

近距離計測のためのスキャニングライダー Scanning Lidar for Near Field Measurement

首都大学東京 システムデザイン研究科 ○竹内 仙 阿保 真
Tokyo Metropolitan University ○Sen Takeuchi Makoto Abo

Abstract

Because allergic patients by the house dust and pollen increased, the use of the air cleaner increased. Many people are interested in atmosphere environment in the house room. Lidar can be used for indoor measurement of such particles. Bistatic lidars for near field measurement have been developed, but they cannot get 2-D distribution of particles. We propose the bistatic scanning lidar that can be measure 2-D distribution of particles in the room. The design and performance of the proposed scanning Lidar are described.

1. はじめに

近年、花粉やハウスダストによるアレルギー症患者の増加もあり、空気清浄機等の装置が普及しており、私たちが生活する居住空間内の大気環境に対する関心が高まっている。エアコンに遠隔温度センサを搭載して室内の温度分布を計測し効率よく空調する商品が市販されているが、これと同じ様に室内における花粉やハウスダストなどの微粒子の分布を計測する技術としてライダーと空気清浄機を組み合わせれば効率よく室内を清浄化することが可能となる。

近距離を測定するライダーとして、レーザー光と CCD カメラを用いた方法^[1]やレーザーから水平方向 100 m 先に反射鏡を設置しそこから鉛直方向を測定することにより近距離でも重なりを大きくとる方法^[2]が提案されている。しかし、室内での使用を想定した場合、前者の方法は三次元分布を得ることが困難であること、後者の方法は水平方向にスペースが必要であるという問題点がある。

本研究ではこれらの問題を解決するため、レーザー及び望遠鏡視野を一方向にシート状に広げてスキャニングさせ、二次元的な微粒子分布を計測するバイスタティックスキャニングライダーを提案し、実際に装置を試作し評価した。

2. レーザと検出器の選択

スペースの限定された室内での計測を容易にするためには、装置が小型であることが条件となる。そのためにレーザーは半導体レーザーを選択した。

検出方法には微弱光領域において有効であるフォトンカウンティング法を採用する。これはレーザーダイオードの出力が弱いため微粒子による

散乱光が微弱となるためである。検出器の候補は Multi-Pixel Photon Counter (以下: MPPC), 光電子増倍管 (以下: PMT) とする。Avalanche Photodiode (以下: APD) でもフォトンカウンティングが可能なのがあるが、受信視野を広くとる必要があるため受光口径が数 mm 以上は必要であり、受光口径が数百 μm と小さい APD は対象外とした。

検出器とレーザーの組み合わせによる比較は式 (1) に示す SN 比を用いる

$$\text{SNR} = \frac{N(r)}{\sqrt{N(r) + 2N_b + N_d}} \quad (1)$$

式 (1) において $N(r)$ は受信フォトン数で式 (2) に示すライダー方程式^[3]によって求められた距離 r からの信号を hc/λ で割ったものである。ただしここではレーザーと望遠鏡視野はシート状でない場合を考えている。 N_b は背景光をフォトン数で表したもの、 N_d はダークカウントである。

$$P(r, \lambda) = LP_0 \frac{\eta AO(r)}{r^2} \beta(r, \lambda, \theta) \tau^2(r, \lambda) \quad (2)$$

ここで L は等価的な重なり幅、 A は受信開口面積、 η は受信系の効率、 $O(r)$ は重なり関数、 $\beta(r, \lambda, \theta)$ は散乱係数、 τ は大気の透過率、 θ は送受信光軸の成す角度である。 $\beta(r, \lambda, \theta)$ は式 (3) より 660 nm におけるレイリー散乱係数^[2]を求め、散乱比を 2 と仮定してこれを 2 倍したものをミー散乱係数の基準とし、波長に対して -1 乗に比例した値を用いた。

$$\beta_\pi^R(\lambda) = 1.39 \left[\frac{550}{\lambda(\text{nm})} \right]^4 \times 10^{-8} \text{ [cm}^{-1}\text{sr}^{-1}] \quad (3)$$

今回比較した入手可能なレーザ波長とパワーおよびその波長における検出器の感度を Table1 に示す. それぞれの検出器におけるダークカウントはカタログ値⁴⁾より MPPC が 900 kcps, PMT が 100 cps とした. その他の値は望遠鏡口径 50 mm, 重なり関数及び大気透過率は 1, 背景光を 0 とおいた. Fig.1 および Fig.2 に MPPC および PMT との組み合わせによる SN 比をグラフで表す.

