

相関性が高くなる累積指標による 回帰分析手法の開発と適用

山口 祐史

富士フイルムソフトウェア株式会社
プロセス改善推進グループ

アジェンダ

- はじめに
- プロセスパフォーマンスモデルと回帰分析、そして相関
- 累積指標とその相関性
- 累積指標の課題と改善点
- 単回帰分析と重回帰分析の組み合わせ
- 重回帰分析とモンテカルロシミュレーション
- 終わりに

はじめに

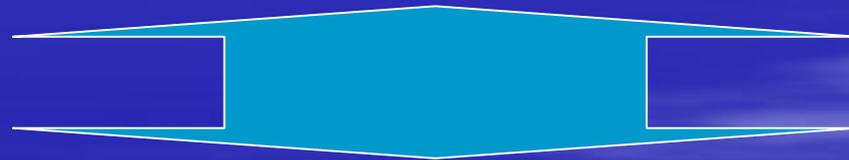


現在、レベル4、レベル5に向けて高成熟度な標準プロセスを整備・適応中。

プロセスパフォーマンスモデル と回帰分析、そして相関

CMMIモデルレベル4 OPP(組織プロセス実績)SP1.5

プロセス実績モデルを確立する



高成熟度には必須の定量・統計的に見積、
分析し、そして予測するのが

プロセスパフォーマンスモデル

統計手法に基づく 回帰分析及び回帰式

SEIの公開資料「If You' re Living the “High Life”, You' re Living the Informative Material」(2008年3月発行)で紹介されている回帰予測モデル

The regression equation is

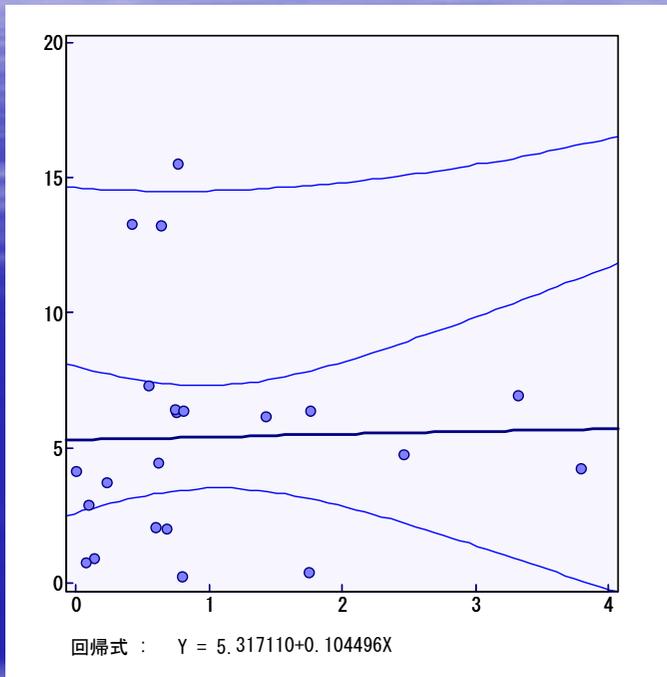
Defect Density = 0.484 + 0.480 ReqtsVolatility - 0.0242 YearsDomeinExperiense



SEIの提唱している高成熟度のありかたを述べた公開資料(通称:High Life)でも紹介されているプロセスパフォーマンスモデル構築の代表的手法

回帰分析の課題

回帰分析のサンプル



回帰分析の結果サンプル

相関係数 : 0.026

P値 : 0.91

⇒ 帰無仮説は棄却されず、有意な相関は見られない。

どうやって相関させるのか？

通常指標と累積指標

通常定量指標

各工程ごとの定量データ及びそれから導出される指標

例)

単体テスト欠陥密度: 単体テスト欠陥数 / 製造キロステップ数

累積させた定量指標

全工程通しての定量データの累積値及びそれから導出される指標

例)

