

# 2次元道路データから3次元空間データを生成するソフトウェアの開発

## Development of Software to Generate Three-Dimensional Spatial Data from Two-Dimensional Road Data

佐々木 将人 石川 勝 五十嵐 祐太  
Masato Sasaki Masaru Ishikawa Yuta Igarashi

### 要 旨

ドライビングシミュレータ（以下、シミュレータ）に求められるビジュアルシステムの3次元（以下、3D）空間データ生成において、従来、制作する3D空間のリアリティを高めるほどデータ生成に多くの時間を要していたが、当社が開発した3D空間データ生成ソフトウェアにより、高リアリティの3D空間データを短時間で生成することに成功した。本ソフトウェアは、2次元（以下、2D）道路データの変換、3D化のベースデータ生成、3D描画データ生成の一連の過程を自動化し、既存の2D道路データから3D空間データを自動生成することにより、近年ニーズが高まっている高リアリティの道路映像をシミュレータにおいて再現する。

### Abstract

In the generation of three-dimensional (hereafter 3D) spatial data of a visual system required for a driving simulator (hereafter simulator), in the past, it took a lot of time to generate data in order to enhance the reality of the 3D space to be created. However, JRC has succeeded in generating high-reality 3D spatial data in a short time using the 3D spatial data generation software developed by JRC. This software automates a series of processes of two-dimensional (hereafter 2D) road data conversion, base data generation for 3D conversion, and data generation of 3D drawing, and automatically generates 3D spatial data from existing 2D road data. Through these, high-reality road images for which needs have been increasing in recent years will be reproduced in the simulator.

### 1. まえがき

昨今、自動車車両の開発においてシミュレータが有効活用されており、当社も1996年以来、車両メーカー、研究機関、大学へシミュレータを納入している。従来、シミュレータの活用ニーズは車両の駆動系や操縦安定性を中心とする運動性能の評価が主体であったが、近年、自動運転を中心とする車両制御の評価へと活用ニーズが拡大している。これに伴い、シミュレータに求められる機能が、従来の一般的なシナリオ作成（交差点、信号機などを含む一般道や高速道路の映像に他車両や歩行者の情報を重畳した仮想空間の生成）から「実在する街、道路、交差点を模したリアリティの高い仮想空間の生成」へと推移している。自動車メーカー各社は交通事故ゼロを目標として自動運転技術の開発を進めており、その開発過程において発生するインシデントに対して十分な検証が求められる。この一方で、インシデントの再現の難しさや検証に要する多大な時間が検証の妨げとなっており、これらの問題の解決が課題となっていた。この課題を達成することを目的として、当社は新たな3D空間の自動生成技術を開発した。本稿では、3D空間データ生成方法の開発コンセプト、シミュレータの技術構成および2D道路データから3D空間データの生成手順について述べる。

### 2. シミュレータ装置の技術および構成

シミュレータの構成および機能を表1に、シミュレータにおけるデータの流れを図1に示す。シミュレータで計測・解析した車両運動モデルの演算結果や運転操作者の挙動などのデータは、マンマシンインタフェースの研究および車両開発に活用される。「システム制御装置」が管理する「シナリオ装置」が設定したシナリオに沿って「ビジュアル発生装置」が生成した3D映像データを「ビジュアル提示装置」を介して運転操作者に与える。運転操作者が「模擬運転装置」で行った運転操作の情報は「車両運動モデル装置」に入力される。車両の運動を計算して得た姿勢データに応じて「モーション装置」が動作し、運転操作者に加速度を与えると同時に、運転操作に合わせた視覚情報が「ビジュアルデータ発生装置」で生成され、運転操作者へ示される。

以上の一連の操作とシミュレータの動作が繰り返されることにより、CG（コンピュータグラフィクス）により生成された道路の模擬的な走行体験（シミュレーション）ができる。シミュレータのイメージを図2に示す。

