

車載用コンパクトディスクプレーヤ

Compact Disc Player for Automobile

角 南 武⁽¹⁾ 鈴木 隆 夫⁽²⁾ 鈴木 慶 一⁽³⁾
Takeshi Sunami Takao Suzuki Keiichi Suzuki

白 神 正 昭⁽⁴⁾ 川 村 昌 史⁽⁵⁾
Masaaki Shiraga Syoji Kawamura

要 旨

近年の乗用車の居住性は著しくレベルアップされて来ており、それに伴い、車の中でも本物の音を楽しみたいという顧客が増加して来ている。

当社も、これらニーズに対応すべく種々の音質改善プログラムを実行している。本稿では、その内の、代表的な項目として、車載用コンパクトディスクプレーヤについて、主に車に搭載するための技術的課題について紹介する。

コンパクトディスクプレーヤは、57年に高密度記録再生技術の粋を集めたものとして商品化され、現在、アナログプレーヤを凌駕する勢いで普及を始めている。

当社は、車室内音質改善をねらいとして、当初よりトヨタ自動車と共同して、研究開発に着手し、去る58年車載化の見極めをつけ、その後数十台のモニターを実施し、問題点の抽出と対策を行い、リファインに努力してきた結果、本年クラウン車の一部にライン装着される事になったものである。(なお車に装着した、コンパクトディスクプレーヤCD-1100の写真を表紙裏に示す)

The number of users who wish to enjoy true High-Fidelity sound inside the car has obviously increased recently.

This reflects the fact that automobiles are being improved more every day. FUJITSU TEN has been carrying out intensive efforts to improve sound quality and meet the needs of the market.

In this manuscript, we would like to introduce the technological objectives of our new Compact Disc player for the car use, since it is in great demand in today's growing car audio market.

The Compact Disc player was released onto the market in 1982 as a product integrating advanced high-density recording and reproduction technology. The Compact Disc player is now sweeping the audio market, exceeding in sales conventional analog audio systems.

We began to develop our Compact Disc player for the car in order to improve in-car sound quality. We cooperated from the beginning with TOYOTA MOTOR CORPORATION. This year, our first product was released after scores of prototypes had been checked and tested. Our efforts date back to 1983 when our first actual-use sample was developed and employed as factory-installed equipment in the TOYOTA CROWN.

(1)~(3) 開発技術部

(4) 第一機構技術部

(5) 第二機構技術部

1. ま え が き

カーオーディオに要求される特徴として、最近では、特に車の中をコンサートホールにということ、従来の多機能化ニーズに加えて、本物の音を追求する声が高まっている。このようなニーズに対応する当社の基本的な考え方として、2つの基本的な柱、すなわち①音響機器＝音源そのものの高忠実度再生化の推進②車室内音響伝搬特性の改善を中心とした各種プログラムを実行している。

コンパクトディスクプレーヤ（以後CDプレーヤという）は、従来型アナログ再生機に比して、高忠実度再生性能を飛躍的に改良したもので、上記①音源改善に属するものであり、家電業界の生んだ本格的デジタル機器第一号としてこれからのメイン商品として期待されている商品である。因に、ホーム用CDプレーヤの出荷台数は84年の20万台強から85年には、90万台が予測されており、CDソフトも84年の1500万枚から85年は5400万枚と増加している。

1.1 カーオーディオメーカーの取組

ところで、情報伝送メディアとしてのCDは超高密度記録にもかかわらず、外形120φと小型であり、又、再生に光を用い非接触再生が特徴で、レコードよりキズに強い、磨耗がない等本質的に車用に適した面を持ち合わせており、カーオーディオメーカー各社が早くから開発に着手してきたものである。

当社もその中であって、メーカーとしてCDの性能面のすばらしさを早くユーザーに提供すべく検討を進めて来た。しかしながら、ディスクという全く新しいメディア、あるいは先端技術のかたまりである光ピックアップなどを、車という過酷な環境に持ち込んで、なおかつユーザに品質面での迷惑を与えないためには、安易に商品化するものでないと判断し、下記の品質確認方針に基づき

開発をすすめた。

- ① 車載化に必要な技術的課題の解決
- ② 本質的に車載にそぐわない面については、各種環境条件のシミュレーションによる信頼性試験により機能劣化と限界性能の見極めにより、市場での発生率予測対応方針確立
- ③ ベンチ実験室では予測することの出来ない不具合を検出するためのモニターの実施

本開発の過程においては、自動車メーカーと共同で精力的に実験検討を行ってきたが本稿では、①を主体として、②の1面、さらに、対象車をクラウンに絞ったときの車載用として必要な操作特性等についてもふれる。

