

ディーゼル噴霧の運動量理論の開発と エンジントライボロジーの研究

和栗 雄太郎

インタビュアー：村瀬 英一

時：2009年 11 月 20 日
於：アルカディア市ヶ谷



社団法人自動車技術会

ディーゼル噴霧の運動量理論の開発 とエンジントライボロジーの研究

ゲスト 和栗 雄太郎 / インタビュアー 村瀬 英一

2009年11月20日(金) 於：アルカディア市ヶ谷



GUEST

和栗 雄太郎 (わくり ゆうたろう)

1928年7月 福岡市に生れる
1952年3月 九州大学工学部機械工学科卒業
1952年4月 三菱造船株式会社入社 本社技術部
1962年3月 工学博士
1963年10月 九州大学助教授(工学部)
1970年4月 九州大学教授(工学部)
1971年3月 文部省在外研究員(ロンドン大学インペリアルカレッジ)
～1972年2月
1983年4月 九州大学学生部参与
～1985年3月
1990年4月 九州大学評議員
～1992年3月
1992年3月 九州大学定年退官
1992年4月 九州大学名誉教授
1992年4月 福岡大学教授
1999年3月 福岡大学定年退職
併任、非常勤講師等(期間略)

大分大学工学部, 九州産業大学工学部, 機械技術研究所自動車安全公害部, 九州工業大学工学部, 福岡大学大学院工学研究科, 鳥取大学工学部, 北海道大学工学部, 北海道大学大学院工学研究科

【主な公職・団体暦および受賞】

1982年5月 自動車技術会九州支部長(1986年5月まで)
1984年4月 日本機械学会論文賞
1985年7月 日本学術会議会員(1994年7月まで)
1987年4月 日本機械学会創立90周年功労表彰
1987年4月 日本工学アカデミー会員
1988年4月 日本機械学会副会長(1989年4月まで)
1989年5月 日本船用機関学会創立5周年記念賞(土光賞)
1991年5月 日本船用機関学会副会長(1993年5月まで)
1993年10月 自動車技術会賞(学術貢献賞)
1995年7月 日本機械学会エンジンシステム部門功績賞
1995年7月 日本船用機関学会ISME学術貢献賞
1996年4月 日本機械学会名誉員
1997年4月 文部省学位授与機構審査委員会委員長(1999年3月まで)
1997年5月 自動車技術会創立50周年記念表彰
1999年5月 自動車技術会名誉会員
2000年5月 日本トライボロジー学会功績賞
2001年5月 日本マリンエンジニアリング学会賞(マンソン賞)
2007年5月 自動車技術会創立60周年記念表彰
2007年5月 日本マリンエンジニアリング学会名誉会員



INTERVIEWER

村瀬 英一 (むらせ えいち)

九州大学教授 工学博士

(所属は、インタビュー実施時のもの)

主な業績

和栗雄太郎氏は、1952年九州大学工学部機械工学科を卒業、直ちに三菱造船に入社、研究部において船用ディーゼル機関の研究開発に携ったのち63年九州大学助教授（工学部機械工学科）に就任し、70年九州大学教授（工学部動力機械工学科）、92年定年退官と同時に名誉教授の称号を授与され、続いて福岡大学教授に就任、99年同学を定年退職、現在に至っている。その間内燃機関の燃焼とトライボロジーに関する研究と教育に従事し、多数の優れた人材を育成するとともに卓越した研究業績を残した。同氏は1959年ディーゼル噴霧の運動特性について、燃料油滴が静止空气中を貫徹するとした既存の概念を根本的に転換し、油滴群の運動量が周囲の空気に移行して合体噴霧を形成するという運動量理論を世界で初めて創出し、噴霧の到達距離と対応する空気過剰率を表わす比較的簡単な数式を導出した。その成果は国内外で大きな反響を呼び、和栗の式は直接噴射機関の設計に活用されるとともに噴霧研究の基盤をなすものとして数十年にわたり文献に引用され続けてきた。同氏はまた内燃機関のトライボロジーの分野でも数多くの業績を挙げ、エンジンの信頼性、耐久性及び性能の向上に多大の貢献をした。代表的なものとして大型ディーゼル機関のクロスヘッドピン軸受の研究では、揺動軸受の特殊な潤滑特性を明確にし、良好な潤滑状態を確保するための設計基準を提示するとともに、この種軸受の亀裂発生が往復繰かえし摩擦に起因することを初めて明らかにした。また内燃機関に多用される円周方向に給油溝を有する短小軸受を対象に油膜分裂を考慮した給油特性を研究し、給油圧が動的給油量に及ぼす影響を解明した。ピストンリングの研究では、まず融着や摩耗に密接に関連する油膜の挙動を細かな理論解析と実験によって解明し、続いて往復・揺動試験機を創作して融着特性を検討し、さらに独特の浮動ライナ試験法によって摩擦特性を明らかにするなど幾多の有用な知見を示した。同氏はさらに実機関燃焼状態の直接観察によって噴霧の燃焼挙動を明らかにし、低NO_x燃焼、排煙低減技術の進展に大きく寄与し、エンジン技術の発展に貢献した。

これらの諸功績に対して、日本船用機関学会創立5周年記念賞（土光賞）、自動車技術会賞（学術貢献賞）、日本機械学会エンジンシステム部門功績賞、日本トライボロジー学会功績賞等を受賞した。

同氏はまた日本学術会議会員、同研究連絡委員会委員、日本学術振興会日米協力事業委員会委員、文部省学位授与機構審査委員会委員長などの要職に任ぜられ、わが国の学術行政に多大の寄与をした。

自動車技術会では技術会議委員をはじめ、九州支部長、理事、評議員を歴任し、当会の運営と発展に大きく貢献した。

《目次》

(1) 親の背中を見て育つ	4
(2) 三菱造船時代 「和栗の式」	4
(3) 三菱造船時代 「トライボロジー」	12
(4) 九州大学時代	20
(5) 深尾淳二さんのこと	21
(6) イギリス留学時代	22
(7) 和栗先生の思い出	24
(8) 大型試験エンジンNDTの話	24
(9) 大学の研究者に望むこと	26
(10) 自動車技術会とのかかわり	27
(11) 趣味について	28
(12) エネルギー問題と自動車用エンジンの将来	30

(1) 親の背中を見て育つ

村瀬 きょうは大変お忙しいところをお越しいただきまして、どうもありがとうございますました。

さて本日は、自動車技術会の企画により、我が国の自動車技術、また工業技術の基礎を築かれた方々に当時の技術背景を伺って、若者への技術の伝承や保存を目的としたインタビューをお願いした次第でございます。

和栗先生は九州支部でただお一人の名誉会員ということで、かつ私が現在、九州支部の支部長ということでインタビュアーとなったということもありますが、和栗先生は、私の学生時代の直接の恩師でもあります。その辺の大学の話は後ほどお伺いすることといたしまして、まず先生の学生時代、もっとさかのぼって幼少のころのお話からお伺いしたいと思います。

和栗 そうですね、私は父がやはり九州大学の機械の教官をしていました関係で、まあ親の背中を見て育つというのか、子供の頃からかなり機械に興味を持つ機会があったんだと考えております。具体的に申しますと、父が大学を卒業したのが大正11年で、ちょうどワシントン条約のころだったんですね。ですから、日本では海軍の軍備が大問題で、父もかなり興味を持っていたようで、私がまだ小学校に行く前から、大学に出勤する前に軍艦の絵をかいたり、あるいは蒸気機関車の複雑な絵をかいたり、そういうことをしてくれましたね。それから機械科の偉い先生、父の教授で工作法の岩岡保作先生とか、あるいは名古屋大学の工学部を創設された生源寺順先生、弾性強弱学の小野鑑正先生などのところによく連れていってくれました。そういうことで幼少のころから機械に親しむチャンスがあったと思います。夏休みになると、よく大学へ遊びに行き、父の工作実験室で、旋盤作業を見たりフライスを眺めたりというようなことで自然に育っていった、そう考えています。

村瀬 その辺のことに関係しまして、最近、理科系離れ、特に自動車技術会にとっては自動車離れ、ましてや我々エンジンに関係する者にとってはエンジン離れが非常に問題になっています。その原因の一つが、先生が言われたように、我々の子供のころは「機械いじり」で遊んでいたのですけれども、今はパソコンとかゲームが主流になっています。結局小さいころの経験というのは非常に大事だという話ですね。

和栗 そうですね。

(2) 三菱造船時代 「和栗の式」

村瀬 その後、先生は昭和27年に九大を卒業され、現在の三菱重工ですが、三菱造船に入社され、そこでいわゆるエンジンの道に進まれたわけですが、そこら辺の動機とか、お話をお願いします。

和栗 そうですね、私はほんとうを言うと、中学一年生のとき大東亜戦争が勃発し、戦争

中に育ちましたので、どちらかというと飛行機に興味を持っていたんですよ。それで、できれば飛行機関係の仕事がしたいと思っていたんですが、戦争が終って航空の研究が禁止になりました。で、私どもが大学に入ったころは航空工学科というのはなかった。そこで機械科に入ったわけですが、今考えると正解だったと思います。ちょうど卒業するころ、どこに就職するかを決めるときに、三菱造船株式会社を希望したのです。それはそのころ、三菱造船ではMSエンジンをつくっておりました。MSというのは、このエンジンを中心的に開発された清水菊平さんの名前をとって三菱・清水という意味で、昭和7年に長崎造船所で独自に開発したものです。私の恩師の岡本勇象先生が、三菱造船は日本で大型ディーゼル機関を独自に開発している唯一のメーカーなんだよということを教えてくださったので、そのMSエンジンにあこがれて入社したというのが実情なんです。



三菱造船入社当時（1952年）

- 村瀬** それはどれくらいの大きさのエンジンなのですか。
- 和栗** シリンダーの直径が720mm、ストロークが1250mmありました。船用エンジンです。
- 村瀬** 設計から生産まですべて自前の？
- 和栗** ええ、そうなんです。これが最初は、ご多分に漏れず三菱造船も大正時代からスイスのスルザー社のライセンシーでエンジンをずっとつくっていたんですけれども、それが途中で独自設計になったということですね。
- 村瀬** そうすると、それはいわゆるタンカーとか客船に用いられている大型機関ですね。
- 和栗** ええ、昔はディーゼルエンジンといってもそんなに出力が高なくて、大体1万馬力以下で主として貨物船用に使用されていました。タンカーなんかになりますと、戦後に建造されたものでもやはり蒸気タービンが主力だったですね。現在は省エネの関係で殆んどがディーゼル化してしまいましたけど。
- 村瀬** そのころでもまだ蒸気タービン？
- 和栗** ええ。私が入ったころも、1万馬力を境にしてそれ以上は蒸気タービン、それ以下はディーゼルエンジンというような形でした。過給が始まる前に、戦前つくられたディーゼルエンジンで一番大きいのが11MSという、11シリンダーをずらっと並べた、アルゼンチナ丸とかブラジル丸とかいう移民船の主機にディーゼルが使われたんです。それがMSエンジンです。
- 村瀬** わかりました。機械工学科の熱機関の講義は蒸気エンジン、SLの蒸気エンジンで

