

スーパーメポリ II 金属検出機

KD8013/15/16 A/AW Metal Detector

UDC 621.867.2 : 546.3 : 621.317.799

久保寺 茂	Shigeru Kubotera	産業機械事業部 第1 開発部
鈴木 貴志	Takashi Suzuki	産業機械事業部 第1 開発部
日高雅之	Masayuki Hidaka	産業機械事業部 第1 開発部
山岸 誠至	Masashi Yamagishi	製造本部資材部 技術課
長岡 紀彦	Toshihiko Nagaoka	産業機械事業部 第1 開発部
武田 俊一	Toshikazu Takeda	産業機械事業部 第1 開発部
布施 匡章	Masaaki Fuse	研究所情報セキュリティ技術
三谷 聡	Satoshi Mitani	産業機械事業部 第1 開発部

1 まえがき

食品中の異物混入は、消費者に不快感を与えるだけでなく腹痛や歯欠けなどの身体的障害を引き起こす可能性がある。消費者保護および社会的イメージ堅持の観点から、異物混入品の排除は、食品メーカーが最も重要視している品質管理項目の一つである。食品中に混入する可能性がある異物には、毛、虫、骨、金属、石、ガラス、プラスチック等さまざまであるが、金属検出機は文字通り金属異物を検出するもので、世界中の食品工場で広く使用されている。

当社は、昭和55年にオートチェッカ搭載型金属検出機を発売以来、食品市場における金属異物の混入検出に対するさまざまな要求にこたえてきた^{1),2),3)}。特に、平成7年に施行されたPL法（製造物責任法）がきっかけとなり、高感度化を図ったスーパーメポリ金属検出機シリーズは、多くのユーザの方に評価いただき好評を博している。

昨今、世界的に消費者保護の意識が高まっており、流通商

品の品質向上が精力的に実施されている。こうしたなかで、食品製造現場に対して“HACCP”（Hazard Analysis Critical Control Point）^{*1}に適合した衛生管理体制の強化・確立が世界的にも要求されている。異物混入のチェックが、HACCPの重要管理項目であることから、金属検出機に対してこれまで以上に小さな金属異物を確実に検出することを要求されている。さらに、こうした品質管理装置自身が原因となる錆などの異物混入・雑菌の繁殖などを防止するため、装置自身が衛生的で洗浄・清掃しやすい構造であることも同時に要求されている。

これらの市場要求にこたえるため、高い金属検出感度はもとより、HACCPに対応し衛生的で丸洗い可能な、かつグローバルな食品市場でのライン適合性をもった金属検出機を開発した。

図1に今回開発したスーパーメポリ 金属検出機の外観を示す。

2 開発方針

本装置の開発にあたって、以下の開発方針を立てた。

(1) HACCP対応

本装置自身が異物混入や雑菌の繁殖の原因とならないよう、ごみ、カスなどの異物が溜まりにくい構造とする。また、丸洗いが可能なよう、外装はステンレス材、防水防塵等級は

*1 HACCPとは、“危害分析重要管理点”と呼ばれ、NASA（米国航空宇宙局）における宇宙食の安全性を確保するために開発された食品の品質管理手法である。食品の原材料の生産から、製造・加工・保存・流通を経て最終消費者の手に渡るまでの各段階で発生するおそれのある微生物・汚染・異物混入などの危害・対処方法を分析（危害分析：Hazard Analysis）し、危害を排除するための重要管理点（Critical Control Point）を設定することで食品の生産工程と品質を管理する方式である。また、重要管理点を適時監視し、その結果を記録しておくことも要求される。

このようなHACCP品質管理方式は、米国、EU、カナダ、豪州では既に義務化されており、日本においても厚生省が「食肉製品」「乳製品・アイスクリーム」「レトルト食品」「魚肉練り製品」をHACCP承認品目と定め、多くの食品関連企業が導入を進めつつある。



図1 KD8013AW 金属検出機 外観図
External view of KD8013AW Metal Detector

IP66 とする。

被検査体が直接触れるコンベア部は、煮沸消毒に耐える構造・材質とし、清掃・洗浄作業が容易になるよう、ワンタッチ着脱が可能な構造とする。

また、重要管理管理点を監視し記録するというHACCPの要求に対応するため、本装置が正常に機能しているか・どのような状態で動作していたかを検証・記録する動作確認・来歴記録機能を搭載する。

