

光ファイバを用いた環境試験データ収集・伝送システム

メタデータ	言語: ja 出版者: 静岡大学 公開日: 2011-10-27 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 神谷, 真好 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.11501/3162139

電子科学研究科

GD

K

0002514313

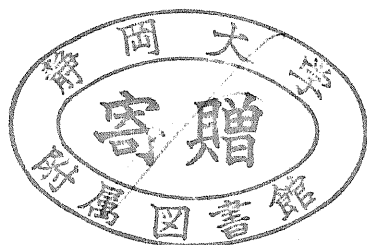
R

213

静岡大学附属図書館

静岡大学 博士論文

光ファイバを用いた環境試験データ
収集・伝送システム



1999年8月

静岡大学大学院電子科学研究科
電子応用工学専攻

神谷 真好

概 要

実使用環境における信頼性を予め評価しておくため、電子機器や機械装置に対して環境試験が行われている。環境試験を行うとき、試験環境が外部環境に影響を及ぼしたり、逆に、外部環境が試験環境を乱す可能性がある。更に、試験環境が、試験者に不快感を与えたり危険を及ぼすことも考えられる。そのため、一部の環境試験は専用の試験室の中で行われている。

測定機器の制御、測定データの収集・処理、及び被試験機器となる電子機器などの状態監視などの操作を、試験室とは異なる測定室において一括して行うことができれば、専用の試験室で行われる環境試験を安全に効率良く実施することができるようになる。このような環境試験では、測定データをはじめとするさまざまな試験データを、試験室内で、あるいは測定室と試験室との間で双方向に伝送しなければならない。

ところが、環境試験で使用される試験機器の多くは、強い電磁界ノイズを発生する。そのため、伝送される試験データが電磁界ノイズの影響を受け、試験結果の信頼性が低下する恐れがある。そこで、光ファイバを試験データの伝送に使用すれば、伝送される試験データを電磁界ノイズから保護することができるため、試験結果の信頼性を高めることができる。

複数のデータを片方向にあるいは双方向に同時伝送することができる従来の光ファイバデータ多重伝送システムは、複数の光ファイバや多くの光学部品で構成されている。そのため、従来の光ファイバデータ多重伝送システムは、量産性の向上、低コスト化、及び小型化が十分に達成されているとは言えない。そこで、光ファイバデータ多重伝送システムを少ない光学部品で構成することができれば、これらの欠点を解決することができ、環境試験などの産業用途へ適用することが容易になる。

本研究は、専用の試験室で行われる環境試験を、試験者の安全性と試験データの信頼性を確保しながら効率良く実施できるようにするため、従来とは異なる複数の光ファイバデータ多重伝送システムを試験データの伝送に使用した、新しい環境試験データ収集・伝送システムの構築を目的として実施したものである。

本論文では、まず、現状の環境試験システムと光ファイバ伝送システムの問題点を指摘し、本研究の背景と必要性を明確にした。

次に、専用の試験室で実施される環境試験のデータ収集・伝送システムとして要求される機能を検討し、それらの機能を具備した環境試験データ収集・伝送システムの概要を提案した後、4つの試験室内データ収集システム、試験室・測定室間データ伝送システム、及び測定室内データ収集制御・処理システムから成る新しい環境試験データ収集・伝送システムを構成した。また、ここでは、環境試験データ収集・伝送システムの主要な構成要素である複数の光ファイバ伝送システムについて、それぞれに要求される伝送性能を決定した。

続いて、要求された伝送性能にもとづいて、各光ファイバ伝送システムの基本構成要素と変調方式を検討し、試験室内において測定データの収集に使用する3種類のプラスチック光ファイバ伝送システムと、試験室・測定室間で試験データの伝送に使用する1種類のGI形光ファイバ伝送システムを構成した。また、ここでは、各光ファイバ伝送システムの伝送性能を測定し、いずれの光ファイバ伝送システムも、環境試験データ収集・伝送システムから要求されている伝送性能を満足していることを確認した。

更に、構成した環境試験データ収集・伝送システムを、専用の試験室で実施される振動試験と温湿度試験へ実際に応用した。その結果、本研究で構成した環境試験データ収集・伝送システムを利用することによって、試験者の安全性と試験データの信頼性を確保しながら、これらの環境試験を効率良く実施できることを確認した。また、ここでは、環境試験データ収集・伝送システムを利用した自動化試験の提案や、環境試験データ収集・伝送システムのネットワーク化への対応についても記述した。

最後に、本研究の内容と成果をまとめた後、環境試験データ収集・伝送システムを電磁波試験や静電気試験へ応用展開することについて提案した。

以上のように、本研究では、専用の試験室の中で被試験機器に対して厳しい環境条件を与えて行われる、いわゆる環境耐性試験を対象として、それらの試験で共通して使用することのできる新しい環境試験データ収集・伝送システムの構築を行った。本研究の成果は、測定室の試験者あるいはコンピュータが、試験室内に設置された被試験機器の状態を常時監視しながら、センサの走査や切換を制御することにより、専用の試験室で行われる環境試験を安全に効率良く行うことを可能とした。

目次

第1章 序論	1
1. 1 本研究の背景	1
1. 1. 1 環境試験の概要と問題点	1
1. 1. 2 光ファイバ伝送システムの概要	10
1. 2 本研究の目的と位置付け、及び特徴	17
1. 2. 1 本研究の目的	17
1. 2. 2 本研究の位置付け	17
1. 2. 3 構成するデータ収集・伝送システムの特徴	18
1. 3 本論文の構成	19
参考文献	21
第2章 環境試験データ収集・伝送システム	23
2. 1 収集・伝送される試験データ	23
2. 1. 1 測定データとセンサの種類	24
2. 1. 2 データ収集方式と制御データ	25
2. 1. 3 伝送される試験データの種類	26
2. 2 試験室内の電磁界ノイズ	27
2. 2. 1 電磁界ノイズの実測値	27
2. 2. 2 試験データへの電磁界ノイズの影響	27
2. 3 データ収集・伝送システムに要求される機能と構成上の対応	28
2. 4 データ収集・伝送システムの構成と動作	30
2. 4. 1 データ収集・伝送システムの概要	30
2. 4. 2 試験室内データ収集システムの構成と動作	31
2. 4. 3 試験室・測定室間データ伝送システムの構成と動作	39
2. 4. 4 測定室内データ収集制御・処理システムの構成と動作	41
2. 4. 5 データ収集・伝送システムの全体構成	42

2. 5	光ファイバ伝送システムへ要求される伝送性能	43
2.5.1	光ファイバ伝送システムA	43
2.5.2	光ファイバ伝送システムB	46
2.5.3	光ファイバ伝送システムC	48
2.5.4	光ファイバ伝送システムD	48
2. 6	まとめ	52
	参考文献	54
第3章	光ファイバデータ伝送システム	57
3. 1	基本構成要素と変調方式の選択	57
3.1.1	光ファイバの選択	57
3.1.2	発光素子と受光素子の選択	59
3.1.3	変調方式の選択	59
3.1.4	基本構成要素の組み合わせと変調方式	60
3. 2	屈曲伝送損失補償機能付きデータ伝送システム	61
3.2.1	可動部に敷設された伝送システムへの要求性能	61
3.2.2	新しい光波長分割多重伝送方式の提案	62
3.2.3	プラスチック光ファイバの屈曲による光信号の透過損失とその補償	62
3.2.4	E/O変換器とO/E変換器及びクロストーク除去回路	65
3.2.5	伝送システムの構成とその動作	74
3.2.6	伝送システムの性能とその評価	77
3.2.7	寸法測定による伝送システムの性能評価	79
3.2.8	まとめ	85
3. 3	LEDを用いた全二重データ伝送システム	86
3.3.1	プラスチック光ファイバに適合したLEDの発光波長	86
3.3.2	光カプラの構成、動作、及び性能	86
3.3.3	伝送システムの構成とその動作	87
3.3.4	伝送システムの性能とその評価	89
3.3.5	まとめ	93

3. 4	多周波パラレルデータ伝送システム	94
3. 4. 1	従来のパラレル伝送方式による光ファイバ伝送の問題点	94
3. 4. 2	多周波パラレル伝送の概念	95
3. 4. 3	伝送システムの構成とその動作	96
3. 4. 4	システムの伝送性能	100
3. 4. 5	まとめ	101
3. 5	LDを用いた全二重データ伝送システム	102
3. 5. 1	従来の全二重データ伝送システム	102
3. 5. 2	新しい光送受信モジュールの提案	103
3. 5. 3	光送受信モジュールの構成とその動作	104
3. 5. 4	伝送システムの構成とその動作	107
3. 5. 5	伝送システムの性能とその評価	113
3. 5. 6	まとめ	116
3. 6	まとめ	116
3. 6. 1	屈曲伝送損失補償機能付きデータ伝送システムの特徴	116
3. 6. 2	LEDを用いた全二重データ伝送システムの特徴	117
3. 6. 3	多周波パラレルデータ伝送システムの特徴	117
3. 6. 4	LDを用いた全二重データ伝送システムの特徴	117
	参考文献	118
第4章	データ収集・伝送システムを用いた環境試験	121
4. 1	データ収集・伝送システムの振動試験への応用	121
4. 1. 1	振動試験の一般的な手順と試験法	121
4. 1. 2	電動式振動発生機による振動の発生	122
4. 1. 3	振動センサと試験室内データ収集システムの選択	122
4. 1. 4	データ収集・伝送システムの設置	124
4. 1. 5	収集される振動測定データの正確さの評価	126
4. 1. 6	被試験機器に実装された複数部品の固有振動周波数測定	127
4. 1. 7	振動分布の2次元自動測定	131

4. 2	データ収集・伝送システムの温湿度試験への応用	134
4. 2. 1	温湿度サイクル試験と熱衝撃試験	134
4. 2. 2	温湿度試験器の構成と動作	134
4. 2. 3	温度センサと試験室内データ収集システムの選択	135
4. 2. 4	データ収集・伝送システムの設置	136
4. 2. 5	収集される温度測定データの正確さの評価	136
4. 2. 6	熱衝撃試験における雰囲気温度と部品温度の同時測定	138
4. 2. 7	被試験機器の温度及び状態データの自動測定	139
4. 3	自動化試験及び測定データ処理のネットワーク化への対応	142
4. 3. 1	既存の試験システムとの接続による自動化試験	143
4. 3. 2	測定データ処理のネットワーク化	144
4. 4	まとめ	145
	参考文献	146
第5章	結論	148
5. 1	本論文のまとめ	148
5. 2	構成したデータ収集・伝送システムの特徴	149
5. 3	電磁波試験と静電気試験への応用展開	150
5. 3. 1	データ収集・伝送システムの電磁波試験への応用展開	151
5. 3. 2	データ収集・伝送システムの静電気試験への応用展開	152
	本研究に関する発表論文等	153
	謝辞	156

第1章 序論

1. 1 本研究の背景

1.1.1 環境試験の概要と問題点

環境試験は、電子機器や電気機械などの被試験機器が実使用時に受ける環境条件をシミュレートまたは再現することによって、被試験機器が規定された環境条件に耐え、正常に動作することを確認するために実施される^{(1),(2)}。そこで、被試験機器が輸送、貯蔵、取付け及び使用時にさらされる環境因子とその厳しさの分類が、国際的にはIEC（国際電気標準会議）規格や CISPR（国際無線障害特別委員会）勧告、日本国内では JIS 規格（日本工業規格）により規定されている^{(3),(4)}。

IEC 規格や JIS 規格で規定された、電子機器や電気機器に対する環境試験とその環境因子を図1. 1にまとめて示す。図1. 1において、網掛けを施してある部分は、本論文で取り扱う範囲を示している。

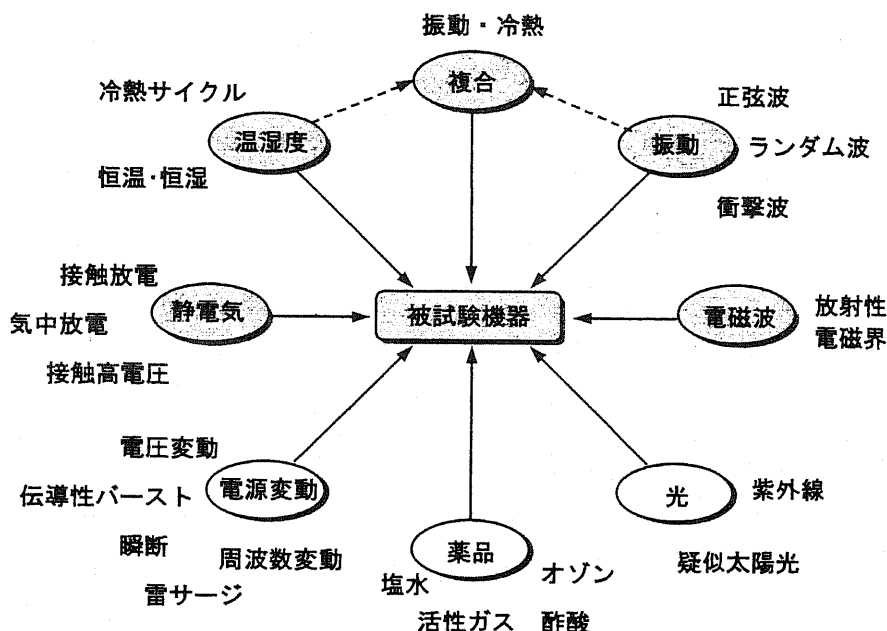


図1. 1 環境試験の種類と環境因子

一般に、それぞれの国や地域で運用される電子機器や電気機器に対する試験法（日本の JIS 規格、米国の ANSI 規格、ヨーロッパ連合(EU)の EN 規格など）は、IEC 規格に準拠した内容で制定されている。しかし、電磁波試験、静電気試験、及び電源試験に関しては、IEC 規格で規定されているものの、JIS で規格化されるまでには至っていない。また、EN 規格外製品の EU への輸入規制が 1996 年以降実施されている。これらの理由から、日本では、現在のところ、電磁波試験、静電気試験、及び電源試験は EN 規格に沿って行われている⁽⁵⁾。

(a) 専用の試験室で行われる環境試験

振動試験、温湿度試験、電磁波試験、及び静電気試験について、それぞれの試験法を規定した JIS や EN の規格番号とその内容、及び対応する国際規格を表 1. 1 に示す。規格では、被試験機器を用途別に分類し、その用途に応じて被試験機器に与える環境条件の厳しさを規定している。

それぞれの試験を規格に沿って実施したとき、被試験機器に与えられる最も厳しい環境条件の程度と、その環境因子を与える対象を表 1. 2 に示す。

表 1. 1 環境試験の規格番号

試験の種類	規格番号	規格内容	対応する国際規格
振動試験	JIS C 0036	広帯域ランダム振動試験方法及び指針	IEC 68-2-64
	JIS C 0040	正弦波振動試験方法	IEC 68-2-6
	JIS C 0041	衝撃試験方法	IEC 68-2-27
温湿度試験	JIS C 0025	温度変化試験方法	IEC 68-2-14
	JIS C 0028	温湿度組合せ試験方法	IEC 68-2-38
	JIS C 0032	高温高湿試験方法	IEC 68-2-56
電磁波試験	EN 61000-4-1	イミュニティ試験の概要	IEC 1000-4-1
	EN 61000-4-3	放射性無線周波数電磁界イミュニティ試験法	IEC 1000-4-3
	EN 61000-4-8	商用周波数電磁界イミュニティ試験法	IEC 1000-4-8
静電気試験	EN 61000-4-2	静電気放電に対するイミュニティ試験法	IEC 1000-4-2

このような厳しい環境条件を用いる試験では、環境因子が試験環境から外部環境へ容易に伝達し、被試験機器以外の電子機器や電気機械に対して影響を及ぼしたり、逆に、外部環境からの影響により制御している環境条件が変動し、試験結果の信頼性が低下する可能性がある。更に、これらの環境条件にさらされている試験環境は、試験を行う試験者にとっても極めて危険で、不快を感じない環境である⁽⁶⁾。それぞれの環境試験において、試験者が環境因子から受ける可能性のある障害を表1. 3に示す。

表1. 2 環境条件の厳しさの程度

試験の種類	環境条件	環境条件の厳しさの程度	環境条件を与える対象
振動試験	振動	加速度 100 G 速度 100 cm/sec. 変位 30 mmp-p 周波数範囲 10 Hz~1000 Hz	被試験機器が装着された加振台
温湿度試験	温度 湿度	温度範囲 -55°C~+155°C 湿度範囲 10%Rh~95%Rh	被試験機器が設置された試験室 または試験槽
電磁波試験	電界 磁界	電界強度 15 V/m 周波数範囲 80MHz~1GHz 磁界強度 3 A/m 周波数範囲 DC~150kHz	被試験機器が設置された近傍空間
静電気試験	電圧	電圧 8 kV	被試験機器の導電性露出部分

表1. 3 試験者が環境因子から受ける可能性のある障害

試験の種類	試験者が受ける可能性のある障害
振動試験	・ 被試験機器の脱落や飛散によるケガ ・ 騒音による聴力障害
温湿度試験	・ 高温による火傷 ・ 低温による凍傷
電磁波試験	・ 強電磁界の被曝による生体組織障害
静電気試験	・ 高電圧の感電による火傷

そこで、図1. 2に示すように、試験に用いる環境因子について試験環境と外部環境との間の相互干渉をなくし、危険要素や不快要素から試験者を保護するため、これらの試験は、それぞれの環境因子について外部と絶縁された専用の試験室の中で行われるのが一般的である。これらの環境試験が実施されている間、試験者は試験室とは離れた測定室において試験機器の制御を行わなければならない。

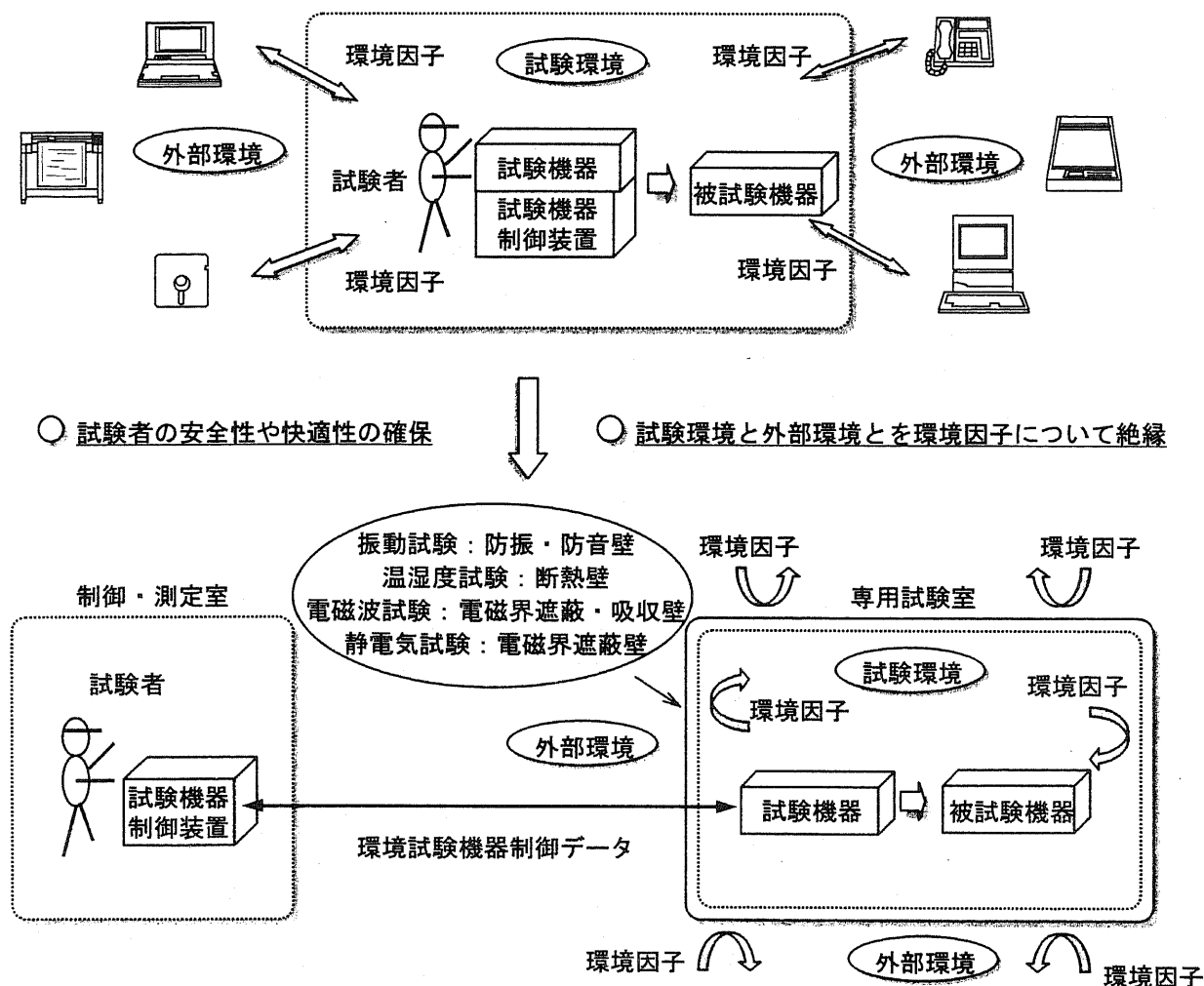


図1. 2 試験者や被試験機器以外の電子機器に与える障害と環境因子の相互干渉の問題点、及びその解決法

(b) 振動試験、温湿度試験、電磁波試験、及び静電気試験の現状

振動試験は、被試験機器が輸送、貯蔵、取付け、及び使用時にさらされる振動環境に、被試験機器の電氣的、及び機械的機能が耐えられる程度を評価する試験である。振動試験では、加振台に装着された被試験機器を電動式振動発生機によって加振する。

振動耐久試験における振動条件は、被試験機器に実装された各 부품の固有振動周波数が、規定された振動周波数の範囲に存在するかどうかによって大きく異なる。そのため、振動耐久試験を行う前に、被試験機器に実装された各 부품の固有振動周波数の検索が行われる。振動耐久試験の行われている間、及び振動耐久試験の後には、被試験機器の電氣的、及び機械的機能検査が行われる。車載用電子機器に対して振動耐久試験が行われている試験室の様子を図1. 3に示す。電子機器の電氣的機能、及び電子機器に実装された部品を測定するため、電子機器から多数のメタルケーブルが引き出されている。

温湿度試験は、被試験機器が輸送、貯蔵、取付け、及び使用時にさらされる温湿度環境に、被試験機器の電氣的、及び機械的機能が耐えられる程度を評価する試験である。温湿度試験では、試験室または試験槽の内部に被試験機器を置き、試験室または試験槽内部の温度、及び湿度を規定された環境条件で制御する。温湿度試験は、温湿度サイクル試験と、熱衝撃（サーマルショック）試験とに大別される。温湿度サイクル試験とは、比較的緩やかに変化する温度、及び湿度を被試験機器に与える試験であり、熱衝撃試験とは、低温と高温の2値条件で急激に変化する温度を被試験機器に与える試験である。被試験機器の材質や熱容量の違いにより、試験室や試験槽内部の制御された環境温度と、被試験機器の温度とは異なる。そのため、温湿度耐久試験の行われている間、及び温湿度耐久試験の後には、被試験機器の電氣的、及び機械的機能検査と共に、被試験機器の温度測定が行われる。車載用電子機器に対して熱衝撃耐久試験が行われている試験槽外部の様子を図1. 4に示す。電子機器の電氣的機能や各部の温度を測定するため、試験槽内の電子機器から多数のメタルケーブルが引き出されている。

自動車や航空機などの輸送機械で使用される電子機器、及び電気機械には、振動環境と温湿度環境を同時に与える複合環境試験が行われることが多い。振動と温湿度の複合環境試験では、被試験機器が装着された電動式振動発生機に加振台から上部を、温湿度試験槽の内部に突出させた状態で試験が行われる。

<第1章>

測定室に設置されている電動式振動発生機が発生する振動を制御するための振動制御器と、試験槽内部の温湿度を制御するための温湿度制御器を図1.5に示す。

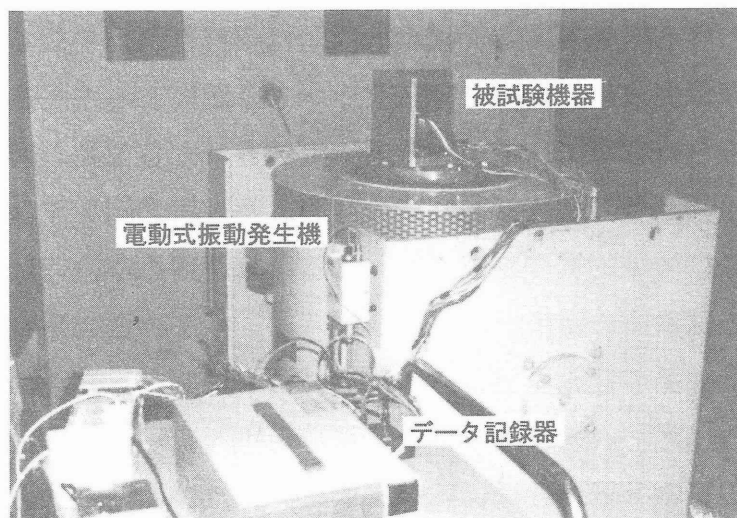


図1.3 車載用電子機器に対する振動試験（試験室）



図1.4 車載用電子機器に対する熱衝撃試験（試験室）

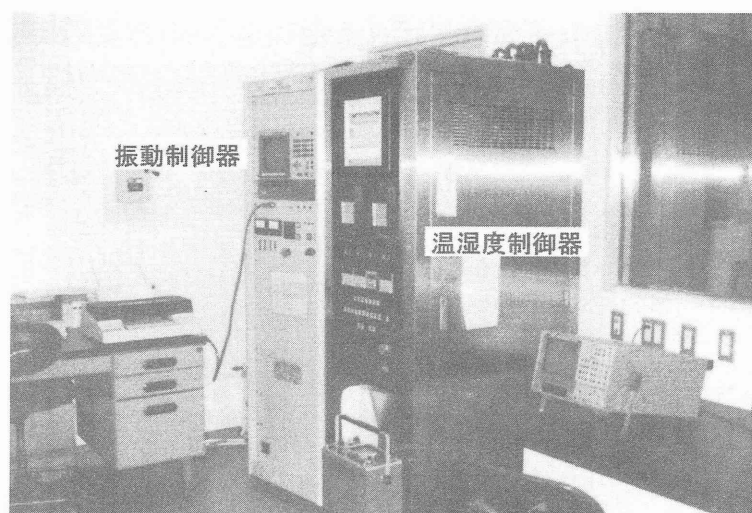


図1. 5 振動制御器と温湿度制御器（測定室）

電磁波試験は、被試験機器が輸送、貯蔵、取付け、及び使用時にさらされる放射電磁界環境に、被試験機器の電氣的機能が耐えられる程度を評価する試験である。電磁波試験は、外部から放射された電磁界を遮蔽する機能（電波暗室の機能）と、内部から放射された電磁波を吸収する機能（電波無響室の機能）を合わせ持った試験室を使用して行われる。電磁波試験では、規定された周波数範囲とパワー密度を持つ強電磁界が、放射アンテナにより被試験機器に与えられる。被試験機器は、試験室内のターンテーブル上に設置され、テーブルを回転させることにより被試験機器への電磁界照射面を二次元に変化させることができる。試験室内の器具や機器の配置を変更した場合、試験室内の電界強度分布に影響を及ぼす。そのため、試験を始める前に、アンテナからの放射強度を調整することにより、テーブルの位置における電界強度を校正する必要がある。電磁波耐久試験の行われている間、及び電磁波耐久試験の後には、被試験機器の電氣的機能検査が行われる。一般に、試験室の出入口が開いたとき、アンテナからの電磁界放射が停止するような安全機構が試験室に備えられている。産業用電子機器に対して電磁波耐久試験が行われている試験室内の様子を図1. 6に示す。また、電磁界放射制御機器の設置された測定室の様子を図1. 7に示す。試験機器制御データ伝送用のケーブルは、試験室の床下ピットに沿って敷設されている。

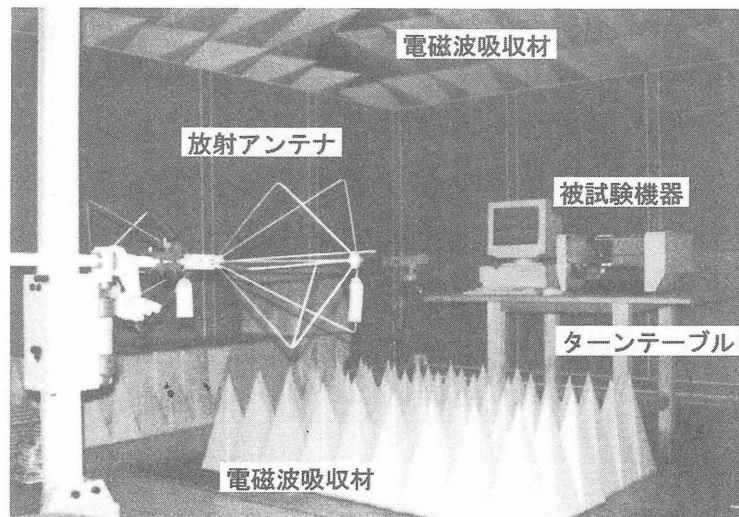


図1.6 産業用電子機器に対する電磁波試験（試験室）



図1.7 電磁界放射制御器（測定室）

静電気試験は、被試験機器が輸送、貯蔵、取付け、及び使用時にさらされる静電気環境に、被試験機器の電氣的機能が耐えられる程度を評価する試験である。静電気試験では、被試験機器表面に露出した導電性部品（部分）に、高い直流電圧を印加したプローブを接触させたり、あるいは近づけて放電する。次に、同じプローブを使用して被試験機器に帯電した静電気を除電した後、被試験機器の電氣的機能検査を行う。すなわち、印加プローブは除電プローブとしても使用する。複数の部品に対して試験を行う場合、これらの作業を繰り返して行う。また、被試験機器上の複数点の帯電圧を測定しながら、試験が行われる。静電気試験は、試験環境の湿度が試験結果に影響を及ぼすため、規定された範囲に湿度が保たれた試験室で行われる。産業用電源装置に対して静電気耐久試験が行われている様子を図1.8に示す。試験者が直接にプローブを保持して試験が行われている。定められた手順どおりに作業を行わない場合、試験者の安全に深刻な影響を及ぼす可能性がある。



図1.8 産業用電源装置に対する静電気試験（試験室）

1.1.2 光ファイバ伝送システムの概要

(a) 光ファイバ伝送システムの基本構成

図1. 9に光ファイバ伝送システムの一般的な基本構成を示す。入力データは、変調処理を施された後、発光素子で電気信号から光信号に変換され光ファイバへ送出される。光ファイバ中を伝搬した光信号は、受光素子により光信号から電気信号に変換され、復調処理を施された後、元のデータが再生され出力データとなる。変調処理、及び復調処理は、電子回路により行われる。光ファイバ伝送に固有な基本要素は、発光素子、光ファイバ、及び受光素子である^{(7),(10)}。

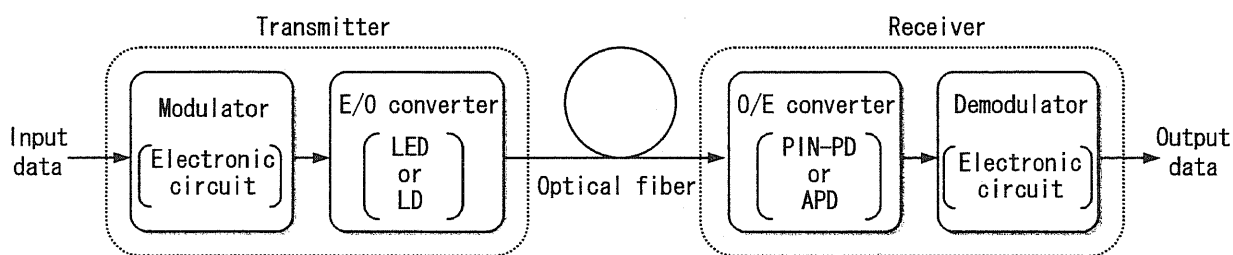


図1. 9 光ファイバ伝送システムの基本構成

(b) 光ファイバ伝送の特徴

光ファイバ伝送の特徴は、そのほとんどがデータ伝送媒体である光ファイバの特性と合致する。同軸ケーブル伝送の場合と比較した光ファイバ伝送の特徴を表1. 4に示す⁽⁷⁾。

表1. 4 光ファイバ伝送の特徴

特長	欠点
(1) 伝送損失が小さい。	(1) 光部品相互の接続に機械的精度が必要。
(2) 伝送帯域が広い。	(2) 光部品のモジュール化が難しい。
(3) 細径で軽量である。	(3) 光ファイバの曲げ透過損失が大きい。
(4) 曲げやすい。	(4) 電力が伝送できない。
(5) 強電磁界の影響を受けにくい。	
(6) 漏話が少なく、秘話性が高い。	

(c) 光ファイバの種類、構造、及び特性

代表的な光ファイバの種類、構造、及び特性を表1. 5に示す。大きくは、多モード（マルチモード）ファイバと単一モード（シングルモード）ファイバに分けられ、更に多モード光ファイバは、屈折率がコアとクラッド間の境界でステップ状に変化する階段屈折率ファイバ（SI形ファイバ）と、屈折率がなだらかに変化する分布屈折率ファイバ（GI形ファイバ）に大別される。

また、構成材料から、光ファイバは石英ガラスファイバとプラスチックファイバに分けられる。光ファイバのモードとは、光ファイバ中を伝搬する光の、電磁波としての伝搬定数が、離散的な値しか許されないことに対応する。すなわち、多モード光ファイバとは、多くの異なるモードが伝搬する光ファイバのことであり、単一モード光ファイバとは、最低次のモードのみが伝搬する光ファイバである⁽⁸⁾。

表1. 5 代表的な光ファイバの種類、構造、及び特性

	(1) ステップインデックス (SI) 形	材料	伝送帯域	伝送損失
マルチモード (MM) 光ファイバ		プラスチック	数 MHz	300 dB / km (660 nm帯)
		石英ガラス	数 10 MHz	1 dB / km (1300 nm帯)
シングルモード (SM) 光ファイバ		石英ガラス	数 GHz	0.3 dB / km (1550 nm帯)

単一モードファイバは、伝送帯域が極めて広く、伝送損失が極めて小さい優れた特徴を有しており、長距離大容量の伝送に最適な光ファイバである。しかし、コア径が小さいので、発光素子や受光素子との接続の際に高い位置精度を必要とするため、一般的な産業用途には適用し難い⁽⁹⁾。

GI 形多モードファイバは、コア径が単一モードファイバに比べて大きく、伝送帯域も比較的広い。そのため、長距離大容量伝送以外の多くの用途に適応し、中距離のデータ伝送に広く利用されている⁽⁹⁾。

また、SI 形多モードのプラスチックファイバは、伝送帯域が狭い、伝送損失が大きいなどの欠点がある。しかし、コア径が大きく取扱いが便利、曲げや衝撃に強く軽量、現場での加工が容易などの特長がある。そのため、産業分野における低速信号の短距離伝送に応用できる⁽¹⁰⁾。

(d) 発光素子の種類と特徴

通信に用いられる代表的な発光素子の種類と特徴を表 1. 6 に示す。発光素子は、発光ダイオード(LED)と、半導体レーザ(LD)とに大別される。LED は、一般の照明器具と同様な自然放出による発光作用を利用したものである。LD は、光を共振させるための共振器を有しており、共振によって、ある限られた波長の光を誘導放出する。短波長では 660nm と 850nm、長波長では 1300nm と 1550nm 付近の光を発光する光ファイバ伝送用の LED、及び LD が多く生産されている⁽⁹⁾⁽¹¹⁾。

LED から出力する光は、自然放出光のため発光波長のスペクトル幅が広い、出力が小さい、数百 μm までしかスポットが絞れない、高速の変調ができないなどの欠点がある。しかし、LED は、素子が廉価なことから伝送システムを安価に構成でき、短距離の低速データ伝送であれば十分な適応性を持つ⁽⁹⁾。

表 1. 6 代表的な発光素子の種類と特徴

種類	スペクトル 半値全幅	光出力 (CW)	ビーム 放射全角	遮断 周波数
LED	100nm	1 mW	60 °	50 MHz
LD	2 nm	5 mW	10 °	5 GHz

一方、LD から出力する光は、誘導放出光のため発光波長のスペクトル幅が狭い、出力が大きい、数 μm までスポットが絞れるなどの特長がある。そのため、LD は中・長距離の比較的高速なデータ伝送に適応する。なお、発光素子の変調帯域は発光面積に依存するため、発光面の小さい端面発光形の LED などは、高速で変調することができる^{(10),(11)}。

(e) 受光素子の種類と特徴

代表的な受光素子の種類と特徴を表 1. 7 に示す。受光素子は、PIN フォトダイオード(PIN-PD)と、アバランシフオトダイオード(APD)に大別される。いずれの素子も、ダイオードの接合面付近に光が照射されるとダイオードの両端から電流を出力する。一般に、PIN-PD は、応答速度を速めるため、ダイオードの両端に逆電圧(5 V DC \sim 20 V DC)を加えて使用される。APD では、ダイオードの両端に更に高い逆電圧(100 V DC \sim 300 V DC)を加え、雪崩効果を利用して電流を増幅して出力する。受光波長帯は、ダイオードを構成する材料の違いから短波長帯(400 nm \sim 1000 nm)と長波長帯(1000 nm \sim 1700 nm)に大別される^{(9),(11)}。

PIN-PD は、APD に比べて感度が低い、応答速度が遅いなどの欠点がある。しかし、雑音レベルが低い、安価であるといった特長がある。従って、PIN-PD は、公衆通信や高域データ通信のような長距離大容量伝送以外の広範な用途に適用できる。一方、APD は、高い逆バイアスを必要とする、ゆらぎ雑音が発生する、価格が高いなどの欠点がある。しかし、高感度であり、応答速度が速いため、長距離大容量伝送の用途に適している。なお、受光素子の応答速度は、受光面積に大きく依存する^{(10),(11)}。

表 1. 7 代表的な受光素子の種類と特徴

種類	動作電圧	感度	応答速度	暗電流
PIN-PD	5 V	0.5 A/W	300MHz	3 nA
APD	100 V	20 A/W (M=40)	2 GHz	10 nA

(f) 光ファイバの伝送損失と、発光素子の発光波長、及び受光素子の感度波長

光ファイバの種類と分光伝送損失、発光素子の材料と発光波長、及び受光素子の材料と感度波長を図1. 10にまとめて示す。光ファイバの伝送損失は伝送する光の波長によって大きく異なる。また、その分光伝送損失特性は、光ファイバの種類によっても大きく異なる。プラスチックファイバでは 580nm、及び 660nm 付近で伝送損失が小さい。そのため、プラスチックファイバを伝送媒体としたシステムでは、580nm、または 660nm 付近の光を発する AlGaAs を材料とした短波長の発光素子と、短波長の光に感度が大きい Si を材料とした受光素子を使用することが望ましい。一方、石英ファイバでは 1300nm、及び 1550nm 付近で伝送損失が小さい。そのため、石英ファイバを伝送媒体としたシステムでは、1300nm、または 1550nm 付近の光を発する InGaAsP を材料とした長波長の発光素子と、長波長の光に感度が大きい Ge や InGaAs を材料とした受光素子を使用することが望ましい^{(12),(13)}。

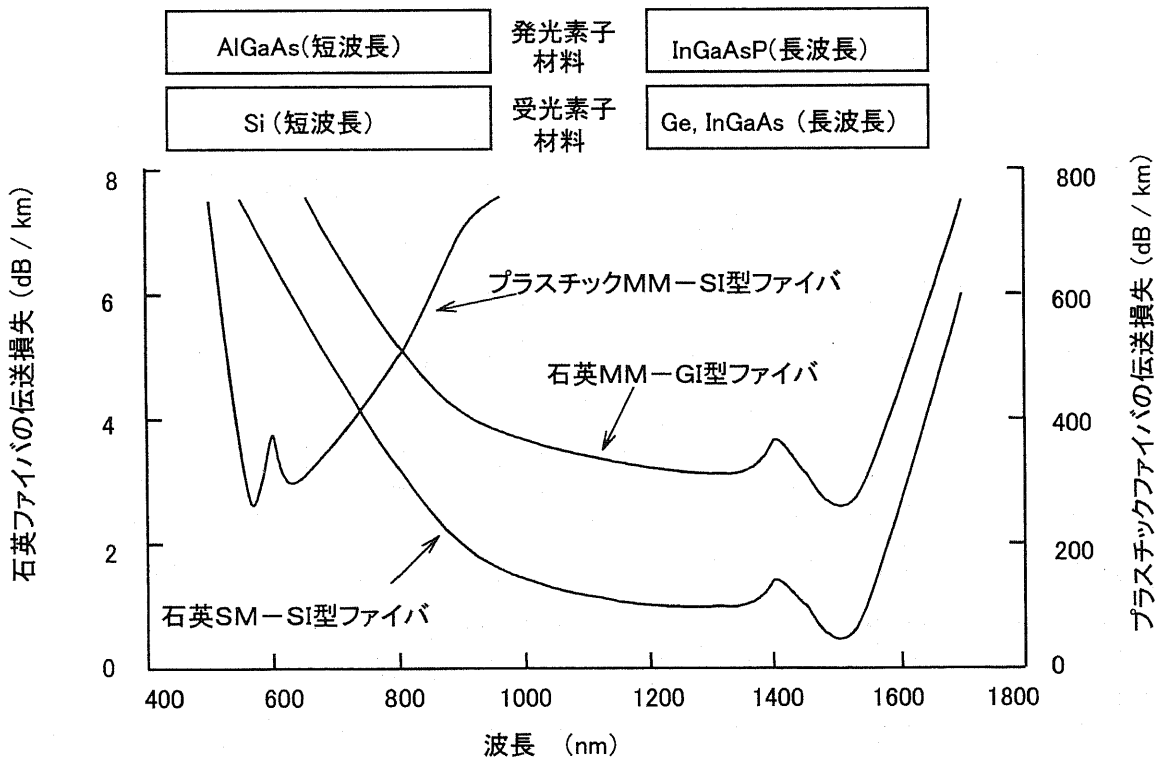


図1. 10 光ファイバの種類と分光伝送損失、発光素子の材料と発光波長、及び受光素子の材料と感度波長

(g) 光ファイバ、発光素子、及び受光素子の最適組合せと変調方式

光ファイバデータ伝送システムを構成する場合、経済性を含む要求仕様に合致した光ファイバ、発光素子、受光素子、及び変調方式を組み合わせることが重要となる。データの伝送距離と伝送帯域をパラメータとして、前述した光ファイバ、発光素子、及び受光素子のそれぞれの種類と特徴をもとに、3種類の組合せを図1. 11に示す。

LEDは出力光の放射角が広く細径の光ファイバへの結合効率が低いため、マルチモードSI形プラスチックファイバと組み合わせて使用される場合が多い。発光出力が小さく変調帯域の狭いLEDと、伝送帯域が狭く伝送損失が大きいプラスチック光ファイバとを組み合わせた伝送システムは、低速データの短距離伝送に適している⁽¹⁴⁾。

一方、LDは出力光の放射角が狭く細径の光ファイバへの結合効率が高いため、石英ファイバと組み合わせて使用される場合が多い。発光出力が大きく変調帯域の広いLDと、伝送帯域が広く伝送損失が小さい石英光ファイバとを組み合わせた伝送システムは、中速データの中・長距離伝送や、高速データの長距離伝送に適している⁽¹¹⁾。

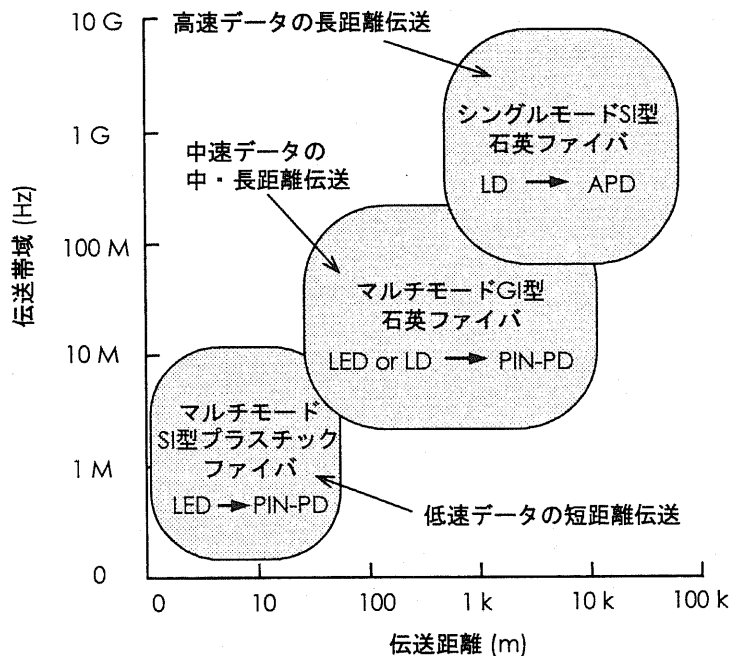


図1. 11 伝送距離と伝送帯域をパラメータとした伝送システムの分類と、光ファイバ、発光素子、及び受光素子の最適な組合せ

<第1章>

光ファイバ伝送が注目された理由は、従来の搬送波を用いる伝送方式と同様に、波長 $1\mu\text{m}$ の光を周波数に換算すれば 300THz と大変に高く、伝送帯域幅をその 0.1% としても 300GHz にもおよぶ超広帯域通信（コヒーレント通信）ができることにある。しかし、LED 光は空間的にも時間的にもコヒーレントではなく、LD 光は空間的にはコヒーレントとみなせるが、時間的には厳密にコヒーレントとは言えない。

最終的に、電気信号を光の強度変化に変えてデータ伝送を行っている段階であり、まだまだ光ファイバの超広帯域性を十分に活かしているとは言い難い。現在、一般に使用されている光ファイバ伝送では、図 1. 12 に示すような、LED や LD への注入電流を原信号のアナログまたはデジタル信号で直接変調する、いわゆる強度変調方式が用いられている⁽⁷⁾⁻⁽¹⁰⁾。

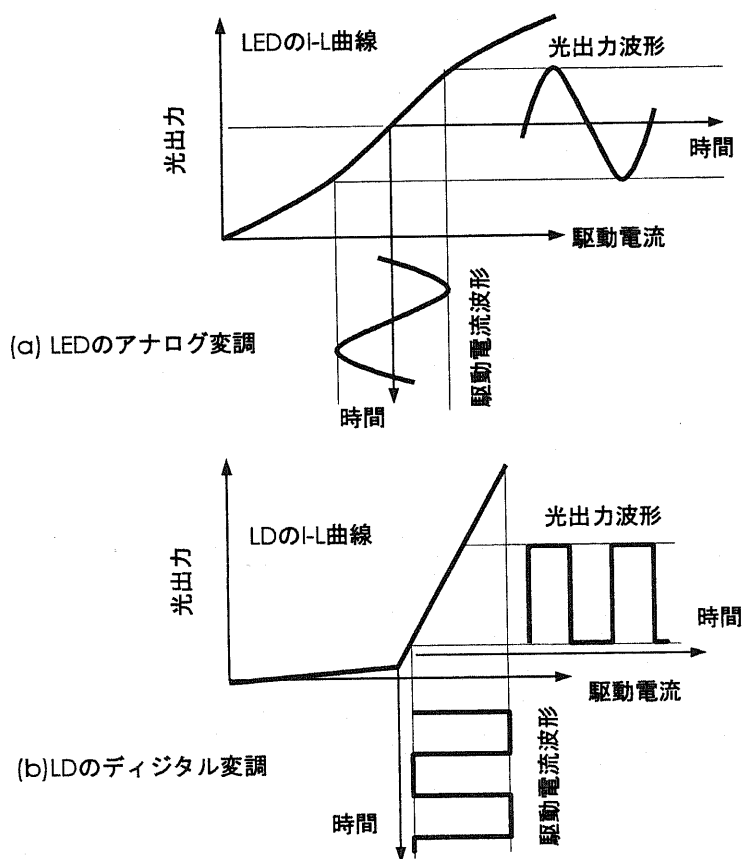


図 1. 12 LED のアナログ直接強度変調 (上) と LD のデジタル直接強度変調 (下)

1. 2 本研究の目的と位置付け、及び特徴

1.2.1 本研究の目的

環境試験を行うとき、試験環境が外部環境に影響を及ぼしたり、逆に、外部環境が試験環境を乱すことがある。更に、試験環境が試験者に不快感を与えたり危険を及ぼす可能性がある。そのため、一部の環境試験は、専用の試験室の中で行われている。

専用の試験室で実施される環境試験では、試験を実施している間、試験者は試験室の外に出なくてはならない。そのため、試験者が試験室とは異なる測定室に居ながら、測定データをはじめとする複数の試験データを正確に効率よく収集・処理できるシステムが望まれている^{(14),(15),(18),(19)}。

環境試験で使用される試験機器の多くは、強い電磁界ノイズを発生する。そのため、試験データを収集、及び伝送するシステムには、電磁界ノイズに対する高い信頼性が要求される⁽¹⁶⁾⁻⁽¹⁹⁾。

