

直交表を活用したソフトウェアテストの効率化

- HAYST法の活用 -

2005年7月15日(金)

富士ゼロックス株式会社

秋山 浩一

Kouichi.Akiyama@fujixerox.co.jp

● ソフトウェアテストは必要！？



上流工程でちゃんとすれば良い？

要求仕様作成時

ユースケースを作成

要求の背景を理解

システムの内と外の明確化

要求を満たしたと言えるテストケースを定義

要求の曖昧さを排除

設計 / コーディング時

xUnitでテストファーストを実施

I/F仕様の明確化

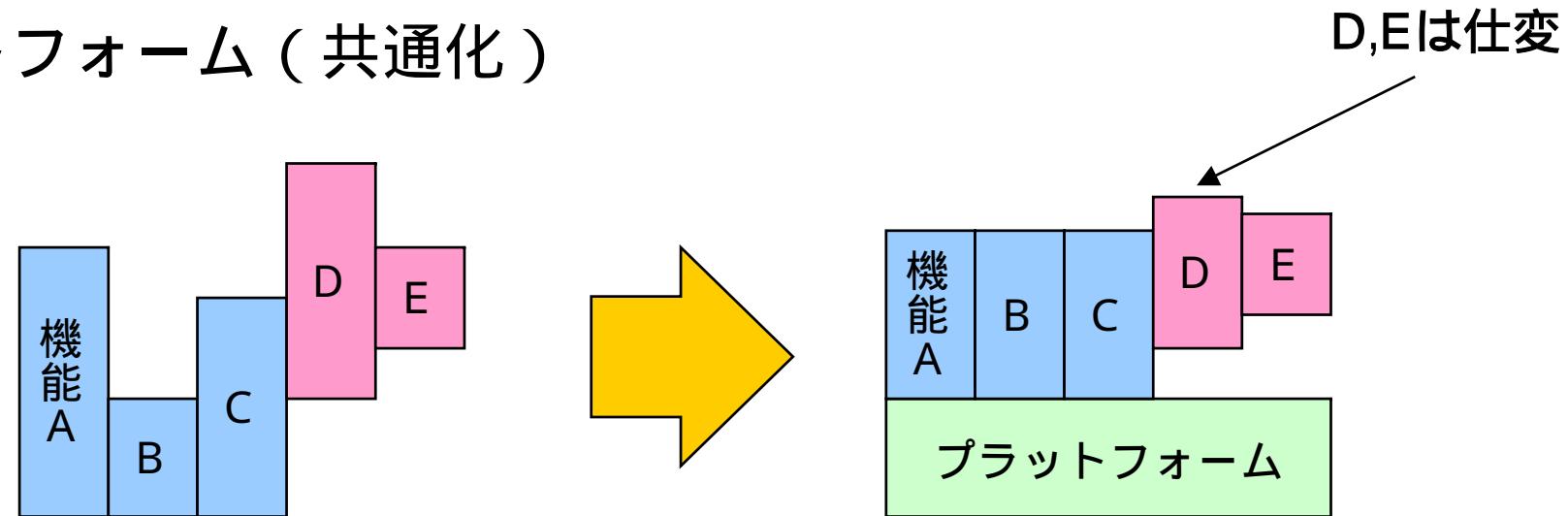
自動テストを繰り返し実施しデグレートを防止

上流工程に手を打つことは非常に重要で効果も大である

＜これだけで良いか？＞

- 現実の開発では...

上流工程でちゃんとしていても
要求や仕様変更が下流工程にもなだれ込む
プラットフォーム（共通化）



単体テストを繰り返しても問題がとりきれない
組合せの問題を検出するHAYST法
ノイズという観点で想定外の環境/操作を洗い出す

入力の組合せ評価：直交表と割り付け

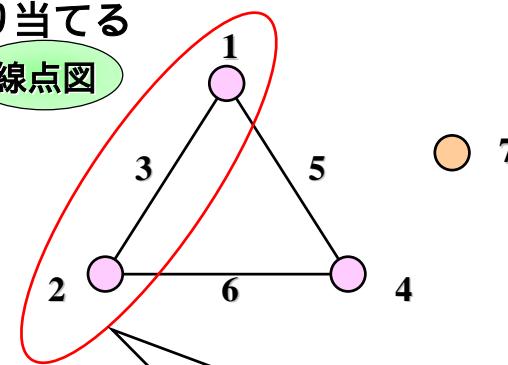
<実験計画法（直交表実験）>

- モード × DPI × Launch × Font = $2 \times 2 \times 2 \times 3 = 24$ 実験を 8 実験で済ます
- 組合せが公平な表（例えば列の和を求めたら全て 4 になる）
 - L8 直交表（8 回の実験ができる表。割り当てられるのは 2 水準の因子が最大 7 個まで）
 - 水準が増えた場合は列を合体して割り当てる

直交表

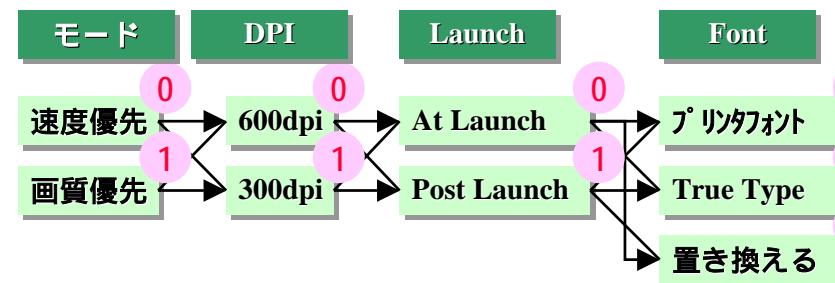
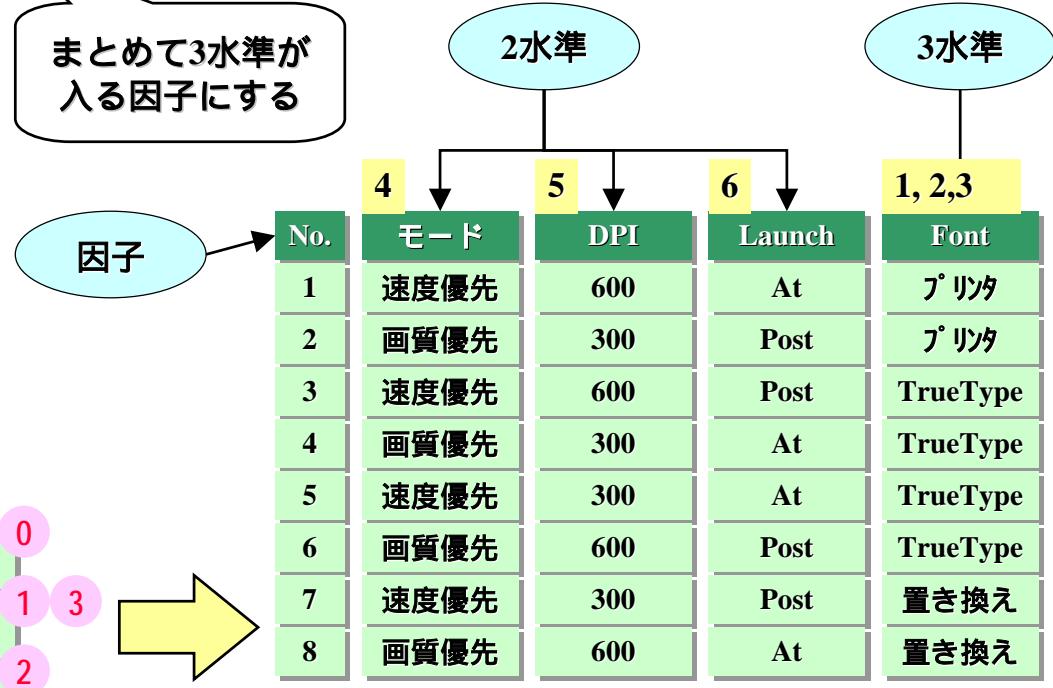
L8	1	2	3	4	5	6	7
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	1	1	1
3	0	1	1	0	0	1	1
4	0	1	1	1	1	0	0
5	1	0	1	0	1	0	1
6	1	0	1	1	0	1	0
7	1	1	0	0	1	1	0
8	1	1	0	1	0	0	1
	A	B	A	C	A	B	A
				B	C	C	B
							C

線点図

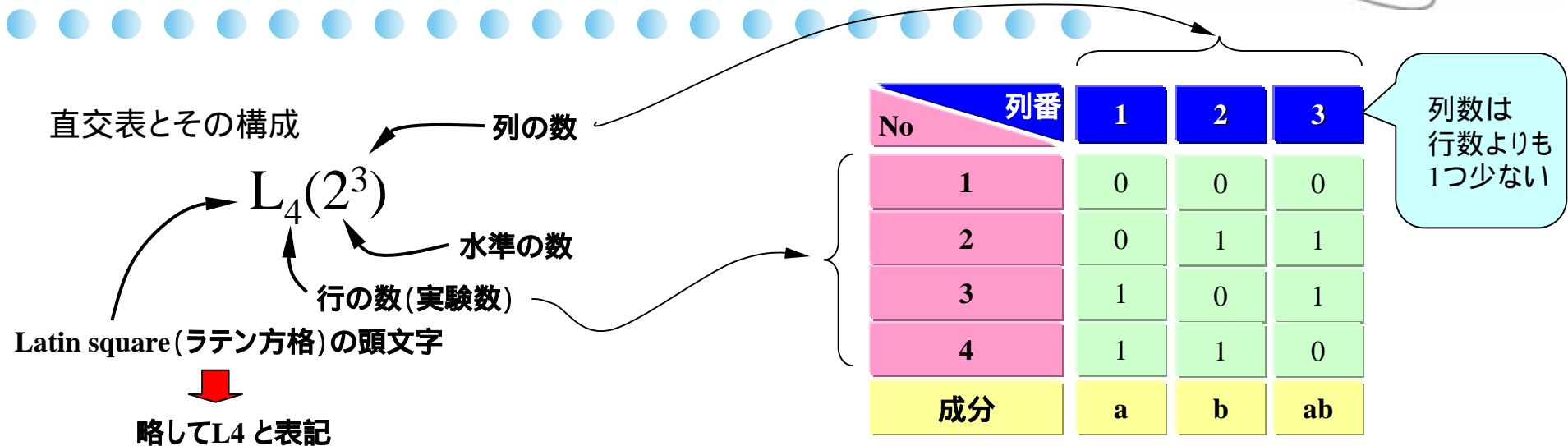


まとめて3水準が
入る因子にする

因子



直交表とは



● 列番号 :

因子の種類に対応する。上のL4直交表では、3列あるので、3種類の2水準因子を割付けることが出来る。

列番号 = (行数 - 1) の関係にある。つまり、L4であれば列番号は3まで、L16であれば列番号は15までになる。

● 成分 :

2列間の交互作用を表現している。上の直交表の場合、第3列は、第1列と第2列の排他的論理和の結果が現れるようになっている。成分は、直交表を拡張する場合に、必要となる。

● 直交表の種類 :

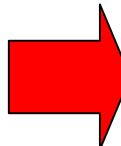
上の例では、L4を挙げたが、L4、L8、L16、L32、L64、L128という具合に、L4から2のN乗の大きさの直交表が存在し、これらを、2水準系の直交表と呼ぶ。

