

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 10 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06248

研究課題名(和文) 平面交差点における革新的交差点の設計・運用手法に関する研究

研究課題名(英文) Research on design and operation methodology of alternative intersections in Japanese road environment

研究代表者

田中 伸治 (Tanaka, Shinji)

横浜国立大学・大学院都市イノベーション研究院・准教授

研究者番号：50355913

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：立体交差に代わる革新的な平面交差点の高度化方策として、近年米国を中心に導入が進むAlternative Intersections (AI) について文献調査・実態観測調査・ヒアリング調査を実施し、その特性と性能を評価した。またこれを我が国に導入することを想定し、既存交差点を改修した場合の効果を交通シミュレーションにより評価した。さらに、従来と大きく異なる通行方法に対するドライバーの受容性を、ドライビングシミュレータを用いて評価した。これらを通じて、AIの優位性と我が国への適用可能性を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Alternative Intersections (AIs) has a potential be a promising solution to improve safety and the smoothness of overcrowded at-grade intersections. This study investigated AIs in the US and other countries by literature review, field survey and interview survey, and evaluated its characteristics and performance. Then, traffic simulation analysis was conducted to evaluate the performance of AIs assuming them to be introduced to Japanese intersections. Also, driving simulator experiment was conducted to evaluate drivers' acceptability in driving at AIs. Based on these analyses, advantages and applicability of AIs to Japanese road environment were clarified.

研究分野：交通工学、交通マネジメント、ITS(高度交通システム)

キーワード：平面交差点 交通運用 交通制御 Alternative Intersection 交通シミュレーション ドライビングシミュレータ UAV

1. 研究開始当初の背景

交差点は多数の交通動線が交錯するため、事故や渋滞といった道路交通の課題が最も多く発生するポイントである。一般に交通量が多く慢性的な渋滞が発生する交差点では立体交差化が検討され、これは事故対策としても有効であるが、巨額の建設費や長い工事期間が必要なため、すべての場所で採用することは難しい。限られた予算の中、交通量の多い主要交差点においてもより低コストで実施可能な交差点改善の手法を確立することは、交差点を安全かつ円滑に運用し、道路ネットワークの機能を最大限発揮するために極めて重要である。

近年米国を中心に、Alternative Intersections (以下 AI) と呼ばれる、特徴的な幾何構造と交通運用を組み合わせた新しいタイプの平面交差点が導入されつつある。これは従来の交差点構造から車両走行位置を大胆に変更することで、車両の交錯が1箇所に集中することを防ぎ交差点全体の処理能力および安全性の向上を図る制御方式である。限られた空間と時間を最大限に活用して立体交差の数分の一の費用で安全性と円滑性を向上させることができ、AI は平面交差点の課題に対して革新的な解決手法となりうる。

しかし現存する AI の設計要素、例えば主交差点と副交差点の距離は、現況の隣接交差点等の周辺条件で決定されており、汎用的に導入するために必要な理論体系が十分に確立していない。また国土の広い米国で発展した交通運用手法であるため、これをわが国にそのまま適用することは特にスペースの観点から容易ではなく、ドライバーが違和感なく運転できるかという受容性の検討も必要である。現行の AI にこうした観点を加え適用範囲を拡大し、平面交差点を高度化する設計・運用手法を体系化することが求められている。

2. 研究の目的

本研究では、近年米国で導入が進む AI の性能を評価し、これを交通量の多い道路の平面交差点部に導入するために必要な設計・運用手法の確立、導入効果の評価および運転者の受容性評価を行うことを目的とする。これにより高コストな立体交差によらず平面交差点部の安全性と円滑性を大きく向上させるオプションが生まれ、交通需要などの状況の変化に柔軟に対応した道路ネットワークの整備・改善に貢献すると期待される。

3. 研究の方法

既存事例が多く存在する米国を中心に、文献調査により既往研究および実務で参照されるガイドライン等を整理する。また実際の AI を対象として実態観測調査を行い、写真撮影・ビデオ撮影、車両による走行調査のほか、可能な箇所ではドローン(UAV)による空撮を

