日本機械学会エンジンシステム部門

Engine Systems

エンジンシステム部門ニュースレター　No.69 Mar.2023

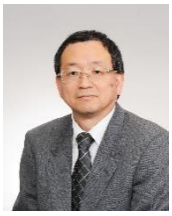
https://www.jsme.or.jp/esd/

【目　次】

部門企画行事のご案内・・・・・1～3
部門企画行事の報告・・・・・・4～5
研究会活動紹介・・・・・・・・6～10
国際学会参加記・・・・・・・・・・11～15
技術教育エッセー・・・・・・・・・・・・16~25
三輪　恵先生　追悼・・・・・・・・・・・26~27
行事カレンダー・・・・・・・・・・・・・・28

部門企画行事のご案内

第 34 回内燃機関シンポジウムのご案内



第 34 回内燃機関シンポジウム
実行委員会 委員長
津江　光洋（東京大学）

実行委員会 幹事長
中谷　辰爾（東京大学）

カーボンニュートラル社会実現に向けた動きが加速する中，自動車をはじめとする移動手段（モビリティ）を取り巻く環境も大きな変革期を迎えています．ハイブリッド技術の高度化や電気自動車，燃料電池車の開発はもとより，エネルギー戦略とも関連して持続可能な燃料として注目されている水素，バイオ燃料，e-fuel，アンモニアなどの新燃料の製造・供給インフラ整備を進めるとともに，これら新燃料の適用を見据えたうえで内燃機関の永遠の課題である高効率化・低エミッション化を追求する技術開発に加え，電動化との連携，持続性のある燃料開発など，内燃機関に関連する新たな技術課題に取り組むことが求められています．

前回の第 33 回内燃機関シンポジウムでは第 60 回燃焼シンポジウムと連携開催を試み，両シンポジウムの参加登録者が約 200 名に上るなど，基礎的な燃焼分野と応用的なエンジンシステム分野の交流促進に寄与したものと思われますが，今回のシンポジウムは自動車技術会を幹事学会として，４年ぶりの対面単独開催と致します．自動車用内燃機関のみならず航空機用ガスタービン，舶用，汎用の各種内燃機関を対象として，企業･大学･研究機関に所属する研究者･技術者･学生が，基礎から応用に至る最新の研究および技術開発を発表し，意見交換を行うことで，課題解決に向けた挑戦的な研究・技術開発を創造できる場を皆様に提供したいと考えております．

副委員長には北川敏明氏（九州大学），幹事長には中谷辰爾氏（東京大学）に就任していただき，産と学から総勢約 50 名の委員で構成される実行委員会を組織致しました．開催日程，会場等は以下に記載の通りです．多くの方の研究発表とご参加をお待ちしております．

□ 開催日程:2023 年 12 月 5 日(火)～ 12 月 7 日(木)

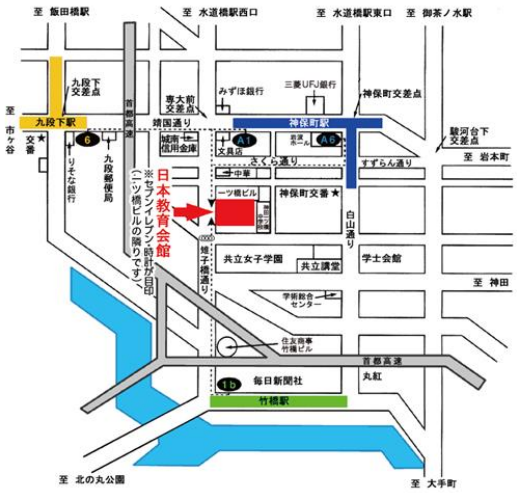
□ 開催場所：日本教育会館（東京都千代田区一ツ橋 2-6-2)

東京メトロ・都営地下鉄「神保町」駅 徒歩約 3 分，東京メトロ「竹橋」駅 徒歩約 5 分，東京メトロ「九段下」駅　徒歩約 7 分，JR「水道橋」駅 徒歩約 15 分

□ 共催学会:公益社団法人 自動車技術会(幹事学会)，一般社団法人 日本機械学会

□ 講演申込締切：2023 年 7 月中旬（予定）

□ 講演原稿提出締切：2023 年 9 月末（予定）



2023 年度年次大会のご案内
機械工学の英知を結集しゼロエミッション社会を拓く

2023 年度年次大会企画委員
小林　佳弘（東京電機大学）

2023 年度年次大会は，2023 年 9 月 3 日（日）から 6 日（水）までの 4 日間，東京都立大学南大沢キャンパス（東京都八王子市）を会場として開催されます．本年は昨年に引き続き対面での実施の方向で準備を進めさせていただいております．

本大会は，『機械工学の英知を結集しゼロエミッション社会を拓く』をキャッチフレーズに，「安心安全」「グリーン＆デジタル」「共生社会」をテーマとして，多彩な行事が企画されております．

我々エンジンシステム部門は研究発表のオーガナイズドセッションに加え，特別企画として基調講演等を企画しております．

基調講演では，2023 年度（第 101 期）部門長の北川敏明先生（九州大学）より講演を賜ります．

オーガナイズドセッションでは機素潤滑設計部門との合同セッションとして「グリーンイノベーションに貢献するエンジン」を，動力エネルギーシステム部門との合同セッションとして「脱炭素社会に向けた動力エネルギー・エンジンシステム技術」を企画しております．オーガナイズドセッションスケジュールをご参考に，年次大会 web サイト
https://confit.atlas.jp/guide/event/jsme2023/static/sessions
より講演をお申し込みください．2023 年度年次大会は対面での開催を予定しております．

会場の東京都立大学南大沢キャンパスへは京王相模原線・南大沢駅から徒歩 5 分ほどでお越しいただけます．改札口を出て右手に緑に囲まれたキャンパスが見えます．

会場へのアクセス（東京都立大学 Web サイトより）

特別企画の後には対面で実施の場合，部門賞贈呈式および部門同好会も企画しておりますので，部門登録の皆様におかれましては，是非ともご参加のほどよろしくお願いいたします.

＜オーガナイズドセッションスケジュール＞

講演申込開始： 2 月 6 日（月）
講演申込締切： 3 月 31 日（金）
発表採択通知： 6 月上旬
講演原稿締切： 7 月 24 日（月）
大会開催期間： 9 月 3 日（日）～6 日（水）

部門企画行事の報告

日本機械学会 2022 年度　年次大会 エンジンシステム部門企画行事開催報告

エンジンシステム部門年次大会
企画委員会 委員長
大嶋　元啓（富山県立大学）

企画委員会 幹事
朝井　豪（ヤンマーホールディングス（株））

2022 年度年次大会は，2022 年 9 月 11 日（日）から 14 日（水）まで，富山大学五福キャンパスを会場として 2 年ぶりに対面にて開催されました．本大会は『シンギュラリティがもたらす機械工学の未来』をキャッチフレーズに，「アフターコロナにおける機械工学」「DX による機械技術の革新」「SDGs への対応」をテーマとして，多彩な行事が企画されました．

我々エンジンシステム部門では機素潤滑設計部門と合同でオーガナイズドセッション「J071 持続可能社会に貢献するエンジン」に加え，特別企画として基調講演およびワークショップを 9 月 12 日に開催致しました．しかし，部門同好会，部門表彰式は感染拡大防止の観点から残念ながら開催することができませんでした．

オーガナイズドセッションの発表件数は 11 件（取り下げ 2 件）であり，昨年度より少ない発表件数となりました．基調講演では「可燃性混合気の火花点火過程と点火性能向上に関する研究」と題して 2022 年度部門長の津江光洋先生（東京大学）にご講演いただきました．ワークショップでは「100 年に 1 度の変革期にある内燃機関のブレークスルー技術」と題して 7 名の先生方にご講演いただきました．久しぶりの対面で議論が活発に行えたことはご講演いただいた皆様，参加された方々をはじめご協力下さったすべての方々に心より感謝を申し上げます．

2023 年度年次大会は 9 月 3 日～6 日の 4 日間にわたり，東京都立大学南大沢キャンパスでの開催が予定されております．

第 33 回内燃機関シンポジウムを終えて

第 33 回内燃機関シンポジウム
実行委員会 委員長
小酒 英範（東京工業大学）

昨年 11 月 21 日～24 日の期間，東京（両国，KFC Hall & Rooms）で第 33 回内燃機関シンポジウムを開催した．本シンポジウムは，テーマを「持続可能社会における内燃機関」とし，第 60 回燃焼シンポジウムとコロケーション開催した．はじめに，シンポジウムの運営に協力いただいた実行委員の皆様とコロナ禍の困難な状況の中，シンポジウムに参加いただいた皆様に厚く御礼申し上げます．本稿では，本シンポジウムの概要を振り返るとともに，開催者としての感想を述べたい．

少し長くなるが，本シンポジウムの開催趣旨を以降に再掲する．エネルギーとモビリティに対する枠組が，2050 年カーボンニュートラル達成という目標の下に大きく変化し，従来枠組内で最適化されてきた内燃機関にも変化が求められているが，この枠組の変化に対する社会構造の変化は長期にわたるため，従来枠組で，経済性，利便性，エネルギーインフラへの適合性において高度に最適化された内燃機関を，動力の部分電動化，燃料のカーボンニュートラル化とあわせて有効利用することが，2050 年までの温室効果ガスの累積排出量低減に大きく貢献すると考える．このためには，内燃機関の高効率化と環境負荷低減を今まで以上に加速しなければならない．さらに，持続可能社会においても継続使用される内燃機関の開発には，その基礎である燃焼現象の正しい理解が必要である．前掲の社会要求の応えるため，本シンポジウムを，燃焼の基礎研究の最新情報を研究者間の直接交流により得ること，基礎研究者と技術開発者が課題を共有し新たな技術革新のためのアイデアを得ることを目的に，第 60 回燃焼シンポジウムと同日程・同会場で連携開催した．

シンポジウム開会式における筆者の挨拶では，上位枠組の変化に対しシステムの新たな平衡点を見出すためには，システムに係る全ての分野の技術者間で，分

野を横断した科学的かつ客観的な視点に基づく議論が必要であること，さらにその議論の結果を社会に提示することが重要であることを述べ，セッションではこれらの重要性を意識して議論いただきたい旨を参加者にお願いした．

本シンポジウムでは，燃焼シンポジウムとの合同企画として，石山拓二氏の特別講演「ディーゼル燃焼の研究とエンジンの低エミッション・高効率化」，合同フォーラム「カーボンニュートラルに向けた内燃機関×燃焼×燃料の挑戦」（企画代表者：田中光太郎氏，山崎由大氏），合同懇親会を実施した．当該シンポジウム単独企画としては，SI 機関基調講演として鈴木琢磨氏の「電動車両に特化した高効率発電用エンジンのための筒内ガス流動コンセプト」，CI 機関フォーラム「Sustainable な高効率 Powertrain を目指して」（モデレータ：内田登氏）を開催した．一般公演では 22 セッションで 85 件の研究成果発表が行われた．3 年ぶりの対面開催ということもあり，シンポジウムには多くの方（両シンポジウム合わせた参加登録数：670 名）に参加いただき盛況の裡に終えることができた．