2. CDプレーヤの概要

2.1 機械的構造

1) 光学ピックアップ

CDプレーヤの心臓部である光学ピックアップの内部構造を図-1、ビット形状とビームスポット

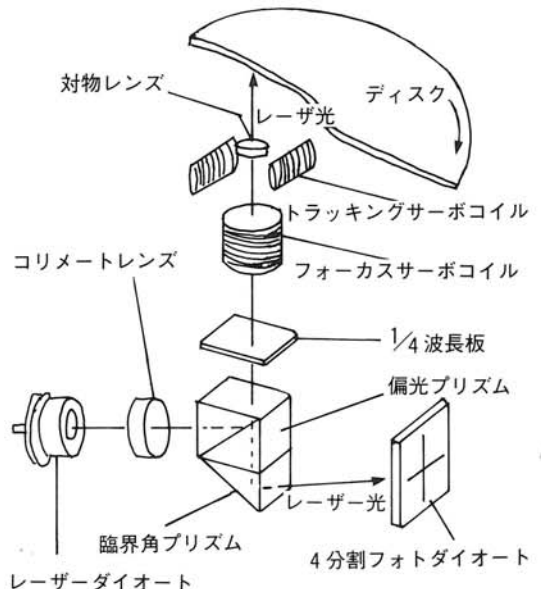


図-1 光学ピックアップ構造

Fig. 1 Structure of optical pick up.

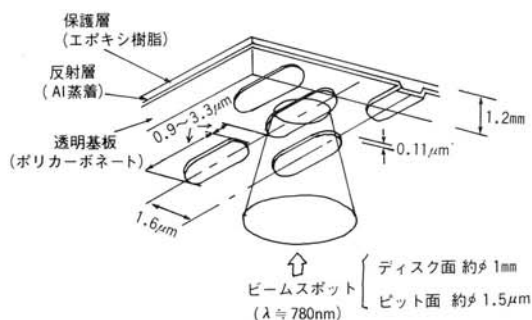


図-2 ピット形状とビームスポット

Fig. 2 Structure of pit and beam spot.

を図-2に示す。図-2に示すように、レーザビームをディスク上の、巾 $0.5\mu\text{m}$ 、ピッチ $1.6\mu\text{m}$ のトラック（ピット）に合焦させ、その反射光をフォトダイオードで電氣量に変換して信号を読み出す。レンズはスピーカのボイスコイルと同じ原理で上下左右に動かすことができ、ディスクの面振れや

偏心に対しては、サーボによって制御しトラックを追従する。

2) ディスク挿排機構

現在では次の2方式が主流となっている。共にモータでディスクを挿排する。

- ① ドロア方式：引出し（ドロア）の上に乗せて挿排
- ② スロットイン方式：スロットに差し込む方式

図-3にドロア方式デッキの外観をしめす。

3) 防振機構

図-3に示すデッキ機構全体、又は、ピックアップやディスクモータを含むデッキ機構の一部を特殊なダンパーゴムで支持し、 $10\sim 30\text{ Hz}$ 以上の振動を吸収してプレーヤの耐振性の向上を図る。

2.2 電氣的構成

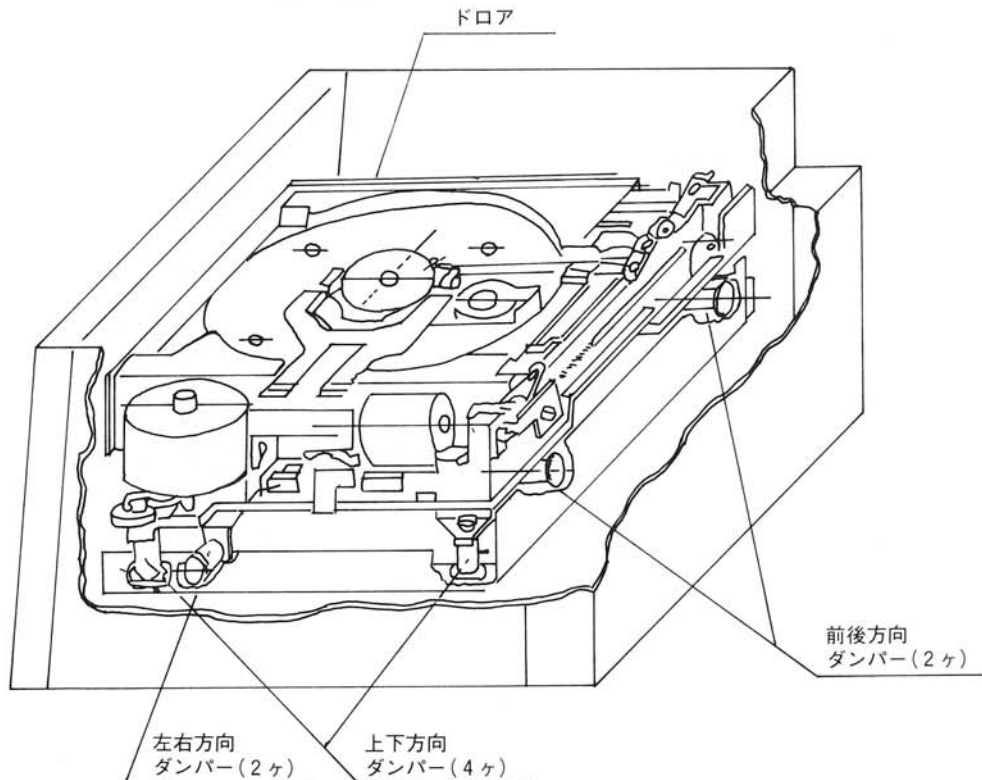


図-3 ドロア方式デッキ機構

Fig. 3 Deck mechanism with drawer loading system.

