九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

A Study on the Classification of Moving Units for Facial Expression Robot : Proposal of Moving-Unit for Animatronics

權, 泰錫
九州大学大学院芸術工学研究院

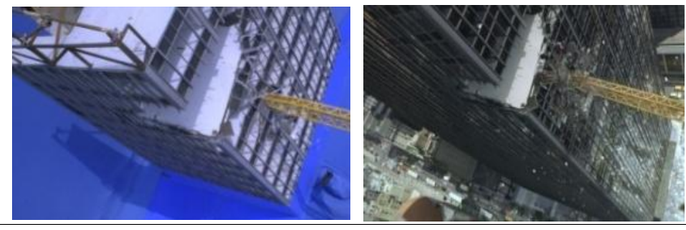
https://doi.org/10.15017/13962

出版情報：九州大学, 2008, 博士（芸術工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：

KYUSHU UNIVERSITY

付　録

付録 1. 映像で使う特殊効果の例

区分	映画の事例
コンピュータ グラフィックス (Computer Graphics)	 ▲ Transformer (2007) コンピュータとグラフィック周辺装置を用いて画像や映像を作成したり処理したりする技術
ミニチュア エフェクツ (Miniature Effect)	 建物などのミニチュアを製作し、実物のように見せる技法 ◀ Spider-man 3 (2007)
特殊メイクアップ (Special Make-Up)	 ラテックス、シリコーン等の人工物を俳優の顔などに付着させ造形を行う技術 ◀ The Lord of the Rings 3 : The Return of the King (2003)
アニマトロニクス (Animatronics)	 動作を表現するために電気や電子制御方式を用いた一種のロボット ◀ Alien (1986)
マット ペインティング (Matte Painting)	 精巧な絵画を背景として利用する技法 ◀ Indiana Jones And The Temple Of Doom (1984)
火攻 (Pyrotechnics)	 爆破や人為的な火を作って演出する技法 ◀ Ladder49 (2004)
モーション コントロール (Motion Control)	 自動制御を利用し定められた軌跡を撮影するモーションコントロールカメラや動揺制御装置を利用し撮影する技法 ◀ King Kong (2005)
ワイヤアクション (Wire Action)	 細くて堅固なワイヤに俳優の体を縛り動きを演出する方法 ◀ 無影劍 (2005)
クロマキー (Chroma Key)	 他のイメージや場面等と合成する目的で単色（Blue, Green Screenなど）の背景をおいて撮影する技法 ◀ 300 (2006)

付録2. アニマトロニクスとロボットの歴史年表

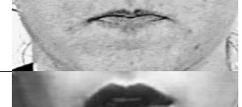
年代	フィクション	海 外	日 本
BC8c	・「黄金の美女」叙事「イーリアス」		
BC3c	・「青銅巨人ターレス」ギリシャ神話		
BC1c		・ギリシャのヘロンが流体機構考案 アラビア文献	
9c		・イスラム圏にてAutomataがつくられる	
12c	・仏教説話集「撰集抄」		
1434年		・朝鮮、蔣英實「自撃漏」という自動水時計開発	
1626年			・竹田からくり人形、竹田近江 大坂道頓堀紐
18c		・ヨーロッパにてAutomataが流行	・1796年 細川頼直「からくり図彙」刊行
19c	・1886年 小説「未来のイヴ」に美女ロボット登場	・1839年 バベッジ、コンピューターの前進、機械式計算機開発 ・1893年 ムーア、「蒸気人間」開発	
1907年	・「Rescued from an Eagle's Nest)」、Animatronicsが映画で最初に登場		
1920年代	・1920年 カレル・チャペック戯曲の中でロボットという言葉を創造 ・1924年 映画「Aelita：The revolt of the Robots」にロボットの制御登場 ・1927年 映画「メトロポリス」に人間型ロボット、マリア登場	・1927年 アメリカ、ウェスティングハウス社がロボット第１号「テレボックス」を発表 ・1927年 演説ロボット「エリック」発表	・1928年 西村真琴日本初のロボット「学天則」製作発表
1930年代	・1933年 映画「Kingkong」以後、ロボットの制御技術が発達	・1932年 物理学者メイ、「ロボットアルファ」発表 ・1934年 サンフランシスコ万博で歩くロボット「ウィーリー」発表	
1940年代		・1945年 数学者ノイマン、コンピューターの基礎「ノイマン型コンピュータ」開発 ・1948年 ウィーナー、サイバネティック理論(生物と機械を結ぶシステム) 提唱 ・1946年 ペンシルベニア大学、世界初大型コンピューター「ENIAC」完成	
1950年代	・1950年 アイザック・アシモフ、SF小説「われはロボット」で「ロボット３原則」を提唱 ・1951年 手塚治虫「鉄腕アトム」連載 ・1951年 映画「地球が静止する日」で巨大ロボットが登場 ・1952年 バーナード・ウルフがSF小説「リムボー」発表 ・1956年 米国映画「禁断の惑星」に万能ロボット「ロビー」登場 ・1959年 ロバート・Ａ・ハイラインが小説「宇宙の戦士」発表	・1950年 チューリングが「人工知能」を提唱 ・1954年 デボル社が記憶再生ロボット特許 ・1957年 ソ連が世界初の人工衛星「スプートニク１号」打ち上げ成功 ・1958年 米国コンソリュデェーテッド・コントロール社が産業用ロボット発表	・1959年 東京工業森政弘研究室が「人工の手」１号機を製造
1960年代	・1968年 映画「2001年宇宙の旅」公開	・1960年 生物の動きや機能をロボットに取り入れる学問「バイオニクス」登場 ・1960年 アメリカ世界初の産業用ロボット「ユニメート」登場 ・1961年 「Audio-Animatronics」という言葉がディズニーによって初めて商業的に使用 ・1963年「The Enchanted Tiki Room：Disney land」アニマトロニクス使用 ・1964年 「Audio-Animatronics」商標権登録 ・1966年 GE社、パワーアシスト機械「ハーディマン」開発 ・1967年 「Audio-Animatronics」商標登録	・1967年 米国から産業用ロボット輸入、国産ロボット製造開始（ロボット第１世代）
1970年代	・1970年 漫画「ドラえもん」（藤子不二雄）連載開始 ・1972年 永井豪「マジンガーＺ」連載 ・1975 年 映画「JAWS」公開 ・1977年 映画「スターウォーズ」R2D2、C3PIOなどのロボットが登場 ・1979年 映画「Buck Rogers」公開 ・1979年 映画「Alien」公開	・1970年 フロッピーディスク考案 ・1977年「スターウォーズ」Workshopで Bruce Sharmanが「Animatronics」分野を提案	・1970年 早稲田大学生物工学研究グループ「ワボットプロジェクト」開始 ・1970年 三菱重工業産業用ロボット発売 ・1971年 産業用ロボット懇談会（現･日本ロボット工業会）発足 ・1973年 早稲田大学「WABOT-1」開発 ・1979年 富士電機、自動外観検査ロボット発表 ・1979年 日立製作所、「プロセスロボット」発表（ロボット第２世代）
1980年代	・1980年 映画「Saturn 3」公開 ・1982年 映画「Android」公開 ・1982年 映画「ブレードランナー」公開 ・1984年 映画「ターミネーター」公開 ・1984年 映画「Runaway」公開 ・1986年 映画「Short Circuit」公開 ・1987年 映画「Robocop」公開	・1983年 クルーガー、コンピューターアート研究で人工現実感概念を提唱 ・1984年 アメリカ、「自律地上移動ロボット」研究スタート ・1989年 W・インダストリー社「バーチャリティー」商品化 ・1989年 アメリカ、MITメディア・ラボ「REGO／LOGOPROJECT」スタート	・1980年 通商産業省、ロボット普及に乗り出し「ロボット普及元年」に ・1983年 日本ロボット工業会設立 ・1984年 早稲田大学、世界初二足歩行ロボット開発 ・1984年 通産省、「極限作業ロボット」開発開始 ・1985年 ミュージシャンロボット「WABOT-2」登場 ・1986年 ホンダ、ロボット開発スタート(ロボット第３世代)日本製が世界のロボットの60%