すけれども、昔はそればかりやっていたという話を聞いたことがあるのですが、先生が学生のころは、内燃機関の講義というのはどのようなものだったのでしょうか？

和栗 はい。ちょうど私が学生のころは、やはり熱機関関係の講義の重点は蒸気エンジンとか蒸気タービンでしたね。

村瀬 SLですね。

和栗 ええ、SL。そんなものが主力だった。そして、さっき申しました岡本先生が内燃機関を担当されたのです。

村瀬 そうすると、船用の大きいエンジンの講義は全然なかったんですね。

和栗 いやいや、それはちゃんとありました。

村瀬 といいますと？

和栗 ただそれは、内燃機関の講義として岡本先生の講義があったんですけれども、もう一つは、名誉教授の小林俊次郎先生が船用機関という講義を担当なさっておられました。

村瀬 そうですね。我々のころはなかったですね。

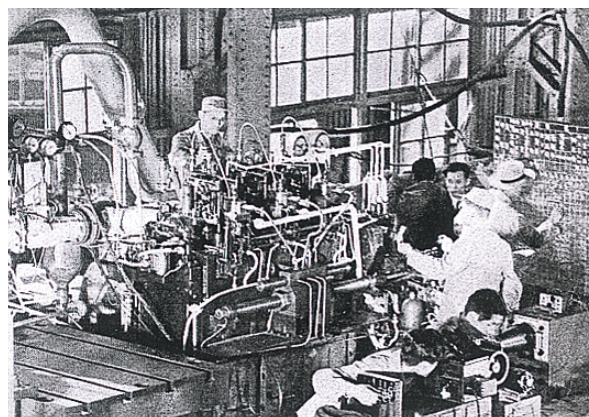
和栗 そう、あなたのころはなかったと思うんですけれども、非常勤講師としていわゆるシップ・マシナリーといいますか、エンジンといわゆる船との関係みたいなものを講義されて、エンジンそのものの講義ではなかったと思います。

村瀬 なるほど、そうですね。わかりました。

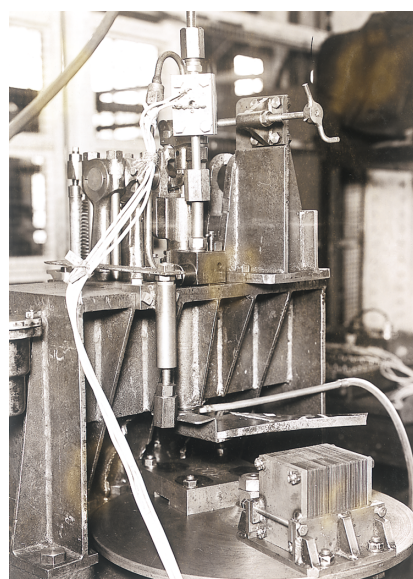
それで船用の大きなエンジンにかかわるようになられたわけですが、そこでいわゆるディーゼル噴霧の運動量理論、いわゆる「和栗の式」と我々は一般に言っていますが、特にディーゼル屋さんにとってはこれを知らないのはモグリとさえ言われているぐらい世界的に有名な理論を築かれたわけですね。最近でこそコンピューターで細かくメッシュに切っているいろいろなことをやるようになってはいますが、やはり先生の式が論文で引用されています。要するに、現象を全体的に見てすごくわかりやすく本質を突いているからだと思います。「和栗の式」は、多分初めは今言われた大きなエンジンが対象で使われていたのしょうけれど、現在ではバス・トラック用のディーゼルエンジンから乗用車のディーゼルエンジンの論文まで、基本的に「和栗の式」が出てきます。「和栗の式」の文献を見ると昭和三十何年か、もう大昔なんですね。そこで、この話を聞かないと、このインタビューがないようなものだと思います。「和栗の式」を考えられた経緯をお願いいたします。

和栗 はい。私がなぜその噴霧の研究をやったかというその辺のいきさつを申しますと、昭和27年に三菱造船に入社したんですけれども、1年たった昭和28年に船用機関の過給が始まったんです。そして昭和29年になりまして、防衛庁の護衛艦用の主機と

して2サイクルの高過給機関を受注したわけです。これがどの程度のエンジンかといいますと、平均有効圧力 P_{me} が 9.9kg/cm^2 、約 10kg/cm^2 ですね。それから平均ピストン速度が 7m/s 、容積出力が $8,000\text{PS/m}^3$ で、イギリスのモーターシップ誌ではそのようなエンジンは不可能だと論説していました。私はその基礎研究を命ぜられまして、シリンダー径が 220mm 、ストロークが 350mm の3MUTという漁船用に開発された3シリンダーのエンジンを改造したTH554と名付けた実験機関を作って、それで過給の実験をやったわけです。そのときに、まれにみる高出力機関だから燃料系統を新しくやろうじゃないかということで、最近では自動車でも使われるようになりましたが、コモンレール方式で燃料弁を機械的に開閉する三菱ビッカースと呼ばれる方式にしました。ところが、エンジ



TH554機関の運転風景（1955年）
手前で計測器を覗いているのが和栗
野球帽、パナマ帽、無帽など安全規則がない時代であった。



ビッカース式燃料噴射系統の噴射率測定装置（1954年）

ンを回すと黒煙がもうもうと上がるわけですね。そして毎日回してもなかなか煙が減らない。これは後で考えてみると、いわゆる空気量が足らなかったんですけども、私の係長だった矢野達夫さんが、「少しお前、噴霧がピストンに当たるか当たらんか、その辺のことを検討してみい」とおっしゃったんです。そのころ、京都大学の長尾不二夫先生の著書に、燃料噴霧がピストンに衝突する前に火がつかなければいけない、こう書いてあるんです。それでなるほどというわけで、1930年代アメリカのNACAなどで盛んに行われていた研究論文を読みまして検討してみたわけです。

村瀬 噴霧の到達距離に関してのものですか？

和栗 ええ、P. H. SchweitzerやF. Sass, K. J. De Juhaszなどの論文でした。

そうしたら、そのころの考え方というのは、いわゆる一つの油粒が静止した空気の中を貫通する、だからペネトレートという言葉もそういうところから来ているわけですが、そういうことで微分方程式を立てて、そしてあとは実験で修正係数を出すというやり方が主流だったわけですね。



ピストンに燃料噴霧が衝突した痕跡
(TH554機関、シリンダ径220ミリ、ストローク350ミリ)

村瀬
和栗

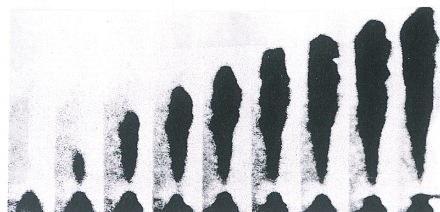
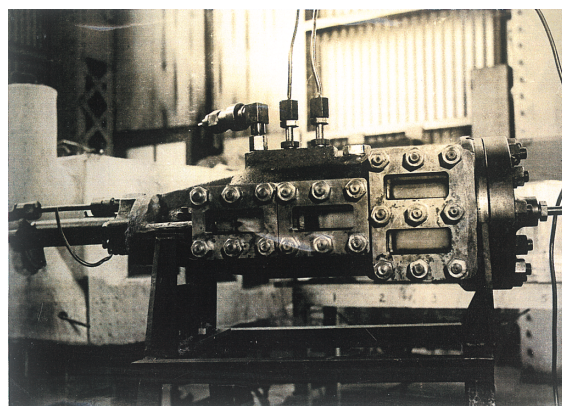
それはどれぐらいの液滴径を考えるんですか。

だからそこが問題なので、結局、油粒の直径を10 μ mにするか20 μ mにするか50 μ mにするかで違うわけですが、ただ、一応、流体力学的には、その抵抗係数は球の場合は幾らというのがきちっと出ますから、それで油粒の直径を適当に仮定し、20 μ mぐらいの大きさだというふうにしました。そして計算してみたら、燃料弁の噴孔からピストンまで80mmあるのに、30mmも進行すると秒速が数マイクロンのオーダーに下っちゃう。これはおかしいじゃないかということになったんです。

村瀬
和栗

実際はピストンに衝突するということですね。

そこなんだ。それで、おかしいということでシリンダーを開けて、中をのぞいてみて、写真を撮ったら、何のことはない、そのころは噴孔が六つありましたけれども、きれいに噴霧が衝突した跡が歴然としているわけですね。だから、これは基礎理論が間違っているよということで、それからもう毎日考えて、何であんなことになるんだろうということを、会社の行きも帰りもそういうことばかり考えてました。そうして、もう論より証拠、ひとつよく眺めてみようやということで、ちょうど75型という大型のエンジン、燃料弁が1mぐらいあるんですが、それを実験室に持ってきまして、そしてその燃料ポンプがありますので、燃料を噴射して観察したわけで



常温、高圧、噴射室と噴霧の連続写真
(左方が燃料噴射弁、左端のガラス窓内部に噴射弁のチップが見える)

す。そうしたら、そのときに線香の煙を近づけると、ちょうど噴霧が出たときに、噴霧に直角にすっと煙が吸い込まれる。

村瀬 なるほど、いわゆるエントレーンというやつですね。

和栗 そうです。エントレーン。それで、はたと気がつきまして、これは外から空気が入っているんだと。空気が入って、要するに毎秒数ミクロンのオーダーというのは油粒と中に吸い込まれた空気との相対速度はそれぐらいになる、だけど空気自身が動くと考えればいいじゃないかと。それが運動量理論の基礎なんです。それでノズルの出口の噴流の運動量と、それから、ある距離行ったところの燃料と空気のマクスウェルの運動量とが等しい、こういうふうに置けば、きれいに到達距離の式が出てくるわけなんです。

村瀬 なるほど、そうですね、手計算でやれるような感じですね。

和栗 ええ、手計算で。それでその運動量理論で私がもっとも自慢にしているのは、燃料噴霧の粒径というものが、到達距離に直接関係しないのと、その一方、到達距離に対応する断面の平均の空気過剰率というものが計算できるわけですね。まあ簡単ですけども。だから、当時は、噴射圧力や噴孔径とかいうのは、主として微粒化を促進するためにはどうあるべきかというような検討はいろいろなされ、例えば東北大学の棚沢泰先生などが中心になってやっておられましたけれども、それだけでなく噴霧の到達距離に対応する空気過剰率に及ぼす高圧噴射や噴孔径の影響などがきれいに出てくるわけです。そういうふうに応用範囲が広い、そういうことですね。

村瀬 なるほど、発想の根本的な転換だったわけですね。それで反響はどうでした。

和栗 機械学会の論文集に掲載されたのが昭和34年ですが、長尾先生が会誌の論文紹介で評価して下さいだったのが最初でした。そしてすぐ内燃機委員会が委員長推薦で論文賞候補にして下さいたのには私の方が驚きました。何しろ社内報は別として私が最初に書いた論文だったからです。

村瀬 現在のエンジンシステム部門ですね。

和栗 そうです。残念ながらそのときは落選しましたが、それより外国での反響が大きかったですね。JSMEのBulletinに書いたのが昭和36年ですが、それに絡まる面白い話をしましょう。その翌年ペンシルバニア大学名誉教授のSchweitzer博士が日本内燃機関連合会と機会学会の招きで来日し、東京と大阪で自動車関連の講演をなさったのですが、長崎造船所を見学されたとき名指しで私に会いたいとのことで、お目に掛ったわけです。

村瀬 それは、運動量理論について議論するためだったのですか？

和栗 その通りですが、お目に掛るや否や大声で “Schweitzer’s formula is right !!” と仰るのです。私が論文の中でSchweitzerなどの論文があるが、あまり合わないを書いていたのが、お気にめさなかったのです。

