

次世代モビリティを支える 高精度衛星測位技術・サービス

少子高齢化による労働力不足に代表される社会課題をデータや最先端の科学技術の活用によって解決し、超スマート社会を実現するSociety 5.0の取り組みが官民一体となって推進されている。こうした中で位置情報の高精度化はモビリティを中心とした社会課題の解決に向けて注目を集めており、高精度な衛星測位を実現するためのグローバルな補正情報配信サービスの事業化が推進されている。ここでは高精度衛星測位技術の概要や、日立が中心となってオーストラリアで行った実証実験を紹介する。

富田 仁志 | Tomita Hitoshi

五百竹 義勝 | Iotake Yoshikatsu

菅原 敏 | Sugawara Satoshi

野村 高司 | Nomura Takashi

工藤 英康 | Kudo Hideyasu

1. はじめに

少子高齢化による労働力不足、高齢者の福祉・介護、地方都市の過疎化と公共交通維持の限界、食料自給率の低下、異常気象による大規模自然災害の増加など、日本はさまざまな社会課題を抱えている。このような社会課題を解決すべく、官民一体の取り組みが推進されている。

本稿では、まず2章でデジタルライゼーションの潮流と其中で高精度位置情報が社会課題解決に果たす役割について述べる。続く3章では高精度位置情報の利用が期待される分野と高精度衛星測位に求められる要件について整理する。4章では各国の衛星測位システムの動向や最先端の衛星測位方式について述べ、関連する補正情報

配信サービスを紹介する。5章では高精度衛星測位によるモビリティ実証の先進事例として、農業分野における農業機械自動化実証とドローンによる高精度農地センシング実証を紹介する。最後に6章で全体をまとめる。

2. 社会課題の解決を支える 高精度位置情報

日本では、急激な少子高齢化に伴う労働力不足や生産性維持・向上に代表される社会課題の解決に向けて、データや最先端の科学技術を活用し、超スマート社会を実現するSociety 5.0¹⁾の取り組みが、政府と民間が一体となり進められている。本章では、このような潮流と社会課題解決において高精度な位置情報が果たす役割について述べる。

2.1

デジタルライゼーションの進展とSociety 5.0

ビッグデータ解析やAI(Artificial Intelligence), ロボットなどのデジタル技術の進展とあらゆるモノがインターネットにつながるIoT (Internet of Things) の普及・拡大により, 世界は新たな産業創造や社会変革の時代を迎えている。

これまでも産業分野を中心にデジタル技術を活用することで, バリューチェーンの各部分の最適化や効率化が図られてきた。しかし現在のデジタルライゼーションの潮流は, バリューチェーンの細部にまでわたる全体の最適化や効率化を実現したり, あるいはこれまではなかったソリューションやサービスを創出するものとなっている。これは, 単に個々のビジネスの効率性を向上させるだけでなく, 産業構造から個人のライフスタイルまで, 社会全体の在り方を大きく変える可能性を秘めている。

2.2

高精度位置情報の必要性・重要性

超スマート社会の実現には, サイバー空間とフィジカル空間の高度な融合が必要となる。

このとき, フィジカル空間において, 「いつ」, 「どこで」, 「何が」 起きているかを高い精度でセンシングすることは特に重要である。センシング情報の精度が低いとサイバー空間でのビッグデータ解析やAIによる分析や予測の精度が低下する。分析や予測の精度が低下すると, フィジカル空間へフィードバックするデータの精度も低下し, フィジカル空間における人やモノ, コトの制御が適切に行えなくなるためである (図1参照)。

屋外のフィジカル空間において, 「いつ」, 「どこで」

を高い精度でセンシングする手段として期待されるのが米国のGPS (Global Positioning System) に代表される衛星測位技術である。衛星測位で利用される測位衛星には原子時計が搭載されているため, 測位衛星から得られる情報には精度の高い時刻情報が含まれる。また, 衛星測位により, 地球上の絶対的な位置を把握することが可能となる。

