

ロボット車両と技術

Robot Cars and Technologies

曾根原 光 治 技術開発本部総合開発センターロボット技術開発部 部長

生 川 俊 則 株式会社 IHI エアロスペース 防衛技術部ロボット開発室 室長 技術士（情報工学）

近年、さまざまなタイプのロボット車両が開発されており、その一部は既に実用化されている。本稿では、防衛やビジネス分野で開発されるロボット車両や、ロボット車両に適用される自律走行技術や遠隔操縦支援技術の動向を紹介する。

In recent years, various types of robot cars have been developed, some of which have already been put to practical use. This paper describes the robot cars developed in the defense and business fields, the trends in autonomous driving technologies, and the remote control support technologies that are applied to robot cars.

1. はじめに

2004～2007年に開催されたDARPA Grand/Urban Challengeなどの長距離無人車競技会により、ロボット車両の実現可能性が大きく示された。DARPA Challengeは、米軍において2015年に自律的な無人軍用車両を全体の1/3にすることを目標に行われた。現在、自律走行の技術は軍用に限らずさまざまな分野で研究・開発・実証が行われている。本稿では各分野で開発が進められるロボット車両や自律走行・遠隔操縦支援に関する技術を紹介する。なお、ここでは自律もしくは遠隔操縦で走行する車両を無人車、自律的にドライバーの運転支援を行う車両を自動運転車とし、両方包括してロボット車両と呼ぶこととする。

2. ロボット車両の開発動向

(1) 軍事・防衛分野

兵士に代わって危険な作業・任務を遂行する無人車はUGV（Unmanned Ground Vehicle）と呼ばれ、米国での開発・実用化が最も進んでいる。戦場や前線で発生する状況変化に対応する信頼性などに技術課題があることから、米国で実運用されるUGVの多くは遠隔操縦型である。一方で長年の自律走行技術の研究開発の成果として、遠隔操縦と自律の機能を組み合わせた半自律型UGVが装備化前の実証段階にある。

第1図は、Lockheed Martin社が開発する下車分隊支援（個人装備搬送・負傷者後送・偵察など）を



展示会にて撮影

第1図 SMSS

Fig. 1 SMSS (Squad Mission Support System)

目的としたSMSS（Squad Mission Support System）で、指定地点への走行や兵士への追従走行などの半自律機能をもつ⁽¹⁾。2014年夏にはTARDEC（Army Tank Automotive Research, Development and Engineering Center）と共同で完全自律での補給、偵察の実証試験も行われており⁽²⁾、同サイズの半自律型UGVとしては最も早い装備化への計画が進んでいる模様である⁽¹⁾。

日本国内でも防衛省技術研究本部による車両型UGVの開発が進んでいる。危険地域における偵察や輸送任務の安全性を高めることを目的とした「陸上無人機」の研究においては、障害物の自律回避や経路を自律的に判断して走行する半自律機能を有しており、舗装路・未舗装路などを走行する試験の様子

が映像で公開されている⁽³⁾。

放射線等により人が危険で近付けない大規模災害時等において、初動対応に必要な情報収集やガレキ処理等の各種作業を安全かつ速やかに実施可能となる「CBRN^{*1} 対応遠隔操縦作業車両システム」の装軌車両や、装輪車両である中継器ユニットが障害物を自律回避して走行する様子が一般公開された（第2図）。また、試験の様子が映像で公開されている⁽⁴⁾。

(2) 民間分野

日本国内では土木分野で先行的に無人車の実用化が進められている。雲仙普賢岳（長崎県）の災害復旧をきっかけに開発・適用が進んだ無人化施工システムでは、遠隔操縦型の建設機械が人が立ち入れない危険区域で作業を行う⁽⁵⁾。専用の遠隔操縦型の建設機械は現状、数量が少なく、災害現場への輸送には時間が掛かるため、通常の建機を近隣より手配し、小型ロボットを別送し短時間で装着して建機を遠隔操縦化することで迅速に応急復旧に対応するシステムも存在する（第3図）⁽⁶⁾、⁽⁷⁾。

同分野の無人車は適用環境が極めて不安定で変化も激しいため、現状では半自律制御などの適用事例は少ないが、安全かつ効率的に作業するための遠隔操縦支援技術の開発が進められている。

