

## ハルキゲニアプロジェクトにおける制御系のデザイン

奥村 悠\*  
古田貴之\*\* 山中俊治\*\*\*

ロボティクスの分散協調制御の技術を応用し、次世代乗用車を開発しようという試みがハルキゲニアプロジェクトである。本稿では、実験車両であるHallucigenia 01の制御デザインについて解説を行う。Hallucigenia 01は、四つのモータからなるホイールモジュール5体を床下に実装した多自由度ロボットである。試作した車両は前後直進、旋回のみならず、スピニング、スライディング、レベリング動作および歩行動作の実現に成功した。

### Hallucigenia Project : Design Methods for Next-generation Robotic Vehicle

Yu OKUMURA\*  
Takayuki FURUTA\*\* Shunji YAMANAKA\*\*\*

The purpose of this paper is to present our leg-wheel mobile robot, Hallucigenia 01, developed as a research platform in the next-generation robotic vehicle project (Hallucigenia project). In order to realize the versatile mobility, the robot vehicle is equipped with multiple wheeled leg modules. In the experiments, a variety of vehicle cruising operations, such as moving in oblique and side directions, point turns and walking, are successfully realized, validating its versatile mobile performance. In this paper, we overview our research project and design approach, and describe the detailed machine configuration and the motion examples of Hallucigenia 01.

#### 1. はじめに

ハルキゲニアプロジェクトは、ホイールモジュール構成に基づく次世代乗用車を開発しようという試みである。本稿では実験車両であるHallucigenia 01の制御系およびその操縦系のデザインについて述べる。

Hallucigenia 01は、ホイールがついた8本の脚(ホイールモジュール)を持つ、全長537mm、全幅331mm、1/5スケールの実験試作車である。各ホイールモジュールは、ホイール旋回用(ステアリング)本体上下動作用(リフティング)およびホイールモジュール旋回用(スウィング)の三つの関節を有する。このホイールモジュールは、車輪、脚および触覚センサの三つの機能を状況に応じ使い分けが可能である。これらの機能を用い、Hallucigenia 01は、その場回転、横移動走行、また、リフティング関節とスウィング関節のリアルタイム制御による、車体を水平に保ったままの登坂や段差の乗り越えなどの高度な機動性能の実現に成功した。

従来型車両では、ステアリングおよび駆動輪が主な操作対象であった。車両の操縦者はハンドルとア

\* 千葉工業大学未来ロボット技術研究センター研究員  
Researcher, Future Robotics Technology Center,  
Chiba Institute of Technology

\*\* 千葉工業大学未来ロボット技術研究センター所長  
Director, Future Robotics Technology Center,  
Chiba Institute of Technology

\*\*\* (株)リーディング・エッジ・デザイン代表取締役  
Chairman, Leading Edge Design Co.  
原稿受理 2007年2月13日

クセルの二つのデバイスにより、これら二つの操作対象に1体1対応の目標制御量を与えてきた。一方、Hallucigenia 01は、操作対象となるホイールモジュールの自由度が冗長であるがゆえに、従来型のハンドルとアクセルでは適切な目標制御量を与えることが困難である。即ち、制御系の再デザインに伴い、操縦系にも新たなデザインの導入が必要となる。この問題の解決法の一つとして、本研究では、WIND (Wireless Intelligent Networked Devices) システムの開発を行った。WINDシステムは、ウェアラブルコンピュータと装着者の動作を解析するためのモーションセンサからなるリアルタイムジェスチャー解析システムである。このWINDシステムの導入により、超多自由度を有する機械の動作を、操縦者のジェスチャーモーションにより直感的に与えることが可能となる。本稿では、WINDシステムの概略についても解説を行う。

## 2. 電気自動車・移動機械の新たな可能性

近年、電気自動車に関し、さまざまな研究が盛んになされている。そしてこれらの研究は、乗用車の移動システムを革新的に進化させる潜在能力を感じずにはいられない<sup>1-6)</sup>。特にインホイールドライブシステムを利用した研究においては、従来の自動車とは根本的に異なる構造を採用している<sup>5-7)</sup>。これらの移動システムは、新たな機構を取り入れることにより、シャーシー上の空間を広げ、結果、搭乗者や荷物搭載スペースのより自由なレイアウトを実現している<sup>7)</sup>。さらには、各タイヤのトラクションフォースコントロール、車体のヨー軸モーメント補償などの実現にも至っている<sup>5,7)</sup>。Nasuらは、モジュール化されたインホイールドライブシステムを利用した新たな移動機構を提案し、その場回転や横方向への移動が可能な電気自動車を実現した<sup>6)</sup>。

