



品質・信頼性・安全性への未然防止体系とその新展開

鈴木 和幸*¹

Prevention Systems and Their Developments for Quality, Reliability and Safety

Kazuyuki SUZUKI*¹

Abstract— The purpose of manufacturing is to produce well-balanced quality of QCD(Quality, Cost and Delivery), reliable products, and systems by using rigorous scientific methods while seeing how the situation is. Moreover, manufacturing aims to contribute to society's prosperity by providing products to the market. The above idea should be applied consistently in Times of Fourth Industrial Revolution, which also includes IoT (Internet of Things), AI, and Big Data. In fact, society cannot exist without preventing accidents caused by the vulnerability of the security network beforehand in the social infrastructure, such as autonomous vehicle. In this papers, prevention systems and its new developments based on quality management and quality assurance that were established in Japan, are proposed focusing on motivation, seven viewpoints on prediction, and white mode. White Mode confirms safety state, and without confirming it, proceeding to the next step is prohibited. Utilizing both Black Mode and White Mode are important to achieve quality, reliability and safety.

Keywords— Prevention by prediction, Quality assurance, Failure mode, White mode, Black mode

1. はじめに

モノづくり・コトづくりの目的は、QCD (Quality, Cost & Delivery) のバランスの取れた品質と信頼性の高い製品やシステムを、現実を直視しつつ科学的な方法に立脚して産み出し、これを市場に提供して社会の繁栄に貢献することにある。IoT, AI, ビッグデータをはじめとする第4次産業革命の時代においてもこの理念は一貫していなければならない。例えば、自動運転車(AV)などのIoT(モノのインターネット)によって実現される社会基盤においては、ネットワークセキュリティの脆弱性に起因するアクシデントを未然防止しえなければ、この社会は成り立たない。本稿は日本が産んだ品質管理と品質保証を基本とする未然防止体系とその新展開を、動機付け・予測への七視点・White Modeに焦点を絞り提案する。好ましくない状態に着目する故障モードをはじめとするBlack Modeに対し、本稿では安全が確認できなければ次のステップへは進むことのできない安全確認

型を指向するWhite Modeを取り上げ、これらのBlack ModeとWhite Modeの両者の併用を提起する。

2. 未然防止とその体系

「生じたことへの批判は誰でもできる。大事なことは、取り返しのつかない重大なトラブルをいかに未然防止するかである。」たった今、この時点から先の取り返しのつかないトラブルをいかに防げばよいか。品質、信頼性、安全性をはじめとし、種々なトラブルが昨今、生じている。筆者は、①未然防止への動機付けと②予測の二つが鍵を握ると考える。当初は予測が鍵と考えていたが、人間は弱いもので“予測”ができてその先の行動・アクションが伴わないことがある。例えば、2018年7月の西日本豪雨において、ハザードマップという素晴らしい予測がなされていたが、残念ながら多くの被害が出ってしまった。また、2019年7月の九州地方南部の梅雨前線に伴う豪雨においても警戒レベル4の避難レベルが発令されていたにもかかわらず、実際に避難をした人は全体の1%に過ぎなかった。ハザードマップや警戒レベルの背景・理由を考えさせ、理解させ、納得してもらうこと、そして行動を起こしてもらうにはどうすればよ

*¹電気通信大学大学院情報理工学研究所 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1

*¹The University of Electro-Communications, 1-5-1 Chofugaoka, Chofu-City, Tokyo

Received: 29 July 2019, Accepted: 28 August 2019.

Table 1: Seven Viewpoints of Purpose Setting for Satisfaction of Customers and Society [8].

Universal purpose: Satisfaction of customers/society	Three categories and seven viewpoints		Background/Hope	Related Philosophy of East and West	
	Object	Truth	Law, Cause and Effect, Mechanism, Reproducible manner, Knowledge, System, etc.		Wisdom
Existence and recognition		Sustainability, Diversity, Environment, Overall optimization, etc.		Humanity	
Intention	Ethics/Moral	Everyone's happiness, Courtesy, Moderation, etc.		Courtesy	Goodness
	Justice	Fair, Peace, Bravery, Dedication, etc.		Justice	
	Sincere	Trust, Reliance, Peace of mind, Safety, Effort, etc.		Faith	
Motive	Beauty of emotion	Excitement, Enjoyment, Fun, Joy, etc.		Delight	Beauty
	Perception/Beauty of sense	Beauty, Deliciousness, Amenity, Comfort, etc.		Pleasure	

Reference: M.Yamashita & K.Suzuki(2017). JSQC the 47th Annual Conference, pp.31-34

いか、の検討が必要である。人は理解し納得しなければルールへの遵守や新しい行動を起こさない。このような“動機付け”（詳細を § 3.2 (3) に示す）がなされなければ、実行が伴わないのが人間の性である。

2.1 モノづくり・コトづくりの目的

社会生活を営むにあたっての基本として、「人・社会の満足」を考え、この実現に向けて **Table 1** の目的設定への七視点を考える [8]。真理 [智], 存在とその認識 [仁], 倫理・道徳 [礼], 正義 [義], 誠実 [信], そしてこれらへのモチベーションを維持するための情感の美 [楽] と知覚・感覚の美 [悦] である。即ち、仁義礼智信の五常と楽と悦である。これらを基本としてモノづくり・コトづくりを行うことが大切である。

モノづくり・コトづくりの目的は、QCDのバランスの取れた品質と信頼性の高い製品やシステムを、環境・社会・他国・他者などのことを配慮の上 [仁], 科学的な方法に立脚して産み出し [信], これを市場に提供して、顧客と社会に感動 [楽][悦] と安心 [信] を与え、社会の繁栄に貢献すること [義] にある。このためには **Fig. 1** に示すように、顧客のビジネスプロセスを把握し、顧客・社会の現場に入り込み、顧客がどこで困っているのか、何を期待しているのか、何を必要としているのかの **Customer in** を積極的に行い、顧客・社会のニーズを探ることが大切である。そして、このニーズを確保・確認・確認（以下、“三確”と呼ぶ）するための体系的な活動が必要となる。本稿では、これを“広義の品質保証”と呼ぶ。

