

極低騒音型油圧ショベルの開発と商品化

※中島 一

¹コベルコ建機株式会社 開発生産本部 要素開発部
(〒731-0138 広島市安佐南区祇園 3-12-4)



※発表者

建設機械の騒音低減に対する要求は、都市部や夜間工事の増加する中、稼働現場周辺の住民やオペレータへの環境改善の観点から、近年ますます強まってきている。そこで今回、周辺住民に対して不快感を与えず、且つ、運転者や周囲の作業者が安全に作業が出来ることを狙い、従来機の騒音レベルを大幅に低減した極低騒音型油圧ショベルを汎用機種シリーズとして開発した。これは、国土交通省の最も厳しい超低騒音型の基準値をさらに5 dB 低減している。

キーワード：低騒音化、安全性、都市工事、建設機械、油圧ショベル、iNDR、極低騒音

1. はじめに

建設機械の騒音低減に対する要求は、都市部や夜間での工事の増加も含め、稼働現場周辺の住民やオペレータへの環境改善の観点から、近年ますます強まってきており、建設機械メーカーにとって重要な課題となっている。

これに伴い騒音に関する法規制も年々整備強化されてきている。国内においては国土交通省が建設機械に対する低騒音型建設機械の型式指定制度を設け、低騒音型とさらに6 dB低い超低騒音型建設機械の判定基準を設定している。一方、欧州においてはEUの定める騒音規制値を超える機械の流通制限が行われており、規制値も2006年1月より現行に対して3 dB低く抑えられた。図-1に油圧ショベルの国内の騒音基準値とEUの騒音規制値を示す。両方の規制をクリアするため、最近では、機械の騒音レベルの低減が進んできており、超低騒音型建設機械の指定が増加傾向にある。また、超低騒音型の基準値をさらに5 dB低減した極低騒音の都市型建設機械も登場してきており、他社製品との差別化の観点からも、ますます低騒音化への拍車がかかるものと予想される。

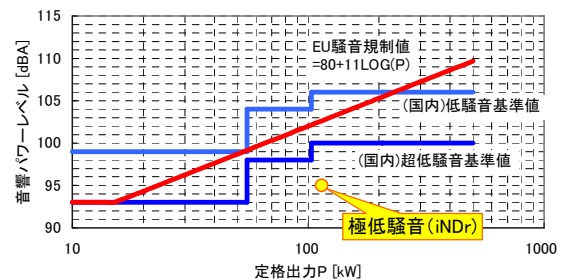


図-1 油圧ショベルの騒音基準値

騒音レベルの低減だけでなく、音色や音質への配慮も重要である。音は受け手により、また時と場合により、感じ方が大きく異なる。建設機械の音は、周辺住民にとっては環境悪化の元凶であるが、運転者にとっては機械の動きの状況を伝える情報源となる場合もある。周辺の住民に対して不快感を与えず、且つ運転者や周囲の作業者が安全で効率よく作業ができ、疲れにくい音環境への配慮が重要となっていく。

このような背景の下、機械の快音化には喧騒感の改善に大きく寄与する騒音レベルやラウドネスレベルの低減と、同じレベル値でもより不快感が小さな音色や音質を追求する両方のアプローチが必要となる。ここでは快音化へのアプローチの改善事例¹⁾を最新の極低騒音(iNDR)を中心に紹介する。

2. 油圧ショベルの音源と特徴

油圧ショベルの作業時の主要な音源としては、ファン音、エンジン機関音、エンジン吸排気音、油圧ポンプや

コントロール弁などの油圧機器音、そして旋回歯車音、履帯音、作業時の打撃音とガタ音が挙げられる。これらの主要音源を図-2に示す。寄与度の大きさは、ショベルのクラスや作業状況により異なるが、一例として図-3に中型油圧ショベル作業時の音源寄与度の例を示す。図中の5種類に分けた音源について、個別遮音により各寄与度が求められている。内側の円グラフは各音源寄与度のエネルギー比を示し、外側の円グラフはエンクロージャ開口部とそれ以外からの寄与度比率を示す。