そこで、本研究は、専用の試験室で行われる環境試験を、試験者の安全性と試験データの信頼性を確保しながら効率良く実施できるようにするため、従来とは異なる複数の光ファイバデータ多重伝送システムを試験データの伝送に使用した、新しい環境試験データ収集・伝送システムの構築を目的として実施するものである。

1.2.2 本研究の位置付け

本研究で提案・構築する環境試験データ収集・伝送システムの適用対象は、専用の試験室の中で被試験機器に対して厳しい環境条件を与えて行われる、いわゆる環境耐性試験である。一般に、これらの環境試験システムは、試験中、被試験機器が受けている環境条件の厳しさを測定したり、被試験機器の状態を監視する機能を持たない。

ところが、試験中にこのような測定や監視を行うことは、与える環境条件の厳しさに応じた被試験機器の耐環境性能を正確に評価する上で重要である。

そこで、図1. 13に示すように、本研究で提案・構築する環境試験データ収集・伝送システムを、既存の環境試験システムと組み合わせて使用することにより、試験中に被試験機器が受けている環境条件の厳しさを測定したり、被試験機器の状態を監視することができる。更に、試験を中断することなく、試験条件を連続的に変化させて、効率よく耐環境性能の試験を行うことができるようになる。

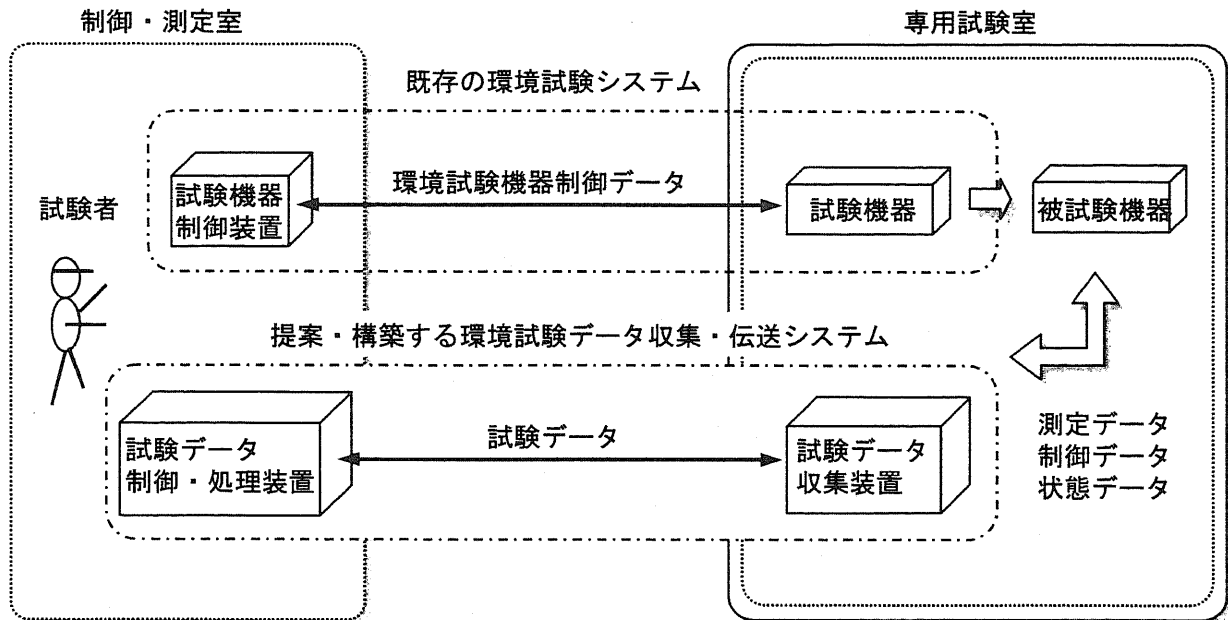


図1. 13 既存の環境試験システムと、提案・構築する環境試験データ収集・伝送システム

1.2.3 構成するデータ収集・伝送システムの特徴

本研究で構築する環境試験データ収集・伝送システムは、従来の環境試験システムを次のような面で改善させる。

(a) 収集される測定データ、及び伝送される試験データの信頼性が高い。

試験室で収集される測定データや、試験を実施するために必要な試験データが、光ファイバを介して伝送されている。そのため、電力線や試験機器から発生する高レベルの電磁界ノイズから伝送されるデータを保護することができる。

(b) 試験者の安全性や快適性を確保できる。

測定機器の制御、測定データの収集・処理、及び被試験機器の状態監視やその操作を、試験室とは離れた測定室において行うことができる。そのため、試験者が試験中の試験室に入る必要がなくなり、試験者の安全性や快適性が確保できる。

(c) 試験データの収集、伝送、及び処理が効率化されている。

複数の測定データをはじめとする試験データ、及び状態監視データが、一本の光ファイバを介して測定室と試験室との間で伝送されている。そのため、測定データを測定室の一箇所で効率良く収集・処理することができる。

(d) 試験を容易に自動化することができる。

測定室の制御器から試験室内のロボットやセンサ切換器を操作することにより、複数の測定データを収集している。そのため、制御器に試験プログラムの実装されたコンピュータを接続すれば、試験を容易に自動化することができる。

(e) 試験システムを容易にネットワーク化することができる。

測定室のインタフェース機器を設置すれば、このインタフェース機器を介して、試験室内の試験機器や測定機器を構内のコンピュータネットワークなどへ容易に接続することができる。

1.3 本論文の構成

本論文は5章から成る。各章で記述する内容は以下のとおりである。

第1章は序論であり、まず、環境試験システムと光ファイバ伝送システムについて、それぞれの現状を記述する。次に、主に試験者の安全性、試験データの伝送信頼性、及び試験の作業効率の観点から現状のシステムの問題点を指摘し、本研究の背景と必要性を明確にする。

第2章では、まず、専用の試験室で実施される環境試験において使用されるセンサや収集・伝送される試験データについてまとめ、データ収集・伝送システムに要求される機能を検討する。次に、それらの機能を具備した新しい環境試験データ収集・伝送システムの概要を提案し、4種類の試験室内データ収集システム、試験室・測定室間データ伝送システム、及び測定室内データ収集制御・処理システムから成る環境試験データ収集・伝送システムを構成する。最後に、環境試験データ収集・伝送システムの主要な構成要素である複数の光ファイバ伝送システムについて、それぞれに要求される伝送性能を決定する。

第3章では、まず、データ収集・伝送システムから要求された伝送性能にもとづいて、各光ファイバ伝送システムの基本構成要素の組み合わせと変調方式を検討し、いずれも1本の光ファイバを伝送路とする、3種類のプラスチック光ファイバ伝送システムと1種類のGI形光ファイバ伝送システムを構成する。次に、各光ファイバ伝送システムの伝送性能を測定し、それぞれの光ファイバ伝送システムが、環境試験データ収集・伝送システムから要求されている伝送性能を満足しているかどうかを確認する。ここで、3種類のプラスチック光ファイバ伝送システムは、それぞれ走査式非接

<第1章>

触アナログセンサ、8個の接触式アナログセンサ、及び8個の接触式バイナリセンサから出力された測定データを、各センサの出力端子からGI形光ファイバ伝送システムの試験室端へ伝送するシステムである。一方、GI形光ファイバ伝送システムは、センサの走査や切換を行うための制御データを測定室から試験室へ、また、被試験機器を映した動画データ、及び3種類のプラスチック光ファイバ伝送システムから受け取った測定データを試験室から測定室へ、それぞれ同時に伝送するシステムである。

第4章では、構成したデータ収集・伝送システムを、専用の試験室で実施される振動試験と温湿度試験へ実際に応用する。それぞれの試験では、まず、データ収集・伝送システムを介して収集された測定データが正確であるかどうかを確認する。次に、試験者が測定室内PCを操作しながら測定データを収集する試験と、測定室内PCに内蔵されたプログラムに従って自動的に測定データを収集する試験を行い、本研究で構成したデータ収集・伝送システムを利用することによって、試験者の安全性と試験データの信頼性を確保しながら、これらの環境試験を効率良く実施できるかどうかを確認する。この章では更に、データ収集・伝送システムを利用した自動化試験の提案や、データ収集・伝送システムのネットワーク化への対応について記述する。

第5章は結論であり、本研究の内容と成果をまとめる。更に、本文中では直接触れなかった、環境試験データ収集・伝送システムを電磁波試験や静電気試験へ応用展開することについて提案する。

<第1章参考文献>

- (1) JIS C 0010 「環境試験方法（電気・電子）通則」
- (2) IEC 68-1 "Basic Environmental Testing Procedures General and Guidance"
- (3) JIS C 0100 「環境パラメータとその厳しさの分類」
- (4) IEC 721-1 "Classification of environmental parameters and their severities"
- (5) 正田英介, "イミュニティ規格と試験技術", ミマツデータ, pp.1-12, (1996)
- (6) 神谷真好・池田弘明: 「LEDアッセンブリとカラーセンサアッセンブリによる二信号同時伝送とその振動計測応用」電気学会論文誌, Vol.116-C, No.7, pp.865-872, 1996.
- (7) 末松安晴, 伊賀健一: "光ファイバ通信入門", オーム社, pp.192, (1982)
- (8) 島田潤一: "光エレクトロニクス", 丸善, pp.57-66, (1989)
- (9) 宮地杭一: "プラスチック光ファイバの応用技術", 電気書院, pp.1-69, (1988)
- (10) 宮下豊勝: "光通信工学の基礎", 森北出版, pp.8, (1987)
- (11) 藤崎道雄: "光通信ネットワーク", 昭晃堂, pp.12-55, (1989)
- (12) 山田 実: "光通信工学", 培風館, pp.169-181, (1990)
- (13) 宮城光信: "光伝送の基礎", 昭晃堂, pp.145-162, (1991)
- (14) M.Kamiya and H.Ikeda, "Transmission of Both Forced and Natural Vibration Data Using Optical WDM Signal Transmission System", Proceedings of IAS'96, IEEE, Vol.3, pp1645-1652, 1996.
- (15) M.Kamiya and H.Ikeda, "Simultaneous Transmission of Vibration Sensor Position Control Data and Measured Vibration Data in Opposite Directions Through Single Plastic Optical Fiber", Proceedings of ETFA'96, IEEE, Vol.1, pp82-86, 1996.
- (16) Johnson.M.J, Davis.C.M.Jr, "Fiber Optic Sensor Instrumentation Research and Development in Electromagnetic Field Measurements", Proceedings of ISEC'82, IEEE, Vol.1982, pp.146-150, 1982.
- (17) Schlicke.H, "Shifting EMC Problems", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol.26, No.1, pp.1-3, 1984.
- (18) Masayoshi Kamiya and Hiroaki Ikeda, "Transmission of Both Forced and Natural Vibration Data Using Optical WDM Signal Transmission System", in Conference Record of IEEE Industrial Application Society 31st Annual Meeting (IAS) '96, Vol.3, pp.1645-

<第1章>

1652, (Oct.1996).

- (19) 神谷真好, 池田弘明, 篠原茂信, 吉田博文, "振動試験におけるセンサ位置制御信号と振動データとの同時双方向光ファイバ伝送", 日本科学技術連盟信頼性・保全性シンポジウム発表報文集, pp.161-166, (July 1997).

第2章 環境試験データ収集・伝送システム

本章では、まず、環境試験データ収集・伝送システムに要求される機能を検討する。ここでは、環境試験において収集・伝送される試験データについてまとめるとともに、データの収集・伝送におけるノイズ対策の重要性を確認する。次に、専用の試験室で行われる環境試験を試験者の安全性と試験データの信頼性を確保しながら効率よく実施するためのデータ収集・伝送システムの概要を提案し、各構成要素について述べた後、環境試験データ収集・伝送システムの全体構成について記述する。

2.1 収集・伝送される試験データ

専用の試験室で実施される環境試験では、試験を実施している間、試験者の安全性を確保したり、試験環境の乱れを防止するため、試験者は試験室の外に出なくてはならない。そのため、試験機器の制御は試験室とは異なる測定室で行われている。

一般に、試験機器で制御された環境条件の厳しさと、実際に被試験機器に与えられている環境条件の厳しさとは異なる。ところが、従来の環境試験システムは、こうした被試験機器に与えられている環境条件の厳しさを測定する機能を持たない。

一方、環境条件に対する被試験機器の機械的あるいは電氣的機能の耐久性を評価する場合、試験を実施している間、試験者は被試験機器に与えられている環境条件の厳しさの程度と被試験機器の機械的あるいは電氣的状態を常時測定する必要がある。

専用の試験室で実施される環境試験において、収集・伝送される試験データの分類を図2.1に示す。

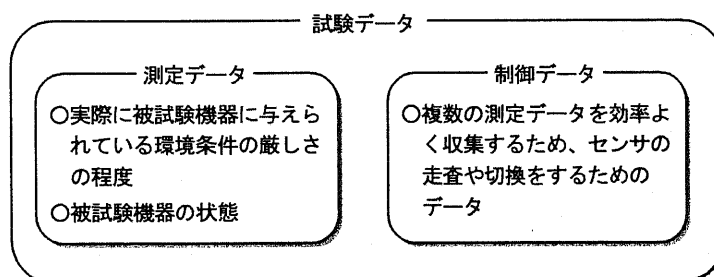


図2.1 試験データの分類

2.1.1 測定データとセンサの種類

(a) 被試験機器に与えられている環境条件の厳しさのデータ

専用の試験室で実施される振動試験、温湿度試験、電磁波試験、及び静電気試験において、それぞれの環境条件の厳しさを測定するために使用されるセンサの種類とその出力量、測定データの周波数、取り付け箇所または測定対象、及び形態を表 2. 1 にまとめて示す。各試験で使用するセンサの出力は、いずれも電圧へ容易に変換することができる⁽¹⁾⁻⁽³⁾

表 2. 1 環境条件の厳しさの測定に使用されるセンサの種類

試験の種類	測定対象	代表的な センサの種類	センサ 出力量	データの 周波数	センサの取付箇所 または測定対象	センサの 方式
振動試験	振動	静電型加速度センサ ドップラー速度センサ 光学式変位センサ	電流 電流 電流	10Hz-1kHz	加振台、及び 機器に実装された 複数の部品	接触式 非接触式 非接触式
温湿度試験	温度 湿度	白金抵抗 熱伝対 サーミスタ	抵抗 電圧 抵抗	緩やかな 変化	試験槽、及び 機器に実装された 複数の部品	接触式 接触式 接触式
電磁波試験	電界 磁界	電界強度計 磁界強度計	電流 電流	緩やかな 変化	照射面内の複数の 場所	非接触式 非接触式
静電気試験	電圧	FET入力センサ	電圧	緩やかな 変化	機器の複数の 導電性露出部分	接触式

(b) 被試験機器の機械的または電氣的状態データ

試験中における被試験機器の機械的な損傷は、被試験機器を映した画像により測定することができる。また、動作状態を被試験機器に装備している表示パネルなどに表示している場合も、同様に、被試験機器を映した画像により測定することができる。

ところが、それ以外の場合、被試験機器が電氣的に正常な動作を行っているかどうかは、画像（外観）から判断することが困難である。そこで、被試験機器内部の電氣的動作状態を被試験機器に装備している出力ポートに出力したり、直接に内部の電氣回路の電圧を測定する方法が考えられる。

被試験機器の状態を測定するために使用される測定対象、センサとその出力量、データの周波数、及び取付箇所を表2. 2に示す。

表2. 2 被試験機器の状態測定に使用されるセンサの種類

状態の種類	測定対象	代表的なセンサの種類	センサ出力量	データの周波数	センサの取付箇所または測定対象	センサの方式
機械的機能	外観	ビデオカメラ	電圧	60Hz- 4.2MHz	機器全体を望む ことができる場所	非接触式
電氣的機能 (表示器)	表示	ビデオカメラ	電圧	60Hz- 4.2MHz	表示器を望む ことができる場所	非接触式
電氣的機能 (出力ポート)	電圧	メタルケーブル	バイナリ電圧	DC - 10 kHz	被試験機器の 出力ポート	接触式

2.1.2 データ収集方式と制御データ

専用の試験室内で測定データの収集を行う場合、センサの付け換えやデータ収集・処理機器の操作を行う度に試験を停止しなければならない。その結果、試験の作業効率が低下するといった問題が生じている⁽⁴⁾。

一方、被試験機器に与えられている環境条件の厳しさや被試験機器の状態は、被試験機器やその周辺の複数の箇所を対象に測定される。従って、それらの測定データを測定室において収集・処理しようとした場合、試験室において複数のセンサを切り換えたり走査することによって、複数の箇所で測定された環境条件の厳しさや被試験機器の状態を収集し、試験室から測定室へ伝送することが望ましい。

センサの切換方法として、複数のアナログスイッチを必要に応じて切り替える方式が考えられる。また、センサの走査方法としては、ロボットアームの先端にセンサを保持し、ロボットを制御する方式が考えられる。この走査方式は、接触式センサの走査にも対応することができる。

このようなセンサの切換やセンサの走査をする場合、切換や走査のための制御データを測定室から試験室に設置されたセンサ切換器やセンサ走査装置へ伝送しなければならない。

被試験機器の状態測定に使用されるセンサのうち、外観や表示を測定するビデオカメラは、被試験機器に対して死角がなく、細部まで映し出すことのできる機能が要求される。そのため、パン/チルトやズームの機能をリモート制御することができるカメラを使用することが望ましい。

2.1.3 伝送される試験データの種類

専用の試験室で行われる環境試験を安全に効率よく実施するためには、図2.2に示すように、さまざまな試験データを双方向に伝送する必要がある。試験データの伝送路は、試験室・測定室間伝送路と、試験室内伝送路とに大別することができる。試験室・測定室間伝送路は、伝送線路の配線が固定されている。一方、センサやセンサ走査装置、及びセンサ切換器は、被試験機器の大きさや構成に応じて試験室内を移動できることが要求される。そのため、試験室内伝送路の伝送線路は、その配線状態が試験ごとに変わることを考えられる。

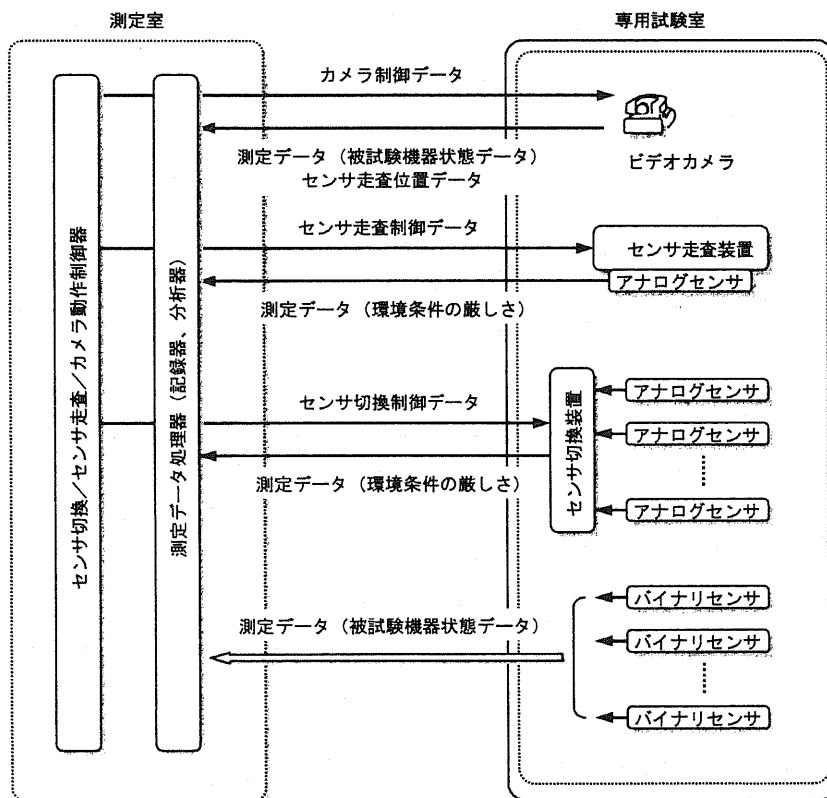


図2.2 伝送される試験データ

2. 2 試験室内の電磁界ノイズ

2.2.1 電磁界ノイズの実測値

専用の試験室で行われる各環境試験について、試験機器が停止中に測定された試験室内の電磁界強度と、試験機器が稼働中に測定された試験室内の電磁界強度とを表2.3に比較して示す。測定では、低周波磁界用、及び低周波電界用の2種類のセンサを使用した。それぞれのセンサは、実際の試験で被試験機器が設置される場所に取り付けられた。

いずれの試験室においても、試験機器が稼働しているときの電磁界強度が、試験機器を停止しているときの電磁界強度を上回っている。

2.2.2 試験データへの電磁界ノイズの影響

このように、環境試験で使用される試験機器は、強い電磁界ノイズを発生する。強電磁界の環境で、センサから出力された測定データを長い距離に敷設されたメタルケーブルを使って伝送したとき、電磁界ノイズや接地電流によるノイズがケーブルに誘導され、測定データの信頼性に大きな影響を及ぼす可能性がある⁽⁵⁾⁻⁽⁸⁾。

表2.3 各環境試験室内の低周波電界強度及び低周波磁界強度

試験室	運転状況	低周波磁界 20Hz-2.0kHz	低周波電界 30Hz-1.5kHz	試験条件
振動試験室	停止中	0.02 A/m	1.5 V/m	ランダム加振 10Hz-1.0kHz 5.0×10 ⁻⁴ G ² /Hz (1G = 9.8 m/s ²)
	稼働中	2.60 A/m	5.6 V/m	
温湿度試験室	停止中	0.02 A/m	1.5 V/m	ヒートサイクル T(high)=150°C T(low)=-50°C 周期 10minute
	稼働中	0.06 A/m	2.2 V/m	
電磁波試験室	停止中	0.02 A/m	1.2 V/m	電磁界イミニティ 200MHz - 1000MHz 3 V/m
	稼働中	0.06 A/m	1.8 V/m	
静電気試験室	停止中	0.01 A/m	0.8 V/m	接触放電 +8.0 kV 放電間隔 1.0 sec 放電RC 330Ω, 150pF
	稼働中	0.03 A/m	8.2 V/m	

更に、強い電磁界ノイズにさらされている環境試験室内の試験機器や測定機器をネットワークへ直接に接続することは、従来から困難と考えられており、環境試験の自動化や測定データの統合処理を難しくしている⁽⁹⁾⁻⁽¹¹⁾。

2. 3 データ収集・伝送システムに要求される機能と構成上の対応

従来の環境試験システムにはデータ収集・伝送機能がなく、各環境試験、各試験者、あるいはそれぞれの被試験機器の大きさや構成によって、それぞれ異なったデータ収集・伝送方式が採用されてきた。そのため、試験データの収集・伝送において数々の問題が発生していた。

構築するデータ収集・伝送システムに要求される機能は、現状の環境試験の問題点から5つの要素に分けることができる。5つの要素と、それぞれの要素に対応したデータ収集・伝送システムにおける構成上の対応を図2. 3にまとめて示す。

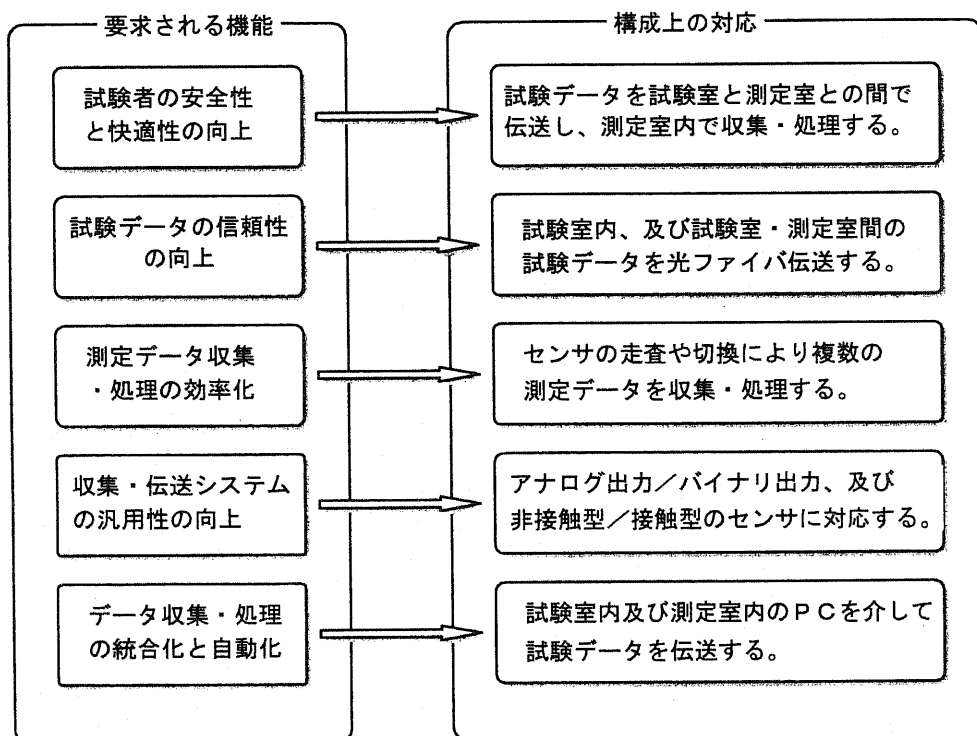


図2. 3 データ収集・伝送システムに要求される機能と、構成上の対応

(a) 試験者の安全性と快適性の向上

第一の機能は、試験者の安全性や快適性を向上させることである。この機能をデータ伝送・収集システムにもたせるため、全ての試験データを試験室と測定室との間で伝送する。その結果、試験を実施している間、試験者が試験室の中に入らなくても、環境試験を実施するために必要な一連の作業を、試験者が一括して測定室において行うことができるようになる。

(b) 伝送される試験データの信頼性の向上

第二の機能は、試験室内の強い電磁界ノイズから伝送される試験データの信頼性を確保することである。この機能を実現するため、試験室内では、カメラを除く全てのセンサ出力データを、それぞれのセンサからパーソナルコンピュータ（PC）へ光ファイバ伝送する。また、伝送距離が長くなることが想定される試験室と測定室との間では、画像データを含めた全ての試験データを双方向に光ファイバ伝送する。

(c) 測定データの収集・処理の効率化

第三の機能は、測定データの収集・処理の効率性を高めることである。この機能を実現させるため、複数のセンサを切り換えたり、ひとつのセンサを走査することにより、複数の環境条件の厳しさや被試験機器の状態を効率よく収集することができるようにする。また、試験室内に複数のビデオカメラを配置して、被試験機器の状態データやセンサの走査位置データを多方向から視覚的に収集することができるようにする。

(d) データ収集・伝送システムの汎用性の向上

第四の機能は、専用の試験室で実施される各環境試験で共通して使用できるようなデータ収集・伝送システムを構成することである。この機能を実現するため、アナログ出力型やバイナリ出力型のセンサ、及び接触式や非接触式のセンサに対応できるようにする。これらの対応により、各環境試験において使用される異なるセンサの出力データ（測定データ）を収集・伝送することができるようになる。

(e) データ収集・処理の統合化と自動化

最後に要求される機能は、データ収集・処理が統合化され、自動化が容易なデータ収集・伝送システムを構成することである。この機能を実現するため、全ての試験データを、試験室内及び測定室内に設置されたPCを経由して伝送する。その結果、試験データは測定室内のPCに統合化される。更に、測定室内のPCを使用して試験機器を制御することにより、環境試験の自動化が容易となる。

2. 4 データ収集・伝送システムの構成と動作

要求される5つの機能に対する対応を構成に反映させたデータ収集・伝送システムを提案し、構成する。ここでは、データ収集・伝送システムの概要を提案した後、システムを構成するそれぞれの要素とその動作について述べ、最後に、データ収集・伝送システムの全体構成をまとめる。

2.4.1 データ収集・伝送システムの概要

提案するデータ収集・伝送システムは、試験室内に設置されている複数のカメラや、各種センサの走査装置及び切換器などを測定室から制御しながらさまざまな測定データを効率良く収集し、収集された複数の測定データを試験室から測定室へ精度良く伝送して、測定データの統合化処理をすることができる。

図2. 4に、データ収集・伝送システムの概要を示す。データ収集・伝送システムは、4種類の試験室内データ収集システム、試験室・測定室間データ伝送システム、測定室内データ収集制御・処理システム、試験室内パーソナルコンピュータ（試験室内PC）、及び測定室内パーソナルコンピュータ（測定室内PC）で構成されている。

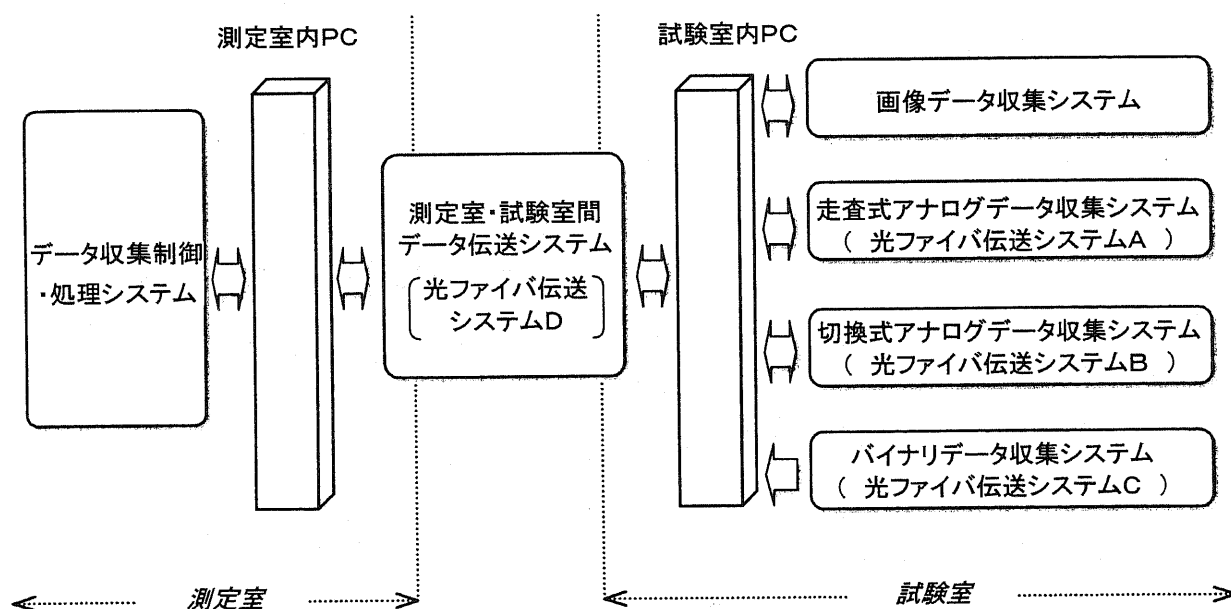


図2. 4 データ収集・伝送システムの概要

4つの試験室内データ収集システムは、複数のビデオカメラ、走査式アナログセンサ、複数の切換式アナログセンサ、及び複数のバイナリセンサから出力される測定データを、それぞれのセンサから試験室内PCへ収集する。また、試験室・測定室間伝送システムは、4種類の試験室内データ収集システムが収集した測定データと、データを測定するために必要な制御データとを、試験室内PCと測定室内PCの間で双方向に同時伝送する。更に、測定室内データ収集制御・処理システムは、試験室内の各データ収集システムの制御データ行い、収集されたデータを統合処理する。

試験室内において、電磁界ノイズの影響から測定データの信頼性を確保するため、ビデオカメラを除く全てのセンサから出力される測定データは、光ファイバ伝送システムを介して収集される。一方、ビデオカメラから出力される測定データ（画像データ）は、データ処理の対象としないため、メタルケーブルを介して伝送される。

また、試験室と測定室との間の距離は数百mにおよぶ場合も想定され、その経路には試験機器の電力線や他の動力機器があり、伝送データが強い電磁界ノイズにさらされる可能性がある。そのため、試験室・測定室間では、画像データを含めた全ての試験データ（測定データ及び制御データ）が光ファイバ伝送システムを介して伝送される。

2.4.2 試験室内データ収集システムの構成と動作

(a) 試験室内画像データ収集システム

試験室内において、被試験機器の状態データやセンサの走査位置データを複数のビデオカメラにより収集する、画像データ収集システムの構成を図2.5に示す。

試験中の被試験機器の状態や、センサが被試験機器上のどの位置を走査しているのかを、試験者が多方向から正確に把握できるようにするため、被試験機器の上方と、ロボットアームの先端とに合計3台のビデオカメラを配置した^{(12),(13)}。

また、被試験機器の状態データやセンサの走査位置データを詳細に得るため、ビデオカメラのうち2台のカメラ（Camera1、及び Camera2）はパン/チルトやズームの動作を、他の1台のカメラ（Camera3）はズームの動作のみを、それぞれ外部から制御することができる。

各カメラの動作を制御するデータ(RS232C形式、9600bps)は、試験室内PCのシリアルポート(SIO_2)から、メタルケーブルを介してそれぞれのカメラに伝送される。

<第2章>

使用した3台のビデオカメラの外観を図2.6に、仕様及び性能を表2.4にそれぞれ示す^{(14),(15)}。

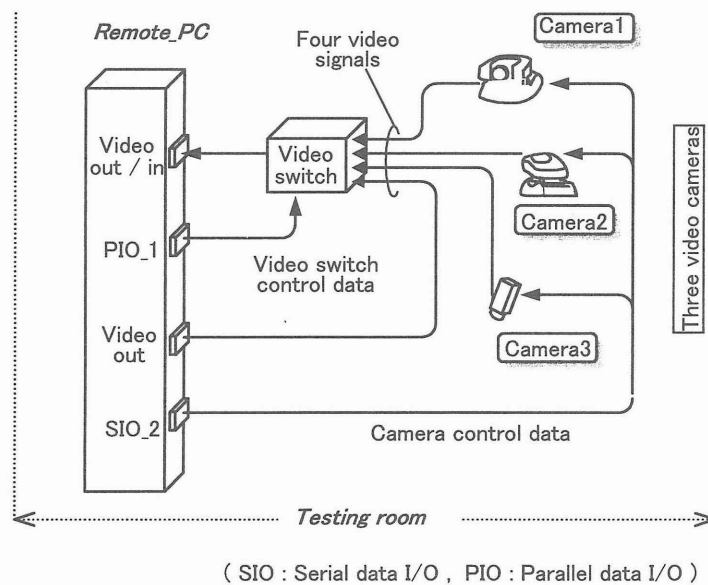


図2.5 試験室内画像データ収集システムの構成

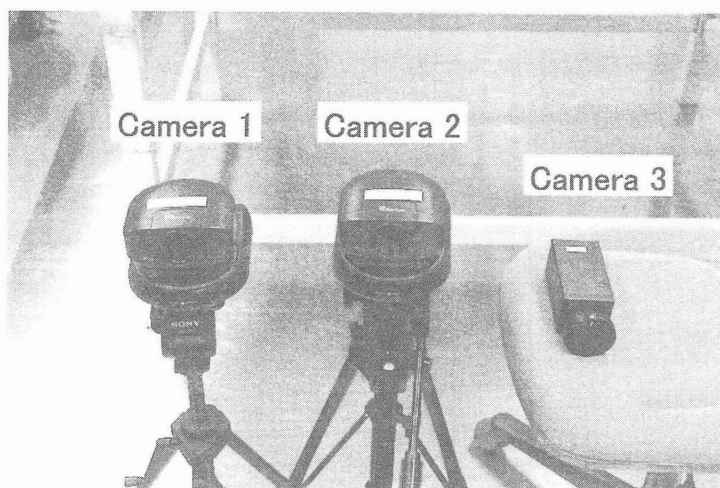


図2.6 使用したビデオカメラの外観

表 2. 4 使用したビデオカメラの仕様

仕様	カメラ1, カメラ2	カメラ3
水平画角	4.3° ~ 48.8°	4.3° ~ 48.8°
垂直画角	3.3° ~ 37.6°	3.3° ~ 37.6°
最大ズーム倍率	12倍 (f=5.4~64.8mm)	12倍 (f=5.4~64.8mm)
パン可動角度	左右±100°	—————
チルト可動角度	上下±25°	—————
画像出力	1.0 Vp-p, NTSC Color	1.0 Vp-p, NTSC Color

一方、各カメラから出力された画像データ(NTSC 形式、Color)は、ビデオスイッチにそれぞれ入力される。また、試験室内PCは、ビデオスイッチの選択チャンネル、ロボットアーム先端に取り付けられたセンサの3次元位置座標、アナログスイッチの入力選択チャンネル、及びバイナリセンサから得られた測定データを収集し、それらの情報をカメラ出力と同じ形式の画像データに変換した上で、ビデオスイッチに出力する。

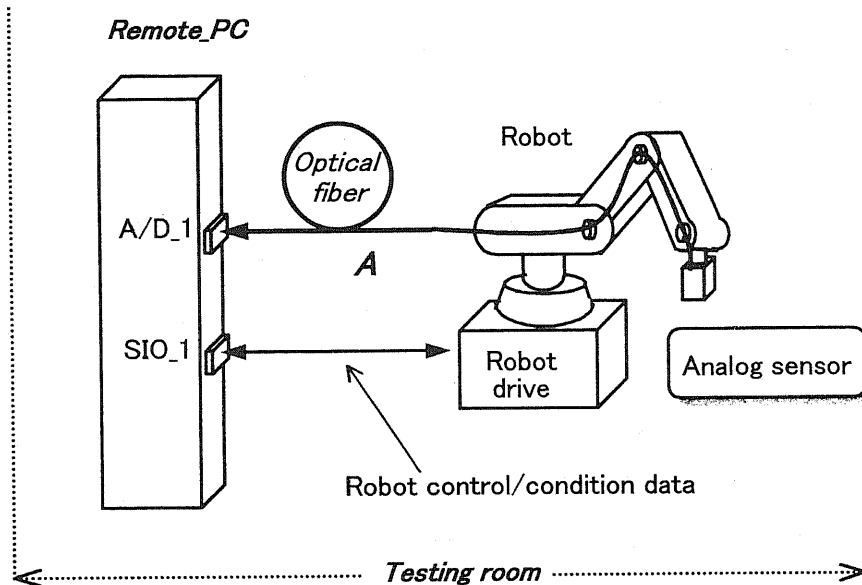
ビデオスイッチは、試験室内PCと3台のビデオカメラから入力された4つの画像データを、4分割された1枚の画像データに合成する。合成された画像データは、試験室内PCのビデオ入力ポートに与えられる。同時に、試験室内PCのビデオ入力ポートからループスルーされた合成画像データは、試験室・測定室間光ファイバ伝送システムを介して測定室内PCに伝送される。また、ビデオスイッチの出力を、4分割合成画面にしたり、任意の単一画面にするといった切換は、試験室内PCの平行ポート(PIO_1)から出力されるビデオ切換制御データ (Binary 形式、8 bits) によって行われる。ビデオスイッチの外観を図2. 7に示す。



図 2. 7 使用したビデオスイッチの外観

(b) 試験室内走査式アナログデータ収集システム

図2. 8に、試験室内において、被試験機器に与えられている環境条件の厳しさの程度を非接触式あるいは接触式アナログセンサの走査によって収集するデータ収集システムの構成を示す^(16,17,18)。



(SIO : Serial data I/O , A/D : Analog-to-Digital Converter)
(A : Optical fiber data transmission system)

図2. 8 試験室内走査式アナログデータ収集システムの構成

アナログセンサを走査する装置として、垂直多関節型ロボットを使用した。アナログセンサは、ロボットアームの先端に保持されている。

センサから得られた測定データは、ロボットのアームに沿って敷設された光ファイバ伝送システムAを介して、試験室内PCのA/D変換ポート(A/D_1)へ伝送される。試験室内PCのA/D変換器によって量子化された測定データは、試験室・測定室間光ファイバ伝送システムを介して測定室内PCへ伝送される。なお、A/D変換のタイミングは、同じく試験室・測定室間光ファイバ伝送システムを介して測定室内PCから試験室内PCへ送られてくるA/D変換制御データによって制御されている。

一方、ロボットアームを操作するための制御データ(RS232C形式、9600bps)が、試験室内PCのシリアルポート(SIO_1)からロボットへ伝送される。試験室内PCは、

ロボットがひとつの動作を終了する度にロボットの状態データを取得し、その状態データを測定室内PCへ伝送すると同時に、画像データに変換してビデオスイッチへ送出する。ロボットからの状態データには、アナログセンサの測定点の3次元座標位置情報や、ロボットのエラー情報などが含まれている。

なお、ロボット駆動装置、ビデオスイッチ、及び試験室内PCは、ロボットの基部に設けられた同じの筐体の中に収納されている。そのため、試験室内PCとロボット駆動装置との間の伝送路には、メタルケーブルを使用した。

図2.9に使用したロボットの外観を、表2.5にロボットの仕様をそれぞれ示す。また、図2.10に、ロボットアーム先端の動作範囲を示す⁽¹⁹⁾。

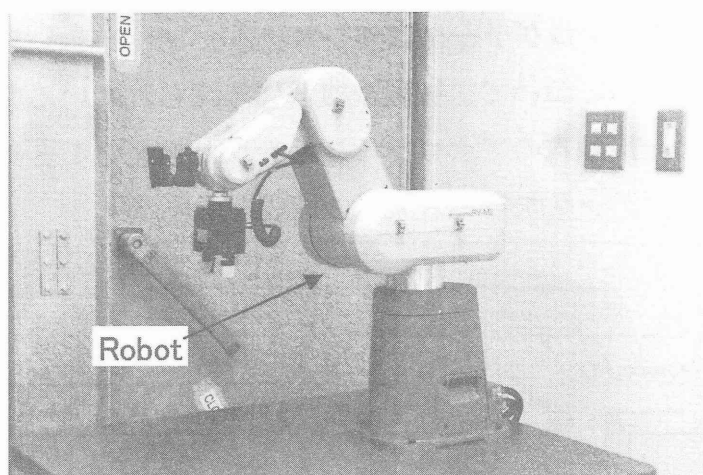


図2.9 使用したロボットの外観

表2.5 使用したロボットの仕様

項目	仕様
構造	5自由度、垂直多関節型
アーム先端の定格負荷	最大2kgf
最大合成速度	150mm/sec.
位置繰り返し精度	±0.1mm
駆動方式	DCサーボ駆動

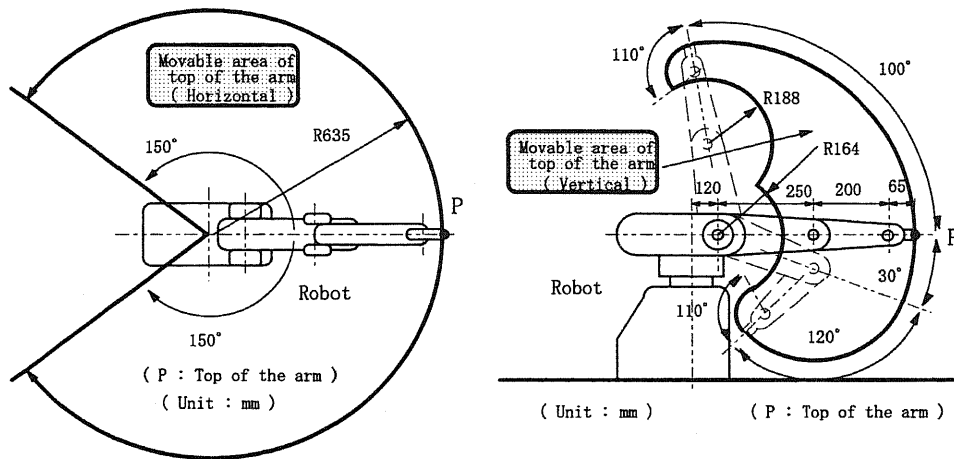
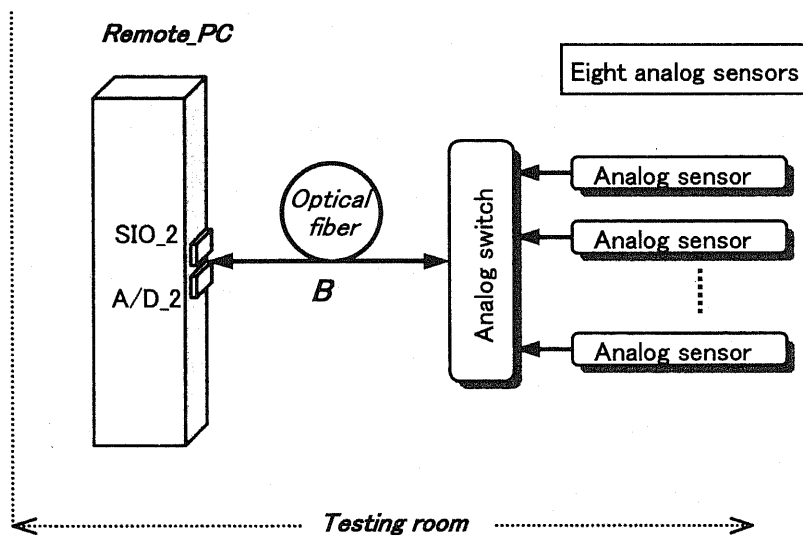


図2. 10 ロボットアーム先端の動作範囲

(c) 試験室内切換式アナログデータ収集システム

図2. 11に、試験室内において、被試験機器に与えられている環境条件の厳しさを複数の接触式または非接触式のアナログセンサを切り換えることによって収集する、試験室内切換式アナログデータ収集システムの構成を示す^{(4),(17)}。



(SIO : Serial data I/O , A/D : Analog-to-Digital Converter)
 (B : Optical fiber data transmission system)

図2. 11 試験室内切換式アナログデータ収集システムの構成

アナログスイッチは、オンボードマイコンと8個の光電式MOSリレーで構成されている。試験室内PCのシリアルポート(SIO_2)から光ファイバ伝送システムBを介してオンボードマイコンに伝送される切換制御データ(RS232C形式、9600bps)によって、光電式リレーのいずれか1つがONされる。

ONされたリレーに接続されているアナログセンサの測定データが、同じ光ファイバ伝送システムBを介して、試験室内PCのA/D変換ポート(A/D_2)に収集される。試験室内PCのA/D変換器によって量子化された測定データは、試験室・測定室間光ファイバ伝送システムを介して測定室内PCへ伝送される。なお、A/D変換のタイミングは、同じく試験室・測定室間光ファイバ伝送システムを介して測定室内PCから試験室内PCへ送られてくるA/D変換制御データによって制御されている。

アナログスイッチの構成を図2.12に、アナログスイッチに内蔵されている光電式MOSリレーの仕様を表2.6にそれぞれ示す。

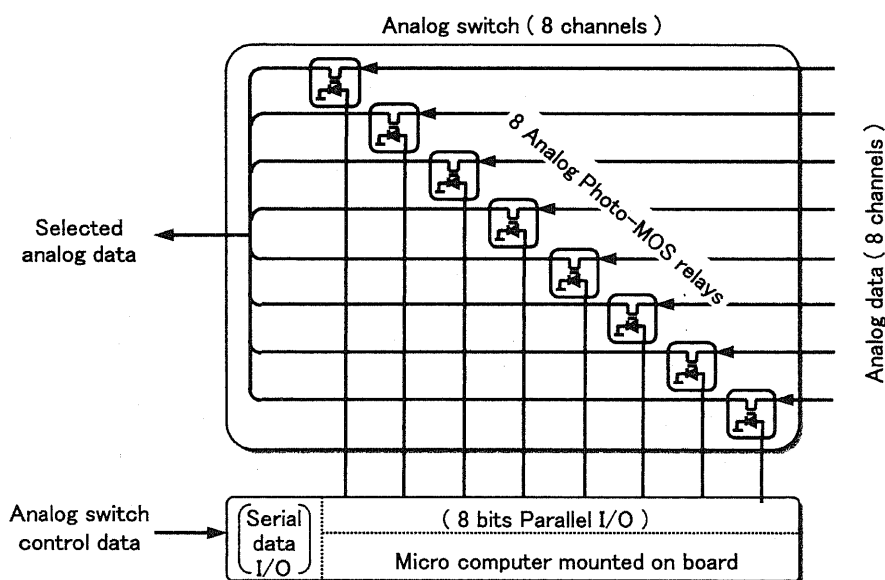


図2.12 アナログスイッチの構成

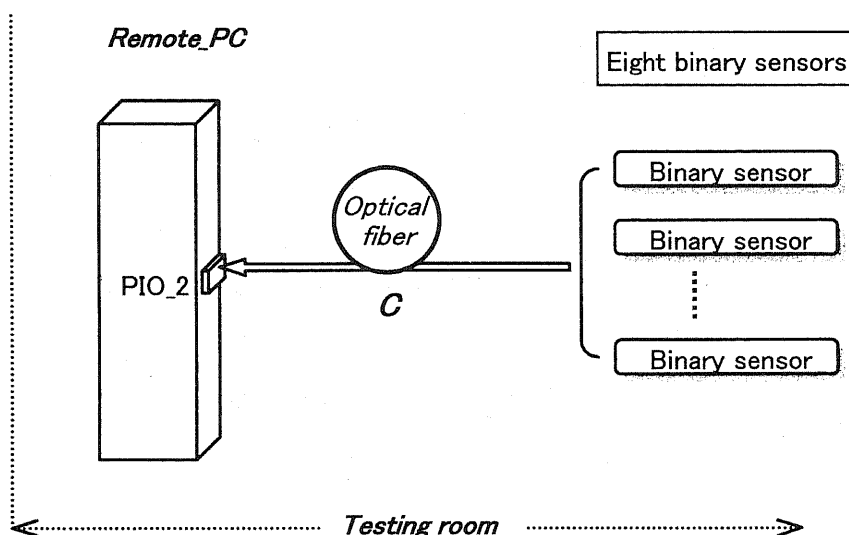
表 2. 6 光電式MOSリレーの仕様

項目	仕様
最大負荷電流	0.1 A
閉路時端子間抵抗	13 Ω
開路時端子間抵抗	100MΩ以上
LED電流	1mA

(d) 試験室内バイナリデータ収集システム

図 2. 13 に、試験室内において、被試験機器の状態データを 8 個のバイナリセンサ（メタルプローブ）によって同時に収集する、試験室内バイナリデータ収集システムの構成を示す。

