

第29回センシングフォーラム 投稿原稿

テーマ：環境ロガー：AD - 1687 を利用した計量器の  
管理方法について

(英題：The management method for weighing instruments  
using the environmental logger AD1687)

発表者：(株) エー・アンド・デイ 第1設計開発本部  
出雲直人、菅野将弘、清水幸子

主催：S I C E (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：2012年9月27日(木)、28日(金)

会場：茨城大学工学部 日立キャンパス  
(茨城県日立市)

## 環境ロガー：AD-1687 を利用した計量器の管理方法について

(株)エー・アンド・デイ 第1設計開発本部 ○出雲直人 菅野将弘 清水幸子

### The management method for weighing instruments using the environmental logger AD1687

○Naoto Izumo, Masahiro Kanno, Sachiko Shimizu A&D Company Limited

#### Abstract

We reports the error factor which is caused by environment for weighing data, and show how to improve the repeatability that is important for balances. With using the data taken by the environmental logger AD1687 for a long time. Also we report the analysis examples which improve the repeatability.

#### Keywords

Analytical balance, Environmental error factor, AND-MEET

#### 1) はじめに

多くの電子天びんが研究室や品質管理現場で使われています。現在、感度の高い分析天びんとしては、最小表示が1円玉の質量の100万分の1(1 $\mu$ g)となるマイクロ天びんも市販されています。この電子天びんの最小表示をひょう量で割った分解能は2000万分の1に達しており、高分解能化と極微量表示が可能なることにより、電子天びんの設置された環境の変化に対する計量表示の不安定が問題となっています。**\*1** 特に分析天びんで多々発生しているこのような問題の根本的解決には、天びんの設置環境を評価できる専用ツールが必要と判断されます。今回、このような潜在的な問題を解決する機器として、計量環境ロガー：AD-1687 **\*2**を開発しました。

AD-1687では温度、湿度、気圧の他、振動も検出できます。またオプション設定された水温センサを利用すると、電子天びんの計量値を含めた6パラメータを一括でロギング(記録)することができます。また、計測時間の間隔を最小1秒から自由に設定し、計測時間と上記6データを1セットとして1万セットの連続記録ができ、その計測データを時系列でグラフ表示できます。この環境ロガーを利用して、例えば24時間の継続した計量値と環境データを測定し記録することで、人の出入りによる計量不安定や繰返し性の悪化、地震の影響、人には感じられないエアコンのON/OFF制御による僅かな温度リップルの影響や、天候変化による湿度、気圧変化の影響などが明確に判断できるようになりました。また、これらの手法を確立することで、計量値が不安定になる原因が確定され、根本的な計量環境の改善提案及び対策実施が可能になって来ました。

環境ロガーにより長時間に渡り得られたデータを元に、環境が及ぼす計量値に対する環境誤差要因を明確とします。また、同時に天びんの繰返し性を改善する実測例を示し、対策案についても報告します。

#### 2) 計量環境測定について

計量環境ロガー：AD-1687の仕様と、マイクロ天びんを利用した環境測定方法について説明します。AD-1687は小型で防滴仕様(IP65)となり、また持ち運びを考慮し1.5mからの本体落下に耐えうる構造を採用しています。また、湿度センサは消耗品となりますので、温度センサと共に別のケースに入れてから、本体とコネクタを介して接続し一体化しました。従って湿度センサはユーザで簡単に交換可能となっています。

実験では最小表示が1 $\mu$ gとなる分析天びんBM-20を利用しました。BM20はひょう量22g、最小表示1 $\mu$ gとなる高分解能(2200万分の1)分析天びんとなります。これらの機器をFig.1のように配置し、24時間連続して天びんに内蔵される分銅を自動的に昇降して、ゼロ点と内蔵分銅値約20gの値を繰返し測定しました。それぞれのマイクロ天びんに各1台の計量環境ロガーを配置&接続し、計量値と同時に温度、湿度、気圧と振動の4つの環境データを記録しました。AD-1687の外観についてはFig.2を参照してください。

