

組込みデバイスにおけるテスト方法改善の取り組み
ハード/ファーム/ソフトウェアの機能テスト
FuST(Function Slice Test)の推進

JaSSTソフトウェアテストシンポジウム

2012年1月25～26日

日本システムウェア株式会社

プロダクトソリューション事業本部

プラットフォームソリューション事業部 ネットワークデザイン部

永田 充 田中 宣好 篠原 範子 板倉 正樹 磯間 優一

➤ 会社概要および事業領域

商 号 : 日本システムウェア株式会社(略称: NSW)
設 立 : 1966年8月3日
本 社 : 東京都渋谷区桜丘町31-11
従業員数 : 1,677名(2011年4月1日現在)
売 上 高 : 24,906百万円(2011年3月期)

組込み開発を *TOTAL* サポート



● プрезンテーションの流れ

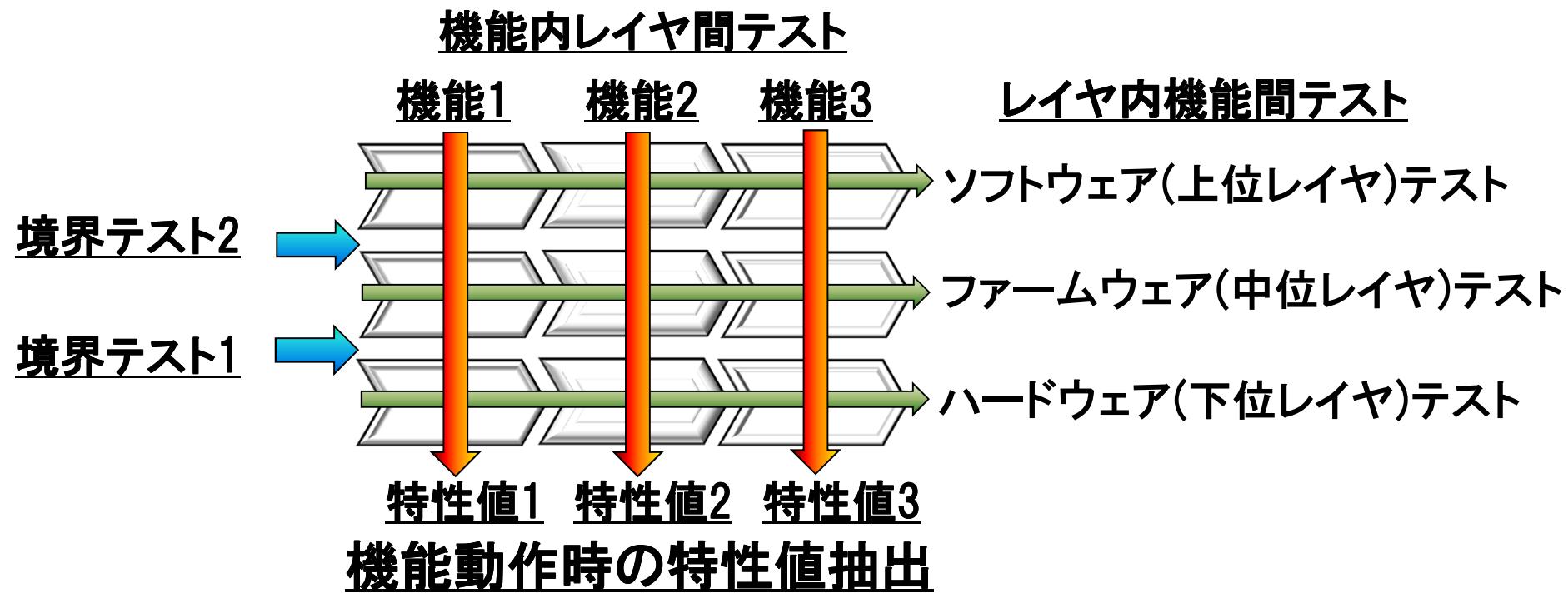


1. FuSTとは
2. 組込みデバイスとテストの現状
3. FuST適用モデル
4. FuSTの構築と実施
5. FuST結果分析
6. 不具合に対する処置
7. 工数の比較
8. 適用時の工夫と課題
9. おわりに

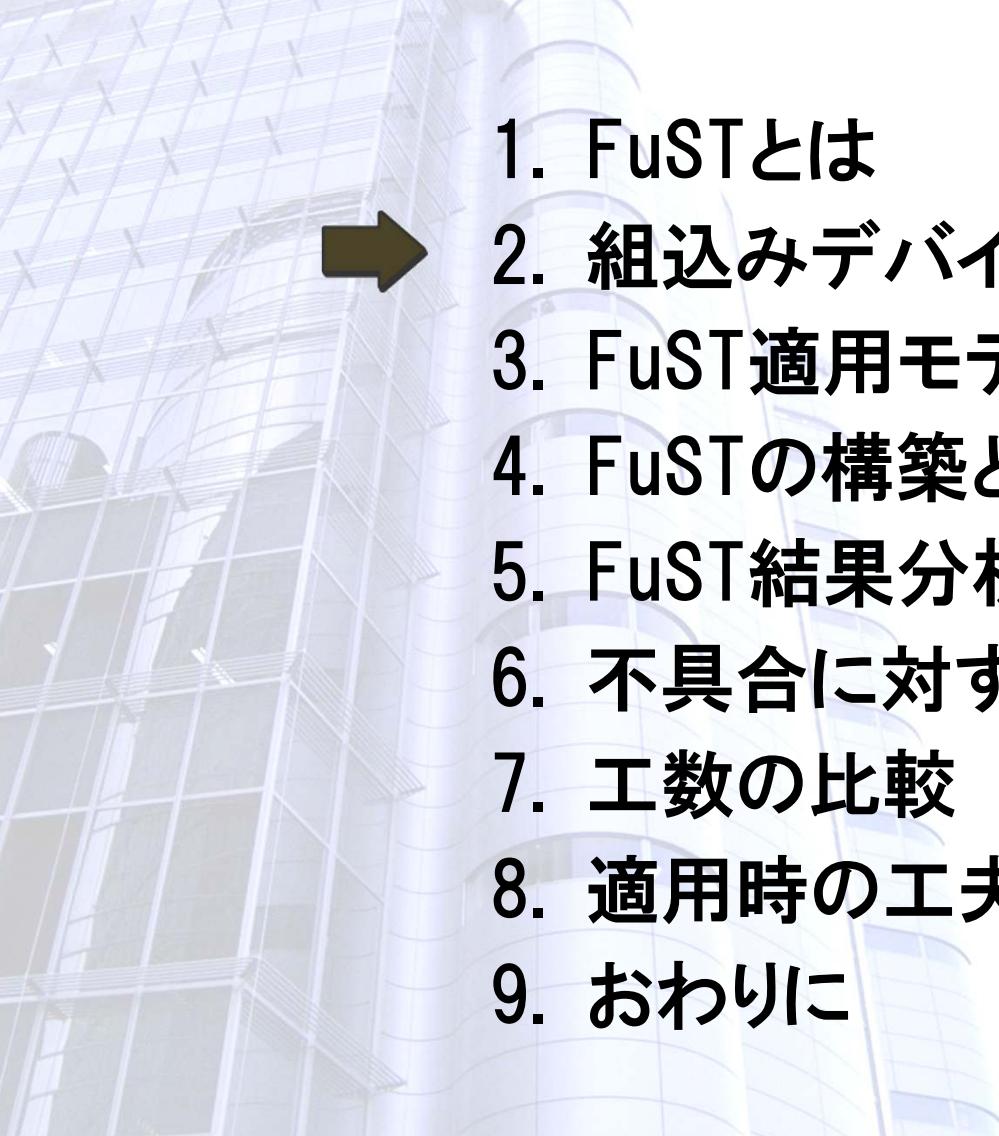
1. FuSTとは

●FuST(Function Slice Testの略)