8 個のバイナリセンサから出力された測定データは、光ファイバ伝送システム C を介して試験室内 PC のパラレル I/O へ平行伝送される。試験室内 PC は、バイナリ測定データを、測定室内 PC へ伝送するとともに画像データに変換し、PC のビデオ出力ポート (Video out) からビデオスイッチへ伝送する。



(PIO : Parallel data I/O)
 (C : Optical fiber data transmission system)

図 2. 13 試験室内バイナリデータ収集システムの構成

2.4.3 試験室・測定室間データ伝送システムの構成と動作

図2.14に、試験室・測定室間データ伝送システムを示す。

このデータ伝送システムは、4種類の試験室内データ収集システムが収集した測定データと、データを測定するために必要な制御データとを、試験室内PCと測定室内PCの間で、光ファイバ伝送システムDを介して双方向に同時伝送する^{(20),(21)}。

画像データは、試験室内PCのビデオ出力ポート(Video out/in、ループスルー)から、光ファイバ伝送システムDを介して、測定室内PCのビデオ入力ポートへ伝送される。一方、画像データ以外の試験データ(測定データ、及び制御データ)は全てデジタルデータに変換され、試験室内PCのシリアルポート(SIO_3)と測定室内PCのシリアルポート(SIO_3)との間で、画像データと同じ光ファイバ伝送システムDを介して双方向に伝送される。

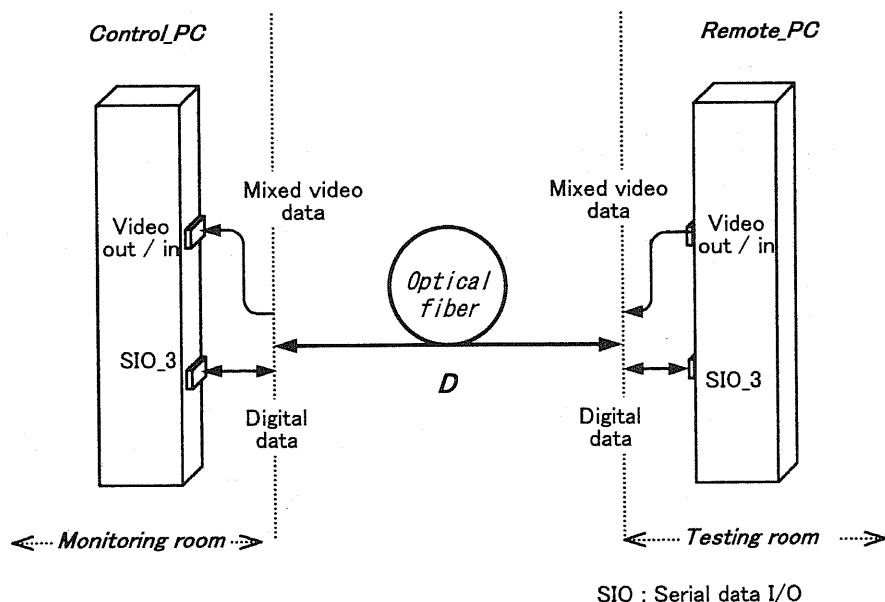


図2.14 試験室・測定室間データ伝送システムの構成

<第2章>

図2. 15に、試験室・測定室間データ伝送システムのデジタルチャンネルを介して、測定室内PCと試験室内PCとの間でシリアル伝送される試験データの packets 構成を示す。

試験室内の各データ収集システムを構成する3台のカメラや、ビデオスイッチ、ロボット、アナログスイッチ、A/Dコンバータ、及びパラレルI/Oへの制御データは、まず、測定室内PCから試験室内PCに伝送される。次に、試験室内PCが、受信した packets のヘッダ部の2文字から制御対象機器を判断し、ヘッダを除いた制御データを該当機器へ転送する。試験室内PC自身も、測定室内PCから伝送されてくる制御データによって制御される。

一方、各データ収集システムから測定データ、及び制御対象機器の状態データを収集した試験室内PCは、収集データに収集元の機器に対応したヘッダを付加したデータ packets を、測定室内PCへ伝送する。

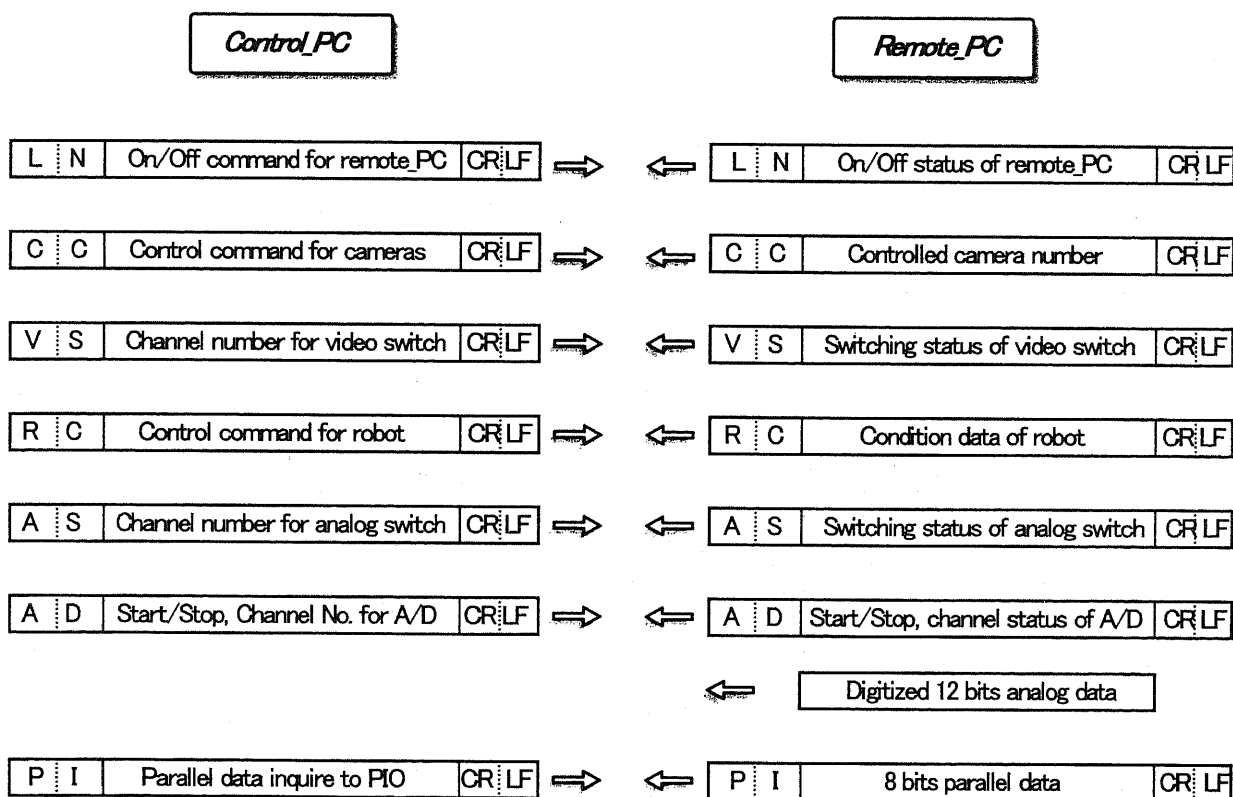


図2. 15 測定室内PCと試験室内PCとの間で伝送される試験データ packets

2.4.4 測定室内データ収集制御・処理システムの構成と動作

図2.16に、試験室内の各データ収集システムへの制御データの発行を行い、収集されたデータを収集元に応じて処理する、測定室内データ収集制御・処理システムの構成を示す。

測定室には、ビデオモニタ、アナログデータ用記録/分析器、バイナリデータ用記録/分析器、及び測定室内PCとそのキーボードが設置されている。

試験者が、必要な機能に対応したキーボード上のボタンを押すことにより、その機能に応じた制御データが、測定室内PCから試験室内PCを経由して、各試験室内データ収集システムに伝送される。すなわち、試験者がキーボードを操作することにより、試験室内の各データ収集システムを構成する3台のカメラや、ビデオスイッチ、ロボット、アナログスイッチ、A/Dコンバータ、及びパラレルI/Oを、それぞれ単独に制御することができる。一方、測定室内PCは、伝送されてきたデータのヘッダをもとに、どのデータ収集システムからの収集データなのか、あるいはどの制御対象機器の状態データなのかを判断し、それぞれの収集元に対応したデータ処理を行う。

アナログデータ用記録/分析器、及びバイナリデータ用記録/分析器は、GPIB (IEEE488)規格のデータバスで測定室内PCと接続されている。そのため、測定データの統合化処理や自動化試験を容易に実施することができる。

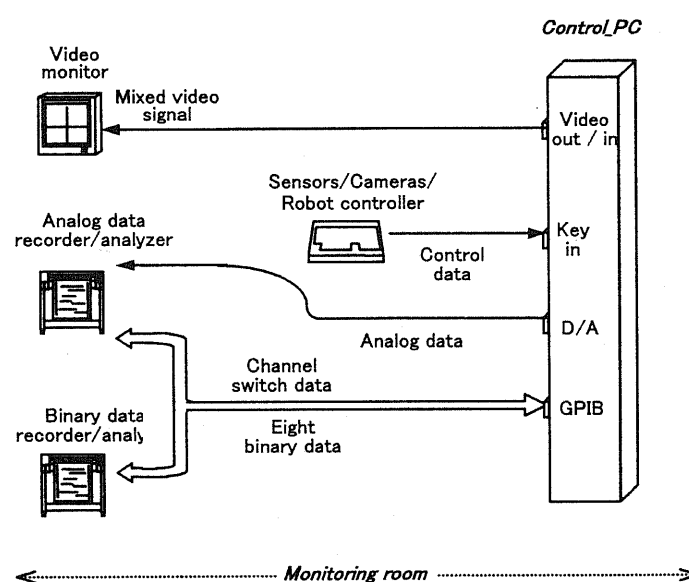


図2.16 測定室内データ収集制御・処理システムの構成

2.4.5 データ収集・伝送システムの全体構成

データ収集・伝送システムの全体構成を図2. 17に示す。

これまで述べてきた、4種類の試験室内データ収集システム（画像データ収集システム、走査式アナログデータ収集システム、切換式アナログデータ収集システム、及びバイナリデータ収集システム）、試験室・測定室間データ伝送システム、測定室内データ収集制御・処理システム、試験室内PC、及び測定室内PCを組み合わせ、データ収集・伝送システムを構成した。

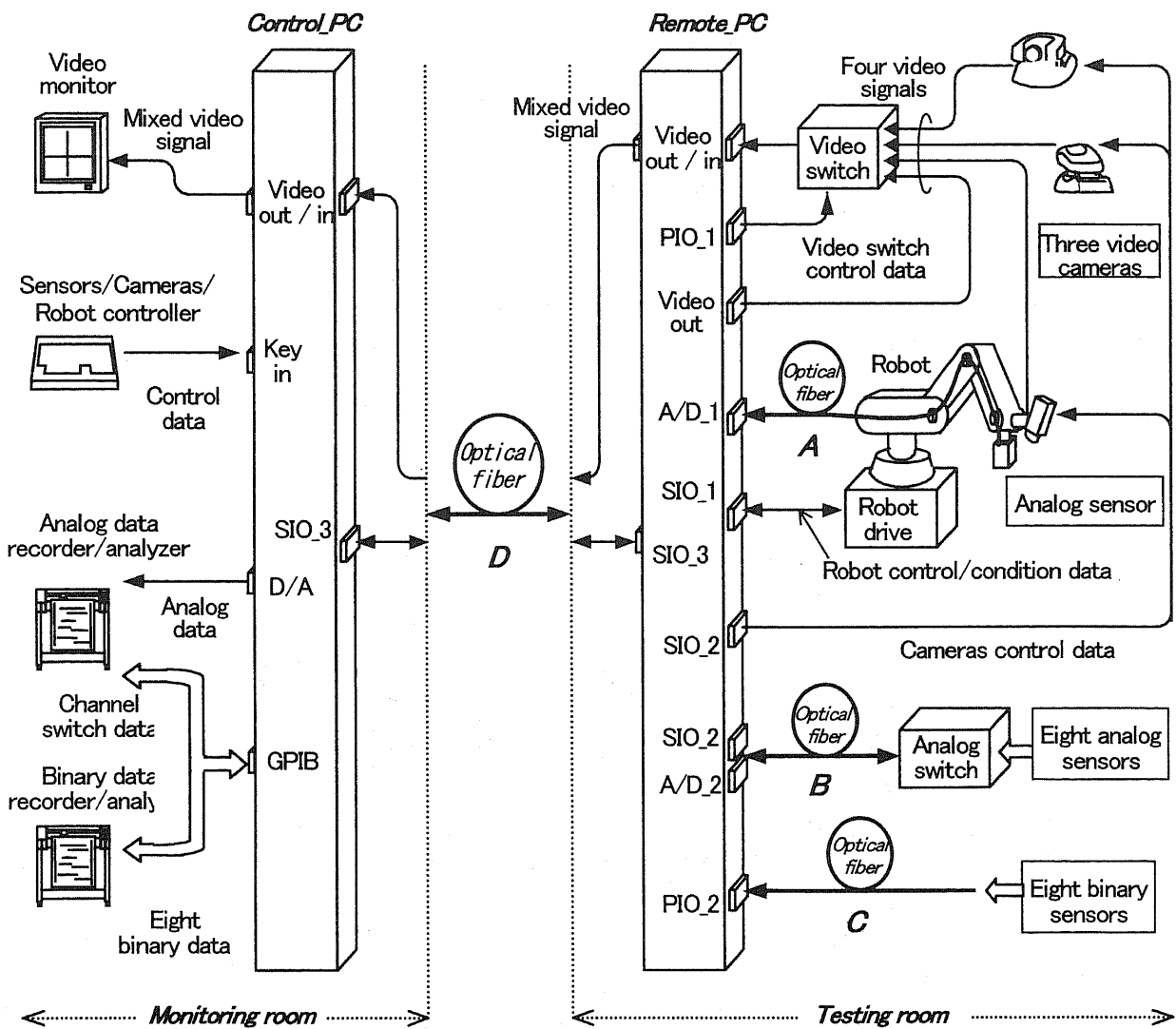


図2. 17 データ収集・伝送システムの全体構成

構成したデータ収集・伝送システムは、試験室内に設置されている複数のカメラや、各種センサの走査装置及び切換器などを測定室から制御しながらさまざまな測定データを効率良く収集し、収集された複数の測定データを試験室から測定室へ精度良く伝送して、測定データの統合化処理をすることができる。

2. 5 光ファイバ伝送システムへ要求される伝送性能

環境試験データ収集・伝送システムでは、電磁界ノイズの影響から収集・伝送される試験データを保護するため、4つの光ファイバ伝送システムを介して試験データを収集・伝送する。そこで、試験室内の走査式アナログデータ収集システム、切換式アナログデータ収集システム、及びバイナリデータ収集システムと、試験室・測定室間伝送システムで使用する光ファイバ伝送システムに要求される伝送性能を求める。

2.5.1 光ファイバ伝送システムA

試験室内走査式アナログデータ収集システムは、被試験機器に与えられている環境条件の厳しさを、非接触式あるいは接触式アナログセンサをロボットにより走査することによって収集するデータ収集システムである。

(a) 伝送データと伝送経路

温湿度試験室内や電磁波試験室内にロボットを設置することは、制御された試験室内の環境を乱す恐れがある。そのため、このデータ収集システムを温湿度試験や電磁波試験に使用することは困難である。従って、光ファイバ伝送システムAが伝送する測定データは、振動試験における振動と、静電気試験における残留帯電圧ということになる。

アナログセンサから得られた測定データは、ロボットアームに沿って敷設された光ファイバ伝送システムAを介してロボットの基部に設置された試験室内PCのA/D変換器へ伝送される。このとき、光ファイバの曲げ条件は常に変化するため、光ファイバの曲げ損失も容易に変動する⁽²²⁾⁻⁽²⁴⁾。そのため、光ファイバ伝送システムAには、光ファイバの曲げ損失の変動によって、伝送性能が劣化しないような性能が要求される。なお、伝送距離はロボットアームの長さ程度でよいので、5mあれば十分である⁽¹⁸⁾。

(b) 振動、及び帯電圧データの伝送に要求される伝送性能

振動の測定量として、加速度、速度、及び変位のアナログ量がある。試験目的に応

じて、これら量のうち、いずれかの量を振動試験機器で制御しながら実施される。

振動の角周波数を ω 、時間を t 、片振幅を D とすると、変位 d 、速度 v 、及び加速度 a はそれぞれ次式で表される。

$$d = D \sin \omega t \dots (2.1)$$

$$v = \frac{dd}{dt} = \omega D \cos \omega t \dots (2.2)$$

$$a = \frac{dv}{dt} = -\omega^2 D \sin \omega t \dots (2.3)$$

従って、変位、速度、加速度のいずれかの量を測定すれば、測定された量を演算処理することにより、他の量に変換することができる。また、それぞれの量を測定するために使用されるセンサの出力は、いずれも容易に電圧へ変換でき、出力電圧の倍率調整も容易である。

試験で加振または測定される振動周波数の範囲は、いずれも 10Hz から 1kHz までである。測定データの最大電圧を $2 V_{p-p}$ としたとき、要求される直線性誤差、全ひずみ率、及び S/N 比は、それぞれ 3 % 以下、3 % 以下、及び 50 dB 以上程度である⁽²⁵⁾。

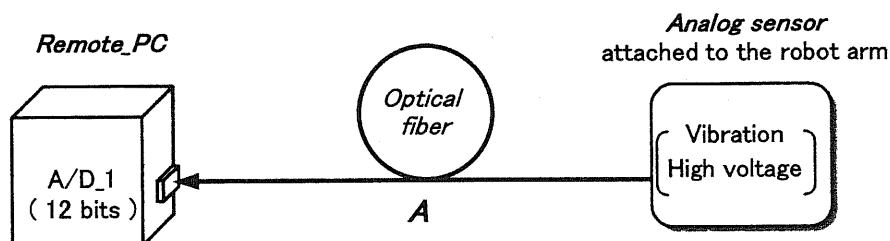
また、被試験機器となる電子機器や機械装置のそれぞれの部品に加わる振動は、加振機で制御された振動とは異なる。特に、剛性の高い (Q 値の高い) 被試験機器の場合、実装されている部品の固有振動周波数で機器が振動したとき、その部品の振動は、加振機で制御されている振動の百倍程度になることがある⁽⁴⁾。そのため、振動データをデジタル化する試験室 PC の A/D 変換器には、12 bits で量子化する変換器を使用した。

一方、静電気試験において測定される残留帯電圧データは、DC か、緩やかに変化するアナログ量である。一般に、残留帯電圧は、高インピーダンスで高耐圧のセンサを用いて測定される。センサの出力は電圧信号であり、その増幅倍率の調整も容易である。

残留帯電圧を測定するセンサの出力最大電圧を 1 V としたとき、要求される直線性誤差は、3 % 以下程度である。

(c) 光ファイバ伝送システムAに要求される伝送性能

以上述べてきた光ファイバ伝送システムAに要求される伝送性能を、図2. 18にまとめて示す。



《 光ファイバ伝送システムA 》

項目	要求される性能
<伝送路の形態>	
敷設場所	ロボットアームに沿って敷設される
伝送距離	5 m以上
使用形態	<ul style="list-style-type: none"> ・ 伝送路の曲げ伸ばし耐久性が大きいこと ・ 伝送損失の変動に性能が影響されないこと
<アナログ測定データ伝送チャネル>	
伝送データ (試験データの分類)	振動、帯電圧 (測定データ：環境条件の厳しさ)
伝送経路	試験室内PC ← アナログセンサ
入出力電圧	2 V p-p
周波数帯域	DC~1 kHz
直線性誤差	3%以下
全ひずみ率	3%以下
S/N比	50 dB以上

図2. 18 光ファイバ伝送システムAに要求される伝送性能

2.5.2 光ファイバ伝送システムB

試験室内切換式アナログデータ収集システムは、複数の接触式あるいは非接触式のアナログセンサが接続されたセンサ切換器を制御することによって、選択された1個のセンサからの測定データを収集するシステムである。

(a) 伝送データと伝送経路

アナログセンサは、振動試験、温湿度試験、電磁波試験、及び静電気試験の全てにおいて使用される。従って、光ファイバ伝送システムBが伝送する測定データは、振動と、温度、電磁界強度、及び残留帯電圧ということになる。

複数のアナログセンサから得た測定データは、センサ切換器と光ファイバ伝送システムBを介して試験室内PCのA/D変換器へ伝送される。一方、センサの切換に必要な制御データは、同じ光ファイバ伝送システムBを介して、試験室内PCのシリアルポートからセンサ切換器へ伝送される。

光ファイバ伝送システムBは、被試験機器の大きさや構造に合わせたり、センサの取付位置に合わせて、試験室内を引きまわして使用される。

(b) センサ切換制御データの伝送に要求される伝送性能

センサ切換制御データの伝送速度は、一般に使用されているPCやオンボードマイコンが対応できる9600bpsとした。入力電圧の範囲は、RS232C規格に準じて±3Vから±15Vとし、出力電圧は±5Vとした。また、伝送誤り率には、 10^{-7} 以下程度が要求される。

(c) 振動、温度、電磁界強度及び帯電圧データの伝送に要求される伝送性能

振動データと残留帯電圧データの伝送に要求される伝送性能は、前述したとおりである。温度データ、及び電磁界強度データも、静電気試験において測定される残留帯電圧と同様に、DCか、緩やかに変化するアナログ量である。

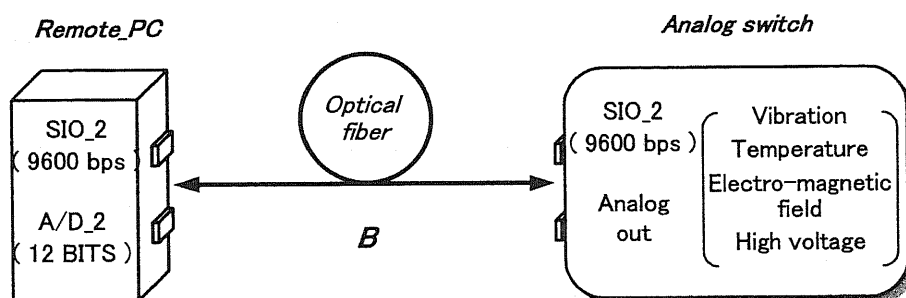
一般に、温湿度試験における温度測定では、白金抵抗、熱電対、及びサーミスタなどの接触式センサが使用される⁽³⁾。赤外放射温度計などの非接触式センサも希に使用されるが、センサと被測定物との間にガラスなどが存在した場合、正確な測定が困難になるという欠点がある。一方、電磁波試験においては、電界強度測定にダイポールアンテナが、磁界強度測定にループアンテナが使用される。これらのセンサの出力は、いずれも電圧へ容易に変換することができ、電圧増幅率の調整も容易である。

残留帯電圧データ、及び電磁界強度データを測定するセンサの最大出力電圧を1V

としたとき、要求される直線性誤差は、3%以下程度である。

(d) 光ファイバ伝送システムBに要求される伝送性能

光ファイバ伝送システムBに要求される伝送性能を、図2. 19にまとめて示す。



《 光ファイバ伝送システムB 》

項目	要求される性能
＜伝送路の形態＞	
敷設場所	被試験機器に応じて試験室内を引きまわされる
伝送距離	20m以上
使用形態	・伝送路の曲げ伸ばし耐久性が大きいこと ・伝送路の取り扱いが容易であること
＜デジタルデータ伝送チャネル＞	
伝送データ (試験データの分類)	センサ切換用制御データ (制御データ)
伝送経路	試験室内PC → センサ切換器
入出力電圧	入力：3V～±15V、出力：±5V
伝送速度	9600bps
伝送誤り率	10 ⁻⁷ 以下
＜アナログデータ伝送チャネル＞	
伝送データ (試験データの分類)	振動、温度、電磁界強度、帯電圧 (測定データ：環境条件の厳しさ)
伝送経路	試験室内PC ← センサ切換器
入出力電圧	2Vp-p
周波数帯域	DC～1kHz
直線性誤差	3%以下
全ひずみ率	3%以下
S/N比	50dB以上

図2. 19 光ファイバ伝送システムBに要求される伝送性能

2.5.3 光ファイバ伝送システムC

試験室内バイナリデータ収集システムは、複数の接触式バイナリセンサから得られた測定データを収集するシステムである。

(a) 伝送データと伝送経路

バイナリセンサ（メタルプローブなど）は、振動試験、温湿度試験、電磁波試験室、及び静電気試験において、被試験機器の状態をバイナリデータとして測定するために使用される。複数のバイナリセンサから得られた測定データは、光ファイバ伝送システムCを介して試験室内PCの平行I/Oポート(PIO_2)へ平行伝送される。

光ファイバ伝送システムCは、光ファイバ伝送システムBと同様に、被試験機器の大きさや構造に合わせて、センサの取付位置に合わせて、試験室内を引きまわして使用される。

(b) バイナリデータの平行伝送に要求される伝送性能

光ファイバ伝送システムCが伝送する測定データとして、被試験機器に実装されたI/Oポートや内部回路の端子電圧などが考えられる。これらの測定電圧は、TTLで扱うことのできる電圧に予め変換した上で、光ファイバ伝送システムCに入力する必要がある。

測定データの周波数も被試験機器によって異なる。20 kHzのデータを8ビットで平行伝送することができれば、ほとんどの被試験機器に対応することができる。

(c) 光ファイバ伝送システムCに要求される伝送性能

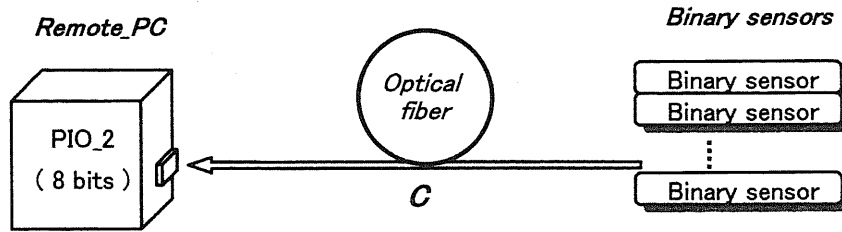
光ファイバ伝送システムCに要求される伝送性能を、図2.20にまとめて示す。

2.5.4 光ファイバ伝送システムD

試験室・測定室間データ伝送システムは、4種類の試験室内データ収集システムが収集した測定データとデータを収集するために必要な制御データとを、試験室内PCと測定室内PCとの間で、光ファイバ伝送システムDを介して双方向に同時伝送する。

(a) 伝送データと伝送経路

試験室内画像データは、試験室内PCのビデオ出力ポートから、光ファイバ伝送システムDを介して、測定室内PCのビデオ入力ポートへ伝送される。一方、他の試験データは、試験室内PCのシリアルポート(SIO_3)と測定室内PCのシリアルポート(SIO_3)との間で、同じ光ファイバ伝送システムDを介して双方向に伝送される。



《 光ファイバ伝送システムC 》

項目	要求される性能
<伝送路の形態>	
敷設場所	被試験機器に応じて試験室内を引きまわされる
伝送距離	20 m以上
使用形態	<ul style="list-style-type: none"> ・ 伝送路の曲げ伸ばし耐久性が大きいこと ・ 伝送路の取り扱いが容易であること
<バイナリデータパラレル伝送チャンネル>	
伝送データ (試験データの分類)	電圧 (バイナリ) (状態データ)
伝送経路	試験室内PC ← 8ビットバイナリセンサ
入出力電圧	入力: TTLレベル、出力: TTLレベル
ビット数	8ビット、パラレル
周波数帯域	DC~20 kHz

図2. 20 光ファイバ伝送システムCに要求される伝送性能

試験室と測定室との間の距離は、大規模な工場などでは数百 m におよぶことが想定される。

(b) 画像データのアナログ伝送に要求される伝送性能

伝送する画像データの形式は、NTSC 形式のカラー方式であり、アナログベースバンド方式で伝送される。従って、光ファイバ伝送システムDの画像データ伝送チャンネルは、周波数帯域が 60 Hz から 4.2 MHz で、最大振幅 1 V_{p-p} のアナログ信号を伝送することができる伝送性能が要求される⁽²⁶⁾。

(c) 試験データのシリアル伝送に要求される伝送性能

試験データのシリアル伝送には、試験室内PC及び測定室内PCの RS232C 規格に準拠したシリアルポートを使用している。そのため、デジタル伝送チャンネルは、±3 V から ±15 V までの入力電圧に対応し、出力電圧は ±5 V とする⁽²⁷⁾。

試験室内のデータ収集システムから得られたアナログデータは、試験室内PCのA/D変換器において12ビットで量子化され、量子化されたアナログデータは光ファイバ伝送システムDを介して測定室内PCへシリアル伝送される。伝送されてきた量子化アナログデータは、測定室内PCのD/A変換器によって、元のアナログデータに再生される。そこで、次に、デジタル伝送チャンネルに要求される伝送速度について検討する。図2. 21に、シリアル伝送データ中の量子化ビットの配置を示す。

試験室内PCと測定室内PCとのシリアル伝送の同期方式には、調歩同期（キャラクタ同期）方式を採用している。すなわち、ひとつの伝送フレームは、スタートビット1ビット、データ8ビット、及びストップビット1ビットの、合計10ビットで構成されている。そのため、12ビットで量子化されたひとつのサンプリングデータを伝送するためには、2つの伝送フレーム（合計20ビット）が必要となる。

一方、振動データの周波数帯域は1kHzである。そのため、量子化データをD/A変換によって元のアナログデータに再生するためには、ナイキストの標本化定理より、2kHz以上のサンプリング速度を必要となる。従って、12ビットで量子化された1kHzのアナログ測定データをシリアル伝送するためには、最低でも40kbpsの伝送速度が必要となる⁽²⁸⁾。

ところが、サンプリング周波数の半分以上の周波数成分がアナログデータに含まれている場合、再生されたアナログデータに折り返しノイズが含まれてしまう。そのため、A/D変換器の入力とD/A変換器の出力にローパスフィルタを設置し、更に、サンプリング周波数を上げるため、光ファイバ伝送システムDのデジタル伝送チャンネルには、76.8kbps程度の速度を必要とする。

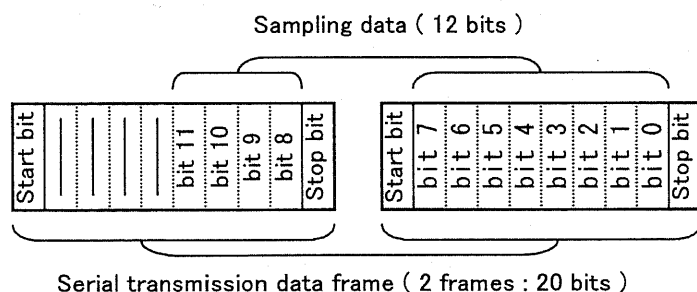
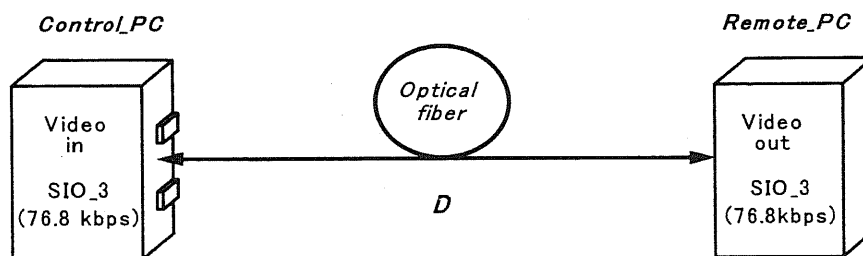


図2. 21 シリアル伝送データ中の量子化ビットの配置

(d) 光ファイバ伝送システムDに要求される伝送性能

光ファイバ伝送システムDに要求される伝送性能を、図2. 22にまとめて示す。



《 光ファイバ伝送システムD 》

項目	要求される性能
＜伝送路の形態＞	
敷設場所	試験室・測定室間
伝送距離	1 km以上
使用形態	・伝送距離が長い ・固定された伝送路
＜画像データ伝送チャンネル＞	
伝送データ (試験データの分類)	被試験機器の状態を映した画像 (測定データ：被試験機器の状態)
伝送経路	測定室内PC ← 試験室内PC
入出力電圧	1 V p-p
周波数帯域	60 Hz ~ 4.2 MHz
伝送画像の品質	DG : 5%以下、DP : 5°以下
＜デジタルデータ伝送チャンネル(A)＞	
伝送データ (試験データの分類)	カメラ/ビデオスイッチ/センサ走査/センサ 切換/A/D, PIO用制御データ (制御データ)
伝送経路	測定室内PC → 試験室内PC
入出力電圧	入力：±3V ~ ±15V、出力：±5V
伝送速度	76.8 kbps
伝送誤り率	10 ⁻⁷ 以下
＜デジタルデータ伝送チャンネル(B)＞	
伝送データ (試験データの分類)	振動、温度、電磁界強度、帯電圧 (環境条件) バイナリ電圧 (被試験機器の状態)
伝送経路	測定室内PC ← 試験室内PC
入出力電圧	入力：±3V ~ ±15V、出力：±5V
伝送速度	76.8 kbps
伝送誤り率	10 ⁻⁷ 以下

図2. 22 光ファイバ伝送システムDに要求される伝送性能

2.6 まとめ

本章では、まず、環境試験データ収集・伝送システムに要求される機能を検討した。ここでは、使用されるセンサや測定データの収集方式を検討し、環境試験において収集・伝送される試験データの種類や周波数帯域についてまとめた。また、各室の電磁界強度を測定し、データの収集・伝送におけるノイズ対策の重要性を確認した。

次に、要求される機能を具備したデータ収集・伝送システムを提案・構成した。このデータ収集・伝送システムは、試験室内に設置されている複数のカメラや、各種センサの走査装置及び切換器などを測定室から制御しながらさまざまな測定データを収集し、収集された複数の測定データを試験室から測定室へ伝送して、測定データの処理をすることができる。

図2.23に、提案したデータ収集・伝送システムの特徴と、専用の試験室で行われる環境試験にこのデータ収集システムを使用したときの期待される効果を示す。

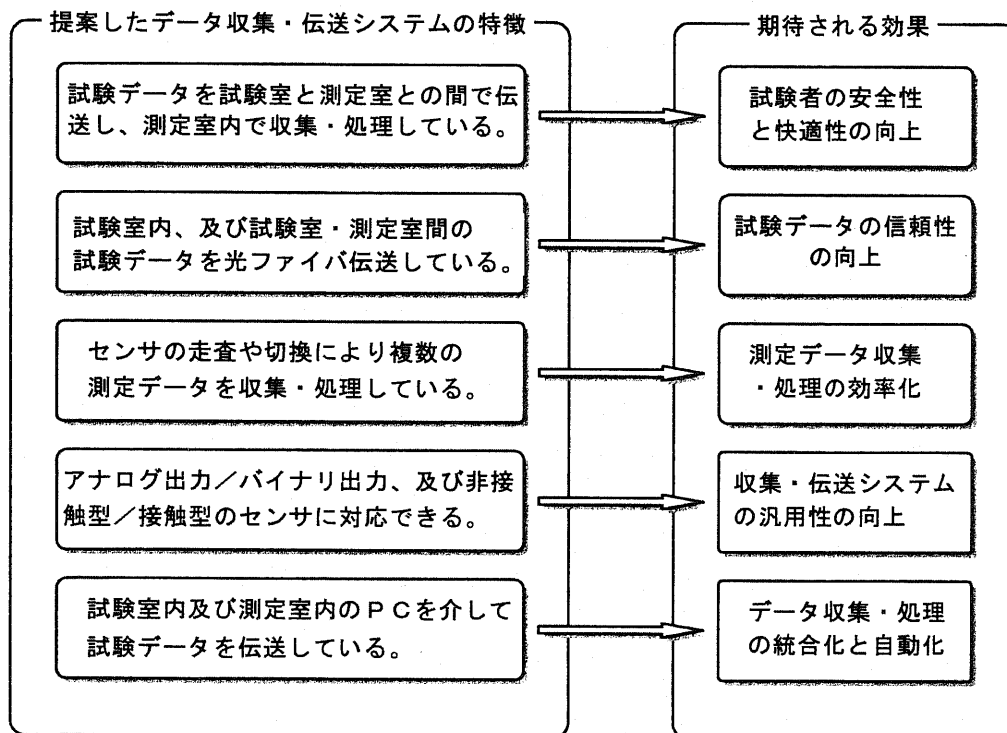


図2.23 データ収集・伝送システムの特徴と、期待される効果

環境試験データ収集・伝送システムでは、電磁界ノイズの影響から収集・伝送される試験データを保護するため、種々の光ファイバ伝送システムを介して収集・伝送している。そこで、最後に、試験室内の走査式アナログデータ収集システム、切換式アナログデータ収集システム、及びバイナリデータ収集システムと、試験室・測定室間伝送システムでそれぞれ使用する光ファイバ伝送システムに要求される伝送性能を決定した。

<第2章参考文献>

- (1) JIS C 0010 「環境試験方法（電気・電子）通則」
- (2) 正田英介, "イミュニティ規格と試験技術", ミマツデータ, pp.1-12, (1996)
- (3) 森村正直・山崎弘郎: "センサ工学", 朝倉書店, pp.383-400, (1982)
- (4) 神谷真好, 池田弘明, 篠原茂信, 吉田博文, "振動試験におけるセンサ位置制御信号と振動データとの同時双方向光ファイバ伝送", 日本信頼性学会誌, Vol.20, No.2, pp.193-199, (March 1998).
- (5) Johnson.M.J, Davis.C.M.Jr : "Fiber Optic Sensor Instrumentation Research and Development in Electromagnetic Field Measurements", IEEE Proceedings of ISEC'82, Vol.1982, pp.146-150, (1982)
- (6) Schlicke.H : "Shifting EMC Problems", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol.26, No.1, pp.1-3, (1984)
- (7) N.A.Rabou, H.Ikeda, and H.Yoshida : "Optical Fiber Two-Way FM Video Signal Transmission for Video Conferencing Applications", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol.40, No.3, pp.492-496, (1994)
- (8) N.A.Rabou, H.Ikeda, H.Yoshida and S.Shinohara : "Optical Fiber Transmission of Multi-Channel FM Audio and Video Signals", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol.39, No.3, pp.593-597, (1993)
- (9) 神谷真好・池田弘明 : 「LEDアッセンブリとカラーセンサアッセンブリによる二信号同時伝送とその振動計測応用」電気学会論文誌, Vol.116-C, No.7, pp.865-872, 1996.
- (10) M. Kamiya, H. Ikeda, H. Atsumi and S. Kato: "Optical Fiber Signal Transmission System Having Reference Light Transmission Capability", IEEJ Proceedings of JIASC'95, Vol. 2, No. IE-2, pp. E7-E12 (1995)
- (11) 神谷真好, 篠原茂信, 吉田博文, "振動・衝撃試験におけるモニタ画像信号、センサ位置制御データ、及び計測データの光ファイバ伝送", 静岡大学大学院電子科学研究科研究報告, No.19, pp.163-169, (March 1998).
- (12) Masayoshi Kamiya, Hiroaki Ikeda, Shigenobu Shinohara, and Hirofumi Yoshida, "Bi-directional Transmission of Analog/Digital Data and Video Signal via Optical Fiber for Use in Reliability Test", in Proceedings of IEEE 23rd International Conference on

- Industrial Electronics, Control, and Instrumentation (IECON) '97, Vol.3, pp.1192-1197, (Nov. 1997).
- (13) Masayoshi Kamiya, Hiroaki Ikeda, Shigenobu Shinohara, and Hirofumi Yoshida, "Data Collection and Transmission System for Vibration Test", in Proceedings of IEEE Industrial Application Society 32nd Annual Meeting (IAS) '98, Vol.3, pp.1679-1685, (Oct. 1998).
- (14) EVI-D30 series Instruction Manual, Sony corporation, pp.10-16, (1997)
- (15) EVI-370 series Instruction Manual, Sony corporation, pp.13-20, (1997)
- (16) M.Kamiya and H.Ikeda : "Simultaneous Transmission of Vibration Sensor Position Control Data and Measured Vibration Data in Opposite Directions Through Single Plastic Optical Fiber", IEEE Proceedings of ETFA'96, Vol.1, pp82-86, (1996)
- (17) 神谷真好・池田弘明・篠原茂信・吉田博文:「振動試験におけるセンサ位置制御信号と振動データとの同時双方向光ファイバ伝送」,信頼性・保全性シンポジウム発表報文集, pp.161-166, (1997)
- (18) 神谷真好・池田弘明:「参照光伝送機能付き光ファイバ信号伝送方式を利用したロボットによる寸法測定」電気学会論文誌, Vol.117-D, No.2, pp.221-230, (1997)
- (19) "Move Master 取扱説明書", 三菱電機(株), pp.7-8, (1992)
- (20) 神谷真好・池田弘明:「モニタPD内蔵形LDを用いた全二重光信号伝送方式の検討」,平成7年電気学会全国大会講演論文集, Vol.3, No.545, pp.30-31, (1995)
- (21) 神谷真好, 池田弘明, 篠原茂信, 吉田博文, "レーザダイオードを用いた単一光ファイバによる同時双方向信号伝送とその振動測定への応用", 電気学会論文誌, Vol.118-C, No.6, pp.933-940, (June 1998).
- (22) D. Marcuse: "Curvature loss formula for optical fibers", J. Opt. Soc. Am., Optical Society of America, Vol. 66, No. 3, pp. 216-220 (1976)
- (23) K. Furuya: "Random-bent loss in single mode and parabolic index multimode optical fiber cables", Appl. Opt, pp. 1493- 1500 (1980)
- (24) A. L. Patlakh and A. S. Semenov: "Light transmission of bent multimode optical fibers", Sov. J. Quantum Electron, American Institute of Physics, Vol. 13, No. 4, pp. 542-544 (1983)
- (25) "全自動振動試験装置 (コントローラ部) 仕様書", エミック(株), pp.5-6, (1992)
- (26) Bernard Grob, "Basic Television and Video Systems", McGRAW-HILL, pp.186-

<第2章>

188,(1984).

(27) 戸荻吉孝, 津坂昌利, "パソコン計測制御とインタフェース活用法", 技術評論社, pp.125, (1985).

(28) ラシィ, "通信方式", マグロウヒル, pp.185-186, (1992).

