

(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
2015年8月13日(13.08.2015)



(10) 国際公開番号
WO 2015/118874 A1

- (51) 国際特許分類:
H04L 12/70 (2013.01) **H04L 12/717** (2013.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/000525
- (22) 国際出願日: 2015年2月5日(05.02.2015)
- (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 2014-020979 2014年2月6日(06.02.2014) JP
- (71) 出願人: 日本電気株式会社(NEC CORPORATION)
[JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号
Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 逸身 勇人(ITSUMI, Hayato); 〒1088001
東京都港区芝五丁目7番1号日本電気株式会社
内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 桂木 雄二(KATSURAGI, Yuji); 〒1700013
東京都豊島区東池袋3丁目21-18第一笠原
ビル603号室 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, BA,

BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN,
CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN,
IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, 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:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: NETWORK SYSTEM, NETWORK CONTROL METHOD, AND CONTROL DEVICE

(54) 発明の名称: ネットワークシステム、ネットワーク制御方法および制御装置

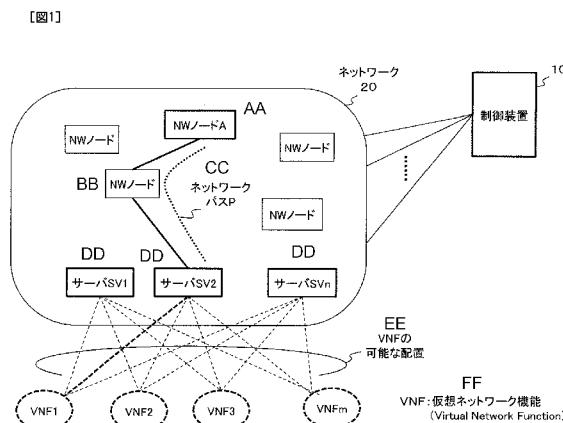


FIG. 1:
10 Control device
20 Network
AA NW node (A)
BB NW node
CC Network path (P)
DD Server
EE Possible arrangements of VNF
FF Virtual network function

(57) Abstract: [Problem] To provide a network system, a network control method, and a control device that solve the arrangement of a virtual network function on a network. [Solution] A device (10) that controls a network comprising a plurality of nodes and servers stores first information that relates to the links and nodes of a network (20) and second information that relates to a computing resource of a server (SV) that is capable of arranging a virtual network function (VNF) and, when at least one virtual network function (VNF) is requested, simultaneously arranges the requested virtual network function (VNF) on the server (SV) and sets a path (P) for a network that connects to the arrangement destination server on the basis of the first and the second information.

(57) 要約: 【課題】ネットワーク上での仮想ネットワーク機能の配置を解決するネットワークシステム、ネットワーク制御方法および制御装置を提供する。【解決手段】複数のノードおよびサーバを有するネットワークを制御する装置(10)は、ネットワーク(20)のリンクおよびノードに関する第1情報と、仮想ネットワーク機能(VNF)を配置可能なサーバ(SV)のコンピューティングリソースに関する第2情報と、を格納し、少なくとも一つの仮想ネットワーク機能(VNF)が要求された場合、第1情報および第2情報に基づいて、要求された仮想ネットワーク機能(VNF)のサーバ(SV)への配置と、配置先のサーバに接続

するネットワークのパス(P)の設定と、を一括で実行する。

明 細 書

発明の名称：

ネットワークシステム、ネットワーク制御方法および制御装置

技術分野

[0001] 本発明は仮想ネットワーク機能を含むネットワークシステムに係り、特にネットワークの制御方法および制御装置に関する。

背景技術

[0002] 現在の通信システムでは、B R A S (Broadband Remote Access Server)、N A T (Network Address Translation)、ルータ、ファイアウォールなどの様々なネットワーク機能 (Network Function : N F) を専用のハードウェア機器 (アプライアンス) により実現している。このために、ネットワークオペレータは、新たな通信サービスを立ち上げる場合、新たな専用のハードウェア機器の導入を強いられ、機器の購入費用や設置スペース等の多大なコストを必要とする。このような状況に鑑み、近年、ハードウェア機器で実行されるネットワーク機能をソフトウェアにより仮想的に実行する技術 (ネットワーク機能の仮想化 : Network Function Virtualization) が検討されている (非特許文献 1)。通信サービスの仮想化の一例として、特許文献 1 に、通信ノード装置上に複数の仮想ルータを構築し、これらの仮想ルータの資源を通信品質に応じて動的に配分する方法が開示されている。

[0003] また、複数の仮想ネットワーク機能 (Virtual Network Function : V N F) を組み合わせた通信経路に通信フローを伝送することにより種々の通信サービスを提供する技術 (サービスチェイニング : Service Chaining) も検討されている (たとえば、非特許文献 2 を参照)。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献 1 : 特開 2 0 1 2 - 1 7 5 4 1 8 号公報

非特許文献

[0005] 非特許文献1: Network Functions Virtualization – Update White Paper, October 15-17, 2013 at the “SDN and OpenFlow World Congress”, Frankfurt-Germany (http://portal.etsi.org/NFV/NFV_White_Pater2.pdf)

[0006] 非特許文献2: “Interface to the Routing System (I2RS) for Service Chaining: Use Cases and Requirements”, Internet Engineering Task Force I2RS working group Internet Draft (July 15, 2013)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 仮想化されたネットワーク機能の環境では、データプレーンのVNF間トラフィックが、今日のデータセンタに比べて、非常に大きくなることが予想される。特にサービスチェイニングのエッジに位置するノードのトラフィック負荷が非常に重くなると考えられる。したがって、サービスチェイニングでは、単に仮想マシンの配置を考慮するだけでは不十分であり、コンピューティングおよびネットワークの両方のリソースを考慮することが必要である。

[0008] しかしながら、上述した特許文献および非特許文献が開示しているのは、仮想マシンの配置先決定およびサービスチェーンを構成するパスの決定だけである。言い換えれば、上述した背景技術は、VNFの配置を考慮するだけで、ネットワークパフォーマンス(end-to-end bandwidth, end-to-end delay, end-to-end reliability)を考慮していない。たとえば、特許文献1では、通信ノード装置内で仮想ルータのための資源を配分する技術を開示しているが、ネットワークパフォーマンスを考慮した仮想ルータの配置、すなわちネットワーク上での仮想ルータの配置、を決定するものではない。

[0009] そこで、本発明の目的は、ネットワーク上での仮想ネットワーク機能の配置を解決するネットワークシステム、ネットワーク制御方法および制御装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0010] 本発明によるネットワーク制御装置は、複数のノードおよびサーバを有す

るネットワークを制御する装置であって、前記ネットワークのリンクおよびノードに関する第1情報と、仮想ネットワーク機能を配置可能なサーバのコンピューティングリソースに関する第2情報と、を格納する格納手段と、少なくとも一つの仮想ネットワーク機能が要求された場合、前記第1情報および前記第2情報に基づいて、前記要求された仮想ネットワーク機能のサーバへの配置と、配置先のサーバに接続する前記ネットワークのパス設定と、を一括で実行するパス決定手段と、を有することを特徴とする。

本発明によるネットワーク制御方法は、複数のノードおよびサーバを有するネットワークを制御する方法であって、前記ネットワークのリンクおよびノードに関する第1情報と、仮想ネットワーク機能を配置可能なサーバのコンピューティングリソースに関する第2情報と、を格納手段に格納し、少なくとも一つの仮想ネットワーク機能が要求された場合、前記第1情報および前記第2情報に基づいて、前記要求された仮想ネットワーク機能のサーバへの配置と、配置先のサーバに接続する前記ネットワークのパス設定と、を一括で実行する、ことを特徴とする。

本発明によるネットワークシステムは、複数のノードおよびサーバを有するネットワークと前記ネットワークを制御する制御装置とを有するネットワークシステムであって、前記制御装置が、ネットワークのリンクおよびノードに関する第1情報と、少なくとも1つの仮想ネットワーク機能を配置可能なサーバのコンピューティングリソースに関する第2情報と、を格納する格納手段と、少なくとも一つの仮想ネットワーク機能が要求された場合、前記第1情報および前記第2情報に基づいて、前記要求された仮想ネットワーク機能のサーバへの配置と、配置先のサーバに接続する前記ネットワークのパス設定と、を一括で実行するパス決定手段と、を有することを特徴とする。

発明の効果

[0011] 本発明によれば、仮想ネットワーク機能のサーバへの配置とネットワークのパス設定とを一括で実行することで、ネットワーク上での仮想ネットワーク機能の最適な配置を実現できる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]図 1 は本発明の実施形態を実装するネットワークの一例を示すシステム構成図である。

[図2]図 2 は本発明の実施形態によるネットワークシステムでのサービスチェーンの一例を示す模式的なネットワーク図である。

[図3]図 3 は本発明の第 1 実施形態による制御装置の概略的構成を示すブロック図である。

[図4]図 4 は第 1 実施形態におけるサーバの概略的構成を示すブロック図である。

[図5]図 5 は第 1 実施形態による制御装置に設けられたデータベースのデータ構成例を示す図である。

[図6]図 6 は第 1 実施形態による制御装置の概略的な動作を示すフローチャートである。

[図7]図 7 は本発明の第 2 実施形態による制御装置の概略的構成を示すブロック図である。

[図8]図 8 は第 2 実施形態による制御装置の動作を説明するための仮想リンクを示す模式的なネットワーク構成図である。

[図9]図 9 は第 2 実施形態による制御装置のネットワークパスの決定動作を示すフローチャートである。

[図10]図 10 は図 8 における物理リンクの選択動作を説明するための模式的なネットワーク構成図である。

[図11]図 11 は第 2 実施形態による制御装置のサーバ選択動作およびサービスチェーンパスの決定動作を示すフローチャートである。

[図12]図 12 は図 11 におけるサーバ選択動作およびサービスチェーンパスの決定動作を説明するための模式的なネットワーク構成図である。

[図13]図 13 は本発明の実施形態を実装するネットワークの他の例を示すシステム構成図である。

[図14]図 14 は本発明の第 3 実施形態による運用管理装置の概略的構成を示

すブロック図である。

[図15]図 1 5 は第 3 実施形態における運用管理装置によるネットワーク可視化の一例である表示画面を模式的に示す図である。

[図16]図 1 6 は第 3 実施形態における運用管理装置によるサービスチェーン可視化の一例である表示画面を模式的に示す図である。

[図17]図 1 7 は本発明の第 4 実施形態による運用管理装置の概略的構成を示すブロック図である。

[図18]図 1 8 は本発明の第 5 実施形態による制御装置の概略的構成を示すブロック図である。

[図19]図 1 9 は第 5 実施形態におけるネットワークノードの概略的構成を示すブロック図である。

[図20]図 2 0 は第 5 実施形態におけるサーバの概略的構成を示すブロック図である。

[図21]図 2 1 は第 5 実施形態において採用されるオープンフロー技術について説明するための模式的なシステム構成図である。

[図22]図 2 2 は図 2 1 におけるフローテーブルに格納されるエントリの構成を模式的に示すフォーマット図である。

[図23]図 2 3 は本発明の第 6 実施形態による仮想ネットワーク機能の配置決定方法を説明するためのネットワーク機能フォワーディンググラフを示す図である。

[図24]図 2 4 は第 6 実施形態におけるアンダーレイネットワークトポロジを示すネットワーク図である。

[図25]図 2 5 は第 6 実施形態における拡張ネットワークトポロジを示すネットワーク図である。

[図26]図 2 6 は第 6 実施形態における拡張ネットワークトポロジを用いたサービスチェーンの VNF 配置を示すネットワーク図である。

[図27]図 2 7 は図 2 6 における VNF 配置決定の際のフロー保存則を説明するための模式的なネットワーク図である。

[図28]図28は図26におけるVNF配置決定の際の帯域制約条件を説明するための模式的なネットワーク図である。

[図29]図29は図26におけるVNF配置決定の際のコンピューティング制約条件を説明するための模式的なネットワーク図である。

[図30]図30は図26におけるVNF配置決定の際のVNFリンク制約条件を説明するための模式的なネットワーク図である。

発明を実施するための形態

[0013] A. 本発明の実施形態の概要

本発明の実施形態によれば、仮想ネットワーク機能（VNF）の配置とネットワークのパス設定とを一括で実行することにより、アンダーレイネットワークの通信特性および通信性能を考慮した最適なVNF配置を実現できる。以下、図1に示すネットワークシステムを参照しながら本発明の実施形態の概要を説明する。

[0014] 図1に示すように、制御装置10はネットワーク20を制御し、後述するVNFの配置とネットワークのパス設定とを一括で実行する。ネットワーク20は複数のNW（ネットワーク）ノードおよび複数のサーバSV1～SVnを含み、それらが隣接するノードあるいはサーバと物理リンクで接続されている。なお、制御装置10はネットワークの運用管理装置内に設けられてもよい。

[0015] 各サーバは、複数の仮想ネットワーク機能VNF1～VNFnにそれぞれ実行する仮想マシン（VM：Virtual Machine）を構築することができる。ここでは、各VNFがサーバSV1～SVmに配置可能であるものとする。図1において、各サーバSVと各VNFとを相互に接続する破線はVNFの配置可能性を表し、これらの相互接続の集合が「VNFの可能な配置」である。この「VNFの可能な配置」において、サーバとそこに配置される仮想マシンVMとをネットワークトポロジの構成要素とし、かつ、仮想マシンの配置の可否判断に必要な情報（サーバの空き容量および計算能力、仮想マシンの要求条件など）を各構成要素に関連づける。これにより「VNFの可能な

配置」に示す相互接続をネットワーク 20 のトポロジの拡張と考えることができる。この拡張されたネットワークトポロジを用いることで、VNF のサーバへの配置とネットワークパスの設定とを一括で実行することが可能となる。

[0016] たとえば、図 1 において、ネットワーク 20 の NW ノード A と仮想ネットワーク機能 VNF 1 との間の仮想リンクをアンダーレイにマッピングしようとする場合を一例として考える。この例では、NW ノード A から各サーバ SV までの可能なパス（ネットワークリソース情報）と、各サーバ SV と VNF 1 との間の相互接続（各サーバへの VNF 1 配置のためのコンピューティングリソース情報）と用いて、VNF 1 に要求されるリソースを満たす最適経路を一括して計算することができる。図 1 では、NW ノード A とサーバ SV 2 との間のネットワークパス P と VNF 1 の配置先としてのサーバ SV 2 とが最適解として例示されている。言うまでもなく、アンダーレイネットワークの状態およびサーバ SV の計算能力の変化等により条件が変化すれば、仮想リンクおよび VNF 1 の要求に最も合致した別のネットワークパスおよび／または別のサーバが最適解となり得る。

[0017] なお、複数の連結された VNF を通して 2 つの NW ノードの間に通信経路を設定する場合には、当該通信経路を分割して上述した手順を順次適用すればよい。たとえば、一方の NW ノードから第 1 の VNF の間で上述した手順を適用し、第 1 の VNF から次の VNF の間、更にその次の VNF というように順次適用し、最後の VNF から他方の NW ノードの間に適用する。

[0018] B. サービスチェーン

以下、説明を簡略化するために、図 2 に示すネットワーク構成を参照しながら、本発明の実施形態におけるサービスチェーンについて説明する。

[0019] 図 2 において、ネットワークノード N1 ～ N4 が相互に物理リンクで接続されており、ネットワークノード N2 および N4 の各々がサーバ SV 1 ～ SV 4 に物理リンクで接続されているものとする。各サーバは 2 つの仮想ネットワーク機能 VNF __A と VNF __B を配置可能である。なお、ネットワー

クノードN1～N4およびサーバSV1～SV4は、図示されていない制御装置10の制御により上述した仮想リンクを設定する。以下、ノードN1～N4の任意の1つを「ノードN」、サーバSV1～SV4の任意の1つを「サーバSV」と適宜略記する。

[0020] 図2に示すサービスチェーンPscは、太線で示されるように、ネットワークノードN1から、ネットワークノードN2およびサーバSV1を通して仮想ネットワーク機能VNF__Aまでの仮想リンクと、VNF__AからサーバSV1を通してVNF__Bまでの仮想リンクと、VNF__BからサーバSV1およびネットワークN2を通してネットワークノードN3までの仮想リンクと、からなる。ここでは、サーバSV1にVNF__AとVNF__Bが配置されたものとする。

[0021] ネットワークのパスは、サービスチェーンPscに対応する仮想リンクを構成する物理リンクの集合として定義される。すなわち、図2において、ネットワークノードN1ーネットワークノードN2ーサーバSV1と、サーバSV1ーネットワークノードN2ーネットワークノードN3とを經由する物理パスの集合がネットワークのパスである。

[0022] 以下、図2に示すVNF__AおよびVNF__Bのサービスチェーンを一例として、本発明の実施形態について具体的に説明する。

[0023] 1. 第1実施形態

1. 1) システム構成

図3において、本発明の第1実施形態による制御装置10は、データベース111およびパス決定部112を有し、ネットワーク20のノードN1～N4およびサーバSV1～SV4を制御する。パス決定部112はVNFのサーバへの配置とサービスチェーンに対応するネットワークのパス設定とを一括で実行する。データベース111は、後述するように（図5参照）、パス決定部112が上記動作を実行するための情報を有する。なお、図示されていないが、制御装置10は、ネットワーク20内のノード、サーバ等から後述する情報を収集してデータベース111を構築する機能を有する。

[0024] 図4において、各サーバSVは、複数のVNFをそれぞれ実行する複数の仮想マシンVM1、VM2、・・・を設定可能であり、本実施形態では二つの仮想マシンVM1およびVM2にVNF__AおよびVNF__Bを配置することができるものとする。仮想マシンVMおよびサーバとしての動作は制御部113により制御される。

[0025] 図5に示すように、データベース111に格納される情報は、ネットワークポロジの構成要素（リンク、スイッチ等）に関する情報と、ネットワークポロジの構成要素に関するパラメータと、を含む。パラメータは、パス決定部112がサービスチェーンに対応するネットワークのパス設定を実行するために用いられる。

[0026] 本実施形態におけるデータベース111は、ネットワークポロジの構成要素として、ネットワークに関する情報（リンク、スイッチに関する情報）に加えて、コンピューティングリソースに関する情報（サーバ、仮想マシンに関する情報）を保持している。上述したように、サーバとそこに配置されるVNFを実行する仮想マシンVMとをネットワークポロジの構成要素として表現することでネットワークポロジを拡張し、さらに、仮想マシンVMの配置の判断に必要なパラメータ（CPU使用率や、VMの要求条件等）を構成要素に関連付けることで、仮想マシンVMの配置とネットワークパス設定とを一括で実行することが可能となる。

[0027] 1. 2) パス決定動作

図6に示すように、制御装置10のパス決定部112は、ネットワークに関する第一の要求条件とコンピューティングリソースに関する第二の要求条件とを参照する（動作S211）。ここで、「第一の要求条件」は、サービスチェーンを構成するネットワークに対する要求条件であり、例えば、要求される通信帯域等である。「第二の要求条件」は、仮想マシンVM（VNF）の実行基盤となるコンピューティングリソースに対する要求条件であり、例えばサーバに要求されるCPU／メモリリソース等である。

[0028] 続いて、パス決定部112は、データベース111を参照して、ネットワ

ークに関する第一のパラメータとコンピューティングリソースに関する第二のパラメータとを参照する（動作S 2 1 2）。ここで、「第一のパラメータ」は、ネットワークトポロジの構成要素のうちリンク、スイッチ等の、本来的にネットワークを構成するエンティティに対応付けられたパラメータであり、具体的には使用可能な通信帯域等である。「第二のパラメータ」は、ネットワークトポロジの構成要素のうちサーバ、仮想マシン等の、本来的にコンピューティングに関するエンティティに対応付けられたパラメータであり、具体的にはCPU使用率、要求されるCPU能力等である。

[0029] 続いて、パス決定部112は、上述した第一のパラメータおよび第二のパラメータに基づいて、上述した第一の要求条件および第二の要求条件を満たすネットワーク上でのサービスチェーンのパス（VMの配置を含む）を決定する（動作S 2 1 3）。

[0030] 1. 3) 効果

上述したように、本発明の第1実施形態によれば、ネットワークに関する第一のパラメータとコンピューティングに関する第二のパラメータとに基づいて、仮想ネットワーク機能（VNF）の配置とネットワークのパス設定との両方を、すなわちネットワーク上の仮想ネットワーク機能（VNF）の配置を、要求条件を満たすように一度で決定することができる。これにより、アンダーレイネットワークの通信特性および通信性能を考慮した最適なVNF配置が可能となる。

[0031] 2. 第2実施形態

本発明の第2実施形態による制御装置10は、ネットワーク条件に関する比較結果とコンピューティング条件に関する比較結果とに基づいて、要求を満たすネットワーク上でのサービスチェーンのパスを決定する。以下、図7～図12を参照しながら第2実施形態について詳述する。