次に当該シンポジウムに対する筆者の感想を述べる．開会式で参加者にお願いした分野を超えた議論については，従前シンポジウムに比べ活性化した印象を持った．エンジン筒内現象に対する科学的視点に基づく質問や議論も行われ，今後の分野連携につながればよいと思わせる議論もあった．しかし，総体的には「エンジン村」の議論が多かったようにも思う．開催趣旨において，「従来枠組で高度に最適化されたエンジン」の必要性を掲げたが，個別技術の枠に収まっていては革新的な進歩は望めない．また，燃焼シンポジウムとの合同フォーラム「カーボンニュートラルに向けた内燃機関×燃焼×燃料の挑戦」については，燃料を含めたエネルギー変換システムとして，CN 対応技術と内燃機関の組み合わせはエネルギー収支の悪化を受け入れざるを得ない場合が多く，これは経済自立性としてはとても不利であり，社会受容を得るには，利用者の価値観の変化も求められること，価値観の変化に関して技術者としての見解を積極的に社会に提示する必要があることを強く感じた．以上のように，本シンポジウムは，持続可能社会における内燃機関の在り方を上位枠組の変化を意識して議論する場として，分野を超えた連携に貢献したと思うが，今後さらに連携を加速し具体的な社会貢献につなげるには，意識改革を含めた技術者の一層の努力が必要であると思った．

会場に隣接する横綱町公園の一角に東京都復興記念館がある．20 年以上前に一度訪れたことがあったが，セッションの合間に再訪した．シンポジウム会場のある一帯は，近代において関東大震災と東京空襲の 2 度にわたり被災している．記念館は，被災状況とその後の復興の様子を資料や写真により今に伝えている．被災直後の生々しい写真，炎熱にさらされ溶曲した機械や自動車等の展示物と，被災の痕跡を全くと言っていいほどうかがわせないまでに復興した現在の同じ場所の光景を対比させられ，我々技術者は予測困難な将来における危機を可能な限り防ぐ努力をなお一層強めねばならないと思った．

A-TS 07-61
次世代２ストロークエンジン技術研究会

主査
畑村 耕一
（畑村エンジン研究事務所・
広島大学）

幹事
西田 恵哉（広島大学）

１．２ストロークエンジンの歴史と現状

２ ストロークガソリンエンジンは，現在は一部のモーターサイクルとチェーンソーなどの手持ち機械に使われているだけだが，小型軽量高出力エンジンとして自動車用としても 1980 年代まで使われていた．1970 年代に始まった自動車の排ガス規制が厳しくなるに従って，混合気の吹き抜けと不整燃焼による燃費悪化と HC の排出増大が避けられないために，次第に姿を消していった．

一方，2 ストロークディーゼルエンジンは，1930 年代から軽量高出力エンジンとしてユニフローディーゼルエンジンが実用化されて自動車用エンジンとして普及していった．しかし燃費や騒音，排ガス対策面での不利から，ターボ過給で高出力化が進んだ 4 ストロークディーゼルエンジンが主流になった．かたや大型舶用エンジンでは掃気効率の高い超ロングストロークの 2 ストロークユニフローディーゼルエンジンが，世界一熱効率が高い内燃機関として主流となっている．

また，超ロングストロークを実現するためピストンとクランク機構を 2 組持つ 2 ストローク対向ピストンディーゼルエンジンが 1930 年代に実用化され，軽量コンパクトな航空機用エンジンとして採用された．その代表的なエンジンが第 2 次世界大戦中にドイツで使われたユンカース・モトーレン社の 6 気筒（12 ピストン）の対向ピストンディーゼルエンジンである．一部は自動車用としても使われたが 1950 年代までに消えてしまった．

このように自動車用としては市場から姿を消した 2 ストロークエンジンではあるが，トヨタが S-2 と呼ぶ 6 気筒の 2 ストロークエンジンを 1989 年の東京モーターショーで発表したように，研究開発はいくつかの自動車メーカーが行ってきた．近年，注目されているのは，毎回転爆発の 2 ストロークエンジンは，基本的に 4 ストロークエンジンの 2 倍のトルクを発生できるのでリーンバーンでも必要なトルクを発生できることである．モーターサイクルの世界では，この特性を利用した AR 燃焼と呼ぶ一種の HCCI 燃焼の 2 ストロークエンジンを 1996 年にホンダが実用化した．しかし，この 2 ストロークエンジンも 4 ストロークエンジンの牙城には入り込めなかった．

今後の燃費向上のための手段として，リーンバーンや水素燃焼との相性の良さが買われて，研究開発の世界では 2 ストロークエンジンの見直しが始まっている．米国のベンチャー企業 Achates Power 社が開発している 2 ストローク対向ピストンエンジンは，ディーゼルエンジンに応用して実用化に向けて開発が進められている．さらに水素エンジンへの応用も研究されている．

2．研究会立ち上げの動機，経緯

自動車用ガソリンエンジンの燃費向上手段として超リーンバーンの研究が進められている．一方，カーボンニュートラルに向けて水素エンジンが注目されている．いずれも NOx を抑制するためには $\lambda > 2$ の希薄燃焼が必要になる．ただし，運転負荷（BMEP）が低くなるために，トルクが低下，相対的に摩擦損失が増加して期待通りの熱効率向上効果が得られない，という問題がある．

2 ストロークエンジンは，同じ BMEP でも発生トルクが 4 ストロークの 2 倍になるので，十分なトルクを発生できる．2 ストロークガソリンエンジンにはアイドリングと低負荷運転時の排ガスと振動の問題があるが，シリーズハイブリッドにすれば回避できる．

研究会では，2 ストロークエンジンの特性を改めて整理すると共に，性能シミュレーション技術の高度化のための情報収集，意見交換を行う．その結果から，対向ピストンエンジンを含めて 2 ストロークエンジンの可能性と課題を明らかにする．

3. これまでの研究会

研究会初年度の 2022 年度は新型コロナウィルス禍の中での立ち上げとなり，1 年間で 6 回の委員会のうち，これまでの 5 回はオンライン開催を余儀なくされた．オンライン開催なので丁々発止の議論の委員会とはなりにくく，また委員会後の意見交換会（懇親会）の

表 1　研究会の開催履歴（第 6 回は執筆時点で計画中）

回数	開催日・場所， 参加人数	講演者 講演題目	講演題目
1	2022年4月19日・Teams 26人	畑村 耕一 （主査，畑村エンジン研究事務所）	2ストロークエンジンの復権の可能性，研究会活動の方向性と計画
2	2022年6月21日・Teams 28人	衛藤 邦淑 （やまびこ）	2ストロークの燃焼分類（ハンドヘルドマシンの燃焼）
		西田 憲二（元 ホンダ技術研究所）	これまでの2ストロークエンジンの研究経験（AR燃焼ほか）
		仲出川 大補 （三菱重工メイキエンジン）	最新の2ストロークエンジンの特性（層状吸気方式）
		島筒 修治 （福岡県立嘉穂総合高等学校）	2ストロークエンジンの低負荷の不安定燃焼と振動（ヘロンバランサーの効果）
3	2022年8月23日・Teams 21人	畑村 耕一 （主査，畑村エンジン研究事務所）	2ストロークエンジンの基本性能（90年代の燃費と排ガスの研究論文（IFP）の紹介）
		島筒 修治 （福岡県立嘉穂総合高等学校）	2ストガソリンエンジンの低負荷の振動対策（ヘロンバランサの実験結果）
		島筒 修治 （福岡県立嘉穂総合高等学校）	2ストエンジンのスキップ噴射による排ガス低減の論文紹介
		畑村 耕一 （主査，畑村エンジン研究事務所）	2ストエンジンの性能シミュレーション
4	2022年10月18日・Teams 19人	安田 輝毅 （丸山製作所）	2ストロークエンジンの排出ガス低減技術
		西田 恵哉 （広島大学）	2022 DI2S Conference*と2022 Thiesel Conference**の概要
		島筒 修治 （福岡県立嘉穂総合高等学校）	2022 DI2S Conference*のポスター発表と注目発表について
		衛藤 邦淑 （やまびこ）	2022 DI2S Conference*の注目発表について
5	2022年12月20日・Teams 23人	飯島 晃良 （日本大学）	2ストロークエンジンを用いた副室燃焼の実験結果
		衛藤 邦淑 （やまびこ）	2022 DI2S*での発表（2ストロークエンジンの燃焼シミュレーション）
		大瀧 康宏 （IDAJ）	2ストロークエンジンの性能シミュレーション（1D-CFDを中心に）
6	2023年3月8日・日本大学 船橋キャンパス/Zoom	REDON Fabien （Achates Power, USA）	Achates Powerでの対向ピストンエンジン開発の最新動向（英語での講演）
		畑村 耕一 （主査，畑村エンジン研究事務所）	CO2排出量計算のなぞ
		日本大学の研究室見学	
		意見交換会（懇親会）	
		* Direct Injection 2-Stroke Engines International Conference, On the Way to Aero Emissions & Carbon Neutral Operation, September 12-13, 2022, Valencia Spain.	
		** Conference on Thermo-and Fluid Dynamics of Clean Propulsion Powerplants, September 13-16, 2022, Valencia Spain	

図 1 舶用主機 2 ストローク圧縮点火ディーゼルエンジンのクロスヘッドクランク，ピストンと畑村主査
ドイツのカールスルーエ大学訪問時に撮影．畑村主 査は決して小柄では無いが，身長はクロスヘッドの回転腕の長さ程度．

開催もできなかった．懇親会こそ本音の議論と委員間の交流促進ができる場と考える主査と幹事としては，甚だ不満足な 1 年だった．

2023 年を迎え，ようやく新型コロナ禍が落ち着いてきたのを受けて，2022 年度最後の研究会は 2023 年 3 月 8 日（水）に千葉県船橋市の日本大学船橋キャンパスでの対面開催（米国からの講演をお願いしたのと，対面参加が困難な委員の利便性を考え，Zoom オンラインを併用したハイブリッド），本研究会委員の飯島晃良先生の研究室他の見学付きとすべく，本記事の執筆段階で準備を進めている．

図 2　リコイルスターターの 2 ストローク火花点火ガソリンエンジン
研究会での三菱重工メイキエンジンの資料より．エンジン全体を両手で持ち上げることができる．

研究会の開催履歴を表 1 に示す．委員会の最後に主査が委員に呼びかけて次回の講演者を決めるという自転車操業であるが，まずまずの充実した内容の委員会を開催できてきたと考えている．また毎回，講演の内容と質疑応答の詳しめの議事メモを幹事と講演者が作成し，研究会終了後に講演資料と一緒に委員に配布している．

