

光応用工業計測システムの展望

View of Industrial Measuring Systems Applying Optical Technology

上田 伸也 * Shinya Ueda · 安原 毅 * Takeshi Yasuhara · 外山 文生 * Fumio Toyama

中野 昌芳 * Masayoshi Nakano · 宇野 正裕 * Masahiro Uno

I. 光技術の工業計測センサへの応用

光技術は古くから工業計測センサに応用されており、例えば発光、吸収、散乱ないし蛍光スペクトルの利用、干渉や偏光現象の利用など、光と物質との相互作用を利用して対象物質の特性ないしは対象物質の状態を知る有力な手段となっている。

最近の光ファイバ通信技術、レーザや高輝度放電管などの光源、各種の光検出素子などの光技術、光学素子の発達は更に高度、広範囲な光応用計測センサの実現を可能としている。

光技術の計測センサへの応用方法は多岐にわたっているが、有力な応用の一つはデジタル多重光伝送技術をセンサの出力信号ラインとして用いることであろう。

トランシーバノイズなど種々の誘導障害を受けやすい伝送ラインに S/N 比の良い光通信を応用することは信号線数の減少、双方向通信可能性などの利点も含めて将来これが経済的に成り立つ時点で広く普及することが予想される。

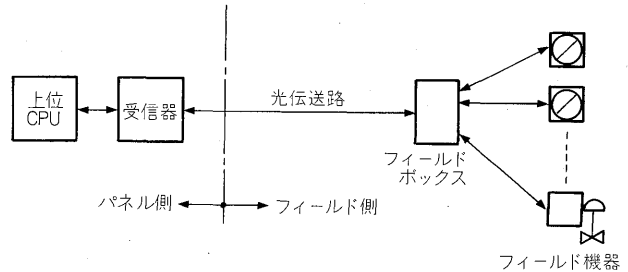
もう一つの有力な応用分野は、分光技術応用センサであろう。光源、光検出素子の進歩及びマイクロコンピュータ技術の普及により、FFT などのデジタル情報処理手法が比較的手軽に適用できることから、発光、吸収、散乱などのスペクトル特性を利用するセンサの経済性、機能及び信頼性の大幅な向上が期待される。

以上の観点から、光伝送のセンサシステムへの応用、光応用計測センサの展望及び富士電機の現状について紹介することとしたい。

II. センサ、アクチュエータシステムにおける光技術の応用

従来から、センサ、アクチュエータなどのフィールド機器とパネル室間は 1 : 1 の伝送路により行われており、アナログシグナル、すなわち直流電流信号 (DC 4 ~ 20 mA) あるいは、空気圧信号 (0.2 ~ 1.0 kgf/cm²) が主体的に採用されている。

しかしながら近い将来において、光伝送技術、マイクロエレクトロニクスの進歩によって、伝送シグナルはデジタル化され、多重化が普及するものと予測される。



第1図 システム構成図 (1ユニット)

Fig. 1. System outline (1 unit)

このような見地から、センサ、アクチュエータの多重化デジタル伝送として諸方式が提案されているが、ここでは光技術を応用した一方式例を提案し、これについての展望を紹介してみたい。

第1図にシステムの1ユニットの構成例を示す。フィールド機器は、センサ、アクチュエータを主体とする機器を示す。これらの機器はすべてマイクロプロセッサを内蔵し、データのデジタル処理、及び定められた手順によりデジタル信号による伝送を行う。

フィールドボックスは、例えば8台までのフィールド機器をスター状に受信器と接続する光中継器である。

受信器は、フィールド機器と上位システムとのデータ中継部となり、中継データはすべて受信器のメモリに一度入れられる。通常、受信器-フィールド機器間はサイクリックに一定のサンプリング周期でデータの授受が行われる。

信号伝送はすべて光ファイバを使用し、双方向伝送が行われる。

このシステムの特徴として次のような点が挙げられる。

1) 高精度化が可能

従来のアナログデータ処理では、処理ごとに誤差を発生し、誤差が累積されるのに対し、ほとんどデジタル処理となるので、高精度が達成可能となり、更により複雑なデータ処理も可能となる。