[0032] 2. 1) システム構成

図7において、本発明の第2実施形態による制御装置10はデータベース111およびパス決定部122を有し、さらに、第1実施形態と同様に、ネ

ットワークのノード等から情報を収集してデータベース 1 1 1 を構築する機能を有する。データベース 1 1 1 は、第 1 実施形態と同様であり、図 5 に示すように、パス決定部 1 2 2 がパス決定動作を実行するための情報を格納する。なお、サーバ S V については、第 1 実施形態と同様に、図 4 に示す構成を有する。

[0033] パス決定部 1 2 2 は、ネットワーク条件比較部 1 2 2 a とコンピューティング条件比較部 1 2 2 b とを有する。ネットワーク条件比較部 1 2 2 a は、ネットワークに関する要求条件（第 1 実施形態の「第一の要求条件」）とネットワークに関する構成要素のパラメータとを比較し、要求条件を満たすパスを検索する。コンピューティング条件比較部 1 2 2 b は、コンピューティングに関する要求条件（第 1 実施形態の「第二の要求条件」）とコンピューティングに関する構成要素（サーバ）のパラメータとを比較し、要求条件を満たす構成要素（VM の配置先）を検索する。

[0034] なお、制御装置 1 0 のパス決定部 1 2 2 は、次に述べるパス決定制御プログラムを実行するプロセッサ（CPU : Central Processing Unit）と、プログラムを保持する ROM (Read Only Memory) および情報を保持する RAM (Random Access Memory) 等の記憶装置と、により実現することもできる。

[0035] 2. 2) パス決定動作

以下、ネットワーク条件比較部 1 2 2 a およびコンピューティング条件比較部 1 2 2 b を含むパス決定部 1 2 2 のパス決定動作について説明する。

[0036] 図 8 に示すように、パス決定部 1 2 2 はサービスチェインを作成するにあたり、まず、始点(Source)と終点(Destination)のみを定めた仮想的なリンクを要求条件と共に設定する。すなわち、ネットワークノード N 1 を始点、仮想ネットワーク機能 VNF__A を終点とする仮想リンク VL を設定し、始点と終点との間で実際に経由する物理リンクについては Don' t Care とする。仮想リンク VL を設定するのは、ネットワークの管理者等が行ってもよいし、制御装置自身が設定してもよい。

[0037] <ネットワーク条件比較>

図9において、ネットワーク条件比較部122aは、上述した仮想リンクVLをサービスチェインのパス設定の対象として参照し（動作S221）、この仮想リンクVLを構成するための物理リンクの候補を選択する（動作S222）。続いて、ネットワーク条件比較部122aは、物理リンクの候補からネットワーク要求条件（要求される通信帯域等）を満たす物理リンクを選択する（動作S223）。

[0038] まず、図8に示すネットワークにおいて、始点のノードN1から終点のVNFAへ向かう可能な物理リンク（実線）が物理リンクの候補として選択される（動作S222）。

[0039] 続いて、図10に示すように、物理リンクの候補から、ネットワーク要求条件（要求される通信帯域等）を満たす物理リンクが選択される（動作S223）。たとえば、始点のノードN1から終点のVNFAへ向かう可能な通信経路のうち要求条件を満たすものが太線の矢印で表された物理リンクPHYL1およびPHYL2／PHYL3、またはPHYL4およびPHYL5であるとすれば、これらの物理リンクが仮想リンクVLを構成するための物理リンクとして選択される。なお、サーバSVとVNFA間は実線ではなく破線で表されているが、これは、サーバSVとVNFA間に実際には物理リンクが存在せず、既に述べたように、VNFAの配置とパス設定とを一括で計算するために用いる便宜上のリンクであることを意味している。

[0040] なお、図5に示すデータベース111においては、図10に示す実線あるいは太線矢印で示された物理リンクに通信帯域等の通信に関するパラメータが対応付けられ、VNFAやサーバSVにCPU使用率、要求されるCPU／メモリ能力等のコンピューティングに関するパラメータが対応付けられている。

[0041] <コンピューティング条件比較（1）>

図11において、コンピューティング条件比較部122bは、VNFAを実行する仮想マシンVMに対するパラメータおよびコンピューティング要求条件を参照する（動作S224）。続いて、コンピューティング条件比較部1

22bは、パラメータとコンピューティング要求条件とを比較し、当該仮想マシンを配置する全てのサーバSVであるサーバ候補からコンピューティング要求条件を満たすサーバSVを選択する（動作S225）。こうして選択されたコンピューティング要求条件を満たすサーバSVと上述したネットワーク条件比較により選択された物理リンク（図10の太線矢印）とに基づいて、ネットワーク上でのサービスチェーンのパス（VMの配置を含む）を決定する（動作S226）。

[0042] 図12に太い破線矢印で示すように、上述した動作225によってVNF__Aの配置先がサーバSV1に決定されると、図10の太線矢印のうち物理リンクPHY1およびPHY2からなるネットワークパスが決定される。

[0043] <コンピューティング条件比較（2）>

上述したコンピューティング条件比較（1）では、上記ネットワーク条件比較動作とは独立してVNF__Aを配置可能な全てのサーバ候補の中から条件を満たすサーバを選択するという総当たり方式を採用したが、これに限定されるものではない。たとえば、上述したネットワーク条件比較により選択された物理リンク（図10の太線矢印）に接続したサーバSVをサーバ候補として限定しておき、限定されたサーバ候補からコンピューティング要求条件を満たすサーバSVを選択してもよい。この方式は、ネットワーク条件比較結果を利用することにより、総当たり方式の場合よりもコンピューティング要求条件を確認するサーバ数が減少するという利点がある。

[0044] 2.3）効果

上述したように、本発明の第2実施形態においても、第1実施形態と同様に、アンダーレイネットワークの通信特性および通信性能を考慮した最適なVNF配置が可能となる。すなわち、ネットワークに関するパラメータとネットワーク要求条件との比較と、コンピューティングに関するパラメータとコンピューティング条件との比較とを実行することで、仮想ネットワーク機能（VNF）の配置とネットワークのパス設定との両方を、すなわちネット

ワーク上の仮想ネットワーク機能（VNF）の配置を、一度で決定することができる。さらに、第2実施形態によれば、ネットワーク条件比較の結果を利用することで、コンピューティング条件比較の計算負荷を軽減することも可能となる。

[0045] 3. 第3実施形態

図13に示すように、本発明の第3実施形態によるネットワークシステムでは、運用管理装置30が制御装置10に対する各種設定および決定されたサービスチェーンの通信経路の表示を行うことができる。その他の構成および機能は上述した第1実施形態あるいは第2実施形態と同様であるから、図1と同じ参照番号を使用して説明は省略する。なお、制御装置10は運用管理装置30内に設けられてもよい。

[0046] 3. 1) 運用管理装置

図14において、運用管理装置30は、仮想リンク設定部301、要求条件設定部302、インターフェース303、およびユーザインターフェース304を有し、その他、図示しない制御部や記憶部を有する。ユーザインターフェース304はキーボード等の情報入力部とモニタ等の情報表示部とを含み、運用管理者による仮想リンク設定および要求条件設定、制御装置10により決定されたネットワーク上のVNF配置および経路の可視化などを可能にする。

[0047] 仮想リンク設定部301は、運用管理者がユーザインターフェース304を通して入力したサービスチェーンから仮想リンクを生成する。要求条件設定部302は、ネットワーク条件設定部305およびコンピューティング条件設定部306を有し、運用管理者の入力に基づいてサービスチェーンを構成する際の要求条件（ネットワーク要求条件およびコンピューティング要求条件）を生成する。第2実施形態で述べたように、ネットワーク要求条件はサービスチェーンにおけるネットワーク面の要求条件（例えば、要求通信帯域）などであり、コンピューティング要求条件はサービスチェーンにおけるコンピューティングリソースの要求条件（例えば、要求されるCPU／メモ

り能力) などである。以下、本実施形態による運用管理装置の動作について図 1 5 および図 1 6 を参照しながら説明する。

[0048] 3. 2) ネットワーク上の V N F 配置の可視化

図 1 5 に例示するように、ユーザインターフェース 3 0 4 に表示された運用管理画面 4 0 0 は、入力ウィンドウ 4 0 0 a とネットワーク表示ウィンドウ 4 0 0 b とに分割されている。入力ウィンドウ 4 0 0 a にはサービスチェーン入力欄 4 0 1 と複数の要求条件入力欄 4 0 2 とが表示され、ネットワーク表示ウィンドウ 4 0 0 b には運用管理対象であるネットワークの物理的なトポロジが表示される。たとえば、運用管理装置 3 0 は、制御装置 1 0 のデータベース 1 1 1 からトポロジ情報を取得し、取得したトポロジ情報に基づいてネットワークの構成を表示する。

[0049] 図 1 5 において、ネットワーク表示ウィンドウ 4 0 0 b に例示されるネットワークトポロジでは、ネットワークノード A、B、C、D が相互に物理リンクで接続されており、ネットワークノード B および D の各々がサーバ A、B、C に物理リンクで接続されている。また、各サーバは 2 つの仮想ネットワーク機能 V N F __ A と V N F __ B を配置可能であるとする。

[0050] 図 1 5 に示すように、運用管理者がユーザインターフェース 3 0 4 を通してサービスチェーン入力欄 4 0 1 に次のようなサービスチェーンを入力したとする：

A ⇔ V N F __ A ⇔ V N F __ B ⇔ B。

[0051] このサービスチェーンが入力されると、仮想リンク設定部 3 0 1 は、このサービスチェーンを実現するための次のような仮想リンク情報 V L 1、V L 2 および V L 3 を生成する。

V L 1 : 始点 = N W ノード (A) ; 終点 = V N F _ A

V L 2 : 始点 = V N F _ A ; 終点 = V N F _ B

V L 3 : 始点 = V N F _ B ; 終点 = N W ノード (C)

[0052] また、要求条件入力欄 4 0 2 に、ネットワークに要求される通信帯域とサーバに要求される C P U / メモリ能力とが入力されると、要求条件設定部 3

02は、ネットワーク要求条件とコンピューティング要求条件とをそれぞれ生成し、上記仮想リンク情報（VL1、VL2、VL3）と共に制御装置10へ送信し設定する。

[0053] 制御装置10は、第1あるいは第2実施形態で説明したように、運用管理装置30により設定された仮想リンク情報および要求条件情報に基づいて、仮想リンクVL1、VL2およびVL3のそれぞれについて最適パスを計算する。最適パスの計算結果はネットワーク20のノードおよびサーバと運用管理装置30へ送信される。

[0054] 図16に例示するように、最適パス情報を受信した運用管理装置30のユーザインターフェース304では、運用管理画面400のネットワーク表示ウィンドウ400bに、仮想リンクVL1、VL2およびVL3にそれぞれ対応する最適パスRP1、RP2およびRP3が表示される。この例では、仮想リンクVL1を構成するネットワークパスがNWノード(A)－NWノード(B)－サーバ(A)、仮想リンクVL2を構成するネットワークパスがサーバ(A)－NWノード(B)－サーバ(B)、仮想リンクVL3を構成するネットワークパスがサーバ(B)－NWノード(D)－NWノード(C)、仮想ネットワーク機能VNF__Aの配置先がサーバA、仮想ネットワーク機能VNF__Bの配置先がサーバBである。

[0055] なお、運用管理装置30の仮想リンク設定部301および要求条件設定部302は、上述したような運用管理プログラムを実行するプロセッサ（CPU：Central Processing Unit）と、プログラムを保持するROM(Read Only Memory)および情報を保持するRAM(Random Access Memory)等の記憶装置と、により実現することもできる。

[0056] 3. 3) 効果

上述したように、本発明の第3実施形態によれば、運用管理装置30が制御装置10に対して各種設定を行うことができ、運用管理者が設定したサービスチェーンおよび要求条件に基づいて、第1および第2実施形態と同様に、アンダーレイネットワークの通信特性および通信性能を考慮した最適なV

N F 配置が可能となる。

[0057] 特に、第3実施形態によれば、運用管理者がユーザインターフェースを通して制御装置10により計算されたネットワーク上のVNF配置を視覚的に確認することができ、ネットワークの運用管理が容易になるという利点がある。

[0058] 4. 第4実施形態

図17に示すように、本発明の第4実施形態による運用管理装置31は、第3実施形態による運用管理装置30の構成に加えてパス制御部311を設けた構成を有する。したがって、運用管理装置30と同様のブロックには同じ参照番号を付して説明は省略する。

[0059] 図17において、パス制御部311は、仮想リンク設定部301および要求条件設定部302により設定された仮想リンク情報および要求条件情報を用いて、上述したように、アンダーレイネットワークの通信特性および通信性能を考慮した最適なVNF配置の計算（制御装置10のパス決定）を行う。最適パスの計算結果は、インターフェース303を通して制御装置11へ送信されると共に、ユーザインターフェース304へ転送される。したがって、本実施形態による運用管理装置31は、第3実施形態と同様に、運用管理画面400のネットワーク表示ウィンドウ400bに最適パスを表示する（図16参照）。パス決定がパス制御部311で行われるために、本実施形態における制御装置11には、第1～第3実施形態における制御装置10のパス決定部112および122が不要となる。

[0060] 上述したように、本発明の第4実施形態による運用管理装置31においても、上述した第3実施形態による運用管理装置30と同様の効果を有する。さらに、運用管理装置31は、ネットワーク上の最適なVNF配置を内部で計算しているので、制御装置11へ転送される前に、運用管理者がサービスチェーンを構成する物理リンクおよびVNF配置をモニタで確認することができ、ネットワークの運用管理の信頼性を向上させることができる。また、制御装置11は、パス決定動作が不要となるので、構成の簡略化および消費

電力の削減も可能となる。

[0061] 5. 第5実施形態

本発明の第5実施形態による制御装置は、上述した各実施形態によりネットワークにおけるサービスチェーンのパスを決定し、当該パスに沿って通信フローが転送されるようにネットワークノードおよびサーバを制御する。以下、図18～図22を参照しながら第5実施形態について詳述する。

[0062] 5. 1) システム構成

図18に示すように、本発明の第5実施形態による制御装置12は、データベース111、パス決定部112および制御部131を有し、さらに、第1実施形態と同様に、ネットワークのノード等から情報を収集してデータベース111を構築する機能を有する。データベース111は、第1実施形態と同様であり、図5に示すように、パス決定部112がパス決定動作を実行するための情報を格納する。なお、パス決定部112の代わりに、第2実施形態におけるパス決定部122を用いることもできる。制御部131には、ネットワーク20のノードを制御するネットワーク制御部132とサーバ内の仮想マシン（VM）間のデータ転送を制御するVM制御部133とが機能的に設けられている。制御部131は、パス決定部112により決定されたパスに沿って通信フローが転送されるようにネットワークノードNおよびサーバSVを制御する。

[0063] 図19に示すように、第5実施形態におけるネットワークノードNは、データ転送部501、経路情報データベース502、および制御装置12と通信を行うためのインターフェース503を有する。ネットワークノードNは、サービスチェーンに属するフローを識別するための条件と当該フローの packets の転送先とを含むデータを制御装置12から受信し、経路情報データベース502に格納する。データ転送部501は、経路情報データベース502に格納された条件および転送先情報に従って、サービスチェーンに属するフローの packets を識別し、対応する転送先（ノードあるいはサーバ）へ転送する。

[0064] 図20に示すように、第5実施形態におけるサーバSVは、複数のVNFをそれぞれ実行するための複数の仮想マシンVMと、複数の仮想マシンVMおよび隣接するネットワークノードの間の通信フローの切り替えを行う仮想スイッチ600とを有する。

[0065] 仮想スイッチ600は、本実施形態におけるネットワークトポロジの一つのネットワークノードと見なすことができ、データ転送部601、経路情報データベース602、および制御装置12と通信を行うためのインターフェース603を有する。仮想スイッチ600は、サービスチェーンに属するフローを識別するための条件と当該フローのパケットの転送先とを含むデータを制御装置12から受信し、経路情報データベース602に格納する。データ転送部601は、経路情報データベース602に格納された条件および転送先情報に従って、隣接するネットワークサーバNあるいは一つの仮想マシンVMから受信したパケットがサービスチェーンに属するフローであるか否かを識別し、対応する転送先（仮想マシンVMあるいはネットワークサーバN）へ転送する。したがって、一つのサーバSV内にある仮想マシンVM間のパケット転送であれば、外部のネットワークノードへ転送することなくサービスチェーンを構成できる。

[0066] なお、制御装置12、ネットワークノードNおよびサーバSVは、既に述べたようにそれぞれの動作を制御するプログラムを実行するプロセッサ（CPU：Central Processing Unit）と、プログラムを保持するROM(Read Only Memory)および情報を保持するRAM(Random Access Memory)等の記憶装置と、により実現することもできる。

[0067] 上述したように、サービスチェーンに属するフローを識別するための条件と当該フローのパケットの転送先とを含む情報を制御装置12が設定する集中制御型のネットワークアーキテクチャシステムは、たとえばオープンフロー（OpenFlow）、I2RS(Interface to the Routing System)、ForCES (Forwarding and Control Element Separation) 等により実現することが可能である。以下、制御装置12およびネットワークノードN／サーバSVの実装例と

してオープンフローを用いたものを示す。

[0068] 5. 2) オープンフロー

オープンフローは、通信をエンドツーエンドのフローとして認識し、フロー単位で経路制御、障害回復、負荷分散等を実行する。ここで、フローとは、例えば所定の属性を有する一連の通信パケット群のことであり、本実施形態においては設定されたサービスチェーンに属するフローをいう。以下、図 21 に示すネットワークを一例としてオープンフローについて説明する。

[0069] 図 21 において、オープンフロースイッチ(OpenFlow Switch) 701、702、703 はオープンフロー技術を採用したネットワークスイッチであり、本実施形態ではネットワークノード N あるいはサーバ S V の仮想スイッチ 600 に相当する。オープンフローコントローラ(OpenFlow Controller) 704 はオープンフロースイッチ 701、702、703 を制御する情報処理装置であり、本実施形態では制御装置 12 に相当する。

[0070] 各オープンフロースイッチ 701、702、703 は、オープンフローコントローラ 704 との間にセキュアチャネル(Secure Channel) 705 が設定されており、セキュアチャネル 705 を通してオープンフローコントローラ 704 と通信する。オープンフローコントローラ 704 は、セキュアチャネル 705 を介して、オープンフロースイッチ 701、702、703 のフローテーブル(Flow Table) 706 の設定を行う。なお、セキュアチャネル 705 は、各オープンフロースイッチ 701、702、703 とコントローラ 704 との間の通信経路であって、通信の盗聴や改ざん等を防止するための処置がなされたものである。

[0071] 図 22 は、各オープンフロースイッチ 701、702、703 に設けられたフローテーブル 706 の各エントリ（フローエントリ）の構成例を示す。フローエントリは、スイッチが受信したパケットのヘッダに含まれる情報（例えば、宛先 IP アドレスや VLAN ID 等）と照合するためのマッチングルールを規定するマッチフィールド(Match Fields)と、パケットフロー毎の統計情報を示すフィールド(Counters)と、マッチングルールにマッチす

るパケットの処理方法を規定するアクションフィールド (Action) とで構成される。

[0072] オープンフロースイッチ 701、702、703 は、パケットを受信すると、フローテーブル 706 を参照する。オープンフロースイッチ 701、702、703 は、受信したパケットのヘッダ情報にマッチするフローエントリを検索する。受信パケットのヘッダ情報にマッチするエントリが検索された場合、オープンフロースイッチ 701、702、703 は、検索されたエントリのアクションフィールドに定義された処理方法に従って、受信パケットを処理する。処理方法は、例えば、「受信パケットを所定のポートから転送する」、「受信したパケットを廃棄する」、「受信パケットのヘッダの一部を書き換えて、所定のポートへ転送する」といったことが規定されている。

[0073] 一方、受信パケットのヘッダ情報にマッチするエントリが見つからない場合、オープンフロースイッチ 701、702、703 は、例えば、セキュアチャネル 705 を通してオープンフローコントローラ 704 へ受信パケットを転送し、オープンフローコントローラ 704 に対して受信パケットの処理方法を規定したフローエントリを設定を要求する。

[0074] オープンフローコントローラ 704 は、受信パケットの処理方法を決定し、決定した処理方法を含むフローエントリをフローテーブル 706 に設定する。その後、オープンフロースイッチ 701、702、703 は、設定されたフローエントリにより、受信パケットと同一のフローに属する後続のパケットを処理する。

[0075] 5. 3) 効果

本発明の第 5 実施形態によれば、第 1 ～ 第 4 実施形態と同様にサービスチェーンのパスを決定し、当該パスに沿って通信フローが転送されるようにネットワークのノードあるいはサーバを制御するので、アンダーレイネットワークの通信特性および通信性能を考慮した最適な VNF 配置が可能となる。

[0076] 特に、サーバ SV 内に複数の VNF をそれぞれ実行する複数の仮想マシン

を仮想スイッチにより切り替え可能に構成することで、ネットワークノードの経路切替とサーバ内での仮想マシンの切替とを同等に制御することができ、たとえばオープンフロー技術を用いた一括制御が可能となる。

