

# 温室効果ガスの削減に資する建設機械の動力系統に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 22

担当チーム：先端技術チーム

研究担当者：藤野 健一、杉谷 康弘

## 【要旨】

建設機械について、温室効果ガスの削減に資する動力系統の技術について研究課題の抽出を行った。現状調査では、自動車分野、建設機械分野について、国が検討している普及計画やメーカーの開発状況を調査した。また、両者の違いを考察し、燃料補給箇所が現場であることなど、建設機械特有の事情を整理した。それらを踏まえ、①燃料消費量の評価方法、②排出ガス（NOx、PM 等）低減技術との両立、③災害時の燃料供給体制について、今後、更に検討が必要なものとして提案した。

キーワード：建設機械、温室効果ガス、ハイブリッド式、バッテリー式

## 1. はじめに

地球温暖化に対して京都議定書においては、日本は 2008 年から 2012 年の間に 1990 年比で 6% の温室効果ガスの削減が求められている。さらに日本は条件付きではあるが、2020 年までに 25% 削減することを世界に提案している。これに対し、2009 年の実績（速報値）では 4.1% 減となっている。ただし、これには景気後退に伴うエネルギー需要の減少の影響もあり、また、福島第一原子力発電所の事故により、今後の発電の燃料源については不確定な要素もある。そのため、温室効果ガスの減少傾向が鈍化する可能性もある。そのため、目標の達成には、今後もそれぞれの分野が積極的に温室効果ガスの削減に努める必要があり、建設施工分野においても、建設機械の燃料消費の更なる改善が求められる。自動車分野では、内燃機関の効率向上、ハイブリッド化、電動化、燃料電池車、バイオマス燃料などの技術開発が進み、既に社会的に認知され、効果をあげているものもある。自動車から建設機械への技術の移転は、基本的には可能であると考えられるが、動力としてのシステム構成、建設機械としての使われ方など、建設機械特有の事情を考慮する必要がある。本研究では、それら建設機械の実情を踏まえ、将来的な普及を見据えて、今後必要となると思われる研究課題を抽出・整理するものである。

## 2. 現状調査

### 2. 1 自動車分野の状況

自動車分野において、温室効果ガスの削減に効果

のある技術について整理した。

#### 1) 市販状況・開発状況

##### ①電気自動車（EV）

軽自動車として、三菱 i-MiVE、スバルプラグインステラが、普通車として、日産リーフが市販されるなど、既に市販レベルに達している。これらはバッテリーが車体に固定されており、家庭用コンセントや充電スタンド等から充電を行うが、バッテリーを交換するタイプのものや、非接触で充電できる方式のものも実証試験が行われている。

##### ②ハイブリッド自動車（HV）

トヨタプリウスが、乗用車販売台数で 1 位となるなど、乗用車市場では一般化している。トラック、バスなどのディーゼル車においても、各社から市販されている。トラックについては、エンジン出力で 100kW 前後の小型トラック（2～3t 車）が中心となっている。

##### ③プラグインハイブリッド自動車（PHV）

トヨタプリウスプラグインハイブリッドが、2009 年から官公庁等の特定利用者に対してリースを開始しており、2011 年からは一般への販売を予定している。

##### ④天然ガス自動車（NGV）

トラックを中心に、軽自動車や乗用車、塵芥車など約 4 万台が既に導入されている。

##### ⑤燃料電池自動車（FCV）

経済産業省が進める「水素・燃料電池実証プロジェクト（JHFC プロジェクト）」において、6 種類の FCV と、燃料電池バスにより実証試験を行っている

段階である。自動車メーカー及び水素供給事業者 13 社は、共同声明として、2015 年には量産車を販売すると公表している。

#### ⑥水素自動車

マツダ RX-8 ハイドロジェン RE が JHFC プロジェクトに参加して実証試験が行われている。

#### ⑦クリーンディーゼル自動車 (CDV)

日産エクストレイルや三菱パジェロが市販されている。

#### ⑧バイオマス燃料

バイオエタノールについては、揮発油等の品質の確保等に関する法律 (品確法) において 3%の混合まで認められており、一部の地域においては、通常ガソリンスタンドにおいて、一般ユーザー (通常ガソリン車) に対して販売が行われている。