第3章 光ファイバデータ伝送システム

本章では、環境試験データ収集・伝送システムの主要な構成要素である、4種類の光ファイバ伝送システムを提案・構成するため、まず、環境試験データ収集・伝送システムから要求される伝送性能にもとづいて、各光ファイバ伝送システムの基本構成要素と変調方式を選択して組み合わせる。次に、いずれも1本の光ファイバを伝送媒体としている各光ファイバ伝送システムについて、それぞれの構成や動作原理を記述した後、伝送チャンネルごとに伝送性能を測定し、要求されている性能を満足しているかどうかを評価する。

3.1 基本構成要素と変調方式の選択

光ファイバ伝送システムを構成する基本的な要素として、発光素子、光ファイバ、及び受光素子がある。そこで、各光ファイバ伝送システムに要求される伝送性能をもとに、それぞれの光ファイバ伝送システムの基本構成要素を選択し、組み合わせを検討する。更に、基本構成要素と伝送データ周波数を考慮して、変調方式を決定する。

3.1.1 光ファイバの選択

基本構成要素の中でも、データの伝送媒体である光ファイバは、データの伝送距離や光強度の変調帯域（変調方式）を検討する場合の重要な要素である。

まず、試験室内の各データ収集システムで使用される光ファイバ伝送システムA、光ファイバ伝送システムB、及び光ファイバ伝送システムCには、いずれも伝送路を曲げ伸ばししたときの機械的耐久性が大きいことと、引き回すときの取り扱いが容易なことが要求される。また、これらの光ファイバ伝送路はいずれも試験室内に配線されるため、試験データを20 m程度の短距離に伝送できれば、要求性能を満足することができる。更に、これらの光ファイバ伝送システムで伝送されるデータは、いずれも周波数や速度が比較的低い。従って、光ファイバ伝送システムA、光ファイバ伝送システムB、及び光ファイバ伝送システムCの伝送媒体には、伝送損失は大きい反面、コア径が大きく取扱いが便利、曲げや衝撃に強く軽量、現場での加工が容易などの特徴のある、SI形多モードプラスチック光ファイバが適している。更に、引き回すとき

の取り扱いの容易さを考慮して、いずれの伝送システムも1本の光ファイバを伝送媒体として使用する。

一方、試験室・測定室間データ伝送システムで使用される光ファイバ伝送システムDには、伝送路が固定されているものの、1 km 以上の伝送可能距離が要求される。従って、光ファイバ伝送システムDの伝送媒体には、伝送損失が小さい、伝送帯域も比較的広いなどの特徴のあるGI形多モード石英光ファイバが適している。ところで、全二重データ伝送を実現する一般的な光ファイバ伝送システムとして、送信経路と受信経路に別々な2本の光ファイバを使用する方法と、1本の光ファイバと1対の光カップラを使用する方法がある。これらの方式は、伝送システムを構成する光部品と光部品相互の接続が多くなってしまふ。そこで、光ファイバ伝送システムDでは、伝送システムの構成をできるだけ簡単にするため、伝送媒体として1本の光ファイバを使用しながら、光カップラを使用しない方式をとった。

表3. 1に、光ファイバ伝送システムで使用する、SI形多モードプラスチック光ファイバとGI形多モード石英光ファイバの各種パラメータをそれぞれ示す^{(1),(2)}。

表3. 1 使用する光ファイバの各種パラメータ

「試験室内で使用する光ファイバ伝送路」	
SI形多モードプラスチック光ファイバ	
コア径	0.98 mm
クラディング外径	1.0 mm
コア屈折率	1.492
クラディング屈折率	1.417
開口数	0.47

「試験室・測定室間で使用する光ファイバ伝送路」	
GI形多モード石英光ファイバ	
コア径	0.05 mm
クラディング外径	0.125 mm
コア屈折率(中心部)	1.475
クラディング屈折率	1.460
開口数	0.21

3.1.2 発光素子と受光素子の選択

まず、LED から出力する光には、出力が小さい、微小なスポットが形成されない、などの欠点がある。しかし、素子が廉価なことから、大口径のプラスチック光ファイバと組み合わせて安価な、短距離の低速データ伝送システムを構成することができる。従って、SI 形多モードプラスチック光ファイバを使用する光ファイバ伝送システムA、光ファイバ伝送システムB、及び光ファイバ伝送システムCの発光素子には LED を使用し、受光素子には、伝送データの周波数帯で十分応答する PIN-PD を使用する⁽³⁾。

一方 LD から出力する光は、誘導放出光のため発光スペクトルが狭い、出力が大きい、数 μm までスポットが絞れるなどの特徴を持つ。そのため、GI 形多モード石英光ファイバと組みあわせて、中・長距離の比較的高速なデータ伝送に適している。従って、GI 形多モード石英光ファイバを使用する光ファイバ伝送システムDの発光素子には LD を使用し、受光素子には、伝送データの周波数帯で十分応答する PIN-PD を使用する⁽⁴⁾。

3.1.3 変調方式の選択

光ファイバ伝送システムAには、周波数が広帯域で広いダイナミックレンジを持つアナログデータを伝送する性能が要求される。AM 変調方式や FM 方式を用いてこのようなデータを伝送する場合、光信号の周波数成分は、高い搬送周波数を中心として広い帯域に分布する。そのため、SI 形多モードプラスチック光ファイバを用いた場合の帯域制限⁽⁵⁾や伝送可能距離の縮小を避けるため、ベースバンド方式を採用する。

また、光ファイバ伝送システムAでは、ロボットアームに敷設された光ファイバの伝送損失の変化によって生ずる伝送誤差を補正するため、信号光とは異なる参照光を、信号光と同時に伝送する。参照光の伝送にも、同じ理由から、ベースバンド方式を採用する。

次に、光ファイバ伝送システムBには、アナログデータと反対方向に、デジタルデータを伝送する性能が要求される。このデジタルデータの周波数成分は、RS232C 形式のシリアルデータであるため、アナログデータの周波数帯域を含む広い帯域に分布する。従って、伝送されるデータ相互の干渉を防ぐため、アナログデータ、デジタルデータ共に、SWFM 変調方式を用いて伝送する。

また、光ファイバ伝送システムCには、バイナリーデータをパラレル伝送する性能

が要求される。バイナリーデータ伝送での変調方式として、各伝送ビットに異なるキャリア周波数を割り当てた周波数分割 ASK 変調方式が、変復調の簡便さから有利である。ところが、伝送ビット数が多くなればキャリア数も増大し、伝送ビット数が少ないときと同じ周波数帯域にキャリア周波数を設けようとした場合、復調するためのバンドパスフィルタに高い周波数選択度が要求される。そこで、これを避けて、16 ビット伝送を行うため、変調方式は、4つの AM キャリアをそれぞれ別な4つの ASK 信号で変調する、ASK 変調と AM 変調を組み合わせた変調方式とした⁽⁶⁾。

最後に、光ファイバ伝送システムDには、デジタルデータ(A)を一方向に、画像データとデジタルデータ(B)をデジタルデータ(A)とは逆方向へ、全二重伝送する伝送機能が要求されている。3つの伝送データそれぞれが有する周波数成分の分布は、互いに重なっている。従って、伝送データ相互の干渉を防ぐため、デジタルデータ(A)の伝送とデジタルデータ(B)の伝送には、それぞれ SWFM 変調方式と、正弦波 FM 変調方式とを採用した。また、画像データの周波数成分は広帯域であるため、画像データの伝送にはベースバンド方式を採用した⁽⁷⁾⁻⁽⁹⁾。

3.1.4 基本構成要素の組み合わせと変調方式

図3.1に、光ファイバ伝送システムA、B、及びCで使用する光構成要素の組み合わせと変調方式を、図3.2に光ファイバ伝送システムDで使用する光構成要素の組み合わせと変調方式をそれぞれ示す。

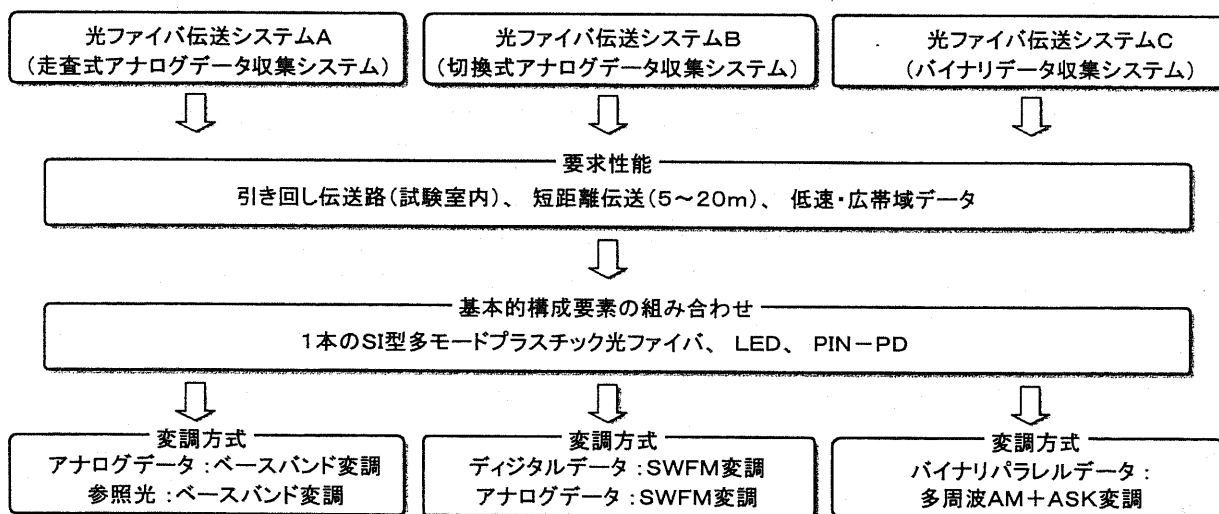


図3.1 光ファイバ伝送システムA、B、及びCで使用する光構成要素と変調方式

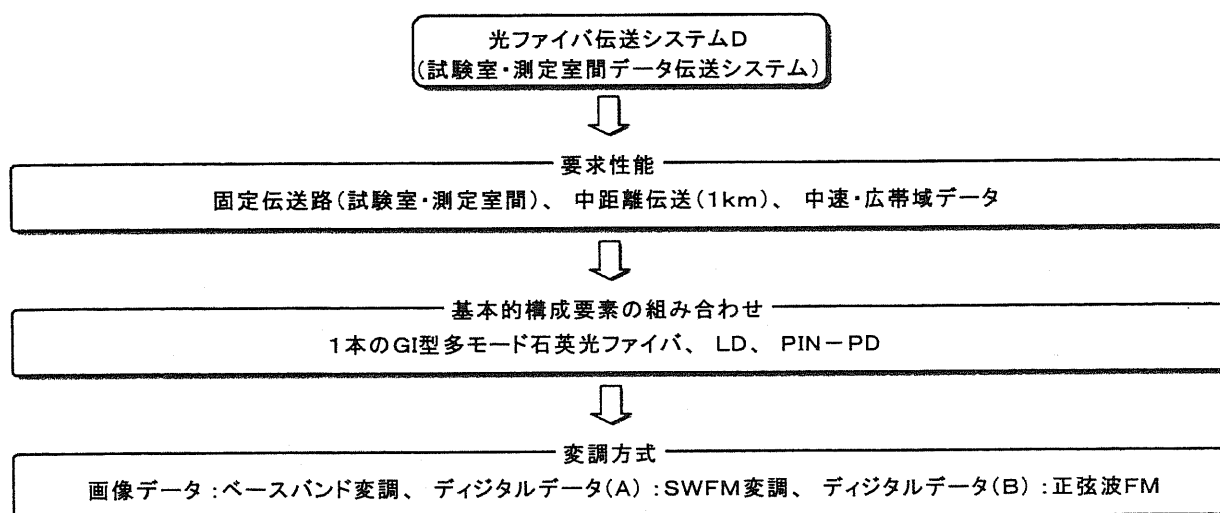


図3. 2 光ファイバ伝送システムDで使用する光構成要素と変調方式

3. 2 屈曲伝送損失補償機能付きデータ伝送システム(光ファイバ伝送システムA)

ロボットアームに敷設された1本のプラスチック光ファイバを伝送路とし、ロボットアームの先端に保持されたアナログセンサの出力データを、センサから試験室内PCまで精度良くアナログ伝送する。E/O変換器にLEDアセンブリを、O/E変換器にはカラーセンサアセンブリを使用した、合分波器の不要な光WDMシステムである。信号光と同時伝送した参照光を用いて、光ファイバの曲げ損失により生ずる誤差を補償する機能がある。

3.2.1 可動部に敷設された伝送システムへの要求性能

多関節ロボットのアームに敷設された大口径プラスチック光ファイバを信号伝送路として使用したとき、光ファイバの曲げ条件は常に変化するため、光ファイバの曲げ損失も容易に変動する^{(10),(11)}。そのため、従来のアナログ式光ファイバ伝送方式では、受信側の受光量変動の原因が、センサなどから出力される検出信号の変化か、或いは光ファイバの曲げ損失の変動か、判別できないのが現状である。

従来の信号伝送用光ファイバは、床下ピットや天井ダクトに納められ、いったん敷

設された後には、機械的応力が変化することはあまりなかった。しかし、今後は産業分野をはじめとする多くの分野で、フレキシブル光信号伝送路として、光ファイバは積極的に活用されようとしている⁽³⁾。このような用途では、光ファイバの曲げ損失の変動に伴う伝送誤差を補正できる、アナログ式データ伝送方式が要求される。

3.2.2 新しい光波長分割多重伝送方式の提案

1本の光ファイバを介して複数の情報を伝送する種々の多重伝送技術が実用化されている^{(12),(13)}。従来の光波長分割多重(WDM)信号伝送方式では、複数の発光素子と受光素子が必要であり、合分波器も不可欠である。それに伴い、高価な光結合部品を使用しなくてはならない^{(14),(15)}。伝送速度と伝送距離では劣っても、合分波器を除去できれば、廉価な産業用光波長分割多重信号伝送システムを構成できる。そこで、ロボットアーム用伝送システムとして、E/O変換器に2色発光形LEDアセンブリを使用し、O/E変換器にカラーセンサアセンブリを使用した屈曲伝送損失補償機能付き光ファイバデータ伝送システムを提案する。

3.2.3 プラスチック光ファイバの屈曲による光信号の透過損失とその補償

光ファイバの伝送損失には、材料による吸収損失や散乱損失、コアとクラッド境界面の散乱損失、光学部品相互の結合損失、及び曲げ損失などがある⁽⁴⁾。

曲げ損失の計算については、導波路中の屈折率分布を曲げ半径の関数として近似して波動方程式を解く方法⁽¹⁶⁻¹⁹⁾と伝搬モード数の変化より解く方法^{(20),(21)}などが報告されている。しかし、これらの計算式は多くのパラメータを含み、それぞれのパラメータを実際の曲げ条件に対応させることは困難である。

一方、実験による曲げ損失の測定も、わずかながら報告されている⁽²²⁾。これらの実験では、曲げ角度を一定とし、光ファイバに引張荷重が加わらない状態で測定が行われている。しかし、光ファイバがロボットなどに応用されたときには、アームの動きに伴い、光ファイバの曲げ角度が変化する。更に、光ファイバに引張荷重を加えることで、たわみをなくして剪断などの事故を未然に防止することができると考えられる。

従って、ここでは、光ファイバに一定の引っ張り応力を加えたとき、曲げ角度と曲げ半径をパラメータとして、光ファイバの曲げ損失とその過渡応答を実験的に求めた。このとき、曲げ損失は、光ファイバの直線状態での透過損失によって正規化した。

(a) 測定条件

660 nm と 570 nm の LED 光を長さ 2 m の大口径プラスチック光ファイバに透過させたとき、それぞれの波長における曲げ損失を測定した。

図 3. 3 に、曲げ損失の測定における光ファイバの配置を示す。

回転アームの先端に取り付けた光センサから、ホルダを介してプーリの外周に沿わせて光ファイバを鉛直方向に伸ばす。プーリは、アームの回転中心の周りで自由に回転する。更に、光ファイバを 1 kg 重の張力（使用した光ファイバの最大許容引張荷重⁽²³⁾）で鉛直方向にけん引し、LED に接続する。プーリは、半径(r)がそれぞれ 5 mm、10 mm、15 mm、20 mm、25 mm のものを用いた。光センサと光ファイバ、及び光ファイバと LED の間は、いずれも FC 形光コネクタを介して結合した。

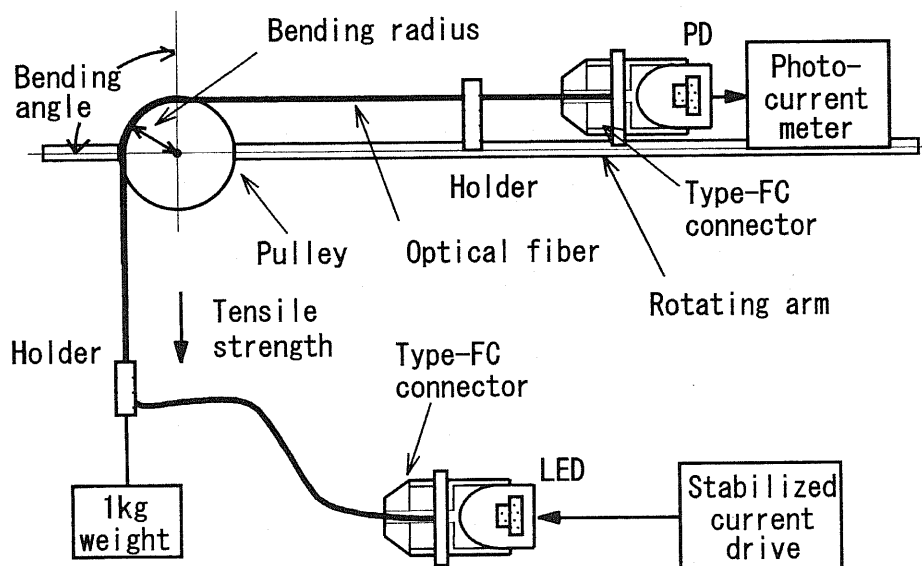


図 3. 3 曲げ損失の測定における光ファイバの配置

(b) 曲げ損失の過渡応答

半径を 10 mm に固定して、角度を 0° から 180° へ光ファイバを急速に曲げたとき、曲げ終わり時点からの経過時間に対する曲げ損失の増分を測定した。その結果、損失が収束値に対して $\pm 0.1\text{dB}$ 以内の範囲へ到達するのに要する時間は約 10 秒であった。一方、半径 10 mm で、角度を 180° から 0° へ光ファイバを急速に曲げ戻したとき、曲げ戻し終了時点からの経過時間に対する曲げ損失の減分を測定した。その結果、損失が収束値に対して $\pm 0.1\text{dB}$ 以内の範囲へ到達するのに要する時間は約 3 秒であった。

(c) 曲げ角度に対する曲げ損失

曲げ半径を 10 mm に固定して、曲げ角度を 0° から 180° まで変化させたとき、570 nm と 660 nm のそれぞれの光について、曲げ角度と曲げ損失の関係を測定した。図 3. 4 に、曲げ損失の測定値を示す。曲げ角度が 180° の場合、使用波長 660 nm で 1.5 dB の曲げ損失を生ずる。

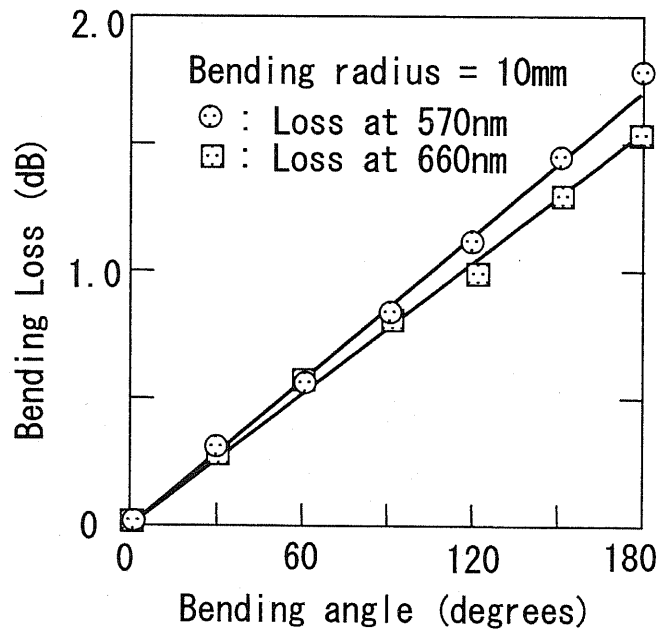


図 3. 4 曲げ角度に対する曲げ損失

(d) 曲げ半径に対する曲げ損失

曲げ角度を 180° に固定して、曲げ半径を 5 mm から 25 mm まで変化させたとき、570 nm と 660 nm のそれぞれの光について、曲げ半径と曲げ損失の関係を測定した。図 3. 5 に、曲げ損失の測定値を示す。曲げ半径が 5 mm の場合、660 nm で 3.4 dB の曲げ損失を生ずる。

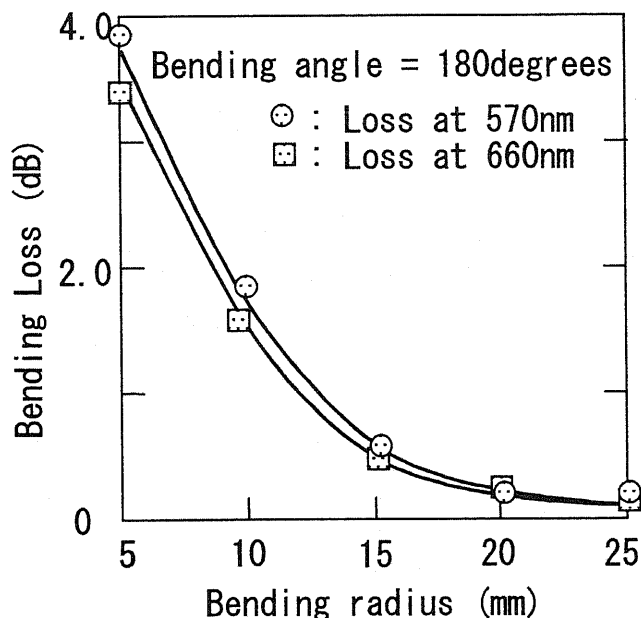


図 3. 5 曲げ半径に対する曲げ損失

3.2.4 E/O 変換器と O/E 変換器及びクロストーク除去回路

本伝送システムでは、2色発光形 LED アセンブリに一对の LED が内蔵され、カラーセンサアセンブリに一对のフォトダイオードが内蔵されている。従って、一般に各フォトダイオードの感度スペクトル分布が、一对の LED の各発光スペクトル分布と部分的な重なりを持つことになる。従って、このままでは受信時にクロストークが発生する。そこで、電子回路により受信クロストークを除去する⁽⁷⁾⁻⁽⁹⁾。

伝送に用いた E/O 変換器と O/E 変換器の構成を図 3. 6 に、外観を図 3. 7 にそれぞれ示す。

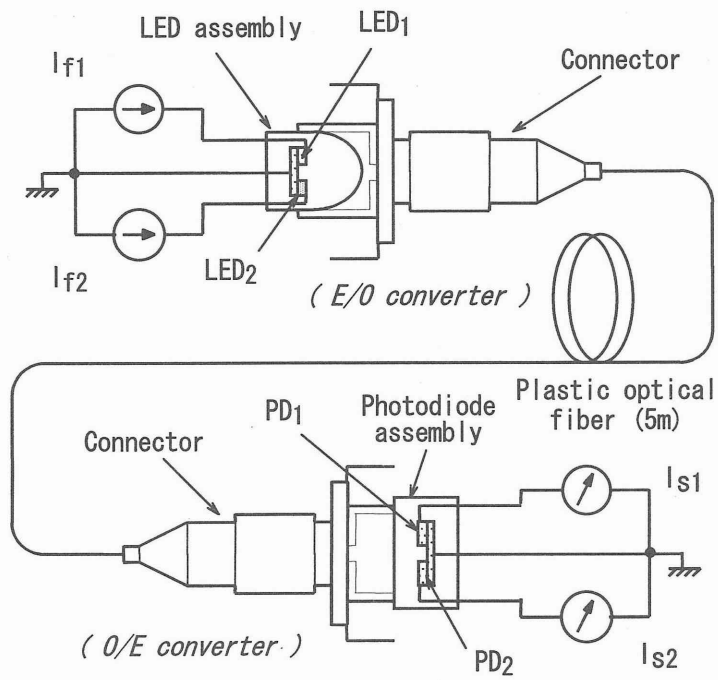


図 3. 6 E/O 変換器と O/E 変換器の構成

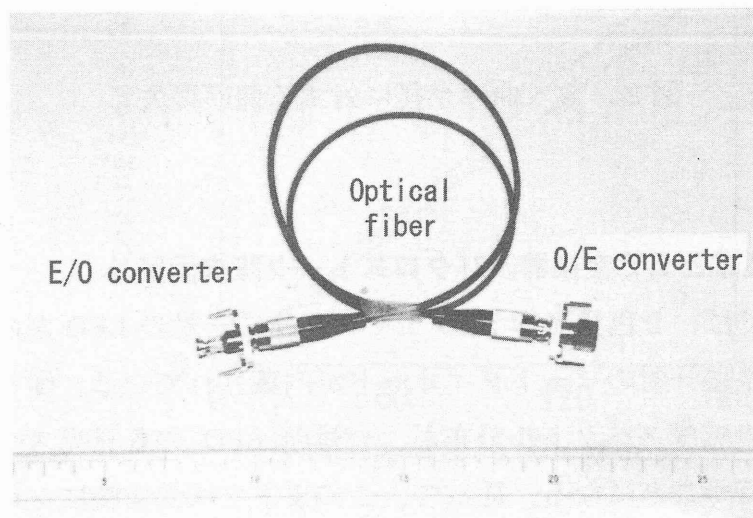


図 3. 7 E/O 変換器と O/E 変換器の外観

2色発光形 LED アセンブリ(LEDs)に組み込まれた一対の LED 素子 (LED1, LED2) は、それぞれ 570 nm 及び 660 nm に最大強度波長を有する。 I_{f1} と I_{f2} は、それぞれ LED1 と LED2 の順方向駆動電流である。一方、カラーセンサアセンブリ(PDs)に組み込まれた一対のフォトダイオード(PD1, PD2)は、それぞれ 530 nm 及び 600 nm に最大感度波長を有する。 I_{s1} と I_{s2} は、それぞれ PD1 と PD2 の短絡電流である。

2色発光形 LED アセンブリとカラーセンサアセンブリには、それぞれ FC 形(JIS-F01 形)光コネクタのレセプタクルを装着してある。これらのアセンブリは、FC 形光コネクタを介して、長さ 5 m でコア径 1 mm の SI 形多モードプラスチック光ファイバで接続されている。

図 3. 8 に、LED1、LED2 の発光スペクトラム分布 $e_1(\lambda)$ 、 $e_2(\lambda)$ と、PD1、PD2 の感度スペクトラム分布 $p_1(\lambda)$ 、 $p_2(\lambda)$ とを示す。

$e_1(\lambda)$ と $e_2(\lambda)$ は、それぞれ LED1 ($I_{f1} = 30 \text{ mA DC}$) と LED2 ($I_{f2} = 5 \text{ mA DC}$) の出力光分光特性とを、光ファイバを介して測定して求めたものである。一方、ハロゲンランプとグレーティングを組み合わせた可変波長光源からの光パワーは、減衰器で一定に保ちながら、光ファイバを介して PD1 と PD2 で受光した。 $p_1(\lambda)$ と $p_2(\lambda)$ は、それぞれ PD1 及び PD2 の短絡電流を測定して求めたものである。

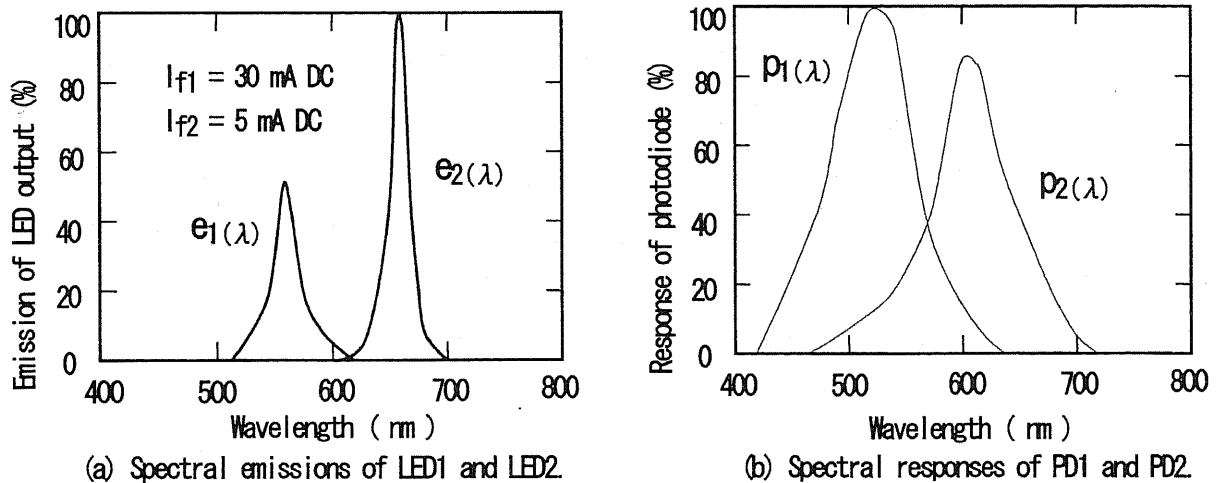


図 3. 8 LED1, LED2 の発光スペクトラム分布と、PD1, PD2 の感度スペクトラム分布

(a) 受信クロストークの発生と除去式の導出

図3. 6において、LED1 と PD1、及び LED2 と PD2 がそれぞれ各信号チャネルを構成するものとする。図3. 8において、 $p_1(\lambda)$ は、 $e_1(\lambda)$ のほぼ全域をカバーしているが、 $e_2(\lambda)$ とはわずかな領域で重なっている。従って、PD1 から出力される短絡電流は、LED2 の信号光による成分（クロストーク電流）をほとんど含まず、LED1 の信号光による成分（信号電流）とほぼ等しくなる。一方、図3. 8において、 $p_2(\lambda)$ は、 $e_1(\lambda)$ と $e_2(\lambda)$ の両方に同程度の重なりを持つ。従って、PD2 から出力される短絡電流は、LED2 の信号光による成分（信号電流）と LED1 の信号光による成分（クロストーク電流）を同程度に含む。

そこで、PD1、及び PD2 が LED1 の信号光のみを受光したときの PD1 と PD2 の短絡電流比と、PD1、及び PD2 が LED2 の信号光のみを受光したときの PD1 と PD2 の短絡電流比を予め求めておく。これらの電流比を利用して、PD1、及び PD2 が LED1、及び LED2 の信号光を同時に受光したとき、PD1、PD2 より出力されるそれぞれの短絡電流 I_{s1} 、 I_{s2} からクロストーク電流を演算処理により除去し、それぞれの信号電流のみを取り出す方法を試みた。

E/O 変換器において、 I_{f1} は、変調中心電流を 30 mADC に設定し、 ± 18 mA で変化する 1 kHz の正弦波電流で変調した。 I_{f2} は、変調中心電流を 5 mA DC に設定し、 ± 3 mA で変化する 2 kHz の正弦波電流で変調した。

この実験において、PD1、PD2 の短絡電流 I_{s1} 、及び I_{s2} は、いずれも数十 nA である。このとき、PD1、PD2 の開放電圧は、いずれも約 0.4 V であった。

図3. 9に、 I_{f1} 、 I_{f2} の波形と、 I_{s1} 、 I_{s2} の波形を比べて示す。PD1 の短絡電流 I_{s1} にはクロストーク電流が含まれていない。そのため、 I_{s1} の波形は、 I_{f1} に同期した 1 kHz の正弦波形である。一方、PD2 の短絡電流 I_{s2} にはクロストーク電流が含まれている。そのため、 I_{s2} の波形は、 I_{f2} に同期した 2 kHz の正弦波に、 I_{f1} に同期した 1 kHz の正弦波が加算されている。

PD1、及び PD2 が LED1、及び LED2 から信号光を同時に受光したものとする。このとき、 A_1 、 A_2 を、それぞれ LED1、LED2 の駆動電流とすると、PD1、PD2 の短絡電流 I_{s1} 、 I_{s2} は、それぞれ次の式 (3. 1)、(3. 2) で与えられる。

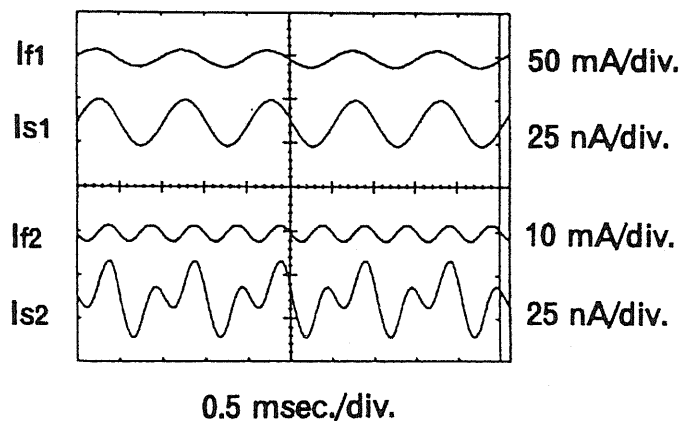


図 3. 9 LED の駆動電流波形と PD の光電流波形

$$Is1 = Is1(e1) + Is1(e2) \dots (3.1)$$

$$Is2 = Is2(e1) + Is2(e2) \dots (3.2)$$

ただし、

$$Is1(e1) = A1 \int e1(\lambda) p1(\lambda) d\lambda \dots (3.3)$$

$$Is2(e1) = A1 \int e1(\lambda) p2(\lambda) d\lambda \dots (3.4)$$

$$Is1(e2) = A2 \int e2(\lambda) p1(\lambda) d\lambda \dots (3.5)$$

$$Is2(e2) = A2 \int e2(\lambda) p2(\lambda) d\lambda \dots (3.6)$$

ここで、 $Is1(e1)$ 、 $Is2(e1)$ は、それぞれ PD1 の信号電流、PD2 のクロストーク電流である。また、 $Is1(e2)$ 、 $Is2(e2)$ は、それぞれ PD1 のクロストーク電流、PD2 の信号電流である。

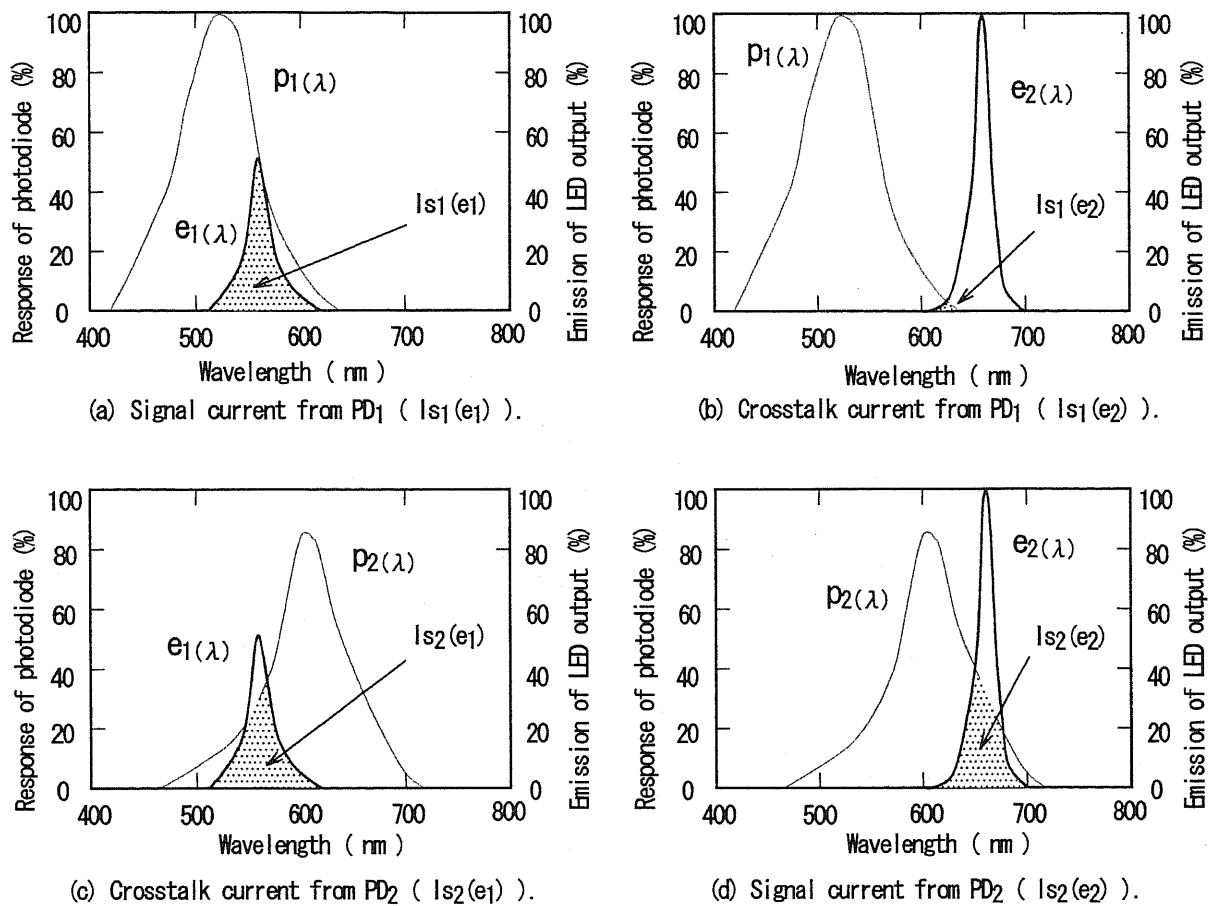


図 3. 1 0 発光及び感度スペクトラムの分布図上に示された $I_{s1}(e_1)$ 、 $I_{s2}(e_1)$ 、 $I_{s1}(e_2)$ 、及び $I_{s2}(e_2)$

図 3. 1 0 に、 $I_{s1}(e_1)$ 、 $I_{s2}(e_1)$ 、 $I_{s1}(e_2)$ 、及び $I_{s2}(e_2)$ を発光及び感度スペクトラムの分布図上に示す。

PD1、及び PD2 が LED1 の信号光のみを受光したものとする。このとき、PD1 の短絡電流 $I_{s1}(e_1)$ (信号電流) に対する PD2 の短絡電流 $I_{s2}(e_1)$ (クロストーク電流) の比を短絡電流比 K_1 と定義し、式 (3. 7) に示す。 K_1 は、式 (3. 3)、(3. 4) より、LED1 の駆動電流 A_1 に関わらず $e_1(\lambda)$ 、 $p_1(\lambda)$ 、 $p_2(\lambda)$ で決定される。次に、PD1、及び PD2 が LED2 の信号光のみを受光したものとする。このとき、PD2 の短絡電流 $I_{s2}(e_2)$ (信号電流) に対する PD1 の短絡電流 $I_{s1}(e_2)$ (クロストーク電流) の比を短絡電流比

K_2 と定義し、式(3.8)に示す。 K_2 は、式(3.5)、(3.6)より、LED2の駆動電流 A_2 に関わらず $e_2(\lambda)$ 、 $p_1(\lambda)$ 、 $p_2(\lambda)$ で決定される。

$$\frac{I_{s2}(e_1)}{I_{s1}(e_1)} = K_1 \dots (3.7)$$

$$\frac{I_{s1}(e_2)}{I_{s2}(e_2)} = K_2 \dots (3.8)$$

従って、LED1とLED2の波長多重された信号光を、光ファイバを介して、PD1、及びPD2で同時受光したとき、PD1の信号電流 $I_{s1}(e_1)$ と、PD2の信号電流 $I_{s2}(e_2)$ は式(3.1)、(3.2)、(3.7)、及び式(3.8)より、次式で与えられる。

$$I_{s1}(e_1) = \frac{I_{s1} - K \cdot I_{s2}}{1 - K_1 \cdot K_2} \dots \dots (3.9)$$

$$I_{s2}(e_2) = \frac{I_{s2} - K_1 \cdot I_{s1}}{1 - K_1 \cdot K_2} \dots (3.10)$$

なお、式(3.7)及び式(3.8)の成立条件は、それぞれ $I_{s1}(e_1) > 0$ 、 $I_{s2}(e_2) > 0$ である。すなわち、PD1がLED1の信号光に感度を有し、PD2がLED2の信号光に感度を有する必要がある。また、式(3.9)及び式(3.10)の成立条件は、いずれも $K_1 \cdot K_2 \neq 1$ である。すなわち、PD1とPD2の感度スペクトル分布が異なることと、LED1とLED2の発光スペクトル分布が異なることが必要条件となる。

短絡電流比 K_1 、 K_2 を、実験、及び計算により求め、両者を比較する。

実験では、図3.6に示した基本構成を用いた。LED2を駆動せず($I_{f2} = 0$ mA)、LED1のみを駆動($I_{f1} = 30$ mA DC)したとき、PD1の短絡電流 I_{s1} (信号電流 $I_{s1}(e_1)$)は20.0 nA DCであり、PD2の短絡電流 I_{s2} (クロストーク電流 $I_{s2}(e_1)$)は19.2 nA DCであった。また、LED1を駆動せず($I_{f1} = 0$ mA)、LED2のみを駆動($I_{f2} = 5$ mA DC)したとき、PD1の短絡電流 I_{s1} (クロストーク電流 $I_{s1}(e_2)$)は0.0 nA DCであり、PD2の短絡電流 I_{s2} (信号電流 $I_{s2}(e_2)$)は20.5 nA DCであった。これらの測定結果と式(3.7)、(3.8)から、 $K_1 = 0.96$ 、 $K_2 = 0.00$ となる。

<第3章>

一方、計算では、図3. 10に示したLED1の発光スペクトラム分布 $e_1(\lambda)$ とPD1の感度スペクトラム分布 $p_1(\lambda)$ を、式(3. 3)に従って波長全域にわたって積分すると、PD1の信号電流 $I_{s1}(e_1)$ が求められる。同様に、 $I_{s2}(e_1)$ 、 $I_{s1}(e_2)$ 、 $I_{s2}(e_2)$ についても、それぞれ式(3. 4)、(3. 5)、及び式(3. 6)に従って計算によって求めた。実験で得られた結果と比較するため、計算した $I_{s1}(e_1)$ を20.0とおき、 $I_{s2}(e_1)$ 、 $I_{s1}(e_2)$ 、 $I_{s2}(e_2)$ を相対的に比例計算すると、それぞれ19.3、0.0、20.3となる。これらの計算結果と式(3. 7)、(3. 8)から、 $K_1=0.97$ 、 $K_2=0.00$ が求められる。

表3. 2に、実験値と、計算値を比較して示す。実験で求めた $I_{s1}(e_1)$ 、 $I_{s2}(e_1)$ 、 $I_{s1}(e_2)$ 、 $I_{s2}(e_2)$ および K_1 、 K_2 は、計算によって求めたそれらの値とよく一致した。

表3. 2 実験値と計算値との比較

Outputs & Coefficients	Experimental values	Calculated values	Unit
$I_{s1}(e_1)$	20.0	20.0	nA
$I_{s2}(e_1)$	19.2	19.3	
$I_{s1}(e_2)$	0.0	0.0	
$I_{s2}(e_2)$	20.5	20.3	
K_1	0.96	0.97	-----
K_2	0.00	0.00	

(b) 電子回路によるクロストークの除去

図3.11は、式(3.9)、(3.10)の演算を実行するクロストーク除去回路の構成を示す。この回路では、PD1の短絡電流 I_{s1} に比例した電圧 V_{s1} と、PD2の短絡電流 I_{s2} に比例した電圧 V_{s2} に K_2 を乗じた電圧を、 $[1/(1-K_1 \cdot K_2)]$ 倍に差動増幅している。その結果、 V_{s1} からクロストーク成分を除去した出力信号 $V_{s1}(e_1)$ を得ている。同様に、 V_{s2} と、 V_{s1} に K_1 を乗じた電圧を、 $[1/(1-K_1 \cdot K_2)]$ 倍に差動増幅することにより、 V_{s2} からクロストーク成分を除去した出力信号 $V_{s2}(e_2)$ を得ている。また、高域ノイズを低減するため、カットオフ周波数が10 kHzに設定された低域透過フィルタ(LPF)を、各チャンネルの出力段に設けている。

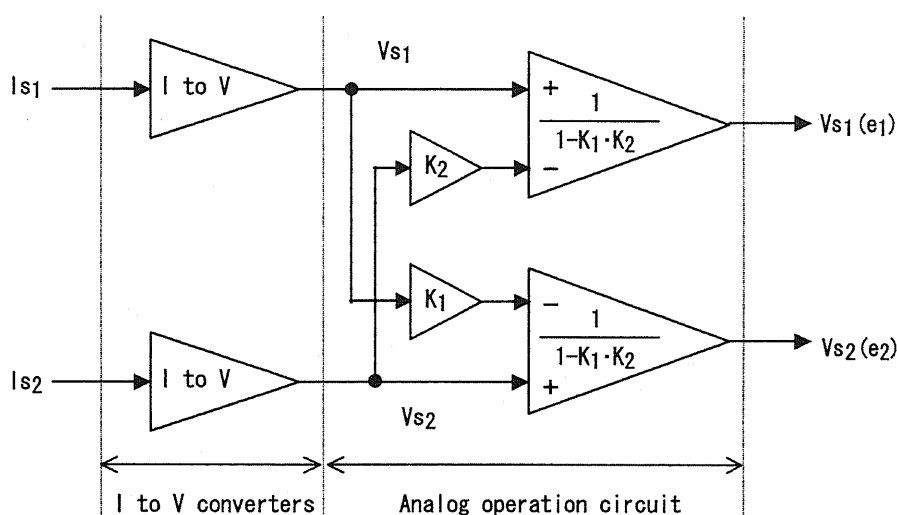


図3.11 クロストーク除去回路

そこで、クロストーク除去回路により、 V_{s2} に含まれるクロストーク成分を除去した。図3.12に、電流 I_{f1} 、及び I_{f2} の波形と、クロストーク除去回路の出力電圧 $V_{s1}(e_1)$ 、及び $V_{s2}(e_2)$ の波形を示す。 $V_{s1}(e_1)$ 、 $V_{s2}(e_2)$ の波形は、それぞれ I_{f1} 、 I_{f2} に同期した正弦波に整形されている。なお、クロストーク除去回路では、受信クロストークを除去するための演算をアナログ減算により実行している。従って、フォトダイオードからクロストーク除去回路までの信号経路において、信号の周波数に対する振幅特性と位相特性を、各チャンネル間で等しくする必要がある。

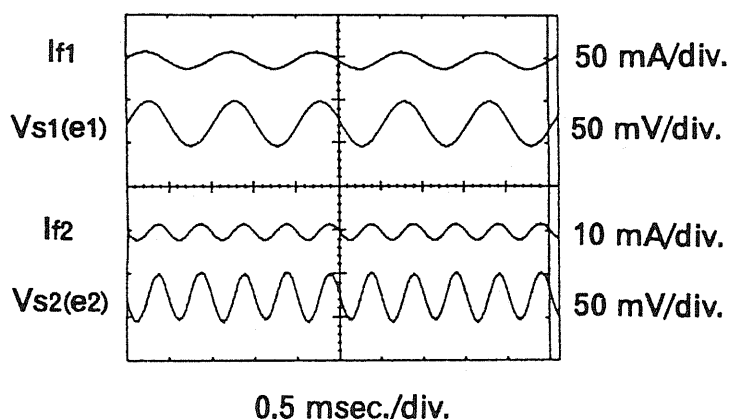


図3. 1 2 LEDの駆動電流とクロストーク除去回路の出力波形

3.2.5 伝送システムの構成とその動作

本伝送システムでは、送信器により信号光と参照光とを1本の光ファイバで送り、受信器で受光した信号光と参照光の強度比をもとにして、曲げ損失の変動による伝送誤差を補正する。

(a) 構成

図3. 1 3に、屈曲伝送損失補償機能付きデータ伝送システムの構成を示す。送信器は、E/O変換器（参照用LED (LED1)、信号用LED (LED2)）、及び2つの電流ドライバで構成される。LED1とLED2は、それぞれ570 nmと660 nmの光を出力する。一方、受信器は、O/E変換器（参照用フォトダイオード(PD1)、信号用フォトダイオード(PD2)、2つの光電流増幅器、クロストーク除去回路、及びアナログ除算器で構成される。送信器と受信器は長さ5 mのSI形多モードプラスチック光ファイバで接続されている。送信器と受信器の外観を図3. 1 4に示す。

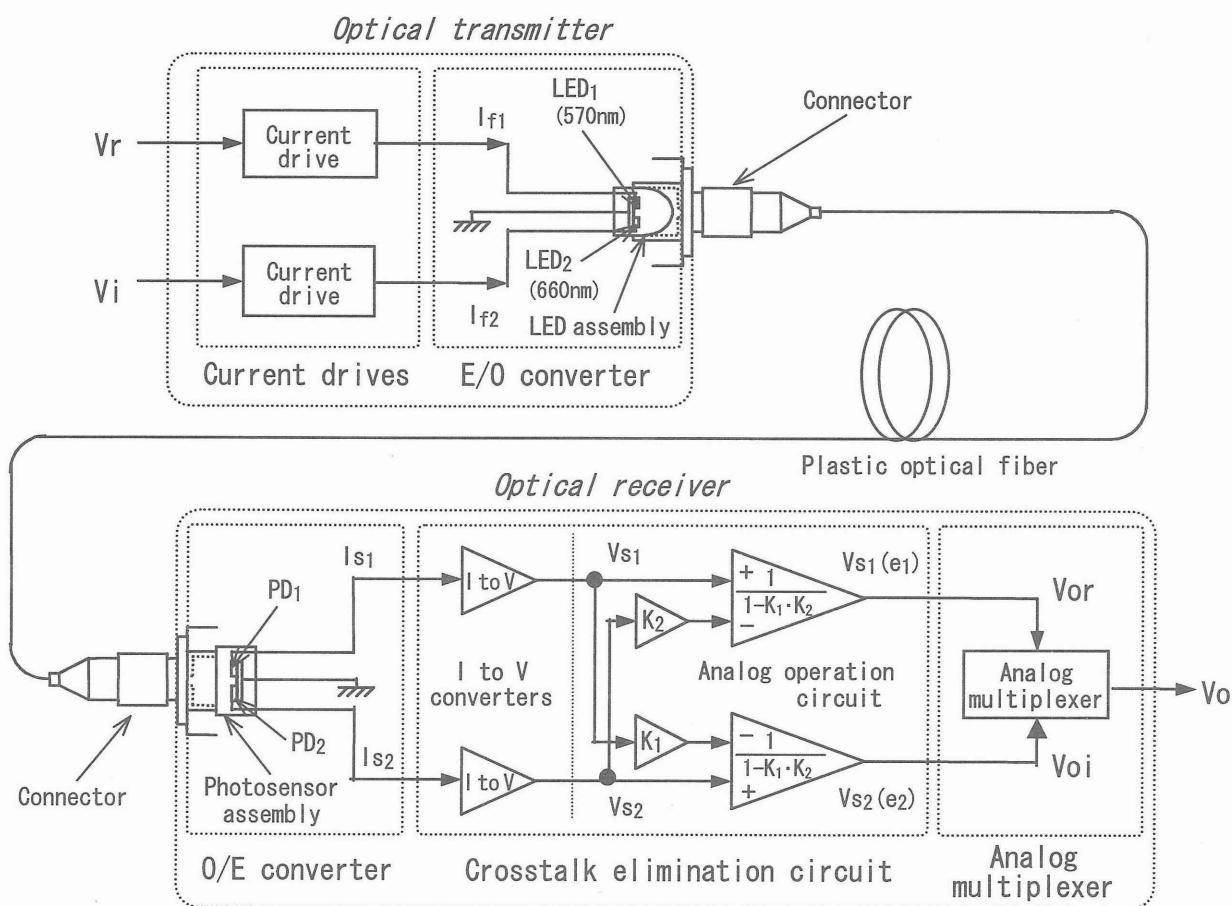


図 3. 1 3 屈曲伝送損失補償機能付きデータ伝送システムの構成

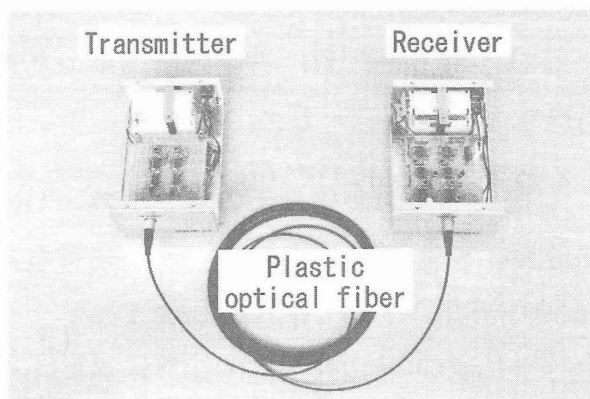


図 3. 1 4 送信器と受信器の外観

(b) 動作

送信器において、2つの電流ドライバは、アナログ参照電圧 V_r 、及びアナログ信号電圧 V_i をそれぞれの LED の駆動電流に変換し、LED1、及び LED2 を駆動する。LED1 から出力する参照光、及び LED2 から出力する信号光は1本の光ファイバに送り出される。一方、受信器において、参照光と信号光は、それぞれフォトダイオード(PD1、PD2)に与えられる。2つの光電流増幅器は、各フォトダイオードの光電流をそれぞれ電圧 V_{s1} 、及び V_{s2} に変換する。 V_{s1} 、 V_{s2} はそれぞれクロストーク除去回路に与えられ、クロストーク除去回路は、 V_{s1} 、 V_{s2} からそれぞれのクロストーク分を除去した $V_{s1}(e1)$ 、及び $V_{s2}(e2)$ を出力する。 $V_{s1}(e1)$ 、及び $V_{s2}(e2)$ は、それぞれアナログ除算器への入力電圧となる。アナログ除算器は、これらの入力電圧に対応して $V_{s2}(e2)/V_{s1}(e1)$ の演算を行う。電圧 V_o はアナログ除算器の出力である。

本システムでは光ファイバが直線状態のとき、 V_i と V_o が等しくなるように、電流ドライバと光電流増幅器の利得をそれぞれ調整しておく。

光ファイバが曲げられたと仮定する。このとき、 V_i と V_o の関係は式 (3. 1 1) で表される。

$$V_o = \frac{T(r, a, 660 \text{ nm})}{T(r, a, 570 \text{ nm})} \cdot V_i \dots (3.11)$$

ただし、 $T(r, a, 660 \text{ nm})$ 、及び $T(r, a, 570 \text{ nm})$ は、曲げ半径 r 、曲げ角度 a で屈曲された光ファイバの、660 nm、及び 570 nm における光の透過率であり、いずれも光ファイバが直線状態のときの透過率で正規化したものである。

従って、曲げ損失による誤差 ER_{bend} は式 (3. 1 2) で与えられる。

$$ER_{bend} = \frac{T(r, a, 660 \text{ nm}) - T(r, a, 570 \text{ nm})}{T(r, a, 570 \text{ nm})} \dots (3.12)$$

図3. 4及び図3. 5より、測定した光ファイバの曲げ条件の範囲で、波長 660 nm における曲げ損失と波長 570 nm における曲げ損失の比は±0.2 dB 以下であった。

従って、この曲げ条件の範囲で曲げられた光ファイバを伝送路として使用したとき、伝送誤差 E_r は ± 0.05 以内となる。すなわち、本システムでは、曲げ損失により生じた伝送誤差を受信側で 5% 以内に補正することが可能である。

