

一般04

TOKYO TECH
Pursuing Excellence

ノイズを圧縮し、ADコンバータやDAコンバータの 測定時間を1/8にする方法の開発

菅原 光俊⁺、松澤 昭^{*}Mitsutoshi Sugawara⁺, Akira Matsuzawa^{*}コンサルタント兼東京工業大学⁺, 東京工業大学^{*}

2014年5月26日



研究背景

2

TOKYO TECH
Pursuing Excellence

- コンサルタントのクライアントから「ADコンバータの直線性の測定時間を半減してくれ」との命題を頂いた

- スローランプ波を使うヒストグラム法またはモメント法のまま、30年以上進歩がなかった
- ノイズのため、ADCのステップ数の10倍程度の測定点が必要(10bitで約10,000点)。特に低速のセンサ用で時間が掛かっていた

ノイズを圧縮し、ADコンバータやDAコンバータの測定時間を1/8にする方法の発表



提案する手法

3

TOKYO TECH
Pursuing Excellence

- **新規ノイズ低減アルゴリズムの提案**
 - データ数を等価的に500倍にするアルゴリズムを開発
 - 10bitバイナリならランダム・ノイズを1/22にできた
 - 従来法では取得データを充分活用できていなかった(無駄にしていた)ことになる
- **ノイズ許容限界まで、測定点数を減らす**
 - わずか1/8の測定点でも、従来手法並以上のノイズ圧縮を確保できた。

ノイズを圧縮し、ADコンバータやDAコンバータの測定時間を1/8にする方法の発表

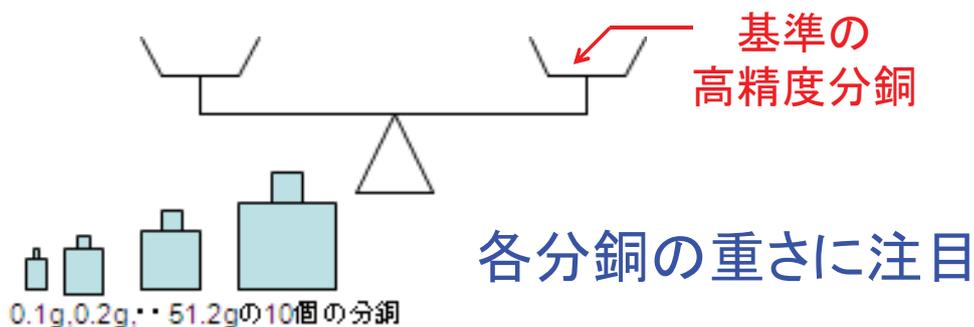


アナロジー

4

TOKYO TECH
Pursuing Excellence

- **上皿天秤の精度検定を考える**
 - 普通は、各分銅の精度を検定すれば済む
- **ADCの測定では、右皿に基準の高精度分銅を0.01g, 0.02g, ..., 102.2g, 102.3gと順次載せて、毎回左皿の分銅で測定。合計10240回**



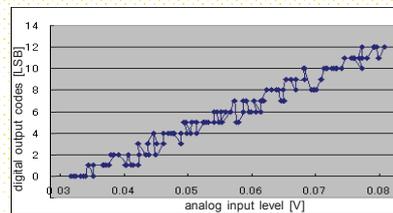
ノイズを圧縮し、ADコンバータやDAコンバータの測定時間を1/8にする方法の発表



各ビットの重さを単純に測れない理由 / 5



- ADCの場合、内部DACの出力を直接測れない
- 入力をスイープして変化点を探す必要あり
 - 数LSBの積分直線性誤差を考慮してスイープ
- 1LSB程度のノイズのため、平均化等のノイズ圧縮処理が不可欠
- 結局、全範囲スイープするのが手っ取り早い



ランプ入力時のADC出力コード(はじめの部分の拡大図)

