

組込みシステム開発における HMI品質マネジメントのあり方

平 沢 尚 毅

1. はじめに

現在、様々なシステムが連携しながら運用されているため、一つのシステム障害が社会に影響を与える状況にある。システム障害が発生する事態は、社会基盤システムから携帯電話のような組込みシステムまで広範囲に渡っている。このシステム障害の大きな要素を占めるのが、ソフトウェアに関連する不具合である。我が国では、第三者機関が様々なシステムを監査することによって、ソフトウェアを安全、安心、快適に稼働させるために制度（ソフトウェア品質監査制度（仮称））が検討されている[1]。

システムの障害の原因として、ソフトウェアの不具合、システム企画や仕様の問題、ハードウェアの不具合などが指摘されているが、前者の2つの原因によって70%以上を超えている[2]。ソフトウェアの不具合に対しては、作り込みの過程での問題を除去してゆくことによって対処する。一般的に高信頼性ソフトウェア開発と言った場合、作り込み過程での問題を完全に排除することを目指す。ソフトウェアの作り込みにおける問題は、人的な要因に依存しているため、高信頼性を目指す場合、可能な限り人為的な活動を排除することが指向される。

一方、システム企画や仕様に問題がある場合は、この高信頼性アプローチは活用できない。システム企画や仕様設計の工程では、人為的な活動を排除することは不可能なためである。さらに、仕様設計を困難にさせているのが、ヒューマンインターフェース仕様の設計である。システムの運用（利用）は、実際に

人がシステムを操作することによって実施されるため、最終的にはシステムの性能も生産性もヒューマンインターフェース仕様に影響されることになる。場合によっては、システムの安全性に決定的な影響を及ぼすこともある。

以上のような課題は、既に広く認識されており、ヒューマンインターフェース設計の専門家資格制度も整備されるようになってきている。しかしながら、資格制度はデザイナーやWeb設計者に普及しつつも、組込みシステムのエンジニアには必ずしも普及していないのが現状である。ヒューマンインターフェース設計を系統立って導入するには、開発現場にとっては大きなオーバーヘッドを伴うことや、開発担当者にとっては、現実的な恩恵を享受できないこと、眼前の開発には喫緊の必要性を感じないなど、現実的な障壁は多く存在している[3]。

しかしながら、開発組織にヒューマンインターフェース設計の専門家が充分にいない等の制約がありながらも、高付加価値なシステムを提供しなければならないこと、高機能でありながらもユーザビリティを確保しなければならないことなど、安全性を確実に保証しなければならないことなどの市場要求から、システムエンジニアは、地道であっても利用品質やユーザビリティを高めなければならない状況にある。

本研究では、商品性や安全性に直接関係するヒューマンインターフェース品質を、システム開発上流から確保し、向上させるための管理のあり方を検討することを目的としている。尚、品質を定量的管理のためには、ヒューマンインターフェースの品質を特定の尺度へ対応づける測定尺度 (measure) と、それを測定する測定方法 (measurement) が必要になるが、本論では、これらを統合した概念として、これ以降、メトリック (metric) という用語を使用する。

2. HMI設計プロセス

(1) HMI (Human Machine Interface) とは

組込みシステムでは、ある機能を利用者の操作によって実行する部分と、その機能を実現するための内部機構に分けることができる (図1)。前者は、

HMIと呼ばれ、システム側からの情報を表示する要素、表示された情報を利用者が認識し、脳内で処理した命令をシステムを操作して伝達するための要素によって構成される。組込みシステムは、モノの大小にかかわらず、利用者が利用する限りHMI要素は存在する。複数のシステムによって構成される統合型システムでは、統合された全体システムと、構成要素のシステムごとにHMIは存在している。例えば、自動車の場合、車窓やメータなどからの情報を認識して、ハンドル、アクセル、ブレーキなどを操作するという全体システムのHMI構成部分と、ナビゲーションシステムのように、ディスプレイから情報を基に操作ボタンや操作パネルを操作してシステム機能を実現するHMI構成要素が共存している。尚、表示部、操作部もソフトウェアのGUI (Graphical User Interface) によって実装されている場合は、UI (User Interface) と呼ばれることが多い。

