(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7540514号
(P7540514)

(45)発行日　令和6年8月27日(2024.8.27)

(24)登録日　令和6年8月19日(2024.8.19)

(51)国際特許分類
Ｈ０４Ｂ　10/27　(2013.01)

ＦＩ
Ｈ０４Ｂ　10/27

請求項の数　5　（全16頁）

(21)出願番号　特願2022-577867(P2022-577867)
(86)(22)出願日　令和3年1月27日(2021.1.27)
(86)国際出願番号　PCT/JP2021/002780
(87)国際公開番号　WO2022/162773
(87)国際公開日　令和4年8月4日(2022.8.4)
審査請求日　令和5年5月30日(2023.5.30)

(73)特許権者　000004226
日本電信電話株式会社
東京都千代田区大手町一丁目５番１号
(74)代理人　100119677
弁理士　岡田 賢治
(74)代理人　100160495
弁理士　畑 雅明
(74)代理人　100115794
弁理士　今下 勝博
(72)発明者　大野 槙悟
東京都千代田区大手町一丁目５番１号
日本電信電話株式会社内
(72)発明者　鬼頭 千尋
東京都千代田区大手町一丁目５番１号
日本電信電話株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　光アクセス網

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
複数の固定局線と少なくとも１本の共通線を含み、通信事業者拠点施設を通るループ状経路に敷設される上位ループ光ファイバケーブルと、
少なくとも１本のユーザ線と少なくとも１本の冗長線を含み、前記上位ループ光ファイバケーブルとの接続点、及びユーザ拠点施設を通るループ状経路に敷設される下位ループ光ファイバケーブルと、
を備える光アクセス網であって、
前記接続点において、前記ユーザ線と前記固定局線とを１：１で接続する固定接続線と、前記冗長線と前記共通線とを排他的に接続する心線切替機能部と、を有しており、
前記共通線の数は、複数の前記下位ループ光ファイバケーブルそれぞれが含む前記冗長線の合計数より少ない数であり、
前記心線切替機能部は、前記下位ループ光ファイバケーブルの需要変動に応じて前記冗長線と前記共通線との接続を切り替える
ことを特徴とする光アクセス網。
【請求項２】
前記上位ループ光ファイバケーブルの前記ループ状経路は、前記下位ループ光ファイバケーブルが敷設される配線区画において、前記通信事業者拠点施設から前記接続点までの経路が１つであるときの可用性に対して、前記上位ループ光ファイバケーブルであるときの可用性の向上率γを最大とする経路であることを特徴とする請求項１に記載の光アクセ

ス網。
【請求項３】
前記向上率γが数Ｃ１であり、
前記上位ループ光ファイバケーブルの前記ループ状経路は、前記向上率γを最大とするｒｌｏｏｐとすることを特徴とする請求項２に記載の光アクセス網。
【数Ｃ１】

$$\gamma = \frac{C_1 C_2 \sigma \theta r_{loop}\left(R^2 - {r_{loop}}^2\right)}{2 + C_1 C_2 \sigma \theta r_{loop}\left(R^2 - {r_{loop}}^2\right)} \qquad (C1)$$

ただし、前記上位ループ光ファイバケーブルが構築するエリア形状が、前記通信事業者拠点施設を原点とする中心角θ及び半径Ｒの扇形であり、前記ｒｌｏｏｐは前記通信事業者拠点施設から前記接続点までの距離、σは需要密度、Ｃ１及びＣ２は定数である。
【請求項４】
前記冗長線と前記心線切替機能部とを接続する心線数は、前記上位ループ光ファイバケーブルに含まれる心線数Ｆｔｏｔａｌを最小に収束させる数であることを特徴とする請求項１に記載の光アクセス網。
【請求項５】
前記心線数Ｆｔｏｔａｌは数Ｃ２で算出されることを特徴とする請求項４に記載の光アクセス網。
【数Ｃ２】

$$F_{total} = \sum_{i=1}^{N} (1 - a_i) f_i + F_c \qquad (C2)$$

ただし、Ｎは前記上位ループ光ファイバケーブルに接続される前記下位ループ光ファイバケーブルの数、ａｉはｉ番目の前記下位ループ光ファイバケーブルに含まれる心線のうち前記冗長線の数の割合（以下、融通心線率）、ｆｉはｉ番目の前記下位ループ光ファイバケーブルに含まれる心線、Ｆｃは前記共通線の数である。
ここで、ｆｉは数Ｃ３を満たし、Ｆｃは数Ｃ４を満たす。
【数Ｃ３】

$$\sum_{k=0}^{2f_i} p_{i,k} \geq x \qquad (C3)$$

ｘは前記下位ループ光ファイバケーブルが敷設される配線区画あたりの信頼度の設計値、ｐｉ，ｋはｉ番目の前記配線区画における発生需要数がｋ心である確率である。
【数Ｃ４】

