

内燃機関研究室創設100周年

関 研究室

若林克彦

関敏郎 研究室 (1943年-1979年)



1943年 早稲田大学理工学部 助教授

1955年 同 教授

1979年 同 名誉教授

1956年 第二理工学部 教務主任

1959年～1964年 早稲田大学 商議員

1971年～1974年 早稲田大学 商議員

1950年～1960年 自動車工学研究会 会長

1955年～1979年 学生の会 モーターボート・

水上スキークラブ 会長

1976年～1979年 体育局 ゴルフ部 部長

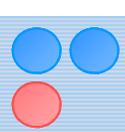
第 I 編 ディーゼルと共に歩んだ関先生



関先生の最終講義、大隈講堂(1979年)

関敏郎、みち様ご夫妻、
大隈庭園にて(1977年)





「生涯をディーゼルと共に歩んだ先導者である関敏郎先生」

平成30年11月25日

第I編 ディーゼルと共に歩んだ関先生

第II編 関研究室の教育研究業績

関研究室 若林克彦 本田康裕

早稲田大学内燃機関研究室創設100周年記念式典講演

第 I 編 ディーゼルと共に歩んだ関先生

1. まえがき

関敏郎先生は「生涯をディーゼルと共に歩んだ先導者」である。

- (1) 渡部寅次郎教授に師事し、高速ディーゼル機関の研究開発をライフワークとされることを決意された。卒業研究題目は「ディーゼル機関燃料噴射管内における圧力波の振動現象」であった。
- (2) 池貝鉄工所に入社し、高速ディーゼル機関の設計開発の業務に従事した。
- (3) 池貝自動車に転出し、自動車用高速ディーゼル機関の設計開発研究に従事した。
- (4) 早稲田大学に転職し、ディーゼル機関の振動・騒音対策等を中心に研究を進めるとともに企業での実務経験を踏まえた教育を実施した。

以上の経緯から、関先生の企業での経験が、大学での研究教育に継続しているので、「関研究室の教育研究業績の紹介」は、まず最初に、第 I 編の企業で取り組んだ設計開発研究の概要から始める。

2. 本邦初の乗用車用ディーゼル機関の設計開発

2. 1 高速空冷ディーゼル機関の開発

池貝鉄工所で米国のトラックのガソリン機関に代えて試作の空冷ディーゼル機関4HSD10を搭載，運行試験を行ったところ，燃料消費量が6割ですんだ。また，このエンジンに魚油，シェール油，やし油など各種の動植物油を供給して試験して，良く燃焼し性能の低下も僅かであることを認め，ディーゼルこそ国情に合った最適の原動機であることを実感された。先生は「ディーゼルは豚の胃袋」と言われた。正に至言であった。

空冷ディーゼル機関でヘッドガスケットのガス洩れ対策が課題であった。ヘッドとシリンダーを結ぶボルトは4本以上植える面積がない。空冷エンジンは，水冷のように冷えないので，温度が上昇し，変形が甚だしく，要望出力は期待できなく，困難を極めた。

一方，エンジンの高速化と共に，振動が大きくなりその対策が問題となってきた。とくにクランク軸のねじり振動に関しては各種のエンジン設計にあたって多くの経験をされた。

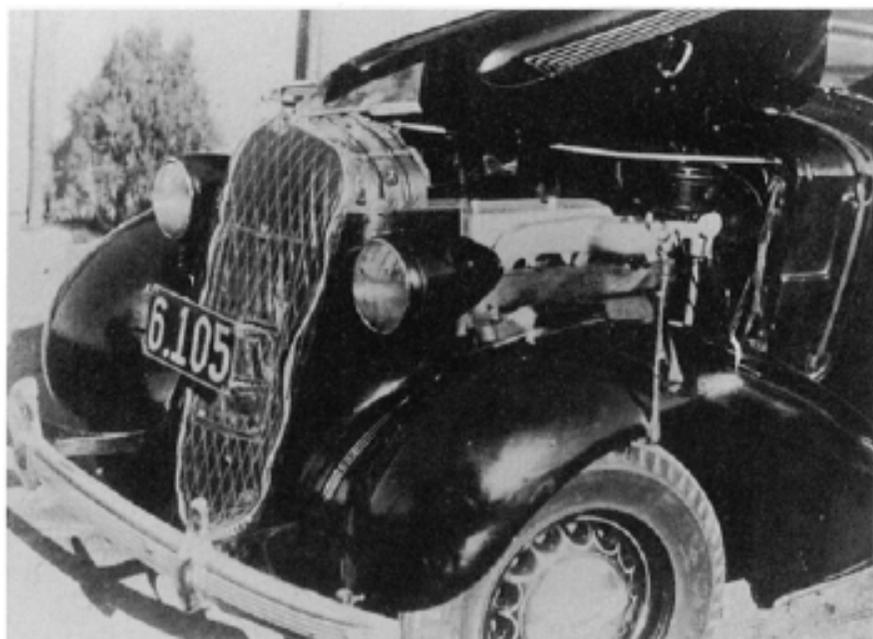
2. 2 自動車用ディーゼル機関の設計開発

池貝鉄工所は、1937年自動車部門を独立させて池貝自動車を設立した。新会社に移り、研究課長、工務課長および企画部長を歴任し、数種の自動車用ディーゼル機関の設計、製作に關与している。

1938年に、これまでの経験を生かして乗用車用ディーゼル機関**6HSD9型エンジン**を設計製作した(図参照)。このエンジンは、水冷6気筒、排気量4.6Lディーゼル機関で、当時としては最新の技術を組み込んだ画期的なものであった。このエンジンを米国のガソリン乗用車に搭載し、運行試験を実施し、その**経済性に優れている**ことおを再認識している。また、25000km走行後にエンジンを分解して各部の**損傷、摩耗を検査したが異常は認められなかった**。

第I編 ディーゼルと共に歩んだ関先生

池貝自動車での代表作 (日本初のディーゼル乗用車)

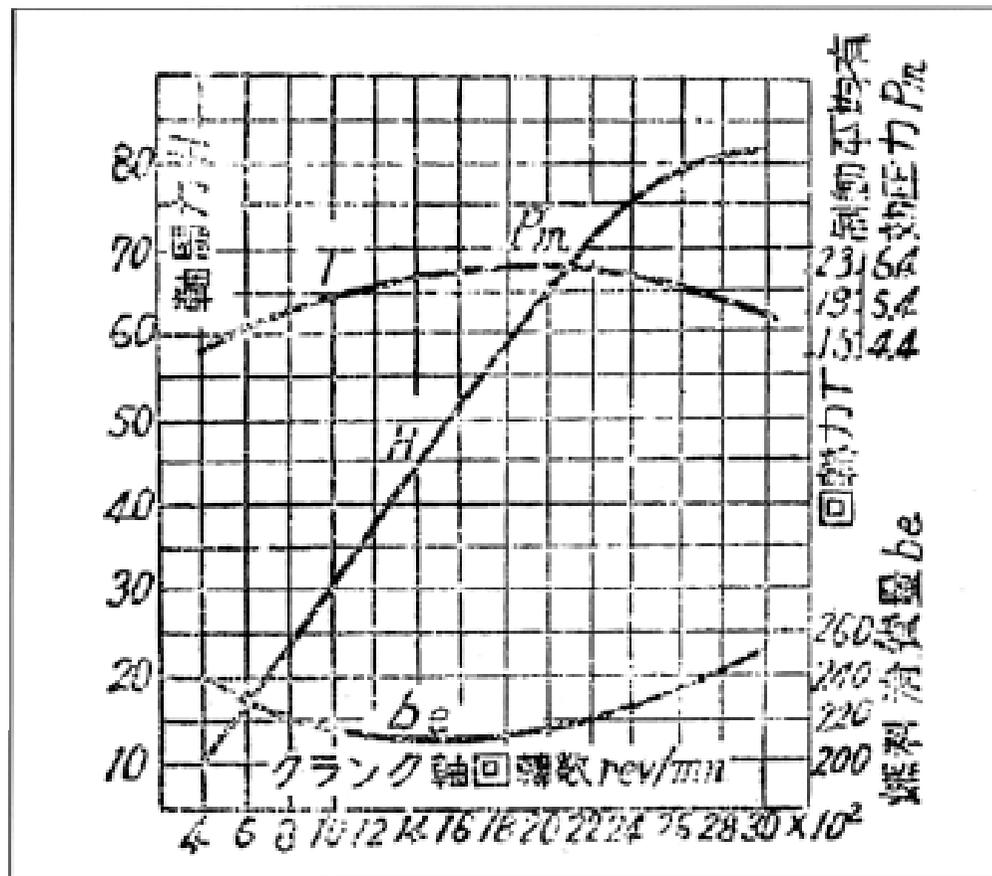


乗用車用ディーゼル機関6HSD9を搭載したビュック40型車

- ・燃料消費がガソリンの6割
- ・燃料を選ばない



至言
「ディーゼルエンジンは豚の胃袋」



6HSD9ディーゼル機関の性能曲線

水冷式 排気量4.6L, 6シリンダ 90×120mm
圧縮比15, 渦流室式,
最高出力80PS/3200rpm, 最大トルク23.0kgfm

3. 関研究室における研究

1943年に母校に助教授として戻られ、懸案にされていた高速ディーゼル機関クランク軸系のねじり振動の研究をされた。

- (1) 電算機のない時代にあっては大変な時間と労力を要したねじり振動の計算を、それまでに得られた豊富なデータを基に、設計段階で固有振動数を計算し、共振回転数と振幅を短時間に予測する方法をまとめられた。
- (2) 70年代に入って電算機の使用が容易になっても、その考え方は振動抑制対策のためには非常に役立ち、大型機関の粘性ダンパの特性を解明、その最適設計手法を開発した。
- (3) 電算機を縦横に駆使した計算手法として、例えば、伝達マトリクス法を導入、複雑な形状のクランク軸をそのまま計算に取り入れ、ねじり振動だけでなく、曲げ振動も含めた振幅と付加応力を予測する方法を開発した。
- (4) 先生は大学における研究を常に社会に還元されることを心がけ、ディーゼル機関の振動・騒音対策に役立つ多数の特許を出願された。

4. 関研究室における教育

先生は機械力学，内燃機関設計等の講義のほか，高学年の内燃機関設計製図の教育に力を入れられた，また卒業計画設計では，自動車の設計にも進み，それを実際に作らせるところまで指導された．スポーツカーやW.U.V. (Wide(Waseda) Utility Vehicle)など何台かを製作した．こうした実践教育は社会に巣立つ学生に大きな自信を与え，設計技術者として活躍する多くの卒業生を世に送り出すことに貢献された．

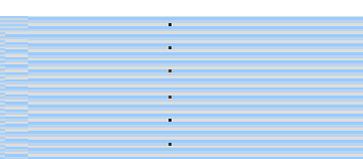
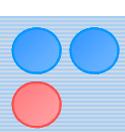
5. あとがき

