

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-87581

(P2010-87581A)

(43) 公開日 平成22年4月15日(2010.4.15)

(51) Int.Cl.		F I		テーマコード (参考)
H04B	10/20	(2006.01)	H04B 9/00	N
H04J	14/00	(2006.01)	H04B 9/00	E
H04J	14/02	(2006.01)		

審査請求 有 請求項の数 7 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2008-251246 (P2008-251246)
 (22) 出願日 平成20年9月29日 (2008. 9. 29)

(出願人による申告) 平成19年度、独立行政法人科学技術振興機構「超低消費電力光ルーティングネットワーク構成技術」委託研究、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願

(71) 出願人 000004226
 日本電信電話株式会社
 東京都千代田区大手町二丁目3番1号
 (74) 代理人 100077481
 弁理士 谷 義一
 (74) 代理人 100088915
 弁理士 阿部 和夫
 (72) 発明者 森脇 撰
 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
 本電信電話株式会社内
 (72) 発明者 野口 一人
 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
 本電信電話株式会社内

最終頁に続く

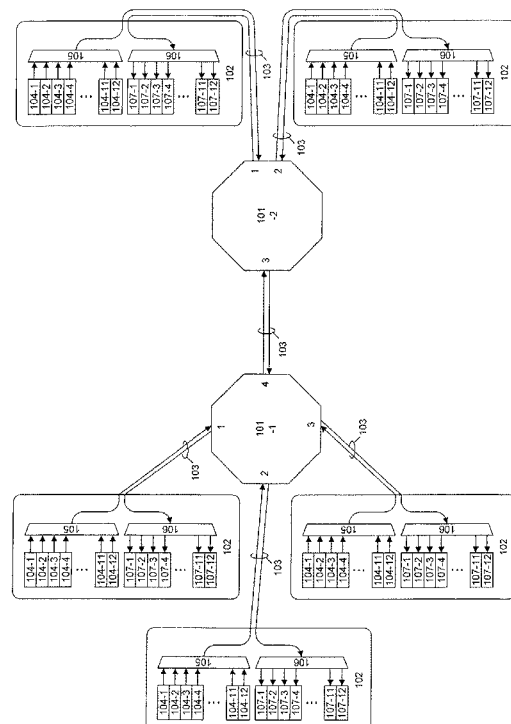
(54) 【発明の名称】 光通信システム

(57) 【要約】

【課題】 通信ノード間にフルメッシュの接続性を得られる複数の光通信システムが、各光通信システム内の光波長合分波器の入出力ポート間をフルメッシュの接続性を失わないように接続することによって接続された光通信システムを提供すること。

【解決手段】 $A \times \Delta\lambda$ の基本周期を有する $N \times N$ 光波長合分波器 (N は A 以下の整数) と、 $B \times \Delta\lambda$ の基本周期を有する $M \times M$ 光波長合分波器 (M は B 以下の整数) を使用し、特に A と B が互いに素 (最大公約数が1) の関係であり、波長 λ_1 から $\lambda_{A \times B}$ が所定の間隔 $\Delta\lambda$ で定義されている。 $N \times N$ 光波長合分波器の出力ポートと入力ポートが $M \times M$ 光波長合分波器の入力ポートと出力ポートに送受2心の光ファイバを介して接続される。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

1 波長の信号又は波長多重信号を送受信する複数の通信ノードと、 K 個 (K は 2 以上の整数) の多入力多出力の光波長合分波器を備えた光通信システムであって、

所望の整数 C に対して、少なくとも、所定の間隔 $\Delta\lambda$ を有する波長 λ_1 から λ_C を使用し、

基本周期が $A_k \times \Delta\lambda$ (k は 1 以上 K 以下の整数、 A_k は 2 以上の整数) の第 k の多入力多出力の光波長合分波器は、

任意の 1 つの入力ポートに信号が入力されると、任意の隣接する 2 つの出力ポートからそれぞれ出力される信号の波長は $\Delta\lambda$ 又は $\Delta\lambda$ に加えて $A_k \times \Delta\lambda$ の整数倍異なり、

任意の隣接する 2 つの入力ポートにそれぞれ信号が入力されると、任意の 1 つの出力ポートから出力される 2 つの信号の波長は $\Delta\lambda$ 又は $\Delta\lambda$ に加えて $A_k \times \Delta\lambda$ の整数倍異なる特性を有し、

前記各光波長合分波器の出力ポートと入力ポートのうち、各々少なくとも 1 つが、それぞれ別の前記光波長合分波器の入力ポートと出力ポートに導波路を介して接続され、その他には前記各通信ノードが導波路を介してそれぞれ接続されていることを特徴とする光通信システム。

【請求項 2】

K 個の整数 A_1 、 A_2 、 $\dots$ 、 A_K の内、どの 2 つの整数も最大公約数が 1 で互いに素であることを特徴とする請求項 1 に記載の光通信システム。

【請求項 3】

K 個の整数 A_1 、 A_2 、 $\dots$ 、 A_K の内、2 つの整数 A_i 、 A_j (i 、 j は 1 以上 K 以下の整数) の最大公約数が D であるときに、第 i の多入力多出力の光波長合分波器の D 組の出力ポートと入力ポートと、第 j の多入力多出力の光波長合分波器の D 組の入力ポートと出力ポートが、導波路を介してそれぞれ接続されていることを特徴とする請求項 1 に記載の光通信システム。

【請求項 4】

前記整数 C は、 K 個の整数 A_1 、 A_2 、 $\dots$ 、 A_K の内、2 つの整数の最小公倍数の最大値であることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の光通信システム。

【請求項 5】

前記整数 C は、 K 個の整数 A_1 、 A_2 、 $\dots$ 、 A_K の最小公倍数であることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の光通信システム。

【請求項 6】

前記各光波長合分波器の出力ポートと入力ポートは、他の全ての前記光波長合分波器の入力ポートと出力ポートにそれぞれ導波路を介して接続されていることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の光通信システム。

【請求項 7】

前記光波長合分波器は、アレイ導波路回折格子であることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の光通信システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光通信システムに関し、より詳細には、光波長多重された複数の信号を用い、信号の波長に応じて信号の経路が定まる光通信システムに関する。

【背景技術】

【0002】

複数の光信号を異なる波長の光に乗せ、1 本の光ファイバで伝送する波長分割多重 (WDM: Wavelength Division Multiplexing) 伝送システムは、伝送路の容量を大幅に増大させることが可能であり、既に基幹系システムを中心に導入が進んでいる。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 3 】

さらに近年、光信号の波長を伝送路容量の増大に利用するだけでなく、ネットワークの経路設定に用いる手法の検討も進んでおり、その一例として波長多重信号を送受信する通信ノードと、アレイ導波路回折格子を利用することで、通信ノード間にフルメッシュの接続性を得られる光通信システムがある。

【 0 0 0 4 】

図 1 2 に波長可変光源とアレイ導波路回折格子を利用した光通信システムの構成を示す。中心に N 入力 N 出力（以下、 $N \times N$ と表記する）光波長合分波器 2 0 1 が設置され、複数の通信ノード 2 0 2 との間が、送受 2 心の光ファイバ 2 0 3 で接続される。尚、本例では、 $N = 4$ の場合を示す。具体的には、光波長合分波器 2 0 1 の入出力ポート数を 4×4 とし、送信器と受光素子の数を 4 とする場合を示す。

【 0 0 0 5 】

通信ノード 2 0 2 の内部には、光信号の送信に関わる装置として、それぞれ所定の波長の信号を出力する送信器 2 0 4 - 1 ~ 2 0 4 - 4 と、この送信器 2 0 4 - 1 ~ 2 0 4 - 4 の出力を入力とする波長合波器 2 0 5 を備える。この波長合波器 2 0 5 の出力は送受 2 心の光ファイバ 2 0 3 のうちの 1 本を介して、 4×4 光波長合分波器 2 0 1 の入力ポートに接続される。同じく、通信ノード 2 0 2 の内部には、光信号の受信に関わる装置として、入力された WDM 信号を波長に応じて定まるポートから出力する波長分波器 2 0 6 と、この波長分波器 2 0 6 の出力を入力とする受光素子 2 0 7 - 1 ~ 2 0 7 - 4 を備える。波長分波器 2 0 6 の入力送受 2 心の光ファイバ 2 0 3 のうちの残りの 1 本を介して、 4×4 光波長合分波器 2 0 1 の出力ポートに接続される。

【 0 0 0 6 】

4×4 光波長合分波器 2 0 1 として、アレイ導波路回折格子を使用することが出来る。アレイ導波路回折格子は別に設計によって定まる基本周期 (FSR: Free Spectral Range) を有しており、これを λ_{FSR} とする。この λ_{FSR} を踏まえて得られる入出力ポート間の透過特性は、「入力ポート X から入力され、出力ポート Y から出力される信号の波長は、その波長が $\lambda_{(X+Y-1)} + Z \cdot \lambda_{FSR}$ である。ここで、X、Y は 1 以上 N 以下の整数。Z は負の数を含む任意の整数。 λ は等波長間隔あるいは等周波数間隔など所定の間隔で定義された波長。」と定義できる。以降では、特に λ を等波長間隔 $\Delta \lambda$ で定義し、 $\lambda_{FSR} = 4 \cdot \Delta \lambda$ である場合を例に考える。即ち、「入力ポート X から入力され、出力ポート Y から出力される信号の波長は、その波長が $\lambda_{(X+Y-1+4Z)}$ である。」と表せる場合である。

【 0 0 0 7 】

各通信ノード 2 0 2 では、送信器 2 0 4 - 1 ~ 2 0 4 - 4、波長合波器 2 0 5 を用いて、 λ_1 から λ_4 までの 4 波長が波長分割多重化された信号を出力するものとする。同様に、各通信ノード 2 0 2 では、波長合波器 2 0 6、送信器 2 0 7 - 1 ~ 2 0 7 - 4 を用いて、 λ_1 から λ_4 までの 4 波長が波長分割多重化された信号を受信するものとする。

【 0 0 0 8 】

このとき、いずれかの通信ノード 2 0 2 から出力された 4 波長の波長分割多重化された信号は、通信ノード 2 0 2 が接続されている 4×4 光波長合分波器 2 0 1 の入力ポートに入力されると、その入出力特性に従って波長毎に異なる出力ポートに出力され、 4×4 光波長合分波器 2 0 1 の出力ポートに接続されている通信ノード 2 0 2 において波長分波器 2 0 6 で分波され、信号波長に応じて定まる受光素子 2 0 7 - 1 ~ 2 0 7 - 4 のいずれかで受光される。

