研究論文

ユーザビリティの高い多機能視線解析システムの研究開発

菅家　章*　阿部　淑人*　須貝　裕之*　中部　昇**　金田　篤幸***　石月　斗志宏***

Research and Development of a Multifunctional Eye Tracking System with High Usability

KANKE Akira*, ABE Yoshito*, SUGAI Hiroyuki*, NAKABE Noboru**,
KANEDA Atsuyuki*** and ISHIZUKI Toshihiro***

抄　録

今後成長が見込まれるアイトラッキング市場への投入を図るため，操作が容易で多機能な視線解析システムを研究開発した。その設計製造工程においては，トポロジを最適化し，高剛性軽量化製品の開発に取り組んだ。無線 LAN 搭載の試作機を用い，農林水産業・製造業・サービス業・学業などの場で現場実証を実施した。近赤外線の安全性を調査し，近赤外線使用時に考慮すべき点を把握した。

1. 緒　言

近年，国が目指すべき未来社会の姿として Society 5.0 が提唱され，IoT（Internet of Things）の活用によってモノと人がつながり，情報と知識が共有されることで，新たな価値が生み出されている。生体情報の収集においてはウエアラブルデバイスが活用され，マーケティング分野では製品デザインの評価で視線と脳波が，自動車分野では居眠り運転の評価で視線とまばたきが，技能伝承や力量評価など人材育成における分野では視線と体の動きが計測されている。画面上で視線を確認できるアイトラッキングは，様々なセンサと一緒に活用され，多機能な視線解析システムがユーザから望まれている。そのため，視線解析システムを製造販売している（株）ガゾウは，操作が容易で多機能な視線解析システムのユーザニーズに対応できるよう，現行製品のブラッシュアップを検討していた。また，視線解析システムの需要増加にともない，3D プリンタを用いた設計・製造の最適化と低コスト化について検討していた。

本研究では，今後成長が見込まれるアイトラッキング市場への投入を図るため，操作が容易で多機能な視線解析システムを研究開発する。その設計製造工程においては，トポロジを最適化し，高剛性軽量化製品を開発する。

2. 高ユーザビリティ視線解析システムの研究開発

2.1 搭載センサの拡張

現行製品の視線解析システムのメガネフレームと，それを装着したときの写真を図 1 に示す。メガネフレームの右眼下方には眼球撮影用カメラと近赤外線 LED が内蔵され，その上方には視界撮影用カメラが内蔵されている。本研究で開発した視線解析システムは，現行製品より高い解像度のカメラを使用し，マイクロフォンを

