

質量計用ロードセルの試験方法とその不確かさ

福田 健一*, 森中 泰章**

(平成17年7月12日受理)

Test Methods and Uncertainties for Load Cells for Weighing Instruments

Kenichi FUKUDA, Hiroaki MORINAKA

1. はじめに

はかりのセンサとして使用されるロードセルは、ものの重さ、すなわち荷重を電気信号に変換する「荷重変換器」である。電気的な荷重の検出の方法には、電磁式、ストレンゲージ式、音叉振動式及び静電容量式等があるが、一般的にストレンゲージ式の荷重変換器をロードセルと呼んでいる。

このロードセルの特徴¹⁾²⁾として、

- ・比較的小型軽量であるために容易に取り付け可能
- ・最高で1/10000程度の精度
- ・構造がシンプル
- ・経年変化が小
- ・定格荷重が数gから数百tと広い負荷範囲

等があり、これらの理由により電気式のはかりの多くのセンサがストレンゲージ式を採用している。

はかりの性能を確認する際には、はかりそのものを評価することが一番正確である。しかしながら負荷範囲が広いストレンゲージ式のロードセルの特徴のため、はかりのひょう量（計れる重さの最大値）が試験装置の能力を超えるものや、はかり自身が大きく試験装置に収まらない場合がある。

そのような場合の評価方法として、センサであるロードセルの性能と指示計の性能を評価することにより、その評価されたロードセルと指示計の組合せで、はかりの性能を評価することが可能である。

また、最大容量の小さなロードセルについても、ロー

ドセルだけの評価を行い基本性能を知っておくことにより、はかりを作る際に容易に用途等に合ったロードセルを選択出来る事となる。

このようにはかりに使用されるロードセル単体を評価する必要がある。その評価方法のひとつとして、国際法定計量機関（OIML）の勧告 R60/2000³⁾がある。

独立行政法人産業技術総合研究所（産総研）では、このOIML R60/2000に基づいた試験方法等を採用した「OIML適合試験」を平成16年度より開始している。

そこで、OIML R60/2000に基づいた試験方法、産総研での試験範囲及び不確かさについて記述する。

2. 試験の方法

OIML R60/2000におけるロードセルの精度等級は、その総合性能に従い、A～Dの4つのクラス分けが行われ、ロードセルの検証インターバルの最大数（ n_{max} ）はクラス毎に表1に示す範囲になければならないとされる。

また、許容誤差については表2に示すとおりであるが、ロードセルのみ単体の性能試験であることから、許容誤差は割付係数（通常は0.7）を乗じた値となっている。

そのほかに、ロードセルの区分としては、ロードのタイプ、湿度分類及び出力がアナログ信号/デジタル信号の別がある。

ロードのタイプとしては、圧縮、引っ張り、両用、ビーム（剪断または曲げ）等がある。

湿度分類については、湿度試験を行わない（NH）、ダンプヒートサイクリックの試験を行う（CH）、ダンプヒート定常状態の試験を行う（SH）の3つに分けられる。

出力がデジタル信号であったり、電子回路が装備されているロードセルにおいては、電磁的両立性（EMC）の試験を行うこととされている。

* 計測標準研究部門 力学計測科

** 計測標準研究部門 法定計量技術科

本論文は当所における校正証明書等の不確かさ算出における一般的な考え方を記述したものであり、個別の校正証明書等に記載される不確かさ評価とは必ずしも一致しているわけではありません。

表1 精度等級によるロードセル検証インターバルの最大数 (nmax)

	等級A	等級B	等級C	等級D
下限値	50000	5000	500	100
上限値	無制限	100000	10000	1000

表2 精度等級による最大許容誤差 (mpe)

mpe	荷重, m			
	等級A	等級B	等級C	等級D
$P_{LC} \times 0.5 v$	$0 \leq m \leq 50\,000 v$	$0 \leq m \leq 5\,000 v$	$0 \leq m \leq 500 v$	$0 \leq m \leq 50 v$
$P_{LC} \times 1.0 v$	$50\,000 v < m \leq 200\,000 v$	$5\,000 v < m \leq 20\,000 v$	$500 v < m \leq 2\,000 v$	$50 v < m \leq 200 v$
$P_{LC} \times 1.5 v$	$200\,000 v < m$	$20\,000 v < m \leq 100\,000 v$	$2\,000 v < m \leq 10\,000 v$	$200 v < m \leq 1\,000 v$