単体テスト工程まで欠陥密度: 基本設計工程欠陥数 + 詳細設計工程欠陥数 + ソースレビュー欠陥数 + 単体テスト欠陥数 / 製造キロステップ数

累積指標とその相関性

指標	基本設計 工程 欠陥 密度 (KS)	詳細設計工 程まで 累積欠 陥密度 (KS)	コーディン グ工程 まで累 積欠陥 密度	単体テスト 工程ま で累積 欠陥密 度	結合テスト 工程ま で累積 欠陥密 度	全工程累積 欠陥密 度
定義	基本設計 欠陥件 数/KS	(基本設計 +詳細 設計欠 陥件 数)/KS	(基本設計 +詳細設 計+コー ドレ ビュー欠 陥件数) /KS	(基本設計+ 詳細設計 +コード レビュー +単体テ スト欠陥 件数) /KS	(基本設計 +詳細 設計+ コード レ ビュー +単体 テスト +結合 テスト 欠陥件 数) /KS	(基本設計+ 詳細設計 +コード レビュー +単体テ スト+結 合テスト +システ ムテスト 欠陥件 数) /KS

累積指標の単回帰相関の組み合わせ（2008年下）

	詳細工程まで欠陥密度 (/KS)	コーディング工程まで欠陥密度	単体テスト工程まで欠陥密度	結合テスト工程まで欠陥密度	全工程累積欠陥密度
基本設計工程欠陥密度 (/KS)	◎	×	×	×	×
詳細工程まで欠陥密度 (/KS)	/	◎	◎	◎	◎
コーディング工程まで欠陥密度	/	/	◎	◎	◎
単体工程までテスト欠陥密度	/	/	/	◎	◎
結合テスト工程まで欠陥密度	/	/	/	/	◎

縦：説明変数、横：目的変数、記号：×；相関なし、○；5%有意水準での相関、◎；1%有意水準での相関

通常指標の単回帰相関の組み合わせ（2008年下）

	詳細工程欠陥密度 (/頁)	コーディング工程欠陥密度	単体テスト工程欠陥密度	結合テスト工程欠陥密度	システムテスト工程欠陥密度
基本設計工程欠陥密度 (/頁)	×	×	×	×	×
詳細工程欠陥密度 (/頁)		×	×	×	×
コーディング工程欠陥密度			×	◎	×
単体テスト工程欠陥密度				×	×
結合テスト工程欠陥密度					○

縦：説明変数、横：目的変数、記号：×；相関なし、○；5%有意水準での相関、◎；1%有意水準での相関

累積指標の重回帰相関の組み合わせ（2008年下）

相関	基本設計工程 欠陥密度 (/KS)	詳細工程ま で欠陥密 度 (/KS)	コーディン グ工程 まで欠 陥密度	単体テス ト工程 まで欠 陥密度	結合テス ト工程 まで欠 陥密度	全工程累積 欠陥密 度
◎	□	□	☆			
◎	□	□		☆		
○	□	□			☆	
◎	□	□				☆
◎	□	□	□	☆		
◎	□	□	□		☆	
◎	□	□	□			☆
◎	□	□	□	□	☆	
◎	□	□	□	□		☆
◎	□	□	□	□	□	☆

□：説明変数、☆：目的変数、相関：×；相関なし、○；5%有意水準での相関、◎；1%有意水準での相関

通常指標の重回帰相関の組み合わせ（2008年下）

相関	基本設計工程 欠陥密度 (/頁)	詳細工程欠 陥密度 (/頁)	コーディン グ工程欠 陥密度	単体テスト 工程欠 陥密度	結合テスト 工程欠 陥密度	システムテ スト工 程欠陥 密度
×	□	□	☆			
×	□	□		☆		
×	□	□			☆	
×	□	□				☆
×	□	□	□	☆		
×	□	□	□		☆	
×	□	□	□			☆
×	□	□	□	□	☆	
×	□	□	□	□		☆
×	□	□	□	□	□	☆

□:説明変数、☆:目的変数、相関:×;相関なし、○;5%有意水準での相関、◎;1%有意水準での相関

累積指標の特徴

FFSがCMMIレベル3を達成したのが2006年3月。
よって、レベル3のメトリクス規程に則ってデータ収集が可能となったのが2006年下期。

相関が見られ出したのが、単回帰、重回帰でも早いものでは2007年上期。



累積指標は通常指標に比
べ圧倒的な相関

累積指標の課題と改善点

独立性の危うさ

累積させたら説明変数間の独立性が損なわれ、
相関の意味が薄れる

算出時期の遅れ

基本・詳細設計工程欠陥密度 (/KS) はコーディング工程に入ってからでないとは算出不能

独立性の危うさ

相関	定数項	基本設計 工程欠陥 密度 (/KS)	詳細工程 まで欠陥 密度 (/KS)	コーディ ング工程 まで欠陥 密度	単体テス ト工程ま で欠陥密 度	結合テス ト工程ま で欠陥密 度	全工程累 積欠陥密 度
◎		□	□	□	□	□	☆
トレランス		0.425	0.225	0.201	0.072	0.063	
係数	1.022	-0.166	0.219	-0.039	-0.253	1.204	

