

Title	大規模データセンターにおける運用ノウハウ共有による障害再発防止方式
Author(s)	西野, 博之
Citation	
Issue Date	2014-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/12024
Rights	
Description	Supervisor: 敷田 幹文, 情報科学研究科, 修士

修 士 論 文

大規模データセンターにおける
運用ノウハウ共有による障害再発防止方式

北陸先端科学技術大学院大学
情報科学研究科情報科学専攻

西野 博之

2014年3月

修士論文

大規模データセンターにおける 運用ノウハウ共有による障害再発防止方式

主指導教員 敷田 幹文 教授

審査委員主査 敷田 幹文 教授
審査委員 篠田 陽一 教授
審査委員 長谷川 忍 准教授

北陸先端科学技術大学院大学
情報科学研究科情報科学専攻

1210041 西野 博之

提出年月: 2014 年 2 月

概要

本稿は、過去に発生した障害に着目し、それらの事例をノウハウとして共有することで管理者の運用技術向上を支援する手法を提案するものである。データセンターで扱われるシステムは大規模化が進んでおり、担当を区切って分散管理を行うことが一般的になってきている。しかし、そうした大規模なシステムで障害が発生した場合、各管理者の担当範囲を超えて障害の影響が派生することが多く、障害の全体像を把握することが難しくなり、復旧作業が困難なものとなる。このような状況下で、システムの仕様を知ってさえいれば起こすことのない運用操作による障害を再発させる事は望ましくない。そこで、過去に発生した障害をノウハウとして効率的に共有することで、過去と同様な運用操作による連携障害の再発を防止することが本研究の狙いである。

目次

第1章	はじめに	1
1.1	研究背景	1
1.2	目的	2
1.3	本論文の構成	2
第2章	関連研究	3
2.1	障害原因解析	3
2.2	ノウハウ共有	4
第3章	障害再発防止における課題	5
3.1	障害要因の把握	5
3.2	管理者間のノウハウ共有	5
第4章	ノウハウ共有による障害再発防止方式	7
4.1	概要	7
4.2	ノウハウ情報の蓄積	8
4.2.1	入力項目	8
4.2.2	ノウハウ情報項目の表現形式	9
4.3	ノウハウ情報の提示	11
4.3.1	提示内容の最適化	11
4.3.2	ノウハウ情報提示画面	13
第5章	支援システムの動作例	15
5.1	ノウハウ情報の具体例	15
5.1.1	想定する環境	15
5.1.2	障害事案とノウハウ情報	16
5.2	ノウハウ提示順序に関する実験	17
5.2.1	想定する環境	17
5.2.2	異なるシステムにおける提示内容の比較	18
5.2.3	ノウハウ情報の蓄積量の違いによる提示数の比較	20

第6章	考察	22
6.1	ノウハウ情報の精度	22
6.1.1	システムとの整合性	22
6.1.2	類似度推定範囲によるノウハウ情報の絞込み	22
6.2	運用支援	23
6.2.1	障害発生理由の発見	23
6.2.2	管理者の教育	24
6.3	多様な機器への対応	25
第7章	おわりに	26
7.1	まとめ	26
7.2	今後の課題	27

第1章 はじめに

本章では，研究の背景，目的を述べ，最後に本論文の構成を述べる．

1.1 研究背景

近年，データセンターで提供されるサービスの需要や，その重要性が高まってきている．他方で，文献 [1] で述べられているとおり，効率化のために小規模データセンターの統廃合や再編によって， $500m^2$ 以上の大規模なデータセンターが増加している．また，仮想化技術や分散化技術の普及により，データセンターで運用されているサーバ群の運用形態は複雑なものになってきている．特に大規模なサービスになると，一つのサービスが複数の機器にまたがって存在する，複数の機器が連携して動作している等，複雑なシステム構成をもって運用されている．その上，こうした大規模環境では，一人で運用することは困難であるため，担当を分けて複数の管理者によって分散管理されることが一般的である．しかし，データセンターにおける運用管理者の数は慢性的に不足しているため，一人当たりの担当箇所が増加傾向にあり，担当部門外の機器を操作する機会も増えている．その一方で，データセンターの効率化や運用コストの削減のため，今後も再編や統合によるデータセンターの大規模化は加速すると見られている．そのため，大規模システムを運用する管理者の支援が求められている．

管理者が設定変更の操作を行った際，仕様やバグ等により，予期せぬ障害が発生する事がある．障害の影響は広範囲に伝播するため，当該システムに詳しくない管理者にはその原因がわかり辛いといった問題点が挙げられる．また，システムを熟知した管理者であっても，障害の症状だけを見て原因を特定することは困難であるため，システム上で障害原因解析（RCA：Root Cause Analysis）を行う手法が提案されている．しかし，今日のサーバ群の運用形態は複雑であるため，RCA によって提示された箇所以外にも障害に関与している要因を含んでいる事も多く，これらの要因も加味して復旧作業を行う事は当該システムを熟知した熟練管理者に依存しているのが現状である．

データセンターでは管理者の人材が不足しているため，本来の担当管理者が別の作業に手一杯となり対応できず，別の担当の管理者が運用に携わる機会が増加している．あらゆる障害に対応するためには，普段担当していないシステムで起こり得る障害に関するノウハウをそうした機会に身につける必要があるが，障害事象が複雑なものになるとシステムを熟知した管理者に尋ねることで解決してしまいがちで，運用に携わっているにも関わらず，ノウハウを習得する事ができないといった問題がある．メンバーの入れ替わりや，

担当管理者の不在等，状況によっては現在の運用形態では障害復旧への対応が遅れかねない．そのため，各管理者へのノウハウ継承は急務であるといえる．

1.2 目的

本研究の目的は，過去に起こった障害に関するノウハウを蓄積し，管理者間で共有する事で同様な障害の再発を防止することである．

分散管理が一般的になっている大規模なデータセンターにおいて，運用操作時に全てのシステム構成を考慮することは困難である．しかし，このような状況では，他の設定や仕様との連携により予期せぬ障害が生じる場合がある．こうした問題に対し，過去の障害に関するノウハウを蓄積し，管理者の運用操作時に適切なノウハウを提示することで，気づきにくい障害を引き起こす要因に関するノウハウを共有することが可能となる．

1.3 本論文の構成

本論文では，2章で関連研究について説明し，3章にて現状の運用体制における問題点について言及する．4章でそれらの問題を解決するための提案手法に着いて説明し，5章で提案手法の運用例を示す．その結果を基に6章で考察を行い，7章でまとめを述べる．

第2章 関連研究

本章では、障害原因解析とオフィスワークにおけるノウハウ共有を行う既存の研究に関して述べる。

2.1 障害原因解析

文献 [2] では、ネットワーク上のリンク障害に対し、リンクダウンによる障害イベントだけでなく、リンクダウンした箇所を利用してネットワークやサービス上でも品質劣化によるイベント情報が出力されていることに着目している。こうした同一の障害原因によって生じる複数のイベント情報を関連づけて記録する事で、実際に障害が発生した際、より精確に障害原因箇所を絞り込む手法を提案している。しかし、サーバ群においては、サーバを構成するディスクやディレクトリなどの構成要素のそれぞれが障害原因になり得る。その上、一つのサービスを複数サーバの連携により提供する事が一般的になってきているため、障害発生時のイベント情報より広範囲でかつ大量に生じ、障害原因を特定する事はより困難になる。

文献 [3] では障害の症状と原因をパターン化し、障害原因機器を特定する手法が提案されている。また、サーバやストレージの利用形態は多様化してきており、機器単位で障害原因を絞り込むだけでは復旧作業の支援としては不十分な場合も考えられる。そのような機器内部の構成情報単位で障害原因を解析する手法としては、文献 [4] のように、構成が一様ではない分散システムで起こる障害やアプリケーションで起こった障害の障害派生関係を推測し解析する手法や、文献 [5] では、システムを構成する要素を収集、解析を行う事で依存関係を明確化し、システム構成管理を支援する手が提案されている。また、文献 [6] では依存関係を用いた障害原因解析に要する計算コストを軽減する研究も行われている。