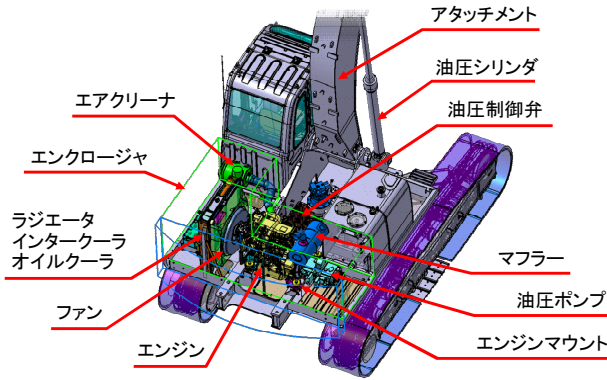


図-2 油圧ショベルの主要騒音源

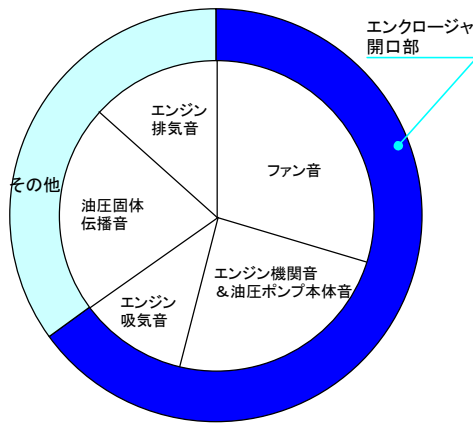


図-3 油圧ショベルの音源寄与度の例

油圧ショベルは、自動車と異なり、走行風の無い定置作業であり、又エンジン負荷率が高いため、冷却ファンを高速回転せざるを得ず、ファンは大きな音源となる。作業時には、動力源に高負荷がかかり、エンジン機関音と油圧音が急激に大きくなり、レベル変動を増幅し音質に悪影響を与える。油圧固体伝播音は、油圧脈動振動が固体伝播してフレームやアタッチメント等から放射される音でエンクロージャ以外の音源である。

エンジンと油圧ポンプは吸音材を内貼りした囲い（エンクロージャ）の中に収められ吸遮音されるが、冷却風の通路としての開口部より放射される。開口部からの漏れ音低減とヒートバランス成立のための通風量確保との二律背反が重要な設計課題となる。

3. 騒音レベルの低減と極低騒音 (iNDR)

(1) 模擬動作時の音響パワーレベルの計測評価

1997年の「低騒音型建設機械」新規格測定法により、それまでの無負荷ハイアイドル運転時定常音計測から機体の90度旋回と一連の掘削作業サイクルの模擬動作時の非定常音の等価騒音レベル計測への変更がなされた。また4方向の騒音レベルの平均値から、半球面上6点の計測音圧から算出する音響パワーレベルへ変更となり、建設機械の音響性能の表示がより実態に近づいた。さらに、EUの騒音規制と計測方法が統一され国際的な整合化も図られるようになってきている。

図-4に同法による測定時のマイクロフォン位置の概略、写真-1に測定状況を示す。機械中心から半径16m以内はコンクリート面であり、測定半径の3倍以内には建屋等の反射面が無く、高精度な計測を可能としている。測定は6点の同時計測である。



写真-1 測定状況

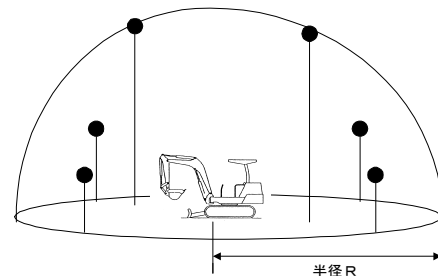
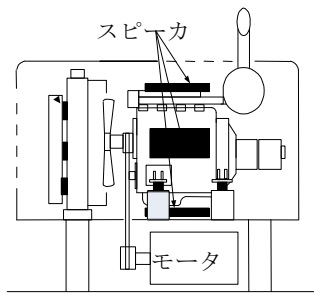