トレランスが低く、係数に偏りの有る
形だけの相関になってしまう

トレランス: 説明変数間の多重共線性を検出するための指標で0~1の値を取る。トレランスの値が小さい場合はその変数を分析から除いた方がよいとされ、0.1を基準とすることが多い。

混合指標の導入

基本設計工程欠陥密度 (1/頁)	詳細工程欠陥密度 (1/頁)	基本設計工程欠陥密度 (1/KS)	詳細工程まで欠陥密度 (1/KS)	コーディング工程欠陥密度	コーディング工程まで欠陥密度	単体テスト工程欠陥密度	単体テスト工程まで欠陥密度	結合テスト工程欠陥密度	結合テスト工程まで欠陥密度	システムテスト工程欠陥密度	全工程累積欠陥密度	結合テスト以降欠陥密度
------------------	----------------	-------------------	-------------------	--------------	----------------	-------------	---------------	-------------	---------------	---------------	-----------	-------------

累積指標も通常指標も全部組み
合わせてみよう

混合指標の単・重回帰相関の組み合わせ(2008年下)

N o.	相 関	基本 設計 工程 欠陥 密度 (/頁)	詳細工 程欠陥 密度(/ 頁)	基本設 計工程 欠陥密 度(/KS)	詳細工 程まで 欠陥密 度(/KS)	コーディ ング工 程欠陥 密度	コーディ ング工 程まで 欠陥密 度	単体テ スト工 程欠陥 密度	単体テ スト工 程まで 欠陥密 度	結合テ スト工 程欠陥 密度	結合テ スト工 程まで 欠陥密 度	システム テスト工 程欠陥 密度	全工程 累積欠 陥密度	結合テ スト以降 欠陥密 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	◎	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□			☆17

混合指標の単・重回帰相関の定数項と係数(2008年下)

No.	相関	定数項	基本設計工程欠陥密度(/頁)	詳細工程欠陥密度(/頁)	基本設計工程欠陥密度(/KS)	詳細工程まで欠陥密度(/KS)	コーディング工程欠陥密度	コーディング工程まで欠陥密度	単体テスト工程欠陥密度	単体テスト工程まで欠陥密度	結合テスト工程欠陥密度	結合テスト工程まで欠陥密度	システムテスト工程欠陥密度	全工程累積欠陥密度	結合テスト以降欠陥密度
2	◎	3.315	□ 1.782		☆										
4	◎	2.441	□ 3.506	□ -1.727	☆										
7	◎	4.491	□ -0.038	□ 1.586	□ -0.577	□ 1.408		☆							
16	◎	7.89	□ -2.162	□ -3.186	□ 0.01	□ 1.091	□ 0.987	□ 0		☆					
18	◎	6.263	□ -3.265	□ -3.603	□ 0.361	□ 1.241	□ 1.461	□ 0				☆			
20	◎	6.227	□ -3.454	□ -2.542	□ 0.278	□ 1.387	□ 1.462	□ 0						☆	
23	◎	1.061	□ 2.902	□ -8.445	□ 0.14	□ 1.305	□ 1.371	□ 0	□ 0.9	□ 0		☆			
25	◎	2.758	□ 5.268	□ -11.958	□ -0.146	□ 1.588	□ 1.286	□ 0	□ 0.793	□ 0				☆	
28	◎	0.972	□ 2.235	□ -3.526	□ -0.174	□ 1.2	□ 0.873	□ 0	□ 0.977	□ 0	□ 1.166	□ 0		☆	
29	◎	0.972	□ 2.235	□ -3.526	□ -0.174	□ 0.2	□ -0.127	□ 0	□ -0.023	□ 0	□ 1.166	□ 0			☆