図 1 と 2 に研究会の講演資料で見せて頂いた 2 ストロークエンジンの写真を示す．2 ストロークエンジンがカバーするエンジンサイズ，出力の範囲が如何に大きいか，改めて驚かされる．

4．今後の活動計画

来年度以降の計画概要（案)を以下に示す．

- 2023 年度

超リーンバーン（λ＞2）や水素エンジンなどの将来エンジンに対して，2 ストロークエンジンを適用する場合の具体的なパワートレインコンセプトを取り上げて，その可能性と課題について（シミュレーション技術を利用してできる限り定量的に）明確にする．

4 月：超リーンバーンの燃焼特性の復習，水素エンジンの燃焼特性の復習

6 月：2 ストロークエンジンを適用するエンジン（大型ディーゼル，小型ディーゼル，ガソリンエンジ

ン，水素エンジンほか）別に，2 ストロークエンジンの生かし方と可能性について整理する．

8 月：2 ストロークエンジンの特性を生かすパワートレイン（適用エンジンの選定）の構想をまとめる．

10 月：2 ストロークエンジンの特性を生かすパワートレイン（具体的な構造）の構想をまとめる．

12 月：シミュレーション技術を使って，選択したパワートレインの性能予測を行い，課題を明確にする．

2 月：2 ストロークエンジンの特性の総合まとめと（より定量的に），シミュレーション技術のまとめを行う．

- 2024 年度以降

2023 年度に可能性と課題を明確に示した具体的なパワートレインコンセプトについて，実用化に向けて開発する価値があるものを見いだせれば，その性能向上と課題の解決に向けた研究開発を実施する．補助金などの予算の確保や実施体制については別途検討する．

5. おわりに

「A-TS 0761 次世代 2 ストロークエンジン技術研究会」の立ち上げ背景，これまでの活動経過，今後の活動計画について紹介した．大学，会社，研究機関から 38 名の委員の参加を得て，研究会を開催している．

本研究会に興味を持たれた方は，是非ともご参加いただきたく，主査または幹事に連絡をください．

主査　畑村 耕一（畑村エンジン研究事務所・広島大学）
hero@office.email.ne.jp
幹事　西田 恵哉（広島大学）
nishida@hiroshima-u.ac.jp

A-TS 07-43
九州先進エンジンテクノロジー研究会のご紹介

主査
森上　修（九州大学）

幹事
安藤　詩音（九州大学）

九州先進エンジンテクノロジー研究会には現在 30 名弱の委員が所属しています．地域柄とでも言いましょうか，その多くは教育機関所属の方々です．いつ設立されたかは恥ずかしながら小職は把握していないのですが，小職の手元にある情報は 2006 年度からです．2006～2010 年度は北川敏明先生（九州大学），2011～2016 年度は植木弘信先生（長崎大学），2017～2020 年度は吉見定見先生（北九州市立大学）を主査として活動してきました．2021 年度から小職が主査を担当させて頂いているところです．主な活動内容は，年数回，委員を講師として，もしくは研究会外部から講師を招いての研究会・講演会の開催です．公益社団法人自動車技術会九州支部との共催とすることもございます．近年の研究会について次に紹介させて頂きます．

2017 年度

○「ホンダハイブリットスーパースポーツカー新型 NSX の技術紹介」講師：坂本泰英様（株式会社本田技術研究所）（自動車技術会九州支部との共催）；新型 NSX について，V6 3.5L エンジン，ハイブリッド技術，ツインターボの選択，冷却システムと空力のバランスなどの開発，技術の紹介がされた．

○「SKYACTIV テクノロジーの誕生を支えたモデルベース開発」講師：清水良様（マツダ株式会社）（自動車技術会九州支部との共催）；最も早く最大限の成果を出すために，必要な技術要素を積み上げるマツダ・ビルディングブロック戦略について説明された．

2018 年度

○「高過給ディーゼルエンジンにおける損失低減が排

熱回生のポテンシャルに及ぼす影響について」講師：山口卓也先生（久留米工業大学）；排熱回生に関する背景，ターボコンパウンドシステムを仮定した評価手法について研究成果の説明がされた．

○「フラッシュ蒸気機関を用いた排熱回収システムの開発研究」講師：ヘワビタラネ ダミンダ様（北九州市立大）；自動車用排熱回収システムを想定して，フラッシュ蒸気機関の動作原理および試験機関による定量的な評価結果の説明がされた．

2019 年度

○「BDF の製造用および混合用の基材としてのバイオアルコールの利用」講師：木下英二先生（鹿児島大学）；BDF の製造および BDF による実機関性能，バイオブタノールとの混合による排気改善についての説明がされた．

○「アルコール燃料の噴霧自着火に関する物理化学律則条件について」講師：齊藤弘順先生（崇城大学）；植物由来アルコールを燃料とした高効率ディーゼル機関実現のため，キー技術である着火制御法の確立に向けた試みの説明がされた．

○「ノッキング位置の可視化」講師：草塲耕佑様，田村翔太様（ダイハツ工業株式会社）；サイドビュー方式の燃焼観察および VisioKnock(AVL 社製)により，燃焼室内の自着火発生位置の特定を機関速度 1200rpm の全負荷条件にて試みた．

○「久留米工業大学の施設見学」；内燃機関実験室，航空実習棟，インテリジェントモビリティー研究所が見学された．

○「自動車とそのエネルギーに関わる政策動向」講師：小熊光晴様（国立研究開発法人産業技術総合研究所）（自動車技術会九州支部との共催）；グローバル化，オープンイノベーション，社会システム，脱炭素化などの話を交えて将来来のモビリティとエネルギーの政策動向が紹介された．

2021 年度

○「レーザー2 焦点流速計によるディーゼル噴霧液滴分裂の評価」講師：駒田佳介先生（福岡工業大学）；レーザー2 焦点流速計を用いたディーゼル噴霧の粒径･流速計測例が紹介された．

○「酸化変性したバイオディーゼル構成液滴の燃焼挙動に関する実験的研究」講師：安藤詩音先生（九州大学）；バイオディーゼル燃料（FAME）の酸化劣化による液滴燃焼挙動への影響が実験的に調査された．

研究会は基本的には対面で開催しておりましたが，新型コロナウィルスにより 2021 年度からはオンラインでの開催としております．新型コロナは 2023 年 5 月 8 日に 5 類に移行するということですので，本研究会に限らず様々な行事が新型コロナ以前の対面開催形式に戻っていくのではないかと予想されます．世界中に様々な災禍を巻き起こしてきている新型コロナですが，一方それにより強いられた「リモート」の便利さを実感された方が多いのも事実かと思います．九州は広くない地域だと思われる方もいらっしゃるのではないかと思いますが，九州内の移動は意外と時間を要します．最近，高速自動車道や鉄道網がかなり整備されてきたところではありますが，特に西側と東側の間の移動には未だ時間を要するところです．つきまして，費用はある程度かかってしまいますが，新型コロナの収束状況に関わらず本研究会はハイブリッド開催を基本としていきたいと現状考えております．また，冒頭に申しました通り，本研究会の委員は教育機関所属の方がほとんどです．九州には自動車に関する企業が多く，また工場も多くございますが，近年では研究に携わる企業の方々も増えているようです．このような方々に本研究会に加わって頂きたいと考えております．なお，小職は 2003～2004 年度は山口大学に勤務しており，その際，西日本エンジンシステム研究会の委員に加えて頂いておりました．西日本エンジンシステム研究会では学生の教育の場として研究会が活用されており，夏季セミナーとして泊まり込みで学生達の研究成果発表会が行われます．学生も教員もラフな格好で参加し，形式張った学会発表ではないためか，学生達が生き生きとしていたことを記憶しております．新型コロナによりこの形式の研究会はお休みされていたようですが，今年度からオンラインでの学生発表会を再開されたようです．そのまま同形式で九州でも開催，ということではございませんが，研究者間の交流のみならず教育も取り入れるという点を本研究会でも参考にさせて頂き，今後の活動内容を検討していきたく思います．

最後に，本研究会の今後の活動にあたり，他の研究会所属の方々にも何らかのご協力をお願いすることがあるやもしれません．その折は何卒ご助力のほどお願い申し上げます．

THIESEL2022（バレンシア）に参加して

河原塚 史裕（新エィシーイー）

2022 年 9 月 13 日から 16 日にかけて開催された“THIESEL2022”に参加してきました．本学会はバレンシア工科大学の内燃機関研究所である CMT が主催する国際会議です．2000 年の第 1 回を期に隔年で開催されており，今年で 12 回目の開催となった学会です．会場はスペイン南部のバレンシアにあるバレンシア工科大学で行われています．最寄りの空港のバレンシア国際空港へは日本からの直行便が無く，今回はドイツのフランクフルト国際空港経由で移動しました．フランクフルト国際空港からは 3 時間ほどで到着します．バレンシア国際空港からバレンシアの市街地までは地下鉄に乗って 30 分ほどで移動することができます．気候は年間を通して温暖で，学会の開催された 9 月はとても暑かったです．

会場前で記念撮影

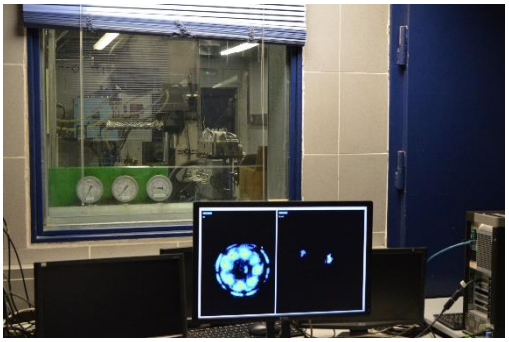
学会の名称である THIESEL は”Theory”と”DIESEL”を合わせた言葉で，開催当初はディーゼル機関のみを対象とした学会でしたが，2012 年からは直噴ガソリンも対象となり，2022 年からは水素内燃機関や合成燃料に関する検討も含むようになったそうです．発表内容は実機を対象とした内容だけでなく定容容器を用いた基礎的な検討まで幅広い内容でした．講演会場は 1 部屋のみで全ての分野の講演を聞くことになります．すべての講演を落ち着いて聞くことになるので，内容がしっかり頭に入ります．講演自体もかなり吟味されているためレベルが高く聞いていて飽きることはありません．

講演内容は化石燃料を対象にした内容もありましたが，多くは水素や合成燃料，バイオ燃料を対象にした内容でした．また，化石燃料を対象にした検討もありましたが Dual-fuel 燃焼が大部分を占めており，純粋な化石燃料のみを対象にした研究は少なかったです．水素内燃機関に関しては燃焼特性や機関性能に与える影響の検討だけでなく，排出ガス特性に与える影響や課題の抽出のような検討も多く行われていました．日本国内でも水素内燃機関を対象にした研究は行われていると思いますが，欧州の方が実用化する際の課題の抽出を意識した研究内容であり日本国内での研究のスピード感とは異なると感じました．噴射系および燃料噴霧のセッションでは発表者全員がアメリカの所属で国によりトレンドが明確に異なることも興味深かったです．