CONTINUED ON NEXT PAGE

1990年 〜 1995年	・1990年 映画「ジュラシック・パーク」 ・1991年 映画「ターミネーター2」公開 ・1991年 映画「Eve Of Destruction」 ・1994年 映画「True Lies」HarrierにMotion Control Systemを適用 ・1995年 映画「ベイブ」公開 ・1995年 映画「Judge Dredd」公開 ・1998年 映画「Lost In Space」公開	・1994年 アメリカ、ネットスケープ・コミュニケーションズ「ネットスケープナビゲーター」発売 ・1995年 アメリカ、マイクロソフト社「インターネットエクスプローラー」発売	・1992年 早稲田大学「Humanoid Project」発足 ・1993年 ホンダ、二足歩行ロボットＰ１完成 ・1994年 ソニー、ロボット研究グループ発足 ・1995年 総合警備保障、「ガードロボ」発売
1996年 〜 1999年	・1996年 映画「ピノキオ」公開 ・1996年 映画「Jumanji」公開 ・1996年 映画「ドラゴンハート」実物大ドラゴン製作 ・1997年 映画「Jurassic Park：The Lost World」恐竜アニマトロニクス ・1999年 映画「アナコンダ」巨大のアナコンダのアニマトロニクス制作 ・1999年 映画「アンドリューNDR-114」公開	・1996年 アメリカ、ファービー誕生、一大ブーム ・1997年 アメリカ、IBM社スーパーコンピュータ「Deep blue」、チェス世界チャンピオンに勝利 ・1997年 NASAがロボットによる火星無人探査成功 ・1998年 第2回ロボカップ世界大会、フランスにて開催 ・1999年 Daimler Chrysler社、「クレバー」開発 ・1999年 第3回ロボカップ世界大会スウェーデン	・1996年 早稲田大学、二足歩行ロボット「WABIAN」 ・1996年 ホンダ、二足歩行ロボット「P2」公表 ・1997年 ホンダ、二足歩行ロボット「P3」完成 ・1997年 早稲田大学、「Hadaly-2」開発 ・1997年 第1回ロボカップ世界大会名古屋で開催 ・1998年 NEC、パーソナルロボット「R100」開発 ・1999年 ソニー、AIBO発売
2000年	・映画「X-Men」公開	・ジョーダン・ポラック、コンピューターにロボットを作らせる研究結果発表 ・韓国ダジンシステム社、二足歩行「LUCY」開発 ・第4回ロボカップ世界大会オーストラリアで開催 ・中国、人間型ロボット「先行者」発表	・ソニー、AIBO2世代目発売、「SDR-3X」発表 ・ホンダ、ASIMO発表 ・北野共生システムプロジェクト「PINO」発表 ・テムザック、遠隔操作ロボット「テムザック04」、災害救助ロボット「テムザックT-5」発表
2001年	・映画「A.I.」公開 ・映画「Jurassic Park3」公開 ・映画「Harry Potter and the Sorcerer's Stone」公開 ・映画「Lord Of The Rings：The Fellowship Of The Rings」公開	・第5回ロボカップ世界大会 シアトルにて開催	・ソニー、AIBO3代目「ラッテ＆マカロン」、4代目「ERS-220」発売。 ・北野共生プロジェクト、動きを追求したロボット「モルフ」を開発 ・オムロン、エンターテインメントロボット「ネコロ」発表
2002年	・映画「Cube」公開 ・映画「Spider-Man」公開 ・映画「Harry Potter and the Chamber of Secrets」公開 ・映画「The Lord Of The Rings: The Two Towers」公開	・第6回ロボカップ世界大会日韓共催	・経済産業省、ロボット開発用基盤ソフトウェア（ロボット用ミドルウェア）開発開始 ・日本科学未来館にて二足歩行ロボット格闘競技会「ROBO-ONE」、開催 ・産業技術総合研究所、セラピー効果があるメンタルコミットロボット「パロ」 ・テムザックと三洋電機共同開発、家庭用ユーティリティーロボット「番竜」 ・早稲田大学、「WE-3RV」開発 ・ERATO北野共生システムプロジェクト[morph3] ・川田工業、「HRP-2(Promet)」 ・三菱重工のアニマトロニクス「泳ぐシーラカンス」**開発**
2003年	・2003年4月7日、アトムの誕生日 ・映画「Terminator 3 - Rise Of The Machines」公開 ・TVシリーズ「Battlestar Galactica」公開		・ZMP、ROBODEX2003で「PINO ver.2」展示 ・テムザック、警備･監視等実用ロボット「T62K」 ・ソニー、「SDR-4X II（後のQRIO）」 ・早稲田大学とテムザック共同開発、「WL-16」 ・三菱、コミュニケーションロボット「wakamaru」 ・富士通オートメーション、「HOAP-2」 ・ロボス、「KOZOH-II」開発
2004年	・映画「アイ，ロボット」公開 ・映画「The Stepford Wives」公開 ・映画「Sky Captain And The World Of Tomorrow」公開	・ユジンロボティクス、「アイロビ」 ・ヴィストン、自律型二足歩行ロボット「VisiON」	・ZMP、モバイルヒューマノイド「nuvo」 ・トヨタ、「トヨタ・パートナーロボット」 ・ロボガレージ、「クロイノ」 ・テムザック、 家庭用留守番ロボット「ロボリア」、レスキューロボット「援竜」、巡回警備ロボット「アルテミス」
2005年	・映画「レーシング・ストライプス」公開 ・3Dアニメ映画「Robots」公開 ・映画「The Hichhiker's Guide To The Galaxy」公開 ・映画「Fantastic Four」公開	・アメリカ国防省主催のロボットの操縦による自動車レース開催（アメリカのモハベ砂漠） ・韓国のKAIST「HUBO」開発	・2005国際ロボット展（iREX 2005）秋葉原にて開催 ・アキバ・ロボット文化祭2005開催 ・NEC ロボット開発センター、パーソナルロボット「PaPeRo（パペロ）」 ・榊原機械、搭乗型2足歩行「LAND WALKER」開発 ・ALSOK、新型警備ロボット「ガードロボD1」 ・富士通オートメーション、研究開発用小型人間型二足歩行ロボット「HOAP-3」 ・村田製作所、止まっても倒れない自動車型ロボット「ムラタセイサク君」開発 ・テムザック、屋外対応警備案内ロボット「ムジロー・リグリオ」 ・ホンダ、受付・デリバリー対応、時速6kmの走行能力を持つ「新型ASIMO」
2006年	・映画「Daft Punk's Electroma」公開 ・映画「X-Man (The Last Stand)」公開	・「ROBOT WORLD 2006」韓国のソウルにて開催 ・「VFX Asia 2006」Malaysiaにて開催、Visual Effects, Animatronics & Animation Event	・富士通サービスロボット「enon」発表
2007年	・映画「トランスフォーマー」公開	・韓国のKAIST「Albert HUBO」発表	・アニマトロニクス展「IT'S ALIVE！」東京にて開催
2008年	・映画「アイアンマン」公開 ・映画「Wall-E」公開	・	・「大ロボット博」国立科学博物館にて開催