ブロックダイアグラムを図-4に示す。各ブロックについて以下説明する。

- 1) ヘッドアンプ：DC～1.4 MHzの帯域をもつ数十 μ Aの微少電流を増巾する高帯域アンプ。
- 2) フォーカスサーボ：ディスクから取り出した信号から焦点ずれを検出し、ディスクの面振れや振動に対してレンズを上下に追従制御するサーボ。
- 3) トラッキングサーボ：ディスクから取り出した信号からトラックずれを検出し、ディスクの偏心や振動に対してレンズを左右に追従制御するサーボ。
- 4) フィードサーボ：トラッキングサーボ信号のDC（低域）成分を取り出し、モータを回してピックアップを徐々に搬送するサーボ。
- 5) スピンドルサーボ：ディスクから取り出した信号から、ディスクの回転速度誤差を検出し、回転線速度が一定になるようにディスクモータを駆動制御するサーボ。

回転数は内周で8.6rps、外周で3.3rps。

6) デジタル信号処理

- ①復調：ディスクから取り出した信号はE FMと呼ばれる特殊な変調を行っておりそのルールに従って復調を行う。
- ②エラー訂正：ディスク表面に付いた傷や汚れ、ホコリのため、取り出したデータ発信号にはエラーが生ずるが、このエラーを訂正してデータを復元し、また訂正しきれない場合は、補正して、雑音や音切れにならないように工夫されている。

7) D/A変換：デジタル量（2進数）で表される信号を電圧又は電流に変換して元のオーディオ信号を再生する。

8) システムコントローラ：前面釦の操作に従って、電源のON/OFF、ディスク挿排時のデッキ制御、頭出し時のフィードモータ制御、レンズのトラックジャンプ制御、また演奏曲番号や経過時間の表示などシステム全体の制御を行う。

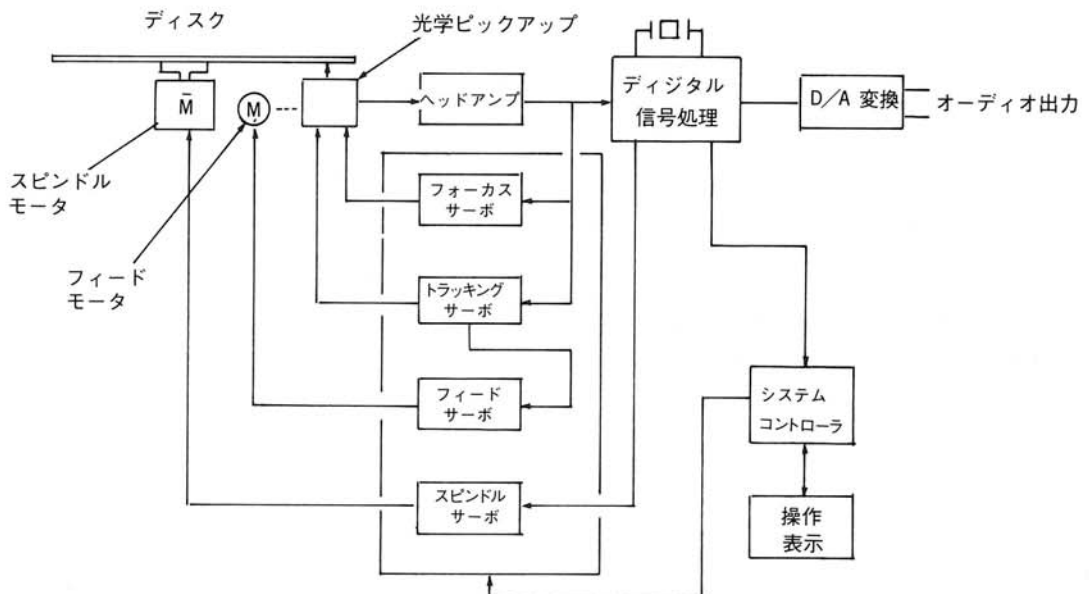


図-4 ブロックダイアグラム（電気系）

Fig. 4 Block diagram.

3. 車載用としての設計の要点

前項でCDプレーヤのメカニズムについて述べてきたが本項では、CDプレーヤを車に搭載するために克服すべき技術的課題についてのべる。

3.1 ね ら い

車載用はもちろんのこと、ホーム用でも市民権を得ていない新メディアであるCDプレーヤを車に持ち込むということで、既存オーディオシステムに対するCDプレーヤの位置づけを明確にする必要があった。

そこで、我々は「車の中に超 HiFi Sound」を合言葉に「従来システム+α機能」という位置づけでシステム構築をはかり、CDプレーヤの市民権育成をねらった。具体的にターゲットをクラウン車に絞り下記項目の検討を進めた。

- ・取付性：インダッシュにおさまる事
サイズ 180W×100H×190D
カセットカーステレオもシステムに含める
- ・操作性：視認性の良い事
- ・信頼性、環境性能（熱、振動、キズ、耐久）
- ・システムのグレードアップ
CDプレーヤの性能を出すための全体のレベルアップ