【 0 0 0 9 】

同様に、全ての通信ノード 2 0 2 から出力された 4 波長の波長分割多重化された信号の経路を辿ると、フルメッシュの光ファイバを敷設した場合と同じ接続性を得られることが分かる。従って、通信ノード間で大容量のデータを低遅延で送受信することが可能となる。

【 0 0 1 0 】

10

20

30

40

50

【非特許文献 1】K. Kato et al., "32×32 full-mesh(1024 path) wavelength-routing WDM network based on uniform-loss cyclic-frequency arrayed-waveguide grating", Electronics Letters, 2000, 36, pp. 1294-1296

【非特許文献 2】H. Takahashi et al., "Transmission characteristics of arrayed waveguide N×N wavelength multiplexer", J. Lightwave Technol., 1995, 13, pp. 447-455

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

しかしながら、このような従来技術を用いて実現される光通信システムでは、システムを拡張するために、図 13 に示すように、波長多重信号を送受信する通信ノードと 4×4 光波長合分波器からなるシステムを 2 つ設け、単純に 4×4 光波長合分波器のポート間を接続しても、全ての通信ノード間にフルメッシュの光ファイバを敷設した場合と同じ接続性を得ることは出来ない。例えば、図 13 に示すように、第 1 の 4×4 光波長合分波器 201 の第 4 出力ポートと、第 2 の 4×4 光波長合分波器 201 の第 2 入力ポートを接続し、第 2 の 4×4 光波長合分波器 201 の第 2 出力ポートと、第 1 の 4×4 光波長合分波器 201 の第 4 入力ポートを接続する場合を考える。

10

【0012】

このとき、第 1 の 4×4 光波長合分波器 201 の第 1 入出力ポートに接続された通信ノード 202 から、 λ_4 、 λ_8 、 λ_{12} 等の $\lambda_{(4Z)}$ で表される波長を送出すると、第 1 の 4×4 光波長合分波器 201 の第 4 出力ポートを経由して、第 2 の 4×4 光波長合分波器 201 の第 2 入力ポートに入力されるが、全て第 2 の 4×4 光波長合分波器 201 の第 3 出力ポートから出力され、同じ通信ノード 202 に届いてしまい、第 2 の 4×4 光波長合分波器 201 に接続されている他の通信ノードには、信号を送ることができない。

20

【0013】

本発明は、このような課題に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、通信ノード間にフルメッシュの接続性を得られる複数の光通信システムが、各光通信システム内の光波長合分波器の入出力ポート間をフルメッシュの接続性を失わないように接続することによって接続された光通信システムを提供することにある。

30

【課題を解決するための手段】

【0014】

このような目的を達成するために、請求項 1 に記載の発明は、1 波長の信号又は波長多重信号を送受信する複数の通信ノードと、K 個 (K は 2 以上の整数) の多入力多出力の光波長合分波器を備えた光通信システムであって、所望の整数 C に対して、少なくとも、所定の間隔 $\Delta\lambda$ を有する波長 λ_1 から λ_C を使用し、基本周期が $A_k \times \Delta\lambda$ (k は 1 以上 K 以下の整数、 A_k は 2 以上の整数) の第 k の多入力多出力の光波長合分波器は、任意の 1 つの入力ポートに信号が入力されると、任意の隣接する 2 つの出力ポートからそれぞれ出力される信号の波長は $\Delta\lambda$ 又は $\Delta\lambda$ に加えて $A_k \times \Delta\lambda$ の整数倍異なり、任意の隣接する 2 つの入力ポートにそれぞれ信号が入力されると、任意の 1 つの出力ポートから出力される 2 つの信号の波長は $\Delta\lambda$ 又は $\Delta\lambda$ に加えて $A_k \times \Delta\lambda$ の整数倍異なる特性を有し、前記各光波長合分波器の出力ポートと入力ポートのうち、各々少なくとも 1 つが、それぞれ別の前記光波長合分波器の入力ポートと出力ポートに導波路を介して接続され、その他には前記各通信ノードが導波路を介してそれぞれ接続されていることを特徴とする。

40

【0015】

請求項 2 に記載の発明は、請求項 1 に記載の光通信システムにおいて、K 個の整数 A_1 、 A_2 、...、 A_K の内、どの 2 つの整数も最大公約数が 1 で互いに素であることを特徴とする。

【0016】

請求項 3 に記載の発明は、請求項 1 に記載の光通信システムにおいて、K 個の整数 A_1 、 A_2 、...、 A_K の内、2 つの整数 A_i 、 A_j (i、j は 1 以上 K 以下の整数) の最大公約数

50

がDであるとき、第iの多入力多出力の光波長合分波器のD組の出力ポートと入力ポートと、第jの多入力多出力の光波長合分波器のD組の入力ポートと出力ポートが、導波路を介してそれぞれ接続されていることを特徴とする。

【0017】

請求項4に記載の発明は、請求項1乃至3のいずれかに記載の光通信システムにおいて、前記整数Cは、K個の整数 A_1 、 A_2 、...、 A_k の内、2つの整数の最小公倍数の最大値であることを特徴とする。

【0018】

請求項5に記載の発明は、請求項1乃至3のいずれかに記載の光通信システムにおいて、前記整数Cは、K個の整数 A_1 、 A_2 、...、 A_k の最小公倍数であることを特徴とする。

10

【0019】

請求項6に記載の発明は、請求項1乃至5のいずれかに記載の光通信システムにおいて、前記各光波長合分波器の出力ポートと入力ポートは、他の全ての前記光波長合分波器の入力ポートと出力ポートにそれぞれ導波路を介して接続されていることを特徴とする。

【0020】

請求項7に記載の発明は、請求項1乃至6のいずれかに記載の光通信システムにおいて、前記光波長合分波器は、アレイ導波路回折格子であることを特徴とする。

【発明の効果】

【0021】

本発明によれば、通信ノード間にフルメッシュの接続性を得られる複数の光通信システムを、各光通信システム内の光波長合分波器の入出力ポート間をフルメッシュの接続性を失わないように接続することによって接続することが可能になる。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0022】

以下、図面を参照しながら本発明の実施形態について詳細に説明する。

【0023】

(実施形態1)

図1に、本発明の実施形態1に係る光通信システムの構成を示し、図2、3に、その入出力ポート間の透過特性を示す。実施形態1は、 $A \times \Delta\lambda$ の基本周期を有する $N \times N$ 光波長合分波器(N は A 以下の整数)と、 $B \times \Delta\lambda$ の基本周期を有する $M \times M$ 光波長合分波器(M は B 以下の整数)を使用し、特に A と B が互いに素(最大公約数が1)の関係であり、波長 λ_1 から $\lambda_{A \times B}$ が所定の間隔 $\Delta\lambda$ で定義されている場合の光通信システムであるが、図1に示す実施形態1は、 $A = 4$ 、 $B = 3$ 、 $N = 4$ 、 $M = 3$ の場合を例にとって示す。即ち、波長 λ_1 から λ_{12} が所定の間隔 $\Delta\lambda$ で定義されているものとする。

30

【0024】

以下で本発明の原理を説明する。

図1に示す光通信システムは、 4×4 光波長合分波器101-1、 3×3 光波長合分波器101-2、通信ノード102、送受2心の光ファイバ103、所定の波長の信号を送出する送信器104-1~104-12、 12×1 波長合波器105、 1×12 波長分波器106、受光素子107-1~107-12を含む。送信器104の数、波長合波器105の入力ポート数、波長分波器106の出力ポート数、受光素子107の数である12は、 $A \times B$ 、即ち、定義した波長数に相当する。

40

【0025】

4×4 光波長合分波器101-1と 3×3 光波長合分波器101-2が設置され、 4×4 光波長合分波器101-1の第4入出力ポートと、 3×3 光波長合分波器101-2の第3入出力ポートが、送受2心の光ファイバ103で接続される。 4×4 光波長合分波器101-1の第4入出力ポートと、 3×3 光波長合分波器101-2の第3入出力ポート以外の 4×4 光波長合分波器101-1および 3×3 光波長合分波器101-2の入出力ポートは、それぞれ通信ノード102と、送受2心の光ファイバ103で接続される。

【0026】

50

各通信ノード102の内部には、光信号の送信に関わる装置として、所定の波長の信号を送出する送信器104-1~104-12と、この送信器104-1~104-12の出力を入力とする波長合波器105を備える。この波長合波器105の出力は、送受2心の光ファイバ103の内の1本を介して、4×4光波長合分波器101-1あるいは3×3光波長合分波器101-2の入力ポートに接続される。同じく、各通信ノード102の内部には、光信号の受信に関わる装置として、入力されたWDM信号を波長に応じて定まるポートから出力する波長分波器106と、この波長分波器106の出力を入力とする受光素子107-1~107-12を備える。波長分波器106の入力は送受2心の光ファイバ103の内の残りの1本を介して、4×4光波長合分波器101-1あるいは3×3光波長合分波器101-2の出力ポートに接続される。尚、ここでは各通信ノード102の入力と出力は、それぞれ光波長合分波器の同一番号の入出力ポートに接続されているが、必ずしも同一番号の入出力ポートに接続しなくともよい。

【0027】

4×4光波長合分波器101-1および3×3光波長合分波器101-2として、具体的にはアレイ導波路回折格子を使用する。アレイ導波路回折格子は、占有容積が小さく、多チャンネル化が容易である点で優れている。アレイ導波路回折格子は設計によって定まる基本周期(FSR: Free Spectral Range)を有している。本実施形態においては、(基本周期/Δλ)の値が互いに素(最大公約数が1)である2つの光波長合分波器を使用する。具体的には、基本周期が4×Δλである4×4光波長合分波器101-1および基本周期が3×Δλである3×3光波長合分波器101-2を使用する場合を示す。

【0028】

図2に、4×4光波長合分波器101-1および3×3光波長合分波器101-2において、λ₁からλ₁₂までの波長について、入出力ポート間を透過する信号の波長を示す。一般には「入力ポートXから入力され、出力ポートYから出力される信号の波長は、λ_(X+Y-1)と、λ_(X+Y-1)と基本周期単位で異なる波長(X、Yは1以上入出力ポート数以下の整数)である。」と定義できる。

【0029】

図2に示される入出力ポート間の透過特性を元に、4×4光波長合分波器101-1の第4入出力ポートと、3×3光波長合分波器101-2の第3出力ポートが、送受2心の光ファイバ103で接続される場合に得られる、入出力ポート間の透過特性を図3に示す。ここで、4×4光波長合分波器101-1と、3×3光波長合分波器101-2は、(基本周期/Δλ)の値が互いに素(最大公約数が1)であるために、全ての入出力ポートの組み合わせで、λ₁からλ₁₂までの波長の内、少なくとも1波長の信号が透過する。

