システム信頼性の最近の話題から

Current Topics in System Reliability

福田収一 Shuichi FUKUDA

アブストラクト 急速に進展する多様化、激化する状況変化により、システム信頼性の研究は、従来の設計者中心から、ユーザ中心へと移行し、これまでの文脈独立のコマンド方式から脱却し、ユーザの意図、期待を察知し対応できる文脈依存のシステム開発が求められている。そのために、人間の特性に注目した研究を今後進める必要がある。

キーワード ユーザ中心、信頼、意図理解、期待、人間特性

1. はじめに

最近トラスト (trust) がシステム信頼性分野で話題となってきた。トラストは、いろいろな意味で使われる。例えば、インターネットのトラストは、従来の信頼性工学の議論の枠を超えた、信頼 (trust)、信頼感の問題である。

これまでの信頼性工学では、ミッションを想定し、そのミッションが十分に遂行できるかどうかを基準に議論を行った。しかし、これが可能であった理由は、状況変化が少なかったからである。もちろん、デバイス信頼性の問題は別である。デバイスであれば、当然想定ミッションがあり、急速に発達しているデバイスの信頼性工学の成果を応用することができる。

しかし、システム信頼性の場合、システムの稼働環境、条件が、極言すれば時々刻々変化する状況となってきた。したがって、従来のように設計者がシステムのミッションを事前に十分に予測することが急速に困難となってきた。想定ミッションが実施できる状況であれば、そのミッションが十分に達成できるかどうかで信頼性を論じることができる。しかし、ミッションが時々刻々変化する場合には、むしろ何がミッションであるかを判断することが重要となってきた。状況の変化、現況を判断できるのはユーザしかない。したがって、システム信頼性は、設計者主体からユーザ主体へと大きく変化しつつある。

ユーザ主体のシステム信頼性の問題とインターネットのトラストの問題は深く関係している。両者とも、ユーザが対象を信頼 (trust) できるかどうかの問題である。いずれも、境界が設定できないオープンエンドで、ユーザが、自分の期待どおりの結果が得られるかどうかの問題となる。

システムが余りにも複雑化、多様化し、ユーザが詳細を理解することは不可能に近い。したがって、ユーザにとっては、状況が変化したときに、システムが自分の判断、意思決定の

役に立つか、更に、自分の決定に従い適切に対応するかが重要となる。判断、意思決定、行動は人により異なる。したがって、システムへの期待もユーザ、ユーザで異なる。期待したとおりに動作することが信頼を生む。

本稿では、航空機から出発して、システム信頼性とトラストの問題を考えてみたい。

2. 航空機の信頼性

商用の定期便の航空機は、システムが複雑であるが、想定されるミッションは明確である。ただし、環境が大きく変動するのでオープンエンドの問題である。

航空機の事故は、大部分がヒューマンエラーに起因する⁽¹⁾。興味深いことは、航空機では、CFIT (Controlled Flight into Terrain) が大きな問題となっている。CFITとは、航空機は正常に作動しているのに、地上に衝突する事故である。すなわち、ミッションが明確であり、システム、作業内容を熟知しているプロのパイロットが、飛行機を適切に操縦できずに事故を起こしている。これは、システムを適切に設計しても、本当に信頼性が確保できるのかという大きな問題を提起している。

特に定期便の場合は、通常のシステムのユーザとは全く異なり、プロであるから、多くの訓練を受けマニュアルも完備している。それにもかかわらず、システムとしての信頼性が確保できない、すなわち、システム信頼性においては人間という要素を十分に考慮しなければならないことを示している。

そのため、航空分野ではヒューマンエラー防止のために多くの方法が開発されている。特にNASAが1979年に開発したCRM (Crew Resource Management)⁽²⁾は有名である。CRMは、リーダーシップ、コミュニケーション、意思決定の重要性を強調している。

航空機事故のヒューマンエラーには、S (Software), H (Hardware), E (Environment), L (Liveware, 人間要素) が関

福田収一 正員 スタンフォード大学 デザイン ディビジョン
E-mail shufukuda@cdr.stanford.edu
Shuichi FUKUDA, Member (Stanford University, Design Division, Palo Alto, CA, 94301, USA).
Fundamentals Review Vol.1 No.4 pp.62-69 2008 年4月

