

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

(43) 国際公開日  
2018年4月26日(26.04.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/074043 A1

(51) 国際特許分類:

H04L 12/70 (2013.01) H04L 12/717 (2013.01)  
H04L 12/707 (2013.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2017/029529

(22) 国際出願日: 2017年8月17日(17.08.2017)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:

特願 2016-206950 2016年10月21日(21.10.2016) JP  
特願 2017-084161 2017年4月21日(21.04.2017) JP

(71) 出願人: 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE

CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 本多 泰理 (HONDA, Hirotada); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP).  
斎藤 洋 (SAITO, Hiroshi); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP).

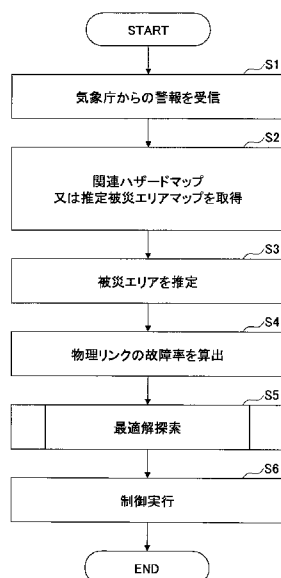
(74) 代理人: 伊東 忠重, 外 (ITO, Tadashige et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目1番1号 丸の内 M Y P L A Z A (明治安田生命ビル) 16階 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ,

(54) Title: STORAGE FORM SEARCHING DEVICE, STORAGE FORM SEARCHING METHOD, AND PROGRAM

(54) 発明の名称: 収容形態探索装置、収容形態探索方法及びプログラム

[図5]



S1 Receive warning from Meteorological Agency  
S2 Obtain related hazard map or estimated affected area map  
S3 Estimate affected area  
S4 Calculate failure rate of physical link  
S5 Search for optimum solution  
S6 Execute control

(57) Abstract: This storage form searching device includes: a calculating unit that calculates a failure rate of each of physical links that form a physical network on the basis of information indicating an affected area; and a searching unit that searches for a storing form exhibiting a smaller disconnection ratio calculated on the basis of the failure rate of each of the physical links with respect to networks to be stored in a logical network that is configured using the physical network, whereby controllability for the stored networks in the event of a disaster can be improved.

[続葉有]



WO 2018/074043 A1



BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 一 国際調査報告(条約第21条(3))

(57) 要約: 収容形態探索装置は、被災エリアを示す情報に基づき、物理網を構成する各物理リンクの故障率を算出する算出部と、前記物理網を利用して構成される論理網に収容される被収容網について、各物理リンクの故障率に基づき算出される切断率が小さくなる収容形態を探索する探索部とを有することで、被収容網について災害に対する可制御性を向上させる。

## 明 細 書

発明の名称：

収容形態探索装置、収容形態探索方法及びプログラム

### 技術分野

[0001] 本発明は、収容形態探索装置、収容形態探索方法及びプログラムに関する。

### 背景技術

[0002] ネットワークに関しては、災害に備えて、事前措置及び事後措置の2つの方法が用いられる。事前措置は、設備設計による方法であり、1つの装置が被災し稼動できない状態となっても、もう一方の装置が稼動していればネットワークとして機能するよう、被災時故障を予め見込んで設計配備する方法である。事後措置は、回避制御による方法であり、予備装置に切り換えたり、サーバ機能や経路の配置を変更したり等することにより、他経路にもトラヒックの一部を流すことで、ネットワークとしての機能を維持するための制御を行うことである。

[0003] これらの技術は、故障のような予測不可能な事象に対応するための高信頼度方法を災害時にも適用しただけに過ぎず、災害時に限定して用いられる方法ではない（例えば、非特許文献1、2）。

### 先行技術文献

#### 非特許文献

[0004] 非特許文献1：Aun Haider and Richard Harris, Recovery Techniques in Next Generation Networks, IEEE Communications Surveys, 9, 3, 2007.

非特許文献2：David R. Smith, Walter J. Cybrowski, Frank Zawislán, Donald Arnstein, Allen D. Dayton, and Theodore D. Studwell, Contingency / Disaster Recovery Planning for Transmission Systems of the Defense Information System Network, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 12, 1, 1994.

非特許文献3：佃昌宣, 佐藤陽一, キャリアネットワークにおけるSDN適用と運用管理技術, 電子情報通信学会誌, 96, 12, 2013.

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

- [0005] 気象学等の進展により、台風や津波等の災害を予報することが可能となっている。また、各自治体は、災害に対してハザードマップ等を整備し、災害時の被災想定について情報提供するようになっている。しかしながら、こうした状況がネットワークの災害耐力向上に利用されているとは言い難い。
- [0006] 更に、ネットワークの仮想化技術の進展（例えば、非特許文献3）によりネットワークの制御の自由度が拡大する一方、物理網及び論理網に收容される仮想化ネットワーク（仮想網）の災害耐力や仮想網の制御系（例えば、制御装置）の災害耐力が課題となっている。
- [0007] 本発明は、上記の点に鑑みてなされたものであって、被收容網について災害に対する可制御性を向上させることを目的とする。

### 課題を解決するための手段

- [0008] そこで上記課題を解決するため、收容形態探索装置は、被災エリアを示す情報に基づき、物理網を構成する各物理リンクの故障率を算出する算出部と、前記物理網を利用して構成される論理網に收容される被收容網について、各物理リンクの故障率に基づき算出される切断率が小さくなる收容形態を探索する探索部と、を有する。

## 発明の効果

- [0009] 被收容網について災害に対する可制御性を向上させることができる。

## 図面の簡単な説明

- [0010] [図1]物理網と論理網との一例を示す図である。
- [図2]第1の実施の形態におけるシステム構成例を示す図である。
- [図3]第1の実施の形態における各サーバ10のハードウェア構成例を示す図である。

[図4]第1の実施の形態におけるオペレーションセンタ110の機能構成例を示す図である。

[図5]第1の実施の形態のオペレーションセンタ110において実行される処理手順の一例を説明するためのフローチャートである。

[図6]第1の実施の形態の最適收容形態算出部114の機能構成例を示す図である。

[図7]第1の実施の形態の最適收容形態算出部114が実行する処理手順の一例を説明するためのフローチャートである。

[図8]被收容網の再配置を説明するための図である。

[図9]物理網上の各物理リンクの故障発生パターンの列挙の一例を示す図である。

[図10]具体例における雨量の時間推移と各物理リンクの故障率の時間推移とを示す図である。

[図11]本実施の形態を適用した場合と適用しない場合との被收容網の平均切断率の推移を比較した図である。

[図12]第2の実施の形態の最適收容形態算出部114が実行する処理手順の一例を説明するためのフローチャートである。

[図13]列挙される物理網上の経路のイメージを示す図である。

### 発明を実施するための形態

[0011] 以下、図面に基づいて本発明の実施の形態を説明する。本実施の形態において、物理網とは、管路や光ファイバーケーブルなどから構成される物理的なネットワークを意味し、論理網とは、物理網上の装置又は設備を利用して論理的に構成又は接続される論理的なネットワークを意味する。また、物理網及び論理網のいずれにおいても、ネットワークを構成するノードは、データの転送のみを担う中継ノードと、サーバやヴァーチャルマシンを搭載するコンピュータリソースであるサーバノードとに大別される。

[0012] 図1は、物理網と論理網との一例を示す図である。図1において、(1)は、リングネットワーク上に5台の中継ノードが配備され、かつ、各中継ノ

ードから派生するサブリング上にそれぞれ一台ずつのサーバノードが設置されている物理網を示す。(2)は、(1)の物理網上でコネクティビティが有ることと、論理的な制約とに基づき構成される論理網を示す。なお、後述の説明の便宜上、論理網上の各中継ノードに数字が付与され、各サーバノードにはアルファベットが付与されている。

[0013] また、本実施の形態において、仮想網とは、ユーザからの要求に応じて論理網上で仮想的に実現されるネットワークを意味し、当該ネットワーク内に閉じた形で何らかのサービスが提供されるものである。例えば、ユーザからの要求には、要求帯域やサーバ機能等が指定される。論理網上において当該要求を満たすことが可能な経路が、仮想網として論理網上に割り当てられる。したがって、仮想網は、論理網上でサーバノードに配置されたサーバ機能と、中継ノードと、サーバノードや中継ノードの間を論理網上に收容された経路とから構成される。仮想網の一例としてVPN (Virtual Private Network) が挙げられる。

[0014] なお、論理網上に收容されるネットワークとして、本実施の形態では、仮想網、制御系の仮想網、及び制御系の論理網等有る。制御系の仮想網とは、仮想網を制御するための仮想網をいう。すなわち、仮想網は、ユーザからの要求に応じて論理網に收容される仮想的なネットワークであるが、制御系の仮想網は、例えば、ネットワーク事業者が仮想網を制御するために論理網に割り当てる仮想的なネットワークである。また、制御系の論理網の一例として、OpenFlowのコントローラや、物理網のリソースの割当を制御及び管理するオーケストレータ等を構成する論理的なネットワークが挙げられる。制御系の仮想網と制御系の論理網とを区別しない場合、以下「制御網」という。また、仮想網と制御網とを区別しない場合、「被收容網」という。すなわち、被收容網とは、論理網への收容対象となりうるネットワークの総称である。

[0015] なお、以下では、被收容網の災害耐性の最適化を達成する地理的構成最適化を行う例を説明するが、制御系の物理網について、本実施の形態が適用さ

れてもよい。

[0016] 図2は、第1の実施の形態におけるシステム構成例を示す図である。図2に示されるシステムは、気象庁の装置20、各自治体の装置30、及び物理網N1等を含む。

[0017] 物理網N1は、管路網12と、管路網12によって接続される複数のデータセンタ（又はネットワークセンタ）13とを含む。各データセンタ（又はネットワークセンタ）13は、複数のスイッチ11及びサーバ10等を含む。スイッチ11は、中継ノードとして機能する。サーバ10は、サーバノードとして機能する。

[0018] 図3は、第1の実施の形態における各サーバ10のハードウェア構成例を示す図である。図3のサーバ10は、それぞれバスBで相互に接続されているドライブ装置100、補助記憶装置102、メモリ装置103、CPU104、及びインタフェース装置105等を有する。

[0019] サーバ10での処理を実現するプログラムは、CD-ROM等の記録媒体101によって提供される。プログラムを記憶した記録媒体101がドライブ装置100にセットされると、プログラムが記録媒体101からドライブ装置100を介して補助記憶装置102にインストールされる。但し、プログラムのインストールは必ずしも記録媒体101より行う必要はなく、ネットワークを介して他のコンピュータよりダウンロードするようにしてもよい。補助記憶装置102は、インストールされたプログラムを格納すると共に、必要なファイルやデータ等を格納する。

[0020] メモリ装置103は、プログラムの起動指示があった場合に、補助記憶装置102からプログラムを読み出して格納する。CPU104は、メモリ装置103に格納されたプログラムに従ってサーバ10に係る機能を実行する。インタフェース装置105は、ネットワークに接続するためのインタフェースとして用いられる。

[0021] 本実施の形態では、図3に示されるようなハードウェア構成を有する1以上のサーバ10を用いて、オペレーションセンタ110が構成される。

[0022] 図4は、第1の実施の形態におけるオペレーションセンタ110の機能構成例を示す図である。図4において、オペレーションセンタ110は、制御部111、被災エリア推定部112、評価部113、最適収容形態算出部114、及び通信部115等を含む。これら各部は、いずれか1以上のサーバ10にインストールされた1以上のプログラムが、当該サーバ10のCPU104に実行させる処理により実現される。オペレーションセンタ110は、また、被災エリア記憶部116及びネットワーク情報記憶部117を含む。これら各記憶部は、例えば、いずれか1以上のサーバ10の補助記憶装置102等を用いて実現可能である。

[0023] ネットワーク情報記憶部117は、物理網のトポロジ、物理網を構成する各物理リンクの帯域、論理網のトポロジ、論理網の各リンクの可用帯域及び遅延、サーバノードのCPU、メモリ及びストレージ容量、並びに論理網上に収容された各被収容網の収容形態（トポロジ）及び各被収容網の要求帯域等を記憶する。

[0024] 制御部111は、論理網に対する被収容網の配置（収容）を制御する被収容網制御装置として機能する。本実施の形態では、被収容網制御装置が現用系と予備系の2つに分かれている例について説明するが、被収容網制御装置の構成はこれに限定されない。また、被収容網制御装置は、制御対象の仮想網と、制御網によって接続されている。なお、現用系の被収容網制御装置（現用被収容網制御装置）には、現用系の被収容網（制御網及び仮想網）が接続される。予備系の被収容網制御装置（予備被収容網制御装置）には、予備系の被収容網（制御網及び仮想網）が接続される。また、被収容網制御装置自体も、制御網を構成する。換言すれば、被収容網制御装置は、制御網に収容されて構成される。

[0025] 制御部111のその他の機能、及び他の各部の機能については、処理手順の説明において明らかにする。

[0026] 以下、オペレーションセンタ110において実行される処理手順について説明する。図5は、第1の実施の形態のオペレーションセンタ110におい

て実行される処理手順の一例を説明するためのフローチャートである。

[0027] ステップS 1において、通信部 1 1 5 は、気象庁の装置 2 0 から送信された気象警報等の警報を受信する。なお、気象庁の装置 2 0 は、例えば、災害の発生が予期される場合に警報を送信する。

[0028] なお、本実施の形態では、一例として、気象庁の警報が発令された場合を例として説明するが、この例に限定されることなく、配信された災害予測情報や、天気予報が用いられてもよい。