他方で、文献 [7] では、エキスパートシステムによって障害発生可能性を予測し、経験が浅い管理者でも安定した運用を行える支援を行っている。しかし、障害が生じるきっかけを言及するまでは行っていない。前述のとおり、一つのサービスが複数の機器の連携によって提供されているため、これらの手法で障害原因箇所として提示された、あるいは、障害が起きる可能性として挙げられた箇所以外に障害に影響を与えている要因が存在する可能性も考えられる。また、それらの要因は依存関係を保持していない場合が多いため、その解析及び復旧作業は当該システムを熟知した管理者の経験や勘に依存している。当該

システムに関して詳しくない管理者の技術向上のためにはそれらの経験や勘をノウハウとして共有する必要がある。

2.2 ノウハウ共有

ノウハウ共有に関する研究分野では、企業等の組織における情報共有手法がいくつか挙げられている。文献 [8] では、オフィスワークで必要になる情報を、重要度や必要になる場面等によって体系的に分類する事で、必要な情報がどこにあるのかをわかりやすく管理する手法を提案している。しかし、この手法では継続的に情報を整理しなければならないことや、情報収集を自発的に行わなければならない事から、サーバ運用におけるノウハウ共有には適さない。文献 [9] では、ワークフローの各アクティビティにノウハウ情報を関連づけて入力する事で、その後、他の作業者が同様の作業を行った際に自動的にノウハウ情報を提示する手法を提案している。

ネットワークの分野においても、安定運用に向けた運用管理ポリシーの共有支援が行われている。構成管理の手法として、文献 [10] では、中央管理サーバに管理情報を収集、解析し、管理者に提示することで構成管理支援を行っている。文献 [11] では、ネットワーク管理システム (NMS) に管理者の管理知識を合わせて効果的に獲得・利用するための知識の表現方式を提案している。また、文献 [12] では、NMS に蓄積された知識を用い、状態情報や運用ポリシーが不足している場合に推論可能なネットワーク管理支援手法を提案している。

第3章 障害再発防止における課題

管理者があまり詳しくないシステムの運用に携わる場面において、過去発生した障害を再発させないようにするためには、運用操作に影響を与える要因の把握と、その要因に関するノウハウの伝達が重要となる。本章では、共有すべきノウハウの内容と、現在の体制における課題について説明する。

3.1 障害要因の把握

障害発生時、障害原因解析を行う事で障害原因箇所をある程度限定することができる。しかし、今日のデータセンターでは、複数のサーバが連携して各サービスを提供する事が一般的であるため、本来であれば障害が生じないはずの操作であっても、他の設定や仕様との連携によってはじめて障害としての症状が発現する場合がある。この場合、障害原因解析によって特定された障害原因箇所を確認するだけでは、障害が起きた理由まで把握する事は難しい。このような障害を再発させないようにするためには、当該システムを熟知していない管理者が自力で障害原因箇所として提示された箇所以外の、障害に関与している要因を探せるような支援を行わなければならない。以後、このような障害に関与している要因を本稿では 障害発生理由 と呼ぶこととする。

3.2 管理者間のノウハウ共有

大規模なデータセンターにおいて、障害の影響は多くのサービスに伝播し、被害は甚大なものになりかねない。そのため、一刻も早い復旧が求められる。そうした状況において、当該システムに詳しくない管理者が障害の事象に対し、時間をかけて試行錯誤することは望ましくない。障害の復旧作業にあたった管理者が当該システムに関して詳しい知識を持っておらず、すぐに復旧できなさそうだと判断した場合、ツールで障害情報を吸い上げ、当該システムに詳しい管理者に尋ねる事で解決しがちである。それぞれの機器に対して詳しい知識を持った管理者が解析にあたることで、復旧までの時間を短縮する上では最適な方法である。しかし、障害に直面した当該システムに詳しくない管理者は、自力で障害発生理由を見つけたわけではないため、後日復旧した管理者に口頭で説明をうけることでしか障害事象の詳細を知る事ができないが、それだけではノウハウとして定着させる事は難しい。その上、その場に居合わせた管理者しか障害の内容を知る事ができないため、

機器の仕様や他の操作との連携による障害であった場合、運用に長く携わっている管理者であっても、その事例を知らなかった故に、予期せず同様の障害を再発させてしまう可能性もある。

当該システムを熟知した管理者が不在であっても、ツールによって障害情報と抽出し、その管理者に尋ねることで解決できるが、そのようなシステムを熟知した管理者がいつでもサーバ運用に携わる事ができるとは限らない。当該システムを熟知した管理者の多忙時や異動などによって、普段の担当ではない管理者が障害復旧にあたらなければならない状況は十分に考えられる。そのため、担当外のシステムの運用操作を行う機会があっても対応できるよう、普段の運用操作時から起こり得る障害事例とその障害発生理由を知り、ノウハウとして身につけておかななくてはならない。

第4章 ノウハウ共有による障害再発防止方式

本章では、提案する障害再発防止方式について述べる。

4.1 概要

前述のとおり、データセンターの大規模化、運用管理の分散化が進んできた昨今では、システムの全体像の把握は管理者の限界を超えており、システムに熟知した管理者一人に依存した安定運用は困難なものとなってきている。

そこで本稿では、運用操作に合わせて障害に関するノウハウ情報を提示することで、運用操作による障害再発の防止を支援する手法を提案する。本手法は主に以下の二つの手順で動作する。

- ノウハウ情報の蓄積
- ノウハウ情報の提示

各手順の詳細は後述するとし、ここでは全体の動作について説明する。

提案手法の構成を図4.1に示す。図4.1のように、障害復旧時、復旧にあたった管理者によって得られた障害発生理由などの知見をノウハウデータベースに格納する。このよう

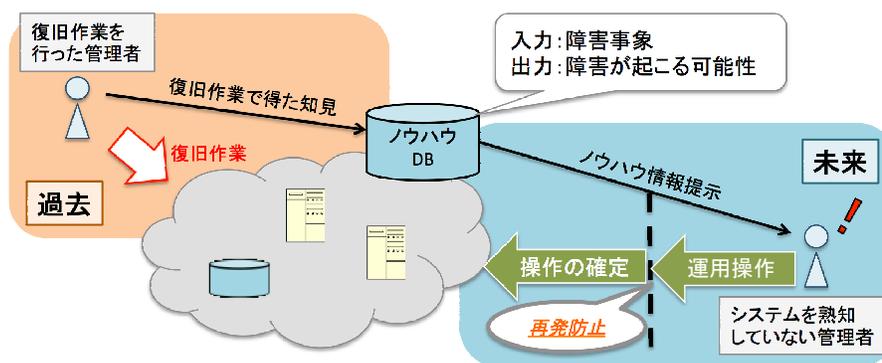


図 4.1: 提案手法の概要図

に格納された障害事象に関するデータセットを、本稿では ノウハウ情報 と呼ぶ。こうして蓄積されたノウハウ情報に該当する運用操作が行われたとき、それぞれのノウハウ情報が入力されたシステムと、運用操作が行われたシステムの比較を行い、各ノウハウ情報の類似度を算出する。この類似度が上位のものから順に並べ替え、実行前に注意喚起として提示することで管理者の検討漏れを防ぎ、システムの可用性を向上させることが本提案手法の狙いである。

なお、本支援手法ではノウハウ情報の提示までに留め、システム上で運用操作を強制的にやめさせることは一切しないものとする。これは、運用管理者はサーバ運用に関して汎用的な知識はすでに修めていることを前提とし、ノウハウ情報で得た新たな知識を活かすことで、その後の同様の操作に対してもそのノウハウ情報による支援が活用できると考えているためである。

