

SVシリーズ重量選別機の開発

Development of SV Series Checkweigher

柳瀬裕吉 Yukichi Yanase, 藤本秀也 Hideya Fujimoto, 日高雅之 Masayuki Hidaka, 綿引広明 Hiroaki Watabiki,
関口裕之 Hiroyuki Sekiguchi

[要 旨] 新開発の電磁平衡式はかりを搭載し、従来の機種群を統合し、Safety & Validation 機能を強化した SV シリーズ重量選別機を開発した。本シリーズの電磁平衡式はかりは、構造解析と一体化設計により、能力 600 個/分、精度 10mg を実現した。(世界最高クラスの高速・高精度を達成)また、プラットフォーム化設計により、少ないユニット数で顧客ニーズに合った 730 機種の機種揃え(高速・高精度タイプ、汎用機タイプ、HACCP タイプ)を達成した。さらに、顧客要求を迫及するため Safety & Validation 機能の強化をはかった。

[Summary] We have developed the SV series of checkweighers by incorporating a newly developed electromagnetic balance, unifying previous models, and strengthening the "Safety & Validation" function. The new balance has a (world-best) maximum speed of 600 products/minute with maximum accuracy of ± 10 mg. We used platform design to achieve a line of 730 models (high-speed/high-accuracy, general-purpose, and HACCP models) to meet all needs using a small number of units. Furthermore, the strengthened "Safety & Validation" function pursues customers' requirements.

1 まえがき

重量選別機は、主に食品・薬品の製造ラインにおいて生産される商品の質量を全数測定し、質量の過不足による不良品を後段の選別部によりライン外に排除する検査機器である。現在では、食品・薬品製造ラインにおいて、重量選別機は質量で管理される製品の品質保証のために必要不可欠な機器となっている。

近年、食品・薬品の製造メーカーは厳しい価格競争の中で生産効率向上を目指し、製造ラインにおける充填機や包装機の高速化を進めている。その後段に使用される重量選別機には、確実な質量検査を維持しつつ、さらなる高速化が要求されている。

また、一般消費者の食品嗜好の多様化に伴い、コンビニエンスストアやスーパーマーケットの店頭にみられる少量小袋品の包装形態が主流になっており、生産ラインの高速化はもとより、小袋品に要求される高精度な重量選別機が要求されてきている。

一方、薬品の製造ラインでは薬事法や GMP (Good Manufacturing Practice)[†] 等の法令やガイドラインによって薬品製造システムの性能や信頼性を保証することが要求されている。厚生省の通達では、製造設備の手順・工程、品質管理の方法をバリデーション、すなわち、検証し文書化することが定められている。重量選別機は、質量面で要求される品質管理にはかかせないものとなっているが、さらにこの GMP に定められたバリデーション

概念に基づいた安全性の配慮やバリデーションを支援する機能が求められている。

このような市場要求を踏まえて、高速・高精度で安全性と検証性を強化した SV (Safety & Validation) シリーズ重量選別機を開発した。本稿ではこの SV シリーズ重量選別機について開発方針・設計の要点を中心に報告する。外観を図 1 に示す。



図 1 SVシリーズ重量選別機の外観
External view of SV series checkweigher

[†] GMP: 製造管理および品質管理規則であり、品質の良い医薬品、医療用具などを供給するために製造時の管理、遵守事項を定めたもの。世界保健機構 (WHO) により世界各国に勧告し日本では厚生労働省が定めている。

2 開発装置の基本構成と動作原理

2.1 開発装置の基本構成

重量選別機は、主に以下のように、はかり、操作部、コンベア、架台部で構成される。(図2参照)