【0030】

各通信ノード102では、送信器104-1~104-12、波長合波器105を用いて、λ₁からλ₁₂までの12波長が波長分割多重化された信号を出力するものとする。同様に、各通信ノード102では、波長合波器106、送信器107-1~107-12を用いて、λ₁からλ₁₂までの12波長が波長分割多重化された信号を受信するものとする。この時、いずれかの通信ノード102から出力されたλ₁からλ₁₂までの12波長が波長分割多重化された信号は、4×4波長合分波器101-1あるいは3×3波長合分波器101-2の入力ポートに入力されると、図3に示される入出力特性に従って波長毎に定まる出力ポートに出力され、その出力ポートに接続されている通信ノード102において波長分波器106で分波され、信号波長に応じて定まる受光素子107-1から107-12のいずれかで受光される。ここで、図3に示される入出力特性により、どの入力ポートから信号を入力しても、全ての出力ポートから少なくとも1波長の信号が出力されることから、全通信ノード間でフルメッシュの接続性を得ることが出来る。即ち、2つの光波長合分波器をまたがって、1つのフルメッシュ接続網が得られる。

【0031】

この機能は、一般に、互いに素(最大公約数が1)なA、B2整数に対して、A×Δλ

の基本周期を有する $N \times N$ 光波長合分波器と $B \times \Delta \lambda$ の基本周期を有する $M \times M$ 光波長合分波器を使用する場合に、 $A \times B$ 種類の波長を使用することで、必ず成立するものである。尚、 N は A 以下の値であれば、必ずしも A と同じ値である必要は無く、 M も B 以下の値であれば、必ずしも B と同じ値である必要は無く、全ての場合でフルメッシュの接続性を得られる。

【0032】

例えば、本実施形態では、 $A = 4$ 、 $B = 3$ 、 $N = 4$ 、 $M = 3$ で、波長 λ_1 から λ_{12} を使用する場合を例に示したが、他にも、 $A = 5$ 、 $B = 8$ 、 $N = 5$ 、 $M = 8$ で、波長 λ_1 から λ_{40} を使用する構成や、 $A = 5$ 、 $B = 8$ 、 $N = 4$ 、 $M = 7$ で、波長 λ_1 から λ_{40} を使用する構成であっても同様の機能を実現することができる。

10

【0033】

(実施形態2)

図4に、本発明の実施形態1に係る光通信システムの構成を示し、図5、6に、その入出力ポート間の透過特性を示す。実施形態2は、 $A \times \Delta \lambda$ の基本周期を有する $N \times N$ 光波長合分波器 (N は A 以下の整数) と、 $B \times \Delta \lambda$ の基本周期を有する $M \times M$ 光波長合分波器 (M は B 以下の整数) を使用し、特に A と B の最大公約数が1でない場合であり、 A と B の最小公倍数を C とするとき、波長 λ_1 から λ_C が所定の間隔 $\Delta \lambda$ で定義されている場合の光通信システムである。図4に、実施形態2として $A = 6$ 、 $B = 4$ 、 $N = 6$ 、 $M = 4$ の場合を例にとって示す。即ち、波長 λ_1 から λ_{12} が所定の間隔 $\Delta \lambda$ で定義されているものとする。

20

【0034】

以下に、本実施形態の原理を説明する。図4に示す光通信システムは、 6×6 光波長合分波器101-1、 4×4 光波長合分波器101-2、通信ノード102、送受2心の光ファイバ103、所定の波長の信号を送出する送信器104-1~104-12、 12×1 波長合波器105、 1×12 波長分波器106、受光素子107-1~107-12を含む。送信器104の数、波長合波器105の入力ポート数、波長分波器106の出力ポート数、受光素子107の数である12は、 A と B の最小公倍数 C 、即ち定義した波長数に相当する。

【0035】

6×6 光波長合分波器101-1と 4×4 光波長合分波器101-2が設置され、 6×6 光波長合分波器101-1の第5入出力ポートと 4×4 光波長合分波器101-2の第4入出力ポートが送受2心の光ファイバ103で接続されるとともに、 6×6 光波長合分波器101-1の第6入出力ポートと 4×4 光波長合分波器101-2の第2入出力ポートが送受2心の光ファイバ103で接続される。 6×6 光波長合分波器101-1の第5・第6入出力ポートと、 4×4 光波長合分波器101-2の第2・第4入出力ポート以外の 6×6 光波長合分波器101-1および 4×4 光波長合分波器101-2の入出力ポートは、それぞれ通信ノード102と、送受2心の光ファイバ103で接続される。

30

【0036】

通信ノード102の内部には、光信号の送信に関わる装置として、所定の波長の信号を送出する送信器104-1~104-12と、この送信器104-1~104-12の出力を入力とする波長合波器105を備える。波長合波器105の出力は、送受2心の光ファイバ103の内の1本を介して、 6×6 光波長合分波器101-1あるいは 4×4 光波長合分波器101-2の入力ポートに接続される。同様に、通信ノード102の内部には、光信号の受信に関わる装置として、入力されたWDM信号を波長に応じて定まるポートから出力する波長分波器106と、この波長分波器106の出力を入力とする受光素子107-1~107-12を備える。波長分波器106の入力は送受2心の光ファイバ103の内の残りの1本を介して、 6×6 光波長合分波器101-1あるいは 4×4 光波長合分波器101-2の出力ポートに接続される。尚、ここでは各通信ノード102の入力と出力は、それぞれ光波長合分波器の同一番号の入出力ポートに接続されているが、必ずしも同一番号の入出力ポートに接続しなくともよい。

40

50

【 0 0 3 7 】

6 × 6 光波長合分波器 1 0 1 - 1 および 4 × 4 光波長合分波器 1 0 1 - 2 として、具体的にはアレイ導波路回折格子を使用する。アレイ導波路回折格子は、占有容積が小さく、多チャンネル化が容易である点で優れている。アレイ導波路回折格子は設計によって定まる基本周期 (F S R) を有している。本実施形態においては、(基本周期 / $\Delta \lambda$) の値の最大公約数が 1 でない 2 つの光波長合分波器を使用し、(基本周期 / $\Delta \lambda$) の値の最大公約数と同数の送受 2 心の光ファイバ対を用いて光波長合分波器同士を接続する。具体的には、(基本周期 / $\Delta \lambda$) の値の最大公約数が 2 である、基本周波数が $6 \times \Delta \lambda$ である 6 × 6 光波長合分波器 1 0 1 - 1 と、基本周期が $4 \times \Delta \lambda$ である 4 × 4 光波長合分波器 1 0 1 - 2 を使用し、2 組の送受 2 心の光ファイバ 1 0 3 を用いて接続する場合を示す。

10

【 0 0 3 8 】

図 5 に、6 × 6 光波長合分波器 1 0 1 - 1 および 4 × 4 光波長合分波器 1 0 1 - 2 において、 λ_1 から λ_{12} までの波長について、入出力ポート間を透過する信号の波長を示す。一般には「入力ポート X から入力され、出力ポート Y から出力される信号の波長は、 $\lambda_{(X+Y-1)}$ と、 $\lambda_{(X+Y-1)}$ と基本周期単位で異なる波長 (X、Y は 1 以上入出力ポート数以下の整数) である。」と定義できる。

【 0 0 3 9 】

図 5 に示す入出力ポート間の透過特性を元に、6 × 6 光波長合分波器 1 0 1 - 1 の第 5 入出力ポートと 4 × 4 光波長合分波器 1 0 1 - 2 の第 4 入出力ポートが送受 2 心の光ファイバ 1 0 3 で接続されると同時に、6 × 6 光波長合分波器 1 0 1 - 1 の第 6 入出力ポートと 4 × 4 光波長合分波器 1 0 1 - 2 の第 2 入出力ポートが送受 2 心の光ファイバ 1 0 3 で接続される場合に得られる、入出力ポート間の透過特性を図 6 に示す。ここで、6 × 6 光波長合分波器 1 0 1 - 1 と、4 × 4 光波長合分波器 1 0 1 - 2 は、(基本周期 / $\Delta \lambda$) の値が互いに素 (最大公約数が 1) でなく、最大公約数が 2 である点に注意を要する。光波長合分波器の周期性により、光波長合分波器間を接続する送受 2 心の光ファイバ 1 0 3 が 1 組だけの場合、ある通信ノードから送出された信号は、この通信ノードが直接接続されていない光合分波器の出力ポートの内、1 / 2 (一般には、1 / ((基本周期 / $\Delta \lambda$) の最大公約数)) のポートからしか出力されない。従って、光波長合分波器間を接続する送受 2 心の光ファイバ 1 0 3 を 2 組 (一般には、(基本周期 / $\Delta \lambda$) の最大公約数と同数組) に増やすことにより、全ての入出力ポートの組み合わせで、少なくとも 1 波長の信号が透過できるようにしている。

20

30

【 0 0 4 0 】

各通信ノード 1 0 2 では、送信器 1 0 4 - 1 ~ 1 0 4 - 1 2、波長合波器 1 0 5 を用いて、 λ_1 から λ_{12} までの 1 2 波長が波長分割多重化された信号を出力するものとする。同様に、各通信ノード 1 0 2 では、波長合波器 1 0 6、送信器 1 0 7 - 1 ~ 1 0 7 - 1 2 を用いて、 λ_1 から λ_{12} までの 1 2 波長が波長分割多重化された信号を受信するものとする。

【 0 0 4 1 】

この時、いずれかの通信ノード 1 0 2 から出力された λ_1 から λ_{12} までの 1 2 波長が波長分割多重化された信号は、6 × 6 光波長合分波器 1 0 1 - 1 あるいは 4 × 4 光波長合分波器 1 0 1 - 2 の入力ポートに入力されると、図 6 に示す入出力特性に従って波長毎に定まる出力ポートに出力され、この出力ポートに接続されている通信ノード 1 0 2 において波長合波器 1 0 6 で分波され、信号波長に応じて定まる受光素子 1 0 7 - 1 から 1 0 7 - 1 2 のいずれかで受光される。ここで、図 6 に示す入出力特性により、どの入力ポートから信号を入力しても、全ての出力ポートから少なくとも 1 波長の信号が出力されることから、全通信ノード間でフルメッシュの接続性を得ることが出来る。即ち、2 つの光波長合分波器をまたがって、1 つのフルメッシュ接続網が得られる。