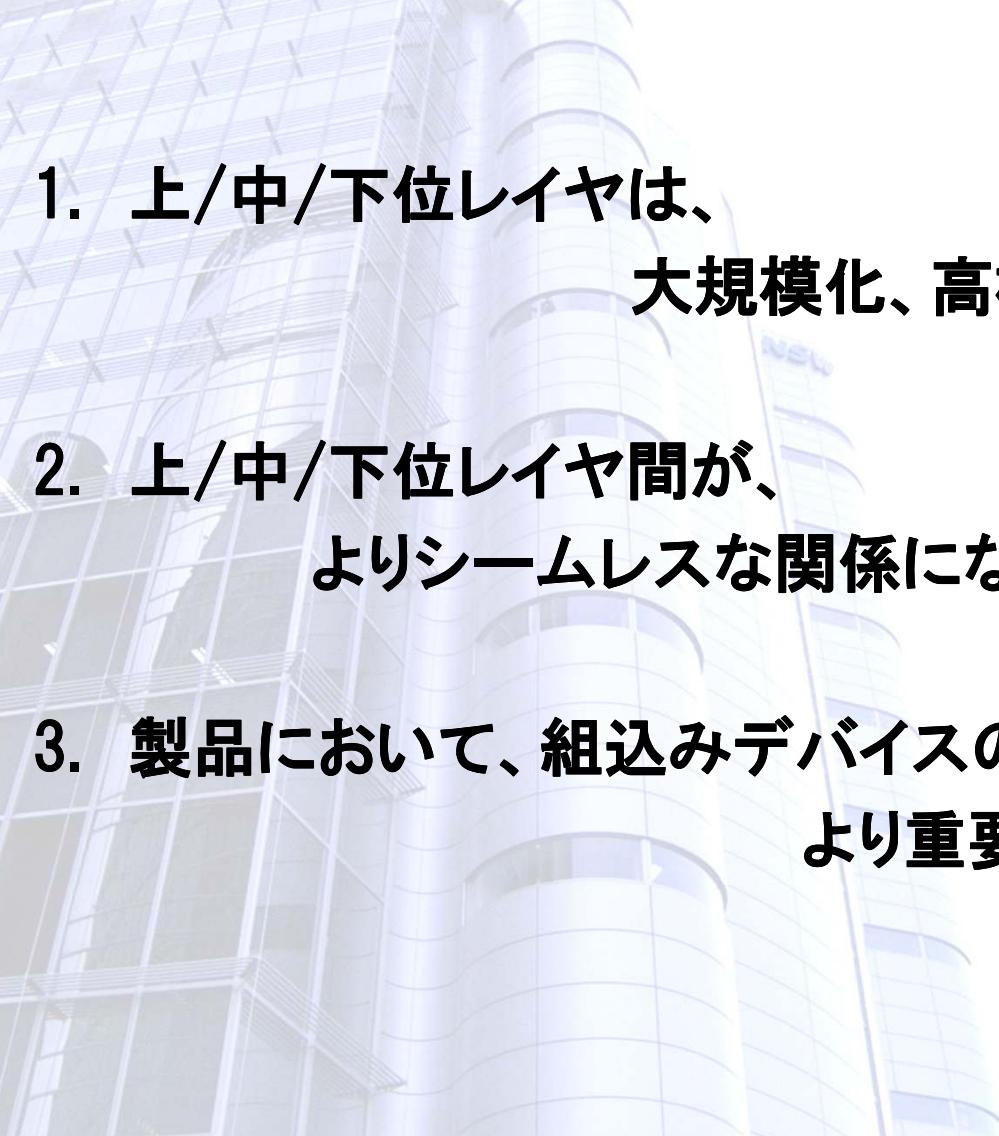
1. 機能動作時のレイヤ間境界テスト
2. 機能競合テスト
3. 機能動作時の特性劣化テスト



● プрезンテーションの流れ

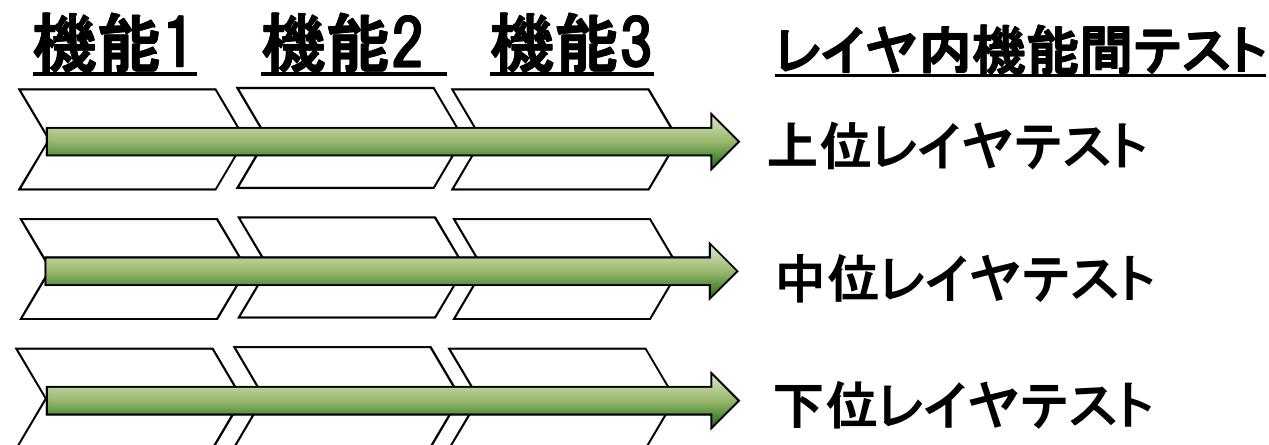
- 
- 1. FuSTとは
 - 2. 組込みデバイスとテストの現状
 - 3. FuST適用モデル
 - 4. FuSTの構築と実施
 - 5. FuST結果分析
 - 6. 不具合に対する処置
 - 7. 工数の比較
 - 8. 適用時の工夫と課題
 - 9. おわりに

2. 組込みデバイスの現状

- 
1. 上/中/下位レイヤは、
大規模化、高機能化、複雑化が進んでいる。
 2. 上/中/下位レイヤ間が、
よりシームレスな関係になり制御が複雑化してきている。
 3. 製品において、組込みデバイスの機能と特性値出力が
より重要なファクターとなってきている。

2. 現状のテスト

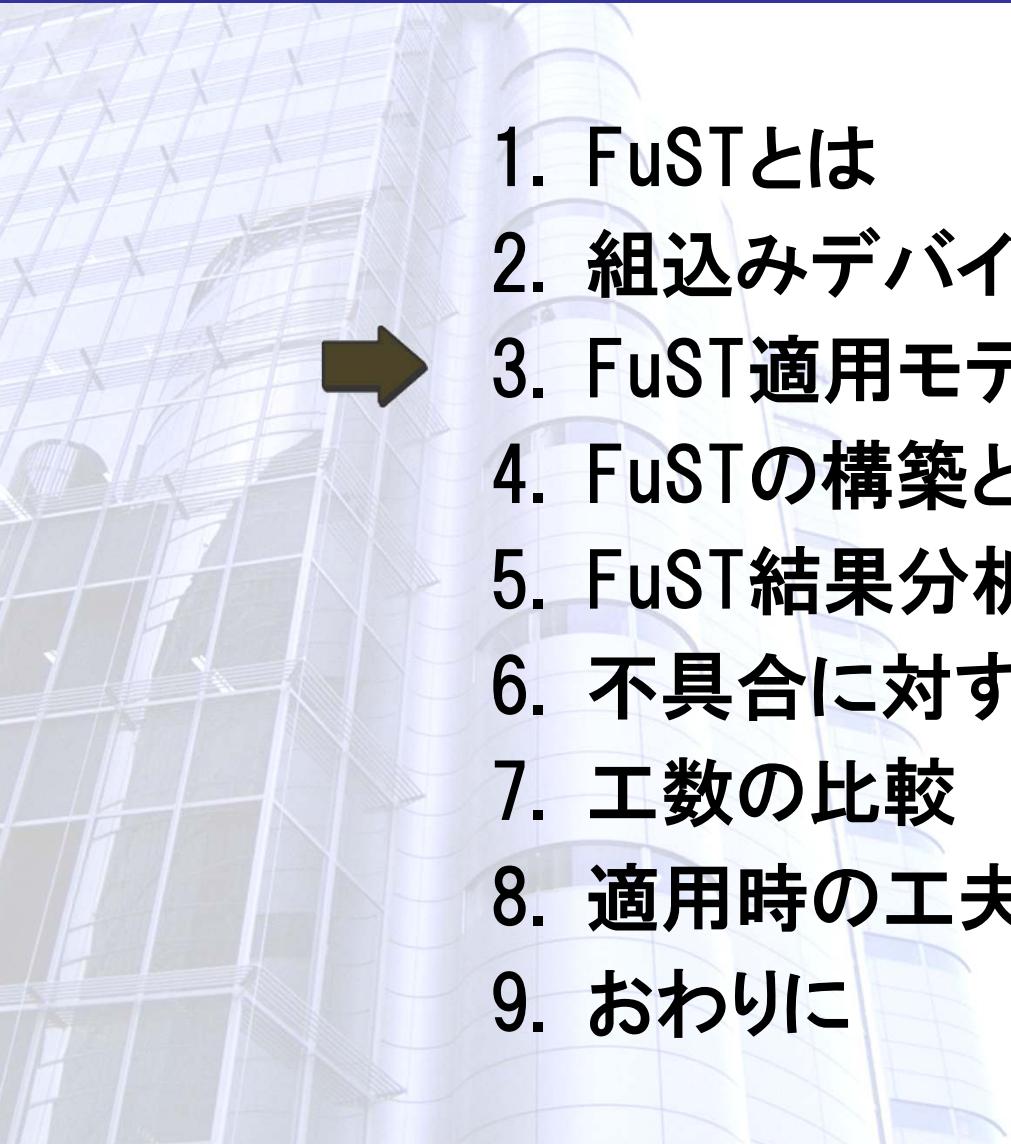
1. 各レイヤごとに分業してテストをしている。
2. レイヤ内のテストを重視している。
3. テストの合否判定は各レイヤからの出力結果により合否判定を行っている。