[0029] 続いて、制御部 1 1 1 は、受信された警報について、警報種別、警報レベル、警報対象地域を把握し、それらに基づいて、通信部 1 1 5 を介して当該警報に関連する各自治体の装置 3 0 にアクセスし、最新の関連ハザードマップ、又は対象地域の推定被災エリアマップを取得する（S 2）。警報に関連する各自治体の装置 3 0 とは、警報の対象とされている地域の各自治体の装置 3 0 をいう。なお、制御部 1 1 1 は、事前に通信部 1 1 5 を介して各自治体の装置 3 0 にアクセスし、各地域のハザードマップ又は推定被災エリアマップを取得しておき、取得されたハザードマップ又は推定被災エリアマップを被災エリア記憶部 1 1 6 に記憶しておいてもよい。この場合、ステップS 2では、被災エリア記憶部 1 1 6 から、関連ハザードマップ又は警報の対象の地域の推定被災エリアマップが取得されてもよい。

[0030] 続いて、被災エリア推定部 1 1 2 は、関連ハザードマップ又は推定被災エリアマップに基づき被災エリア（被災範囲）を推定する（S 3）。推定された被災エリア（推定被災エリア）を示す情報は、被災エリア記憶部 1 1 6 に記憶される。関連ハザードマップのみ取得された場合、被災エリア推定部 1 1 2 は、関連ハザードマップに基づき、対象地域の被災エリアを推定する。被災エリアの推定方法は特定のものに限定されないが、例えば、関連ハザードマップに含まれている被災エリアがそのまま推定被災エリアとされてもよい。又は、関連ハザードマップに有るレベル別被災エリアが、予め定められた確率で推定被災エリアとして選択されてもよい。

[0031] 続いて、評価部 1 1 3 は、ネットワーク情報記憶部 1 1 7 に記憶されてい

る情報と、被災エリア記憶部 116 に記憶された推定被災エリアとに基づき、物理網 N1 を構成する各物理リンクの故障率 1510 を評価（算出）する（S4）。物理リンクの故障率とは、当該物理リンクが故障することで、当該物理リンクを用いた通信が不通となる確率をいう。当該値の算出方法については、例えば、「H.Saito, Spatial Design of Physical Network Robust against Earthquakes, Journal of Lightwave Technology 33 (2015), 443-458.」、「Y. Ikeda, R. Kawahara and H.Saito, Generating a network reliability formula by using binary decision diagram, IEICE Communications Express 4 (2015), 299-303.」等が参考とされてもよい。

[0032] 続いて、最適収容形態算出部 114 は、各物理リンクの故障率 1510 等に基づき、各被収容網について、警報の対象とされている災害の影響が出来るだけ小さくなるような収容形態（経路）を探索（算出）する（S5）。探索結果を、以下「最適収容形態 1540」という。

[0033] 続いて、制御部 111 は、最適収容形態算出部 114 によって算出された最適収容形態 1540 において、再配置対象となった各被収容網について、再配置のための制御を実行する（S6）。本実施の形態において、被収容網の再配置とは、当該被収容網に含まれるサーバ機能（サーバノード）、中継ノード及び経路等の配置を変更することをいう。なお、この際、被収容網制御装置について、現用系から予備系への切り換えが実行されてもよい。この場合、現用被収容網制御装置のデータ等が、予備被収容網制御装置に移動される。移動の実行方法は公知技術に従えばよい。例えば、SDNコントローラやOpenStack等の技術又はその組み合わせ等を利用して、当該移動を容易に実現可能である。

[0034] 続いて、ステップ S5 において最適収容形態算出部 114 によって実行される処理内容について詳細に説明する。まず、最適収容形態算出部 114 の機能構成について説明する。

[0035] 図 6 は、第 1 の実施の形態の最適収容形態算出部 114 の機能構成例を示す図である。図 6 において、最適収容形態算出部 114 は、条件分岐判断部

1 4 1、物理論理マッピング部 1 4 2 及び最適計算部 1 4 3 等を含む。

[0036] 条件分岐判断部 1 4 1 は、論理網上に收容（配置）された被收容網の集合について再配置の要否判定を行う。条件分岐判断部 1 4 1 は、再配置が必要であると判定した場合、最適收容形態 1 5 4 0 を最適計算部 1 4 3 に算出させる。

[0037] 物理論理マッピング部 1 4 2 は、評価部 1 1 3 から出力された故障率 1 5 1 0 に基づき、論理网上的各被收容網の切断率 1 5 3 0 を算出する。被收容網の切断率とは、物理網の或る物理リンク（複数の場合も含む）の故障が発生したことにより、当該被收容網のいずれかの 2 ノード間の接続経路が失われる状態となる確率をいう。

[0038] 最適計算部 1 4 3 は、0-1 整数計画又は混合整数計画問題等を解き、得られた解に基づき被收容網の最適收容形態 1 5 4 0 を計算する。

[0039] なお、最適收容形態算出部 1 1 4 への入力は、評価部 1 1 3 が出力した各物理リンクの故障率 1 5 1 0 と、ネットワーク情報記憶部 1 1 7 から得られる情報（対象とする物理網および論理網のトポロジ、論理網の各リンクの可用帯域と遅延、サーバノードの CPU、メモリおよびストレージ容量、各被收容網のトポロジ（收容形態）、現用系及び予備系それぞれの被收容網制御装置が收容されているサーバ 1 0 の CPU やディスクの容量等の情報）、並びにオペレータ 1 7 0 によって入力される、後述される制約条件（i）及び（i i）と、以下のパラメータである。

$t h_1$  : 再配置要否判定及び部分最適化時の再配置対象の被收容網集合の決定に利用される閾値

$\varepsilon_i$  ( $i = 1, 2$ ) : 最適解候補と現状の收容形態との比較に利用される閾値

$c_i$  ( $i = 1, 2$ ) : 目的関数の重み付けに利用される正定数

また、最適收容形態算出部 1 1 4 からの出力は、被收容網の再配置の実行の要否である。再配置が必要である場合には、再配置後の收容形態（最適收容形態 1 5 4 0）も出力される。

[0040] なお、本実施の形態では、予備被收容網制御装置については、收容される

サーバ10に関して、CPUやディスク容量などについて、何らかの制約を持つことが許容される。以下、これを制約条件(i)という。

[0041] 図7は、第1の実施の形態の最適収容形態算出部114が実行する処理手順の一例を説明するためのフローチャートである。

[0042] ステップS101において、物理論理マッピング部142は、各物理リンクの故障率1510に基づき、各被収容網の切断率を算出する。例えば、各物理リンクの故障率1510の集合を $\{p_j\}$ とした場合、最適収容形態算出部114は、論理網上でノード $i_1$ から $i_2$ を経由し $i_j$ へ至る複数の被収容網のそれぞれの切断率の集合 $\{q(i_1, i_2, \dots, i_j)\}$ 1530を計算する。各被収容網を実現する物理網上の経路は複数存在することから、各物理リンクの故障の有無の組み合わせを全て列挙し、当該組み合わせのうち、対象の被収容網が切断状態となるパターンに基づいて、当該被収容網の切断率が計算される。切断率の計算方法の詳細については後述される。

[0043] 続いて、条件分岐判断部141は、現用もしくは予備系の被収容網制御装置が接続する被収容網の切断率の平均値(平均切断率)を、いずれかの当該被収容網の終端となるサーバ10ごとに算出する(S102)。すなわち、終端が共通する被収容網の集合ごとの切断率の平均値が算出される。

[0044] 算出された全ての平均切断率が閾値 $t_{h1}$ 以下である場合(S103でNo)、条件分岐判断部141は、再配置不要と判断し(S115)、処理を終了する。したがって、この場合、被収容網の再配置は実行されない。

[0045] 一方、算出された平均切断率のいずれかが閾値 $t_{h1}$ を超過している場合(S103でYes)、条件分岐判断部141は、現用被収容網制御装置又は予備被収容網制御装置に接続する被収容網(すなわち、全ての被収容網)の集合 $\Omega$ を入力として最適計算部143を起動し、最適解 $S_{(opt|\Omega)}$ を最適計算部143からの出力として受け取る(S104)。ここで、最適解 $S_{(opt|\Omega)}$ は、全ての被収容網の切断率の平均値が最小となるような被収容網の収容形態である。なお、最適化問題の定式化については後述される。最適解 $S_{(opt|\Omega)}$ の算出において、各被収容網は任意のサーバノードに接続可能であるも

のとしても良いし、接続先サーバノードの候補として何らかの制約が課されてもよい。当該制約を制約条件 (i i) という。

[0046] 続いて、条件分岐判断部 141 は、現時点において現用被收容網制御装置が接続する全ての被收容網の切断率の平均値  $P'_{cur}$  を算出する (S105)。現時点においてとは、最適化前の状態を意味する。

[0047] 続いて、条件分岐判断部 141 は、最適計算部 143 が出力した最適解  $S_{(opt|\Omega)}$  により実現される、現用被收容網制御装置又は予備被收容網制御装置に接続する被收容網の切断率の平均値  $P'_{opt}$  を算出する (S106)。

[0048]  $P'_{cur} \leq P'_{opt} + \varepsilon_1$  が成立する場合 (S107でYes)、条件分岐判断部 141 は、全体の集合  $\Omega$  を対象として制御を実施してもこれ以上の効果は見込めない (すなわち、再配置不要) と判断し (S115)、処理を終了する。

[0049] 一方、 $P'_{cur} \leq P'_{opt} + \varepsilon_1$  が成立しない場合 (S107でNo)、条件分岐判断部 141 は、現時点の被收容網の收容形態  $c_{ur}$  と、最適解  $S_{(opt|\Omega)}$  として算出された被收容網の收容形態  $c_{pt}$  とを比較し、收容形態  $c_{ur}$  から收容形態  $c_{pt}$  への移行の負荷 (以下、「移行負荷」という。) が、 $\varepsilon_2$  以下であるか否かを判定する (S108)。当該移行負荷は、例えば、收容形態  $c_{ur}$  から收容形態  $c_{pt}$  へ移行するために、張り替え (移動) が必要となる被收容網の経路の数の最小値によって評価されてもよい。

[0050] 移行負荷が  $\varepsilon_2$  以下である場合 (S108でYes)、条件分岐判断部 141 は、最適解  $S_{(opt|\Omega)}$  を最適收容形態 1540 として採用して被制御網を再配置することを決定する (S109)。したがって、この場合、制御部 111 によって、最適解  $S_{(opt|\Omega)}$  への移行が実行される。なお、ここで、被收容網制御装置の現用系から予備系への切り替えを行うことが決定されてもよい。

[0051] 図8は、被收容網の再配置を説明するための図である。図8の(1)は、再配置実行前を示し、(2)は、再配置実行後 (最適解  $S_{(opt|\Omega)}$ ) を示す。

- [0052] (1)において、論理網には、2つの被收容網  $a$ 、 $b$  が收容されており、それぞれの切断率  $q$  は、 $0.01$ 、 $0.00298$  である。また、これらの平均値（平均切断率）は、 $0.0199$  である。この  $0.0199$  が、 $P'_{cur}$  に相当する。したがって、 $0.199$  が、 $P'_{opt} + \varepsilon_1$  を超えれば、(2)への再配置が実行される。
- [0053] (2)において、被收容網  $a$ 、 $b$  のそれぞれの切断率  $q$  は、 $0$  であり、平均切断率も  $0$  である。
- [0054] なお、図8において、被收容網  $a$ 、 $b$  の終端は異なる。したがって、この場合、ステップ  $S104$  において、(1)の状態について終端となるサーバ10ごとに算出される平均切断率は、 $0.01$  及び  $0.0298$  である。
- [0055] 一方、移行負荷が  $\varepsilon_2$  を超過する場合 ( $S108$  で  $No$ )、移行負荷が  $\varepsilon_2$  以下となるように、改めて最適化問題が解かれて全体最適解に準じた解（部分最適解）が得られる。なお、当該部分最適解の算出において、各被收容網は任意のサーバノードに接続可能であるものとしても良いし、接続先サーバノードの候補として何らかの制約が課されてもよい。すなわち、制約条件 ( $i$ ) が課されてもよい。
- [0056] 具体的には、条件分岐判断部141は、現用被收容網制御装置又は予備被收容網制御装置に接続する被收容網の切断率の平均値を、いずれかの被收容網の終端となるサーバ10ごとに算出し、 $th_1$  を超過する当該平均値に係る被收容網の集合を  $I'$  として抽出する ( $S110$ )。
- [0057] 続いて、条件分岐判断部141は、再配置の可能な被收容網を  $I'$  に限定した形で最適計算部143に最適化問題を解かせることで、解  $S_{(opt|I')}$  を得る ( $S111$ )。但し、 $|I'| > \varepsilon_2$  の場合、 $I'$  に含まれる被收容網のうち、切断率が上位  $\varepsilon_2$  番目までの被收容網の集合が再配置の可能な被收容網とされて最適化問題が解かれる。なお、 $|I'|$  は、 $I'$  の要素数を示す。
- [0058] 続いて、条件分岐判断部141は、 $S_{(opt|I')}$  により実現される收容形態における全ての被收容網の切断率の平均値  $P'_{new}$  を算出する ( $S112$ )。
- [0059]  $P'_{cur} > P'_{new} + \varepsilon_1$  が成立する場合 ( $S113$  で  $Yes$ )、条件分岐判

断部 141 は、解  $S_{(opt|1')}$  に従った被收容網の收容形態を、最適收容形態 1540 として採用し、再配置を決定する (S114)。

[0060] 一方、 $P'_{cur} > P'_{new} + \varepsilon_1$  が成立しない場合 (S113 で No)、条件分岐判断部 141 は、再配置は不要であるとして処理を終了する (S115)。