3.2 車両取付性とサイズ

車システムの中に製品を導入する時、性能のみならず形状・デザイン・操作性・視認性等もふくめて対象車に同化しなければならない。具体的には、外形寸法はクラウンの標準サイズ、つまり2-DINサイズに納める必要がある。また、カーオーディオの機能としてラジオカセットステレオが必須条件となっている現在、これを省くことはできない。そこでCDプレーヤとラジオを一体型とし、2-DINサイズに納める一方カセットステレオはナビゲーションコントロールの設置場所を提

供してもらい、形状をナビゲーションコントロールと同一とした。

次にオーディオアンプのレイアウトであるが、インパネ内の収納場所は一体機とカセットステレオで埋めつくされたため他の場所に設置する必要が生じた。トヨタ自動車の設計部門と検討を重ねた結果、フロントシート下部のスペースが利用でき、ここに収納することとした。

3.3 操 作 性

操作性、更に高級車としてのデザインを考慮し、ラジオとの一体機とし、2-DINサイズを採用した。それに伴い比較的自由度の広い前面パネル内でのスイッチ類および表示部のレイアウトを行った。

まず、操作性に対しては各スイッチの釦を大型化し、運転中の操作を容易にするとともにこの釦の中に各機能を表示し、透過照明により夜間の操作性をも満足させた。

また、音質調整にはアコースティックコントロールを、音場調整にはポジションコントロールを採用し、それぞれ4つのポジションを1つの釦によりサイクリックに切り換え可能とした。これにより、従来、バス、トレブル、バランス、フェーダの4つのツマミにより調整していたものを2つの釦に集約し、運転中の操作性を向上させた。

3.4 耐環境性能

3.4.1 温度性能

1) ディスク温度性能

CDプレーヤを設計する上でディスク自体の温度特性を知ることが必要である

図-5、図-6にディスク外径、ディスク内径の温度変化を示す。

これらの調査結果をふまえた上でディスクに関連する部品とのクリアランス、嵌合部寸法を決定した。

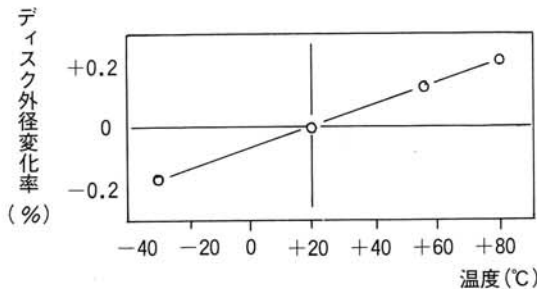


図-5 温度対ディスク外径変化率

Fig. 5 Outer diameter strain v.s. temperature characteristic.

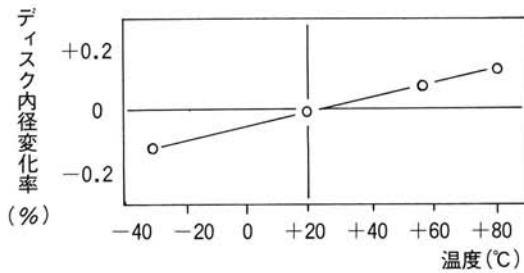


図-6 温度対ディスク内径変化率

Fig. 6 Inner diameter strain v.s. temperature characteristic.

2) デッキメカニズム

本機のデッキメカニズムの特徴の一つとして、主要構成部品（シャーン、ドロア、ピックアップホルダなど）にダイカストを採用したことである。その目的は必要箇所を機械加工し、高精度化すると共に、温度変化に対する寸法安定性の確保である。

その他、低温域から高温域まで比較的に安定した伝達特性をもった防振ゴムを新規開発し温度に対する振動音飛び特性の向上をはかった。

3) 電気回路系

広範囲な温度性能が要求される電気部品は、特に高温時に特性劣化する傾向があるため次の点に留意した。

- ・高温動作耐久部品の選定
- ・温度ディレーティングおよび動作マージン

- ・発熱部品の分散及びパワーアンプ部への移動
- ・冷却ファンによる温度上昇の低減

3. 4. 2 耐 振 性

1) 振動によるトラック飛び

プレーヤ外筐に加えられた振動がデッキシャーンに伝わり、ディスクとレンズが振動してもそれらが $1/10\mu\text{m}$ の精度で平行に変位するならばトラック飛びは生じない。しかし、ピックアップは元々、ディスクの面振れや偏心に追従できるようにレンズが上下に可動する構造になっている。図-7はレンズがバネで支持された構造例である。同図に示すようにピックアップ筐体の振動に対して、レンズは慣性によって遅れを生じ、それに伴って、ディスクのトラックとレーザスポットとに位置ずれが生じる。サーボは、上下、左右の位置ずれに対し、各々0になる向きにレンズを動かして位置修正を行うが、その一方の残差が瞬間的にある値を超えるとトラック飛びが発生する。

CDプレーヤの耐振性は、このようなサーボ回路の追従性をはじめ、防振機構の伝達特性、ディスクやピックアップを支持する機構、特に摺動部のクリアランス（ガタ）等に大きく左右される。図-8に耐振性の要因図をしめす。

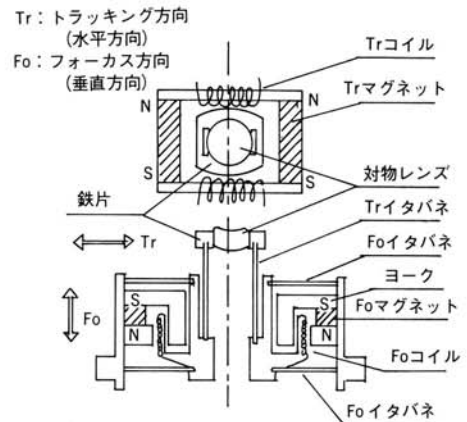


図-7 アクチュエータの構造

Fig. 7 Structure of actuator.