現在、災害対応ロボット技術の研究開発・実証プロジェクトが多数進められている。従来はバックホウなどの作業主体の技術開発が中心であったが、2014年から開始された戦略的イノベーション創造プ



陸上装備研究所一般公開
2014にて撮影



第2図 CBRN^{*1} 対応遠隔操縦作業車両システム
Remote controlled engineering vehicle system for CBRN^{*1} threat

*1：Chemical（化学剤）、Biological（生物剤）、Radiation（放射線）、Nuclear（核）



（国土交通省 九州地方整備局・株式会社フジタ共同開発）
写真提供：株式会社フジタ

第3図 装着型遠隔操縦システム ロボ Q
Fig. 3 Removable remote control system Robo Q

ログラム（SIP）の1テーマである「遠隔操作型半水中運搬ロボットの開発」では、運搬という走行主体のセンシングや操作支援・制御の要素技術開発・実証なども予定されている（IHIもプログラムに参画中）⁽⁸⁾。

鉱山分野では、遠隔地や悪環境などによる労働力不足、安全確保、生産性低下などを解決するため、GPS（Global Positioning System）、ミリ波レーダ、無線ネットワークシステムなどを搭載したダンプトラックを中央管制室で運行管理し、完全無人稼働を実現している。山間地利用での通信・GPSなどロボast化や未舗装路などに入り込む小障害物検知などに課題があり、研究開発が進められている⁽⁹⁾、⁽¹⁰⁾。

農業従事者・熟練者の減少や精密農業・スマート農業と呼ばれる新形態の農業への対応などを背景に、農作業の多くを担うトラクタ自律走行の実用化に向けた研究開発が進められている。農業適用での大きな課題は施肥、播種などに必要な高精度（数cm誤差レベル）の自律走行を安価に提供できるかにある。準天頂衛星システムなど高度測位信号を用いた誘導方式の開発や実証実験などが進められている⁽¹¹⁾、⁽¹²⁾。

近年、最も自律走行技術の精力的な開発が推進されているのが自動運転車である。これまで紹介した無人車と異なり、人が搭乗することが前提で、ドライバーの安全運転を支援し、事故を未然に防ぐアクティブセーフティ（予防安全）技術の一段として開発が進められている。自動運転に必要な情報を車載センサなどで収集し、周囲状況を判断して走行する「自律型」と、信号や標識などに設置した情報イ

ンフラや他車両などとの通信を利用した外部情報を積極的に使用する「協調型」の大きく2形態が提案されているが、どちらの形態にも一長一短がある。自律型自動運転車の開発例を第4図に示す。また、SIPにおいても、自動走行システムが一テーマとなっており、2020年の準自動走行システム（後述）の実用化を目標に研究開発が進められている⁽¹³⁾、⁽¹⁴⁾、⁽¹⁵⁾。

3. ロボット車両の自律走行技術や遠隔操縦支援技術

(1) 自律レベルの定義

従来「自律走行」の定義が曖昧であったが、米運輸省国家道路交通安全局（NHTSA）が2013年5月に世界に先駆けて自律走行車両を5段階（レベル



写真提供：金沢大学菅沼研究室

第4図 自律型自動運転車（試験機）
Fig. 4 Autonomous car (testing machine)

0～4）に分類して定義付けを行った⁽¹⁶⁾。日本でも内閣府が2014年6月に発表した「官民ITS構想・ロードマップ」ではほぼ同様の定義を行っている（第1表）。現在の技術はレベル2～3への移行段階と言われており、当面は高速道路などでのレベル3達成を目標に開発が行われている。

同定義はドライバが搭乗する自動車向けであるが、無人車でも「ドライバ」を「遠隔地にいる操縦者」と置き換えることでほぼ同定義を適用できると考えられる。しかしレベル3の定義にあるような緊急時対応の場合、自動運転車では車両に搭乗して周囲状況が把握できるドライバに任せることができ、無人車では無線通信などの制約で限られた情報しか得られないため、遠隔操縦者に全てを負担させることが困難である。このため無人車でレベル3を達成するには、遠隔操縦者に周囲情報などをわかりやすく提示する操縦支援技術なども極めて重要になる。