先生は、59歳の時に「**みえざるものをみる力をお与え下さい**」と祈られて洗礼を受けられました。

また、ご定年で退職される際に、神の前で「**心身の続く限りこの一筋に歩いたディーゼルの道に精進すること**」を誓われ、さらに「**神の力の加護をえて、一段と冴えたディーゼル機関のあたえられんこと**」を祈られました。

先生は常に先を見通される方でしたので、このお言葉は、**先生一流の我々への宿題**と受け取れました。我々は、このご指導に従って頑張ることを、南極エレバス山に搭乗機が激突する事故に遭われた、先生ご夫妻のご葬儀の時に、**誓い申し上げた**のです。

引用文献：JAHFA「生涯をディーゼルと共に歩んだ先導者」



第Ⅱ編 関研究室の教育研究業績

I. 関研究室における研究業績

第Ⅱ編 関研究室の教育研究業績

I. 関研究室における研究業績

1. 内燃機関クランク軸系の振動低減に関する研究(1959年～1979年)

【この一連の研究は、日野自動車株式会社から水平型200PS6気筒高速ディーゼル機関と性能研究実験装置一式を寄付していただき、理工学研究所受託研究の下に20年間実施され、多くの研究成果をあげることができた。】

往復動機構を持つ**内燃機関の宿命**として、クランク軸系に各種振動が発生する。ディーゼル機関は圧縮比が高く、最高圧力が高くなるので振動起振力が大となり、クランク軸系には**大きなねじり振動が発生して問題**となっている。

機関の設計初期において、**危険回転数、角変位振幅および振動付加応力の値を正確に予測し、必要な場合には適切な振動低減用ダンパを装着し、クランク軸系が強度的に安全になるように設計**することは、**ディーゼル機関設計の基本的重要な事項**である。

1.1 研究目的

第1の柱として、(1)マトリクス数値計算法を導入して、最も問題となっているディーゼル機関クランク軸系ねじり振動の角変位および付加応力の値が、精度よく算出できる解析法を開発すること、(2)クランク形状に則した振動モデルを構築してねじり振動単独でなく、縦振動、横振動、さらにこれらの振動の連成までも含めて計算可能な3次元振動解析法を確立することにより、機関設計段階においてクランク軸系の安全を図るために有効な手段を提供すること。

また、第2の柱として、振動計算に必要な減衰値を正確に推定する方法を確立すること。そして、第3の柱として、制振効果の大きい振動低減用ダンパである粘性ダンパ、さらには安価なゴムダンパの設計・開発に必要な動的特性を実験と解析より検討し、最適ダンパの設計に必要な資料を収集すること。

以上の3つの柱について、研究成果を上げることを目的とした。

1. 2 内燃機関クランク軸系の振動解析法の確立と適用

マトリクス数値計算法を導入した.

(1)クランク軸系のねじり振動角変位波形のシミュレーション法,

(2)往復動内燃機関クランク軸系の三次元強制振動解析法

を確立して, それぞれ変位振幅, 振動付加応力の値を, 精度よく算出できるようにすることを目的とした.

これらの解析法の開発により自動車用および船用ディーゼル機関クランク軸系の振動計算法を確立して, エンジン設計および防振対策に寄与した.

第Ⅱ編 関研究室の教育研究業績

I. 関研究室における研究業績

1.2.1 クランク軸系のねじり振動角変位波形のシミュレーション法の確立および適用

【解析法】クランク軸端での角変位は複雑な起振トルク波形に対する応答値としてとらえることができるので、振動モデルはできるだけ簡単にし、起振トルクを原形のまま加えて計算するのに簡便なテイラー級数を間接使用したone-step数値計算法の一種である推移マトリクス法を導入した。本解析法では、ねじり振動角変位波形を計算するために、合成起振トルクを原形のまま加えて、集中質点等価振動系における角変位波形を求めた。

また、本解析法において間接使用しているテイラー級数の導関数の階数は、4階まで考慮すれば十分である。さらに、安定条件を満足し、十分な計算精度の得られる最適ステップサイズは、計算対象とする振動系の最小周期の1/5でよいことを示した。

1.2.2 ねじり振動角変位波形のシミュレーション法をゴムダンパ装着クランク軸系の角変位計算へ適用

推移マトリクス法を導入した角変位波形のシミュレーション法をゴムダンパ装着クランク軸系に適用して、**ゴムの動特性を考慮してねじり振動角変位を計算する一方法を開発**した。本法による計算値と実測値を比較検討した結果、**ゴムの動特性に温度依存性とひずみ速度依存性を考慮(1.4.2参照)してねじり振動角変位の計算**を行えば、工学上問題のない精度で結果が得られることを確認した。

第Ⅱ編 関研究室の教育研究業績

I. 関研究室における研究業績

1.2.3 内燃機関クランク軸系の三次元強制振動解析法の確立および適用

【解析法】伝達マトリクス法を導入し、クランク軸の概略形状およびスロー配置などを考慮し、三次元振動(縦・横・横・ねじり振動)を連成振動まで含めて計算する解析法「往復動内燃機関クランク軸系の三次元強制振動解析法」を考案した。本解析法により、クランク軸系における振動振幅および付加応力を求めるのに有効な方法であることを確認した。

【振動モデル】次図は、一例としてV型8シリンダエンジン単体の振動モデルの概略図を示す。

クランク軸は、主軸受け及び推力軸受けとこれらの支持部より構成される支持機構により弾性支持され、かつクランクピン部にはガス圧トルクと慣性トルクが外力として作用するとして、これらの伝達マトリクスを誘導する。また、クランク軸はその形状に沿って仮想切断し、各分割要素で伝達マトリクスを誘導し、クランク形状位相の伝達マトリクス等を考慮して、総ての伝達マトリクス左端から右端まで連結する方法を採用している。そして、両軸端で自由端の条件を入れて各状態量(縦・横・横・ねじり振動の線変位,角変位,断面力)を算出する。

第Ⅱ編 関研究室の教育研究業績

I. 関研究室における研究業績

8キューウーの太字

状態量 $q = [uN\theta Tv \psi MzVw \phi M1]T$ (T; 転置)

$$q_{FLR} = Z_{FL} Z_{GE} Z_{JR} Z_4 Z_3 Z_2 Z_1 Z_{JL} Z_{PU} q_{PUL}$$

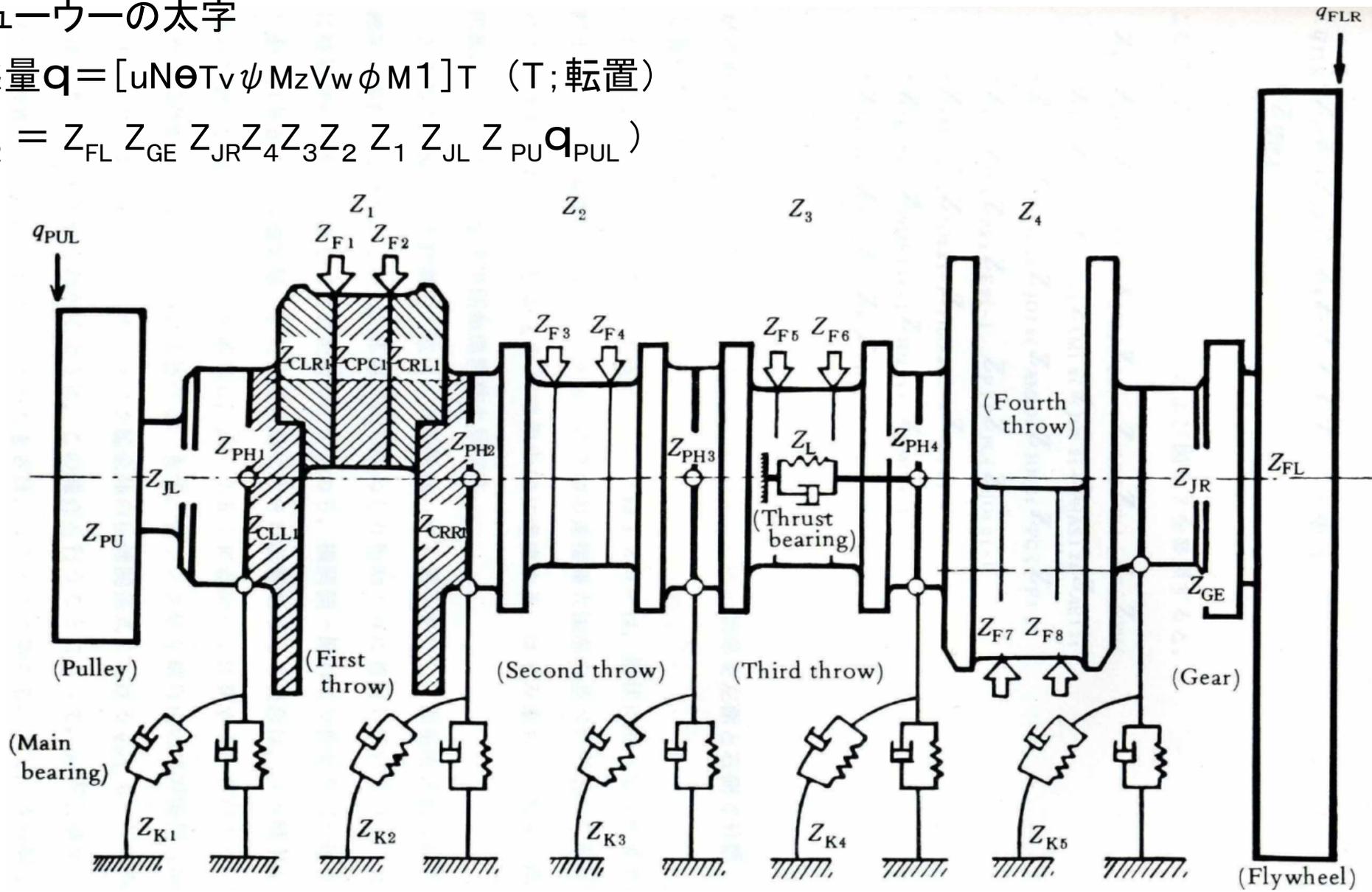


図 V型8シリンダエンジンクランク軸の振動モデルの概略

第Ⅱ編 関研究室の教育研究業績

I. 関研究室における研究業績

【振動付加応力測定】

クランク軸のピン外周にストレインゲージを貼付して振動付加応力を測定する。次図は一例として自動車用V型8シリンダ機関を対象とし、**ストレインゲージの貼付位置を示した図**である。

図(a)は、**各ピン外周中間位置およびフィレット部にゲージを貼付した図**である。ピン外周に接着したゲージに接続したリード線の引き込み用に加工したピン中間上部(図中)の穴に、まずリード線を通してピン内部に入れる。なお、ピンには質量軽減用の穴が最初から空けてあった。また、プーリ側の主軸受部はリード線を通すために中空穴を開けた。