2. 現状のテストにおける問題点

1. 上/中位レイヤからの下位レイヤ制御(結合)時において、テストに漏れや偏りがある。
2. 機能におけるレイヤ間のブランチ・カバレッジ(分岐網羅)テストも漏れや偏りがある。
3. 機能、モデル競合におけるテストが出来ていない。
4. 組込みデバイスとしての特性値をテストできていない。

● プрезンテーションの流れ

- 
- 1. FuSTとは
 - 2. 組込みデバイスとテストの現状
 - 3. FuST適用モデル
 - 4. FuSTの構築と実施
 - 5. FuST結果分析
 - 6. 不具合に対する処置
 - 7. 工数の比較
 - 8. 適用時の工夫と課題
 - 9. おわりに



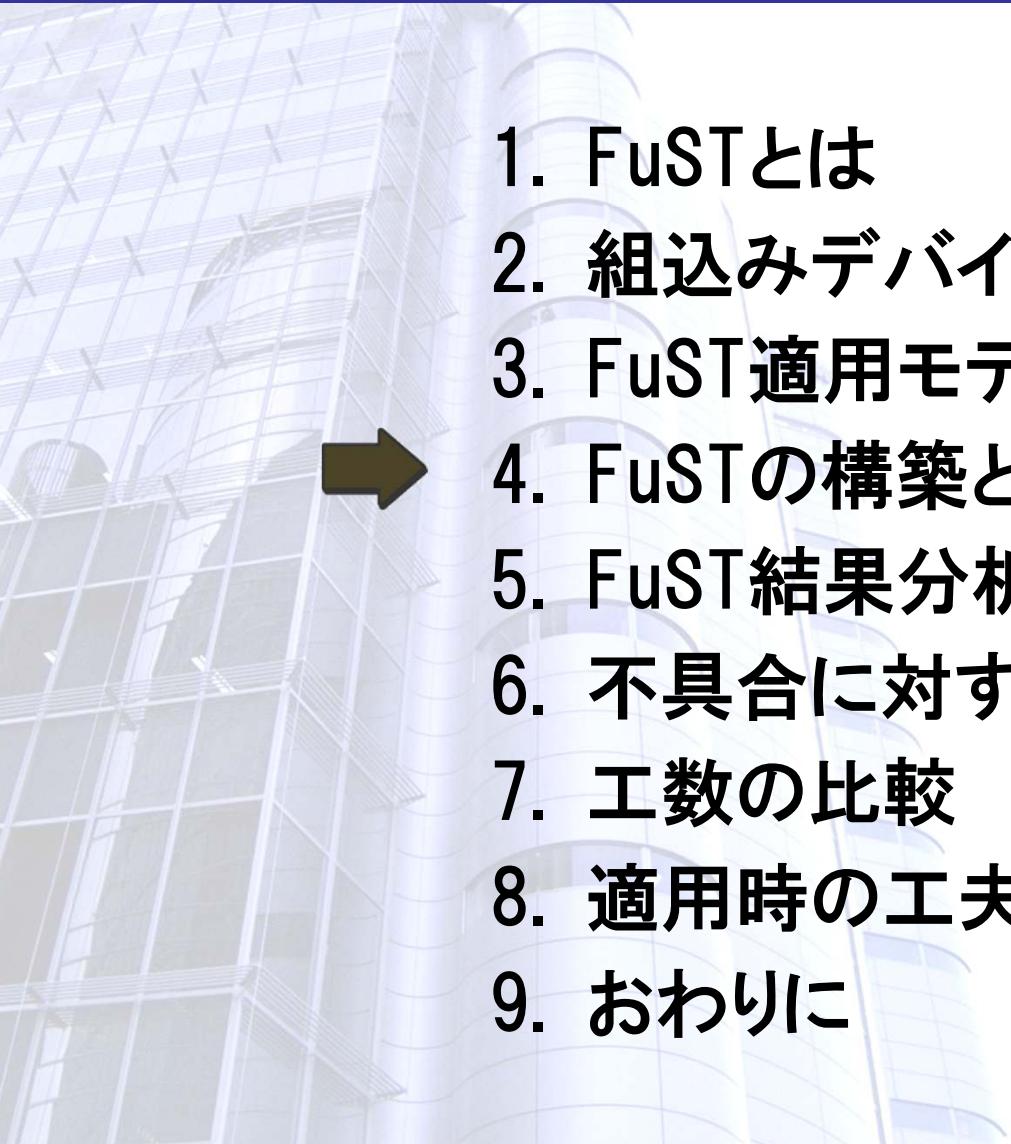
3. FuST適用対象モデル

1. 上 / 中位レイヤが下位レイヤのリソースを有効かつ効率的に制御する必要があるデバイス
2. 消費電力、温湿度対策、放熱対策、ノイズ(EMI)などの環境条件をクリアする必要があるデバイス

主な機能

低消費電力、暗号化、ネットワーク接続、USB
屋外設置、画像変換など

● プрезンテーションの流れ

- 
- 1. FuSTとは
 - 2. 組込みデバイスとテストの現状
 - 3. FuST適用モデル
 - 4. FuSTの構築と実施
 - 5. FuST結果分析
 - 6. 不具合に対する処置
 - 7. 工数の比較
 - 8. 適用時の工夫と課題
 - 9. おわりに