他にも、3水準系の直交表(L9, L2)や混合系(L18, L36)などがある。

直交表の性質

組合せテストのパラメータのことを因子、各パラメータの値のことを水準と呼ぶ

因子名	水準名
速度	早い
	遅い
高度	高い
	低い
質量	5
	10



列番	1	2	3
1	0	0	0
2	0	1	1
3	1	0	1
4	1	1	0

割付け		
因子名	水準名	値
速度	早い	0
	遅い	1
高度	高い	1
	低い	0
質量	5	0
	10	1

全ての因子間の組合せが出現する表ができる。

	速度	高度	質量
テストNo1	早い	低い	5
テストNo2	早い	高い	10
テストNo3	遅い	低い	10
テストNo4	遅い	高い	5

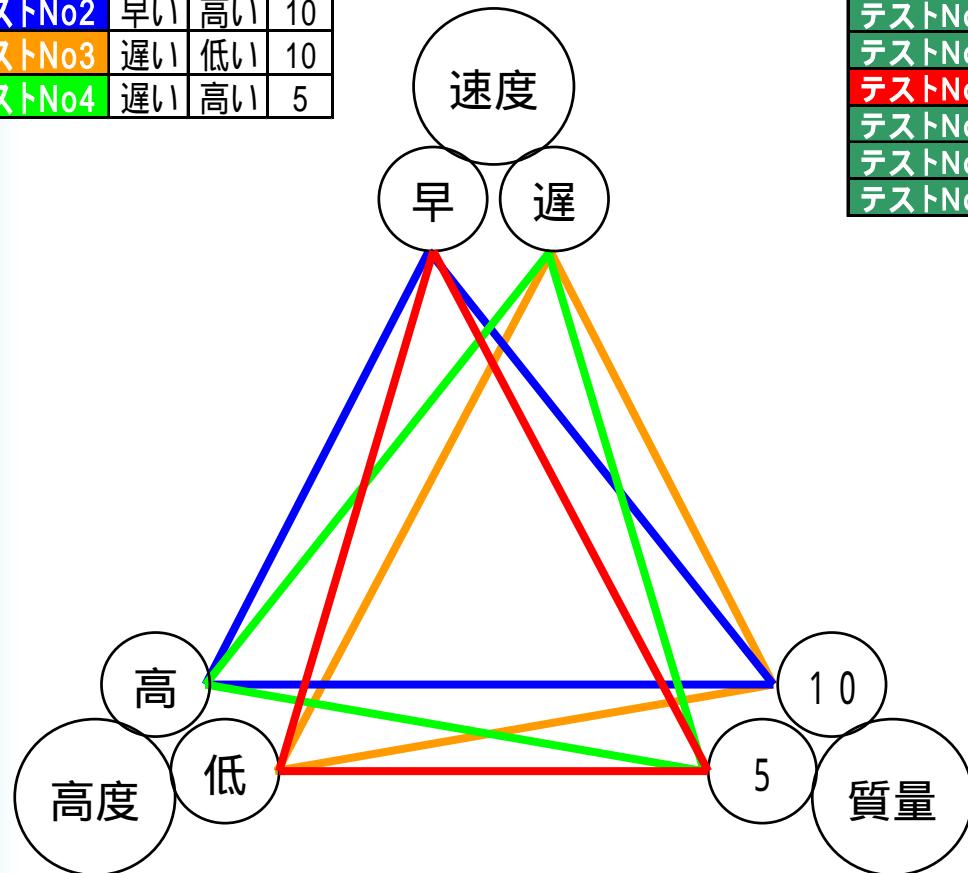
直交性

ある2列、例えば、速度(早い、遅い)と、高度(高い、低い)の組合せを見た場合、4種類の組合せが考えられる。各組み合わせは、表の中で、全て1回ずつ出現している。
この状態は、他の2列間の組合せでも同じ。

“ある2列を取り出し、列の保有する水準同士の組合せの出現回数を調べた時に、同じ出現回数であればこれを直交していると言う。”

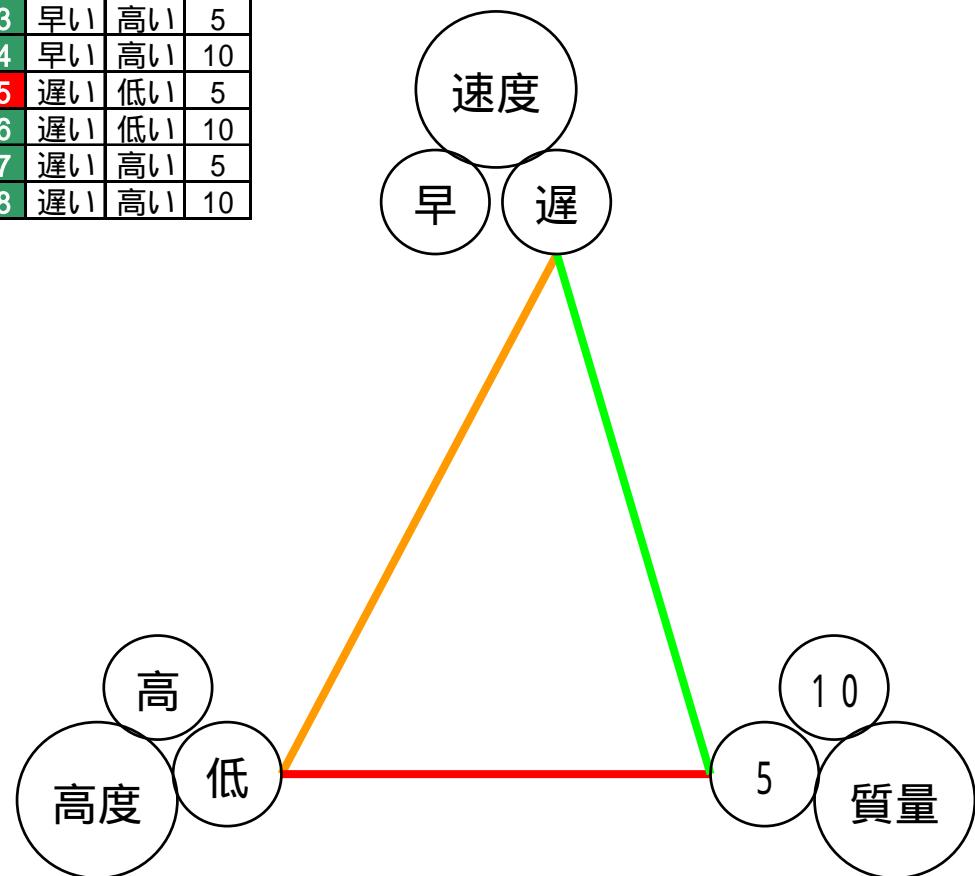
直交表が網羅する組合せ

L4直交表	機種	画質	音量
成分	A	B	AB
テストNo1	早い	低い	5
テストNo2	早い	高い	10
テストNo3	遅い	低い	10
テストNo4	遅い	高い	5



2機能間の組合せが全て存在している
(この状態を組合せ網羅率100%と定義する)

全組合せ	機種	画質	音量
成分	A	B	AB
テストNo1	早い	低い	5
テストNo2	早い	高い	10
テストNo3	早い	高い	5
テストNo4	早い	高い	10
テストNo5	遅い	低い	5
テストNo6	遅い	低い	10
テストNo7	遅い	高い	5
テストNo8	遅い	高い	10



全組合せでは直交表に存在しない
組合せも出現する(ただし、テスト回数は
指数関数的に増大する)

2因子間の組合せを求めるだけでよいのか？



「1因子ずつの場合のバグの発見率がpなら(直交表を利用して2因子の組合せの評価をすれば)それに比較してほぼpの2乗に期待される」（田口玄一氏）。

発生する確率について、1000行あたりのバグ数をあてはめて上記を計算した結果を示す(ここでは、4件/KLOCで計算)

$$\text{単機能バグ発生率} = 4/1000 = 0.004$$

$$\text{2因子間バグ発生率} = (4/1000)^2 = 0.000016$$

$$\text{3因子間バグ発生率} = (4/1000)^3 = 0.000000064$$

200万行(=2000KLOC)の製品とすると、

$$\text{単機能バグ数} = 4/1000 \times 2,000,000 = 8,000 \text{件}$$

$$\text{2因子間バグ数} = (4/1000)^2 \times 2,000,000 = 32 \text{件}$$

$$\text{3因子間バグ数} = (4/1000)^3 \times 2,000,000 = 0.128 \text{件}$$

2 因子間の組合せを求めるだけでよいか？

OpenOffice Frontier
オフィスを、開く。ビジネスを、拓く。

前頁の確率論は、あくまでも田口玄一氏の仮説であるが、弊社の場合、実データでもほぼ合っていることが確認できている。以上のことから、

2因子間のバグはきちんと検出しなければならない

多因子の組合せバグは非常に件数が少ない

また、3因子間のバグを確実にテストするためには少なくとも「直交表×最大因子の水準数」のテスト項目数が必要であり通常数10倍のテスト規模となる。

問題の大きさ： 2因子間バグ > 多因子間バグ

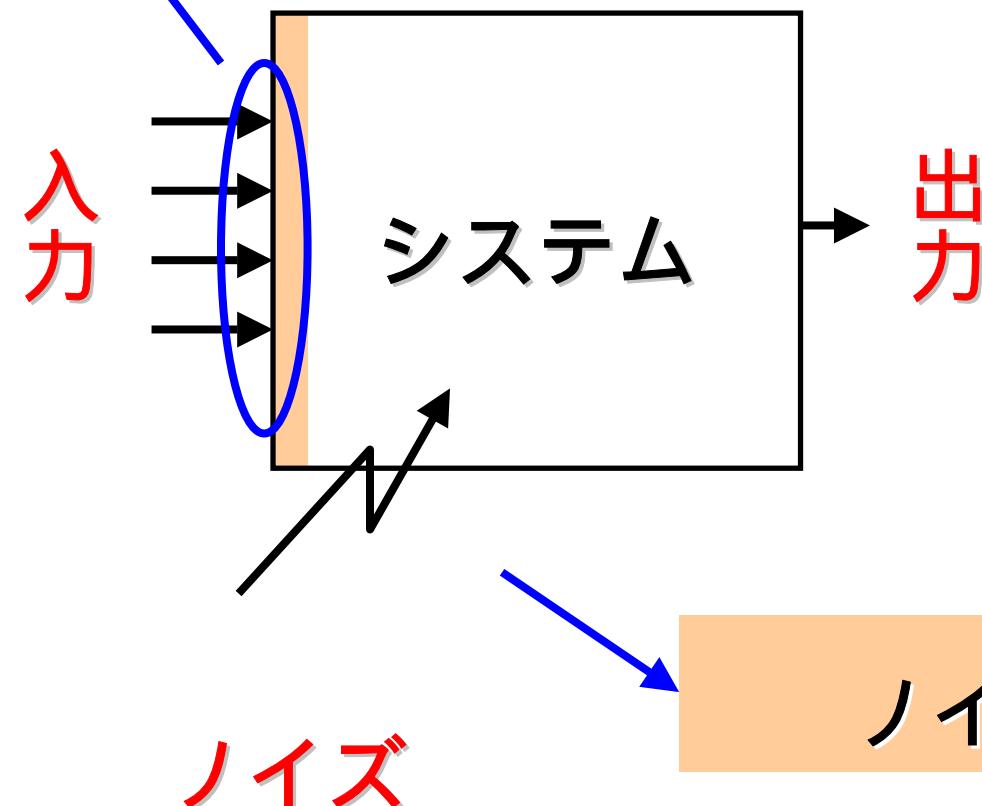
テスト規模： 数10倍

を考え合わせると、多因子間の組合せをすべてテストすることは（3因子間であったとしても）コスト的に割に合わない。

我々は、多因子の組合せについては、（関連深い機能に対してのみ）部分的に多因子間網羅率を向上させることで対処している。

品質工学的見方

入力の組合せ評価 (HAYST 法)



ノイズ対策

HAYST法とは

プリンタドライバ機能組合せテストの概要



お客様は様々な機能の組み合わせでプリント



<ソフトウェア機能組み合わせテスト>



出力
結果



HAYST法とは
FXオリジナルのS/Wへの
実験計画法適用手法

- L256直交表の開発
多因子多水準系に対応
(16水準×6、8水準×13)
- 禁則回避手法の開発
SW固有の問題である
複雑な禁則処理問題に対応
- 組合せ網羅率の提案
テスト品質指標とした
- SW一般に使用できる
プリンタドライバのみでなくSW一般に使用できる

