

ソフトウェア設計のエラー種別と人的要因の

関係についての品質工学的考察

江崎和博 1)
山武計装株式会社

高橋宗雄 2)
桐蔭学園横浜大学

一般的にソフトウェア製品の開発効率や品質が、開発担当者の能力や開発環境に大きく依存することが知られている。また、ソフトウェアの生産性や品質を高めるためには、ソフトウェア開発の上流工程である要求定義やソフトウェア設計などのプロセスを改善することがきわめて重要である。

そこで、ソフトウェア製品の生産性や品質を高めるための試みとして、ソフトウェア設計プロセスに着目し、ソフトウェア設計レビューによって作り出されたソフトウェア設計書の品質と人的要因との関係を定量的に明らかにするための実験計画による開発実験を行った。本報告は、その実験の結果と品質工学で使用されているS/N比による解析結果と考察について述べる。

Study of Adaption of Quality Engineering to Analysing relation between Human Factors and Classification of Quality of software design review

Kazuhiro Esaki
Yamatake Keiso Co.Ltd.

Muneo Takahashi
Toin University of Yokohama

It is said that the quality of a software heavily depends on human factors. In order to improve the software productivity and quality, it is important to clarify the relationship between human factors and the quality of intermediate software product in the software design stage. As a trial, an experiment was conducted in the development process of a software observing the input/output relationships at the software design. In this paper, the result of this experiment and the analysis of quality engineering approach for software development reported.

1. はじめに

一般的に、ソフトウェア製品の品質や生産性は開発担当者の能力や開発環境に大きく依存することが知られており、品質や生産性を改善するためには、ソフトウェア開発の上流工程である要求定義やソフトウェア設計プロセスの改善をはかることが極めて重要であると言われている。従来からソフトウェアの品質を改善するためにソフトウェアの生産性や信頼性に影響を及ぼす人的要因を明らかにする試みはいくつか行われている。1)-7) しかし、従来の研究は個々の人的要因とソフトウェア最終製品の信頼性に着目したものであり、多種多様な人的要因相互の関係やソフトウェア設計プロセスによって作り込まれるエラーとの関係などは、ほとんど議論されていない。筆者らは、これまでの研究で、ソフトウェア設計レビューにおけるエラー混入のメカニズムを解明するための有効な手段として、ソフトウェア設計

レビューの品質と人的要因相互の関係を分析するための概念モデルを提案した。またさらに実験計画法による開発実験とS/N比を用いた定量的な分析と言う品質工学のアプローチを適用し、その方法論の有効性を確認した。11),12) 本研究では、これを更に進めて、多種多様な人的要因とソフトウェア設計によって作り込まれたエラーの区分(論理的なエラーと表記法のエラー)ごとのソフトウェア設計書の品質との関係をさらに詳細に明らかにするための開発実験を試みた。本報告では、これらの開発実験の結果およびS/N比に基づく分析結果の考察について述べる。

2. ソフトウェア設計プロセスとエラー区分の概念

ソフトウェア開発におけるソフトウェア設計プロセスの位置づけと入出力の関係を示したのが図1.である。ソフトウェア設計作業はソフトウェアの要求定義プロセスと製造プロセスの中間に位置するプロセスであり、要求定義プロセスの出力であるソフトウェアの機能仕様書を入力とし、設計プロセスの結果作られるソフトウェア設計書を出力としている。ソフトウェア設計のプロセスでは設計作業の完了後に設計レビューを実施して、ソフトウェア設計の結果作られたソフトウェア設計書の最終的な信頼性を高めている。そこで設計レビュープロセスの作業品質に影響を与える多種多様な人的要因と設計レビューの結果、摘出できたエラー区分ごとの品質の関係を分析し、要因とエラー区分別の設計品質との因果関係を定量的に表すことが出来れば、設計レビュープロセスで作り込まれたエラー区分ごとのエラーに影響する要因を教育の実施やチェックリストなどの使用によって制御することにより、ソフトウェア設計プロセス全体の作業品質の改善をはかるとともに、ソフトウェア最終製品の品質を向上させることが期待できる。またさらに、使用したチェックリストのエラー区分ごとのエラー摘出率に与える効果を定量的に分析することができれば、組織やレビュー担当者のレビュー能力を評価したり、教育方法やチェックリストの善し悪しを評価して改善することも期待できる。

