

JCMA 製造業部会・機械部会の 地球温暖化対策への取り組み

製造業部会・機械部会 作業燃費検討 WG

地球温暖化対策として、建設機械には施工時における燃料消費低減が求められている。これを促進するためには、燃費低減の技術開発と燃費の良い機械の普及を促進することが重要である。製造業部会・機械部会では「作業燃費検討 WG」を立ち上げ、燃料消費量試験方法の標準化、燃費低減の目標値、燃費情報の開示方法など燃料消費低減を促進するための仕組みの検討を行っている。

キーワード：油圧ショベル、ホイールローダ、ブルドーザ、燃料消費量、試験標準、燃費低減活動

1. はじめに

地球温暖化対策として、1997年、京都において「気候変動に関する国際連合枠組み条約第3回締約国会議（京都会議）」が開催され、温室効果ガスの排出量削減について「京都議定書」が採択された。これを受け、我が国においては1998年に「地球温暖化対策推進法」が制定され、国・地方自治体・事業者・国民が一体となって地球温暖化対策が進められている。また京都議定書が失効する2013年以降のいわゆる「ポスト京都議定書」に織り込むべき事項についても各国間で議論が活発になり、継続した地球温暖化対策が進められようとしている。

建設機械においては、京都議定書およびそれを受けた国の活動方針に基づき、国土交通省内に「建設施工の地球温暖化対策検討分科会」が設置され、建設施工における二酸化炭素排出低減の対応が検討された。建設施工における二酸化炭素の発生は、セメント・鋼材などの資材製造時のエネルギー消費、資材などの運搬・施工時の機械の燃料消費など多岐にわたり各々の分野で対応が検討されたが、建設機械に関しては施工時における燃料消費低減に関して、まず燃料消費量の定量的な試験方法が必要であることが指摘された。これを受けて（社）日本建設機械化協会・機械部会では、燃料消費による二酸化炭素排出量の寄与率が大きい油圧ショベル・ホイールローダ・ブルドーザについて「燃料消費量試験方法」の標準化の検討を開始した。しかし検討が進むにつれ、この試験標準を使って燃料消費低減に結びつけるには、建設機械業界としての活動が必要との認識の上、2004年に製造業部会・機械部会より

成る「作業燃費検討 WG」を立ち上げ活動を進めてきた。本稿では施工時の燃料消費低減について「作業燃費検討 WG」の活動の概要を紹介する。

2. 燃料消費量試験方法の標準化

建設機械の燃料消費低減に関しては燃料消費効率の改良と、効率の良い機械を施工現場で選択可能にすることが求められるが、そのためにはまず燃料消費量の定量的な試験方法が必要である。

(1) 燃料消費量試験方法の現状

建設機械の燃料消費量試験方法としては、当時油圧ショベル、ホイールローダ、ブルドーザについて JIS 規格（JIS A 8402, JIS A 8421, JIS D 6507, 油圧ショベル・ブルドーザは現在廃止規格になっている）が存在した。

この規格は、土砂や砂利を使って実際に掘削・積込み・運搬作業を行い作業量と燃料消費量を測定する方法であるが、各メーカーのヒアリングによれば上記規格を参考に燃料消費量の試験を行っている事例はあるものの、土質条件の違いにより結果に大きく差が生じる、またオペレータの技量により結果に大きく差が生じるといった理由から燃料消費量に関する絶対値の公表は行っていない。また、試験を実施する場合においても、上記誤差を埋めるために旧モデルと新モデルの比較試験という形で土質条件・オペレータを同一にして相対評価を行っている場合が多い。土質条件やオペレータの技量による誤差の少ない燃料消費量試験方法の確立が望まれていた。

(2) 燃料消費量試験方法の検討と試験標準制定

(a) 基本的な考え方

建設機械には、様々な種類・大きさがあり、作業対象物も土砂・砂利・岩など多岐にわたる。またオペレータの技量により作業効率は大きく影響される。これらの条件下で車両としての総合評価ができることを念頭に、誤差が少なくかつ効率よく試験できること、および二酸化炭素排出量を評価する観点から、単位作業量当たりの燃料消費量（以下燃料消費効率又は燃費と言う）を評価することが必要である。このことから下記を基本的な考えかたとして検討を進めた。

