

## 第27回センシングフォーラム 投稿原稿

テーマ：ライン組み込み用高速計量センサーの開発  
(英題：The development of a speedy weighing sensor  
for assembly line)

発表者：(株) エー・アンド・ディ 第1設計開発本部

出雲直人、長根吉一、菅野将弘、小岩井淳志

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：2010年9月27日(月)、28日(火)

会場：群馬大学・桐生キャンパス

(群馬県桐生市)

# ライン組み込み用高速計量センサーの開発 新設計センサーによる計量スピードの高速化

(株)イー・アンド・デイ 第一設計開発本部 出雲直人 長根吉一 ○菅野将弘 小岩井淳志

The development of a speedy weighing sensor for assembly line

The study of realizing a faster response with a newly designed sensor

Naoto Izumo, Yoshikazu Nagane, ○Masahiro Kanno, Atushi Koiwai A&D Company Limited  
Higashi-Ikebukuro, Toshima-ku, Tokyo 170-0013 Japan

## Abstract

In the manufacturing process of products such as high-performance batteries today, it is common to use automated production lines. Such production lines demand compact weighing sensors which can measure minute masses with high speed and high precision. Recently, a newly-developed weighing sensor enabled an unprecedented speed. The mechanical structure of the sensor, the electric (PID) section for control, and designing of the software (digital filter) that determines the final response performance with resistance to vibration, are reported.

## Keywords

Quick weighing, digital filter, stability

### 1. はじめに

環境問題を改善する提案としてリチウムイオン電池や LED 照明の市場が急拡大しています。この市場を支える電池や LED の生産現場では、高い性能と品質を維持する事を目的として、いかに安定的に生産が行えるかが鍵となっています。また、これらの安定生産は品質と同時にコスト削減を求められており、広い意味での生産性向上が避けて通れない大きな課題であると認識されています。このような状況の中で、例えば電池 1 個に必要とされるわずかな電解液が確実に滴下されたかどうかを 1mg 単位で管理する必要があり、現在その充填量を最も正確に全数測定する手法として電磁平衡式計量器が数十から百台までを 1 単位として使用されています。

ここで言う電磁平衡式計量器とは、一般的に電子天びんと呼ばれ計量値をデジタル表示し、数十万分の 1 以上の分解能を持つ計量器（はかり）と定義されます。

本発表テーマとなる計量ライン用質量センサーは基本的に上記電子天びんと同じ構成要素を持ちます<sup>[1]</sup>が、汎用天びんと異なり高分解能と同時に高速応答、省スペース、高い耐久性と耐環境性能、通信の自由度など多くのより困難な仕様が要求されます。また、これらの市場要求に答える為、すべての生産現場において電磁平衡式が採用されている事実もあります。そこで今回、新しく開発した電磁平衡式となる生産ライン専用計量器：AD4212C シリーズの仕様のなかで、特にラインの生産性を決定する高速計量実現の技術背景について報告します。

### 2. 新しく開発した計量センサーについて

古くから、日本の生産現場では汎用電子天びんを利用した高精度な計量がなされており、日本での物作りの高品質を支えていました。しかし、過去の電子天びんではその高分解能が災いして高速計量が不可能であり、計量器としての寸法が大きく設置場所が確保できないなど、色々な意味で計量が生産ラインでのボトルネックとなっていました。また、天びん自体が精密な計量機器となる為、真空雰囲気での使用やオイルミストや電解液、接着剤、クリーム半田などの使用される設置環境との相性が悪い事がありました。その他、生産ラインでは振動の発生源が多数あり計量値が安定しない問題もありました。

基本性能以外でも生産量が莫大で多くの計量器配置を必要とするラインでは、ホストとなる PLC やパネルコンピュータとの通信回線の数の多さが問題となっていました。例えば BCD 出力を利用すると電気信号の接点数が数千に及ぶ事があり、信頼性を確保する為の手間暇が膨大な工数を消費する問題などがあります。

