

直交表とオールペア法の並行運用によるソフトウェアテスト —手法と強さ、因子、水準の選択ガイドライン—

五味 弘[†] 辻村 浩[†] 小池 宏道[†] 須田 健二[‡]

† 沖電気工業株式会社 〒335-8510 埼玉県蕨市中央 1-16-8 OKI システムセンター

‡ 群馬工業高等専門学校 〒371-0845 群馬県前橋市鳥羽町 580

E-mail: †{gomii521, tsujimura543, koike419}@oki.com, ‡ suda@ice.gunma-ct.ac.jp

あらまし ソフトウェアの組合せテストを効率化するために直交表とオールペア法が多く用いられている。しかし今までほどちらかの手法のみで運用することが多く、また組合せの強さを 2 で固定するなど、限定的な使い方がなされていた。そこで我々は対象のソフトウェアに適した手法を直交表とオールペア法から選択し、因子やその水準、そして因子間の強さを選択するためのガイドラインを示す。また多因子、多水準、混合水準、2 または 3 以上の強さに対応した直交表を生成するツールを作成したので、これも合わせて報告する。

キーワード 直交表、カバリングアレイ、被覆配列、オールペア法、ソフトウェアテスト、ガイドライン

Concurrent operations by Orthogonal Arrays and Pairwise Testing Methods for Software Testing

—The Guideline for selecting a Method and its strength, factor, level in Orthogonal Arrays
and Pairwise Testing—

Hiroshi GOMI[†] Hiroshi Tsujimura[†] Hiromichi KOIKE[†] and Kenji SUDA[‡]

† Oki Electric Industry Co.,Ltd. 1-2-3 Chuo, Warabi-shi, Saitama, 335-8510 Japan

‡ Gunma National College of Technology 580 Toriba-machi, Maebashi-shi, Gunma, 371-0845 Japan

E-mail: †{gomii521, tsujimura543, koike419}@oki.com, ‡ suda@ice.gunma-ct.ac.jp

Abstract An orthogonal array and pairwise testing are widely used in software testing. But Either Orthogonal Arrays or pairwise testing methods which are strength 2 is used in software testing. We make a guideline for selecting a method and its strength, factor, level in orthogonal arrays and pairwise testing, and then we execute a suitable software-testing method. Furthermore we report that we make the tool for generating orthogonal arrays which supports the strength of 2 and over, and multi-factor, multi-level, mixed-level.

Keyword Orthogonal Array, Covering Array, Pairwise Testing, Software Testing, Guideline

1. はじめに

ソフトウェアテストにおける組合せテストではすべての組合せをテストすると膨大なテスト回数になり、組合せテストの効率化が求められる。この効率化を行う手法として直交表とオールペア法がある。

しかし今までにはテスト対象であるソフトウェアの性質に依存せずにどちらかの手法のみを用いることが多く、また組合せテストの因子間の強さも 2 で限定していることが多かった。そこで我々はまず任意の強さの直交表が生成可能なツールを作成した。そしてこのツールと既存のオールペア法のツールを並行運用して、対象のソフトウェアの性質に適したソフトウェアテストができるようにした。

本稿ではまず作成した直交表ツールを述べ、次に我々が導入しているオールペア法のツールを紹介する。

そして直交表とオールペア法の比較を行い、並行運用するためのガイドラインを示す。最後に適用事例を紹介する。

これらにより、対象のプログラムの性質に適した組合せテストの効率化と品質保証が行えるようになった。

2. 直交表とそのツール

ここでは直交表と、我々が開発を行っている直交表生成ツール Galois について述べる。

2.1. 直交表

直交表は実験計画法などに用いられる表で、また、ソフトウェアテストなどの組合せテストを効率的に行うために用いられる表である。

直交表の行は因子と呼ばれ、ソフトウェアテストではテスト項目に相当し、列数は直交表の大きさと呼ば

れ、各列はソフトウェアテストでは1回のテストに相当する。また直交表の要素は水準と呼ばれ、ソフトウェアテストではテスト項目の値になる。

(定義) ここで強さ t 、因子数 m 、水準数 q 、大きさ n の直交表 $OA(n, m, q, t)$ とは、以下の性質を満たす表のことである。

(性質) 表から、任意の t 個の行を取り出した部分表は、その表の各列に出現する要素の組合せの出現が同一回数になる。この同一回数の出現をここでは「均一出現」と呼ぶ。

(例)

表 1. 直交表の例 $OA(8, 4, 2, 3)$

	1回	2回	3回	4回	5回	6回	7回	8回
因子1	0	0	0	0	1	1	1	1
因子2	0	0	1	1	0	0	1	1
因子3	0	1	0	1	0	1	0	1
因子4	0	1	1	0	1	0	0	1

