

スーパーメポリⅢ duw/M シリーズ金属検出機の開発

Development of High-sensitivity duw and M Series Metal Detectors

久保寺茂 Shigeru Kubotera, 綿引広明 Hiroaki Watabiki, 石田欽也 Kinya Ishida, 西尾裕幸 Hiroyuki Nishio,
野崎隆次 Takatsugu Nozaki, 三谷 聡 Satoshi Mitani

[要 旨] 同時 2 周波磁界検出方式と新オート設定機能を搭載し、一般包装食品(アルミ蒸着包装含む)に混入した鉄・非鉄異物をだれでも簡単設定で高感度に検出可能な duw シリーズ金属検出機と、独自の磁気検出設計によりこれまで検出が難しかったアルミ包材内の鉄・ステンレス異物を高感度に検出する M シリーズ金属検出機を同時開発した。両シリーズ共に、従来にない検出方式とセンサを採用し、かつフィールドで培った異物検出ノウハウを条件設定アルゴリズムに埋め込むことにより高感度化を実現した。

[Summary] Anritsu has developed the high-sensitivity duw series and M series metal detectors. The former are for general food packages (including aluminum evaporated) and use a simultaneous dual-frequency magnetic field detection method with new auto-setting algorithm for easy detecting Fe and Non-Fe contaminants at high sensitivity. The latter are for aluminum foil packs and use a unique magnetic sensor to detect Fe and SUS contaminants inside aluminum foil packs at high sensitivity.

1 まえがき

近年、食の安全・安心に関する一般消費者の関心はますます高まっており、食品メーカーは、より安全な食品を提供できる品質管理体制が求められている。特に食品への異物混入は、消費者に身体的危害や不快感を与えると同時に、食品メーカーにとっては商品回収費用や売上げの減少など多額の損害が発生することはもちろん、取引先や消費者からの社会的信用を失い、最悪の場合は、企業の存続をも危ぶまれる事態となる。そのため、ほとんどの食品メーカーでは、Hazard Analysis and Critical Control Point(以下 HACCP)や

American Institute of Banking(AIB)フードセーフティなどの品質管理手法を導入し、異物そのものが混入しないように生産設備や管理体制を敷き、また原料から出荷に至る各生産工程に異物検査装置を設置することで、その品質を確保している。

食品に混入する可能性がある異物には、金属、石、ガラス、骨、プラスチック、毛、虫など様々なものがあり、特に身体的危害リスクが大きい金属異物の検出・排除のために金属検出機が使われている。金属検出機は、他の X 線異物検査装置などと比較して、導入コストやメンテナンスコストが安く、取り扱いも比較的容易なため、



図 1 duw シリーズ金属検出機の外観
External view of duw series Metal Detector



図 2 M シリーズ金属検出機の外観
External view of M series Metal Detector

日本はもちろん、欧州や米国などの先進国、および BRICs など昨今急速に発展している地域においても、広く使用されている。¹⁾

しかし、金属検出機は、原理的に微小な磁界の変化を捉えている関係上、食品に含まれる塩分や水分、鉄分など磁気に反応する成分の影響を受け、期待する検出感度が得られない場合や食品の成分や品温変化により誤検出する場合があります、最適な動作をさせるためには、ある程度の経験や専門知識を必要としていた。¹⁾²⁾³⁾

また、食品の保存性が良いアルミ蒸着やアルミ箔などの金属性包装材料が多用されるに従い、包装後の工程でその包材中の金属異物を高感度で検出したいという顧客要求が高まってきた。⁴⁾ 特に、健康食品ブームによって、その粉体生産設備に使われている網状のフィルタ装置のワイヤ破損品を高感度に検出したいという要求が強かった。

これらの顧客要求を受け、「高感度に、そして高安定に、しかも、その基本性能がだれでも簡単に生産ラインで実現できること」を共通の基本コンセプトとして、新しい磁気検出方式と設定アルゴリズムで高性能と使いやすさを両立させた一般包材用 duw シリーズ、従来の検出方式を進化させ、また高感度な磁気センサを新規開発することでアルミ箔包装中のステンレス異物の検出を可能にした M シリーズの 2 シリーズを同時開発した。本稿では、同時開発の 2 シリーズについて概要を紹介する。今回開発した金属検出機の外観を **図 1** および **図 2** に示す。

