

(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2017-196677

(P2017-196677A)

(43) 公開日 平成29年11月2日(2017.11.2)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
B25J 19/00 (2006.01)	B25J 19/00 F	3C707
H02G 3/36 (2006.01)	H02G 3/36	5G357
H02G 3/04 (2006.01)	H02G 3/04 O75	5G363
H04B 10/275 (2013.01)	H04B 9/00 275	5K102

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 29 頁)

(21) 出願番号	特願2016-87479 (P2016-87479)	(71) 出願人	000005326
(22) 出願日	平成28年4月25日 (2016. 4. 25)		本田技研工業株式会社
		(74) 代理人	110001379
			特許業務法人 大島特許事務所
		(72) 発明者	石▲崎▼ 隆介
			埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会
			社本田技術研究所内
		(72) 発明者	岩崎 慎伍
			埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会
			社本田技術研究所内
		Fターム(参考)	3C707 CY06 CY12 JS06 WA03
			5G357 DB10 DD16 DG04 DG05
			5G363 AA20 BA10 DC10
			5K102 AA51 AL02 AL13 MA01 MB02
			MC15 PA00 PB00

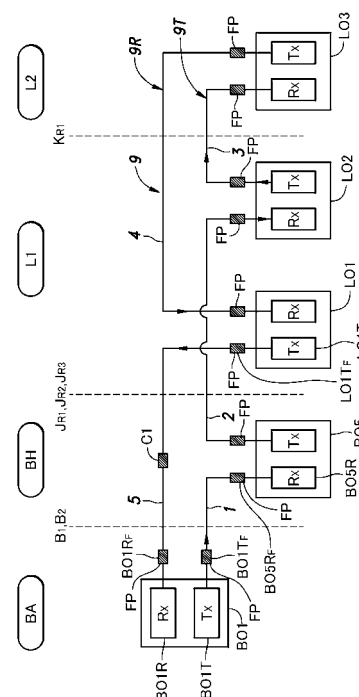
(54) 【発明の名称】 ロボットの制御信号を伝送するための光ファイバ配線構造及び光ファイバネットワーク

(57) 【要約】

【課題】 ロボットの関節を介して敷設される光ファイバケーブル構造及び光ファイバネットワークにおいて、伝送される光信号のパワーを光受信装置が受信し信号処理を行うために必要なパワー以上に保ち、1本当たりの光ファイバケーブルの光信号の減衰を抑制できる光ファイバケーブル構造及び光ファイバネットワークを構成する。

【解決手段】 ロボットR内に敷設される光ファイバ配線構造9において、連結部B₁、B₂、J_{R1}、J_{R2}及びJ_{R3}を介して変位可能に連結されたリンクBA、BH、L1及びL2と、互いに異なるリンクに設けられた光送信装置及び光受信装置BO1、BO5、LO1、LO2及びLO3と、光送信装置と光受信装置とを繋ぐ光ファイバケーブル1、2、3、4及び5を有し、光ファイバケーブルの伝送損失量が光送信装置と光受信装置との光送受信許容レベル差以下であるように構成する。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも 1 つの連結部を介して変位可能に連結された複数のリンクと、
互いに異なるリンクに設けられた光送信装置及び光受信装置と、
少なくとも 1 つの前記連結部を通り、前記光送信装置と前記光受信装置とを繋ぐ光ファイバケーブルを有し、
前記光ファイバケーブルの伝送損失量が前記光ファイバケーブルで接続された前記光送信装置と前記光受信装置との光送受信許容レベル差以下であることを特徴とするロボット
の光ファイバ配線構造。

【請求項 2】

前記連結部は 1 つの回転軸であって、
前記伝送損失量が、前記光ファイバケーブルが通る前記連結部の数と所定の減衰量の積によって表されることを特徴とする請求項 1 に記載のロボットの光ファイバ配線構造。

【請求項 3】

前記伝送損失量が、前記光ファイバケーブルを前記リンクに固定する固定部の数と前記固定部での光の減衰量との積と、前記光ファイバケーブルが通る前記連結部の数と所定の減衰量との積と、前記光ファイバケーブルに設けられたコネクタの個数とコネクタにおける光の減衰量の積との和で表されることを特徴とする請求項 1 に記載のロボットの光ファイバ配線構造。

【請求項 4】

連結部を介して互いに変位可能にかつ複数の前記連結部を介して配置された少なくとも 3 つの直列に連結されたリンクと、
互いに異なる少なくとも 3 つの前記リンクに設けられ、光送信装置と光受信装置とを備える複数の光送受信モジュールを備え、
複数の光ファイバケーブルによって前記複数の光送受信モジュールをリング型に接続する光ファイバネットワークであって、
前記光ファイバケーブルの伝送損失量が前記光ファイバケーブルで接続された前記光送信装置と前記光受信装置との光送受信許容レベル差以下であり、

前記複数のリンクが、

前記光送受信モジュールが設けられたリンクのうち、直列配置された前記複数のリンクの最も一端側に位置する一端側リンクと、

前記光送受信モジュールが設けられたリンクのうち、直列配置された前記複数のリンクの最も他端側に位置する他端側リンクと、

前記一端側リンクと前記他端側リンクとの間に位置し、1 つ又は複数の前記光送受信モジュールを備える 1 つ以上の中間リンクを含み、

前記一端側リンク上の光送受信モジュールの前記光送信装置から、前記中間リンクに設けられた少なくとも 1 つの前記光送受信モジュールを介して、前記他端側リンク上の光送受信モジュールの前記光受信装置まで配線された第 1 光ファイバケーブル列と、

前記他端側リンク上の光送受信モジュールの光送信装置から、前記中間リンクに設けられた少なくとも 1 つの前記光送受信モジュールを介して、前記一端側リンク上の光送受信モジュールの光送信装置まで配線された第 2 光ファイバケーブル列とを含むことを特徴とするロボットの光ファイバネットワーク。

【請求項 5】

前記一端側リンクを第 1 種端リンクとし、

前記他端側リンクを第 2 種端リンクとし、

2 つ以上の光送受信モジュールを備える前記中間リンクを第 3 種端リンクとし、

前記端リンクと当該端リンクに最も少ない数の連結部を介して接続される近接端リンクとの間に連結された 1 つの光送受信モジュールを備える中間リンクが存在しない場合であって、

前記端リンク上の光送受信モジュールの光送信装置と前記近接端リンクの光受信装置と

10

20

30

40

50

の間、及び、前記端リンク上の光送受信モジュールの光受信装置と前記近接端リンク上の光送受信モジュールの光送信装置との間が光ファイバケーブルによって接続されることを特徴とする請求項 4 に記載のロボットの光ファイバネットワーク。

【請求項 6】

前記一端側リンクを第 1 種端リンクとし、

前記他端側リンクを第 2 種端リンクとし、

2 つ以上の光送受信モジュールを備える前記中間リンクを第 3 種端リンクとし、

前記端リンクと当該端リンクに最も少ない数の連結部を介して接続される近接端リンクとの間に連結された 1 つの光送受信モジュールを備える中間リンクとなる介在リンクが存在する場合であって、

前記端リンクの光送受信モジュールと最も少ない数の連結部を介して接続される介在リンクの光送受信モジュールとの間と、前記近接端リンクの光送受信モジュールと最も少ない数の連結部を介して接続される介在リンクの光送受信モジュールとの間とが光ファイバケーブルによって接続され、

前記光ファイバネットワークを構成する他の光ファイバケーブルであって、前記端リンク、前記近接端リンク、及び前記端リンクと前記近接端リンクの間に介挿された介在リンクの 2 つの異なるリンク上の光送受信モジュールに接続する当該光ファイバケーブルの全てにおいて、前記 2 つの異なるリンクの間に介在リンクが 1 つのみ設けられることを特徴とする請求項 4 に記載のロボットの光ファイバネットワーク。

【請求項 7】

前記一端側リンクを第 1 種端リンクとし、

前記他端側リンクを第 2 種端リンクとし、

2 つ以上の光送受信モジュールを備える前記中間リンクを第 3 種端リンクとし、

前記端リンクと当該端リンクに最も少ない数の連結部を介して接続される近接端リンクとの間に連結された 1 つの光送受信モジュールを備える中間リンクとなる介在リンクが存在し、前記介在リンクの数が 2 以上の偶数の場合であって、

前記第 1 又は第 2 光ファイバケーブル列のいずれか一方において、

前記端リンクの光送受信モジュールと前記端リンクに最も少ない数の連結部を介して接続される介在リンクの光送受信モジュールとの間と、

前記介在リンクの光送受信モジュールと、当該介在リンクに対して前記近接端リンク側に 2 番目に少ない数の連結部を介して接続される介在リンク又は近接端リンクの光送受信モジュールとの間とが光ファイバケーブルによって接続され、

前記第 1 又は第 2 光ファイバケーブル列の他方において、

前記近接端リンクの光送受信モジュールと前記端リンクに最も少ない数の連結部を介して接続される介在リンクの光送受信モジュールとの間と、前記介在リンクの光送受信モジュールと、当該介在リンクに対して前記近接端リンク側に 2 番目に少ない数の連結部を介して接続される介在リンク又は前記端リンクの光送受信モジュールとの間とが光ファイバケーブルによって接続されることを特徴とする請求項 4 に記載のロボットの光ファイバネットワーク。

【請求項 8】

前記一端側リンクを第 1 種端リンクとし、

前記他端側リンクを第 2 種端リンクとし、

2 つ以上の光送受信モジュールを備える前記中間リンクを第 3 種端リンクとし、

前記端リンクと当該端リンクに最も少ない数の連結部を介して接続される近接端リンクとの間に連結された 1 つの光送受信モジュールを備える中間リンクとなる介在リンクが存在し、介在リンクの数が 1 の場合であって、

前記第 1 又は第 2 光ファイバケーブル列のいずれか一方において、

前記端リンクの光送受信モジュールと前記端リンクに最も少ない数の連結部を介して接続される介在リンクの光送受信モジュールとの間と、

前記近接端リンクの光送受信モジュールと前記近接端リンクに最も少ない数の連結部を

10

20

30

40

50

介して接続される介在リンクの送受信モジュールとの間とが、光ファイバケーブルによって接続され、

前記第 1 又は第 2 光ファイバケーブル列の他方において、

前記端リンクの光送受信モジュールと近接端リンクの光送受信モジュールとが光ファイバケーブルによって接続されることを特徴とする請求項 4 に記載のロボットの光ファイバネットワーク。

【請求項 9】

前記一端側リンクを第 1 種端リンクとし、

前記他端側リンクを第 2 種端リンクとし、

2 つ以上の光送受信モジュールを備える前記中間リンクを第 3 種端リンクとし、

前記端リンクと当該端リンクに最も少ない数の連結部を介して接続される近接端リンクとの間に連結された 1 つの光送受信モジュールを備える中間リンクとなる介在リンクが存在し、介在リンクの数が 3 以上の奇数の場合であって、

前記第 1 又は第 2 光ファイバケーブル列のいずれか一方において、

前記端リンクの光送受信モジュールと前記端リンクに最も少ない数の連結部を介して接続される介在リンクの光送受信モジュールとの間と、

前記介在リンクの光送受信モジュールと、当該介在リンクに対して前記近接端リンク側に 2 番目に少ない数の連結部を介して接続される介在リンクの光送受信モジュールとの間と、

前記近接端リンクの光送受信モジュールと前記近接端リンクに最も少ない数の連結部を介して接続される介在リンクの送受信モジュールとの間とが、光ファイバケーブルによって接続され、

前記第 1 又は第 2 光ファイバケーブル列の他方において、

前記端リンクの光送受信モジュールと前記端リンクに 2 番目に少ない数の連結部を介して接続される介在リンクの光送受信モジュールとの間と、

前記介在リンクの光送受信モジュールと、当該介在リンクに対して前記近接端リンク側に 2 番目に少ない数の連結部を介して接続される介在リンクの光送受信モジュールとの間と、

前記近接端リンクの光送受信モジュールと前記近接端リンクに 2 番目に少ない数の連結部を介して接続される介在リンクの送受信モジュールとの間とが、光ファイバケーブルによって接続されることを特徴とする請求項 4 に記載のロボットの光ファイバネットワーク。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ロボット内部での信号の伝送手段とその結合によるネットワークに関する。

【背景技術】

【0002】

ロボットの姿勢制御を高速に且つノイズを受けずに制御を行うため、関節の回動軸上に設けられた光送受信装置の間を、光ファイバケーブルを用いて信号伝送を行うロボットが開示されている（例えば、特許文献 1）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2015-174208 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、ロボットに設けられた多数の関節を制御するためには、異なるリンクに設けられた光送受信装置を備える多数の姿勢制御処理装置の間を光信号によって通信する

10

20

30

40

50

ことが求められる。光送受信装置間は光ファイバケーブルを用いて接続され、ロボットの関節を連動して制御するための光ファイバネットワークが構成される。異なるリンクに設けられた光送受信装置の間の通信に用いられる光ファイバケーブルは、複数の回動軸を備えた関節部を通して敷設される。関節部を通して敷設される光ファイバケーブルは関節部で屈曲可能に設けられ、光信号はその光ファイバケーブルの屈曲部を通過する度に減衰する。光信号は関節部に生じる多数の屈曲部を通過するため、光送信装置から送信された光信号のパワーが光ファイバケーブルを伝搬し光受信装置によって受信された時に大きく減衰し、光受信装置が受信し信号処理を行うために必要なパワーに満たなくなってしまう虞があった。

【0005】

本発明は、以上の背景を鑑み、ロボットの関節を介して敷設される光ファイバケーブル構造及び光ファイバネットワークにおいて、伝送される光信号のパワーを光受信装置が受信し信号処理を行うために必要なパワー以上に保ち、1本当たりの光ファイバケーブルの光信号の減衰を抑制できる光ファイバケーブル構造及び光ファイバネットワークを構成することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記課題を解決するために、ロボットの光ファイバ配線構造(9、19、29)は、少なくとも1つの連結部($B_1 \cdot B_2$ 、 $J_{R1} \cdot J_{R2} \cdot J_{R3}$ 、 K_{R1} 、 $S_{R1} \cdot S_{R2} \cdot S_{R3} \cdot S_{R4}$ 、 $E_{R1} \cdot E_{R2}$ 、 $B_1 \cdot N_1$)を介して変位可能に連結された複数のリンク($BA \cdot BH \cdot L1 \cdot L2$ 、 $BA \cdot A1 \cdot A2$ 、 $BL1 \cdot BA \cdot NL1$)と、互いに異なるリンクに設けられた光送信装置及び光受信装置($BO1 \cdot BO5 \cdot LO1 \cdot LO2 \cdot LO3$ 、 $BO1 \cdot BO3 \cdot AO1 \cdot AO3$ 、 $BO1 \cdot BO2 \cdot BO4 \cdot NO1$)と、少なくとも1つの前記連結部を通り、前記光送信装置と前記光受信装置とを繋ぐ光ファイバケーブル(1~5、11・12・14・15、21~24)を有し、前記光ファイバケーブルの伝送損失量が前記光ファイバケーブルで接続された前記光送信装置と前記光受信装置との光送受信許容レベル差以下であるとよい。