表 1 は強さ 3 の直交表の例である。どの 3 行をとっても、要素の出現の組合せは、000, 001, …, 110, 111 の出現が 1 回ずつ同数回の出現になる。

これは大きさ 8、因子数 4、水準数 2、強さ 3 の直交表であるので、 $OA(8, 4, 2, 3)$ と表記する。

一方 $Ln(q^m)$ の表記は強さ 2 に限定した大きさが n で因子数が m 、水準数が q の直交表の表記である。また単に Ln のように表記する。例 $.L16$ は大きさが 16 で、強さを 2 に限定した直交表の表記である。

直交表の均一出現（同一回数の出現）という性質により、ソフトウェアの組合せテストでは与えられた強さよりも大きいときでも網羅率の良いテストが期待される。この網羅率については 4 章で後述する。

また強さを限定することで効率的なテストができる。例えば、8 因子 4 水準で全組合せのテストすると 4 の 8 乗の 65,536 回のテストが必要であるが、強さ 2 の直交表で組合せテストを実施すると、64 回のテストで実施できる。そしてこの 64 回のテストで組合せが 2 個のペアが同数個出現することを保証している。

2.2. 直交表生成ツール Galois2013

直交表生成ツールには Galois2008^[1] や HYAST 法^[7]などがある。図 1 に示す直交表生成ツール Galois2008^[1] のアルゴリズムをベースにして我々は新たに直交表生成ツール Galois2013 を作成したので、これを報告する。



図 1. 直交表ツール Galois2008 (入力画面)

2.2.1. Galois2013 の実行

Galois2013 は多因子や多水準、混合水準、2 または 3 以上の強さに対応した直交表を生成するツールである。図 2 に Galois2013 の実行例を示す。この例では名前と年齢、性別、趣味の 4 因子で、その水準数は 4 個である。但し水準数が 4 個未満のものは Galois2013 により自動的に水準値が記載順に挿入される。

Galois2013 は組合せテストの因子と水準が書かれた入力ファイル input.csv を与え、コマンドラインで実行するツールである。図 2 は Galois2013 の入力ファイル input.csv の例を示し、図 3 は Galois2013 で生成されたテストの一部を示している。

名前,五味,須田,辻村
年齢,20台,30台,40台,50台
性別,男性,女性
趣味,漫画,旅行,プログラミング

図 2. テスト項目の入力ファイル input.csv

```
>galois2013 input.csv 3
名前 年齢 性別 趣味
五味 20台 男性 漫画
五味 30台 女性 旅行
五味 40台 男性 プログラミング
五味 50台 女性 漫画
(snip)
須田 20台 男性 プログラミング
須田 30台 女性 漫画
須田 40台 男性 漫画
須田 50台 女性 旅行
(snip)
```

図 3. 直交表ツール Galois2013(出力画面)

2.2.2. Galois2013 の実装と制限

Galois では与えられた有限体 $GF(q)$ から G 行列^{[1][2]}を生成して、これから直交表を生成する。ここで強さ

t の直交表を生成するときは、 G 行列のどの t 行をとっても一次独立であるようにしなければならない。**Galois** ではこのとき原始既約多項式を与えて一次独立な G 行列を生成している。図 4 の G 行列は表 1 の直交表を生成する G 行列である。この G 行列は強さ 3 の例である。

原始既約多項式 $PG(2,2) \ x^3=1+x$			
\downarrow			
G 行列			
2 次元 2 水準 4 因子 強さ 3			
G1: 1 0 0			
G2: 0 1 0			
G3: 0 0 1			
G4: 1 1 1			

図 4. 表 1 の直交表を生成する G 行列の例

一方、**Galois** は $GF(q)$ 上の G 行列を利用するためには、生成される直交表には以下の制限がある。

(制限 1) 水準数は素数か素数のべき乗に制限され、すべての因子で同じ値である必要がある。

例. 水準数は 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 13 がある

(制限 2) 水準数の混合は素数とその素数のべき乗の水準数のみの混合に制限される。

例. 水準数の混合は (2, 4, 8, 16) や (3, 9, 27), (5, 25) がある。このツールを使って、ソフトウェアテストをするときにはこれらの制限を緩和するために水準、つまりテストデータの値に既存の別の値(ダミーの値)を入れて、水準を上記の制限に合うようにする必要がある。このためには、(a) 手動で水準数を揃えるように因子を調整するか、(b) 手動でダミーの値を入れて水準数を揃えるか、(c) **Galois2013** ではダミーの値を自動的に挿入しているのでツールに任せるかを選択する必要がある。