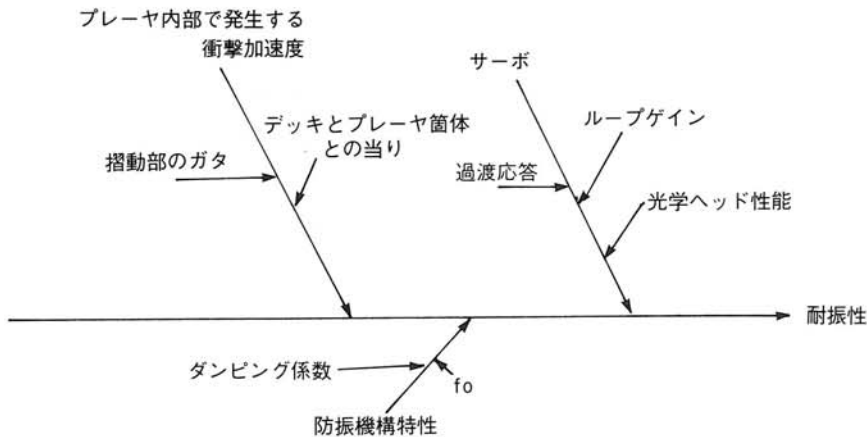


図-8 耐振性要因図

Fig. 8 Fish bone characteristic of trackability against vibration.

2) rigid なデッキを用いた場合の耐振性

図-8に示す要因の中で、ディスクの共振、ディスクやピックアップ支持機構にガタのない、即ち rigid なデッキを用いた場合の耐振性について考察する。

(a) サーボ特性と耐振性

機構的には図-9、電気的には図-10のようなモデルを考える。デッキシャーシに正弦振動加速度 $Ad(\omega)$ を加えたときのサーボの追従残差 $E(\omega)$ は

$$E(\omega) = \frac{1}{1+Hop(\omega)} \cdot \frac{Gac(\omega)}{Ka \cdot \omega_n^2} Ad(\omega) \quad (1)$$

ここに、 $Hop(\omega)$: サーボの開ループ伝達関数

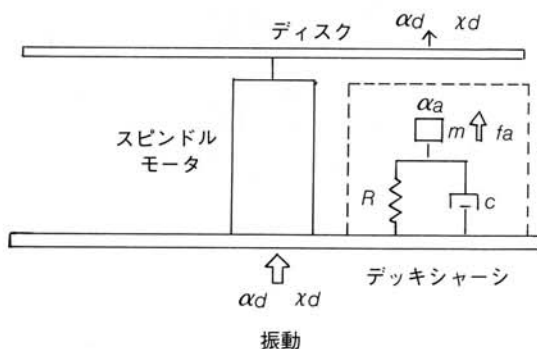
$Gac(\omega)$: ピックアップアクチュエータの伝達関数

Ka, ω_n : ピックアップアクチュエータの感度、共振角周波数

となる。これがある限界値 E_{max} を超えるとトラック飛びを生ずる。即ち、トラック飛びを生ずるデッキシャーシの振動加速度 $Ad_{max}(\omega)$ は、

$$Ad_{max}(\omega) = E_{max} \left| \frac{1+Hop(\omega)}{Ka \cdot \omega_n^2} \right| \quad (2)$$

となる。限界値、 E_{max} は、トラッキングサーボの場合はサーボのロックレンジの片巾、フォーカ



α_d : デッキシャーシ振動加速度
 x_d : " 変位
 α_a : サーボによるレンズ加速度
 f_a : サーボによるアクチュエータ駆動力
 m : アクチュエータ駆動部質量
 R : " バネ定数
 C : " 減衰係数

図-9 等価回路

Fig. 9 Equivalent circuit.

