



# GPU 搭載シングルボードコンピュータ を用いたホログラフィ微粒子径測定

京都工芸繊維大学 機械工学系  
田中洋介

## 1. はじめに

DX (デジタルトランスフォーム)<sup>1)</sup>は、2020 年以降コロナ禍でテレワークなどオンライン化が進んだように社会全体を大きく変化させ続けている。また IoT (モノのインターネット)<sup>2)</sup>の活用も合わせて進んでいる。特に産業分野における IIoT (Industrial IoT) の活用は、安価なシングルボードコンピュータの 1 つである Raspberry Pi を用いた工程可視化で大きな改善と収益をあげている<sup>3)</sup>。さらに積極的な実施例として、粉体生産工程のオンライン測定を行い、各工程から集約した Big Data を AI 技術でトラブル検知や品質管理、製造条件の決定に活用されている<sup>4)</sup>。

粉体生産工程に重要な微粒子測定に用いられる光計測は、コンピュータの処理速度が向上するにつれて点計測の PDA<sup>5)</sup>から面計測の 2 次元画像計測<sup>6)</sup>と扱う情報量が増加している。さらに Gabor が発明したホログラフィ<sup>7)</sup>を利用した 3 次元体積計測がある。90 年代以降はホログラム乾板<sup>8)</sup>から CCD や CMOS のイメージセンサーによる記録になり、微粒子のホログラムは数値再生で行われる<sup>9)</sup>。3 次元再生時に 2 次元 FFT を多用しても計算時間が 2 次元画像処理と比べて必要になっていた。しかし 2010 年に GPU (Graphics Processing Unit)<sup>10)</sup>による並列処理で高速化され、普及価格帯の GPU を用いても 1 枚のホログラム数値再生が従来の CPU の 20 分程度から 10 秒程度まで短縮された<sup>11)</sup>。さらに 2014 年から NVIDIA 社から AI や IoT アプリケーション向けに GPU 搭載シングルボードコンピュータが発売されており、2019 年には安価で入手しやすい Jetson nano が発売された。

Gabor ホログラフィは、He-Ne レーザー等コヒーレント光源、並行光に変換するレンズとカメラ 1 台と必要な部品が少ない。加えて並行光を分光せず微粒子表面で並行光が回折した物体光と干渉するため振動に強い。そのため、フィールドワークで広く使われている。例えば、航空機のエンジンのような大きな振動源の横に測定ポッドを取り付けても、高高度の雲粒を観測することが可能である<sup>12)</sup>。さらに海洋調査において小型のホログラフィ顕微鏡を水没させてプランクトンの *in situ* 観測が行われている<sup>13)</sup>。よって、コンプレッサーやモーター等の振動源や工程内の限られた設置空間で、管内を流れる微粒子の 3 次元分布や粒径を測定する用途にホログラフィは適していると言える。

上記のようにホログラフィ微粒子測定を工程内でインライン・オンライン測定が実施できる環境が整っている。本稿では、GPU 搭載シングルボードコンピュータを用いたホログラフィ微粒子径測定の計測システムを構築して実証する。合わせてシステムが満たすべき条件をホログラムの記録・再生の理論で示す。最後に得られた微粒子径分布を従来法の 2 次元画像計測と比較する。

## 2. 微粒子ホログラムの記録と再生の理論

微粒子を記録・再生する際の粒子とホログラム、再生粒子像の位置関係をそれぞれ図 1(a), (b) に示す。図 1(a)の左側の微粒子を直径 $d_p$ の円形関数 $b(x, y)$ で次式の透過関数で表す。