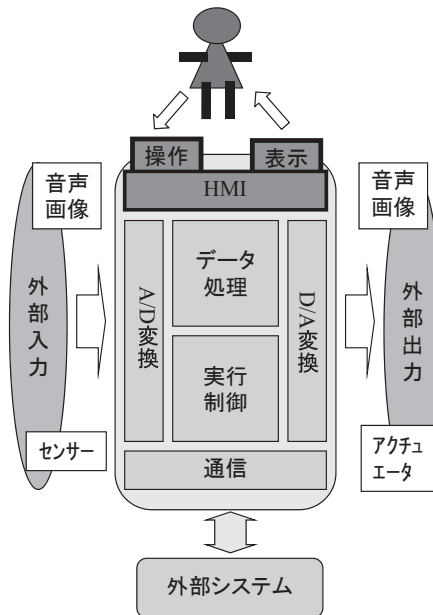


図1 典型的な組込みシステムにおけるHMIの位置づけ

(2) HMI設計プロセス

IPAが開発した組込みシステム開発プロセスモデルであるESPR[4]では、HMI設計はシステム要求定義プロセスを受けて、システムアーキテクチャ設計プロセスで実施されることになっている（図2）。具体的には、システム要求定義プロセスから導かれた要求機能を基に、HMIの構成要素を決定し、実際の操作ステップを設計してゆくことになる。この段階で、HMIの基本設計が終了しなければ、設計が滞る危険性が発生する。しかしながら、一般的に知られているHMI設計方法論では、要求機能だけではHMI設計のためのインプットが不足している。例えば、CooperのFACE方法論では、ユーザに関する詳細な情報が必要となる[5]。実際には、システム要求定義からシステムアーキテクチャ設計の期間で、このような方法論を専門的な知識が無いままに実施す

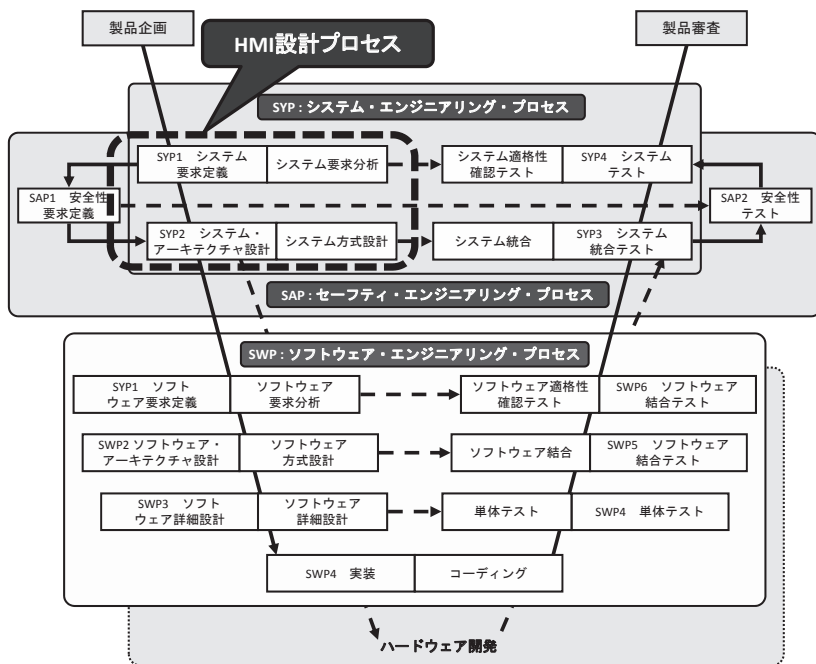


図2 システムライフサイクルプロセスにおけるHMI設計プロセス (ESPR (2008))

ることは現実的には難しい。

HMI設計の専門組織がある場合には、設計ガイドラインやスタイルガイドが提供される。一般的なエンジニアにとっては、設計ガイドラインを理解し、設計を導くことは困難であるため、スタイルガイドを利用して設計されることが多い。経験を積んだエンジニアの場合は、スタイルガイドをパターン化して記憶し、状況に応じて調整して利用する[3]。

しかしながら、このような方法をとった場合、HMI設計案の品質を開発プロジェクト内で適切にレビューすることは困難である。その結果、HMI設計案は、この段階では評価されることなく、次工程に送られることになる。開発ライフサイクルの中で、ユーザビリティ評価が実施されない場合、このHMIの品質の妥当性が確認されることなく最終工程まで進むこともあり得る。

