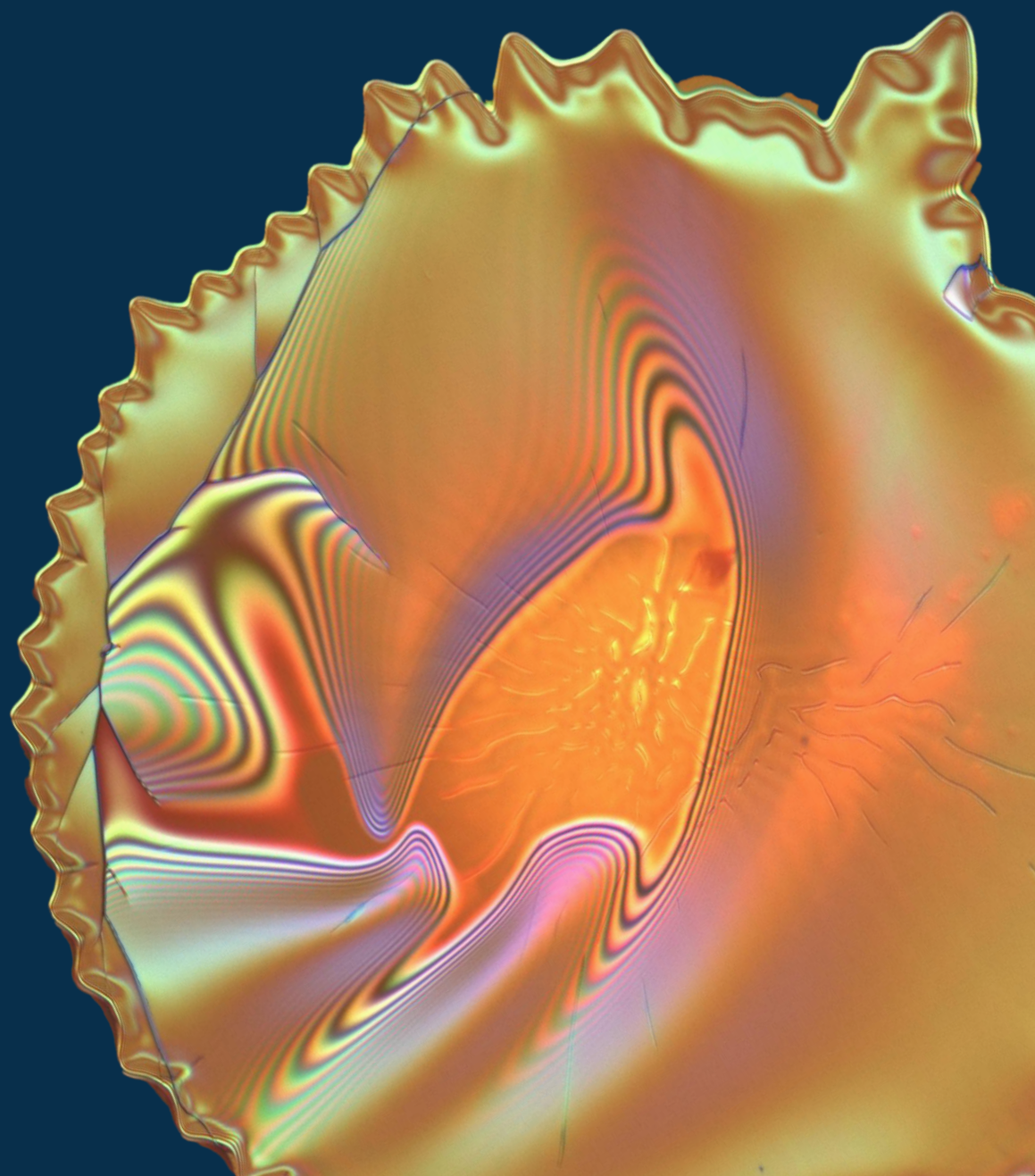


レーザー損傷 サバイバル ガイド



2025

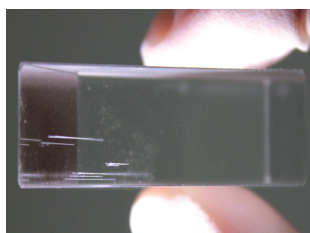
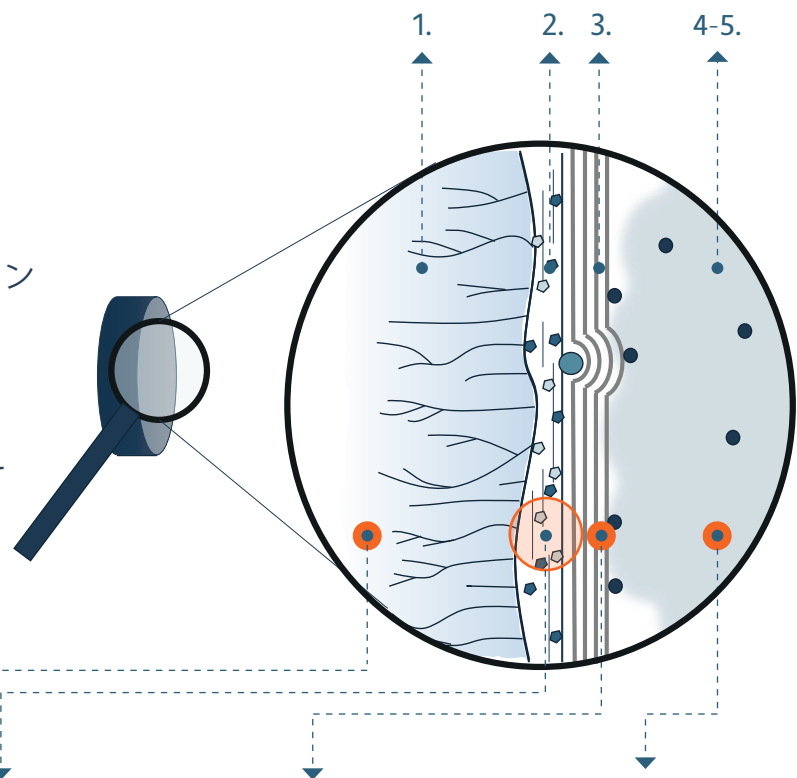


光学素子にレーザー損傷を引き起こす原因とは？

従来の方法で製造された光学素子は、複数の隠れた層で構成されています。この素子が強いレーザー照射を受けると、各々は異なる物理的メカニズム(損傷状態)によって損傷する可能性があります。

