

# 光テレメータの試作と歯面衝突時の歯車の角加速度の測定への応用

Development of a Photo-Telemeter and Its Application to the Measurement of the Angular Acceleration of the Rattling Gears

鈴木常夫\*・大野進一\*・片岡真澄\*  
Tsuneo SUZUKI, Shinichi OHNO and Masumi KATAOKA

## 1. はじめに

著者等は自動車用歯車変速機のアイドリング時の歯打騒音について研究している。歯打騒音は、駆動軸の回転数変動のために歯面の分離と再噛合が生じ、再噛合が衝撃的に行われることによって発生するものである。この研究において歯面衝突時の歯車の角加速度を測定する必要があり、従来はこれをロータリーエンコーダを用いて検出した歯車軸の回転数の時間微分により求めていたが、この方法では周波数特性に制約があるので、圧電型加速度PUを直接歯車に取り付け、衝突時の角加速度を測定することにした。回転軸に取り付けた計測器の出力を外部に取出す装置としてはスリップリングやテレメータなどがある。スリップリングは回転軸に余分な摩擦力を与え、歯車の衝突の状況に影響を及ぼすので、この研究には使用し難い。市販のテレメータはセンサなどに制約があり、使用に不適當である。そこで、発光ダイオードとフォトダイオードを用いた光テレメータを試作した。以下においては、まずこの光テレメータの構成と特性を説明する。次にこの光テレメータを用いた歯面衝突時の角加速度波形の測定結果を示す。また、角加速度と歯打騒音の関係についての調査結果も紹介する。

## 2. 光テレメータの構成と特性

### 2.1 構成

試作した光テレメータの構成は図1に示すとおりである。圧電型加速度PUの出力をOPアンプで構成した高入力インピーダンスの前置増幅器で受け、前置増幅器の出力をV/Fコンバータ素子により、加速度を信号とする周波数変調波にする。この周波数変調波により発光ダイオードを点滅させる。発光ダイオードには赤外発光ダイ

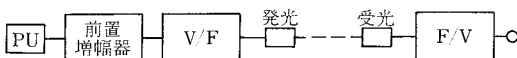


図1

オードを使用している。発光ダイオードは歯車軸端の中心に取り付けられており、回転中もその位置は変わらない。発光ダイオードに対面してフォトダイオードが設置され、発光ダイオードからの点滅光を受光する。フォトダイオードには赤外光に感度を持つピンフォトダイオードを使用している。フォトダイオードの出力はOPアンプで増幅され、コンパレータで波形整形を行い、F/Vコンバータを用いて復調し、加速度PUの出力を取り出す。周波数変調波の搬送波は約50KHzである。送信側の大きさは30×16×57mmで重量は約37gである。試作装置の外観は図2に示す。図2において①は前置増幅器とV/Fコンバータからなる送信部、②は発光ダイオード、③は受光のフォトダイオード、④はコンパレータとF/Vコンバータからなる復調部である。

### 2.2 特性

動電型加振機の加振テーブルに2個の同型の圧電型加速度PUを取り付け、一方のPUは図1の試作テレメータに接続し、もう一方のPUはチャージ増幅器に接続した。チャージ増幅器の出力は加振テーブルの正確な加速度を示すものと考えてよい。図3は1KHzの正弦波加振を行ったときの加振テーブルの加速度と試作テレメータのF/Vコンバータの出力電圧の関係を示す。30Gまでの範囲において加速度と出力電圧の間に十分な直線関係があることがわかる。図3によれば圧電型加速度PU