$$\sum_{k=0}^{2F_c} q_{N,k} \geq x^N \qquad (C4)$$

ｑＮ，ｋは、数Ｃ５で計算される、１～Ｎ番目の前記配線区画において前記固定局線数を上回る需要数の合計がｋ心である確率である。
【数Ｃ５】

（Ｎ＝１の場合）

$$q_{1,k} = p_{1,(1-a)f_i+k}$$

（Ｎ＞１の場合）　（Ｃ５）

$$q_{N,k} = \sum_{l=0}^{k} q_{N-1,l}\, p_{N,(1-a)f_i+k-l}$$

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本開示は、アクセス系通信網における光ファイバケーブル網構成の設計技術分野に関する。
【背景技術】
【０００２】
光アクセス網は、通信事業者の拠点施設（以下、収容局）と複数のユーザ拠点を光ファイバケーブルでつなぐ通信設備網であり、情報通信サービスを安定的に提供するために高い信頼性が要求されるとともに、面的に散在する光ファイバ心線需要に対して効率的に応えることが求められる。光アクセス網の構築には膨大な量の設備と時間、コストを要するため、あらかじめ適切な網構成を設計し、先行構築しておくことが重要である。
【０００３】
光アクセス網では一般的にスター型の配線トポロジに基づく網構成が用いられている（他追えば、非特許文献１を参照。）。本網構成では数百程度のユーザを単位とする配線区画を設定し、収容局と複数の配線区画を光ファイバケーブルで樹枝状に接続する。各配線区画には設計時の需要予測に基づいて算出された必要数の心線を固定的に割り付け、配線区画内でさらに樹枝状に光ファイバケーブルを張り巡らせて各ユーザ拠点に接続する。
【先行技術文献】
【非特許文献】
【０００４】
【文献】米元，園部，木上，長谷川，三浦，“大量開通・即応化に向けた光配線法”，ＮＴＴ技術ジャーナル，Ｖｏｌ．１８，Ｎｏ．１２，ｐｐ．４８－５２，２００６．
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００５】
従来のスター型トポロジに基づく網構成では、収容局とユーザ拠点との間に冗長経路が設けられていないため、破断を伴う故障地点が一つでもあると通信サービスが途絶してしまう危険性がある。また、配線区画やケーブル方路毎に心線が固定的に割り付けられているため、設計時の予測を上回る心線需要が発生する配線区画やケーブル方路が一つでもあると、心線切替や増設に伴う追加工事が必要となる。追加工事を抑えるためには、予測値よりも多くの心線をあらかじめ敷設しておく必要があり、創設コストの増加や心線使用効率の低下につながる。つまり、スター型の網構成では、高信頼性の確保が困難、及び需要変動に対する効率的な心線使用が困難という二点で課題がある。
【０００６】
特に近年増加している移動通信基地局向けの心線需要は、新世代移動通信システムの普及に伴い信頼性への要求が高まっている上、発生需要の数や位置が電波伝搬環境や通信トラフィック状況等の様々な影響を受けるため予測が困難であるという性質がある。そのためスター型の網構成では、今後の移動通信サービスの高度化、拡大にともない、必要とさ

れる信頼性の確保や効率的な心線使用が困難となる恐れがある。

【０００７】

本発明は上記事情を鑑みてなされたものであり、情報通信サービスを支える高度な信頼性を備えるとともに、予測困難な心線需要に対して効率的に応える光アクセス網を提供することを目的とする。

【課題を解決する手段】

【０００８】

上記目的を達成するために、本発明に係る光アクセス網は、配線トポロジとしてループ型とし、複数のループ状の光ファイバケーブルで構成するとともに、ループ間の接続点に心線切替機能を設けることとした。

【０００９】

具体的には、本発明に係る光アクセス網は、

複数の固定局線と少なくとも１本の共通線を含み、通信事業者拠点施設を通るループ状経路に敷設される上位ループ光ファイバケーブルと、

少なくとも１本のユーザ線と少なくとも１本の冗長線を含み、前記上位ループ光ファイバケーブルとの接続点、及びユーザ拠点施設を通るループ状経路に敷設される下位ループ光ファイバケーブルと、

を備える光アクセス網であって、

前記接続点において、前記ユーザ線と前記固定局線とを１：１で接続する固定接続線と、前記冗長線と前記共通線とを排他的に接続する心線切替機能部と、を有しており、

前記共通線の数は、複数の前記下位ループ光ファイバケーブルそれぞれが含む前記冗長線の合計数より少ない数であり、

前記芯線切替機能部は、前記下位ループ光ファイバケーブルの需要変動に応じて前記冗長線と前記共通線との接続を切り替える

ことを特徴とする。

【００１０】

本光アクセス網は、複数のループ状の光ファイバケーブルで構成されているため、冗長経路を確保でき、信頼性を高めることができる。さらに、本光アクセス網は、一部の上位ループ光ファイバケーブルの心線について複数の下位ループ光ファイバケーブルで共有し、需要に応じて接続を切り替えることができ、当該需要に効率的に応えることができる。

