

講演 1. 産学官連携による高効率次世代大型車両開発促進事業の現況について

環境研究部

※鈴木 央一

奥井 伸宜

川原田光典

新国 哲也

1. はじめに

バスやトラックなどの重量車における環境負荷低減とカーボンニュートラル化に向けて、国土交通省は「産学官連携による高効率次世代大型車両開発促進事業」（以下、その前身の事業も含めて「次世代事業」という。）を実施しており、交通安全環境研究所は、その中核的研究機関として本事業を推進している。次世代事業は、大気環境問題が深刻であった 2002 年度に開始され、その後のエネルギー問題や電動化の動きなど、その時々課題に対応しながら事業を継続している。現在は第 5 期として 2019 年度より開始し、2023 年度までの 5 ヶ年計画で事業を行っている。この第 5 期事業がそれまでと異なる大きな点は、産学官連携を促進して多くの大学とともに事業を実施していることである。実施体制として、有識者による検討会及びその下のワーキンググループ（WG）において方針の策定や進捗管理を行い、産及び学で構成される各研究グループがそれぞれの研究テーマを推進している。概要については、2020 年及び 2021 年の交通研フォーラムにて報告している^{1) 2)}。

次世代事業において、カーボンニュートラル化のさらなる推進が課題であった。電動化は 1 つのアプローチではあるが、重量車、特に長距離輸送用途に多く用いられる大型トラックにおける電動化は、現在の蓄電池の能力などを踏まえると容易ではない。2021 年 6 月に出された経済産業省のグリーン成長戦略³⁾においては「8t 超の大型の車については、貨物・旅客事業等の商用用途に適する電動車の開発・利用促進に向けた技術実証を進めつつ、2020 年代に 5,000 台の先行導入を目指す」（ここでいう電動車は、電気自動車（EV）、燃料電池自動車（FCV）、プラグインハイブリッド自動車及びハイブリッド自動車を指す。次も同じ。）とある。一方で軽・中量車については「2035 年までに、乗用車新車販売で電動車 100%を実現できるよう、包括的な措置を講じる」とされており、大型トラック等

とは様相が大きく異なる。そのような中、大型車のカーボンニュートラル化に向けた動きに対応するものとして、本次世代事業では、新たに走行中ワイヤレス給電システム、重量水素 FCV の燃費評価、e-fuel 使用時の排出ガス性能・車両影響などに関する検討を追加した⁴⁾。

そこで本報告では、第 5 期次世代事業において、実施中の一部テーマに関する成果の中間報告と、今年度より新たに開始する走行中ワイヤレス給電、重量 FCV、e-fuel に関する 3 テーマの概要について述べる。

2. 既存テーマの成果について

すでに実施している調査研究テーマに関して、後処理装置関連と内燃機関関連の中から、既報で取り上げたものと異なる各 1 テーマずつについて、これまでに得られている成果について紹介する。

2. 1. SCR 触媒システムの高機能化

大型トラック等における窒素酸化物（NO_x）排出抑制のための浄化後処理装置として、現在ほぼすべての車両で尿素水を使用する還元触媒（尿素 SCR）システムが用いられている。その SCR 触媒システムに関して「過渡反応・吸着・拡散・固体尿素の挙動解析に基づく SCR 触媒システムの高機能化」と題する研究を北海道大学にて実施している。本研究ではミクロの視点から触媒を構成するゼオライトの粉末上の浄化反応について、中間生成物を含めて赤外分光等による測定を行い、並行してゼオライト細孔内の NO 等分子の吸着や拡散について分析している。加えて、よりマクロな視点での触媒反応モデルを構築して NO_x 浄化現象を明らかにすることを行っている。そのモデルの構築には、表 1 に示す R1～R7 の反応式を用いた。

