

現場で出来るCO₂削減技術 -3-



システムテクノニカル(株) 久武 経夫

1. 機械の設計・運用・整備とCO₂削減

1.1 機械管理者と機械メーカーによるCO₂削減

先号と先々号では、オペレータや施工管理者によるCO₂削減の方策についてご紹介した。

車両系建設機械の燃料消費量の多寡の決定要因は、走行抵抗（タイヤのころがり抵抗など）、動力伝達損失（駆動系、クラッチ、トルクコンバータ）、エンジン負荷損失（パワーステアリング、電気負荷、エアコン）、制動時燃費損失（燃費カット）、休車中の燃費損失（エンジン停止またはアイドル回転数の抑制）など多岐に渡っている。

これらの原因に、機械や作業装置の選定と運用、オペレータ毎の運転技術の差異、運搬路の条件、などが重畳されてCO₂発生即ち建設機械が消費する燃料の多寡が決定される。

今回は、機械の設計、機械の運用、機械の整備を通じたCO₂削減の可能性について事例や効果をご紹介する。機械の運用や保守担当者は、機械の選定や保守業務を通じた燃料消費量抑制の他、タイヤ、トラック（履帯）などの損耗部品の寿命延長を通じたCO₂削減の達成を念頭に置くべきである。

1.2 機械整備面からの省燃費運行の試み

(1) 日常点検と省燃費

装置、構成部品の性能劣化による機械の性能維持ができなくなると、これを補うためにアクセルを噴かして過剰な燃料を送り込むため、燃料消費とCO₂排出が増加する。機械の性能維持には、機械の機能と性能を熟知したオペレータが丁寧な運転を行い、機械の日常的な保守を通じて各部の調整と損耗部品の適時交換を実行することが必要である。損耗部品や油脂など劣化部品の交換時期の管理、各種のフィルターやエアクリーナなどの閉塞時の清掃や交換など、機械整備を怠ると、機械の性能低下により燃料消費量が増大し、CO₂排出量が増す。機械の性能低下の要因に次項があ

る。

履帯（シュウ）、タイヤ等足回り部品の損耗やタイヤの空気圧調整不良による走行時の滑りや走行抵抗の増大。

エンジン、動力伝達装置、油圧ポンプなど機能部品の可動部の磨耗などによる性能の低下。

ガバナの調整不良、燃料噴射ノズルの損耗、燃料フィルターの詰まり等に起因した燃焼悪化や燃費率の低下。

エアクリーナの詰まり、排気抵抗の増大、ピストンリングやシリンダライナの摩耗などに起因したエンジン燃焼効率の悪化。

潤滑油や潤滑材の選定ミス、グリースなど減磨材注入忘れ、潤滑油劣化に基づく粘度上昇などが回転、摺動部の抵抗を増大させる。

ラジエターの詰り、冷却水温レギュレータの設定値不良、冷却水量不足、過負荷運転などによる加熱または過冷却運転。

(2) 整備個所と省燃費

エンジンの性能設定

エンジンの回転数を抑えた運転がCO₂削減に有効である。軽負荷作業でエンジンの高速回転域を使用しない事が予め解っている場合、ハイアイドル（無負荷最高回転数）の設定値を下げれば運転中にアクセルの加減を気にせずCO₂削減効果を出せる。ハイアイドルの設定を下げるとエンジン騒音も低下するため、騒音苦情への対応策にも効果がある。表1に、ハイアイドル回転数を下げた場合の省エネ効果実験例を示した。

機械の稼働現場の標高が高くなると吸入空気が希薄になるため、エンジンの燃焼が悪化し出力が低下し余分な燃料は未燃焼分として黒煙などとなって放出される。海拔1000m以上の高地で稼働するエンジンは、その標高の希薄な吸入空気量に見合う様に燃料の最大噴射量（ラックセッチング値）を下げて置く必要がある。

〔F製鉄所における作業別ハイアイドル設定の省エネ効果〕

表1は、プラントでの材料押上、ホッパ投入、リッピング作業を行っている63t級ブルドーザのハイアイドル回転数を作業に応じて下げた結果で

表1 ハイアイドル回転数変更と省エネ効果 (63t級ブルドーザ)

作業		標準作業時	燃費対策	差	改善率 %
押上げ	ハイアイドル rpm	1200 ~ 1270	~ 1190	~ 80	
	燃料消費率 ℓ/Hr	57.6	47.6	10.0	17.4%
ホッパ投入	ハイアイドル rpm	1230 ~ 1270	~ 1200	~ 70	
	燃料消費率 ℓ/Hr	62.5	53.0	9.5	15.2%
リッピング	ハイアイドル rpm	1180 ~ 1340	~ 1300	~ 40	
	燃料消費率 ℓ/Hr	59.1	52.4	6.7	11.3%

ある。ハイアイドル回転数の設定値を標準作業時の回転数選択実績値から40~80rpm下げるだけで11~17%の燃料消費量の削減に成功している。

エンジンや動力伝達系用潤滑油

a. 潤滑油の粘度

図1に外気温度による潤滑油の使い分けを示した。エンジンや動力伝達系の潤滑油として一部の例外はあるが、外気温度0を境にして、低温側はSAE10W、高温側はSAE30、SAE50などを使用している。