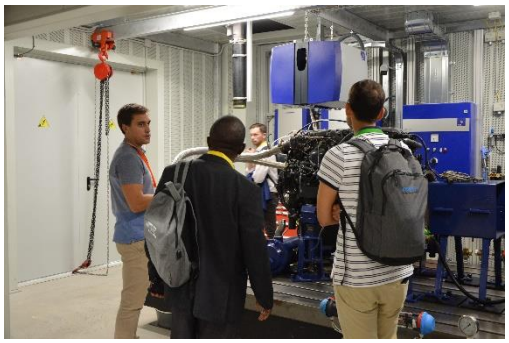
昼食は会場内のレストランで頂くことになりますが，他の参加者と相席となる場合が多いです．そこで参加者同士で議論，交流する機会となるので欧州での内燃機関のおかれている状況も伺うことができました．昼食以外のセッション間の休憩時間も 30 分と長めに確保されており，そこでも参加者との交流や発表者への質問を行うことも可能です．

昼食の様子(バレンシア工科大学内のレストラン)

昼食の時間にはラボツアーも開催されました．参加して感じたのは規模の大きさです．国内にも実機を使用して試験している大学はありますが，エンジンベンチの数が多くメーカーの実験棟のように観測室に操作盤が並んでいる大学というのはあまりないと思います．定容容器も日本国内で見るサイズのものよりもはるかに大きく，スケールの違いに終始圧倒されていました．その外にもターボベンチや風洞なども保有していました．内燃機関にまつわる研究分野のほとんどに手を付けていることも驚きでした．



多筒エンジンを流用した可視化エンジン



多筒エンジンベンチ

今回は移動の関係で前日昼にバレンシア入りしたので少し観光する時間があったので，バレンシアの街についても紹介したいと思います．バレンシアはスペイン南部の地中海沿岸の街です．スペイン国内でも観光名所として知られているようで，移動の飛行機や街中で修学旅行の様な団体に遭遇します．市場では海産物を取り扱う店が多かったです．旧市街の中心には大聖堂があり，その敷地内の鐘楼に上ることができます．鐘楼の展望台からはバレンシア市街を一望することができ，地中海沿岸の街並みを眺めることができます．鐘楼の会談はとても狭いので，歩きやすい靴で行くことをお勧めします．

THIESEL 開催時期は 9 月ですが，とても暑いです．今回の出張では別件でドイツに数日滞在した後にバレンシア入りしたので寒暖差が大きく，とても疲れました．参加される場合は涼しい格好で行かれることをお勧めします．

大聖堂内の鐘楼

バレンシア市街(遠くは地中海です．)

今回，THIESEL に初めて参加しましたが，欧州のトレンドを一度に確認することができる有意義な学会でした．改めて欧州の脱化石燃料の勢いを感じるとともに日本国内の動きに不安も覚えました．日本国内でも脱化石燃料の動きはありますが，欧州の方が様々な研究機関等で検討されている点が日本と大きく異なる点であると思います．特に水素内燃機関についてはかなり精力的に研究していて技術的に発展させていくという機運が欧州全体で高まっていることが良くわかる学会となりました．

SAE Powertrains, Fuels & Lubricants Conference & Exhibition（クラクフ，ポーランド）に参加して

田島 博士（九州大学）

SAE Powertrains, Fuels & Lubricants Conference & Exhibition (以下，SAE PFL)が 2022 年 9 月 5 日～8 日までポーランドの古都クラクフで開催されました．世界がウィズコロナに舵を向けていく時期に当たり，久々の完全対面形式での学会となりました．講演者の身振り手振りを交えた発表，挙手による会場での質疑，マスク着用義務の撤廃等々，ようやく日常が戻ってきた感を深くした次第ですが，オンライン学会に慣れたせいか，聴きたい講演をハシゴするのに会場間を移動したり，座席を確保したりするのが億劫に思われ，楽な方に流れやすい人間の性も感じてしまいました．

開催地のクラクフは，戦災を被らず初期の世界遺産にも選ばれた旧市街と外周部の新市街からなり，中央駅や学会会場の国際会議場；ICE クラクフ(下図)は新市街に位置していますが，健脚なら駅から旧市街を抜けて ICE クラクフやバンケット会場へ徒歩移動できるほどの適度な広さの街でした．また，近郊にはアウシュビッツ・ビルケナウ強制収容所や世界最古のハルシュタット岩塩坑といった世界遺産も散在しており，会期前後に足を延ばした参加者も多かったようです．

クラクフ国際会議場（ICE Krakow）

学会は，Stellantis グループのエンジン工場と自動車関連技術の研究所である BOSMAL の見学ツアーから開始されました．前者は，主に FIAT 車向け小型エンジンの生産工場で，ジャーナル研削などの機械加工や組立工程が開示され，ダウンサイジング TC エンジンの構成部品を具に観察することができました．BOSMAL は独自開発の車両生産の歴史も有し，現在は自動車関連の規制や基準制定のための充実した実験設備を有する研究開発組織として活動されていました．両社とも興味深かったのですが，見学後の質疑は EV シフトについての見解や対応を問うものが過半を占めており，早くもきな臭い雰囲気が漂っていました．

学会本体は，3 日間とも冒頭のキーノートと締めのパネルディスカッションで一般講演を挟んだ形式をとり，初日夜に歓迎式，2 日目に夕食会が催されました．

本学会はトヨタ自動車様が積極的に支援されており，3 台とも黒に統一された同社の PHEV，FCV，BEV が会場内に展示されていた他，日本技術博物館(マンガ館)で行われた歓迎式では，トヨタ自動車の FCV パワートレインのカットモデルが展示されるとともに，ポーランド大使の挨拶や日本人ピアニストによるショパンや J-POP の演奏が行われ，本学会では日本の存在感が大きかったことに誇らしさを覚えた次第です．

パネルディスカッションでは，日程順に乗用車，大型貨物車，建機等自走車の原動機の将来動向が取り上げられましたが，折しも EU で 2030 年以降の新型乗用車の CO2 排出量を 2021 年比で 55%削減，即ち HEV の販売まで禁止するような議論が進んでいたことから，CF/CN 燃料専焼例を除いて，内燃機関車の終売は不可避との前提で FCV 運用における水素燃料費の影響や，BEV 市場シェアと GHG 削減量の相関などが論じられており，EV シフトによる CO2 削減効果が数%に過ぎないという冷静な議論もありましたが，従前の内燃機関関連の研究が過半を占める一般講演との温度差が少なくなかったように思いました．また，恒例として，近未来の EV シフトや内燃機関の状況を会場からの挙手により予想していましたが，当然ながら内燃機関の生き残りを信じる方々が多数派のようでした．

一般講演の方では，同名セッション別で Advanced Hybrid And Electric Vehicle Powertrains が最多の 15 編，Alternative And Advanced Fuels が 13 編であり，SI 燃焼関連 10 編，CI 燃焼 5 編，PCCI 関連 1 編(+他セッションに 1 編)と比較して，隔世の感がありました．燃料種別では，水素(パネルディスカッションを含む)，

天然ガス関連，メタノールが各 5 編，アンモニア，バイオ燃料が各 2 編となっており，当方の主研究対象である大型の低速舶用機関では貯蔵性や可搬性を重視してアンモニアを主燃料とする機運が高まっているのに比べ，研究例が少ない印象でした． 潤滑油関連では，航続距離を稼ぐために低摩擦係数に特化した BEV 専用トランスアクスル油に関する発表があり，2 日目の潤滑油動向に関するキーノートも含め，原動機の変更が新たな研究目標を触発することが実感できました．

最後に雑感を．学会後にドイツへ移動しましたが，クラクフだけでなくドイツの小都市でも高精細液晶の行先表示を備えたトラム車両が新規導入されており，九州で昭和の地下鉄車両に揺られている者としてインフラ整備にしっかり予算が割かれていることを羨ましく思いました．ロシアのウクライナ侵攻の余波で燃料価格が高騰し，物価の安いポーランドでさえガソリンが 240 円/L 超でしたが，動揺もなく平静な市民生活が営まれており，欧州議会の内燃機関車終売の議決にもこのような背景があるように思いました．個人的には，地方でもベジタリアンレストランが容易に見つかり，駅の売店にもグリーンマークのついたベジメニューが掲示されるなど，食の少数派への配慮がありがたく，日本“アゲ”の感慨で始まった今回の出張も，まだまだ見習うべき点があるという結論に落ち着きました．

COMODIA2022（札幌）に参加して

山下　智丈（同志社大学大学院）

2022 年 7 月 5 日（火）から 8 日（金）の 4 日間にわたって行なわれた” The 10th International Conference on Modeling and Diagnostics for Advanced Engine Systems (COMODIA2022)” に参加しました．会場は北海道札幌市内にある北海道大学学術交流会館で行なわれました．

COMODIA は 1985 年から開催されている高度なエンジンシステムのためのモデリングと燃焼計測に関する国際会議であり，今回のメインテーマは“地球環境に最適な内燃機関搭載のパワートレインの追求”でした．講演内容は以下に示す 7 つの主催セッションに大別されて構成され，117 件の講演（基調講演 3 件含む）が 6 日（水）から 3 日間にわたって行なわれました．

- Thermal Efficiency Improvement in SI Engines
- Thermal Efficiency Improvement in CI Engines
- Modeling and Engine Control
- Chemical Reaction Analysis
- Aftertreatment
- Lubrication
- Carbon Neutral

セッションは主に燃焼およびモデリングに関する発表でした．しかし，今回は新しく水素燃焼やアンモニア燃焼などのカーボンニュートラルに関連する，時代の流れに沿ったような発表も複数ありました．

ここで大変恐縮ですが，私のことについて少し述べさせていただきます．私にとって COMODIA2022 が初めての学会発表の場でした．私が COMODIA2022 といった大きな国際学会に参加することになった理由は，私が幼少時代に海外で長期滞在した経験があったからと，コロナ禍により実現しませんでしたが大学院生の間に海外の大学へ 2 年間留学する予定があったからです．先生方に貴重な機会だから挑戦してみたらとお話を頂き，私自身も大学院生の間に留学に代わる機会を得られたらと思っていたので参加させていただきました．大学院生でありながら COMODIA2022 に参加させて頂いたので，研究内容にもそうですが英語での発

表に不安と期待を半々持ちながら発表させていただきました．

今回，私はディーゼル噴霧における新しい噴霧分裂モデルの開発について発表させていただきました．私が発表した日と同日の初めに，Dr. Paul Miles のモデリングの進歩に関する基調講演があったためか，多くの方に聴講していただき，さらに議論もさせていただきました．その他の発表では，主にディーゼル噴霧のシミュレーションや壁面衝突噴霧関係のセッションを中心に聴講しました．COMODIA2022 に参加して，非常に貴重な経験をさせていただけただけでなく，多くのことを学ぶこともできました．今まで以上に研究に精進して様々な知識を身につけるだけでなく，英語のスキルももっと上げなければいけないなと改めて感じました．

