

組合せ技術を利用したソフトウェアテスト

Software Test Using Combination Technology

小笠原 秀人 中野 隆司 大谷 和夫

■ OGASAWARA Hideto ■ NAKANO Takashi ■ OHTANI Kazuo

東芝は、テストケース生成支援ツール APTNavi™ (All Pair Testing Navigation Tool) と、このツールを効果的に活用するためのテストプロセスを開発した。APTNavit™ は、直交表と All-Pair 法の二つの組合せ技術を活用し、出現する水準に偏りがなく、2 因子間の網羅度が 100 % となるテストケースの生成を実現している。

これまで重複してテストを実施していたため同じ原因による欠陥を複数抽出していたが、このツールとプロセスを適用することにより、欠陥を重複してむだに抽出しないよう改善することができた。

With the exponential growth in the scale and complexity of systems and software in recent years, the number of combinations of software test cases has been dramatically increasing. It is substantially difficult to comprehensively cover all test cases, leading to growing demand for an effective and efficient combination test.

With this as a background, Toshiba has developed APTNavi™ (all pair testing navigation tool), a test case generation support tool, with both the orthogonal array and the all-pair method as combination technology. APTNavit™ makes it possible to generate a test case in which the rate of complete coverage between two factors with sufficient balance becomes 100%. As a result of applying this tool and process, the effect of reducing useless test items performed repeatedly was confirmed.

1 まえがき

近年、システムやソフトウェアの大規模・複雑化に伴い、テストケースの組合せの数が爆発的に増大し、100 % 網羅してテストを行うのは実質的に困難な状況にある。このような背景のなか、組合せテストを網羅的かつ効率的に実施するためのテスト技法として“直交表や All-Pair 法を利用したソフトウェアテスト”がある。東芝は、効果的で効率的な組合せテストの実現のために、テストケース生成支援ツール APTNavi™ (All Pair Testing Navigation Tool) を開発した。

ここでは、まず、組合せ技術を利用したソフトウェアテストの考え方と、組合せテストを効果的に実施するためのプロセスについて述べる。次に、APTNavit™ の概要を述べ、更に、自動改札機システムのソフトウェア総合テストに適用した結果を述べる。

2 組合せ技術を利用したソフトウェアテスト

組合せ技術を利用したソフトウェアテストは、直交表や All-Pair 法を使って、因子（機能、条件項目、変数など）と水準（機能の種類、条件項目の選択肢、変数の値など）の組合せの中からテストケースを合理的に選択し、テストの効率化を図る技法である。

直交表とは、ある因子のどの水準に対しても、ほかの因子の水準すべてが任意の 2 因子間で同数回ずつ現れる表のこと

を言い、その性質上、2 因子間のすべての組合せを網羅している。一方、All-Pair 法では、2 因子のすべての組合せが出現するように、アルゴリズムを使って直接テストケースを生成する。

直交表や All-Pair 法を用いることで、二つの因子間のすべての組合せを網羅したテストケースが作成できる。

2.1 基本的な考え方

図 1 に示すように、三つのパラメータ値から成る四つの項目（原稿サイズ、用紙サイズ、分割、カラー）を持つ印刷設定の場合を例に、テストケースについて考える。四つの項目を因子と

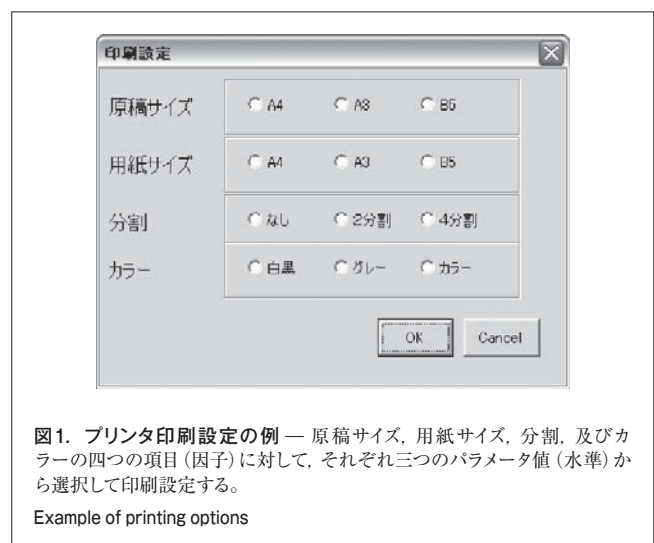


図 1. プリンタ印刷設定の例 — 原稿サイズ、用紙サイズ、分割、及びカラーの四つの項目（因子）に対して、それぞれ三つのパラメータ値（水準）から選択して印刷設定する。