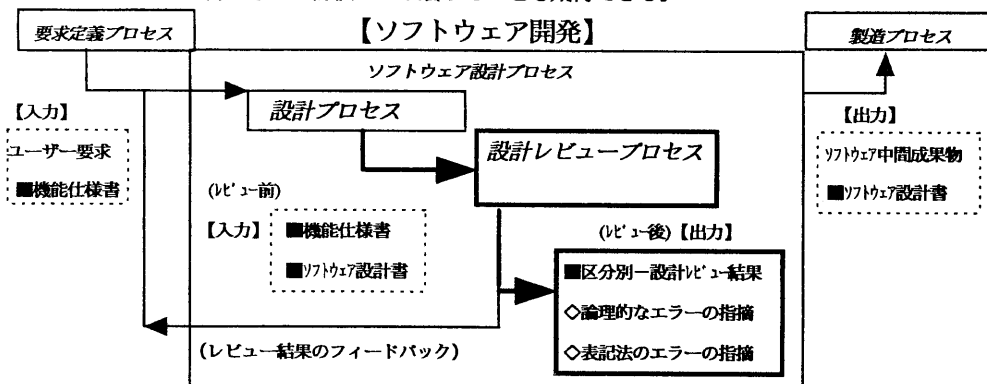


図1. ソフトウェア設計レビュープロセスとエラー区分

3. ソフトウェア設計レビューにおけるエラー区分と入出力

ソフトウェア設計レビュープロセスでは、レビュー担当、レビュー環境、レビュー対象などの大きく三つの入力要因と設計レビューの結果、出力されたソフトウェア設計書などの出力が考えられる。

3.1 設計レビュープロセスの入力

(1) レビュー担当者の属性

設計レビューの品質に直接作用すると考えられる人的要因であり、レビュー担当者の課題に対する理解

度や経験、能力、適性、意欲などの多様な要因が考えられる。設計レビューで抽出されるエラー区分ごとのエラー抽出数に密接に関係する制御因子として機能仕様の理解度やDFD技法の理解度の高低などが考えられる。

a) 機能仕様の理解度 (要因A) :

設計レビューの前に、旅費精算業務および機能仕様の説明を行い旅費精算業務および機能仕様の理解度の高低を理解度テストにより確認した。

b) DFD技法の理解度 (要因C) :

設計レビューの前にDFD技法(ソフトウェア設計技法)の説明を行い、DFD技法に基づくソフトウェア設計書表記法の理解度の高低を理解度テストにより確認した。

(2) レビュー環境の属性

設計レビューの品質に影響するレビュー環境の属性として、設計レビューの時間やエラー抽出目標の有無、チェックリストの有無やレビュー中のQ&Aの可否などのほか、開発環境や設計技法の種別、室内の温度、湿度、騒音などが考えられる。ここで特にチェックリストの内容の良し悪しは、設計レビューで抽出できるエラー区分ごとのエラー抽出数に密接に関係する制御因子と考えられる。

a) 設計レビューの時間 (要因H) :

設計レビューの開始から終了までのレビュー時間であり、被験者により30分と90分を設定した。

b) エラー抽出目標の有無 (要因I) :

設計レビューにあたって、被験者によりエラーの抽出目標を設定した。

c) チェックリストの有無 (要因J) :

設計レビューの実施にあたって、被験者によりチェックリストを使用させた。チェックリストを使用する被験者に対しては、チェックリストの使用法や内容についての事前の教育と説明を行なった。

d) レビュー中のQ&Aの可否(要因K) :

設計レビュー実施中に、被験者により質問を許した。

(3) レビュー対象の属性

レビューの対象となるソフトウェア設計書(中間製品)の品質は設計レビューの品質に直接的に影響すると考えられるが、設計レビュー前のソフトウェア設計段階ですでに決定されており設計レビュー段階では制御できない要因と考えられる。