図1 SHEL (Software, Hardware, Environment and Liveware) モデル

与し、特にその間のインタフェースが重要であるとの認識からSHELモデル(図1)がElwin Edwardsにより1972年に開発され、その後H. F. Hawkinsによって改良された⁽³⁾。Edwardsは、主として、それら要因間のインタフェースに注目した。

Edwardsが検討した対象は、軍用、商用の定期便などのプロの航空業界である。しかし、たとえプロの航空業界にしても、世界的に見れば、次第にLCC (Low Cost Carrier)、すなわち、小型機の時代となり、また商用でも、ビジネスジェットやエアタクシーが盛んとなろうとしている現在、運航形態は急速に多様化してきている。更に、個人の自家用機も急速に増大している現状を考えるならば、要因間だけではなく、要因そのものも改めて検討してゆかなければならない時代が来ている。

SHELモデルは、S (ソフトウェア)、H (ハードウェア)、E (環境)、L (人間)の要因とその相互作用を考えるモデルであるから、航空機に限らずシステム一般の信頼性を論じる基本モデルであると考えることができる。

ただし、元々のSHELモデルは、E (Environment、環境)に文脈 (Context) を明示的に含めていない。しかし、状況が急激に変化し、更に多様化が急激に進む現状、また意思決定、評価など人間の要素が重要となってきたことを考えるならば、Eに環境として文脈も含めて考えるべきである。

本稿では、この広義のSHELモデルを基礎に、最近のシステム信頼性の問題を考えてみたい。

3. 人間の問題

3.1 コミュニケーションの問題

CRMはコミュニケーションが重要との認識から開発された。インターネットのトラストの問題も、コミュニケーションの問題である。人は、相手を信用して初めて本音を言う。どうして相手が信用できると分かるのか？これは認識論の問題である。顔も声も聞こえない情報をどうしたら信用できるか？

人は言葉だけではなく、顔や声から信用できるかどうかを判断している⁽⁴⁾。言葉は、その表面的の意味からだけでは理解ができない。真の意味、話者の意図を理解するためには、話者の話し方 (paralanguage) に注目をする必要がある。更に、

その表情を観察することも必要である。最近、人間の知性を本当に理解するためには、感情までも考慮する必要があるとの指摘があり、Emotional Intelligenceが注目を浴びている⁽⁵⁾。これも同様の理由である。単なる言語コミュニケーションではなく、感情コミュニケーションが意図理解において重要な役割を果たす。

すなわち、真の意図は、言葉ではなく、感情を理解して、初めて察知できる。今までの知性の議論、言語コミュニケーションは、文脈独立であったが、感情を理解し、真の意図を察知するためには、文脈を理解しなければならない。そのために感情が果たす役割は大きい。

ネットワークの信頼度がいかに高くても、また情報のセキュリティがいかに高くても、その情報自体が信用できるかどうかとは全く別の問題である。情報は、未知であるからこそ情報として価値がある。したがって、それを信頼、信用 (trust) するかしらないかには、感情が大きく影響する。言葉上で非常に良いことを言っている、その話し方、表情などから真の意図が推定され、その情報の価値が判断される。その意味でインターネットの信頼 (trust) の問題はコミュニケーション、特に感情コミュニケーションの問題であることに留意する必要がある。

感情コミュニケーションが重要な役割を果たすことはUA232の事故例がよく示している。この事故はCRMが最も良い成果を収めた例として有名である。UA232はアイオワ州のスーシティ市の上空を飛行中、4個のエンジンのうちの3個のエンジンがダメになりながら、無事着陸し、大半の乗客を生還させた⁽⁶⁾。

3個のエンジンがダメになったとき、機長と副操縦士はもうおしまいだと思ったそうである。しかし、少しして、我に返ったときに、「今飛んでいるのは、平地のアイオワだ。ロッキーの山の上でもなければ、海の上でもない。どこも平地なのだから、どこも飛行場じゃないか！何て自分たちは幸運なんだ！」とパイロットは思ったという、まさにポジティブシンキングの典型である。そして、極めて冷静な管制官とコミュニケーションをしているうちに、「自分が操縦しているのは、DC10だ。スロットルが独立に制御できる。それならばスロットルをそれぞれ調整しながら、着陸できる」と考えて無事着陸できたと述べている。