図2 重量選別機のユニット構成
Checkweigher unit configuration

2.2 基本動作原理

重量選別機の基本動作原理を図3に示す。

前段装置から搬送される計量品を助走コンベアと秤量コンベアとの間に配置されている光電センサーにて検知し、質量が安定する

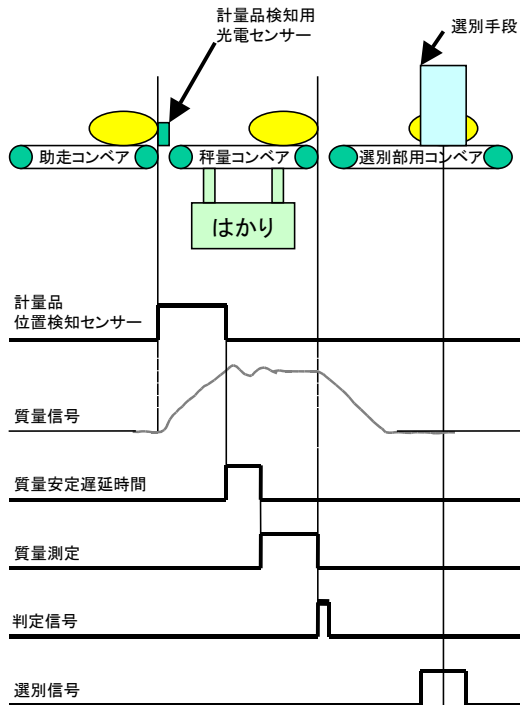


図3 基本動作原理
Basic principle of operation

までの一定時間後に測定を行う。その測定結果とあらかじめ設定されたリミット値に基づき正量品か否かの判定を行い、不良品の場合は後段の選別部にて排除する。

2.3 装置のハードウェアブロック図

ハードウェアのブロック図を図4に示す。CPUは制御部、信号処理部、表示部で構成される。制御部は装置全体の動作を司っており、計量品検知用センサー信号をトリガとし、測定・選別のタイミング生成やそのタイミングに基づく測定・選別処理を行う。信号処理部は測定処理を担い、はかりから出力される質量信号にフィルタ演算処理を施す。表示部は、画面やタッチパネルの制御などリアルタイム性を必要としないI/F処理を行う。

このようにCPUの機能的な負荷分散を考慮し、高速計量・選別に対応できる処理速度を実現した。

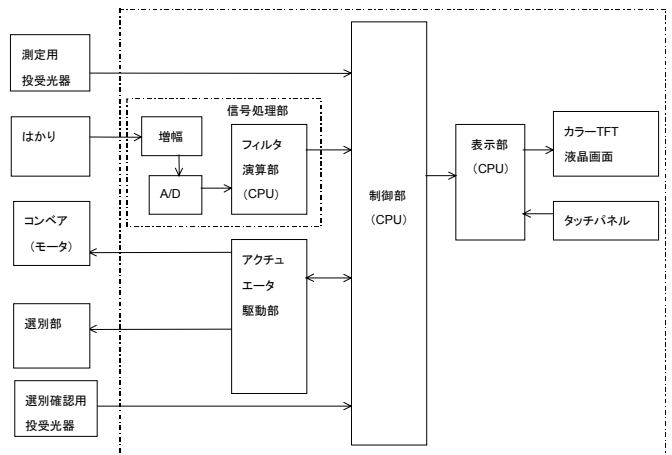


図4 ブロック図
Block diagram

2.4 はかり部

はかりは、秤量コンベアの下部に配置され、計量品の荷重を質量値に変換し、操作部に質量値を伝達するユニットである。高速高精度に適した電磁平衡式はかりとコストパフォーマンスに優れたロードセル式はかりの2種類を開発した。

2.5 操作部

操作部は、質量測定値、判定結果、統計データ等の表示およびパラメータの設定を行う。視認性の良い10.4インチTFTカラー液晶タッチパネルタイプとコストパフォーマンスに優れたFDM(蛍光表示管)パネルタイプの2種類を開発した。(図5参照)

2.6 コンベア

コンベアは、はかり上部に搭載される秤量コンベアと、その前段に配置される助走コンベアで構成される。秤量コンベア上では、



図5 操作部の外観
External view of Indicator

計量時に1つの計量品のみが安定して載っている必要があるため助走コンベアは計量品の搬送間隔を広げ、秤量コンベアと等速に計量品を投入する機能を持つ。

計量品寸法、要求精度、能力および使用環境によってコンベアに対する顧客要求は千差万別である。したがって、ベルト幅(100mm~400mm)、コンベア長さ(150mm~650mm)、および非防水/防水の保護構造で計22種類のコンベアを開発した。

2.7 架台部

架台部は、はかり、コンベアおよび操作部の下部に配置され、計量品投入時の衝撃にも振動しにくい高い剛性を持ち、かつコンベア上から落下するごみ等を滞留させないためにオープンフレーム構造としている。(図6参照)耐蝕性のよいステンレス仕様とコストパフォーマンスに優れた塗装仕様を用意している。

