

力覚ディスプレイを用いた顔面皮膚温と 顔色の分析

山田 貴志*・渡辺 富夫**

Analysis of Facial Skin Temperature and Facial Color Using 4-DOF Force Display

Takashi Yamada* and Tomio Watanabe**

Abstract

Human facial color can be applied to the affect display of virtual facial image, emotional evaluation, individual identification, and remote health care. We developed a 4-DOF force display system for the analysis by synthesis of human facial color by force display, and for the application to the robot which observes human facial color. By using the system, this paper dynamically examines the relation between facial color and facial skin temperature accompanied by force display. The analysis indicates that the facial skin temperature increases, the hue of cheek decreases, and the saturation increases in a static force display while the facial skin temperature increases, the hue of cheek decreases, and the saturation increases after a dynamic force display.

Keywords : Force Display, Facial Skin Temperature, Facial Color, Color Image Processing

1. はじめに

最近、我が国では長寿化と出生率の低下で、高齢化社会が現実のものになりつつある。高齢化社会を迎えた医療現場では情報通信技術の発展に伴い、高齢者に対応した医療サービスとして、在宅医療や遠隔診断が注目されており、最近ではインターネットを利用したモニタリングシステムの実用化も本格化している^[1]。とくに顔色は日常的な診断に用いられていることから、今後、照明条件を考慮して、遠隔診断における顔色の情報処理の重要性も一段と増すことが考えられる^[2]。また、ロボット技術の目覚ましい発展に伴い、介護・リハビリ支援などの対人サービス分野でのロボットの新しい活躍が期待されている^{[3][4]}。

著者らはこれまでに各種情動ストレス下での顔面皮膚温と顔色の動的な関連性に基づいた情動評価手法を提案し、顔色計測システムを開発している。そして、代表的な快情動である笑いと不快情動である恐怖に着目し、顔面皮膚温を情動を評価する生理指標として、顔色の定量化と動的変化の分析評価を行っている。また、計測結果に基づいて、著者らが合成した平均顔色画像を基に合成的に解析して、動的顔色と表情を伴うバーチャル顔画像

合成における顔色の効果を確認している^{[5]-[7]}。

本論文では、顔色計測システムと新規に開発した上肢の筋力計測が可能な力覚提示システムを併用し、相手の顔色を伺いながらリハビリ支援が可能なロボットへの新しい応用について検討している。ここではとくに、運動負荷により強制的に循環動態を変動させたときの前後の顔面皮膚温と顔色の変化を分析している。

2. 力覚提示システム

今回、設計・製作した4軸力覚ディスプレイを含むシステムの概略を図1に示す。力覚ディスプレイの各関節を制御する駆動源には、4本のエアシリンダ（SMC製）を用い、ヒトの肩・肘関節の動きを実現している。エアシリンダは、パーソナルコンピュータ（以下、PC）からのI/O信号が12ビットDA変換器によりDC電圧に変換され、その電圧値で圧力比例弁を調整することで、空気を制御している。また、圧力比例弁の空気圧は12ビットAD変換器を介してPCに入力され確認できる。各関節にはロータリエンコーダが取り付けられており、関節角度の検出も可能である。力覚ディスプレイの各関節の可動範囲と最大トルク（最大供給圧力：6.5Kgf/cm²）の