[0077] 6. 第6実施形態

既に述べたように、サービスチェイニングでは、単に仮想マシンの配置を考慮するだけでは不十分であり、コンピューティングおよびネットワーキングの両方のリソースを考慮することが必要である。本発明の第6実施形態によれば、必要とされるVNFとそれを配置可能なサーバとを含むようにネットワークトポロジを拡張し、この拡張トポロジに基づいてネットワーク上での仮想マシン(VNF)の最適配置を決定する。このVNF配置の最適解は、たとえば整数計画法(Integer Programming)を用いて求めることができる。

[0078] まず、図23に示すように、クラシファイアAおよびBの間に仮想ネットワーク機能VNF__AおよびVNF__Bを組み合わせたサービスチェインを示すフォワーディンググラフを考える。組み合わせるVNFには必要なCPU能力およびメモリサイズ(コンピューティング要求条件)が設定され、仮想リンクには始点および終点と必要な帯域幅(ネットワーク要求条件)とが設定されている。このフォワーディンググラフは、上述した図15におけるサービスチェイン入力欄401および要求条件欄402の入力内容に対応する。

[0079] 図24に、上記フォワーディンググラフの仮想リンクを構成するためのアンダーレイネットワークトポロジを示す。クラシファイアとスイッチとの間、およびスイッチとサーバとの間は、それぞれ物理リンクにより相互接続され、各物理リンクは利用可能な帯域幅(ネットワークパラメータ)を有する。また、各サーバは利用可能なCPUおよびメモリサイズ(コンピューティングパラメータ)を有する。

[0080] 図25に、上記アンダーレイネットワークトポロジにVNF__AおよびVNF__Bの可能な配置を付加した拡張トポロジを示す。サーバとVNFとを相互接続する破線により当該サーバが当該VNFの配置先であることを示す

。この拡張トポロジに基づいて整数計画法によりサービスチェーンの配置を決定する。

[0081] 図26に、VNF__AおよびVNF__BがサーバAに配置される場合の最適解が例示されている。ここでは、図23に示すNFフォワーディンググラフ：クラシファイアA $\Leftrightarrow$ VNF__A $\Leftrightarrow$ VNF__B $\Leftrightarrow$ クラシファイアBに対して、図26に示す太線の矢印で示す仮想リンクVL1、VL2、VL3が生成される：

VL1：始点＝クラシファイアA；終点＝VNF__A

VL2：始点＝VNF__A；終点＝VNF__B

VL3：始点＝VNF__B；終点＝クラシファイアB

[0082] 6. 1) 最適VNF配置の決定

以下、図26に示すようなネットワーク上での最適VNF配置を決定する整数計画法による計算過程を示す。変数の定義は次の通りである。

- ・ VNFのコンピューティング要求条件： $required_cpu^x$ ($x:vnf_id$)
- ・ 仮想リンク(VL)のネットワーク要求条件： $required_bw^x$ ($x:vl_id$)
- ・ ネットワークパス（アンダーレイパス）：
- ・ $upath^x_{ij} \in \{0, 1\}$ ($x:vl_id, i, j:underlay_node_id$) ここで、仮想リンクxが物理ノードiとjとの間のリンクijを使用していれば、 $upath^x_{ij} = 1$ である。
- ・ サーバのコンピューティングパラメータ(利用可能CPU)：
- $available_cpu^s$ ($s:server_id$)
- ・ リンクのネットワークパラメータ（利用可能帯域幅）：
- $available_bw_{ij}$ ($i:from_id, j:to_id$)
- ・ 目的関数Cの最小化／最大化によりVNF配置の最適解を計算する。目的関数Cの一例を次式に示す：

[0083] [数1]

$$C = \sum_x \sum_i \sum_j upath^x_{ij}$$

この式の場合、目的関数Cが最小となる $upath_{ij}^x = 1$ の物理リンクの集合が本実施形態におけるVNF配置の最適解となる。その際、次の制約条件を考慮する：フロー保存則；帯域幅制約条件；コンピューティング制約条件；およびVNFリンク制約条件。以下、それぞれの制約条件について図27～図33を参照しながら説明する。

[0084] 6. 2) フロー保存則

フロー保存則は仮想リンクをパスとして成立させるための条件であり、各仮想リンクがアンダーレイにマッピングされるとき満たす必要がある。以下、図27を参照しながら説明する。

[0085] ・次式に示すように、始点（source）と終点（destination）以外のノードの送信量と受信量の差は0でなければならない。

[0086] [数2]

$$\sum_j upath_{ij}^x - \sum_j upath_{ji}^x = 0$$

ただし、 $\forall x, \forall i \in \text{all nodes} \setminus \{src^x, dst^x\}$

図27において、“ src^x ”は仮想リンクVLの始点（ここではクラシファイアA）であり、“ dst^x ”は仮想リンクVLの終点（ここではVNF_A）である。

[0087] ・始点の送信量と受信量の差は1でなければならない。

[0088] [数3]

$$\sum_j upath_{src^x j}^x - \sum_j upath_{j src^x}^x = 1 \quad (\forall x)$$

[0089] ・終点の送信量と受信量の差は-1でなければならない。

[0090] [数4]

$$\sum_j upath_{dst^x j}^x - \sum_j upath_{j dst^x}^x = -1 \quad (\forall x)$$

[0091] 6. 3) 帯域幅制約条件

帯域幅制約条件は要求帯域を収容するための条件であり、リンクi jに仮想リンクVLがマッピングされている場合、当該リンクi jを通る総トラフィ

ック量が当該リンク i, j の使用可能な帯域幅に収容可能でなければならない。
したがって、次式を満たす必要がある。

[0092] [数5]

$$\sum_x upath_{ij}^x \cdot required_bw^x \leq available_bw_{ij} \quad (\forall i, \forall j)$$

たとえば、図28を参照すると、スイッチAとサーバAとの間の物理リンクには仮想リンクVL1およびVL3がマッピングされている。したがって、仮想リンクVL1の要求帯域幅と仮想リンクVL3の要求帯域幅の和は、当該物理リンクの利用可能帯域幅以下であることが必要である。

[0093] 6. 4) コンピューティング制約条件

コンピューティング制約条件は、仮想マシン(VM)が要求するコンピューティングリソース(CPU、メモリ容量など)を収容するための条件であり、あるサーバを使用する仮想マシン(VM)の要求リソースの総和が当該サーバの使用可能なリソースに収容可能でなければならない。図29に示すような重複を考慮して、次式を満たす必要がある。

[0094] [数6]

$$\sum_{vm_id} \frac{\sum_{x|dst^x=v} upath_{sv}^x \cdot required_cpu^x}{\sum_{x|dst^x=v} 1} < available_cpu^s \quad (\forall s : \text{all server})$$

[0095] 6. 5) VNFリンク制約条件

VNFリンク制約条件は、VNFを実行する仮想マシン(VM)の配置先を決めるための条件であり、次に述べるように、仮想マシン(VM)とサーバのリンクは一本しか使ってはならない。図30に示すように、VNF__Aを例として説明する。

[0096] ・図30(A)に示すように、サーバからVM(VNF__A)へのリンクの使用は、次式に示すように、宛先をVMとする全ての仮想リンクで等しくなければならない。

$$upath_{sv}^x = upath_{sv}^y \quad (\forall s, \forall v, \forall x|dst^x=v, \forall y|dst^y=v)$$

[0097] ・図30(B)に示すように、VM(VNF__A)からサーバへのリンクの使用は、次式に示すように、送信元をVMとする全ての仮想リンクで等しくなければならない。

$$\text{upath}_{vs}^x = \text{upath}_{vs}^y \quad (\forall s, \forall v, \forall x | \text{src}^x = v, \forall y | \text{src}^y = v)$$

[0098] ・図30(C)に示すように、サーバからVM(VNF__A)へのリンクの使用とVM(VNF__A)からサーバへのリンクの使用は、次式に示すように、等しくなければならない。

$$\text{upath}_{sv}^x = \text{upath}_{sv}^y \quad (\forall s, \forall v, \forall x | \text{dst}^x = v, \forall y | \text{src}^y = v)$$

[0099] 6. 6) 効果

以上述べたように、本実施形態によれば、上記制約条件の下で線形計画法により、目的関数Cが最小となる $\text{upath}_{ij}^x = 1$ の物理リンクの集合をVNF配置の最適解として求めることができる。この最適解はネットワークパスおよびVNF配置の両方を含む拡張トポロジでの最適解となり、コンピューティングおよびネットワーキングリソースの両方を考慮したサービスチェイニング配置を達成することができる。また、整数計画法を用いることでネットワーク上でのVNF配置を迅速に得ることができる。

産業上の利用可能性

[0100] 本発明は、仮想ネットワーク機能(VNF)をネットワーク上に配置するシステムで利用可能である。

符号の説明

[0101] 10、11、12 制御装置
 20 ネットワーク
 30、31 運用管理装置
 111 データベース
 112 パス決定部
 113 制御部
 122 パス決定部
 122a ネットワーク条件比較部

- 1 2 2 b コンピューティング条件比較部
- 1 3 1 制御部
- 1 3 2 ネットワーク制御部
- 1 3 3 仮想マシン制御部
- 3 0 1 仮想リンク設定部
- 3 0 2 要求条件設定部
- 3 0 3 インターフェース
- 3 0 4 ユーザインターフェース
- 3 0 5 ネットワーク条件設定部
- 3 0 6 コンピューティング条件設定部
- 3 1 1 パス制御部
- 4 0 0 運用管理画面
- 4 0 0 a 入力ウィンドウ
- 4 0 0 b ネットワーク表示ウィンドウ
- 4 0 1 サービスチェイン入力欄
- 4 0 2 要求条件入力欄
- 5 0 1 データ転送部
- 5 0 2 経路情報データベース
- 5 0 3 インターフェース
- 6 0 0 仮想スイッチ
- 6 0 1 データ転送部
- 6 0 2 経路情報データベース
- 6 0 3 インターフェース
- 7 0 1、7 0 2、7 0 3 オープンフロースイッチ
- 7 0 4 オープンフローコントローラ
- 7 0 5 セキュリティチャネル
- 7 0 6 フローテーブル

請求の範囲

- [請求項1] 複数のノードおよびサーバを有するネットワークを制御する装置であって、
- 前記ネットワークのリンクおよびノードに関する第1情報と、仮想ネットワーク機能を配置可能なサーバのコンピューティングリソースに関する第2情報と、を格納する格納手段と、
- 少なくとも一つの仮想ネットワーク機能が要求された場合、前記第1情報および前記第2情報に基づいて、前記要求された仮想ネットワーク機能のサーバへの配置と、配置先のサーバに接続する前記ネットワークのパス設定と、を一括で実行するパス決定手段と、
- を有することを特徴とするネットワーク制御装置。
- [請求項2] 前記パス決定手段は、前記第1情報および前記第2情報に基づいて、前記少なくとも一つの仮想ネットワーク機能の要求条件を満たす前記パスを決定することを特徴とする請求項1に記載のネットワーク制御装置。
- [請求項3] 前記パス決定手段は、
- 前記少なくとも一つの仮想ネットワーク機能のネットワークに関する第1要求条件と前記第1情報とを比較する第1比較手段と、
- 前記少なくとも一つの仮想ネットワーク機能のコンピューティングリソースに関する第2要求条件と前記第2情報とを比較する第2比較手段と、
- を有し、前記第1比較手段の比較結果と前記第2比較手段の比較結果とに基づいて、前記第1要求条件および前記第2要求条件を共に満たす前記パスを決定することを特徴とする請求項1または2に記載のネットワーク制御装置。
- [請求項4] 前記パス決定手段は、前記第1比較手段の比較結果により前記第1要求条件を満たすネットワークパス候補を選択し、前記第2比較手段の比較結果により前記第2要求条件を満たすサーバへの配置を決定し

、前記サーバへの配置に従って前記ネットワークパス候補から前記パスを決定する、ことを特徴とする請求項3に記載のネットワーク制御装置。

[請求項5] 前記パス決定手段は、前記第1要求条件を満たすネットワークパス候補の選択と、前記第2要求条件を満たすサーバへの配置の決定とを独立に実行することを特徴とする請求項4に記載のネットワーク制御装置。

[請求項6] 前記パス決定手段は、前記第1要求条件を満たすネットワークパス候補の中から前記第2要求条件を満たすサーバへの配置を決定することを特徴とする請求項4に記載のネットワーク制御装置。

[請求項7] 前記サーバには複数の同一あるいは異なる仮想ネットワーク機能が配置可能であることを特徴とする請求項1-6のいずれか1項に記載のネットワーク制御装置。

[請求項8] 前記ネットワークのノードと、前記サーバにおける前記仮想ネットワーク機能を実行する仮想マシンと、を制御する制御手段を更に有し、

前記制御手段が前記パス決定手段により決定された前記パスに沿って通信フローが転送されるように前記ネットワークのノードおよびサーバを制御する、ことを特徴とする請求項1-7のいずれか1項に記載のネットワーク制御装置。

[請求項9] 前記サーバは前記ネットワークの少なくとも1つの隣接ノードと接続し、複数の同一あるいは異なる仮想ネットワーク機能の間および／または前記隣接ノードとの間でデータ転送を行う仮想スイッチを有し、前記制御手段が前記ノードと同様に前記仮想スイッチを制御することを特徴とする請求項8に記載のネットワーク制御装置。

[請求項10] 複数のノードおよびサーバを有するネットワークを制御する方法であって、

前記ネットワークのリンクおよびノードに関する第1情報と、仮想

ネットワーク機能を配置可能なサーバのコンピューティングリソースに関する第2情報と、を格納手段に格納し、

少なくとも一つの仮想ネットワーク機能が要求された場合、前記第1情報および前記第2情報に基づいて、前記要求された仮想ネットワーク機能のサーバへの配置と、配置先のサーバに接続する前記ネットワークのパス設定と、を一括で実行する、

ことを特徴とするネットワーク制御方法。

[請求項11] 前記第1情報および前記第2情報に基づいて、前記少なくとも一つの仮想ネットワーク機能の要求条件を満たす前記パスを決定する、ことを特徴とする請求項10に記載のネットワーク制御方法。

[請求項12] 第1比較手段が前記少なくとも一つの仮想ネットワーク機能のネットワークに関する第1要求条件と前記第1情報とを比較し、

第2比較手段が前記少なくとも一つの仮想ネットワーク機能のコンピューティングリソースに関する第2要求条件と前記第2情報とを比較し、

前記第1比較手段の比較結果と前記第2比較手段の比較結果とに基づいて、前記第1要求条件および前記第2要求条件を共に満たす前記パスを決定する、

ことを特徴とする請求項10または11に記載のネットワーク制御方法。

[請求項13] 前記第1比較手段の比較結果により前記第1要求条件を満たすネットワークパス候補を選択し、

前記第2比較手段の比較結果により前記第2要求条件を満たすサーバへの配置を決定し、

前記サーバへの配置に従って前記ネットワークパス候補から前記パスを決定する、

ことを特徴とする請求項12に記載のネットワーク制御方法。

[請求項14] 前記第1要求条件を満たすネットワークパス候補の選択と、前記第

2 要求条件を満たすサーバへの配置の決定とを独立に実行することを特徴とする請求項 1 3 に記載のネットワーク制御方法。

[請求項15] 前記第 1 要求条件を満たすネットワークパス候補の中から前記第 2 要求条件を満たすサーバへの配置を決定することを特徴とする請求項 1 3 に記載のネットワーク制御方法。

[請求項16] 前記サーバには複数の同一あるいは異なる仮想ネットワーク機能が配置可能であることを特徴とする請求項 1 0 - 1 5 のいずれか 1 項に記載のネットワーク制御方法。

[請求項17] 決定された前記パスに沿って通信フローが転送されるように前記ネットワークのノードと、前記サーバにおける前記仮想ネットワーク機能を実行する仮想マシンとを制御する、ことを特徴とする請求項 1 0 - 1 6 のいずれか 1 項に記載のネットワーク制御方法。

[請求項18] 前記サーバは前記ネットワークの少なくとも 1 つの隣接ノードと接続し、複数の同一あるいは異なる仮想ネットワーク機能の間および／または前記隣接ノードとの間でデータ転送を行う仮想スイッチを有し、

前記ノードと同様に前記仮想スイッチを制御することを特徴とする請求項 1 7 に記載のネットワーク制御方法。

[請求項19] 複数のノードおよびサーバを有するネットワークと前記ネットワークを制御する制御装置とを有するネットワークシステムであって、前記制御装置が、

ネットワークのリンクおよびノードに関する第 1 情報と、少なくとも 1 つの仮想ネットワーク機能を配置可能なサーバのコンピューティングリソースに関する第 2 情報と、を格納する格納手段と、

少なくとも一つの仮想ネットワーク機能が要求された場合、前記第 1 情報および前記第 2 情報に基づいて、前記要求された仮想ネットワーク機能のサーバへの配置と、配置先のサーバに接続する前記ネットワークのパス設定と、を一括で実行するパス決定手段と、

を有する、

ことを特徴とするネットワークシステム。

[請求項20] 前記パス決定手段は、前記第1情報および前記第2情報に基づいて、前記少なくとも一つの仮想ネットワーク機能の要求条件を満たす前記パスを決定することを特徴とする請求項19に記載のネットワークシステム。

[請求項21] 前記パス決定手段は、

前記少なくとも一つの仮想ネットワーク機能のネットワークに関する第1要求条件と前記第1情報とを比較する第1比較手段と、

前記少なくとも一つの仮想ネットワーク機能のコンピューティングリソースに関する第2要求条件と前記第2情報とを比較する第2比較手段と、

を有し、前記第1比較手段の比較結果と前記第2比較手段の比較結果とに基づいて、前記第1要求条件および前記第2要求条件を共に満たす前記パスを決定することを特徴とする請求項19または20に記載のネットワークシステム。

[請求項22] 前記パス決定手段は、前記第1比較手段の比較結果により前記第1要求条件を満たすネットワークパス候補を選択し、前記第2比較手段の比較結果により前記第2要求条件を満たすサーバへの配置を決定し、前記サーバへの配置に従って前記ネットワークパス候補から前記パスを決定する、ことを特徴とする請求項21に記載のネットワークシステム。

[請求項23] 前記サーバには複数の同一あるいは異なる仮想ネットワーク機能が配置可能であることを特徴とする請求項19-22のいずれか1項に記載のネットワークシステム。

[請求項24] 前記制御装置の運用管理を行う運用管理装置を更に有し、前記運用管理装置が、

前記制御装置に対して前記少なくとも一つの仮想ネットワーク機

能の要求条件を設定する要求条件設定手段と、

前記ネットワークのトポロジを前記決定されたパスと共に表示する表示手段と、

を有する

ことを特徴とする請求項 19-23 のいずれか 1 項に記載のネットワークシステム。

[請求項25] 前記制御装置は、前記ネットワークのノードと、前記サーバにおける前記仮想ネットワーク機能を実行する仮想マシンと、を制御する制御手段を更に有し、

前記制御手段が前記パス決定手段により決定された前記パスに沿って通信フローが転送されるように前記ネットワークのノードおよびサーバを制御する、ことを特徴とする請求項 19-24 のいずれか 1 項に記載のネットワークシステム。

[請求項26] 前記サーバは前記ネットワークの少なくとも 1 つの隣接ノードと接続し、複数の同一あるいは異なる仮想ネットワーク機能の間および／または前記隣接ノードとの間でデータ転送を行う仮想スイッチを有し、前記制御手段が前記ノードと同様に前記仮想スイッチを制御することを特徴とする請求項 25 に記載のネットワークシステム。

