



TP（技術資料）

ポイント型光ファイバセンサ
建設分野向けマニュアル

（Implementation Manual for
Single/Multi Point Optical Fiber Sensor for Civil Engineering Field）

OITDA/TP 38/FS : 2023

第 1 版

公表 2023 年 10 月

取纏委員会
光ファイバセンサ標準化部会

The OITDA logo consists of the letters "OITDA" in a bold, sans-serif font, where the "O" and "I" are connected.

発行：一般財団法人光産業技術振興協会
Optoelectronics Industry and Technology Development Association (JAPAN)

目 次

	ページ
序文.....	1
1 適用範囲	1
2 引用規格	1
3 用語及び定義.....	1
4 ポイント型・多点型光ファイバセンサ.....	5
4.1 概要	5
4.2 ポイント型・多点型光ファイバセンサの導入手順	7
5 適用例	12
5.1 ひずみセンシングへの適用例	12
5.2 変位センシングへの適用例	13
5.3 圧力センシングへの適用例	13
5.4 水位センシングへの適用例	13
5.5 加速度センシングへの適用例	14
5.6 地震センシングへの適用例	14
参考文献.....	15
解説.....	16

まえがき

光ファイバセンサの最大の特長は、検出部（センサ素子）が光ファイバ・光部品で構成されていることで、電源が不要、化学的に安定、高強度・耐腐蝕性・耐電磁ノイズ性・防爆性・長期耐久性等の点で既存センサに対して圧倒的に有利である。また、広域・多点に設置することが出来るなど既存センサとは異なる利点も有する。

光ファイバに沿って連続的に分布計測ができる分布型光ファイバひずみセンサについて、同センサの概要とともに、その利点や留意事項、また、活用方法を事例としてまとめた技術資料（TP）[OITDA/TP 36/FS : 2023, 分布型光ファイバひずみセンサ建設分野向けマニュアル] が 2022 年 3 月に公表されている。

分布型光ファイバセンサに比べて、ポイント型・多点型光ファイバセンサの計測対象は多岐に及ぶため、建設分野をはじめとする広範囲の応用分野への展開への期待は高い。分布型光ファイバセンサと同様に、ポイント型・多点型光ファイバセンサについては、これまでのところ国内では技術的な標準や拠り所となる基本的資料がない。建設分野だけに限らず新技術の展開にあたっては、その標準に類する資料は不可欠である。現在、IEC においてポイント型・多点型光ファイバセンサに関する標準化の取組みが進められている [IEC61757-1-1, Fibre Bragg Grating - Strain sensors based on fibre Bragg gratings, IEC61757-2-1, Fibre Bragg Grating - Temperature sensors based on fibre Bragg gratings, IEC61757-5-1, Fibre Bragg Grating - Tilt sensors based on fibre Bragg gratings, IEC61757-6-1, Fibre Bragg Grating - Displacement sensors based on fibre Bragg gratings (2023 年 8 月現在 CDV 回覧中) など] が、こうした測定器に対する標準化の動向を注視しつつも、光ファイバ敷設からデータ評価までを含めたユーザ視点でとりまとめた基本的資料が求められている。

これらの事情から、建設分野における導入マニュアルを作成し、ポイント型／多点型光ファイバセンシング技術の適用を容易にすることを目的とし、本マニュアルを通じて、同センサの概要とともに、その利点や留意事項、また活用方法を事例として紹介することで、導入を進めるための一助とするものである。

この技術資料が今後の標準化活動へと繋がるとともに、光ファイバセンサの普及に一層の貢献が期待されることを期待する。

この技術資料（TP）は、著作権法で保護対象となっている著作物である。

この技術資料（TP）の一部が、特許権、出願公開後の特許出願又は実用新案権に抵触する可能性があることに注意を喚起する。光産業技術振興協会は、このような特許権、出願公開後の特許出願及び実用新案権に関わる確認について責任はもたない。

この技術資料は、一般財団法人光産業技術振興協会の標準に関する TP（技術資料）である。TP（技術資料）は、規格になる前段階、標準化の技術的資料、規格を補足する などのために公表するものである。

この技術資料に関して、ご意見・情報がありましたら、下記連絡先にお寄せください。

連絡先：一般財団法人光産業技術振興協会標準化室

e-mail : opt-st@oitda.or.jp

(3)

TP 38/FS : 2023

OITDA/TP (技術資料)

OITDA/TP 38/FS : 2023

ポイント型・多点型光ファイバセンサ 建設分野向けマニュアル

Implementation Manual for Single/Multiple Point Optical Fiber Sensor for Civil Engineering Field

序文

この技術資料 (TP) は、ポイント型・多点型光ファイバセンサの概要とともに利点や留意事項をとりまとめ、読者へ同センサの導入を容易にするよう意図したものである。この技術資料は、特定非営利活動法人光ファイバセンシング振興協会がまとめた“ポイント型光ファイバセンサ建設分野向けマニュアル”を基本としつつ、適用例などは削除し、導入手順にターゲットを絞って再構成して作成したものである。

1 適用範囲

ポイント型・多点型光ファイバセンサは、建設分野などを中心に様々な測定対象物への適用が進められ、実績が蓄積されてきた。一方、それらの取り組みは個別対応がほとんどであり、多種多様な同センサならびにその取り組み状況が俯瞰できる資料は見あたらず、同センサの特長、特有の留意事項や導入手順などに関する情報が十分に周知されておらず、その導入に躊躇したり導入に至っていない場合も多いと考えられる。

この技術資料 (TP) は、同センサの概要とともに利点や留意事項をとりまとめることで、同センサの建設分野への導入を検討している、設備発注者、設備保有者、ゼネコン、保全会社、光ファイバセンシングの専業社や計測コンサル会社が、本技術資料を利用することでその導入を容易にすることを意図したものである。

2 引用規格

次に掲げる規格は、この技術資料 (TP) に引用されることによって、記述の一部を構成する。これらの引用規格は、その最新版 (追補を含む) を適用する。

JIS C 61757:2023 光ファイバセンサ通則

JIS C 5900:2019 光伝送用受動部品通則

JIS C 6820:2023 光ファイバ通則

JIS C 6850:2006 光ファイバケーブル通則

JIS Z 8120:2001 光学用語

3 用語及び定義

この技術資料（TP）で用いる主な用語及び定義は、次による。

3.1

光ファイバ（optical fiber）

誘電体で作られた，光を伝送する繊維

（出典：JIS C 6820 の 3.1）

3.2

光ファイバセンサ（optical fiber sensor, fiber optic sensor）

測定量の影響を直接的に受け，測定値に応じて光ファイバの光学的特性の変化を生じる測定器又は測定系列の一部

（出典：JIS C 61757 の 3.2.1）

3.3

光ファイバセンサシステム（optical fiber sensing system, fiber optic sensing system）

光ファイバセンサの検出部，光ファイバリード線，測定器，ユーザーインターフェースなどから構成されるシステム

注釈 1 解析・表示も含む。

3.4

ポイント型光ファイバセンサ（single point fiber optic sensor, single point optical fiber sensor）

