

米国エネルギー省 DE-EE-000-7800
革新的なアフターマーケット省燃費/排出量ソリューション
科学技術最終報告書



DOE Grant DE-EE-000-7800

最終化学・技術報告書

I. 概要

報告書の提出先となる連邦政府機関および組織要素：米国エネルギー省 エネルギー効率&再生可能エネルギー局

Scientific Technical Contacts:

Richard Whitaker
NG1 Technologies
rwhitaker@ng1techflo.com
540-230-5656

Gary Johnson
Hydrogen On Demand
gary@hodtec.com
408-605-1910

Programmatic Contact Information:

Steven Sokolski
CALSTART
ssokolski@calstart.org
626-744-5604

Recipient Organization:

CALSTART
48 S. Chester Ave
Pasadena, CA 91106
626-744-5600

Sub-Recipients / Consortium Member Companies: NG1

Technologies, Inc.
RSS-H2, LLC (dba BoostBox H2)
Vaztec Engine Venture, LLC (Vaztec Engine Laboratory)

Sub-Recipient Contract: DE-FOA-0001384/001, DE-FOA-0001384/002, DE-FOA-0001384/003

Project/Grant Period (Start Date, End Date): 5/8/17 – 6/30/19 Final

Final Scientific/Technical Report Date: 9/30/19

注：HOD Techにより取得された特許と権利の取得により、D-HATは本報告書で参照されている Boost Boxシステムの名称である。

本報告書は、明確化と簡素化のためにHydrogen on Demand Technologiesによって修正および編集されている。本報告書全文は米国エネルギー省のウェブサイトで見ることが可能である。

本報告書は、米国エネルギー省が資金提供と管理を行い、数ヶ月にわたって実施した試験の結果である。その目的は、少量の水素ガスの注入がディーゼルエンジンの燃焼特性と有害な排出ガスにどのような影響を与えるかを証明することであった。

II. 結果概要

PM (粒子状物質) 排出量を64%削減するだけでなく、NO_x 排出量を77%削減、CO₂ 排出量を4.5%削減、燃費を9.94%以上向上させることができた。9.94%の燃料を消費しないことで、全排出量がさらに9.94%削減されたことに注目すべきである。

III. 要旨

D-HAT™ (以前はBoost Box H2として知られた。特許を取得した水素燃料電池技術を活用した「D-HAT™」を「ディーゼル水素アシスト技術」としてブランド変更)、NG1 Technologies社(強化された排気技術を持つ)、およびVaztec社(高度な排気技術を持つ)の3社、DOE-EE-0007800の副受領機関は、本助成金の目的を達成するため、燃焼効率の向上(水素強化燃焼)、効率的な吸気(空気圧の増加)、効率的な排気(背圧の低下)の3つの側面を改善するために、それぞれの技術を組み合わせることに努めた。

本プロジェクトの目的は、現在使用されているディーゼル微粒子捕集フィルター(DPF)および選択的触媒還元(SCR)排出処理システムの悪影響を除去または軽減する、クラス7および8のヘビーデューティデュアル燃料車用の高度な排出制御システムを開発することであった。このプロジェクトは、エンジンの効率を向上させ、燃焼プロセスからの排出物の大部分を削減するために協調して働く複数の技術を組み合わせることであった。

本プロジェクト全体の目標は、クラス7および8のヘビーデューティデュアル燃料トラックの燃費を改善し、粒子状物質(PM)排出量を30%削減することにより、ディーゼル微粒子捕集フィルター(DPF)/排出後処理システム(EATS)の必要性を排除または低減することであった。

さらに、チームの目標は、燃料効率を改善し、維持費を削減し、フリートオペレーターにインセンティブを与え、排出量を削減する新しい技術を実装するための支出を正当化することであった。

プロジェクト試験の大部分は、ユナイテッドパーセルサービス(UPS)が提供する11リットル、2012 Mack MP 7 ATXエンジンを装備した2013 Mack Pinnacleシングルアクスルデイキャブ(SADC)トラクターで行われた。2014 Mack Cummins LNG MTXによる追加試験が完了し、プロジェクトのデュアル燃料目標を達成した。

