

## 第68回 異物検出装置②：X線検査機の概要と最新動向

株式会社エー・アンド・デイ 安田 正博

### 4. 金属検出機

この章では、金属検出機を1) 金属検出機とは、2) 金属検出機の構造、3) 電磁誘導型の検出原理、4) 永久磁石型の検出原理、5) 発振周波数と検出感度について、6) 位相での検出、7) プロダクトエフェクトのキャンセル方法、8) 金属検出機をより良く使うための留意点、に分けて説明する。

#### 1) 金属検出機とは

異物検査での金属検出の方法としては、X線方式(前述)、電磁誘導方式、磁気センサー方式が使われている。一般的にいわれている金属検出機は、X線方式を指すのではなく、金属の磁場に対するの振舞を検出原理としている電磁誘導方式、磁気センサー方式の検査機を指している。

この項では、当社も製品化している電磁誘導方式と磁気センサー方式について述べる。両方式とも、装置によって作られた磁界内を磁場に反応する金属が通過することによる磁場の変化を電気信号として検出する方法である。磁場変化を検出原理としているので、検出できる金属の種類には限りがある。製造過程で混入の恐れが多い鉄(Fe 磁性体)やステンレス鋼SUS304(非磁性体)がターゲットの検出金属となる。

製品形態としては、ハンディ式、モップ式、コンベア式、シュート式、落下式、ゲート式がある。日本では、ハンディ式とモップ式を金属探知機、シュート式、落下式、ゲート式を金属検出機と呼び分けている。

食品包装に使われる金属としては、アルミニウムがある。アルミニウムも金属であるが、非磁性体であるので直流磁場には反応しない。この性質を利用して、アルミ包装内部の金属異物検出で金属検出機が使用されている。しかし、アルミ包材は、一般包材と比較して、特にステンレス鋼の検出感度が低下する傾向にある。

#### 2) 金属検出機の構造

一般的な金属検出機(図16)では、前述のX線検査機同様に被測定物が搬送ベルトで順次検出センサーヘッド開口部に搬入され、検査判定後に排出される構造である。

金属検出機に使用されている検出方法として同軸型、対向型、永久磁石型の3種類があり、検出対象により交流磁界を使用するものと直流磁界を使用するものがある。交流磁界タイプでは、通常は100 kHz以上の周波数の採用が多い。

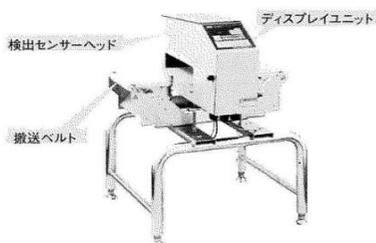


図16 金属検出機のイメージ

#### (1) 同軸型(図17)

現在の主流であり防水性能を出しやすい。交流磁界を使用している。

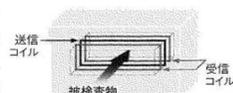


図17 同軸型

#### (2) 対向型(図18)

大型ヘッドが作りやすく開口高さの変更が容易である。交流・直流磁界を使用している。

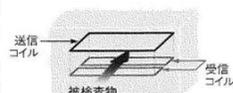


図18 対向型

#### (3) 永久磁石型(図19)

直流磁界を出せる永久磁石型は、アルミ箔包装専用機として採用している。

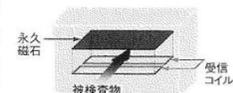


図19 永久磁石型



月刊『フードケミカル』2021年1月号

発行元：株式会社 食品化学新聞社

### 3) 電磁誘導型の検出原理

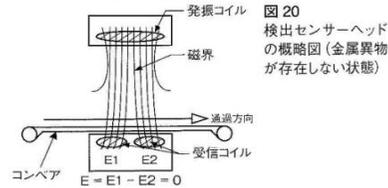


図20 検出センサーヘッドの概略図 (金属異物が存在しない状態)

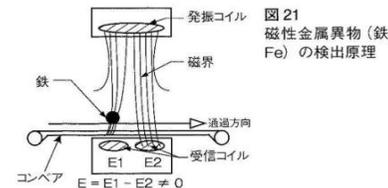


図21 磁性金属異物 (鉄 Fe) の検出原理

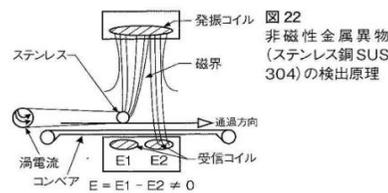


図22 非磁性金属異物 (ステンレス鋼 SUS 304) の検出原理

電磁誘導型に採用されている構造は、前述の同軸型と対向型がある。検出原理は同じなので、図解しやすい対向型で説明する。

検出センサーヘッドは、交流磁界を作る発振コイルと差動接続した2個の受信コイルで構成されている（図20）。金属異物が検出センサーヘッド内を通過すると、受信コイルの

磁束バランスが崩れ差動信号出力に変化が生ずる。差動信号出力を信号処理することによって金属異物の検出を行う。被検査物に金属異物が存在しない場合の振舞では、双方の受信コイルに等しい磁束が入るので、差動信号出力は均衡しておりゼロである。