表1 シミュレータの構成・機能

Table 1 Configuration and functions of the simulator

構成装置	機器構成	機能
ビジュアル提示装置	プロジェクタまたはモニタ	運転操作者に対し3D空間の視覚情報を表示する
模擬運転装置	電源装置, 信号入出力	車両操作情報を車両運動モデル装置に出力し, フィードバック信号を入力する
	ステアリング反力発生装置*1 ペダル反力発生装置*2	ステアリング, アクセル, ブレーキの操作感をアクチュエータ制御により再現する
モーション装置	HEXAPOD*3用シリンダ ターンテーブル装置 並進装置	車両操作情報を基にした車両運動モデル装置の計算結果から, 姿勢および加速度を運転操作者へリアルタイムに与える
車両運動モデル装置	計算機	車両操作情報を基に車両の運動計算を行う (車両運動モデルにはタイヤ, サスペンション, シャシー, エンジンなどのモデルを含む)
ビジュアル発生装置	計算機	車両運動モデル装置の計算結果から, 姿勢データに応じリアルタイム3D空間データを生成する
シナリオ装置	計算機	走行中における人や他車両の飛び出しや他車両の割込みなどのイベントを実行する
システム制御装置	計算機	シミュレータ全体を管理し, 各装置の起動/終了, シミュレーションの開始/終了, シミュレーションログ収集などを行う

技術論文

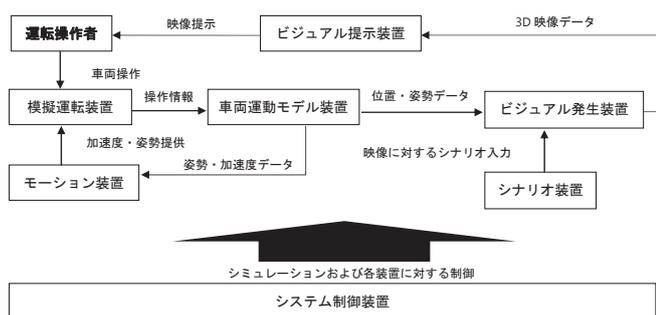


図1 シミュレータにおけるデータの流れ  
Fig.1 Data flow in the simulator



図2 シミュレータのイメージ  
(模擬運転装置およびモーション装置)

Fig.2 Image of the simulator  
(driving simulator and motion platform)

### 3. 3D空間データ生成ソフトウェアの開発コンセプト

- (1) 従来, 個々に制作していた「視覚情報としての3D映像データ」と「車両挙動を計算する車両運動モデル用の路面データ」を共用できるようにする
- (2) 走行中のインシデントや操縦安全性の検証などのニーズに対応するため, 既存の2D道路データから3D空間データを自動生成し, 世界中の道路を模擬できるようにする
- (3) 従来, 3D空間データ制作に要していた時間を大幅に短縮する (従来は延べ30 km程度の区間の3D空間データを制作するために最短3ヶ月以上を要していた)

### 4. 道路データの自動生成 (道路データ一次処理)

当社は, 車両運動モデルを用いた走行を可能とする道路および周辺環境のリアリティの高い3D空間データを2Dデータから短時間で自動生成するソフトウェアを開発した。2D道路データから3D空間データを生成する手順を図3に示す。

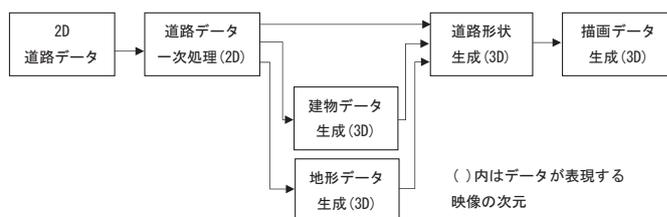


図3 2D道路データから3D空間データを生成する手順  
Fig.3 Procedure for generating 3D spatial data from 2D road data

3D空間データ生成のベースとなる2D道路データは、カーナビ用の地図データを採用した。

2D道路データはカーナビに表示される情報としての基本データであり、道路の基本的なデータ、規制データ（最高速度や一時停止など）のほかに、交差点、場所の特徴を示すランドマークとなる建物情報および道路名称などのデータが含まれる。道路データ一次処理は、主として「道路データ」「建物データ」「地形データ」の3種類のデータへ分類する処理である。

