

# ペトリネットを利用した状態遷移テスト

---

和田 浩一

東京エレクトロン(株) SDC FAグループ



東京エレクトロン



# 目次

---

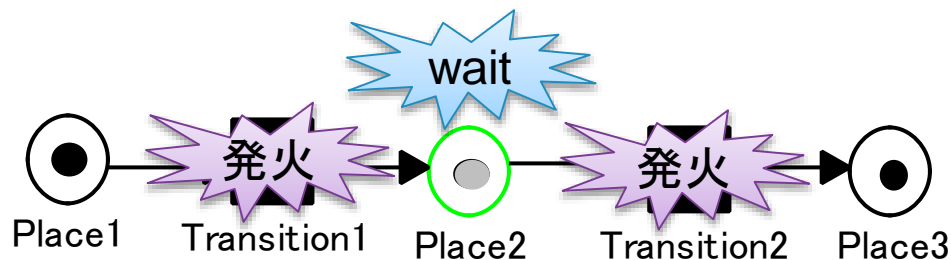
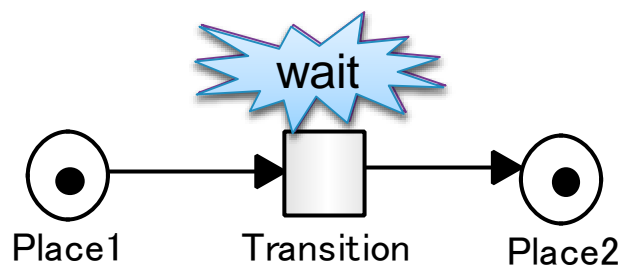
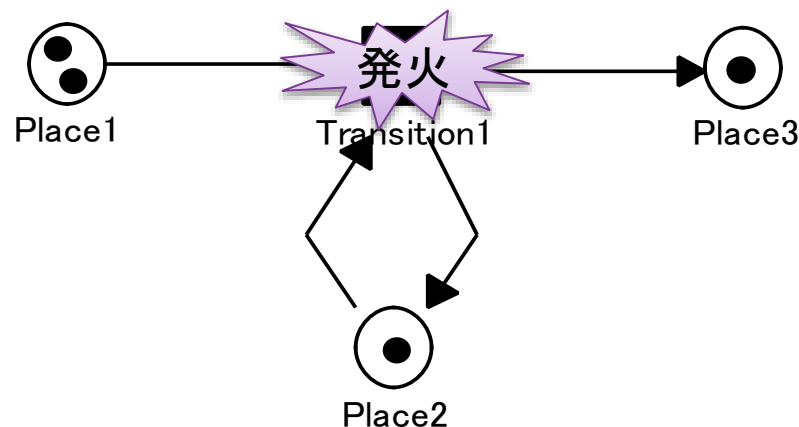
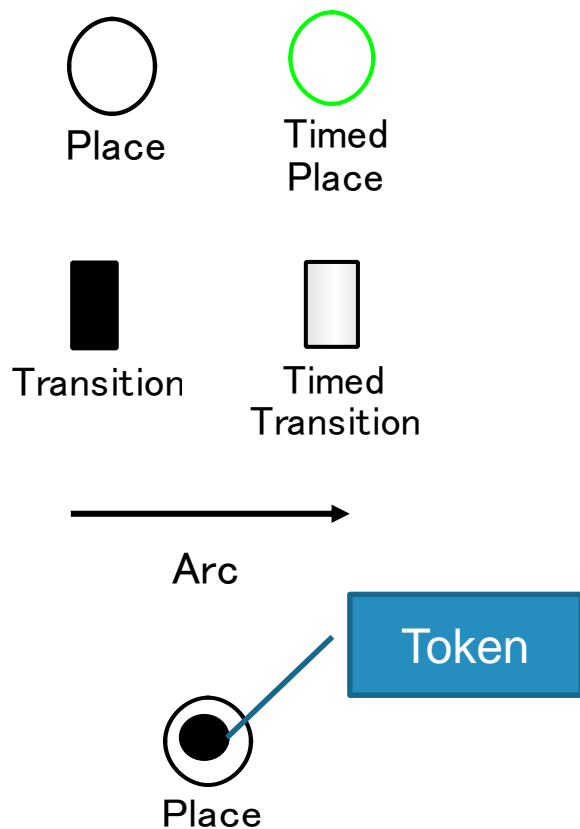
- ペトリネットの概要
- 適用事例

# ペトリネットの概要 — ペトリネットとは

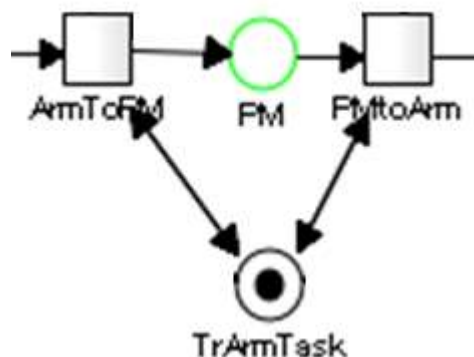
---

- ペトリネット (Petri Net) とは、カール・アダム・ペトリが 1962年に発表した離散分散システムを数学的に表現する手法である。
- 視覚的で、数学的な離散事象システムをモデル化するツールの一つである。

# ペトリネットの概要 — ペトリネットの表記と挙動



# ペトリネットの概要 — ペトリネットの表記と挙動

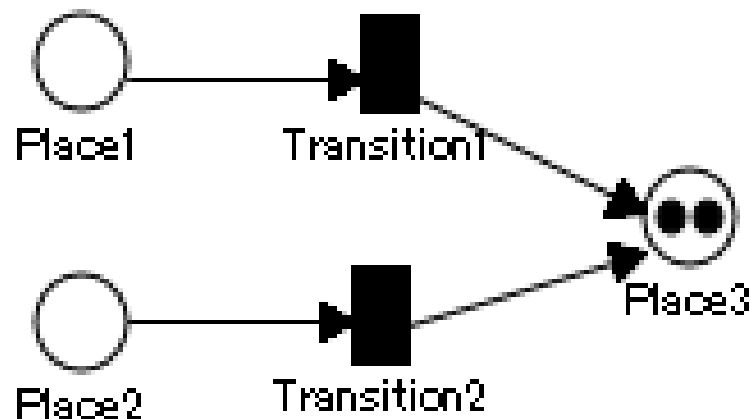
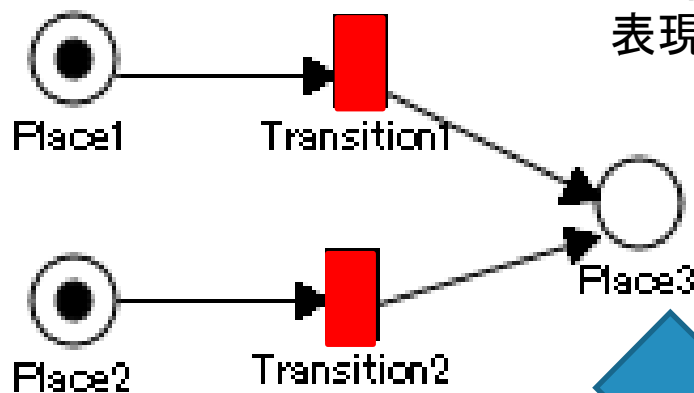