磁性金属異物（鉄 Fe）が被検査物に含まれていた場合（図21）の振舞では、磁性金属異物の存在する側の受信磁束が増えるため、差動信号出力がプラスとなる。

非磁性金属異物（ステンレス鋼 SUS 304）が被検査物に含まれていた場合（図22）の振舞では、渦電流の発生により非磁性金属異物の存在する側の受信磁束が減るため、差動信号出力がマイナスとなる。

### 4) 永久磁石型の検出原理

アルミ包装内の磁性金属異物（鉄 Fe）の検出では、永久磁石型を使用する。検出センサーヘッドは、直流磁界を作る1個の永久磁石と2個の受信コイルから構成されている（図23）。永久磁石は、検出センサーヘッド内部に静止磁界を発生させる。

定常状態では2個の受信コイルに磁束が等量に通過するように配置されているので、差動信号出力は均衡しゼロである。

磁性金属異物（鉄 Fe）が被検査物に含まれていた場合は（図24）、磁界が金属に引き寄せられるため、左の受信コイルには磁束が多く貫通することとなり、受信コイルのバランスが崩れる。

磁石に吸引されないアルミ箔包材のような非磁柱体の場合は（図25）、静止磁界上では磁界

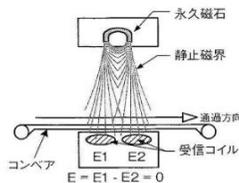


図23 永久磁石型の概略図

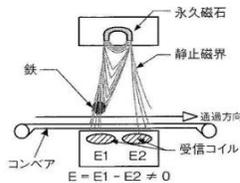


図24 永久磁石型の検出原理

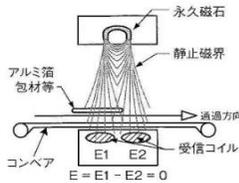


図25 永久磁石型アルミ包装の場合

の揺らぎが生じず、受信コイルのバランスが崩れない。したがって、アルミ箔包材中の磁性金属異物（鉄 Fe）などの金属を検出することができる。ステンレスも非磁性体金属であり、通常はこの方式では検出は困難であるが、経年変化で割れたステンレス刃の破片などは磁化していることもあり、検出できることもある。

### 5) 発振周波数と検出感度について

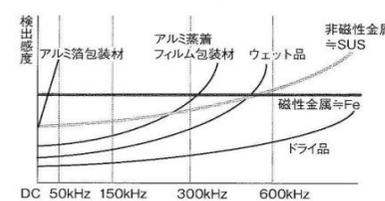


図26 発振周波数と検出感度

図26から読み取れるように

- 被検査物がドライ品の場合、発振周波数が高い方が非磁性金属の検出に有利である。
- 被検査物がウェット品の場合、発振周波数が低い方が磁性金属の検出に有利である。
- 被検査物がアルミ蒸着フィルム包装品／アルミ箔包装品の場合、発振周波数は低ければ低いほど磁性金属の検出に有利であるが、非磁性金属の検出感度は低下する。

当社の装置は、発振周波数固定のものから、3つの検出帯域で周波数解析を行い、最適な周波数を選び、被検査物の特性に合わせて安定的検査ができる機種などを用意している。

### 6) 位相での検出

前項では、金属検出機に磁性金属異物（鉄 Fe）や非磁性金属異物（ステンレス鋼 SUS 304）が通過した場合に、差動信号出力のバランスが崩れて異物として検出されることを述べた。ともに発振磁界と同様の周波数成分の揺らぎとして検出しているが、発生メカニズムの違いから位相が90度異なって検出される（図27）。これまでの説明でわかるように、その周波数で磁界が揺らぐと、金属異物があるとして判断してしまう。

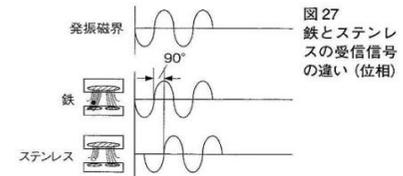


図27 鉄とステンレスの受信信号の違い (位相)