40

【 0 0 4 2 】

この機能は、一般に、最大公約数が 1 でない A、B 2 整数に対して、 $A \times \Delta \lambda$ の基本周期を有する $N \times N$ 光波長合分波器と $B \times \Delta \lambda$ の基本周期を有する $M \times M$ 光波長合分波器を

50

使用する場合に、 A 、 B の最大公約数と同数組の送受2心の光ファイバを用いて適切なポート間を接続し、 A 、 B の最小公倍数と同数種類の波長を使用することで、必ず成立するものである。尚、 N は A 以下の値であれば、必ずしも A と同じ値である必要は無く、 M も B 以下の値であれば、必ずしも B と同じ値である必要はなく、全ての場合でフルメッシュの接続性を得られる。

【0043】

例えば、本実施形態では、 $A = 4$ 、 $B = 6$ 、 $N = 4$ 、 $M = 6$ で、 4×4 アレイ導波路回折格子の第2入出力ポートと 6×6 アレイ導波路回折格子の第6入出力ポートとを接続するとともに、 4×4 アレイ導波路回折格子の第4入出力ポートと 6×6 アレイ導波路回折格子の第5入出力ポートとを接続し、波長 λ_1 から λ_{12} を使用する構成を示したが、他にも、 $A = 6$ 、 $B = 9$ 、 $N = 6$ 、 $M = 9$ で、 6×6 アレイ導波路回折格子の第6入出力ポートと 9×9 アレイ導波路回折格子の第1入出力ポートとを接続すると共に、 6×6 アレイ導波路回折格子の第5入出力ポートと 9×9 アレイ導波路回折格子の第2入出力ポートとを接続し、 6×6 アレイ導波路回折格子の第4入出力ポートと 9×9 アレイ導波路回折格子の第3入出力ポートとを接続し、波長 λ_1 から λ_{18} を使用する構成や、 $A = 6$ 、 $B = 8$ 、 $N = 6$ 、 $M = 8$ で、 6×6 アレイ導波路回折格子の第6入出力ポートと 8×8 アレイ導波路回折格子の第1入出力ポートとを接続するとともに、 6×6 アレイ導波路回折格子の第5入出力ポートと 8×8 アレイ導波路回折格子の第2入出力ポートとを接続し、 6×6 アレイ導波路回折格子の第4入出力ポートと 8×8 アレイ導波路回折格子の第3入出力ポートとを接続し、波長 λ_1 から λ_{24} を使用する構成であっても、同様の機能を実現できる。

【0044】

但し、本実施形態2の入出力ポート間の接続を変更し、 4×4 アレイ導波路回折格子の第4入出力ポートと 6×6 アレイ導波路回折格子の第6入出力ポートを接続するとともに、 4×4 アレイ導波路回折格子の第3入出力ポートと 6×6 アレイ導波路回折格子の第5入出力ポートを接続する場合には、フルメッシュの接続性を得ることが出来ない。本実施形態2で示す機能を得るためには、入出力ポート間の配線は、適切に選択する必要がある。

【0045】

(実施形態3)

図7に、本発明の実施形態3に係る光通信システムの構成を示し、図8、9に、その入出力ポート間の透過特性を示す。実施形態3は、 K 個の整数 A_1 、 A_2 、...、 A_K の内、どの2つの整数も互いに素(最大公約数が1)であり、 K 個の整数 A_1 、 A_2 、...、 A_K の積を D とすると、波長 λ_1 から λ_D が所定の間隔 $\Delta\lambda$ で定義されていて、 $A_1 \times \Delta\lambda$ から $A_K \times \Delta\lambda$ までの基本周期を有する $N_1 \times N_1$ 光波長合分波器から $N_K \times N_K$ 光波長合分波器までの K 個の光波長合分波器(i を1以上 K 以下の整数とすると、 N_i は A_i 以下の整数)を使用する光通信システムであるが、図7～9に示す本実施形態では、 $K = 3$ で、 $A_1 = N_1 = 4$ 、 $A_2 = N_2 = 3$ 、 $A_3 = N_3 = 5$ 、の場合を例にとって示す。即ち、波長 λ_1 から λ_{60} が所定の間隔 $\Delta\lambda$ で定義されているものとする。

【0046】

以下に本実施形態の原理を説明する。

図7に示す光通信システムは、 4×4 光波長合分波器101-1、 3×3 光波長合分波器101-2、 5×5 光波長合分波器101-3、通信ノード102、送受2心の光ファイバ103、所定の波長の信号を送出する送信器104-1～104-60、 60×1 波長合波器105、 1×60 波長分波器106、受光素子107-1～107-60を含む。(送信器104の数、波長合波器105の入力ポート数、波長分波器106の出力ポート数、受光素子107の数である60は、 $A_1 \times A_2 \times A_3$ 、即ち定義した波長数に相当する。)

【0047】

4×4 光波長合分波器101-1と 3×3 光波長合分波器101-2と 5×5 光波長合

10

20

30

40

50

分波器 101-3 が設置され、4×4 光波長合分波器 101-1 の第 4 入出力ポートと 3×3 光波長合分波器 101-2 の第 3 入出力ポートが送受 2 心の光ファイバ 103 で接続され、4×4 光波長合分波器 101-1 の第 3 入出力ポートと 5×5 光波長合分波器 101-3 の第 5 入出力ポートが送受 2 心の光ファイバ 103 で接続される。4×4 光波長合分波器 101-1 の第 3 および第 4 入出力ポートと、3×3 光波長合分波器 101-2 の第 3 入出力ポート、5×5 光波長合分波器 101-3 の第 5 入出力ポート以外の各光波長合分波器の入出力ポートは、通信ノード 102 と、送受 2 心の光ファイバ 103 で接続される。

【0048】

各通信ノード 102 の内部には、光信号の送信に関わる装置として、所定の波長の信号を送出する送信器 104-1 ~ 104-60 と、この送信器 104-1 ~ 104-60 の出力を入力とする波長合波器 105 を備える。この波長合波器 105 の出力は送受 2 心の光ファイバ 103 の内の 1 本を介して、4×4 光波長合分波器 101-1、3×3 光波長合分波器 101-2 あるいは 5×5 光波長合分波器 101-3 の入力ポートに接続される。同じく、各通信ノード 102 の内部には、光信号の受信に関わる装置として、入力された WDM 信号を波長に応じて定まるポートから出力する波長分波器 106 と、この波長分波器 106 の出力を入力とする受光素子 107-1 ~ 107-60 を備える。波長分波器 106 の入力送受 2 心の光ファイバ 103 の内の残りの 1 本を介して、4×4 光波長合分波器 101-1、3×3 光波長合分波器 101-2 あるいは 5×5 光波長合分波器 101-3 の出力ポートに接続される。尚、ここでは各通信ノード 102 の入力と出力は、それぞれ光波長合分波器の同一番号の入出力ポートに接続されているが、必ずしも同一番号の入出力ポートに接続しなくともよい。

【0049】

4×4 光波長合分波器 101-1、3×3 光波長合分波器 101-2 および 5×5 光波長合分波器 101-3 として、具体的にはアレイ導波路回折格子を使用する。アレイ導波路回折格子は、占有容積が小さく、多チャンネル化が容易である点で優れている。アレイ導波路回折格子は設計によって定まる基本周期 (FSR) を有している。本実施形態においては、いずれの 2 台を選択しても、(基本周期 / $\Delta\lambda$) の値が互いに素 (最大公約数が 1) である 3 つの光波長合分波器を使用する。具体的には、基本周期が $4 \times \Delta\lambda$ である 4×4 光波長合分波器 101-1、基本周期が $3 \times \Delta\lambda$ である 3×3 光波長合分波器 101-2 および基本周期が $5 \times \Delta\lambda$ である 5×5 光波長合分波器 101-3 を使用する場合を示す。図 8 に、この 4×4 光波長合分波器 101-1、3×3 光波長合分波器 101-2 および 5×5 光波長合分波器 101-3 において、入出力ポート間を透過する信号の波長を示す。一般には「入力ポート X から入力され、出力ポート Y から出力される信号の波長は、 $\lambda_{(X+Y-1)}$ と、 $\lambda_{(X+Y-1)}$ と基本周期単位で異なる波長 (X、Y は 1 以上入出力ポート数以下の整数) である。」と定義できる。

【0050】

図 8 に示す入出力ポート間の透過特性を元に、4×4 光波長合分波器 101-1 の第 4 入出力ポートと、3×3 光波長合分波器 101-2 の第 3 入出力ポートが送受 2 心の光ファイバ 103 で接続され、4×4 光波長合分波器 101-1 の第 3 入出力ポートと、5×5 光波長合分波器 101-3 の第 5 入出力ポートが送受 2 心の光ファイバ 103 で接続される場合に得られる、入出力ポート間の透過特性を図 9 に示す。ここで、4×4 光波長合分波器 101-1 と、3×3 光波長合分波器 101-2、5×5 光波長合分波器 101-3 は、いずれの 2 台を選択しても (基本周期 / $\Delta\lambda$) の値が互いに素 (最大公約数が 1) であるために、全ての入出力ポートの組み合わせで、 λ_1 から λ_{60} までの波長のうち、少なくとも 1 波長の信号が透過する。

【0051】

各通信ノード 102 では、送信器 104-1 ~ 104-60、波長合波器 105 を用いて、 λ_1 から λ_{60} 波長が波長分割多重化された信号を出力するものとする。同様に各通信ノード 102 では、波長合波器 106、送信器 107-1 ~ 107-60 を用いて、 λ_1

から λ_{60} までの 60 波長が波長分割多重化された信号を受信するものとする。

【0052】

このとき、いずれかの通信ノード 102 から出力された λ_1 から λ_{60} までの 60 波長が波長分割多重化された信号は、 4×4 光波長合分波器 101 - 1 か 3×3 光波長合分波器 101 - 2、あるいは 5×5 光波長合分波器 101 - 3 の入力ポートに入力されると、図 9 に示す入出力特性に従って波長毎に定まる出力ポートに出力され、その出力ポートに接続されている通信ノード 102 において波長分波器 106 で分波され、信号波長に応じて定まる受光素子 107 - 1 ~ 107 - 60 のいずれかで受光される。ここで、図 9 に示す入出力特性により、どの入力ポートから信号を入力しても、全ての出力ポートから少なくとも 1 波長の信号が出力されることから、全通信ノード間でフルメッシュの接続性を得ることができる。即ち、3 つの光波長合分波器をまたがって、1 つのフルメッシュ接続網が得られる。