Place/Transitionは役割に応じた  
名前をつける

双方向に矢印があるものは、  
Place→TransitionのArcとTransition→Place  
のArc 計2本をまとめて記載したもの

# ペトリネットの概要 — Transitionの同時発火

同時刻に事象が成り立つことを1つのモデル上で表現できることがポイント



# ペトリネットの概要 — ペトリネットのメリット

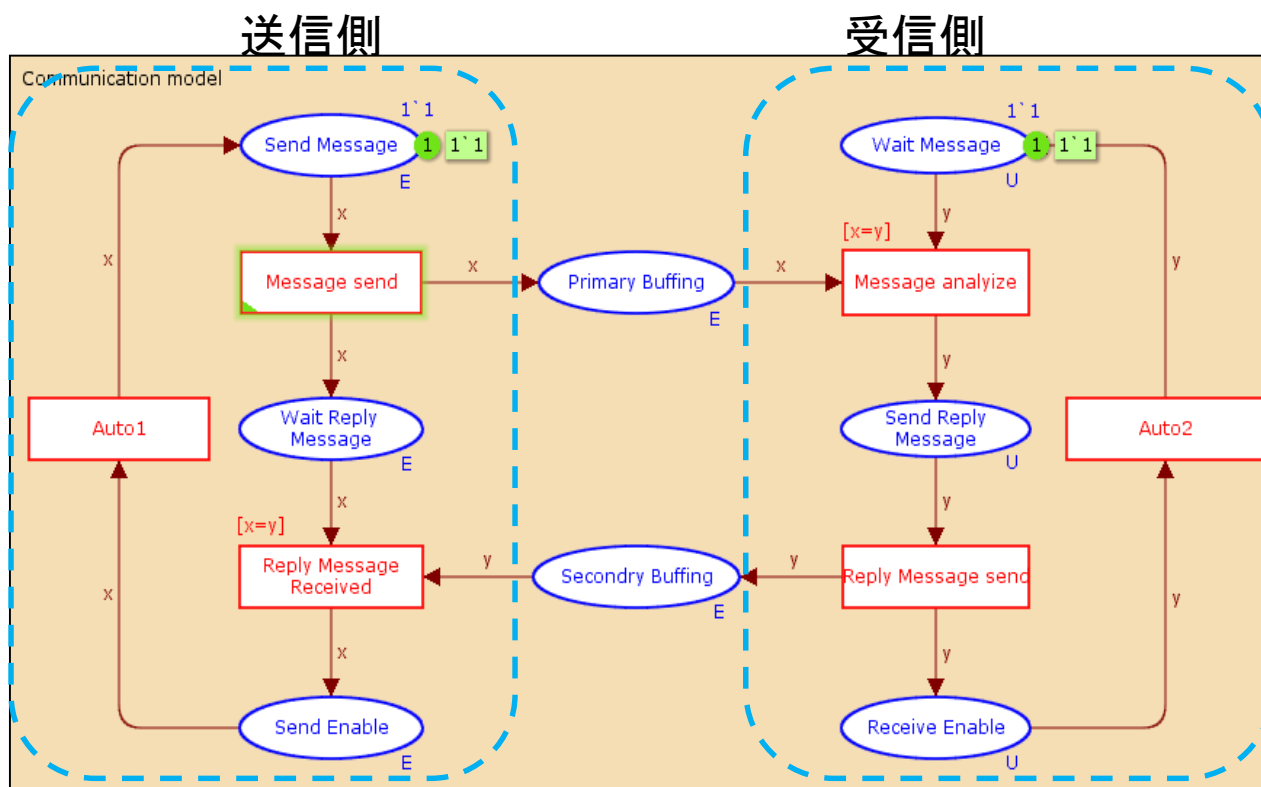
- 少ない部品で表現できるので図が描きやすい
- シミュレーションを実施することができる
  - 状態遷移の検証ができる
- 並行性、非同期性を表すことができる
  - 変更による影響範囲の特定が容易になる
  - システムの整合性が検証できる

