

Lovibond® Water Testing

Tintometer® グループ



各法令の濁度測定に適合する光源の種類

Michael J. Sadar
2018年1月3日

緒言：

オンライン濁度計 Lovibond® PTVシリーズは、3種類の光源に対応しています。

	光源	波長	適合法令
PTV 1000 WL	白色LED	400~700 nm	EPA
PTV 1000 IR	赤外線LED	860 nm	ISO 7027
PTV 2000	赤色LED	660 nm	EPA

これらの異なる光源は、各国・地域の異なる法令に適合するために必要でした。

PTV 1000 WL と PTV 2000は、安全飲料水法¹に基づいてUSEPAによって承認されており、飲料水プラントのろ過処理水およびろ過システムの濁度管理に使用できます²。PTV 1000 IRは、40 FNU³未満の濁度測定に関するISO 7027の設計基準に準拠しています。

濁度計の3種類の機種に関して、違いは光源のみです。他のすべての機器構成は同じです。これら3つの光源は規制承認されていますが、わずかに異なる結果が得られることが期待されています。その違いと要因について説明します。

この議論の焦点は、飲料水の濁度規制を対象としています。このアプリケーションで使用すると、濁度は0.3 NTU未満になり、多くのプラントの目標濁度は0.1 NTU未満になります。濁度測定がこのようなレベルに近づくとき、光源の違いによりそれぞれ多少異なる測定値を示すことがあります。ただし、規制の観点からの影響は最小限です。これら3つの光源の違いに影響を与える要因は、効果的な光の散乱、迷光、着色です。

考察：

光散乱

濁度は、対象サンプル内に含まれている微粒子による入射光の散乱に基づいています。考慮すべき光散乱には2つの基本的なタイプがあります。ミー散乱は、入射光を構成する波長と同じか少なくともそれ以上の粒子からの光の散乱によって引き起こされます。散乱は粒子の周りで不均一であり、前方に（90°方向に対して）不均衡です。PTVシリーズの光源は約400~900 nmの波長範囲内にあるため、0.4 μm以上の粒子にはミー散乱があることを意味します。ミー散乱は波長にあまり依存しません。濁度では、約0.50ミクロンより大きい粒子がこの非対称散乱パターンを生成します（図1を参照）。

サイズが約0.10の小さな粒子ほど、入射光の波長はより対称的に散乱します。これはレイリー散乱として知られています。空が青く見えるのは、大気中の空気分子から光が散乱するときが発生するレイリー散乱が要因です。レイリー散乱は波長により依存します。レイリー散乱の一般的な規則は、より短い波長はより長い波長の光に比べてより効果的に散乱されるということです。これは、入射光の波長が長い濁度計の方が、入射光の波長が短い濁度計よりも（感度が低いいため）読み取り値がわずかに低くなることを意味します。

注：1,000 nm（ナノメートル）= 1 μm （ミクロン）。PTVシリーズ濁度計で使用される入射光の波長は、400～900 nm（0.4～0.9 μm ）の範囲です。1 mmは1,000 μm 、1 mlは100万 μm です。