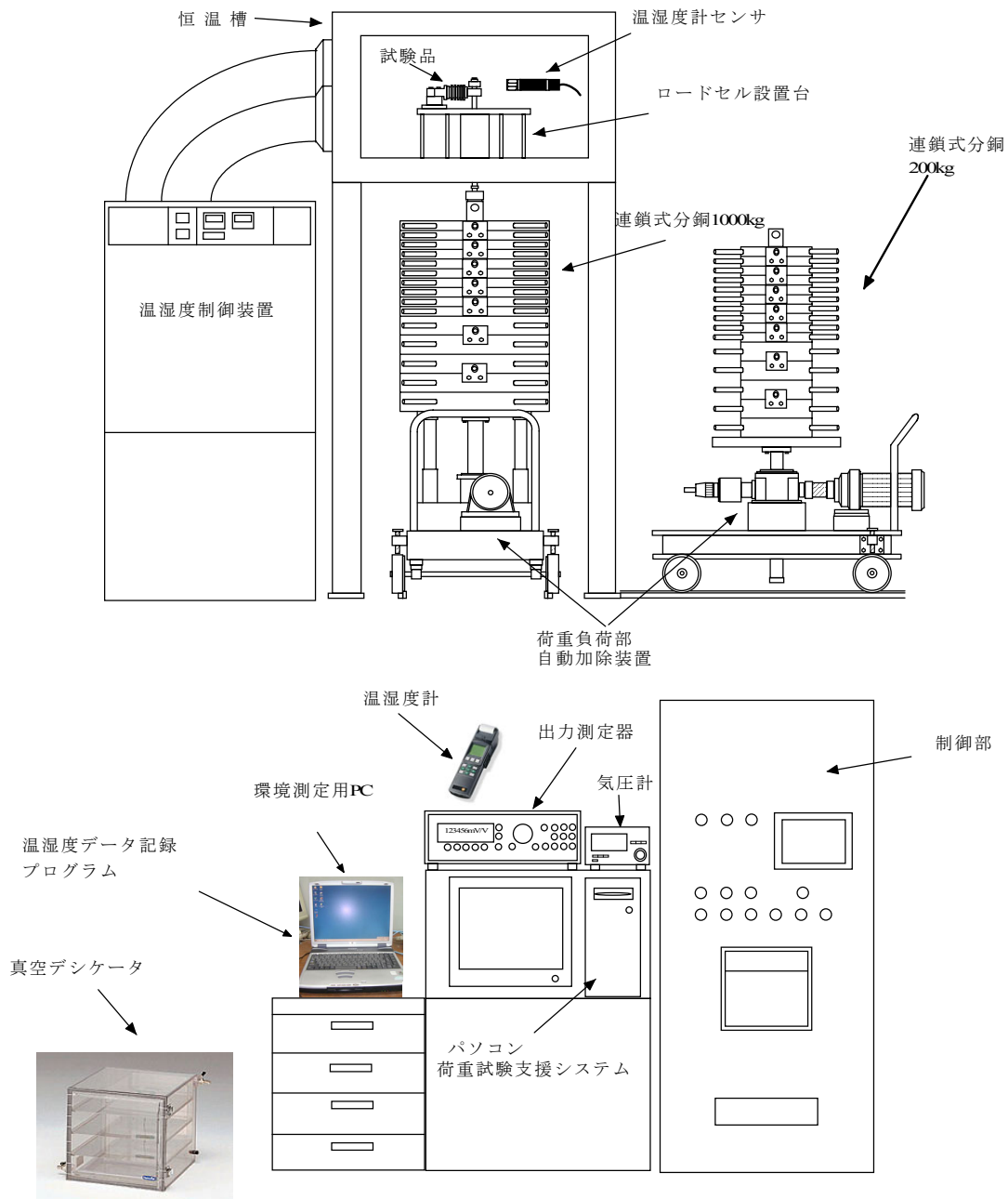


図1 質量計用ロードセル試験用機器概要

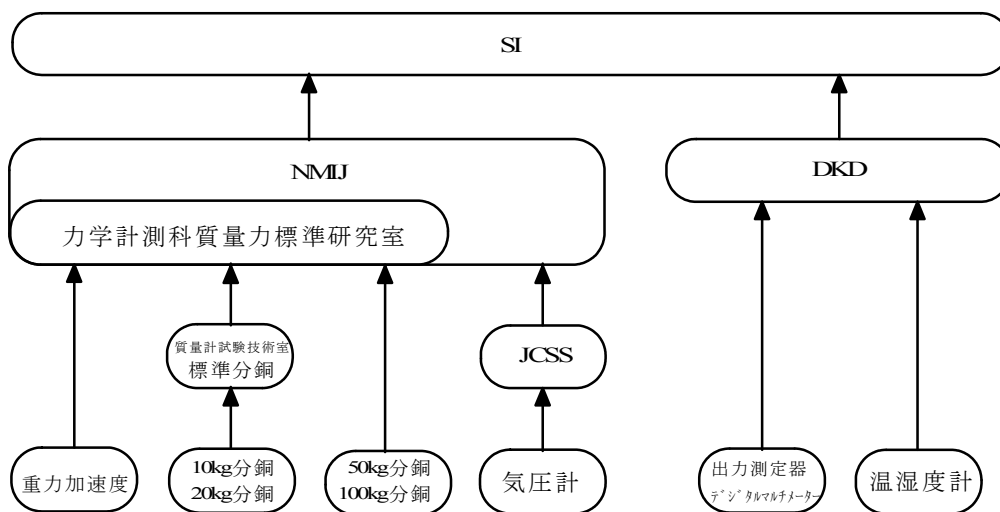


図2 試験用機器トレーサビリティ体系図

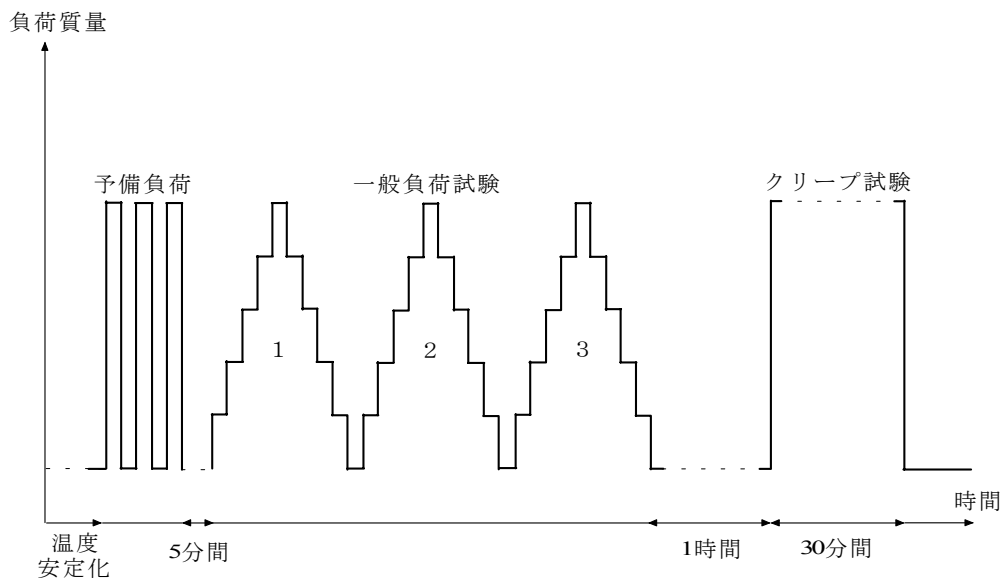


図3 試験順序

産総研の質量計用ロードセル試験装置は、「実荷重方式」を採用しており、ロードセルを設置する温槽の温湿度制御は、高精度なユニット型温湿度供給装置を採用し、OIML R60/2000の試験条件を十分に満たしている。

産総研の質量計ロードセル試験用機器の概要を図1に示す。またこれらの試験用機器のトレーサビリティ体系を図2に示す。

産総研で行える試験の範囲は、産総研で所持している試験用機器の能力により、表3に示す質量計用ロードセルとなる。

湿度記号がNHのみの対応となっているが、CHのもの

についても対応出来るように準備中である。また、デジタルロードセルについてもEMC試験に対応する試験機器は産総研で所持しているので試験用ソフトの改修等により対応可能かと思える。ただし、ロードセルの最大容量のアップには試験装置の新設が必要である。

OIML R60/2000に基づいた試験項目としては、誤差試験、再現性試験、クリープ試験、最小デッド・ロード出力リターン、最小デッド・ロード出力におよぼす温度の効果及び気圧変化の影響試験がある。

誤差、再現性、クリープ、最小デッド・ロード出力リターン及び最小デッド・ロード出力におよぼす温度の効

表3 産総研で実施可能な試験範囲

分類項目	試験対象
精度クラス	CまたはD
最大容量 (E_{max})	1000kgまたは200kg
ロードセルの検証インターバルの最大数 (n)	3000まで
ロードセルのタイプ	ビーム式
動作温度のリミット値	-10°C~40°C
湿度記号	NH
電子回路	装備されていないもの