## 5. 道路データの生成

道路データは、路面標示、交差点、車線数などの道路に関するデータおよび信号機などの道路環境構成物のデータで構成される。点列で出力される車道データを当社独自のアルゴリズムにより線形データに変換し、緩和曲線化したスムージング処理を行うことにより、カクツキを抑えたスムーズな曲線による道路の描画を可能とする。道路データのスムージング処理前後のイメージを図4に示す。

道路データを点から線に変換し生成した一本の道路をトラックとして扱い、交差点とトラックを結ぶ点をリンクとし管理する。このトラックと交差点に対し独自のアルゴリズムで道路の幅員、車線数、停止線などの情報を付加し、「道路ネットワークデータ」とする。2D道路データに付加する情報の例を以下に示す。

### 2D道路データに付加する情報の例

交差点目印、交差点名称、信号機、行先案内名称、一方通行、進入禁止、通行不可、一時停止、走行レーン、レーン規制、進入退出レーン、レーン増減区間案内、最高速度看板位置、高さ幅重量制限、踏切、路上パーキング、ETCゲート、歩道

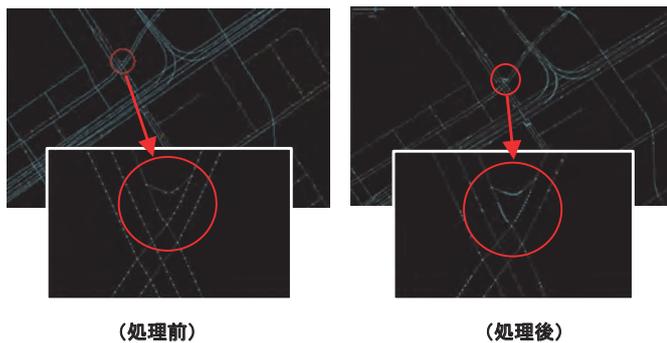


図4 スムージング処理前後のイメージ

Fig.4 Image before and after the smoothing process

道路を3D空間として描画するため、生成した道路データに当社独自のアルゴリズムによる処理を施し、スムーズな曲線で構成された道路にバンクや踏切の凸凹などを再現する。道路付帯設備（横断歩道、信号機、標識、ガードレールなど）、路肩や歩道の幅員、歩道の樹木などは既存の2D道路データの情報だけでは自動生成できないため、3D化の過程で各々の道路の種別毎に条件を定義し、データを付加す

る。信号機の位置や向きは、道路と交差点のリンク位置における道路の進行方向を特定して実態と整合させる。

## 6. 建物データの自動生成

建物データには、道路データ一次処理で抽出した建物の断面形状の情報となる床面形状データ、高さの情報となる階数データおよび店舗名の情報などが含まれる。これらのデータを用いて3D化処理を行い、建物を立体化する。立体化の段階で描画されるオブジェクトは無地の建物であるが、テクスチャ\*4を付加することにより立体的な外観を模したオブジェクトが描画される。建物を立体化して描画する一連の処理過程（例）を図5から図8に示す。