Example of printing options

表1. L9直交表を適用した場合のテストケース

Test cases applying L9 orthogonal array

No.	原稿	用紙	分割	カラー
1	A4	A4	なし	白黒
2	A4	A3	2分割	グレー
3	A4	B5	4分割	カラー
4	A3	A4	2分割	カラー
5	A3	A3	4分割	白黒
6	A3	B5	なし	グレー
7	B5	A4	4分割	グレー
8	B5	A3	なし	カラー
9	B5	B5	2分割	白黒

呼び、それぞれのパラメータ値、例えば、原稿サイズのA4、A3、B5を水準と呼ぶ。この例では、3水準を持つ因子が四つあるため、複数存在する直交表の中から最適なL9直交表をこの例に用いると、表1に示す九つのテストケースが作成できる。テストを行う際は、表1のNo.1で示した一行（原稿サイズ“A4”，用紙サイズ“A4”，分割“なし”，カラー“白黒”）を一つのテストケースとして実施する。この表を詳細に見ていくと、2因子間の組合せがすべて出現していることがわかる。

本来、テストケースには入力だけでなく期待する出力（結果）などを明記する必要があるが、ここでは、入力の組合せを便宜的にテストケースと呼ぶ。

この例のL9直交表では、総当たりで $3 \times 3 \times 3 \times 3$ の81通りのテストケースを9通りに減らしている（89%削減）。

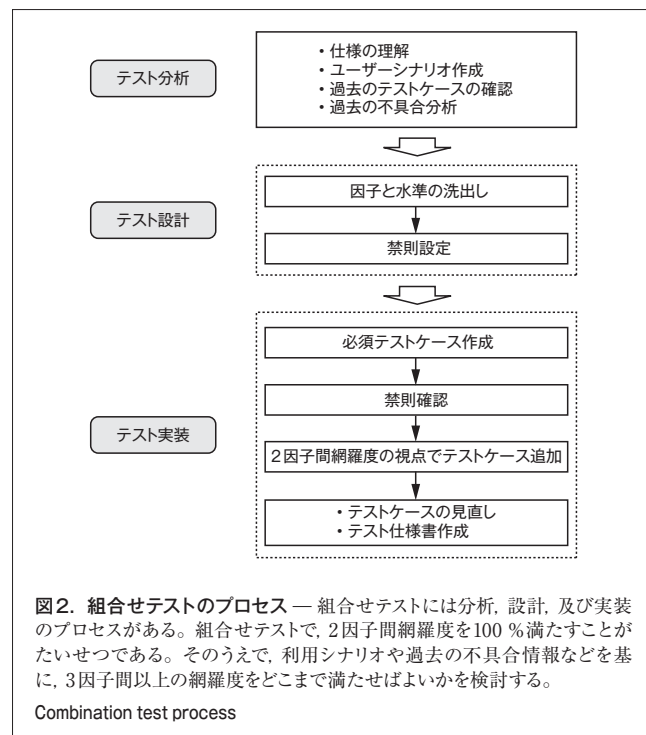
ソフトウェアの欠陥は、多数ある因子が特定の組合せのときだけに発生するケースはまれで、多くのケースでは、2因子の組合せを基準にしてチェックすれば検出することができる、と言われている⁽¹⁾。これが組合せ技術を利用するにあたっての大前提になる。組合せ技術を利用してテストケースを作成すると、2因子の組合せはすべて網羅することができる。2因子の組合せの網羅で十分かどうかは、過去の不具合などを分析して事前に検討する必要がある。

2.2 効果的な利用プロセス

ソフトウェアテストにおいて、組合せテストはテスト工程全体を構成する要素の一つである。組合せテストだけの取組みを強化しても、テスト工程全体の最適化にはつながらない。

当社では、上流から下流まで一貫した品質管理の枠組みとして、レビューや、インスペクション、静的解析、テストなどを中心とする技術を基本としている。この技術の適用に際して重要なことは、開発及び設計のフェーズと並行して、テストのプロセスを実施することである（W字モデル：この特集のp.34 囲み記事参照）。

上流工程で策定するテスト戦略及びテスト計画の中で、組合せテストを実施する範囲とタイミングを決め、使用ツールや、テスト環境、テスト担当者などを明確にする。この計画に基づき