果試験については、試験温度 (20°C, 40°C, -10°C, 20°C) において図3に示す試験パターンにて効率的に行うことが出来る。

この試験パターンの通りに連鎖式分銅を自動的に加除することで各試験温度での必要なデータを取得し計算を行う。データ及び計算結果は、OIML R60/2000の附属書Dの様式を用いたテストレポートに記入される。

産総研が行った模擬試験での誤差試験及びクリーブ試験の結果をグラフ化したものを図4及び図5に示す。

3. 測定の不確かさ

OIML R60/2000の5.6項Measurement standardsにおいて、荷重と指示計器の組合せの拡張不確かさU ($k=2$) は、ロードセルの許容誤差の1/3倍より小さくなければな

らない、と規定されている。そこで、産総研のロードセル試験用機器及び試験環境における測定の不確かさを見積もり⁴⁾⁶⁾、試験範囲についてロードセルの許容誤差の1/3であることを証明しなくてはならない。逆に言えば、測定の不確かさを見積もることにより試験範囲が決定されたとも言える。

不確かさの要因としては、質量計用ロードセルに掛かる「荷重の相対標準不確かさ」及び質量計用ロードセルからの出力を表示する「指示計器の相対標準不確かさ」に大別される。それぞれの要因を、次に挙げる。

「荷重の相対標準不確かさ」の要因

- ・分銅の質量校正値
- ・分銅の汚染 (汚れ, 埃等)
- ・分銅の経年変化
- ・分銅の磁化
- ・空気密度の変動による浮力の変動
- ・重力加速度の測定値
- ・質量計用ロードセルの傾き
- ・質量計用ロードセルの設置位置
- ・分銅指示棒にジャバラを取り付ける

