

光ファイバ

温度のモニタリングと制御の新しいアプローチ

光ファイバが赤外線検出器と信号処理エレクトロニクスに接続できるようになり、非接触温度測定の可能性が大きく広がりました。

最近になって、障害物を迂回して信号を長距離送信できる光ファイバが注目を浴びようになっています。

長年、赤外線検出器は従来の光学部品（レンズ、鏡、プリズム）を活用してアプリケーションを広げてきましたが、光ファイバは除外されていました。理由は、ファイバがガラスかプラスチックのどちらかで作られており、赤外線のスペクトル領域の大部分が、透過できないからです。したがって、赤外線検出器と光ファイバは、組み合わせて使用できませんでした。

しかし技術革新により、光ファイバで IR を実用的に送信できることが実証されました。その結果、赤外線検出器と光ファイバの組み合わせにより、優れた性能を持つ数多くの計装制御システムが生まれました。

赤外線放射の理論と IR 測定方法についてはよく知られているので、ここでは主に、IR 検出器に関連した光ファイバのアプリケーションについて説明します。具体的には、構造、長所、短所およびアプリケーションなどについてです。標準的な光ファイバはシリコン（ガラス）からできています。プラスチックやクォーツも利用可能ですが、通常データ伝送に使用されます。今日、製造されている光ファイバは、光伝送をするガラスコアの周りを、低い屈折率の薄層ガラス被覆加工でコーティングした構造になっています。この被覆加工は、コアを保護するのにも役立ちます。

赤外線の計装機器に使用されるすべての光ファイバは、赤外領域の放射光を伝送する能力のあるガラスで作られています。

ファイバの正面から入った赤外光は、入射角度が臨界角より小さい場合は、ファイバコアの内壁で全反射します。この形で反射が繰り返されて反対側に達するか、または、完全に吸収されるまで反射し続けます。言い換えると、 X° の臨界角を持っているファイバに関しては、ファイバ前面から入射してきた光は、臨界角と同じ角度か以下の場合、すべてがファイバコアの中に全反射で閉じ込められることを意味します。

一方では、入射光の角度が臨界角より大きい場合は、コアの内壁で反射しないで通り抜けていきます。この現象は一般的に「スピル」と呼ばれます。（図 1 参照）

臨界角の値はコアを形成するガラスと、それを囲む媒体の屈折率の比率の関数です。比率を制御することによって、光ファイバの許容角度を増減させ、特別な特性を持つ光ファイバを作ることができます。

IR モニタ用途の光ファイバは、何百本もの繊維の束をシースの中に入れて作ります。シース材料には、金属や非金属でできた柔軟性のあるものを使用します。束の先端は、高温エポキシを使用して固定されています。その表面は、入射確度が明確に定義できるよう高度に磨かれており、反射損失を最小にしています。多数の細いファイバの束は、より多くの信号を検出器に集めるだけでなく、機械的柔軟性を持っています。各ファイバの外径は通常 $25\ \mu\text{m}$ です。

アプリケーションの大半で光ファイバの長さは $1\sim 2\text{m}$ です。時には、ファイバ長が約 10m の場合があります。IR を送信するのにファイバの束を使用する理由は MMT（最小の測定可能な温度）と目標までの距離、およびスポッ

トサイズです。温度が高ければ高いほど、ファイバは長くできます。逆に低温ではガラスによる減衰が大きくなるので、より短いファイバしか使えません。

集光していないファイバ（レンズ不使用時）には、 60° の視野角（受け入れ角度）があります。この視野角から、検出器がみる測定面の直径は、ファイバの測定側エンドと測定面の間の距離よりわずかに大きくなります。これは、同じファイバで、可視光を逆方向に照射（バックライティング）して測定面を照らすことにより簡単に確認できます。目標エリアが大きく平均温度を測定するのが望ましい場合は、集光していないファイバを使用します。