[0061] 続いて、ステップ S101 の詳細について説明する。

[0062] 物理論理マッピング部 142 は、各被收容網の切断率の算出に際して、まず、各物理リンクの接続又は切断（故障の有無）の各状態の全ての組み合わせ（故障発生パターン）を列挙する。続いて、物理論理マッピング部 142 は、列挙した故障発生パターンの中から、対象の被收容網が切断状態となる故障発生パターンを抽出する。各物理リンクの故障は独立に発生するものと考えられるので、これらの故障発生パターンは互いに独立に発生する事象と考えることができる。従って、抽出された各故障発生パターンの発生する確率の総和を求めることで、当該被收容網の切断率を得ることができる。

[0063] 例えば、図 1 の (1) に示される物理網と (2) に示される論理網とを想定する。ここで、論理網上の被收容網 "0-4-E" の切断率を考える。

[0064] 図 9 は、物理網上の各物理リンクの故障発生パターンの列挙の一例を示す図である。図 9 において、各行は、物理リンクの故障発生パターンに対応している。また、表の最右列は、各行の故障発生パターンにおいて、被收容網 "0-4-E" が導通状態か、切断状態に陥るかを示している（○は導通状態、×は切断状態を示す）。したがって、当該被收容網が切断状態となる故障発生パターンの番号の集合は、

$$Y = \{4, 6, 7, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32\}$$

の 16 パターンである。

[0065] ここで、ノード  $x, y$  間の物理リンクの故障率を  $p_{xy}$  で表すとする、例えば、番号 4 の発生確率  $P_4$  は

$$P_4 = (1 - p_{01}) (1 - p_{12}) (1 - p_{23}) p_{34} p_{40}$$

と表される。物理論理マッピング部 142 は、同様にして Y のうちの他の故障発生パターンについても、その発生確率を算出する。一方、ノード 4 と E の間はサブリングであるから、その右回り、左回りの物理リンクともが切断された場合に限り両ノードは導通を失う。右回り、左回りの物理リンクともが切断される確率を  $q_{4E}$  と表すと、確率  $q$  は以下のように算出される。

[0066] [数1]

$$q = \sum_{x \in Y} P_x + q_{4E} \sum_{x \in Y} (1 - P_x)$$

当該  $q$  の値が、当該被收容網の切断率であり、物理論理マッピング部 142 からの出力である。

[0067] 続いて、最適計算部 143 による解の計算について説明する。

[0068] 最適計算部 143 は、条件分岐判断部 141 が選出した再配置可能な被收容網の集合  $X$ 、物理論理マッピング部 142 からの出力である、被收容網の切断率 1530、並びにオペレータ 170 からの入力に含まれるパラメータ及び制約条件 (i)、(ii) を入力として、最適計算を行う。

[0069] 最適計算部 143 が計算する最適化問題における解  $S_{(opt|X)}$  の算出方法について述べる。なお、 $X$  は、再配置可能な（再配置候補の）被收容網の集合であり、上記の  $\Omega$  又は  $I'$  に対応する。

[0070] まず、最適計算部 143 は、 $X$  に属する被收容網ごとに、当該被收容網に対する制約条件 (i) を満たす論理網上の経路を全て列挙する。以下において、 $h_i^{(l)}$  は、第  $l$  被收容網の第  $i$  パスのホップ数を示す。第  $l$  被收容網とは、 $X$  において  $l$  番目の被收容網である。第  $i$  パスとは、第  $l$  被收容網について列挙された経路のうち、 $i$  番目の経路である。また、 $h^{(l)}$  は、第  $i$  要素を  $h_i^{(l)}$  とする行ベクトルを示す。また、 $q^{(l)}$  は、第  $l$  被收容網の第  $i$  パスの切断率を第  $i$  要素とする行ベクトルを示す。 $d^{(l)}$  は、第  $l$  被收容網（こ

ここでは単一経路)の要求帯域を示す。

更に、

[0071] [数2]

$$a_{(i,j)}^{(l)} = \begin{cases} d^{(l)} & (\text{第} l \text{制御網の第} j \text{パスに第} i \text{論理リンクが含まれている場合}); \\ 0 & (else). \end{cases}$$

$$A^{(l)} = [a_{(i,j)}^{(l)}];$$

$$c_e = [c_i]^T;$$

ここで、 $c_i$  ( $i \in E$ ) は、各論理リンク帯域；

$T_r^{(l)}$  は、第  $l$  被收容網のパス集合

$$x^{(l)} \text{ は } [x_k^{(l)}]^T; ;$$

[0072] [数3]

$$x_k^{(l)} = \begin{cases} 1 & (\text{第} k \text{パスが第} l \text{制御網に使用された場合}); \\ 0 & (else). \end{cases}$$

また、第  $l$  被收容網の既存配置を、 $x_{k0}^{(l)}$  で表す。但し、前述の様に、被收容網の再配置は制約条件 (i)、(ii) の範囲内で、一般には現用被收容網制御装置から予備被收容網制御装置への変更することも許容するものであり、上記パス（経路）もそのようにして列挙されたものである。

[0073] 最適計算部 143 は、このもとで以下の 0-1 線型計画を解く。

[0074]

[数4]

$$\begin{cases} \min_{l \in X} c_1 \sum_{l \in X} q^{(l)} x^{(l)} + c_2 \left( \sum_{l \in X} h^{(l)} x^{(l)} + \sum_k |x_k^{(l)} - x_{k0}^{(l)}| \right); \\ \text{s. t. } \sum_{l \in X} A^{(l)} x^{(l)} \leq c_e; \\ \sum_{k \in T_r^{(l)}} x_k^{(l)} = 1 \quad \forall l. \end{cases}$$

但し、同一目的関数値をとる解が複数存在する場合は、ランダムにいずれかが採用されることとする。このようにして最適化問題の解が得られると、各々の変数  $x_k^{(l)}$  の値が1である成分は各被収容網の候補経路を示すものであるから、最適計算部143は、変数  $x_k^{(l)}$  の値が1である成分を最適経路の組み合わせとして出力して処理を終える。

[0075] なお、ここでは、一例として目的関数に平均切断率を採用しているが、例えば、最大切断率が採用されてもよい。すなわち、切断率の最大値が最小となるような収容形態が探索されてもよい。

[0076] 次に、本実施の形態の具体例として、気象庁が公開する過去の実際の雨量データに基づき、当該データを所定のネットワーク設備上に当てはめて、上記した計算を行った例を示す。想定する物理網及び論理網は、図1に示した通りである。利用される雨量データは、2014年8月に観測された岩国地域における豪雨の雨量データである。

[0077] まず、被災エリア推定部112は、5kmメッシュで区切った各領域における累積雨量指数を計算し、ハザードエリア推定する（図5のS3）。また、評価部113は、ハザードエリアの推定結果等に基づき、各物理リンクの故障率を算出する（図5のS4）。

[0078] 図10は、具体例における雨量の時間推移と各物理リンクの故障率の時間

推移とを示す図である。図 10 において、上段には、全メッシュでの単位時間あたり雨量の平均値の時間推移が示されている。下段には、10本の各物理リンクについて出力された故障率 1510 の値が、時系列に示されている。

[0079] 図 10 より、各物理リンクの故障率 1510 の推移は、上段の雨量の推移と類似した傾向をとることが確認できる。

[0080] 図 11 は、本実施の形態を適用した場合と適用しない場合との被收容網の平均切断率の推移を比較した図である。すなわち、図 11 では、図 10 の下段に示される故障率 1510 を用いて、被收容網（ここでは単一経路）に対して本実施の形態を適用して算出された平均切断率を実線で示されており、本実施の形態を適用しないで算出された平均切断率が破線で示されている。なお、本実施の形態を適用しない場合とは、被收容網の再配置を実行しない場合をいう。

[0081] 図 11 によれば、雨量が増大し、物理リンクの故障率 1510 が増大する時間帯において、再配置を実施した場合には被收容網の平均切断率が低減し、本実施の形態の適用による効果が顕著であることが確認できる。なお、ここでは、初期配置として、各被收容網はいずれも均等に各サーバノードに接続し、また、制約条件 (i) として、いずれの被收容網も各中継ノードに均等に端点を持つものと仮定した。その他の諸元について、表 1 及び表示 2 に示す。

[0082] [表1]

実験諸元(1)

| パラメータ | $th_1$ | $\varepsilon_1$ | $\varepsilon_2$ | $c_1$   | $c_2$   |
|-------|--------|-----------------|-----------------|---------|---------|
| 値     | 0.0001 | 0.01            | 5               | 0.99999 | 0.00001 |

[0083]

[表2]

実験諸元(2)

| パラメータ | 收容網(経路)数 | 要求帯域 | 論理リンク可用<br>帯域 |
|-------|----------|------|---------------|
| 値     | 25       | 10   | 100           |

なお、表2について、要求帯域は、各被收容網について共通である。また、各論理リンクの可用帯域も、各論理リンクについて共通である。

[0084] 上述したように、第1の実施の形態によれば、予報可能又は予測可能な災害の発生が推定されるエリアに係る被收容網の経路は、当該災害による影響が小さくなるように再配置される。ここで、再配置対象となる被收容網には、仮想網のみならず、仮想網を制御するための制御網も含まれる。すなわち、仮想網や仮想網の制御系の地理的構成を災害耐性の点で最適化することができる。したがって、本実施の形態によれば、被收容網について災害に対する可制御性を向上させることができる。例えば、通信事業者は、災害切迫時においても提供するサービスを制御可能な状態に置くことができる。

[0085] 次に、第2の実施の形態について説明する。第2の実施の形態では第1の実施の形態と異なる点について説明する。第2の実施の形態において特に言及されない点については、第1の実施の形態と同様でもよい。

[0086] 第2の実施の形態では、物理網の帯域の情報と、論理網におけるノード間の物理網上での論理的な接続性の情報とに基づき最適收容形態を算出する。また、第2の実施の形態において、最適收容形態算出部114は、被收容網の移行時間に関する上限値を最適化問題における制約条件として勘案して、最適收容形態を算出する。当該制約条件として、ネットワーク情報記憶部117には、第1の実施の形態において記憶される情報の他、個々の被收容網

のサーバノードにおいて仮想的なサービスを提供する仮想マシン（VM（Virtual Machine））のファイルサイズ、VMの削除・生成時間のモデルに用いられる定数が記憶されている。なお、第1の実施の形態における制約条件（ $i$ ）及び（ $i, i$ ）は、第2の実施の形態においても有効である。また、 $t h_1$ 、 $\varepsilon_i$ （ $i = 1, 2$ ）、 $c_i$ （ $i = 1, 2$ ）等のパラメータの意味も第1の実施の形態と同様である。但し、これらのパラメータの値は、第1の実施の形態と異なってもよい。

[0087] 第2の実施の形態では、図5のステップS5の処理内容が第1の実施の形態と異なる。なお、第2の実施の形態において、最適収容形態算出部114への入力は、第1の実施の形態の入力に加え、ネットワーク情報記憶部117から得られる、個々の被収容網に付随する（サーバノードの）VMのファイルサイズ、VMの削除・生成時間のモデルに用いられる定数等である。

[0088] 図12は、第2の実施の形態の最適収容形態算出部114が実行する処理手順の一例を説明するためのフローチャートである。図12中、図7と同一ステップには同一ステップ番号を付し、その説明は省略する。

[0089] ステップS102aにおいて、条件分岐判断部141は、現用もしくは予備系の被収容網制御装置が接続する被収容網の切断率の平均値（平均切断率）と最大値との加重和（以降、本指標を「 $Ind_1$ 」と表記する。）を、いずれかの当該被収容網の終端となるサーバ10ごとに算出する。すなわち、終端が共通する被収容網の集合ごとに、以下に定義される指標 $Ind_1$ の値が算出される。

$$Ind_1 = c_1 \max_{s \in T_v} q[s] + c_2 \sum_{s \in T_v} q[s] / \#T_v \cdots \quad (1)$$

ここで、記号 $s$ は、被収容網を示し、 $q[s]$ は、被収容網 $s$ の切断率を示す。 $\#T_v$ は、集合 $\#T_v$ の要素数を示す。また、式（1）において、右辺の各項の加法演算は、各サーバノード $v$ に終端される被収容網の集合 $T_v$ にわたり実施される。 $c_1$ 、 $c_2$ は、上記したように、目的関数の重み付けに利用される正の定数であり、最適計算部143によって予め保持されるもので

ある。

[0090] 算出された全ての  $Ind_1$  の値が閾値  $th_1$  以下である場合 (S103aでNo)、条件分岐判断部141は、再配置不要と判断し (S115)、処理を終了する。したがって、この場合、被收容網の再配置は実行されない。

[0091] 一方、指標  $Ind_1$  の値が閾値  $th_1$  より大きいサーバノードが存在する場合、すなわち、いずれかのサーバノードの指標  $Ind_1$  の値が閾値  $th_1$  を超過している場合 (S103aでYes)、条件分岐判断部141は、指標  $Ind_1$  の値が閾値  $th_1$  を超過しているサーバノードの集合を  $\Theta_{\theta_1}$  とし、 $\Theta_{\theta_1}$  に属するサーバノードにて終端される被收容網の集合を  $H$  とし、集合  $H$  を入力として最適計算部143を起動して、最適解  $S_{(opt|H)}$  を最適計算部143からの出力として受け取る (S104)。