図-4 マイクロフォン位置

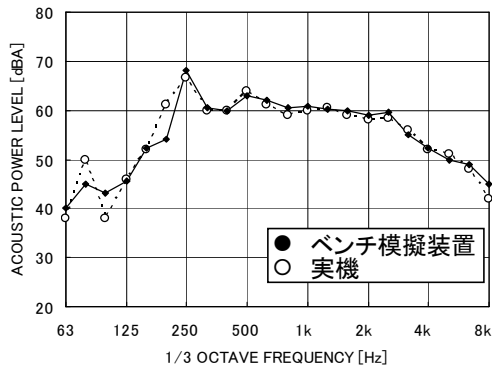
(2) エンジンエンクロージャの防音性能実験手法

前述の通り、開口部からの漏れ音低減と通風量確保とが二律背反の設計課題であり、エンクロージャの防音構造の検討が必要となる。これには数値シミュレーションに加えて実機サイズの実験が有効な場合も多く、改造が容易なモックアップ模型装置の導入により、開発効率を向上させることができた。図-5にエンクロージャを模擬した実験装置の概略を示す。



図一5 ベンチ模擬試験装置

主音源のファンは電動機をエンジンの代用として駆動させ、エンジン音はエンジン近接に超薄型平面スピーカを設置して音を発生させるものである。6点の騒音計測による音響パワーレベルとラジエータ等熱交換器の通過風量を同時に計測して評価判断できる。実機と同模擬装置との音響パワーレベルの周波数比較を図一6に示す通り、両者はほぼ良い一致を示しており、事前予測手法としての有効性が確認されている。



図一6 実機とベンチ模擬装置の周波数特性比較

(3) エンクロージャの高防音性能構造

極低騒音 (iNDR) の構造

エンクロージャ内の空気の流れを熱、音、ほこりを考慮して設計する事により、現行機に対して、5 dB以上の大幅な防音性能向上効果を得た。そのエンクロージャ構造を写真一2に示す。また現行構造との対比を図一7に示す。

本構造は、以下の5項目で構成している。

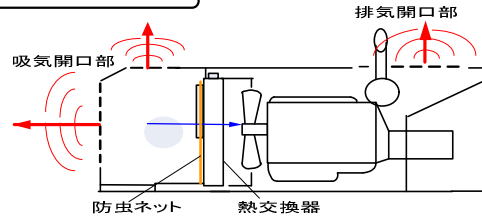
- ① 各部の隙間を徹底的に塞ぎ、エンジンルームの空気の取入れ、排出の開口を集中させる。
- ② 通過風量を確保させながら、開口部をオフセット吸音ダクト構造にして放射音を大幅に低減させる。
- ③ 開口部は機械のすぐ横での騒音や排風に配慮して、基本的に上面に限定する。
- ④ 吸音材により、エンクロージャ内の吸音性能を向上させる。
- ⑤ ラジエータ前ダクト部に防塵フィルタを設置して、ワンタッチで脱着できる構造とし、今まで建設機械として大きな問題であったラジエータ、オイルクー