2) 自己診断機能及び機器管理機能の追加

機器の電源チェック、回路ドリフト自動補正、伝送ラインの故障箇所診断、あるいはゼロ、スパン、フィルタ

* 東京工場 設計部

リングのリモートセッティング, 更にはフィールド機器のタグナンバの照合など, すべて受信器から管理可能となる。

3) 高信頼化が可能

フィールドにおけるノイズ, サージに影響されず, 更に, 伝送ラインの冗長化がフレキシブルに適應できる。

4) 本質安全防爆のグレードアップ

上位システム, 受信器からの電気エネルギーを考慮する必要がないので, 高い本質安全性が得られる。

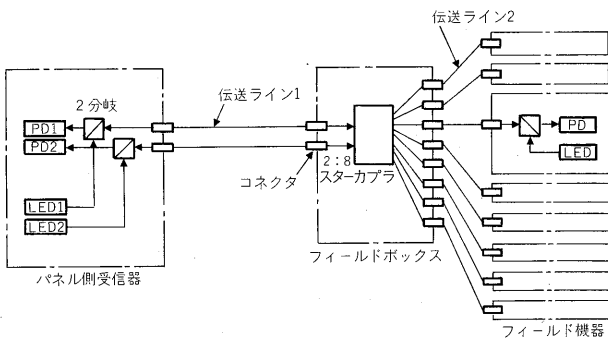
5) 多点計測及び複合計測への適應性

フィールド機器に多数のセンサを接続すれば, より多くの情報が伝送可能となる。

6) 多重化によるパネルスペース, 配線工事の合理化

パネル内は多重化及び双方向伝送により, データ伝送線本数が大幅に低減され, パネルスペース, 配線工事が合理化され, 計装の高度化に適應できる。

次に光伝送ラインの構成例を第2図に示す。また伝送仕様例を第1表に示す。



第2図 光伝送ライン構成図
Fig. 2. Optical transmission line

第1表 伝送仕様
Table 1. Specifications

伝送方式	半二重無変調ビットシリアル伝送
伝送線路	光ファイバ双方向
同期方式	調歩同期
伝送制御	時分割多重
誤り制御	パリティ, 反転二連送
伝送速度	1Mビット/秒以下
伝送距離	1.2km以下

受信器内のLEDにより, あらかじめ定められた伝送手順に基づき, 順次フィールド機器へ呼出し信号が伝送される。この信号は伝送ライン1を経て, 光スターカプラ, 伝送ライン2を通じて各フィールド機器へ伝えられ, PDにより検出される。次に呼び出された機器が応答信号をLEDから発信し, 前記と同じ信号ラインを逆方向

に伝送され, 受信器のPDにより受信される。これを繰り返すすべてのデータの授受が行われる。受信器とフィールドボックス間の伝送ライン1は, すべてのデータを中継するので第2図に示すように二重化して信頼性を向上させることもできる。

以上示した伝送ラインにおいて解決すべき光パーツの課題として, コスト及び光パワーの減衰に対する対策が必要であり, これらの解決が達成されれば, 大幅にその採用が進むであろう。

III. 光吸収スペクトル及び光散乱応用計測
センサの現状

1. 光吸収及び光散乱式分析計

1) 紫外線式有機汚濁計 (UV計)

(1) 概要

UV計は, 有機物が紫外線を吸収する現象を応用し, 水中の有機物濃度を統計学的に測定するもので, 運転試薬などを使用せずに, 直接連続的に測定でき, 保守の簡便さを主眼とした有機汚濁濃度計である。

有機物の紫外線吸収の度合は, 物質の種類により異なるが, 活性汚泥法などによる浄化処理をした生活排水などでは, 比較的安定した吸光性を示し, JIS手分析(水質総量規制制度における指定計測法)のCOD値との間に高い相関が得られる。

(2) 測定原理

紫外線吸光度法 (2波長2光路長による連続計測)

(3) 測定範囲

吸光度 $0 \sim 0.5$ }
 $0 \sim 1$ } いずれかを指定

(4) 洗浄方式

エアバブリングによる自動間欠洗浄

(5) 測定形態

浸漬式又はサンプリング式

2) 濁度測定装置

(1) 概要

本装置は, 上下水道・河川などにおける水の連続監視を目的とした表面散乱光測定方式の濁度計である。本装置は, 検出部と変換部が分離された構成で, 検出部は長期間安定な連続測定ができ, かつ容易に保守できるように考慮されている。

濁度の測定は, 各測定方式ともそれぞれ問題点を残しているが, 長期間の連続測定という点では表面散乱光測定方式が最も優れているといえる。本装置では, この問題点に十分対処しており, 調整が容易で測定精度の高い濁度測定装置となっている。

(2) 測定原理

断続光による表面散乱光測定方式

(3) 測定範囲

0 ~ 2, 3, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1,000 ppm (いずれかを指定)。