行う。

AI の性能評価にはマイクロ交通シミュレーションを利用し、我が国の実在する交差点を対象に AI を導入する場合の効果の評価する。また、ドライバーの受容性評価のため、ドライビングシミュレータ(DS)を用いた被験者実験を行い、運転挙動の分析やアンケート評価を行う。

4. 研究成果

(1) 文献調査

米国では 1990 年代のラウンドアバウトの普及に続き、2000 年代以降、様々なタイプの AI が各地で導入されている。それらをまとめたものとして、「Alternative Intersections / Interchanges: Information Report (AIIR)」が 2010 年に米国連邦道路庁(FHWA)により発行された。この報告書では、DLT、MUT、RCUT、QR、DDI といった新しい形式の交差点およびインターチェンジの幾何構造や信号制御方法が述べられている(略称は表 1 参照)。続いて 2014 年には、DLT、MUT、RCUT、DDI についての「Informational Guide」が FHWA により発行され、計画から設計の段階で留意すべき事項がまとめられている。このように米国では、AI の導入事例の蓄積に伴って、FHWA の主導により交差点タイプ別のガイドラインが整備されていることが分かった。またこれら以外に、各州の運輸省(DOT)でも独自のガイドラインを発行しているところも存在する。今後はこれらに基づいて、AI の導入がいつそう加速することが予想される。

表 1 交差点形式の略称

一般道路平面交差点		高速道路インターチェンジ
DLT: Displaced Left-turn	CFI: Continuous Flow Intersection	~ IC: ~ Interchange
MUT: Median U-turn	RAB: Roundabout	DDI: Diverging Diamond Interchange
RCUT: Restricted Crossing U-turn	TCI: Town Center Intersection	CF IC: Continuous Flow Interchange
QR: Quadrant Roadway		SPUI: Single Point Urban Interchange

(2) 現地調査

導入事例が豊富な米国を中心に、AI の実態調査を行った。調査対象交差点数は表 2 のとおりである。なお表中の CFI は前節の DLT の別称である。DLT は右側通行を前提とした呼称であるため、本稿では以降、CFI を用いる。

表 2 調査対象交差点

一般道路平面交差点						
CFI	MUT	RCUT	QR	RAB	echelon	TCI
11	6	4	1	4	1	2

高速道路インターチェンジ					
DDI	CF IC	contra-flow IC	MUT IC	SPUI	contiuous-T IC
16	2		1	1	1

これらの交差点について、交差点幾何構造、交通制御方法、信号現示、歩行者・自転車処理方法、交通流動実態等を調査した。これらの調査結果を以降の AI 性能評価で利用した。

(3) 関係者ヒアリング

AI を導入している州の運輸省実務担当者、AI に関する研究を実施している大学研究者に対してヒアリングを行った。ヒアリング先は表 3 のとおりである。

表3 ヒアリング実施先

	組織	役職	氏名
実務者	Utah DOT	Engineer	Fred Doehring
	Georgia DOT	Engineer	Scott E. Zehngraff
	Texas DOT	Engineer	Jianming Ma
研究者	Wayne State Univ.	Professor	Joseph E. Hummer
	N. Carolina State Univ.	Program Manager	Chris Cunningham
	Univ. of Missouri	Associate Professor	Praveen Edara
	Univ. of Arizona	Professor	Larry Head

a) 計画面

- 立体交差化は建設費が高いたくだけでなく、沿道アクセスも制限するので、商業施設等への影響が大きい。
- CFI の場合、立体交差化に比べ建設費用は3分の1程度。
- DDI はランプへの流出入が多い場合に適しており、交差道路の直進が多い場合には適さない。