【００１１】

従って、本発明は、情報通信サービスを支える高度な信頼性を備えるとともに、予測困難な心線需要に対して効率的に応える光アクセス網を提供することができる。

【００１２】

本発明に係る光アクセス網は、需要の変動に対して工事などを行う頻度を下げ、可用性を高めるために、次の条件を持つことが好ましい。

【００１３】

本発明に係る光アクセス網は、前記上位ループ光ファイバケーブルの前記ループ状経路は、前記下位ループ光ファイバケーブルが敷設される配線区画において、前記通信事業者拠点施設から前記接続点までの経路が１つであるときの可用性に対して、前記上位ループ光ファイバケーブルであるときの可用性の向上率γを最大とする経路であることを特徴とする。

【００１４】

具体的には、　前記向上率γが数Ｃ１であり、前記上位ループ光ファイバケーブルの前記ループ状経路は、前記向上率γを最大とするｒｌｏｏｐとすることを特徴とする。

【数Ｃ１】

$$\gamma = \frac{C_1 C_2 \sigma \theta r_{loop}\left(R^2 - {r_{loop}}^2\right)}{2 + C_1 C_2 \sigma \theta r_{loop}\left(R^2 - {r_{loop}}^2\right)} \qquad (C1)$$

ただし、前記上位ループ光ファイバケーブルが構築するエリア形状が、前記通信事業者拠点施設を原点とする中心角θ及び半径Ｒの扇形であり、前記r_{loop}は前記通信事業者拠点施設から前記接続点までの距離、σは需要密度、Ｃ１及びＣ２は定数である。

【００１５】

本発明に係る光アクセス網は、前記冗長線と前記心線切替機能部とを接続する心線数は、前記上位ループ光ファイバケーブルに含まれる心線数F_{total}を最小に収束させる数であることを特徴とする。

【００１６】

具体的には、前記心線数F_{total}は数Ｃ２で算出される。

【数Ｃ２】

$$F_{total} = \sum_{i=1}^{N}(1 - a_i)f_i + F_c \qquad (C2)$$

ただし、Ｎは前記上位ループ光ファイバケーブルに接続される前記下位ループ光ファイバケーブルの数、a_iはｉ番目の前記下位ループ光ファイバケーブルに含まれる心線のうち前記冗長線の数の割合（以下、融通心線率）、f_iはｉ番目の前記下位ループ光ファイバケーブルに含まれる心線、Ｆｃは前記共通線の数である。

ここで、f_iは数Ｃ３を満たし、Ｆｃは数Ｃ４を満たす。

【数Ｃ３】

$$\sum_{k=0}^{2f_i} p_{i,k} \geq x \qquad (C3)$$

ｘは前記下位ループ光ファイバケーブルが敷設される配線区画あたりの信頼度の設計値、$p_{i,k}$はｉ番目の前記配線区画における発生需要数がｋ心である確率である。

【数Ｃ４】

$$\sum_{k=0}^{2F_c} q_{N,k} \geq x^N \qquad (C4)$$

$q_{N,k}$は、数Ｃ５で計算される、１～Ｎ番目の前記配線区画において前記固定局線数を上回る需要数の合計がｋ心である確率である。

【数Ｃ５】

（Ｎ＝１の場合）

$$q_{1,k} = p_{1,(1-a)f_i+k}$$

（Ｎ＞１の場合）

$$q_{N,k} = \sum_{l=0}^{k} q_{N-1,l}\, p_{N,(1-a)f_i+k-l} \qquad (C5)$$

【００１７】

なお、上記各発明は、可能な限り組み合わせることができる。

【発明の効果】
【００１８】
本発明は、情報通信サービスを支える高度な信頼性を備えるとともに、予測困難な心線需要に対して効率的に応える光アクセス網を提供することができる。
【図面の簡単な説明】
【００１９】
【図１】本発明に係る光アクセス網の構成を説明する図である。
【図２】本発明に係る光アクセス網の上位ループと下位ループを接続する接続点における心線接続を説明する図である。
【図３】本発明に係る光アクセス網のエリアモデルの例を説明する図である。
【図４】本発明に係る光アクセス網で計算されるアベイラビリティ向上率のループ規模依存性を説明する図である。
【図５】本発明に係る光アクセス網で計算される配線区画当たりの信頼度の下位ループ心線数依存性を説明する図である。
【図６】本発明に係る光アクセス網で計算される上位ループの必要心線数の融通心線率依存性を説明する図である。
【図７】本発明に係る光アクセス網の設計方法を説明する図である。
【発明を実施するための形態】
【００２０】
添付の図面を参照して本発明の実施形態を説明する。以下に説明する実施形態は本発明の実施例であり、本発明は、以下の実施形態に制限されるものではない。なお、本明細書及び図面において符号が同じ構成要素は、相互に同一のものを示すものとする。
【００２１】
（発明の概要）
図１は、本実施形態の光アクセス網の構成を説明する図である。また、図２は、本実施形態の光アクセス網の上位ループと下位ループを接続する接続点における心線接続を説明する図である。本光アクセス網は、
複数の固定局線１２と少なくとも１本の共通線１３を含み、通信事業者拠点施設１０を通るループ状経路に敷設される上位ループ光ファイバケーブル１１と、
少なくとも１本のユーザ線２２と少なくとも１本の冗長線２３を含み、上位ループ光ファイバケーブル１１との接続点３０、及びユーザ拠点施設２０を通るループ状経路に敷設される下位ループ光ファイバケーブル２１と、
を備える光アクセス網であって、
接続点３０において、ユーザ線２２と固定局線１２とを１：１で接続する固定接続線３２と、冗長線２３と共通線１３とを排他的に接続する心線切替機能部３１と、を有しており、
共通線１３の数は、複数の下位ループ光ファイバケーブル２１それぞれが含む冗長線２３の合計数より少ない数であり、
心線切替機能部３１は、下位ループ光ファイバケーブル２１の需要変動に応じて冗長線２３と共通線１３との接続を切り替える
ことを特徴とする。
【００２２】
配線区画２５は、下位ループ光ファイバケーブル２１が敷設されるエリアであり、ユーザ拠点２０が設置される。本実施形態では、通信事業者拠点施設１０を「収容局１０」として説明することがある。また、「アベイラビリティ」とは、可用性であり、使用できる時間（故障や工事などで使用できない時間を除いた時間）を全時間で除した比率である。
【００２３】
本光アクセス網構成は、配線区画２５と収容局１０をループ状につなぐ光ファイバケーブル１１（以下、上位ループ）と、各配線区画２５内でループ状に敷設される光ファイバケーブル２１（以下、下位ループ）と、上位ループ１１と下位ループ２１の接続点３０に

