

## SQC事例紹介

## 信号処理回路の設計手法改善

## Improvement of Design Method for Signal Processing Circuit

中 村 隆 一<sup>(1)</sup> 西 山 周 二<sup>(2)</sup>  
Ryuichi Nakamura Syuji Nishiyama

## 要 旨

近年、自動車の高性能・高機能を担う車載用電子制御機器の伸びは目覚ましいものがある。高精度の制御、高い信頼性を備えた制御機器の設計には技術ノウハウだけでなく経験も必要とされる。

しかし、若年技術者の増加に伴い、経験が少なくても設計できるような設計手法の改善が必要となってきた。

本稿は、車載用電子制御機器の設計手法の改善に関するもので、実験計画法の採用により、設計手順を確立し設計に要する工数を大幅に低減することを可能にした事例の報告である。

In recent years, there has been a remarkable increase in the demand for automotive electronic control equipment which supports high-performance and high-function motor cars. Not only technical know-hows, but accumulated experience is required for designing a control equipment with highly precise controls and with high reliability.

Consequently, it has become necessary to improve design method in order to facilitate circuit design for young engineers with little experience.

This paper relates to the improvement of design method for on-board electronic control equipment. A sample case is reported where a design procedure is established by adopting a design of experiment, thereby making it possible to substantially reduce the design man-hours.

(1), (2) モータロニクス技術部

## 1. はじめに

今回、設計工数の改善策に関して、実験計画法の適用によって大いに効果を発揮することができたので、一つの事例として紹介する。

当部が設計した製品のなかで、タイミング制御を主機能とする製品があり、その主要入力としてシャフト回転位置センサを持つものがある。センサは、磁気検知方式であるため、機械的振動・衝撃によるノイズ、車両内のさまざまな電氣的ノイズ成分が信号に重畳する、さらに信号レベルが回

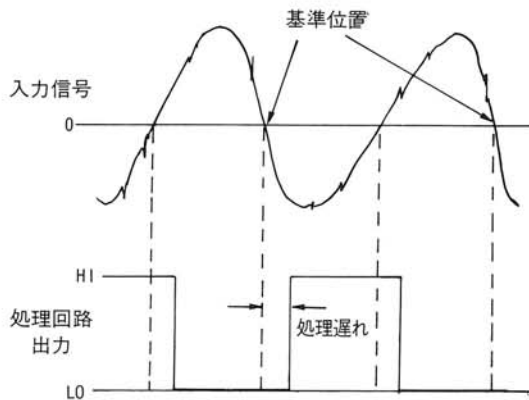


図-1 信号波形  
Fig. 1 Signal waveform.

転数に依存するというこのために、信号対雑音比の劣化が生じ易く、信号処理回路の設計には細心の注意が必要である。

従って、回路設計にあたり、ノイズ成分除去のために厳重なフィルタ回路を採用しているが、その結果、信号処理遅れを生じ、しかも遅れ位相角が回転数依存性（周波数特性）を持ち、顧客要求の周波数特性と合致しないという不都合が生じる

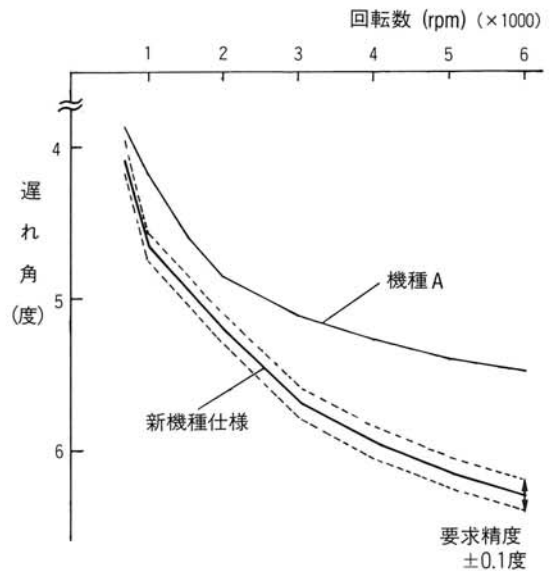


図-2 位相遅れ特性  
Fig. 2 Phase delay characteristics.

