

橋梁目視点検技術者の養成に対する 仮想現実技術の応用

石橋健・古田均・野村泰稔

中津功一朗・高橋亨輔



文部科学大臣認定 共同利用・共同研究拠点

関西大学ソシオネットワーク戦略研究機構

Research Institute for Socionetwork Strategies,
Kansai University

Joint Usage / Research Center, MEXT, Japan

Suita, Osaka, 564-8680, Japan

URL: <https://www.kansai-u.ac.jp/riss/index.html>

e-mail: riss@ml.kandai.jp

tel. 06-6368-1228

fax. 06-6330-3304

橋梁目視点検技術者の養成に対する仮想現実技術の応用

兵庫県立大学 大阪市立大学 立命館大学 大阪城南女子短期大学 香川大学
石橋健* 古田均** 野村泰稔*** 中津功一朗**** 高橋亨輔*****

要 約

本研究の目的は、橋梁の安全を維持するために、点検技術者の目視点検スキル養成支援システムを提案することである。人工知能やロボット技術を用いて、様々な研究者が橋梁点検の自動化に取り組んできた。しかしながら、目視点検の大部分は技術者の経験に依存するものであるため、これらの研究による点検の実用的な自動化は達成されていない。本研究は、視線計測可能な VR 機器を用いた橋梁目視点検アプリケーションにより、目視点検スキルのブラックボックスの解析を試みる。本稿では、全方位カメラで撮影した橋梁の写真を用いて、目視点検スキル養成のための VR アプリケーションのプロトタイプを開発する。また、アプリケーションで収集したアイトラッキングデータに基づき、目視点検スキル養成のための本提案の有用性を検討する。

I はじめに

日本では、橋梁維持管理を持続するための対策が必要とされている。この問題は橋梁維持管理技術者の不足に起因する。橋梁維持管理に関するスキルは技術者の経験によって培われている。そのため、熟練技術者の技術を次の世代に継承することが難しい。さらに、橋梁維持管理のための予算削減により、若手技術者の数が少なくなっている。橋梁維持管理において、橋梁の目視点検は損傷の早期発見と適切な対策を実施するために必要不可欠である。したがって、橋梁維持管理の自動化や技術者養成の改善が必要とされている。

橋梁維持管理の自動化は ICT を用いて実現されている。しかしながら、維持管理の自動化技術は大きな費用がかかるため、すべての橋梁に適用できない。自動化技術に関する研究では、センサーによる常時監視(Doebling, Farrar, and Prime 1998)や目視点検のためのデータを記録するロボット(西村ら 2012)が開発されている。これらの導入は大きな費用が必要である。したがって、予算が不足している現状下では自動化を導入できる橋梁の数は限られている。また、AI 技術を用いた損傷診断などのシステムも開発されている(横山、松本 2017)。しかしながら、熟練技術者の診断に関するデータを十分に蓄積できていないため、システムは実用的な精度を持つことが困難である。

橋梁維持管理技術者の養成では、上述のように技術の習得体系は経験によって培われたブラックボックスである。このブラックボックスにより、若手技術者は実践的に技術を取

*兵庫県立大学社会情報科学部助教、**大阪市立大学工学部特任教授、
立命館大学理工学部教授、*大阪城南女子短期大学現代生活学科教授、
*****香川大学創造工学部准教授

得する必要がある。その結果、技術者養成は非常に長い時間を必要としている。一方では、橋梁の損傷は刻一刻と進んでいる。したがって、技術者養成の効率化が必要である。既存研究では、eラーニング(Ebner and Holzinger 2002)やVR (Vora et al. 2002)の導入が取り組まれてきた。しかしながら、技術の習得体系がブラックボックスであるため、さらなる学習効果の改善が求められている。