3. 高精度衛星測位技術に求められる要件

本章では高精度位置情報の利用が期待される分野や用途の一例を紹介し, 高精度衛星測位技術に求められる要件について述べる。

3.1

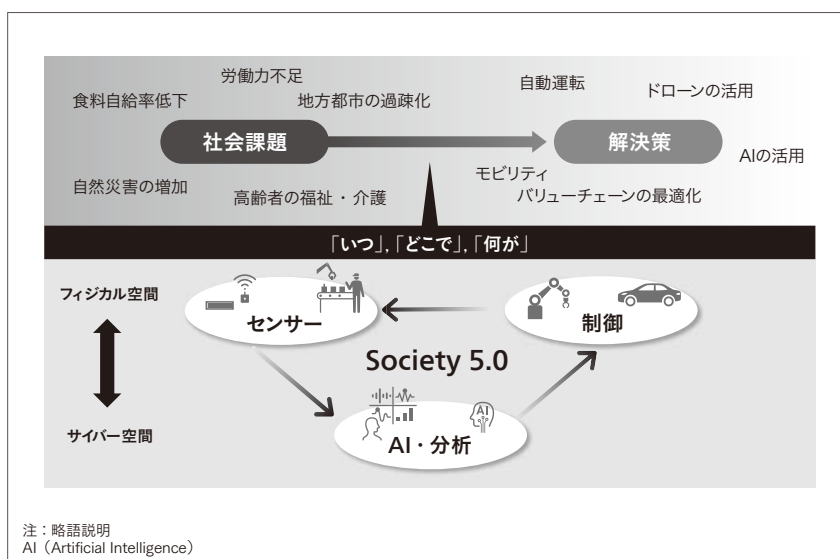
高精度位置情報の利用が期待される分野・用途

屋外で特に高精度な位置情報が必要とされるのが, モビリティの制御である。自動車, 船舶, 農業機械, 建設機械, ドローンなどモビリティの進歩は人やモノの移動効率を高め, 作業を省力化・効率化し, 社会を大きく発展させてきた。近年, 飛躍的な生産性向上や社会の安全・安心が求められる中で, 人によるモビリティの制御から, 機械によるモビリティの制御・自動化をめざす動きが加速している。

モビリティの制御において高精度な絶対位置情報は重要な情報の一つである。例えば自動運転では, カメラやLiDAR (Light Detection and Ranging) などの相対測位技術と高精度な衛星測位技術の融合による制御システムの開発が進められている。

図1 | 社会課題の解決に寄与する
高精度位置情報の役割

社会課題の解決において「いつ」, 「どこで」, 「何が」 起きているかを高精度に把握することは重要である。



高精度な絶対位置情報は、さまざまな分野での利用が期待されている。例えば、自動車・交通分野では、自家用車やタクシー、バス、トラックなどの自動運転による労働力不足解消や交通事故の低減、オンデマンド交通の実現、車線識別によるレーン単位でのナビゲーションによる渋滞緩和などが考えられる。海洋・船舶分野では、船舶の往来が多い場所や浅瀬、港湾などでの、自動誘導や衝突回避、最適航路の選択によるコスト削減や省エネルギーの実現が考えられる。農業分野では、農業機械の自動運転による労働力不足解消や繁忙期の夜間作業の実現、ドローンによる高精度な農地センシングによる作物の生育状況や病害虫の発生状況把握の省力化などが考えられる。建設分野では、建設機械の自動運転による省力化や事故の低減、工期の短縮などが考えられる。この他にも物流、インフラ点検、防災・減災などさまざまな分野での利用や応用が考えられる。

3.2

高精度衛星測位技術の要件

前節で述べた利用を想定した場合、高精度衛星測位技術に求められる重要な要件は以下のとおりである。

(1) グローバル性

国や地域に依存せず、地球上のどこでも（海上やへき地であっても）利用できること

(2) 絶対性

地球上での絶対的な位置（緯度、経度、高度）を高精度（誤差数センチメートル）で把握できること

(3) 同一性

地球上のどこでも、同一の方式・基準により位置が把握できること

(4) 汎用性

誰もが利用でき、他のセンサーや装置との組み合わせが可能であること

(5) 導入の容易性

既存の装置やソフトウェアを生かし、低価格で迅速にシステムやサービスが立ち上げられること

4. グローバル利用可能な 高精度衛星測位技術・サービス

世界各国で衛星測位システムの整備・運用が進められている。本章では、各国の衛星測位システムの動向と近年注目されている最新の高精度衛星測位方式を紹介する。

4.1

各国の衛星測位システムの動向

GNSS（Global Navigation Satellite System）と一般に呼ばれる衛星測位システムの各国の動向²⁾は、米国がGPSを、ロシア連邦はGLONASS（Global Navigation Satellite System）を、それぞれ1960年代から運用しており、現在も測位衛星システムの近代化を進めている。