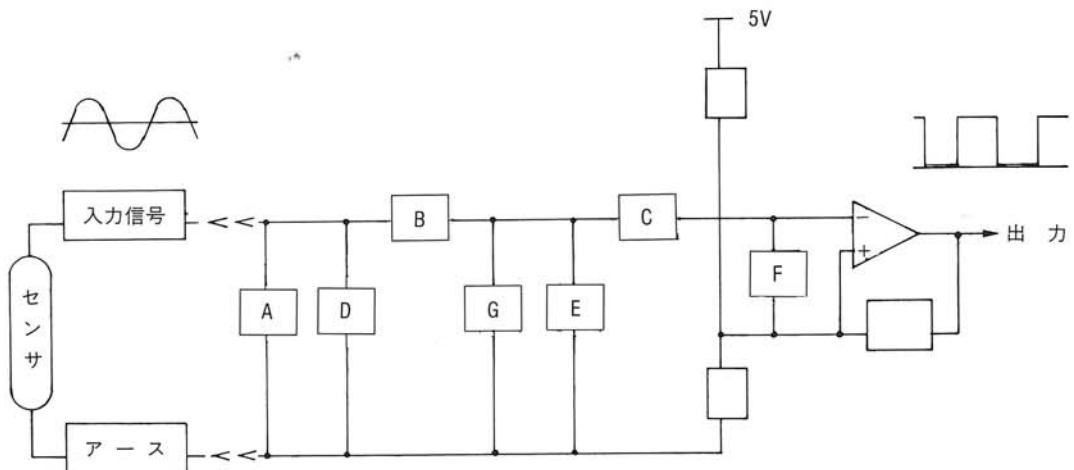


図-3 信号処理回路  
Fig. 3 Signal processing circuit.

表-1 (a) 予備実験の因子と水準

| 因子 \ 水準 | 1   | 2   |
|---------|-----|-----|
| A       | 10  | 27  |
| B       | 7.5 | 12  |
| C       | 1   | 5.6 |
| D       | 10  | 47  |
| E       | 1   | 33  |
| F       | 3.3 | 33  |
| G       | 2.7 | 3.3 |

可能性がある。(図-1、図-2、図-3 参照)

従来、この不都合を解消するために、熟練設計者が試行錯誤的な検討を行い、周波数特性に影響する複数の回路パラメータの定数決定を行っていたので、相当の工数を費やしてきた。しかし、このような設計手法では、若年設計者を充当することができず、設計熟練度により工数が異なり、しかも耐ノイズ性と遅れ特性のトレードオフ点がばらつくという不具合が解消できないまま残った。

今回、従来の方法では最も時間がかかり、設計効率の改善が求められていた回転位置センサの信号処理回路について設計手法の改善を行った。

## 2. 目標の達成

従来設計法の本質的な欠点の解消、すなわち

- 1) 若年設計者でも熟練設計者と同じ工数で設計品質が確保できる手法の確立
- 2) 設計工数の低減(目標: 従来の4分の1)を目標とした。

## 3. 現状の把握

制御機器の新機種設計のたびに、遅れ特性を新仕様に合わせる必要がある。しかし、下記の理由により理論的な解析、電算機解析が困難であるため、熟練設計者の経験に頼って、図-3のA~Gのうち大部分の部品の定数をいろいろ組み合わせる膨大な検討実験が必要である。