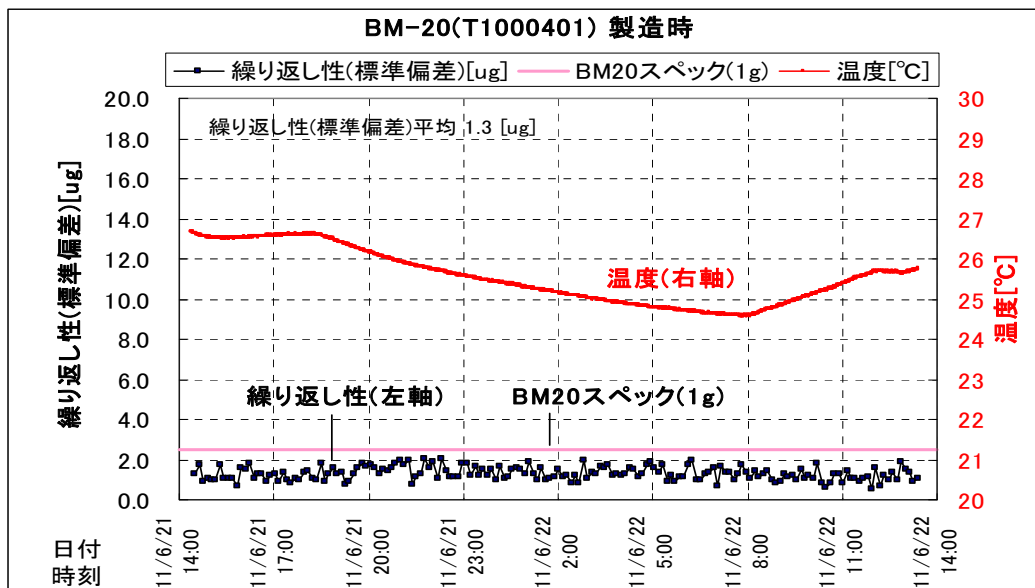


**Fig.1 計量環境測定時の機器例**



**Fig.2 AD1687 外観**

参考となる 24 時間の測定結果を Fig.3 に載せました。1 サイクル 60 秒として、分銅を昇降し、1 時間 : 60 データ×24 時間=1440 個のゼロ点とひょう量データを取得します。ひょう量からゼロ点変化分を差し引いたスパン値を求め、隣り合う連続したスパン値 10 データから 1 つの繰返し性 (標準偏差) を求めて、その値を各 1 点としてプロットし各点を折れ線で結びました。グラフでは横軸が時間となり約 24 時間を表し、縦軸左が  $1 \mu\text{g}$  での繰返し性を、縦軸右が天びんを設置した室温変化を表しています。このデータは弊社の生産拠点となる つくば工場で得られたものですが、BM-20 のカタログスペックとなる  $1\text{g}$  での繰返し性  $2.5 \mu\text{g}$  を十分に満たす平均  $1.3 \mu\text{g}$  の繰返し性が 24 時間に渡り維持されています。また、この時の環境データは、24 時間での温度変化約  $2^\circ\text{C}$ 、図示していない湿度変化が  $4\%$ 、気圧変化  $3 \text{hPa}$  の状況となります。この環境下で、部屋に入る人数を制限した条件では、天びんの外付けとなる卓上風防や特別な除振台などの利用なしでも、マイクロ天びんとしての基本性能が 24 時間維持されていることが理解されます。一連の環境誤差要因と計量値の繰返し性に関する評価手法は『AND-MEET』\*3として既に確立され、現在ではユーザ要求により天びんの使用現場で実施されています。



**Fig.3 計量環境測定例**

### 3) 測定結果

Fig.3の測定結果から、天びん室として理想的に完備された環境下では、マイクログラムの繰返し性は問題のない事が確認され、天びんの外周全体を覆う卓上風防も、また除振台も必要ないとの結果が得られました。しかし、実際の計量現場では問題の発生する場合が多く、それらの外乱を低減する目的で使用する卓上風防や、除振台の効果について確認する必要がありました。

