

タイムアクシス・デザイン理論を応用した バイオインスパイアード・ビークル

氏家 良樹* · 高野 修治* · 中澤 和夫* · 松岡 由幸*

Bio-inspired Vehicle Based on the Application of Timeaxis Design Theory

Yoshiki UJIIE*, Shuji TAKANO*, Kazuo NAKAZAWA*
and Yoshiyuki MATSUOKA*

Abstract— This work is a conceptual design of the next-generation vehicle system based on the viewpoint of “timeaxis design,” “multi-timescale model” as timeaxis design theory and “bio-inspired design” as timeaxis design methodology. These viewpoints are the new paradigms in the design of the 21st century which aims at solution of various problems, such as exhaustion of resources or energy, environmental destruction, large-scale accident and the difference of wealth and poverty. We propose a new vehicle system which can realize the safety higher than the conventional vehicle system with incorporating the control system, information system and drive system adapting the mechanism in the group behavior as a life system by use of multispace design method based on above mentioned theory and methodology. Moreover, the usefulness of the system is considered from the viewpoint of timeaxis design.

Keywords— timeaxis design, multi-timescale model, bio-inspired design, vehicle

1. 緒言

20世紀までの人工物の大量生産，大量消費型の社会は，利便性をはじめとする物質的な面での豊かさを人々にもたらした一方で，資源エネルギーの枯渇，環境破壊，大規模事故，貧富の差など，数多くの問題も引き起こしてきた．需要と供給のアンバランスな関係によって生まれるこれらの問題に対し，21世紀の社会においては，人工物の適量生産，適量消費が求められている．本稿で述べる「タイムアクシス・デザイン (Timeaxis design)」は，人工物をより長く使用することによって，過剰な消費と供給の発生を抑制し，両者の適切な関係を実現する一つのパラダイムである．

人工物が長期にわたり使用されるためには，人工物の周辺である場（使用者，使用場所，関連する他の人工物など）の時間軸変動に対応する必要がある．タイムアクシス・デザインにおいては，これらの変動に対応するシステムを人工物に組み込むための具体的な方法，方法

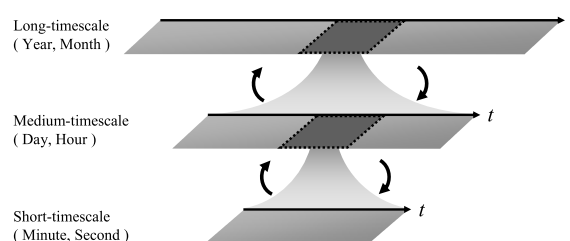


Fig. 1: Multi-timescale model

を体系的に扱ううえでの方法論，方法論の基盤となる理論の構築が肝要となる．

タイムアクシス・デザイン理論の一つとして，Fig. 1に示す「マルチタイムスケールモデル (Multi-timescale model)」が提案されている．本モデルは，分，秒単位の事象に関わる「ショートタイムスケール (Short-timescale model)」，日，時単位の事象に関わる「ミディアムタイムスケール (Medium-timescale model)」，年，月単位の事象に関わる「ロングタイムスケール (Long-timescale model)」，および各スケールにおける事象間の因果関係から構成されている．

タイムアクシス・デザイン方法論の一つとして，生命システムが持つ柔軟性を人工物に組み込むことで，場

*慶應義塾大学大学院理工学研究科 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1

*Keio University, 3-14-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama, Kanagawa

Received: 9 February 2012

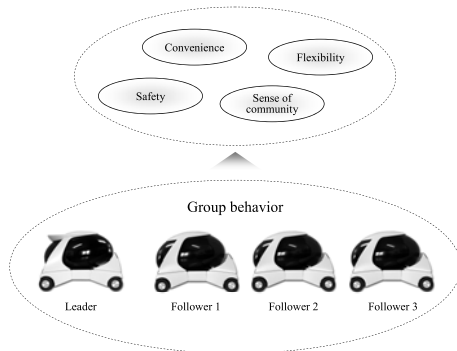


Fig. 2: Vehicle system based on group behavior proposed in previous study

の時間軸変動に適切に対応することを目指す「バイオインスパイアード・デザイン (Bio-inspired design)」が提案されている。同方法論は、生命システムが生み出す形態や構造を組み込むにとどまらず、生命システムが持つ様々な機能を実現するためのメカニズムを組み込むことが重要視されており、従来の生命模倣デザイン (ミメティクス) とは一線を画している。

筆者らは、過去の研究において、これらタイムアクセス・デザインの理論と方法論に基づき、複数台のビークルの群行動によりさまざまな価値を発現する新しいビークルシステム概念デザインを行った。具体的には、Fig. 2 に示すように、群れの Leader となるビークルによって他の Follower ビークルが牽引される群行動を想定しており、そこでは、群行動による移動中に Follower 搭乗者は運転以外の自由な活動ができるという“利便性”，運転に不慣れな利用者でも Follower に搭乗することで安全な移動ができるという“安全性”，群れの形態変化により大型の公共バスなどでは通り抜け不可能な狭い道路も通行ができるという“柔軟性”，群行動時に利用者間でのコミュニティ形成が促進されることによる“連帯感”など、さまざまな実用価値や精神価値が提案された。