このパイロット、Al Haynesの優れた点は、自分は管制官とのコミュニケーションと意志決定に集中し、操縦を完全に副操縦士に任せただけである。すなわち、ロールプレイング (role playing) が完全であった。興味深いことに彼は、「自分はLOFT⁽⁷⁾の訓練を受けているのだから、このような事態に対応できないはずはないと考えた」と述べている。そのように考えたときに、自分の気持ちに余裕ができ適切な判断ができたという。すなわち、LOFTの訓練が彼に自信 (confidence) を与えたことになる。更にもっと興味深いことには、実はLOFTの訓練シナリオには、この例のような事故のシナリオはなく、彼の自信が事故を最小に食い止めた。

日本語でも英語でも信頼 (trust) と自信 (confidence) は異なる

る言葉で表現する。しかし、ドイツ語の Vertrauen には、英語の trust と confidence の両義がある。信頼と自信は通常別とえられるが、この UA232 の例からも自信と信頼は実は密接に関連しているらしいことが推測される。Al Haynes は、飛行機を信頼したからこそ、自信を持てたのであろう。

訓練が持つ意味は、状況への対応能力、経験を育成するだけではなく、自信を植え付け、更に、訓練の対象となるシステムに対する信頼を向上させると考えることができる。UA232 の事例は、信頼性と訓練、学習の関係を改めて検討する必要性を示唆している。

従来、人間の問題は、余り工学とは関係がないと考えられた。しかし、航空機事故の大半が人間に起因している事実からも分かるように、工学においても人間要素を考慮する必要性が増大してきている。これまでの信頼性では、たとえ人間を考慮しても、物理的要素と同じ扱いをしていた。しかし、人間は、日々学習しており、成長をしている。したがって、学習しない物理的要素と同一に論じることはできない。

3.2 ヒューマンエラー

CRM のねらいは、第三者の目の確保にある。人はある状況に陥ると視野が狭くなり、その考えにとらわれやすい。しかし岡目八目で、第三者の目で状況を眺めれば、冷静で、適切な判断ができる。これは本人にエラーを気付かせることにつながる。そこで、次にヒューマンエラーの問題を考える。

これまでのヒューマンエラーは、設計者が意図した行動をユーザが遂行できないことを指していた。物理的要素の場合は、設計者の意図どおりに動作しなければシステムが動作しない。しかし、最近のように状況が広範囲に、しかも短時間に激しく変化するような状況では、果たして設計者は、そうした状況を事前に予測できるのかという大きな問題がある。

従来の信頼性の議論は、すべて状況が事前に予測可能であり、その予測できる状況において性能を最大発揮することを前提としていた。しかし、状況が予測できないとなれば、考え方を大きく変換する必要がある。

筆者は、20 世紀を鉄道の時代と例えている⁽⁸⁾。鉄道の時代であれば、線路があるので、行き先は分かる。目的地がはっきりしている以上、問題は、いかに早く、正確に、あるいは安く到着するかである。したがって、戦術が重要となる。これに対して 21 世紀は航海の時代である。航海では、天候に応じて航路は変更せざるを得ないし、嵐が来れば予定しない港にも寄航しなければならない。最悪の場合は、最終目的地も変更しなければならない。そのときには、なぜこの航海に出たのかという本質的な問題を考える必要が出てくる。すなわち、航海では大きな目的を考える必要があり、戦略が重要である。

鉄道であれば、最初に路線を選ぶことが重要である。しかし、航海では、状況に応じて、適切なときに適切な判断を下さなければならない。従来の信頼性は、いわば鉄道であり、どの路線を選択するかについては、多数の非常に優れた方法

が開発されている。しかし、航海の時代となると別の信頼性技術が必要となる。それは状況を見る技術であり、ユーザ主体の信頼性である。

3.3 チームワーク

状況変化が激しくなると、行動を起こす前に、まず状況の理解が必要となる。それにより対応が異なる。しかしどのように対応するかは、個人個人の性格、感情に大きく依存する。

Stanford ではチーム設計においてメンバーの性格を考えることでチームの成果が上がることを実証している⁽¹⁵⁾。多様化が進み、変化が激化する状況に対応するには、今後ますます衆知の結集が必要となり、チーム作業が重要となる。そうした状況にあって、チームメンバーの性格を考慮してゆくことも信頼性向上には重要な課題であらう。

事実、CRM は、チームワークの重要性を強調している。しかし、CRM では、メンバーの性格の問題は考慮されていない。航空機の場合、性格を考慮して、ベストチームとなるようにメンバーを組織することは、人的資源の制約から無理であるとしても、少なくとも性格を考慮してチームの信頼性を向上させることはできるように思われる。