一方、人間搭乗用ロボットおよび移動機械としては、近年、さまざまな研究がなされてきた<sup>8-10)</sup>。最もよく知られた機械の一つにSegwayがある。商用ベースで市販もされているSegwayは、逆さ振り子に二輪を実装した機構を持った新たな乗用移動機械である<sup>10)</sup>。

## 3. ハルキゲニアプロジェクト

ハルキゲニアプロジェクトはプロダクトデザイナーである山中俊治の発案で行われた。fuRo(千葉工業大学未来ロボット技術研究センター)、L.E.D.

(リーディング・エッジ・デザイン)および株式会社クリエイティブボックスの共同研究プロジェクトである。以下に本プロジェクトの概要について述べる。

### 3-1 プロジェクト概要

ロボット研究の観点から、従来の車と多関節ロボットの構造を比較すると、その基本設計コンセプトおよび制御システムは根本的に異なる<sup>1-3)</sup>。それは、車の集中統合型制御システムとロボットの分散協調制御システムの違いに由来する。

車は誕生以来、制御システムの構成において、極力“ムダ”をそぎ落とした集中統合型を採用してきた。例えば、動力源に関してはエンジンの数は単体を基本とし、生み出すパワーを駆動輪に伝達および分配することで推進力を得る。また、自由度に関しては、動作を直進および旋回動作に限定し、これを安定動作させるのに必要十分な車輪構成、駆動輪と1対の操舵輪による4輪機構を基本としてきた。

これに対し、多関節ロボットは分散協調制御システムが基本となっている。つまり駆動源であるモータは各関節に内蔵され、さらに関節数も必要最小以上を装備している。それゆえ例えば手先で点を指す場合も、ロボットの腕の姿勢は複数通り存在する。このような冗長な関節が、分散配置されたモータにより協調動作することで、ロボットは多彩かつ高度な運動性能を発揮する。制御用コンピュータシステムも体内ネットワークを利用した分散型システムとなっている。即ち関節ごとにセンサの情報処理およびモータ制御を行うサブコンピュータが組み込まれる。この各サブコンピュータが体内ネットワーク結合し、分散協調動作することで、ロボットに搭載された大規模センサ/モータが機能し、ロボットの全身が制御されるのである。

このようなロボットの制御システムが有する冗長性と分散協調型の概念を取り入れることで、乗用車を再デザインしようという試みがハルキゲニアプロジェクトである。

### 3-2 ハルキゲニアデザインコンセプト

ハルキゲニアの移動システムは、ホイールモジュール(脚モジュール)と呼ばれる小型ロボットが基本単位となる。このホイールモジュールは多自由度脚の先端に、走行用の車輪を装備したものである。各関節には姿勢検出用センサが、そして1体のホイールモジュールにつき最低一つの制御用サブCPUが搭載され、単体で自立動作が可能なシステムを有する。このホイールモジュールが複数体、車両の床下



写真) Yukio SHIMIZU.

P 40グラビア参照。

Fig. 1 Hallucigenia 01概観

Table 1 Hallucigenia 01仕様

Dimensions	
Length	537mm
Width	331mm
Floor Height	73 - 113mm
Tire Diameter	62mm
Weight	3.5kg
Materials	Main Frame : Aluminium alloy Tires and others : ABS resin
Leg Wheel Modules	Number Installed 8 Configuration : 1 tire & 3 joints
Sensors	8 Rotary Position Sensors 24 Rotary Position Sensors 18 Thermal Sensors 1 three Axis Attitude Sensor 32 Current Sensors
Other Devices	1 Wireless LAN Module 1 Bluetooth Module

に配置され、それらが協調分散動作することでボディを動かす、これがハルキゲニアの基本コンセプトである。

ホイールモジュール群を協調動作させることで、その場で回転する、車体の向きを変えないまま滑るように自由な方向に移動する、あるいは車体の水平を保ったままでの登坂、ギャップの乗り越え運動の実現を目指した。

