

## 人間型頭部ロボットの開発

高西淳夫

早稲田大学理工学部

日本の製造業の中心的存在としてその牽引役を果たしてきた大企業が、一般家庭への普及をも視野に入れた人間あるいは生物の形をした非製造業用のロボットを続々と開発し、国内だけでなく世界的にも大きな社会的インパクトを与えた。まだまだ絶対数としては少ないものの、ロボット産業のマーケットについても大きな変化が起こりつつある兆ではないかと思われる。人間を相手にするロボットはどんなものでも、人間の心や感性との係わりを持つことになる。つまり、それらのロボットには単なる機械的機能の実行能力だけでなく、コミュニケーション能力や生命性 (Life/Human/Animal-likeness) も要求されることになる。本講演では、筆者らが人間とのスムーズなコミュニケーションの実現へ向けて 1990 年代中盤より開発を行ってきた人間型頭部ロボットについて、その周辺状況のなども含めて述べることにする。

### Development of Anthropomorphic Head Robots

Atsuo Takanishi

Department of Mechanical Engineering, Waseda University

In this report, the authors have developed an anthropomorphic head-eye robot which can communicate naturally with a human. We present results on the robot 'WE-3R IV' (Waseda Eye No.3 Refined IV) having new functions of 'the olfactory sensation' and 'expressing its facial color' and expressing its emotions based upon "Equations of Emotion" through facial expressions and neck motions.

#### 1. はじめに

今、21 世紀を目前にした期待と不安の交錯するグローバル化の中で、日本のみならず世界が大きな変貌を遂げる渦中にあることに疑いを持つ人はもはやいないであろう。産業革命以来これまで、世界経済推進の中心的役割を果たしてきた産業分野は言うまでもなく製造業であった。ロボットの応用分野も同様で、これまでは製造を目的としたいわゆる産業用ロボットが他を圧倒していた。しかし近年、光ファイバー、インターネット、パソコンなどの高度情報インフラの普及、ならびに情報・通信に関する規制緩和などが進み、ロボットの応用範囲も製造業から情報・サービス産業へとシフトしているかに見える。

このような背景のもと、ソニーがペット型ロボットの AIBO とヒューマノイドの SDR-3X、テムザックが遠隔操縦式人間型ロボット TMSUK-4、本田技研がヒューマノイドの P3 や ASIMO、松下電器がペット型情報端末の TAMA、NEC がパーソナル・ロボットの R100 や PaPeRo、オムロンが猫型ペットロボットを相次いで発売あるいは発表した。このように日本の製造業の中心的存在としてその牽引役を果たしてきた企業が、一般家庭への普及をも視野に入れた人間あるいは生物の形をした非製造業用のロボ

ットを続々と開発し始めた。また、通産省でも次世紀を担う新産業の創生を目指してヒューマノイドの開発と応用研究を行う大型プロジェクト「人間協調・共存型ロボットシステム」を3年前より開始し、2000年7月末にその技術的成果を同省機械技術研究所において一般に公開した。これらは新聞やテレビなどマスコミで大々的に報じられ、国内だけでなく世界的にも大きな社会的インパクトを与えた。

ところで上述のロボットに限らず、人間を相手にするロボットはどんなものでも、人間の心や感性との係わりを持つことになる。つまり、それらのロボットには単なる機械的機能の実行能力だけでなく、コミュニケーション能力や生命性(Life-likeness)も要求されることになる。しかも商品になるとすれば、なお更、その重要度が増してくる。本講演では、筆者らが人間とのスムーズなコミュニケーションの実現へ向けて1990年代中盤より開発を行ってきた人間型頭部ロボットについて、その周辺状況のなども含めて述べることにする。

## 2. 人間型頭部ロボット開発の背景

人間形ロボットにおける頭部の必要性・重要性は、情報处理的にも形態的にも疑いのないところであろう。人間の生活環境のように刻々と変化する未知空間への対応が要求される場合、移動物体の注視など広範囲にわたる視覚情報は欠くことができない。また頭部の中でも特に目を中心とした顔面は、ロボットの意図や志向、あるいはよりユーザーフレンドリーに、感情などを最も表現しやすい部位であり、人間とロボットとのスムーズなコミュニケーションにとって極めて重要である。