測定量に関連した信号を生成する一つの独立した検出部から構成される光ファイバセンサ

（出典：JIS C 61757 の 3.2.4）

3.5

光学的又は光学的に動作するセンサ素子（optical or optically powered sensing element）

一定の法則に従って，物理量の情報を受け取り，それを光学量の情報に変換するデバイス

（出典：JIS C 61757 の 3.1.5）

3.6

多点型光ファイバセンサ（multiple point fiber optic sensor, multiple point optical fiber sensor）

複数のポイント型光ファイバセンサで構成され，広い範囲の測定対象物を個別の場所で空間的に分解して測定することが可能である光ファイバセンサ

（出典：JIS C 61757 の 3.2.5）

3.7

測定器（interrogation unit）

光ファイバに加わるひずみを測定，記録する機器

3.8

光ファイバセンサケーブル（optical fiber sensing cable, fiber optic sensing cable）

センサ用途で光ファイバを1～複数本束ね被覆や保護具をつけたケーブル

注釈 1 光ファイバケーブルは，JIS C 6850 で規定されている。

3.9

光ファイバリード線（optical fiber lead）

検出部を光源及び光受信器に接続する光ファイバ

(出典：JIS C 61757 の 3.1.2)

3.10

イントリンジック光ファイバセンサ (intrinsic fiber optic sensor)

光ファイバ自身が検出部となり，物理量の影響を受けてその検出部で光の特徴量である強度，位相，偏波，スペクトル，波長又は通過時間などが変化する光ファイバセンサ

(出典：JIS C 61757 の 3.2.2)

3.11

エクストリンジック光ファイバセンサ (extrinsic fiber optic sensor)

光ファイバ自身はセンサ素子ではなく，伝送路として機能し，光ファイバの外部にあるセンサ素子で光の特性変化を捉え，その変化を光ファイバを通して伝搬させる光ファイバセンサ

(出典：JIS C 61757 の 3.2.3)

3.12

変換器，トランスデューサ (transducer)

一次的な物理変化を別の物理量に変換する機構，例えばダイアフラムのひずみを圧力に変換する場合のダイアフラム

3.13

光スイッチ (optical switch)

光ファイバによる入力あるいは出力を 2 個以上有し，伝達のための光路の切り替えができる装置

(出典：JIS C 5900 の 3.2.15 の一部変更)

3.14

測定範囲 (measuring range)

定義された条件下で，ある与えられた測定器又は測定システム (又は光ファイバセンサ) によって，特定の機器による不確かさで測定することができる同じ種類の量の値の集合

(出典：JIS C 61757 の 3.3.7)

3.15

分解能 (resolution)

対応する指示値が感知できる変化を生じる，測定される量の最小の変化

(出典：JIS C 61757 の 3.3.8)

3.16

精度 (measurement precision)

指定された条件の下で，同じ又は類似の対象について，反復測定によって得られる指示値又は測定値の間の一致の度合い

(出典：JIS C 61757 の 3.3.6)

3.17

測定時間，測定周期，サンプリング速度 (measurement time, time interval, sampling speed)

一回の測定に要する時間

3.18**損失 (loss)**

規定された区間で伝搬する光の減衰量

注釈 1 通常, 単位はデシベル (dB) で表す。

3.19**反射 (reflection)**

異なる物質 (屈折率) の境目で光が入射側に戻る現象

3.20**FBG, ファイバ・ブラッグ・グレーティング (fiber Bragg grating)**

光ファイバコア部分に光ファイバ軸方向の周期的な屈折率変化 (グレーティング: 回折格子) を形成した光ファイバ型デバイス

注釈 1 グレーティング部分にひずみあるいは温度変化が与えられると, ブラッグ波長が変化するため, センシングデバイスとして利用されている。

(出典: JIS C 5900 の 3.2.18 の一部変更)

3.21**曲げ損失 (bend loss)**

光ファイバの曲げによる光の損失

3.22**ファブリー・ペロー干渉計 (Fabry-Perot interferometer)**

高い反射率を持つ面状の光学素子を向かい合わせ, 多重反射を経て通過する光の干渉を利用して波長や位相差を測定するデバイス

注釈 1 光学素子の反射面間の光路長が, ひずみあるいは温度変化により変化すると, 透過特性 (干渉縞) が変化するため, センシングデバイスとして利用されている。

3.23**マイケルソン干渉計 (Michelson interferometer)**

光源から出た光がカプラで分岐され, 参照光路と測定光路を進み, 両光路の光はどちらも端部で反射し, 再度カプラで合波・干渉する光ファイバ型デバイス

注釈 1 参照光路と測定光路のわずかな光路差変化に従って干渉縞が変化するため, センシングデバイスとして利用されている。

3.24**ヘテロコア方式 (hetero core)**

光ファイバの一部に異種のコア径の光ファイバを数 mm の長さで融着・挿入することで, “ヘテロコア” 部と呼ぶ検出部を形成した光ファイバ型デバイス

注釈 1 緩やかに曲げを与えると, ヘテロコア部境界で数 dB 程度の直線的な光損失変化を生じため, センシングデバイスとして利用されている。

3.25**光学ストランド方式 (optical strand)**

長さ 1~2m の光ファイバが編み込まれた光ファイバ型デバイス

注釈 1 光ファイバ内を通過する光が編み込みの曲がり部において漏洩するマイクロベンディングによ

る強度変化から変位等が計測できるセンシングデバイスとして利用されている。

3.26

位相シフト干渉計 (phase-shifted optical interferometer)

計測光の一部の光位相を変える事で、通常の干渉計の計測範囲 (光の 1/2 波長) を超えた変動距離を測定できるデバイス

3.27

ファラデー効果 (Faraday effect)

物質を磁場の中に置いた場合、旋光性を示す現象

注釈 1 偏光面の回転角は、磁場の強さと光が透過する物質の長さとの比例する。

(出典 : JIS Z 8120 の 01.03.47 の一部修正)