そして、図(b)はフライホイール側からスリップリングを取り付けてあるプーリ側への**リード線の引き出し方法を示した概略図**である。

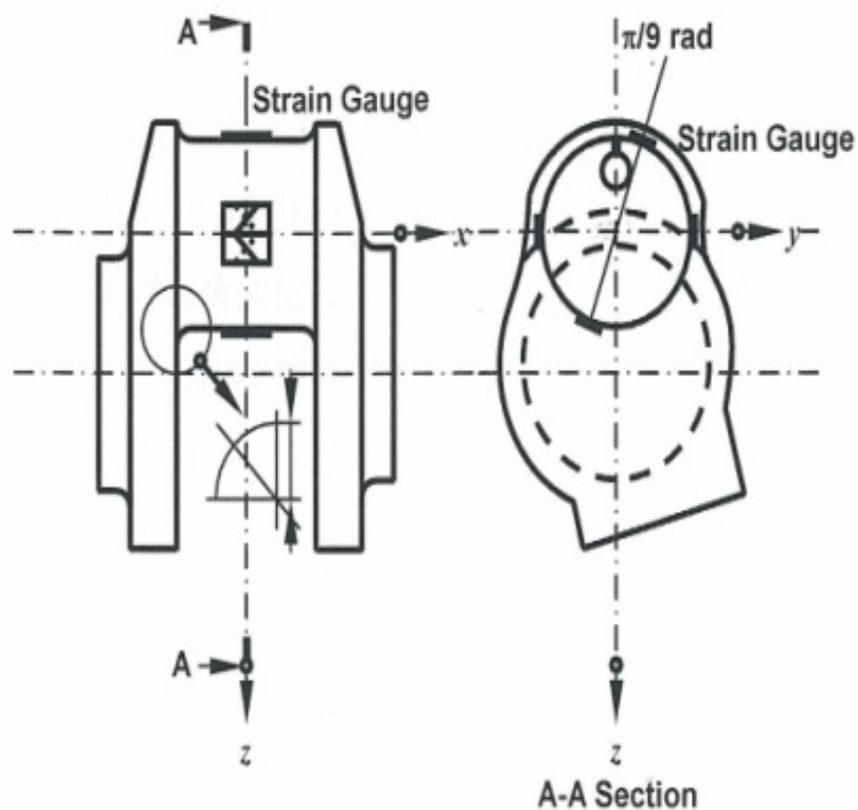


図 (a) ストレインゲージの貼付位置

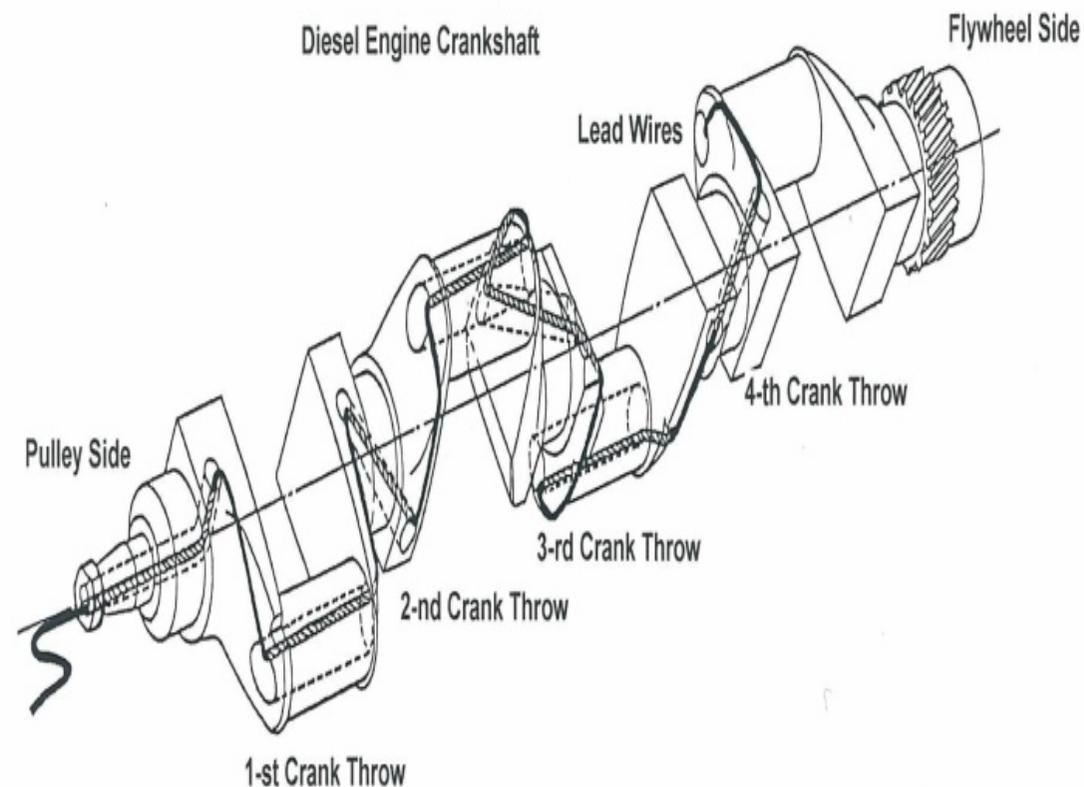


図 (b) リード線の引き出し方法

1.2.4 伝達マトリクス法と有限要素法を組合せた解析法による内燃機関クランク軸系の局所的な応力集中部の応力計算への適用

フィレットや油穴部等の応力集中部の付加応力を求める時は、伝達マトリクス法を導入したクランク軸系の三次元振動モデル上の応力集中部を含む部分を仮想的に取り出して、有限要素法を適用して要素分割し、本計算より求められた該当する分割要素両端の状態量を境界条件として与えて、**ズームング計算する一方法を提案した。**

これらの解析法から求められた計算結果は、実験結果と比較検討され、工学的に十分計算精度が得られることを確認した。

1.3 ねじり振動低減用ダンパの開発研究

疲労折損の防止, 耐久性の向上, 乗心地の向上, 騒音の低減等の観点から, エンジンクランク軸系のねじり振動角変位及び振動付加応力の値をできるだけ低減させる必要がある.

各種ダンパ装着クランク軸系のねじり振動特性を実験と解析より検証し, **最適ダンパ設計に有効な方法及び条件を提案して, 内燃機関クランク軸系の振動低減に寄与した.**

1.3.1 せん断型ゴムねじり振動ダンパの開発研究

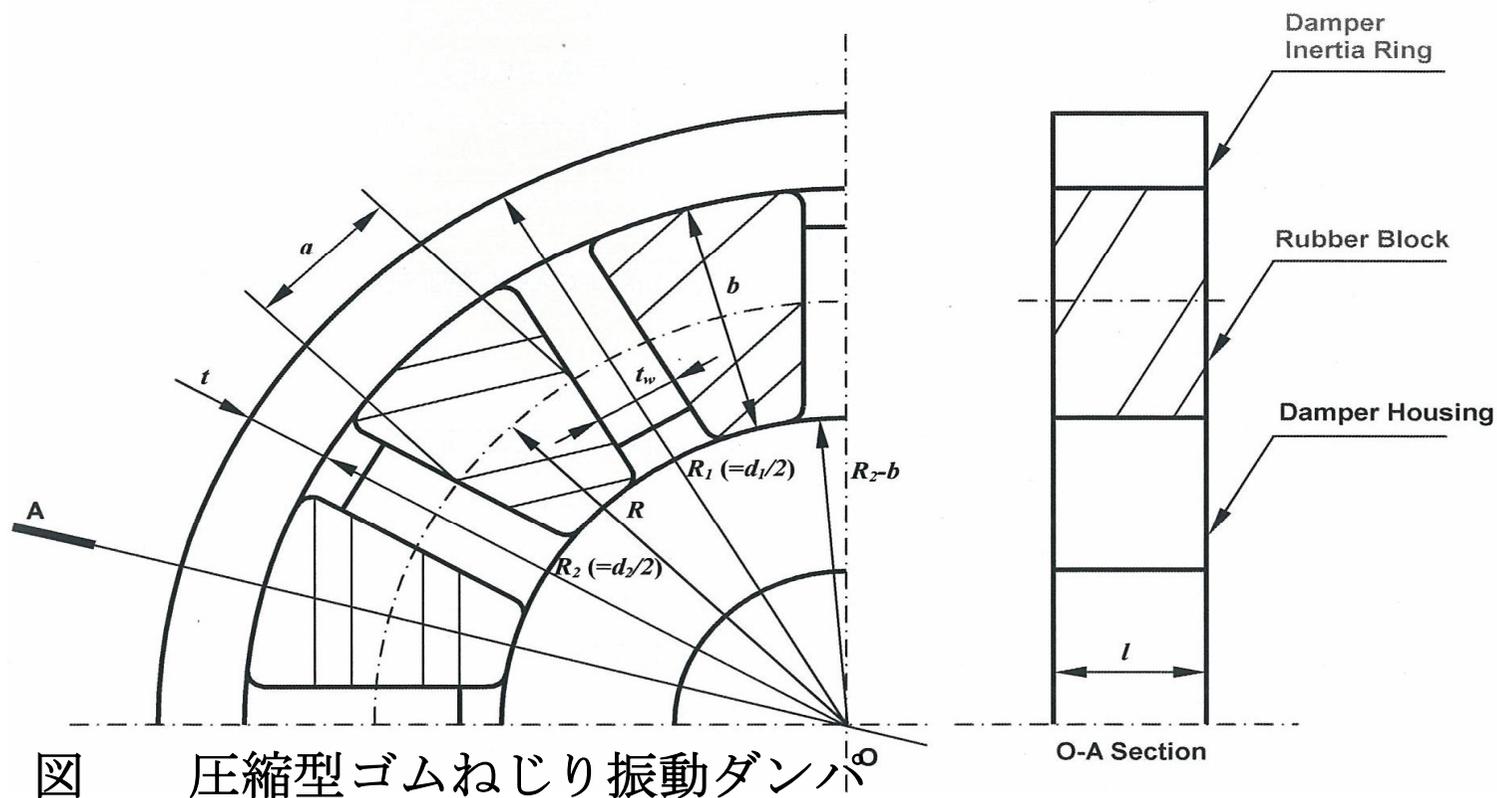
設計対象とするせん断型ゴムダンパを装着したクランク軸系を、図に示す集中質点等価振動系に置換する。そして、推移マトリクス法を導入したクランク軸系のねじり振動角変位波形のシミュレーションを採用する。新たにクランク軸系に加わったゴムダンパにおいて、**ゴムの動特性を考慮して振動計算をする方法を提示**した。図示したようにダンパゴム部は、フォークト・モデル (Voigt model) に置換され、そのねじりばね定数および減衰係数は、後述するそれぞれの実験式にひずみ速度振幅値を与えることにより求められる。初期値を与えて角変位起計算し、主要次数のひずみ速度を算出し、この値を与えてばね定数および減衰係数を新たに求めて、両者の値の差が許容値内でない時は、再度角変位計算をすることを繰り返して、収束計算をしてねじりばね定数および減衰係数を決定する。