本稿では、同ビークルシステム概念デザインをうけて実施された、さまざまな技術シーズの活用とそれに基づくビークル本体の基本デザインを中心に述べる。以下、2 章にて、ビークルのデザイン展開に用いる多空間デザイン法の概要、3 章にて、マルチタイムスケールモデルおよびバイオインスパイアード・デザインを導入した多空間デザイン法によるビークルのデザイン展開、4 章にて、ビークルの概要およびタイムアクセス・デザインを観点とした考察を述べ、21 世紀の人工物デザインにおけるタイムアクセス・デザインの可能性について言及する。

2. 多空間デザイン法

デザイン展開に用いる多空間デザイン法 (Multispace design method) は、Fig. 3 に示す多空間デザインモデル

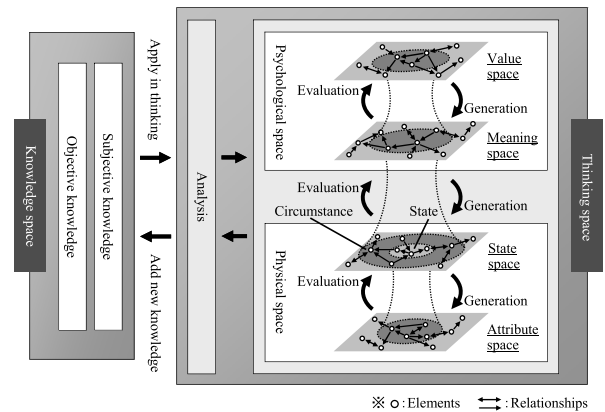


Fig. 3: Multispace design model

を包括的な観点として導入することで、多数のデザイン要素の位置づけや関係性を適切に整理したデザイン思考が可能となる手法である [1]。

多空間デザインモデル (Multispace design model) とは、さまざまなデザイン行為の包括的な扱いを可能とするデザイン理論の一例である [2]。本モデルは思考空間 (Thinking space) と知識空間 (Knowledge space) から構成され、デザイン行為を知識空間のデザイン知識に基づく思考空間のデザイン思考と定義している。

思考空間は、社会的価値、文化的価値、個人的価値など多様な価値を表す要素が含まれる価値空間 (Value space)、価値を実現するための機能やイメージを表す要素が含まれる意味空間 (Meaning space)、意味を実現するための状態 (State) を表す要素、および状態を実現するためのヒトや環境をはじめとする場 (Circumstance) を表す要素が含まれる状態空間 (State space)、状態を実現するための人工物の特性を表す要素が含まれる属性空間 (Attribute space) の四空間で構成される。そして、価値空間と意味空間から心理空間 (Psychological space) が構成され、状態空間と属性空間から物理空間 (Physical space) が構成される。

知識空間は、自然科学、人文科学、社会科学などに基づく一般性を有する客観的知識 (Objective knowledge)、個人的な経験や地域性などに基づく一般性を有さない主観的知識 (Subjective knowledge) の二つで構成される。

思考空間におけるデザイン思考は、分析 (Analysis)、発想 (Generation)、評価 (Evaluation) の三つで構成される。分析は、発想および評価に用いるモデル構築の際や、デザイン思考によって得られた知見を知識空間に蓄積する際に、発想は、結果としての上位空間要素から原因としての下位空間要素を導出する際に、評価は、原因としての下位空間要素から結果としての上位空間要素を導出する際に、それぞれ行われる。

多空間デザイン法は、上記多空間デザインモデルの四空間を導入した要素の「抽出 (Sampling)」、「分類 (Classification)」、および「構造化 (Structuration)」の

三つの Step で構成されている。まず、要素の抽出においては、デザイン対象に関連すると想定される様々な要素（キーワードや画像など）を抽出し、多空間上に配置していく（Step I）。つぎに、要素の分類においては、各空間内の要素を類似性に基づいて分類（グルーピング）し、各グループの特徴を表すキーワードを抽出していく（Step II）。ここでは、要素の分類のみならず、グループ同士をさらに大きなグループへまとめることも行われる。そして、要素の構造化においては、各空間内もしくは空間間の要素やグループのうち関連性の強いもの同士を線によって結び、多空間に渡る要素間関係図（Figure of relationships between elements）を作成していく（Step III）。なお、これらの Step は逐次的に行われるだけでなく、必要に応じて各 Step 間を移動しつつ進められていく。さらに、任意の段階においてデザイン案の発想を行い、そのデザイン案に対して要素間関係図に基づく評価を行う。この評価により、デザイン要件を満たしていると判断されればデザイン解として選定し、デザイン要件を満たしていないと判断されれば、要素の抽出、分類、構造化の Step を再度展開していく。

3. 群行動に基づくバイオインスパイアード・ビークルのデザイン

3.1 生命システムとしての群行動

昆虫、魚類、鳥類、哺乳類など、多様な生命においてみられる群行動は、集団による繁殖の機会増加や単一個体での弱さの補間、情報交換による危険回避向上や餌の効率的な取得などを特長とする生命システムである。