このような状況を防ぐには、開発上流の過程でHMI品質を評価する仕組みが求められる。従来から、HMIを開発上流の中で、定量的にHMI品質を評価するための方法を提案する研究はあった[6など]。しかしながら、この方法を実施するには、品質マネジメント体制の整備など、組織的な対策が必要であり、個別システムの開発プロジェクトに対して実施しても継続的な成果は得られない。実際に普及させるには、更なる検討が必要になっていた。

3. HMI品質マネジメント

(1) HMI品質マネジメントライフサイクル

前述のように、HMI品質は、個別プロジェクトでマネジメントされるものではなく、組込みシステム開発における品質マネジメントの枠組みとしてマネジメントされるべきものである。現在、システムのプロダクト品質のマネジメントに関しては、ISO/IEC 25000 – Software product Quality Requirement and Evaluation (SQuaRE) シリーズして体系化されつつある[7]。この規格での大きな特徴は、システムの最上流から品質マネジメントが実施されることであり、システム開発ライフサイクルと連動したPDCAサイクルによる改善が

行われることである。

このライフサイクルに基づいて、HMI品質をマネジメントする場合、システム設計プロセスにおいては、次のような手順で実施される。

1) 品質計画

システム品質戦略に基づいて、システム品質モデルをテーラリングし、HMI品質特性を明確にする。HMIの品質特性から属性を明らかにし、それを測定するための尺度と測定法を特定する。

2) 利用品質基準の特定

ユーザ（ステークホルダー）要求定義プロセスにおいて、利用品質基準や安全基準を特定する。

3) HMI品質基準の特定

システム要求定義プロセスと並行して、システム品質要求を明確にする。この段階で、HMI品質要求も明らかにし、HMI品質基準を設定する。

4) システムアーキテクチャ設計案の評価

システムアーキテクチャ設計プロセスにおけるHMI設計案を、事前に設定したHMI品質基準に基づいて評価する。場合によっては、プロトタイプを製作して、ユーザビリティ評価を実施し、基準を達成できるかを検証する。

5) HMIソフトウェア品質基準の特定

GUIを設計する場合は、ソフトウェア要求定義プロセスと並行して、HMIソフトウェア品質要求を明確にする。この段階で、HMIソフトウェア品質要求基準を明確にする。

6) ソフトウェア設計案の評価

ソフトウェア設計におけるGUI設計案を、事前に設定しているHMIソフトウェア品質基準に基づいて評価する。場合によっては、シミュレーションを作成して、ユーザビリティ評価を実施し、基準を達成できるかを検証する。

以上のような手順を含む、システム品質マネジメントライフサイクルの全体

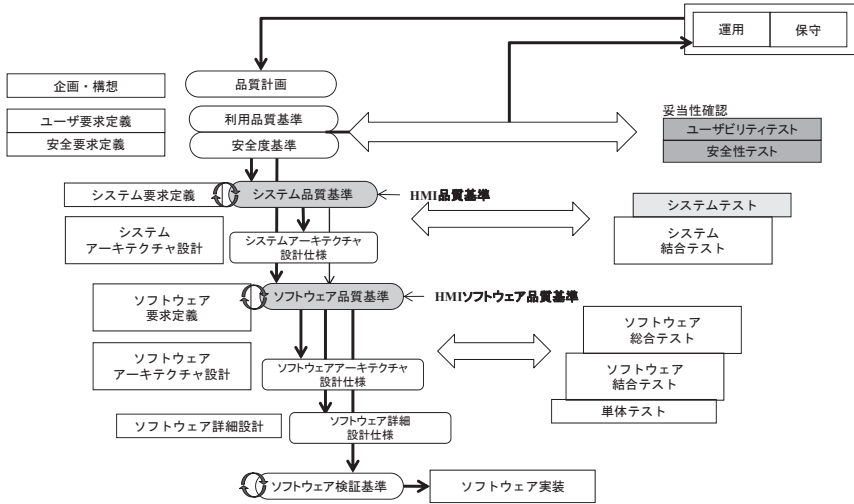


図3 システム品質マネジメントライフサイクルにおけるHMI品質マネジメントの位置づけ

像を図3に示す。設計プロセスの段階で特定したHMI品質基準は、システムテストやユーザービリティテストの活動においても利用される。

(2) HMI品質モデル

HMIに求められる品質とはどのようなものであるか。

まずは、利用者がシステムを利用することによって、利用者が行いたいこと（利用者の目標）を、効率的に達成できることが求められる（有効性, 効率性）。また、利用に際して、安全性、経済性、環境への影響などのリスクをゼロあるいは最小限にすることが求められる（リスク回避）。そして、システムを満足して利用できることが求められる（満足度）。