3.2 設計レビュープロセスの出力

(1) レビュー結果の属性

設計レビューの結果、指摘されたエラーの数や設計変更、仕様変更要求の件数、エラー指摘内容などで設計レビューの入力要因と設計レビューのプロセスに大きく依存する観測値である。ここで設計レビューの結果、抽出されたエラーの数に着目すると、以下の2種類のエラー区分が考えられる。

a) 論理的なエラー : ここでの論理的なエラーは、ソフトウェア設計書の内部に潜在する論理的な矛盾や機能仕様書との論理的な不整合などである。

b) DFD技法のエラー : ソフトウェア設計書の内部に存在するDFD技法に基づく表記法の誤りである。

4. 設計レビューの開発実験

設計レビューで抽出できるエラー区分ごとのレビュー品質を改善するには此等多くの要因を制御する必要がある。ここでレビュー対象の属性は、設計レビュープロセス以前の設計作業段階ですでに決定されておりレビュー段階での制御はできない。そこで本実験ではレビュー担当者の属性およびレビュー環境の属性に着目して、これらを制御因子とし、エラー区分ごとのソフトウェア設計書の品質との関係を明らかにするための実験を試みた。

4. 1. 実験の概要

ソフトウェア設計レビューにおける人的要因と設計レビューで発見できたエラー区分ごとのエラー指摘数との関係を明らかにするための開発実験を行った。24名の被験者を12名ずつのグループに分け、同一の旅費精算システムの機能仕様書と幾つかの論理的なエラーおよびDFD技法(表記法)のエラーを埋め込んだDFD技法で記述されたソフトウェア設計書を渡し、ソフトウェア設計書の設計レビューを行わせた。設計レビューはあらかじめ機能仕様書およびDFD技法の理解度テストにより確認した機能仕様の理解度とDFD技法の理解度およびレビュー環境要因に含まれる設計レビュー時間、エラー抽出目標の有無、チェックリストの有無および

レビュー実施中のQ&Aの可否を表1.に示すようにそれぞれ2水準の入力とし、表2.の様に実験計画法のL₁₂の直交表に割り付けて実施した。またチェックリスト有の被験者に対しては、設計レビューを開始する前にチェックリストの使用方法や考え方について事前の教育と説明を行った。

入力因子		1	2
A	●機能仕様の理解度	高い	低い
C	●DFD技法の理解度	高い	低い
H	●設計レビュー時間	90分	30分
I	●エラー抽出目標	有り	無し
J	●チェックリスト	有り	無し
K	●Q&A	可	不可

表1. 制御因子

No	制御因子						観測値								標準SN比: 70	
	仕様		時間		目標		論理エラー				DFD技法エラー				論理エラー	DFD技法エラー
	A	C	H	I	J	K	正解	誤り	正解	誤り	正解	誤り	正解	誤り		
1	1	1	1	1	1	1	107	7	18	18	121	1	17	11	0.04	4.68
2	1	1	2	2	2	2	99	15	14	22	117	5	18	10	-4.00	0.65
3	1	2	1	2	2	2	83	31	17	19	104	18	12	16	-10.70	-8.52
4	1	1	2	1	1	2	111	3	19	17	116	6	10	18	-1.56	-4.03
5	1	2	2	1	2	1	109	5	5	31	121	1	5	23	-5.85	-0.81
6	1	2	1	2	1	1	112	2	20	16	122	0	13	15	3.64	4.98
7	2	2	2	1	2	1	107	7	9	27	114	8	4	24	-9.45	-13.23
8	2	2	1	1	1	2	109	5	27	9	121	1	24	4	4.13	7.96
9	2	1	2	2	1	1	109	5	16	20	122	0	11	17	-0.02	4.24
10	2	2	2	2	1	2	108	6	12	24	118	4	5	23	-5.19	-6.35
11	2	1	1	1	2	2	100	14	13	23	119	3	10	18	-5.77	-1.39
12	2	1	1	2	2	1	96	18	29	7	108	14	23	5	-0.65	0.13