(2) 感度・安定度の向上

異物検出する磁界周波数を3つの周波数に増やし、被検査体に最適な周波数を選択できるようにすることと、従来のアナログ処理をデジタル信号処理に置き換えることで、検出感度を当社従来機比25%向上を目指す。

さらに、使用環境の温度変化、経年変化などによるドリフトや、被検査体の物性変動によるばらつきを補正するアルゴリズムを実現することで、安定性の向上を図る。

(3) グローバル化への対応

操作性・ライン適合性・メンテナンス性を向上させ、グローバルな食品市場で使用可能なように以下の仕様とした。

- ・現地語表示によるメニュー対話方式の簡単操作を実現する。
- ・電源電圧は世界中で使用されている電圧に対応し、さらにさまざまな製造ラインに適合するため、ベルトスピードを可変設定可能とする。
- ・故障が発生した場合、短時間での復旧を可能とするため、ユニット交換によるイーザーメンテナンスを実現する。

3 原理

(1) 金属検出機の基本原理

一般的に金属検出機は、検出ヘッドで発生した交流磁界中に被検査体をコンベアで搬送・通過させ、その時の磁界の乱れを検出することにより異物金属の混入を判定する。

検出ヘッドは、1つの交流磁界発生用送信コイルと2つの差動接続された受信コイルで構成され、受信コイルに発生した誘導電圧の変化を検出することにより動作する。平常時、送信コイルから発生した磁束がそれぞれの受信コイルと均等に交差するよう磁界のバランスをとり、受信コイルから誘導電圧が発生しないようにしている。

被検査体が検出ヘッド内部を通過する時、鉄などの磁性金属が含まれていると磁界のバランスがくずれ、図2のように磁束を引き寄せ、磁性金属に近い受信コイルに E_1 が、もう一方の受信コイルに $-E_2$ が発生し、結果的に $E_1 - (-E_2) = +2E_2$ の信号が発生する。同様に被検査体にSUS304などの非磁性金属が含まれていると、図3のように非磁性金属内に渦電流が流れ、ジュール熱として磁束が消費され、非磁性金属に近い受信コイルに $-E_1$ が、もう一方の受信コイルは磁束の変動がないため誘導電圧の変化はなく、結果的に $-E_1 - 0 = -E_1$ の信号が発生する。

(2) 磁界中の金属の特性

磁界中において、磁性金属は磁束密度の大きさに比例して、より多くの磁束を引き寄せ、非磁性金属は、磁束密度の変

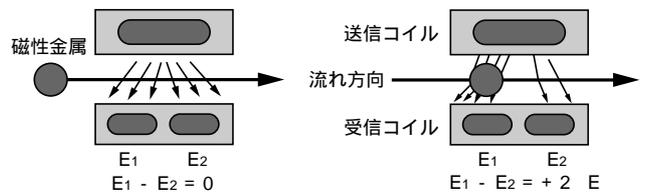


図2 磁性金属の検出原理
Principle of magnetic metal detection

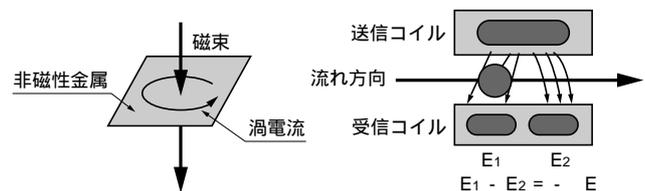


図3 非磁性金属の検出原理
Principle of nonmagnetic metal detection

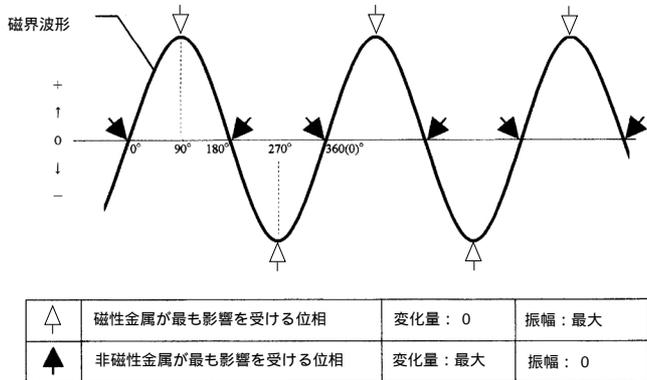


図4 磁界中の金属の影響特性
Influence characteristic of metal in magnetic field

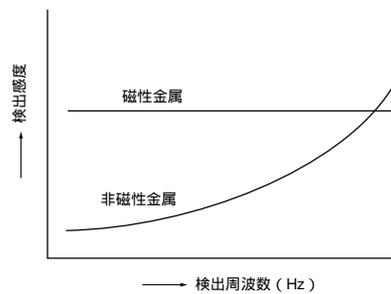


図5 磁界周波数と検出感度の関係
Relation between magnetic field frequency and detection sensitivity

