軽油代替燃料を用いた建機運用実験

持続可能な施工プロセスの確立に向けて

勝二理智・山本巖・土井暁

バイオディーゼル燃料の利用拡大に向けて，大阪・関西万博の建設現場で，燃料調達，建機メンテナンス，エンジンへの影響評価といった課題に取り組む実証実験を実施した。実験の結果，適切な燃料の入出荷管理により建機の燃料切れや燃料廃棄は発生せず，安定した燃料調達が実現した。建機は適切なメンテナンスを行うことで安定した稼働が確認されたが，パワー不足や特有の排ガス臭，ススの堆積に注意する必要があった。建機稼働によるエンジンオイルの顕著な劣化は確認されず，軽油と同等のメンテナンス間隔でも問題ない可能性が示唆された。

キーワード：バイオディーゼル燃料，CO_2 排出量，油圧ショベル，発電機，燃料調達，メンテナンス

1. はじめに

2050 年のカーボンニュートラル達成に向け，国や自治体は脱炭素化の取り組みを加速させている。この流れに対して建設業界も真摯に応え，持続可能な施工プロセスの確立が求められている[1)]。実際に，建設現場からの CO_2 排出量の約 70％は建設機械による燃料消費に起因しているため[2), 3)]，燃料そのものの低炭素化が急務となっている。そのため，植物由来のバイオディーゼル燃料（BDF）の導入が期待されているが[4), 5)]，いくつか課題が残されている。

まず，BDF の製造技術は進展しているものの，製造量は依然として不足しており，建設現場での安定的な供給体制の構築が必要である。次に，BDF と軽油を混合した燃料を用いた建機の運用実績はあるものの，BDF100％を使用した建設現場での報告は少なく，エンジンをはじめとして建設機械を適切にメンテナンス・モニタリングする方法の確立が求められている。また，昨今カーボンニュートラルと同様に重要性が叫ばれている資源循環の観点からは，自社の食堂で使用した廃食油を回収し，BDF を製造して建機で使用するプロセスを実証することにも意義がある。

これらの課題に取り組むため，2025 年日本国際博覧会（大阪・関西万博）の建設現場において，BDF を動力源とした建機の運用実験を実施した。本稿では，その取り組みについて報告する。

2. 実験計画

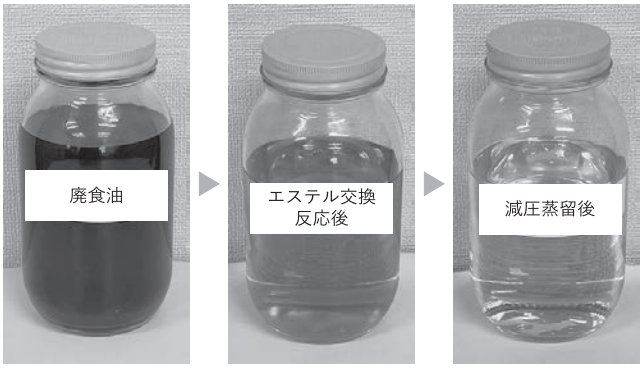
(1) 燃料の調達

(a) 廃食油の回収と燃料の製造

BDF の安定的な調達には，原材料となる使用済み食用油（廃食油）を継続的に回収することが不可欠である。本実験では，大林組事業所の食堂から発生する廃食油を定期的に回収した（**図―1**）。これを燃料製造会社が一般家庭などから回収した分と合わせて，以



図―1　実験概要



図―2 バイオディーゼル燃料の製造過程

下の手順で BDF を製造した（**図―2**）。なお，製造した燃料が全国バイオディーゼル利用推進協議会の定める規格および JIS 規格に適合していることを確認している[5]。

①酸化した廃食油にメタノールと水酸化カリウム（アルカリ性）を加える。
②エステル交換反応により脂肪酸メチルエステルとグリセリンに分離する。この際グリセリンは沈殿する。
③上澄みの脂肪酸メチルエステルと水を混合し，油と水に分離させることで，水溶性の不純物を除去して純度を向上させる。加熱して水を蒸発させ，BDF を抽出する。
④最後に減圧蒸留を行い，燃料中の残留グリセリンを除去して高品質の BDF を抽出する。

（b）燃料の配送

建設現場で稼働する建機は，作業内容や工事の進捗により稼働率が変動するため，燃料消費量は一定ではない。また，BDF には品質確保や建機の不具合発生防止の観点から使用期限がある。したがって，燃料の製造と配送のバランスを取ることが重要であるため，本実験では，製造拠点と現場との間に燃料のストック拠点を設けて入出荷の調整を行った。