スイープは必須

ノイズを圧縮し、ADコンバータやDAコンバータの測定時間を1/8にする方法の発表



バイナリ・コードの逐次比較ADCの場合1 / 6



- まずは従来通りスロー・ランプ波で測定し、処理する
- 出力コードで**MSBの512Cのみがオン/オフのペア**に着目する

$$Vi(512C) = Vi(512) - Vi(0)$$

$$Vi(512C) = Vi(513) - Vi(1)$$

$$Vi(512C) = Vi(514) - Vi(2)$$

⋮

$$Vi(512C) = Vi(1023) - Vi(511)$$

これらは全て**512Cの重み**を示す

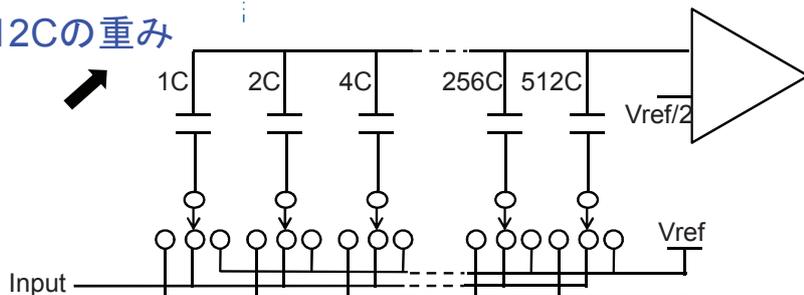
$$Vi(1x\ xxxx\ xxxx) - Vi(0x\ xxxx\ xxxx)$$

次にこれら512式の平均を取る

$$Vi(512C)$$

ランダム・ノイズのσは

$$1/\sqrt{512} = 1/22 \text{に低減される}$$



ノイズを圧縮し、ADコンバータやDAコンバータの測定時間を1/8にする方法の発表



バイナリ・コードの逐次比較ADCの場合2 7

TOKYO TECH
Pursuing Excellence

- 出力コードで**2nd bitの256Cのみオン/オフのペア**に着目する

$$Vi(256C) = Vi(256) - Vi(0)$$

$$Vi(256C) = Vi(257) - Vi(1)$$

:

$$Vi(256C) = Vi(511) - Vi(255)$$

$$Vi(256C) = Vi(768) - Vi(512)$$

$$Vi(256C) = Vi(769) - Vi(513)$$

:

$$Vi(256C) = Vi(1023) - Vi(767)$$

これらは全て256Cの重みを示す

$$\begin{array}{r} Vi(x1 \text{ xxxx xxxx}) \\ -) Vi(x0 \text{ xxxx xxxx}) \\ \hline \end{array}$$