静的なフローチャートとは異なり、状態をモデル上で動かす事が可能

# ペトリネットの概要 — CPNToolsを用いた状態モデル

- CPNToolsを用いて2つの状態モデルを合成した図

メッセージの送受信 モデル1:送信側 モデル2:受信側



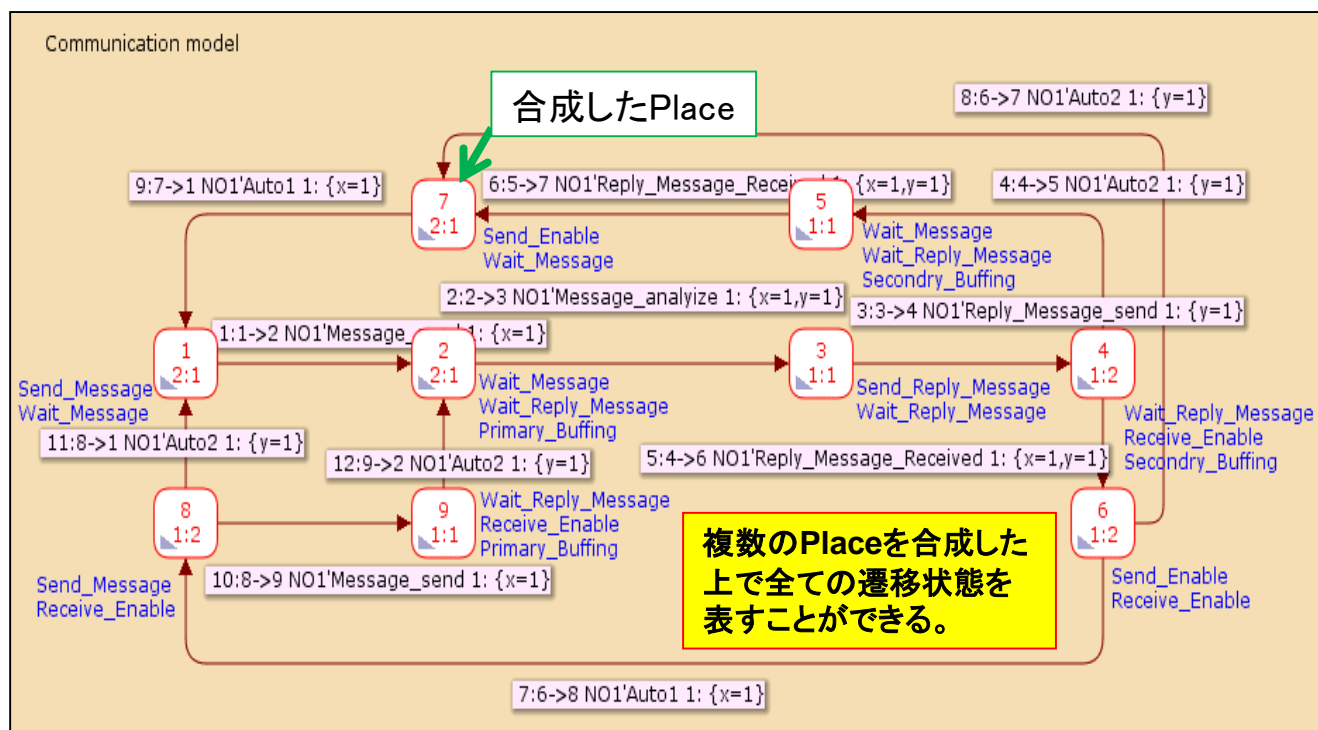
ペトリネット図



# ペトリネットの概要 — CPNToolsを用いた状態モデル

- 合成した状態モデルから算出する可達グラフ

メッセージの送受信 モデル1:送信側 モデル2:受信側



# 適用事例

---

- はじめに
- 対象システムの概要
- 問題点
- 問題点の分析
- 施策
- 効果
- その他の効果
- まとめ

# 適用事例 — はじめに

---

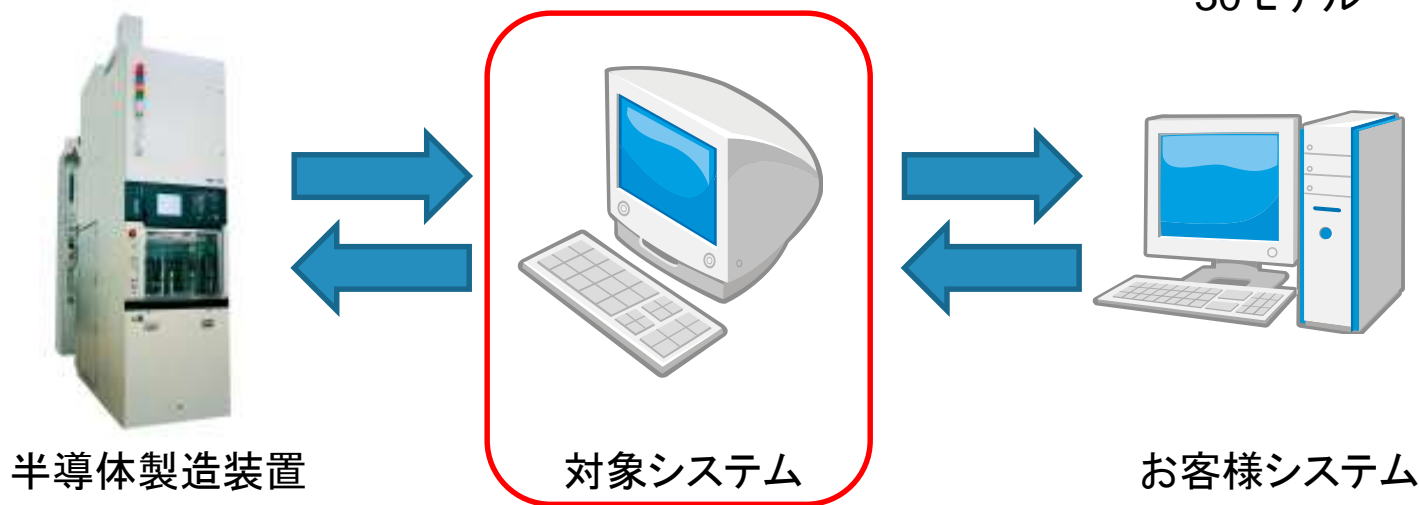
- はじめに

本事例発表は既存システムの状態モデル改修作業を行う際に使用したペトリネットを用いたテスト取り組みについて説明します。

# 適用事例 — 対象システムの概要

## • 対象システムの概要

コード行数  
約150万LOC  
状態モデル数  
30モデル

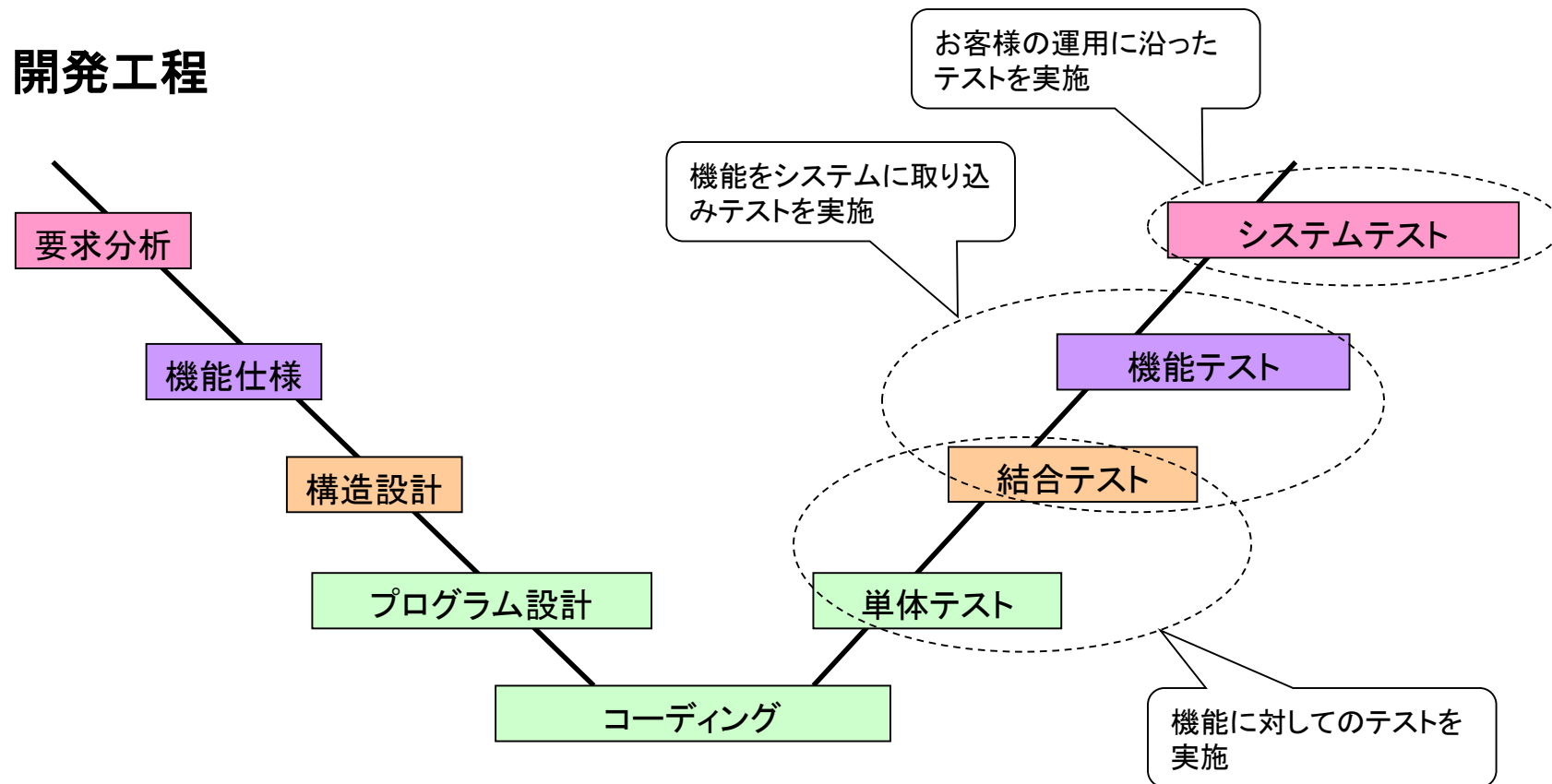


1. 半導体製造装置で発生したイベントをお客様システムに沿った内容に変換して報告しています。
2. イベントは半導体製造装置から報告され、各部位毎に状態モデルを用意してお客様システムに報告しています。
3. 状態モデル内の遷移は半導体製造装置で発生したイベント以外にも状態モデル間で連動しての遷移も行っています。

