



2026年3月24日

報道関係者各位

慶應義塾大学

世界最長、309m先から識別可能なLiDAR用基準マーカを開発 —GPSの使えない環境で建機自動化を支える高精度測位システムを実現—

従来、油圧ショベル等の建設機械を自動制御する「マシンコントロール」には主にGPS（衛星測位）が用いられてきました。しかし、トンネル内や高層ビル群、地下空間などではGPSの精度が低下し、自動化施工が困難でした。

慶應義塾大学理工学部電気情報工学科の吉岡健太郎准教授、同大学大学院理工学研究科学生（修士）の佐古大空らは、産業技術総合研究所の小出健司主任研究員と共同で、LiDAR（ライダー）用の基準マーカ「LiDAR Beacon（ライダー・ビーコン）」を開発しました。LiDAR Beaconは、従来のLiDAR用基準マーカの約19倍となる世界最長（※）約309mの識別距離を有しています。この圧倒的な長距離識別性能により、広大な建設現場であってもマーカの設置数を大幅に削減することが可能です。さらに本研究では、LiDAR Beaconを活用した独自の測位システムを確立しました。これにより、これまで自動化が困難だったGPSの届かない環境での建設機械のマシンコントロールを可能にします。

今後は、実際の建設現場での実証実験を加速させ、次世代の建設インフラを支える基盤技術としての普及を目指します。本研究の成果は2026年2月14日にセンサ分野の国際論文誌『IEEE Sensors Journal』に掲載されました。

（※）2026年3月時点。LiDAR用基準マーカに関する公開論文等の調査に基づく。

1. 本研究のポイント

・世界最長309mの識別距離——LiDAR本来の性能を極限まで引き出す基準マーカを開発：

従来の基準マーカ（最大16m程度）に対し、「LiDAR Beacon」は、LiDARのレーザー反射の時間的な変化を利用してIDを読み取る仕組みにより、世界最長約309m先からの識別が可能になりました。

・GPSや自動追尾装置が不要——自律的な測位システムを確立：

1基600万円以上の導入コストがかかる自動追尾装置（トータルステーション）やGPSに依存せず、LiDAR搭載の建機自らが測位を行うことが可能になります。

・死角に入っても止まらない——安定した測位を継続：

スキャンマッチング（LiDARで周囲の環境形状を読み取り位置を推定する技術）を取り入れ、LiDAR Beaconが一時的に死角に入っても測位を継続できます。

2. 研究背景

近年、建設現場の自動化・省人化が急務となる中、建設機械の正確な測位は自動制御の根幹を担っています。現在広く使われている測位技術のうち、GPS（衛星測位）はトンネル内や深い露天掘り現場など上空が遮られた環境では電波が届かず、精度が著しく低下するという課題があります。また、自動追尾トータルステーションも1基600万円以上と導入コストが極めて高いことに加え、建機との間に別の車両や作業員が入り込むと追尾が途切れてしまうという、現場運用上の根本的な課題があります。こうした背景から、GPSやトータルステーションを必要とせず、どのような環境でも建設機械が自律的に自分の位置を把握できる技術が求められています。

3. 研究内容・成果

本研究では、世界最長309mの識別距離を持つLiDAR用基準マーカ―「LiDAR Beacon」の開発と、本マーカ―を組み込んだ高精度な自律測位システムの確立という、2つの成果を得ました。

(1) 長距離識別マーカ―「LiDAR Beacon」

従来のLiDAR用マーカ―は、LiDARの複数のレーザー光線がマーカ―表面に当たることで初めて識別できる仕組みのため、距離が離れるほどレーザーの当たる点が減り、遠距離では識別不能になるという限界がありました。有効距離は最大16m程度（※LiDAR Tag[1]の場合）に留まり、LiDAR本来が持つ数百m超の測距性能を活かせていませんでした（図1）。

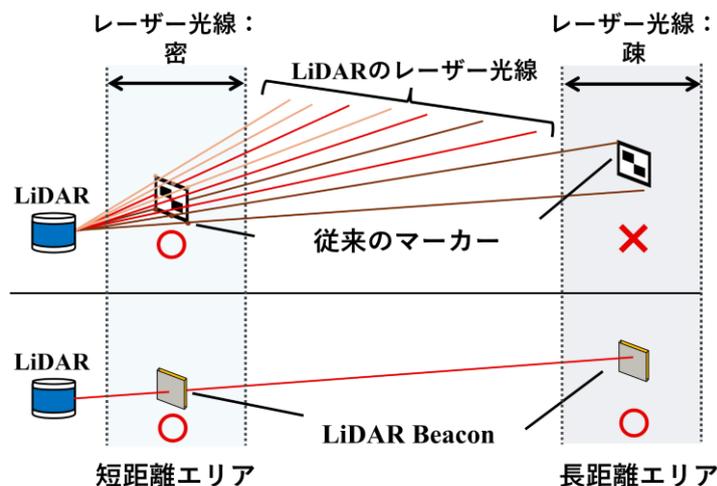


図1：従来マーカ―（上）とLiDAR Beacon（下）の比較。従来マーカ―は遠距離においてLiDARのレーザー光線の当たる点不足で識別不能になるのに対し、LiDAR Beaconはたった1点のレーザー光線で識別できるため、長距離でも識別可能。