【0007】

この態様によれば、光送信装置から光ファイバ配線構造を介して光受信装置に光信号が伝搬され、光受信装置が光信号を受信し信号処理を行うことが可能となる。

【0008】

また、上記の態様において、前記連結部は1つの回動軸であって、前記伝送損失量が、前記光ファイバケーブルが通る前記連結部の数と所定の減衰量の積によって表されると良い。

【0009】

この態様によれば、関節に設けられた連結部に敷設される光ファイバ配線構造の屈曲部を介して光信号が伝送される場合の光ファイバ配線構造の屈曲部を通過する光信号の伝送減衰量が評価され、求められる伝送減衰量に基づいて光ファイバ配線構造を構成することが可能となる。

【0010】

また、上記の態様において、ロボットの光ファイバ配線構造(9、19、29)において、前記伝送損失量が、前記光ファイバケーブルを前記リンクに固定する固定部($BO1T_F$ 、 $BO1R_F$ 、 $BO5R_F$ 、 $LO1T_F$ 、 FP)の数と前記固定部での光の減衰量との積と、前記光ファイバケーブルが通る前記連結部の数と所定の減衰量との積と、前記光ファイバケーブルに設けられたコネクタ($C1$ 、 $C11$ 、 $C12$ 、 $C13$ 、 $C21$ 、 $C22$)の個数とコネクタにおける光の減衰量との積との和で表されると良い。

【0011】

この態様によれば、関節に設けられた連結部に敷設される光ファイバ配線構造の屈曲部及び光ファイバ配線構造を構成する光ファイバケーブルに設けられたコネクタを介して光信号が伝送される場合の光ファイバ配線構造の屈曲部及びコネクタを通過する光信号の伝

10

20

30

40

50

送減衰量を評価し、求められる伝送減衰量に基づいて光ファイバ配線構造を構成することが可能となる。

【0012】

また、上記の態様において、ロボットの光ファイバネットワーク（9、29、39）において、連結部を介して互いに変位可能にかつ複数の前記連結部を介して配置された少なくとも3つの直列に連結されたリンク（BA・BH・L1・L2、BL1・BA・NL1、Z1～Z14）と、互いに異なる少なくとも3つの前記リンクに設けられ、光送信装置と光受信装置とを備える複数の光送受信モジュール（BO1・BO5・LO1・LO2・LO3、BO1・BO2・BO4・NO1、ZO）を備え、複数の光ファイバケーブル（1～5、21～24、39T₁～39T₈・39R₁～39R₈）によって前記複数の光送受信モジュールをリング型に接続する光ファイバネットワークであって、前記光ファイバケーブルの伝送損失量が前記光ファイバケーブルで接続された前記光送信装置と前記光受信装置との光送受信許容レベル差以下であり、前記複数のリンクが、前記光送受信モジュールが設けられたリンクのうち、直列配置された前記複数のリンクの最も一端側に位置する一端側リンク（BA、BL1、Z1）と、前記光送受信モジュールが設けられたリンクのうち、直列配置された前記複数のリンクの最も他端側に位置する他端側リンク（L2、NL1、Z14）と、前記一端側リンクと前記他端側リンクとの間に位置し、1つ又は複数の前記光送受信モジュールを備える1つ以上の中間リンク（BH・L1、BA、Z2～Z13）を含み、前記一端側リンク上の光送受信モジュールの前記光送信装置から、前記中間リンクに設けられた少なくとも1つの前記光送受信モジュール（BO5・LO2、BO4、Z3・Z5・Z8・Z10・Z13）を介して、前記他端側リンク上の光送受信モジュールの前記光受信装置まで配線された第1光ファイバケーブル列（9T、29T、39T）と、前記他端側リンク上の光送受信モジュールの光送信装置から、前記中間リンクに設けられた少なくとも1つの前記光送受信モジュール（LO1、BO1、Z2・Z4・Z6・Z9・Z12）を介して、前記一端側リンク上の光送受信モジュールの光送信装置まで配線された第2光ファイバケーブル列（9R、29R、39R）とを含むように構成するとよい。

【0013】

少なくとも3つの直列に連結されたリンクによって構成されるリンク列に敷設された光ファイバネットワークがリンク列の両端に設けられた光送受信モジュール間を直に繋ぐ光ファイバケーブルであって最も多くの連結部を通過する光ファイバケーブルを含まない。この態様によれば、リンク列の両端に設けられた光送受信モジュール間を直に光ファイバケーブルによって接続することなく、光ファイバネットワークを構成することが可能となる。

【0014】

また、上記の態様において、ロボットの光ファイバネットワーク（9、29）において、前記一端側リンクを第1種端リンク（BA、BL1）とし、前記他端側リンクを第2種端リンク（L2、NL1）とし、2つ以上の前記光送受信モジュールを備える前記中間リンクを第3種端リンク（L1、BA）とし、前記端リンクと当該端リンクに最も少ない数の連結部を介して接続される近接端リンクとの間に連結された1つの光送受信モジュールを備える前記中間リンクが存在しない場合（図3のL1とL2の場合、図6のBL1とBAの場合、図6のBAとNL1の場合）であって、前記端リンク上の前記光送受信モジュールの光送信装置と前記近接端リンクの光受信装置との間、及び、前記端リンク上の光送受信モジュールの光受信装置と前記近接端リンク上の前記光送受信モジュールの光送信装置との間が前記光ファイバケーブル（3・4、21・22、23・24）によって接続されるとよい。

【0015】

この態様によれば、端リンクと近接端リンクとが中間リンクを介さず接続される時に、端リンクの光送受信モジュールと近接端リンクの光送受信モジュールとを光ファイバケーブルによって接続し、光ファイバ配線構造を構成することが可能となる。

【0016】

また、上記の態様において、ロボットの光ファイバネットワーク（9、39）において、前記一端側リンクを第1種端リンク（BA、Z1）とし、前記他端側リンクを第2種端リンク（L2、Z14）とし、2つ以上の光送受信モジュールを備える前記中間リンクを第3種端リンク（L1、Z7・Z11）とし、前記端リンクと当該端リンクに最も少ない数の連結部を介して接続される近接端リンクとの間に連結された1つの光送受信モジュールを備える中間リンクとなる介在リンク（BH、Z2～Z6・Z8～Z10・Z12・Z13）が存在する場合であって、前記端リンク（BA、Z1・Z7・Z11）の光送受信モジュールと最も少ない数の連結部を介して接続される介在リンク（BH、Z2・Z8・Z12）の光送受信モジュールとの間と、前記近接端リンク（L1、Z7・Z11・Z14）の光送受信モジュールと最も少ない数の連結部を介して接続される介在リンク（BH、Z6・Z10・Z13）の光送受信モジュールとの間とが接続された光ファイバケーブル（1・2、39R₈・39R₅・39T₄・39T₆・39R₂・39T₈）を1本ずつ備え、前記光ファイバネットワークを構成する他の光ファイバケーブルであって、前記端リンク、前記近接端リンク、及び前記端リンクと前記近接端リンクの間に介挿された前記介在リンクの2つの異なるリンク（BA・L1、Z1・Z3、Z2・Z4、Z3・Z5、Z4・Z6、Z5・Z7、Z7・Z9、Z8・Z10、Z9・Z11、Z11・Z13、Z12・Z14）上の光送受信モジュールに接続する当該光ファイバケーブル（5、39T₁・39T₂・39T₃・39T₅・39T₇・39R₁・39R₃・39R₄・39R₆・39R₇）の全てにおいて、前記2つの異なるリンクの間に介在リンク（BH、Z2・Z3・Z4・Z5・Z6・Z8・Z9・Z10・Z12・Z13）が1つのみ設けられるようにすると良い。

【0017】

この態様によれば、ロボットの光ファイバネットワークを、端リンクの光送受信モジュールと最も少ない数の連結部を介して接続される介在リンクに光送受信モジュールとを繋ぐ光ファイバケーブルと、1つの介在リンクを介する光ファイバケーブルとによって構成され、2つの介在リンクを介する場合に比べて少ない数の連結部を通過する光ファイバケーブルによって、光ファイバネットワークを構成することが可能となる。

【0018】

また、上記の態様において、ロボットの光ファイバネットワーク（39）において、前記一端側リンクを第1種端リンク（Z1）とし、前記他端側リンクを第2種端リンク（Z14）とし、2つ以上の光送受信モジュールを備える前記中間リンクを第3種端リンク（Z7、Z11）とし、前記端リンク（Z11）と当該端リンクに最も少ない数の連結部を介して接続される近接端リンク（Z14）との間に連結された1つの光送受信モジュールを備える中間リンクとなる介在リンク（Z12・Z13）が存在し、介在リンクの数が2以上の偶数の場合であって、前記第1又は第2光ファイバケーブル列のいずれか一方（39R）において、前記端リンク（Z11）の光送受信モジュールと前記端リンクに最も少ない数の連結部を介して接続される介在リンク（Z12）の光送受信モジュールとの間と、前記介在リンクの光送受信モジュールと、当該介在リンクに対して前記近接端リンク側に2番目に少ない数の連結部を介して接続される介在リンク又は近接端リンク（Z14）の光送受信モジュールとの間とが光ファイバケーブル（39R₂、39R₁）によって接続され、前記第1又は第2光ファイバケーブル列の他方（39T）において前記近接端リンク（Z14）の光送受信モジュールと前記端リンクに最も少ない数の連結部を介して接続される介在リンク（Z13）の光送受信モジュールとの間と、前記介在リンクの光送受信モジュールと当該介在リンクに対して前記近接端リンク側に2番目に少ない数の連結部を介して接続される介在リンク又は端リンク（Z11）の光送受信モジュールとの間とが光ファイバケーブル（39T₈、39T₇）によって接続されると良い。

【0019】

この態様によれば、介在リンクの数が2以上の偶数の場合の第1又は第2光ファイバケーブル列が、端リンク又は近接端リンク上の光送受信モジュールと最も少ない数の連結部

を介して接続される介在リンク上の光送受信モジュールとを繋ぐ光ファイバケーブルと、介在リンクから一端側から他端側又は他端側から一端側へ向かう向きに2番目に少ない数の連結部を介して接続される端リンク、近接端リンク又は介在リンク上の光送受信モジュール間を繋ぐ光ファイバケーブルとによって構成されるため、第1又は第2光ファイバケーブル列が介在リンクから一端側から他端側又は他端側から一端側へ向かう向きに3番目に少ない数の連結部を介して接続される端リンク、近接端リンク又は介在リンクの間を繋ぐ光ファイバケーブルによって構成される時に比べて、少ない数の連結部を通過する光ファイバケーブルによって光ファイバネットワークが構成される。

【0020】

また、上記の態様において、ロボットの光ファイバネットワークにおいて、前記一端側リンクを第1種端リンク（図3のBA）とし、前記他端側リンクを第2種端リンク（L2）とし、2つ以上の光送受信モジュールを備える前記中間リンクを第3種端リンクとし（L1）、前記端リンク（BA）と当該端リンクに最も少ない数の連結部を介して接続される近接端リンク（L1）との間に連結された1つの光送受信モジュールを備える中間リンクとなる介在リンク（BH）が存在し、介在リンクの数が1の場合であって、前記第1又は第2光ファイバケーブル列のいずれか一方（9T）において、前記端リンク（BA）の光送受信モジュールと前記端リンクに最も少ない数の連結部を介して接続される介在リンク（BH）の光送受信モジュールとの間と、前記近接端リンク（L1）の光送受信モジュールと前記近接端リンクに最も少ない数の連結部を介して接続される介在リンク（BH）の送受信モジュールとの間とが、光ファイバケーブル（1・2）によって接続され、前記第1又は第2光ファイバケーブル列（9R）の他方において、前記端リンクの光送受信モジュールと近接端リンクの光送受信モジュールとが光ファイバケーブル（5）によって接続されると良い。

【0021】

この態様によれば、介在リンクの数が1の場合の第1光ファイバケーブル列において、一端側から他端側へ向かう向きに光ファイバケーブルが配線され、第2光ファイバケーブル列において他端側から一端側へ向かう向きに光ファイバケーブルが配線され、光ファイバネットワークが構成される。

【0022】

また、上記の態様において、前記一端側リンクを第1種端リンク（Z1）とし、前記他端側リンクを第2種端リンク（Z14）とし、2つ以上の光送受信モジュールを備える前記中間リンクを第3種端リンク（Z7、Z11）とし、前記端リンク（Z1、Z7）と当該端リンクに最も少ない数の連結部を介して接続される近接端リンク（Z7、Z11）との間に連結された1つの光送受信モジュールを備える中間リンクとなる介在リンク（Z2～Z6、Z8～Z10）が存在し、介在リンクの数が3以上の奇数の場合であって、前記第1又は第2光ファイバケーブル列のいずれか一方（39R、39T）において、前記端リンク（Z1、Z7）の光送受信モジュールと前記端リンクに最も少ない数の連結部を介して接続される介在リンク（Z2、Z8）の光送受信モジュールとの間と、前記介在リンク（Z2・Z4、Z8）の光送受信モジュールと、前記介在リンクに対して前記近接端リンク側に2番目に少ない数の連結部を介して接続される介在リンク（Z4・Z6、Z10）の光送受信モジュールとの間と、前記近接端リンク（Z7、Z11）の光送受信モジュールと前記近接端リンクに最も少ない数の連結部を介して接続される介在リンク（Z6、Z10）の送受信モジュールとの間とが光ファイバケーブルによって接続され、前記第1又は第2光ファイバケーブル列の他方（39T、39R）において、前記端リンク（Z1、Z7）の光送受信モジュールと前記端リンクに2番目に少ない数の連結部を介して接続される介在リンク（Z3、Z9）の光送受信モジュールとの間と、前記介在リンク（Z3・Z5、Z9）の光送受信モジュールと、前記介在リンクに対して前記近接端リンク側に2番目に少ない数の連結部を介して接続される介在リンク（Z5）又は近接端リンク（Z5、Z11）との間とが光ファイバケーブルによって接続されるとよい。