人間と同じように3ないし4自由度を有する2眼機構を用いた画像認識システムの開発例は多数あるが、直接に人間形ロボットへの応用を目指したものは、以前はそう多くはなかった。例としては電総研の國吉らによるE S C H e R(エッシャー)がある。E S C H e Rは、4自由度の2眼駆動機構をもち人間のような中心窩のあるレンズの付いたCCDカメラを装備し、それを2台のINMOS社製トランスピュータT805を用いてサーボ制御している。眼の運動性能は最大で140~400°/秒で、人間のそれの約30~70%となっており、ニューラルネットワーク等を用いた画像認識機能を実現している。

一方、視覚認識ではなく人間に対してよりユーザーフレンドリーな印象を与えることでスムーズな人間とロボットとのコミュニケーションの実現を目指した人間形頭部に関する研究もある。1993年に小林らは、表情の表出を目的として、表情表出に19自由度、眼球運動に2自由度そして首運動に3自由度、合計で24自由度を有する顔ロボットを開発した。表情表出用の18の制御点の位置制御により、「上瞼引き上げ」や「ウインク」などの24種類のアクションユニットとよばれる基本動作ができ、さらに「驚き」や「恐れ」など6種類の表情を表出することができる。

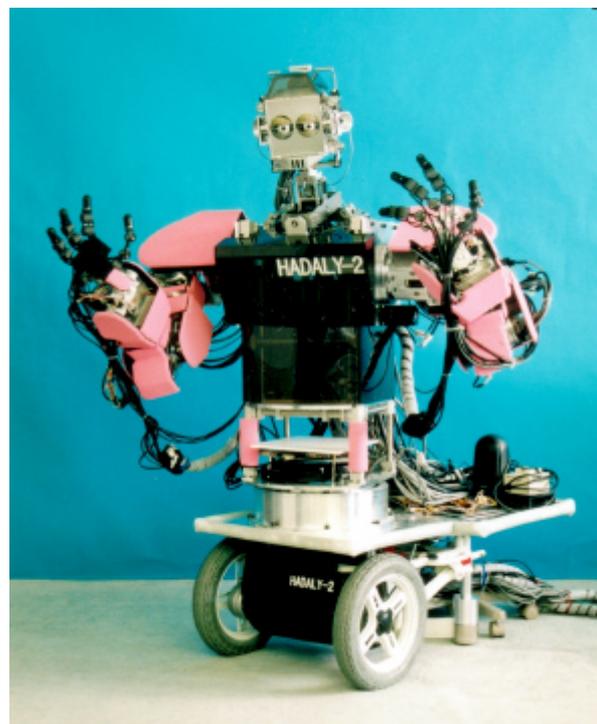


図1 人間型ロボット Hadaly-2 (1997)