私は英会話が苦手だったので、そのような意味で書いたんじゃないと言う心算で“Oh, no, no, no…”と答えたんですが、Schweitzerさんは同じことを何度も繰り返されました。

あとでよく考えたらnoは“Schweitzer’s formula is not right.”と言う意味だったんですね。それでもSchweitzerさんが帰米後、“日本における自動車の生産ブーム”という報告記事をAutomotive Industries誌に発表され、そのコピーを送ってくださったのですが、三菱造船の長崎研究所における船用ディーゼル機関の研究は素晴らしいと評価してくださったのは嬉しかったですね。

村瀬 ところで、その頃の噴射圧力はどの程度だったのですか。

和栗 ちょっと低かったんですが、大型の船舶用のエンジンで大体700kg/cm²ぐらい。

村瀬 高いですね。いわゆる今のコモンレールの圧力と考えるとよろしいわけですね。

和栗 あれはもっと高いでしょう。

村瀬 現在は最大で2,000kg/cm²を超えています。ただ、それはまだテスト段階かもしれませんが。

和栗 そうですね。

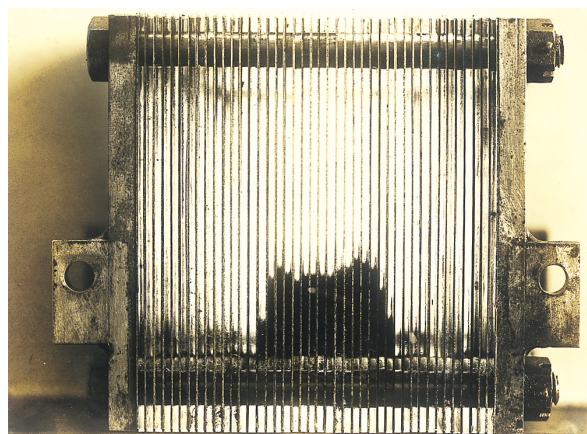
村瀬 だけど、1,500kg/cm²はもう超えています。当時700kg/cm²というのは驚くべき、高いですね。

和栗 それはまあ船用エンジンだからですね。

村瀬 今、2,000kg/cm²やると、レールが膨らむそうです。いわゆるアルミのダイキャストでつくっていますから、怖いと言ってますね。

和栗 あの当時のマリンは、アキュムレーター、いわゆるコモンレールというのは鋼鉄のチューブですね。それからいわゆる噴射ポンプにしても何にしても、高級な金属を使っていますからね。それでもやはり700kg/cm²になると、エッジのところクラックが入る可能性があるので、随分工作は苦勞していましたね。

村瀬 あと、燃料噴射に関連して、九大にもありましたが、噴射率計のお話をお聞かせください。スリットが切つてあるものが回転して、そこに噴射したらどのタイミングでどれだけ噴射したかがわかるという、非常に原始的と言えば原始的なんですけれども、すごくわかりやすい噴射率計ですが、ああいうのもご苦勞を……。



噴射率測定結果の例（コモンレール方式）

和栗 あれは、たまたま噴射率というのが従来のボッシュ式に比べてどういう形になるだろうかということが大切だから検討してみようということで、実は、私の大学卒業して最初の研究なんです。

村瀬 そうなんですか。じゃあ到達距離の前？

和栗 前です。それも一番最初にあの装置を作りました。集油箱としてアクリルの樹脂みたいな板をくり抜いたものを多数重ね、噴霧とシンクロナイズさせて噴射率を測定しました。

これが今の自動車でも同じと思いますが、コモンレールでは、噴射率の形がクランク角に対して鞍形になるんです。初めにちょっと上がって、そのあと下って最後にまた上るといような形。これはまあ噴射の形態としては必ずしもよくない。なぜそのような形になるのかというと、細かい話になるけど、ニードルが上がるとぱっと噴射しますが、そうするとネガティブのパルスがすーっとアキュムレーターまで戻るわけです。そこでポジティブの反射波がニードルに戻ってきたときに噴射率が上がる。だから、どうしても後ろ上がりになるんです。通常のボッシュ式の場合は、開弁後もそのまま圧力が上昇しますからから、前倒しの噴射率になるんですね。だから、実際の燃焼状態からいうと、それこそ定容燃焼率が増えるものだから、従来のボッシュ式のほうがいいということが実はわかったんです。

村瀬 そうということなんですか。噴射率計の話に戻りますが、先生が作られた噴射率計は目で見てすごくよくわかります。

和栗 はい。

それと、あの実験で僕がちょっと思い出になるのが、おそらく日本で最初じゃないかと思うんですけども、燃料弁の入り口の噴射圧力をストレインメーターではかったんです。そのころ、ようやくストレインゲージが一般に普及し出した時代なんです。材料の変形や船体の強度とか何かに。ところが、僕が特に工夫したのは、ピストン型のような受圧器具というのは昔からよくあったんですけども、これは流れを乱すわけですね。だから僕が考えたのは、パイプをある場所だけ外形を少し細くしまして、だけど流れはディスターブされないわけです。そのパイプの周囲にストレインメーターを張って、そしてパイプのフープテンションで噴射圧力をはかるということをやりましたね。

村瀬 九大でも先生の噴射率測定装置を作りましたが、あれはたしか、角度ごとにたまった燃料の重さを学生が量って噴射率を出していたと記憶しています。今ちょっと、その重さを量ることで思い出しましたが、これはオフレコにしたほうがいいのかもしれませんが、燃料を女性用の生理用品に吸収させて重さを量っていたと。そうすると、九大の事務が何でこんなものをご購入するのか？と言われたそうです。そういうこと聞いたことがあるんですけどね。

和栗 ああ、それはおもしろい考え。
村瀬 先生はお聞きになってないのですか？
和栗 いやいや、それは僕じゃないですね。僕らがやったのは、その重さじゃなくて、いわゆる空間で棒グラフみたいな形で。
村瀬 その空間に入っている量を重さで量ったんじゃないんですか。
和栗 じゃなくて、写真で。
村瀬 それでは、この方法は学生が考えたのでしょうかね。なかなかいい考えだと思いました。

(3) 三菱造船時代 「トライボロジー」

村瀬 今までお伺いしたのはいわゆる燃焼に関するお話ですが、私の印象では、九大にいられてからはトライボロジー、いわゆる潤滑のことに重点を置かれていた印象です。もちろん並行してディーゼル噴霧の相対旋回流強度の研究や可視化の実験もいろいろあったんですけども。ですから、これは多分三菱時代のあるところから潤滑の問題に関わらざるを得なくなったのが実情ではないのでしょうか、そこら辺のお話を、次をお願いします。

和栗 そうですね、先ほど言った実験エンジン、これを私は担当していたんです。それが自分が設計に加担していながら言うのもへんな話ですが、非常にくせの悪いエンジンで、一回動かすごとに、例えばベアリングが焼けつくとか、シリンダーが摩耗するとか、あるいは排気弁の首がちぎれるとか、もう事故ばかりなんです。そこで、はっきり言うと100%運転ができなかったんですよ。昭和30年の初めから運転にかかりまして、実際のエンジンも年末によく100%に達したようなことなんです。こんなことじゃ、いくら性能がいいエンジンを作ったって駄目だということで、何かいい参考書はないかと思って長崎市内の古本屋を回って調べてみたのです。そうしたら、ちょうど1936年だったでしょうか、M. D. Herseyが書いた“Theory of Lubrication”を岩佐豊蔵氏が戦時中に翻訳した減摩理論という本を見つけまして、それを読んで、それから潤滑の研究に入っていったというのが実情なんですね。そのころはまだトライボロジーという言葉はありませんでした。学校では、あなた方もよく知っているように、エンジンというのは熱工学の中の一分野と考えているわけですね。

村瀬 はい。

和栗 だけれども、実際のエンジンにかかかりますと、もうそんなことは言っちゃおられんわけですよ。それで次第にトライボロジーにのめり込んでいったというのがほんとうじゃないかと思います。

村瀬 なるほど。特にピストンリングの潤滑は非常に特殊ですね。あれは潤滑屋さんもな

和栗

かなかやっていないような。
 これがもう大変な問題でね。船舶用のディーゼルは戦後、非常に大きな改革というのが二つ行われたわけです。その一つは、さっき言った過給の問題ですね。それから第二番目は何かというと、低質燃料油の使用ということなのです。これは当時までディーゼルエンジンというのは、一応ディーゼルオイルという留出油を使っていたんですけども、戦後、タービンがどんどん追いついてきて、高温、高压のタービンで熱効率がどんどんよくなってきた。そうすると、タービンに対抗するためには低質油を使わなきゃいけない。いわゆる釜残油、レシデュアルフューエルというやつですな。それで硫黄が3%から5%も入ったやつを使うわけですよ。そうすると、まず問題になるのが腐食摩耗。それで腐食の研究、摩耗の研究を我々は実は重要な問題としてやったわけです。そのころ石油メーカーでは、中和性の高い、高アルカリ型のシリンダー油という

村瀬
和栗

のをどんどん作りまして、それは確かに腐食摩耗は減るわけなんです。私のところでその基礎実験をやることになり、10馬力のエンジンを使いまして4日間の連続運転で摩耗のデータを取ることに成功しました。それは圧痕法という方法で、ピッカース硬度計の圧痕をシリンダーに打ち込みまして、圧痕の対角線の変化から摩耗を求めると、100時間程度で信頼できるデータが得られました。それまではいわゆるマイクロメーターでシリンダー径を計る。それじゃあ、はかるときの温度で膨張もしているし精度が出ないわけです。
 やはりミクロンオーダーの測定を最後はするということですね。
 はい。それがいわゆる腐食摩耗に対する我々の実験ですけども、これは随分苦労しました。というのは、やはり腐食摩耗というのは温度が大切ですから、一定の温

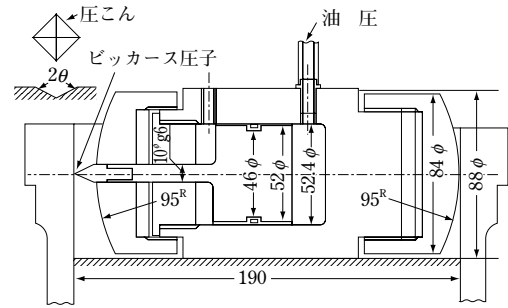
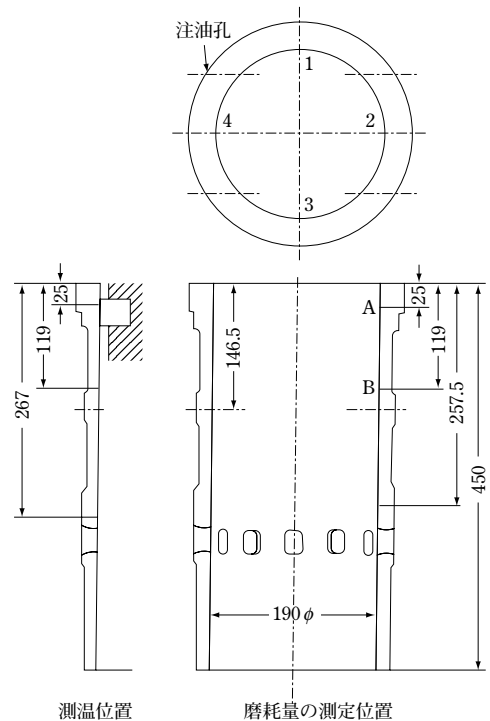