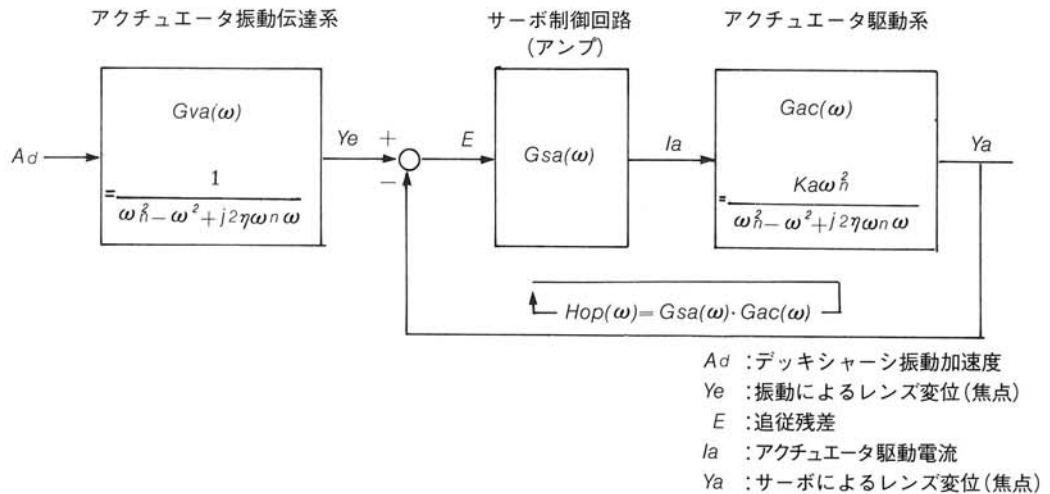


図-10 ブロックダイアグラム

Fig. 10 Block diagram.

スサーボの場合は、レンズの焦点深度の $\frac{1}{2}$ になる(2)式は rigid な理想デッキを仮定した場合の耐振性能をあらわすものであり、実際のデッキを加振して測定することは困難である。代わりに、デッキを静止状態にして、電氣的に等価な振動を加えて測定することができる。図-11 のA及びBは(2)式にもとづく計算値とシミュレーション実験値である。

(b) 防振機構の効果

防振機構は、デッキをダンパゴムの弾性で支持

した構造で、伝達関数は

$$G_{damp}(\omega) = \frac{\omega_o^2 + j2\eta_o \omega_o \omega}{\omega_o^2 - \omega^2 + j2\eta_o \omega_o \omega} \quad (3)$$

ここに ω_o : デッキの質量とゴムのバネ定数で決まる共振角周波数

η_o : ダンピング係数

となり、 $\omega > \omega_o$ における減衰効果を利用して耐振性の向上を図っている。同時に共振点 $\omega = \omega_o$ 付近では一般に $G_{damp} > 1$ 、即ち、増巾効果を呈し、耐振性が劣化する。そのため、共振点 ω は一般に

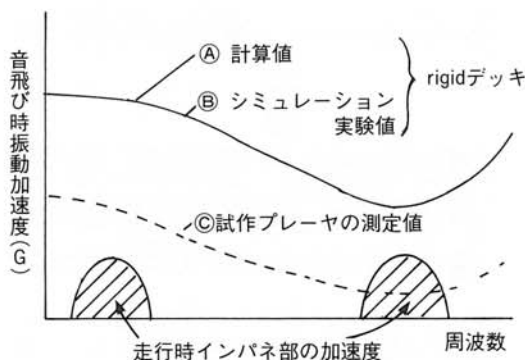


図-11 防振機構なしの耐振性

Fig. 11 Trackability against vibration without shock absorber.

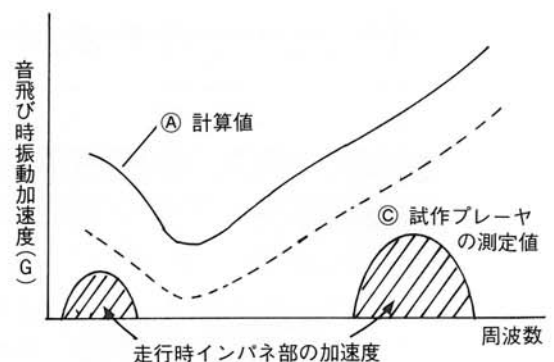


図-12 防振機構ありの耐振性

Fig. 12 Trackability against vibration with shock absorber.

車両振動スペクトラムの谷を狙って設定される。

3) 耐振性の実際と課題

図-11のCおよび図-12のCは各々、試作したプレーヤの耐振性能の測定例を示す。両者とも、理論値をはるかに下回っている。供試セットは特定の高級車両向けであり、サスペンションもやわらかく、商品取付部の振動加速度を十分カバーしており、該車両用としての実車評価は得ている。しかし、今後、CDプレーヤを大衆車へ普及させるに当たっては必ずしも満足する性能でない。図-11および図-12の理論値レベルは実現不可能であるとしても、改善の余地が十分にあることを示すものであり、今後の一層の努力が必要である。

3.4.3 耐傷性

ディスクは、プレーヤに装填したり、取り出したりする際、裸で取り扱われるためこれを何回も繰り返していると、指紋やホコリが付着したり、傷付いたりする。これをできるだけ避けるため、本機のディスクローディング方式は、信号面を持つことなくディスクを装填・取り出しが可能な水平フロントローディングとした。

しかし、車両環境にあっては、砂塵や油污れはさけがたい。このように、傷付いたり、汚れたりしたディスクでも余程ひどくない限りトラック飛

びをせず、忠実に音楽を再生することがCDプレーヤには要求される。

傷や汚れによって、トラック飛びが生ずるのは、ディスクから読み出される信号が乱れさらに、そこから取り出されるトラッキングエラー信号が乱れて、レンズ、即ち、レーザスポットがトラックから逸脱するからである。この乱れ方は、一般に傷と汚れで異なる。汚れの最もひどい状態はブラックドット（黒点）で代表され、レーザビームの反射がほとんどなくなる。傷とブラックドットをトレースしたときの信号波形を図-13および図-14に示す。