4 ポイント型・多点型光ファイバセンサ

4.1 概要

光ファイバセンサの一般的な特長として、①細径・軽量、②可とう性 (外力によってしなやかにたわむ性質)、③高強度・耐久性・耐腐蝕性、④パッシブな計測部 (外部から給電不要)、⑤耐電圧性・耐電磁誘導性、⑥安全防爆性、⑦遠隔計測などがあげられる [1, 2]¹。

本マニュアルで対象とする光ファイバセンサは、光ファイバに繋がれた検出部 (センサ素子) の構成からポイント型光ファイバセンサと多点型光ファイバセンサの 2 種類に大別される (図 1)。

ポイント型光ファイバセンサとは図 1(a) に示すように、ある一点を凝視して情報を取得する方法である。この場合、測定器からはある時間にある一点の情報 (検出量) が 1 つだけ得られ、時間を t とすれば検出量は $S(t)$ と表せる。これは電気式センサの代表格である抵抗線ひずみゲージや熱電対と同じような形態であり、最もシンプルな光学部品で構築できる光ファイバセンサである。

多点型光ファイバセンサとは、図 1(b) に示すように、一本の光ファイバ上に直列上に検出部を配置したもの (準分布型ともいう)、あるいは、図 1(c) に示すような、並列型の構成をとるものがある (他に、スター型、ツリー型、バス型がある)。複数の点情報を一挙に取得できることが特長であり、それぞれの検出部での検出量は、時間差や周波数、波長などの二次的な情報 (計測量に影響されない情報) をもとに分離検出することができる。この場合、各検出部を n とすれば、検出量は $S(t, n)$ と表せる。なお、図 1(a) と図 1(b) は反射型 (反射光を観測するタイプのセンサ) で示しているが、透過型 (透過光を観測するタイプのセンサ) で構成できる計測方式もある。

また、ポイント型・多点型光ファイバセンサは、光ファイバ自身がセンサ部であるかどうかで 2 種類に分類される (図 2)。1 つは、光ファイバ自身をセンサ部とするイントリンジック (intrinsic) 型光ファイバセンサ、もう 1 つは、任意の検出部 (光ファイバの先端や途中) に特徴的な外部デバイス (ミラーや偏光板など) を設け、光ファイバは信号伝送路としてのみ機能するエクストリンジック (extrinsic) 型光ファイバセンサである。

また、多点型光ファイバセンサの中には、検出部ごとに異種の変換器 (ひずみから変位や圧力などの物理量へ変換する機構 (トランスデューサ)) を導入することで、1 つの計測器で複数の計測物理量を多点で取得することができるものもある。

¹ 角括弧内の数字は参考文献番号を示す。

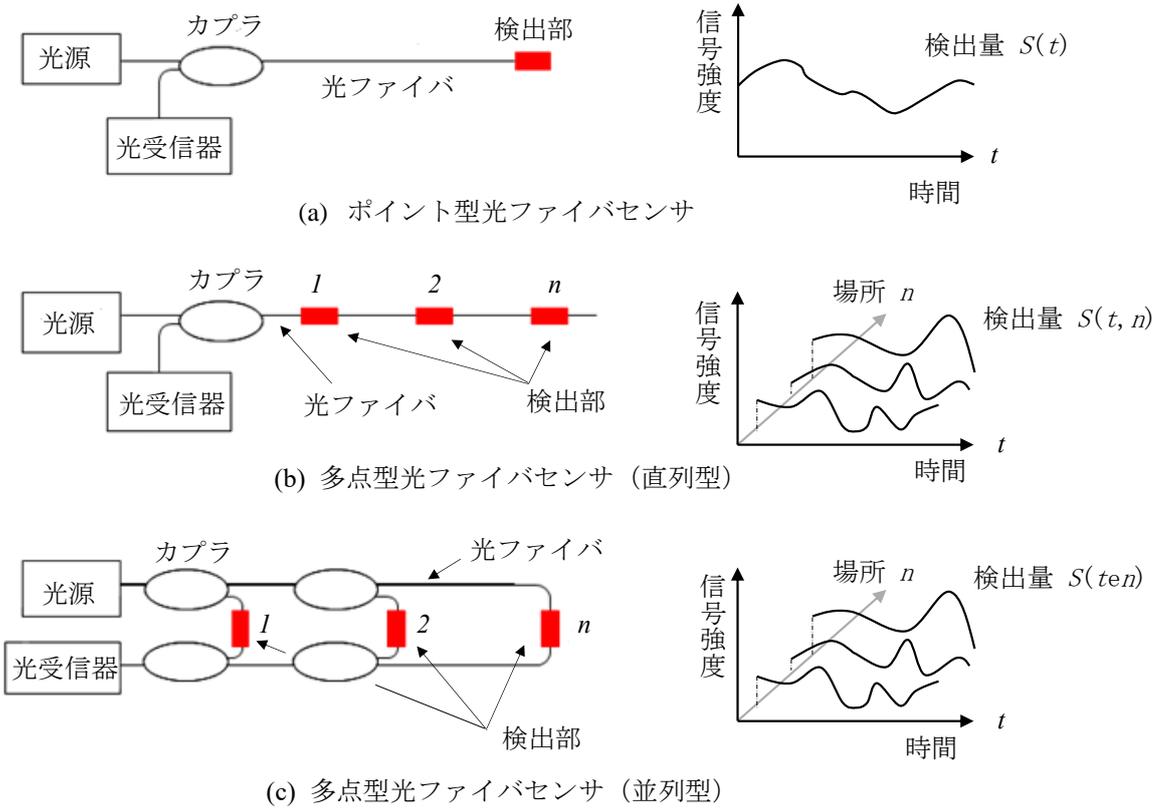
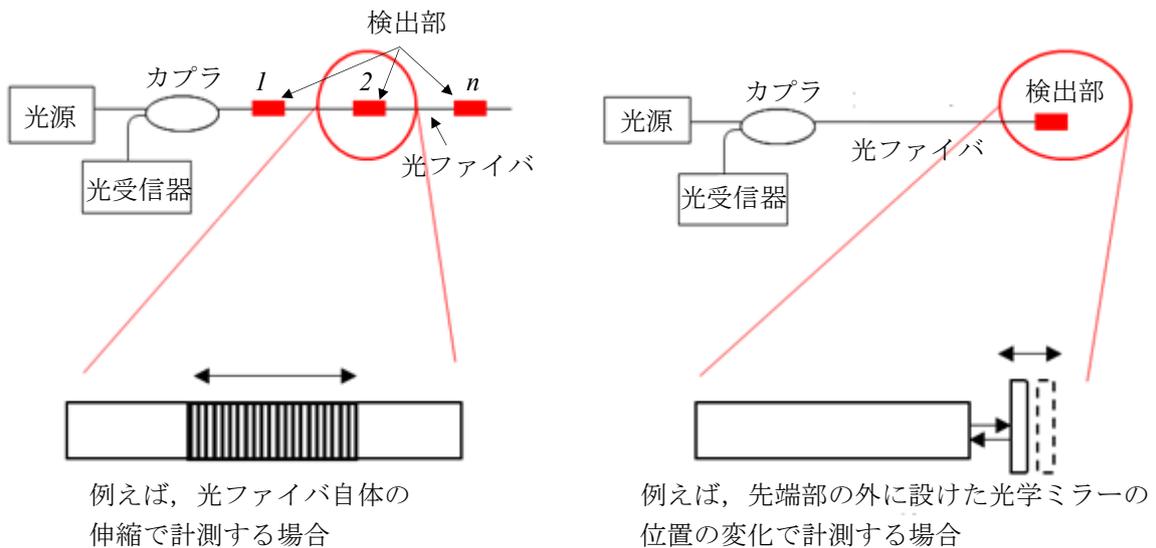