- ①土質条件の違いにより結果に大きく差が生じない
- ②オペレータの技量により結果に大きく差が生じない
- ③燃料消費効率（燃費）が評価できる
- ④車両としての総合評価ができる
- ⑤試験に要する設備・費用・時間が過大とならない

(b) 試験方法の検討

(b-1) 対象とする建設機械

対象とする建設機械は二酸化炭素排出寄与率の大きい、油圧ショベル・ホイールローダ・ブルドーザの3機種とし、その中でも寄与率が大きくかつ一般的な土工工事に汎用的に使用されるクラスで検討を進めることとした。

対象とするクラスは

油圧ショベル：標準バケット定格容量
0.28～1.4 m³級

ホイールローダ：エンジン定格出力
40 kW 以上 230 kW 未満

ブルドーザ：エンジン定格出力 560 kW 以下
他の機種・クラスについては今後の状況を見て検討することにした。

(b-2) 試験項目

建設機械の作業はその機種にもよるが、掘削・積込み・運搬・ならし・破碎・解体など多岐にわたる。試験結果は最終的に車両の総合評価ができることを念頭に置き、試験項目は機種毎に代表的な作業工程を想定して試験をすることにした。また試験に要する時間・費用が過大にならないように作業工程の選定に配慮した。

試験をする代表的な作業工程は

油圧ショベル：掘削積込み作業、ならし作業、走行、待機

ホイールローダ：積込み作業、運搬作業、待機

ブルドーザ：掘削運土作業、待機

車両の総合評価は、これら作業工程の標準的な動作割合（時間割合）を想定し、その重み付けによって数値を1本化し評価することにした。

(b-3) 試験方法

試験をする上で最も重要なことは、土質条件とオペレータの技量による誤差を最小限にすることである。種々検討した結果、実物の土砂を使う試験には土質条件を同一にすることに限界があることから、実際の作業を想定した模擬動作試験を採用することにした。模擬動作試験は車両に「重り」「けん引負荷」などを使って実作業に近い負荷を与える方法であり、土砂と接触する工程が無くなるので土質条件によるバラツキを排除できると同時に、オペレータの技量によるバラツキを最小限に抑えることが出来る方法である。模擬動作のパターン・負荷のかけ方は機種により作業形態が異なるため、試行錯誤を繰り返しながら実作業との相関・精度・安全性・効率などを考慮して最適な方法を決定した。

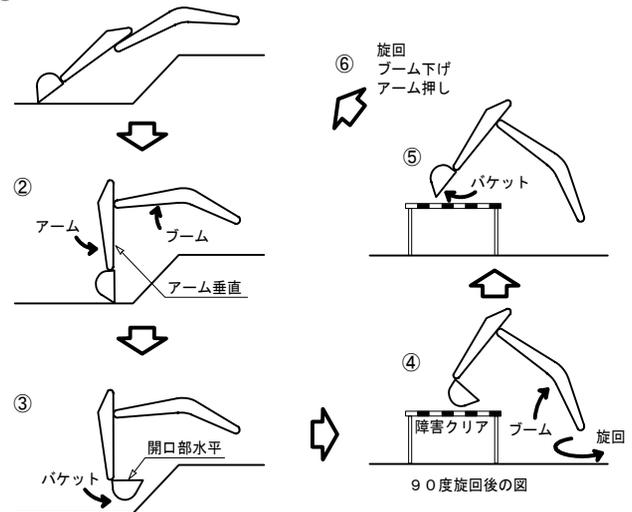
各機種の作業工程に対応する試験方法は
油圧ショベル

- ①掘削・積込み動作試験：標準バケットを装着し、掘削積込みの模擬動作を行う
- ②ならし動作試験：標準バケットを装着し、ブームとアームを用いてならし動作を行う
- ③走行試験：舗装路面又は十分締め固めた土の平坦な直線路を走行する
- ④待機試験：エンジン無負荷最低回転速度で行う

ホイールローダ

- ①積込み動作試験：重り付きバケットを装着し、積込みの模擬動作を行う
- ②運搬走行試験：重り付きバケットを装着し、舗装路面又は十分締め固めた土の平坦な直線路を走行する
- ③待機試験：エンジン無負荷最低回転速度で行う