チームワークでは、通常人間同士のチームを考える。しかし、変化の激しい現代は、機械と人間もチームとして協働しなければならない。明日の機械は、ユーザの不足点を補い、その行動の先を読んで対応し、周囲状況に関する情報を提供できなければならない。すなわち、まさに人馬一体として、これからは、機械と人間が一体となり、チームとして周囲変化に適応してゆかなければならない。そのためには、機械も、ユーザの特徴、性格を把握しなければ、必要なときに、適切な情報を提供できない。

4. マーケット創造

20 世紀と 21 世紀をマーケットという視点から比較してみよう⁽⁴⁾。20 世紀は地理的マーケットを対象にした。すなわち、ある特定地域のマーケットを対象に、そこで評価される製品を生産した。地理的なマーケットでの競争力があれば、いわゆるアダムスミスの見えざる手が働いて一物一価となり、製品の価値は確定し、マーケットを制覇できた。

しかし、広域化、多様化が進んだ 21 世紀では、マーケットはもはや地理的に限定されていない。その代表例が、ロングテールである⁽⁹⁾。また Web 2.0 の世界である。すなわち、マーケットは創造する時代となった。

マーケットを創造する時代の信頼性は、攻めの信頼性である。20 世紀の信頼性は、まず設計要求があり、それをいかに高レベルで実現するかに力点があった。しかし、21 世紀の信頼性は、信頼、信用 (trust) を売る技術となる。これはブランド戦略と一緒である。

品質保証も昔の品質保証は製品を保証していた。すなわち、ある製品を試験し、これだけの品質がありますと保証してい

た。しかし、ISO 9000は、システムの品質を保証する方式であり、個別の製品を保証しているわけではない。システムを可視化し、システムの品質を顧客に理解させようとする努力である。ISO 9000関係者はブランドとは呼ばないが、基本的にブランド戦略である。

従来の信頼性は、昔の品質保証と同じで、個別製品について信頼性を保証していた。しかし、今後はシステムとして信頼性を保証する必要がある。すなわち、システムへの信頼(trust)を構築しなければならない。そのためには、システムの可視化が重要となる。もちろん、個別製品の信頼性確保は不可欠である。しかし、それだけでは21世紀のマーケットを確保できない。マーケットを創造するためには、ブランド戦略が重要となる。

ブランドがなぜブランド足りえるのか？ブランドはコミュニケーションを通して次第に評価が確立する。ISO9000がいかに素晴らしい方式であろうと、世間がそれを認めなければ意味がない。企業だけが認めても効果はない。ユーザがISO9000の持つ意味を理解しなければ、全く意味がない。21世紀の信頼性は、ユーザ主導の信頼性である。したがって、ユーザが信頼を置けると判断するかが基本となる。

5. サービス

5.1 期待への対応

21世紀はサービス産業の時代であると言われる。しかし、21世紀のサービス産業は、20世紀の労働集約的なサービス産業の延長ではない。知識集約へと変貌してゆく。

例えば、自動販売機でも、暑い日には、買いにくるお客に、「暑いですね！こんな新しい飲物が入りましたけど、いかがです。暑い日にはおいしいですよ！」と言えば、お客は、高くてもその飲み物を買うであろう。自動販売機に文脈を読める機能が備わっていれば、これが可能となる。すなわち、21世紀のサービスとは、状況、文脈を理解できるシステム機能の実現である。

文脈、状況を理解できる機能が実現できれば、ユーザの状況判断、意思決定の支援が適切に行える。元々サービスとは、顧客の「期待」に適切に対応することである。

従来のシステムはコマンド駆動が大多数であった。実際、何か指示しなければシステムは動作しなかった。一方、期待を察知するとは、相手の行動の先を読むことである。それは、観察、経験から学習して初めて可能となる。従来の大部分のシステムでは、観察、学習機能を考慮していない。

しかし、後述する、ソフトウェアの継続的プロトタイプングによる機能成長(進化)曲線は学習曲線に極めて類似している。その意味でソフトウェアの活用が期待される。

ユビキタスコンピューティング、アンビエントインテリジェンス(ambient intelligence)の時代となると、システムと環境が統合され、システムに観察機能が備わる。したがって、ユーザのシステムへの期待の察知がより容易になると期待さ

れる。

現代社会は複雑で、いろいろな場面で、多くの判断が必要となってきている。こうした時代にあって、コマンド方式で対応してゆけば、人は、疲労がますます蓄積し、それに伴ってエラーも多発するようになってくる。その意味でも、期待を察知できるシステムの開発が急務となっている。