Table1. Laser power and detector efficiency for each wavelength

Wavelength (nm)	Power (mW)	MPPC Efficiency (%)	PMT Efficiency (%)
660	160	17.5	20.2
808	200	7.0	14
915	1000	4.0	3.7
1310	300	3.5	-
1550	300	2.8	-

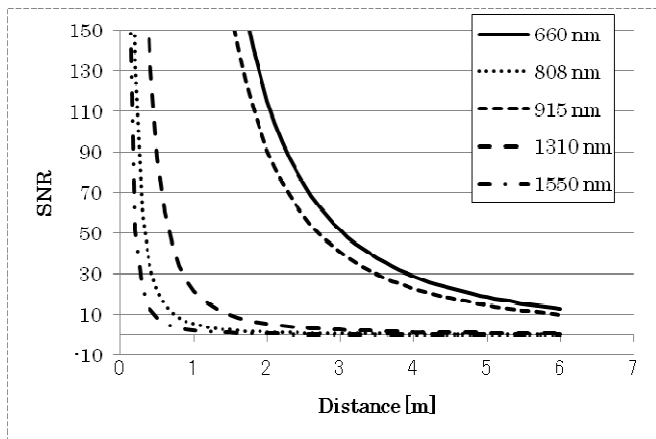


Fig.1 SN ratio using MPPC for detector.

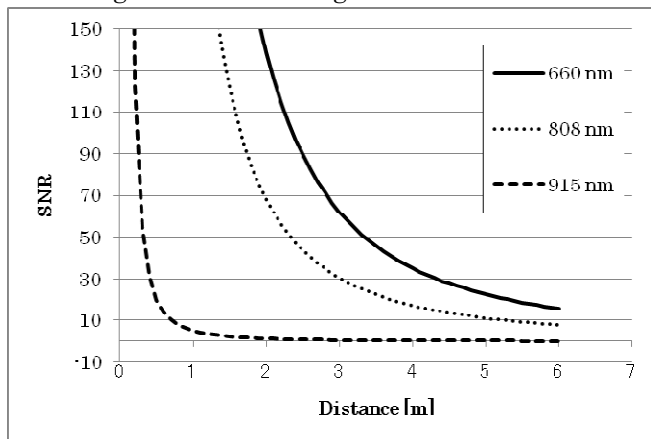


Fig.2 SN ratio using PMT for detector.

Fig.1 および Fig.2 のグラフより波長 660 nm のレーザが MPPC でも PMT との組み合わせでも最も良い SN 比となっていることが分かった.

3. 実験方法

計算結果より最も SN 比の良い波長 660 nm の半導体レーザ, および MPPC を用いてスキヤニングライダーを試作した. 本試作機の仕様を Table 2 に示す.

Table 2. Specification of the scanning lidar

Laser Diode	HL6535MG (Opnext)
Wavelength	660 nm
Peak Power	160 mW
Detector (MPPC)	C10507-11-100U (Hamamatsu)
Efficiency	17.5%
Dark Count	900 kcps
Telescope Diameter	50 mm ϕ

レーザと望遠鏡の視野はシリンドリカルレンズを用いて一方向にのみそれぞれ 25° と 30° に広げて使用した. スキヤニング方法を Fig.3 および Fig.4 に示す. このように水平方向・鉛直方向にスキヤニングを行うことでそれぞれの方向における微粒子の分布を計測することができる. またこの測定によって得られた鉛直方向・水平方向の計測結果を元にして二次元的な微粒子の分布を求めることができる.

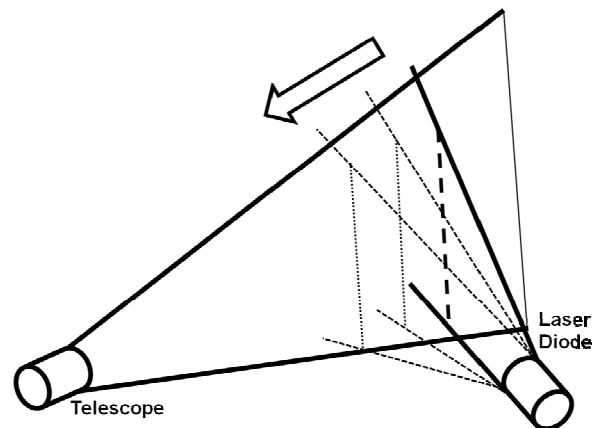


Fig.3 Schematic of horizontal scanning.