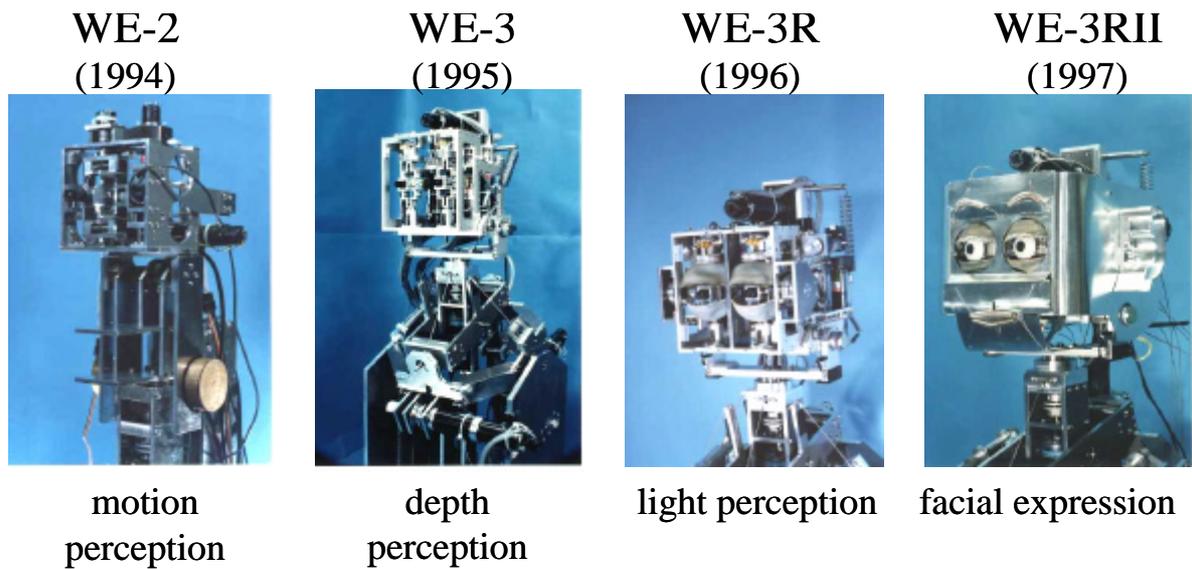


図2 従来の人間型頭部ロボット EYE-ちゃんシリーズ

また、表情そのものではなく眼球・首・臉の協調運動によりユーザーフレンドリーな頭部動作を実現した例として、演者らの WE(Waseda Eye)シリーズがある。1996年に開発された WE-3R (Refined)は、各眼につき眼球運動に2自由度、臉の開閉に2自由度、また首運動に4自由度、全体で12自由度を有し、眼球の運動速度は人間並の  $600 \sim 700^\circ / s$  を達成している。これに生理学的知見をベースにした前庭動眼反射ならびに明暗順応等の協調運動制御プログラムが組み込まれており、注視物の位置および明るさに対して生きた人間のような反射動作を行う。WE-3Rは、図1に示すように早稲田大学で1997年3月21日に公開された人間形ロボット Hadaly-2の頭部として搭載された。

その後、演者らは WE-3R をベースに、顔色の変化も含み眉毛、唇、顎の可動部からなる表情表出メカニズムおよび、これまでの視覚に加えて聴覚、皮膚感覚（触・圧覚と温覚）と嗅覚を付加した。それらの感覚器ならびに内部状態に応じて動的に状態が変化する感情モデル（情動方程式）を適用することで、無感情の状態も入れて喜怒哀楽に関する7つの情動を表出することを實現し、現在に至っている。

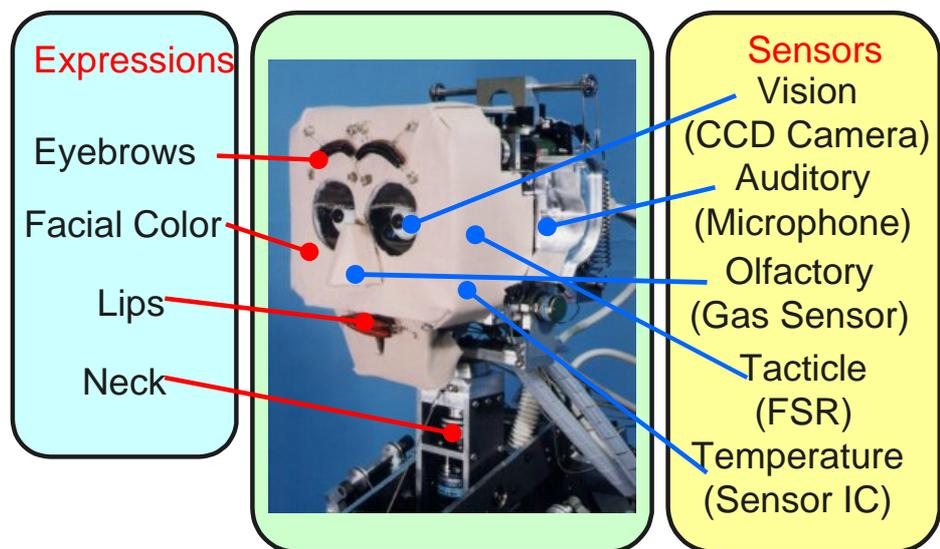


図3 現在のモデル WE-3RIV

### 3. 人間型頭部ロボット WE-3RIV

現在、様々な人間型ロボットやエンターテインメント・ロボットが開発されているが、その生命性のなかでも感情をどう組み込むかということが問題である。しかし、現状では機構学や動力学などのようにきちんと設計論のなかに取り込めるような人間についての定量的な心理モデルや理論はなく、現実には各社とも試行錯誤的に開発を行っているのが実情である。図2に示すように、演者らは数年前から、将来はパーソナル・ロボットの設計論に組み込むことを目的として、人間の頭部の形をしたロボットをEYE-ちゃんシリーズとして開発し、これらを用いた人間の生理ならびに心理モデルに関する研究を行っている。

