

品質向上の
トータルサポート企業
バルテスがおくるミニ冊子
第1弾!!

組合せテスト技法の 基本の「き」

バルテス株式会社

目次

- 1 組合せテスト技法って? 1
- 2 そもそも何を組合せるのか 2
- 3 組合せ方が「みそ」 7
- 4 直交表とAll-Pairs法 10
- 5 どっちがいいの? 14
- 6 適用のポイント 15
- 7 最後に 17



1. 組合せテスト技法って？

「**組合せテスト技法**」という言葉に耳にされたことはあるでしょうか。ソフトウェアテストに関わっている方や、知識のある方ならば「**直交表**」や「**All-Pairs法**」という言葉もご存じかもしれません。

テストケース数の削減に効果の高い技法ですが、実用に持ちこむためにはいくつかの勘どころがあり、**実際に効果を上げるにはかなりハードルが高い技法**でもあります。

バルテスでは、創業当初から組合せテスト技法について研究してきました。その過程で分かってきた組合せテスト技法のポイント、その中でも**基本の「き」の部分**をお話していきます。

すでにご存知の方には、やや物足りない内容かもしれません。でも「**ここだけは外せない**」という**重要なポイント**を掲載していますので、ぜひ最後までお付き合いください。

○ 組合せテスト技法の魅力

組合せテスト技法は、**いくつかのパラメータの組合せによって起こる不具合の発見**を目的にしています。

最大の魅力は、テストケース数の削減でしょう。全ての組合せをテストする「**全網羅テスト**」の**ケース数と比較すると、半分あるいはそれ以上の削減が可能**です。

組合せテスト技法を使用したテストと使用していないテストとの比較では、**テストの実施工数が半分で、元のテストより20%増の不具合を発見**できました（実質効率140%UP）。実施工数が減ったのは、ケース数が減ったためです。つまり、テストケース数が減少しても、ほぼ同じ数の不具合が発見されたということは、より効率的なテストが行われたことを意味します。

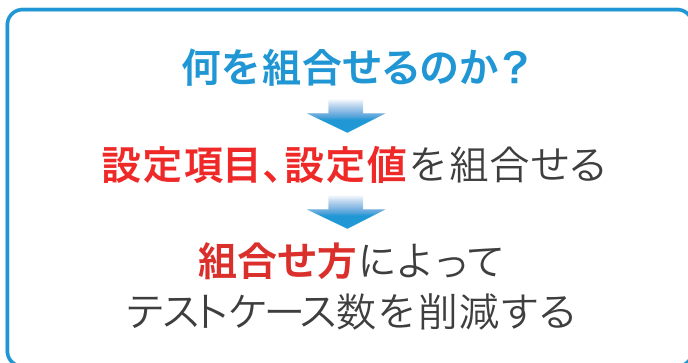
魔法のような技法ですね。

しかしながら、**どうしてそんな「おいしい話」が可能なのでしょうか**……。その辺をお話していきます。



2-1. そもそも何を組合せるのか

組合せテスト技法とは、一体何を「組合せる」技法なのでしょうか？



テスト技法として「組合せテスト技法」を使う場合、**組合せる対象は各ソフトウェアやマシンの設定項目、設定値**になります。

抽出した設定値などをそのまま全て組合せると、「**全因子間網羅テスト(全網羅テスト)**」となります。これは**テストケース数が天文学的な数字になる**場合があります。

つまり**テストケースが天文学的な数字にならないように、組合せ方を変えるテクニック(技法)**が「**組合せテスト技法**」です。

○ 組合せテスト技法と全網羅テスト、ランダムテストのイメージ

全網羅テスト							
■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■

ランダムテスト							
■			■				■
	■						
			■				
				■			
					■		
■	■		■				■
	■						
			■				

組合せテスト技法							
	■		■		■		■
■		■		■		■	
	■		■		■		■
■		■		■		■	
	■		■		■		■
■		■		■		■	
	■		■		■		■
■		■		■		■	