(2) ロボット車両の適用環境と特徴

ロボット車両の適用環境は分野や用途により大きな違いがある。第2表に分野毎に要求される主な適用環境を示す。

自動運転車が対象とする舗装路（特に当面对象の高速道路）は、ガードレール・側壁・縁石・白線など、人の目を見た場合、比較的認識しやすく、また経年変化にも強い環境条件が整備されている。路面も平坦なため走行の障害となる落下物や他車両も比

第1表 安全運転支援システム・自動走行システムの定義⁽¹⁴⁾
Table 1 Definition of safe driving support system and autonomous driving system⁽¹⁴⁾

分類	概要	左記を実現するシステム		
情報提供型	運転者への注意喚起等			
自動化型	レベル1：単独型	加速・操舵・制動のいずれかの操作を自動車が行う状態	「安全運転支援システム」	
	レベル2：システムの複合化	加速・操舵・制動のうち複数の操作を一度に自動車が行う状態		「準自動走行システム」
	レベル3：システムの高度化	加速・操舵・制動を全て自動車が行う状態（緊急時対応：ドライバ）	「自動走行システム」	
	レベル4：完全自動走行	加速・操舵・制動を全て自動車（ドライバ以外）が行う状態	「完全自動走行システム」	

第2表 ロボット車両の適用環境
Table 2 Environment in which the robot cars are used

分野	適用環境	
軍事・防衛 災害対応	無人	舗装路～未舗装路～不整地（含む破損状態）
土木・鉱山		未舗装路～不整地
農業		圃場～農道等の未舗装路（当面：大区画～将来：小区画）
自動車	有人	舗装路（当面：高速・幹線道路～将来：一般道）

較的判別がしやすい。このような環境を高速に走行（～100 km/h 程度）することが求められる。

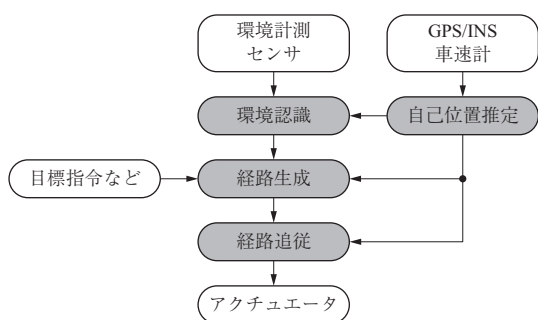
一方、無人車に求められる環境は未整備の環境が多く、未舗装路や不整地などが対象となる。このような道では舗装路に近い場合も存在するが、一般的にはガードレールや白線のような道と道以外の明確な境がなく、路面には凸凹・起伏・轍、更に石などの障害物がある場合も多い。例えば一見通過できそうな草むらの後ろに岩石や窪みなどが隠れているというような、人でも通過判別が難しいケースも存在する。また天候などによる経年変化として、小規模の落石や道端の崩落などの変化要素も大きく、これらの走行の障害を確実に検知しつつ、（高速であることは望ましいが、まずは）横転などせず安定・確実に走行（～数十 km/h）することが求められる。

以上のような要求からも同じ自律走行であっても求められる各要素技術の詳細やレベルは異なると言える。

(3) 自律走行に必要な要素技術

自律走行するロボット車両は一般的に、地図上で目標位置や中間通過位置などを設定すると、設定位置までの経路を生成して同経路に沿って途中の障害物などを回避しながら走行する。一般的な機能構成を第5図に示す。環境認識した結果は、自車位置に対して障害物位置等の周囲環境の情報としてコンピュータ上で処理される。この情報を環境地図と呼ぶ。第6図に半自律型 UGV 試験機の例を、第7図に生成した環境地図および障害物を回避した経路の例を示す。