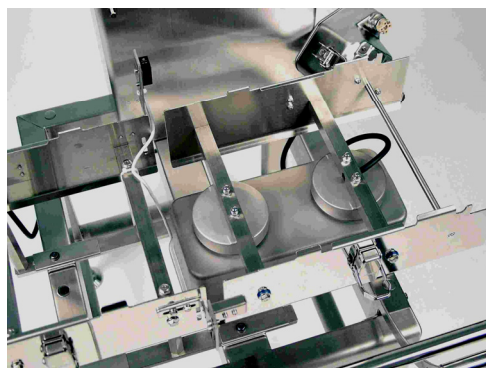


図6 オープンフレーム構造
Open-frame structure

上記のようなユニットバリエーションによって、多様化する市場要求に対応できるよう、300機種以上の品揃えを行った。(図7参照)

3 開発方針

SVシリーズ重量選別機の開発基本設計の方針は、測定系のはかりの高速・高精度化とその温度環境安定性の向上、最近要求が高まりつつあるセーフティとバリデーションの強化においた。



図7 ユニットと機種的相关関係
Correlation between unit and model

3.1 電磁平衡式はかりの高速・高精度化

電磁平衡式はかりは従来機であるHiシリーズ重量選別機から採用している。¹⁾重量選別機は、被計量品搬送位置のばらつき等により、はかりに横方向の荷重がかかり、その振動ノイズにより精度を低下させる。さらなる高速化のためには、横方向の荷重対策として横剛性を強化する。また、信号処理面でのフィルタリング処理の改善を図り、応答性を向上し、重量選別機として従来機比1.5倍の最高速600個/分、従来機比2倍の精度10mgを実現する。

3.2 電磁平衡式はかりの温度環境安定性の向上

重量選別機は、温度変化による電磁平衡式はかりの機構的な変動から生じる無負荷状態のドリフト特性(零点のずれ)を補正するため、定期的に零点を自動的に調整している。そのため、計量品の投入を一時的に中断する必要がある、ラインの持つスループット能力の低下に繋がる。実際の製造ラインでは、前後段装置の温度上昇や計量品自体の温度変化等により相乗的に温度変動が生じるため、はかりの零点が変動して、重量選別機の測定結果に影響を与える。したがって、温度変動によるはかりの零点の変動を最小限に抑える必要がある。本開発では、機構部の一体構造化による締結部を削減することによって温度安定性を従来機比2倍に向上させる。

3.3 セーフティ&バリデーションの強化

重量選別機に求められる安全性(セーフティ)と検証性(バリデーション)を向上するために、以下の3点を挙げ、強化する。

- (1) ごみ・雑菌・異物を混入させないこと。
- (2) 不良品が市場に流出するリスクを防止すること。
- (3) リミットや品種設定等の人的操作ミスを防止すること。

従来機であるIPシリーズで採用したオープンフレーム構造を採用することによって、ごみを機器内に滞留させない構造とする。(詳細は2.7項参照)

日常的バリデーションを支援する動作検証機能、記録機能、および選別不良を自動的に検出する選別確認機能を設ける。

作業者の経験度や管理者の権限によりアクセス権限を設定して操作の範囲を制限する機能を設ける。

4 設計の要点

4.1 電磁平衡式はかりの高速・高精度の実現

4.1.1 電磁平衡式はかりの基本メカニズム

電磁平衡式はかりは、機械的なバランス機構に位置検出器と電磁力を用いて荷重とつりあわせる方式であり、つりあわせるのに必要なフォースコイル電流の大きさから質量を求めるものである。

図8に電磁平衡式はかりの基本メカニズムのモデル、図9に今回開発したはかりの構造を示す。秤量台に受けた荷重を平行ガイド機構(ロバーバル機構)により変位方向を垂直方向に制御し、変位増幅レバーへ伝達する。増幅された変位量を位置検出センサで検知し、レバーが平衡状態を保つようコイルの電流を制御し、この時に発生した電流を質量値として表示するものである。この方式は、メカ的な変位を検出して追従制御を行うため、歪みセンサ等の応答特性を利用する他のはかり方式よりも応答性が良い。