冬期にSAE30を使用し続けると、SAE10W30を使用した場合に比べエンジン出力が3%低下、SAE10Wを使用した場合に比べ4.5%低下する。

トランスミッションの場合もSAE10W使用時の1%出力が低下する。図2に、潤滑油SAE粘度とエンジン摩擦トルクの関係を示す。

両温度帯で使用できるSAE10W30やSAE15W40などのマルチグレード潤滑油を使用する場合もある。マルチグレード潤滑油は、温度による粘度変化を少なくするために粘度指数向上剤を添加している。粘度指数の高い合成潤滑油を使用する場

給油・給水箇所	外気温における推奨粘度 (-30℃~40℃)
エンジン クランクケース	SAE 10W/30
パワーシフト トランスミッション	SAE 10W, SAE 30, SAE 50
フロントディファレンシャルおよびファイナルドライブ	SAE 10W, SAE 30, SAE 50
リアディファレンシャルおよびファイナルドライブ	SAE 30, SAE 50
ハイドロリック システム	SAE 10W/30
ステアリングおよびブレーキ	SAE 10W/30
パケットピンおよびリンクピン	SAE 80W/90
フュエルタンク	JIS 2号, JIS 3号
冷却システム	JIS 特3号, 50%濃度

図1 外気温度による潤滑油の使い分け

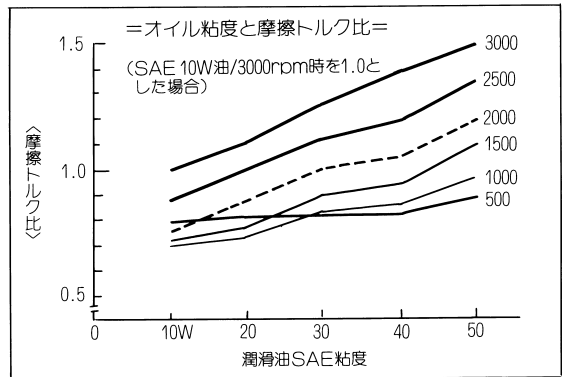


図2 潤滑油SAE粘度とエンジン摩擦トルク



図3 マルチグレード油と燃費

合もある。季節や負荷変動に拘らず潤滑油の条件を一定にできるため燃費改善効果が期待できる。図3に、SAE30、SAE10W30、SAE15W40を使用した場合の燃料消費量当たりの走行距離の差を示した。

b. エンジン油の劣化と燃料消費率

エンジン油劣化の内、燃費悪化上問題となるのが「粘度の上昇」である。一般に粘度(cst換算)については新油の1.25倍に達した場合に交換する事になっている。この時点でのエンジン出力の低下は2~3%程度と想定される。

使用過程での粘度上昇要因として、燃焼残渣(スラッジ)の侵入や化学的な劣化に伴う錯イオンの結合などがある。スラッジは、燃焼室内に生成されたスラッジがシリンダーライナーとピストンの間隙から潤滑油系統に侵入する。特に、高負荷での連続運転や異常燃焼時にスラッジの生成が増す。異常燃焼は、燃料噴射系統の損耗や故障、エアクリーナの詰まりや高地での運転時に吸入空気量が不足したなどが原因である。高負荷時にエンジン油の温度が上昇するとエンジン油自身の化学的な劣化が促進される。両者が相まって粘度の異常上昇(シックニング)が発生する。

c. 省エネ添加剤, 他

油性向上, 極圧などの特性を売り込みに省エネ添加剤が販売されているが、機械メーカー推奨の高級潤滑油(CD級, DH-1級)にはこれら機能は十分保証されている。実機試験を繰り返し決

定された推奨油の使用と推奨交換間隔を遵守すれば屋上屋を重ねる省エネ添加剤の使用は不要で弊害となる場合もある。潤滑油の劣化、汚損、水分進入などによる交換間隔の指標として、エンジン油250Hr、動力伝達油500Hrが一般的である。燃焼室近傍の潤滑・冷却・クリーニング（清浄化）を行っているエンジン油の管理は特に重要である。エンジン油のみ250Hrと規定されているのはこのためである。

燃料

建設機械は通常 JIS 2 号軽油を使用するが、寒冷時に流動点の低い JIS 3 号軽油を使用する地域がある。外気温度に対し流動点が高いとフィルタが詰まり始動不良やエンジン出力低下の原因になる。燃料フィルター閉塞の原因が燃料中の水分であった場合には、始動不良やエンジン出力低下の他、燃料中の水分が燃料移送（トランスファ）ポンプのアイドル軸、噴射ポンプインジェクタのプランジャー、噴射ノズル弁座部の早期損耗や膠着の要因となる。

