

## 第28回センシングフォーラム 投稿原稿

テーマ：生産ライン用天びんの繰返し性に関する考察

(英題：Consideration about the repeat performance of the balance for product lines)

発表者：(株) エー・アンド・デイ 第1設計開発本部  
出雲直人、深見雄二、土舘裕、佐藤嘉國

主催：SICE (社) 計測自動制御学会計測部門

協賛：応用物理学会、次世代センサ協議会、  
センシング技術応用研究会、電子情報通信学会、  
電気学会、日本機械学会、精密工学会、他

期日：2011年10月13日(木)、14日(金)

会場：慶應義塾大学・日吉キャンパス・来往舎  
(神奈川県横浜市港北区)

# 生産ライン用天びんの繰返し性に関する考察

自動機で使用されるマイクロ天びんの構造及び外乱の与える影響について

(株)エー・アンド・デイ 第1設計開発本部 出雲直人 ○深見雄二 土舘裕 佐藤嘉國

## Consideration about the repeat performance of the balance for product lines About the structure of the micro balance used by an automatic machine and the influence to which installation environment disturbance gives it

Naoto Izumo, Yuji Fukami, Yutaka Dodate, Yoshikuni Sato A&D Company Limited  
Higashi-Ikebukuro, Toshima-ku, Tokyo 170-0013 Japan

### Abstract

Lately a lot of highly precise weighing instruments are installed in automated machine lines and the quicker, higher resolution and more delicate weighing are required in such a field. We developed a new weighing instrument that has a quick response and excellent performance with a micro-gram readability.

The followings show the study of the configuration of the product, repeatability, and response speed and the analysis of ambient disturbance that causes poor reliability.

### Keyword

micro-gram、repeatability、ambient disturbance

### 1) はじめに

計量器の分野では、ひょう量を最小表示で割った数値を分解能と表現しています。また、その分解能が、機器の価格を決めている現実があります。つまり、計量器は分解能が命であり、それを実現する技術に対して価格が決まっていると言えます。

分解能が数十万分の1以上となる精密天びんは、現在では、ほぼ100%が電子天びんと呼ばれる機器となり、その測定原理は電磁平衡式【1】と呼ばれています。電磁平衡式では、支点によって支持されるサオの左右にそれぞれ皿と電磁平衡部が配置され、皿上の質量を支点で受け、次に支点を介して平衡する力をローレンツ力と呼ばれる電磁力で補償しています。詳細についてはここでは述べませんが、サオの変位量を常にモニターし、サオの変位が皿上に質量の載る前後で同じ位置になるようにクローズループでの制御を行う：零位法を利用することで、1千万分の1以上の高分解能を実現しています。

零位法となる電磁平衡式天びんでは、単に高分解能化できるだけでなく、制御上の利得を大きく取ることができるので、高速応答で、かつ耐振動性の向上がなされています。零位法と比較され変位法と呼ばれる、音叉式、ひずみゲージ式、容量式などの方式では、上記特性が実現できず、高精度が要求される自動機の分野では、すべて電磁平衡式の計量センサが採用されています。また、最近では感度：1  $\mu\text{g}$  となる質量センサを内蔵したライン用計量器の要求が顕著となっています。それは携帯電話などの表示部に使用される液晶の材料やレジストインク、チップ化されたLEDなどの電子部品の樹脂モールド材の計量、半田ペーストの塗布量、2次電池の生産管理など、現在成長を続けている技術分野において、微量計量への要求が強まっていることとして認識

されています。

微量の計量では、計量器が設置された環境による外乱の影響があり、繰返し性の悪化、計量値のドリフトの発生などが問題となっています。そこで最小表示：1  $\mu\text{g}$  となるライン用計量器を使用し、自動機ラインでの使用を考慮した質量負荷装置を治具として製作し、この治具を利用した長時間の計量データ取得を行いました。測定結果から環境外乱の影響が定量的に確認できることが判明しましたので、その結果について実測データを基に報告します。

