

---

# 配電自動化機器における品質管理方法の検討

平成19年12月

東京電力(株) 配電機材技術センター

渡邊 克彦



TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY

知的財産 取扱注意 2007.12 東京電力株式会社 配電機材技術センター

# 1. 発表概略

---

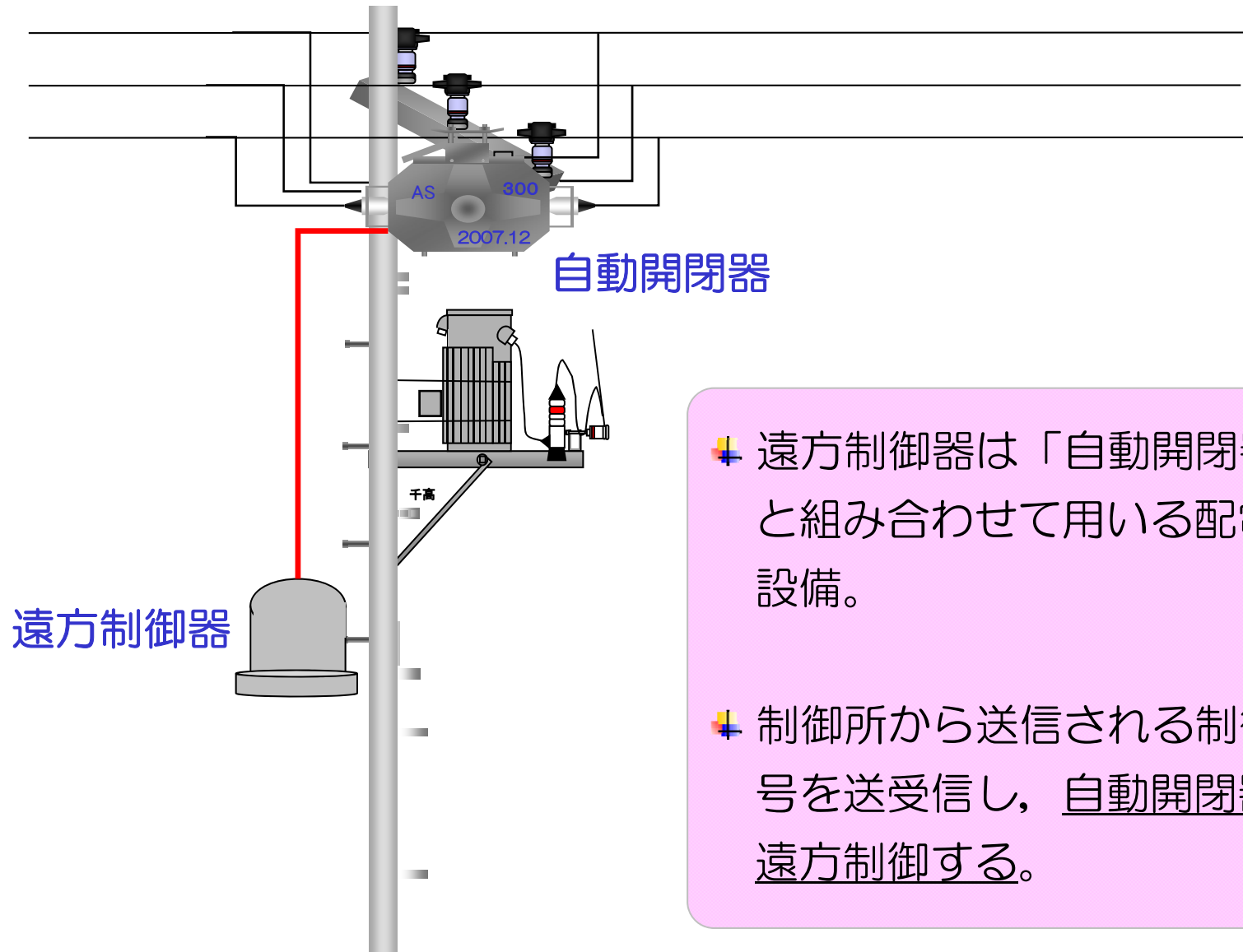
現状、自動開閉器用遠方制御器（以下：遠方制御器という）におけるソフトウェアの設計開発・テストについては、取引先主体で品質管理を行っている。

当社品質管理部門では、納入される機器の性能確認試験（ブラックボックステスト）を実施し、仕様書の要求性能を満足していることを確認している。

本発表事例は、取引先におけるソフトウェアテストの実態把握からスタートし「効率的且つ効果的」なソフトウェアテストとして、「直交表を活用したソフトウェアテスト」に着目し、遠方制御器への適用性評価を目的に取り組んでいる事例である。



## 2. 遠方制御器とは？



- ✦ 遠方制御器は「自動開閉器」と組み合わせて用いる配電設備。
- ✦ 制御所から送信される制御信号を送受信し、自動開閉器を遠方制御する。



### 3. 遠方制御器の品質管理

---

当社・取引先で  
品質管理

#### ハードウェア品質管理

完成品のブラックボックステストを実施し、仕様書で規定された要求性能を満たしているか評価する。  
一般にユーザの立場から行うテスト。

取引先主体で  
品質管理

#### ソフトウェア品質管理

上記ブラックボックステストおよび、「命令カバレッジ」、「分岐カバレッジ」等でテスト項目を抽出するホワイトボックステストにより、プログラムの構造の堅牢性を評価する。  
一般に開発者が行うテスト。



TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY

知的財産 取扱注意 2007.12 東京電力株式会社 配電機材技術センター

## 4. ブラックボックステストとホワイトボックステスト

---

### (1) ブラックボックステストとは？

- ・ 要求されている全ての機能が網羅され正常に動作することを確認するテスト。
  - ・ プログラムの内部を意識せずに機能要件に基づいて、どのような入力に対してどのような出力がなされるか、という観点からテスト項目を設定。
  - ・ 各テスト項目に対して、必要最小限のテストデータを設定するために、「**同値分割**」や「**限界値分析**」を抽出。
- 
- ・ 「**テスト網羅性**（単機能・組み合わせ機能）」の判断が困難。



## 4. ブラックボックステストとホワイトボックステスト

---

### (2) ホワイトボックステストとは？

- ・ プログラム内の処理ロジックに基づいてテストする方法。
  - ・ ソースコードやフローチャートなどを基に，処理の流れをなぞりながら，テスト項目を抽出。
  - ・ 「**テスト網羅性**（単機能・組み合わせ機能）」の計量化が可能。
- 
- ・ 仕様書で規定されていながら，抽出されていない部分のテストが漏れる。