一方、**Galois** の利点は、直交表の強さは任意に設定可能であり、因子数も任意に設定できる¹。例えば、**Galois2013** では以下のような直交表が生成できる。

(i) OA(243, 20, 3, 3)

20 因子 3 水準 強さ 3 大きさ 243 の直交表

(ii) OA(128, 11, 2, 4)

11 因子 2 水準 強さ 4 大きさ 128 の直交表

(iii) OA(32, ((1, 8), (8, 4)), 2)

1 因子 8 水準と 8 因子 4 水準の混合で強さ 2 大きさ 32 の直交表

また **Galois2013** は Java で開発しており、次に述べるオールペア法のツール **PICT** と同様なインターフェースを採用している。このため、両者のツールを並行して運用することが容易にできるようになっている。

¹ 実行時間とメモリ使用量により制限している。

3. オールペア法とそのツール

ここではオールペア法と、我々が導入しているオールペア法のツールを紹介する。

3.1. オールペア法

オールペア法またはペアワイズティング法は、名前の示す通り、テスト項目（直交表では因子）のすべてのペア（因子の 2 値の組合せ）を少なくとも 1 回はテストする組合せの出現を保証するものである。但し、直交表のように同数回の出現を保証しない。また組合せテストの出現の保証対象がペアであることから、直交表の強さ 2 に相当する。

3.2. カバリングアレイ

カバリングアレイ（Covering Arrays, 被覆配列）はオールペア法がテストをする組合せの出現の対象をペア（因子 2 値）に限定していたものに対して、2 値以上の任意個の組合せの出現を対象にしている配列である。つまりオールペア法は強さを 2 に限定したカバリングアレイを生成する手法であると言える。

カバリングアレイも直交表と同様に以下の表記を用いる。大きさ n 、因子数 m 、水準数 q 、強さ t のカバリングアレイを $CA(n, m, q, t)$ と表記する。これからオールペア法で用いる配列は $CA(n, m, q, 2)$ である。

(注意) オールペアやペアワイズという単語からは対象が 2 値であることを明示しているが、文献やツール^[8]では対象が 3 値以上の場合でもオールペア法と呼んでいることがあるので注意する必要がある。本稿でも **PICT** をオールペア法ツールと呼ぶ。

3.3. オールペア法ツール **PICT**

オールペア法ツール **PICT**^[9] は、名前はオールペア法（ペアワイズティング）になっているが、任意の強さが可能なカバリングアレイの生成ツールである。しかし以降は通例に従ってオールペア法ツール **PICT** とするが、カバリングアレイのツールであることに注意する必要がある。

図 5 に **PICT** の実行例を示す。入力データ **input.csv** は図 2 で示した **Galois2013** の入力ファイルと同じものを使用している。**PICT** は禁則処理や再利用に関しても対応しているコンソールアプリケーションである。またこれをエクセルから利用できるようにした便利なツール **PictMaster**^[9] も公開されている。

>pict input.csv /o:3			
名前	年齢	性別	趣味
辻村	20 台	男性	漫画
辻村	30 台	男性	プログラミング
須田	30 台	男性	旅行
五味	40 台	男性	旅行

図 5. オールペア法ツール **PICT**

4. 直交表とオールペア法の比較

ここでは直交表とオールペア法（カバリングアレイ）の比較を行い、この結果を元に5章で運用ガイドラインを示す。

4.1. 一般的比較

直交表とオールペア法の一般的な比較を行う。

(1) 水準数に関する制限

直交表では水準数は2.2.2の制限1と、混合水準で制限2を満たさないときは水準数を揃えるという制限があるが、カバリングアレイはこのような制限はない。

(2) 均一出現と網羅率

直交表の利点として水準組合せの同数回の出現（均一出現）がある。これはソフトウェアテストにおいて、テスト項目のデータの値の組合せが同じ回数だけ出現することであり、実験計画法では必須の条件になる。また、この利点によりテストの網羅性が向上することが期待される。この網羅性の詳細は4.3で後述する。

(3) テスト回数

カバリングアレイでは均一出現の条件がないので、テスト回数は直交表と比較して一般的に少なくなると考えられる。

(4) テスト回数の最小回数

上記でテスト回数は一般的にカバリングアレイの方が少なくなると述べた。しかし直交表ツールGaloisではテストの最小回数をほぼ保証しているが、一方で、多くのオールペア法ツールではそれを保証していない。

実際にGaloisとPICTでテスト回数を比較するとGaloisが少ないテスト回数になることがあった。このテスト回数の詳細は4.2で述べる。

(5) 強さ

強さが任意に設定できる直交表と比較して、出現の保証対象がペアに限定されるオールペア法ツールでは強さは2に限定される欠点がある。但しPICTはこの強さの制限はない。