図 1—ポイント型・多点型光ファイバセンサの構成 [1]

注記 この図は、特定非営利活動法人光ファイバセンシング振興協会の許可を得て、次の規格を基に記載している。ポイント型光ファイバセンサ建設分野向けマニュアル，2022年7月



【イントリンジック型光ファイバセンサ】

【エクストリンジック型光ファイバセンサ】

図 2—イントリンジック型光ファイバセンサとエクストリンジック型光ファイバセンサ [1]

注記 この図は、特定非営利活動法人光ファイバセンシング振興協会の許可を得て、次の規格を基に記載している。ポイント型光ファイバセンサ建設分野向けマニュアル，2022年7月

4.2 ポイント型・多点型光ファイバセンサの導入手順

4.2.1 概要

図3に、与えられた条件をもとにポイント型・多点型光ファイバセンサを導入するために必要な技術的な手順（フロー）を示す。4.2.2～4.2.3で主要な検討項目である目的、対象、要求仕様などの与条件の確認および光ファイバセンサシステムの導入にあたって検討すべき計測方式、体制、システム検証などについてそれぞれ記載する。また、4.2.4ではポイント型・多点型光ファイバセンサシステムでのデータの取扱いについて記載する。

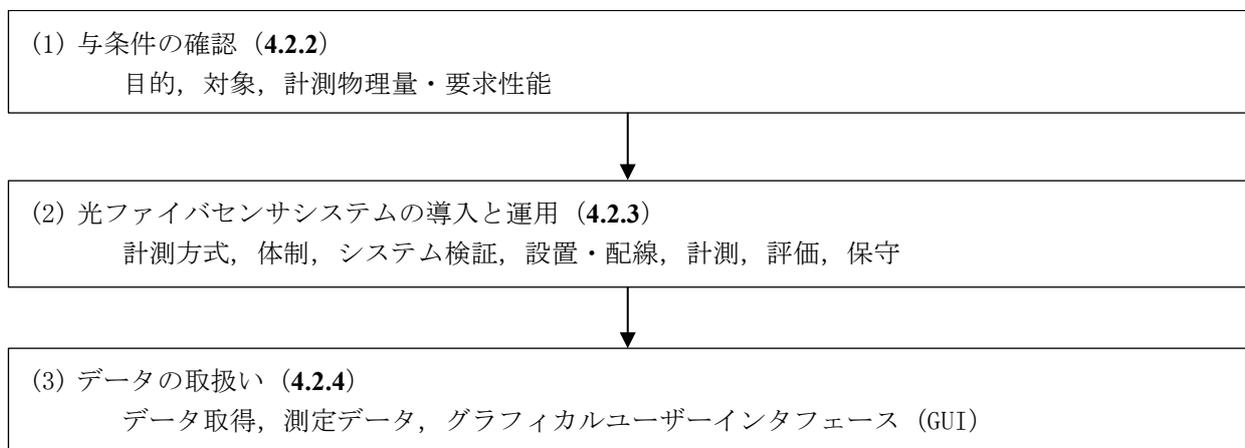


図3-導入のフロー [1]

注記 この図は、特定非営利活動法人光ファイバセンシング振興協会の許可を得て、次の規格を基に記載している。ポイント型光ファイバセンサ建設分野向けマニュアル，2022年7月

4.2.2 与条件の確認

ポイント型・多点型光ファイバセンサを導入するにあたっては、まず計測の目的や対象、計測する物理量・要求性能を明らかにしておく必要がある。与条件について以下に示すような順序で整理する。

a) 計測目的

はじめに、計測の目的を明確にすることが重要である。その目的をもとに、光ファイバセンサの要求性能や適用期間などが決められるためである。代表的な計測の目的についてその概要を以下に示す。

- ・ 施工管理の例：施工中の建設構造物を対象に、その変位、ひずみ、温度、傾斜、周辺地下水位などを把握し、施工品質や安全性を向上することを目的とする（5.2.3参照）。
- ・ 維持管理の例：供用中の建設構造物を対象に、その変位、ひずみ、温度、傾斜、周辺地下水位、外乱振動や揺れの固有周期などを把握し、継続使用安全性の判断、点検作業の補助などへ貢献することを目的とする（5.1.2, 5.1.3, 5.2.2, 5.3.2, 5.4.2, 5.4.3, 5.5.2参照）。
- ・ 設計検証の例：施工中の建設構造物を対象に、その変位やひずみ状態を把握し、新たな材料や工法、設計方法などを検証することを目的とする（5.1.4参照）。