付録 3. FACS – Facial Action Coding System

(Ekman and Friesen 1978)

AU	Description	Facial muscle	Example image
1	Inner Brow Raiser	*Frontalis, pars medialis*	
2	Outer Brow Raiser	*Frontalis, pars lateralis*	
4	Brow Lowerer	*Corrugator supercilii, Depressor supercilii*	
5	Upper Lid Raiser	*Levator palpebrae superioris*	
6	Cheek Raiser	*Orbicularis oculi, pars orbitalis*	
7	Lid Tightener	*Orbicularis oculi, pars palpebralis*	
9	Nose Wrinkler	*Levator labii superioris alaquae nasi*	
10	Upper Lip Raiser	*Levator labii superioris*	
11	Nasolabial Deepener	*Zygomaticus minor*	
12	Lip Corner Puller	*Zygomaticus major*	
13	Cheek Puffer	*Levator anguli oris (a.k.a. Caninus)*	
14	Dimpler	*Buccinator*	
15	Lip Corner Depressor	*Depressor anguli oris (a.k.a. Triangularis)*	
16	Lower Lip Depressor	*Depressor labii inferioris*	
17	Chin Raiser	*Mentalis*	
18	Lip Puckerer	*Incisivii labii superioris and Incisivii labii inferioris*	
20	Lip stretcher	*Risorius w/ platysma*	
22	Lip Funneler	*Orbicularis oris*	
23	Lip Tightener	*Orbicularis oris*	
24	Lip Pressor	*Orbicularis oris*	
25	Lips part**	*Depressor labii inferioris or relaxation of Mentalis, or Orbicularis oris*	
26	Jaw Drop	*Masseter, relaxed Temporalis and internal Pterygoid*	
27	Mouth Stretch	*Pterygoids, Digastric*	
28	Lip Suck	*Orbicularis oris*	
41	Lid droop**	*Relaxation of Levator palpebrae superioris*	
42	Slit	*Orbicularis oculi*	
43	Eyes Closed	*Relaxation of Levator palpe-brae superioris; Orbicularis oculi, pars palpebralis*	
44	Squint	*Orbicularis oculi, pars palpebralis*	
45	Blink	*Relaxation of Levator palpe-brae superioris; Orbicularis oculi, pars palpebralis*	
46	Wink	*Relaxation of Levator palpe-brae superioris; Orbicularis oculi, pars palpebralis*	
51	Head turn left		
52	Head turn right		
53	Head up		
54	Head down		
55	Head tilt left		
56	Head tilt right		
57	Head forward		
58	Head back		
61	Eyes turn left		
62	Eyes turn right		
63	Eyes up		
64	Eyes down		

* AUs (Action Units) underlined bold are currently recognizable by AFA System when occurring alone or cooccurring.
** The criteria has changed for this AU, that is, AU 25, 26 and 27 are now coded according to criteria of intensity (25A-E) and also AU 41, 42 and 43 are now coded according to criteria of intensity

付録 4. MU を用いたアニマトロニクスの制作

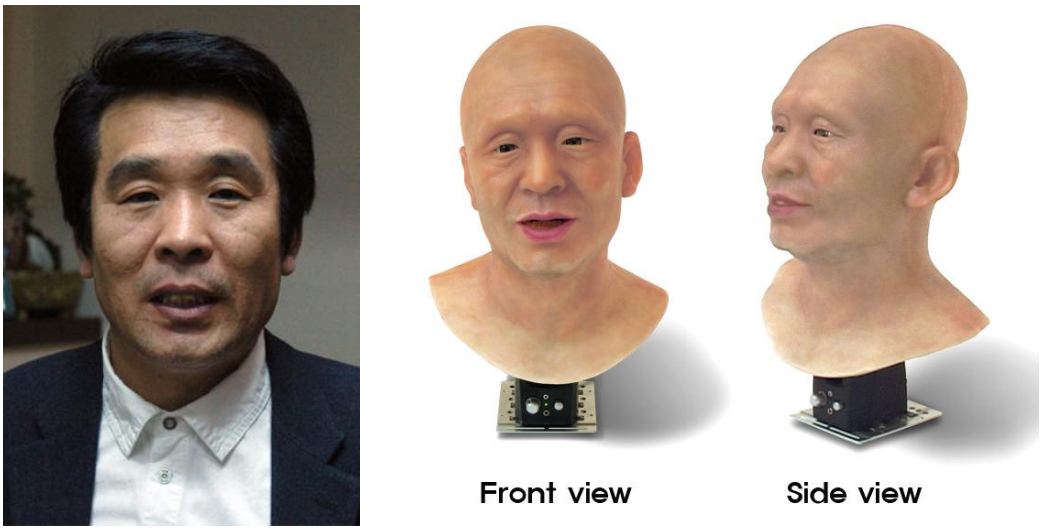
MUを用いて顔ロボットを制作し、MUの活用性を検討した。

40才の韓国人の男性をモデルとしてアニマトロニクスの制作をおこなった。制作の流れは以下である。（付録図4-2を参照）

(1) 油粘土彫刻による原形制作
(2) ウレタンゴムを利用し、原形型取りと内型制作
(3) 内部骨格と内装メカニズムの制作
(4) スキンシリコーン素材による成型
(5) 組み立て、外皮のつなぎ目等の修正
(6) ペイント、仕上げ
(7) プログラミング

付録図4-3の骨格にMUを適用し、各MUとスキンシリコーンのムービングポイントの位置を合わせてスキンシリコーンを被せ、付録図4-1のようにアニマトロニクスで表現した。表情表現の目的のため、制作に3ヶ月以上要する眉毛や髪の毛の表現は排除した。