また、試験車両の排気システム構成のため、NG1システムとD-HAT™システムを組み合わせることで試験することができず、D-HAT™システムのみを展開し、機能させた状態で大部分の試験を完了したことに注目すべきである。

PM (粒子状物質) 排出量を64%削減するだけでなく、NO_x (窒素酸化物) 排出量を77%削減、CO₂ (二酸化炭素) 排出量を4.5%削減、燃費を9.94%以上向上させることができた。9.94%の燃料を消費しないことで、全排出量がさらに9.94%削減されたことに注目すべきである。

我々のチームは、我々の技術(例えば、据え付けや製造技術)を改良し続け、このプロジェクトによって追加機能(例えば、D-HAT™ユニットへのロードテレマティクス)を実装することができた。これは、改善された燃料効率と温室効果ガス排出削減装置の全体的なソリューションを、現場でより費用対効果が高く有用なものにするのに役立つ。さらに、チームは、スタートアップ企業としては、財務的に利用が困難な高価な試験リソースを利用することができた。

プロジェクトのすべての側面が最終的に達成されたわけではなく、EATSに取って代わることはないと考えられるが、このプログラムは、D-HAT™装置が5000マイル以上の使用軌道上およびHHDDTプロファイルを使用したダイナメーター上の両方で水素アシストを使用したディーゼル燃焼の性能を劇的に改善したことを明確に示した。このような改善は、車両の燃料費と維持費を数千ドル節約するだけでなく、空気をよりきれいにし、温室効果ガスやスモッグの発生を減らすだろう。

チームは、この結果に非常に励まされ、全体的な空気の質と輸送コストの改善に役立つ技術の急速な商業化を期待している。当社のシステムコストは、ディーゼル駆動システムのほとんどの参加所有者にとって、15か月未満の投資収益率 (ROI) を期待できるであろう。

IV. 成果 対 目的

このプロジェクトには二つの予算期間があり、それぞれの期間に特定の目的 (課題) と要求事項 (マイルストーン) があった。プロジェクト全体の目標は、2010年以降に製造された商用ディーゼルトラックで標準となる既存のベースライン排出装置よりPMを30%削減することである。

本試験は、11リットルの2012 Mack MP7 ATXエンジンを搭載した2013 Mack Pinnacleシングルアクスルデイキャブ (SADC) トラクターを使用し、試験開始時の走行距離は約530 kmであった。すべての試験は、EPA CFR 49、Part 1065、SAE J 2711、SAE J 1264およびSAE J 1321に従って行われた。

我々のチームは、予算期間1と2の目標のほとんどを達成することができ、その結果は、このレポートの後半の技術活動の概要に記載されている。

予算期間1:技術試験、データ収集、システム開発

- 提示された装置からオンロードデータを収集する
- 技術試験
- 単セル用吸気システムの開発
- 集水システムの開発と設計
- モデリングおよび流動解析の開始
- 提案されたテクノロジーの最終結果の試験
- 第1期間の試験完了

- マイルストーン 1: NG1およびBoost Box H2に関するエミッションデータの個別および一括収集
D-HAT™システムの排出ガス試験データの収集に成功し、第三者機関 infoWedge が測定した目標値に沿ってPM、NO_x、CO₂の削減ができた。
- マイルストーン2：単気筒試験ベッドでD-HAT™とNG1を組み合わせる

単気筒ディーゼルエンジンの試験は、Vaztec社エアインテークソリューションの開発のベースラインとして実施された。ベースラインのエンジン試験は、実験室のダイナモメーターを用いて、ストックエンジンで実施した。粒子状物質とガス状物質の排出量は、第三者機関 infoWedge が測定した。

D-HAT™は、水素システムの電子流量制御を実現し、この小型エンジン用途向けに水素の体積を調整することに成功した。

ベースライン試験はこの目標に沿って実施されたが、チームは Vaztec 社の先進エアインテークシステムを新しいエンジン設計に組み込むことができなかったため、3つの技術をすべて一緒に試験することはできなかった。