結合テスト以降欠陥密度: (結合テスト欠陥数+システムテスト欠陥数)/KS⇒成功プロジェクトの条件

相関	定数項	基本設計工程欠陥密度 (頁)	詳細工程欠陥密度 (頁)	基本設計工程欠陥密度 (KS)	詳細工程まで欠陥密度 (KS)	コーディング工程欠陥密度	コーディング工程まで欠陥密度	単体アスト工程欠陥密度	単体アスト工程まで欠陥密度	結合アスト工程欠陥密度	結合アスト工程まで欠陥密度	全工程累積欠陥密度	結合アスト以降欠陥密度
◎		□	□	□	□	□	□	□	□	□	□		
トレランス		0.229	0.264	0.375	0.418	0.508		0.858		0.432		☆	
係数	0.136	1.515	-1.47	-0.192	1.187	0.869	0	0.988	0	1.23	0		
◎		□	□	□	□	□	□	□	□	□	□		
トレランス		0.229	0.375	0.264	0.418	0.508		0.858		0.432			☆
係数	0.136	1.515	-1.47	-0.192	0.187	-0.131	0	-0.012	0	1.23	0		

混合指標の有効性

トランスも
そこそこ

係数に偏りも
ない

独立性の危
うさ

算出時期
の遅れ

同時に解消し、回帰予測モデル
を構築できる

単回帰式の分析

累積指標の単回帰相関の定数項と係数（2008年下）

	詳細工程まで 欠陥密度 (/KS)	コーディング工 程まで欠陥 密度	単体テスト工 程まで欠陥密 度	結合テスト工 程まで欠陥密 度	全工程累積欠 陥密度
基本設計工程欠陥 密度 (/KS)	$y=7.1+0.6x$	×	×	×	×
詳細工程まで欠陥 密度 (/KS)		$y=5.3+1.1x$	$y=10.2+1.0x$	$y=11.0+1.3x$	$y=11.2+1.4x$
コーディング工 程まで欠陥密度			$y=4.1+1.0x$	$y=2.6+1.3x$	$y=2.6+1.4x$
単体工程までテス ト欠陥密度				$y=-0.6+1.2x$	$y=-0.2+1.3x$
結合テスト工 程まで欠陥密度					$y=0.2+1.0x$

単回帰式の係数がすべて+



説明変数が増加すると目的変数も増える



前工程でバグを取ればとるほど、後工程でのバグも増える、という予測の傾向

重回帰式の分析

累積指標の重回帰相関の定数項と係数(2008年下)

相関	定数項	基本設計 工程欠陥 密度 (/KS)	詳細工程 まで欠陥 密度 (/KS)	コーディ ング工程 まで欠陥 密度	単体テス ト工程ま で欠陥密 度	結合テス ト工程ま で欠陥密 度	全工程累 積欠陥密 度
		□	□				
◎	5.219	-0.587	1.424	☆			
◎	10.52	-0.896	1.519		☆		
○	10.715	-0.986	1.879			☆	
◎	11.06	-1.104	2.043				☆
		□	□	□			
◎	5.564	-0.339	0.167	0.95	☆		
◎	3.332	-0.156	-0.135	1.415		☆	
◎	3.625	-0.268	0.015	1.425			☆
		□	□	□	□		
◎	-2.655	0.208	-0.314	0.393	1.076	☆	
◎	-2.176	0.085	-0.159	0.434	1.043		☆
		□	□	□	□	□	
◎	1.022	-0.166	0.219	-0.039	-0.253	1.204	☆ ²³

混合指標の重回帰相関の定数項と係数(2008年下)

相関	定数項	基本設計工程欠陥密度(頁)	詳細工程欠陥密度(頁)	基本設計工程欠陥密度(K/S)	詳細工程まで欠陥密度(K/S)	コーディング工程欠陥密度	コーディング工程まで欠陥密度	単体テスト工程欠陥密度	単体テスト工程まで欠陥密度	結合テスト工程欠陥密度	結合テスト工程まで欠陥密度	システムテスト工程欠陥密度	全工程累積欠陥密度	結合テスト以降欠陥密度
		□	□	□	□									
◎	4.41	-0.038	1.586	-0.577	1.408		☆							
		□	□	□	□	□	□							
◎	7.89	-2.162	-3.186	0.01	1.091	0.987	0		☆					
◎	6.23	-3.265	-3.603	0.361	1.241	1.461	0				☆			
◎	6.27	-3.454	-2.542	0.278	1.387	1.462	0						☆	
		□	□	□	□	□	□	□	□					
◎	1.01	2.902	-8.445	0.14	1.305	1.371	0	0.9	0		☆			
◎	2.78	5.268	-11.95	-0.146	1.588	1.286	0	0.793	0				☆	
		□	□	□	□	□	□	□	□	□	□			
◎	0.13	1.515	-1.47	-0.192	1.187	0.869	0	0.988	0	1.23	0		☆	
◎	0.13	1.515	-1.47	-0.192	0.187	-0.131	0	-0.012	0	1.23	0			☆

