

飽和限界、損傷しきい値、およびアッテネータ選択

イントロダクション

減衰は、センサーの飽和やセンサーの損傷を防ぐために行われます。時には、減衰オプション自体がダメージを受ける危険性があるため、特定のアプリケーションのビームパラメータに対して十分なダメージ処理が可能な減衰を選択することが重要です。このアプリケーションノートでは、センサーの飽和限界とコンポーネントのダメージ閾値の違いについて説明します。また、適切なアッテネータ（減衰パーツ）を選択するためのガイドも掲載しています。

飽和限界

DataRay は、ビームプロファイリング測定のための様々な技術を提供しています。共通するのは、エネルギーを電気信号に変換するために検出器または検出器アレイを使用し、最終的にデジタル単位の値としてソフトウェアで読み取ることです。CCD、CMOS、マイクロボロメーター、Si 光検出器、InGaAs などの検出器には、エネルギー測定に使用できる範囲を決定する飽和限界があります。飽和限界を超えると、検出器は光に対して直線的な反応をしなくなるため、測定には使えなくなります。DataRay ソフトウェアは、ピクセルまたはディテクタによって読み取られたデジタル値の最大値を ADC Peak % として表示します。検出器が飽和すると、ADC ピーク%は 95%以上となり、ソフトウェアは無効な測定を示すために値を **オレンジ色** に着色します。