(4) 洗浄方式

自動間欠水流洗浄 (オプション)

(5) 測定形態

サンプリング式

3) 汚泥濃度測定装置 (MLSS 計)

(1) 概要

本装置は、污水処理プラントにおけるばっ気槽内の活性汚泥浮遊物の濃度計である。

検出部は1本の発光器と、発光器より異なる距離に置かれた2本の受光器から構成される。それぞれの受光器には、検水中の浮遊物濃度と発光器からの距離に応じた光が入射する。両受光器の出力信号の差は、浮遊物質の汚泥濃度に対応した信号となり、これを増幅変換指示する。

検水をポンプでくみ上げて、検出部をセットしたフローセル中に突流させることにより、検出部を検水で常時洗浄して安定な測定を行う。

(2) 測定原理

反射散乱光測定方式 (1発光器2受光器)

(3) 測定範囲

500 ~ 5,000 又は 500 ~ 10,000 ppm (いずれかを指定)

(4) 洗浄方式

ポンプくみ上げ検水流速による自己洗浄方式

(5) 測定形態

サンプリング式

4) 非分散赤外線ガス分析計

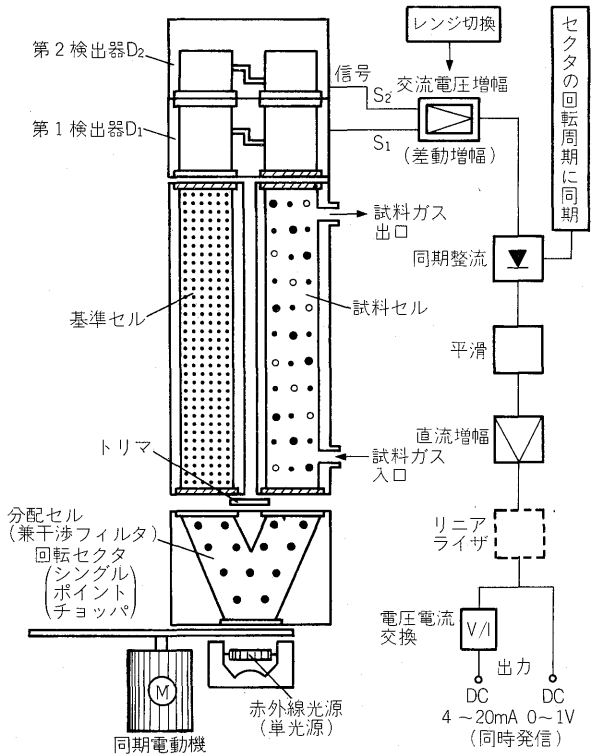
(1) 原理

一般に、CO, CO₂, SO₂などの多原子分子は赤外域に固有の吸収スペクトルを有し、それらの赤外線吸収の強さと濃度との間には次の関係がある(ランベルト・ベールの法則)

$$I = I_0 e^{-\alpha c l}$$

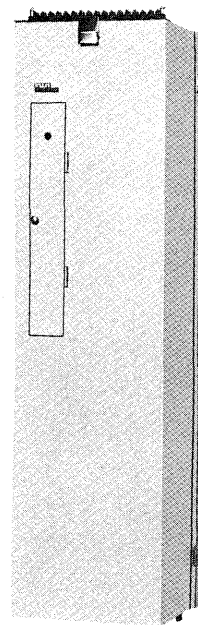
ここに、Iは透過赤外線の強さ、I₀は入射赤外線の強さ、cはガス濃度、lは赤外線の透過長さ、αは吸収係数である。赤外線分析計はこの関係を利用して、赤外線の吸光度からガス濃度の測定を行う。第3図にダブルビーム方式分析計の原理図を示す。

光源から発せられた赤外線は分配セルで2光束に分けられ、一方は赤外吸収のない基準セルを、他方は測定ガスにより吸収の生じる試料セルを透過したのち検出器に到達する。検出器の二つの検出槽は通常、測定ガスと同じガスが封入され、両槽を結ぶ通路の中間にマイクロフローセンサが設けられる。両槽の吸収量の差によって生じ



第3図 ダブルビーム方式非分散赤外線ガス分析計原理構成図

Fig. 3. Principle diagram of dual beam method NDIR gas analyzer



第4図 ダブルビーム方式非分散赤外線ガス分析計

Fig. 4. Dual beam method NDIR gas analyzer

る圧力上昇差による微小な流れをマイクロフローセンサで検出し、電気信号に変換する。

富士電機ではこのほかに、試料セルだけで基準セルをもたないシングルビーム方式分析計も実用化している。光学系の研究改良により、簡単な構造で高い安定性を実現し保守が容易であるなどのプロセス用途に適した特長を有している。第4図及び第5図にそれぞれの分析計を示す。