自己位置推定機能は、センサ情報から自車両の現在位置を推定する機能である。一般的には GPS で得られる地球上の絶対位置情報と、INS (Inertial

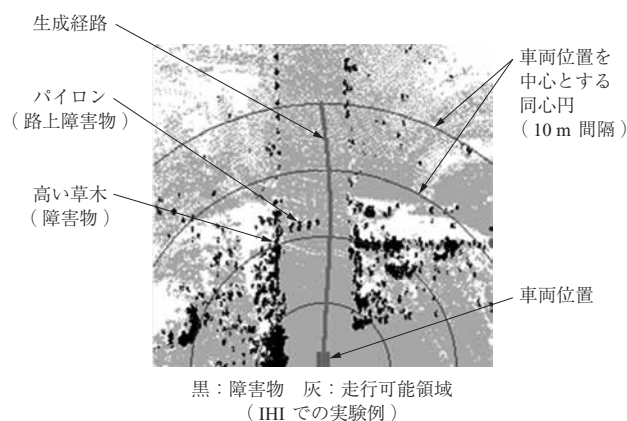


第5図 自律走行の概略機能構成
Fig. 5 Configuration of the autonomous driving function



(株式会社 IHI エアロスペースでの試験機)

第6図 半自律型 UGV 試験機例
Fig. 6 Example of semi-autonomous testing UGV



第7図 環境地図と障害物回避経路例
Fig. 7 Example of environment map and obstacle avoidance path

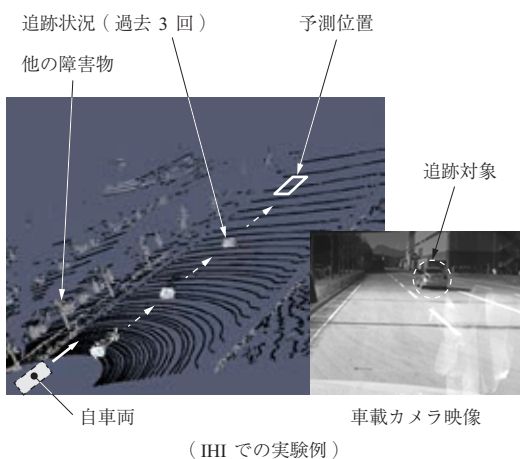
Navigation System : 慣性航法装置) や車速計からデッドレコニングにより得られる相対位置情報を補間・統合して推定される。一般的に使用されるディファレンシャル GPS は良好な条件でも 0.3 m 程度の誤差 (1σ) を持つ。しかし複数の衛星から信号を受信して位置計測するため、捕捉する衛星数が少なくなると誤差も大きくなる。衛星からの信号は建物、山、樹木など高い障害物による反射の影響を受け、大きくずれた、誤った位置を示すことがある。デッドレコニングはセンサ誤差やドリフトの影響を蓄積するため、GPS から正しい位置情報が得られない期間が長いと、大きな誤差を持つことになる。

また通常、地図自体にも誤差があるため、GPS/INS による自己位置情報のみをガイド信号として自律走行させると道から大きく外れてしまう問題もあり、以下に示す環境認識機能が非常に重要となる。

環境認識機能は人間で言うと「目で見て環境や状況を理解する」機能に相当し、主には車載された環境計測センサの情報から車両周囲の走行の障害とな

る物体を検出する機能である。障害物回避には、何処にどの程度の大きさの障害物があるかだけでなく、その障害物が移動体かを判別して、運動を予測する機能も必要となる（第8図）。検出された障害物情報は一般的に自己位置情報を用いて、第7図のような自車両と障害物の位置関係に整理した環境地図として管理される。

第3表に障害物検知・地図生成に用いられる、主な環境（3次元空間）計測センサとその特徴を示す。これらのセンサは計測原理・方式などにより一長一短の特徴をもつ。例えばステレオカメラは比較的安価だが、三角測量の原理で計測しており高い距離範囲・奥行き分解能を得ることが難しい。このため障害物の検出距離や検出サイズには一定の限界もある。またカメラベースのセンサは総じて外乱光や悪天候に弱い。一方 LRF (Laser Range Finder) はレーザー光の飛行時間で測距するため高分解能で、路面の凹凸や小さい障害物の検出が可能である。反面、視野方向の検出にはスキャン機構や複数光源が必要で他方式に比べ高価である。また外乱光には強いが雨・雪・霧・砂埃・落葉なども過検出してしまふなどの問題もある。ミリ波レーダは雨雪霧などの悪天候に強く



