

論文審査の結果の要旨

氏名：篠原 昭 夫

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：オープン系システムを対象とした障害の原因調査手法と対策立案に関する研究

審査委員：（主査） 教 授 香 取 照 臣

（副査） 教 授 細 野 裕 行 特任教授 泉 隆

名誉教授 中 村 英 夫

オープン系システムとは複数ベンダから提供された製品で構築されたコンピュータシステムである。これらのベンダが提供する製品は、他ベンダで開発された製品とともに使用されることが前提である設計のため、通信規約などに関しては規格に準拠した設計となっている。一方で規格と関係しない内部構造は、各ベンダの独自の方針で設計されている。このことは新技術の導入を容易にして製品の進歩に貢献する一方、障害発生時の原因特定を困難にする要因にもなっている。

このようなシステムにおいて障害が起きた際の原因部位の特定はほとんど人手で行われる。これは各製品の進歩が速く、寿命・メーカーのサポート期間も異なるため、既知の事例参照が困難で、未知障害に属することが多いためである。しかしながらオープン系システムに特化した人手による調査手法が確立されていない。

このようなことから本論文では、実務上での経験を踏まえて、オープン系システムの障害発生時にその原因部位を人手により特定する方法を考案している。コンピュータシステムの障害発生時の原因部位特定手法を自動的に行う研究も進められているが、主にメインフレーム系（少数ベンダから提供された製品で構成された比較的大規模な汎用コンピュータ）を対象とした方法であり、オープン系システムの特徴が考慮されていないため、中・小規模のオープン系には不向きなものである。またオープン系システムの性質から人手で調査せざるを得ず、現状ではこの方法が確立されていない。

提案している障害原因部位特定手法は、機能線を用いたものである。機能線とは、オープン系システムの障害をシステム内のある 2 点間で目的データ転送中に問題が発生したものととらえ、目的データの流れて配置されたコンポーネント（目的とするデータの転送に関与する要素のこと）を結んだグラフである。

また、コンポーネントでの障害発生有無判定の方法として、正常稼働時のログ情報を予め取得しておく、同じシステムの障害発生時のログ情報との比較により障害を検知する「比較法」を提案している。

このような研究は前例がなく、研究への取り組みと方法論を明示し有効性を示したことを高く評価できる。

本論文は 7 章から構成されている。

第 1 章「序論」では本論文の背景として、オープン系システムとは複数ベンダから提供された製品で構築されていることの説明と発展の経緯、メインフレーム系（汎用コンピュータ）との相違についての概説に続き、オープン系システムに特化した障害発生時の原因特定が困難であることの問題が提起され、本論文の目的がマルチベンダ製品で構成された多様な形態を持つオープン系システムで発生する障害の原因部位を特定する、新たな手法を確立することであることが示されている。

本論文で提案する手法が満足すべき要件は、以下のとおりとしている。

- ・複数ベンダから提供される製品を統一された手法で調査可能なこと
- ・多様なオープン系システムに適用可能であること
- ・オープン系システム向け製品の特徴が反映された手法であること
- ・製品の詳細仕様が不明な条件下でも、障害原因部位を特定可能なこと
- ・製品開発中よりも原因究明のための情報が不足していても調査可能なこと
- ・各システムの特徴を考慮した調査が行えること

なお現在のオープン系システムは、かなり大規模なものも存在するが、本論文で対象とするのは障害発生件数が多くかつ人手で原因調査を実施することが多い、中・小規模システムを対象としている。

本章においては、オープン系システムで発生する障害の原因部位を特定する、新たな手法を確立することの意義が認められる。

第2章「オープン系システム運用の現状」では、現状のオープン系システムをとりまく状況の説明と、オープン系システムが複数ベンダの製品で構成されている特徴こそが障害発生時の原因調査と対策を困難にしていることが説明され、新製品開発が早いことで修正プログラムもまた頻繁に更新されることから、既知の事例参照が困難で、未知障害に属することが多くなり、その結果、障害が起きた際の原因部位の特定はほとんど人手で行われることが説明されていて、本研究の必要性が充分認められる。

第3章「機能線を用いた障害原因部位特定手法の提案」では障害原因部位特定手法として、機能線を用いたものを提案している。機能線とは、オープン系システムの障害をシステム内のある2点間で目的データ転送中に問題が発生したものととらえ、目的データの流れに沿って配置されたコンポーネント（目的とするデータの転送に関与する要素）を結んだグラフである。この機能線上に障害原因部位が存在するが、本論文では単純障害のみを対象としている。被疑コンポーネントをより細かく分類するための分解レベルについても言及し、実際の障害調査の場面で用いられている調査手法のシステムティックな表現を可能にしている。