また、価格が安いことを理由に灯油を使用する例があるが、灯油は密度、粘度、セタン化が低いので、インジェクタからのリーク、軽油で設計されたエンジンでは噴霧特性が整合しない、燃焼後、密度差に相当する発熱量不足などのマイナス面が相乗されて、軽油比88%程度の出力しかでない。密度0.850 g/cm³以上の重質油の場合でも粘度が高すぎると密度に見合ったエンジン出力は得ら

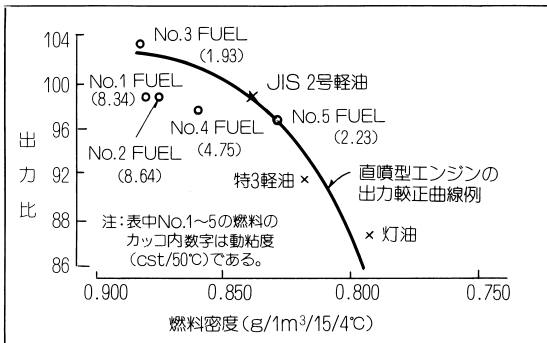


図4 燃料密度とエンジン出力

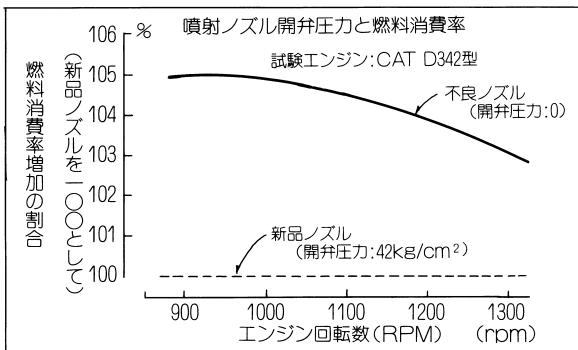


図5 ノズル開弁圧と燃料消費率

れない。噴射性能が低下するためと考えられる。

図4に燃料密度とエンジン出力の計測例を示す。

また、灯油は潤滑性が劣るため、燃料中の水分と同様に、燃料噴射系統各部の早期摩耗や膠着が発生し、軽油使用のエンジンに較べ短命となる。

ノズル可動部が磨耗して開弁圧が下がると燃料噴射時期が早まり1サイクル当たりの噴射量が増え、結果的に燃料消費率は悪化する。交換寿命を過ぎた噴射ノズルを使用すると燃焼不良による燃焼室汚損の要因にもなる。図5に、ノズル開弁圧と燃料消費率の関係を例示した。

エアクリーナ

エアクリーナが詰まると燃焼室に送られる空気が減少するため燃焼が悪化し、エンジンの出力が低下する。この状態で必要な馬力を確保するために更に燃料を送り込むと燃料消費率が悪化する。

図6に吸入抵抗と燃料消費率の関係例を示した。

エアクリーナエレメントは通過抵抗760mmH₂Oで交換する。交換のタイミングはエアクリーナインジェクタがロックし赤色表示でオペレータに通知する。この段階での燃料消費率の増加は、NAエンジンで3.5%、ターボ付エンジンで1.5%程度である。エレメントの清掃や交換を行わずに放置してこの値が1000mmH₂Oとなるとそれぞれ5%、3%の燃料消費率の増加となる。

省燃費のためにはエレメントを頻繁に交換することが好ましいが、新品のエレメントは繊維（天然系の不織紙）空間が粗でダスト補足率が相対的に低い。エレメントが交換時期に達するまでは日常的な清掃を励行する。ただし、エレメント脱着に際してはケース内に体積したダストがエンジン側に侵入しない様細心の注意が必要である。石灰粉など硬質のダストが燃焼室のシリンダ壁を伝って潤滑油中に混入するとピストンリングや吸排気弁のシャフト異常摩耗の原因となる。

トンネルなど、高湿度の現場では含水膨潤したエアクリーナが吸入空気流を阻害する。一般に含水エレメントの通気抵抗は200～300mmH₂Oとい

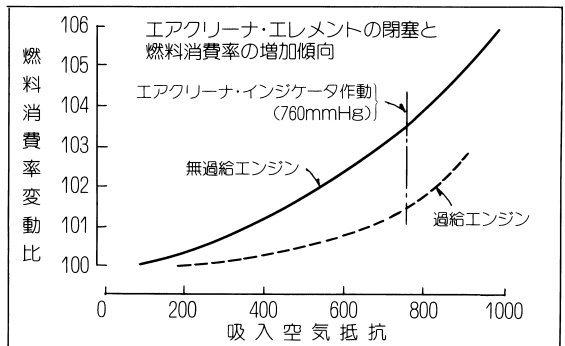


図6 エアクリーナエレメントの閉塞と燃料消費率の増加(例)

