別添３

厚生労働科学研究費補助金（労働安全衛生総合研究事業）
総括研究報告書

着用者の顔にフィットする呼吸用保護具選定法とフィットテスト簡便化の可能性

研究代表者　　東　秀憲　産業医科大学 労働衛生工学 教授

研究要旨
研究目的：本研究では，呼吸用保護具の選択および適正使用のための簡便で日常的なチェック手法の確立を目的とし，①フィットファクタと保護具および顔サイズの相関，②フィットテストにおいて重要な操作等の検討および③簡便で日常的なチェック法の検討を実施する．具体的には，研究方法の１）～４）の項目を実施する．これらの結果を総合的に検討することで，現場で日常的に持続可能な定量的チェックの方法及び評価基準等について提言するとともに，法改正により今後標準となると思われる凝縮核計数法（CNC）に基づく短縮定量的フィットテストを簡便化した手法等についての提言をめざす．
研究方法：最終年度である３年度は，引き続き短縮定量的フィットテストを実施し，様々な呼吸用保護具の種類と作業者の顔のサイズ・形状とフィットファクタとの関係を得ながら，呼吸用保護具の選定の際の目安となる顔のサイズ･形状に適した保護具の選定方法を総括した．総括手順は以下のとおりである．
１）呼吸用保護具のサイズおよび着用者の顔寸法の計測：選定した保護具に対して，保護具のサイズとして面体の縦，横の幅と高さ（深さ）等を測定し，保護具のパラメータとした．一方，着用者の顔寸法として，NIOSH で呼吸用保護具の選定に影響を与える因子とされている顔サイズなどの 10 個のパラメータに唇幅を加えた 11 個を顔サイズ・形状パラメータとして測定した．さらに，スケールとともに顔の正面写真撮影を実施し，3D カメラでの撮影も同時に行った．
２）既存のシールチェックおよびフィットテスト：研究参加者に選定した保護具を適切な手順に従って着用してもらい，シールチェックにより漏れのないことを確認してもらった．その後，短縮定量的フィットテストが可能なフィットテスタ最大 4 機種（PortaCount 8048，AccuFIT9000PRO，MT-11D および MNFT PRO）を用いて JIS T 8150 に示された手順に従い，短縮定量的フィットテストを実施してフィットファクタを測定した．
３）フィットファクタと保護具および顔サイズ･形状パラメータとの相関解析：各研究参加者に対して，装着した呼吸用保護具ごとに得られたフィットファクタを，各呼吸用保護具の粒子捕捉メカニズムやレベル，サイズのパラメータ（縦，横幅および高さなど），研究参加者の顔サイズ・形状パラメータとの関係を解析ソフトウェアにより解析することで，これらパラメータの関数として定式化した．一方，顔画像を用いた機械学習によるフィットファクタの推定も試みた．
４）簡便で日常的なチェック法と定量的評価法の検討：短縮定量的フィットテストの動作のうち，テスト結果に影響の大きな動作を抽出し，簡便化の可能性について検討した．
研究結果：顔サイズ･形状パラメータのうちフィットファクタに大きな影響を与えるパラメータを用いて，呼吸用保護具のフィットテストの結果を推定し，実際のテスト結果と比較した．一方，正面画像による顔認証機械学習からのフィットファクタの推定についても検討し，作業者に適した呼吸用保護具の選定法について検討した．
フィットファクタおよびフィットテストの合否判定結果に強く相関している顔サイズ･形状パラメータは呼吸用保護具によって異なる複数の因子があった．一方，顔の正面写真による顔認識機械学習の結果，顔サイズ･形状パラメータによる機械学習と同精度程度で訓練データのフィットテストの判定結果を再現でき，検証データの予想正答率も概ね 7 割程度再現可能となった．
結論：訓練データおよび支配因子の再検討により，サンプル数が増加しても顔サイズ・形状パラメータによる機械学習と顔画像認証による機械学習の両方で，フィットテスト結果の再現精度は向上した．また，最も不合格の多い保護具に対しても訓練データを含む検証データの正答率は 70%程度を維持できた．このため，本方法の呼吸用保護具の選定法としての可能性が示された．一方，短縮定量的フィットテストの動作のうち，テスト結果に影響の大きなものとして動作 4 が挙げられることを見出した．また，短縮定量的フィットテストの 4 つの動作のうち，フィットテストの結果に支配的な要素 2 つの動作の組み合わせによるフィットテストを，代表的な使い捨て式呼吸用保護具 2 種類（a と b）に対して実施した．テスト結果より総合フィットファクタを求めて，通常の短縮定量的フィットテスト結果と比較することで，フィットテスト簡易化の可能性を検証した．その結果，Step2 あるいは Step3 と Step4 との組み合わせによる 2 つの動作で簡易的なテストを行うことで，フィットテストとして代用できる可能性があることが示された．

研究分担者

西田千夏
（産業医科大学 労働衛生工学 講師）
榎原　毅
（産業医科大学 人間工学 教授）
辻　真弓
（産業医科大学　衛生学　教授）

A. 研究目的

労働安全衛生規則等の一部を改正する省令等により，新たな化学物質管理が導入されたことに伴い,「防じんマスク，防毒マスク及び電動ファン付き呼吸用保護具の選択,使用等について」（基発 0525 第３号：令和５年５月２５日）により，防じんマスク，防毒マスク等の呼吸用保護具を使用する労働者の健康障害を防止するため，その適切な選択, 使用, 保守管理等に当たって留意すべき事項が更新された. その中で, 呼吸用保護具の適切な装着の項目に，フィットテストに関する記述があり，有効な呼吸用保護具を漏れのないように適切に装着することの重要性が記述されている.

呼吸用保護具を漏れの無いように適切に装着するには，顔に合った保護具を選定していることが必要不可欠であるが，選定にあたっては，顔の寸法に基づく National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)の PCA フィットパネル（NIOSH-PCA パネル）[1,2]が開発され，各メーカーの情報等を参考にすることが推奨されているが，国や地域毎にパネルが提案されている[3-7]. また，PCA パネルは顔の形状区分を示しているもので, このような顔サイズ・形状因子あるいは顔画像等からフィットファクタを推定して保護具を選択できるような，より実用的な手法が期待されている.

本研究では，今後主流となると思われる呼吸用保護具の短縮定量的フィットテストを対象とし，呼吸用保護具のフィットファクタと顔サイズ・形状因子との相関関係について検討し，作業者に適した呼吸用保護具の選定のための基礎データの蓄積と，日常的に使用可能なより簡便なフィットテスト手法の開発を目的とし, 顔サイズ･形状パラメータより呼吸用保護具のフィットファクタを推定する手法について検討した．一方，フィットチェック手法の簡易化のための基礎データの蓄積として，短縮定量的フィットテストの４つの動作（動作 1. 前屈→動作 2. その場で駆け足[半面形/全面形面体]あるいは発声[使い捨て式]→動作 3. 頭を左右に回す→動作 4. 頭を上下に動かす）のうち，テスト結果に影響の大きな動作について検討した.