三確とは、

- ① 確保：プロセスの確立とその遵守
顧客・社会のニーズを把握し、それにあった製品・サービスを企画・設計し、これを提供できるプロセスを確立し、これを遵守する。

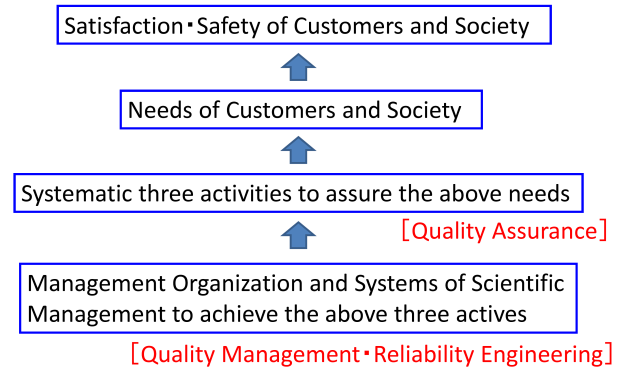


Fig. 1: Quality Assurance in Broad Sense.

- ② 確認：Verification + Validation
仕様への合致のみでなく、顧客・社会のニーズが満たされているかどうかを三現（現地・現物・現実）の視点よりデータに基づき事前に確かめ、出荷後も継続的に評価・把握する。ニーズが満たされていない場合には、迅速な応急対策・再発防止対策を取らなければならない。

- ③ 確証：第三者に対し与える“あかし”
どのようなニーズを満たすのかを顧客・社会との約束として明文化し、それが守られていることを証拠で示し、信頼感・安心感を与えることを意味する。

②の確認は、**Fig. 2** に示すように、製品・サービスが規定要求事項に適合しているかの **Verification**（検証）だけでなく、それらの市場・現場での運用・使用が顧客・社会のニーズを満たしているかが大切である。2017年版のISO-9000では市場・現場での運用が“規定要求事項”を満たしていることを **Validation** と定義しているが、大切なことは“顧客・社会のニーズ”を満たしているかである。従ってここでは **Validation** と呼ぶ。一方、ISO-9000が意味する“品質保証”は、上記③の“証し”を与えるこ

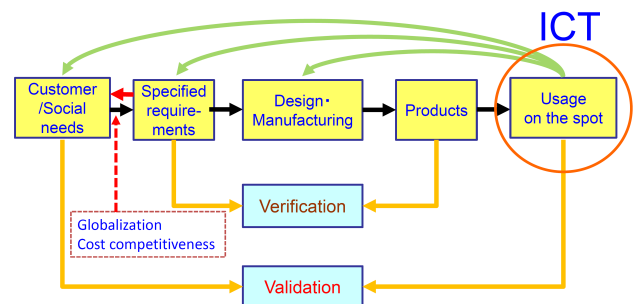


Fig. 2: Ensure through Verification and Validation by Data.

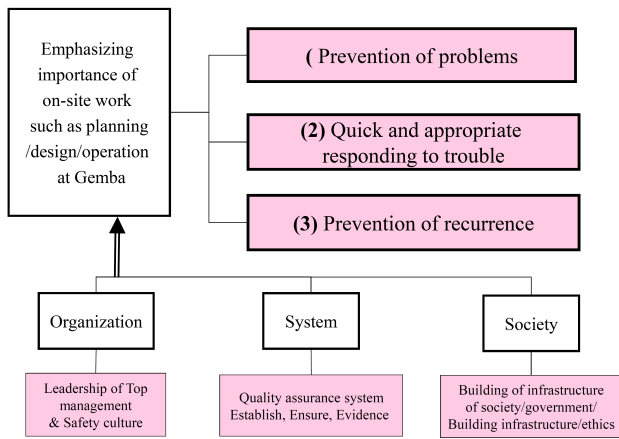


Fig. 3: Scheme for Quality/Reliability/Safety Assurance.

とを中核とする活動であり、これを本稿では“狭義の品質保証”と呼ぶ。

2.2 品質・信頼性・安全性確保へのスキーム

品質 (Quality)・信頼性 (Reliability)・安全性 (Safety) (以下、「QRS」と略記) の確保へ向けてのスキームを Fig. 3 に示す。大切なことは企画・開発・設計・製造・運用・サービス等に携わる現場の重視である。そして、“現場の皆が主役”になっているか否かが大切である。“売上第一”、“売上第一”で、年度目標が厳しく掲げられ、現場が疲弊していることはないだろうか。

そして、この現場をリーダーシップと安全文化を重要視する“組織”と、品質保証システム (QA システム) に代表される“システム”と、社会・行政・インフラ・教育に代表される“社会”が支えることが重要である。

現場の活動としては、①取り返しのつかないトラブルへの未然防止、②トラブルへの迅速・適切対応、③トラブルへの再発防止、が大切である。②は平時のときに、有事に対してに備えるか、そして有事となったときには、同一ロット・同一型式の使用停止、リコールなどの影響拡大防止への応急対策が最重要である。なお、平時においては、発生防止・流出防止 (発見)・影響防止の三視点からの検討が必須となる。

3. 未然防止への動機付け

3.1 未然防止の必要性

今、健康に恵まれている方々はその有り難さを感じ、健康であることに感謝しているであろうか。人はややもすると、この有り難さを忘れがちであり、病気になってはじめて健康の有り難さを痛感する。QRS に関しても全く同じであり、新製品開発において、重大な事故の発生が回避できてもこれが当然のこととしか目に映らず、

これを未然防止への成果として認知することは難しい。反面、事故が発生して厳しさが認知されたとき、はじめて未然防止への意義が強く指摘されることになる。QRS の問題を出さない一番簡単な方法は、新製品開発を行わないことである。既存の長年、市場に出し続けてきたものであれば、長い年月を経て QRS が次第に安定し定常状態になってきているはずである。しかし、AI, IoT, ビッグデータ、自動運転とかつてないスピードでモノづくり・コトづくりに変化が生じている今日、また資源に恵まれていない我が国が経済立国として存続し世界経済の繁栄と平和に資するためには、新製品開発を行うことが大切となる。また、定常状態になった製品には、更なるコストダウンが要求され、このとき、素材変更などによるトラブルが生じやすい。これらへの未然防止も必要である。