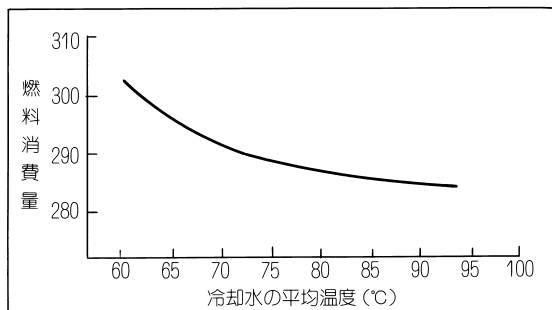


図7 冷却系温度と燃料消費量

われている。含水すると、新品（200mmH₂O程度）と交換時760mmH₂Oの半ばまで一気に閉塞することになる。

冷却系

エンジンは燃焼室周辺の温度が高い方が効率が良いため、冷却水系を密閉加圧して100 以上の加熱水で冷却を行っている。ただし、焼付きを防止するためにシステムに圧力逃がし弁（プレッシャーリリーフバルブ）を装着して冷却水が一定の温度（一般に120 ）以上にはならない様になっている。図7に、冷却水温度と燃料消費量の関係例を示した。無駄な放熱は熱効率を低下させ、サーモスタットの設定値が下がると過冷却となり燃料消費量が増す。10 の冷却水温度低下で3～4%の燃費増になる。

また、冷却ファンはエンジン出力の5%以上を消費しているが、最近では、可変スピードファン（デマンドコントロールファン）などで出力ロスを防ぐ仕組みとなっている。

電気系

バッテリーが放電するとその分オルタネータの充電負荷が増す。建設機械は作業時の照明、電動のアタッチメントなど建設機械の電気負荷は大きく、その分大きなバッテリーとオルタネータを搭載している。随所に装着しているセンサ、リレーなど雨風に晒されており、絶縁不良を起し易い状態になっている。使用後の機械はバッテリースイッチを常にOFFにしておかないとバッテリーが上がってしまう。

放電し劣化したバッテリーは充電効率が悪くオルタネータが常に充電し続ける状態となってしまう。

油圧作業装置

油圧リリーフ弁の設定が上がるとエンジン出力ロスが大となりシールやホース損傷の原因となる。

設定値を下げるとリリーフ時のエネルギーロスが低減する。作業負荷によっては、設定値を下げて機械を使用する事も検討すべきである。作業装置を操作する場合、余剰油をリリーフする無駄を無くすためにエンジンスロットルを押さえ気味に

して運転する。

シリンダーなどのシール部の漏れ、油圧ホースの亀裂漏れ、油量不足によるエアレーション、リリーフバルブに設定圧不良などもエネルギーの無駄使いとなる。

油圧ショベルで、ブームエネルギー再生回路により、ブーム下げ時、戻り油圧をアーム駆動、旋回などに活用するシステムも一部の機械に導入されている。連動性、生産性が向上し、省エネにも貢献する。

タイヤ

施工現場におけるタイヤとCO₂削減の係わり合いは、タイヤ種類の選択、空気圧管理、交換時期の管理、新品時の馴らし走行の励行などがある。積込み現場や土捨て場では路面の凹凸やバラ石がありタイヤに耐久カット性が求められる。運搬路の場合には、これに耐熱性、耐磨耗性などが付加される。

残念ながら、オフロード型の大型ダンプトラックについてはタイヤ選定や管理と燃費、CO₂削減との関連について定量的な調査研究を行った事例が少ない。試験機が大型に対応できないからである。一般の自動車やトラックについては多くの実験と実測例がある。

a. タイヤの種類ところがり抵抗

トレッド部の剛性が高いラジアルタイヤはトレッド部の無駄な動きが少なく、ころがり抵抗がバイアスベルトタイヤに較べて小さいため燃費特性が優れている。一般の車両であるが、ころがり抵抗の差が30%前後、燃費差が10%前後の報文もある。同一のタイヤであれば径が大きいほど、ころがり抵抗は小さい。

b. 空気圧の管理

タイヤの空気圧が適正に管理されていないと、路面抵抗が大となり磨耗が促進される。低空気圧の場合は走行抵抗が増し燃費とCO₂排出が増大する（高速運搬車の場合3～5%）他、発熱によるタイヤ寿命の短縮、車体バランス悪化などが起こる。図8は、タイヤの空気圧、走行速度ところがり抵抗の関係例をラジアルとバイアスタイヤにつ

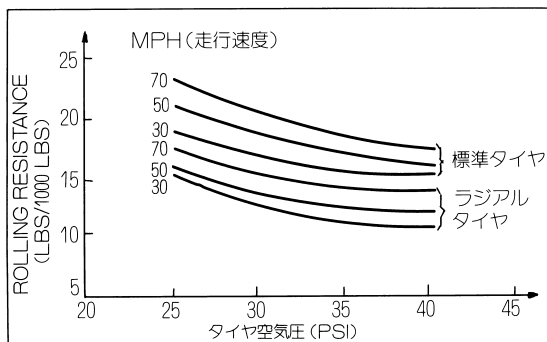


図8 タイヤの種類別、空気圧、走行速度ところがり抵抗の関係例

いて調査した結果例である。

c. 均一な積込み

偏った積荷は特定のタイヤに過剰な負荷がかかる。推奨荷重に対し120%の荷重でタイヤの寿命は80%，140%の荷重でタイヤの寿命は50%となるといわれている。

d. 運転方法

図7に例示した様に、タイヤのころがり抵抗は走行速度と共に増大する。必要以上の速度を出し、アクセルとブレーキを頻繁に繰り返す運転は燃費率を悪化すると同時にタイヤ寿命を縮める。

e. 交換寿命

45t級のオフロードダンプトラックを例とすると、接地面の溝深さ40～60mmの85%程度が交換限界になる。交換時には、タイヤ直径が新品の97～95%となっている。