様々な市場環境で使用しても問題の無いロバストなソフトウェアの開発

組合せ網羅率 = テスト品質指標

$$\text{組合せ網羅率} = \frac{\text{マトリクスに出現する組合せ}}{\text{全ての2因子間の組合せ-禁則組合せ}}$$

従来のKnowHowに基づいた方法

網羅率30% ~ 40%程度

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008	1009	1010	1011	1012	1013	1014	1015	1016	1017	1018	1019	1020	1021	1022	1023	1024	1025	1026	1027	1028	1029	1030	1031	1032	1033	1034	1035	1036	1037	1038	1039	1040	1041	1042	1043	1044	1045	1046	1047	1048	1049	1050	1051	1052	1053	1054	1055	1056	1057	1058	1059	1060	1061	1062	1063	1064	1065	1066	1067	1068	1069	1070	1071	1072	1073	1074	1075	1076	1077	1078	1079	1080	1081	1082	1083	1084	1085	1086	1087	1088	1089	1090	1091	1092	1093	1094	1095	1096	1097	1098	1099	1100	1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107	1108	1109	1110	1111	1112	1113	1114	1115	1116	1117	1118	1119	1120	1121	1122	1123	1124	1125	1126	1127	1128	1129	1130	1131	1132	1133	1134	1135	1136	1137	1138	1139	1140	1141	1142	1143	1144	1145	1146	1147	1148	1149	1150	1151	1152	1153	1154	1155	1156	1157	1158	1159	1160	1161	1162	1163	1164	1165	1166	1167	1168	1169	1170	1171	1172	1173	1174	1175	1176	1177	1178	1179	1180	1181	1182	1183	1184	1185	1186	1187	1188	1189	1190	1191	1192	1193	1194	1195	1196	1197	1198	1199	1200	1201	1202	1203	1204	1205	1206	1207	1208	1209	1210	1211	1212	1213	1214	1215	1216	1217	1218	1219	1220	1221	1222	1223	1224	1225	1226	1227	1228	1229	1230	1231	1232	1233	1234	1235	1236	1237	1238	1239	1240	1241	1242	1243	1244	1245	1246	1247	1248	1249	1250	1251	1252	1253	1254	1255	1256	1257	1258	1259	1260	1261	1262	1263	1264	1265	1266	1267	1268	1269	1270	1271	1272	1273	1274	1275	1276	1277	1278	1279	1280	1281	1282	1283	1284	1285	1286	1287	1288	1289	1290	1291	1292	1293	1294	1295	1296	1297	1298	1299	1300	1301	1302	1303	1304	1305	1306	1307	1308	1309	1310	1311	1312	1313	1314	1315	1316	1317	1318	1319	1320	1321	1322	1323	1324	1325	1326	1327	1328	1329	1330	1331	

直交表による組合せテストの流れ



1. 因子・水準の決定
 2. 直交表の決定
 1. 直交表サイズの決定
 2. 直交表の作成
 3. 多水準系直交表への変形
 3. 線点図の組み換え
 4. 因子水準の割り付け
 1. 線点図より水準数が少ないとき
 2. 線点図より水準数が多いとき
 5. 禁則の回避

1. 因子・水準の決定

1. ドメインに分割する

多数の選択肢から水準を決定する場合、OSを例にすると、

因子： Windows OS

水準： Win 95, Win 98, Win 98SE, ME, Win 2K, Win XP

で確認する。

つまり、多くの水準があった場合には、ドメインに分けて代表選手を選択する。この時に正しい代表選手を選べるかどうかはテスト設計を実施する人の持っている情報量で決まる。

2. 同値分割,境界値分析

連続したデータがあった場合は、同値分割と境界値分析の考え方で水準を選ぶ。つまり入力値が 0 ~ 5 までの整数値を取る場合であれば、同値分割し、

-	~	- 1	:	無効同値クラス
0	~	5	:	有効同値クラス
6	~		:	無効同値クラス

各クラスのサンプル値「 - 3 , 2 , 8 」を選択するとともに、境界値の「 - 1 , 0 , 5 , 6 」を水準に選ぶ。直交表テストの場合、異常系を含ませないので、「 0 , 2 , 5 」を水準に選び、残りの「 - 8 , - 1 , 6 , 8 」については、エラー処理系のテストタイプで実施する。

2. 直交表の決定

直交表サイズの決定

組み合わせたい因子の中で、最も大きい水準数を持つもの同士を掛け算した値が最小の直交表サイズ（水準数は 2^n に切上げる）

例：

用紙サイズ（6種類）、用紙方向（2）、両面（2）、拡大縮小（4）、カラー モード（3）なら
 $8(6) \times 4 = 32$ となり、L32を選択する。

直交表の作成（方法は後述）

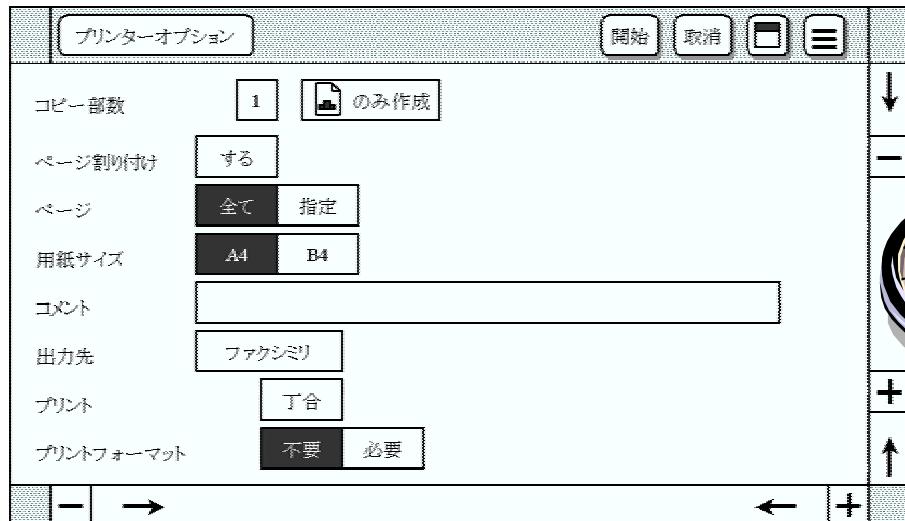
2^n 直交表を作成する

多水準系直交表への変形（方法は後述）

交互作用表を作成して見つける
線点図テンプレートを利用する

大規模組込みSWの現状

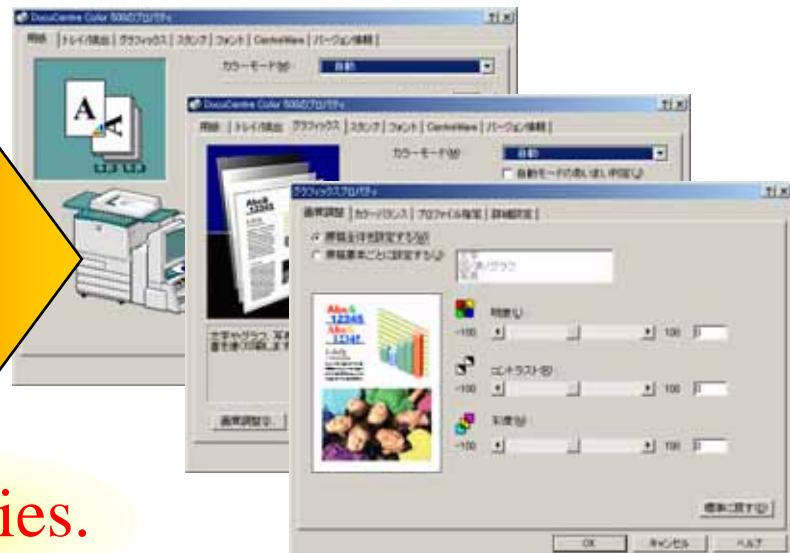
1989年 : J Star II (機能数 8)



機能数合計:8

設定値合計 :17

2003年 : DPC3530 (機能数108)



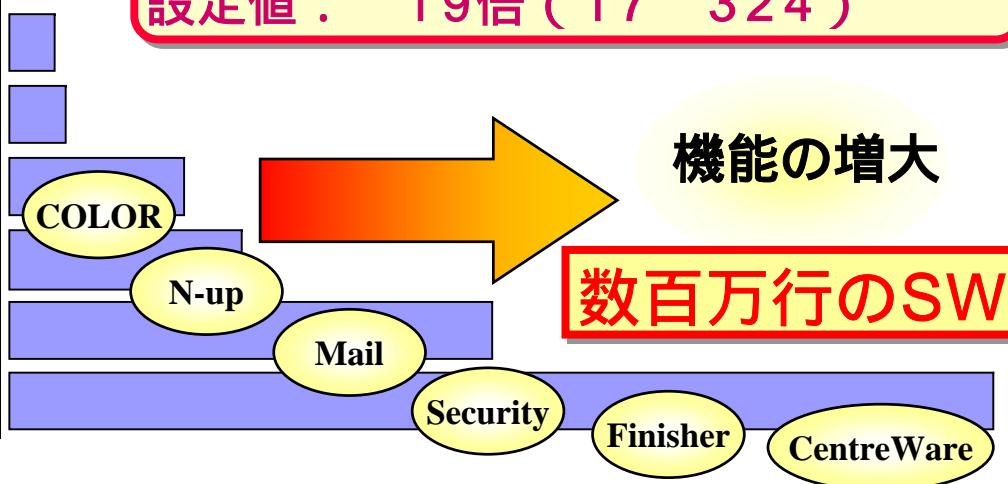
Time flies.

機能数合計:108

設定値合計 :324

機能数 : 13倍 (8 → 108)
設定値 : 19倍 (17 → 324)

年度	製品	機能数	設定値
1989年	J Star II	8	17
1991年	Global View	9	21
1994年	CM ICS	29	66
1996年	DP300	38	88
2002年	DCC500	42	183
2003年	DPC3530	108	324



直交表一覧

	HW系 推奨	名称	列数								備考
			2水準	3水準	4水準	5水準	6水準	8水準	16水準	合計	
2水準系		L4	3							3	2水準系は 4水準 2水準3つ 8水準 4水準1つと2水準4つ 16水準 8水準1つと2水準8つ にそれぞれ分解できる
		L8	4		1					4	
		L16			5					15	
		L16	8					1		15	
		L32			8			1		31	
		L64						9		63	
		L128	12		10			10	1	127	
		L256	11		21			13	6	255	
3水準系		L9		4						4	
		L27		13						13	
		L81		40						40	
		L243		121						121	
混合系		L18	1	7						8	
		L18(7)		6			1			7	L18の1,2列より6水準作成
		L54	1	25						26	
		L36	11	12						23	
		L36(16)	3	13							
		L36(13)		13						13	上記16因子タイプの3水準列のみ
		L108		49						49	
4~5水準系		L16(5)			5					5	
		L32(10)	1		9					10	
		L64(21)			21					21	
		L25				6				6	
		L50	1			11				12	
殆直交表		L'18	1	8						9	標準形に2'列を付加
		L'27		22						22	