維持管理については、上記の他に、診断の補助、補修・補強の効果の確認、緊急時対応の補助など、その目的を明確にすることが重要である。

b) 計測対象

対象となる建設構造物の構造種別（コンクリート、鋼構造、土工構造、岩盤構造など）はもちろん、光ファイバセンサの検出部および光ファイバリード線の設置環境（貼付・埋込、温湿度環境など）、測定器の設置環境、計測期間などの項目を整理する。その整理によって、開発規模の見積もりのために必要な数量がおおよそ算出でき、また、システム全体構成図（光ファイバセンサの検出部～光ファイバリード線～測定器～電源など）を作成できることが望ましい。例えば、光ファイバリード線の敷設範囲（全長）やそのルート、設置に伴う仮設の要否、必要なケーブル養生の程度、また測定器までの延伸や接続ボックスの要否、ケーブル本数と光スイッチの要否、測定器設置場所の電源や空調環境なども与条件として整理する。計測期間とともに、常設または定期計測（頻度）などについても決定しておくのが良い。

c) 計測物理量および要求性能

対象となる建設構造物の変状を検知・把握するために最も適した計測物理量を選択する。日本国内で入手可能な建設分野向けポイント型・多点型光ファイバセンサには、ひずみ、変位、傾斜、温度、圧力、水位、振動など、多岐にわたる物理量に対応したセンサが揃っている。

計測物理量を選択したのち、想定される変化量から測定範囲（センサが計測できる範囲）や、計測結果を分析するために必要な分解能、精度、測定時間（サンプリング速度）、計測箇所、計測点数を明らかにしておく。

“測定範囲”は、センサ原理や変換器の機構の違いによって異なるので、注意が必要である。

“分解能”は、検知（読み取り）できる最小の変化量であり、検知すべき変化の大きさに対して最低でも 1/5～1/10 程度の分解能を有することが望ましい。

“精度”は、センサの出力値に関する再現性（バラツキ）である。まったく同一の物理現象を計測した時、継続的あるいは断続的に繰り返して、ある一定の範囲で出力できる性能を示し、標準偏差（ 1σ など）や %F.S.（フルスケールに対する百分率）で表されることが多い。

“測定時間”については、検知すべき変化がどれくらいの時間で変化しているか（分、秒、ミリ秒）を想定して、必要なサンプリング速度を備えたセンサを選択する。なお、“サンプリング速度”は、“スキャン周波数”、“サンプリング周波数”（サンプリング速度の逆数）とも呼ばれている。

4.2.3 光ファイバセンサシステムの導入と運用

計測目的に応じたポイント型・多点型光ファイバセンサを導入するにあたっては、まず計測方式や配置・配線などを決定する。必要に応じたユーザーインターフェースなども含め、これらを総じて光ファイバセンサシステムと称する。

a) 計測方式の決定

ポイント型・多点型光ファイバセンサの原理には、FBG（ファイバ・ブラッグ・グレーティング：fiber Bragg grating）方式、ファブリ・ペロー（Fabry Perot）干渉方式、マイケルソン（Michelson）干渉方式、ヘテロコア（hetero core）方式、光学ストランド（optical strand）方式などがある。FBG 方式は光ファイバ自体の伸び縮み、ファブリ・ペロー干渉方式は相対する光学素子間の光路長、マイケルソン干渉方式は光ファイバ先端部とミラー間の光路長、ヘテロコア方式は異径コア部分での透過損失、光学ストランド方式は編み込んだ部分での曲げ損失などを観測することで物理量を導いている。

例えば、FBG 方式とファブリ・ペロー干渉方式を比較した場合、ファブリ・ペロー干渉方式は FBG 方式に比べて狭い測定範囲を細かい分解能で計測することが得意である。一方、FBG 方式はファブリ・ペロー干渉方式よりも大きな変化量まで検出できる。ただし、変換機構（トランスデューサ）によって異なってくる場合もある。

ンサの計測結果を理論値やその他の計器（ひずみゲージなど）と比較する。また、繰り返し試験をすることで、再現性の確認を行うことが望ましい。

d) 設置と配線

光ファイバセンサの検出部の設置および光ファイバリード線の配線を行う。光ファイバセンサの検出部および光ファイバリード線のそれぞれの特性をよく理解したうえで設置作業を行い、設置やそれに前後する他作業（ケーブル配線）などによって光ファイバの損傷や断線がないように十分注意する必要がある。

設置・配線の進捗に応じて、光ファイバセンサの検出部および光ファイバリード線の健全性を確認できるようにしておき、損傷や断線があった場合に、迅速な対応ができるように進めることが望ましい。光ファイバリード線の健全性の確認方法としては、可視光による導通状態のチェック、実際の測定器による簡易動作確認などが考えられ、その目的に応じて使い分ける必要がある。

また、光ファイバセンサの検出部の設置および光ファイバリード線の配線にあたって必要な仮設（足場などの安全設備、作業照度確保のための電源や照明、接着剤取扱いのための養生シートなど）を十分検討のうえ準備しなければならない。こうした仮設は、作業する季節や時間帯、並行する他作業状況などによって大きく影響を受けるため、事前に現地を確認することが望ましい。

e) 計測

設置された光ファイバセンサの検出部および光ファイバリード線を測定器と接続し、計測を行う。多点型センシングの場合は、計測に先立ち、設置された光ファイバセンサの検出部の設置位置を入念に確認する必要がある。事前の準備として、検出部近傍などに番号タグを付しておくことよい。測定前には、センサ番号、設置位置、測定画面上のデータ番号と照合しておく。また、可能であれば人為的に疑似信号を与えて予備計測を何度か行い、所定の性能が達せられていることを確認するとともに、一回の計測にどのくらいの時間がかかるか、一回のデータでどのくらいの記録容量を必要とするかなどを確認しておくことが望ましい。

なお、目的に応じて、計測頻度や計測期間は異なる。定期計測は、測定器を現場に常設せず、定期的に測定器を持参するものである（表3）。現地に測定器一式を運搬するため、そのアクセス方法を確保する必要がある。また、測定毎に光ファイバリード線の脱着を繰り返すため、その接続端部が汚損したりすることがないように清掃と養生に留意する必要がある。

常時計測は、測定器を現地に常設しておくものである。測定器を常時稼働させるため、安定した電源を確保する必要がある。特に、施工中の現場においては、電源が不安定な場合が多く、瞬停などに対する措置が必要である。また、記録されるデータが多い場合は、測定とデータ回収の頻度に応じた保存領域を確保しなくてはならない。

測定器の設置場所は、風雨影響を防ぐだけでなく、安定した空調環境を確保する必要がある。冬場の低温ならびに夏場の高温下にさらされた場合に、測定器が故障をする場合がある。長期計測の場合、特に留意が必要である。そのためにも計測期間中、測定が順調に行われていることを確認できるような手段を確保することが望ましい。

表3—計測形態による測定環境の留意事項 [1]