バイオディーゼル (BDF) については、品確法において 5%の混合まで認められており、限定的ではあるが、一般への販売を行っている業者もある。燃料品質の安定性に課題があると言われているが、京都市のように廃食油を利用して、積極的に利用しているところもある。

#### 2)将来予測等

国が次世代自動車に関して将来の普及目標等を示しているものについて整理した。

#### ①低炭素社会づくり行動計画 (平成 20 年 7 月、閣議決定)

この中では、次世代自動車の導入に関して、「現在、新車販売台数のうち約 50 台に 1 台の割合である次世代自動車 (ハイブリッド自動車、電気自動車、プラグインハイブリッド自動車、燃料電池自動車、クリーンディーゼル車、CNG 自動車等) について、2020 年までに新車販売のうち 2 台に 1 台の割合で導入するという野心的な目標の実現を目指す。」としている。それぞれの車種毎の目標については特に記載は無い。

#### ②環境対応車普及戦略 (平成 22 年 3 月、環境省：環境対応車普及方策検討会)

この中では、表 1 のように、2020 年及び 2050 年の新車販売台数に占める次世代自動車の割合を予測しており、例えば、トラック・バスの分野では、2020 年には新車販売のうち、次世代自動車が 45%を占めるとなっている。なお、燃料電池自動車については、インフラ整備や販売価格等に不確定要素が多いことから、普及を見込む場合と見込まない場合を併記している。

表 1 次世代自動車販売台数の将来予測(1)

自動車の分類	次世代自動車の種別	FCV見込まず		FCV見込む	
		2020	2050	2020	2050
軽乗用車・トラック 小型・普通乗用車	EV	21%	79%	21%	79%
	HV	9%	20%	9%	20%
	PHV	48%	35%	48%	23%
	FCV	17%	44%	17%	44%
	合計	0%	0%	0.40%	13%
	合計	74%	99%	74%	100%
トラック・バス	都市内EV	0%	19%	0%	19%
	都市内HV	26%	19%	26%	19%
	長距離HV	0%	7%	0%	7%
	都市内NGV	19%	22%	19%	22%
	長距離NGV	0%	4%	0%	4%
	都市内・中距離FCV	0%	0%	0%	26%
	合計	45%	71%	45%	97%

#### ③次世代自動車戦略 2010 (平成 22 年 4 月、経済産業省：次世代自動車戦略検討会)

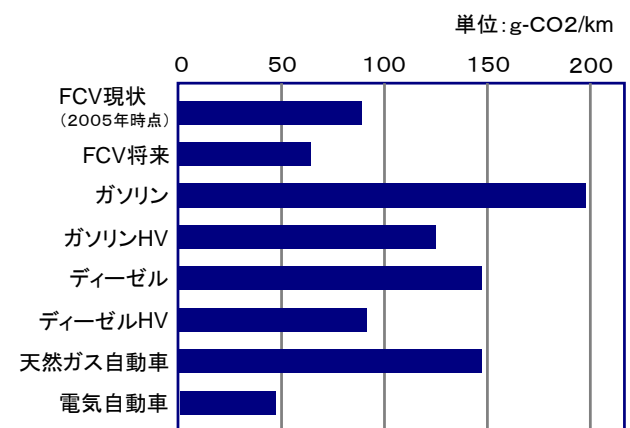
この中では、乗用車について、表 2 のように、2020 年及び 2030 年の新車販売台数に占める次世代自動車の割合の目標を示している。商用車 (中・重量車) については、見通しが困難として提示されていない。

表 2 次世代自動車販売台数の将来予測(2)

自動車の分類	次世代自動車の種別	2020	2030
乗用車	EV・PHV	15~20%	20~30%
	HV	20~30%	30~40%
	FCV	~1%	~3%
	CDV	~5%	5~10%
	合計	20~50%	50~70%

#### 3)CO<sub>2</sub>削減性能

各方式の CO<sub>2</sub> 削減量についての一例として、JHFC プロジェクトの公表資料の内容を図 1 に示す。Well to Wheel とは、1 次エネルギーの採掘から、燃料製造、輸送、車輛への充填を経て、最終的に車輛走行にいたる全てのエネルギー消費を考慮した、総合的な効率を意味している。