本研究では、橋梁の目視点検のための技術者養成を支援するシステムを提案することを試みる。具体的には、アイトラッキング機能を持つVRを用いた教材を作成して、目視点検の際の技術者の視線に関するデータを収集できるシステムを検討する。VRを用いた教材は学習効果が高いことが知られている(Bailenson 2018)。また、目視点検の現場でアイトラッキング装置を用いたデータ収集を実施することが困難である。そのため、VRを用いたアイトラッキングは目視点検に関するデータの収集に有効であると期待される。蓄積したアイトラッキングデータから目視点検の技術のブラックボックスを分析し、本提案は技術者養成や人工知能技術に有益な知見を得ることを目指す。本稿では、提案システムのプロトタイプを構築し、その有用性を検討する。

II 関連研究

橋梁維持管理の自動化

日本では、橋梁維持管理技術者の不足が深刻な問題となっている。この問題を克服する手段の一つとしてICTを用いた維持管理の自動化が試みられてきた。例えば、橋梁に取り付けたセンサーから橋梁の状態を監視するヘルスマonitoringシステムが開発されている(Doebbling, Farrar, and Prime 1998)。ヘルスマonitoringは自動的に橋梁の異常を発見するために有効である。しかしながら、橋梁へのセンサーの組み込みや電源の確保など多大なコストがかかる。そのため、この方法を導入できる橋梁は限られている。近年では、目視点検を自動化するために、ドローンなどのロボット技術の導入も検討されている(西村ら 2012)。しかしながら、ロボットの操作や落下に対する安全確保など実用のために解決すべき課題が多数存在する。ソフト面での対策としては、人工知能技術を用いた損傷診断の開発も取り組まれている(Nakatsu et al. 2012)。

橋梁維持管理の自動化技術における問題として、維持管理の予算不足がある。つまり、限られた予算の中で有効な対策を実施することが求められる。上述のように、ヘルスマonitoringをすべての橋梁に導入することはできない。維持管理ロボットの導入も現状では多大なコストを必要とする。AI技術を用いた損傷診断システムは収集されたデータを使用することから比較的成本が少ない。しかしながら、損傷診断システムが十分な精度を発揮するために十分なデータを蓄積する体制が整っているとは言い難い。また、熟練技術者の診断スキルは経験によってなりたっている。そのため、スキルの体系がブラックボックスであり、診断システムの有効性が不明瞭である。

技術者の養成

橋梁維持管理技術者の不足を解決するもう一つの方法は、技術者養成のために十分な体制を構築することである。若手技術者の養成や熟練技術の継承は技術者養成において非常

に重要である。日本では、多くの熟練技術者の退職と同時に予算不足による人員削減も行われてきた。このような現状から、技術者養成の時間を十分に確保することが困難である。さらに、技術継承の機会も失われている。この問題を解決するために、ICT を用いた e ラーニング(Ebner and Holzinger 2002)や VR (Vora et al. 2002)を用いた教材の作成が取り組まれている。e ラーニングは技術者養成の効率化の一手段として取り組まれている。橋梁維持管理に関する技術の体系は上述のように経験に培われたものである。そのため、写真や動画などの比較的学習効果の高い教材の導入が検討されている。VR を用いた教材もまた学習効果を高めるために用いられている(Bailenson 2018)。橋梁維持管理は、特に現場で研修することが容易ではない。したがって、VR を用いた教材は従来のメディアよりも効果的な学習効果が期待される。

技術者養成における問題は技術体系が明確ではないことに起因している。つまり、技術者の本質的なスキル習得は実務経験に依存するため、技術者養成の期間は長期になる。しかしながら、技術者不足による問題は現在も生じており、すぐに対策すべき問題である。

III 提案システム

橋梁維持管理の分野は II で述べたように、自動化技術の開発と技術者養成の両方で課題を抱えている。これらの問題に共通する要因として、橋梁維持管理技術のブラックボックスがある。維持管理に関する技術を明らかにすることは、技術者教育の体系化だけでなく、人工知能を用いた損傷診断システムの精度向上にもまた有効である。限られた予算の下では、橋梁維持管理を持続するためには、人と機械とのインタラクションが重要である。本研究では、橋梁維持管理技術のブラックボックスの解明と技術者養成の両方の問題を解決するために、アイトラッキング機能を持つ VR を用いた学習システムを提案する。

