

大規模災害時における オペレーションシステムの信頼性向上

東日本大震災は、広域かつ大規模な災害であり、さまざまなインフラに大きな影響を及ぼした。同時に、社会的な災害対策の重要性が再認識されることとなった。通信事業者にとって、大規模災害時においても、安定したネットワーク品質を提供することは社会的使命である。ネットワーク運用・保守をサポートするOSSにおいて、災害時にも正確にネットワーク状況を把握し、適切な運用・保守機能を提供することはその使命の1つである。本稿では、OSSにおける災害対策について解説する。

ネットワーク開発部

かがわ こうすけ

香川 康介

くの ゆうや

久野 友也

たむら ひるなお

田村 宏直

たかだ ひさし

高田 久

ふるたに まさのり

古谷 雅典

みなかた のぶや

南方 伸哉

1. まえがき

2011年3月に発生した東日本大震災は、広域かつ大規模であり、甚大な被害をもたらした。通信ネットワークもその例外ではなく、被災地を中心に多数のNE（Network Element）^{*1}の故障、伝送路の切断など大きな被害を受けることとなった。今回の震災において幸いドコモのOSS（Operation Support System）^{*2}は、それ自体に直接的な被害はなかったが、大規模災害時においても安定したネットワーク運用・保守機能を提供するための新たな要件が浮き彫りとなった。

本稿では、大規模災害時におけるOSSの要件を明確化するとともに、その実現方法を解説する。

2. 震災経験がもたらした新たな要件

2.1 課題

(1) NE

東日本大震災時には、被災地を中心に約5,000もの基地局で一時的にサービス中断が発生し、東日本全体においても長期に渡る停電や装置故障が多数発生していた。

また、被災地内の情報連絡、被災地への安否確認により通常時の50～60倍ものトラフィックが発生し、ネットワークを構成する各NEに異常な負荷がかかっていた。その結果、日本全国の各NEではネットワーク全体の輻輳^{*3}を防ぐために、輻輳制御機能が動作する状況となっていた。

(2) OSS

被災時のネットワーク監視状況を図1に示す。

上記ネットワーク状況下において、OSSでは、多数のNEから大量の警報を長時間受け続ける特異な状態に陥っていた。このとき、システムの輻輳やリソース不足が発生し、一部のデータ欠損や処理遅延が起きた。その結果、故障状況の迅速な把握が困難となっていた。

また、多数の基地局で故障や輻輳制御が発生しており、被害状況の把握に必要な故障および輻輳制御状態に関する情報が膨大になっていた。そのため、復旧優先順位の判断など効率的なエリア復旧に向けた対応や、ネットワーク全体の負荷状況を正確に把握することが困難であった。

© 2013 NTT DOCOMO, INC.
本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

*1 NE：電気通信サービスを提供するにあたり、必要となる機能を実現する機能ブロックを指す。具体的には交換機、伝送装置、無線装置等の電気通信装置のこと。

*2 OSS：移動通信網で発生している故障や輻輳の発見とそれに対する制御・措置を

行っているシステムのこと。

*3 輻輳：通信の要求が短期間に集中してNEの処理能力を超え、通信に支障が発生した状態。

(3)ディザスタリカバリ^{*4}

OSSは多数のNEからの警報をリアルタイムで処理する必要があり、そのシステムは多数のサーバから構成される大規模なものである。リアルタイム性を求められる大規模なシステムでは、アプリケーション間通信の伝送路遅延による処理能力劣化を回避するため、運用システムは同一拠点内に構築し、バックアップシステムを別拠点に構築するといったディザスタリカバリを採用している(図2)。

このような従来のディザスタリカバリにおいて、バックアップシステムは通常時、空転運用となるため、設備利用効率が非常に低い。また、運用システムからバックアップシステムへの切替えは、接続する各NEのネットワークをバックアップシステム向けに、一部手動で順次切り替える必要があり業務復旧まで時間を要する。

2.2 要件の明確化

これまでに述べたOSSの災害時における課題から、新たな要件を以下に整理する。

- ①多数のNEから大量の警報を長時間受け続ける特異な状況においてもシステム輻轉してダウンしないこと
- ②故障局の復旧優先順位が判断できる情報を提供すること
- ③ネットワーク全体の負荷状況がわかるように、NEの輻轉制御状態を一元的に管理および表示すること