2 原理

2.1 duw シリーズの原理²⁾³⁾

2.1.1 磁界中の金属の特性

磁性金属の場合、磁界中において、磁束密度の大きさに比例して金属自身に磁束を多く引き寄せさせる。一方、非磁性金属の場合、磁束密度の変化量の大きさ(周波数)に比例して、その変化を打ち消す方向の渦電流が多く流れ、磁性金属とは逆に金属の周囲に磁束を逃がすような現象を引き起こす。**(図 3)**

2.1.2 金属検出機の基本原理

金属の混入を検出する検出ヘッド部は、交流磁界を発生させるための 1 本の送信コイルと差動接続された 2 つの受信コイルで構成される。**(図 4)**

平常時は、**図 3(a)**のように、送信コイルから発生した磁束が 2 つの受信コイルに均等に鎖交し、受信コイルから誘導電圧が発生しない。

被検査品が検出ヘッド内部を通過した際、鉄などの磁性金属が

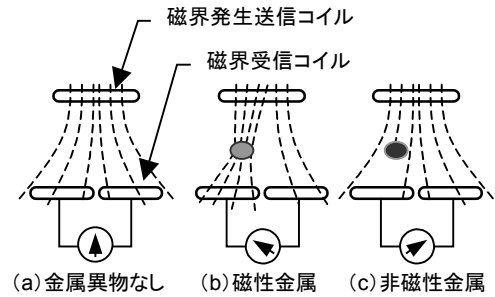


図 3 交流磁界中の磁性金属と非磁性金属
Magnetic and non-magnetic metal in alternating magnetic field

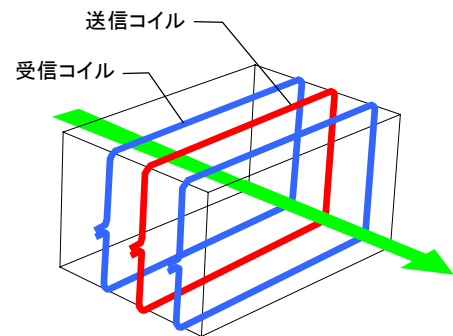


図 4 送受信コイル構造
Structure of transmitter and receive coils

含まれていると、**図 3(b)**のように金属異物に磁束が引き寄せられ、2 つの受信コイルに鎖交する磁束のバランスが崩れる。同様に、ステンレスなどの非磁性金属が含まれていると、**図 3(c)**のように金属異物から磁束が反発することで、磁性金属とは逆方向に磁束のバランスが崩れる。金属検出機は、この磁束の乱れを検出して金属異物の混入判定を行う。

2.1.3 被検査品と金属異物の特性

食品などの被検査品には、鉄分や塩分、水分が含まれており、またアルミ蒸着包装などの包装材料には薄い金属膜が用いているなど、実際には金属異物が混入していない状態でも、磁界に影響を与える要因(以下被検査品の影響)がある。このため、非磁性金属を高感度に検出するため磁界周波数を高くしても、被検査品の影響も増加し、本来周波数依存性がない磁性金属の感度が相対的に低下する場合がある。¹⁾²⁾ つまり、磁性金属と非磁性金属をそれぞれ高感度で検出するためには、それぞれに最適な 2 つの磁界周波数で検出する必要がある。**(図 5)**

2.2 M シリーズの原理

アルミ箔包材に使用されているアルミニウムは、透磁率がほぼ 1 の非磁性金属であり、それ自身は磁化することはない。したがって、

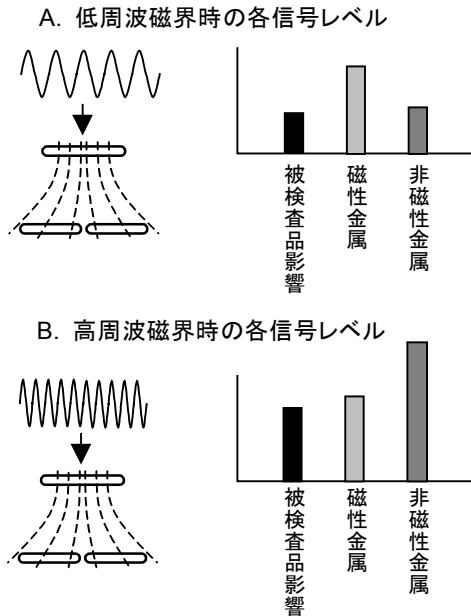


図5 磁界周波数と信号レベルの関係
Relationship between magnetic field frequency and signal levels (test product and metals)