4.2 ノウハウ情報の蓄積

4.2.1 入力項目

ノウハウ情報の入力項目には障害原因解析の結果を用いる。その解析結果に加え、同様の障害を引き起こさないために必要なノウハウとそのノウハウを提示する必要か判断する範囲や箇所を、復旧にあたった管理者で判断し、以下の5つの項目にまとめて蓄積する。

- 障害原因箇所
障害の原因として障害原因解析によって提示された箇所。
- 障害原因操作
障害復旧時に運用管理ツールの操作履歴を確認し、障害を発生させるきっかけであると判断された操作。
- 類似度推定範囲
障害原因箇所の依存関係の中で、障害に関与していると考えられる範囲。
- 障害発生理由
障害原因操作が障害を引き起こした理由。
- 障害理由箇所
障害発生理由が含まれる箇所。

これらの項目の利用目的を図4.2に示す。障害原因操作に該当する操作が入力されたタイミングで、障害原因箇所、障害理由箇所と共に障害発生理由を注意喚起として操作の実行前に提示する。操作の実行前に検討する機会を設けることにより、システムを熟知していない管理者の運用操作を支援する。

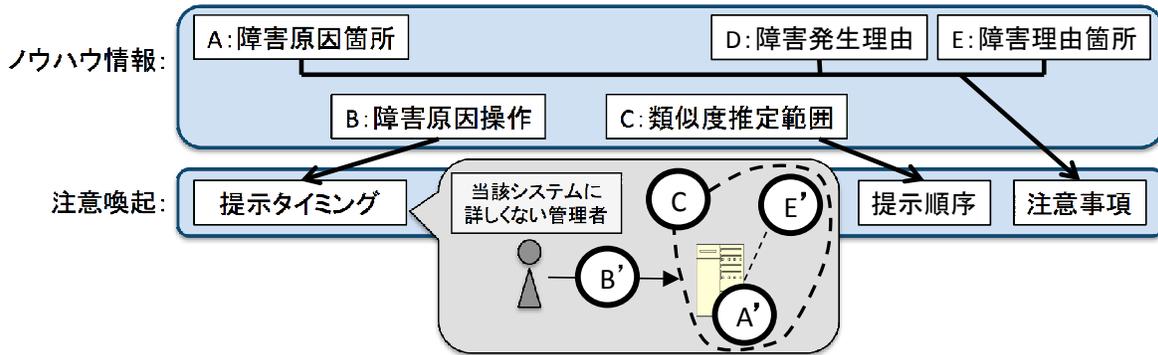


図 4.2: 各項目の利用目的

4.2.2 ノウハウ情報項目の表現形式

文献 [5] の森らの研究では，システム構成情報を解析するため，システムを構成する計算機や周辺機器の情報をクラス分けしている．クラス分けされた構成情報をオブジェクトと呼び，管理者によってシステムを構築する際に設定される．各オブジェクトは属性を持ち，共通の属性をもつものを1つのクラスとして分類する．さらにオブジェクトを一意に定義できる属性を主属性とする．これらのオブジェクト単位で依存関係を抽出する手法を提案している．

表 4.1: クラス分類の例 [5]

クラス	該当情報	主属性	属性
Host	ホスト情報	ホスト名	OSの種類 バージョン
Dir	記憶装置上のデータ	ホスト名 パス	
Disk	物理的記憶装置 (仮想ディスク)	ホスト名 ディスク名	FS ファイルサイズ
Serv	提供するサービス	ホスト名 サービス名 ポート	ソフト名 バージョン
Tape	磁気テープ	ホスト名 メディア	メディアの種類 サイズ

本支援手法においてもこの手法のクラス分けを用いることで，障害が発生した箇所だけでなく，障害が発生した箇所と同一の構成情報を保持している他のシステムにおいても同

じノウハウ情報を利用する事を可能としている。これにより、違う箇所で同じ障害が生じる危険性がある操作が行われた場合、同じ内容のノウハウ情報をそれぞれのシステム毎に別途定義する手間を回避している。

以下に本支援手法で用いるクラス分けの定義を示す。これらのクラス分けを用いてノウハウ情報を構成する5つの項目の入力方法と表現形式について説明する。

表 4.2: 本手法で用いるクラス分類

クラス	該当情報	オブジェクト (主属性)	オブジェクトタイプ (属性)
Dir	記憶装置上のデータ	ホスト名 パス	
VMDir	仮想上のデータ	ホスト名 パス	
Disk	物理的記憶装置	ホスト名 ディスク名	メーカー 製品
VMDisk	仮想記憶装置	ホスト名 ディスク名	ハイパーバイザー バージョン
Network	通信 プロトコル	依存先の MAC アドレス	プロトコル ホップ数

- 障害原因箇所

ノウハウを提示する際、障害原因となり得る箇所が一意に識別できる必要があるため、障害原因解析の結果提示されたオブジェクトをそのまま入力する。

ID : < 障害原因オブジェクト >

- 障害原因操作

今日のデータセンターは、前述しているとおり、大規模化が進んでいるため、サーバの設定に運用管理ツールを用いることが一般的となっている。そのため、本稿でもそれらの運用ツールが用いられることを想定する。扱う機器の違いによって異なるツールが用いられるため、データセンター内で用いられているツールを一意に識別するためのツールIDとそれぞれのツールの操作を一意に識別するツール別操作IDの組み合わせによって各操作を識別する。

ID : < ツールID > < ツール別操作ID >

- 類似度推定範囲

障害を起こした運用操作が別のシステムに対して実行された際、同様の障害が起こると推定するための指標となる範囲。復旧作業にあたった管理者が推定に必要なだと判断した範囲を選択することで入力する。

ID : <オブジェクト 1 >-<オブジェクトタイプ 1 > . <オブジェクト 2 >-<オブジェクトタイプ 2 >

- 障害発生理由

障害が発生した理由は障害の復旧作業にあたった管理者によって推測する部分であるため、管理者によって自由記述で入力される。

- 障害理由箇所

障害原因箇所と同様の理由から一意に識別できる必要がある。そのため、管理者によって障害発生理由が含まれるオブジェクトの ID を選択することで入力する。障害発生理由が復旧作業時に不明である場合は '0' を入力する。

ID : [<オブジェクト> | '0']

4.3 ノウハウ情報の提示

4.3.1 提示内容の最適化

ある操作が入力された際、過去にその操作によって発生した障害事例が複数あった場合、異なる障害発生理由によって大量のノウハウ情報が提示されることが考えられる。このようなノウハウ情報を提示する必要がある操作のことを、本稿では以後 提示対象操作 と呼ぶ。提示対象操作に対して出力されるノウハウ情報は、操作が行われたシステムとは異なるシステム上で発生した障害に関するノウハウ情報が多分に含まれているため、ノウハウ情報が提示されたシステム上でノウハウ情報と同様の障害が必ず起きるとは限らない。そのような大量のノウハウ情報をただ闇雲に提示するだけでは、障害再発可能性の検討支援と呼ぶには不十分であるため、提示前に障害再発可能性が無いものを提示対象から外し、再発可能性が高いものを上位に選出する必要がある。

本節では、前説で定義したノウハウ情報を提示する際の提示順序を決定するためのアルゴリズムについて説明する。ノウハウ情報の提示順序は、提示対象操作が入力されたシステムに依存するため、提示対象操作が入力される度に行われるものとする。