1.3.2 圧縮型ゴムねじり振動ダンパの考案

従来のせん断型ねじり振動ゴムダンパは、ダンパゴム部に大きなせん断力が生じた場合に大きく発熱し、その繰り返しのよるゴム部が高熱になり解重合破壊を起こし問題になった。

ゴムの許容圧縮応力が許容せん断応力より大きい性質に着目し、ねじり振動トルクをゴム片の圧縮によって受ける圧縮型ゴムねじり振動ダンパを新たに考案(図参照)して、その設計方法を提示し、試作ダンパの有効性を確認した(図参照)。

しかし、構造が複雑になるのでコストの低減および一層の制振性能向上の研究は継続中である。



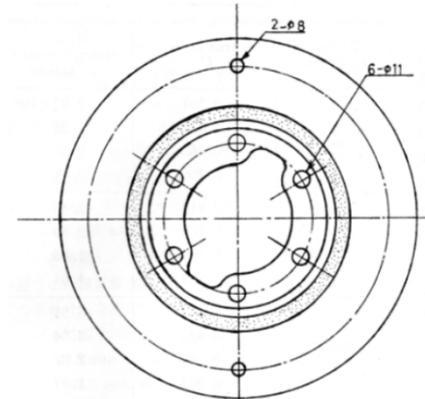
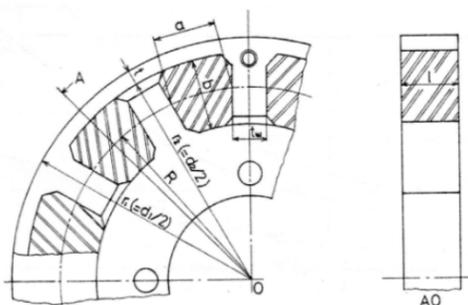
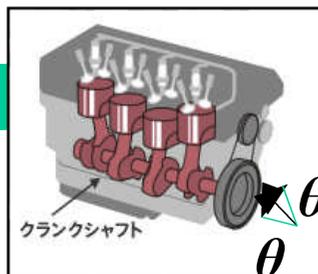
第II編 関研究室の教育研究業績

I. 関研究室における研究業績

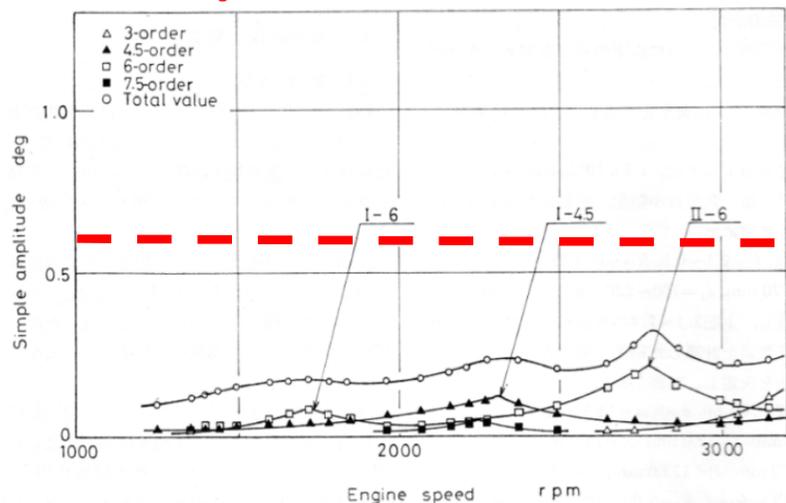
直列6シリンダディーゼルエンジンのねじり振動の制振効果(研究成果の一例)

圧縮型ダンパの装着

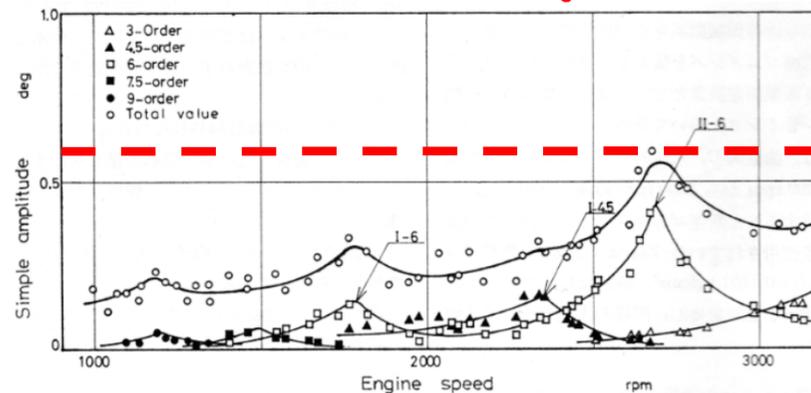
せん断型ダンパの装着



ねじり振動振幅曲線
(ダンパなしのクランク軸前端部)



制振効果 >



第Ⅱ編 関研究室の教育研究業績

I. 関研究室における研究業績

1.3.3 粘性ねじり振動ダンパの開発研究

【要旨】粘性ねじり振動ダンパは減衰効果が大きいが、**ダンパに充てんされているシリコーン油は非ニュートン流体**で、複雑な特性を示し、ダンパ設計の際に問題となっている。本研究室で開発した解析法を使用して計算した結果を、2点同時測定法を採用した実験結果と比較検討した。さらに、ダンパ部の振動モデル化について検討し、**ダンパ設計の際に有効な方法を提示した。**

研究成果として、粘性ダンパ設計に必要な特性を明かにした。以下に、重要な2項目について記述する。

- ①隙間寸法が一定の場合に、**共振振幅値を最小にする最適動粘度が存在する。**
- ②シリコーン油粘度を一定にして、ダンパ慣性モーメントを変化させた場合に、ダンパ慣性比 R (ダンパ慣性モーメント/クランク軸系の有効性モーメント) を大きくすると共振振幅は低下する傾向がある。しかし慣性比を大きくすると、機関使用回転数内に新たに振幅の大きい低次振動が現れるので、これまで経験値として使用されていた **$0.1 \leq R \leq 0.3$ を配慮して設計する必要がある。**

第Ⅱ編 関研究室の教育研究業績

I. 関研究室における研究業績

1. 4. 内燃機関クランク軸系のねじり振動減衰特性およびねじり振動ダンパの減衰特性に関する研究

1.4.1 クランク軸系のねじり振動減衰特性

【要旨】マトリクス法を導入したねじり振動解析法を開発し、その数値計算法を提示した。しかし、精度の良い計算法であっても、減衰の見積もりが正確でないと、計算精度は大幅に低下する。そこで、数値計算に必要なエンジン軸系のねじり振動減衰を実験的に求める一方法に提案した。この提案した方法を採用し、自動車用小形高速ディーゼル機関の機関減衰特性の一端を明かにした。

本実験法では、機関運転中に吸気管通路を閉鎖して新気の流入を止めるか、あるいはデコンプを使用して減圧し、急に燃焼を停止させて得られる自由減衰ねじり振動波形記録(図参照)を採取し、これから減衰定数および減衰比を直接求めた。さらに、本実験法を採用して、直列小形高速ディーゼル機関6種類(総排気量; 1.9ℓ~10.2ℓ)を対象として実験を行った結果、機関減衰比は0.03~0.04(図参照)であり、ピストリング(とくに、油かきリング)は機関減衰に大きな影響を与えることを明かにした。

第Ⅱ編 関研究室の教育研究業績

I. 関研究室における研究業績

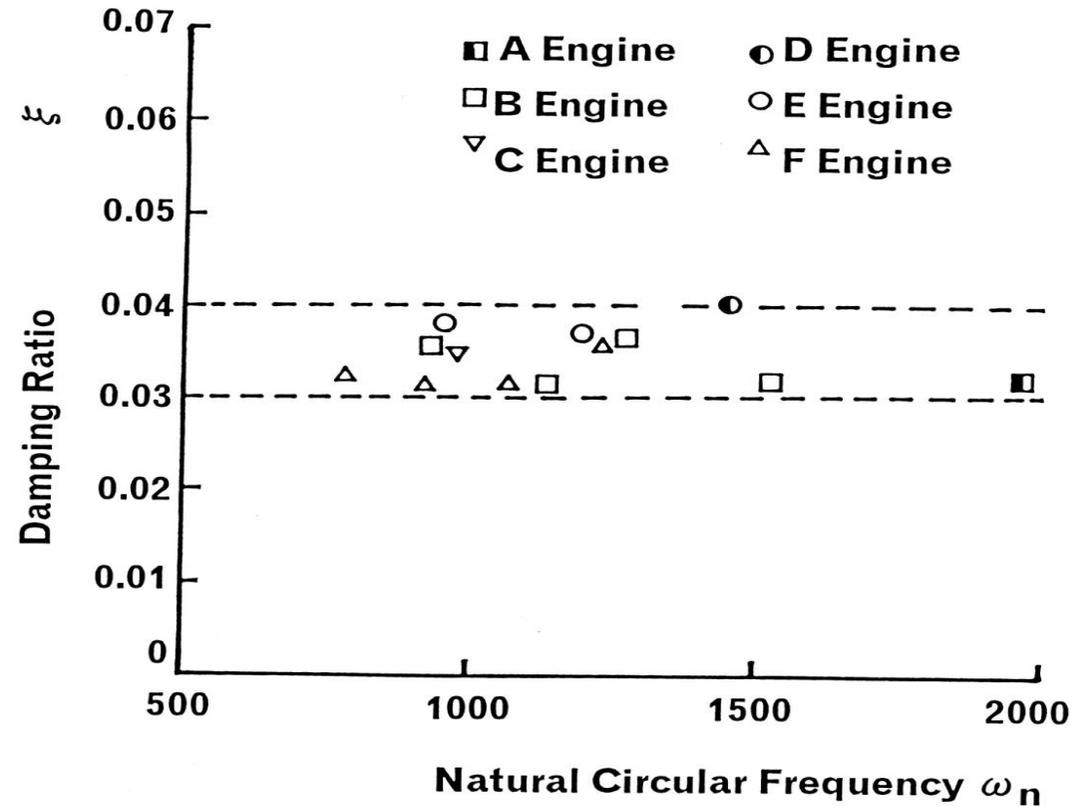
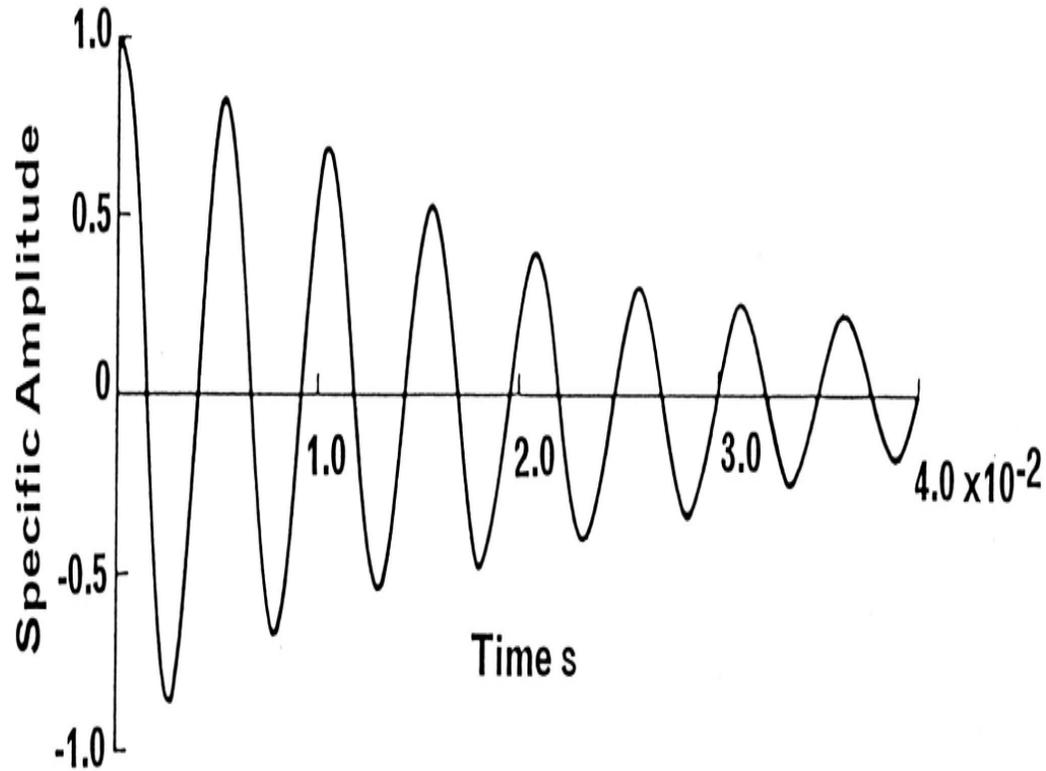