- マイルストーン 3: 燃料混合物を最適化するためのマッピングソフトウェアの設計

この目的のためには、車両の性能を最適化する技術を組み合わせて認識するカスタム設計の電子制御モジュールとソフトウェアの開発が必要であった。チームはMack Tracksに連絡し、支援を求めた。残念ながら、Mack社は、システムに組み込まれている知的財産の独占的および法的制限のために、プログラミングの変更をサポートすることができなかった。チームはその後、OTR Performance社、PDQ Performance社、CZero社に連絡し、燃料混合物を最適化するために必要なカスタム設計燃料マッピングソフトウェアプログラムを求めた。この助成金の時間とコストのパラメータに適合するソリューションが見つからなかったため、チームはこの目標を達成できなかった。

- マイルストーン 4: ベースラインと比較して少なくとも30%の粒子状物質 (PM) の減少を実証する

ペンシルベニア州でのダイナモメータの試験では、PMが11%減少したことが示された。また、infoWedgeは、メシラ・バレー・トランスポートーション (Mesilla Valley Transportation) で行われた5000マイルの走行試験中に継続的にPMが測定され、テキサス州のBF Goodrich試験コースを利用した試験では、PMが64%減少した。これはプロジェクトの目標をはるかに超えている結果である。

予算期間2:システム設計、プロトタイプおよび試験の最終段階

- 遠心効果試験
- 遠心分離機のモデリングと流動解析の完了
- 集水システム試作完了
- スピン集水域設計の比較
- シャンダイナモメータおよびエミッション試験
- SAE (Society of Automotive Engineering) 最終試験
- マーケティング戦略・商品化の展開

- 市場参入
- マイルストーン1：NG1システムのみが、粒子を二次集水室に完全に回転させるために必要な遠心効果を生み出すのに十分なスペースレイムを有するか、あるいは機械的遠心分離機が必要かどうかを決定する。

スピン集水システムが設計され、テネシー州メンフィス（Memphis）のチームパートナーを通じて製造されたが、PM測定における既存の64%の改善を考慮し、既存のNG1およびD-HAT™技術の改良と最適化に資源と優先順位が与えられた。この目標は、スピン集水システムが30%の最小PM低減を達成するために要求されなかったため達成されなかった。

- マイルストーン2：シャシダイナモメータ試験およびエミッション収集

シャシダイナモメータ試験はペンシルベニア州立大学により完了した。ベンチマーク試験の結果、「NG1 TechFlo」と「D-HAT™」を組み合わせた排出ガス試験データの収集に成功し、プロジェクトの目標に沿ったPM、NO_x、CO₂の削減効果が確認されました。

- マイルストーン3:完全スピン集水システム

スピン集水システムが、テネシー州メンフィス（Memphis）のチームパートナーにより設計・製造されたが、PM測定値が64%向上したことから、既存のNG1およびD-HAT™技術の精製と最適化にリソースと優先順位が与えられた。この目標は、プロジェクトの期間内に完了しなかった。

- マイルストーン4:オンロードでのディーゼルエンジンに関する全技術の完全な試験

InfoWedge は、テキサス州のBF Goodrich試験場でPMを64%削減し、メシラ・バレー・トランスポーターション（Mesilla Valley Transportation）で実施された5000マイルのトラック試験で継続的なPM測定を行った。さらに、公式の試験サイクルの間に、UPSが提供するトラクターをペンシルベニア州ステートカレッジ（State College）からテキサス州エルパソ（El Paso）、ワイオミング州ララミー（Laramie）、ペンシルベニア州ステートカレッジ（State College）まで運転し、モニタリングした。この目標は無事に達成された。

V. 公開されている科学技術情報（STI）

本報告書の同内容で公開されている資料はない。

VI. 技術プロジェクト活動の概要

本プロジェクトを通じ、チームはD-HAT技術を用いて、以下に要約する4つの主要分野で何度か試験を実施した。

1. メシラバレートランスポーターション（Mesilla Valley Transportation Solutions）が実施した試験は、5,000マイルを超える長距離走行試験で、試験の主な2つの側面を構成した。それは同一走行路条件下での試験車両とベースライン車輛のA/B燃費比較と継続的なエミッションモニタリングである。