Fig. 4 は本稿で提案する QRS 作り込みへの七つの視点である。これまで長年、多くの方々より、教を賜り、これだけは最低限必要となる項目を列挙した。各項目の説明は § 4.3 にて示すが、まず⑦影響に着目する。今、企画開発中の製品が、社会・顧客へどのような影響・危害 (人への影響) を与えうるであろうか。死亡、指切断などの重傷や火災など、最悪の影響とシナリオを考えることが大切である。同一機能、同一機能達成メカニズムの現存製品に、自社だけでなく、他社も含めてどのような問題が生じているかの Database (DB) が有用である。そしてこれを開発・設計担当者がデータとして把握し、これだけは避けなければならない、これが発生すると取り返しがつかなくなる事象を、本人に考えさせ、理解させ、納得させ、行動を起こさせることが大切である。

2015年8月、JEEPのマルチメディアシステムのWi-FiのパスワードがBlackHat2015コンファレンスにて突き止められ、140万台がリコールされた。また、2018年4月、BMW車に14件の脆弱性が発見され、このうち6件は走行中に遠隔操作される危険性が指摘された。さらにボッシュの車載コネクタに脆弱性が発見され、遠隔操作により、エンジン停止に至ることが指摘された。サムソンのスマート冷蔵庫も同様である。これらはいずれもハッキングコンファレンスなどにおける(ブラックハッカーに対する)ホワイトハッカーによる指摘であり、このような各分野の専門家集団による“予測”に基づく影響の把握も大切である。このとき“コネクテッド製品におけるパスワードの流出”という重要なモードが抽出できれば、予測が可能となる。福島第一の事故では“全電源喪失”、航空機では“機体制御不能”高速道路や鉄道では“逆走”など、大きな影響が生じる一歩手前の状態が把握できれば、これに対する未然防止、流出防止、影響防止を事前に考えることができる。本稿ではこれを“トップ事象モード”と名付ける。Fig. 4の⑥-2である。これ

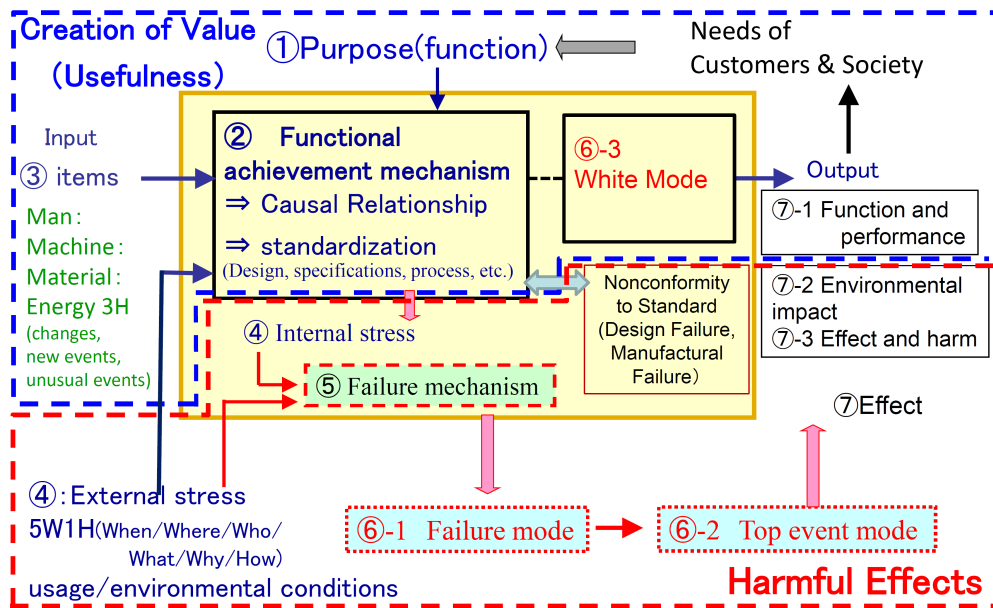


Fig. 4: Seven View Points for QRS Assurance.

をいかにもれなく抽出し、この影響を組織として対処するかが大切である。

3.2 未然防止への動機付けとシーソーモデル

未然防止は工数と予算を必要とする。また、私たちは新たなことを始めるとき、抵抗がある。一方、人は誰でもエラーをするが、これを防ぐためには、次節で述べるPDCAの視点からのアプローチが重要である。以下ではいかにすれば人は新たなことに取り組み、また標準・ルールを遵守する行動にうつるか、このための3ステップを示す。

新たな行動やルールの遵守・新しい行動をなすためには、

- A) 遵守・行動するための手間・工数・コスト
- B) 遵守・行動することによる効用・リスク回避

の二つの理解と納得が大切である。

Step1: 上司・管理者への質問・相談ができる文化の構築

上記のA), B)の激論により管理者と担当者が、Aの中身、Bの中身を完全にお互いが理解することが大切である。この為には、管理者と担当者が話し合える雰囲気・文化が必要である。耳を貸さない管理者、命令だけの一方通行の押しつけでは、人は動かない。

Step2: A), B)の激論による標準、行動の正しい理解

人は新しいことや面倒で厄介なルールに関しては、Fig. 5に示すように、A)とB)のシーソーの支点が中心ではなくずれている。なるべく避けたい、守りたくないという先入観である。

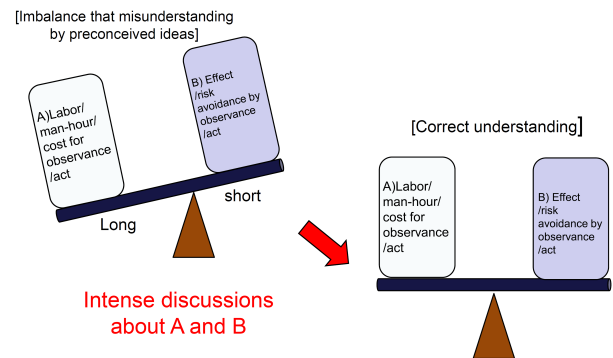


Fig. 5: Step2: Correct Understanding.

