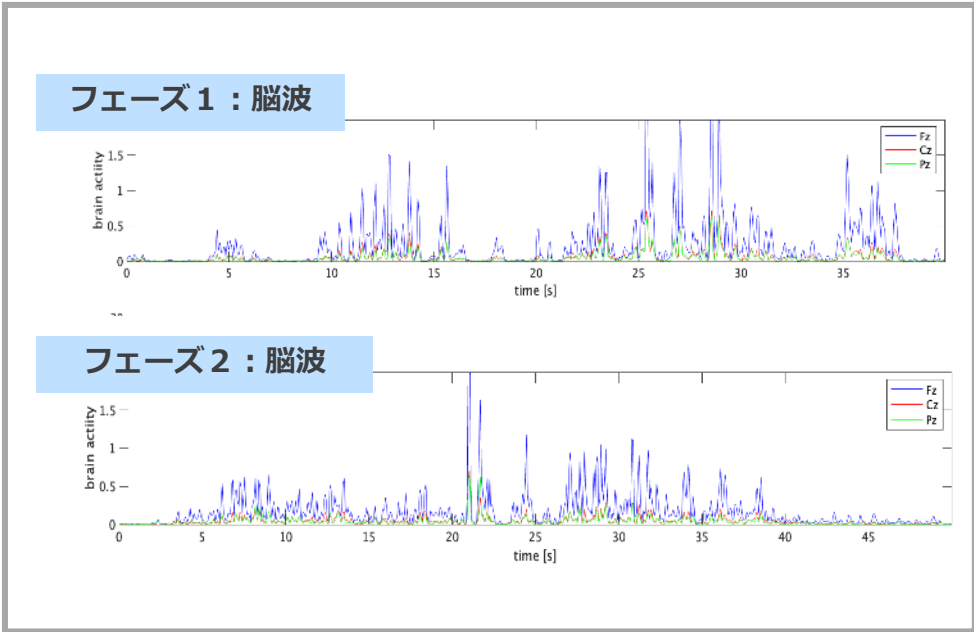
■ わかつき様 きんつばの皮製造工程_混ぜる作業

脳波

熟練者



学習者



<技能の特徴>

熟練者は、指先や目から掴んでいる情報（緑：Pz）と、これまで培われてきた経験（赤：Cz）が織り混ぜた脳活動
→ これまでの経験で蓄積された混ぜ方（運動パターン）を、その場に応じて引き出し、指や目をうまく使いこなしている。

5. 技能分析

■ わかつき様 きんつばの皮製造工程_混ぜる作業

触覚強度

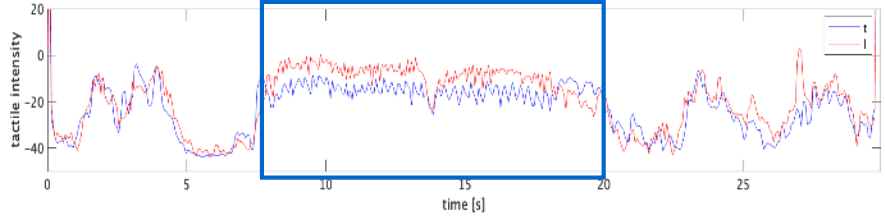
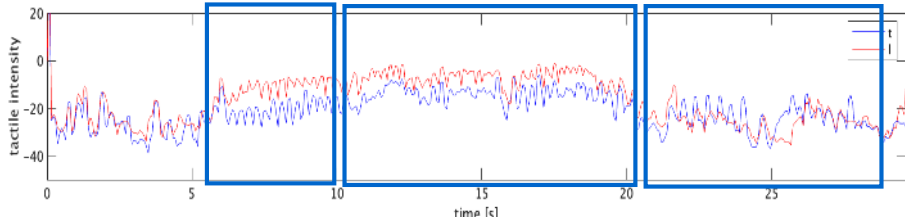
熟練者

学習者



触覚強度 (青 : 親指、赤 : 小指)

触覚強度 (青 : 親指、赤 : 小指)



<技能の特徴>

熟練者は、「小指と親指の触覚が連動するような混ぜ方」や、「小指と親指は連動せずに一定の混ぜ方」、最後は「小指と親指が逆転するような混ぜ方」をしており、わずか25秒の間に混ぜる動作が3パターン変えている=引き出しが多い