図6 圧こん打装置



圧こん法によるシリンダーライナーの摩耗測定 (1960年)

度を保ちながら100時間連続して昼夜を分かたず運転するというのは、今みたいに制御装置なんかあんまり発達していない時代ですから、いろいろ苦勞しました。

村瀬 そうすると、腐食摩耗の解決法として燃料を低硫黄化することは考えられなかったのですか。

和栗 いやいや、最近では排気公害の観点で、燃料から脱硫をしなきゃいかんということになりつつありますけれども、そのころは、硫黄はそのままです。で、そのシリンダーでできるいわゆる硫酸を、ハイアルカリのシリンダーオイルで中和するというような。

村瀬 ああ、なるほど。化学的にやるという話で。

和栗 化学的に中和する。ところが、そこで僕らは思わぬ障害に遭遇したわけです。そのことをちょっと話しますと、異常摩耗というのが起こったんですよ。それはどういうことかという、今言いましたように、中和性の高いシリンダー油を使うと腐食摩耗はたしかに減るんですけども、それを使い出してから、ときとして今度はピストンリングの摩耗率が極端に高くなる現象が起きたのです。普通は1000時間あたり、当時でせいぜい1mmぐらいの摩耗が、もう100mmとかそういうべらぼうな値になるわけなんです。その壁にぶつかりました。それで、これは何が原因なんだろうかということで、就航船について統計的に調べたんです。それで、いろいろな船で何時間たって何本摩耗した、燃料油は何を使った、シリンダーの材料は何だ、ピストンリングの寸法は幾らだと、全部調べてもわからない。

村瀬 これは自動車と違って、実際の船に載っているエンジンをチェックするしかないわけですね。

和栗 チェックするしかないんです。ところが、あるとき、現場の担当者が僕にヒントを与えてくれました。これは非常にいいヒントで、何かというと、工場運転（シヨップトライアル）のときからハイアルカリの油を使ったら必ず異常摩耗を起こすと。工場運転のときにハイアルカリの油を使わないで、普通の高清浄型の油を使ってランニング・インすると異常摩耗を起こさないとわかったわけです。それで、はたと気がついたわけなんです。初めにこするときには、自動車でも同じですが、ランニング・インのときは、エッジ・ローディングといってピストンリングの端のほうが強くとたいて、スカuffingを起こしやすいわけなんです。だからそのときに、ハイアルカリの油というのはカルシウム・スルフォネートがたくさん入っているわけなんです。これが温度が高くなるといわゆる石こうみたいな形でピストンリングのすき間にたまって、油膜の形成を阻害するわけです。それでおもしろいのは、温度が高い鉄板の上に油を落として1分間でどれぐらい広がるかという、そのスプレッドビリティを比較したら、断然ハイアルカリの油は高温で広がり性が悪くなる。だから、初期に高アルカリの油を使っちゃいけないんだよということが我々の結論

なんです。

村瀬 それと関連しているかわかりませんが、最近の自動車というのは、ならし運転は必要ないと。冷たいときからでもすぐ走れと、これは触媒の問題もあるんですけども。そのような走り方をしても、ほとんど、いわゆるスカuffingということを書かないですね。それは先生の研究の成果で今こういう形になっていると考えてよろしいんですか。

和栗 一つ大きな違いというのは、自動車のエンジンと船舶用のエンジンじゃあ、清潔さが違いますね。

村瀬 そうですか。燃料の違いですか。

和栗 ええ。これは特にガソリンエンジンなんかの場合は、燃料油がきれいでしょう。いわゆるかすも出ないし、それからさっき言ったような問題も起こらないわけです。だけれども、やはり自動車のエンジンでもディーゼルになるとかなりあると思いますよ。

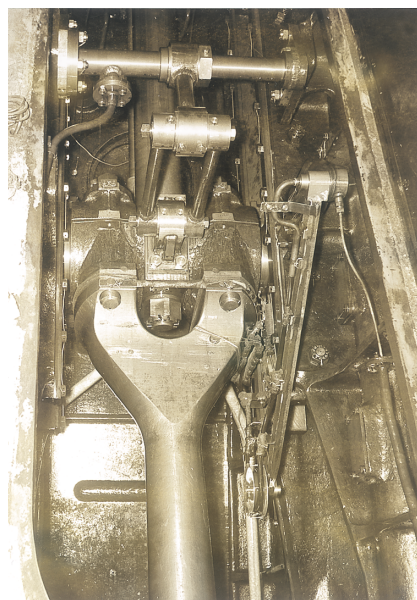
村瀬 それと、工作の精度とかそっちのほうも最近はやくなっていますね。昔は1,000kmまではあまり無理な走行をするなど書いてありましたけれども、最近はどこにも書いてないんですね。

和栗 まあ、それだけエンジンが進歩したんでしょうな。

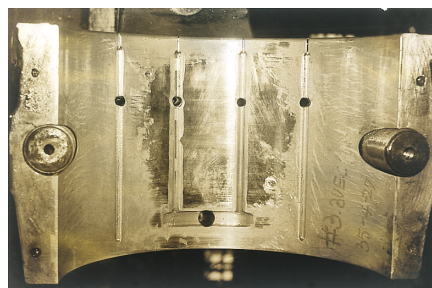
村瀬 進歩したということですね。ところで先生は大型エンジンのクロスヘッドピン軸受の研究にかなり重点をおかれていましたが、あれは自動車のピストンピン軸受ですね。どこか違うんですか？

和栗 役目は同じです。ただ潤滑状態は相当に違います。船用の低速エンジンは2サイクルで、軸受はいつも下向きの荷重がかかるのと20°から30°しか揺動しないという特徴が重複するために潤滑状態が苦しくなります。

村瀬 なるほど、自動車用は4サイクルですから荷重の方向が変化しますね。



大型実験機関3UEC72/150型によるクロスヘッドピン軸受の研究（1960年）
本機関の一部は現在船の科学館に展示されている



(通常型)



(静圧型)

クロスヘッドピン軸受

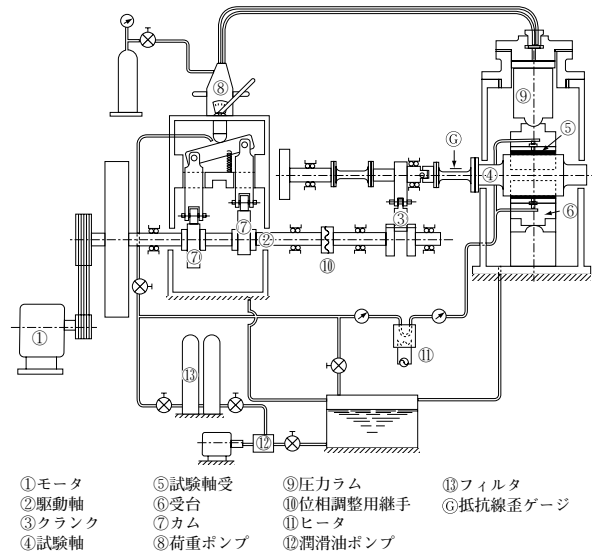
和栗 そこなんです。荷重の方向が変化しますとピンが軸受の中でおどるので、油膜のスライズ作用で荷重も支持するし、摩擦熱も除去されます。しかしクロスヘッドピン軸受は、スライズ作用が少なく発生熱を除去するためには軸方向に多数の油溝を切って、揺動運動で油膜を交換する必要があるのです。これが一方では負荷能力を阻害するのです。

村瀬 油溝は多数必要だが、多過ぎてもよくないというジレンマということですか？

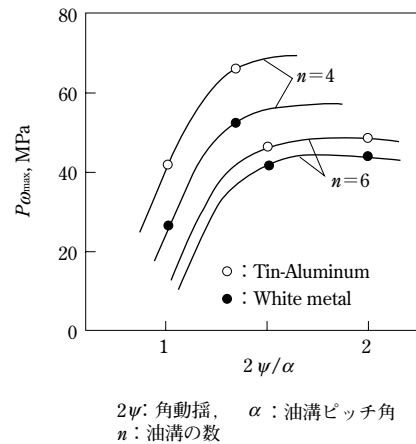
和栗 そのとおりです。そのことに最初に気付いたのは、外国のライセンスで作っていた他社のエンジンで、クロスヘッドピン軸受で亀裂事故が多発し、相談を受けたので調べたら油溝の数が多過ぎたためだとわかりました。

そこで軸径が200mmの試験機を作って研究しました。その結果、油膜の交換性から揺動角と油溝のピッチ角の比 $2\psi/\alpha$ 値は1以上必要だが、負荷能力上は大き過ぎてもよくなく、結局、設計の基準としては1が望ましいと結論づけしていました。しかし、後年九大で行なった精緻な実験では1.3程度で、揺動角もピッチ角もどちらも大きい方がよいことがわかりました。

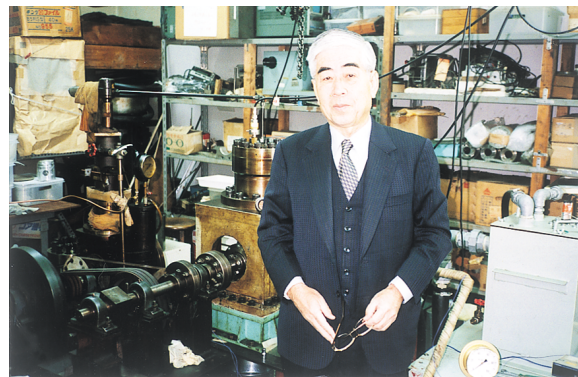
村瀬 ああ、あの科学研究費で作った大型の軸受試験機での実験です



クロスヘッドピン軸受試験機（軸径200ミリ）



クロスヘッドピン軸受の焼損限界に及ぼす揺動角と油溝ピッチ角の比率の影響



軸径100ミリ、クロスヘッドピン軸受試験機の前で

ね。試験機で答がすこしずれたのですか？

和栗 いや、そうではなくて九大では実験の範囲を細かく分割した結果だと思います。あの試験機では従来型のクロスヘッドピン軸受の負荷能力向上のための実験の外に、偏心軸型など特殊なものについてもいろいろ有益な研究が出来ましたよ。大分大学の浜武俊朗先生と九州産業大学の副島光洋先生が中心になって。現在もあなたと同じグループの北原辰巳先生が引継いで焼損予知などの優れた研究を続けていますよね。

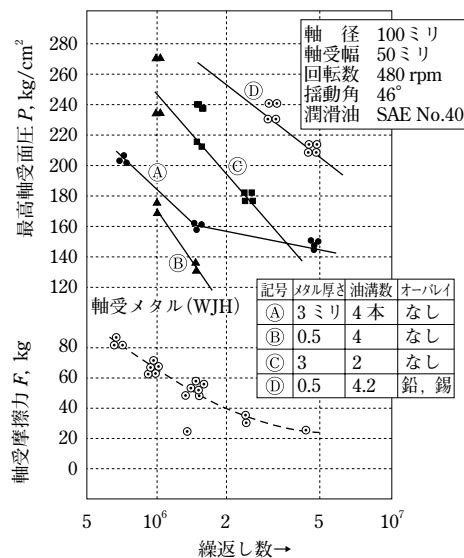
村瀬 そのとおりです。ところでクロスヘッドピン軸受では、軸受メタルのき裂事故も重大な問題だったと聞きましたか。