## 2) 計量センサーの構成と自動機を利用した繰返し性と応答測定について

- 高速応答を可能とした電磁平衡式質量センサーを 2000 年に開発し SHS : Super-hybrid-sensor [2] と命名しました。この SHS を利用して 1  $\mu\text{g}$  の感度を持つ質量センサーを新たに開発し、ライン用計量器 AD4212B-23 (Fig.1)として完成させました。なお、この計量器はひょう量 21g×最小表示 1  $\mu\text{g}$  の計量性能を持っています。【3】
- 自動で分銅の加除が可能な計量治具(Fig.2)を製作し、AD4212B-23 の長期性能及び応答速度を測定しました。測定時の計量頻度は分銅の載せ降ろし 1 サイクル 60 秒に設定し、計量値の確定時間は分銅を載せた後 30 秒後としています。
- 1  $\mu\text{g}$  の天びんとしての性能評価は、得られた多数のスパン値：ひょう量 - ゼロ点、の隣り合う 10 データでの再現性：標準偏差  $\sigma_{n-1}$  を計算し、その結果を繰返し性としてグラフ化しました。
- 自動機で計量器を利用する場合は、計量表示の安定時間が常に問題となります。そこで、 $\mu\text{g}$  表示が安定するまでの応答速度についても測定しました。



左側：AD4212B-23 操作部

右側：AD4212B-23 計量部

Fig.1 AD4212B-23 外観



左側：分銅加除治具

(ベース板の上に計量部を設置)