【0023】

この態様によれば、介在リンクの数が3以上の奇数の場合の第1又は第2光ファイバケーブル列が、端リンク又は近接端リンク上の光送受信モジュールと最も少ない数の連結部を介して接続される介在リンク上の光送受信モジュールとを繋ぐ光ファイバケーブルと、介在リンクから一端側から他端側又は他端側から一端側へ向かう向きに2番目に少ない数の連結部を介して接続される端リンク、近接端リンク又は介在リンク上の光送受信モジュール間を繋ぐ光ファイバケーブルとによって構成されるため、第1又は第2光ファイバケーブル列が介在リンクから一端側から他端側又は他端側から一端側へ向かう向きに3番目に少ない数の連結部を介して接続される端リンク、近接端リンク又は介在リンクの間を繋ぐ光ファイバケーブルによって構成される時に比べて、少ない数の連結部を通過する光ファイバケーブルによって光ファイバネットワークが構成される。

10

【発明の効果】

【0024】

以上の構成によれば、ロボットの関節を介して敷設される光ファイバケーブル構造及び光ファイバネットワークにおいて、伝送される光信号のパワーを光受信装置が受信し信号処理を行うために必要なパワー以上に保ち、1本当たりの光ファイバケーブルの光信号の減衰を抑制できる光ファイバ配線構造及び光ファイバネットワークを構成することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】本発明の関節機構を有するロボット外観を示す斜視図

20

【図2】図1のロボットの連結部及び光送受信モジュールの配置を示す模式図

【図3】本発明の第1実施形態に係る光ファイバネットワークの接続を示す模式図

【図4】図3の伝送損失量が最も大きい光ファイバケーブルにおける光信号のパワーの伝送距離依存性を示すグラフ

【図5】本発明の第2実施形態に係る光ファイバネットワークの接続を示す模式図

【図6】本発明の第3実施形態に係る光ファイバネットワークの接続を示す模式図

【図7】本発明の第4実施形態に係る光ファイバネットワークの接続を示す模式図

【発明を実施するための形態】

【0026】

以下、図面を参照して、本発明を実施の一形態であるロボットRについて、図面を参照して説明する。

30

【0027】

図1に示されるように、ロボットRは、自律的に歩行・走行を行う2脚歩行式ロボットである。以下の説明において、ロボットRの前後方向をX軸、左右方向をY軸、上下方向をZ軸とする。ロボットRは、頭部H、2本の腕部A_L及びA_R、上体部B及び2本の脚部L_L及びL_Rを備える。頭部HはロボットRの基体部である上体部Bに首関節部Nを介して連結されている。上体部Bの左側には肩関節部S_Lを介して腕部A_Lが連結されている。上体部Bの右側には、肩関節部S_Rを介して腕部A_Rが連結されている。上体部Bの下面左側に股関節部J_Lを介して脚部L_Lが連結されている。上体部Bの下面右側に、股関節部J_Rを介して脚部L_Rが連結されている。上体部Bの背面には、頭部H、上体部B、腕部A_L、A_R及び脚部L_L、L_Rの制御を行うための制御装置搭載部Cが設けられている。

40

【0028】

脚部L_RはリンクL1をその上部に備え、リンクL1の上端が股関節部J_Rを介して上体部Bの下端右側に連結している。膝関節部K_RがリンクL1の下端に設けられており、リンクL1が膝関節部K_Rを介してリンクL2と連結している。リンクL2の下端には、足首関節部F_Rを介して、地面に当接する足部I_Rが備えられている。

【0029】

腕部A_Rはその上部にリンクA1を備え、リンクA1の上端は肩関節部S_Rを介して上体部Bの上部右側に連結している。リンクA1の下端に肘関節部E_Rが設けられており、

50

リンク A 1 は肘関節部 E_R を介してリンク A 2 と連結している。リンク A 2 の下端に、物品を把持するために人の手の形状とされた把持部 G_R が手首関節部 W_R を介して設けられている。

【0030】

図 2 に示されるように、ロボット R の内部には、リンクと関節部内部に設けられ隣接配置された一対のリンクを連結する連結部とが複数設けられている。連結部は一方のリンクに対して他方のリンクを 1 軸に回動可能に連結している。連結部の回動方向は、X 軸を中心とする回転（ロール）、Y 軸を中心とする回転（ピッチ）、Z 軸を中心とする回転（ヨー）の 3 種から成り、それらの組み合わせによって関節部における複数の自由度を有する回動が可能となる。ロボット R を構成するリンク上に関節部の回動をサーボモータによって制御する姿勢制御装置が設けられ、姿勢制御に用いるための光信号を送受信する光送受信モジュールが姿勢制御装置に接続され、光送受信モジュールを接続する光ファイバケーブルがロボット R に敷設される。光送受信モジュール及び光送受信モジュールと、それらを接続する複数の光ファイバケーブルとを備える光ファイバネットワークによって、ロボット R の姿勢制御を行うための光信号を伝送することが可能となる。

10

【0031】

首関節部 N には頭部 H と上体部 B とを接続し頭部 H を上体部 B に対して変位させるための連結部 N_1 及び N_2 とリンク NL 1 とが備えられている。リンク NL 1 は上体部 B の上方に連結部 N_1 を介して連結され、リンク NL 1 は連結部 N_1 によって上体部 B に対して Y 軸回りに回動することができる。リンク NL 1 の上方に頭部 H が連結部 N_2 を介して連結され、頭部 H をリンク NL 1 に対して Z 軸回りに回動することができる。リンク NL 1 に光送受信モジュール NO 1 が設けられている。

20

【0032】

上体部 B はその上部に上体部本体 BA を有する。上体部本体 BA の下端には、上から順番に上体部本体 BA、連結部 B_1 、連結部 B_1 に連結するリンクである BL 1、リンク BL 1 に接続する連結部 B_2 、及び、連結部 B_2 に連結する臀部 BH が連結されている。連結部 B_1 及び B_2 はそれぞれ上体部本体 BA の臀部 BH に対する Z 軸及び Y 軸回りの回動が可能となるように連結している。上体部本体 BA 及びリンク BL 1 に光送受信モジュール BO 1 及び BO 2 がそれぞれ設けられている。上体部本体 BA の上部左端及び上部右端に左右の肩関節部 S_R 及び S_L を介して腕部 A_R が連結されている。肩関節部 S_R には、腕部 A_R の上体部本体 BA に対する Z 軸回りの回動を可能とする連結部 S_{R1} 及び S_{R2} と、Y 軸回りの回動を可能とする S_{R3} と、X 軸回りの回動を可能とする S_{R4} と、 S_{R1} 及び S_{R2} 、 S_{R2} 及び S_{R3} 、 S_{R3} 及び S_{R4} を繋ぐリンクとが備えられている。上体部本体 BA の上部左端の肩関節部 S_R との連結部には肩関節部 S_R の回動を制御するための光信号を送受信する光送受信モジュール BO 3 及び BO 4 が備えられている。臀部 BH の左端であって股関節部 J_R との連結部には、股関節部 J_R の回動を制御するための光送受信モジュール BO 5 が備えられている。

30

【0033】

脚部 L_R は、その上部にリンク L 1 を備える。脚部 L_R の上端であるリンク L 1 の上端は、股関節部 J_R を介して、臀部 BH に臀部 BH の下部で右側から連結している。股関節部 J_R にはリンク L 1 を臀部 BH に対して Z 軸回りの回動を行うための J_{R1} 、Y 軸回りの回動を行うための J_{R2} 、X 軸回りの回動を行うための J_{R3} が設けられている。リンク L 1 の下端には、膝関節部 K_R が設けられている。リンク L 1 は、膝関節部 K_R を介してリンク L 2 に連結している。膝関節部 K_R に 1 つの連結部 K_{R1} が設けられており、連結部 K_{R1} によってリンク L 2 はリンク L 1 に対して Y 軸回りに回動する。リンク L 2 の下端には、足首関節部 F_R が備えられており、リンク L 2 は足首関節部 F_R を介して足部 I_R に連結している。リンク L 1 の上端及び下端には、光送受信モジュール LO 1 及び LO 2 が設けられており、リンク L 2 の下端には、光送受信モジュール LO 3 が備えられている。

40

【0034】

50

腕部 A_R はその上部にリンク A_1 を備え、リンク A_1 の上端は肩関節部 S_R を介して上体部本体 B_A の上部右端に連結される。リンク A_1 の下端は肘関節部 E_R を介してリンク A_2 の上端に接続する。肘関節部 E_R にはリンク A_2 をリンク A_1 に対して Y 軸回りの回動可能に連結する連結部 E_{R1} と、リンク A_2 をリンク A_1 に対して X 軸回りの回動可能に連結する連結部 E_{R2} と、連結部 E_{R1} と連結部 E_{R2} とを連結するリンクが設けられている。リンク A_2 の下端は手首関節部 W_R を介して把持部 G_R に連結している。リンク A_1 の上端に光送受信モジュール AO_1 が設けられ、リンク A_2 の上端及び下端にはそれぞれ光送受信モジュール AO_2 と AO_3 とが備えられている。

【0035】

光送受信モジュール NO_1 、 BO_1 、 BO_2 、 BO_3 、 BO_4 、 BO_5 、 LO_1 、 LO_2 、 LO_3 、 AO_1 、 AO_2 及び AO_3 はそれぞれ光送信装置及び光受信装置を1個ずつ備える。光送信装置には1本の光ファイバケーブルの一端が接続され、光送信装置は光ファイバケーブルに入射した時にパワーが P_{in} (dBm) である光信号を光ファイバケーブルに入射する。入射された光信号は光ファイバケーブルを伝播し、光ファイバケーブルの他端側に接続された光受信装置に到達する。光受信装置は光送信装置から送信され光ファイバケーブルを伝搬し光受信装置に到達した光信号を受信し、光ファイバケーブルの終端部においてパワーが P_{min} (dBm) 以上である光信号を信号処理することができるように構成されている。

【0036】

光送信装置が送信する光信号は0又は1の信号からなるデジタル信号であり、本明細書に記載の光信号が光ファイバケーブルに入射した時にパワーが P_{in} (dBm) であるとは、1の信号を送信するときに光送信装置が送信する光信号の光ファイバケーブルに入射した時のパワーが P_{in} (dBm) であることを意味する。

【0037】

ここでは、光のパワーは1mWを0dBとする光電力をデシベル (dB) で表した dBm を単位として表記する。光のパワーが P_W (mW) であるとき dBm を単位とする光のパワー P_{dB} (dBm) は $P_{dB} = 10 \times \log_{10} P_W$ と表される。例えば、光のパワーが1W (1×10^3 (mW)) である時には dBm を単位とする光のパワーは30dBmとなる。光のパワーが P_{W1} (mW) 及び P_{W2} (mW) であるとき、dBm を単位とする光のパワー P_{dB1} (dBm) 及び P_{dB2} (dBm) はそれぞれ $P_{dB1} = 10 \times \log_{10} P_{W1}$ (dBm) 及び $P_{dB2} = 10 \times \log_{10} P_{W2}$ (dBm) であり、光のパワー P_{dB1} (dB) から P_{dB2} (dBm) を引いた $P_{dB1} - P_{dB2}$ (dB) は、 $P_{dB2} - P_{dB1} = 10 \times \log_{10} (P_{W1} / P_{W2}) = -10 \times \log_{10} (P_{W2} / P_{W1})$ (dB) と表され、ワット表記したパワー P_{W1} (mW) に対する P_{W2} (mW) の比の10を底とする対数 (常用対数) を取り、 -10 倍したものとなっている。

【0038】

光送受信許容レベル差 ΔP (dB) は光ファイバケーブルに入射した時の光信号のパワー P_{in} (dB) から光受信装置が受信し処理を行うために要する光信号のパワー P_{min} (dB) を引いたものであって、 $\Delta P = P_{in} - P_{min}$ (dB) と表される。光送受信許容レベル差は、送信される光のパワーと処理可能に受信される光のパワーとによって決められ、光送受信モジュールに依存する物理量で決定される。光送受信許容レベル差は光送信装置から送信された光信号が光受信装置によって処理可能に受信される時の光ファイバケーブルの最大の減衰量に相当する。光送信装置と光受信装置との間に接続された光ファイバケーブルの減衰量が光送受信許容レベル差以下である時は光送信装置から送信された光信号が光受信装置で処理可能に受信され、光送受信許容レベル差より大きい時は光送信装置から送信され光受信装置に到達した光信号のパワーが、光受信装置が受信し信号処理を行うために必要なパワーに満たず、到達した光信号を光受信装置が処理することができない。

【0039】

10

20

30

40

50

ここでは、光の減衰量はデシベル (dB) を単位として表記する。mW を単位として表記されたパワーが P_{W1} (mW) である光が減衰部に入射し mW を単位として表記されたパワーが P_{W2} (mW) である光が透過してくるとき、デシベル (dB) を単位として表記される減衰部の減衰量 Λ (dB) は、 $\Lambda = -10 \times \log_{10} (P_{W2} / P_{W1}) = P_{dB1} - P_{dB2}$ (dB) と表される。減衰量 Λ (dB) を用いて、パワー P_{W2} (mW) は、 $P_{W2} = P_{W1} \times 10^{-0.1 \times \Lambda}$ (mW) と表される。

【0040】

関節を構成するリンクに敷設される時に、光ファイバケーブルは光送信装置及び光受信装置及び連結部の近傍に設けられた固定部においてリンクに係止される。固定部を通過する時に光ファイバケーブルを伝播する光は所定の減衰量である固定部減衰量 α_f (dB) 分、減衰する。光ファイバケーブルが連結部を跨いで設けられる時は、光ファイバケーブルは屈曲されて連結部の回動軸に敷設される。光ファイバケーブルは連結部で屈曲されるため、光ファイバケーブルを伝播する光は、連結部を通過する時に、所定の減衰量である連結部減衰量 α_l (dB) 分、減衰する。2本の光ファイバケーブルは、コネクタによって接続することが可能であり、コネクタを通過する光は、コネクタを通過時に、所定の減衰量であるコネクタ減衰量 α_c (dB) 分、減衰する。ロボット R に設けられる光ファイバケーブルは全て十分短く、光ファイバケーブル中の伝送による減衰量は上記 α_f (dB)、 α_l (dB)、 α_c (dB) よりも十分少ない。

【0041】

固定部は光ファイバケーブルをリンクに接着して光ファイバケーブルをリンクに固定する態様や光ファイバケーブルをリンクに結束し光ファイバケーブルをリンクから所定の距離以上離れることを規制する態様によって構成することが可能である。