スケジュールを詳細化し、組合せテストの分析、設計、及び実装を進めていく。

組合せテストのプロセスを図2に示す。このプロセスで実施する内容を以下に示す。

- (1) テスト分析 仕様を十分に理解したうえで、使われ方（ユーザーシナリオ）を整理する。次に、過去の類似製品でのテスト実施状況を確認する。並行して、過去の欠陥情報から組合せが原因の欠陥を特定し、どのような組合せで発生していたのかを確認する。この作業を通して、組合せテストを実施する範囲を特定し、テスト項目数や工数を見積もる。
- (2) テスト設計 組合せテストを実施する際にもっともたいせつなことは、テスト対象の因子と水準を漏らさず抽出することである。因子と水準を抽出する際のポイントを以下に示す。
 - (a) 因子と水準の候補として、テスト対象となる項目（機能、条件項目、変数など）とその値を抽出する。
 - (b) ほかの因子に影響を与える依存関係があるかどうかを検討し、ないと判断できるものは組合せを確認する必要がないので因子から外す。
 - (c) 連続値の場合は、同値分割と境界値分析を使って代表的なものを水準として特定する。
 - (d) 連続値でない場合も、処理が同一とみなせる場合は、代表的なものを水準として設定する。

これらのポイントを考慮して因子と水準を抽出した後、禁則（実現できない組合せ）を設定する。2因子間の禁則

は、因子と水準をマトリックスで展開して設定する。3因子間以上の水準の組合せとなる禁則も別途設定する。

(3) テスト実装 この段階では、2因子間の網羅度が100%となっていることを常に確認しながら、テストケースを作成し修正することが大切である。

最初に、テスト設計で洗い出した因子と水準の組合せで、必ず実施したいテストケースを作成する。次に、テストケースをレビューし、禁則条件を再確認する。禁則の組合せがあった場合には、このテストケースを取り除き、最低限2因子間の組合せをすべて網羅させるようにテストケースを追加していく。また、3因子間の網羅度を高く設定しておきたい組合せがあれば、その網羅度を確認し、必要に応じてテストケースを追加する。

最後に、生成したテストケースに対して、期待値やその他の情報を付加してテスト仕様を完成させる。

3 組合せテストケース生成支援ツールAPTNavitTM

All-Pair法では組合せに偏りが発生する、直交表では因子・水準数にマッチした直交表が見つげづらく、テストケース数が直交表のサイズに依存して多くなることがあるという問題があ

るが、APTNavitTMでは、All-Pairと直交表法の両手法を取り入れることで、これらを解決している。図1で示した例から因子と水準を抽出し、用紙サイズ“B5”と分割“4分割”を禁則として設定してテストケースを生成した例を図3に示す。

3.1 APTNavitTMの機能概要

APTNavitTMの機能リストを図4に示す。これらは、2章で述べた組合せテストプロセスを効果的かつ効率的に設計し実施するためのものである。以下に、主な機能の概要を示す。

- (1) 2因子間網羅度計算 テストケースの2因子間網羅度を計算
- (2) 禁則設定 2因子間又は3因子間以上の禁則の組合せを設定し、網羅度計算及びテストケース生成に反映
- (3) 禁則確認 設定しておいた禁則に従い、テストケース上で禁則の組合せを表示
- (4) テストケースチェック 2因子間網羅度を100%にするのに不要と思われるテストケースを表示
- (5) テストケース追加(生成) 2因子間網羅度を100%にするのに必要なテストケースを追加(生成)
- (6) 3因子間網羅度計算 任意の3因子間ごとの網羅度と、全体の3因子間網羅度を算出

因子と水準の洗出し

因子名	水準1	水準2	水準3	水準4	水準5
原紙	A4	A3	B5		
分割	なし	2分割	4分割		
カラー	白黒	グレー	カラー		

禁則設定

原紙	甲紙	分割	カラー
A4	A4	なし	白黒
A4	A3	2分割	グレー
A4	B5	4分割	カラー
A3	A4	2分割	カラー
A3	A3	4分割	白黒
A3	B5	なし	グレー
B5	A3	なし	カラー
B5	B5	2分割	白黒
B5	A4	なし	グレー
A4	A4	4分割	グレー

テストケース生成

原紙	甲紙	分割	カラー
1 A4	A4	なし	白黒
2 A4	A3	2分割	グレー
3 A4	B5	4分割	カラー
4 A3	A4	2分割	カラー
5 A3	A3	4分割	白黒
6 A3	B5	なし	グレー
7 B5	A3	なし	カラー
8 B5	B5	2分割	白黒
9 B5	A4	なし	グレー
10 A4	A4	4分割	グレー

図3. APTNavitTMの概要 — 因子と水準を抽出し、禁則を設定すると、禁則の関係が現れないように2因子間網羅度を100%満たすテストケースが自動生成される。

Overview of APTNavitTM combination test case generation support tool

図4. APTNavitTMの機能リスト — APTNavitTMの機能リストから、目的に応じた機能を簡単に実行することができる。

Function list of APTNavitTM

3.2 APTNavitTM利用の利点

APTNavitTMを利用すると、2因子間の組合せを網羅するテストケースが容易に生成でき、効率良いテストが実施できる。また、機械的に組合せが作成されるので、開発者が想定していない組合せで欠陥を発見できることもある。更に、禁則の組合せが数多くある場合に、これを人手で回避するのは非常に煩雑であるが、APTNavitTMではこれを容易に行うことができる。