[0092] ここで、最適解  $S_{(opt|H)}$  は、集合  $H$  に属する被收容網について、以下のように算出される指標  $Ind_2$  の値が、後述する最適化問題又はそれを近似する問題において、その実行可能解のうち最小となるような被收容網の收容形態である。

$$Ind_2 = c1 \max_{s \in H} \sum_{r \in \mathcal{R}(s)} q[r] x_r^{(s)} + c2 \sum_{(s, r) \in \Delta} q[r] x_r^{(s)} / \#H \cdots (2)$$

式(2)において、 $q[r]$  は、物理網  $r$  の切断率であり、集合  $\mathcal{R}(s)$  は、被收容網の收容候補となる論理網上の経路に対応する物理网上的経路の集合であり、集合  $\Delta$  は、以下により定義される。

$$\Delta = \bigcup \{s\} \times \mathcal{R}(s)$$

また、 $x_r^{(s)}$  は、被收容網  $s$  が物理网上的経路  $r$  を使用する場合に1、それ以外の場合0の値となるバイナリ未知変数である。なお、最適化問題の定式化については後述される。最適解  $S_{(opt|H)}$  の算出において、各被收容網は、任意のサーバノードに接続可能であるものとしても良いし、接続先サーバノードの候補として何らかの制約が課されてもよい。当該制約を第1の実施の形態と同様に制約条件 (i i) という。

[0093] 続いて、条件分岐判断部141は、現時点において現用被收容網制御装置

が接続する全ての被收容網を対象として、指標  $Ind_1$  の値  $P''_{cur}$  を算出する (S105a)。現時点においてとは、最適化前の状態を意味する。

[0094] 続いて、条件分岐判断部141は、最適計算部143が出力した最適解  $S_{(opt|H)}$  により実現される、現用被收容網制御装置又は予備被收容網制御装置に接続する被收容網について、指標  $Ind_1$  の値  $P''_{opt}$  を算出する (S106a)。

[0095]  $P''_{cur} \leq P''_{opt} + \varepsilon_1$  が成立する場合 (S107aでYes)、条件分岐判断部141は、全ての被收容網の集合  $\Omega$  を対象として制御を実施してもこれ以上の効果は見込めない (すなわち、再配置不要) と判断し (S115)、処理を終了する。

[0096] 一方、 $P''_{cur} \leq P''_{opt} + \varepsilon_1$  が成立しない場合 (S107aでNo)、条件分岐判断部141は、最適解  $S_{(opt|H)}$  を最適收容形態1540として採用して被收容網を再配置することを決定する (S109a)。したがって、この場合、制御部111によって、最適解  $S_{(opt|H)}$  への移行が実行される。なお、ここで、被收容網制御装置の現用系から予備系への切り替えを行うことが決定されてもよい。

[0097] 続いて、最適計算部143による解  $S_{(opt|H)}$  の計算について説明する。最適計算部143は、条件分岐判断部141が選出した再配置可能な被收容網の集合  $H$ 、物理論理マッピング部142からの出力である、被收容網の切断率1530、並びにオペレータ170からの入力に含まれるパラメータ及び制約条件 (i)、(ii) を入力として、最適計算を行う。

[0098] まず、最適計算部143は、集合  $H$  に属する被收容網ごとに、当該被收容網に対する制約条件 (i) を満たす論理網上の経路を全て列挙する。以下、全てのサーバノードの集合を  $V_{(d)}$  と表記する。また、以下で最適化計算に先立ち列挙される論理网上的経路とは、被收容網毎に、現在の論理网上的経路、もしくは再配置を行う場合には移設後のVMを設置するサーバノードと論理网上的経路をセットで考えたものとする。

[0099] 最適計算部143における未知変数の一つは、前記のバイナリ変数  $x_r^{(s)}$

である。図 13 に、列挙される物理網上の経路のイメージを示す。図 13 は、VM 移設を伴う再配置のイメージを示し、これに対応する係数テンソルを以下に定義する。

[0100] [数5]

$$u_{r,\tau[s],v}^{(s)} = \begin{cases} 1 & (\text{経路 } r \text{ の再配置前の VM 收容サーバノードが } \tau[s], \\ & \text{再配置後のサーバノードが } v) \\ 0 & (otherwise); \end{cases}$$

$$u_{r,e}^{(s)} = \begin{cases} 1 & (\text{経路 } r \text{ の再配置後のデータ送受信用の経路が物理リンク } e \text{ を利用}) \\ 0 & (otherwise); \end{cases}$$

$$\tilde{u}_{r,e}^{(s)} = \begin{cases} 1 & (\text{経路 } r \text{ の再配置後、VM 移設に用いる経路が物理リンク } e \text{ を利用}) \\ 0 & (otherwise); \end{cases}$$

最適計算部 143 は、最適計算において、これら各経路  $r$  を列挙し、最適化問題を解く。実際の計算に際しては、性能の観点から、物理網上の経路は、経路数の上限  $k$  を定め、例えば、 $k$ -shortest path により選出されたものであっても良い。

[0101] 以上の定義のもと、ネットワーク情報記憶部 117 に記憶されている物理網の帯域の上限値、利用可能なサーバの CPU、メモリおよびストレージ容量に関する制約条件は、それぞれ以下の様に見える。

[0102]

[数6]

$$\begin{aligned} \sum_{(s,r) \in \Delta} (b_s^{(0)} u_{re}^{(s)} + \tilde{b}_s^{(0)} \tilde{u}_{re}^{(s)}) x_r^{(s)} &\leq \ddot{b}_e^{(0)} - \tilde{b}_e^{(0)} \quad e \in E, (j=1,2,3), \\ \sum_{(s,r) \in \Delta} b_s^{(j)} u_{vr}^{(s)} x_r^{(s)} &\leq b_v^{(j)} - \ddot{b}_v^{(j)} \quad v \in V_{(d)}, (j=1,2,3). \end{aligned}$$

ここで、 $E$ は物理リンクの集合であり、また各記号は以下の様に定義される:

$b_s^{(0)}$ : 被收容網 $s$ の要求帯域

$\tilde{b}_s^{(0)}$ : 被收容網 $s$ の接続先サーバの移設を行う経路において用いられる帯域

$\ddot{b}_e^{(0)}$ : 物理リンク $e$ の可用帯域

$\tilde{b}_e^{(0)}$ : 物理リンク $e$ の残余帯域

$b_s^{(1)}$ : 被收容網 $s$ が消費するサーバノードにおけるCPU消費量

$b_s^{(2)}$ : 被收容網 $s$ が消費するサーバノードにおけるメモリ消費量

$b_s^{(3)}$ : 被收容網 $s$ が消費するサーバノードにおけるストレージ消費量

$b_v^{(1)}$ : サーバノード $v$ が具備するCPU量

$b_v^{(2)}$ : サーバノード $v$ が具備するメモリ量

$b_v^{(3)}$ : サーバノード $v$ が具備するストレージ量

$\ddot{b}_v^{(1)}$ : サーバノード $v$ において当該時点で消費されているCPU量

$\ddot{b}_v^{(2)}$ : サーバノード $v$ において当該時点で消費されているメモリ量

$\ddot{b}_v^{(3)}$ : サーバノード $v$ において当該時点で消費されているストレージ量

次に、VM移設に要する時間も制約条件の中で考慮する。VM移設に要する時間は、各被收容網について満たされる必要があり、以下の様に書くことができる:

[0103] [数7]

$$F_s / \tilde{b}_s^{(0)} + \sum_r \sum_e d_e u_{re}^{(s)} x_r^{(s)} + \eta_s \leq \varepsilon_3 \quad \dots (3)$$

ここで、 $F_s$ は、被收容網 $s$ のVMのファイルサイズ、 $d_e$ は、物理リンク $e$ の遅延、 $\eta_s$ は、被收容網 $s$ のVM移設所要時間のうち、転送時間を除く値、すなわち、サーバノードにおける処理時間の総計である。また、 $\varepsilon_3$ は、VM移設の許容時間の上限（VMの移行時間の上限値）である。但し、ここで

は、各被收容網のVM移設処理は同時に開始され、並行して処理されるという前提に基づく。

[0104] ここで、 $\eta_s$ を、更に移設元のサーバノードにおけるVMの削除時間と、移設先のサーバノードにおける生成時間とに分けてモデル化する。例えば、VM削除時間を定数とみなし、 $C_3$ と表す。次に、VM生成時間について、被收容網sのVM移設先のサーバノードを $m_s$ とし、そこでのVM生成時間を $f_{(r)m_s}$ とし、以下の様にモデル化する。

$$f_{(r)m_s} = d_1 N_1(m_s) + d_2 N_2 + C_3$$

ここで、 $N_1(m_s)$ は、サーバノード $m_s$ において生成されているVM数、 $N_2$ は、VM移設を伴う被收容網の数の総計である。以上を用いると、最終的に式(3)は、以下の様に書くことができる。

[0105] [数8]

$$F_s / \tilde{b}_s^{(0)} + \sum_r \sum_e d_e \tilde{u}_{r,e}^{(s)} x_r^{(s)} + d_1 \sum_{s',v,r,r'} \{1 - a(v',s)\} u_{r,(\tau[s],v)}^{(s)} u_{r',(\tau[s],v)}^{(s')} x_r^{(s)} x_{r'}^{(s')} + d_2 \sum_s \{1 - \sum_v a(v,s)\} (u_{r,(\tau[s],v)}^{(s)} x_r^{(s)}) \} \leq \varepsilon_3$$

ここで、 $a(v,s) = \sum_r \sum_e d_e u_{r,(\tau[s],v)}^{(s)} \ddot{x}_r^{(s)}$ ,  
また $\ddot{x}_r^{(s)}$ は再配置前の收容状態に対応する

以上より、この場合において最適計算部143が解く最適化問題は以下の様に記述される。

[0106]

[数9]

$$\begin{aligned}
& \text{Minimize } c_1 z + c_2 \sum_{(s,r) \in \Omega} q[r] x_r^{(s)} / \#H; \\
& \text{Subject to: } z \geq \tau_M[x] \\
& x_r^{(s)} \leq y_r; \\
& \sum_r x_r^{(s)} = 1; \\
& z \in R^+, x_r^{(s)}, y_r \in \{0,1\} \quad (s,r) \in \Omega; \\
& \sum_{(s,r) \in \Omega} b_s^{(0)} u_{re}^{(s)} x_r^{(s)} \leq \ddot{b}_e^{(0)} - \tilde{b}_e^{(0)} \quad e \in E, \\
& \sum_{(s,r) \in \Omega} b_s^{(j)} u_{vr}^{(s)} x_r^{(s)} \leq b_v^{(j)} - \ddot{b}_v^{(j)} \quad v \in V_{(d)}, (j=1,2,3); \\
& F_s / \tilde{b}_s^{(0)} + \sum_r \sum_e d_e \tilde{u}_{re}^{(s)} x_r^{(s)} \\
& + d_1 \sum_{s',v,r,r'} \{1 - a(v',s)\} u_{r(\tau[s],v)}^{(s)} u_{r'(\tau[s'],v)}^{(s')} x_r^{(s)} x_{r'}^{(s')} \\
& + d_2 \sum_s \{1 - \sum_v a(v,s)\} (u_{r(\tau[s],v)}^{(s)} x_r^{(s)}) \} + (C_3 + Cs) \leq \varepsilon_3
\end{aligned}$$

但し、同一目的関数値をとる解が複数存在する場合は、ランダムにいずれかが採用されることとする。このようにして最適化問題の解が得られると、各々の変数  $x_r^{(s)}$  の値が1である成分が各被収容網の候補経路を示すものであるから、最適計算部143は、変数  $x_r^{(s)}$  の値が1である成分を最適経路の組み合わせとして出力して処理を終える。

[0107] 次に、第3の実施の形態について説明する。第3の実施の形態では第2の実施の形態と異なる点について説明する。第3の実施の形態において特に言及されない点については、第2の実施の形態と同様でもよい。

[0108] 第3の実施の形態では、最適計算部143が解く最適化問題における目的関数が、第2の実施の形態と異なる。すなわち、第3の実施の形態では、切断率上位  $\alpha\%$ （上位の所定の割合）の被収容網（被収容網のうち特定の部分集合）の切断率平均値の最小化を当該目的関数とする。ここで、 $\alpha$ は、 $0 < \alpha < 100$ なる実数である。すなわち、 $K = \alpha \#H$ として以下の問題を考える。

[0109]

[数10]

$$\begin{aligned}
& \text{Minimize } \beta + \sum_{(s,r) \in \Omega} w[s,k] / K; \\
& \text{Subject to: } \beta \leq w[s,k] + \sum_{r \in \mathcal{R}(s)} q[r] x_r^{(s)} \\
& \quad x_r^{(s)} \leq y_r; \\
& \quad \sum_r x_r^{(s)} = 1; \\
& \quad z \in \mathbb{R}^+, x_r^{(s)}, y_r \in \{0,1\} \quad (s,r) \in \Omega; \\
& \quad w[s,k] \geq 0 \quad k=1,2,\dots,K; \\
& \quad \sum_{(s,r) \in \Omega} b_s^{(0)} u_{r,e}^{(s)} x_r^{(s)} \leq \ddot{b}_e^{(0)} - \tilde{b}_e^{(0)} \quad e \in E, \\
& \quad \sum_{(s,r) \in \Omega} b_s^{(j)} u_{v,r}^{(s)} x_r^{(s)} \leq b_v^{(j)} - \ddot{b}_v^{(j)} \quad v \in V_{(d)}, (j=1,2,3); \\
& \quad F_s / \tilde{b}_s^{(0)} + \sum_r \sum_e d_e \tilde{u}_{r,e}^{(s)} x_r^{(s)} \\
& \quad + d_1 \sum_{s',v,r,r'} \{1 - a(v',s)\} u_{r,(\tau[s],v)}^{(s)} u_{r',(\tau[s'],v)}^{(s')} x_r^{(s)} x_{r'}^{(s')} \\
& \quad + d_2 \sum_s \{1 - \sum_v a(v,s)\} (u_{r,(\tau[s],v)}^{(s)} x_r^{(s)}) \} + (C_3 + Cs) \leq \varepsilon_3
\end{aligned}$$