	概要	主な留意事項
常時計測	<ul style="list-style-type: none"> 測定器を現地に常設 	<ul style="list-style-type: none"> 安定した電源、空調環境の確保 十分なデータ保存領域（記録されるデータが多い場合） 稼働状況の確認手段の確保
定期計測	<ul style="list-style-type: none"> 測定器を現地に定期的に持参 	<ul style="list-style-type: none"> アクセス方法、動線の確保 計測毎に光ファイバリード線の接続端部の清掃と養生

注記 この表は、特定非営利活動法人光ファイバセンシング振興協会の許可を得て、次の規格を基に記載している。ポイント型光ファイバセンサ建設分野向けマニュアル、2022年7月

f) 評価

得られた計測結果をもとに目的に応じた評価を行う。

計測方式に問わず測定器から得られるデータは、時間 t と位置 n (ポイント計測の場合は $n=1$) を変数とした信号 $S(t, n)$ として出力される。その後、信号処理系により、計測物理量 $M(t, n)$ (ひずみ、変位、傾斜、温度、圧力、水位、加速度など) に変換される。変換手順はセンサの変換機構 (トランスデューサ) に強く依存するため、センサの測定原理についてはよく把握しておく必要がある。

データ処理は、現場でリアルタイムに行うか、あるいはオフラインで後処理するか、計測目的や期間などに応じて、そのシステム化の要否を検討する (4.2.4 参照)。測定器・信号処理系からの情報をもとに計測対象の状態を把握し、ユーザが何らかの意思決定をしたり、上位系から別のシステムを介して計測対象を制御したりするといった高度な要求がある場合は、経験や物理モデルをもとにどのような情報を得るべきか事前によく検討した上で、測定器から上位系の関係を設計・構築すべきである。

g) 保守

保守点検は、光ファイバセンサシステムが性能を保持していることの確認、劣化状況の把握、性能を一定期間維持するための対策 (校正、劣化防止処置、修理など) を実行することである。点検は1年～3年毎に実施するケースが多いが、使用している光ファイバセンサシステムによって、保守点検の具体的内容や採用される機器および方法が変わるので、事前に検討のうえ実施するべきである。

保守点検項目としては、①光ファイバリード線の健全性 (損失、断線、特異な反射など) の確認、②光ファイバセンサの光源、光受信器、検出部の健全性 (光源の波長や強度の変化、光受信器の性能、トランスデューサの動作など) の確認、③使用環境 (温度など) によっては、測定器内には経年変化があり得るデバイス (例えば、光源や機械式トランスデューサなど) があるため、②の結果も踏まえて必要により、修理、校正、交換などを実施する。具体的には、測定器サプライヤなどに確認することを推奨する。

4.2.4 データの取扱い

a) データ取得

測定器からのデータ取得方法は、計測頻度や期間に大きく関係する (表 4)。

定期計測であれば、データをすべて記録することで良いが、常時計測の場合には、その取扱いを検討する必要がある (表 4)。

現地で対応できる担当者がある場合は、データ取得上大きな課題はない。一定間隔での巡回などを通じて動作確認ができるからである。そうでない場合、何らかの不具合による欠損データ期間を短くするために遠隔から監視できる方法を準備しておくことが望ましい。そのためには、計測画面などで稼働状況の確認が可能である、あるいは記録データの更新状況の確認が可能である、などの手段を検討する必要がある。

表 4—計測形態によるデータ取得の留意事項 [1]

	現地確認	遠隔確認
常時計測	<ul style="list-style-type: none"> 担当者などによるデータ取得 (メモリなど) 	<ul style="list-style-type: none"> インターネット経由によるデータ取得 (データ形式によってデータサイズが異なるため注意が必要) カメラによる計測器の稼働状況確認 ファイルサイズなどによる記録データの更新状況確認
定期計測	<ul style="list-style-type: none"> その場でのデータ取得 (メモリなど) 	<ul style="list-style-type: none"> 不要

注記 この表は、特定非営利活動法人光ファイバセンシング振興協会の許可を得て、次の規格を基に記載している。ポイント型光ファイバセンサ建設分野向けマニュアル，2022年7月

b) 測定データ

測定器から得られるオリジナルデータ（生データ）は光学的な変化量になるが、測定方式の違いによってそれが波長変化量であったり、光強度変化量であったりと異なることが通常である。光学的なデータ（生データ）を記録しておくことで、万が一の故障の場合に何が原因で、いつから異常なのかを突き止めやすいという利点があるが、データ量が大きくなるという欠点もある。従って、計測器によっては光学的な変化量は記録せず、その内部で物理量に変換（演算）している場合も多い。事前に測定器サプライヤと、何が測定器内部に記録されているのか、どんなファイル形式で記録されているのか、どれくらいのデータ量になるのか、を確認しておくことが望ましい。

また、測定データ形式はコンピュータのエディタやエクセルなどで簡単に表示できるものかどうか、文字列をエンコードタイプで取得できることもシステム化の重要なチェックポイントである。主なデータ形式、エンコードタイプを示す。

- － データ形式：Variable（CSV，JSON）等
- － 文字列のエンコードタイプ：ASCII文字（テキスト）
- － データ容量：測定点数，データ項目，サンプリング速度，記述形式等により，測定データ容量は増減する。これは，測定器内の蓄積可能データ量，制御用パソコンの蓄積可能データ量，通信帯域などに影響するため，留意する必要がある。

c) グラフィカルユーザーインターフェース（GUI：見える化）

測定結果に基づく警報表示，測定システムの不具合発生時の警告表示あるいは通常動作中の測定値の表示をわかりやすく示すために，グラフィカルユーザーインターフェース（GUI：見える化）が重要である。

文献[3]では，計測された多点のひずみの時刻歴から構造物のたわみ分布，構造物の振動特性，構造物を通る荷重の量と分布，構造物の損傷検知を算出するツールが紹介されている。これは，ひずみ計測データより，GUI画面内の「振動」ボタンをクリックすれば，固有振動特性と振動のひずみモードが表示され，「たわみ」ボタンをクリックすれば，たわみ最大値発生時刻のひずみ分布，たわみ分布および最大たわみの時刻歴が表示される。たわみの閾値の設定ができ，最大たわみが閾値を超えたら警報が発信される。同様に「荷重」ボタンをクリックすれば，荷重測定結果と荷重時刻歴が表示され，最大荷重が閾値を超えたら警報が発信される。損傷は，荷重変動に依存しない構造物のマクロひずみモードベクトルの変動を指標にして，損傷発生時刻と発生位置を検知して，閾値を超えたら警報が発信される。