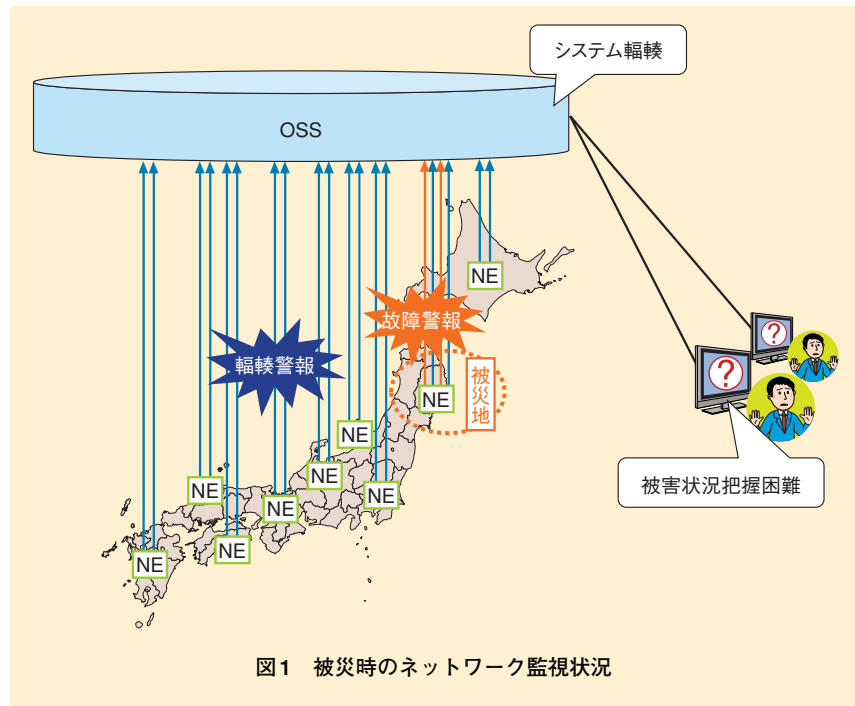


図1 被災時のネットワーク監視状況

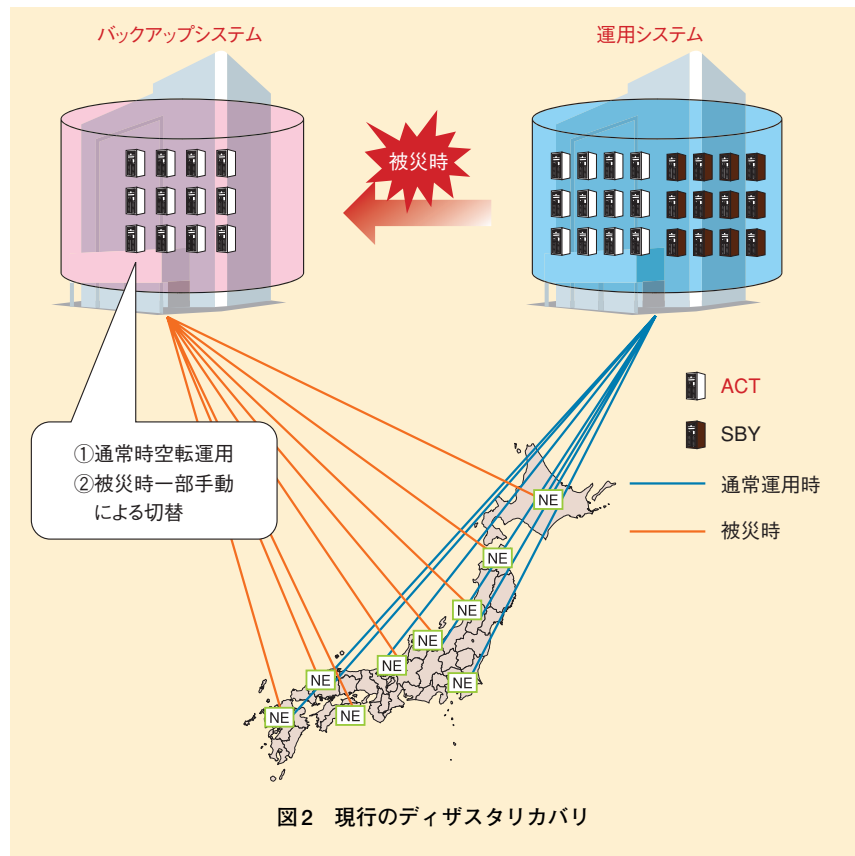


図2 現行のディザスタリカバリ

*4 ディザスタリカバリ：自然災害などで被災したシステムを復旧および修復させること。また、被害を極小化させるための予防措置のこと。

④経済的なディザスタリカバリ実現と速やかに業務を復旧させること

3. OSSにおける災害対策

3.1 OSS 輻輳対策

(1) 従来の輻輳制御と課題

OSSの監視対象NEは全国で約10万程度存在し、1つのサーバに複数NEを収容するシステム構成を採用している。

そのため、単独のNE故障や小規模災害による警報多発による、サーバ全体の処理能力劣化を防ぐために、NE単位での輻輳制御機能を有している。

従来の輻輳制御機能は、通知される警報量をNE単位にリアルタイム

に監視を行い、一定のしきい値を超えた場合には、該当NEからの警報通知を停止させる。しきい値以下となると、該当NEからの警報通知をふたたび起動し、併せてNEの状態取得も行い、OSS～NE間の状態一致化を行う。つまり、短時間で発生する多量警報通知に対するNE単位で行う輻輳制御である。

東日本大震災時のように多数のNEから大量の警報を長時間受け続ける特異な状況において、従来の輻輳制御方式では、警報通知停止解除後のNE状態取得中にも再度、警報が通知され、輻輳制御の発動を繰り返していた(図3)。

このような状況が、サーバ収容配下の多数のNEで発生していたため、結果としてシステムの輻輳やリ

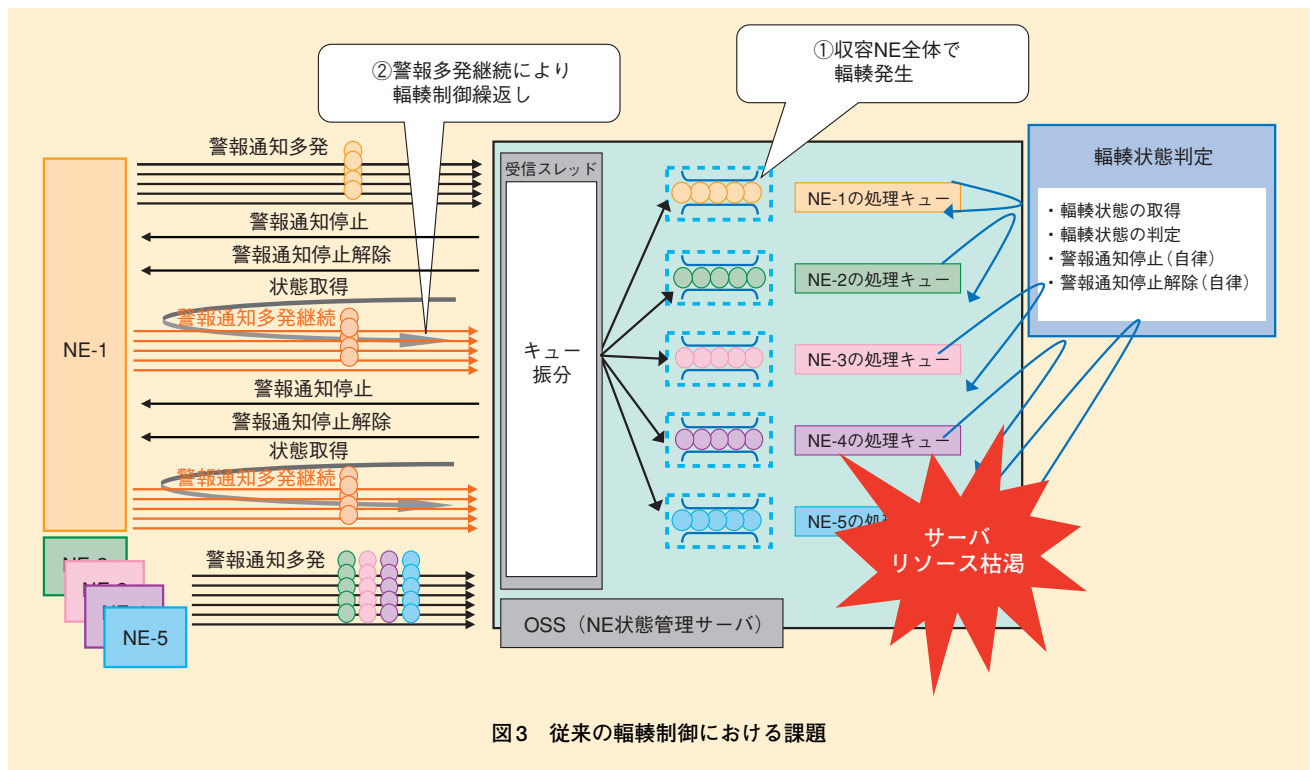
ソース不足が発生した。このような状況を回避できる、大規模な災害を想定した輻輳制御が必要である。