同一の目的関数値をとる解が複数存在する場合は、ランダムにいずれか一つが採用されることとする。このようにして最適化問題の解が得られると、各々の変数  $x_r^{(s)}$  の値が1である成分は、各被収容網の候補経路を示すものであるから、最適計算部143は、変数  $x_r^{(s)}$  の値が1である成分を最適経路の組み合わせとして出力して処理を終える。

[0110] なお、上記各実施の形態において、オペレーションセンタ110は、収容形態探索装置の一例である。物理論理マッピング部142は、算出部の一例である。最適計算部143は、探索部の一例である。

[0111] 以上、本発明の実施例について詳述したが、本発明は斯かる特定の実施形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された本発明の要旨の範囲内において、種々の変形・変更が可能である。

[0112] 本出願は、2016年10月21日に提出された日本国特許出願第2016-206950、及び2017年4月21日に提出された日本国特許出願第2017-084161号に基づきその優先権を主張するものであり、同日本国特許出願の全内容を参照することにより本願に援用する。

符号の説明

|        |       |                     |
|--------|-------|---------------------|
| [0113] | 1 0   | サーバ                 |
|        | 1 1   | スイッチ                |
|        | 1 2   | 管路網                 |
|        | 1 3   | データセンタ（又はネットワークセンタ） |
|        | 2 0   | 気象庁の装置              |
|        | 3 0   | 各自治体の装置             |
|        | 1 0 0 | ドライブ装置              |
|        | 1 0 1 | 記録媒体                |
|        | 1 0 2 | 補助記憶装置              |
|        | 1 0 3 | メモリ装置               |
|        | 1 0 4 | C P U               |
|        | 1 0 5 | インタフェース装置           |
|        | 1 1 0 | オペレーションセンタ          |
|        | 1 1 1 | 制御部                 |
|        | 1 1 2 | 被災エリア推定部            |
|        | 1 1 3 | 評価部                 |
|        | 1 1 4 | 最適収容形態算出部           |
|        | 1 1 5 | 通信部                 |
|        | 1 1 6 | 被災エリア記憶部            |
|        | 1 1 7 | ネットワーク情報記憶部         |
|        | 1 4 1 | 条件分岐判断部             |
|        | 1 4 2 | 物理論理マッピング部          |
|        | 1 4 3 | 最適計算部               |
|        | B     | バス                  |
|        | N 1   | 物理網                 |

## 請求の範囲

- [請求項1] 被災エリアを示す情報に基づき、物理網を構成する各物理リンクの故障率を算出する算出部と、
- 前記物理網を利用して構成される論理網に收容される被收容網について、各物理リンクの故障率に基づき算出される切断率が小さくなる收容形態を探索する探索部と、
- を有することを特徴とする收容形態探索装置。
- [請求項2] 前記探索部は、前記各被收容網の切断率の平均値、平均値及び最大値の加重和、又は被收容網のうち特定の部分集合にわたる平均値を目的として最適な收容形態を探索する、
- ことを特徴とする請求項1記載の收容形態探索装置。
- [請求項3] 前記探索部は、各物理リンクの故障の有無の全ての組み合わせのうち、前記被收容網が切断される組み合わせを抽出し、各物理リンクの故障率に基づく、抽出された各組み合わせの発生確率の総和を求めることによって、前記被收容網の切断率を算出する、
- ことを特徴とする請求項1又は2記載の收容形態探索装置。
- [請求項4] 前記探索部は、被收容網の再配置を行う際の前記被收容網に付随する仮想マシンの生成時間のモデル化に基づき、各被收容網に付随する仮想マシンのファイルサイズと、前記物理網および論理網の情報と、前記仮想マシンの移行時間の上限値とを制約条件として前記收容形態を探索する、
- ことを特徴とする請求項1乃至3いずれか一項記載の收容形態探索装置。
- [請求項5] 被災エリアを示す情報に基づき、物理網を構成する各物理リンクの故障率を算出する算出手順と、
- 前記物理網を利用して構成される論理網に收容される被收容網について、各物理リンクの故障率に基づき算出される切断率が小さくなる收容形態を探索する探索手順と、

をコンピュータが実行することを特徴とする収容形態探索方法。

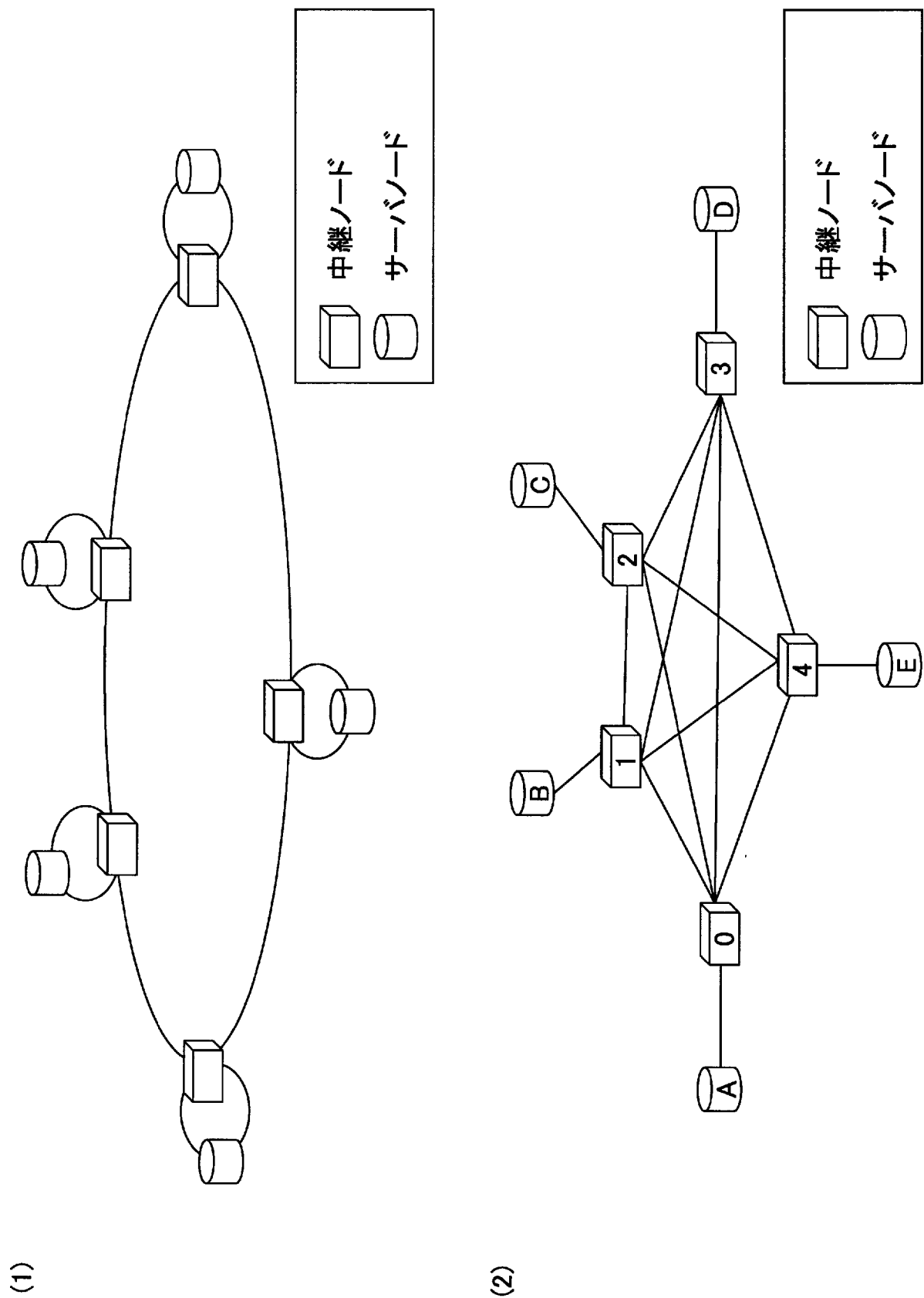
[請求項6] 前記探索手順は、前記各被収容網の切断率の平均値、平均値及び最大値の加重和、又は被収容網のうち特定の部分集合にわたる平均値を目的として最適な収容形態を探索する、  
ことを特徴とする請求項5記載の収容形態探索方法。

[請求項7] 前記探索手順は、各物理リンクの故障の有無の全ての組み合わせのうち、前記被収容網が切断される組み合わせを抽出し、各物理リンクの故障率に基づく、抽出された各組み合わせの発生確率の総和を求めることによって、前記被収容網の切断率を算出する、  
ことを特徴とする請求項5又は6記載の収容形態探索方法。

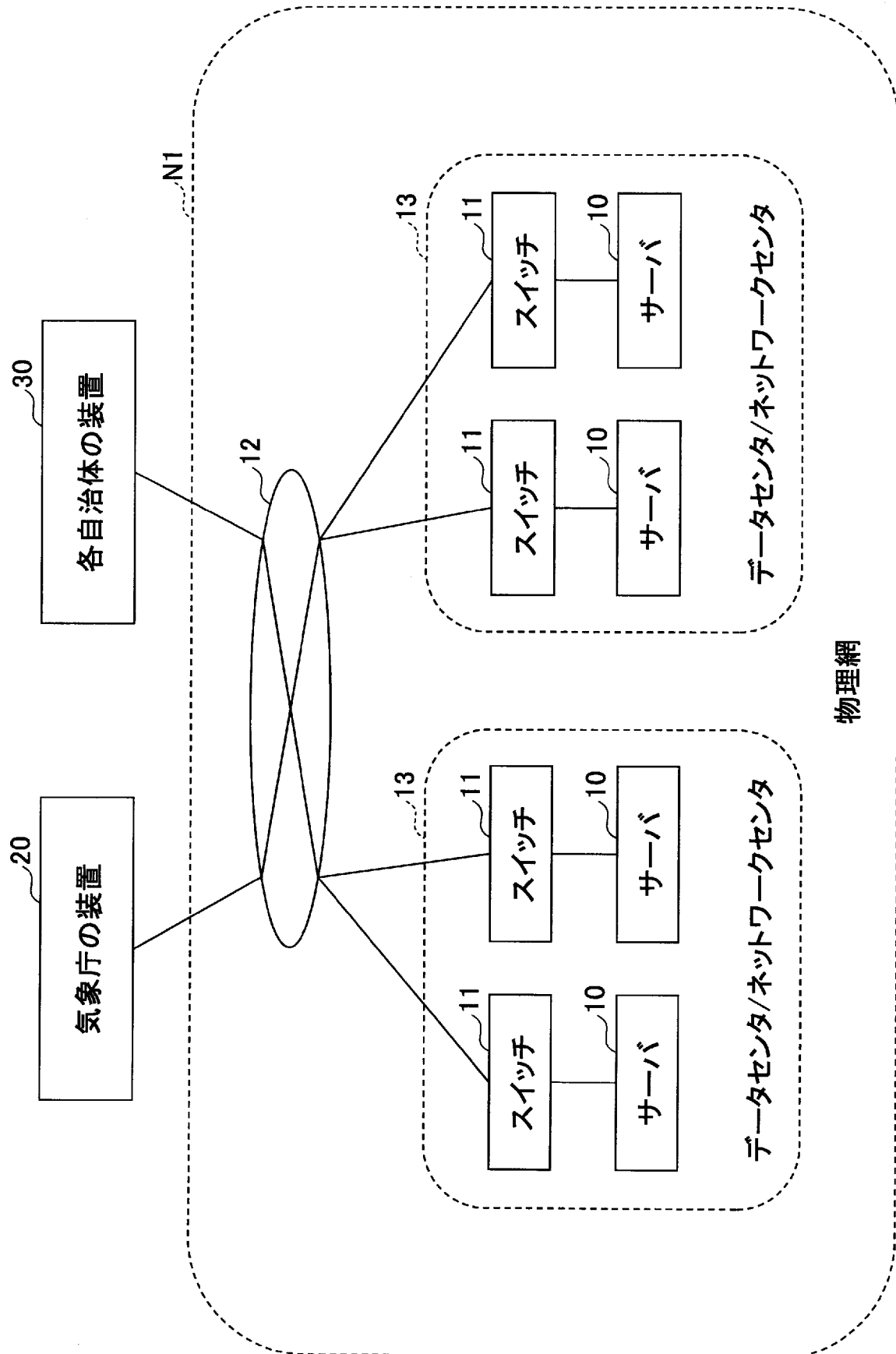
[請求項8] 前記探索手順は、被収容網の再配置を行う際の前記被収容網に付随する仮想マシンの生成時間のモデル化に基づき、各被収容網に付随する仮想マシンのファイルサイズと、前記物理網および論理網の情報と、前記仮想マシンの移行時間の上限値とを制約条件として前記収容形態を探索する、  
ことを特徴とする請求項5乃至7いずれか一項記載の収容形態探索方法。

