

設計品質リスクを未然にあぶり出す新手法 “XCN (クロスチェック付きなぜなぜ分析)”

鶴田明三*
春名一志**

New Analytical Method" XCN" to Manage Risks of Quality during Early Design Phase

Hirozoh Tsuruta, Kazushi Haruna

要旨

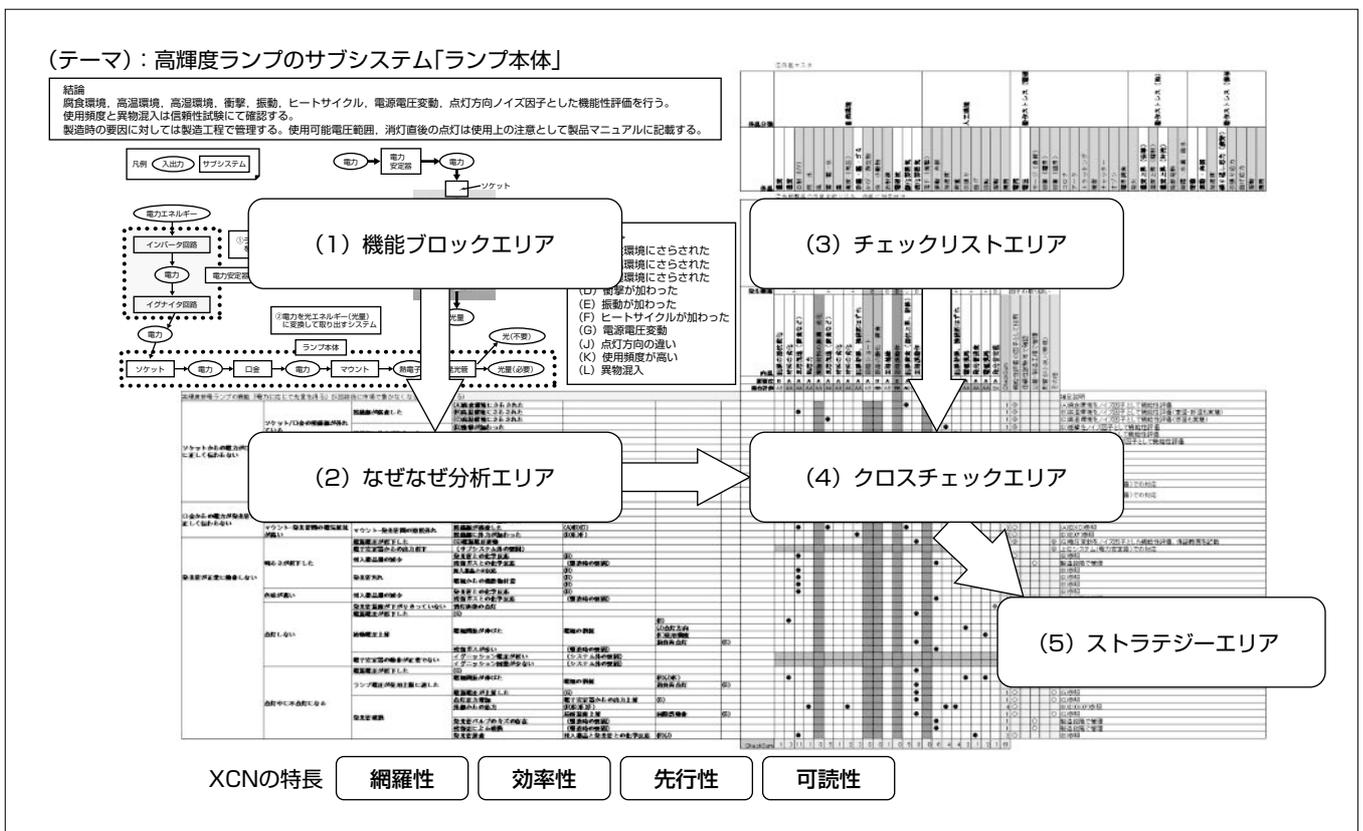
製品設計・開発の初期段階で、手戻りや品質に関するリスク要因を見える化する新手法“XCN(クロスチェック付きなぜなぜ分析)”を開発した。設計・開発の初期段階で品質を高めるためには、顧客の使用条件や環境条件の機能への影響といった品質リスク要因を的確に見極める必要がある。品質リスク要因に対しては、対策を設計に織り込んだり、設計審査で対策の妥当性を審議したり、シミュレーションや試作での評価・検証の条件に採用したりできる。