B. 研究方法

初年度は，日常的に使用可能なより簡便なフィットテスト手法の開発を目的とし，呼吸用保護具のフィットファクタと顔サイズ･形状因子との相関関係について, 作業者に適した呼吸用保護具の選定のための基礎データを蓄積した．２年度は, 引き続き様々なタイプの呼吸用保護具について，作業者の顔サイズ・形状因子とフィットファクタとの関係を得ることにより，呼吸用保護具の選定の際の目安となる顔サイズや形状に適した保護具の選定方法を検討した．さらに，短縮定量的フィットテストの４つの動作のうち，テスト結果に影響を及ぼす動作について検討した．最終年度である３年度は，引き続き短縮定量的フィットテストを実施し，様々な呼吸用保護具の種類と作業者の顔の形状とフィットファクタとの関係を得ながら，呼吸用保護具の選定の際の目安となる顔の形状に適した保護具の選定方法を総括した.

大学倫理委員会の承認後（ER23-002），説明により同意の得られた成人男女研究参加者に対して複数の使い捨て式あるいは半面形面体型取替え式呼吸用保護具に関する短縮定量的フィットテストを実施した．本研究でテストに用いたフィットテスタは，短縮定量的フィットテストが可能な機種であり昨年から使用している TSI PortaCount 8048,日本 KANOMAX AccuFIT9000Pro，柴

田科学 MT-11D の 3 機種に重松製作所 MNFT PRO を加えた 4 機種であり，テストに用いた呼吸用保護具は Table 1 に示したものである．

研究参加者が呼吸用保護具を装着してシールチェックをした後に短縮定量的フィットテストを行った．使い捨て式および半面形面体型呼吸用保護具のフィットテストの合格基準はフィットファクタが 100 以上である．

フィットファクタ（$FF=C_{out}/C_{in}$）は，呼吸用保護具外（テスト環境中）の粒子濃度 C_{out} [個数濃度]と呼吸用保護具内部の粒子濃度 C_{in} の比で定義され，総合的な FF は 4 つの動作からそれぞれ得られるフィットファクタ FF_n を用いて次式で与えられる．

$$\text{総合フィットファクタ（}FF\text{）}=\frac{4}{\frac{1}{FF_1}+\frac{1}{FF_2}+\frac{1}{FF_3}+\frac{1}{FF_4}}$$

ここで，静電フィルタを使用している呼吸用保護具については，装置に内蔵されている N95 コンパニオン機能を使うことで，フィルタを通過する粒子を無視できる状態で測定した．また，N95 コンパニオン機能を使用する場合の FF の上限値は 200 と設定されているが，機種により粒子数をカウントできている場合にはその値を採用した．ただし，顔画像認証による方法の場合には合格基準等を考慮し，すべての保護具に対して FF の上限値を 200 で統一して解析を実行した．さらに，テスタ 4 機種で合否の異なる結果が得られた場合には，合格の最大値を採用した．

フィットテストの実施に合わせて，正面および横からの顔写真と顔面 3D 画像を撮影した．得られたフィットファクタと研究参加者の顔写真および 3D 画像より顔サイズ･形状因子を測定して解析を実行した．具体的には，フィットテストで得られた呼吸用保護具のフィットファクタを，NIOSH-PCA フィットパネルに使用されている 10 カ所に唇幅を加えた顔サイズ・形状因子をいくつか選定して，その組み合わせでフィットファクタに影響を及ぼす因子として解析した．

各保護具に対して 11 個の顔サイズ･形状因子の中で特にフィットファクタに影響の大きなパラメータ半数程度に絞り込み，呼吸用保護具のフィットテストの結果を推定し，テスト結果と比較した．さらに，作業者により適した（フィットファクタが大きいと予想される）呼吸用保護具を選定するための方法について検討するとともに，フィットテスト手法簡略化のための情報とした．

ここで，2022〜2024 年にかけて労災疾病臨床研究事業にて実施された「ベリリウム等の低濃度管理物質に対する有効な曝露防止対策に関する研究」（代表：石田尾徹）[8]の中で行われたフィットテストの結果と研究参加者の中から，男女比，PCA パネルへの分布およびフィットテストの結果を参考に訓練データとする研究参加者 37 名（女性 24 名）を抽出して，フィットファクタの推定を試みた．

（倫理面への配慮）

産業医科大学倫理委員会の承認を得て行われている．

C. 研究結果

C1 修正 NIOSH-PCA パネル

解析に用いた既往の研究[8-10]を含めて，短縮定量的フィットテストの合否判定をまとめた結果を Table 2 に，訓練データとした研究参加者の顔サイズ・形状因子より得られた NIOSH-PCA パネルへの研究参加者の分布を Fig.1 に示す．ここで，昨年度の解析の結果より，既報の NIOSH-PCA パネルへの研究参加者の分布は広範囲に渡っており特に NIOSH-PCA パネルの規程範囲よりも小さい研究参加者が多く存在していた．このため，グラフの中心を既往の研究を含めた本研究の訓練および検証データの研究参加者全体の平均値で置き換えた次式で計算してプロットしている．本研究で用いた修正 NIOSH-PCA パネルの結果を Fig.1（検証

データ実測値）に示す.

PC1 = 0.343264* (minimum frontal breadth) + 0.426498*(face width) + 0.372717* (bigonial breadth) + 0.329648*(face length) + 0.363474* (interpupillary distance) +0.372241* (head breadth) + 0.113578* (nose protrusion) +0.301125* (nose breadth) + 0.202311* (nasal root breadth) +0.193650* (subnasale-sellion length) – **252.9214639**(AV of PC1)

PC2 = –0.152951* (minimum frontal breadth)–0.039087*(face width) –0.093279* (bigonial breadth)+ 0.359799* (face length) –0.173099* (interpupillary distance) +0.013306* (head breadth) +0.551842* (nose protrusion) –0.210833* (nose breadth) –0.341235* (nasal root breadth) + 0.584261* (subnasale-sellion length) – **20.6576413**(AV of PC2)

本研究参加者が日本人全体の平均的な顔サイズ・形状の傾向を代表しているとは言い切れないが，本データの分布から少なくとも本研究の検証データの分布はカバーできている.

C2 修正 NIOSH-PCA パネル用 Web アプリ

Wolfram Mathematica^{TM} により顔の正面写真の顔認識機械学習による NIOSH-PCA パラメータ推定 Web アプリを作成して，対象者の修正 NIOSH PCA フィットパネルへの分布（顔の横幅-縦幅の分布あるいは PCA パラメータの分布）の再現性を確認した.

本研究では，顔画像を用いた機械学習を簡略するために顔認証機能として，Wolfram のニューラルネットリポジトリモデルである"OpenFace Face Recognition Net Trained on CASIA-WebFace and FaceScrub Data"を用いて，ニューラルネットワークにより顔画像とデータとの関係性を学習させた.