和栗 そうです、焼損の外にき裂の発生が絶えなかった。そこで日本機械学会の研究協力委員会でこの問題を取上げ、東京大学航空研究所の曾田範宗教授を主査とする“クロスヘッドピン軸受研究分科会”が1960年から3年間設置され、私も参加会社の委員として参加しました。研究協力委員会のはしりですね。

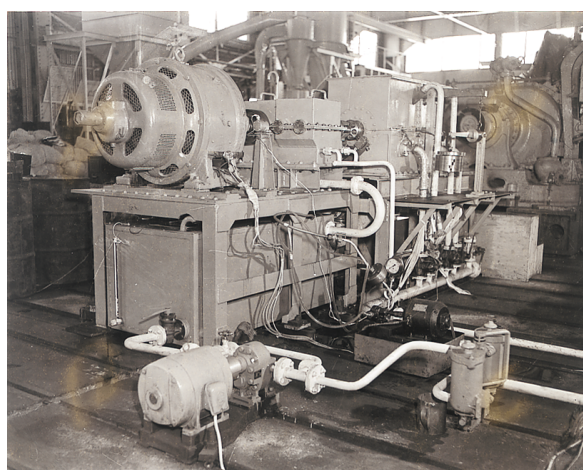
村瀬 研究協力委員会は、業界で共通の技術的な懸案事項を取上げて、大学で研究するわけですね。それで成果は得られましたか？

和栗 おおいにありました。それは軸受メタルのき裂発生機構についての新しい見解でした。

それまで焼けつきはさておき、き裂は繰返し変動荷重にもとづく疲労と考えられていましたが、き裂発生までの繰かえし数と荷重の間には特段の相関は認められず、むしろ摩擦との関連が深いことが分かり、き裂は揺動運動に基づく繰返し摩擦力に原因すると結論づけられました。このことは、き裂の防止に対して



軸径100ミリクロスヘッドピン軸受試験機による軸受メタルの耐久力試験結果



ジャーナル軸受性能試験装置外観 (1960年)

も潤滑状態を良好に保つことが基本的に重要なことを意味するもので、軸受メタルの強度には一見、無関係と思われる厚さ0.02mmの鉛錫オーバーレイを施した軸受が優れた耐久力を示すのは、オーバーレイのなじみによる摩擦低減効果によることがわかり、有力なき裂防止策になることが立証されました。

村瀬 あと先生は、大型の蒸気タービンやガスタービンの軸受などの研究もその頃なされたと聞いていますが？

和栗 ええ、大型の発電タービンプラントの軸受ですね。これらは振動問題を除くと、ピストンエンジンの焼けつきや摩耗のようなクリティカルな潤滑問題はないのですが、何しろ大きくて回転数も高いので動力損失も馬鹿にならない。だからプラントの設計では動力損失や必要な給油量を正確に見積ることが求められます。まあ地味な仕事ですけどね。

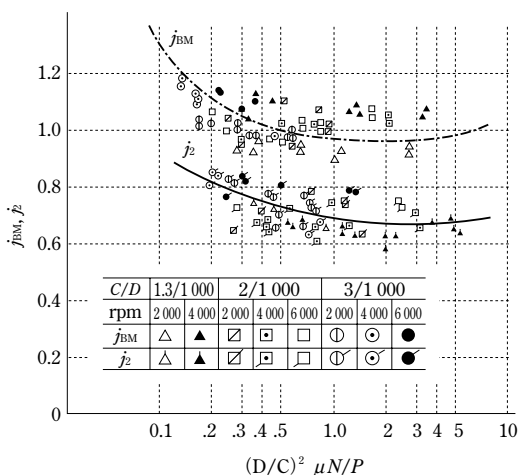
村瀬 そのことに関連してどのような研究をなさったのですか？

和栗 軸受の平均油膜温度の推定方法ですね。それまでは、Wilcockなどが提唱する軸受出口の油温を平均油膜温度と仮定していたのですが、その妥当性を検証するため軸径100mmの半割り型のすべり軸受を4個、直列に並べて摩擦トルクを測定する装置を作り、軸受の円周方向と軸方向に多数の熱電対を埋め込んで、平均油膜温度を計測したのですよ。

村瀬 しかし、なんで軸受を4個も並べる必要があるのですか、それでどんな結果が得られましたか？

和栗 ああ、中央の2個は荷重用です。こうすると4つの軸受の潤滑状態が全く同じとみなされるので、軸のトルクを4等分すると正確な値が求まるわけです。実験結果で、非常に興味深かったのは、従来の軸受出口温度を平均油膜温度とみなした場合の動力損失係数が、0.6から0.7であるのに対して実測値を基準にすると、ゾンマーフェルト数が0.3以上の実用域で、ほとんど1でした。このことは今から約130年前の1883年にPetrovが提案した式が実用上正確に成立することが証明されたことです。この研究は、実験結果の整理だけで当時は愚直と考えて学会発表は控えていたのですが、現場技術には貴重なので、数年前、学会誌で紹介しました。

村瀬 あと軸受の振動の研究についてお聞かせ下さい。



半割り型すべり軸受の無次元動力損失係数（1960年）

和栗 ええ、蒸気タービンやガスタービンの軸受のオイルホイップですが、これはやりました。

自動車のエンジンとはかなり話が遠くなりますけど、この種の振動は、定置式の発電プラントなどに限られたものなのです。それは、自動車や船用エンジンのように使用回転数が変わるものでは軸系の危険速度は必ず回転数領域より高くとる。ところが定置式の発電プラントでは、常用回転数より高くとろうと思うと軸径が大きくなり摩擦損失も増加する。そこで危険速度を常用回転数より低くとる。例えば60サイクル3600r.p.mのプラントでは1500r.p.m前後に危険速度を設定するわけです。ところが常用回転数の約半分の回転数のふれ廻り振動、これをハーフフレクエンシーホワールと言うのですが、この振動が危険速度に一致すると猛烈な振動を起こすことがあります、オイルホイップと呼ばれています。

村瀬 回転数を上げる途中に、そこを通過するときに振動が起きる。

和栗 いやいや、通過するときに起きるのは、いわゆるアンバランスによる強制振動の共振で、これは一時的でシャープだから通過してしまうと問題ないのです。オイルホイップは通過するときではなく、常用回転数の近くで発生し、一旦発生すると、回転数を上げてでも止まらず危険振動数のままの周波数で振動するから始末が悪いのですよ。

村瀬 その原因は何によるのですか？

和栗 これは軸受の油膜作用による非線形の自励振動なのです。つまり振動の形態としては、負の減衰の自由振動で、振動することによって外部から振動系にエネルギーが加わる。ちょうど飛行機の翼のフラッターと同じです。

村瀬 かなり複雑ですね。この方面の研究は従来からあったのですか？また防止策はどうしたのですか？

和栗 ずいぶん古くからあります。最初にB. L. Newkirkがホワールの存在を指摘したのが1924年ですから私が生れる以前です。それから多くの人が研究していますが、理論解析の骨子は、油膜作用をいろいろ仮定した上で振動方程式を線形化した小振動理論による安定判別に終始してきました。しかし、実際の問題になるホイップは非線形の自励振動ですから、動的に不安定領域にあるものが、激しい振動に発達するか、小さい振動に落ち着くかまでは判定できないのです。それで、安定領域で運転すればよいと言う説もありますが、私が行なった実験では、最も基本的な全周軸受は殆どどの領域で不安定ですから無理な相談です。その外、多くの研究でソンマーフェルト数を小さくする程安定化するとの報告があります。しかし、これが実際に有効な防止対策と傾向でも一致すればよいのですが、残念ながら共通するのは荷重を高めることだけで、粘度や軸受隙間は逆の傾向を示すことが分かりました。結局、当時はプレッシャー軸受で解決しました。

理論解析だけで物事を判断してはならないと言うことを痛感しましたね。

村瀬 なるほど、よくわかりました。

(4) 九州大学時代

村瀬 その後、先生は昭和38年の10月に九大工学部の助教授に、我々からいえば戻ってこられたわけですが、ここら辺の経緯といますか。

和栗 これは、経緯と言ったらおかしいんですが、変なことが絡まっていますね、ちょうど学位論文も関係しているんですよ。私は旧制大学で、昭和27年卒業です。昭和37年までに学位を取らないと旧制の学位は取れないという通達が文部省からあったんです。そうしたら、新制になったらどうするかといったら、スクーリングをやらなきゃいけないわけです、学校に行かなきゃいかん。だから、僕らはもう学位が未来永劫に取れないぞということが心配になりまして、そのときの上司が私のところにやってきて、「君がやってる燃料噴霧の運動論、あれはなかなかいいから、ひとつ学位論文に書いてみたらどうか」と。これは藤田秀雄さんという有名な方なんですけれども、その方が研究部長をやっておられまして、勤めてくださったんですよ。そのころ研究部におりますと、どうしても学会発表とか何とかやって、みんなそれなりに業績があるわけです。そうすると、みんな書きたいと。その一環で、僕は大学に学位論文を出したんです。そして学位論文が通過したら、あなたもよくご存じの柘植盛男先生が、「おめでとう、君は僕の助教授になってくれたまえ」、こう仰るわけですよ。でも、僕はそんなこと全然考えてないし、私は大体大学向きの人間じゃないし、「いや、それは先生、困ります」と言って帰ってくる。そうすると、上司から「やめろやめろ、大学なんかへ君は行ったってだめだ」ととめられて、そしてまた九大に行って「やはり断らせていただきます」と言って柘植先生からまた怒られて。そういうことで、結局最後は山県清先生という偉い先生なんだが、この方と、当時三菱で副社長をなさっていた古賀繁一さんという例の戦艦武蔵を担当した人、これが五高時代の碁がたきなんですよ。それで山県先生が三菱へ行って、「和栗をひとつ九大に戻せ」こうおっしゃったらしいです。そうしたら、碁を打ちながら、「まあお宅にはいろいろ世話になっとる、一人ぐらい戻さにかいかんじゃろうな」ということで、上から「和栗はもう九大にもどせ」ということで断れなくなって。それが一つと、それからもちろん、僕のようなできの悪いのが大学に戻るはずは本来なかったんですけども、あのころ、池田内閣の高度成長政策が軌道に乗り出して、もう全国のどこの大学もどンドン工学部が拡大していったんです。それで九大も例に漏れず、初め機械しかなかったところに生産機械、動力機械というのができまして、先生がいけないわけです。そうしたら、一応助教授でも、学位がないとちょっと助教授になれない。だから、ちょうど目をつけられたというのがほんとうじ

