

# OITDA規格

Standard

光産業技術振興協会規格

Standard of Optoelectronics Industry and Technology Development Association

## 光ファイバ電流センサ

(Fiber optic sensors – Polarimetric current measurement)

OITDA FS 01 : 2017

第 1 版

制定 2017 年 5 月

審議部会

ファイバオプティクス標準化部会

光ファイバセンサ専門部会

Fiber Optics Standardization Meeting

Optical Fiber Sensors Submeeting

**OITDA**

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
3.1 一般用語	1
3.2 光ファイバ電流センサの原理, 動作に関する用語	2
3.3 構成に関する用語	2
3.4 性能に関する用語	2
3.5 その他	3
4 光ファイバ電流センサの構成	3
4.1 一般事項	3
4.2 センサの分類	4
5 特性試験	4
5.1 一般事項	4
5.2 入出力特性	4
5.3 ウォームアップ時間	9
5.4 取得パラメータリスト	9
5.5 パラメータ依存性	10
5.6 外部環境依存性	12
附属書 A (参考) 光ファイバ電流センサの原理	19
附属書 B (参考) 光ファイバ電流センサ技術の特徴	24
附属書 C (参考) 光ファイバ電流センサの必要性能	25
附属書 D (参考) 他相磁界が加わった時の光ファイバ電流センサ出力	28
参考文献	29
解説	30

## まえがき

電流の計測は、産業や社会を支える各種設備の制御及び状態監視を行う上で、基本的かつ重要なものである。電流計測を行うための有効な手段として、ファラデー効果を利用する“光ファイバ電流センサ”技術が開発された。同センサは、電流の計測に従来から用いられてきた電磁誘導を原理とする電流センサ技術の問題を解決できることから、電力設備を中心に、様々の分野で適用が進められている。

このセンサ技術が、小型軽量で絶縁が容易な高精度計測を実現できる可能性をもつことから、今日まで、様々の機関によって、様々の適用を想定した、異なる方式の光ファイバ電流センサ技術が開発されてきた。この経緯から、現存する光ファイバ電流センサは、方式、測定対象電流、センサの構成、信号処理、取付け方法などが多岐にわたり、想定する用途も様々である。このことから、新たに光ファイバセンサの適用を行う場合には、用途ごとに、センサの特性や機能についての試験や設計が行われている。

この状況から、光ファイバ電流センサの普及のためには、センサ技術を応用して組み立てた装置、すなわち“光ファイバ電流センサ”の性能や機能を表す項目を明らかにし、あわせてそれらの試験を行う手段を明らかにすることが重要である。このための規格がないことが、センサの供給者と使用者との商取引上の問題となり、光ファイバ電流センサの適用範囲拡大を妨げている。この解決のために、規格化が必須である。

この規格に関して、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



# 光ファイバ電流センサ

## Fiber optic sensors – Polarimetric current measurement

### 序文

この規格は、光ファイバ電流センサの用語、構成及び特性試験を規定する。

### 1 適用範囲

この規格は、光ファイバ電流センサの用語、構成及び特性試験を規定する。

なお、使用者の光ファイバ電流センサへの要求仕様が適用ごとに異なることから、この規格では要求性能値を定めない。要求性能値は、具体的な適用に当たって行われる設計で定められる。

### 2 引用規格

この規格には引用規格はない。

### 3 用語及び定義

この規格で用いる主な用語及び定義は、次による。

#### 3.1 一般用語

##### 3.1.1

#### 通電コイル (current conducting coil)

光ファイバ電流センサの特性試験を行うとき、光ファイバ形又はバルク形センサ素子に被測定電流の作る磁界に等価な磁界を印加するために用いる導線でできた電流を流すための空芯コイル。

#### 3.2 光ファイバ電流センサの原理及び分類に関する用語

##### 3.2.1

#### ファラデー効果 (Faraday effect)

物質に外部磁界をかけたときに生じる円複屈折性。

**注記** ファラデー効果は磁気光学効果の一種。磁気光学効果は分子又は結晶の光学的性質に対して磁界が及ぼす効果の総称で、ファラデー効果の他に、ゼーマン効果、磁気複屈折、磁気円二色性、磁氣的カー効果、磁気振動吸収などがある。

##### 3.2.2

#### 強度変調方式 (intensity modulation method)

光ファイバ電流センサにおいて、光をセンサ素子及び偏光分離素子に順に通すことによって、偏光面の回転を光の強度に変換し、被測定電流に対応する光信号を作り出す方式。

##### 3.2.3

#### 干渉方式 (interferometric method)

光ファイバ電流センサにおいて、センサ素子を通過した光の左円偏光成分及び右円偏光成分を同一の偏光状態に変換させたのち、両者を干渉させて光の強度に変換し、被測定電流に対応する光信号を作り出す

方式。

### 3.3 光ファイバ電流センサの構成に関する用語

#### 3.3.1

##### 光ファイバ電流センサ (optical fiber current sensor)

ファラデー効果を利用した電流検出の機能をもつ部品、モジュール、サブアッセンブリ、アッセンブリ又は装置。

**注記** 光ファイバ電流センサは、センサ部、光伝送部及び信号処理部で構成する。箇条 4 参照。

#### 3.3.2

##### 光学部 (optical part)

光ファイバ電流センサにおいてレンズ、プリズム、ミラー、位相変調子などの光学素子からなる部。

**注記** センサ部を光学部ということもあるが、配置を示しているセンサ部 (箇条 4 参照) に対して、その構成部材に注目して、光学部と呼び、センサ部と区別する。

#### 3.3.3

##### スパン光ファイバ (spun fiber)

光ファイバの線引き工程において、プリフォームを高速回転させて製造した光ファイバ。

### 3.4 光ファイバ電流センサの性能に関する用語

#### 3.4.1

##### ウォームアップ時間 (warm-up period)

光ファイバ電流センサを起動後、全ての性能が定格を満足するまでに必要な時間。

**出典** EIAJ TT-5006

#### 3.4.2

##### 定格電流 (rated current)

光ファイバ電流センサにおいて、規定の条件のもとで、所定の試験によって性能を示す場合に基準となる被測定電流の値。

#### 3.4.3

##### 最大測定可能電流 (maximum measurable current)

光ファイバ電流センサにおいて、測定が可能な被測定電流の最大値。

#### 3.4.4

##### 最低測定可能周波数 (minimum measurable frequency)

光ファイバ電流センサにおいて、測定が可能な被測定電流の最低周波数。

#### 3.4.5

##### 最高測定可能周波数 (maximum measurable frequency)

光ファイバ電流センサにおいて、測定が可能な被測定電流の最高周波数。

#### 3.4.6

##### 過渡特性 (transient characteristics)

被測定電流が既定の電流値から短期的に変化するとき、光ファイバ電流センサが出力する電流値が変化する現象。

#### 3.4.7

##### 動作温度範囲 (operating temperature range)

光ファイバ電流センサが規定の性能を満足する温度の範囲。

**注記** 使用温度範囲ともいう。

### 3.4.8

#### 外部磁界 (external magnetic field)

光ファイバ電流センサにおいて、被測定電流が流れている導体以外から生じる磁界。

### 3.4.9

#### 外部導体 (outer conductor)

光ファイバ電流センサにおいて、被測定電流が流れている導体以外の導体。

## 3.5 その他の用語

### 3.5.1

#### 要求仕様 (required specifications)

光ファイバ電流センサが満たされなければならない性能。

## 4 光ファイバ電流センサの構成

### 4.1 一般事項

光ファイバ電流センサの構成を図 1 に示す。各部位で異なる環境下にさら(曝)すため、この規格では、その配置に着目し、三つの部位に分ける。

光ファイバ電流センサは、導体に近接してファラデー効果を受けるセンサ素子を配置した部分と、電流演算値を出力する処理回路を収納した部分とを光ファイバを介して連結し、それぞれの部分を異なった環境下にさら(曝)す場合が一般的である。この場合、センサ素子が配置され、センサ素子と同一環境下にさら(曝)す部分をセンサ部、電流演算値を出力する処理回路を収納した部分を信号処理部、センサ部と信号処理部とを結ぶ光ファイバを光伝送部という。各部の具体的な機能については、**附属書 A** を参照。

**注記** センサ部にはセンサ素子のほか、偏光及び位相を制御するための素子を同時に収納することがある。信号処理部には、光源、電源、光検出器のほか、偏光及び位相を制御するための素子が同時に収納することがある。

この、ファラデー効果を受けるセンサ素子から電流演算値を出力するまでの部品、モジュール、サブアセンブリ、アセンブリ又は装置を、光ファイバ電流センサという。

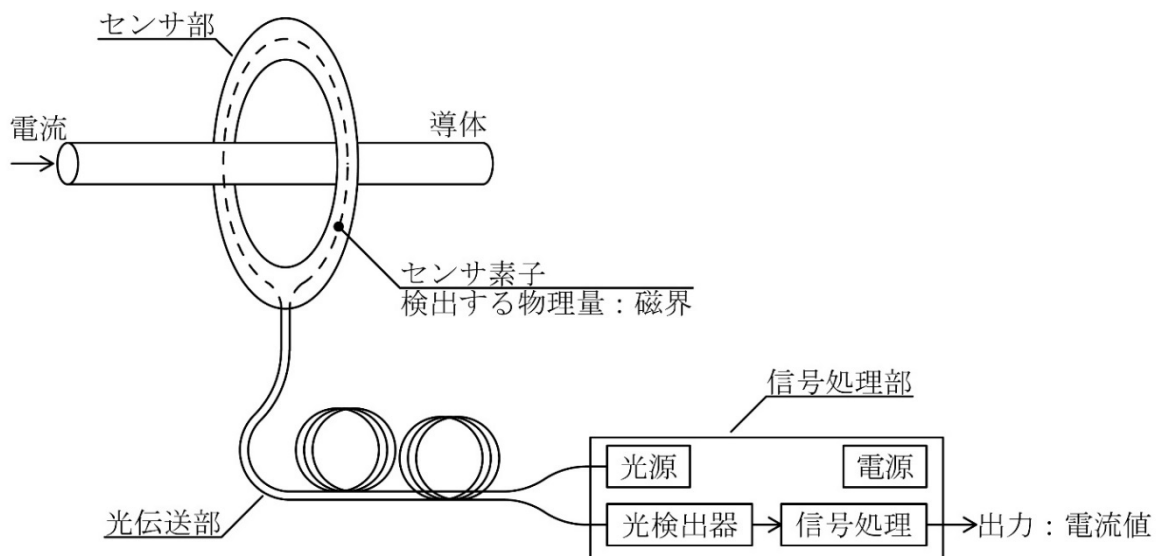


図 1-光ファイバ電流センサの構成

## 4.2 センサ素子の分類

センサ素子の分類を図2に示す。センサ素子中の光の伝播方法として、センサ中に屈折率の差を設けて光を導く導波構造とした素子を導波路形素子という。導波路形素子には光ファイバ及び平面導波路が考えられるが、現在、光ファイバ形だけが実用化されている。センサ素子に用いる光ファイバをセンサ光ファイバという。