10

【0053】

この機能は、一般に、どの 2 つの整数も互いに素（最大公約数が 1）である K 個の整数 $A_1, A_2, \dots, A_K$ に対して、 $A_1 \times \Delta\lambda$ から $A_K \times \Delta\lambda$ までの基本周期を有する $N_1 \times N_1$ 光波長合分波器から $N_K \times N_K$ 光波長合分波器までの K 個の光波長合分波器（ i を 1 以上 K 以下の整数とすると、 N_i は A_i 以下の整数）を使用する場合に、 K 個の整数 $A_1, A_2, \dots, A_K$ の積に相当する数の種類の波長を使用することで、必ず成立するものである。尚、 N_i は A_i 以下の値であれば、必ず A_i と同じ値である必要は無く、全ての場合でフルメッシュの接続性を得られる。

20

【0054】

例えば、本実施形態では、 $K = 3$ で、 $A_1 = N_1 = 4$ 、 $A_2 = N_2 = 3$ 、 $A_3 = N_3 = 5$ 、であり、波長 λ_1 から λ_{60} を使用し、第 1 と第 2 の光波長合分波器間と第 1 と第 3 の光波長合分波器間を送受 2 心の光ファイバで接続する場合を例に示したが、他にも、 $K = 4$ で、 $A_1 = N_1 = 3$ 、 $A_2 = N_2 = 4$ 、 $A_3 = N_3 = 5$ 、 $A_4 = N_4 = 7$ であり、波長 λ_1 から λ_{420} を使用し、第 1 と第 2 の光波長合分波器間と第 2 と第 3 の光波長合分波器と第 2 と第 4 の光波長合分波器間を送受 2 心の光ファイバで接続する構成であっても、同様の機能を実現できる。

【0055】

尚、本実施形態では、 A_1, A_2, A_3 のどの 2 数も互いに素である場合に注目して説明したが、最大公約数が 1 でない 2 数が存在する場合でも、最大公約数が 1 でない光波長合分波器間の送受 2 心の光ファイバ数を、光波長合分波器の（基本周期 / $\Delta\lambda$ ）の最大公約数と同数組にすれば、実施形態 2 での説明と同じ理由で、フルメッシュの接続特性を得られる。

30

【0056】

例えば、 $K = 3$ で、 $A_1 = N_1 = 4$ 、 $A_2 = N_2 = 5$ 、 $A_3 = N_3 = 6$ であり、波長 λ_1 から λ_{120} を使用し、第 1 と第 2 の光波長合分波器間と第 1 と第 3 の光波長合分波器間を送受 2 心の光ファイバで接続する場合、第 1 と第 3 の光波長合分波器を接続する送受 2 心の光ファイバの数を 2 組とすれば、同様の機能を実現できる。

【0057】

但し、第 1 と第 3 の光波長合分波器間の接続については、実施形態 2 での説明と同じ理由で、配線を適切に選択する必要がある。例えば、 4×4 アレイ導波路回折格子の第 2 入出力ポートと 6×6 アレイ導波路回折格子の第 6 入出力ポートを接続するとともに、 4×4 アレイ導波路回折格子の第 4 入出力ポートと 6×6 アレイ導波路回折格子の第 5 入出力ポートを接続する場合には、フルメッシュの接続性を得られる。しかし、 4×4 アレイ導波路回折格子の第 4 入出力ポートと 6×6 アレイ導波路回折格子の第 6 入出力ポートを接続するとともに、 4×4 アレイ導波路回折格子の第 3 入出力ポートと 6×6 アレイ導波路回折格子の第 5 入出力ポートを接続する場合には、フルメッシュの接続性を得ることができない。

40

【0058】

50

(実施形態 4)

実施形態 4 は、実施形態 3 において、定義する波長の数を変更し、どの 2 つの整数も互いに素（最大公約数が 1）である K 個の整数 $A_1, A_2, \dots, A_K$ の内、2 つの整数の積の最大値を C とするとき、波長 λ_1 から λ_C を定義するものである。実施形態 3 と同様に、 $K = 3$ で、 $A_1 = N_1 = 4$ 、 $A_2 = N_2 = 3$ 、 $A_3 = N_3 = 5$ の場合には、波長 λ_1 から λ_{20} が所定の間隔 $\Delta\lambda$ で定義される。このとき、送信器の数、波長合波器の入力ポート数、波長分波器の出力ポート数、受光素子の数が 60 から 20 に変わる他は、実施形態 3 と構成は同じである。また、 4×4 光波長合分波器 101 - 1、 3×3 光波長合分波器 101 - 2、 5×5 光波長合分波器 101 - 3 の入出力ポート間の透過特性は、波長 λ_1 から λ_{20} のみが意味を有する他は、図 9 と変わらない。

10

【0059】

このとき、いずれかの通信ノード 102 から出力された λ_1 から λ_{20} までの 20 波長が波長分割多重化された信号は、 4×4 光波長合分波器 101 - 1 か 3×3 光波長合分波器 101 - 2、あるいは 5×5 光波長合分波器 101 - 3 の入力ポートに入力されると、図 9 に示す入出力特性の内、波長 λ_1 から λ_{20} に関する特性に従って、波長毎に定まる出力ポートに出力され、その出力ポートに接続されている通信ノード 102 において波長分波器 106 で分波され、信号波長に応じて定まる受光素子 107 - 1 ~ 107 - 20 のいずれかで受光される。ここで、図 9 に示す入出力特性により、同じ光波長合分波器の入出力ポート間と、送受 2 心の光ファイバで接続されている光波長合分波器の入出力ポート間については、全ての入出力ポートの組み合わせで、 λ_1 から λ_{20} までの波長の内、少なくとも 1 波長の信号が透過する。但し、送受 2 心の光ファイバで直接接続されていない光波長合分波器の入出力ポート間については、必ずしも透過する信号が存在しない。即ち、少なくとも送受 2 心の光ファイバで直接接続されている光波長合分波器に関しては、光波長合分波器をまたがってフルメッシュの接続性を得ることが出来る。

20

【0060】

この機能は、一般に、どの 2 つの整数も互いに素（最大公約数が 1）である K 個の整数 $A_1, A_2, \dots, A_K$ に対して、 $A_1 \times \Delta\lambda$ から $A_K \times \Delta\lambda$ までの基本周期を有する $N_1 \times N_1$ 光波長合分波器から $N_K \times N_K$ 光波長合分波器までの K 個の光波長合分波器（ i を 1 以上 K 以下の整数とすると、 N_i は A_i 以下の整数）を使用する場合、 K 個の整数 $A_1, A_2, \dots, A_K$ の内、2 つの整数の積の最大値に相当する数の種類の波長を使用することで、必ず

30

【0061】

例えば、本実施形態では、 $K = 3$ で、 $A_1 = N_1 = 4$ 、 $A_2 = N_2 = 3$ 、 $A_3 = N_3 = 5$ であり、波長 λ_1 から λ_{20} を使用し、第 1 と第 2 の光波長合分波器間と第 1 と第 3 の光波長合分波器間を送受 2 心の光ファイバで接続する場合を例に示したが、他にも、 $K = 4$ で、 $A_1 = N_1 = 3$ 、 $A_2 = N_2 = 4$ 、 $A_3 = N_3 = 5$ 、 $A_4 = N_4 = 7$ であり、波長 λ_1 から λ_{35} を使用し、第 1 と第 2 の光波長合分波器間と第 2 と第 3 の光波長合分波器と第 3 と第 4 の光波長合分波器間を送受 2 心の光ファイバで接続する構成であっても、同様の機能を実現できる。

40

【0062】

尚、 K 個の整数 $A_1, A_2, \dots, A_K$ の中に最大公約数が 1 でない 2 数が存在する場合でも、最大公約数が 1 でない光波長合分波器間の送受 2 心の光ファイバ数を、光波長合分波器の（基本周期 / $\Delta\lambda$ ）の最大公約数と同数組にすれば、実施形態 2 での説明と同じ理由で、同様の接続性を得られる。

【0063】

例えば、 $K = 3$ で、 $A_1 = N_1 = 4$ 、 $A_2 = N_2 = 5$ 、 $A_3 = N_3 = 6$ であり、波長 λ_1 から λ_{30} を使用し、第 2 と第 3 の光波長合分波器間と第 1 と第 3 の光波長合分波器間を送受 2 心の光ファイバで接続する場合、第 1 と第 3 の光波長合分波器間を接続する送受 2 心の光

50

ファイバの数を 2 組とすれば、同様の機能を実現できる。

【 0 0 6 4 】

但し、第 1 と第 3 の光波長合分波器間の接続については、実施形態 2 での説明と同じ理由で、配線を適切に選択する必要がある。例えば、 4×4 アレイ導波路回折格子の第 2 入出力ポートと 6×6 アレイ導波路回折格子の第 6 入出力ポートを接続するとともに、 4×4 アレイ導波路回折格子の第 4 入出力ポートと 6×6 アレイ導波路回折格子の第 5 入出力ポートを接続する場合には、フルメッシュの接続性を得られる。しかし、 4×4 アレイ導波路回折格子の第 4 入出力ポートと 6×6 アレイ導波路回折格子の第 6 入出力ポートを接続するとともに、 4×4 アレイ導波路回折格子の第 3 入出力ポートと 6×6 アレイ導波路回折格子の第 5 入出力ポートを接続する場合には、フルメッシュの接続性を得ることができない。

10

【 0 0 6 5 】

また、 K 個の整数 $A_1, A_2, \dots, A_K$ の中に同じ整数が含まれていても、光波長合分波器間が送受 2 心の光ファイバで接続されていなければ、同様の接続性を得られる。

【 0 0 6 6 】

例えば、 $K = 3$ で、 $A_1 = N_1 = 4$ 、 $A_2 = N_2 = 5$ 、 $A_3 = N_3 = 4$ であり、波長 λ_1 から λ_{20} を使用し、第 1 と第 2 の光波長合分波器間と第 2 と第 3 の光波長合分波器間を送受 2 心の光ファイバで接続する場合にも、同様の機能を実現できる。

【 0 0 6 7 】

(実施形態 5)