これらの障害を乗り切るためには、その障害を通過している期間のみ、トラッキングエラー信号の信号を除去、若しくは抑圧すればよい。実際にはトラッキングエラー信号に含まれるディスクの偏心成分に位相遅れを与えず、かつ、高域の外乱成分を抑圧する工夫が必要であり、その一例として図-15のような伝達特性を持ったローパスフィルタをトラッキングサーボ回路に挿入している。一方、外乱の検出方法も、傷と、ブラックドットでは異なる。ブラックドットの場合は図-14に示すように、信号波形に極端なドロップアウトが生ずるため、エンベロープ検波等を用いて検出して

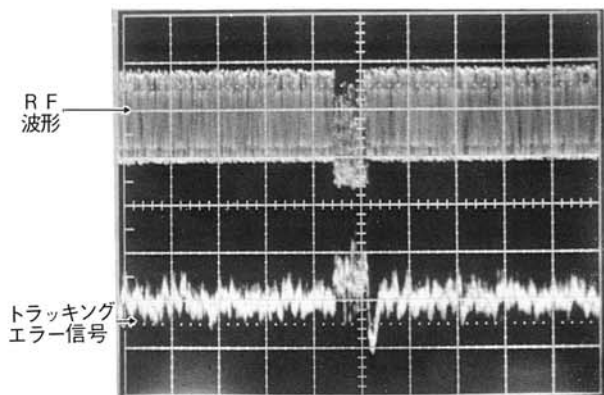


図-13 傷時のRF波形

Fig. 13 RF waveform of scratched disc.

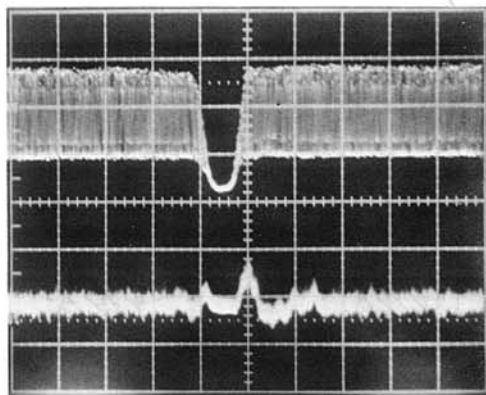


図-14 ブラックドット時のRF波形

Fig. 14 RF waveform of black spot disc.

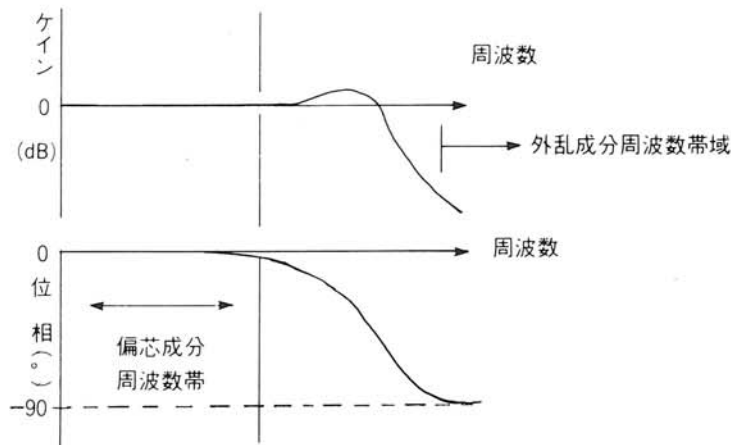


図-15 低域位相補償形ローパスフィルタ

Fig. 15 Low pass filter.

いる。また傷の場合は、レーザの反射光はディスク面上で多少散乱するもののブラックドットのようなドロップアウトは僅かしか見られず、別の検出制御方法を盛り込んでいる。

3. 4. 4 耐 久 性 能

車載用CDプレーヤとして要求される耐久性には、操作耐久性、振動耐久性、温度耐久性、動作寿命などがあるが、本稿では、車載用CDプレーヤとして、特徴的な防振ゴムの耐久性および、光学ピックアップのレーザーダイオードの動作寿命について述べる。

1) 防振ゴムの耐久性

防振ゴムの設計に関しては、低周波領域から減衰効果を発生させるようバネ定数は低くとりゴム硬度も低く設定した。また材料としては衝撃吸収性に高い材料を選択したがこれのみでは、車載用として要求される振動耐久性にやや難があり、強

度的に優れた材料をブレンドすることにより、これを解決した。

図-16 に圧縮歪試験

図-17 にクリープ試験の結果をしめす。

2) レーザーダイオード

電気部品の中で、特に耐久性が問題となるのは光学ピックアップの中に使用されているレーザーダイオードである。通常半導体レーザーを使用する場合 APC (Automatic Power Control) 動作をさせる。この動作は劣化により、出力が下がるとその分だけ電流を流し出力を一定にするため、チップに与えるストレスは、不利な方向へと働いている一般的に半導体の劣化を調べる時のアレニウスのモデル式から求めた場合の温度加速係数は10°Cあたり2となっており、これは外部温度が10°C上昇するとレーザーダイオードの寿命が半減することを意味しており、いかに温度上昇のおさえこ

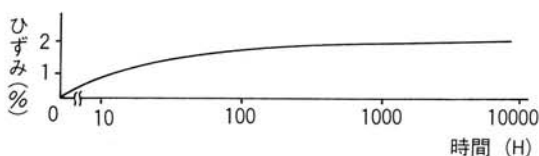


図-16 圧縮ひずみ試験

Fig. 16 Compression set test.