b) 設計面

- 用地は従来型交差点より多く必要だが、立体交差ほどではない。DDI は従来型インターチェンジと変わらない。
- 主交差点と副交差点の間隔は周辺道路の制約で決められることが多い。
- DDI では逆走を防ぐために視線誘導板を設置すべきである。

c) 運用面

- 信号制御パラメータは時間帯や交通需要に応じて変動する。
- RCUT は上下線を独立に信号制御できるので、系統制御を行いやすい
- DDI の制御にはランプ優先方式と交差道路優先方式がある

d) 評価面

- 事前評価には交通シミュレーションを利用している。事後評価では交通量調査や渋滞長調査を行う。
- 一般に事故件数は減少している。逆走は特段問題になっていない。

e) その他

- 設計に1年、土地取得等も含めて完成までの期間は2年半~3年程度である。
- 利用者には概ね好評だが、MUT、ThrU-turn、RCUT は迂回距離が伸び評判がよくない。
- 利用者の理解を得ることは重要で、事前説明会の開催チラシ配布をすることもある。
- AI は完成形ではなく、今後さらに交通量が增大すれば立体交差化も考えられる。

(4) UAV 空撮による交差点性能評価

UAV による空撮を実施できた8交差点について、信号制御パラメータを取得するとともに、各流入部の車頭時間を取得して飽和交通流率を求めた。その結果、MUT と RCUT では、どの車線においても設計値である 1900[台/青1時間]に比べて大きい値が示された。これらの制御形式では、主交差点と副交差点の系統制御が行われており、上流の副交差点を発進した車群は、主交差点に到達するまでに十分な加速を行うことができるため、車頭時間が短くなり飽和交通流率が大きくなった

と考えられる。CFI に関しては、線形の悪い交差点や、最も外側の車線での飽和交通流率が小さく算出されたが、おおむね設計値に近い値が示された。

次に、信号パラメータを考慮して交差点交通容量を算出した。ここで MUT と RCUT では左折車が2度主交差点を通過するため、これらを差し引いて正味の交通容量とした。異なる交差点間の比較を行うため、車線数と信号サイクル長が同等の標準4現示制御方式に対する比率を求めて比較を行った。結果を図1に示す。

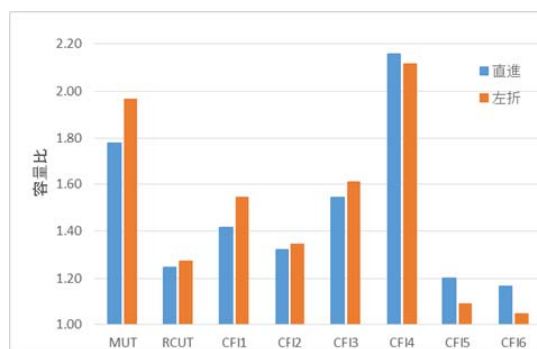


図1 観測交差点の一般制御に対する容量比

観測したAIすべてで、標準4現示制御に対して交通容量が増加するという結果が得られ、特にMUTとCFI4では2倍近い交通容量が算出された。この理由として、左折専用現示のような一部の車両しか通行できない効率の悪い時間がないことが挙げられる。特に今回のMUTはUターン路が4方向すべてにあるfull MUTであり、2方向のみのpartial MUTに比べ特定のUターン路に左折車が集中しないという利点がある。CFI4は4方向すべてに副交差点が設置されており、副交差点では直進と左折のスプリットが等しく設定されている。これにより損失時間の割合が大きく減少したことが、容量比が大きくなった理由として挙げられる。このことから、交差点流入部において、左折需要が直進需要に対して大きい場合に、CFIの導入効果が大きいといえる。RCUTについては、既存の研究でも同程度の容量比が示されており、安全性と幹線道路の円滑性向上が、主な効果といえる。

(5) 交通シミュレーションによる性能評価

AIを我が国へ導入した場合の効果を評価するため、現存する交差点を対象に現況とAIのシミュレーションにより交通処理能力を比較した。対象とするAIの形式はCFI、DDI、QRとし、交通量が多く混雑が発生していること、必要な用地や副交差点の設置に必要な距離を確保できること等を条件として、宮城県仙台市の3交差点を選定した。対象交差点の現況と、それらをAIに改修した場合の車線構成を図2に示す。