最後に，掲載した写真は北海道大学の実行委員の方々から頂いたものであり，この場をお借りしてお礼申し上げます．

一般セッションの様子

武蔵工大の水素自動車開発史の中間点をバトンリレーした研究体験記
今こそ日本発の水素エンジンをモノにして地球環境保護に貢献しよう

福間　隆雄
（トヨタ自動車，早稲田大学客員教授）

『敵は炭素だ、内燃機関ではない』カーボンニュートラルへの各国の対応が大きく注目される中、日本からも大変心強い発信がされている。その一つの可能性が水素エンジンであり大きな注目を浴びている。この水素エンジン研究開発の波動はおよそ 20 年ピッチで大きなうねりとして増幅し今ここに至っている印象がある。世界水素エネルギ会議が発足した 1980 年前後《参考：History of WHEC – WHEC2022 – 23rd World Hydrogen Energy Conference (whecistanbul.org) 》、BMW の水素エンジン搭載車が世界水素ツアーを展開した 2000 年頃、そして今、水素エンジン本気モードのフラグが上がり世界中で研究開発は加速している。水素エンジン実用化を夢見る若い研究・開発者に改めて絶大なエールを贈りたい。

私は 40 年前学生の時に貴重な経験をした。武蔵工業大学（今の東京都市大学）在学中に水素直噴エンジンの研究を進めながら 2 年ごとに水素エンジン搭載車を 3 台開発し、合計 7 回海外渡航の内、2 回は走行展示、5 回は論文発表した。水素直噴の燃焼改良により車の性能が劇的に向上した時は心が躍った。積み重ねた技術を 3 代目のトラックに適用、伝授出来た時は大きな自信を覚えた。最後に水素直噴特有の燃焼特性を解明し博士論文に結実させた時は達成感で満ちた。学部学生 4 年から博士号獲得までの僅か 6 年間の体験は特濃で、今でも記憶は鮮明に残っている。唯一の休日だった日曜は爆睡に費やし徹底して研究に集中した若い時の記憶は消えないようだ。先日、この研究体験記を同志社大学の千田・松村研究室の学生さんに紹介した際、この度の寄稿の機会を頂いた。先方でも水素エンジンを鋭意研究中だ。40 年前の学生の経験をお伝えすることへの躊躇はあるが、後進の方に水素エンジンを身近なものに感じて頂ければとの期待を持って寄稿を進める。水素自動車の技術概要に触れた後、自分が関与した武蔵 5 号と 6 号、最後に水素燃焼に関する博士論文構築と武蔵 7 号への展開の順に進めていく。

1　武蔵工大における水素自動車開発の背景

①　液体水素へのこだわり

当学における開発の祖である古濱庄一教授は、自

表１　水素とガソリンの貯蔵法の比較

	燃料		貯蔵タンク		総重量 kg
	体積	重量kg	種類	重量　kg	
ガソリン	30　L	22.0	標準タンク	5	27
軽油	27　L	22.6			27.6
水素	91Nm^3 348L（30MPa） 115L(LH_2)	8.2	軽量タンク（13本分）	265	273
			MHタンク（Benz社製）	764	772
			LH_2タンク（武蔵工大）	65　サス真空断熱	73
参考 ミライ 第2世代	141 L 高圧タンク3本 (70MPa)	(5.6)	高圧樹脂タンク　3本	93	（98.6）

MH　：　鉄ーチタン系水素貯蔵金属
LH_2　：　液体水素、密度0.7、沸点　20K

✓ 2重真空構造のステンレス製液体水素タンク
✓ 電気駆動往復ポンプで0.1から8MPaに加圧、エンジンに供給

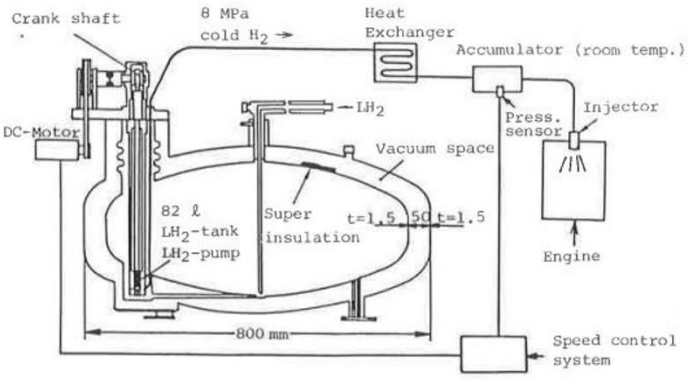


図1a　水素貯蔵・供給システム

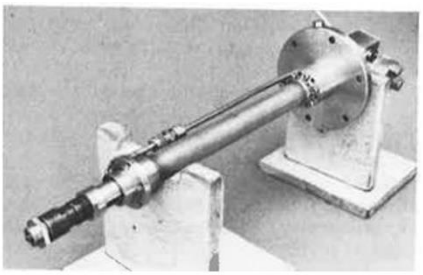


図1b　水素ポンプ

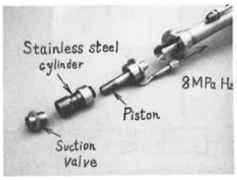


図1c　ポンプ心臓部

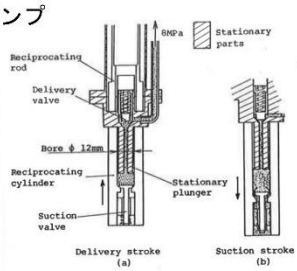


図1d　圧縮メカニズム

図１　液体水素タンクとポンプ

動車用水素エンジンのシステムは軽量、コンパクトで従来燃料に匹敵する走行距離であるべきとの理念から、液体水素を選択した。表 1 はガソリン 30L に匹敵する水素（低発熱量同等）の形態と貯蔵法を比較する。水素は発熱量が高く重量は約 1/3 であるが、問題は貯蔵方法だ。気体だと金属ボンベが重く総重量は当時約 10 倍、参考に第 2 世代トヨタミライでは約 3 倍まで劇的に進化している。水素貯蔵合金だと更に重くなり論外との判断で、開発早期に最軽量の液体水素を選択した。

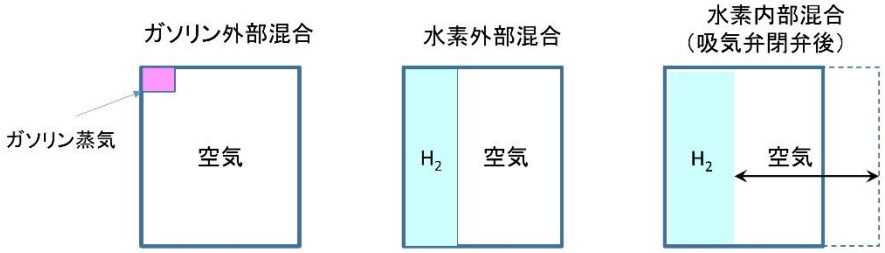
②　液体水素タンクと液体水素ポンプ

エンジンに水素を供給するには水素を加圧する必要がある。その程度は次項で振れるが、ほぼ大気圧で貯蔵する液体水素を加圧するのに図 1b に示す液体水素ポンプを開発した。沸点 20K という極低温液体の加圧に潤滑剤は使えない。そこで図 1c の構造を持つ自己潤滑性のあるポリイミド樹脂とインバーをプランジャーとピストンの摺動部に使い、クリアランスを数ミクロンにすることで加圧が可能になる。それを図 1a 左側の様に液体水素タンクに垂直に挿入して固定する。液体の加圧なのでガスの圧縮と異なり、小型電気モータで容易に加圧できる利点がある。図 1d は加圧方法を示す。断面図の斜線部分のピストンは固定され、白抜き部分のシリンダ下降時に下方の吸込み弁を介して液体水素が吸引され、上昇時にシリンダ内部を加圧する。加圧時はシリンダには引っ張り応力が掛かるので変形が少なく動作が安定するだけでなく、シリンダの断面積を薄くできるので外部からの熱侵入低減にも役立っている。この独創的で画期的な方式は武蔵 9 号の 10MPa 加圧にも使われている。

③　エンジンへの水素供給方法とエンジン性能

水素は気体の状態でしかエンジンに供給できない。図 2 は水素の供給方法により変化するエンジン出力を示す。シリンダに対して吸気管から水素を供給すると理論空燃比で 3 割の容積を水素が占めるので、空気は 7 割に減少し、ガソリン比 85%の出力しか得られない。しかもバックファイヤと呼ぶシリンダ筒内で着火した火炎が吸気管まで遡りエンジンが停止する現象のため、その回避に約 6 割位まで出力を落としてしまう。一方シリンダが密閉された後に水素を供給すれば発熱量の恩恵によりガソリン比 121%の出力向上が期待できる。このように水素ガスの特性によりエンジン性能は大きく影響を受ける。その後の研究で、吸気行程に同期して吸気弁近くで水素を供給すれば、バックファイヤを抑制できることが判っている。

✓ 水素はガス燃料で体積が大きく、外部混合ではガソリン比85%
✓ 吸気弁閉弁後にシリンダ内部に混合させれば121%
✓ 過給は有効だが、外部混合はバックファイヤ対策必要
内部混合でも低圧噴射はプレイグやノッキング対策が必要



燃料体積 mL	17	300	420
空気体積 mL	983	700	1000
発熱量 J	3490	2980	4230
出力比 %	100	85	121

図２　シリンダ容積１リットル当たりの出力比較

表２　武蔵工大での水素自動車開発の変遷

私の活動範囲

年代 武蔵-	'74 1号	'75 2号	'77 3号	'80 4号	'82 5号	'84 6号	'86 7号	'90 8号	'94 9号	'97 10号
ベース車両 排気量 Stroke	トラック 2 L 4スト	サニー 2 L 4スト	セルボ 0.55L 2スト	フロンテ 1.1L 2スト	4号車踏襲 1.1L 2スト	ブルーバード 2 L 4スト	トラック 4 L 4スト	フェアレディ 3 L 4スト	トラック 4 L 4スト	アベニール 2 L 4スト
NA/TC	NA（自然吸気）				TC（ターボ過給）					
H2供給方法 PI/DIE/DIL	予混合	PI TBC	直噴圧縮行程前半 低圧噴射		直噴TDC付近噴射 多噴口熱面点火			直噴TDC付近噴射 多噴口火花点火		PI
点火方式	火花点火				熱面点火 白金　セラグロ			火花点火		
H2貯蔵 ポンプ 供給圧MPa	ガス ボンベ 0.2	LH2 0.5	LH2 ポンプ 1		6	8		10		1
イベント	環八走行	米西海岸 ラリー 2800km	岡山瀬 戸内博 覧会	3rd WHEC 東京	4th WHEC パサデナ	5th WHEC トロント	交通万 博バン クーバ	8th WHEC ハワイ	箱根 ターンパ イク	京都サ ミット COP3