また近年では、欧州連合がGalileoを、中国がBeiDouを、独自の衛星測位システムとして構築・運用を進めており、2020年にはそれぞれ30機体制で本格運用を開始する計画となっている。

日本は、アジア・オセアニア地域のRNSS（Regional Navigation Satellite System）として「みちびき」と名付けられた準天頂衛星システム（QZSS：Quasi-zenith Satellite System）を構築している。2018年11月より4機体制で本格運用を開始し、2023年までに7機体制に拡張することで、アジア・オセアニア地域で独立した衛星測位システムを構築する計画である。

4.2

高精度衛星測位技術

衛星測位の基本原理は、測位衛星の軌道（現在位置）が既知である前提の下、各測位衛星から送信される信号を地上の受信機で受信し、その到達時間差から各衛星と受信機との距離を計算し、三角測量の考え方で受信機的位置を特定する（コード測位）というものである。カーナビゲーションシステムやスマートフォンなどに搭載されているGNSS受信機能はこのような原理に基づいており、測位精度は数メートルから数十メートル程度の誤差を持っている。

一方、測量の分野では数センチメートルの測位精度が求められるため、衛星から受信機までの距離を求めるのに到達時間差ではなく、搬送波の位相を観測することで精度の高い距離を計算し、受信機的位置を特定する方法（搬送波測位）が用いられる。しかし衛星測位は、衛星の軌道やクロック（時計）の誤差、対流圏や電離層による影響、受信機のクロック誤差といった誤差要因を含んでいる。この誤差を低減するため、移動局（受信機）の近傍で正確な位置が分かっている場所に基準局（受信機）を設置し、基準局の観測データを移動局に提供することで誤差を数センチメートルに低減する方式が用いられている。一般的にこの方式はRTK（Real Time Kinematic）方式と呼ばれている。また日本では国土の地殻変動を監視するため全国に約1,300点の電子基準点が設置されて

いる。この情報を活用し、基準点がない場所でも仮想的な基準点を作り、補正量を計算して移動局に提供するネットワークRTKと呼ばれる方式もある。

モビリティの制御でも測量と同様に誤差数センチメートルの精度が求められるが、RTK方式あるいはネットワークRTK方式を広域で利用するためには多数の基準点の設置が必要であり、誤差数センチメートルの精度が出せるのは基準点の周辺20~30 kmに限られる。またRTK方式の受信機は測位精度を上げるため、カーナビゲーションなどで使われている受信機よりも大型で、非常に高価なものとなっている。このような状況からモビリティの制御に活用するためには解決しなければならない課題がある。

4.3

グローバル補正情報配信サービス

近年注目を集めている新しい高精度測位方式として、精密単独測位(PPP:Precise Point Positioning)³⁾がある。衛星測位では、4.2節で述べたように衛星の軌道やクロックに誤差を持つが、PPP測位では測位衛星の精密な軌道やクロック誤差を推定し移動局に提供することで、基準局を設置することなく移動局の受信機単独で高精度測位を行うことができる。

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構(JAXA: Japan Aerospace Exploration Agency)は、衛星の軌道追跡・決定技術が、PPP測位における精密衛星軌道・クロック推定に活用できることに着目し、MADOCA

(Multi-GNSS Advanced Demonstration tool for Orbit and Clock Analysis)⁴⁾方式を開発した。MADOCA方式では、グローバルに100局程度設置された衛星の監視局からの観測データに基づいて補正情報(精密衛星軌道情報やクロック誤差補正情報など)を生成し、衛星やインターネット経由で移動局に提供する(図2参照)。

RTK方式に比べ非常に少ない局の設置で、海上やへき地を問わずグローバルに同一の方式で誤差数センチメートルの高精度な絶対位置を得られることが特長である。また既存の搬送波測位との親和性も高く、既存のシステムやアプリケーションへの組み込みがしやすいことも特長である。

このMADOCA方式を用いて、グローバルに高精度衛星測位を行うための補正情報を配信するサービス事業を企画するグローバル測位サービス株式会社⁵⁾が2017年6月15日に日立造船株式会社、株式会社日本政策投資銀行、株式会社デンソー、日立オートモティブシステムズ株式会社、日本無線株式会社により設立された。その後、NECソリューションイノベータ株式会社、古野電気株式会社、豊田通商株式会社、マゼランシステムズジャパン株式会社も資本参加している。現在は、2020年度からの商用サービス開始に向け、試験信号の配信による技術実証などが進められている。また補正情報のデータフォーマットなどをオープンにすることで、さまざまな受信機メーカーやシステムベンダなどがサービスを利用しやすい環境を整えている。