【0042】

ロボット R が駆動し連結部に接続されたリンクを変位させることによって、連結部において光ファイバケーブルの屈曲や伸張が繰り返され、光ファイバケーブルは連結部においてその屈曲や伸張の頻度に応じた損傷を受ける。光ファイバケーブルの損傷が多いほど光信号は大きく減衰されるため、連結部に接続されたリンクの変位が繰り返されることによって、連結部減衰量 α_l (dB) は増加する。連結部減衰量 α_l (dB) は、連結部に接続されたリンクの変位の頻度や、光ファイバケーブルの損傷度合の経年変化を加味して決められる。

【0043】

光ファイバケーブルと光送受信モジュールとを接続し、光通信を行うことで、ロボット R の姿勢制御を行う。光信号が1本の光ファイバケーブルを介して伝送され光送受信モジュールの処理可能に送受信されるためには光ファイバケーブルの減衰量が光送受信許容レベル差以下でなければならない。本発明に係る実施形態では、光ファイバケーブルにおける減衰として、固定部減衰量、連結部減衰量、及びコネクタ減衰量を考慮する。固定部減衰量は光ファイバケーブルに設けられた固定部の数と固定部減衰量 α_f (dB) の積である (固定部の個数) $\times$ (固定部減衰量) として表される。連結部減衰量は、光ファイバケーブルに設けられた連結部の数と連結部減衰量 α_l (dB) の積である (連結部の個数) $\times$ (連結部減衰量) として表される。コネクタ減衰量は、光ファイバケーブルに設けられたコネクタの数とコネクタ減衰量 α_c (dB) の積である (コネクタの個数) $\times$ (コネクタ減衰量) として表される。光ファイバケーブルにおける全減衰量である伝送損失量は、固定部、連結部及びコネクタを光信号が通過する時に受ける減衰量との総和であり、下式 (1) と表される。

(伝送損失量) = (固定部の個数) $\times$ (固定部減衰量) + (連結部の個数) $\times$ (連結部減衰量) + (コネクタの個数) $\times$ (コネクタ減衰量) (1)

光通信が光送受信モジュールで処理可能に送受信されるためには、光ファイバケーブルの伝送損失量が光送受信許容レベル差以下でなければならない、下式 (2) の条件式を満たすように光ファイバケーブルが配線される。

(光送受信許容レベル差) $\geq$ (固定部の個数) $\times$ (固定部減衰量) + (連結部の個数) $\times$

(連結部減衰量) + (コネクタの個数) × (コネクタ減衰量) (2)

【0044】

光ファイバケーブルにおける固定部、連結部及びコネクタ部以外の減衰を考慮し、マージンとして所定の零以上の数値である安全率を設け、光送受信モジュールの光送受信許容パワー差が光ファイバケーブルの伝送損失と安全率との和以上とし、下式(3)を、光ファイバケーブルが満たすべき条件式とすることも可能である。

(光送受信許容レベル差) ≥ (固定部の個数) × (固定部減衰量) + (連結部の個数) × (連結部減衰量) + (コネクタの個数) × (コネクタ減衰量) + (安全率) (3)

【0045】

光送受信モジュール及び光送受信モジュールとそれらを接続する複数の光ファイバケーブルとを備える光ファイバネットワークにおいて光信号が送受信され、ロボットRの姿勢制御が行われる。ネットワーク上を伝搬する全ての光信号が光送受信モジュールで処理可能に送受信されるためには、ネットワークを構成する全ての光ファイバケーブルとその光ファイバケーブルに接続された光送受信モジュールとの組み合わせにおいて上記式(2)(又は所望によって上記式(3))を満たさなければならない。

【0046】

<<第1実施形態>>

図3に示されるように、本発明における第1の実施形態に係るロボットRに敷設される光ファイバネットワーク9は光送受信モジュールBO1、BO5、LO1、LO2及びLO3とそれらに接続される光ファイバケーブル1、2、3、4及び5を備える。光送受信モジュールBO1は上部部本体BAに設けられ、上部部本体BAは連結部B₁及びB₂を介して光送受信モジュールBO5を備える臀部BHに連結している。光送受信モジュールBO5を備える臀部BHは、連結部J_{L1}、J_{L2}及びJ_{L3}を介して、光送受信モジュールLO1及びLO2を備えるリンクL1に連結している。光送受信モジュールLO1及びLO2を備えるリンクL1は連結部K_{R1}を介してリンクL2に連結している。上部部本体BA、臀部BH、リンクL1及びリンクL2は順番に直列に接続され、光送受信モジュールBO1、BO5、LO1、LO2及びLO3は直列に接続されたリンク上に設けられている。

【0047】

光ファイバケーブル1は、光送受信モジュールBO1の光送信装置BO1Tから、光送受信モジュールBO1の光送信装置BO1Tの近傍に設けられた固定部BO1T_F(以下固定部を総称してFPと呼ぶ)、2つの連結部B₁及びB₂及び光送受信モジュールBO5の光受信装置BO5Rの近傍に設けられた固定部BO5R_Fを通過し、光送受信モジュールBO5の光受信装置BO5Rに接続される。光ファイバケーブル2は、光送受信モジュールBO5の光送信装置から、光送受信モジュールBO5の近傍に設けられた固定部FP、3つの連結部J_{R1}、J_{R2}及びJ_{R3}、並びに、光送受信モジュールLO2の近傍に設けられた固定部FPを通過し、光送受信モジュールLO2の光受信装置に接続される。光ファイバケーブル3は、光送受信モジュールLO2の光送信装置から、光送受信モジュールLO2の近傍に設けられた固定部FP、連結部K_{R1}及び光送受信モジュールLO3の近傍に設けられた固定部FPを通過し、光送受信モジュールのLO3の光受信装置に接続される。光ファイバケーブル4は、光送受信モジュールLO3の光送信装置から、光送受信モジュールLO3の光送信装置の近傍に設けられた固定部FP、連結部K_{R1}及び光送受信モジュールLO1の近傍に設けられた固定部FPを通過し、光送受信モジュールLO1の光受信装置までを接続する。光ファイバケーブル5は、光送受信モジュールLO1の光送信装置から、光送受信モジュールLO1の光送信装置の近傍に設けられた固定部LO1T_F、連結部J_{R1}、J_{R2}、及びJ_{R3}、臀部BHに設けられたコネクタC1、連結部B₁及びB₂、並びに光送受信モジュールBO1の光受信装置の近傍に設けられた固定部BO1R_Fを通過し、光送受信モジュールLO1の光送信装置と光送受信モジュールBO1の光受信装置とを接続する。光ファイバケーブル1、2、3、4及び5によって、光送受信モジュールBO1は光送受信モジュールBO5に接続され、光送受信モジュール

ル B O 5 は光送受信モジュール L O 2 に接続され、光送受信モジュール L O 2 は光送受信モジュール L O 3 に接続され、光送受信モジュール L O 3 は光送受信モジュール L O 1 に接続され、光送受信モジュール L O 1 は光送受信モジュール B O 1 に接続されて、ロボット R にはリング型のトポロジを有する光ファイバネットワーク 9 が形成されている。

【0048】

光送受信モジュール B O 1 の光送信装置 B O 1 T は光ファイバケーブル 1 にパワーが P_{in} (dBm) である光信号を出力し、光信号は光ファイバケーブル 1 を伝播し光送受信モジュール B O 5 の光受信装置 B O 5 R に到達し、光送受信モジュール B O 5 の光受信装置 B O 5 R は光信号を受信し処理する。光信号を受信した光送受信モジュール B O 5 は、光ファイバケーブル 2 にパワーが P_{in} (dBm) である光信号を出力し、光信号は光ファイバケーブル 2 を伝播し光送受信モジュール L O 2 の光受信装置に到達し、光送受信モジュール L O 2 の光受信装置は光信号を受信し処理する。光信号を受信した光送受信モジュール L O 2 は、光ファイバケーブル 3 にパワーが P_{in} (dBm) である光信号を出力し、光信号は光ファイバケーブル 3 を伝播し光送受信モジュール L O 3 の光受信装置に到達し、光送受信モジュール L O 3 の光受信装置は光信号を受信し処理する。光信号を受信した光送受信モジュール L O 3 は、光ファイバケーブル 4 にパワーが P_{in} (dBm) である光信号を出力し、光信号は光ファイバケーブル 4 を伝播し光送受信モジュール L O 1 の光受信装置に到達し、光送受信モジュール L O 1 の光受信装置は光信号を受信し処理する。光信号を受信した光送受信モジュール L O 1 は、光ファイバケーブル 5 にパワーが P_{in} (dBm) である光信号を出力し、光信号は光ファイバケーブル 5 を伝播し光送受信モジュール B O 1 の光受信装置に到達し、光送受信モジュール B O 1 の光受信装置は光信号を受信し処理する。光送受信モジュール B O 1 の光送信装置 B O 1 T から出力された光信号は、光ファイバネットワーク 9 を介して光送受信モジュール B O 1 の光受信装置 B O 1 R に到達し、光ファイバネットワーク 9 は有向に光信号を伝送するリング状のネットワークを形成している。

【0049】

図 4 に示されるように、光送受信モジュール L O 1 の光送信装置 L O 1 T から送信され光ファイバケーブル 5 に入射する光信号のパワーは P_{in} (dBm) である。光送受信モジュール L O 1 の光送信装置 L O 1 T から送信された光信号は光ファイバケーブル 5 を伝搬し固定部 L O 1 T_F を通過する。固定部 L O 1 T_F の通過するとき、光信号のパワーは α_f (dB) だけ減衰する。固定部 L O 1 T_F の通過した光信号は光ファイバケーブル 5 を伝搬し進み連結部 J_{R1}、J_{R2}、及び J_{R3} を通過し光信号のパワーは各連結部を通過する時に α_1 (dB) だけ減衰する。連結部 J_{R1}、J_{R2}、及び J_{R3} を通過した光信号は光ファイバケーブル 5 を伝搬し臀部 B H に設けられたコネクタ C 1 を通過し、その通過時に α_c (dB) だけ減衰する。コネクタ C 1 を通過した光信号は光ファイバケーブル 5 を伝搬し進み連結部 B₁ 及び B₂ を通過し、各連結部を通過する時に α_1 (dB) だけ減衰する。連結部 B₁ 及び B₂ を通過した光信号は、固定部 B O 1 R_F を通過し、光ファイバケーブル 5 の終端に到達し、光送受信モジュール B O 1 の光受信装置 B O 1 R で受信される。固定部 B O 1 R_F を通過する時、光信号は α_f (dB) だけ減衰する。光ファイバケーブル 5 の伝送損失量 L_5 (dB) は、式 (1) を用いて下のように表される。

$$L_5 = 5\alpha_1 + 2\alpha_f + \alpha_c$$

光送受信モジュール B O 1 の光受信装置 B O 1 R で受信される光のパワー P_{out} (dB) は下式 (4) と表される。

$$P_{out} = P_{in} - (5\alpha_1 + 2\alpha_f + \alpha_c) \quad (4)$$

【0050】

光ファイバネットワーク 9 では光送受信モジュール L O 1 の光送信装置 L O 1 T から送信された光信号が光送受信モジュール B O 1 の光受信装置 B O 1 R で処理することが可能であるように構成されている。光送受信モジュール L O 1 から送信された光信号が光ファイバケーブル 5 を介して伝送され光受信装置 B O 1 R において処理可能な光のパワーを有

するためには伝送損失量が光送受信許容レベル差 ΔP ($= P_{in} - P_{min}$) (dB) 以下である必要があり、光ファイバケーブルは下式 (5) の条件を満たす。

$$\Delta P \geq 5\alpha_1 + 2\alpha_f + \alpha_c \quad (5)$$

式 (5) を満たすとき、光受信装置 B01R が受信する光信号のパワー P_{out} (dBm) は P_{min} (dBm) 以上となる。

【0051】

光ファイバケーブル 1 は、2 つの固定部 FP と、連結部 B_1 及び B_2 を通過するため、その伝送損失量は、 $2\alpha_1 + 2\alpha_f$ (dB) と表される。光ファイバケーブル 2 は、2 つの固定部 FP と、連結部 J_{R1} 、 J_{R2} 及び J_{R3} とを通過するため、その伝送損失量は、 $3\alpha_1 + 2\alpha_f$ (dB) と表される。光ファイバケーブル 3 は、2 つの固定部 FP と連結部 K_{R1} を通過するため、その伝送損失量は、 $\alpha_1 + 2\alpha_f$ (dB) と表される。光ファイバケーブル 4 は、2 つの固定部 FP と、連結部 K_{R1} を通過するため、 $\alpha_1 + 2\alpha_f$ (dB) と表される。光ファイバケーブル 1 ~ 4 の伝送損失量は、リンクに固定する固定部の数と固定部での光の減衰量との積と、光ファイバケーブルが通る連結部の数と所定の減衰量との積と、光ファイバケーブルに設けられたコネクタの個数とコネクタにおける光の減衰量との積との和で表され、光ファイバケーブルの伝送損失量が評価され、いずれも光ファイバケーブル 5 の伝送損失量である $5\alpha_1 + 2\alpha_f + \alpha_c$ (dB) に比べて小さい。式 (5) が満たされる場合、光ファイバケーブル 1、2、3 及び 4 の伝送損失量は全て光送受信許容レベル差よりも小さいため、光受信装置において信号処理に必要となる光信号のパワーに比べて光信号のパワーを減衰させることなく、光送信装置から光ファイバケーブル 1、2、3、4 及び 5 を通って光受信装置に光信号を伝送させることができる。

【0052】

連結部 B_1 、 B_2 、 J_{L1} 、 J_{L2} 、 J_{L3} 及び K_{R1} を通過しコネクタ C1 を介して、上部部本体 BA、臀部 BH、リンク L1 及びリンク L2 のリンク列の両端のリンクに設けられた光送受信モジュール B01 と光送受信モジュール L03 とを接続する光ファイバケーブルの伝送損失量は $6\alpha_1 + 2\alpha_f + \alpha_c$ (dB) と表され、光ファイバケーブル 5 の伝送損失量よりも大きくなる。