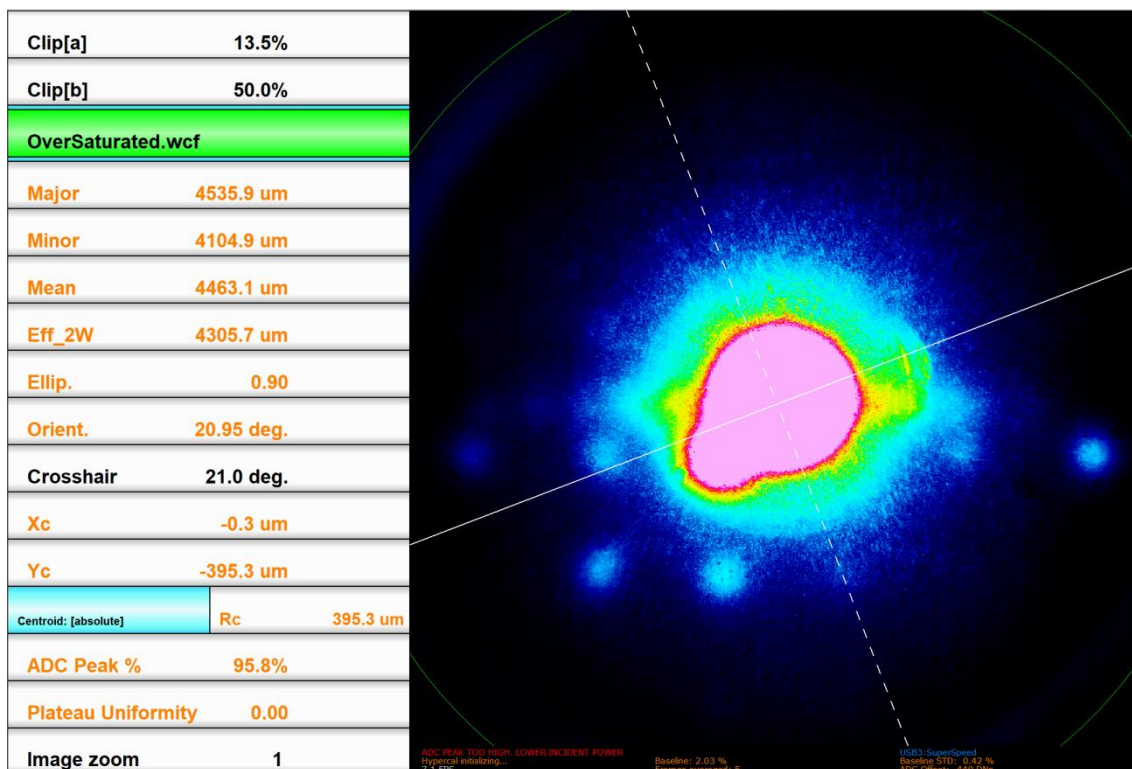


図1 このスクリーンショットは、飽和状態の測定中のソフトウェアを示しています。結果は無効で、入射パワーを下げるのが推奨されています。

損傷閾値

飽和限界を超えると測定は無効になりますが、ビームの照射量が損傷しきい値を超えるまでは、検出器が永久的に損傷する危険性はありません。損傷しきい値は、永久的な損傷が発生する可能性のある放射照度またはフルエンスを定義し、CW レーザの場合は W/cm^2 、パルスレーザの場合は J/cm^2 で測定されます。CW レーザの場合、損傷しきい値は W/mm の線形パワー密度で示されることがあります。これは、CW レーザの照射限界がビーム径によって変化するのに対し、線出力密度の限界は変化しないためです。ほとんどのセンサーのダメージしきい値は飽和しきい値よりはるかに高く、CCD や CMOS センサーでは飽和しきい値の 1000 倍にもなります。そのため、センサーが飽和限界以下になるように適切な減衰量を選択すると、センサーもダメージ閾値を大きく下回ることになります。しかし、過剰な光パワーを反射または吸収する減衰製品には、それ自体が重要なダメージ閾値を持っています。

** WinCamD-IR-BB は飽和領域がダメージ閾値に近い場合、より注意が必要です。

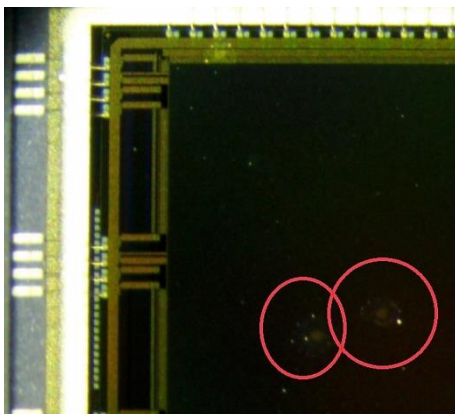


図 2 この WinCamD-LCM センサーは、損傷しきい値をはるかに超えるレーザーによって損傷を受けた。

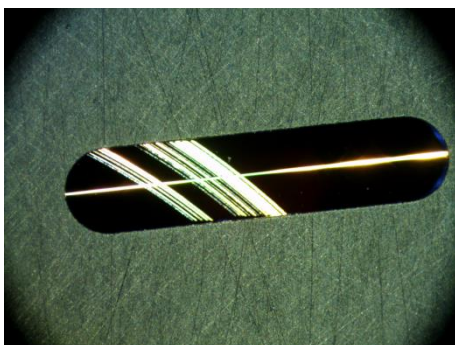


図 3 Beam'R2 や BeamMap2 で使用されているこのスリットは、損傷閾値を超えたレーザーによって破損しています。スリットを保持しているバックが回転してビームが移動すると、基板のコーティングに複数のアークが焼き付けられた。

レーザー誘起損傷しきい値試験

レーザー誘起損傷しきい値（LIDT）試験は、ISO 21254 に準拠した最大許容照射量またはフルエンスを提供するために、当社のハイパワー・ビーム・サンプラーおよびその他の減衰製品に対して実施されます。LIDT 試験では、試料の複数の領域でフルエンスや照射量を増加させ、損傷が発生する可能性を判定します。LIDT は、特定の波長とパルス幅で定義されます。すべてのレーザー構成について LIDT を測定することは不可能なため、波長とパルス幅に合わせて推定する必要があります。目安としては、 $\lambda/\lambda \text{ spec}$ と $\sqrt{\tau/\tau \text{ spec}}$ でスケーリングします。