ニューラルネットワークとは，人間の脳の動きを真似してデータを AI に処理させる機械学習モデルの 1 つで，Fig.2 に示すように，入力層，隠れ層（中間層），出力層から構成され，各層のニューロンがシナプスによって互いに接続され，ネットワークを構成する．より表現力を高めるために隠れ層を多層化したものをディープニューラルネットワーク（DNN）といい，このようにして精度向上を図る学習をディープラーニング（深層学習）という．また，ニューラルネットワークの学習法については，大きく分けて教師あり学習と教師なし学習の 2 つがある. 教師有学習とは, 事前に準備した正解データに基づいて学習させる方法で，訓練データや教師データと呼ばれるラベルを付与したデータを使って学習させる方法である. 教師あり学習は, 過去のデータに基づいて結果を予測する，需要予測や気象分析，音声認識といった分野で活用されている．一方, 教師なし学習は, ラベリングされた正解データがなく，入力されたデータを利用して正解を導き出す方法で，入力データそのものが持つ特徴を分析するために，頻出パターンの発見，分類やデータの簡略化といった作業を中心に行う方法である．代表的な例として「クラスタリング」と「次元削減」が挙げられる. 教師なし学習は，自動運転技術の画像認識や外観検査における異常検知といった分野で活用されている．本研究では，全対象者に対する顔画像と顔の横幅，縦幅の値，PCA パラメータの値の関係などのデータのうち一部を訓練データとして教師あり学習を行い，訓練データを含む全データの結果の予測を試みた.

Fig.3(a)，(b)および(c)，(d)は，それぞれ実測の分布と顔画像から，あるいは Web アプリにより推定した分布を示している．Web アプリにより推定した顔の横幅・縦幅の分布（下図(c)）から求められる推奨保護具サイズおよび Web アプリにより推定した PCA パラメータの分布（下図(d)）から求められる顔サイズ･形状についての実測結果（上図(a)および(b)）に対する再現精度は，規程範

囲内で概ね 7 割程度であり，実用精度の範囲内と判断できる．

D. 考察

顔サイズ・形状因子との相関解析の結果，フィットファクタおよびフィットテストの合否判定結果に強く相関している顔サイズ・形状因子は呼吸用保護具によって異なる複数の因子があることが確認された．一方，顔の正面写真による顔認識機械学習の結果，顔サイズ・形状因子による機械学習と同精度程度で訓練データのフィットテストの判定結果を再現することが可能であり，既報[2-1, 2-2]の段階では 1 割程度に留まっていた検証データのフィットテスト結果の予想正答率も概ね 7 割以上再現可能となった．訓練データの相関結果の一例を Fig.4(a) に示す．この相関モデルを用いて検証データの研究参加者のフィットテスト結果を推定した詳細と実測との比較を Table 3 に，まとめを Table 5 に示す．

顔認識機械学習のイメージを Fig.4(b)に示す．この結果，顔サイズ・形状因子による推定と同精度以上で検証データのフィットテストの判定結果を再現することが可能であり（推定結果の詳細と実測との比較を Table 4，まとめを Table 5 に示す），検証データも平均で概ね 7 割程度再現可能であった．

一方で，Fig.5 に示すように不合格者については，実測の分布において，主に顔の横幅・縦幅からの推奨保護具サイズが S サイズの領域あるいは PCA パラメータの分布において顔サイズ・形状が Small および Long-Narrow の領域に該当している対象者が多いことが明らかとなった．ただし，この領域の対象者でも不合格となっていない対象者も多数存在していることから，不合格者に共通しているパラメータの示す傾向について，さらなる検討を進める必要がある．また，訓練データの精査や学習法には改善の余地があり，さらなる検証データのフィットテスト判定結果の推定精度向上等が見込まれる．

また，不合格者の顔サイズ・形状因子の分布をより詳細に見てみると，最も不合格者の多い(b)の保護具についてのみ不合格となる対象者は，FW, FL が S サイズ領域の女性が多いこと，あるいは PCA パラメータの分布において顔サイズ・形状が Small および Long-Narrow の領域に該当している．一方で，(b)以外の保護具でもフィットテストに失敗することの多い対象者は，FW, FL が S サイズ領域よりもさらに小さい領域の女性，あるいは PCA パラメータの分布において顔サイズ・形状が Small 領域に該当している．このため，この領域に顔サイズ・形状因子の該当する作業者で特に女性の作業者は，慎重に保護具を選定し，着用を行う必要がある．

さらに，総合判定で不合格となった 215 例の結果に関して，短縮定量的フィットテストの 4 つの動作それぞれにおける不合格の割合を確認した結果を Table 6 に示す．この結果，動作 4（頭を上下に動かす）において，他の動作 1（前屈），動作 2（発声あるいはその場駆け足），3（頭を左右に動かす）に比べて不合格となる可能性が高かった．また，動作 4 を含む 2 つの動作の結果により合否判定を行った場合には，動作 1 あるいは動作 2 との組み合わせによる結果が，総合判定結果にほとんど影響がないことが確認された．今後，さらなる検討と合格している研究参加者の方の検証を行う必要もあるが，短縮定量的フィットテストの動作について動作 4 を含む 2 つの動作に絞り，日常的に行うフィットテストの時間を 1 分程度に短縮できる可能性がある．

最後に，短縮定量的フィットテストの 4 つの動作のうち，フィットテストの結果に支配的な要素 2 つの動作の組み合わせによるフィットテストを，代表的な使い捨て式呼吸用保護具 2 種類（a と b）に対して実施した．総合フィットファクタを求めて，テスト結果を比較し，フィットテスト簡易化の可能性を検証した．Table 7 に結果を示すように，動作 2 あるいは動作 3 と動作 4 との組み合わせによる 2 つの動作での簡易的な

テストを行うことで，フィットテストとして代用できる可能性がある（再現性がそれぞれ保護具(a)で 9 割程度および保護具(b)で 7 割程度である）ことが示された．しかしながら，動作を削ることで判定結果はいずれもより厳しいものとなったことに加えて，測定時間の長い動作 1 と動作 4 の組み合わせがより厳しい判定結果を示していた．

これらの結果が示していることは，フィットテスト失敗者の傾向は，①動作 4 において比較的大きな漏れを生じている（支配因子）．②動作 1〜3 においては，ほぼ同様の影響を呈し，動作 4 ほどの漏れは生じない．③動作 1 においては計測時間が長いためその影響が作用している可能性がある．このため，支配因子である動作 4 の影響が強く出ていることに加えて，測定時間も影響因子の 1 つであることの暗示であり，考察には注意が必要である．

E. 汎用 Web アプリの試作

最後に，これまでの成果を参考に呼吸用保護具選定支援汎用アプリの試作を試みた．その際に，(1) python により Web アプリケーションソフトとして, 顔サイズ･形状因子とともにフィットファクタを同時に推定するプログラムを開発した．(2) 2024 年までのデータ（約 130 名）を利用して，一般的な機械学習を実施した後，今年度のデータを含めて（約 190 名）検証を行った．(3) 同様の方法を Mathematica™ でも行い精度の確認を行った．検証結果の一例として 2024 年までのデータのうち 80%をトレーニングデータ，20%をテストデータにランダムに設定して機械学習させたのち，今年度のデータを含めて 3 回検証を行った結果を Table 8-1, 2 に示す．フィットテストの再現精度やこれまでの検討結果を考慮すると概ね十分な再現精度と判断できる．また, フィットテスト不合格者の顔サイズ・形状パラメータの推定結果をまとめると Fig.6 のような傾向が得られた．