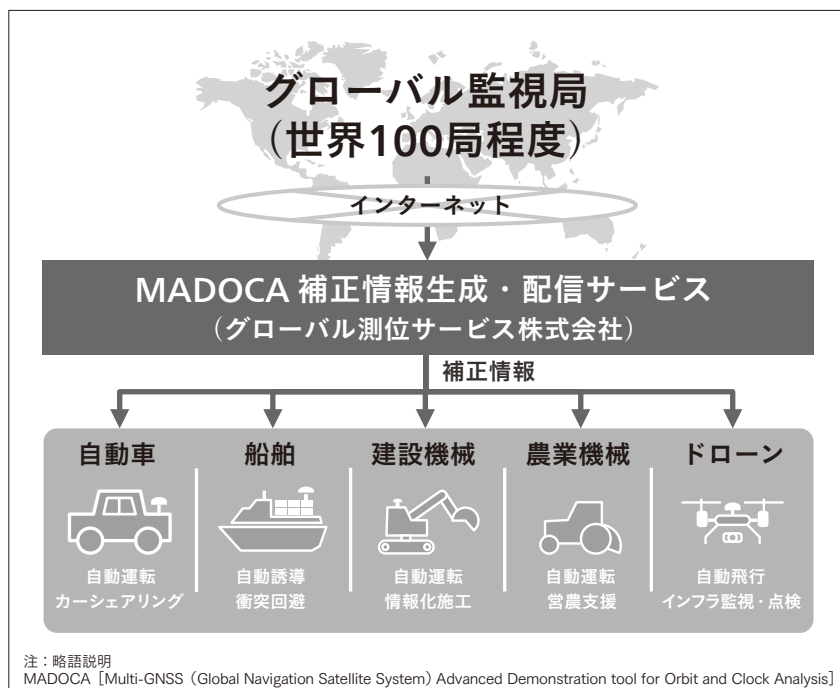


図2 | MADOCA
補正情報生成・配信サービス

グローバル監視局から得た観測データから高精度衛星測位のための補正情報を生成・配信する。

5. 高精度衛星測位技術を活用した先進実証

日立グループでは、モビリティの制御などに高精度衛星測位が活用できることを実証するため、オーストラリアにおいて農業機械の自動運転やドローンによる高精度農地センシングの実証を行っている。

5.1

オーストラリアでの農業機械自動運転実証

2016年度に総務省より「豪州農業における準天頂衛星の補強信号を活用した高効率な営農作業システムの調査に係る請負」を受託した。

本プロジェクトは、MADOCA方式に対応したGNSS受信機をトラクタに搭載して自動運転を行うことで効率的な農作業の実現に資することを目的に、オーストラリア連邦のクイーンズランド州マッカイのサトウキビ畑で2016年10月、および12月に実施された。プロジェクトメンバーは、日立製作所、日立造船、株式会社日立ソリューションズ、国立大学法人北海道大学、ヤンマーホールディングス株式会社、HITACHI AUSTRALIA PTY LTD.ほかである。

実証実験では、整地、畝作り、水まき、施肥の各工程を自動運転のトラクタで実施し、農家にヒアリングした

結果、最大80%程度の作業を自動化できるとの回答を得た。これにより、1 ha (1万m²) 当たり年間175 AUD (Australian Dollar) 程度の人件費が削減できると想定される。オーストラリアの平均農地面積3,000 ha⁶⁾ に適用すると年間で525,000 AUD程度の削減効果が見込める。さらに自動運転ならば人手による作業とは異なり夜間に作業を行うことも可能であるため、作業期間の短縮といった効果も期待できる。このように高精度衛星測位による農業機械の自動化により効率的な農作業の実現に資することを実証した(図3参照)。

本実証時のMADOCA方式による測位精度は、RTK測位結果に対し、水平方向で7.5 cm (RMS: Root Mean Square), 垂直方向で8.7 cm (RMS) となっており、本実証実験の工程では必要な精度を満たしているものの、農家からは作物や工程によってはさらなる精度向上や測位の安定性向上などが必要であるという声があった。また本実証時には、GNSS受信機の電源を入れてから測位が数センチメートル単位に安定するまでに30分程度の時間を要している。農作業の場合は準備時間中に安定するため影響は少ないが、利用分野や用途によっては改善が求められる。