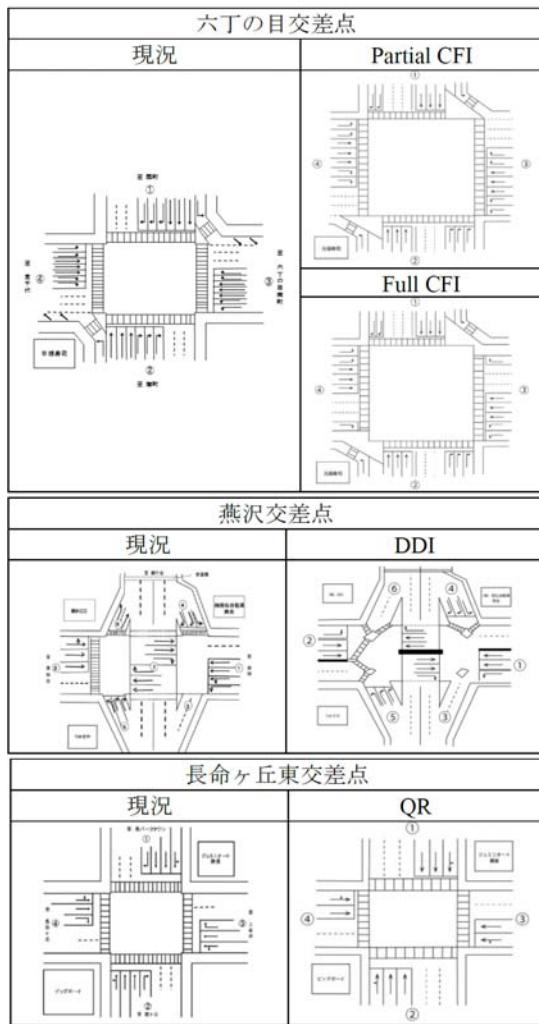


図2 対象交差点の車線構成

交通量データとして宮城県警察から車両感知器データを提供いただき、ピーク時間帯である平日 7:00~9:00 を交通シミュレーションの入力値として使用した。またシナリオ分析として、流入交通量を 1.0~1.2 倍、右左折率を 10~25% に変化させた入力値も用意した。信号制御設定は現況交通量のケースは宮城県警察の提供データを利用し、交通量を変化させたケースでは交通信号の手引を参考に交通量に応じた制御パラメータを設定した。評価指標としては、交差点の容量を示すトリップ完了台数と円滑性を示すネットワーク平均旅行時間・経路別平均旅行時間を評価指標とした。

CFI では、流入交通量 1.0 倍ではどのシナリオにおいても差がない結果となった。ネットワーク平均旅行時間は全てにおいて full CFI が一番小さい値を示したが、partial CFI は現況よりも大きい値を示すシナリオがあった。CFI の特徴上、右折した車両は一度下流の副交差点にて停車する必要がある、これが遅れの要因になっていると考えられる。full CFI は、それ以上にサイクル長を短くできたため平均旅行時間の増加には至らなかったと考えられる。流入交通量を増やすと、CFI 同士は大差がない結果となったが、現況に関しては処理しきれていないシナリオ(特

に右折率が 20%以上の時)が発生した。平均旅行時間は、全てにおいて CFI が顕著に小さい値を示している。また、右折率が高くなるほど現況の旅行時間が大きくなるのに対して、CFI は一定の値を示している。