化量の大きさに比例して、その変化を打ち消す方向の渦電流が多く流れジュール熱として消費する。したがって、図4のように交流磁界中では、磁性金属は磁界の振幅（磁束密度）が最大するとき（位相 90° ）、非磁性金属は磁束密度の変化量が最大するとき（位相 0° ）に大きな外部磁界変化を引き起こす。このように金属の種類により、外部磁界を大きく変化させる位相が異なる。

さらに、磁界周波数と外部磁界の変化量との関係を図5に示す。非磁性金属は、磁束密度が変化すると渦電流を発生するが、磁界周波数が高いほど外部磁界の変化量が大きくなる。一方、磁性金属の外部磁界の変化量は、磁束密度の大きさに依存しているので、磁界周波数には関係しない。したがって、金属検出機は、磁界周波数を高くすることにより、非磁性金属の検出感度はよくなる。

4 回路構成

本装置の主要部分である検出ヘッドの回路構成を図6示す。

(1) 磁界発生回路部

送信信号発生回路の出力を、出力レベル調整回路にて磁界出力レベルを規定値に設定し、電力増幅回路により送信コイルを電流ドライブすることにより、交流磁界を発生させる。

(2) 受信回路部

受信コイルに誘起した金属異物検出信号は、同調回路を経て、直交検波器にて磁性金属・非磁性金属の検出信号を検波・分離する。これは、原理で述べたように、磁性体と非磁性体では磁界に対する変化量が最大となる位相が 90° 異なることを利用したものである。それぞれの検出信号は、ローパスフィルタにて外乱ノイズを除去した後、A/D変換器にてCPUに検出レベルが読み込まれる。

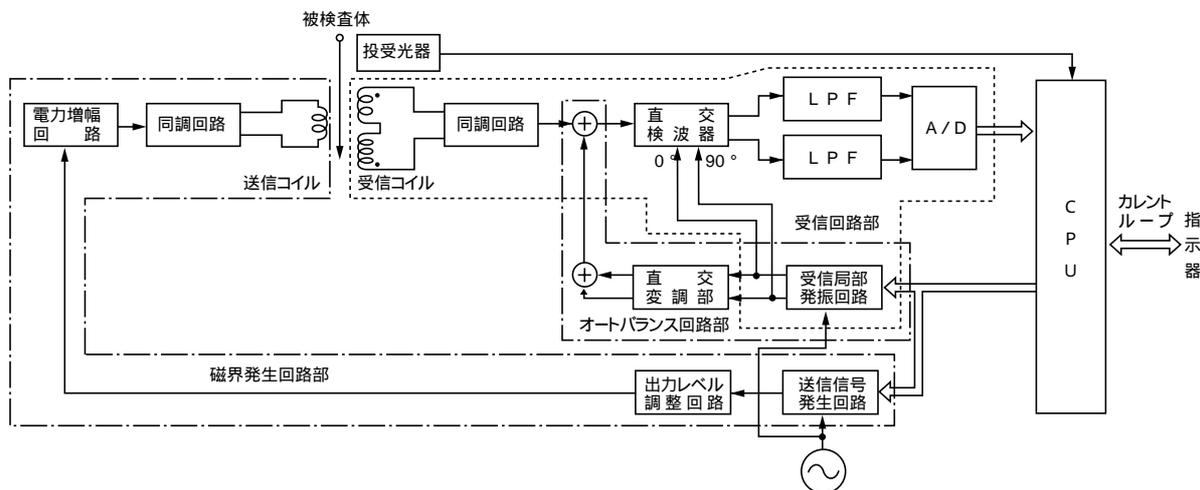


図6 検出ヘッドの構成
Block diagram of detection head

(3) オートバランス回路部

オートバランス回路部は、磁気バランスずれ信号をそれと逆相で振幅が同一な補正信号を加算することで消去し、受信回路部の直交検波器が磁気バランスずれ信号のみで飽和しないようにするための回路である。