#### 4. プロトタイプHallucigenia 01

本章では、実験車両であるHallucigenia 01に関して解説を行う。

##### 4-1 プロトタイプHallucigenia 01概要

実験車両Hallucigenia 01の外観をFig.1に、仕様をTable 1に示す。

Hallucigenia 01は、前述したように、実車に対し1/5スケールで製作され、ホイールがついた8本の脚(ホイールモジュール)を持つ、全長537mm、全

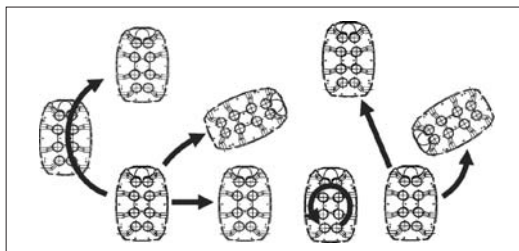


Fig. 2 Hallucigenia 01動作例

Table 2 Hallucigenia 01要求性能

スピニング フローティング	全方位移動および各動作の瞬時切り替えの実現
レベリング	段差: 実車換算で20cmのギャップ踏破の実現 坂道: 傾斜角30度の坂道走行の実現
ウォーキング	全方位(前後直進、その場回転および真横方向)の歩行運動実現

幅331mmの実験試作車である。各ホイールモジュールは、ホイール旋回用(ステアリング)、本体上下動作(リフティング)およびホイールモジュール旋回用(スウィング)の三つの関節を有する。このホイールモジュールをもつHallucigenia 01は、乗用車であると同時に全32個のモータを搭載した多関節ロボットとも言える。ホイールモジュールの協調制御により、Hallucigenia 01は、その場回転や、8輪すべてのホイールを真横に向けることで、横移動走行、また、リフティング関節とスウィング関節のリアルタイム制御による、車体を水平に保ったままの登坂や段差の乗り越えなどの運動が可能である。

##### 4-2 実現すべき運動性能仕様

Hallucigenia 01は、フローティング、スピニング、レベリングおよびウォーキングの4種類の運動の実現を目指した。以下に各要求動作について述べる。

###### 1) フローティング

車体の進行方向にかかわらずドライバーの意図した方向に車体の向きを保持する(Fig.2)。この運動を利用することで、車体の向きを維持したままでのS字あるいはジグザグ走行を実現する。

###### 2) スピニング

車の進行方向にかかわらずドライバーの意図した方向に車体の向きを変える。この運動を利用することで、その場回転を実現する(Fig.2)。

###### 3) レベリング

路面に影響されずフロアを水平に保つ制御。この運動を利用することで、障害物やギャップをフロア高さと同レベルを保ったまま乗り越える、あるいはフロ

アレベルを保ったまま坂道を登るなどの運動を実現する。なお、踏破すべきギャップ・段差は、実車換算で一般道路の縁石の高さ20cmとした。

#### 4) ウォーキング

ホイールモジュールの協調動作による前後左右および旋回歩行運動である。

Table 2に示す運動を実現すべき要求性能とした。

### 4 - 3 ホイールモジュール

Hallucigenia 01のホイールモジュールの関節配置をFig.3に、各関節の可動範囲をTable 3に示す。運動性能仕様を実現するために、ホイールモジュールの自由度は、スウィング、リフティング、ステアリングの三つと定めた。リフティング関節の可動範囲は、レベリング時の踏破高さおよびウォーキングの運動要求仕様より定めた。スウィングおよびステアリング関節の可動範囲は、フローティング運動時の横方向移動性能より決定した。

ホイールモジュールの各関節には駆動用DCモータを搭載し、角度検出用ポテンショメータ、速度検出用エンコーダ、力検出用電流センサが実装されている。Fig.3に示すように、リフティング関節は平行4リンク機構を採用した。これら各リフティング関節には回転バネを内蔵した。モータがトルクを発生していない時に重力を補償し、Hallucigenia 01が自立可能となっている。

Fig.4に、Hallucigenia 01シャーシー裏面を示す。図のように、本体へのホイールモジュール実装数は8体と定めた。これは、下記の二つの理由からである。