表-1 (b) 予備実験の割付けとデータ

| 列<br>No. | A | B | C | D | E | F | G | 外 側 因 子 (N)  |              |              |              |                |                |                |
|----------|---|---|---|---|---|---|---|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------|----------------|----------------|
|          | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | N 1<br>700   | N 2<br>1000  | N 3<br>2000  | N 4<br>3000  | N 5<br>4000    | N 6<br>5000    | N 7<br>6000    |
| 1        | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3.20<br>3.24 | 3.49<br>3.45 | 3.69<br>3.67 | 3.77<br>3.77 | 3.89<br>3.87   | 4.11<br>4.13   | 4.21<br>4.23   |
| 2        | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 5.16<br>5.22 | 5.97<br>5.89 | 7.08<br>7.10 | 7.98<br>7.97 | 8.76<br>8.79   | 10.12<br>10.07 | 11.12<br>11.20 |
| 3        | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 5.18<br>5.15 | 5.95<br>5.92 | 7.54<br>7.49 | 8.78<br>8.87 | 10.15<br>10.01 | 11.41<br>11.39 | 12.37<br>12.37 |
| 4        | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 4.66<br>4.72 | 5.20<br>5.19 | 5.97<br>5.89 | 6.35<br>6.43 | 6.83<br>6.75   | 7.47<br>7.50   | 8.22<br>8.32   |
| 5        | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 4.18<br>4.09 | 4.70<br>4.70 | 5.37<br>5.40 | 5.18<br>5.70 | 5.92<br>5.89   | 6.51<br>6.49   | 6.64<br>6.61   |
| 6        | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 4.69<br>4.65 | 5.27<br>5.33 | 6.90<br>6.96 | 8.42<br>8.36 | 9.95<br>9.93   | 11.67<br>11.69 | 13.14<br>13.22 |
| 7        | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 5.83<br>5.74 | 6.46<br>6.47 | 7.53<br>7.48 | 8.17<br>8.06 | 8.61<br>8.59   | 9.39<br>9.34   | 9.85<br>9.89   |
| 8        | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3.32<br>3.29 | 3.58<br>3.54 | 3.92<br>3.87 | 4.14<br>4.18 | 4.50<br>4.43   | 5.18<br>5.12   | 5.71<br>5.69   |

表-1 (c) 予備実験の分散分析表

| 要 因                               | f    | S       | V       | F <sub>0</sub> |
|-----------------------------------|------|---------|---------|----------------|
| A                                 | 1    | 0.46°   | —       | —              |
| B                                 | 1    | 3.80°   | —       | —              |
| C                                 | 1    | 47.90   | 47.89   | 127.1**        |
| D                                 | 1    | 2.85°   | —       | —              |
| E                                 | 1    | 11.19   | 11.19   | 29.7**         |
| F                                 | 1    | 308.56  | 308.56  | 819.0**        |
| G                                 | 1    | 0.001°  | —       | —              |
| e <sub>1</sub>                    | 0    | —       | —       | —              |
| N                                 | 6    | 248.73  | 41.46   | 110.0**        |
| A×N                               | 6    | 0.015°  | —       | —              |
| B×N                               | 6    | 0.166°  | —       | —              |
| C×N                               | 6    | 15.66   | 2.61    | 6.9**          |
| D×N                               | 6    | 7.03    | 1.17    | 3.1*           |
| E×N                               | 6    | 3.07°   | —       | —              |
| F×N                               | 6    | 57.92   | 9.65    | 25.6**         |
| G×N                               | 6    | 0.20°   | —       | —              |
| e <sub>2</sub>                    | 0    | —       | —       | —              |
| e <sub>3</sub>                    | 56   | 0.09    | —       | —              |
| (e <sub>1</sub> +e <sub>2</sub> ) | (28) | (10.55) | (0.377) | —              |
| T                                 | 111  | 707.6   |         |                |

○印はプール

表-2 (a) 本実験の因子と水準

| 因子 \ 水準 | 1   | 2   |
|---------|-----|-----|
| C       | 2.7 | 5.6 |
| E       | 10  | 33  |
| F       | 1   | 3.3 |
| G       | 2.7 | 3.3 |