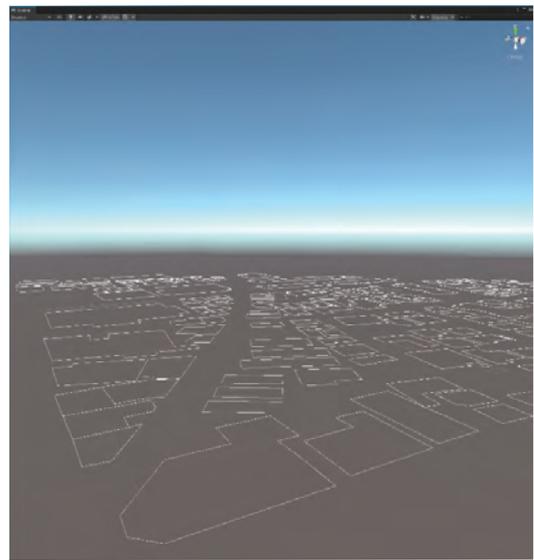


図5 建物断面形状の切出し

Fig.5 Cutting out the cross-sectional shape of the building

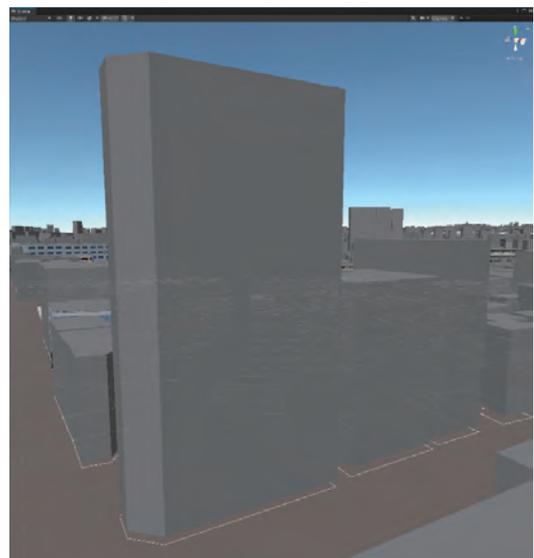


図6 建物の立体化処理

Fig.6 3D processing of the building

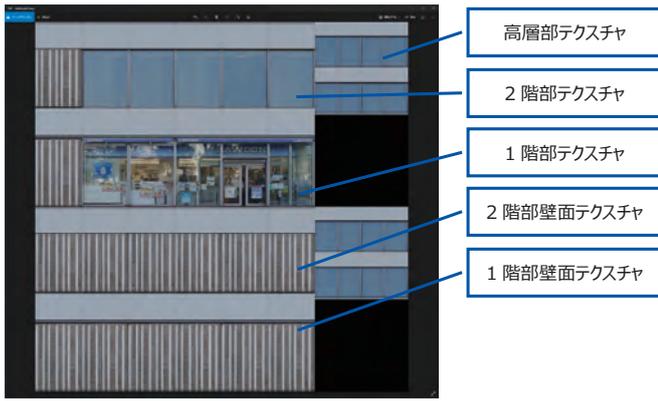


図7 テクスチャの準備  
Fig.7 Preparation of the texture

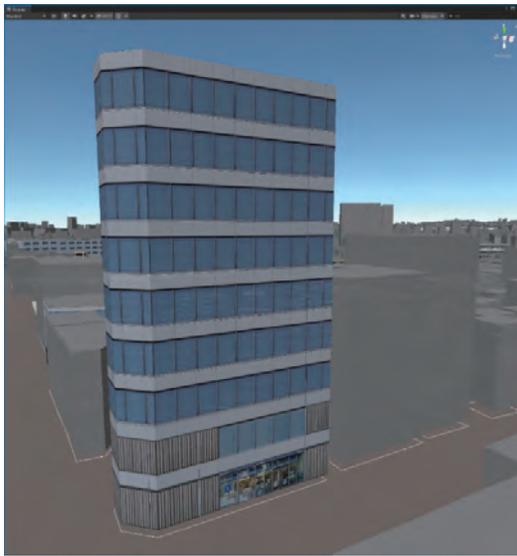


図8 テクスチャを付加した建物  
Fig.8 Building with texture added

コンビニエンスストアやドラッグストアなどのように店舗名からオブジェクトが一義的に決定可能な場合には、システムに保存されているテクスチャを付加することにより描画処理を自動化する。オブジェクトが一義的に決定できない場合は、任意のテクスチャを付加することにより描画処理を行う。個性的な形状のオブジェクト（例：東京タワーや東京駅など）は、あらかじめ制作したテクスチャの3Dデータを用いて描画処理を行う。

### 7. 地形データの自動生成

地形データは、2Dデータに含まれる河川や海岸線などの水域データおよび標高データにより構成される。2D道路データは道路の標高データを含むが、道路以外の地形および標高のデータを含まない。このような2D道路データに含まれない地形の立体化においては国土地理院の標高データを用いた。このように異なる情報源を用いることから、データを世界測地系<sup>※5</sup>に統一している。「2D道路データ」から水域部を抽出した海拔0 mのポイントレベルに標高データを重ねて生成した地形データの例を図9に示す。