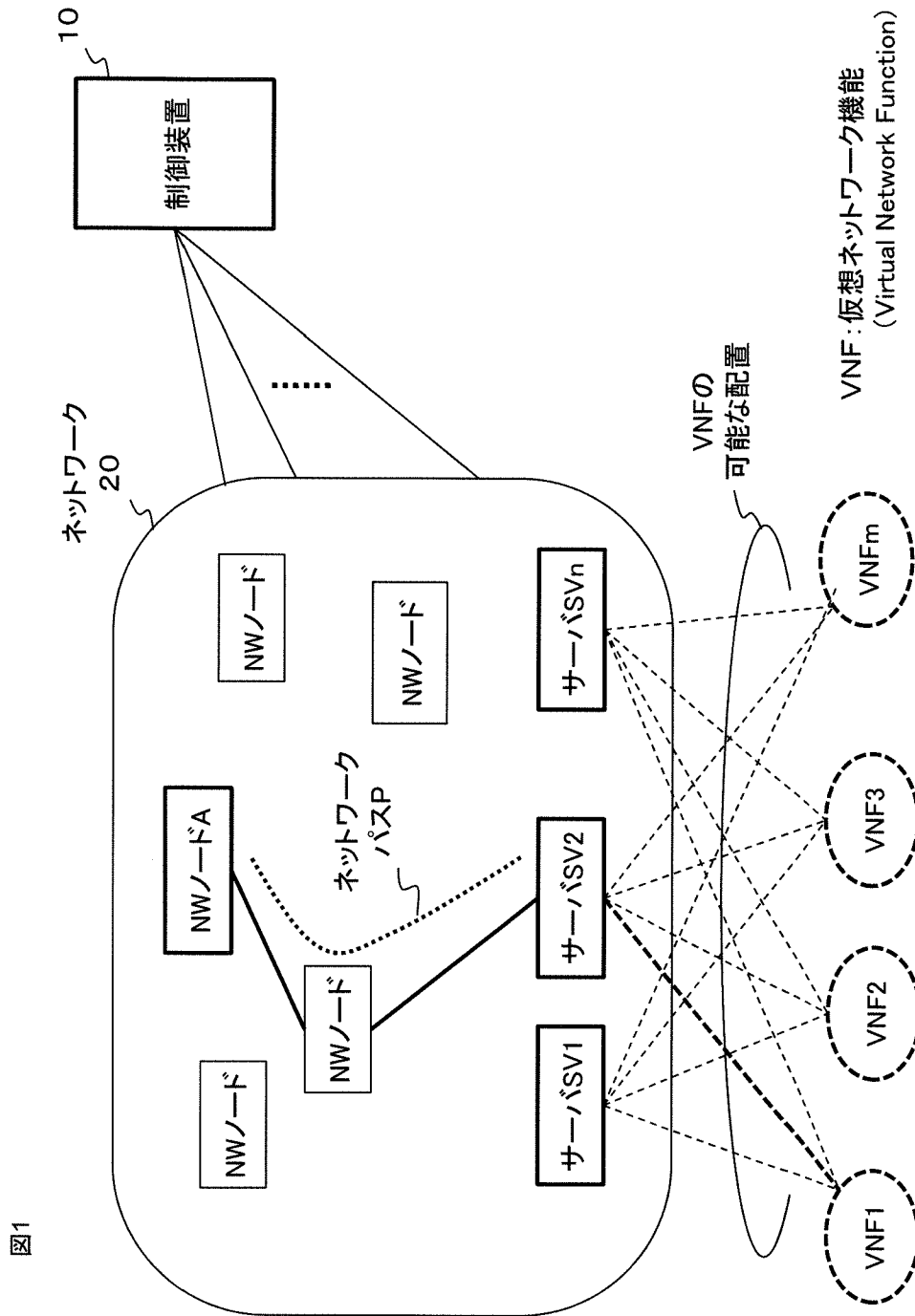
[請求項27] 複数のノードおよびサーバを有するネットワーク制御装置としてコンピュータを機能させるプログラムであって、

前記ネットワークのリンクおよびノードに関する第 1 情報と、仮想ネットワーク機能を配置可能なサーバのコンピューティングリソースに関する第 2 情報と、格納手段に格納する機能と、

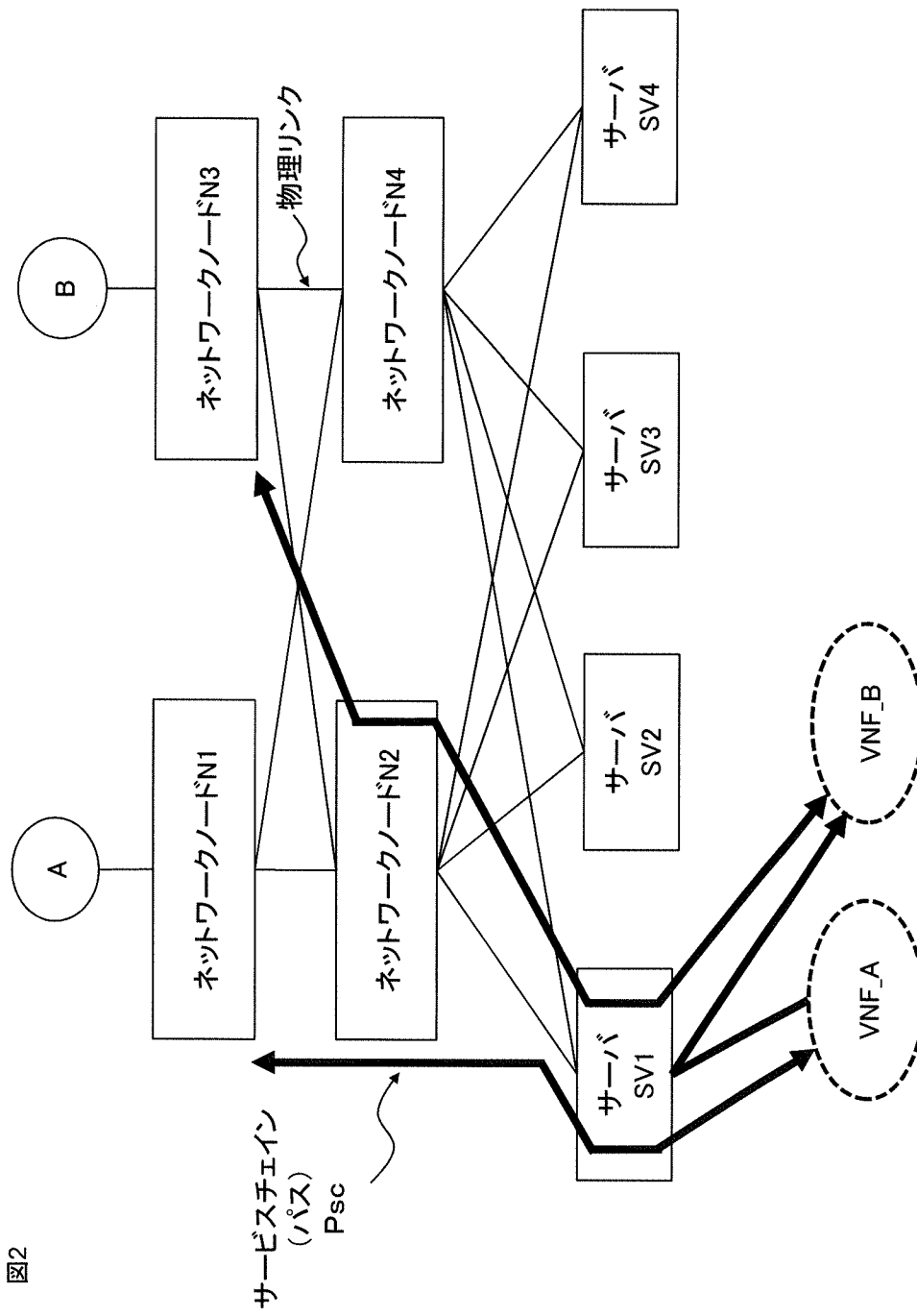
パス決定手段が、少なくとも一つの仮想ネットワーク機能が要求された場合、前記第 1 情報および前記第 2 情報に基づいて、前記要求された仮想ネットワーク機能のサーバへの配置と、配置先のサーバに接続する前記ネットワークのパス設定と、を一括で実行する機能と、

を前記コンピュータに実現することを特徴とするプログラム。

[図1]



[図2]



[図3]

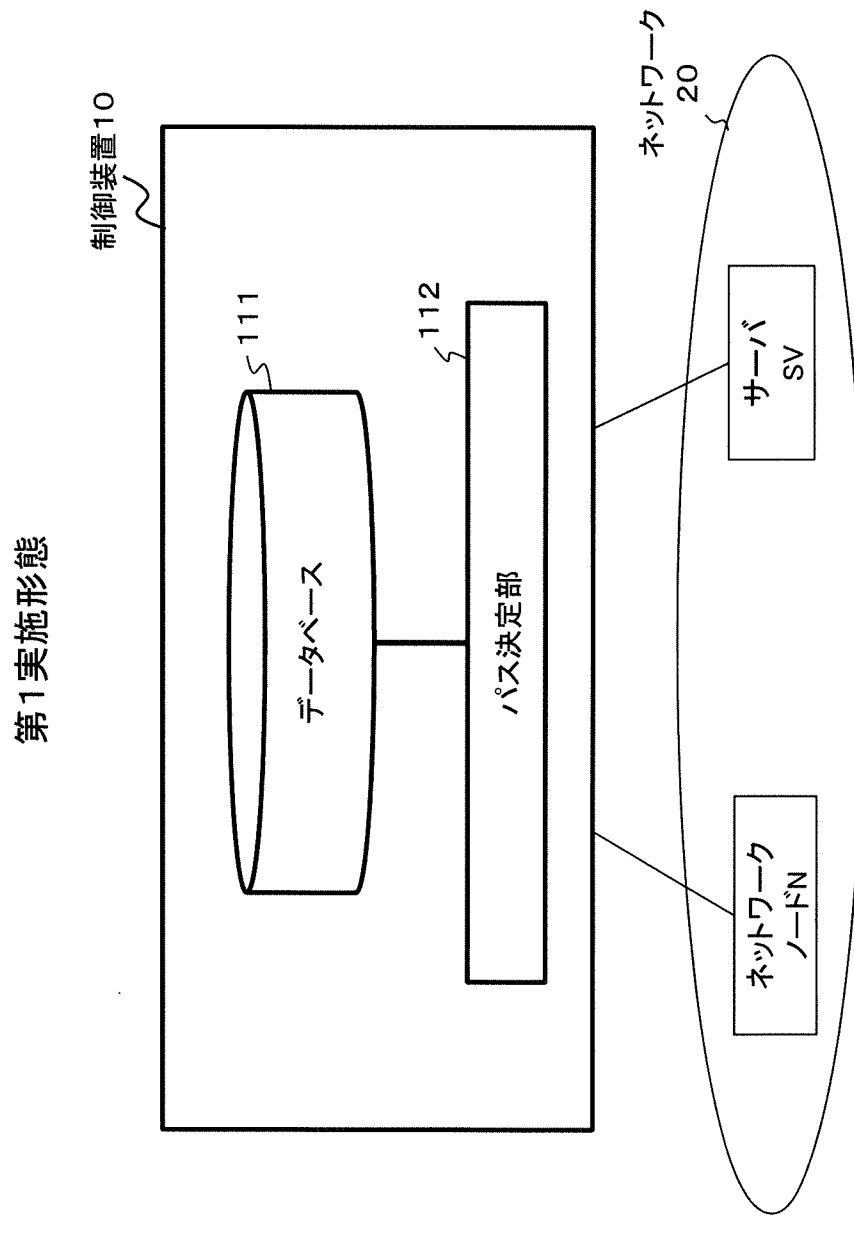


図3

[図4]

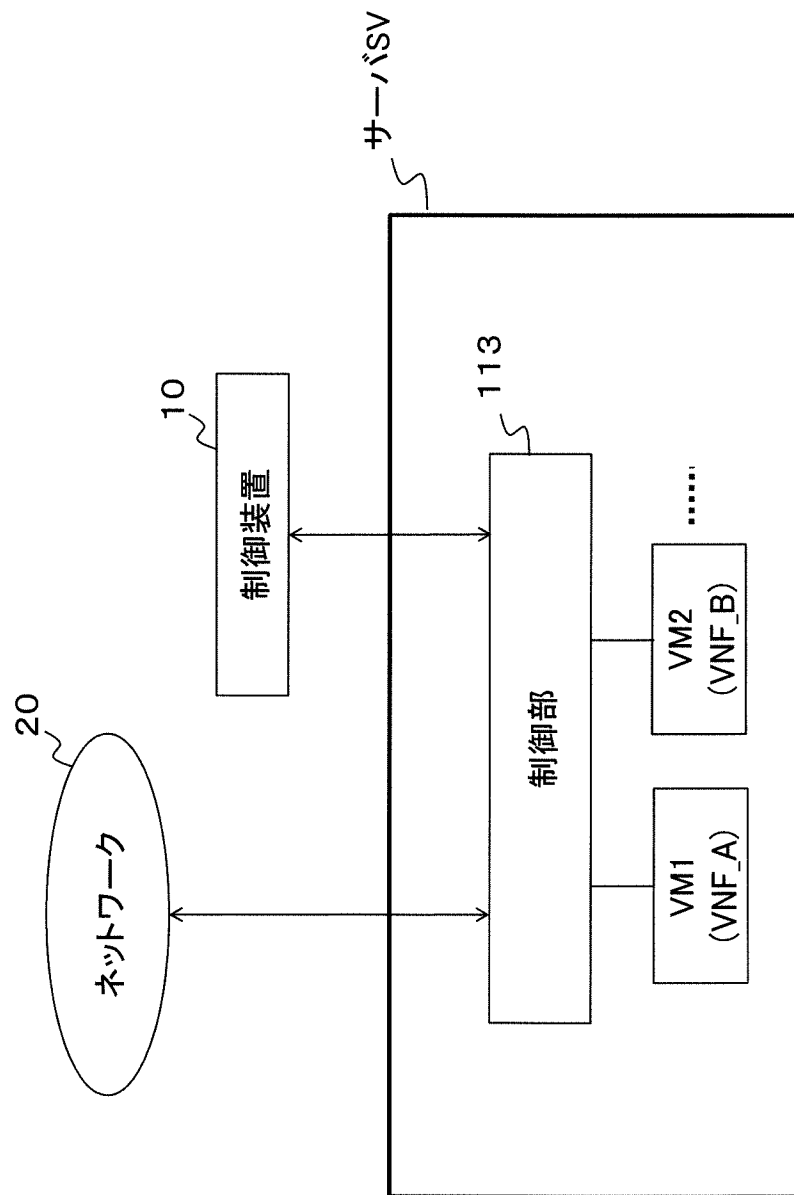


図4

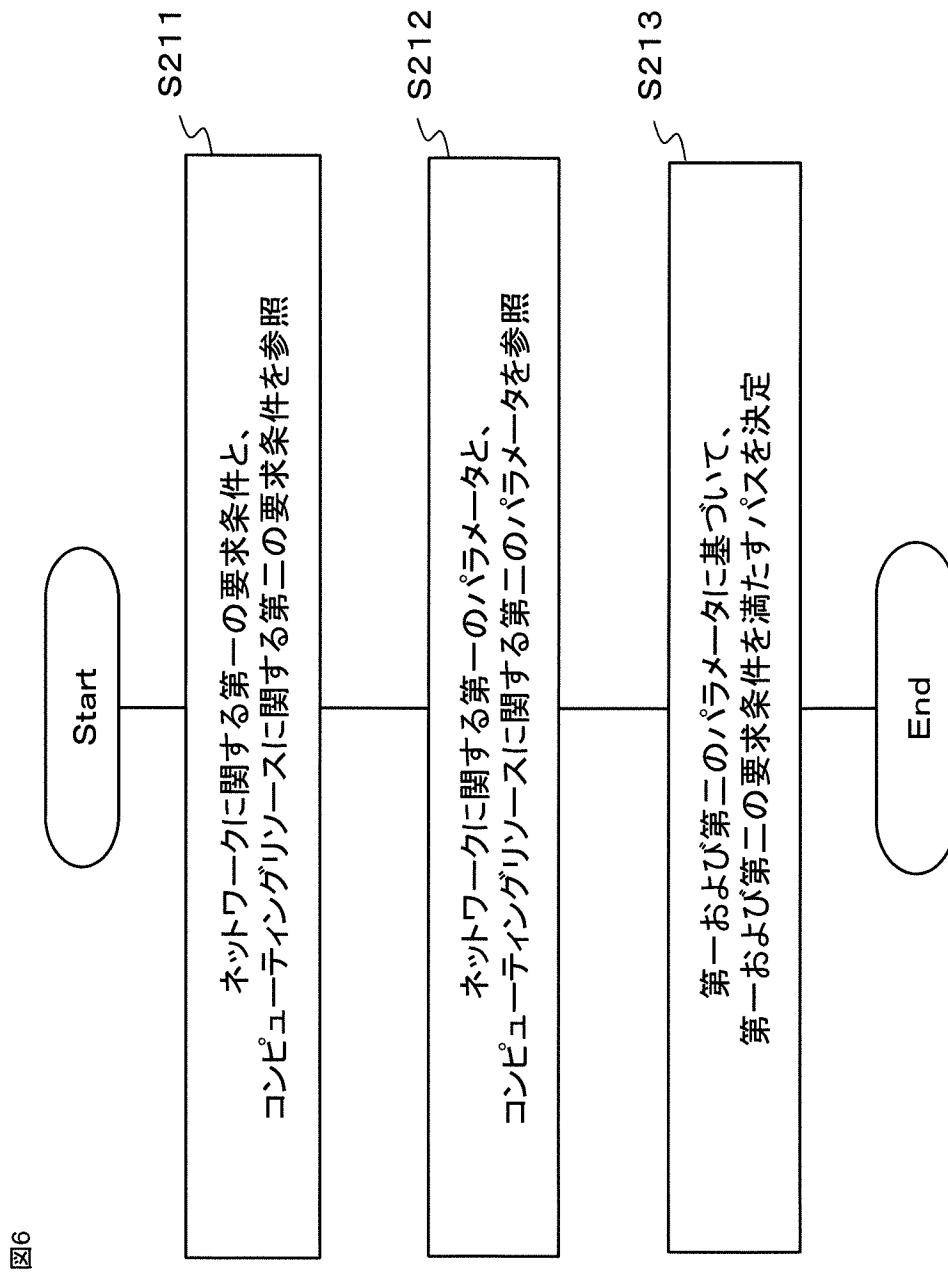
[図5]

データベース111		
ネットワークポロジ		パラメータ
コンポーネント	コンポーネント情報	
リンク	From: N1 To: N2	通信帯域、使用帯域 ...
	From: N3 To: N4	通信帯域、使用帯域 ...
	...	...
スイッチ (NWノード)	Node ID: N1	可用性 ...
	Node ID: N2	可用性 ...
	...	...
サーババSV	Node ID: SV1	CPU使用率、メモリ使用率 ...
	Node ID: SV2	CPU使用率、メモリ使用率 ...
	...	...
仮想マシンVM (VNF)	Node ID: VNF_A	要求条件 ...
	Node ID: VNF_B	要求条件 ...
	...	...
...	...	...