また表 1 に示す反応式における各種定数の同定とモデルの検証には、触媒テストピースを反応管の中に

設置してモデルガスを流して触媒前後のガスを計測して浄化性能を評価するリアクター試験の結果を用いた。

表 1 モデル作成に用いた反応式

No.	Reaction	Rate expression	Ef [kJ/mol]	Eb [kJ/mol]
R1	$\text{S1} + \text{NH}_3 \rightleftharpoons \text{S1NH}_3$	$k_{\theta_{\text{S1}}}[\text{NH}_3] - k_{\theta_{\text{S1NH}_3}}$	0	180
R2	$\text{Cu} + \text{NH}_3 \rightleftharpoons \text{CuNH}_3$	$k_{\theta_{\text{Cu}}}[\text{NH}_3] - k_{\theta_{\text{CuNH}_3}}$	0	155
R3	$\text{Cu} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CuH}_2\text{O}$	$k_{\theta_{\text{Cu}}}[\text{H}_2\text{O}] - k_{\theta_{\text{CuH}_2\text{O}}}$	0	120
R4	$2\text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2$	$k_{\theta_{\text{Cu}}}[\text{NO}][\text{O}_2] - k_{\theta_{\text{Cu}}}[\text{NO}_2]$	35.3	130
R5	$4\text{CuNH}_3 + 3\text{O}_2 \rightarrow 4\text{Cu} + 2\text{N}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$	$k_{\theta_{\text{CuNH}_3}}[\text{O}_2]^{0.45}$	73.2	-
R6	$4\text{Cu} + 4\text{NH}_3 + \text{SO}_2 \rightarrow 4\text{Cu} + 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$	$k_{\theta_{\text{Cu}}}[\text{NH}_3]^{1.2}[\text{O}_2]^{0.33}$	106	-
R7	$4\text{CuNH}_3 + \text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow 4\text{Cu} + 4\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	$k_{\theta_{\text{CuNH}_3}}[\text{NO}]^{0.71}[\text{O}_2]^{0.26}$	69.5	-

図 1 はリアクター試験の結果で、触媒入口のアンモニアや NO、水などの濃度、入口ガス温度を順次変化させた過渡状態での出口ガス濃度の変化を示している。実測が△のプロットで、モデルを用いた計算結果が実線となっている。図に示すとおり、両者よく一致しており、特に NO の実験値と計算値の相関は 0.98 以上であり、モデルが高い精度で実験結果を表現できたことを示している。通常このようなモデルによりガス濃度や温度が変化する過渡状態を精度良く再現することは難易度が高い。本研究でそれができた理由として、粉末ベースで反応や吸着などを調査した基礎試験の結果を生かしたことが挙げられ、化学系、触媒系の専門家と共同で研究を進めていることが成果につながったものと言える。

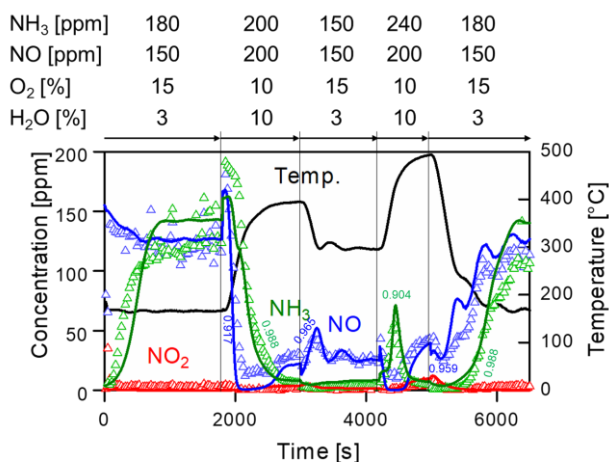


図 1 モデルを用いた計算とリアクター試験による実測値時間履歴の比較

2. 2. 天然ガスエンジンにおけるノッキング発生メカニズムの解明

天然ガス自動車の燃料は、これまでの多くが圧縮天然ガス (CNG) であったのに対し、より長距離走行が可能となる液化天然ガス (LNG) の重量車が市販される⁹⁾など、安価で CO₂ 排出の少ない燃料として天然ガスが注目されている。本事業では、天然ガスエンジンにおける高効率化を目指す際に課題となる異常な圧力変動をもたらす燃焼 (ノッキング) の発生メカニズムの解明について、岡山大学にて軽油着火天然ガスエンジンを用いて研究を進めている。その中で、特にエンジンの破損にもつながるノッキングと、ノッキングのような圧力振動を起こさない高熱効率を可能とする自己着火燃焼 (本研究では「PREMIER 燃焼」と呼称) の起こる境界について着目した。