群行動を実現するうえでは、群を構成する各個体の動きを統率する制御システムと、個体間での情報のやりとりを行う情報システムが重要となる。高等生物の群行動においては、群全体を統率するリーダーが存在し、各個体が同等の役割を果たしつつ群行動を実現する場合と比較して、階層性や役割分担による効率的な群れの制御を実現している。また、危険回避や餌の効率的な取得を実現するための仕組みとして、各個体が分泌する物質を周辺環境に設置することで、それを介した情報のやりとりを行うメカニズムがつけられている。

本デザイン事例では、これら制御システムと情報システムを具現化する技術シーズの探索を行った。

3.2 群行動を実現する技術シーズ

前節にて述べた制御システムおよび情報システムの具現化にあたり、本デザイン事例においては、筆者らの研究グループにて開発が行われている技術シーズを活用することとした。

制御システムの具現化においては、「Leader と Follower

の差別化に基づく隊列走行制御（Platoon control based on discrimination of leader and follower: PCLF）」を活用することとした。同技術シーズは、ビークルの役割を、群行動の統率を行う Leader と、Leader からの指令および近傍情報に基づき追従する Follower の二つに分けている点の特徴である。

高速道路や専用道路における自動追従走行の手法としては、路面に埋め込んだ磁気マーカーを活用する手法や、路面から検知した白線から逸れないように後続車を制御する手法 [3-5] などが提案されている。一方、一般道における自動追従走行の実現に繋がる研究として、一般道の白線をカメラによって認識することで車両を制御する手法 [6] や、前方車との相対位置と相対姿勢のみから後続車を精度良く追従させる手法 [7] などが提案されている。しかし、一般道では電柱、歩行者、および他車両など多くの障害物が存在するため、従来の追従手法では前方車が回避した障害物と後続車が接触事故を起こす可能性がある。

PCLF は、地点追従法により目標舵角 a_i を求める。制御車両 i の後輪軸中心を原点、車両進行方向を x 軸とし、目標相対座標が (x_i, y_i) 、目標相対姿勢が θ_i とすると、追従に用いる三次曲線は次式のように一意に決定される。

$$y = (x_i \tan \theta_i - 2y_i/x_i^2) x^3 + (3y_i - x_i \tan \theta_i/x_i^2) x^2 \quad (1)$$

目標舵角 a_i は、自動車の平面二輪モデルと式 (1) を用い、次式のように表される。なお、 l は車両軸距である。

$$a_i|_{x=0} = \frac{\arctan 2l(3y_i - x_i \tan \theta_i)}{x_i^2} \quad (2)$$

PCLF のシミュレーション結果を示した Fig. 4 より、各 Follower が Leader の追従のみを行うのではなく、適宜速度を調整しつつ走行していることが分かる。

一方、情報システムの具現化においては、「フェロモンによる空間構造化（Structuration of working space by pheromone: SWP）」の技術シーズを活用することとした。これは、空間上に仮想的にフェロモンを配置することで環境情報を明確化し、ロボットの行動ルール作成における効率化を図る技術である。

災害現場など環境の様子が把握しにくい未知環境では、環境情報の不足や環境構造の動的変化などにより、ロボットの自律的な行動アルゴリズムを構築することは困難である。また、このような作業環境における効率化を図るため、複数の自律移動ロボットからなるマルチロボットシステム [8-10] が注目されているが、その行動ルールの設計法は未だ確立されていない。

SWP は、タスクにロボットを集める集合フェロモン、ロボットを環境に分散させる忌避フェロモン、ロボットを障害物から遠ざける警戒フェロモン、障害物の迂回を促す道標フェロモンから構成される。Fig. 5 は、工場な

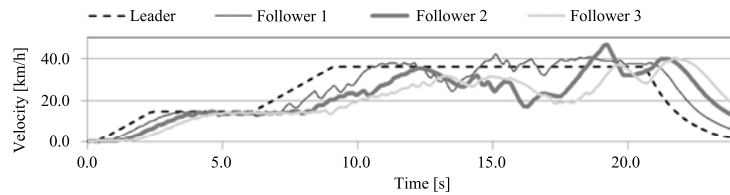


Fig. 4: Platoon control based on discrimination of leader and follower

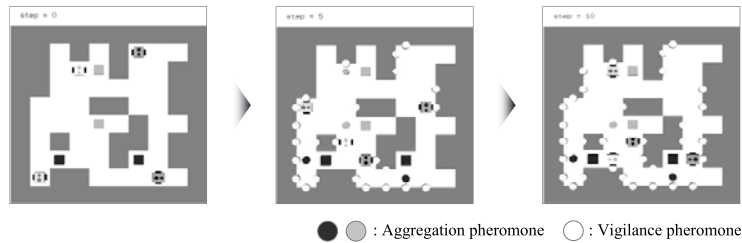


Fig. 5: Structuration of working space by pheromone

どでロボットに搬送作業を行わせている例であり，作業空間内に投入された段階では全空間を認識することは難しいが，空間内に仮想的にフェロモンを投入することで空間を徐々に構造化することができ，個々の場所に意味を持たせることができています．