燃料ストック量は，建機の稼働状況をもとに見込まれる出荷量を下限，その倍の量を上限として運用する計画として，予想以上の出荷にも対応できる体制を整えた。建機への燃料給油時には，給油量とアワーメーターの記録に加え，オイルレベルゲージを目視してエンジンオイルの量や状態も確認した。

(2) 建機での燃料使用とメンテナンス

通常は軽油で稼働する建機に対して，BDF を使用した場合のメンテナンスやモニタリング方法，エンジンなどへの影響評価，使用感について検討を行った。本実験では，現場での使用頻度が高い油圧ショベルと発電機を選定し，小型と大型のそれぞれを対象とした（**表―1**）。

表―1 本実験で使用した建機

No.	名称	機種名	仕様	タンク容量（L）
1	油圧ショベル小	コマツ PC40MR-3	バケット 0.14 m^3	65
2	油圧ショベル大	キャタピラー 320D	バケット 0.8 m^3	410
3	発電機小	デンヨー DCA-25ESI-2	出力 25 kVA	70
4	発電機大	デンヨー DCA-100ESI	出力 100 kVA	225

表―2 建機のメンテナンス計画

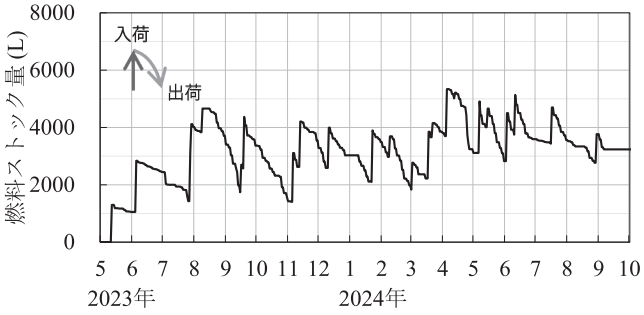
段階	内容
使用前	燃料ホース，エンジンオイル，オイルエレメント，燃料エレメントの交換
使用中	100 hr ごと：エンジンオイルの交換 エアーエレメント清掃，各部グリスアップ 200 hr ごと：エンジンオイルの交換・成分分析 オイルエレメント，燃料エレメントの交換
使用後	噴射ポンプ，噴射ノズル，排気ガス浄化装置等の交換 必要に応じてエンジンのオーバーホール

メンテナンス計画を**表―2**に示す。BDF はゴムに対して浸透性が高く油漏れのリスクがある。また，溶解性が高く燃料タンク内の不純物を洗い流してフィルターを詰まらせる恐れもあるため，使用前に燃料ホースなどを BDF 対応部品（フッ素系など）に交換した[6]。使用中は，軽油使用時の交換サイクル（250 時間ごと）よりも短い間隔でエンジンオイルや各エレメントの交換を実施した。さらに，エンジンオイル交換時にサンプルを採取し，その成分分析を通じてオイルの劣化状況を確認するとともに，金属成分の種類や濃度からエンジンの摩耗箇所の特定も行った。また，BDF で稼働する建機は軽油使用時に比べパワー不足を感じることが多いとされているため，建機オペレーターに使用感についてのヒアリングも実施した。

3. 燃料調達および建機運用の実績

(1) 燃料ストック拠点の入出荷履歴

燃料調達の実績として，燃料ストック拠点の入出荷履歴を**図―3**に示す。図の縦軸は燃料ストック量，横軸は日付であり，右上に急増する部分は入荷，右下



図―３　燃料ストック拠点の入出荷履歴

に漸減する部分は出荷を表している。図より，一定量のストックを維持しつつ，一定期間内に燃料を出荷できていることを確認でき，運用状況が適切と分かる。

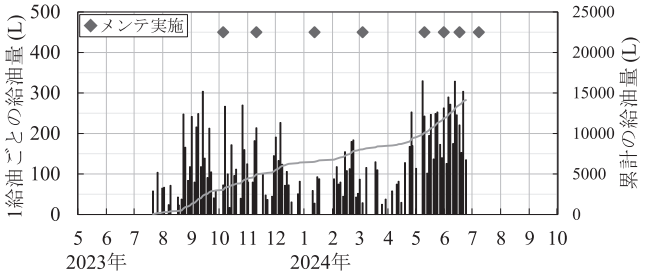
また，大林組事業所の食堂から定期的に廃食油を回収しており，2023 年 6 月から 2024 年 8 月までの間に約 385 L を回収した。建機の燃料消費量と比較して十分とは言い難いが，従業員が使用した食用油を精製し，事業活動の動力源として再利用するという資源循環の観点から，意義深い取り組みであると考えている。