5 適用例

5.1 ひずみセンシングへの適用例

5.1.1 概要

本項では，近年実施された実際のひずみセンシングへの主な導入例を通じて，具体的な技術的留意点などとともに，導入のためのコスト情報，得られた結果に対する効果などを提示する。導入判断の一助とともに，スムーズな導入の手助けになることを期待する。

5.1.2 FBG式ひずみセンサの橋梁への適用事例

FBG 式ひずみセンサの橋梁（妙高大橋，鉄道高架橋，高速道路橋床版，気仙沼大島大橋，太陽電池アレイ支持物，鋼橋）への適用例について，文献 [1] に詳しい。

5.1.3 耐熱 FBG センサによるひずみセンシング

耐熱 FBG センサによるひずみセンシングへの適用例について，文献 [1, 4, 5] に詳しい。

5.1.4 ファブリ・ペロー干渉方式ひずみセンサによる道路舗装ひずみモニタリング

ファブリ・ペロー干渉方式ひずみセンサによる道路舗装ひずみモニタリングへの適用例について，文献 [1, 6] に詳しい。

5.2 変位センシングへの適用例

5.2.1 概要

本項では，近年実施された実際の変位センシングへの主な導入例を通じて，具体的な技術的留意点などとともに，導入のためのコスト情報，得られた結果に対する効果などを提示する。導入判断の一助とともに，スムーズな導入の手助けになることを期待する。

5.2.2 ヘテロコア方式変位センサによる橋梁支承部の変位計測

ヘテロコア方式変位センサによる橋梁支承部の変位計測への適用例について，文献 [1] に詳しい。

5.2.3 光学ストランド方式変位センサによる橋梁吊材の張力管理

光学ストランド方式変位センサによる橋梁吊材の張力管理への適用例について，文献 [1, 7, 8] に詳しい。

5.3 圧力センシングへの適用例

5.3.1 概要

本項では，近年実施された実際の圧力センシングへの主な導入例を通じて，具体的な技術的留意点などとともに，導入のためのコスト情報，得られた結果に対する効果などを提示する。導入判断の一助とともに，スムーズな導入の手助けになることを期待する。

5.3.2 ファブリ・ペロー干渉方式圧力センサによる間隙水圧モニタリング

ファブリ・ペロー干渉方式圧力センサによる間隙水圧モニタリングへの適用例について，文献 [1] に詳しい。

5.4 水位センシングへの適用例

5.4.1 概要

本項では，近年実施された実際の水位センシングへの主な導入例を通じて，具体的な技術的留意点などとともに，導入のためのコスト情報，得られた結果に対する効果などを提示する。導入判断の一助とともに，スムーズな導入の手助けになることを期待する。

5.4.2 FBG 方式光ファイバ水位計を用いた河川堤防内水位の長期計測

FBG 方式光ファイバ水位計を用いた河川堤防内水位の長期計測への適用例について、文献 [1] に詳しい。

5.4.3 ヘテロコア方式水位センサによる水力発電所の貯水タンクの長期間測定

ヘテロコア方式水位センサによる水力発電所の貯水タンクの長期間測定への適用例について、文献 [1] に詳しい。

5.5 加速度センシングへの適用例

5.5.1 概要

本項では、近年実施された実際の加速度センシングへの主な導入例を通じて、具体的な技術的留意点などとともに、導入のためのコスト情報、得られた結果に対する効果などを提示する。導入判断の一助とともに、スムーズな導入の手助けになることを期待する。

5.5.2 ヘテロコア方式加速度センサによる橋梁の振動計測

ヘテロコア方式加速度センサによる橋梁の振動計測への適用例について、文献 [1] に詳しい。

5.6 地震センシングへの適用例

5.6.1 概要

本項では、近年実施された実際の地震センシングへの主な導入例を通じて、具体的な技術的留意点などとともに、導入のためのコスト情報、得られた結果に対する効果などを提示する。導入判断の一助とともに、スムーズな導入の手助けになることを期待する。

5.6.2 位相シフト光干渉方式による火山地震の観測

位相シフト光干渉方式による火山地震の観測への適用例について、文献 [1, 9] に詳しい。

参考文献

- [1] 特定非営利活動法人光ファイバセンシング振興協会, ポイント型光ファイバセンサ建設分野向けマニュアル, 2022年7月
- [2] 保立和夫, 村山英晶 : 光ファイバセンサ入門, 光防災センシング振興協会, 2012.
- [3] 楊克儉 : 光ファイバセンシングデータを活用した構造物の健康診断, OPTRONICS, Vol.33, No.7, pp. 90-93, 2014年7月
- [4] Akihiko Nishimura, et al. : Thermal Management of Heat Resistant FBG Sensing for High Temperature Industrial Plants, EJAM, Vol. 9-2, pp. 52-59, 2017.
- [5] 西村昭彦 他 : レーザ加工で作製した耐熱 FBG センサの鉄筋コンクリート柱への現場実装の試み (特集 : 光計測技術) , 光技術コンタクト, 58(6), pp. 25-31, 2020-06, 光学工業技術協会
- [6] Moinul Mahdi, et al. : Experimental Investigation of Wheel-Load Induced Strain Responses in Roller Compacted Concrete Pavements, LNCE 96, pp. 196-205, 2020.
- [7] <https://www.kozobutsu-hozen-journal.net/walks/11642/>
- [8] 永谷秀樹 : 自立型無線センサ LIRIS を用いたローゼ桁の吊材取替工事の張力モニタリグ, 宮地技報 No.33, pp. 12-19, 2020.
- [9] Yoshida, M., et al. : Real-time displacement measurement system using phase-shifted optical pulse interferometry, Application to a seismic observation system, Japanese Journal of Applied Physics 55 (2), pp. 22701-1 – 22701-9, 2016-01-18.