2. ペンシルベニア州による試験は、主にエンジンの水素コンディショニング前後の燃料効率とエミッションを監視するダイナモメータ試験と組み合わせた短時間走行路試験であった。

3. シングルセル試験は、NG1とD-HATの技術を、エンジンのバルブとバルブシステムを排除し、燃費と排出ガスを監視するVaztec社のエアインテーク設計の新しいコンセプトと統合しようとする実験的な開発プロジェクトであった。(未完了)

4. D-HAT技術を活用した長期燃費を評価するために、様々な車両と一次補助金試験車両を対象に路上試験を実施した。

第三者機関報告書の詳細は各項の最後に記載のリンク先にある。

メシラ・バレー・トランスポーターション (Mesilla Valley Transportation Solutions) (MVST) による試験

この試験は、試験車両の走行距離5000マイルで構成され、時間の経過に伴う節約と技術の故障期間を定量化した。試験は、テキサス州ペコス (Pecos) 近郊のBF Goodrichの9マイルの試験コースで、定常速度65マイル/時で行われた。試験では、燃費 (MVTS報告) とエミッション測定 (InfoWedge報告) を分析した。

試験車両は、ユナイテッド・パーセル・サービス (UPS) から借りた2013年のMack Pinnacleシングルアクスルデイキャブ (SADC) である。試験開始時のトラックの走行距離は530,440マイルだった。試験中一貫した信頼できる性能を保証するために、試験前に整備と修理が実施された。

燃費試験の比較には、2015年型 Volvo SADC 194,170マイルが使われた。詳細については、詳細報告書を参照。試験手順はMVTS 2トラック手順に従い、高度なデータ収集システム、燃料流量計、多数のセンサーを使用して、燃料消費の変化を正確に定量化した。

53ドライバントレーラ2台がMVTフリートによって提供され、試験前に綿密に検査された。トレーラタイヤはワイドベースシングルス (WBS) であり、トレーラに、GreenWingトレーラスカート装着し、荷物をトレーラの床と側面に固定した。車両総重量は45,000ポンドであった。

試験結果は、一次試験台車をほぼ同じ状態に戻した時の開始/終了燃費値誤差が-0.01%であり、正確で信頼できることが分かった。

MVTS試験結果-NO_x 77%低減、64% PM低減

定常状態の65 mpgの走行路試験では、燃料効率は試験の開始から終了まで比較可能な車両に対して統計的な差がないことが示された。試験車は試験期間中に**10.14%の燃費改善**を達成したが、2台目の比較車も同様の改善を示した。試験後、一次試験車 (Mack MP-7) のエンジンにマルチバースト燃料噴射システムが使用されており、D-HAT™システムの性能が十分に発揮されていないことが判明した。燃料噴射と燃焼パラメータに関連するソフトウェアの修正に関する前述の問題を考慮すると、チームは相対的に大幅な燃料節約を達成できなかった。

エミッション結果では、試験中に1マイルあたりの粒子状物質 (PM) エミッションが64%削減されたことが示された。以下の表およびグラフに見られるように、排気中のPMの平均質量濃度はベースラインレベルから着実に低下し、5000マイル試験では既に低いベ-