A)とB)の激論によって管理者と担当者が一緒に考えてはじめて共通の理解が深まり、シーソーの支点がA)とB)の中心にくる。

Step3: 標準の更なるカイゼンと効用リスクの納得

完璧な標準・ルールはあり得ない。常にカイゼンを行い、守りやすい、使いやすい、ベストの標準・ルールへのカイゼンを図ることが大切である。一方、B)の効用、リスク回避の重要性に対し身を持って納得することが大切である。言葉だけでは難しい。例えば、労災等の現場のリスクをバーチャルリアリティー (VR) の画像や安全道場にて体験するという事は、その一つの方法である。

以上の理解と納得により、初めて人はルールの遵守をなすであろう (Fig. 6)。

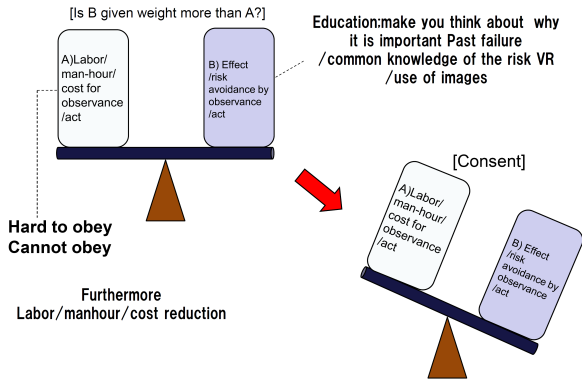


Fig. 6: Step3: Act with Mutual Consent.

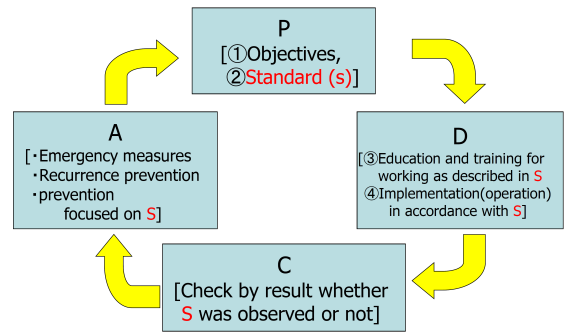


Fig. 7: PDCA focusing on Standard [1].

4. 予測

4.1 帰納的アプローチと演繹的アプローチ

予測できないことは防げない。予測し得れば、発生防止・発見・影響防止など、何らかの対処方法が考えられよう。それではいかに予測すれば良いであろうか。例えば、本日の夕刊の社会面に掲載される事象は、過去に生じた出来事と同じ類いの事象であろう。現場によって対象、被害の程度は異なるかもしれないが、事象の本質は類似のものがほとんどである。即ち、過去に生じたトラブル事象により 5W1H を含む、現場、現物、現実の視点よりこれを一般化・抽象化し、情報共有を行う“帰納的アプローチ”より、現時点から先のトラブル事象の予見が可能となる。この過去のデータをどのように DB 化すればよいかの切り口、視点が Fig. 4 でもある。一方、世界初の新製品であれば、過去の情報が皆無のおそれもある。このときは、Fig. 4 の②機能達成メカニズムを基に、普遍的な原理・原則からトラブル事象を推論し、個別状況下への予測を行う“演繹的アプローチ”も大切である。またここで本メカニズムにて、どのような問題が生じるか他の既存製品での問題のサーベイも必要である。以上の二つの帰納的アプローチと演繹的アプローチをつなぎ、予測を行う視点が次項のマネジメントの視点および Fig. 4 の QRS 作り込みへの七つの視点である。

4.2 マネジメントの視点

(1) トラブル情報の共有

トラブルを分類すれば

- a. 過去において経験・失敗をした同一、あるいは類似した延長線上にあるトラブル
 - b. 未経験なトラブル
- に分かれよう。さらに b. は、
- b1. 個人として未経験なトラブル
 - b2. その個人の属する組織（係／課／部／企業）として未経験なトラブル

b3. 一つの業界として未経験なトラブル

b4. 企業・業界の枠を越えて未経験なトラブル

に分かれる。新製品においても、トラブル事象の根本原因（開発の仕組みなど）を考えれば、上記の a, b1, b2, b3 がかなりの割合を占めることは経験するところである。従って DB を用いて、情報を関係者が誰でも共有しうるシステムが必要となる。もちろん、b4 でもありうる。これへは先の機能達成メカニズムに着目した演繹的アプローチ並びに類似の機能達成メカニズムを有する製品の過去のトラブルに基づく予測が大切である。

(2) PDCA の視点からの個別事象の一般化

Fig. 7 に標準（Standard; S と略す）に着目した PDCA の要点を示す [1]。即ち Plan は目的とこれを達成する為の仕組み・方法・手順（これを標準; Standard という）からなる。Do は、S を遵守しうるための教育・訓練、および教育後、S に従って業務を行うこと、check は結果で S 通りに業務が為されたか否かのチェックを行うこと（大切なことは結果をチェックするのではなく、結果で S の遵守をチェックすることである）。Act は結果が未達であれば、S の遵守の視点からは、S を遵守しなかったか、あるいは S の中身に問題があったかのどちらかのいずれかになる。前者であればなぜ S を遵守しなかったか、後者であれば S の中身にどのような問題があったかを追求することが Act（アクションを行う）である。

以上の視点から考えれば、トラブル事象が生じたときには Fig. 8 のように、

- ① 目的の理解とその納得が為されていたか否か
- ② 適切な S（標準・行動・ルール）が組織として確立していたか否か
- ③ S が確立していたとき、S の教育・訓練がなされていたか否か [なぜ守らないといけないのかの理由、過去のトラブル例、背景などとともに教育を行うことが大切]
- ④ 教育・訓練がなされていたとき、S 通りに業務を実施しようとしていたか否か