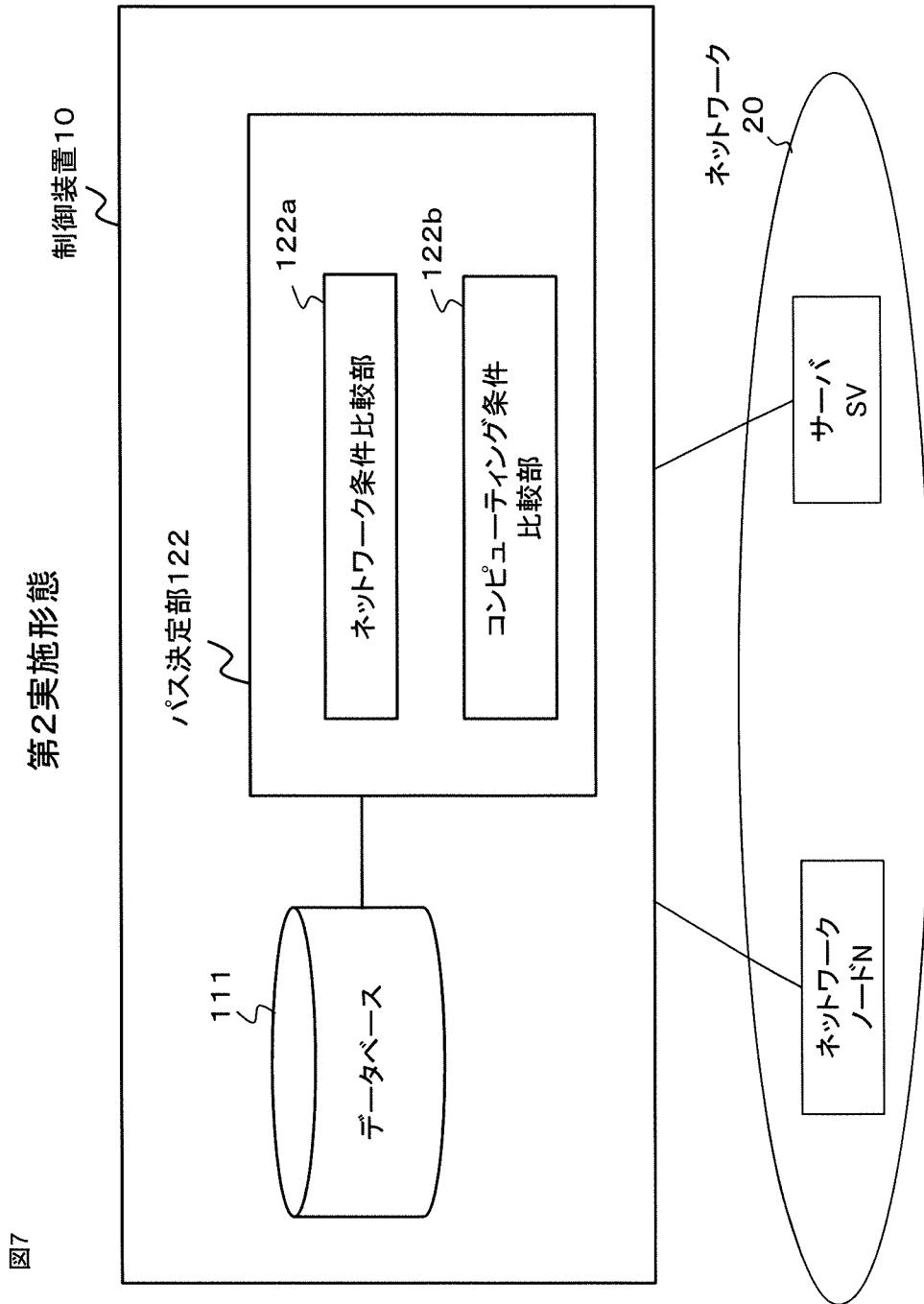
ネットワークに関するパラメータ
(第一のパラメータ)

コンピューティングリソースに関するパラメータ
(第二のパラメータ)

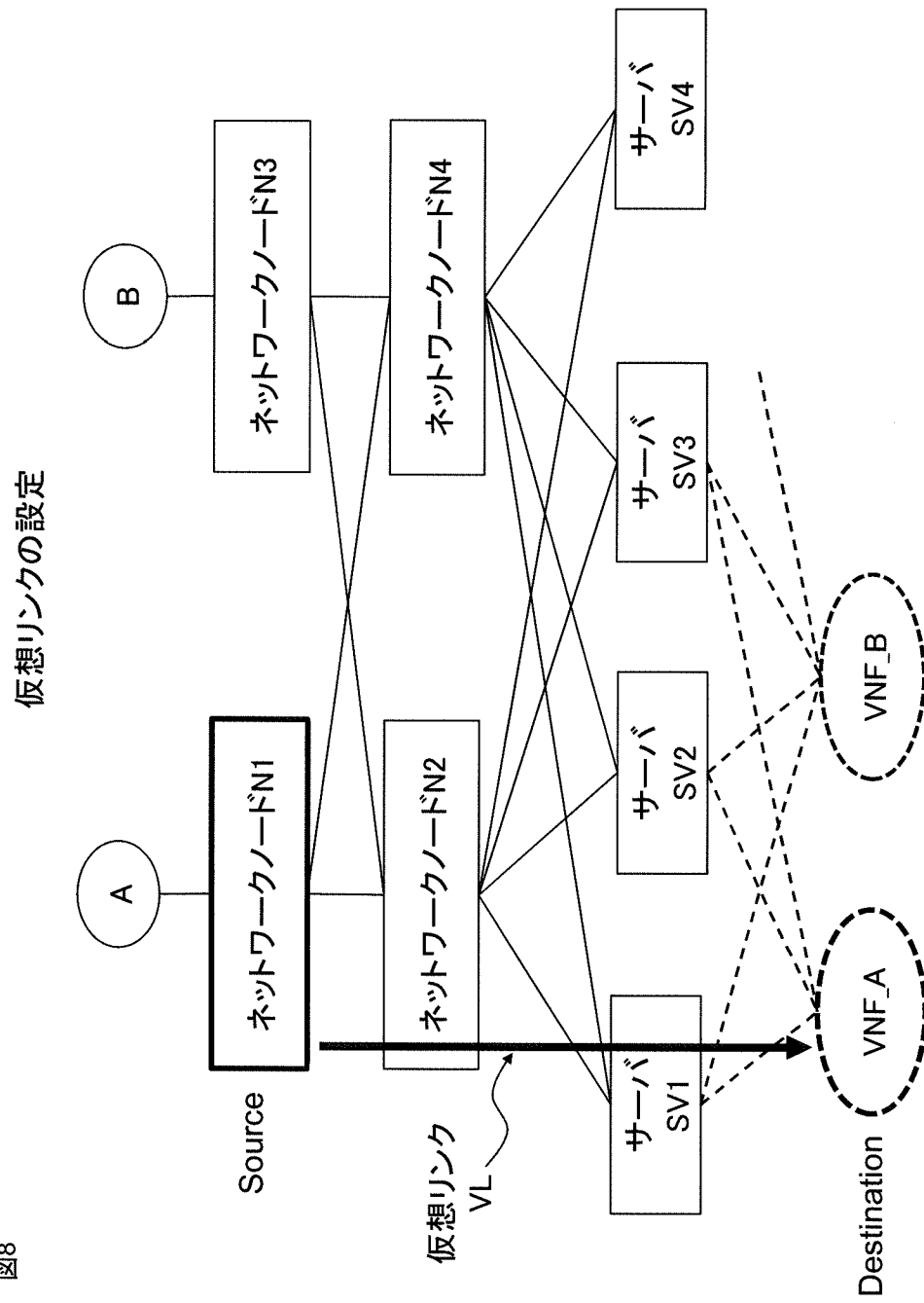
[図6]



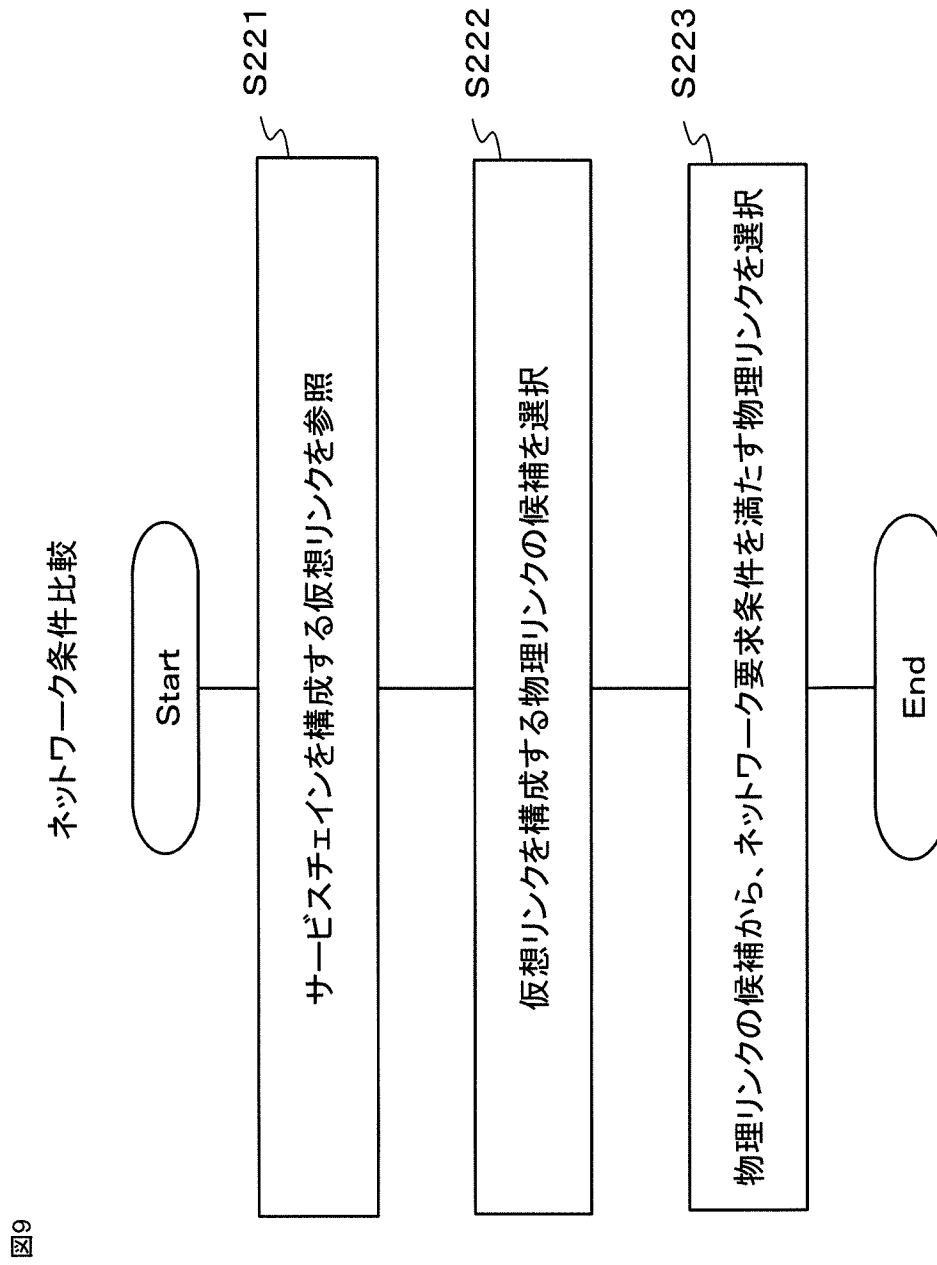
[図7]



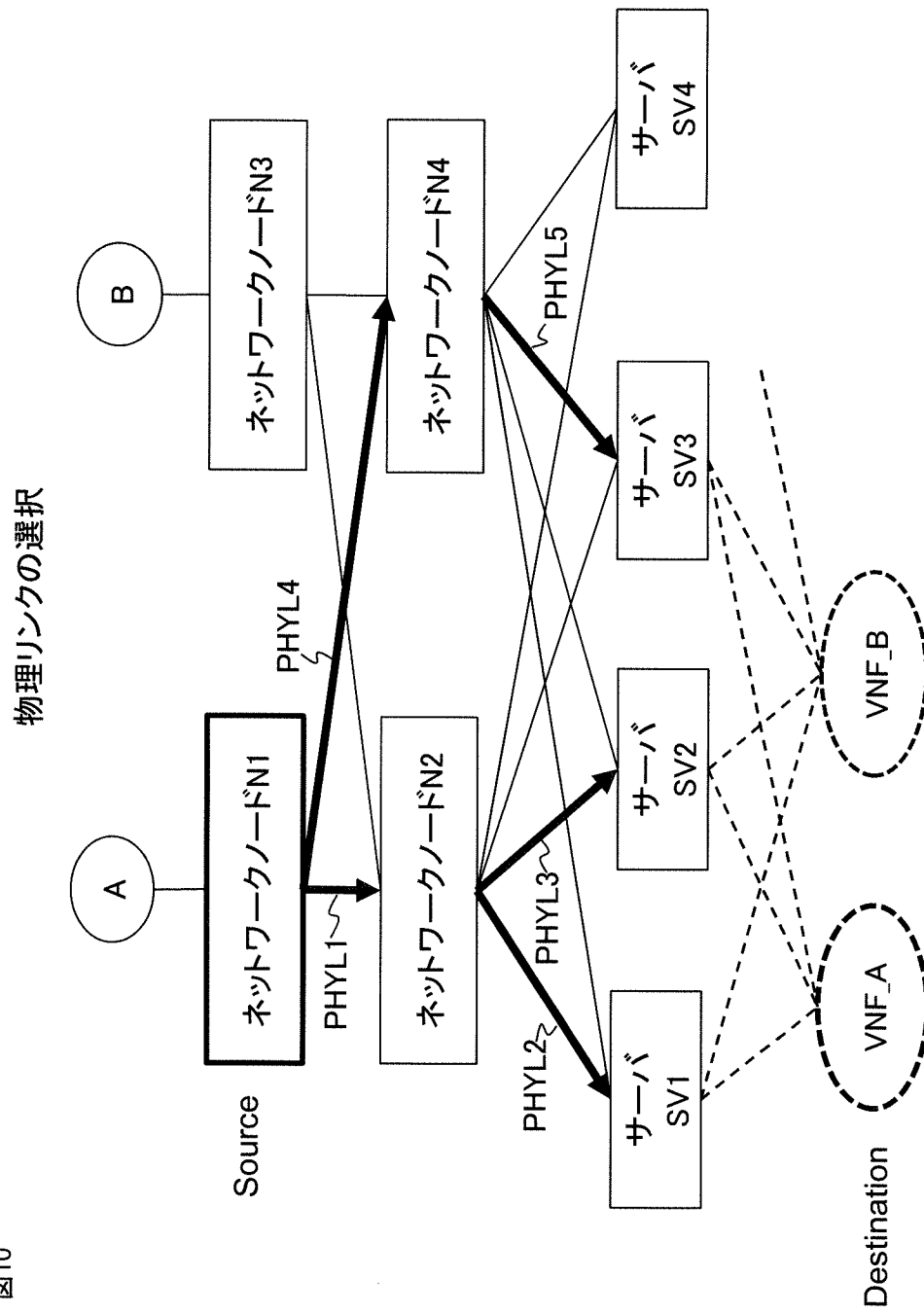
[図8]



[図9]

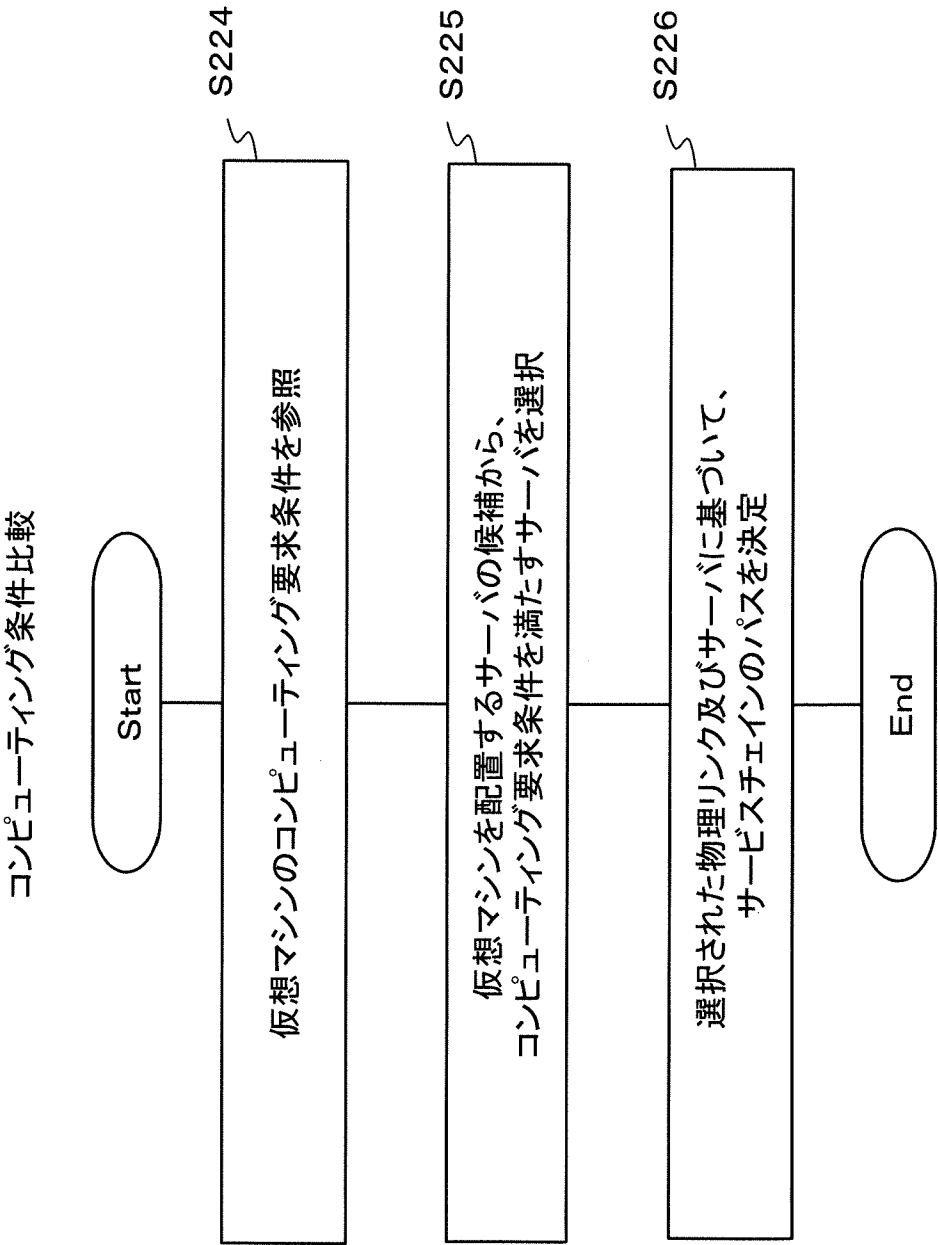


[図10]

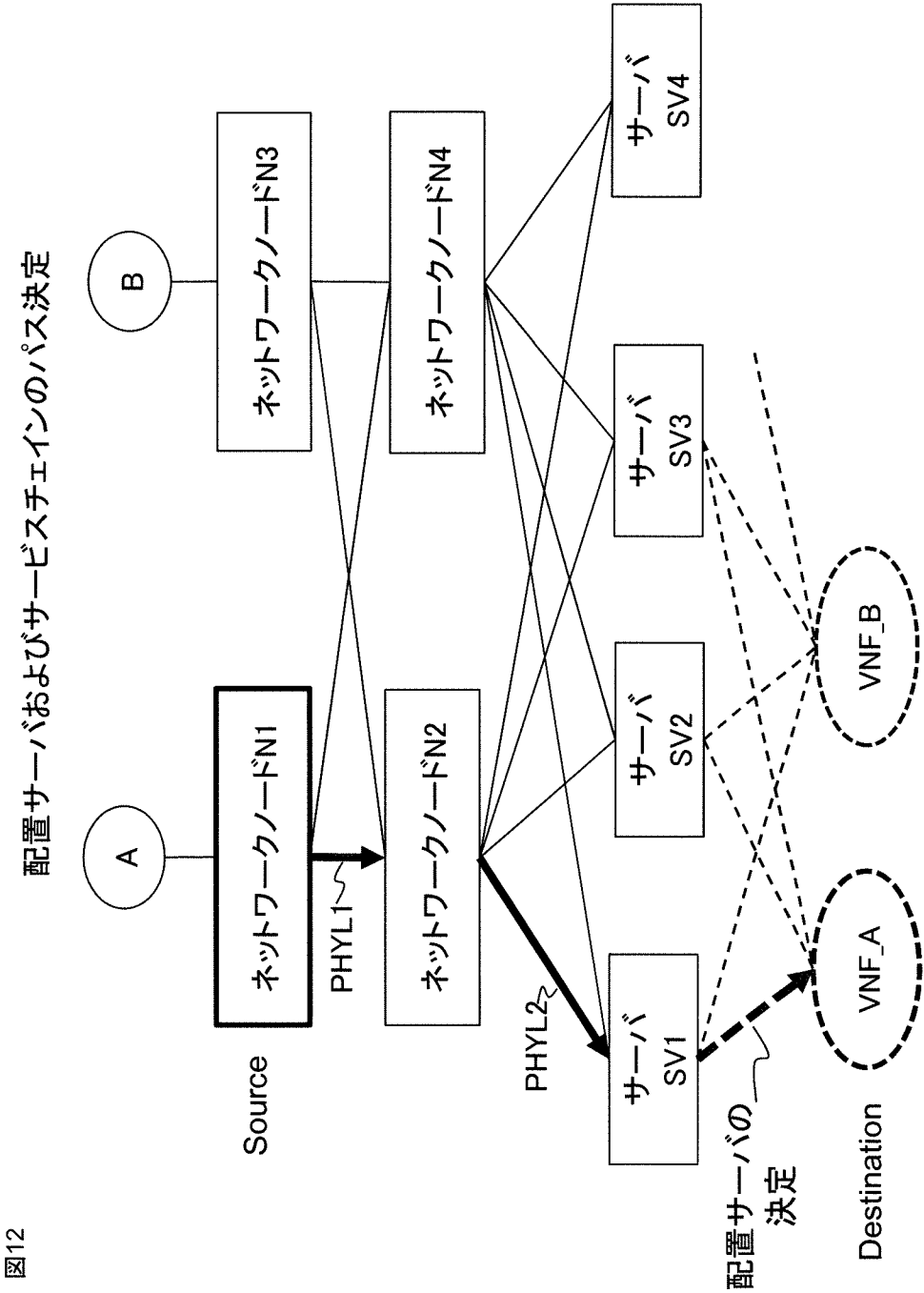


[図11]