OITDA/TP 38/FS : 2023

ポイント型・多点型光ファイバセンサ 建設分野向けマニュアル

解 説

この解説は、本体に記載した事柄を説明するもので、技術資料（TP）の一部ではない。

1 制定の趣旨

この技術資料は、建設分野などを中心に様々な測定対象物への適用が進んでいるポイント型・多点型光ファイバセンサについて、それらの建設分野への導入をより容易にすることを意図して、同センサの使用方法和留意点について情報やノウハウを提供する。

2 制定の経緯

ポイント型・多点型光ファイバセンサは、建設分野などを中心に様々な測定対象物への適用が進められ、実績が蓄積されてきた。一方、それらの取り組みは個別対応がほとんどであり、多種多様な同センサならびにその取り組み状況が俯瞰できる資料は見あたらず、同センサの特長、特有の留意事項や導入手順などに関する情報が十分に周知されておらず、その導入に躊躇したり導入に至っていない場合も多いと考えられる。

2022年7月に特定非営利活動法人光ファイバセンシング振興協会において“ポイント型光ファイバセンサ建設分野マニュアル”が発刊された。これは、光ファイバ敷設からデータ評価までを含めたユーザ視点でとりまとめた基本的資料である。同マニュアルは、ポイント型および多点型光ファイバセンシング技術の適用を容易にすることを目的とし、同センサの概要とともに、その利点や留意事項、また活用方法を事例として紹介することで、導入を進めるための一助となることが期待されている。

この度、特定非営利活動法人光ファイバセンシング振興協会のご理解により、さらに広範囲のユーザにポイント型・多点型光ファイバセンサ導入の対象を広げるべく OITDA 技術資料（TP）として発刊することに同意をいただいた。特定非営利活動法人光ファイバセンシング振興協会発刊のマニュアルに記載されている適用例などは削除し、導入手順にターゲットを絞って再構成して作成を行うこととした。

以上の理由によって、光ファイバセンサ標準化部会は、技術資料（TP）としてまとめた。本技術資料をもとに市場拡大ならびに今後の標準化提案へと繋げていく。

本 OITDA 技術資料は、2023年5月から2023年8月に光ファイバセンサ標準化部会で審議された。

3 審議中に特に問題となった事項

この技術資料の作成にあたり、審議中に問題となった事項及び審議結果は、次のとおりである。

- a) 特定非営利活動法人光ファイバセンシング振興協会“ポイント型光ファイバセンサ建設分野マニュアル”を再構成して TP とするうえで、著作権の問題が無いように注意して TP を作成する必要がある。また、図表を利用する場合は、許諾に関する書面の手続きが必要であり、また、本文中への注記が必要との指摘があった。TP 作成・検討メンバで審議し、注記の記述、必要な書面の手続きをとることで TP の作成作業を進めることとした。
- b) 特定非営利活動法人光ファイバセンシング振興協会“ポイント型光ファイバセンサ建設分野マニュアル”を再構成するにあたり、2023 年に制定された JIS C 61757:2023 に沿って用語を見直した。資料名称も、“ポイント型光ファイバセンサ建設分野マニュアル”を“ポイント型・多点型光ファイバセンサ建設分野マニュアル”とした。

4 構成要素

主な項目は次のとおりである。

- a) 適用範囲（簡条 1）

この技術資料は、ポイント型・多点型光ファイバセンサの建設分野への導入を促進すべく、導入マニュアルとしてまとめた。
- b) 引用規格（簡条 2）

関連する JIS C 61757, JIS C 5900, JIS C 6820, JIS C 6850 および JIS Z 8120 を引用した。
- c) 用語及び定義（簡条 3）

この TP に記載する主なポイント型・多点型光ファイバひずみセンサの用語及び定義を規定した。
- d) ポイント型・多点型光ファイバセンサ（簡条 4）

ポイント型・多点型光ファイバセンサの概要および導入にあたっての与条件の確認手順について記載した。また、光ファイバセンサシステムの導入と運用導入にあたっていくつかの留意すべき事項（計測方式の決定、体制の確認、システムの検証、設置と配線、計測形態、評価、保守、データの取扱い）についてまとめた。
- f) 適用例（簡条 5）

ひずみセンシング、変位センシング、圧力センシング、水位センシング、加速度センシング、地震センシングへの適用例について文献の紹介を行った。

5 TP 作成・検討メンバ

TP 作成・検討メンバの構成表を、次に示す。

氏名	所属
足立正二	特定非営利活動法人光ファイバセンシング振興協会
町島祐一	株式会社レーザック
今井道男	鹿島建設株式会社

(執筆者 足立 正二)

6 原案作成部会の構成表

原案作成メンバの構成表を、次に示す。

光ファイバセンサ標準化部会 構成表

(2023年4月～2023年8月)

	氏名	所属
(議長)	村山英晶	東京大学
(メンバ)	足立正二	特定非営利活動法人光ファイバセンシング振興協会
	飯田大輔	日本電信電話株式会社
	今井道男	鹿島建設株式会社
	大森賢一	株式会社フジクラ
	熊田亜紀子	東京大学
	黒澤 潔	元東京電力株式会社
	小泉健吾	沖電気工業株式会社
	佐々木 一正	産業技術大学院大学
	佐々木 勝	Orbray 株式会社
	高橋正雄	東芝インフラシステムズ株式会社
	忠隈昌輝	古河電気工業株式会社
	田畑和文	オプトオール株式会社
	福澤 亨	横河電機株式会社
	藤田圭一	長野計器株式会社
	増田岳夫	lupo bianco
	町島祐一	株式会社レーザック
	山口達史	株式会社東光高岳
(オブザーバ)	加藤俊二	国立研究開発法人土木研究所
	小林健	経済産業省
	斉藤崇記	アンリツ株式会社
	佐藤功紀	古河電気工業株式会社
	渋谷 隆	株式会社白山
	清水祐貴	一般財団法人日本規格協会
	森 洸遥	日本電気株式会社
	山本健一	経済産業省
	依田幸英	日本電気株式会社
(事務局)	村谷博文	一般財団法人光産業技術振興協会
	瀬戸山 徹	一般財団法人光産業技術振興協会

(執筆者 足立 正二)

禁無断転載

この OITDA 規格の TP (技術資料) は, 光産業技術振興協会光ファイバセンサ標準化部会で審議・取纏めたものである。

この資料についてのご意見又はご質問は, 下記にご連絡ください。

TP (技術資料) :

ポイント型光ファイバセンサ建設分野向けマニュアル

(Implementation Manual for Single/Multi Point
Optical Fiber Sensor for Civil Engineering Field)

TP 番号 : OITDA/TP 38/FS : 2023 第 1 版

公表日 : 2023 年 月 日

発行者 : 財団法人 光産業技術振興協会

住所 : 〒112-0014 東京都文京区関口 1-20-
10

住友江戸川橋駅前ビル 7F

電話 : 03-5225-6431 FAX : 03-5225-6435

e-mail : opt-st@oitda.or.jp (標準化室)