最新のモデル WE-3RIV (Waseda Eye - No.3 Refined version IV), 通称「EYE ちゃん」は図3に示すように全体で26の自由度を持ち、感覚としては人間の五感のうち視覚、聴覚、嗅覚および皮膚感覚(触覚と温覚)の4つを有している。自由度構成の内訳は首に4、目と脛に左右各々2、眉に左右各々4、口に4、顎に1そして肺に1自由度となっている。感覚器には視覚として眼球の部位に左右1対の CCD

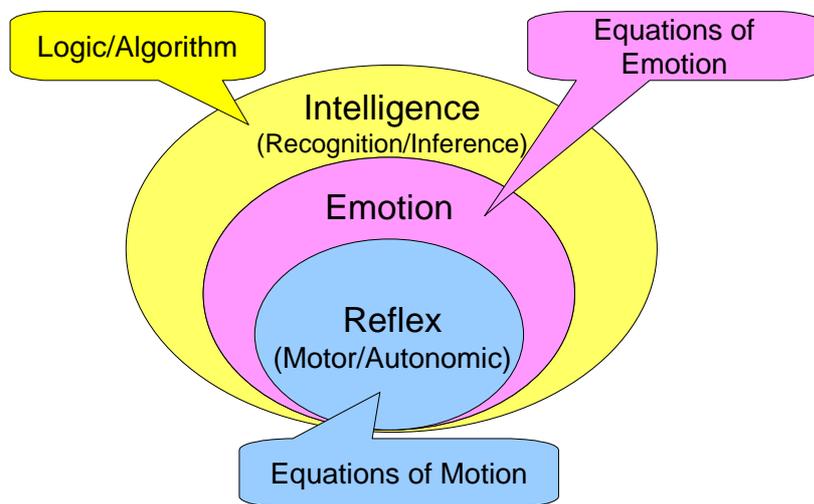


図4 人間の中樞神経系の3層構造モデル

ある。演者は人間の中樞神経系は図4に示すような3層の制御構造を有しているという仮説をもっている。最下位は反射的な制御系で、ここは無意識に歩いたりコップを掴んだりなど「筋骨格系の反射的な運動」、ならびに気温が上がると汗をかいたり明るくなると瞳孔が閉じたりなど「自律神経系の反応」を司っている。最上位は、「立入禁止」と書いてある看板を見ると迂回路を探しながら目的地に行くなどの「知識的あるいは知能的な行動の生成と制御」をする

カメラ、聴覚として鼓膜の部位に左右1対のマイクロフォン、嗅覚として肺と鼻腔をつないだホースの中央に4種類のガスセンサー、皮膚感覚における触覚として2層構造をしたFSR また温覚として半導体温度センサを搭載している。

EYE ちゃんは「無感情」の状態に加えて、「幸せ」、「驚き」、「悲しみ」、「恐怖」、「嫌悪」、「怒り」の全部で7つの感情を表出することが可能で

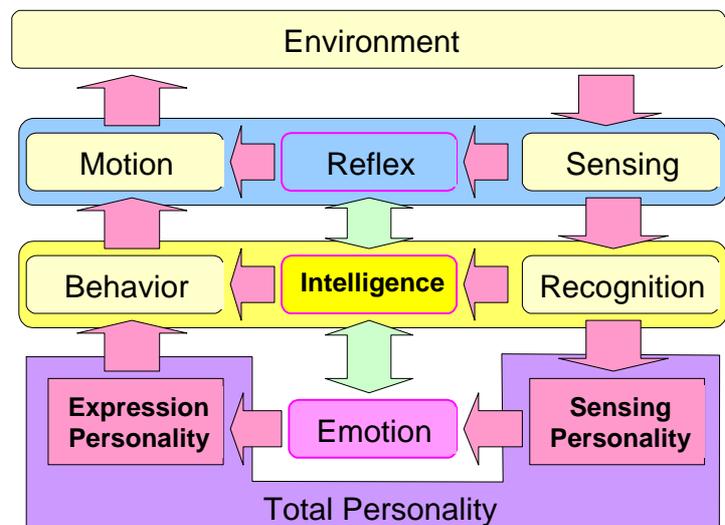


図5 人間の中樞神経系モデルに対応したロボット制御システム

部分である。そして中位が、いやな臭いがすると顔をしかめて鼻をつまむなどの「感情や情動の生成とその表出制御」をする部分である。

さて、最下位の反射制御については、既に制御工学において理論的枠組みが作られ、飛行機のオートパイロットや化学プラントの反応制御など応用例をあげれば枚挙に暇が無く、現在では十分に完成した領域になっている。また、最