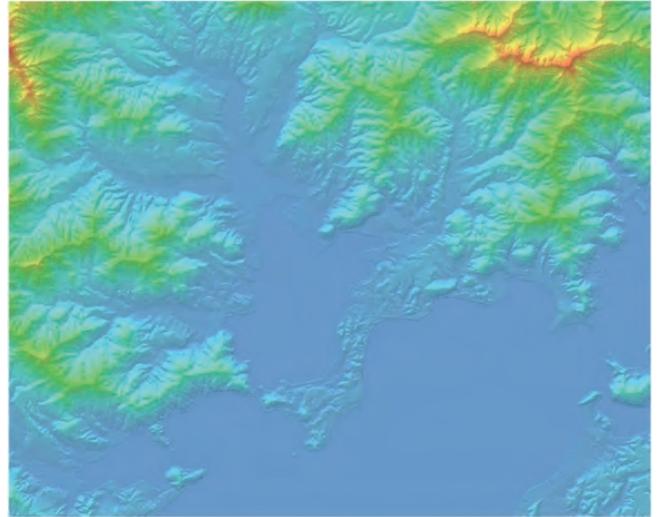


図9 生成した地形データの例（浜名湖付近）  
Fig.9 Example of generated terrain data (near Lake Hamana)

### 8. 3D空間データの自動生成

先に述べた道路データの3D化処理により、線で表現されていた道路に路幅情報が付加され、道路と交差点が立体構造で接続された状態となる。道路データの3D化処理の過程を図10に示す。図10において、(a)は2Dデータにおけるスムージング処理やリンク内の点データ平均化処理などにより最適化された状態、(b)は3D化後の状態を示す。また3D化後の交差点および道路の上面視を(c)に、鳥瞰視を(d)に示す。



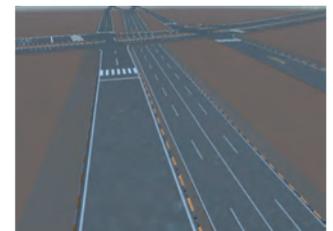
(a) 道路ネットワークデータ（最適化後）  
(a) Road network data (after optimization)



(b) 道路データ（3D化後）  
(b) Road data (after 3D conversion)



(c) 3D化後の交差点および道路（上面視）  
(c) Intersections and roads after 3D conversion (top view)



(d) 3D化後の交差点および道路（鳥瞰視）  
(d) Intersections and roads after 3D conversion (bird's eye view)

図10 道路データの3D化処理の流れ

Fig.10 Flow of 3D conversion process of the road data

自動生成した道路データの3D描画例を図11から図14に示す。

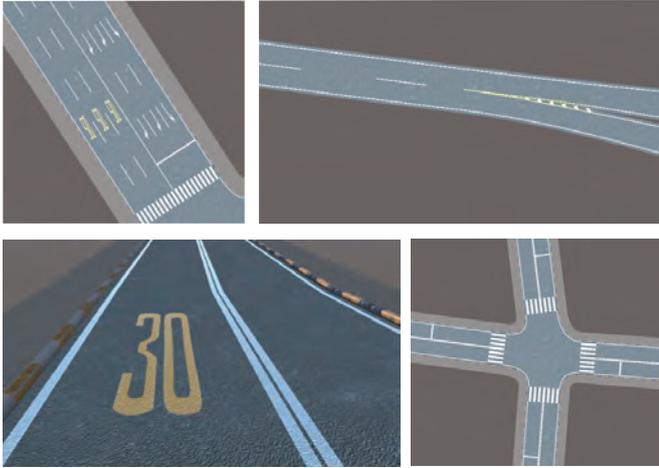


図11 自動生成した路面ペイントおよび交差点形状の3D描画例

Fig.11 3D drawing example of the automatically generated road surface paint and intersection shape