図 実測自由減衰ねじり振動波形 (総排気量 8.0L)

図 小型高速ディーゼル機関の機関減衰比(総排気量1.9~10.2L)

1.4.2 ねじり振動ダンパの減衰特性

①ゴムねじり振動ダンパの減衰特性

ねじり振動特性のほぼ判明している直列機関(総排気量:6L)を加振機と見立てて実験を行い,ダンパのゴム動特性を調べた. ダンパ慣性リングおよびダンパハウジングのねじり角変位波形は,位相差形ねじり振動計を使用して同時計測した. なお,天然ゴムは温度に敏感なので,ゴム部の温度をほぼ40°C一定に保って実験を行った.

この実験結果より動的ねじりこわさ K_d ,減衰係数 C_d ,こわさの動倍率 $M_k(=k_d/k_{dh})$ および減衰比 ζ を求めた. これらの値をひずみ速度振幅を横軸に取って整理した(図参照). これらの図より,ゴム温度が一定の条件下では,ひずみ速度の関数で,一次近似としてほぼ整理できることが判明した.

第 II 編 関研究室の教育研究業績

I. 関研究室における研究業績

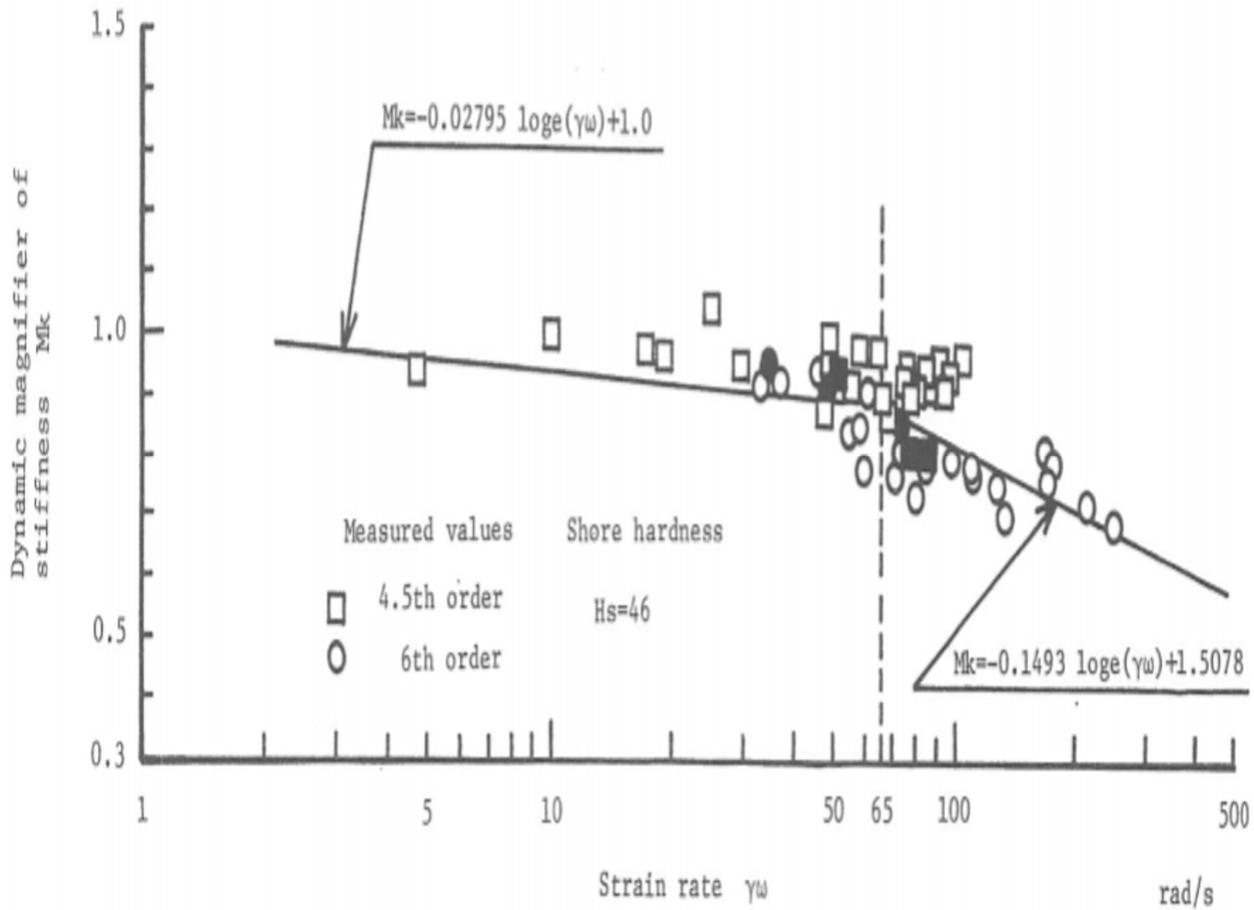


図 ねじりこわさの動倍率とひずみ速度の関係(313K)

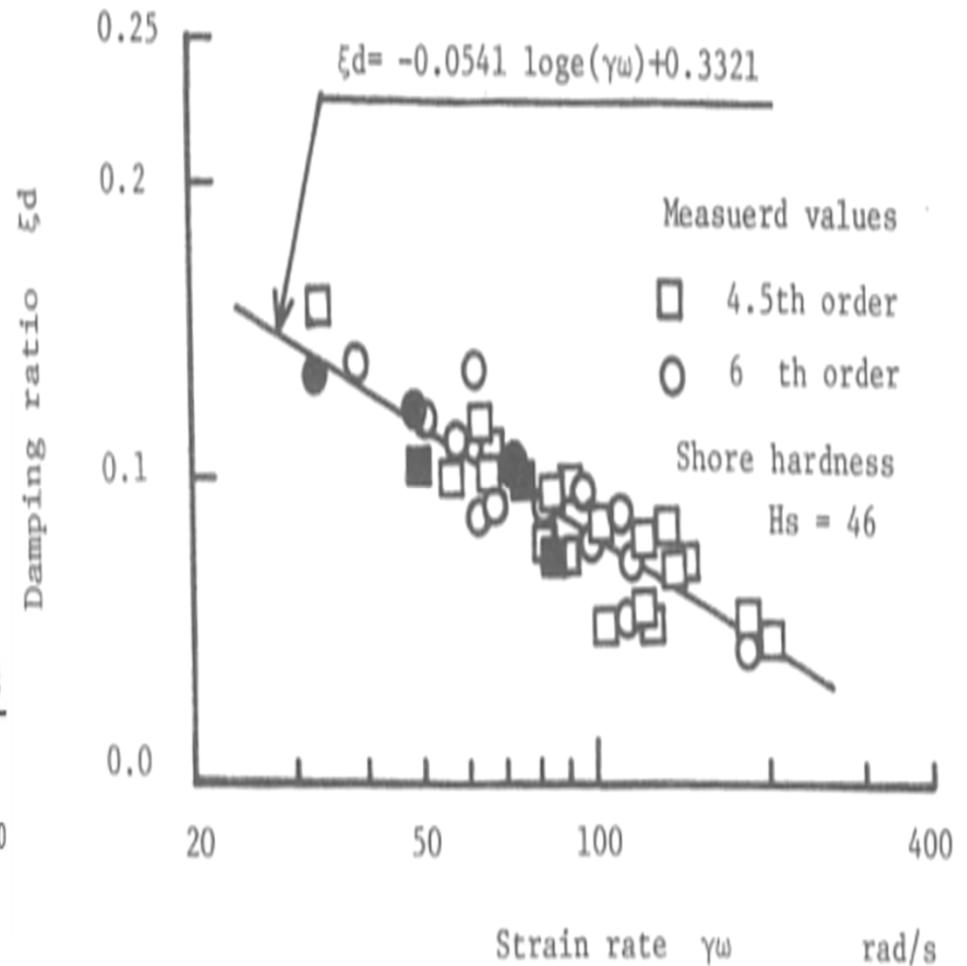


図 減衰比とひずみ速度の関係(313K)

第Ⅱ編 関研究室の教育研究業績

I. 関研究室における研究業績

②粘性ねじり振動ダンパの減衰特性(2点同時測定法による粘性ダンパ装着機関クランク軸系のダンパ部の動的特性)

(1)【2点同時測定法】

粘性ダンパの慣性リング部およびケーシング部のねじり振動角変位波形を、**実機運転中に同時測定**し、作動中のダンパ部の動的特性を直接実験的に調査した。慣性リング部およびケーシング(同時測定を可能とする形状のケーシング)部は、**透明のアクリル樹脂で製作**(図参照)した。慣性リング部およびケーシングのそれぞれの**外周にパルス発生用のパルステーブ**(白と黒の部分が交互に並んでいる)を貼付した。オプティカルセンサの発光部より投光し、受光部より電圧信号として検出する。検出された信号から回転変動に比例した周波数信号を取り出し、得られた信号は増幅器を介してデータロガーに記録される。さらに、この電圧信号より平均角速度(中心周波数)を演算し、**検出周波数と中心周波数の差からねじり振動角変位が算出**できるので、両者の**ねじり振動波形が同時測定可能**となる(以下、**2点同時測定法**と呼ぶ)。