この課題については、4.3節で紹介したグローバル測位サービス社にてローカル基準点の設置による改善や補正情報生成を含めたアルゴリズムの改善が進められている。

図3| 豪州農業における準天頂衛星の補強信号を活用した高効率な営農作業システム実証実験

MADOCA方式に対応したGNSS受信機をトラクタに搭載して自動運転を行うことで効率的な農作業の実現に資することを実証した。

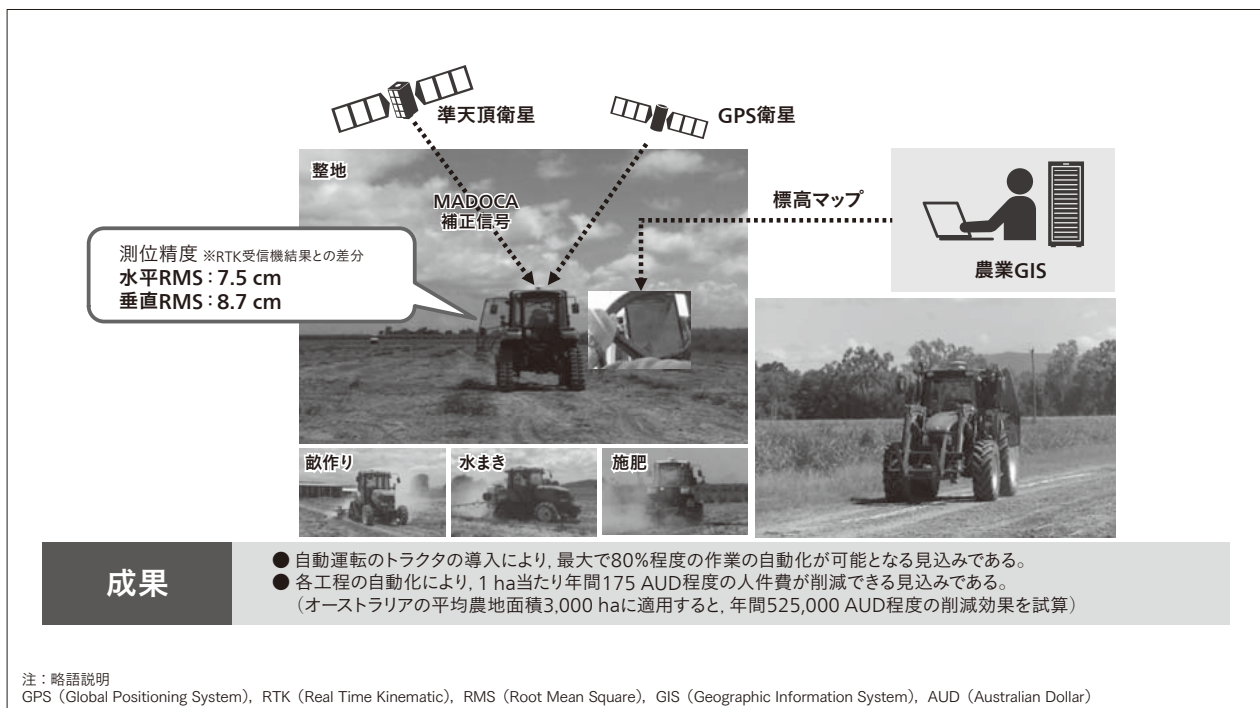


図4 | 豪州農業における準天頂衛星を活用した高精度・高効率分析システムの実証実験

MADOCA方式に対応したGNSS受信機とマルチスペクトルカメラをドローンに搭載して農地を高精度にセンシングし分析を行うことで、効率的な農作業の実現に資することを実証した。



5.2

オーストラリアでの高精度農地センシング実証

2017年度に総務省より「豪州農業における準天頂衛星を活用した高精度・高効率分析システムの調査に係る請負」を受託した。

本プロジェクトは、MADOCA方式に対応したGNSS受信機とマルチスペクトルカメラをドローンに搭載して農地を高精度にセンシングし分析することで、効率的な農作業の実現に資することを目的に、オーストラリアの西オーストラリア州カーボンのバナナ農地で2018年2月に実施された。プロジェクトメンバーは、日立製作所、日立ソリューションズ、株式会社日立産機システム、HITACHI AUSTRALIA PTY LTD., グローバル測位サービス社ほかである。