(6) 禁則処理

テスト対象として起こりえない組合せを禁則組合せと呼び、その組合せが出現しないようにする処理を禁則処理と呼んでいる。この禁則処理はカバリングアレイではそのテスト対象を除くだけであるので実装することは容易である。一方、直交表ツールGaloisでも同様に取り除いているが、均一出現は保証していない。

4.2. テスト回数での比較

前節では一般的にオールペア法が直交表と比較してテスト回数が少くなると述べたが、オールペア法ツールではテストの最小回数を保証していない実装になっていることが多く、実際、PICTはGaloisよりも多くのテストが必要になることがあった。

表2でGaloisとPICTのテスト回数を比較した。

比較の○はPICTと比較してGaloisのテスト回数が少なくなったことを示し、△は同数であることを示している。空白はPICTの方が少ないことを表している。表2から直交表ツールGaloisがPICTと比較してテスト回数が少なくなっている例がある。これは因子数や水準数、強さが大きくなると直交表のテスト回数がオールペア法と比較して少なくなるためである。

表2. 直交表とオールペア法ツールのテスト回数の比較

因子数	水準	強さ	PICT		Galois	比較
			目標	回数		
3	2	2	4	4	4	△
7	2	2	7	8		
15	2	2	10	16		
31	2	2	12	32		
32	2	2	14	64		
4	2	3	8	8	△	
8	2	3	16	16	△	
16	2	3	23	32		
32	2	3	33	64		
5	2	4	23	16	○	
6	2	4	26	32		
8	2	4	34	64		
32	2	4	47	64		
4	3	2	13	9	○	
13	3	2	20	27		
40	3	2	27	81		
4	3	3	34	27	○	
10	3	3	65	81		
5	3	4	100	81	○	
11	3	4	249	243	○	
14	3	4	296	729		
5	4	2	22	16	○	
21	4	2	39	64		
6	4	3	111	64	○	
17	4	3	207	256		
5	4	4	333	256	○	
6	8	2	91	64	○	
6	8	3	846	512	○	

4.3. 網羅率での比較

これらの手法の別の比較観点としては、出現を保証する組合せの個数（強さ）よりも多い組合せの個数における網羅率がある。直交表は均一出現の性質があり、組合せの個数が多いときも比較的良い網羅率を示す。PictMasterは強さtのときに強さt+1の目標網羅率を設定することができる。しかし多くのオールペア法ツールではt+1の網羅率を考慮していないことが多い。表3にPictMasterとGaloisの網羅率の比較を示す。比較の○は回数も網羅率も両方ともGaloisが優れているものを示し、△はほぼ同じ結果であることを示し、-は回数が大きく違うので比較できない箇所を示す。

表3. 網羅率の比較

因子	水準	強さ	PictMaster		Galois		比較	
			目標	回数	網羅率	回数		
7	2	2	-	7	73.9	8	90.0	△
15	2	2	-	10	83.2	16	96.2	-
15	2	2	95	14	95.1	16	96.2	△
4	3	2	-	13	47.2	9	33.3	-
7	3	2	-	16	53.7	27	88.6	-
7	3	2	80	28	80.6	27	88.6	○
13	3	2	-	20	60.1	27	87.9	-
13	3	2	87	36	86.7	27	87.9	○
13	4	2	-	33	45.3	64	87.7	-
13	4	2	87	92	87.7	64	87.7	○
15	5	2	-	54	38.3	125	88.9	-
15	5	2	88	191	88.6	125	88.9	○

以上、述べてきた比較観点を表4にまとめる。

表4. 直交表とオールペア法（カバリングアレイ）の比較

	直交表	カバリングアレイ	オールペア法
ツール実装例	Galois	PICT(PictMaster)	TConfigなど多数
強さ	任意	任意	2個
因子の組合せ	同数回の出現	少なくとも1回	左同
強さ+1の網羅率	高い	PictMasterでは目標網羅率を設定可能だが低い	一般的な実装では低い
テスト回数	オールペア法と比較して多い	直交表と比較して一般的に少ない	左同
テストの最小回数	Galoisではほぼ保証	PICTでは保証していない	一般的な実表では保証していない
水準数の制限	素数か素数のべき乗に制限。水準数を揃える必要がある。	制限はない	左同
水準数混合の制限	素数とそのべき乗の混合に制限	制限はない	左同
禁則処理	均一出現を保証できない	PICTでは任意の禁則が可能	実装しやすい

5. 並行運用とその運用ガイドライン

4章で述べてきたように直交表ツール Galois とオールペア法ツール PICT はそれぞれ得失がある。このためプロダクトに応じて最適なツールやそのときの強さ、因子、水準などを決定する必要がある。ここではこのための並行運用とそのガイドラインを示す。