屈折率の差を利用せず、レンズ及びミラーを用いてセンサ素子中に光を導く構造のセンサ素子をバルク形素子という。使用するセンサ素子材料によって、強磁性体からなる素子と非磁性体からなる素子とに区別する。

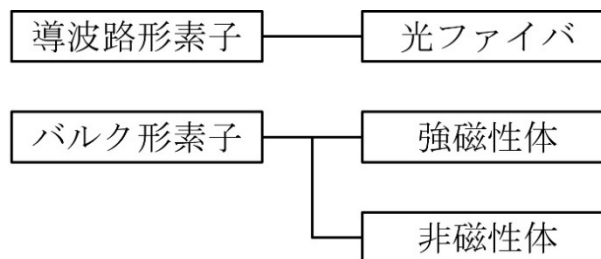


図2-センサ素子の分類

## 5 特性試験

### 5.1 一般事項

この箇条では、具体的な光ファイバ電流センサの特性試験を規定する。5.2に記載する入出力特性が特性試験の基本となる。5.3は、従来の電流センサでは考慮する必要がなかったウォームアップ時間について記載する。5.4以降には、試験を推奨するパラメータの依存性及び外部環境の依存性について、要因ごとにその特性試験を規定する。

### 5.2 入出力特性

#### 5.2.1 目的

光ファイバ電流センサの最も基本的な特性が入出力特性である。光ファイバ電流センサの入出力特性を図3に示す。理想的には被測定電流と出力指示値とが同一であるが、実際には誤差が生じる。誤差を次の三つの要因に分類する。

- a) **雑音** 不要出力。特に直流成分についてはオフセットと正しい区別する。雑音には被測定電流との間に相関のあるものとなないものがあるので、分けて取得することが望ましい。
- b) **感度変化** 入力に対する出力の比例係数である感度が変化する現象。
- c) **非直線性** 感度が変化して、入力に対する出力の関係が直線ではなくなる現象。



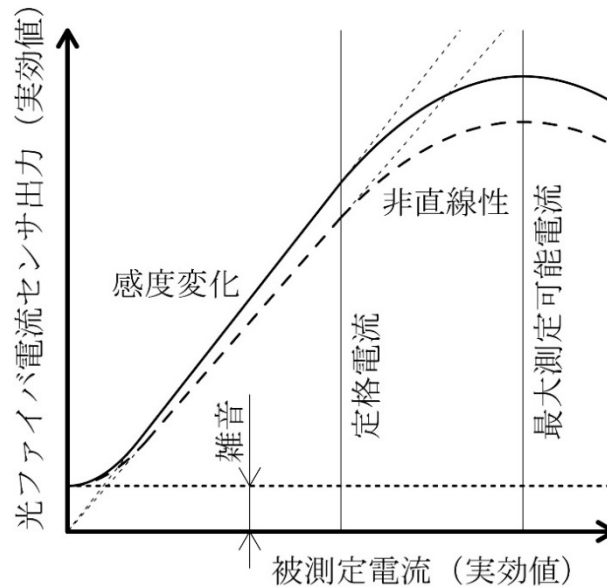


図 3—光ファイバ電流センサの入出力特性

これらの誤差は、温度変化（5.6.1 参照）、振動（5.6.5 参照）などに規定する誤差要因に対する振る舞いが異なるため、雑音、感度変化及び非直線性に分けて取得することが望ましい。

一般に、光ファイバ電流センサはある一定値以上の被測定電流が通電されるとき、出力が飽和し、また、図 3 で示すように出力が低下する現象が現れる。光ファイバ電流センサの製造業者は、この飽和によってこれ以上電流測定が不可能である被測定電流値以下に最大測定可能電流を定め、仕様に明記する。また、飽和の影響を受けずに高精度に電流測定ができる上限として定格電流を定め、仕様に明記する。

### 5.2.2 試験方法

光ファイバ電流センサの雑音、感度変化及び非直線性の誤差成分を把握するための試験方法を表 1 に示す。試験はオシロスコープなどの波形記録装置を用いて、波形比較法で行うことが望ましい。ただし、アナログ出力で、1 %以下の非直線性を試験するとき、オシロスコープなどの波形記録装置では精度が不十分な場合は、波形比較法に加えて、交流ブリッジ法を適用してもよい。

表 1—試験方法

	デジタル出力の場合	アナログ出力の場合	
	一般測定	一般測定	高精度測定
雑音	波形比較法	波形比較法	
感度変化	波形比較法	波形比較法	ブリッジ法
非直線性	波形比較表	波形比較法	ブリッジ法

波形比較法及び交流ブリッジ法の試験構成例を次に示す。

- a) **波形比較法** 波形比較法による特性試験の測定系の例を図4に示す。比較対象となる標準器は変流器又はシャント抵抗を用いることができる。図4には変流器を用いた例を示す。標準器で測定した被測定電流及び光ファイバ電流センサの出力は、オシロスコープ、データロガーなどの波形記録装置を用いて波形データを記録する。標準器及び波形記録装置の両方は、試験を行う周波数帯において、十分な精度をもつことが必要である。データは5.3に規定する誤差及び位相差の算出のため、デジタルデータで記録する。デジタル化のときに生じる折り返し誤差を防止するため、波形記録装置の測定周波数帯以外の信号を十分に減衰するアンチエイリアスフィルタを波形記録装置の前段に設置しなければならない。

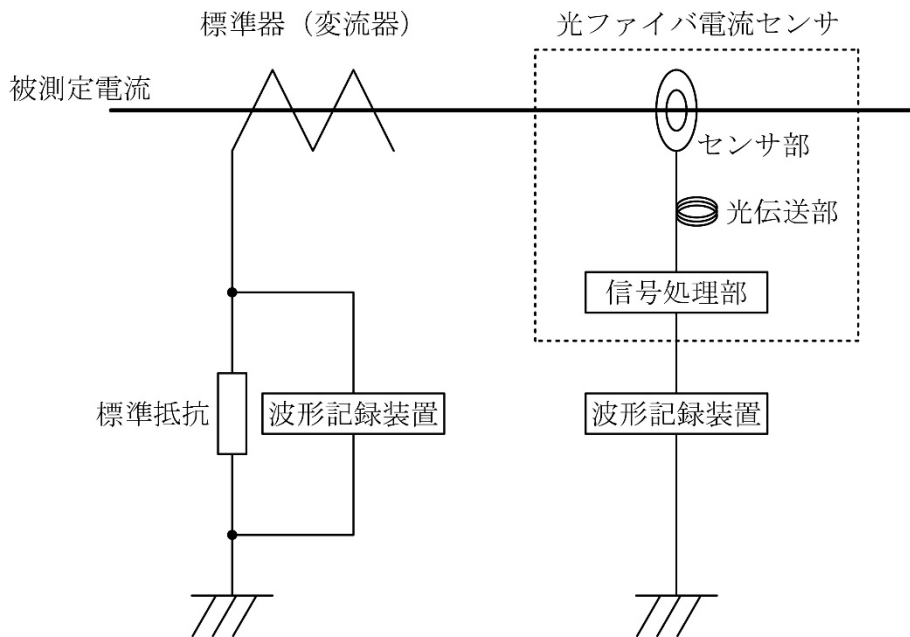


図4—波形比較法による特性試験の測定系の例

- b) **ブリッジ法** オシロスコープなどの波形記録装置では精度が不十分な場合には、ブリッジ法を併用してもよい。アナログ電圧出力の光ファイバ電流センサのブリッジ法による特性試験の測定系の例を図5に示す。比較対象となる標準器には変流器又はシャント抵抗を用いる。被測定対象である光ファイバ電流センサとの平衡をとるインピーダンスには、標準抵抗、可変抵抗及び可変コンデンサとを組みあわせ、平衡点から光ファイバ電流センサの感度変化を求める。この方法で求めることができるのは、5.4.1に規定する感度変化及び非直線性だけであり、雑音については、a)の波形比較法で取得する。

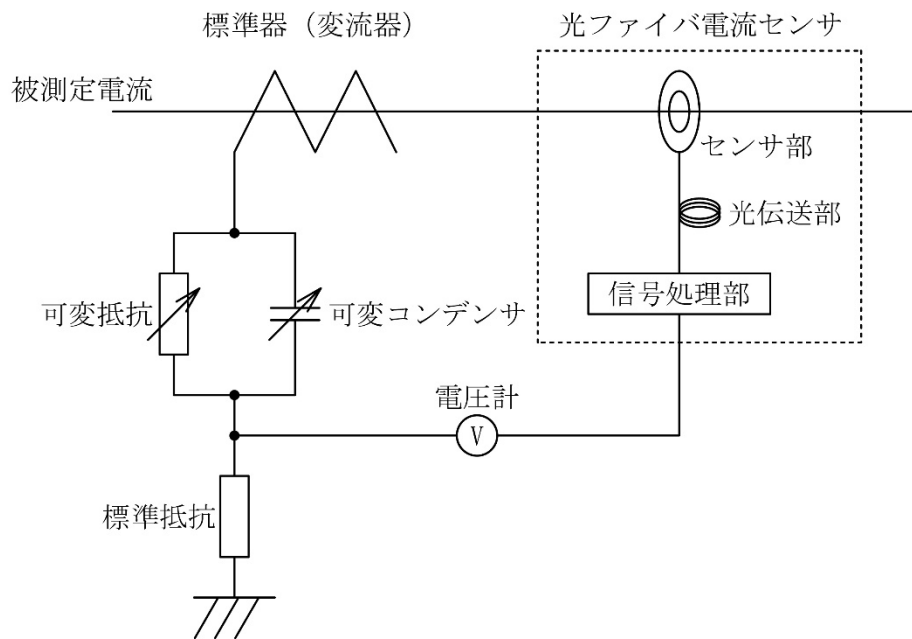


図5—ブリッジ法による特性試験の測定系の例

### 5.2.3 試験手順

#### 5.2.3.1 交流用又は交流直流両用の場合

入出力特性は、雑音、感度変化及び非直線性を把握するために、被測定電流を変化させながら、標準器の波形と光ファイバ電流センサの出力波形とを比較する。この比較は、被測定電流0から最大測定可能電流までの範囲で、次の被測定電流値で行う。

##### a) “0”

- ・ **雑音** 可能な限り、オシロスコープの周波数分析 (Fast Fourier Transformation : FFT) 機能などを用いて、周波数ごとの雑音強度を把握することが望ましい。特に被測定電流の周波数及びその高調波はシステムに悪影響を与える可能性が高い。

##### b) 雑音相当電流及びその約2倍

- ・ 雑音の内、電流に相関がある成分とない成分とを分離する。
- ・ 電流に相関がある雑音  $I_{O\_n1}$  が含まれる場合、次の式(1)によって、交流成分の振幅  $I_O$  は、被測定電流値  $I_{\text{signal}}$  との和で表される。

$$I_O = I_{\text{signal}} + I_{O\_n1} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、  
 $I_O$  : 光ファイバ電流出力の交流成分の振幅  
 $I_{\text{signal}}$  : 被測定電流値  
 $I_{O\_n1}$  : 電流に相関がある雑音