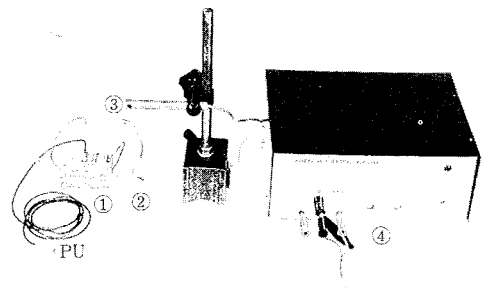


図2

\*東京大学生産技術研究所 第2部

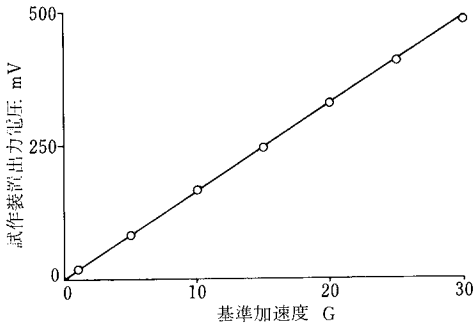


図 3

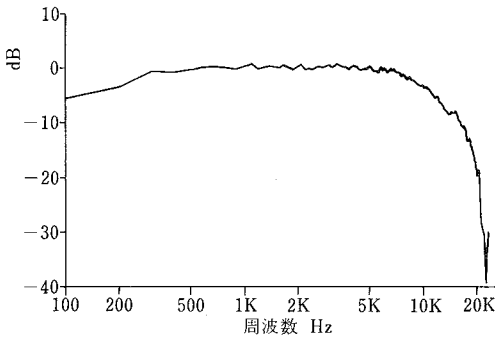


図 4

と試作テレメータを総合しての感度は 16.3 mV/G である。図 4 は圧電型加速度 PU と試作テレメータを総合しての周波数特性を示す。周波数特性の測定は正弦波加振とランダム加振の両方法で行った。図 4 はランダム加振の結果を示すが、両方法の結果に差はなかった。図 4 はチャージ増幅器の示す加速度を基準として試作テレメータの示す加速度をデシベル表示しており、0 dB は正確な加速度を指示していることを表す。ダイナミックレンジは約 40 dB である。

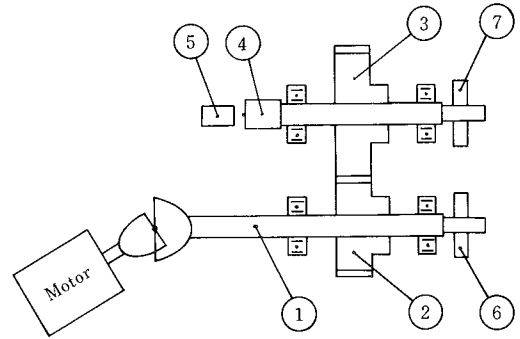


図 5

### 3. 歯面衝突時の加速度の測定結果

図 5 は歯打騒音の研究に使用した実験装置である。この装置はモータの回転を自在継手を介して軸①に伝える。軸①と歯車②は固定されている。歯車②と③は噛み合っている。④は試作テレメータの送信側と発光ダイオード、⑤は受光のフォトダイオード、⑥、⑦は歯車②と③の角速度測定用ロータリーエンコーダである。

#### 3.1 歯車を揺動させた場合

図 5 の実験装置においてモータを取り外し、その代わりに軸①に腕木を取り付け、腕木の他端を油圧加振機で往復運動させることによって、軸①を揺動させ、歯車②と③の間で衝突を生じさせた。そのとき、歯車③に 2 個の圧電型加速度 PU を取り付け一方の圧電型加速度 PU はチャージ増幅器に接続して加速度波形を計測し、他方の圧電型加速度 PU は試作テレメータに接続して加速度波形を計測した。このときの両加速度波形の記録の 1 例を図 6 に示す。試作テレメータの加速度波形にはオーバーシュートがある。これは V/F コンバータ素子の特性によるものと思われる。このオーバーシュートをのぞく

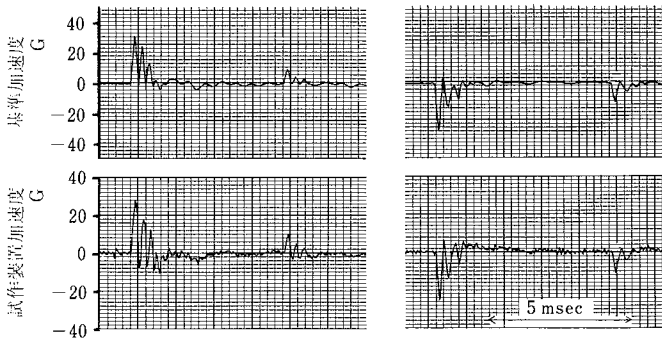


図 6

研 究 速 報

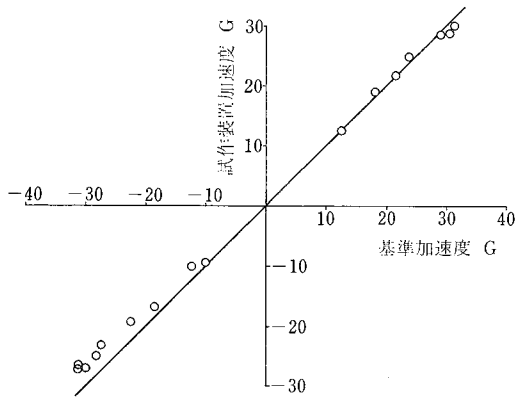


図 7

と両加速度波形は一致している。この両波形のピーク値の関係を図 7 に示す。図 7 から正の方向の加速度については対応が良いが、負の方向の加速度は試作テレメータの加速度が小さい傾向にある。試作テレメータの出力にはオーバーシュートや負側の値が小さい傾向があるが、高い精度を要求しないかぎり衝撃的な加速度の測定にも使用することができる。

3.2 歯車を回転させた場合

つぎに、図 5 の実験装置をモータで駆動し、自在継手の作用により軸①を平均値の回りに変動する回転数で駆動したときの歯車③の角速度と角加速度の測定を行った。角速度はロータリーエンコダ⑦と F/V コンバータにより測定し、角加速度は歯車③に取り付けた圧電型加速度 PU と試作テレメータにより測定した。図 8 に歯車③の角速度波形と角加速度波形の記録の 1 例を示す。図 9 は角速度波形を時間微分して得られた角加速度波形である。図 8, 9 の角加速度波形を比較すると、試作テレメータ