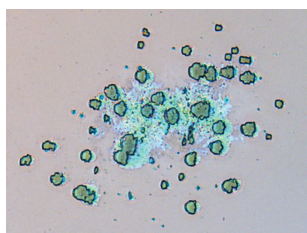
1. 表面下の損傷(研削・研磨加工)
2. 研磨(Beilby)層
3. 小さな塊の欠陥
4. 空気中の微粒子と有機物
5. レーザー誘起コンタミネーション

リダリス専門家チームとのミーティングにて、光学部品に見られた欠陥についてさらに詳しい説明を受けることができます。



バルク損傷

損傷形態：
セルフフォーカス



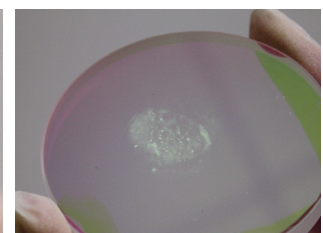
表面損傷

損傷形態：
表面下
& 小さな塊の欠陥



表面損傷

損傷形態：
光吸収&疲労



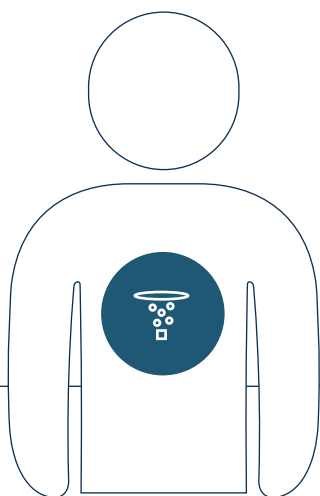
表面損傷

損傷形態：
コンタミネーション

高出力レーザー市場では、「もし」ではなく、「いつ」光学素子が破損するかが重要！

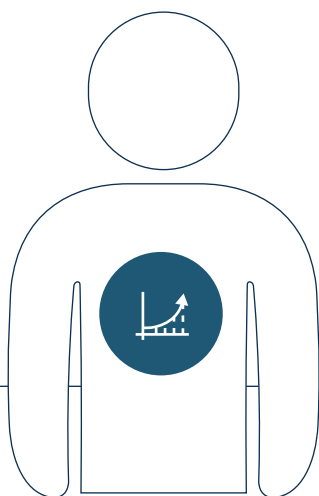
多くの場合、レーザーによる損傷は回避できませんが、適切に扱うことは可能です。これはLIDT（レーザー誘起損傷閾値）の測定、オプティクス寿命予測、または「合格」「不合格」の判定試験のいずれかによって達成することができます。LIDTとは、材料の構造に不可逆的な変化を引き起こすレーザー照射のピークパワーまたはピークフルエンスです。

どうすればレーザー損傷に 耐えられるか？



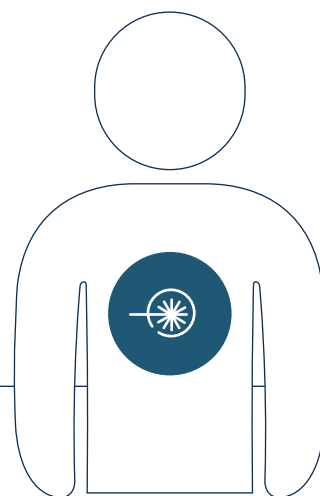
レーザーオプティクス メーカーの課題

- ・高LIDTのオプティクスを開発
- ・各バッチの再現性と品質を確保
- ・発生した損傷原因の把握



レーザーオプティクスの 代理店や販売店の課題

- ・様々な照射条件下で、販売したオプティクスが壊れないことを保証する
- ・オプティクスの精査
- ・セールスポイントとしてのLIDT活用を認識



レーザー応用製品メーカー の課題

- ・品質が劣るオプティクスを避ける
- ・レーザー損傷を理解する
- ・オプティクスの機能に関するカスタム対応の試験を行う
- ・信頼できる光学業者を調査



LIDARIS
LIDT Service

お役に立てること



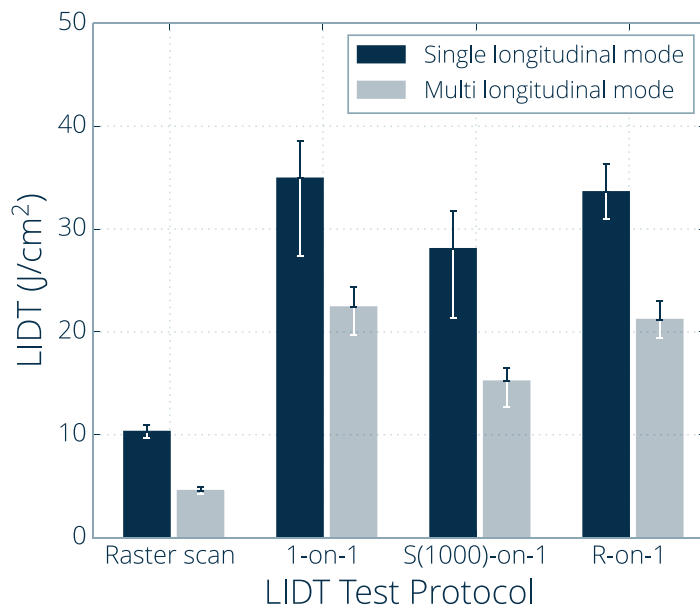
- ・オプティクス研究開発に探すおけるパートナーシップ
- ・生産バッチの品質チェック
- ・光学系不良の原因解析
- ・レーザー損傷計測の教育

- ・LIDT試験/認証
CW-NS-PS-FS
IRからUVまで対応
大気中でも真空中でも対応
- ・比較対象
 - 供給先
 - 競合先
 - バッチ/アイテム
- ・レーザー損傷計測の教育

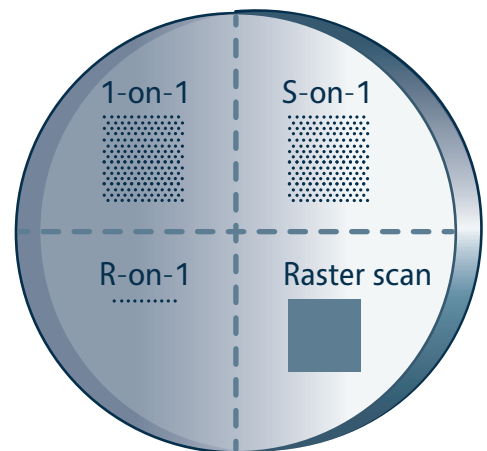
- ・不良オプティクス選別のためのISO準拠LIDT試験とカスタムLIDT試験
- ・光学寿命試験
- ・低損失吸収
- ・熱検知
- ・波面検知
- ・レーザー損傷計測の教育

適切なレーザー損傷試験方法を選択するには？

LIDTはテストの詳細には触れず、一つの数字として報告されることがあります。それにより、数値を操作する可能性を生んでしまいます。選択した検査条件や損傷基準によって、報告されたLIDTの意味が異なる可能性があるため、テストプロトコルを選択する際に注意する必要があります。



すべてのテストは、単一のHRサンプルで行われた
1064nm, ~10ns, 0 deg.