以上は、利用者側がHMIを通じてシステムを利用する場合に求める総合的な品質である。これは、利用品質と呼ばれるものであり、品質特性としては、前述のように有効性、効率性、リスク回避、満足度といったものが提案されている[8]。

一方、開発側から見た場合、利用品質を達成するためにシステム構成要素ごとに品質基準が設定される。HMIもシステムの構成要素であり、システム品質の要素としてマネジメントされる。システム品質の基本特性としては、機能性、効率性、信頼性がある。システム利用に関する特性としては、ユーザビリティ、セキュリティなどがある。システムの運用・保守に関連するものとしては、互換性、保守性、移植性などが考えられている[8]。HMI品質の場合も、これらの品質特性からマネジメントされる。

また、図4のように、HMI品質の特徴として、システム品質を利用品質にブリッジする位置にあることがあげられる。

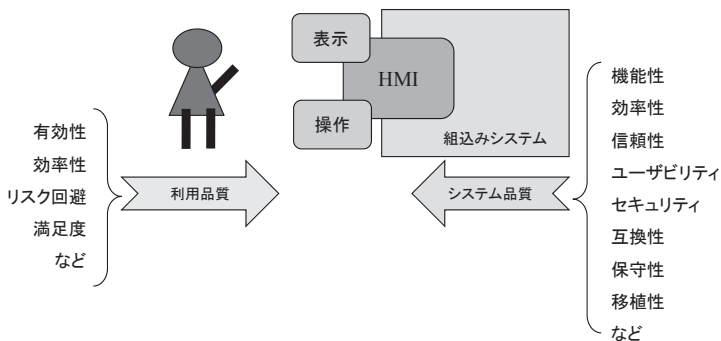


図4 利用品質とシステム品質をブリッジする HMI 品質

HMI品質モデルを活用することにより、品質を詳細にマネジメントすることができる。表1にHMI設計要素に対するシステム品質特性を展開した事例を示した。展開された内容は、品質評価項目であり、設計ガイドラインでもある。このような表は、非機能要求を整理する上でも活用できる。また、展開された内容から、それぞれの品質特性の属性を導くこともできる。例えば、操作性から見た操作遷移設計に対する品質評価項目として、「ムリムダムラのない操作ステップ」があるが、操作遷移の品質属性の案として「操作ステップ」が想定可能である。

表1 HMI品質特性の展開事例

GUI設計要素	ニーズ適合の認識性	学習容易性	操作性
画面レイアウト	/	操作手順の理解のしやすさ	表示提示内容のわかりやすさ 操作要素のわかりやすさ
操作遷移		操作を習熟するまでの早さ 学習過程の楽しさ	ムリムダムラのない操作ステップ 操作手順の理解しやすさ
構成要素デザイン		構成要素の理解のしやすさ	操作しやすい意匠性
付属情報 (広告、マニュアル等)	ニーズ適合していることの第一印象 操作によって目標を満たすことができることへの確認の度合い	操作手順内容の理解のしやすさ マニュアル構成のわかりやすさ マニュアル内容のわかりやすさ マニュアル用語のわかりやすさ	/

4. HMI品質メトリック

(1) HMI品質メトリックの導出

品質（副）特性の属性を基に品質メトリックは導かれる。品質メトリックから測定された結果によりシステム品質の状態を解釈する。したがって、品質モデルとメトリックとの関係は、図5のようになる。図のように品質特性とメトリックの関係は多対多の関係であり、適切にマネジメントしなければ測定結果が増えるだけで解釈が困難となる。