[請求項9] 請求項1乃至4いずれか一項記載の各部としてコンピュータを機能させることを特徴とするプログラム。

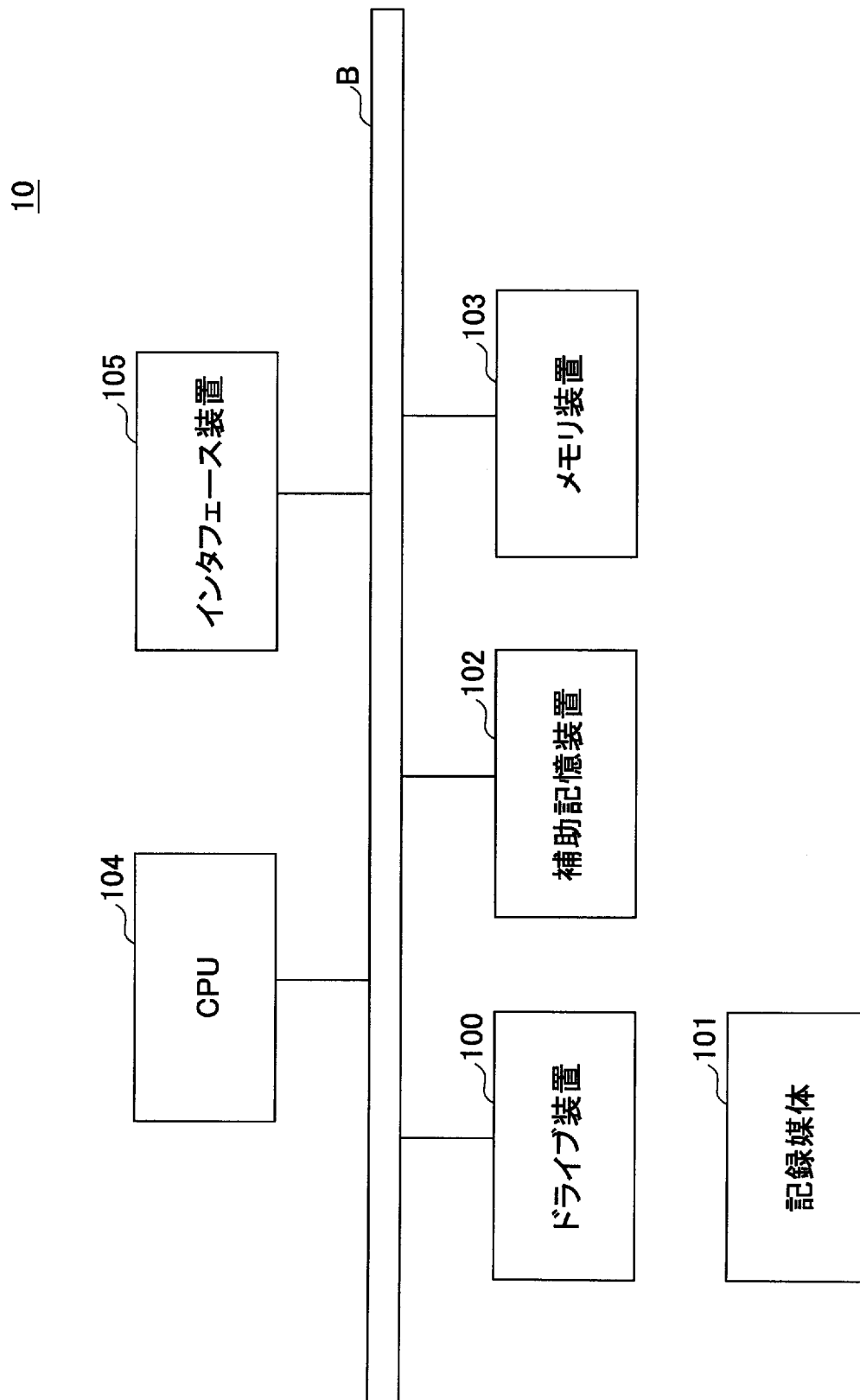
[図1]



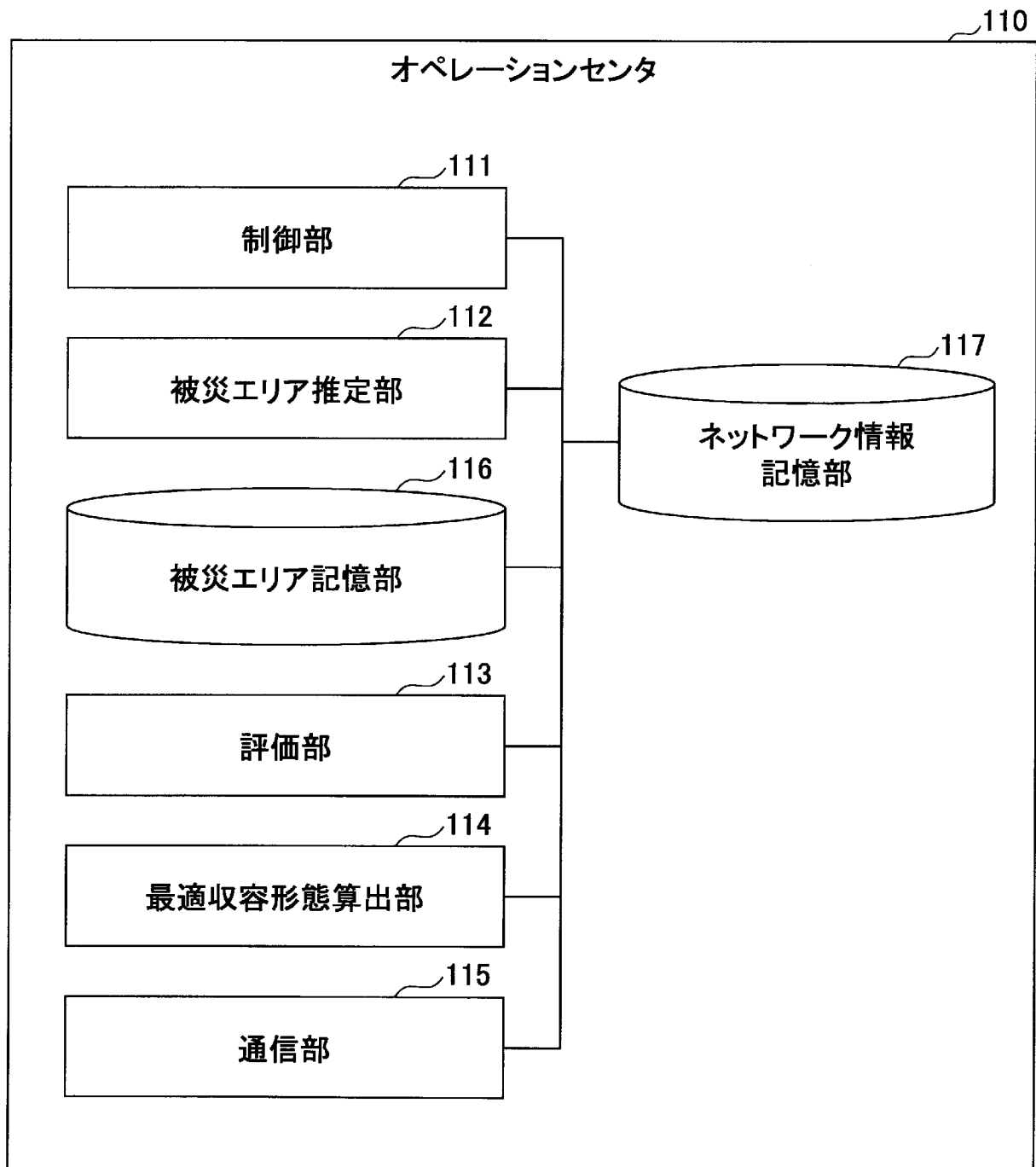
[図2]



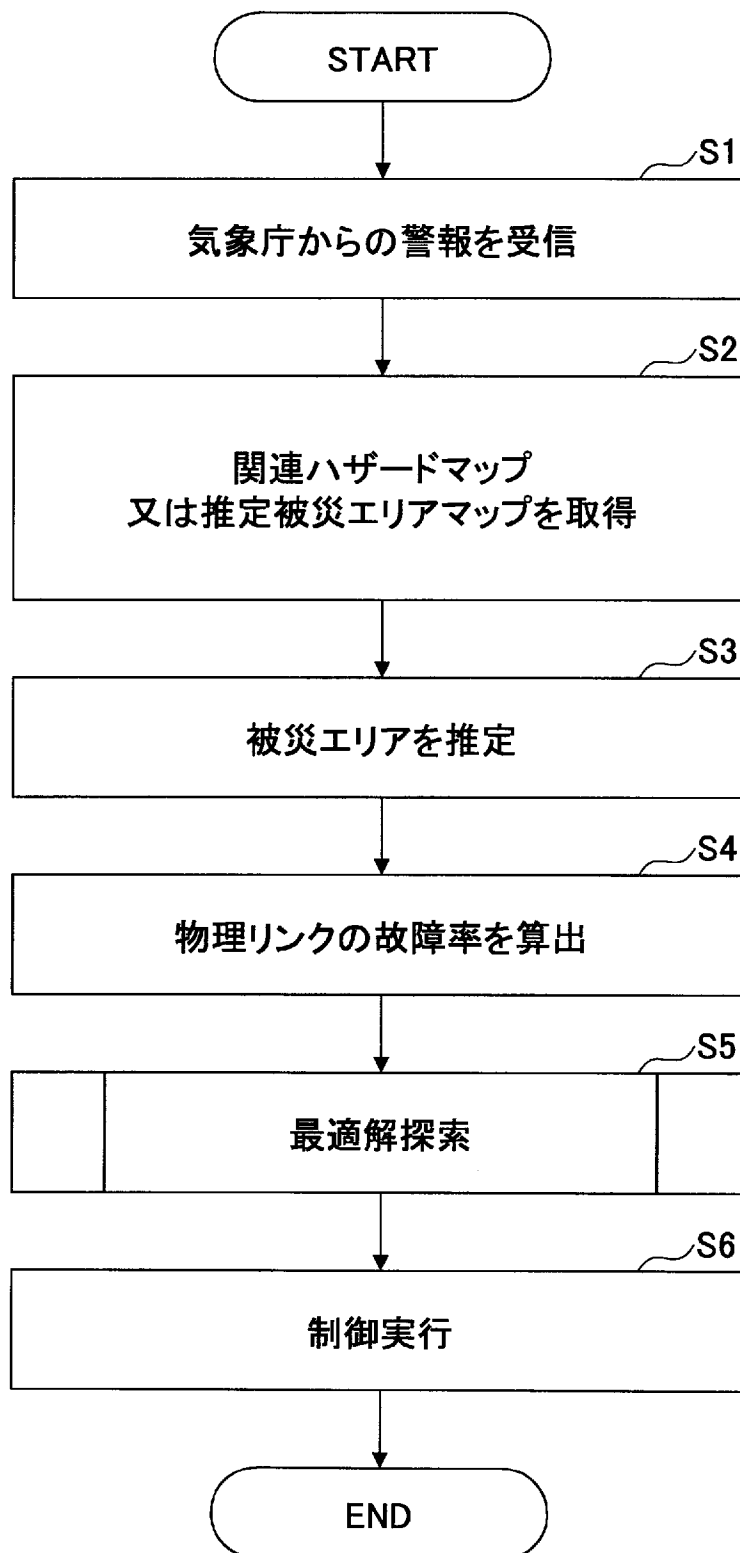
[図3]



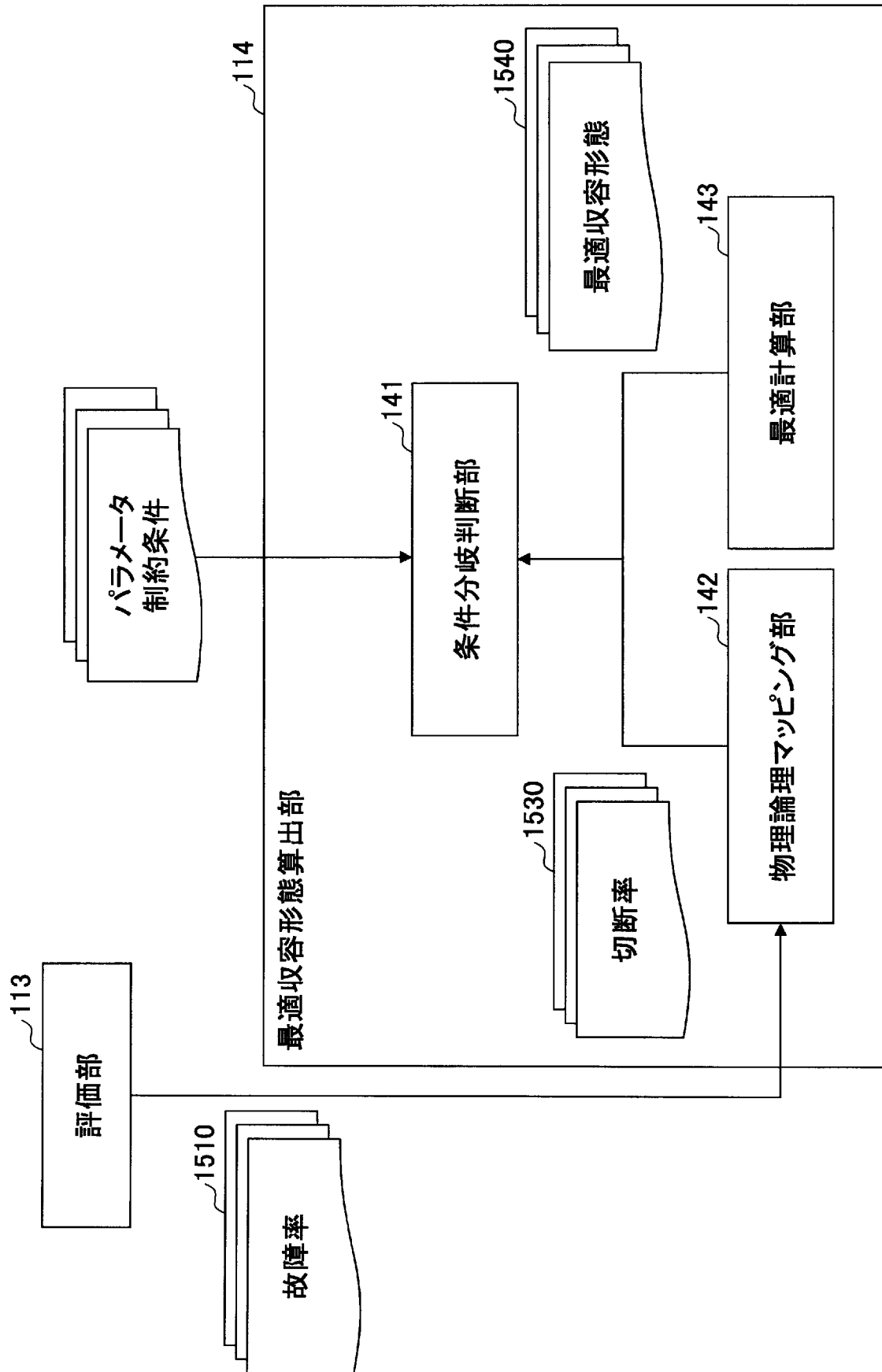
[図4]