4. テスト内容の分析

各レイヤの仕様書

システム設計書

開発成果物

周辺デバイス
のデータシート

- ・機能テストに必要な要素の抽出
- ・機能の競合テストに必要な要素の抽出
- ・特性値テストに必要な要素の抽出
- ・環境条件印加テストに必要な要素の抽出



要素リスト

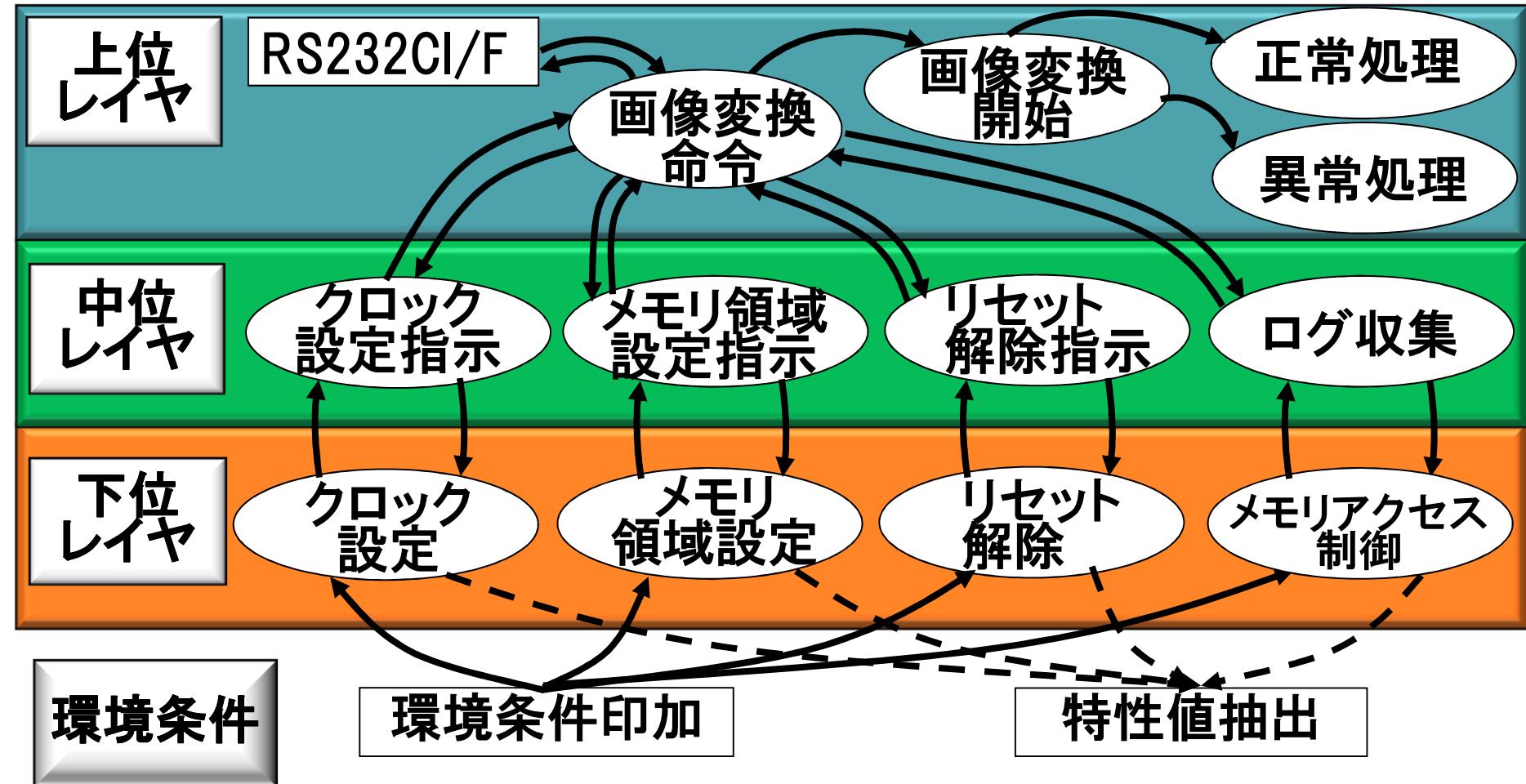
4. 要素リスト

要素リスト抽出例

| No | 要素 |
|----|--|
| 1 | 電源投入時の動作 (テスト対象デバイス、周辺デバイスのスタートアップ) |
| 2 | クロック変動処理 |
| 3 | 電圧、温湿変動 |
| 4 | テスト対象デバイスのスリープとウェイクアップ |
| 5 | メモリアクセス、機能競合 |
| 6 | 高精度(高感度)画像処理 |
| 7 | 低消費電力モード動作 |
| ⋮ | ⋮ |

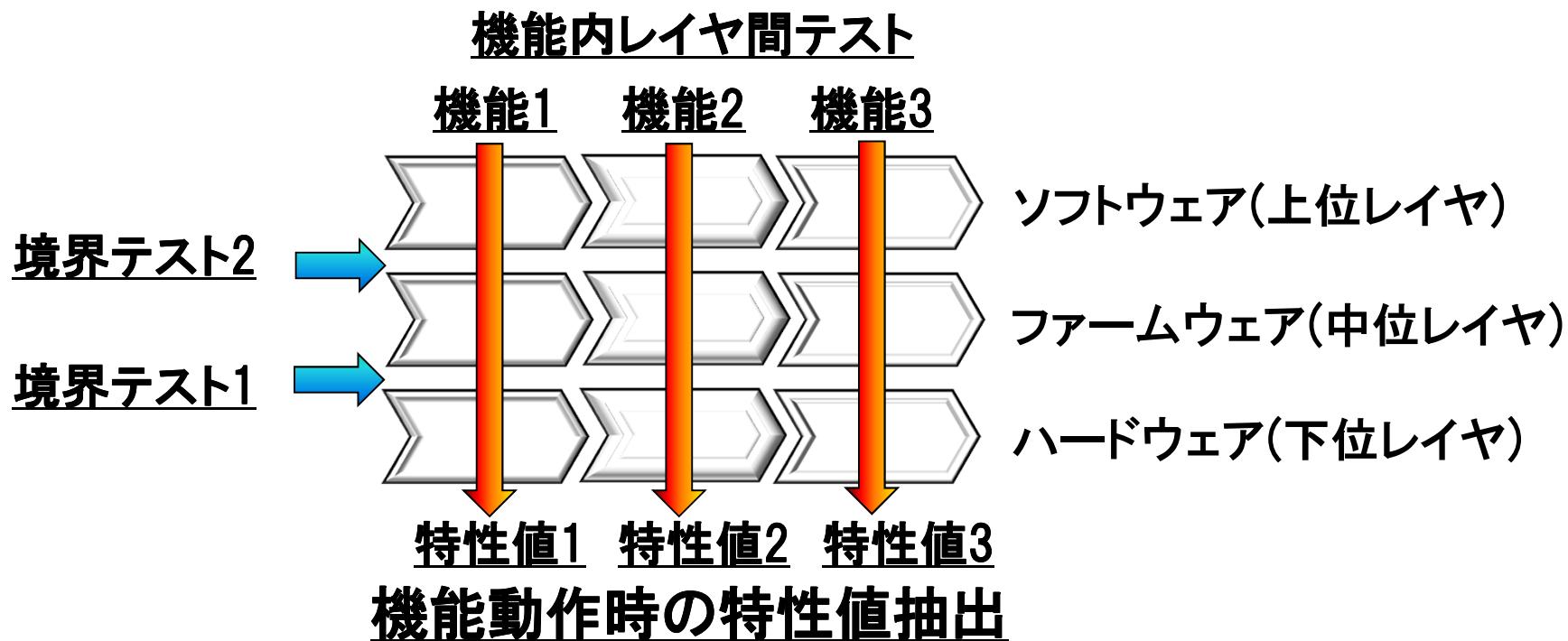
4. 状態遷移図

状態遷移図例



4. テスト項目設計

1. 上/中/下位レイヤ間に接続される機能
2. 下位レイヤの特性値に影響する機能
3. シミュレーション実施結果で特性値の劣化が大きい機能
4. 過去のテストにおいて、重大な不具合が発生した機能