重回帰式では係数の幾つかが一



説明変数が増加すると目的変数が減る場合もある

所謂前倒しの効果



前工程でバグを取ればとるほど、後工程でのバグは減る場合もある、という予測の傾向

単回帰式と重回帰式では予測結果の傾向が異なる可能性がある



少なくとも単回帰式のみで将来を予測する事はかなり危険ではないのか？



単回帰分析と重回帰分析の組み合わせによる予測モデル

単回帰式の予測の使用方法

前工程でバグを取ればとるほど、後工程でのバグも増える、という予測の傾向



各工程の初期に欠陥の取り始めに使用する



レビューやテスト消化のコントロールにより欠陥抽出のペースを掴む

重回帰式の予測の使用方法

前工程でバグを取ればとるほど、後工程でのバグは減る場合もある、という予測の傾向



各工程の中期～後期に欠陥摘出の収束に使用する



前倒しの効果を確認し、
欠陥摘出の十分性を確認する

単回帰分析と重回帰分析の組み 合わせによる予測モデル

- ・ 欠陥密度だけでいいの？レビュー速度は？レビュー指摘密度は？レビュー効率は？イールドは？
- ・ 生産性はどうなるの？生産性も累積指標と通常指標があるんじゃないの？

一筋縄では行かない統計予測モデル

欠陥密度の統計予測モデル



単回帰分析と重回帰分析の組み
合わせによる予測モデル



重回帰予測モデルの問題点

未計測の変数は？



全工程の指標を含む重回帰予測モデルでは
未来の工程の説明変数＝未計測の変数
も指定しなくてはならない。



信頼性の高い指定方法とは？

過去データからの
平均値や上下管理限界



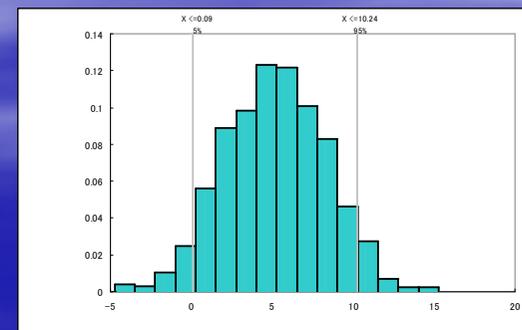
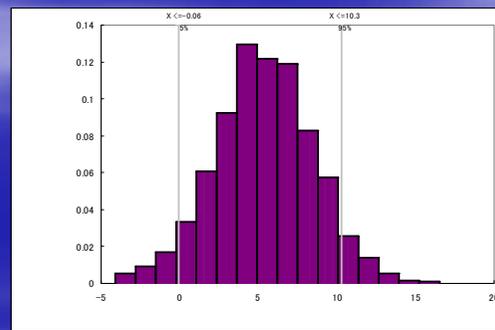
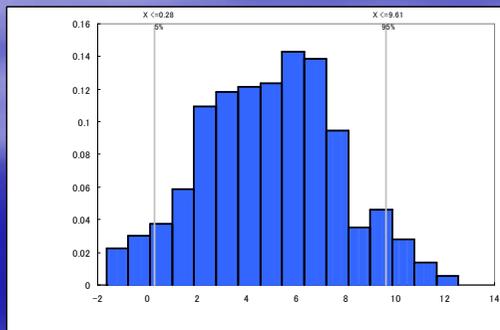
信頼性というのなら



モンテカルロシミュレーション

相関	定数項	基本設計工程欠陥密度 (1/頁)	詳細工程欠陥密度 (1/頁)	基本設計工程欠陥密度 (K/S)	詳細工程まで欠陥密度 (K/S)	コーディング工程欠陥密度	コーディング工程まで欠陥密度	単体テスト工程欠陥密度	単体テスト工程まで欠陥密度	結合テスト工程欠陥密度	結合テスト工程まで欠陥密度	全工程累積欠陥密度	結合テスト以降欠陥密度
◎		□	□	□	□	□	□	□	□	□	□		☆
係数	0.136	1.515	-1.47	-0.192	0.187	-0.131	0	-0.012	0	1.23	0		