# 適用事例 — 解決したい問題点

- システムテストで報告される欠陥が多く、手戻りが多い

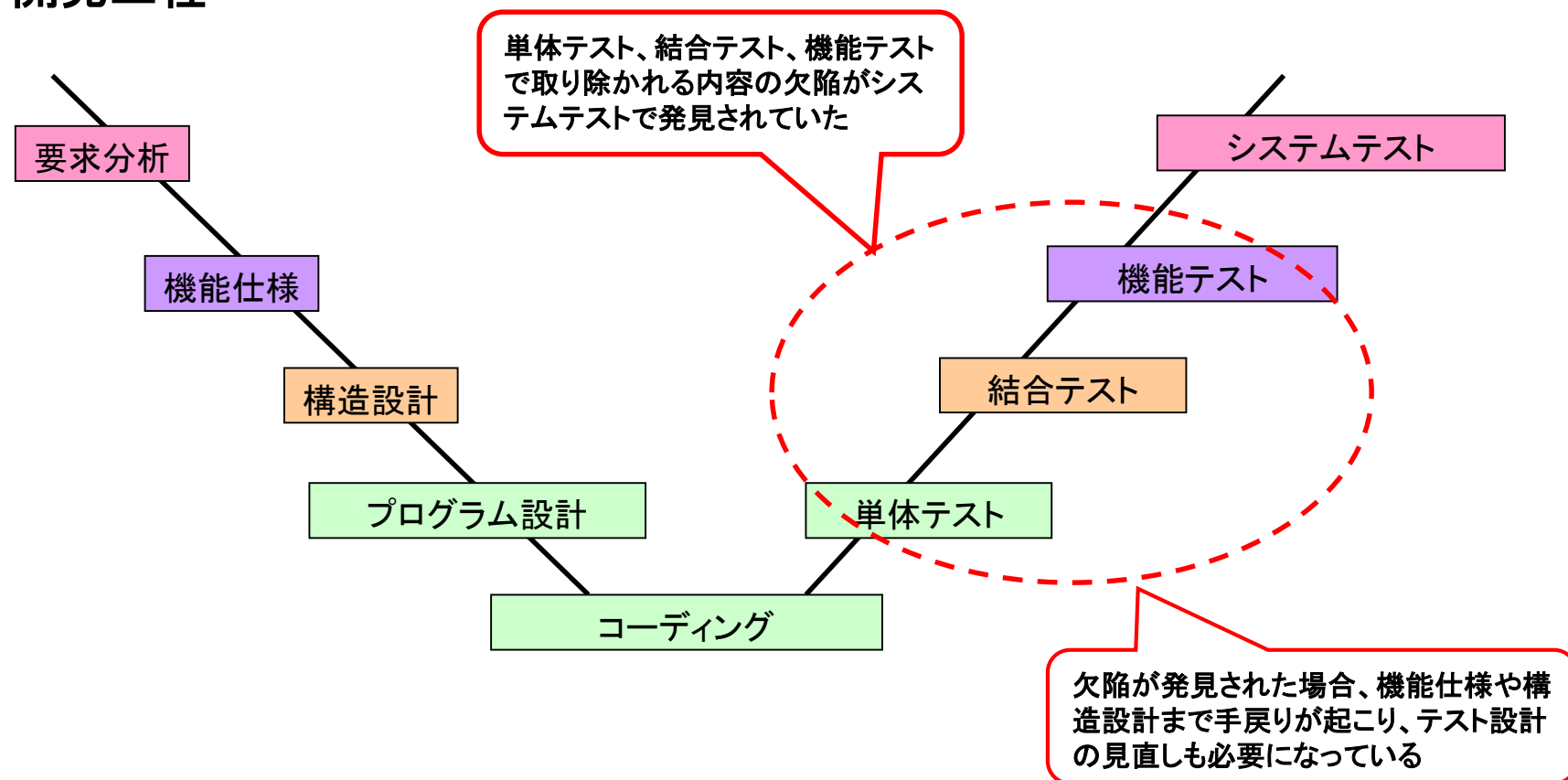
## 開発工程



# 適用事例 — 問題点の分析

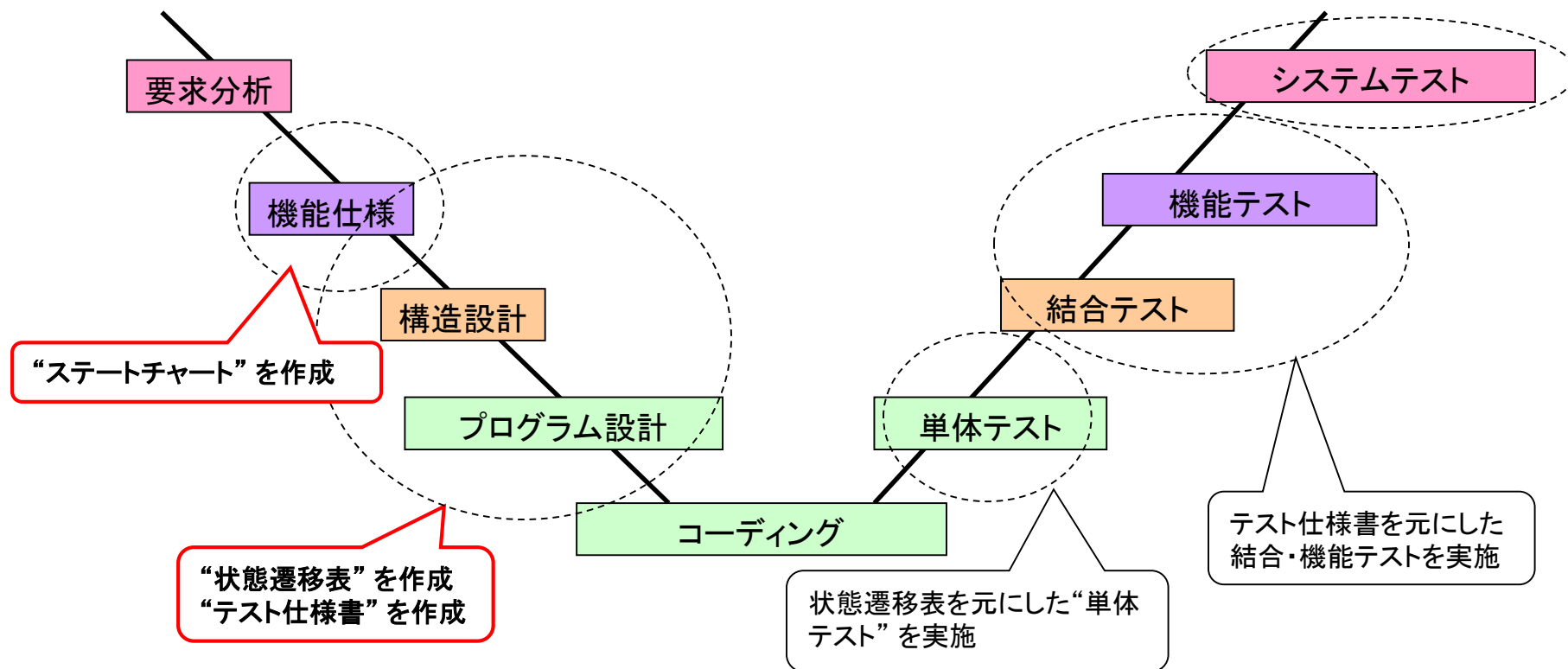
- システムテストで発見される欠陥を分析すると、システムテスト以前で発見されるべき問題が多くあった

## 開発工程



# 適用事例 ― 問題点の分析

- テストで使う“入力資料”の作成時期

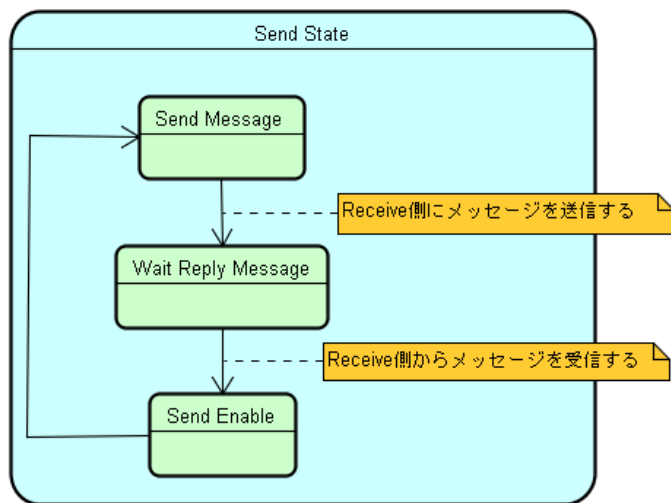


# 適用事例 ― 問題点の分析

## ・ 今までの状態モデルのテストケース作成手順

STEP1: 要求分析結果から状態チャートを作成する。

状態モデルが複数ある場合はそれぞれの状態チャートを作成する。



状態チャート

STEP2: 状態チャートから状態遷移表を作成する。

条件		TO		
		a	b	c
FROM	1 Send Message	Send Message	Wait Reply Message	Send Enable
	2 Wait Reply Message		Receive側からのメッセージ受信待ち	
	3 Send Enable	送信するメッセージをチェックする		