ノウハウ情報の提示順序を決定するための重み付けの方法として、提示対象操作が入力されたシステムと、各ノウハウ情報に含まれる類似度推定範囲内の各オブジェクトを比較することで類似度を算出し、類似度が高いものほど障害再発可能性が高いものと判断し、上位に提示する。以下に類似度算出のアルゴリズムを示す。

```

1: foreach(提示対象操作と障害原因操作が一致するノウハウ情報)
2: {
3:   if(障害理由箇所が類似度推定範囲に含まれている &&
4:     障害理由箇所に対応する箇所のオブジェクトタイプが一致しない)
5:     (類似度) = 0;
6:   else
7:     {
8:       foreach(類似度推定範囲内の全オブジェクト)
9:         {
10:          if(オブジェクトID == 操作箇所の対応するオブジェクト)
11:            (一致率)++;
12:          else
13:            {
14:              (オブジェクトタイプの重み) == 0.9 / (オブジェクトタイプの個数);
15:              foreach(各オブジェクトが保持するオブジェクトタイプ)
16:                {
17:                  if(オブジェクトタイプID == 対応するオブジェクトのオブジェクトタイプID)
18:                    (一致率) += (オブジェクトタイプの重み);
19:                  else if(Networkオブジェクト)
20:                    continue;
21:                  else
22:                    break;
23:                }
24:              if(Dirオブジェクト || VMDirオブジェクト)
25:                (一致率) += 0.45;
26:            }
27:         }
28:       (類似度) = (一致率) / (類似度推定範囲内のオブジェクト数);
29:     }
30: }

```

図 4.3: 類似度推定アルゴリズム

提示対象操作が行われたシステムの各オブジェクトとノウハウ情報の類似度推定範囲内の対応する各オブジェクトを一つずつ比較する（1行目）。まず、ノウハウ情報の障害理由箇所にあたるオブジェクトの比較を行い、障害理由箇所と対応するオブジェクトが存在するにも関わらずオブジェクトタイプが一つも一致しない場合、そのノウハウ情報は類似度0とし、提示対象からはずす（3～5行目）。それ以外のオブジェクトは一つずつオブジェクトを比較し一致率を加算していく。比較するオブジェクトのオブジェクトIDが一致した場合、ノウハウ情報が蓄積された箇所のオブジェクトと同一の個体であるため、一

致率を 1 加算する (10~11 行目)。個体が違うオブジェクトはオブジェクトタイプ ID を比較し、一致した数だけ “0.9 / (オブジェクトタイプの個数)” をオブジェクトタイプの重みとして加算 (14 行目) し、オブジェクトの一致率を算出 (15~25 行目) するのだが、オブジェクトのクラスによって一致率の算出方法が異なる。以下に各クラスのオブジェクトタイプ ID の比較方法を示す。

- Disk クラス, VMDisk クラス

ディスククラスはメーカーが異なる場合、製品が一致することはない。仮想ディスククラスも同様にバージョンはハイパーバイザーが一致しなければ比較する意味が無いため、これら二つのクラスは上位のオブジェクトタイプから順に一致率を加算していき、一致しなければ、そのオブジェクトタイプより下位のオブジェクトタイプ ID は全て一致率 0 とする。

- Network クラス

ネットワーククラスのオブジェクトタイプはそれぞれ独立な ID であるため、それぞれ個別に ID を比較することで一致率を加算する。

- Dir クラス, VMDir クラス

ディレクトリクラスと仮想ディレクトリクラスはオブジェクトタイプが存在しないため、これらのクラスのオブジェクトのオブジェクト ID が一致しない場合、オブジェクトタイプ ID の一致率を 0.45 とする。

全てのオブジェクトタイプ ID を比較し終わったあと、一致率の合計を比較したオブジェクト数で割ることで類似度とする (28 行目)。

4.3.2 ノウハウ情報提示画面

ノウハウ情報の提示は管理者の支援であるため、管理者にとって負担であってはならない。図 4.4 にノウハウ情報提示画面の例を示す。入力された運用操作によっては大量のノウハウ情報が提示されることも考えられるが、類似度の順に並べ替え、上位の 2 つの情報が提示されている。提示可能なノウハウ情報が 3 つ以上ある場合、下部の “さらにノウハウ情報を読み込む” の文字をクリックしてさらに下位のノウハウ情報を提示する仕様にする。システムを熟知した管理者の操作時の負担を最小限に抑えと共、当該システムに慣れていない管理者の熟練度に応じて柔軟な利用が可能である。

この画面で提示されているノウハウ情報は過去の障害事例であり、入力された提示対象操作に対して同様の障害が再発する可能性があるとして出力しているが、その操作時に限らず、普段の運用操作の中でこれらのノウハウ情報を閲覧することで、構成が同じ他のシステムでの運用を行う際にその内容を活かせることも期待している。また、提示されてい



図 4.4: ノウハウ情報提示画面

るノウハウ情報の中には、障害を復旧したが、その理由が不明であった場合が含まれていることがある。復旧作業を行った管理者がわからなかった障害発生理由を障害事象として入力して提示することで、障害復旧後にその障害に関するノウハウの共有支援を行うことも可能である。

第5章 支援システムの動作例

前章で述べた提案手法の例を挙げ、ノウハウ情報の順位付けに関する実験を行った。その結果について述べる。

5.1 ノウハウ情報の具体例

5.1.1 想定する環境

本節では、シミュレーションで想定するシステム環境について説明する。

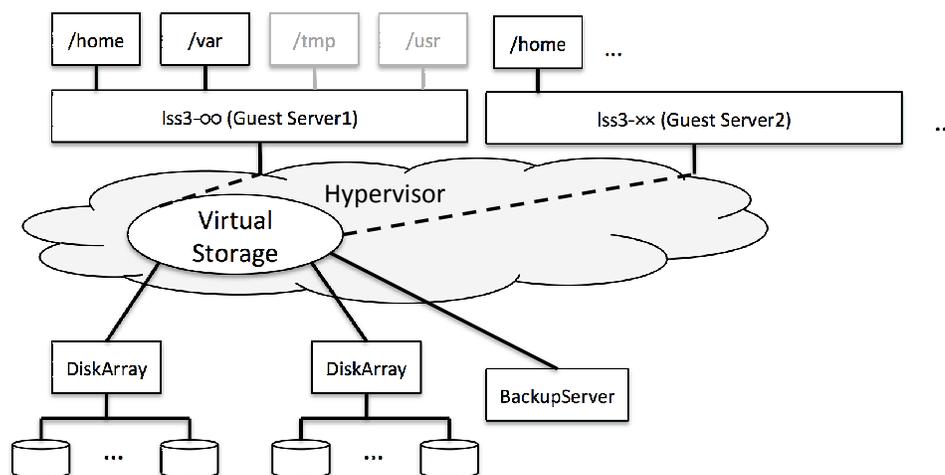


図 5.1: シミュレーション環境概要図

図 5.1 のシステムは学内システムの運用仕様に基づいて作成した例である。各研究室で利用されている lss3 のサーバからはローカルのディスクを記憶領域として利用しているかのように動作しているが、ローカルのディスクは仮想端末を経由してリモートのディスクをマウントしている。このリモートのディスクは複数のディスクアレイ装置から構成されており、また、ディスクの容量を複数のサーバで共有しているため、その構成は複雑なものとなっている。図 5.2 にシステムの図をオブジェクト化した図を示す。