図 4 損傷しきい値試験後の損傷したガラスウェッジ。この UVFS ガラスウェッジは、当社の偏波保持型ビームサンプラー（PPBS-UVFS）に使用されています。

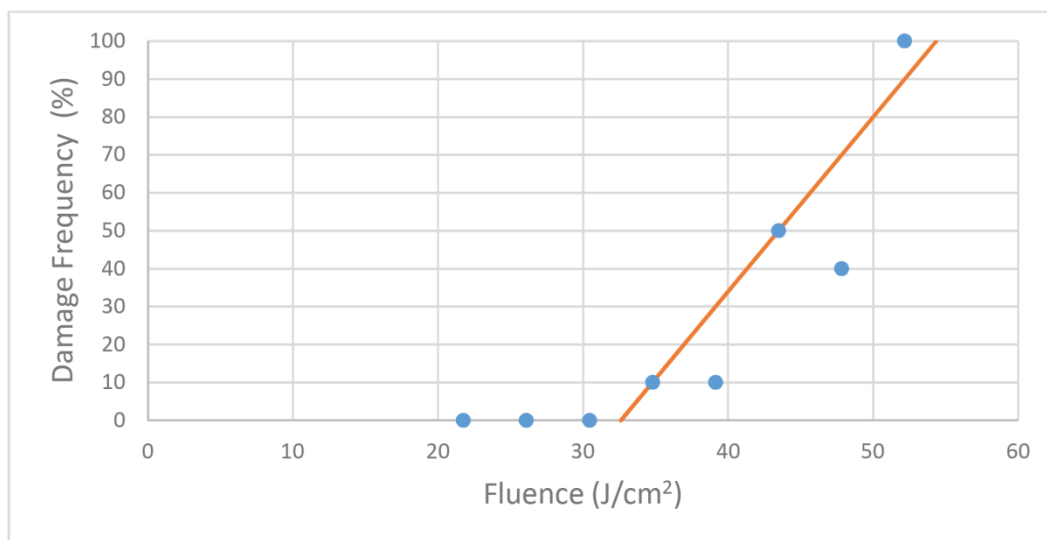


図 5 波長 532nm、パルス幅 5.2ns の PPBS-UVFS の LIDT テスト。この場合の損傷閾値は 30J/cm2 である。

減衰アクセサリ

減衰用アクセサリは、ビームのパワー／エネルギーを下げ、飽和限界を超えずに検出器で測定できるように選択します。すべての減衰オプションには、確認しなければならない独自の損傷閾値があります。つまり、必要な減衰量が決まれば、その減衰を提供する製品（ND フィルター、ビームサンプラーなど）は、それ自身がダメージを受けないように選択しなければならないということです。ND フィルターは比較的ダメージの閾値が低く、また、反射型のビームサンプラーは、ダメージの閾値が高くなっています。

Product	Wavelength (nm)	LIDT Specification	
PPBS-UVFS	355	30 J/cm ²	(355 nm, 6.2 ns, 20 Hz, Ø0.216 mm)
	532	30 J/cm ²	(532 nm, 5.4 ns, 20 Hz, Ø0.241 mm)
	1064	100 J/cm ²	(1064 nm, 16 ns, 20 Hz, Ø0.405 mm)
	532, CW	>11.1 W/mm [*]	(532 nm, CW 10 s, Ø0.504 mm)
	1064, CW	>350 W/mm [*]	(1064 nm, CW 10 s, Ø0.053 mm)
PPBS-BF	2940	100 J/cm ²	(2940 nm, 300 µs, 2 Hz, Ø0.27 mm)
	10600	>10.36 J/cm ² *	(10600 nm, 74 ns, 4 Hz, Ø1.06 mm)
PPBS-CF	2940	70 J/cm ²	(2940 nm, 300 µs, 2 Hz, Ø0.27 mm)
PPBS-ZnSe	2940	500 J/cm ²	(2940 nm, 300 µs, 2 Hz, Ø0.27 mm)
	10600	6 J/cm ²	(10600 nm, 74 ns, 4 Hz, Ø1.06 mm)
ND-IR	2940	30 J/cm ²	(2940 nm, 300 µs, 2 Hz, Ø0.27 mm)
	10600	1.5 J/cm ²	(10600 nm, 74 ns, 4 Hz, Ø1.06 mm)
CBS	355	1 J/cm ²	(355 nm, 10 ns)
	532	2 J/cm ²	(532 nm, 10 ns)
	1064	6 J/cm ²	(1064 nm, 10 ns)
2.5 um Sapphire Slit	355	0.075 J/cm ²	(355 nm, 5.2 ns, 20 Hz, Ø0.506 mm)
	1540	0.2 J/cm ²	(1540 nm, 14.8 ns, 20 Hz, Ø0.282 mm)
	1064, CW	8 mW/µm (linear power density)	(1064 nm, CW 10 s, Ø0.042 mm)
ND-5	532	20 J/cm ²	(532 nm, 4.4 ns, 20 Hz, Ø0.25 mm)
	1064, CW	15 W/mm (linear power density)	(1064 nm, CW 10 s, Ø0.042 mm)
ND-3-UV	355	0.05 J/cm ²	(355 nm, 5.2 ns, 20 Hz, Ø0.506 mm)