単体テストで使用

状態遷移表



# 適用事例 ー 問題点の分析

## ・ 今までの状態モデルのテストケース作成手順

STEP3: 状態遷移表を元にテストケースを作成する。複数の状態モデルが絡む場合には合成してテストケースを作成する。

条件	TO		
	a	b	c
	Send Message	Wait Reply Message	Send Enable
1 Send Message		Receive側からメッセージを送信する	
2 Wait			
3 Reply Message			Receive側からのメッセージ受信待機
4 Send Enable	送信するメッセージをチャックする		

状態遷移表1

条件	TO		
	a	b	c
	Wait Message	Send Reply Message	Receive Enable
1 Wait Message		Send側からメッセージを受信した	
2 Send			
3 Reply Message			Send側からメッセージを送信した
4 Receive Enable	受信待機に遷移する		

状態遷移表2

項目		項目	項目	項目	項目	項目	項目
No		項目	項目	項目	項目	項目	項目
1		1. 送信側からメッセージを送信する。					
2		2. 受信側からメッセージを受信する。					
3		3. 送信側からメッセージを送信する。					
4		4. 受信側からメッセージを受信する。					
5		5. 送信側からメッセージを送信する。					
6		6. 受信側からメッセージを受信する。					
7		7. 送信側からメッセージを送信する。					
8		8. 受信側からメッセージを受信する。					
9		9. 送信側からメッセージを送信する。					
10		10. 受信側からメッセージを受信する。					
11		11. 送信側からメッセージを送信する。					
12		12. 受信側からメッセージを受信する。					
13		13. 送信側からメッセージを送信する。					
14		14. 受信側からメッセージを受信する。					
15		15. 送信側からメッセージを送信する。					
16		16. 受信側からメッセージを受信する。					
17		17. 送信側からメッセージを送信する。					
18		18. 受信側からメッセージを受信する。					
19		19. 送信側からメッセージを送信する。					
20		20. 受信側からメッセージを受信する。					
21		21. 送信側からメッセージを送信する。					
22		22. 受信側からメッセージを受信する。					
23		23. 送信側からメッセージを送信する。					
24		24. 受信側からメッセージを受信する。					
25		25. 送信側からメッセージを送信する。					
26		26. 受信側からメッセージを受信する。					
27		27. 送信側からメッセージを送信する。					
28		28. 受信側からメッセージを受信する。					
29		29. 送信側からメッセージを送信する。					
30		30. 受信側からメッセージを受信する。					
31		31. 送信側からメッセージを送信する。					
32		32. 受信側からメッセージを受信する。					
33		33. 送信側からメッセージを送信する。					
34		34. 受信側からメッセージを受信する。					
35		35. 送信側からメッセージを送信する。					
36		36. 受信側からメッセージを受信する。					
37		37. 送信側からメッセージを送信する。					
38		38. 受信側からメッセージを受信する。					
39		39. 送信側からメッセージを送信する。					
40		40. 受信側からメッセージを受信する。					
41		41. 送信側からメッセージを送信する。					
42		42. 受信側からメッセージを受信する。					
43		43. 送信側からメッセージを送信する。					
44		44. 受信側からメッセージを受信する。					
45		45. 送信側からメッセージを送信する。					
46		46. 受信側からメッセージを受信する。					
47		47. 送信側からメッセージを送信する。					
48		48. 受信側からメッセージを受信する。					
49		49. 送信側からメッセージを送信する。					
50		50. 受信側からメッセージを受信する。					
51		51. 送信側からメッセージを送信する。					
52		52. 受信側からメッセージを受信する。					
53		53. 送信側からメッセージを送信する。					
54		54. 受信側からメッセージを受信する。					
55		55. 送信側からメッセージを送信する。					
56		56. 受信側からメッセージを受信する。					
57		57. 送信側からメッセージを送信する。					
58		58. 受信側からメッセージを受信する。					
59		59. 送信側からメッセージを送信する。					
60		60. 受信側からメッセージを受信する。					
61		61. 送信側からメッセージを送信する。					
62		62. 受信側からメッセージを受信する。					
63		63. 送信側からメッセージを送信する。					
64		64. 受信側からメッセージを受信する。					
65		65. 送信側からメッセージを送信する。					
66		66. 受信側からメッセージを受信する。					
67		67. 送信側からメッセージを送信する。					
68		68. 受信側からメッセージを受信する。					
69		69. 送信側からメッセージを送信する。					
70		70. 受信側からメッセージを受信する。					
71		71. 送信側からメッセージを送信する。					
72		72. 受信側からメッセージを受信する。					
73		73. 送信側からメッセージを送信する。					
74		74. 受信側からメッセージを受信する。					
75		75. 送信側からメッセージを送信する。					
76		76. 受信側からメッセージを受信する。					
77		77. 送信側からメッセージを送信する。					
78		78. 受信側からメッセージを受信する。					
79		79. 送信側からメッセージを送信する。					
80		80. 受信側からメッセージを受信する。					
81		81. 送信側からメッセージを送信する。					
82		82. 受信側からメッセージを受信する。					
83		83. 送信側からメッセージを送信する。					
84		84. 受信側からメッセージを受信する。					
85		85. 送信側からメッセージを送信する。					
86		86. 受信側からメッセージを受信する。					
87		87. 送信側からメッセージを送信する。					
88		88. 受信側からメッセージを受信する。					
89		89. 送信側からメッセージを送信する。					
90		90. 受信側からメッセージを受信する。					
91		91. 送信側からメッセージを送信する。					
92		92. 受信側からメッセージを受信する。					
93		93. 送信側からメッセージを送信する。					
94		94. 受信側からメッセージを受信する。					
95		95. 送信側からメッセージを送信する。					
96		96. 受信側からメッセージを受信する。					
97		97. 送信側からメッセージを送信する。					
98		98. 受信側からメッセージを受信する。					
99		99. 送信側からメッセージを送信する。					
100		100. 受信側からメッセージを受信する。					

テスト仕様書

結合、機能テストで使用



## 適用事例 ー 問題点の分析

- テストケース作成の問題点を分析すると、
  1. 状態モデル内の影響範囲の特定不足でテストケース漏れが発生している。
  2. 状態モデルが合成された場合の並行性(結合)に関してのテストケース漏れが発生している。