直流磁気に対しては空気とほぼ同等な振る舞いをする。したがって、アルミ箔包材の中に磁化した磁性金属がある場合、その磁束は包材の影響を受けることなくその外部へ放出されている。

一方、食品工場の生産設備に一般的に使用されているステンレス(SUS304)は、オーステナイト系金属であり通常は磁性を帯びていない。しかし、金属疲労が進み、折れる、割れる、切れるなどの状態にあるオーステナイト系金属は、その一部分の塑性がマルテンサイト化しており、わずかに磁気を帯びる。したがって、食品に混入する金属異物は、そのほとんどが磁化している。

これらの物理現象を応用し、図6のように搬送コンベアの上流側に金属異物の磁化の方向を整え検出しやすくするための着磁器を配置し、その下流側の磁気センサでこの磁気を検出する。したがって、アルミ箔包材に影響されることなく、包材中の磁性金属およびステンレス(SUS304)異物を高感度に検出することができる。

3 設計の要点

3.1 duw シリーズの設計の要点

3.1.1 高感度化の実現

磁性金属および非磁性金属をそれぞれ高感度に検出するため同時2周波磁界検出方式を開発した。それぞれの磁界周波数は、被検査品の特性に合わせ、かつ磁性金属、非磁性金属の検出に最適な周波数に設定する必要があるため、数10 kHzから1 MHzの周波数の組み合わせが可能よう磁界発生部、受信回路部を構成した。

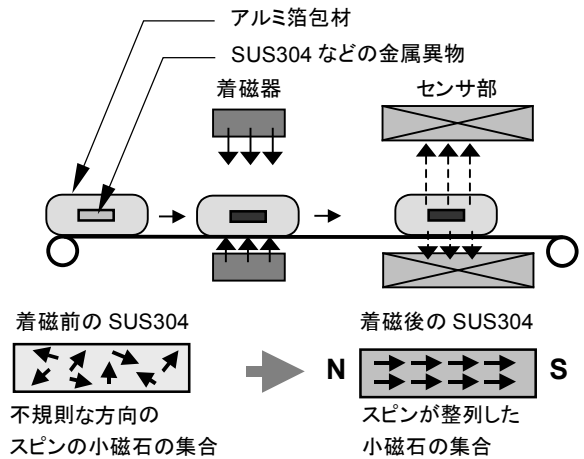


図6 Mシリーズの検出原理
Detection principle of M series

(1) 同時2周波磁界検出方式

同時2周波磁界検出方式の磁界発生、受信部は、図7の回路構成とした。2つの磁界周波数の基準信号をCPUから周波数、位相などを制御するFPGAで生成し、電力増幅部で増幅した後、2波の電力合成を行い1本の送信コイルで磁界を発生させる。受信回路部は、差動接続した受信コイルで発生する微小電流を、広帯域低雑音増幅器で増幅後、バンドパスフィルタでそれぞれの周波数を弁別し、ノイズを除去する。その後、同期検波、A/D変換した後デジタル信号処理でさらにノイズ除去処理を行い、磁界の変動信号から金属異物信号を抽出しその混入を判定する。

(2) 検出ヘッド部の放熱設計

同時2周波磁界検出方式により、発生させる磁界エネルギーが従来の1周波数方式の検出方式よりも約2倍になっており、より確実な放熱設計が必要となった。HACCP管理上の要求から筐体の材質は、腐食に強いステンレスが必須であるが、熱伝導率があまり良くない。しかし、清掃性向上の要求から防水仕様の密閉構造が要求される。このような制約条件の中、発熱を最小限に抑えるために低消費電気部品を採用し、回路シミュレーション(特に電力増幅部)で動作効率の改善を図り、さらに検出ヘッド筐体を放熱フィンとして利用するために最適な熱伝導構造と材質の選定を行った。