今回受賞した研究^[1]では、リダリスのチームメンバーが単一のHRミラー上で4つのLIDTテストプロトコルを比較しました。この研究では、同等のパルス間隔で単一縦モードとマルチモードの両方を採用しました。

その結果、測定されたLIDT値には大きなばらつきがあることがわかりました。このようなLIDT結果のばらつきは、LIDTテストそのものの信頼性を損なうものではなく、むしろ通常起こり得るものであると理解することが重要です。それは各テストプロトコルが異なる損傷故障モード(メカニズム)に影響され易いことを意味しています。

お客様の混乱を避けるために、リダリスチームは適切なLIDTテストプロトコルを選択するガイドラインを作成しました。

SPIE LASER DAMAGE 2019
で受賞した研究内容

SPIE. LASER DAMAGE



[\[1\] R. Pakalnytė et al Laser-induced Damage in Optical Materials 2019, 1117318 \(17 December 2019\).](#)

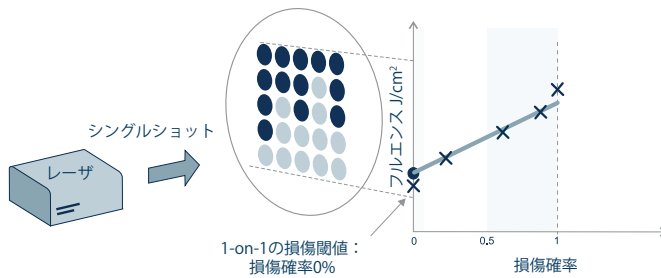
テストプロトコル	適した試験目的	一般的なリスク
標準的な ISO 1-on-1 →	・高速スクリーニング（クイックフィードバック） ◦ 物質のLIDTの調査 ◦ 高密度な欠陥に重きをおいたLIDTテスト ・前面、背面、バルクが同時に破損した場合の光学素子のテスト ・オプティクス製造工程を最適化する	・損傷密度の低いサンプルでは、LIDTを過大評価する ・疲労（インキュベーション）効果は考慮しない ・CWでは隣接するテスト箇所のアニーリング効果が起こり得る !
標準的な ISO S-on-1 →→→	・疲労によるレーザー損傷の特性を明らかにする ・さまざまなレーザー損傷の故障モードを調査する ・オプティクスの寿命を見積る ・お客様のデータを過去の公表データと比較する	・欠陥密度の低いサンプルでは、LIDTを過大評価する ・低周波数照射でテストする場合、時間がかかる ・高周波数照射でテストした場合、隣接するテスト箇所がアニーリング効果を受ける !
機能性 ISO R(S)-on-1 →→→	・真のLIDTの概算を測定するためのもの ・テストエリアが限られたサンプルに使用 ・コンディショニング効果(1on1テストと併用)	・損傷密度の低いサンプルには不向き ・レーザーコンディショニングが可能 ・疲労（インキュベーション）効果は考慮しない ・時間がかかる !
機能性 ラスタースキャン テスト →→→	・低密度（希少）な欠陥があるサンプルをテストする ・照射量に応じたダメージ密度を測定する ・コンディショニング、アニール、レーザークリーニングの効果を検討	・疲労（インキュベーション）効果は考慮しない ・レーザーコンディショニングが可能 ・時間がかかる ・LIDTは、表面アブレーションによる汚染や取り扱いの悪さによって不正確となる ・同一領域かつ照射条件でスキャンしない限り、結果を直接比較することはできない !
ISO 認証取得 / 適合テスト	・不適合光学部品の事前除去 ・耐久テスト ・光学素子の寿命予測の検証 ・定期検査	・検査結果に誤りがある可能性がある ◦ 低い損傷密度（ラスタースキャンを使用する） ◦ 遅延疲労効果（可能であれば照射線量を延長） ・LIDTに関する情報はない !

お客様のニーズに見合った試験方法を選ぶためのお役立ちガイド



ISO 1-on-1 テスト

1-on-1 テストは、「非疲労型」のLIDT判定を行うための比較的簡単な手法です。



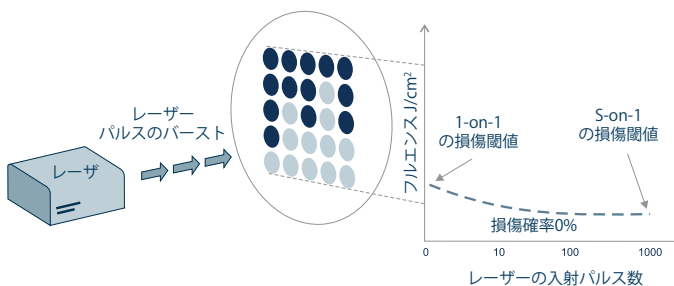
原理：光学部品表面のすべての部位に1つのレーザーパルスが照射される。LIDTは、適切なモデルを用いて、損傷確率統計とパルスエネルギーとの関係をフィッティングすることにより推定される。

このテストは、以下の場合にお使いください：

- 光学系製造（研磨、コーティング）の最適化。
- 基本的な材料特性の調査。
- 明確な欠陥の特定。
- 迅速なフィードバックとサンプルの相対的な比較。

ISO S-on-1 テスト & 寿命テスト

S-on-1テストは、最も一般的なLIDTテストです。光学系の経年劣化（疲労）効果を考慮したマルチパルス方式です。



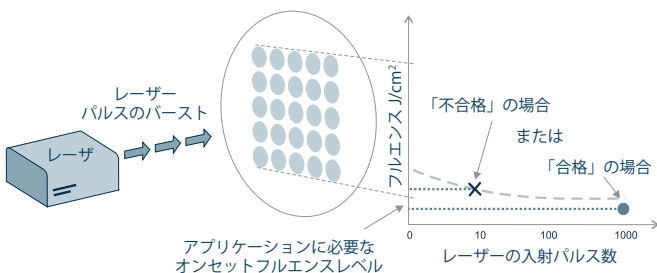
原理：光学部品表面のテスト部位は、繰り返しパルス（指定のパルス数で固定）を照射される。(S)繰り返しパルス数。LIDTは、入射レーザーパルスの関数としてされ表記される。