5 設計の要点

5.1 HACCPへの対応

5.1.1 機構設計上のポイント

HACCPの要求項目に留意し、下記を機構設計上のポイントとした。

- ・本装置自身が異物混入や雑菌の繁殖・混入の発生源とならないように、被検査体が搬送されるコンベア上には極力部品を配置しないようにした。
- ・本装置自身に錆が発生し、被検査体に異物として混入しないよう外装はステンレス材を使用した。
- ・雑菌の繁殖箇所となるつなぎ目・隙間をつくらない構造とした。
- ・被検査体が直接触れるコンベア部は、常に衛生的にする必要があるため、煮沸消毒に耐える搬送ベルトを使用し、さらに清掃・洗浄作業が容易になるよう、ワンタッチ着脱が可能な構造とした。
- ・指示器・検出ヘッド・コンベアすべてIP66で、丸洗い可能とした。(防水タイプのみ)

また、丸洗い洗浄ではなく拭き掃除で清掃をおこなっている菓子など比較的乾燥した被検査体の製造ライン用に、コンベア下部の架台部分のみ鉄材質+塗装にした、より低価格な非防水タイプもラインアップした。

5.1.2 動作確認機能

HACCP管理の上では、品質検査装置が正常に設定した動作をしているかを定期的に検証することが求められる。

本装置では、検出感度が設定通り維持され、正常に動作しているかを検証する動作確認機能として、3つの動作モード(手動/半自動/自動)を用意した。手動モードは、あらかじめ良品/不良品が明確な被検査体をオペレータがコンベア上に流すことにより正常に良否判定をおこなうかを確認・記録する。半自動モードは、操作パネルの動作確認キーを押すことにより、コンベア上を搬送されてきた被検査体の検出信号に同期して、本装置内部で発生した金属異物疑似信号を重量

させ、その結果確実に不良品判定をおこなうかを確認・記録する。自動モードは、半自動モードの動作を設定した時間間隔で自動的におこなう。

5.1.3 データ管理機能

検出感度の変更など本装置の設定を変更した場合の来歴などを記録するデータ管理機能を装備した。このような来歴管理機能は、本装置がどのような状況で動作していたかを示す証拠となりHACCP管理上有効なデータである。管理データの一覧を表1に示す。また画面表示例を図7に示す。

管理データは、プリンタ(オプション)にて印字出力が可能であり、HACCP管理上の証拠として残すことができる。

5.2 高感度化・安定化

5.2.1 マルチ磁界周波数

被検査体は、それに含まれる塩分や水分の含有率、大きさ、包装材の材質などの影響により、それ自身のみで磁界に影響を与える。こうした被検査体自身による影響(以下製品影響)は、磁界中の金属の特性と同様、磁界周波数により変化する。前述したように、非磁性金属は周波数が高くなる程検出感度が高くなるが、製品影響も同様に周波数が高くなる程大きくなる。したがって、より高感度に金属異物を検出するために、製品影響が小さく異物金属の影響が大きくなるような磁界周波数を選択する必要がある。

表1 管理データ一覧
Management data

管理データ名	記録データ内容
動作来歴データ	品種切替・検出感度変更などの設定変更や動作確認機能の動作結果、本装置のアラームやエラー発生状況
NG来歴データ	異物検出した品種・日時・検出レベル
統計データ	被検査品のトータル個数やNG判定した個数,NG率

Y/M/D H:M:S STS No. 99/10/25 17:30:30 HISTLR_NG 001 99/10/26 08:31:00 INIT 001 99/10/26 08:32:55 PRCHG 001 99/10/26 08:33:30 ATSET 002 OK 2.0/2.0 1.2/2.0 99/10/26 08:34:00 START 002 99/10/26 17:20:00 STOP 002	動作来歴表示
Y/M/D H:M:S No. 99/10/26 08:30:30 001 NG(2.1/2.0) (1.3/2.0) 99/10/27 13:18:00 001 NG(2.2/2.0) (1.2/2.0) 99/10/28 10:32:11 001 EXANG 99/10/28 16:44:12 001 DEL PRODUCT NG(1.5/2.0) (2.3/2.0) 99/10/30 11:14:50 001 EXANG 99/10/30 15:05:40 001 NG(1.3/2.0) (2.2/2.0)	NG来歴表示
No.001 チョコレート 停止 TOTAL 000003 OK 66.67% 000002 NG 33.33% 000001	統計データ表示