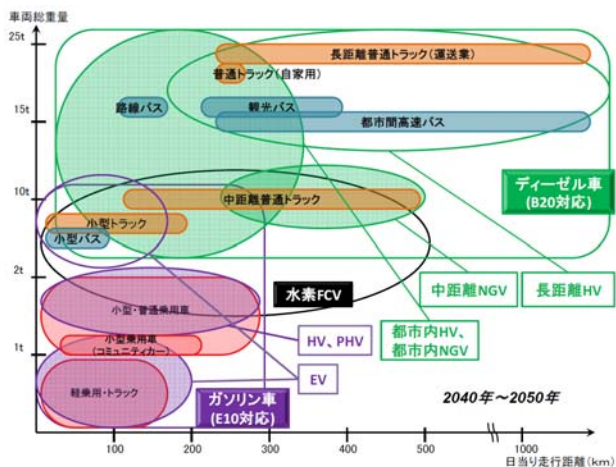
出典：水素・燃料電池実証プロジェクトパンフレット

図 1 Well to Wheel CO<sub>2</sub> 排出量

#### 4)適合範囲

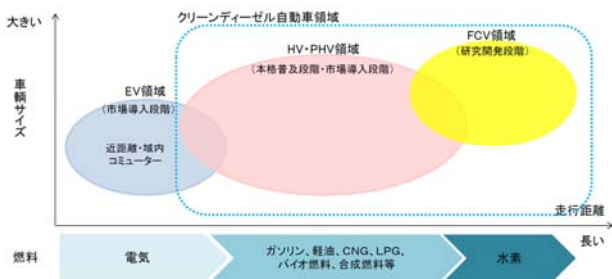
それぞれの方式の適合する市場を公表資料等から抜粋したものを図 2~4 に示す。特定の方式が全ての車種に対して優位性があるものではなく、車種毎に適合方式が異なっている。ただし、出典元に記載さ

れているように、全てがこれらの図の通りに単純な棲み分けが進むものではない。



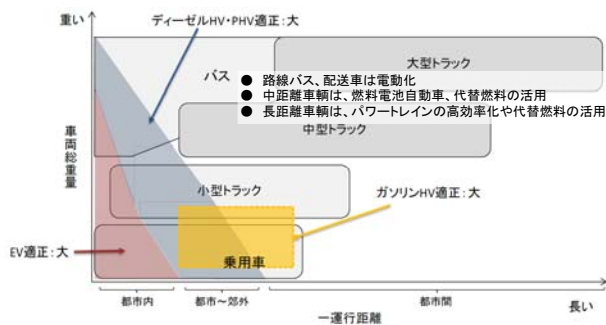
出典：環境対応車普及戦略（環境省）

図2 環境対応車の市場展開



出典：次世代自動車戦略2010（経済産業省）

図3 車種毎の棲み分け概念図



出典：次世代自動車戦略2010（経済産業省）

図4 車種毎の棲み分け概念図（商用車）

## 2.2 建設機械分野の状況

### 1) 国が実施する建設機械分野の取組

国が建設機械に関して実施している温暖化対策の施策や将来の普及目標を示しているものについて整理した。

#### ① 京都議定書目標達成計画（平成20年3月、閣議決定）

この中では、目標達成に向けた対策の一つとして、建設施工分野における低燃費型建設機械の普及を挙

げており、「低燃費型建設機械の使用を奨励し、公共工事において積極的に活用することにより低燃費型建設機械の普及を促進する等、建設施工分野における省CO<sub>2</sub>化を推進する。」としている。

#### ② エネルギー基本計画（平成22年6月、閣議決定）

この中では、低炭素型成長を可能とするエネルギー需要構造の対策の一つとして、環境配慮型建設機械の普及を挙げており、「ハイブリッド建機等について、2030年において全建機の販売に占める割合を4割（現状約1%）とすることを目指し、必要な支援を行う。」「ハイブリッド建機等について、導入支援策、公共事業への導入促進等を通じて普及拡大を図る。」としている。

#### ③ 地球温暖化・エネルギー関係での経済産業省と国土交通省の連携強化に向けた中間とりまとめ（平成21年12月、経済産業省・国土交通省）

この中では、建設部門の取組として、ハイブリッド建設機械等の普及を挙げており、燃費に関する技術基準の策定、機械の普及や施工法の改善による削減計画の設定、CO<sub>2</sub>排出削減効果の試算、導入促進補助金・税制などの支援策や公共工事への導入促進策の検討を行うこととしている。