理 由：

- 1) センサ信号にさまざまなノイズが重畳するため、フィルタ回路の構成が複雑である。
- 2) 正弦波や矩形波では代用できない複雑な信号

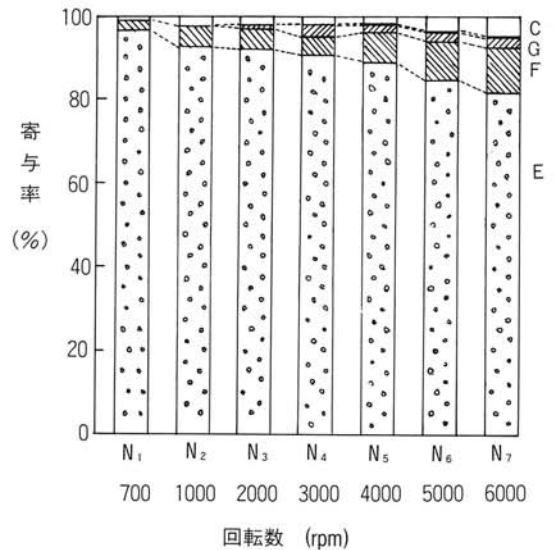


図-4 寄 与 率

Fig. 4 Contribution percentage.

表-2 (b) 本実験の分散分析表

| 要 因            | f   | S      | V      | F <sub>0</sub> |
|----------------|-----|--------|--------|----------------|
| C              | 1   | 0.243  | 0.243  | 2.12           |
| E              | 1   | 39.651 | 39.651 | 345.39**       |
| F              | 1   | 2.948  | 2.948  | 25.99*         |
| G              | 1   | 0.904  | 0.904  | 7.87           |
| e <sub>1</sub> | 3   | 0.344  | 0.115  | 17.13**        |
| N              | 6   | 50.114 | 8.352  | 1251.80**      |
| C×N            | 6   | 0.120  | 0.020  | 2.98*          |
| E×N            | 6   | 1.757  | 0.293  | 43.88**        |
| F×N            | 6   | 0.539  | 0.090  | 13.47**        |
| G×N            | 6   | 0.245  | 0.041  | 6.13**         |
| e <sub>2</sub> | 18  | 0.120  | 0.007  | 4.77**         |
| e <sub>3</sub> | 56  | 0.076  | 0.001  |                |
| T              | 111 | 97.099 |        |                |

波形なので、信号のシミュレーションが困難であり、実際のセンサを用いなければならない。

- 3) 遅れ特性は制御特性に重要な影響を与えるため、全回転数範囲にわたって各機種ごとの厳密

な特性が要求され、シミュレーションの誤差が問題となる。

そこで今回、実験計画法を用いた設計手法の検討を試みた。

## 4. 実 験

### 4.1 予 備 実 験

各部品が遅れ特性に与える影響度を調べる前に、要因を絞り込むための大まかな予備実験を行う。

まず、予備実験では、回路中から遅れ特性に影響を与えると思われるA～Gの7要因を選び、それぞれ2水準とし、各水準としては従来機種の中で最大・最小の値をそれぞれ選んだ。(表-1(a)参照)

交互作用は、ほとんどないと考えられるので取り上げなかった。要因A～Gを直交配列表 $L_8$ に割り付け、処理遅れ角を特性値とし、回転数Nを外側因子として2回ずつ測定した。(表-1(b)参照)  
分散分析の結果、主効果ではC、E、Fが有意