XCNの主な構成は、①“設計した機能が市場(使用段階)で働かなくなる”という想定をトップ事象とした“なぜなぜ分析”、及び②製品が曝(さら)される外乱(顧客の使用条件・環境条件)と、それによって製品の内部で発生・変化

し得る内乱との組合せで構成される“チェックリスト”からなる。トップダウン思考の“なぜなぜ分析”とボトムアップ思考の“チェックリスト”の検討内容をクロスチェックすることで網羅性を高め、品質リスク要因の抽出漏れを高確率で防止する。

さらに、全部品の分析を必要としないため分析の効率性が高く、詳細な部品表を必要としないため設計・開発の初期段階で活用できる先行性がある。また原因と結果の関係の可読性が高くレビューしやすいという特長を持つ。

現在XCNの集合研修や説明会で、三菱電機の各製作所の設計部門、品証部門への展開を図り、設計・開発の段階での品質作り込みに活用している。



XCN(クロスチェック付きなぜなぜ分析)

XCNは、不具合要因の想定を行うトップダウン思考の“なぜなぜ分析”と、顧客の使用条件・環境条件が製品内部に与える影響を列挙したボトムアップ思考の“チェックリスト”の組合せをクロスチェックすることで、使用段階での品質リスク要因の抽出漏れを効率的に防ぐ。設計・開発段階でXCNを適用することでリスクに気づき、設計仕様に織り込んだり、シミュレーションや試作での評価・検証条件に反映したりできる。

◇ 一般論文 ◇

1. ま え が き

製品出荷後に保管・搬送・使用される段階(以下、まとめて“使用段階”という。)での品質不具合や、開発中の手戻りの原因の大半は、設計・開発段階で十分に品質に関するリスク(以下“品質リスク”という。)を抽出・評価・対応できていないことで生じる。また、品質不具合や手戻りは、事前にその原因が掴(つか)めていれば未然に対応できることが多い。

従来、特性要因図によって品質リスクを抽出したり、発生した不具合をトップ事象にしたなぜなぜ分析やFTA(故障の木解析)を行って再発防止を図ったり、FMEA(故障モードと影響解析)で部品ごとの故障モードから上位アイテムへの影響を解析したりして、できるだけ設計・開発段階で品質リスクに対応してきた。

品質リスク抽出手法には、①品質リスクの抽出漏れが少なく(網羅性)、②適度な負荷で実施可能であり(効率性)、③設計・開発の上流で実施でき(先行性)、④第三者が内容をレビューしやすい(可読性)ことが求められるが、従来の方法は一長一短があると考えている。

本稿では、この課題を解決するために開発した品質リスク抽出手法“XCN(クロスチェック付きなぜなぜ分析)”について述べる。

2. XCNの概要と実施手順

2.1 XCNで着目する品質リスク

開発・設計の初期段階で考慮すべき品質リスクには人的な要因や管理的な要因もあるが、XCNでは製品機能(動作、性能)及びそれらの安定性に係わる物理現象的な要因を扱う。特に製品の使用段階での多様な顧客の使用条件・環境条件を抽出し、その対応を事前検討することが目的である。XCNでは、顧客の使用条件・環境条件による製品内部への影響及び製品機能の喪失・低下までの因果関係を見える化する。想定された品質リスクに対しては、その対策を設計に織り込んだり、設計審査で対策妥当性を審議したり、シミュレーションやプロトタイプでの評価・検証の条件(品質工学におけるノイズ因子)に採用したりすることで未然防止を図ることができる。