## 5. ハードウェア品質管理

---

当社・取引先で  
品質管理

### ハードウェア品質管理

完成品のブラックボックステストを実施し、仕様書で規定された要求性能を満たしているか評価する。  
一般にユーザの立場から行うテスト。

取引先主体で  
品質管理

### ソフトウェア品質管理

上記ブラックボックステストおよび、「分岐カバレッジ」、「命令カバレッジ」等を指標とするホワイトボックステストにより、プログラムの構造の堅牢性を評価する。一般に開発者が行うテスト。



TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY

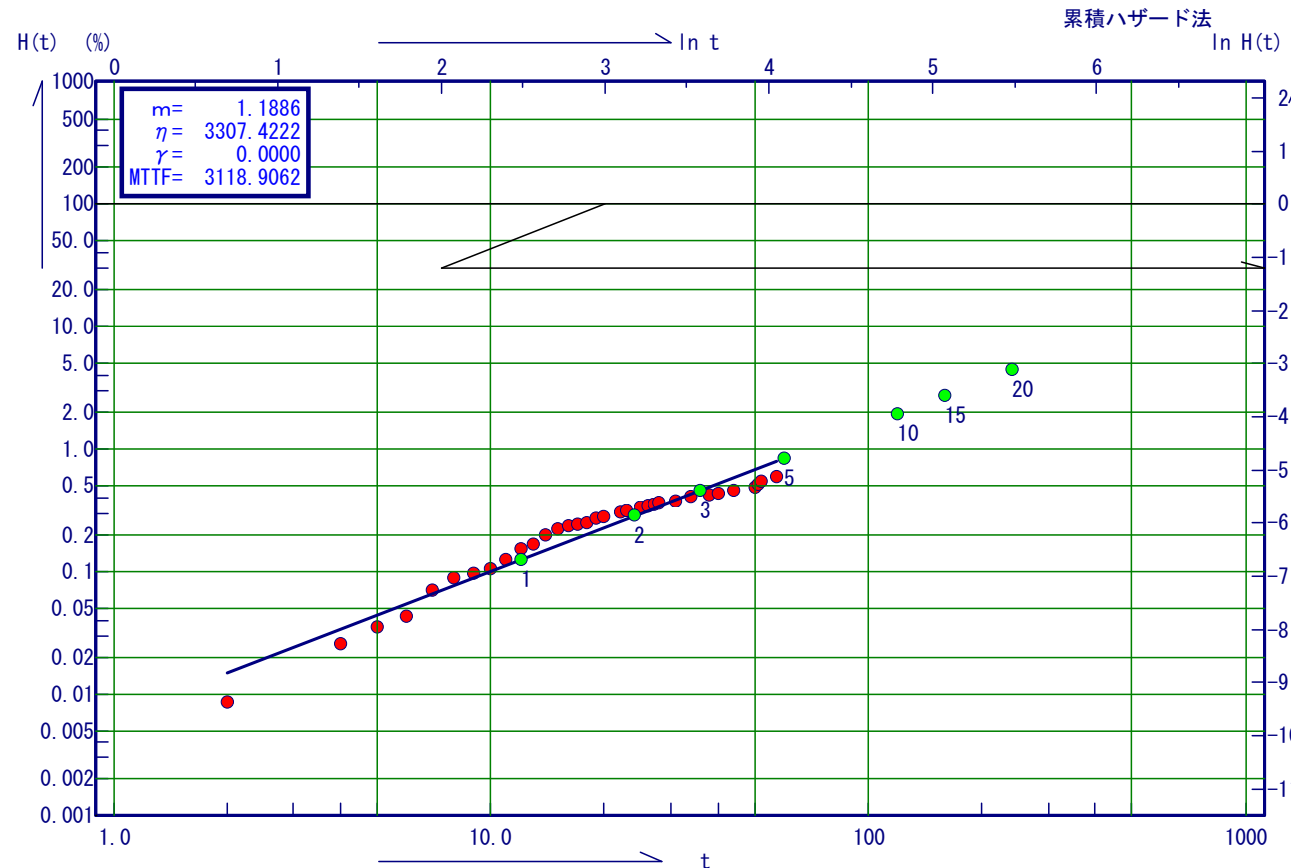
知的財産 取扱注意 2007.12 東京電力株式会社 配電機材技術センター

# 5. ハードウェア品質管理

## ハードウェア品質管理

JUSE-StatWorks/V4.0慢性不良撲滅版を活用

### ワイブル確率紙へのプロット（遠方制御器の故障解析）



### ワイブル確率紙より

#### 形状パラメータ

$m=1.19$ であり、  
CFR型（偶発故障型）と判断。

B1ライフが5.7年であり、単位時間当たりの故障が多く発生する傾向あり。



TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY

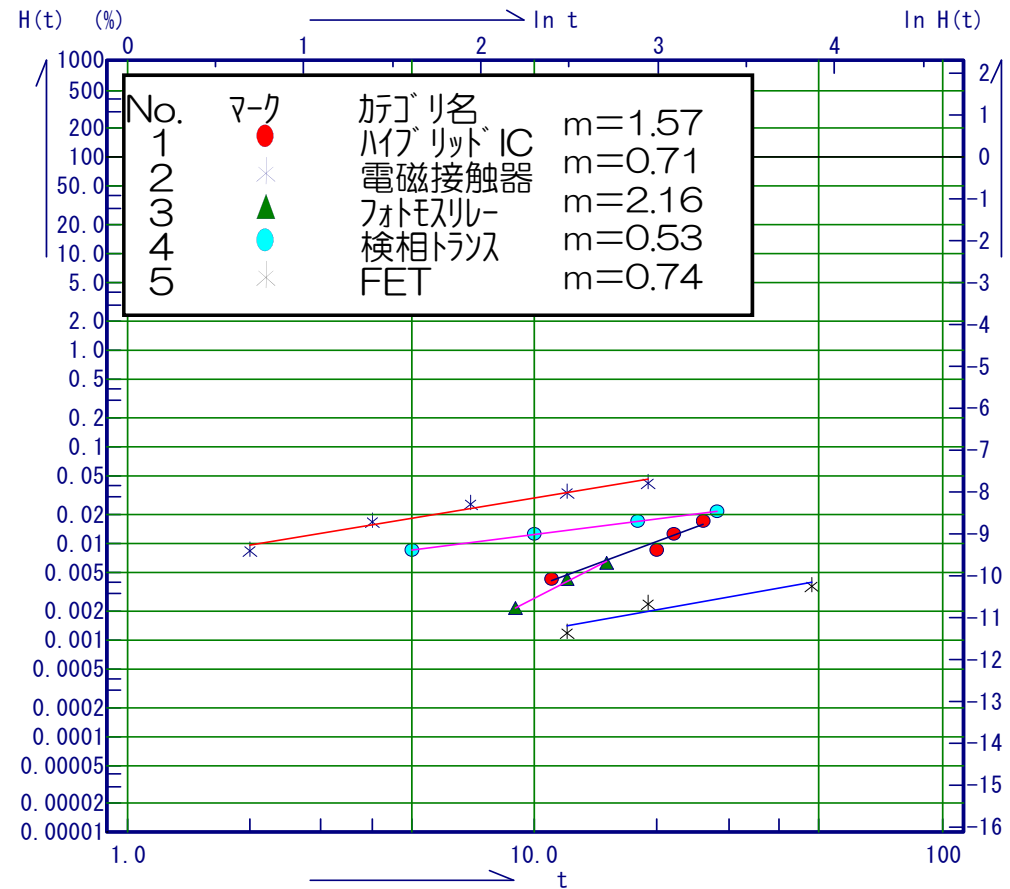
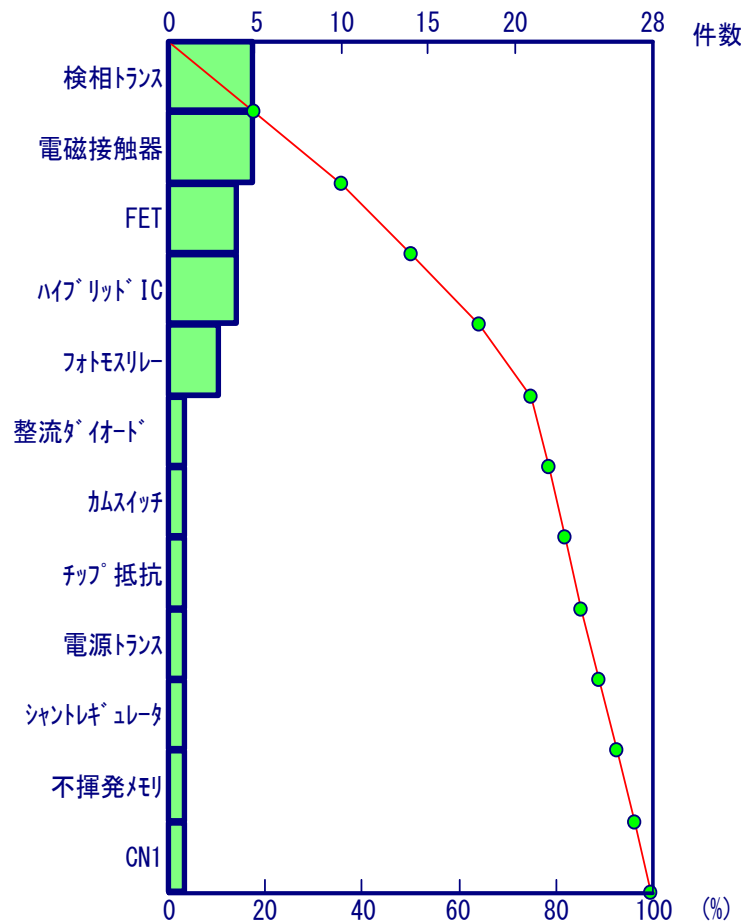
知的財産 取扱注意 2007.12 東京電力株式会社 配電機材技術センター



# 5. ハードウェア品質管理

## ハードウェア品質管理 素子別故障解析

JUSE-StatWorks/V4.0慢性不良撲滅版を活用



故障件数の上位素子については対策を実施



TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY

知的財産 取扱注意 2007.12 東京電力株式会社 配電機材技術センター

## 6. ソフトウェア品質管理

---

### ハードウェア品質管理

完成品のブラックボックステストを実施し、仕様書で規定された要求性能を満たしているか評価する。  
一般にユーザの立場から行うテスト

当社・取引先で  
品質管理

### ソフトウェア品質管理

上記ブラックボックステストおよび、「分岐カバレッジ」、「命令カバレッジ」等を指標とするホワイトボックステストにより、プログラムの構造の堅牢性を評価する。一般に開発者が行うテスト。

取引先主体で  
品質管理



TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY

知的財産 取扱注意 2007.12 東京電力株式会社 配電機材技術センター

## 6. ソフトウェア品質管理

### (1) 日本の現状と他社動向

日本の優良企業の共通点：

『競争・コストダウンと品質向上・スピード』

↑ 世界トップレベルの品質管理に迫る...

- ✚ 世界的なブランドを持つ企業の商品の組み込みソフトウェアに**バグ**が発生。
- ✚ **高機能化**が進み、開発規模が大きくなるがソフトウェアテストが追いついていない。
- ✚ ソフトウェアの品質問題の修正に手間がかかり、**挽回コスト**（修繕費・広告費等）が増大。

H19.11.19：日経産業新聞



ブランド  
イメージの悪化  
社会的信頼の低下



TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY

知的財産 取扱注意 2007.12 東京電力株式会社 配電機材技術センター

## 6. ソフトウェア品質管理

### (2) 将来構想（あるべき姿の創造ニターゲット）

万が一、広域停電・多重事故等が発生し、遠方制御器が誤動作・不動作となったら...

その原因がソフトウェアの評価不足だったら...