20

図 10 に、本発明の実施形態 5 に係る光通信システムの構成を示し、図 11 に、その入出力ポート間の透過特性を示す。実施形態 5 は、 K 個の整数 $A_1, A_2, \dots, A_K$ の内、どの 2 つの整数も互いに素 (最大公約数が 1) であり、 K 個の整数 $A_1, A_2, \dots, A_K$ の積を D とするとき、波長 λ_1 から λ_D が所定の間隔 $\Delta \lambda$ で定義されていて、 $A_1 \times \Delta \lambda$ から $A_K \times \Delta \lambda$ までの基本周期を有する $N_1 \times N_1$ 光波長合分波器から $N_K \times N_K$ 光波長合分波器までの K 個の光波長合分波器 (i を 1 以上 K 以下の整数とすると、 N_i は A_i 以下の整数) を使用する光通信システムであるが、図 10、11 に示す本実施形態では、 $K = 3$ で、 $A_1 = N_1 = 4$ 、 $A_2 = N_2 = 3$ 、 $A_3 = N_3 = 5$ 、の場合を例にとって示す。即ち、波長 λ_1 から λ_{60} が所定の間隔 $\Delta \lambda$ で定義されているものとする。

【 0 0 6 8 】

30

以下に、本実施形態の原理を説明する。

図 10 に示す光通信システムは、 4×4 光波長合分波器 101 - 1、 3×3 光波長合分波器 101 - 2、 5×5 光波長合分波器 101 - 3、通信ノード 102、送受 2 心の光ファイバ 103、所定の波長の信号を送出する送信器 104 - 1 ~ 104 - 60、 60×1 波長合波器 105、 1×60 波長分波器 106、受光素子 107 - 1 ~ 107 - 60 を含む。(送信器 104 の数、波長合波器 105 の入力ポート数、波長分波器 106 の出力ポート数、受光素子 107 の数 60 は、 $A_1 \times A_2 \times A_3$ 、即ち定義した波長数に相当する。)

【 0 0 6 9 】

4×4 光波長合分波器 101 - 1 と 3×3 光波長合分波器 101 - 2 と 5×5 光波長合分波器 101 - 3 が設置され、 4×4 光波長合分波器 101 - 1 の第 4 入出力ポートと 3×3 光波長合分波器 101 - 2 の第 3 入出力ポートが送受 2 心の光ファイバ 103 で接続され、 4×4 光波長合分波器 101 - 1 の第 3 入出力ポートと 5×5 光波長合分波器 101 - 3 の第 5 入出力ポートが送受 2 心の光ファイバ 103 で接続され、 3×3 光波長合分波器 101 - 2 の第 2 入出力ポートと 5×5 光波長合分波器 101 - 3 の第 4 入出力ポートが送受 2 心の光ファイバ 103 で接続される。 4×4 光波長合分波器 101 - 1 の第 3 および第 4 入出力ポートと、 3×3 光波長合分波器 101 - 2 の第 3 および第 2 入出力ポート、 5×5 光波長合分波器 101 - 3 の第 5 および第 4 入出力ポート以外の入出力ポートは、通信ノード 102 と、送受 2 心の光ファイバ 103 で接続される。全ての光波長合分波器の組み合わせが、送受 2 心の光ファイバ 103 で直接接続されていることが実施形

40

50

態 5 の特徴である。

【 0 0 7 0 】

通信ノード 1 0 2 の内部には、光信号の送信に関わる装置として、所定の波長の信号を送出する送信器 1 0 4 - 1 ~ 1 0 4 - 6 0 と、この送信器 1 0 4 - 1 ~ 1 0 4 - 6 0 の出力を入力とする波長合波器 1 0 5 を備える。この波長合波器 1 0 5 の出力は送受 2 心の光ファイバ 1 0 3 の内の 1 本を介して、4 × 4 光波長合分波器 1 0 1 - 1、3 × 3 光波長合分波器 1 0 1 - 2 あるいは 5 × 5 光波長合分波器 1 0 1 - 3 の入力ポートに接続される。同じく、通信ノード 1 0 2 の内部には、光信号の受信に関わる装置として、入力された WDM 信号を波長に応じて定まるポートから出力する波長分波器 1 0 6 と、この波長分波器 1 0 6 の出力を入力とする受光素子 1 0 7 - 1 ~ 1 0 7 - 6 0 を備える。波長分波器 1 0 6 の入力 10 は送受 2 心の光ファイバ 1 0 3 の内の残りの 1 本を介して、4 × 4 光波長合分波器 1 0 1 - 1、3 × 3 光波長合分波器 1 0 1 - 2 あるいは 5 × 5 光波長合分波器 1 0 1 - 3 の出力ポートに接続される。尚、ここでは各通信ノード 1 0 2 の入力と出力は、それぞれ光波長合分波器の同一番号の入出力ポートに接続されているが、必ずしも同一番号の入出力ポートに接続しなくともよい。

【 0 0 7 1 】

4 × 4 光波長合分波器 1 0 1 - 1、3 × 3 光波長合分波器 1 0 1 - 2 および 5 × 5 光波長合分波器 1 0 1 - 3 として、具体的にはアレイ導波路回折格子を使用する。アレイ導波路回折格子は、占有容積が小さく、多チャンネル化が容易である点で優れる。アレイ導波路回折格子は設計によって定まる基本周期 (FSR) を有している。本実施形態においては、いずれの 2 台を選択しても、(基本周期 / Δλ) の値が互いに素 (最大公約数が 1) である 3 つの光波長合分波器を使用する。具体的には、基本周期が 4 × Δλ である 4 × 4 光波長合分波器 1 0 1 - 1、基本周期が 3 × Δλ である 3 × 3 光波長合分波器 1 0 1 - 2 および基本周期が 5 × Δλ である 5 × 5 光波長合分波器 1 0 1 - 3 を使用する場合は示す。4 × 4 光波長合分波器 1 0 1 - 1、3 × 3 光波長合分波器 1 0 1 - 2 および 5 × 5 光波長合分波器 1 0 1 - 3 において、入出力ポート間を透過する信号の波長は、図 8 に示したものと 20 同じである。一般には「入力ポート X から入力され、出力ポート Y から出力される信号の波長は、 $\lambda_{(X+Y-1)}$ と、 $\lambda_{(X+Y-1)}$ と基本周期単位で異なる波長 (X、Y は 1 以上入出力ポート数以下の整数) である。」と定義できる。

【 0 0 7 2 】

図 8 に示す入出力ポート間の透過特性を元に、4 × 4 光波長合分波器 1 0 1 - 1 の第 4 入出力ポートと 3 × 3 光波長合分波器 1 0 1 - 2 の第 3 入出力ポートが送受 2 心の光ファイバ 1 0 3 で接続され、4 × 4 光波長合分波器 1 0 1 - 1 の第 3 入出力ポートと 5 × 5 光波長合分波器 1 0 1 - 3 の第 5 入出力ポートが送受 2 心の光ファイバ 1 0 3 で接続され、3 × 3 光波長合分波器 1 0 1 - 2 の第 2 入出力ポートと 5 × 5 光波長合分波器 1 0 1 - 3 の第 4 入出力ポートが送受 2 心の光ファイバ 1 0 3 で接続される場合に得られる、入出力ポート間の透過特性を図 1 1 に示す。

【 0 0 7 3 】

ここで、4 × 4 光波長合分波器 1 0 1 - 1 と、3 × 3 光波長合分波器 1 0 1 - 2、5 × 5 光波長合分波器 1 0 1 - 3 は、いずれの 2 台を選択しても (基本周期 / Δλ) の値が互いに素 (最大公約数が 1) であるために、全ての入出力ポートの組み合わせで、 λ_1 から λ_{60} までの波長のうち、少なくとも 1 波長の信号が透過する。

【 0 0 7 4 】

各通信ノード 1 0 2 では、送信器 1 0 4 - 1 ~ 1 0 4 - 6 0、波長合波器 1 0 5 を用いて、 λ_1 から λ_{60} 波長が波長分割多重化された信号を出力するものとする。同様に各通信ノード 1 0 2 では、波長合波器 1 0 6、送信器 1 0 7 - 1 ~ 1 0 7 - 6 0 を用いて、 λ_1 から λ_{60} までの 6 0 波長が波長分割多重化された信号を受信するものとする。

【 0 0 7 5 】

このとき、いずれかの通信ノード 1 0 2 から出力された λ_1 から λ_{60} までの 6 0 波長が波長分割多重化された信号は、4 × 4 光波長合分波器 1 0 1 - 1 か 3 × 3 光波長合分波器

10

20

30

40

50

101-2、あるいは5×5光波長合分波器101-3の入力ポートに入力されると、図8に示す入出力特性に従って波長毎に定まる出力ポートに出力され、その出力ポートに接続されている通信ノード102において波長分波器106で分波され、信号波長に応じて定まる受光素子107-1～107-60のいずれかで受光される。ここで、図11に示す入出力特性により、どの入力ポートから信号を入力しても、全ての出力ポートから少なくとも1波長の信号が出力されることから、全通信ノード間でフルメッシュの接続性を得ることができる。即ち、3つの光波長合分波器をまたがって、1つのフルメッシュ接続網が得られる。

【0076】

また、仮に光波長合分波器間を直接接続する送受2心の光ファイバ103の内のいずれかが断線したとしても、すでに示した実施形態3の場合と同様に、フルメッシュの接続性は維持される。

【0077】

この機能は、一般に、どの2つの整数も互いに素（最大公約数が1）であるK個の整数 A_1 、 A_2 、…、 A_K に対して、 $A_1 \times \Delta\lambda$ から $A_K \times \Delta\lambda$ までの基本周期を有する $N_1 \times N_1$ 光波長合分波器から $N_K \times N_K$ 光波長合分波器までのK個の光波長合分波器（ i を1以上K以下の整数とすると、 N_i は A_i 以下の整数）を使用し、全ての光波長合分波器の組み合わせが、直通の光ファイバで接続されている場合に、K個の整数 A_1 、 A_2 、…、 A_K の積に相当する数の種類の波長を使用することで、必ず成立するものである。尚、 N_i は A_i 以下の値であれば、必ずしも A_i と同じ値である必要は無く、 $N_i = A_i$ の全ての場合でフルメッシュの接続性を得られる。

【0078】

例えば、本実施形態では、 $K=3$ で、 $A_1=N_1=4$ 、 $A_2=N_2=3$ 、 $A_3=N_3=5$ 、であり、波長 λ_1 から λ_{60} を使用し、全ての組み合わせの光波長合分波器間を送受2心の光ファイバで接続する場合を例に示したが、他にも、 $K=4$ で、 $A_1=N_1=4$ 、 $A_2=N_2=5$ 、 $A_3=N_3=7$ 、 $A_4=N_4=9$ であり、波長 λ_1 から λ_{1260} を使用し、全ての組み合わせの光波長合分波器間を送受2心の光ファイバで接続する構成であっても、同様の機能を実現できる。