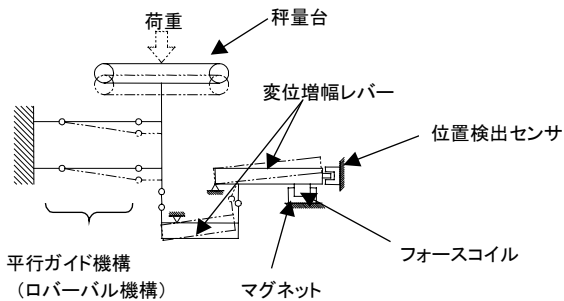


図8 電磁平衡式はかりの基本メカニズムモデル
Basic mechanism of electromagnetic balance

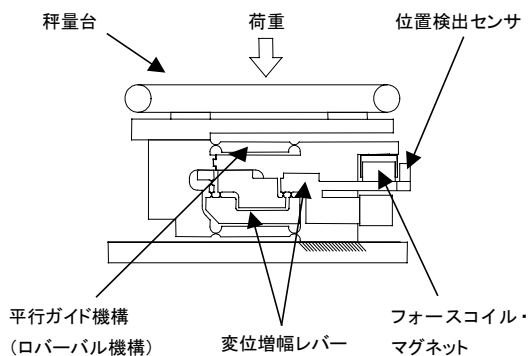


図9 はかりの構造図
Weighcell structure

4.1.2 横剛性の強化

高速・高精度の実現のためには、はかりの応答性を向上させる必要がある。

はかりの機構は図10に示すようにバネばかりとして、2自由度振動系として簡易にモデル化した場合、その動特性は数式(1)~(3)で表すことができる。

$$x = \sqrt{Mg/K} \dots\dots\dots(1)$$

$$\omega = \sqrt{K/(m+M)} \dots\dots\dots(2)$$

$$\zeta = C/(2(m+M)K) \dots\dots\dots(3)$$

M=計量品質量, g=重力加速度, K=系全体のバネ定数

m=コンベア質量, C=ダンパによる減衰係数

ここでxは変位量, ωは固有角振動数, ζは減衰係数である。一方, はかりに品物を載せてから安定するまでの時間tは, 理想的なステップ応答と仮定する。

εを許容誤差として以下の理論式で表せる。²⁾

$$t = \frac{1}{\zeta \omega} \log \frac{1}{\varepsilon \sqrt{1-\zeta^2}} \dots\dots\dots(4)$$

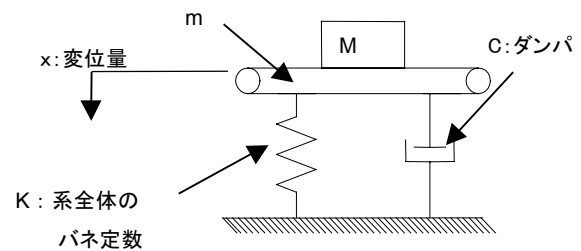


図10 はかり機構のモデル
Weighcell model

高速応答性を実現するためには、上式の時間(t)を短縮することが必要であり、それはω(固有角振動数)を大きくすることにより達成される。電磁平衡式はかりの原理で説明した方式では、垂直方向の荷重変化は電磁力により制御できているが、横方向の荷重変化には電磁力で制御できず、別途センサと制御手段が必要となる。

本開発では横荷重対策として、横剛性を強化する対応を行なった。(図11参照)

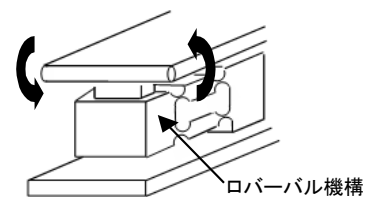


図11 ロバーバル機構の横剛性
Side rigidity in Roberval mechanism

固有振動数を従来機比 1.5 倍以上を確保するためにはロバーバル機構部のバネ強度の向上が必要となるが、逆に強度を上げすぎると後述する温度環境安定性が低下してしまう。

この応答性向上と温度環境安定性の実現のためには、バネ部の強度UPとバネ定数の低減という相反する課題を両立する必要があった。(図 12 参照)

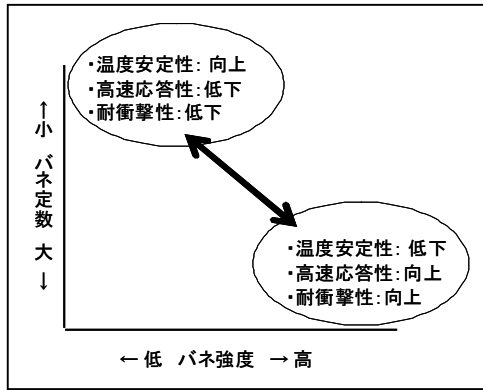


図 12 要求性能とバネ特性の相関概念図
Relationship between required performance and spring characteristics

