

特集 産業応用ライダー

「産業応用ライダー」特集号によせて

平野 嘉仁

三菱電機株式会社 (〒100-8310 東京都千代田区丸の内 2-7-3)

Preface to Special Issue on LiDARs for Industrial Applications

Yoshihito Hirano

*Mitsubishi Electric Corporation,
2-7-3, Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8310*

(Received August 26, 2022; revised August 31, 2022; accepted September 7, 2022)

In recent years, the industrial applications of LiDARs, such as 3D modeling in “Society 5.0” and “Metaverse”, are progressing. This paper describes the overview of the special issue on “LiDARs for Industrial Applications”. In the special feature, the following four commentary papers are picked up; 1. Advanced optical measurements using optical frequency comb interferometry, 2. Trends in automotive LiDARs, 3. Investigation toward the low-cost and high specification LiDAR based on the LiDAR equation, 4. Smart monitoring using LIDAR and further development for autonomous mobility.

産業応用ライダー特集号によせて

近年、ライダーの産業応用、特にその3D画像を取得するセンサとしての応用が脚光をあびている。ネットでLIDARを検索すると、その略語として従来のLight Detection and Ranging（光検出と測距）の他に、Laser Imaging Detection and Ranging（レーザ画像検出と測距）と併記されるようになった。周囲の3次元（3D）環境を精密にデジタル化するライダーは、Society 5.0でのフィジカル空間をサイバー空間にデジタルツインとして再現するセンサや、メタバースにおけるリアルな3Dモデルを構築するためのツールとして、現代社会にとって不可欠なものとなりつつある。

こういった社会的背景をうけて、広範囲な空間情報を高精度、高精細、リアルタイムに取得したいというライダー性能への要求も高まっている。ただ、2Dの画像を一括で取得できるカメラのように3D画像を取得することは容易ではない。ライダーは、レーザー光源、受光器、レーザー光送受信光学系、信号処理装置などから構成され、レーザー光を照射している方向（視線方向）の物体で反射した光の往復の飛行時間（TOF: Time of Flight）から物体までの距離を計測する装置である。ここでは、距離計測のものさしに光の速さを用いているので高精度化には高分解な時間計測が必要となり、一般的なパルス型のライダーの場合、ナノ秒=15 cm程度が目安である。このため、最近の工業製品のデジタルツイン化などで要求されるような100 μm以下の精度を出すには異なる手法が必要となる。また、自分の周りの環境全体の3D画像を取得するには、レーザー光を垂直・水平方向に走査しながら距離情報を取得し、自分の位置を基準とした3Dデータに再構築する必要がある。この場合、画像の解像度とフレームレートの積に相当する回数の距離計測が必要となり、例えば車の自動運転用ライダーの一例¹⁾では、表示解像規格のQVGA（Quarter Video Graphic Array 320×240画素）、フレームレート10回として1秒間に約77万回となる。これは、計測対象の時間的、空間的な変化が小さい従来のイメージング型の気象計測用ライダーの一例で視線計測回数が高々8 Hz²⁾であることを考えると、光源やビーム走査、信号処理、取得データの通信などに10万倍近い速度が要求され、並列計測³⁾などの新規技術導入が必要となる。さらに、ライダーの応用が進むにつれ、その搭載機器もスマートフォン、自動車、ロボット、ドローンなどとなり、普及に向けては、小型化、低価格化、低消費電力化に向

けた技術開発も必須となっている。

今回の特集号では、これら進展を見せている産業応用ライダーに関連する1件の研究論文と4件の解説記事を紹介する。研究論文⁴⁾は、柴田科学(株)の左成氏によるもので、工場等の屋内作業場におけるエアロゾルの分布計測を目的とした小型ライダーの開発についてである。屋内空間でのエアロゾル(ソフトターゲット)の3D可視化は、大気観測を中心に発展してきた本学会との関わりが深く、また、労働環境や生活環境の監視・改善といった新しい産業応用が期待され興味深い。ぜひご一読頂ければと思う。これ以外の4件は、本学会の産業応用ライダー調査専門委員会が開催した(企画中を含む)オンラインセミナーの内容から選んだ解説記事であり、主に立体構造物(ハードターゲット)を3D画像化するライダーに関するものである。これらについて以下順に紹介する。

最初の解説記事⁵⁾では、(株)XTIAの今井氏に、光の広帯域性を利用した新しい方式として光コムを用いた高精度な距離計測、形状計測について紹介頂く。冒頭にも述べたが、一般に用いられるパルスレーザーでのTOF距離計測の場合、ns以下とパルス幅が短くなってくると距離精度は電気系の応答で制限されてくる。光コムは、一定の周期で繰り返す超短光パルスを周波数領域で見た場合の櫛状のスペクトルが超広帯域に広がっている事から命名されているが、ここで紹介される方式は、この光コムを送信し干渉受信(ヘテロダイナミック検波)することで、低周波電気信号のスペクトル解析から距離を計測するもので、電気系の応答制限を解消し、長距離(数10m以上)、高精度(μm オーダー)、高速計測($\sim\text{kHz}$)を可能とする画期的な方式である。ビーム走査と組み合わせることで、これまで不可能だった車のエンジンなどの複雑な形状の精密なリアルタイム計測装置として応用が進んでいる。光コムを用いた計測は、光の広帯域性を有効に活用できる方式として、更なる技術発展、産業応用が期待できる分野である。