全網羅テストは文字通り全てのテストを実施します。

ランダムテストはテスト実施者の主観や無作為にテストを実施します。

組合せテスト技法のイメージは、全てのテストケースを実施するわけではないのですが、**規則的にテストケース数を削減**しています。

○ 因子・水準とn因子間網羅

組合せテスト技法で組合せるものは、**テスト対象の設定項目、設定値である**という説明をしました。

○ 設定項目、設定値 → 因子・水準

○ 組合せ方 → n因子間網羅

設定項目、設定値を『因子・水準』と呼びます。

そして**組合せ方は、『n因子間網羅』**と呼びます。nには網羅する因子数が入ります。例えば、2因子間網羅と表現します。全ての因子を組合せれば「全因子間網羅（全網羅）」となります。

詳しくは次項から説明していきます。



2-2. 因子・水準のあれこれ

因子・水準と聞いて「何の話？」と戸惑う方も多いかもしれません。例えば、**テストケースを作成**する際には、**下記のような因子と水準の組合せ**を考えなくてはなりません。

○複合機の場合

因子	水準
カラーモード	カラー、モノクロ
用紙サイズ	B5、A4、B4、A3
用紙タイプ	普通紙、厚紙、封筒、等

○携帯電話の場合

因子	水準
キー（ボタン）	0～9の各キー、＃、＊、電源キー、通話キー、等
モード設定	通常モード、マナーモード、運転中モード、等
バイブ設定	ON、OFF

○PCアプリケーションの場合

因子	水準
対象OS	Windows XP、Windows Vista、Windows 7、等
ファイルの保存	名前を付けて保存、上書き保存

○組み込み制御ソフトの場合

因子	水準
各種スイッチ	ON、OFF
可動範囲	0° ～ 180° (同値クラス分割・境界値分析により 0°、90°、180°)
暖房の温度設定	16℃ ～ 30℃ (ユーザーシナリオをベースに 18℃、20℃、25℃、28℃、30℃)

いかがでしょう。ここまでで雰囲気は分かっていただけましたか？

因子がスイッチや設定項目名、水準が設定値となっています。

また下記のように、**割り込みのタイミングや状態遷移、時間設定なども因子・水準になり得ます。**

○その他の例

因子	水準
割り込みのタイミング	プリント中、給紙中、排紙中など
状態遷移	起動状態 → 待機状態、待機状態 → 処理状態
時間	5 分後、10 分後、15 分後

これに先ほどのスイッチなどを組合せます。

○ 因子と水準のまとめ

因子と水準をまとめると以下のようになります。

- ・ **因子**：テスト対象における機能(名)や設定項目、パラメータなど
- ・ **水準**：因子の中の選択肢や設定値、設定内容など

組合せテスト技法において**一番重要な基本の「き」**は、**因子・水準を間違えないように抽出すること**です。なぜなら、テストに関係が無いものを抽出して組合せても、効果が期待できないからです。組合せテスト技法を使う際には、しっかりと因子・水準を選ぶ必要があります。

抽出した因子・水準を以下のような形(**因子水準表**)にまとめると、**漏れ抜けの確認がしやすくなります**。また後から因子や水準を追加する際にも便利です。

因子水準表

		因子				
水準	カラー / モノクロ	用紙サイズ	用紙タイプ	印刷設定	ADF / FB	印刷方法
	カラー	B5	普通紙	2 in 1	FB	片面印刷
	モノクロ	A4	厚紙	4 in 1	ADF	両面印刷
		B4	封筒	なし		
		A3				

繰り返しますが、**因子・水準の抽出は非常に重要**です。ただし、それは組合せテスト技法に限った話ではありません。テストを始める際に因子と水準を抽出しておくことは、**漏れ抜けの無いテスト設計には欠かすことができません**。テスト設計の段階で、因子・水準のレビューをしっかりと行い、テスト漏れが無いかどうかの確認をお勧めします。