さらに調査対象の機能線と一部が重複した機能線のうちこの線上では障害が発生していないことが明らかである機能線を「補助機能線」と定義して利用することを提案している。補助機能線により障害調査対象システムにおいて障害が発生していない部分の情報を利用して、障害調査対象から除外可能な区間を特定することで、調査対象を削減できる。

機能線を用いることで障害の全体像を視覚的に把握し、さらに補助機能線を併用することで障害箇所を効率的に絞り込めるようになった。これにより調査手法をシステムティックに表現できるようになったことは高く評価できる。

第4章「コンポーネントでの障害発生有無判定法」では、コンポーネントでの障害発生有無判定の方法として、正常稼働時のログ情報を予め採取しておき、同じシステムの障害発生時のログ情報との比較により障害を検知する「比較法」を提案している。ログ情報に関しては製品の詳細仕様が非公開でも採取可能であるため、特にオープン系システムにおいては極めて有効な方法と言える。本比較法を用いることで、製品ごとに記録方式が異なる場合や、詳細仕様が非公開の製品であっても、ログ情報から障害発生原因に起因した痕跡情報のみを見つけ出すことを可能にした点は高く評価できる。

第5章「機能線を用いた障害原因調査の効果およびFTAとの比較」においては、機能線を用いた効果の検証として、FTA（故障木解析）との比較を行い、提案手法の有効性を示している。

効果の検証には障害コールセンターの障害記録を用い、機能線の適用可能率、障害原因部位の特定可能率、比較法の適用可能率、補助機能線の適用可能率を検証している。その結果、機能線適用可能率は91.4%、障害原因部位特定可能率は73.2%、比較法の適用可能率は81.3%、補助機能線の適用可能率は6.8%という効果が得られた。前3者で高い効果が得られていることが示された一方で、補助機能線適用可能率が低い理由として、サンプルとしたネットワーク系コールセンターの障害記録中にネットワーク系、複数クライアント系の障害記録が少なかったことが挙げられており、公平性の観点からも検証がなされている。また、機能線の適用効果として、調査対象コンポーネント数の比較を行っており、機能線を適用した場合には適用しない場合と比較してコンポーネント数が81.8%に削減され、障害原因を特定することの高い効果が示されている。

FTAとの比較は、機能線は分岐のないグラフ構造であるために、ANDゲートを持たずORゲートのみで構成されたFT図に近いことを明らかにし、機能線の方が障害に関係した情報を多く含むことと、調査対象数が少ないことから高い有効性が認められる。

第6章「機能線を用いた障害分類と対策立案」では、オープン系システムならではのDOA（Death on Arrival、交換した部品（ハードウェアとソフトウェアの両方を含む）に障害があること）の発生を考慮し、オープン系システムで発生する障害を階層的に3種類に分類している。本章では第3章で対象とした単純障害を分析し、この3種類の各障害型に適した対策方法を関連付けすることで、二次障害として

の不適切な対策の採用防止を可能としたことは高く評価できる。

第7章は本論文の「結論」である。本論文の成果として、中・小規模のオープン系システムを対象とした障害の原因部位特定をシステムティックに行うことを可能とした。

(1) 提案した「機能線で障害を記述し、障害の原因部位を特定」することの利点として

- ・視覚的表現により障害全体像の把握が容易
- ・多様なオープン系システムに適用可能
- ・コンポーネントを調査単位とするため、ハードウェアとソフトウェアの違いや製品の規模は無関係で適用可能

- ・コンポーネントの分解レベルによって効率的に調査を実行可能

- ・補助機能線によって調査対象コンポーネントを削減可能

- ・機能線の適用可能率が高いことを実障害事例から実証

- ・FTAとの比較から、本手法の相違と優位性を明示

が挙げられている。

(2) 「比較法による障害発生有無判定」の利点については、

- ・システムごとの運用特性を反映した障害発生判定が可能

- ・製品仕様の詳細が不明（非公開）でも適用可能

- ・開発環境よりも調査情報が不足していても適用可能

である。

(3) 「障害分類による対策立案選択手法」については

- ・オープン系システムで発生する障害を分類可能にした

- ・分類された障害型に一意の対策手法を関連付ける手法を提案

- ・障害型と対策手法の関連付けにより、二次障害発生を抑止可能

である。

このように、実務面での問題をスマートに解決する手法を検討、提案していることは非常に有意義であり、またその効果も高いことが本論文中で十分に示されている。このことは、本論文の提出者が自立して研究活動を行い、又はその他の高度な専門的業務に従事するに必要な能力及びその基礎となる豊かな学識を有していることを示すものである。

よって本論文は、博士（工学）の学位を授与されるに値するものと認められる。

以 上

平成31年2月21日