ノイズを圧縮し、ADコンバータやDAコンバータの測定時間を1/8にする方法の発表



これら512式の平均を取る

$$Vi(256C)$$

ランダム・ノイズのσは

$$1/\sqrt{512} = 1/22 \text{に低減される}$$

同様に、各ビットの重みの平均値を得ることができる。

これらの全てでノイズが1/22になる

バイナリ・コードの逐次比較ADCの場合3 8

TOKYO TECH
Pursuing Excellence

- ノイズを圧縮した「真のADC」を再生する

– 前述の

ノイズを圧縮した各ビットの重み(誤差を含む)を持つADCを仮定する。

バイナリ・コードに則り、全コード分の入力電圧Viが計算できる。

– 信頼性区間はσに比例し、1/22と狭まるため、これはノイズを圧縮した場合の「真のADC」に極めて近いことを示す

– 上記各Viを用いて、直線性を算出する

ノイズを圧縮し、ADコンバータやDAコンバータの測定時間を1/8にする方法の発表



サーモメータ・コードのADCの場合1

9



• 上位6bitがサーモメータ・コードの場合

$$Vi(16C_1) = Vi(16) - Vi(0)$$

$$Vi(16C_1) = Vi(17) - Vi(1)$$

$$Vi(16C_1) = Vi(31) - Vi(15)$$

$$Vi(16C_2) = Vi(32) - Vi(0)$$

$$Vi(16C_2) = Vi(33) - Vi(1)$$

$$Vi(16C_63) = Vi(1008) - Vi(0)$$

$$Vi(16C_63) = Vi(1023) - Vi(15)$$

これら各16個の平均を取る

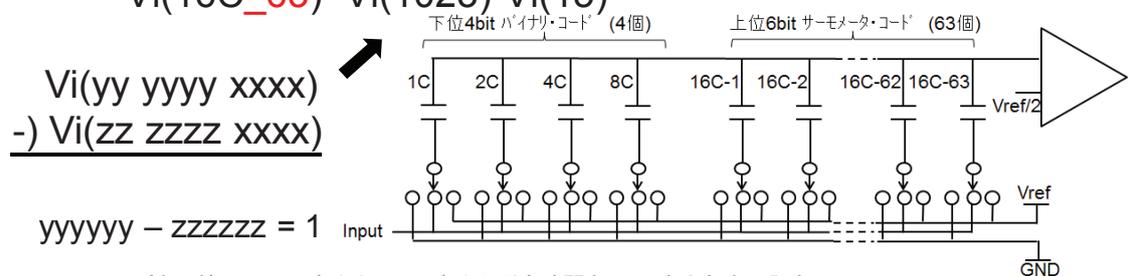
$$\overline{Vi(16C_1)}, \overline{Vi(16C_2)},$$

$$\dots, \overline{Vi(16C_63)}$$

ランダム・ノイズの σ は

$$1/\sqrt{16} = 1/4 \text{に低減される}$$

下位4bitバイナリ部は前述



サーモメータ・コードの逐次比較ADCの場合2

10



• ノイズを圧縮した「真のADC」を再生する

– 前述の

ノイズを圧縮した各ビットの重み(誤差を含む)を持つADCを仮定する。

上位6bitのサーモメータコード及び下位4bitのバイナリ・コードに則り、全コード分の入力電圧 V_i が計算できる。

– 信頼性区間は σ に比例し、 $1/4 \sim 1/22$ と狭まるため、ノイズを圧縮した場合の「真のADC」にかなり近いことを示す

– 上記各 V_i を用いて、直線性を算出する

ノイズを圧縮し、ADコンバータやDAコンバータの測定時間を1/8にする方法の発表



11

TOKYO TECH
Pursuing Excellence

実測と計算

ノイズを圧縮し、ADコンバータやDAコンバータの測定時間を1/8にする方法の発表



測定/計算方法

12

TOKYO TECH
Pursuing Excellence

- まず従来の、スローランプ信号を与え、10240点の測定データを収集
- 従来のモーメント法で処理し、直線性(INL,DNL)を算出し、グラフ化
- 予めBASICとC言語でプログラムを作り、同一データを提案手法で処理し、直線性(INL,DNL)を算出し、グラフ化
 - ノイズ低減を実証
- 同一データを例えば1/8に間引き、同様に算出
 - 1/8に時間短縮を実証

ノイズを圧縮し、ADコンバータやDAコンバータの測定時間を1/8にする方法の発表



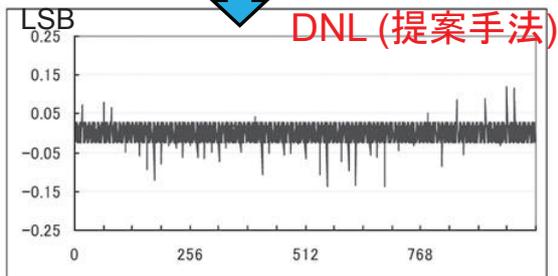
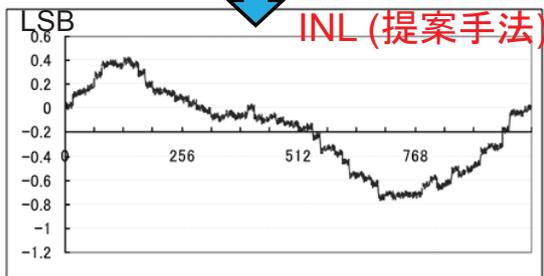
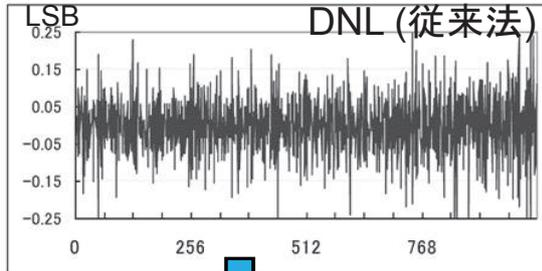
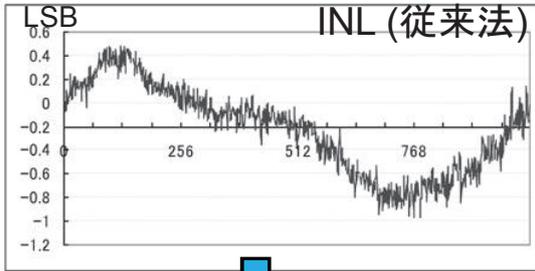
測定/計算結果1