(2) 燃料給油と建機稼働

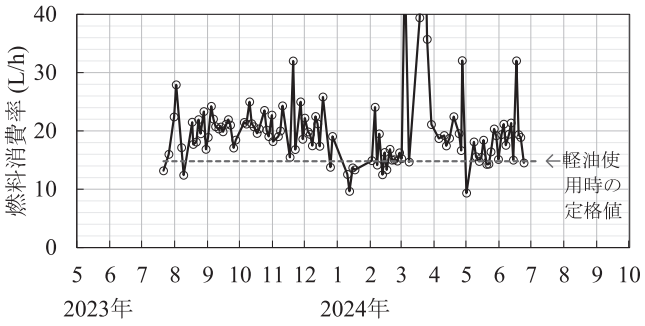
燃料給油と建機稼働に関する時系列データを**図―4，5** に示す。各図（a）では，1 給油ごとの給油量を棒グラフ，累計の給油量を折れ線グラフで示し，メンテナンス実施日を併記している。各図（b）では，1 給油ごとの給油量と稼働時間より算出した燃料消費率（燃費）を示し，文献 7）をもとに算出した軽油使用時の定格値（建機別の燃料消費率（L/kW･h）×使用建機の定格出力（kW））を併記している。

図―4 の油圧ショベル大は，途中で使用頻度が減少した時期もあるが，全体として安定した稼働を見せている。燃費は若干変動するが，軽油使用時の定格値と同等かそれ以上の値を示している。掘削・積込み動作の高負荷が影響した可能性はあるが，建機オペレーターへのヒアリング結果から，軽油に比べて発熱量が少ない BDF では [8]，同等の出力を得るために燃料消費量が増加する傾向があったと考えられる。これらの結果から，油圧ショベルは適切なメンテナンスを行うことで長期にわたり安定して使用できることを実証できた。また，建機オペレーターからは特有の排ガス臭（天ぷら油の香り）が気になるとの意見も寄せられた。

図―5 の発電機小は，初めは稼働が不定期だったが途中からは安定した稼働を見せている。燃費はほぼ一定であるが，油圧ショベルと異なり軽油使用時の定格値の半分程度であった。また，本稿では詳細は割愛するが，1 日あたりの平均稼働時間は油圧ショベルよりも長く，発電機では低負荷運転が長時間続いている可能性が高いことが示唆された。そこで故障防止のために早期に搬出し，エンジンなどへの影響評価のため分解整備と負荷試験を実施した。なお，発電機の低負荷運転は軽油使用時にも発生しやすく，メーカーからも注意喚起が行われている [9]。