システムの全貌

本提案のアウトラインを図 1 に示す。本研究では、アイトラッキング機能を持つ VR ヘッドセットで利用できる橋梁維持管理に関する教材を検討する。アイトラッキング機能を持つ VR ヘッドセットは近年開発されたものである。Fove0 や HTC Vive Pro Eye、pico neo3 pro eye は誰でも利用することができるデバイスである。これらのデバイスを用いて、技術者は仮想空間で臨場感のある学習をすることができるかと期待される。さらに、学習中の視線を収集することで、技術の習得にかかわる要因を分析することができる。例えば Tobii Pro Glasses 3 のように、近年では、装着可能なアイトラッキングデバイスが開発されている。しかしながら、点検の現場でアイトラッキングデバイスを装着したデータを収集には危険を伴う。したがって、仮想空間で目視点検に関するデータを収集するシステムは従来では困難であった詳細なデータの収集を可能にする。

本提案では、VR で利用可能な教材を技術者養成のために配信するだけでなく、目視点検に関するデータ収集に利用する。特に、熟練技術者のデータは維持管理技術のブラックボックスの解明に有効であると期待される。また、熟練技術者の目視点検のプロセスを記録することで、若手技術者がそのプロセスを体験することができる。

技術者養成では、従来のように学習効果の高いメディアとして本提案の教材は有効であ

る。さらに、熟練技術者の目視点検のプロセス、およびそのときの視線を可視化することで、収集したデータを教材として利用することができる。このようにして、アイトラッキング機能を持つ VR を用いたシステムは収集したデータを次の学習に反映することができる。

AI 技術を用いた支援システムでは、収集したデータを分析や機械学習に用いることができる。技術者養成へ本提案システムを用いることで、目視点検や損傷診断に関するデータの蓄積を促進することができる。データの蓄積は AI の精度向上に効果的であることが知られている。また、蓄積したデータを分析することで、熟練技術者の判断と強い関係を持つ要因を明らかにすることができると期待される。このようにして、提案システムは人と機械とのインタラクションによって持続可能な橋梁維持管理の実現をサポートする。