13

TOKYO TECH Pursuing Excellence

ノイズ低減
1/4 ~ 1/22

10bit ADC,
10240測定点



(提案手法のノイズは、従来法で少なくとも160,000測定点の場合と等価)

ノイズを圧縮し、ADコンバータやDAコンバータの測定時間を1/8にする方法の発表



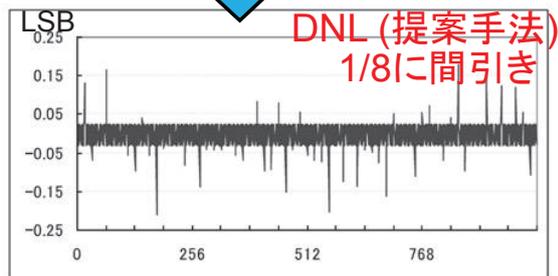
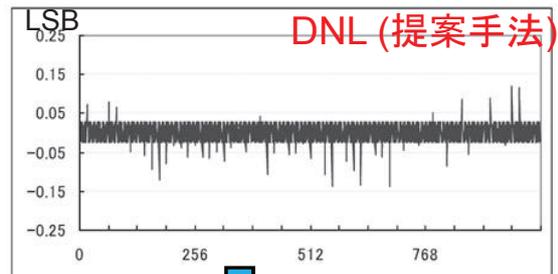
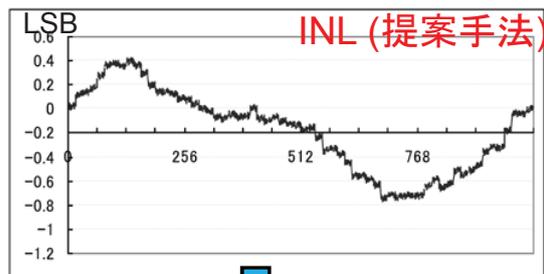
測定/計算結果2

14

TOKYO TECH Pursuing Excellence

測定点の削減

1/8 に間引く = 1280測定点



ノイズを圧縮し、ADコンバータやDAコンバータの測定時間を1/8にする方法の発表

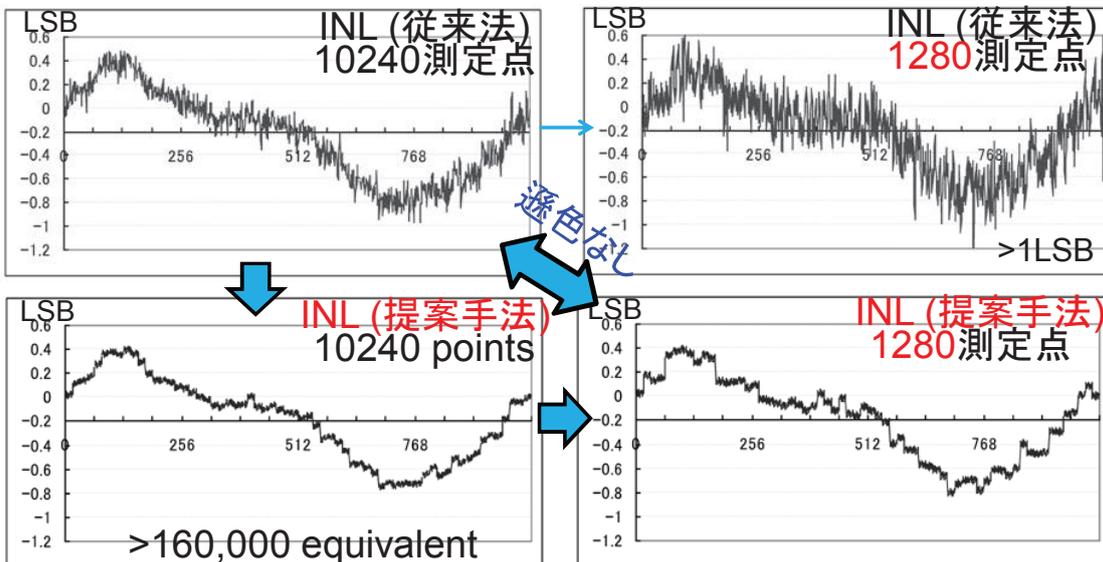


測定/計算結果3

15

TOKYO TECH Pursuing Excellence

測定時間短縮のサマリ(INL)