3.2.6 伝送システムの性能とその評価

光ファイバを直線状態として、 V_r を 1.0 V DC に設定しておく。更に、 V_i を 1.0 V DC に設定したとき、 V_o と V_i が等しくなるように電流ドライバと光電流増幅器の利得をそれぞれ予め調整しておく。

(a) 光ファイバが直線状態のときの性能

直線性誤差は、 V_i を -1.0 V DC ~ +1.0 V DC の範囲で変化させたときの $(V_o - V_i)/V_i$ を測定し、その値を百分率で求めたものである。直線性誤差を求めた後、 V_i を 0 V に対して 2.0 V_{p-p} の正弦波で変調したとき、 V_i の変調周波数に対する V_o の相対振幅、全ひずみ率、及び S/N 比を測定した。それらの結果を表 3. 3 に示す。

表 3. 3 光ファイバが直線状態のときのシステム性能

Item	data	Condition
Linearity error	1 % max.	$-1.0 \text{ V DC} \leq V_i \leq +1.0 \text{ V DC}$
Relative gain	-3 dB min.	$V_i = 2.0 \text{ V}_{p-p} \text{ AC}, 10 \text{ kHz}$
Distortion factor	2 % max.	Frequency : DC ~ 80 kHz
S/N ratio	56 dB min.	$V_i = 2.0 \text{ V}_{p-p} \text{ AC}, 10 \text{ kHz}$

(b) 光ファイバが曲げられたときの伝送損失による誤差

信号光のみを伝送する従来の伝送方式と、参照光を併用して伝送する本伝送方式との両者について、光ファイバが曲げられたときの伝送損失による誤差 $(V_o - V_i)/V_i$ を測定した。このとき、 V_i は 1.0 V DC に固定しておいた。ここで、従来の伝送方式は、図 3. 1 3 に示すシステムに若干、手を加えて実現した。すなわち、アナログ除算器とクロストーク除去回路の参照光側出力とを受信器の内部で切り離し、アナログ除算器の一方の入力電圧 V_{or} を 1.0 V DC に固定して実現した。

光ファイバの曲げ半径を 10 mm に固定しておき、曲げ角度を変化させたときの誤差を測定した。その結果を図 3. 15 に示す。曲げ角度が 180° のとき、従来の伝送方式の誤差は-0.28 である。このとき、本伝送方式の誤差は 0.03 に改善されている。

次に、光ファイバの曲げ角度を 180° に固定しておき、曲げ半径を変化させたときの誤差を測定した。その結果を図 3. 16 に示す。曲げ半径が 5 mm のとき、従来の伝送方式では伝送誤差が -0.49 である。このとき、本伝送方式における伝送誤差は 0.06 に改善されている。

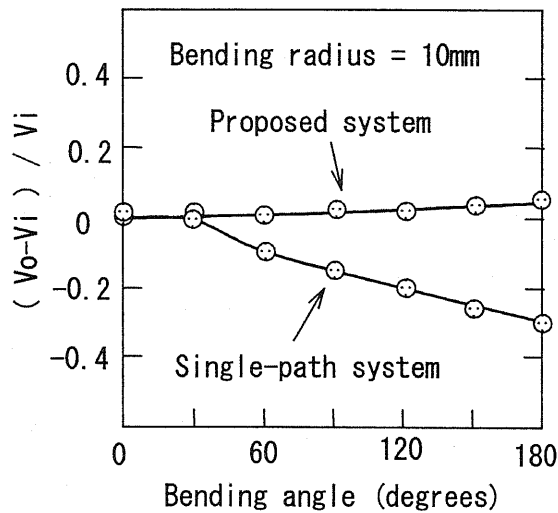


図 3. 15 光ファイバの曲げ角度に対する伝送損失による誤差

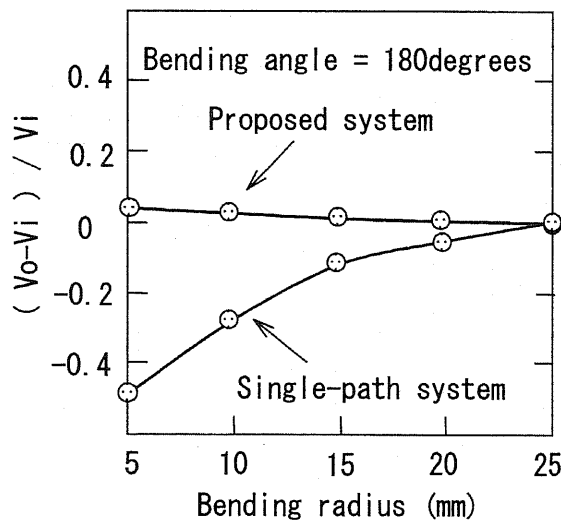


図 3. 16 光ファイバの曲げ半径に対する伝送損失による誤差

3.2.7 寸法測定による伝送システムの性能評価

環境試験室の中では、試験者に代わってロボットに作業させることが、試験者の安全を確保する上で有効な手段となる。測定室から試験室のロボットを制御するとき、ロボットのアームの先端と対象点との間の距離や変位を正確に測ることは、さまざまな対象物に対応可能な知能ロボットを制御する上で極めて重要なことである。そこで、屈曲伝送損失補償機能付きデータ伝送システムを、寸法データの伝送に利用し、伝送性能の評価を試みた^{(10),(11),(22)}。

(a) 測定システムの構成

ロボットアーム用伝送システムを利用したロボットによる寸法測定システムの構成を図3. 17に示す。センサとして、可視光レーザビームを使った光学式変位センサがロボットアームの先端に保持されている。

ロボットの5つの関節のうち2つの回転関節を固定し、3つの屈伸関節（図3. 17のJ1, J2, 及びJ3）を動作させて変位センサを走査した。光ファイバの一端は、ホルダを使用して送信器のケースに固定した。また、各屈伸関節に設けた外径10 mmの2本のプーリの間を光ファイバを通し、受信器端で1 kg重の張力（使用した光ファイバの最大許容引張荷重⁽²³⁾）によって光ファイバをけん引した。受信器の出力は、データ記録器の入力端子に接続されている。

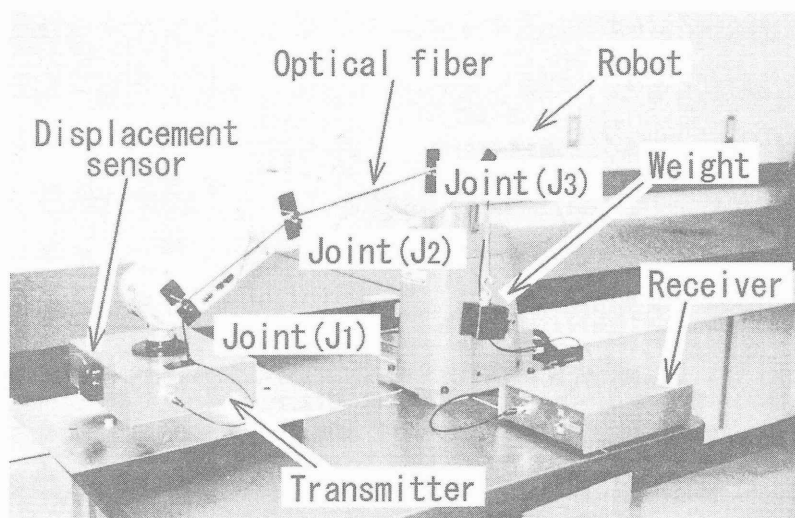


図3. 17 ロボットを用いた寸法測定システムの構成

(b) 被測定対象物

平面プレート上に 50 mm の間隔で 1 列に締められた 5 つの六角ボルト (JIS M10 形) を測定対象とした。

図 3. 18 に、変位センサとボルト列 (B1~B5) の位置構成を示す。DH1~DH5 は、変位センサと各ボルト (B1~B5) の頭との間の距離を示す。DL1~DL5 は、変位センサと各ボルト (B1~B5) が締められている位置でのプレート表面との間の距離を示す。△D1~△D5 は、各ボルトの頭部の高さを示す。図 3. 19 に、使用したボルトの寸法を示す。

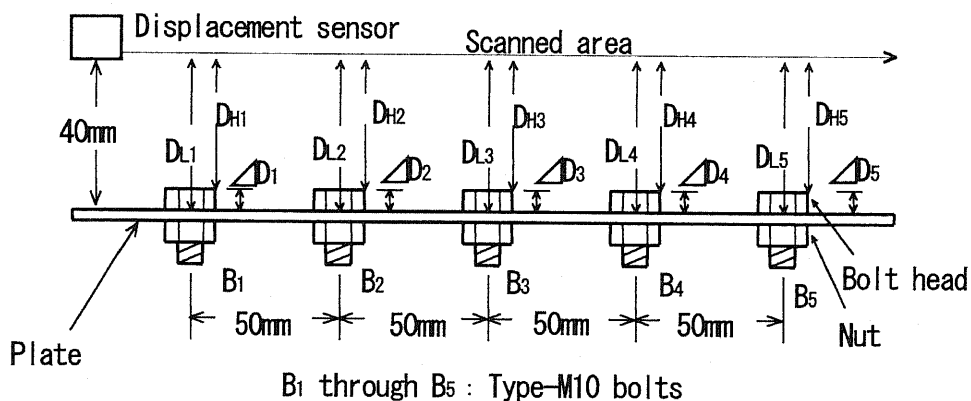


図 3. 18 変位センサとボルトの位置関係

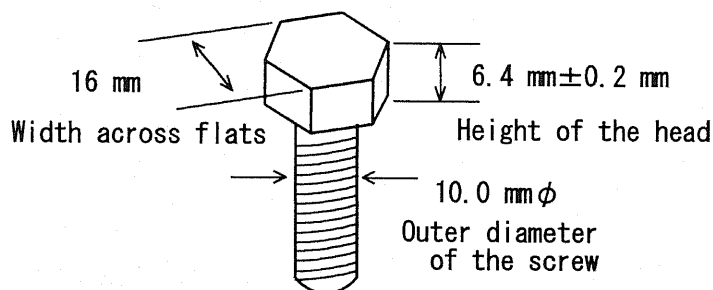


図 3. 19 ボルトの寸法

(c) 変位センサとデータ記録器

変位の測定では、測定中心距離が 40 mm、変位測定範囲が ± 10 mm の光学式変位センサを使用した。変位センサと被測定対象点との間の距離が 40 mm \pm 10 mm のとき、変位センサの出力電圧が 1.2 V DC \pm 1.0 V となるように、変位センサの利得を設定した。変位センサから出力するビームのスポット径は、測定中心で約 1 mm ϕ である。変位センサの出力誤差は、変位測定範囲のフルスケール(20 mm)に対して最大 ± 0.5 %である。すなわち、変位センサから出力される変位信号には、被測定対象物の変位に対して最大 ± 0.1 mm の誤差が含まれている。なお、変位センサの走査速度が大きいと、曲げ損失の増分や減分に過渡応答が生ずる。このような過渡的な伝送損失による誤差の発生を避けるため、変位センサは 2.5 mm/sec.の低速度で移動させた。

一方、データ記録器として、自動平衡式ペンレコーダを使用した。データ収集では、チャートの紙送り速度を 60 mm/sec.、感度をフルスケールで 5 V に設定した。記録誤差は、フルスケール(5 V \equiv 50 mm)に対して最大 ± 0.55 %である。すなわち、データ記録器のチャートに記録される変位には、データ記録器に入力される変位信号に対して ± 0.275 mm の誤差を含む。

(d) 寸法の測定

アーム先端に取り付けた変位センサの位置を、プレート表面から 40 mm の高さに保ちながら、ボルト列に沿ってボルト B1 からボルト B5 まで移動させた。

図 3. 20 は、ボルト B5 を走査しているときのロボットアームの状態を示す写真である。このとき、関節 J2 では、光ファイバの曲げ角度が 120° となる。

変位センサを走査したとき、変位センサから直接に得られた出力電圧と、従来の単一信号光伝送システムを通して得られた変位センサの出力電圧を測定した。同様に、変位センサを走査したとき、変位センサから直接に得られた出力電圧と、本伝送システムを通して得られた変位センサの出力電圧を測定した。それぞれの電圧は、データ記録器で記録した。

図 3. 21 に、変位センサの出力、従来の単一信号光伝送システムの出力、及び本伝送システムの出力を比較して示す。この図では、それぞれの出力電圧の変化を、変位センサから 40 mm 離れた位置を基準に、変位センサの感度とデータ記録器の感

度から計算された変位に対応させて示してある。また、走査時間は、チャートの紙送り速度から計算された各ボルトの位置に対応させて示してある。

図3. 21 (a) の DH_5 、 DL_5 、及び ΔD_5 は、それぞれ変位センサの出力から読みとられた変位センサとボルト B5 の頭との間の距離、変位センサとボルト B5 が締められている位置でのプレート表面との間の距離、及びボルト B5 の頭部の高さを表す。

図3. 21 (b) の $D'H_5$ 、 $D'L_5$ 、及び $\Delta D'_5$ は、それぞれ従来の単一信号光伝送システムの出力から読みとられた変位センサとボルト B5 の頭との間の距離、変位センサとボルト B5 が締められている位置でのプレート表面との間の距離、及びボルト B5 の頭部の高さを表す。

図3. 21 (c) の $D''H_5$ 、 $D''L_5$ 、及び $\Delta D''_5$ は、それぞれ本伝送システムの出力から読みとられた変位センサとボルト B5 の頭との間の距離、変位センサとボルト B5 が締められている位置でのプレート表面との間の距離、及びボルト B5 の頭部の高さを表す。

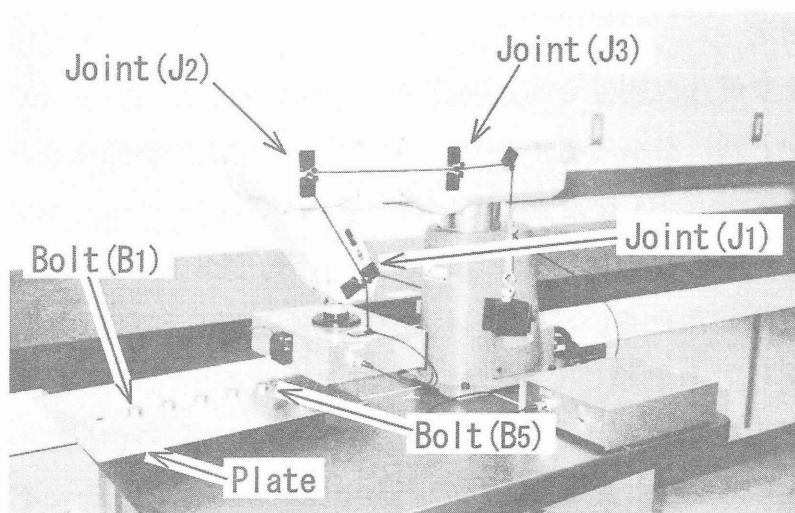
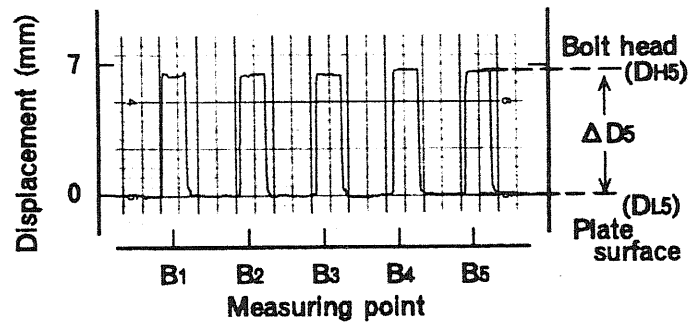
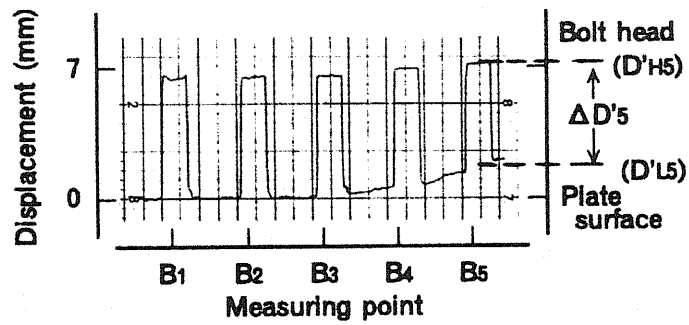


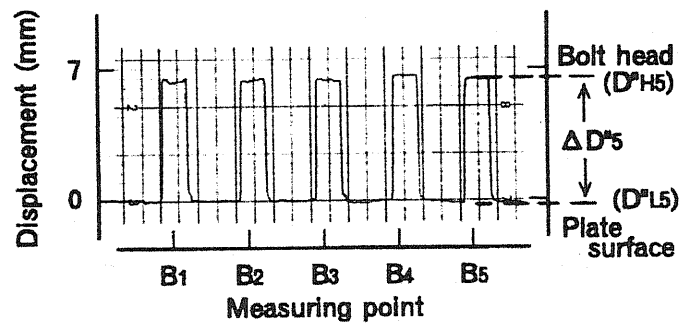
図3. 20 ボルト B5 を走査しているときのアーム配置



(a)



(b)



(c)

図3. 2 1 変位センサ(a)、従来の単一信号光伝送システム(b)、及び本伝送システムの出力信号(c)

表3.4に、 ΔD_n (n:1,2,3,4,5)、 $\Delta D'n$ (n:1,2,3,4,5)、及び $\Delta D''n$ (n:1,2,3,4,5)を比較して示す。ここで、それぞれの変位は、図3.21に示す記録紙上でスケーリングして読みとり、0.1 mm 単位で数値化した。

表3.4 読みとられた変位の比較 (図3.21を使用、n:ボルト番号)

Bolt Displacement	B _n (n=1)	B _n (n=2)	B _n (n=3)	B _n (n=4)	B _n (n=5)
ΔD_n (mm) ($\equiv D_{Hn} - D_{Ln}$)	6.5	6.5	6.5	6.6	6.5
$\Delta D'n$ (mm) ($\equiv D'_{Hn} - D'_{Ln}$)	6.5	6.5	6.3	6.1	5.2
$\Delta D''n$ (mm) ($\equiv D''_{Hn} - D''_{Ln}$)	6.5	6.5	6.5	6.6	6.6

(e) 曲げ損失による測定誤差の比較

従来の単一信号光伝送システムを介して測定された各ボルトの頭部の高さ $\Delta D'n$ に含まれる伝送誤差 $ER'n$ (n:1,2,3,4,5)は、変位センサから読み取られた各ボルトの頭部の高さ ΔD_n を基準として、式(3.13)で定義した。

$$ER'n = \frac{\Delta D'n - \Delta D_n}{\Delta D_n} \dots (3.13)$$

$$(n = 1,2,3,4,5)$$

一方、本伝送システムを介して測定された各ボルトの頭部の高さ $\Delta D''n$ に含まれる伝送誤差 $ER''n$ (n:1,2,3,4,5)は、変位センサから読み取られた各ボルトの頭部の高さ ΔD_n を基準として、式(3.14)で定義した。

$$ER''n = \frac{\Delta D''n - \Delta D_n}{\Delta D_n} \dots (3.14)$$

$$(n = 1,2,3,4,5)$$

表3.5に、従来の伝送システムの出力から読み取られた各ボルトの頭部の高さに含まれる誤差と、本伝送システムの出力から読み取られた各ボルトの頭部の高さに含まれる誤差を比較して示す。

ロボットアーム用光ファイバデータ伝送システムを寸法データの伝送に利用して、ロボットを用いた寸法測定を行った。その結果、アーム先端に取り付けられた変位センサの出力信号がアームに敷設された光ファイバを介して伝送されたとき、光ファイバの曲げ損失に伴う測定誤差を減少させることが確認できた。

表3.5 伝送システムの違いによる測定誤差の比較 (n:ボルト番号)

Error \ Bolt		Bn	Bn	Bn	Bn	Bn
		(n=1)	(n=2)	(n=3)	(n=4)	(n=5)
Conventional system	ER'n	0.00	0.00	-0.03	-0.08	-0.20
Proposed system	ER'n	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02

3.2.8 まとめ

本節では、まず、伝送システムの構成要素とシステムの特長を述べ、次に、大口径プラスチック光ファイバの曲げ条件と曲げ損失の関係を求め、曲げ損失が誤差に与える影響を確認した。更に、E/O変換器に2色発光形LEDアセンブリを使用し、O/E変換器にカラーセンサアセンブリを使用した屈曲伝送損失補償機能付き光ファイバデータ伝送方式について提案し、伝送システムの性能を評価した。

その結果、データ収集・伝送システムから要求される伝送性能を満足していることが確認できた。

3.3 LEDを用いた全二重データ伝送システム（光ファイバ伝送システムB）

8個のアナログセンサを切り換えるデジタル制御信号と、選択されたセンサの出力データとを、1本のプラスチック光ファイバと一対の光カップラを介して同時に双方向へ伝送する。伝送路として1本のプラスチック光ファイバを使用しているため、試験室内での伝送路の引き回しが容易にできる。

3.3.1 プラスチック光ファイバに適合したLEDの発光波長

本伝送システムでは、伝送媒体として長さ20mのSI形多モードプラスチック光ファイバを使用する。この光ファイバを用いてLED光をできるだけ低損失で伝送するためには、中心発光波長が570nm、660nm、または780nm付近の光を使用することが望ましい⁽²³⁾。

3.3.2 光カップラの構成、動作、及び性能

本伝送システムで使用した光方向性結合器の外観を図3.22に示す。中心発光波長が660nmのLED光を使用して測定された、各端子間の挿入損失を表3.6にまとめて示す。試作品のため、挿入損失がやや大きい。

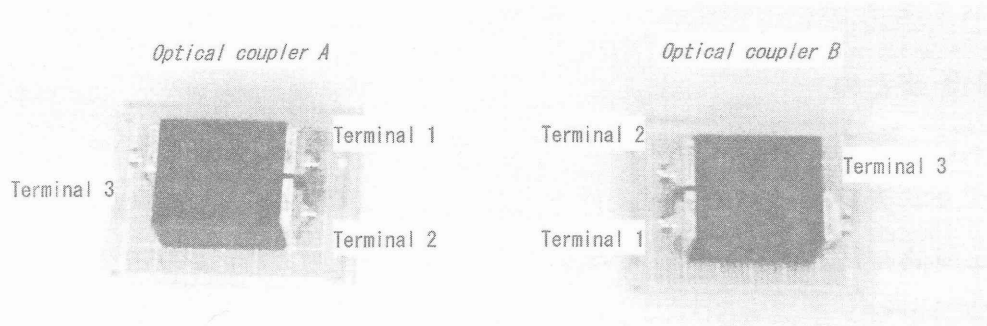


図3.22 使用した光方向性結合器の外観

表3.6 各端子間の挿入損失

Terminal	Insertion loss	
	Optical coupler A	Optical coupler B
1 ⇔ 3	4.6 dB	4.5 dB
2 ⇔ 3	4.7 dB	4.7 dB
1 ⇔ 2	28.8 dB	29.3 dB

3.3.3 伝送システムの構成とその動作

(a) 伝送システムの構成

図3. 23に、伝送システムの構成を示す。送受信器Aは、FM変調器、電流ドライブ、LED (LEDA)、光カプラ、PD (PDA)、電流増幅器、FM復調器で構成される。一方、送受信器Bは、FM変調器、電流ドライブ、LED (LEDB)、光カプラ、PD (PDB)、電流増幅器、FM復調器で構成される。

送受信器Aは、20 m のプラスチック光ファイバによって送受信器Bと接続されている。LEDA、及びLEDBには、いずれも発光中心波長が660 nmのLEDを使用した。

多くの光計測器は、FC形光コネクタに対応している。従って、それらの光計測器を用いて光パワーや光波長などの光学的な性能評価をする際、正確で、再現性の良い測定データを取得するためには、FC形光コネクタが適している。このため、研究では、本伝送システムの光結合部にFC形光コネクタを使用した。

しかしながら、本伝送システムの実用機では、システムの価格を低減することが望ましい。このような観点からは、大口径プラスチック光ファイバに適合する、安価なSC形光コネクタを使用することが望ましい。図3. 24に、伝送システムの外観を示す。

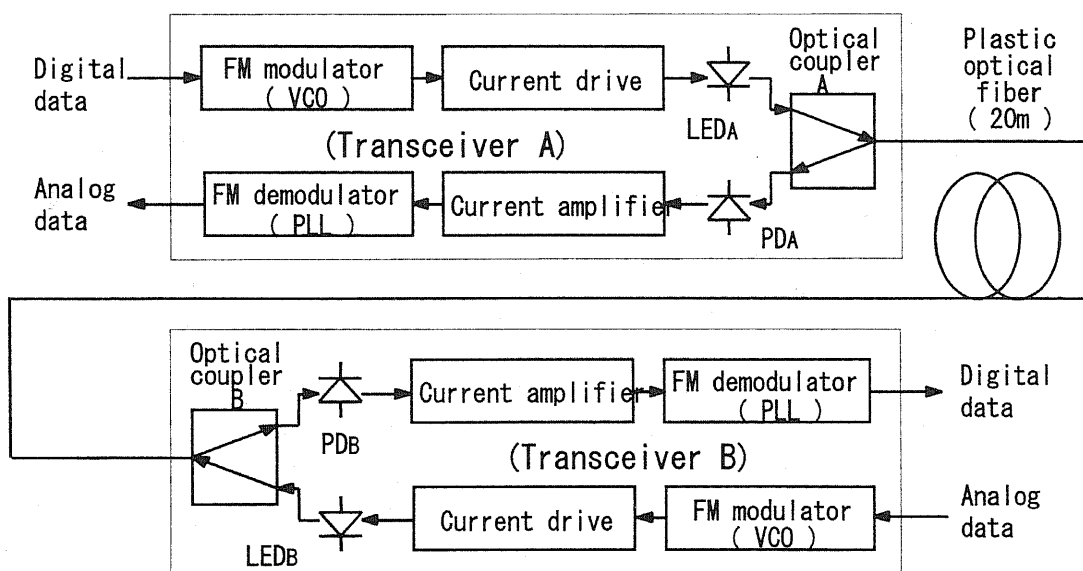


図3. 23 LEDを用いた全二重データ伝送システムの構成

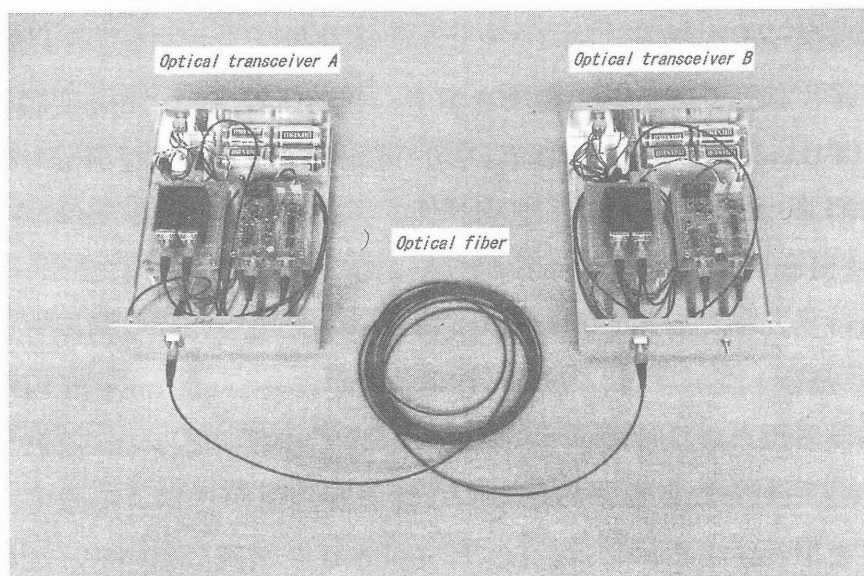


図 3. 2 4 伝送システムの外観

(b) 伝送システムの動作

本伝送システムでは、デジタルデータは送受信器 A から送受信器 B へ、アナログデータは送受信器 B から送受信器 A へと、1 本の長さ 20 m の光ファイバを介して同時に双方向へ伝送される。

送受信器 A において、 ± 15 V までのデジタルデータは、FM 変調器の入力部で 1 V 以下の電圧に減衰させられ、中心周波数が 1.3 MHz に設定された方形波信号を、電圧減衰させられたデジタルデータに対応して周波数変調する。従って、FM 変調器は、方形波の FM 信号、すなわち SWFM 電圧信号を出力する。SWFM 信号は電流ドライブで駆動電流に変換され、その電流は LEDA に与えられる。LEDA から出力される光信号は、光ファイバと、一対の光カップラを介して送受信器 B に伝送され、PDB で受光される。送受信器 B において、PDB から出力される光電流は、電流増幅器で電圧信号に変換され、FM 復調器に与えられる。FM 復調器では、 1.3 MHz を中心周波数として SWFM 信号を周波数復調する。復調された電圧信号は ± 5 V にまで電圧増幅され、デジタルデータとして出力される。

一方、送受信器 B において、アナログデータは、FM 変調器の入力部で 2 V_{p-p} 以

下の電圧に減衰させられ、中心周波数が 1.9 MHz に設定された方形波信号を、電圧減衰させられたデジタルデータに対応して SWFM 周波数変調する。FM 変調器から出力された SWFM 信号は電流ドライブで駆動電流に変換され、その電流は LEDB に与えられる。LEDB から出力される光信号は、光ファイバと、一對の光カップラを介して送受信器Aに伝送され、PDA で受光される。送受信器Aにおいて、PDA から出力される光電流は、電流増幅器で電圧信号に変換され、FM 復調器に与えられる。FM 復調器では、1.9 MHz を中心周波数として SWFM 信号を周波数復調する。復調された電圧信号は、入力されたアナログデータに等しい値にまで電圧増幅して出力される。

3.3.4 伝送システムの性能とその評価

(a) デジタルデータ伝送チャンネルの性能

デジタルデータ伝送チャンネルの伝送性能を測定した。伝送されるデジタルデータは、RS232C 規格に基づいて1文字あたり 10 ビットで構成されるシリアル信号である。表3.7に、シリアル信号の伝送パラメータを示す。図3.25に、送受信器Aへ入力されたシリアル信号の電圧波形と、光ファイバを介して送受信器Bから出力されたシリアル信号の電圧波形を示す。伝送信号には、ASCII (American Standard Code for Information Interchange)系列を用いて文字 "K" を符号化した信号を用いた。

表3.7 シリアル信号の伝送パラメータ

Speed of transmission	9600 bps
Synchronization of transmission	Asynchronous
Parity check	Even
Length of character element	8 bits
Length of stop element	1 bit

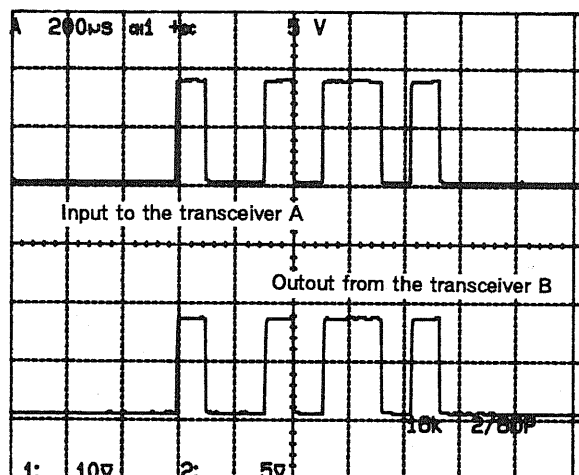


図3. 25 文字 "K" を伝送したとき、送受信器 A へ入力された信号波形と、送受信器 B から出力された信号波形

図3. 26に、伝送誤り率測定システムの構成と、パーソナルコンピュータに内蔵されたソフトウェアとを示す。2台のパーソナルコンピュータを、送受信器Aの制御信号入力端子と、送受信器Bの制御信号出力端子とにそれぞれ接続した。それぞれのパーソナルコンピュータに内蔵されているシリアルポートの伝送パラメータは、表3. 7に示す値に設定されている。文字 "K"は ASCII 系列で符号化される。この信号が、パーソナルコンピュータ A (*PC_A*)から送受信器Aの制御信号入力端子に加えられる。信号は、毎秒 128 文字の伝送レートで与えられる。このとき、光ファイバを介して伝送されてきた制御信号は、送受信器Bの制御信号出力端子に接続されたパーソナルコンピュータ B (*PC_B*)で受信される。このような構成で、パーソナルコンピュータ Bに内蔵されたソフトウェアで、伝送された文字数、及び伝送された文字のうち誤って認識された文字数を測定した。

表3. 8に、伝送された文字数、伝送された文字のうち誤って認識された文字数、及びそれらから計算された伝送誤り率を示す。

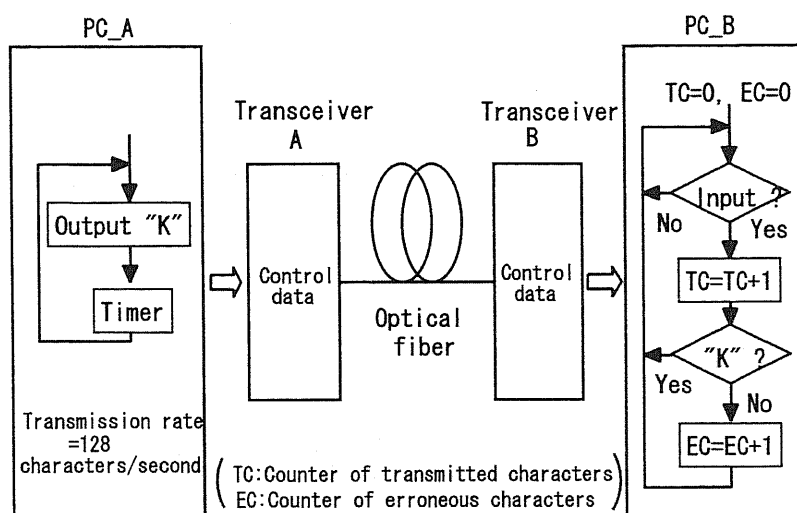


図 3. 26 伝送誤り率測定システムの構成と測定ソフトウェア

表 3. 8 伝送された文字数、伝送誤り文字数、及び伝送誤り率

Number of transmitted characters	1.0×10^8
Number of erroneous characters	7
Transmission error rate	7.0×10^{-8}

(b) アナログデータ伝送チャネルの性能

アナログデータを伝送するためのチャネルの伝送性能を測定した。ここでは、10 Hz から 100 kHz までの周波数範囲のアナログ信号に対して伝送性能を測定した。電圧が 2 Vp-p、周波数が 10 kHz の正弦波信号を送受信器 B へ入力し、光ファイバを介して送受信器 A から出力される信号の電圧波形を測定した。送受信器 B へ入力された信号波形と、送受信器 A から出力された信号波形を、図 3. 27 に示す。

電圧が 2 Vp-p の正弦波信号を送受信器 B へ入力し、入力信号の振幅を基準として、光ファイバを介して送受信器 A から出力される信号の相対振幅を測定した。測定された周波数に対する出力信号の相対振幅特性を、図 3. 28 に示す。

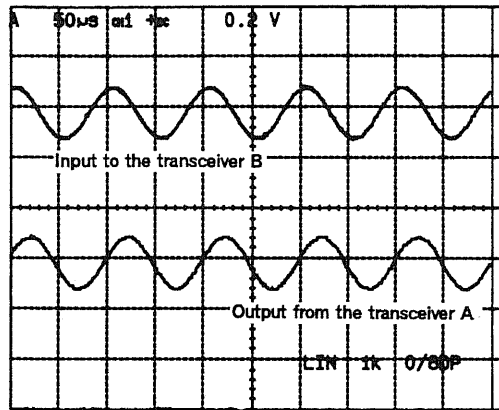


図3. 27 送受信器Bへ入力された信号波形と、送受信器Aから出力された信号波形

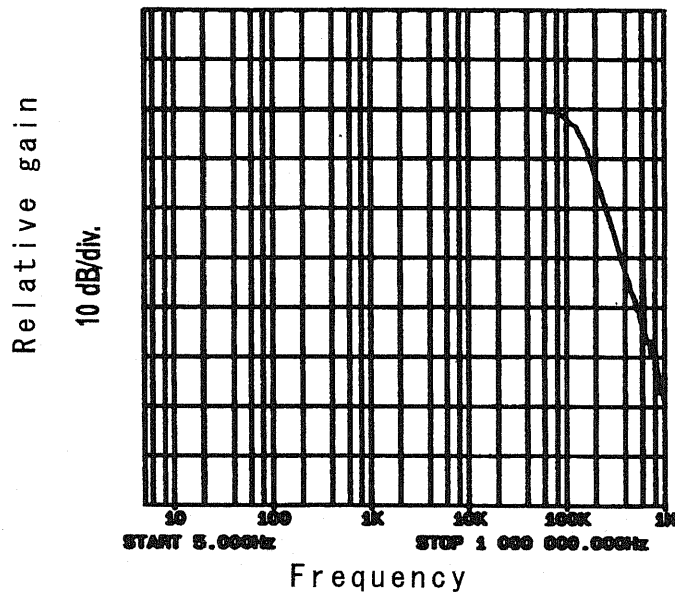


図3. 28 周波数に対する出力信号の相対振幅

次に、電圧が $2 V_{p-p}$ の正弦波信号を送受信器Bへ入力したとき、入力信号の位相を基準として、光ファイバを介して送受信器Aから出力される信号の相対位相を測定した。測定された周波数に対する出力信号の相対位相特性を、図3. 29に示す。

更に、直線性誤差は、アナログ入力端子に $-1.0 \text{ V DC} \sim +1.0 \text{ V DC}$ の範囲で変化する電圧を加えたときの $(\text{出力電圧} - \text{入力電圧}) / \text{入力電圧}$ を測定し、その値を百分率で求めた。また、入力電圧を 0 V に対して 2 Vp-p の正弦波で変調したとき、全ひずみ率、及び S/N 比を測定した。それらの結果を表 3. 9 にまとめて示す。

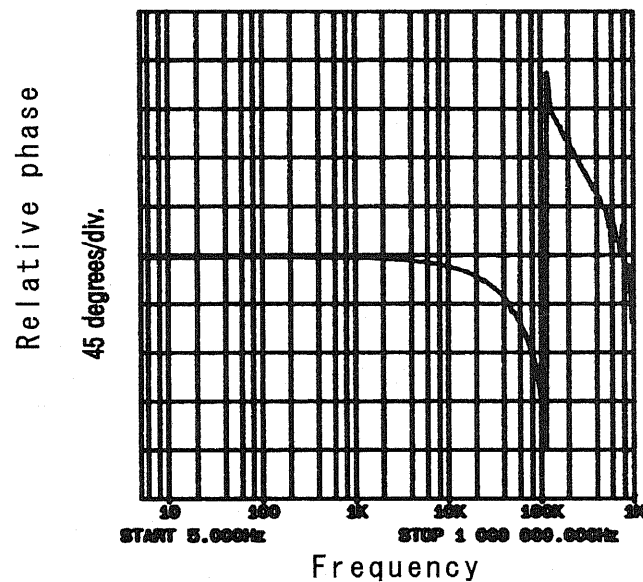


図 3. 29 周波数に対する出力信号の相対位相

表 3. 9 伝送システムの直線性誤差、全ひずみ率、及び S/N 比

Item	data	Condition
Linearity error	1.5 % max.	$-1.0 \text{ V DC} \leq V_i \leq +1.0 \text{ V DC}$
Distortion factor	1.8 % max.	$V_i = 2.0 \text{ Vp-p AC}$
S/N ratio	58 dB min.	at 10kHz

3.3.5 まとめ

本節では、まず、使用した光ファイバ、LED、及び光カプラの性能や特性について述べた。次に、光伝送システムの構成と動作を記述した後、測定された伝送性能について述べた。その結果、データ収集・伝送システムから要求される伝送性能を満足していることが確認できた。

3.4 多周波パラレルデータ伝送システム (光ファイバ伝送システムC)

16個のバイナリセンサの出力を1本のプラスチック光ファイバを介して同時伝送する。4つのAMキャリアと4つのASKキャリアを用いた多周波パラレル伝送システムである。キャリア総数が少ないので、受信側でのキャリアの選択性が高まり、伝送ビット相互の混変調を低減することができる。

3.4.1 従来のパラレル伝送方式による光ファイバ伝送の問題点

複数ビットのバイナリデータを伝送する一般的な方式として、パラレル伝送方式がある。パラレル伝送は、各ビットごとに伝送線路を設け、複数ビットを同時に伝送する方式である。ところが、従来のパラレル伝送方式を光ファイバ伝送に適用した場合、図3.30に示すように、光ファイバ、発光素子、及び受光素子の数は、伝送するバイナリデータのビット数だけ必要となる。そのため、伝送システムにおける光部品相互の接続箇所が多くなり、コストの低減や信頼性の確保が難しくなってしまう⁽⁶⁾。

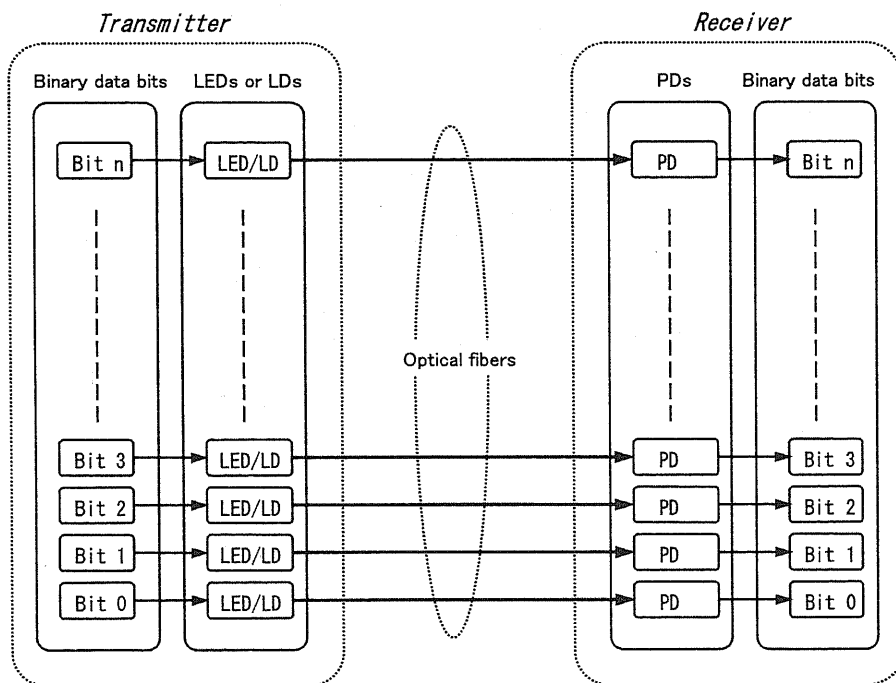


図3.30 従来のパラレル伝送方式による光ファイバ伝送

3.4.2 多周波パラレル伝送の概念

バイナリーデータをシリアル伝送するときの変調方式として、各伝送ビットに異なるキャリア周波数を割り当てた周波数分割 ASK 変調方式が、変復調の簡便さから有利である。ところが、伝送ビット数が多くなればキャリア数も増大し、伝送ビット数が少ないときと同じ周波数帯域にキャリア周波数を設けようとした場合、復調するためのバンドパスフィルタに高い周波数選択度が要求される。

そこで、図 3. 3 1 に示すような多周波パラレル伝送方式を提案する。

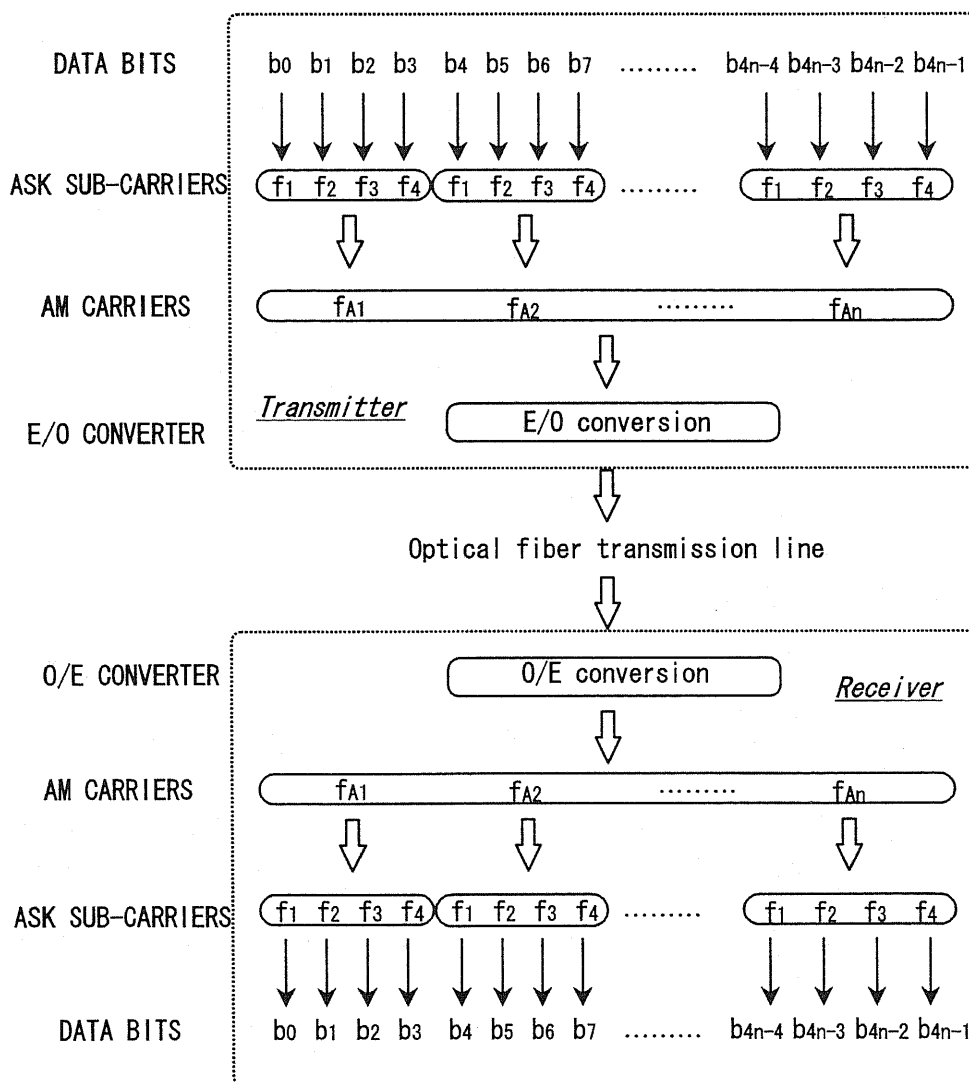


図 3. 3 1 多周波パラレル伝送の概念図

送信側では、まず、1つ目の AM キャリア（周波数： f_{A1} ）が、4つの ASK 信号をアナログ加算した電圧信号によって AM 変調される。ここで、4つの ASK 信号は、ASK サブキャリア（周波数： f_1, f_2, f_3, f_4 ）が、バイナリデータの最初の4ビット（ b_0, b_1, b_2, b_3 ）によってそれぞれ ASK 変調された信号である。同様に、2番目の AM キャリア（ f_{A2} ）も、4つの ASK 信号をアナログ加算した電圧信号によって AM 変調される。このときの4つの ASK 信号は、ASK サブキャリア（ f_1, f_2, f_3, f_4 ）が、バイナリデータの次の上位4ビット（ b_4, b_5, b_6, b_7 ）によってそれぞれ ASK 変調された信号である。このようにして、 n 番目の AM キャリア（ f_{An} ）も、4つの ASK 信号をアナログ加算した電圧信号によって AM 変調される。この場合の4つの ASK 信号は、ASK サブキャリア（ f_1, f_2, f_3, f_4 ）がバイナリデータの下位から数えて n 番目の4ビット（ $b_{4n-4} \sim b_{4n-1}$ ）によってそれぞれ ASK 変調された信号である。

次に、 n 個の AM 信号（中心周波数： $f_{A1}, f_{A2}, \dots, f_{An}$ ）はアナログ加算され、ひとつの信号に合成される。更に、合成された信号は、その電圧に比例した強度の光信号に変換され、光信号が送信器から光ファイバへ送出される。

一方、受信側では、まず、光ファイバを介して受信した光信号を、その強度に比例した電圧信号に変換する。次に、変換された電圧信号は、AM キャリアの周波数（ $f_{A1}, f_{A2}, \dots, f_{An}$ ）にもとづいて n 個の AM 信号に分別される。それぞれの AM 信号は別々に AM 復調され、ASK 信号に変換される。更に、それぞれの ASK 信号は、ASK サブキャリアの周波数（ f_1, f_2, f_3, f_4 ）にもとづいて元のバイナリビットに変換され、データとして受信器から出力される。

3.4.3 伝送システムの構成とその動作

(a) 全体構成

図3.32に、多周波パラレルデータ伝送システムの構成を示す。この伝送システムは、16ビットのバイナリデータをパラレル伝送するシステムである。

送信器は、それぞれ4個の正弦波発振器、ASK エンコーダ、AM 変調器と、アナログ加算器、及び E/O 変換器で構成されている。一方、受信器は、O/E 変換器と、それぞれ4つのバンドパスフィルタ (BPF)、AM 復調器、及び ASK デコーダから構成されている。送信器と受信器とは、長さ 20 m の SI 形多モードプラスチック光ファイバを介して接続されている。