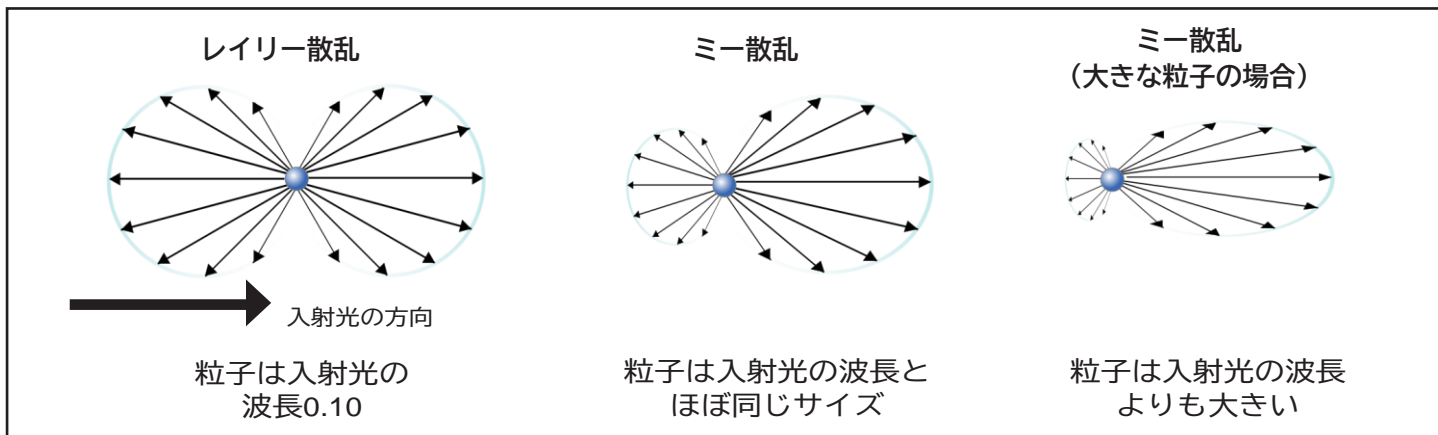


図1 - 定義された波長の入射光に衝突したときの粒子の散乱プロファイル⁴。実際のサンプル水は、レイリー散乱とミー散乱の組み合わせとなる幅広い粒子サイズのスペクトルを持つことに注意することが重要です。

すべての光散乱とはどういう意味か。実世界のサンプルを見ると、光散乱はさまざまなサイズの粒子で構成されています。このサイズの混合物は、90°の散乱光角度（濁度計適用用）を含むすべての方向に光散乱を生成します。90°の検出角度は、400～900 nmの範囲の光を使用する濁度計のミー粒子散乱とレイリー粒子散乱の両方からの散乱に敏感です。

濁度計 PTVシリーズの検出器表示エリアは、前方に発せられた一部の光散乱と、90°から最大約 $\pm 15^\circ$ の後方散乱をとらえます。この広い検出視野角は、光のさまざまな波長の影響を標準化するのに役立ちます。

校正が実行されると、機器のタイプ間の光散乱の違いは、校正標準によってさらに標準化されます。濁度校正の重要な特徴は、それがミー散乱とレイリー散乱の両方を引き起こす粒子で構成されていることです。ホルマジン濁度標準（またはホルマジンの安定型）には、ミー散乱とレイリー散乱の両方の散乱原理をカバーする広範囲の粒子が含まれており、使用される入射光の波長に関係なく、検出器の反応を標準化するのに役立ちます。したがって、検出角度、検出器表示エリアおよびミー散乱とレイリー散乱の両方を引き起こす濁度校正の使用により、Lovibond 濁度計PTVシリーズに対するこれらの異なる光源からの光散乱の影響が標準化されます。

着色

サンプルの色は、溶解した成分または粒子が光を吸収する場合に影響します。入射光に、サンプルの着色によって吸収される波長が含まれている場合、散乱に利用できる光の量が減少します。これは濁度測定にマイナスの干渉を引き起こします。色干渉が発生する可能性は、PTV 1000 WL（白色光源）の方が、PTV 2000（赤色光源）またはPTV 1000 IR（赤外光源）よりも大きくなります。タンニン酸またはフミン酸の多い水（茶色または黄褐色に着色）は、PTV 1000 WLでの測定に影響を与える例です。PTV 1000 IRの光源は、可視スペクトルの色の吸収の影響をほとんど受けず、サンプル水に色が存在する場合は適切な選択が可能です。濁度計 PTVシリーズのすべての機種は、最大50 Pt-Co色度単位（CU）⁵までの色の干渉を受けないように設計されています。浄水場からのろ過処理水は、色度は通常20 CU未満であるため、問題ではありません。

PTV 1000 WLは、濁度計PTVシリーズの最も広いスペクトル出力を使用するため、着色に最も敏感です。PTV 1000 IRおよびPTV 2000は狭い波長域を使用し、サンプルの着色による影響が少なくなります。しかし、この高波長域の白色光源は、サンプル中の溶解した物質を検出することにも役立つこともあります。一部の溶解した物質は蛍光効果を示し、PTV 1000 WLは蛍光に利用可能な幅広い光スペクトルを示します。そのため、PTV 1000