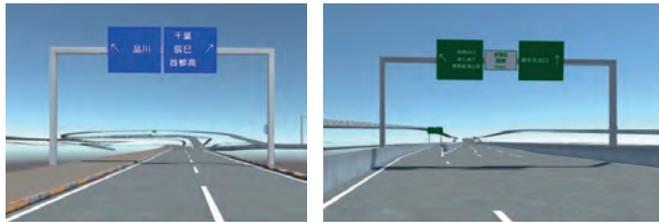


図12 自動生成した行先表示板の3D描画例

Fig.12 3D drawing example of the automatically generated destination display board



図13 自動生成した縁石、ガードレール、歩道、トンネルの3D描画例

Fig.13 3D drawing example of the automatically generated curbs, guardrails, sidewalks, and tunnels



図14 自動配置した標識、信号の3D描画例

Fig.14 3D drawing example of the automatically placed signs and signals

道路データと地形データを結合する際、両データの測量方法の違いからデータ間の測定誤差や処理誤差が生じ、両データを単純に結合できないため、道路と地形との間の標高誤差を緩和するための平滑化処理を施している。図15に示すように、道路で囲まれた地形の内側に閉ループ（赤色線）とセットバックした閉ループ（青色線）を生成し、両者間で平滑化処理を行う。シミュレータの描画速度は60 fps ~ 120 fpsが一般的であり、ポリゴン<sup>\*6</sup>数が描画速度に影響を与えることから、ビジュアルシステムの描画速度を向上させるため、地形データにテッセレーション処理<sup>\*7</sup>を施している。

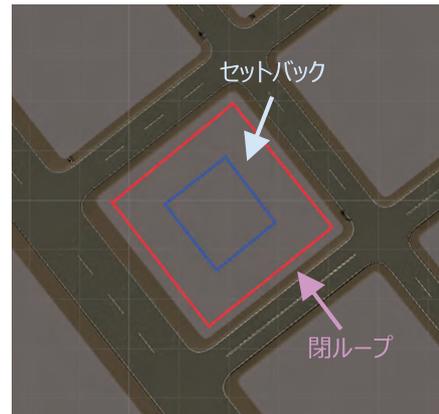
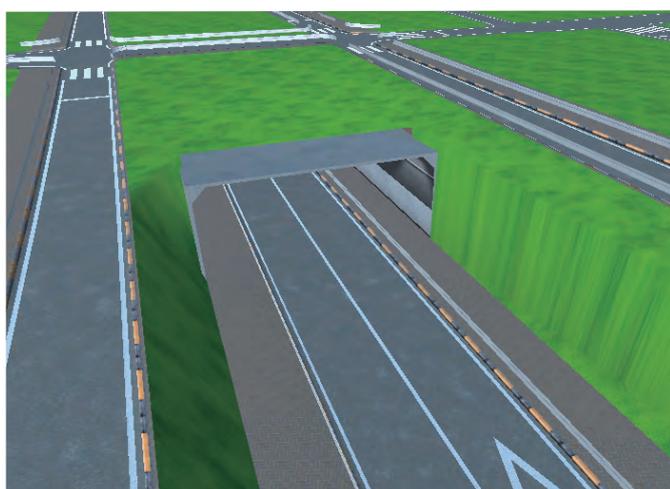


図15 閉ループとセットバック  
Fig.15 Closed-loop and setback

以上の描画処理により、地形の起伏が表現され、地形上に道路が描画される。地面の標高と比べて道路の標高が高い場合には道路を高架として描画し、道路の標高が低い場合には切通しやトンネルとして描画する。地形と道路の3D描画例を図16に示す。



① 平坦地形における道路の描画例  
① Road drawing example on flat terrain



② 標高差のある地形におけるトンネルの描画例  
② Drawing example of a tunnel in terrain with elevation differences



③ 標高差のある地形における切通しの描画例  
③ Drawing example of cuts in terrain with elevation differences

図16 地形と道路の3D描画例

Fig.16 3D drawing example of terrain and road

次のステップとして、道路データと地形データが結合された描画に建物データを結合させる。以上の処理を施したデータにより、イメージジェネレータ<sup>※8</sup>を用いてリアリティのある3D空間の描画イメージが生成される。3D空間の描画例を図17に示す。