これらの条件によって、高速運搬時には2～3%の燃費差が生じる。

トラック、バケットチップ、ツース

車両の走行抵抗は平坦地でエンジンを停止し、トランスミッションをニュートラルにした状態で車両を牽引するのに必要な力で表す。走行抵抗はロードセルなどを用いて測定する。この値は、車両の重量と路面の条件（走行抵抗係数）によって決定する。ダンプトラックなどタイヤ系車両の場合にはころがり抵抗とも呼称する。

走行抵抗係数には、路面の条件のよって決定される路面抵抗と走行系部品の噛み合いや摺動時の摩擦や衝撃による内部抵抗が含まれる。

トラック（履帯）系の車両の場合、履帯の張り（緊張度）によって内部抵抗は大きく変化するが路面抵抗は変わらない。履帯を張り過ぎると、履帯を駆動するために力をとられ、牽引力が減少し作業量が低下する。弛みすぎは、消費馬力が大きくなると同時に磨耗を促進する。図9に履帯の緊張度と走行抵抗の関連を示した。

バケットチップ、ツースの磨耗も貫入抵抗が大となり燃料の浪費に繋がる。

足廻り、バケット、荷台などの泥落しを励行しないと車体重量が増加して燃費が悪化する。

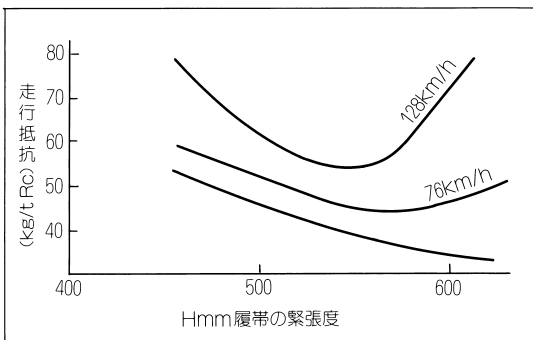


図9 履帯の緊張度と走行抵抗の関連

2. 省エネ機械の設計

2.1 CO₂・燃料消費削減の切口

建設機械メーカーも様々な切口から組織的・継続的にCO₂・燃料消費削減に取り組んでいる。

過去10年間の省エネやCO₂削減の成果には眼をみはるものがある。ユーザーはメーカーの設計動向を理解して機械の選定を行う必要がある。

機械の運転と保守に際しても、メーカーの設計意図を理解し活用して省エネ効果が具現化する。

表2は、建設機械のモデルチェンジに際して作業量当たりの燃料消費量の多寡（燃料生産性）を意識した設計を行った結果、同等クラスの機械で燃料生産性が1.1～1.26倍改善された事例である。

表2を実現するためにメーカーとして様々な改善が行われたはずであるが個々の内容は不詳である。

一般論として、メーカーが取り組むCO₂削減の切り口に下項がある。

機械とコンポーネントのCO₂削減設計

機械とコンポーネントからのCO₂削減は、エネルギー効率の良い機械と耐用時間の長い部品が基本となる。軽量化や低重心化など移動や作業時に無駄なエネルギーを排除する、重心を後部に移してフロントの作業装置に大きな力を掛けられる様に、油圧シリンダの出力を効率的に作業端に伝える機械の構造（Z型リンクなど動力伝達効率の良い作業装置の機構）など。

動力系

直噴化など燃料消費率の低いエンジンの採用、機械性能とエンジンの最適マッチング、エンジンの熱効率を改善するための冷却系（ラジエータ・シャッター・コントロール、ファンクラッチ）の改善、その他。電気式のハイブリッド化は、エンジンの最小燃費率領域での稼働と次項のアイドル

表2 設計と燃料生産性

機種	単位	新型機械	旧型機械	新型機械	旧型機械	新型機械	旧型機械
		(CATD 9 L型)	(CATD 9 H型)	(CAT 953型)	(CAT 955 L型)	(CAT 966 D型)	(CAT 966 C型)
作業内容		リッピング ドーピング		地山掘削 積込み		ロード&キャリ	
時間当り 作業量	m ³ /Hr ton/Hr	475	359	171	179	240	210
燃料 消費量	ℓ/Hr	93	85	22	29	35	34
燃料 生産性	m ³ /ℓ Ton/ℓ	5.1	4.2	7.8	6.2	6.9	6.2
燃料生産 性比率		121	100	126	100	111	100