試作した Web アプリケーションソフトの URL は（https://facialsize-uoeh.streamlit.app/）であり, 実行結果の一例を示すと Fig.7 のようになっている．あらかじめ撮影済みの画像を選択するか，自撮りあるいは写真撮影をして送信していただければ, 顔サイズ･形状パラメータである FW, FL あるいは PC1, PC2 の値に続いて，本研究で対象とした保護具のフィットファクタの推定値が表示される．通常 100 未満でフィットテスト不合格となるが, 120 以下であれば要注意と考えていただきたい．加えて，FW，FL の推定値が S 領域よりも左下の領域にある場合で，PC1，PC2 の推定値において，Small および Long―Narrow の領域にあるか，または Small 領域に近い Average2 にある場合は，フィットファクタが予想される値よりも極端に低くなる（保護具が合わない）可能性があるため，選定や着用において特に注意が必要である．

F. 結論

呼吸用保護具の短縮定量的フィットテストにより得られたフィットファクタと顔サイズ・形状因子との相関関係について検討した. 顔サイズ･形状に関わるいくつかのパラメータから呼吸用保護具のフィットテストの結果を推定し，実際のテスト結果と比較した．さらに, 顔サイズ･形状因子のうちフィットファクタに大きな影響を与えるパラメータに関する情報の絞り込みとともに, 作業者に適した呼吸用保護具を選定するための方法について検討した．

最終的に，研究参加者を 200 名近く（189 名）まで拡張させることができ, 訓練データおよび支配因子の再検討により，研究参加者数が増加しても顔サイズ・形状因子および顔画像認証による機械学習の両方で，これらの情報を用いたフィットテスト結果の予想精度は向上した. また, 最も不合格判定の多い保護具に対しても，訓練データを含む検証データのテスト結果の予想正答率は 70%程度を維持できている. さらに, 検証データの誤判定の多くは合格であるテスト結

果を不合格と安全側に推定したものが多く，本方法の呼吸用保護具の選定法としての可能性が示された．

一方，短縮定量的フィットテストの 4 つの動作のうち，テスト結果に影響を及ぼす動作として，動作 4（頭を上下に動かす）の可能性があることが示唆された．また，短縮定量的フィットテストの 4 つの動作のうち，フィットテストの結果に支配的な要素 2 つの動作の組み合わせによるフィットテストを，代表的な使い捨て式呼吸用保護具 2 種類（a と b）に対して実施した．テスト結果より総合フィットファクタを求めて，テスト結果を比較し，フィットテスト簡易化の可能性を検証した．その結果，動作 2 あるいは動作 3 と動作 4 との組み合わせによる 2 つの動作での簡易的なテストを行うことで，フィットテストとして代用できる可能性があることが示された．

G. 参考文献

1. Zhuang Z, Bradmiller B. Head and face anthropometric survey of U.S. respirator users. (2005): J Occup Environ Hyg. 2: 567–576
2. Zhuang Z, Bradtmiller B and Shaffer RE. New respirator fit test panels representing the current U.S. civilian work force. (2007): J Occup Environ Hyg. 4(9): 647–659
3. Han DH. Fit testing for respirators and development of fit test panels for Koreans. (1999): Korean Ind Hyg Assoc J. 9:1–13 (in Korean)
4. Chen W, Zhuang Z, Benson S, Du L, Yu D, Landsittel D, Wang L, Viscusi D, Shaffer RE. New respirator fit test panels representing the current Chinese civilian workers. (2009): Ann Occup Hyg. 53:297–305
5. Haruta H, Yuasa H, Shimizu E, Koyama T, Kimura K. Survey on face size of Japanese workers for evaluating respirator fit. (2016): J ISRP Japan Sec Resp Protec. 28(2):2–8 (in Jananese)
6. Lin Y, Chen C. Characterization of small-to-medium head-and-face dimensions for developing respirator fit test panels and evaluating fit of filtering facepiece respirators with different faceseal design. (2017): PLoS ONE, 12.
7. Seo HK, Myong JP, Kang BK, Kwon YI. Necessity of the fit test panel for Korean respirator users: Application to Korean healthcare workers. (2021): J ISRP. 38(2): 1–11
8. 東 秀憲, 大藪貴子, 石田尾徹, 山本 忍, 保利 一. 低濃度管理物質の曝露防止対策に関する基礎的研究. (2024): 労災疾病臨床研究事業費補助金「ベリリウム等の低濃度管理物質に対する有効な曝露防止対策に関する研究」(211101-01) 令和 5 年度総括研究報告書. 1-10
9. 東 秀憲. 呼吸用保護具のフィットファクタと顔形状因子との相関に関する研究. (2024):厚生労働科学研究補助金（労働安全衛生総合研究事業）「フィットファクタの支配因子探索による呼吸用保護具の適切な選択と使用のための簡易的チェック手法の検討」(23JA1007) 令和 5 年度総括研究報告書. 1-13
10. 東 秀憲. 呼吸用保護具のフィットファクタと顔形状因子との相関に関する研究. (2025):厚生労働科学研究補助金（労働安全衛生総合研究事業）「フィットファクタの支配因子探索による呼吸用保護具の適切な選択と使用のための簡易的チェック手法の検討」(23JA1007) 令和 6 年度総括研究報告書. 1-15

H. 健康危険情報

該当なし

I. 研究発表

1. 論文発表

東 秀憲 : 着用者の顔にフィットする呼吸用保護具選定法とフィットテスト簡

便化の可能性，セイフティダイジェスト, 71(10), 2-8 (2025)

2. 学会発表・講演等

2-1. 東 秀憲 : 着用者の顔にフィットする呼吸用保護具選定法とフィットテスト簡便化の可能性，国際呼吸保護学会日本支部 2025 年度記念講演会, 2025 年 6 月

J. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得
   該当無し
2. 実用新案登録
   該当無し
3. その他
   該当無し

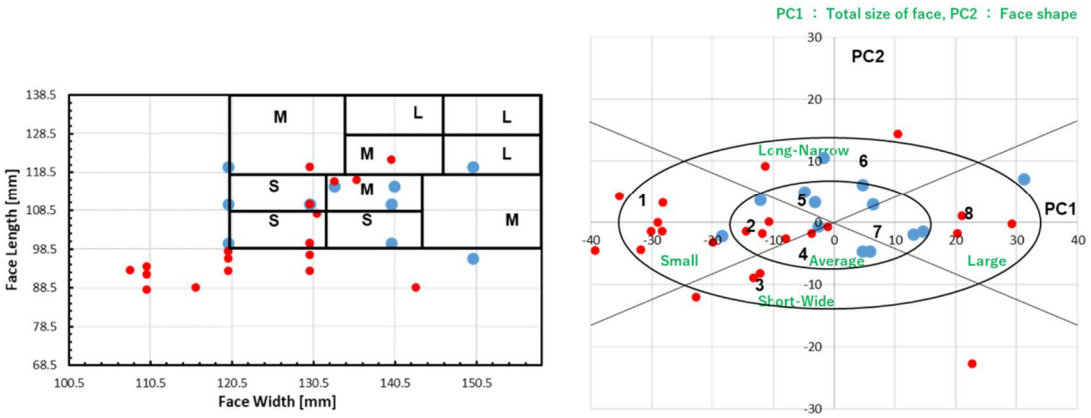
Table 1　Respirator protective equipment.（* tested by N95 companion mode）

