

山根公高さん 大学院機械工学専攻修士 1973 年修了



◆ 経 歴

1. 教育歴

1971年 武蔵工業大学工学部機械工学科卒（卒論題名：水素エンジンの研究（初代））

1973年 武蔵工業大学大学院機械工学専攻修了（修士論文題名：水素エンジンの研究（初代））

2012年 6 月 横浜国立大学大学院工学府より博士（工学）の学位取得

【論題：水素を燃料とする内燃機関の実用化研究】

2. 職歴

1973－1991 日産自動車(株)宇宙航空事業部, 研究, 開発および設計

1991－1991 関東精機(株)信頼性センター 主査研究員（出向）

1991－1997 武蔵工業大学嘱託、助教授工学部水素エネルギー研究センタ

1997－2013 武蔵工業大学准教授 工学部、エネルギー基礎工学科、環境エネルギー工学科
および エネルギー化学科, 兼 総合研究所 水素エネルギー研究センター

2013. 3. 31 東京都市大学 定年退職

2013. 4-現在 山根水素エネルギー研究所 代表

2013. 4. 1-2014. 3. 31 東京都市大学 非常勤講師

2013. 7. -2017. 3 大宝産業(株) 技術顧問（自動車用 LNG 供給装置）

2015. 3. 1-2018. 3. 1 武甲産業(株) 顧問

2017. 7. 1-2020. 12 東京大学工学系研究科 化学システム専攻 堂免・嶺岸研究室
特任研究員

2019. 11. 1-現在 i Labo 株式会社 取締役 山根研究センター所長

3. 外部活動履歴

1992－1998 水素エネルギー協会事務局長

1992－1998 WE-NET プロジェクト水素エネルギー技術標準化委員会委員

1998－2002 WE-NET プロジェクト水素エネルギー技術標準化委員会主査

1992－2002 WE-NET プロジェクト水素自動車システム開発委員会および

動力発生技術開発委員会委員

2000－2002 水素ステーション技術指針検討委員会主査

2001－2002 水素エネルギー専門技術委員会委員

2004－2005 平成16年度 水素インフラに関する安全技術検討会委員会

(15年度開始 NEDO 事業「水素安全利用等基盤技術開発事業」としての委員会)

2012－2013 規制合理化検討委員会委員

2008－2009 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発次世代技術に関する採択審査
委員会委員

2008－現在 自動車技術会 ガス燃料エンジン部門委員会委員、水素エネルギー協会
評議員，編集委員

1992－現在 水素エネルギー協会会員，自動車技術会会員，日本機械学会会員
国際水素エネルギー学会会員

2015－2020 グローバルビジネス学会 理事

現在 山根水素エネルギー研究所代表 兼 i Labo 株式会社 取締役
山根研究センター所長

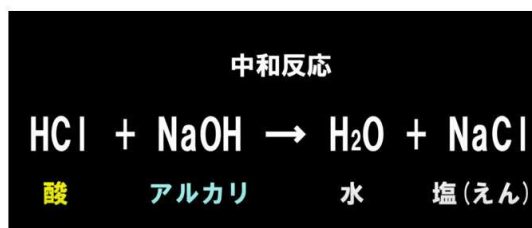
◆ 本人のコメント

私は、現在(2025 年(令和 7 年))でも、地球の生態系が正常に保たれ続け、地球上のあらゆる生命にとって、地球が最も住みやすい惑星であってほしいと思っている。そのために、私ができることを、命のある限り行ってゆきたい。

その始まりは、小学校 4 年生である。理科の実験で酸(塩酸水:HCl)をアルカリ(水酸化ナトリウム水:NaOH)で中和すると塩(NaCl)ができることを、理科の実験で体感した。理科の先生(小松原利一先生)は、酸にはいろいろな酸がある。アルカリにもいろいろなアルカリがある。それをそれぞれ混ぜて中和させれば、いろいろな塩ができると説明してくれた。実験などその時代(1957 年)の小学校の理科授業では、ほとんどさせてくれない。理科の体験学習は、天気の良い時に野外に出て、草花や小川の

生き物を捕まえて観察するぐらいであった。それも、その当時で、野外に出て自然観察をして直接生き物に触れるような授業は、大変稀であった。しかし、運よく優秀な理科の先生に巡り会った。私は、酸とアルカリを中和させれば、塩ができる実験に興味を引かれた。そこでその実験をしたいと先生に懇願してみたら、先生は、その日の放課後に理科実験室でその実験ができるように私の願いを喜んで受けてくれた。田舎の学校には珍しく、その理科の先生が赴任した時に合わせ、私の小学校に理科実験室が新設された。放課後、理科実験室に来るように言われ、行ってみると酸とアルカリの試薬ビンが、理科実験テーブルに複数用意されていた。理科の先生曰く、「これから先生は職員会議に行くので、注意して実験をしてみなさい」と言われた。実験方法は、理科の授業ですでに学んでいたもので、自ら数通りの組み合わせを考えて、中和実験を行った。実験しただけでは、特別に準備してくれた先生に対して申し訳ないと思い、実験報告書を作成して、先生に報告をすることにした。中和した液をアルコールランプで煮詰め、水分を蒸発させ塩の固体をつくった。その色、におい、味を調べ報告書にまとめ報告した。

自ら考え実験できる理科という学科と上記の様に、学習体験をさせてくれたその先生の指導を受けたい思いが日に日に強くなった。小学校卒業時に、私は、その先生が、学区外の中学校の理科の先生として鎌倉市立第1中学校の理科担当の教員になるという情報をつかんだ。越境してその中学に入学すれば、中学の3年間、その先生のもとで理科を学ぶことができるかもしれないと思い、両親にその先生が赴任する鎌倉市立第1中学校に越境入学ができるようお願いした。両親はその手続きに大変な苦労をしたようだが、無事、私の思いが叶い鎌倉市立第1中学校に入学できた。そこで、3年間、中学2年から3年までは、私の担任として、体験実験を基本とする理科の授業をその先生から直接受けることができた。充実した中学生を送ることができ、理科の先生、両親および関係者に感謝している。勿論、理科が好きな学生が作った理科化学部に所属して、仲間たちと放課後、理科室で興味のある化学実験を考えいろいろな化学反応の実験を行った。たとえば、授業で石鹼づくりを経験すると、ダイナマイトを作ることに興味をわいて、その製作実験を試みたこともある。残念ながら失敗におわった。中学の



酸として塩酸(HCl)、アルカリとして水酸化ナトリウム(NaOH)混合中和して水(H₂O)と塩(NaCl)ができる化学反応式この式は、小学校4年時にはわからなかったが中学で習う



図1 酸とアルカリの中和実験

理科の実験で水を電気で水素と酸素、2:1に分解することもおこなった。すなわち、水の電気分解である。水(H_2O)1モルを電気で分解すると水素分子(H_2)1モルと1/2モルの酸素分子(O_2)が容易に得られることも実験で検証した。理科がさらに大好きになった。

私は、中学校1年次から始まる英語が、1年次から2年次の前期までとても苦手であった。教科書を丸暗記することによる回答は、なんとかできるが英作文等応用問題ができなかった。越境入学で鎌倉市立第1中学校に入学してくる学生の目的は、神奈川県立湘南高校の受験資格を得るためであった。神奈川県立湘南高校は、神奈川県で東京大学に入学するための一つの登竜門であった。よって越境入してきた学生は、だれもが優秀で、どの学科でも高得点を取っていた。英語は、大事な科目であり、両親は私が英語を不得意とすることがとても心配だったようだ。母の知人家に、将来は外交官になりたいと外語大学の受験を志している息子(高校2年生、明楽進)さんがおり、母は私の中学2年次の夏休みに、英語の家庭教師をその息子さんをお願いしてくれた。始めは、日常使われる英単語、四季、12月名、週日名、カタカナ英語等を覚えるように指導してくれた。英単語を覚える方法、すなわち、全ての五感(臭覚以外)、音としては、声を出して読み耳で聞く、紙に書いて手に覚えさせる、その単語を見て目におぼえさせる、単語帳を作る等、とても大変な作業でしたが、それを行うことで否応にも英単語に接する機会が増え、同じことの繰り返しをする英語教育から始まり、母の思いを考え、いわれる通り真面目に英単語を覚えるのですが、1週目、ほとんど覚えていない。2週目、3分の1程度やっと書けるようになる。家庭教師から、このようでは、英語の家庭教師を辞めるとも言われ、最後の3週目に、やっと全てを覚えることができた。また、家庭教師は、英語圏から来た外国の友人が多数おり、かれらが家庭教師の家に遊びに来る度に、私を紹介してくれて、遊びの仲間に入れてくれた。その内に、英語を学ぶ

ことは、楽しんで英語圏の友人とできる限り接し、自ら英語を使う環境に置くことであると気づき、自宅の近所にある鎌倉山に住む横須賀海軍将校の家族と知り合いになった。その家族の息子(当時、小学校4年生; Teddy 君)に日本語を教えるその代わりに彼から英語を学ぶという約束を彼のお母さんにして、私は、その4年生から英語を習うために毎週土曜日に電話でご都合を伺い、その家族宅を訪問した。実際は、Teddy 君の遊び友達。はじめは、先方の言うことは、まったくわからず、しかし、判った振りをしなければ会話が進まないのでは相槌を打って判った振りをする。こちらは、遊び内容を前もって想定して、NHK テレビ英語会話で学習したフレーズ等を丸暗記して訪問

する。前週、いい加減な相槌でごまかした会話に関係するフレーズを再学習し、和英辞典をみて英語に訳してそのフレーズを丸暗記して、そのフレーズを使う場があれば、積極的に使ってみる。そうすると、私の下手な英語が友人に通じる。そのうちにボキャブラリーが増える。彼らの言っていることも、耳が慣れて少しずつ分かるようになる。私の言っていることも、正しく彼らは理解できるようになる。このわくわく感がさらにしゃべってやろうという気持ちになり、英語自体が楽しくなった。数多くの英語のフレーズが使えるようになった段階で、英文法書に従って自分が使うフレーズを紐解いてゆくと、抵抗なく英文法が自



鎌倉山で知り合ったアンガス君と彼の弟を
県立鎌倉高校文化祭で茶道の経験してもらった
時の茶道部員と茶道の先生との記念写真



私の英語勉強の友人アンガス君と英語でディスク
ジョッキーをしているところを文化祭参加学生が
会場を埋め尽くすばかりに英語ディスクジョッキー
を聞いている写真

図2 英語上達のため、英語の先生アンガス君を文化祭
に連れてきて英語を使う機会を作っている場面

然に身についてきた。英文法が身に着くようになると、数学の公式を覚えて、応用問題を解くように、英語の重文、複文を使えるようになった。そこで、英語の本を買って読む。なるほど、となった。

私は、日本語すなわち国語が苦手であった。中学になると毎日 10 から 20 個の新しい漢字が国語の授業毎に出現し、それを授業の前に漢字書き取りで試された。一応、英語単語を覚えたように、新漢字も何回も発音しながら雑紙に書き練習してゆくのだが、漢字書き取りでは、半分以上は正確に書けない状況であった。新しい漢字が増えないので、教科書を読んでいても、国語辞典、漢和辞典を横に於いて調べながら本を読む。よって、多読ができない。ますます、面白くなる。日本語の会話は、問題なく意志交換が可能なのに。その結果、英語により英語圏の友人と意思疎通が可能になると、そちらの方を確実に身につけていった方が将来の人生が開けるように思えた。そう思うもう一つの理由は、1960 年ごろ、日本に米国の優良大企業 IBM や GM 等が日本上陸を始めていた。そのような社会環境が始まっていたため、私が社会で活躍するビジネス界では日本語の代わりに、英語が使われて行くはずである。よって、日本語より、英語に堪能になれば、私の将来は開けるのではないかと考え、あらゆる機会をとらえ、英語を使う機会を積極的に求めた。例えば、中学時代、帰宅する横須賀線の車内に、外国人（通常は、横須賀基地に務める、米国人）を相手に会話の機会を作った。また、鎌倉には、多くの外人が観光にくる。その人たちに、鎌倉の案内を申し出たりして英語を使う機会を得ていた。もちろん、話すだけではビジネスには役に立たないので、それらの活動で知り合った外人と文通を行った。読むことは、古本屋で外人が古本屋に売った漫画、英文小雑誌等を購入して読んだ。英和辞書片手での読み方であるため、そんなにうまく読み進むことはできなかった。その時には、時事英語がビジネスには必要であるかは判らず、また、こずかいで新聞を購入できるものでないので英字新聞を読むことはなかった。

武蔵工業大学工学部機械工学科に入学して、卒業するまでには、英検 1 級の取得を目標とした。取るためには、私の周辺環境を英語で満たすことに務めた。まずは、新聞は、Japan Times を購入して購読する。英検 1 級のレベルは、Japan Times の社説を速読して理解できる能力が必要であった。大学入学時から、Japan Times を大船駅で購入して、通学の時間帯に速読をして理解する訓練をした。もちろん、辞書など引かないで、行間から内容を想像して速読の訓練を実施した。初めは読むだけで意味が判らなかったが、始めてから 3 か月たつと、書いてある意味が何となく日本語新聞に書いてあることのことと同じことを言っているように、多少理解ができ、語彙が増えてきて書いてある意味が、速読で理解できるようになった。長い時間を駆けて速読を練習したので段々新聞英語に慣れてきたとおもった。