✦ 取引先主体で品質管理を行ってきた「ソフトウェア品質管理」について、不具合未然防止の観点から、当社および、取引先の持つべきスキルを明確化・標準化。

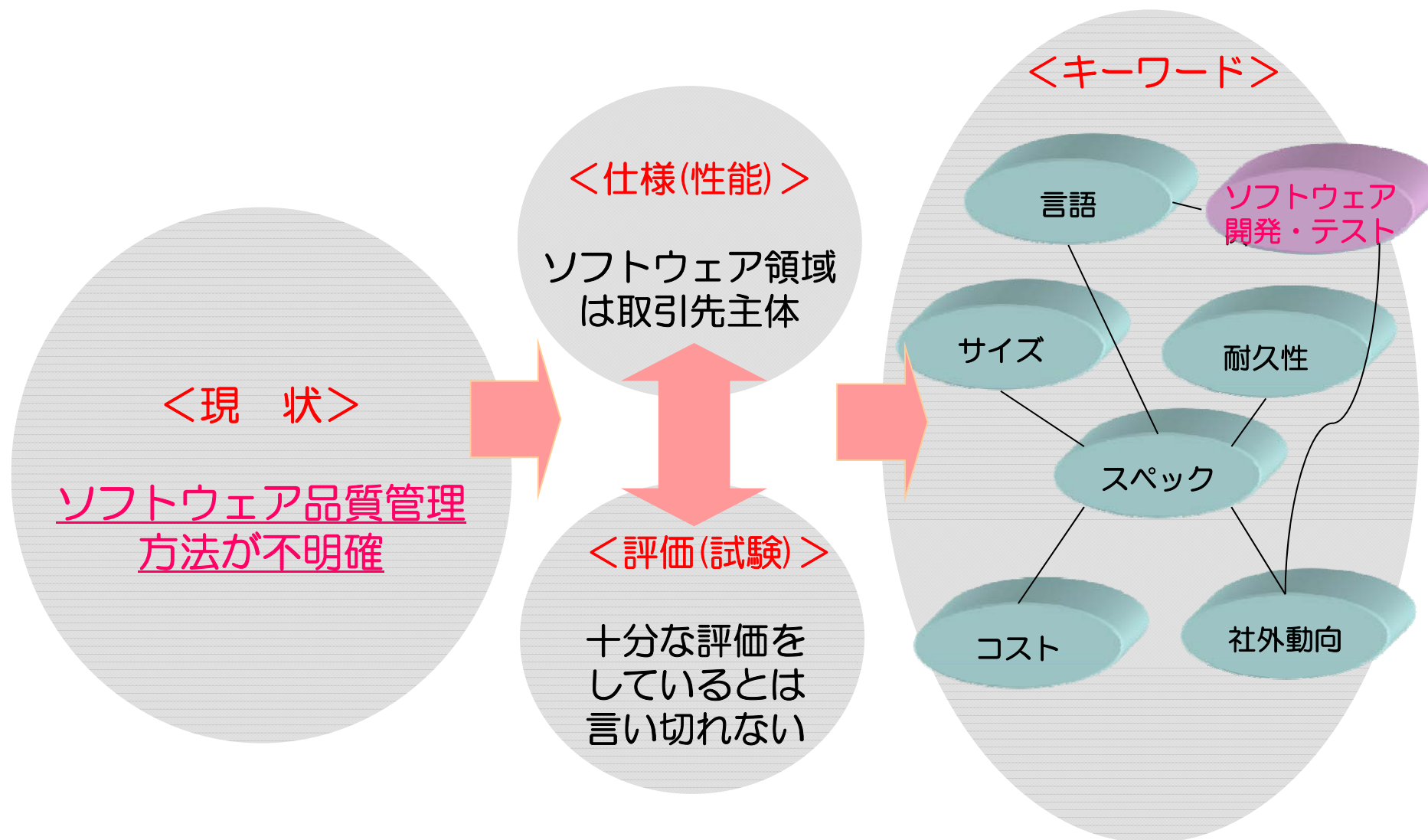
- ・「現状把握～目標設定～達成手段の模索・決定～実践～評価～標準化・水平展開」のプロセス評価を重視した新たなアプローチを行い、ソフトウェア品質管理方法を構築。



TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY

知的財産 取扱注意 2007.12 東京電力株式会社 配電機材技術センター

## 7. 振り返り（ターゲットの確認）



## 7. 振り返り（ターゲットの確認）

---

①ソフトウェアの品質管理（設計開発・テスト・バージョン管理等）における体系的な考えの構築。

②効率的且つ効果的なソフトウェアテスト方法の模索・実践・

評価・標準化・水平展開。



## 7. 振り返り（ターゲットの確認）

---

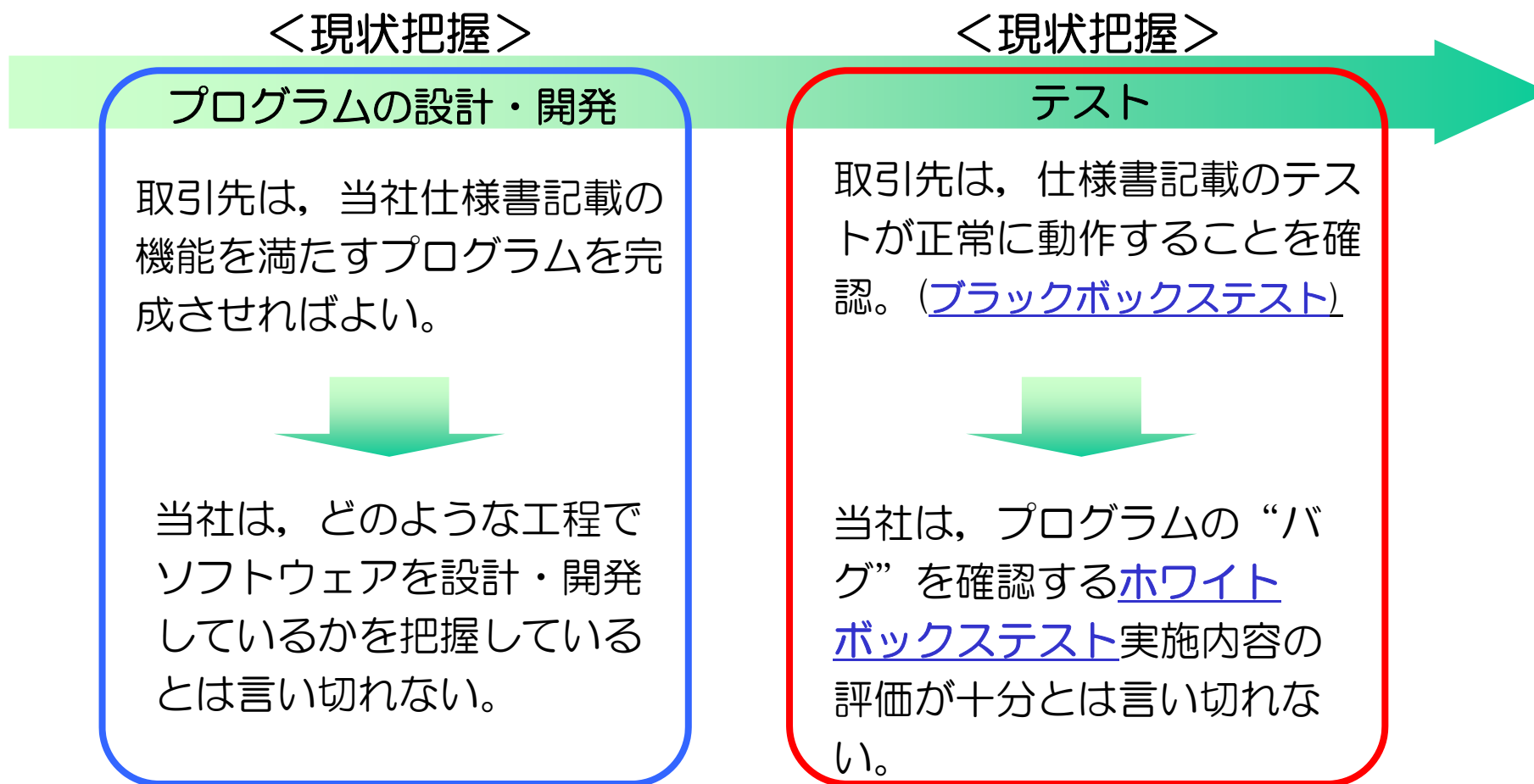
①ソフトウェアの品質管理（設計開発・テスト・バージョン管理等）における体系的な考えの構築。