【0079】

尚、本実施形態では、 A_1 、 A_2 、 A_3 のどの2数も互いに素である場合に注目して説明したが、最大公約数が1でない2数が存在する場合でも、最大公約数が1でない光波長合分波器間の送受2心の光ファイバ数を、光波長合分波器の（基本周期/ $\Delta\lambda$ ）の最大公約数と同数組にすれば、実施形態2での説明と同じ理由で、フルメッシュの接続特性を得られる。例えば、 $K=3$ で、 $A_1=N_1=4$ 、 $A_2=N_2=5$ 、 $A_3=N_3=6$ であり、波長 λ_1 から λ_{120} を使用し、全ての組み合わせの光波長合分波器間を送受2心の光ファイバで接続する場合、第1と第3の光波長合分波器間を接続する送受2心の光ファイバの数を2組とすれば、同様の機能を実現できる。

【0080】

但し、第1と第3の光波長合分波器間の接続については、実施形態2での説明と同じ理由で、配線を適切に選択する必要がある。例えば、4×4アレイ導波路回折格子の第2入出力ポートと6×6アレイ導波路回折格子の第6入出力ポートを接続するとともに、4×4アレイ導波路回折格子の第4入出力ポートと6×6アレイ導波路回折格子の第5入出力ポートを接続する場合には、フルメッシュの接続性を得られる。しかし、4×4アレイ導波路回折格子の第4入出力ポートと6×6アレイ導波路回折格子の第6入出力ポートを接続するとともに、4×4アレイ導波路回折格子の第3入出力ポートと6×6アレイ導波路回折格子の第5入出力ポートを接続する場合には、フルメッシュの接続性を得ることができない。

【0081】

（実施形態6）

実施形態6は、実施形態5において、定義する波長の数を変更し、どの2つの整数も互

10

20

30

40

50

いに素（最大公約数が1）であるK個の整数 $A_1, A_2, \dots, A_K$ の内、2つの整数の積の最大値をCとすると、波長 λ_1 から λ_C を定義するものである。実施形態4と同様に、 $K=3$ で、 $A_1=N_1=4, A_2=N_2=3, A_3=N_3=5$ の場合には、波長 λ_1 から λ_{20} が所定の間隔 $\Delta\lambda$ で定義される。このとき、送信器の数、波長合波器の入力ポート数、波長分波器の出力ポート数、受光素子の数が60から20に変わる他は、実施形態5と構成は同じである。

【0082】

4×4光波長合分波器101-1、3×3光波長合分波器101-2、5×5光波長合分波器101-3の入出力ポート間の透過特性は、波長 λ_1 から λ_{20} のみが意味を有する他は、図11と変わらない。全ての光波長合分波器の組み合わせが、送受2心の光ファイバ103で直接接続されているため、全ての入出力ポートの組み合わせで、 λ_1 から λ_{20} までの波長のうち、少なくとも1波長の信号が透過する。

10

【0083】

このとき、いずれかの通信ノード102から出力された λ_1 から λ_{20} までの20波長が波長分割多重化された信号は、4×4光波長合分波器101-1か3×3光波長合分波器101-2、あるいは5×5光波長合分波器101-3の入力ポートに入力されると、図11に示す入出力特性の内、波長 λ_1 から λ_{20} に関する特性に従って、波長毎に定まる出力ポートに出力され、その出力ポートに接続されている通信ノード102において波長分波器106で分波され、信号波長に応じて定まる受光素子107-1～107-20のいずれかで受光される。ここで、図11に示す入出力特性により、どの入力ポートから信号を入力しても、全ての出力ポートから少なくとも1波長の信号が出力されることから、全通信ノード間でフルメッシュの接続性を得ることができる。即ち、3つの光波長合分波器をまたがって、1つのフルメッシュ接続網が得られる。

20

【0084】

この機能は、一般に、どの2つの整数も互いに素（最大公約数が1）であるK個の整数 $A_1, A_2, \dots, A_K$ に対して、 $A_1 \times \Delta\lambda$ から $A_K \times \Delta\lambda$ までの基本周期を有する $N_1 \times N_1$ 光波長合分波器から $N_K \times N_K$ 光波長合分波器までのK個の光波長合分波器（ i を1以上K以下の整数とすると、 N_i は A_i 以下の整数）を使用し、全ての光波長合分波器の組み合わせが送受2心の光ファイバ103で直接接続されている場合、K個の整数 $A_1, A_2, \dots, A_K$ の内、2つの整数の積の最大値に相当する数の種類の波長を使用することで、必ず成立するものである。尚、 N_i は A_i 以下の値であれば、必ずしも A_i と同じ値である必要は無く、 $N_i \leq A_i$ の全ての場合でフルメッシュの接続性を得られる。

30

【0085】

例えば、本実施形態では、 $K=3$ で、 $A_1=N_1=4, A_2=N_2=3, A_3=N_3=5$ 、であり、波長 λ_1 から λ_{20} を使用し、全ての組み合わせの光波長合分波器間を送受2心の光ファイバで接続する場合を例に示したが、他にも、 $K=4$ で、 $A_1=N_1=4, A_2=N_2=5, A_3=N_3=7, A_4=N_4=9$ であり、波長 λ_1 から λ_{63} を使用し、全ての組み合わせの光波長合分波器間を送受2心の光ファイバ103で接続する構成であっても、同様の機能を実現できる。

【0086】

尚、本実施形態では、 A_1, A_2, A_3 の中に最大公約数が1でない2数が存在する場合でも、最大公約数が1でない光波長合分波器間の送受2心の光ファイバ数を、光波長合分波器の（基本周期/ $\Delta\lambda$ ）の最大公約数と同数組にすれば、実施形態2での説明と同じ理由で、フルメッシュの接続特性を得られる。例えば、 $K=3$ で、 $A_1=N_1=4, A_2=N_2=5, A_3=N_3=6$ であり、波長 λ_1 から λ_{30} を使用し、全ての組み合わせの光波長合分波器間を送受2心の光ファイバで接続する場合、第1と第3の光波長合分波器間を接続する送受2心の光ファイバ103の数を2組とすれば、同様の機能を実現できる。

40

【0087】

但し、第1と第3の光波長合分波器間の接続については、実施形態2での説明と同じ理由で、配線を適切に選択する必要がある。例えば、4×4アレイ導波路回折格子の第2入

50

出力ポートと6×6アレイ導波路回折格子の第6出入口ポートを接続するとともに、4×4アレイ導波路回折格子の第4出入口ポートと6×6アレイ導波路回折格子の第5出入口ポートを接続する場合には、フルメッシュの接続性を得られる。しかし、4×4アレイ導波路回折格子の第4出入口ポートと6×6アレイ導波路回折格子の第6出入口ポートを接続するとともに、4×4アレイ導波路回折格子の第3出入口ポートと6×6アレイ導波路回折格子の第5出入口ポートを接続する場合には、フルメッシュの接続性を得ることができない。

【0088】

以上、本発明について具体的に説明してきたが、本発明の原理を適用できる多くの実施可能な形態に鑑みて、ここに記載した実施形態は、単に例示に過ぎず、本発明の範囲を限定するものではない。例えば、上記の光波長合分波器の基本周期とポート数と透過特性、波長合波器、波長分波器、所定の波長の信号を出力する送信器、受光素子は、本発明の趣旨から逸脱することなく、その数、構成、詳細を変更することができる。また、説明のための構成要素は、本発明の趣旨を逸脱することなく変更、補足、またはその順序を変えてもよい。

【図面の簡単な説明】

【0089】

【図1】本発明の実施形態1に係る光通信システムの構成を示す図である。

【図2】本発明の実施形態1に係る光通信システムの光波長合分波器の波長入出力特性を説明する図である。

【図3】本発明の実施形態1に係る光通信システムの全通信ノード間の透過特性を説明する図である。

【図4】本発明の実施形態2に係る光通信システムの構成を示す図である。

【図5】本発明の実施形態2に係る光通信システムの光波長合分波器の波長入出力特性を説明する図である。

【図6】本発明の実施形態2に係る光通信システムの全通信ノード間の透過特性を説明する図である。

【図7】本発明の実施形態3に係る光通信システムの構成を示す図である。

【図8】本発明の実施形態3に係る光通信システムの光波長合分波器の波長入出力特性を説明する図である。

【図9】本発明の実施形態3に係る光通信システムの全通信ノード間の透過特性を説明する図である。

【図10】本発明の実施形態5に係る光通信システムの構成を示す図である。

【図11】本発明の実施形態5に係る光通信システムの全通信ノード間の透過特性を説明する図である。

【図12】従来の光通信システムの説明図である。

【図13】従来の光通信システムの説明図である。

【符号の説明】

【0090】

101 - 1 ~ 101 - 3、201 光波長合分波器

102、202 通信ノード

103、203 送受2心の光ファイバ

104 - 1 ~ 104 - 60、204 - 1 ~ 204 - 4 所定の波長の信号を送出する送信器

105、205 波長合波器

106、206 波長分波器

107 - 1 ~ 107 - 60、207 - 1 ~ 207 - 4 受光素子

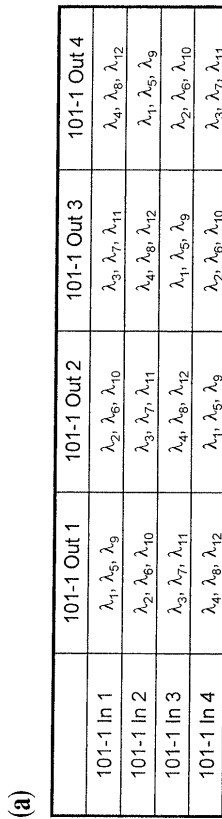
10

20

30

40

【 図 2 】



(b)