これらの指標はそれぞれの確率分布を持っている



計測済みの指標には実績値 未計測の指標には確率分布



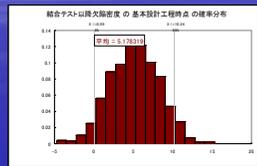
相関	定数項	基本設計工程欠陥密度 (欠)	詳細工程欠陥密度 (欠)	基本設計工程欠陥密度 (欠)	詳細工程まで欠陥密度 (欠)	コーティング工程欠陥密度	コーティング工程まで欠陥密度	単体テスト工程欠陥密度	単体テスト工程まで欠陥密度	結合テスト工程欠陥密度	結合テスト工程まで欠陥密度	全工程累積欠陥密度	結合テスト以降欠陥密度
----	-----	----------------	--------------	----------------	----------------	--------------	----------------	-------------	---------------	-------------	---------------	-----------	-------------



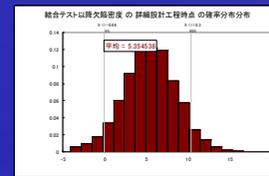
各工程ごとに実績値と確率分布の組み合わせで
モンテカルロシミュレーションを繰り返す



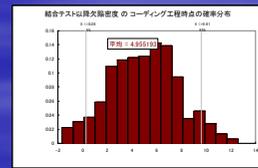
基本設計工程



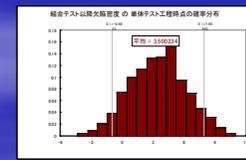
詳細設計工程



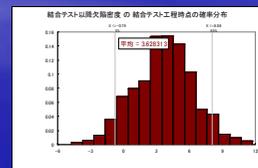
コーディング工程



単体テスト工程



結合テスト工程



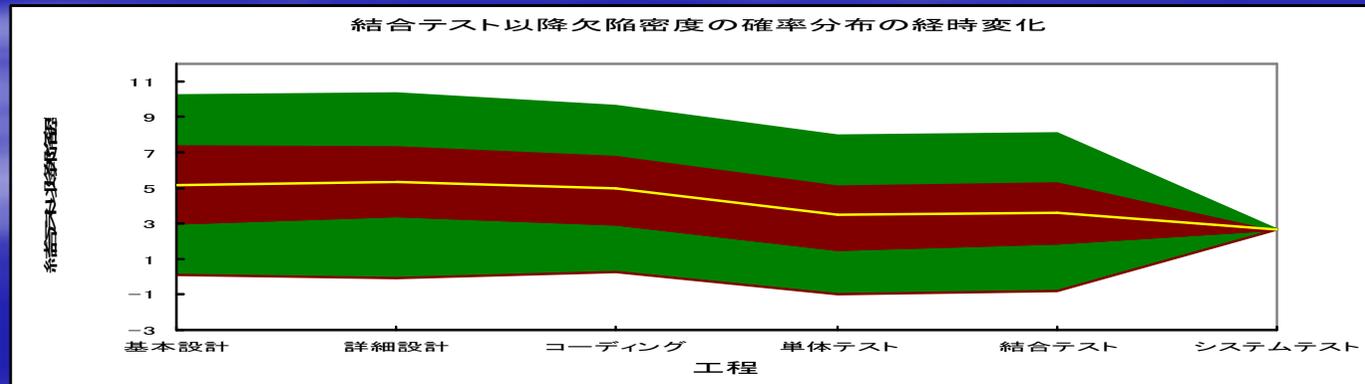
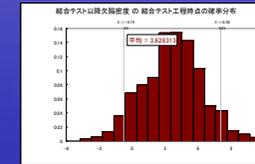
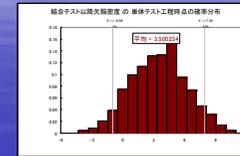
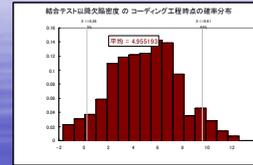
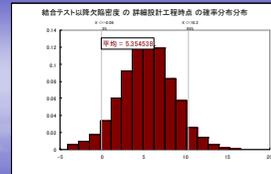
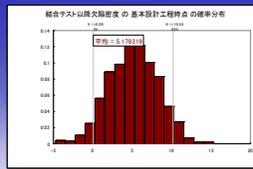
基本設計工程