武蔵工大の工学部機械工学科に入学した私の目的は、英語が堪能な機械工学エンジニアになり、世界中のどこでも自分の興味のあるところで仕事をしたいと考えていた。世界のビジネスは、私が中学時代に考えていた以上にグローバル化が進んで、エンジニアの能力として英語が堪能であることが大事な要素として評価されていた。

次に水素エネルギーについては、これも私の英語の勉強に大きく関係がある。私が中学 2 年生の時（1961 年頃）、英語の家庭教師をして頂いた明楽進さんが勉強の合間に、「世界の知見者たちが、ローマ・クラブで言っている。この化石燃料消費速度で地球の住人が世界の化石燃料を消費つづけると、あと 30 年で化石燃料は枯渇化すると预言している。よって、我々が大人になって車を持てるようになって、その時には、化石燃料が枯渇化していて、車には乗れないことになりそうだ。どうしても車を運転したいと思っているが、どうなるかな。」という問いが明楽進さんから出た。私は、理科が大好きで、水の電気分解により、車の燃料となる水素が得られ、それはガソリンと同じように空気中の酸素と反応して熱エネルギーを放出する。その熱エネルギーがエンジン中で機械エネルギーとなり、車を走らせることになるので、水素燃料がガソリンの代替燃料になり、化石燃料が枯渇化しても、水素燃料でエンジンは

車を走らせることができると説明した。しかも、太陽は無限に太陽エネルギー(熱と光)を地球に供給し、地球上には、水が豊富にある。よって、その水を、太陽エネルギーを用いて、電気分解してつくった水素はエンジンの中で空気中の酸素と反応し熱エネルギーを放出した後は、再度原料の水に戻る。よって、水は再循環するので、消費しない。すなわち、水も無限にあるといえる。その結果、水素も無限に製造できる。また、その燃焼後の生成物は、きれいな水のみで、化石燃料が放出している大気汚染物質である一酸化炭素(CO)、炭化水素(HC)、窒素酸化物(NOx)は、ゼロに近いほどの量しか発生しないことになり、極めてクリーンである地球になると説明した。まだ、その時は地球の温暖化は、地球上の問題として扱われていなかった。水素を燃料とするエンジンは、既に化石燃料を使って開発されており、その技術をそのまま利用できる。水素燃料エンジンは、将来のエンジンとして理想的エンジンに成りうるという考えが芽生えた。それは、中学生(1961年)の時であった。

私の英語の家庭教師明楽進さんは、外語大学に入り、日本の外交官として活躍したいという希望をもっていた。しかし、不幸なことに、彼のお父様が、彼が高校2年次に、脳溢血が原因で急死された。彼のお父様の遺言が、「医者になってもらいたい」とのことで、外交官を諦めて、医者になることに進路を変更した。その結果、見事「昭和医大」に現役で合格し、現在、精神科の医者になっている。

私も、英語家庭教師であった明楽進さんの影響を受けた。小学4年生の時、広島原爆病院を観光ツアーにて、見学をする機会を得た。悲惨な姿の人間のホルマリン漬け標本を沢山見た。その時に、もし私の力が及ぶのであれば、原爆で侵された病人を治す医者になりたいと思った。そこで、大学の受験は、臨床医学の研究に最も有効と思った広島大学医学部を受験した。現役の受験は、失敗に終わった。中学時代から嫌いだっただ国語と古典で足を引っ張られた。現役の受験では、広島大学で原爆治療の臨床医学を極めたいと思っていたので、広島大学医学部の受験のみを挑戦したが、次年度は、もちろん、一期校は、広島大学医学部、滑り度目として、2期校は、東京農工大学工学部、私立大学では、早稲田大学理学部、慶応大学工学部と武蔵工業大学機械工学科を受験した。合格通知を受けた大学は、武蔵工業大学機械工学科だけであった。2朗も考えたが、1年間国語、古典の勉強を一生懸命したが、私の夢はかなわなかったことを考え、英語が得意であったので、大学在学中に英検1級を取得して、英語が堪能な機械エンジニアとして社会に貢献することに気持ちを切り替えた。その理由に、私の父の影響があった。父は、貧困家庭に生まれた。中学に進学しないで、給料をもらいながら勉強をすることができる海軍の呉海軍工廠で機械工学を学び海軍の技術将校になって終戦を迎え、その後国鉄のエンジニア、最後に、上野にある鉄道学校岩倉高校で機械設計の教鞭をとり、70歳まで勤めて退職した。工学を極めることができれば社会の役に立つ。私の好きな英語を武器に英語を使える機械工学のエンジニアになることを決心した。

大学の勉強は、大学に入れば学生が好きな研究室で1年次から研究室に所属して、研究をしながら研究に必要な学科を勉強できると思っていたが、入学してみると、1年次は、教養課程を学び、2年次から3年次で専門課程を学び、4年次で、初めて研究室に所属して研究が可能となる。研究に携わることができる期間は、学部で、1年間、修士まで行けば、3年間、博士まで行けば6年間というような仕組みになっていることが大学に入学して初めて判った。教養課程は、哲学、倫理学、経済学、英語、教育学、憲法、物理学、化学、数学等、専門課程に入る前に、広く教養を収め、専門課程の基礎を学ぶことで、専門課程で困らないように基礎を身につけることが目的であったようだ。私は、受験勉強を一浪して余分に1年間費やして高校のおさらいをしていたので、教養課程の学科は、私にとっては高校までの復習であり、単位をとるためには、それに集中する必要がなかった。その余裕時間を、私は英検1級



第4回定期大学間英語ディベートコンテストの一場面。昭和女子大(左) vs. 武蔵工大(右)
山根は、黒板から2番目、演題：大企業間合併の是非

図3 武蔵工業大学英会話クラブ主催の大学間
ディベートコンテストの一場面



図4 アメリカ大使館の依頼による米国学生との交流会
：大学案内と鎌倉観光を実施(英語会話部の活動の1部)

を取るための時間に割いた。否が応でも英語を使える環境に私自身を置くことが必要だと思った。まずは、大学の英語会話部(武蔵工業大学英語会話部: Musashi Institute of Technology English Speaking Society(MITESS))に所属した。毎日昼休み、グループリーダを中心に集まって「Spoken American English」に基づいて、会話の例題を仲間で読み合い、その応用として、自由会話を行った。日本人同士の英語会話であったが、英語で考えそれを英語の言葉にする会話の訓練には、大変役に立ったと思う。しかし、話している相手は日本人であるので、発音の強制には繋がらなかった。MITESSで最も役に立ったことは、大学間ディベートコンテストである。ディベートを英語で行う。ご存知だと思うが、ディベートコンテストは、一つのテーマについて、肯定側、否定側の2チームに分かれ、各側のチームが立論、反対質問、反駁、最終弁論を行うコンテストである。このコンテストには、慶応大工学部、早稲田大理工学部、昭和女子大、実践女子大、日本女子大、芝浦工大、理科大、東京工大等の英会話クラブが参加してくれた。ディベートコンテストの審判員は、英会話スクールの先生、英米国大使館員、大学の英会話講師の先生に、ボランティアで審判を担って頂いた。武蔵工業大学では、英語ディベートコンテストにディベーターとして参加できるのは、武蔵

工大英会話倶楽部の部員から聞き取りおよび話すことが堪能な学生が選ばれた。私は、幸いに、2年次(演題:原子力エネルギー必要性の是非)と、3年次(演題:大企業間合併の是非)に参加して、両年とも、優勝の栄誉を頂いた。肯定側、否定側の見解を勉強するために、演題に関する英語・日本語で書かれた新聞記事、専門書、文献や専門家(通常は大学の講師、教授)との話をお伺いする機会を設けて、2か月間かけて参加者を含むスタッフで勉強会を実施し、肯定側、否定側としてそれぞれの立論、反対質問、反駁、最終弁論を英語で製作して、スタッフ仲間で肯定側、否定側に別れ、ディベートコンテスト本番形式で、模擬ディベートを実施しお互い論破されないように、約1か月かけて準備をおこないコンテストに臨んだ。大学生活の中で、そのような機会を得ることができ、理論的・批判的思考力、コミュニケーション能力、情報収集・整理能力、説得力、自己肯定感、問題解決、多様な視点からの捉え方、チームワーク等いろいろのスキル向上に役立ったと思いたいが、まだまだである。しかし、これまでの人生を振り返ると大変役に立った。

大学時代に、英語を自分のものにするために英会話部に所属した以外に、クラブの活動費を稼ぐために、夏休み、冬休み、春休みにアルバイトを意識的に行った。英語を使うことのできるアルバイトをJapan Timesの求人広告(Help Wanted Advertisement)ページで探した。1年次の夏休みのアルバイ

ト先は、東京の麻布にある東京アメリカンクラブでプールチェッカーとして勤めました。東京アメリカンクラブは、六本木、麻布に住む外国人の会員制の高級社交クラブで、庭に25mプールがあり、会員のファミリーがプールを利用していました。仕事仲間は、英語が堪能な上智大の日本人学生2名、アメリカ人のマネジャー1名、アメリカ人の上智大留学生1名でした。仕事は、プールサイドに設けられた事務所で、プールの利用案内、電話対応、お客様の呼び出しを行うことでした。仕事が終わると、その仲間たちで食事会をよくしました。そうそう、その仲間から、英語麻雀を教わりました。英語の実践活用にはとても良い場所でした。しかし、アルバイトの終了が大学の2期目の始業日より2週間ほど遅かったため、授業に出る必要があるのですが、残念でしたが、



図5 六本木麻布にあるアメリカンクラブのプールサイドで(チェッカー仲間と)



昭和45年3月21日-3月23日ユースホステル研修会、於：静岡県浜名湖ユースホステル

図6 ユースホステル国際奉仕団員研修会集合写真



白い帽子をかぶっているのが本人

図7 ユースホステル国際奉仕団員として、ベルギーからのお客様を鎌倉大仏案内

自己都合でアルバイトを辞めさせてもらいました。その秋の冬休みからは、横浜にある外国人対象の引越屋(Transport International Inc.)でチェッカー職としてアルバイトをはじめました。その作業は、引越して移送する物品のチェックシートを現場で製作し、お客様に退去時、入居時に移送した物品に問題がないかをチェックシートに基づいて確認を取る仕事でした。朝6時ごろ家を出て、京浜急行の屏風ヶ浦にある事務所兼倉庫に8時までに出勤、行くと事務所の長が計画したその日のスケジュールがあり、お客様の関係資料、お客様の退去する家と入居する家の住所、運転手名、移送物件の荷造り作業やトラックのコンテナに積む数名作業者と顔合わせして出発です。引越し作業は、車に乗って移動している時間が長いのが普通で、実労作業は、長くて3時間から4時間ぐらいでそんなに疲れる仕事ではなかった。私の目的は、チェッカー作業を通して英語によるコミュニケーションを行うことが主目的であるため、お客様、ほとんどが米軍の家族で、特にその家族の奥様が話し相手でした。昼食の休み時間に、お客様から私の大学生活、将来計画等についてお話をしていただくこともありました。このアルバイトは、そのころの普通のアルバイトは、日給3000円でしたが、6000円を頂いておりまし

た。2倍の高日給で、英語を使う機会を得られ、とても良いアルバイトでした。それ以後、3年の冬休暇まで、その引越し屋さんにお世話になりました。また、英語を使う機会を得るために、ユースホステル国際奉仕団に参加しました。この団体は、日本のユースホステルを利用する外国からのお客様に対し、得意な語学を使って、日本旅行中、外国のお客様をボランティア精神でお世話をするを目的としていました。奉仕団員の外国語は、英語をはじめ、中国語、スペイン語、フランス語、アラビア語、ヒンズー語等、奉仕団員が使える言語全てが対象でした。ここで、良かったのは、ユースホステル協会が主催する奉仕団員に対する1週間の合宿研修でした。その研修の目的は、「日本を代表する若い大使」として、語学でご奉仕するための教育でした。その構成員は、いろいろな分野を専門にする大学、組織からの語学奉仕を実践してみたい若者達でした。私にとっては、英語というよりは、「日本を代表する若い大使」としての心構え、行動指針、異分野の同年の人たちとの交流等で、自己研鑽になりました。

大学の授業で、印象的であったのは、安味教授の機械工作の授業です。必ず日本語と英語の専門用語を併用して黒板に書かれていました。私は、その時の英語専門用語を丸暗記することに務めました。他の専門授業でも同様に、機械工学に関する専門用語を丸暗記することに務め、将来の小生の大学卒業の目的である「英語を使えるエンジニア」なるために役に立つことは、全て実施した。