Disposable type			Replaceable type			P-PAPR
a. KOKEN ハイラック 350 *	b. 3M 8210 J-DS2 *	c. SHIGEMATSU DD11-S2-5 *	d. KOKEN 1015-02 *	e. KOKEN 1005RRX-05 *	f. SHIGEMATSU TW01SC	g. SHIGEMATSU Sy11V3A
						

Table 2　Results of Fit-test.（Number of Fail）

	Participants	**Disposable type**			**Replaceable type**			**P-PAPR**
	(Female)	a	b	c	d	e	f	g
Test (A)	36(16)	0(0)	1(1)	1(1)	0(0)	2(2)	1(1)	1(1)
PortaCount (B1)	153(74)	7(3)	83(45)	12(8)	3(3)	3(1)	17(15)	15(15)
AccuFIT (B2)	153(74)	7(3)	75(46)	7(3)	1(0)	1(0)	20(17)	18(16)
MT-11D (B3)	153(74)	10(4)	67(38)	13(9)	5(3)	7(3)	14(11)	14(12)
MNFT PRO (B4)	103(51)	6(3)	40(18)	5(3)	2(2)	1(0)	6(3)	9(8)
Test (B)	153(74)	3(1)	43(30)	3(2)	0(0)	0(0)	7(6)	5(5)
Total (A+B)	189(90)	3(1)	44(31)	4(3)	0(0)	2(2)	8(7)	6(6)
Training Data	37(24)	1(0)	15(12)	2(2)	0(0)	2(2)	5(4)	4(4)

(A)厚生労働省労災疾病臨床研究補助金事業（211101-01）にて実施
(B)厚生労働科学研究費補助金労働安全衛生総合研究事業（23JA1007）にて実施



Face Length – Face Width　　Modified by average PCA fit panel　(Training data)

● Male, ● Female

Fig.1　Distribution of participants facial parameters on modified-NIOSH PCA fit panel.

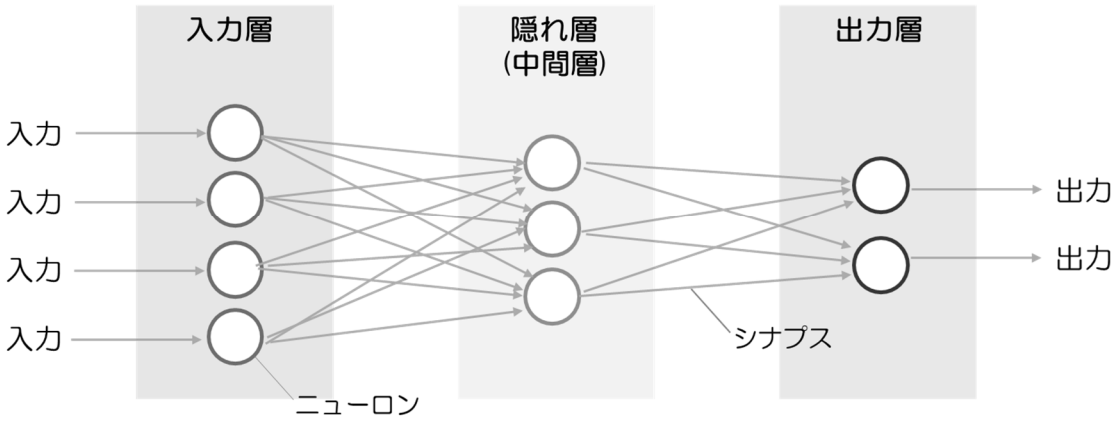
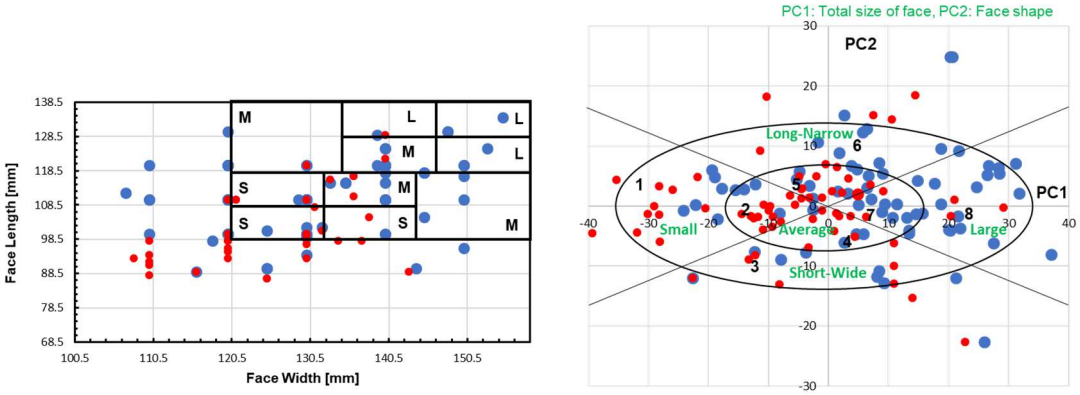
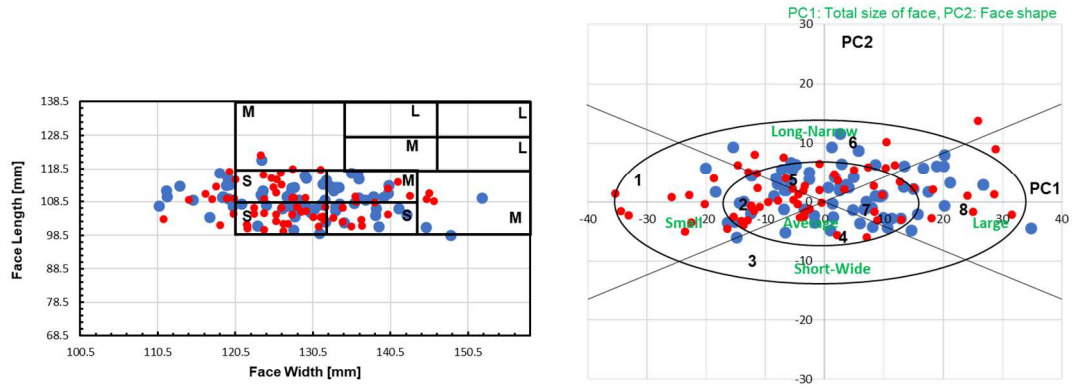


Fig.2　Image of neural network.