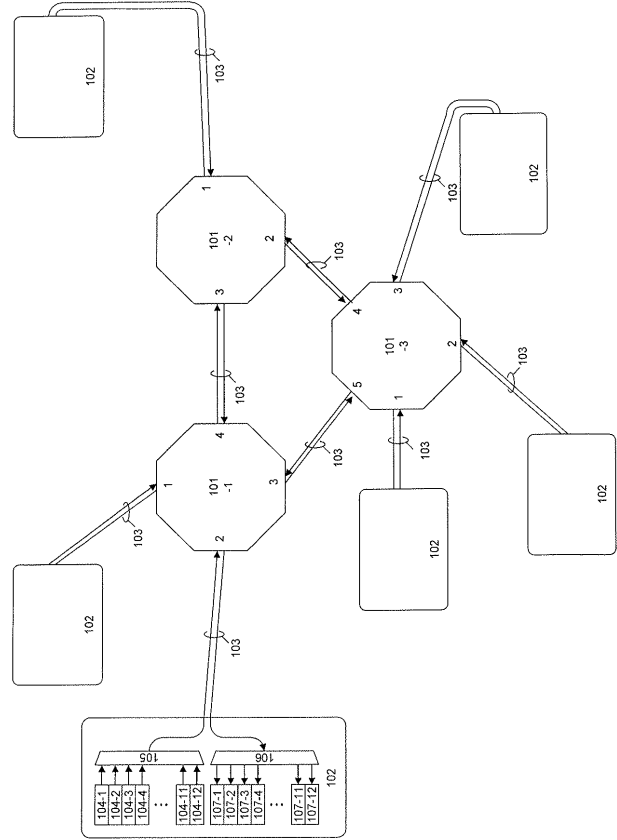
	101-2 Out 1	101-2 Out 2	101-2 Out 3
101-2 In 1	$\lambda_{11}, \lambda_4, \lambda_7, \lambda_{10}$	$\lambda_2, \lambda_5, \lambda_8, \lambda_{11}$	$\lambda_3, \lambda_6, \lambda_9, \lambda_{12}$
101-2 In 2	$\lambda_2, \lambda_5, \lambda_8, \lambda_{11}$	$\lambda_3, \lambda_6, \lambda_9, \lambda_{12}$	$\lambda_{11}, \lambda_{14}, \lambda_{17}, \lambda_{10}$
101-2 In 3	$\lambda_2, \lambda_5, \lambda_8, \lambda_{11}$	$\lambda_{11}, \lambda_{14}, \lambda_{17}, \lambda_{10}$	$\lambda_{12}, \lambda_{15}, \lambda_{18}, \lambda_{13}$

【 図 4 】

【図 9】

	101-1 Out1	101-1 Out2	101-2 Out1	101-2 Out2	101-3 Out1	101-3 Out2	101-3 Out3	101-3 Out4
101-1 In1	λ_1 5, 8, 9, 13, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 33, 34, 35, 45, 51, 57, 59	λ_2 6, 10, 14, 18, 22, 26, 30, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58	λ_3 4, 5, 7, 11, 15, 17, 19, 23, 27, 31, 35, 39, 43, 47, 51, 55, 59	λ_4 16, 28, 48, 52	λ_{15} 35, 55	λ_{11} 31, 51	λ_7 27, 47	λ_3 23, 43
101-1 In2	λ_2 6, 10, 14, 18, 22, 26, 30, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58	λ_3 4, 5, 7, 11, 15, 17, 19, 23, 27, 31, 35, 39, 43, 47, 51, 55, 59	λ_9 21, 33, 45, 57	λ_1 13, 25, 37, 49	λ_{20} 40, 60	λ_{16} 36, 56	λ_{12} 32, 52	λ_8 28, 48
101-2 In1	λ_2 6, 10, 14, 18, 22, 26, 30, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58	λ_3 4, 5, 7, 11, 15, 17, 19, 23, 27, 31, 35, 39, 43, 47, 51, 55, 59	λ_1 3, 4, 7, 10, 13, 15, 16, 19, 23, 27, 31, 35, 39, 43, 47, 51, 55, 59	λ_2 5, 8, 11, 14, 18, 22, 26, 30, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58	λ_{30}	λ_6	λ_{42}	λ_{18}
101-2 In2	λ_4 16, 28, 48, 52	λ_1 13, 25, 37, 49	λ_2 5, 8, 11, 14, 18, 22, 26, 30, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58	λ_{10}	λ_{30}	λ_{46}	λ_{22}	λ_{58}
101-3 In1	λ_{15} 35, 55	λ_{20} 40, 60	λ_3 5, 8, 11, 14, 18, 22, 26, 30, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58	λ_{10}	λ_{15} 35, 55, 59, 61, 65, 69	λ_{27} 17, 22, 47, 52, 57	λ_8 13, 18, 23, 43, 53, 58	λ_9 14, 19, 24, 49, 54, 59
101-3 In2	λ_{11} 31, 51	λ_{16} 36, 56	λ_2 7, 12, 17, 22, 27, 32, 37, 42, 47, 52, 57	λ_6	λ_2 7, 12, 17, 22, 27, 32, 37, 42, 47, 52, 57	λ_8 13, 18, 23, 43, 53, 58	λ_9 14, 19, 24, 49, 54, 59	λ_{10} 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60
101-3 In3	λ_7 27, 47	λ_{12} 32, 52	λ_3 5, 8, 11, 14, 18, 22, 26, 30, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58	λ_{22}	λ_3 5, 8, 11, 14, 18, 22, 26, 30, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58	λ_4 9, 14, 19, 24, 49, 54, 59	λ_{10} 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60	λ_1 6, 11, 16, 21, 26, 31, 36, 37, 42, 47, 52, 57
101-3 In4	λ_3 23, 43	λ_8 28, 48	λ_4 9, 14, 19, 24, 49, 54, 59	λ_{58}	λ_4 9, 14, 19, 24, 49, 54, 59	λ_{15} 35, 55, 59, 61, 65, 69	λ_{27} 17, 22, 47, 52, 57	λ_2 7, 12, 13, 17, 22, 27, 32, 37, 42, 47, 52, 57

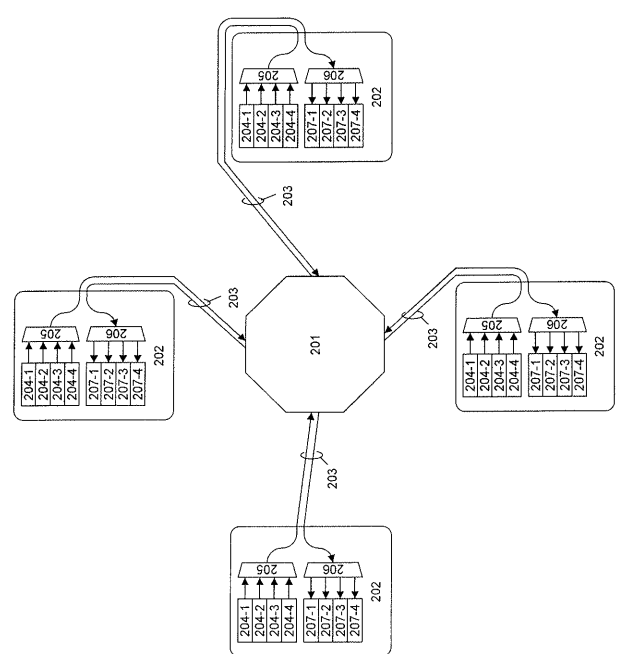
【図 10】



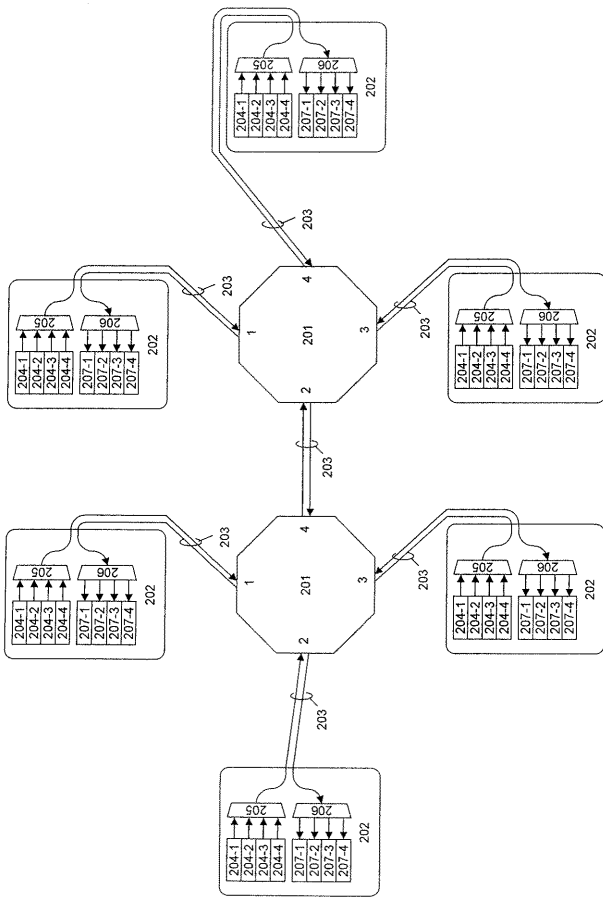
【図 11】

	101-1 Out1	101-2 Out1	101-3 Out1	101-3 Out2	101-3 Out3
101-1 In1	λ_1 3, 4, 5, 9, 12, 13, 16, 17, 19, 21, 25, 28, 29, 33, 37, 39, 40, 41, 43, 45, 49, 52, 55, 57, 59	λ_6 20, 23, 32, 44, 56	λ_{15} 24, 35, 55	λ_{11} 31, 51, 60	λ_7 27, 36, 47
101-1 In2	λ_2 6, 10, 14, 18, 22, 26, 30, 34, 38, 42, 46, 48, 50, 54, 58	λ_8 9, 21, 33, 45, 57	λ_{20} 40, 48, 60	λ_{16} 25, 36, 56	λ_1 12, 32, 52
101-2 In1	λ_2 6, 10, 14, 18, 22, 26, 30, 34, 38, 42, 46, 48, 50, 54, 58	λ_8 9, 21, 33, 45, 57	λ_{20} 40, 48, 60	λ_{16} 25, 36, 56	λ_1 12, 32, 52
101-3 In1	λ_{15} 24, 35, 55	λ_6 20, 23, 32, 44, 56	λ_{11} 31, 51, 60	λ_{16} 25, 36, 56	λ_7 27, 36, 47
101-3 In2	λ_{11} 31, 51, 60	λ_6 20, 23, 32, 44, 56	λ_{15} 24, 35, 55	λ_{16} 25, 36, 56	λ_7 27, 36, 47
101-3 In3	λ_7 27, 36, 47	λ_{12} 32, 52	λ_3 5, 8, 13, 15, 18, 20, 21, 23, 28, 28, 33, 35, 38, 43, 48, 53, 58	λ_2 7, 10, 12, 17, 22, 27, 32, 37, 42, 47, 52, 57	λ_3 5, 8, 13, 18, 23, 28, 33, 38, 43, 48, 53, 58

【図 12】



【図 13】



フロントページの続き

(72)発明者 亀井 新

東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内

F ターム(参考) 5K102 AD01 AL10 PH45