ストップの容易化でCO₂削減に寄与できる。

加水燃料も燃費率や排気ガスの浄化に効果ありと言われているが、燃費改善領域が限定される、フィルタなど水分に弱い部品への対処など解決すべき課題がある。

無負荷・低負荷時の動力の停止（アイドルストップ）

アイドルストップの要求もあるが、アイドルストップを実現するためには、頻繁な起動・停止の繰返しに耐えるためにエンジン始動モータ用の可動接点の容量を大きくする必要がある。建機搭載の大型エンジンに対応可能な大容量接点は汎用化されていない。なお、電気式のハイブリッドシステムを搭載した機械では動力の発停は容易である。

定時交換部品の交換間隔の延長

走行装置や作業装置系部品の磨耗は運転操作の方法で大きな差異が生じる。本稿の第1回目の図9の例では、丁寧な運転を行って、エンジンの負荷を20%削減した状態で稼働時間当たりのタイヤの磨耗量が半減したと報告されている。

フィルターや油脂など定時交換部品の場合には、エレメントの質の向上や容量を大きくする事で交換間隔を長くする、低硫黄含有の燃料を使用してエンジン油交換間隔を延長するなどが寿命延長の手法である。

運転技術の補完や支援を目的とした電子システムの開発

運転技術を補填するものとして、高精度化や迅速化など作業目的に沿って機械を半自動にしたり、減速・加速したりする。表3に、オペレータの操作支援、機械の作業性の向上などを目的として機械に搭載されている各種の電子式自動制御システムを例示した。

表3に示したシステム以外にも、ホイールローダの積込み重量計量システム（バケットスケール）、ダンプトラックの運搬重量計量システム（ペイロードメジャーメントシステム）が積込み機械やダンプトラックの効率を向上するためのシステムとして開発された。

機械を円滑に稼働させるためのセンシングシステムの装備

ヒヤリハットの度に機械を止め、確認のために機械の廻りを点検する、微速での探り運転等も結果的にエネルギーの無駄使いになる。

機械の周辺監視システム

ム、転倒防止システムの装備など機械稼働環境の整備によって機械を連続的に動かすことも省エネ・CO₂削減と生産効率向上の手段として評価される。国土交通省では、これら機械の安全化システムとして、超音波トランスポンダ、機械周辺の色検出システム、クレーン等の転倒防止システムの開発を行っている。

作業に合致した機械やアタッチメントを開発し、作業効率の向上を図る

CO₂排出を削減するためには、作業目的と作業内容に合致した作業装置（アタッチメント）の開発や機械、作業装置の機能向上を行って素早く作業を行ない機械の稼働時間を減らす研究も必要である。既存の機械を工夫して使う事に慣れている建設事業者も、従来の半分の時間で仕事をする機械など新しい発想でチャレンジすべきである。

汎用の建設機械は様々な作業に対応できる様に設計されているが、長期間同一の作業を行う場合には、その作業に最も適した機械に改造し効率良く機械を活用すべきである。特定の用途に合わせて何らかの改造を施した「用途別建設機械」が全建機の20%を占めている。

異なった作業の組合せで同一現場での施工を行う場合、作業装置（アタッチメント）を交換して1台の機械で複数種類の作業をこなす「多機能建機」も登場している。

図10は、1台の建機が4種類の作業装置（リッパ、バケット、把持装置、フォーク）を付替えて作業を行った事例である。多機能化により機械の入替え時間が省ける、待機機械の保管スペースが不要になるなどのメリットが生じた。工期も大幅に短縮されたといわれている。