直交表の作成（ 2^n 直交表）

直交表の拡張

因子が1つしかなく、因子の水準（：選択肢）が2つしかない場合、

	1
1	0
2	1

因子が2つになった場合の2因子間の組合せをすべて考慮したテストを実施するには

	1
1	0
2	1

行を2倍

	1
1	0
2	0
3	1
4	1

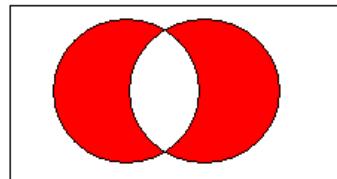
0、1を交互
に割付けた
列を追加

	1	2
1	0	0
2	0	1
3	1	0
4	1	1

これで因子1と因子2の全ての組み合わせとなる。

2水準系の直交表では、1列と2列の排他的論理和(XOR)をとったもう1列(1因子)を付け加える

排他的論理和(XOR)とは



	1	2	3
1	0	0	0
2	0	1	1
3	1	0	1
4	1	1	0

エクセルで排他的論理和をとる場合の式
 $\text{AND}(\text{OR}(A, B), \text{NOT}(\text{AND}(A, B)))$



L4直交表をL8直交表に拡張する例

	1	2	3
1	0	0	0
2	0	1	1
3	1	0	1
4	1	1	0

行を2倍

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

0、1を交互
に割付けた
列を追加

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

1列 XOR 4列 = 5列

2列 XOR 4列 = 6列

3列 XOR 4列 = 7列

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



全く同じ手順で
L8をL16、
L16をL32、
L32をL64、
L64をL128
L128をL256

…
に拡張することができる

多水準系直交表への変形

L8直交表で4水準の因子を考慮する場合

	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



	ABC	D	E	F	G
1	000	0	0	0	0
2	000	1	1	1	1
3	011	0	0	1	1
4	011	1	1	0	0
5	101	0	1	0	1
6	101	1	0	1	0
7	110	0	1	1	0
8	110	1	0	0	1

因子列A, B,Cを結合する。

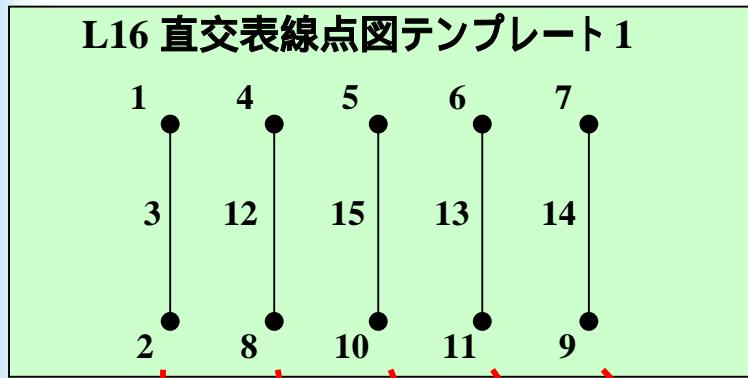
しかし、単純に無作為に、適当な列を選んで結合させればよいわけではない。
例えばABD列を結合させた場合

	C	ABD	E	F	G
1	0	000	0	0	0
2	0	001	1	1	1
3	1	010	0	1	1
4	1	011	1	0	0
5	1	100	1	0	1
6	1	101	0	1	0
7	0	110	1	1	0
8	0	111	0	0	1

因子ABD列の水準の種類は(000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111)の8種類となり、他の列との直交性が崩れる（他の列との全組合せが出現しない）

結合して良い列と、結合してはだめな列との違いを見分けるには、**線点図テンプレート**を使用する

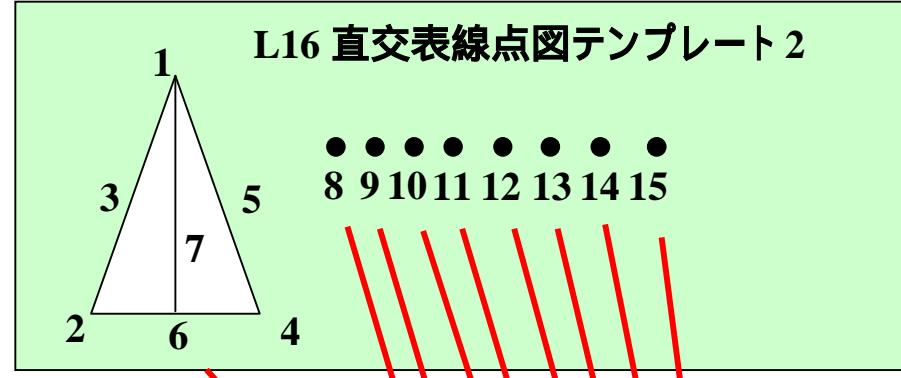
線点図と直交表との対応



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
	a	b	ab	c	cd	bd	abcd	ac	bc	abd	acd	abc	ad	bcd	abcd		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	0	0	0	0	0	1	11	0	0	1	0	11	0	1	11	0	
3	0	0	0	0	1	0	101	1	0	1	101	1	0	1	101	0	
4	0	0	0	0	1	0	110	1	0	110	1	0	110	1	0	110	
5	0	1	1	11	0	0	0	0	1	11	1	11	0	1	101	0	
6	0	1	1	11	0	1	11	0	0	0	0	1	101	1	1	0	110
7	0	1	1	11	1	0	101	1	0	110	0	1	11	0	0	0	0
8	0	1	1	11	1	0	110	1	0	101	0	0	0	0	1	11	0
9	1	0	1	101	0	0	0	1	0	101	0	1	11	1	0	110	0
10	1	0	1	101	0	0	1	11	1	0	110	0	0	1	1	101	0
11	1	0	1	101	1	0	101	0	0	0	0	1	11	0	1	11	0
12	1	0	1	101	1	1	101	0	0	1	11	1	0	1	101	0	0
13	1	1	0	110	0	0	0	1	0	110	0	1	101	1	1	11	0
14	1	1	0	110	1	1	11	0	0	1	101	1	0	110	0	0	0
15	1	1	0	110	1	0	101	0	1	11	0	0	0	1	0	110	0
16	1	1	0	110	1	1	0	110	0	0	0	0	1	11	0	101	0

使ってはいけない

使ってはいけない

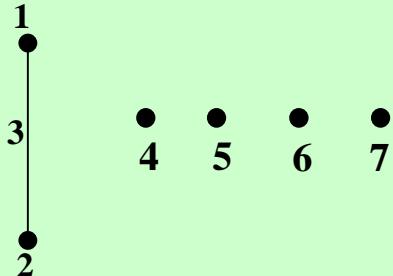


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	a	b	c	bc	abc	bd	abc	d	ad	bd	cd	acd	bcd	abcd		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	1	11	0	0	1	0	11	0	1	11	0
3	0	0	0	0	1	0	101	1	0	1	101	1	0	1	101	0
4	0	0	0	0	1	0	110	1	0	110	1	0	110	1	0	110
5	0	1	1	11	0	0	0	0	1	11	1	11	0	1	101	0
6	0	1	1	11	0	1	11	0	0	0	1	101	1	1	0	110
7	0	1	1	11	1	0	101	1	0	110	0	1	11	0	0	0
8	0	1	1	11	1	0	110	1	0	101	0	0	0	1	11	0
9	1	0	1	101	0	0	0	1	0	101	0	1	11	1	0	110
10	1	0	1	101	0	0	1	11	1	0	110	0	0	1	1	101
11	1	0	1	101	1	0	101	0	0	0	1	11	0	1	11	0
12	1	0	1	101	1	1	101	0	0	1	11	1	0	1	1	101
13	1	1	0	110	0	0	0	1	0	110	0	1	101	1	1	11
14	1	1	0	110	1	1	11	0	0	1	101	1	0	110	0	0
15	1	1	0	110	1	0	101	0	1	11	0	0	0	1	0	110
16	1	1	0	110	1	1	0	110	0	0	0	1	11	0	101	0

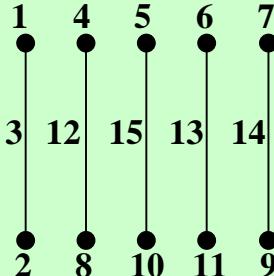
使ってはいけない

線点図テンプレート L8 L16 L32

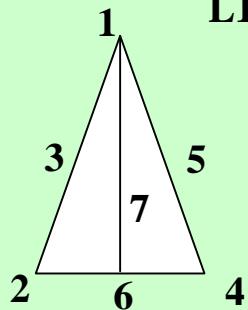
L8 直交表線点図テンプレート



L16 直交表線点図テンプレート 1

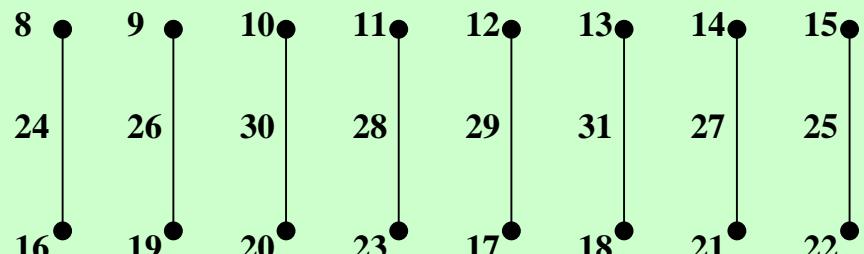
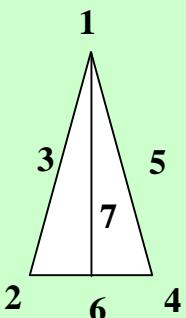


L16 直交表線点図テンプレート 2



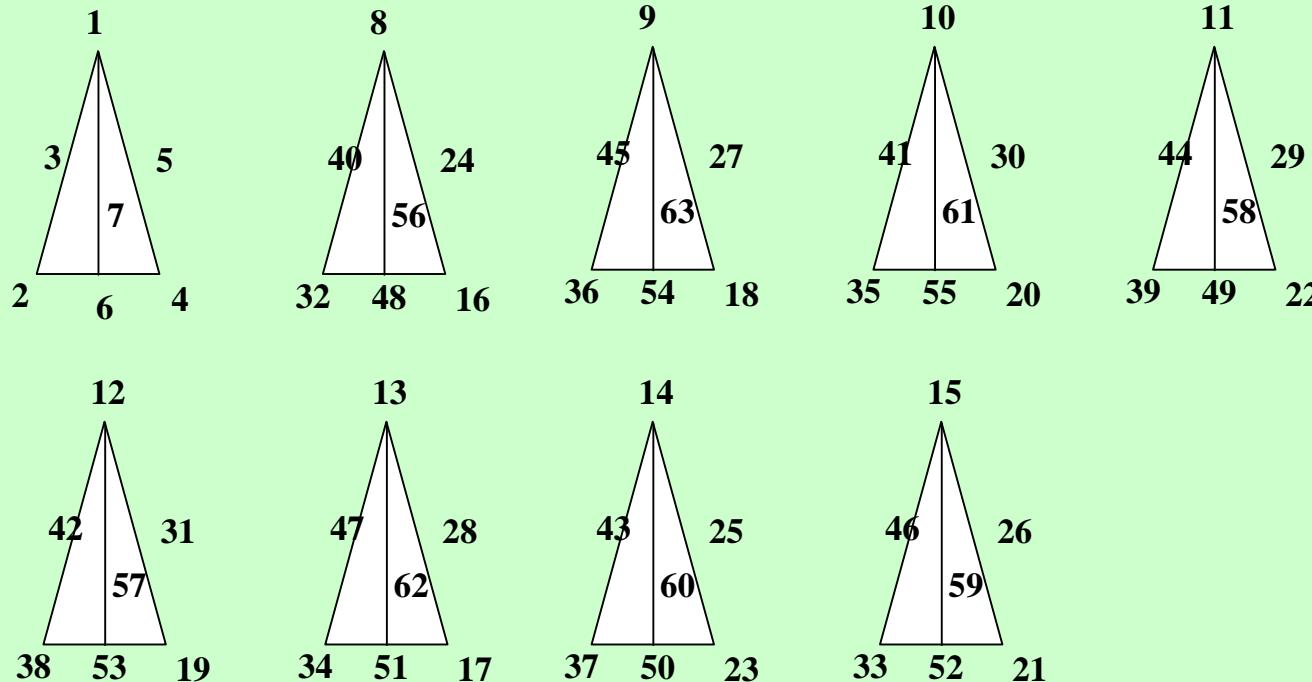
• • • • • • •
8 9 10 11 12 13 14 15

L32 直交表線点図テンプレート



線点図テンプレート L64

L64 直交表線点図テンプレート



法則 1：異なる群に属する2列の交互作用は必ず高次の列と同じ群となる

法則 2：同一の群に属する2列の交互作用の全部または一部は，必ずこれより低次の群となる

という法則から の頂点を探して（L64では,4,5,6群が の頂点となるということ）あとは,交互作用の点を探していく。

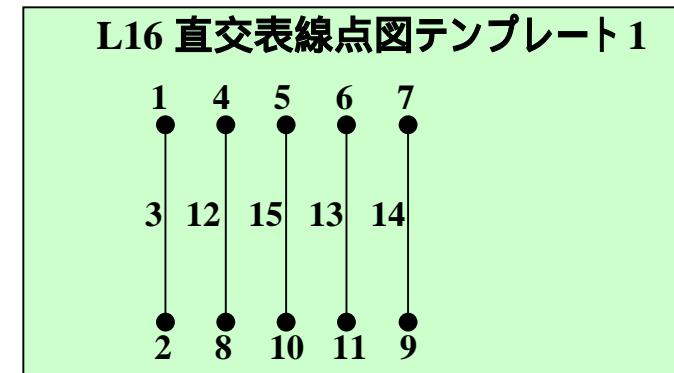
3. 線点図の組み換え

実際には、割付けたい因子の水準数と、線点図テンプレートが一致しない場合が多い。
このような場合には、線点図を解体して使用する。

朝ご飯の献立	
米	コシヒカリ ササニシキ
魚	鯛 すずき さより かれい
たまご	だしまき 生たまご ゆでたまご 目玉焼き
みそ汁	しじみ わかめ
おかず	卵焼き ほうれん草
デザート	ヨーグルト プリン