右側：AD4212B-23 操作部

Fig.2 分銅加除治具

### 3) 測定結果

#### 3-1) 繰返し性の測定結果について

天びん (AD4212B-23) と分銅加除治具を Fig. 3 に示す計量室外、計量室内に設置し、4 日間の計量データを測定しました。

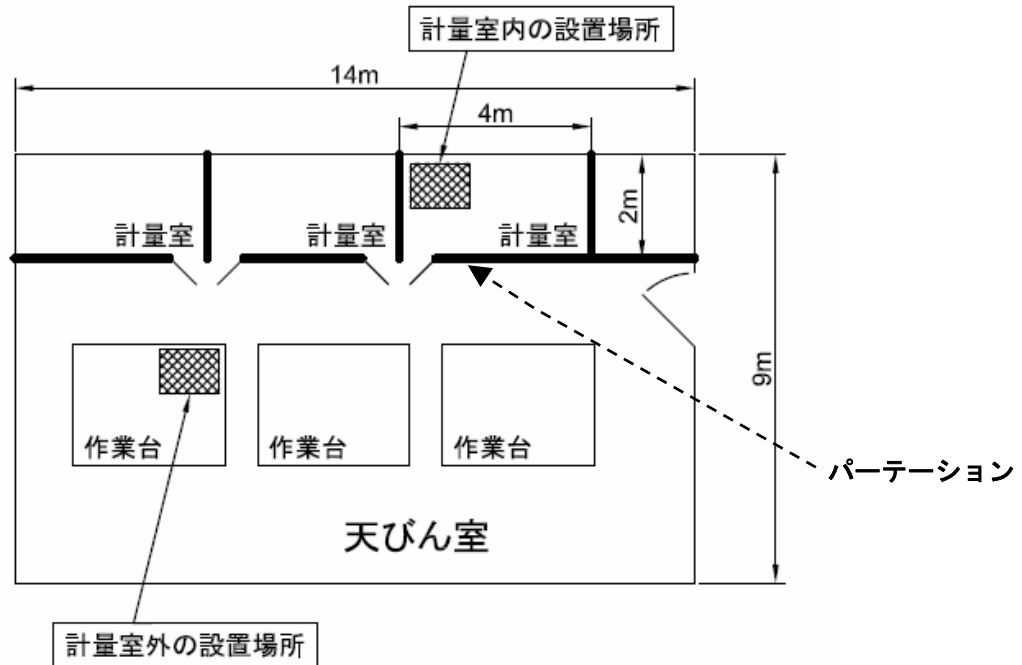


Fig. 3 天びん室内の配置図

Fig. 4 は、計量室外に設置したときの計量データとなります。

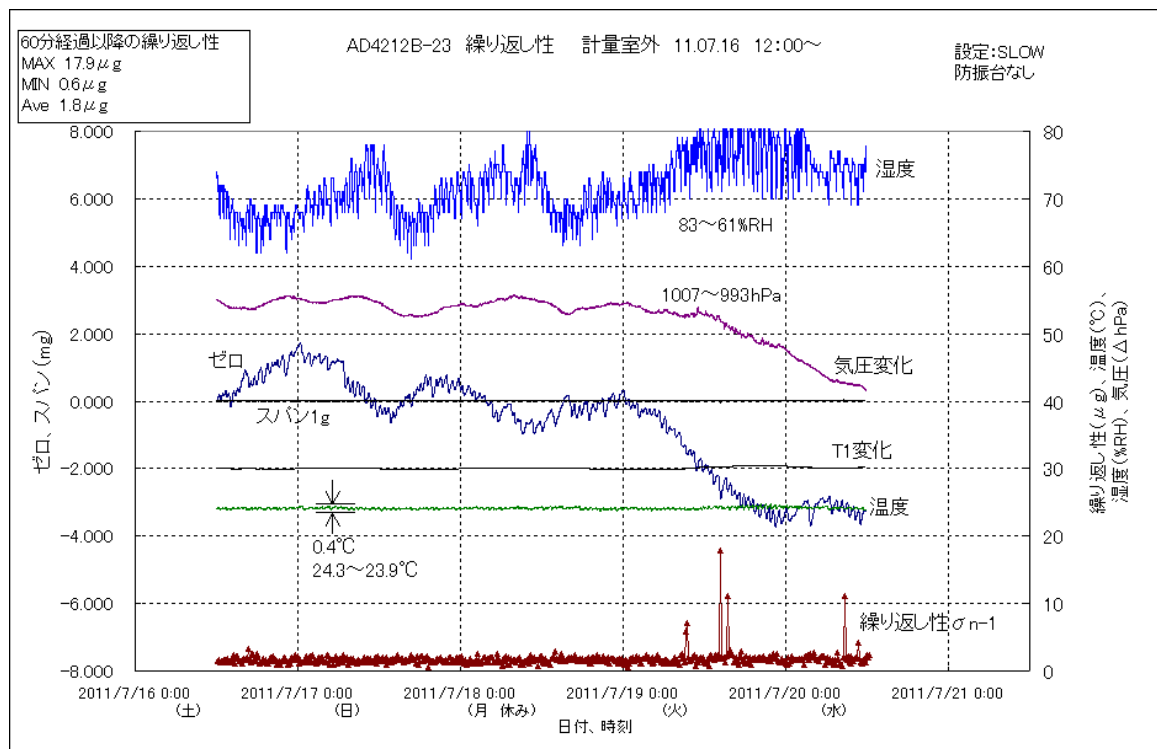


Fig.4 計量室外での測定結果

環境の変化としては、4日間での温度変化が幅で0.4℃、湿度変化：61～83%、気圧変化：993～1007hPaとなります。パーテーションで仕切った外となり、周囲では人の移動もある環境となり、湿度変化の小刻みな変動(リップル)が確認され、それに伴いゼロ点のリップルも起きています。しかし、約1.25gの分銅を利用したスパン値(ひょう量-ゼロ点)は安定しておりスパン値の繰返し性は1.8μgと良い性能が得られています。

