

令和 6 年 6 月 8 日現在

機関番号：32675

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04648

研究課題名（和文）道路舗装の3次元モデル及び点検データを用いた道路地図の調製・更新技術の開発

研究課題名（英文）Development of Technology to Adjust and Update Road Maps using 3D Models or Inspection Data of Road Pavements

研究代表者

今井 龍一（Imai, Ryuichi）

法政大学・デザイン工学部・教授

研究者番号：90599143

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,713,700円

研究成果の概要（和文）：本研究では、3次元モデルと道路地図の親和性に着目し、道路舗装のICT施工データからの3次元モデルの生成技術と、3次元モデルを活用した道路台帳図やダイナミックマップの重畳・調整技術の研究開発に取り組んだ。そして、自動車専用道路の舗装工事における道路舗装機械のログデータを用いて、道路舗装を構成する表層・基層・上層路盤および下層路盤の各層の3次元モデルを生成できること、各層の厚さを道路地図の区画線に収録できることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果を活用すると、建機のログデータ、ドライブレコーダーやプローブデータ等のセンシング技術によって準リアルタイムに得られる情報を道路地図に反映することが可能となる。そのため、道路地図の活用拡大と道路維持管理の品質向上、そして安全運転支援や自動運転に必要な高精度な道路地図の情報鮮度を確保する有効な手段となり得る。

研究成果の概要（英文）：In this study, we focused on the affinity between 3D models and road maps, and engaged in research and development of technologies for generating 3D models from ICT construction data of road pavements, and for superimposing and adjusting road ledger maps and dynamic maps using the 3D models. Using log data of road paving machines used in the pavement construction of motorway, we confirmed that it's possible to generate 3D models of the surface layer, base layer, upper roadbed, and lower roadbed, which constitute the road pavement, and that the thickness of each layer can be recorded on the parcel lines of a road map.

研究分野：都市交通，測量・計測，土木情報学

キーワード：i-Construction 3次元モデル 道路地図 点群データ 地図調整

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

我が国では、安全運転支援や自動運転の実現に向けて、ダイナミックマップ等の高精度な道路地図の整備が進められている。この高精度な道路地図の情報鮮度を確保するには、効率的かつ持続的な調製・更新手法の確立が必須となる。国内外で推進中の ICT による道路の工事や点検によって流通と蓄積が期待される道路舗装の3次元データや点検データを基に高精度な道路地図を自動調製・更新できると、道路管理の高度化や安全運転支援等の実用化が実現する。そこで、本研究は、道路のデジタルツインの環境構築への貢献を目指し、道路舗装の3次元データを用いて高精度な道路地図を調製・更新する手法を開発する。さらに、ドライブレコーダーやプローブデータ等のセンシング技術によって準リアルタイムに得られる情報を道路地図へ反映する手法を開発する。

2. 研究の目的

本研究の目的は、道路のデジタルツインの環境構築への貢献を目指した安全運転支援や自動運転の実現に必須となる高精度な道路地図の効率的かつ持続的な情報鮮度の確保とする。そのために、道路舗装の3次元データを用いて高精度な道路地図を自動調製・更新する手法を開発する。さらに、道路舗装機械等の稼働データ、ドライブレコーダーやプローブデータ等のセンシング技術によって準リアルタイムに得られる路面の劣化情報を道路地図へ反映する手法を開発し、道路地図の活用拡大と道路維持管理の品質向上にも寄与する。

3. 研究の方法

本研究の実施期間は、令和2年度から令和5年度までの4年間となった。初年度（令和2年度）は、道路舗装の3次元出来形管理、高精度な道路地図、路面の劣化情報の実データを収集し、それらの仕様を調査した。2年目（令和3年度）は、3次元モデルを活用した道路台帳図やダイナミックマップの重畳技術を開発した。3~4年度（令和4~5年度）は、路面の劣化情報を示す指標と道路地図との統合手法を開発し、全体的な開発手法の評価・改善を図って、3次元モデルを用いたダイナミックマップの調製技術として研究成果を取りまとめた。広報活動としては、適宜、土木工学や情報工学の専門学術誌等に論文を投稿して情報発信を行った。