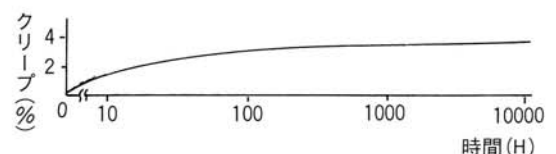


図-17 クリープ試験

Fig. 17 Creep test.

みが重要であるかが理解できる。具体的方策は既出であるので省略するが 図-18 に60°Cでの当社の寿命試験結果を示すこれからも実使用での寿命は10,000時間以上と予想できる。

4. 諸 元

次にクラウンに搭載されるシステムの諸元について述べる。

1) システム 図-19

2) 外形・重量・本体CDプレーヤのみ

- ・外形 180W 100H 190W
- ・重量 2.7 kg

3) 機能 (CDプレーヤ部)

- ・ドロー挿排
- ・演奏/停止
- ・トラック選曲
- ・早送り/早戻し

4) 性能 (CDプレーヤ部)

- ・S/N 90 dB
- ・歪率 0.015%
- ・周波数特性 20 Hz~20 kHz
(1 dB/1kHz基準)
- ・セパレーション 76dB

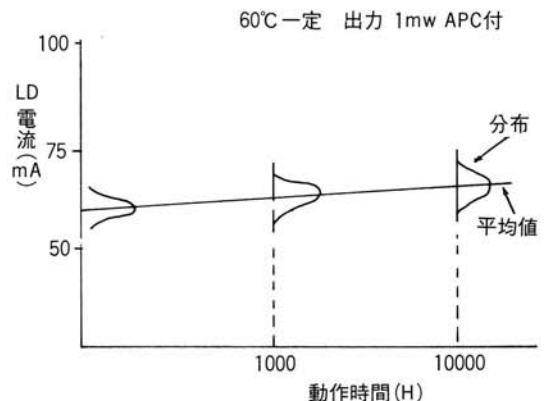


図-18 LD高温負荷寿命テスト

Fig. 18 LD life test under high temperature.

- ・アクセスタイム 隣 曲 3sec
最初→最後 6sec
- ・ワウ フラッター 測定不能

以上、CDプレーヤの概略メカニズム、これを車載化する上での克服すべき技術的課題、その中で代表的な動作、熱等に対する基本的な考え方、あわせて対象をクラウン車に絞った時の具体的な対応策、および今回採用されることになったシステムの諸元等について述べてきた。

我々にとって全く新しいメディアであるディスクを扱うということで、従来のカーオーディオ開

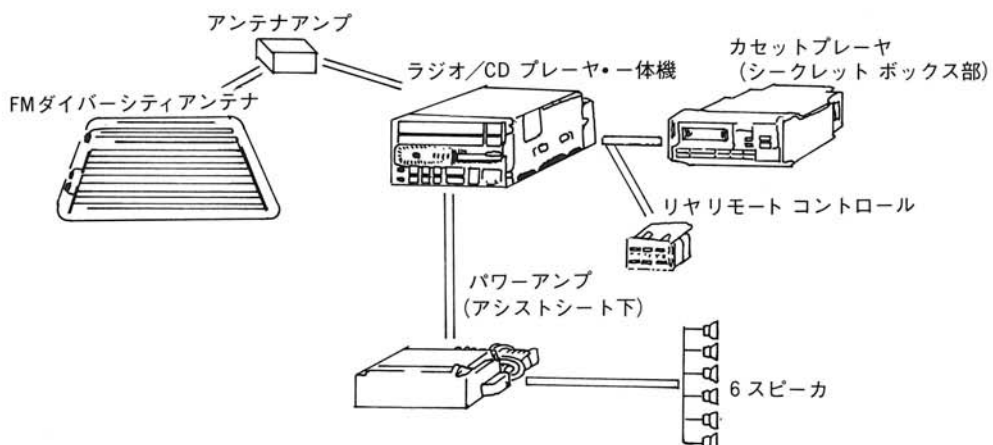


図-19 トータルシステム

Fig. 19 Total system.

発時に比較して、はるかに多くの各種信頼性試験を実施し、車で十分使用に耐える品質を確保することができたことを付記しておく。

6. 今後の課題

今回、ユーザニーズに対応すべく、車の中に超 Hi-Fi サウンドを合言葉に、車載化 CD プレーヤの実現に成功したが、カーオーディオの中で CD プレーヤに確固たる市民権を持たせるためには、引続いて下記重点的な課題についての克服が必須である。

- ビックアップの小型化、薄型化、車載部品としての適合化
- カー用トレイの導入検討
- 高速サーチメカニズムの実現
- 汎用向けとして耐振性能の向上
- 誤り訂正能力の向上

CD-ROM等メモリとして使う時にはさらにエラーレートの改善が必要

最後に本システム開発にあたり御指導を賜ったトヨタ自動車関係各位をはじめ部品メーカー関係各位に紙面を借りて厚く御礼申し上げる。