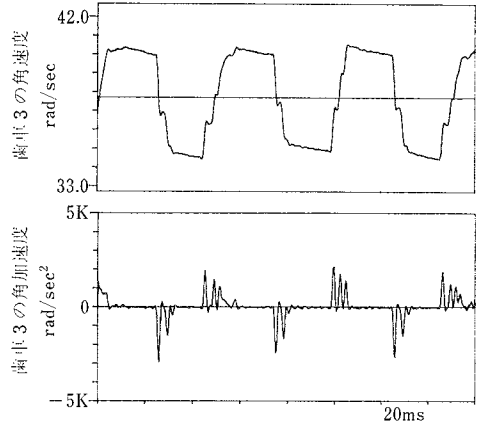


図 9

タを使用して測定したほうが値が大きく、波形の立ち上がり鋭い。これは試作テレメータの周波数特性が角速度波形を時間微分して求める場合よりも改善されたためである。また、角速度変動半サイクル中に複数回の歯面衝突が生じていることがわかる。

4. 歯面衝突時の角加速度と歯打騒音の関係

図 5 の実験装置においてモータを 500, 600, 700 rpm で回転させ、自在継手の折れ角を 10°, 15°, 20° とし回転数変動率を 1.5%, 3.5%, 6.2% としたとき、歯車②と③の噛合点の上方 300 mm での騒音を測定した。歯面衝突時の角加速度は歯車③の中心から 30 mm のところに取り付けた圧電型加速度 PU により検出し、試作テレメータにより測定した。歯打騒音と加速度のそれぞれの rms 値の関係を図 10 に示す。両者の相関はたいへん良く、相関計数 0.971 である。図 11 は歯車②と③の軸間距離を変えてバックラッシュの大きさを変えたときの歯打騒音の

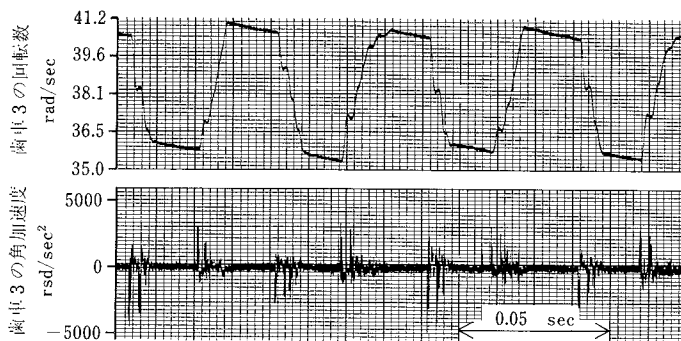


図 8

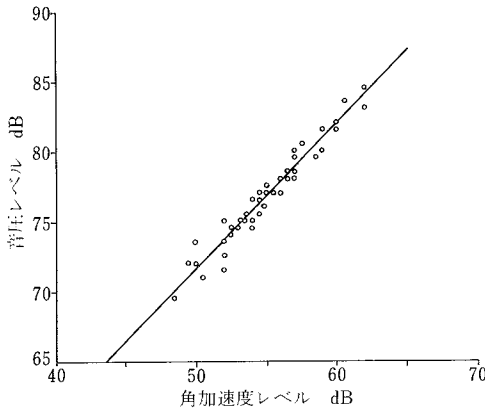


図 10

rms 値を示す。回転数が同じときはバックラッシの大きいほど、またバックラッシの同じときは回転数の高いほど、歯打ち騒音の大きいことがわかる。

5. ま と め

加速度を信号とする周波数変調波を光によって送受信する光テレメータを試作し、その特性を調べた、その結果この光テレメータは歯面衝突時の歯車の角加速度の検

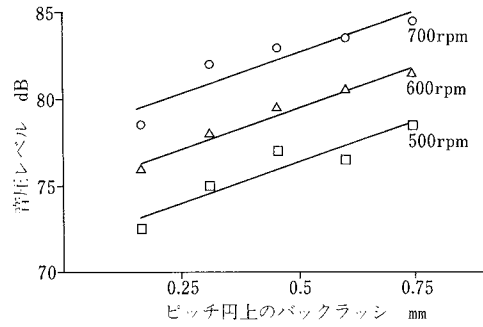


図 11

出に十分使用できることがわかった。

回転数変動のある歯車装置の歯面衝突時の角加速度をこの装置によって計測し、角加速度変動半サイクル中に複数回の衝突が生じていることを確認した。

歯面衝突時の角加速度と歯打騒音との関係を調べ、両者の rms 値の間に良い相関のあることを示した。

(1986 年 4 月 24 日受理)