第Ⅱ編 関研究室の教育研究業績

I. 関研究室における研究業績



図 (a) 2点同時測定用粘性ダンパを構成している主用部品

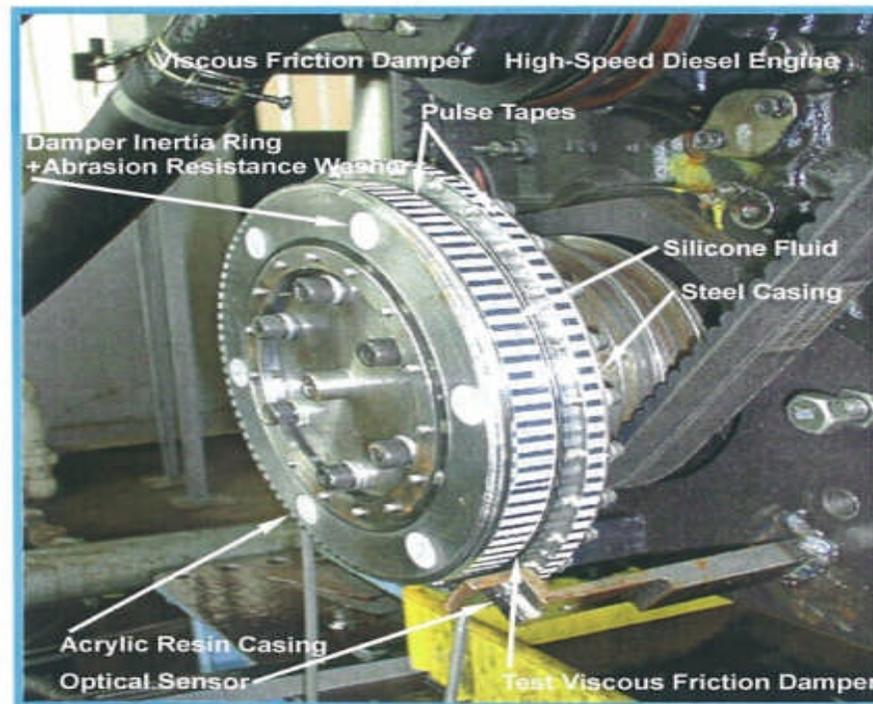


図 (b) 2点同時測定用粘性ダンパを機関プーリ端に装着した図

(2)【実験結果のまとめ】

この2点同時測定法を導入し、ダンパ慣性モーメント、慣性リングとケーシング間の隙間寸法(半径方向寸法, 横方向寸法)および充填するシリコーン油の動粘度を変化させて、粘性ダンパ装着機関クランク軸系を対象にして実験より得られた主なる結果を、以下に記載する。

- i) 粘性ダンパの設計に広く採用されているB.I.C.E.R.A.の経験式より得られる隙間は、充填シリコーン油の動粘度によっては必ずしも共振振幅を最小とする最適な値にならない。
- ii) 充填シリコーン油の動粘度が決定されれば、その動粘度に対応する最適な隙間(半径方向隙間, 横方向隙間)寸法が存在する。
- iii) 充填シリコーン油が高粘度のダンパを設計する場合には、ばね効果を考慮する必要がある。

第Ⅱ編 関研究室の教育研究業績

I. 関研究室における研究業績

1.5 シリンダヘッドガスケットの開発研究

研究の背景

時代は自動車用ディーゼルエンジンの直噴化黎明期で、将来の高過給エンジンに対してシリンダヘッドガスケットのシール性能が危惧されていた。そこで、関研究室では以下に示す2つのテーマで開発研究を行った。

(開発研究1)「シリンダヘッドガスケット特性研究」

- ①. シール面圧解析； 与圧三角形理論とヘッドボルト軸力
- ②. ヘッドボルト軸力計測とヘタリ(応力緩和)
- ③. ギャップセンサーによるヘッドリフトの計測
- ④. メカニカルインピーダンスによるガスケットの特性理解
- ⑤. 超塑性材料によるガスケットの研究／メタルガスケットへの布石

(開発研究2)「Zn-22Al超塑性合金を用いた複合材料のシリンダヘッドガスケットへの応用研究」

第Ⅱ編 関研究室の教育研究業績

I. 関研究室における研究業績

1.5.1 開発研究(1)「シリンダヘッドガスケット特性研究」

①シール面圧解析

与圧三角形理論; ヘッドボルト軸力
(ひずみゲージによる軸力計)と
ガスケットの圧縮変位(ひずみ線図および鉛弾
片厚さによる圧縮量計測)

従来は静的な締め付けによる初期面圧解析
でガスケットの性能を把握するにとどまってい
たが、**シリンダ加圧時の面圧解析**をめざす研
究の第一歩を与圧三角形図(Fig. Gasket and
Joint Diagram)を作成することで考察した。

②ヘッドボルト軸力計測とヘタリ(応力緩和)

軸力測定にはひずみゲージを使用し、燃焼圧力による変動分を含めた運転時の軸力変動をとらえた。同時にシリンダヘッドの測温もおこない軸力の温度変動の要因をより深く解析した。運転後の軸力低下量と運転後の**ガスケット厚さ量からガスケットのヘタリ(応力緩和)**を解析した。その結果**運転初期軸力増分と運転終了時の軸力減少分の要因解析**をおこなった。

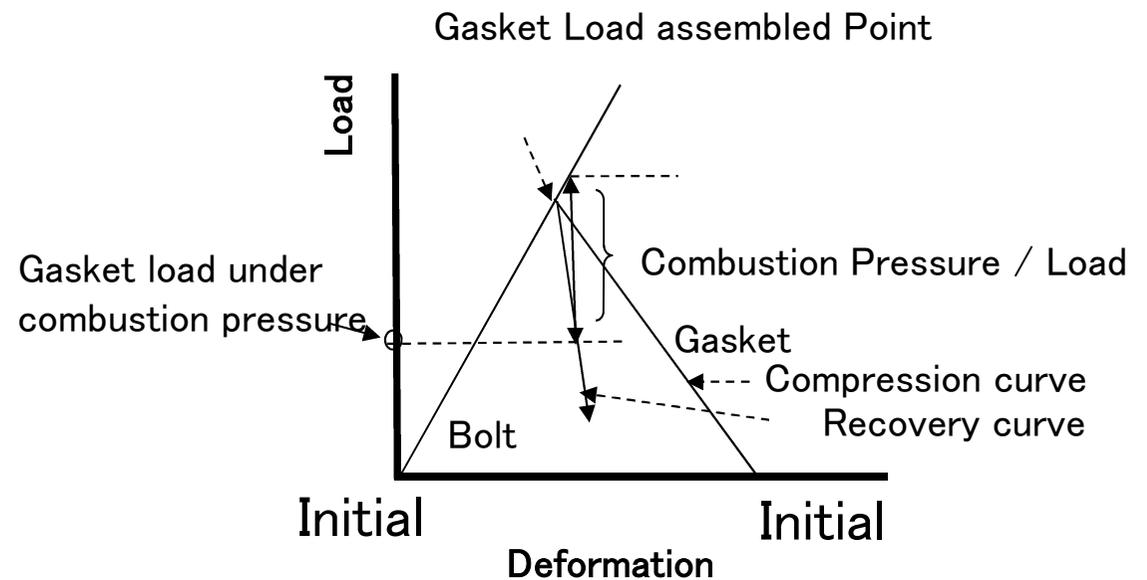


Fig. Gasket and joint diagram

第Ⅱ編 関研究室の教育研究業績

I. 関研究室における研究業績

③ギャップセンサーによるヘッドリフトの計測

運転時のガスケットシール面圧解析にはシリンダヘッドリ

フトを実測する必要があるという観点から、ギャップセンサーを自作し、薄型にしたセンサーをガスケットに埋め込んで計測した。薄型センサーの製作、ガスケットへの埋め込みは非常に苦労した作業であった。

④メカニカルインピーダンスによるガスケットの締結体の影響解析

シリンダヘッド、シリンダヘッドガスケット、シリンダブロックの締結体で、シリンダヘッドガスケットの剛性が変化した場合のシリンダヘッドからシリンダブロックへの振動伝達特性をメカニカルインピーダンス(F/V)として捉え、ガスケット剛性の動的特性の影響を解析した。結果はガスケットの剛性が高くなった場合においても共振も発生せず、伝達特性の影響は小さいことが解析でき、クリープ特性に優れた高剛性メタルガスケットを開発すべきと判断された。

ポビン(初期ベークライト、後にガラスエポキシ)

外径約6mm



線径20 μ m以下の極細ポリイミド被覆銅線

樹脂製ポビンに極細ワイアを百回以上巻き、終了後はポビンの両端を切り落とし薄物センサー(ガスケット厚さ以下)を製作した。外径約6mm、厚さ約1mm。

ワイア巻きつけバラツキによるセンサーの感度/出力のバラツキは個々のセンサーのガスケットへの勘合後に校正曲線を作成することで対処した。

Fig. ギャップセンサーの製作

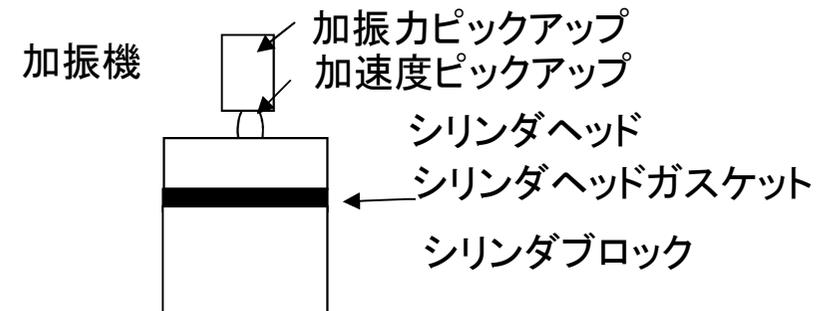


Fig. メカニカルインピーダンスの測定

第Ⅱ編 関研究室の教育研究業績

I. 関研究室における研究業績

⑤. 超塑性材を使用したシリンダヘッドガスケット

今後のシリンダヘッドガスケット, 特に高過給エンジンに求められる特性として, 高剛性シリンダヘッド, ブロックと締結荷重の増大に対する高耐圧特性が必要であると考えられた. ベンチマークとして当時の欧米の高過給エンジン(Benz, Volvo, Mack, Cummins など)を調査した結果からもガスケットの金属化(メタル化)が見られた. 以上の観点から次世代ガスケットの構造は本体は金属, ただしマイクロシールの為にはエラストマーを併用するものと考えた.