そこで外乱が多く、実際に天びんが使用されるフィールドを考慮した場所として、弊社の埼玉県北本市にある開発・技術センター内2階の『はかり検定室』を選びました。検定室では定時内は人が出入りして計量器の検査作業を行っており、20kg分銅の載せ降ろしや、部屋の扉の開閉、人の動きやエアコンによる風の変動があります。検定室と今回の実験機器の配置については Fig.4 の写真を参照してください。写真では重量級天びんの検定作業を行っており、その先の壁際に分析展びん2台を配置し、今回のデータを取っています。



Fig.4 はかり検定室の風景

#### ①人やエアコンの影響と除振台&卓上風防の効果 (Fig.5、6)

今年の8月10日(金)午後3:00から翌日の土曜日午後3:00までの繰返し性のグラフを Fig.5 に示します。Fig.5-1 は除振台に分析天びんを載せ、かつ天びん全体を覆う卓上風防を配置した結果です。Fig.5-2 はそれらを使用しなかった結果となります。人の作業があった金曜日の夕方までは、両者ともに繰返し性が悪化しており、かつその値に大きな差が見られます。また、その後も左のグラフでは繰返し性がカタログスペックとなる標準偏差( $\sigma_{n-1}$ )が  $2.5 \mu\text{g}$  以内ですが、右内では、度々スペックを越える繰返し性の悪化が確認されます。

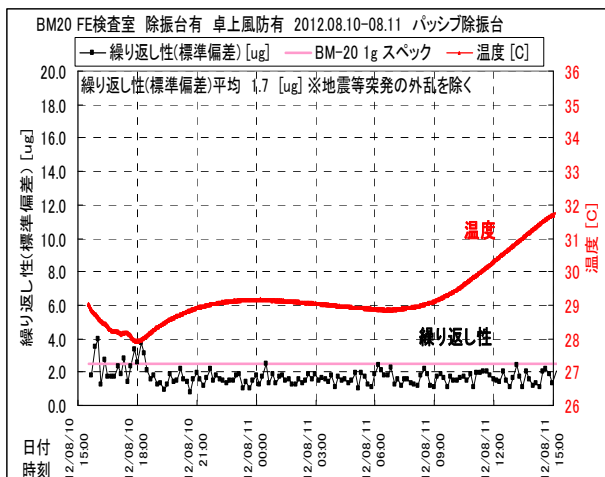


Fig.5-1 除振台&卓上風防利用

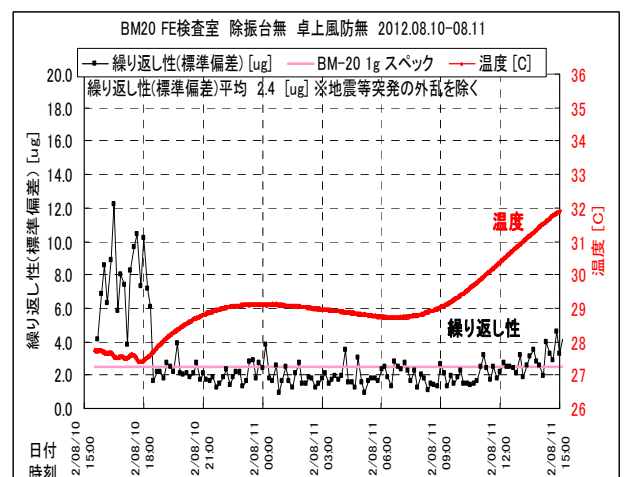


Fig.5-2 除振台&卓上風防無し

この時、同時に記録された環境ロガーの温度、湿度、振動のデータを Fig.6 にグラフ化しました。このグラフから、24時間の温度変化  $4^{\circ}\text{C}$  以下、湿度変化最大 10%、振動  $2 \sim 5 \text{ Gal}$  以内が確認されます。天びんの繰返し性の悪化する 8/10(金)の夕方までは、エアコンが動いている為と推測される、小刻みな温度変化に伴う湿度変化  $\Delta 10\%/30 \text{ 分}$  が発生しています。