開発したLiDAR Beaconは、わずか1点のレーザー反射で識別できる全く新しい仕組み（図2）を採用し、この課題を根本から解決しました。屋外実証実験において、LiDAR用基準マーカ―として**世界最長（※）となる約309m**先からの識別を達成しました。これは、従来方式（例：LiDAR Tagの16m）の**約19倍**に相当します。

（※2026年3月時点。LiDAR用基準マーカ―に関する公開論文等の調査に基づく）

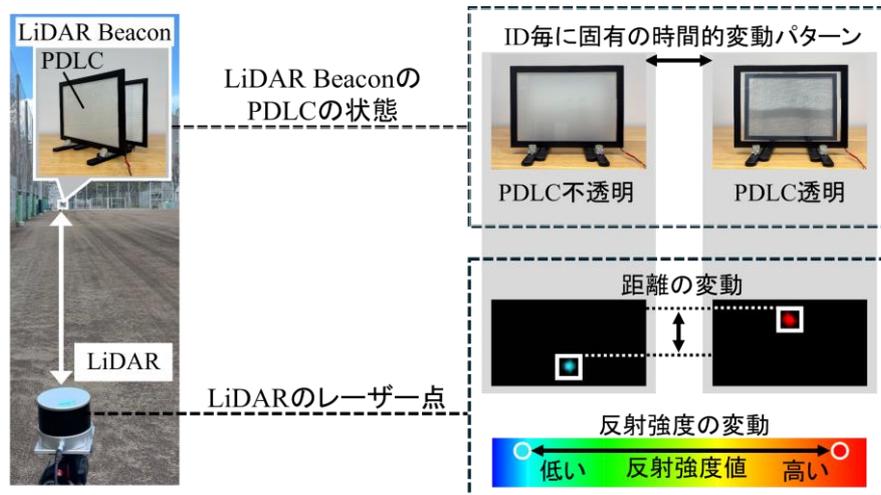


図2：LiDAR Beaconの動作原理。電圧のオン・オフでPDLC（ポリマー分散型液晶）フィルムを透明・不透明に切り替えると、LiDARから見た反射の強さ（反射強度）と見かけ上の距離が同時に変化する。この変化の時間的パターンの組み合わせにより、たった1点の反射を数フレーム（最短600ミリ秒）追跡するだけでLiDAR BeaconのIDを識別できる。

(2) 自律測位システムへの統合

LiDAR Beaconを環境中に設置し、LiDAR搭載車両で検出することで、GPSなしに自らの位置を継続的に把握できるシステムを構築しました。LiDAR Beaconを位置の基準点として参照することで、広場やトンネルのような特徴の乏しい環境（図3）でも高精度な測位を維持できます。



図3：実証実験の環境。（左）実験に使用したLiDAR搭載車両。（中央）屋外の広大な砂地広場：見渡す限り平坦で特徴物のない、位置の手がかりが最も得られにくい環境に3基のLiDAR Beaconを設置。（右）屋内の長い直線廊下：同じ景色が続き位置の手がかりが得られにくい環境に2基のLiDAR Beaconを設置。

実証実験の結果、従来手法では走行とともに位置がずれ続けたのに対し、本システムでは長距離走行後も（砂地での実験において）平均誤差0.14m以内という高い精度を維持することを確認しました（図4）。GPSやトータルステーションを使わずに、自律的な高精度測位が実現できることを実証しています。