3-1. 組合せ方が「みそ」

抽出された因子・水準を全て組合せれば、「全網羅テスト」になります。しかし、全網羅テストではテストケース数が大きくなってしまいます。**もっと少ないテストケース数で効果的なテストができないでしょうか。**

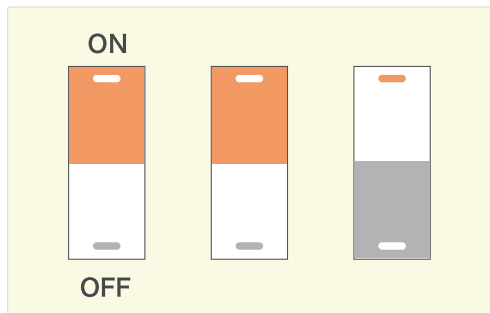
ここからが『みそ』です。

全網羅テストではケース数が多くなるので、**ある因子間(例えば2因子間)においてのみ全ての組合せをテストしよう**、というのが**組合せテスト技法**なのです。

そんなことでちゃんと不具合が検出できるのか、ですって？

それでは、組合せテスト技法でよく使われる、「**2因子間網羅**」の**考え方**を一緒に見ていきましょう。

スイッチ (3因子2水準)



このような、ONとOFF (2水準) の3つのスイッチ (因子) があったとします。これらのスイッチの**全ての組合せをテストすると $2 \times 2 \times 2 = 8$ 通り**のテストが必要です。

それでは**2因子間網羅で組合せるとどうなるでしょう**。実は**もっと少ないテストケース数でテストすることが可能**になります。



3-2. 2因子間網羅

下図の左側が**全網羅**、右側が**2因子間網羅**するように組合せたものです。

	スイッチ1	スイッチ2	スイッチ3
ケース1	ON	ON	ON
ケース2	ON	ON	OFF
ケース3	ON	OFF	ON
ケース4	ON	OFF	OFF
ケース5	OFF	ON	ON
ケース6	OFF	ON	OFF
ケース7	OFF	OFF	ON
ケース8	OFF	OFF	OFF

全網羅



	スイッチ1	スイッチ2	スイッチ3
ケース1	ON	ON	ON
ケース2	ON	OFF	OFF
ケース3	OFF	ON	OFF
ケース4	OFF	OFF	ON

2因子間網羅

2因子間網羅を見てください。スイッチ1とスイッチ2を見ると、ケース1からケース4までの4回の組合せの中で、全ての組合せが出ています。同様にスイッチ1と3、スイッチ2と3もそれぞれ見てください。

	スイッチ1	スイッチ2
ケース1	ON	ON
ケース2	ON	OFF
ケース3	OFF	ON
ケース4	OFF	OFF

	スイッチ1	スイッチ3
ケース1	ON	ON
ケース2	ON	OFF
ケース3	OFF	OFF
ケース4	OFF	ON

	スイッチ2	スイッチ3
ケース1	ON	ON
ケース2	OFF	OFF
ケース3	ON	OFF
ケース4	OFF	ON

2つの因子間ならば、全ての組合せが出ていることが分かりますか？

この組合せ方によって8ケース(全網羅)が4ケースになりました。50%になったわけです。そして**因子数が増えれば増えるほど、削減効果が大きく**なります。

テストケース数が減ったことに間違いはありませんが……



3-3. 魔法ではない

組合せテスト技法はテストケースを削減してくれる「魔法」でしょうか。

残念ながらそうではありません。

テストケースを減らしてくれるのは間違いありません。しかし、「**全網羅**」と「**2因子間網羅**」は**同じではありません**。その違いをしっかりと認識しておく必要があります。