分析結果より、以下の条件を満たす手法を検討

1. シミュレーションできる事(可視化)。
2. 状態モデルを複合させ、表現できる事。

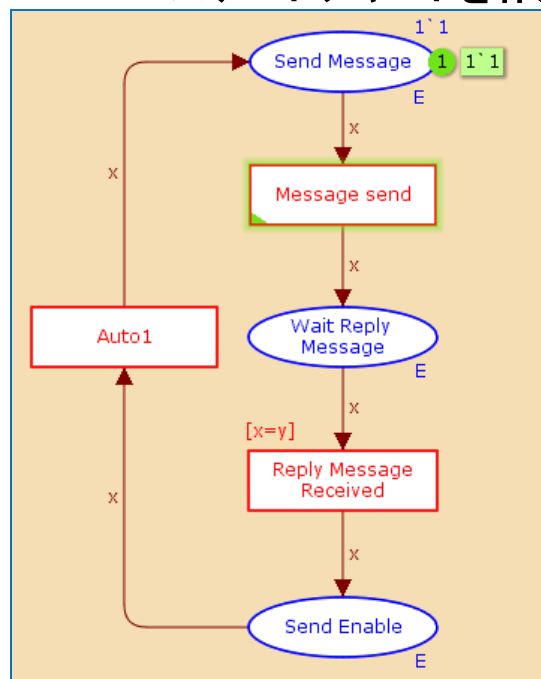
**ペトリネットを用いて状態モデルを表す事を行う事にしました。**

# 適用事例 — 施策

- 影響範囲を特定する

CPNToolsを用いて、それぞれの状態モデルのステートチャートを作成する。

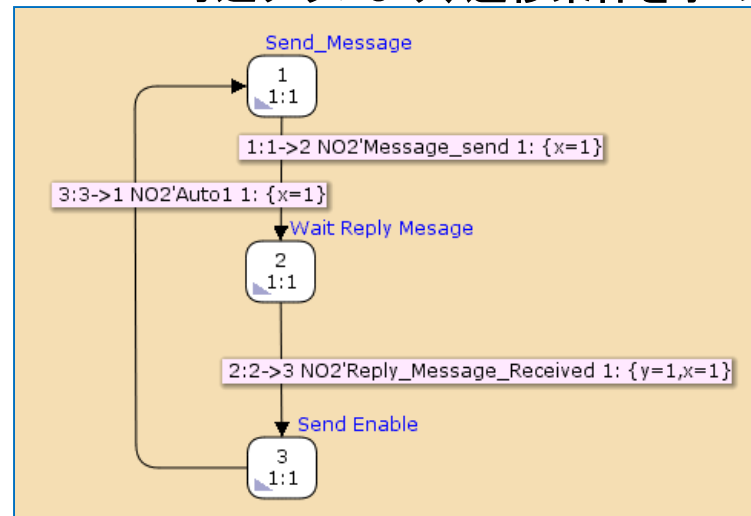
**STEP1:**ステートチャートを作成し、シミュレーションする



状態モデル図



**STEP2:**可達グラフより、遷移条件を求める



状態モデル図から算出した可達グラフ

# 適用事例 — 施策

- 状態モデルを複合する

CPNToolsを用いて、それぞれの状態モデルのステートチャートを複合する。

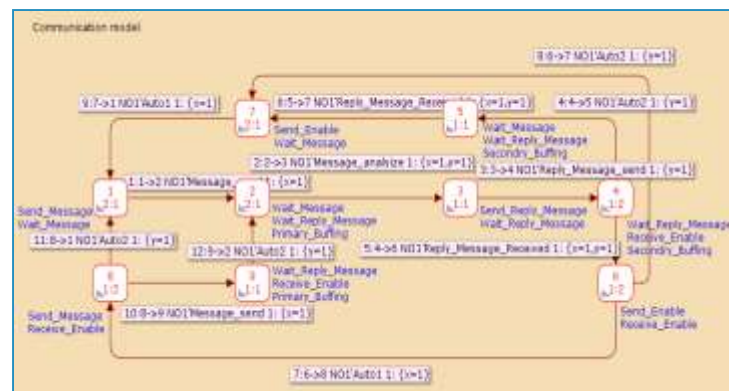
**STEP3:** 合成させたステートチャートを作成し、シミュレーションする



合成された状態モデル図



**STEP4:** 可達グラフより、遷移条件を求める



状態モデル図から算出した可達グラフ

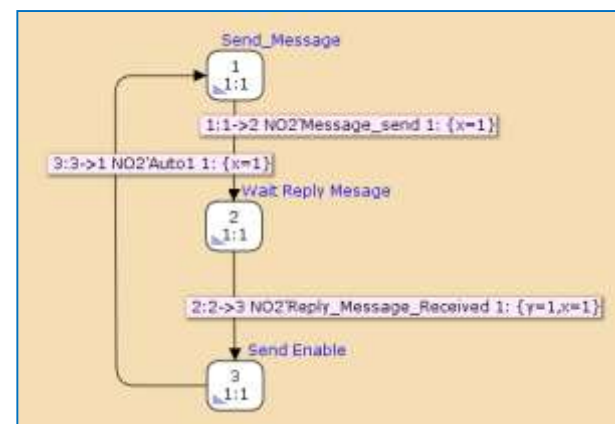
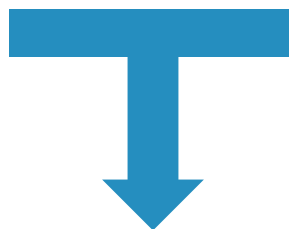
# 適用事例 — 施策

- 既存の状態遷移表と可達グラフの差分をチェックする

Step5: 既存の状態遷移表と可達グラフで算出された遷移条件を比較して、テストされていないテストケースをピックアップ。

動作	TO		
	A	B	C
1 Send Message	Send Message	Wait Reply Message	Send Enable
2 Wait Message		Receive 側からメッセージを送信する	
3 Send Enable	送信するメッセージを準備する		Receive 側からのメッセージ受信待ち

状態遷移表



可達グラフ

状態モデル数30個中10個で差分(テストケース不足)が発見された。

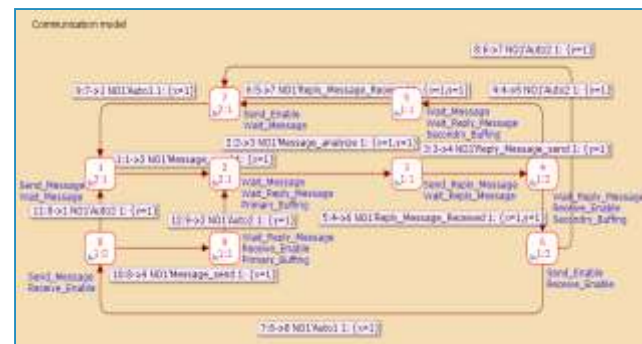
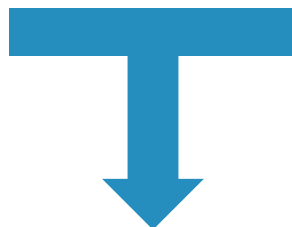
# 適用事例 — 施策

- 既存のテスト仕様書と可達グラフの差分をチェックする

Step6: 既存のテスト仕様書と可達グラフで算出された遷移条件を比較して、テストされていないテストケースをピックアップ。

No.	試 験 仕 様 書	判 断 1		判 断 2		判 断 3	
		結果	理由	結果	理由	結果	内 容
1	試験目的						
2	試験対象						
3	試験項目						
4	試験手順						
5	試験結果						
6	試験評価						
7	試験報告						
8	試験実施						
9	試験完了						
10	試験終了						
11	試験終了						
12	試験終了						
13	試験終了						
14	試験終了						
15	試験終了						
16	試験終了						
17	試験終了						
18	試験終了						
19	試験終了						
20	試験終了						
21	試験終了						
22	試験終了						
23	試験終了						
24	試験終了						
25	試験終了						
26	試験終了						
27	試験終了						
28	試験終了						
29	試験終了						
30	試験終了						
31	試験終了						
32	試験終了						
33	試験終了						
34	試験終了						
35	試験終了						
36	試験終了						
37	試験終了						
38	試験終了						
39	試験終了						
40	試験終了						
41	試験終了						
42	試験終了						
43	試験終了						
44	試験終了						
45	試験終了						
46	試験終了						
47	試験終了						
48	試験終了						
49	試験終了						
50	試験終了						
51	試験終了						
52	試験終了						
53	試験終了						
54	試験終了						
55	試験終了						
56	試験終了						
57	試験終了						
58	試験終了						
59	試験終了						
60	試験終了						
61	試験終了						
62	試験終了						
63	試験終了						
64	試験終了						
65	試験終了						
66	試験終了						
67	試験終了						
68	試験終了						
69	試験終了						
70	試験終了						
71	試験終了						
72	試験終了						
73	試験終了						
74	試験終了						
75	試験終了						
76	試験終了						
77	試験終了						
78	試験終了						
79	試験終了						
80	試験終了						
81	試験終了						
82	試験終了						
83	試験終了						
84	試験終了						
85	試験終了						
86	試験終了						
87	試験終了						
88	試験終了						
89	試験終了						
90	試験終了						
91	試験終了						
92	試験終了						
93	試験終了						
94	試験終了						
95	試験終了						
96	試験終了						
97	試験終了						
98	試験終了						
99	試験終了						
100	試験終了						