* 電子機械工学科

** 岡山県立大学 情報工学部

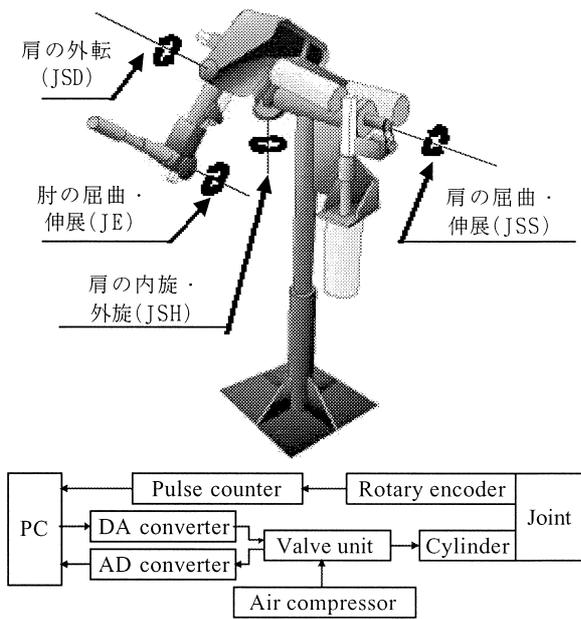


図1 力覚提示システムの概略

表1 各関節の可動範囲と最大トルク

関節		可動範囲		最大トルク
		ヒト	Force Display	
JSH	内旋	80°	90°	41.8Nm
	外旋	60°	10°	40.9Nm
JSS	屈曲	180°	90°	83.6Nm
	伸展	50°	45°	82.8Nm
JSD	外転	180°	90°	88.0Nm
JE	屈曲	145°	120°	25.5Nm
	伸展	5°	0°	22.4Nm

仕様を表1に示す。女子学生5名(15~18歳)に対して肩の内旋のトルク特性を計測した結果、30[Nm]であった。

3. 力覚提示に伴う顔面皮膚温と顔色の分析

3.1 HSV 表現による色彩の数値表現

本論文では、色彩の定量化手法として HSV 表現法を用いている。HSV 表現法は、色彩を色相(H, hue:種類), 彩度(S, saturation:濃さ), 明度(V, value:明るさ)の3パラメータで示したもので、色相(H)を角度, 彩度(S)を直径, 明度(V)を高さとして円筒座標系で表され、カラー画像処理で用いる RGB 信号より人間に判りやすく表現されている。色相は、H=0で赤, H=120で緑, H=240で青を示している。彩度は、S=0のとき、色味のない無彩色, S=100のとき、その色相で最も濃い色彩となる。明度は、V=0のとき最も暗く, V=100のとき最も明るくなる^[8]。

3.2 実験装置

3.2.1 顔色の変化の計測装置

顔色の計測は、光源の状態を一定に保ち、外光の影響を全く受けない暗室内で行った。光源は、写真撮影用のデライト用フトリフレクタランプ(色温度5500K)を4灯使用した。力覚提示システムを含む顔色の計測装置の概略を図2に示す。記録部は、1フレーム単位のカラー画像処理が行える DV カメラ(SONY DSR-PD100)を用いた。DV カメラと被験者の顔との距離は130cmとし、ウレタンフォームによる固定治具を用いて、被験者の頭部が移動しないように固定した。ランプの高さは、座った被験者の顔の高さと等しくなるようにした。このとき、JIS 標準色票(N9.0, 白色)によるホワイトバランスを行うことで、色温度による影響を最低限に抑えている。

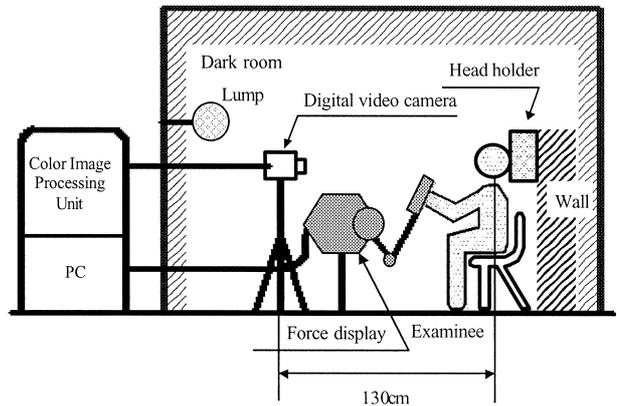


図2 力覚提示に伴う顔色の変化の計測装置

3.2.2 顔面皮膚温と顔色の同時計測装置

力覚提示システムを含む顔面皮膚温と顔色の同時計測装置の概略を図3に示す。3.2.1節の場合と異なり、長時間にわたって顔面皮膚温と顔色を同時計測するために、暗室内での計測ではフトリフレクタランプの発生する熱により暗室内の温度上昇の計測への影響が考えられる。