#### ④ 低炭素型建設機械の認定に関する規程（平成23年4月、国土交通省）

本規程は、一定の条件に適合しているハイブリッド建設機械、電動建設機械を認定するものである。一定の条件には、燃料消費量評価値が燃費基準値（表3）を超えないことが含まれているが、建設機械についてこのような燃費基準を定めたのは、これが初である。また、本規程により認定された建設機械は、日本政策金融公庫の融資制度の対象となる。将来的には、従来機に対しても燃費基準を適用し、性能の高い順に☆印の数を変えるなど、ユーザが購入に際して比較することが可能となる予定である。<sup>1)</sup>

表3 建設機械の燃費基準

機種	区分	燃費基準値	
		区分	燃費基準値
油圧ショベル	標準バケット山積容量(m <sup>3</sup> )	0.25以上0.36未満	4.3 kg/標準動作
		0.36以上0.47未満	6.4 kg/標準動作
		0.47以上0.55未満	6.9 kg/標準動作
		0.55以上0.70未満	9.2 kg/標準動作
		0.70以上0.90未満	10.8 kg/標準動作
		0.90以上1.05未満	13.9 kg/標準動作
		1.05以上1.30未満	13.9 kg/標準動作
ブルドーザ	定格出力(kW)	19以上75未満	568 g/kWh
		75以上170未満	530 g/kWh
		170以上300未満	508 g/kWh

### 2) 建設機械への適用事例

建設機械においてハイブリッド方式などでCO<sub>2</sub>の低減を行っている事例を下記に示す。なお、これら

は既に市販されている。

①ハイブリッド式油圧ショベル（コベルコ SK80H）

8tクラス（0.28m<sup>3</sup>クラス）の油圧ショベルである。システムの構成を図5に示す。エンジンで油圧システムを駆動するが、回生エネルギーなど、本来廃棄していたエネルギーを蓄えたバッテリーの電力でモータを駆動し、動力をアシストする。モータのアシストにより、エンジンの出力を3分の2に小型化している。メーカーの公表値では、40%の燃費低減効果があるとしている。

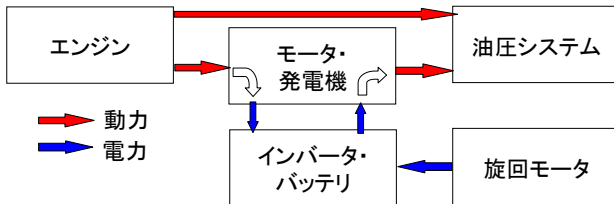


図5 システム構成（コベルコ SK80H）

②ハイブリッド式油圧ショベル（コマツ HB205-1）

20tクラス（0.8m<sup>3</sup>クラス）の油圧ショベルである。システムの構成を図6に示す。基本的な構成は①と似ているが、バッテリーではなく、キャパシタ（コンデンサ）を使用している。メーカーの公表値では、25%の燃費低減効果があるとしている。

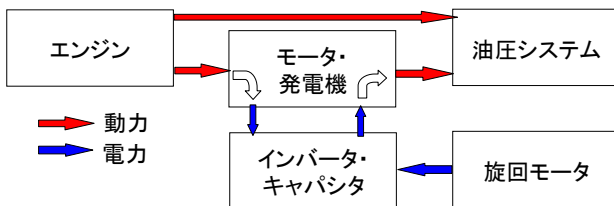


図6 システム構成（コマツ HB205-1）

③バッテリー式油圧ショベル（日立 ZAXIS70B）

8tクラス（0.28m<sup>3</sup>クラス）の油圧ショベルである。システムの構成を図7に示す。エンジンは搭載しておらず、外部電源からバッテリーに充電して使用する。充電時間は残量30%から4.5時間、1回の充電で2〜4時間稼働する。メーカー公表値では、CO<sub>2</sub>排出量はエンジン式の50%になるとしている。