骨格のフレームや口腔構造等は FRP (Fiberglass Reinforced Plastics) から制作をおこなった。



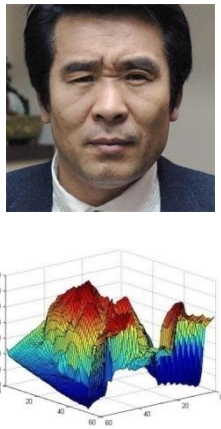
実際モデル　　アニマトロニクスによる表現

付録図4-1. スキンシリコーンを被せたアニマトロニクス

1

寸法測定や原型制作

2



ムービングポイントの
位置や動作の測定・分析

3

各種鋳型の製作及び
スキン・シリコーンによる成型作業

4

MUによる内装
メカニズムの制作

5

塗装による細部描写

6

組み立て、コントローラ
製作やプログラミング

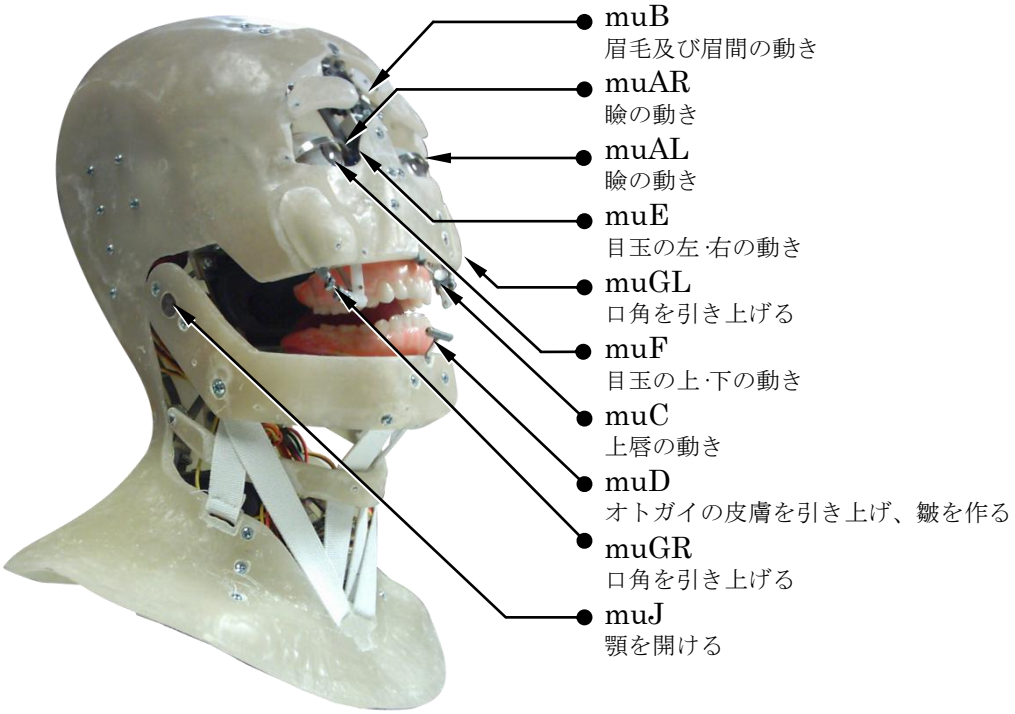
7

眉毛、ひげ、髪の毛等の表現

8

人間モデルとアニマトロニクスの比較

付録図 4-2. 顔ロボットの制作過程



付録図4-3. 動きを担当するMU

機械的な付属品はジュラルミン（Duralumin）で制作し、アクチュエータとスキンシリコーンの間はケーブルを用いて連結した。目玉はシリコーン·プラスチックを用いて制作した。

目玉の大きさは 25 mm、虹彩の大きさは 12 mm、眼球の回転の中心は角膜の表面から深さ 13.5 mm 等にして、人間の平均寸法を適用した。[35]舌と皮膚はスキン·シリコーンを用いてほくろのみならず、しわや毛穴まで表現し、触れても人間の肌のように感じられるように制作を行った。

スキン·シリコーンの厚さは人間のように瞼部分の1 mm、顔面部の平均2 mm、以外は平均4 mmになるようにした。

韓国人の平均、顔の軟組織の厚さに対する資料はハンスンホ等［36］の超音波を利用した間接計測と、ギムヒジン等［37]，［38］による直接計測資料を参考にした。

筋肉を担当するアクチュエータとしては6 VのRCサーボモーターを用い、付録図4-3のように顔を表情表現するためにmuB，muE，muF，muC，muD，muJは各1個ずつ、muA，muGは各2個ずつにし、重要な10個のMUを選んで適用した。

アニマトロニクスの制御はRoboBasic2.5を用いてプログラミングし、RS232C方

式でコンピュータと伝送を行った。

この顔ロボットの仕様を付録表4-1に示す。

顔ロボットは8個のMUグループとして、10個のMU（アクチュエータ）だけでFACSの58個のAU中、30個以上のAUが表現できることが観察された。また、付録図4-4のようにAU以外の様々な表情や微妙な表情まで表現することができ、より効率的な表現が可能であることを示すことができた。

付録表4-1. 顔ロボットの仕様

区分	仕様
サイズ	450（高さ）× 265（幅）× 215（奥行き）mm
重量	3.9 kg
頭部サイズ	245（高さ）× 175（幅）× 215（奥行き）mm
コントローラ	ATMEL 89C4051 MPU
メモリ	Prochips 24LC32 eeprom
アクチュエータ	DC 6 V サーボモータ10個
電源	AC 100 V, 50/60 Hz, 57 VA
制御部電源	DC 5 V, 4A（AC 110 V アダプターキット）
モータ部電源	DC 6 V, 4A（AC 110 V アダプターキット）
PC接続形式	RS232C
入力端子	3.5 mm　AUXジャック、RS232C入力ジャック
出力	120 W, 4 Ω, 80 Hz ～ 20 KHz スピーカー1個
プログラミング	RoboBasic
皮	スキン･シリコーン（ショア硬度10, 粘度23,000 cps, 引き裂き強度 102 pli, 破壊伸び 1000%）

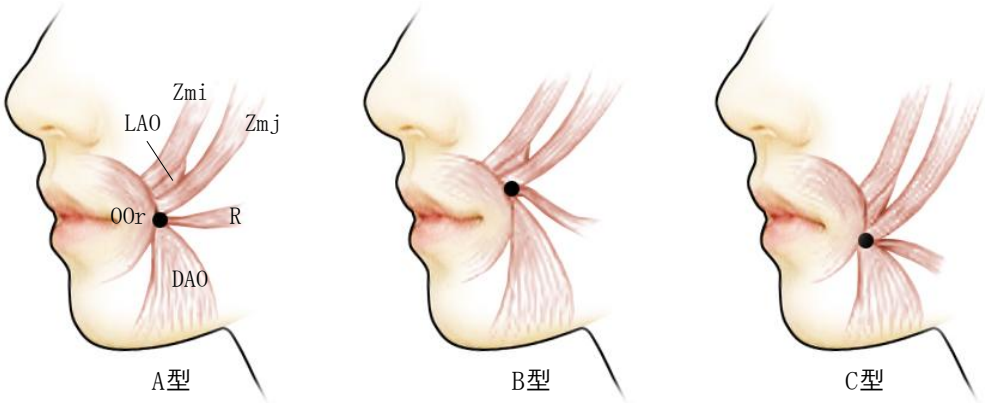
付録図 4-4. Bモデルによる感情表現の応用の例

付録5. 口角筋軸についての考察

口角筋軸（Modiolus anguli oris）とは口周辺の表情筋が集まっている部分であり、表情の変化にとって重要な役割を担う。口角筋軸に集まっている筋肉は10本の筋肉で構成されている。また、口角筋軸がある口周辺の筋肉は、三層からなる浅層部と一つの深層部の合計四つの層で構成される［39］。表面部分の第一層は浅い部分で構成されている筋肉として、口角下制筋（depressor anguli oris m.）、口輪筋（orbicularis oris m.）、大頬骨筋（zygomaticus major m.）がある。二番目の層は広頚筋（platysma m.）、笑筋（risorius m.）、小頬骨筋（zygomaticus minor m.）、上唇鼻翼挙筋（levator labii superior alaeque nasi m.）と大頬骨筋の深い部分で構成されている。三番目の層には上唇挙筋（levator labii superioris m.）と口輪筋がある。一番深い四番目の層は口角挙筋（levator anguli oris m.）、オトガイ筋（mentalis m.）、頬筋（buccinator m.）で構成されている［40］。口角の周辺である口角筋軸の位置と周辺の構造に対する理解は、解剖学的な側面のみならず、歯科補綴学、言語フィジオロジーを必要とし、人の顔表情を基盤とするアニメーションやコンピューターシミュレーションに必要不可欠な要素である。