そうこうしている大学生活の中で、1級英語検定試験を2年生の時、3年生の時に受験をしました。1次試験は、筆記試験とヒヤリング試験でした。2年生の時は、残念ながら、1次試験が不合格になり、3年生の時に、合格しました。1次試験に合格すると、2次試験であるスピーキング試験を2度受ける資格ができました。話すことは、筆記試験やヒヤリング試験よりも私にとっては得意分野になっていました。試験方法は、英語を母国語とする試験官が、3つのテーマを受験者に提示し、それを受験者が1つ選択してそのテーマについて、自分の意見を述べ、そのあと審査官が2から3問の質問をして可否を決める方法でした。「男性のロングヘアは、良いか悪いか」というテーマを選びました。その時、私の髪は、ロングヘアであったが、「ロングヘアは、悪い」ということを、「ロングヘアを清潔に維持するのに時間がかかる」という理由でスピーチをしました。審査員からの質問は、「あなたの髪は、現在ロングヘアですね。悪いということであれば、なぜ短くしていないのですか。」とでした。その解答は、「現在、工学部の3年で勉強するのに時間がかかり、ほんとうは床屋に行きたいが、できていない」と回答したら、合格通知がきました。

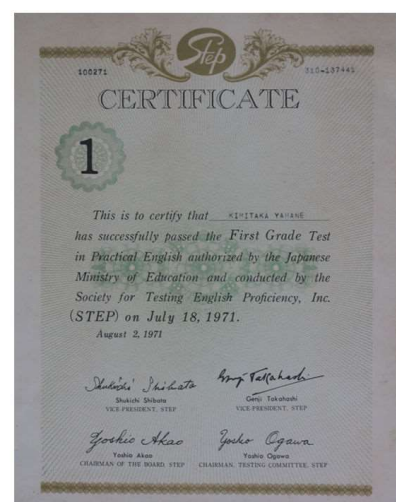


図8 日本英語検定1級合格認定書
1971年7月18日付

武蔵工業大学での水素エンジンの始まりは、私が3年次3月(1970年)の内燃機関工学最終講義で、担当の古濱庄一教授が、内燃機関工学研究室で行う卒論研究テーマの紹介をしたことから始まります。古濱教授のご専門は、内燃機関のトライボロジー(エンジンの耐久性、燃料を内燃機関で燃焼させるときに発生する熱の影響、エンジンの摩耗・摩擦・潤滑、それらに影響を与えるエンジンの熱流れや温度分布等)でした。そのころ、世界のモータリゼーションを引っ張っていた米国では、内燃機関の排気が人間の健康に悪影響を及ぼすという社会問題が1960年頃から顕在化していて、排気に対する規制を作ることがまず米国のカルフォルニア大気資源局(California Air Resources Board: CARB)で行われ、その後、米国連邦政府の米国環境保護庁(Environmental Protection Agency: EPA)が米国で走る車に規制をかけることが決まり、多くの自動車を米国に輸出していた日本は、その対応に政府とともにその対策に明け暮れていました。古濱教授もアカデミアの一人として、その対策委員会の委員長として携わり、古濱教授は、化石燃料を燃料とする内燃機関は、エンジン性能を向上すれば、排気性能(排気

有害物質：一酸化炭素(CO)、炭化水素(HC)、窒素酸化物(NO_x)、カーボン粒子(C))は悪化するという問題にはまり、解決策を見出すことに大変苦労していました。

古濱教授は、内燃機関の燃料を水素にすることで、基本的には、その排気ガスは、水素と空気の酸素が反応して燃えた水、燃え残った酸素と空気中の窒素であり、無害である。燃焼ガスがある程度高温 2000K 以上になると、空気中の窒素と酸素が反応して窒素酸化物(NO_x)が生成する。その他に、潤滑材のエンジンオイルが燃焼室に入り、それが燃焼室で燃焼してモル分率濃度(ppm)で現せられるぐらい微量濃度の排気有害物質(一酸化炭素(CO)、炭化水素(HC)と二酸化炭素(CO₂))として、大気に放出されると、古濱教授は、考えていたようです。水素エンジンの排気有害物質は、窒素酸化物 NO_x 以外は、発生しても数～10ppm 程度であるので、ほとんど問題にならないが、窒素酸化物 NO_x は、空気過剰率 $\lambda \leq 2$ の運転条件では、燃焼温度が 2000K 以上に到達するので、100ppm から、最も燃焼温度が高い空気過剰率 $\lambda \approx 1.2 \sim 1.3$ になると、約 10000ppm (1%) の窒素酸化物が発生して、排気ガス中に混合して大気に放出される。よって、水素燃料が得意な希薄運転、空気過剰率 $\lambda \geq 2$ 、すなわち、水素エンジンでは、希薄運転することがよいと後に判る。現在では、どのような運手をしてディーゼルエンジンで開発された脱窒素酸化物触媒を使うことで、排気中の窒素酸化物 NO_x をゼロにしてくれる触媒ができています。すでにこのことは実証されてる。皆様がご存じの通り、現在、ガソリンエンジンでは、排気ガスの問題は、気にせずに、めいっぱいエンジンの出力をだし、後処理、すなわち、三元触媒で処理をすれば排気ガスの問題は解決していたが、化石燃料を使うために発生する二酸化炭素(CO₂)が、大きな社会の問題になっている。一方、水素エンジンでは、自然エネルギー(太陽熱と光、水力、風力、地熱)から作った水素を燃料として使えば、二酸化炭素(CO₂)の問題はなく、窒素酸化物(NO_x)の唯一の問題は、ディーゼルエンジンで開発された脱窒素酸化物触媒でゼロ化が可能であるため、水素エンジンに、社会から大きな期待が寄せられている。

また、化石燃料の物性と比較して大変異なっている物性を水素は持っているため、水素は、内燃機関の燃料として利用可能であるか。その時の水素エンジンの特徴はどのようなものであり、自動車のエンジンとしての課題は何かを実際水素エンジンを運転して確かめたいという考えを古濱教授は持っており、1965 年より、卒論研究テーマとして内燃機関工学を履修する学生に提案していたそうである。

私は、英語が堪能なエンジニアになるという目的をもって、1 年次教養科目を終え、2 年から 3 年専門科目を履修した。大学に求めた研究生活を始めんとする時に、私が中学時代、英語の家庭教師であった明楽進精神科医に説明した「水素を自動車燃料とする自動車エンジンへの適用研究」が私の目の前にぶらさがった。私は、私の研究テーマはこれだ！と感じ、卒論研究の相棒、湯浅誠治君を誘って、他の仲間が手をだす前に、その講義後すぐ、古濱教授に山根と湯浅の 2 人で、4 年次に入る前の春休みから古濱教授の研究室で必要な水素燃料の調査やエンジンの準備をするので「水素エンジンの研究」を私たちにやらせてもらえないかをお願いに、研究室に古濱教授を訪問して懇願をした。その結果、4 年次の初めに、研究室に来た全員に研究テーマの希望調査をして決めることがルールになっているので、特別扱いはできないと言われ我々の懇願は、失敗に終わった。しかし、春休みに研究室に来て水素の勉強をしたいのであれば、それは研究テーマを決めることにならないので、春休みを使って、水素の勉強をしてもかまわないと、うれしい返事を古濱教授よりいただいた。小生は、心の中で我々は、十中八九水素エンジンの研究を古濱教授の指導のもとでできることを確信した。湯浅君と私は、毎日古濱教授の研究室に仮の席をもらい水素の調査を開始した。古濱教授と相談をして、「水素の物性」について、まず調査することを決め、武蔵工大の図書館や国立図書館等へ行って、その資料を入手しようと試みたが見つからず、最終的には、経済産業省を主務官庁とする高圧ガス保安協会で「水素の物性」を入手することができた。水素エンジンの研究文献も探したが、国内では見つからなかった。その内に古濱教授からアンモニア直接筒内噴射エンジン運転性能に関する文献を提示され、これを読んで報告せよとの依頼があった。2～3日で、英和辞典を引きながら和訳を行って、概要を古濱教授に報告した。そ

うこうしているうちに、新学期が始まりルール通りの研究テーマの募集があり、もちろん我々は、「水素エンジンの研究」を第一志望として選んだ。その結果、「水素エンジンの研究」は、我々がすることに決まった。後で、古濱教授に「水素エンジンの研究」の応募状況を尋ねてみたら、「水素エンジンの研究」に応募してきたのは、我々だけであったとの回答だった。

早速、水素エンジン実験装置の準備である。まず、実験場所は、水素が漏れても、すぐ拡散し滞留しない環境が容易に得られる野外を選んだ。もちろん、できるだけ早期に室内に入りたいので、野外でも水素が漏れないように管理する方法、漏れた場合それを短時間で感知する方法を試しながら野外実験を行った。場所は内燃研究室のバックヤードにあるトイレのそばの空き地であった。水素エンジンから、5mぐらい離れたところに計測テーブルを置き、その前に、万三水素エンジンが爆発しても、我々実験者を守るように、厚さ5mm鉄板(90 cm×180 cm)を、お互いの側面から100mm離して2枚を設置した。エンジンが爆発して破片飛翔体が前部の鉄板に衝突して、ほとんど

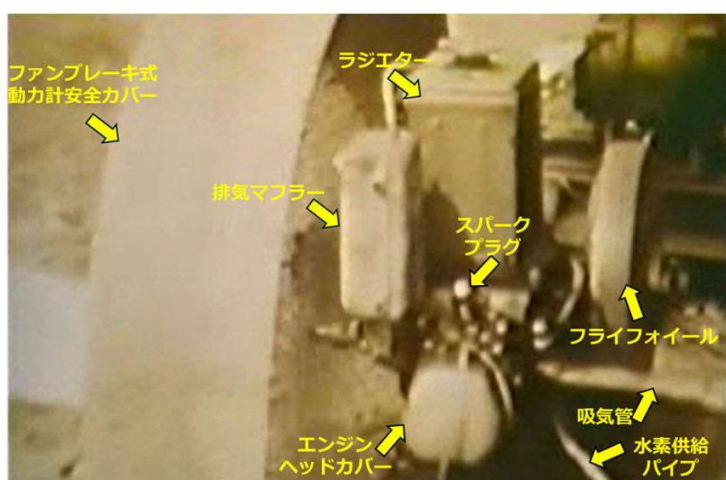
1970 年日本で初めて水素燃料で駆動した水素エンジン
(三菱かつら；野外実験装置)

のエネルギーを吸収してその後、もう一枚の鉄板に衝突したほうが、エネルギーが効果的に吸収され
と考へての策であつた。エンジンに供給するそれぞれの空気と水素の流量を計測する必要がある。流
体力学で勉強したベリヌーイの定理を用い、オリフィスを設計、オリフィス前の温度と圧力を計測しな
がら定常で流した水素ガスをブローダウン式水置換タンク流量計測タンクでその流量とその時得られる圧
力差を検定グラフ化して、水素および空気の流量検定グラフを製作、それを実験に用いた。その他の
計測項目は、エンジン回転数、エンジン吸気ポート入口温度・圧力(バックファイア発生時期と状態把
握)、排気温度、運転場の大気温度・圧力、水素および空気計測オリフィス直前の圧力・温度、オリフィ
ス前後の差圧等を計測項目と定めた。圧力センサーは、圧力変化をダイヤフラムのたわみ量で変換
し、インダクタンスコイルでそのたわみ量を計測して、圧力を計測する圧力計測計(燃焼室圧力、吸気
管内圧力)を用い、温度センサーは、エンジン冷却水温計測等を、自前で製作し検定して用いた。
200℃以下は、銅—コンスタンタン熱電対、200℃以上は、アルメル—クロメル熱電対を作り、検定して用
いた。熱電対温度計は、零接点(0℃の氷水)を通してミリボルトメータで電圧値をよみ、その後検定グ
ラフより、温度℃に読み替へた。圧力は、多チャンネルのオシログラフを用いて、検定をしておいて(例

例えば、1 division 10kg/cm²)に合わせるように、電位出力を調整しておいて、エンジン運転に供した。出力計測は、野外で運転するので、通常出力を電気又は水で吸収する動力計は使えなかった。それで、ファンブレーキ式動力計を利用した。この動力計は、エンジンの主軸に、木製のプロペラ(空気引っ掻き板)を付けて、その回転数により、空気を引っ掻き回すことで、動力を空気に吸収してもらう。その引っ掻き回される空気の状態とエンジン回転数により、出力が求められる。木製プロペラを製作したメーカーが作った校正カーブがついており、回転数と引っ掻き回された空気の温度と圧力を計測してその値で修正を加え出力を求めた。よって、回転数を決めるとそれに対する出力が決まり、通常動力計のように、回転数一定で、出力調整を水素燃料流量調整して行うことはできなかったが、水素燃料が内燃機関に使えるエンジンかどうかの評価には、十分であった。この時代は、現在のように、センサー特性仕様と計測精度が明らかになっている安定したセンサーを購入、データ処理器に取り込んでメモリをして、それをPCでリアルタイムでも、後処理でも自分の好きな様に出力を取り出し、重ね合わせたり、差分をとったり、統計処理をしてデータを比較したりすることができる道具は、その時代にはなかった。しかし、計測の原理原則を勉強して理解、自分でセンサーを製作し検定しデータを取得して、そのデータを方眼