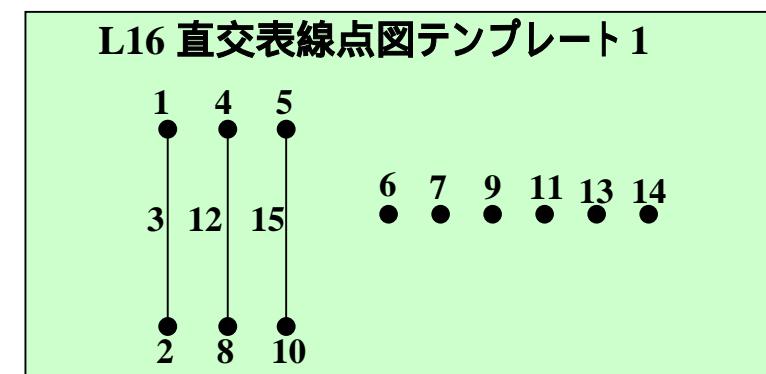
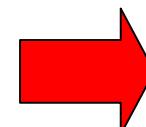
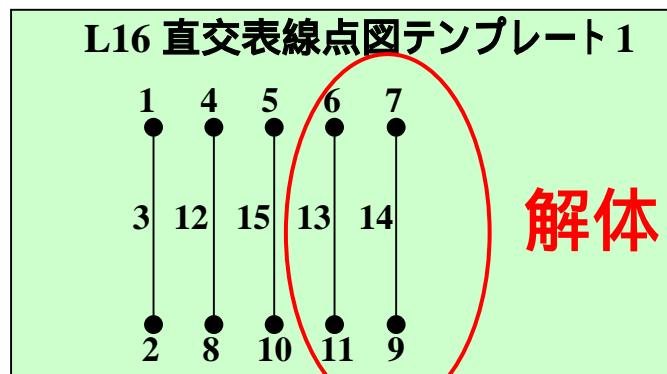
{ 2
4
4
2
2
2
2 }

一致しない



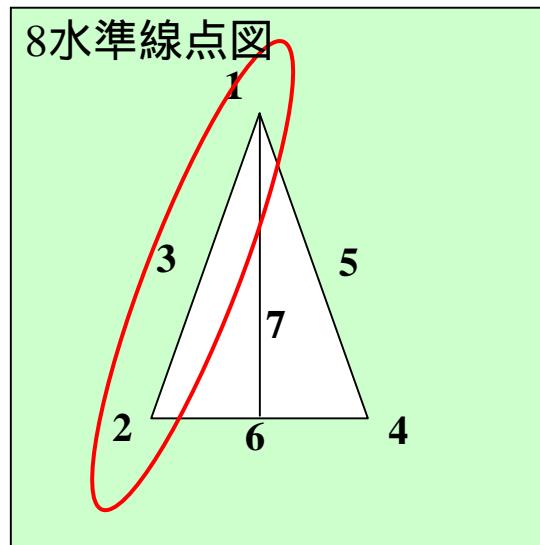
線点図テンプレートに2水準線点図が、4つ足りない。

割付けたい因子の水準数と線点図テンプレートが一致しない場合には線点図を解体する

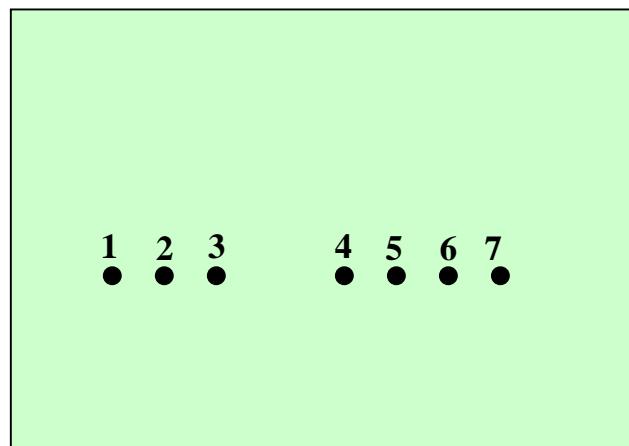
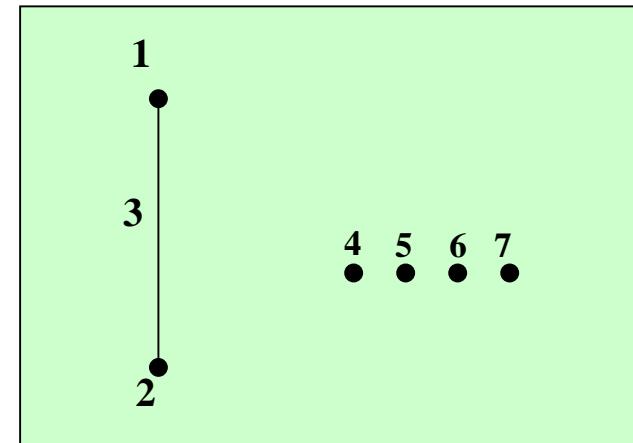




8水準線点図を解体する場合も同様



8水準線点図を4水準と2水準に解体する場合

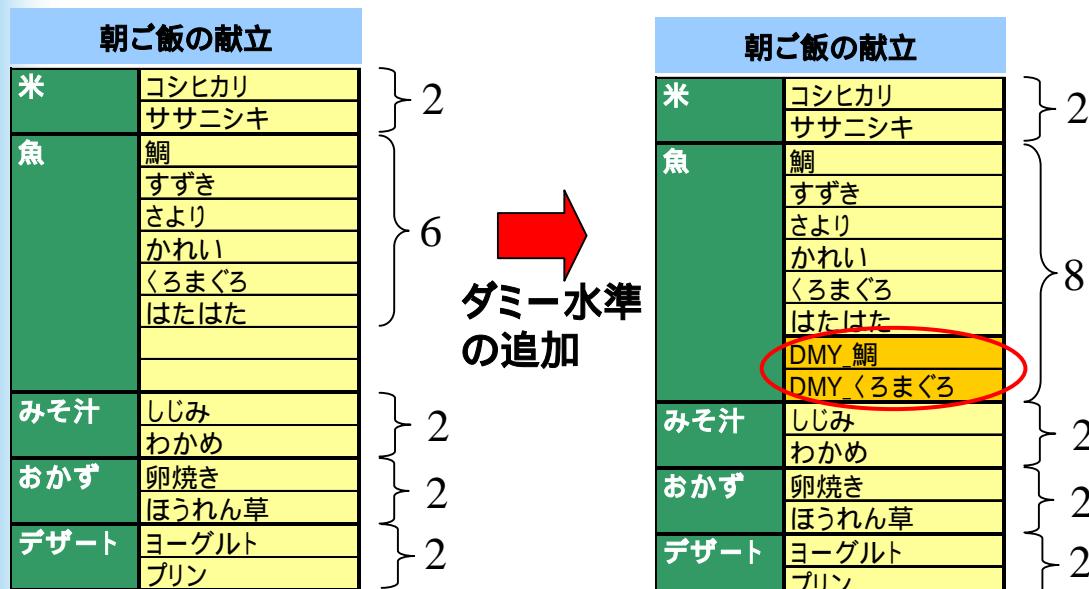


さらに2水準のみに解体する場合

4. 因子・水準の割り付け（線点図より少ないとき）

ダミー水準とは

線点図テンプレートに用意されている線点図が許容できる水準数を、実験したい因子の保有する水準数が下回っている場合に用いる手法。



ダミー水準
の追加

割付後の直交表

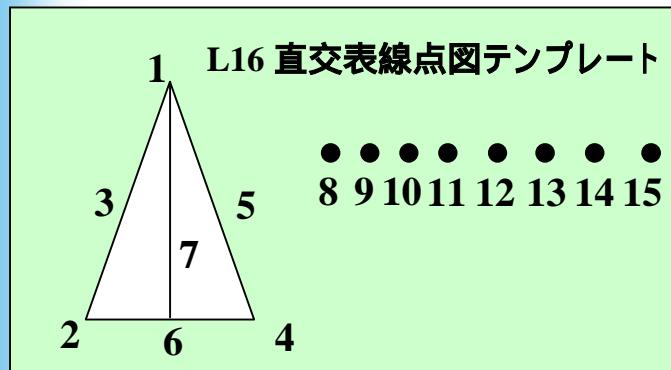
1234567	8	9	10	おかず	11	デザート	12	13	14	15
魚	*	味噌汁					cd	cd	cd	abcd
1 鯛	コシヒカリ	しじみ	卵焼き	ヨーグルト	0	0	0	0	0	0
2 鯛	ササニシキ	わかめ	ほうれん草	プリン	1	1	1	1	1	1
3 すずき	コシヒカリ	しじみ	卵焼き	ヨーグルト	1	1	1	1	1	1
4 すずき	ササニシキ	わかめ	ほうれん草	プリン	0	0	0	0	0	0
5 さより	コシヒカリ	しじみ	ほうれん草	プリン	0	0	1	1	1	1
6 さより	ササニシキ	わかめ	卵焼き	ヨーグルト	1	1	0	0	0	0
7 かれい	コシヒカリ	しじみ	ほうれん草	プリン	1	1	0	0	0	0
8 かれい	ササニシキ	わかめ	卵焼き	ヨーグルト	0	0	1	1	1	1
9 くろまぐろ	コシヒカリ	わかめ	卵焼き	プリン	0	1	0	1	1	1
10 くろまぐろ	ササニシキ	しじみ	ほうれん草	ヨーグルト	1	0	1	0	0	0
11 はたはた	コシヒカリ	わかめ	卵焼き	プリン	1	0	1	0	0	0
12 はたはた	ササニシキ	しじみ	ほうれん草	ヨーグルト	0	1	0	1	0	0
13 DMY_鯛	コシヒカリ	わかめ	ほうれん草	ヨーグルト	0	1	1	0	0	1
14 DMY_鯛	ササニシキ	しじみ	卵焼き	プリン	1	0	0	1	0	1
15 DMY_くろまぐろ	コシヒカリ	わかめ	ほうれん草	ヨーグルト	1	0	0	1	0	1
16 DMY_くろまぐろ	ササニシキ	しじみ	卵焼き	プリン	0	1	1	0	0	0