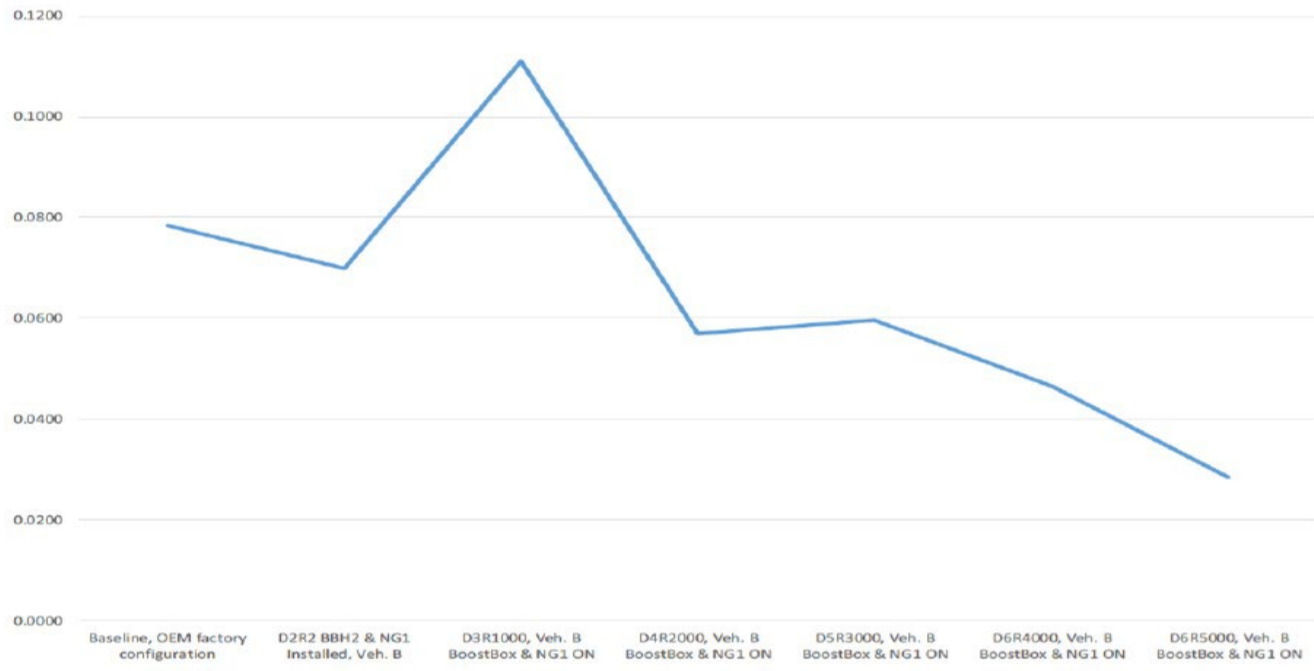
スラインレベルより64%低かった。5000マイル平均NO_x濃度はベースライン平均より77%低かった。

「試験結果は、レトロフィット装置を追加し、高速道路条件で5000マイル使用した結果、この車両のテールパイプでのPM濃度が約64%減少したことを示している。すでに低いベースラインPM濃度である0.0784 mg/m³は、0.0283 mg/m³に減少した。また、NO_x排出量は、72.2 ppmから16.6 ppmへと約77%減少した。」 -Andrew Burnett, infoWedge

「すべての試験は、D-HAT™ とは無関係にエミッションを変化させる可能性のあるパラメータ（気象条件、運転者の影響など）を制御または記録した。観測されたレベルに近い排出量に影響を与えた可能性のある外部からの影響は確認されなかった。したがって、排出量の削減は主にD-HAT™ が起こしたものであると結論付ける。」 -Andrew Burnett, infoWedge