4. 研究成果

本研究では、道路舗装の ICT 施工データを元に生成した3次元モデルと道路地図との親和性に着眼し、3次元モデルの生成技術（成果 A）、3次元モデルを活用した道路台帳図やダイナミックマップの重畳技術（成果 B）、3次元モデルを用いたダイナミックマップの調製技術（成果 C）の研究開発を遂行した。

4.（1）. 3次元モデルの生成技術（成果 A）

本技術開発では、維持管理の道路地図を3次元的に使える環境構築への貢献を目指している。現行の法制整備台帳として法制度化されている道路台帳附図の地理的な絶対精度としての縮尺 1/1000（水平 0.7m、高さ 0.33m）以上を目標とした。ただし、舗装の厚さを保持したデータを組込むことも目的としているため、RTK-GNSS の測位誤差の課題を分析するとともに3次元モデルの生成手法を改良し、新たに3次元モデルを生成することとした。

既往研究の試験施工に基づく課題分析・対応策等を受け、図-1に示すように3次元モデルの生成フローを考案し、試験施工における実測値を用いて検証した。まず、起点と終点および中間点（10m間隔）での出来形管理の実測値に合わせた3次元ラインからサーフェスを生成する。次にログデータから均一な TIN (Triangular Irregular Network) を生成する。具体的には、機械高の高さ補正をしたログデータは点群であるため、図-2に示すように25cmの各メッシュ内の点が複数の場合は1点となるように平均処理して TIN を生成する。その後、生成した TIN を出来形管理の実測値に合わせたサーフェスに統合し、異なる2つのサーフェス面をつなぎ合わせるロフト操作を行って3次元モデルを生成する。この手法で道路舗装の各層を生成し重畳する。生成した3次元モデルの3層分の全体像を図-3に示す。6点の出来形計測値から生成したモデルが外側の領域で、内側の赤で囲われた部分がログデータから生成したモデ

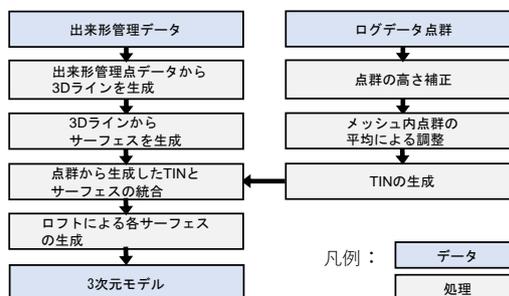


図-1 3次元モデルの生成手法

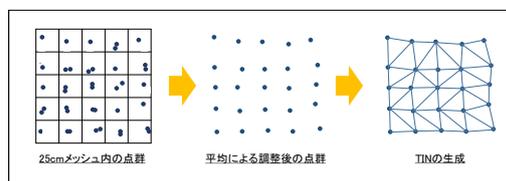


図-2 TINの生成手法

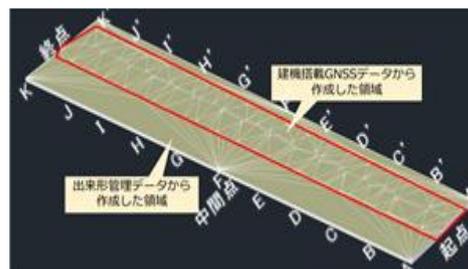


図-3 3次元モデルの全体像

ルである。提案手法による試験施工の層厚の精度評価結果を表-1に示す。このように、ログデータから生成した3次元モデルを出来形計測値で補正することで、高い精度の3次元モデルを生成できることが確認できた。