②効率的且つ効果的なソフトウェアテスト方法の模索・実践・  
評価・標準化・水平展開。



## 8. ソフトウェアの品質管理

- ①ソフトウェアの品質管理（設計開発・テスト・バージョン管理等）における体系的な考えの構築。





## 8. ソフトウェアの品質管理

---

- ①ソフトウェアの品質管理（設計開発・テスト・バージョン管理等）における体系的な考えの構築。

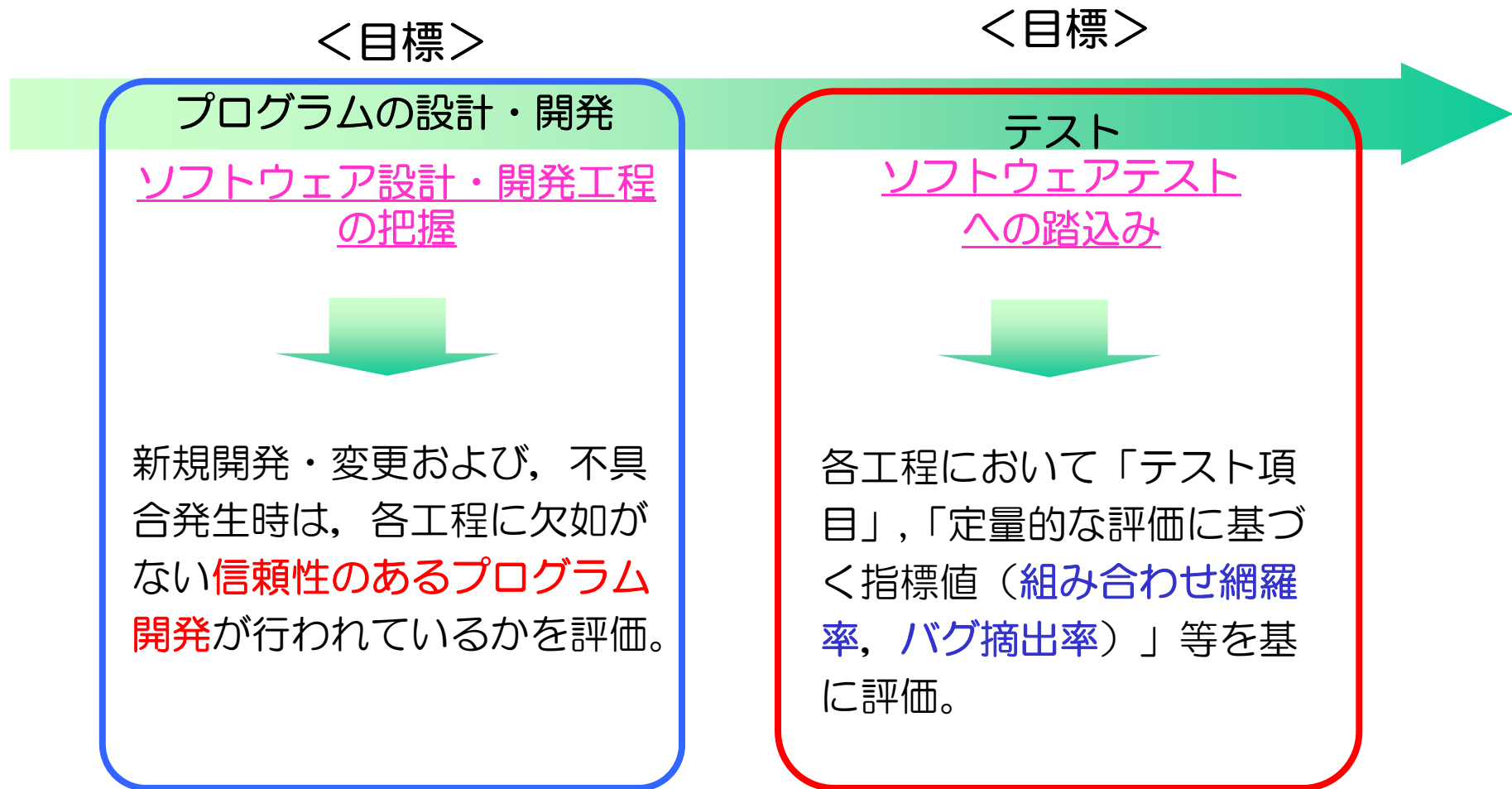
### <問題点>

- ✚ 信頼性のあるプログラムなのか、十分な評価が出来ていない。
- ✚ 不具合が発生した場合、本来、どのタイミングで発見すべきか判断出来る知識が十分ではない。
- ✚ 不具合が発生した場合、社会的信頼の低下を招きかねない。