上位の知能制御については、まだまだ発展途上ではあるが、既に知識工学や人工知能工学などの工学研究分野があり、現実に自動翻訳、文字認識あるいは音声認識などのパソコン・ソフトが市場に出回っている。このことを考えるとかなり工学に取り込まれている領域だと言えるであろう。しかし、中位の感情や情動については制御戦略に直接適用できるような数理モデルの構築や定式化など工学的な手法がほとんど取り入れられていないというのが現状である。

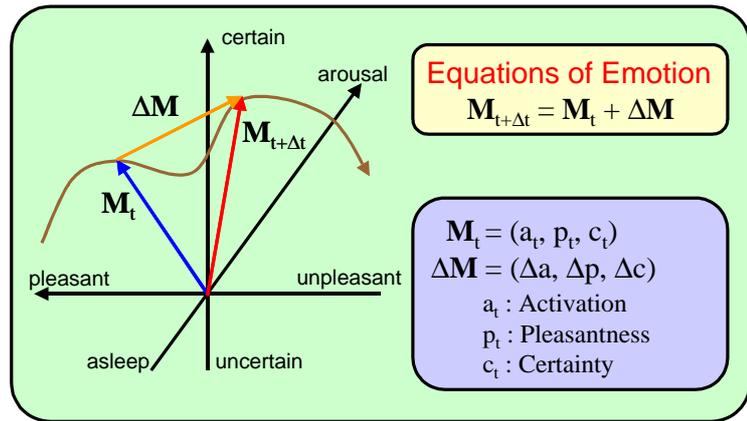


図6 3次元心理空間と情動方程式

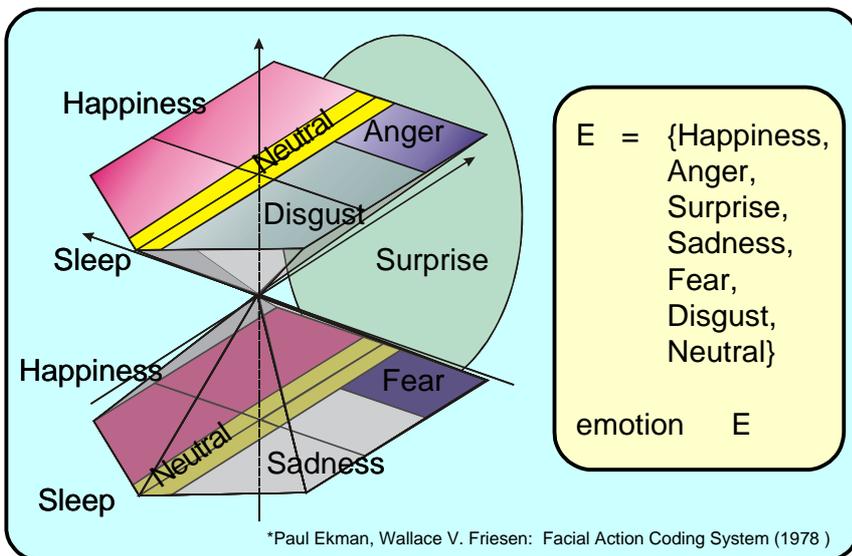


図7 心理空間上の感情マッピング

そこで演者らは、人間の頭

部型のロボットを製作し、これを用いて人間と同じような生理反射的制御だけでなく、感情をも含めた全体的なロボット制御を実現することにより、人間の生理モデルならびに感情や情動に関わる心理モデルを構築できるのではないかと考えた。EYEちゃんの制御系の基本構造を示すと図5のようになる。同図における最

Stimulus	Sensation	$\Delta a$	$\Delta p$	$\Delta c$
Visual	Loose Sight of the Target	-	-	-
	Discover the Target	+	0	+
	Dazzling Light	+	-	0
	Target is Near	+	-	0
	Peripheral Vision	-	0	0
Tactile	Pushed	+	0	0
	Pushed Strongly	+	-	0
	Stroked	+	+	0
Auditory	Hit	+	-	0
	Loud Sound	+	0	0
Temperature	Heat	0	-	0
	Alcohol	-	+	0
Olfactory	Ammonia	+	-	0
	Cigarette Smoke	+	-	0
	No Sense	-	-	$\rightarrow 0^*$
	No Stimulus	-	-	$\rightarrow 0^*$