(2) 新たな輻輳制御

前述の課題に対応するため、従来のNE単位での輻輳制御に加えて、複数NEを収容するサーバ単位での輻輳制御を新たに実装することとした。新たな輻輳制御方式を図4に示す。

新たな輻輳制御として以下の2点の機能を実装した。

- ①サーバ収容配下全NEの警報数を監視し輻輳判定する機能
- ②NEからの警報通知に基づく監視方式からOSSからNEへ警報情報をポーリング*5収集する監視方式に切り替える機能



*5 ポーリング：端末からサーバに対して、送信するデータがないか問合せをすること。

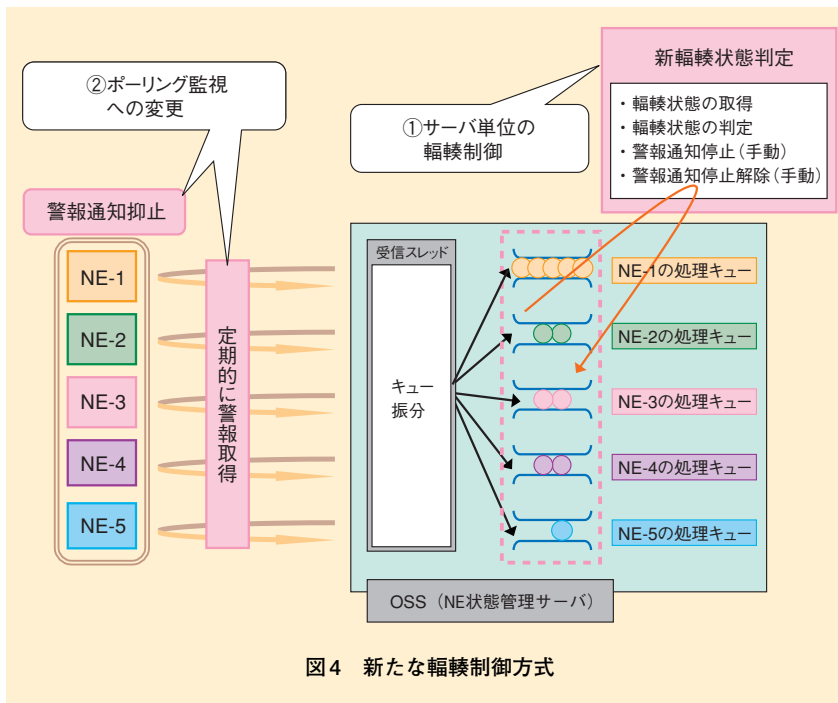


図4 新たな輻輳制御方式

サーバ収容配下全NEを対象とする輻輳判定としたことで、多数のNEで警報が発生しても該当サーバの輻輳を防ぐことが可能となる。また、災害時の監視方式をポーリング方式としたことで、通常監視と比較してリアルタイム性に関しては劣るが、大規模災害時にもOSSの輻輳を確実に防ぐことができ、NE故障状態を確実に取得することが可能となる。これにより、運用・保守者は通信ネットワークの故障情報を確実に把握する事が可能となり、適切なネットワークコントロールが可能となる[1]。

3.2 復旧優先順位の判断情報表示機能

これまでOSSはNEの装置故障に関する情報を提供してきた。しか

し、大規模災害が発生した際の運用・保守に必要な情報は、装置故障に加えて、多数の故障NEのうち、どのNEから復旧させるべきかを判断できる情報が必要である。

そこで、従来から収集しているNEの装置故障情報からサービス中断を伴う故障を視覚的に識別可能とさせた。また、サービス中断を伴う故障の場合には、該当NEの故障により影響を受けているユーザ数を表示するようにした。

サービス影響を受けるユーザ数については、OSSで収集しているトラフィック情報に基づき、以下の手順で行う(図5)。

ユーザ数は在圏プロフィール数を基に算出する。プロフィールを保持しているNEから在圏者数を取得する。次に各基地局やセクタに収容さ

れているユーザ数はトラフィック量に比例すると考え、基地局ごとのトラフィックから在圏者数を按分し、各基地局に収容されているユーザを以下の形で算出する。

影響ユーザ数： α

LAC (Local Area Code)^{*6}単位の在圏者数： β

故障NEのトラフィック数： γ

LAC単位のトラフィック数： δ

$$\alpha = \frac{\beta \times \gamma}{\delta} \quad (1)$$

ある基地局のエリアは異なる周波数で同一エリアをオーバレイさせることや、周辺基地局にてエリアを補完することが一般的である。また、ユーザの利用する端末は、受信可能な周波数が限定されていることがある。このように実際にサービス影響のあるユーザ数については、式(1)に対して、追加考慮が必要であり、下記手順に基づき算出する(図6)。