ゃないかな（笑）。

村瀬 なるほど、そういう経緯だったんですか。

(5) 深尾淳二さんのこと

和栗 それで面白い話がありましてね。それは当時、新三菱重工業の顧問をなさっていた深尾淳二さんのことなんです。さっきお話したピストンリングの異常摩耗の研究をやっていたのが昭和30年の半ばですが、その頃現在の三菱重工業は戦後の財閥解体で、三菱日本、新三菱、三菱造船の別会社に分割されていたのです。しかし、もともと同じ会社ですから合同で定期的にエンジン研究会を開いて、活発な情報交換を行っていました。そしてたまたま長崎で研究会が開かれたときに私がピストンリングの油膜挙動の研究を発表したのです。ところが発表が終るや否や深尾淳二顧問が、大きなせき払いをしながら「君のやっている研究なんていうのは実用上何の役にも立たん。そういうのは大学にまかせておけ」こうおっしゃたんです。深尾顧問は戦時中、名古屋製作所の発動機部長を務め、極めて信頼性の高い高性能発動機“金星”の開発に中心的に貢献された方でしたので、まあ名声がとどろいていて、造船では所長でも頭が上がらないような方だったのですが、かみなりおやじのあだ名がついていたので会議室は一瞬静まりかえりました。私は役に立たぬと言われたら困るので、立ち上って「お言葉ではございますけれども私は役に立つと思います」とやったんですよ。そしたら翌日、長崎造船の所長室から電話がかかってきて、深尾さんが僕と談判がしたいという話なんだ。課長が真っ青になって研究部長の金森政雄さんに僕の対処方について指示を仰いだんです。それも無理からぬ話で、研究費は造船所が負担しているので、僕が謝った方が無難だと考えたのです。金森さんは後に重工の社長、会長になられた偉い方ですが、僕の話聴いて“君の言うことも一理あると思うから頑張ってこい”と逆に激励されましてね。それで深尾さんと3時間論争しました。深尾さんがおっしゃたのは「おれがエンジンを作ったときはピストンを200個作ってその中で一番いいのを採用した。それからクランクでも折れなければ肉を細くする。クラックが発生すると厚くする。そうやって詰めていったら、だんだんいいエンジンができる。設計とはそういうものなんだ」とのことでした。それで僕は「それは500時間も飛ばばよい航空発動機ならそれでいいでしょう。しかし船用エンジンはピストン1個が100万円もするんですよ。だからそんな実験やってたら耐久力試験の燃料代だけでも数千万円掛り元が取れなくなります。だから初号機から商売しなきゃならない船用エンジンでは基礎的な手法で解明できる範囲のことは徹底的につめなければならぬと思います」と自説を曲げなかったのです。最後に深尾さんは「おれもずいぶん頑固者と言われていたらいしが、君の方がもっと頑固だ」と呵呵大笑されました。それ以来、研究会が開かれるたび

に必ず休憩時間に別室に呼ばれて、いろいろ有益な経験談を聞かせていただきました。深尾さんは「よく見ればなずな花咲く垣根かな」という芭蕉の句を引用して、研究者が観察眼を養うことの肝要性を説かれ、またエンジンの設計は簡素が第一で桂離宮を見学すればそのことがよく分ると教えて下さいましたが全く同感ですね。それで長崎での談判以来、深尾さんは僕のことを認めて下さっていたんだな。で、僕が九大に行ったということの後で知って長崎造船所の鈴木弥太郎顧問が深尾さんにどなられたと笑っておられましたよ。

村瀬 ああ、何で出したかと。

和栗 ええ。

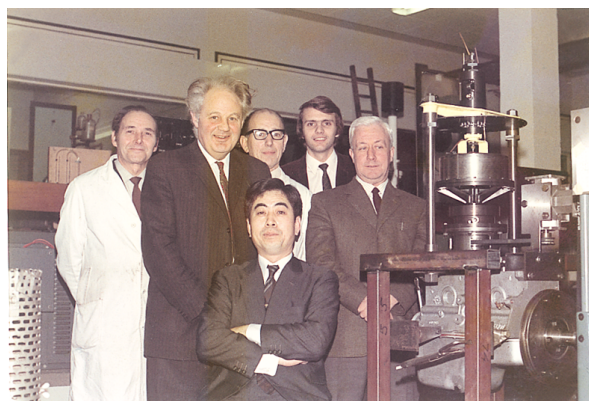
(6) イギリス留学時代

村瀬 それで、昭和45年に先生は教授になられて、46年から1年間、在外研究員ですか、ロンドン大学インペリアルカレッジへ行かれています、やはり潤滑のほうで。

和栗 ええ。これはうまいこといきまして、というのが、僕がイギリスに行ったころは、大体外国に留学するというと、普通はアメリカが90%以上だったですね。エンジン関係で、あなたもよく知っているように、ウィスコンシンとか、ああいうところにたくさん行ってたんだ。

イギリスなんてほとんど行ってないんですよ。インペリアルカレッジに僕より前に行っている人といったら、調べてみたら、Spaldingという有名な伝熱の大家がいましたが、あそこに東大から甲藤好郎先生が行っていたんです。これがインペリアルカレッジの最初です。

僕は実はリカルドの紹介なんですよ。リカルドのダイレクターをやっていたSir. Dr. Downsと、それからMillingtonというダイレクターが僕に手紙をくれまして、「あなたのペネトレーションの式は一番よく合うから、各方面で紹介している。ついては、その後の研究結果があったら送ってくれないか」という手紙がちょうど私が在外研究員に行けることが決まったときに来たわけです。これはしめたというわけで、僕はリカルドにすぐその後の研究報告なんかをおくってやりましたが、そのついでに、「僕はイギリスに1年間行きたい、ついてはどこかいい大学で紹介してくれないか」と。



ロンドン大学インペリアルカレッジで（1972年）往復、揺動型ピストンリング試験機の完成を記念してA.Cameron先生と製作に協力したスタッフ

それで、僕はそのときにインペリアルカレッジのProf. A. Cameronとか、それからイギリスにその他何人か知っている人がいましたから、こういうのは僕は知ってるよと言ったところ、すぐそのインペリアルカレッジにリカルドのほうから紹介してくれまして、それでCameron先生のところにお世話になったというのがいきさつなんです。それで、研究はエンジンのシリンダーのスcaffoldingという研究で参りまして、僕は実験装置を自分で設計して、インペリアルカレッジでつくって、試運転までして帰ってきたんです。

村瀬 そうでしたか。それで研究費などはどうしたのですか。

和栗 それは教授の仕事ですから、教授は何時も企業を飛び回って金集めをしていました。これはアメリカなどと同じでしょう。私の場合、Cameron先生は最初は陸軍に話を持ち込む予定だったのですよ。戦車のエンジンがスcaffoldingで困っていたらしい。そこで私が慌てて日本の大学では軍事研究は出来ないと断ったので、民間企業のRuston社から調達しました。あとで契約書を見て驚いたのは、私の研究に3名の博士課程の学生をつけ、それぞれに半年間毎月60ポンドの給料を要求しているのです。その中の1人は、Cameron先生の後継者になったH. A. Spikesでした。

大学もずいぶんあつかましいと思ったけど、産学協同の体制が確立していたんですね。

村瀬 日本の大学と比較してどのような点に違いがありましたか。そのへんに興味があるのですが。

和栗 働く時間がすごく短いのに驚きました。現在はどうか分かりませんが、朝9時に始まって10時半から11時までティタイム、11時から1時間働くと、12時から2時間昼休み、3時半から今度は1時間のティタイム、自室に戻って30分働くと“ハブアグッドウィークエンド”なんて言って帰ります。だから働いてる時間は、正味4時間半でしたね。

それから実験装置を作るため地下に大きなワークショップがありましたが、なかなか仕事が捗らない。催促に行くとホワマンが“次週にするよ”というのが常でした。それでも最近聞いた話ですが、英国人は自分が何時勉強しているか人に知られたくないんだそうです。それにお茶の時間は情報交換のいい場所ですから案外実質上は効果的に勉強しているのかも知れませんね。それから人種差別はないのですが、英国は階級社会ですから、普通、プロフェッサーは、ワークショップにはいったりしてはいけないのです。でもCameron先生はワイシャツの袖をめくって平気でした。そのへんが研究を大切にされた先生の偉いところだったと思いました。日本だったら当り前のことなんですが。そして私に“君は日本のエンバサダーだから研究者をどしどし送れ”とおっしゃっていたので、ずいぶん紹介しました。私が先鞭をつけてから約40年たちましたが、Cameron先生の実験室で研究したに日本人は数十人に達し

ており大変嬉しく思っています。

(7) 和栗先生の思い出

村瀬 先生が英国から戻られた昭和47年にちょうど私が九大に入学し、先生から「内燃機関」の授業を習ったのは3年生でした。

和栗 そうですね。

村瀬 イギリスから戻られてすぐだったんですね。全然そこら辺の認識がありませんでした。先生からいろいろな内燃機関のお話、ためになるお話を聞いているんですけども、今でも記憶にあるのは、いわゆる定容燃焼容器の話です。九大ではあまりエンジンを回してない時期でして、観測窓をつけた定容燃焼容器での高温高压の実験は危ないので、絶対するなど。私もちょうどテーマとして先生から急速圧縮装置のテーマをいただきまして、あのときつくった急速圧縮装置が非常に評判がよくて、日本でも幾つかメーカーでもつくっていますし、あと、海外からも2、3、問い合わせがありました。先生がいわれた「窓ガラスがついた高温高压の定容燃焼容器は危ない、これだけは絶対やめろ」は、今でも学生に伝えています。

あともう1つは、これは多分先生は記憶にないかと思うんですけども、定期試験のときに、問題文中、比熱の値が1けた違っていたんです。それで、試験終わり5分くらい前に先生が試験室に入ってこられて、「比熱の値が1けた間違っていた」と、黒板に正しい値を書かれて、「あと10分試験時間を延ばす」と。ところが当時は計算尺なんです。比熱が関係しているのは、べき数のところの数字なんです。それで慌てたんですね。今の電卓でしたら、ぱっと押せばすぐ計算結果が出てきますが、計算尺は大変でした。それから計算し直して、結局間違えちゃったんですけども。多分先生はお忘れと思いますが。

和栗 いや、それはよく記憶してないですな（笑）。

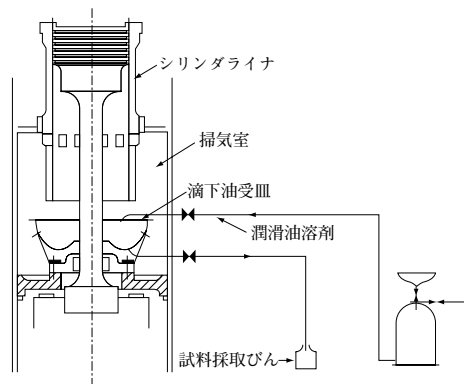
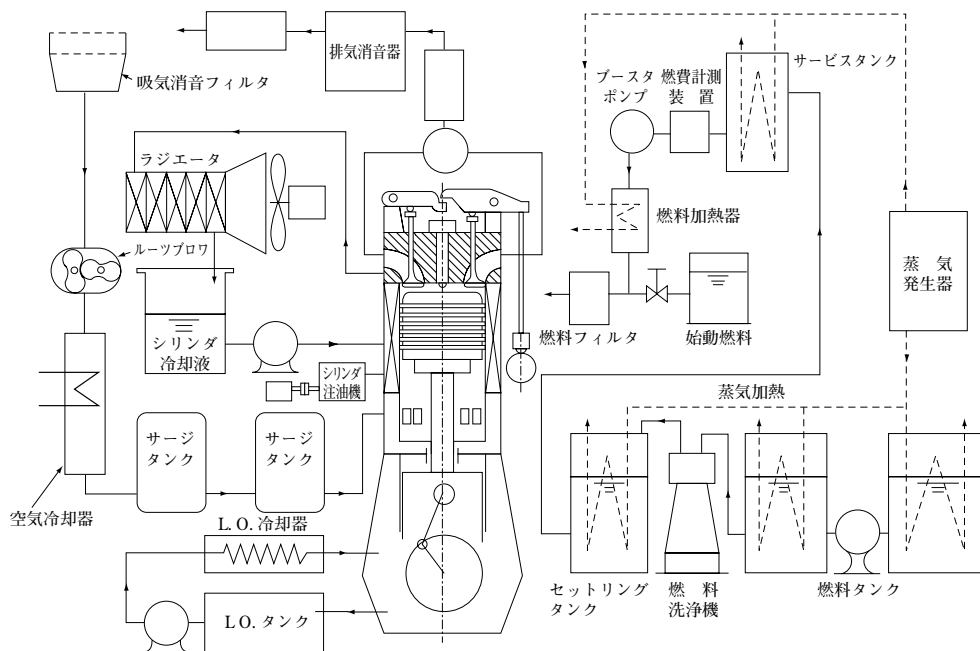
村瀬 私はすごく……。確かに今から思えば、比熱が一けた違えばおかしいと思わなければいけないのしょうけれど。学生っていうのはそんなのは全然頭にないですから、そのまんまやって。今では到底、計算尺なんて使えないんですけども、何乗というのは特にややこしいですね、それで慌てて。あれは特に印象深く記憶に残っています。