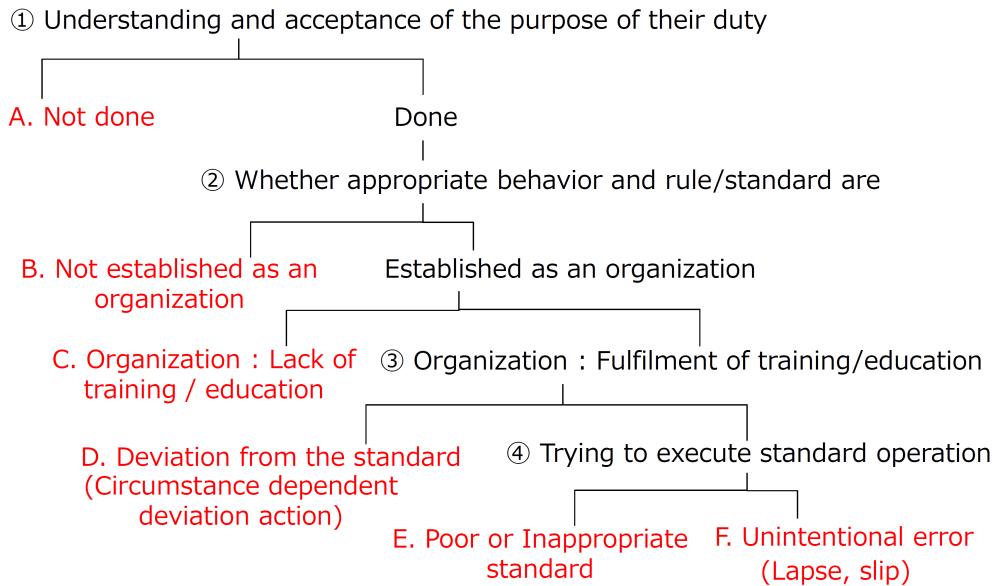


Fig. 8: Classification of Troubles.

⑤ それでもトラブルやエラーが発生してしまったかの分類を行うこと。

そして上記の各々に対し、

- ①' 目的の理解とその納得が為されていなかったときは、なぜ理解・納得が為されていなかったかを、さらに PDCA の視点から検討すること。
- ②' 組織として未確立であったときは、なぜ未確立であったかを、さらに PDCA の視点から検討すること
- ③' 教育・訓練がなされていなかったとき、なぜなされていなかったかを、さらに PDCA の視点から検討すること
- ④' S を遵守しようとしなかった理由の抽出とそれへの対処
- ⑤' エラー（フール）プルーフの適用の検討

が必要である。

また、以上の視点の未然防止をさらに図るには、平時に次のように現状把握へのアンケート調査を行うことが大切である。

- Q1:S ・ルールを理解・納得しているか
- Q2:S ・ルールの教育・訓練を受けたか
- Q3:S ・ルールを守っているか
- Q4:S ・ルールを守らない／守れない理由は何か
例えば労災などへの未然防止へは
- Q1' : 安全ルールを理解・納得しているか

Q2' : 安全ルールをなぜ守らなければいけないかを知っているか／考えたか

Q3' : 安全ルールを守っているか

Q4' : 安全ルールを守らない理由は何か

を定期的に調査することが大切である。

安全を含めてより一般化すれば Q4' の選択肢としては、例えば、

- 理由 a ・工数大・効率が落ちる
- 理由 b ・ルール遵守で作業不能・標準が不適切
- 理由 c ・教育されていない・知らない
- 理由 d ・無意識
- 理由 e ・面倒・過信・意識が低い

が考えられる。

理由 a, b は標準を改訂, 理由 c に対しては教育・訓練の徹底, 理由 d に対してはエラープルーフの適用, d ならびに e に対しては山本五十六氏の名言「やってみせ, 言って聞かせて, させてみて, ほめてやらねば, 人は動かじ」が大切である

① やってみせる

- S の説明, 暗記だけではなく
- S を自分が率先・垂範する・現場で自らが汗をかく
- VR, ビデオ, 映像を活用する

② 言って聞かせる

- 理由を教えるのではなく, 考えさせる
- 納得させる

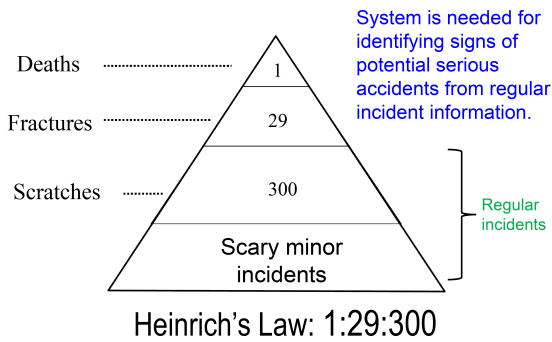


Fig. 9: Heinrich's Law and Practical Use of Incident Information.

- これを守らないとどのようなトラブルにつながるかを考えさせる
- 過去のトラブルを提示する
- ③ させてみる
 - 実践させ、理解を深めることが重要
 - 何度も繰り返す、身体で覚える
 - (ハザードマップによる定期的な訓練を)
- ④ 誉める
 - 相手に敬意を持ち
 - 相手を肯定する
 - 信頼関係を構築する
- ⑤ 人を動かす
 - 知識：情報の獲得
 - 見識：本質の理解・貫き通す
 - 胆識：知識・見識に加え、行動が伴う

が必要である。⑤は安岡正篤先生による。

また、定常状態になった製品には、更なるコストダウンが要求され、このとき、素材変更などによるトラブルが生じやすい。これらへの未然防止も必要である。

(3) インシデント情報の活用による未然防止

労働災害において同一原因より生じる結果は、死亡：骨折：かすり傷 = 1：29：300 (件) というハインリッヒの法則 (Fig. 9) に従うという報告がある。これは、QRSのトラブルにおいても同様である。QRSの重大事故が生じる前に数々のヒヤリハット・かすり傷に相当するインシデント情報を感度良く収集し、この中から重大事故の兆候をいち早く感知する態勢の構成が必須である。重大な兆候へは技術標準と評価基準を精査し、迅速なアクションをとらねばならない。

G社では設計・生産技術・品質保証などの各部門からの合同担当チーム (CFT: Cross Functional Team) により、玉石混淆の市場情報を区分層別し、①設計基準・評

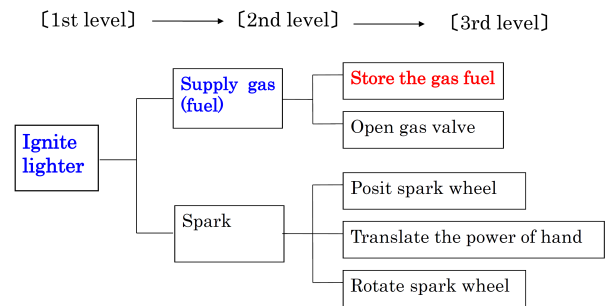


Fig. 10: Functional Breakdown.