図7 データ管理機能表示
Data control function display

本装置では、従来2周波であった磁界周波数を3周波にし、製品影響に対する磁界周波数の選択の幅を広げることで、高感度検出を実現している。

5.2.2 最適な検出位相の決定

製品影響は前述のように、周波数によって変化するが、周波数の選択だけではゼロにすることはできない。製品影響は、一般的に非磁性金属と磁性金属の中間的な性質があり、特徴的な位相特性をもつ。ドライ製品と呼ばれる煎餅や小麦粉のように、水分含有率の低いものの場合、製品影響が小さく、磁性金属・非磁性金属がそれぞれ最大となる位相で検出動作をおこなうことで、高感度に検出することが可能である。

しかしながら、肉加工品、レトルト食品、惣菜といったウェット品と呼ばれるものは、製品影響が大きく、特徴的な位相特性をもっており、磁性金属・非磁性金属がそれぞれ最大となる位相で検出動作をおこなうと、製品影響が大きく微小な金属異物は検出できない。このためウェット品の場合には、製品影響が最大となる位相およびそれと直交する位相（製品影響が最小となる位相）で検出動作をおこなう信号処理で、見かけ上製品影響が最小になるようにしている。検出感度は、この直交する位相をいかに正確に求めるかにかかっており、本装置では直線回帰による統計処理手法でその位相を決定している。図8に製品位相決定の概念図を示す。

5.2.3 オートトラッキング

冷凍の被検査体がコンベアで搬送されるような製造ラインの場合、室温などの影響で被検査体の表面が次第に融けだすことがある。その場合、被検査体の表面の導電率が変化し、製品影響の位相やレベルが変動し、誤検出する可能性がある。こうした製品影響が次第に変化する被検査体に対して安定した検出動作をおこなうため、本装置では製品影響が最大になる位相を常に監視し、その位相と直交する位相で検出動作をおこなうオートトラッキング機能を搭載した。

オートトラッキング機能は、被検査体の温度変動だけでなく、水分や塩分含有率等の変動によりばらつく場合にも有効であり、そのばらつきに追従した安定な動作が可能である。

図9にオートトラッキング機能の概念図を示す。

5.2.4 オートバランス機能

2つの受信コイルは、通常磁気的にバランスし、かつ差動接続されているため、受信コイルの出力に誘導電圧は発生しない。しかし、検出ヘッドの経年変化や温度変化による膨張収縮などによる微小な機械的歪みで、受信コイルに誘起する信

号が不平衡になった場合、磁気的なバランスがくずれるため、誘起電圧が発生する。この磁気的なバランスずれが大きくなると、検波器が飽和し感度低下の原因となる。本装置では、長期的な安定性を維持するため、この磁気的なバランスずれを補正するオートバランス機能を搭載した。

磁気バランスずれの補正は、磁気バランスずれによる誘起電圧信号と逆相で振幅が同一な補正信号を生成し、その信号を受信回路フロントエンド部にフィードバックし加算することによりおこなっている。

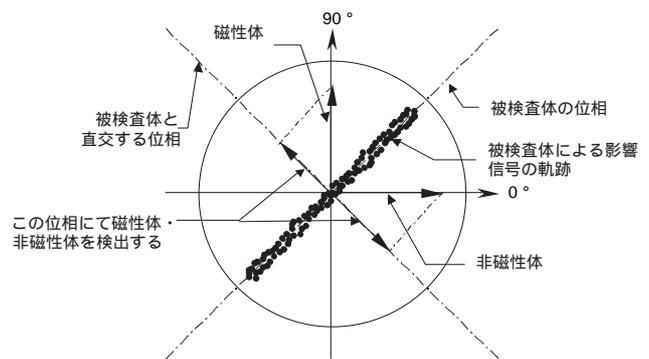


図8 被検査体の位相決定
Method of product phase setting

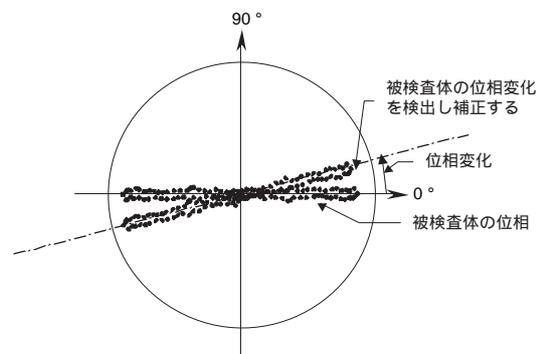


図9 オートトラッキング機能
Method of auto tracking function

5.3 グローバル化対応

5.3.1 操作性の向上

操作性を向上させグローバル化に対応するため、液晶表示器には、240 × 64 ドットのグラフィック液晶（バックライト付）を使用し、英・独・仏などの8カ国によるメニュー対話方式の簡単操作を実現した。操作パネルは、視認性を考慮しデザインされた絵文字キーを採用した。操作パネルの外観を図10に示す。