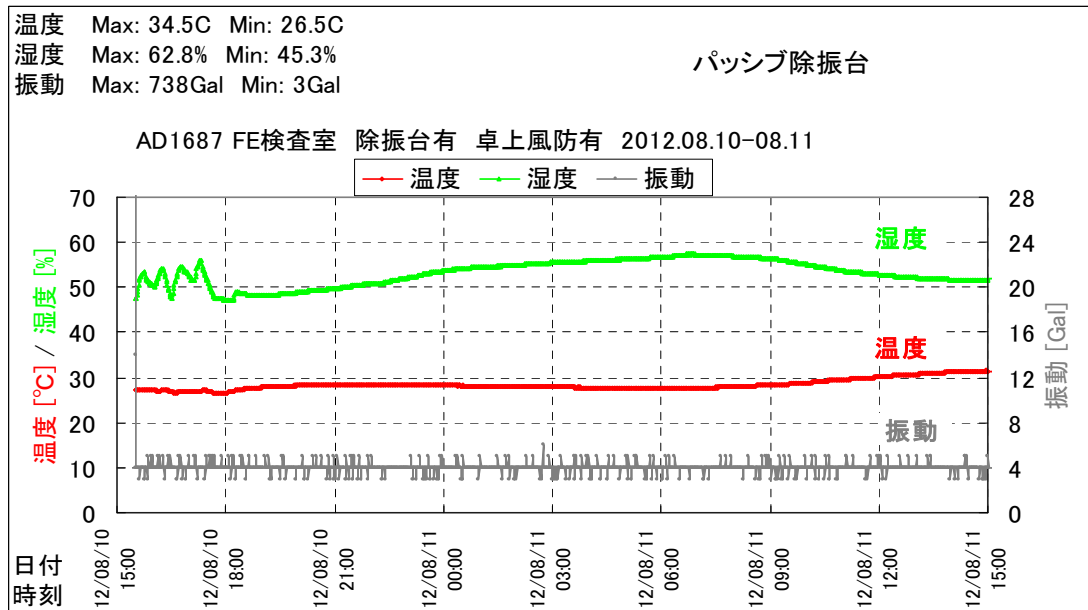


Fig. 6 環境ロガー記録データ (温度、湿度、振動)

Fig. 5, 6 から人の作業による振動やエアコンを動かした事による風の悪影響が、除振台や卓上風防の利用により緩和され、マイクログラムレベルでの繰返し性が改善されていると判断されます。8/10(金)夜以降の人やエアコンの影響がない時でも、また制御されない自然な温度変化のある場合でも、除振台や卓上風防の利用により、環境誤差要因が低減され、わずかですが繰返し性の平均が  $2.4\mu\text{g}$  から  $1.7\mu\text{g}$  へ改善されることが明らかになりました。

②地震の影響 (Fig.7, 8)

電磁平衡式天びんの計量構造は高精度な地震計と同じです。ですから地震に対する天びんの反応は大変高感度となっています。恐らく分解能の高さから言うと分析天びんの方が、地震計より高い感度があると判断されます。

Fig.7 に地震発生時に得られたデータを載せました。グラフは7/2(月)15:00 から7/3(火)15:00 までの計量値の繰返し性と室温を記録したものです。7/3(火)11:31 に東京湾で M5.4/震度4の地震が発生しており、実験場所でも揺れが確認されました。この時、天びんの繰返し性は極端に悪化して、それまでの  $2\mu\text{g}$  から突然  $20\mu\text{g}$  と大きくなっています。なお、Fig.7-1 は除振台を利用し Fig.7-2 は利用しなかった結果となります。また、この時の環境ロガーの記録は Fig.8 となり、この地震に対して 14Gal の振動(震度3相当)を検出しています。