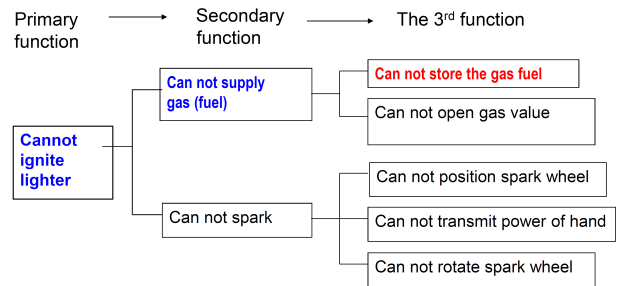


Fig. 11: Extraction of Failure Modes by Denial of Function.

価基準の妥当性検証, ②工程管理への反映, ③市場機・在庫機への処置要否およびサービス上への反映が検討されている。§ 4.3で示す“故障モード”と“トップ事象モード”との関連を設計段階で把握することにより、このインシデント情報への感度が上昇する。

4.3 QRS 作り込みへの七視点

QRS 作り込みへの七視点 (Fig. 4) について詳述する。

① 目的 (機能)

往々にして、顧客・社会のニーズと企画・開発担当者の新製品開発の目的が異なるケースが少なくない。BtoB, BtoBtoCの顧客のビジネスプロセスを把握し、顧客に入り込み、顧客の困っている点、QCDのどこに問題があるのか、顧客と一体となってニーズを把握することが大切である。

冷蔵庫の機能は“冷やす”でよいであろうか。本来の目的は“食材を保存する”ゆえ、夏場の野菜を保存するには、“冷やす”のみでなく真空にすることや、温湿度をどのように与えるかなど、“冷やす”以外の機能も重要である。

Fig. 10はガスライターの機能を整理したものである。Fig. 10の機能の否定をとれば Fig. 11をうる。これにより、どのような“故障”が生じるかの予測が可能である。この故障の予測をさらにシステマティックに行うものが“故障モード”である。これは、⑥-1を参照されたい。

② 機能達成メカニズム

車の3大機能“走る・曲がる・止まる”の内、“走る”に関してはガソリン自動車・電気自動車・燃料電池自動車の機能達成メカニズムは異なる。科学的法則に基づき、この機能達成メカニズムを明確にし、ボトルネックとなっている未知の箇所を組織として解明しなければならない。そして、確立した技術に対してはさらに完成度を上げ、完成したところでは変えないことが基本である。次から次へと新しい技術を取り入れるシステムは必ず失敗する。機能達成メカニズムがいかに標準化され、暗黙知から形式知、そして組織知となっているかが大切である。

③ アイテム

上記②の機能達成メカニズムの実現へ向けて、3M (Man, Machine, Material), エネルギーなど必要な Input を考える。原材料高が続く今日、また自由貿易への懸念のある中、中・長期的な原材料入手可能性をも視野に入れ、検討しなければならない。日本でのマザー工場での QCD の達成を海外へ展開するにあたって、人の問題も十分な検討を要す。3M とエネルギーに加え、Method と④で述べる使用・環境条件などの外部ストレスに対し、特に、3H (変化, はじめて, 久しぶり) に該当する事象が生じた場合に、種々のトラブルが生じやすい。注意が必要である。

⑦-1 機能・性能

目的とする機能と性能が顧客と社会に感動と安心を与え続けているか。これが Output である。以上を鳥の目から捉えれば、企画によって定められた重要品質特性を、設計に於いてどのように実現するかを明示した重要品質保証項目に展開し、これをさらに生産部門と協力して、生産工程上の工程管理項目に展開する。これらを俯瞰するものが Table 2 に示す QA 表である [2]。さらに生産部門は工程管理項目を整理して現場の作業にもわかりやすい QC 工程図 (表)、作業標準などを作成する。このときに、工程 FMEA 手法が有用である。以上、①, ②, ③, ⑦-1 は顧客・社会への価値創造であり“有用性”の側面である。モノづくり, コトづくりがこの面だけで終われば大変好ましい。しかし、実際には“有用性”のみでなく、以下の“弊害性”が存在する恐れがある。

④ ストレス

ストレスには、内部ストレスと外部ストレスがある。ガソリン自動車であれば、エンジンによる熱と振動、電気自動車であればノイズ・磁気・電圧変動などの内部ストレスが考えられる。使用・環境条件の違いに代表される外部ストレスは、全世界、五大陸を考えれば明らかである。高温・低温・冷熱サイクル・湿度・雰囲気汚染に代

表される環境条件、文化・慣習の違いによる使用条件による影響は計り知れない。また、対象製品・システムが使用される 5W1H への着目も大切である。特に安全に関しては、“Who”が問題となる。事務用のシュレッダーが家庭用にも導入されたとき、登場人物“Who”が大人から幼児に変わり、指の切断事故が相次いだ。乾燥機付きのドラム式乾燥洗濯機では洗濯物の投入口が上部から横位置に変わり、中に入った7才〜8才の子供の窒息死が生じてしまった。先に述べた 3H (変化・はじめて・久しぶり) の変化により生じた事故である。

⑤ 故障のメカニズム

故障 (機能喪失) が生じるときには、そこには必ず、物理的あるいは化学的変化が生じている。例えば、腐食は化学的な変化であり、金属疲労は物理的変化である。これらの変化がなぜ生じるかの“故障のメカニズム”を解明していくことが大切である。例えば、金属やプラスチックに高温下で長時間、力が加われば、原子の拡散が生じ、強度の弱い粒界に亀裂が生じ、へたりや亀裂に至る。これは“クリープ”という故障のメカニズムである。一方、金属やプラスチックに低温下で長時間、力が加われば、ミクロレベルで靱性低下が起こり、材料が脆化し、亀裂や破断に至る。後者は“低温脆性”と呼ばれる故障のメカニズムである (Table 3 参照)。