表2. L₁₂直交表による割り付けと出力データ

5. 実験結果と考察

5.1 標準SN比による実験データの解析

表2. は設計レビューの結果、発見されたソフトウェア設計書の論理的なエラーおよびDFD技法のエラー指摘数である。ここで、この実験のデータは二種類存在する。一つは被験者が設計書の誤りの個所を発見できたかどうかであり、もう一つは、もともと正しかった設計要素を誤りと間違っ指摘しなかったかどうかである。ソフトウェア仕様書の設計品質を高めるには、被験者が誤りを誤りと指摘するだけでなく、正しいものを正しいと判断することも重要である。

品質工学では、このように信号因子の水準が0、1で、出力が二組に分類されるような二種類の誤りのあるシステムの品質の善し悪しを判定する問題に対して、標準誤り率を求め、これを変換することにより標準S/N比を求めている。¹⁰⁾

いま、設計レビューの対象となるソフトウェア設計書の全設計要素数を n 、あらかじめ埋め込まれた誤った設計要素の数を n_1 、もともと誤りでない正しい要素数を n_0 とし、ソフトウェア設計レビューにより被験者が誤っている要素を誤りと正しく指摘できた数を n_{11} 、誤っているものを正しいとまちがって判断してしまった数を n_{10} 、同様にして正しいものを正しいと判断できた数を n_{00} 、正しいものを誤とまちがって指摘した数を n_{01} とすると。設計レビューの入出力の関係は表3. のようになる。いま、表3. から正しい設計要素を誤りとした確率を p 、誤った設計要素を正しいと判断した確率を q とすると、誤り率 p 、 q はそれぞれ(1)、(2)式で与えられる。

$$p = n_{01} / n_0 \quad (1)$$

$$q = n_{10} / n_1 \quad (2)$$

表4. は二種類の誤りのある場合の入出力表を誤り率で示したものである。

表3. 二種類の誤りのある場合の入出力表

出力 \ 入力	0 (正)	1 (誤)	計
0 (正)	n_{00}	n_{01}	n_0
1 (誤)	n_{10}	n_{11}	n_1
計	r_0	r_1	n

表4. 誤り率で表したの入出力表

出力 \ 入力	0 (正)	1 (誤)	計
0 (正)	$1-p$	p	1
1 (誤)	q	$1-q$	1
計	$1-p+q$	$1+p-q$	2

ここで、標準誤り率 p_0 および標準S/N比 η_0 は(3)、(4)式で与えられる。

$$p_0 = 1 / (1 + \sqrt{(1/p-1)(1/q-1)}) \quad (3)$$

$$\eta_0 = -1.0 \log [1 / (1 - 2p_0)^2 - 1] \quad (4)$$

表2. に示した12個のサンプルの標準SN比は、設計レビューの試行実験でレビューさせたソフトウェア設計書の全ての設計要素のうち、正しい設計要素を誤って指摘した数および埋めこまれたエラーを正しく指摘できなかった数などの観測値に、それぞれ式(1)、(2)、(3)、(4)式を適用して求めたものである。

5. 2 制御因子ごとの要因効果の検討

図2. および図3. は表2. の論理的なエラーおよびDFD技法エラーの標準SN比に基づいて、それぞれの設計品質に影響を及ぼす制御因子：A、C、H、I、J、KごとのSN比を求めたものである。