5.2 サービスとエラー

サービスの怖さは、一回の失敗が取り返しのつかない結果を招くことがある。例えばホテルでお客を怒らせれば、多分そのお客は2度とそのホテルには来ないであろう。その意味では失敗が許されない。したがって、最も高い信頼性が要求される分野がサービス産業であると言っても差し支えない。しかし、それにもかかわらず、サービス産業分野での信頼性の研究は極めて少ない。

しかし、失敗(failure)とエラー(error)は違う。失敗は取り返しがつかないが、エラーは回復可能である。ホテルでも、予約した部屋に宿泊できなくても、その代わりに上級の部屋に宿泊できれば、お客は満足し、ホテル側のエラーを失敗とはみなさないであろう。

エラーからの回復は、サービス業で重要であるが、実は工学の世界でも重要である。航空のCFITの原因は人間である。人間はエラーを絶えずしているが、そのエラーから回復する適切な手段が用意されていないために、エラーから失敗に至り大惨事となる。

エラーから正常に戻る限界を考えることも可能である。すなわち、エラーの管理限界を考えれば、それを超えると失敗となる。人間は絶えずエラーをしている。したがって、そのエラーをいかに限界範囲内に納めるかを信頼性確保の指針と考えることもできる(図2)。

人間がエラーから回復するには、CRMが実証するように、コミュニケーションが重要な役割を果たす。しかし、システムが人間の期待にこたえるためには、人間同士だけではなく、人間とシステム間のコミュニケーションについて考えてゆく必要がある。

人間は、怒りなどの情動によって、その情報処理能力が急激に低下することが知られている⁽¹⁰⁾。また、パニック状態となれば、人間は冷静な判断ができない。火事などで、多くの人が、別にドアがあるにもかかわらず、同じドアに殺到して亡くなるのがその一例である。

例えば自動車の場合、周囲状況は刻々変化し、ドライバー

図2 エラーと失敗

はいろいろな感情に支配される。しばしばいらいらしたり、怒ったりする。もしドライバーが感情的に安定すれば、より安全な運転が期待できる。しかし、自動車の設計者は、大枠の使用状況は予想できても、個別の状況変化までは予想できない。

したがって、自動車は、まさにユーザ主導であり、ユーザがいかに的確に状況を判断し、適切な対応が取れるかが、システムの信頼性を支配する。そこで、システムが、第3者の目でドライバーに状況を伝える、あるいは感情コミュニケーションを行い、感情を和らげれば、安全運転に大きく寄与できると期待される^{(11), (12)}。

Donald Normanは、その著、Emotional Engineering⁽¹³⁾において極めて面白い指摘をしている。「昔の機械は単純であった。したがって、ユーザはその機械の動作を予想でき、機械も指示どおりに動いた。したがって、昔の人は機械を信頼(trust)することができた。しかし、現在の機械は極めて高度化し、複雑である。したがって、ユーザは、どのように動作するのか容易に理解できない。また指示を出しても、予想したように機械が動作しない。したがって、機械への信頼がどんどん低下している。」と述べている。

彼は、コンピュータサイエンスと心理学の教授である。彼は、コンピュータについても、それを信頼できるかどうかは、人間の心の反映(reflection)であり、感情的な評価が重要であると指摘している。

6. システムの問題

6.1 ハードウェアとソフトウェア

ハードウェアとソフトウェアの個別の信頼性については極めて多くの研究がなされ、実用面でも多くの成果を上げている。しかし、最近のシステムはハードウェア単独、ソフトウェア単独で使用される場合はまれで、通常、両者で一つのシステムを構成する。この視点から、ハードウェアとソフトウェアの信頼性を考えると、次の点が今後の大きな課題である。

ハードウェアは機能固定方式で生産される(図3)。すなわち、設計要求機能を実現して出荷する。出荷後はハードウェアの機能は劣化する。したがって、いかに設計段階のレベルまで戻すか、すなわち保守が、重要となる。