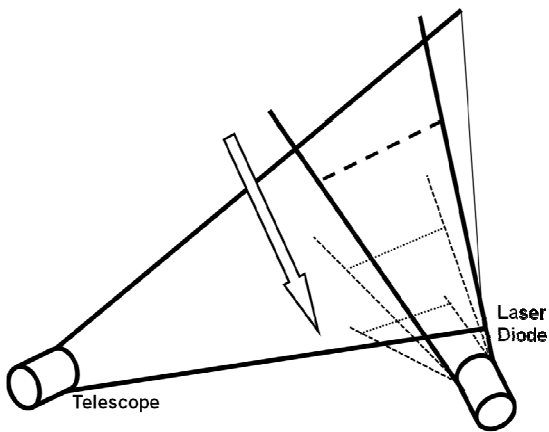


Fig.4 Schematic of vertical scanning.

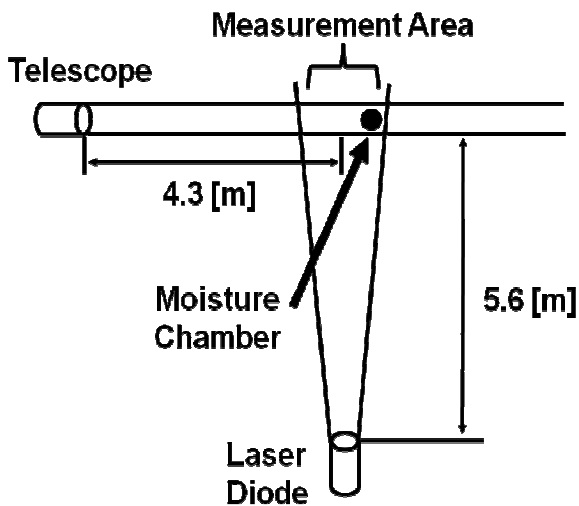


Fig.5 Experimental setup (top view).

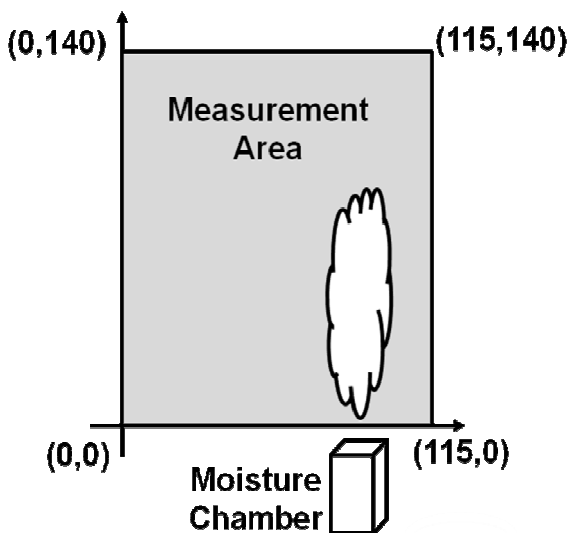


Fig.6 Measurement area.

この装置を用いた実験の配置を上面から見た図を Fig.5 に示す. 測定領域は Fig.6 に示す水平方向 115 cm 鉛直方向 140 cm の空間である. 実験は比較的クリーンな実験室内で行い, 測定領域の右下 (Fig.6) に設置した加湿器から鉛直方向に湯気を吹き出させた. 領域全体を 10 cm ごとにスキヤニングすることによって湯気の分布を求めた.

4. 実験結果・考察

Fig.7 及び Fig.8 にそれぞれ水平方向スキヤン結果及び鉛直方向スキヤン結果を示す. 信号強度 (フォトンカウント値) は背景光とダークカウントを引いた結果である. Fig.7 より水平方向距離 80 cm において強い散乱を計測しているのが分かる. これは Fig.6 に示した加湿器の位置と一致することから加湿器の水滴からの散乱を計測したと言える.

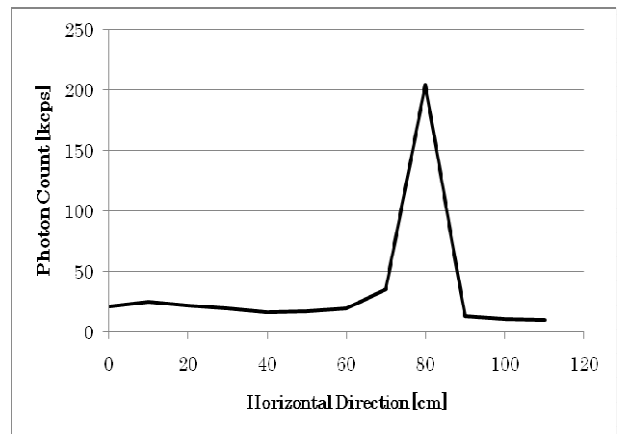


Fig.7 Profile of horizontal scanning.