【0053】

次に、ロボット R の光ファイバネットワーク 9 の使用時の動作について説明する。図 2 に示されるように、光送受信モジュール B01 の光送信装置から送信された P_{in} のパワーを持つ光信号は、光ファイバケーブル 1 を介して、光送受信モジュール B05 の光受信装置に受信される。光信号を受信した光送受信モジュール B05 は、その光送信装置から P_{in} のパワーを持つ光信号を送信し、その光信号は光ファイバケーブル 2 を伝搬し光送受信モジュール L02 の光受信装置に受信される。光信号を受信した光送受信モジュール L02 は、その光送信装置から P_{in} のパワーを持つ光信号を送信し、その光信号は光ファイバケーブル 3 を伝搬し、光送受信モジュール L03 の光受信装置に受信される。光信号を受信した光送受信モジュール L03 は、その光送信装置から P_{in} のパワーを持つ光信号を送信し、その光信号は光ファイバケーブル 4 を伝搬し、光送受信モジュール L01 の光受信装置に受信される。光信号を受信した光送受信モジュール L03 は、その光送信装置から P_{in} のパワーを持つ光信号を送信し、光ファイバケーブル 5 を伝搬し光送受信モジュール B01 の光受信装置に受信される。光送受信モジュール B01、B05、L02、L03 及び L01 は光ファイバケーブル 1、2、3、4 及び 5 によってリング状のトポロジを有する光ファイバネットワーク 9 を形成している。光ファイバネットワーク 9 では、光送受信モジュール B01 から光送受信モジュール B05、L02、L03、L01 の順番に光信号が伝送され、光送受信モジュール L01 から光送受信モジュール B01 に戻るように構成されており、光信号が光ファイバネットワーク 9 を一方向に周回して伝送される。光ファイバネットワーク 9 は、一方向に周回するリング状に構成されているため、他の光送受信モジュールに送信すべき光信号がある光送受信モジュールは、送信先の情報付随させた P_{in} (dBm) のパワーを持つ光信号を光ファイバネットワーク 9 に送信する。光送受信モジュールから送信された光信号は、光ファイバネットワーク 9 を順番

に周回して他の光送受信モジュールに到達する。自らが送信先ではない光信号を受信した光送受信モジュールは、受信した光信号と同じ光信号を P_{in} (dBm) のパワーに増幅し光ファイバネットワーク 9 に送信する。自らが送信先となる光信号を受信した光送受信モジュールは受信した光信号を受信し優先順位をつけて信号処理を行う。

【0054】

光信号が一方向に周回するため光信号が衝突せずロボット R の動作の誤作動を抑えることが可能となる。また、トークンと呼ばれる光信号を周回させ、トークンを得た光送受信モジュールのみがデータを送信することができるトークンパッシング方式で通信する場合であっても、トークンを得ていない光送受信モジュールはデータを送信することができないため、ネットワーク上でデータが衝突することがなくなり、ロボット R の動作の誤作動を抑えることが可能となる。

【0055】

以上のように構成したロボット R の光ファイバネットワーク 9 の効果について説明する。ロボット R は、連結部 B_1 、 B_2 、 J_{L1} 、 J_{L2} 、 J_{L3} 及び K_{R1} を介して、連結部を軸線とする回動可能に連結された 3 つのリンクである上部部本体 BA、臀部 BH、リンク L1 及び L2 を備える。上部部本体 BA は光送信装置及び光受信装置を備える光送受信モジュール BO1 を備える。臀部 BH には光送受信モジュール BO5、リンク L1 には光送受信モジュール LO1 及び LO2、リンク L2 は光送受信モジュール LO3 が備えられている。ロボット R は、連結部 B_1 及び B_2 を通り光送受信モジュール BO1 の光送信装置と光送受信モジュール BO5 の光受信装置とを繋ぐ光ファイバケーブル 1 を備える。ロボット R は、連結部 J_{L1} 、 J_{L2} 及び J_{L3} を通り、光送受信モジュール BO5 の光送信装置と光送受信モジュール LO2 の光受信装置とを繋ぐ光ファイバケーブル 2 を備える。ロボット R は、連結部 K_{R1} を通り、光送受信モジュール LO2 の光送信装置と光送受信モジュール LO3 の光受信装置とを繋ぐ光ファイバケーブル 3 を備える。ロボット R は、連結部 K_{R1} を通り、光送受信モジュール LO3 の光送信装置と光送受信モジュール LO1 の光受信装置とを繋ぐ光ファイバケーブル 4 を備え、連結部 J_{L1} 、 J_{L2} 、 J_{L3} 、 B_1 及び B_2 、及びコネクタ C1 を通り、光送受信モジュール LO1 の光送信装置と光送受信モジュール BO1 の光受信装置とを繋ぐ光ファイバケーブル 5 を備える。光ファイバケーブル 5 の伝送損失量は、 $5\alpha_1 + 2\alpha_f + \alpha_c$ (dB) と表され、式 (2) を満たし、光送受信モジュールの光送受信許容レベル差で $\Delta P (= P_{in} - P_{min})$ (dB) 以下である。光ファイバケーブル 1、2、3 及び 4 の伝送損失量は、光ファイバケーブル 5 の伝送損失量よりも小さく、式 (1) を満たすため、光送受信モジュールの光送受信許容レベル差 $\Delta P (= P_{in} - P_{min})$ (dB) 以下である。光ファイバケーブル 1、2、3、4 及び 5 の伝送損失量は全て光送受信許容レベル差よりも小さく、光送受信モジュール BO1、BO5、LO1、LO2 及び LO3 を備え光ファイバケーブル 1、2、3、4 及び 5 によって接続されたロボット R の光ファイバネットワーク 9 が形成され、光ファイバネットワーク 9 において光信号は光送受信モジュール BO1、BO5、LO1、LO2 及び LO3 が処理可能に送受信される。

【0056】

上部部本体 BA、臀部 BH、リンク L1 及び L2 を含む複数のリンクは、連結部 B_1 、 B_2 、 J_{L1} 、 J_{L2} 、 J_{L3} 及び K_{R1} を介して、連結部を軸線とする回動可能に連結される。光ファイバケーブル 5 の伝送損失量は、光ファイバケーブル 5 が通る固定部数である 2 と固定部減衰量 α_f (dB) との積と、光ファイバケーブル 5 が通る連結部は B_1 、 B_2 、 J_{L1} 、 J_{L2} 及び J_{L3} であり、連結部の軸数の和である 5 と所定の減衰量である連結部減衰量 α_1 (dB) の積と、光ファイバケーブル 5 の途中に設けられたコネクタの個数である 1 とコネクタにおける光の減衰量である α_c (dB) との積との和、 $5\alpha_1 + 2\alpha_f + \alpha_c$ (dB) として表される。光ファイバケーブル 1、2、3 及び 4 の伝送出量は、 $2\alpha_1 + 2\alpha_f$ (dB)、 $3\alpha_1 + 2\alpha_f$ (dB)、 $\alpha_1 + 2\alpha_f$ (dB) 及び $\alpha_1 + 2\alpha_f$ (dB) と表され、各光ファイバケーブルが通過する固定部の個数と固定部減衰量の積と連結部の個数と連結部減衰量の積との和で表される。求められた全ての光

ファイバケーブルの伝送損失量が光送受信モジュールの光送受信許容レベル差以下であり、ロボットの光ファイバネットワーク9では光ファイバケーブルを伝搬する光信号によってお互いに異なるリンクに設けられ光ファイバケーブルによって接続された光送信装置と光受信装置との間の通信が可能である。

【0057】

上体部本体BA、臀部BH、リンクL1及びL2を含む4つのリンクは、連結部B1、B2、JL1、JL2、JL3及びKR1によって直列に連結されたリンク列を形成する。上体部本体BAには光送受信モジュールBO1が、臀部BHには光送受信モジュールBO5が、リンクL1には光送受信モジュールLO1及びLO2が、リンクL2には光送受信モジュールLO3がそれぞれ設けられている。光送受信モジュールBO1、BO5、LO1、LO2及びLO3にはそれぞれ光送信装置と光受信装置とを備えられている。光ファイバケーブル1が光送受信モジュールBO1と光送受信モジュールBO5とを接続し、光ファイバケーブル2が光送受信モジュールBO5と光送受信モジュールLO2とを接続し、光ファイバケーブル3が光送受信モジュールLO2と光送受信モジュールLO3とを接続し、光ファイバケーブル4が光送受信モジュールLO3と光送受信モジュールLO1とを接続し、光ファイバケーブル5が光送受信モジュールLO1と光送受信モジュールBO1とを接続し、リング型の光ファイバネットワーク9を形成している。光ファイバネットワーク9は、上体部本体BA、臀部BH、リンクL1及びL2の直列に連結された4つのリンクのうち、一端側に位置し光送受信モジュールBO1を備え一端側リンクとなる上体部本体BAと、他端側に位置し光送受信モジュールLO4を備え他端側リンクとなるリンクL2と、一端側リンクと前記他端側リンクとの間に位置し、1つの光送受信モジュールを備える中間リンクとなる臀部BH及び2つの光送受信モジュールを備える中間リンクとなるリンクL1を備える。光ファイバネットワーク9は、一端側リンクとなる上体部本体BAに設けられた光送受信モジュールBO1の光送信装置BO1Tから、中間リンクとなる臀部BHに設けられた光送受信モジュールBO5、リンクL1に設けられた光送受信モジュールLO2を介して他端側リンクとなるリンクL2に設けられた光送受信モジュールLO3の光受信装置とを配線する光ファイバケーブル1、2及び3から成る第1光ファイバケーブル列9Tを有する。他端側リンクとなるリンクL2に設けられた光送受信モジュールLO3の光送信装置から、中間リンクとなるリンクL1とに設けられた光送受信モジュールLO1を介して一端側リンクとなる上体部本体BAに設けられた光送受信モジュールBO1とを配線する光ファイバケーブル4及び5から成る第2光ファイバケーブル列9Rを有する。第1光ファイバケーブル列9T及び第2光ファイバケーブル列9Rによって、リング状のトポロジを有する光ファイバネットワーク9が形成される。光ファイバネットワーク9は、光送受信モジュールを有し直列に連結されたリンク列の両端のリンクに設けられた光送受信モジュールBO1とLO3との間を直に接続する光ファイバケーブルを有さないため、光ファイバネットワーク9を構成する光ファイバケーブル1、2、3、4及び5各々の連結部による伝送減衰量を光送受信モジュールBO1及びLO3との間を直に接続する光ファイバケーブルの連結部による伝送減衰量よりも小さく抑えることが可能である。

【0058】

上体部本体BA、臀部BH、リンクL1及びL2により構成される直列に接続されたリンク列の一端側リンクとなる上体部本体BAを第1種端リンクとし、他端側リンクとなるリンクL2は第2種端リンクとする。一端側リンクとなる上体部本体BAと他端側リンクL2の間に設けられ、2つ以上の光送受信モジュールLO1及びLO2を備えるリンクL2を第3種端リンクとする。臀部BHは、一端側リンクとなる上体部本体BAと第3種端リンクL2の間に設けられ1つの光送受信モジュールBO5を備えた介在リンクとする。

【0059】

第3種端リンクとなるリンクL1と第2種端リンクL2との間には介在リンクは存在せず両リンクは互いに近接端リンクとなる。第3種端リンクに設けられた光送受信モジュールLO2の光送信装置と第2種端リンクに設けられた光送受信モジュールLO3の光受信

10

20

30

40

50

装置との間と、第2種端リンクに設けられた光送受信モジュールLO3の光送信装置と第3種端リンクに設けられた光送受信モジュールLO1の光受信装置との間とが、光ファイバケーブルによって接続され、光ファイバネットワーク9の一部が構成される。この構成によって、第3種端リンクとなるリンクL1と第2種端リンクL2との間を最も少ない連結部を介して光ファイバケーブル3及び4によって繋ぐことが可能となる。

【0060】

第1種端リンクである上部部本体BAから第2種端リンクであるリンクL2の方向に上部部本体BAから最も少ない連結部を介して接続される近接端リンクとなるリンクL1との間に連結された介在リンクである臀部BHが存在し、介在リンクが臀部BHのみの1つである。第1光ファイバケーブル列9Tにおいて、第1種端リンクである上部部本体BAと最も少ない数の連結部を介して接続される介在リンクである臀部BHとの間が光ファイバケーブル1によって接続され、近接端リンクであるリンクL1の光送受信モジュールLO2と最も少ない数の連結部を介して接続される介在リンクとなる臀部BHの光送受信モジュールBO5との間が光ファイバケーブル2で接続される。第2光ファイバケーブル列9Rにおいて、端リンクの上部部本体BAの光送受信モジュールBO1と近接端リンクであるリンクL1の光送受信モジュールLO2とが光ファイバケーブル5によって接続される。端リンクである上部部本体BAから近接端リンクであるリンクL1へ一方向に接続される第1光ファイバケーブル列9Tの一部と、近接端リンクであるリンクL1から端リンクである上部部本体BAへ一方向に接続される第2光ファイバケーブル列9Rの一部が構成され、リンク列の一端側にある上部部本体BAの光送受信モジュールBO1とリンク列の他端側にあるリンクL2に設けられた光送受信モジュールの間を接続することなく光ファイバネットワーク9が形成される。

【0061】

<<第2実施形態>>

図5に示されるように、第2実施形態に係るロボットRに敷設される光ファイバネットワーク19は、光送受信モジュールBO1、BO3、AO1、AO2及びAO3を備える。光送受信モジュールBO1及びBO3は、上部部本体BAに設けられ、上部部本体BAは、連結部SR1、SR2、SR3及びSR4を介して、光送受信モジュールAO1を備えるリンクA1に連結する。リンクA1は、連結部ER1及びER2を介して、光送受信モジュールAO1及びAO3を備えるリンクA2に連結する。上部部本体BA、リンクA1及びリンクA2は、連結部SR1、SR2、SR3、SR4、ER1及びER2を介して直列に連結され、光送受信モジュールBO1、BO3、AO1、AO2及びAO3は、直列に連結されたリンクである上部部本体BA、リンクA1及びリンクA2に設けられている。

【0062】

光ファイバケーブル11は、光送受信モジュールBO1の光送信装置と光送受信モジュールAO1の光受信装置とを接続し、その途中で光送受信モジュールBO1及びAO1の近傍に設けられた2つの固定部FPと、上部部本体BAに設けられたコネクタC11と、連結部SR1、SR2、SR3及びSR4とを通過する。光ファイバケーブル12は、光送受信モジュールAO1の光送信装置と光送受信モジュールAO2の光受信装置とを接続し、その途中で光送受信モジュールAO1及びAO2の近傍に設けられた2つの固定部FPと、連結部ER1及びER2とを通過する。光ファイバケーブル13は、光送受信モジュールAO2の光送信装置と光送受信モジュールAO3の光受信装置とを接続し、その途中で光送受信モジュールAO2及びAO3の近傍に設けられた2つの固定部FPを通過する。光ファイバケーブル14は、光送受信モジュールAO3の光送信装置と光送受信モジュールBO3の光受信装置とを接続し、その途中で光送受信モジュールAO3及びBO3の近傍に設けられた2つの固定部FPと、連結部ER1、ER2、SR1、SR2、SR3及びSR4と、リンクA1に設けられたコネクタC12とを通過する。光ファイバケーブル15は、光送受信モジュールAO3の光送信装置と光送受信モジュールBO1の光受信装置とを接続し、その途中で光送受信モジュールAO3及びBO1の近傍に設けられた