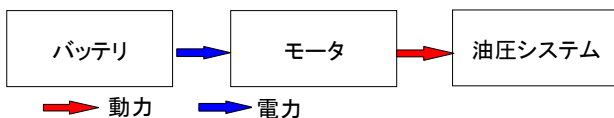


図7 システム構成（日立 ZAXIS70B）

④ハイブリッド式ブルドーザ（キャタピラーD7E）

システムの構成を図8に示す。自動車の分野ではシリーズハイブリッド方式と呼ばれるタイプのもので（メーカーでは、この方式をエレクトリックドライブと称している）、エンジンは主に発電するために使用され、発電された電気で動力となるモータを駆

動する。メーカーの公表値では、20%の燃費低減効果があるとしている。

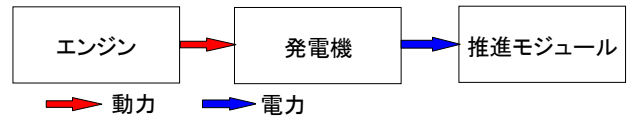
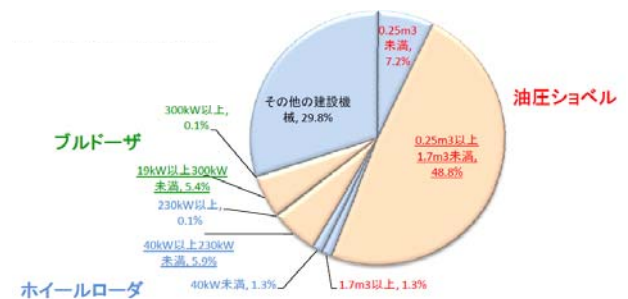


図8 システム構成（キャタピラーD7E）

3)建設機械別の温室効果ガス寄与率

建設機械から排出される温室効果ガスについて、建設機械別の割合を図9に示す。油圧ショベルからの排出量が約5割を占める。



出典：国土交通省：平成22年度建設施工の地球温暖化対策検討分科会 配付資料

図9 建設機械のCO<sub>2</sub>排出寄与率

3. 建設機械と自動車の相違点

温室効果ガスの削減技術の導入に関して、自動車分野と建設機械分野の事情の違いを整理した。

1)使用燃料の違い

自動車の分野では、乗用車ではガソリン、トラック・バスでは軽油が使用されている。建設機械ではほとんどが軽油である。乗用車においては、ガソリン車をディーゼル車（CDV）や天然ガス車（NGV）に切り替えることも温暖化対策になるが、建設機械では、該当しない。

2)燃料供給方法の違い

自動車の給油は通常はガソリンスタンドまで自走して行くが、建設機械の場合には工事現場で給油する。これは、燃料が軽油であっても、今後、電気や水素になったとしても、そうしたオンサイトでの燃料補給という形態になると考えられる。そのため、個々の現場への小口配送が可能で、かつ現場で安全に補給できるものである必要がある。例えば燃料電池の場合には水素を燃料とするが、これをステーション形式（ガソリンスタンドのような形式）ではなく、軽油の小型ローリーのようなもので各現場に配送するか、又はポンベ交換形式のような構造にする必要がある。また、バッテリー式の場合には、比較的容易に商用電源が確保でき、夜間や昼休みの間に充電でき

るような環境での使用は可能であるが、商用電源が確保できなかったり、新たに引き込まなければならぬ現場の場合には、バッテリーを別の場所で充電して交換して使用するような形態を考える必要がある。また、通常の工事においてだけでなく、建設機械は災害現場でも多く使用されることから、そういう事態においても、安定的に燃料補給ができる形態である必要がある。

### 3)型式（モデル）数の違い

建設機械は俗に多品種少量生産と言われており、作業内容に応じて、細かく型式が分かれている。乗用車（小型車・軽自動車）の型式数は約120型式であるが、特定特殊自動車（建設機械以外にも農業機械、フォークリフトも含む）においては、通常の型式届出数で約900、少数特例車で約600と、合計で1500型式以上となる。これらが、燃料の補給に関して、それぞれ別々の方式をとること（例えば、充電や水素補給ではアダプタ形状や充電器と車体との通信方式が異なること、バッテリー交換方式や水素ボンベ交換方式ではバッテリーやボンベの規格が異なることなど）はユーザにとって非常に使いづらいものとなり、望ましくない。そのため、より良い製品を開発するための自由な発想を尊重しつつも、共通化、規格化を考えておく必要がある。