以上に述べた制御システムと情報システムの中核をなす二つの技術シーズに加え，本事例においては，「全方向移動車両（Omni-directional vehicle: ODV）」の技術シーズをビークルの駆動システムとして活用することとした．これは，各車輪を独立した自律エージェントとして構成し，機動性の向上を実現する技術である．

ODVの外観を Fig. 6 に示す．ODV は，一般的な空気車輪を用いたモジュールを複数個有し，各モジュールの二つの車輪の回転数の差によって設置点上の軸で 360 度向きを回転し，車両の姿勢を決定する．空気車輪を用いたことで，耐荷重性，振動性，耐故障性，床面保護などの面で優れており，機構や制御も比較的簡易である．また，ODV の操縦インターフェースとしては，ジョイスティックのひねりで旋回量 κ_C ，傾きで進行方向 θ_C ，スロットルによって速さ v_C をそれぞれ入力し，次式を用いて ODV の x 方向速度 \dot{x}_O ， y 方向速度 \dot{y}_O ，角速度 $\dot{\theta}_O$ を操作することを想定している．

$$\dot{x}_O = v_C \cdot \cos \theta_C \quad \dot{y}_O = v_C \cdot \sin \theta_C \quad \dot{\theta}_O = v_C \cdot \kappa_C \quad (3)$$

3.3 多空間デザイン法を用いたデザイン展開

本デザイン事例においては，3.1 節および 3.2 節で述べた群行動（状態）と三つの技術シーズ（属性）を起点として，マルチタイムスケールモデルの導入による多空間デザイン法を用いたデザイン展開を実施した．

Fig. 7 に，上記観点に基づき最終的に作成された要素間関係図を示す．本デザイン展開においては，属性の要素を各タイムスケールにおいて共通とし，場，状態，意

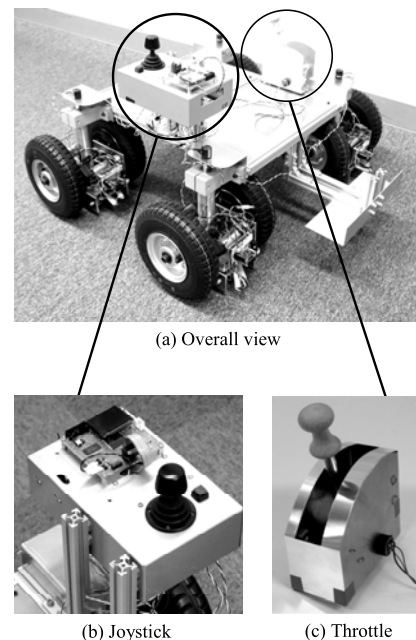


Fig. 6: Omni-directional vehicle

味，および価値の要素をタイムスケールごとに検討するとともに，マルチタイムスケールには直接的に関与しないその他の要素についても検討を行った．また，本事例においては，マルチタイムスケールに関する価値の要素として「安全」に着目した．

まず，マルチタイムスケールに関する属性の要素については，「PCLF」，「SWP」，「ODV」という三つの技術シーズを起点に，群行動時の状況把握に用いる「センサ系」のグループおよびその構成要素や「ODV」を中心とする「駆動系」のグループおよびその構成要素が抽出，分類，構造化された．