*Max irradiance/fluence of test laser, no damage

図 6 様々な減衰用アクセサリの LIDT 結果。標準試験法は、ISO 11254 と実質的に一致している。

減衰計算シート

減衰計算シートは、Excel 2007 以降に対応した Excel スプレッドシートです。ユーザーが提供したビームパラメータに対して、選択した減衰オプションの効果を推定します。その目的は、飽和限界と損傷閾値をユーザーにアドバイスすることです。

減衰計算シートは、損傷を防ぎ、測定の出発点とするためのガイドとして役立ちます。すべての数値は推定値であり、ガウシアン・ビームを想定していますが、結果はビームによって異なります。減衰量の調整が必要な場合もあります。

1. 使用するビームプロファイラとビームパラメータに応じた飽和・閾値を決定する。波長、ビームサイズ、パワーを考慮する必要があります。パルスレーザの場合は、パルスエネルギー、パルス幅、繰り返し率も考慮する必要があります。
(a) **User Inputs** セクションにビームパラメータを入力する。

User Inputs	
Wavelength (nm)	675
Laser Output Power (mW)	5000
First Attenuation Optic	None
Second Attenuation Optic	None
Third Attenuation Optic	None
Gaussian Waist Diameter (um)	1000
Flat Beam Diameter (um)	707.1
Pulsed?	No

図7 ユーザーが入力する減衰スプレッドシート

- (b) センサーの飽和限界内の出力になるように、標準 ND フィルターの組み合わせを選択します。これは飽和限界のセクションの関連するセルが、赤でハイライトされていないようにすることです。理想的には、緑色にハイライトされます

User Inputs	
Wavelength (nm)	675
Laser Output Power (mW)	5000
First Attenuation Optic	ND-2
Second Attenuation Optic	ND-2
Third Attenuation Optic	ND-4
Gaussian Waist Diameter (um)	1000

Estimated CW Exposure Time (ms)
1.29

図8 標準的な ND フィルターは、センサーの放射照度を飽和限界内に抑えるために選択されます

2. 損傷閾値を超えている要素がないことを確認します。
(a) CW Measurement の項目を確認して、ダメージのしきい値を超えていることを示す赤色のハイライトが表示されている要素があるかどうかを確認します (図9)
(b) ある要素がそのダメージしきい値を超えている場合、最初の要素として、より高いパワーハンドリングを持つ別

の減衰オプションを代わりに選択する必要があります。PPBS または CBS の減衰製品は、利用可能な最も高い損傷閾値を持っています。

3. Saturation Limit セクションの関連ボックスが緑色にハイライトされていることを確認します (図 11) 赤色になっている場合は、2 番目と 3 番目の減衰オプションを変更する必要があります。これらのオプションには、標準的な ND フィルターを選択するのが理想的です。

CW Measurement					
Element	Irradiance (mW/cm ²)	Power (W)	Damage Threshold (mW/cm ²)	Power Limit (W)	Diameter (um)
ND-2	1272295.192	5	449991	1.768422888	707.37
ND-2	12739.58553	0.050052076	450051	1.768188105	707.28
ND-4	127.5549406	0.000501042	450098	1.768005108	707.20
S-WCD-LCM Sensor	0.012715723	4.99345E-08	10	3.92699E-05	707.11