## 8. ソフトウェアの品質管理

- ①ソフトウェアの品質管理（設計開発・テスト・バージョン管理等）における体系的な考えの構築。



## 6. 振り返り（ターゲットの確認）

---

①ソフトウェアの品質管理（設計開発・テスト・バージョン管理等）における体系的な考えの構築。

②効率的且つ効果的なソフトウェアテスト方法の模索・実践・

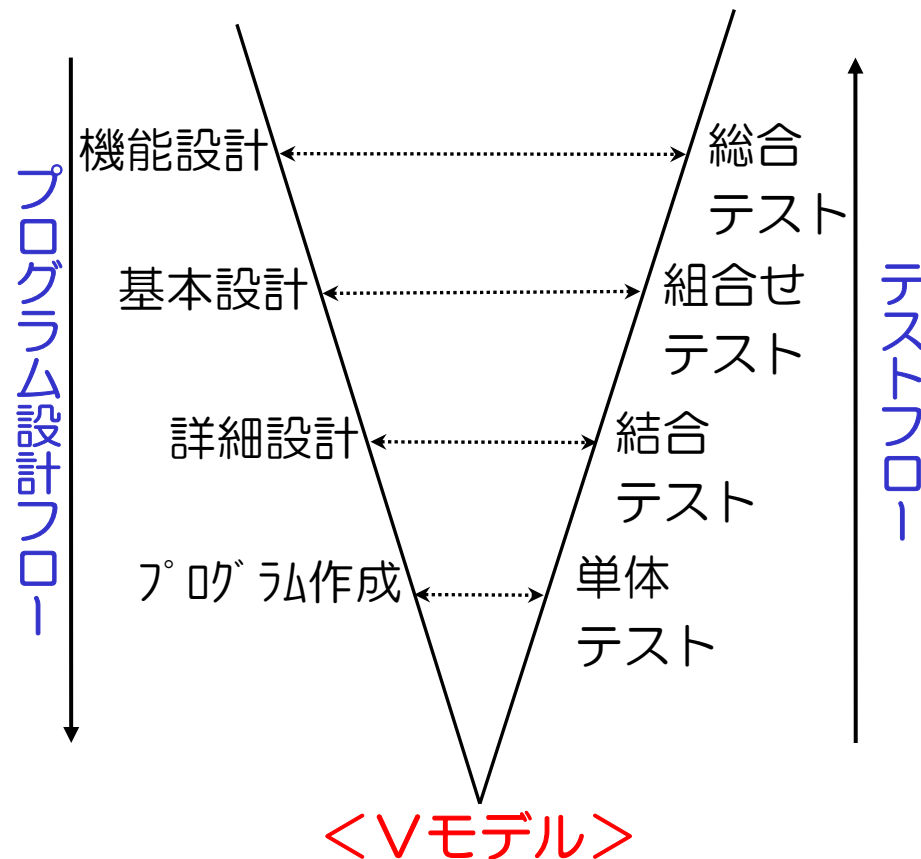
評価・標準化・水平展開。



## 8. ソフトウェアの品質管理

② 効率的且つ効果的なソフトウェアテスト方法の模索・実践・評価・標準化・水平展開。

### 一般的なソフトウェア開発プロセス



- 左図の「Vモデル」は、プログラム設計のステップと、プログラム作成後の各種テストとの関わりを表す。
- 「プログラム設計フロー」は品質を作り込む工程であり、「テストフロー」は品質を確認する工程。



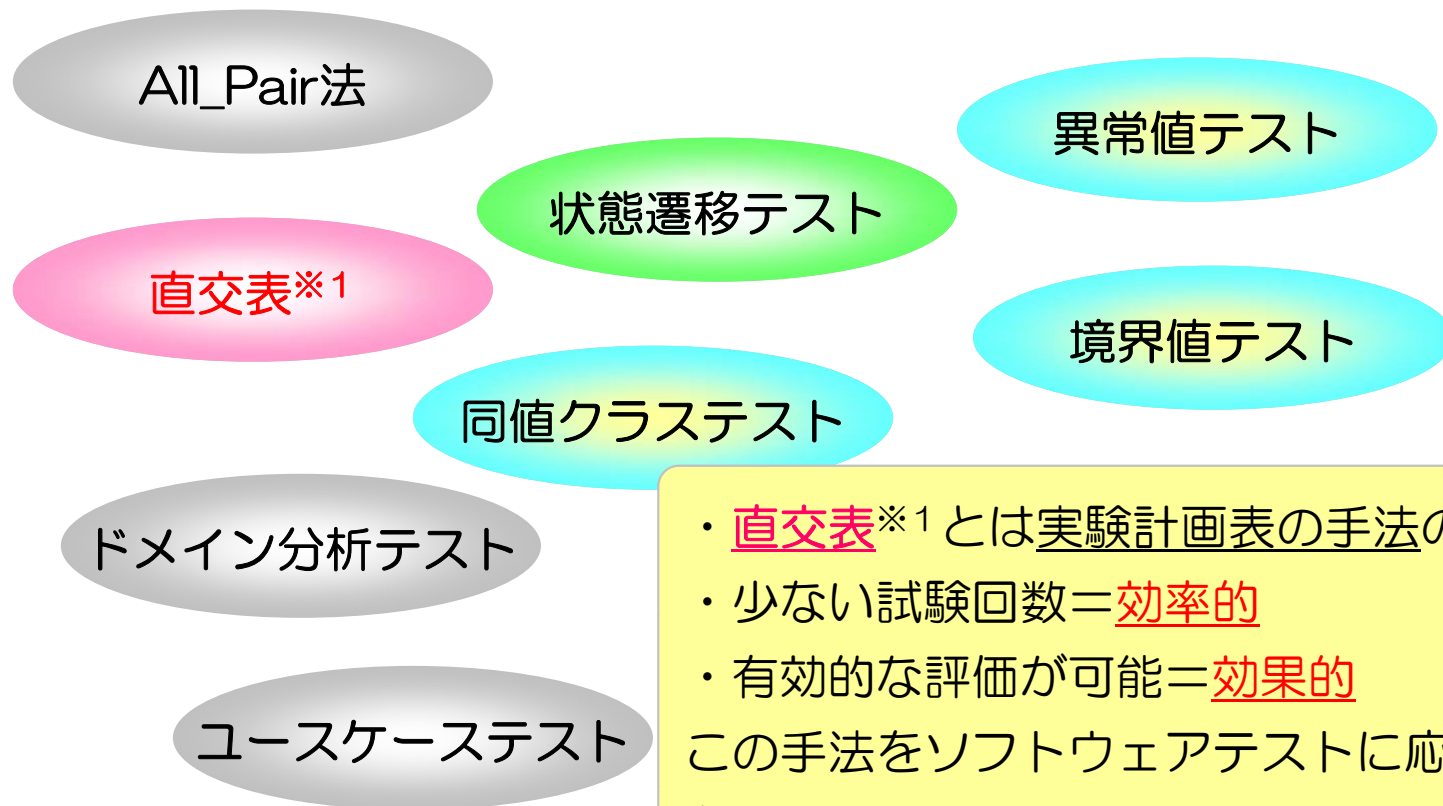
TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY

知的財産 取扱注意 2007.12 東京電力株式会社 配電機材技術センター

## 8. ソフトウェアの品質管理

② 効率的且つ効果的なソフトウェアテスト方法の模索・実践・評価・標準化・水平展開。

### 一般的なソフトウェアテストの種類



- ・ 直交表※1 とは 実験計画表の手法の一つ
  - ・ 少ない試験回数＝効率的
  - ・ 有効的な評価が可能＝効果的
- この手法をソフトウェアテストに応用したもの



## 9. 直交表を活用したソフトウェアテスト

---

### 直交表を適用するねらい

バグは、処理の組み合わせ時に発生する  
組み合わせ数が多くてテストしきれない  
禁則を回避するテストが困難  
機能組み合わせテストの十分性に対する指標が無い

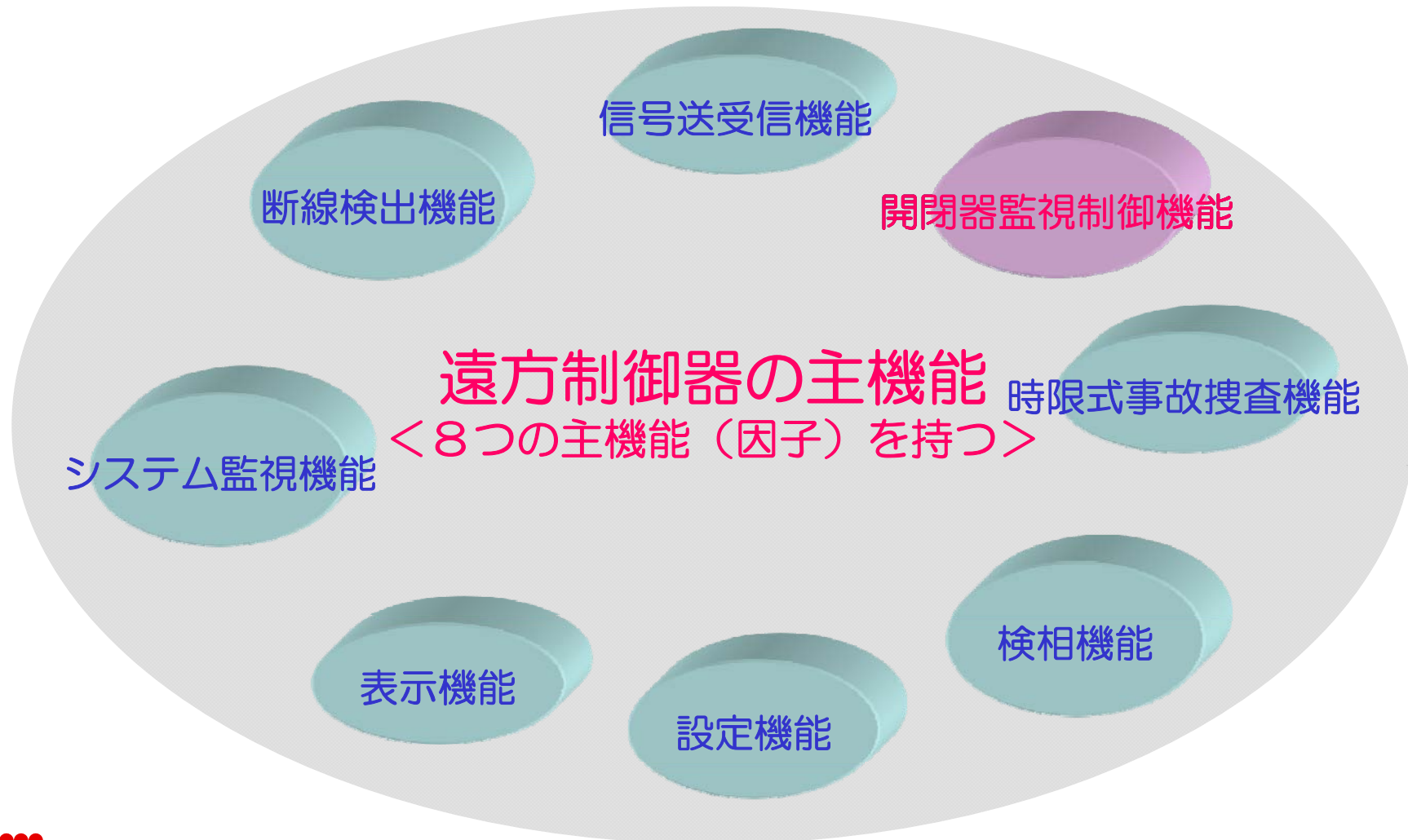


少数のテスト回数で2機能間・3機能間の組み合わせを多く作る



## 9. 直交表を活用したソフトウェアテスト

### 遠方制御器への適用性評価



TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY

知的財産 取扱注意 2007.12 東京電力株式会社 配電機材技術センター

## 9. 直交表を活用したソフトウェアテスト

複数の機能（因子）があり、テストすべき水準の全組み合わせのうち、実際にテストした組み合わせの比率を「**組み合わせ網羅率**」と呼ぶ。

$$\text{組み合わせ網羅率} = \frac{\text{実際にテストした組み合わせ数}}{n \text{ 機能（因子）の水準の全組み合わせ数}}$$

ソフトウェアテストの実施度合いを評価する指標として有効

開閉器監視制御機能（12項目）を例にして、水準を考慮しない「**2機能（因子）間の組み合わせ数**」は組み合わせ理論により...

$$\begin{aligned} &\text{2機能（因子）間の組み合わせ数} \\ &= {}_{12}C_2 = \frac{12 \times 11}{2 \times 1} = 66 \end{aligned}$$





## 9. 直交表を活用したソフトウェアテスト

「66の機能（因子）組み合わせテスト」の総数は、組み合わせ  
された機能（因子）の水準を乗じて総和したもの



「①遠方入制御」の機能の水準数（2水準）×「②遠方切制御」の機能の水準数（2水準）  
+ 「①遠方入制御」の機能の水準数（2水準）×「③×時限投入」の機能の水準数（2水準）  
+ . . . . .  
+ . . . . .  
+ 「②遠方切制御」の機能の水準数（2水準）×「③×時限投入」の機能の水準数（2水準）  
+ . . . . .  
+ . . . . .  
+ 「⑪操作ハンドル断」の機能の水準数（2水準）×「⑫電源ブレーカ操作」の機能の  
水準数（2水準）