Baseline vs. BoostBox H2 & NG1	MPG	mi/kg fuel	mi/mole fuel	Date	Approx Test Time	Averaging Data Start	Averaging Data End	Averaging Time (mins)	Avg PM mg/m ³	Avg NOx ppm	Avg O2 %	Avg CO2 calc'd%	% Excess air	Exhaust Flow mol/mi	Avg PM mg/mol exh	Avg PM mg/mi
Baseline , OEM factory configuration	7.1	2.15	0.48	16-Jan	6:10	8:59:02	10:06:29	67.45	0.0784	72.2	7.82	8.39	61.10	400.0	0.00192	0.76736
D2R2 BBH2 & NG1 Installed, Veh. B	7.3	2.20	0.49	16-Jan	10:06	12:56:18	14:03:46	67.46	0.0699	53.4	7.60	8.54	58.37	383.5	0.00171	0.65636
D3R1000, Veh. B BoostBox & NG1 ON	7.3	2.20	0.49	17-Jan	20:31	23:27:10	0:34:39	67.48	0.1110	53.7	7.48	8.62	56.87	379.9	0.00272	1.03204
D4R2000, Veh. B BoostBox & NG1 ON	8.1	2.46	0.54	18-Jan	14:31	17:50:11	18:57:39	67.46	0.0569	35.9	7.17	8.82	53.29	333.4	0.00139	0.46382
D5R3000, Veh. B BoostBox & NG1 ON	7.9	2.37	0.53	19-Jan	8:00	10:58:10	12:05:37	67.45	0.0596	38.6	7.30	8.74	54.73	348.5	0.00146	0.50798
D6R4000, Veh. B BoostBox & NG1 ON	7.8	2.34	0.52	20-Jan	1:50	4:20:59	5:28:28	67.48	0.0464	25.2	7.47	8.62	56.78	358.1	0.00114	0.40666
D6R5000 , Veh. B BoostBox & NG1 ON	8.5	2.57	0.57	20-Jan	16:51	18:48:35	19:56:04	67.48	0.0283	16.6	7.13	8.85	52.77	317.4	0.00069	0.21999
% Reduction from baseline to 5000 mi									64%	77%						71%
D7R5390, Veh. B Stock exhaust stack (NG1 OFF), DPF/SCR Bypass	8	2.42	0.54	21-Jan	13:11	3:07:08 AM	4:14:36 AM	67.48	0.2421	512.0	8.49	7.95	69.95	375.6	0.00592	2.22485
D7R5260, Veh. B Boostbox OFF, NG1 ON, DPF/SCR Bypass	8	2.40	0.53	21-Jan	7:57	12:27:21 AM	1:34:49 AM	67.46	0.2096	494.9	8.05	8.25	63.94	364.6	0.00513	1.86929
D6R5130, Veh. B BoostBox & NG1 ON, DPF/SCR Bypass	8.1	2.45	0.54	20-Jan	10:27	9:55:04 PM	11:02:33 PM	67.47	0.2140	492.2	8.09	8.22	64.45	359.0	0.00523	1.87918
% Reduction from engine-out to tailpipe (both retrofits ON)									12%	4%						16%
% Reduction from engine-out to tailpipe (only NG1 ON)									13%	3%						16%

Average PM Mass Concentration (mg/m³) for Each Test with OEM Aftertreatment Both BoostBox and NG1



[MVTS BB H2 NG1 5000-mile test](#)

[infoWedge Boost-BoxNG1-1pager](#)

[infoWedge Boost-BoxNG1-initialPMResults](#)

[NTKSummary20180302-01](#)

ペンシルベニア州立大学 (ペンシルバニア州) にて試験

その目的は、2017年10月31日から2019年11月7日にかけてペンシルバニア州立大学ラーソン交通研究所で実施された車両試験結果を分析し、公表することだった。D-HATプロジェクトチームはペンシルバニア州立大学に出向き、ユナイテッドパーセルサービス社から寄贈されたUPSアフターマーケット対応プロジェクトトラック「2012 Mack MP7」のシャシダイナモメータ試験とトラック試験を実施した。車両分析、シャシダイナモメータ、および車両試験走行路での燃料サイクル試験を用いて、制度的に検証されたアフターマーケットデータを作成した。燃料と排ガスの両方をアフターマーケット試験中に取得する。

ペンシルベニア州試験結果-9.94%の燃料節約、4.5%のCO₂削減、12%のNO_x削減、11%のPM削減

実施された初回の繰り返し試験は、エミッション収集に特殊なシャシダイナモメータであった。シャシダイナモメータ試験は、ペンシルベニア州立大学が開発したエミッション試験プロトコルによって定められたとおり、EPA CFR 49, Part 1065およびSAE J 2711に従って実施した。スポンサーの推奨とおり、シャシダイナモメータに基づく試験は、30,000lbの慣性負荷で実施した。エミッション結果は、試験の過程で粒子状物質 (PM) エミッションのベースラインからの着実な改善を示している。添付の表およびグラフに見られるように、排気中の粒子状物質PMの平均質量濃度は、ベースラインレベルから、シャシダイナモメータ試験がすでに低いベースラインレベルより11%低いポイントまで着実に減少した。NO_x濃度はベースライン平均より12%低かった。排気中のCO₂濃度は、ベースラインレベルから、シャシダイナモメータ試験がすでに低いベースラインレベルより4.5%低いポイントまで、着実に減少した。シャシダイナモメータ上の燃費結果は、ベースラインのストック装備トラックからアフターマーケットのD-HAT装備トラックへの試験過程で9.94%の燃費改善を示している。