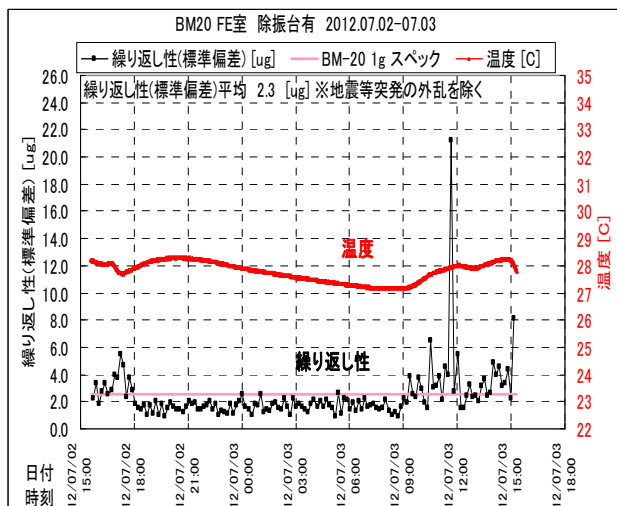


Fig. 7 - 1 除振台利用

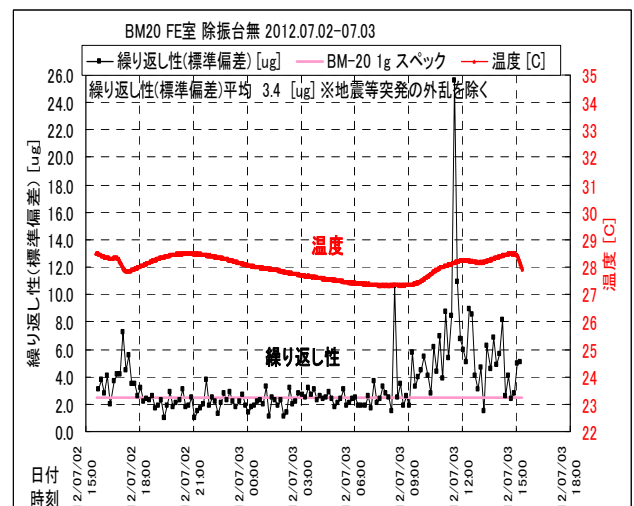


Fig. 7 - 2 除振台利用なし



Fig.7 のグラフから、除振台は通常状態での計量値を安定させる効果はあっても、地震などの大きな低周波の揺れに対しては振動低減の効果はなく、地震時には天びんの計量値を安定させる機能もないと判断されます。

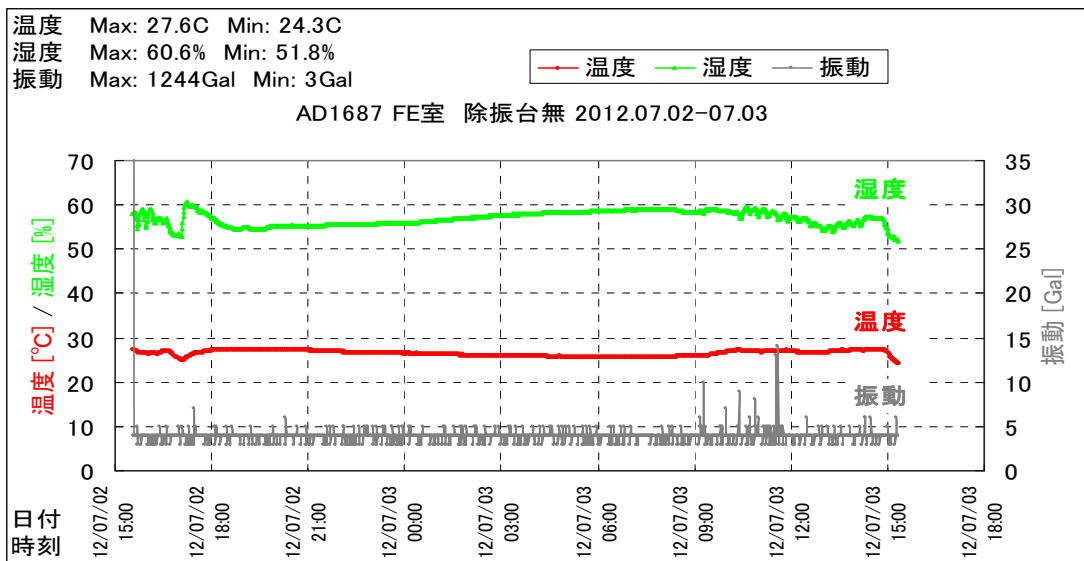


Fig.8 環境ロガー記録データ (温度、湿度、振動)