施工計画、機械の選定、最適運用を行うための各種シミュレーションの開発

施工支援を目的とした各種のシミュレーションについては前号3章で紹介した。機械利用に関わ

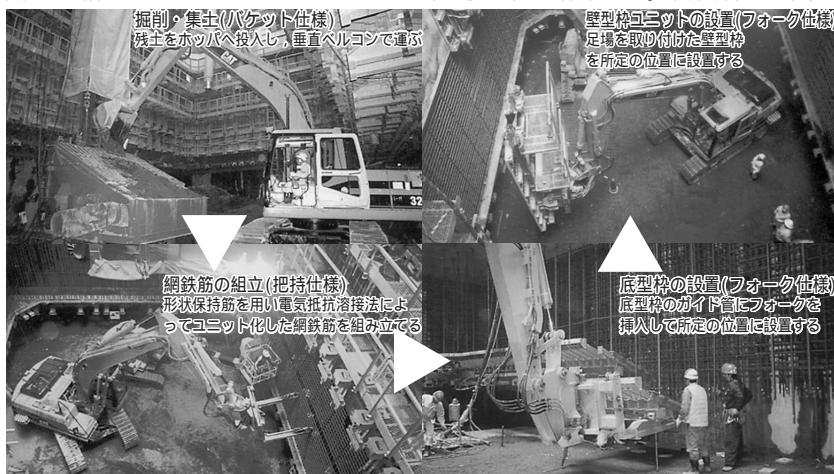


図10 多機能建機による立孔構築

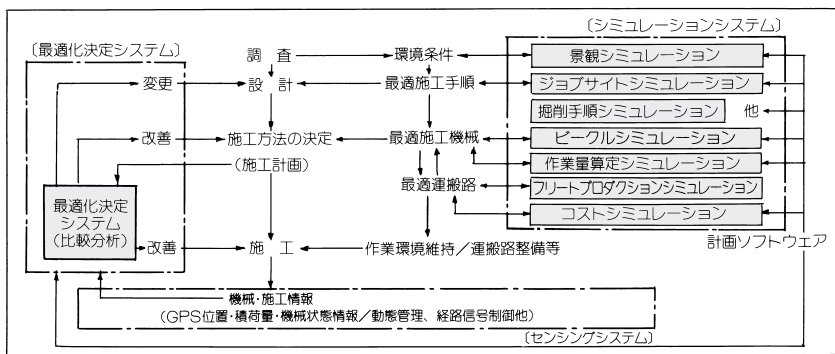


図11 施工機械の効率運用支援システム

各種のシミュレーションの構築対象として、加速特性など機械の動的な性能を加味した機械の最適走行、機械群としての最適な管理、施工出来高や出来形の推移予測、最適施工手順などがある。シミュレーションを通じて施工目的に応じた最適な機械の選択、最小時間で施工が行える施工手順の算出などが可能となれば、現場の生産性向上とCO₂削減に大きく貢献できる。図11に、施工機械の効率運用支援システムを示した。

その他
建機メーカーには上述の他、機械の性能維持のための保守体制の整備、ユーザー向けのCO₂削減運転の指導などが求められる。油圧ショベルやクレーンについては、運転教育用のシミュレーターも開発されている。

2.2 運転支援システム

建設機械は省エネや操作性・作業性の向上を目的としてセンサや電子技術等を駆使した様々なシステムを装備している。人間による機械操作の困難性を補うのが目的で、その多くが省エネ、CO₂削減に寄与している。燃料系、走行系などの自動制御によってエンジンの効率化を通じた排出ガス中のCO₂を削減する、作業目的に沿って機械を半自動化したり減速したりするなどである。表3

表3 省エネや操作性向上を目的とした各種の電子制御システム

電子制御システム	システムの機能	省燃費などの効果
電子燃料噴射システム	エンジンや車体に装備したセンサ情報を基に最適な燃料噴射時期と噴射量を制御	燃費の向上、排気ガスや黒煙の大幅な削減
エンジンオーバーラン防止装置	エンジン過回転を検知すると自動的に速度段を上げる	省燃費、エンジン保護
エンジン電子制御/自動大気圧補償機能	エアフィルターの目詰まりや標高の高い現場での稼働時に燃料の供給量の最適制御	省燃費、エンジン保護
可変スピードファン/デマンドコントロールファン	冷却水・作動油・吸気温度、リターダ未使用等に応じファン回転数を自動的に下げる	省燃費、騒音抑止、過冷却防止
電子パワーユニット制御システム	パワーユニットの最適制御 作業要求に応じた油圧油流の最適化	省燃費、排気ガス低減
オートデセラレータ	4秒間負荷が掛からないとエンジンを中速 1300～1500rpmに自動的に落とす	省燃費
オートアイドルリング	一定時間レバー操作を行わないとエンジン回転数を自動的にアイドルリング回転数まで下げる	980～1080rpm 省燃費
電子-油圧システム/エンジンと油圧系の協調制御	操作量と速度、操作性可変システムの設定状況、稼働状況等の情報を基にバルブ、エンジン回転、ポンプ流量を制御	省燃費、生産性向上
電子式ハイドロスタティック制御	車両の稼働状況とオペレータの操作状況を集中管理、最適な制御を行う	操作性、省燃費
電子制御トランスミッション	トランスミッションのクラッチ接続状態を、速度段やエンジン回転数などの状況により自動的に調整。	クラッチ接続が円滑最適化しミッションユニットの信頼性向上とシフトショックの解消による快適な乗り心地が実現
コントロールスロットルシフティング	速度段変更時にエンジン回転数を瞬時に制御	シフト時負荷と摩耗の軽減、円滑で快適な乗り心地
ディレクショナルシフトマネージメント	前後進切替時にエンジン回転数を瞬時に制御	シフト時負荷、クラッチエネルギー、摩耗の軽減、円滑で快適な乗り心地
クイックシフト機能	前進1速から後進に切替えると自動的に後進2速にシフトされる	サイクルタイムの短縮、疲労軽減
後進制限機能/インテリジェントパワートレイン	時速4.8km以上で前進中の後進シフト防止	省燃費、長寿命化
アンチハンチング機能/インテリジェントパワートレイン	シフト後数秒間は「戻りシフト」を防止	長寿命化/ギアのハンチング防止
オートマッチリターダコントロール	エンジンブレーキ使用の降坂時にエンジン回転数を一定に保つ様リターダを自動制御	リターダ操作からオペレータを解放し降坂スピードアップを実現、他
トラクションコントロールシステム	後輪タイヤのスリップ量を検知、ブレーキを自動的に作動させスリップを抑制、駆動力を素早く回復させる	軟弱地の走行性を高め、タイヤスリップによる走路の荒れを防止
電子制御ステアリング	車両状態に応じて、ステアリングクラッチとブレーキを電子制御	特に下り勾配作業時での逆ステアリングを減少し、スムーズで容易な操行と信頼性の向上を実現