設置される心線切替機能部３１で構成される。心線切替機能部３１はコネクタ接続で切替可能な配線盤もしくは光スイッチである。配線盤もしくは光スイッチは遠隔制御可能なものでもよい。

【００２４】

本網構成において、配線区画２５は上位ループ１１に接する大きさに設計する。そして、上位ループ１１は、それに接続される配線区画２５のアベイラビリティ向上率γが最大となる大きさに設計する。アベイラビリティ向上率γは、収容局１０と配線区画２５をつなぐ経路が１ルートの場合のアベイラビリティをα_1、２ルートの場合のアベイラビリティをα_2として、次式により求める。

【数１】

$$\gamma = \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\alpha_1} \quad (1)$$

α_1及びα_2は次式により求める。

【数２】

$$\alpha_1 = \frac{1}{1 + \frac{\lambda}{\mu}} \quad (2)$$

【数３】

$$\alpha_2 = \frac{1 + 2\frac{\lambda}{\mu}}{1 + 2\frac{\lambda}{\mu} + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2} \quad (3)$$

ここでλは単位時間当たりの故障回数を示す故障率、μは単位時間当たりの修復回数を示す修復率である。

【００２５】

λがケーブル長に比例し、１／μがケーブル心線数に比例すると仮定すると、λ及びμは以下のように記述される。

【数４】

$$\lambda = C_1 r_{loop} \quad (4)$$

【数５】

$$\frac{1}{\mu} = \frac{C_2 \sigma \theta \left(R^2 - {r_{loop}}^2\right)}{2} \quad (5)$$

なお、ここでは上位ループ１１とそれに接する配線区画２５を構築するエリア形状として、図３のように、収容局１０を原点とする中心角θ、半径Ｒの扇形のエリアを仮定した。ここでr_{loop}は収容局１０から上位ループ１１遠端までの距離、σは需要密度（単位面積当たりの心線需要数）、C_1及びC_2は定数である。

【００２６】

式（２）～（５）を式（１）に代入すると、アベイラビリティ向上率の導出式として次式が得られる。

【数６】

$$\gamma = \frac{C_1 C_2 \sigma \theta r_{loop}\left(R^2 - {r_{loop}}^2\right)}{2 + C_1 C_2 \sigma \theta r_{loop}\left(R^2 - {r_{loop}}^2\right)} \quad (6)$$

上位ループ１１の大きさは、式（６）を最大化するｒｌｏｏｐの条件に基づいて設計する。

【００２７】

上位ループ１１の必要心線数（上位ループが含む心線の総数Ｆｔｏｔａｌ）と心線切替機能部３１に接続する心線数（共通線１３の数Ｆｃ）は、次のように決定する。各配線区画２５の発生需要数（前述の「心線需要数」と同じもの）の変動を考慮し、一定の信頼度（増設工事を必要としない確率）を得るために要する心線数Ｆｔｏｔａｌを最小化する条件から求める。換言すれば、心線数Ｆｔｏｔａｌは、共通線の数Ｆｃ、並びに下位ループ２１のユーザ線２２の数及び冗長線２３の数で図６のように変化するので、心線数Ｆｔｏｔａｌが最小となるように共通線の数Ｆｃ、並びに下位ループ２１のユーザ線２２の数及び冗長線２３の数を決定する。

【００２８】

より詳細に説明する。

図２は、上位ループ１１と下位ループ２１の接続点における心線接続図である。上位ループ１１の心線は、心線切替機能部３１に接続せずに下位ループ２１に直接接続する心線（固定局線１２）と、心線切替機能部３１を介して下位ループ２１に接続する心線（共通線１３）で構成される。共通線１３は、他の下位ループ２１の心線切替機能部３１にも接続することで複数の下位ループ２１で共用され、心線切替機能部３１で切替接続することで任意の下位ループ２１で使用できる。上位ループ１１の必要心線数Ｆｔｏｔａｌは次式により求める。