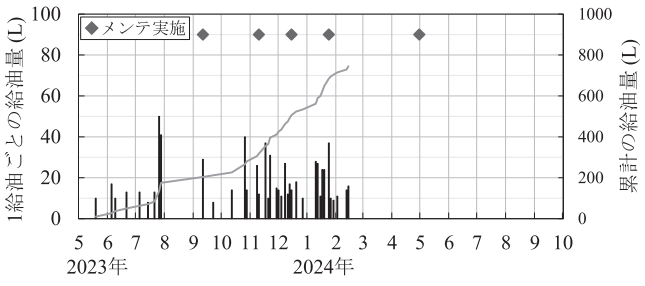


(a) 1 給油ごとの給油量とその累計

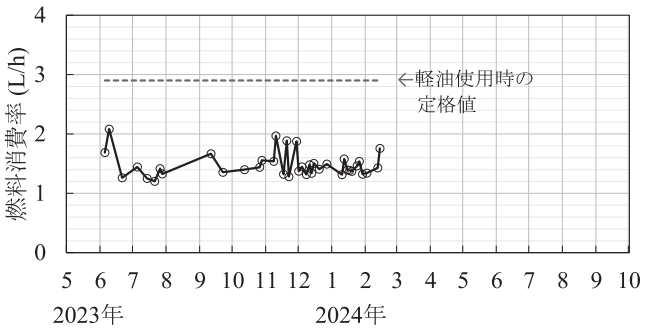


(b) 1 給油ごとの燃料消費率

図―４　燃料給油と建機稼働に関する時系列データ（油圧ショベル大）

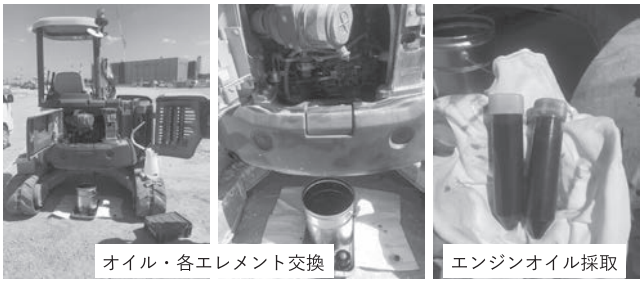


(a) 1 給油ごとの給油量とその累計



(b) 1 給油ごとの燃料消費率

図―５　燃料給油と建機稼働に関する時系列データ（発電機小）



写真―１ 油圧ショベル小のメンテナンス状況

4. 建機メンテナンスの実績

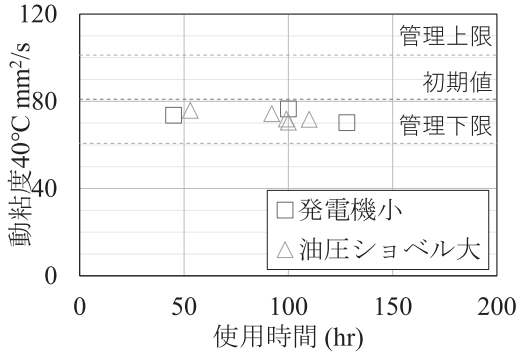
(1) 建機メンテナンスの履歴

建機使用中のメンテナンス状況の一例を**写真―１**に示す。100 時間ごとにエンジンオイルの交換，エアーエレメントの清掃，各部グリスアップ等を行い，200 時間ごとにはこれらに加えてオイルエレメントや燃料エレメントの交換，エンジンオイルの採取および成分分析を実施した。

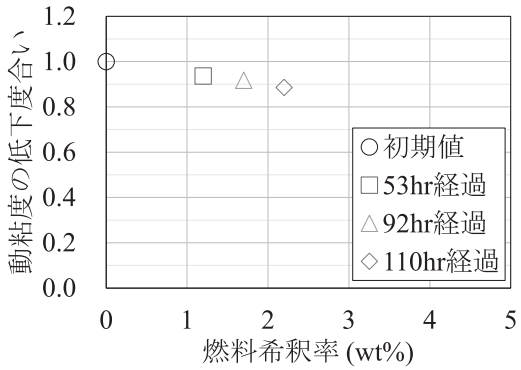
油圧ショベルと発電機の双方において懸念していた損壊は発生しなかったが，燃料供給系に関連する不具合などの課題が見受けられた。油圧ショベルでは，BDF100%に対応した部品には不具合は確認されなかった一方で，調達の都合により 100%対応にできなかった一部の部品には膨潤が見られた。発電機ではホースに不具合は確認されなかったものの，前述の低負荷運転に加えて，軽油使用時よりもススがやや多く付着し，マフラー周りのススが粘着性を持つことが確認された。なお，さらなる分析の結果，その粘着性は BDF 由来であることが判明している。

(2) エンジンオイルの動粘度

エンジンオイルの成分分析のうち，エンジンの摩耗や腐食に影響する動粘度の結果を代表的に**図―６**に示す。動粘度は使用時間が長いほど低下するが，100 時間前後では管理基準内で余裕がある。動粘度低下の要因として燃料希釈（BDF がエンジンオイルに混入すること）が考えられたため，ASTM D7806 に基づき燃料希釈率を評価した。**図―７**より，使用時間が長いほど動粘度は小さく燃料希釈率は大きくなることから，エンジンオイルより動粘度の小さい BDF が混入することで，オイルの動粘度は低下したと推察される。本実験では安全側の配慮として 100 時間ごとにメンテナンスを実施したが，本結果からは，動粘度のさらなる低下を見込んでも通常のメンテナンス間隔である 250 時間で問題ない可能性が示唆される。ただし，建機や使用状況により差異が生じると考えられるため，成分の経時変化をモニタリングし，必要に応じてメンテナンス間隔を見直すことが重要である。