5. 技能分析

■ わかつき様 きんつばの皮製造工程_混ぜる作業

マルチ動画 + 触覚体験比較

動画を見ながらデジタルで再現した触覚を比較体験し、触覚の質の違いを抽出、暗黙知の言語化と意味づけを実施



赤丸：注視箇所。赤丸の大きさ変化は注視の持続を視覚化したもの。



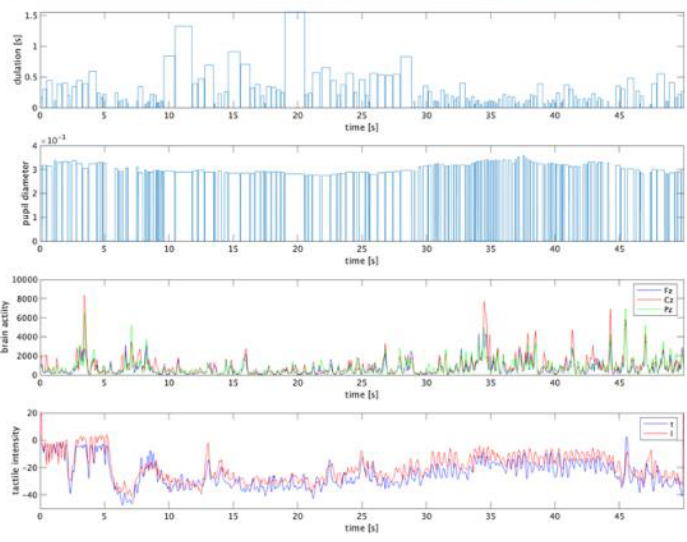
5. 技能分析

■ わかつき様 きんつばの皮製造工程_混ぜる作業

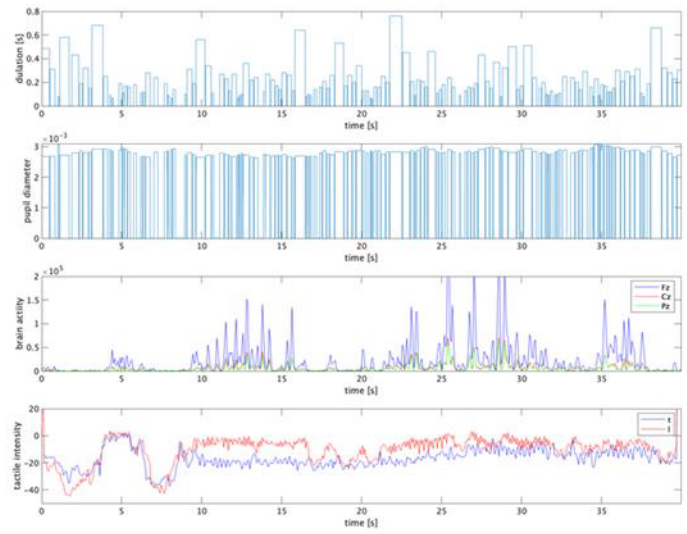
フェーズ毎に各項目比較

動画を見ながら各項目と項目間の連動性を比較提示し、暗黙知の言語化と意味づけを実施

熟練者



学習者



【視覚】 注視時間

【視覚】 瞳孔径

【脳】 脳波
(青 : Fz、赤 : Cz、緑 : Pz)

【触覚】 触覚強度
(青 : 親指、赤 : 小指)

6. 実証結果 分析結果から気づき創出

熟練者と学習者のコミュニケーションの場で、分析結果を提示して意味づけと暗黙知の言語化を行い気づきを創出

■ ダイワ・エム・ティ様（一例）

インプット項目	意味づけ&言語化
【凸R付け工程_カンナ掛け作業】 カンナ掛けの触覚データ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 学習者は削る量が少ないから触覚が弱い。 ・ 熟練者は刃を出して強く削るし、連動して材料の固定力も強くしている。 ・ 学習者は削れ過ぎが怖いので優しく保持するように意識している。
【凸R付け工程_カンナ掛け作業】 カンナ掛けの動作軌跡データ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 熟練者はRを多角形に削るようにしているが、角を削る時と、それ以外の所で感触が違うことが分かって削っている。この感覚を意識して作業することが重要。 ・ カンナを持つ腕と、材料を持つ腕が連動しないと真っ直ぐ引けない。
【凸R付け工程_カンナ掛け作業】 カンナ掛けの視線データ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 学習者の2回に対して、熟練者は4回の注視ポイントがあるが、意識して両端部と中間部を見ている。 ・ カンナの着地ポイントを見るのは、多角形に削るので角の位置を特にみている。また、その後は重要な真っ直ぐ削るために進行方向を確認している。 ・ 熟練者は意識はしていないが、平行に削るためにかんなの端を材料に当ててガイドすることを考えている。 ・ 視線を一瞬そらせているのは、視覚よりも触覚を研ぎ澄ましているかもしれない。
【サンドペーパー仕上げ工程】 作業手順・時間の可視化	<ul style="list-style-type: none"> ・ 熟練者の確認時間が少ないのは、対象物が小さかったので目視で対応できたから。大きいモノであれば削った後に触って確認するようにしている。また、特に面が変化するところや角部については、一番出来ばえに影響するので触って確認するようにしている。 ・ 熟練者はTop箇所が一番時間をかけているが、今回のお題ではTopの見た目が出来栄に影響するのでここに時間をかけた。特にTopの角がダレないように意識して作業した。 ・ 対象物をひっくり返す削り方は、両端部がダレてしまうので、平を意識しながら一方向に引くのが重要。
【サンドペーパー仕上げ工程】 サンドペーパー仕上げの 姿勢動作データ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 熟練者は頭が動かなく、肘の開きも少ないに対して、ワークと頭や肘が動かないように＝ばらつかないように意識している。個人が一番動かしやすい態勢を掴むことが重要。