第5図 シングルビーム方式非分散赤外線ガス分析計
Fig. 5. Single beam method NDIR gas analyzer

(2) 測定対象・測定範囲

赤外線分析計は近年技術的に改良が進み、光学系の改良や回路技術の進歩に基づくサンプルスイッチング法などの手法や、更にはガス成分を変換する各種触媒コンバータの開発等により、特に高感度化、測定ガスの種類の拡大等にもみるべきものが多い。また、小形で高感度なマイクロフローセンサの特長を生かして、1台で同時に二成分を測定できる二成分計も製品化している。第2表に主な測定ガスとその測定感度を示す。

第2表 測定対象と最小レンジ
Table 2. Measurement component and minimum measurement range

測定対象	最小測定範囲(ppm)
CO ₂	0~20
CO	0~2
SO ₂	0~2
NO	0~2
NH ₃	0~2
CH ₄	0~200
N ₂ O	0~50
CF ₃ CHBrCl	0~10

(3) 適用分野

非分散赤外線分析計は他の測定原理に比べ、選択性が高い、連続測定ができる、応答速度が速い、安定性が良く保守取扱いが容易であるなどの特長を有することから、プロセス用をはじめとして多くの分野で使用されている。主なものとしては、燃焼排ガス分析、鉄鋼関連排ガス分析、熱処理、窯業・セメント、各種プラントのガス濃度測定その他各種実験用等に使用されている。

(4) 今後の展望

非分散赤外線ガス分析計は他の工業用計測器に比べると、性能あるいは保守の点でまだまだ改良の余地が残されていると思われる。今後は更に高性能化、インテリジェント化、メンテナンスフリーを目指した製品が開発さ

れるであろう。

5) 光音響式スペクトルアナライザ⁽³⁾⁻⁽⁵⁾

(1) 概要及び原理

光音響式スペクトルアナライザは、試料に照射した光エネルギーのうち、熱エネルギーに変換される量を測定する分析器であり、従来の分光分析法では得られない各種の情報を得ることができる。

一般に、物質に光を照射すると、吸収された光エネルギーの一部は熱エネルギーに変換される。この熱エネルギーは、物質の表面を介して周囲の気体に伝達され、気体を膨張させる。照射光を断続させて生じる粗密波をマイクロフローセンサやマイクロホンにより検出することにより試料の吸収スペクトルが得られる。

(2) 特長と応用

測定感度は照光強度に比例するので、レーザ分光等の応用により、試料表面の極微量物質も分析できる。

検出器からの信号は、光吸収→熱エネルギー変換→試料内部の熱伝導→圧力波、のように幾つかの時間遅れのファクタをもっており、これらの位相差を利用して緩和現象や熱的定数などの物性測定を行うことができる。また、分析対象となる試料層の深さは光断続周波数と試料の熱的定数によって決まるので、光断続周波数を走査して試料の断層分析も可能であるなど、光音響信号には幾多の情報が含まれており、今後の信号処理の多様化とともに、応用分野は更に拡大していくと考えられる。

富士電機においては、昭和54年に試作器「THERMAL ECHO-I」を開発し、理化学研究所における植物光合成の研究に供せられたほか、現在各研究機関と共同して応用技術の蓄積を図っている。

2. 光吸収式厚みセンサ⁽⁶⁾⁻⁽⁸⁾

1) プラスチック膜厚計

(1) 概要

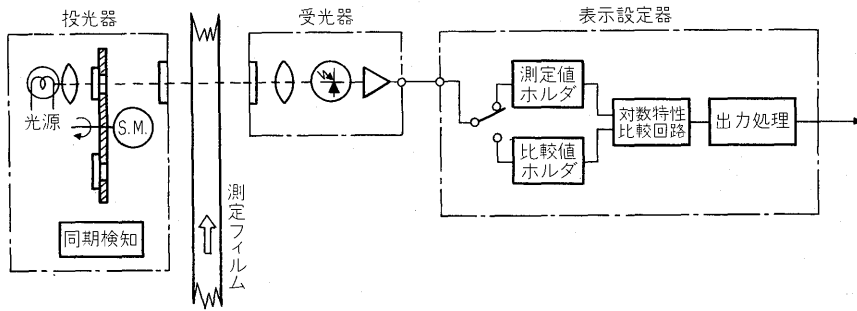
プラスチック膜厚を、オンライン、高精度で測定する厚さ計として、従来は主としてβ線厚さ計が用いられていたが、RI使用に関する取扱上の制約を受けることから、厚さ測定の重要度の増加とともに、β線法と同等の性能をもつ非RI法厚さ計のニーズが高まっている。