上記多数の課題は防塵・防滴構造の採用、2000 万回に及ぶ耐久試験（現在継続中）の実施、真空環境下での性能確認、CC-Link などの複数台接続手法の導入、計量部をコンパクトにまとめ、かつ計量部から直接デジタルデータを出力するなどの個別対応により解決する事ができました。そして残る最大の課題は高速応答となりました。一般的に生産ラインの 1 工程に要求されるタクトタイムは 1 秒以下といわれています。

新開発したライン用計量センサーでは 秤量 600g×最小表示 1mg、6kg×10mg の2機種があり、従来の応答スピード約 1.0 秒に対し<sup>[2]</sup>、2機種共に安定時間 0.3 秒を実現することができました。

### 3. 検討事項

#### 3-1. 電子天秤の動作概要

電子天秤を構成しているブロック図を Fig1 に示します。電子天秤に荷重が加わると機構部に力がかかり、ループが組まれた制御部 (PID 部) によって電流がフィードバックされます。このコイル電流により、電磁力が発生し荷重との平衡を取ります。ここで得られた電流信号は荷重に比例します。荷重信号は電気処理部にてアナログフィルターで処理され、A/D 変換の後、最終的にはマイクロプロセッサにてデジタル処理 (デジタルフィルター処理) されます。

#### 3-2. 改善の方向性

荷重を受けるセンサー部は、機構部と制御部 (PID 制御部) で構成されています。ここでの高速化は、機構部の固有振動数の改善と閉ループのゲイン設定がポイントとなります。なお、この閉ループではややリングングが発生しやすくなりますが後段で処理する形としました。またデータのフィルタリングについては次段のアナログフィルターとデジタルフィルターとで分担を分け、効果的な高周波成分の減衰を行っています。最終的にはデジタルフィルターにてリングングを取り去る事により、高速応答、高安定の質量センサーを実現することができました。

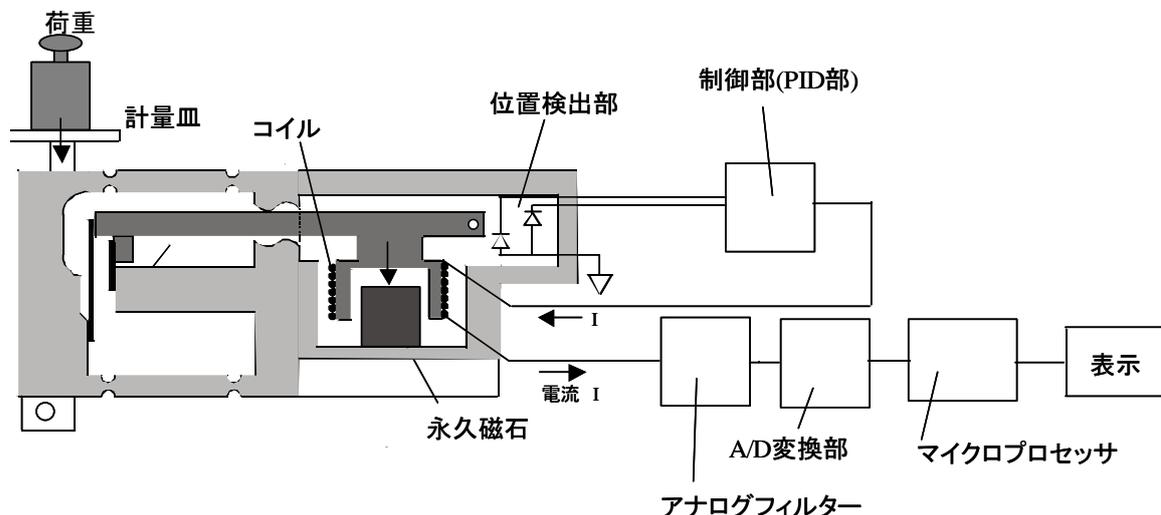


Fig. 1 電子天秤の構成(ブロック図)