この課題を克服するために、バネ強度を決定する要素(ロバーバル機構部の全体幅、バネ部の幅、厚み)をパラメータとして与え、3DCAD構造解析シミュレーションによって応力と変位、衝撃性の分析、固有値解析を行った。

その結果、設計目標のバネ定数を満たす最適なロバーバル形状を決定できて、引いては固有振動数の従来機比 1.5 倍を実現した。解析結果の一例を図 13、図 14 に示す。

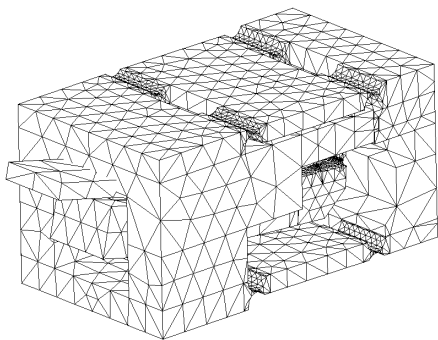


図 13 解析結果例:モデリング
Analysis result example: Modeling

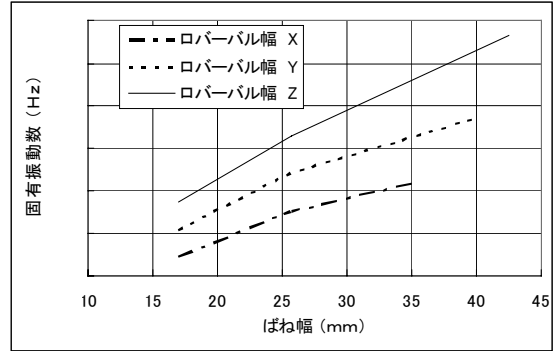


図 14 解析結果例:ロバーバル幅、バネ厚と固有振動数
Analysis result: Roberval width, spring thickness and natural frequency

4.1.3 新フィルタリング処理の開発

上記の開発で得られたフォースコイルの測定信号にも、制御で除去できない電磁平衡式ばかりの機構系の固有振動やコンベア搬送系から生じる振動ノイズ等が混在する。この振動雑音を除去するために信号処理:ローパスフィルタを行う。

質量の計量に必要な周波数成分は、基本的に直流成分のみであるが、それ以外の交流成分がすべてノイズというわけではない。動的計量の荷重信号は台形状の波形となるので、その立上り部分には一定の交流成分が含まれている。この交流成分を必要以上に減衰させてしまうと、周波数時間の不確定性原理により、時間応答の遅れを招く。

従来機では、図 15 (A) のような周波数特性のフィルタを適用していた。本開発では、図 15 (B) のように固有振動数付近にゼロ点をもつ特性のフィルタを採用するとともに、フィルタの位相特性を最小位相系に選択することにより、低周波の領域(図 15 (C) で示す)での最適な減衰特性を求め、不要振動ノイズを除去して高精度計量を実現し、立上り時に処理遅延の少ない時間応答性を得た。

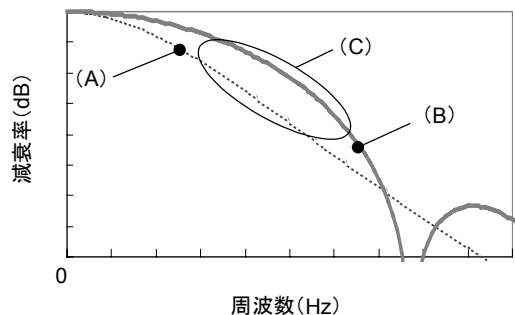


図 15 フィルタの減衰特性
Filter damping characteristics

なお、最適な減衰特性の設計にあたっては、前述したロバーバル機構部の構造解析シミュレーションと、実測した荷重信号の周波数解析を用いた。上記 2 つの対応により、高速応答性の向上が図られ、従来機比 1.5 倍の高速応答性が実現できた。(図 16 参照)