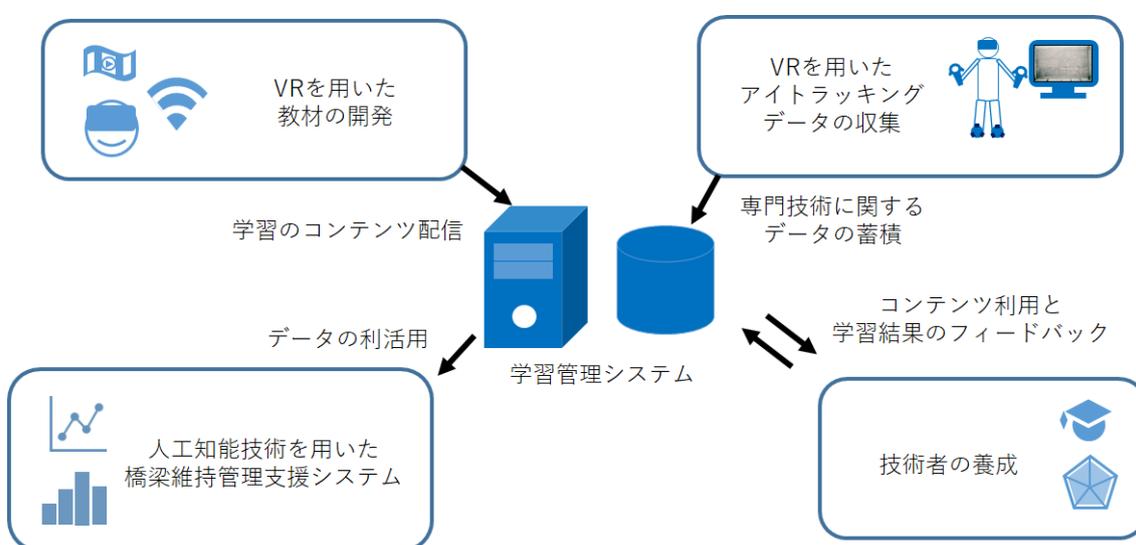


図1 提案システムの全貌

VR を用いた学習コンテンツ

VR を用いた学習コンテンツとして、Vora et al. (2002)は3DCG で作成した構造物を用いた。これに加えて、本提案は全方位カメラで撮影した写真や動画もコンテンツとして用いることを試みる。近年では、RICO theta のような全方位カメラを用いることで、容易に VR コンテンツを作成することができる。3DCG で作成したコンテンツは多様な場面での学習に有効である。一方では、全方位カメラで撮影した写真や動画は現場での点検に近い経験を得ることができると期待される。さらに、これらのコンテンツはスマートフォンで利用することができる。したがって、3DCG と全方位カメラで撮影したコンテンツの両方を用いることで、提案システムは学習効果の高い教材を提供できると予想される。

アイトラッキングを用いた専門技術の解析

アイトラッキングデータは熟練技術者の専門技術と意思決定との間にあるブラックボックスを分析するために有効であると期待される。マーケティング分野では、ビジュアルマーケティングの理論に基づいて様々な分析が取り組まれている(Wedel and Pieters 2008)。

例えば、広告デザイン(Pieters, Wedel, and Batra 2010)や商品棚のレイアウト(Chandon et al. 2009)が消費者の注目と購買行為に与える効果が調査されている。また、消費者の個人属性が与える効果に関する研究も取り組まれている(Goldberg, Probart, and Zak 1999; Pieters and Wedel 2007)。本研究は、ビジュアルマーケティングの理論に基づき、図2のようなフレームワークを分析に適用する。

図2に示すように、人の要素 (top-down factors) として本提案は専門性の効果を検討する。つまり、専門性が特定のオブジェクトを見る時間を変化させ、その注目時間が意思決定に与える効果(downstream effect)を調査する。また、目視点検における視覚刺激として縦方向のひび割れの本数やひびの幅の影響を調査する。これらは橋梁の損傷診断において確認すべき要素と考えられているものである。このフレームワークに基づいて、本研究は目視点検におけるブラックボックスを分析することを目指す。



図2 アイトラッキングデータの分析フレームワーク
(Wedel and Pieters (2008) の p. 39 Fig. 6.1 に基づいて作成)

IV システムのプロトタイプの開発

本提案システムのプロトタイプを構築し、橋梁維持管理技術者の養成における有用性を検討する。まず、全方位カメラで撮影した写真を用いた学習コンテンツを作成する。次に、アイトラッキング機能を持つ VR を用いたデータ収集システムを構築し、テストとして収集したデータからその有用性を検討する。

学習コンテンツ

学習コンテンツのプロトタイプとして、本研究は図3に示す写真を全方位カメラで撮影した。撮影した橋梁は大阪にある橋梁である。写真は橋梁の高架下で撮影された。図3に示すように、これを VR ヘッドセットやスマートフォンを用いることで、利用者は画像を顔の向きに応じた角度から見る事ができる。

全方位カメラで撮影した画像は撮影するだけで簡単に VR コンテンツを作成することができる。さらに、このカメラで動画を撮影することで、音声も記録することができる。したがって、実際の目視点検の際に全方位カメラで橋梁を撮影することで、容易に学習コンテンツを作成することができる。一方では、Vora et al. (2002)のように 3DCG を用いてコンテンツを作成することで、学習者は多様な場面での目視点検を経験することを可能にする。

VR で利用可能なコンテンツを用いた学習に関するデータを収集することで、熟練技術

者と若手技術者との違いを調査することができる。また、事前に目視点検のマニュアルを読んだ学習者とマニュアルを読まなかった学習者との違いを比較することで、マニュアルの有効性を検証することも可能になる。このようにして、本提案システムは VR コンテンツを技術者養成のための教材として用いる。