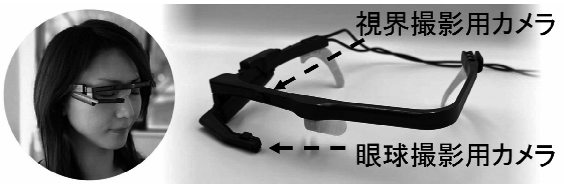

図 1　現行製品の視線解析システム

*　研究開発センター
**　下越技術支援センター
***　（株）ガゾウ

追加搭載した。視線解析システムの改良と現場実証を繰り返しながら試作機の開発に取り組んだ。以下に詳細を記す。

試作 1 号機は，視界撮影用カメラの解像度を HD（High Definition:1280 × 720 画素）から FHD（Full HD:1920×1080 画素）へ拡張した。これにより視界撮影用カメラの画角は 70°から 120°へ広角化された。さらに，マイクロフォンを追加搭載し，メガネフレーム装着者の周辺の音を収集可能にした。これにより，技能伝承の場面において，熟練者がメガネフレームを装着した場合は熟練者の作業の視線と説明の音声を同時に記録して後生へ残すことができる。また，初心者がメガネフレームを装着した場合はインターネットなどを活用して遠方の熟練者が初心者の作業の視線をみることができ，初心者の音声や作業で発生する音を聴きながら熟練者は作業を指導できる。試作 1 号機（無線 LAN 搭載）を用いて，製造業・農林水産業・サービス業・学業などの場で現場実証を実施した。製造業では，ろう付け作業において，炎色ばかりでなく，炎のどこをみているか，フラックスを加熱しているときにどこをみているか，接合面へろう付けしているときにどこをみているかなど，作業者の視線と音声を記録しながら，熟練者と初心者の視線を比較した。溶接作業においては自動遮光面を装着した状態で現場実証を実施した。さらに，Web 会議システムを利用し，工場にいる初心者の作業を離れた事務所にいる熟練者が指導する遠隔現場実証を試みた（図 2）。農業ではミニトマトの収穫で現場実証を実施し，熟練者の視線を解析した（図 3）。サービス業では美容業においてベテラン美容師の視線を解析し（図 4），クリーニング業においては，しみ抜きの遠隔指導を試みた（図 5）。これらの現場実証は，ユーザビリティのヒアリングをしながら実施した。現場実証の結果，作業姿勢は立位での見下げ動作が多いため，視線角度が約 -30°を超えると視界範囲外による欠測が生じるとわかった。そこで，メガネフレームと顔の正

図 2　現場実証（製造業）溶接作業

図 3　現場実証（農業）ミニトマトの収穫

図 4　現場実証（美容業）ベテラン美容師

図 5　現場実証（クリーニング業）しみ抜き

面方向のなす角度を調整できる耳用と鼻用のアタッチメントを試作し，ユーザの使用感をヒアリングしながら試作1号機について評価した。

試作2号機は，メガネフレームの形状を大幅に変更した。見下げ方向の視線角度へ対応できるよう，視界撮影用カメラを最大-38°まで可動化した（図 6）。また，メガネフレームのホールド感と強度を維持するための形状変更を実施した。試作2号機を用いて，クリーニング業と製造業で現場実証を実施し，ユーザビリティのヒアリングを実施した。現場実証の結果，視界範囲外による欠測は大幅に減少したことが確認できた。

試作3号機は，視界撮影用カメラを1基，左右の眼球撮影用カメラを各1基として，三次元計測可能な3基カメラ構成とした。試作3号機では，FPGA を用いて回路構成を統合化した（図 7）。

今後も視線解析システムの改良と現場実証を繰り返しながら製品開発に取り組む予定である。

図 6　視界撮影用カメラの可動化

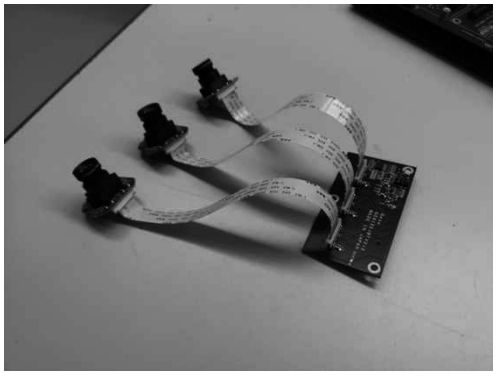

図 7　3 基カメラ同時入力 FPGA

2.2　レスキャリブレーション機能

視線解析システムでは，眼球撮影用カメラでえられた注視点を視界撮影用カメラでえられた視界画像へ重畳させている。別々のカメラで撮影された注視点と視界画像の位置を合わせるため，使い始めにキャリブレーションをしなくてはならないが，キャリブレーション中は頭部を固定する必要があり，メガネフレーム装着者へ負担をあたえる。そこで，頭部を固定しなくてもキャリブレーションが可能で，さらにはキャリブレーションなしで使えるレスキャリブレーション機能がユーザから望まれている。また，キャリブレーションの精度向上が望まれていることから，これらの改良方法について，いくつか検討した。