### 4. 結果

#### 4-1. 機構部

応答時間を短くするために機構部は軽量・小型化を図り (Fig. 2、Fig. 3)、機構部が持っている固有振動数を上げる工夫を行いました。(当社比にて固有振動数を従来の約 5Hz から約 13Hz に改善)。これにより、制御を行う PID 部にて構成される閉ループが発振せずに、高いループゲインの保持を実現できるようにしました。



Fig. 2 センサー部構造(側面)



Fig. 3 センサー部構造(正面)

#### 4-2. 制御 (PID) 部

機構部の周波数特性に合わせ、ややリングング気味ではありますが、高い閉ループゲインを目指しました。PID ゲインループの出力信号として、位置検出部の出力信号と荷重信号の電流波形を Fig. 4 に示します。図より荷重ゼロから荷重 30g 加わった時に、ほぼ 50msec でセンサーが反応している事が分かります。

#### 4-3. アナログフィルターの設定

ここでは主にデジタルフィルターでとり切れない高い周波数成分を除去します。2 次のアクティブフィルターで構成し、カットオフ周波数をここでは約 20Hz とし、これより高い周波数変動分を効果的に減衰させます。アナログフィルター後の出力信号を Fig. 4 に示します。

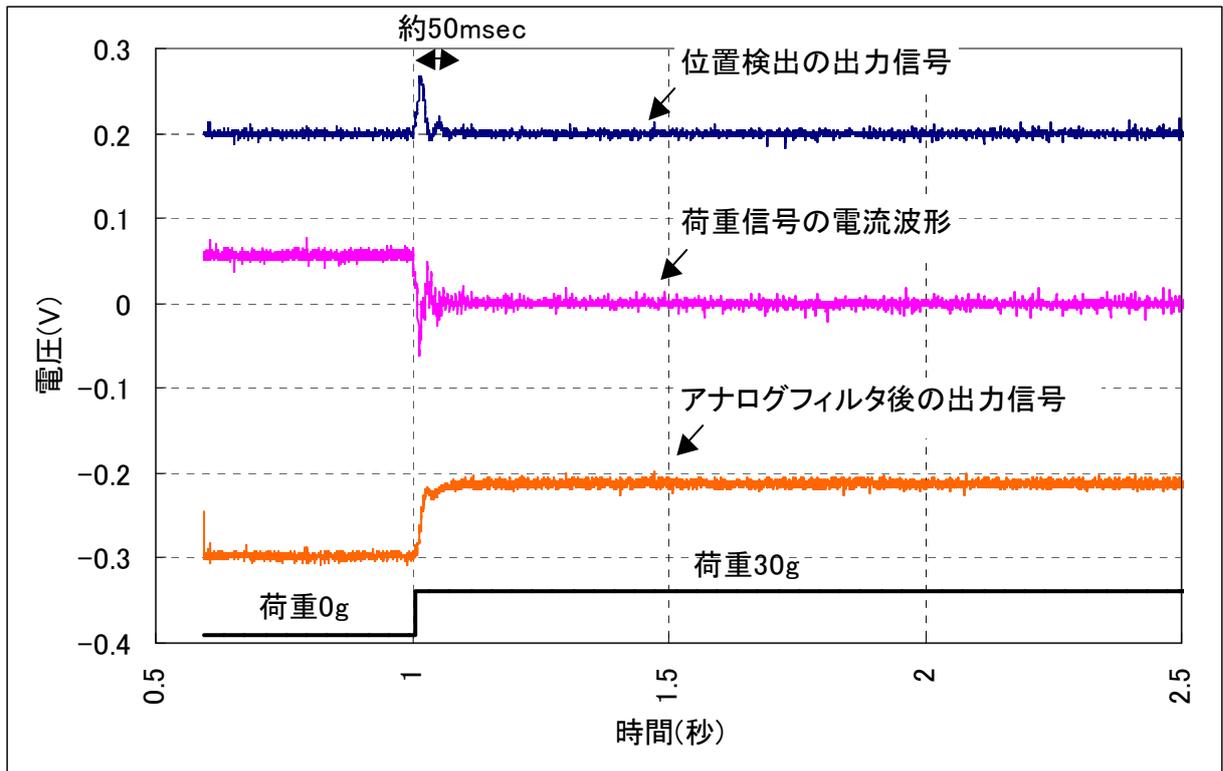