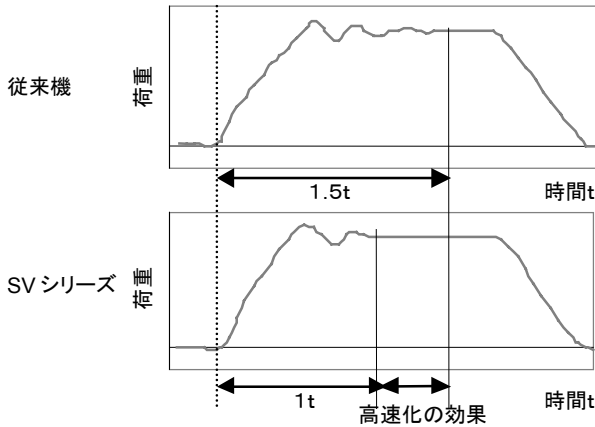


図 16 高速応答波形の概略図
Fast response waveform

上記の横剛性の強化と新フィルタリング処理の開発によって、目標である最高速 600 個/分、最高精度 10mg を実現した。図 17、図 18 に従来機 (Hi シリーズ) と SV シリーズとの精度比較を示す。図 17 は従来機の 400 個/分時の精度に対して、SV シリーズは 600 個/分でも、その精度を上回っていることを示している。図 18 は従来機の精度に対して、SV シリーズは、ほぼ半分の精度が実現していることを示している。

4.2 温度環境安定性向上の実現

温度環境安定性向上のポイントは、はかりを構成する複数の機構部品の発生する熱膨張の違いで生じる部品境界での内部応力を低減することである。

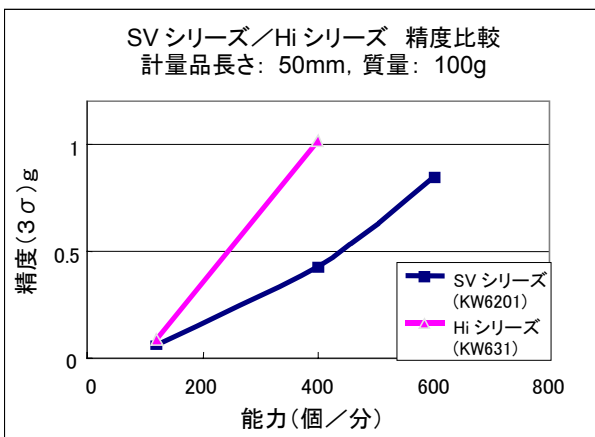


図 17 従来機との精度比較 (1)
Accuracy comparison with previous model (1)

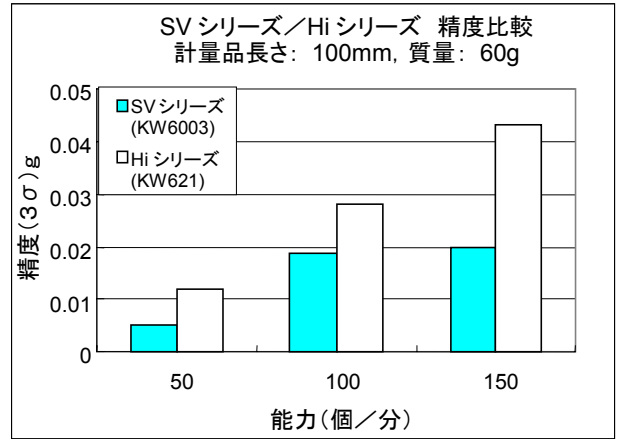


図 18 従来機との精度比較 (2)
Accuracy comparison with previous model (2)

従来の電磁平衡式はかりは、バネ部などの部品を個々に使用しネジ止めする構造であった。この方式はバネ部および機構部品の材質の違いにより線膨張係数が異なるため、温度変化により各機構部の接続部分に内部応力が発生しやすく、非線形な特性を示しやすいと共に、材質の熱伝導率の違いにより各機構部品温度の均衡時間が長い欠点もあった。

発生した内部応力は結果として、質量変位を伝える機構系の変位を助長し、位置検出センサ近くのレバー先端の変位量として現れる。電磁平衡式はかりはレバー先端の変位量を質量に換算するため、機構系全体のバネ定数を小さくすると変位量は小さくなり、温度変化に対する質量指示値の変化は小さくなり、温度安定性は向上する。(図 19 参照)

本開発ではロバーバル機構部を高熱伝導率であるアルミ材での一体構造体とすることと、前述した 3DCAD でのシミュレーションによる最適構造の決定により、締結箇所の低減とバネ定数の最適化を行い、従来機比 2 倍の温度環境安定性を実現した。