第8図 移動体検出例
Fig. 8 Example of recognition of moving objects

第3表 環境（3次元空間）計測センサの特徴
Table 3 Features of the environment measurement sensors

センサ種類	計測範囲		空間分解能		時間分解能 (フレームレート)	情報量 (輝度など)	耐環境
	視野	距離	上下・左右	奥行			
ステレオカメラ	○	△	◎	△	○	◎	△
距離画像カメラ	○	△	○	○	○	○~◎	△
L R F	○~◎	○	○~◎	◎	△~○	△	○
ミリ波レーダ	△	◎	△	◎	△~○	×	◎

奥行き方向の計測範囲・分解能は高いが、視野方向の能力が低いため、周囲情報を詳細に得るには限界もある。

以上のように、一種類のセンサ情報で、あらゆる天候でのさまざまな環境を判断するのは困難である。このため適用環境などに応じて複数種のセンサ情報を補間・統合して使用することが重要である。民間分野事例では比較的安価なステレオカメラ・ミリ波レーダを主に、高価な LRF を部分的に利用するなど、コストを配慮した構成での開発が進められている。しかし同センサ構成で未舗装路や不整地の凸凹や小障害物を含むさまざまな環境判断を行うことは困難で、使用環境や条件の限定（一定以上の環境整備、自動車専用道路での使用限定、障害物検知サイズ制限など）、運用による工夫（人による事前確認など）も必要である。

軍事・防衛、災害対応分野などの事例では環境を限定できない上、事前情報がない／少ないなどの未知環境を対象とする場合が多い。このため先行する米軍などでも高速3次元 LRF などの高価だが高品質な情報を得られるセンサが使用されている。

このような点から今後は各センサの一層の高精度・耐環境・低コスト化技術やセンサ情報を統合・補間して環境を高度に理解する技術の開発が重要である。また運用面での工夫も重要で、米軍での半自律型 UGV の例のように、直接的な遠隔操縦から高度な自律性をもつ各種モードを用意し、状況に応じて人間／機械の判断で臨機応変にモード変更しつつ任務遂行するようなシステム開発が必要と考えられる。また事前情報が得られると環境計測の一定の要件を緩和できる可能性もあり、別手段で事前情報を収集・準備するような運用を考えることも有効と考えられる。

このような自己位置推定・環境認識機能による結

果を用いて、ロボットの行動を決定することになるが、例えば自動運転車では「現在、道のどの車線のどの辺にいるか」までの高精度な情報を常時把握する必要がある。GPS/INS では先に示すとおり十分な精度が得られない場合があり、近年、環境認識技術を用いた自己位置推定技術が開発されつつある⁽¹⁴⁾、⁽¹⁷⁾、⁽¹⁸⁾。具体的には車線位置や環境の特徴を事前計測して地図として登録しておき、現在取得しているセンサ情報との照合により、高精度に車両位置を推定する。第9図に自動運転車における事前地図例を示す。

自動車分野では地図整備に関するグローバルな議論・取り組みも進みつつある。例えば COCN（産業競争力懇談会）の推進テーマの1つである3次元位置情報を用いたサービスと共通基盤整備に関する報告書では、3次元地図情報（位置情報）整備への具体的な提言がされており⁽¹⁹⁾、SIPでの自動走行システムに関する研究開発でも同テーマが挙げられている⁽¹⁵⁾。

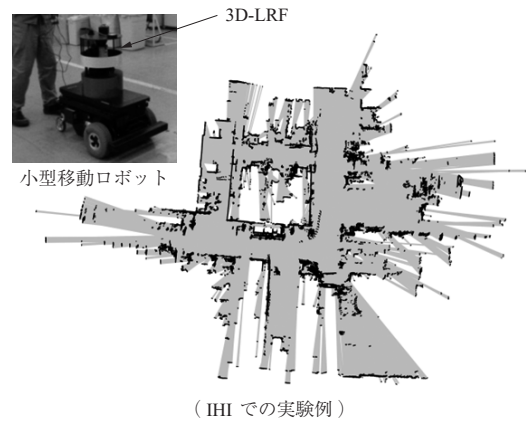
このような地図整備は高速道路や主要幹線道路から順次整備される計画だが、事前地図がない場所や、災害などで大きく状況が変化した場合には同技術を適用できない。このような場合にも対応する技術として、環境計測センサで取得した情報から照合技術を用いて自己位置推定と環境地図生成を同時に行うSLAM（Simultaneous Localization and Mapping）技術の開発が進んでいる（第10図）。例えば日本版DARPA Challengeと呼ばれる「つくばチャレンジ」では参加チームの多くが同技術を採用している。