ノイズを圧縮し、ADコンバータやDAコンバータの測定時間を1/8にする方法の発表

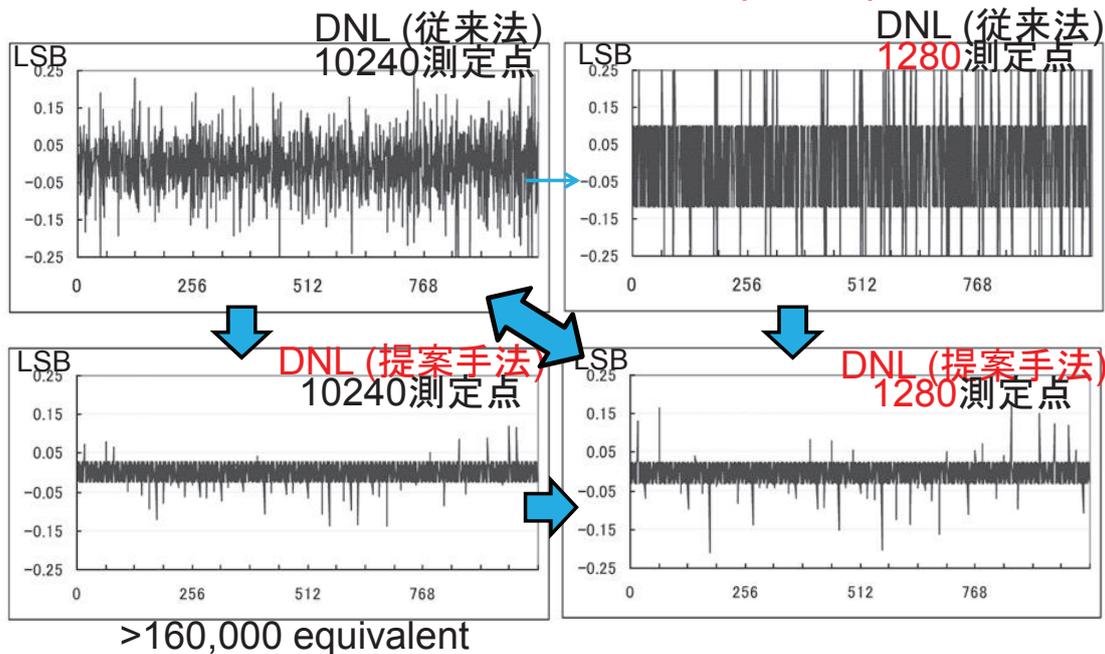


測定/計算結果4

16

TOKYO TECH Pursuing Excellence

測定時間短縮のサマリ(DNL)



ノイズを圧縮し、ADコンバータやDAコンバータの測定時間を1/8にする方法の発表



サマリ

17



- **優れたノイズ低減を実証 従来比1/4~1/22**
 - 従来法で160,000測定点に相当するノイズ
 - ノイズ σ に比例する信頼性区間も同じく低減し、再現性の良いデータが得られた
- **優れた測定時間短縮効果 従来比1/8**
 - 従来並みのノイズを許容するならば、測定点数は従来の1/8で済む
 - 計算時間は negligible
 - 再現性がよい
 - **テストコストを1/8に低減できた**

ノイズを圧縮し、ADコンバータやDAコンバータの測定時間を1/8にする方法の発表



まとめ

18



- **内部素子の重みに注目した統計手法を用いる
新規なADC/DACの測定/計算手法を提案した**
 - 測定時のランダムノイズをわずか1/4~1/22に低減した
 - 従来並みのノイズを許容するならば、1/8の測定点(=測定時間)ですみ、テストコストをわずか1/8に低減した
- **C言語, BASIC言語でプログラム化した**
 - 評価用、および量産LSIテスト用
 - 種々のビット数、バイナリ、サーモメータ・コード及びそのミックスのADC/DAC ($\Delta\Sigma$,フラッシュ型以外のほぼ全て)に適用可能
 - 現在多数の量産品に適用中

ノイズを圧縮し、ADコンバータやDAコンバータの測定時間を1/8にする方法の発表