紙にプロットして実験の結果を得る方法は、時間とデータ取りに多大の努力と忍耐が必要であったが、基本を勉強することができて、今でも役に立っている。

供試エンジンは、三菱かつら K8A、田んぼで稲穂の脱穀機や水ポンプの動力源として使われていた軽油燃料、火花点火(マグネット点火方式、点火時期上死点前 34° 一定)、横置水冷式単気筒、排気量 482cc、圧縮比=4.8:1 のエンジンを、古濱教授が三菱重工様をお願いしてその年の 10 月ごろに、内燃研究室に納入してもらった。そこから、エンジンを上記で述べた野外の実験場に設置して、まずは、軽油燃料で慣らし運転を兼ねて、そのエンジン動力特性を計測した。その後、エンジンを分解してピストン、吸気弁、排気弁、ピストン、ピストンリング、オイルリン



4サイクル予混合水素エンジン、火花点火、1.5 MPa 高圧水素ボンベより、減圧弁で 2~3 気圧の水素を吸気管に連続投入、流量調整は、ニードル弁にて実施。動力吸収は、ファンブレーキ

図 10 三菱かつら K 8 A 灯油火花点火エンジンを予混合火花点火水素エンジンに改造してエンジン実験に供した日本で初めての水素エンジン

グ、潤滑油の汚れを調査した。アルミ製ピストンは、軽油運転の為、頂面とトップランドは煤で真っ黒であった。その後、水素燃料供給に切り替えて運転を行った。途中でエンジンを開いてピストンを調べると、その煤はきれいに無くなっていて、アルミの素地が現れていた。水素は、7Nm³のボンベ(初圧:150 気圧)より、減圧弁で 2~3 気圧に減圧され、オリフィス式流量計で流量を計測し、エンジン吸気入口から、4~5 cm 離れたところから、内径φ4 の水素導管を口付けし、吸気管に水素を連続して流す予混合運転を採用した。水素流量調整は、オリフィス式水素流量計の下流 500 mm に取りつけたニードルバルブにて調整した。エンジン起動は、エンジンから 4m 程離して設置した電動モータで行った。電動モータとエンジンは、動力伝動プーリーベルトにて駆動した。回転をさせると空気のみがエンジンに吸入され、4 サイクルエンジンであるので、点火は、2 回転で 1 回、圧縮上死点前 34° 一定で行われた。おっかなびっくり水素流量をゼロから少しずつ増加してゆくと、ある流量で電動モータの駆動音に変化がでた。駆動プーリーベルトを棒で外してみると、エンジンは、自立して安定に回転していた。それは、みぞれが降る寒い 1970 年 12 月 24 日の午後であった。とても感激したことを覚えている。古濱教授に見てもらいたく、研究室の古濱教授室に呼びに行ったが、教授会議中で、初めの感激と一緒に味わうことはできなかった。夕方になり教授会が終わり、水素エンジンが初めて駆動したことを知らされた古濱教授は、野外で回っている水素エンジンを見に来た。エンジンに負荷をかけるために水素流量を増やしてゆく



図 11 1970 年 12 月、日本で初めて単気筒吸気管連続噴射水素エンジンで起きたバック現象をとらえた写真：吸気管に火炎が逆火している（内燃研究室、野外バックヤードにて）

と、安定して回転していた水素エンジンが、バーンと大きな音を立て、止まってしまった。何が起きたか想像もできなかったが、再度、確認実験を行うとある流量以上に流量を増やす、すなわち、高負荷で運転するとエンジンから吸気管の方に火炎がその爆発音と一緒に吹いていることが判った。初めて経験した水素エンジン異常燃焼、すなわち、バックファイア（逆火）であった。その時、助手の市川さんの指導のもと、撮影タイミングを計ることが難しかったバックファイアの写真は偶然とれた。図 11 がその時の写真である。水素・空気混合気の火炎色は透明であり目では見えない。しかし、写真に撮れた火炎色は、赤色がかっていた。ゴミや一部の潤滑油が燃え赤色の色がついたと考えている。どのようなエン

ジン運転条件でバックファイアが起こるか、それはなぜ起こるか等を調査するためには、吸気管内の圧力とエンジン燃焼室内の圧力（燃焼圧力 or Indicator Diagram）を同じ時間スケール上で記録したいと考え、正確な運転条件が設定できるように実験装置を再構築して運転する必要から、水動力計が設置できる内燃機関研究室内に、エンジン運転場を移設し直し、水素エンジンの研究を再開した。囲われた室内での実験なので、運転時は、室の窓を全開、実験前後には、水素燃料供給ラインの漏れチェック、万一漏れていることが判れば、水素ポンベの主弁をいつでも閉弁できるようにして、周囲にいる仲間に水素が漏れていることを知らせる等、室内で水素エンジンを動かすときのルールを決めて、水素エンジンの実験を行った。その結果、バックファイアを起こす原因は、高負荷運転で燃料を空気過剰率 λ で、2 以下の混合比にすると必ず起こった。空気過剰率 $\lambda \leq 2$ にし、かつ、エンジン回転数を大きくすると起こることが判り、その原因は、点火プラグの電極が水素混合気を過早着火するに十分な温度になって、点火時期（圧縮上死点前 34° 一定）前で吸入された（水素＋空気）混合気が過早着火し、次のサイクルには、点火プラグの電極がさらに高温になり、着火時期が、吸気弁閉弁時期に近づいて、サイクルが繰り返される毎に、過早着火がおこり、吸気バルブが開いているときに、（水素＋空気）混合気が過早着火し、火炎が吸気管上流に向かって吹き出し、次サイクルには、新気が吸気管内で燃えてエンジンに供給されないで、エンジンは停止してしまうことが観察された。点火栓を水冷式点火栓に取り換えると、点火栓電極温度が低くなり、空気過剰率 λ が 2 より小さいところ 1.7 程度まで運転範囲が広がることが判った。それでも、それ以下の水素濃度の濃い空気過剰率 $\lambda \leq 1.7$ になると、必ずバックファイアが発生した。三菱かつら K8A エンジンで、水素エンジンの予混合気による運転特性が把握でき、予混合運転では、バックファイアを完全に阻止することは難しいので、大出力を得るためには、過給をして出力を大きくさせ空気過剰率 ≥ 2 で運転するか、排気量が大きなエンジンで出力を大きくする必要があることが判った。後日、後輩の近藤君が、点火プラグの主極と負極チップに高感度熱電対を取り付けてプリイグニッションを起こすまでの温度履歴を計測した。その結果、主極より負極チップの方が高温になり、プリイグニッションが起こる直前には、約 750°C まで上昇、それを超えると瞬時に熱面着火によるプリイグニッションが起こることが判明した。

吸入工程では、空気だけを吸入して、高温である燃焼室内を冷やす。吸気弁を閉じた後、圧縮工程で水素噴射弁から燃焼室圧力より高圧である水素を筒内に噴射することにより燃料を筒内に供給する筒内噴射方式を用いれば、予混合方式より吸入空気量が増え、その分水素燃料を増加でき出力の向上が期待できる。かつ、吸入時空気だけ吸入することによって、燃焼室内の温度を低下させることができる。さらに、その空気には水素燃料が含まれていないので、着火は起きない。吸気弁が閉弁後、着火

させたい時期を狙って水素噴射弁で水素を筒内に噴射して、適切な混合比が形成されたところで、点火するシステムができれば、過早着火(プリイグニッション)やバックファイアは、物理的および化学的に起きない。燃焼室圧力より高圧で筒内噴射ができる噴射弁が手に入れば、この筒内噴射方式は、予混合方式より優れた動力特性を持つ水素エンジンが実現できると考え、引き続き、1971年の大学院の研究テーマとして、筒内噴射^{ひばな}火花点火水素エンジンの研究を始めた。筒内噴射方式で高出力、ニアゼロエミッションを達成することが最終目的であった。しかし、水素の物性から、水素ガスは分子が最も小さい、かつ、潤滑性に乏しいことから、噴射弁のシール部の設計が難問であった。ガスの状態で筒内に噴射する必要から、短時間で多量の水素を筒内に送り込む必要がある。すなわち、噴射圧力の拡大と水素通過面積をできるだけ大きく設計する必要がある、水素通過面積を大きくすることは、シール部の面圧が下がることを意味している。しかし、筒内噴射方式の実現性を見極めるためには、まずは、電磁弁方式低圧噴射弁を製作して、吸気工程で吸気バルブが閉じた後、すなわち、燃焼室圧力がまだ大気圧程度の時にエンジン筒内に水素ガスを噴射して、圧縮工程で空気と混合し予混合気をつくり、適切な時期にスパークプラグで着火・燃焼をする実験を行った。電磁弁方式噴射弁のシール部に全く漏れが生じない場合は、上記に記述した効果を得られたが水素ガスを多量に筒内に噴射することができないことが判り、もっと高圧、少なくともまず 100 気圧(10MPa)で筒内に噴射が可能な水素噴射弁の製作が要求された。たまたま、ボッシュ方式ディーゼル噴射弁の仕組みを理解していたので、電磁弁ではなくディーゼルエンジン燃料噴射弁の構造を利用して、ポペット方式噴射弁を動かす仕組みを使えば、電磁弁方式噴射弁より大きな力で開閉可能であること、及び、高い面圧がシール部で得られると考え、ディーゼルエンジンに使われているプランジャーポンプ圧 100~200 気圧(10~20MPa)で動かせる高圧水素油圧方式筒内噴射弁の設計試作をした。試作した高圧水素油圧方式筒内噴射弁の単体作動試験を実施したが、ポペット方式噴射弁を閉弁状態にするスプリングの力が水素供給圧力にまけて使い物にならなかった。その時期で、私は大学院修了であり、後輩の吉田君にその考えを伝授して卒業した。

実験研究がやりたくて大学に入学したので、修士に引き続き、博士課程に行くことも考えていて、古濱教授も推薦して頂いたが、博士課程で勉強するにはもう3年間、親から経済サポートを受ける必要があり、高圧水素油圧方式筒内噴射弁の設計試作も失敗、指導の古濱教授に実験装置の図面を見てももらったら簡単なことが描けていない、かつ、そのことが2時間も図面を見ても発見できない私の力を鑑み、親の大事な資金を費やすには能力が足りないと考え、博士課程に進むことを断念した。その時、古濱教授から日産自動車の水素エンジンの研究開発を計画しているので日産に行ってみないかとの推薦をいただいた。その時すでに日産の就職試験は終わっており古濱教授に頼んで頂き、特別に就職試験を受けた。もちろん、古濱教授の推薦もあり、合格した。なぜ、その時日産は、水素エンジンの研究開発をする計画を持っていたかという、上記したように米国連邦政府の環境保護庁(EPA)が米国で走る車に排気規制をかけることが決まり、日本の自動車メーカは、それに対応できる原動機の研究開発を行っていた。日産は、従来のガソリンエンジンやディーゼルエンジンでは、実現が難しいという考えから、小型ガスタービン、電気モータ、蒸気機関、フライホイールシステム、燃料電池モーターシステム等あらゆる可能性があると考えられる動力源の研究開発を始めていた。水素エンジンもその一つであった。

日産に就職した理由は、水素エンジンの研究開発が両親からの投資でなく、日産から給料をもらって好きな水素エンジンの研究ができることと、もう一つは、グローバル人材がどこの会社でも急遽必要で、外国の大学へ留学させる制度が日産にもできたことである。英語が堪能な機械工学エンジニアとしての下地はできたと考えていた私は、武蔵工大在学中は、自費で留学は不可能なので、フルブライト財団の留学制度を利用して米国の大学へ留学するために、その応募を試みたが残念ながら落ちてしまった。古濱教授は、世界でも著名な教授であったので、米国の複数大学の教授をよくご存じであった。古濱教授が米国に出張する機会をとらえ留学の打診を頼んでみたが、米国経済が不調な時でもあり

私の日産の所属先は、プリンス自動車の研究開発拠点であった荻窪事業所内の宇宙航空事業部であった。宇宙航空事業部は、プリンス自動車が1966年に日産と合併したときに、プリンス自動車が持っていた事業部で、日産との合併後もその事業が継続して荻窪事業所で事業経営を営んでいた。同期は5名であった。工学部出身者は、4名で、大学で宇宙工学を専攻していて宇宙航空事業部のメイン業務であるロケット開発・設計・製造に関わりたくて日産に就職した連中である。ロケット開発は、大きく2部門に別れており、東京大学の宇宙工学研究所(現:JAXA)のロケットシステムの仕事をする部署と防衛庁のミサイルロケットやロケット砲弾を開発・設計・製造をする部署から成り立っていた。私は、川越にある研究課に所属した。川越事業所には、研究課と実験課があった。それは、火薬やロケットの推進薬を製造する日本油脂(株)の敷地内に事業所をおいていた。その理由は、日産の宇宙航空事業部は、ロケットの推進薬(火薬)を開発して、ロケット推進性能を得るために、ロケット推進計測ベンチで着火・燃焼試験をするため広い安全地帯が必要であったからである。日産が計画した水素エンジンについても万一爆発事故がおこっても、近隣に影響が無いように、広い安全地帯が確保できる日産川越事業所に水素エンジン実験室が準備されていた。

改質器では、熱 Q をもらって
 $\text{CH}_3\text{OH} + \text{O} \rightarrow \text{CO} + 2\text{H}_2$