① 開始・終了姿勢



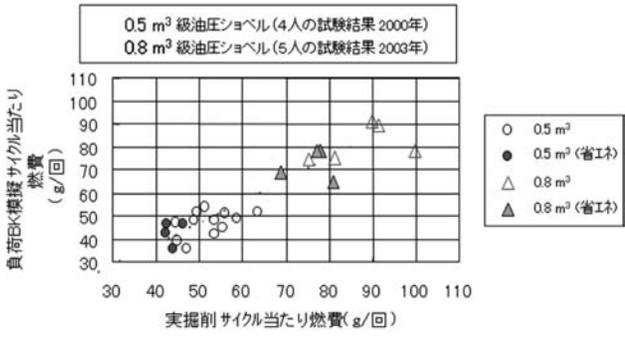
図一1 油圧ショベルの模擬動作パターン

ブルドーザ

- ①けん引試験：十分締固めた土の平坦な直線路を、前進で最大けん引出力にてけん引走行，後進で軽負荷にてけん引走行する
- ②待機試験：エンジン無負荷最低回転速度で行う事例として， 1 に油圧ショベルの掘削積込み動作試験のパターンを示す。

(3) 試験方法の検証

この試験標準では模擬動作試験を採用したが，その前提として模擬動作作業と実際の作業に相関があることが重要である。模擬動作のパターン・負荷のかけ方については実際に模擬動作試験を行い，実際の作業との相関を確認した上で最適な方法を決定した。

事例として， 2 に油圧ショベルの掘削積込み作業における土砂を用いた実掘削試験と模擬動作試験の相関を示す。油圧ショベルは当初バケット内の土砂を想定した「重り付きバケット」を装着することで検討を進めたが，精度・安全性などの観点から「標準バケット（重りなし）装着」に変更するなど数次にわたり改良が加えられた。詳細は試験標準の解説の項に記載されている。 1 に油圧ショベルのテスト風景の事例を示す。

試験標準は(社)日本建設機械化協会標準部 国内標準委員会で審議・承認後，世界貿易機関（WTO）／貿易の技術的障害に関する（TBT）協定の適正実施規準（CGP）に基づく意見受付公告を行った上で2004年4月JCMAS「(社)日本建設機械化協会規格」に制定されたが，さらに実施する上での問題点の有無を検証するため制定後1年間各メーカーで試行を行い，若干の修正を織り込んで2007年3月に改正版として完成・発行された。その後，ハイブリッド形油圧ショベル及び電気エネルギー駆動形油圧ショベルが普及し始めたため

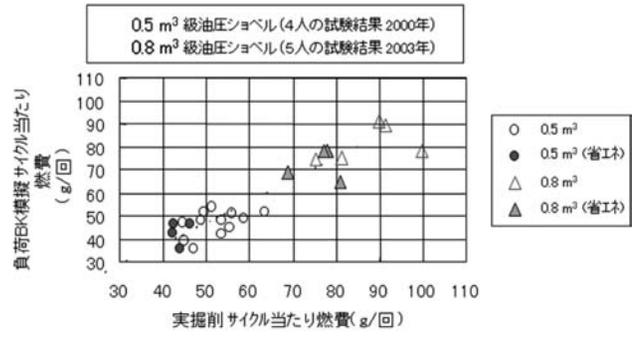


図-2 実掘削試験と模擬動作試験の相関



写真-1 油圧ショベルのテスト風景

これらにも対応できるよう，又油圧ショベルの対象範囲を標準バケット定格容量0.01～1.9 m³級に拡大する等を織り込み2010年に改正版が発行された。

該当規格は下記であり，(社)日本建設機械化協会のホームページで閲覧可能である。

- JCMAS H020 土工機械—エネルギー消費量試験方法
 - 油圧ショベル
- JCMAS H021 土工機械—燃料消費量試験方法
 - ブルドーザ
- JCMAS H022 土工機械—燃料消費量試験方法
 - ホイールローダ

表-1 試験で得られる結果

油圧ショベル	ホイールローダ	ブルドーザ
①掘削積込み動作試験 掘削積込み動作当たり燃料消費量 (g/サイクル) (g/m³)	①積込み動作試験 想定仕事量当たり燃料消費量 (g/t)	①けん引試験 けん引出力当たり燃料消費量 (g/kWh)
②ならし動作試験 ならし動作当たり燃料消費量 (g/サイクル) (g/m)	②運搬走行試験 想定仕事量当たり燃料消費量 (g/t)	②待機試験 時間当たり燃料消費量 (kg/h)
③走行試験 走行距離当たり燃料消費量 (g/m)	③待機試験 時間当たり燃料消費量 (kg/h)	
④待機試験 時間当たり燃料消費量 (kg/h)		
解説に①～④項をまとめた「燃費消費量評価値」の計算方法を記載 (kg/標準動作)	解説に①～③項をまとめた「燃費消費量評価値」の計算方法を記載 (g/t)	解説に①～②項をまとめた「燃費消費量評価値」の計算方法を記載 (g/kWh)