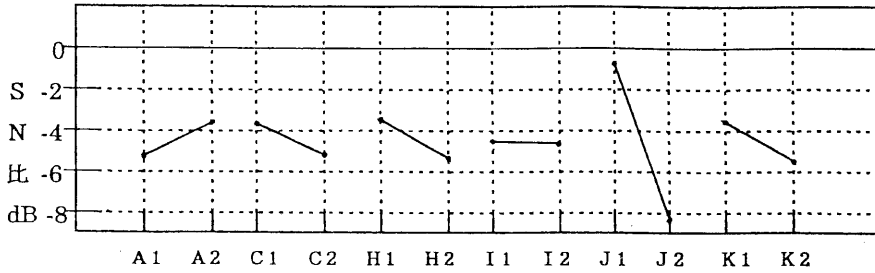


図2. 論理エラーの要因効果図

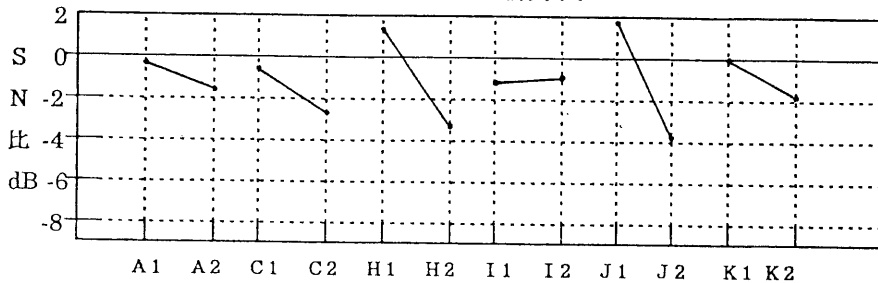


図3. DFD技法エラーの要因効果図

(1) 機能仕様の理解度の高低 (要因A)

図2および図3から、機能仕様の理解度は論理的なエラーの指摘では効果が認められないが、DFD技法のエラーでは効果が認められる。変動が小さいので今回の実験では結果の有意性はないと考えられる。

(2) DFD技法の理解度の高低 (要因C)

図2および図3から、DFD技法の理解度は論理的なエラーおよびDFD技法のエラー指摘ともに効果が認められる。ここで論理的なエラーの指摘に対する効果は変動が小さいので結果の有意性はあまり無いと考えられるが、DFD技法のエラー指摘には対しては比較的、効果が大きく有意性があると考えられ、これまでの開発の経験とも良く一致する。

(3) 設計レビュー時間の長短 (要因H)

図2および図3より、設計レビュー時間は論理的なエラーおよびDFD技法のエラー指摘ともに効果が認められ経験と良く一致する。設計レビュー時間は長ければ長いほど設計レビュー品質の改善につながると考えられるが、論理的なエラーに対する効果が小さいのは、時間の経過とともに正しい設計要素を誤りと指摘した数が増加したためと考えられる。論理的なエラーと異なりDFD技法のエラーに対する効果が大きいのは、DFD技法のエラー指摘に関しては設計レビューの時間が長くなっても正しい設計要素を誤って指摘する可能性が少ないためと考えられる。

(4) エラー摘出目標の有無 (要因I)

図2および図3より、エラー摘出目標は論理的なエラーおよびDFD技法のエラー指摘ともに効果が認められない。このことは一般的に指摘されているエラー摘出目標の有効性とは反するが、変動が小さいので今回の実験では結果の有意性はあまりないと考えられる。

(5) チェックリストの有無 (要因J)

図2および図3から、設計レビューのチェックリストは論理的なエラーおよびDFD技法のエラー指摘ともに効果が認められるが、論理的なエラーの場合、チェックリストを使用した場合と使用しなかった場合で約8 dBの差があり論理的なエラーの抽出に特に効果が大きいことを示している。SN比の変動も大きいので有意性があると考えられ、設計レビュー品質の改善にチェックリストの活用が極めて有効であると考えられる。

(6) レビュー中のQ&Aの可否 (要因K)

設計レビュー中のQ&Aは、論理的なエラーおよびDFD技法のエラー指摘ともに効果が認められるがDFD技法のエラー指摘に対する効果が大きい。表記法エラーなどの視覚的なエラーにはQ&Aによる確認が直接的な効果をおよぼすとも考えられる。

5.3 結論

以上の実験結果および分析結果から、エラー区分ごとのソフトウェア設計レビュー品質に対して、制御因子の效果に幾つかの差異があることがわかった。論理的なエラーに対してはチェックリストが極めて有効であると考えられるが、チェックリスト以外の制御因子の效果は小さく、これらの制御因子で論理的なエラーの設計レビュー品質を改善することはむずかしいと考えられる。