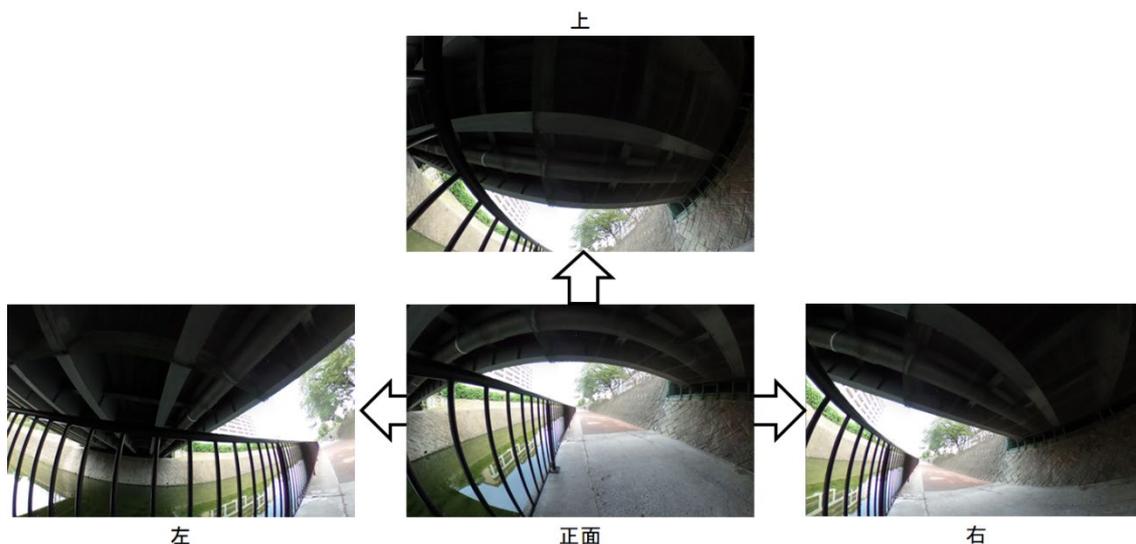


図3 学習コンテンツの例

目視点検におけるアイトラッキングデータ

アイトラッキング機能を持つ VR は表 1 に示すようなデータ(石橋 2018)を収集することができる。図 3 に示したように、写真や動画を用いて収集したデータは一定時間ごとに視点の座標値 (LookedX, LookedY, LookedZ)を含む。石橋 (2018)のシステムでは、Fove0 を用いて約 30fps の間隔でデータが記録される。一方では、3DCG で作成したコンテンツを用いて収集したデータは仮想空間における被験者の位置の座標値(PosX, PosY and PosZ)を観測することができる。収集したアイトラッキングデータにおいて、本提案では特定のオブジェクトを見た時間を合計 (gaze duration) を求めることで眼球運動を測定する。

表 1 収集されたアイトラッキングデータの例

Experiment	Participant	Height	Data	Timestamp	PosX	PosY	PosZ	LookedX	LookedY	LookedZ	Object
Test	P005	1.61	20180219	145429.333	0.101	0.895	1.562	-0.299	0.764	0.192	Plate
Test	P005	1.61	20180219	145429.349	0.101	0.895	1.562	-0.299	0.764	0.193	Plate
Test	P005	1.61	20180219	145429.367	0.101	0.895	1.562	-0.298	0.766	0.183	Plate

図 2 に示すフレームワークにおける意思決定に関するデータは、学習の際の回答やアンケートによって収集する。また、人的要因は技術者の経歴などからデータを作成する。視覚刺激に関するデータは、学習コンテンツを作成する際に定義する。このようにして、分析に用いるデータセットを構築することができる。

V おわりに

本研究では、橋梁維持管理を継続するための支援として、アイトラッキング機能を持つVRを用いた技術者養成システムを提案した。VRを用いた教材は技術者養成に効果的なメディアである。仮想的な目視点検の際の視線に関するデータを集めて、本提案は損傷診断などの意思決定にかかわる要因を調査する。また、視線と意思決定に与える技術者の専門性についても調査することで、橋梁維持管理に関する技術のブラックボックスを分析することを試みる。本研究では、本提案のプロトタイプを構築し、その有用性を検討した。