- ・運動の瞬時切り替え
- ・レベリング時のギャップセンシング

Fig.3に示す自由度を有するホイールモジュール

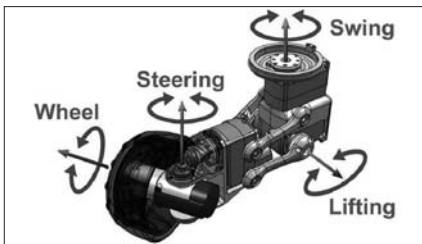


Fig. 3 ホイールモジュール自由度構成

Table 3 ホイールモジュール各関節可動範囲

Joint	Angle Range
Steering Joint	- 75 ~ + 75 deg
Lifting Joint	- 40 ~ + 10 deg
Swing Joint	- 90 ~ + 90 deg

を4体利用することで、Hallucigenia 01は、フローティングおよびスピニング動作の組み合わせによる全方位運動が実現できる。ここで、ホイールモジュール数を8体とすることで、4体のホイールモジュールのタイヤを接地させ運動実行している間に、残り4体で次の運動の初動に必要な姿勢を準備させることが可能となる。このように4体のモジュールセットを交互に接地させることで、各運動の瞬時切り替えが実現できるのである。

モジュール数を8体とした二つ目の理由は、すなわちギャップセンシングのためである。一般にギャップ・段差のセンシングには、超音波センサ、レーザレンジファインダあるいはカメラ等の光学式センサを利用するのが一般的であろう。しかしながら、これらの外界センサは、環境変化からくるノイズに脆弱である場合が多々ある<sup>15)</sup>。そこで、Hallucigenia 01では、ギャップのセンシングをホイールモジュールの触覚センサ機能で検知することとした。レベリング運動時には、走行に使用していない車体最前部あるいは最後部の1対のモジュールを触覚センサとして機能させ、センシングに利用する。それゆえ、モジュール数は8体必要となるのである。なお、ホイールモジュールの触覚センサ機能は、モジュール関節に実装された力あるいは角度センサを利用した。

### 4 - 4 制御システム

Fig.5に、Hallucigenia 01の制御システムを示す。

Fig.5に示すように、Hallucigenia 01の制御システムは、メインコンピュータユニットATOMおよび12個のサテライトコンピュータユニットmorpheusから構成される。Fig.6に各コンピュータユニットの配置図を示す。

morpheusは、ホイールモジュール制御用 (Fig.6 白色ブロック) に8個、ホイール駆動制御用に4個 (Fig.6斜線ブロック) が搭載されている。各コンピュータユニットは、ATOM (Fig.6左端灰色ブロック)

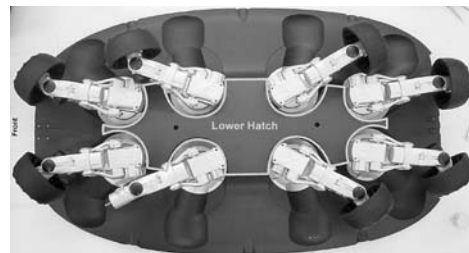


Fig. 4 Hallucigenia 01シャーシー裏面

に体内LAN：I2Cバスによりデジチェーンにてバス結合された分散制御システムを採用し、独自プロトコルにて双方向通信によるデータ交換がなされる。ATOMでは、Hallucigenia 01のボディ走行のためのダイナミクス制御、各センサ情報の統合による外界認識など、計算量が必要なタスクを受け持つ。一方、morpheusでは、ホイールモジュールの関節角度のフィードバック制御系、各センサ情報の取得およびノイズフィルタリングタスクなどのローカルタスクを分担する。このように分散制御系を構築することで、ホイールモジュールの拡張性の確保およびフルフラットシャーシー形態が実現可能であるという利点がある<sup>13,14)</sup>。

#### 4 - 5 フルフラットシャーシー

Hallucigenia 01のホイールモジュールは、サテライトコンピュータにより制御される。本体フロアパネル内には、ホイールモジュール制御用の12個のサテライトコンピュータが、体内LANによりメインコンピュータと接続されている。すべてのコンピュータがセンサと連動することで、多関節のHallucigenia 01のリアルタイム制御を実現している。通信機器はATOMとともにシャーシー前部に、バッテリーは、Lower Hatch中央部に搭載されている。