① コンビニエンスストアおよび銀行の3D描画例  
① 3D drawing example of convenience store and bank



② 樹木、ガードレールおよび交差点の3D描画例  
② 3D drawing example of trees, guardrails, and intersections



③ 中野駅（東京都中野区）付近の再現3D描画例  
③ Reproduction 3D drawing example near Nakano Station (Nakano-ku, Tokyo)

図17 「道路データ」「地形データ」「建物データ」の結合により生成された3D空間の描画例

Fig.17 Drawing example of 3D space generated by combining “road data”, “terrain data”, and “building data”

生成した3D空間に対し、光源と空のテクスチャを変更することで、影の変化や街灯を付加し、異なる時間帯の風景を演出することができる。

3D空間の時間変化による描画例を図18に示す。

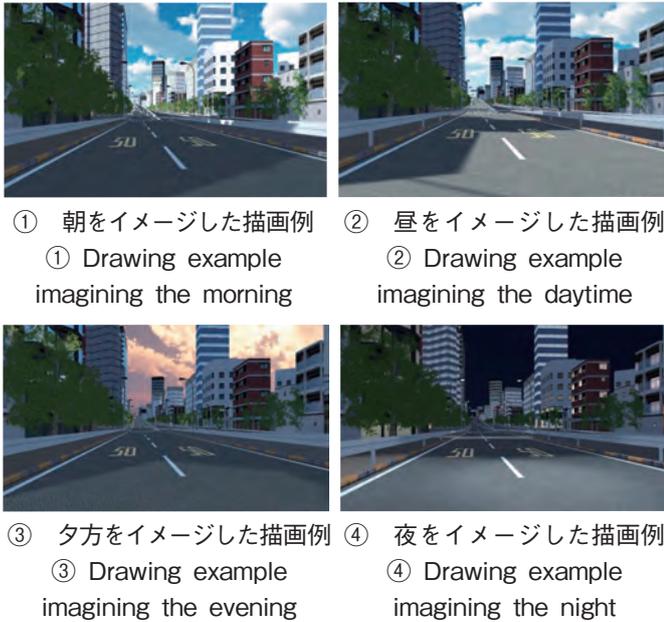


図18 時間変化による描画例

Fig.18 Drawing example by time variation

### 用語一覧

- ※1ステアリング反力発生装置: ステアリングで感じる路面摩擦に起因する抵抗を疑似的に発生させる装置
- ※2ペダル反力発生装置: ブレーキやアクセル操作時に感じるペダル反力を疑似的に発生させる装置
- ※3 HEXAPOD: 6本のアクチュエータ天板を支え、位置と傾きを制御するロボット (通称「スチュワートプラットフォーム」)
- ※4テクスチャ: 物体の質感を表現するため3Dオブジェクトに付加する画像データ
- ※5世界測地系: 国内の基準点を用いた測量にもとづく日本測地系に対し、地球の重心に座標系の原点を置いた世界共通の測地基準系
- ※6ポリゴン: 3DCGにおける物体の頂点を含む輪郭
- ※7テッセレーション処理: 視点からの距離に応じた3Dオブジェクトのメッシュデータの詳細化/簡素化処理
- ※8イメージジェネレータ: 3Dオブジェクトデータにテクスチャを付加することによる光や影などの演出効果処理

## 9. あとがき

シミュレータに求められるビジュアルシステムの3D空間データ生成ソフトウェアの開発の背景、シミュレータの技術構成、本技術を用いた2D道路データから3D空間データの生成手順について述べた。本開発により下記の成果を得た。

- (1) 2D道路データから3D空間データを自動生成することによる他に類のない付加価値の創出
- (2) 運転操作者に対する視覚情報提示用3Dデータおよび車両運動モデル用の路面データの同時生成
- (3) 3D空間データ生成の自動化により制作時間を大幅短縮

以上の成果により、従来は困難とされていた自動運転技術の開発過程におけるインシデントの再現を始めとする重要な課題の解決に大きく貢献した。

今後、本技術を更に磨き、地図情報からの取得が困難な情報の3D描画を可能にすることで、より一層高度なシミュレーションを実現し、交通事故ゼロへの貢献を目指す。