付録5-1. 口角筋軸の解剖学的な位置

付録図5-1は口角筋軸の周辺の顔筋肉が集まって合される部位を、口角連結線



OOr：口輪筋(orbicularis oris m.)、DAO：口角下制筋(depressor anguli oris m.)、
Zmj: 大頬骨筋(zygomaticus major m.)、 Zmi：小頬骨筋(zygomaticus minor m.) 、
R：笑筋(risorius m.)、LAO：口角挙筋(levator anguli oris muscle m.)
（出典：Kyung-Seok Hu, 2005）［46］

付録図5-1. 口角筋軸の類型

(intercheilion horizontal line、両方の口角点（ケイリオン[ch]：cheilion、口角で上赤唇と下赤唇の外端が移行する点）を連結した水平線)を基準にして、口角筋軸の高さにより、以下の三つの類型に分類したものである［40］。

A型 ： 口角筋軸が口角連結線上の口角点の横側に位する場合
B型 ： 口角筋軸が口角連結線より上側に位する場合
C型 ： 口角筋軸が口角連結線より下側に位する場合

口角筋軸は人種、国、個人によって位置が違い、特に付録表5-1のように韓国人や日本人のような黄色人種にはC型が、黒人はA型が、白人はB型が多い。

また、韓国人の口角筋軸の位置は図2-2のように、左側と右側で同じように、口角点の横側 10～20 mm 内と口角連結線の下方面 0～10 mm 内の部分に位する場合が一番多い［40］。

付録表5-1. 口角筋軸の類型の比較（Kyung-Seok Hu, 2005）［40］

Race	Type		
	A	B	C
Korean (n = 77) (Kyung-Seok Hu, 2005)[40]	20 (26.0%)	12 (15.6%)	45 (58.4%)
Japanese (n = 193) (Shimada & Gasser, 1989)[41]	29 (15.0%)	77 (39.9%)	87 (45.1%)
Caucasian (n = 86) (Shimada & Gasser, 1989)[41]	17 (19.8%)	38 (44.2%)	31 (36.0%)
African Negroid (n = 82) (Greyling & Meiring, 1992)[42]	56 (68.3%)	17 (20.8%)	9 (10.9%)

Numerical is the number of samples observed.

(Kyung-Seok Hu, 2005) [45]

付録図5-2. 韓国人の口角筋軸の位置（dot: center of the modiolus, unit: mm)

付録5-2. 笑筋の形態分類

付録図5-3のように口角筋軸に附着された顔筋肉の中で、笑筋は筋肉の方向によって五つのタイプに分類される。[40]

I 型：三角型笑筋（triangularis-risorius, TR）
笑筋が口角下制筋の方へ斜め下に向き、さらに広頚筋の方へ折れ、その幅が広がっていく場合

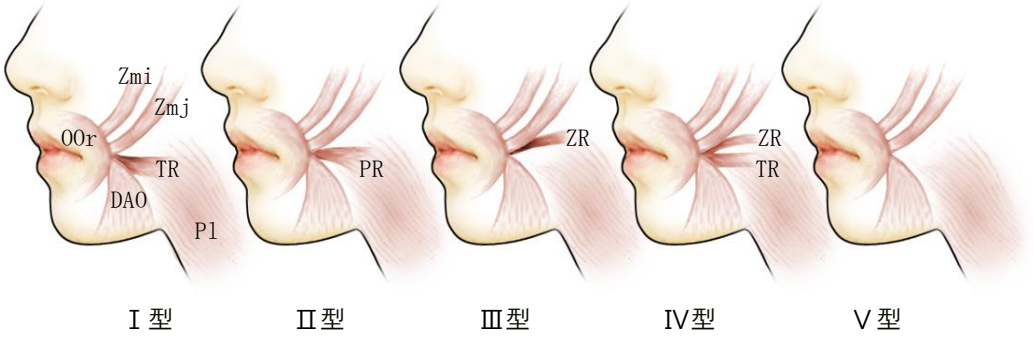
II 型：広頚型笑筋（platysma-risorius, PR）
笑筋が横側の広頚筋の方へ水平に広がっていく場合

III 型：頬骨型笑筋（zygomaticus-risorius, ZR）
笑筋が大頬骨筋の方へ斜め上に広がっていく場合

IV 型：混合型（PR±ZR, PR±TR, ZR±TR）
I, II, III型の筋肉形態が二つ存在する場合であり、頬骨ではなく、肌下組職や他の筋肉から笑肉ができている。

V 型：ない場合（none）
笑筋が存在しない場合

また、韓国人の笑筋の形態分類はI型が40.2%、II型が39.0%、III型が2.6%、V型が5.2%であり、IV型は13.0%であり、そのうちPR±ZRが6.5%、TR±ZRが3.9%、TR±PRは2.6%である［40］。



OOr：口輪筋(orbicularis oris m.)、DAO：口角下制筋(depressor anguli oris m.)、
Zmj: 大頬骨筋(zygomaticus major m.)、 Zmi：小頬骨筋(zygomaticus minor m.)、
R：笑筋(risorius m.)、Pl：広頚筋(platysma m.)

（出典：Kyung-Seok Hu, 2005）[45]

付録図5-3. 笑筋の形態分類

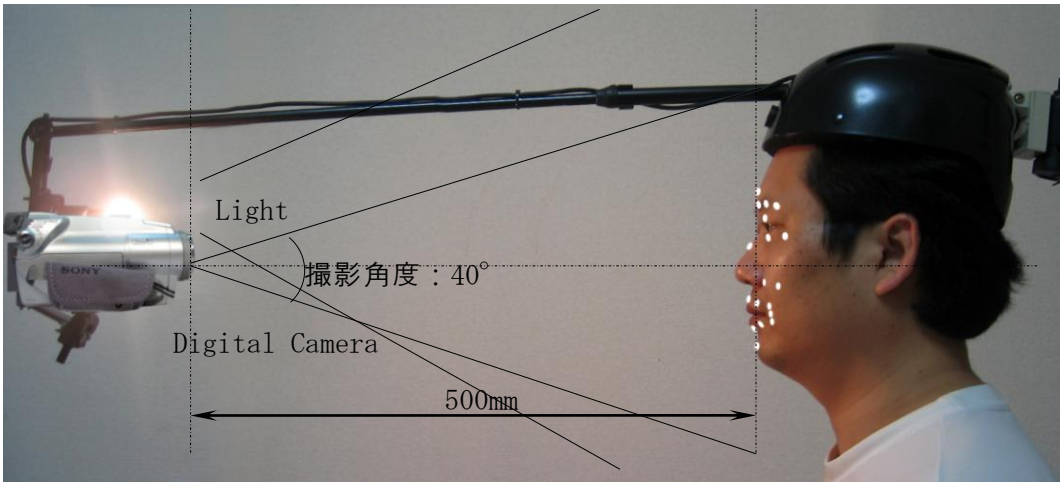
付録 6. MU を用いた顔筋肉ロボットの製作

付録 6-1. MU を用いた顔筋肉ロボットの製作ための モーション・トラッキングの抽出実験

モーション・トラッキングは、人間などの動きのデータを取り込むもので、体の表面（主に関節に近いところ）にマーカーを付け、各マーカーの動きを2次元・3次元空間での数値データとして計測を行う分析方法である。モーション・トラッキングには、計測したいポイントに反射マーカーやLEDマーカー等を貼り付け、カメラで撮影した画像からマーカーの位置を計算する「光学式（ワイヤレス方式）モーション・トラッキング」や、計測ポイントに磁気センサを貼り付けて、磁気発生装置による磁界の影響範囲でセンサの位置検出を行う「磁気式（ワイヤード方式）モーション・トラッキング」などがある。