テスト仕様書



可達グラフ

遷移数185ケース中18のケースで差分(テストケース不足)が発見された。

# 適用事例 一 施策

## • テストケース不足に対するテストを実施

Step7: テストケース不足に対するテスト仕様書を新たに作成してテストを実施する。

試 験 仕 様

<集計>	
<特記事項>	
<>	
# 本章の目的	
1 SendStatusの動作を確認する。	
2 SendStatusに影響を受けるその他Statusの確認を行う。	
# 前準備1	
# 目的	
1 遷移状態を確認する。	
2 SendStatusに影響を受けるその他Statusの確認を行う。	
# 試験内容	
# 確認手順	確認項目
1 送信メッセージを登録する。	#1
2 メッセージをReceive側に送信する。	#2,#4
3 Receive側からメッセージを受信する。	#3
# 確認項目	
1 状態がSend Message1になる事を確認する。	
2 状態がWait Reply Message1になる事を確認する。	
3 状態がSend Enable1になる事を確認する。	
4 Receive側のStatusがSend Reply Message1になる事を確認する。	

新たに作成したテストケースから6個の欠陥が発見された。

# 適用事例 ー 効果

---

- 施策に対する効果

1. 可達グラフより、全テストケースの約10%(18/185ケース)の漏れが発見された。
2. 新たに作成したテストケースから約30%(6/18ケース)という高率で欠陥を発見する事ができた。