6. 実証結果 分析結果から気づき創出

熟練者と学習者のコミュニケーションの場で、分析結果を提示して意味づけと暗黙知の言語化を行い気づきを創出

■ わかつき様（一例）

インプット項目	意味づけ&言語化
【きんつばの皮製造_混ぜる作業】 混ぜる作業の触覚データ	<ul style="list-style-type: none">・ 学習者は小指に力が入っていないし、1回転の中でも力が一定。力でガーって混ぜるのではなく、インパクトの瞬間にギュッと握って力を入れる混ぜ方が好ましい。泡だて器を手前に引き込むときにギュッと力を入れる感覚。・ 最後の混ぜ工程20秒のなかで色々な混ぜ方をしているに対して、早くしたり、遅くしたり生地の様子を見ながら混ぜ方を変えていることに気付いた。・ 今見てるもの、触ってるものから、素材の変化をより捉えてほしい。・ 引き出しを増やして、より技能を向上してほしい（新しい混ぜ方を提案してほしい）。
【きんつばの皮製造_混ぜる作業】 混ぜる作業の時間分析データ	<ul style="list-style-type: none">・ 最後の混ぜ工程時間に熟練者と学習者で3倍の違いがあることにに対して、混ぜのポイントは固練りされた材料に対して、小麦粉を投入した時にしっかりと混ぜ合わせているかが重要。その後に投入するものに関しては、サッと混ぜ合わせるだけで良い。
【きんつばの皮製造_混ぜる作業】 脳波データ	<ul style="list-style-type: none">・ 熟練者は作業時にイメージする波形が多くみられるに対して、混ぜる時に卵白をCNFで覆うように混ぜるようにイメージしている。卵の分子と分子がくっついて、卵白の気泡が出来るけど、その気泡でCNFを包み込んでいるような感じ。・ 考えなくてもできるような状態を目指してほしい。

6. 実証結果 インタビュー結果

■インタビューにより本実証「認知基盤に着目した技能の見える化」の効果を確認

(一部抜粋)

学習者のコメント

- ・動画では分からなかった熟練者との違い（技能のコツ）が分かって、次の改善ポイントの気付きが得られた。
- ・継続的に技能を計測して、技能が習得できているか、熟練者に近づいているか確認したい。

熟練者のコメント

- ・グラフや数値で見れることで教えるポイントが明確になった。
- ・社内の技能者および他の技能についても計測して分析したい。
- ・同業者と自分自身を比較して、技能レベルを確認したい。

経営者のコメント

- ・技能データを活用した教育マニュアルのひとつとして使っていける。
- ・技能者（熟練者、学習者）が技能データを見て自分なりに解釈して伝承を進めることはできる。
- ・動画だけでなく技能をデータとして残せる。

以上の結果から、動画を活用した伝承支援より下記の効果が期待できる。

- ・ **学習者の早期育成**
- ・ **熟練者の指導の効率化**
- ・ **熟練者の技能保存**
- ・ **熟練者の技能向上**

7. 実証結果まとめ

(1) 製造業の技能伝承にデジタル技術で支援できることを確認

- ・ 認知基盤に着目した技能の見える化によって、これまで言葉で表現できなかった暗黙知が、客観的なデータで言語化/イメージ化で表現できるようになり、技能の特徴を捉え、新たな気づきを獲得することができた。
- ・ 2社から「技能者の早期育成」「熟練者の指導の効率化」に繋がるとコメントを頂いた。

(2) コミュニケーションの活性化に繋がることを確認

- ・ 今回の活動により、技能をデータで見える化したことで、教えるハードルが下がり、コミュニケーションが活性化され、技能の大切さを再認識された。

(3) 出来栄え品質が定量的に評価できない製造工程の技能伝承支援の難しさを確認

- ・ 食品の製造工程など、定量的に出来栄えの品質を評価できない作業において、品質と技能の関係性が示せない中で、学習者が熟練者との差異を納得感を持って理解するには、科学的な意味づけや熟練者の言葉かけが重要であることが分かった。

(4) 提供コストの削減、より効果的な支援が課題

- ・ 広く利用していただくため、計測/分析の作業工数削減するための自動化やアルゴリズム化が必要
- ・ より出来栄え品質と相関のある技能の特徴を捉えるため、データ数の増加と技能分析の精緻化/高度化が必要
- ・ 個人差を考慮した分析手法と、学習者の特性に合わせた分析結果の提示方法の確立が必要