このテストは、以下の場合にお使いください：

- レーザー光学素子のLIDTの特性を正確に把握する。
- 光学素子の老化現象について知る。
- 繰り返し周波数の影響を考慮する。
- 高照射量の結果を推定する（場合により利用可能）。

ISO Pass/Fail（ダメージ評価）テスト

Pass/Failテストは、あらかじめ定義されたレーザーフルエンスで、光学素子の良し悪しを分離するように設計されています。



原理：一定のフルエンスで複数のレーザーパルスを1つまたは複数のテスト部位に照射する。損傷がない場合、光学部品はその後使用することができる。そうでなければ、その部品は仕様を満たさず、使用することはできない。

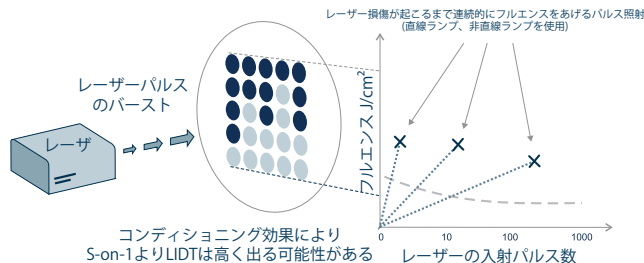
このテストは、以下の場合にお使いください：

- オプティクス品質を日々モニターする。
- 重要な用途に使用前に、購入したオプティクスの品質を確認する。
- 光学素子が条件を満たしているかどうかを検査する。

R-on-1 (ランプ)テスト

R-on-1は非標準的なテストです。表面限定サンプル（ファイバーや小さな結晶など）のLIDTに関する大まかな情報を提供するものです。

原理：試験面は各照射部位に分けらる（S-on-1の場合よりかなり少ない）。各照射部位は、一定のフルエンスでパルス（例えば1000個）のバーストで照射される。各照射部位では、損傷に達するまでパルスエネルギーが絶えず増加（ランプ）される。



このテストは、以下の場合にお使いください：

- 限られた試験面のサンプル（S-on-1テストが利用できない場合）
- 生産工程や販売業者を相対的に比較する。
- コンディショニング（光吸収や未知のタイプの欠陥低減の観点で）を調査する。

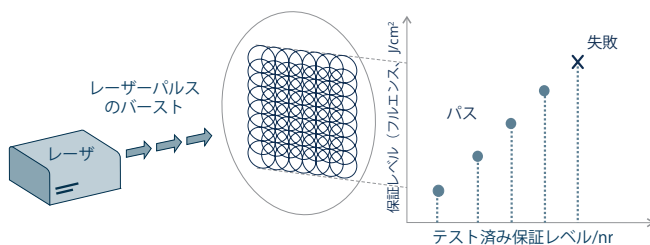
注意：

材料との連続的なレーザー相互作用は、コンディショニング効果を引き起こす可能性があります。したがって、R-on-1のLIDTはS-on-1の結果と比較すると、過大評価される可能性があります。

ラスタースキャンテスト

ラスタースキャン技術は、S-on-1テストでは見逃してしまうような、非常にまれな欠陥の検出に役立ちます。

原理：サブアパーチャーマルチパルスラスタースキャンにより、サンプルが耐えうるフルエンスを調べます。サンプル上の指定エリアは、レーザービームの直径に比例した多数の部位に分割される。各サイトは、対象となるフルエンス値において選択された数のパルスで照射される。



このテストは、以下の場合にお使いください：

- 最悪の事態を想定したシナリオ
- 欠陥密度の小さい光学部品（例：高精度研磨品）
- 大型の光学素子

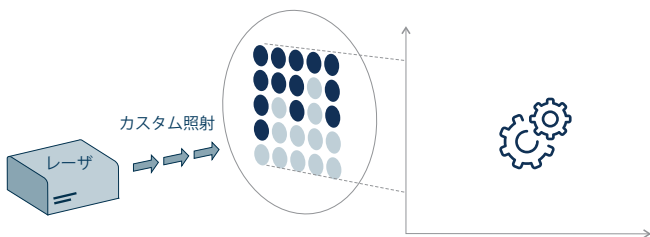
注意：

ラスタースキャンの適用方法にはさまざまなものがあります。ご注文の前にプロバイダーにご相談ください。

機能性LIDTテスト

機能性LIDTテストは、特定のケースにおいてLIDTに関する情報を最大限に提供することです。

原則：お客様と相談しながら測定方法を決定します。標準的な試験方法は、特定の要件を満たすように調整されます。



このテストは、以下の場合にお使いください：

- カスタム照射条件：入射パルス数が非常に多い（1サイトあたり1000パルス以上）、レーザーテスト径も非常に大きいか小さい（マイクロフォーカス）
- カスタム露光アルゴリズム
- カスタムテストサイトのレイアウト
- 機能性損傷のカスタム基準
- カスタム分析

注意：

カスタムテストはより高価で、リードタイムが長くなります。すべてのカスタムテストが標準テストと比較できるわけではありません。

使用可能なLIDTテストプロトコル

最も一般的なLIDTテストプロトコルを短納期で提供します。

パルス幅	レーザー	有効パルス幅 ⁽¹⁾	波長, nm	パルス繰り返し周波数, Hz
CW	CW：イッテルビウム(Yb)ファイバーレーザー	30 s	1070	シングルショット
ns	Nd：YAG (シングルモード)	10 ns 5 ns 5 ns 5 ns	1064 532 355 266	100
ps-fs	Yb：KGW (カーレンズモードロック)	190 fs - 12 ps ⁽²⁾ (チューニング可能)	1030 515 343	1000 - 50000
fs	Ti：サファイア (カーレンズモードロック)	45 fs	800	100 - 1000