オーバレイ基地局によって救済されるユーザ数割合と周辺基地局によって救済されるユーザ数の割合を減算する。

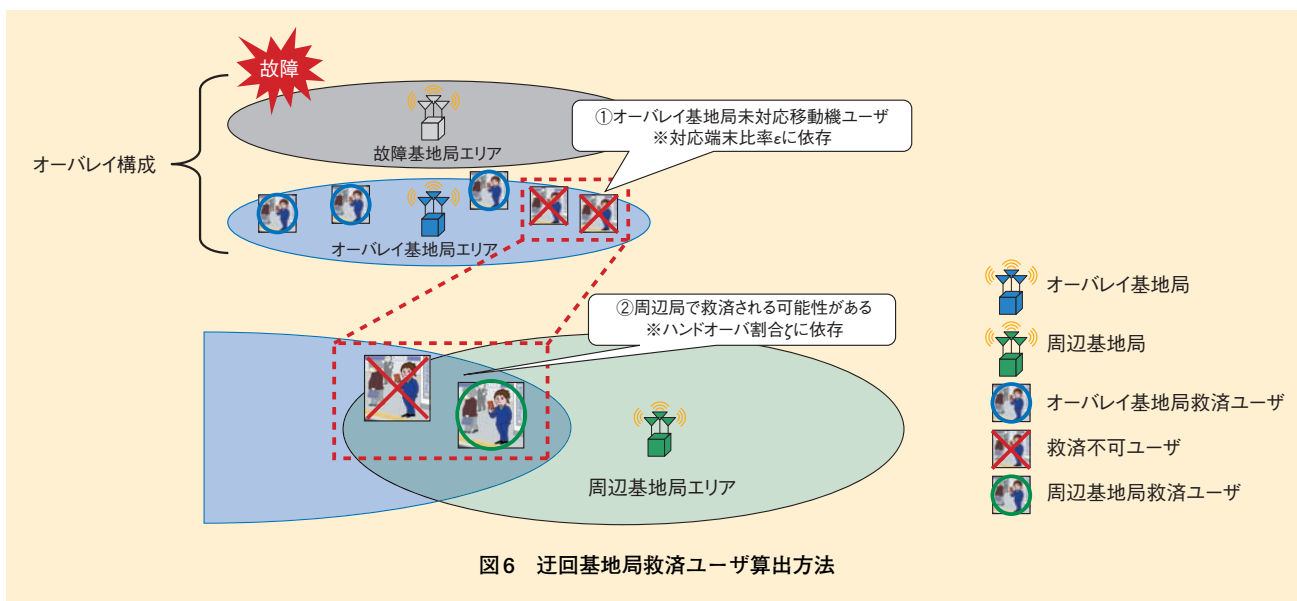
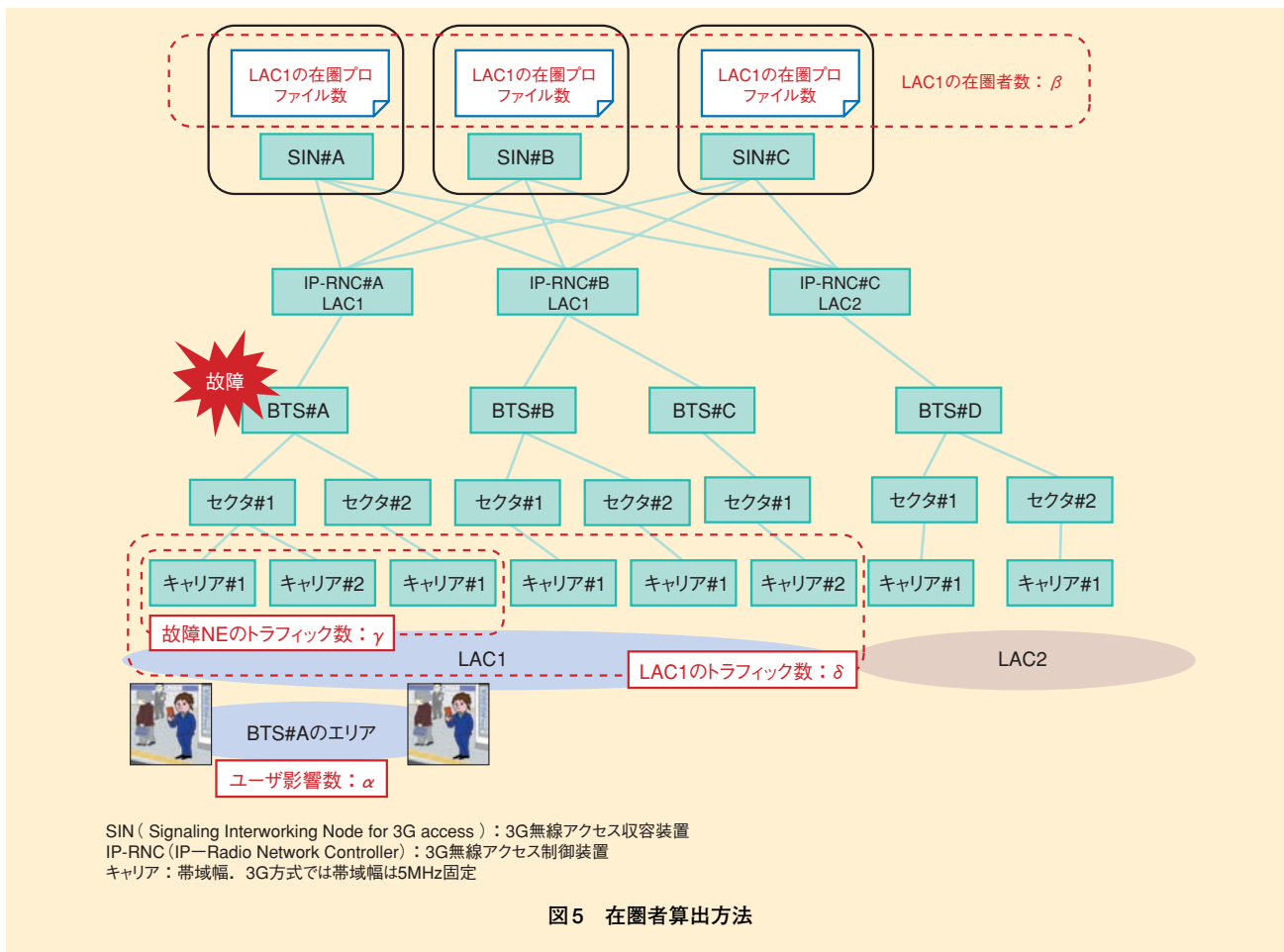
対応端末比率： ϵ