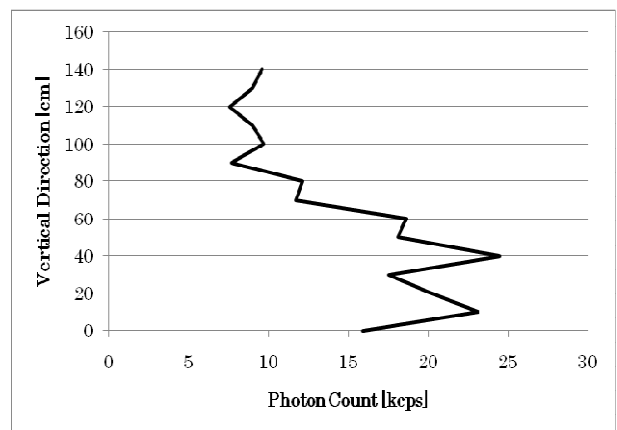


Fig.8 Profile of vertical scanning.

Fig.8 より鉛直方向距離 10 ~ 60 cm において強い信号を計測し、それより上方に向けて信号が減衰しているのが分かる、これは加湿器から発せられた直後は湯気だったものが上方へ登るにつれて水蒸気へと変化したためであると考えられる。

また、湯気の散乱信号以外にも十分優位な信号が測定されており、これは室内にある微粒子からの散乱信号と考えられる。

この結果から、レーザと望遠鏡視野角をシート状にし、鉛直方向と水平方向にスキャンすることで室内の散乱の様子を計測することが可能であることが分かった。

5. アイセーフについて

近距離を計測するライダーの主な適用場所としては本研究で用いた室内環境の計測や車両近傍場の計測が想定される。そのためアイセーフを考慮する必要がある。これについては JIS によって定められたレーザ製品の安全基準⁶⁾を適用する。これはレーザ製品に対してその繰り返し周波数やパワーをもとに 1 ~ 4 のクラス分けをするものである。

このクラス分けにおいていかなる条件下でも人体に対して安全であることが保障されているのがクラス 1 である。本実験で用いたレーザは波長 660 nm , 最大出力 160 mW であるためアイセーフとは言えない。一方アイセーフ波長と言われている 1300 ~ 1500 nm の波長は他の波長よりも高いパワーを出してもクラス 1 に該当する。本研究では検出器として現在入手可能な MPPC および PMT を仮定して SN 比の計算を行ったが 1300 ~ 1500 nm の波長に対する感度が低いため採用しなかった。しかし、現在 Amplification Technologies 社から 900 ~ 1700 nm の波長に対応する光子検出器が発売されている⁶⁾、この検出器を用いることで波長 1550 nm の光に対して最大検出効率 16 % での計測が可能となる。現在は高価であるがこの検出器を用いることで効率のよいアイセーフ波長での計測が期待できる。

6. むすび

室内において加湿器から発生した湯気の分布を、スキャニングライダーにより計測した。また湯気以外の背景散乱信号も計測されており、きれいな室内でもエアロゾルの分布を検出することが可能であることが明らかになった。

また、レーザ光と望遠鏡視野角をシート状にしてスキャニングを実行することで二次元微粒子分布を計測することができた。今後はレーザと望遠鏡を同期させてスキャニングすることで三次元的な計測方法を検討する。

参考文献

- [1] 山口賢治, 目木一男, CCD カメラを用いた距離分解能を持つバイスタティックイメージング・ライダー”, レーザ研究, Vol.23, No.1, , pp25 - 31, 1994.
- [2] 竹内延夫, ”疑似ランダム変調 CW ライダーの開発とフィールド観測への応用”, 国立公害研究所研究報告, 第 122 号, pp89-107, 1989.
- [3] Claus Weitkamp Ed., Lidar Range-Resolved Optical Remote Sensing of the Atmosphere, Springer, 2005.
- [4] 浜松ホトニクス株式会社 HP : <http://jp.hamamatsu.com/index.html>
- [5] 大森氏勝:レーザ安全ガイドブック 第 4 版, 財団法人光産業技術振興協会, 2006
- [6] Amplification Technologies 社 HP : <http://www.amplificationtechnologies.com/>