2つの固定部FP及び上部部本体BAに設けられたコネクタC13を通過する。

【0063】

光ファイバケーブル11は、2つの固定部FPと、連結部 S_{R1} 、 S_{R2} 、 S_{R3} 及び S_{R4} と、コネクタC11とを通過するため、その伝送損失量は、 $4\alpha_l + 2\alpha_f + \alpha_c$ (dB)と表される。光ファイバケーブル12は、2つの固定部FPと、連結部 E_{R1} 及び E_{R2} とを通過するため、その伝送損失量は、 $2\alpha_l + 2\alpha_f$ (dB)と表される。光ファイバケーブル13は、2つの固定部FPを通過するため、その伝送損失量は、 $2\alpha_f$ と表される。光ファイバケーブル14は、2つの固定部FPと、連結部 E_{R1} 、 E_{R2} 、 S_{R1} 、 S_{R2} 、 S_{R3} 及び S_{R4} と、コネクタC12とを通過するため、 $6\alpha_l + 2\alpha_f + \alpha_c$ (dB)と表される。光ファイバケーブル15は、2つの固定部FP及びコネクタC13を通過するため、その伝送損失量は、 $2\alpha_f + \alpha_c$ (dB)と表される。光ファイバケーブル11、12、13、14及び15では、光ファイバケーブル14が最も大きい伝送損失量を有し、その伝送損失量は $6\alpha_l + 2\alpha_f + \alpha_c$ (dB)である。

10

【0064】

光ファイバネットワーク19では光送受信モジュールAO3から送信された光信号が光ファイバケーブル14を伝搬し光送受信モジュールBO3の光受信装置に到達し、光送受信モジュールBO3の光受信装置で処理することが可能であるように構成されている。光送受信許容レベル差 $\Delta P (= P_{in} - P_{min})$ (dB)は、光ファイバケーブル14における伝送損失量以上であって、下式(6)を満たすように構成されている。

$$\Delta P \geq 6\alpha_l + 2\alpha_f + \alpha_c \quad (6)$$

20

(式6)が満たされるとき、光ファイバケーブル11、12、13及び15の伝送損失量は光送受信許容レベル差以下になっている。

【0065】

次にロボットRの光ファイバネットワーク19の動作について説明する。図5に示されるように、光ファイバネットワーク19では、光送受信モジュールBO1から送信された光信号が光送受信モジュールAO1、AO2、AO3、BO3の順番に伝送され光送受信モジュールBO1に戻るよう構成されており、光信号は光ファイバネットワーク19を一方向に周回して伝送される。光送受信モジュールBO1、BO3、AO1、AO2及びAO3は、光ファイバケーブル11、12、13、14及び15によって有向なリング状に接続されており、リング状のトポロジを有する光ファイバネットワーク19を構成する。

30

【0066】

以上のように構成したロボットRの光ファイバネットワーク19の効果について説明する。光ファイバネットワーク19は、連結部 S_{R1} 、 S_{R2} 、 S_{R3} 、 S_{R4} 、 E_{R1} 及び E_{R2} を介して、連結部を軸線とする回動可能に連結された3つのリンクである上部部本体BA、リンクA1及びリンクA2を備える。上部部本体BA、リンクA1及びリンクA2には、光送受信モジュールBO1、BO3、AO1、AO2及びAO3が備えられている。光送受信モジュールBO1、BO3、AO1、AO2及びAO3は、光ファイバケーブル11、12、13、14及び15によって接続される。光ファイバケーブル14は、2つの固定部、連結部 S_{R1} 、 S_{R2} 、 S_{R3} 、 S_{R4} 、 E_{R1} 及び E_{R2} 、並びにコネクタC12を通り光送受信モジュールAO3の光送信装置と光送受信モジュールBO3の光受信装置とを繋いでおり、光ファイバケーブル14の伝送損失量は、 $6\alpha_l + 2\alpha_f + \alpha_c$ (dB)と表される。光ファイバケーブル14の伝送損失量は式(2)を満たし、光送受信モジュールの光送受信許容レベル差 $\Delta P (= P_{in} - P_{min})$ (dB)以下である。光ファイバケーブル11、12、13及び15の伝送損失量は、光ファイバケーブル14の伝送損失量よりも小さく、式(1)を満たすため、光送受信モジュールの光送受信許容レベル差 $\Delta P (= P_{in} - P_{min})$ (dB)以下である。光ファイバケーブル11、12、13、14及び15の伝送損失量は全て光送受信許容レベル差よりも小さく、光ファイバケーブルによって通信可能で互いに異なるリンクに設けられた光送信装置及び光受信装置を備えるロボットRの光ファイバネットワーク19が構成される。

40

50

【0067】

光ファイバネットワーク19は、連結部 S_{R1} 、 S_{R2} 、 S_{R3} 、 S_{R4} 、 E_{R1} 及び E_{R2} を介して直列に配置された3つのリンクである上体部本体BA、リンクA1及びリンクA2からなるリンク列に設けられ、そのリンク列に光送受信モジュールBO1、BO3、AO1、AO2及びAO3が備えられている。光ファイバネットワーク19は光ファイバケーブル11、12及び13によって上体部本体BAの光送受信モジュールからリンクA2の光送受信モジュールへ接続される第1光ファイバケーブル列19Tと、光ファイバケーブル14及び15によってリンクA2の光送受信モジュールから上体部本体BAの光送受信モジュールへ接続される第2光ファイバケーブル列19Rとを含み、第1光ファイバケーブル列19T及び第2光ファイバケーブル列19Rとによってリング状の光ファイバネットワーク19が構成されている。

10

【0068】

<<第3実施形態>>

図4に示されるように、第3実施形態に係るロボットRに敷設される光ファイバネットワーク29は、光送受信モジュールBO1、BO2、BO4及びNO1、並びに、光ファイバケーブル21、22、23及び24を備える。光送受信モジュールBO1及びBO4は上体部本体BAに設けられ、上体部本体BAは、連結部 B_1 を介して、光送受信モジュールBO2を備えるリンクBL1に連結している。同時に、上体部本体BAは、連結部 N_1 を介して、光送受信モジュールNO1を備えるリンクNL1に連結している。リンクBL1は、連結部 B_1 を介して上体部本体BAに接続し、上体部本体BAは、連結部 N_1 を介してリンクNL1に連結し、リンクBL1、上体部本体BA及びリンクNL1は、順番に直列に連結されている。

20

【0069】

光ファイバケーブル21～24は光送受信モジュールBO1、BO2、BO4及びNO1をリング状に接続している。光ファイバケーブル21は、光送受信モジュールBO1の光送信装置と光送受信モジュールBO2の光受信装置とを接続し、その途中で光送受信モジュールBO1及びBO2の近傍に設けられた2つの固定部FPと連結部 B_1 とを通過する。光ファイバケーブル22は、光送受信モジュールBO2の光送信装置と光送受信モジュールBO4の光受信装置とを接続し、その途中で光送受信モジュールBO2及びBO4の近傍に設けられた2つの固定部FP、連結部 B_1 及び上体部本体BAに設けられたコネクタC21を通過する。光ファイバケーブル23は、光送受信モジュールBO4の光送信装置と光送受信モジュールNO1の光受信装置とを接続し、その途中で光送受信モジュールBO4及びNO1の近傍に設けられた2つの固定部FPと、連結部 N_1 とを通過する。光ファイバケーブル24は、光送受信モジュールNO1の光送信装置と光送受信モジュールBO1の光受信装置とを接続し、その途中で光送受信モジュールNO1及びBO1の近傍に設けられた2つの固定部FPと、連結部 N_1 と、上体部本体BAに設けられたコネクタC22とを通過する。

30

【0070】

光ファイバケーブル22は、2つの固定部、1つの連結部 B_1 及びコネクタC21を通り光送受信モジュールBO2の光送信装置と光送受信モジュールBO4の光受信装置とを繋いでいる。光ファイバケーブル22の伝送損失量は、 $\alpha_1 + 2\alpha_f + \alpha_c$ (dB)と表され、伝送損失量が、光ファイバケーブル22に設けられた固定部の数と固定部での光の減衰量との積と、連結部の数と所定の減衰量との積と、コネクタの個数とコネクタにおける光の減衰量の積との和で表される。同様に、式(1)を用いて、光ファイバケーブル21、23及び24の伝送損失量は各々、 $\alpha_1 + 2\alpha_f$ (dB)、 $\alpha_1 + 2\alpha_f$ (dB)、 $\alpha_1 + 2\alpha_f + \alpha_c$ (dB)と表される。

40

【0071】

光ファイバネットワーク29では、光送受信モジュールBO2から送信された光信号が光送受信モジュールBO4の光受信装置で処理可能に構成されている。光送受信許容レベル差 $\Delta P (= P_{in} - P_{min})$ (dB)は、光ファイバケーブル22における伝送損失

50

量以上であって、下式（６）を満たすように構成されている。

$$\Delta P \geq \alpha_1 + 2\alpha_f + \alpha_c \quad (6)$$

式（６）が満たされるとき、光ファイバケーブル２１、２３及び２４の伝送損失量は、光送受信許容レベル差以下になっている。

【００７２】

次に、光ファイバネットワーク２９の使用時の動作について説明する。図６に示されるように、光送受信モジュールＢＯ１から送信された光信号は光送受信モジュールＢＯ２、ＢＯ４、ＮＯ１の順番に光信号が伝送され光送受信モジュールＢＯ１に戻るよう構成されており、光信号は光ファイバネットワーク２９を一方向に周回して伝送される。光送受信モジュールＢＯ１、ＢＯ２、ＢＯ４及びＮＯ１は、光ファイバケーブル２１、２２、２３及び２４によって有向なリング状に接続されており、リング状のトポロジを有する光ファイバネットワーク２９を構成する。

【００７３】

以上のように構成した光ファイバネットワーク２９の効果について説明する。光ファイバネットワーク２９は、連結部Ｂ_１及びＮ_１を介して、連結部を軸線とする回動可能に直列に連結された３つのリンクであるリンクＢＬ１、上体部本体ＢＡ及びリンクＮＬ１上に形成される。リンクＢＬ１、上体部本体ＢＡ及びリンクＮＬ１には、光ファイバケーブル２１、２２、２３及び２４によって接続された光送受信モジュールＢＯ２、ＢＯ１、ＢＯ４及びＮＯ１が備えられている。光ファイバケーブル２２は、２つの固定部、連結部Ｂ_１及びコネクタＣ２１を通り光送受信モジュールＢＯ２と光送受信モジュールＢＯ４とを繋いでおり、その伝送損失量は、 $\alpha_1 + 2\alpha_f + \alpha_c$ （dB）と表される。光ファイバケーブル２２の伝送損失量は式（２）を満たし、光送受信モジュールの光送受信許容レベル差 ΔP （＝ $P_{in} - P_{min}$ ）（dB）以下である。光ファイバケーブル２１、２３及び２４の伝送損失量は式（１）を満たし、光ファイバケーブル２１の伝送損失量よりも小さく光送受信モジュールの光送受信許容レベル差 ΔP （dB）以下である。光ファイバケーブル２１、２２、２３及び２４の伝送損失量は全て光送受信許容レベル差よりも小さく光信号が受信可能に伝送されるロボットＲの光ファイバネットワーク２９が構成される。

【００７４】

光ファイバネットワーク２９は、連結部Ｂ_１及びＮ_１を介して、連結部を軸線とする回動可能にリンクＢＬ１、上体部本体ＢＡ及びリンクＮＬ１の順に直列に連結された３つのリンクからなるリンク列上に形成され、リンクＢＬ１に光送受信モジュールＢＯ２が、上体部本体ＢＡ上には光送受信モジュールＢＯ１及びＢＯ４が、リンクＮＬ１上に光送受信モジュールＮＯ１が備えられ、光ファイバネットワーク２９はそれらを繋ぐリング状に形成されている。光ファイバネットワーク２９は、リンクＢＬ１、上体部本体ＢＡ及びリンクＮＬ１からなる直列のリンク列の最も一端側に位置する一端側リンクＢＬ１と最も他端側に位置する他端側リンクＮＬ１との間に２つの光送受信モジュールを備えるＢＡを含む。光ファイバネットワーク２９は、一端側リンクであるリンクＢＬ１に設けられた光送受信モジュールＢＯ２の光送信装置から中間リンクである上体部本体ＢＡに設けられた光送受信モジュールＢＯ４を介して、他端側リンクであるリンクＮＬ１に光ファイバケーブル２２及び２３によって配線された第１光ファイバケーブル列２９Ｔを含む。光ファイバネットワーク２９は、他端側リンクであるリンクＮＬ１に設けられた光送受信モジュールＮＯ１の光送信装置から中間リンクである上体部本体ＢＡに設けられた光送受信モジュールＢＯ１を介して、一端側リンクであるリンクＢＬ１に光ファイバケーブル２４及び２１によって配線された第２光ファイバケーブル列２９Ｒを含む。第１光ファイバケーブル列２９Ｔ及び第２光ファイバケーブル列２９Ｒによって、リング状の光ファイバネットワーク２９が構成される。

【００７５】

リンクＢＬ１、上体部本体ＢＡ及びリンクＮＬ１の順に直列に連結された３つのリンクからなるリンク列において、リンクＢＬ１は一端側に位置する第１種端リンク、リンクＮＬ１は他端側に位置する第２種端リンク、上体部本体ＢＡは、第１種端リンクと第２種端