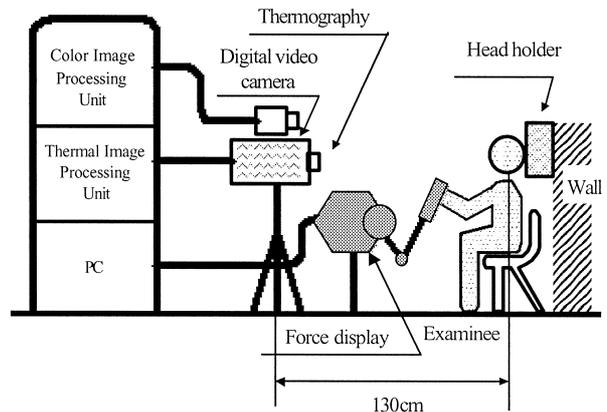


図3 力覚提示に伴う顔面皮膚温と顔色の変化の同時計測装置

そのため、被験者を通常の室内で撮影し、照明は室内の蛍光灯を用いた。なお、計測に使用した部屋は窓が北向きで、さらに外光の変化が少ない時刻を選んだ。記録部は、一度の計測で512フレーム(画面)記録できるサーモグラフィ(日本アビオニクス TVS-8000)を用い、実験開始から1秒毎に511秒間記録した。また、DVカメラにより同時記録を行った。

3.3 計測方法

3.3.1 被験者と計測領域

被験者は、日常、化粧をしていない顔面皮膚温と顔色の変化が顕著に表れやすい女子学生12名(15~18歳)である。各被験者の顔面皮膚温の計測は、情動変動が温度変化として顕著に表れる鼻・頬を対象とし、顔色の計測は、顔色の変化が大きく起こる額・頬を中心に行った。

3.3.2 顔面皮膚温と顔色の動的変化

運動の種類には、大別して静的な運動(等尺性運動)と動的な運動がある^[9]。等尺性運動とは筋肉を緊張させる運動で、重いものを持ち上げたり、支えたりするものである。また、動的な運動とは、体の比較的大きな筋肉をリズムカルに動かすものである。そこで本論文では、力覚ディスプレイを用いてヒトの筋力特性に合った静的・動的な負荷を提示し、力覚提示に伴う顔面皮膚温と顔色の変化を分析した。

(1) 静的な運動負荷

上腕部の姿勢は、肘関節を直角に保持した静止状態とし、被験者の肩の内旋(JSH軸)の筋力と拮抗するように力覚ディスプレイを制御した。被験者と力覚ディスプレイが腕相撲をしているような状態である。この拮抗状態を被験者の最大許容負荷量とし、最大許容負荷量70%の力覚を提示したときの顔面皮膚温と顔色の変化を分析した。力覚提示の時間は、各被験者が最大の筋疲労状態を自己申告することで終了させた。

(2) 動的な運動負荷

実験開始後、被験者に5秒ごとに鳴らされる電子音の合図に合わせて、力覚ディスプレイの肩の回旋(JSH軸)を0度から90度まで持ち上げる動作(計24回)を2分間行わせ、そのときの被験者の顔面皮膚温と顔色を同

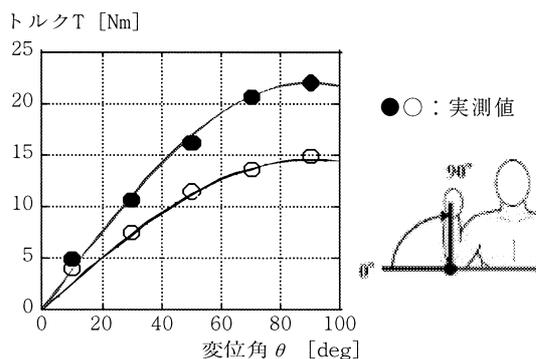


図4 変位角 θ とトルクの実測値

時計測した。力覚は、被験者の最大許容負荷量50%とし、図4に示すようなバネ特性(最大:22[Nm], 14.5[Nm])を提示した。これはロータリエンコーダにより変位角を読み取り、変位角 θ に対して $\sin\theta$ の演算を施したものである。