3.1.2 高安定化の実現

被検査品の影響の変化は、同期検波後の受信信号の変化として検出可能である。この同期検波後の信号の振幅が最大になる検波位相を常に監視し、異物検出の判定を行う位相を補正すること

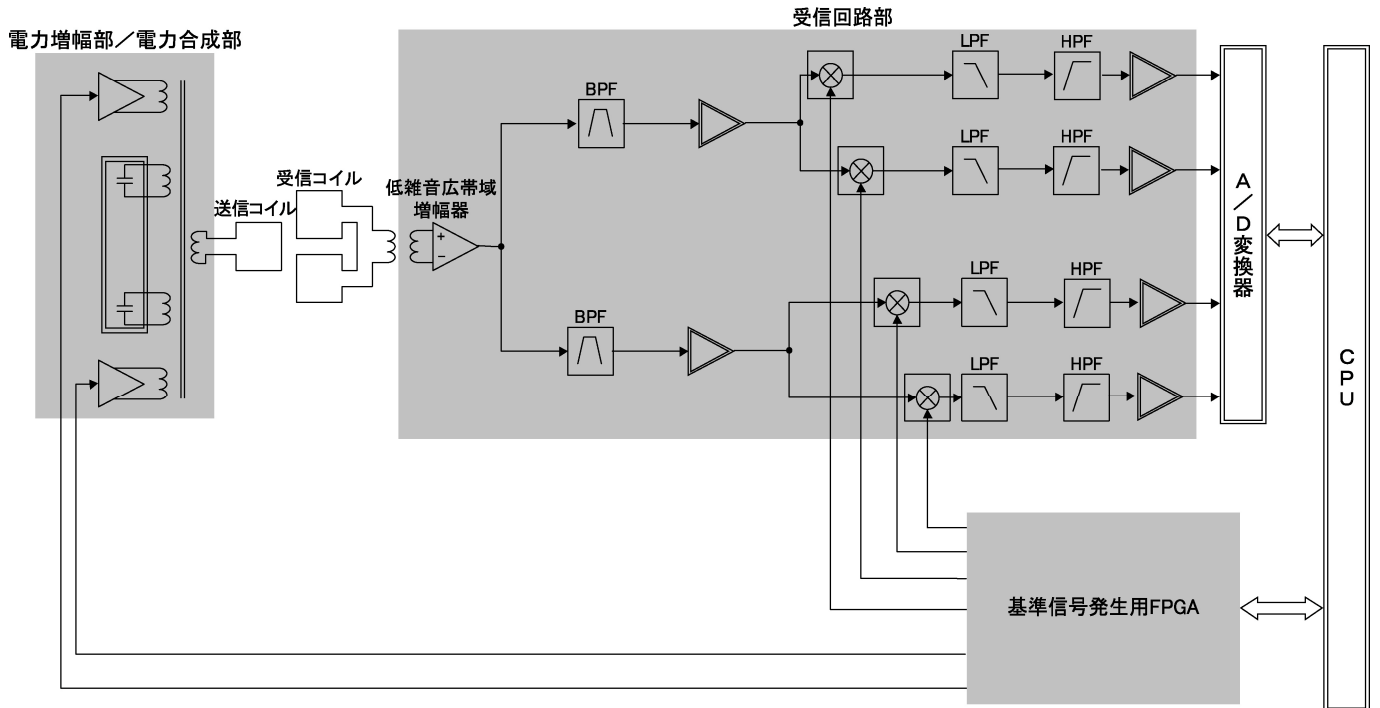


図7 duw シリーズ検出ヘッドの回路構成
Block diagram of duw series detection head

で、被検査品の影響の変化をキャンセルし、高安定化を実現した。

また、品種登録時に被検査品の影響を測定し、その影響の振幅レベルや位相変化の特徴などからこの機能の有効/無効および動作パラメータを自動決定するアルゴリズムを開発し搭載した。図8にオートトラッキング機能の概念図を示す。