④　武蔵１～10 号までの水素自動車開発の変遷

表 2 に変遷を示す。武蔵 9 号まで噴射圧は増加していった。これは水素エンジンがバックファイヤ、プレイグニッション、ノッキングなどの異常燃焼を原理的に回避しつつ、過給との相性で高性能を獲得した進化に連動する。私の時代は噴射時期が圧縮上死点付近になり前述の異常燃焼が全て解消され、更にターボ過給により高出力が可能になった大変革期に当たる。

図 3 は私が経験した 6 年間に渡る水素自動車の開発と研究の同期性を示す。82 年に武蔵 5 号を第 4 回世界水素エネルギ会議（4th WHEC）パサデナに出展走行の後、燃焼改良やターボ過給を施した武蔵 5 号ターボに改良し、84 年にはそれまでの成果を集結させた武蔵 6 号を 5thWHEC トロントに出展走行。86 年には本方式を更にトラックに適用した武蔵 7 号をバンクーバの交通万博に出展走行、私はサポートに回り博士課程修了に向けて水素燃焼特有の現象解明を行い、博士論文を仕上げた。このように 2 年ごとの水素自動車開発と同期して燃焼研究を進め、車両性能

を向上されながら研究を進める経験をした。
それでは武蔵５号開発の経験に話を進める。

２　武蔵５号開発

①　日本での一般公開

修士に上がったばかりで武蔵５号のエンジン開発リーダ兼ドライバーになった。この車は、武蔵４号と同じ２ストローク３気筒、排気量 1.1 リットルのエンジンをベースに使ったが、上死点付近噴射方式に進化させてプレイグニッションやノッキングなどの異常燃焼を原理的に排除し、更に大型のエンジンにも適用できる燃焼方式を採用した。このエンジンは幾つかのキーとなる要素技術を取り入れている。

先ずは 6MPa の高圧水素を噴射する噴射システム

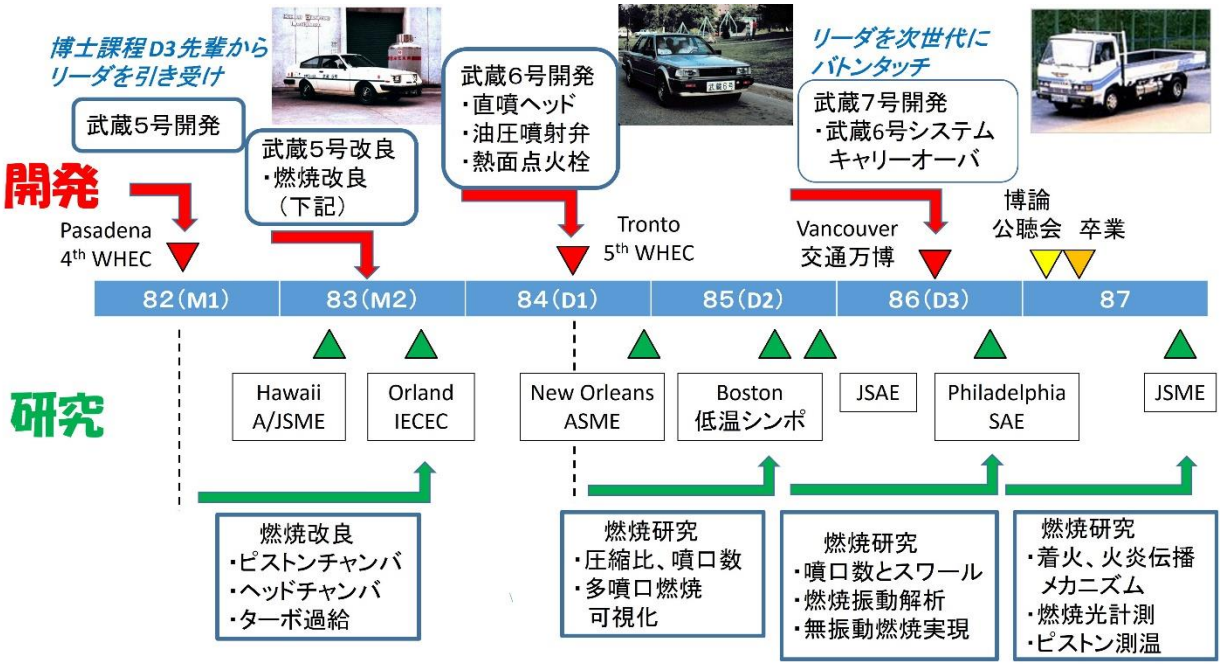


図３　水素自動車の開発と研究との同期性

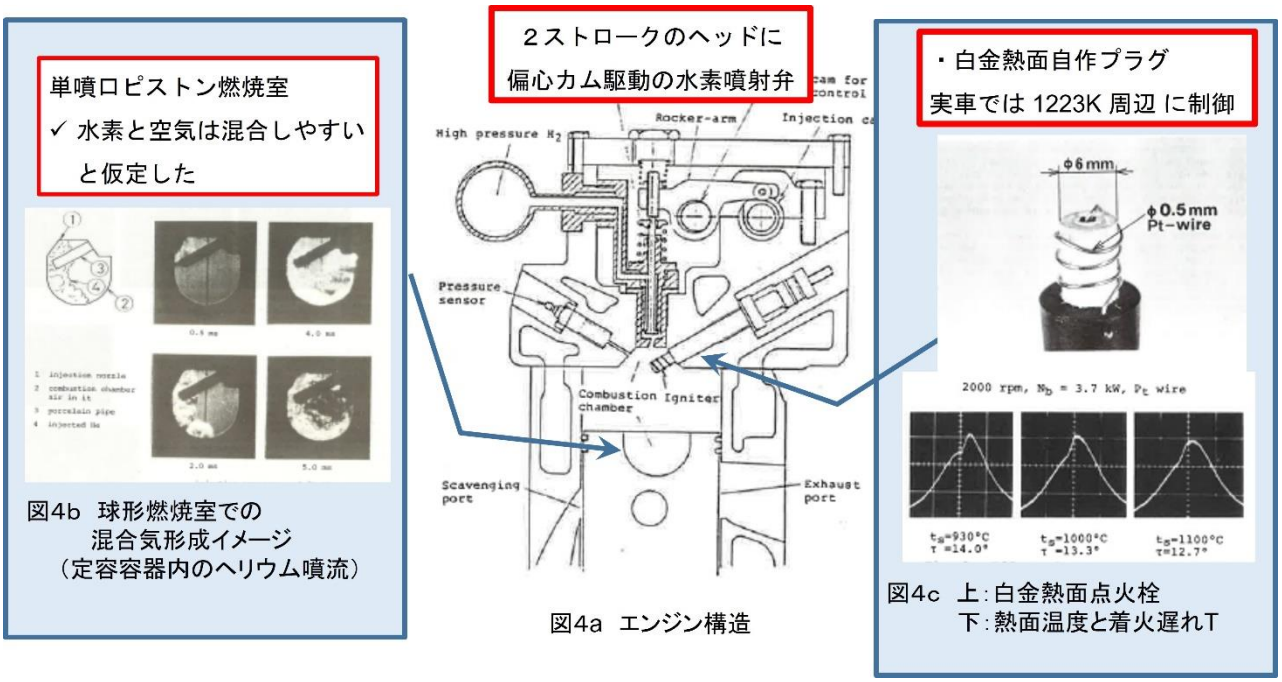


図４　武蔵５号のエンジンと初期の燃焼設計

で、図 4a 上部に示すようにポペット弁の背面をカムシャフトによりエンジン回転に同期して駆動する。噴射量はアクセルペダルと連動する偏心カムの位相変化により、噴射弁リフト量を変化させて調量される。噴射弁の材料は耐熱鋼で、研究室お抱えの熟練旋盤士が削り出し、シール部は外注に出して高周波焼き入れ後に研削加工。最後は学生が緑色の酸化クロムをオイルで溶かし、指先を深緑にしながら 1 時間かけてラッピングして仕上げる。

次は熱面点火栓だ。水素は自発火が困難だが火花点火は容易。一方加熱した熱面に対して水素混合気は着火性を示し、図 5 に示す定容容器内に設置した各種金属熱面に水素噴流を噴射して着火する実験において、とりわけ白金に対して着火遅れが最も短くなることが判っていた。そこで図 4c に示すアルミナ碍子の周囲に直径 0.5mm の白金線を巻きつけた電気加熱式点火栓（即ちグロープラグ）を自作してエンジンに適用した。これを水素自動車に使う場合、安定した着火状態を得るには熱面温度を 1223K付近に維持する必要がある。しかしエンジンの負荷により熱面温度が変化するので図 6 の様な温度制御が必要となり、自作のクロメルアルメル熱電対を白金線にスパッタリングし、温度が一定になるような電力制御装置を M1 学生が電子工学の先生と苦心して開発した。

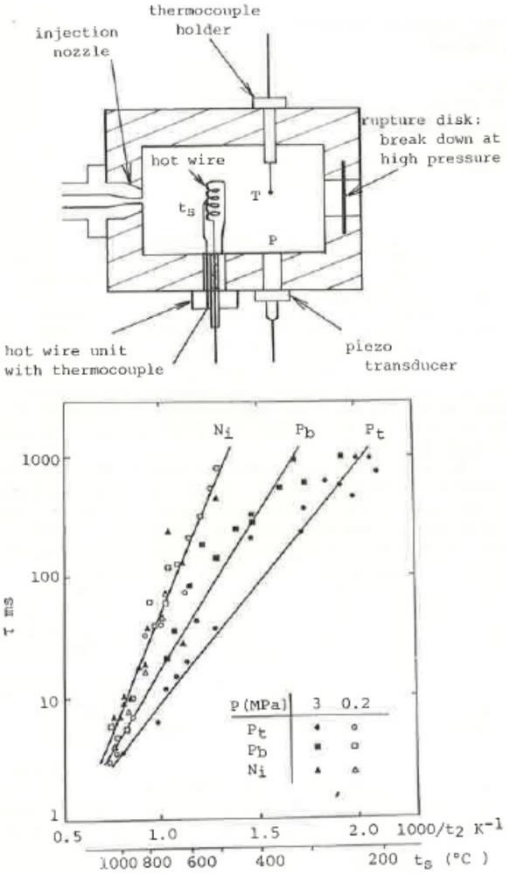


図５　燃焼基礎実験で白金熱面を採用

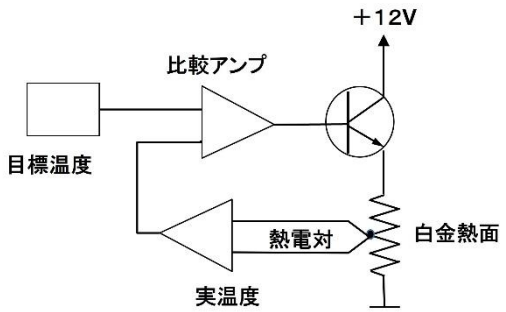


図６　熱電対による白金熱面温度の制御装置

最期は燃焼室で、燃焼コンセプトは図 4a に示すように半球をピストン側に設け、ヘッド側と合わせてほぼ球形燃焼室を形成し、斜め上方から挿入した熱面点火栓に水素を噴射し、着火した火炎が燃焼室に沿い回転しながら未燃混合気を巻き込み燃焼させるイメージで、これは図 4b の様に定容容器でヘリウム噴流を可視化したシュリーレン観察から想定したものだった。