和栗 ああ、そういうことありましたかね。

(8) 大型試験エンジンNDTの話

村瀬 あと、九大時代の話としては、いわゆる三菱から持ってこられた大きなエンジン、NDTと我々言っていたんですけども、何かあれに関しての思い出などあれば。

和栗 そうね。あなたもよくご存じと思うんだけど、あのNDTといふエンジンは、僕が



機関形式	三菱 NDT19/35 形、単シリンダ 2 サイクル、単流掃気、クロスヘッド形
シリンダ径	$D=190 \text{ mm}$
ストローク	$S=350 \text{ mm}$
最高回転速度	$N=510 \text{ rpm}$
最高出力	$L=110 \text{ PS}$
平均有効性	$P_{me}=10 \text{ kg/cm}^2$
平均ピストン速度	$c=6 \text{ m/s}$
掃気圧力	$P=1.0 \text{ kg/cm}^2 \text{ (gauge)}$
シリンダ最高圧力	$P_{max}=100 \text{ kg/cm}^2$
燃料系統	ボッシュ式+中央自動噴射弁
掃除方式	単流掃気、4 排気弁

NDT19/35型単シリンダ、クロスヘッド型実験機関

三菱にいる頃、クロスヘッド型機関の潤滑の研究をするためにどうしても小型で単筒のクロスヘッド型の実験機関がほしいということで自分で設計して1台だけ作っていたのです。何しろ小型でクロスヘッド型の実用機関などありませんからね。そして九大に帰ってきたら、動力機械科が発足して新設設備費に余裕があったので、その金額で作ってもらったのです。あのエンジンではいろいろな研究ができて本当に助かりました。なかでも日本機械学会と船用機関学会合同の潤滑油適性化委員会の補助で、ピストンリングの異常摩耗について系統的な研究ができたこと、燃料噴霧とシリンダー内空気スワールのマッチングを相対旋回流強度の概念を導入してまとめたこと、その外、高崎講二先生の噴霧燃焼の可視化研究などが思い出されます。そして昭和46年から47年にかけて在外研究員として僕が外国に行っている間は協同研究者の小野信輔先生と修士課程の学生に異常摩耗の実験をまかせて出掛けたので

す。何しろ摩耗の実験は時間が掛るので夜通し運転していたわけ。そうしたら僕がロンドンでいい気になって研究していたら、小野先生から読売新聞の4段抜きが届きました。研究公害として大きく報道されちゃった。あの頃はまだ学生紛争がくすぶっていた時代なので公害というと大変なんです。それで僕はもう青くなっちゃって。どういうことが公害かというと、NDTエンジンを回していた実験室から100mほど離れた海門戸というところにある住宅で壁が、NDTの振動で落ちたというのです。しかし、あとで調べたら、住宅のすぐ横に道路があり、トラックが走るとがたがた振動するのでそれで落ちたらしいのですが、住民が、あれは九大がエンジンを回すから壁が落ちたんだと新聞にたれ込んだのが実状のようでした。あのときは困りました。

村瀬 それであのバルンサーをつけられたんですね。

和栗 ええ、それで九大に話してたら間に合いませんから、すぐロンドンから三菱に——あれは三菱でつくってもらったものですから、三菱に電話して、バルンサーをちゃんとつくってくれと。それでバルンサーをつけて解決したわけですけども。

村瀬 大事に至らなくて良かったですね。

(9) 大学の研究者に望むこと

村瀬 それでは、研究の話の最後として、先生は企業と大学と両方経験されていますので、特に気がつかれた点とか、企業と大学との違いとか、大学の研究者に望むようなことがあれば、一言おねがいします。

和栗 ああ、そうですね。一番違うのは、企業というのは、とにかくエンジニアがする仕事というのは物をつくるわけです。だから、一人の人間だけではどうにもならんわけです。必ず複数の人間が全部かかわってくる。例えば機械屋もいれば化学屋も電気屋も材料屋も、そういうものが全部頭を合わせてどうしようかということを決める。それから職制の上から言っても、担当者もおれば係長、課長、部長というように、全部責任持っているわけです。だから、共同していいものをつくるということが企業の場合にはできる。ところが、大学で私が一番いけないなと思うのは、助教授というのが教授から受け継いだ研究を後生大事にやるわけですね。今度は、大学院の学生というのは、助教授がつくった、さっきあなたが言ったような試験装置、そういうものから出発するというようなことで、だんだん研究が濃縮化していくというか。で、最初の研究の目的がどこかへ行ってしまって、非常に視野が狭くなるんですね。そういうところをこそそとつつき回しているというような研究が非常に多いんじゃないですか、このごろ。研究のための研究というのが。

村瀬 それは否定しません。ただ、今言われた教授の助けというのをしっちゃんかんということで、今、助教授が、准教授という呼び名に変わりました。その呼び名が変わっ

た理由が、先ほど先生が言われた、教授を助ける仕事をし続けてはだめですよ、ということらしいです。教授がやっていることと違うことをやれと。また、現在、人事は公募が原則になっていますので、そのときに必ず、教授と同じようなことをやっ
てはいけないということで進めています。だから、先生が言われていることは大分改善されているかもしれません。

和栗 確かにそういう点では随分改善されてきていると思うし、教授と助教授は公募によって別の人間。もう甚だしきに至っては、助教ですか、昔の助手も公募で入れると。

村瀬 そうです、そこも助教という名前になって、こんがらがるんですけどね（笑）。

和栗 九大はいいんじゃないですか、女性の割合なんかも増えて。

村瀬 あれはちょっと逆差別的なんです。女性を入れろと。そうすると、女性には別予算をつけるんですね。僕らにとってみればけしからんと思うんですけど。でも、やっぱり分野があるから、なかなか機械では手を挙げないんですよ。やはり化学系が多いですね。

和栗 ああそうでしょう。ただひと言、若い人に言っておきたいのは、大学と言う場合は、国、公、私立を問わず“研究の自由”が保証されないといけないことで、それを失ったら大学でなくて、単なる研究所になってしまうことです。大学人を評価するのは、学会であり、社会であり、そして本人の自覚ですから。

(10) 自動車技術会とのかかわり

村瀬 それでは自動車技術会とのかかわりについての話に進めて行きたいと思います。先生は昭和40年に自動車技術会に入会されているということで、ちょうど九大に戻られた時に入会されたということですね。

和栗 そうです。

村瀬 それで、九州支部の創設が昭和36年ですから、ほとんど創設の初期から支部活動にずっと従事されたということですね。

和栗 そうです。

村瀬 特に何か思い出等あれば。

和栗 そうですね、私が入会したのが今おっしゃったように昭和40年。それで、そのころは九州には自動車会社は全くなかったんですよ。まあ、九州では矢野特殊自動車という、現存する最古の国産乗用車アロー号を作った会社はありましたが。

村瀬 あれは別格ですね。

和栗 ええ、別格の発祥の地なんだけど、本格的なメーカーはなかった。じゃあなんで支部ができたのかというと、これは技術会の創設当初から常務理事をなさっていた吉城肇さんが福岡日産の甲斐島衛さんに強く勧められたのが支部発足のきっかけと聞いています。ですから支部会員は学校関係を除けばディーラーやユーザーの方々

が主で、甲斐島さんが十年ぐらい支部長をなさっていた。僕が入会するとすぐ支部幹事を仰せつかったんですけど、甲斐島さんは何時も“自動車技術会は、あくまで技術会で学会ではありません”と言っておられたのを覚えています。支部の事業としては、いわゆる新型車展示会とか、あるいは本部からの要望で九州地方で秋季大会を開催するときに協力するとか、ときどき講師を招いて特別講演会を開くということが主でした。ただ、私がよく覚えているのは昭和42年に熊本で第21回秋季大会をやったことがあるのですが、当時の自動車技術会の会員数は、たしか8000名ぐらいだった。論文の発表件数も22件でした。その頃、私が密接に関係していた船用機関学会が6000名ぐらい。だから機械学会がぐっと上のところにおいて、自動車と船用が大体拮抗しているという状態だった。それが今は自動車が4万いくらでしょう。マリンエンジニアリング学会は2000なんだ。だから20倍あるんですよ。私が自動車技術会にかかわった頃から今日までの間に自動車産業は成長したんだなというのが実感です。

村瀬 そうですね、唯一会員数が伸びている学会ですね。機械学会も減っていますし。
和栗 機械学会が少し落ち込み気味で、自動車技術会はまだまだ会員数が伸びている。というのは、やはり日本の代表的産業に成長した証でしょうね。特に九州の自動車産業の発展をみると、今昔の感に耐えません。また日本メーカーの中国での生産台数が米国での台数を抜きましたが、この傾向は爆発的に進行すると思いますね。それだけに東洋の窓口としての九州、特に福岡の占める役割は今後どんどん増加する筈ですから、自動車技術会九州支部の役務も重大になると思います。あなた方の双肩に掛っているのですよ。

村瀬 確かにそうですね。先生は支部以外にもいろいろ技術会の役務をなさっていますが。
和栗 そうですね。技術会議の委員を何度か仰せつかりました。自技会賞規則検討委員会では、田中次郎さん、斉藤孟先生、中塚武司さん、丸茂長幸さんなどのお歴々といういろいろ検討したことをよく覚えています。それから技術会が私を学術会議の会員に13期から15期まで、3期、推薦して下さったのは有難かったですね。常任理事の景山久さんにはずいぶんお世話になりました。

(11) 趣味について

村瀬 がらっと話は変わりました、先生のご趣味について伺いたいです。先生は、いろいろ多彩なご趣味をお持ちで、私も先生のご自宅を訪問したときに、立派な、いわゆるワークショップというんですか、仕事場をお持ちで、そこには旋盤とかフライスとかいろいろなものがあるんです。あと、模型の蒸気エンジンとか飛行機とか置いてあるんですけれども、ちょっと趣味の話を。

和栗 さっきも言いましたように、私は子供のころからエンジニアリングというのに非常

に興味を持っているのと同時に、ものすごく模型の趣味が強かったんですね。これは大学を出てからもずっと続いていますし、今でも暇なときは模型飛行機をつくったり、模型の蒸気機関をつくったり、そんなことをしていますね。

村瀬 あと、模型飛行機に関しては、私もいただいたんですけども、立派な本を出されておられます。あの本に関しては、航空の先生が驚かれたとか。

和栗 そうそう。あれは結局、どうしてああいう本を書いたかという

と、これはきっかけがありまして、私の孫が帰ってきたときに小さなライトプレーンをつくって、近くの小学校に飛ばしに行こうと思って家を出たわけです。そうしたら、向かいに住んでいらっしゃるいわゆる老齢の未亡人が僕の飛行機を見て、「それはRCっていうんでしょう」とおっしゃった、ゴム動力の模型飛行機を見て、