つぎに，ショートタイムスケールに関する要素については，場の時間軸変動への対応に主眼が置かれ，同タイムスケールにおける「安全」（価値）の要因となる「突

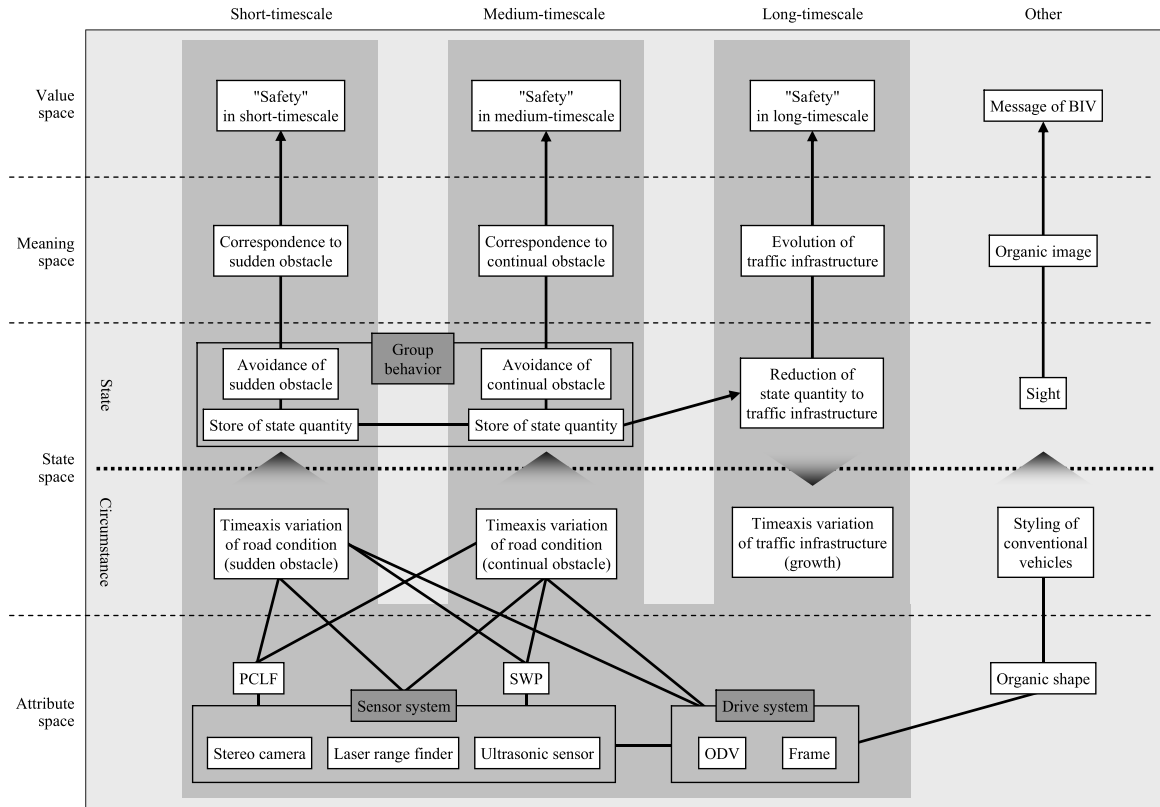


Fig. 7: Figure of relationships between elements

発的障害への対応」(意味)，これらを実現する「群行動: 突発的障害の回避」(状態)と，その要因となる「道路状況の時間軸変動: 突発的障害」(場)，および上記の属性の要素が構造化された。

そして，ミディウムタイムスケールに関する要素についても，場の時間軸変動への対応に主眼が置かれ，同タイムスケールにおける「安全」(価値)の要因となる「継続的障害への対応」(意味)，これらを実現する「群行動: 継続的障害の回避」(状態)と，その要因となる「道路状況の時間軸変動: 継続的障害」(場)，および上記の属性の要素が構造化された。

さらに，ロングタイムスケールに関する要素については，他の二つとは異なり，場の時間軸変動の創造に主眼が置かれ，同タイムスケールにおける「安全」(価値)の要因となる「交通インフラの向上」(意味)，これらを実現する「交通インフラへの状態量の還元」(状態)と，それによる「交通インフラの時間軸変動: 成長」(場)が構造化され，他のタイムスケールにおける「群行動: 状態量の蓄積」(状態)も追加された。

さいごに，マルチタイムスケールには直接的に関与しないその他の要素については，「バイオインスパイアード・ビークルのメッセージ性」(価値)の要因となる「有機的イメージ」(意味)，これらを実現する「視覚」(状態)の要因となる「現行ビークルのスタイリング」(場)，

「有機的形態」(属性)という要素が構造化された。

以上のように，生命システムに基づく群行動と，それを実現する三つの技術シーズを起点として，マルチタイムスケールモデルの導入による多空間デザイン法を用いたデザイン展開により(1)群行動(状態)が実現する価値および意味(安全に関わるもの)，それに関与する場の時間軸変動の各タイムスケールにおける明確化(2)場の時間軸変動への対応という従来の意味のみならず，場の時間軸変動の創造という新しい意味の明確化(3)各タイムスケール間の因果関係を媒介する状態量の明確化が行われ，多数の要素の位置づけや関係性を適切に整理したデザイン展開が行われる可能性が示された。

4. バイオインスパイアード・ビークルの概要

4.1 ビークルの仕様

前述の要素間関係図から導出したビークルの仕様を Fig. 8 に示す。同ビークルは，群行動時の高機動性と冗長性をねらいとする可変フレーム (Variable frame) 構造を基本とし，球形の居住ユニット (Habitation unit) を，円盤状のルーフユニット (Roof unit) とフロアユニット (Floor unit) が上下から挟み込む構成となっている。また，ビークルの大きさとしては，一人乗りのコンピュータを想定している。