ディスクアレイのオブジェクトを仮想上で一つの仮想ディスクとしてオブジェクト化し、このオブジェクトをゲストサーバ毎に分割して利用しているため、それぞれの仮想ディレ

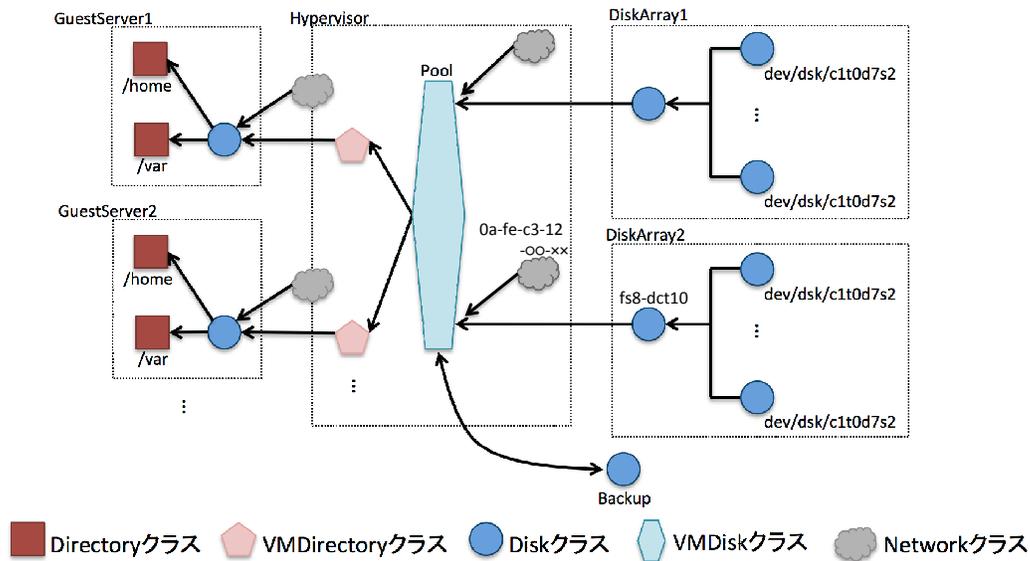


図 5.2: シミュレーション環境構成図

クトリ用のオブジェクトを設けている。また、ディスクアレイとハイパーバイザー間、ハイパーバイザーとゲストサーバ間はネットワークで繋がれている。そのネットワークの違いも把握するため、ネットワークを介する依存関係グラフの先にはネットワークオブジェクトも接続している。

5.1.2 障害事案とノウハウ情報

本節では、学内システムで過去に起こった障害案件を基にした事例について説明する。新たにシステムに加えたディスクアレイ装置に対し、セットアップを行っていたところ、運用操作が実行されたディスクアレイ装置と仮想マシンの間あったスイッチの VLAN 設定との連携により、そのスイッチとの間でループを起し、仮想マシンを利用していた全てのホストがサービスを利用できなくなる障害が発生した。今回の事例では仮想マシンとディスクアレイ装置との接続にスイッチを介していたため、その影響が広範囲に及んでしまった。この障害のノウハウ情報は以下ようになる。これらのノウハウ情報に含まれる項目の箇所を図 5.3 に示す。

今回の事案では、セットアップを行っていたディスクアレイ装置と仮想マシンの間にスイッチを経由していたため、今回の障害が生じた。そのため、「ディスクアレイ装置と仮想マシンの間に経路するノードが多い場合、ループによって障害が生じる危険性がある。」というノウハウが障害発生理由となる。その後、新しいディスクアレイ装置が導入される際など、同様のセットアップが必要となった際、別のシステムであってもこのノウハウ情報を提示することで、操作による障害の再発を防ぐとともに、そもそも当該操作だけでは

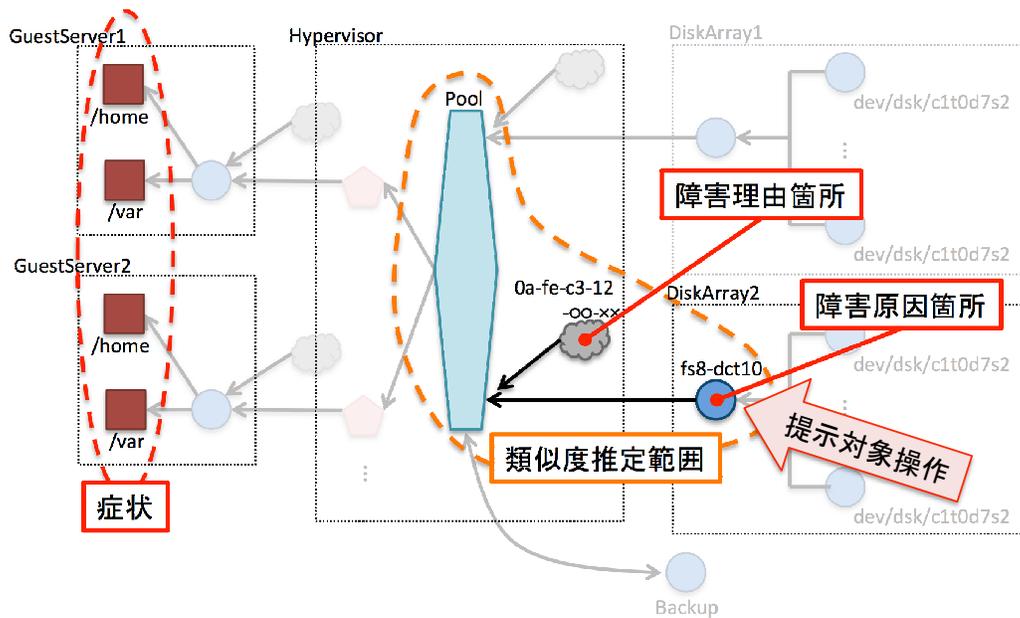


図 5.3: 障害復旧時の注目箇所

同様の障害が再発しないよう，障害理由箇所となっているスイッチの除去といった対策も可能となる．

5.2 ノウハウ提示順序に関する実験

前節で取り上げた障害の類似度推定範囲を用い，同様の障害原因操作に対して複数のノウハウ情報が蓄積されていた場合，提示対象操作が行われたシステムの違いによるノウハウ情報の提示順序の違いを検証した．本節ではその実験の結果を示す．

5.2.1 想定する環境

前説の事案で扱った障害の類似度推定範囲に含まれるオブジェクト，仮想ディスク，ネットワーク，ディスクアレイ装置と同じ構成を持った，オブジェクト ID が異なる二つのシステム，システム 1 とシステム 2 のオブジェクトタイプをそれぞれ表 5.1 と表 5.2 に示す．ディスクオブジェクトのオブジェクトタイプはメーカーと製品，仮想ディスクのオブジェクトタイプはハイパーバイザーとそのバージョン，ネットワークオブジェクトのオブジェクトタイプはプロトコルとホップ数のそれぞれ二種類ずつとする．

これら二つのシステムに対して同様の提示対象操作を行ったとき，ノウハウ情報が大量に蓄積されていた場合，システムの違いがどのように影響するか比較を行った．また，蓄

表 5.1: 提示対象箇所のシステム 1

システム	Disk		VMDisk		Network	
	Maker	Product	Hypervisor	Version	Protocol	Hop-count
1	HGST	MegaScale	ESXi	5.5	nfs	1

表 5.2: 提示対象箇所のシステム 2

システム	Disk		VMDisk		Network	
	Maker	Product	Hypervisor	Version	Protocol	Hop-count
2	WD	WD blue	ESXi	5.5	iSCSI	0

積するノウハウ情報の種類を増やしたときに提示されるノウハウ情報の上昇量の比較を行った。

5.2.2 異なるシステムにおける提示内容の比較

実際のデータセンターで運用されているシステムでは様々なメーカーの製品が混在していたり、複雑なネットワークが組み立てられていることが考えられるが、本節の実験では提示結果をわかりやすく比較するため、障害理由箇所の一致率が0になった場合は考えないものとし、各オブジェクトタイプ集合の要素が二種類ずつしか存在しないシステムを想定する。

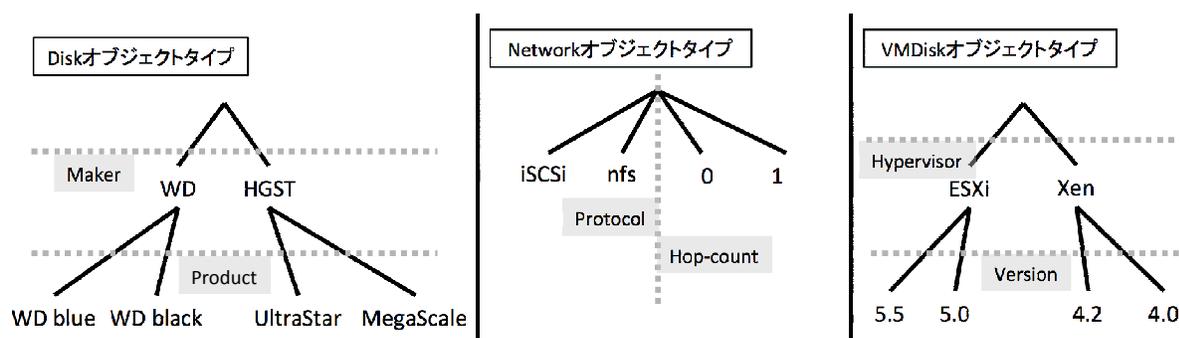


図 5.4: オブジェクトタイプの各集合が持つ要素

障害原因操作と、これらの要素の組み合わせ $64 ({}_4C_1 \times {}_2C_1 \times {}_2C_1 \times {}_4C_1)$ 通りのそれぞれと類似度推定範囲のオブジェクトが一致するノウハウ情報一つずつ蓄積されている環境を想定する。システム1とシステム2上で障害原因操作と同様の提示対象操作を実行した場合、類似度が0になり提示されないノウハウ情報はそれぞれ4項目であった。それぞれ