ダミー水準として重要な水準を選択することにより、よりテストに多く出現させることができる。

4. 因子・水準の割り付け（線点図より多いとき）

水準の抽象化とは

線点図テンプレートに用意されている線点図が許容できる水準数を、実験したい因子の保有する水準数が越えている場合に用いる手法。



朝ご飯の献立

米	コシヒカリ ササニシキ
魚	鯛 さんま すずき ひらめ かれい くろまぐろ はたはた 金目鯛 さより かじき はぜ なます
みそ汁	しじみ わかめ
おかず	卵焼き ほうれん草
デザート	ヨーグルト プリン

2

抽象化

2

2

2

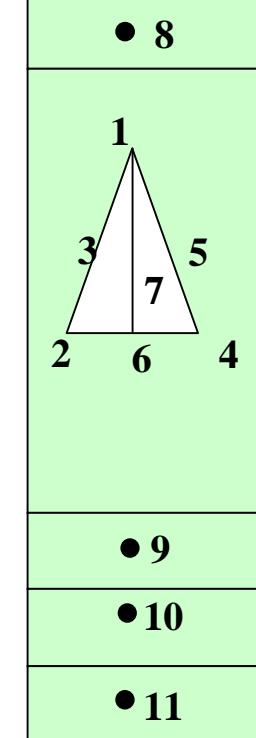
2

朝ご飯の献立

米	コシヒカリ ササニシキ
魚	鯛・さんま すずき・ひらめ さより・なます かれい くろまぐろ はたはた・かじき 金目鯛 はぜ
みそ汁	しじみ わかめ
おかず	卵焼き ほうれん草
デザート	ヨーグルト プリン

2

8



同値分割の要領で同じドメインに属する水準をまとめるとよい（例えば、用紙サイズで言えばB4とB5など）。

抽象化後の展開

1234567	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	1	1	1	1	1	1
3	1111	0	0	0	0	1	1	1
4	1111	1	1	1	1	0	0	0
5	110011	0	0	1	1	0	0	1
6	110011	1	1	0	0	1	1	0
7	111100	0	0	1	1	1	0	0
8	111100	1	1	0	0	0	0	1
9	1010101	0	1	0	1	0	1	0
10	1010101	1	0	1	0	1	0	1
11	1011010	0	1	0	1	1	0	1
12	1011010	1	0	1	0	0	1	0
13	1100110	0	1	1	0	0	1	1
14	1100110	1	0	0	1	1	0	1
15	1101001	0	1	1	0	1	0	1
16	1101001	1	0	0	1	0	1	1

割付け
抽象化されたままの水準

割付後の直交表（抽象化水準未展開）

1234567	8	9	10	11	12	13	14	15
魚	*	味噌汁	おかず	デザート	cd	acd	bcd	abcd
鯛・さんま	コシヒカリ	しじみ	卵焼き	ヨーグルト	0	0	0	0
鯛・さんま	ササニシキ	わかめ	ほうれん草	プリン	1	1	1	1
すずき・ひらめ	コシヒカリ	しじみ	卵焼き	ヨーグルト	1	1	1	1
すずき・ひらめ	ササニシキ	わかめ	ほうれん草	プリン	0	0	0	0
さより・なます	コシヒカリ	しじみ	ほうれん草	プリン	0	0	1	1
さより・なます	ササニシキ	わかめ	卵焼き	ヨーグルト	1	1	0	0
かれい	コシヒカリ	しじみ	ほうれん草	プリン	1	1	0	0
かれい	ササニシキ	わかめ	卵焼き	ヨーグルト	0	0	1	1
くろまぐろ	コシヒカリ	わかめ	卵焼き	プリン	0	1	0	1
くろまぐろ	ササニシキ	しじみ	ほうれん草	ヨーグルト	1	0	1	0
はたはた・かじき	コシヒカリ	わかめ	卵焼き	プリン	1	0	1	0
はたはた・かじき	ササニシキ	しじみ	ほうれん草	ヨーグルト	0	1	0	1
金目鯛	コシヒカリ	わかめ	ほうれん草	ヨーグルト	0	1	1	0
金目鯛	ササニシキ	しじみ	卵焼き	プリン	1	0	0	1
はぜ	コシヒカリ	わかめ	ほうれん草	ヨーグルト	1	0	0	1
はぜ	ササニシキ	しじみ	卵焼き	プリン	0	1	1	0

抽象化水準の分離

1234567	8	9	10	11	12	13	14	15
魚	*	味噌汁	おかず	デザート	cd	acd	bcd	abcd
鯛	コシヒカリ	しじみ	卵焼き	ヨーグルト	0	0	0	0
さんま	ササニシキ	わかめ	ほうれん草	プリン	1	1	1	1
すずき	コシヒカリ	しじみ	卵焼き	ヨーグルト	1	1	1	1
ひらめ	ササニシキ	わかめ	ほうれん草	プリン	0	0	0	0
さより	コシヒカリ	しじみ	ほうれん草	プリン	0	0	1	1
なます	ササニシキ	わかめ	卵焼き	ヨーグルト	1	1	0	0
かれい	コシヒカリ	しじみ	ほうれん草	プリン	1	1	0	0
かれい	ササニシキ	わかめ	卵焼き	ヨーグルト	0	0	1	1
くろまぐろ	コシヒカリ	わかめ	卵焼き	プリン	0	1	0	1
くろまぐろ	ササニシキ	しじみ	ほうれん草	ヨーグルト	1	0	1	0
はたはた	シヒカリ	わかめ	卵焼き	プリン	1	0	1	0
かじき	ササニシキ	しじみ	ほうれん草	ヨーグルト	0	1	0	1
金目鯛	コシヒカリ	わかめ	ほうれん草	ヨーグルト	0	1	1	0
金目鯛	ササニシキ	しじみ	卵焼き	プリン	1	0	0	1
はぜ	コシヒカリ	わかめ	ほうれん草	ヨーグルト	1	0	0	1
はぜ	ササニシキ	しじみ	卵焼き	プリン	0	1	1	0

抽象化を解除した水準

5. 禁則の回避

禁則マトリクスとは、因子の間の禁則関係を、マトリクス状に表現したものです。

相互排他関係

		禁則設定因子						
		まとめて1枚						
		しない	2 up	4 up	8 up	2 up	4 up	8 up
拡大縮小	しない							
25%								
70%								
400%								

条件因子

多層化関係

		両面		
		しない	長辺とじ	短辺とじ
		A4		
出力用紙サイズ	A4			
	A6			
	B4			
	はがき			
	封筒			
	B6			
	B5			

可変因子関係

		とじしろ位置				
		しない	短辺左	短辺右	短辺上	長辺左
		原稿の向き	両面	なし	なし	なし
条件因子群の全組合せ	たて					
	たて	長辺				
	たて	短辺				
	よこ		なし			
	よこ	長辺				
	よこ	短辺				

赤色のセルが禁則の設定されている組み合わせ。

条件因子の保有する水準の組合せと、禁則設定因子の保有する水準の組合せの総当たり形式のマトリクス。禁則の設定には方向性を考慮する。

禁則の回避が必要な理由

割付ける因子水準

因子	水準
部数	1
	2
	3
ソート	On
	Off
出力用紙サイズ	A3
	A4
	B4
	はがき
まとめて1枚	しない
	2アップ
	4アップ
	8アップ
	マージ
ズーム	なし
	25%
	400%
	原稿の向き
両面	たて
	よこ
とじしる位置	しない
	長辺とじ
	短辺とじ
スタンプ文字列	しない
	短辺左
	短辺右
	短辺上
	長辺左
	長辺右
	長辺上
スタンプ位置	上
	下
	左
	右
スタンプ最初のページのみ	しない
	する

これから試しに禁則処理を全く回避しないで、直交表に因子を割付けてみます。

■が同時に設定できない組合せ

		まとめて1枚			
		まとめて1枚	2 up	4 up	8 up
スタンプ文字列	マージ	しない			
	なし		■	■	■
	まる秘				
	回覧				
スタンプ位置	社外秘				
	上				
	下				
	左				
スタンプ最初のページのみ	右				
	しない				
	する	■			
	する				

		最初のページのみ	
		する	しない
スタンプ文字列	なし		
	まる秘		
	回覧		
	社外秘		

		スタンプ位置			
		右	左	上	下
スタンプ文字列	なし	■	■	■	■
	まる秘				
	回覧				
	社外秘				

		とじしる位置			
		長辺右	短辺右	短辺左	長辺左
原稿の向き	両面	■	■	■	■
	たて	■			
	たて		■		
	たて			■	
	よこ	■			
	よこ		■		
	よこ			■	

禁則の回避が必要な理由

- 禁則処理がテスト項目にどのように含まれているのかを確認してみました。

テスト可否	部数	ソート	出力用紙サイズ	まとめて1枚	ズーム	原稿の向き	両面	とじしろ位置	スタンプ文字列	スタンプ位置	スタンプ最初のページのみ
×	1	On	A3	しない	なし	たて	なし	しない	なし	上	しない
×	2	On	A4	2アップ	25%	たて	長辺どじ	しない	まる秘	下	する
×	3	On	B4	4アップ	400%	よこ	短辺どじ	しない	回覧	左	しない
DMY_1	On	はがき	8アップ	DMYなし	よこ	DMYなし	しない	社外秘	右	する	
×	1	Off	A3	2アップ	25%	よこ	短辺どじ	短辺左	回覧	右	する
2	Off	A4	しない	なし	よこ	DMYなし	短辺左	社外秘	左	しない	
×	3	Off	B4	8アップ	DMYなし	たて	なし	短辺左	なし	下	する
DMY_1	Off	はがき	4アップ	400%	たて	長辺どじ	短辺左	まる秘	上	しない	
1	Off	A4	4アップ	DMYなし	よこ	なし	短辺右	まる秘	左	する	
×	2	Off	A3	8アップ	400%	よこ	長辺どじ	短辺右	なし	右	しない
3	Off	はがき	しない	25%	たて	短辺どじ	短辺右	社外秘	上	する	
DMY_1	Off	B4	2アップ	なし	たて	DMYなし	短辺右	回覧	下	しない	
×	1	On	A4	8アップ	400%	たて	短辺どじ	短辺上	社外秘	下	しない
2	On	A3	4アップ	DMYなし	たて	DMYなし	短辺上	回覧	上	する	
×	3	On	はがき	2アップ	なし	よこ	なし	短辺上	まる秘	右	しない
DMY_1	On	B4	しない	25%	よこ	長辺どじ	短辺上	なし	左	する	
×	1	Off	はがき	しない	DMYなし	よこ	長辺どじ	長辺左	回覧	下	しない
2	Off	B4	2アップ	400%	よこ	なし	長辺左	社外秘	上	する	
3	Off	A4	4アップ	25%	たて	DMYなし	長辺左	なし	右	しない	
DMY_1	Off	A3	8アップ	なし	たて	短辺どじ	長辺左	まる秘	左	する	
×	1	On	はがき	2アップ	400%	たて	DMYなし	長辺右	なし	左	する
2	On	B4	しない	DMYなし	たて	短辺どじ	長辺右	まる秘	右	しない	
3	On	A4	8アップ	なし	よこ	長辺どじ	長辺右	回覧	上	する	
DMY_1	On	A3	4アップ	25%	よこ	なし	長辺右	社外秘	下	しない	
×	1	On	B4	4アップ	なし	たて	長辺どじ	長辺上	社外秘	右	する
2	On	はがき	8アップ	25%	たて	なし	長辺上	回覧	左	しない	
3	On	A3	しない	400%	よこ	DMYなし	長辺上	まる秘	下	する	
DMY_1	On	A4	2アップ	DMYなし	よこ	短辺どじ	長辺上	なし	上	しない	
×	1	Off	B4	8アップ	25%	よこ	DMYなし	DMYしない	まる秘	上	しない
2	Off	はがき	4アップ	なし	よこ	短辺どじ	DMYしない	なし	下	する	
3	Off	A3	2アップ	DMYなし	たて	長辺どじ	DMYしない	社外秘	左	しない	
DMY_1	Off	A4	しない	400%	たて	なし	DMYしない	回覧	右	する	