にこれら電子制御システムを例示した。

3. おわりに

国をあげて省エネルギーに取り組んだ第1次および第2時オイルショックの頃の施工現場では、考えられる全ゆる分野での研究を手掛けた。しかしながら、引き続いた高度成長期の到来で、研究の多くは成果を見ぬ間に終焉した。

幸い、IT化の展開の中で建設機械には各所にセンサや自動制御システムが装着され、効率化と運転の容易化に係わる様々な支援システムが実現している。CO₂削減を機械から攻める背景は整ってきた。

建設事業レベルではCO₂削減への数多くの切

り口があり、オペレータに課す建設機械を中心とした部分はその一部である。事業計画段階では施工が国民経済や福祉の面で真に必要な基本的な部分での判断、施工計画段階では従来の手順に囚われずにCO₂削減を目的とした新施工法研究、施工管理段階ではレイアウトや運搬路の設計と整備の最適化に取り組む方向が見えてきた。建設機械メーカーにも更なるCO₂削減の研究が求められている。

原油価格の異常な高騰と「石油が無くなる」危機感の中で、省エネと代替エネルギー研究のために大きな投資が行われた。高度成長期の到来で中断された研究の片鱗は本稿執筆に際して参考とした文末の参考資料に残されている。

【参考資料】

守田友義・薩摩林和美「実用機械シリーズ/ブルドーザ」産業図書
久武経夫/機械施工技術講習会シリーズX(その2)「建設機械の保守と燃料、油脂の管理(機械維持費低減の為の諸策)」(社)日本建設機械化協会関西支部 80.11
L.アレン/二宮嘉弘訳「燃料節約のガイドライン(その2)適正な整備とオペの技量が10%の燃料節約をもたらす」建設の機械化 82.3,4
村松敏光訳「現場における建設機械燃料節約」World Construction May 81/建設の機械化 82.4
久武経夫・跡野忠史「稼働現場でのアベイラビリティ向上技術」建設機械 第18巻 第7号 82.7
「機械施工の生産性向上について - 省エネルギー工法 - 」新キャタピラー三菱(株) 1983
堀吉春, 福田水穂, 小林洋一「燃費など車両性能向上への解析的アプローチ」自動車技術 1983
久武経夫・大賀博也「積込機械の過積載防止装置について」(社)建設荷役車両安全技術協会建設荷役車両第20号
久武経夫「第5章 建設機械のアベイラビリティと生産性向上を目的とした作業のシステム化」/丸山隆和監修「掘削・採鉱・建設工事の自動化・無人化・ロボット化」P255~274 フジテクノシステム 1983
久武経夫・広瀬晋也「稼働分析の方法・計測とデータ解析の技術 - 」建設機械第19巻 第9号 83.9
中島英俊・川崎千歳・岩片敬作「高負荷ディーゼルエンジン用マルチグレード油の評価」小松技報 第29巻 第3号 1983
松島宏・長神秀嗣・久武経夫「運転技術の経済効果 - 良好な維持管理と共にあるもの - 」(社)建設荷役車両安全技術協会建設荷役車両 第24号
村松敏光・薬師寺伸夫「建設機械の自動化に関する一考察 - 土工機械の自動化への試み - 」第1回 建設ロボットシンポジウム 1990

「機械施工システムを考える - 生産性向上と原価低減 - 」新キャタピラー三菱(株) 1992
自動化委員会制御小委員会「建設機械の作業調査研究報告書」(社)日本建設機械化協会 1983.3
三浦養一・久武経夫・芝田幹生「多目的建設機械の開発」建設機械 99.11
竹林征三他編著「土工事ポケットブック」山海堂 00.4
久武経夫・広瀬晋也「大規模土工現場における施工の統合管理 - RTK - GPSと無線ネットワーク等を駆使した施工機械の広域管理 - 」建設の機械化 00.05
機械部会 建設機械の環境負荷低減技術チーム「建設機械の環境負荷低減技術方針の決定」建設の機械化 01.09
土木研究所 先端技術チーム「建設事業におけるCO₂算定評価システムの開発に関する研究」
「建設施工の地球温暖化対策ガイドライン(素案)」 02.03
小宮山昌之・絹川秀樹・田中恒次郎「6トンクラス油圧ショベルの省エネルギー効果評価モード」建設の機械化 02.04
建設業部会 施工技術活性化分科会「建設工事における二酸化炭素[CO₂]排出量の算定」(社)日本建設機械化協会 02.05
「省燃費マニュアル[油圧ショベル編]」コマツ
「省燃費マニュアル[ダンプトラック]」コマツ 02.09
建設業部会施工技術活性化分科会「建設工事における二酸化炭素(CO₂)排出量の算定」建設の機械化 02.10
「読んで得する燃費読本 燃費を少なくする運転と日常整備」新キャタピラー三菱(株)
その他メーカー資料