4. テスト方法の選択

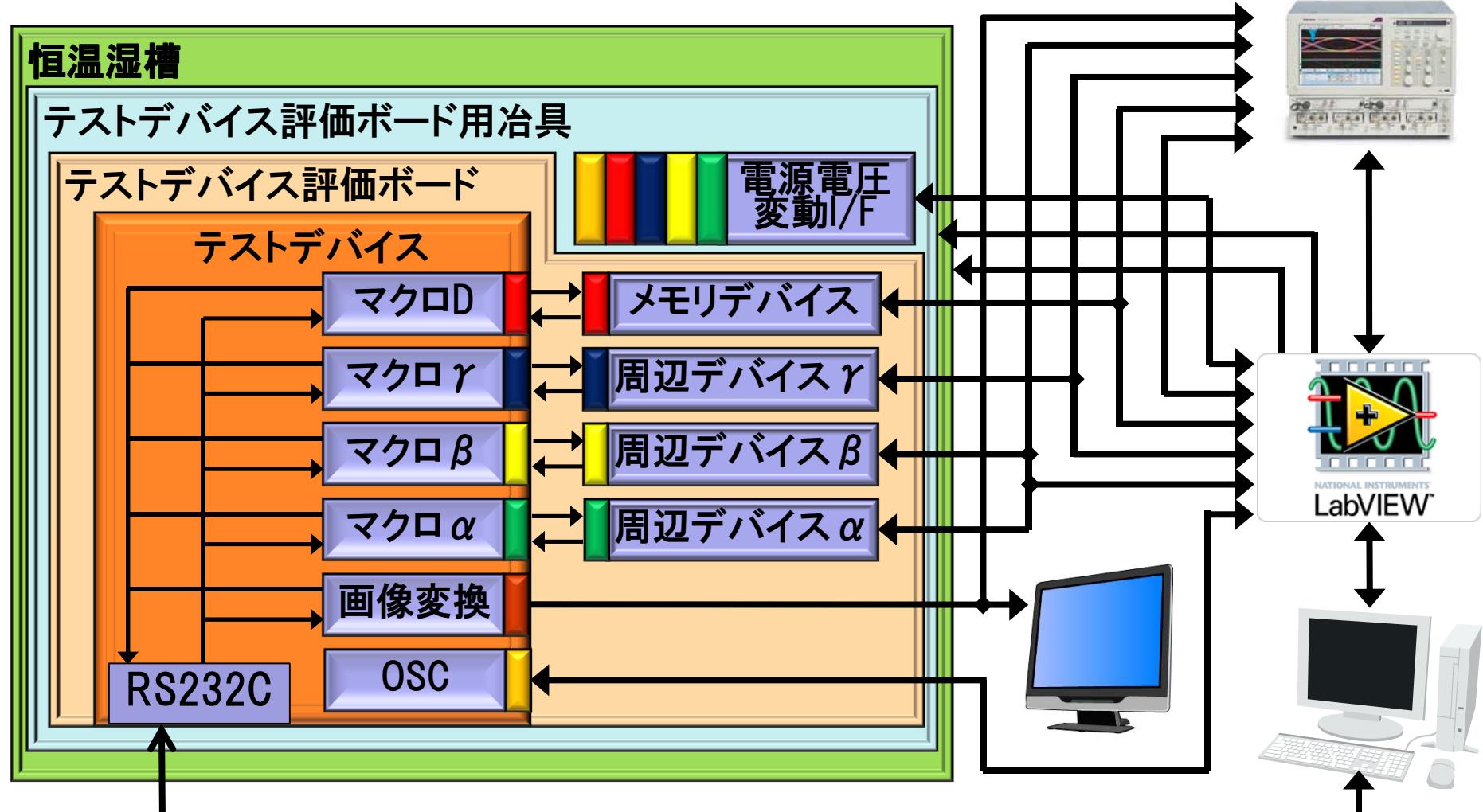
1. テスト方法には、All-pair法、実験計画法、HAYST法があるが今回は実験計画法による直交表を採用した。
2. 実験計画法は各因子の水準がバランスよく出現するため影響要因特定の容易性という点で有効である。

4. テスト項目例

直交表 (L16)

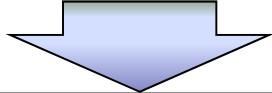
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 機能動作判定 特性値判定 |
|----|---------------------------------|----------|------------------|-----------------|------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------|--------------|-----------|-----------------------|-----------------------|
| | 0:正常/1:異常ルート 正常ルート /異常ルート | マクロ リセット | スリープマクロ α | スリープマクロ β | スリープマクロ γ | 画面リサイズ I | 画面リサイズ II | 画面リサイズ III | 画質変換 A | 画質変換 B | 画質変換 C | 画質変換 D | メモリライト /リード | 入力電圧変動 | 温度変動時 | 消費電力(特性値) | |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0:(小→大)/ 1:(大→小) | 0:(小→大)/ 1:(大→小) | 0:(小→大)/ 1:(大→小) | 0:(細→荒)/ 1:(荒→細) | 1:(細→荒)/ 0:(荒→細) | 0:(細→荒)/ 1:(荒→細) | 0:(細→荒)/ 1:(荒→細) | 0:ライト/1:リード | 0:+側 / 1: -側 | 0:冷却/1:加熱 | テストデバイス内の電圧値 α | |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | テストデバイス内の電圧値 β |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | テストデバイス内の電圧値 γ |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | テストデバイス内の電圧値 δ |
| 5 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 機能動作判定 特性値判定 |
| 6 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| 7 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| 8 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | |
| 9 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | |
| 10 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | |
| 11 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| 12 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | |
| 13 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | |
| 14 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | |
| 15 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | |
| 16 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | |

4. FuST実施環境例



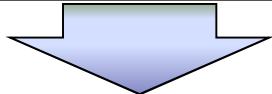
4. FuSTの実施シーケンス

RS232C(GPIBポート)からシナリオをキック



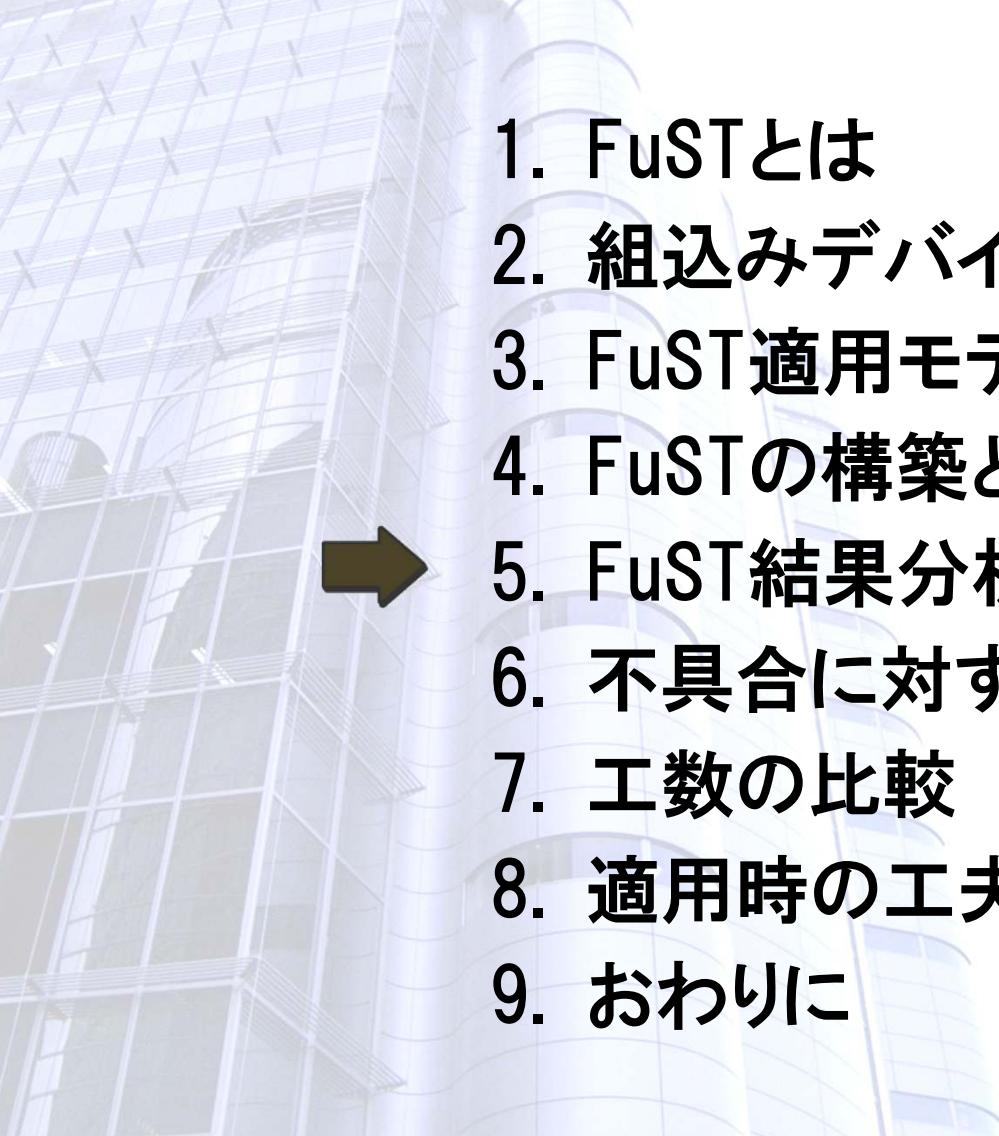
テストデバイス内の各マクロからの返り値
周辺デバイス($\alpha \sim \gamma$)からの出力値、特性値
テストデバイスの電源電圧値、消費電力値

使用計測器 オシロスコープ
ロジスティックアナライザ
マルチメータ
LabVIEW など



判定基準は仕様より抽出し、機能と特性値を判定

● プрезンテーションの流れ

- 
- 1. FuSTとは
 - 2. 組込みデバイスとテストの現状
 - 3. FuST適用モデル
 - 4. FuSTの構築と実施
 - 5. FuST結果分析
 - 6. 不具合に対する処置
 - 7. 工数の比較
 - 8. 適用時の工夫と課題
 - 9. おわりに