### 4)保有形態の違い

乗用車のように個人ユーザは少なく、会社として所有するものがほとんどである。そのため、プリウスのように環境意識の高まりで、若干値段が高めでもヒットすることは考えにくく、燃費性能が高く、経済性でも有利になることがよりシビアに求められる。ただし、建設工事の場合には、受注して初めて利益ができることから、環境性能に良い機械を使用することが受注に有利に働くのであれば、価格が高くても導入が進むことは考えられる。

また、建設現場で使用される建設機械の約半数がレンタルである。自社で保有する場合には、廃車まで比較的長く保有する傾向にあるが、レンタルの場合にはユーザにニーズに合わせ、新型モデルへの入替が早いと言われている。そのため、温室効果ガス削減に資するモデルが市場に投入されれば、比較的早く更新される可能性がある。

### 5)エンジン負荷の違い

乗用車では燃料消費率の低い低負荷での運転が多いために、その部分をモータでアシストすることが燃費向上に大きく寄与する。そのため、プリウスな

どのハイブリッド乗用車は大幅な燃費の改善が見られる。一方で、街中の集配で使用される小型のディーゼルトラックなどでは、燃料消費率の良い中・高負荷での使用が多くなり、ハイブリッドの効果が乗用車ほどは発揮されないとも言われている。建設機械においては当然、トラックとも負荷が違っている。そのため、単純にハイブリッドの効果を期待するのではなく、機種や使われ方の違いによる負荷の違いを把握した上で、効果の程度を評価する必要がある。また、BDFの使用を試験的に導入している工事現場もあるが、高濃度のBDFを使用する場合には、建設機械の負荷条件におけるエンジンの排出ガス特性についての検証が必要である。

### 6)騒音・振動に対する評価の違い

乗用車では、ハイブリッド車やEVになって、騒音が静かになり過ぎて、歩行者にとっては逆に危険であるとの指摘もされている。建設工事では、騒音・振動対策は重要であり、ハイブリッド化、電動化による騒音・振動の低減化は温室効果ガスの低減とともに製品としては、重要な付加価値となる。

### 7)使用環境の違い

トラックなども、寒い地域や風雨の中で使用されるが、特に建設機械では、粉塵や地面からの泥跳ねなどが道路上とは異なる。また、オンサイトで燃料補給を行うため、雨天の際に、ガソリンスタンドのように屋根付きの下で補給が行えるわけでもない。そのため、自動車分野において耐久性や使い勝手などが検証された方式や規格であっても、建設機械が使用される悪条件での検証は必要である。

### 8)適正燃料の使用状況の違い

公道を走行しない建設機械については、適正な燃料を使用することを規制する法律は無く（ただし、指針による罰則規定の無い指導助言制度はある。）、公道を走行する車両と比較すると、適正な燃料の使用はユーザの判断に委ねられている。環境省の平成20年に調査した結果<sup>2)</sup>では、約19%の車両において、硫黄分が10ppmを超える燃料（通常の軽油は10ppm以下。）を使用している。そのため、こうした燃料の使用実態が温室効果ガス低減技術の普及にどのように影響を及ぼすかを検証しておく必要がある。

## 4. 研究課題の考察

建設機械については、エンジンや油圧システムの高効率化による燃費性能の向上が進むとともに、国の積極的な支援等によっては、ハイブリッド機やバ

ッテリ機の普及も一段と進むと考えられる。それを踏まえ、今後、研究や検討が必要であると考えられる課題を考察した。

#### 1)実作業に根拠を置く燃料消費量評価方法の確立

現在油圧ショベルなど3機種については、社団法人日本建設機械化協会が作成した燃費試験方法が存在する。これにより、それぞれの機械ごとにその燃費性能を比較することが可能となったことは評価される。ただし、実際の負荷条件では試験毎にばらつきがでることや、実際の負荷条件と一定の相関が見られることから、実際に土を掘削することの無い模擬動作での測定となっている。また、排出ガス規制の強化により、DPFの装着が想定されるが、強制再生による燃費の悪化などが予想され、模擬動作の中でどのように評価していくかも課題である。今後、ハイブリッド化や電動化が進むとした場合、従来機との温室効果ガス低減性能の比較は、より実際に近い条件下で、より実際に近い値（又はユーザに誤解の無い値）として評価されるべきである。また、機械同士の比較だけでなく、絶対量としての削減量を評価することも重要となることがある。そのため、模擬動作による燃料消費量と実際の作業による燃料消費量との詳細な比較を行い、実作業に根拠を置く評価方法を確立することが必要である。