WLが高度処理されたる過サンプルで予想外に高い値を読み取った場合、より高い値はサンプル中に溶解した化合物の蛍光が原因である可能性があります。

迷光

迷光とは、サンプル内の粒子散乱では引き起こされない、濁度計の散乱光検出部に到達する光と定義されています。迷光は正の干渉です。これは、入射光が濁度計のサンプル槽を通過した後の内部反射によって引き起こされる可能性があります。光源を出たあと、柱状でない（発散する）光は、内部の光トラップ（濁度計に設計されている場合）を失い、最終的に検出器に反射する可能性があります。多色の（多くの異なる波長を持つ）光は、単色の（通常は1つの波長で構成される）光よりも平行度から容易に発散します。そのため、白色光源は単一波長の光源よりも迷光が多くなります。

迷光の影響は定量化することが非常に困難です。その理由は純粋なサンプルにも常に真の光の散乱があるためです。可能な方法は粒子を含まない水のサンプル流における測定特性を比較することです。粒子を含まない水は、一連のサブミクロンフィルターを通過する上水をろ過することで調製し、ほぼすべての不溶性物質と一部の可溶性物質を取り除くことができます。この純水でさまざまな濁度計を比較すると、WLが最も高い基準値を示し、次にPTV 2000、PTV 1000 IRの順で低い濁度を示します。これら3つのLovibond® 濁度計を同じ5.0 NTUホルマジン標準を使用して校正し、粒子を含まない水を測定すると、PTV 1000 WLは0.02~0.03 NTU、PTV 2000は0.012~0.017 NTU、PTV 1000 IRは、0.006から0.011 NTUの間で読み取ります。

PTV 1000 IRがPTV 2000（それぞれ0.009 NTU対0.013 NTU）よりもわずかに低い値を示す要因の一つに、レイリー散乱の影響がある可能性があります。水は非常に小さな細孔サイズの膜でろ過されますが、ナノメートルサイズの膜が指定される場合があります。そのような場合、長波長の機器は、短波長の機器よりもこの濁度に対する感度がわずかに低く、読み取り値の違いに寄与します。図2は、高度にろ過された水道水を測定するために設定されたこれら3つの濁度計のグラフによる比較を示しています。