(4) 試験で得られる結果と考察

試験で得られる結果を表一1に示す。試験結果は模擬動作試験を採用したため、数値の単位は一般に普及しているものと異なっているものもあるが、いずれも燃料消費効率を表す単位となっており、燃料消費性能の評価に使用可能である。またこれらの結果を用いて、標準的な動作割合を想定し、その重み付けによって数値を1本化し、車両の総合評価を表す「燃料消費量評価値」を計算する方法を解説の項に記載した。

この試験標準は、十分な技術的検討を重ねた結果、燃料消費量の試験方法としては現在得られる最良の方法であると判断して制定した。しかし、1年間の試行を経て改正・制定したとはいえ使用実績も少ないことから技術的には改善の余地は多々あると考えられ、今後の使用を通じて評価・改良されることを希望する。制定にあたっては(社)日本建設機械化協会機械部会トラクタ技術委員会/ショベル技術委員会・製造業部会・施工技術総合研究所・標準部、メーカー各社、国土交通省総合政策局施工環境技術推進室など関係各位に御協力していただいたことに感謝する。

3. 燃料消費低減に向けた活動

(1) 建設機械業界としての取り組み

建設機械は、従来から運転経費低減の観点から燃料消費低減の強い要望があり1990年前後に燃費低減に関する研究開発が進み商品化されてきた。しかしその後、排出ガス規制が実施され、1次規制、2次規制、3次規制と規制値が強化され、さらに2011～2014年には排出ガス3次規制より格段に厳しいレベルで排出ガス4次規制が導入されようとしている。燃費低減と排出ガス低減は、採用技術によってはトレードオフの関係にあり、両者を両立させながら研究開発を行わなければならないという状況にある。このような状況であるが、燃費低減は地球温暖化対策のためには優先的に取り組むべき事項であり、建設機械業界として積極的に取り組むことの確認を行った。

(2) 基本的な考え方

燃料消費低減を推進するためには、燃費低減の技術開発と燃費の良い機械の普及を促進することが重要である。これを推進するため下記を基本的な考え方として検討を進めた。

- ①燃費の目標値と目標年度を決める。
- ②燃費情報を開示しユーザが燃費の良い機械の選択を容易にする。

- ③燃費の良い機械を普及させるための仕組み（認定制度など）を提案し、官の普及支援を期待する。

燃費低減はこれまでも運転経費低減の観点からメーカー各社は積極的に改善を行ってきたが、改善の目標・評価方法・ユーザへの燃費情報提示などはメーカー各社が独自の方法で行っていた。しかし、改善目標が明確になることで、メーカー各社における建設機械の低燃費化に係る技術開発が促進されることが期待される。

(3) 対象とする建設機械の範囲

全産業に対する建設施工分野の二酸化炭素排出量の寄与率は、建設機械が主に稼働する土木事業分野では10%と言われている。その中で建設機械が消費する燃料に起因する寄与率は10%と言われているので、全産業における建設機械の土木分野における燃料消費に起因する寄与率は1%である。建設機械には非常に多くの機種が存在するが、二酸化炭素排出量（燃料消費量）寄与率の大きい油圧ショベル・ホイールローダ・ブルドーザについて検討することとした。この3機種で、建設機械に占める寄与率は70.2%となる（油圧ショベル：57.3%（ミニショベル含む）、ホイールローダ：7.4%、ブルドーザ：5.5%）。

油圧ショベル・ホイールローダ・ブルドーザの3機種について、対象とする範囲は二酸化炭素排出量（燃料消費量）寄与率を勘案し下記とする。この範囲で、建設機械に占める寄与率は59.6%となる。