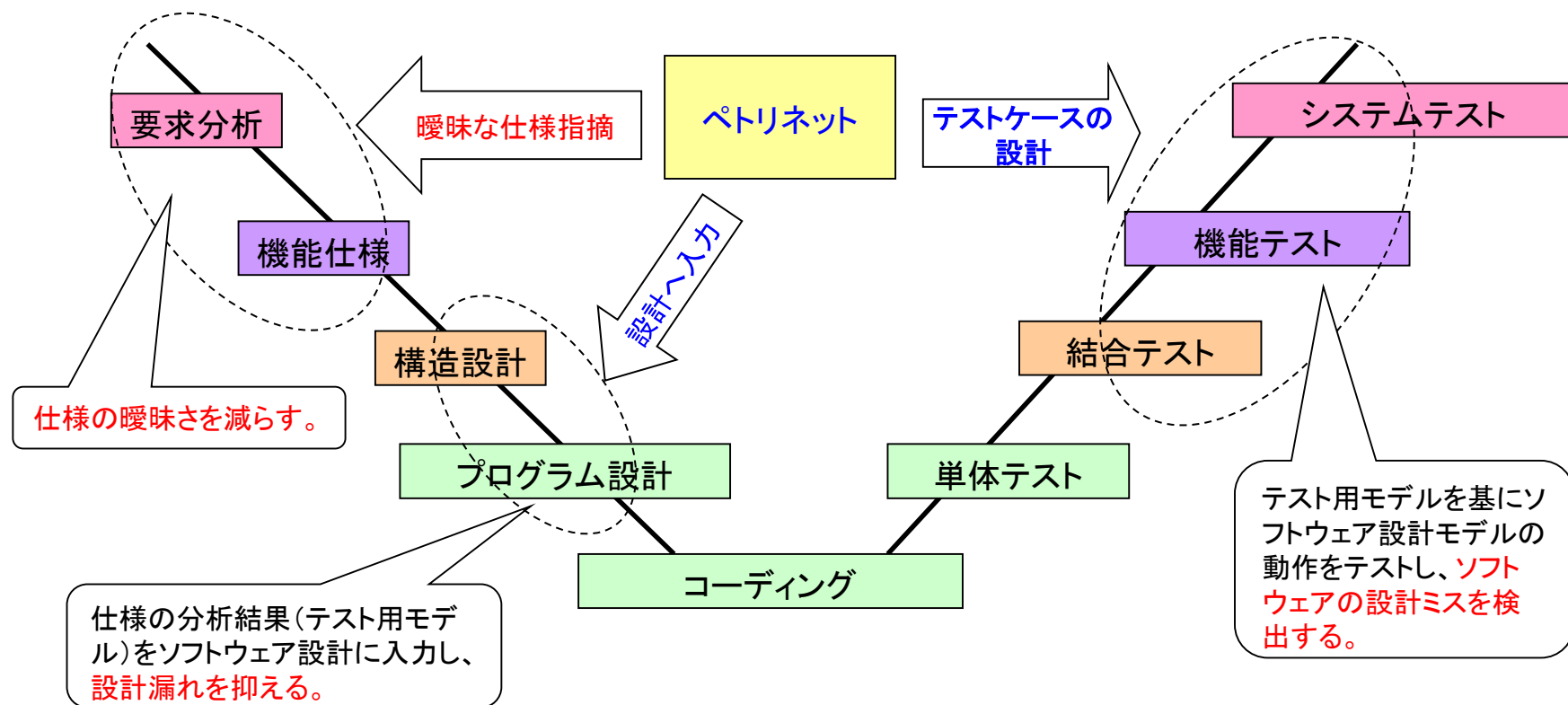
**テストケース漏れを起こす箇所では欠陥が多く存在する**



# 適用事例 — その他の効果

- ペトリネット作成後の活用

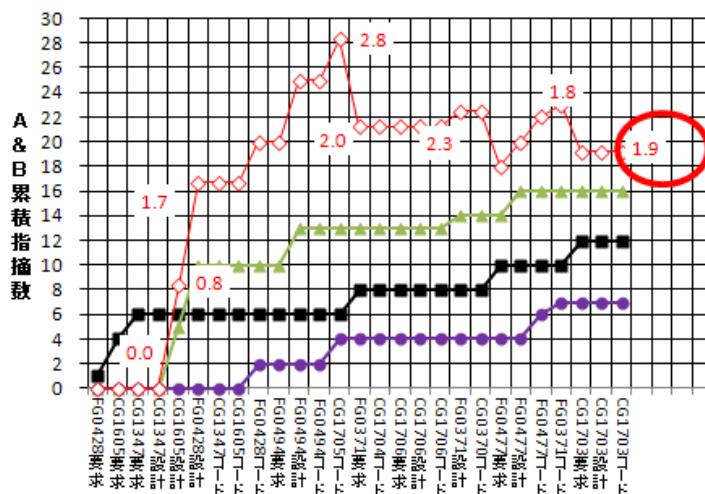
ーテストだけではなく開発を含めた全工程で活用した。



# 適用事例 — その他の効果

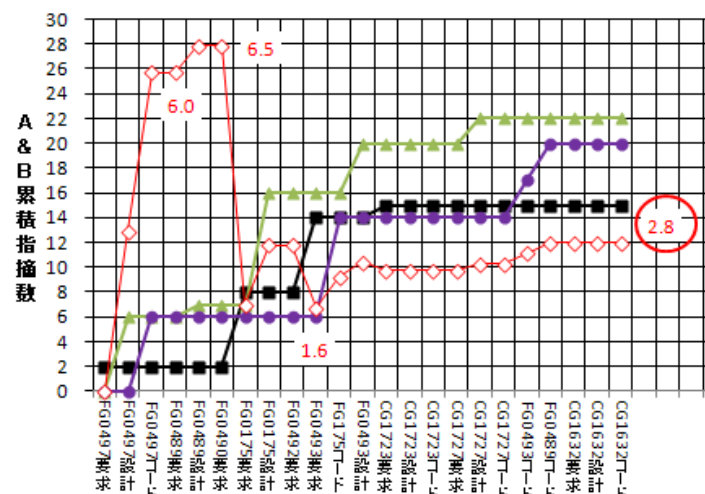
## ・ レビューでの活用

— 全工程でペトリネットを活用した事により、開発でのレビュー指摘件数が50%向上した。



ペトリネット導入前レビュー指摘率

指摘件数が  
約50%増加



ペトリネット導入後レビュー指摘率

## 適用事例 — まとめ

---

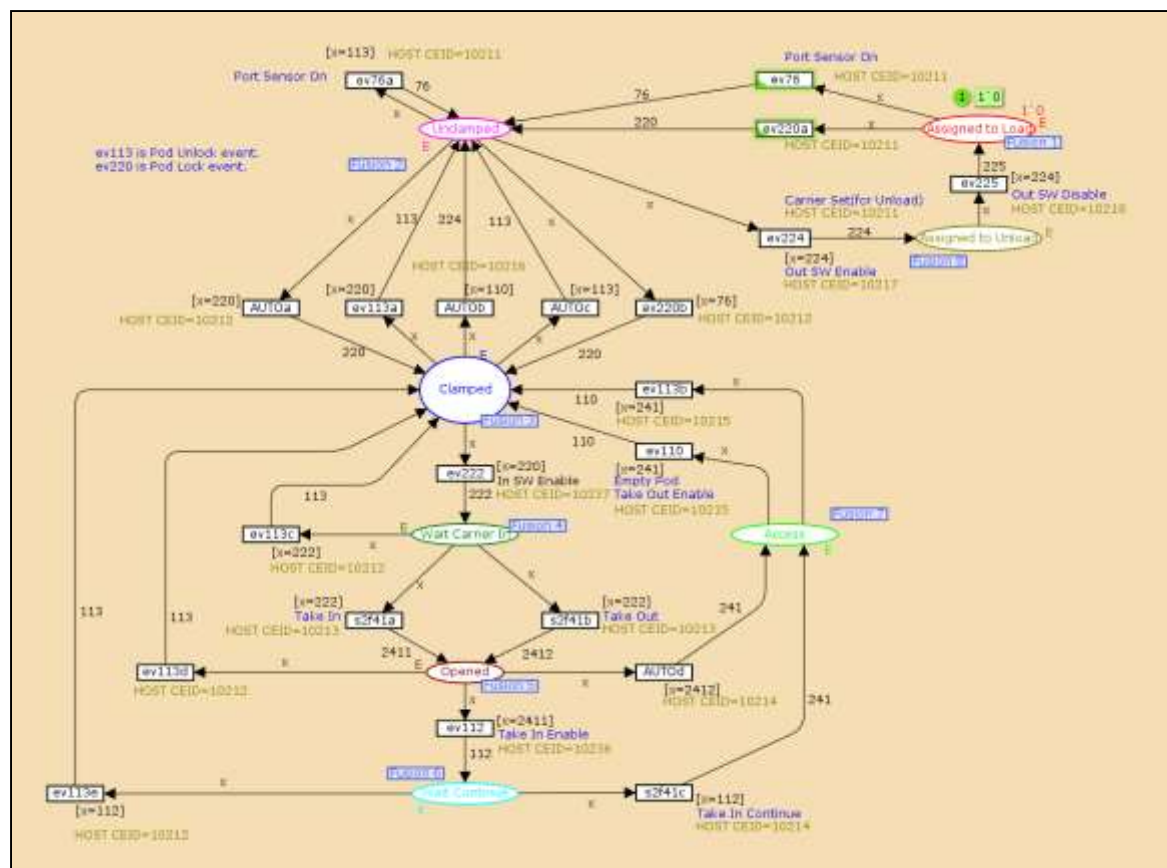
- 多くの欠陥が残る箇所のテストケースを発見することができた。
- 状態モデルが動的に可視化された事により、レビューの指摘件数が上がった。
- 開発の全工程で既存システムとの比較ができたので、欠陥除去率を上げることができた。

---

ご清聴ありがとうございました

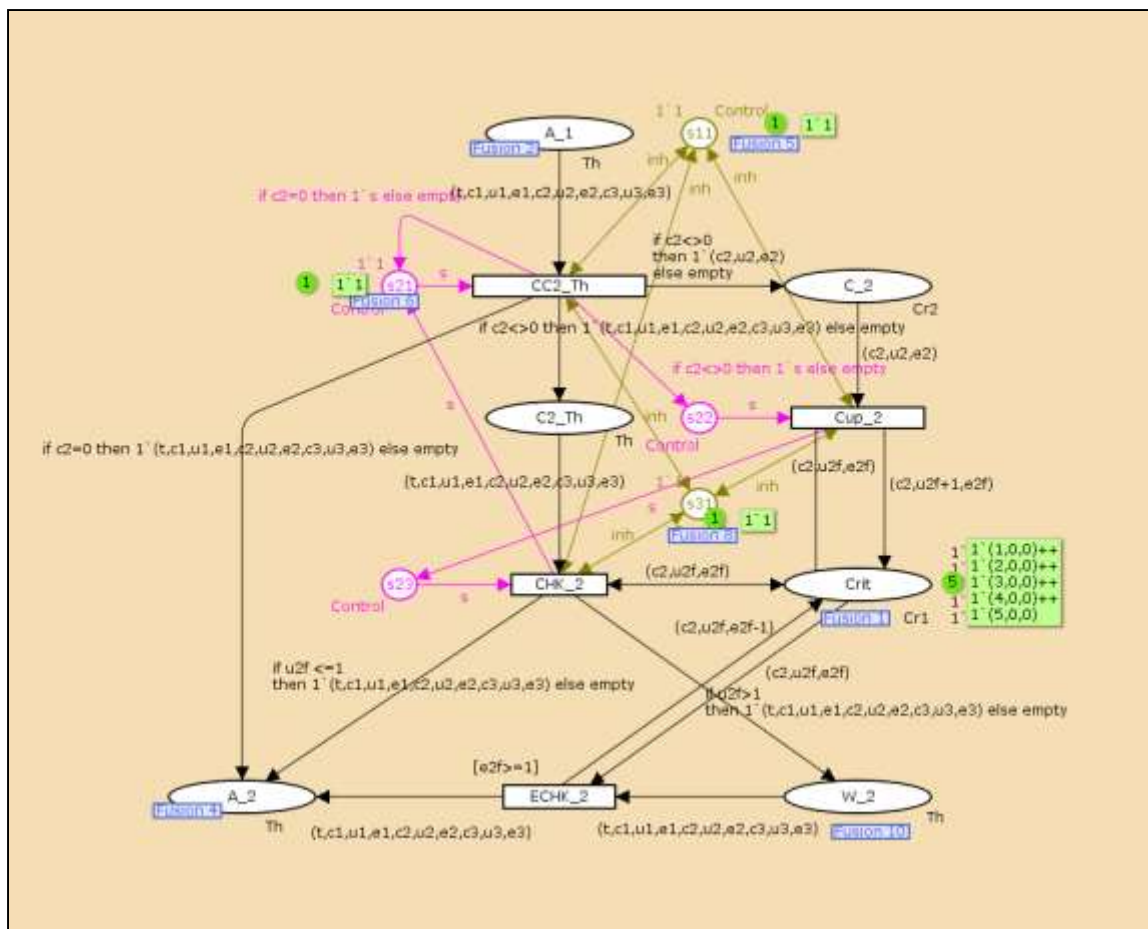
# 適用事例 — Backup

- 適用事例① 状態モデル図



## 適用事例 — Backup

- **適用事例② 状態モデル図**



# 適用事例 — Backup

- 適用事例③ 可達グラフ