- ・ 電流に相関のない雑音が含まれる場合、測定時間を十分長くすることによって、式(1)中の第2項は現れず、式(2)となる。

$$I_O = I_{\text{signal}} \dots \dots \dots (2)$$

##### c) 雑音相当の約2倍の電流と定格電流との間で数点

- ・ 感度変化を精度よく測定するために行う。

#### d) 定格電流と最大測定可能電流との間で数点

- ・ 非直線性を精度よく測定するために行う。

波形比較法では、波形記録装置で取得したデータを最小二乗法によって正弦波近似し、振幅及び位相を求める。標準器で測定した被測定電流を式(3)に、光ファイバ電流センサ出力を式(4)に基づいて正弦波近似する。

$$i_1 = I_1 \cdot \sin(\omega \cdot t + \theta_1) + I_{DC1} \dots \dots \dots (3)$$

ここに、  
 $i_1$  : 標準器で測定した被測定電流  
 $I_1$  : 被測定電流の交流成分の振幅  
 $I_{DC1}$  : 被測定電流の直流成分  
 $\omega$  : 被測定電流の角周波数  
 $\theta_1$  : 被測定電流の位相

$$i_0 = I_0 \cdot \sin(\omega \cdot t + \theta_0) + I_{DC0} \dots \dots \dots (4)$$

ここに、  
 $i_0$  : 光ファイバ電流センサ出力  
 $I_0$  : 光ファイバ電流センサ出力の交流成分の振幅  
 $I_{DC0}$  : 光ファイバ電流センサ出力の直流成分  
 $\omega$  : 被測定電流の角周波数 (=光ファイバ電流センサの角周波数)  
 $\theta_0$  : 光ファイバ電流センサ出力の位相

#### 5.2.3.2 直流専用の場合

入出力特性は、雑音、感度変化及び非直線性を把握するために、被測定電流を変化させながら、標準器の波形と光ファイバ電流センサの出力波形とを比較する。この比較は、被測定電流 0 から最大測定可能電流までの範囲で、次の被測定電流値で行う。

##### a) “0”

- ・ オフセット 電流 0 での光ファイバ電流センサ出力の平均値からオフセットを求める。

##### b) 雑音相当の約 2 倍の電流と定格電流との間で数点

- ・ 感度変化を精度よく測定するために行う。

##### c) 定格電流と最大測定可能電流との間で数点

- ・ 非直線性を精度よく測定するために行う。

#### 5.2.4 評価

##### 5.2.4.1 交流用又は交流直流両用の場合

入出力特性試験の評価は、光ファイバ電流センサの出力の次による誤差、位相差及び雑音を要求仕様と比較することによって行う。

- a) **誤差** 誤差は式(5)で求めるフルスケール誤差で表記することが望ましい。必要に応じ、他の表記方法でも良い。

$$\varepsilon_{FS} = \frac{I_1 - I_0}{I_{FS}} \dots \dots \dots (5)$$

ここに、  
 $\varepsilon_{FS}$  : フルスケール誤差  
 $I_1$  : 被測定電流の交流成分の振幅  
 $I_0$  : 光ファイバ電流出力の交流成分の振幅  
 $I_{FS}$  : 最大測定可能電流

- b) **位相差** 被測定電流と光ファイバ電流センサとの間の位相差  $\delta$  は、式(1)及び式(2)への近似式で求めた

$\theta_0$  及び  $\theta_1$  によって次の式(6)で求める。

$$\delta = \theta_0 - \theta_1 \dots \dots \dots (6)$$

ここに、  
 $\delta$  : 光ファイバ電流センサ間の位相差  
 $\theta_0$  : 光ファイバ電流出力の位相  
 $\theta_1$  : 被測定電流の位相

c) **雑音** 被測定電流 0 のときの光ファイバ電流センサ出力の実効値を等価入力雑音とする。

用いたアンチエイリアスフィルタの特性を試験成績書に明記する。

#### 5.2.4.2 直流専用の場合

入出力特性試験の評価は、光ファイバ電流センサの出力の次の誤差を要求仕様と比較することによって行う。

a) **誤差** 誤差は式(7)で求めるフルスケール誤差で表記することが望ましい。必要に応じ、他の表記方法でも良い。

$$\varepsilon_{FS} = \frac{I_{IDC} - I_{ODC}}{I_{FS}} \dots \dots \dots (7)$$

ここに、  
 $\varepsilon_{FS}$  : フルスケール誤差  
 $I_{IDC}$  : 被測定電流の平均値  
 $I_{ODC}$  : 光ファイバ電流出力平均値  
 $I_{FS}$  : 最大測定可能電流

### 5.3 ウォームアップ時間

#### 5.3.1 目的

光ファイバ電流センサは、電源を投入してから一定時間を経過しないと必要な特性を満たさない。このため、光ファイバ電流センサの要求仕様に、ウォームアップ時間を記載し、このウォームアップ時間未満では必要性能を満たさないことを示す。

#### 5.3.2 試験方法

電流 0 及び定格電流を被測定電流として、光ファイバ電流センサの電源を投入し、ウォームアップ時間経過後の光ファイバ電流センサの出力を試験する。

#### 5.3.3 評価

ウォームアップ時間の評価は、光ファイバ電流センサの出力の誤差及び位相を要求仕様と比較することによって行う。

### 5.4 取得パラメータリスト

パラメータの依存性、外部環境の依存性及び特殊な光ファイバに対して、試験手順 (5.2.3 参照) に示す全ての電流条件で行う必要はない。表 2 に、推奨する取得パラメータリストを示す。

表 2—推奨する取得パラメータリスト

		電流 0 時の光ファイバ電流センサ出力	定格電流時の感度及び位相	最大測定可能電流時の感度及び位相	試験方法を記載する箇条番号
入力パラメータ依存性	周波数特性	—	○	○	<b>5.5.1</b>
	過渡特性	—	○	○	<b>5.5.2</b>
外部環境依存性	定常温度特性	○	○	○	<b>5.6.1</b>
	過渡温度特性	○	○	—	<b>5.6.2</b>
	外部磁界	○	—	—	<b>5.6.3</b>
	導体位置	○	—	—	<b>5.6.4</b>
	振動	○	○	—	<b>5.6.5</b>
○ 実施を推奨することを示す。 — 適用外であることを示す。					

## 5.5 パラメータ依存性

### 5.5.1 周波数特性

#### 5.5.1.1 目的

光ファイバ電流センサの周波数特性は、センサ部、光伝送部及び信号処理部のそれぞれの周波数特性に依存する。センサ部及び光伝送部の周波数特性は、直流から数十メガヘルツにわたり一定であるため、光ファイバ電流センサの周波数特性は、信号処理部の周波数特性が主な要因となる。信号処理部は、雑音の除去、及び／又はサンプリング時に発生する折り返し誤差の防止のためのフィルタを用いる場合、フィルタの帯域に依存した周波数特性をもつ。

#### 5.5.1.2 試験方法

図 7 の試験構成において、被測定電流一定のもとに最低測定可能周波数から最高測定可能周波数まで、数点又は 10 数点の周波数で信号処理部出力を測定する。被測定電流値は定格電流及び最大測定可能電流で行うことを基本とする。試験装置の制約上、定格電流又は最大測定可能電流を流せない場合、測定電流値を試験成績書に明記する。

#### 5.5.1.3 評価

周波数特性の評価は、信号処理部出力の誤差及び位相を要求仕様と比較することによって行う。

### 5.5.2 過渡特性

#### 5.5.2.1 目的

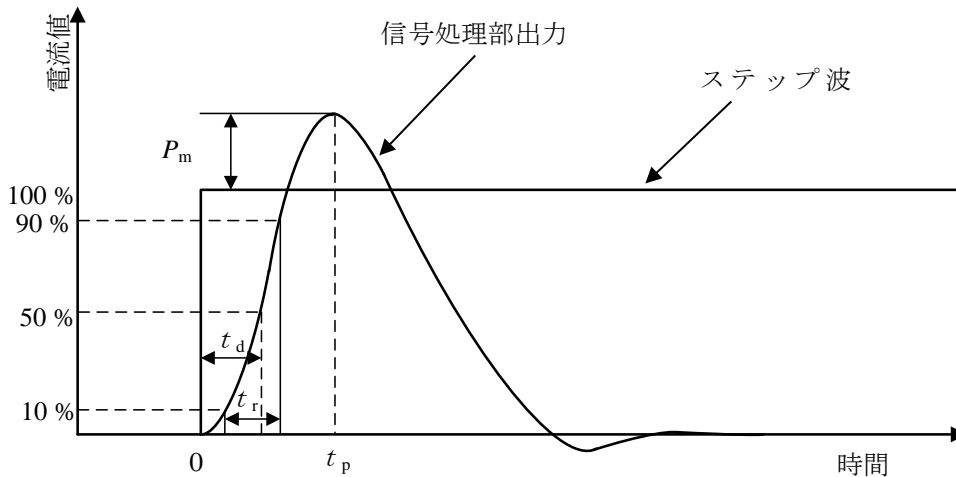
光ファイバ電流センサの過渡特性は、被測定電流が急激に増加又は減少したとき、信号処理部出力がある時間で定常状態に戻る特性をいう。この特性を試験する場合、ステップ形状の入力電流を用いることが望ましい。5.5.1 に記載するように、センサ部及び光伝送部は数十メガヘルツ以上の帯域をもつものに対して、信号処理部は内蔵するフィルタの帯域に依存した応答遅れをもつ。このため、過渡特性を取得する必要がある。測定する性能パラメータは次のとおりである。

- ・  $r$  : 立ち上がり時間
- ・  $t_d$  : 遅れ時間
- ・  $t_p$  : 行き過ぎ時間
- ・  $t_s$  : 制定時間
- ・  $P_m$  : 行き過ぎ量

### 5.5.2.2 試験方法

過渡特性試験方法として交流専用方式及び交流直流両用方式がある。これらの過渡特性を次に示す。

- a) **交流専用方式** 図6に交流専用方式の過渡特性の例を示す。ステップ波をセンサ部に入力すると、信号処理部出力は、一度ステップ波より遅れて立ち上がり、やがて0に収束する。交流専用方式では、立ち上がりの応答時間で過渡特性を試験し、立ち上がり時間、遅れ時間、行き過ぎ時間及び行き過ぎ量を測定する。なお、立ち上がり時間は信号処理部出力がステップ波の10%から90%になるまでの時間とし、遅れ時間はステップ波の0%から50%になるまでの時間とする。