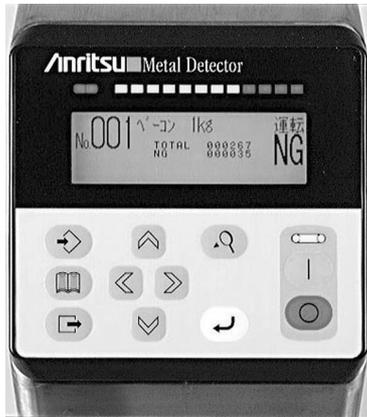


図10 操作パネル外観図
External view of operation panel

5.3.2 ライン適合性

金属検出機は、工場の生産ラインに設置されるが、生産ラインでの使用条件はさまざまであり、標準的な仕様はない。特にベルトスピードは、設置場所により大きく異なるため、本装置では操作パネルから設定可能で10～90m/minの範囲で可変できるようにした。

また、電源電圧は、AC100～120VまたはAC200～240Vの範囲で自動切換えとしグローバル化に対応した。

5.3.3 イージーメンテナンス

搬送ベルトの蛇行は、搬送ベルトが磨耗・損傷し、寿命が短くなることや、損傷した部分が雑菌の繁殖の原因となることから、従来機の主なメンテナンス項目の一つとなっていた。

本装置は、駆動ローラを直接モータでドライブする方式と

し、サン付ベルトの採用とベルトの張力を常に一定に保つオートテンション機構により、蛇行調整が不要な構造となっている。さらに、電気部品の故障などの場合、ユニットの交換だけで短時間に復旧できるように、電気回路部は完全無調整回路となっており、イージーメンテナンスを実現している。

6 実機による物品感度テスト

金属検出機としては何よりも実際の被検査体を使用したときの検出感度（物品感度）が重要である。表2は当社従来機種と比較した物品感度の比較データを示す。ウェット品・アルミ蒸着品についてはテストピース比1～2ランクUP、ドライ品については同等の感度が得られた。

7 主要規格

本装置の主要規格を表3に示す。

表2 感度比較データ
Comparison of sensitivity data

被検査体	スーパーメモリ (KD8013A)		KD801A (従来機)	
	Fe	SUS304	Fe	SUS304
ハンバーグエッグ	0.7	1.5	0.8	2.0
おむすび(紀州梅)				
キャンディ	0.6	3.5	0.8	4.0
チョコレート菓子				
もずく	0.6	2.0	0.6	2.0

表3 KD8013/15/16 A/AW金属検出機 主要規格
Specification of KD8013/15/16 A/AW Metal Detector

形名	KD8013A	KD8013AW	KD8015A	KD8015AW	KD8016A	KD8016AW		
最大通過幅	300mm							
ベルト幅	220mm							
ベルト速度	10～90m/min可変速							
検出感度	通過高さ	80mm	75mm	120mm	115mm	180mm	175mm	
	球	Fe		0.4mm		0.5mm		0.6mm
	SUS304		0.7mm		0.9mm		1.0mm	
金属検出時	警報およびベルト停止または選別出力							
保護等級 (IEC60529)	IP20相当	IP66	IP20相当	IP66	IP20相当	IP66		
電源	AC100～120V + 10% - 15%またはAC200～240V + 10% - 15%, 50/60Hz, 150VA 突入電流 62A (typ.) (20ms以下)							
質量	70kg		73kg		75kg			
機長	800mm							

8 むすび

今回世界に先駆け HACCP の要求に対応した構造や機能を盛り込んだ金属検出機を開発した。しかし、食品の包装形態や成分、製造方法などはさまざまなものがあり金属検出機に要求される性能、機能も一品一様である。

今後、さらに微小な異物金属を安定に検出できるようヘッド構造や信号処理方法の改善をおこなっていくと同時に、使用用途別の機種展開をおこなっていく予定である。

本装置により“安心”と“信頼”をより多くの生産者と一般消費者の方々に供給していきたいと考える。

参考文献

- 1) 鈴木他：“金属検出機”，アンリツテクニカル（47号），pp28～38（1984）
- 2) 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），pp7～14（1991）
- 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），pp62～68（1992）
- 4) 日佐：“HACCPがよくわかる本”，PHP研究所，ISBN4-569-60067-0