最初に, Zn-22Al超塑性合金の使用について検討した結果, 加熱運転時のクリープに問題があった. そこで, 超塑性材料を金属板に爪の加工が施された(Perforated Core)芯材に抱き合わせるような複合材とし, 機械的にクリープを抑制する構造を考えた. この場合, 超塑性材料のなじみ特性からマイクロシールを確保することが可能となり, エラストマーの併用が不要になることが期待された。

第Ⅱ編 関研究室の教育研究業績

I. 関研究室における研究業績

1.5.4 開発研究(2) 「Zn-22Al超塑性合金を用いた複合材料のシリンダヘッドガスケットへの応用研究」

【製作したガスケットの構造】

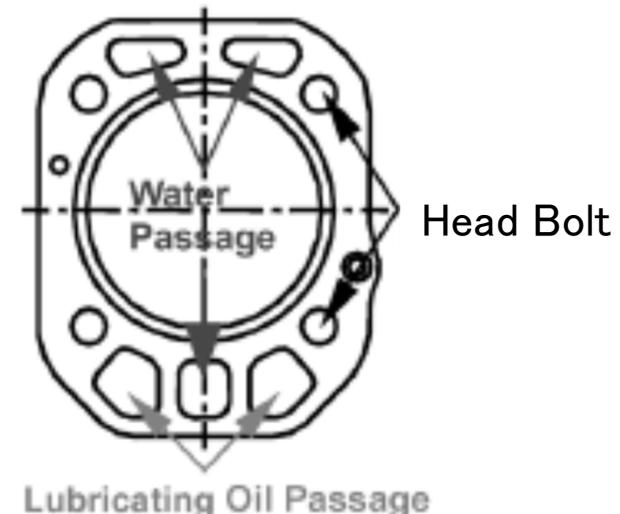
・本体シート部

亜鉛メッキを施したSPCC 冷間圧延鋼板フック芯材 (Perforated core) の両表面にZn-22Al系超塑性合金板をホットプレスにて張り合わせた(加熱圧着)複合材料. フック加工した芯材の両表面から超塑性加工板材料を隙間なく流れ込むようにフック芯材の隙間部に加熱圧着させたのが特徴.

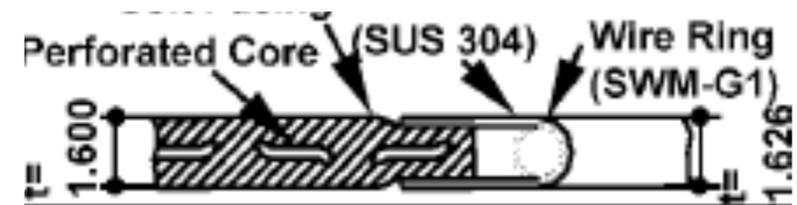
・ボアガスシール部

SUS リング線材の両端を溶接にて結合し, ボア径に沿って円く成形したリングをSUS薄板により包み込むように本体シートに保持(従来構造に同じ).

本構造のガスケットは実用化までには至っていない(主にボルト孔周近傍の応力緩和の抑制が不十分であった). ただし, 以降のガスケットのメタル化には多岐に渡り貢献した.



Zn-22Al 超塑性合金板(上下2枚)を芯材の両面に加熱圧着させ一体化したもののハッチ部



第Ⅱ編 関研究室の教育研究業績

I. 関研究室における研究業績

1. 6 ピストンスラップに関する研究(1970~1979年)

【要旨】ピストンがシリンダ中を往復運動するときピストン頂部が、ピストンピンを中心として頭を振って(スラッピング)シリンダ壁に衝突する。この原因はピストン・クランク機構で発生する側圧力により、ピストンの首振り運動が起こるためである。この衝突によって発生する衝突音(ピストンスラップ音)は、エンジンの機械騒音の一つである。

この騒音を防止するために、**ピストンの腹に耐熱耐摩耗性の長所を有するルーロン強力合成樹脂を抱かせたピストンを開発**した。このピストンは頂部の衝突を根絶してルーロンとシリンダを接触させる機能をもたせた。

試作したルーロン装着ピストン(図参照)を単気筒エンジンに装着して騒音測定をした結果、**3dBの騒音低減効果**があった。

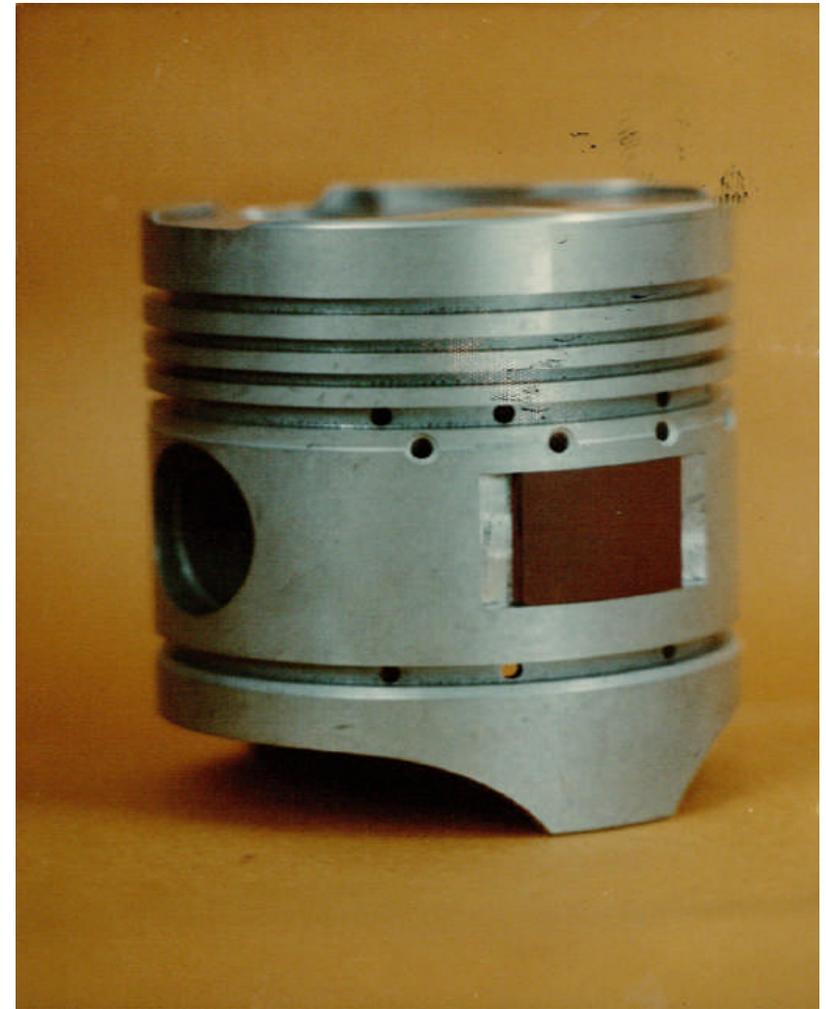
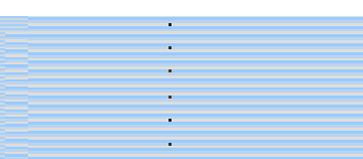
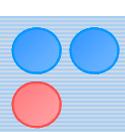


図 ノンスラップピストン(ルーロン装着ピストン)



第Ⅱ編 関研究室の教育研究業績

Ⅱ. 関研究室における教育業績

第Ⅱ編 関研究室の教育研究業績

Ⅱ 関研究室における教育業績

1. 講義科目および演習科目(関先生担当)(1943年～1979年)

学部で開講の講義科目は、「機械力学」、「内燃機関設計」である。講義科目に教科書はあったが、それにのっとりず、常にご自分の体験を通して具体的に話され、学生の注意を惹き付け。

演習科目は4年開講の「内燃機関設計製図」で、企業の現場で培われた体験と知識を基にして大変力を入れられた。この科目では、分解された実際のエンジンが教材となり、エンジンの組み立て図と十数枚にわたる部品図を要求され、描く学生にとっては厳しいのであった。自分の手に鉛筆を握り、トレーシングペーパーに線を引き、図面を作る苦勞を味わって作図に習熟し、図面の読み方を修得することを目標とした。

第Ⅱ編 関研究室の教育研究業績

Ⅱ 関研究室における教育業績

2. 卒業設計:空冷高速ディーゼル機関の設計(1943年度～1957年度)

当時、日本の陸上運輸事情は経済性あるいは道路事情等の見地から乗用車の問題の解決を中・小型車のDieselizationに求めていた。しかし、ディーゼル機関の小型化は、工作技術および振動問題等の解決しなければならない多くの課題があった。本「卒業設計」では、このような困難な問題を背景として、エンジン設計に取り組むことを目標としていた。

しかし、学生の履修した「卒業設計」の設計書は、ほとんど保存されていないのが現状である。そこで、現存する設計書の一つを例にとり、その要旨について以下に紹介する。

①題目「直列4気筒4衝程水冷頭上弁型渦流室燃焼式自動車用高速ディーゼル機関」設計書(1951年度)(原文通り)

【要旨】唯一の国産中型車であるトヨペットを仮想車体として4シタンダ×(シリンダ径)70mm×(行程)97mmなるエンジンの設計をする。このエンジンは高速回転を要求されているために燃焼室型式として渦流室式を採用した。まず、トヨペットのデータ(車輻重量、積載量、車輪直径、最大勾配)を参考にして、本設計で使用する乗用車の諸元(自重、積載量(乗員5名)、総重量、最大投影面積、全変速比)を推定し、走行抵抗より所要出力を求めて、順次、①主要諸元を決定し、②インディケータ線図を推定し、③力学的計算をして、④各部設計をしている。この手順で、エンジンの主要部品の設計を完成している。この設計エンジンの主要諸元を次表に示した。

第Ⅱ編 関研究室の教育研究業績

Ⅱ 関研究室における教育業績

表		主要諸元
機関種別	ディーゼル・エンジン	(原文のまま記載)
型式	水冷直列4気筒	
サイクル	4	
燃焼室型式	渦流室式	
気筒数	4	
直径	70mm	
行程	97mm	
総排気量	1493 litre	
圧縮比	18.0	
最大馬力	26hp(3600rpm)	
標準馬力	19hp(2400rpm)	
最大回転力	5.85kgfm(2000rpm)	
燃料消費量	約210g/hp/h	
全長	800mm	
全幅	515mm	
全高	645mm	
点火順序	1-2-4-3	
潤滑油消費量	約6g/hp/h	

第Ⅱ編 関研究室の教育研究業績

Ⅱ . 関研究室における教育業績

②確認できている卒業計画設計の題目を以下に記載する(設計書原文のまま記載) .

- ・題目「国民車FF用水冷水平対向4気筒ガソリンエンジンの設計」(1953年度)
- ・題目「直列水冷2気筒2衝程反転掃気式自動車用小型高速ディーゼル機関:理論計算及性能解析」(1958年度)
- ・題目「空冷4サイクルディーゼルエンジン;馬力25HP, 最高回転数2600rpm、総排気量1340 cc」、気筒数3気筒」(1960年度)

3. 卒業計画設計：自動車設計コース（関先生，山中旭先生担当） （1958年度～1978年度）

卒業論文の一分野として、「卒業計画設計」が開講されていた。関研究室は、この科目で自動車設計に取り組んでいた。その上、自動車に関するテーマを細分化しないで、チームを組んで自動車全体に取り組み、全体像を語れる人材を育成すること教育目標としていた。クルマが好きで、自分の思い通りにクルマを造ってみたいという学生が多く履修していた。

上記の期間で取り組んだ対象は、年代順に、

- (1) スポーツカー
- (2) キャンピングカー
- (3) 多用途車W.U.V.