ラ等熱交換器の清掃性も大幅に改善。特に吸気ダクト部は通風抵抗と減音量のトレードオフの関係より、オフセット率を解析及びベンチ試験での検討により最適化した。

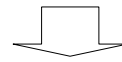
周辺特許も含め、合計8件の特許を出願した。

この構造を iNDR (Integrate Noise & Dust Reduction Cooling System) と呼んでいる。

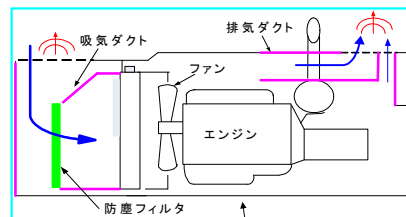
a) 従来型シヨベル



- ・ 開口部から音源が直視できるため、消音効果が十分得られない。



b) iNDR新型ダクト構造



各部隙間詰めを徹底

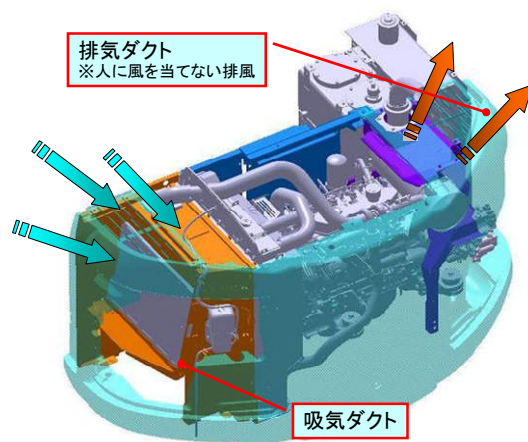
吸気ダクト

- * 吸気開口は、基本的に、上面に限定
- * 上面開口をオフセットするために、L型の2重ダクト構造

排気ダクト

- * スムーズに排気するため、E/Gルーム奥より、直ダクトを基本とした構造

図一7 iNDRの原理・構造



写真一2 iNDR構造

騒音レベルの低減として、400Hz以上の周波

数域で10dB以上の防音効果量を得られ、高周波領域の低減により、喧騒感の低減に寄与出来ているのが、図-8に示す現行機との音響パワーレベルの周波数特性分析の比較結果でわかる。また、機械のすぐ横での音は、運転席のある左側で10dBと大幅に低減しており、工事作業員間のコミュニケーションも充分図ることが出来るようになった。図-9には機側1m点での騒音レベル値の変化を示す。

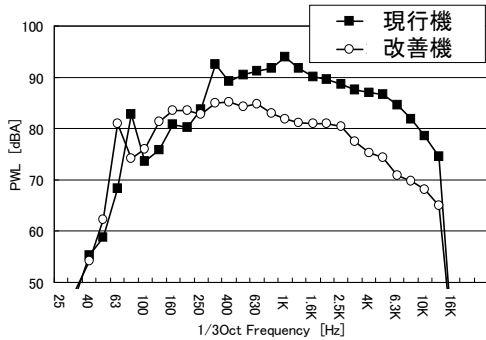


図-8 改良前後の音響PWL（実測値）比較

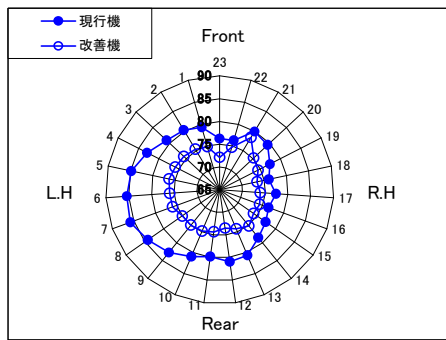


図-9 周囲近接騒音比較

しかし、エンクロージャ開口部からの放射音を大幅に低減すると、その他の音源の油圧固体伝播音が目立ち、音質を悪化させた。対策として、音質改善の手法を用いて、油圧配管支持部の振動伝達率を低減させる事で対応した。

(4) 更なる騒音レベルの低減へ

今後更なる騒音レベルの低減に向けては、最大の音源であるファン音の低減が必要である。ファン自体及びその周辺部品を含めた風の流れに着目した改善や、より低騒音化が可能な冷却システムの開発が望まれる。ただし、ファン音の改善は定常的な成分の低減につながり、マスキング効果の減少により、作業時の変動成分の卓越に注意が必要である。

(5) iNDRの商品展開

現在、新型SRシリーズの3モデルに搭載し、現行機に対して5~6dBの大幅な騒音低減を達成し、業界No. 1の低騒音化を実現した。

135SR以下の機種では、ミニショベル並みの低騒音レベルとなっている。

- SK70SR-2 :93dB クラス初、超低騒音化！
- SK125SR、135SR-2:93dB 参考)超低騒音基準値(98dB未満)
- SK225SR、235SR-2:95dB 参考)超低騒音基準値(100dB未満)