## 9. 直交表を活用したソフトウェアテスト

---

総当りでの機能（因子）の異なる2機能の全水準間の組み合わせテストの総数は“**12,288回**”となる



全てのテストを行う事は、**物理的に不可能**と考えられる



実験計画法で実績のある「**直交表**」を活用した、ソフトウェアテストの遠方制御器への適用性を評価する



## 9. 直交表を活用したソフトウェアテスト

---

### 各信号因子と水準の選択

因子A (遠方入制御) : A 1 =開閉器切, A2=開閉器入

因子B (瞬時電圧低下) : B 1 =有り, B2=無し

• • • • •

• • • • •

因子L (電源ブレーカ操作) : L 1 =電源ブレーカ切, L 2=電源ブレーカ入



「直交表L16」に割り付け



TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY

知的財産 取扱注意 2007.12 東京電力株式会社 配電機材技術センター

# 9. 直交表を活用したソフトウェアテスト

JUSE-StatWorks/V4.0慢性不良撲滅版を活用

## 各信号因子と水準の選択



JUSE Package Software - [実験の計画]

入力項目 | 欠測サフル解析対象 | 全データ | 100%

| N  | 実験順序 | A (SWハント'ル) | B (MCCB) | C (SCハント'ル) | D (送電方向) | E (選択) | F (遠制入) | G (遠制切) |
|----|------|-------------|----------|-------------|----------|--------|---------|---------|
| 1  | 1    | 手動入         | ON       | 断           | 手→自      | 有      | 有       | 有       |
| 2  | 2    | 手動入         | ON       | 断           | 自→手      | 有      | 有       | 有       |
| 3  | 3    | 手動入         | ON       | 自動          | 手→自      | 有      | 無       | 無       |
| 4  | 4    | 手動入         | ON       | 自動          | 自→手      | 有      | 無       | 無       |
| 5  | 5    | 手動入         | OFF      |             |          |        |         |         |
| 6  | 6    | 手動入         | OFF      |             |          |        |         |         |
| 7  | 7    | 手動入         | OFF      |             |          |        |         |         |
| 8  | 8    | 手動入         | OFF      |             |          |        |         |         |
| 9  | 9    | 自動          | ON       |             |          |        |         |         |
| 10 | 10   | 自動          | ON       |             |          |        |         |         |
| 11 | 11   | 自動          | ON       |             |          |        |         |         |
| 12 | 12   | 自動          | ON       |             |          |        |         |         |
| 13 | 13   | 自動          | OFF      |             |          |        |         |         |
| 14 | 14   | 自動          | OFF      |             |          |        |         |         |
| 15 | 15   | 自動          | OFF      |             |          |        |         |         |
| 16 | 16   | 自動          | OFF      |             |          |        |         |         |

**因子の設定**

因子記号: A  
因子名: A (SWハント'ル)  
水準数: 2  
水準名: 手動入

因子の種類

- A (SWハント'ル)
- B (MCCB)
- C (SCハント'ル)
- D (送電方向)
- E (選択)
- F (遠制入)
- G (遠制切)

特性値

特性の数: 1  
測定繰り返し数: 2

特性の数×測定繰り返し数は6までです

OK キャンセル ヘルプ

JUSE Package Software - [実験の計画]

入力項目 | 欠測サフル解析対象 | 全データ | 100%

**わりつけ**

わりつけ 分割 | 直交表 L16

| 列番 | 成分   | わりつけ |
|----|------|------|
| 1  | a    | A    |
| 2  | b    | B    |
| 3  | ab   | E    |
| 4  | c    | C    |
| 5  | a c  | F    |
| 6  | bc   | G    |
| 7  | abc  | H    |
| 8  | d    | D    |
| 9  | a d  | I    |
| 10 | b d  | J    |
| 11 | ab d | L    |
| 12 | cd   | K    |
| 13 | a cd | M    |
| 14 | bcd  |      |
| 15 | abcd |      |

因子

A 1  
B 2  
C 4  
D 7  
E 8  
F 11  
G 13  
H 14  
I 15  
J 16  
K  
L  
M

わりつけ

支援  
クリア

線点図

OK キャンセル ヘルプ



TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY

知的財産 取扱注意 2007.12 東京電力株式会社 配電機材技術センター

## 9. 直交表を活用したソフトウェアテスト

JUSE-StatWorks/V4.0慢性不良撲滅版を活用

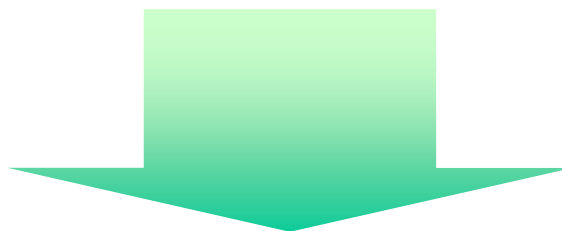
## 直交表割付後のテストパターン例

[illegible]

# 10. 今後の課題

---

- ①「直交表を活用したソフトウェアテスト」の実践・適用性評価を継続する。
- ②他のソフトウェアテストも実践し、直交表を活用したテストの有効性を評価する。
- ③効率的且つ効果的なソフトウェアテスト方法を見極める。



配電自動化機器のソフトウェア品質管理方法を構築する



TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY

知的財産 取扱注意 2007.12 東京電力株式会社 配電機材技術センター

## 1 1. 謝辞

---

本稿を作成するに当たり、ご指導くださいました日本科学技術  
研修所・数理部中澤さま、佐久間さまを始めとするスタッフの方  
々に、この場を借りて御礼申し上げます。



## 1 2. 参考文献

---

- (1) 入門 タグチメソッド [日科技連]
- (2) ソフトウェアテスト HAYST法入門 [日科技連]
- (3) トヨタ式未然防止手法GD<sup>3</sup> [日科技連]





---

ご清聴ありがとうございました



TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY

知的財産 取扱注意 2007.12 東京電力株式会社 配電機材技術センター

掲載されている著作物の著作権については、制作した当事者に帰属します。

著作者の許可なく営利・非営利・イントラネットを問わず、本著作物の複製・転用・販売等を禁止します。

所属および役職等は、公開当時のものです。

■公開資料ページ

弊社ウェブページで各種資料をご覧ください <http://www.i-juse.co.jp/statistics/jirei/>

■お問い合わせ先

(株)日科技研 数理事業部 パッケージサポート係 <http://www.i-juse.co.jp/statistics/support/contact.html>