③天候の影響 (Fig.9、10、11)

Fig.9 に環境ロガーで得られた気象変化による室内環境変化をグラフ化しました。データは7/6(金)から9日(月)までの4日間の温度、湿度、気圧変化を表しています。6日の夜半から7日の夜半にかけて、990 hPa の低気圧が通過しました。この前後で10~15 h Pa の気圧変化と、それに伴う湿度変化が15%程度発生しています。

この時の計量値の変化を Fig.10 に示しました。温度変化は2.7°C程度しかありませんが、それに伴うゆっくりしたゼロ点の変化(ドリフト)が1500 μg 程度発生しています。また、ひょう量(20g)からゼロ点の変化分を差し引いたスパン値の変動は200 μg と比較的小さい事が理解されます。この結果から得られた繰返し性をグラフ化したのが Fig.11 となります。6日の就業時間では繰返し性が2~8 μg となっていますが、その後は安定した性能となり、2 μg を切る繰返し性が確認されます。なお、7/8(日)の夜半に1点悪化した繰返し性の原因は、千島列島で起きたM6.1の地震の影響と考えられます。

以上から低気圧などの通過による、ゆっくりした気圧&湿度変化は、スパン値の安定性には影響しないことが理解され、むしろ6日の午後4:00までに繰返し性は悪化しており、エアコンなどによる短時間での

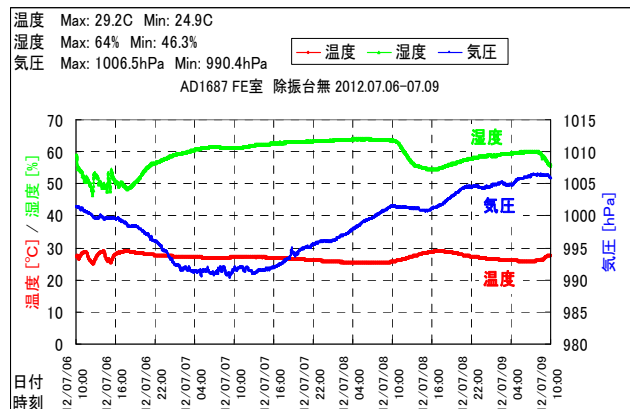


Fig.9 計量環境ロガー記録データ (温度、湿度、気圧)

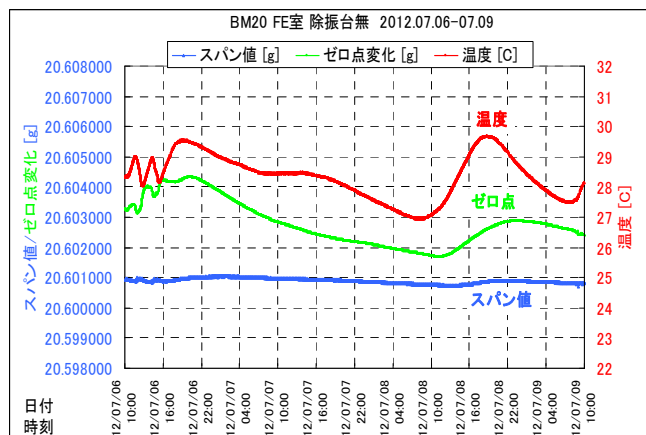


Fig.10 計量データ (温度、ゼロ点、スパン値)

温度変化などの影響が大きいことが理解されます。

連続 24 時間単位のデータ取りを繰返しした結果、地震や人、温度、湿度、気圧やエアコンの分析天びんの繰返し性に与える影響についての情報が集まりました。その結果、計量値が不安定になる要因は、1) エアコンや人の作業、2) 地震の影響の順であることが明らかとなりました。