自己着火火炎伝わり速度の測定結果を分析したものを図 2 に示す。図の横軸 ϵ は自己着火火炎伝わり速度を、縦軸 ξ は温度勾配をそれぞれ無次元化した指標であり、Bradley 氏らの研究論文の結果⁶⁾を引用し、そこに本調査研究で計測した実測結果 (ケース 1~4) をプロットした。実際にノッキングが発生したケース 3 及び 4 は Bradley 氏らが示したノックが起こるエリアにプロットされた。また、同じ自己着火ながらノッキングに至らないケース 1、2 (PREMIER 燃焼のケース) では同図の通常燃焼のエリアにプロットされた。今回の実測結果は Bradley 氏の研究の結果を支持するものであり高効率燃焼を阻害するノッキングの発生メカニズム解明につながる成果と考えている。

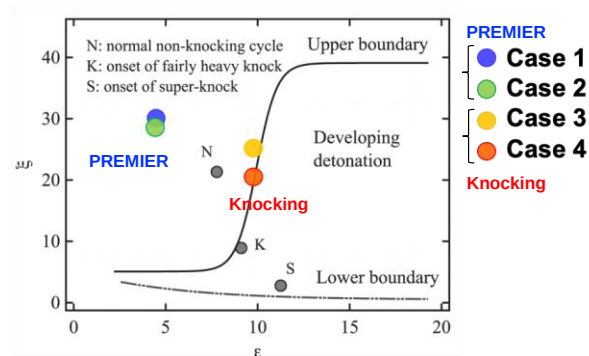


図 2 自己着火火炎伝わり速度と温度勾配の関係

3. 令和 4 年度より開始する新規テーマについて 3. 1. 大型車に適用する走行中ワイヤレス給電

次世代事業における各種の技術・評価法開発などは、ほぼ車両単体を対象としたものとして進めてきている。そのような中、車両ではないインフラ側の動き

として、国土交通省道路局は将来の走行中ワイヤレス給電の実用化に向けた技術開発支援を行っており、ここでは道路に 20kW クラスのコイルを埋設するものが検討されている⁷⁾。そこで本事業では走行中ワイヤレス給電について、道路局による技術開発支援に合わせて、車両側の技術的検討を行うこととした。

20kW という数値は、乗用車クラスであれば高速道路走行を行うことが可能であるのに対し、重量車が高速道路走行を行うにはその数倍の電力が必要となる。そこで本調査研究は5ヶ年計画で、重量車を想定した複数個の受電コイルを搭載したシステムを用いて、安全かつ効率よく受電できるシステムを設計、構築することを目指す。その概念図を図3に示す。その上で事業後半においては受電効率に加えて、他の金属部品への影響や漏洩電磁界などの評価を行う計画である。本調査研究は東京理科大学が実施することになっている。

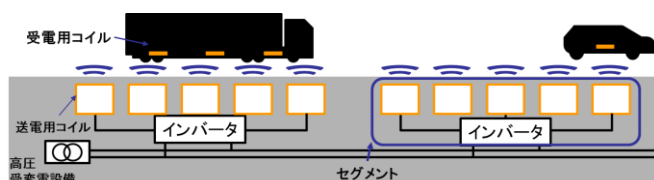


図3 本事業で構築を目指す走行中ワイヤレス給電システムのイメージ

3. 2. 重量FCVにおける燃費（水素消費量）測定

FCVの燃費測定について、乗用車等の軽・中量車では、国連規則で定める試験法（UNR-154）に規定されており、具体的には燃料となる水素を車両外部のボンベから供給して、試験サイクル走行前後のボンベ重量の差分から水素消費量を評価する重量法が主流となっている。一方、重量FCVの燃費測定については国際的な試験法はなく、国土交通省で検討を進めている試験法が2022年内にも策定される見通しである。FCVに限らず重量車の燃費評価は、車両を直接走行させて燃費を測定する軽・中量車とは異なり、事前にテストベンチにて燃料消費に関する実測データを取得し、各種車両諸元値などを反映した計算モデルに実測データを与えて計算するシミュレーション法により行われる。計算精度を高めるため、パワートレーンの数多くの作動条件で実測データを取得するのが一般的であるが、水素の場合、ボンベの重量測定による