【数７】

$$F_{total} = \sum_{i=1}^{N} (1 - a_i) f_i + F_c \quad (7)$$

ここでＮは上位ループ１１に接続される下位ループ２１数、ａｉはｉ番目の配線区画２５の必要心線数ｆｉのうち心線切替機能部３１に接続する心線（冗長線２３）の数の割合（以下、融通心線率）、ｆｉはｉ番目の配線区画２５における下位ループ２１の必要心線（ユーザ線２２と冗長線２３との和）の数、Ｆｃは共通線１３の数である。

【００２９】

ループ状に敷設された光ファイバケーブルでは左回りと右回りの任意の経路から心線を使用できるため、ｉ番目の配線区画２５では心線数ｆｉのケーブルで最大２ｆｉ心の需要を収容できる。配線区画２５あたりの信頼度の設計値をｘとすると、ｉ番目の配線区画２５における発生需要数が２ｆｉ心以下である確率がｘ以上となるように設計する必要があるから、ｆｉは次式を満たすように設計する。なお、ｘを「配線区画当たりの信頼度」と記載する。

【数８】

$$\sum_{k=0}^{2f_i} p_{i,k} \geq x \quad (8)$$

ここでｐｉ，ｋはｉ番目の配線区画２５における発生需要数がｋ心である確率である。

【００３０】

一方、Ｆｃは１～Ｎ番目の配線区画２５において固定局線１２を上回る需要数の合計が

２Ｆｃ心以下である確率がｘ^Ｎ以上となるように設計する必要があるから、Ｆｃは次式を満たすように設計する。

【数９】

$$\sum_{k=0}^{2F_c} q_{N,k} \geq x^N \qquad (9)$$

ここでｑＮ，ｋは１～Ｎ番目の配線区画２５において固定局線１２数を上回る需要数の合計がｋ心である確率であり、次式により求める。

【数１０】

（Ｎ＝１の場合）

$$q_{1,k} = p_{1,(1-a)f_i+k}$$

（Ｎ＞１の場合） （１０）

$$q_{N,k} = \sum_{l=0}^{k} q_{N-1,l}\, p_{N,(1-a)f_i+k-l}$$

【００３１】

以上より、本網構成における上位ループ１１の必要心線数Ｆｔｏｔａｌは、式（８）から求めるｆｉ（ｉ＝１～Ｎ）と、式（９）～（１０）から求めるＦｃを、式（７）に代入して求める。ｉ番目の配線区画２５の心線切替機能部３１に接続する心線数は、上位ループ１１側心線数が２Ｆｃ、下位ループ２１側心線数がａｉ×２ｆｉとなるように設計する。このときの融通心線率ａｉは、式（７）から計算されるＦｔｏｔａｌのａｉ依存性においてＦｔｏｔａｌが最小となる条件を満たすように設計する。

【００３２】

（発明の効果）

配線トポロジとしてループ型を用いることにより、冗長経路を確保して信頼性を高めるとともに、ループの右回り経路と左回り経路で心線リソースを共用することで心線使用効率を高める効果がある。さらに、光アクセス網を複数のループ（上位ループ１１、下位ループ２１）で構成することにより、光アクセス網のあらゆる場所で上記の効果が得られる。

【００３３】

上位ループ１１は収容局１０と配線区画２５との間に異経路での冗長構成を確保するとともに、配線区画２５間で心線リソースを共用する。下位ループ２１は、上位ループ１１との接続点３０からユーザ拠点２０との間に異経路での冗長構成を確保するとともに、配線区画２５内の方路間で心線リソースを共用する。

【００３４】

心線切替機能部３１は、上位ループ１１に接続される配線区画２５間で予測と異なる需要の偏りが生じた際に、必要とされる切替工事稼働を削減する効果がある。従来のスター型網構成で広く用いられている融着接続と比較すると、配線盤もしくは光スイッチを用いた心線切替機能部３１をあらかじめ用意することで切替接続に要する工事稼働時間を削減でき、配線盤もしくは光スイッチが遠隔制御可能である場合は現地工事そのものを削減することができる。

【００３５】

（実施形態）

添付の図面を参照して本発明の実施形態を説明する。ここでは一例として、図３に示す

エリアにおける光アクセス網構成について述べる。エリア形状は収容局１０を原点とする中心角θ＝π／２ラジアン、半径Ｒ＝２ｋｍの扇形、単位面積当たりの発生需要数の期待値は１００心／ｋｍ^2、配線区画２５数は４区画とし、上位ループ１１に接続される３配線区画２５は互いに面積が等しいとする。C_1、C_2、ｘはそれぞれ$C_1=10^{-8}$、C_2＝０．１、ｘ＝０．９とする。なお、本発明はこれに限定されず、本実施例と異なるエリア条件で用いてもよい。

【００３６】

上位ループ１１の大きさは、式（６）より算出されるアベイラビリティ向上率γのr_{loop}依存性から求める。図４はγのr_{loop}依存性の計算結果である。図４より、本実施例における上位ループ１１は収容局１０から上位ループ１１遠端までの距離が１．２ｋｍとなる大きさに設計する。