4 自動改札機システムへの適用

自動改札機システムは、都市圏で既に社会のインフラとして定着し、高品質を要求されているが、APTNavITMをそのソフトウェア総合テストに適用した事例を述べる。

近年、自動改札機システムの高度化に伴い、判定処理は複雑さがいっそう増している。例えば、取り扱う媒体としてICカードと磁気券があり、取り扱う券の種類としては定期券や、普通券、回数券、長距離券など、数百種類に及んでいる。改札機の処理としては、乗車区間の判定、複数枚の経路接続、複数ルートからもっとも安いルートの運賃計算などを、券放出までの数秒というオーダーで処理しなければならない。

このような状況の下、複数枚の券の組合せを確認するために、通常、数十万件のテストを実施している。

4.1 組合せテストへの適用

組合せテストにおける大きな課題は、テストの網羅度を正確に把握することができなかつたことである。このため、テスト漏れによる欠陥がなくならない、テスト経験が長い担当者への依存度が高い、といった問題につながっていた。このような問題を解決するため、2.2節で示したプロセスを実現するためのテストプロセス改善を組織的に推進している。

以下に、APTNavITMを接続判定のテストに適用した結果を述べる。

- (1) 接続判定の概要 A駅から在来線で出発し、B駅で特急路線に乗り換えるとき、B駅までの在来線券とB駅からの特急券が必要となる。B駅における接続判定の組合せテストとしては、券の接続パターン、在来線券、及び特急券の三つの因子の組合せを網羅しなければならない。
- (2) 因子と水準の洗い出し 接続パターンとしては、“在来線券と特急券の接続が一致する”、“接続しない”など6種類の水準に整理することができる。また、在来線券、特急券の券種はそれぞれ5種類の水準が存在する。
- (3) テストケースの生成 前述した因子と水準の場合の総組合せ数は150通り(=6×5×5)となる。洗い出した因子と水準をAPTNavITMに設定すると、2因子間の網羅度100%を満たす30種類のテストケースが生成される。

4.2 適用効果

接続判定のテストにAPTNavITMを適用した結果、特定の在来線券をほかと組み合わせたときに欠陥が検出できた。これは、従来のテストでは全組合せテストを実施するため、重複したテストで同じ原因の欠陥を複数検出していた。

このように、2因子間の網羅度100%を保証した組合せテストはテスト量が1/5に削減され、効率化を図ることができた。また、余裕ができた時間を使って新たな組合せのバリエーションを増やしたため、発見できた欠陥密度も従来に比較して高くなっている。

今回、接続判定のテストでAPTNavITMを使うために、以下のようなテスト設計作業を行っている。

- (1) テスト計画時にリスクを洗い出し、対応方法を検討
- (2) テストマトリックスによる仕様とテスト項目の関係を明確化
- (3) 個々のテスト項目で利用するテスト技術(同値分析、境界値分析など)とテスト方法(組合せテスト、負荷テストなど)の特定

このような活動を継続して推進することによって、テストの資産が組織として蓄積され、特定の個人に依存しない仕組みが確立できると考えている。

5 あとがき

今後、システムやソフトウェアの開発に際しては、開発のコスト及び期間の短縮と品質向上という二律背反の要求を両立させることがより強く求められると考えている。

その解決策の一つとして、テストプロセスの改善が重要な役割を担っている。今回述べた組合せ技術を利用したソフトウェアテストを高度化するとともに、テストプロセスの最適化につながる活動を強化していく。更に、テストプロセス改善結果を開発工程へフィードバックして、開発工程の最適化を推進する活動につなげていく。

文 献

- (1) 吉澤正隆, ほか. ソフトウェアHAYST法入門. 日科技連出版社, 2007, 204p.



小笠原 秀人 OGASAWARA Hideto

ソフトウェア技術センター プロセス・品質技術開発担当主査。
ソフトウェアテスト技術の開発に従事。IEEE, 情報処理学会,
電子情報通信学会, プロジェクトマネジメント学会会員。
Process and Quality Technology Group



中野 隆司 NAKANO Takashi

ソフトウェア技術センター プロセス・品質技術開発担当。
ソフトウェアテスト技術の開発に従事。情報処理学会, 品質
管理学会会員。
Process and Quality Technology Group



大谷 和夫 OHTANI Kazuo

東芝ソシオシステムズ(株) ソフトウェア設計部主幹。
駅務自動化システムのソフトウェアテスト技術の開発に従事。
Toshiba Social Automation Systems Corp.