表 5.3: システム 1 に提示するノウハウ情報のオブジェクトタイプ

提示 順序	Disk		VMDisk		Network		類似度
	Maker	Product	Hypervisor	Version	Protocol	Hop-Count	
1	HGST	MegaScale	ESXi	5.5	nfs	1	0.9
2	HGST	Ultrastar	ESXi	5.5	nfs	1	0.75
3	HGST	MegaScale	ESXi	5.5	iSCSI	1	0.75
4	HGST	MegaScale	ESXi	5.5	nfs	0	0.75
5	HGST	MegaScale	ESXi	5.0	nfs	1	0.75
6	WD	WD black	ESXi	5.5	nfs	1	0.6
7	HGST	Ultrastar	ESXi	5.5	iSCSI	1	0.6
8	HGST	Ultrastar	Xen	4.2	nfs	1	0.6
9	HGST	Ultrastar	ESXi	5.0	nfs	1	0.6
10	HGST	MegaScale	ESXi	5.5	iSCSI	0	0.6

表 5.4: システム 2 に提示するノウハウ情報のオブジェクトタイプ

提示 順序	Disk		VMDisk		Network		類似度
	Maker	Product	Hypervisor	Version	Protocol	Hop-Count	
1	WD	WD blue	ESXi	5.5	iSCSI	0	0.9
2	WD	WD blue	ESXi	5.5	iSCSI	1	0.75
3	WD	WD blue	ESXi	5.5	nfs	0	0.75
4	WD	WD blue	ESXi	5.0	iSCSI	0	0.75
5	WD	WD black	ESXi	5.5	iSCSI	0	0.75
6	WD	WD blue	ESXi	5.0	iSCSI	1	0.6
7	WD	WD blue	ESXi	5.0	nfs	0	0.6
8	WD	WD blue	Xen	4.2	iSCSI	0	0.6
9	HGST	MegaScale	ESXi	5.5	iSCSI	0	0.6
10	WD	WD blue	Xen	4.0	iSCSI	0	0.6

のシステム上で提示されたノウハウ情報，上位 10 項目の類似度推定範囲に含まれるオブジェクトの一覧を表 5.3 と表 5.4 に示す。

システム 1，システム 2 はどちらも仮想ディスクのオブジェクトタイプが “ESXi”，“5.5” であるため，オブジェクトタイプに “ESXi” と “5.5” を持ったノウハウ情報が上位に集中しているといった共通点が見られる。しかし，ディスクオブジェクトとネットワークオブジェクトのオブジェクトタイプには相違が見られるため，上位に提示されているノウハウ情報が提示対象操作が行われたシステムの違いによって変化することがわかる。なかでも，システム 1 で 9 番目に提示されているノウハウ情報は，システム 2 ではオブジェクトタイプが一つも一致しないため，システムの差異を細かく反映していることが確認できる。その一方で，システム 1 の 10 番目に提示されているノウハウ情報 10 は，システム 2 で 9 番目に提示されているノウハウ情報と同じものであり，システムの共通するオブジェクトタイプの重みも類似度算出時に反映されていることが分かる。

5.2.3 ノウハウ情報の蓄積量の違いによる提示数の比較

本節では、各オブジェクトタイプ集合の要素数が増えた場合の提示数の違いについて検証する。前節で取り上げたシステム2に対し、各オブジェクトタイプの項目数を一つずつ増やし、提示されるノウハウ情報が持つオブジェクトタイプパターンの増加量の変動を図5.5に、それぞれのオブジェクトタイプのパターンで類似度を算出したときの類似度の割合を図5.6に示す。

各オブジェクトタイプ集合の要素数が増えるほど、ノウハウ情報の類似度推定範囲に入

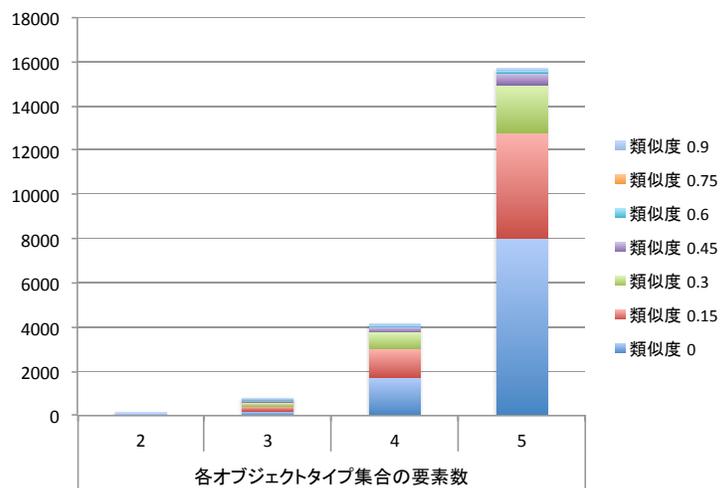


図 5.5: オブジェクトタイプの各項目数別ノウハウ情報提示数

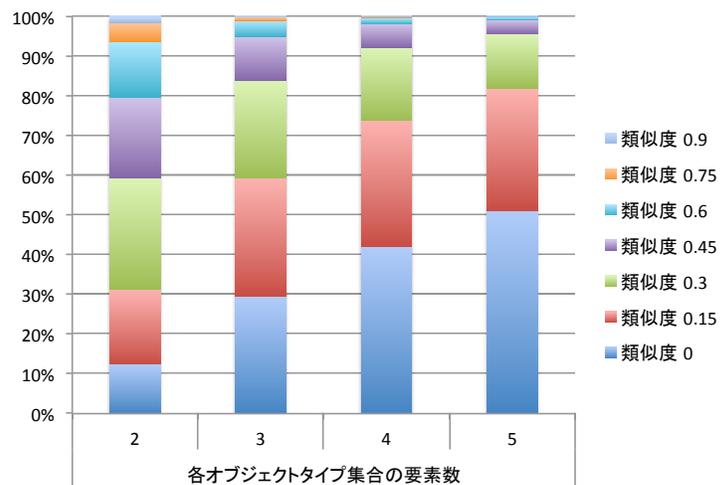


図 5.6: オブジェクトタイプの各項目数別類似度分布

力可能なオブジェクトタイプの組み合わせは増大する．要素数が5個まで増えると，そのパターン数は15625 (${}_{25}C_1 \times {}_5C_1 \times {}_5C_1 \times {}_{25}C_1$) 通りになる．しかし，そのうち，およそ8000通り (51.2%) は類似度が0となり，提示されない．これらの提示されないオブジェクトタイプの割合は各オブジェクトタイプ集合の要素数の増加に伴い増える，さらに，類似度が高く，上位に提示されるオブジェクトタイプのパターンの割合も減少することが確認できる．