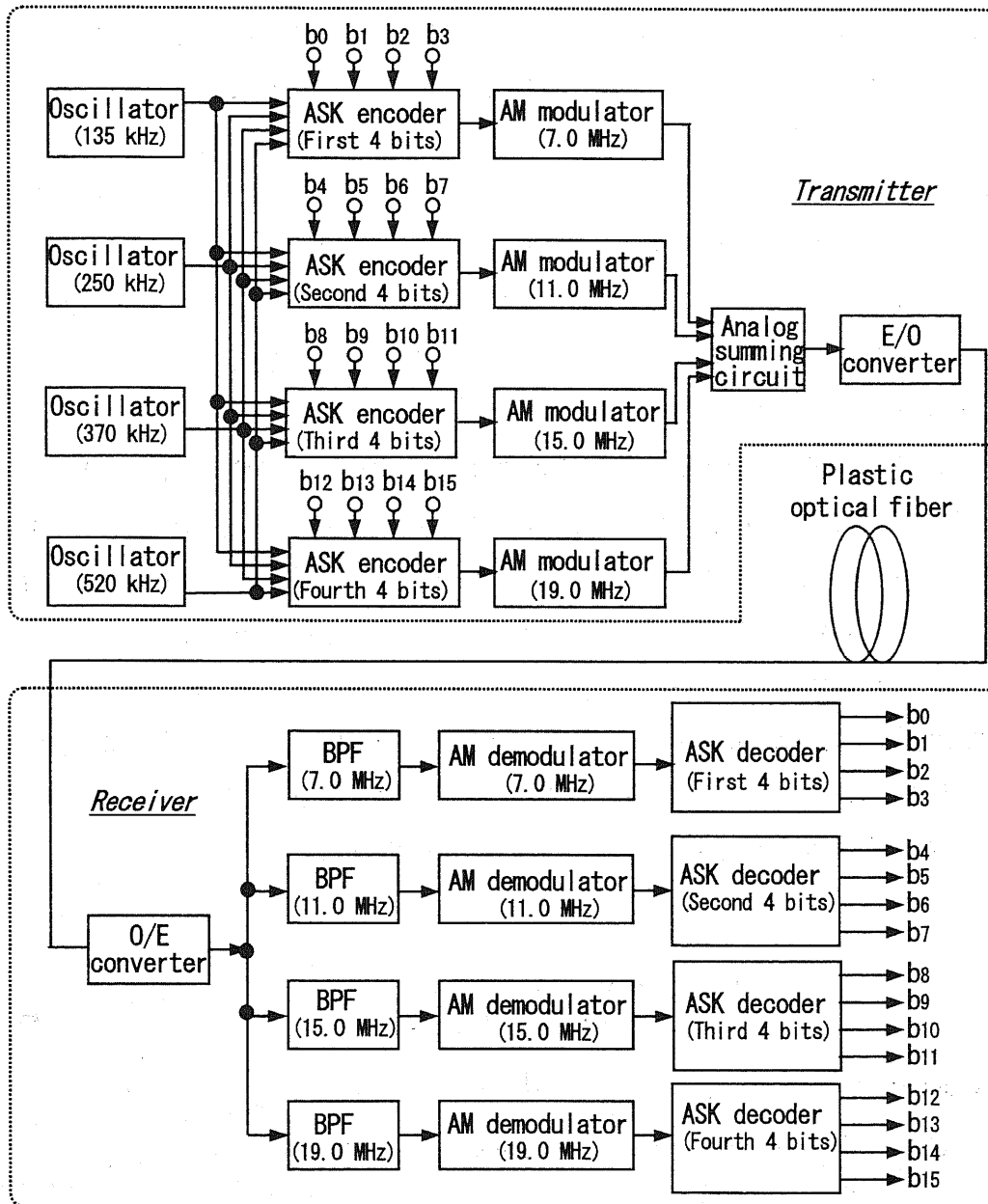


図3. 32 多周波パラレルデータ伝送システムの構成

(b) 送信器

送信器において、4つの発振器から得られる正弦波信号は、ASK サブキャリアとして使用され、周波数は、それぞれ 135 kHz、250 kHz、370 kHz、及び 520 kHz である。これらの正弦波信号は、それぞれ4つの ASK エンコーダへ入力される。

図 3. 3 3 に、ASK エンコーダの構成を示す。それぞれの ASK エンコーダでは、4種類の ASK サブキャリアを、入力される4ビットのバイナリデータにそれぞれ対応させ、対応するビットの ON/OFF に応じて、ASK サブキャリアをアナログゲートによって断続させる。次に、それぞれのアナログゲートから出力された ASK 信号は、アナログミキサによって加算される。加算された多周波 ASK 信号は、対応したそれぞれの AM 変調器に与えられる。

4つの AM 変調器の AM キャリア周波数は、それぞれ 7 MHz、11 MHz、15 MHz、及び 19 MHz に設定されている。これらの AM キャリアは、それぞれの AM 変調器に入力された多周波 ASK 信号によって AM 変調される。次に、それぞれの AM 変調器から出力された AM 信号は、アナログ加算器によって加算され、加算された多周波 AM 信号は、E/O 変換器に与えられる。

E/O 変換器には、660 nm の光を発する LED を使用した。E/O 変換器では、多周波 AM 信号の電圧に比例して、LED の光出力がアナログ変調される。LED からの出力した光信号は、光コネクタを介して光ファイバへ送出される。

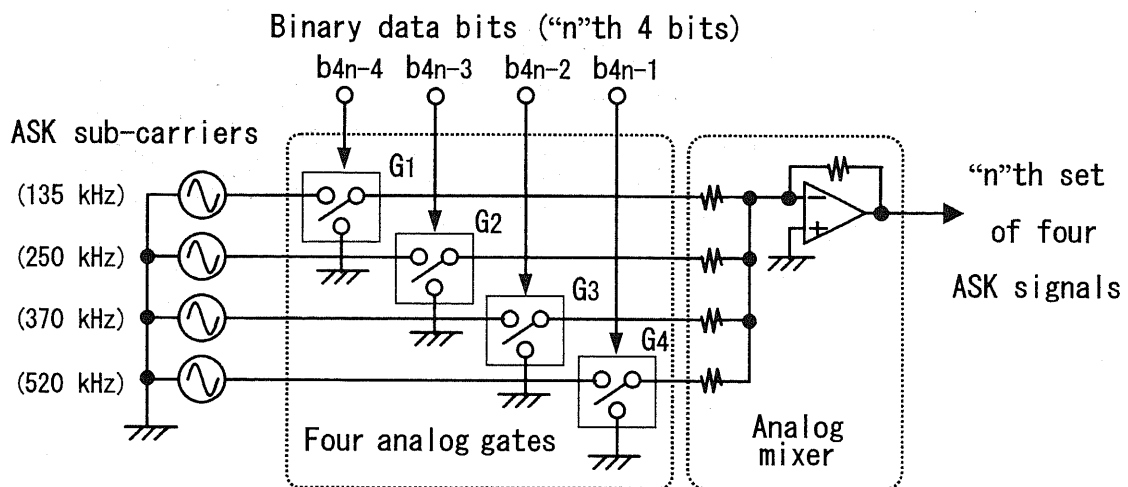


図 3. 3 3 ASK エンコーダの構成

(c) 受信器

受信器において、光ファイバを介して受信された光信号は、O/E 変換器によって電圧信号の多周波 AM 信号に変換される。O/E 変換器には PIN 型フォトダイオードを使用した。

多周波 AM 信号は、それぞれの中心透過周波数が各 AM キャリア周波数に設定された BPF に与えられる。それぞれの BPF から出力された信号は AM 復調器に与えられ、それぞれの AM キャリア周波数を中心として AM 復調される。AM 復調された多周波 ASK 信号は、ASK デコーダに与えられる。

図 3. 34 に ASK デコーダの構成を示す。ASK デコーダに入力された多周波 ASK 信号は、まず、4つの BPF によって ASK サブキャリアごとの ASK 信号に分別される。その後、それぞれの ASK 信号は、整流器、平滑器、及び電圧比較器を経由して、元のバイナリデータに復号される。

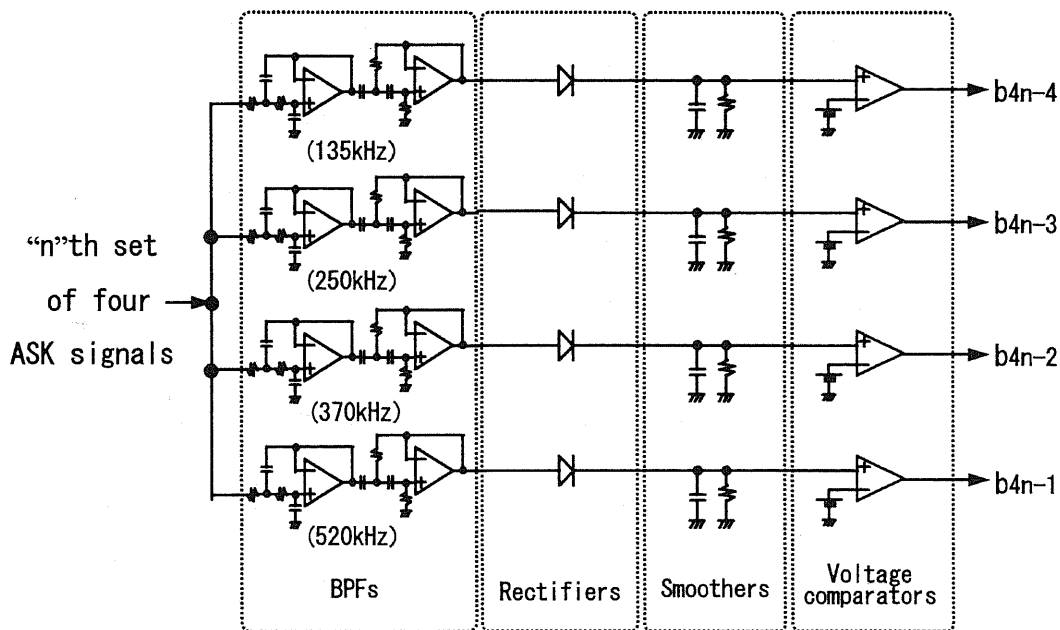


図 3. 34 ASK デコーダの構成

3.4.4 システムの伝送性能

各ビット間での伝搬遅延時間の差が大きいと、伝送レートが高くなった場合、データの1フレームを誤って認識する可能性が出てくる。各ビット間での伝搬時間の差異は、システムの伝送レートの上限を決める重要なパラメータである。

そこで、伝送システムを用いてデータを伝送したとき、16ビットのうち最下位の4ビットを対象に、それぞれの伝送ビットの伝搬遅延時間を測定した。なお、伝送ビット b_0 、 b_1 、 b_2 、及び b_3 に対応した ASK サブキャリアの周波数は、それぞれ 135 kHz、250 kHz、370 kHz、及び 520 kHz である⁽⁶⁾。

図3.35に、各伝送ビットの時間波形を示す。それぞれの図で、上段が送信器の入力波形、下段が受信器の出力波形である。入力信号として、周波数 1 kHz、電圧 5 V (TTLレベル) の信号を、各ビットの入力ポートに与えた。

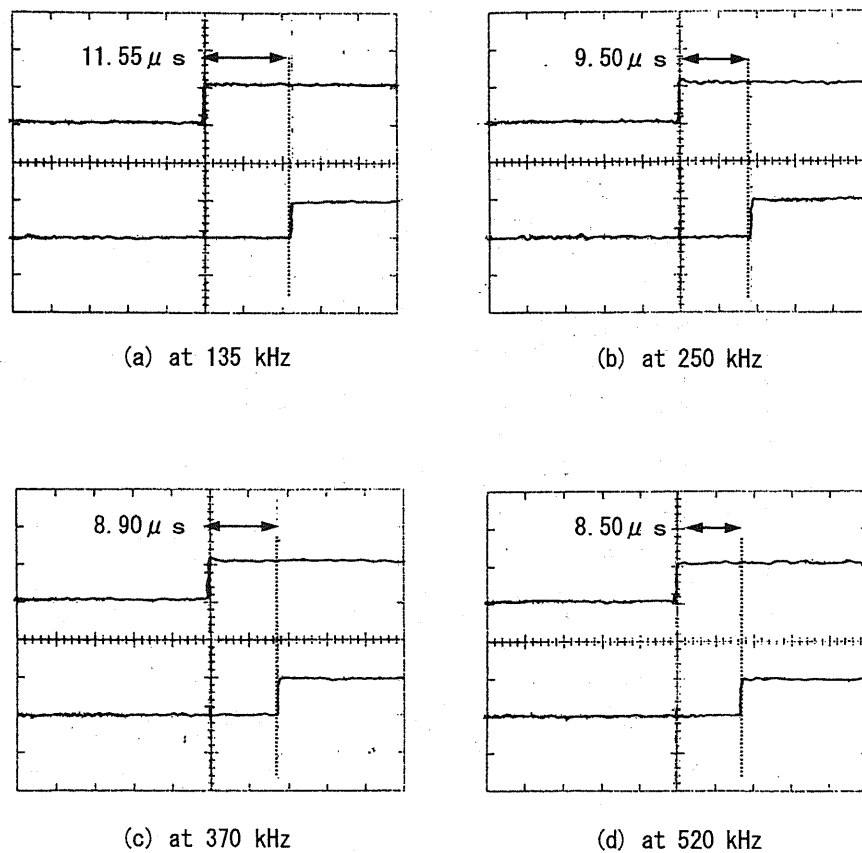


図3.35 各伝送ビットの入出力波形と伝搬遅延時間

伝搬遅延が生ずる原因として、ASK デコーダ内での伝搬遅延が考えられる。多周波 ASK 信号から各ビットに対応した ASK 信号を分別する BPF の入出力波形を観測すると、BPF に多周波 ASK 信号が入力されてから、出力 ASK 信号の振幅が一定になるまでに、数 μ 秒の時間を要している。この現象は、バイナリデータの ON/OFF に合わせて ASK サブキャリアをスイッチングさせると、その信号の周波数成分は ASK サブキャリアの周波数を中心にして広い帯域になるが、BPF は、その機能から通過帯域が制限されているためである。更に、平滑器には、信号線とグラウンドの間にコンデンサが挿入されている。そのため、平滑器の出力信号の立ち上がりにも遅延が生ずる。

また、伝搬遅延が生ずる他の原因として、ASK エンコーダ内での伝搬遅延が考えられる。すなわち、アナログゲートのスイッチング時に、ASK サブキャリアの位相がどの位置にあるかによって伝搬遅延時間が異なる。例えば、入力されたバイナリデータに従ってアナログゲートが ON したとき、ASK サブキャリアが負の電圧レベルであったとすると、受信器から出力されるバイナリデータも 0 V のままとなる。このような原因による伝搬遅延のばらつきは、最大で ASK サブキャリアの周期の半分である。

以上の2つの原因から発生する伝搬遅延の最大値は、20 μ 秒程度であると判断する。このことから、いずれかのビットを同期信号として利用した場合、本伝送システムが扱うことのできるバイナリデータのレートは、20 kHz 程度と考えられる。

3.4.5 まとめ

本節では、まず、多周波 ASK 変調と多周波 AM 変調を組み合わせたパラレル伝送方式の概念について述べた。次に、伝送システムの構成と動作を記述した。その後、伝送システムの性能評価として、伝送ビットの伝搬遅延時間を測定し、その原因の検討を行った。その結果、データ収集・伝送システムから要求される伝送性能を満足していることが確認できた。

3.5 LDを用いた全二重データ伝送システム (光ファイバ伝送システムD)

センサの切換や走査、監視カメラの操作などの制御データを測定室から試験室へ、センサ出力データ、ロボット及びカメラから得られた状態データなどを試験室から測定室へ、1本の GI 形光ファイバを介して全二重に伝送する。伝送システム全体の光学構成を単純化するために、モニタフォトダイオード内蔵型レーザダイオードを光信号の送信と受信に兼用した、新しい光送受信モジュールを提案し、伝送システムを構成する。

3.5.1 従来の全二重データ伝送システム

全二重光ファイバデータ伝送を実現する一般的な伝送システムとして、図3.36(a)に示すような光信号の送信経路と受信経路に別々な2本の光ファイバを用いる伝送システムと、図3.36(b)に示すような1本の光ファイバと一対の光カプラを用いて光信号の流れの方向を制御する伝送システムとがある⁽²⁴⁾⁻⁽²⁶⁾。ここで、LDはレーザダイオード、LEDは発光ダイオード、PDはフォトダイオードである。

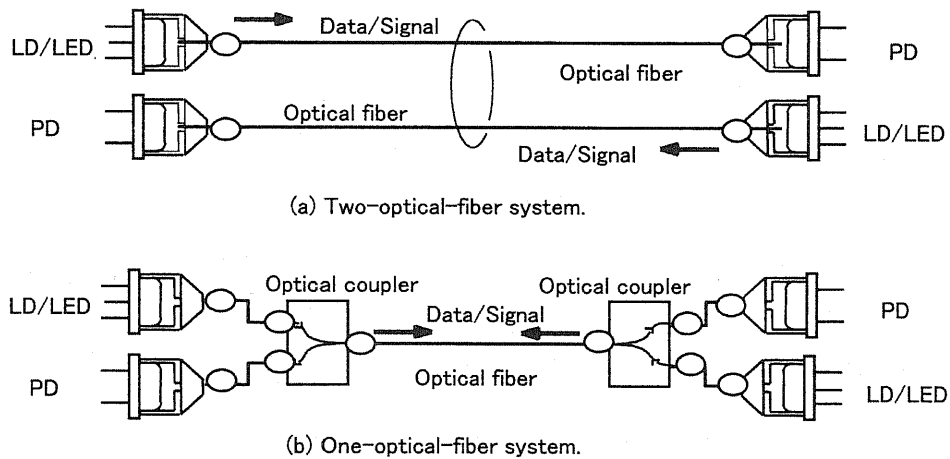


図3.36 従来の全二重光ファイバデータ伝送システム

しかし、これらの伝送システムでは、発光素子(LD/LED)と受光素子(PD)がそれぞれ2個ずつ使用されているため、光ファイバと光学素子の間の光結合箇所、或いは光学素子同士の光結合箇所が多くなる。

そこで、伝送システムの光結合箇所の数を減ずるため、発光素子、受光素子、及び光カップラを一体化して構成した光送受信モジュールが開発されている^{(27),(28)}。しかし、発光或いは受光のみの機能を持つモジュールに比べて、これらの光送受信モジュールは、光学回路構成がより複雑になる。

光ファイバ伝送システムを構成する場合、使用される発光素子、受光素子、光カップラ、及び光ファイバなどの光学素子相互の位置合わせや固定には、多大な労力と時間が必要とされる⁽²⁹⁾。そのため、従来の同時双方向光ファイバ伝送システムでは、量産性の向上、低コスト化、及び小型化が十分達成されているとは言えない。よって、現在では、このような伝送システムを産業用途へ適用することはそれ程容易なことではない。

一方、光送受信モジュールの光学回路構成を簡易化するため、LED、或いはLDを発光、及び受光の共用素子として使用して構成した光送受信モジュールが提案されている⁽³⁰⁾⁻⁽³²⁾。しかし、LEDやLDが発光している間、これらの素子を受光素子として機能させることは困難である。従って、これらの光モジュールを使用した伝送システムは、送信と受信とが時分割されたシステムとなる。そこで、送信と受信のタイミングを同期させるため、回線制御機能を持つソフトウェア、或いはハードウェアを伝送システムに組み込まなければならない。

3.5.2 新しい光送受信モジュールの提案

一般に、LDパッケージには、LDと、LDの光出力をモニタするためのPDとが内蔵されている。このようなデバイスでは、PDの光電流をLDの駆動電流回路に帰還し、駆動電流を制御することによってLDの光出力を自動制御(APC制御)している。

そこで、このモニタ用PDを、APC制御の他に、パッケージ外部からの光信号を受光するセンサとしても使用すれば、光学回路構成が簡易な光送受信モジュールを構成することができる⁽³³⁾。更に、この光送受信モジュールを用いて伝送システムを構成すれば、システム全体の光学部品を減らすことができ、伝送システムのコストや信頼性を向上させることが期待できる。

3.5.3 光送受信モジュールの構成とその動作

(a) 光送受信モジュールの構成

図3.37、図3.38に、光送受信モジュールの構成と外観をそれぞれ示す。

光送受信モジュールA、及び光送受信モジュールBは、いずれもボールレンズ付きのモニタ用フォトダイオード内蔵型レーザダイオード（モニタ用PD内蔵型LD）とFC形光コネクタで構成されている。LDは、いずれも中心発光波長が1300nmのものを使用した。光送受信モジュールの空間光出力に対する光ファイバ（長さ1kmのGI形多モード石英光ファイバ）出力の割合は、いずれも約30%である。

図3.37で、 I_{fa} 、 I_{fb} は、それぞれ光送受信モジュールA、及び光送受信モジュールBに内蔵されたLDに与えられる駆動電流を示し、 I_{pa} 、 I_{pb} は、それぞれ光送受信モジュールA、及び光送受信モジュールBに内蔵されたモニタ用PDの光電流を示している。また、 P_{fa} 、 P_{fb} は、それぞれ光送受信モジュールA、及び光送受信モジュールBの光ファイバ出力を示している。

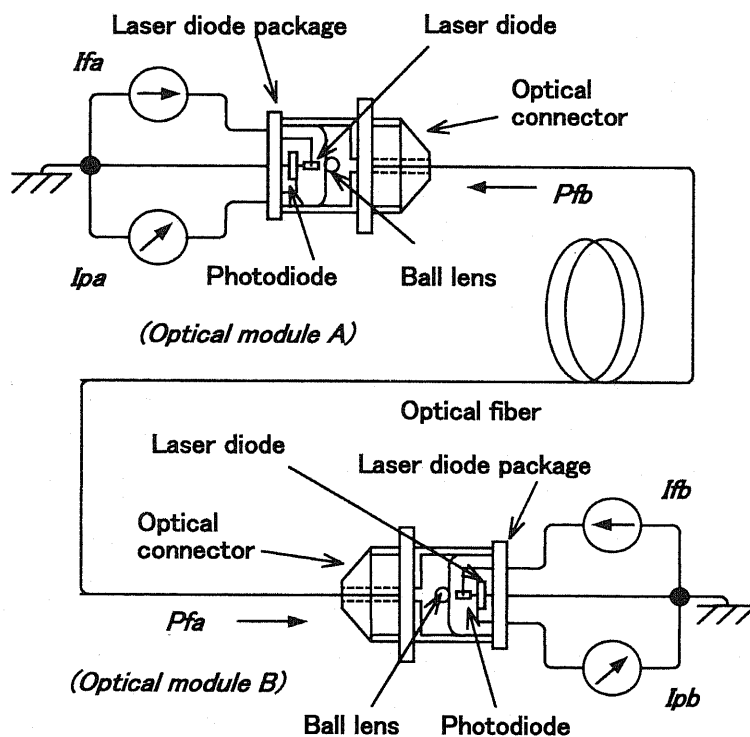


図3.37 光送受信モジュールの構成

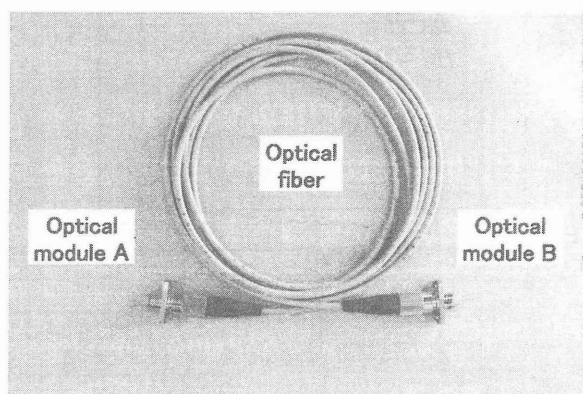
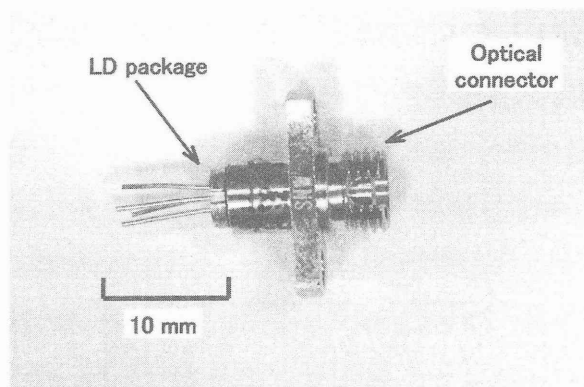


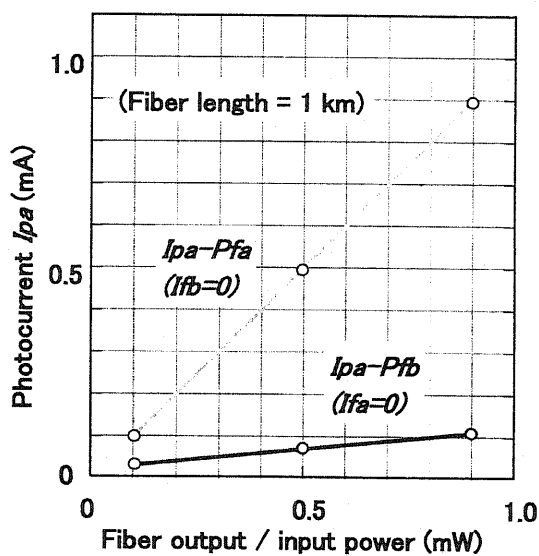
図 3. 3 8 光送受信モジュールの外観

(b) モニタ用フォトダイオードの光電流出力

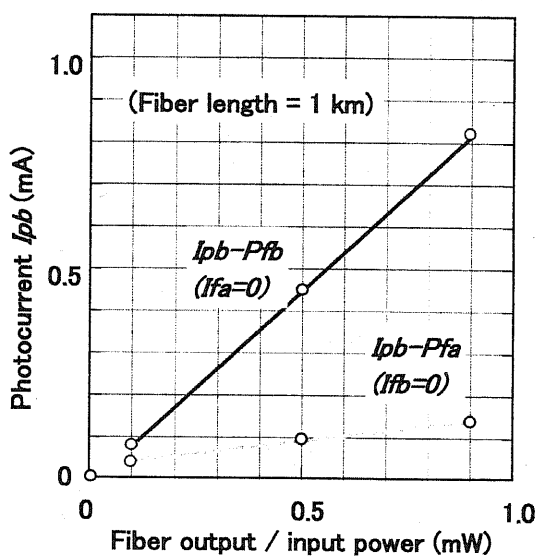
一対の光送受信モジュールは、それぞれから出力される光信号を、光ファイバを介して相互に送受信する。そのとき、それぞれの光モジュールに内蔵されているモニタ用 PD から出力される光電流には、その光モジュールから出力される光信号による光電流（モニタ光電流）と、光ファイバを介して他方の光モジュールから送られてくる光信号による光電流（信号光電流）とが含まれる。

そこで、それぞれの各光送受信モジュールについて、光ファイバから出力する光パワーに対するモニタ用 PD の光出力電流、及び光ファイバから入力する光パワーに対するモニタ用 PD の光出力電流を測定した。それぞれの光パワーに対して測定された光出力電流を図 3. 3 9 に示す。それぞれの光送受信モジュールの出力光と入力光が

互いに異なる周波数で変調されていれば、モニタ用 PD から出力される信号光電流は、モニタ光電流や電子回路のノイズに影響されることなく、外部から入力する光信号を区別して検出できる大きさである。



(a) Optical module A



(b) Optical module B

図 3. 39 モニタ光電流と信号光電流の大きさ

3.5.4 伝送システムの構成とその動作

(a) 伝送システムの全体構成

伝送システムの構成を、図3.40に示す。送受信器Aは、方形波FM変調器、駆動電流回路、光送受信モジュールA、光電流増幅器、ビデオバッファ、FM復調器、及び光出力制御回路(a)で構成されている。一方、送受信器Bは、ビデオバッファ、FM変調器、信号加算器、駆動電流回路、光送受信モジュールB、光電流増幅器、方形波FM復調器、及び光出力制御回路(b)で構成されている。送受信器Aは、長さ1kmのGI形多モード石英光ファイバで送受信器Bと接続されている。

伝送システムの外観を図3.41に示す。光学回路の構成が簡易で、伝送システムの中で光学回路（光送受信モジュール）の占める割合は非常に小さい。電源や電子回路部は小型化が容易であるので、伝送システム全体を小型化することも容易であると考えられる。

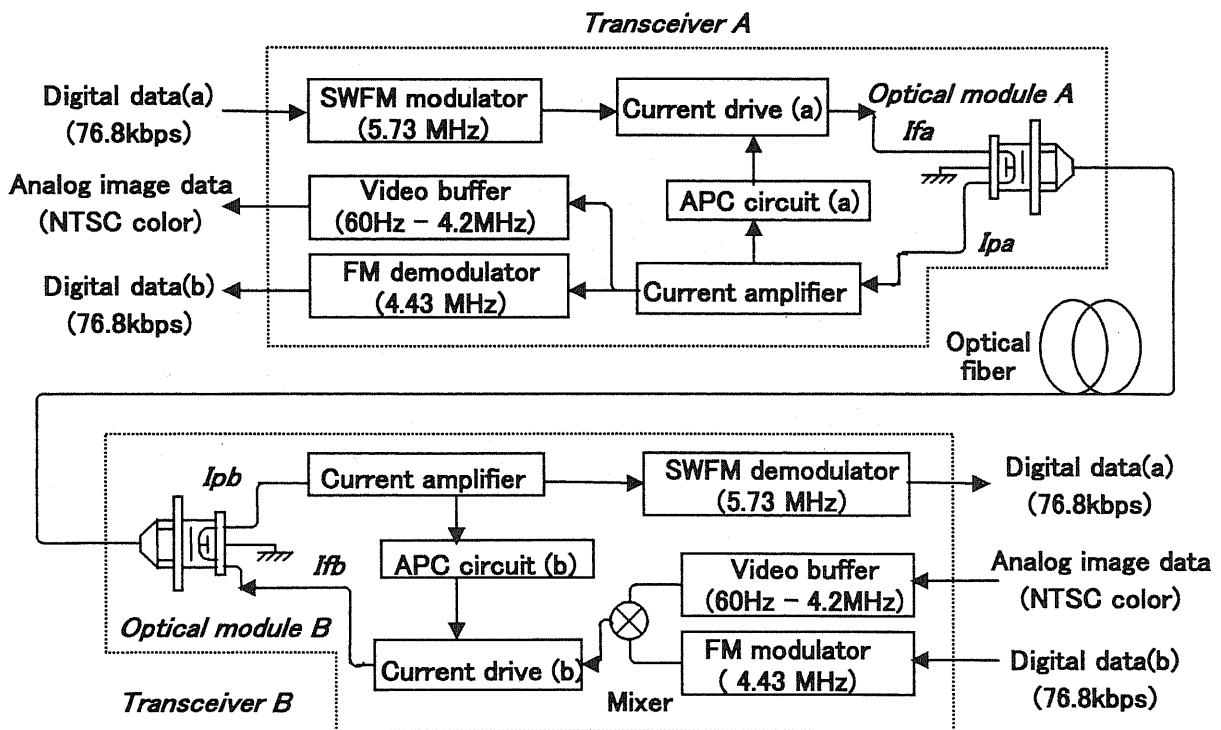


図3.40 LDを用いた全二重データ伝送システムの構成

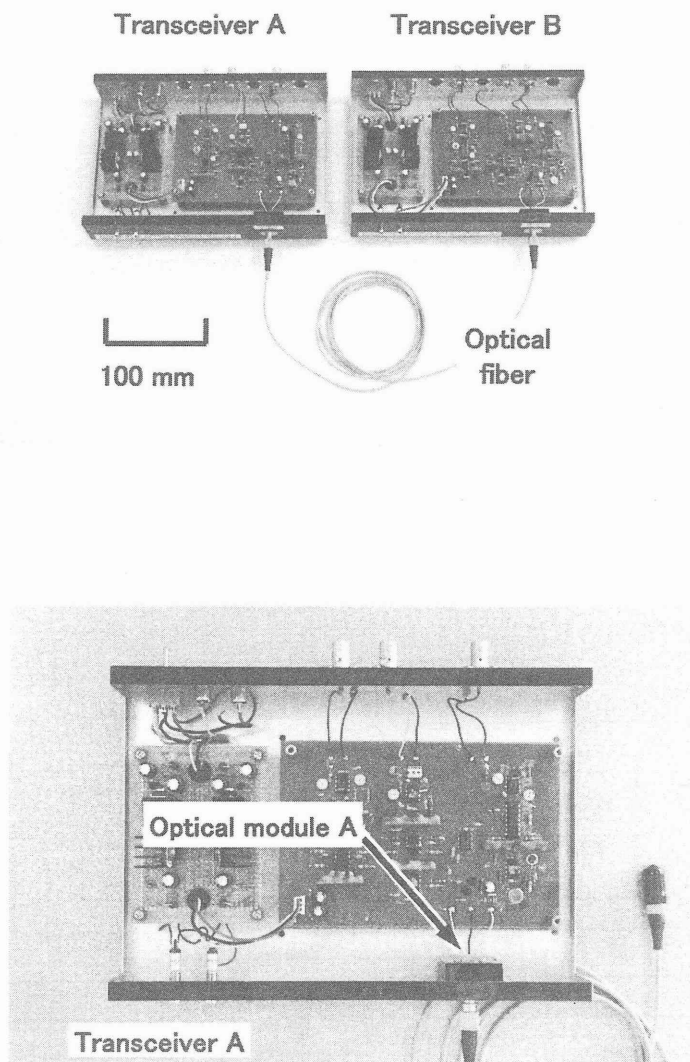


図 3. 4 1 伝送システムの外観

(b) 伝送システムの動作

(1) データの伝送方向と変調方式、及び周波数割り当て

デジタルデータ(a)は、送受信器Aから送受信器Bに方形波 FM 伝送方式を用いて伝送される。画像データはベースバンド方式を、別なデジタルデータ(b)は FM (正弦波 FM) 方式を用いて、デジタルデータ(a)とは逆方向に送受信器Bから送受信器Aに伝送される。伝送システムは、これらのデータを1本の光ファイバを介して同時に伝送することができる。

デジタルデータ(a)、デジタルデータ(b)は、いずれも RS232C 規格に基づいて1文字あたり 10 ビットで構成されるシリアル信号で、伝送速度は 76.8 kbps である。画像データは、NTSC 形式のカラービデオ信号で、周波数帯域は 60 Hz から 4.2 MHz である。

画像データと、それぞれのデジタルデータ用搬送波の周波数割り当てを図3. 4 2 に示す。また、それぞれの送受信器において測定された、光電流増幅器から出力された電圧スペクトラムを図3. 4 3 に示す。

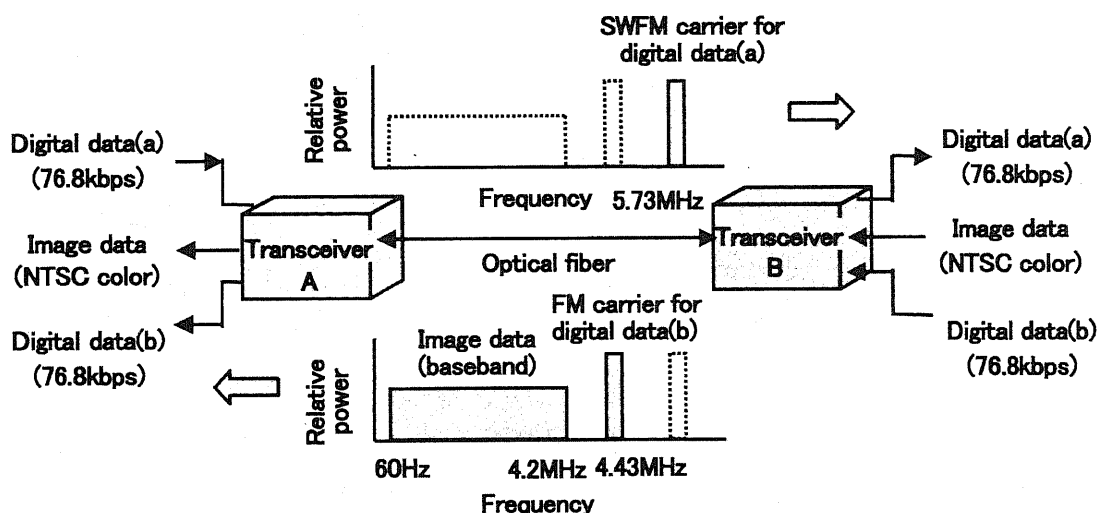


図3. 4 2 画像データと、デジタルデータ用搬送波の周波数割り当て

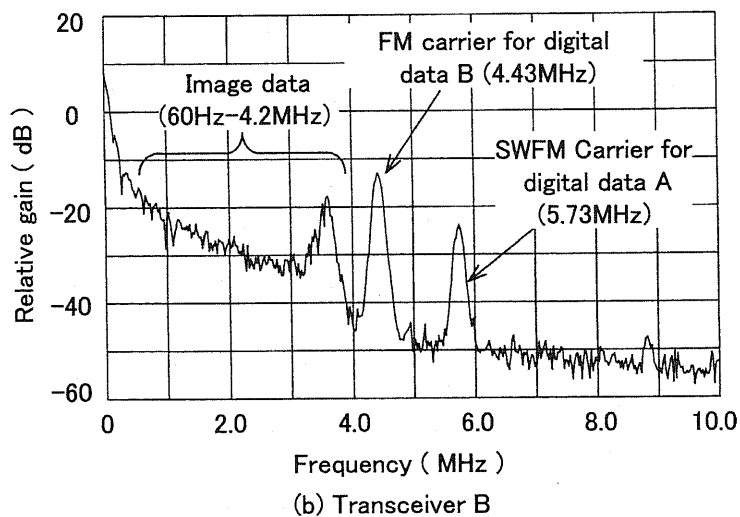
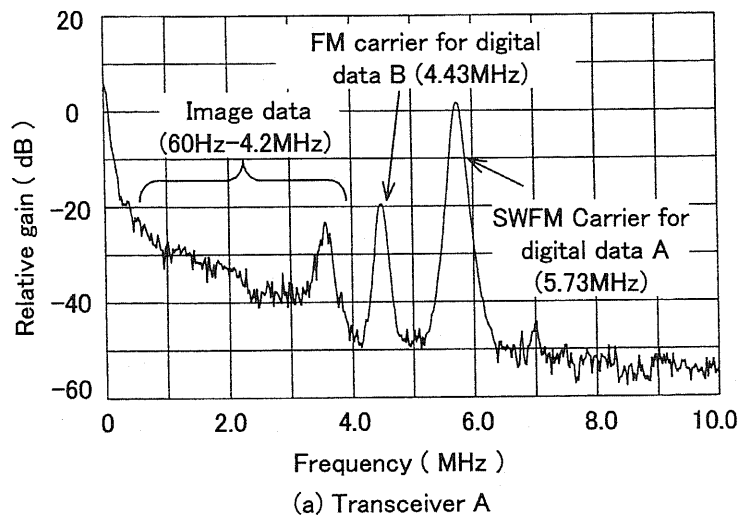


図 3. 4 3 光電流増幅器から出力された電圧スペクトラム

(2) デジタルデータ (a) 伝送チャネルの動作

送受信器 A において、デジタルデータ (a) は、方形波 FM 変調器に与えられる。方形波 FM 変調器では、中心周波数が 5.73 MHz の方形波電圧信号がデジタルデータ (a) により FM 変調され、その方形波 FM 信号が電流駆動回路 (a) に与えられる。駆動電流回路 (a) は、光送受信モジュール A の LD の駆動電流を方形波パルス変調する。このとき、LD 駆動電流のピーク値は、光出力制御回路 (a) によって一定になるように制御さ

れる。モジュールAから出力される光信号は、光ファイバを介して送受信器Bに伝送され、光送受信モジュールBのモニタ用PDで受光される。

一方、送受信器Bにおいて、光送受信モジュールBのモニタ用PDから得られる光電流は、光電流増幅器に加えられ、電圧信号に変換される。変換された電圧信号は、方形波FM復調器と光出力制御回路(b)へ同時に与えられる。方形波FM復調器では、被変調信号が5.73 MHzを中心周波数として方形波FM復調され、復調された電圧信号は、デジタルデータ(a)として出力される。

(3) デジタルデータ(b)伝送チャネル及び画像データ伝送チャネルの動作

送受信器Bにおいて、デジタルデータ(b)はFM変調器に加えられる。FM変調器では、中心周波数が4.43MHzの正弦波電圧信号がデジタルデータ(b)によりFM変調される。一方、画像データはビデオバッファに与えられ、周波数が60 Hzから4.2 MHzまでの信号を通過させる。ビデオバッファを通過した電圧信号は、デジタルデータ(b)によって変調されたFM信号と加算器でアナログ加算され、駆動電流回路に加えられ、駆動電流回路では、LDの直流駆動電流が加算器の出力電圧によりAM変調され、その被変調電流はモジュールBのLDに与えられる。このとき、LDの直流駆動電流は、モジュールBのLDの変調中心電流の大きさになるように、光出力制御回路(b)によって制御されている。モジュールBから得られる光信号は、光ファイバを介して送受信器Aに伝送され、モジュールAのモニタ用PDで受光される。

一方、送受信器Aにおいて、モジュールAのモニタ用PDから得られた光電流は、光電流増幅器に加えられ、電圧信号に変換される。電圧信号は、FM復調器、ビデオバッファ、及び光出力制御回路(a)へ同時に与えられる。FM復調器では、被変調電圧信号が4.43 MHzを中心周波数としてFM復調され、復調された電圧信号は、デジタルデータ(b)として出力される。一方、ビデオバッファでは、被変調電圧信号に含まれる60 Hzから4.2 MHzまでの周波数成分が通過し、画像データとして出力される。

(c) 光出力自動制御回路の構成と動作

本伝送システムでは、モニタ用PDを、LD出力を一定にするためと、LDパッケージ外部から入力する光信号を受光するためとに兼用している。従って、LDをパルス変調した場合における光出力のピーク値での制御や、LDをアナログ変調した場合に

における光出力の平均値での制御のような従来の方法では、安定した LD の出力制御が困難である。

そこで、本伝送システムの光出力自動制御回路を図 3. 4 4 に示すような構成とした。すなわち、送受信器 A の LD を、5.73 MHz を中心とした方形波 FM 方式で変調したとき、モニタ用 PD から出力される光電流から 5.73 MHz の周波数成分のみをバンドパスフィルタ(BPF)により抽出し、そのピーク値にもとづいて送受信器 A の LD 出力を自動制御した。一方、送受信器 B の LD 出力は、モニタ用 PD から出力される光電流の平均値が一定になるように自動制御した。

それぞれの LD 出力の安定さを測定するため、送受信器 A と送受信器 B とを長さ 1km の光ファイバで接続した状態で、24 時間にわたってそれぞれの LD 出力の平均値を測定した。その結果、いずれの出力平均値のドリフトも、初期出力の平均値に対して $\pm 3\%$ 以内であった。

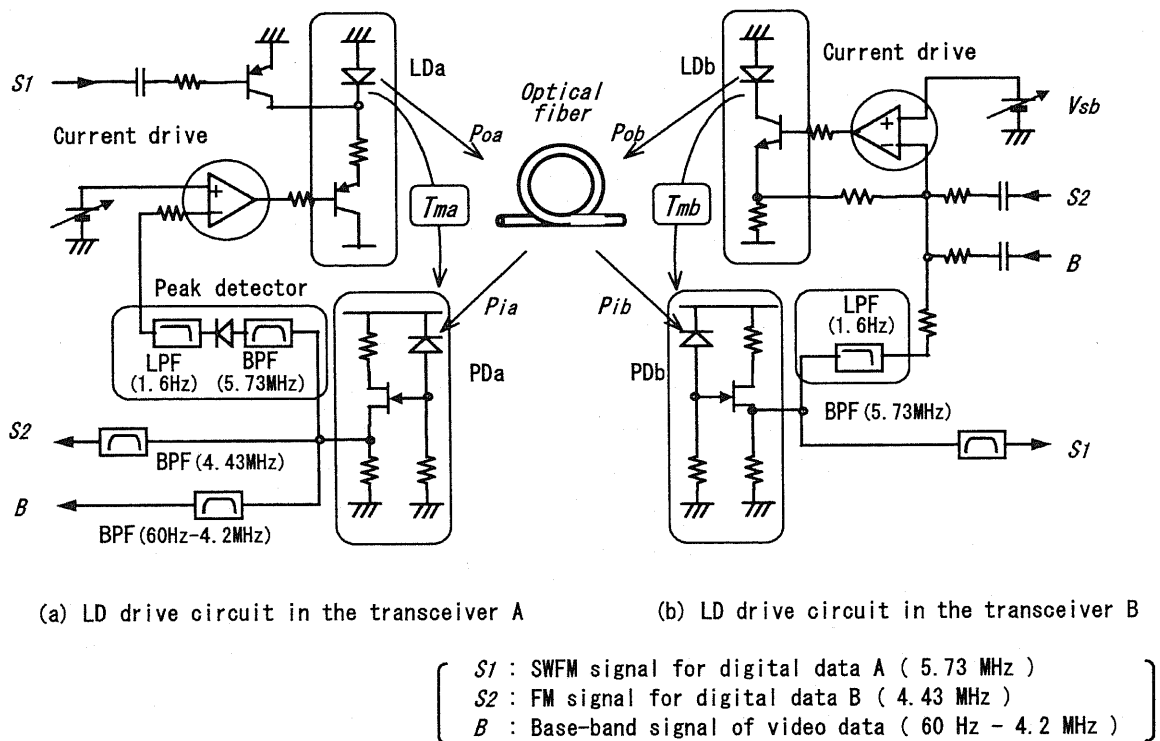


図 3. 4 4 LD の光出力自動制御 (APC) 回路

3.5.5 伝送システムの性能とその評価

(a) デジタルデータ (a) 及びデジタルデータ (b) の伝送チャネルの性能

デジタルデータ(a)伝送チャネル及びデジタルデータ(b)伝送チャネルを介してシリアルデータを双方向に伝送したとき、伝送されたデータの誤り率を測定した。デジタルデータには、ASCII 系列を用いて文字 "K" を符号化したシリアルデータを用いた。測定に用いた伝送パラメータを表 3. 10 に示す。

伝送誤り率は、前述の図 3. 26 に示した方法で測定された。測定された各デジタルデータ伝送チャネルの伝送誤り率を表 3. 11 に示す。

表 3. 10 シリアル信号の伝送パラメータ

Speed of transmission	76.8 kbps
Synchronization of transmission	Asynchronous
Parity check	Even
Length of character element	8 bits
Length of stop element	1 bit

表 3. 11 伝送された文字数、伝送誤り文字数、及び伝送誤り率

Transmission channel	Digital (a)	Digital (b)
Number of transmitted characters	1.0×10^8	1.0×10^8
Number of erroneous characters	0	0
Transmission error rate	$< 1.0 \times 10^{-8}$	$< 1.0 \times 10^{-8}$

<第3章>

次に、A/D 変換器、デジタルデータ(b)伝送チャネル、及び D/A 変換器を介して、アナログ信号を伝送したとき、伝送された信号の相対振幅、直線性誤差、S/N 比、及び全ひずみ率を測定した。測定に用いた構成を図 3. 4 5 に示す。なお、アナログ信号には、電圧が 2 V_{p-p} の正弦波信号を用いた。

測定された周波数に対する相対振幅を図 3. 4 6 に、測定された直線性誤差、全ひずみ率、及び S/N 比を表 3. 1 2 にそれぞれ示す。振幅特性は、A/D 変換器の入力と D/A 変換器の出力に接続されたローパスフィルタ(LPF)の周波数特性に依存している。

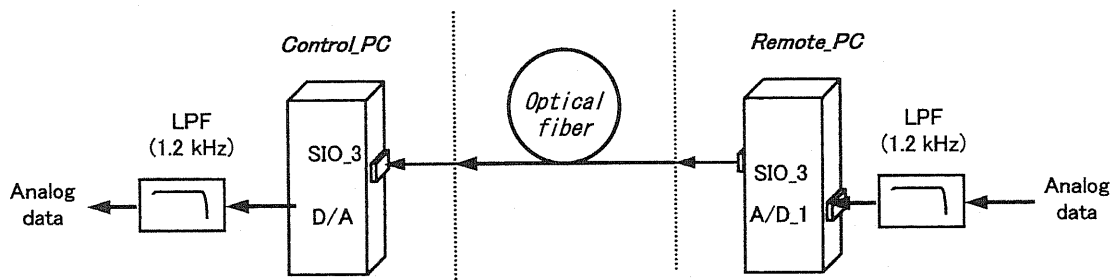


図 3. 4 5 アナログデータの伝送特性の測定構成

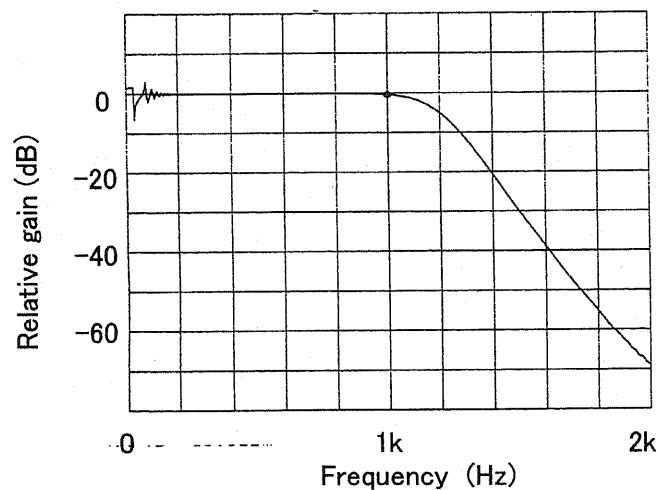


図 3. 4 6 伝送されたアナログデータの振幅特性

表 3. 1 2 直線性誤差、全ひずみ率、及び S/N 比

Item	data	Condition
Linearity error	2 %	$-1.0 \text{ V DC} \leq V_i \leq +1.0 \text{ V DC}$
Distortion factor	1.5 %	$V_i = 2.0 \text{ Vp-p AC}$
S/N ratio	58 dB	at 1kHz