32項目あるテスト項目のうち25項目が禁則処理を含んでいることが分かります。

このままでは、正常系のテストが出来ないので、禁則関係にある水準を別な水準に変更する必要があります。実際のソフトウェアでは因子の数もたくさんあり、禁則の数も膨大です。これらを一つ一つチェックし、組合せの出現頻度を維持しながら、テスト実施可能なテスト項目を作成するのはたいへんな作業です。

直交表は、全ての組合せを保証してくれるのですが、その反面、禁則の回避をあらかじめしておかないと、正常系のテスト項目として成り立たなくなってしまいます。

禁則の回避処理

原稿の向き	両面	とじしろ位置				
		しない	短辺 左	短辺 右	短辺 上	長辺 左
たて	なし					
たて	長辺					
たて	短辺					
よこ	なし					
よこ	長辺					
よこ	短辺					

1. 条件因子：普通に直交表に割り付ける
 2. 禁則因子：条件に合うものを割り付ける
- さらに効率よく割り付けるためには、
HAYST法（JaSST'04で発表）を使用する

用紙サイズ	原稿の向き	両面	とじしろ位置	出力トレイ	部数
A4	たて	なし	0	トレイ1	1
A4	たて	長辺	11	トレイ2	2
A4	よこ	短辺	101	トレイ3	1
A4	よこ	DMY_なし	110	手差し	2
B4	よこ	なし	110	手差し	1
B4	よこ	長辺	101	トレイ3	2
B4	たて	短辺	11	トレイ2	1
B4	たて	DMY_なし	0	トレイ1	2
A3	よこ	なし	11	トレイ2	2
A3	よこ	長辺	0	トレイ1	1
A3	たて	短辺	110	手差し	2
A3	たて	DMY_なし	101	トレイ3	1
B5	たて	なし	101	トレイ3	2
B5	たて	長辺	110	手差し	1
B5	よこ	短辺	0	トレイ1	2
B5	よこ	DMY_なし	11	トレイ2	1

Matrix Tester (手法を展開するイネーブラー)



Matrix - Sample.mxi *

ファイル(F) 編集(E) 表示(V) パラメータ・値(L) 禁則(P) マトリクスの生成(Q) マトリクス編集(M) 分析(S) 自動実行(A) ウィンドウ(W) ヘルプ(H)

操作ガイド

パラメータ値入力
禁則入力
マトリクス新規生成

部分網羅モード (2パラメータ、3パラメータの100%網羅)
網羅度保証モード

テスト設計

Sample.mxi

値名 8プロックテンプレート(AUTO)

しない	1
標準	2
人物	3 6 8
風景	4 7
現場写真	5

因子水準をエラーを含め分かりやすく表示

複数回のUndoが可能
直感的なアイコン、分かりやすい操作性
16 水準、L 2 5 6 対応

Excelにしなくてもツール上でマトリクスを編集可能 (変更箇所は色で識別)

マトリクス新規生成

マトリクス生成モード[HAYST法]

● 基本モード(N)
● 部分網羅モード(P)
○ 網羅度保証モード(A)
 すべての値の出現

2パラメータ設定(Q)... [未入力]
3パラメータ以上設定(U)... [未入力]

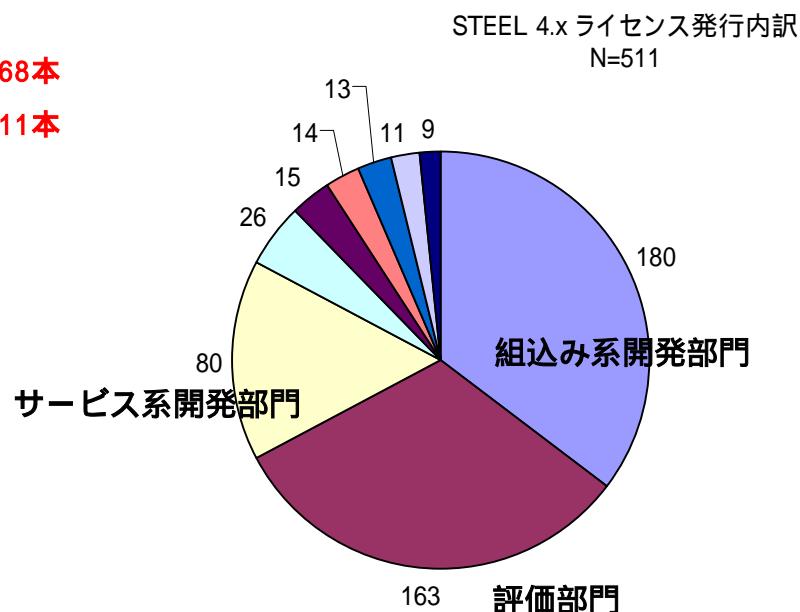
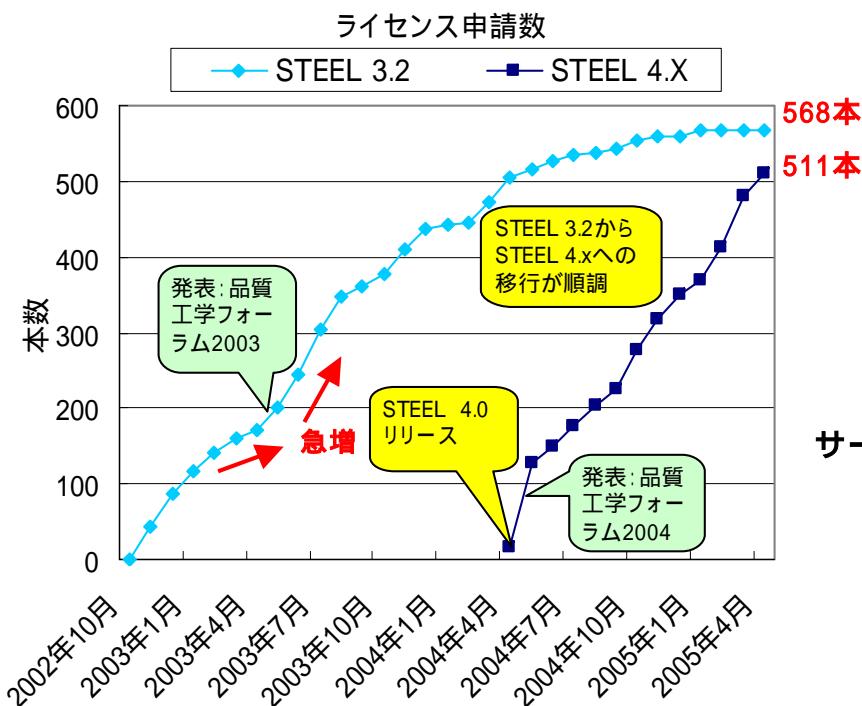
マトリクス生成開始(G)

No.	自動実行	テスト結果	氏
A1	未実施	未実施	
A2	未実施	未実施	
A3	未実施	未実施	
A4	未実施	未実施	
A5	未実施	未実施	
A6	未実施	未実施	
A7	未実施	未実施	
A8	未実施	未実施	
A9	未実施	未実施	
A10	未実施	未実施	

食事	運動	運動の種類	サプリメント	睡眠時間	間食	お酒	夜食
洋食	する	なし	ピタミンE	8時間	なし	日本酒	なし
和食	する	なし	ピタミンC	12時間	ケーキ	ビール	カッパラーメン
カレー	する	なし	アミノ酸	8時間	ケーキ	ワイン	なし
そば	する	なし	ピタミンA	6時間	なし	なし	カッパラーメン
カレー	する	水添	ピタミンB	12時間	ケーキ	なし	カッパラーメン
牛丼	する	なし	ピタミンC	4時間	ケーキ	ワイン	カッパラーメン
カレー	する	なし	ピタミンB	6時間	フルーツ	ワイン	なし
パスタ	する	なし	ピタミンA	8時間	なし	ワイン	やきそば
和食	しない	なし	アミノ酸	なし	なし	なし	なし
パスタ	する	なし	ピタミンC	10時間	ビール	なし	

ツール利用状況

- STEELツールのライセンス申請数は500本を超えた（2005年4月現在）
- 昨年4月にSTEEL4.0がリリース後、現場での新バージョンへの移行は順調に推移