第6章 考察

本章では，ノウハウ情報の提示精度，運用支援の有用性，多様化するシステムへの対応の面から提案手法の考察を行う．

6.1 ノウハウ情報の精度

6.1.1 システムとの整合性

本提案手法では，障害復旧時に得たノウハウを蓄積していく手法であるため，運用年数が長くなればなるほど蓄積されるノウハウ情報の量は多くなる．ノウハウ情報は過去の障害例であり，そのときと同様の障害を再発させない目的で提示しているにも関わらず，提示対象操作では起こり得ないノウハウ情報が大量に混ざってしまった場合，混乱を招きかねない．そのため，大量の情報が蓄積されている場合であっても，提示対象操作に合わせてそのシステムにあった情報を提示できる必要がある．

5.2.2 節では，オブジェクトタイプのパターンを網羅するノウハウ情報が一つずつ蓄積されている状況を想定して，二つのシステムに提示した際の比較する実験を行った．どちらのシステムもオブジェクトタイプが一致するノウハウ情報が上位にきている．仮想ディスクオブジェクトが共通しているため，どちらの提示ノウハウ情報も上位にバージョン 5.5 の ESXi が提示され，両方のシステムで提示されているノウハウ情報も混じっているが，他のオブジェクトが異なるため，それぞれのシステムに近いノウハウ情報が上位に提示されていることがわかる．この実験では，類似度推定範囲に対応するオブジェクトが一致しなかった場合，4.3.1 節で説明したアルゴリズムによって類似度を算出している．このアルゴリズムでは，オブジェクト ID が一致しなかった場合，一致率の最大値を 0.9 とし，オブジェクトタイプ ID を一つずつ比較することで最終的な類似度を計算している．オブジェクトタイプ ID の重みに関しては，細かい値を割り振る検討の余地が残されているが，実験結果から分かる通り，本手法で提案しているアルゴリズムによって提示対象操作が行われたシステムに合わせた精密な提示がなされていることが確認できた．

6.1.2 類似度推定範囲によるノウハウ情報の絞込み

5.1.1 節で取り上げた，実験で想定した環境では，ディスクアレイ装置で起こった障害について扱っているが，その障害理由箇所はスイッチであった．そのため，ディスクアレ

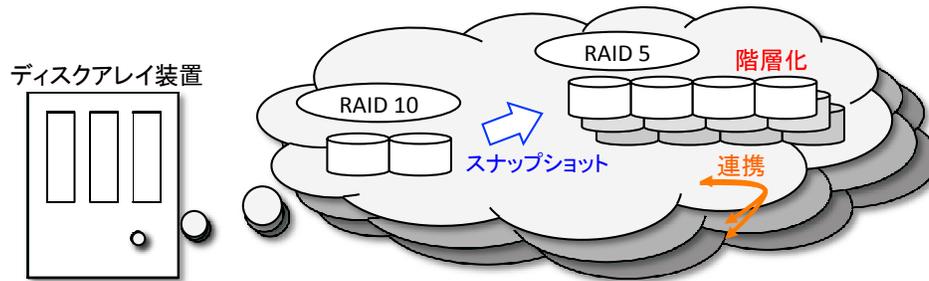


図 6.1: ディスクアレイ装置の設定例

イ装置は障害原因箇所であったにも関わらず，前節で紹介したノウハウ情報を提示すべきかどうかを判断する際に，その内部構成は気にする必要がない．そのため，類似度推定範囲にはディスクアレイ装置は一つのディスクオブジェクトで表現されていた．しかし，実際にはディスクアレイ装置の内部構造はとても複雑な依存関係を持っている場合がある．図 6.1 にディスクアレイ装置の内部構造の一例を示す．

ディスクアレイ装置の内部には複数のハードディスクがあり，これらのディスクでは RAID が組み立てられている．さらに，複数のディスクで一つの仮想ディスクを形成している．また，その仮想ディスクを階層化し，データの利用頻度によって保存領域が分けられている．スナップショットによって差分データが別の場所に保存されているため，上位レイヤーから一つの記憶領域として認識されているディスクオブジェクトでも，複数のディスクオブジェクトに細かく分割されていることがディスクアレイ装置の内部では一般的に行われている．さらに，このような細かいオブジェクトの依存関係はストレージによって異なる．このような依存関係の違いによって生じる障害であった場合，下位レイヤーで細かく分割されているオブジェクトを類似度推定範囲に含めることで，4.3.1 節で説明した類似度推定アルゴリズムによって，下位レイヤーのシステム構成が類似したノウハウ情報を上位に提示可能である．同じディスクアレイ装置で起きた障害に関するノウハウ情報であっても，障害復旧にあたった管理者が注目すべきだと判断した範囲をノウハウ情報の順位づけに反映することで，ノウハウ情報を提示された管理者にも，システムを熟知した管理者が注目すべきと判断した箇所に注意を向けさせる支援が可能である．

6.2 運用支援

6.2.1 障害発生理由の発見

大規模なデータセンターでは，1.1 節で述べた通り，そのシステム全体を把握することが困難であることから分散管理が一般的になっている．しかし，システムが大規模なため，障害発生時にはその影響が管理者の担当範囲を超えて波及することも少なくなく，運

用操作における障害発生リスクは増加している。また、複雑なシステムでは操作が行われた場所以外に障害に関与する要素、障害発生理由が存在することがあるため、運用操作時にその全てのリスクを考慮することは困難であった。

5.1.1 節の例で述べたディスクアレイ装置のセットアップでも、障害理由箇所として、仮想ディスクとの間のスイッチがあげられていた。ディスクアレイ装置のセットアップ時、管理者は誤った運用操作を加えたわけではない。また、ネットワーク上に配置されていたスイッチの設定にも問題があったわけではない。しかし、ストレージとそれをマウントしている仮想ディスクの間に VLAN の特定の設定が行われたスイッチを介することで、セットアップ中の操作によってループが生じ、通信できなくなる障害が生じた。

本学ではディスクアレイ装置の運用をしている管理者とネットワークの管理者は別であるため、管理担当外の仕様に気づくことは困難である。また、スイッチの VLAN の設定には依存関係が存在しないため、他のディスクアレイ装置で同様の操作が行われた際、今回扱った例と同じ障害が起こるかどうかをエキスパートシステムで推論することは困難である。また、同じ操作によって障害が起こるリスクは複数ある場合も考えられるが、これらが起こる可能性の検討は管理者によって行われるべきである。そのためには、3.2 節で取り上げた様なノウハウの共有をサーバ運用に適した形で行う必要がある。操作が行われたタイミングでそのシステム上で障害が再発する可能性が高いリスクを管理者に提示する本手法は、安定した運用を実現するうえで理想的な手法であるといえる。

6.2.2 管理者の教育

4.2.1 節で取り上げたノウハウ情報の入力項目は、障害復旧時に復旧作業を担当したシステムを熟知した管理者によって蓄積されることを想定している。管理者によって入力される項目は障害原因操作、類似度推定範囲、障害発生理由、障害理由箇所の 4 項目で、それぞれ熟考して選択する必要がある。一見管理者の負担が大きく思われがちである。しかし、大規模なデータセンターでは同じ構成のシステムが複数あり、これらのシステム全てで同じノウハウ情報を提示可能である。また、そのシステムを運用する全ての管理者が閲覧可能であるため、一つ一つの障害事例における教育コストを一回のノウハウ情報蓄積に集約していることになる。

データセンターでは慢性的な人材不足が続いており、同じ構成の他のシステムを扱う機会の増加が予想される。同じ構成であるため、同様のノウハウ情報は提示されるが、他のノウハウ情報との類似度比較によって提示順序が決められるため、あるシステムで特定の提示対象操作が行われた場合、確実に障害が再発する状況であるにも関わらず、当該ノウハウ情報が上位に提示されない場合も考えられる。このような場合でも、他のシステムで当該ノウハウ情報を閲覧したことがあれば、提示対象操作が入力されたタイミングで当該ノウハウ情報が提示されなかったとしても管理者によって障害再発リスクに気づくことが可能である。