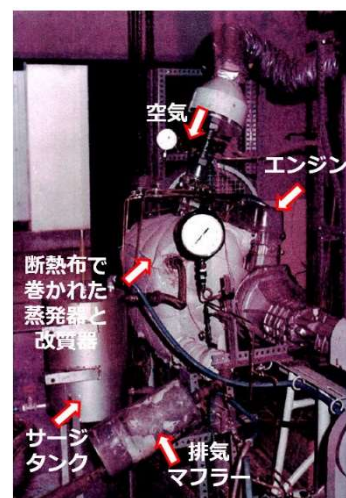


図 12 メタノール改質エンジンのシステム系統図及び
4 気筒メタノール改質ガスエンジン写真

元のメタノールから見ればエネルギーが増えた分、エンジンの熱効率が向上することになる。(CO+2H₂)混合ガスは、水素があるのでメタノールより燃えやすいため、メタノール(CH₃OH)より、出力効率は通常大きくなる。おまけに、燃焼時に水素が既に存在するため排気の清浄化が可能となるシステムに

なる。実際、エンジンベンチで運転して動力性能と排気性能を調査した結果、完全とまではいかないが、その可能性を十分示すことが判った。

しかし、自動車用のエンジンは、いつも運転条件が目まぐるしく変化するその変化速度と熱交換してその熱でアルコールを、触媒を通して改質した水素(H_2)と一酸化炭素(CO)の混合ガスをエンジンに供給するにあたり、その供給量のスピードがエンジン要求に合わない。合わせようとする、エンジンルームにエンジンと一緒に入らない大きな改質器(図12:メタノール改質器の原理図とエンジンに取り付けられた改質器(白色の断熱層で囲われている))が必要であることが判り開発を断念した。1978 年ごろになると、ガソリンエンジンの排気清浄化装置である三元触媒(NAPS と呼ばれた)の研究開発が進み、米国 EPA が要求する排気規制をクリアする技術の見通し



図13 東京大学宇宙研M-3SⅡロケット1号機打ち上げ写真、
ハーレー彗星探査試験機、1985年1月8日、
鹿児島内之浦ロケット発射試験場

がついたので、宇宙航空事業部での水素エンジングループ(Hグループ)は、1977 年に解散した。その後、宇宙航空事業部は、先端技術を創造する組織であるということで、将来の水素エネルギーに関わって行きたいという方針が出て、かつ、私の目標人物永岡忠彦様からの提案であったこともあり、それは私の夢となる事業であったので、その組織に加わりほぼ 1 年調査研究をしたが、宇宙開発事業団(NASDA)の大型衛星打ち上げロケットの開発や防衛庁の防衛装備品開発のために、ほかの事業所から人材を集めるほど宇宙航空事業部が忙しくなった。そこで、私にも、ロケットの開発をするように事業部から要請があり、川越から荻窪に移動して、東大宇宙研(現:JAXA)担当の設計グループの設計開発者として仕事を始めた。その結果、完全に水素エネルギーから足を洗うことになった。

ここで、なぜ永岡忠彦様が私の目標人物になったのかの理由を説明したい。永岡様は、慶応義塾大学応用化学科を卒業されて、プリンス自動車入社(後日産自動車(株))ロケット燃料開発、研究課長、技術部長、品質保証部長、カルソニックカンセイ(株)(旧関東精機(株))理事信頼性センター長、人材開発室長、カルソニックカンセイ(株)退職後人材開発担当として数々の会社で活躍、埼玉工業大学講師(非常勤)をされた経歴を持つ人物である。永岡様は、私が水素エンジン研究開発のために最初に所属した研究課の課長であった。永岡様の経歴から想像できると思うが、以下の点で私の目標人物として永岡様を定めた。

1. 活力を与えてくれる人物。永岡様は、毎日昼休みが終わると 1 番に課員全員を前にして、永岡課長が感心したこと等お話をした。私は、その話にいつもワクワク感を感じさせられた。
2. 社会や会社が求める先進性をいつも追及して、自ら段取りを取って進める精神をみた。
3. 自分本位ではなく、部下本位の態度がいろいろなことで見えた。
4. 私と同じように、声が大きい。
5. 人間的に親しみを感じる性格で、格好が良かった。

ロケットの“ロ”の字も知らない私が、ロケットの設計を行うことに大変躊躇したが、まったく新しいものをやってみようという覚悟で東京大学宇宙研究所のロケット開発を担当する第1設計課でロケット構造体の試験をする試験ジグ設計から、先輩の指導に従って開始した。そのうちに高高度に打ち上げた試

験カプセルを回収するためのロケット(L-4SC)の設計から打ち上げまでを担当した。残念ながら、回収はパラシュートが開かず失敗に終わった。つぎは、ハレー彗星探査衛星を打ち上げる補助ブースタ付き3段ロケット(M-3S II 型)の設計・製作である。これは、私が所属していた第一設計全体で、取り組むプロジェクトであり、私は課長の助手と補助ロケット(1段メインロケットの両側に1本ずつ計2本を搭載)を設計・製作する担当を担った。ハレー彗星探査ロケットのため、確実にかつ目標通りにハレー彗星の観察部に探査衛星を投入する必要から、打ち上げの制御能力を高めるために、1段メインロケットのTVC(Thrust Vector Control:ロケットの推力の方向を変える装置)に加え、各補助ロケットに360度全方向にロケットノズルを動かせる可動ノズルを日本で初めて開発して装備した補助ロケットの設計・製作を担当させてもらった。また、補助ロケットをメインロケットから切り離すときに、メインロケットの噴出火炎噴流中に補助ロケットの後尾が突入した時、後尾がメインロケットの噴出火炎噴流に叩かれて、補助ロケットの先端部がメインロケットに向かって回転し、衝突することが懸念されていた。私は、このシミュレーション計算を行い、そのようなことがおきて、メインロケットは、補助ロケットが当たる前にその場を離れて飛翔し、補助ロケットの衝突は回避できるとの結論をはじき出した。実際の打ち上げ時に取った補助ロケット分離時の動画は、ほぼ予測した挙動を示していた。このロケットは、ハレー彗星探査衛星を打ち上げ、確実にハレー彗星の観察部に目標通り観測衛星を投入することに成功した。その後、M-3S II 機体は、いろいろな観測衛星を打ち上げ、引退するまで合計8回以上の打ち上げをおこなった。しかし、最後の8号機で、ペーロード過重が原因で、飛翔制御能力が不足し失敗に終わった。その後、私は宇宙開発事業団(NASDA)の大きな衛星等を飛行時の風圧から守るためのフェアリング開発、防衛庁のプロジェクトである標的艇のガスタービンエンジン開発、ガスタービン発電機開発を担当した。そうこうしているうちに、関東精機(株)の信頼センター所長を担当していた、永岡様が、私のところに来て、関東精機が米国の自動車メーカーに提供している車部品の信頼性を向上するためには、その部品が使われる場所、すなわち米国で開発する必要があると考えている。関東精機(株)は、そのために、米国に開発拠点を作る計画をしているので、私をその先兵隊として米国に行って活躍してもらいたいので、関東精機(株)にこないかとお誘いであつた。私の目標人物、永岡様からのお誘いであり、一緒にそのような人と仕事ができ、かつ、本物の英語を取得するためには、いつかは米国で仕事をする必要があると思っていたので、二つ返事でそのオファーを受けた。

出向(正式転職となる前に、出向という形で出先において試用する日産の制度、出向中の給与は、日産持ち)を始めてしばらくたった時、永岡様に誘われ、永岡様が所長をする信頼性センターで務めて行くにしたがって、課内の仲間から信頼を得られるようになり、私が提案する仕事にも気持ちよく受けて成果を出してくれるようになった。その様な時に、古浜教授から、水素エネルギーとエンジンを研究する「水素エネルギー研究センター」を武蔵工業大学に創設する。古浜教授は、その時すでに武蔵工業大学の学長であつた。そのため、水素エネルギー、主に水素エンジン実用化の研究開発を古浜教授自身が担当することが難しくなる。よって、私に大学に戻ってきて古浜教授の代わりに水素エネルギー、水素エンジン実用化の研究開発を担ってもらえないかとのオファーを頂いた。とても名誉なことであるし、かつ、その時期(1991年)、私の夢であつた水素エネルギーや水素エンジンの研究は、もうできないと諦めていた。一方、その機会が到来とも考えた。すなわち、永岡様の部下として彼の背中を見ながら米国で得意な英語力をいかしながら研鑽をすれば、武蔵工業大学に入学したときの目標「英語が堪能な機械工学エンジニアで社会に貢献する。」というもう一つの大きな目標が達成できると思っていた。少し考えすぎであるかもしれないが、永岡様は、その当時関東精機(株)の理事ではあるが、次のポジションである取締役の候補でもあつた。私が1年もたたないうちに、大学に戻ったとしたら、永岡様は、関東精機(株)でどんな扱いを受けることになるかと思うと、古浜教授のオファーをおいそれとは永岡様に言えないで、そのまま時間が過ぎていった。その年の10月に、再度古浜学長から話があり、もし山根が何かの理由で大学に戻れないのであれば、別の人をお願いをしなくてはならないので、はっきりとした

返事をもらいたいとのことであった。永岡所長に、古浜学長からのオファーを清水の舞台から飛び降りる思いで伝えた。さすがだ、私の目標人物永岡所長は言った。「私は大丈夫、心配しないでよい。人生で最も大事なことは、自分のやりたいことをやるのが大切である。」と。一週間後、水素エンジンの研究をこれからもやりたいので、大変かと思いますが大学にもどりますと永岡所長に伝えた。出向中であつたので、日産自動車(株)宇宙航空事業部に依願退職届を提出して 20 年余りお世話になった日産自動車(株)宇宙航空事業部を退職した。日産自動車宇宙航空事業部の皆様、および、関東精機の皆様、大変ありがとうございました。

さて、日産や関東精機(株)信頼性センターで大変忙しくしていたので、退職した後、次年 3 月まで、この時間を利用して身の回りの整理をしようと構えていたら古浜学長より呼び出しがあり、何もしていないのであれば大学にきて、水素エネルギー研究センターのエンジンベンチの設計や、いろいろな準備をなさいと言われた。大学は、囑託で私を 1992 年 1 月から 3 月末まで、その後 1992 年 4 月からは、水素エネルギー研究センターの助教授として正式に武蔵工業大学の教員として私を採用した。私はその時大学の教員としての大事な資格、すなわち、博士号を持っていませんでした。後で考えれば、大学に対し古浜学長は、私に早期に博士号の資格を取ってもらうからとの条件で大学に私を採用してもらったようでした。よって、古浜学長が私に課した研究テーマは、「高圧液体水素ポンプの開発」でした。

武蔵工業大学の内燃機関研究室は、1975 年の武蔵 2 号車で米国西海岸ワシントン州ベリングハムからカルフォルニアまで 2800km を 5 日で走破する燃費とエミッションを競う米国の SEED ラリーに参加を表明した。そのラリーでは、少なくとも 1 日 600km を無給油で走る必要がありました。その結果、液体水素の搭載は必須となりました。液体水素を超断熱タンクに 230 リットル積んで

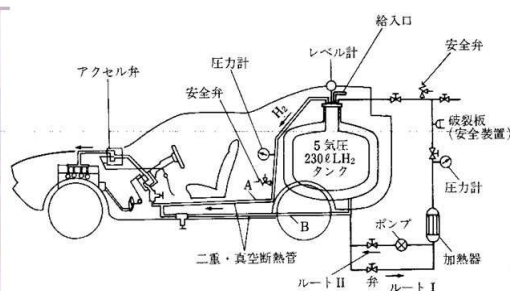


図 14 国内で初めて液体水素を断熱読嘔氣に貯蔵した容器を車に搭載し、そのタンク内で蒸発した極低温水素ガスを予混合火花点火水素エンジンに供給する予混合方式火花点火水素エンジンを搭載した武蔵 2 号車とその時に開発した水素燃料+エンジン系統図

走りました。総合 4 位に入賞しました。その車はガソリン燃料で動く日産サニークーペを水素化した車でした。水素供給方式は、エンジン吸気弁近傍にカム駆動で動く機械式水素ガス噴射弁で水素を供給するシステムを採用した。総排気量 1400cc、圧縮比=8.5;1、水冷予混合火花点火水素エンジンでした。バックファイア異常燃焼防止策のため、超断熱タンク内の低温水素ガスを、液体水素超断熱タンクの上部水素ガス部より断熱導管を使ってできるだけ低温のまま吸気管に供給し、冷たい水素+空気混合気をエンジンに吸入させる工夫を施しました。5 日間 2800km を完走はできましたが、それでも、ラリーの運転条件によるバックファイアが発生し、このバックファイアを止めないと予混合供給水素エンジンは実用にならないと古浜学長は思ったそうです。そこで、古浜学長は、武蔵 3 号車以降、大変難しい技術ではあるが、高圧水素噴射弁や、車上で液体水素ポンプを用いて液体水素を圧縮して、ポンプ外部に筒内噴射圧以上で水素を放出できる水素供給システムの研究開発に着手、バックファイアが物理・化学的に発生しない水素ガス直接筒内噴射方式の採用と、水素供給方法を変えることにより、バックファイアの抑制と同時に出力向上のメリットが得られるシステムの研究開発を始めた。「高圧液体水素ポンプの開発」は、その肝となる技術でありました。武蔵 3 号車のポンプ吐出圧力は、いろいろの手を打ったが、1 から 1.5MPa までがやっとであった。材料を変え、構造を変える等を試みながら 1990 年に液体水素ポンプ吐出圧力を 10MPa まで昇圧ができるようになった。液体水素ポンプの開発を始めてから 13