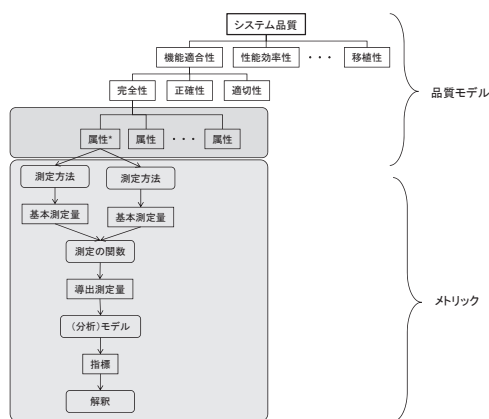


図5 品質モデルとメトリックとの関係

HMIメトリックによる測定によって評価する対象は、HMI設計プロセスにおける中間成果物（HMI設計仕様書、設計案（画面遷移図、画面レイアウト、構成要素デザインなど））であり、対象ごとに体系立てて編集する必要がある。

このHMI品質メトリックを論理的に導くことは困難である。専門的による経験値をベースに開発ライフサイクルを繰り返す中で精緻化をはかってゆくことが本筋と思われる。規格や文献を通して公開されているメトリックを参照することもできる。また、GQM法のように、測定の目的（Goal）を明確にし、それが達成されたかどうかの基準を質問（Question）という形で明確にし、そのための必要な情報（Metric）を収集するという体系だったアプローチもある[9]。

いずれにせよ、HMI品質メトリックは、参考資料、ヒアリング、各種手法を使いながら、最終的には開発関係者の協議によって仮設定して始めることになる（図6）。

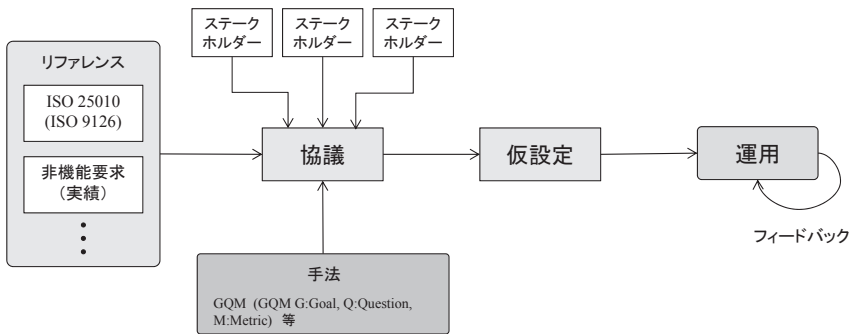


図6 品質メトリックの導出方法

(2) HMI品質メトリックの運用

設定されたメトリックは、システム開発ライフサイクルを通じた運用を通じて、その妥当性を確認してゆくしかないと考えられる。品質計画時に設定したメトリックは、システム開発プロセスでの評価活動を通じて、妥当性を評価し、

改善・修正することによって、次期の品質基準設定の精度を上げてゆくことができる（図7）。重要なことは、品質メトリックを、運用を通じて妥当性を確認し、改善してゆくことができるように、品質マネジメントライフサイクルを組織的に整備する必要があることである。

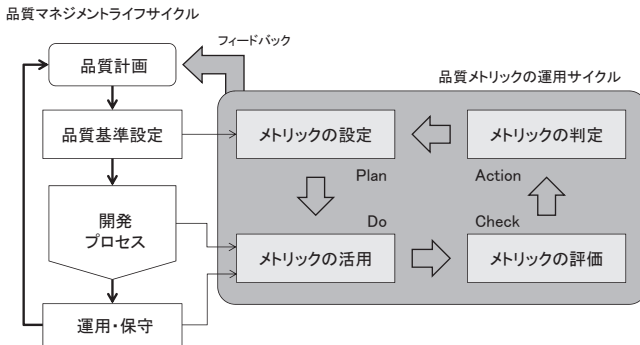


図7 品質メトリックの運用を通じた確認プロセス

(3) HMI品質メトリックの事例

表1のように品質特性を展開することによって、品質属性を想定する考え方を述べた。その事例として、操作遷移から想定される品質メトリックの例としてGUIの画面遷移数がある。しかしながら、同じ画面遷移数でも、遷移の中で仲介となる画面を経由する場合（間接画面遷移）と、直接に目的の画面に遷移する場合（直接画面遷移）とでは、画面遷移の意味合いが異なる[10]。したがって、より高いHMI品質を測定するには、このような考え方を取り入れた画面遷移数の解釈が必要となる。