したがって、被検査物が導電性（主に塩分と水分を同時に含む場合）を有する品物（例えばハムや漬物）は、内部に渦電流が流れるため、やはり磁界に揺らぎを生じさせる。これはプロダクトエフェクト（通称：PE）とよんでおり、これまで説明してきたような、単に磁界の揺らぎを検出するだけでは、高感度に金属を検出することは困難となる。このため、上述の位相の概念を用いて、被検査物の影響を電氣的にキャンセルする方法が組み込まれている。

### 7) プロダクトエフェクトのキャンセル方法

被検査物として、①製品（金属異物が入っていない製品）、②鉄（鉄が入っている製品）、③ステンレス（ステンレスが入っている製品）があると説明する。

各々の製品は、その製品の導電率とその製品の大きさの関係により固有の位相で、検出部に信号を発生させる。ここで、横軸に金属検出機の位相値を、縦軸に制御部での信号処理後の①製品、②鉄、③ステンレスの信号強度を位相値ごとにプロットしたグラフを示す（図28）。グラフから位相値により、①製品、②鉄、③ステンレスの信号強度が変化していることがわかる。

- ①製品のプロダクトエフェクトが最も小さく

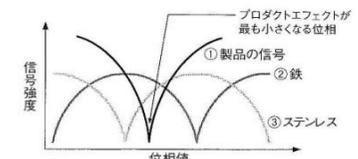


図28 プロダクトエフェクトのキャンセル方法

くなる位相値で、②鉄、③ステンレスをみると、信号強度は①製品よりも大きいので、この位相値で判定すると、②鉄、③ステンレスの有無が選別しやすいことがわかる。

このように、被検査物ごとのプロダクトエフェクトを位相値で見ると、プロダクト固有の出力値を小さく(キャンセル)することができる。すなわち、その位相値において計測すると、より信号強度の強い、鉄、ステンレスは検出可能となる。これが、プロダクトエフェクトのキャンセル方法である。現状の金属検出機では、数回被検査物を流すことにより位相値を設定できる機能(自動調整機能)があり、煩雑な操作は必要としない。

#### 8) 金属検出機をより良く使うための留意点

金属検出機をより良く使うための留意点として、外乱ノイズが少ない場所への設置をお願いしている。

当社の金属検出機の検出センサーヘッドは、電磁ノイズを計測し可視化できるので、設置場所がふさわしいノイズ環境かどうか確認できる(図29)。食品ラインではさまざまな機器が使われており、特にインバータやサーボがノイズ源となるケースが多い。この機能により、検出部に入る電波系ノイズの周波数成分が可視化でき、発振周波数の混調回避が容易となる。

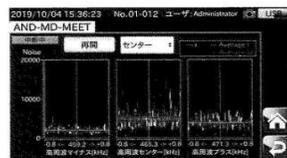


図 29 ノイズモニター表示

## 5. おわりに

前号および本号で、異物検出装置として食品製造ラインで使われているX線検査機と金属検出機の原理の概略や能力の課題などを説明した。誌面の関係上、割愛したところも

多く、理解しづらいところもあるかと思われるが、ご容赦いただきたい。

ユーザーより、順調に稼働していた装置が急に誤検出や検出漏れを多発しだしたなどの問い合わせをいただくことがある。経年変化により、回路や機構部の不具合発生も考えられるが、検出原理に物理現象を採用している以上、ラインレイアウトの変更などによる電源ノイズの混入、装置自体のガタなどによる振動など、気づかないところで変化が起きている。検査機メーカーとして、外乱に強い装置、検出性能を上げるための手段・方策を日夜開発注力しているが、まだまだ改良の余地はあり、発展途上の装置であると認識している。

装置の導入に際し、商品のサンプルテストで選別可否確認を十分されていたとしても、前述のようにパフォーマンスが低下することがあり得る。使用に際しては、日常点検や定期点検の実施とともに、設置環境の変化なども考慮いただければ幸いである。

今後も、消費者ニーズからさまざまな食品が開発され、また社会的ニーズからさまざまな包装形態も出てくるであろう。当社は、創業以来「はかる」ことを通じ、産業と社会の発展に貢献してきたと自負している。当社の生命線は「はかる」技術の優秀さである。これからも、日々ユーザーの声に耳を傾け「はかる」技術の研究開発に勤しみ、より良い検査機を提供していきたいと考えている。食品メーカーからベストパートナーとよばれるのが当社の望みである。

#### やすだ・まさひろ

株式会社エー・アンド・アイ

1983年、福井大学応用物理学科卒業後、同年、株式会社エー・アンド・アイ入社。FFTアナライザの開発部署に配属、同装置の販売促進で営業本部に移動、その後、自動車開発用実験試験装置のテリトリ営業一筋30年。2019年より営業企画部長。