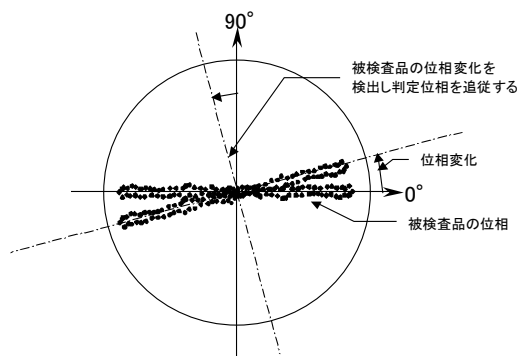


図8 オートトラッキング機能
Auto-tracking method

3.1.3 誰でもどんな被検査品でも最適設定

従来の一般的な金属検出機は、いくつかの磁界周波数を手動で選択が出来るようになっており、オペレータはそれを自身の経験と勘で最高感度でかつ安定な検出動作となるよう設定する。しかし、に複数回通過させるテストを実施しなければわからず、実質的には

実際の検出感度は、被検査品とテストピースを用いて、金属検出機希望の検出動作をさせるために、試行錯誤で設定していた。

本機では、すべての磁界周波数およびその組合せにおける検出感度の推定アルゴリズムを開発し、その推定感度から磁性金属、非磁性金属がそれぞれ最も感度が良くなる周波数を自動選択するオート設定機能を実現した。この検出感度推定アルゴリズムは、あらかじめ装置内に記憶した各磁界周波数におけるサイズの異なるいくつかのテストピースの影響と、オート設定時に計測する被検査品の影響を比較し、テストピースの影響が被検査品の影響よりも振幅において大きくなる磁界周波数、位相、テストピースのサイズを決定する。

このオート設定アルゴリズムの開発により、世界初となる検出感度の推定表示機能と、「高感度に、そして高安定に、しかも、その基本性能がだれでも簡単に生産ラインで実現できること」が可能となる操作性を実現した。推定検出感度表示例を、図9に示す。

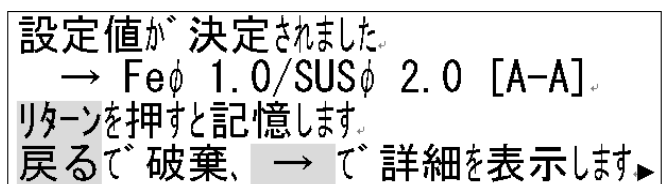


図9 推定検出感度表示例
Estimated detection sensitivity screen

3.2 Mシリーズの設計の要点

3.2.1 アルミ箔包材中のステンレス(SUS304)の高感度検出

アルミ箔包材中の金属を高感度に検出するためには、被検査品が通過する際に金属異物の通過位置によらず確実に磁化させることが重要である。そのため、本機の着磁器には、強力な磁力を持つネオジウム系磁石を使用し、搬送ベルトを上下に挟み込んだ配置構造とした。これは、搬送ベルト上に一様な磁路を形成するためと、磁石から離れた搬送ベルト上の磁束密度を上げるためである。着磁器の構造や磁石の極性・配置は、磁気シミュレータを用いてロスが少ない磁気回路とし、さらに金属異物の着磁量を実機で測定しながら最適な構造とした。

図10に着磁器の磁束密度のシミュレーション結果を示す。⁵⁾

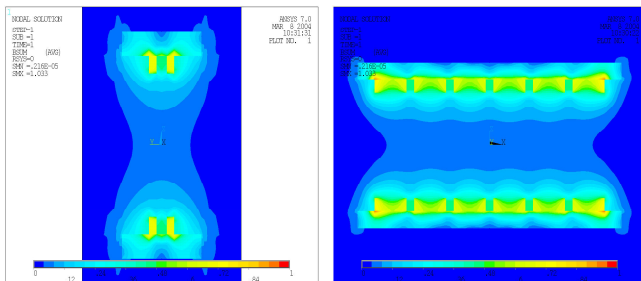


図10 着磁器の磁束密度シミュレーション
Magnetic flux density simulation of magnetizer

3.2.2 針金状金属異物の高感度検出

針金状の金属異物を高感度に検出するために、磁気センサの高感度化を図り、また磁気センサを異型異物の検出に最適な位置関係になるよう複数配置することで実現した。

3.3 共通設計

3.3.1 高い清掃性と容易なメンテナンス構造の実現

金属検出機は、食品生産ラインで HACCP 上“重要管理点”として管理されている。このため、高い清掃性と容易なメンテナンス性が要求される。外装ステンレス(SUS304)、保護等級 IP66 準拠の仕様とし、特に清掃頻度の高い搬送ベルト、搬送ベルト受けは工具を使用しなくても着脱可能なワンタッチ着脱構造とし清掃性を追求した。(図11)