本提案手法は障害の再発を止めるのではなく、管理者のノウハウ共有の支援を行ってい

るため、実際には提示対象操作によるノウハウ情報の閲覧回数以上の効果があり、長期的なデータセンターの安定運用が実現可能である。

6.3 多様な機器への対応

データセンターでは様々な機器が混在している。また、長期にわたり運用されているデータセンターでは、システムのリプレイスやバージョンアップ等によって、蓄積されるノウハウ情報の各オブジェクトタイプ集合の要素数が増加することが想定される。このような状況でも、各システムのオブジェクトタイプに合わせた的確なノウハウ情報を提示できる必要がある。

5.2.3 節では、各オブジェクトタイプ集合の要素数を増やした際に、提示されるノウハウ情報のパターンの増加量を検証する実験を行った。オブジェクトタイプの要素数が増加するに連れ、ノウハウ情報の類似度推定オブジェクトのパターンが指数関数的に増えている。しかし、その類似度の割合の分布を見ると、上位に提示されるパターンの割合は減少している。このことから、上位に提示されるノウハウ情報の絞込みには大きな影響はないといえる。また、今回の実験ではオブジェクトタイプの組み合わせのそれぞれにノウハウ情報が一つずつ蓄積されていることを前提としているため、実際にはさらにノウハウ情報の提示数を削減されることが考えられる。さらに、障害理由箇所が一致しない場合、類似度を0にするルールを適用していないため、ディレクトリオブジェクトと仮想ディレクトリオブジェクト以外が障害理由箇所となっていた場合、同一パターン毎の提示されるノウハウ情報の絶対数は減少する。そのため、機器やバージョンの多様化にも対応できることが実験結果からわかる。

第7章 おわりに

7.1 まとめ

近年、データセンターの需要の拡大に伴い大規模化が進んでいる。一人の管理者がそのような大規模なシステムの全体像を把握する事は困難であるため、多くのデータセンターでは分散管理を行うことが一般的となってきた。担当を分けることにより、各管理者の負担を削減することができる一方で、各システムの詳細はそれぞれの担当に依存しがちになる傾向にある。その上、運用管理者の数は慢性的に不足していることもあり、担当者の多忙時や異動の直後など、熟知していないシステムの運用を行わざるを得ない状況などが発生した際、当該システムの仕様を知らないがために障害が発生するリスクが生じる問題があった。

そこで本稿では、知らなければ障害を起こしかねない設定上のポリシーに注目した。それらの連携によって生じる障害事例をノウハウ情報として蓄積し、管理者の運用操作に合わせてそのノウハウ情報を提示する事で、障害発生リスクに対する注意喚起を行い、運用操作と他の設定や仕様との連携障害を予防する支援手法の提案を行った。

本支援手法により、以下の様な利点が得られた。

- 障害事例の提示による効率的なノウハウ共有

障害発生前に過去の事例を提示することで、ナレッジベースなどの既存の手法では困難であった他の設定や仕様との連携障害の再発予防を可能にした。

- 担当外の管理者の教育

障害が発生した際、障害発生から復旧までに関わった管理者しか知り得なかったノウハウを、ノウハウ情報として蓄積しておくことによって必要な管理者にうまく伝達することに成功した。

以上のように、本稿で提案した手法は、運用操作の実行前に障害発生リスクを提示することを可能にした。これにより、管理者は提示されたリスクを改めて検討する余地が生まれ、知らなかったがために起こる障害を未然に防ぐことができる。また、得られるノウハウ情報はそれぞれの管理者の担当に依存しないため、システムの全体像を把握する必要なく、安定した運用を実現できる。

サービスを止める事なく提供し続けるデータセンターにとって、その可用性の向上は重要な案件である。今後も情報サービスの需要の増大に伴って、データセンターの大規模化

が予想される情報社会において、このような支援は大変重要であり、大きな意味を持つといえる。

7.2 今後の課題

今回の実験では、オブジェクトIDが一致しないオブジェクトに対し、オブジェクトタイプの比較を行った際、オブジェクトタイプIDがすべて一致するオブジェクトに関しては、その類似度を0.9とした。このアルゴリズムによってシステムに合わせた正確な提示が行えることが確認できたが、各管理者に合わせて提示の方法を変えるためにベイズ推定を用いた動的なオブジェクトタイプの重みの更新を行うことにより、さらなる精度の向上を目指すことが期待される。

また、今後は、隠れマルコフモデルを用いて、設定上取得できない依存関係オブジェクトの推定を行う事で、設定ポリシー上難しかった箇所を支援の範囲とする発展が考えられる。また、提示したノウハウ情報が役立ったかどうかを判定する機構を取り入れることによって、それらを学習することで運用するデータセンターに合わせて提示精度を向上させる発展も考えられる。

謝辞

本論文の作成にあたり，終始適切な助言を賜り，また丁寧に指導して頂いた北陸先端科学技術大学院大学情報社会基盤研究センター 敷田幹文教授に深く感謝致します．情報社会基盤研究センターの技術職員の方々には貴重なご意見をいただきました．ありがとうございます．また，坂下幸徳さんを始め研究室のみなさんにはゼミ等の議論の中で刺激と示唆を得ることができ，精神的にも支えられました．ありがとうございました．

研究業績

口頭発表及び論文集掲載(査読有り)

西野博之, 坂下幸徳, 敷田幹文: 大規模データセンターにおける運用ノウハウ共有による障害再発防止方式の提案, 第6回情報処理学会インターネットと運用技術シンポジウム(IOT2013) 論文集, pp. 87-94(2013)

参考文献

- [1] IDC Japan, 「国内のデータセンター数は減少、再編や統合へ。」, <http://publickey1.jp/blog/10/idc_japan.html>(2013/11/14 アクセス).
- [2] 宮澤雅典, 西村公佐, サービス品質管理を考慮した障害原因解析手法の提案, ICM, 情報通信マネジメント 110(466), 7-10, 2011-03-03.
- [3] 永井崇之, 名倉正剛, 迅速な危機回復を目的とする大規模向け障害原因解析システム, 情報処理学会論文誌, 54(3), 1109-1119, 2013-3-15.
- [4] 登内敏夫, 村田正幸, 潜在的な派生関係を有する障害に対する故障分析手法, 電子情報通信学会論文誌.B, J92-B(8), 1236-1244, 2009-08-01.
- [5] 森一, 敷田幹文, サーバの依存関係を考慮したシステム構成管理の支援法, 情報処理学会論文誌, 46(4), 940-948, 2005-4-15.
- [6] 幾世知範, 榎本真俊, 樫山寛章, 門林雄基, 山口英, 動的依存性グラフを用いた計算コスト削減に関する一考察, 情報処理学会研究報告, [システムソフトウェアとオペレーティング・システム]2011-OS-119(7), 1-8, 2011-11-22.
- [7] 加藤裕, 敷田幹文, 障害予測における最適な障害回避手段の提示法インターネットと運用技術シンポジウム 2012 論文集, 110-116, 2012-12-06.
- [8] 斉藤典明, 組織における知識の共有と継承に関する一考察, 情報処理学会研究報告, GN,[グループウェアとネットワークサービス]2010-GN-77(13), 1-6, 2010-11-18.
- [9] 敷田幹文, 門脇千恵, 國藤進, フローに連携した組織内インフォーマル情報共有手法の提案, 情報処理学会論文誌, 41(10), 2731-2741, 2000-10-15.
- [10] 長田智和, 谷口裕治, 玉城史朗, 大規模分散ネットワーク運用管理システムの提案 情報処理学会研究報告, DSM, [分散システム/インターネット運用技術] 2000(113), 31-36, 2000-12-01.
- [11] 高橋優介, 三杉大輔, 高橋晶子, 笹井一人, 阿部亨, 木下哲男, 能動化された知識の組織化によるネットワーク障害管理支援方式, 情報処理学会研究報告・CSEC,[コンピュータセキュリティ]2010-CSEC-48(5), 1-8, 2010-02-25.

- [12] 丹治直幸, 笹井一人, 北形元, 木下哲男, ネットワーク管理支援システムのための能動的な知識管理・獲得手法全国大会講演論文集 2011(1), 429-431, 2011-03-02.