オプション照射条件（要問合せ）

CW：イッテルビウム(Yb)ファイバーレーザー	1 ms - 30 s ⁽³⁾ (チューニング可能)	1070	シングルショット または <500Hz
CW：エルビウム(Er)ファイバーレーザー	2 ms - 30 s ⁽³⁾ (チューニング可能)	1567	シングルショット または <500Hz
Nd：YAG (シングル・マルチモード)	10 ns 5 ns 5 ns 5 ns 4 ns	1064 532 355 266 213	1-100
Nd：YAG OPO (シングルモード)	~4 ns	710 - 810 1500 - 2100	1-100 ⁽²⁾
Yb：KGW (カーレンズモードロック)	190 fs - 12 ps ⁽²⁾ (チューニング可能) 135 ps at 1030 nm	1030 515 343 258	1 - 1000000 ⁽²⁾ (チューニング可能)
Ti：サファイア OPO (カーレンズモードロック)	45 fs - 12 ps ⁽²⁾ 45 fs - 1 ps 45 fs - 500 fs (チューニング可能) 135 ps at 800 nm	800 400 266	10, 100, 1000 (チューニング可能)
Ti：サファイア (カーレンズモードロック)	~40 - 80 fs	250 - 2500 ⁽⁴⁾	10, 100, 1000 ⁽²⁾ (チューニング可能)

あらゆるパルスレーザーの照射条件に対応可能：偏光状態：円/直線 (S、P)
入射角：0~75°、テスト環境：空気中（室温）、真空中（10⁻⁶ mbarまで）
ご要望に応じて、迅速な納品を行います。

標準的なテスト構成の場合、標準的な納期はサンプル入手後2~3週間です。

(ns: 1064nm, 532nm, 355nm, fs: 1030nm, 532nm, 343nm)

(1) 半値全幅で測定される有効パルス幅

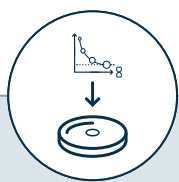
(2) 最大エネルギーとパルス幅は、選択した波長に依存する

(3) ご要望に応じて長時間の露光も可能

(4) 波長<500nm及び>1600nmのパルス幅は40~80fs（特定の波長での使用可否についてはお問い合わせください）

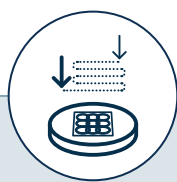
(5) 現在CW領域では、次のことしかできません：1) ランダム偏光が利用できる 2) 利用できる最小入射角：12°

標準的なLIDTテストを超えて…



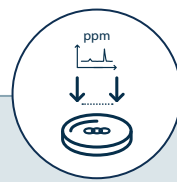
オプティクス寿命推定

現在、高繰り返し周波数のfs及びpsレーザーパルスに対応
(詳細は9ページをご覧ください)



大型オプティクスの LIDTベンチマーク

高度なラスターキャン工程と
欠陥分析
(詳細は10ページをご覧ください)



ppmレベルでの吸収試験

IR-VISおよびUV領域でのテスト
が可能
(詳細は11-12ページをご覧ください)



テストバンドル & パッケージ

- テストパッケージを注文できるまたとない機会
- 同一または様々なサンプルに対する複数回の試験
- すべての情報を一度に
- 便利な発送と注文



波面検知と熱検知

- CW(連続波)領域で可能
- レーザー出力に関して誘起される、波面変化と温度変化を検査することが可能
- 機能的損傷のテスト



宇宙アプリケーション の試験

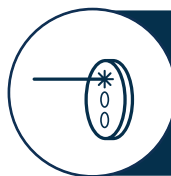
- 真空環境での試験 (10⁻⁶ mbarまで)
- 極低温 (100 Kまで) での試験
- 欧州宇宙機関と協力したプロジェクトESPRESSO II : 高出力宇宙用オプティクスの寿命認証手順の研究開発

フェムト秒およびピコ秒光学系の加速寿命テスト

多くの産業用・科学用レーザーシステムにおいて、長期間の無故障運転が目標となっています。しかし、一般的なLIDT試験は、数秒から数分の照射に限定されているのが現状です。現実のアプリケーションの要件（例:何年もレーザーを止めないなど）に適合させるには、より長い時間のテストが必要となります。そこで、新しい統計解析技術^[2]を用いて、光学疲労挙動の特徴づけと予測により光学部品寿命を推定します。