3.3.2 操作性向上

duwシリーズとMシリーズは、それぞれ検出原理は異なるが、金属検出機としてのユーザ要求は同様であり、また使用環境やオペレータも同じであることから、操作性、機能、動作パラメータ等の共通化を実現した。これにより、オペレータはどちらの装置も違和感のない使用が可能となる。

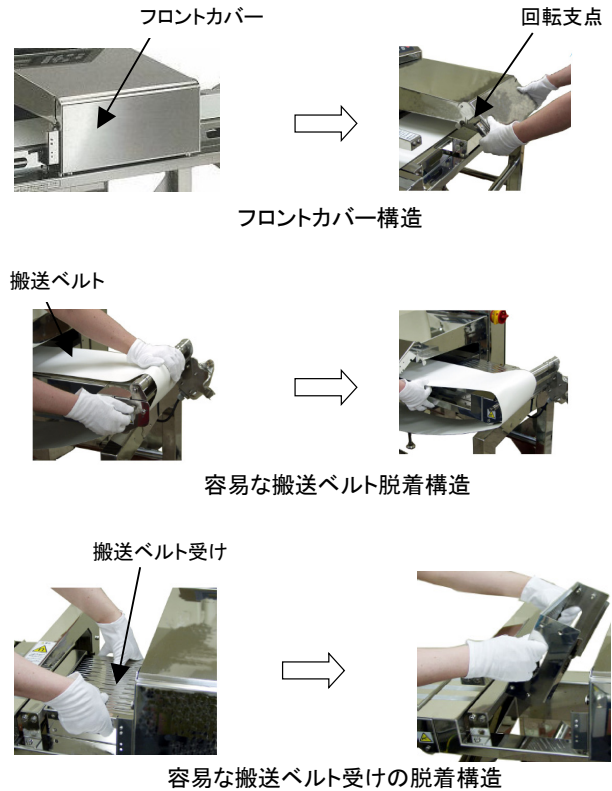


図11 高い清掃性と容易なメンテナンス構造
Advanced cleaning performance and easy maintenance structure



図12 duwシリーズ操作部
External view of duw series Indicator



図13 Mシリーズ操作部
External view of M series Indicator

(1) ウィザード形式によるシンプルな操作性

従来の一般的な金属検出機は、被検査品の長さ、検査する方法といった検査条件をあらかじめ設定する必要があり、そのためにはいくつもの設定画面を切り替えて煩雑な操作をしなければならなかった。本機では、品種登録、オート設

定、選別設定などの必ず設定を必要とする項目を、ウィザード形式でオペレータとの対話形式で表示することで、設定漏れや設定ミスを防止するユーザインタフェースを実現した。

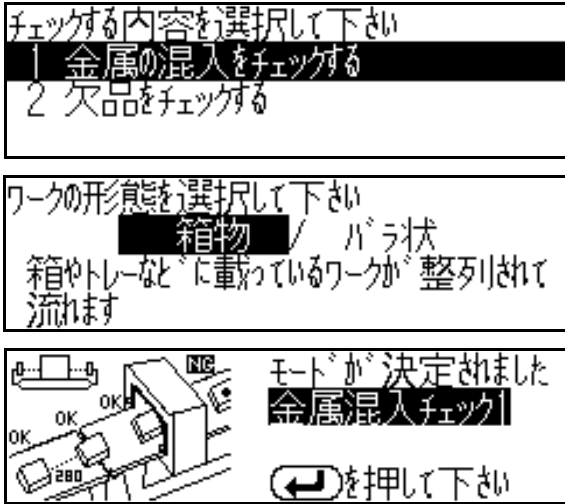


図 14 オート設定ウィザード画面
Auto-setting wizard

(2) 往復オート設定機能

基準となる被検査品の影響を登録するオート設定において、複数回被検査品を検出ヘッド内に通す必要があるが、特に質量が重い被検査品では煩雑であり労力を必要とした。本機では、オート設定中のコンベア動作に自動往復する機能を付加し、オペレータの負荷と操作性を大幅に改善した。