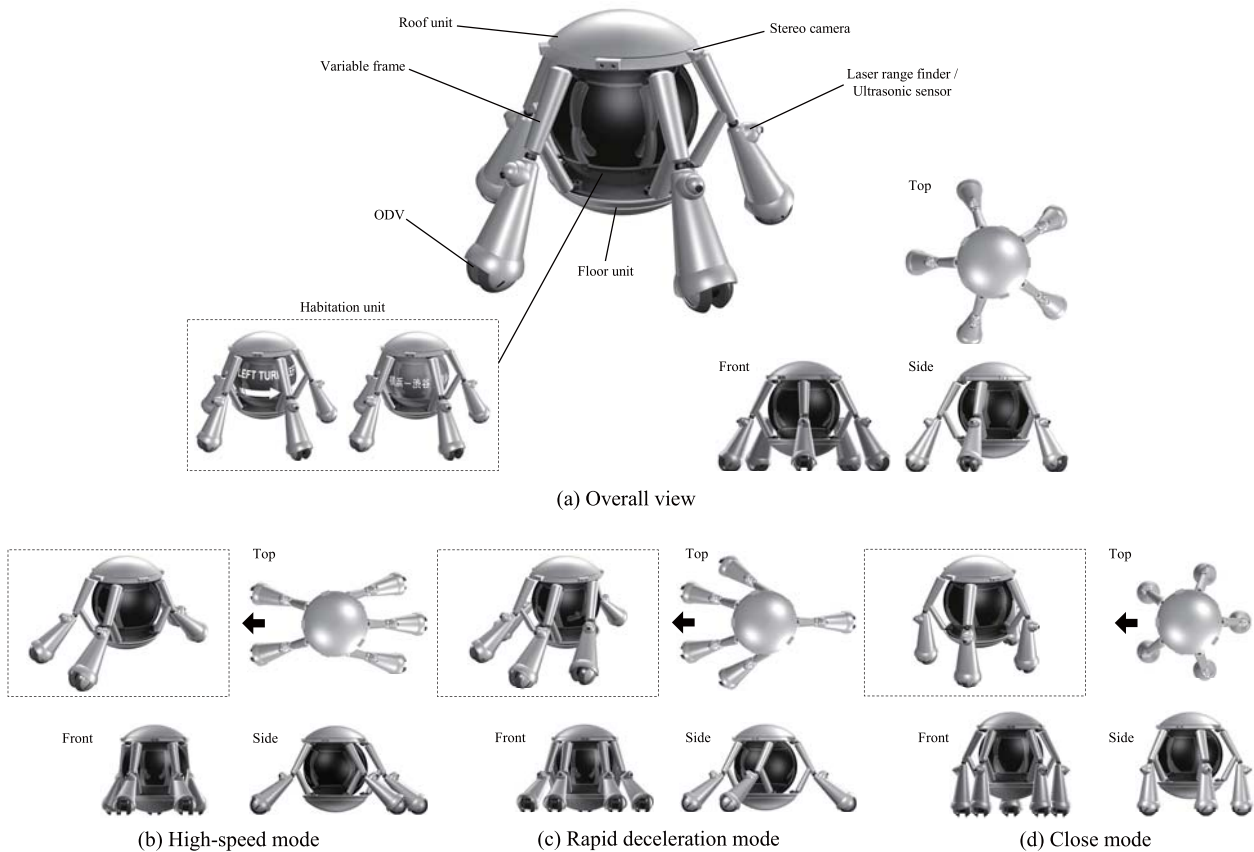


Fig. 8: Specification of bio-inspired vehicle

可変フレームは、路面側の先端部に ODV（車輪モジュール）が取り付けられ、居住ユニット側の先端部に取り付けられたヒンジを介してルーフユニットおよびフロアユニットと接続されている。そして、ヒンジを中心に回転することで、居住ユニットに対する ODV の相対的な位置を変動させることができる。なお、ヒンジにもアクチュエータが搭載されることを想定しているが、これは誤動作を防ぐためのロック機構としてのみ働き、可変フレームの回転のための駆動力は ODV が担うことになる。さらに、可変フレームにはロック機構として働くアクチュエータを搭載した球体関節も組み込まれている。これらにより、ODV の配置や居住ユニットの高さ（重心位置）を「高速モード（High-speed mode）」、「急減速モード（Rapid deceleration mode）」、「密集モード（Close mode）」のように適宜変更することで、走行状況に応じた適切な形態をとることができる。なお、可変フレームを 5 脚としたのは、現行の 3 輪や 4 輪のビークルと比較して安定性や冗長性が確保されることに加え、新規性の実現もねらいとしたためである。

居住ユニットは、アクチュエータを介してルーフユニットおよびフロアユニットと接続されており、アクチュエータがダンパーとして働くことで、走行時に発生する G が緩和され、搭乗者への負担を減らすことができる。また、居住ユニットの壁面は透明ではなく、後述するセンサ系から得られた画像情報を壁面内部に表示し、

搭乗者はあたかも壁面や可変フレームが透けて見えるかのような状況で、外部の視覚情報を得ることができる。さらに、壁面内部に表示される画像情報には、AR 技術を応用することでさまざまな支援情報が上乗せされることを想定しており、これによる安全面での貢献も考えられる。また、壁面外部は有機 EL ディスプレイで被われており、現行ビークルのウィンカーやハザードランプの働きを代替する表示系として機能する他、Leader の場合には運行区間を表示するなど、現行ビークルや歩行者との情報交換の役割を担うことが想定されている。

センサ系は、ルーフユニット上にステレオカメラ（Stereo camera）を搭載し、可変フレームの中央部にレーザーレンジファインダ（Laser range finder）と超音波センサ（Ultrasonic sensor）を搭載する。后者は、可変フレームの位置によらず全体として常時全方位へのセンシングができるよう、ターレット状の基部に設置されている。そして、センサ系で得られた各種情報は、PCLF や SWP、および居住ユニット壁面内部の画像情報表示にて活用される。

Leader と Follower には共通のビークルを使用し、居住ユニットの壁面外部に表示される情報（色や文字）によって両者を差別化することを想定している。これは、(1) バスやタクシー運転手のような専門のドライバが Leader に搭乗する場合だけでなく、Follower 搭乗者が自ら Leader として走行する場合も想定しており、最小限