5. FuST実施結果例(表内の数値は参考値です。)

| | 1 0:正常/1:疑正 常 | 2 0:無効/1:有効 | 3 マクロ リセット | 4 スリープマクロ α | 5 スリープマクロ β | 6 0:(小→大)/ 1:(大→小) | 7 0:(小→大)/ 1:(大→小) | 8 0:(小→大)/ 1:(大→小) | 9 0:(細→荒)/ 1:(荒→細) | 10 1:(細→荒)/ 0:(荒→細) | 11 0:(細→荒)/ 1:(荒→細) | 12 0:(細→荒)/ 1:(荒→細) | 13 0:ライト/1:リード /リード | 14 0: +側 / 1: -側 | 15 0:冷却/1:加熱 | 消費電力値 | テストデバイス内の電圧値 α | テストデバイス内の電圧値 β | テストデバイス内の電圧値 γ | テストデバイス内の電圧値 D | 機能動作判定 | 特性値判定 | 不具合発見 No |
|----|---------------------|----------------|---------------|-----------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|-----------------|-------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------|--------|--------|----------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1481 | 1.063 | 1.110 | 1.702 | 2.489 | ○ | Better | |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2100 | 1.062 | 1.102 | 1.701 | 2.491 | △ | NG | 4 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1650 | 1.061 | 1.202 | 1.797 | 2.503 | ○ | Better | |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1680 | 1.063 | 1.202 | 1.797 | 2.503 | ○ | Better | |
| 5 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1980 | 1.108 | 1.097 | 1.602 | 2.350 | △ | Worst | 1,2 |
| 6 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1905 | 1.107 | 1.099 | 1.601 | 2.380 | △ | Worst | 1,2 |
| 7 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1610 | 1.100 | 1.202 | 1.799 | 2.381 | ○ | Better | |
| 8 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1675 | 1.101 | 1.203 | 1.800 | 2.375 | ○ | Better | |
| 9 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1681 | 1.101 | 1.099 | 1.798 | 2.503 | ○ | Better | |
| 10 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1531 | 1.102 | 1.096 | 1.801 | 2.503 | ○ | Better | |
| 11 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1512 | 1.103 | 1.202 | 1.702 | 2.495 | ○ | Better | |
| 12 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1556 | 1.101 | 1.203 | 1.704 | 2.496 | ○ | Better | |
| 13 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1890 | 1.055 | 1.111 | 1.800 | 2.353 | △ | Bad | 3 |
| 14 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1883 | 1.058 | 1.112 | 1.798 | 2.368 | ○ | Bad | |
| 15 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1875 | 1.058 | 1.202 | 1.603 | 2.359 | ○ | Bad | |
| 16 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1895 | 1.057 | 1.203 | 1.601 | 2.350 | △ | Bad | 3 |

5. FuST実施結果(発見された不具合例)

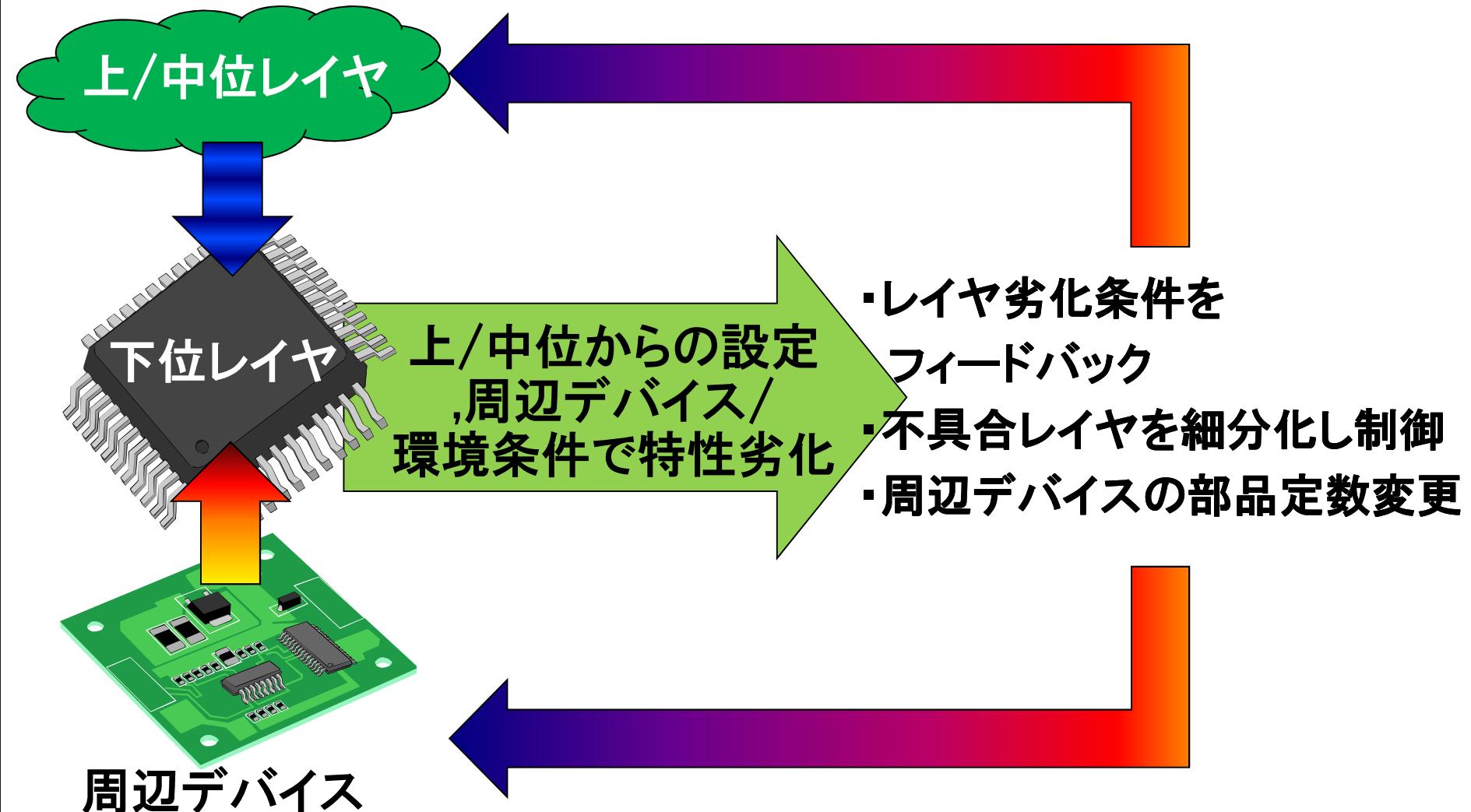
| No | 検出レイヤ | 不具合の内容 | 不具合の原因 |
|----|-----------|--------------------------------------|---------------------------------|
| 1 | 中位/ 下位 | ・下位レイヤ内の配線ミスと レジスタ設定不具合 | ・仕様 ・下位レイヤ ・中位レイヤ |
| 2 | 上位/ 中位 | ・クロックスリップと リセットの機能競合 | ・仕様 ・下位レイヤ ・上位/中位レイヤ設定不具合 |
| 3 | 下位 | 中位/上位が高負荷制御時において テストデバイス内の電源電圧が逆転 | ・仕様(下位レイヤ) |
| 4 | 下位 | 中位/上位が高負荷制御時において 消費電力が定格を超えててしまう | ・仕様(下位レイヤ) |

● プрезンテーションの流れ

1. FuSTとは
2. 組込みデバイスとテストの現状
3. FuST適用モデル
4. FuSTの構築と実施
5. FuST実施と結果分析
6. 不具合に対する処置
7. 工数の比較
8. 適用時の工夫と課題
9. おわりに



6. 不具合に対する処置例

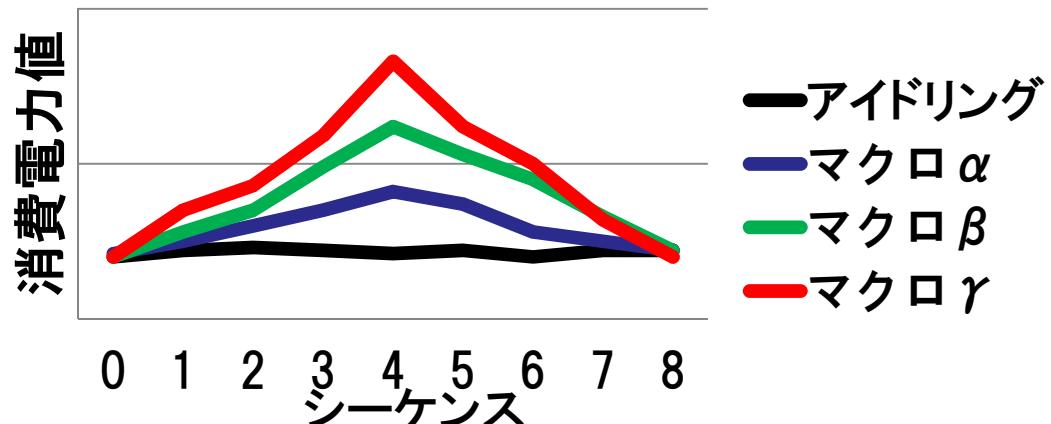


6. 不具合処置後の特性値例(表内の数値は参考値です)