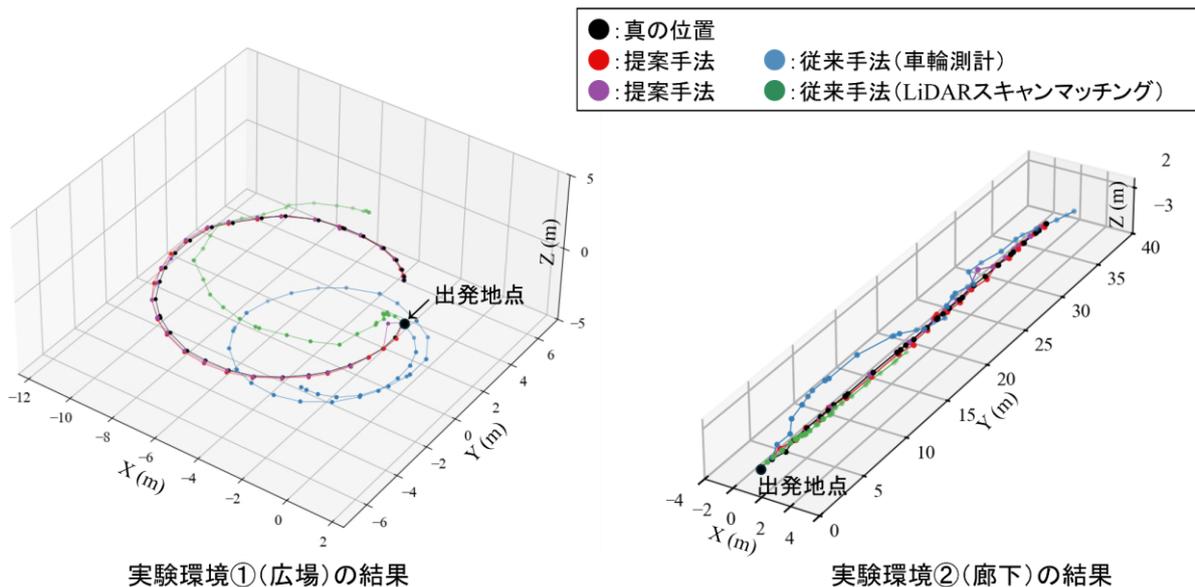


図4：位置推定の軌跡比較。黒が真の位置、青・緑が従来手法、赤・紫が本提案手法。従来手法では走行とともに位置がずれ続けるのに対し、提案手法は真の位置に沿った軌跡を維持しており、位置のずれが抑制されていることがわかる。

4. 今後の展開

今後は、実際の建設現場において油圧ショベル等の建設機械を用いたマシンコントロールへの統合実証を行い、実環境における精度と信頼性のさらなる向上を目指します。さらに、GPSが利用できず、地形的特徴も存在しない月面などの極限環境への応用も視野に入れ、地球上から月面まで次世代の探査・建設を支える基盤技術としての普及を目指します。

<参考文献>

- [1] J. -K. Huang et al., LiDARtag: A Real-Time Fiducial Tag System for Point Clouds, IEEE Robotics and Automation Letters, vol. 6, no. 3, pp. 4875-4882, July 2021

<原論文情報>

国際論文誌名：IEEE Sensors Journal

タイトル：LiDAR Beacon: 300 m-Range Fiducial Marker for Mobile Robot Localization with Dual Temporal Range-Reflectance Modulation

著者と所属：Ozora Sako¹, Kenji Koide², Rokuto Nagata¹, Kazuma Ikeda¹, Ryo Yoshida¹, and Kentaro Yoshioka¹

1: Keio University

2: National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

DOI: 10.1109/JSEN.2026.3665149

URL: <https://doi.org/10.1109/JSEN.2026.3665149>

※本論文はオープンアクセスです。上記 URL より、どなたでも無料で全文をご覧いただけます。

<用語説明>

※1 GNSS と GPS : GNSS (全地球航法衛星システム) は、米国の GPS や日本の準天頂衛星 (みちびき) など、人工衛星からの電波を用いて地球上の位置を特定するシステムの総称。本来、GPS はその中の一つのシステムを指すが、一般に広く浸透していることから本資料では便宜上、衛星測位全般を指す言葉として「GPS」の表記を用いている。

※2 LiDAR: Light Detection and Ranging の略でレーザー光を用いて幅広い範囲の三次元情報を得るセンサ。野外、遠距離でも動作することから自動運転における主要センサとして注目されている。

※3 LiDAR スキャンマッチング : LiDARで取得した周囲の三次元形状データを連続的に比較することで、自分がどの方向にどれだけ移動したかを推定する技術。自動運転車や自律移動ロボットに広く使われている。GPS なしでも高精度な位置推定が可能な一方、特徴の乏しい環境では誤差が蓄積しやすいという弱点がある。

※4 PDLC (ポリマー分散型液晶) : 液晶をポリマー中に分散させた材料で、電圧のオン・オフによって透明・不透明を瞬時に切り替えられる。スマートガラスや調光フィルムとしてオフィスや自動車の窓にも使われている。

※ご取材の際には、事前に下記までご一報くださいますようお願い申し上げます。

※本リリースは文部科学記者会、科学記者会、各社科学部等に送信させていただいております。

・研究内容についてのお問い合わせ先

慶應義塾大学 理工学部 電気情報工学科 准教授 吉岡 健太郎 (よしおか けんたろう)

E-mail : kyoshioka47@keio.jp

・本リリースの配信元

慶應義塾広報室 (増田)

TEL : 03-5427-1541 FAX : 03-5441-7640

E-mail : m-pr@adst.keio.ac.jp <https://www.keio.ac.jp/>