方法では、非常に手間と時間がかかる。そこで、運用性を高めるため、燃料電池スタックに供給される水素流量そのものを測定する流量法を検討することとした。2022～2023年度にかけては既存の大型車用シャシダイナモ（図4）において、重量FCVを評価できるよう水素供給設備などの導入を図り、実車両を用いて流量法による測定や検証を行う予定である。将来的にはFCVを含むハイブリッド機構を有する車両の燃費評価で用いられるHILS法あるいはパワートレーン法を実施できるテストベンチの導入も視野に入れながら、試験法の精緻化を進めていく予定としている。



図4 重量車のシャシダイナモ試験の例
（車両は過去の次世代事業で開発したディーゼルメチルエーテル（DME）車）

このようにして得られた知見は、今後国際基準調和活動の中で重量FCVの燃費評価方法の検討が行われる際に重要になるものである。本調査は交通安全環境研究所と自動車工業会とで実施していく。

3. 3. e-fuel 実用化に向けた影響調査

エネルギー密度の高い軽油などの液体燃料は、とりわけ長距離用途の多い大型トラックでは当面主流になると見込まれる。そのようなカテゴリーの車両でCO₂排出を低減していく手法の一つとして、既排出のCO₂と再生可能エネルギーで生成される水素を用いた改質等により生成されるカーボンニュートラルな液体燃料（e-fuel）の使用が挙げられる。e-fuelに関しては次世代事業以外にも多くの調査研究が行われている。それらでは高効率な合成法など燃料生成に関するもの以外では、燃料組成が変化することによる着火特性の変化などをみる基礎的なものと、車両からの排

出ガスがどのように変化するか、といった実用的なものに大別される。本調査では排出ガス性能への影響などに加えて各種部材への劣化等の影響を調査していくとともに、セタン価や蒸発特性の違いを生かした高効率燃焼の可能性調査を実施していく予定である。実施にあたっては交通安全環境研究所と株式会社新エィシーイーが連携をして、前者の影響調査などは主に交通研が、後者の高効率燃焼などについては主に新エィシーイーが実施していく。

フィッシャー・トロップシュ (FT) 合成は、e-fuel の製法としても可能性を有することに関して、過去の次世代事業において、FT 合成により製造された軽油互換の FTD 燃料を用いた車両の技術開発及び実証試験 (H17~22) を行っている (図 5)。当時の知見を活用しつつ、現在の基準に適合するエンジンに e-fuel を適用した場合の課題について検討する。例えば、既存軽油との混合時や、製法の違いによる成分の変化なども考慮して、e-fuel の実用化に際して車両側に求められる指針の策定を目指す。



図 5 FTD 燃料を営業路線バスにて 6 ヶ月の実証運行

4. まとめ

国土交通省からの受託事業として実施している「産学官連携による高効率次世代大型車両開発促進事業」の現状として、2019 年度より実施している研究テーマの一部に関する成果と、大型車におけるカーボンニュートラル化をより意識して今年度より新たに 5 ヶ年かけて実施する予定の 3 テーマについての概要を紹介した。2019 年開始のテーマについては検討会等の指導の下順調に進捗しており、2023 年度のとりまとめに向けて進めていく。また今年度開始のテーマについては、よりカーボンニュートラル化に寄与できるものとして鋭意取り組んでいきたい。

5. おわりに

本事業は委託元である国土交通省自動車局車両基準・国際課をはじめ、事業内容などを審議いただく検討会、WG を構成する委員の先生方、個別の調査研究を実施いただいている企業、大学の研究者各位の協力と献身の上に成り立っていることを明記し、謝意を表する。

参考文献

- 1) 交通安全環境研究所ホームページ：
https://www.ntsels.go.jp/Portals/0/resources/forum/2020files/poster/post_07_s.pdf
- 2) 交通安全環境研究所ホームページ：
https://www.ntsels.go.jp/Portals/0/resources/forum/2021files/ok_20211129_kouen01s.pdf
- 3) 経済産業省ホームページ：
<https://www.meti.go.jp/press/2021/06/20210618005/20210618005-4.pdf>
- 4) 国土交通省ホームページ：
<https://www.mlit.go.jp/page/content/001420229.pdf>
- 5) いすゞ自動車ホームページ：
https://www.isuzu.co.jp/newsroom/details/20211028_01.html
- 6) Kalghatgi, G., and Bradley, D., International J. of Engine Research, 13(4) 399-414, 2012
- 7) 国土交通省ホームページ：
<https://www.mlit.go.jp/page/content/001420226.pdf>