記号の説明

$t_r$  : 立ち上がり時間

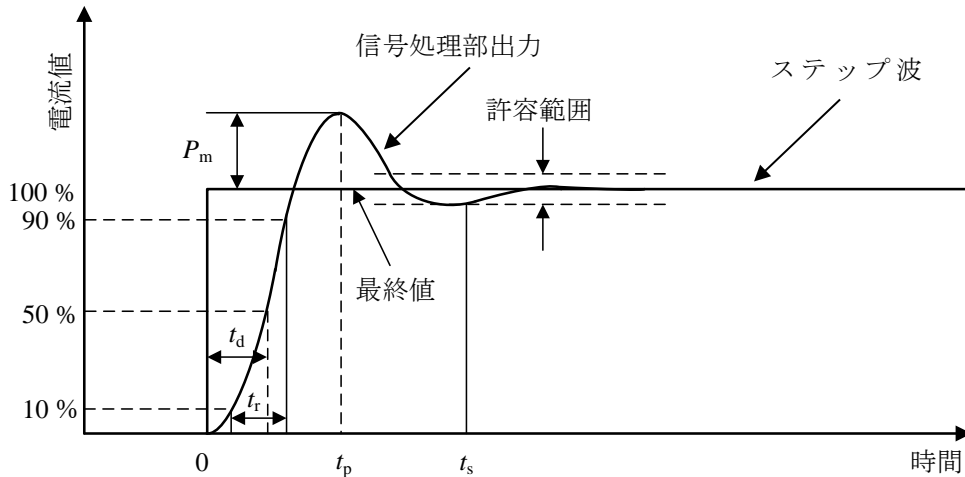
$t_d$  : 遅れ時間

$t_p$  : 行き過ぎ時間

$P_m$  : 行き過ぎ量

図6—交流専用方式の過渡特性の例

- b) **交流直流両用方式** 図7に交流直流両用方式の過渡特性の例を示す。交流直流両用方式は、交流及び直流の被測定電流を測定できるため、ステップ波をセンサ部に入力すると信号処理部出力は、ステップ波より遅れて立ち上がり、やがてステップ波と同じ波高値に収束する。そこで交流直流両用方式では、立ち上がりの応答時間及び定常状態に戻るまでの時間で過渡特性を試験し、立ち上がり時間、遅れ時間、行き過ぎ時間、制定時間及び行き過ぎ量を測定する。なお、立ち上がり時間及び遅れ時間の算出方法は、交流専用方式と同じとする。



記号の説明

$t_r$  : 立ち上がり時間

$t_d$  : 遅れ時間

$t_p$  : 行き過ぎ時間

$t_s$  : 制定時間

$P_m$  : 行き過ぎ量

図7—交流直流両用方式の過渡特性の例

### 5.5.2.3 評価

光ファイバ電流センサの過渡特性の評価は、センサ部に入力するステップ波に対する信号処理部出力の立ち上がり時間、遅れ時間、行き過ぎ時間、制定時間及び行き過ぎ量と要求仕様とを比較することによって行う。

## 5.6 外部環境依存性

### 5.6.1 定常温度特性試験

#### 5.6.1.1 目的

光ファイバ電流センサの性能を動作温度範囲内で評価するため、定常温度特性試験を行う。

#### 5.6.1.2 試験を実施する部位

信号処理部及びセンサ部の環境による温度変化が大きい場合、この両者の温度特性を別々に試験する。

- a) **センサ部** ファラデー効果による偏光面の回転角であるファラデー回転角は、磁界の強さ及びベルデ定数に依存する。ベルデ定数は、温度に依存する定数のため、動作温度範囲内で要求仕様を満たすことを確認するために試験を実施する。光学部に含まれる光学素子の温度依存性の影響が、出力に対して無視できないほど大きい場合がある。



- b) **光伝送部** 光伝送部において温度特性が光ファイバ電流センサの要求仕様に影響する可能性がある場合、試験を実施する。例えば、光伝送部に偏波面保存光ファイバを適用する場合、高温及び／又は低温環境下で偏波クロストークが増加することによって、光ファイバ電流センサの性能に影響する懸念がある。光伝送部の長さは、使用時に想定される最長距離に設定して試験を行うことが望ましい。
- c) **信号処理部** 回路を構成する電気・電子部品の性能には温度依存性がある。また、光源は光出力及び波長、受光器は暗電流及び受光感度に温度依存性があることが知られている。熱雑音は温度が高いほど大きくなるため、特に高温環境下での雑音増加に注意する必要がある。

### 5.6.1.3 試験構成

センサ部の定常温度特性試験及び過渡温度特性試験の構成例を図 8 に示す。試験装置及び条件に対する要求事項は、次による。

- a) **恒温槽** 供試部が設置状態で収納可能な内寸をもつ。センサ部、光伝送部又は信号処理部を個別に試験する場合、光伝送部及び導体を通すためのケーブル孔をもつ。
- b) **試験電流** センサ部及び光伝送部は定格電流で行う。信号処理部は、定格電流及び電流 0 で行う。試験の制約上、導体に定格電流を流せない場合、通電コイルによって等価的に定格電流相当の磁界を供試部に加える又は等価雑音入力よりも十分大きな電流を通電コイルに流す。仕様で定められた試験周波数帯域内で定めた単一の周波数で行う。試験電流値、通電コイル巻き数及び試験周波数を試験成績書に明記する。
- c) **電源** 定電流電源を用いることが望ましい。
- d) **標準器** 標準抵抗器を用いることが望ましい。一般的にシャント抵抗を用いることが望ましい。

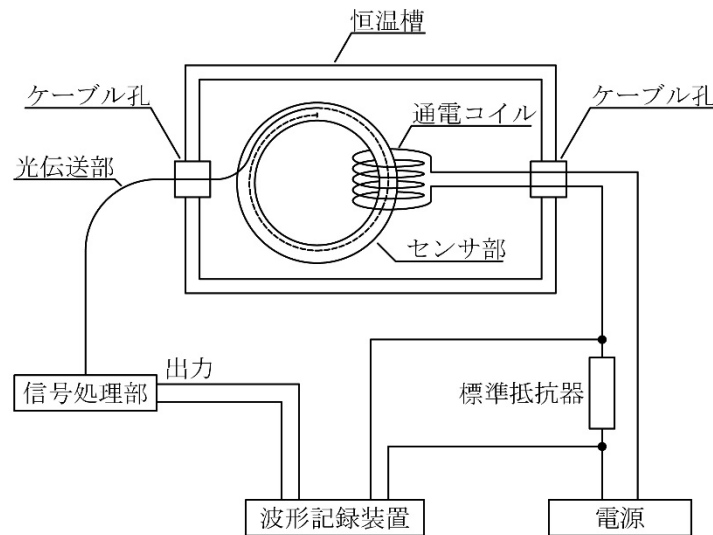
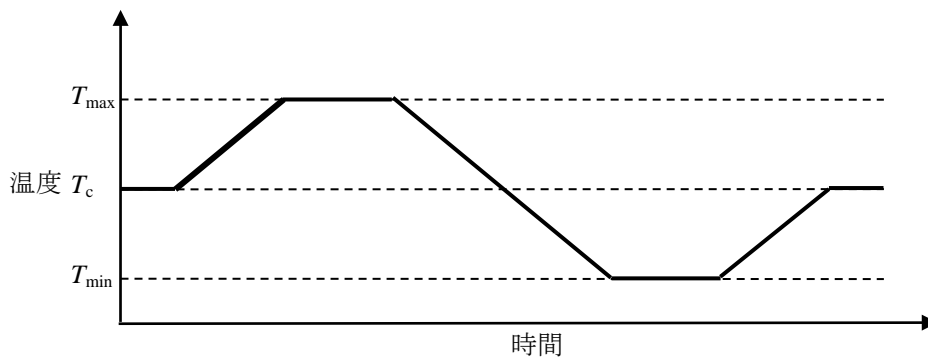


図 8—センサ部の定常温度特性試験及び過渡温度特性試験の構成例

### 5.6.1.4 試験手順

試験温度は、15 °C～35 °Cの任意の 1 点及び動作温度の上下限の 3 点とする。追加する試験温度及び温度変化率は、製造業者と使用者との協議で取り決める。温度変化率は 1 °C/min 以下が望ましい。供試部の温度が十分安定時間保持し、測定を行う。温度プロファイルの例を図 9 に示す。



記号の説明

- $T_c$  : 15 °C～35 °Cの任意の1点  
 $T_{max}$  : 動作温度範囲の上限値  
 $T_{min}$  : 動作温度範囲の下限値

図9—温度プロファイルの例

#### 5.6.1.5 評価

定常温度特性の評価は、動作温度範囲における光ファイバ電流センサ出力の誤差及び位相差の測定値と要求仕様との比較によって行う。

#### 5.6.2 過渡温度特性試験

##### 5.6.2.1 目的

センサ部の周囲温度が変化する状況下では、センサ部を構成する部品の温度分布が不均一になる。その結果、光弾性などによって偏光状態が変わることで、光ファイバ電流センサの出力が変動し、測定誤差が生じる懸念がある。また、光学素子及び電子回路の温度特性を補償するために、温度計を設けて補正を行う場合には、温度の測定点と実際に温度の影響を受ける光学素子及び電子回路との間に温度差が生じる懸念がある。温度が変化する環境下で光ファイバ電流センサが用いられる場合、均一な温度分布での温度特性の試験だけでは不十分である。したがって、動的な温度特性の試験が必要となる。

##### 5.6.2.2 試験を実施する部位

信号処理部、光伝送部及びセンサ部の環境温度変化が無視できない程度に大きい場合には、これらの過渡温度特性を別々に測定する。

- a) **センサ部** 恒温槽に通電コイルと鎖交したセンサ部を納め、実使用環境に相当する温度の変化速度を制御し、光ファイバ電流センサの出力の変化を測定する。図10に示すように、センサ部に温度変化が加わったとき、複屈折率 $\beta$ が急激に高くなり、温度が定常状態の時の複屈折率より高くなる可能性がある。

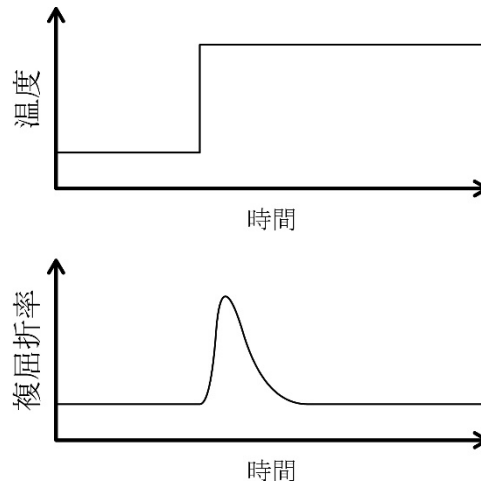


図 10—温度変化時の複屈折率変化

- b) **光伝送部** 光伝送部に偏波面保存光ファイバ又はスパン光ファイバを用いる場合に行う。
- c) **信号処理部** 信号処理部が温度変化の補正を含む場合に行う。