Fig. 5は、同じ天びんをFig. 3の計量室内に設置して同様に測定したものです。

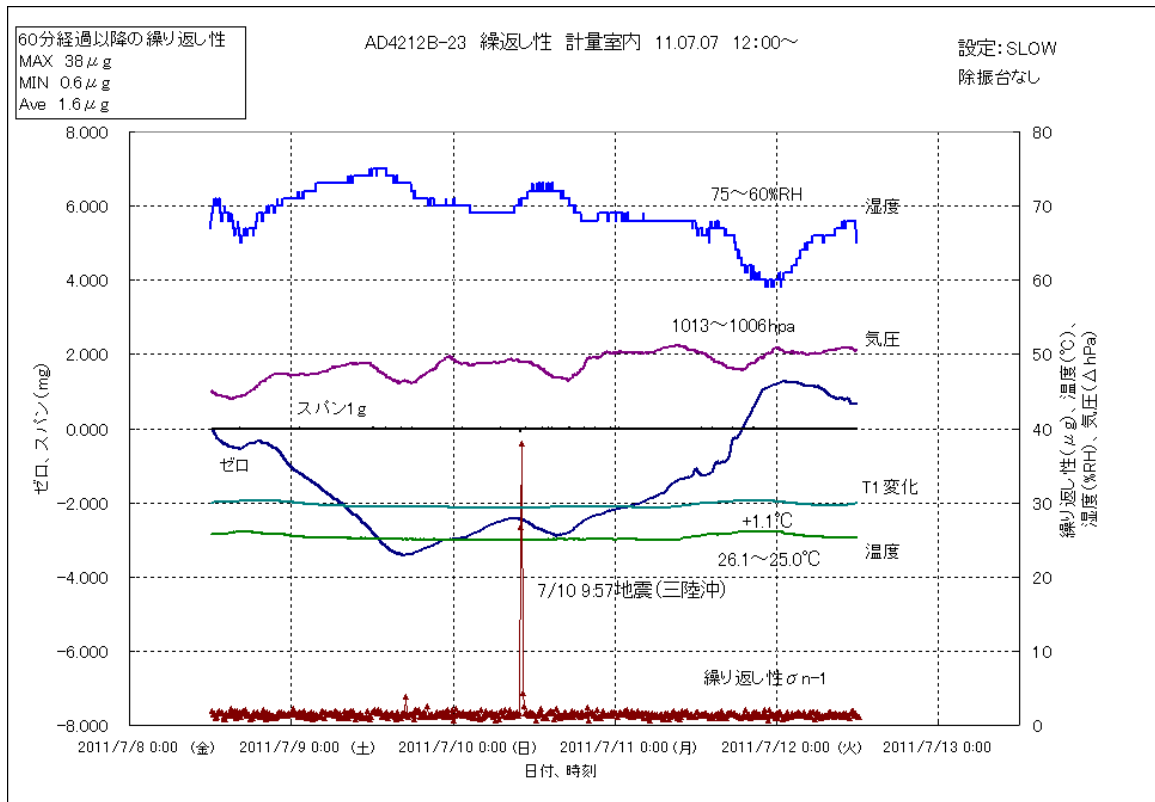


Fig. 5 計量室内での測定結果

環境の変化として、4日間での温度変化が幅で1.1℃、湿度変化：75～60%、気圧変化：1013～1006hPaが測定されました。パーテーションで仕切った内部に天びんを場所に設置することにより、湿度変化の小刻みな変動(リップル)が無くなり、それに伴うゼロ点のリップルも見られなくなりました。この間の計量値はゼロ点が幅で5mg、スパン値(ひょう量-ゼロ点)の変化は、ほとんどありませんでした。

ゼロ点の変動が大きく、その変化は主に天候の変化による湿度変化の影響を受けたと判断されます。しかし、隣り合うスパン値10個から求めた繰返し性は平均で1.6μgとなり、ゼロ点を差し引くことでマイクロ天びんとしてのスペックを十分満足させる性能となっており、上記レベルの環境変化下では、マイクログラム確定に対して影響を受けない事が数値で示されました。なお、7/10(月)AM10時のデータの飛びは、三陸沖での地震(7/10AM9:57 三陸沖 M7.1)の影響を天びんが検出したものとなります。

### 3-2) 応答速度について (天びん室の計量室内、自動機使用、除振台なし)

1.25g の分銅を自動機で載せた時の応答を Fig.6 に表しました。天びんには環境設定機能が付属しており、ソフトウェアにより計量値表示の平均化を3段階で変えることができます。つまり、環境の外乱となる微風や、ごく僅かな振動がある場合は平均化の処理を重くして、表示値を出来るだけ安定させます。この時、応答速度は遅延し表示が安定するまでの時間は長くなります。Fig.6 から FAST/MID. /SLOW のそれぞれのモードで、ある同一条件下(表示の変化が  $\Delta 2 \mu\text{g}/1$  秒以下)で計量値が安定と判断されるのは、それぞれ 11.3/13.7/16.2 秒となりました。