「指示計器の相対標準不確かさ」の要因

- ・指示計器の感度
- ・指示計器の分解能

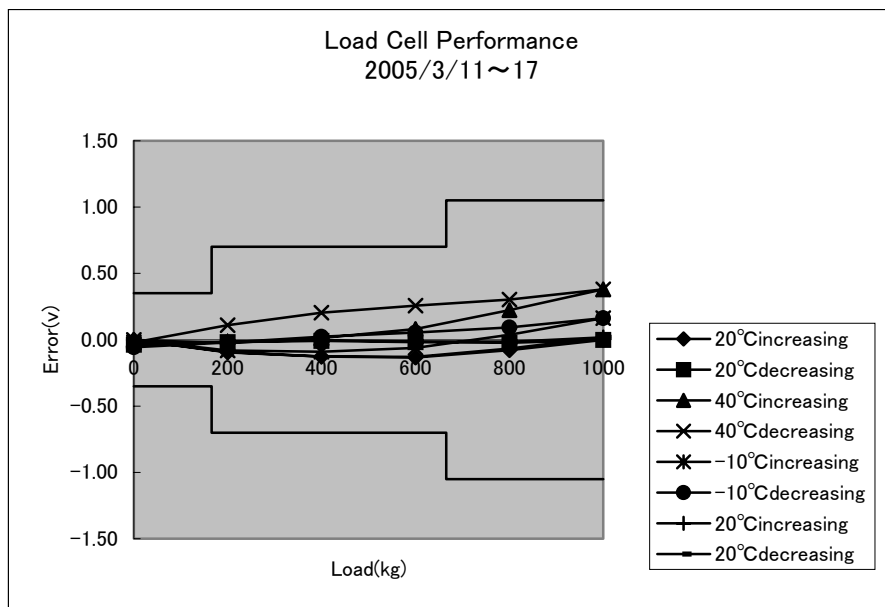


図4 誤差試験結果

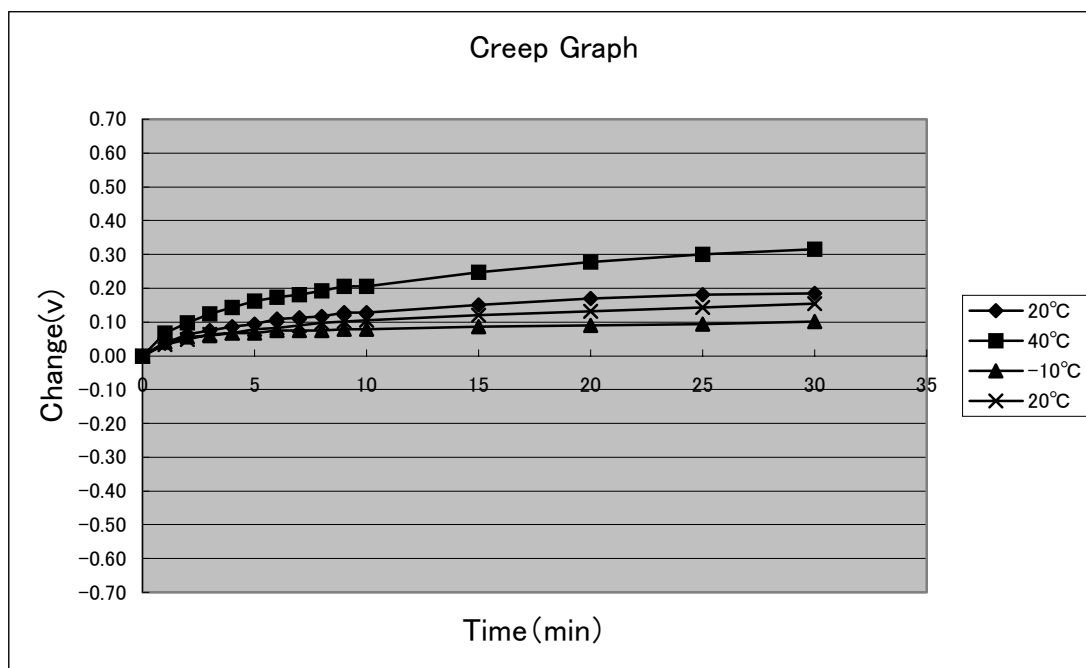


図5 クリープ試験結果

表4 標準不確かさの成分表 (単位 ; ppm)

不確かさ要因		
荷重の相対標準不確かさ		
分銅の質量の校正値の相対標準不確かさ		5.0
分銅の経年変化による相対標準不確かさ		20.0
空気密度の変動による浮力の変動の相対標準不確かさ		2.0
質量計用ロードセルの傾きによる相対標準不確かさ		10.0
質量計用ロードセルの設置位置の変更による相対標準不確かさ		5.9
分銅指示棒にジャバラを取り付けることによる相対標準不確かさ		5.1
計		24.3
指示計器の相対標準不確かさ		
指示計器の感度による相対標準不確かさ		6.0
計		6.0
荷重と指示計器の組合せの拡張不確かさU (k=2)	U	50.2

注 : 分銅の汚染 (汚れ, 埃等), 分銅の磁化, 重力加速度の測定値及び指示計の分解能の各要因については, 相対標準不確かさを見積もった結果, 表中の要因に比べ非常に小さかったため無視できる。

さらに実際には, 「恒温槽内の温度変化」も不確かさに影響するためそれについても考察する。

これらの要因について, 試験結果に影響する各成分の相対標準不確かさを評価した成分表を表4に示す。

なお, 恒温槽内の温度変化による不確かさについては, 恒温槽内の温度は, 測定時, $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ で制御されている。この値を元に, 恒温槽内の温度の変化による相対標準不確かさを見積もると1.6ppmと推定した。この値は, 他の

不確かさに対して小さいため無視できる。

産総研の試験装置の荷重と指示計器の組合せの拡張不確かさ50.2ppmは, 精度等級C, 検証インターバル3000のロードセルの許容誤差の1/3倍は十分に下回っている。このことより, 産総研で行う試験範囲を決定した。

4. おわりに

質量計用のロードセルのOIML R60/2000に基づいた試験方法及び不確かさについて述べた。

ロードセルは、冒頭に記述したように数gから数百tクラスまでのものがあり、それらの範囲のほとんどが質量計に使用される。

ひょう量が300kg程度までの非自動はかりであれば、はかりそのものを試験・評価することが出来るが、それ以上のひょう量のはかりについては、大掛かりな試験装置を持つか（ほぼ不可能に近い）ロードセルと指示計を試験・評価することとなる。

このように大きなひょう量を持つはかりの評価に有効であるロードセル基本性能試験であるが、産総研で試験できる範囲が狭いため今後の範囲拡大が必要である。

参考文献

- 1) (社)日本計量器工業連合会編, はかりハンドブック, 日刊工業新聞社 (1998).
- 2) 産業計測機器管理基準研究委員会編, 産業計測機器管理基準Ⅱ質量計測機器の管理, (社)計量管理協会 (1978).
- 3) OIML R60 Edition 2000 (E) Metrological regulation for load cells, INTERNATIONAL ORGANIZATION OF LEGAL METROLOGY (2000).
- 4) 独立行政法人製品評価技術基盤機構, 計量法校正事業者認定制度 校正方法及び不確かさの見積もりに関するガイド 力計 (2004).
- 5) 独立行政法人製品評価技術基盤機構, 計量法校正事業者認定制度 技術的要求事項適用指針 力計/JIS 7728による方法 (2005).
- 6) JIS B 7609 分銅, 日本規格協会 (2000).