図―６ 動粘度と使用時間の関係



図―７ 動粘度低下と燃料希釈率の関係（油圧ショベル大）

(3) 発電機の分解整備および負荷試験

低負荷運転が続いた発電機に対して，内部状況を確認するために分解整備を実施した。その結果，噴射ノズルや給排気バルブ，パイプ，消音器，マフラーにススが堆積していることが確認されたが，これは軽油使用時でも低負荷運転を行った場合に見られる事象であり，特に明確な差は見受けられなかった。続いて，内部のススを除去してエンジン性能を回復させるために負荷試験を実施した。十分な負荷を与えるにあたり BDF の発熱量不足が懸念されたが，問題なく高負荷に達し，最終的にはエンジン性能の回復が実現できた。また，試験後には付着していた粘着性のススも綺麗に除去されていた。

5. まとめと今後の課題

建設現場において施工に伴う CO_2 排出量の約 70%が建機の燃料消費によるため，軽油の代替としてバイオディーゼル燃料（BDF）の利用拡大が期待されている。そこで，大阪・関西万博の建設現場で，燃料調達，建機メンテナンス，エンジンへの影響評価などの

課題に取り組む実証実験を実施した。

実験の結果，適切な燃料の入出荷管理により建機の燃料切れや燃料廃棄は発生せず，安定した燃料調達が実現した。油圧ショベルでは適切なメンテナンスを行うことで安定した稼働が確認されたが，軽油使用時に比べてパワー不足による燃料消費量の増加が懸念され，特有の排ガス臭に対する配慮も必要と分かった。発電機では軽油使用時と同等の使用感が得られたが，低負荷運転時のススの堆積には注意が必要であった。エンジンオイルの成分分析ではオイルの顕著な劣化は見られず，通常のメンテナンス間隔でも問題ない可能性が示唆されたが，成分の経時変化をモニタリングして柔軟に対応することが重要である。

今後の課題としては，安定した燃料調達を実現するための給油情報の記録と共有，BDF 対応部品の調達と整備，およびそれらの実現に向けた協力会社とのさらなる連携強化が挙げられる。

謝　辞

本実験の実施にあたり，現場事務所，燃料製造会社（大西衛生㈱，㈱日本環境管理センター，㈲関環境サービス），施工会社（真神建設㈱，柳興業㈱）の方々には多大なる協力をいただきました。また，公益社団法人 2025 年日本国際博覧会協会の方々には実験実施を快諾いただきました。記して謝意を表します。

J C M A

《参 考 文 献》

1）柳雅之，川端裕司：カーボンニュートラルに向けた建設業界の取組み，コンクリート工学，Vol.59，No.9，pp.754-759，2021.9
2）川端裕司，勝二理智，西澤彩，山本巌：建設業の CO_2 排出評価に関する研究（その 1）建設現場における全体傾向，日本建築学会大会学術講演梗概集，環境工学，pp.2465-2466，2022
3）川端裕司，勝二理智，西澤彩，山本巌：建設業の CO_2 排出評価に関する研究（その 2）地下階の有無に関する分析（その 3）建物用途に関する分析，日本建築学会大会学術講演梗概集，環境工学，pp.2453-2456，2023
4）国土交通省：国土交通省土木工事の脱炭素アクションプラン～建設現場のカーボンニュートラルに向けて～，2025.4.21，2025/5/26 参照，https://www.mlit.go.jp/report/press/kanbo08_hh_001200.html
5）日本建設業連合会：建設業における軽油代替燃料利用ガイドライン，Rev.4.1，2024.8.1，2025/5/26参照，https://www.nikkenren.com/publication/detail.html?ci=305
6）国土交通省：高濃度バイオディーゼル燃料等の使用による車両不具合等防止のためのガイドライン，2009.2.10，2025/5/26 参照，https://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha10_hh_000025.html
7）日本建設機械施工協会：建設機械等損料表 令和 5 年度版
8）経済産業省 資源エネルギー庁：標準発熱量・炭素排出係数（総合エネルギー統計），2024/3/14 参照，https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/carbon_2023.html
9）デンヨー㈱ 品質管理部門：発電機の軽負荷連続運転によるカーボン類の堆積について，2015/5/1，2025/5/26 参照，https://www.denyo.co.jp/pdf/news/denyo_servicenews.pdf

［筆者紹介］



勝二　理智（しょうじ　みちと）
㈱大林組
技術本部　技術研究所
地盤技術研究部
課長



山本　巌（やまもと　いわお）
㈱大林組
環境経営統括室　推進部
部長



土井　暁（どい　さとる）
㈱大林組
ロボティクス生産本部　生産技術第三部
カーボンニュートラル課
課長