年を要している。よって、古濱学長は、博士号を取るために、いままでの液体水素高圧ポンプの技術を整理して液体水素ポンプの実用化に資する技術的ノウハウを整理すればドクター論文になると思われる、私に「高圧液体水素ポンプの開発」を担当させたのではないかと思います。しかし、私と一緒に高圧液体水素ポンプを研究していた学生が、高圧液体水素ポンプの開発で博士課程に進みたいと私に相談してきた。私が取り組んでいた高圧液体水素ポンプ内で発生する摩擦力を計測する方法をその学生といつもディスカッションしているので、同じようなことに興味が沸き研究してみたいくなることは至極当然であり、学生は自分なり考えたネタについて、博士課程で研究したいということなので、教育者として私が博士号をとるためのネタであるとは言えず、高圧液体水素ポンプの研究テーマは、その学生に譲った。

液体水素 (-253°C (20K) @ 大気圧) を容器に充填する時に、冷たい液体水素の導管に触れた空気が冷やされ、その密度は周囲の空気より大きくなる。その結果、その高い比重の空気は、重力で導管に沿って容器に入ってゆく、さらに冷やされ液体空気となり、最終的には固体空気となる。液体水素を入れた透明真空断熱ガラス容器に透明ガラス導管を通して常温空気を注射器でゆっくり押し込んで、常温の空気が、液体になり、最後に粉状の個体空気になり、透明真空断熱ガラス容器の低部に沈殿することを、目視観察実験で確認した。固体空気は小さな粉状で白く見え、かつ、硬そうに見える。液体水素が貯蔵されている容器内では、液体水素より固体空気は重たいので、容器の底に沈殿すると思われる。万一、容器内で容器中に設置した液体水素ポンプがその個体空気を液体水素と一緒に吸い込んだとすると、まず、吸入弁に傷がつく、ポンプの吸入弁が閉弁時それを挟めばシール部に傷が付く。シリンダーとピストンリングの隙間等狭い箇所に侵入すると固体空気が詰まって、ポンプが動かなくなることが予測できる。また、液体水素容器が出来上がり、液体水素を入れる前に、その中の空気を真空ポンプで真空レベルまで引き、その後水素ガスでパージをして、容器の中の空気を完全に水素ガスと置換して、初めて液体水素を充填する。しかし、それが不十分の場合は、上記のように、容器内に固体空気が生成される。空気中で容器、液体水素ポンプ、液体水素レベルメーター等の補器を取り付けを行えば、空気が残留する可能性はゼロではない。空気中で作業すれば、液体水素容器内に固体空気が沈殿する可能性がある。そのことから、古濱学長は、液体水素で固化した空気の形状、硬さ、それが及ぼすダメージ等を明らかにして示すことで誰もがおそらく明らかにしていない事なので高い新規性が期待できることから博士号を与えるにふさわしい研究になるはずである。ということで、私は、早期に博士号を取得するべくその研究を準備したが、なかなかそのような事象をみていただける博士論文の主査を見つけることができなかった。よって、そのテーマもしかたなく諦めた。私は水素エンジン研究開発の私自身のテーマとして「水素エンジンの実用化研究」を長く考えてきた。動力源の必須3条件は、高出力、軽量、小型である。その面からして古濱学長が進めてきた水素エンジンシステム、液体水素を超断熱タンクに貯蔵して車載、そのタンクには高圧液体水素ポンプが備えられていて、そのポンプにより水素エンジンに直接筒内噴射するに足りる圧力で液体水素タンク内の液体水素をタンク外に吐出し、外部の熱(大気の熱やエンジン冷却水の熱、排気熱)でその液体を常温水素ガスにする。液体水素の方が高密度だから、そのまま液体で筒内噴射をする方が合理的ではないかという質問がよく出るが、エンジン自体の温度は、常温から 200°C ぐらいまで、運転中変化する。液体水素は、圧力と温度に合わせかなり早いスピードで飽和状態を形成し、気体と液体の混合割合が変化する、また、その変化には時間

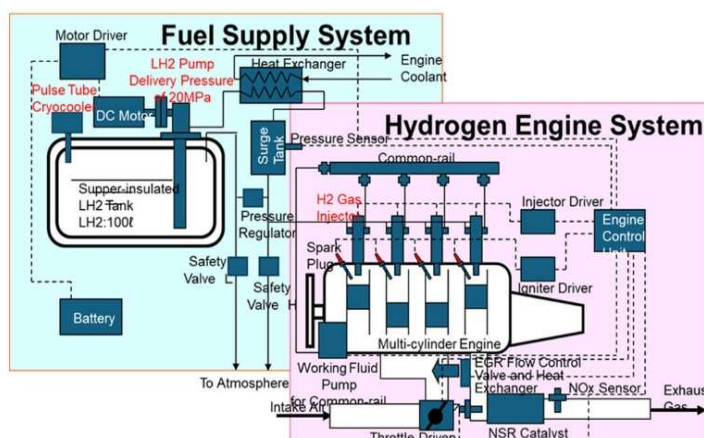


図 15 最も合理的と考えた車載用液体水素供給システムとエンジンシステムの系統図

遅れも生じるため、供給する水素密度はなかなか一定にならない。エンジンの圧力・温度変化に追従して密度を計測できるかという点と不可能である。よって、噴射に足る常温高圧水素ガスを予め準備して、それを水素高圧噴射弁でエンジン内に適切なタイミングで適量筒内に噴射する。噴射の方法としては、以下の3種類を、再度大学に戻ってきた1991年頃から考えていた。

(1) 圧縮工程の始まりで、吸気弁が閉弁後のタイミングで筒内に高圧で水素を噴射すれば、火花点火するまでに、噴射した水素と予め吸引された空気が混合する時間が稼げる。その結果、予混合化が進む。予混合化が進むと、混合気の濃度にムラが小さくなるため、燃焼温度のムラも小さくなり、その結果、燃焼温度が高いと多く発生する窒素酸化物 NO_x の生成が抑えられる。しかし、圧縮工程の始まりに高圧水素ガスを筒内噴射することにより、エンジンは、噴射された高圧水素ガスを圧縮上死点まで圧縮することになり、ポンピング損失が増える。

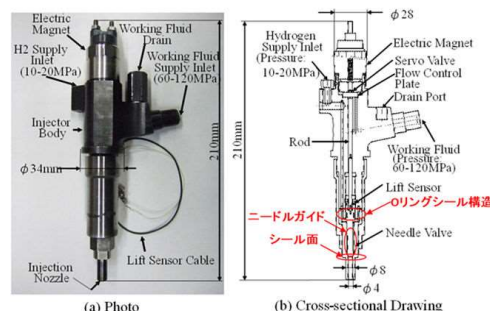
(2) ディーゼル燃焼のように圧縮工程の後期、または上死点のタイミングで筒内に水素を直接高圧噴射し、同時に火花点火で着火・拡散燃焼させると、(1)に述べたこととは逆に、噴射した水素と予め吸引された空気が混合する時間が稼げず、ディーゼル燃焼と同じように、水素燃料が空気の中を拡散しながら燃焼する拡散燃焼をする。水素と空気の混合気の着火範囲が理論混合比(34)の10倍薄くても水素+空気の混合気は燃えるし、10分の1濃くても燃えることから、拡散燃焼であっても良く燃える。それに加え、これも(1)とは逆で、膨張工程に高圧で噴射した水素は燃焼しながら膨張してピストンを押し下げる。その時、高圧水素噴射時の水素の圧力エネルギーは、それ自身でピストンを押し下げる力になる。加え、水素と空気が燃焼して生じた熱エネルギーは圧力エネルギーに変換されピストンを押し下げる。よって、(1)と違って、その分、すなわち、水素の圧力エネルギーにより、出力が増加する。

一方、拡散燃焼のため、燃焼温度に大きなムラが生じる。その結果、燃焼温度が高いと多く発生する特性をもつ窒素酸化物 NO_x の生成が増長される。

(3) つぎは、多段噴射の適応である。過渡応答性に優れた水素高圧噴射弁を使うことにより、圧縮工程の後期、または、圧縮上死点で噴射弁噴口周りに燃焼火炎を作るため全噴射量の約10%の水素量を第1段として噴射し、噴射流が空気の流れに乱されない内に、噴口出口先で火花点火により着火して、その火炎が他の噴口から出てくる噴流を、同時に着火することで、噴射弁噴口出口周りに火炎が形成され時間をほとんど待たないで第2段噴射(この場合は、全噴射量の70~80%程度の量の水素量)を噴射弁の噴射口より行う、第1段噴射で作成した火炎を着火源として、一気に燃焼させる。しかし、この燃焼は

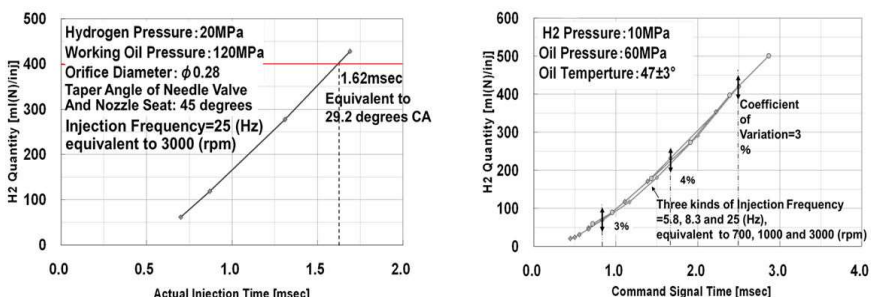
コモンレール方式電子高圧水素噴射弁仕様

Item	Description
Type	Electronic and Hydraulic
Injection Pressure	10-20 MPa
Working Oil	Diesel Oil
Working Oil Pressure	60 MPa in case of Inj. pressure of 10 MPa 120 MPa in case of Inj. Pressure of 20 MPa
Max. Quantity of Hydrogen Injection at 3000 rpm, 30 Degrees Crank Angle at Injection Pressure of 20 MPa	400 ml (normal) /inj.



コモンレール方式電子高圧水素噴射弁構造

図16 武蔵工業大学独自開発したコモンレール方式電子高圧水素噴射弁の仕様&写真と構造図



(a) エンジン回転数3000rpm時のクランク角30°間で最大目標噴射率達成した性能図
(400cc/inj, 35mg/s; 1.3ℓ行程容積, 空気過剰率=1)

(b) エンジン回転数に対する一噴射量のバラツキ割合
(エンジンにより作動油ポンプ駆動時)

図17 コモンレール式電子高圧水素噴射弁の噴射流量特性

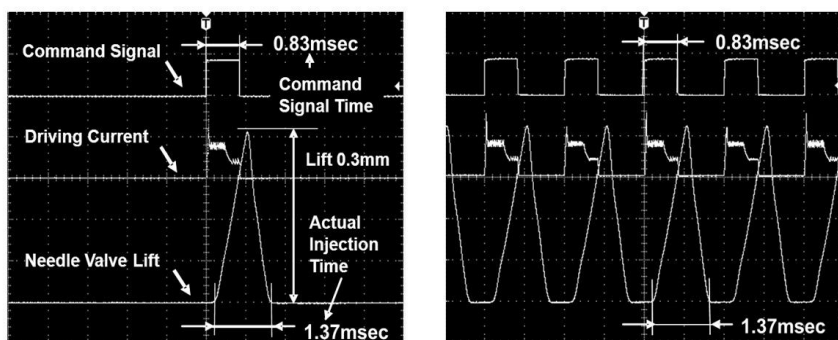
激しい燃焼となるので、燃焼温度も高温になり、窒素酸化物 NO_x が高温燃焼ガス中に勢いよく発生している。そこに残りの 10～20% の第 3 段噴射を行い、高温燃焼ガス中に生成された窒素酸化物 NO_x を、第 3 段噴射した強力な還元作用を持つ水素ガスで還元して、窒素 (N_2) と水 (H_2O) にする。それにより、高出力、高熱効率で極低 NO_x の水素エンジンが得られる。

それを運転条件に合わせて組み合わせて用いることでもよし、単独でもよし、水素エンジン車が要求する運

転条件に合わせるように最適化をはかる。その様な可能性の高過渡応答性を備えたコモンレール式電子高圧水素噴射弁を既に試作品として開発した。それは、2011 年に完成し、東京都市大学の内燃研究室で高圧直接噴射水素エンジンの実験に現在 2025 年でも使っており、水素エンジンの研究開発を支えている。