図3 機能固定方式 ハードウェア

図4 機能成長(進化)方式 ソフトウェア

従来のハードウェアの信頼性は、出荷までの信頼性確保が主眼であった。もちろん、保守の重要性は指摘され、非破壊検査などの発達も著しい。しかし、非破壊検査も対象の性状が分かれば高度なレベルで検出できるが、対象が不明な場合、正常と異常を検出することは容易ではない。そのため、現在でも航空分野では目視検査、プラントではウォークスルーが欠かせない。ただし、正常状態と異常状態の識別が容易な場合は、正常状態を常時監視し、それから逸脱すれば、保守が必要と判断できる。もちろん、その場合も、個別分野での経験の蓄積が必要である。このような対応は、最近prognosticsとして急速に盛んになってきた。しかし、それらは、設計機能の維持が目的である。

これに対して、ソフトウェアは機能成長(進化)方式である(図4)。ソフトウェアも、以前はハードウェア同様、機能固定方式で生産されていた。しかし、知識工学により継続的プロトタイピングの概念が広まり、現在は機能成長(進化)方式となった。

ソフトウェアも当初は個別のソフトの機能を継続プロトタイピングの考え方により「成長させる」方式であった。しかし、多様なCOTS (Commercial Off The Shelf) が提供される時代となり、今は、機能を「進化させる」時代となった。

ハードウェアは物理的な存在であり、いわば個別の生命体である。これに対してソフトウェアは、種として進化する。すなわち、ハードウェアでは、太郎君、次郎君の問題を考えなければならない。これに対してソフトウェアは人類全体を考えている。太郎君には寿命があるが、人類は種としては、進化し永続してゆく。実際ソフトウェアでは現在システム寿命の決定(decommissioning)が大きな問題となっている。現状では、ソフトウェアの使用停止時期の決定は、ハードウェアの劣化(物理的、性能的)を基礎にしている。

また、ハードウェアは物理的な存在で、ソフトウェアは非物理的な存在である。ハードウェアの場合は、人間の五感と直接結び付くので、評価も容易であり、信頼性向上のための対応も比較的立てやすい。しかし、ソフトウェアは非物理的な存在であるだけに、信頼を生むためには、いかに人間の五感と結び付けるが重要となる。これは、人間同士が会話をしているときに、信頼できるかどうか感じさせることと基本的に同じである。機能的な信頼性ではなく、Normanも指摘するように、感情的に信頼を置けるかが重要となってくる。その意味で心理的な信頼性をソフトウェアでは今後もっと考慮

する必要がある。

このような相違のあるハードウェア、ソフトウェアをどのように協働させるかはこれからの大きな課題である。

6.2 線形モデルからループモデルへ

ハードウェアとソフトウェアの生産方式は、線形モデルとループモデルとも区別できる。線形モデルでは、設計—試作（プロトタイプ）—生産—使用とプロセスが逐次的に処理される（図5）。この方式は、18世紀から19世紀の産業革命以降に定着した。産業革命を契機に効率的な製品実現を指向して、専門化が進んだ。

ソフトウェアの継続的プロトタイピングは、ループモデルである（図6）。この図を見れば分かるように、これは、品質の分野でよく使用される、元々 Walter A. Shewhart が考え出した、デミングサイクル（図7）と基本的に同一である。その基本は、絶えざるフィードバックと、行動の中で考えることである。すなわち、行動から学び、次の行動へとつなげる方式である。

デミングサイクルの考え方は、Donald Schon が提案した Reflective Practice, Thinking in Action と同じ考え方である⁽¹⁴⁾。Schon は、社会状況が大きく変化した1980年代に、それまでの理論を適用する考え方（演繹的な考え方）では、対応できない分野として、経営、設計、医療などを挙げ、それらの分野の専門家は日々の実践から学び、次の日の行動を決めている

図5 線形モデル（プロトタイプは試作）

図6 継続的プロトタイピング

図7 デミングサイクル

と指摘し、行動の中の知と呼んだ。

この考え方の背景にはアメリカの Pragmatism が、またその源泉には、イギリスの哲学がある。イギリスは航海で世界に発展した。アメリカも開拓の歴史が背景にある。Pragmatism を生んだとされる Charles A. Peirce の Abduction は帰納法とは異なる第3の論理である。その考え方は、観察される事象の集合から妥当と思われる仮説を導き、それを適用することで、演繹的な解決を図る。Schon の考え方も実は、Abduction に極めて近い。また、Shewhart の方法論も Pragmatism の考え方に近いことが指摘されている。