図-10に新SRシリーズの周囲騒音レベルと騒音基準値を示す。抜群の低騒音化により、ユーザーより好評を得ている。

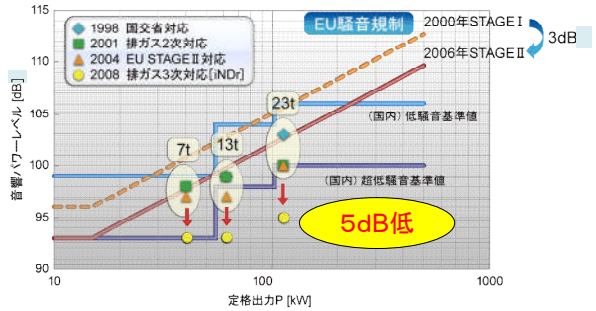


図-10 新SRシリーズの周囲騒音レベルと騒音基準値

5. おわりに

油圧ショベルの低騒音化は、今後さらに進んでいくものと考えられる。しかし、その一方で排ガス規制の強化も加速的に進んでおり、その対応策の影響として、エンジン発熱量の更なる増加による冷却系騒音の悪化や、排ガス浄化装置の追加によるレイアウトや防音構造の見直しといった課題が生じている。今後の更なる低騒音化に向けて、新たな改善アイテムの開発が期待される。音質面においては、受音者のそれぞれの立場に立った音色・音質作りが必要であり、特に今後は運転席で快適に気持ちよく作業できる音環境が求められてくるものと考えられる。そして嗜好の問題はあるが、ブランドイメージにも繋がる個性ある音色への取り組みにも拡がりをもせていくのではないだろうか。油圧ショベルの音響設計の立場から、今後も快音化へのアプローチを推し進め、広く社会のニーズに適合する油圧ショベルの提供に寄与していきたいと考える。

参考文献

- 1) 田中俊光ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol. 57No. 1(2007)，P43

新型 SRシリーズ iNDr 搭載機仕様

機種名	SK125SR	SK135SR
本体型式	SK125SR	SK135SR-2
●性能		
標準バケット容量	m ³ 0.45	0.5
旋回速度	min ⁻¹ [rpm]	11.5 [11.5]
走行速度	km/h	5.6/3.4
登坂能力	%(度)	70 (35)
最大掘削力	バケット kN[kgf]	90.1 [9,190]
	アーム kN[kgf]	64.4 [6,560]
●質量(標準シュー装着時)		
運転質量	kg	13,000 13,800
●エンジン		
型式	三菱D04FR-KDP2TAAC	
種類	インタークーラターボ付直接噴射式ディーゼル	
定格出力	kW/min ⁻¹ [PS/rpm]	69.2/2,000 [92.8/2,000]
●騒音値		
	dB	93



機種名	SK225SR	SK235SR
本体型式	SK225SR	SK235SR-2
●性能		
標準バケット容量	m ³ 0.8	
旋回速度	min ⁻¹ [rpm]	13.3 [13.3] 11.8 [11.8]
走行速度	km/h	6.0/3.6 5.5/3.4
登坂能力	%(度)	70 (35)
最大掘削力	バケット kN[kgf]	124 [12,650] 143 [14,600]
	アーム kN[kgf]	88 [8,980] 102 [10,400]
●質量(標準シュー装着時)		
運転質量	kg	22,300 24,100
●エンジン		
型式	日野J05E	
種類	インタークーラターボ付直接噴射式ディーゼル	
定格出力	kW/min ⁻¹ [PS/rpm]	114/2,000 [155/2,000]
●騒音値		
	dB	95



機種名	SK70SR
本体型式	SK70SR-2
●性能	
標準バケット容量	m ³ 0.28
旋回速度	min ⁻¹ [rpm]
走行速度	km/h
登坂能力	%(度)
最大掘削力	バケット kN[kgf]
	アーム kN[kgf]
●質量(標準シュー装着時)	
運転質量	kg
●エンジン	
型式	いすゞ4LE2XCUA
種類	インタークーラターボ付直接噴射式ディーゼル
定格出力	kW/min ⁻¹ [PS/rpm]
●騒音値	
	dB