Fig. 4 位置検出の出力信号、荷重信号(電流)、及びアナログフィルタ後の出力信号

#### 4-3. デジタルフィルターの最適化

デジタルフィルターにより、最終的な応答特性を決定します。荷重が加わったときの時間応答データを高速でかつ安定したデータに変換します。

Fig. 5 は、アナログフィルターを通った後での、A/D 変換直後のデジタルデータです。Fig. 6 の周波数成分を見ると、40Hz 近傍のスペクトルが大きい事が分かります。このデータに、Fig7 に表す特性を持つデジタル

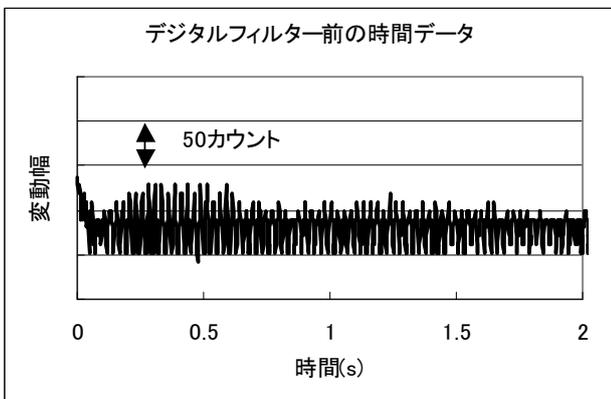


Fig. 5 デジタルフィルタ前(時間データ)

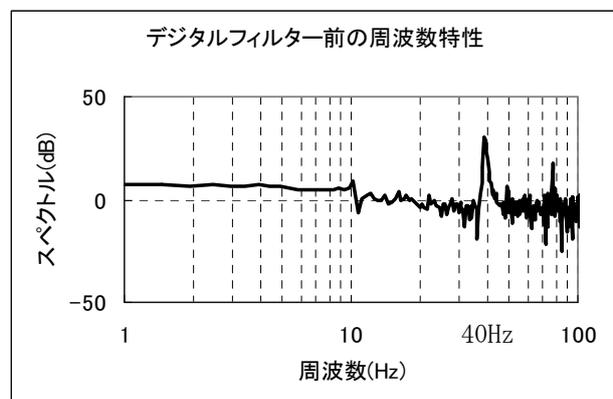


Fig. 6 デジタルフィルタ前(周波数スペクト)

フィルターを通すと、Fig. 8 に示すように変動幅は減少し、秤量 300g の天秤のゼロ点が 1mg レベルまで安定させることができました。

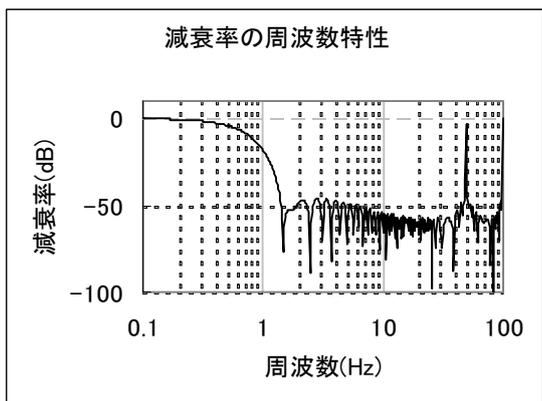


Fig. 7 デジタルフィルター周波数特性例

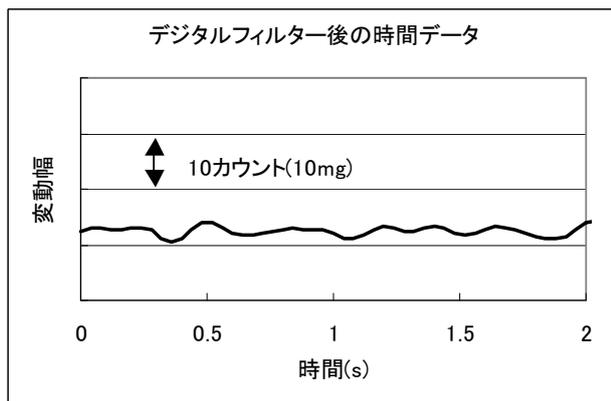


Fig. 8 デジタルフィルター後(時間データ)