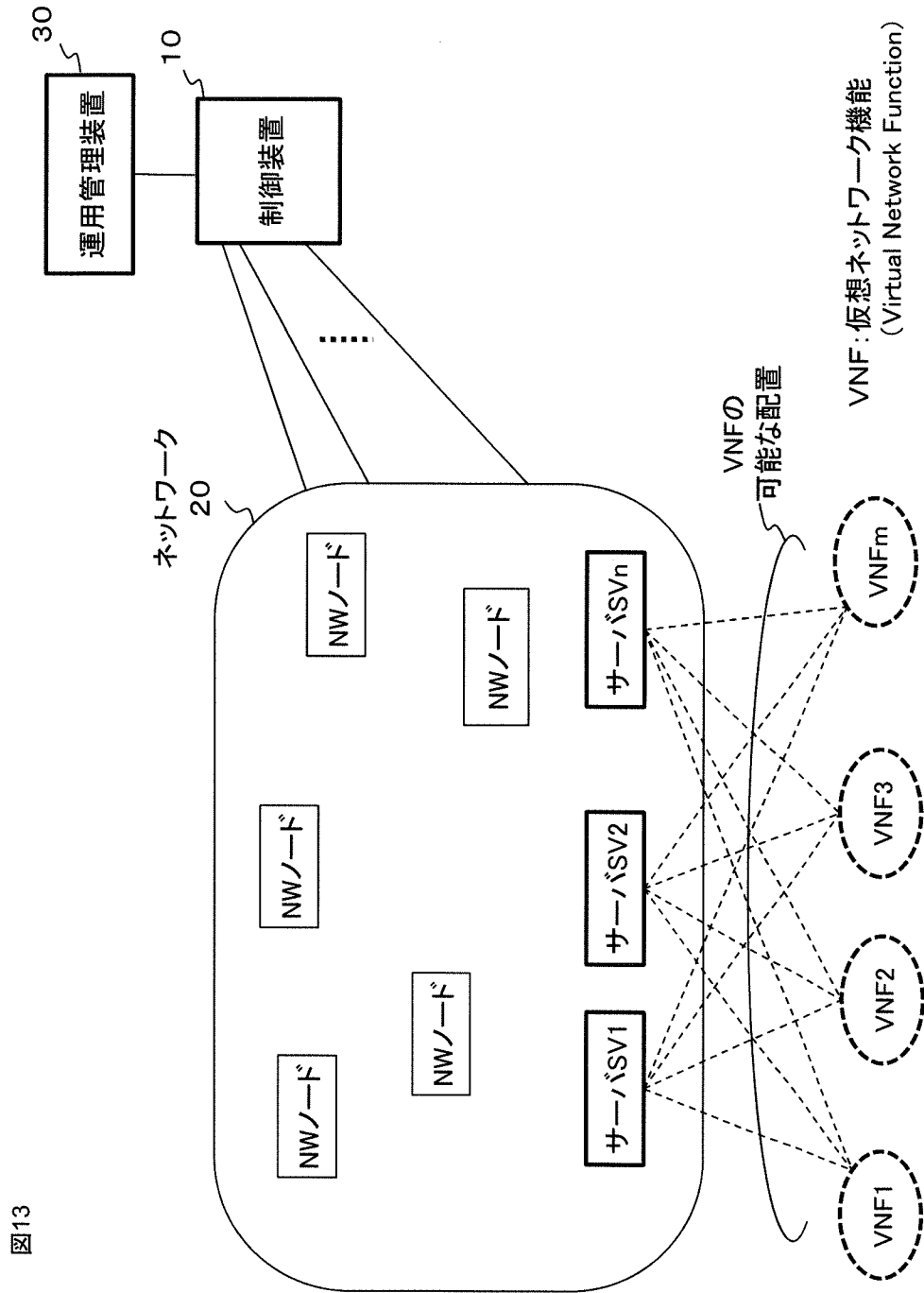
図11



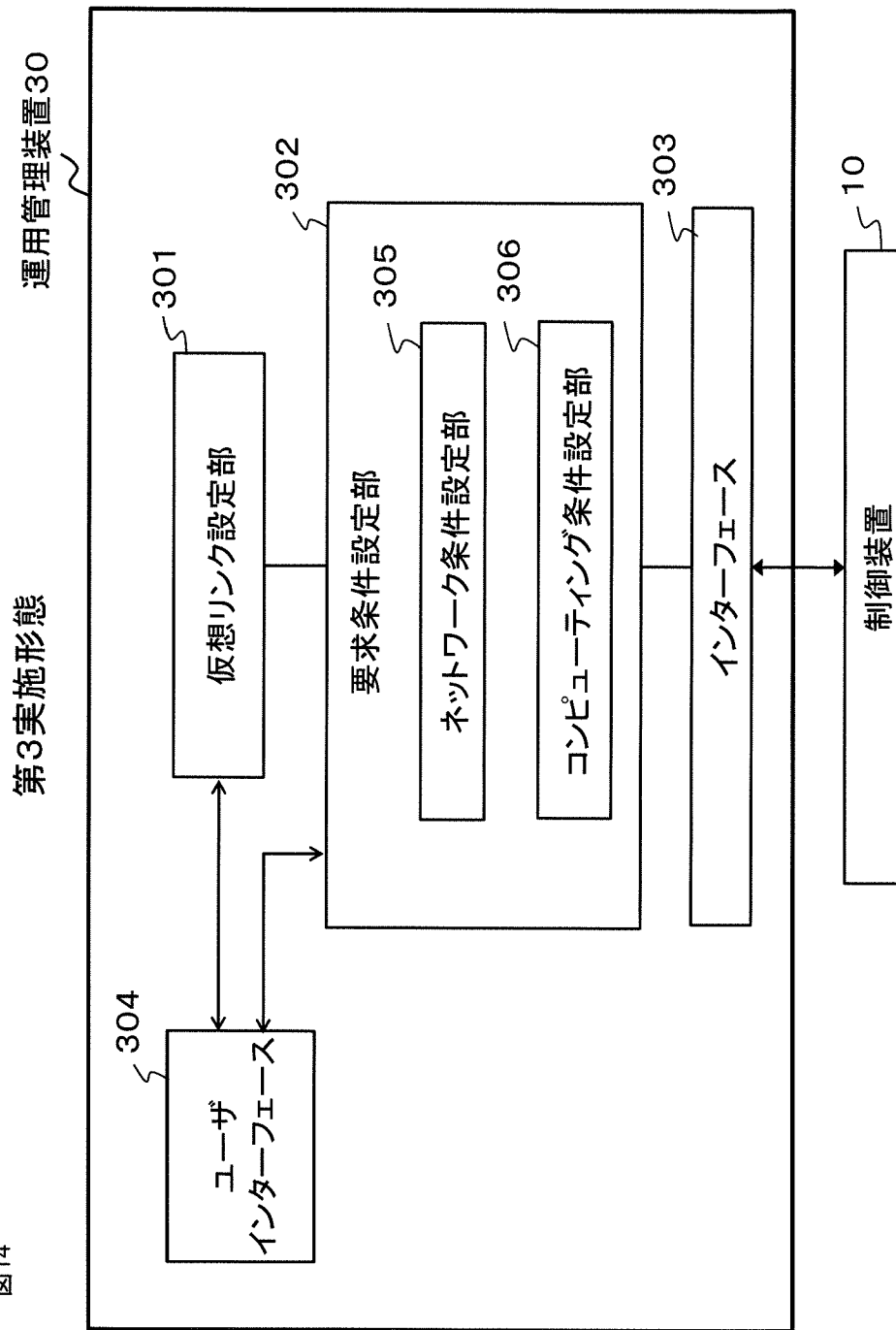
[図12]



[図13]

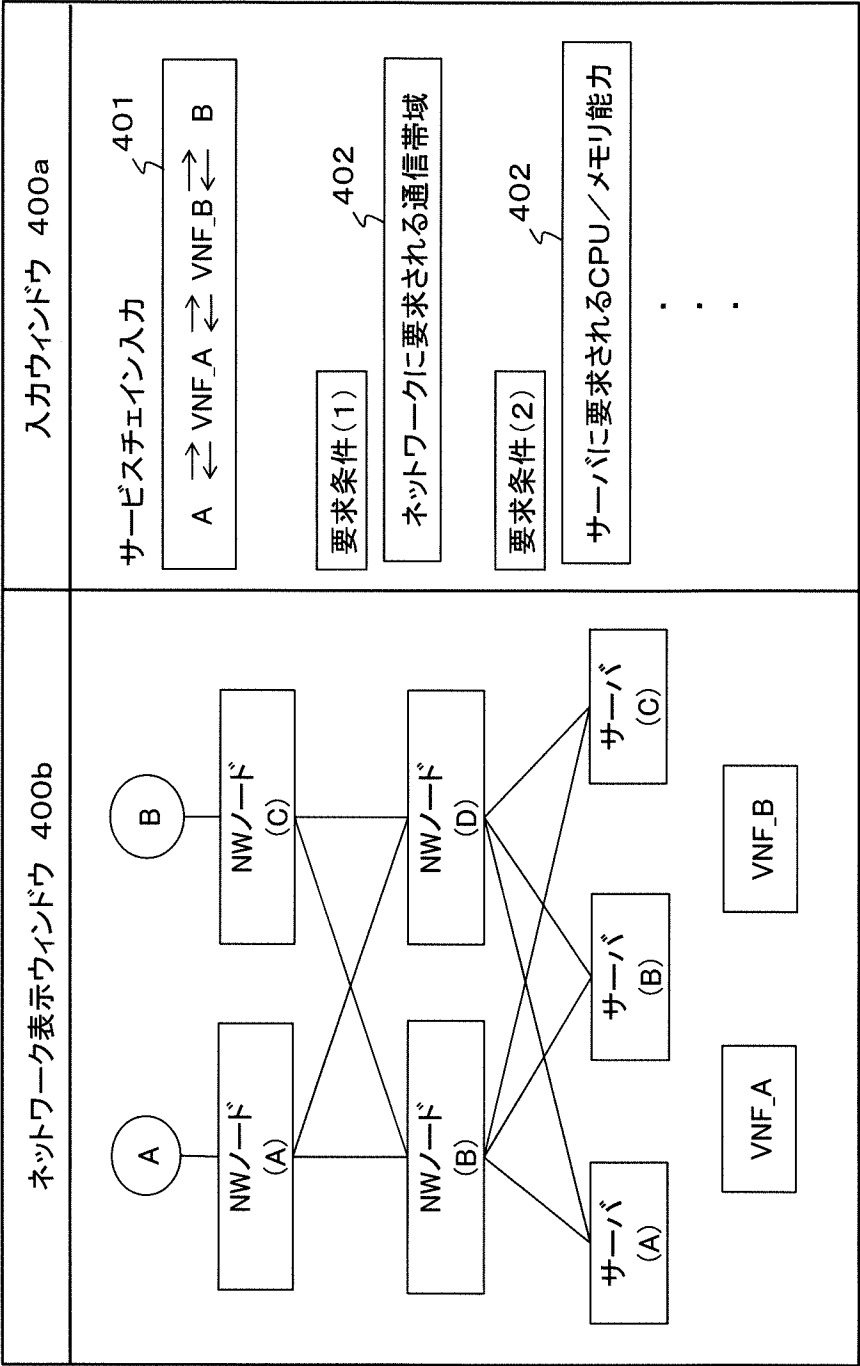


[図14]



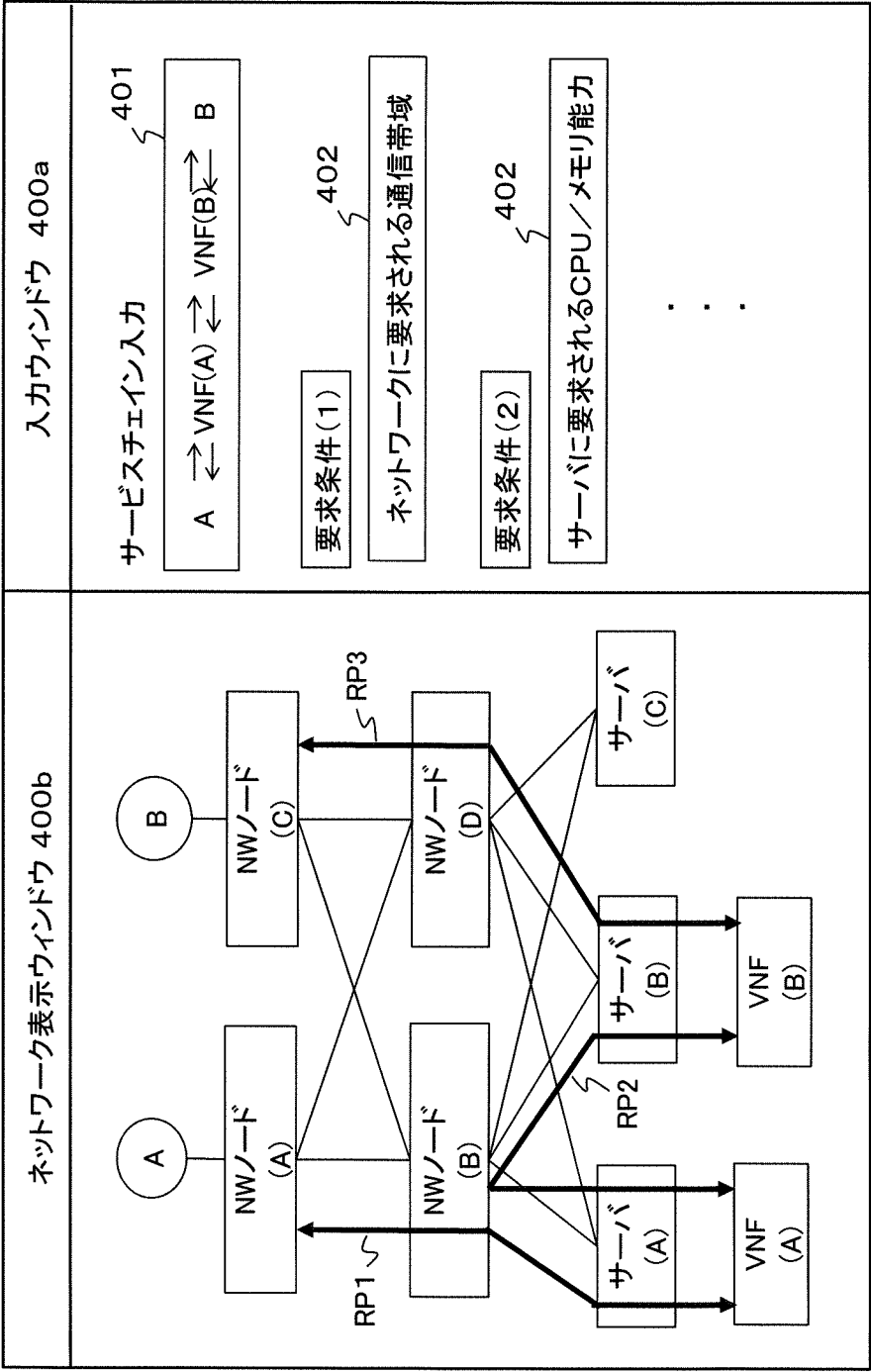
[図15]

図15
運用管理画面400

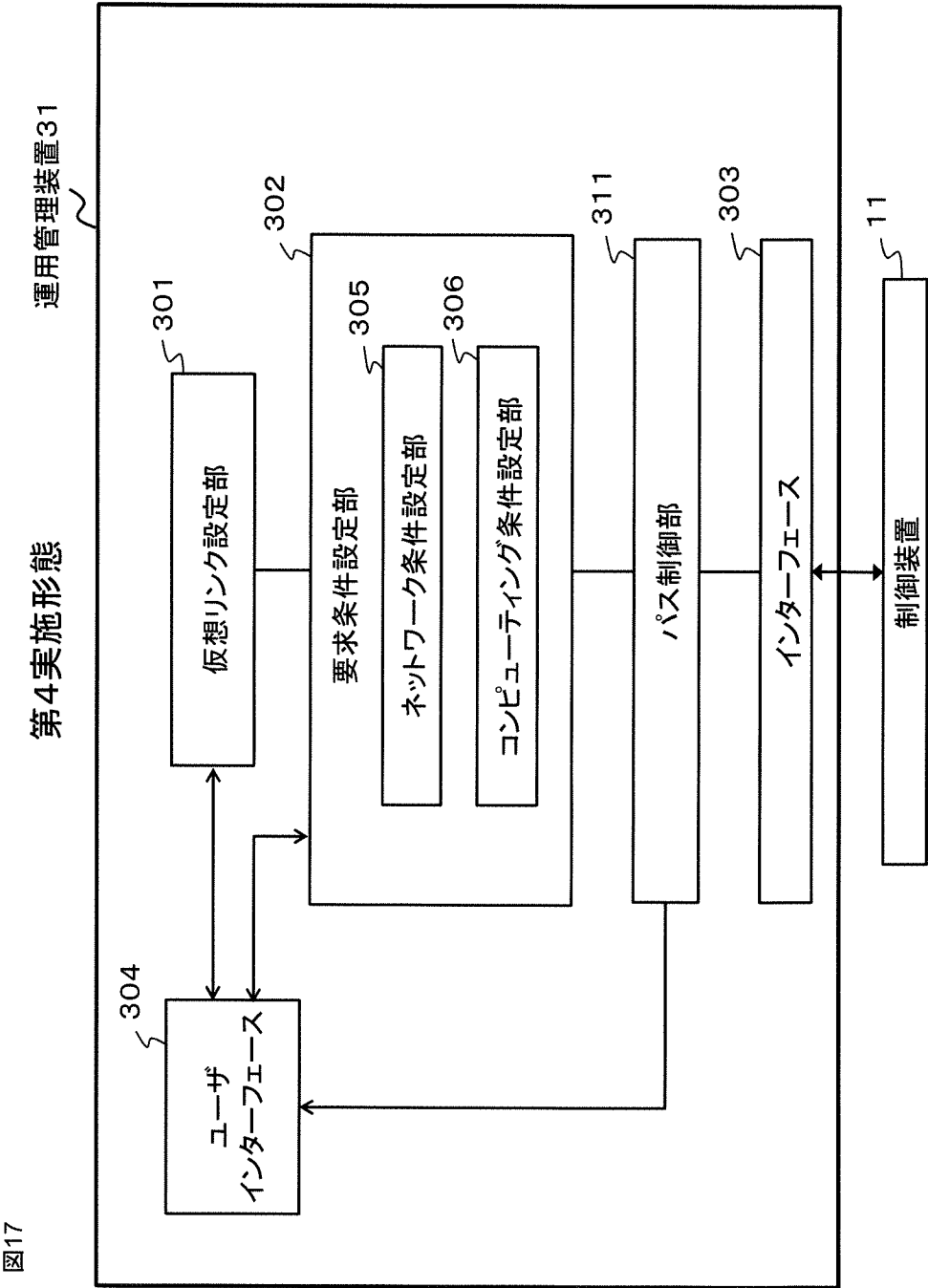


[図16]