予混合水素エンジンでは、吸入工程時に水素と空気を混合して、または、混合しながらエンジンに混合気を投入する。同一混合比の運転時、予混合水素エンジンが吸入する空気の量は、水素直接筒内噴射と比較すると、水素燃料の分だけ少ない。一方、水素直接筒内噴射エンジンは、吸入工程時に空気のみエンジンが吸入する。その結果、水素直接筒内噴射は、吸入空気が多い分、水素を多くエンジンに投入できるので、高出力が得られる。理論混合気、すなわち、空気過剰率 $\lambda = 1$ の運転と比較すると、高圧水素直接筒内噴射運転は、予混合運転出力の約 1.4 倍の出力が理論上得られる。

古浜学長がご存命のときに、古浜学長に私はさらに軽量、小型化が進み、高出力を得るためには、いずれ水素エンジンでも、化石燃料内燃機関のダウンサイジング化で採用されたように積極的に過給機を採用するようになる。ガス状の燃料を使う場合はなおさらである。それに伴い、最大燃焼圧力が 10MPa を超えるようになる。よって、高圧液体水素ポンプの吐出圧力を 10MPa から、20～30MPa を目指した液体水素高圧ポンプ開発が必要であると進言した。もう一つは、ポンプの吐出圧力を 20～30MPa に昇圧することは、水素直接筒内高圧噴射弁のシール部もこの高い圧力に耐える必要がある。現在使っているプランジャ方式油圧ポンプの作動油圧が 10～20MPa で駆動している。現在の噴射弁の形式はポペット弁で、流量は稼げて、シール面積がニードル弁よりも大きいので、そのシール面の面圧は小さくなる。このポペット方式の噴射弁は、噴射圧 10MPa で 1 日中実験に供すると、特に水素ガスは、粘性が非常に小さい、かつ、最も小さい分子であるため、金属同士のシール面は、水素が漏れないように、共摺りして使用する。それでも、1 日ぐらい使用すると、水素が漏れてくる。浅い摺り傷がついても、その時に、出来た擦り傷を浅いうちにつぶすことができる十分な面圧を発生させることができれば、水素は永く漏れないで済むと私は思っていた。それには、もっと高い作動油圧 100～250MPa を供給できるディーゼルエンジンのコモンレール式電子噴射弁用油圧ポンプを使って、ディーゼルエンジン用コモンレール噴射弁のメカニズムを取り入れたコモンレール式電子高圧水素ガスニードル噴射弁(ニードル弁構造は高面圧をポペット弁より、得やすい))を使えば、ニードル噴射弁で発生する面圧で浅い摺り傷がつぶされることが可能であるのではないかと古浜学長に進言した。しかし、それには古浜学長は、10MPa の吐出圧力が可能になる高圧液体水素ポンプや高圧噴射弁システムを開発することで 13 年もの長い時間を費やしたことを振り返り、私の博士号取得のテーマとしては賛成してくれなかった。



(a) Injection Frequency : 10Hz (b) Injection Frequency : 500Hz

図 18 噴射回数を 50 倍(b)にしても、10Hz(a)と同じ挙動を確保できる噴射弁(エンジンにより作動油ポンプ駆動時)

武蔵工業大学の校名変更問題の最中、私が依然博士号を取得できていないため、古濱学長は、「山根の博士号取得が未達成のまま退官はできない。育英会に学長職をもう1期延長をお願いして、山根に博士号を取る指導をしたい」と私に打ち明けた。私は、古濱学長の子弟として、特別な面倒を見てもらった古濱学長に、古濱学長退官にあたり、これ以上私のことでご心労とご心配をおかけしたくなかった。1992年から、水素エネルギー研究センターの助教授として、私に水素エンジン研究の機会を再度与えて頂いたことだけでも、十二分すぎると思っていた。そこで私は、古濱学長がいままで残された成果を活用させて頂き、私自身のアイデアをそれに加え、私でなければできないオリジナルな研究をして、出来るだけ早く博士号を取得すると、約束させてもらった。早期に私に博士号を取るための指導を多忙な学長職を行いながら、実施していただいた。古濱学長が退官した後でも、博士号を取るための良いと思われるテーマについて、いろいろ実施してみたが、時間がタダすぎるだけになった。時間がかかっても、それが難しいことでも、近回りせず、自分自身で考え、本当にやりたいこと、すなわち、「水素を燃料とする内燃機関の実用化研究」を、液体水素高圧ポンプの研究開発と併せ、米国自動車自技術会会誌に紹介されたボッシュ社製の電子化コモンレール式電子ディーゼル燃料用噴射弁を参考に電子制御化することでもう一歩進めてやろうと覚悟をした。古濱学長にドイツボッシュ技術部長を紹介してもらい支援のお願いをしたが、日本のデンソーもその実用化開発をしていた最中であった。ドイツボッシュ社からの支援を受けることはできなかった。その数年後に、トヨタランドクルーザーディーゼル車に、デンソー社製のコモンレール式電子高圧噴射弁が搭載され、その部品を一本約6万円で購入できた。

コモンレール式電子高圧水素噴射弁を試作するに当たり、入手性がよいことと、日本で市販されていることを考えデンソー社製ディーゼルエンジン用コモンレール式電子高圧噴射弁を改造の対象と決めた。その噴射弁、噴射特性を計測するための単体試験機的设计・試作も必要であった。実は、コモンレール式電子高圧噴射弁のニードル弁を動かすには、その中で作用している高圧作動油(軽油燃料)をその作動系から逃がしたり、止めたりする必要がある。資金がないため、私はガソリンエンジンの燃料噴射弁を利用してその機能を実現しようと試作準備をしていた。作動系から逃がしたり、止めたりすることでコモンレール式電子高圧噴射弁が完成に至るのであればよいが、完成させるためには、多くの精密な絞り穴の調整が必要である。それをやってゆくと最低でも直ぐ4~5年は係り、完成しないで、かつ、博士号も取れないで退職することになるから、デンソー社製のディーゼルエンジン用コモンレール式電子高圧噴射弁をできるだけ流用して水素用を試作開発したほうが賢明だと、小生の後輩である福間君がアドバイスをくれた。福間君、本件についていろいろご支援を頂き、ありがとうございました。

2005年頃、国土交通省の交通安全環境研究所より、「水素エンジンの要素技術開発」を申し込まれた。丁度、私がコモンレール式電子高圧噴射弁とポンプ吐出圧力30MPaの液体水素ポンプを使って、バックファイアが起こらない、かつ高出力が得られる水素エンジンの実用化研究開発を仕立てて、それをもって博士号を取得することを決心した時であった。ガソリン車と同じように、エンジン制御ユニットを用いて、電子制御によるエンジン運転を行えば、電子制御による水素燃料の精密な投入量、投入方法、投入時期のコントロールが電子式で可能となり、NO_x排出量を最低化し、同時に出力の最大化が可能になるという仮説を私は持っていた。加えて、コモンレール式化により、作動油圧が最大で180MPaを得られることにより、噴射弁を開閉するニードル弁が少しぐらい重くても、過渡応答が早い弁の開閉と、高圧水素をシールする面で高い面圧が得られ、その結果、小さい粘性を持つ水素燃料であっても、シールができ、今まで長く悩まれた課題、すなわち、最も小さい分子である水素燃料のシール面からの漏れという視点で、耐久性が向上するので、理想的な水素エンジンの実用化が可能になることが予期された。それは、水素エンジンの研究を半世紀もの長い間実施してきた武蔵工業大学内燃機関研究室の水素グループで実用化に悩んできた研究者でしか考えられない課題であり、世界で初めての試みであった。それを国土交通省の交通安全環境研究所の開発担当官にご理解していただき、「水素エンジンの要素技術開発」の委託研究を始めることができた。今考えれば大変幸運なことである。

私が運営をまかされている水素エネルギー研究センターで、私と一緒に水素エンジンの研究ができる学生は、機械工学科、機械システム学科、エネルギー基礎工学科から送っていただいた限られた学生であった。その学生たちには、すでに研究テーマを進行中であった。私ひとりでこの委託研究を実施することは不可能であるので、考えた末、大学の掲示板に先進水素エンジン研究開発に参加したい学生を募集する掲示を出した。なぜ先進性が高いか、なぜコモンレール式電子高圧水素噴射弁が必要かを説明した。また、参加条件としては、水曜日午後と土曜日の空き時間があるとき、ただし、少なくとも週に1回は、水素エネルギー研究センターに来て、研究作業ができる学生とした。募集の結果、エネルギー基礎工学科の学生1年生2名、機械システム工学科1年生1名、計3名(陸上部の仲間)が参加してくれた。水素エンジンに大変興味を持っており、何とか時間を作って参加したい熱い心の持ち主であった。工学部の大学では、1年生から研究室に所属して、そこで必要な事を研究しながら学んで行くことで、楽しく、かつ自主的に学ぶことにより、効率的に有意義な学習ができるのではないかと思った。初めは、専門用語が通じないので困ったことがあったが、研究室にはたいてい関連した部品、装置、専門書、先に勉強している先輩等、身近に沢山の材料があり、見て、触って、自分で動かして勉強できる道具が身の回りにあった。彼らは私の考えていることを大変短い時間にマスターしてくれた。また、ものづくりに必要な図面の製作も、見様見真似でマスターしてくれた。部品を作ってくれる外注業者様(下村製作所様、栃木機械製作所様、ダイヤ精機製作所様等)との打ち合わせで、図面の書き方、図面の管理の仕方等、その他いろいろのことを、外部の専門家から学ぶこともできるようになっていった。もちろん、彼らといつも一緒に仕事をすることに努め、彼らがいない時間には、仕事の準備、先行手配、図面作成、外注調整等、また、他の研究テーマの学生との意見交換、研究の進め方のアドバイス、課題探査と解決法のアドバイス等、さらに楽しく充実した研究生活を送らせてもらった。おどろいたことには、結局、彼らが4年生になったころには、修士学生の能力がついていた。

噴射弁の単体駆動試験をするために、車載用高圧ポンプ、エンジン ECU(Engine Control Unit)からの噴射弁駆動信号を受けて、噴射弁に駆動電流を流す噴射弁駆動電流発生ユニット、噴射弁に高圧作動軽油を供給するコモンレールをトヨタ部品ディーラーから購入、180MPa で漏れない特殊形状の接手と配管は、これまでお付き合いのあった専門メーカ(臼井国際産業様)に試作を依頼した。車載用高圧ポンプ用駆動 AC モータ、供給作動軽油圧を手動調整する逃し弁、作動軽油温度調節用冷却器、作動軽油タンク、作動油用フィルター、圧力計、温度計、単体駆動試験用架台等は、仕様決定と調達方法で良く面倒を見てもらっている伊ワモト(株)の社長様にお願いをした。

設計試作する機能試験用コモンレール式電子高圧水素噴射弁は、そのベースとなるデンソー社製ディーゼルエンジン用コモンレール方式電子軽油燃料噴射弁を手に入れ、3 人の元気ある学生たちとともに作業を実施した。入手した断面図から、積み重ねて組み立てられていることが想像できたので、慎重に分解トルクをはかりながら、全バラシを実行した。再度組立ることができたので、改めて全分解をして、デンソー社製軽油燃料コモンレール式電子噴射弁の駆動機構を調査し、できるだけそのまま部品を利用して、コモンレール式電子高圧水素噴射弁を設計試作した。水素供給圧 20MPa に対応する難しいシール構造からなる水素供給システムを備えた本体ボディーは、まずは噴射弁の機能を確認するための試作と定め、出来るだけシンプルで、加工しやすい形状とし、材料はまず軟鋼で試作した。その形状は、1 気筒当たり吸気・排気各 2 弁を持つ狭く複雑なディーゼルエンジンヘッドに組み込むには大きすぎて到底組み込めない形状であった。これには、国土交通省の委託研究で技術者を雇用することができたため、日産のエンジン開発部門で設計・試作を担当していた梅村幸生様が私のサポートに加わり、学生の面倒を含め、この委託研究プロジェクトに参加していただいた。特に、シール向上の基本的コンセプトは、彼に負うところが大きい。ありがとうございました。

一方、液体水素高圧ポンプの研究開発は、吐出圧力を 10MPa からまずは、目標 20MPa とした。吐出圧力を大きくすることは、ポンプのピストンとシリンダ間の摩擦力が吐出圧力に比例して大きくなる。

よって、摩擦力による発熱量も比例する。すなわち、吐出圧力 10MPa から 2 倍の 20MPa にすると、摩擦熱による発熱量も 2 倍になる。よって、吐出圧力を大きくすればするほど、摩擦力による発熱量が増加し、その結果、ポンプ加压室内の液体水素はその分気体の水素ガスになり、その水素ガスをピストンが断熱圧縮することにより、さらにポンプ加压室内の水素ガスが増加する。その内に、水素ガス量が大きくなりピストンで圧縮しても圧縮圧力がサイクル毎に大きくななくなり、その内に液体水素として、ポンプ外に吐出できなくなる「ガス圧縮状態」になる。よって、吐出圧力を大きくするには、液体水素ポンプのピストンとシリンダ間で摩擦力が極力発生しない構造にする必要がある。また、摩擦力で発生した加压室内の水素ガスを加压室よりできるだけ早期に外部に漏らす構造が必要となる。