4. 計測結果

4.1 力覚提示に伴う顔面皮膚温の変化

被験者の荷重(拮抗状態に対する%)と持続時間の関係を図5に示す。これは10%, 20%, 30%, ..., 100%の10段階の荷重を3分間の休憩を入れながら、段階的に静的な運動負荷を提示したときの持続時間の平均値と標準偏差を示したものである。10%~20%は軽度の負荷量に相当し、5分以上の持続が可能であるが、50%以上になると強い負荷量に相当し、1分の持続がやっとになる。観察による評価を基に、顔面皮膚温の変化が顕著に表れた最大許容負荷量70%時の静的な負荷に伴う顔面皮膚温の変化の平均値と標準偏差を図6に示す。また、拮抗時間の持続時間の平均は23秒であった。初期安静状態から静的な運動負荷に伴い顔面皮膚温の上昇が見られる。

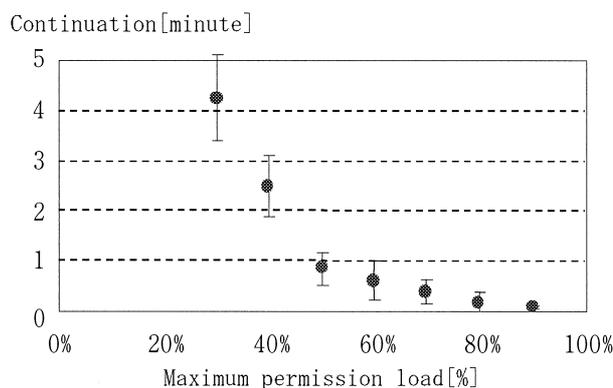


図5 荷重と持続時間との関係

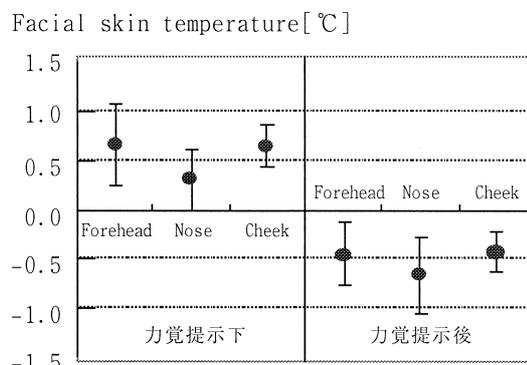


図6 70%の荷重における顔面皮膚温の変化

4.2 顔色の変化

初期安静状態の色相と彩度を基準にして、力覚提示下での色相・彩度の変化を遷移量と定義し、それぞれを ΔH , ΔS で表す。

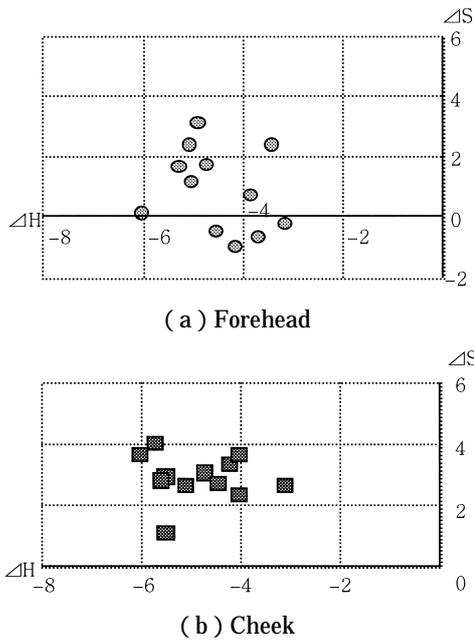


図7 力覚提示下における ΔH , ΔS の分布

表2 ΔH と ΔS の平均値

	ΔH	ΔS
Forehead	-4.47	0.86
Cheek	-4.92	3.06

静的な負荷の力覚提示下における ΔH , ΔS の分布を図7に、 ΔH , ΔS の平均値を表2に示す。頬の色彩の変化は、全被験者で色相が標準状態より減少し、彩度は上昇している。また、額の色彩の変化は、全被験者で色相が標準状態より減少し、彩度は12名中7名の被験者が上昇している。図8は、図7の遷移状態を各被験者ごとにHS平面上で示したものである。これより、静的な負荷の力覚提示に伴う顔色は通常時の顔色と比較して、赤みが増し、色が濃くなる傾向が見られる。