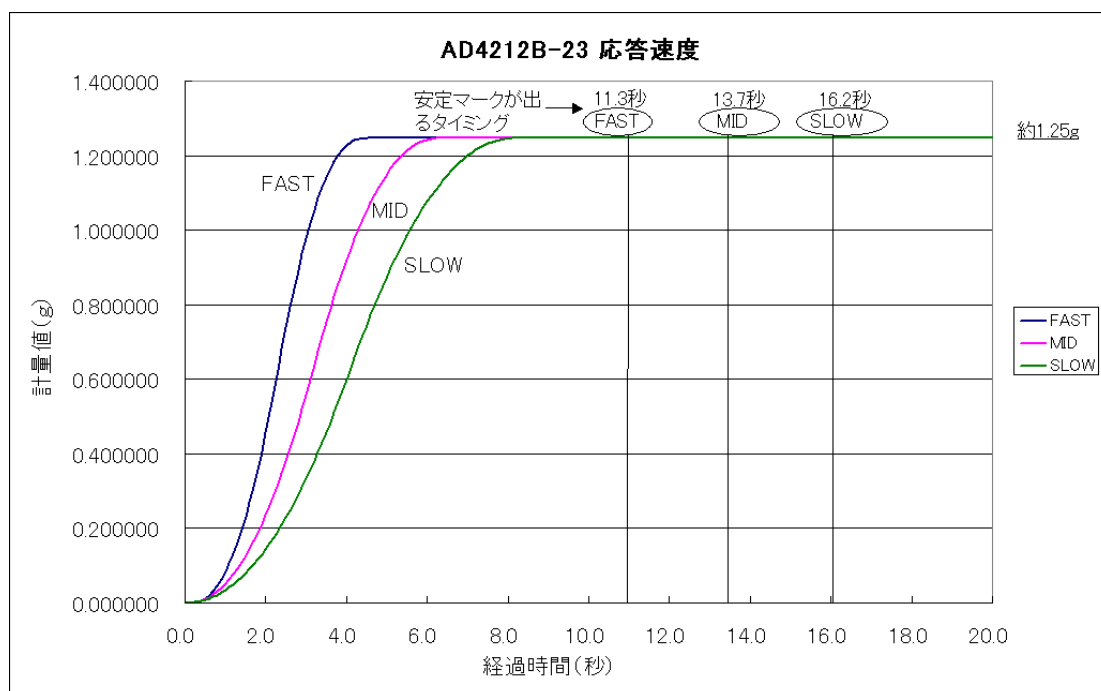


Fig.6 応答速度

## 4) 考察

### ○自動機用マイクロ天びんの繰返し性に影響する環境因子について

自動機を利用した長時間に及ぶ連続計量の結果から、マイクロ天びんの性能に影響する計量値の誤差要因が明らかになりました。それは、恒常的には、気象変化による温度、湿度変化の影響を受けたゼロ点の変動となります。また、ゼロ点については、温度を管理するために必要となるエアコンの動作による温度リップルの影響を受けていることが明確になりました。具体的には ON/OFF 制御されるエアコンによる数°Cの微小な温度変化がゼロ点の不安定を招くこととなります。この対策には、エアコンの配置される空間から、パーテーションなどを利用して計量器の置かれる環境を隔離するなどの方法が有効となります。

### ○繰返し性について

ひょう量からゼロ点を引く事で得られるスパン値の安定性は、ゼロ点の不安定とは関わり無く、繰返し性で安定した  $2 \mu\text{g}$  以下の値が得られました。このことから測定毎にゼロ点を取るとは正確な計量には不可欠であり、また、ゼロ点を測定のたびに取れない場合は、連続して

ゼロ点及び、ひょう量データを取得し、リアルタイムか、またはデータ集積後に秤量ーゼロ点を計算して、スパン値を求める必要があると判断されます。

#### ○応答速度について

今回の測定から一定の環境下（天びん室の計量室内、自動機使用）では、マイクロプログラムの計量時間が 20 秒以下で安定することが実測されました。自動機ではマイクロ天びんの表示が長時間安定しないとの話しがよく聞かれますが、今回取った長時間の計量データを解析することで、環境外乱を低減し、本来の製品性能を出すことが可能になると判断されます。

#### 5) まとめ

今回の実験から、マイクロプログラムの計量では温度の変化を抑える必要が理解されました。特にゼロ点の変動は温度変化への感度が大きく、スパン値の変動は小さく、スパン値に保証されている繰返し性はゼロ点の変動に関わり無く確保されることが明らかとなりました。昔から言われているように、『天びんはゼロを取ってから計量値(スパン値)を求める機器』となりますので、測定毎にゼロを取るか、または、計量後にひょう量からゼロ点を差し引く作業を、行うべきであると考えられます。

また、計量値の恒常的な不安定は、エアコンの作動による温度のリップルや風圧及び湿度変化、人の出入り(振動、圧力変動)、天秤の近くに配置された熱源による影響などにより、この問題を解決するには、計量器の使用状況を理解する為に長時間に及ぶデータを取得し、それを解析することが重要となります。また、突発的な計量値の不安定は、例えば遠くの地震によるもの、また今回はデータでは示していませんが、低気圧の通過に伴う建屋の揺れなどが考えられます。これらの突発的不安定には現状の技術では積極的な対策は打てないと判断され、除振台など受身の対応による外乱の低減が必要と判断されます。

自動機の分野では、マイクロプログラムの計量であっても、計量値の繰返し性だけでなく計量値の安定する時間が短いことが要求されます。この応答速度に関する問題を解決するにも、いかに環境外乱を低減して計量器が持つ本来の性能を維持させるかが、問題解決の鍵になると判断されます。

#### 参考文献

- 【1】(社)計測自動制御学会計測部門主催 第17回センシングフォーラム  
『新しい質量センサーを使用した汎用天びん』
- 【2】Article presented at APMF2000: The 5th Asia-Pacific Symposium on Measurement of Mass, Force and Torque  
『SUPER-HYBRID-SENSOR FOR NEW BALANCES』
- 【3】(株) エー・アンド・デイ <http://www.aandd.co.jp/> 天秤(天びん)・台はかり・分析機器 製品案内
- 【4】(社)計測自動制御学会計測部門主催 第28回センシングフォーラム  
『ライン組み込み用高速計量センサーの開発』