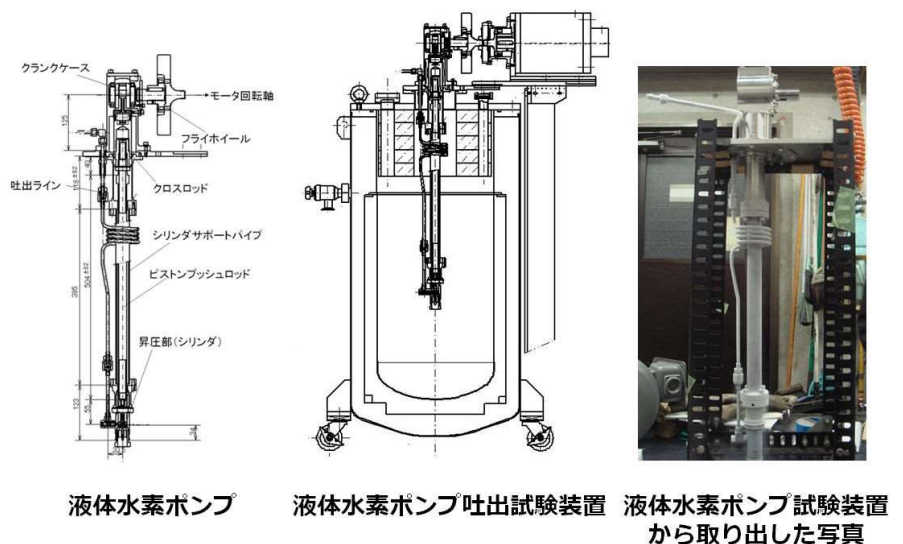


図 19 武蔵工業大学独自開発高圧液体水素ポンプ吐出圧力 20Mpa 達成、液体水素吐出量 6.3CC/stroke に成功

この時期に、東京都市大学の水素エネルギー研究センターは、上述のごとく国土交通省の交通安全環境研究所より、「水素エンジンの要素技術開発」の委託研究を受託していた。岩谷産業様から移送費を支払えば、2000 リットルの液体水素を断熱容器で、無料で支援していただいていたが、残念ながら、武蔵工業大学の所在地の監督官庁である東京都より液体水素を貯留して消費するに必要な条件、保安距離だと思ったが、水素エネルギー研究センターはその条件を満たすことができない状態で、液体水素を使って液体水素ポンプや液体水素断熱タンクの研究・開発を行っていた。振り返れば、武蔵工業大学で液体水素を扱うようになったのは、1975 年に米国 SEED ラリーに参加した武蔵 2 号車からである（詳細は、古濱庄一著「エンジンの再発見 ―水素自動車への挑戦―」講談社ブルーバックス 485 を参照）。この時は、液体水素を購入しようとしても、購入ができなかったが、どうしても液体水素を液体水素タンクに貯めて、それを液体水素タンク内で蒸発した極低温水素ガスを断熱パイプでエンジンに送って、エンジンを動かす液体水素供給システムとエンジンシステムを繋げた状態で走行実験を行いたかった。そのため、米国に行く前に高価な液体ヘリウム（1 気圧で、沸点温度は、4.2K（ -269°C ））を購入して熱交換器を通して常温水を液化（1 気圧で、20.3K（ -252.9°C ））して、液体水素を大学で作ったと聞いている。それでも、準備した熱交換器では、1 回で約 30 リットルの液体水素しかできず、それを車載液体水素タンクに注入するだけで、液体水素タンク容器の熱を液体水素が吸収して全てガス化してしまい、車載液体水素タンクに液体水素を貯めての走行試験はできなかったそうである。国内での最終的走行試験は、つくばにある日本自動車研究所の外周回コースを内燃研の OB である加藤さんが首をかけて日本自動車研究所の管理当局と交渉して実現した。液体水素を作り、利用することも東京都はその時から大学だからと多めに見てくれていたようだ。高純度（99.999%：液体水素は、ヘリウムガス以外は全て固化してしまうので、液体水素からガス化された水素ガスの純度は 99.999%以上で純度が非常に高い）の水素が必要な燃料電池車、半導体製造等、大口の消費ユーザーが多くなり、液体水素ビジネスを本格化する時代が、2000 年頃から始まった。今まで支援してくれた岩谷産業様は、東京都から許可を受けていない水素エネルギー研究センターで万一事故が起きると岩谷産業様の液体水素ビジネスにも大きく影響を受けることから、水素エネルギー研究センターは、液体水素の実験が出来る免許を持っていないことで、岩谷産業様より液体水素の支援を受けられなくなった。仕方がないので、液体水素の代わりに液体窒素（1 気圧で、沸点 77.3K（ -196°C ））を使って低温に関する実験をした。

その結果、作動流体が液体窒素だが、吐出圧力 20MPa で最大吐出効率((吐出体積/ポンプ工程容積)×100(%))90%の特性を得ることができた。今までの実験から作動流体が液体水素にした場合、液体窒素の吐出効率より 10%低い吐出効率が得られることが判明している。作動流体を液体水素としても、約 80%の吐出効率は、確保できた。水素エンジンに十分水素を供給するためには、最低 70%以上の吐出効率が必要であることより、本液体水素ポンプは、約 82%の吐出効率、コモンレール式電子高圧噴射弁の噴射圧力(=吐出圧力)20MPa で水素エンジン筒内に噴射可能な噴射弁が使えるようになった。

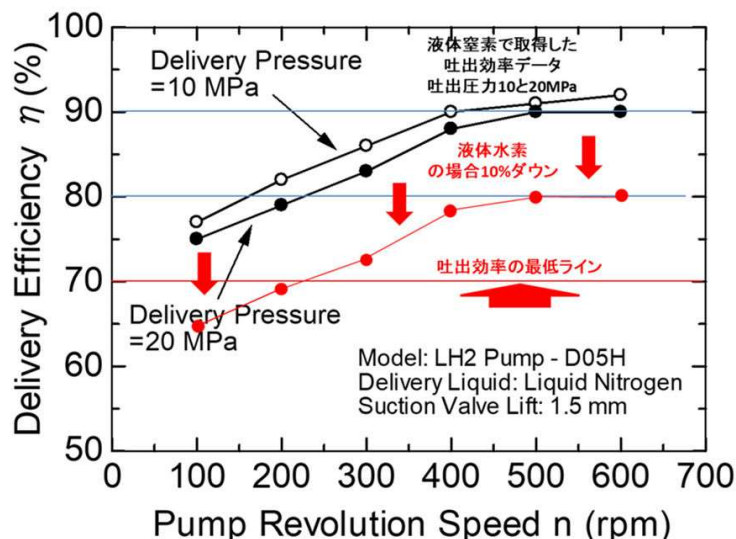


図 20 武蔵工業大学独自開発高圧液体水素ポンプの吐出効率特性

国土交通省の交通安全環境研究所より、「水素エンジンの要素技術開発」の委託研究を受託したおかげで、耐久性が高い、噴射圧力 10～20MPa、エンジン回転 3000rpm でクランク角 30° 以内に 0.4Nℓの大流量を噴射でき、高い過渡応答性があり、大きさでも従来のディーゼルエンジン用とほぼ変わらないコンパクトなコモンレール式電子高圧水素噴射弁と最低要求吐出効率 70%以上、82%の吐出効率と吐出圧力 20MPa の液体水素高圧ポンプを開発することができた。加えて、その噴射弁を実装し水素化した 4 気筒、火花点火、水冷、直接筒内噴射水素エンジンに搭載して、直接筒内噴射水素エンジンの動力性能と排気性能を取得してその実用性があることを証明できたことで、高出力、小型、軽量、無公害の動力源がこの技術を活用して可能になり、化石燃料を水素に置き換えることにより、化石燃料枯渇化問題を解決でき、運輸部門が大きく関係する大気環境問題も同時に解決できる一つの解決策を社会に提示できたと私は考えた。それは、定年退職年度 2013 年 3 月末の約 3 年前であった。

私のように、大学の博士コースを修了しないで、博士号を取得するには、博士論文を提出してそれを中心になって評価していただく博士論文主査の先生と、それに加えて、博士論文を別に選ばれた複数の副査の先生から評価してもらうことで、博士号が授与される。私が研究をしてきた東京都市大学で博士号を取ることが最も自然なことであるが、いろいろなことがあり結局は、私が事務局長を長く担当した「水素エネルギー協会」の先生たちがその状況をみていて、「水素エネルギー協会」の創設大学である横浜国立大学大学院で、電気化学を専門としている光島教授が主査を引き受けて、かつ、横浜国立大学大学院の機械系の内燃機関、機械システム、燃焼工学、エネルギー工学等、私の論文内容に精通した5名副査を選んで頂き評価していただいた。その時には、9割ぐらい博士論文が完成していたので、それを基に私の博士論文内容のヒアリングを主査と5人の副査先生の前で受け、論文を仕上げ、



図 21 横浜国立大学大学院工学府より授与学位記及び関連写真

私のように、大学の博士コースを修了しないで、博士号を取得するには、博士論文を提出してそれを中心になって評価していただく博士論文主査の先生と、それに加えて、博士論文を別に選ばれた複数の副査の先生から評価してもらうことで、博士号が授与される。私が研究をしてきた東京都市大学で博士号を取ることが最も自然なことであるが、いろいろなことがあり結局は、私が事務局長を長く担当した「水素エネルギー協会」の先生たちがその状況をみていて、「水素エネルギー協会」の創設大学である横浜国立大学大学院で、電気化学を専門としている光島教授が主査を引き受けて、かつ、横浜国立大学大学院の機械系の内燃機関、機械システム、燃焼工学、エネルギー工学等、私の論文内容に精通した5名副査を選んで頂き評価していただいた。その時には、9割ぐらい博士論文が完成していたので、それを基に私の博士論文内容のヒアリングを主査と5人の副査先生の前で受け、論文を仕上げ、

2012年4月27日に博士論文公聴会が国立横浜大学で行われ、大勢の私の関係者約 50 人が私の公聴会に出席していただき、悲願の博士号、博士(工学)、博乙第 376 号を平成24年6月30日に授与式で授与させていただいた。古濱学長に約束した通り、定年退職日の 9 か月前でしたが、いろいろな人のお陰をもって、取得させていただいた。古濱学長ありがとうございました。かつ、応援していただいた関係者各位にお礼をもうしあげます。特に元東京都市大学中村学長様には、古濱学長に代わり最後まで力強い応援を頂きました。感謝しています。

最後に、東京都市大学を私が定年退職後、われわれの水素エンジンの研究開発に多大なご支援、ご協力と応援を頂いてきた大勢の方々に水素エンジンは、化石燃料枯渇化問題と環境問題を同時に解決してくれる。150 年かけて世界で培ってきた化石燃料の自動車技術を踏襲して、また、そこに携わってきた関係者が、そのまま現職を全うできるようにするためにも、安価な水素エンジン車をビジネスとして社会に普及させることが、大事であるという結論に至り、日本で相手にしてくれないので中国まで出かけてその可能性を求めて時間をかけてきましたが、私の思いに同感していただけるビジネスパートナーが日本で見つかり、2019 年 11 月に、i Labo 株式会社を創設いたしました。そのことを関係者にご案内したところ、環境省の担当官より、水素燃料内燃機関はありうるので事業の話聞かせてもらいたいとの連絡があり、我々の考えをその年の師走が押し迫った 12 月 27 日に環境省担当官を訪問して弊社の考え、すなわち、既存のディーゼルトラックを水素化するビジネスを始めたいと説明をさせていただいた。その結果、i Labo のビジネス計画は、非常に運輸部門の脱炭素を実現する良い計画であると共感を頂きました。環境省が計画しているプロジェクト「水素内燃機関活用による重量車等脱炭素化実証事業委託業務



4 サイクル可変ノズル付ツインターボ混合水素エンジン、火花点火、高圧 70MPa 軽量水素タンク 4 本運転席裏搭載、白ナンバー取得環境省「令和 3～5 年度水素内燃機関活用による重量車等脱炭素化実証事業」

図 22 i Labo-1 号車(2023)



図 23 「世界 1 の水素エンジン自動車」を目指して活躍している水素エネルギー研究センターを支える 20 人の侍学生
於：東京都市大学水素エネルギー研究センター



図 24 最終講義の集合写真

学生が制作した水素の H をプリントした T シャツを着て
2013 年 3 月 16(土)東京都市大学(旧武蔵工業大学)講義室

(重量車等の水素エンジンへのコンバージョン技術と水素供給インフラの開発・実証)」に 2021 年から参加できる採択をいただき、関係者の多大な協力とご支援により計画通り成果をあげることができました。反響もたくさん来ており、すでに複数の新たなディーゼルエンジンの水素化開発プロジェクト(JR 東海; 気動車のディーゼルエンジンの水素化、国土交通省; RTG プロジェクト 阪神港における荷役機械高度化実証事業(水素発電機)、上組; 港湾における移送トラックの水素化、やまびこ; ディーゼル発電機の水素化、弊社; 大中型トラックの水素化等)を始めております。これを広く日本のみならず世界に普及して行きたいと思っています。それには、広範な仲間づくりと合わせ、皆さんからも水素エンジンの普及にお力をお貸しいただきたくお願いいたします。



図 25 古濱教授の友人トンプソン氏(Chevron Research Center)のエンジニアと鎌倉大仏見学、案内兼通訳