4.3 顔面皮膚温と顔色の動的変化

静的な負荷に伴う顔面皮膚温と顔色の変化の一例を図9に示す。静的な負荷が開始されると、右頬部の皮膚温が急激に上昇するとともに頬の色相が下降していることから、頬の皮膚温と頬の色相の動的変化は運動していることが示唆される。鼻部においては、負荷の終了に伴い、皮膚温が急激に下降する傾向が見られた。静的な運動負荷に伴い顔面皮膚温が急激に上昇し、顔色が赤くなる現象は、短時間に最大の運動を行うために酸素需要に対して酸素供給が追いつかず(無酸素運動)、血液循環のリズムが一時乱され、血行動態反応として表れていることが考えられる。

動的な負荷に伴う顔面皮膚温と顔色の変化の一例を図10に示す。鼻部において運動負荷終了直後と1分後に皮膚温の顕著な低下が認められ、その後2分以降では運動

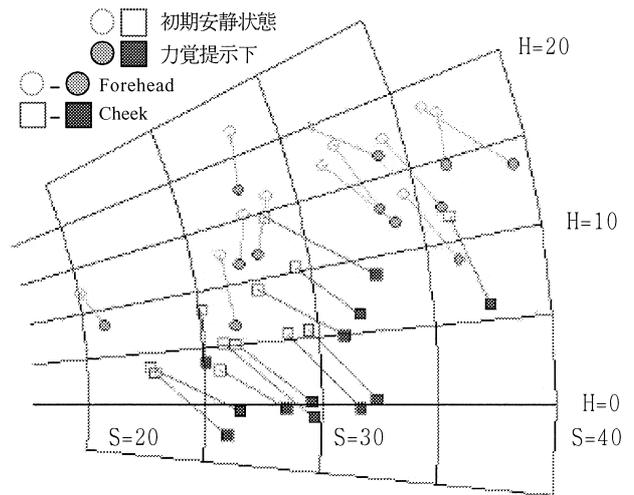


図8 HS平面上での顔色の遷移

Facial skin temperature [°C]

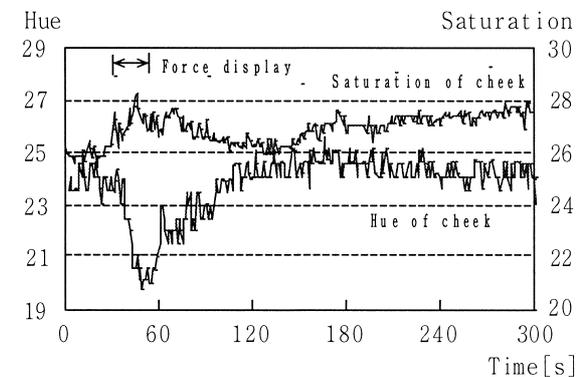
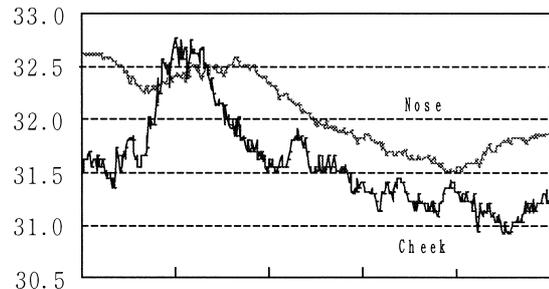


図9 顔面皮膚温と顔色の色彩の動的変化の一例 (I)

負荷前の平均皮膚温まで回復している。また、右頬部においても、運動負荷終了直後以降、顕著な皮膚温の低下が認められた。顔色の変化は、力覚提示に伴う運動負荷終了直後から、色相が減少し、彩度が上昇する傾向が見られた。動的な負荷に伴い顔面皮膚温が低下する現象は、自律神経系の働きにより末梢循環の血流量が減少したことが考えられる。通常、運動の開始に際して、脳からのアドレナリン刺激により交感神経が一斉に興奮し、筋肉を通る血管を除く全身の末梢血管が収縮する。これはほかの部位の血流量を減らして、筋肉が必要とする血流量を確保しようとするためである。また、負荷終了後の顔面皮膚温の上昇に伴い顔色が赤くなる現象は、交感神経