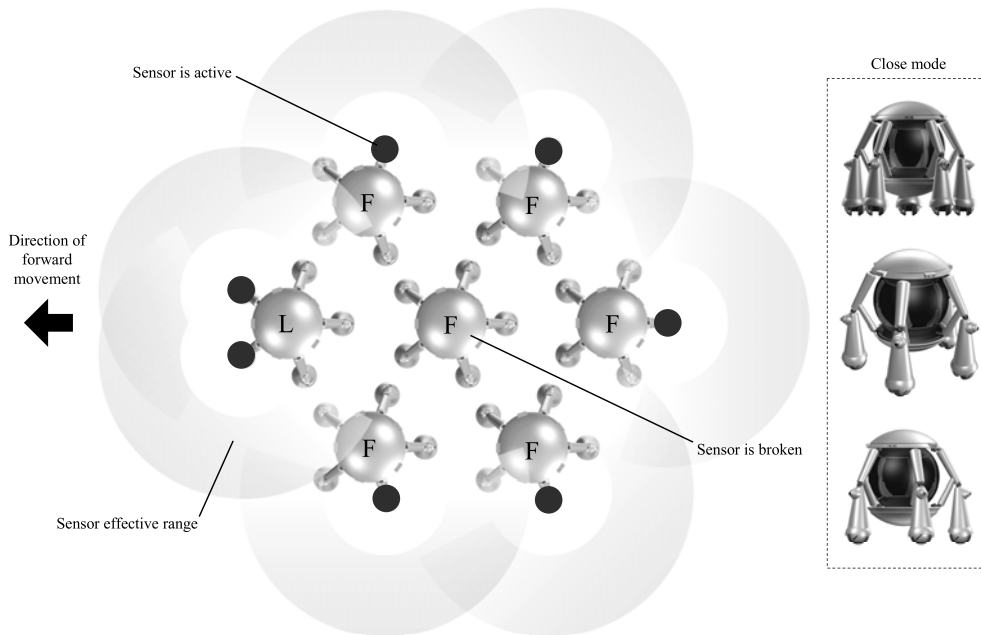


Fig. 9: Example of state in short-timescale

の変更で Leader と Follower の交換が行えるようにするため (2) 交通状況に応じて供給する Leader と Follower の割合を柔軟に変化させることを想定しており、上記と同様、最小限の変更で Leader と Follower の交換が行えるようにするため、というのが主な理由である。

4.2 ショートタイムスケールにおける効果

ショートタイムスケールでは、他のビークルの急接近、歩行者や動物の急な飛び出し、落石などをはじめとする突発的障害の発生が場の時間軸変動に該当する。

提案するビークルの利用にあたり、Follower の搭乗者は、出発地から Leader との合流までは自ら運転を行う必要がある。しかし、Leader と合流した後は、目的地近辺まで自ら運転する必要は無くなり、その間、車内で自由に活動することができる。これは、単に利便性を供するだけでなく、PCLF に基づく群行動により上記のような突発的障害を適切に回避することで、運転を苦手とする搭乗者や疲労が蓄積した搭乗者に対して、より高い安全性を供することができる。

さらに、Fig. 9 に示すように、可変フレームを積極的に活用した安全性の確保も考えられる。センサ系による突発的障害の把握において、可変フレームを密集走行に適した形態に変化させることにより、個々のビークルは一部のセンサ系を稼働させるだけで、群全体としては全方向のセンシングを行うことが可能となる。また、センサ系が不調なビークルが含まれる場合は、該当ビークルを群の内側に配置することで全方向のセンシングを損なうことなく走行することができる。

以上のような特性から、提案するビークルは、ショー

トタイムスケールで発生する場の時間軸変動に適切に対応し、安全性を実現する可能性があると考えられる。

4.3 ミディアムタイムスケールにおける効果

ミディアムタイムスケールでは、事故や天候による道路の通行制限、渋滞などをはじめとする継続的障害の発生が場の時間軸変動に該当する。

提案するビークルの利用にあたり、Leader は、SWP を活用することで自身の走行ルート上に仮想的にフェロモンを投入していく。投入されたフェロモンの空間的な分布状況から、空いている / 混雑しているという道路状況がリアルタイムにマッピングされ、空間の構造化が行われる。このようなマッピング情報を他の群が事前に入手することで、継続的障害を適切に回避できると考えられる。また、SWP にフェロモンの拡散の仕組みを取り入れることで、継続的障害の時間軸変動を反映したより適切なマッピングも可能となる。

さらに、可変フレームを積極的に活用した安全性の確保も考えられる。障害物によって走行可能な道路幅が限定される状況下では、可変フレームを密集走行に適した形態に変化させることにより、障害を回避して通り抜けることが可能となる。

以上のような特性から、提案するビークルは、ミディアムタイムスケールで発生する場の時間軸変動に適切に対応し、安全性を実現する可能性があると考えられる。

4.4 ロングタイムスケールにおける効果

ロングタイムスケールでは、他の二つのタイムスケールとは異なり、路面の整備、道路の拡張、交通情報シス

テムの充実などをはじめとする交通インフラの成長が場の時間軸変動に該当する。

提案するピークルの利用にあたり、ショートタイムスケールにおける突発的障害や、ミディアムタイムスケールにおける継続的障害の発生場所および時間に関する状態量が常時蓄積される。この蓄積された状態量の特徴を分析、把握することで、障害の発生する頻度が高い場所および時間が明確化され、交通インフラの整備や拡張を行ううえでの指針として活用される可能性がある。そして、このような交通インフラの成長は、群行動に基づくピークルの安全性を、間接的に高めていくことに結びつくと考えられる。