(a) Face Length – Face Width (b) Modified by average PCA fit panel (Total data)

● Male, ● Female



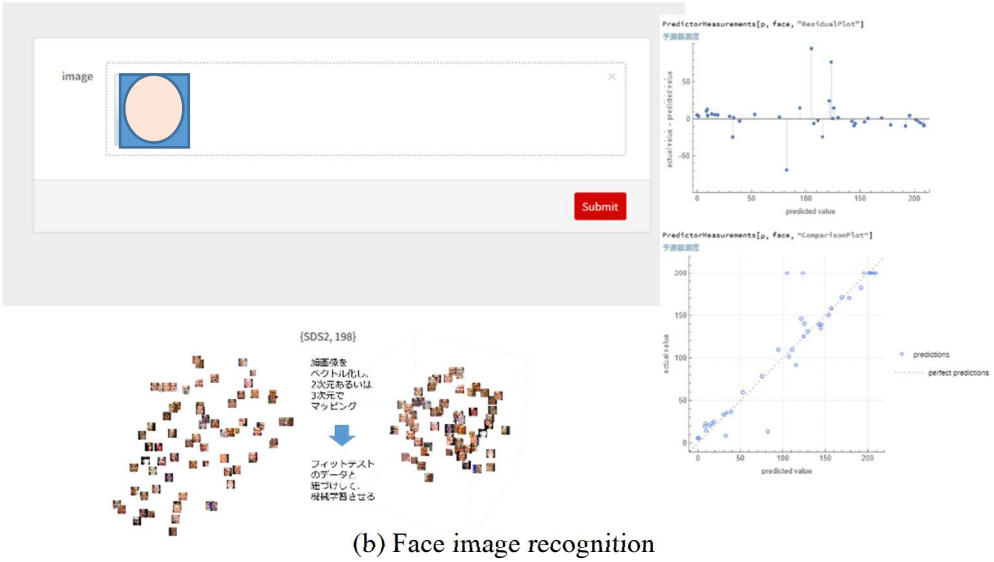
(c) Face Length – Face Width (d) Modified by average PCA fit panel (Estimated)

● Male, ● Female

Fig.3 Distribution of participants facial parameters on modified-NIOSH PCA fit panel.



(a) Facial parameters regression



(b) Face image recognition

Fig.4　Image of parameter adjusting for (a) Facial parameters regression and (b) Face image recognition.

Table 3　Results of fit test and estimation by machine learning with facial parameters.
（Results of Fit-test）

(Training data)

	Disposal type						Reprasable type						PAPR	
	a	a	b	b	c	c	d	d	e	e	f	f	g	g
1	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
2	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
3	pass	pass	fail seal	fail seal	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
4	pass	pass	fail seal	fail seal	pass	pass	pass	pass	pass	pass	fail seal	fail seal	fail seal	fail seal
5	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
6	pass	pass	fail seal	fail seal	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
7	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
8	pass	pass	fail seal	fail seal	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
9	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
10	pass	pass	fail seal	fail seal	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
11	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
12	pass	pass	fail seal	fail seal	fail seal	fail seal	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
13	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
14	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
15	pass	pass	fail seal	fail seal	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
16	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
17	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	fail seal	fail seal	pass	pass
18	pass	pass	fail seal	fail seal	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
19	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	fail seal	fail seal	fail	fail
20	pass	pass	fail seal	fail seal	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
21	pass	pass	fail seal	fail seal	pass	pass	pass	pass	pass	pass	fail seal	fail seal	fail seal	fail seal
22	pass	pass	fail seal	fail seal	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
23	fail	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
24	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
25	pass	pass	fail	fail	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
26	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
27	pass	pass	fail	fail	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
28	pass	pass	fail	fail	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
29	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	fail seal	fail seal	pass	pass
30	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
31	pass	pass	fail seal	fail seal	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	fail seal	fail seal
32	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
33	pass	pass	pass	pass	fail seal	fail seal	pass	pass	fail seal	fail seal	pass	pass	pass	pass
34	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	fail seal	fail seal	pass	pass	pass	pass
35	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
36	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
37	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass

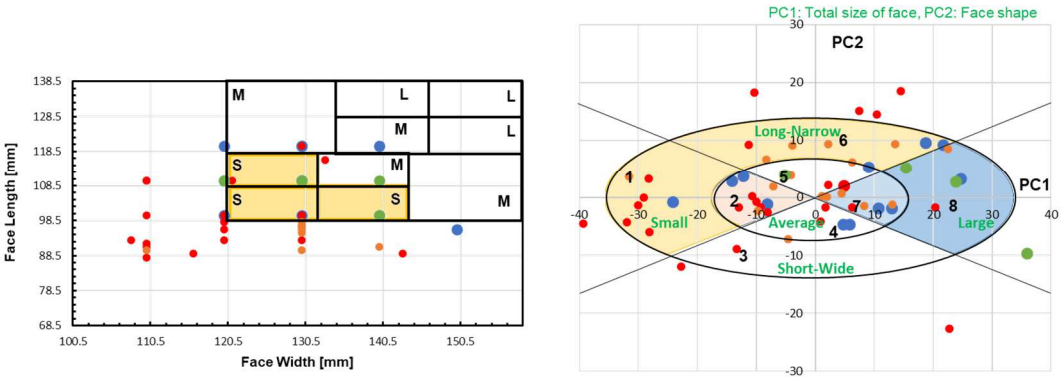
Table 4　Results of fit test and estimation by machine learning with face image.
（Results of Fit-test）

(Training data)

	Disposal type						Reprasable type						PAPR	
	a	a	b	b	c	c	d	d	e	e	f	f	g	g
1	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
2	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
3	pass	pass	fail	fail	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
4	pass	pass	fail	fail	pass	pass	pass	pass	pass	pass	fail	fail	fail	fail
5	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
6	pass	pass	fail	fail	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
7	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
8	pass	pass	fail	fail	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
9	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
10	pass	pass	fail	fail	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
11	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
12	pass	pass	fail	fail	fail	fail	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
13	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
14	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
15	pass	pass	fail	fail	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
16	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
17	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	fail	fail	pass	pass
18	pass	pass	fail	fail	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
19	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	fail	fail	fail	fail
20	pass	pass	fail	fail	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
21	pass	pass	fail	fail	pass	fail	pass	pass	pass	pass	fail	fail	fail	fail
22	pass	pass	fail	fail	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
23	fail	fail	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
24	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
25	pass	pass	fail	fail	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
26	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
27	pass	pass	fail	fail	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
28	pass	pass	fail	fail	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
29	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	fail	fail	pass	pass
30	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
31	pass	pass	fail	fail	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	fail	fail
32	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
33	pass	pass	pass	pass	fail	fail	pass	pass	fail	fail	pass	pass	pass	pass
34	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	fail	fail	pass	pass	pass	pass
35	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
36	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
37	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass

Table 5　Estimated results of Fit-test.（Number of Fail and Accuracy Rate）

A. Facial parameters	Participants (Female)	Disposable type			Replaceable type			P-PAPR
		a	b	c	d	e	f	g
No. of Fail	37(24)	0(0)	15(12)	2(2)	0(0)	2(2)	5(4)	4(4)
Training Data	A.R., %	97	100	100	100	100	100	100
No. of Fail	36(16)	0(0)	6(4)	12(8)	7(7)	3(3)	14(4)	3(2)
Test (A)	A.R., %	100	96	64	81	97	64	94
No. of Fail	153(74)	6(3)	43(22)	1(0)	0(0)	8(5)	23(16)	14(13)
Test (B)	A.R., %	94	68	98	100	95	89	93
No. of Fail	189(90)	6(3)	49(26)	13(8)	7(7)	11(8)	37(20)	17(15)
Total Data	A.R., %	96	72	91	95	96	84	93
B. Face image	Participants (Female)	a	b	c	d	e	f	g
No. of Fail	37(24)	1(0)	15(12)	3(3)	0(0)	2(2)	5(4)	4(4)
Training Data	A.R., %	100	100	97	100	100	100	100
No. of Fail	36(16)	0(0)	7(5)	2(1)	0(0)	3(2)	11(5)	9(4)
Test (A)	A.R., %	100	83	97	100	97	72	78
No. of Fail	153(74)	3(1)	57(30)	3(1)	0(0)	2(2)	28(12)	26(15)
Test (B)	A.R., %	97	67	97	100	99	82	84
No. of Fail	189(90)	3(1)	64(35)	5(2)	0(0)	5(4)	39(17)	35(19)
Total Data	A.R., %	98	70	97	100	98	80	83



Face Length – Face Width　　Modified by average PCA fit panel　(Failure participants)

● ● Male, ● ● Female

Fig.5　Distribution of participants facial parameters on modified-NIOSH PCA fit panel.

Table 6　Fit-test results of failure participants for each steps.
（Number of Fail, Ratio of fail, Fit-factor and *p*-value）

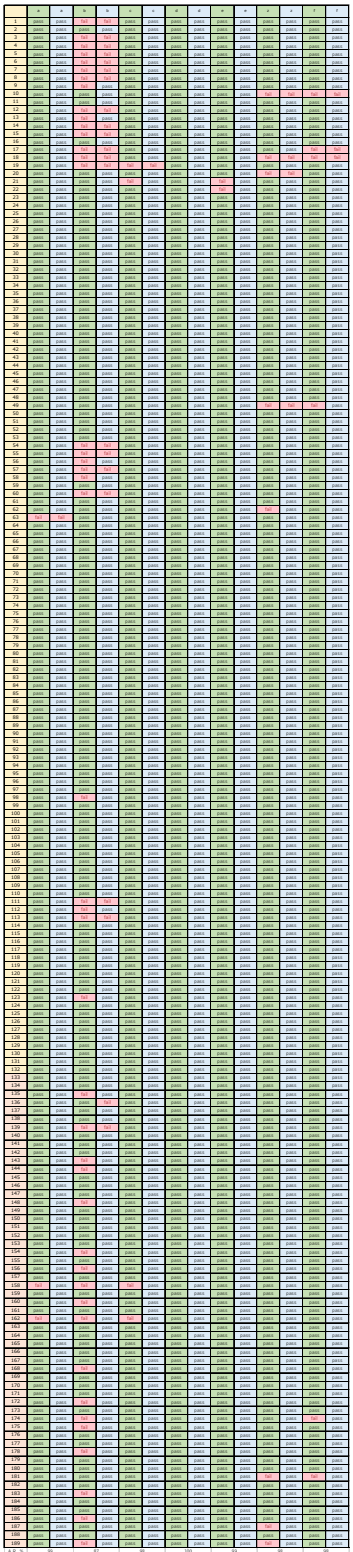
	Overall	Step1	Step2	Step3	Step4
No. of Fail	215	187	187	191	200
Ratio of fail [%]	-	87.0	87.0	88.8	93.0
FF(AV)	20	16	23	25	21
p-value	-	0.04	0.22	0.06	0.46
	Step1+Step4	Step2+Step4	Step3+Step4	Step1+Step3	Step2+Step3
No. of Fail	214	214	213	210	209
Ratio of fail [%]	99.5	99.5	99.1	97.7	97.2
FF(AV)	8.9	11	11	9.3	12
p-value	<<0.01	<<0.01	<<0.01	<<0.01	<<0.01

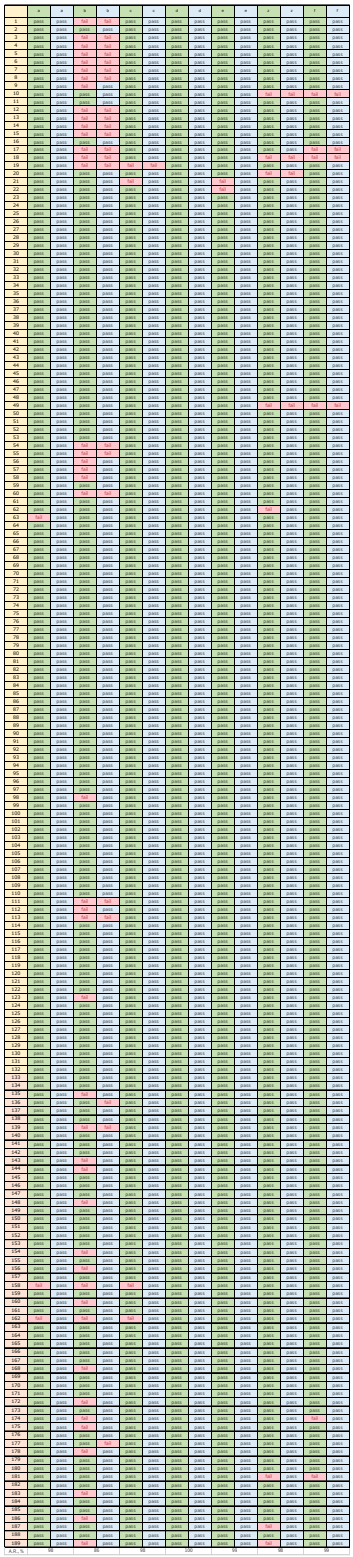
Table 7　Fit-test results of failure participants for each steps.
（Participants, Number of Fail, Ratio of fail, Reproducibility）

a	**Original**	**Step1+Step4**	**Step2+Step4**	**Step3+Step4**
Participants(Female)	85(43)	85(43)	**85(43)**	**85(43)**
No. of Fail	2(0)	14(5)	**9(4)**	**11(5)**
Ratio of fail [%]	2	16	**11**	**13**
Reproducibility [%]	-	84	**89**	**89**
b	**Original**	**Step1+Step4**	**Step2+Step4**	**Step3+Step4**
Participants(Female)	85(43)	85(43)	**85(43)**	**85(43)**
No. of Fail	25(19)	46(26)	**33(21)**	**35(21)**
Ratio of fail [%]	29	46	**39**	**41**
Reproducibility [%]	-	59	**69**	**69**

Table 8-1　Results for Web application by machine learning with face image.