表1を利用して、GUIに利用できる可能性のある基本的なメトリックの事例を表2に示す。これらの事例は、設計案のプロトタイプに対するユーザテストを前提にしているが、HMI仕様や設計図面に対しても評価できるメトリックを考案することによってインスペクションを実施することも可能になる。その場合は、経験を積んだHMI設計専門家の協力が前提となる。

表2 HMI品質特性のメトリック事例（測定尺度と測定法）

GUI設計要素	ニーズ適合の認識性	学習容易性	操作性
画面レイアウト	/	習熟までの時間（ユーザテスト） 操作開始からの使用感（アンケート） 使用時の戸惑い数（ユーザテスト）	表示提示内容の理解度（アンケート） 操作手順の理解度（アンケート） 操作時間（ユーザテスト） 操作エラー率（ユーザテスト） 無駄な操作ステップ数（画面遷移図からの測定）
操作遷移			
構成要素デザイン			
付属情報 （広告、マニュアル等）	ニーズ適合の印象度（付属情報にザッと目を通した後のアンケート） タスク達成度（ユーザテスト）	マニュアルの理解度（構成、内容、用語に対するアンケート） マニュアルを利用した場合の習熟までの時間（ユーザテスト）	/

5. ま と め

本研究では、商品性や安全性に直接関係するHMI品質を、開発上流工程からマネジメントするための考え方を整理した。HMI品質を開発ライフサイクルを通じて改善してゆくためには、品質を測定・評価する定量的管理が求められる。そのためには、HMI品質メトリックを設定することが欠かせない。しかしながら、HMI品質のみをマネジメントしても、システム全体品質が向上するわけではないので、システム品質マネジメントライフサイクルの中に位置づけて管理することを提言した。

そのためには、システム全体の品質モデルを構築し、これを基盤としたメトリックを整備し、そこにHMIも位置づける必要がある。メトリックが整備されることによって、HMI品質を診断することや、システム操作に関連する安全性を診断することにも応用できる可能性がある。

ソフトウェア品質のメトリックに比べて、HMI品質に関連するエンピリカルデータの集積と編集は、国内ではほとんど実績が無いと言ってよい。国内のコンシューマ製品の安全性を確保し、開発効率を向上させ、国際的な競争力を上げるためには、社会的な基盤としてHMI品質メトリックが整備される必要があると考える。

謝 辞

本報告を作成するにあたって、共同研究者であるU'eyes Design Inc. の鱗原晴彦代表取締役にも多くの支援をいただいていることに謝意を表します。また、この研究スタッフであるUX研究部門の葛西秀昭学術研究員に本研究の支援を感謝します。

参 考 文 献

- [1] SEC/IPA, ソフトウェア品質監査制度部会活動報告書及び関連委託事業報告書, 独立行政法人情報処理推進機構, 2011
- [2] 経済産業省商務情報政策局情報処理振興課, 2010年版組込みソフトウェア産業実態調査報告書-事業責任者向け調査-, 経済産業省, 2010
- [3] 平沢尚毅, 組込みシステム開発における人間中心設計導入の有効性に関する考察, 商学討究, Vol.61, No.1, 2010
- [4] 独立行政法人情報処理推進機構 ソフトウェア・エンジニアリング・センター (SEC) : 組込みソフトウェア向け開発プロセスガイド, 翔泳社, 2007
- [5] Cooper, A., Reimann, R., Cronin, D., About Face 3 インタクションデザインの極意, アスキー・メディアワークス, 2008
- [6] Shackel, B., Richardson, S. (1991) Human factors for Informatics Usability - Background and Overview. In Shackel, B and Richardson, S (ed.), Human Factors for Informatics Usability, Cambridge University Press
- [7] ISO/IEC 25000 : 2005 Software Engineering - Software product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - Guide to SQuaRE, 2005
- [8] ISO/IEC 25010 : 2011 Software Engineering - Software product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - System and software quality models, 2011
- [9] Basili, V., Using Measurement to Build Core Competencies in Software, Data and Analysis Center for Software, 2005
- [10] 鱗原晴彦, 平沢尚毅, 神田周一, 利用品質向上のためのHMIガイドライン&メトリクス, HCD研究発表会2012, 2012