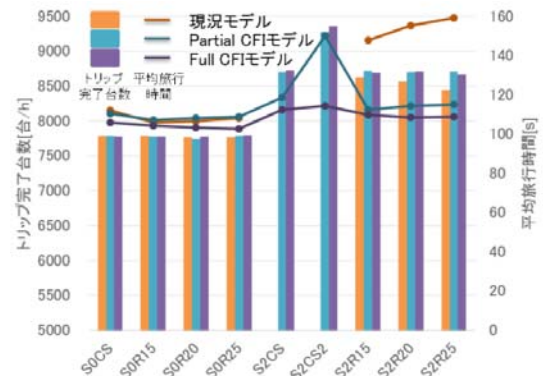


図3 トリップ完了台数と平均旅行時間(CFI)

DDI は流入交通量 1.0 倍のトリップ完了台数に着目すると、右折率 25%を除きどのシナリオにおいても差がない結果となった。右折率 25%の場合、現況交差点だと処理しきれていないのが読み取れる。ネットワーク平均旅行時間では現況右左折率と右折率 25%で DDI の優位性が示された。流入交通量 1.2 倍のシナリオでは、右折率 25%で平均旅行時間が悪化している。これは直進車の平均旅行時間が大きく悪化したことに加え、サイクル長自体も長くなったためと推測される。

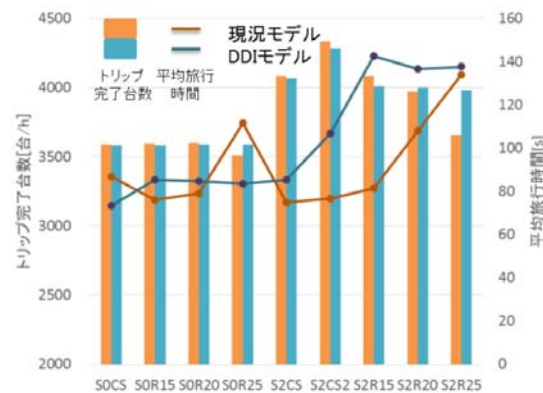


図4 トリップ完了台数と平均旅行時間(DDI)

QR は、流入交通量 1.0 倍ではトリップ完了台数はどのシナリオにおいても差がない結果となった。ネットワーク平均旅行時間については、右折車が迂回するため右折車の平均旅行時間が大きくなるにも関わらず全車の平均旅行時間は全てのシナリオで QR の方が小さい値となっており、QR の優位性が示された。流入交通量 1.2 倍では、右折率 20, 25%になると QR は処理できているのに対し現況交差点では処理しきれていない結果となった。平均旅行時間も全てにおいて QR が小さい値を示しており、特に右折率が高くなればなるほど差が顕著となっている。右折車の平均旅行時間に着目すると、現況右折率では現況モデルの方が良い値もしくは同程度の値を示していたのに対し、右折率 20, 25%では

迂回にも関わらず QR の方が良い値を示している。これは QR を導入することでサイクル長が短くなったこと、さらに現況モデルでは渋滞が発生したのに対し QR は円滑に処理できていたことが影響していると考えられる。

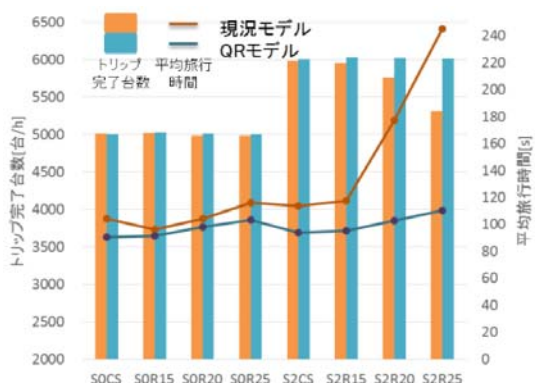


図5 トリップ完了台数と平均旅行時間 (QR)

### (6) DS による受容性評価

本研究で扱う AI のうち、従来型交差点と比べ幾何構造が大きく異なる DLT と DDI について、日本に導入した際にドライバーが迷いや違和感なく運転できるか検証するため、DS 実験を実施した。今回使用した DS は制御用 PC、前方モニタ 3 面、音響装置、運転席から構成され、各時間の車両走行位置や走行速度、前後左右加速度といった車両挙動の出力が可能である。