今後も様々な方法を試みながら，レスキャリブレーション機能の開発を継続する予定である。

3.　3D プリンタトポロジ最適化技術の研究開発

3.1　3D プリンタ最適設計技法

研究開発中のメガネフレームについて，3D プリンタを用いる場合の最適な設計方法を検討した。

共同研究では当所と(株)ガゾウのそれぞれが所有する 3D プリンタを用い，3D 形状データをやりとりしながらメガネフレームを製作する。それぞれが所有するソフトウェアは異なるため，共同研究を始めるにあたり，データの互換性を確認した。また，現行製品のメガネフレームについて，装着者の顔幅と把持力（頭部を締め付ける力）の関係をコンピュータシミュレーションで計算し，今後の検討における基準とした。

次に，メガネフレームの各部の形状が剛性にあたえる影響について調査した。コンピュータシミュレーションで調査したパラメータを図 8 に示す。コーナーr の影響，初期曲がりの影響，ツルの長さとフレーム幅の影響，断面寸法（高さ・幅）の影響について調査した。

最後に，メガネフレーム装着性能の向上について，非線形のバネの特性をもつメガネフレームを仮定し，その実現方法について検討した。メガネフレームを装着するユーザの顔幅は様々である。顔幅に対して把持力が弱ければメガネフレームはずれやすく，強ければ頭部が締め付けられて不快感をあたえる。顔幅と把持力の関係を図 9 に示す。ずれにくく不快感の少ない把持力の範囲が 0.39～0.49N であると仮定すると，

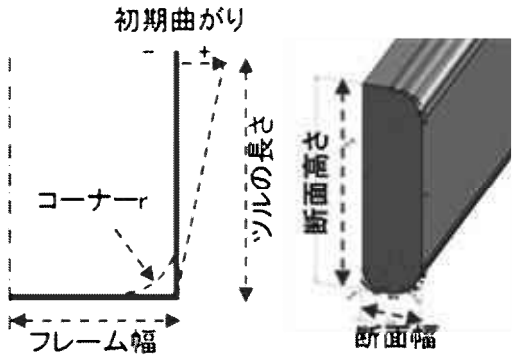

図 8　調査したパラメータ

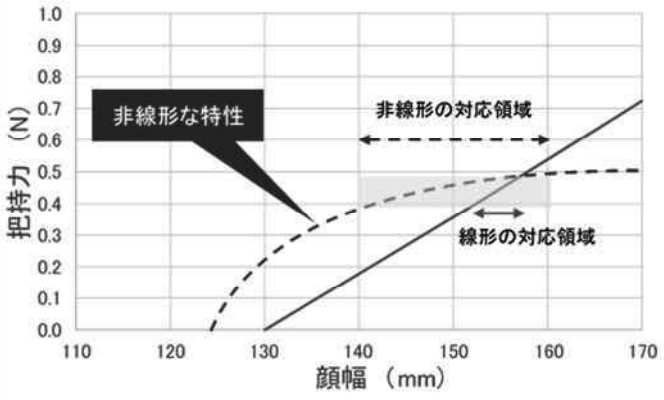

図 9　顔幅と把持力の関係

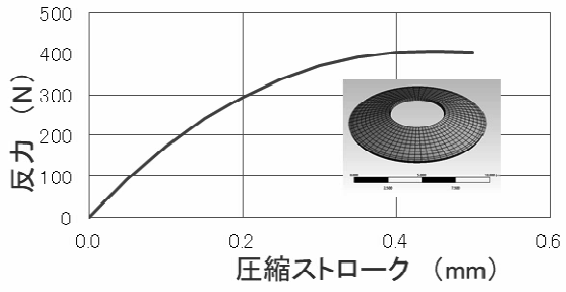

図 10　圧縮ストロークと反力の関係

線形の特性をもつメガネフレームは実線の両矢印のように 152～157mm の顔幅が対応領域である。ここで，非線形の特性をもつメガネフレームは破線の両矢印のように 140～160mm の顔幅が対応領域であり，一般成人の顔幅に広く対応できると考えられる。このような非線形の特性をもつメガネフレームを実現させるため，皿バネの特性を参考にして検討した。皿バネを圧縮したときの圧縮ストロークと反力の関係について計算した結果を図 10 に示す。このような非線形の特性をもつメガネフレームについて，設計方法を検討した。