であり、いずれも将来を見通したテーマで取り組んだ。

これらのテーマによる実践教育をすることにより、学生に大きな自信を与え、設計技術者、開発研究者およびデザイナーとして活躍する多くの卒業生を世に送り出すことに貢献した。

3.1 スポーツカーの設計(1958～1970年度)

①【各年度内容】

1958～1964年度: 車全体の強度計算, エンジン・ボディー・サスペンションの1/1設計図作成

1965年度: 車全体の強度計算, エンジン・ボディー・サスペンションの1/1設計図作成

+ 外観スタイリングデザインと1/5クレーモデルの製作

1966年度: 車全体の強度計算, エンジン・ボディー・サスペンションの1/1設計図作成

+ 上記クレーモデルから1/1石膏母型製作

1967年度: 車全体の強度計算, エンジン・ボディー・サスペンションの1/1設計図作成

+ 上記1/1石膏母型からFRP外板・ドアを製作

1968年度: 車全体の強度計算, エンジン・ボディー・サスペンションの1/1設計図作成

+ 1965年度に入手した日産フェアレディ車に上記FRP外板・ドアを取り付け走行可能な実車製作

1969～1970年度: 車全体の強度計算, エンジン・ボディー・サスペンションの1/1設計図作成

* 各年度1～5名のグループワーク

* 車のエンジン・ボディー・サスペンションの担当に別れ, それぞれの強度計算・1/1設計図作成

第Ⅱ編 関研究室の教育研究業績

Ⅱ. 関研究室における教育業績

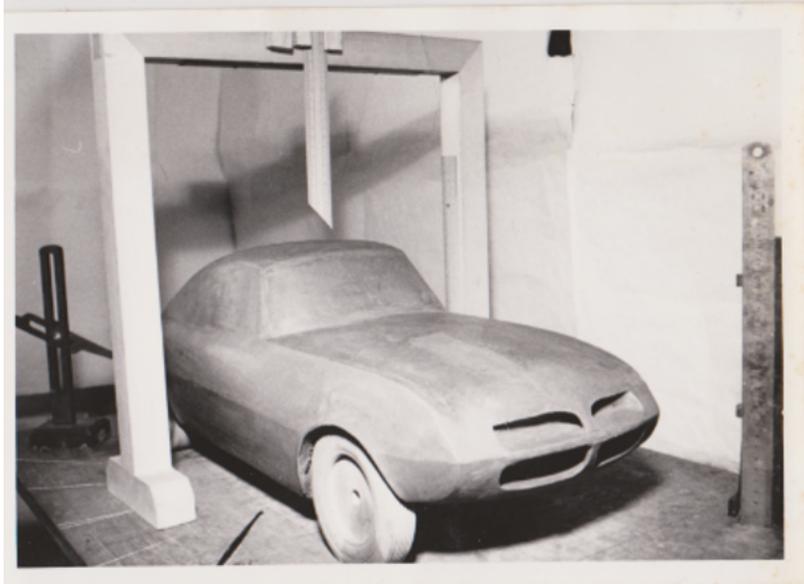
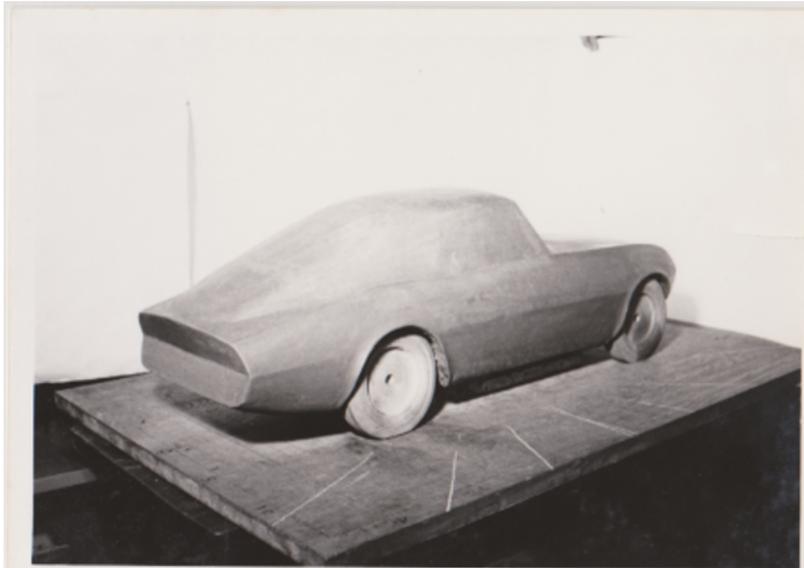


図 1 / 5 クレーモデル



図 走行可能な実車

②【卒論内容】

- ・毎年度エンジン・ボディー・サスペンションの形式を変更し、各種強度計算・1／1設計図を作成.
- ・当時は参考設計図がほとんど無く、ドイツ自動車雑誌ATZの部分的図面や色々の実車を採寸し設計図を作成.
- ・自動車会社入社5年目のエンジニアレベルを目標にしたため、かなり困難な内容でチャレンジ精神を大いに育成.
- ・参考資料が無い中で高度な目標に挑戦したので、卒論提出前の6ヶ月は関研究室に寝袋を持ち込み、毎日4～5時間程度の睡眠で設計作業を遂行.
- ・先生から具体的な細かい指示は無く、“いいからやれ！”
『一番良い教え方は教えないこと』だと気付いた.
自ら実践し、自ら気付くのを待っている教育だった.
- ・卒業翌年8月頃に外部で実施する先生を含む先輩による評価がもっとも厳しく、しかしすでに実務をされている方々からの指導や苦労話を伺う機会が大変参考になり、とても勉強になった.

第Ⅱ編 関研究室の教育研究業績

Ⅱ. 関研究室における教育業績

3. 2 キャンピングカーへの改造および設計(1971年度～1972年度)

●Team MT.SUN Camper(改造キャンピングカー, 1971年度)

3年生時にDelicaを加藤車体でキャンピングカーに改造した。MT.SUNの文字は平凡パンチに出ていたというレタリングにするということで平凡出版に出向き字体を入手。ボディは木目模様にした。室内は完全にキャンピングカー仕様とし、石油ヒーターまで備えたもの。

雪深い上越で寒地試験まで実施。メンバーで温度測定しながら一夜を明かした。



1971 Team MT. SUN Camper

第Ⅱ編 関研究室の教育研究業績

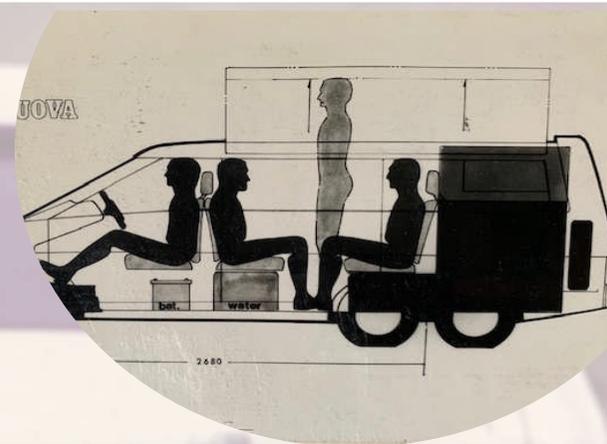
Ⅱ. 関研究室における教育業績

●ESRV(Experimental Safety Recreational Vehicle)の設計(1972年度)

来るべきRV時代に最先端の技術を加えた安全実験RV車の設計. 環境とのかかわりあいの中で生活空間を形づくり, 移動の楽しみを得られる安全設計を考慮した新ジャンルの車両. 前一軸のダブルウィッシュボーンサスペンション, 後ろ小径タイヤの二軸, 横置きトーションバーサスペンションで低床化を実現エンジンは小型で軽量なロータリーエンジンを採用. パッケージレイアウトは衝突安全に考慮したセミキャブスタイルとした.

1972 ESRV

- Experimental Safety Recreational Vehicle by
- 石渡邦和, 金光昭夫, 久田俊明
- Powered by Rotary Engine



3.3 多用途車W.U.V. (Wide(WASEDA) Utility Vehicle)の設計

車体上側後部を脱着式にして、アタッチメントを替えることによって、**スポーティーカー、セダン、貨客車、トラック、キャンピングカー等、1台で多くの用途に幅広く使える車**を目標とする。自動車の歴史と現状の把握、セグメント分類、各セグメントの数値化、目標諸元の決定、性能や強度の計算、部品仕様の決定、デザイン決定、作図等の自動車会社が行う一連の開発の流れの全てを、卒論メンバー数名で行った。このようにして、**多用途車の設計に進み、さらに模型(図参照)を製作した。**

例えば、メンバー5名の場合は、下記のテーマを一人1テーマを担当した。

- ① 基本計画とデザイン
- ② 原動機
- ③ 変速機, 駆動系
- ④ 車体
- ⑤ サスペンション

論文は、全て手書きで、内容は前年の先輩の卒論を参考にしたが、必要な箇所は全て手で書き写した。作業は大変であったが、完璧に頭の中に入れることができた。図面も、全てゼロから手描きであった外観形状を表現するのは、現在のような面データではなく、一本一本雲形定規を使って手描きする「線図」であった。

この卒論を纏めた結果、会社に入ってから自動車の知識や作図スキルでは、誰にも負けない自信を学生に持たせた。

第Ⅱ編 関研究室の教育研究業績

Ⅱ. 関研究室における教育業績



「生涯をディーゼルと共に歩んだ先導者である関敏郎先生」

謝

辞

自動車が大きな転換期を迎えている時代に、「生涯をディーゼルと共に歩んだ先導者である関敏郎先生」の業績をまとめる機会および自分自身を振り返る機会を与えていただき感謝申し上げます。

先生はご定年でご退職される際に、神の前で「心身の続く限りこの一筋に歩んだディーゼルの道に精進すること」を誓われ、更に「神の力の加護を得て、一段と冴えたディーゼル機関を与えられんこと」を祈られました。これは先生一流の我々へのご指導でもありました。そして、ご退職された年の11月に南極エレバス山に搭乗機が激突する事故に遭われた、先生ご夫妻のご葬儀の時に、このご指導に従って頑張ること誓い申し上げます。この誓いを頭の中に入れて原稿をまとめていました。

先生のディーゼルと共に歩んだ50年近い期間で上げられた業績をまとめることは、私の能力を越えていましたが、努力に努力を重ねると共に、母校での教育業績については、卒業計画設計関連して、小林三郎先生を中心にスポーツカー、石渡邦和氏にキャンピングカーおよび齋藤直行氏にW.U.V.の設計および製作、更に研究業績関連では、相澤收氏にはシリンダヘッドガasketの特性研究、また本田康裕先生には圧縮型ゴムダンパの開発研究およびノンスラップピストンの開発研究のまとめのご支援をいただきまとめる事が出来ました。深く感謝申し上げます。