5.1. 並行運用の方針と課題対策

直交表とオールペア法を並行運用するために運用方針「(1) テスト実施者に負担を低減させるために2個のツールを透過的に運用し、(2) その結果を見て優れた方を採用することで、コストパフォーマンスの優れた組合せテストを実施する」を決めた。

複数のツールを並行運用するときは1個のときよりも多くの負担を掛ける課題があるが、それを以下のような並行運用の方針で負担を低減する対策を行った。

複数のツールをあたかも1個のツールであるかのように透過的に運用することで、並行運用するコストを低減する。このための対策を以下に示す。

5.1.1. 入出力インターフェースの統一

直交表とオールペア法のツールのインターフェースを揃えることにより、テストを作成・実施するときに、入力ファイルを複数作るのではなく、1個で済むようにして、並行運用のコストを下げる。また出力結果も同じフォーマットにすることにより、後段の作業も同一にできるようにした。

今回は Galois2013 を PICT の入出力インターフェースに揃えることで、これを実装している。

5.1.2. ツールの並行実行

ツールによるテストの生成は因子数や水準数、強さに依存するが、多くの場合で実行時間がそれほど掛からないため、ツールを両方実行するようにした。これ

から生成したテストの生成結果を見て、採用するものを決めることも可能になった。

今回は両者を実行するバッチプログラムを作成することでテスト実施者がそれを意識することなく、透過的に並行運用できるようにした。

図6に入出力インターフェースの統一と並列実行のイメージを示す。

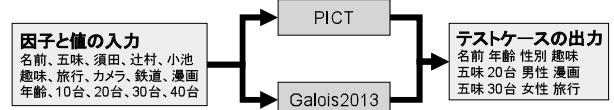


図6. 入出力フォーマットの統一と並列実行

5.1.3. 支援窓口の一本化

自作ツールと流用ツールなどを区別せずに、同一の支援を同一の窓口で行うようにして、問い合わせや支援を一本化した。

特定のツールに偏ることなくプロダクトやそのプロジェクトの経験によって支援することにしている。

5.2. 組合せテストの運用上の課題

組合せテストを運用するときに問題になるのは、(1) 組合せテストの強さはどのように決めればいいのか、(2) どちらのツールの結果を利用するのか、(3) そもそも因子や水準はどのように決めればいいのか、(4) 禁則処理をどのようにすればいいのか、(5) テストの妥当性の評価、つまりテストのコストと効果の評価をどうすればいいのかなどがある。

さらにこれらの課題は単独のものではなく、複合的になる場合がある。例えば、禁則処理と、因子と水準の決定には相関がある。つまり、禁則処理を少なくなるように因子と水準を決定するような工夫がある。

5.3. 運用ガイドライン

5.2の課題の対応を含めて運用ガイドラインを策定している。ここでは5.2の課題を中心に概略的な方針と対策を紹介する。

5.3.1. 強さの決定

直交表やオールペア法（カバリングアレイ）を使って組合せテストをするときに問題になるのが、テスト項目の組合せの個数、つまり強さの決定になる。

文献[3]によれば、各種のシステム形態によって強さを変えたときにどれくらいのバグが発見できたかが示されている。例えば、強さ2では多くのバグを発見できないシステムも紹介されており、それ以上の強さが求められていることも紹介されている。

しかしながら、テストをする対象のプロダクトがどの程度の強さで行えば、効率的にテストが実施でき、効率的にバグが発見できるかを予め見つけることは困難である。さらにガイドラインでは個々のプロダクトを詳細に記述し分類することも不可能であるため、以

下のようなガイドを策定している。

表 5. プロダクト種別による強さと手法の基準

プロダクト種別	例	強さ	手法
一般プログラム	データ処理	2	オールペア法
共通プログラム	ライブラリ	3	直交表
並列処理	WebサーバAP	3	カバレッジアレイ
リアルタイム処理	組込み系の一部	3	カバレッジアレイ
対話処理	UIプログラム	2	オールペア法
データ解析処理	3項目のデータが多いAP	3	直交表
重要プロダクト	品質要求が強いもの	+1	カバレッジアレイ

- (i) プロジェクトの重要度とプロダクトの種別により、強さを 2 または 3 以上にする。表 5 にプロダクト種別による強さと手法の基準例を示す。但し重要プロダクトの+1 の項目は他の種別から得た強さにプラス 1 をすることを意味している。
- (ii) ツールにより生成されるテスト回数が従来のステップ数からの基準内にあるかを確認する。多いときは強さだけでなく、ツール、因子や水準、禁則の決定をやり直す。基準内のときや少ないときはテストを実施し、後述の妥当性確認をする。
- (iii) テストを実施し、発見されたバグ数を計測し、従来の基準と比較することにより、テスト回数と発見バグ数の妥当性を確認する。