以上の要素技術で構成した水素エンジンを車に搭載し実走する直前で私がドライバーになった。前任の博士課程 3 年の先輩から引き継いだ格好だ。最初のミッションは、車両として各要素技術を立上げ走行できる状態に仕上げることだった。上記のエンジン要素に加えて水素ポンプチームとの連携が必要だった。エンジンが要求する 6MPa の水素はスイッチ一つで供給して欲しいが、その要である水素ポンプも目標圧力が従来の 1 から 6ＭＰａに増加し、新設計の駆動方式を取り入れたばかりで性能が安定しない。水素ポンプチームは通常、液体水素は高価なため沸点 77Ｋの液体窒素で実験している。液体水素での実験は、車両デモのために購入する年に数回の実車走行の直前になる。エンジン班は実車で加圧水素が供給されるのを今か今かと待っているが、ポンプの不調で学生がタンクからポンプの抜差しを繰り返している。この様なやり直しを含む複数の不安定な技術を同時に立上げていくマネージメントは初体験だったが、元気に大きな声を掛け合いながら、遅れた部分は皆で助け合って乗り越えた。そしてようやく日本でのプレス公開当日未明にようやくエンジンに火が入り、中庭のテニスコートをテストコース代わりに試走できた。しかし最初 2 ストロークの

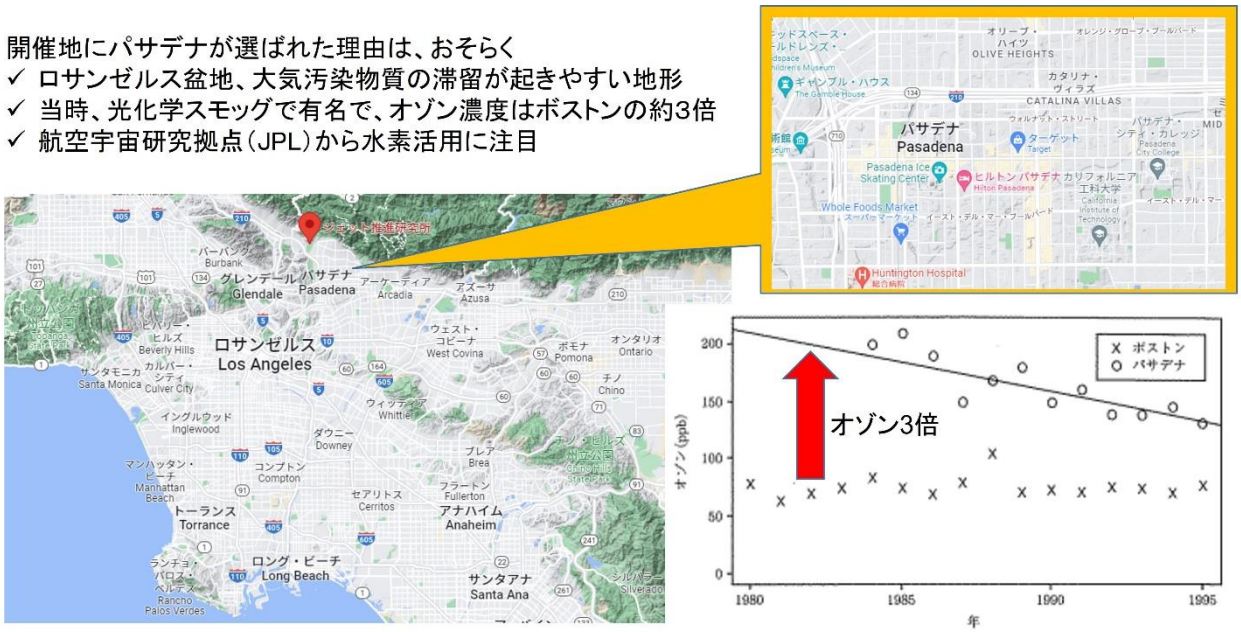
エンジンは始動の失敗から逆回転で廻っており、それを知らない私は周囲が期待する中で１速にギアを入れたらバックする！不慣れなコラムシフトの操作はその時が初めて。ままよとバックに入れたら前進する。一周したところで、福間さんバックランプ点いて走ってますよといわれて、ようやくエンジン逆回転に気付き一同大爆笑。２ストロークは上死点前にトルクが掛かれば逆回転に廻ることに改めて納得した。

プレス公開当日は怒涛の連続、複数のテレビ局がNHK を筆頭に我先にと車を取り囲み周回毎に取材カメラを回す。新聞記者も何社か取り囲んでいる。エンジンがいつ止まるのではないか、背中に冷や汗をかきながら運転しながらも作り笑顔で取材に応じ、夕方ようやく解放された。手伝った学生 10 名余りとテニスコートの武蔵５号を囲んで大の字に身を投げ出し、この修羅場を乗り越えた言い知れぬ達成感を味わった。

その後、カルフォルニアで開催される 4thWHEC での展示走行に向け準備を始めた。WHEC 主催者からは現地で LA4 モードのデータ取りたいから準備してこいとの通達。最高速は時速 120km が必要なので、最高速の調査のため近所の東急自動車学校のコースを深夜お借りして全開走行。しかしなぜか時速 60km しか出ない！武蔵４号は余裕で 120ｋｍ出ていたのに。アイドルは静かでテニスコートを走る分にはトルク感があるのに回転が伸びない。原因の一つは噴射時期がエンジン回転位相に対して固定されていたことだ。噴射時期はプレス公開のように低負荷を使用する場合は圧縮上死点（TDC）に対して進角側、高負荷を出すには遅角側にあることは判っていたが手が出せていなかった。そこで早速、講師の先生と B4 学生が妙案を考えた。はすば歯車を利用したカムシャフト位相可変機構の噴射時期可変装置を一週間そこそこで試作して実装してしまった。しかしそれでも未だ効果は不十分だった。真の原因は帰国後の研究で判明するが、前述した燃焼コンセプトでは水素混合気生成が悪く水素が空気と上手く混ざっていないことが原因だった。興味深いこの事実は次回に振れる。以上大きな不安を抱えたままパサデナに車を輸送し我々も渡米した。しかしここでお伝えしたいのは『良いアイデアが浮かんだらすぐに作り試してみる』研究哲学は今でも手本になる古濱研の強みであり OJT で叩きこまれた。

② 4thWHEC で走行展示

前回 3rdWHEC は東京で開催され、武蔵４号が出展走行しアピールした。やはり論文発表だけでなく、実際の物を公衆の面前で機能提示し実現性を訴求することの大切さを重視して今回も参加要請があったと思う。4thWHEC はカリフォルニア州パサデナにあるカリフォルニア工科大学（Caltech）で 1982 年６月に開催された。近くには NASA の JPL(Jet Propulsion Laboratory)があり Caltech と今でも深い連携関係に



引用元：Google マップ　　引用元：A.M.Fiore, et al

図７　４ｔｈWHEC が開催されたカリフォルニア州パサデナ

宿泊した Caltech 厚生会館（現在も稼働中）

ある。NASA と言えば、スペースシャトルの初飛行が 1981 年であり当時はアポロ 11 号以来の快挙として少年の頃から憧れの的だった。しかもシャトルのメインエンジンは水素エンジンだ。一方でパサデナは図 7 にあるように盆地で大気汚染物質が滞留しやすく光化学スモッグで有名だった。オゾンは当時ボストンの 3 倍で、大気環境改善意識が大変高い都市だ。これも選択理由の一つと想定する。

さて我々は先生と学生合わせて 10 名で渡米した。かの有名な『地球の歩き方』創刊が 1979 年であり、1982 年に渡米した殆どの学生は海外旅行の経験が無かった。私を含む先発隊 5 名は、車を受け取り、水素ボンベとエンジンを繋ぎエンジン始動などを行った。Caltech 関係者専用の厚生会館の宿が与えられ、裏手のガレージで武蔵 5 号を調整した。

到着後間もなく主催者の一人 Caltech の Van Vorst 教授がガレージに来て武蔵 5 号のフロントバンパーに颯爽と足を乗せ、アレ、何してるの？と思ったら『Welcome、よく来たなあ！』と笑顔でオープンに接して下さったのには正直びっくり。日本人は絶対やらないアメリカ流の先制の挨拶に、かえって我々も打ち解けた記憶がある。電子メールすら無い時代、実は現地での受け入れられ方が不安だったので、先発隊は全員気持ち良いスタートが切れた。

会議前日に NASA のトラックが我々を迎えに来てくれた。近隣にある LINDE 社の液体水素供給センターまで車を乗せていくという。するとそこに同じく会議に出展するワインレッドの BMW 水素自動車が突如現れた。これはシュツッツガルトの Peschka 博士率いるドイツ宇宙研究所 DFVRL（現 DLR）が主体に開発している BMW1 号車だった（2 年後の 5thWHEC トロントでは

水素パイプを取り回し、無事エンジン始動

厚生会館裏のガレージで調整

先発隊は水素ボンベでエンジン始動確認

次の武蔵 6 号が BMW2 号車と出会う）。

この 2 台を載せ、フリーウェイを憧れの NASA のトラックと伴走するのは良い息抜きになった。現地には更にもう一台、ロスアラモス国立研究所から出展の水素自動車が水素を貰いに来ていた。家族旅行を兼ねた朗らかな様子で、必死な我々は明らかに異質であった。

翌日にウエルカムパーティが厚生会館で開かれた。

BMW1 号車と NASA トラックに

WHEC 参加者に初お披露目走行！

ロスアラモス国研からは家族連れで水素充填

何これ、見たことないよ、日本から来たの？

さあ、僕らの液体水素充填の番だ

展示者には各々の水素自動車のデモンストレーションの役割があり、早速武蔵 5 号を乗りつけたところ沢山の人に囲まれた。

学生はみな会議から支給された会議ロゴ入りオレンジの T シャツを着て、各自不慣れな英語で質疑応答に奮戦した。

翌日は主催者の一人 JPL Kelly 氏のホームパーティに招かれ心温まる歓待を受けた。

厚生会館前に水素自動車 3 台がそろい踏み

また会議最終日には約 3km 離れた会議場まで市街地の移動が必要になった。我々には臨時走行許可証が与えられ、不慣れな横幅の広いパサデナ市街を一般車に混じって走行した。途中赤信号でアイドルが不安定になり、運転手の私がアクセルを煽りながらクラッチを操作し、助手席の水素ポンプリーダの同僚が右足を私の左足とクロスさせてブレーキを踏んだハプニングは忘れられない。