2.2 XCNの構成

XCNの主な構成は、①“設計した機能が市場(使用段階)で働かなくなる”という想定をトップ事象とした未然防止型の“なぜなぜ分析”、及び②製品が曝される顧客の使用条件・環境条件(外乱)と、それによって製品の内部で変化し得る現象(内乱)との組合せで構成される“チェックリスト”からなる。トップダウン思考の“なぜなぜ分析”とボトムアップ思考の“チェックリスト”の検討内容をクロスチェックすることで、品質リスク要因の抽出漏れを高確率で防止するところが、XCNの最大の特徴である。

2.3 XCNの実施手順

要旨の図にXCNで使用するシートの概観と5つのエリアを示した。XCNの手順を、それらのエリアに対応づけて述べる。

2.3.1 機能ブロックエリア

[STEP 1]対象の製品・システムの機能を整理

対象とする製品(又はその一部であるサブシステム)に対して、機能ブロックとそれらの関係(情報やエネルギーの流れ)を明らかにするための機能ブロック図を作成する。これはXCNとして新規の内容ではないが、[STEP3]のなぜなぜ分析や、[STEP6]の外乱から内乱への展開を確実に行うために役立つ。後に故障モードの“種類”が推測可能な単位に分かれていればよく、部品単位の展開は必要ない。高輝度ランプの機能ブロック図の作成例を図1に示す。XCNの対象範囲はランプ本体とした。

2.3.2 なぜなぜ分析エリア

[STEP 2]トップ事象の定義(機能の否定)

XCNのなぜなぜ分析では、まだ発生していない品質不具合の想定を行う。[STEP1]で定義した機能を、“入力”に応じて“出力”を得る”という表現で表す。この機能表現の否定をトップ事象とするが、XCNでは、使用段階の要因に着目するため、“電力に応じて光量を得る機能が、出荷後働かなくなる(低下する)”をトップ事象とする。

[STEP 3]なぜなぜ分析の実施

先に述べたトップ事象が発生する要因をなぜなぜ分析を用いて展開する(図2)。XCNでは真の原因を追究するのではなく、物理的な外乱が出てくるまで実施する。“なぜ”の回数は、なぜなぜ分析で通常推奨されている5回にこだわらない。外乱とは、顧客の使用条件(消灯直後に点灯、長期間使用しなかった等)や使用環境(高温環境、高湿環境、振動等)で、製品の外側にある要因である。検討範囲外の部分の変動要因も外乱と考える(電源電圧変動など)。また、外乱によって製品内部で変化・変動する現象のことを内乱という。なぜなぜ分析では、外乱の1つ上位(図2では左)の要因は内乱になる。なぜなぜ分析実施後は、充分性や論理構造等のチェックを行うルールがあるが、説明は割愛する。