5.3.2. ツールの選択

直交表を使うか、オールペア法を使うかの選択はプロダクトの性質に依存する。またテストをする現場部門としては、上記のような純粋な選択方法だけでなく、禁則処理の個数や水準が直交表の制限に合うように調整できるかなどの副次的な状況にも依存することに注意して実際のガイドラインを作成する必要がある。

- (i) 生成されるテスト回数が直交表ツールの方が同数かそれ以下、またはそれほど差がないときは直交表ツールの結果を使う。これは同じコストであれば、直交表の持つ均一出現の利点があるためである。
- (ii) テスト項目のデータの値が均一で、因子の組合せの網羅率が大きいことが求められるようなプロダクトであるかどうかを判断する。例えば、テスト項目の組合せによって動作が大きく影響を与えるようなプロダクトであれば、均一にテストを実施すべきである。例えば文献[3]では HTTP Server システムでは組合せの個数でバグの発見率が大幅に異なっていることが示されている。
- (iii) 求められるテストデータの因子の組合せの出現の均一性は、因子や水準の選択によっても変化する。例えば、因子やその水準が不均一な同値分割になっていれば、いくら直交表で均一出現をしても効果は少ない。この場合は因子の決定をやり直す必要がある。

次に因子とその水準を決定するが、上記にあるようにその結果でツールの選択をやり直す場合もあること

に注意する。

5.3.3. 因子と水準の決定

因子やその水準は比較的機械的に求められるものであるが、組合せテストの因子として決定するときには以下の注意が必要になってくる。また、この結果により、ツールの選定をやり直す場合もある。

(i) 水準の決定

因子の水準が連続値である場合や、離散値のときでも水準数が多いときには、同値分割をする必要がある。この問題は組合せテスト特有の問題でなく、ソフトウェアテスト一般の問題であるが、組合せテストでは水準数の平滑化を行う観点も考慮する必要がある。

(ii) 因子数の平滑化

因子数が極端に少くならず、逆に極端に多くならないように、水準との調整を行う。因子と水準の個数には、例えば、因子を増やすと水準数が減るような負の相関関係があるので、そこで調整する。

特に直交表のツールを使うときは、水準数に制限があるので、なるべくダミーの値が入らないように調整することが必要である。

(iii) 水準数の平滑化

水準数が極端に多くならないようにする。これは(i)と同時に決定することである。

(iv) 禁則処理の削減または平滑化

禁則処理が多く出ないように、因子や水準を決定する。技法に走りすぎるとなるが、禁則処理が多いと組合せテストは効率的に実施できないので、なるべく禁則処理が多くならないように、禁則処理があっても均等になるように、因子と水準で調整する。

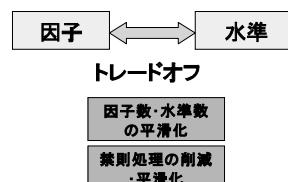


図 7. 因子と水準のトレードオフ

図 7 に因子と水準のトレードオフとそれによる効果を示す。因子と水準のトレードオフの例を以下に示す。
(因子と水準のトレードオフの例)

入力項目が A, B, …Z と多数あり、A は値として a1, a2, a3, a4 の値を取り、B は値として b1, b2 のみであるとする。このときに A と B を一つの因子 AB にする。このときに取り得る値は $4 \times 2 = 8$ 通りになる。1 個因子を削減し、逆に水準数は 8 になる。

(v) 既存テストからの抽出(デシジョンテーブル、状態遷移表、テスト仕様書からの抽出)

既存のテストから直交表やオールペア法による組合せテストを行うときは、因子やその水準が明示されていない場合が多いので、最初に因子抽出とその水準

を抽出することから始める。

デシジョンテーブルで既存のテストが作成されているときはデシジョンテーブルの原因欄が因子と水準になる。また状態遷移表を元にテストが作成されているときは遷移前の状態が因子、イベントが水準になる。しかし状態遷移表の状態が複数の状態を縮退している場合は1個の遷移だけでなく複数の遷移についてテストをする必要がある。自然言語で書かれたテスト仕様書のみの場合は、大項目や中項目などテスト項目の分類が因子になり、小項目の最小の分類が水準になる。しかし多くはあいまいであり、その分類も正確でなく、また複数の因子を同時に記述していることが多く、注意が必要である。