集光しているファイバ（レンズアセンブリをフロントエンド取付時）は、例えば、 4.5m 以上離れた地点から、直径 0.01cm ほどの小さい面を測定するのに使用されます。ファイバ長は、ファイバが集められるエネルギー量に関係しています。また、バックライティングにより、レンズが適切に集光していることと、目標に対するアライメント（位置決め）が正しいことを確認できます。振動などの動きのある測定対象で、レンズのアライメントがずれる可能性があるアプリケーションでは、二股タイプの光ファイバが推奨されます。ファイバの 1 つを、高輝度光源に接続して、バックライティングが随時に行えるようにします。光源を必要な時に短時間 ON にして、アライメントを確認します。もう片方のファイバは、赤外線検出器に接続して、バックライティングで確認した測定目標と全く同じエリアからの赤外放射光を測定します。

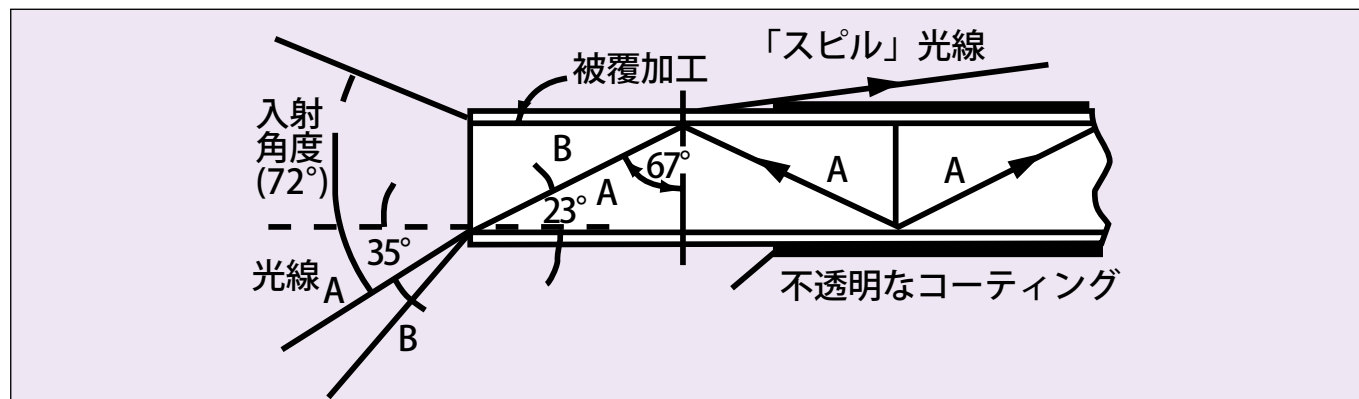


図1

ファイバアセンブリの種類

ファイバとレンズ構成は品揃えが豊富で、さまざまな用途に利用できます。

以下に、光ファイバシステムの実例を述べます。

シーす

- ・単一、二股、三股の光ファイバシステム
- ・フレキシブルなステンレス (標準)
- ・高耐久型 SS 編組
- ・頑丈な編組ファイバ (Imperial Eastman)
- ・PTFE (高 RF フィールドでの使用)
- ・保護チューブ

レンズ

- ・1.27 cm、1.90 cm、2.54 cm x 8.59 cm から最大 27.7 cmまで

- ・ナチュラルか黒アルマイトの外装

- ・角度付レンズ構成が可能

交換可能なチップ (ファイバ先端部)

- ・ガラスかクォーツ、長さ 7.62、15.24、22.86 cm
- ・セラミックかステンレスジャケット付光学ロッド

- ・ガラス、長さ 15.24、30.48、60.96 cm
- ・セラミックかステンレスジャケット付

特注

- ・直角プリズム、高速スキャナ、角度付バンドル構成

アプリケーション

あらゆる製品が、自動車から安全ピンまでが何らかの熱処理を必要としています。非接触の温度モニタと制御の応用範囲は多岐にわたります。

誘導加熱

強い電磁誘導エネルギーで金属部品を加熱するアプリケーションでは、強い磁界のため従来の測定機器は使用できません。

図 2 と 3 は、光ファイバシステムの標準的アプリケーションで、誘導加熱されている金属部品の温度の監視と制御です。電磁誘導式加熱炉の中で動いている部品を、非接触で温度測定しています。