(b) 画像データ伝送チャネルの性能

画像データ伝送チャネルを介して、送受信器Bから送受信器Aに画像テスト信号を伝送したとき、伝送された信号の周波数に対する相対振幅を測定した。画像テスト信号には、電圧が 1Vp-p の正弦波信号を用いた。測定された相対振幅を図 3. 4 8 に示す。また、DG、DP の測定値を表 3. 1 3 に示す。図 3. 4 7 では、カラー信号周波数付近で相対振幅が小さくなっている。しかし、監視用カラー画像の伝送目的に限れば、この伝送チャネルは実用的な性能を持つと考えられる。

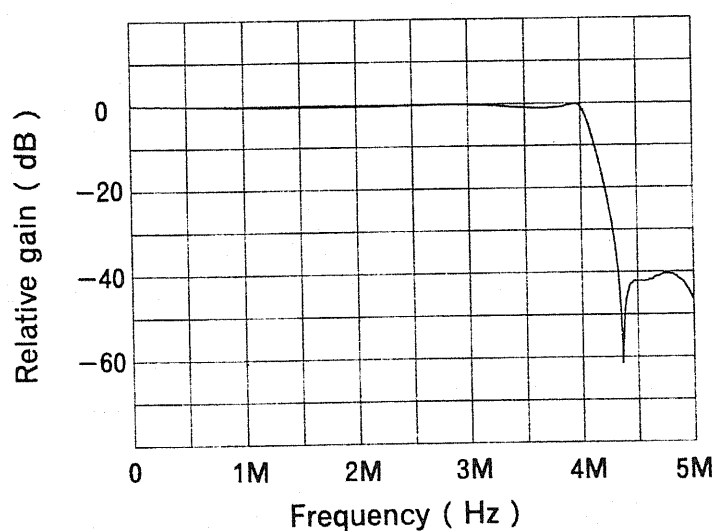


図 3. 4 7 画像テスト信号の周波数に対する相対振幅

表 3. 1 3 伝送されてきた画像データの DG 値及び DP 値

Item	data
D.G.	4.3 %
D.P.	4.8 °

3.5.6 まとめ

本節では、まず、従来の全二重伝送システムの問題点を述べた後、新しい光送受信モジュールの提案・構成を行った。次に、新しい光送受信モジュールを用いた全二重伝送システムを構成し、各伝送チャンネルの動作を詳述した。最後に、伝送システムの伝送性能を測定した結果、データ収集・伝送システムから要求される伝送性能を満足していることが確認できた。

3. 6 まとめ (各光ファイバ伝送システムの特徴)

本章では、環境試験データ収集・伝送システムの主要な構成要素である、4種類の光ファイバ伝送システムを提案・構成するため、まず、環境試験データ収集・伝送システムから要求される伝送性能にもとづいて、各光ファイバ伝送システムの基本構成要素と変調方式を選択して組み合わせた。次に、いずれも1本の光ファイバを伝送媒体としている各光ファイバ伝送システムについて、それぞれの構成や動作原理を記述した後、伝送チャンネルごとに伝送性能を測定し、要求されている性能を満足しているかを評価した。

ここでは、各光ファイバデータ伝送システムの特徴をまとめる。

3.6.1 屈曲伝送損失補償機能付きデータ伝送システムの特徴

この伝送システムは、ロボットアームに敷設された1本のプラスチック光ファイバを伝送路とし、ロボットアームの先端に保持されたアナログセンサの出力データを、センサから試験室内PCまで精度良くアナログ伝送する。E/O変換器にLEDアセン

ブリを、O/E 変換器にはカラーセンサアセンブリを使用した、合分波器の不要な光 WDM システムである。信号光と、光ファイバの曲げによる伝送光の伝送損失を検出するための参照光を同時伝送し、受信側で伝送損失による誤差を自動補正する機能がある。

3.6.2 LED を用いた全二重データ伝送システムの特徴

8 個のアナログセンサを切り換えるデジタル制御信号と、選択されたセンサの出力データとを、1 本のプラスチック光ファイバと一対の光カップラを介して同時に双方向へ伝送する。伝送路として1 本のプラスチック光ファイバを使用しているため、試験室内での伝送路の引き回しが容易にできる。

3.6.3 多周波パラレルデータ伝送システムの特徴

16 個のバイナリセンサの出力を1 本のプラスチック光ファイバを介して同時伝送する。4 つの AM キャリアと4 つの ASK キャリアを用いた多周波パラレル伝送システムである。キャリア総数が少ないため、受信側でのキャリアの選択性が高まり、伝送ビット相互の混変調を低減することができる。

3.6.4 LD を用いた全二重データ伝送システムの特徴

センサの切換や走査、監視カメラの操作などの制御データを測定室から試験室へ、センサ出力データ、ロボット及びカメラから得られた状態データなどを試験室から測定室へ、1 本の G I 光ファイバを介して全二重に伝送する。モニタフォトダイオード内蔵型レーザダイオードを光信号の送信と受信に兼用した、新しい光送受信モジュールを提案し、伝送システムを構成しているため、伝送システム全体の光学構成が単純化されている。

<第3章参考文献>

- (1)「技術資料, エスカ・プレミア編」, 三菱レーヨン(株), (1994)
- (2)「光ファイバ仕様書」, フジクラ(株), (1988)
- (3)菊池杭一:「プラスチック光ファイバの応用技術」, 電気書院, (1988)
- (4) 山田:「光通信工学」, pp. 175, 培風館 (1990)
- (5) 末松, 伊賀:「光ファイバ通信入門」, オーム社 (1982)
- (6) 濱松雄二, 「デジタルデータの周波数分割多重光ファイバ伝送とその応用」, 静岡大学修士論文, (1997)
- (7)神谷真好・池田弘明:「波長分割多重信号伝送方式における可視光センサの受信クロストーク除去」, 平5電気学会産業応用部門全大, No.164, pp.691-694, (1993)
- (8)M.Kamiya and H.Ikeda, "New Type of Wavelength Division Multiplexed Signal Transmission System Using of Crosstalk Elimination Circuit", Proceedings of IMTC'94, IEEE, Vol.3, pp1091-1094, (1994)
- (9)M.Kamiya and H.Ikeda, "New Type of Optical WDM Signal Transmission System and Its Application", Proceedings of ISIE'95, IEEE, Vol.1, pp157-160, (1995)
- (10) 神谷真好・池田弘明:「参照光伝送機能付き光ファイバ信号伝送方式を利用したロボットによる寸法測定」電気学会論文誌, Vol.117-D, No.2, pp.221-230, 1997.
- (11)M. Kamiya, H. Ikeda, H. Atsumi and S. Kato: "Optical Fiber Signal Transmission System Having Reference Light Transmission Capability", Proceedings of JIASC'95, IEEJ, Vol. 2, No. IE-2, pp. E7-E12 (1995)
- (12)S.S.Wagner, H.Kobrinski, T.J.Robe, H.L.Lemberg and L.S.Smoot: "Experimental Demonstration of a Passive Optical Subscriber Loop Architecture", Electronics Letters, Vol.24, No.6, pp.344-346 (1988)
- (13)J.Li, H.Ikeda, S.Shinohara, K.Wakai, H.Yoshida and E.Tsuchiya, "Optical Audio and Video Signal Transmission System for Home Appliances", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol.38, No3, pp.525-529, (1992)
- (14)J.Li, H.Ikeda, H.Yoshida, E.Tsuchiya, K.Wakai and S.Shinohara, "Audio, Video and Data Signal Transmission System Employing Optical Wavelength Division Multiplexer", Proceedings of ICCT'92, IEEE, pp24.05.1-5, (1992)
- (15)三川 泉・小山田弥平・涌井 裕:「波長多重によるインサービス光線路監視試験

- 技術」,電学論C, Vol.113, No.1, pp.28-35 (1993)
- (16) D. Marcuse: "Bending losses the asymmetric slab waveguide", Bell Syst. Tech. J, Bell Laboratories, Vol. 50, No. 8, pp. 2551-2563 (1971)
- (17) D. Marcuse: "Curvature loss formula for optical fibers", J. Opt. Soc. Am., Optical Society of America, Vol. 66, No. 3, pp. 216-220 (1976)
- (18) K. Furuya: "Random-bent loss in single mode and parabolic index multimode optical fiber cables", Appl. Opt, pp. 1493- 1500 (1980)
- (19)山内:「屈曲した単一モード光ファイバの界分布と損失」,電子情報通信学会論文誌 B, Vol. 71, No. 10, pp. 1171- 1172 (1988)
- (20) D. Gloge: "Bending loss in multimode fibers with graded and ungraded core index", Appl. Opt., Vol. 11 (1972)
- (21) A. L. Patlakh and A. S. Semenov: "Light transmission of bent multimode optical fibers", Sov. J. Quantum Electron, American Institute of Physics, Vol. 13, No. 4, pp. 542-544 (1983)
- (22) H. D. Reidenbach and F. Boden: "Influence of curvature on the transmission properties of plastic optical fibers", Optics and laser technology, pp. 251-252, December (1976)
- (23)「技術資料, エスカ・ケーブル編」, 三菱レーヨン株, (1994)
- (24) N. A. Rabou, H. Ikeda, and H. Yoshida: "Optical Fiber Two-Way FM Video Signal Transmission for Video Conferencing Applications", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 40, No. 3, pp. 492-496 (1994)
- (25) Y.Wu, H.Ikeda, and H.Yoshida : "Optical Fiber Multifrequency SWFM Transmission System for Bidirectional Data Transmission", Proceedings of IAS'94, IEEE, pp.1867-1871, (1994)
- (26) Y.Wu, H.Ikeda, H.Yoshida, and S.Shinohara : "Bidirectional Parallel Data Transmission with an Optical Fiber", Proceedings of ICIT'94, IEEE, pp.651-655, (1994)
- (27)Hans-Ludwig Althaus, Gerhard kuhn, and Klaus Panzer : "Modul fur bidirektionale optische Ubertragung im Teilnehmerbereich", Siemens Components, Vol.31, No.2, pp.54-57, (1993)
- (28)古川博之,宮田定之,国兼達郎,渡邊哲夫,酒井喜充:「超小型 LD/PDカプラー一体化モジュール」, 1994年電子情報通信学会春季大会,C-294, pp.291, (1994)

<第3章>

- (29)中島啓幾:「光システム,光モジュールの経済化に向けた光デバイス,光実装技術の現状と課題」, O plus E, No.212, pp.89-93, (1997)
- (30)榎本正義,松下賢二,志水英二,中野 稔:「発光,受光機能素子として LED を用いた半二重光通信システム」,電子情報通信学会論文誌, Vol.J71-B, No.8, pp.955-962, (1988)
- (31)Norio Kashima : "Properties of Commercial 1.3 μ m Fabry-Perot laser Modules in a Time Compression Multiplexing System", Journal of Lightwave Technology, IEEE, Vol.9, No.7, pp.918-923,(1991)
- (32)Norio Kashima : "Time Compression Multiplex Transmission System Using a 1.3 μ m Semiconductor Laser as a Transmitter and a Receiver", Transactions on Communications, IEEE, Vol.40, No.3, pp.584-590,(1992)
- (33)神谷真好,池田弘明:「モニタPD内蔵形LDを用いた全二重光信号伝送方式の検討」,平成7年電気学会全国大会講演論文集, Vol.3, No.545, pp.30-31, (1995)

第4章 データ収集・伝送システムを用いた 環境試験

本章では、構成したデータ収集・伝送システムの有効性を確認するため、専用の試験室で実施される振動試験と温湿度試験へ実際に応用する。更に、データ収集・伝送システムの自動化試験やネットワーク化への対応についても記述する。それぞれの試験では、まず、収集した測定データと試験制御装置から得たデータとを比較し、収集した測定データの正確さを評価する。次に、試験者が測定室内PCを操作しながら実施する試験と、測定室内PCに内蔵されたプログラムに従って実施する自動化試験を行う。

4. 1 データ収集・伝送システムの振動試験への応用

振動試験では、まず、試験者が、被試験機器とセンサの走査位置を画像で確認しながら測定室内PCを操作して、被試験機器に実装された複数の部品の固有振動周波数を順次測定する。次に、予め測定室内PCに内蔵されたプログラムを実行することにより、補助加振台上面の2次元振動分布を自動的に測定する試験を行う。

4.1.1 振動試験の一般的な手順と試験法

振動試験は、一般に、次の3つの手順に分けることができる⁽¹⁾⁻⁽³⁾。

(a) 被試験機器に実装された各部品の振動測定

被試験機器に実装された1個、あるいは複数の部品の固有振動周波数を測定する。予想される各部品の固有振動周波数を十分カバーする周波数範囲の基準振動を被試験機器に与えたとき、各部品の振動特性を測定する。

(b) 強制振動による耐久試験

被試験機器に実装された各部品の固有振動周波数を含む周波数帯で被試験機器を強制振動させ、各部品、及び被試験機器に対して一定時間の耐久試験を行う。耐久試験の間、被試験機器や各部品の電気的状態、及び機械的状态を監視する必要がある。

(c) 機械的・電気的機能の測定

耐久試験の後、被試験機器の変形やビスの緩みなどの機械的形狀検査、及び電気的

機能検査を行う。引き続き異なる振動条件で耐久試験を行う場合は、加振台に被試験機器を装着したまま機能検査が行われる。

4.1.2 電動式振動発生機による振動の発生

振動試験では、電動式振動発生機（加振機）が広く用いられている。試験室に設置されている加振機は、測定室の制御装置によって制御されている。加振機では、静止コイルに流される直流電流により発生する静磁場と、静磁場中に置かれた駆動コイルに流される交流電流との間に発生する相互電磁力によって振動が発生する。通常、静止コイルには 100 A DC の電流が流され、加振条件に対応した 150 A AC 程度までの電流が駆動コイルに流される。従って、振動の周波数成分と駆動コイルから発生する電磁ノイズの周波数成分とが一致する。そのため、電磁ノイズを含んだ振動データから電磁ノイズのみを取り除くことは非常に困難となる^{(4),(5)}。

4.1.3 振動センサと試験室内データ収集システムの選択

データ収集・伝送システムを利用して、被試験機器に実装された複数の部品の振動測定を効率よく実施しようとする場合、使用するセンサと試験室内のデータ収集システムとの組み合わせには、次の2つの構成が考えられる。

- (1) 複数の接触式振動センサとセンサ切換式アナログデータ収集システムを組み合わせて使用し、接触型センサの出力を順次切り換えて振動データを収集する。
- (2) ひとつの非接触式振動センサとセンサ走査式データ収集システムを組み合わせて使用し、それぞれの部品を順次走査して振動データを収集する。

前者の構成では、一般に、振動センサとして測定個所の数だけ静電型加速度センサを使用し、それぞれのセンサを磁石または接着剤によって各部品に取り付けなければならない。また、小型で軽量の部品にセンサを取り付けた場合、センサの重量のため、その部品の振動特性が変化してしまう可能性がある。反面、この構成では、非接触センサが走査できないような被試験機器内部の振動を測定することが可能である。

一方、後者の構成では、振動センサと測定対象部品との間に他の部品が存在した場合、測定対象部品の振動を測定することができないことや、振動センサの走査範囲を超えた大きな被試験機器に対応できないなどの欠点がある。反面、複数のセンサの装着や取り外しを行う必要がなく、小型で軽量の部品の振動特性を正確に測定すること

が可能である。

本応用試験では、測定対象が多く、かつ、非接触式センサが全ての測定対象部を走査できることから、非接触式振動センサとセンサ走査式アナログデータ収集システムを組み合わせて使用することにした。また、試験者が、センサの走査位置を確認する必要があるため、画像データ収集システムも併せて使用した。一方、測定室に設置されるアナログデータ記録・解析器には、FFT（高速フーリエ変換）解析器を使用した。振動センサには、表4. 1に示すような光学式変位センサを使用した⁽⁶⁾。

データ収集・伝送システムとセンサの組み合わせを図4. 1に示す。

表4. 1 使用した光学式変位センサの仕様

光ビーム	レーザー光(波長670nm)
測定中心距離	40mm
測定範囲	±10mm
分解能(最高)	3μm
応答時間(最小)	0.15ms
直線性誤差	1% (±10mmの範囲)
電圧出力(アンプ出力)	0V±1V(40mm±2mm)

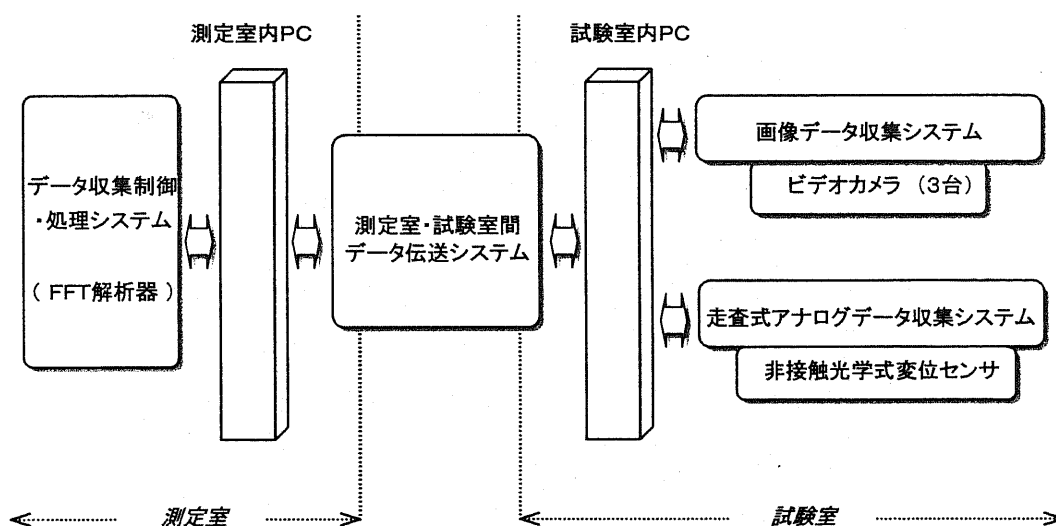


図4. 1 振動測定で使用するデータ収集・伝送システムとセンサの組み合わせ

4.1.4 データ収集・伝送システムの設置

図4.2、図4.3に、試験室に設置されたデータ収集・伝送システムの構成と、測定室内に設置されたデータ収集・伝送システムの構成をそれぞれ示す。

データ収集・伝送システムのほか、試験室内には、加振機や加振機用駆動電源などが設置され、測定室にも、加振機の制御装置などが設置されている。

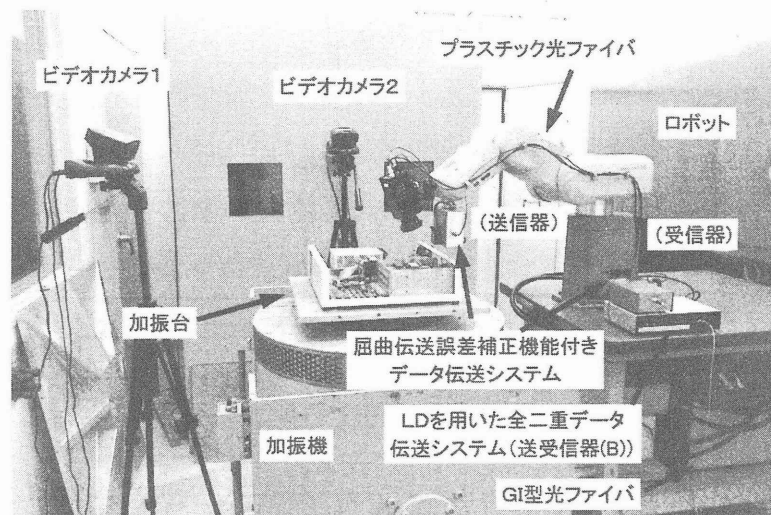


図4.2 試験室に設置されたデータ収集・伝送システムの構成



図4.3 測定室内に設置されたデータ収集・伝送システムの構成

変位センサは、図4.4に示すように、ロボットのアーム先端に保持されている。変位センサの走査は、測定室にいる試験者が、試験室から伝送されてくる画像を見ながらロボットを操作することにより行う。また、図4.5に、ロボットの台座の中に収納されている、ロボット駆動装置、試験室内PC、及びビデオスイッチを示す。

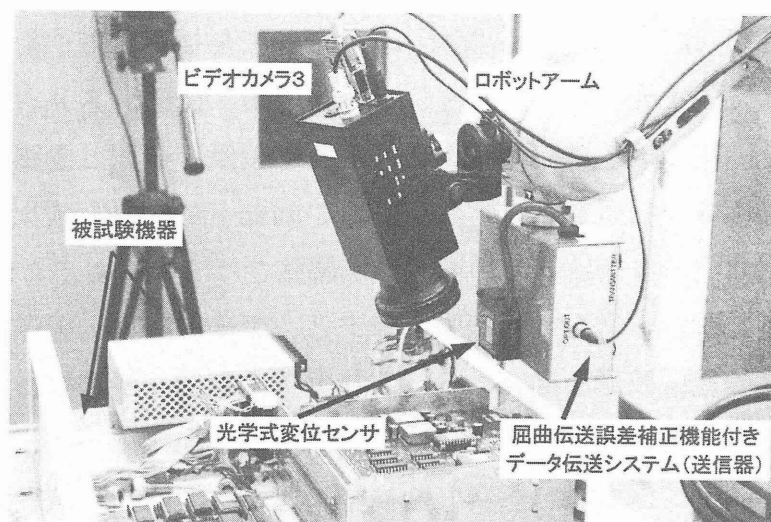


図4.4 ロボットアーム先端部の構成

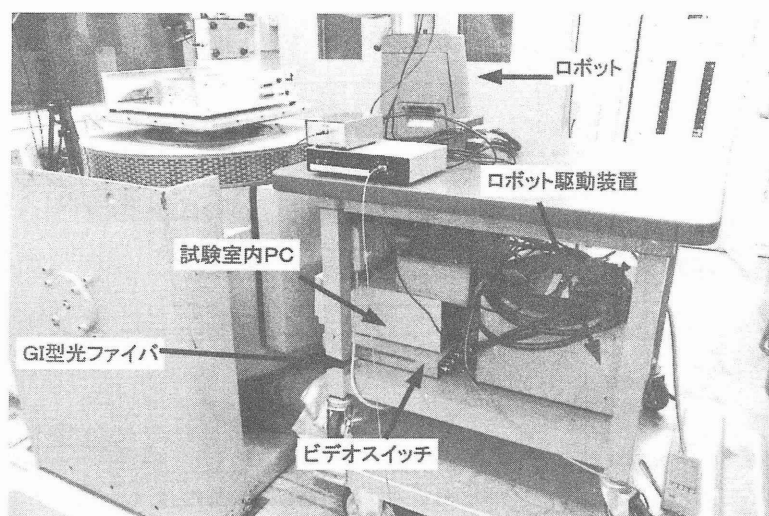


図4.5 ロボット駆動装置、試験室内PC、及びビデオスイッチ

4.1.5 収集される振動測定データの正確さの評価

加振機の制御装置は、加振台の振動が予め設定された強さになるように制御するため、試験中には加振台の振動を常時測定している。そのため、加振台の振動データは、加振台に埋め込まれた振動センサから、厳重なノイズ対策を施されたメタルケーブルによって、加振機の制御装置へ伝送されている^{(7),(8)}。

振動試験において収集される測定データが正確かどうかを評価するとき、その基準となる量として考えられるのは、加振機制御装置が測定している振動データである。そこで、加振台を周波数 100 Hz、振幅 2 mmp-p で加振させた。そのとき、加振台の中心部を走査している変位センサから、データ収集・伝送システムを介して収集された振動データと、加振機の制御装置から得られた振動データとを測定した。なお、加振台に埋め込まれている振動センサは、振幅 2 mmp-p の振動を検出したとき、1 Vp-p の電圧信号を出力するように、予め増幅率が調整されている。

加振機の制御装置から得られた振動データと、データ収集・伝送システムから得られた振動データの電圧波形を図 4. 6 に、加振機の制御装置から得られた振動振幅を基準としたデータ収集・伝送システムから得られた振動振幅の誤差を表 4. 2 に示す。

使用した振動制御装置では、設定した振幅に対する実際の加振台の振幅は、仕様上 5 %まで許容されている⁽⁹⁾。従って、データ収集・伝送システムから得られた振動データの誤差は制御誤差よりも小さい。そのため、データ収集・伝送システムは、十分な正確さで振動データを伝送していると言える。

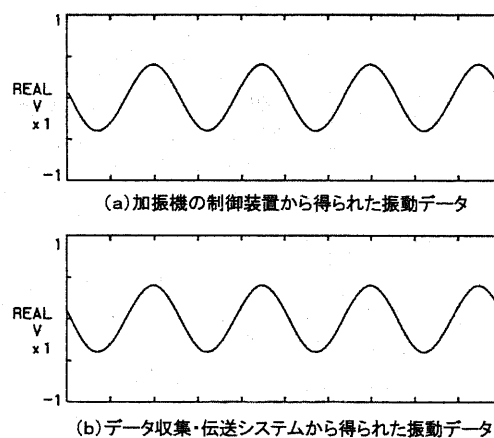


図 4. 6 測定された加振機の制御装置から得られた振動データと、データ収集・伝送システムから得られた振動データの電圧波形

表4. 2 加振機の制御装置から得られた振動データ、及びデータ収集・伝送システムから得られた振動データの読み取り振幅と誤差

収集したシステム	加振機の制御装置	データ収集伝送システム
読みとり振幅	2.00mmp-p	2.04mmp-p
変位の測定誤差	(基準:2.00mmp-p)	+2.0%

(周波数100Hz、振幅2mmp-pで加振機を制御したとき)

4.1.6 被試験機器に実装された複数部品の固有振動周波数測定

非接触式変位センサの出力データをデータ収集・伝送システムを介して収集し、測定室でデータ処理することにより、被試験機器に実装された複数の部品の固有振動周波数を順次測定した。

(a) 部品の固有振動周波数

材料が弾性体である限り、ある振動周波数で共振現象が現れる。電子機器や電子装置に実装された機械部品や電気、及び電子部品の故障は、実装されている部品の固有振動周波数で装置が振動したときに発生し易い。従って、装置の実使用環境下での振動周波数帯域から、各部品の固有振動周波数を外すことができれば、装置の振動に対する信頼性を高めることができる。そこで、必要に応じてそれらの各部品に対し、装置の試作段階で実装上の振動対策を行うのが好ましい。

被試験機器となる電子機器や電子装置は、加振台に保持されて試験される。被試験機器に実装されている各部品の固有振動周波数は、それぞれ異なった値を持っている。このため、それぞれの部品に加わる振動は、加振機で制御された加振台の振動とは異なる。電子機器の信頼性を向上させるため、被試験機器の信頼性を評価する振動耐久試験を行う前に、被試験機器に実装された各部品の固有振動周波数を測定する試験がしばしば行われる⁽¹⁰⁾。

(b) 固有振動周波数の測定

図4. 7に、被試験機器として使用した電子機器と、振動の測定対象とする被試験機器に実装された部品(A, B, 及びC)を示す。A, B, 及びCは、それぞれ被試験機器の底板、基板に実装されたIC、及び電源ユニットを示している。

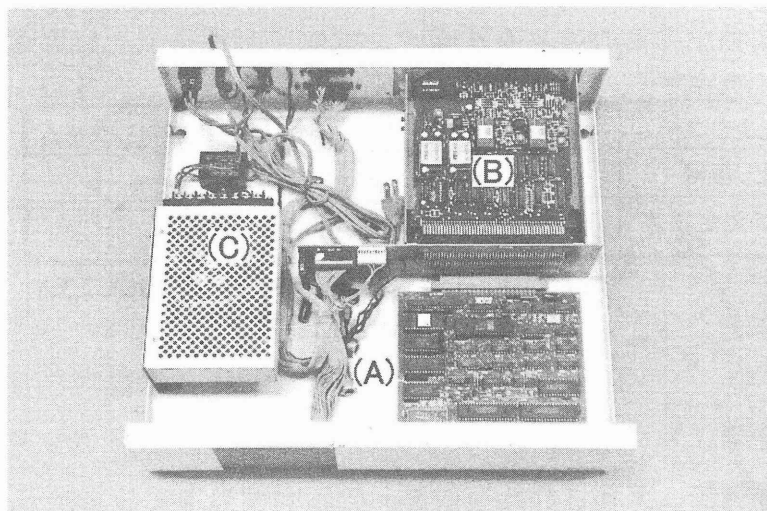


図4. 7 被試験機器と、振動の測定対象とした部品 (A, B, 及びC)

この被試験機器を振動試験機の加振台の上にボルトで固定し、200 Hz から 800 Hz の周波数範囲で、加速度が一定のランダム振動で加振台を振動させた。

この状態で、試験者は、試験室から送られてくる画像により測定対象となる部品の位置と非接触センサの走査位置を判断しながら、ロボットアームの先端に保持された非接触センサを走査して、複数の部品の固有振動を測定した。

図4. 8に、振動センサが基板に実装された IC を走査しているとき、測定室内のビデオモニタに映し出された画像を示す。この画像には、3台のカメラが収集した被試験機器とセンサの走査スポットを映した画像と、ロボットから収集したセンサの操作位置を示す3次元座標、ビデオスイッチが選択しているチャンネル番号、及び試験室内PCに内蔵されているA/D変換器が選択しているチャンネル番号やパラレルI/Oが収集したバイナリデータがまとめて映されている。これらの情報に基づいて試験者が測定室内PCの操作を行えば、非接触センサの正確な走査や、効率的なデータ収集が可能になると考える。

これらの画像のうち、いずれか1枚のみを選択してビデオモニタに映し出すこともできる。この画像選択は、測定室内PCからビデオスイッチを操作することにより行われる。図4. 9に、センサの3次元操作位置座標などを示す画像のみを示す。

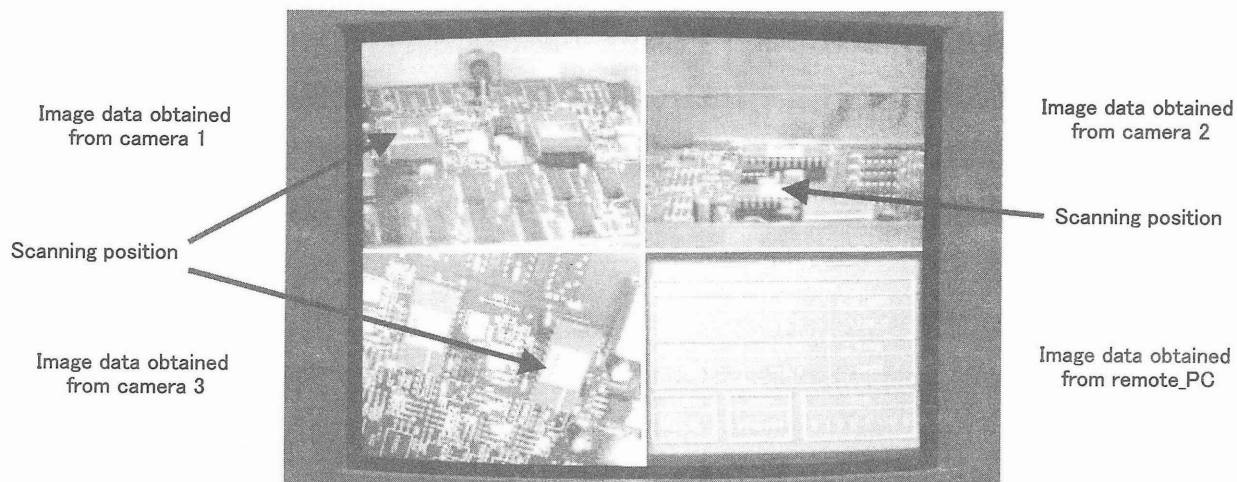


図4. 8 ビデオモニタに映し出された画像（センサがICを走査しているところ）

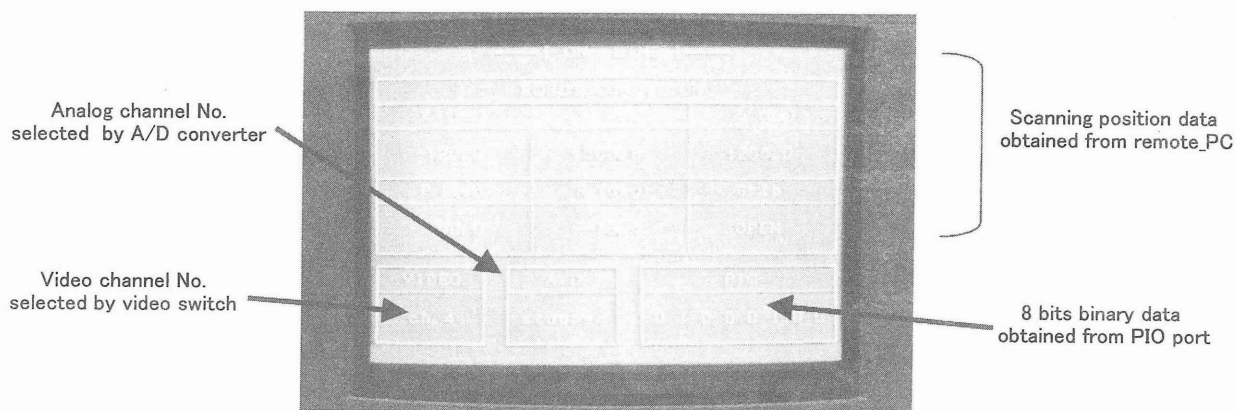


図4. 9 センサの3次元操作位置座標などを示す画像

図4. 10(a),(b), 及び(c)に、それぞれの部品の振動加速度スペクトラムを示す。ここで、変位の時間変化データは、FFT分析器で2階微分され、加速度の時間変化データに変換されている。更に、加速度の時間変化データをFFT分析器で高速フーリエ変換し、加速度の周波数分布、すなわち振動加速度スペクトラムを得た。

図4. 10の矢印(↓)は、それぞれの測定点での固有振動周波数を示す。それぞれの部品ごとに、固有振動周波数が異なることが分かる。

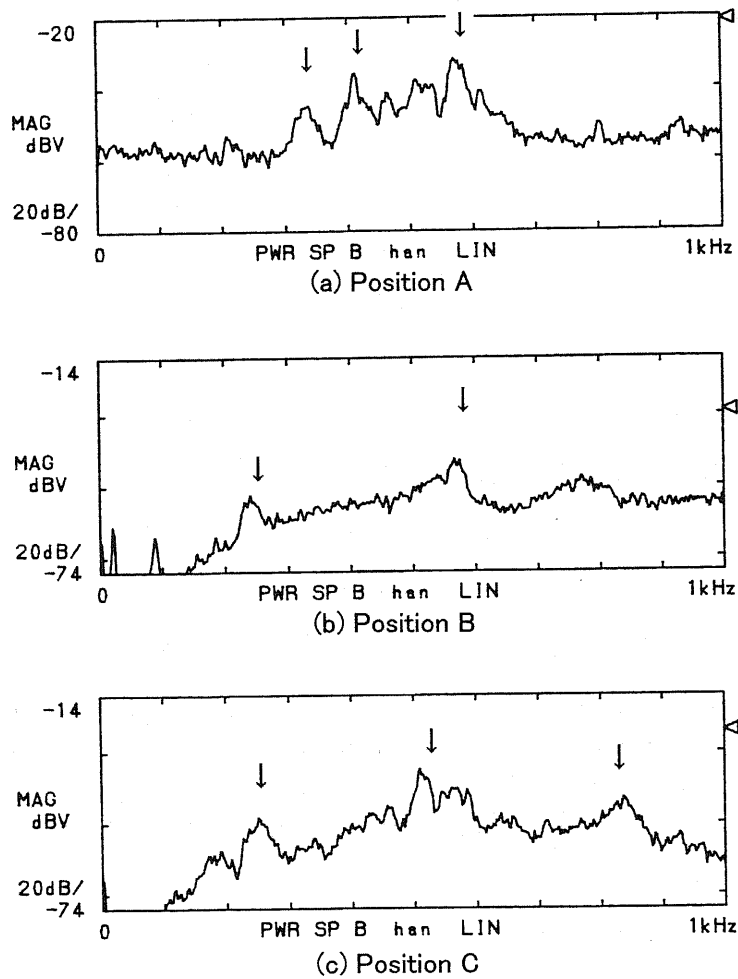


図4. 10 測定された各部品の振動スペクトラム

4.1.7 振動分布の2次元自動測定

アルミニウム製補助加振台を被試験機器とし、その平坦な上面の2次元振動分布を自動的に測定した。この振動分布の測定では、固有振動周波数の測定と同じセンサとデータ収集・伝送システムを使用し、測定室内PCには、予め複数の測定点の3次元位置座標を記憶させた自動測定プログラムを内蔵しておいた。

(a) 振動の強度分布

ここで、被試験機器として1枚の板状の機器を考え、この被試験機器の1カ所にある強さ（加速度、速度、あるいは振幅）の振動を与えたとする。そのとき、一般に、被試験機器のある面上の異なる全ての場所が、与えられた強さで振動するとは限らない。すなわち、振動を与えられている場所の振動の強さと、他の場所の振動の強さとは異なることになる⁽¹¹⁾。

(b) 振動分布の自動測定

図4.11に、被試験機器として使用した補助加振台を示す。図4.11で、(X1,Y1)、(X1,Y2)、…、(X3,Y3)と記した場所は、振動の測定対象とした場所を示している。

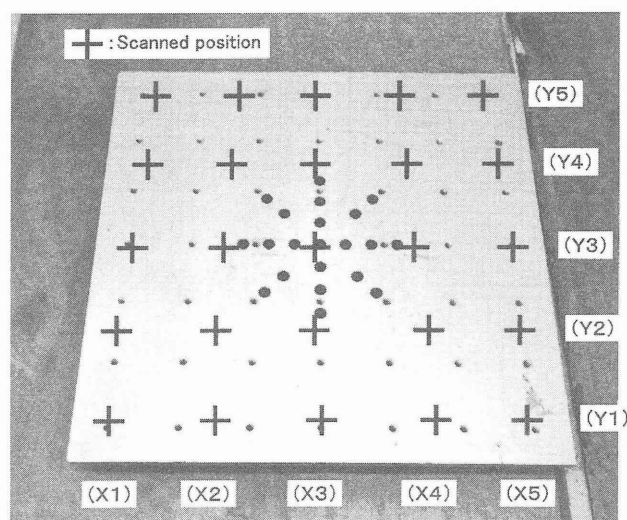


図4.11 振動分布の測定に使用した被試験機器と振動測定場所

被試験機器を振動試験機の加振台の上にボルトで固定し、周波数 320Hz、振幅 0.4 mmp-p で加振台を振動させた。

この状態で、測定室内PCに内蔵された自動測定プログラムを実行することにより、各測定点の振幅を順次、自動測定した。

図4. 12に、測定室内PCに内蔵された自動測定プログラムの概要と、測定室内PCのメモリに記憶された、測定点とそこで測定された振動振幅の記録フォーマットを示す。

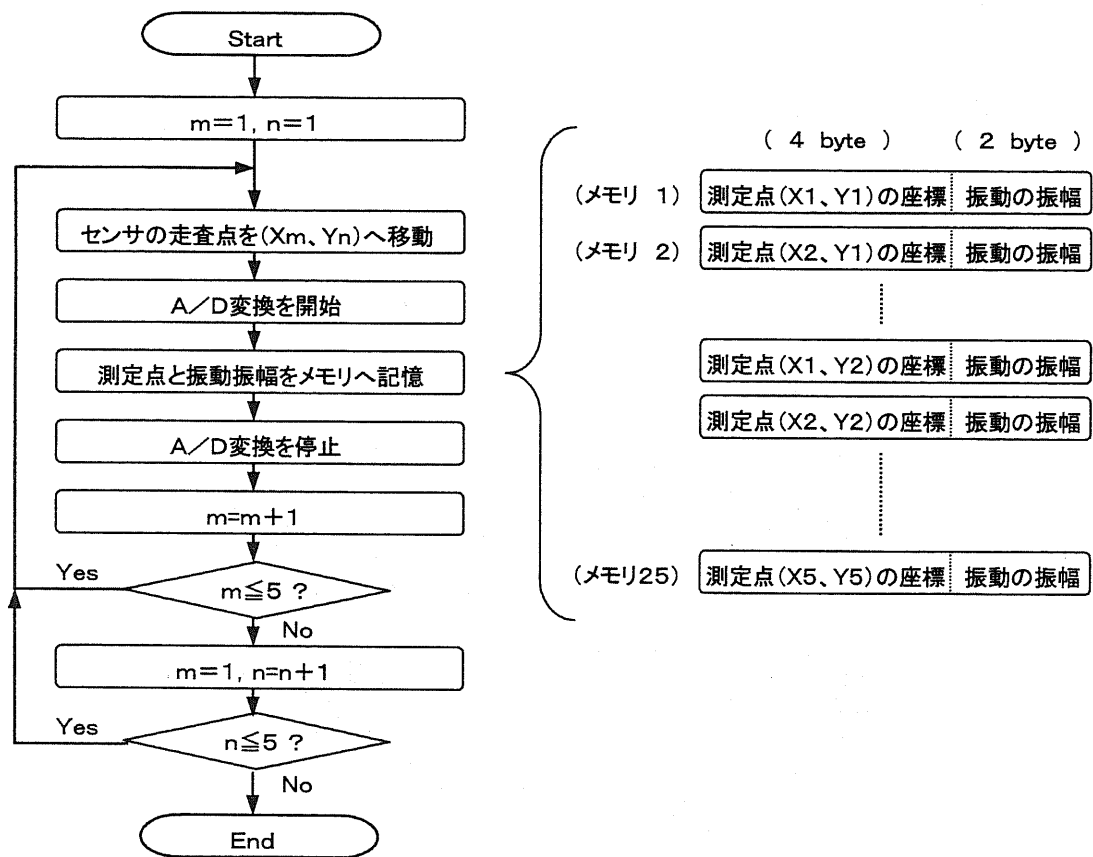


図4. 12 測定室内PCに内蔵された自動測定プログラムの概要と、測定データの記録フォーマット

自動測定の後、試験室内PCのメモリに記憶されたデータをもとに、市販のソフトウェアによって振動振幅の分布を作図した。作図された振動分布を図4. 13に示す。

被試験機器の中心部は、加振機によって直接加振されている部分であるため、加振機で制御された0.4 mmp-pで振動している。一方、中心部より離れた場所では、加振された振幅以上で振動をしているのが分かる。

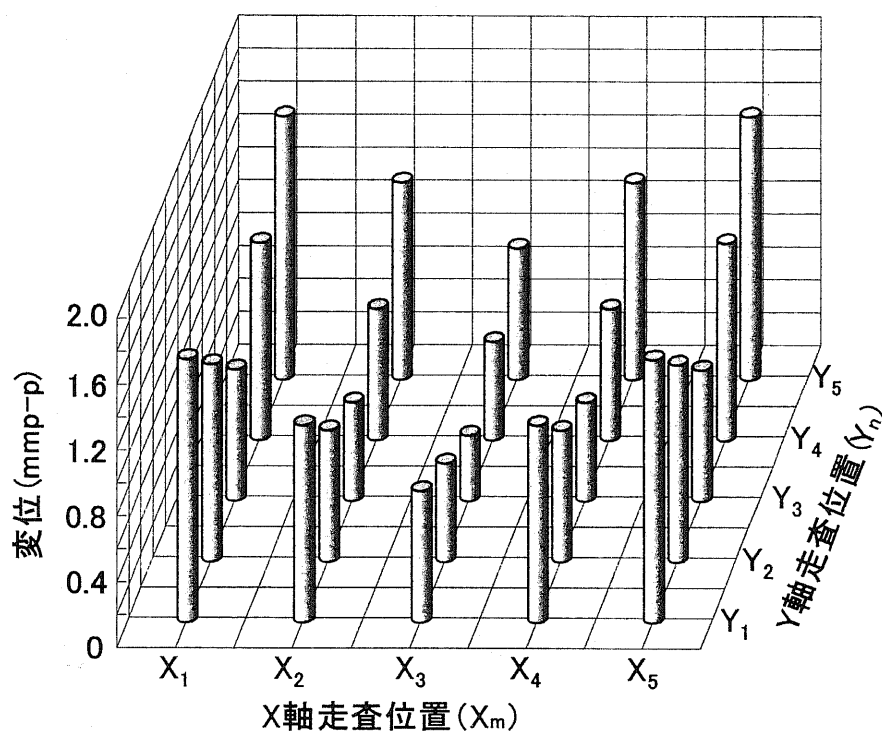


図4. 13 試験室内PCのメモリに記憶されたデータをもとに作図された振動分布

4. 2 データ収集・伝送システムの温湿度試験への応用

温湿度試験では、まず、熱衝撃試験において、被試験機器を入れた試験槽内の雰囲気温度と被試験機器の温度とを同時に測定する。次に、試験槽に被試験機器を入れた状態で試験槽の温度をゆっくり上昇させ、被試験機器の2カ所の温度を測定しながら、被試験機器の動作状態を収集する自動化試験を行う。

4.2.1 温湿度サイクル試験と熱衝撃試験

温湿度試験は、温湿度サイクル試験と熱衝撃（サーマルショック）試験とに大別される。温湿度サイクル試験とは、比較的緩やかに変化する温度、及び湿度を被試験機器に与える試験であり、熱衝撃試験とは、低温と高温の2値条件で急激に変化する温度を被試験機器に与える試験である⁽¹²⁾。

4.2.2 温湿度試験器の構成と動作

図4. 14に、試験で使用した温湿度試験器の構成を示す。この温湿度試験器は、高温蓄熱槽、試験槽、及び低温蓄熱槽で構成され、高温蓄熱槽と試験槽との間、及び試験槽と低温蓄熱槽との間には、それぞれダンパーが設けられている。高温蓄熱槽には加熱器と補助冷却器が内蔵され、低温蓄熱槽には冷却器が内蔵されている。それぞれの槽の動作は、測定室に設置されている温湿度制御器により制御される。

温湿度サイクル試験では、高温蓄熱槽と試験槽を使用し、それらの間のダンパーは開放の状態で行う。一方、熱衝撃試験では、高温蓄熱槽、試験槽、及び低温蓄熱槽を使用し、2つのダンパーを交互に開け閉めすることによって、試験槽内の温度を急激に変化させる⁽¹³⁾。

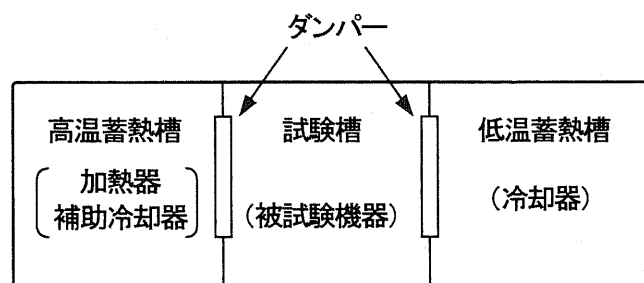


図4. 14 使用した温湿度試験器の構成

4.2.3 温度センサと試験室内データ収集システムの選択

一般に、温度測定には、白金抵抗、熱電対、サーミスタ、及び半導体センサなどの接触式センサが使用される。一方、赤外放射温度計などの非接触式センサも希に使用されるが、測定温度が比較的低い場合や、センサと被測定物との間にガラスなどが存在した場合、正確な測定が困難になるという欠点がある⁽¹⁴⁾。

そこで、正確な温度データを収集するため、接触型温度センサと、切換式アナログデータ収集システムを組み合わせることにした。また、試験中、被試験機器の状態を測定する必要があるため、バイナリデータ収集システムも併せて使用した。一方、測定室に設置されるアナログデータ記録・解析器には、アナログ式ペンレコーダを使用した。温度センサには、表4.3に示すような半導体温度センサを使用した。データ収集・伝送システムとセンサの組み合わせを図4.15に示す。

表4.3 使用した半導体温度センサの仕様

測定温度範囲	-25℃～+105℃
出力電流	273 μA (0℃)
電流温度係数	+1 μA/K
直線性誤差	0.15℃ (0～+70℃)
電圧出力(アンプ出力)	-0.2V～+1.0V (-20～+100℃)