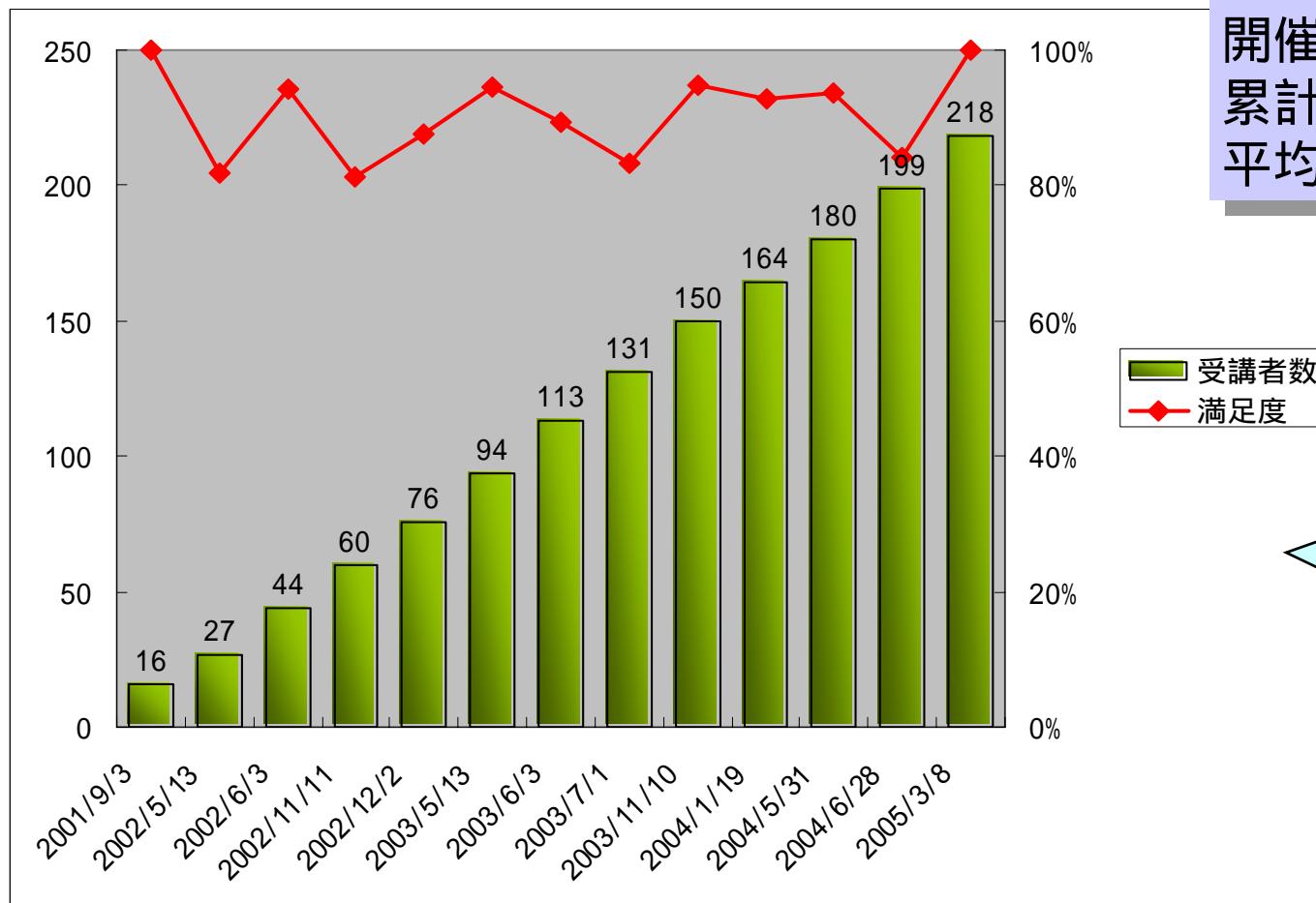
品質工学フォーラム（社内）の発表後に、ライセンス申請が増加

- ・組込み系開発部門が180本と最多（35%）
- ・評価部門は全体の1/3

社内教育展開状況

- R&D部門に対してはほぼ全部門で受講済み
- 関連会社も展開（FXPS, FXIS, FXEC, 新潟FX, FX-SDCC中国, XEROX）

社内教育の実施



開催回数：13回
累計受講者：218名
平均満足度：90%

ソフト開発業務を行う上で非常にためになる講義だった。すぐに実務に使ってみたい
-SW開発部門の受講者

テストスクリプト作成プロセスの変化



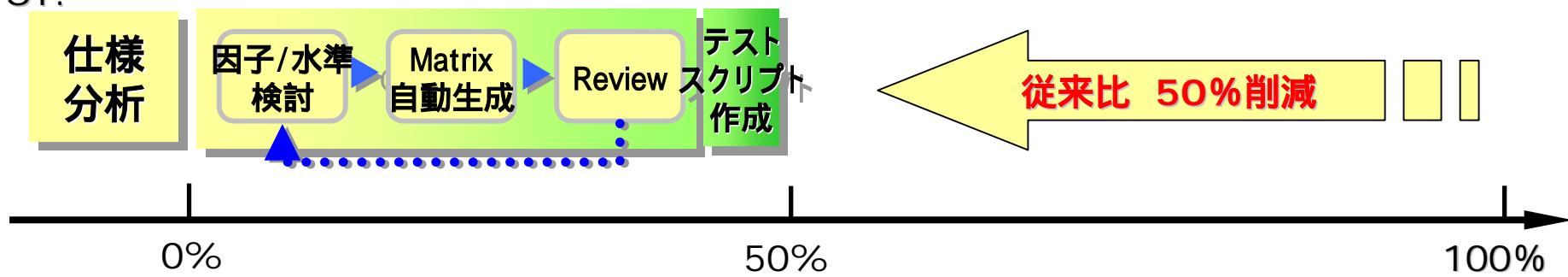
- ・従来の経験型(蓄積された情報を元にしたスクリプト作成)と比較し、「**テスト設計**」に時間がかけられるようになった
- ・担当者による**テストスクリプトの質のバラツキが抑えられる**ようになった



従来:



HAYST:

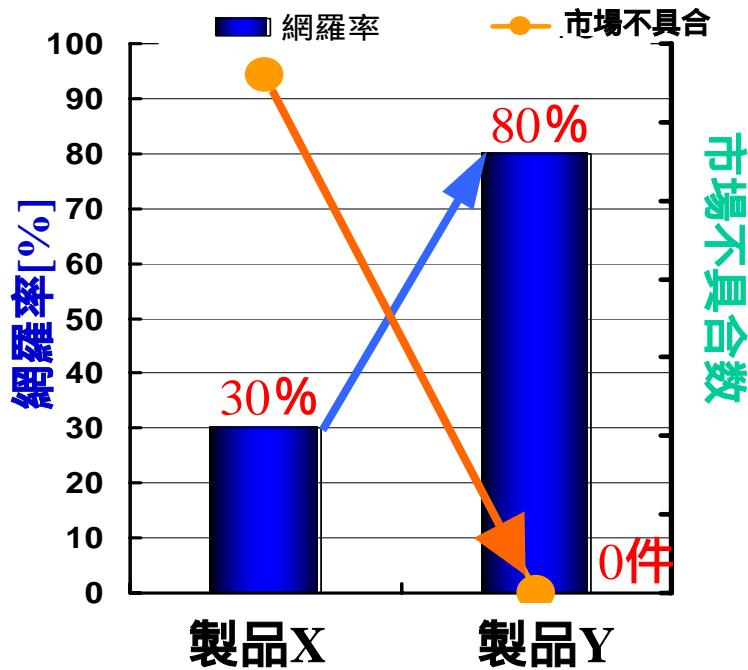


富士ゼロックスにおける適用結果

組合せ網羅率2.7倍

組合せ市場不具合ほぼ0件

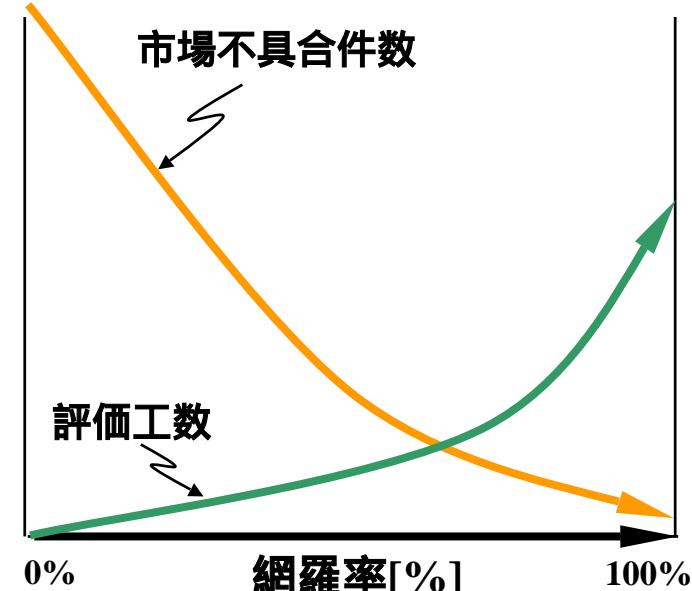
品質面における効果



勘と経験

HAYST法

高い網羅率で市場流出不具合を
極限まで減らす

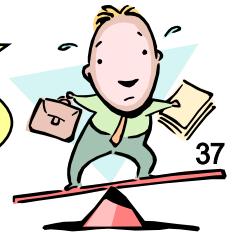


網羅率100%でテストは完了必要工数もこれがMax

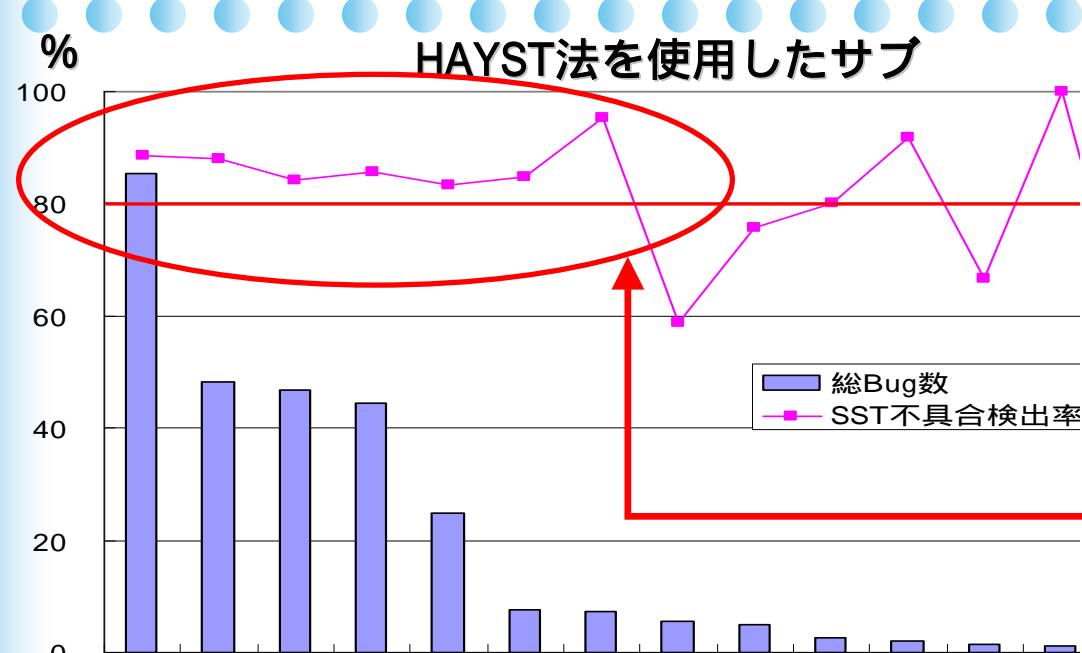


組合せ網羅率100%のテスト
は必要な?

テストの経済性に対する検証は
損失関数を使って検討をして行きたい

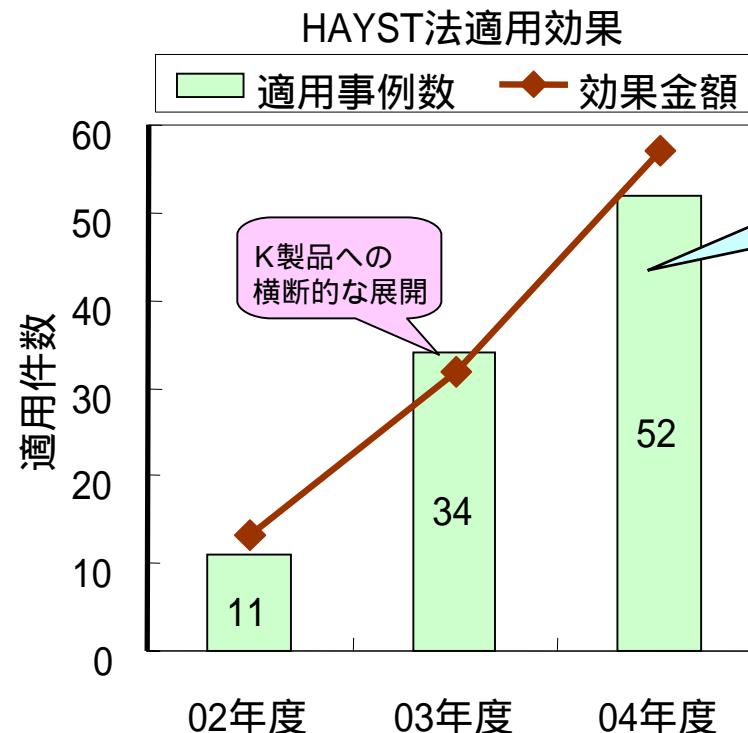


開発テスト終了時のバグ検出状況



展開効果実績

- HAYST法の適用件数は年々増加
- テスト工数低減と製品品質向上効果を金額も年々増加



現在はHAYST法無しではテスト設計ができないほど依存度が高くなっている
- 開発部Mgr

適用効果集計用の標準フォーム

This is a screenshot of a Microsoft Word document containing a standard form for collecting effect data. The form includes sections for basic information, application details, and various quantitative fields related to test cases and costs.

- 効果金額は
 1. 工数削減効果
 2. バグ検出件数增加による手戻り低減効果から構成される。市場でのサービスコスト低減は未計上
- 効果金額は、適用先のマネージャによる実測値である

まとめとその他応用について



直交表（HAYST法）を利用する事により、

2機能間テスト網羅率UP 品質向上（サブ毎のバラツキなし）
ことがわかった。また、オフショア開発等における受け入れ基準にも有効
その他応用

パフォーマンステストへの応用

直交表実験を実施し、SN比と感度を求め、要因効果図を作成することによりパフォーマンスに効果が高い因子が特定できる（Printerはオプションでメモリ容量、速度優先、画質優先、イメージエンハンス、圧縮、解像度…etc.を選択できるがどの設定が効果が高いかはメーカー、機種等によって異なる。他社機と比較し自社の弱みを知り対策に結びつける）

テスト環境への応用

OS、言語、ブラウザ、利用プロトコル、グラフィックカード…etc.を直交表で組み合わせテスト環境を必要最小限に抑える

テスト手順

A、B、Cの3機能に対してテスト手順を変えながら組み合わせたい場合がある。その時は「ABC、ACB、BAC、BCA、CAB、CBA」の6水準の因子を作り同時に直交表に割り付ける事により手順と各手順の水準を組み合わせてテストを実施する（簡易的には「ABC、CBA」の2水準とする）