近年では全方位カメラを用いて容易にVRコンテンツを作成することができる。また、安価なVRデバイスが消費者に普及を始めている。橋梁の目視点検に関するVRの教材は、頻繁に行うことができない実践的な学習の実施を容易にすることが期待される。また、熟練技術者の目視点検のプロセスを可視化は若手技術者の養成に有効である。

技術者養成や実験で収集した技術者のアイトラッキングデータは、橋梁維持管理に関する技術のブラックボックスの分析に有効であると期待される。提案システムのプロトタイプでは、特定のオブジェクトを見ていた時間と意思決定との関係性を分析することができる。また、技術者の専門性や橋梁が持つ視覚的な要因が与える効果を測定するモデルの構築にアイトラッキングデータを適用することができる。したがって、今後の研究では、提案システムを用いて収集したデータを用いて、目視点検に関するモデルの構築を試みる。

参 考 文 献

- Bailenson, Jeremy. 2018. *Experience on Demand: What Virtual Reality Is, How It Works, and What It Can Do*. W. W. Norton & Company.
- Chandon, Pierre, J. Wesley Hutchinson, Eric T Bradlow, and Scott H Young. 2009. "Does In-Store Marketing Work? Effects of the Number and Position of Shelf Facings on Brand Attention and Evaluation at the Point of Purchase." *Journal of Marketing* 73(6): 1–17. <http://journals.ama.org/doi/abs/10.1509/jmkg.73.6.1>.
- Doebling, Scott W., Charles R. Farrar, and Michael B. Prime. 1998. "A Summary Review of Vibration-Based Damage Identification Methods." *Shock and Vibration Digest* 30(2): 91–105.
- Ebner, Martin, and Andreas Holzinger. 2002. "E-Learning in Civil Engineering: The Experience Applied to a Lecture Course in Structural Concrete." *Scientific Journal of Applied Information Technology* 1(1): 1–9.
- Goldberg, Joseph H., Claudia K. Probart, and Robert E. Zak. 1999. "Visual Search of Food Nutrition Labels." *Human Factors* 41(3): 425–37.
- Nakatsu, Koichiro, Hitoshi Furuta, Kyosuke Takahashi, Ken Ishibashi and Shigeki Yasuda 2012. "Multiple Feature Selection for Pattern Recognition Using ID3 Ensemble System." In *Proceedings - 2012 6th International Conference on Genetic and Evolutionary Computing, ICGEC 2012, IEEE*, 145–48.
- Pieters, Rik, and Michel Wedel. 2007. "Goal Control of Attention to Advertising: The Yabus

- Implication.” *Journal of Consumer Research* 34(2): 224–33. <https://academic.oup.com/jcr/article-lookup/doi/10.1086/519150>.
- Pieters, Rik, Michel Wedel, and Rajeev Batra. 2010. “The Stopping Power of Advertising: Measures and Effects of Visual Complexity.” *Journal of Marketing* 74(5): 48–60. <http://journals.ama.org/doi/abs/10.1509/jmkg.74.5.48>.
- Vora, Jeenal et al. 2002. “Using Virtual Reality Technology for Aircraft Visual Inspection Training: Presence and Comparison Studies.” *Applied Ergonomics* 33(6): 559–70.
- Wedel, Michel, and Rik Pieters. 2008. *Eye Tracking for Visual Marketing*. Foundations and Trends.
- 石橋健, 調査実験における視線追跡機能付き VR の利用可能性に関する研究, PACIS2018 主催記念特別全国研究発表大会論文集, pp. 99-102, 2018.
- 西村正三, 原健司, 木本啓介, 松田浩, 3D レーザ・デジタル画像を用いた軍艦島計測と損傷図作成—3D 点群のレンダリング・ひび割れ描画支援システム—, 写真測量とリモートセンシング, Vol. 51, No. 1, pp. 46-53, 2012.
- 横山傑, 松本高志, *Deep Learning* によるコンクリートの変状自動検出器の開発と Web システムの実装, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol. 73, No. 2, pp. I_781-I789, 2017.