詳細設計工程

コーディング工程

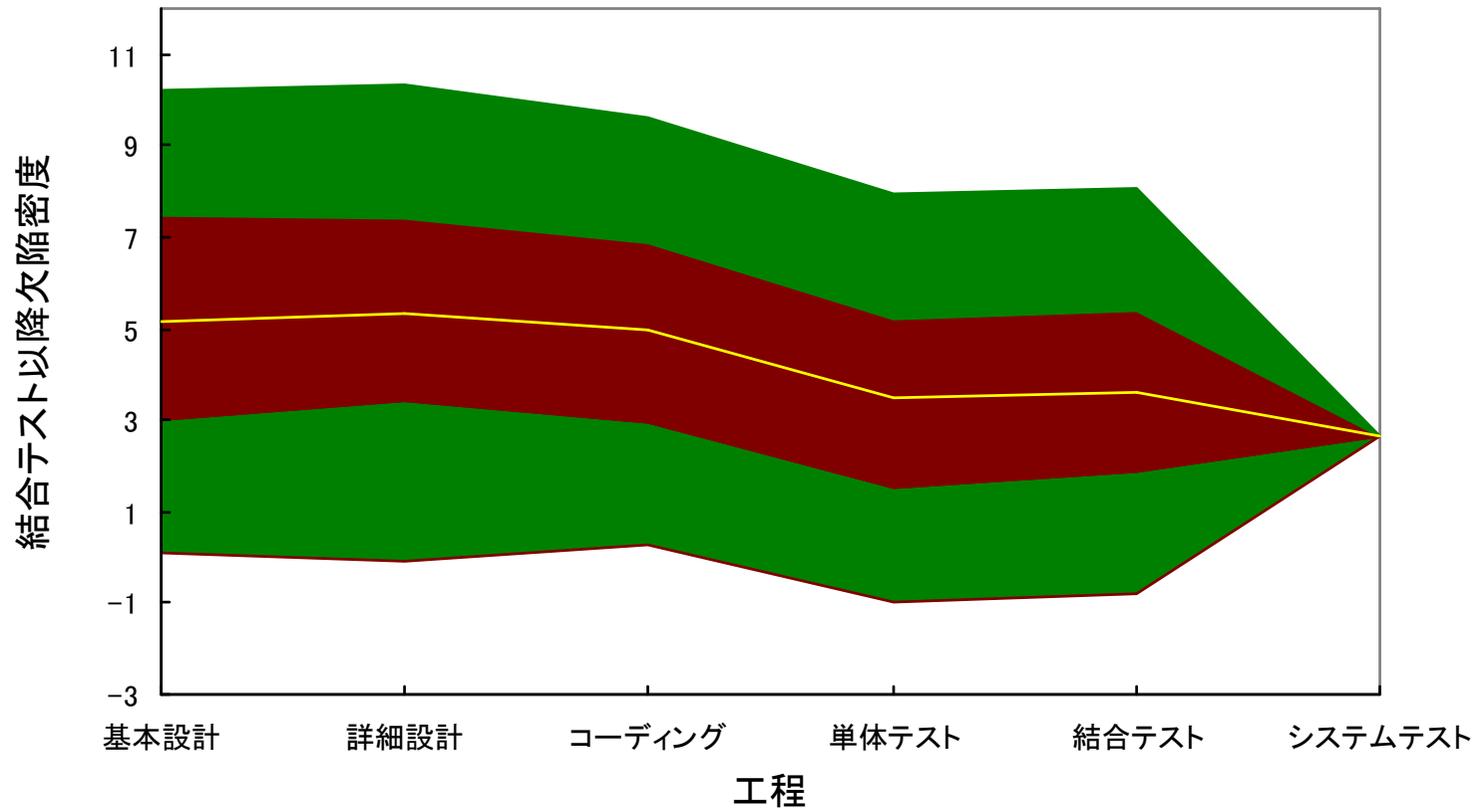
単体テスト工程

結合テスト工程



モンテカルロシミュレーションを使用した 信頼性の高い重回帰予測の実現

結合テスト以降欠陥密度の確率分布の経時変化



累積指標による統計予測モデルの構築

単回帰式と重回帰式の組み合わせによる判断方法の構築

モンテカルロシミュレーションによる重回帰予測モデルの構築

特許出願済

統計的プロセスパフォーマンスモデルの構築

終わりに

ご意見、ご感想、を頂けると助かります。

その他、意見の交換などさせていただけると幸いです。

yyuji@ffs.fujifilm.co.jp