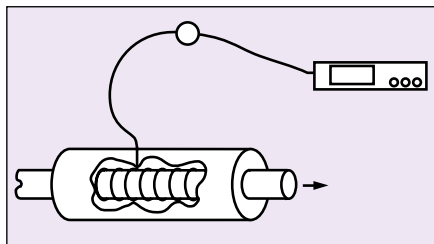


図2: 連続して誘導加熱される鉄鋼ロッド

正確な温度管理が、金属部品の熱処理には不可欠です。正確な熱制御により特定の力学的特性を持つ結晶構造を金属表面に発生させます。

この制御は、ON/OFF または高速比例制御を光ファイバ温度管理システムと連携させて行います。

この光ファイバ光学系は、従来型の赤外線検出システムに比べ、ファイバ先端を極めて目標に近接した場所に設置して温度管理ができます。

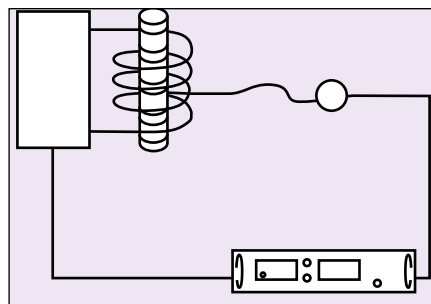


図3: 自動車のクランクシャフトの誘導加熱制御

ファイバの先端は、処理材料の温度情報を採取するために、誘導コイル間の隙間に配置できます。RF 磁界の悪影響を避けるために、セラミックで外部を保護したファイバ先端 (取替式) を使用しています。あるいは、システムの構造上、ファイバ先端を目標の近くに配置できない場合は、遠方から赤外線をモニタできるレンズシステムが使用できます。

この光ファイバとエレクトロニクスは誘導エネルギーの影響を受けないのが普通ですが、電氣的ノイズが過度に高いときには、同期復調システムを使用できます。同期復調システムは検出器からの 400Hz AC の信号を DC に変換します。この変換は、従来の AC/DC コンバータとは異なり、400Hz の信号成分だけを選択して、他の周波数のノイズ成分を分別します。

連続 casting

ここでは、長さ 9m までの光ファイバアセンブリをローラーの間に配置して、スラブ表面から 3 ~ 5 cm の距離にファイバ先端を設置します。離れた場所に設置した自動マルチプレクサにより、複数の観測点からの信号を時分割方式で処理して、費用とスペースの節約を行います。安定した透過率を持つ光ファイバと、0.8 ~ 1 μ m の短波長シリコン検出器を利用して、システムは煙、熱気、蒸気、水に妨害されずに温度を計測できます。(図 4 参照)

このタイプのアプリケーションでは、高温と機械的なストレスにさらされるので、ファイバ先端はエアパージと特別な保護シースが必要です。

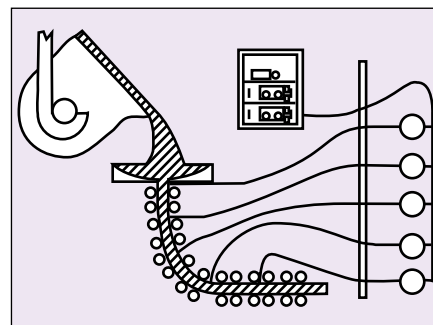


図4: チャンネルのマルチプレックス信号処理とディスプレイシステム

パージチューブは汚染物質が蓄積しないように、パージエアが適切な角度でファイバのフロントエンドに当たるように設計されています。

鍛造、ホットスタンピング、パイプ曲げ加工
金属部品の鍛造は、粗鍛造と精密鍛造の両方があります。精密鍛造は、スラッジの発生が少なくなります。また、パイプの曲げ加工と成型加工はこのアプリケーションに含まれています。これらの加工を行うには、加熱炉、炎、誘導加熱などで、最適温度になるよう部品を加熱します。部品温度が最適条件より低いと、ひびや内部ストレスが起き、最適条件を超えていると、垂れ下がりなどが起きます。赤外ファイバの導入による正確な温度制御は以下の効果があります:

- ・部品不良 (ひび割れ、たれ) の発生防止で廃棄物の減少
- ・熱エネルギーの調整: 最適レベルを超えて加熱しない。
- ・生産速度の向上: 温度のオーバーシュートを避けながら部品的高速加熱を行う。

ダイカスティング

金型温度は、鋳造において決定的な重要性を持っています。光ファイバを使用したアルミニウム製品の熱サイクリングは、金型温度を最適に保つことにより実施できます。図 5 はファイバの先端が、金型のフレームを通して挿入されて、アルミ部品に直接触れるランナープレートに設置されているところを示しています。

この対策による大きな改善点は以下の通りです:

- ・熱エネルギーの節約: 過熱による生産廃棄物を抜本的に減少
- ・加工サイクルの向上による増産効果。運転が、時間だけでなく、キャスト材料の温度によって自動的に制御され、より早い加工サイクルが可能になります。
- ・キャストの加工品質の改良: 温度を関数としたプロセス制御を行うと運転が簡単になるうえ、コールドスタート時とサイクル中断後の自動補正が可能になります。

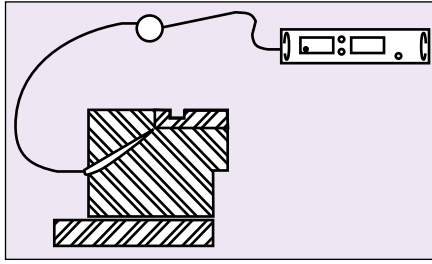


図5

金型や炉の温度を直接表示して、冷却水のローレベル状態や配水不良を迅速に制御。温度管理を徹底すると、過剰な加熱による悪影響が目視可能な形で製品に現れる数ショット前（不良品が出る直前）に回避できます。

金属レーザー加工の制御

レーザー（一般に高出力CO2レーザー）が、溶接、表面処理、および金属の仕上げ加工に使用されています。従来のアプローチは、所定のレベルにパワーを保つために定期的にレーザービームの抽出テストをします。しかしながら、このアプローチは目標となる部品表面の放射率変化を自動的に補正することができません。この放射率変化はレーザーパワーの吸収量に影響を与え、結果として目標の温度に影響します。この温度が、レーザー加工性能に重大な影響を与えます。

この問題は放射率の影響を受けない赤外線ファイバ光学システム(EITM)の使用で克服できます。(図6参照)レーザー加工しているスポットに、温度測定用のファイバをあわせることで、赤外線システムは、正確に同じ場所でターゲット温度を測定できます(温度測定は、レーザー波長の影響を受けません)。ターゲットの温度情報をもとに、レーザーパワーを制御して、加工が最適な温度で行われるようにします。

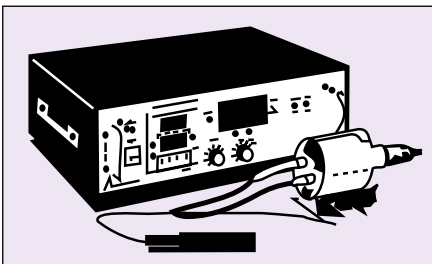


図6

赤外線ファイバオプティックスの長所をまとめると：

- ・リアルタイムで非接触温度測定
- ・小型の光ファイバは狭い所に取り付けられレーザー加熱面を直接モニタ可能
- ・EITMは部品加熱プロセスでの放射率変化を補正
- ・EITM応答速度はレーザーの応答速度に適合可能

その他の重要アプリケーション：

フレイム切断

自動化されたガス切断は、さまざまな形に鋼板を切るためにパターンレーシングかコンピュータ制御のどちらかを使用します。(図7参照)

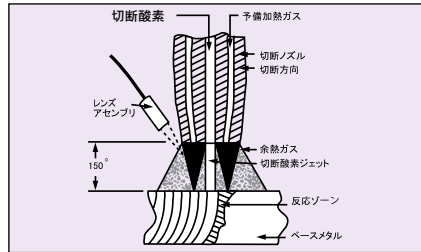


図7

余熱段階では、溶融金属の「たまり」が検出されるまで、天然ガスかプロパンガスで金属板を加熱します。複数の切断吹管(バーナー)を同時に使用するアプリケーションでは、余熱完了時間が切断吹管の間で異なる可能性があります。溶融金属のたまり形成後、切断酸素がガス流の中心に注がれて、溶融金属を吹き飛ばします。