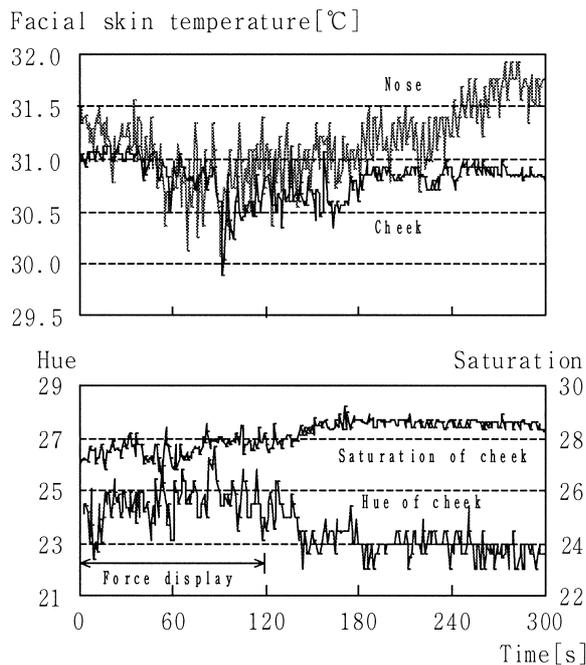


図10 顔面皮膚温と顔色の色彩の動的変化の一例 (Ⅱ)

による末梢循環への抑制が取り除かれたこと、運動中の体温を調節するために血管拡張作用による顔面皮膚温の血流量の増大によるもので、皮膚から放射される熱量が増えたためだと考えられる^[10]。

5. おわりに

本論文では、力覚ディスプレイを製作し、種々の力覚提示により強制的に循環動態を変動させたときの顔面皮膚温と色を分析した結果、次の結果が得られた。

- (1) 力覚提示に伴う顔色は通常時の顔色と比較して、赤みが増し、色が濃くなる。
- (2) 静的な負荷が大きく、拮抗状態が長くなるにつれて、顔面皮膚温の上昇が顕著に表れた。

今後の課題として、計測結果をもとに、バーチャル顔画像の動画への合成的解析を行うことで、力覚提示下における顔色をディスプレイ上で再現し、その有効性を主観評価実験によって確かめる予定である。

参考文献

- [1] 大田：高齢者のためのモニタリングシステム，情報処理学会誌，Vol. 41，No. 6，pp. 639 - 643，2000．
- [2] 黒田，渡辺：遠隔医療における顔色表示のための光源に基づく色彩データベースの構築，ヒューマンインタフェースシンポジウム2000，pp. 469 - 472，2000．
- [3] 城井田：ロボットのしくみ，日本実業出版社，2001．
- [4] 東嶋：ロボット教室，光文社，2001．

- [5] 山田，黒田，渡辺：顔画像と顔面皮膚温の同時計測による笑いにおける顔色の動的分析，ヒューマンインタフェース学会論文誌，Vol. 3，No. 2，pp. 23 - 30，2001．
- [6] 山田，渡辺：笑いの情動下での動的顔色と表情を伴うバーチャル顔画像合成における顔色の効果，ヒューマンインタフェース学会論文誌，Vol. 4，No. 1，pp. 1 - 8，2002．
- [7] 山田，渡辺：恐怖の情動下での顔色の分析とバーチャル顔画像合成，ヒューマンインタフェース学会研究報告集，Vol. 4，No. 1，pp. 71 - 74，2002．
- [8] Harrington, S., 郡山：アルゴリズムとプログラムによるコンピュータグラフィックス [Ⅱ]，pp. 484 - 499，1991．
- [9] 斎藤：運動負荷試験入門，中外医学社，pp. 45，2001．
- [10] 中山，入来：新生理科学体系（第22巻）エネルギー代謝・体温調節の生理学，医学書院，1987．