本提案手法を用いて、首都圏中央連絡自動車道（坂東IC～常総IC間）の坂東舗装工事の層ごとに取得されたログデータから3次元モデルを生成することとした。同一箇所における表層、基層、上層路盤および下層路盤の舗装工事にて取得したログデータより、各層の3次元モデルを生成した。生成した3次元モデルと設計データとの重畳結果を図-4に示す。設計データは出来形管理に特化しているSiTECH 3Dを使用した。図-4より、提案手法を用いて、表層、基層、上層路盤および下層路盤の各層の3次元モデルを作成できることを確認した。また、生成した3次元モデルと設計図とを比較すると、位置情報は概ね一致していることが確認できた。

4. (2). 3次元モデルを活用した道路台帳図やダイナミックマップの重畳技術（成果B）

本技術開発では、3次元モデルの基データであるログデータで得られている道路舗装の層厚を高精度な道路地図であるダイナミックマップの基盤となるHDマップに反映させるために、両者の親和性を分析した後、その重畳手法を考案した。

ダイナミックマップは、路面情報・車線情報からなる「静的情報」、交通規制予定情報・道路工事予定情報からなる「準静的情報」、事故情報・狭域気象情報からなる「準動的情報」および車両・歩行者・信号情報等のITS先読み情報で構成される「動的情報」のように、静的な情報だけでなく動的な情報が組み込まれた道路地図である。地物情報は、道路基本地物、道路関連地物および道路支持地物に含まれる21種類の実在地物とデータ集合（付加属性）や位置参照基盤に含まれる40種類の仮想地物が定義されている。いずれも3次元の位置情報を保持しており、これらの情報を参照すると、より安全・快適な自動走行が実現できる。さらに、ダイナミックマップは全国的高速道路・自動車専用道路を主対象に整備が進められているが、一般道路の整備も展開されている。そのため、本研究では、ダイナミックマップの静的情報の基盤となるHDマップを用いて道路管理への利活用の可能性を検証した。ログデータとHDマップとを重畳するためには、測地系と座標系の統一が必要である。本研究では建設時の設計データが日本測地系であるため、測地系は日本測地系、座標系は平面直角座標系に統一させることとした。

舗装路面と位置的に関連性の高いHDマップの地物は、区画線、車道リンクや路肩縁が想定される。その内、区画線は、道路空間に実在する地物であり、表層の最上部に存在する。そのため、地盤面の高さを基準点（GL：Ground Level）としても扱える。加えて、HDマップの区画線は、コンピュータが高速処理しやすいよう点列で構成されており、ログデータや3次元モデルの構成点との関連付けが容易である。本研究では、ログデータとHDマップとの親和性の高い地物として区画線に着目した。

まず、3次元モデルの基データであるログデータを地盤面の高さに補正する。次に、補正したログデータとHDマップの測地系・座標系を統一する。本研究で使用したログデータは日本測地系の平面直角座標系、HDマップは世界測地系の平面直角座標系および緯度経度座標系である。そのため、国土地理院測量計算サイトを使用して、全てのデータを日本測地系の平面直角座標系に統一する。最後に、ログデータとHDマップの区画線を可視化する。

表-1 GNSS ログデータによる舗装の厚さ計測結果（実測値との差）（単位：mm）

計測断面 工種	A		B		C		D		E		F		G		H		I		J		K		平均値	標準偏差
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B		
1層目	0	-7	-5	16	7	0	0	0	8	-7	0												1	6.60
2層目	0	11	-6	-6	1	0	2	3	5	1	0												1	4.49
3層目	0	6	19	9	12	0	11	-3	19	11	0												8	7.34