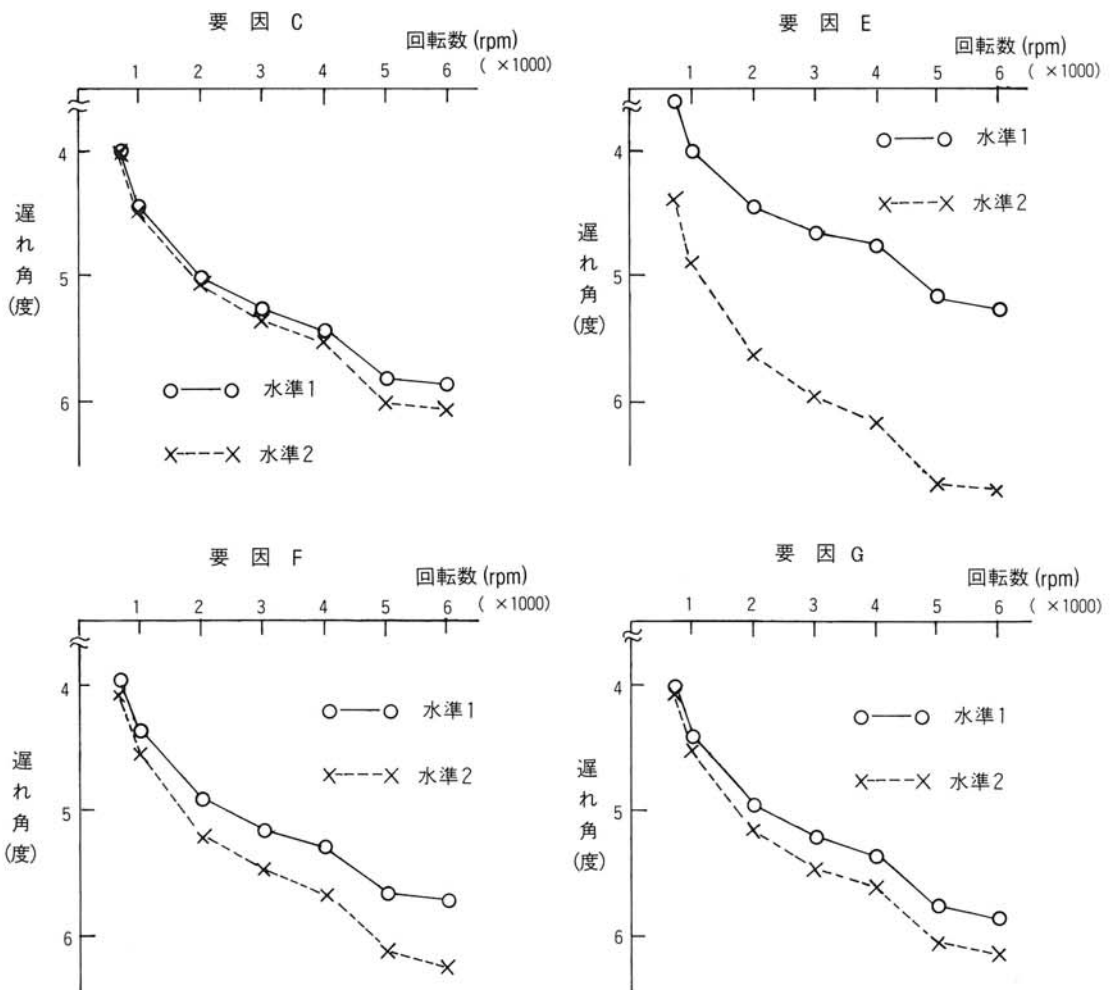


図-5 水準間差  
Fig. 5 Difference between levels.