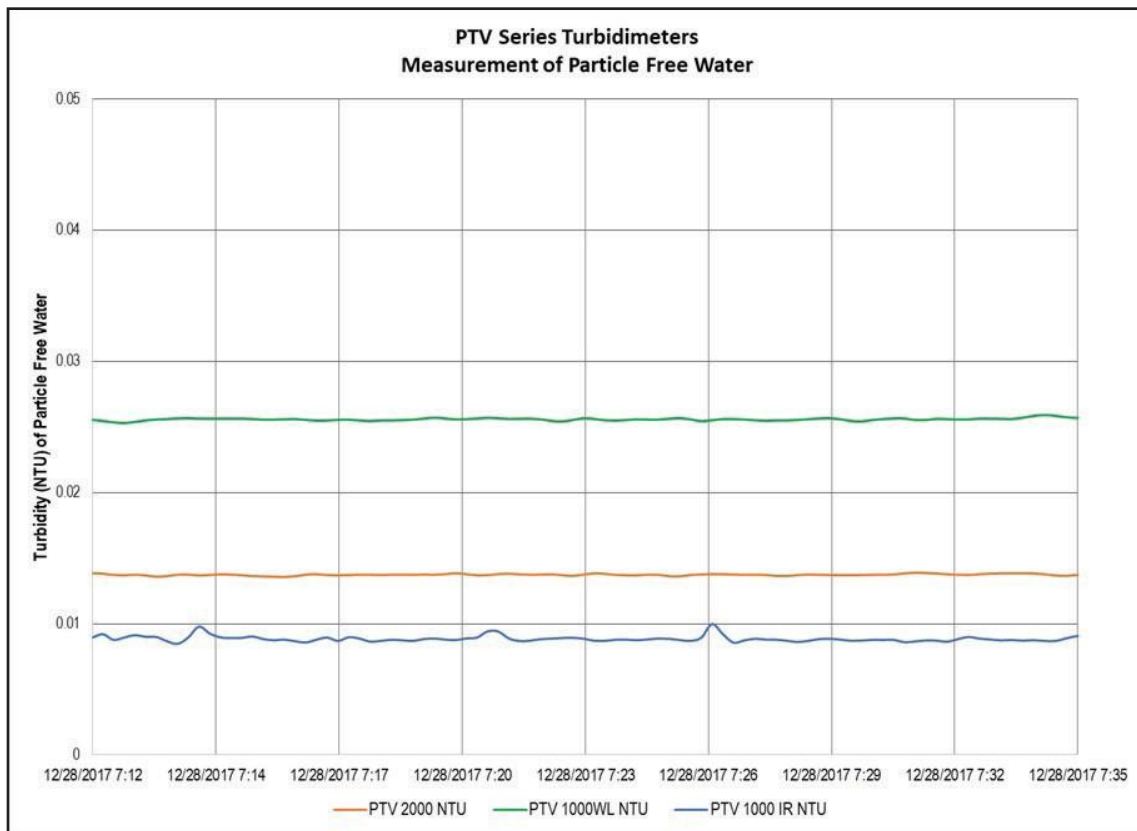


図2 - 粒子を含まない水道水に対するPTV濁度計の反応の比較。読み取り値の差異の主な原因は迷光です。スケールは0.00から0.05 NTUであることを注意してください。

データと推奨事項：

濁度計Lovibond® PTVシリーズは、光源に関係なく濁度を測定しますが、機種により微妙な違いがあります。表1は、それぞれの機器の概要と、プロセスアプリケーションでの濁度発生を検出に有益であることが証明されている特定の型式を示しています。

表1 – 濁度計PTV 1000およびPTV 2000の機種選択ガイド
要件を満たす技術力（WL = PTV 1000 WL、IR = PTV 1000 IR、RED = PTV 2000）

要件	可	優	最良
EPA承認	なし	なし	WL、RED
ISO承認	なし	なし	IR
着色の影響	WL	RED	IR
迷光が最も少ない（基準値が低い）	WL	RED	IR
溶解した物質の検出	IR	RED	WL
サブミクロン粒子の検出（膜性能の確認）	IR	WL	RED
従来のもろ過性能	IR		WL、RED
ろ過の最適化	WL	IR	RED

結論：

非常に低い濁度レベルを測定する場合、濁度計の選択は報告書の結果に影響を与える可能性があります。規制の設計要件の他に、濁度計のスペクトル出力は、機器の下限測定に影響を与える可能性があります。濁度計を選択する前に、アプリケーションの目的とそれぞれの測定目標を理解することが重要です。アプリケーションに関係なく、Lovibond PTV製品は、お客様がプロセスの濁度を正確に監視できるタイプの機器を提供します。

参照：

1. Federal Register, Section 40 CFR 141.74(a)(1), Vol 82 No. 143, published on Thursday, July 27, 2017.
2. Federal Register, Rules and Regulations, Vol. 82, No. 143, pp 34864-34865, Thursday, July 27, 2017
3. International Standardization Organization (2016), "ISO 7027-1:2016 Water quality — Determination of turbidity — Part 1: Quantitative methods," International Standardization Organization, Geneva, Switzerland.
4. Sharayanan. "File:Mie Scattering.svg." Wikimedia Commons, Sharayanan, 30 Apr. 2007, commons.wikimedia.org/wiki/File:Mie_scattering.svg#.
5. APHA Color, https://en.wikipedia.org/wiki/APHA_color
6. Hohman, Becky (2017), "LED Light Sources: A Major advance is Fluorescence Microscopy," Microscopy and Analysis, <https://microscopy-analysis.com/editorials/editorial-listings/led-light-sources-major-advance-fluorescence-microscopy>.
7. American Society for the Testing of Materials (2014), "ASTM D6698 Standard Test Method for the On-Line Measurement of Turbidity Below 5 NTU in Water," ASTM International, West Conshohocken, PA.



セントラル科学株式会社