	スイッチ1	スイッチ2	スイッチ3
ケース1	ON	ON	ON
ケース2	ON	OFF	OFF
ケース3	OFF	ON	OFF
ケース4	OFF	OFF	ON

2因子間網羅

先ほどの表を見てください。よく見ると全てOFFという組合せがありません。

2因子間網羅はあくまでも『2つの因子の間』だけ網羅してくれます。それ以外、すなわち**3因子間以上は保証してくれません**。

つまり、**テストしていない組合せ**があるのです。このポイントを踏まえて組合せテスト技法を使う必要があります。

ここで重要なことは、組合せテスト技法は「**何ができて**」「**何ができないのか**」、また「**何がリスクであるのか**」を正確に把握することです

まずは、組合せテスト技法は「魔法の技法」ではなく、**特性を理解しなければならない「クセのある技法」**だとして理解ください。



4-1. 直交表とAll-Pairs法

ここからの説明は、組合せテスト技法でよく使われている**2因子間網羅**を前提にお話をしていきます。2因子間網羅を適用する根拠としては、**2因子間の組合せによる不具合が、組込み系の場合には97%を占める**という研究結果があるからです(注1)。そして現在、広く使われている網羅の方法でもあります。

組合せテスト技法に用いられる代表的な手法として、『**直交表**』と『**All-Pairs法**』があります。以下に比較してみました。

比較のポイント	直交表 (2水準)	All-Pairs法 (Pair-wise)
2因子間網羅	○	○
3因子間以上の網羅※1	比較的網羅している	因子水準数が同じ場合、直交表よりも低い
テストケース数※2	多い	少ない
因子・水準数による制約	あり	なし
禁則回避	手動で回避	手動またはツール上で回避
テストケース作成方法	手作業で割り付け	PC上のツール
テストケース作成時間	割り付けに時間がかかる	因子水準表ができれば速い
学習時間	組合せや“直交”の学習にやや時間がかかる	ツールの使い方を学習する時間が必要だが、あまり多くはない

※1 ここで挙げた例は、あくまでも2因子間網羅の場合です。実はそれぞれ、3因子間網羅以上することも可能です。ただその場合は、テストケース数が多くなることと、組合せ方が複雑なので実用的ではありません。

※2 場合によっては、直交表が少なくなる場合もあります。

それでは、2つの技法について詳しく見ていきましょう。



4-2. 直交表

直交表の「直交」とは一体何を指すのでしょうか。まずは「**直交**」について解説します。

	スイッチ1	スイッチ2	スイッチ3
ケース1	ON	ON	ON
ケース2	ON	OFF	OFF
ケース3	OFF	ON	OFF
ケース4	OFF	OFF	ON

何度も出ている**2因子間網羅の表**です。実はこれは**L4直交表と呼ばれるもの**です。この表をみると、スイッチ1の水準である“ON”に対して、他のスイッチのONとOFFがそれぞれ1回ずつ組合せられています。スイッチ1のOFFに対しても同様です。

つまり、「**1つの水準に対して、他の因子の水準が組合せられる回数が同じ**」ことを「**直交している**」と言います。

……ふ～ん、と置いていただければ結構です。

さて、直交表の種類には、先ほどのL4の他に、L8、L16、L32、L64、L128、L256などがあります。2のべき乗で増えていきます。これら2水準の組合せを対象にした直交表で、「2水準系」と呼ばれています。ちなみに3水準系は、L9、L27、L81と3のべき乗で増えていきます。

Lの右側の数字は、そのまま各直交表のテストケース数を表しています。例えば、L128ならば、128ケースとなります。

では、因子・水準数はどうでしょう。これも比較的単純です。因子数はL4は3、L16は15、L256は255です。よってLn直交表の場合、因子数はn-1となります。

具体的に見ていきましょう

以下に掲載したのは**L8直交表(2水準系)**です。

L8直交表

ケース数	A	B	C	D	E	F	G
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	1	1	1
3	0	1	1	0	0	1	1
4	0	1	1	1	1	0	0
5	1	0	1	0	1	0	1
6	1	0	1	1	0	1	0
7	1	1	0	0	1	1	0
8	1	1	0	1	0	0	1