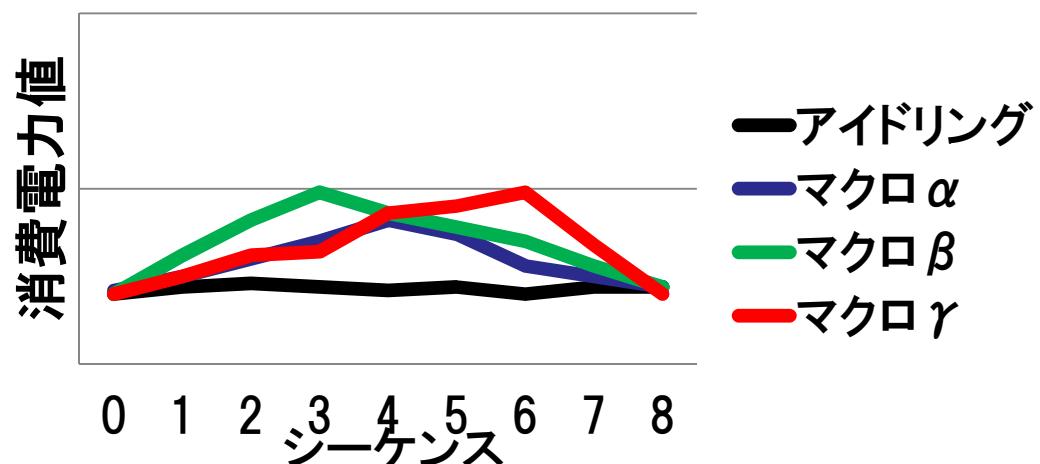
特性値劣化の要素を抽出
してテストを行った。

| | スリープデバイス | | | 消費電力値(Peak) | |
|---|---------------|---------------|--------------|---------------|-------|
| | 0:無効/ 1:有効 | デバイス α | デバイス β | デバイス γ | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.936 |
| 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0.706 |
| 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0.431 |
| 4 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0.312 |