【００３７】

下位ループ２１の必要心線数f_iは、式（８）の条件を満たすように設計する。r_{loop}＝１．２ｋｍのとき、上位ループ１１に接続される各配線区画２５の面積は０．６７ｋｍ^{2}となるから、各配線区画２５の発生需要数の期待値は６７心となる。図５は本実施例における配線区画２５当たりの信頼度ｘの下位ループ２１の心線数依存性の計算結果である。ここでは配線区画２５当たりの発生需要数の確率密度関数として、期待値６７心、標準偏差$\sqrt{67}$心の正規分布を仮定した。図５より、本実施例における下位ループ２１の必要心線数は５６心となる。

【００３８】

上位ループ１１の必要心線数F_{total}と融通心線率a_iは、式（７）より算出されるF_{total}の融通心線率依存性から求める。図６は本実施例における上位ループ１１の必要心線数の融通心線率依存性の計算結果である。なお、本実施形態では、全ての配線区画で同じ融通心線率ａとして計算した。図６より、F_{total}は融通心線率１４％以上で最小値の１５６心に収束することから、本実施例における上位ループ１１の必要心線数は１５６心となる。１４％よりも融通心線率を高めた場合、上位ループ１１の必要心線数は変わらず、心線切替機能部３１の接続数が増加してしまう。心線切替機能部３１が複雑化を避けるため、本実施例における融通心線率の適正値は１４％となる。

【００３９】

心線切替機能部３１に接続される心線の総数（下位ループ１１に接続する接続心線３３と上位ループの右回り及び左回りの共通線１３）は、次のように計算する。

上位ループ１１側の接続心線数（心線切替機能部３１に接続される右回り及び左回りの共通線１３の数）は、

２×（上位ループ１１の必要心線数）－２×（１－融通心線率）×（下位ループ２１の必要心線数）×（配線区画２５の数）

$=2\times F_{total}-2\times(1-a_i)\times f_i\times N$

で計算される。

下位ループ２１側の接続心線数（心線切替機能部３１に接続される接続心線３３の数）は、

２×（融通心線率）×（下位ループ２１の必要心線数）

$=2\times a_i\times f_i$

で計算される。

【００４０】

図３から図６で説明した例で計算した場合（F_{total}＝１５６、ａ＝０．１４、f_i＝５６、Ｎ＝３）、

上位ループ１１側の接続心線数が、

２×１５６－２×（１－０．１４）×５６×３　２４（心）

下位ループ２１側の接続心線数が、

２×０．１４×５６　１６（心）

となる。これは、共通線１３が１２本、冗長線２３が８本である。

【００４１】
上述のように、上位ループ側の接続心線数は、複数の下位ループと心線切替機能部とを結ぶ心線のトータル数とイコールではなく、当該トータル数よりも少なく設計する。例えば、上記例では、下位ループ２１側の接続心線数が１６心、下位ループ２１の数が３であるためトータル数では４８心となるが、上位ループ１１側の接続心線数はそれよりも少ない２４心としている。つまり、上位ループ１１の共通線１３の右回りと左回りの２４心を３つの下位ループ２１で共有し、各下位ループ２１は２４心のうち任意の１６心を利用できる。これは、心線切替機能部３１が下位ループ２１個々の需要変動を３つの下位ループ全体の需要変動として扱うことで、トータル数よりも少ない心線数で需要変動に対応できるという大群化効果を生むことができる。
【００４２】
［付記］
本光アクセス網は図７のように設計することができる。
（１）本光アクセス網は、
複数の固定局線と少なくとも１本の共通線を含み、通信事業者拠点施設を通るループ状経路に敷設される上位ループ光ファイバケーブルと、
少なくとも１本のユーザ線と少なくとも１本の冗長線を含み、前記上位ループ光ファイバケーブルとの接続点、及びユーザ拠点施設を通るループ状経路に敷設される下位ループ光ファイバケーブルと、
を備える光アクセス網であって、
前記接続点において、前記ユーザ線と前記固定局線とを１：１で接続する固定接続線と、前記冗長線と前記共通線とを排他的に接続する心線切替機能部と、を有しており、
前記共通線の数は、複数の前記下位ループ光ファイバケーブルそれぞれが含む前記冗長線の合計数より少ない数であり、
前記心線切替機能部は、前記下位ループ光ファイバケーブルの需要変動に応じて前記冗長線と前記共通線との接続を切り替える
ことを特徴とする。
【００４３】
本光アクセス網はステップＳ０１とステップＳ０２を行うことで設計する。
（２）ステップＳ０１では、
前記上位ループ光ファイバケーブルの前記ループ状経路を、前記下位ループ光ファイバケーブルが敷設される配線区画において、前記通信事業者拠点施設から前記接続点までの経路が１つであるときの可用性に対して、前記上位ループ光ファイバケーブルであるときの可用性の向上率γを最大とする経路とする。
【００４４】
（３）具体的には、
前記向上率γが数Ｃ１であり、
前記上位ループ光ファイバケーブルの前記ループ状経路は、前記向上率γを最大とするｒｌｏｏｐとする。
【数Ｃ１】

$$\gamma = \frac{C_1 C_2 \sigma \theta r_{loop}\left(R^2 - {r_{loop}}^2\right)}{2 + C_1 C_2 \sigma \theta r_{loop}\left(R^2 - {r_{loop}}^2\right)} \qquad (C1)$$