被験者は自動車運転免許を有する条件で募集し、17 名 (男性 13 名、女性 4 名) の被験者を得た。年代としては 20 代~60 代、運転頻度はほぼ毎日~年に 1 回程度と、多様な被験者を集められた。

実験は 1 回に 2 名の被験者に交互に運転をしてもらう形とし、運転していない時間はアンケートの記入やヒアリングの時間および休憩時間とした。実験開始前に DS に慣れる目的で数分間の練習時間を設けた。実験では事前に AI の説明は行わず行き先のみを指示し、被験者は標識のみを参考に普段通りの運転をしてもらうよう依頼した。

走行コースは 3 種類用意した。コース①では現況の交差点を再現し、コース②と③は AI を再現した。コース②では我が国の道路標識設置基準・同解説、路面標示設置マニュアルに従い案内標識や路面標示を設置し、コース③は加えて誤進入対策として新しい規制標識や道路付属物を設置した。走行中は被験者が運転する自転車のみでなく、DS による他車両も複数台走行させたが、歩行者は存在していない。信号制御設定は交差点停車時の待機時間が 35 秒以内になるよう DS 用のものを設定した。各コースについて、図 6 に示す 7 経路の走行を実施した。

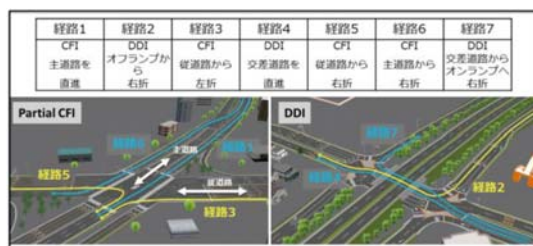


図6 走行経路の設定

評価方法については、被験者が正しい経路を走行できているのかどうかを観測し、誤進入の有無を集計した。また、アンケートにて各交差点運転時に迷いを感じたかどうか、従来型交差点と比較して利用しやすさに差を感じたかどうか、そしてその回答の理由を合わせて確認することで、ドライバーの受容性を評価した。

誤進入の集計結果を図 7 に示す (図では「コース」を「実験」と表記)。コース②の経路 3 と経路 5 で誤進入が多く見られた。これらの経路は共通して Partial CFI の従道路から左折・右折する経路であり、こうした場合に誤進入が発生しやすくなる可能性がある。また、コース②の経路 2 に関しては DDI のオフランプから右折する経路であり、1 名の誤進入が確認された。AI の 2 回目の走行であるコース③になると、被験者全員が全ての経路で正しく走行できていた。



図7 誤進入の有無

走行時の迷いについて尋ねた結果を図 8 に示す。CFI の 1 回目走行後のアンケート 1 では少しでも迷いを感じた方が過半数を占めていたが、2 回目走行後のアンケート 2 では迷いを感じずに走行できた被験者が過半数を占めた。理由と箇所を詳しくみると、経路 3・経路 5 の右左折時に違和感を覚える被験者が多く、8 件の回答があった。また、経路 6 の副交差点にて走行位置が反転することに違和感を覚えたという回答も 3 件あった。

DDI については、アンケート 1 ではほとんどの被験者が少しでも迷いを感じていた結果になった。この回答理由としては、右側走行時に違和感があり迷った為というものがほとんどであった。しかし、アンケート 2 になると迷いを感じなかったと答えた被験者が過半数を占めた。回答理由を見ると、コース③で設置した標識や道路付属物によって走行位置がわかりやすくなったためというものが多かった。