実証実験では、ドローンによりバナナ農地を高精度にセンシングし、マルチスペクトル画像の分析を行うことで農地内における雑草の抽出を行った。その結果、約0.5 haの農地に対して、木の根元を除くすべての雑草の81% (誤認識率0%) を抽出することができた。また除草剤散布の対象となる直径10 cm以上の雑草については92% (誤認識率0%) となった。この結果について農家や農業コンサルタントにヒアリングしたところ、所有するバナナ農地面積が15 ha以上の大規模バナナ農家に導入した場合には、見回り作業時間を年間207時間削減で

きるとの見込みを得た。これにより、高精度衛星測位とマルチスペクトルセンサー、ドローン、画像分析技術を組み合わせることで、効率的な農作業の実現に資することを実証した(図4参照)。

本実証時のMADOCA方式による測位精度は、RTK測位結果に対し、水平方向で5.5 cm (RMS)、垂直方向で4.5 cm (RMS) となっており、受信機やアンテナの性能改善により、前年度のオーストラリアでの実証よりも測位精度が改善されている。なお収束時間の短縮については、前年度と同様に課題であるが、5.1節で述べたように改善が進められている。

6. おわりに

技術は日々目覚ましく進歩し続けており、日常の業務や生活に多くの恩恵をもたらしている。高精度衛星測位がグローバルに低価格で利用できるようになれば、現状では実用化されていない新たなソリューションやサービスを生み出す可能性が期待される。例えば、ロボットが社会インフラを自動的に点検し、インフラが老朽化する前に交換を行うようなソリューション、あるいはサービスなども期待されている。

日立グループは、モビリティの観点から社会課題の解

決に貢献すべく、高精度衛星測位を活用するための技術や製品の開発、ソリューションやサービスの創出に、さまざまなステークホルダーと連携を深めながら取り組んでいく予定である。

謝辞

本稿は総務省「平成28年度 豪州農業における準天頂衛星の補強信号を活用した高効率な営農作業システムの調査に係る請負」、総務省「平成29年度 豪州農業における準天頂衛星を活用した高精度・高効率分析システムの調査に係る請負」によって得られた成果を含むものである。

参考文献など

- 1) 内閣府：科学技術政策，Society 5.0,
http://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/index.html
- 2) 内閣府：宇宙開発戦略推進事務局準天頂衛星システム戦略室第68回宇宙政策委員会 資料3 各国測位衛星の状況について(2018.4),
<http://www8.cao.go.jp/space/committee/dai68/siryou3.pdf>
- 3) J. F. Zumberge, et al.: Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks, Journal Of Geophysical Research : Solid Earth, Volume 102, Issue B3, pp.5005-5017 (1997.3)
- 4) 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構：MADDOCA Real-Time Products,
https://ssl.tksc.jaxa.jp/madocca/public/public_index_en.html
- 5) グローバル測位サービス株式会社,
<https://www.gpas.co.jp/>
- 6) 玉井哲也：カンントリーレポート：オーストラリア，平成26年度 カントリーレポート：タイ，オーストラリア，中国（プロジェクト研究【主要国農業戦略】研究資料 第4号），pp.61-101（2015）

執筆者紹介



富田 仁志

日立製作所 社会イノベーション事業推進本部
アーバン&ソサエティ推進本部 公共企画本部
コーポレートリレーション部 所属
現在、自動運転分野の事業企画に従事
測位航法学会会員



五百竹 義勝

グローバル測位サービス株式会社 所属
現在、MADDOCAの事業化に向けた業務に従事
測位航法学会会員



菅原 敏

日立製作所 社会イノベーション事業推進本部
アーバン&ソサエティ推進本部 公共企画本部
コーポレートリレーション部 所属
現在、自動運転分野の事業企画に従事
測位航法学会会員



野村 高司

日立製作所 産業・流通ビジネスユニット
エンタープライズソリューション事業部
モビリティ&マニュファクチャリング本部
モビリティ技術開発部 所属
現在、自動運転関連のデータコンテンツ配信事業開発に従事



工藤 英康

日立オートモティブシステムズ株式会社
情報安全システム事業部 グローバル戦略本部
事業企画部 所属
現在、情報安全システム分野の事業企画に従事
自動車技術会会員