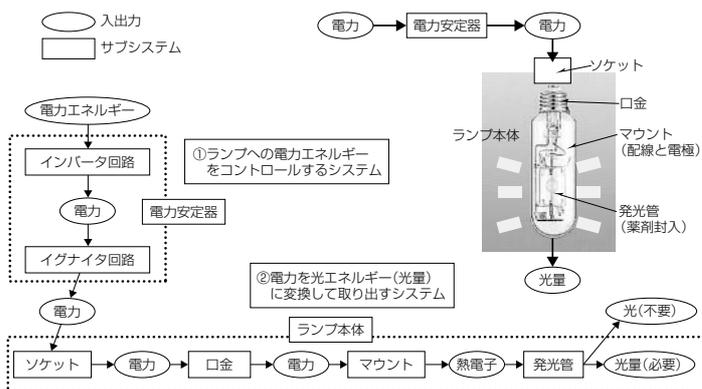


図1. 高輝度ランプの機能ブロック図

高輝度放電ランプの機能「電力に応じて光量を得る」が出荷後に市場で動かなくなる（機能低下する）				
ソケットからの電力が口金に正しく伝わらない	ソケット／口金の接続部が外れている	接続部が腐食した	(A) 腐食環境にさらされた	
			(B) 高温環境にさらされた	
			(C) 高温環境にさらされた	
		接続部に外力が加わった	(D) 衝撃が加わった	
			(E) 振動が加わった	
			(F) ヒートサイクルが加わった	
	出荷時の接続部強度が低い	(製造時の要因)		
	ソケット－口金間の電気抵抗が高い	ソケットの銅端子が腐食した	(A) (B) (C)	
		ソケットの銅端子のバネ性劣化	(B) (C) (F)	
		口金側溶接部腐食	(A) (B) (C)	
電源が故障している(停電)	(サブシステム外の要因)			
電源－ソケット／口金間の電源配線が切れている	(サブシステム外の要因)			
口金からの電力が発光管に正しく伝わらない	口金－マウント間の電気抵抗が高い	接続部が腐食した	(A) (B) (C)	
	マウント－発光管間の電気抵抗が高い	接続部に外力が加わった	(D) (E) (F)	
発光管が正常に動作しない	電源電圧が低下した	電源電圧変動	(G)	
		電子安定器からの出力低下	(サブシステム外の要因)	
	明るさが低下した	封入薬品量の減少	発光管との化学反応	(B)
		封入薬品との化学反応	残留ガスとの化学反応	(製造時の要因)
	発光管汚れ	封入薬品との反応	(B)	
電極からの飛散物付着	(B)			

図2. なぜなぜ分析の例

2.3.3 チェックリストエリア

XCNのチェックリストを作成する(図3)。チェックリストの作成は製品分野共通でよく、XCN実施のたびに新作する必要はない。ここではチェックリストを新作する場合について述べる。2.2節で述べたように、チェックリストは、製品が曝される外乱と、それによって製品の内部で発生・変化し得る現象である内乱との組合せで構成される。

[STEP 4]外乱のデータベース整備

まず外乱のチェックリストのヒントとなる、外乱のデータベースを整備しておく。外乱に関する類似製品の市場情報、過去トラブル情報、信頼性マニュアル、試験規格、関連文献⁽¹⁾などの情報から、顧客の使用条件や環境条件に関するキーワードを冗長に列挙する(図3の上段)。データベースの項目は製品分野共通でよく、その企業(事業部)のナレッジとして共有し、継続的に拡張していくとよい。

[STEP 5]外乱の選択

XCNを実施する対象について、[STEP4]のデータベースから明らかに関係しないものを取り除き、そのキーワード(例えば“温度”)から外乱の要因(例えば“高温環境”)を作成する(図3の中段)。

これは技術者だけで行うのではなく、営業部門や品証部門など顧客の情報に詳しいメンバーが参画することが望ましい。

① 外乱マスタ

外乱	温度	湿度	日射(UV)	雨・水	風	雪・雹・氷	雷	高電圧(高圧)	砂塵・塵・ゴミ	かび・微生物	虫・小動物	放射線	電磁波	酸化雰囲気	酸化雰囲気	硫化雰囲気	落下(衝撃)	振動・共振	加速度	荷重	引張り	曲げ	回転	開閉
----	----	----	--------	-----	---	-------	---	---------	---------	--------	-------	-----	-----	-------	-------	-------	--------	-------	-----	----	-----	----	----	----

② 当該製品の外乱を絞り込み、内乱に対応付け

外乱	高温環境	高温環境	ヒートサイクル	液体の浸入(結露等による)	異物類(塵埃、ゴミ、虫など)	電磁波ノイズ	腐食雰囲気(酸化・硫化)	電圧変動	購入部品メーカー要因	社内組立・調整ばらつき	衝撃	振動・共振	点灯方向	使用頻度										
内乱	配線の抵抗変化	材料の劣化	反応促進(腐食など)	熱応力	樹脂材料の膨潤・劣化	反応促進(腐食など)	材料の劣化	材料の劣化	配線断線・接続部はずれ	回路ショート	部品の酸化・腐食	回路断線	回路断線	回路断線	回路断線	回路断線	回路断線	回路断線	回路断線	回路断線	回路断線	回路断線	回路断線	回路断線