□：実測値に合わせた箇所

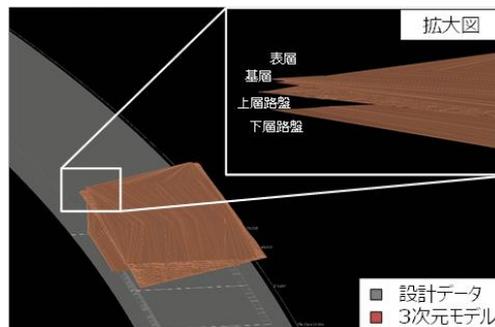


図-4 3次元モデルと設計データとの重畳結果

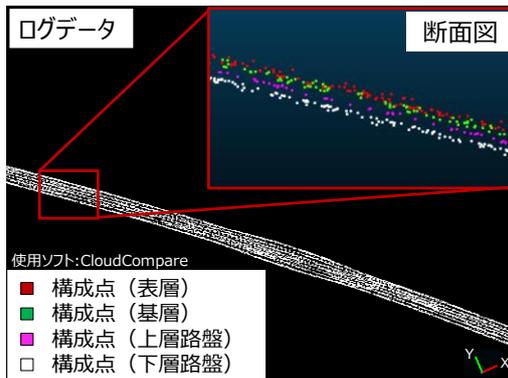


図-5 各層を計測した時のログデータの可視化結果

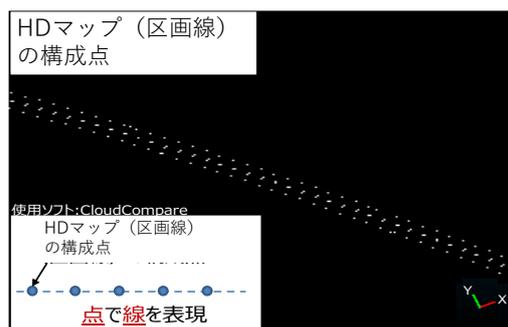


図-6 HDマップの区画線の可視化結果

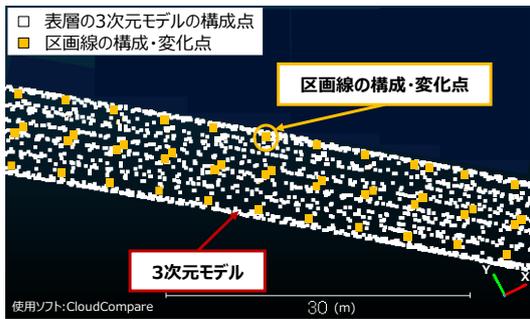


図-7 表層を計測した時のログデータと HD マップの区画線との重畳結果

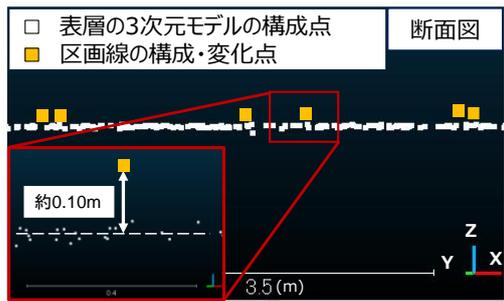


図-8 表層を計測した時のログデータと HD マップの区画線との重畳結果の縦断面図

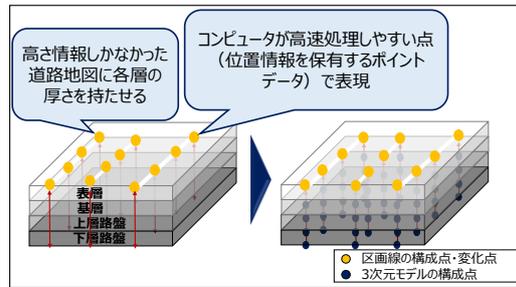


図-9 HD マップの区画線に各層の 3 次元モデルの情報を関連づけるイメージ

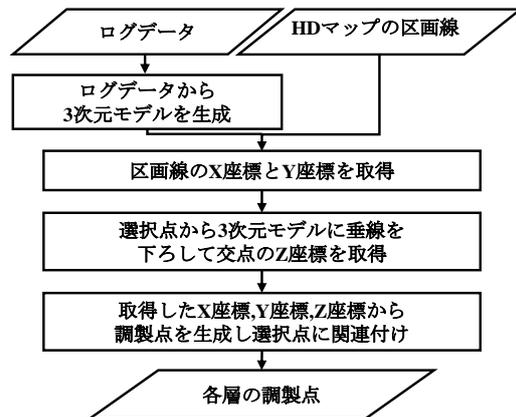


図-10 3次元モデルと HD マップの関連付け手法のフロー

本実験では、坂東舗装工事において蓄積したログデータと HD マップを使用する。ログデータの可視化結果を図-5、HD マップの区画線の可視化結果を図-6 に示す。ログデータは表層、基層、上層路盤および下層路盤の 4 層になっており、3次元で表現されていることが確認できた。また、HD マップは、点列で形状を表現していた。表層を計測した時のログデータと HD マップの区画線との重畳結果を図-7、その断面図を図-8 に示す。位置精度の観点では、図-7 に示すとおり、ログデータと HD マップの区画線の構成点とは水平方向では概ね一致していた。また、図-8 より、高さ方向で約 0.10m のズレが生じており、区画線は路面よりも上部に位置していた。さらに、表層工の設計データと HD マップの区画線とを約 500m 区間で比較したところ、水平方向では概ね一致しており、高さ方向では約 0.02~0.2m のズレが生じていた。HD マップは地図情報レベル 500 の大縮尺地図であるため、データ同士を重畳する際には 0.25m の許容誤差が生じる。重畳結果よりログデータと HD マップとの誤差が許容範囲内であるため現況の形状を表現するログデータを用いて道路地図を調製できる可能性が示唆された。