リンクとの間に介在した光送受信モジュールを備える中間リンクであって、2つ以上の光送受信モジュールを備える第3種端リンクであって、光ファイバネットワーク29では、1つの光送受信モジュールを備える中間リンクである介在リンクが備えられていない。第1種端リンクであるリンクBL1の光送受信モジュールBO2の光送信装置と第3種端リンクである上部部本体BAの光送受信モジュールBO4の光受信装置とが光ファイバケーブル22によって接続され、第3種端リンクである上部部本体BAの光送受信モジュールBO1の光送信装置と第1種端リンクであるリンクBL1の光送受信モジュールBO2の光受信装置とが光ファイバケーブル21によって接続されている。第2種端リンクであるリンクNL1の光送受信モジュールNO1の光送信装置と第3種端リンクである上部部本体BAの光送受信モジュールBO1の光受信装置とが光ファイバケーブル24によって接続され、第3種端リンクである上部部本体BAの光送受信モジュールBO4の光送信装置と第2種端リンクであるリンクNL1の光送受信モジュールBO1の光受信装置とが光ファイバケーブル23によって接続され、リング状の通過する連結部の少ない光ファイバネットワーク29が構成される。

10

【0076】

<<第4実施形態>>

図6に示されるように、第4実施形態に係る光ファイバネットワーク39はリンクZ1からリンクZ14にまで順番に直列に12個連結されたリンク列を有する。リンクは1つの連結部を介して互いに接続されている。リンクZ7及びリンクZ11には光送受信モジュールが各2個ずつ設けられている。リンク列を構成する他のリンクには、各1個ずつの光送受信モジュールZOが設けられている。

20

【0077】

直列に接続されたリンク列において、リンクZ1は最も一端側に位置し、リンクZ14は最も他端側に位置する。リンクZ1の光送受信モジュールZOの光送信装置からリンクZ14の光送受信モジュールZOの光受信装置までは、リンクZ1・Z3間に光ファイバケーブル39T₁、リンクZ1・Z3間に光ファイバケーブル39T₁、リンクZ3・Z5間に光ファイバケーブル39T₂、リンクZ5・Z7間に光ファイバケーブル39T₃、リンクZ7・Z8間に光ファイバケーブル39T₄、リンクZ8・Z10間に光ファイバケーブル39T₅、リンクZ10・Z11間に光ファイバケーブル39T₆、リンクZ11・Z13間に光ファイバケーブル39T₇及びリンクZ13・Z14間に光ファイバケーブル39T₈が敷設されている。リンクZ14の光送受信モジュールZOの光送信装置からリンクZ1の光送受信モジュールZOの光受信装置までは、リンクZ14・Z12間に光ファイバケーブル39R₁、リンクZ12・Z11間に光ファイバケーブル39R₂、リンクZ11・Z9間に光ファイバケーブル39R₃、リンクZ9・Z7間に光ファイバケーブル39R₄、リンクZ7・Z6間に光ファイバケーブル39R₅、リンクZ6・Z4間に光ファイバケーブル39R₆、リンクZ4・Z2間に光ファイバケーブル39R₇及びリンクZ2・Z1間に光ファイバケーブル39R₈が敷設されている。第1光ファイバケーブル列39T及び第2光ファイバケーブル列39Rは、光ファイバケーブル39T₁～39T₈及び39R₁～39R₈を含み、光ファイバネットワーク39はリンクZ1～Z14のリンク列に設けられた光送受信モジュールをリング型に接続している。

30

40

【0078】

リンクZ1は最も一端側に位置する第1種端リンク、リンクZ14は最も他端側に位置する第2種端リンクである。リンクZ7及びリンクZ11は、第1種端リンクであるリンクZ1と第2種端リンクであるリンクZ14との間に位置し、光送受信モジュールを備えるリンクである第3種端リンクである。

【0079】

第1種端リンクであるリンクZ1に設けられた光送受信モジュールには他端側から光ファイバケーブルが接続され、他端側へ光ファイバケーブルが接続されている。第2種端リンクであるリンクZ14に設けられた光送受信モジュールには一端側から光ファイバケー

50

ブルが接続され、一端側へ光ファイバケーブルが接続されている。第3種端リンクであるリンクZ7に設けられた光送受信モジュールには、一端側から光ファイバケーブルが接続され、一端側に光ファイバケーブルが接続され、同時に、他端側から光ファイバケーブルが接続され、他端側に光ファイバケーブルが接続されている。端リンクの光送受信モジュールには、一端側から接続された光ファイバケーブルが接続されている時には、一端側に光ファイバケーブルが接続され、他端側から接続された光ファイバケーブルが接続されている時には、他端側に光ファイバケーブルが接続されている。

【0080】

端リンクであるリンクZ1、Z7、Z11、Z14以外のリンクZ2、Z3、Z4、Z5、Z6、Z8、Z9、Z10、Z12及びZ13は、光送受信モジュールを1個ずつ備え端リンクと端リンクとの間に連結された介在リンクである。介在リンクには一端側及び他端側に光送受信モジュールを備えるリンクが接続されている。

【0081】

異なるリンクに設けられた光送受信モジュール間を接続する光ファイバケーブルは連結部を通過する。光ファイバケーブルが通過する連結部の数が増えると、光ファイバケーブルを伝搬する光信号の減衰は大きくなる。光ファイバネットワークが一端側から他端側へ光信号を送信する第1光ファイバケーブル列39Tと他端側から一端側へ光信号を送信する第2光ファイバケーブル列39Rを備えることで、1つの連結部を通過する光ファイバケーブルの本数が第1光ファイバケーブル列に含まれる光ファイバケーブルと第2光ファイバケーブル列に含まれる光ファイバケーブルの2本となるように光ファイバネットワークを構成することが可能となる。

【0082】

1つの連結部を介して隣り合って連結された2つのリンクに設けられた光送受信モジュール間を光ファイバケーブルによって接続した場合、光ファイバケーブルが通過する連結部の数は1になる。介在リンクの光送受信モジュールの数は1であるため、第1又は第2光ファイバケーブル列の一方に、介在リンクに設けられた光送受信モジュールとその介在リンクに対して一端側に接続されたリンクの光送受信モジュールとを接続する光ファイバケーブルと、その介在リンクに設けられた光送受信モジュールとその介在リンクに対して他端側に接続されたリンクの光送受信モジュールとを接続する光ファイバケーブルとが含まれ、第1又は第2光ファイバケーブル列の他方にその介在リンクに設けられた光送受信モジュールに接続されずにその介在リンクを通過する光ファイバケーブルが含まれる。光送受信モジュールに接続されずにその介在リンクを通過する光ファイバケーブルが、介在リンクに一端側に1つの連結部を介して接続されたリンクの光送受信モジュールと他端側に1つの連結部を介して接続されたリンクの光送受信モジュールとの間を繋ぐ時、その光ファイバケーブルが通過する連結部の数は2である。

【0083】

端リンクと最も少ない数の介在リンクを介して接続される端リンクである近接端リンクとの間に設けられた介在リンクの数が偶数の時は、第1光ファイバケーブル列において、各々の光ファイバケーブルが通過する連結部の数は、一端側から数えて1、2、2・・2（最初のみ1であり他は全て2）又は2、2・・・2、1（最後のみ1であり他は全て2）の数列とし、第2光ファイバケーブル列において、各々の光ファイバケーブルが通過する連結部の数は、一端側から数えて1、2、2・・2（最初のみ1であり他は全て2）又は2、2・・・2、1（最後のみ1であり他は全て2）の数列であって、第1光ファイバケーブル列とは異なる数列とすれば、端リンクと近接端リンクの間において通過する連結部の数が2以下となるように光ファイバケーブルを接続することが可能となる。

【0084】

端リンクと最も少ない数の介在リンクを介して接続される端リンクである近接端リンクとの間に設けられた介在リンクの数が奇数の時は、第1光ファイバケーブル列において、各々の光ファイバケーブルが通過する連結部の数は、一端側から数えて、最初と最後のみ1であり他は全て2、又は、全て2であるか、第2光ファイバケーブル列において、各々

の光ファイバケーブルが通過する連結部の数は、一端側から数えて全て2であるか、又は、最初と最後のみ1であり、第1光ファイバケーブル列と第2光ファイバケーブル列とを異なる配列とすることで、端リンクと近接端リンクの間において通過する連結部の数が2以下となるように光ファイバケーブルを接続することが可能となる。

【0085】

第1種端リンクであるリンクZ1から最も少ない数の連結部を介して接続される近接端リンクは、第3種端リンクであるリンクZ7である。リンクZ1とリンクZ7の間で、介在リンクは、リンクZ2、Z3、Z4、Z5及びZ6の5つであり奇数である。第1光ファイバケーブル列39Tにおいて、各々の光ファイバケーブルが通過する連結部の数は、一端側から数えて2、2、2であって全て2となっている。第2光ファイバケーブル列39Rにおいて、各々の光ファイバケーブルが通過する連結部の数は、一端側から数えて1、2、2、1であって、最初と最後のみ1であり他は全て2となっている。リンクZ2、Z3及びZ4から構成されるリンク列に含まれる介在リンクの列において、第1光ファイバケーブル列39Tと第2光ファイバケーブル列39Rとにおいて、連結部を2つ通過する光ファイバケーブルが互い違いになるように構成されている。

【0086】

第3種端リンクであるリンクZ7から最も少ない数の連結部を介して接続される近接端リンクは、第3種端リンクであるリンクZ11である。リンクZ5とリンクZ9の間で、介在リンクは、リンクZ8、Z9及びZ10の3つであり奇数である。第1光ファイバケーブル列39Tにおいて、各々の光ファイバケーブルが通過する連結部の数は、一端側から数えて、1、2、1であって、最初と最後のみ1であり他は全て2となっており、第2光ファイバケーブル列39Rにおいて、各々の光ファイバケーブルが通過する連結部の数は、一端側から数えて、2、2であって、全て2となっている。

【0087】

第3種端リンクであるリンクZ11から最も少ない数の連結部を介して接続される近接端リンクは、第2種端リンクであるリンクZ14である。リンクZ11とリンクZ14の間で、介在リンクはリンクZ12及びZ13の2つであり偶数である。第1光ファイバケーブル列39Tにおいて、各々の光ファイバケーブルが通過する連結部の数は、一端側から数えて、2、1であって、最後のみ1であり他は2となっており、第2光ファイバケーブル列39Rにおいて、光ファイバケーブルが通過する連結部の数は、一端側から数えて、1、2であって、最初のみ1であり他は2となっており、光ファイバケーブルが通過する連結部の数が2以下であるリング状の光ファイバネットワーク39が構成されている。

【0088】

以上のように構成した光ファイバネットワーク39の効果について説明する。第1光ファイバケーブル列39Tは一端側リンクであるリンクZ1の光送信装置から中間リンクZ3、Z5、Z7、Z8、Z10、Z11、Z13に設けられた光送受信モジュールを介して、他端側リンクであるリンクZ14の光受信装置にまで配線されている。第2光ファイバケーブル列39Rは一端側リンクであるリンクZ14の光送信装置から中間リンクZ12、Z11、Z9、Z7、Z6、Z4、Z2に設けられた光送受信モジュールを介して、一端側リンクであるリンクZ1の光受信装置にまで配線され、リング状の光ファイバネットワーク39が構成されている。引き返すことなく一端側から他端側へ又は他端側から一端側へ接続された光ファイバネットワーク39が構成されている。

【0089】

端リンクZ1の光送受信モジュールと最も少ない数の連結部を介して接続される介在リンクZ2の光送受信モジュールとの間は光ファイバケーブル39R₈によって接続されている。近接端リンクZ7の光送受信モジュールと最も少ない数の連結部を介して接続される介在リンクZ6の光送受信モジュールとの間は光ファイバケーブル39R₅によって接続されている。光ファイバケーブル39R₈及び39R₅以外であり、端リンクZ1、近接端リンクZ7及び介在リンクZ2～Z6に接続される光ファイバケーブルで第1光ファイバケーブル列39Tに含まれる光ファイバケーブルは、光ファイバケーブル3

9 T - ₁、3 9 T - ₂ 及び 3 9 T - ₃ であって、それぞれ異なるリンク Z 1・Z 3、Z 3・Z 5、Z 5・Z 7 に設けられた光送受信モジュール Z O 間を接続し、異なるリンク Z 1・Z 3、Z 3・Z 5、Z 5・Z 7 の間にはそれぞれ介在リンク Z 2、Z 4 及び Z 6 の 1 つのみが設けられている。光ファイバケーブル 3 9 R - ₈ 及び 3 9 R - ₅ 以外であり、端リンク Z 1、近接端リンク Z 7 及び介在リンク Z 2～Z 6 に接続される光ファイバケーブルで第 2 光ファイバケーブル列 3 9 R に含まれる光ファイバケーブルは、光ファイバケーブル 3 9 R - ₆ 及び 3 9 R - ₇ であって、それぞれ異なるリンク Z 6・Z 4 及び Z 4・Z 2 に設けられた光送受信モジュール Z O 間を接続し、異なるリンク Z 6・Z 4 及び Z 4・Z 2 の間にはそれぞれ介在リンク Z 5 及び Z 3 の 1 つのみが設けられている。端リンク Z 1 とその近接端リンク Z 7 との間に敷設される光ファイバケーブル 3 9 T - ₁ ～ 3 9 T - ₃ 及び 3 9 R - ₅ ～ 3 9 R - ₈ が通過する連結部の数は 1 又は 2 で構成され、通過する連結部の数が 2 以下の光ファイバケーブルによって端リンク Z 1 とその近接端リンク Z 7 の光送受信モジュール Z O が接続されている。

【0090】

端リンク Z 7 の光送受信モジュールと最も少ない数の連結部を介して接続される介在リンク Z 8 の光送受信モジュールとの間は光ファイバケーブル 3 9 T - ₄ によって接続されている。近接端リンク Z 11 の光送受信モジュールと最も少ない数の連結部を介して接続される介在リンク Z 10 の光送受信モジュールとの間は光ファイバケーブル 3 9 T - ₆ によって接続されている。光ファイバケーブル 3 9 T - ₄ 及び 3 9 T - ₆ 以外であり、端リンク Z 7、近接端リンク Z 11 及び介在リンク Z 8～Z 10 に接続される光ファイバケーブルで第 1 光ファイバケーブル列 3 9 T に含まれる光ファイバケーブルは、光ファイバケーブル 3 9 T - ₅ であって、異なるリンク Z 8・Z 10 に設けられた光送受信モジュール Z O 間を接続し、異なるリンク Z 8・Z 10 の間には介在リンク Z 9 の 1 つのみが設けられている。光ファイバケーブル 3 9 T - ₄ 及び 3 9 T - ₆ 以外であり、端リンク Z 7、近接端リンク Z 11 及び介在リンク Z 8～Z 10 に接続される光ファイバケーブルで第 2 光ファイバケーブル列 3 9 R に含まれる光ファイバケーブルは、光ファイバケーブル 3 9 R - ₃ 及び 3 9 T - ₄ であって、それぞれ異なるリンク Z 11・Z 9 及び Z 9・Z 7 に設けられた光送受信モジュール Z O 間を接続し、異なるリンク Z 11・Z 9 及び Z 9・Z 7 の間にはそれぞれ介在リンク Z 10 及び Z 8 の 1 つのみが設けられている。通過する連結部の数が 2 以下の光ファイバケーブルによって端リンク Z 7 からその近接端リンク Z 11 の間の光送受信モジュール Z O が接続されている。