村瀬 ラジコンという意味のRC。

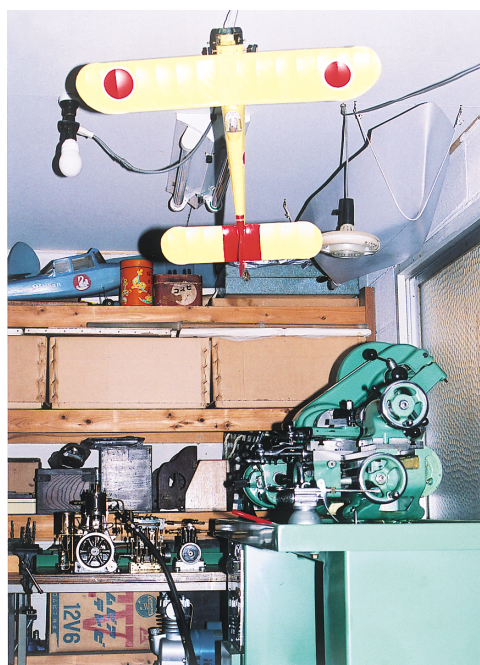
和栗 だから、僕はこれはいかんなと思ったのは、その奥様は何もご存じない。ところが、模型飛行機というものの代名詞がRCになっているんじゃないかと僕は思ったわけです。だから、これはやっぱり本格的なゴム動力のセオリーも書いておかにゃいかんなんていう本を書いたというのがいきさつなんです。

村瀬 ああ、なるほど。しかし、結構難しい式が入っていて、素人じゃあちょっと読めないような本なんですけれども。

和栗 そうですね。

村瀬 あと、囲碁のほうもかなりの腕前と聞いていますが？

和栗 いやまあ、囲碁はとにかく若いころからの趣味でやっておりますが、一番私が囲碁から教えられるいいことを三つほど挙げますと、一つは、会社の経営について、松下幸之助さんですか、経営の大家と言われているあの方が、「会社はもうけなきゃいけない、だから、もうけがないような仕事をしちゃならん。しかし、もうけ過ぎてはいけない、破綻するよ」と。これが松下幸之助の経営理論なんです。そしてそれと同じことを呉清源が言っているわけです、あの有名な碁の大家なんですけれども。「碁に勝とうと思えば、五分五厘自分がもらって四分五厘相手に与えるという気持



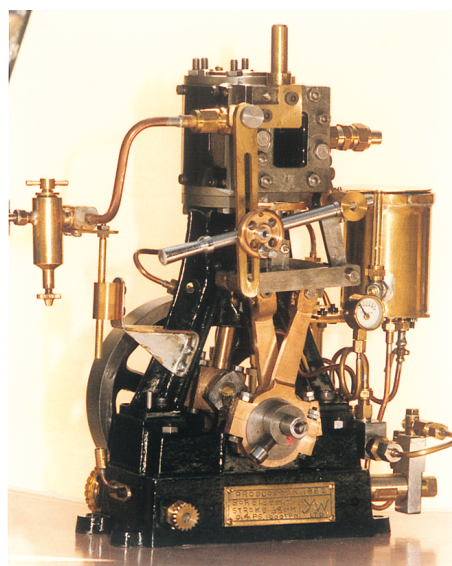
ワークショップ

ちで打たなきゃ勝てないよ」という。これはつくづくそう思いますね。これが一つ。

それからもう一つは、それとやはり同じような意味なんですけれども、碁には本手と俗筋というのがあるわけです。本手というのはどういうものかという

と、碁を打つときに、その局面で一番適切な手なんです。ところが、その一番適切な手のすぐ近くに、打っている本人は正しいと思ってやっているんだけど悪手になる手があるわけですね、これを俗筋というわけです。これで私はつくづく思うのは、健康法なんかで、例えば成人病になったらメタボが悪いよと、運動せにゃならんよということで、大濠公園みたいなところを毎日汗水流して老人がジョギングしているわけです。こんなのは体に非常に悪いんですね。関節にも悪いし心臓にも悪い。運動は大切けれども、やり過ぎてはならないというのも、碁の本手と俗筋からそういうことが言える。

もう一つは、非常におもしろいのは、碁を打っていると、強い弱い別問題として、相手の性格が盤面に出てきますね。だから、あ、この人はこんな物の考え方をする人だなというようなことがよくわかります。まあそういうことで、一種のほけ防止もありますしね（笑）。



模型蒸気機関（ボア38ミリ、ストローク32ミリ）

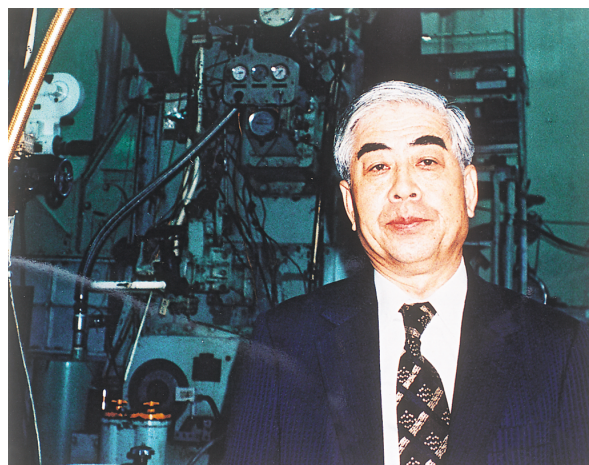
(12) エネルギー問題と自動車用エンジンの将来

村瀬 最後になりますが、最近先生とお話しをすると、エネルギーの話が出てきます。ご持論をいろいろお持ちのようですし、自動車用エンジンの将来とその研究と申しますか、それらについてのご助言等いただければと思います。

和栗 これは私もあまり無責任なことは言えないと思います。というのは、新聞を読んだり、テレビの国会中継などの質疑を聞いていると、環境や経済政策がからまりますし、グローバルには国ごとの事情も政策も違う。だから日本で一番いい自動車をインドに持って行っていいかというと必ずしもそうじゃない。またアメリカならいいかというところでもない。だから一般論としてこうあるべきだとは言えないと思います。ただ言いたいことを一寸言わせてもらいますと、果たして今、電気自動車、電気自動車といわれていますけれど、電気自動車がほんとうに日本で主力になり得

るかというとはちょっと疑義をもっています。

それは、利便性とエネルギー問題の両面からです。自動車は今、リチウムイオン電池の発達がいろいろ言われておりますけど、エネルギー密度からいうと70Wh/kgでしかない。これがどれくらいかという、同じ質量のガソリンが保有する化学的エネルギーの150から160分の1。



NDTエンジンの前で

そうすると、まああなたは専門だからよくご存じだと思うけども、ガソリンエンジンの効率をかなり悪く見積もって10%、電動モーターの効率は100%つまり10倍として160を10で割って16、同じ距離を走ろうと思えば、ガソリンの16倍の重さが要るわけです。これはとても無理だと。だから電気自動車は、いわゆる都会型のビークルで、まあせいぜい4分の1ぐらいの航続力で我慢しようやと。そうすると、それでも16を4で割って4倍ぐらい積まなきゃいけない。ガソリンを満タンで仮に50kg積むとすると、電池は何キロ積まなきゃいけないかという200kgなんです。200kg積んで、かつ、非常に効率の悪いガソリン車の4分の1ぐらいしか走れないわけです。

村瀬 重くなりますしね。

和栗 重くなる。人間が4人分ふえるわけですから。だから、そういう利便性の上から、電気自動車は皆さんがおっしゃるほど簡単にはいかないと思いますよ。公用車のような政策的なものは別ですが、むろん充電設備のインフラ問題もありますしね。これはしかし、責任もって私は発言できません。というのは現にどんどん電気自動車が開発、生産されつつありますから。

それからもう一つはエネルギー問題です。この間、テレビ放送を見ていて思ったのですが、「電気自動車にするとCO₂の排出がガソリン車の4分の1になります」と解説委員が言っているわけです。どうして4分の1になるんだろうかなと、私にはよく分らない。というのは、電気自動車と普通のエンジン車を比較するときは、発電所の効率と自動車のエンジン効率を比較しなきゃいけない。そうすると、火力発電所の発電端効率というのが、最新型のいわゆるガスタービンと蒸気タービンのコンバインドサイクルプラントで46%程度なんです。いいところで。そうすると送電ロスとを考慮すると大体40%がいいところだろうと、そうすると自動車のエンジンがあなたは専門だからきくけど、どれくらいあるの？

村瀬 一番いいところで、プリウスのガソリンエンジンが35%を超えてるといわれています。まあモード走行とかいろいろありますが。

和栗 モードで違うけど、電気自動車と殆ど差はないんだな。ハイブリッドみたいな使い方をすれば。世間ではハイブリッド車と電気自動車の違いをわきまえていない人が意外に多いよ。ハイブリッドは、モーターを併用するけど、エンジンを常に最高効率の出力だけで使うのが要点だから電池だけで動く電気自動車とは全く違う。そして私が強調したいのは、電気モーターはもう100%以上には効率は上がりませんが、ディーゼルの船用エンジンだったら現在52%の効率があるんですよ。だから自動車のエンジンも、まあそこまでいかないけど、まだまだ努力のしがいはあるわけなんです。

村瀬 あると思います。

和栗 だから、ハイブリッドディーゼルにもっていけば、そんなに電気自動車とのCO₂の排出量に差はないだろうと僕は思う。

それから、僕がぜひ自動車でももう一度研究してもらいたいと思うのは、やはり船用エンジンのいいところを少し勉強してみたらどうかと。その典型的なのは2サイクルなんです。今、自動車は2サイクルないでしょう。

村瀬 ありませんね。もう悪になっていますからいわゆる排ガス問題で。

和栗 まあ、排ガス問題もあると思いますけれども、僕が言うのは、単なる、いわゆるクランクケース・コンプレッションみたいな、ああいう2サイクルじゃなくて、ほんとうの、いわゆるターボチャージャーをつけてターボ過給をやる、しかもユニフロー・スカベンジングですね、もちろん直接噴射ですよ。そういうエンジンでどこまで詰められるか。だから、私の理想とするところは、ハイブリッド2サイクルディーゼル。これをもうちょっと研究する余地があるんじゃないのかなというのが私の考えなんです。

それから一つは、エネルギー問題で僕がぜひ申し上げておきたいと思うのは、政治家が、国会の質疑で太陽光発電で何でもできる、将来は太陽光発電だけでエネルギーをまかなえるというようなことをおっしゃっている人がいるわけですがけれども、日本は大体、国土の面積の8割というのは山林とか森林地帯で、世界第2位の森林国なんです。だから、20%ぐらいしか平地はないんです。それなのに、これは僕の計算ですけども、計算したら、大体発電量が年間8,300億kWh、概算で約1兆kWh。そうすると、これをもし太陽光パネルで発電するとしたら、福岡市の20倍の面積のパネルが要るわけなんです。そういうことが日本でできますか。まあアメリカは知りませんよ。だから、僕はやっぱり自動車のエンジンというものは、近い将来にそう簡単に石油から離脱するわけにはいかんんじゃないかなと思います。

村瀬 私も同感で、いろいろなところで最後はそういう発言で締めくくっています。

きょうはほんとうにお忙しいところ、いろいろためになる貴重なお話を聞かせて
いただきましてありがとうございました。

— 了 —