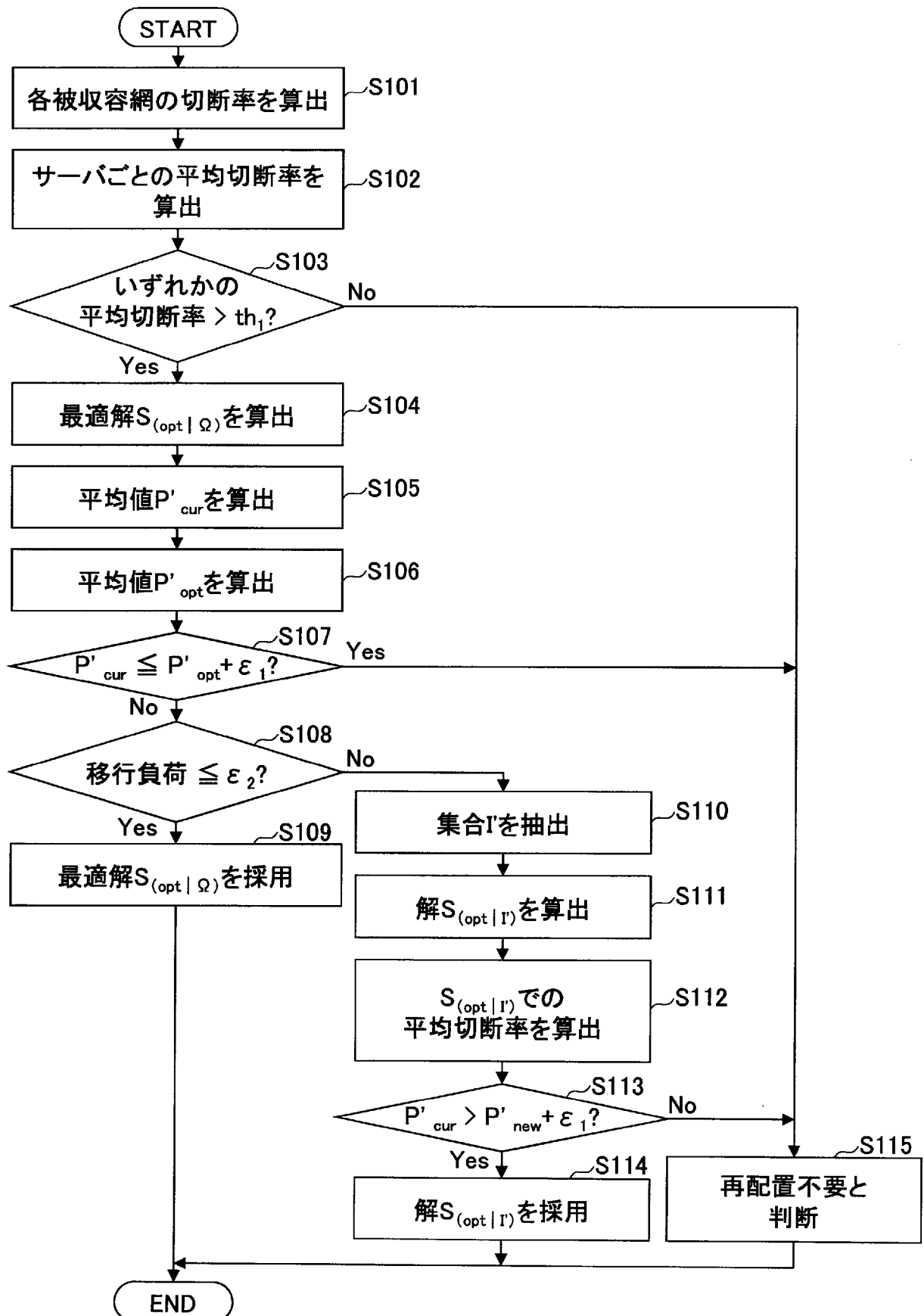
[図5]



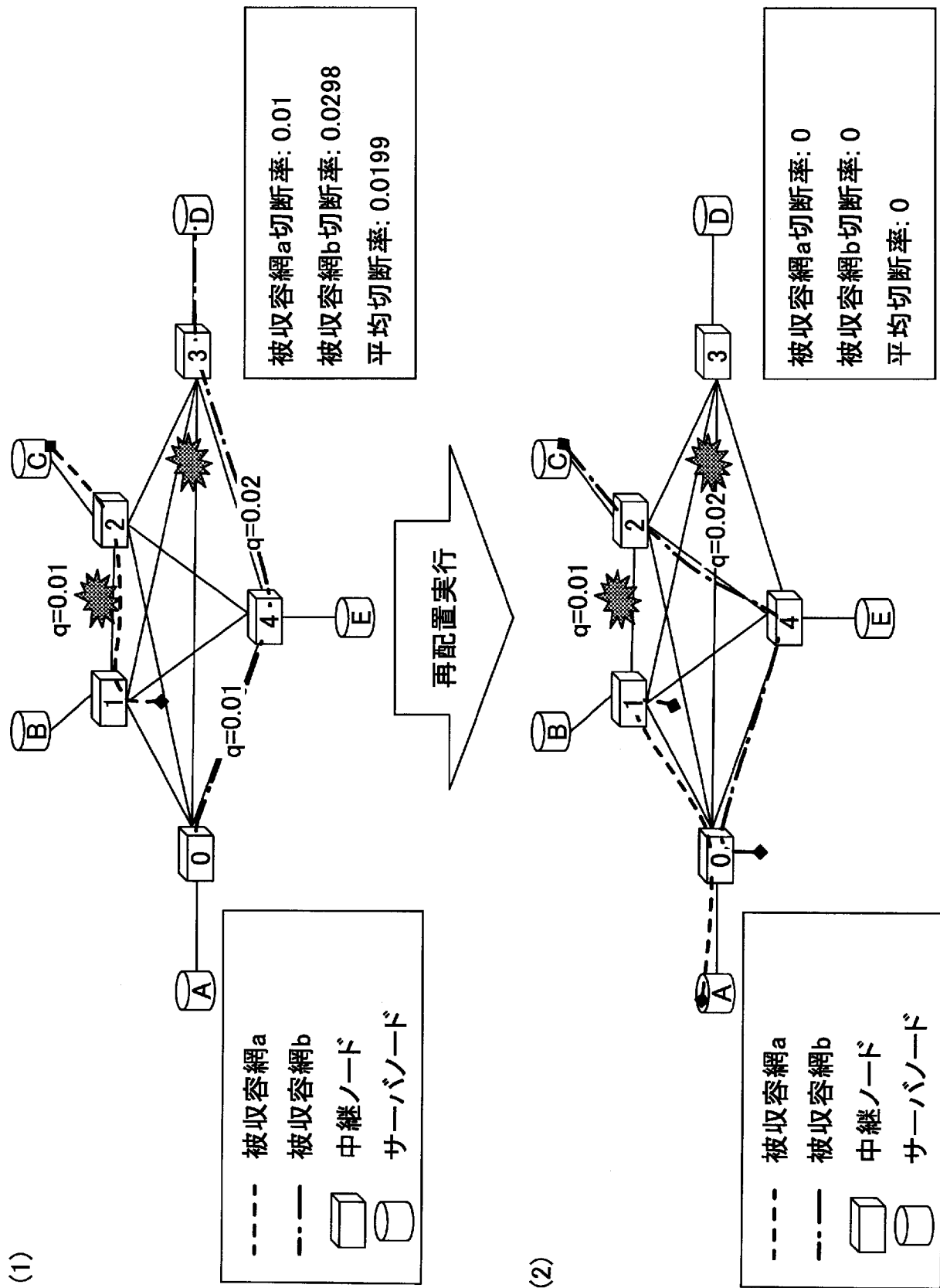
[図6]



[図7]



[図8]

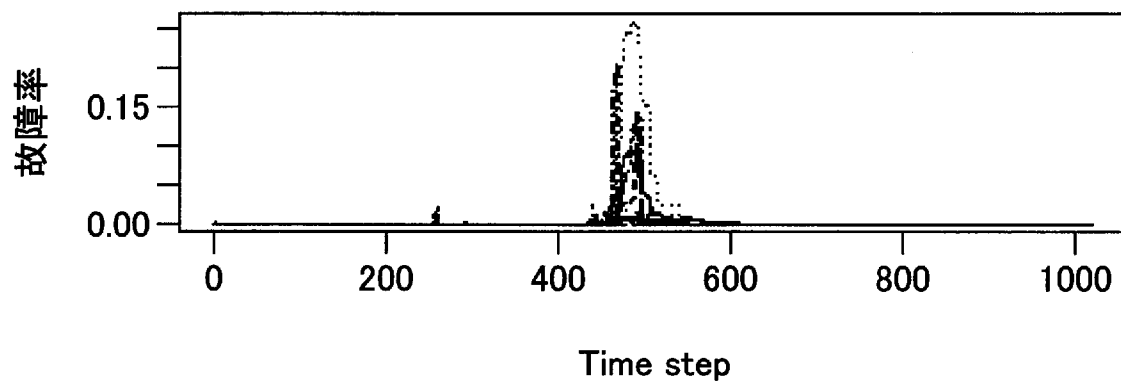
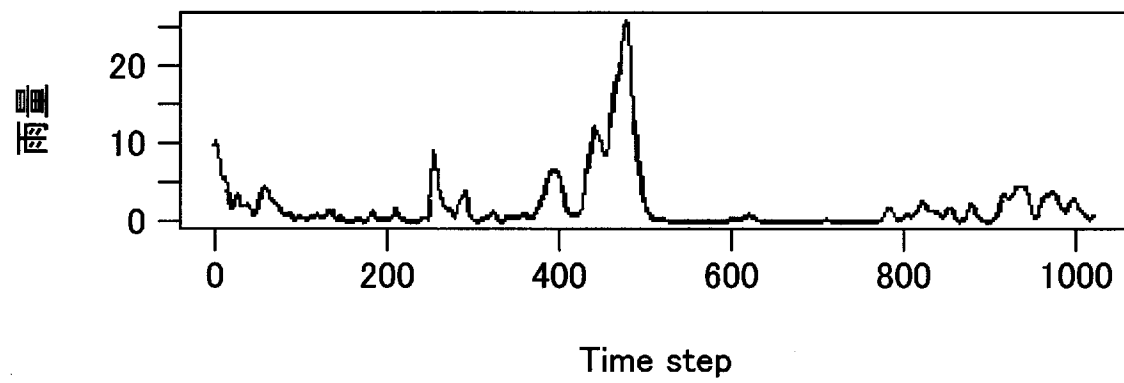


[図9]