図3. チェックリストの例

[STEP 6]外乱から内乱への展開

対象製品が[STEP5]で取り上げられた外乱に曝された場合に、どのような影響が製品内部に発生するかを外乱ごとに列挙する(図3の下段)。例えば、“高温環境(外乱)”に対応する内乱は、“配線の抵抗変化”“材料の劣化”“反応促進(腐食など)”“熱応力”等である。内乱はFMEAの故障モードに相当する。外乱が内乱を発生させないと判断される場合は、外乱を見え消して、“検討したが影響なしと判断”したことを残す。影響が不明な場合、内乱は空欄としておき、情報が増えた際に追記する。

これは製品の構造、動作原理、故障モードに詳しい技術者が中心となって、機能ブロック図を参照しながら実施する。内乱の想定は、まずは内乱の種類が列挙できればよく、大まかな“部品の寸法変化”程度の表現でよい点がXCNの効率性を高めている。“部品”について、内乱の場合分けが必要かどうかは、後のクロスチェック時に再検討する。

この後、外乱、内乱の検討優先順位をそれぞれ発生頻度と影響度でABC評価するが、説明は割愛する。

2.3.4 クロスチェックエリア

[STEP 7]クロスチェックと漏れていた要因の追加

要旨の図で示したように、左側になぜなぜ分析、右上部にチェックリストを配置し、その交差する部分にクロスチェックエリアを設ける。チェックリストの1つの列は“外乱+内乱”の組合せになっているので、この組合せに対応するなぜなぜ分析の行を探して、対応する交点にすべて印(●)を打つ(図4)。これをすべてのチェックリストの列について行う。チェックリストの外乱+内乱ペアがなぜなぜ分析の行に対応しない場合は、なぜなぜ分析に漏れがあると考え、なぜなぜ分析に戻って該当する外乱+内乱ペアが入るべき“枝”を検討し、なぜなぜ分析に追加する。次に、なぜなぜ分析の各行の内乱+外乱ペアがチェックリストの各列と対応しているかを同様にチェックする。なぜなぜ分