4. (3). 3次元モデルを用いたダイナミックマップの調製技術 (成果 C)

提案手法は、図-9 より、HD マップの区画線の調製・更新に有用な点 (以下、「調製点」とする。) を地層各層の 3次元モデルより生成する。処理フローを図-10 に示す。まず、点列で構成されるログデータから面で構成される 3次元モデルを生成する。次に、HD マップの区画線の構成点から 1 点を選択し、X 座標と Y 座標を取得する。そして、選択点から 3次元モデルの構成面に垂線を下ろし、垂線と構成面との交点の Z 座標を取得する。そして、取得した X 座標、Y 座標、Z 座標に基づき調製点を生成する。最後に、これらの処理をすべての HD マップの区画線の構成点に対して実行する。

本研究では、前節で考案した 3次元モデルと HD マップの関連付け手法を適用したケーススタディを実施し、有用性を確認した。具体的には、検証区間を 50m とし、実工事で取得したログデータを用いて生成した表層、基層、上層路盤および下層路盤の 3次元モデルおよび HD マップの区画線の構成点を使用する。実験に使用する 3次元モデルと HD マップの区画線との重畳結果を図-11、提案手法を用いて生成した表層、基層、上層路盤および下層路盤毎の調製点を図-12、各層の調製点と HD マップの区画線の構成点とを重畳した結果の断面図を図-13 に示す。図-13 より、標高の高い順に、HD マップの区画線の構成点、表層、基層、上層路盤および下層路盤のそれぞれの調製点が整列していることがわかる。また、HD マップの区画線とログデータとの X 座標、Y 座標を統一させたことで、HD マップの区画線の構成点、表層、基層、上層路盤および下層路盤のそれぞれの調製点の水平位置が一致していることが確認できた。

ここで、表層と基層との間を 1 層目、基層と上層路盤との間を 2 層目、上層路盤と下層路盤との間を 3 層目とする。その際に、ログデータから算出した層の厚みと設計値との比較結果を表-