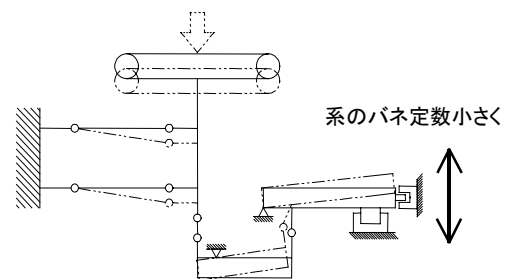


図 19 系のバネ定数の最小化
Minimization of system spring constant

4.3 セーフティ&バリデーションの強化

安全性(セーフティ)と検証性(バリデーション)の強化については、日常的バリデーションを確実に遂行し、その記録も行う動作検証機能、選別確認機能およびアクセス権限機能を強化するべく、ソフトウェアで開発した。

バリデーションとは、「製造所の構造設備並びに手順、工程その他の製造管理及び品質管理の方法が期待される結果を与えることを検証し、これを文書とすること」をいう。(医薬品及び医薬部外品の製造管理及び品質管理の基準に関する省令(GMP):厚生労働省令第179号 平成16年12月24日)

製造設備のバリデーションは、予測的バリデーションとして実生産を開始する前に、設計適格性確認(DQ)、据付時適格性確認(IQ)、稼働性能適格性確認(OQ)、稼働時適格性確認(PQ)の順に実施し、目的とした機能・性能に達していることを検証する。重量選別機のバリデーションとしては OQ で計量精度が期待される結果を確認し、PQ で数ロットを実生産規模にて生産し確認する。PQ 後の本稼働時には、同時的バリデーションとも言われ、日常的に検証し記録維持することにより被検査品の品質を保証している。通常はサンプルワークを計量しその動作を確認することで検証を行っている。

本開発では、日常的バリデーションを確実に実施し、記録できる動作検証機能を開発した。

4.3.1 動作検証機能

重量選別機の動作検証作業では、計量精度や計量判定結果・選別動作を確認することが必要である。それらの確認作業の抜け防止のため、検証実施時刻を作業者に促す案内機能や作業者が画面表示に従い操作するだけで簡単に実施できるガイダンス機能を搭載した。この案内時刻や手順・検証回数は顧客に合わせてカスタマイズ可能となっている。また、生産ライン稼働中では生産ラインを停止し検証することができないため、生産中に検証可能とする動作検証機能も装備した。生産中に検証開始ボタンにより検証する製品を排除し、その製品の計量結果とトレーサビリティが確保された静止秤での測定結果と照合することにより重量選別機の動作検証が実施できる。(図20参照)

4.3.2 選別確認機能

重量選別機には、その測定結果に基づき不良品をライン排除するための選別部が接続される。しかしながら、選別部のタイミング調整不良、機器の故障および人為的ミスによっては、後段のラインに不良品を流出させてしまうことがある。この対策としては、



図20 動作検証画面
Operation check screen

正量品が確実にライン後段に流れていくことと不良品発生時に確実に排除されたことを常に監視することが必要である。本開発では、選別部の後段に監視用センサを配置し、計量品の選別タイミングに合わせてチェックし、確実に選別が行われているかを常時監視する機能を設けた。

4.3.3 アクセス権限機能

操作者 ID とパスワード入力を用いて個人を認証し、さらに操作レベルを個人ごとに設定することで、操作者ごとに操作を限定したり、操作履歴を記録する機能を開発した。これにより、管理者が作業者の設定ミスや不要な操作を監視でき、現場作業者の操作管理と再教育などの改善対策が可能となった。(図21:ログオン画面)