本実験には動きに制約されない反射マーカーを用いた光学式モーション・トラッキングシステムを利用した。顔のモーション・トラッキングは、マーカーが陰にならない、カメラに映らなくなることがなく、撮影範囲内での自由な動きのデータを得ることが可能であり、前後のマーカーなどから補正をする必要性がない［43］。

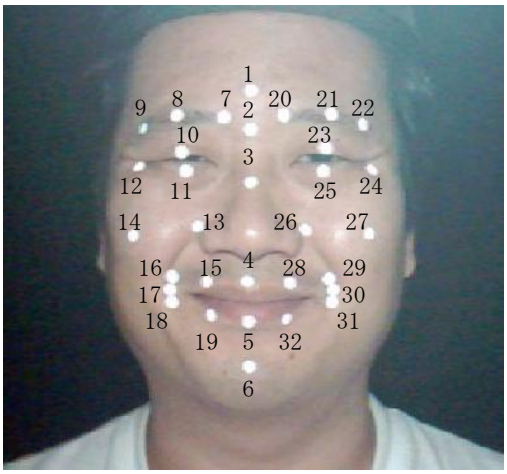
本実験は、ロボットにおいて表現の難しい顔筋肉ロボット製作のための予備実験である。特に、表情の変化にとって重要な役割を担う口角筋軸（付録5参照）の位置把握及び顔のムービングポイントの動作量を分析することを目的とする。



付録図6-1. 実験装置

実験対象として実験1の被験者中、表情の表現率が高い人を選んだ。

実験装置は付録図 6-1 に示したように、実験 2 で用いたものを利用した。ただし、より詳しいデータを得るために、カメラは SONY DCR-TRV75 を用いて、1 秒当たり 29.97frame で撮影を行った。



付録図6-2. 反射マーカーの位置

反射マーカーの貼り付ける位置は、「3 次元顔表情の生成手法に関する研究 ： 顔の特徴線と表情皺による形状の表現」（河野央、2003.12）[44]と法医学の顔面復元（Facial Reconstruction）［45］～［49］を参考にし、筋肉と皮膚のつながっているムービングポイントを選んだ。さらに、口角筋軸の位置の分析のため、口角連結線の両方の横側 15mm とそれを基点に口角連結線の上・下方面 7mm の部分にマーカーを貼り付け、計 32 個の反射マーカーを付録図 6-2 に示した位置に貼り付けた。マーカーの位置は以後の実験にも同じく適用する。

モーション・トラッキングの分析には Innovision Systems 社の MaxTRAQ v2.00 を用いた。

被験者によるモーション・トラッキングの実験結果より、各マーカーの移動距離や口角筋軸の位置等が分かった。しかし、本実験は FACS で重要と示されている 17 個の AU だけを対象にしたため、完全ではない。

例えば、17 個の重要と表示されている AU に入ってない AU43（Eyes Closed）の実験が行われなかったため、瞼を閉じた場合の結果はない。瞼の動作をトラッキングする 10 と 23 のマーカーについては瞼を閉じる場合の動作範囲は本実験の結果値より長くなる。そのため、顔筋肉ロボットにおける駆動ユニットの制御においては、表 6-2 の結果値を参考し、調節して用いることとする。

また、口角筋軸の位置を調べるためのマーカー、16，17，18，29，30，31 の軌跡より、被験者は C 型の口角筋軸であることが分かった。

この実験で得たデータを顔筋肉ロボットのムービングポイントや駆動ユニットの制作に際し、参考にした。

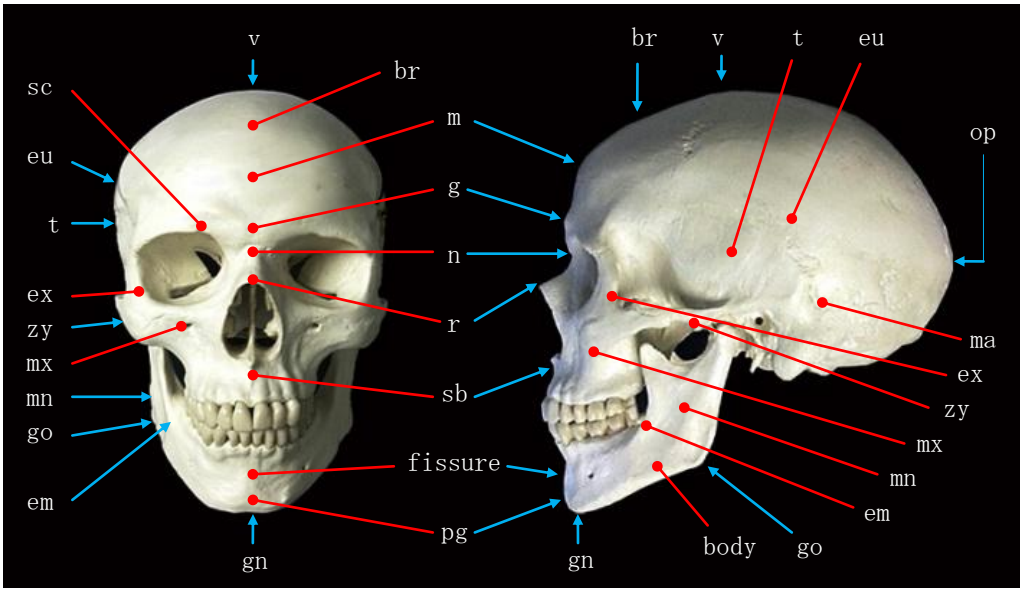
付録 6-2. 頭蓋骨の模型からの顔面筋肉の復元

本研究では、ベースとなる頭蓋骨の模型を韓国人のものと仮定した。法医学の顔面復元（Facial Reconstruction）の技術を利用し、韓国人の顔の標準軟組職の厚さを適用し、筋肉モデルを制作した。顔の復元術にはまず、性別、年齢の推定、次段階で対象になる人口集団（国、人種等）に対する顔各部位の厚さに対する平均値が必要であり、頭蓋骨の形態と顔立ちとの係わり合いに対する資料が必要である。

顔の軟組職の厚さの計測法は、おもに顔に計測針を差し込んで計測する直接計測法と、超音波やコンピューター断層撮影（MRI）などを利用した間接計測法がある（Lenedinskaya など 1979、Veselovskaya 1989、Manhein など 1998）。韓国人に対する資料はハンスンホら（1998）の超音波を利用した間接計測とギムヒジンら（1999）による直接計測資料があり、頭蓋骨の形態と顔の見かけとの関係は1988年、 Speranskyによって体系化された。現在、顔の軟組職の厚さに対する資料は人類学、法医学、人体工学、デザインなど各分野で活発に活用されているが、ロボット分野ではあまり活用されていない［37］。