切断酸素の吹付開始が早すぎると、切断不良となり鋼板上に荒く広い凹みが残ります。レンズアセンブリ付の光ファイバを設置して、(炎の影響を受けずに)鋼板表面温度を測定して、最適温度になるように制御します。多重化処理とリレー制御を使用して、全ての設定ポイントが準備完了となり関連したリレーが閉じられるまで、切断酸素は吹付開始になりません。この様な制御により高品質の切断が実施されます。

鋼鉄ホイールの炎焼き入れ

鋼鉄製ホイールの表面を堅くするには、炎焼き入れ(フレイムハード)を使用します。建設現場用のブルドーザ、バックホウ、トラックなどの駆動ホイールやアイドルホイールなどに使用されます。

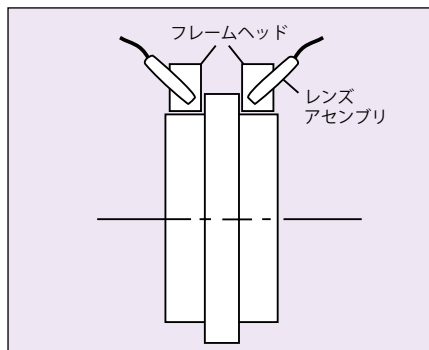


図8

フレイムヘッドはホイール(図8)の両側に置かれます。ホイールが回転するのに従って、炎がホイール表面に接触して、温度が約976℃になるまで上昇させます。炎で焼いた直後に、

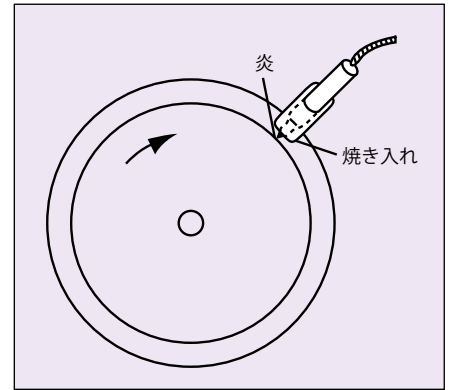


図9

冷却水(図9)で急冷します。ホイールの変動により、(真円度と横方向のひずみ)、炎のバーナーが固定されている場合は、焼き入れが一定にできません。

天然ガスの炎の影響を受けずに、光学的にホイール(図10)の最適なポイントの温度を測ります。この温度情報を基にバーナー位置の制御を行います。温度モニタで変化が検知されると、比例出力が空気式変換器へ供給されます。

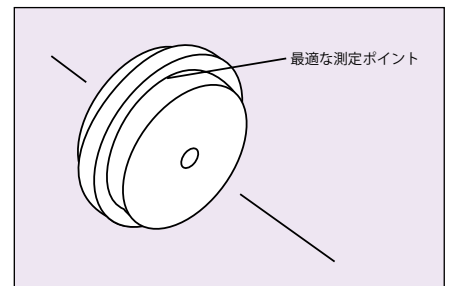


図10

高価な破壊試験を除去することにより、大きな経済効果が実現できます。

コークスガイドの高温測定器

コークスガイド高温計は、コークスの積載高さや温度の両方を管理することで、コークス製造の最適化を行います。垂直に並べた複数個のセンサをマルチプレクス処理して、処理オープン中の赤熱コークスの高さや温度の両方を測定します。

所定の条件が満たされると、コントローラ信号が、押し出し機を起動してコークスを移動車に押し出します。その結果、省エネ性を確保しつつ、高品質な製品を生産する事ができます。上記の例は、光ファイバの多彩なアプリケーションの一部です。このシステムには非常に広い応用範囲が期待できます。技術は指数関数的に向上し、光ファイバも絶えまなく進歩していきます。IC、チップ、バブルメモリ、RAM、ROM、PROMのように、今後の発展が期待される技術です。