5.3.4. 禁則処理

組合せテストでは、その組合せが起こりえない組合せがあり、これを禁則処理する必要がある。

- (i) 基本的には、そのような組合せを生成するときに除くことを行う。PICTではこのような処理が式で与えることができ、PictMasterツール[9]ではエクセルから簡単に禁則処理ができるようになっている。
- (ii) しかし禁則処理が偏って多く出ると、組合せの出現の網羅率に大きく影響を与える。そこでなるべく禁則が起らなければ、偏って起らないように発生するように因子を調整する必要がある。

5.3.5. テストの妥当性の評価

直交表やオールペア法を用いて組合せテストを効率化してテストをしたときに、そのコストと結果が妥当であったかどうかを評価する必要がある。この評価をフィードバックして強さの決定やツールの選定、因子などの決定ガイドラインを見直すことも行う。

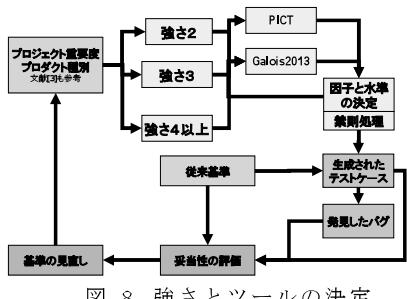


図 8. 強さとツールの決定

- (i) コストはテスト回数で計測を行い、結果は発見したバグ数を計測する。
- (ii) 上記で計測した回数と、従来の方法によるテスト回数の基準値を比較する。
- (iii) 比較した結果、大きな差異があれば、プロダクトやプロジェクトにヒアリングをする、またガイドラインの基準値を見直す。

図8に強さとツールの決定方法、妥当性の評価、基準の見直しのフローを示す。5.3.1から5.3.2, 5.3.5をま

とめたものになっている。

但し、7章でも後述するが、現在、収集した事例がまだ少ないのでガイドラインの基準値を見直す段階には至っていない。今後はデータを収集し、基準値の精度を上げていくようにする。

6. 運用方法とその適用事例

ここでは直交表とオールペア法による組合せテストの教育やツール運用、支援、普及の事例を交えて、運用方法を紹介する。そしてこれらのツールを適用した事例を紹介する。

6.1. オールペア法と直交表の運用

我々はソフトウェアの組合せテストを効率化するための手法とそのツールを開発現場に紹介し、その導入や運用を支援している。

6.1.1. 組合せテストの運用サイト

オールペア法と直交表による組合せテストの運用サイトを社内で展開している。ここで支援窓口やツールのダウンロード、使い方のガイドライン、FAQなどを掲載している。

6.1.2. 普及活動

オールペア法と直交表による組合せテストの効率化を行うために各種の普及活動を行っている。実施中のものや調整中のものもあるが、これらを紹介する。

(1) 研修・紹介の場

研修実施やプロジェクト毎に紹介の場を提供している。

(2) オンサイト支援

プロジェクトにオンサイトで支援を行う。

(3) オンサイト事前コンサルテーション

実際に導入するプロジェクトに事前にコンサルテーションを行ない、具体的なアドバイスを与える。

6.1.3. ソフトウェアテストの制度の見直し

オールペア法と直交表による組合せテストを普及させるためには、テストの制度もそれに合わせて見直す必要がある。以下に見直すべき施策を示す。

(1) ソフトウェアテストの仕様書のフォーマット

オールペア法や直交表のツールの出力をそのまま仕様書に掲載できるようにフォーマットを見直す。

(2) ソフトウェアテストの基準の調整

基準を従来のものから、オールペア法や直交表の基準に応じた基準も入るように調整する必要がある。

6.2. 適用事例

オールペア法や直交表による組合せテストの適用事例を示す。事例はオールペア法と直交表の適用事例と、強さ2と3の適用事例を選んだ。

(1) 送受信システムの新OS移行テスト

情報送受信システムをWindowsの新しい版に移行

するときに、パッチの版数やウェブブラウザの版数、メーラの種別など多岐に渡る項目による組合せテストを実施するときに、強さ 2 のオールペア法で実施した。

OS とパッチの組合せの版数の水準数は多くなり、他の項目と比較してアンバランスであったことや、禁則処理が多い、各因子の独立性などの影響度が不明であったこともあり、まずはオールペア法を選択した。強さとして最初は 2 で実施し、その後、必要に応じて、強さを大きくすることにした。表 6 にこのシステムの因子とその水準を示す。

表 6. 新 OS 移行テストの因子とその水準

送信側OS	WinXP/SP2	WinXP/SP3	WinVista/SP1	WinVista/SP2	Win7	Win7/SP1
送信側Webブラウザ	IE6	IE7	IE8	IE9		
送信側メール	OutlookExpress	WindowsMail	WinLiveMail	Outlook2010		
送信側ICカードR/W	ICCardReaderA	ICCardReaderB				
受信側OS	WinXP/SP2	WinXP/SP3	WinVista/SP1	WinVista/SP2	Win7	Win7/SP1
受信側Webブラウザ	IE6	IE7	IE8	IE9		
受信側メール	OutlookExpress	WindowsMail	WinLiveMail	Outlook2010		
受信側ICカードR/W	ICCardReaderA	ICCardReaderB				