#### 2)燃料消費量低減技術と排出ガス低減技術の両立性の評価

温室効果ガスの低減が重要である一方、窒素酸化物（NO<sub>x</sub>）や浮遊粒子状物質（PM）といった有害排出ガスの対策も重要である。BDFといった、これまでとは異なる燃料を使用する場合には、排出ガスについても、悪化していないことの確認が必要である。また、ハイブリッド機など、従来機とは異なる運転域で使用されるエンジンの排出ガスについてもどのような傾向になっているのかを把握しておく必要がある。さらに、2014年以降に予定されている排出ガス規制の強化では、尿素水を使用したNO<sub>x</sub>の低減方法が採用される可能性があるが、この方法は温室効果ガスである一酸化二窒素（N<sub>2</sub>O）が排出されることもあるとの指摘も有る。このように、温室効果ガス対策と排出ガス対策はセットで考える必要がある。そのため、従来機とは異なる燃料を使用するものや、機器構成となっているものについては、温室効果ガスと、排出ガスについて、それぞれを適切に評価することが必要である。

#### 3)災害時の燃料供給事情の把握

建設機械は通常の工事現場だけでなく、災害時には最前線で活動することもある。東日本大震災でも多くの建設機械が現場で稼働している。こうした災害現場で活動するには、燃料の供給が安定的に行われることが必要である。温室効果ガスの低減のために、電気や天然ガスといった軽油以外の燃料を今後検討する場合には、通常時だけでなく、こうした建設機械特有の使われ方も考慮されるべきである。そのため、今回の東日本大震災を例に、各現場に点在する建設機械にどのように燃料が供給されたかを調査し、軽油以外の燃料でも、そのような供給体制が可能かどうかを検討しておくことが必要である。なお、排出ガスの規制の強化に伴い、軽油を燃料とするエンジンに重油や灯油を使用した場合に、重大な故障を起こす可能性があり、災害時の燃料供給として、こうした燃料の使用がどの程度あったか（軽油の燃料供給が不足し、重油や軽油で代替したことがあったか）も重要な調査項目である。

### 5. おわりに

建設機械分野における温室効果ガスの低減に資する動力システムについて、今後研究すべき課題を整理した。具体的には下記の3課題を抽出した。

- ①実作業に根拠を置く燃料消費量評価方法の確立
- ②燃料消費量低減技術と排出ガス低減技術の両立性の評価
- ③災害時の燃料供給事情の把握

今後、これらの課題について内容を具体化し、研究の必要性をより精査した上で、実施の判断を行う予定である。

### 参考文献

- 1) 国土交通省：平成 22 年度建設施工の地球温暖化対策検討分科会 配付資料、平成 23 年 2 月
- 2) 環境省：平成 20 年度特定特殊自動車の使用燃料の採取調査結果について 報道発表資料、平成 21 年 10 月

A STUDY ABOUT THE CONSTRUCTION MACHINE POWER SYSTEM WHICH REDUCE THE GREENHOUSE GAS

**Budged :** Grants for operating expenses  
General account

**Research Period :** FY2010

**Research Team :** Construction Technology Research  
Department (Advanced  
Technology Research Team )

**Author :** FUJINO Kenichi  
SUGITANI Yasuhiro

**Abstract:** About construction machine, I picked out the research theme about the power system which reduce the greenhouse gas. In the present conditions investigation, we investigated government spread plans and the development status of manufacturers about the field of vehicle and construction machine. In addition, we considered the difference of both and arranged special circumstances about the construction machine including a refueling point being the spot. Based on them, as a necessary thing more in future we suggested that ①the evaluation method of fuel consumption, ②the coexistence with the exhaust reduction technique, ③the fueling system at the time of the disaster.

**Key word:** construction machine, greenhouse gas, hybrid type, battery type