⑥-1 故障モード

今、原子力発電プラントの冷却水の配管、下水道の配管、人間の心臓への冠動脈の血管を考える。これらどの“管”においても、好ましくない現象は、亀裂・つまり・破断である。例えば、下水道の配管が詰まったとき、冠動脈が詰まったとき、その影響の違いは明らかである。このように製品・システム中の好ましくない現象、あるいは事象を、できるだけ多くの構成要素に対し、トラブルの影響を予測しうるように汎用化・抽象化し、一般化を図ったものを考えれば“予測”とその未然防止が可能となる。これを“故障モード”という。筆者が機械および電子系の 27 件の文献および図書から抽出した故障モードを Table 4 に示す。各故障モードの数値は、異なる故障のメカニズムに対して、出現した頻度である。はじめの 11 個の故障モードにより全体 323 件の 90 % を占めることがわかる。

⑥-2 トップ事象モード

福島第一の原子力発電プラントでは残念なことにメルトダウンが生じた。これが起こった背景には、津波による“全電源喪失”がある。外部電源に加え、非常用ディーゼル発電機 (水冷 2 機)、バッテリーの機能喪失である。この“全電源喪失”のように、絶対生じてはならない重大事故、重大危害発生のシーケンスに着目し、これらの事故・危害に至る一歩手前の直前の事象で、そのまま何も

Table 2: An Example of a Simplified QA Table (Quality Assurance Table) [2].

No.	[Planning]		[Design]		[Manufacturing]				explanation
	[planning/specification]		[Product design] Important quality assurance items		[process design] process control items				
					process a	process b	...	process z	
1	critical quality attribute A	acceptance criteria A	Parts/ components A1	acceptance criteria A1	○			○	The importance of quality attribute, important quality assurance item, and process control items should be described
			Parts/ components A2	acceptance criteria A2		○		○	
			Parts/ components A2	acceptance criteria A2		○			
2	critical quality attribute B	acceptance criteria B	Parts/ components B1	acceptance criteria B1					
			Parts/ components B2	acceptance criteria B2					

Table 3: Stress—Failure Mechanism—Failure Mode.

Stress (Usage, Environmental condition)		Failure Mechanism				Failure mode
Classification	Sub - classification	Classification	Sub - classification	Phase I (Micro)	Phase II	Phase III (Marco)
Temperature + humidity	High humidity + high temperature	Corrosion	Local corrosion	Generation of a pit	Acceleration by battery action	Fissure, crack, fracture
			Concentration cell corrosion	The fall of local dissolved oxygen	Formation of a concentrated cell	Fissure, crack, fracture
	High humidity + normal temperature	Moisture absorption	Hydrolysis	Generation of hydrophilic group	Water absorption	Fissure, crack, fracture
			Mold	Decomposition	Bad insulation	Fissure, crack, fracture
			Dew formation	Water absorption	Insulation resistance degradation	Short circuit
			Suction phenomenon	Pressure difference	Ingress of water/gas	Power down
High humidity + temperature cycle						

しなければ致命的な事故・危害を生じせしめる重要事象を本稿では“トップ事象モード”と呼ぶ。先のBMW車、ボッシュなどの“コネクテッド製品におけるパスワードの流出がある状態”，鉄道信号が“赤”を表示すべきところ“青”を表示している状態，高速道路や鉄道での逆走，AT車がシフトギアがbackであるにも関わらず前進してしまうこと，などが挙げられる。これらに対しては，組織として登録し，フェールセーフの適用，ETA (event tree analysis) を活用した影響防止・影響緩和の事前検討，そしてこれが生じたときを想定しての定期的な訓練が必要である。

⑥-3 ホワイトモード

先の故障モードは，好ましくない現象，いわゆる“ブラックモード”への着目である。今後，AVやスマート冷蔵庫のようにあらゆるものが，IoT，ICT技術を持って“コネクテッド化”された場合，どのようなブラックモー

ドが生じるかを全て予測することは難しい。これに対して，正常・安全な状態を確認できて初めて次のステップへ進みうる“White Mode”が大切となる。“Black Mode”，“White Mode”なる名称は，ハッカーにブラックハッカーとホワイトハッカーの両者が存在することに準じて名付けた。White Modeとは，これが確認できなければ次のステップへは進めないしくみ，工夫である。信頼性工学の分野では古くより，フェールセーフとして，新幹線のATCの安全原理として使われてきた。即ち，自車両よりレールを通して数1000m前方へ信号を送り（この区間を閉塞区間と呼ぶ），この区間に先方に行く車輛がなければ，この信号が戻り“安全を知らせる”ことにより走行を続ける仕組みである。正常時には信号を流さず異常の時に信号を送る“危険を知らせる”仕組みでは，信号を送る装置が故障したときに，大惨事になりかねない。

この類いの研究は，電通大澤田賢治准教授よりPLC (Programmable Logic Controller) へのホワイトリスト実

Table 4: List of Failure Modes based on 27 Articles [6].

Fracture	82	Slack	2
Crack	65	Electric discharge	2
Degradation	25	Delay	2
Surface Damage	21	Radiation injury	1
Thinning	19	Contamination	1
Deforming	18	Blister	1
Short circuit	16	Liquefy	1
Ignition Heat Emitting smoke	14	Decarbonization	1
Opening/Disconnection	11	No output	
Noise	9	Excessive output	
Dielectric breakdown Insulated degradation	7	Too little output	
Exfoliation	6	Output instability	
Omission	6	Vibration	
Fading/discoloration	4	Loss of function	
Insulated degradation	4		
Leak/short circuit	5	Total)	323

装 [4] への研究が為されている。また、大阪大学 大下裕一助教による家電へのサイバー攻撃の検出の研究では、家電操作の順番を学習し、過去と異なる操作を異常とする手法が開発されている。1ヶ月分の使用データにより、99.6%の異常検出、第一種の誤りは6.25%との報告がある（2018年7月13日、日経夕刊）。

設備保全に関しても、これらの考えは適用可能であり、正常な状態でのビッグデータをIoT技術を用いて蓄積し、多次元のセンサー情報より正常域を特定し、この状態からのずれを検出することにより、異常診断が可能となる。正常域の作成に関しては、例えば田口玄一氏考案のMT法により、正常領域を単位空間と定義し、これからのマハラノビス距離により診断を下す方法が考えられる。具体的な例としては、文献 [3] にてプラント異常診断への適用が行われている。