このように、分散協調制御システムとホイールモジュール構成を導入することで、Fig.7に示すように、Hallucigenia 01は、バッテリー、制御系、駆動系など、すべての装備を床下のLower Hatch内に実装し、Fig.7のようなフルフラットなフロアを実現、汎用プラットフォームという技術コンセプトを具現化した。Fig.1に示した車体上部に実装されたデザインは、このフロアがもたらす多様なデザインの一例である。また、上部キャビネットを簡単に脱着できる構造にすることで、将来、レスキューなど特殊車両や福祉車両、物流用などとしてのデザイン展開を可能にしている。

### 5 . Hallucigenia 01の操縦系のデザイン

本章では、ウェアラブルコントローラWIND ( Wireless Intelligent Networked Devices )ロボットシステムを中心にHallucigenia 01の操縦系のデザインについて述べる。

#### 5 - 1 WINDロボットシステム

従来、自動車の操作は、アクセル/ブレーキとハンドル操作により、前後および旋回運動の操縦が行われてきた。この従来型の操縦システムでは、Hallu-

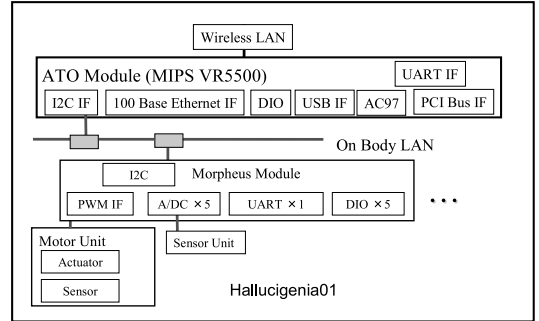
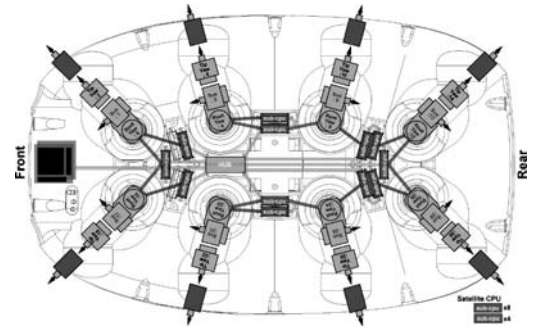


Fig. 5 Hallucigenia 01制御システム



P.40グラビア参照。  
Fig. 6 コンピュータユニット配置図



写真) Yukio SHIMIZU.

Fig. 7 Hallucigenia 01プラットフォーム部

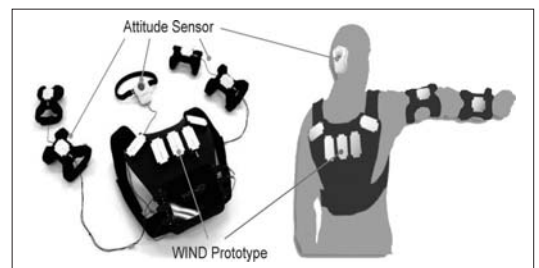


Fig. 8 WINDロボットシステム概観および装着図

cigenia 01の動作を制御するには、操作自由度の不足を招く。そこで、本研究では、操縦者のジェスチャーモーションによりHallucigenia 01を操縦するシステム：WINDロボットシステムの開発を行った。Fig.8に、WINDロボットシステムおよびそれを身

体に装着した状態を示す。

本システムは操縦者の動作をリアルタイム検出し、各動作に対応した動作命令をHallucigenia 01へ操作量として与えるシステムである。ウェアラブルコントローラにはWINDコンピュータユニットおよび5個のモーションセンサが搭載されている。各センサからの情報はWINDコンピュータユニットに集約さ

Table 4 Hallucigenia 01ジェスチャーコマンド例

操縦者ジェスチャー	Hallucigenia 01の動作
右腕部：左右傾斜	傾斜方向：スライディング動作方向 傾斜角度：走行速度
右腕部：前後傾斜	傾斜方向：前進・後進走行 傾斜角度：走行速度

Table 5 WINDコンピュータモジュール仕様

CPU	MIPS core 266 MHz ( within FPU )
Flash ROM SDRAM	64MB × 2 / 128MB
I/O	EHTER × 2, UART × 4, PCI, CF
OS	Linux Kernel 2.6 ( soft real time )
Size	50mm × 35mm