#### 5.6.2.3 試験構成

センサ部の定常温度特性試験及び過渡温度特性試験の構成例を図 8 に示す。試験装置及び条件に対する要求事項は、次による。

- a) **恒温槽** 供試部が設置状態で収納可能な内寸をもつ。特に急峻な温度変化を必要とする場合には、二槽式の熱衝撃試験装置を用いることが望ましいが、十分な温度変化が得られれば、一槽式の熱衝撃試験装置を用いてもよい。センサ部、光伝送部又は信号処理部を個別に試験する場合、光伝送部及び導体を通すためのケーブル孔をもつ。
- b) **試験電流** センサ部及び光伝送部は定格電流で行う。信号処理部は、定格電流及び電流 0 で行う。試験の制約上、導体に定格電流を流せない場合、通電コイルによって等価的に定格電流相当の磁界を供試部に加える又は等価雑音入力よりも十分大きな電流を通電コイルに流す。仕様で定められた試験周波数帯域内で定めた単一の周波数で実施する。試験電流値、通電コイル巻き数、試験周波数は試験成績書に明記する。
- c) **電源** 定電流電源を用いることが望ましい。
- d) **標準器** 標準抵抗器を用いることが望ましい。一般的にシャント抵抗を用いることが望ましい。

#### 5.6.2.4 試験手順

動作温度範囲の上下限の条件で行う。

温度変化率は、実使用条件で想定される温度変化率より高くする。

試験温度は、次の 4 条件とする。試験温度を追加する場合、製造業者と使用者との協議で取り決める。

- a) 15 °C～35 °Cの任意の 1 点から動作温度範囲の上限まで
- b) 15 °C～35 °Cの任意の 1 点から動作温度範囲の下限まで
- c) 動作温度範囲の上限から 15 °C～35 °Cの任意の 1 点まで
- d) 動作温度範囲の下限から 15 °C～35 °Cの任意の 1 点まで

温度変化前及び温度変化後に、供試部の温度が十分安定するために必要な時間、試験温度を保持する。光ファイバ電流センサの出力測定は、温度変化前に供試部の温度が十分安定する時間から、温度変化後の供試部の温度が十分安定するまで継続して行う。温度プログラムの例を図 11 に示す。

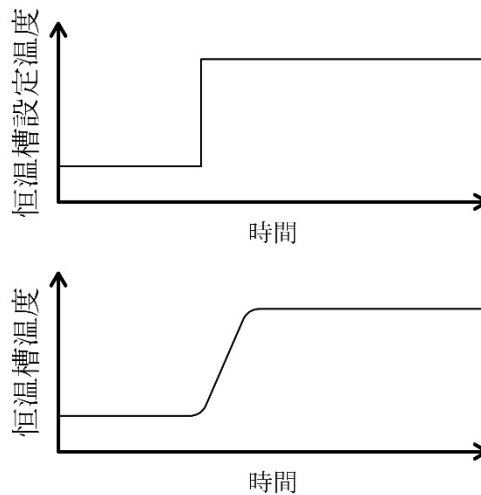


図 11－温度プログラムの例

#### 5.6.2.5 評価

評価は、動作温度範囲における温度変化時の光ファイバ電流センサの出力値の誤差及び位相差を測定し、要求仕様と比較することによって行う。

#### 5.6.3 外部磁界試験

##### 5.6.3.1 目的

光ファイバ電流センサは、導体に流れる被測定電流が発生する磁界を介して電流を測定するため、外部磁界の影響を考慮する必要がある。特に、センサ素子の閉ループが不完全な場合、及びセンサ光ファイバの複屈折が均一でない場合は、外部磁界の影響による誤差が生じる。外部磁界の要因として最も一般的なのは近接する通電導体である。特に通電導体がセンサ部のセンサ素子と光伝送部との境界部に近いほど誤差が大きくなる。このため、被測定電流を流さない条件で閉ループの外部に電流を通電させ外部磁界の影響を試験する。

なお、光ファイバ電流センサの外部磁界の影響を推測するための理論を**附属書 D**に記載する。

##### 5.6.3.2 試験手順

図 12 にセンサ素子が光ファイバの場合を例とした外部磁界試験における外部導体の位置を示す。試験時の導体の位置を記録するため、光ファイバ電流センサには角度測定の基準点を表示する。センサ光ファイバの閉ループの外側に外部導体を配置し、光ファイバ電流センサの出力を測定する。試験成績書には次の測定値を記載する。

- a) 閉ループの中心 (×) と外部導体との間の距離 ( $r$ )
- b) 閉ループの中心から回転基準マークを結ぶ直線と外部導体位置との角度 ( $\theta$ )
- c) 外部導体に流す電流値

$\theta$  は  $90^\circ$  ごとに 4 箇所、順に測定を実施する。

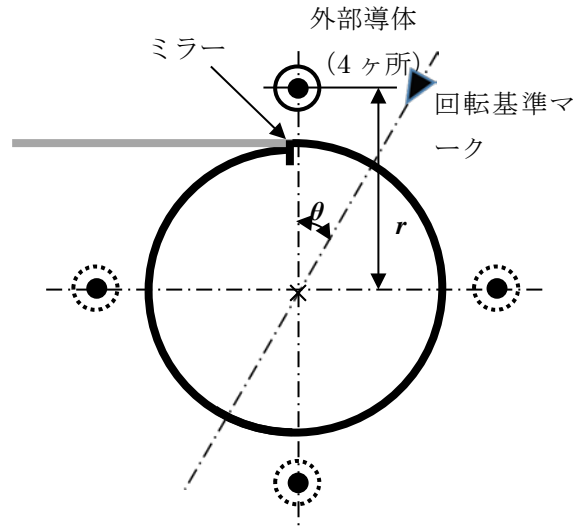


図 12—センサ素子が光ファイバの場合を例とした外部磁界試験における外部導体の位置

### 5.6.3.3 評価

光ファイバ電流センサの外部磁界試験の評価は、被測定電流を流さない状態で光ファイバ電流センサの出力の測定値と要求仕様とを比較することによって行う。

## 5.6.4 導体位置試験

### 5.6.4.1 目的

光ファイバ電流センサの電流出力値は、導体に対する光ファイバ電流センサの相対的な位置に依存するため、導体位置試験を行う。

### 5.6.4.2 試験方法

特に指定がない場合、導体位置の基本は電流検出用光ファイバ閉ループの中心とする。用途によって必要な場合、導体位置が閉ループの中心でない場合の影響を試験する。図 13 にセンサ素子が光ファイバの場合の導体位置試験における導体の位置を示す。試験時の導体の位置を記録するため、光ファイバ電流センサには角度測定の基準点を表示する。センサ光ファイバの閉ループの内側に導体を配置する。試験成績書には次の測定値を記載する。

- a) 閉ループの中心 (×) と導体との間の距離 ( $r$ )
- b) 閉ループの中心から回転基準マークを結ぶ直線と導体位置との角度 ( $\theta$ )
- c) 導体に流す被測定電流値。

$\theta$  は  $90^\circ$  ごとに 4 箇所、順に測定を実施する。

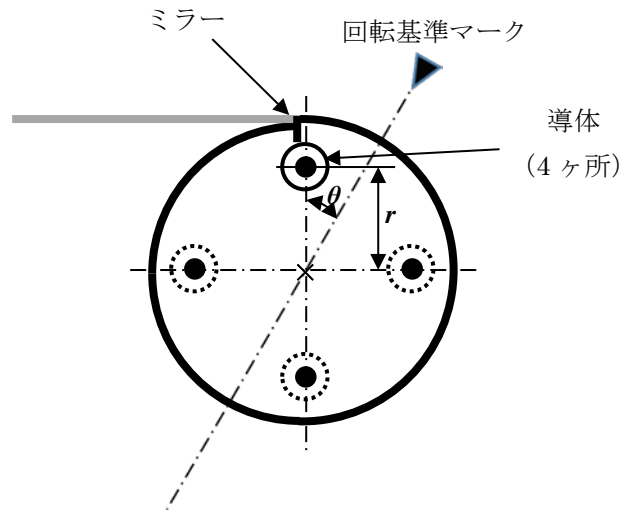


図 13—センサ素子が光ファイバの場合の導体位置試験における導体の位置

#### 5.6.4.3 評価

導体位置試験の評価は、被測定電流に対する光ファイバ電流センサの出力の測定値と要求仕様とを比較することによって行う。

#### 5.6.5 振動試験

##### 5.6.5.1 目的

光ファイバ電流センサは、使用環境によって振動が加わることがあるため、振動試験を実施する。

##### 5.6.5.2 試験方法

センサ部、光伝送部又は信号処理部へ振動が加わえ、光ファイバ電流センサの出力変動を測定することで試験する。試験は、必要に応じ、センサ部、光伝送部及び信号処理部に対し別々に行う。振動試験条件は、実使用環境を考慮して設定する。被測定電流は定格電流及び電流 0 とする。

各供試部の振動印加法は、次による。

- a) センサ部
  - 1) 打振法
  - 2) 加振機法
- b) 光伝送部
  - 1) 打振法
- c) 信号処理部
  - 1) 打振法
  - 2) 加振機法

##### 5.6.5.3 評価

振動試験の評価は、振動印加時の光ファイバ電流センサの出力の誤差の測定値と要求仕様とを比較することによって行う。

## 附属書 A (参考) 光ファイバ電流センサの原理

### A.1 概要

この附属書では、検出原理であるファラデー効果及びファラデー効果を利用して電流を検出する原理を記載する。

### A.2 ファラデー効果

磁界中に置かれた反磁性体又は常磁性体である非磁性媒体に光を通過させると、偏光面が回転する。この効果をファラデー効果といい、光ファイバ電流センサの基本原理である（図 A.1 参照）。偏光面の回転角であるファラデー回転角  $\theta_F$  は、次の式(A.1)で表される。

$$\theta_F = VHL \dots\dots\dots (A.1)$$

ここに、

- $\theta_F$  : ファラデー回転角 (°)
- $H$  : 磁界の強さ (光の進行方向成分) (A/m)
- $L$  : ファラデーセンサ素子の長さ (m)
- $V$  : ベルデ定数 (°/A) (媒体の種類及び光の波長に依存する。)

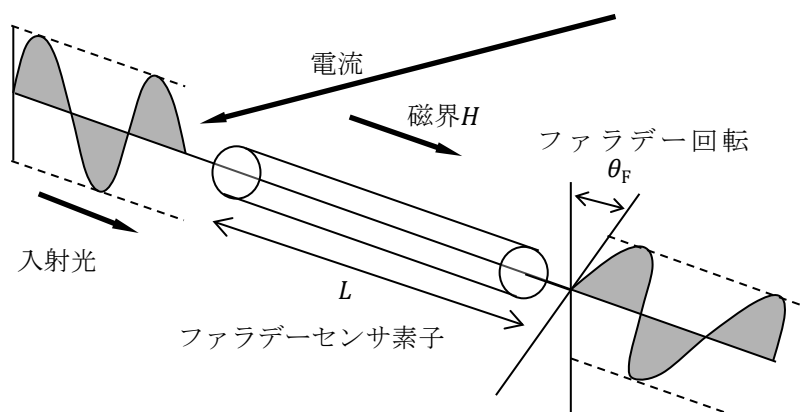


図 A.1—ファラデー効果

式(A.1)から、ファラデー回転角は媒体に印加された磁界の強さに比例する。このように、偏光面の回転が生じるのは、右回りの円偏光に対する屈折率と左回りの円偏光に対する屈折率とが異なることに起因している。この現象を円複屈折という。この媒体をセンサ素子として使い、何らかの方法によってファラデー回転角を測定すれば、磁界の発生源である電流の大きさを知ることができる。用いるセンサ素子の種類には次のものがある。