付録図6-3のように重要な地点にランドマーク（landmarks）を決め、それぞれの地点の軟組職の厚さを表示する。顔の軟組職の厚さは体重が増加すれば正中面のブレグマ（bregma, br）、鼻根点（nasion, n）、鼻骨点（rhinion, r）、鼻下点（subnasale, sb）、顎唇間点（chin-lip fissure, fissure）、オトガイ点（グナチオ、gnathion, gn）、そして仮側面の上顎点（maxillare, mx）、（temporale, t）を除くすべての計測点で厚くなり、特に下顎角点（gonion, go）、奥歯外点（exomolare, em）が厚くなる。その他、頬骨弓点（zygion, zy）、下顎体点（mandibular body, body）、乳様突起点（mastoidale, ma）、前頭骨結節点（metopion, m）で体重による軟組職の厚さの変化を顕著に確認することができる。即ち、体重増加の際には顔の先方より額部位と顔の側面部位、特にほおとあごの下部位の軟組職の厚さが厚くなる。年齢による変化量はほとんど些細であり、年齢を取れば体重が減少して、上のような結果が出る。[37]

付録表6-1は皮膚の表面までの軟組職の厚さのデータであり、皮膚組織の厚さを抜き取ったデータを利用した。皮膚は空気に触れている側から、表皮・真皮・皮下組織の3種に分かれている。皮膚の厚みのほとんどを占めている真皮は、約1～3㎜の厚さがあり、頭部や顔の額、鼻などで約2ミリである。表皮・真皮・皮下組織を含めても平均約1～4㎜であり、特に瞼は1㎜である。[35]



付録図6-3. 頭蓋骨計測基準ランドマーク(Anthropometric landmarks)の位置

付録表 6-1. 各国別の顔の軟組職の厚さ (Unit: mm) [37]

	Korean (1999)		North Korean (1988)		Japanese (1948)		Japanese (1960)	South Africans (1996)		White Americans (1984)	
Items	M	F	M	F	M	F	M	M	F	M	F
vertex	5.3	5.2	–	–	–	–	–	–	–	–	–
bregma	5.0	4.7	–	–	–	–	–	–	–	–	–
metopion	3.8	3.6	4.5	4.5	2.6	2.0	3.1	–	–	–	–
glabella	4.5	4.7	5.1	5.4	3.4	3.2	3.6	5.5	5.6	5.3	4.8
nasion	4.8	5.0	4.5	4.4	3.7	3.4	3.8	4.0	4.7	6.5	5.5
rhinion	3.1	2.8	2.8	2.9	2.0	1.6	2.0	2.9	2.8	3.0	2.8
subnasale	8.2	7.0	–	–	9.9	9.4	10.1	12.3	10.1	10.0	8.5
Chin-lip fissure	9.0	9.0	11.3	11.1	9.2	8.5	8.7	12.0	11.7	10.8	9.5
pogonion	7.6	7.6	10.6	11.1	6.4	5.3	10.8	8.9	9.6	11.3	10.0
gnathion	5.6	5.4	6.3	6.5	3.5	2.8	4.5	6.6	6.5	7.3	5.8
superciliare	5.1	5.5	5.2	5.2	4.1	3.6	4.6	4.5	4.8	8.3	7.0
ectochonthion	4.2	4.8	–	–	–	–	–	–	–	–	–
eurion	6.6	5.7	–	–	–	–	–	–	–	–	–
mastoidale	6.1	6.1	–	–	–	–	–	–	–	–	–
zygion	6.3	7.2	4.7	5.6	3.3	2.9	5.3	6.5	9.3	7.3	7.5
temporale	7.8	6.9	–	–	–	–	–	–	–	–	–
mandibulare	15.7	15.7	17.0	17.0	12.2	10.4	16.1	–	–	–	–
gonion	6.7	6.5	4.6	5.4	6.0	4.9	8.8	14.2	13.3	6.8	4.0
mandibularbody	8.7	8.5	12.8	14.6	–	–	–	–	–	–	–
maxillare	9.5	9.7	13.2	13.9	–	–	–	6.0	6.4	5.8	6.0
exomolare	16.9	18.7	–	–	11.9	12.3	18.0	12.7	13.0	20.0	19.3

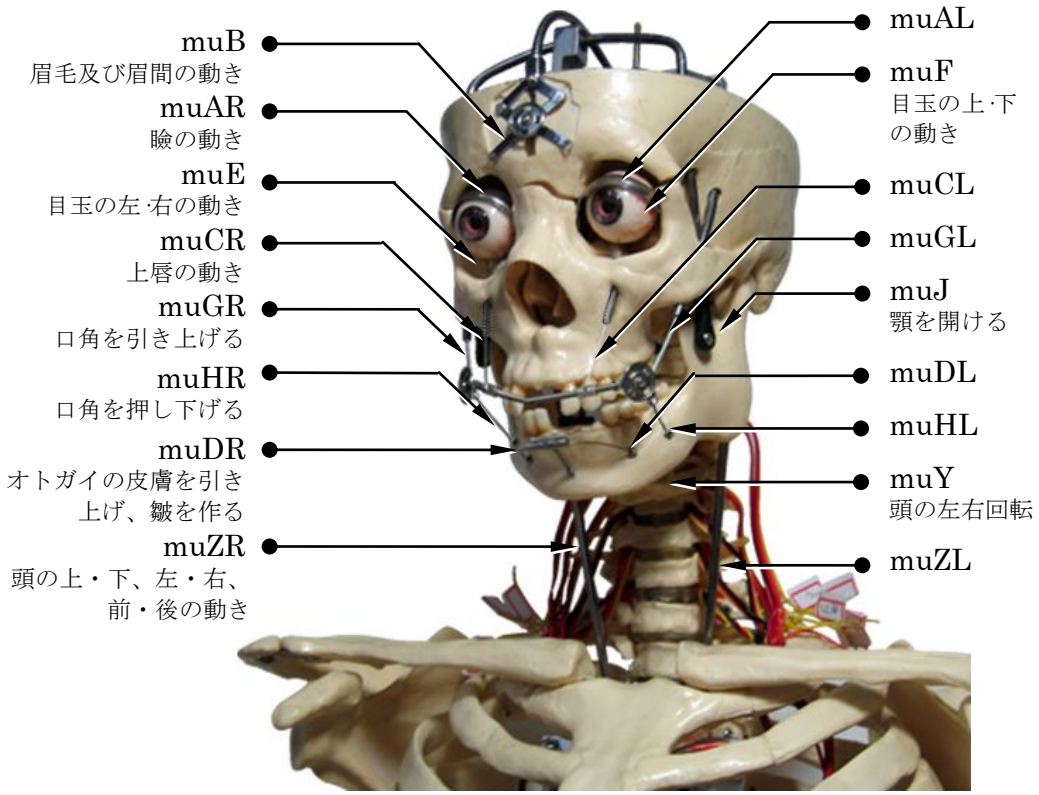
付録6-3. 顔筋肉ロボットの制作過程

実際の顔筋肉ロボットにMUを適用し、制作を行った。特に重点をおいて制作した部分は口角筋軸である。付録5に記述した口角筋軸は、顔表情の表現で重要な部分を占める。このような理由で口部分のアクチュエータとしてサーボモーター6個を使用し表現を試みた。