第二番目の解説記事⁶⁾では、パラダイムリサーチ社の鷲尾氏に、その想定されるビジネス規模から3Dライダーの開発を先導している車載ライダーについて、その発展の歴史から今後の展開までを、ビジネス規模やそこに用いられる技術内容を含めて解説頂く。特にコストや環境適応性などを含む厳しい性能要求に対応するためのライダー方式について、現状の機械的なビーム走査手段を有するものから、機械的なビーム走査手段を持たない全固体化に向けての多くの新しい取り組みをわかりやすく分類頂いており、ともすれば最近のライダーベンチャー企業のニュースに振り回され気味の読者の頭の整理に有益な情報となろう。詳細は本論文に譲るが、光源としてVCSELアレイ、受光器としてSPADs(Single Photon Avalanche Diodes)アレイ、ビーム走査としてMetasurface、OPA(Optical Phased Array)、FPSA(Focal Plane Switch Array)など、半導体技術による小型化・集積化・高機能化が今後の発展のカギとなることが窺える。

第三番目の解説記事⁷⁾では、三菱電機(株)の亀山氏に、産業用ライダーで高性能(長距離・高精細・高精度・リアルタイム)と低コストを実現するにあたり考慮すべき観点をライダー方程式に立ち返って解説頂く。特に各種構成の3Dライダーを、主要要素である撮像方式、変調方式、送受信方式毎に方式で分類し、ライダー方程式と実例でそれぞれの長所・短所を解説頂いている。ライダー技術に馴染みのない読者の学習にはもちろんであるが、専門家にとってもライダー設計における解決すべき課題の整理に有益な内容であるので、是非一読願いたい。

本特集の最後の解説記事⁸⁾では、芝浦工業大学の新熊先生に、複数の固定ライダーを用いたセンサネットワークによる3D空間のスマートモニタリングの方式と、デジタルツイン化したモニタリングデータを利用したモビリティの自律動作化について解説頂く。特に帯域に限られる通信インフラを用いてリアルタイムにセンサネットワークを構築する場合の個別ライダーデータの選択による通信容量の抑制方法や、集約したデータから歩行者や車両などの高速に検出する信号処理方式、スマートモニタリングデータを用いたモビリティ自律動作の実証結果などを紹介頂く。モバイル通信を利用してリアルタイムにフィジカル空間をデジタルツイン化して利用するための技術は、モビリティに限らずSociety 5.0のさまざまな場面で用いられていくと考えられ、ライダーの産業応用にはますます不可欠な技術となろう。

最後に、レーザセンシング学会の産業応用ライダー調査委員会(小林委員長)では、今年度も進展を見せている各種ライダー技術(ライダー用デバイス、ライダー方式、ライダー応用等)に関するオンラインセミナーを通して会員の皆様に学びの場を提供していく予定であり、是非活用頂きたい。

参考文献

- 1) D. Inoue, T. Ichikawa, and H. Matsubara, "LiDAR system with a coin-sized sensor head and an optical preamplifier capable of detection at 200 m," *Journal of Lightwave Technology*, **39**, 5715–5721 (2021).
- 2) Y. Ito, M. Imaki, T. Sakimura, T. Yanagisawa, and S. Kameyama, "Evidence of decreased heterodyne-detection efficiency caused by fast beam scanning in wind sensing coherent Doppler lidar, and demonstration on recovery of the efficiency with lag-angle compensation," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* **60**, 5704210 (2022).
- 3) S. Kameyama, A. Hirai, M. Imaki, N. Kotake, H. Tsuji, Y. Nishino, Y. Ito, M. Takabayashi, Y. Tamagawa, M. Nakaji, E. Ishimura, and Y. Hirano, "Demonstration on range imaging of 256×256 pixels and 30 frames per second using short wavelength infrared pulsed time-of-flight laser sensor with linear array receiver," *Optical Engineering*, **56**, 031214 (2016).
- 4) 左成信之, 板谷庸平, 横川守久, 神慶孝, 杉本伸夫, 西澤智明, "工場内浮遊粒子状物質の測定を目的とする小型ミー散乱ライダーの開発," *レーザセンシング学会誌*, **3**, 71–78 (2022).
- 5) 今井一宏, マークジャボロンスキー, 興梠元伸, "光コム干渉による高機能光計測," *レーザセンシング学会誌*, **3**, 79–90 (2022).
- 6) 鷺尾邦彦, "車載ライダーの動向," *レーザセンシング学会誌*, **3**, 91–104 (2022).
- 7) 亀山俊平, "高性能・低コストライダーの実現に向けて ～ライダー方程式に基づく考察～," *レーザセンシング学会誌*, **3**, 105–115 (2022).
- 8) 新熊亮一, "LIDAR を用いたスマートモニタリングと, 自律モビリティへの展開," *レーザセンシング学会誌*, **3**, 116–123 (2022).

平野嘉仁

三菱電機株式会社 半導体・デバイス事業本部 技術顧問

略歴：1985年大阪大学基礎工学研究科物理系修士課程修了。同年、三菱電機(株)入社。同社情報技術総合研究所光・マイクロ波回路技術部長、同社高周波・光デバイス製作所長、同社半導体・デバイス事業本部技師長などを経て、2019年より現職、現在に至る。

2001年大阪大学博士(工学)。レーザー学会業績賞(奨励賞, 進歩賞), 電気科学技術奨励賞, 日本航空宇宙学会技術賞, 桜井健次郎氏記念賞などを受賞。レーザセンシング学会理事, IEEE フェロー, レーザー学会フェロー, 応用物理学会会員(2019年度, 2020年度 副会長), OPTICA 会員。