ここでは、媒体は光が通過できる大きさとする。このような素子を“バルク形素子”という。

### A.3 センサ素子の種類

4.2 おいて、センサ素子を次の 3 種類に分類した。

- a) **非磁性バルク形素子** A.2 に説明した透明非磁性媒体（反磁性又は常磁性）からなるバルク形素子。
- b) **光ファイバ形素子** 光ファイバに磁界を印加すると、ファイバを伝搬するモードの偏光が、磁界の印加に応じて回転する。そのため、センサ素子として光ファイバを用いることもできる。ただし、この場合、シングルモード光ファイバを用いる必要がある。なぜなら、複数のモードの伝搬が可能なマルチモード光ファイバでは、モード分散に起因して、光ファイバを伝わるにつれて偏光状態が変化するからである。センサ素子としての光ファイバには、他にも様々の要求があるが、その中でもシングルモード条件を満たすことは基本的な要請である。
- c) **強磁性結晶形素子** YIG 系強磁性結晶をファラデー素子に用いることもできる。ただし、強磁性体を通過する偏光が受けるファラデー効果は、定まった旋光性をもつ磁区の模様が、磁界の印加によって変化し、磁区の断面積も変化することに起因する現象である。そのため、強磁性結晶のファラデー効果を利用する場合には、A.2 で述べたファラデー効果とは現象の様相が異なることを留意する必要がある。

#### A.4 電気信号への変換

ファラデー効果を電気信号として取り出す方法の原理は、次のとおりである。

- a) **非磁性体のファラデー効果の検出** 非磁性体のファラデー効果は、媒質を伝わる偏光面が磁界によって回転する非相反の現象、又は二つの円偏光成分間の非相反の複屈折現象である円複屈折として記述できる。

したがって、ファラデー効果を受けた光を二つの円偏光成分に分離し、両者を干渉させることによって、ファラデー効果を光の強度変化に変換することができる。参照偏光成分を干渉させる方法として、光を偏光分離プリズムに導く方法がある。この方式を強度変調方式という。

また、強度変調方式と異なる方法として、二つの円偏光成分を同一の偏光状態に変換した後、互いに干渉させる方法がある。この方式を干渉方式という。
- b) **強磁性体のファラデー効果の検出** A.3 で述べたとおり、強磁性体を通過する偏光が受けるファラデー効果は、センサ素子への磁界の印加による磁区の模様の変化し、磁区の断面積も変化することに起因する現象である。したがって、強磁性素子を用いる場合、素子が単結晶であるか、又は多結晶であるかによって、ファラデー効果を光の強度に変換する方法が異なる。また、印加磁界と光強度との関係も、非磁性体によるファラデー素子の場合と異なる。磁化容易軸、反磁界効果など、強磁性体固有の現象も考慮する必要がある。

#### A.5 電流検出方法

上記の原理を応用して電流を検出する基本的な方法は次のとおりである。センサ素子と光学素子とを組み合わせたセンサ部、光源、受光器、信号処理回路及び電源を含む信号処理部、検出部と信号処理部との間を結ぶ光伝送部の3要素からなる系を組み立てる。図 A.2 にファラデー効果による電流検出方法の構成を示す。受光器に導かれる光がファラデー効果に応じた情報をもつ。受光された光は光の強度に比例する電気信号に変換され、信号処理を施された後、ファラデー回転角に応じた出力に変換される。

光ファイバ電流センサの方式、構成及び動作の、開発及び適用には多くの事例があり、それらのすべての技術要素を包含する分類を行うことは困難である。次に、光ファイバをセンサ素子に用いた強度変調方式及び干渉方式を取り上げ、概要を説明する。



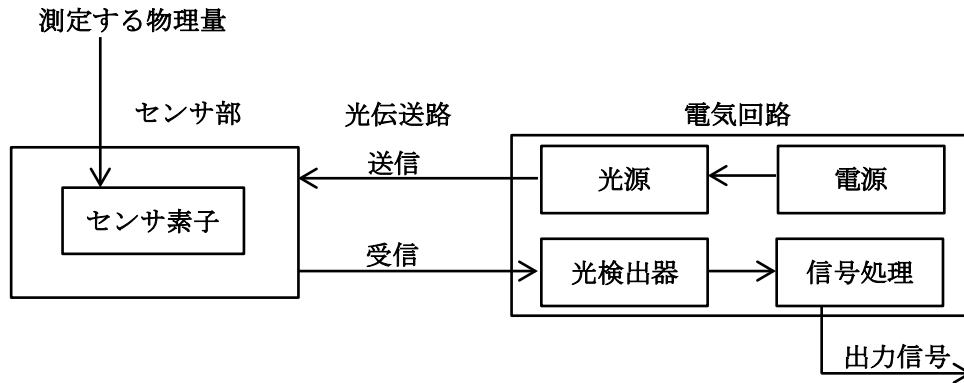


図 A.2—ファラデー効果による電流検出方法の構成

- a) **強度変調方式** 図 A.3 に、光ファイバをセンサ素子に用い、強度変調方式の光ファイバ電流センサの基本構成を示す。光源から光が光ファイバで光学部に送られ、偏光子によって直線偏光に変えられた後、センサ光ファイバに入射する。センサ光ファイバの中では、導体を流れる電流の周囲に発生する磁界によってファラデー効果が生じる。センサ光ファイバを通過した光は、光学部内の検光子に入射し、偏光方位が直交する2本のビームに分離される。このようにすると、検光子を通過した2本の光ビームの強度は、偏光面の回転に応じて変化する。光ファイバ電流センサ出力と被測定電流との間の直線性を確保するため、偏光子と検光子の主軸方位との間には通常  $45^\circ$  の差(光学バイアスという。)が設けられる。検光子通過光は、それぞれ受光ファイバで電子回路部に送られ、受光器によって受光強度に比例した電気信号に変えられる。信号処理回路から、被測定電流に比例する値が出力される。

図 A.4 に、センサ光ファイバの一端にミラーを取り付けて、光をセンサ光ファイバ中で往復させる反射形光ファイバ電流センサの構成例を示す。電子回路内の光源から、信号伝送用光ファイバ及び光学部を経由し、センサ光ファイバに光が導かれる。光は、センサ光ファイバ端部のミラーで反射して光学部に戻る。光学部のバイアス機構によって、光は、ファラデー回転角に応じた比率に強度が分離され、2本の信号伝送ファイバによって電子回路に戻される。

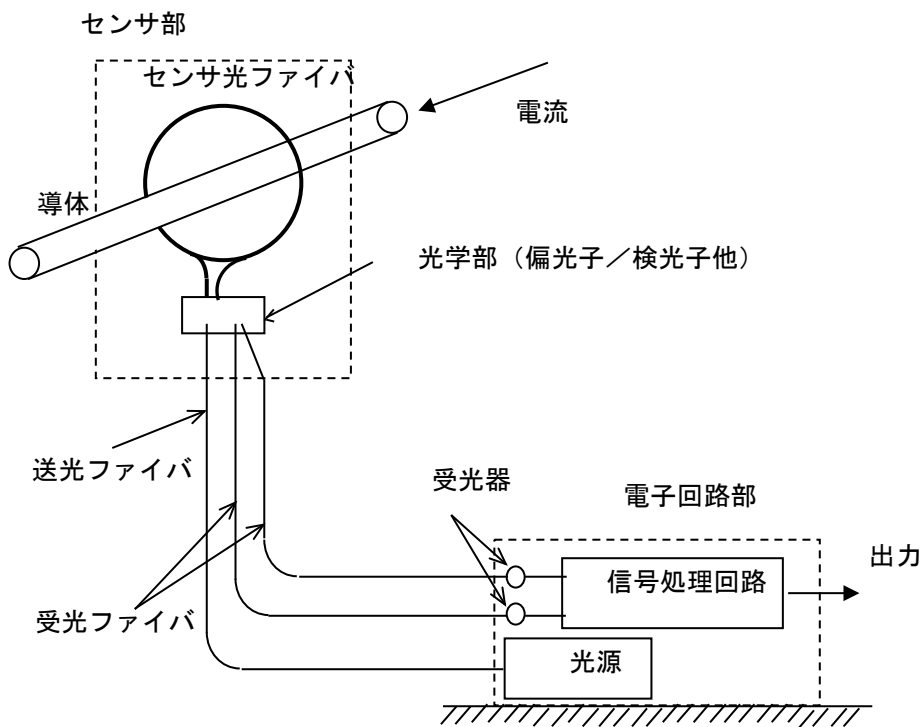


図 A.3—強度変調方式の光ファイバ電流センサの基本構成

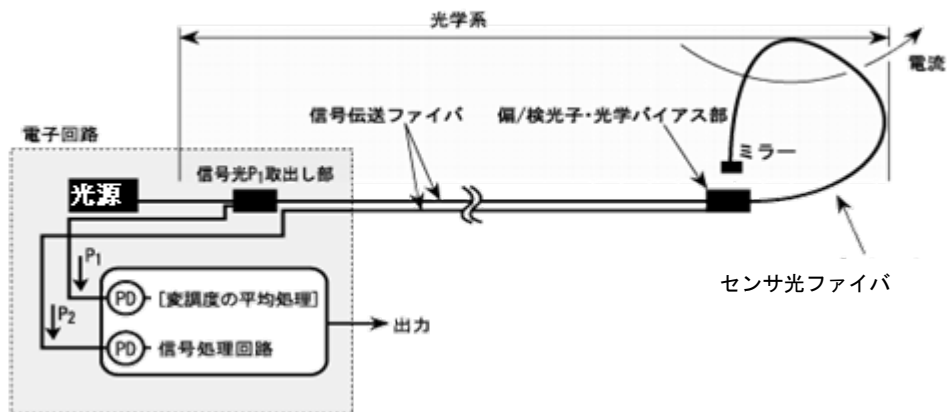


図 A.4—強度変調方式反射形光ファイバ電流センサの構成例

- b) **干渉方式** 図 A.5 に、光ファイバをセンサ素子に用い、干渉方式の光ファイバ電流センサ構成例を示す。

光源を發した光は、シングルモード光ファイバで光カップラに導かれて二つに分離され、一方が偏光子に入射する。偏光子を通過した光は光伝送用ファイバに入射し、位相変調子を通過後、1/4 波長板に導かれる。光伝送用ファイバは偏波面保存形であり、主軸方位は偏光子の主軸に対して 45 度傾けられている。そのため、ファイバへの入射光は方位が直交する二つの直線偏光モードとなる。位相変調