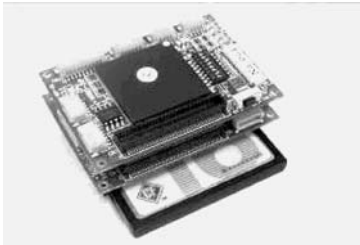


Fig. 9 WINDコンピュータモジュール

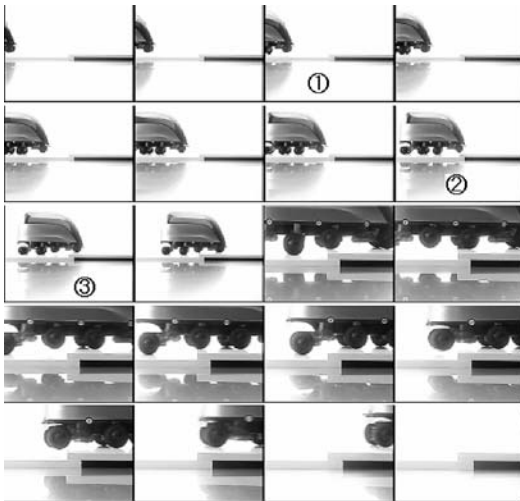


Fig. 10 レベリング動作例：段差乗り越え

れ、ここでコントローラを装着したロボット操作者の身振り手振りを認識する。認識された身振り手振りはコマンドとして操作対象であるHallucigenia01に無線送信される。試験的に実装した操作コマンドは、Table 4のとおりである。

## 5 - 2 WINDコンピュータユニット

WINDロボットシステムではモーションセンサの情報をリアルタイム処理しジェスチャー解析をするため、強力なコンピューティングパワーが必要となる。一方、ウェアラブルとするためには単体のデバイスが大型化することはさげなければならない。この相反する要求を満たすコントローラ：WINDコンピュータユニットの開発が必須であった。開発したWINDコンピュータユニットの仕様をTable 5に、概観をFig.9に示す。

WINDコンピュータユニットでは、System in Package(SiP)という複数のチップを一つのパッケージに実装する技術を用いてメインCPUであるVR 4133、およびFlash ROM、RAM、チップコンデンサのSiPを行った。SiP化によりユニットのサイズを50mm × 35mmと小型化することに成功した。また、Flash ROMを64MB × 2、SDRAMを128MBといった大容量の実装が可能となった。

完成したWINDプロトタイプにLinuxの移植も併せて行った。Linux Kernel 2.6.9をSiP内のFlash ROMに納め、独自に構築したルートファイルシステムをコンパクトフラッシュからロードすることでOSを起動している。Linux上でコンパクトフラッシュへのアクセスはもちろんのこと2ポートのイーサ



Fig. 11 レベリング動作例：坂道走行

ネット、4ポートのUARTも動作している。Linux用に配布されているソフトのソースをコンパイルし直せばWINDプロトタイプ上で実行することが可能であり、Samba等も動作している。

## 6. 動作検証

8体のホイールモジュールを協調制御させることで、Hallucigenia 01は、前後左右および旋回を含む全方位移動および坂道・段差でのレベリング運動が可能である。Fig.10に、高さ3cm(実車換算で15cm)のギャップでのレベリング動作の様子を示す。Fig.11は、傾斜角度15度の坂道でのレベリング動作の連続写真である。以下に各レベリング運動時の動作を解説する。

### 6-1 段差でのレベリング動作

段差でのレベリング運動の際には、まずFig.10のように、Hallucigenia 01の進行方向最前列の1対のホイールモジュールは床から離れ、触覚センサモードとなる。触覚センサモードでは、ホイールモジュールのリフティング関節は、低ゲインコンプライアンス制御系で駆動する。このリフティング関節の角度あるいは力情報に基づき、触覚センサモードのホイールモジュールはギャップを検出し(Fig.10- ) ギャップの位置および高さ情報を他のホイールモジュールへ体内LAN経由で伝送する。Fig.10-のように情報を取得したホイールモジュールは、あらかじめギャップの高さだけリフティングを行い、レベリング運動を実現する。

### 6-2 坂道でのレベリング動作

Fig.11に示すように、坂道でのレベリング動作では、本体に搭載された3軸傾斜センサの情報に基づき、ホイールモジュールは互いに協調動作によりシャーシー面を水平に保つ。図中、傾斜面を走行中、最後尾の左右1対のホイールモジュールが接地していない。Hallucigenia 01は、全ホイールモジュールが設置できない傾斜角度の場合、ホイールモジュールの相対位置をスイング関節により調整を行う。このようにホイールモジュール数を5体以上と冗長性を持たすことで、さまざまな角度の傾斜にも柔軟に対処できることが期待できる。