アメリカの西部開拓では、明日の世界は未知である。したがって、昨日までの経験の蓄積から、未知の明日への対応を考えてゆかなければならない。演繹的な方法では、それまでの経験、知識を集積して、体系化して、それらを適用してゆく。適用する対象が、それらの経験、知識を集積した世界であれば有効である。しかし、航海、開拓では、明日は未知である。しかも、Schon が指摘した設計は創造活動で、既存世界とは異なる世界を作り出すのが本来の活動である。21世紀は既存マーケットで戦う時代ではなく、マーケットを創造する時代である。したがって、このような Reflective な考え方は今後極めて重要となり、システム信頼性もこうした考え方で進めてゆく必要がある。

残念ながら Reflective という言葉に適切な訳語がない。いわば作用に対する反作用、反応である。作用、反作用もループを形成する。既述のように、Norman は Emotional Design の中で、emotion は reflection から起き、期待 (expectation) にこたえることが信頼 (trust) を形成する上で重要であると指摘している。

これは、何か行動をしたときの反応 (reflection) から感情が喚起され、それらの経験の集合から、abduction と同じような思考過程を経て、一種の期待（論理ではそれを仮説と呼んでいるが）を構成するのであろう。そのように考えると、Norman が指摘する Emotional Design と Charles A. Peirce が提唱する abduction の考え方は非常に類似している。

21世紀は、明日が未知の世界である。安全、安心への関心が最近非常に高いのは、21世紀が開拓の時代だからである。未知の技術がどんどん開発され、極めて短時間で実用化されてマーケットに投入される。以前は、製品のライフサイクルが長く、新製品は、マーケットの20%ぐらいを占める先導ユーザグループによってまず購入された。そして、先導グループの使用実績、評価を見て、残りの80%が購入した。しかし、現在は製品のライフサイクルの短縮化が急激に進み、新製品の使用実績がまだマーケットで確定しないうちに次の新製品がマーケットに出現する状況である。

したがって、ユーザは未体験の、見えない技術で開発されたシステムに囲まれ、不安が増大している。

このような状況でユーザに新製品を購入してもらうためには、技術を可視化しなければならない。またどうすれば、適切な期待を持たせられるかが重要となってくる。すなわち、これまでは、製品をマーケットに投入すれば、その品質、信

頼性をユーザが判断できた。しかし、製品ライフサイクルがどんどん短縮化し、マーケットを創造する時代となると、マーケットに製品を投入する以前に信頼を確保しなければならない。

品質、信頼性は数値ではない。ユーザの評価が信頼 (trust) を生む。数値の信頼度は、生産者の判断指標にしかすぎない。ユーザにとっては何の意味もない。ユーザが受け入れられるか、ユーザにとって価値があるかどうか、21 世紀の品質であり、信頼性である。

この意味で、21 世紀の信頼性工学では、期待技術の開発が重要となる。すなわち、ユーザに適切な期待感を持たせ、それを製品として実現し提供することが信頼 (trust) を生む。この期待感とは、単なる新技术の出現に対する期待だけではない。製品、システムが、自分が考えているように動作するかどうか、大きな影響を及ぼす。

21 世紀のシステム信頼性では、信頼感、価値の創造が極めて重要となってくる。そのために、適切な期待の醸成、それに対応する製品の提供が重要な課題となる。そこでは、reflection が重要な役割を果たす。21 世紀の信頼性工学は、reflective engineering あるいは、reflective reliability とでも呼ぶべきものとなると考えられる。

7. 環境の問題

7.1 時間—文脈

最後に環境の問題を考える。従来の工学は、再現性の実現に努力を払い、また、できるだけムダを排除してきた。すなわち、文脈独立の考え方が基本である。SHEL モデルでも文脈の問題は明示的に論じられていない。しかし、これからは文脈の考慮が不可欠となる。

従来、文脈独立の考え方が有効であった理由は、状況変化が極めて緩やかだったからである。しかし、状況変化が激しくなれば、文脈独立では対応できない。実際、ムダも、ある視点から見たときにムダなのであり、他の視点から見れば非常に有用である場合も少なくない。これはロバストネスの問題である。

7.2 空間—遍在知

ユビキタスコンピューティング、アンビエントインテリジェンス (ambient intelligence) が急速に発達している。このような技術が進めば、知として、これまでの暗黙知、形式知以外に遍在知を考える必要がある。

形式知とは、マニュアル化できる知識である。これまでの信頼性はマニュアル化できる形式知を主として対象としてきた。しかし、Michael Polanyi⁽¹⁶⁾ は、こうして形式化できる以外の知があることを指摘した。例えば、自転車の乗り方をいかにマニュアルで教えても、乗り方を教えることはできない。自転車に実際乗って習うことが一番早い。知の中には、この