周辺エリア救済割合： ζ

$$\alpha = \frac{\beta \times \gamma \times (1 - \epsilon) \times (1 - \zeta)}{\delta} \quad (2)$$

これらの計算は、該当NEにおいて故障が発生した後にはトラフィックデータ取得が不可能なため、平時からデータを取得し蓄積しておく。実際に故障が起きた際は、故障発生前に取得している直近のデータから

*6 LAC：交換機単位の一斉呼び出しエリア。



影響ユーザ数を算出している。

このように、サービス中断情報と影響ユーザ数を表示させることで復旧優先順位の判断を簡易に行い、大規模災害時における、効率的なエリア復旧が可能となる。

3.3 輻輳制御警報集約によるネットワークコントロール対策

ネットワーク全体のNE輻輳制御状態の把握を正確かつ迅速に行えるよう、NE輻輳制御状態の見える化機能を実現した。

本機能は、各NEの輻輳制御状態を定期的を取得および分析し、運用・保守者に有用な情報を提供する。監視画面にはマクロなエリア単位から、ミクロなNE単位まで柔軟に表示することが可能となっている。また輻輳制御実施の要因となった起点NE情報、自律制御/手動制御という輻輳制御種別も併せて表示する(図7)。

このように、NE輻輳状況を見える化することにより、大規模災害時においても、迅速かつ正確なネットワークコントロールを実現している。

3.4 OSSのディザスタリカバリ見直し

(1)要件の詳細化

2章で、OSSのディザスタリカバリに関する要件は、経済的なディザスタリカバリの実現と災害時において速やかに業務を復旧させることと明確化した。この要件を満足させる

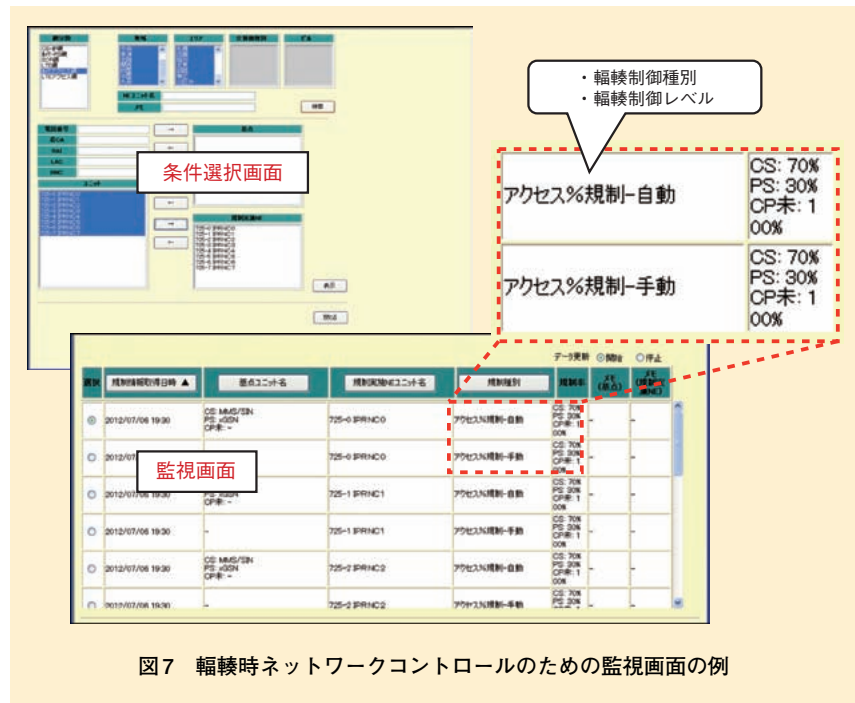


図7 輻輳時ネットワークコントロールのための監視画面の例

ために、新たなOSSのディザスタリカバリを検討した[2][3]。

運用システムの冗長構成を地理的に離れた別拠点に広域分散配置することを検討した(図8)。このようなディザスタリカバリを実現するにあたり、必要となる技術的な要件としては、以下の2点に整理される。

- ①位置透過性：運用システムを構成する各アプリケーションが互いの物理的配置を意識せずに動作可能であること
 - ②可用性：大規模災害時に非被災拠点の各アプリケーションに自動的に切り替わり動作継続可能であること
- (2)D3Aによる解決

前述の技術的な要件は、ドコモ独自の分散システムである、分散駆動型アーキテクチャ(D3A: Distrib-

uted Data Driven Architecture)^{*7}の特長を活かし解決した[4]。

位置透過性実現方式を図9に示す。

OSSの業務は複数のOSSアプリケーションの組合せにて実現される。ある業務を行う場合、アプリケーションの組合せと実行順序の情報が必要となる。また、そのアプリケーションがどのサーバに搭載されているのかという情報も併せて必要である。

アプリケーションの組合せと実行順序の情報はD3Aシナリオ^{*8}にて解決される。D3AシナリオはXML(eXtensible Markup Language)^{*9}で記述され、業務に必要なアプリケーションの組み合わせと実行順序が定義されている。