因子はA～Gの7つを割り当てる事が可能です。A～Gの部分をスイッチ名などに置き換えます。
ケース数は8つです。

水準は0と1の2水準です。この0と1を、ON/OFF、YES/NOなどに置き換えて使用します。

重要な点は、**因子・水準数で使える直交表が決まってしまう**ことです。**因子数が7ならL8、因子数が8になるとL16を使う**必要があります。このように**直交表には制約がある**ことをご理解ください。

2水準系の直交表を3水準以上にする方法(多水準化)もありますが、ここでは割愛します。



4-3. All-Pairs法

All-Pairs法は別名**Pair-wise**とも呼ばれています。

直交表と比較するとAll-Pairs法の方が簡単です。

All-Pairs法は、基本的にPCのツールを使います。**ツールをPCにダウンロード**さえすれば簡単です。

直交表との違いで見ると、**因子・水準数による制約はありません**。

あるプリンタの因子水準表

カラー / モノクロ	用紙サイズ	用紙タイプ	印刷設定	印刷方法
カラー	B5	普通紙	2in1	片面印刷
モノクロ	A4	厚紙	4in1	両面印刷
	B4	封筒	なし	
	A3			

All-Pairs法の特徴は**2因子間網羅に特化して、テストケース数を減らしている**ことです。これはメリットでもありデメリットでもあります。**直交表に比べてテストケース数は基本的に少なくなります**。しかし**ケース数が少ないことは同時に、組合せの出現回数が少ない事**を意味しています。特に3因子間網羅以上となると直交表の方が多く「網羅」しています。

では、どちらがよいのでしょうか。



5. どっちがいいの？

直交表、All-Pairs法ともに一長一短な感じがしますよね。

まず比較を始める前に、**どちらを使うか、どちらがテスト対象に合っているのかを考える**こと、それがテスト設計の第一歩だをご理解ください。「せっかく技法を覚えたんだから使いたい」という理由で技法を使うのは間違いです。テストの目的に合わせて、「組合せテスト技法も道具の一つ」と考えて使ってください。

それではどちらがいいのか考えていきます。

1 まずはAll-Pairs法で

因子・水準数に制約が無いので、**最初のとっかかりとしてはAll-Pairs法**から入ることをお勧めします。PC用のフリーツールがダウンロード可能です。

2 水準数がバラバラの場合はAll-Pairs法で

複合機や携帯電話など因子数が多く、また水準数もばらつきがあるテスト対象の場合はAll-Pairs法をお勧めします。

また、テストケース数が少なくなる傾向にあるため、**短い期間で広く浅くテストをしたい場合**には、All-Pairs法が向いています。

3 3因子間以上の網羅をするなら直交表

直交表の方がテストケース数は多くなります。しかしその分だけ網羅度は高いのです。

3因子間以上の網羅を考えるならば直交表をお勧めします(※3)。

「3因子間以上網羅させる必要があるの？」そんな声が聞こえてきそうですね。

先ほどの研究成果(注1)によると、組込み系は2因子間網羅で97%ですが、Web系だと2因子間では76%、3因子間で95%となります。ですから、**Web系のテストを考える際には、バランスが良く、3因子間網羅も可能な直交表を選択肢**に入れる方がいいかもしれません。

※3 2因子間網羅している直交表(L4やL32)で、3因子間以上の網羅をさせたい、という場合です。



6. 適用のポイント

最後に組合セテスト技法の適用に関するポイントを、いくつか挙げておきましょう。

○ リスクとコストのトレードオフ

組合セテスト技法には常に、**全網羅をしていない事によるテスト漏れのリスク**があります。しかし、**テストケース数が削減されるということは、コストメリット**になります。よって適用の際にはリスクとコストをトレードオフし、どのテスト対象に対して適用するのかを判断する必要があります。