データ提供：金沢大学菅沼研究所

第9図 自動運転車における事前地図例

Fig. 9 Example of a map prepared beforehand for autonomous driving



(IHI での実験例)

第10図 SLAMによる屋内の環境地図生成例

Fig. 10 Example of indoor environment map generation by SLAM technology

SLAM技術は屋内のような比較的安定した環境ではかなり確立しつつある。一方屋外は、先に示した多様性が高く天候などによる変化が大きい点やセンサ自体の耐環境性などから課題が多い。また高速かつ長距離走行する車両では、メモリや計算時間・リアルタイム性などの課題もある。しかし先に示す「つくばチャレンジ」など、一定の状況・環境での実証は進みつつあり、今後は部分的な適用への議論も高まっていくと考えられる。

経路生成機能は目標指令（位置・速度など）に従い、環境地図や車両内部情報から自車両が走行する経路を生成する機能で、経路追従機能は同経路に沿うように車両が追従するためのアクチュエータ制御信号を生成する機能である。静止障害物のみ存在する環境では停止もしくは横を通過する回避行動など、行動パターンは限定されるが、他車両・歩行者などの移動体が存在する環境では交通ルールへの準拠も必要で、行動パターンは飛躍的に増加する。自車両現在状況、静止障害物位置、移動障害物位置（現在・予測）、各種ルール・条件などから適切な行動を決定する判断部（層）と決定した行動に基づく経路計画部（層）が必要となる。（ロボットにとっては複雑であるが人にとっては）比較的単純なケースをベースに条件分岐判断や回避経路計画技術などの開発が進んでいるが、実運用シーンではさまざまなレアケースも存在するため、実証実験などを重ねることで課題抽出・改善などによりレベルアップを図ると共に、長期的には人工知能のような複雑な状況を判断する機能が必要と考えられる。

(4) 遠隔操縦を支援する技術

無線通信を介した遠隔操縦では通信量の制約から、多数の精彩な映像を送信することが困難である。このため限られた情報量で把握しやすく提示する技術が有効である。例えば車両に配した複数カメラの映像を統合して、車両を俯瞰した映像を提示する技術⁽²⁰⁾はひと目で車両と周囲環境の相対関係などを提示でき有効である。(3)で説明したセンサによる地図・地形情報や障害物検出情報を参考情報として併せて提示するなど有効と考えられる。また環境情報に限らず車両の状態情報、例えばINSなどで得られる姿勢などを数値で示すだけでなく、CGなどを使ってビジュアルに提示することで、車両姿勢を体感できない遠隔操縦者に対して横転に対する危険性や傾斜による状況変化などをよりわかりやすく提示できると考えられる。

4. まとめ

各分野で開発が進められるロボット車両や同車両に係る自律走行・遠隔操縦支援技術を紹介した。自律走行・遠隔操縦支援に使われるセンサや技術は適用分野を超えて共通する部分も多い一方、現状ではまだ高コストとなりがちで、技術完成度も十分ではない。このため実用化に向けては分野・アプリケーション毎の特徴、要求環境・状況などを分析・整理し、それら併せた運用面の工夫などを組み込んだシステム化が重要である。

参考文献

- (1) 一般社団法人日本経済団体連合会防衛生産委員会：無人機システム(Unmanned System)の現状と動向 防衛技術調査報告書 2014年3月 pp.2-4 - 5, 62
- (2) Lockheed Martin 社 URL: Robots Moving Robots: Lockheed Martin Conducts First Fully Autonomous Mission <http://www.lockheedmartin.com/us/news/press-releases/2014/august/mfc-081814-robots-moving-robots-lockheed-martin-conducts-first-fully-autonomous-mission.html> (参照 2015-05-07)
- (3) 防衛省技術研究本部 URL: 陸上無人機の性能確認試験 http://www.mod.go.jp/trdi/news/1309_2.html http://www.mod.go.jp/trdi/news/1312_3.html (参照 2015-05-07)