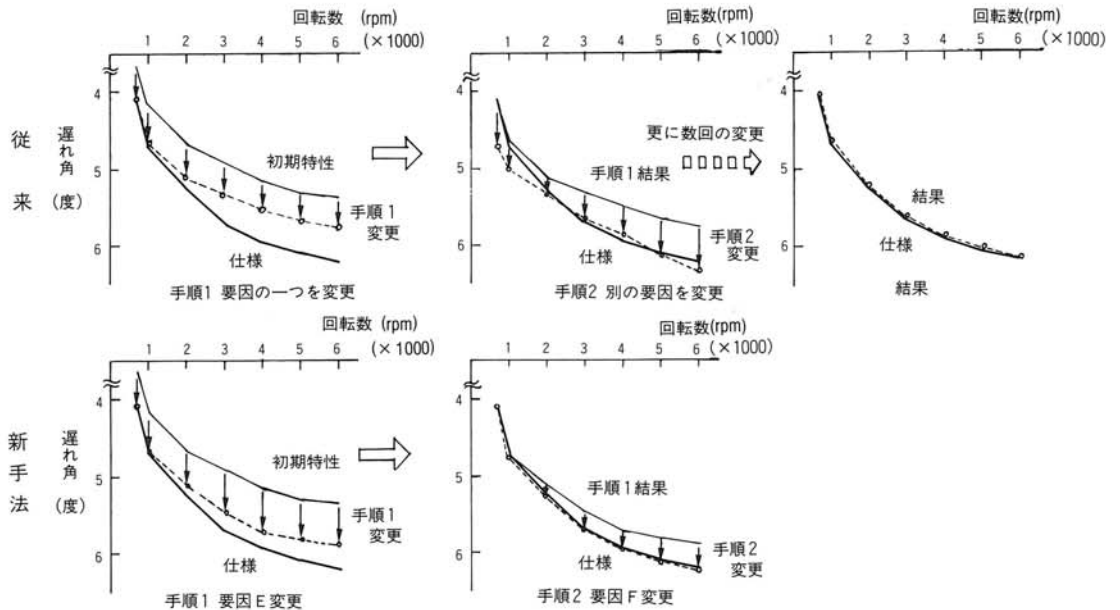


図-6 設計手順の比較

Fig. 6 Comparison of design procedures.

になった。(表-1(c)参照)

#### 4.2 本実験

予備実験で有意になった3要因に、今回寄与率を求めておきかたかった要因Gを加えて実施することとした。また、予備実験では、大綱をはった実験をしたので水準間差を大きくとったが、そのため効果が大きく出すぎた要因があった。そこで、本実験では水準間差を小さくして実施した。(表-2(a)参照)

#### 4.3 実験結果

分散分析の結果、主効果としてE、Fが有意になった。また、各要因とNとの交互作用がすべて有意になった。(表-2(b)参照)

Nとの交互作用がすべて有意になったため、それぞれのNにおいて分散分析をして、各回転数における各要因の寄与率と水準間差を求めた。

(図-4…79ページ、図-5参照)

#### 4.4 実験結果のまとめ

図-4、図-5に示す実験結果より次のことがわか

った。

- (a) 要因Eが全回転数域において寄与率が最も大きい。
- (b) 要因Fが要因Eに次いで寄与率が高い。また、Fは回転数依存性が高く、高回転ほど寄与率が高い。

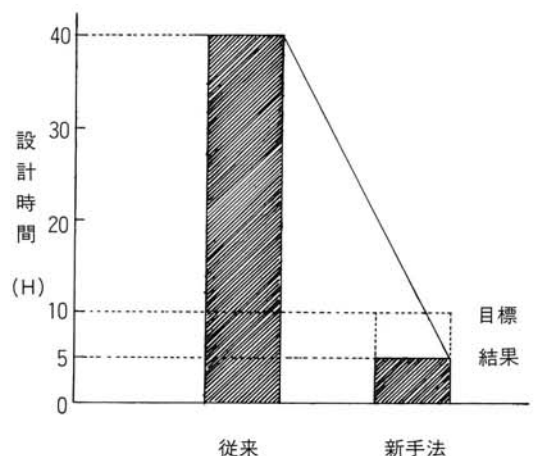


図-7 効果

Fig. 7 Effect.

したがって

- 1) 要因Eにより、全回転数域の遅れ特性を大まかに合わせる。
- 2) 要因Fにより高回転域を中心に細かく調整するという手順により、2つの部品だけで容易に遅れ特性を仕様に合わせることが可能となる。(図-6参照)

## 5. 確 認

本手法に基づいて回路設計したところ、顧客要求に合致した性能を得ることができたうえ、設計工数は従来の40時間から5時間に減少し、予想以

上の効果があった。(図-7参照)

## 6. 今 後 の 課 題

- 1) 今回検討した手法をまとめ、設計マニュアルを作成する。(標準化)
- 2) 初めて実験計画法を使用したのが、結果の明確さ、時間短縮の効果について、改めて実感することができた。今後も、種々の業務の中で実験計画法を使用して、業務の効率化に努めたい。

## 参 考 文 献

- 1) 田口玄一：「実験計画法」、丸善。