⑦ 影響

⑦-2 環境影響

2015年9月の国連サミットで採択されたSDGs (Sustainable Development Goals; 持続可能な開発目標) の17目標の達成に向けて、世界の全人類が協力・貢献する必要がある。この中でも、特に、下記への配慮が大切である。

- 7) エネルギーをみんなに、そしてクリーンに
- 11) 住み続けられる町づくりを
- 12) つくる責任・つかう責任
- 13) 気候変動に具体的な対策を
- 14) 海の豊かさを守ろう

15) 陸の豊かさも守ろう

⑦-3 影響・危害

人への影響が危害である。⑥-2のトップ事象モードを事前に抽出し、これが生じたときの影響を予測すること、そしてこの重要性を組織として理解・確認することが大切である。影響が大きく、これへのトップ事象モードの発生確率が高い。即ち、リスクが大きいならば影響防止・影響緩和などの事前対策をとることが大切である。前者はフェールセーフ、後者はフェールソフト、フェールソフトリーが知られている。フェールソフトは、エラー・異常が生じて、機能又は性能縮退しながらも、最小限の機能を果たし、その影響を緩やかにする工夫で、例えば、航空機のジェットエンジンの複数台設置などの冗長設計である。このとき、同一のものを複数台用意するのではなく、電子式と機械式のように機能達成メカニズムが異なるものを複数台用意する“多様化冗長”が大切である。フェールソフトリーとは、例えばタイヤにパンクが生じたときに、一昼夜車庫に置かれ、翌朝フラットになっているタイヤであり、影響がその場で瞬時に出るのではなく、危害が及ばないように影響が徐々に出てくる工夫をいう [6]。

5. オンラインモニタリングへの適用

Fig. 4のQRS作り込みへの七つの視点を基に、Fig. 12に示すオンラインモニタリングのスキームができあがる。この図の使用・環境条件とともに正常時のビッグ

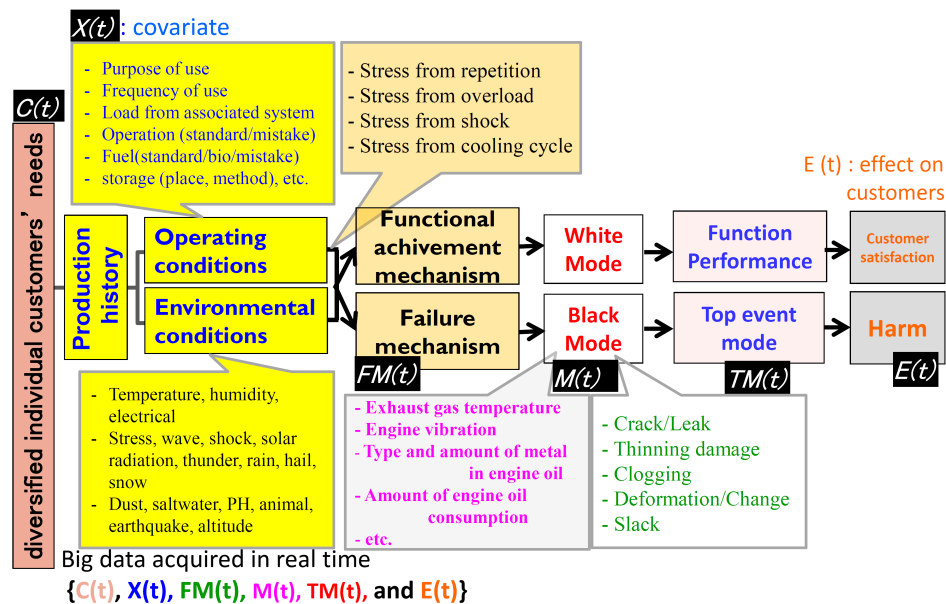


Fig. 12: Scheme of On-line Monitoring.

データを収集し、前節で述べた、正常域を策定することが大切である。

このとき、使用・環境条件により、正常域が異なる可能性があり、これをいかに抽出し、重要なパラメータとして正常域を構築しうるかが大切となる。これとともに製品・システムの過去の故障などの経験より本節で述べたストレス—故障メカニズム—故障モードの“Black Mode”に着目した情報も獲得し、“Black Mode”と“White Mode”の中間にある“Gray Mode”をいかに狭めるかも大切である。

6. まとめ

IoT, AI, ビッグデータの世界となったが、どのようなデータをどのような切り口で収集し、DB化するかが重要である。本稿ではQRSへの未然防止体系、特に動機付け、予測への七視点、White ModeとBlack Modeの両者の併用を示した。これらをビッグデータを収集する一つの切り口として検討することも大切である。

参考文献

- [1] 狩野紀昭, 因果関係モデルと包括的品質管理手順, 日本品質管理学会第35回年次大会(大阪)研究発表要旨集, pp. 17-20, 2005.
- [2] 真壁肇, 鈴木和幸, 品質管理と品質保証, 信頼性の基礎, 日科技連出版社, 2018.
- [3] 茂木悠祐, 単位空間の最適化によるプラント異常診断の精度向上, 第48回信頼性・保全性シンポジウム, 2018.
- [4] 澤田賢治, PLCのためのモデルベースホワイトリスト, システム/制御/情報, Vol. 62, No. 6, pp. 209-214, 2018.
- [5] 鈴木和幸, 青木健, ユーザの使用段階でのトラブルを未然防止するエラープルーフ化の方法, 品質, Vol. 39, No. 4, pp. 79-91(pp. 479-491), 2009.
- [6] 鈴木和幸, 信頼性・安全性の確保と未然防止, JSQC選書, 日本規格協会, 2013.
- [7] 鈴木和幸(編纂), 新版信頼性ハンドブック, 第I部第3章(久米均), pp. 16-26, 日科技連出版社, 2014.
- [8] 山下雅代, 鈴木和幸: 問題解決における目的設定の一考察, 日本品質管理学会第47回年次大会, pp. 31-34, 2017.

鈴木 和幸



1950年生。1979年東京工業大学大学院理工学研究科博士課程経営工学専攻修了。東海大学講師、電気通信大学助教授・教授を経て2016年より同大学大学院情報理工学研究科特任教授、現在に至る。信頼性工学・品質管理などの研究に従事。工学博士。日本品質管理学会・日本信頼性学会などの会員。