到着直後からプレスが車を取巻き Q&A が始まった

必ずボンネットを開けて説明しました

学生は不慣れな英語で質疑対応に奮戦

恩師余裕『なんでも聞いてください♪ 』

アメリカンファミリーのホームパーティ

が、その状況にはすでに余裕が生まれ、短期間ながらも環境に対応する自身の成長に気づいた。それが終わると会議場の展示スペースでQ&A。日本でのプレス公開から怒涛の日々の終焉を感じ肩の荷が降りた。

ここまで現地で発生した不具合にはあえて触れていない。本番直前に偏心カムを駆動するアクセルワイヤの留め金が外れたり、白金熱面点火栓の熱電対が断線して温度制御不能になったり、充放電収支不成立でバッテリが上がったり、果ては駐車場で一晩密閉した水素タンクの内圧が上がって水素が漏れたり…現場で突如起こる問題には都度協力し合ってなんとか修復したが、海外での不慣れな状況で困難を乗り切った経験は我々を成長させたと思う。

③　会議期間中や終了後の楽しみ

会期中デモのない日は2グループに分かれ、武蔵5号の保守と観光に分散。近くには本場のディズニーランドやロングビーチ、ビバリーヒルズがあり適当に息を抜いた。JPL見学は最も刺激的で、太陽系の外惑星などの探査に取り掛かったボイジャー1号と2号の通信状況を示す表示　パネルを前に、興奮しながら説明

ドキドキの市街走行 、アイドル不安定

いよいよラストステージ

パサデナセンター屋内で展示説明

JPL 管制センターの宇宙探査機 稼働状況パネル

を聞き入った（今でもボイジャーは探査継続中！地球から 240 億 km という想像を絶する距離）

会議終了後は全員でグランドキャニオンまでドライブ。ギャンブルで有名なラスベガスまで飛行機で移動し、2 台のレンタカーで向かった。突然眼下に現れたグランドキャニオンの絶景には全員息を呑んだ。なんと雄大な景色だろう、遥か底にはコロラド川が光っている。目の高さの遥か向こうにはイーグルが飛んでいる。この景色をそれまで苦労を分かち合った仲間と共有できたのは一生の思い出になった。この時の写真が一枚も残っていないのは残念です。

力を合わせた当時の仲間は、一期一会とはいえ一生自慢の友である。

最期に..

今回の経験は私が水素燃焼研究に主体感を持って取り組む動機になった数か月の導入部である。修士課程進学直後に水素エネルギに対する国内外の大きな期待にじかに触れる機会を持てたことは、その後の取り組みに大きな刺激となった。次回機会を頂ければ、帰国後の燃焼改良やターボ過給による画期的な性能向上、更にそれまでの研究成果を反映した新エンジンで 5thWHEC に臨んだ武蔵 6 号の超短期間開発に触れたいと思う。

とにかく石油と違って水素は手に触れても臭くないし、取り扱いを注意すれば危険なことはないので、水素エンジンに興味のある若い先生や学生は是非この機会を逃さず一層の探求にチャレンジして欲しい。水素エンジンこそ、日本発と言っていい技術なのだから。

今回掲載した殆どの図や写真は、自分が保管する論文やアルバムから作成した。不鮮明な点はご容赦頂きたい。

また同志社大学の千田・松村研究室の大学院の学生さんには本稿作成に当たり貴重な助言を頂いた。改めてお礼を申し上げます。

三輪 恵 先生　追悼

三輪恵先生を偲んで

徳島大学
教授
木戸口　善行

三輪恵先生が 2022 年 9 月にご逝去されました．謹んでお悔やみ申し上げます．

先生は，京都大学工学部助手として長く研究をされたのち，1983 年に京都教育大学に移り，その後，1987 年から 2007 年まで教授として徳島大学で研究を続けてこられました．日本機械学会では，エンジンシステム部門長，研究分科会主査などを歴任されています．先生が徳島大学で取り組まれた研究を振り返り，皆様にも先生のことを思い出していただきたく思います．

最初にご紹介しなければいけないのは，ディーゼルエンジンの燃焼研究です．先生は，実際のエンジンでデータを出すことを重要視され，ディーゼルエンジンの排気改善を実機試験により示してこられました．代表的なものは過濃高乱流燃焼による排気改善です．この研究では，ピストン燃焼室凹み入口の口径を大きく絞り込んだ高乱流燃焼室を設計しています．この燃焼室は，圧縮行程にピストン凹み内に流入する空気で高スキッシュを形成します．そこに燃料噴射して凹み内で副室式エンジンの副室内のような過濃燃焼を生じさせて NOx 生成を抑制しつつ，膨張行程になると凹み内から強い逆スキッシュで燃料を流出させて拡散燃焼させることで PM を低減する燃焼を実現しました．排気後処理に関しては，高周波バリア放電後処理装置を開発し，ディーゼル排気中の NO を NO_2 に転換してすすを低温で燃焼させました．

エンジン燃焼の解析では，急速圧縮装置で単発のディーゼル燃焼を行って燃焼解析しています．この急速圧縮装置は，先生が京都大学で研究をされていた当時のもので，現在でも実験装置として使わせていただいております．急速圧縮装置による研究では，燃焼観察はもちろんのこと，燃焼解析の一つとして，ディーゼル燃焼過程の任意の時刻に燃焼室内の燃焼ガスを全量サンプリングして成分分析する手法を作り上げています．この全量ガスサンプリング法により，燃焼室内に噴射された軽油が着火遅れ期間中に低沸点炭化水素成分に熱分解していく履歴を示しました．

急速圧縮装置ではディーゼル噴霧の観察も行っています．写真撮影が趣味の一つであった先生らしく，噴霧撮影においては撮影画像の解像度に厳しく対応され，ディーゼル噴霧の噴霧境界域で形成された微細液滴の挙動，微粒化，蒸発，そして噴霧内への周囲空気の導入過程などを鮮明に撮影して解析しています．

また，代替燃料となるガス燃料をエンジン筒内で噴流火花点火する研究もされました．水素噴流では，噴口近くで水素噴射初期に噴流点火することで水素の急速燃焼を抑制し，天然ガス噴流では，噴流速度，点火位置を最適化して安定な噴流火花点火を実現しました．

さらに，新機構のエンジンとしてＺクランクエンジンを開発しています．このエンジンは，上死点近くでピストン速度が低減するピストンクランク機構を有して，サイクルの等容度を高めたものです．

このように，先生はディーゼルエンジンを主に研究されてきました．先生は昔から外国産車を愛車にされていました．何故ですかと尋ねると，日本でディーゼル車がでてきたら国産車にすると仰っていました．実際，国内メーカーによるディーゼル乗用車が市場にでてきたときに国産ディーゼル車を購入されました．

私は，1997 年に企業から徳島大学に移り，このときから先生と研究をご一緒させていただきました．着任当時，私は実験研究についてはあまり熟知していなかったのですが，先生からは，実験現場に足を運ぶことに加えて，大学教育の観点からのアドバイスを受けました．学生には実験をこなすだけでなく，とにかく考えて取り組むように指導しなさい，研究室の学生は，考えながら実験ができるようになれば，必ず会社に入って役に立てる，とおっしゃいました．確かに，卒修論の研究において，よく考えて実験を行い，そして実験データを取得した後も，次のアクションまで考えて取り組んでいた学生の多くは，立派に活躍しています．研究を通して教育するのは当然の指導でありますが，このような考えさせる教育が最近とくに必要になっていると感じています．私が大学教員となった早期に，先生は，研究を進めると同時に自ら思考する学生も育てるということを私に認識させてくださいました．

先生が西日本地区の先生方とともに 1992 年に立ち上げられた JSME ES 部門の西日本エンジンシステム研

究会にも同様の考え方があります．この研究会では，次世代を支える研究者，技術者を育成することを活動目的の一つにして，学生同士の議論を最重視した研究発表，交流会を長年行っています．

先生は，人付き合いを大切にされる方で，人との語り合いも大好きでいらっしゃいました．先生がつくられた徳島大学動力工学研究室の OB 会は，先生がご退職された 2007 年以降も引き継がれており，数年毎に泊り掛けの OB 懇親会も開催してきました．本稿でご紹介している写真にある贈答品は，先生のご退職謝恩会のときに卒業生から先生に贈られたものです．これは，研究室の実験で実際に使用した高乱流燃焼室のピストンから作り上げたものです．多くの研究室卒業生とは今でも連絡をとることができます．昨年 9 月にお亡くなりになったときには，先生のご指導を受けた研究室卒業生に訃報をメール配信したところ，直ちに多くの方から思い出やお悔みのお言葉をいただき，そのすべてを先生のご家族にお伝えすることができました．これらはひとえに先生のお人柄のあらわれです．

謝恩会で研究室 OB が実験に使用した
ピストンを贈答（2007 年 3 月 10 日）

私は，三輪先生に研究，教育，人間性など多くのことを学ばせていただきました，深く感謝いたします．

研究室 OB 懇親会（2019 年 6 月 29 日）

行事カレンダー

●WCX SAE 2023 World Congress Experience
開 催 日：2023/4/18 – 20
HUNTINGTON PLACE（DETROIT, MI）
https://wcx.sae.org/

●(公社)自動車技術会 2023年春季大会
開 催 日：2023/5/25 – 27
パシフィコ横浜＋オンライン
https://www.jsae.or.jp/2022haru/

●2023 JSAE/SAE Powertrains, Energy and Lubricants
開 催 日：2023/8/29 – 2023/9/1
京都テルサ
https://2023pel.jp/

●(一社)日本機械学会2023年度年次大会
開 催 日：2023/9/3 – 6
東京都立大学（南大沢キャンパス）
https://confit.atlas.jp/guide/event/jsme2023/top

●(公社)自動車技術会 2023年秋季大会
開 催 日：2023/10/11 – 13
名古屋国際会議場
https://www.jsae.or.jp/2023aki/

●第61回 燃焼シンポジウム
開 催 日：2023/11/15 – 17
秋田アトリオン
https://www.combustionsociety.jp/sympo61/

●第31回 微粒化シンポジウム
開 催 日：2023/11/27 – 28
同志社大学（新町キャンパス）

●第34回 内燃機関シンポジウム
開 催 日：2023/12/5 – 7
日本教育会館

第 100 期広報委員会: 委員長 松村 恵理子（同志社大学 ematsumu[AT]mail.doshisha.ac.jp）
幹 事 小橋 好充 （岡山大学 kobashi[AT]okayama-u.ac.jp）

当ニュースレターでは，皆様からの自由な投稿を歓迎します．筆がむずむずしている方はぜひ広報委員までご連絡下さい

発行年月日:2023 年 3 月 10 日（アップロード）
発行者：〒162-0814 東京都新宿区新小川町 4 番 1 号 KDX 飯田橋スクエア 2 階
一般社団法人日本機械学会エンジンシステム部門 TEL(03)5360-3500 FAX(03)5360-3508
(c)著作権：(2023)日本機械学会エンジンシステム部門