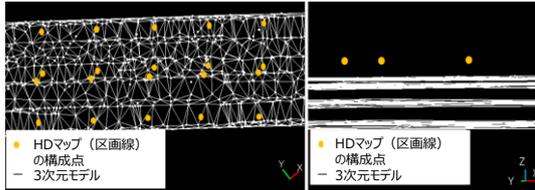


図-11 3次元モデルとHDマップの区画線の重畳結果

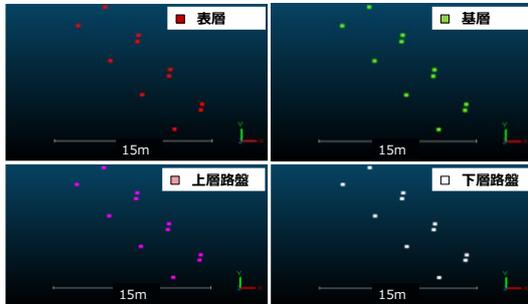


図-12 HDマップの区画線の構成点と関連付けた各層の調製点



図-13 提案手法を用いて生成した各層の調製点とHDマップの区画線の構成点

2に示す。表-2より、誤差は最大0.005m、最小0.001mであるため、提案手法は高精度にHDマップから3次元モデルへの関連付けが可能であることが確認できた。また、3次元モデルの形状を確認するため、各層の調製点を基に生成した3次元モデルを図-14および図-15に示す。さらに、各層の調製点を基に生成した3次元モデルと全てのログデータを基に生成した3次元モデルとの重畳結果の断面図を図-16に示す。図-13、図-14より、表層、基層、上層路盤および下層路盤の3次元モデルが生成できることを確認した。また、各層の調製点を基に生成した3次元モデルの点群数は、全てのログデータを基に生成した3次元モデルの点群数と比較すると遥かに少ないため、生成した3次元モデルはほぼ一直線の形状を表現していることが確認できた。さらに、図-16より両者の高さの差は0.015mであり、各層の調製点を基に生成した3次元モデルと全てのログデータを基に生成した3次元モデルは概ね一致していることが確認できた。以上より、HDマップに関連付けた調製点から元の道路舗装の3次元モデルを再現できることが示唆された。今後、HDマップの普及が進めば3次元モデルを直接取り込むことも検討していきたい。おわりに

本研究では、道路のデジタルツインの環境構築への貢献を目指し、道路舗装の3次元データを用いて高精度な道路地図を調製・更新する3つの技術を開発した。1つ目は、自動車専用道路の舗装工事における道路舗装機械のログデータから3次元モデルを生成した。2つ目は、道路舗装の3次元モデルが表層、基層、上層および下層路盤の各層の厚さを保持している点に着目し、この各層の厚さを地盤面の高さの基準線として扱い、実在地物である道路地図の区画線に収録する手法を考案した。3つ目は、道路舗装機械より取得したログデータから生成した3次元モデルと、道路基盤地図情報の地物の中でも3次元の位置情報を保持する基準点及び道路中心線に着目して重畳する技術を開発した。これにより、維持管理段階において竣工時の道路構造を3次元的に把握できることを明らかにした。

表-2 計測した3次元モデルの層の厚さ

層番号	厚さ(m)	基準データ(m)	誤差(m)
1層目	0.038	0.040	-0.002
2層目	0.059	0.060	-0.001
3層目	0.115	0.120	-0.005