赤外線厚さ計「INFRA-MICRO」は、プラスチックの固有の光吸収を利用して厚さを測定する非接触オンライン膜厚計である。

(2) 測定原理

プラスチック等の有機化合物は、一般に2~15μmの波長領域に固有の光吸収帯を有しており、その吸収強さはランベルト・ベールの法則に従うことが知られている。したがって、この吸収帯でのプラスチック膜の光吸収量を測定することにより厚さを知ることができる。

赤外線厚さ計「INFRA-MICRO」では、各種外乱



第 6 図 測定原理図
Fig. 6. Principle block diagram

等による測定誤差を最小とし、安定性の向上を図るため 2 波長方式を採用している。第 6 図に測定原理図を示す。測定対象によって吸収を受ける“測定波長 λ_s ”と、ほとんど吸収を受けない“参照波長 λ_R ”の二つの波長の光が、それぞれ厚さ X のプラスチック膜を透過した後の光強度 $I_x(\lambda_s)$ 及び $I_x(\lambda_R)$ を測定し、以下の演算を行うことにより、厚さが求まる。

$$\ln \frac{I_x(\lambda_s)}{I_x(\lambda_R)} = \ln \frac{I_o(\lambda_s)}{I_o(\lambda_R)} - (\alpha_s - \alpha_R) \cdot X$$

ここに、 $I_o(\lambda_R)$, $I_o(\lambda_s)$: 各波長における入射光強度

α_s, α_R : 各波長における吸収系数

(3) 特長及び性能

2 波長方式の採用により、光源の強度変化、測定対象の表面状態の変化、あるいは周囲の雰囲気等に起因する測定誤差が小さく、高精度で連続測定ができる。また、検出ヘッドを自動スキャンすることにより、プラスチック膜の幅方向の厚さプロフィールが得られ、厚さの非接触連続監視とともに、厚さ制御システムに組み込んで原材料の節約及び製品の品質向上を図ることができる。「INFRA-MICRO」の主な仕様を以下に示す。

① 測定対象

- A : [ポリエチレン, ポリプロピレン, ポリ塩化ビニル, ポリスチレン, 酢酸ビニルなど]
- B : [ポリエチレンテレフタレート, ポリ塩化ビニリデン, ナイロンなど]

② 測定範囲

- 測定対象 A : 10~200 μm 又は 500 μm
200~2,000 μm
- 測定対象 B : 20~200 μm 又は 500 μm

③ 再現性

- 測定範囲 500 μm 以下
± (測定値の 1% + 1 μm) 以下
- 測定範囲 200~2,000 μm
± (測定値の 0.5% + 10 μm) 以下

(4) 今後の展望

国内外の経済的背景の中で、プラスチックの膜は今後更に高級化—薄膜化、多層化など—の傾向を強めるものと推定される。赤外線式厚さ計は比較的新しい計測器であり、今後これらの高性能化とともに、その応用技術も拡張していくであろう。

参 考 文 献

- (1) 渡辺敦夫ほか：分析用センサの現状，富士時報，54，8，pp. 558~562 (1981)
- (2) 浜田敏義ほか：シングルビーム方式工業用赤外線ガス分析計，富士時報，54，10，pp. 699~704 (1981)
- (3) A. Rosenzweig : Optoacoustic Spectroscopy and Detection, pp. 193~239, Academic Press, New York
- (4) 井上頼直ほか：Transient variation of photoacoustic signal from leaves accompanying photosynthesis (1979)
- (5) 麓孝文ほか：光音響分光分析器の開発，昭和 54 年秋期応用物理学会講演予稿集，p. 101 (1979)
- (6) 沢口睦夫：プラスチックフィルム用連続厚さ測定器“赤外線厚さ計 (INFRA MICRO)”について，計装，24，3，pp. 48~52 (1981)
- (7) 秦範男：インフレフィルム製造における厚み制御，プラスチック，32，3 (1981)
- (8) 上田芳夫：赤外線厚さ計「インフラマイクロ」について，紙とプラスチック，9，9，pp. 26~33 (1981)



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。