一方、DFD技法(表記法)のエラーに対しては設計レビュー目標を除く全ての制御因子が有効であり、DFD技法の理解度、設計レビュー時間、チェックリスト、Q&Aなどの制御因子を制御することにより論理的なエラーに比べて比較的容易にソフトウェア設計レビュー品質の改善を行なうことが可能であると考えられる。

6. おわりに

ソフトウェア設計品質の改善をはかるために、ソフトウェア設計レビューのプロセスに着目し、人的要因とソフトウェア設計書に埋めこまれたエラー区分ごとのレビュー品質の関係を分析するための品質工学適用のアプローチを提案した。またこの考え方に基づいて設計レビューの開発実験を行ない人的要因とエラー区分ごとの設計レビュー品質の関係を検証した。また、本研究の実験結果および分析から、エラー区分ごとのソフトウェア設計レビュー品質に対して、今回検討した人的要因(制御因子)の効果がこれまでの開発経験と矛盾しないこと、すなわち実験計画法とSN比を適用した品質工学的分析の方法が有効であることが検証できた。今後の課題としては、本研究の検証結果に基づいて、ソフトウェア設計プロセスの改善をはかるための制御因子の管理方法やエラーの重大度と制御因子の関係、ソフトウェア設計の模擬実験など、さらに多角的な研究を行なう予定である。

謝辞

本研究は、日本コンピュータ研究所、日科技連感量計測研究会および電気通信大学機械工学科矢野研究室ならびに工業技術院計量研究所計測数理研究室の御協力のもとに進めたものであり、関係各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) B. Curtis, Eds. "Tutorial: Human Factors in Software Development," IEEE Computer Society Press, 1985.
- 2) T. Nakajo and H. Kume, "A Case History Analysis of Software Error Case-Effect Relationships," IEEE Trans. on Software Eng. Vol. 17, No. 8, 1991.
- 3) E. D. Young, "Human Errors in Programming," International Journal of Man-Machine Studies, Vol. 6, 1974.
- 4) G. M. Weinberg and E. L. Schulman, "Goals and Performance in Computer Programming," Human Factors, Vol. 16, No. 1, 1974.
- 5) V. R. Basili and R. W. Reiter, Jr, "An Investigation of Human Factors in Software Development," Computer, Vol. 12, No. 12, 1979.
- 6) G. Rzevski, "Identification of Factors Which Cause Software Failure," Proc. Annual Reliability and Maintainability Symposium, 1982.
- 7) 吉田他, "ソフトウェアの品質に影響を与える人的要因," 第7年度ソフトウェア品質管理研究会報告書, 日科技連, 1992.
- 8) 高橋, 古宮他, "人的要因メタモデルの提案とその適用実験例," 第47回情報処理学会全国大会講演論文集, 1993.
- 9) 高橋, 山内, "ソフトウェア開発における人的要因解明への品質工学的アプローチ," 第24回官能検査シナポジウム, 日科技連, 1994.
- 10) 田口, 小西他, 品質工学講座第3巻, "品質評価のためのSN比", 日本規格協会, 1988.
- 11) 江崎, 高橋, 山内, "ソフトウェア設計における人的要因分析への品質工学の応用," 第25回官能検査シナポジウム, 日科技連, 1995.
- 12) 江崎, 高橋, "ソフトウェア設計における人的要因分析への品質工学の応用," 品質工学, Vol. 4, No. 6, pp. 47-54 (1996).
- 13) 江崎, 高橋, 山内, "ソフトウェア設計のエラー区分と人的要因分析の関係についての品質工学的考察," 第26回官能検査シナポジウム, 日科技連, 1996.

- 1) 山武計装株式会社 技術情報支援センター 〒146 品川区南大井 6-5-4 電話 : 03-3766-8907 FAX : 03-3766-2746
- 2) 桐蔭学園横浜大学 工学部 制御システム工学科 〒225 横浜市緑区鉄町 1614 電話 : 045-974-5072 FAX : 045-974-5072