(3) 反転選別機能

金属検出機で金属異物混入品と判定した被検査品は、通常、選別機で自動選別するか、またはコンベアを停止し人手により排出する。本機では、それらの選別方式に加え、不良品だけではなく、良品/不良品それぞれに対し、コンベアの反転/停止を含めた、任意の位置に搬送・選別する反転選別機能を搭載した。(図 15) これにより、単独オペレータでも、金属異物検査、箱詰めといった一連の作業を行うことができ、また、選別機を設置するスペースが無い環境においても選別が可能となった。

4 実機による物品感度テスト

金属検出機の基本性能としては、実際の被検査品に混入した金属異物の検出感度(物品感度)が重要である。表 1 は duw シリーズ、表 2 は M シリーズの当社従来機種と比較した物品感度の比較データを示す。³⁾

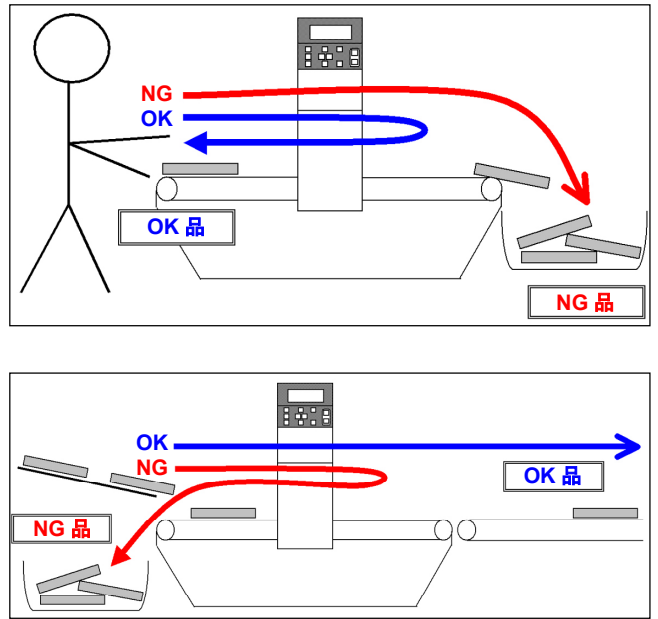


図 15 反転選別機能の一例
Example of reverse rejection

5 主要規格

duw シリーズの主要規格を表 3 に、M シリーズの主要規格を表 4 に示す。

表 1 感度比較データ
Sensitivity data comparison

被検査体		スーパーメポリⅢ duw (KD8113AW)		KD8013AW (従来機)	
		Fe	SUS304	Fe	SUS304
味噌	ウェット品	φ 0.7	φ 2.0	φ 0.7	φ 3.0
スライスハム	ウェット品	φ 0.7	φ 2.0	φ 0.8	φ 2.0
スナック菓子	アルミ蒸着品	φ 0.6	φ 2.0	φ 0.7	φ 4.0

表 2 感度比較データ
Sensitivity data comparison

被検査体		スーパーメポリⅢ M (KD8200AW)			KD821AH (従来機)		
		Fe 球	Fe 針金	SUS304 針金	Fe 球	Fe 針金	SUS304 針金
キャンディ	アルミ箔包装	φ 0.6	φ 0.28 × 2.0	φ 0.55 × 2.0	φ 2.0	φ 0.28 × 5.0	φ 1.6 × 5.0
ソース	アルミ箔包装	φ 1.2	φ 0.28 × 5.0	φ 0.28 × 2.0	φ 2.5	φ 0.28 × 10	φ 1.6 × 10
ガム	アルミ箔包装	φ 0.7	φ 0.28 × 2.0	φ 0.28 × 2.0	φ 2.0	φ 0.28 × 5.0	φ 1.8 × 10

6 むすび

同時2周波磁界検出方式と新アルゴリズムを搭載したオート設定機能を新たに開発し、「だれでも高感度・高安定」を実現した duw シリーズ金属検出機と、従来金属異物の検出が困難であったアルミ箔包装食品においても、独自の検出方式とセンサにより、高感度に鉄・ステンレス異物を検出可能とした M シリーズ金属検出機を開発した。