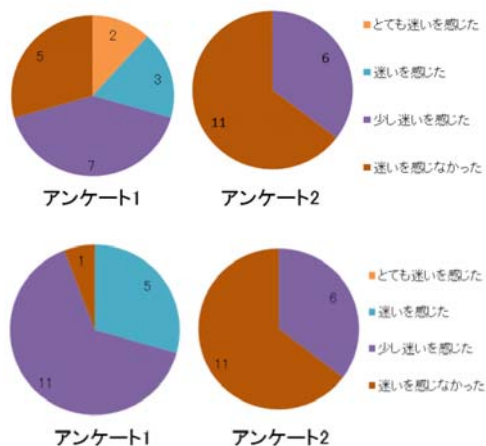


図8 迷いの有無 (上段:CF1, 下段:DD1)

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計2件)

- ① 安藤 幹哉, 田中 伸治, 中村 文彦, 三浦 詩乃: UAV を用いた実測に基づく多様な平面交差点制御方式の評価, 交通工学論文集, 第4巻, 第1号(特集号A), ppA\_17-A\_22, 2018.2, DOI:10.14954/jste.4.1\_A\_17, 査読有
- ② Sherif Shokry, Shinji TANAKA: Evaluating The Operational Performance of Signalized Intersections Involving U-turns in Aswan City, Egypt, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Volume 11 (2015), pp1754-1773, 2015.12, 査読有

[学会発表] (計7件)

- ① Sherif SHOKRY, Shinji TANAKA, Fumihiko NAKAMURA, Ryo ARIYOSHI and Shino MIURA: Displaced Left-Turn Crossovers Coordination Control Under Heterogeneous Traffic Conditions in Cairo, Egypt- A Simulation Based Study, The 22nd International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies, CD-ROM, 2017.12
- ② Shokry Sherif, 田中伸治, 中村文彦, 有吉亮, 三浦詩乃: A REAL-TIME SIGNAL CONTROL ALGORITHM FOR DISPLACED LEFT-TURN INTERSECTIOS CORRIDOR UNDER HETEROGENEOUS TRAFFIC CONDITIONS, 第56回土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, 2017.11
- ③ 犬飼望, 田中伸治, 中村文彦, 有吉亮, 三浦詩乃: 平面交差点における Alternative Intersections の日本への適用に関する研究, 第56回土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, 2017.11
- ④ Sherif Shokry Abdrabo, Shinji TANAKA Fumihiko NAKAMURA Shino MIURA Ryo ARIYOSHI: Displaced Left-turn Intersections Under Heterogeneous

Traffic Conditions in Cairo, Egypt, Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, CD-ROM, 2017.9

- ⑤ 安藤幹哉, 田中伸治, 中村文彦, 三浦詩乃: UAV を用いた実測に基づく多様な平面交差点制御方式の評価, 第37回交通工学研究発表会論文報告集, pp25-30, 2017.8
- ⑥ Sherif Shokry, S. Tanaka, F. Nakamura: Operational Performance Evaluations of Consecutive Conventional Signalized Intersections in Cairo, Egypt, 第54回土木計画学研究発表会・講演集, pp.2326-2329, 2016.11
- ⑦ Sherif Shokry, Shinji TANAKA: Evaluating The Operational Performance of Signalized Intersections Involving U-turns in Aswan City, Egypt, Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, CD-ROM, 2015.9

[その他]

研究会開催「信号交差点の設計・制御に関する研究会」, 2015年6月10日, 東京大学生産技術研究所

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

田中 伸治 (TANAKA, Shinji)  
 横浜国立大学・大学院都市イノベーション  
 研究院・准教授  
 研究者番号: 50355913

### (4) 研究協力者

大口 敬 (OGUCHI, Takashi)  
 東京大学・生産技術研究所・教授

小根山 裕之 (ONEYAMA, Hiroyuki)  
 首都大学東京・大学院都市環境科学研究  
 科・教授

柳原 正実 (YANAGIHARA, Masami)  
 首都大学東京・大学院都市環境科学研究  
 科・助教

HUMMER, Joseph  
 North Carolina Department of  
 Transportation・Chief Engineer

EDARA, Praveen  
 University of Missouri・College of  
 Engineering・Professor