どのような仕組みでしょうか？

LIDTテスト



- レーザーを長時間照射することで、「故障までの時間」の統計データを収集します。

分析

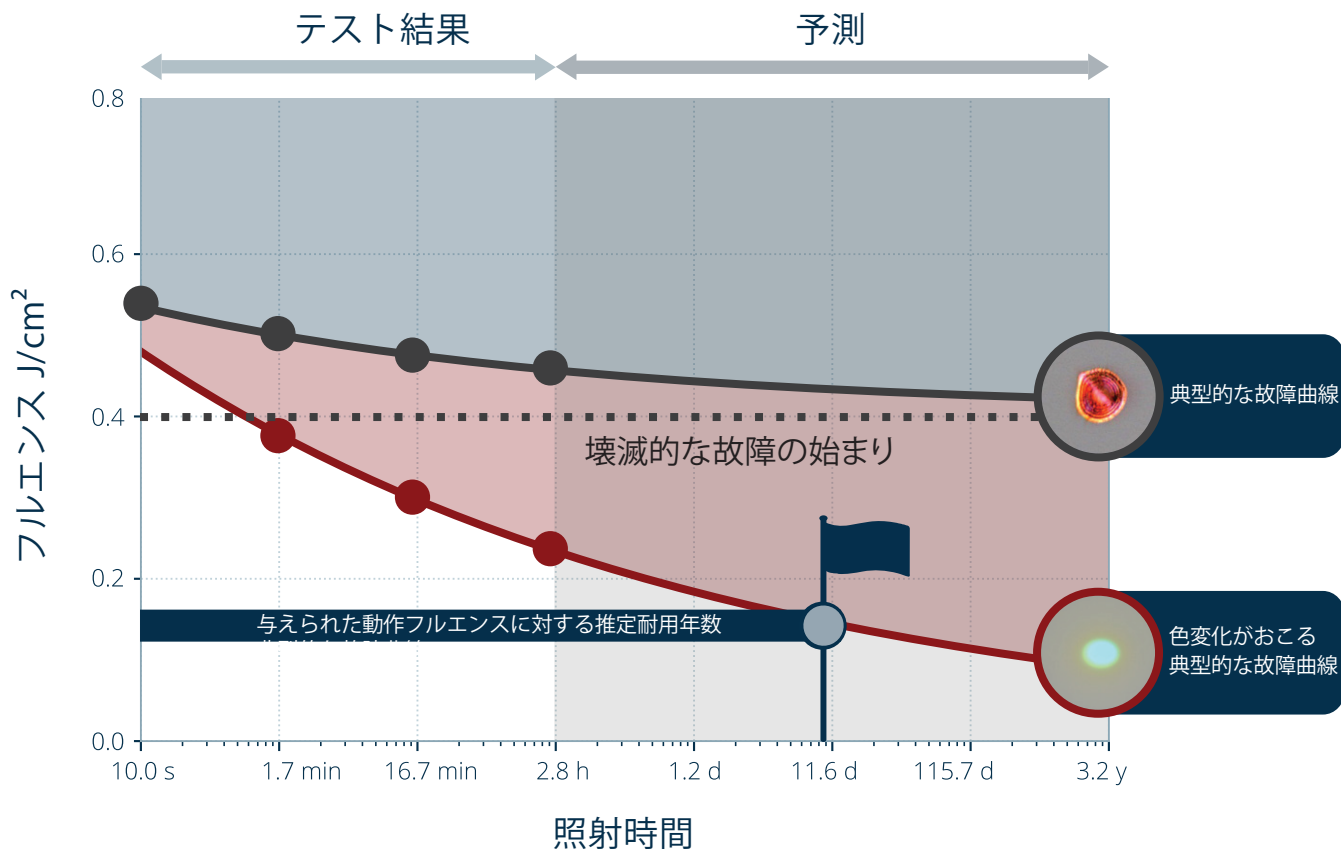


- 故障モードから損傷状態の状況の把握
- 損傷状況ごとの経年劣化の傾向分析

予測



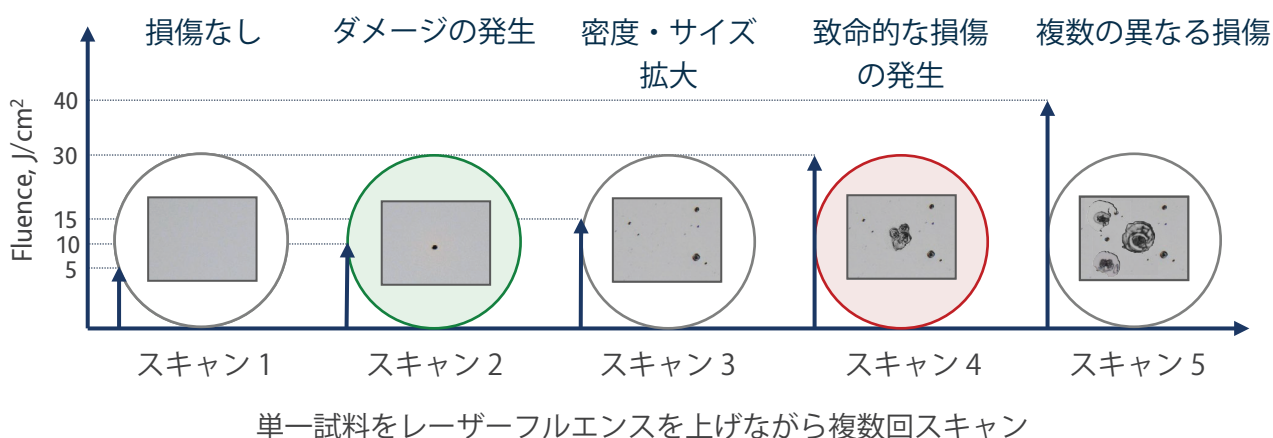
- 光学寿命を推定するために、経時変化パターンを適切に抽出



[2] L. Smalakys, A. Melninkaitis, "Predicting lifetime of optical components with Bayesian inference" *Opt Express*. 2021 Jan 18;29(2):903-915

大型光学素子の指標となるLIDTのラスタースキャン手順

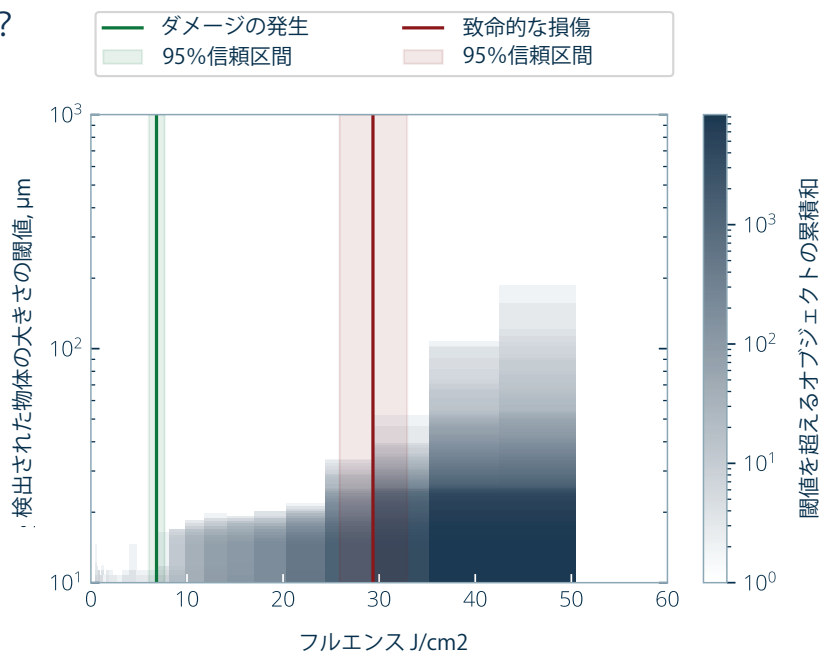
LIDT測定のためのラスタースキャンアプリケーションは、毎年人気を集めています。光学素子の散発的な欠陥の密度が低い場合(この場合、他のテストプロトコルはLIDTを過大評価する傾向がある)、この手順は有用です。また、ラスタースキャンは、大口径光学素子の認証や、最悪のシナリオを知る必要がある場合にしばしば適用されます。Lidarisは、標準的なラスタースキャンテストからさらに多くの情報を提供します。新機能の導入：レーザー照射レベルの関数としてのレーザー誘起表面オブジェクトの統計



どのように行われているのでしょうか？

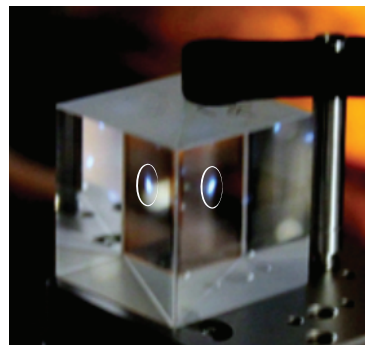
スキャン前後に顕微鏡画像が撮影されます。そして、すべての画像は新しい欠陥分析に利用されます。欠陥の分布図は、スキャンレベルごとに設定されたサイズを超える欠陥の累積分布を表示しています。他の画像解析手法と併せて、欠陥域とその周辺部分とを区別しています。