今後も、さらに確実に、かつ高感度に異物を検出する検出方式やセンサの開発を継続し、「食品の安全と安心」に貢献していきたい。

謝辞

今回開発した M シリーズ金属検出機は、平成 14 年度中小食品産業活性化技術開発支援事業「アルミ包材、塩分等の影響を受けずに金属異物を高感度に検出する技術の開発」として、農水省の助成を受け、開発を行った。開発を進めるにあたり、ご助言いただいた農林水産省総合食料局食品産業企画課技術室の方々に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 久保寺他：“人を動かす食品異物対策”，(株)サイエンスフォーラム，pp. 311～321(2001)
- 2) 久保寺他：“スーパーメボリ II 金属検出機”，アンリツテクニカル(78号)，pp. 69～75(1999)
- 3) 横田他：“スーパーメボリ KD801A/AW(高感度金属検出機)”，アンリツテクニカル(64号)，pp. 62～68(1992)
- 4) (社)日本包装技術協会：“袋で缶詰 インスタントカレー”，包装・・・？知ってなっ得(第2版)，pp. 2～3(2003)
- 5) 高橋：“有限要素法を用いた磁気回路設計”，アンリツテクニカル(61号)，pp. 7～14(1991)

執筆者



久保寺茂
アンリツ産機システム株式会社
開発本部 設計品質保証部



綿引広明
アンリツ産機システム株式会社
開発本部 開発部



石田 欽也
アンリツ産機システム株式会社
開発本部 開発部



西尾裕幸
アンリツ産機システム株式会社
開発本部 設計品質保証部



野崎隆次
アンリツ産機システム株式会社
開発本部 開発部



三谷 聡
アンリツ産機システム株式会社
開発本部 開発部

表3 duwシリーズ金属検出機主要規格
duw series Metal Detector Specifications

形名		KD8113A	KD8113AW	KD8115A	KD8115AW	KD8116A	KD8116AW
最大通過幅		300 mm					
ベルト幅		220 mm					
ベルト速度		10~90 m/min 可変速					
検出感度	通過高さ	80 mm	75 mm	120 mm	115 mm	180 mm	175 mm
	φ球	Fe	φ 0.4 mm		φ 0.5 mm		φ 0.6 mm
		SUS304	φ 0.7 mm		φ 0.9 mm		φ 1.0 mm
金属検出時		選別またはベルト停止および警報					
保護等級		IP30 準拠	IP66 準拠	IP30 準拠	IP66 準拠	IP30 準拠	IP66 準拠
電源		AC100~120 V+10%-15%またはAC200~240 V+10%-15%, 単相, 50/60 Hz, 200 VA, 突入電流 62 A (typ) (20 ms 以下)					
質量		72 kg		75 kg		77 kg	
機長		800 mm					

形名		KD8124A	KD8124AW	KD8125A	KD8125AW	KD8126A	KD8126AW
最大通過幅		450 mm					
ベルト幅		350 mm					
ベルト速度		10~73 m/min 可変速					
検出感度	通過高さ	100 mm	95 mm	130 mm	125 mm	180 mm	175 mm
	φ球	Fe	φ 0.5 mm		φ 0.6 mm		φ 0.6 mm
		SUS304	φ 0.9 mm		φ 1.0 mm		φ 1.1 mm
金属検出時		選別またはベルト停止および警報					
保護等級		IP30 準拠	IP66 準拠	IP30 準拠	IP66 準拠	IP30 準拠	IP66 準拠
電源		AC100~120 V+10%-15%またはAC200~240 V+10%-15%, 単相, 50/60 Hz, 200 VA, 突入電流 62 A (typ) (20 ms 以下)					
質量		82 kg		84 kg		86 kg	
機長		800 mm					

表4 Mシリーズ金属検出機主要規格
M series Metal Detector Specifications

形名		KD8200AW					
最大通過幅		230 mm					
ベルト幅		230 mm					
ベルト速度		10~90 m/min 可変速					
検出感度	通過高さ	30mm, 40 mm, 50 mm, 60 mm					
	Fe	φ 0.6 mm					
	SUS304 針金	φ 0.55 mm×2 mm					
金属検出時		選別またはベルト停止および警報					
保護等級		IP66 準拠					
電源		AC100~120 V+10%-15%またはAC200~240 V+10%-15%, 単相, 50/60 Hz, 200 VA, 突入電流 70 A (typ) (20 ms 以下)					
質量		130 kg					
機長		1300 mm					