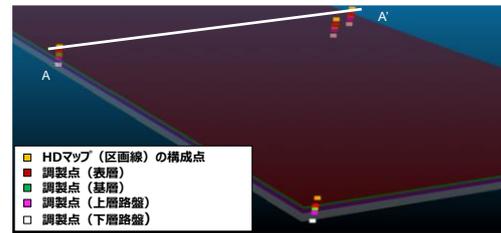


図-14 各層の調製点を基に生成した3次元モデル

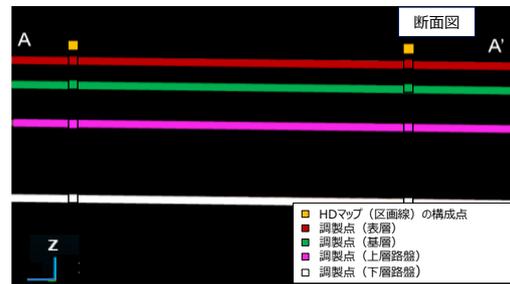


図-15 各層調製点を基に生成した3次元モデルの断面図

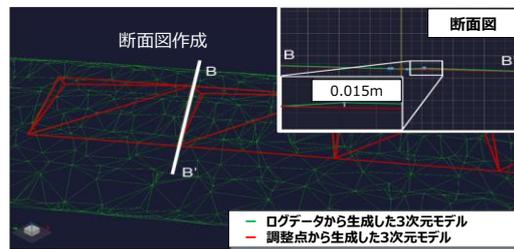


図-16 各層の調製点を基に生成した3次元モデルと全てのログデータによる3次元モデルとの重畳結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 鹿間美咲, 今井龍一, 中村健二, 塚田義典	4. 巻 77
2. 論文標題 道路舗装の3次元モデルと大縮尺道路地図との関連付けに関する研究	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会講演概要集	6. 最初と最後の頁 -877
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 今井龍一, 中村健二, 塚田義典, 鹿間美咲	4. 巻 -
2. 論文標題 i-Constructionの3次元モデルの特長を活かした道路地図の調製の試行	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 CSIS DAYS 2021 全国共同利用研究発表大会研究アブストラクト集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 鹿間美咲, 今井龍一, 中村健二, 塚田義典, 土田直之, 松浦弦三郎	4. 巻 46
2. 論文標題 道路舗装の3次元モデルを用いた道路地図の調製に関する基礎的研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 第46回土木情報学シンポジウム講演集	6. 最初と最後の頁 325-328
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 松浦弦三郎, 今井龍一, 中村健二, 塚田義典, 橋本侑弥, 鹿間美咲	4. 巻 46
2. 論文標題 舗装工事の建設機械の施工履歴を用いて生成した3次元モデルの精度検証及び一考察	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 第46回土木情報学シンポジウム講演集	6. 最初と最後の頁 125-128
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 松浦 弦三郎、今井 龍一、中村 健二、塚田 義典、麻生 紀子	4. 巻 3
2. 論文標題 道路舗装工事のログデータから生成した3次元モデルを用いた道路地図の調製に関する研究	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 インフラメンテナンス実践研究論文集	6. 最初と最後の頁 172～181
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/jsceim.3.1_172	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 鹿間美咲, 今井龍一, 中村健二, 塚田義典
2. 発表標題 道路舗装の3次元モデルと大縮尺道路地図との関連付けに関する研究
3. 学会等名 土木学会第77回年次学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鹿間美咲, 今井龍一, 中村健二, 塚田義典, 松浦弦三郎
2. 発表標題 道路舗装の3次元モデルを用いた道路地図の調製の試行
3. 学会等名 土木学会第76回年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今井龍一, 中村健二, 塚田義典, 鹿間美咲
2. 発表標題 i-Constructionの3次元モデルの特長を活かした道路地図の調製の試行
3. 学会等名 CSIS DAYS 2021 全国共同利用研究発表大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鹿間美咲, 今井龍一, 中村健二, 塚田義典, 土田直之, 松浦弦三郎
2. 発表標題 道路舗装の3次元モデルを用いた道路地図の調製に関する基礎的研究
3. 学会等名 第46回土木情報学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松浦弦三郎, 今井龍一, 中村健二, 塚田義典, 橋本侑弥, 鹿間美咲
2. 発表標題 舗装工事の建設機械の施工履歴を用いて生成した3次元モデルの精度検証及び一考察
3. 学会等名 第46回土木情報学シンポジウム
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	谷口 寿俊 (Taniguchi Hisatoshi) (10648611)	九州大学・工学研究院・准教授 (17102)	
研究分担者	塚田 義典 (Tsukada Yoshinori) (50622643)	麗澤大学・工学部・准教授 (32506)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------