3.2　3D プリンタ最適成型技法

研究開発中のメガネフレームについて，3D プリンタを用いて造形物を成形するときの基礎データとなる，造形物の材料特性と造形特性を調査した。

造形物の材料特性では，ABS とポリカーボネートについて，3D プリンタで積層方向ごとの試験片を成形し，引張試験で材料の機械的性質を調査した。ABS については当所と(株)ガゾウのそれぞれが所有する 3D プリンタを用いて成形し，特性を比較した。

造形物の造形特性では，数種の軟質材料で，メガネフレームのノーズパッドやイヤーフックなどの部品を成形し，装着感などを検証した。

4.　無線化による遠隔操作

高ユーザビリティ化のユーザニーズに応えるため，Wi-Fi 6，5G 対応は高精細画像の低遅延伝送を必要とする視線解析システムにとって必須である。そこで，Wi-Fi 6，5G の技術動向を調査し，Wi-Fi 6，5G 無線化による遠隔操作機能の仕様を想定しながら，視線解析システム無線機のシングルボードコンピュータを見直した。

今後も Wi-Fi 6，5G の技術動向を調査しながら視線解析システム無線機の研究開発に取り組む予定である。

5. 近赤外線の安全性の調査

近赤外線の安全性の調査を実施した。池田らによれば，眼球の光透過特性は水の電磁波吸収特性の影響を受け，可視光と近赤外線の一部，波長にして 500～1000nm 近辺の電磁波をよく透過し，そのような波長の強い光が入射した場合，角膜，水晶体，硝子体を透過することから，網膜に傷害を与えるおそれが大きいということである [1)]。また，国際非電離放射線防護委員会（ICNIRP）のガイドラインには，赤外域 780～3000nm 光源について角膜への熱障害や水晶体に起こりうる後発的な影響（白内障形成）を避けるために暴露時間と制限されるべき照度の関係が記され，さらに，可視光での強い放射がない近赤外線あるいは赤外域 780～1400nm 光源について網膜を熱的損傷から保護するために光源の張る角度と制限されるべき輝度の関係が記されていた [2)]。

これらの文献などを参考にして，近赤外線を使用するときに考慮すべき点を把握しながら，視線解析システムの研究開発に取り組んだ。

6. 結　　言

(1) 視線解析システムの改良と現場実証を繰り返しながら試作機の開発に取り組んだ。

(2) キャリブレーション機能の改良方法について検討した。今後も様々な方法を試みながら，レスキャリブレーション機能の開発を継続する予定である。

(3) 3D プリンタの開発環境の互換性を確認し，現行製品のメガネフレームの顔幅と把持力の関係を計算して，各部の形状が剛性にあたえる影響を調査した。非線形バネ特性をもつメガネフレームを仮定して，その実現方法を検討した。

(4) 研究開発中のメガネフレームについて，造形物の材料特性と造形特性を調査した。

(5) Wi-Fi 6，5G 無線化による遠隔操作機能の仕様を想定しながら，視線解析システム無線機のシングルボードコンピュータを見直した。

(6) 近赤外線の安全性を調査し，近赤外線を使用するときに考慮すべき点を把握した。

(7) 共同研究の成果をもとに研究開発を継続し，今後成長が見込まれるアイトラッキング市場への投入を図る。

参考文献

1) 渡辺敏，池田研二，加納隆，廣瀬稔，戸畑裕志，“F-2　臨床工学（CE）と ME 機器・システムの安全”，ME 教科書シリーズ，コロナ社，2006.

2) 国際非電離放射線防護委員会（ICNIRP），“広帯域非コヒーレント光放射（0.38μm～3μm）に対する暴露限界のガイドライン”吉田道利ほか監修，松尾厚ほか訳，2009.