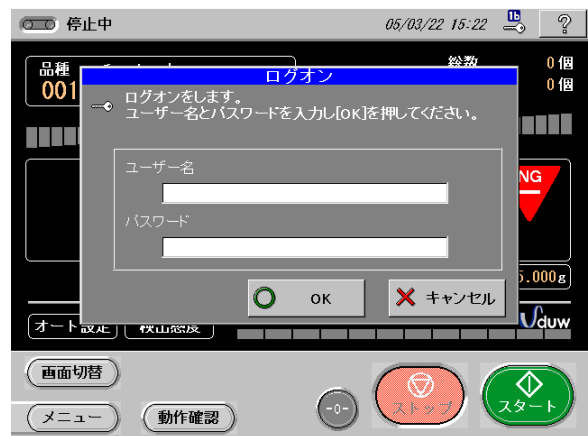


図21 ログオン画面
Log-on screen

5 主要規格

SVシリーズ重量選別機の主要規格を表1に示す。

表 1 主要規格

Main specifications

形名	KW7003AF03 KW7003AP03	KW6201AF04 KW6201AP04 KW6201BF04 KW6201BP04	KW5412AF12 KW5412AP12 KW5412BF12 KW5412BP12	KW5728AFNN KW5728APNN KW5728BFNN KW5728BPNN	KW6366AW66 KW6366BW66	
計量範囲	0.5~60 g	2~600 g	12~3000 g	60~25000 g	12~1200 g	
最高選別精度(3 σ)	± 0.01 g	± 0.02 g	± 0.2 g	± 2 g	± 0.1 g	
最高選別能力	150 個/min	600 個/min	320 個/min	40 個/min	220 個/min	
表示方式	Aタイプ: 10.4 インチ カラー-TFT 液晶, Bタイプ: FDM パネル表示					
操作方式	Aタイプ: タッチパネル, Bタイプ: フラットパネルキー					
最大表示値	60.45 g	600.9 g	3009 g	25090 g	1201.8 g	
表示目量	0.002 g	0.02 g/600 g 0.01 g/300 g	0.2 g/3000 g 0.1 g/1200 g	2 g/25000 g 1 g/15000 g 0.5 g/6000 g	0.05 g/1200 g 0.02 g/600 g	
リミット設定範囲	指示範囲内					
品種数	最大 100 品種					
選別段階	2 または 3					
検定目量	0.05 g	0.1 g	1 g	10 g	0.2 g	
計量品	幅 W	20~100 mm	20~100 mm	20~250 mm	20~450 mm	20~230 mm
	長さ L	46~230 mm	46~120 mm	60~300 mm	88~550 mm	60~300 mm
	高さ H	5~180 mm	5~120 mm	5~180 mm	5~500 mm	5~175 mm
ベルト速度	15~92 m/min	15~99 m/min	15~120 m/min	5~29 m/min	9~82m/min	
電源・消費電力	AC100V~120V+10%-15%または AC200~240V+10%-15%, 50/60Hz, 300VA, 突入電源 62A (typ) (20ms 以下)					
質量	60 kg	60 kg	64 kg	66 kg	68 kg	
使用環境	0~40℃ (選別精度を維持するために 5℃/h 以下の変動のこと) 相対湿度 30~85%, 但し結露しないこと					
保護等級(IEC60529)	IP30 準拠				IP66 準拠	
外装	Fタイプ: 塗装, Pタイプ: ステンレススチール (SUS304) (一部を除く)					

6 むすび

高速・高精度, 安定性の向上, およびセーフティ&バリデーションの強化を実現した SV シリーズ重量選別機の提供により, 食品・薬品製造ラインでの生産性向上と品質保証ソリューションに貢献できた。

食品業界の ISO22000 や AIB(米国製パン研究所)の食品安全統合基準, 健康食品業界での GMP 自主認定制度など最近の業界動向を見ても, セーフティとバリデーションの要求は, 今後とも拡大していくであろう。これからも, 顧客ニーズを捉え, 検査機器の理想を追求し, より一層の"安全と安心"を届けられる製品を開発していく所存である。

参考文献

- 1) 菊池 邦雄, 政 文祐, 高田 良光: Hi シリーズチェッカ, アンリツテクニカル No.62, 1991.9
- 2) 最新のはかり技術: P76~79, 日本計量新報社 1990 年 3 月 31 日発行

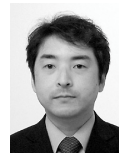
執筆者



柳瀬 裕吉
アンリツ産機システム株式会社
開発本部 CS 技術部



藤本 秀也
アンリツ産機システム株式会社
開発本部 開発部
プロジェクトチーム



日高雅之
アンリツ産機システム株式会社
開発本部 開発支援部



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
プロジェクトチーム



関口 裕之
アンリツ産機システム株式会社
開発本部 開発部
プロジェクトチーム

論文

SVシリーズ重量選別機の開発

「アンリツテクニカル」82号(2006.3)より抜粋

アンリツ産機システム株式会社