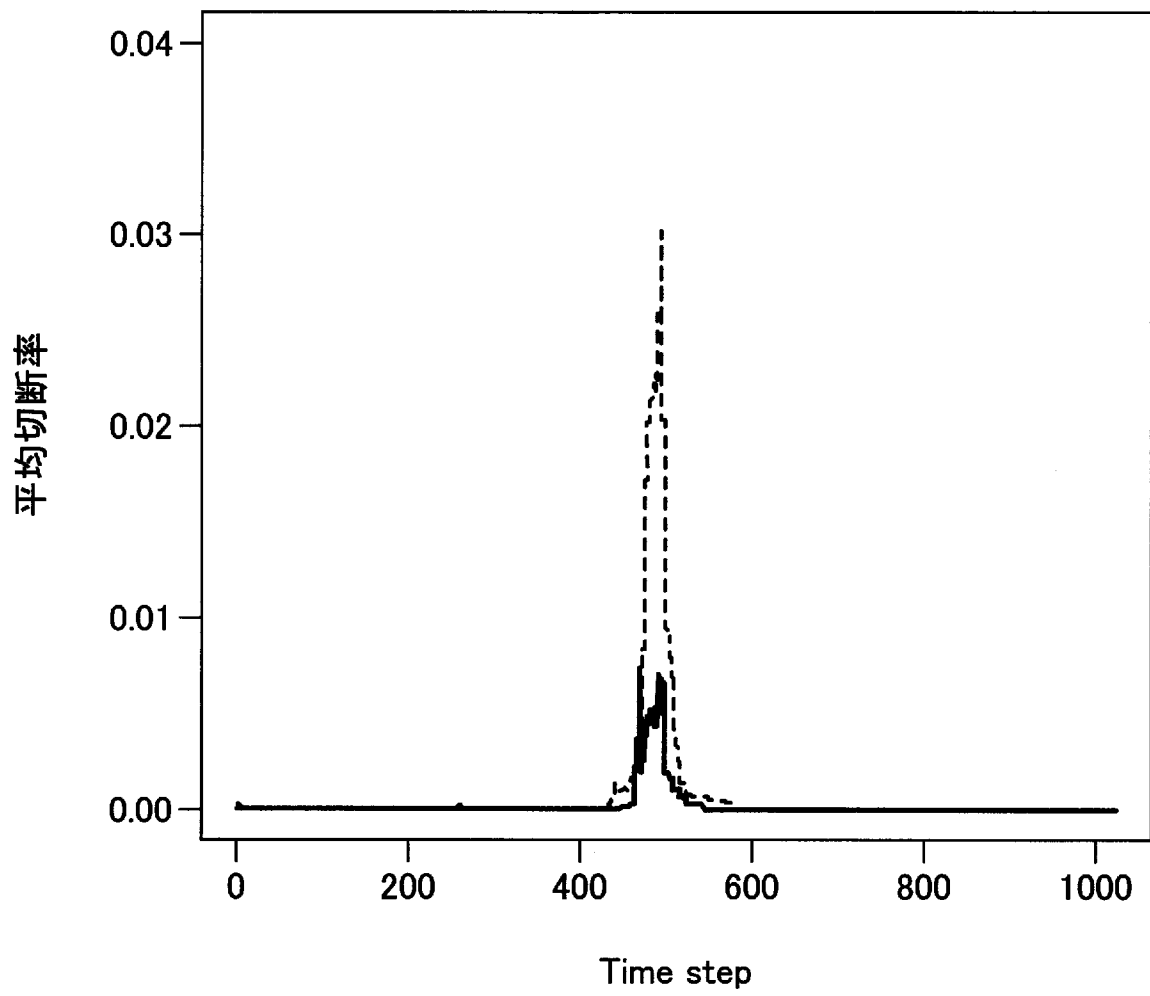
| 番号 | 0-1 | 1-2 | 2-3 | 3-4 | 4-0 | 導通 |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| 17 | ×   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○  |
| 18 | ×   | ○   | ○   | ○   | ×   | ×  |
| 19 | ×   | ○   | ○   | ×   | ○   | ○  |
| 20 | ×   | ○   | ○   | ×   | ×   | ×  |
| 21 | ×   | ○   | ×   | ○   | ○   | ○  |
| 22 | ×   | ○   | ×   | ○   | ×   | ×  |
| 23 | ×   | ○   | ×   | ×   | ○   | ○  |
| 24 | ×   | ○   | ×   | ×   | ×   | ×  |
| 25 | ×   | ×   | ○   | ○   | ○   | ○  |
| 26 | ×   | ×   | ○   | ○   | ×   | ×  |
| 27 | ×   | ×   | ○   | ×   | ○   | ○  |
| 28 | ×   | ×   | ○   | ×   | ×   | ×  |
| 29 | ×   | ×   | ×   | ○   | ○   | ○  |
| 30 | ×   | ×   | ×   | ○   | ×   | ×  |
| 31 | ×   | ×   | ×   | ×   | ○   | ○  |
| 32 | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×  |

| 番号 | 0-1 | 1-2 | 2-3 | 3-4 | 4-0 | 導通 |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| 1  | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○  |
| 2  | ○   | ○   | ○   | ○   | ×   | ○  |
| 3  | ○   | ○   | ○   | ×   | ○   | ○  |
| 4  | ○   | ○   | ○   | ×   | ×   | ×  |
| 5  | ○   | ○   | ×   | ○   | ○   | ○  |
| 6  | ○   | ○   | ×   | ○   | ×   | ×  |
| 7  | ○   | ○   | ×   | ×   | ○   | ×  |
| 8  | ○   | ○   | ×   | ×   | ×   | ×  |
| 9  | ○   | ×   | ○   | ○   | ○   | ○  |
| 10 | ○   | ×   | ○   | ○   | ×   | ×  |
| 11 | ○   | ×   | ○   | ×   | ○   | ○  |
| 12 | ○   | ×   | ○   | ×   | ×   | ×  |
| 13 | ○   | ×   | ×   | ○   | ○   | ○  |
| 14 | ○   | ×   | ×   | ○   | ×   | ×  |
| 15 | ○   | ×   | ×   | ×   | ○   | ○  |
| 16 | ○   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×  |

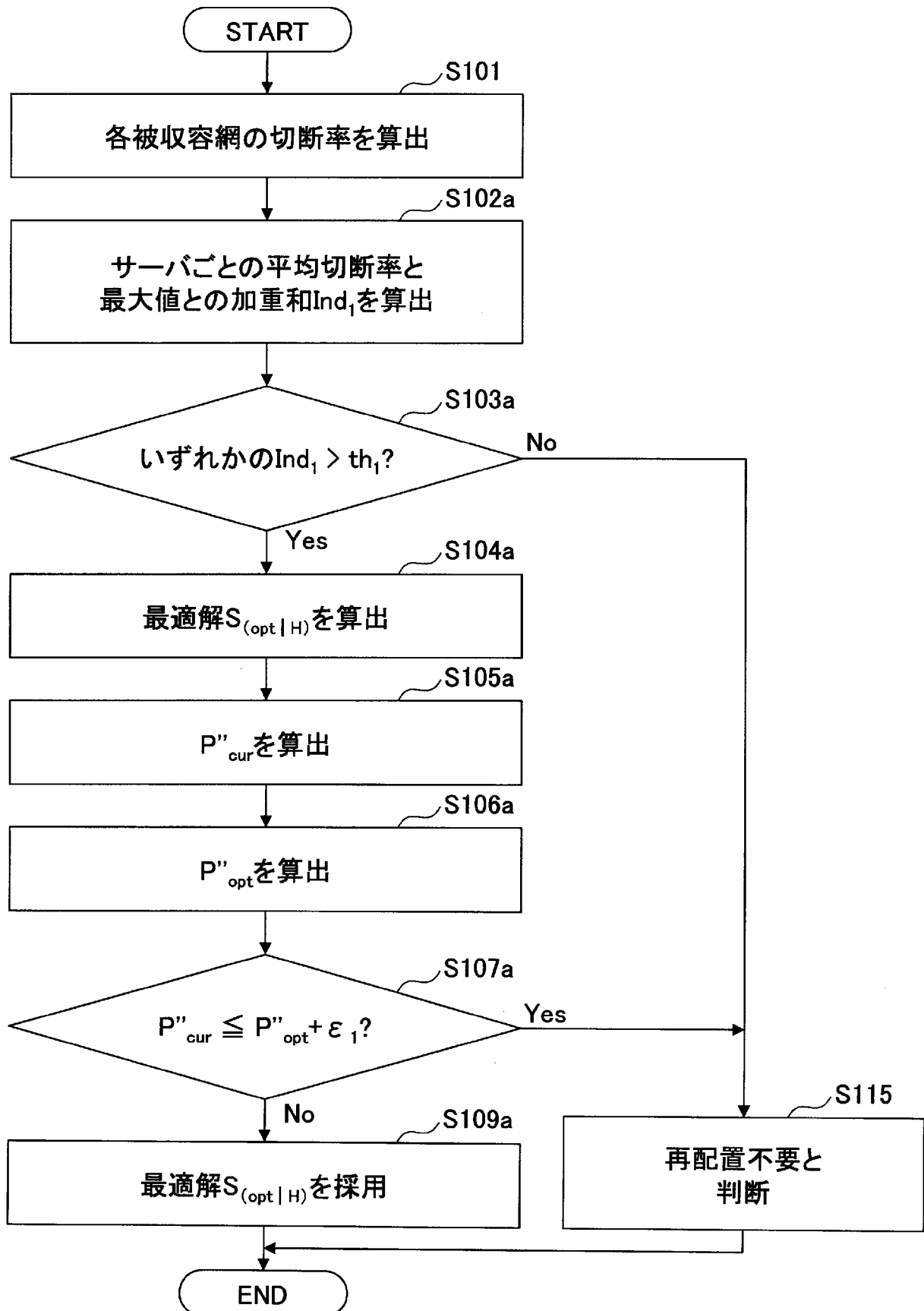
[図10]



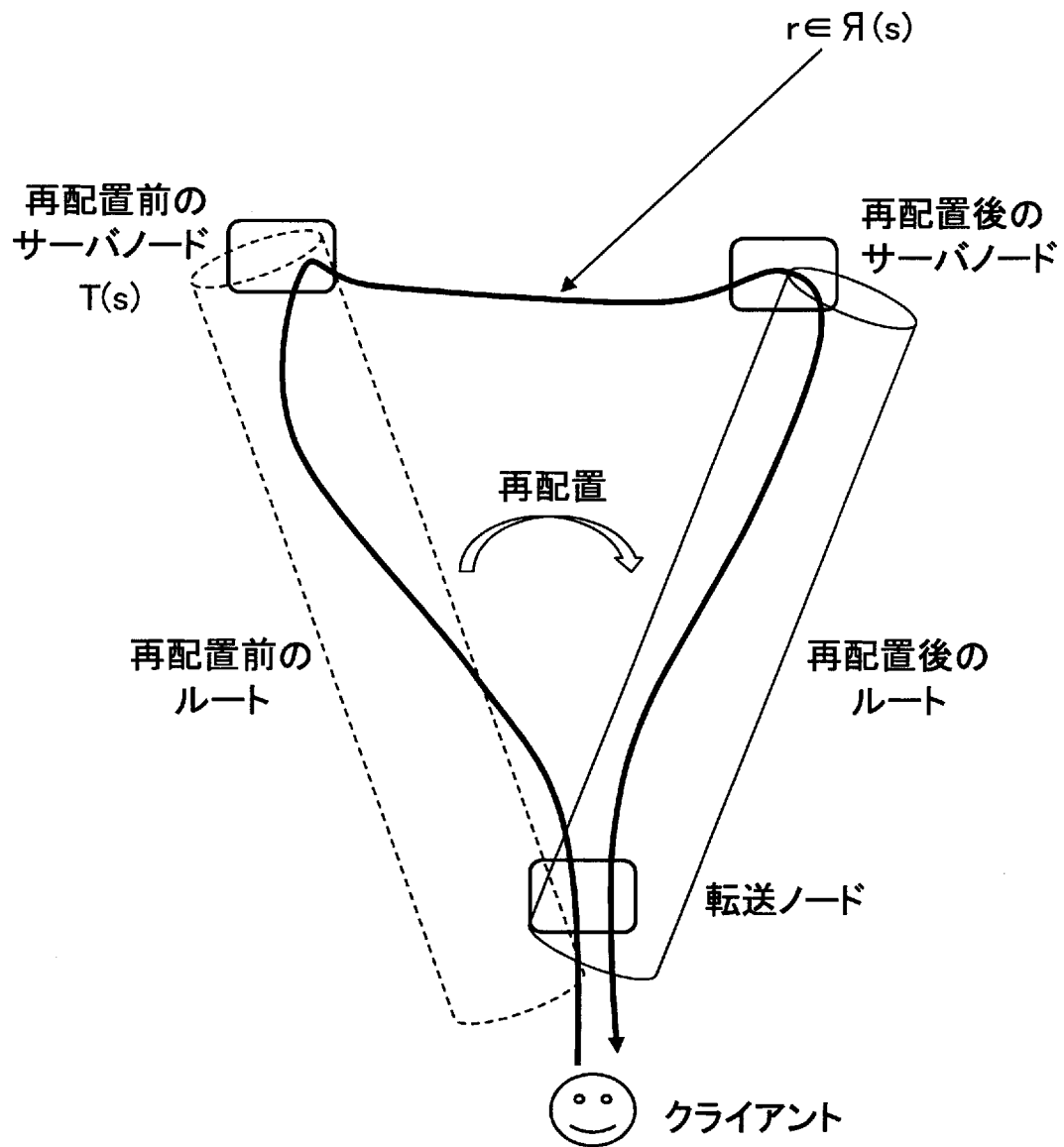
[図11]



[図12]



[図13]



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/029529

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04L12/70(2013.01)i, H04L12/707(2013.01)i, H04L12/717(2013.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04L12/70, H04L12/707, H04L12/717

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

|                           |           |                            |           |
|---------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| Jitsuyo Shinan Koho       | 1922-1996 | Jitsuyo Shinan Toroku Koho | 1996-2017 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2017 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2017 |

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                    | Relevant to claim No.   |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| X<br>A    | JP 2015-198401 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.),<br>09 November 2015 (09.11.2015),<br>abstract; paragraphs [0034] to [0035]<br>(Family: none) | 1-2, 5-6, 9<br>3-4, 7-8 |

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
30 October 2017 (30.10.17)

Date of mailing of the international search report  
07 November 2017 (07.11.17)

Name and mailing address of the ISA/  
Japan Patent Office  
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,  
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

## A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H04L12/70(2013.01)i, H04L12/707(2013.01)i, H04L12/717(2013.01)i

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H04L12/70, H04L12/707, H04L12/717

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

|             |            |
|-------------|------------|
| 日本国実用新案公報   | 1922-1996年 |
| 日本国公開実用新案公報 | 1971-2017年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1996-2017年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1994-2017年 |

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

## C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の<br>カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示                                       | 関連する<br>請求項の番号          |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| X<br>A          | JP 2015-198401 A（日本電信電話株式会社）2015.11.09,<br>要約, 段落[0034]-[0035]（ファミリーなし） | 1-2, 5-6, 9<br>3-4, 7-8 |

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&amp;」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

30.10.2017

国際調査報告の発送日

07.11.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

野元 久道

5 X

9184

電話番号 03-3581-1101 内線 3596