一方、アプリケーションが搭載さ

*7 分散駆動型アーキテクチャ(D3A)：複数のIAサーバを束ねて高い処理能力を得ることが可能なアーキテクチャのこと。IAサーバはインテル社のマイクロプロセッサを搭載したサーバである。

*8 D3Aシナリオ：D3A上で動作するアプリケーション通信で送受信される電文。

*9 XML：文書やデータの意味や構造を記述するためのマークアップ言語の1つ。

ザスタリカバリを提案した。そのイメージを図11に示す。

位置透過性により、運用システムの冗長構成を地理的に遠く離れた別

拠点に広域分散配備するシステム構成を実現した。これにより、専用バックアップシステムを不要とすることで設備コストの削減を実現してい

る。

さらに、可用性により、OSS設置拠点被災時においても、非被災拠点のサーバに搭載されているOSSアプリケーション群に、その運用が自動的に切り替わる。よって、従来の一部手動で切り替えていたバックアップ方式と比較して、業務復旧までの時間短縮が期待できる。

・ディザスタリカバリ見直しに伴う課題

OSSのディザスタリカバリ見直しに伴い、大きく2つの課題を解決する必要があった。

(a) 運用システムの冗長構成を地理的に離れた別拠点に広域分散配置することにより、アプリケーション間通信の際に、伝送路遅延による処理能力劣化が発生すること

(b) 設置拠点被災時には、多数のアプリケーションの系切替が発生するが、その順序には依存関係をもつものが存在し、系切替順序を正確にコントロールする必要があること

・課題に対する対策

(a) 伝送路遅延対策

OSSのアプリケーション間通信において、伝送路遅延による性能劣化が顕著に現れるのは、同期型通信を採用している処理が該当する。同期型通信は処理の順序性を保障させるために、先行処理の完了を待って次段以降の処理が実行される。そのため、受信側からの応答待ち時間

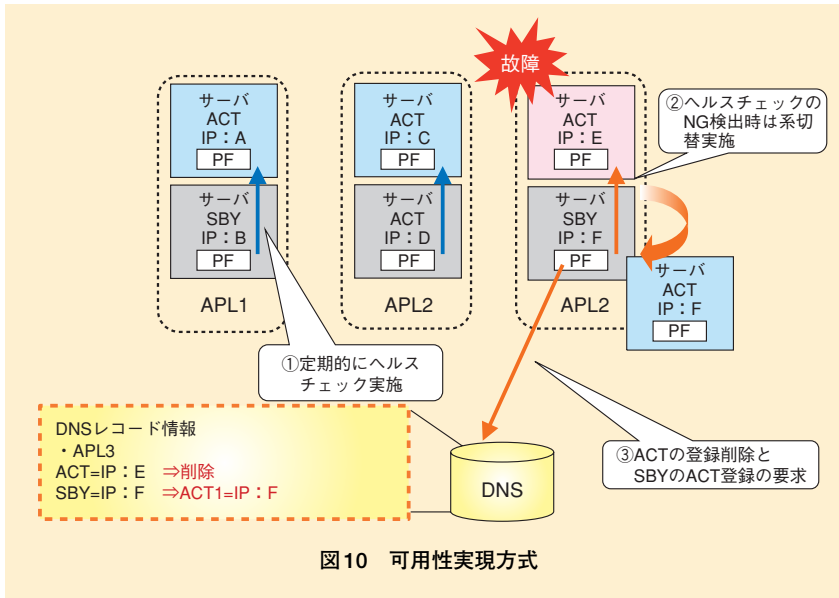


図10 可用性実現方式

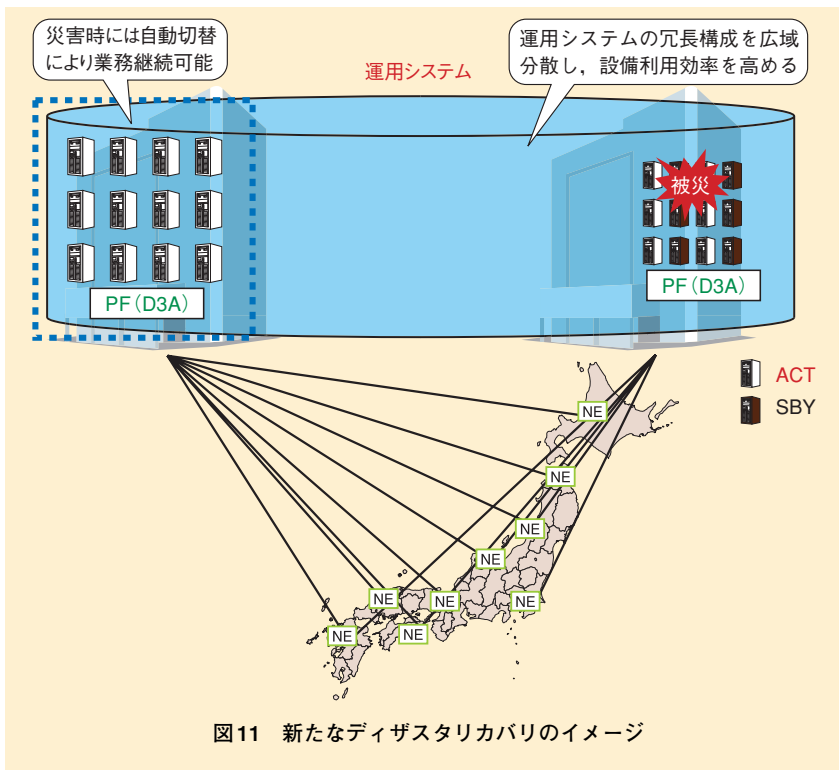


図11 新たなディザスタリカバリのイメージ

に遅延時間が加わり性能が劣化する(図12)。

この伝送路遅延を回避する対策として、D3AのPFにて擬似的に非同期型シーケンスとして取り扱う処理を追加した。その概要を図13に示す。

- ①PFはアプリケーションから送信要求を受けると、即座にキューに保留させ応答を返却し、次段の送信要求をアプリケーションへ促す
- ②キューイングは規定の時間、規定のシナリオサイズに達すると順序性を考慮しつつ、キューに保留しているシナリオを一括送信する
- ③受信側のPFではシナリオの順序性を考慮しつつ分解し、アプ