光学素子上の欠陥については、リダリスの専門家にお問い合わせください！

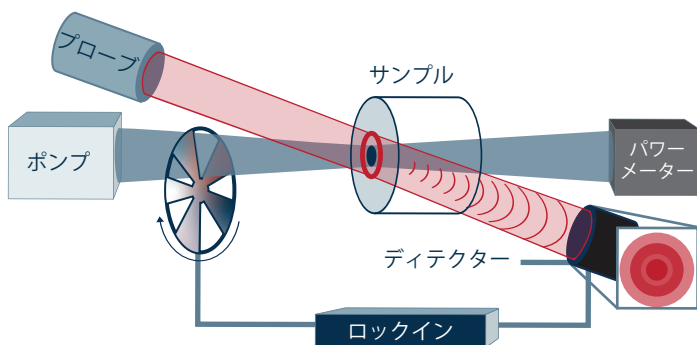


光学薄膜の吸収試験

光学素子の吸収は一定ではなく、位置、強度、時間に依存する量である。光熱コモンパス干渉計（PCI）は、誘電体コーティングの低損失光吸収率をppmレベルで特性評価するための最も一般的な選択肢です。



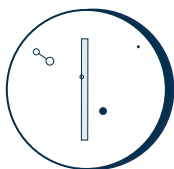
どのような仕組みになっているのでしょうか？



空間分解型ポンプ・プローブ技術です。集光されたポンプビームは、試料の温度を局所的に上昇させ、その結果、材料の局所的な屈折率を変化させます。この変化を低強度のプローブビームで検知します。自由空間を伝搬した後、ディテクター上に干渉パターンが形成されます。温度変調の振幅は、吸収されたパワーに比例するため、局所的な吸収に比例すると考えることができます。

利用可能なテストプロトコル

1次元表面吸収測定
横スキャン (T-scan)



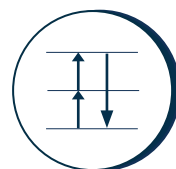
縦方向のスキャンによって
前面、裏面、バルクを区別
(L-Scan)



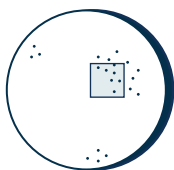
2次元表面吸着サンプル
の均質性試験
(大面積スキャン)



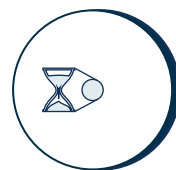
非曲線テスト



スクラッチ&ディグ
などの2次元表面吸収
(高解像度エリアスキャン)

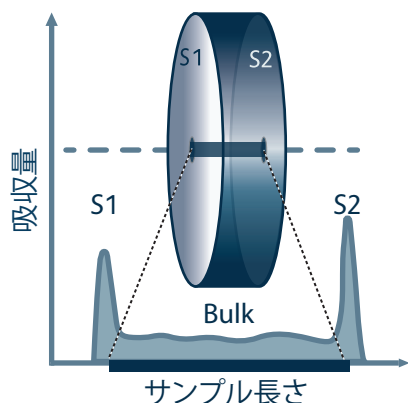


1点での吸収の時間依存性
タイムスキャン



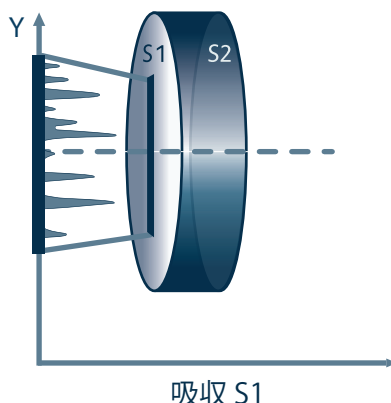
またご要望に応じて、測定プロトコルの組み合わせによるカスタム測定も可能です（縦方向、時間、横方向、面積、非線形スキャン）

レーザー光は、光学素子の前面、バルク、背面のいずれかで吸収されることがあります。さらに、吸光度は時間の経過とともに変化することがあります（ピーク強度の増加、減少、依存）。信頼性の高い正確な結果を得るために、最小限のサンプル吸収特性評価では少なくとも、L(longitudinal)スキャン、T(transverse)スキャン、Timeスキャンの3種類が必要です。



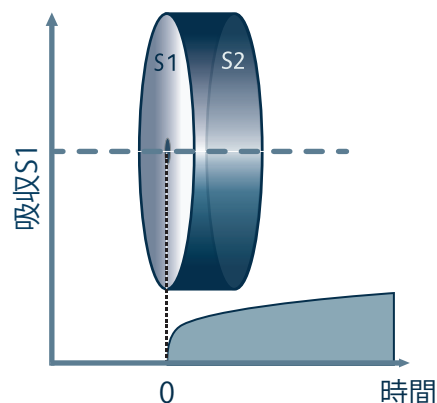
縦スキャン (L-Scan)

光軸に平行な方向で吸収を測定します。吸収の場所を特定する為にこの試験は行われます。このスキャンでは、光学素子の前面吸収、背面吸収、バルク吸収を区別することができます。



横スキャン (T-scan)

光軸に垂直な方向の測定対象面（通常はS1）について吸収率を測定します。サンプル全体の吸収率は、Tスキャンテストの中央値として定義されます。このテストは吸収面の均質性を示します。



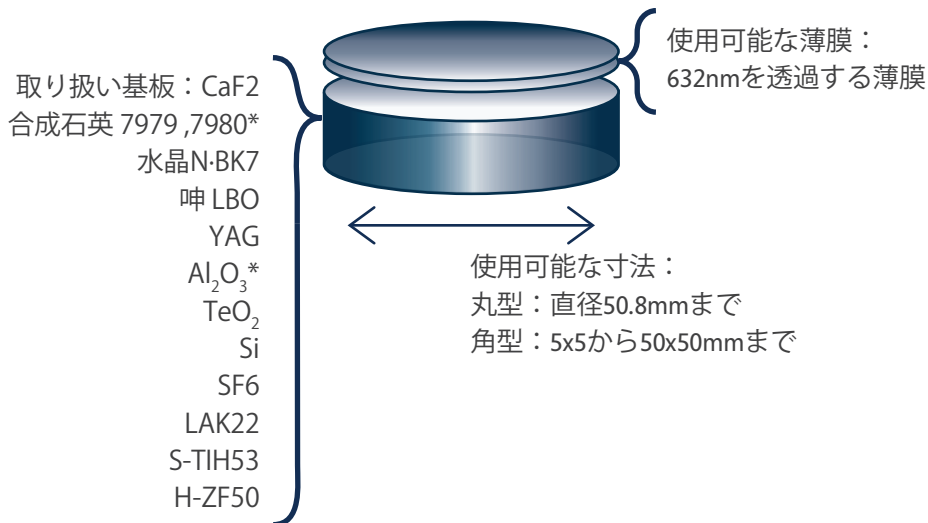
タイムスキャン

吸収は、対象表面の単一試験部位で長時間にわたって測定されます。標準的なタイムスキャンは、1つの試験面にして1つのスポットあたり10分です。このテストでは、吸収が時間に依存するかを判別出来ます。