子を通することによって、両モード間に角周波数  $\omega_m$  の位相変調が施される。次に、両偏光モードは  $1/4$  波長板を通し、互いに逆回転の円偏光成分に変換され、センサ光ファイバに入射する。センサ光ファイバの中で光はミラーで反射され、 $1/4$  波長板に戻る。その間、光は電流が作る磁界によるファラデー効果を受け、二つの円偏光モードの間に電流に比例する位相差が生じる。

その後、光は再び  $1/4$  波長板を通し、光伝送用ファイバに再び入射し、それぞれ送光ファイバの固有偏光モードとなる。そのとき、それぞれの偏光モードは、センサ光ファイバに入射する前のモードと交換される。光伝送用ファイバを通する光は、追加の位相変調を受けたのち、偏光子に入射し、二つの偏光成分が干渉する。この構成によって、センサ光ファイバの中で生じたファラデー効果による偏光成分の位相差が、光の強度に変換される。偏光子を通した光は、カップラに導かれて2本のビームに分離され、そのうち的一方が受光器に導かれて電気信号に変換される。

出力の直線性及び安定性を確保するため、位相変調器と組み合わせた信号処理が行われる。受光器の出力を、中心角周波数  $\omega_m$  の帯域フィルタ及び  $2\omega_m$  の帯域フィルタに通し、両者のレベルの比を求める方法などがなされる。一連の動作の中で、二つの偏光モードは光伝送用ファイバを往復する間に入れ替わるため、光伝送用ファイバに環境から加わる外乱によって生じる位相差は補償される。

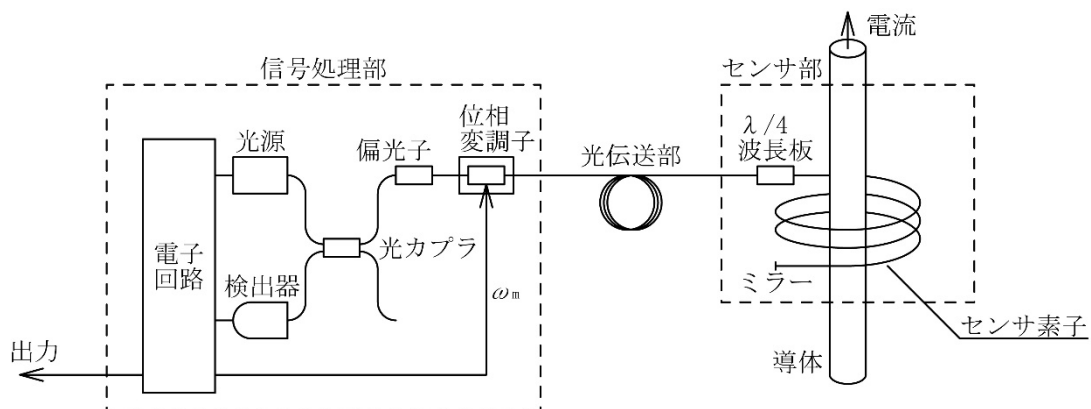


図 A.5—干渉方式の光ファイバ電流センサの構成例

## 附属書 B (参考)

### 光ファイバ電流センサ技術の特長

#### B.1 一般事項

この附属書では、**附属書 A** で述べた原理から導かれる光ファイバ電流センサ技術に期待される特長を記載する。ここでは、電力設備に電流検出装置を適用する場合を想定し、検出装置の特性を、変流器、ログウスキーコイルなどの特性と比較することとする。なお、光ファイバ電流センサ技術の課題については、ここでは述べない。どのような課題があり、課題への対策について評価をする事項については、**4.6** で、他の特長を示す事項の評価と併せて記載する。以上の観点から技術に期待される特長を列挙すると、次のとおりとなる。

- a) **小型・軽量** センサ素子及び信号伝送路が光ファイバなどの電気絶縁物で構成されるため、充電部に取り付けるときの絶縁の確保が容易である。また、鉄心などの重量物が不要である。そのため、取付け構造を含めた装置の全体を小型・軽量にできる。
- b) **耐電磁雑音性** 光ファイバによる検出及び信号伝送であることから、信号線を通じた電子回路への電磁誘導雑音の侵入がない。そのため、信号が電磁誘導雑音の影響を受けにくい。また、サージ侵入による電子回路故障の懸念がない。長距離信号伝送（後記）が可能であり、電子回路の設置場所を電磁環境の良い場所を選ぶことができる。
- c) **長距離信号伝送** 低損失かつ低分散の光ファイバによって信号伝送を行うため、高速現象を長距離伝送できる。そのため、電子回路の設置場所を、電源の確保が容易で、電磁環境がよく、次段装置への信号伝達が容易な場所に、かつ、自由に選ぶことができる。
- d) **取扱い性** 柔軟な電流検出用光ファイバを導体に鎖交させることによって電流を検出できる。また、光ファイバコイルの変形に性能が影響を受けないようにできる。変流器のようなドーナツ状の構造が不要である。
- e) **安全性** 変流器のように二次回路の開放による高電圧発生の危険がない。また、絶縁油などの可燃物が不要であり、火災の危険がない。
- f) **耐外部磁界性** 電流に鎖交する電流検出用光ファイバを閉じたループにすることによって、外部磁界（例：三相交流線路における隣接する導体の電流による磁界）の影響を受けにくくできる。
- g) **大電流の検出** 変流器に現れる鉄心の磁気飽和に起因する特性の劣化がない。したがって、電力系統の事故時に流れ得る直流分を含む大電流の検出に適する。
- h) **直流の検出** ファラデー効果は直流磁界に反応するため、直流の検出が容易である。
- i) **高速現象の検出** ファラデー効果によって検出し、光ファイバによって信号伝送することから、高速な現象の検出及び信号伝送が可能である。
- j) **検出対象への影響小** 装置の取付けによる被検出電流への影響が小さいので、電源パワーが小さい回路に流れる電流を正確に検出できる。

## 附属書 C (参考) 光ファイバ電流センサの必要性能

### C.1 一般事項

この附属書では、光ファイバ電流センサに必要とされる機能、検出性能、信頼性など、装置に望まれる性能を記載する。

### C.2 性能に制約を与える要因

列挙した原因による制約がどの程度のものであるかを、対象となる検出装置について試験する方法を示すことが、この規格の目的である。これら制約の可能性について、必要な項目を選択して試験する。

光ファイバ電流センサの性能及び信頼性に制約を与える可能性のある事項を、次に示す。

#### a) センサ素子及び検出部光学系

##### 1) 原理的制約

- ・ ベルデ定数並びに電流及び光路の鎖交数に依存するファラデー回転の感度の制約
- ・ ファラデー回転角の読取り可能最大角度によって受ける最大検出電流の制約
- ・ 外部磁界の影響
- ・ センサ素子中を光が通過する時間に依存する応答速度の制限
- ・ 強磁性結晶素子特有の特性

##### 2) 環境条件に依存する特性の変化

- ・ センサ素子のベルデ定数の温度依存
- ・ センサ素子の光弾性効果による感度の温度依存
- ・ 旋光性のあるセンサ素子の旋光角の温度依存
- ・ センサ素子光ファイバの変形による偏光の回転
- ・ センサ素子や光学素子へ伝わる振動に起因する偏光及び伝送光強度の変動
- ・ 光学素子のアラインメントの温度依存

##### 3) 耐久性及び寿命

- ・ 耐水性
- ・ 耐高温及び低温性
- ・ 耐紫外線
- ・ 耐周囲媒質性
- ・ 耐振動性
- ・ 耐電圧性
- ・ 光学素子のアラインメントの経年変化

#### b) 信号伝送用光ファイバ

##### 1) 原理的制約

- ・ 信号伝送路の損失に依存する最大信号伝送距離の制限

##### 2) 環境条件に依存する特性の劣化

- ・ 信号伝送用光ファイバの振動による伝送光量及び偏光の変動

### 3) 耐久性及び寿命

- ・ 耐水性
- ・ 耐高温・低温性
- ・ 耐紫外線
- ・ 耐ガス性
- ・ 耐振動性
- ・ 耐電圧性
- ・ 光学素子のアラインメントの経年変化

### c) 電子回路

#### 1) 原理的制約

- ・ 光源の波長の変化によるベルデ定数の変動
- ・ 電子回路内で生じる雑音による検出感度の制限
- ・ 電子回路の帯域に依存する応答速度の制限
- ・ システム全体の非直線性による最大被測定電流の大きさの制限
- ・ デジタル出力伝送規約への適合
- ・ アナログ出力できる負担の制限

#### 2) 環境条件に依存する特性の劣化

- ・ 電子回路の特性のドリフト
- ・ 電子回路の特性の温度依存
- ・ 電子回路への雑音の侵入

#### 3) 耐久性及び寿命

- ・ 高温, 低温, 湿気, 振動などの周囲環境条件による部品の劣化

### d) その他の制約

- ・ 寸法重量に制約が生じ, 目標を満たさない。
- ・ 取り扱い性に制約があり, 取付け方法が複雑である。
- ・ コストが目標を満たさない。

## C.3 装置の仕様決定の手順

この箇条では, 光ファイバ電流センサを供給する側とそれを適用する側との両者間で受け渡される“検出装置”について, 装置の仕様を定める手順を, 次のように整理する。

a) **受け渡される装置の基本構成** 4.1 及び図 1 で述べたとおり, この規格では, “光ファイバ電流センサ”として次の 3 要素からなるものを扱うこととする。

- ・ センサ部
- ・ 信号処理部
- ・ 光伝送部

b) **基本設計** またそれらの各要素は, 次の二つの条件を踏まえて, 基本設計がなされる。

- ・ 装置の方式 : A.5 参照。
- ・ 適用条件 : 4.5, 表 3 及び表 4 参照。

c) **受け渡される装置の範囲及び性能** これらに加え, さらに, センサを供給する側とその適用を行う側との両者の相互の打ち合わせを含む検討によって, 受け渡される光ファイバ電流計測装置について,

次の二つの事項が定まる。

- ・ 受け渡される装置の範囲
  - ・ 受け渡される装置の性能
- d) **詳細設計** c)によって、受け渡される装置の方式、適用条件、範囲及び性能が明らかになった後、受け渡される装置の詳細な設計を行うとともに詳細な仕様を定める。
- e) **製作及び試験** 設計にもとづいて、装置の“製作”が行われる。
- f) **試験** 製作された装置が設計とおりの性能をもつことを確認するため、必要な項目について、装置の“試験”が行われる。
- g) **仕様のとりまとめ** a)～f)の手順が完了した後、装置の仕様がとりまとめられる。