- (4) 防衛省技術研究本部 URL: CBRN 対応遠隔操縦車両システムの性能確認試験 http://www.mod.go.jp/trdi/news/1502_1.html (参照 2015-05-07)
- (5) 建設無人化施工協会 URL: <http://www.kenmukyou.gr.jp/> (参照 2015-05-07)
- (6) 九州地方整備局 URL: 遠隔操縦ロボット「ロボQ」バックホウ用 http://www.qsr.mlit.go.jp/kyugi/tech_develop/kaihatsu_naiyou/kaihatsu_04.html (参照 2015-05-07)
- (7) 株式会社フジタ URL: 遠隔操縦ロボット「ロボQ」 <http://www.fujita.co.jp/solution-and-technology/detail/q.html> (参照 2015-05-07)
- (8) 科学技術振興機構 URL: SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術 無人化施工の新展開～遠隔操作による半水中作業システムの実現～ 2014年11月 <http://www.jst.go.jp/sip/event/k07/20141105/www/pdf/1-4.pdf> (参照 2015-05-07)
- (9) John Williamson, Autonomous Haulage - The Future of Mining -, Panel session: On-Road and Off-Road Technologies, AUVSI's Unmanned System 2014
- (10) Lou Balmer-Millar, AUVSI Unmanned Systems 2014 CATERPILLAR, Panel session: On-Road and Off-Road Technologies, AUVSI's Unmanned System 2014
- (11) 日立製作所 URL: 稲の立毛時期において自律走行型ロボットトラクターを用いた無人作業に成功 精密農業の実現へ <http://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2015/01/0114.html> (参照 2015-05-07)
- (12) ヤンマー URL: ロボットトラクター <https://www.yanmar.com/jp/technology/robotics.html> (参照 2015-05-07)
- (13) 安藤敏之, 菅沼直樹, 竹内栄次郎, 服部義和, 柴田英司, 南部朋子: 自動運転・運転支援実用化の取り組み(セミナー資料) 日本ロボット学会 第88回ロボット工学セミナー 2014年10月
- (14) 首相官邸 URL: http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/kanminits_140603.pdf (参照 2015-05-07) 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部 官民 ITS 構想・ロードマップ～世界一安全で円滑な道路交通社会構築に向けた自動走行システムと交通データ利活用に係る戦略～ 2014年6月
- (15) 内閣府 戦略的イノベーション創造プログラム

- URL：自動走行システム研究開発計画 2014年11月 http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/6_jidousoukou.pdf (参照 2015-05-07)
- (16) NEDO ワシントン事務所 URL：<http://nedodweb.org/report/DOT%20Policy%20concerning%20Automated%20Vehicles.pdf> (参照 2015-05-07)
- (17) 魚住剛弘, 菅沼直樹：マップマッチングによる自動運転車両の自己位置推定精度向上に関する研究：第一報 Laser Range Finder を用いた白線地図生成ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集'10, 1P1-B11 2010年6月
- (18) 日本経済新聞 電子版 URL：精度数センチで位置推定, 自動運転向け地図制作現場 [nikkei.com/article/DGXNASFK22028_S4A420C1000000/](http://www.nikkei.com/article/DGXNASFK22028_S4A420C1000000/) (参照 2015-05-07)
- (19) COCN (産業競争力懇談会) URL：3次元位置情報を用いたサービスと共通基盤整備 2014年度プロジェクト中間報告 2014年11月 <http://cocn.jp/common/pdf/thema69-S.pdf> (参照 2015-05-07)
- (20) 佐藤貴亮, Alessandro Moro, 藤井浩光, 杉本和也, 野末 晃, 三村洋一, 小幡克実, 山下 淳, 浅間 一：無人化施工における擬似俯瞰映像提示システムの開発 日本機械学会論文集 Vol. 81 No. 823 14-00031 2015年3月 pp. 1 - 13
- (防衛技術ジャーナル 2015年6月号より転載)