使用可能なテスト条件とサンプル

波長 [nm]	照射領域
1070	CW
532	q-CW, Mhz
455	CW
以下お問合せください。	
1064	q-CW, Mhz
355	q-CW, Mhz
266	q-CW, Mhz

許容サンプルは、コーティングを施した平行平面基板と一般的な基板材料です。

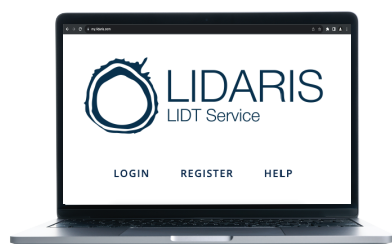


* バルク吸収測定用基板

各テストには、詳細な測定レポートが含まれます。

注文はどうすればよいですか

リダリスは、使いやすいオンライン注文システム「my.lidaris.com」を開発しました。そこでは、あなたのニーズを簡単に伝え、アドバイスを求めることができます。リダリスのエキスパートが、すべての情報をナビゲートし、テストから最大の利益を得るためのお手伝いをします。

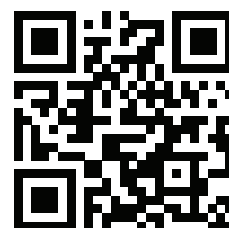


VISIT新規my.lidaris.com
簡単なオンライン注文システム

すべてを
一括注文

注文
テンプレート

複製、編集
保存



Go to my.lidaris.com

見積り

サンプル出荷と受注

最小コストで最大効率

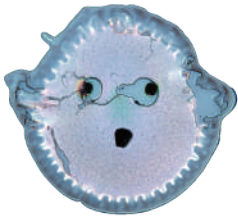


お持ちのサンプル
と必要なテストを
お聞かせください

当社の注意事項に従って
サンプルの取り扱いと
発送を準備する

測定状況を把握し
レポートと請求書を
受け取る

その結果を活かして
成功を手に入れる！



LIDARISで光学素子をテストする 必要があるのはなぜですか？

OUR TEAM
18
PEOPLE

WE SERVE
>150
COMPANIES

PhDs
3

EXPERIENCE
>20
YEARS IN LIDT

R&D
PROJECTS
>20
COMPLETED

EXPORT
85%
US, EU, ASIA

LIDARISは、レーザーオプティクス製造・販売・システムを手掛ける企業向けに、広範囲にわたるLIDT計測サービスを提供するデストラクションカンパニーです。LIDTの計測値は、高出力レーザーシステムに使用される光学部品(レンズ、ミラー、ウィンドウまたは光学素子)の抵抗値(安全なレーザーの出力限界値)を示すものです。LIDTテストは、光学部品の品質を保証し、重要な決定を行うのに役立ちます。

LIDARISは、2012年にヴィリニウス大学レーザー研究センターのスピンオフ企業として、レーザー誘起損傷の分野を専門的に研究する科学者グループによって設立されました。LIDARISチームは光学素子及び薄膜に関するレーザー損傷の分野における20年の研究経験を有しています。

LIDARISは、メーカー、光学部品やレーザーシステムのサプライヤー、宇宙機関など、今日のレーザー市場のリーダーであるヨーロッパ、アメリカ、アジアの企業にグローバル市場でサービスを提供しています。

150以上の組織がLIDARISのサービスを利用しています。

LIDARISメンバーの科学的貢献は、SPIEレーザー損傷協会から3度表彰されています。このダイナミックなチームは、お客様にレーザー損傷に耐えるために必要な最先端の知識をお届けすることをお約束します。



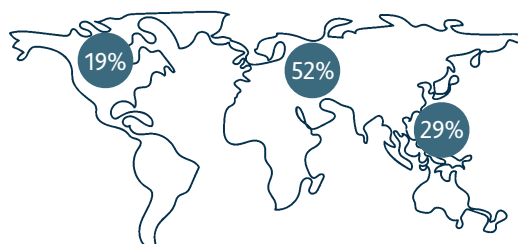
SPIE. LASER DAMAGE

国際的な賞を3度受賞

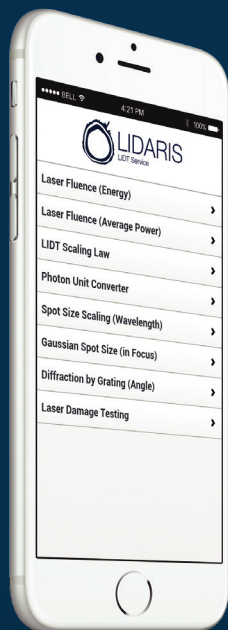


ESAと協力した2つの
RnDプロジェクト:ESPRESSO1と
ESPRESSO2は、宇宙光学の寿命資格
の認定手段を定める

世界中からのご注文を承っております。



LIDARIS CALC



Try online



Lidar Calc

レーザー関連の値を計算出来るスマートフォン用の無料アプリ

Lidar Calc:

- ・レーザーのピークフルエンスとピークパワーを推定
- ・パルス幅等の設定で損傷閾値を推定
- ・一般的な光学の単位を変換
- ・集光ガウシアンビームのスポットサイズを推定
- ・回折格子の回折角計算

レーザービーム径、レーザーパルスエネルギーまたは平均出力、波長、繰り返し周波数などのパラメーターを指定することで計算出来ます。

これにより光学定盤でレーザーシステムを調整する際の時間を大幅に節約出来ます。

START TO INNOVATE NOW

WORLDWIDE SERVICE



info@lidaris.com
www.lidarlis.com



+370 609 09233



Sauletkio Avenue 10,
LT-10223 Vilnius, LITHUANIA



イスラエル代理店
Israel: Meir Rubin
mrubin@roshelopt.co.il



日本代理店
Japan: Yuichiro Ogura
lidaris@cbcopt.co.jp