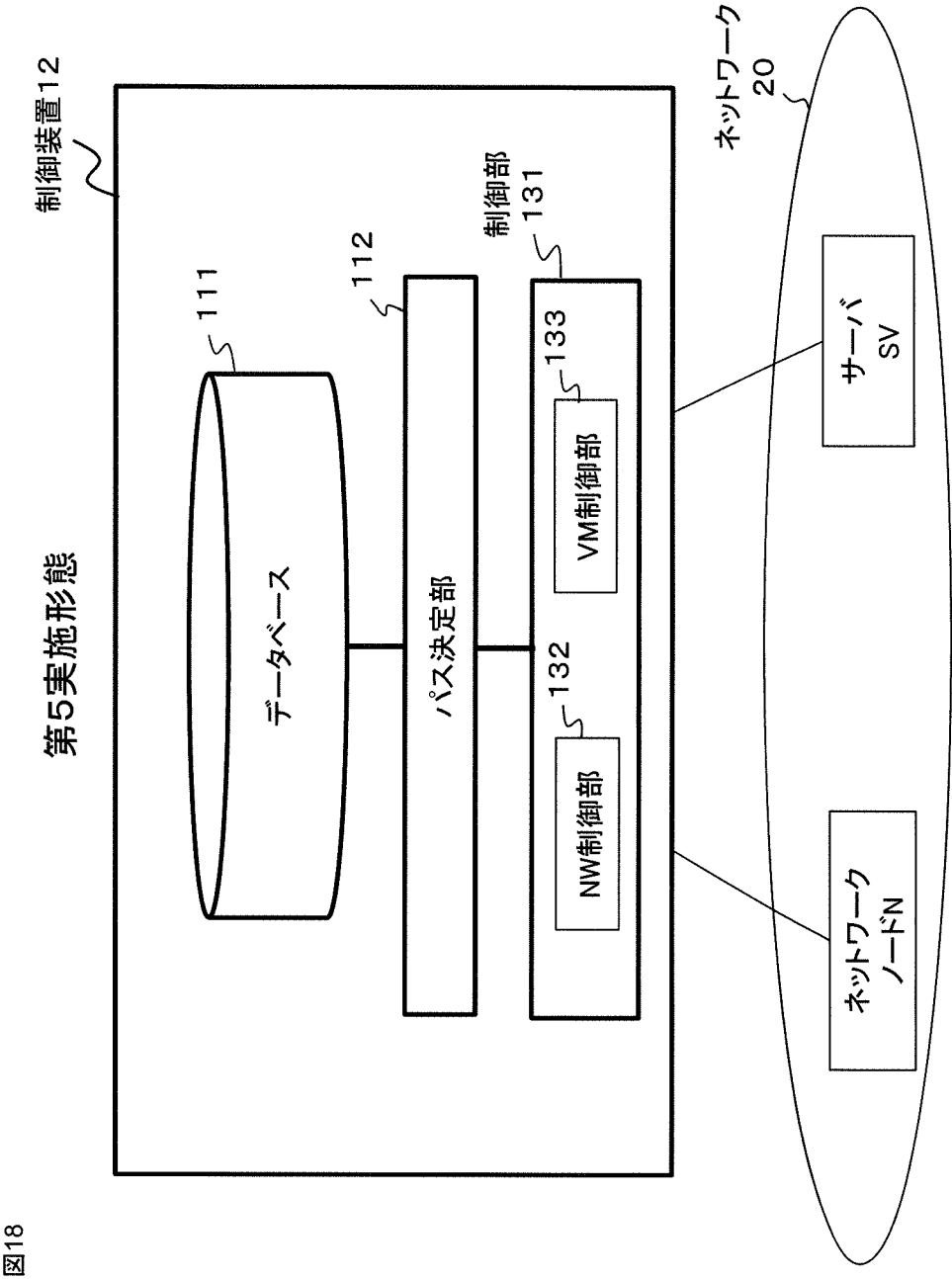
運用管理画面400



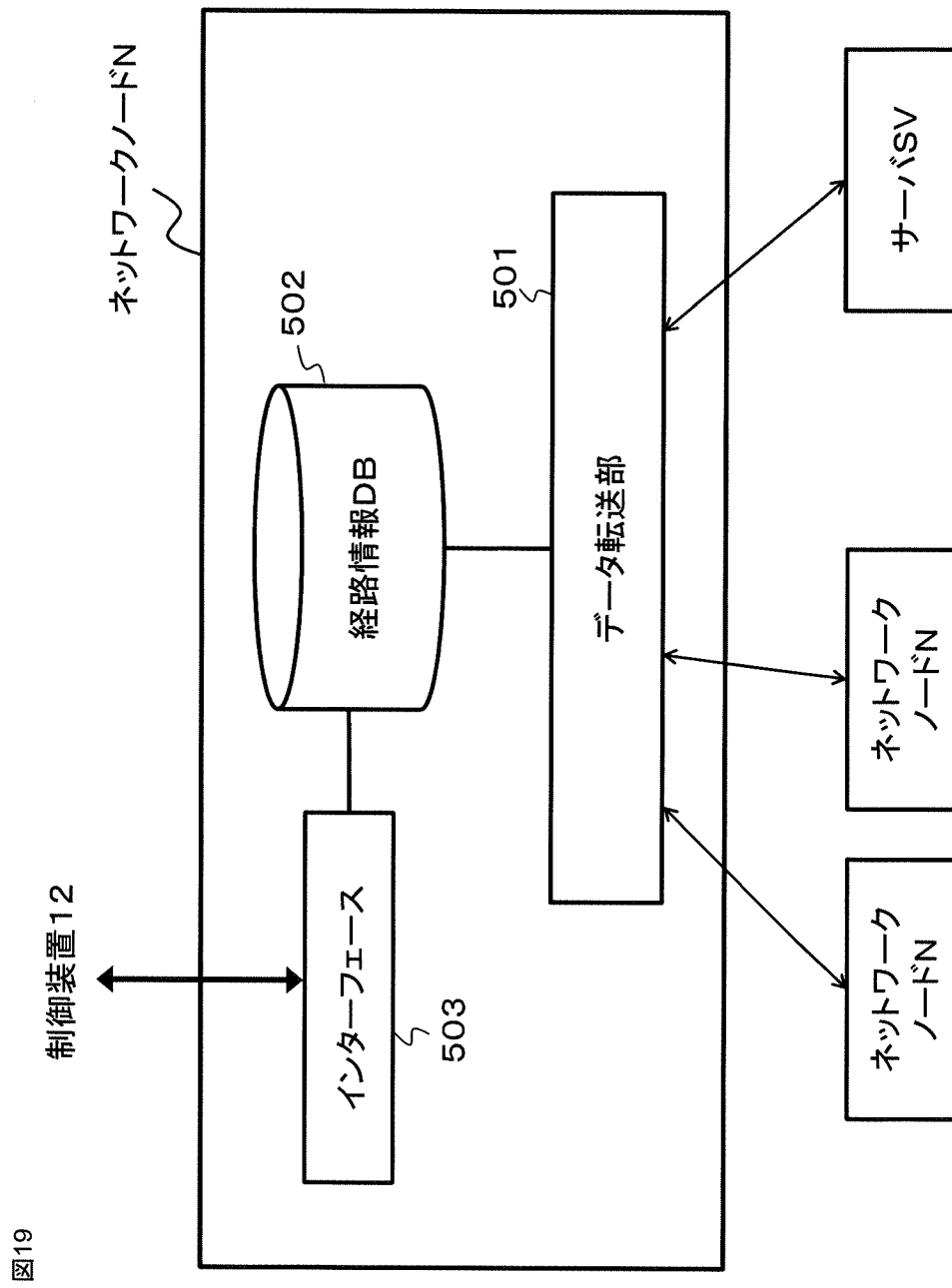
[図17]



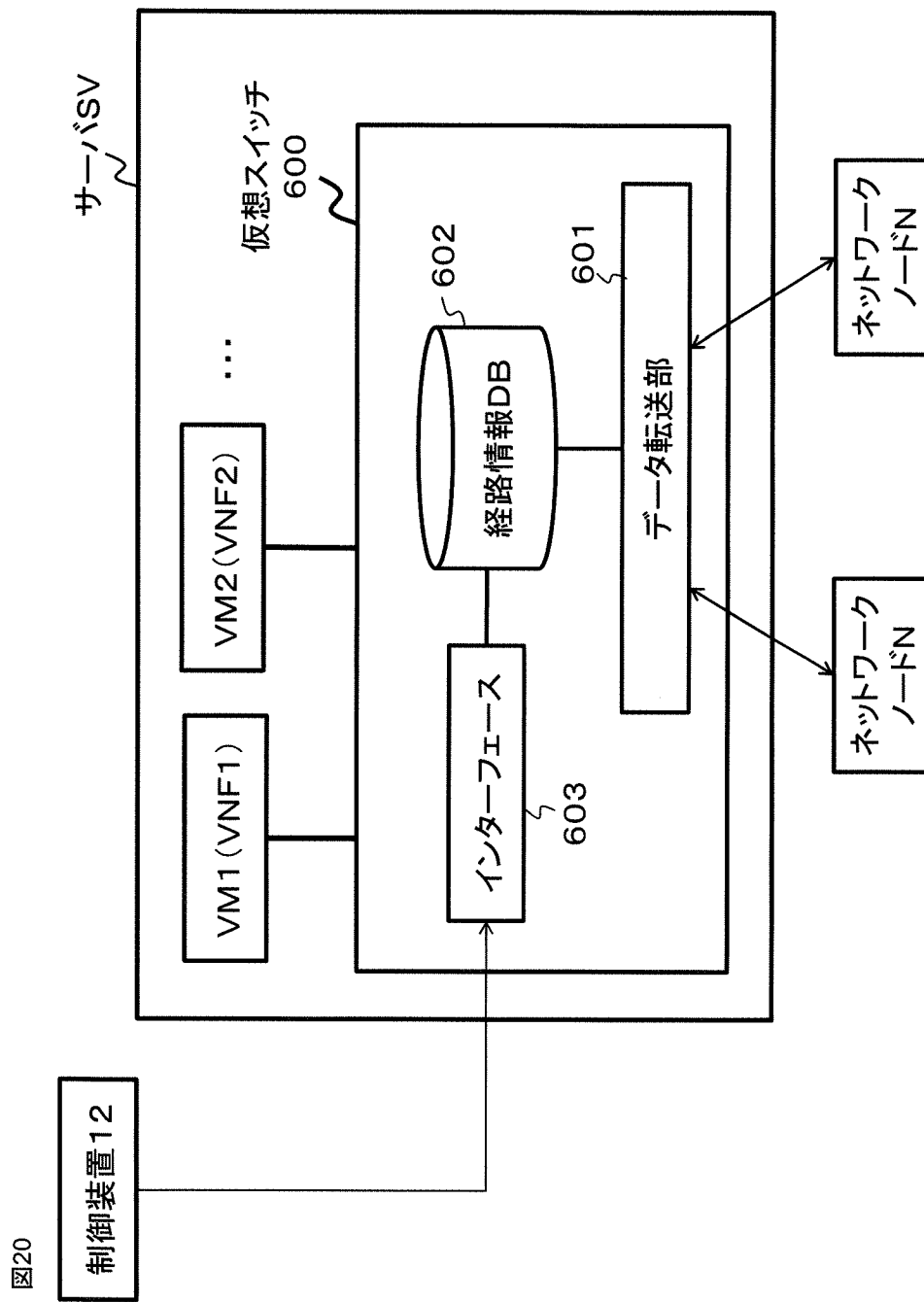
[図18]



[図19]

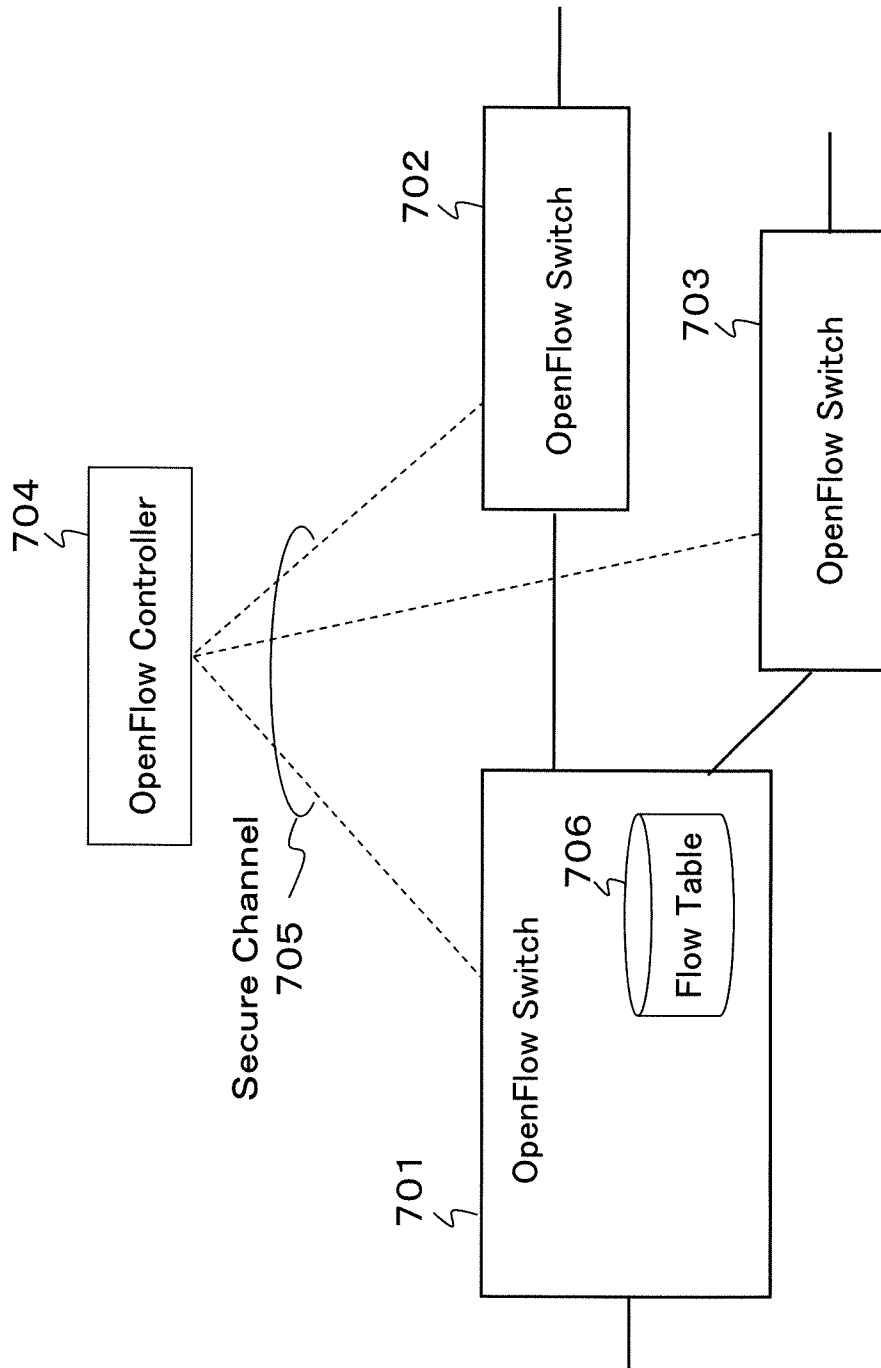


[図20]



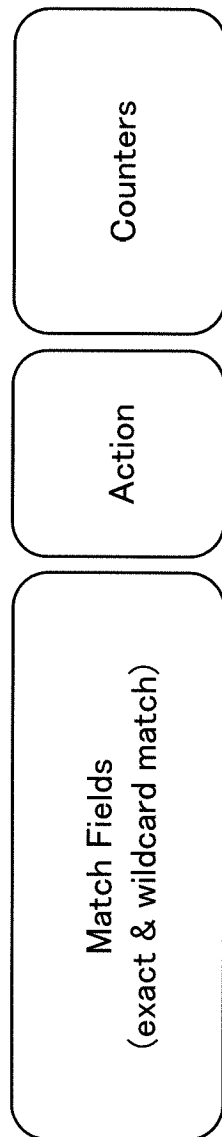
[図21]

図21



[図22]

図22



[図23]

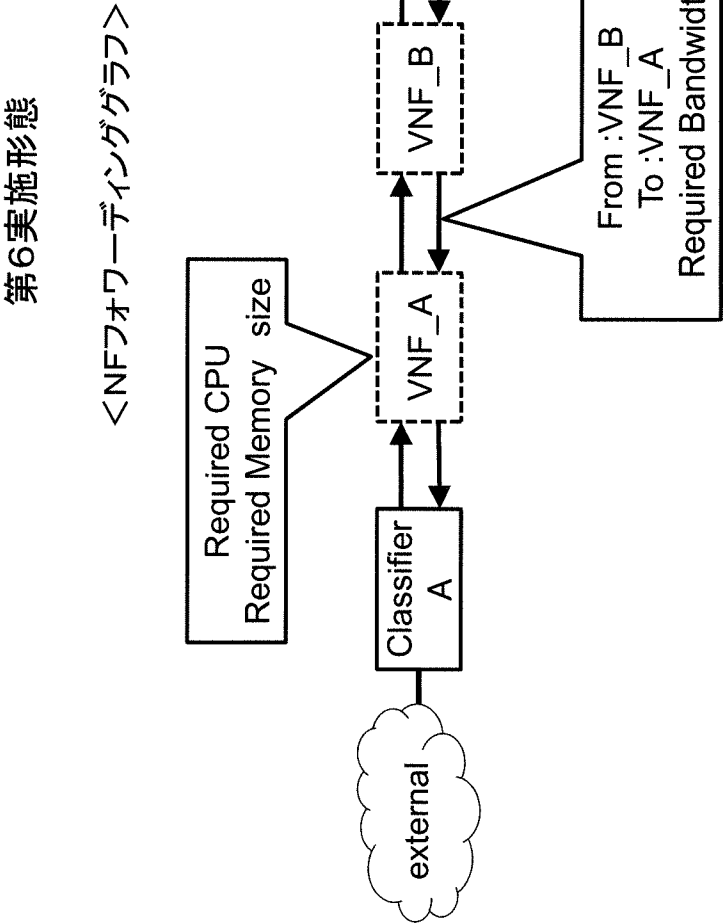
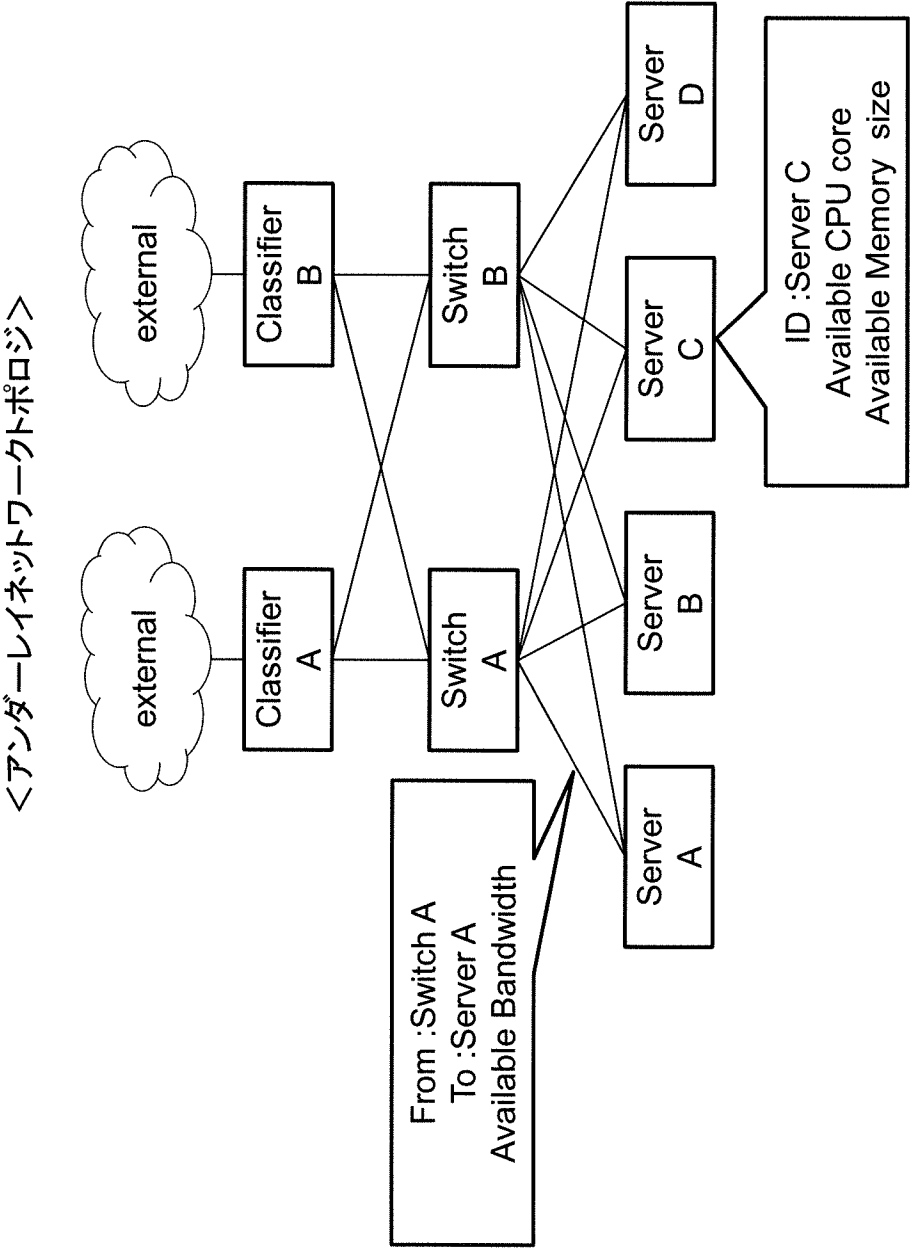


図23

[図24]



[図25]