ように形式化できない知が少なくない。技能、ワザはその典型である。

これまで、信頼性工学では、こうした暗黙知とされる技能、ワザについて余り考慮を払ってこなかったといっても過言ではない。それは、従来の信頼性工学が設計者中心で、ユーザ中心ではなかったからである。例えば、LOFT は、こうした技能を修得する訓練であり、シミュレータなどが信頼性向上に果たす役割はユーザ中心の信頼性では非常に重要な役割を果たす。

形式知も暗黙知も知は人間の頭や身体にあると考えている。しかし、コンピュータが遍在する世界となれば、システムは外界環境と統合され、ユーザの行動傾向、性格などから、ユーザの期待を察知し、それに応じた情報を提供できる。いわば、外界に知が遍在することになる。ユビキタスコンピューティングは、コンピュータの遍在を指しているが、それにより知が遍在する事実に注目した名称がアンビエントインテリジェンスである。

このような遍在知により、環境情報の提供だけでなく、ユーザの意図理解が的確にできるようになる。したがって、システムとの対話を通して、ユーザはシステムへの信頼 (trust) を深めるであろう。

8. おわりに

多様化、状況変化が急激に進む現在、システム信頼性の研究は、これまでの設計者中心から、ユーザ中心へと移行している。すなわち、これまでの文脈独立のコマンド方式から脱却し、状況を察知し、ユーザの意図、期待を推定し、それに対応できる文脈依存のシステムを開発することが今後の大きな課題である。ユビキタスコンピューティングなどの技術がそのために大きな役割を果たすと期待されるが、その効果を上げるためには、人間の特性に注目した研究を更に進める必要がある。

文 献

- (1) 例えば、
http://en.wikipedia.org/wiki/Aviation_accidents_and_incidents
- (2) G.E. Cooper, M.D. White, and J.K. Lauber, J.K. "Resource management on the flightdeck," Proceedings of a NASA/Industry Workshop (NASA CP-2120), NASA Ames Research Center, Moffett Field, CA, 1980.
- (3) H. F. Hawkins, Human Factors in Flight, Gower Technical Press. Ltd, 1987.
ヒューマン・ファクター, 黒田 勲 (監修), 石川好美 (監訳), 成山堂書店, 1992.
- (4) 福田収一, ものづくり大論, 丸善, 2006.
- (5) P. Salovey, J.D. Mayer, "Emotional Intelligence," Imagination, Cognition and Personality, vol.9, pp.185-214, 1990.
- (6) 例えば,
http://en.wikipedia.org/wiki/United_Airlines_Flight_232
- (7) http://en.wikipedia.org/wiki/Line_Oriented_Flight_Training
- (8) 福田収一, 価値創造学, 丸善, 2005.
- (9) C. Anderson, The Long Tail: Why the Future of Business Is Selling Less of More, Hyperion, 2006.

- (10) 「暖かい認知」の心理学, 海保博之(編), 金子書房, 2002.
- (11) 東京都立科学技術大学の福田収一研究室とトヨタ自動車の共同研究(江尻綾美, 2002, 江成司, 市川真規, 小池 敦, 2003の修士論文).
- (12) C. M. Jones and I.M. Jonsson, “Automatic recognition of affective cues in the speech of car drivers to allow appropriate response,” Proc. 19th HCI, ACM, pp.1-10, 2005.
- (13) D.A. Norman, Emotional Design, Basic Books, 2004.
- (14) D.A. Schon, The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action, Basic Books, 1983.
- (15) 飯野謙次, D. Wild, “ユングの性格論を利用したチーム形成,” 機械の研究, vol.59, no.1, pp.155-162, 2007.
- (16) M. Polanyi, Tacit Dimension, Peter Smith Pub. Inc, 1983.

福田 収一(正員)

昭42東大・工・産業機械卒, 昭47同大学院博士課程修了(工博), 東大助手, 阪大助教授, 東大(併任)助教授, 都立科技大教授, IEEE Reliability Society, Vice President (Technical Operations), 同日本支部長を歴任. 現在Stanford University, Consulting Professor, 放送大学客員教授, Cranfield University, Visiting Professor. 信頼性研究専門委員会前委員長. 人間-システムのチームワーキングの研究に従事. 日本工学教育協会賞等受賞, 著書, 「価値創造学」, 「ものづくり大論」など