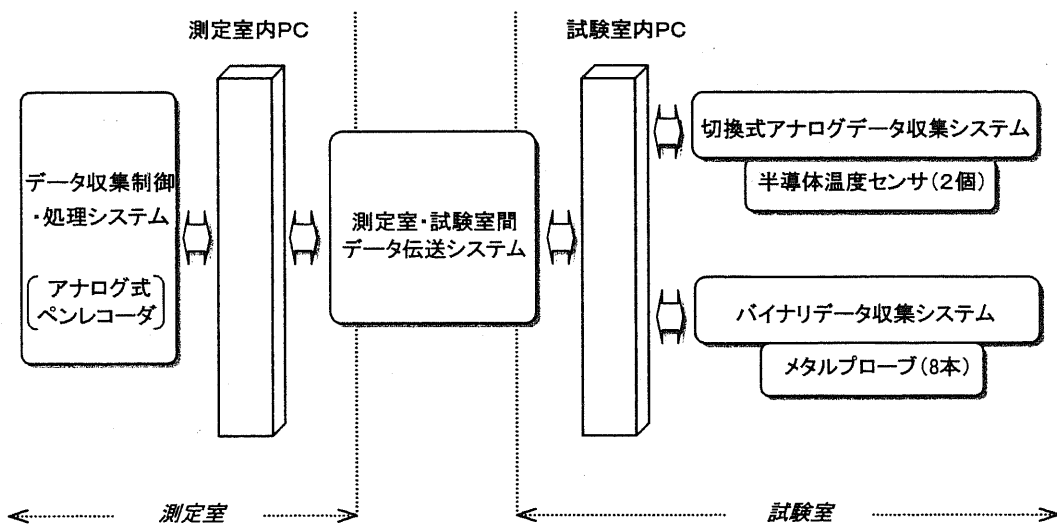


図4.15 温度測定で使用したデータ収集・伝送システムとセンサの組み合わせ

4.2.4 データ収集・伝送システムの設置

図4.16に、試験室に設置されたデータ収集・伝送システムの構成を示す。データ収集・伝送システムのほか、試験室内には、温湿度試験器が設置され、測定室には、温湿度試験器の制御装置が設置されている。

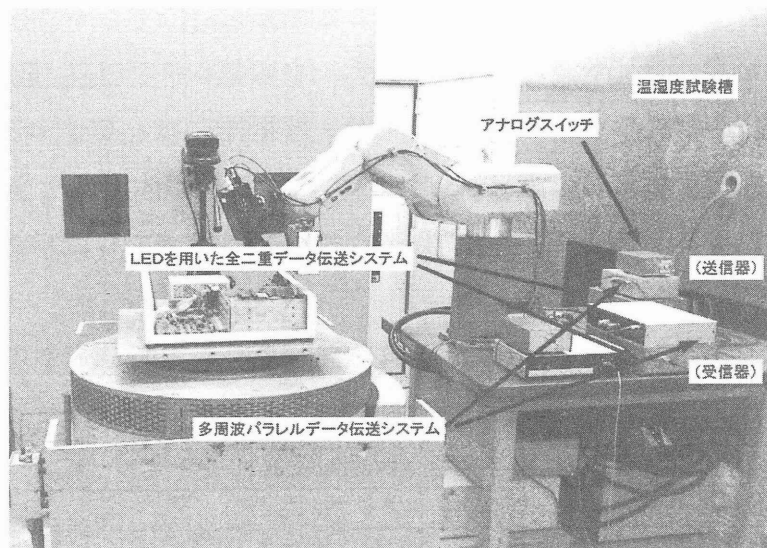


図4.16 試験室に設置されたデータ収集・伝送システムの構成

4.2.5 収集される温度測定データの正確さの評価

温湿度試験器の制御装置は、試験槽内の温度が予め設定された温度になるように制御するため、試験中には試験槽内の温度を常時測定している。そのため、試験槽内の温度データは、試験槽内に設置された温度センサから、厳重なノイズ対策を施されたメタルケーブルによって、温湿度試験器の制御装置へ伝送されている。

温湿度試験において収集される温度データが正確かどうかを評価するとき、その基準となる量として考えられるのは、温湿度試験器の制御装置が測定している温度データである。そこで、試験槽内の温度を -20°C から $+100^{\circ}\text{C}$ まで、毎分 1°C のレートで上昇させた。そのとき、試験槽内で温湿度制御装置が温度を測定しているのと同じ場所に取り付けた温度センサから、データ収集・伝送システムを介して収集された温度デー

タと、温湿度制御装置から得られた温度データとについて、直線性誤差と確度を測定した。なお、温湿度制御装置から得られた温度データの電圧出力は、-20℃から+100℃の温度変化に対して-0.2 Vから+1.2 Vになるように、予め増幅率が調整されている。

温湿度制御装置から得られた温度データと、データ収集・伝送システムから得られた温度データのグラフを図4. 17に、グラフから読みとったそれぞれの温度と、温湿度制御装置から得られた温度を基準としたデータ収集・伝送システムから得られた温度の誤差を表4. 4に示す。

使用した温度制御装置では、設定した温度に対する試験槽内の温度ばらつきは、仕様上±1℃まで許容されている⁽¹³⁾。従って、データ収集・伝送システムから得られた温度データの誤差は制御誤差よりも小さい。そのため、データ収集・伝送システムは、十分な正確さで温度データを伝送していると言える。

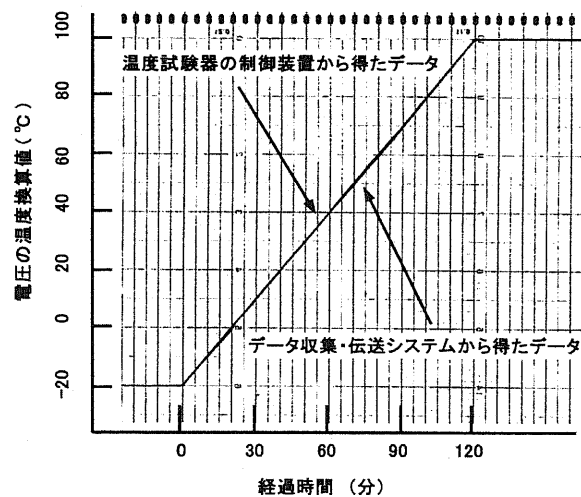


図4. 17 温湿度制御装置から得られた温度データと、データ収集・伝送システムから得られた温度データのグラフ

表4. 4 温湿度制御装置から得られた温度データ及びデータ収集・伝送システムから得られた温度データの読み取り値と誤差 (図4. 17から読み取り)

収集したシステム	温湿度試験器の制御装置	データ収集伝送システム
読み取り温度	100 °C	99.5 °C
温度の測定確度	(基準: 100°C)	-0.5 %

4. 2. 6 熱衝撃試験における雰囲気温度と部品温度の同時測定

試験槽の雰囲気にさらされた温度センサと、試験槽に入れられた被試験機器の部品に取り付けられた温度センサの出力データとを、データ収集・伝送システムを介して収集し、測定室において温度データを記録した。

(a) 試験槽内の雰囲気温度と被試験機器の温度

試験室内の温度は、温湿度試験器の制御装置によって制御されている。

一般に、温湿度サイクル試験では、制御される温度の変化が比較的緩やかであるため、試験槽内に置かれた被試験機器の温度は、制御されている温度（試験槽内の雰囲気温度）と同一と見なすことができる。一方、熱衝撃試験では、制御される温度が急激に変化するため、試験槽内に置かれた被試験機器の温度は、制御された温度とは異なる場合が多い⁽¹⁵⁾。

(b) 雰囲気温度と部品温度の測定

図 4. 1 8 に、試験槽内に置かれた被試験機器と、2つの温度センサの配置を示す。被試験機器として、3個の MOS-FET が実装された放熱板を使用した。1つの温度センサは、試験槽内の雰囲気中にさらし、他のひとつの温度センサは、放熱板に取り付けてある。

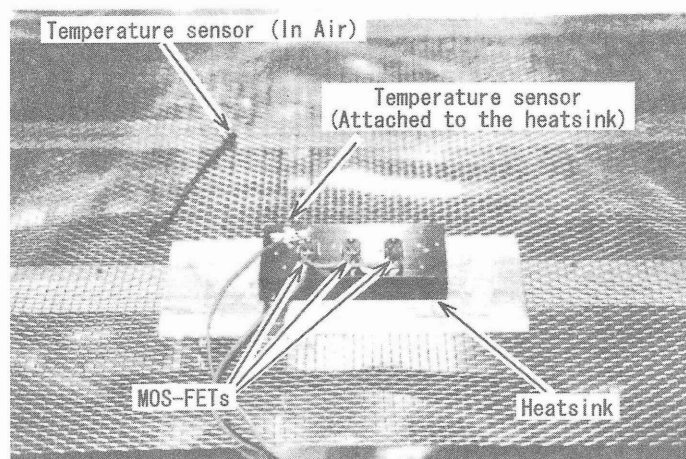


図 4. 1 8 試験槽内に置かれた被試験機器（放熱板）と温度センサの配置

この状態で、試験槽内の温度を -20°C と $+90^{\circ}\text{C}$ の間で、10分ごとに急速に変化させた。そのとき、2つのセンサが出力した温度データをデータ収集・伝送システムを介して収集した。

図4. 19に、収集された温度データの時間変化を示す。放熱板の温度変化が、試験槽内雰囲気温度変化に比べて、遅れているのが分かる。

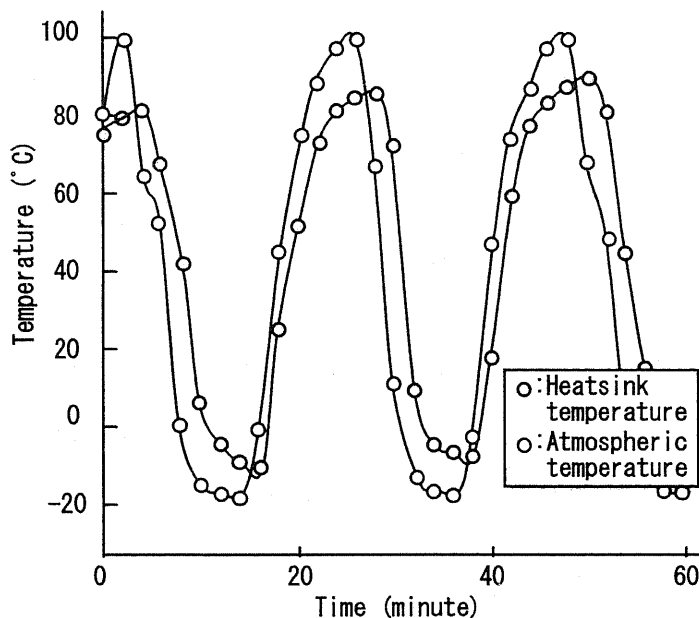


図4. 19 測定された放熱板の温度と雰囲気温度の時間変化

4.2.7 被試験機器の温度及び状態データの自動測定

ノート型パーソナルコンピュータ（ノートPC）を被試験機器として、その2つの部品の温度と、動作状態を示したプリンタポートからのバイナリ出力データとを自動測定した。ノートPCは、試験中、プリンタポートから16進表記で“AA”のデータを常時出力するようにした。一方、測定室内PCには、2つの温度データと、ノートPCがプリンタポートから出力する8ビットのバイナリデータとを、1分ごとに収集するような自動測定プログラムを予め内蔵しておいた。

(a) 保管時許容温湿度範囲と使用時許容温湿度範囲

機器が保管されている状態での許容温湿度範囲（保管時許容温湿度範囲）と、機器が使用されている状態での許容温湿度範囲（使用時許容温湿度範囲）は異なり、一般に、保管時許容温湿度範囲の方が、使用時許容温湿度範囲を含み、広い範囲で規定されている。

温湿度試験における被試験機器が電子機器などの場合、保管時を想定した試験では、電子機器の電源を切った状態で、使用時を想定した試験では、電子機器に通電した状態で試験が行われる。一方、被試験機器が機械装置の場合、保管時を想定した試験では、静置状態で、使用時を想定した試験では、振動試験との複合試験が行われる。

被試験機器としたノート型パーソナルコンピュータでは、使用時に許容される温度範囲が+10°Cから+35°C、湿度範囲が20 %から80 %と仕様上で規定されている⁽¹⁶⁾。

(b) 部品温度データと状態データの自動測定

図4.20に、温度試験槽内に置かれたノートPCと、2つの温度センサの配置を示す。1つの温度センサは、液晶パネルに取り付け、他のひとつの温度センサは、バッテリー電源に取り付けてある。ノートPCは、バッテリーで駆動され、プリンタ用パラレルポートから16進表記で“AA”のデータを常時出力するように設定されている。

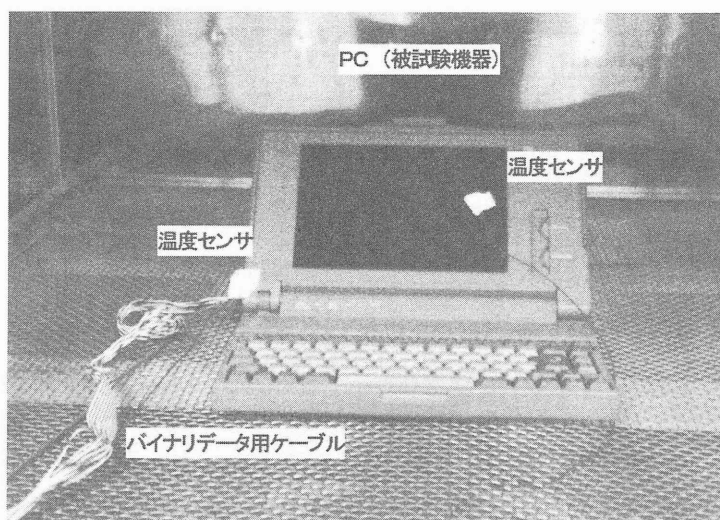


図4.20 温度試験槽内に置かれた被試験機器（ノートPC）と温度センサの配置

この状態で、試験槽内の温度を+10℃から+50℃へ、毎分1℃のレートで上昇させた。このとき、測定室内PCに内蔵された自動測定プログラムを実行することにより、2つの温度データと8ビットのバイナリデータとを5分ごとに収集した。

図4. 21に、測定室内PCに内蔵された自動測定プログラムの概要と、測定室内PCのメモリに記憶された、2カ所の温度と状態データの記録フォーマットを示す。

試験室内PCのメモリに記憶されたデータをもとに作成した、測定の結果を図4. 22に示す。試験中、少なくとも被試験機器への電源供給は正常に機能しており、プリンタポートへの出力プログラムも正常に動作していたことが分かる。

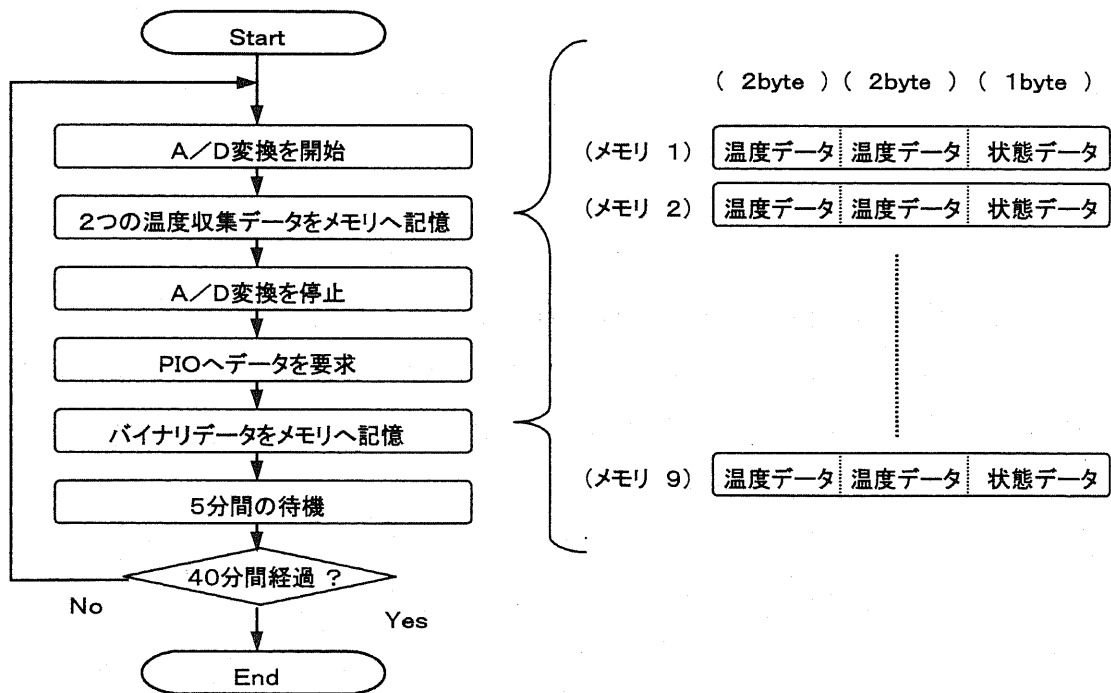


図4. 21 測定室内PCに内蔵された温度・状態自動測定プログラムの概要と、測定データの記録フォーマット

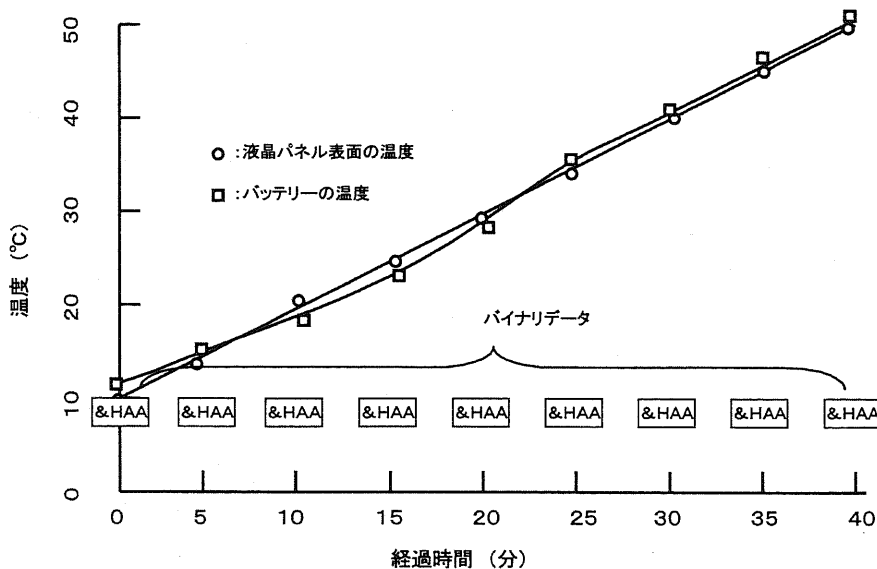


図4. 22 部品の温度変化と、収集した状態データ

4. 3 自動化試験及び測定データ処理のネットワーク化への対応

本研究のデータ収集・伝送システムは、既存の試験システムで実施される環境試験を、試験者の安全性と測定データの信頼性を確保しながら、効率的に実施できるようにする目的で構成してきた。

構成したデータ収集・伝送システムでは、これらの目的に加えて、測定データの収集・処理の統合化と自動化を図るため、測定データ、及び測定データの収集・伝送に必要な全ての試験データを、試験室内PC及び測定室内PCを介して伝送している。そのため、このデータ収集・伝送システムは、既存の試験システムや構内LANと容易に接続することが可能である。

そこで、データ収集・伝送システムと既存の試験システムを接続して行う自動化試験や、構内LANと接続して行う測定データ処理のネットワーク化について提案し、データ収集・伝送システムと既存の試験システム、及びデータ収集・伝送システムと構内LANを接続するために使用可能なインターフェースについて記述する。

4.3.1 既存の試験システムとの接続による自動化試験

既存のほとんどの環境試験システムには、外部から試験条件を設定したり、試験システムが測定・収集している測定データ（試験システムが制御している環境条件の厳しさの程度）を外部の測定器に記録するために、GPIB インターフェースが設備されている。一方、構築したデータ収集・伝送システムにも、収集・伝送された測定データをデータ記録・解析器へ送るため、かつ、それらのデータ記録・解析器を制御するために、試験室内PCにGPIB インタフェースを設備している。

従って、この GPIB インタフェースを介して、既存の環境試験システムと本研究で構成したデータ収集・伝送システムを接続することにより、図4.23に示すような、自動化環境試験システムを構築することができる。この自動化環境試験システムには、次のような機能を持たせることが可能である。

- (1) 試験中の被試験機器の状態を常時監視し、被試験機器の状態によって試験条件を自動的に変更する。
- (2) 被試験機器の搬送装置、及び保持装置と組みあわせて、異なる被試験機器を順次に連続して試験する。

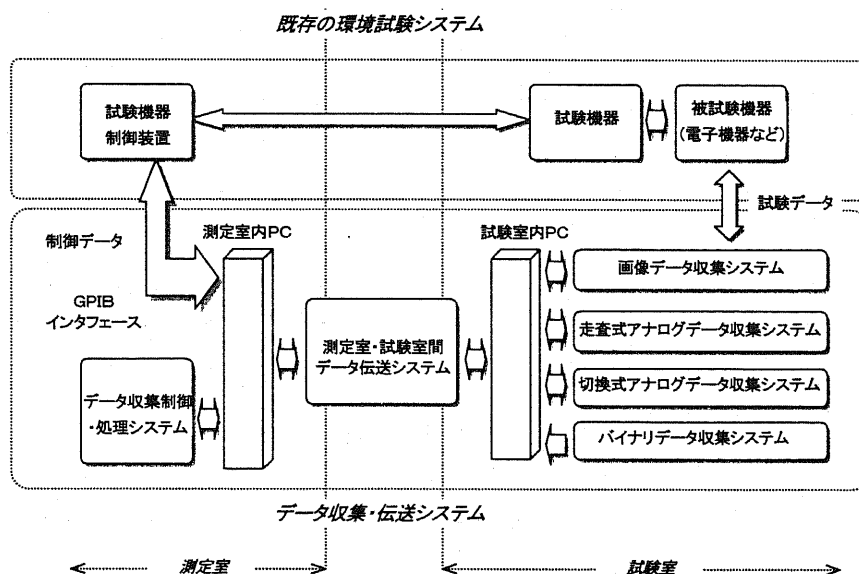


図4.23 提案する自動化環境試験システムの構成

4.3.2 測定データ処理のネットワーク化

構成したデータ収集・伝送システムでは、アナログ測定データを A/D 変換することによりデジタル化した上で、試験室内PCからの測定室内PCへ伝送している。

そのため、測定室内PCを、構内LANに接続されたひとつの端末として機能させることにより、測定室内PCで収集した測定データを、他の端末（統合処理PC）で処理することができる。このとき、測定室内PCのインタフェースとして、TCP/IP プロトコル、及び IEEE802.3 規格の伝送路に対応したLANアダプタが必要となる。提案する測定データ処理のネットワーク構成を図4.24に示す。

測定データ処理をネットワーク化した場合、次のような利点が生ずる。

- (1) ある被試験機器に対して試験中であっても、すでに終了している被試験機器の測定データを処理することができる。
- (2) ひとつの被試験機器に対して行われた複数の環境試験結果を統合化して処理することができる。
- (3) 試験結果を試験依頼者に伝送することができる。

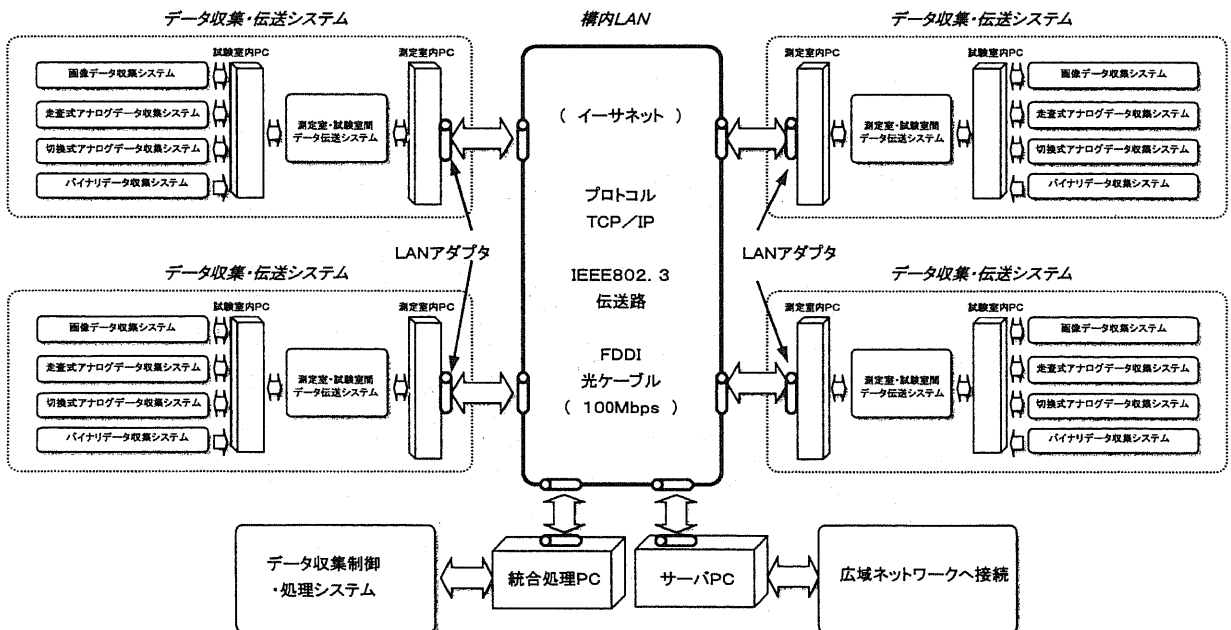


図4.24 提案する測定データ処理のネットワーク構成

4.4 まとめ

構成したデータ収集・伝送システムを、専用の試験室で実施される振動試験と温湿度試験へ実際に応用した。

それぞれの試験では、まず、データ収集・伝送システムを介して収集された測定データが正確であることを確認した。次に、試験者が測定室内PCを操作しながら測定データを収集する試験と、測定室内PCに内蔵されたプログラムに従って自動的に測定データを収集する試験を行った。その結果、本研究で構成したデータ収集・伝送システムを利用することによって、試験者の安全性と試験データの信頼性を確保しながら、これらの環境試験を効率良く実施できることが確認できた。

更に、データ収集・伝送システムを利用した自動化試験の提案と、データ収集・伝送システムのネットワーク化への対応について記述した。

<第4章参考文献>

- (1) JIS C 0010「環境試験方法（電気・電子）通則」
- (2) 神谷真好・池田弘明：「LEDアッセンブリとカラーセンサアッセンブリによる二信号同時伝送とその振動計測応用」電気学会論文誌, Vol.116-C, No.7, pp.865-872, 1996.
- (3) M.Kamiya and H.Ikeda : "Transmission of Both Forced and Natural Vibration Data Using Optical WDM Signal Transmission System", IEEE Proceedings of IAS'96, Vol.3, pp1645-1652, (1996)
- (4) 神谷真好, 池田弘明, 篠原茂信, 吉田博文, "振動試験におけるセンサ位置制御信号と振動データとの同時双方向光ファイバ伝送", 日本信頼性学会誌, Vol.20, No.2, pp.193-199, (March 1998).
- (5) 神谷真好, 篠原茂信, 吉田博文, "振動・衝撃試験におけるモニタ画像信号、センサ位置制御データ、及び計測データの光ファイバ伝送", 静岡大学大学院電子科学研究科研究報告, No.19, pp.163-169, (March 1998).
- (6) 「光学式変位センサ仕様書」, オムロン(株), (1995).
- (7) M.Kamiya and H.Ikeda : "Simultaneous Transmission of Vibration Sensor Position Control Data and Measured Vibration Data in Opposite Directions Through Single Plastic Optical Fiber", IEEE Proceedings of ETFA'96, Vol.1, pp82-86, (1996)
- (8) M.Kamiya, H.Ikeda, S.Shinohara, and H.Yoshida : "Bidirectional transmission of Analog/Digital data and Video Signal via Optical Fiber for Use in Reliability Test", IEEE Proceedings of IECON'97, Vol.3, pp1192-1197, (1997)
- (9) 「振動試験機仕様書」, エミック(株), (1994).
- (10) 神谷真好・池田弘明・篠原茂信・吉田博文:「振動試験におけるセンサ位置制御信号と振動データとの同時双方向光ファイバ伝送」, 信頼性・保全性シンポジウム発表報文集, pp.161-166, (1997)
- (11) 神谷真好, 池田弘明, 篠原茂信, 吉田博文, "レーザダイオードを用いた単一光ファイバによる同時双方向信号伝送とその振動測定への応用", 電気学会論文誌, Vol.118-C, No.6, pp.933-940, (June 1998).
- (12) M.Kamiya, Y.Hamamatsu, H.Ikeda, S.Shinohara, and H.Yoshida : "Temperature Data Transmission via Plastic optical Fiber in Environmental Test Setup", IEEE Proceedings of

ISIE'97, Vol.3, pp972-977, (1997)

- (13) 「熱衝撃試験器仕様書」, エミック(株), (1994).
- (14) 森村正直・山崎弘郎: "センサ工学", 朝倉書店, pp.383-400, (1982)
- (15) M.Kamiya and H.Ikeda : "New Type of Optical WDM Signal Transmission System and Its Application", IEEE Proceedings of ISIE'95, Vol.1, pp157-160, (1995)
- (16) 「P C 9 8 0 1 N取扱説明書」, 日本電気(株), (1990).

第5章 結論

5.1 本論文のまとめ

本論文は、専用の試験室で行われる環境試験を、試験者の安全性と試験データの信頼性を確保しながら効率良く実施するために構成された、新しい環境試験データ収集・伝送システムについて記述したものである。構成された環境試験データ収集・伝送システムでは、本研究で新たに提案された複数の光ファイバ多重伝送システムが、試験データの伝送に使用されている。

本論文は5章から成る。各章で記述した内容は以下のとおりである。

第1章は序論であり、まず、環境試験システムと光ファイバ伝送システムについて、それぞれの現状を記述した。次に、主に試験者の安全性、試験データの伝送信頼性、及び試験の作業効率の観点から現状のシステムの問題点を指摘し、本研究の背景と必要性を明確にした。

第2章では、まず、環境試験において使用されるセンサや収集・伝送される試験データについてまとめ、データ収集・伝送システムに要求される機能を検討した。次に、それらの機能を具備したデータ収集・伝送システムの概要を提案し、4種類の試験室内データ収集システム、試験室・測定室間データ伝送システム、及び測定室内データ収集制御・処理システムから成るデータ収集・伝送システムを構成した。最後に、データ収集・伝送システムの主要な構成要素である複数の光ファイバ伝送システムに要求される伝送性能を決定した。

第3章では、まず、データ収集・伝送システムから要求された伝送性能にもとづいて、各光ファイバ伝送システムの基本構成要素の組み合わせと変調方式を検討し、いずれも1本の光ファイバを伝送路とする、3種類のプラスチック光ファイバ伝送システムと1種類のG I形光ファイバ伝送システムを構成した。次に、各光ファイバ伝送システムの伝送性能を測定し、いずれの光ファイバ伝送システムも、データ収集・伝送システムから要求されている伝送性能を満足していることを確認した。ここで、3種類のプラスチック光ファイバ伝送システムは、それぞれ走査式非接触アナログセンサ、8個の接触式アナログセンサ、及び8個の接触式バイナリセンサから出力された測定データを、各センサの出力端子からG I形光ファイバ伝送システムの試験室端へ

伝送するシステムである。一方、G I 形光ファイバ伝送システムは、センサの走査や切換を行うための制御データを測定室から試験室へ、また、被試験機器を映した動画データ、及び3種類のプラスチック光ファイバ伝送システムから受け取った測定データを試験室から測定室へ、それぞれ同時に伝送するシステムである。

第4章では、構成したデータ収集・伝送システムを、専用の試験室で実施される振動試験と温湿度試験へ実際に応用した。それぞれの試験では、まず、データ収集・伝送システムを介して収集された測定データが正確であることを確認した。次に、試験者が測定室内PCを操作しながら測定データを収集する試験と、測定室内PCに内蔵されたプログラムに従って自動的に測定データを収集する試験を行った。その結果、本研究で構成したデータ収集・伝送システムを利用することによって、試験者の安全性と試験データの信頼性を確保しながら、これらの環境試験を効率良く実施できることが確認できた。この章では更に、データ収集・伝送システムを利用した自動化試験の提案や、データ収集・伝送システムのネットワーク化への対応について記述した。

第5章は結論であり、本研究の内容と成果をまとめた。更に、本文中では直接触れなかった、環境試験データ収集・伝送システムを電磁波試験や静電気試験へ応用展開することについて提案した。

以上のように、本研究では、専用の試験室の中で被試験機器に対して厳しい環境条件を与えて行われる、いわゆる環境耐性試験を対象として、それらの試験で共通して使用することのできる環境試験データ収集・伝送システムの構築を行った。

本研究の成果は、測定室の試験者あるいはコンピュータが、試験室内に設置された被試験機器の状態を常時監視しながらセンサの走査や切換を制御することにより、専用の試験室で行われる環境試験を安全に効率良く行うことを可能とした。

5.2 構成したデータ収集・伝送システムの特徴

本研究で提案・構成した環境試験データ収集・伝送システムは、従来の環境試験システムを次のような面で改善することができる。

(1) 試験者の安全性と快適性の向上

データ伝送・収集システムを使用して、全ての試験データを試験室と測定室との間で伝送することができる。その結果、試験を実施している間、試験者が試験室の中に入らなくても、環境試験を実施するために必要な一連の作業を、試験者が一括して測

定室において行うことができるようになった。従って、試験者の安全性や快適性を向上させることができた。

(2) 伝送される試験データの信頼性の向上

データ伝送・収集システムでは、強い電磁界ノイズの存在する試験室内において、カメラを除く全てのセンサ出力データを、それぞれのセンサからパーソナルコンピュータ（PC）へ光ファイバ伝送しているため、試験室内の強い電磁界ノイズから伝送される試験データの信頼性を確保することができた。また、伝送距離が長くなることが想定される試験室と測定室との間では、画像データを含めた全ての試験データを双方向に光ファイバ伝送することで、伝送される試験データの信頼性を確保した。

(3) 測定データの収集・処理の効率化

構成したデータ収集・伝送システムを使用して、複数のセンサを切り換えたり、ひとつのセンサを走査することにより、複数の環境条件の厳しさや被試験試料の状態を効率よく収集することができるようになった。また、試験室内に複数のビデオカメラを配置して、被試験試料の状態データやセンサの走査位置データを多方向から視覚的に収集することができるようになった。

(4) データ収集・伝送システムの汎用性の向上

専用の試験室で実施される各環境試験で共通して使用できるようなデータ収集・伝送システムを構成した。すなわち、構成したデータ収集・伝送システムは、アナログ出力型やバイナリ出力型のセンサ、及び接触式や非接触式のセンサのいずれにも対応できる。そのため、各環境試験において使用される異なるセンサの出力データ（測定データ）を収集・伝送することができるようになり、汎用性が向上した。

(5) データ収集・処理の統合化と自動化

データ収集・処理が統合化され、自動化が容易なデータ収集・伝送システムを構成した。すなわち、全ての試験データを、試験室内及び測定室内に設置されたPCを経由して伝送しているため、試験データは測定室内のPCに統合化される。更に、測定室内のPCを使用して試験機器を制御することにより、試験の自動化を容易にした。

5.3 電磁波試験と静電気試験への応用展開

振動試験や温湿度試験のみならず、電磁波試験や静電気試験も、提案・構成したデータ収集・伝送システムを使用することにより、試験者の安全性と試験データの信頼

性を確保しながら効率良く実施することができる。

5.3.1 データ収集・伝送システムの電磁波試験への応用展開

電磁波試験では、固定されたアンテナから被試験機器に向けて、強電磁界を放射する。被試験機器は、木製のターンテーブル上に設置され、ターンテーブルを回転させることにより、被試験機器への電磁界放射面を変える。

試験室内の器具や機器の配置を変更した場合、試験室内の電界強度分布に影響を及ぼす。そのため、試験を始める前に、アンテナからの放射強度を調整することにより、ターンテーブルの位置における電界強度を校正する必要がある。電界の強さを測定するのに、一般には、ダイポールアンテナを内蔵した非接触の電界強度計が使用される。更に、電界の強度分布を同時に測定するためには、複数の電界強度計が使用される。

そこで、電界強度データを効率よく収集するためには、複数の電界強度計とセンサ切換式アナログデータ収集システムを組み合わせて使用することが適当である。また、画像データ収集システム、及びバイナリデータ収集システムを併せて使用すれば、試験中、被試験機器の動作状態を把握することができる。

図5.1に、電磁波試験で使用するのに適当なデータ収集・伝送システムの構成を示す。

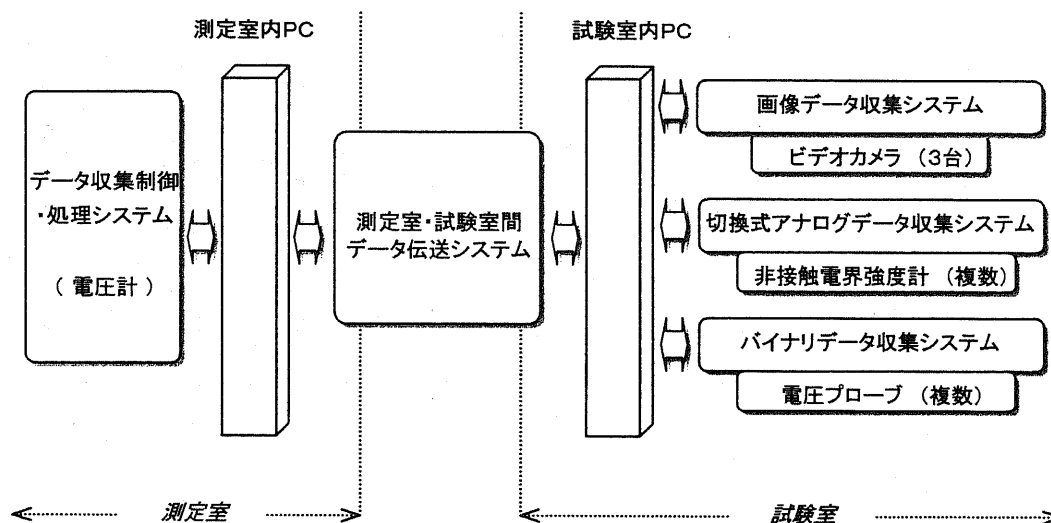


図5.1 電磁波試験で使用するのに適当なデータ収集・伝送システムの構成

5.3.2 データ収集・伝送システムの静電気試験への応用展開

静電気試験では、被試験機器の表面に露出した導電性部品（部分）に、高い直流電圧を印加したプローブを接触（接触放電）させたり、あるいは近づけて放電（気中放電）する。次に、同じプローブを使用して試料に帯電した静電気を除電した後、試料の電気的機能検査を行う。すなわち、印加プローブは除電プローブとしても使用する。複数の部品に対して試験を行う場合、これらの作業を繰り返して行う。また、被試験機器上の複数点の帯電圧を測定しながら試験が行われる。帯電圧を測定するセンサとして、入力抵抗、及び入力耐圧の高いFET入力アンプが一般に使用される。

そこで、効率よく安全に静電気試験の作業を進めるため、図5.2に示すようなデータ収集・伝送システムの組み合わせ構成を提案する。すなわち、走査式アナログデータ収集システムのロボットのアーム先端に印加/除電プローブを保持させる。試験者は、測定室において被試験機器の画像を見ながらロボットを操作し、放電対象部品にプローブを接触または近づける。被試験機器各部の帯電圧の測定は、予め複数の接触式FET入力アンプを被試験機器の各部に取り付けておき、センサ切換式アナログデータ収集システムを介して行う。更に、試験中の被試験機器の状態データは、バイナリデータ収集システムを介して測定する。

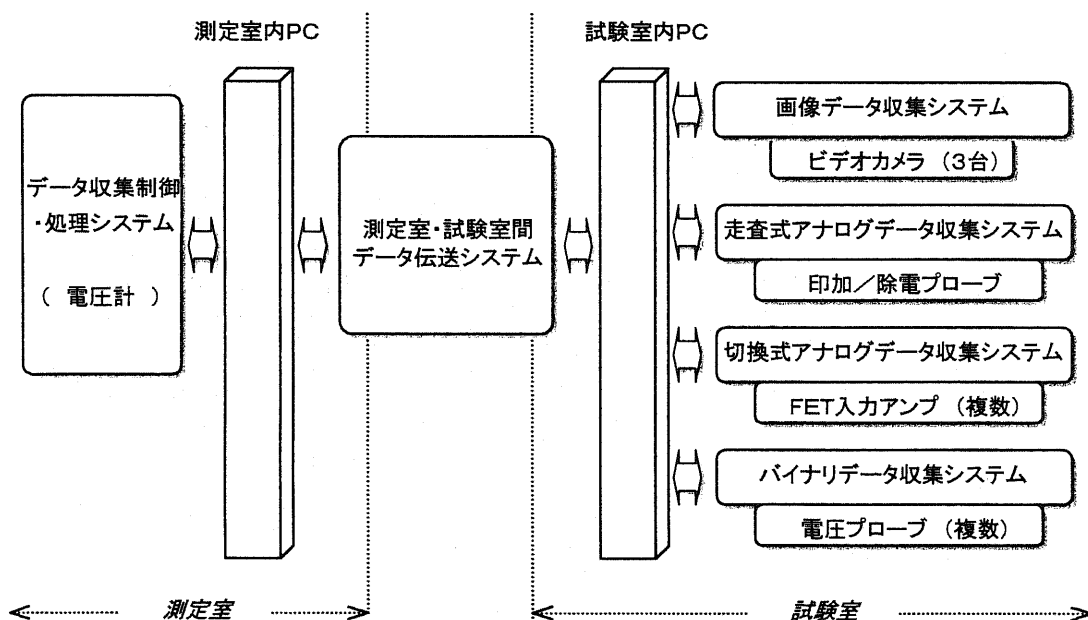


図5.2 静電気試験で使用するのに適当なデータ収集・伝送システムの構成

本研究に関する発表論文等

A. 論文および国際会議

- (1) **Masayoshi Kamiya** and Hiroaki Ikeda, "New Type of Wavelength Division Multiplexed Signal Transmission by Use of Crosstalk Elimination Circuit", in *Proceedings of IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (IMTC) '94*, Vol.3, pp.1091-1094, (May 1994).
- (2) **Masayoshi Kamiya** and Hiroaki Ikeda, "New Type of Optical WDM Signal Transmission System and Its Application", in *Proceedings of IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE) '95*, Vol.1, No.S2.4, pp.157-160, (July 1995).
- (3) **Masayoshi Kamiya**, Hiroaki Ikeda, Hiroyasu Atsumi, and Shingo Kato, "Optical Fiber Signal Transmission System Having Reference Light Transmission Capability", in *IEE of Japan Industrial Application Society National Convention Record (JIASC) '95*, Vol.2, No.IE-2, pp.E7-E12, (Aug.1995).
- (4) 神谷真好, 池田弘明, "LEDアセンブリとカラーセンサアセンブリによる二信号同時伝送とその振動計測応用", *電気学会論文誌*, Vol.116-C, No.7, pp.865-872, (July 1996).
- (5) **Masayoshi Kamiya** and Hiroaki Ikeda, "Transmission of Both Forced and Natural Vibration Data Using Optical WDM Signal Transmission System", in *Conference Record of IEEE Industrial Application Society 31st Annual Meeting (IAS) '96*, Vol.3, pp.1645-1652, (Oct.1996).
- (6) **Masayoshi Kamiya** and Hiroaki Ikeda, "Simultaneous Transmission of Vibration Sensor Position Control Data and Measured Vibration Data in Opposite Directions Through Single Plastic Optical Fiber", in *Proceedings of IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA) '96*, Vol.1, pp.82-86, (Nov.1996).
- (7) **Masayoshi Kamiya** and Hiroaki Ikeda, "Measurement of Dimensions Using Robot Constructed Utilizing Optical Fiber Signal Transmission System Having Reference Capability", in *Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT) '96*, pp.204-208, (Dec.1996).

- (8) 神谷真好, 池田弘明, "参照光伝送機能付き光ファイバ信号伝送方式を利用したロボットによる寸法測定", *電気学会論文誌*, Vol.117-D, No.2, pp.221-230, (Feb.1997).
- (9) 神谷真好, 池田弘明, 篠原茂信, 吉田博文, "振動試験におけるセンサ位置制御信号と振動データとの同時双方向光ファイバ伝送", *日本科学技術連盟信頼性・保全性シンポジウム発表報文集*, pp.161-166, (July 1997).
- (10) **Masayoshi Kamiya**, Yuji Hamamatsu, Hiroaki Ikeda, Shigenobu Shinohara, and Hirofumi Yoshida, "Temperature Data Transmission via Plastic Optical Fiber in Environmental Test Setup", in *Proceedings of IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE) '97*, Vol.3, pp.972-977, (July 1997).
- (11) **Masayoshi Kamiya**, Hiroaki Ikeda, Shigenobu Shinohara, and Hirofumi Yoshida, "Bi-directional Transmission of Analog/Digital Data and Video Signal via Optical Fiber for Use in Reliability Test", in *Proceedings of IEEE 23rd International Conference on Industrial Electronics, Control, and Instrumentation (IECON) '97*, Vol.3, pp.1192-1197, (Nov. 1997).
- (12) 神谷真好, 池田弘明, 篠原茂信, 吉田博文, "振動試験におけるセンサ位置制御信号と振動データとの同時双方向光ファイバ伝送", *日本信頼性学会誌*, Vol.20, No.2, pp.193-199, (March 1998).
- (13) 神谷真好, 篠原茂信, 吉田博文, "振動・衝撃試験におけるモニタ画像信号、センサ位置制御データ、及び計測データの光ファイバ伝送", *静岡大学大学院電子科学研究科研究報告*, No.19, pp.163-169, (March 1998).
- (14) 神谷真好, 池田弘明, 篠原茂信, 吉田博文, "レーザダイオードを用いた単一光ファイバによる同時双方向信号伝送とその振動測定への応用", *電気学会論文誌*, Vol.118-C, No.6, pp.933-940, (June 1998).
- (15) **Masayoshi Kamiya**, Hiroaki Ikeda, Shigenobu Shinohara, and Hirofumi Yoshida, "Data Collection and Transmission System for Vibration Test", in *Proceedings of IEEE Industrial Application Society 32nd Annual Meeting (IAS) '98*, Vol.3, pp.1679-1685, (Oct. 1998).
- (16) **Masayoshi Kamiya**, Yuying Wu, Hiroaki Ikeda, and Shigenobu Shinohara, "Improved Multifrequency Parallel Data Transmission System Utilizing ASK and AM Schemes", *電気学会論文誌*, Vol.119-C, No.11, (November 1999). (Accepted).

B. その他の論文

- (1) Masayoshi Kamiya, Hiroaki Ikeda, and Shigenobu Shinohara, "Wavelength-Division-Multiplexed Analog Data Transmission Through Plastic Optical Fiber for Use in Factory Communications", *IEEE Transactions on Industrial*. (Submitted on Dec. 1998)
- (2) Masayoshi Kamiya, Hiroaki Ikeda, and Shigenobu Shinohara, "Full-Duplex Analog/Digital Data Transmission Using Semiconductor Lasers Coupled to GI Optical Fiber and Its Application to Vibration Test Data Transmission", *Wiley International Journal of Communication Systems*. (Submitted on January 1999)
- (3) Masayoshi Kamiya, Hiroaki Ikeda, and Shigenobu Shinohara, "Analog Data Transmission Through Plastic Optical Fiber in Robot", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. (Submitted on April 1999)
- (4) Masayoshi Kamiya, Yuying Wu, Hiroaki Ikeda, and Shigenobu Shinohara, "Multifrequency Optical Fiber Data Transmission Using ASK and AM Schemes and Its Application to Temperature Data Acquisition in Factory", *Wiley International Journal of Communication Systems*. (Submitted on May 1999)

C. 口頭発表など

- (1) 神谷真好, 池田弘明, "波長分割多重信号伝送方式における可視光センサの受信クロストーク除去", *電気学会産業応用部門全国大会講演論文集*, No.164, pp.691-694, (Aug. 1993).
- (2) 神谷真好, 池田弘明, 渥美博安, 加藤信吾, "参照光伝送機能を有する光ファイバ信号伝送方式", *電気学会産業応用部門全国大会講演論文集*, No.298, pp.1264-1267, (Aug. 1994).
- (3) 神谷真好, 池田弘明, "モニタPD内蔵形LDを用いた全二重光信号伝送方式の検討", *電気学会全国大会講演論文集*, Vol.3, No.545, pp.30-31, (March 1995).

謝 辞

最初に、大学院博士課程入学以前より長期間にわたり研究や論文執筆のご指導をいただき、博士課程において本研究を行う機会を与えてくださいました池田弘明元教授、ならびに大学院博士課程での指導教官であり、本研究の細部にわたりご指導とご鞭撻を賜りました篠原茂信教授のお二方に心から感謝申し上げます。

また、多忙な時期にも関わらず本論文を査読していただき、多くの貴重なご指摘を賜りました大坪順次教授、浅井秀樹教授、竹前 忠 教授、ならびに渡辺健蔵教授に深く感謝申し上げます。

更に、装置の性能測定にあたってご指導をいただきました吉田博文技官、及び事務処理の面倒をお掛け致しました澤木年子元教務員に感謝申し上げます。

今回、社会人学生としての勉学に際し、ご理解とご支援を賜り、かつ、研究を進めるにあたって生じたさまざまな問題を解決していただきました静岡県浜松工業技術センターの松本眞明前所長、守田 孝 元研究技監、矢作充由所長、大石光一部長、ならびに光技術スタッフの皆様に感謝申し上げます。

最後に、研究や実験、論文執筆、学会発表などのため不在になりがちであった家庭において、本人も管理栄養士として働く忙しい身でありながら、私や子供達の面倒を辛抱強く見てきてくれた妻 富子 に、この場を借りて感謝します。

1999年8月