例えば、新機能に関しては時間をかけて全網羅に近いテストを実施します。逆に既存機能部分は不具合流出のリスクが低いので、組合セテスト技法を適用する、などが考えられます。

○ 組合セテスト技法適用までの流れ

1. 各担当者間でのヒアリング
2. テスト対象に関する因子・水準の洗い出し
3. 組合セテスト技法を適用するかどうか選択する
4. 適用対象となる因子・水準を決定する
5. 使用する組合セテスト技法を決定する

組合セテスト技法において最も重要なことは、適切な因子・水準を決定することです。そのためには開発担当者、テスト担当方で**テスト対象となる因子・水準を洗い出す必要**があります。因子・水準の洗い出し作業が失敗すると、テストのやり直しとなる可能性があります。よって因子水準表を必ず作成し、それをたたき台にして漏れ抜けのチェックを開発担当者とテスト担当者両方で行ってください。

○ 重要な組合せは追加すること

「3-3.魔法ではない」でもお話しましたが、全てOFFなどといった、テストとして実施すべき組合せが抜ける場合があります。**必要な組合せは必ず追加**してください。単にツールで吐き出した組合せだけでテストケース作成完了、とはしないように注意してください。

テストしたい組合せが抜けていないかチェックをして、必要ならば追加することもテスト設計上の大切なポイントです。

○ テストケースの並べ替え

直交表に因子・水準を当てはめる、またはツールでテストケースを作成する、それだけで終わってはいけません。上記の抜け漏れのチェックと同時に、テストがやりやすいように、**テストケースの並べ替え**をする必要があります。

例えば、因子にPCのOSが入っている場合を考えてください。仮に並べ替えをせずにテストをすると、1回のテストケースごとにOSを入れ替えるような事態も起こり得ます。

効率的なテスト実施には、並べ替えが必要不可欠な作業です。

そして並べ替えには注意点が1つあります。

並べ替えの際は、行または列(下図)を丸ごと入れ替えるようにしてください。一部の因子(列)のみ並べ替えてしまうと、2因子間網羅が崩れてしまう可能性があります。2因子間網羅が崩れると、全体のバランス(規則性)が崩れ、ランダムテストと大差がなくなってしまいます。ご注意ください。

テストケースの行と列

		列		
	因子1	因子2	因子3	
1	0	0	0	
2	0	1	1	行
3	1	0	1	
4	1	1	0	



7. 最後に

ここまでお付き合いいただき、ありがとうございました。この短い間でお話してきたことは、組合セテスト技法を使ったテスト設計のごく一部です。詳細なメリット・デメリット、禁則回避方法など、書き足りないものはたくさんあります。

またの機会にお話したいと思います。

バルテスでは様々なソフトウェアテストに関するセミナーを開催しています。

今回の組合セテスト技法も含めて、テスト技法に関しては、弊社セミナー「ソフトウェアテストの設計(上)」にて詳しく解説しています。ぜひ受講してください。

注1： D. R. Kuhn, D. R. Wallace and A. M. Gallo Jr., "Software Fault Interactions and Implications for Software Testing", IEEE Transactions on Software Engineering, Vol.30, No.6, 2004

編集・発行 バルテス株式会社
2012年(平成24年)5月18日 第2刷発行

連絡先 バルテス株式会社

大阪本社
〒550-0011 大阪市西区阿波座1-3-15JEL西本町ビル8F

東京本社
〒102-0083 東京都千代田区麹町1-10 麹町広洋ビル3F

TEL 06-6534-6561

FAX 06-6534-6562

ホームページ <https://www.valtes.co.jp>

バルテス

検索

お問い合わせ先

電話番号

大阪

06-6534-6561

東京

03-5210-2080

Eメールアドレス

test-tech@valtes.co.jp

本書は著作権法上の保護を受けています。
本書の一部または全部について(ソフトウェアおよびプログラムを含む)、
バルテス株式会社から文書による許諾を得ずに、いかなる方法においても
無断で複写、複製することは禁じられています。