Fig. 9、Fig. 10 は、実際の荷重が加わった後の応答特性です。荷重 30g が加わった時に最小表示 10mg での最適デジタルフィルター処理の結果 0.3 秒以下の応答が可能となりました(Fig. 9)。また、最小表示 1mg での最適デジタルフィルターでは、約 0.4 秒の応答となりました(Fig. 10)。

これは、従来の応答スピード約 1.0 秒に対して、応答特性が飛躍的に改善された事を示しています。

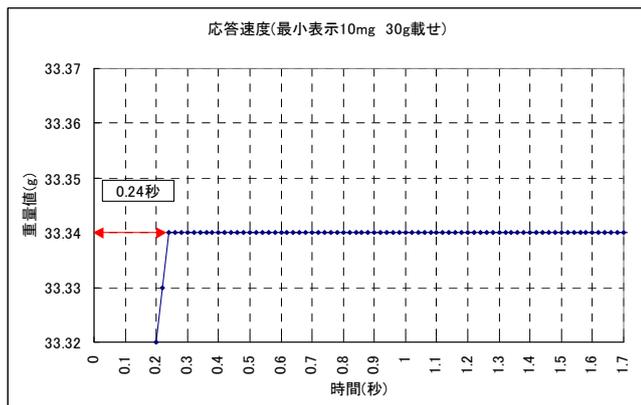


Fig. 9 応答速度(30g 荷重 最小表示 10mg)

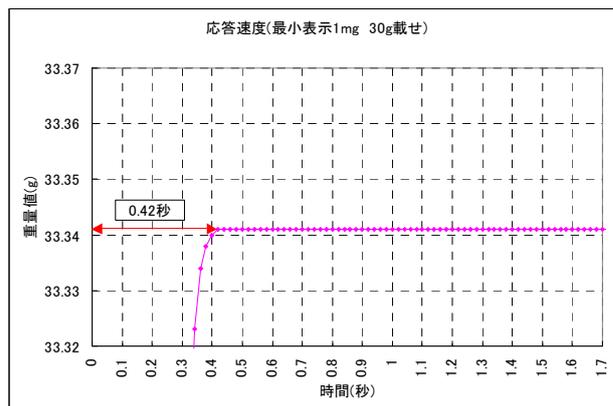


Fig. 10 応答速度(30g 荷重 最小表示 1mg)

## 5. 考察

以前には数秒を必要とした電子天びんの安定時間が、本機では 1 秒以下と早まり、わずかに 0.4 秒で数十万分の 1 となる計量表示を安定させる事が可能となりました。この計量器の高速化は、市場要求に答える技術的対応により実現されました。未だ設置環境に発生する振動の影響を低減する方法については有効な手法が確立されていない事があります。しかし現在の計量技術では、強力なフィードバック制御が可能となる電平衡式が、オープンループ制御となるひずみゲージ式や静電容量式、音叉振動式などとなるその他の方式に比較し、はるかにその分解能と耐震性において優れている事実もあります。従って耐震性の改善は電磁平衡式に残された最終課題であると認識しています。いずれにしても技術の改良は一步ずつ確実に進めるしか無く、今回開発した計量器の完成度の高さが、生産ラインや特殊環境下での計量器の使用される可能性を拡大し、しいては日本の物作りの復活に少しでも貢献できれば幸いであると考えています。

## 参考文献

- [1] 出雲、長根：新しい質量センサーを使用した汎用天秤、第 17 回センシングフォーラム(2000)
- [2] 出雲：質量センサーの高性能化と小型化 -C-SHS の構成要素と天秤の性能について-、第 25 回センシングフォーラム(2008)