(3times reproducibility by python program version)





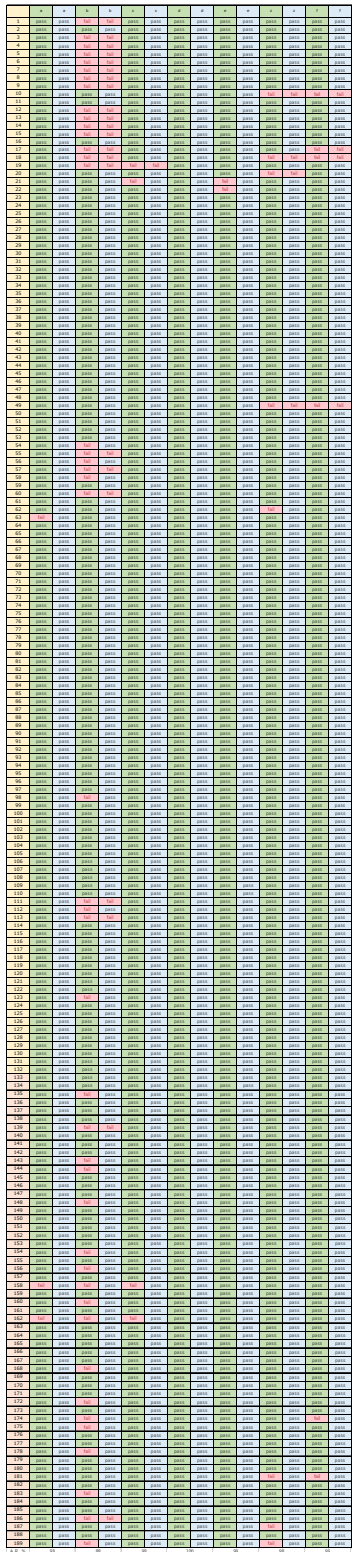
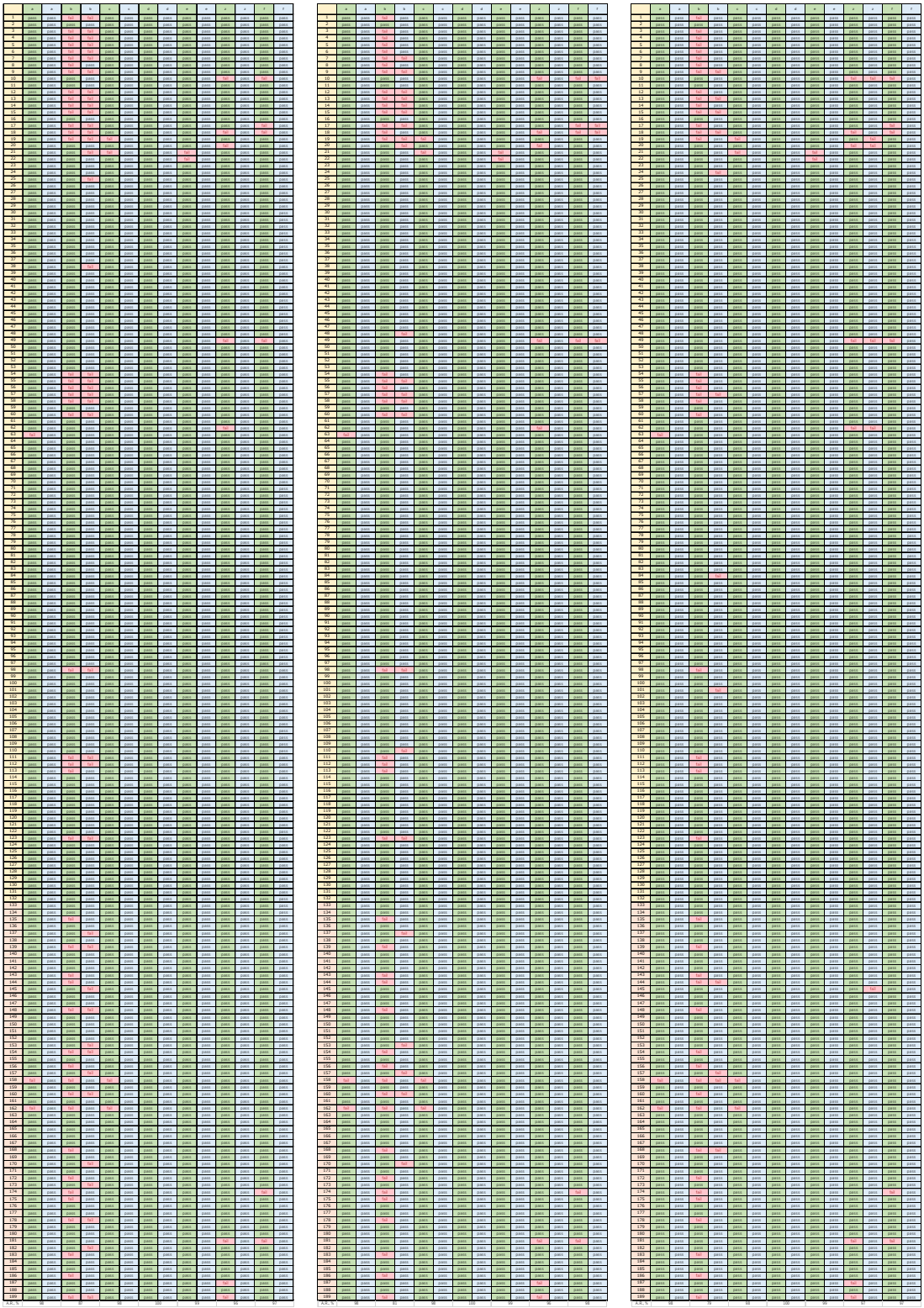
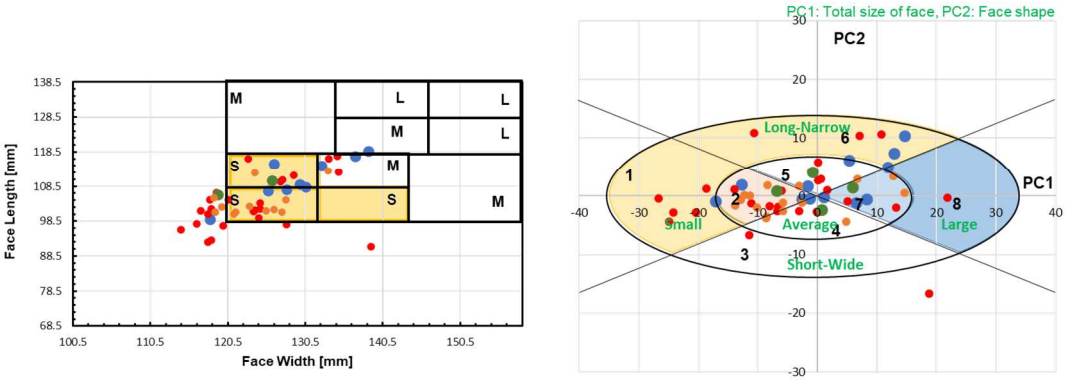


Table 8-2　Results for Web application by machine learning with face image.
(3times reproducibility by Mathematica program version)





Face Length – Face Width　　Modified by average PCA fit panel　(Failure participants)

● ● Male, ● ● Female

Fig.6　Distribution of participants estimated facial parameters on modified-NIOSH PCA fit panel.



⇩

Fig.7　Web application software for facial parameters and fit factors.