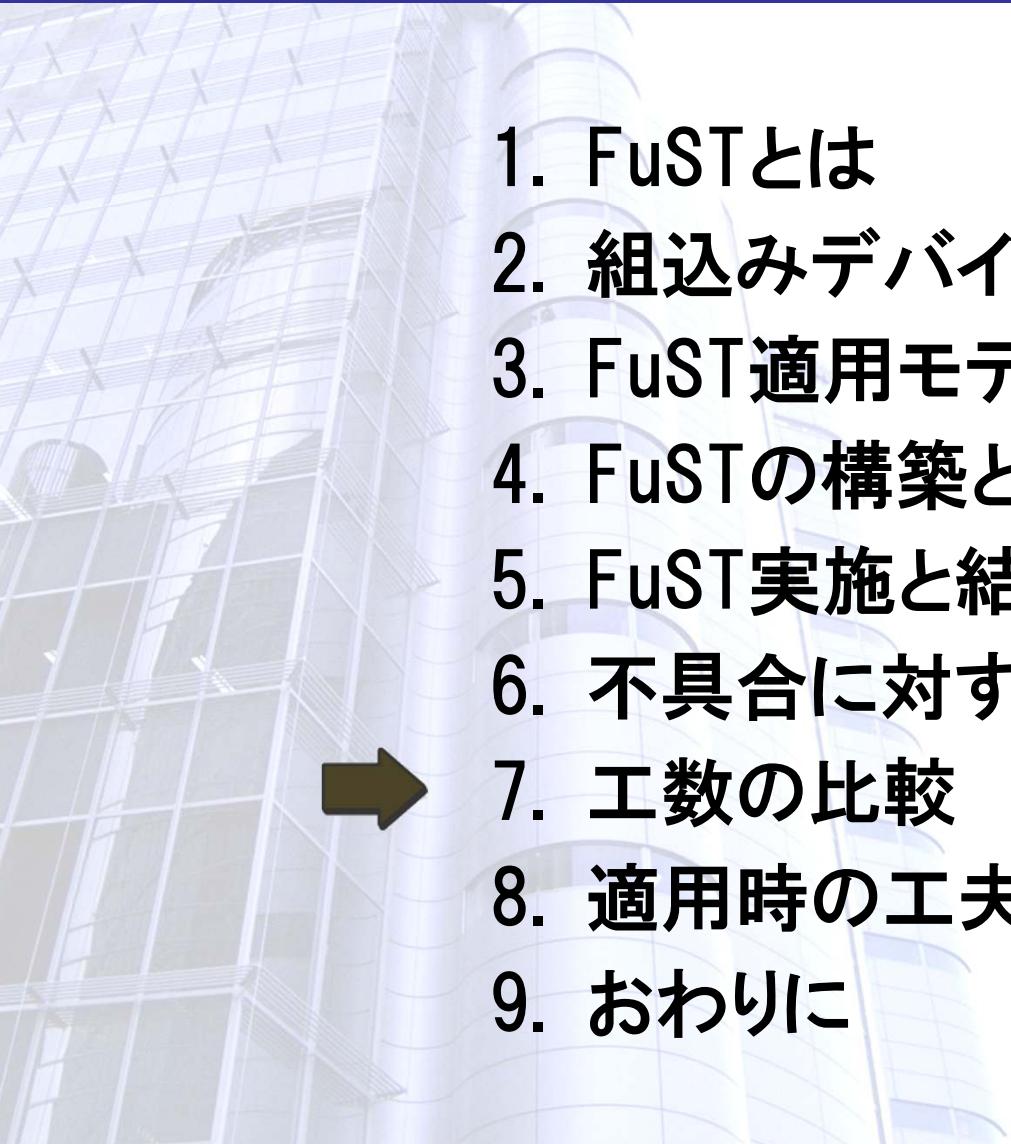
不具合対処前



不具合対処後

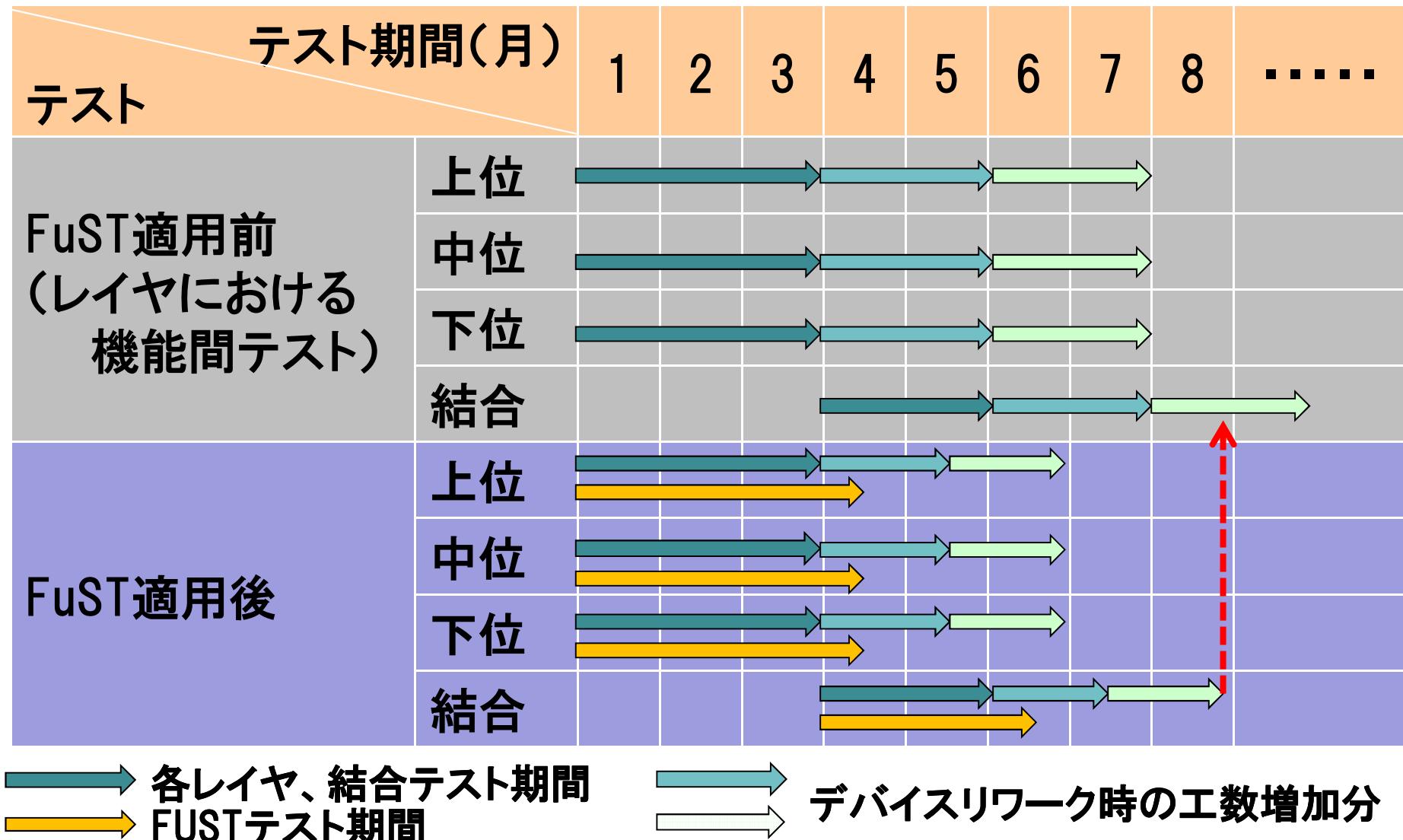


● プрезンテーションの流れ

- 
1. FuSTとは
 2. 組込みデバイスとテストの現状
 3. FuST適用モデル
 4. FuSTの構築と実施
 5. FuST実施と結果分析
 6. 不具合に対する処置
 7. 工数の比較
 8. 適用時の工夫と課題
 9. おわりに



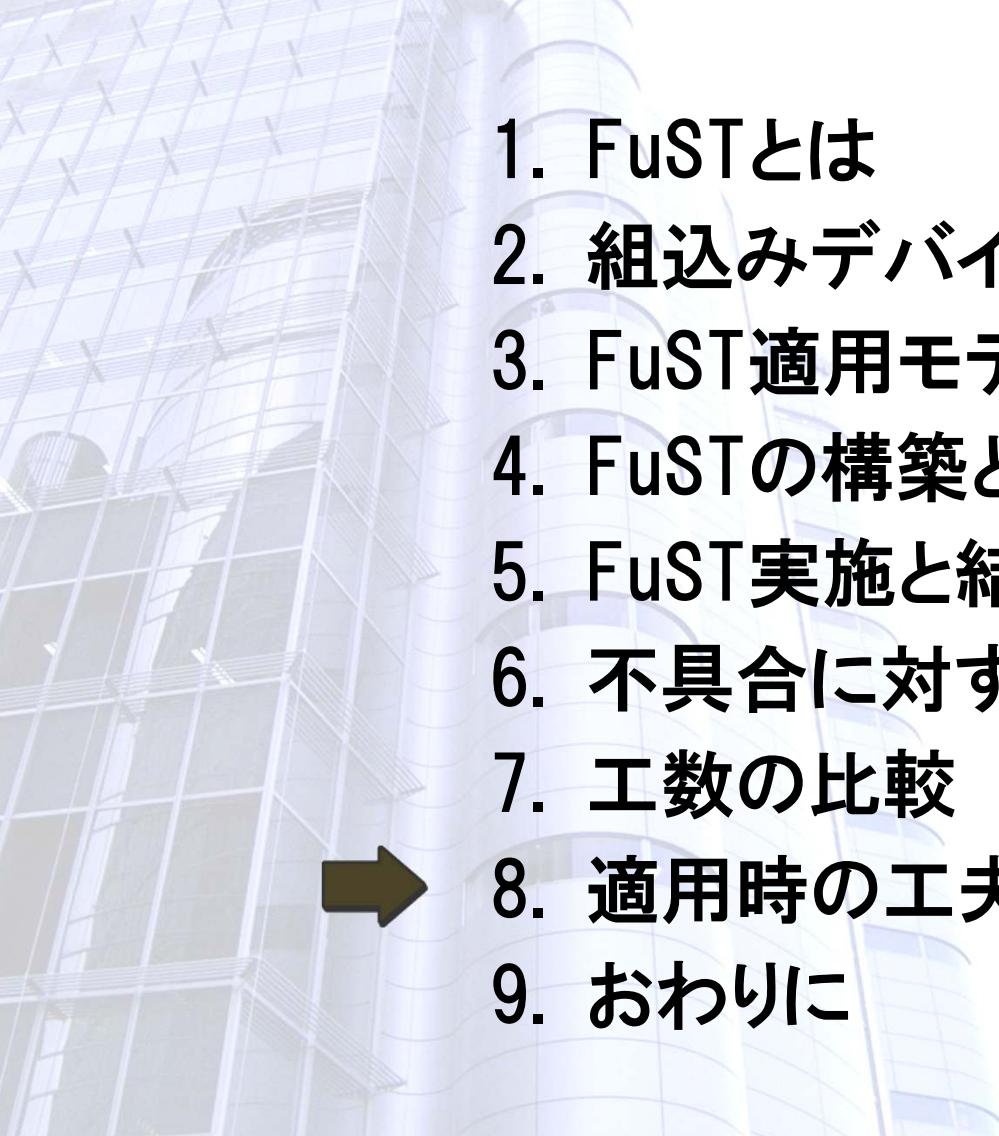
7. 工数の比較



7. テスト方法の比較

| No | 適用前(レイヤ内機能間テスト) | FuST適用後(機能内レイヤ間テスト) |
|----|--|---|
| 1 | <p>メリット</p> <ul style="list-style-type: none">・設計したレイヤのテストなので テストと項目の見積もりが簡単・今まで以上に工数を必要としない | <ul style="list-style-type: none">・機能と特性値の関係が明確となる。 (特性悪化の原因が抽出できる)・各レイヤへリスク分散ができる・市場に投入される製品(環境)と ほぼ同じ動作 |
| 2 | <p>デメリット</p> <ul style="list-style-type: none">・機能動作時の不具合箇所や 特性値が判らない・リワーク回数が多くなる・市場に投入される製品とは動作 (環境)が違う | <ul style="list-style-type: none">・短期的に工数を要する |

● プрезンテーションの流れ

- 
1. FuSTとは
 2. 組込みデバイスとテストの現状
 3. FuST適用モデル
 4. FuSTの構築と実施
 5. FuST実施と結果分析
 6. 不具合に対する処置
 7. 工数の比較
 8. 適用時の工夫と課題
 9. おわりに



8. 適用時の工夫と課題

工夫

1. シナリオを使いオートマチックテストが行えるよう環境構築した。
2. テスト環境を回帰(リグレッション)テストや派生モデルにも再利用を行った。

課題

1. NDAや特許の制約
2. LabViewの試験構成構築、テスト用シナリオ作成や修正にも時間が必要であった。

● プрезンテーションの流れ

1. FuSTとは
2. 組込みデバイスとテストの現状
3. FuST適用モデル
4. FuSTの構築と実施
5. FuST実施と結果分析
6. 不具合に対する処置
7. 工数の比較
8. 適用時の工夫と課題
9. おわりに



9. おわりに

1. 今後更なる高機能化、高特性化が予想され、レイヤ内テストではテストが不十分になる。
2. 各レイヤの設計者も他レイヤの機能を理解し、シームレスな関係でなければテスト設計できなくなる。
3. 段階的にテスト対象機能をズームイン/アウトを行い、誤差因子も含んだFuSTを確立したい。
4. シミュレーションと連携して機能や性能をテストし品質を向上を行いたい。

ご清聴ありがとうございました。

日本システムウェア(株)
プロダクトソリューション事業本部
プラットフォームソリューション事業部 ネットワークデザイン部

永田 充

Email : mnagata1@gw.nsw.co.jp