リケーションへ処理を引き渡す

これにより、シナリオの順序性保障を実現しつつ、伝送路遅延影響を回避することが可能となる。

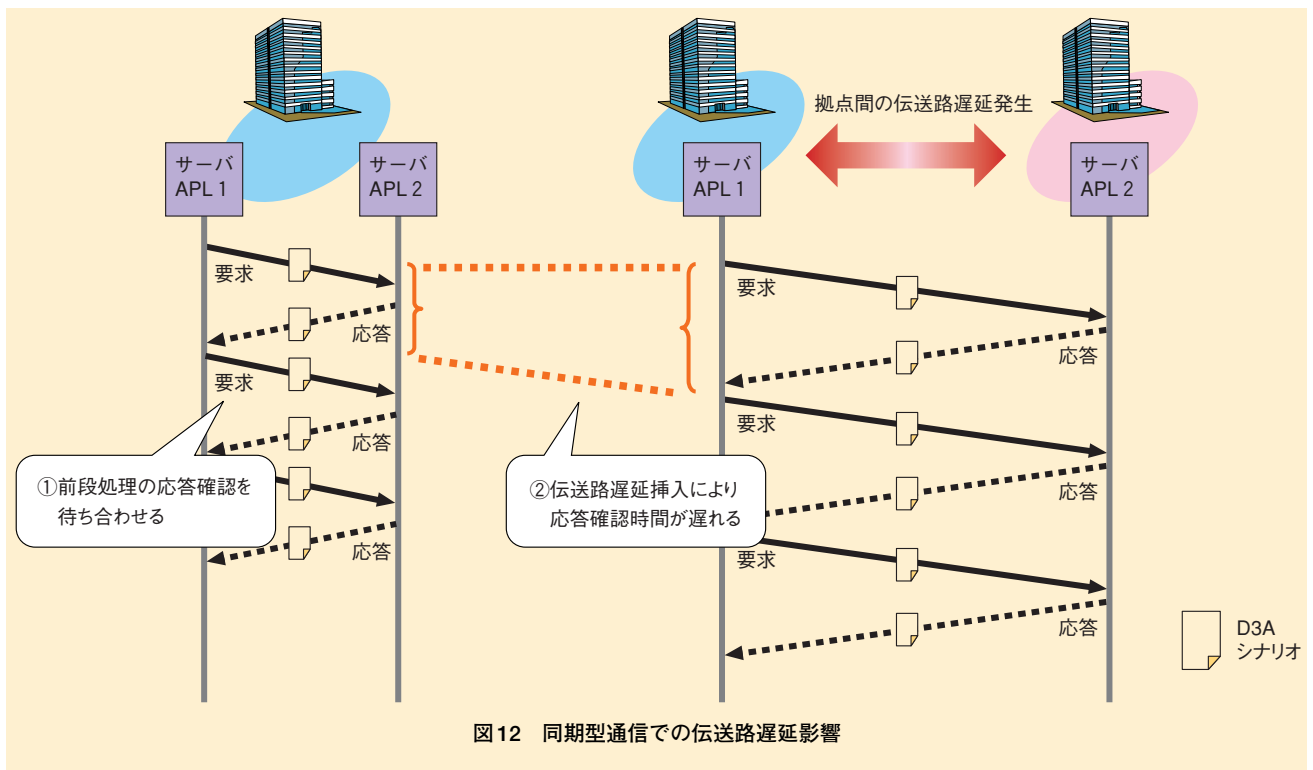
(b) 系切替における順序制御

各アプリケーションが系切替を行う際には、システムの運用状態を管理する機能や、監視対象NEの構成管理機能など、各アプリケーションが動作するうえで重要な情報をもつ一部機能との間で通信が発生する。設置拠点被災によるシステム切替え時においては、これら重要な情報を持つサーバは先行して必ず系切替を完了させアプリケーションを起動しておく必要があ

る。

このアプリケーションの系切替順序制御をD3AのPFにて実現した(図14)。

PFが提供するヘルスチェック機能を応用し、異常を検出するタイミングをアプリケーション毎にチューニングすることにより、系切替順序制御を実現している。更に、系切替順序が逆転した場合でも、各アプリケーションが起動する際に必要となる情報を取得する処理を通信先のアプリケーションが起動するまで繰り返し動作させることで、確実に起動を完了させることができるように考慮している。よって、設置拠点被災に伴う、多数のアプリケーションの