このような特性から、提案するピークルは、ロングタイムスケールにおいて場の時間軸変動の創造に貢献し、安全性を実現する可能性があると考えられる。

5. 結言

本稿では、21世紀における新パラダイム; タイムアクシス・デザインの理論および方法論に基づくピークルデザインの事例を紹介し、導出されたデザイン解の効果を考察することで(1)タイムアクシス・デザイン理論の一つであるマルチタイムスケールモデルを活用することで、場の時間軸変動および人工物(ピークル)に関連する多数の要素とそれらの関係性がタイムスケールごとに適切に明確化されるとともに、各タイムスケール間の因果関係を媒介する状態量も明確化される(2)タイムアクシス・デザイン方法論の一つであるバイオインスパイアード・デザインを活用することで、生命システムが持つメカニズムの実現という観点から、技術シーズの新たな価値や意味が明確にされる、という知見を示した。

上記知見については、今後、他のさまざまな人工物デザインへの適用を積み重ねることで検証していく必要があるが、本稿で示したタイムアクシス・デザインが、20世紀までの社会が残した多くの問題を解決するうえでの一助となれば幸いである。

参考文献

- [1] 浅沼尚, 氏家良樹, 佐藤浩一郎, 松岡由幸: 多空間デザインモデルに基づくデザイン法の提案とその適用, デザイン学研究, Vol.58, No.4, pp. 1-10, 2011.
- [2] Y. Matsuoka, "Design Science "Six Viewpoints" for the Creation of Future," MARUZEN Co., Ltd., pp. 20-21, 2010.
- [3] A. Tachibana, K. Aoki, and M. Mio, "Intelligent Transport Systems - Automated Vehicle System Cooperated with Infrastructure," Toyota Tech Rev, Vol.46, No.1, pp. 44-49, 1996.
- [4] G. Lu and M. Tomizuka, "A Laser Scanning Radar Based Autonomous Lateral Vehicle Following Control Scheme

for Automated Highways," Proc. Am Control Conf., No.1, pp. 30-35, 2003.

- [5] H. Suzuki, "Driving Environment Recognition Technology for Autonomous Driving and Platooning," JARI research journal, Vol.31, No.10, pp. 505-508, 2009.
- [6] Y. He, H. Wang, and B. Zhang, "Color-Based Road Detection in Urban Traffic Scenes," IEEE Transact. Int. Trans. Intell. Transp. Syst., Vol.5, No.4, pp. 309-318, 2004.
- [7] S. Tsugawa, S. Katoh, T. Matsui, H. Naganawa, and H. Fujii, "An Architecture for Cooperative Driving of Automated Vehicles," IEICE Technical Report, Vol.100, No.75, pp. 69-74, 2002.
- [8] H. Itakura and K. Nakazawa, "The Cooperation Method of Multiple Mobile Robots Using Pheromone System in the Unknown Environment," The 26th Annual Conference of the Robotics Society of Japan, No.26, pp. 301-304, 2008.
- [9] D. Kurabayashi, T. Koiwa, T. Inoue, and T. Funato, "Autonomous Configuration of a Transportation Network by Artificial Pheromone System," Proceeding of the 16th Intelligent System Symposium, pp. 33-36, 2006.
- [10] Y. Nakamichi and T. Arita, "An Evolutionary Simulation of the Origin of Pheromone Communication," Transaction on mathematical modeling and its applications, pp. 78-88, 2006.

氏家 良樹



2005年慶應義塾大学大学院理工学研究科博士課程修了, 博士(工学)。同年より同大学理工学部にて6年間の助教を経て, 2011年より同大学理工学部専任講師。計算機援用の設計方法論に関する研究に従事。日本計算工学会, 日本機械学会などの会員。KEER 2007 Excellent Paper Award などを受賞。

高野 修治



1979年九州芸術工科大学工業設計学科(現,九州大学)卒業。同年より日産自動車入社。以降,自動車のデザイン開発研究に従事。2000年日産欧州スタジオ社長就任。2007年日産自動車退社後,HAL東京カーデザイン学部教授に就任。2011年より慶應義塾大学大学院理工学研究科後期博士課程在学中。日本デザイン学会会員。毎日デザインコンペ特賞などを受賞。

中澤 和夫



1989年慶應義塾大学大学院理工学研究科博士課程修了,工学博士。同年より同大学理工学部の助手,1992年同大学理工学部専任講師。2001年同大学理工学部助教授,2007年より同大学理工学部准教授。環境情報処理とロボットの学習制御に関する研究に従事。日本機械学会,計測自動制御学会,IEEEなどの会員。

松岡 由幸



1979年早稲田大学理工学部機械工学科卒業。博士(工学,千葉大学)。野村総合研究所にて本四架橋プロジェクト,日産自動車にてスカイライン,ローレルなどの開発に従事。イリノイ工科大学デザイン研究所フェローを経て,2003年より慶應義塾大学教授。専門は,デザイン科学。デザイン塾主宰。