特に湿度と気圧変化に関しては、ゆっくりしたゼロ点のドリフトとして確認されますが、ドリフトはリゼロ操作によりキャンセルできますので、操作方法の工夫で繰返し性に及ぼす影響は排除できると判断されます。

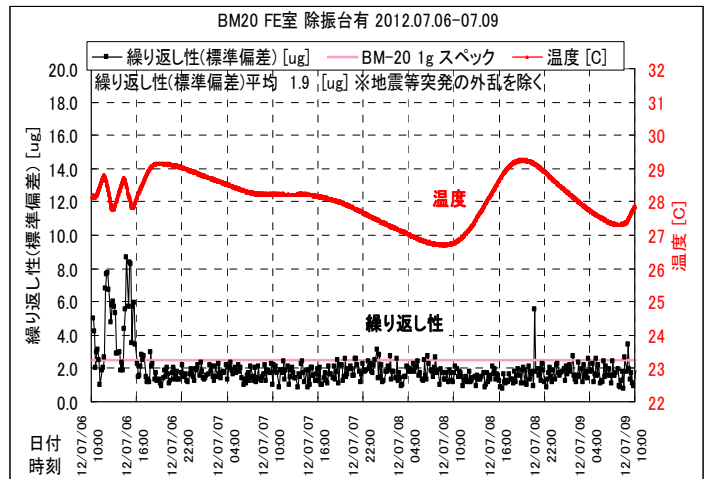


Fig.11 低気圧通過時の繰返し性

#### 4) 環境の影響について

今回得られた事例から、天びんの計量値に対して最も大きな外乱となるのは、計量器が設置された部屋での人の活動や、エアコンの風であると言えます。また、地震や低気圧の通過による、気象の変化も無視できませんが、地震の影響は短時間で終わり、また計量器から見るとゆっくりした変化となる気象変化は、ゼロ点のドリフトとしてのみ大きく影響し、計量する毎にリゼロ操作をすることで、得たい計量値となるスパン値の繰返し性への影響を低減することができます。

室温を一定にするためには、エアコンの利用は不可欠です。しかし、エアコンが制御されることで発生する周期的な微小温度変化（温度リップル）が、大きく天びんの性能に及ぶことも明らかとなりました。以上の各種外乱に対しては、その影響をゼロにすることはできませんが、除振台や第2の風防となる卓上風防が効果的に働き、マイクログラムの繰返し性を改善する有効な手段になることが証明されました。

#### 5) まとめと今後

計量器の中でも特に精密な分析天びんでは、使用者には感じられない環境変化が天びんの計量値に影響を及ぼし、天びんの表示不安定を招きます。このことが基本的な計量性能の不良と混同され判断を難しくしています。このような場合には、計量器メーカーが不良原因の調査に来ても、現象に再現性が乏しく、原因を確定する事が困難なことがあります。また、計量現場では、当然、測りたい時に要求される精度での計量作業を行いたいとの要求があります。

このような問題を理解して解決するためには、計量環境を調査&評価し、環境を改善する必要があります。また、計量器メーカーは、安心して計量が行えるように計量環境に関する情報公開を進め、かつ、計量器の使用環境整備に関する提案を行う義務があると考えます。以上の対応を実現する為には、計量器の設置された環境を計測する必要があり、既に計量環境を評価するツールとして、計量環境ロガーや 24 時間に及ぶ計量値のモニタリングシステム：AND-MEET が完成しています。これらの支援ツールを有効に利用し、計量作業を安心して行なえる環境整備を実現していきたいと思っています。

#### 参考文献

- \* 1 : (社)計測自動制御学会計測部門 第 28 回センシングフォーラム(2011) 『分析天びんの基本性能に関する考察』
- \* 2 : A&D ホームページ シリーズ開発者の思い 第 15 回 『計量環境ロガーの開発』
- \* 3 : A&D ホームページ シリーズ開発者の思い 第 12 回 『天びんの設置環境評価について』