<拡張トポロジ>

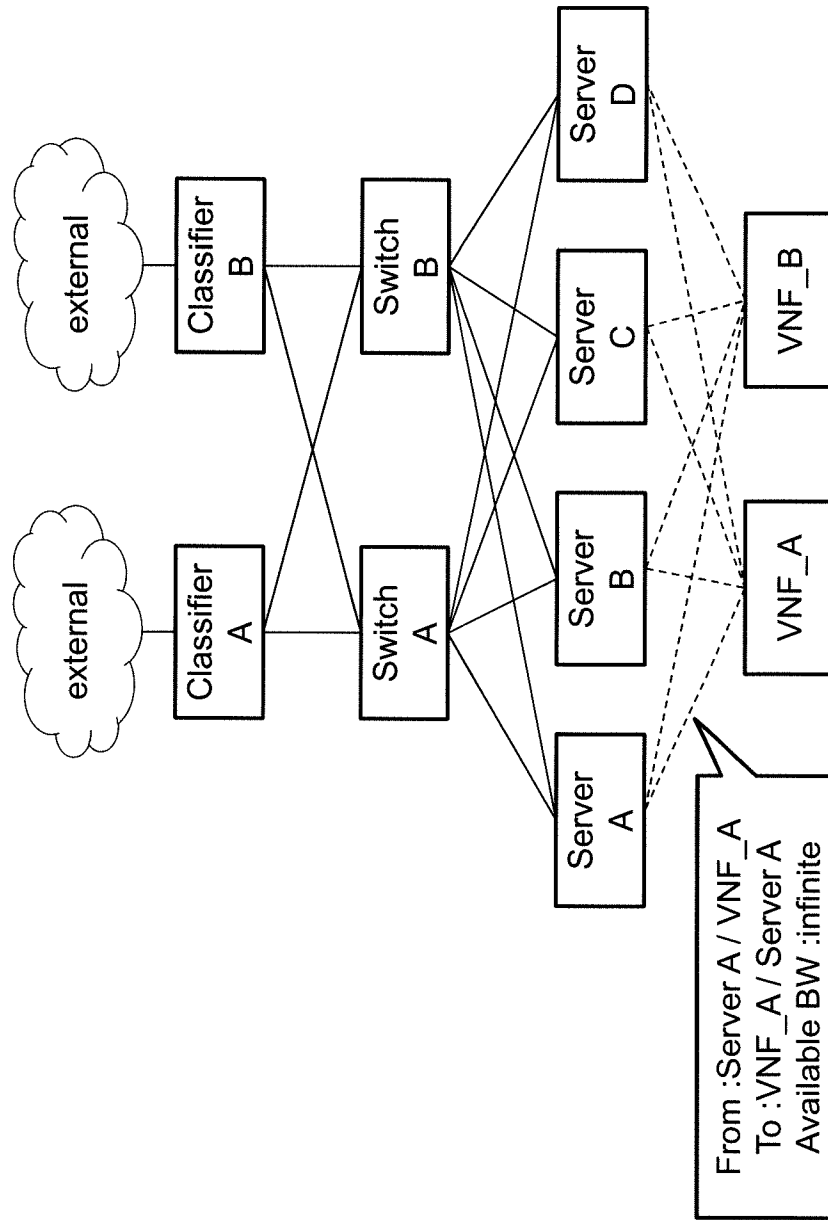
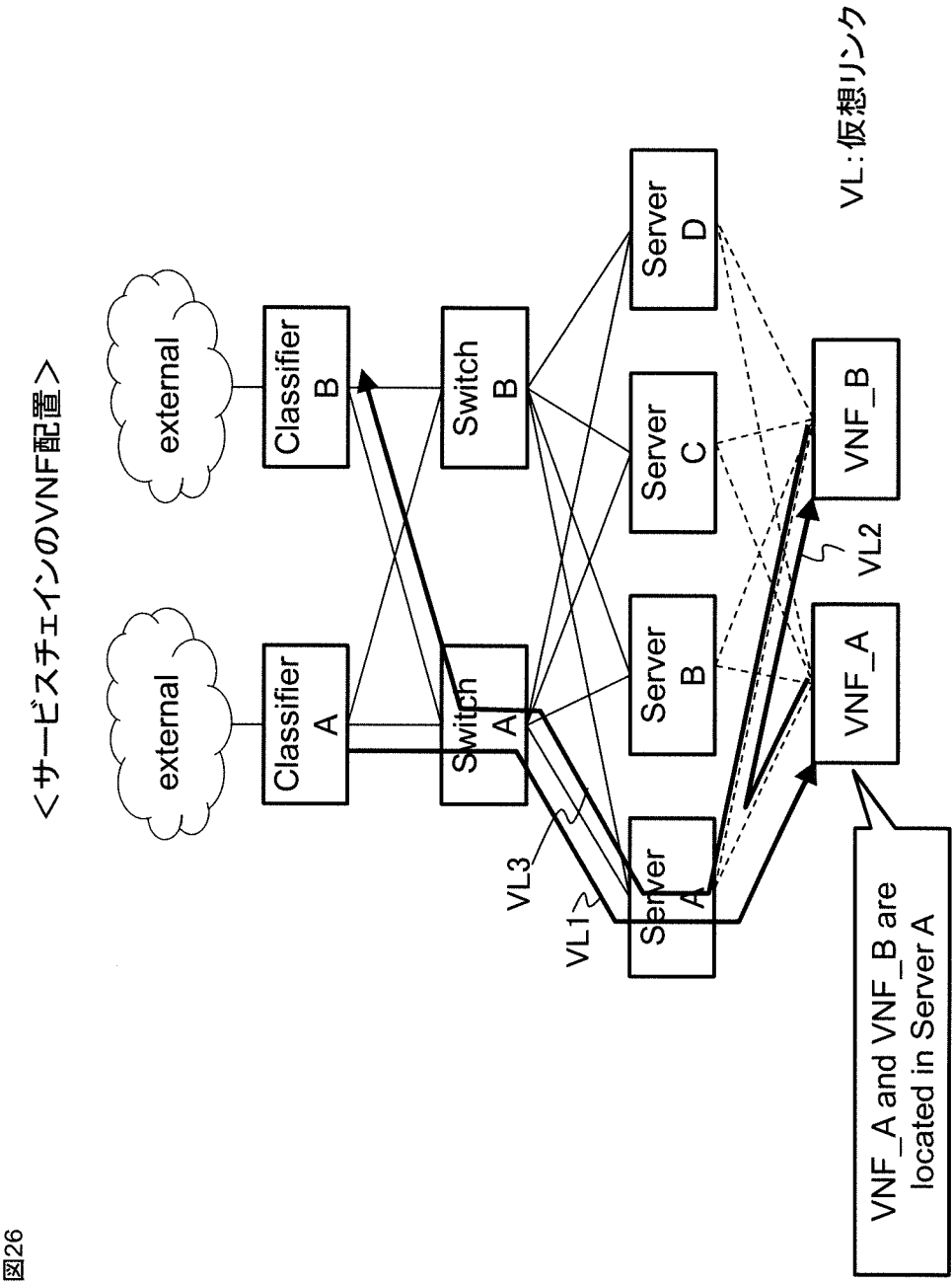
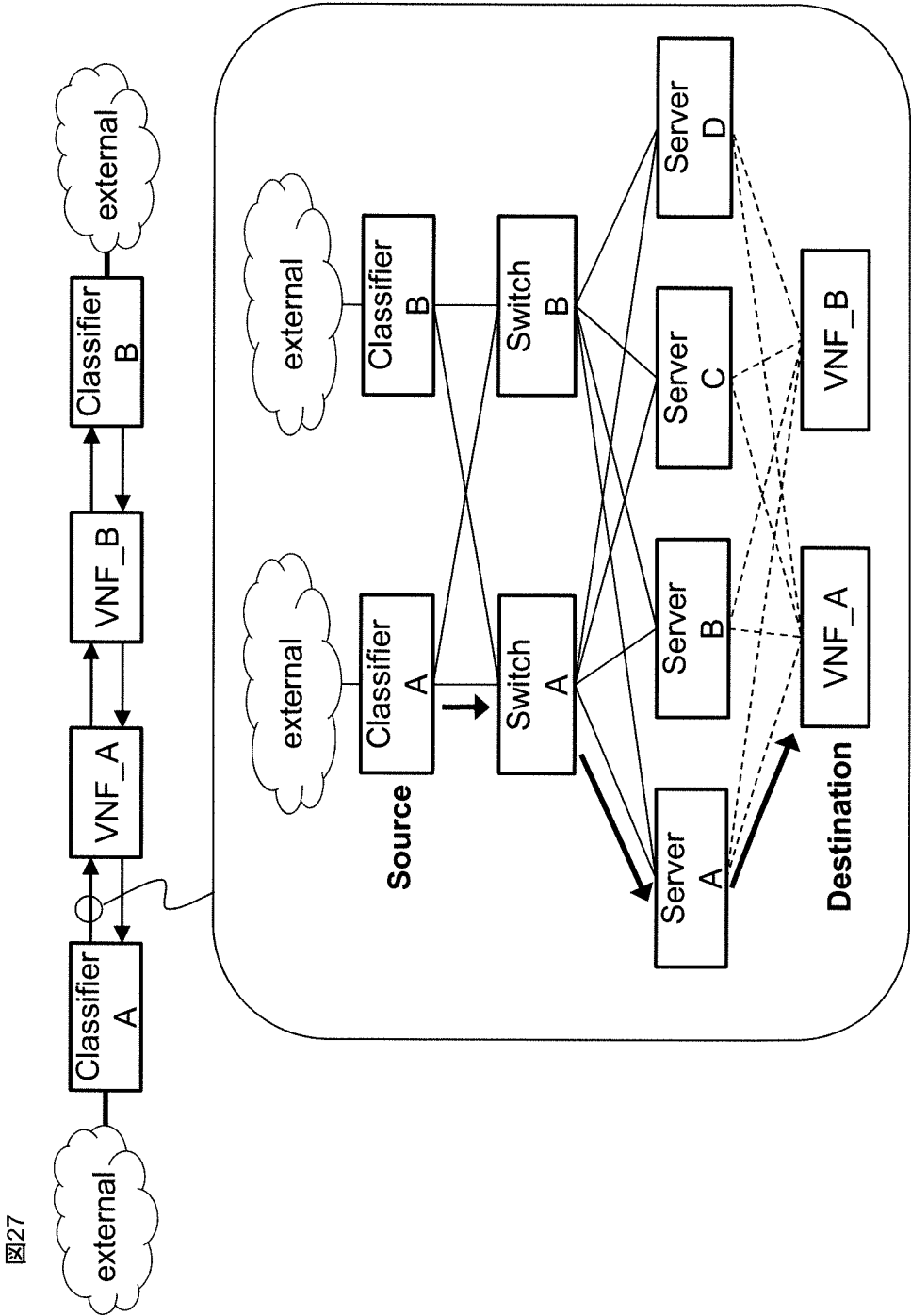


図25

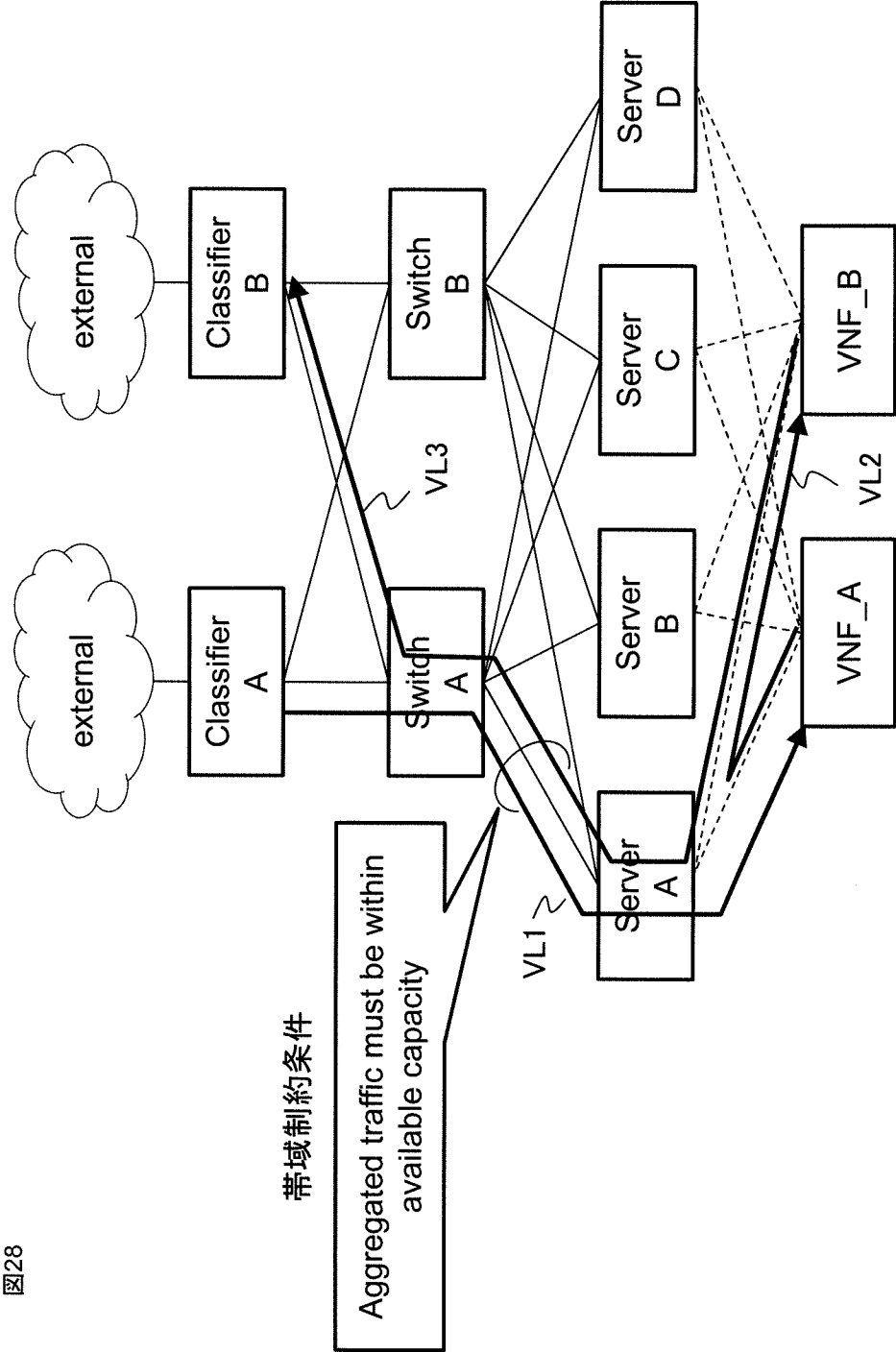
[図26]



[図27]



[図28]



[図29]

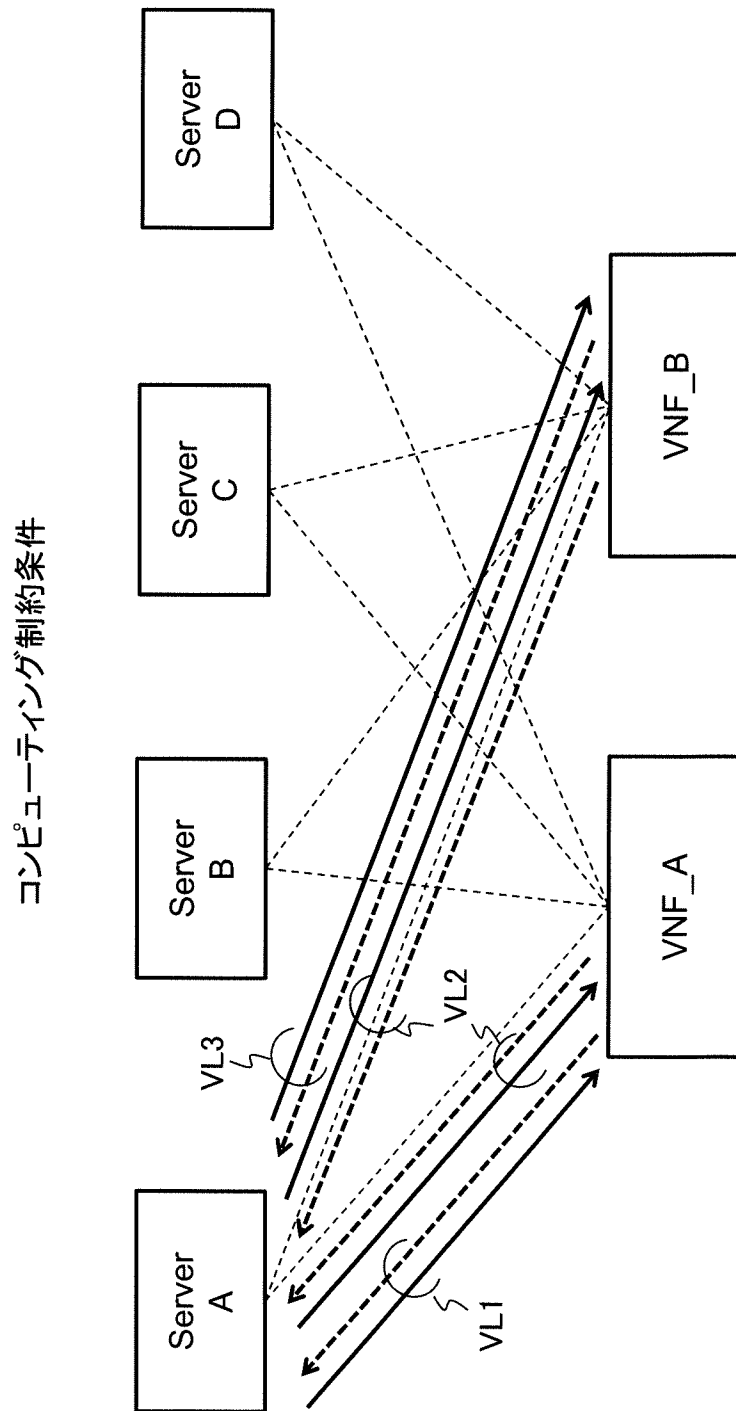
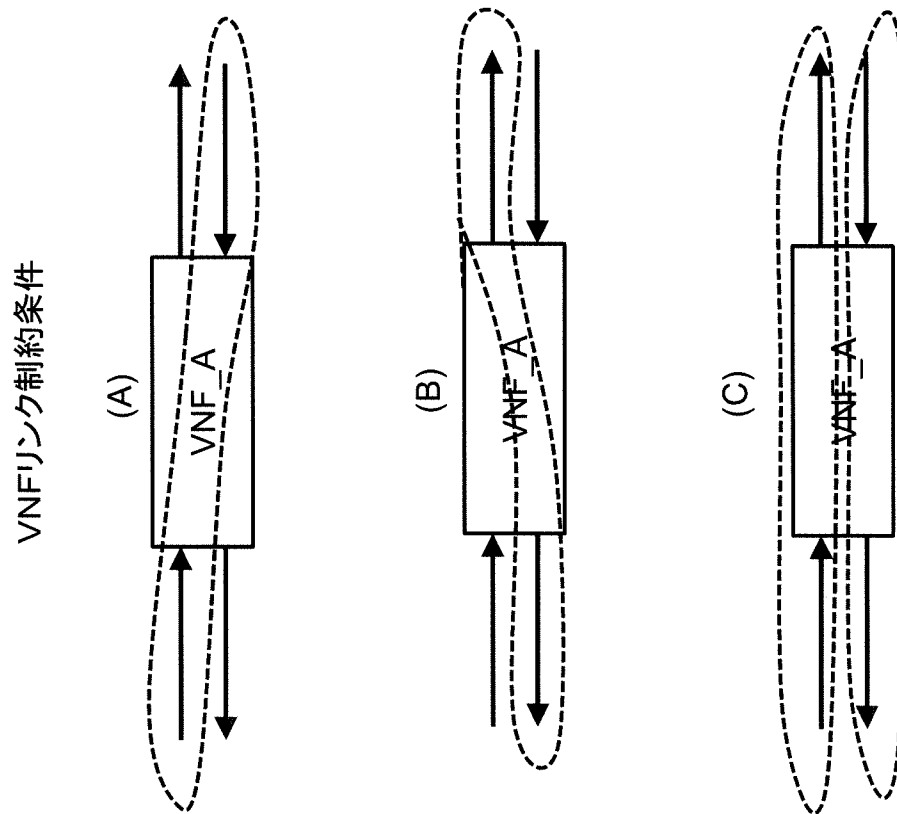


図29

[図30]

図30



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/000525

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04L12/70(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)

H04L12/00-12/26, 12/50-12/955

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	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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

IEEE Xplore

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2013/0329734 A1 (Avi Chesla et al.), 12 December 2013 (12.12.2013), paragraphs [0020] to [0040]; fig. 1 to 2 & US 2013/0333029 A1	1-27
A	Wolfgang John et al., 'Research Directions in Network Service Chaining' In: SDN4FNS 2013, 2013 Workshop on Software Defined Networks for Future Networks and Services, [online], IEEE, 2013.11, [retrieval date 2015.04.06], Internet <URL: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6702549 >	1-27
A	Daisuke SASO, "Kasoka Tsushin Gijutsu no Hatten SDN/OpenFlow to NFV no Saishin Doko", Software Design, 18 December 2013 (18.12.2013), 278th issue, pages 18 to 23	1-27

☐ 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
06 April 2015 (06.04.15)

Date of mailing of the international search report
21 April 2015 (21.04.15)

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（I P C））

Int.Cl. H04L12/70(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（I P C））

Int.Cl. H04L12/00-12/26, 12/50-12/955

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	1971-2015年
日本国実用新案登録公報	1996-2015年
日本国登録実用新案公報	1994-2015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）

IEEE Xplore

C. 関連すると認められる文献

引用文献の 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 請求項の番号
A	US 2013/0329734 A1 (Avi Chesla et al.) 2013.12.12, 段落[0020]-[0040], 第1-2図 & US 2013/0333029 A1	1-27
A	Wolfgang John et al., 'Research Directions in Network Service Chaining' In: SDN4FNS 2013, 2013 Workshop on Software Defined Networks for Future Networks and Services, [online], IEEE, 2013.11, [検索日 2015.04.06], インターネット<URL: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6 702549>	1-27

☒ 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

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

06.04.2015

国際調査報告の発送日

21.04.2015

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A/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）

浦口 幸宏

電話番号 03-3581-1101 内線 3596

5 X

3358

C（続き）． 関連すると認められる文献		
引用文献の 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 請求項の番号
A	佐宗大介，仮想化通信技術の発展 SDN/OpenFlow と NFV の最新動向，Software Design, 2013.12.18, 発刊 278 号, p.18-23	1-27