◇一般論文◇

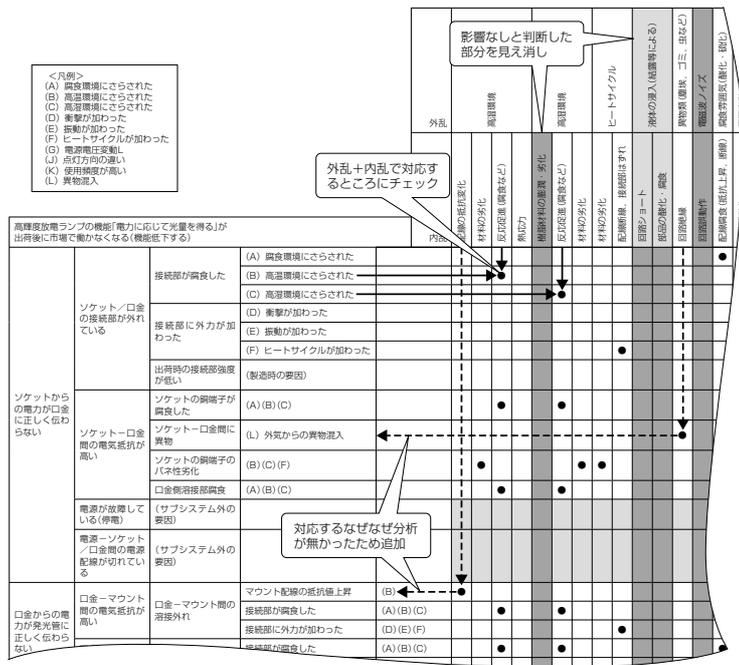


図4. クロスチェック

析の文言の不適切や、チェックリスト側の漏れに気づいた場合も適宜、追加・修正する。

クロスチェックを繰り返す、なぜなぜ分析やチェックリストを充実化していく過程で、漏れていた故障モードや原因について新たな気づきが得られることが実感できる。

2.3.5 ストラテジーエリア

[STEP 8] 品質リスクに対する戦略の明確化

抽出された外乱1つ1つに対してどのように対処するかの方針を定める。この方針は必ずしも最終決定ではなく、設計審査のインプット情報として、方針の妥当性を審議することもある。対処方法は、まず設計に対策を反映することを基本として、次のような項目を設定している。製品によって項目を変更する場合もある。

- (1) 機能性評価を実施
- (2) 信頼性試験等の規格試験で確認
- (3) 公差・製造工程で管理
- (4) 影響が少ないため無視
- (5) その他(防護, マニュアルでの注意喚起など)

(1)は“品質工学”⁽²⁾で知られる評価方法の1つで、抽出した外乱をノイズ因子(誤差因子ともいう)とする場合である。複数の外乱を取り上げ、複合的に組み合わせて機能の安定性を評価する。開発・設計上流での早期・短期間での品質の見える化に効果を発揮する手段として、(2)の信頼性試験の前段階の評価として推奨している。

XCNでは外乱・内乱がどんな不具合現象につながるのかの情報がなぜなぜ分析に示されているので、対処方針を策定する上で役立つ。

[STEP 9] 結論の明記

[STEP8]の検討結果を簡潔にまとめ、結論を記載する。

3. 効果と適用事例

社内でXCNの効果を検証した結果、なぜなぜ分析の展開行数は、なぜなぜ分析だけを個人が実施した場合に比べて平均4.4倍となり、内乱・外乱の網羅性が向上したことを確認している。これはクロスチェックによる漏れ防止の効果もさることながら、トップ事象設定方法のルール化や十分性・論理構造チェックの効果も含まれる。また、詳細な部品表を必要としないため、開発・設計の上流で活用できる先行性を持つ。また部品ごとの解析を必要としないので、効率的である。XCNはフォーマット化されており、レビューは結論から、個々の外乱とその対策方針、外乱が内乱を経てどのように不具合事象に波及していくのか、を順番に理解することができるので可読性が高い。これは有識者からアドバイスや指摘をもらう上で非常に重要なことである。

開発・設計プロセスにおける、XCNの適用事例を次に挙げる。

- (1) 通信機器の事例：XCNで50数件の品質リスク要因(内乱・外乱)を抽出し、それらを開発プロセスのどの段階で検証するかの計画策定に活用した。XCNのシートの右欄に更に評価内容の詳細や実施フォローの項目まで追加して管理できるように様式を改良した。
- (2) 電力機器の事例：要素開発段階にXCNを導入して品質リスクの見える化を行い、設計審査の組上(そじょう)に載せる仕組みを構築して開発の手戻り削減活動につなげた。
- (3) FA機器の事例：新製品で採用予定の新機能すべてにXCNを適用して品質リスク内容をレビューし、必要に応じて機能性評価によって弱みを具体的に抽出した。

4. むすび

現在、各製作所の設計品質に係わるキーマンに対してのXCNの教育や、全国4拠点での技法説明会を実施している。また豊富な事例と詳細なマニュアルをイントラネットでも共有して活用を促進している。実際に活用できるようになるためには、座学だけでなく有識者によるトレーニングも必要であるが、使用することによって気づきを得られ、技術者の教育のためのツールとしても期待が高まっている。

今後は、実製品の開発に適用した場合の品質改善、手戻り削減等の効果の検証をさらに実施していく所存である。

参考文献

- (1) 越川清重, ほか: 実務にすぐ役立つ信頼性技術, 日刊工業新聞社, 143 (1982)
- (2) 田口玄一(監修), ほか: 品質工学便覧, 日刊工業新聞社 (2007)