この事例では禁則処理が 21 項目あったが、因子として OS とそのパッチの版数を合成して 1 個の因子にすることで禁則処理を減らしている。

PICT では強さ 2 のときのテスト回数は 37 回となり、強さ 3 では 97 回になった。実際には 37 回のテストを実施した。

(2) 情報端末の状態遷移マトリクス

情報端末機器において複雑な状態遷移マトリクスを元にして、組合せテストを行う。このときに、強さ 3 のオールペア法で実施した。

この例では 16 個と比較的因子数が多く、また水準数も 2 から 12 と比較的多く、ばらつきがあるシステムであった。また要求品質が高いシステムであり、相互に依存する因子は 3 個以上であると判断し、強さ 3 のオールペア法を選んだ。テスト回数は 602 回になった。

直交表でなくオールペア法にした理由は因子数を制限に合うように調整することや、禁則処理を削減するための因子調整が困難であった理由による。

(3) 金融端末制御

金融端末の各種状態に応じてプログラムが正しく動作するかの組合せテストを実施した。このときは 12 因子、水準数は 2 または 4、8 で、強さは 2、大きさが 32 の直交表をベースにして実施した。

直交表を採用した理由は網羅率の高いテストが求められていると判断して、直交表を選択した。またテスト実施者が直交表による実験計画法に慣れていたこともあった。しかし実際のテスト作成では禁則処理が多く、それを削減するために因子やその水準を見直す必

要が出てきた。

7. おわりに

本稿では直交表とオールペア法を用いた組合せテストについて報告した。我々が作成した多因子、多水準、混合水準、2 以上の強さに対応した直交表生成ツール Galois2013 を紹介し、またオールペア法のツール PICT について述べた。次にこのオールペア法と直交表を比較し、その得失について述べた。そしてこの二つのツールを並行運用して、効率的でしかも品質レベルを保証する組合せテストを運用する方針や施策などを記述した。また実際の普及活動や事例も紹介した。

今後は直交表ツール Galois の整備、例えば、強さを部分的変更可能にするなどや、ガイドラインの閾値の精緻化や見直し、それを行うためのデータ収集などを行っていく予定である。

特にガイドラインでは、ツールや強さの選定だけでなく、因子と水準の調整方法についても詳細に記す予定である。またツールや強さの選定の基準値を各種のプロダクトや開発現場に適用できるようにデータを収集・分析し、精度を高めていくようにしたい。

なお Galois ツールは公開する予定にしており、そのための整備も行っていく予定である。

文 献

- [1] 須田健二, “直交表と万能型直交表生成ソフト Galois の活用—強さ 2, 3, 4 の直交表の生成事例ー”, ソフトウェアテストシンポジウム 2009, pp.54-56, Jan 2009.
- [2] 須田健二, “パソコンによる直交表の自動構成とソフトウェアテストへの応用—多因子・多水準、強さ 2・3・4 対応の直交表生成ソフト Galois の応用ー”, ソフトウェアテストシンポジウム 2007, pp.91-97, Jan 2007.
- [3] D.Richard Kuhn, Dolores R.Wallace, Albert M. Gallo Jr, Software Fault Interactions and Implications for Software Testing, IEEE Transactions on Software Engineering, Vol.30, No.6, pp.418-421, June 2004.
- [4] 須田健二, 宮崎晴夫, “直交配列を用いた実験計画における要因割りつけのコンピュータ・アルゴリズムについて”, 日本経営工学会誌, vol.37, No.6, pp.345-352, 1987.
- [5] 高橋磐郎, 組合せ理論とその応用, 岩波全書, 1979.
- [6] 吉澤正孝, 秋山浩一, 仙石太郎, ソフトウェアテスト HAYST 法入門 品質と生産性がアップする直交表の使い方, 日科技連, 2007.
- [7] HAYST 法 Highly Accelerated and Yield Software Testing, <http://www.hayst.com/Pages/default.aspx>
- [8] Jacek Czerwonka, Pairwise Testing in the Real World: Practical Extensions to Test-Case Scenarios, <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/cc150619.aspx>, February 2008.
- [9] PictMaster, <http://sourceforge.jp/projects/pictmaster/>
- [10] 須田健二, 五味弘, “直交表とオールペア法のテスト回数と網羅率について”, 情報処理学会第 76 回全国大会, 6A-4, 2014(発表予定)