## 附属書 D (参考)

### 他相磁界が加わった時の光ファイバ電流センサ出力

#### D.1 アンペア周回積分の法則

図 D.1 にアンペアの周回積分の法則のイメージ図を示す。電流によって発生する磁界中に閉曲線 C をとり、この閉曲線に沿って磁界の強度（接線方向の成分）の線積分をとると、鎖交する全電流に等しい。これをアンペアの周回積分の法則という [式(D.1)参照]。

$$\oint_C H dl = \sum i = I \dots\dots\dots (D.1)$$

ここに、  
*H* : 磁界の強さ  
*dl* : 微小長さ  
*i* : 微小長さに鎖交する電流  
*I* : 鎖交する全電流

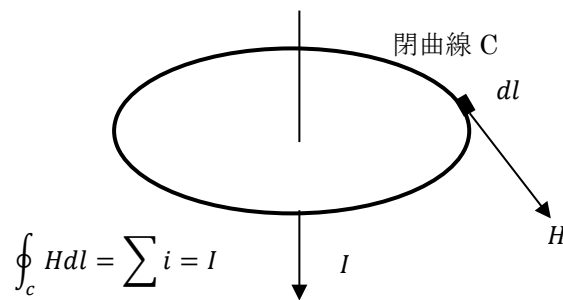


図 D-1—アンペアの周回積分の法則のイメージ図

#### D.2 他相磁界の影響

一方、閉曲線 C の外部に電流が流れている場合は、この閉曲線に沿って磁界の強度の線積分をとると 0 となる。したがって、閉曲線を電流検出用光ファイバの閉ループに置き換えると、閉ループが完全な場合は、外部に電流が流れているときでも電流は検出されず、外部磁界の影響を受けない。逆に、閉ループが不完全な場合は、閉ループに沿って磁界の強度の線積分をとっても 0 にならず外部磁界の影響を受ける。

図 D.2 に電流検出用光ファイバの閉ループが不完全なイメージ図を示す。図 D.2 a) は反射部が閉ループを超えて開いている場合、図 D.2 b) は閉ループが開いている場合を示す。



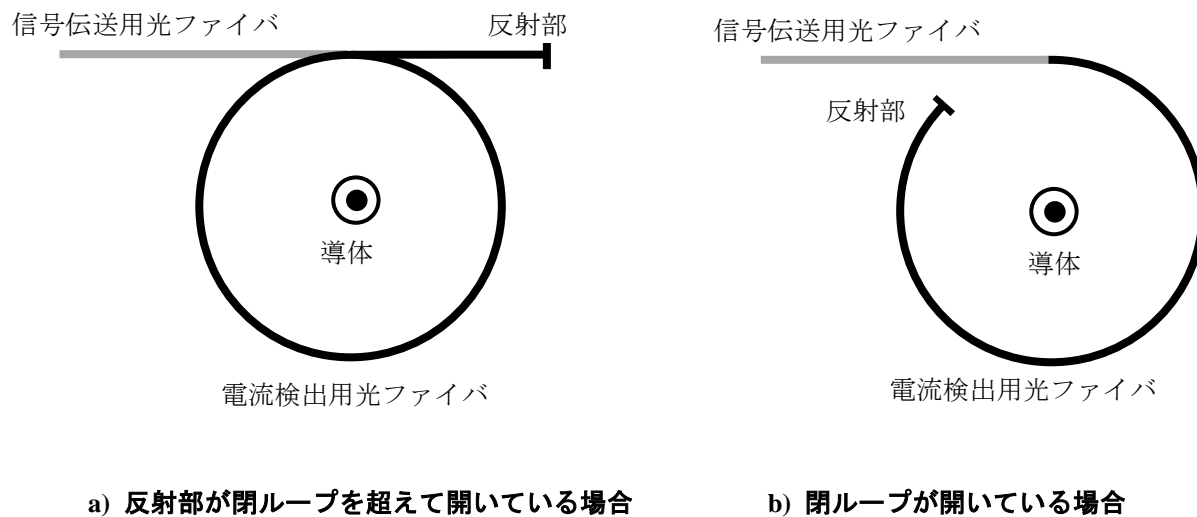


図 D.2—閉ループが不完全なイメージ図

#### 参考文献

- ・IEC 61869-1:2007, Instrument transformers—Part 1: General requirements
- ・IEC 61869-2:2012, Instrument transformers—Part 2: Additional requirements for current transformers
- ・IEC 60044-8:2002, Instrument transformers—Part 8: Electronic current transformers 44-8
- ・IEEE 1601-2010, IEEE Trial-Use Standard for Optical AC Current and Voltage Sensing Systems
- ・JIS C 1731-1:1998 計器用変成器—(標準用及び一般計測用) 第1部: 変流器
- ・EIAJ TT-5006:1998 電子計測器用語規格
- ・JEC-1201-2007 計器用変成器 (保護継電器用)

## OITDA FS 01 : 2017

光ファイバ電流センサ  
解説

この解説は、本体及び附属書に記載した事柄、並びにこれらに関連した事柄を説明するもので、規格の一部ではない。

## 1 制定の趣旨及び経緯

光ファイバ電流センサに関する標準化は、主に出カインタフェースに主眼をおいた電力応用に関する IEC 規格 (IEC 60044-8, Ed.1:2002, Instrument transformers—Part 8: Electronic current transformers) が標準化されている。光ファイバ電流センサは電力用以外の電流測定にも適用が期待されているが、その性能評価手法に関して規定する文章が存在しない。IEC では光ファイバ電流センサの体系的な規格化が議論されており、その電流測定に関する規定として評価手法の標準化を検討し、この規格の制定に至った。

## 2 審議中に特に問題となった事項

今回のこの規格の制定審議で問題となった主な事項は、次のとおりである。

- a) ファラデー効果の記載について、一般的には偏光面の回転で表現されているが、光ファイバ電流センサでは必ずしも偏光面の回転を用いていないので、偏光面回転のもととなった円複屈折性での説明を行った。
- b) 複屈折に関する記載方法、特に birefringence と circular birefringence 及び linear birefringence との関連についての記載方法が議論となった。光ファイバ電流センサを理解する上で、重要な概念ではあるが、規格を読み解く上では必ずしも必要ないと判断し、記載から削除した。
- c) 被測定対象である電流を流す導体と被測定対象ではない電流が流れる導体との区別が必要となった。議論の結果、電力用変流器業界で用いられる導体及び外部導体の用語を用い、区別することとした。
- d) 光ファイバ電流センサの長期信頼性は、ユーザの懸念するところで、規定へ記載する方向で検討した。部品レベルでの信頼性検証の後、光ファイバ電流センサとしての加速劣化試験及び長期安定性試験を考えていたが、前提となる部品レベルでの信頼性検証がまだ国際規格化しておらず、現状では規定に記載しないこととした。
- e) 既設の導体にあとからセンサ光ファイバを巻き付けて増設容易にした光ファイバ電流センサが製品化されている。この性能保証には、センサ光ファイバ形状が不定となることから、ファイバ形状による誤差を考慮する必要がある。この検証方法については、方法が確立しているとはいえず、記載を見送った。
- f) 振動試験について、特に伝送部に偏波を考慮しない通常のシングルモードファイバを使用した場合の偏光面回転の影響についての記載を検討した。正しく設計されていない光ファイバ電流センサについては、この影響が表れる可能性があり、考慮するのが望ましい事項であるが、試験方法の合意に至らず、伝送部の打振実施の記載に留めた。

### 3 規格検討メンバ

この規格の検討メンバを次に示す。

氏名	規格検討メンバ 所属
熊田 亜紀子	東京大学
村山 英晶	東京大学
高橋 正雄	○ 株式会社 東芝
黒澤 潔	○ 愛媛大学
山口 達史	○ 株式会社東光高岳
佐々木 勝	○ アダマンド株式会社
小泉 健吾	沖電気工業株式会社
足立 正二	横河電機株式会社
山田 誠	大阪府立大学
渋谷 隆	○ NEC スペーステクノロジー株式会社
村田 健治	一般財団法人光産業技術振興協会
増田 岳夫	一般財団法人光産業技術振興協会

○は執筆者を表す。

#### 4 原案作成部会の構成表

この規格は、次に示す原案作成部会において、2015年度から検討を開始し、2016年末までに原案を取纏め、審議した。

#### ファイバオプティクス標準化部会 光ファイバセンサ専門部会 構成表

(2016年度)

	氏名	所属
(議長)	村山 英晶	東京大学
(メンバ)	山田 誠	大阪府立大学
	足立 正二	横河電機株式会社
	荒木 則幸	日本電信電話株式会社
	大道 浩児	株式会社 フジクラ
	岡村 治男	株式会社グローバルプラン
	加藤 一	住友電気工業株式会社
	熊田 亜紀子	東京大学
	黒澤 潔	愛媛大学
	小泉 健吾	沖電気工業株式会社
	斉藤 崇記	アンリツ株式会社
	佐々木 勝	アダマンド株式会社
	高橋 正雄	株式会社 東芝
	田畑 和文	オプトオール株式会社
	時山 芳樹	古河電気工業株式会社
	深谷 愛信	NTT アドバンステクノロジー株式会社
	藤田 圭一	長野計器株式会社
	増田 岳夫	一般財団法人光産業技術振興協会
	町島 祐一	株式会社レーザック
(オブザーバ)	山口 達史	株式会社東光高岳
	植村 聖	経済産業省
	加藤 俊二	国立研究開発法人 土木研究所
	坂本 歩	長野計器株式会社
	渋谷 隆	NEC スペーステクノロジー株式会社
	森 博之	経済産業省
(事務局)	山下 哲朗	一般財団法人光産業技術振興協会
	鈴木 俊美	一般財団法人光産業技術振興協会

**ファイバオプティクス標準化部会 光ファイバセンサ専門部会 構成表**

(2015 年度)

	氏名	所属
(議長)	山田 誠	大阪府立大学
(メンバ)	足立 正二	横河電機株式会社
	荒木 則幸	日本電信電話株式会社
	大道 浩児	株式会社 フジクラ
	岡村 治男	株式会社グローバルプラン
	加藤 一	住友電気工業株式会社
	木村 康郎	NTT アドバンステクノロジー株式会社
	熊田 亜紀子	東京大学
	黒澤 潔	愛媛大学
	小泉 健吾	沖電気工業株式会社
	斉藤 崇記	アンリツ株式会社
	佐々木 勝	アダマンド株式会社
	高橋 正雄	株式会社 東芝
	田畑 和文	オプトオール株式会社
	時山 芳樹	古河電気工業株式会社
	藤田 圭一	長野計器株式会社
	増田 岳夫	一般財団法人光産業技術振興協会
	町島 祐一	株式会社レーザック
	村山 英晶	東京大学
(オブザーバ)	山口 達史	株式会社東光高岳
	植村 聖	経済産業省
	加藤 俊二	国立研究開発法人 土木研究所
	坂本 歩	長野計器株式会社
	渋谷 隆	NEC スペーステクノロジー株式会社
	高橋 聡	経済産業省
(事務局)	山下 哲朗	一般財団法人光産業技術振興協会
	山田 隆史	一般財団法人光産業技術振興協会



禁無断転載

この OITDA 規格は、一般財団法人光産業技術振興協会ファイバオプティクス標準化部会光ファイバセンサ専門部会の審議により制定したものである。

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。

OITDA 規格：

光ファイバ電流センサ

(Fiber optic sensors – Polarimetric current measurement)

規格番号：OITDA FS 01：2017 第 1 版

第 1 版 発行日：2017 年 5 月 16 日

発行者：一般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）