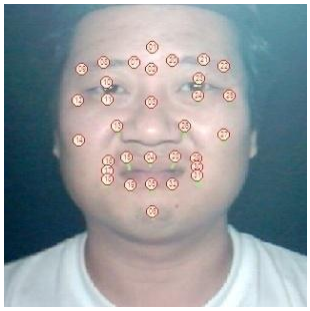
筋肉を担当するアクチュエータとしては6VのRCサーボモーター15個を用い、付録図6-4のように顔の表情を表現するために11個のMUグループを適用した。

しかし、頭蓋骨の空間制限のため、muCL, muCRとmuHL, muHRは各々1個ずつのアクチュエータを用い、muB, muE, muF, muC, muH, muJ, muYは各1個ずつ、muA, muG, muD, muZは各2個ずつで表現し、総15個の重要なMUを選んでアニマトロニクスに適用した。

顔筋肉ロボットは通常のアニマトロニクスとは異なり、付録図6-5のような流れで制作を行った。

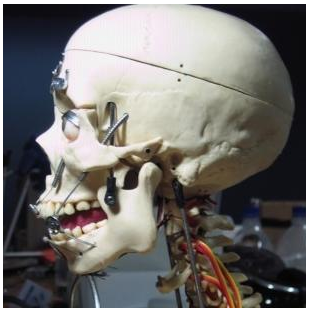


付録図6-4. 動きを担当するMU

1

筋肉の位置や動き測定・分析

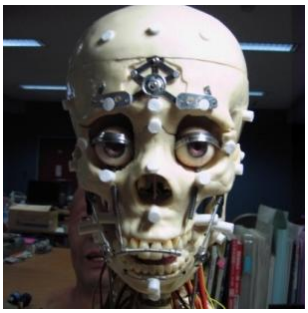
2

ベースとなる頭蓋骨の手入れや歯や目玉等の制作・付着

3

頭蓋骨の模型にムービングポイントの位置を選定

4

MUによる内装メカニズムの制作

5

頭蓋骨計測基準ランドマークの付着

6

油粘土彫刻による筋肉の原形制作

7

ウレタンゴムによる原形型取り作業と内型制作

8

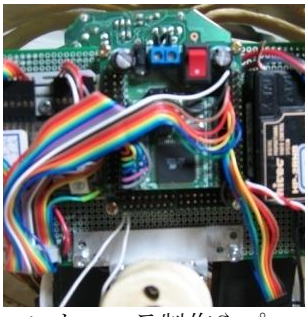
スキンシリコーン素材による成型作業

9

組み立て、外皮のつなぎ目等の修正

10

血管や神経の表現

11

コントローラ制作やプログラミング

12

完成

付録図6-5. 顔筋肉ロボットの制作の流れ

歯と目玉等は FRP（Fiberglass Reinforced Plastics）や液体プラスチック（Liquid Plastics）を用いて制作した。機械的な付属品はジュラルミン（Duralumin）で制作し、アクチュエータとスキンシリコーンの間はケーブルを用いて連結した。舌と筋肉はスキンシリコーンを用いて制作を行った。

アニマトロニクスの制御にはRoboBasic2.5を用い、RS232C方式でコンピューターと伝送した。この顔筋肉ロボットの仕様を付録表6-2に示す。

付録表6-2. 顔筋肉ロボットの仕様

区分	仕様
サイズ	560（高さ）× 300（幅）× 300（奥行き）mm
重量	7.8 kg
頭部サイズ	245（高さ）× 175（幅）× 215（奥行き）mm
コントローラ	ATMEL 89C4051 MPU
メモリ	Prochips 24LC32 eeprom
アクチュエータ	DC 6 V サーボモータ15個
電源	AC 100 V, 50/60 Hz, 57 VA
制御部電源	DC 5 V, 4A（AC 110 V アダプターキット）
モータ部電源	DC 6 V, 18A（AC 110 V アダプターキット）
PC接続形式	RS232C
入力端子	3.5 mm　AUXジャック、RS232C入力ジャック
プログラミング	RoboBasic
筋肉	スキンシリコーン（ショア硬度10, 粘度23,000 cps, 引き裂き強度 102 pli, 破壊伸び 1000%）

付録表 6-6. 顔筋肉アニマトロニくずによる基本表情の MU 表記

AU / 区分	喜びの表情	悲しみの表情	怒りの表情
表情			
MU	A60+G150+J110	A70+B150+C110 +G95+D50+H150	A170+B30+C110 +D110+J110

AU / 区分	嫌悪の表情	驚きの表情	恐れの表情
表情			
MU	A80+B40+C30+J110	A190+B190+D80+J150	A110+B150 +G30+H30+J110

MU を用いた顔筋肉ロボットは微細な制御ができるため、微妙な表情表現ができる。例えば、付録図 6-7 に示したようにこれまでのロボットやアニマトロニクスでも表現ができなかったオトガイ筋の表現も可能であることが分かった。

顔筋肉ロボットには、実験で行った 17 個の AU にあたる MU 以外の muE, muF, muY, muZ もあり、muE, muF は目玉の動作を、muY, muZ は首の動作を表現できる。muY, muZ は、付録図 6-8 のように一つのアクチュエータで構成され、muY は AU51 と AU52 を、ふたつのアクチュエータで構成される muZ は AU53, AU54, AU55, AU56 の動作を担当する。このように、ほとんどの MU は一つ以上の AU を担当して動作を行い、MU を組み合わせて様々な表情表現ができる。

顔筋肉ロボットは 11 個の MU グループとしてサーボモーター15 個を組み合わせ、今まで発表された FACS のすべての AU62 個中 36 個以上を、2002 年に発表された新しいバージョンの FACS の AU44 個中で 30 個以上を表現することができる。

また、サーボモータの発達でリップシンク（lip-sync）の表現も可能である。ハイスピードサーボモータの場合、モータの速度は 0.08 sec/60° であり、リップシンク（lip-sync）の表現に用いることができる。

付録図6-7. muDによるオトガイ筋の表現

AU51
(muY10)

AU52
(muY190)

AU53
mu(ZL170+ZR170)

AU54
mu(ZL10+ZR10)

AU55
(muZR190)

AU56
(muZL190)

付録図6-8．首を担当するmuYとmuZの動作の例

付録6-3. 顔筋肉ロボットに対するニュースや記事

顔筋肉ロボットにおける表情表現は海外の有名な言論等に好評を博した。

- BBC News：
  - 「Tour of LA robot show」, http://news.bbc.co.uk/2/hi/technology/7560506.stm
  - 「Robots that are more human?」, http://news.bbc.co.uk/2/hi/technology/7560120.stm
- ABC, ナショナル・ジオグラフィック (National Geographic)：
  - 「Robots "Express Themselves"」、http://news.nationalgeographic.com/news/2008/09/080910-robots-video-ap.html
  - 「The Year in Robot, 2008」, http://video.nationalgeographic.com/video/player/news/space-technology-news/robot-review-apvin.html
- 星島日報：
  - http://www.singtao.com/oversea/0813ao42.html
- 以外の記事
  - http://www.engadget.com/2008/09/11/photo-real-robotics-to-keep-toddlers-and-the-elderly-from-frea/
  - http://www.computersculpture.com/Pages/Index_Blog.html
  - http://www.eylence.az/blogs/index.php/MrXXX/2008/09/18/adam_sife_tli_robot#comments
  - http://botropolis.com/tag/robotics/
  - http://www.epl.ee/artikkel/442714