ただし、前記上位ループ光ファイバケーブルが構築するエリア形状が、前記通信事業者拠点施設を原点とする中心角θ及び半径Ｒの扇形であり、前記ｒｌｏｏｐは前記通信事業者拠点施設から前記接続点までの距離、σは需要密度、Ｃ１及びＣ２は定数である。
【００４５】
（４）ステップＳ０２では、

前記冗長線と前記心線切替機能部とを接続する心線数を、前記上位ループ光ファイバケーブルに含まれる心線数F_{total}を最小に収束させる数とする。

【００４６】

（５）具体的には、

前記心線数F_{total}は数Ｃ２で算出する。

【数Ｃ２】

$$F_{total} = \sum_{i=1}^{N}(1 - a_i)f_i + F_c \qquad (C2)$$

ただし、Ｎは前記上位ループ光ファイバケーブルに接続される前記下位ループ光ファイバケーブルの数、a_iはｉ番目の前記下位ループ光ファイバケーブルに含まれる心線のうち前記冗長線の数の割合（以下、融通心線率）、f_iはｉ番目の前記下位ループ光ファイバケーブルに含まれる心線、Ｆｃは前記共通線の数である。

ここで、f_iは数Ｃ３を満たし、Ｆｃは数Ｃ４を満たす。

【数Ｃ３】

$$\sum_{k=0}^{2f_i} p_{i,k} \geq x \qquad (C3)$$

ｘは前記下位ループ光ファイバケーブルが敷設される配線区画あたりの信頼度の設計値、$p_{i,k}$はｉ番目の前記配線区画における発生需要数がｋ心である確率である。

【数Ｃ４】

$$\sum_{k=0}^{2F_c} q_{N,k} \geq x^N \qquad (C4)$$

$q_{N,k}$は、数Ｃ５で計算される、１～Ｎ番目の前記配線区画において前記固定局線数を上回る需要数の合計がｋ心である確率である。

【数Ｃ５】

（Ｎ＝１の場合）

$$q_{1,k} = p_{1,(1-a)f_i+k}$$

（Ｎ＞１の場合） （Ｃ５）

$$q_{N,k} = \sum_{l=0}^{k} q_{N-1,l}\, p_{N,(1-a)f_i+k-l}$$

【符号の説明】

【００４７】

１０：通信事業者拠点施設（収容局）

１１：上位ループ光ファイバケーブル

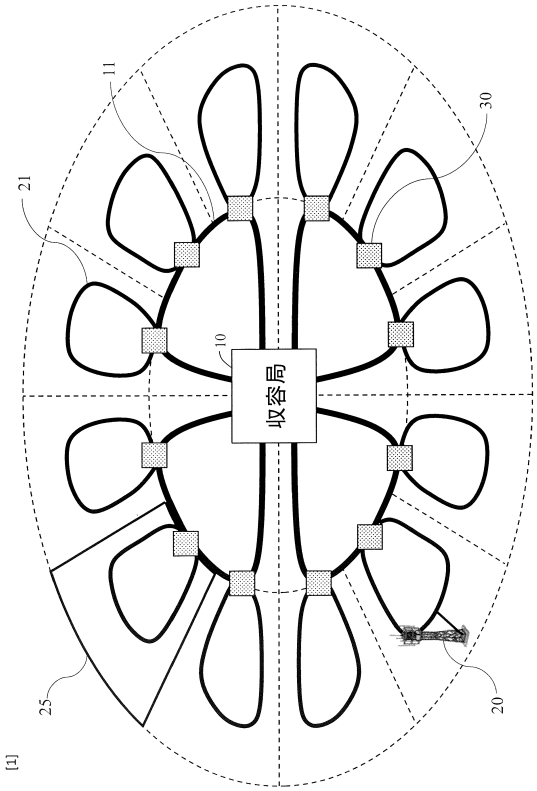
１２：固定局線

１３：共通線

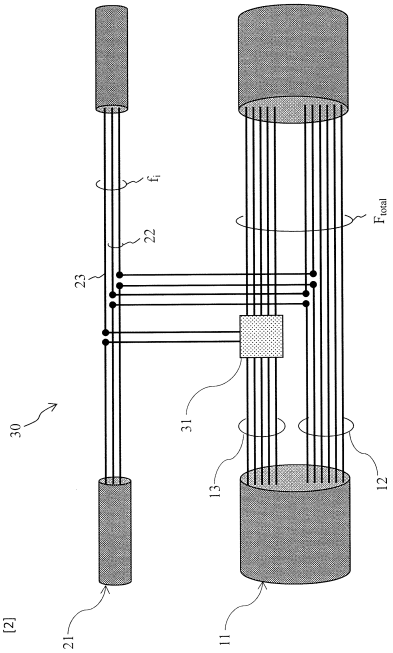
２０：ユーザ拠点施設
２１：下位ループ光ファイバケーブル
２２：ユーザ線
２３：冗長線
２５：配線区画
３０：接続点
３１：心線切替機能部
３２：固定接続線
３３：接続心線