- ①油圧ショベルの対象範囲は標準バケット容量0.28 m³～1.4 m³クラスとする。この対象範囲で全油圧ショベルに占める寄与率は85.1%となる。0.25 m³未満のミニ油圧ショベルの配車台数は多いが、寄与率が少ないため対象範囲から除外したが、制度に含めるかどうかは今後の課題とする。
- ②ホイールローダの対象範囲はエンジン定格出力40 kW以上～230 kW未満とする。この対象範囲で全ホイールローダに占める寄与率は80.4%となる。40 kW未満のミニホイールローダの寄与率は17.7%を占めるが、制度に含めるかどうかは今後の課題とする。
- ③ブルドーザの対象範囲はエンジン定格出力19 kW以上～300 kW未満とする。この対象範囲で全ブルドーザに占める寄与率は98.0%となる。

(4) 燃費の試験・評価方法

燃料消費の良否は「燃料消費効率（エネルギー消費効率）」で評価し、前項で定めたJCMAS「(社)日本建設機械化協会規格・燃料消費量試験方法」（以下

JCMAS 燃費試験方法と言う)に基づき試験を行う。車両全体の燃料消費効率(燃費)の評価はこの規格の解説(1)式で算出される「燃料消費量評価値」を使用する。

(5) 燃費の目標値と目標年度

メーカー各社が、燃費低減の技術開発を推進するために目標とすべき事項である。目標値は排出ガス3次規制車の最もすぐれた燃費を基本とし、以降に開発される燃費低減技術による燃費低減の評価及び排出ガス規制対応による燃費の影響評価を行った上で設定することとする。目標年度に関しては排出ガス4次規制が2011年～(主にPM90%減)と、2014年～(主にNO_x90%減)の2段階にわけて排出ガス3次規制より格段に厳しいレベルで規制が導入されようとしており、メーカー各社においてはこの規制への対応を最優先に開発に取り組む必要がある。排出ガス対策と燃費低減の技術は採用技術によってはトレードオフの関係にあることを勘案して目標年度を決める必要がある。

(a) 燃費の現状レベル把握

燃費の現状レベルを把握するため、現在生産している排出ガス3次規制対応車についてJCMAS燃費試験方法により試験を行った。試験は各社のご協力により、又データの公正さを担保するため(社)日本建設機械化協会施工技術研究所(CMI)の立会いの下、2008～2009の2年間で油圧ショベル、ホイールローダ、ブルドーザの3機種合計111台の試験を行った。関係各位のご協力に感謝する。

(b) 燃費低減技術及び排出ガス規制対応技術採用による燃費評価

排出ガス4次規制対応による燃費の影響評価、及び今後開発が予想される燃費低減技術の評価を行った。しかし、これらに対応する技術は概ね未完了の状態であり、将来の燃費評価を行うことは非常に困難であることを前提に、技術動向・メーカー各社からのヒアリング等を基に試算した。試算結果は既に採用済の技術・これから採用する技術などが混在しているため、燃費評価はこれらのことを理解した上で行う必要がある。

(6) 燃料消費低減に向けた仕組みの検討

作業燃費検討WGでは、これまでに把握した燃費の現状レベル、燃費低減の技術予測等を基に、目標値と目標年度、燃費情報の開示方法、これらを含む燃費低減に向けた仕組みの検討を行っている。燃費低減は地球温暖化対策のためには優先的に取り組むべき事項であり、建設機械業界として積極的に取り組むことが必要との認識の下、メーカー各社は積極的に取り組んでいる。活動結果はほぼ纏まりつつあり、近々国土交通省に提案し、国土交通省が進めておられる「建設施工分野における地球温暖化対策」に協力していく予定である。

4. おわりに

建設機械においては、従来から運転経費低減の観点より燃料消費低減の強い要望があり1990年代に省エネモード・アイドリング制御・油圧の高圧化・可変容量ポンプなど機器の省エネルギー(低燃費)機構の研究開発が進み商品化されてきた。今後ともメーカー各社の努力が続けられると思うが、作業燃費検討WGが検討している燃費低減の仕組みが機能することにより、改善が加速することを期待する。近年、画期的な省エネ技術としてハイブリッド建機が商品化され始めており、またクリーンエネルギーとしてバイオ燃料、電動化等の研究も進んでいる。地球温暖化対策のためには、従来技術の域を超えた新しい動力システムの開発・導入が不可欠と考えられており、これらの新技術の普及促進を図る仕組み作りも重要である。引き続き関係各位のご協力を依頼する。

JCMMA

[筆者紹介]

松本 毅(まつもと たけし)
作業燃費検討WG サブリーダー
(社)日本建設機械化協会 機械部会
幹事