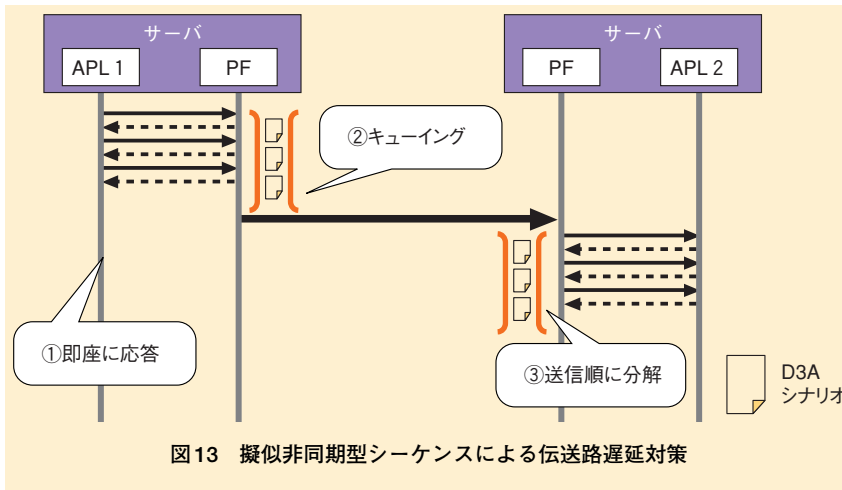


図13 擬似非同期型シーケンスによる伝送路遅延対策

確実な系切替動作を保障し、システムの動作継続を実現している。

上記の対策により、新たなディザスタリカバリの提案を実現することが可能となり、経済的なディザスタリカバリと、災害に強いシステムを実現している。

4. あとがき

今回の対策により、大規模災害時

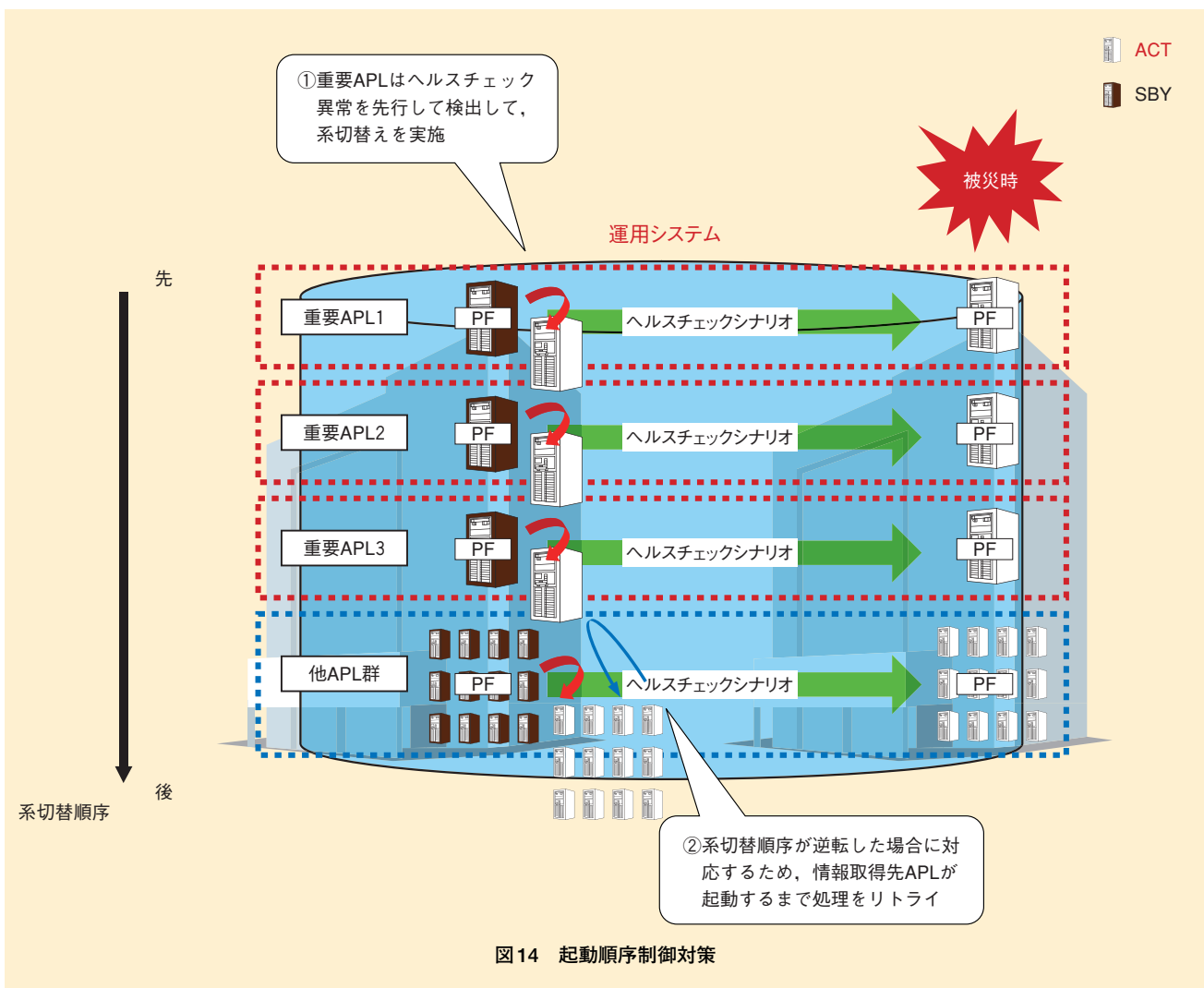


図14 起動順序制御対策

においても、ネットワークの被災状況をOSSにより把握することが可能となった。また、OSS自体の輻輳や物理的被災に対しても強化を行うことで、災害時においても業務継続可能な災害に強いシステムを実現している。

これらにより、常に安定したネットワーク品質を提供するという、通信事業者としての使命実現に貢献している。

なお、今回解説した、ディザスタ

リカバリの見直しは、コア系NE、アクセス系NE、リンク系NEを対象とするOSSへ適用され、安定した運用実績をあげている。今後は他のカテゴリNEのOSSへの導入検討を進めていく予定である。

文 献

- [1] 高田 久, 田村 宏直, 古谷 雅典, 高橋 和秀: “大規模災害時におけるNE監視方式の提案,” 信学技報, Vol.111, No.488, pp.7-12, Mar. 2012.
- [2] 竹内 康弘, 田村 宏直, 高橋 和秀, 吉村

一寿, 鈴木 吉行: “分散データ駆動型アーキテクチャのロケーションフリー化への課題,” 信学技報, Vol.110, No.24, pp.11-16, May. 2010.

- [3] 竹内 康弘, 香川 康介, 田村 宏直, 古谷 雅典, 高橋 和秀: “広域分散オペレーションサポートシステムの実用化,” 信学技報, Vol.112, No.120, pp.25-30, Jul. 2012.
- [4] 秋山, ほか: “オペレーションシステム経済化技術—分散データ駆動型アーキテクチャー,” 本誌, Vol.13, No.2, pp.36-46, Jul. 2005.