## 7. おわりに

本稿では、次世代乗用車ハルキゲニアプロジェクトの概要および実験車両であるHallucigenia 01について解説を行った。

Hallucigenia 01は、8体のホイールモジュールの協調動作により、全方向移動、段差および坂道でのレベリング動作を実現した。実車化へ向けては、サスペンションとの併用によるリフティング関節の駆動パワーのアシスト方法の検討、搭乗者が前後左右に加速や揺れを感じない、車体のダイナミックな姿勢制御手法の確立など検討項目は山積している。一つずつ問題を解決し、実車実現の道筋を作っていくたい。

[謝辞] Hallucigenia 01の開発にあたりご協力頂いた未来ロボット技術研究センター研究員の大和英彰氏、清水正晴氏、下村将基氏、株式会社クリエイティブボックスのスタッフの皆様、リーディング・エッジ・デザインのスタッフの皆様、および株式会社日南のスタッフの皆様に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 遠藤玄、広瀬茂男「ローラーウオーカーに関する研究」『日本ロボット学会誌』18 8、pp .1159 1165、2000年
- 2) 久保田孝「月・惑星環境における探査ロボットの設計」『日本ロボット学会誌』17 5、pp .609 614、1999年
- 3) 広瀬茂男、古田勝久、美田勉「スーパーメカノシステムの研究」『日本ロボット学会誌』18 8、pp .1061 1065、2000年
- 4) D . Petrie : Personal Mass Transit , Northcon/ 94 Conference Record , pp 275 280 , 1994
- 5) Y . Hori: Future Vehicle Driven by Electricity and Control , IEEE Trans . on Industrial Electronics , 51 5 . 2004
- 6) H . Nasu and H . Higasa : Development of Yonden Electric Vehicle Pivot: JSAE Review , 16 1 , pp .77 82 , 1995
- 7) F . Tahami , R . Kazemi and S . Farhanghi : A Novel Driver Assist Stability System for All Wheel Drive Electric Vehicles , IEEE Trans . on Vehicular Technology , 52 3 , pp .683 692 , 2003
- 8) H . Kitagawa , T . Kobayashi , T . Beppu and K . Terashima : Semi Autonomous Obstacle Avoidance of Omni directional Wheelchair by Joystick Impedance Control , Proc . IEEE/RSJ International Conference on Intelligent

- Robots and Systems ,pp 2148 2153 ,2001
- 9 ) Y . Sugahara , H . Lim , T . Hosobata , Y . Mikuriya , H . Sunazuka , and A . Takanishi : Realization of Dynamic Human Carrying Walking by a Biped Locomotor , Proc . IEEE International Conference on Robotics & Automation , pp 3055 3060 ,2004
- 10 ) www .segway .com
- 11 ) S . Hirose and H . Takeuchi:Roller Walker : A Proposal of New Leg Wheel Hybrid Mobile Robot , Proc . Intl . Conference on Advanced Robotics , pp 917 922 ,1995
- 12 ) E .Nakano , T .Takahashi , Z .Wang , Y .Dai , S .Nakajima :A Simplified Cooperational Motion Control Method of a Leg Wheel Robot for an Unexplored Rough Terrain Environment , Proceedings of The 4th World Multiconference on Systems , Cybernetics and Informatics ,SCI '2000 ,vol . XI , pp .234 239 ,2000
- 13 ) Y . Okumura , T . Tawara , T . Furuta , K . Endo , M . Shimizu , M . Shimomura and H . Kitano : morph3 : A Compact Size Humanoid Robot System Capable of Acrobatic Behavior , Advanced Robotics , 18 7 ,2004
- 14 ) T .Tawara ,T .Furuta ,M .Shimizu ,Y .Okumura and H . Kitano:Mapping of the System Software for a Compact Humanoid Robot , Proc . 5th Intl . Conference on Climbing and Walking Robots , pp 889 896 ,2002
- 15 ) 中嶋秀朗、中野栄二、高橋隆行「脚車輪分離型ロボットのクロール歩容における脚先コンプライアンス設定法」『日本ロボット学会誌』22 8、pp .109 117、2004年