【0091】

端リンク Z 11 の光送受信モジュールと最も少ない数の連結部を介して接続される介在リンク Z 12 の光送受信モジュールとの間は光ファイバケーブル 3 9 R - ₂ によって接続されている。近接端リンク Z 14 の光送受信モジュールと最も少ない数の連結部を介して接続される介在リンク Z 13 の光送受信モジュールとの間は光ファイバケーブル 3 9 T - ₈ によって接続されている。光ファイバケーブル 3 9 R - ₂ 及び 3 9 T - ₈ 以外であり、端リンク Z 11、近接端リンク Z 14 及び介在リンク Z 12 及び Z 13 に接続される光ファイバケーブルで第 1 光ファイバケーブル列 3 9 T に含まれる光ファイバケーブルは、光ファイバケーブル 3 9 T - ₈ であって、異なるリンク Z 11・Z 13 に設けられた光送受信モジュール Z O 間を接続し、異なるリンク Z 11・Z 13 の間には介在リンク Z 12 の 1 つのみが設けられている。光ファイバケーブル 3 9 R - ₂ 及び 3 9 T - ₈ 以外であり、端リンク Z 11、近接端リンク Z 14 及び介在リンク Z 12、Z 13 に接続される光ファイバケーブルで第 2 光ファイバケーブル列 3 9 R に含まれる光ファイバケーブルは、光ファイバケーブル 3 9 R - ₁ であって、異なるリンク Z 14・Z 12 に設けられた光送受信モジュール Z O 間を接続し、異なるリンク Z 14・Z 12 の間には介在リンク Z 13 の 1 つのみが設けられている。通過する連結部の数が 2 以下の光ファイバケーブルによって端リンク Z 11 からその近接端リンク Z 14 の間の光送受信モジュール Z O が接続され、通過する連結部の数が 2 以下の光ファイバケーブル 3 9 T - ₁ ～ 3 9 T - ₈ 及び 3 9 R - ₁ ～ 3 9 R - ₈ によって光ファイバネットワーク 3 9 が構成されている。

【0092】

以上で具体的実施形態の説明を終えるが、本発明は上記実施形態に限定されることなく幅広く変形実施することができる。光ファイバケーブルをリンクに固定する態様に応じた固定部減衰量を定め、同じ態様を有する固定部の数とその態様に応じた固定部減衰量との積の和を用いて光ファイバケーブルの伝送損失量を求めてもよい。光ファイバケーブルの光送受信モジュールへの接続時に生じる光信号の減衰量を加え、光ファイバケーブルの伝送損失量を評価してもよい。

【0093】

一端側リンク（第1種端リンク）又は他端側リンク（第2種端リンク）の少なくとも一方に複数の光送受信モジュールが設けられる場合がある。その場合はその端リンクに設けられた2つの光送受信モジュールがその端リンクとは異なるリンクに設けられた光送受信モジュールに接続される。その2つの光送受信モジュールは、その端リンクに設けられ、その2つの光送受信モジュール以外の光送受信モジュールの全て繋ぐように設けられた光ファイバケーブルによって接続される。

【0094】

第3種端リンクに3つ以上の光送受信モジュールがある場合は第1光ファイバケーブル列又は第2光ファイバケーブル列の少なくとも一方がその第3種端リンクに設けられた2つの光送受信モジュールと他のリンクに設けられた光送受信モジュールとを繋ぐ2本の光ファイバケーブルを含むように構成される。その第3種端リンクに設けられた2つの光送受信モジュールは直接光ファイバケーブルによって接続されるか、又は、その第3種端リンクに設けられた他の光送受信モジュールとその光送受信モジュールに繋がる光ファイバケーブルを介して接続される。

【0095】

上記実施形態ではリング型の光ファイバネットワークが構成されていたが、光ファイバケーブルの伝送損失量が光ファイバケーブルで接続された光送信装置と光受信装置との光送受信許容レベル差以下であるように敷設される光ファイバ配線構造は、スター型やハブ型等のネットワークの一部を形成してもよい。

【0096】

関節にケーブルが敷設されとしたが、本明細書に記載の「敷設」とは、必ずしも「敷くように」ということを意味せず、関節に通信や光通信を可能とするようにケーブルが設けられる態様であることを意味する。

【0097】

光ファイバケーブル中の伝搬による減衰量が固定部減衰量、連結部減衰量及びコネクタ減衰量よりも無視できる程度に小さいものとしたが、光ファイバケーブルの単位長さ当たりの減衰量と光ファイバケーブルの長さの積を加えて、光ファイバケーブルの伝送損失量を求めてもよい。

【0098】

光ファイバケーブルを敷設した結果、光ファイバケーブルの伝送損失量が大きく光通信が行えないときには、伝送損失量の大きい光ファイバケーブルが敷設されたリンク間の所望のリンクに光送受信モジュールを設ける。伝送損失量の大きい光ファイバケーブルをその光送受信モジュールによって中継される2本の光ファイバケーブルに分けることによって、光送受信モジュールによって送受信可能に光ファイバネットワークが形成することが可能となる。

【符号の説明】

【0099】

R : ロボット
 ΔP : 光送受信許容レベル差
 α_c : コネクタ減衰量
 α_f : 固定部減衰量
 α_l : 連結部減衰量

10

20

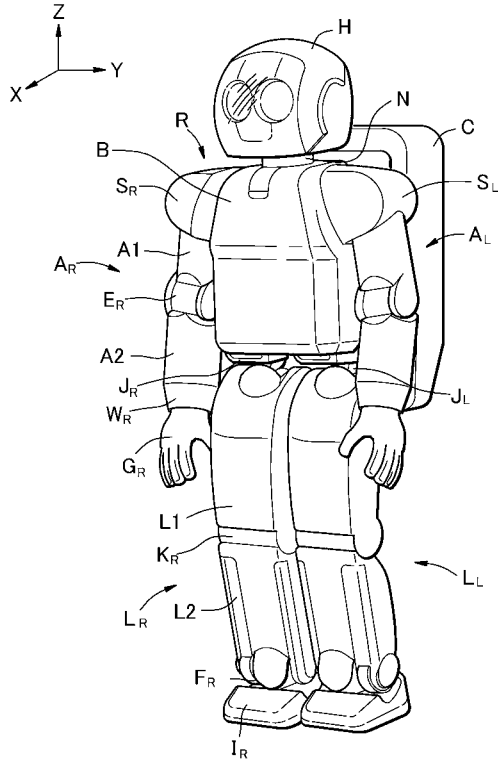
30

40

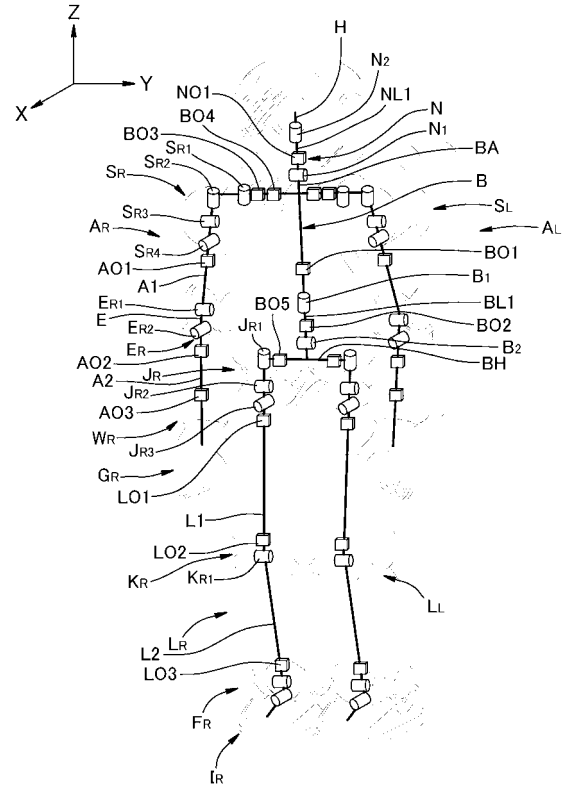
50

9	：第1実施形態に係る光ファイバケーブルネットワーク	
BA	：上体部本体	
BH	：臀部	
L1、L2	：リンク	
1～5	：光ファイバケーブル	
9T	：第1光ファイバケーブル列	
9R	：第2光ファイバケーブル列	
BO1	：光送受信モジュール	
BO5	：光送受信モジュール	
LO1～LO3	：光送受信モジュール	10
B ₁ 、B ₂	：連結部	
J _{R1} 、J _{R2} 、J _{R3}	：連結部	
BO1T _F	：固定部	
BO1R _F	：固定部	
BO5R _F	：固定部	
LO1T _F	：固定部	
C1	：コネクタ	
19	：第2実施形態に係る光ファイバケーブルネットワーク	
A1、A2	：リンク	
11～15	：光ファイバケーブル	20
BO3	：光送受信モジュール	
AO1～AO3	：光送受信モジュール	
S _{R1} 、S _{R2} 、S _{R3} 、S _{R4}	：連結部	
E _{R1} 、E _{R2}	：連結部	
FP	：固定部	
C11～C12	：コネクタ	
29	：第3実施形態に係る光ファイバケーブルネットワーク	
BL1	：リンク	
NL1	：リンク	
21～24	：光ファイバケーブル	30
29T	：第1光ファイバケーブル列	
29R	：第2光ファイバケーブル列	
BO2	：光送受信モジュール	
BO4	：光送受信モジュール	
NO1	：光送受信モジュール	
C21、C22	：コネクタ	
39	：第4実施形態に係る光ファイバケーブルネットワーク	
Z1～Z14	：リンク	
ZL	：連結部	
ZO	：光送受信モジュール	40
39T	：第1光ファイバケーブル列	
39R	：第2光ファイバケーブル列	
39T ₋₁ ～39T ₋₈	：光ファイバケーブル	
39R ₋₁ ～39R ₋₈	：光ファイバケーブル	

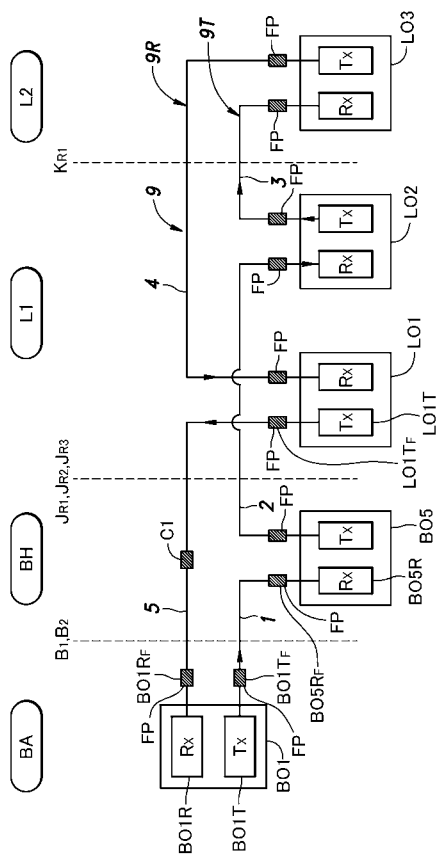
【図 1】



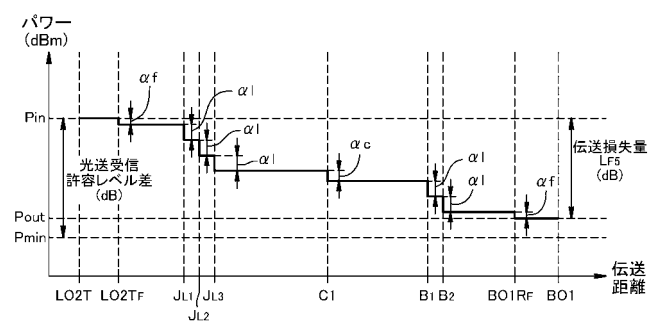
【図 2】



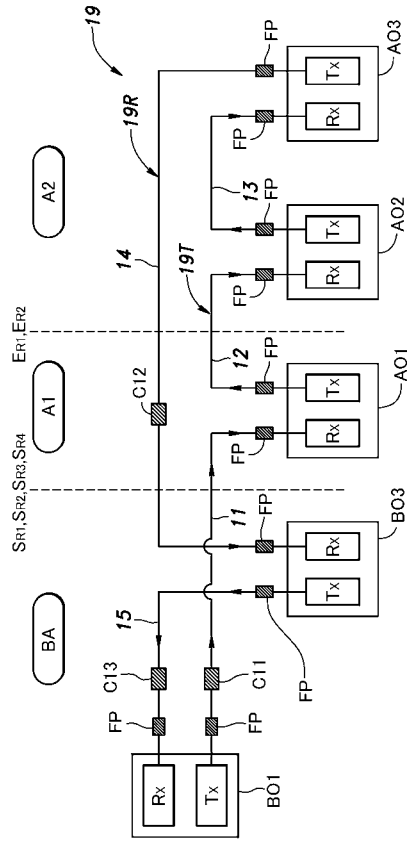
【図 3】



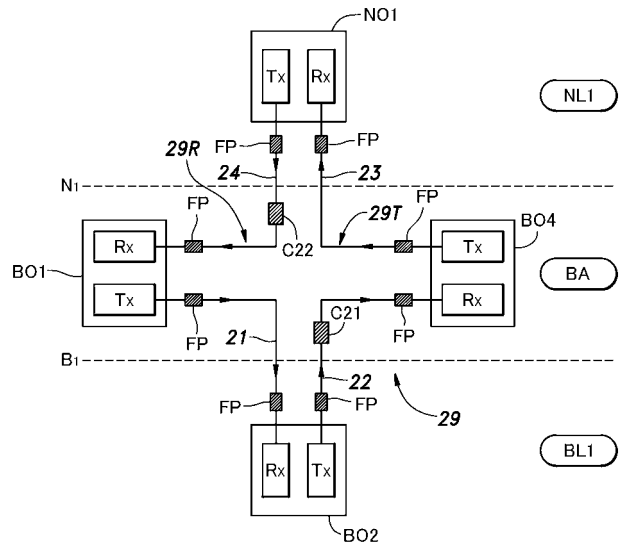
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【図 7】