図 9 1 枚目の ND フィルターが破損することが予想されるため、代わりにより高いパワーハンドリングのオプションを選択する必要があります

CW Measurement					
Element	Irradiance (mW/cm ²)	Power (W)	Damage Threshold (mW/cm ²)	Power Limit (W)	Diameter (um)
PPBS-FS	1270855.113	5	398245683	1566.841408	707.77
ND-2	691.5109749	0.002716851	450051	1.768188105	707.28
ND-4	6.923744975	2.71968E-05	450098	1.768005108	707.20
S-WCD-LCM Sensor	0.000690216	2.71047E-09	10	3.92699E-05	707.11

図 10 PPBS-FS ビームサンプラーはより高いダメージ閾値を持っているため、1 枚目の ND フィルターを安全に置き換えることができます

4. 赤くハイライトされた結果がなければ、あなたの減衰オプションは満足いくものです。選択した減衰オプションに必要な作業距離があること、およびオプションが使用する波長に適していることを確認してください。

5. 選択した減衰オプションでビームプロファイリングシステムを設定し、測定を開始します。

- (a) 関連するすべての安全手順に従って、選択したアッテネータとビームプロファイラで測定を開始します。
- (b) 理想的には、選択したアッテネータで良好な測定ができることです。
- (c) 露光時間が最小で、センサーが飽和している場合は、さらに減衰を加える必要があります。露光時間が最大で、センサーに十分な信号が入っていない場合は、信号レベルが適当になるまで、最小ステップで減衰させる必要があります。標準的なカメラの購入時に付属している ND フィルターは、様々な組み合わせにより、公称 OD 値 1~6 を 1 ステップで設定することができます。

Estimated CW Exposure Time (ms)
23.68

図 11 PPBS-FS ビームサンプラーは ND-2 に比べて減衰量が大きいいため、推定露光時間は長くなりますが、センサーは推奨される飽和限界内に収まっています。

特殊事例

パルスレーザ

パルスレーザの場合も手順は同じですが、CW とパルスの両方のダメージしきい値を満たす必要があります。また、繰り返し率や用途に応じて、ビームを準 CW (複数のパルスの平均) として測定するか、単一のパルスとして測定するかを決めなければなりません。これにより、**飽和限界**のセクションでどのボックスが関連するかが決まります。

スキヤニングスリット式プロファイラ(Beam'R2/BeamMap2)

走査型スリットプロファイラは、ビームの焦点が検出器ではなくスリットにあることが特徴です。一度にスリットを通過するのは、ビームの一部だけです。検出器のゲインは非常に広く、自動的に調整され、高ゲインで高感度となります。これにより、通常、センサーの最大飽和しきい値がスリットの損傷しきい値よりも高くなります。この場合には**飽和限界**の項目は無視して、損傷しきい値のみを考慮する必要があります。

WinCamD-IR-BB

WinCamD-IR-BB の飽和しきい値と測定範囲は、センサーの損傷しきい値に近いものとなっています。そのため、ダメージを避けるためには、飽和しきい値以下であることが非常に重要です。減衰量の計算は推定値であるため、念のために減衰量を多めにしてスタートするのがよいでしょう。また、センサー上のビームを端から少しずつ移動させることをお勧めします。物理的なシャッターは、センサーの損傷を防ぐために、飽和状態に達すると自動的に閉じます。

追加ノート

ビーム直径

照射量とフルエンスはビーム径に応じて二次的に変化するため、ビーム径は重要です。スプレッドシートの計算で 사용되는ビーム径は、放射照度の計算が平坦な円形プロファイルを想定しているため、自動的に $\sqrt{2}/2$ の係数でスケールリングされます。ガウスビームの放射照度は、等価直径の平坦な円形ビームの放射照度の約 2 倍であるため、スケールリングされたビーム径は等価放射照度の平坦な円形ビームとなります。ISO 規格 21254 では、これを有効ビーム径と呼んでいます。

ビーム径はビームの伝搬に伴って一定ではないため、スプレッドシートでは、ビームウエストが測定面上にあると仮定して、既知のガウス伝搬特性に従ってビーム径を計算します。