\* " $\rightarrow 0$ " means to converge at "0"

図8 感受性個性の一例（基本形）

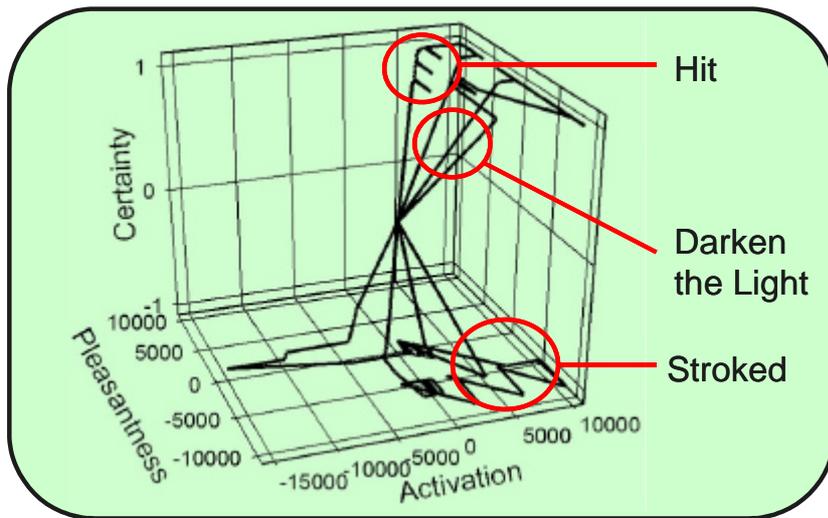


図9 情動軌跡の一例

も上のループは従来の産業用ロボットと同じセンサフィードバック制御あるいは反射制御を行う部分である。次のループは、画像処理や音声認識などさらに高度なセンサ情報処理を行った後に最適な行動をとるなどの智能制御を行う部分である。EYEちゃんでは、さらに感情にもとづいた制御のループを追加することで行動にモディファイをかけるようになっている。その感情制御の部分では、EYEちゃんは

覚醒 - 不覚醒、快 - 不快および確信 - 不確信の3軸によって構成される3次元の心理空間を持っている。図6に示すように、ここに現在の心理状態を表す心理ベクトルと既に述べた4つの感覚情報の認識処理した外部刺激の種類や大きさに応じて心理ベクトルが同空間内を動き回るように微分方程式が定義されている。すなわちロボットの心理状態は、まだまだ簡単なものではあるが微分方程式で定式化され、結果として力学的な特性を持つことになる。演者らは、この微分方程式のことを「情動方程式」と呼んでいる。このとき、上記の7つの心理状態は図7のように3次元心理空間内の領域として定義され、例えば心理ベクトルが「怒り」の領域を通過中は「怒り」の表情を、「幸せ」の領域を通過しているときは「幸せ」の表情を表出する。

ところで各種認識処理をされた情報にどう感情が動くかは一種の感受性と考えることができ図8のような表として定義されている。これにもとづいて外部から一連の刺激を与えた場合の心理状態の変化を心理空間上の軌跡として表したものの一例を図9に示す。

#### 4. おわりに

図8に示した感受性の表はその一例であり、この表の内容を変えれば様々な異なる感受性を定義でき、結果として様々な感受性を持ったロボットを造り出すことができる。また、前章では述べなかったが、上述の心理モデルにより感情が決まった後、例えば人間に内気な性格や率直な性格などがあるように、それをどう表出するか（表出性）も様々な変えることが考えられる。そして感受性と表出性を組み合わせれば千差万別のパーソナリティを持ったロボットを無尽蔵に造り出せることになる。演者らは、人間にも個人間の相性の問題があるように人間とロボットの間にもパーソナリティの整合性の問題が起きるものと考えており、今後、この方面での研究を進めていきたいと考えている。

#### 参考文献：

梅津，他，情動方程式に基づく感情表出が可能な人間形頭部ロボット WE-3RIV の開発，第18回日本ロボット学会学術講演会予稿集，2000年9月

1)Atsuo Takanishi, et al.: An anthropomorphic Head-Eye Robot expressing Emotions based on Equations of Emotion, Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation,2000