【図面】

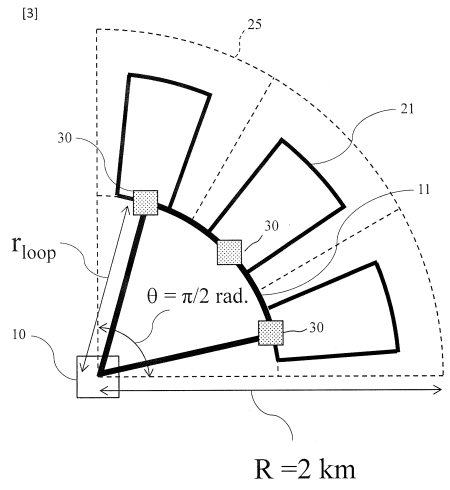
【図１】



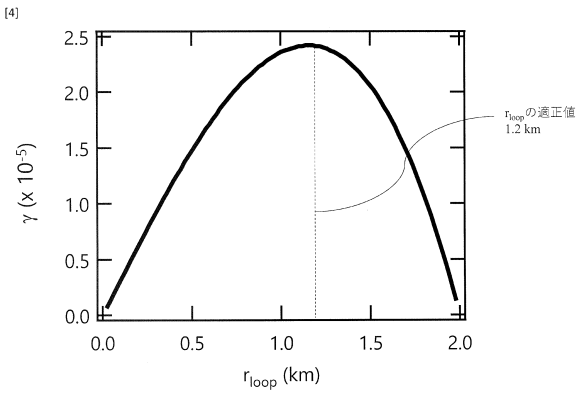
【図２】



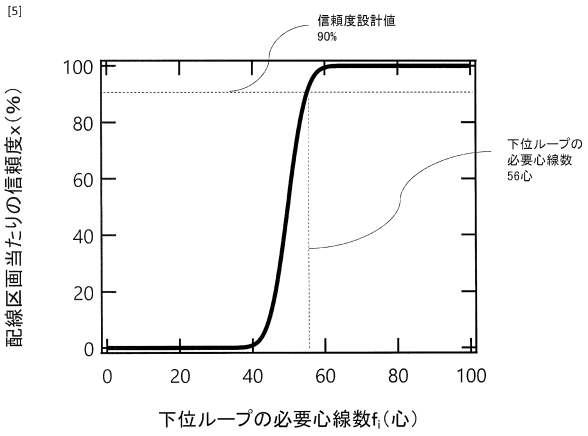
【図３】


[3]
25
21
30
11
30
r_{loop}
θ = π/2 rad.
30
10
R =2 km

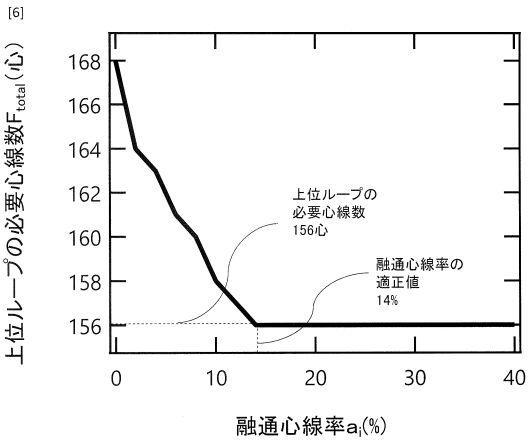
【図４】


[4]
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
γ (x 10^{-5})
r_{loop}の適正値
1.2 km
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
r_{loop} (km)

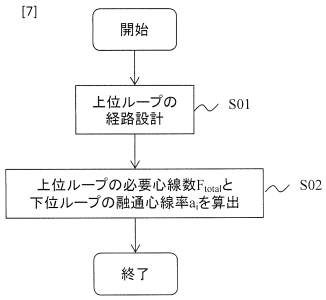
【図５】


[5]
信頼度設計値
90%
100
80
60
40
20
0
配線区画当たりの信頼度x(%)
下位ループの
必要心線数
56心
0
20
40
60
80
100
下位ループの必要心線数f_i(心)

【図６】


[6]
168
166
164
162
160
158
156
上位ループの必要心線数F_{total}(心)
上位ループの
必要心線数
156心
融通心線率の
適正値
14%
0
10
20
30
40
融通心線率a_i(%)

【図７】


[7]
開始
上位ループの
経路設計
S01
上位ループの必要心線数F_{total}と
下位ループの融通心線率a_iを算出
S02
終了

フロントページの続き

審査官　赤穂 美香
(56)参考文献　特開２００５－２９２４４７（ＪＰ，Ａ）
特開２００３－２９８５１７（ＪＰ，Ａ）
特開２００２－２０４５１１（ＪＰ，Ａ）
特開２００２－５７６８９（ＪＰ，Ａ）
特開２００２－２７５１２（ＪＰ，Ａ）
特開２００１－３１３６６０（ＪＰ，Ａ）
(58)調査した分野　(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０４Ｂ　１０／２７