

技術論文

建設機械用低騒音バケットの研究開発

Research and Development of Low-noise Bucket for Construction Machinery

中 田 国 昭
Kuniaki Nakada
今 村 一 哉
Kazuya Imamura
矢 部 充 男
Mitsuo Yabe

建設機械（以下建機と呼ぶ）の環境騒音は規制の強化に伴い低減してきているが、実作業騒音は規制条件の対象外であった。実作業騒音は頻度は少ないが最大騒音を発生し近隣住民からの苦情があるためユーザからの低減ニーズが強かったが、発生源となるバケットは土砂・岩石などと接触する過酷な環境であり、実用的な低減技術は難しかった。そこで耐久性に優れる鋼板を素材とした積層板ダンパを開発し、これをバケットに付加することにより△5dB(A)低減する低騒音バケットを実現した。このバケットをサンキューバケットと命名し、油圧ショベル用およびホイールローダ用を商品化したので、この開発の経緯とその技術的特徴について報告する。

As a result of the increasingly stricter regulations, noise emissions from construction machinery reduced, but the measurement required is made under controlled conditions and sound really made at actual job sites has been excluded from those regulations. A bucket for instance, however, would make a highest level of sound when hitting rocks and dirt some times if not so often and residents living in the vicinity would complain about it. Although there has been a strong customer need, reducing the bucket-making noise was practically difficult. Komatsu now offers buckets with new durable steel laminated dampers, which allows reducing noise 5dB(A) from the current level. This series of buckets is named “3Q Bucket” for use on hydraulic excavators and wheel loaders. The background of the development and technical features of the bucket are described below.

Key Words: 環境騒音, 低騒音バケット, ホイールローダ, 油圧ショベル, 制振材料, 積層板ダンパ, 騒音規制, 騒音苦情

1. はじめに

高馬力エンジンを搭載し作業機を動かす油圧装置、足回りを動かす伝達装置と数多くの騒音源を有している建機は、常時発生する動力源騒音の寄与度が大きいことより、定置で動力源であるエンジンをフル回転した条件で、規制が行われ、マシンルームの防音や排・給気サイレンサーの音源対策などにより、動力源騒音の低減が行われてきた^{1)~3)}。

このため環境騒音規制では、騒音源として次に問題となる作業条件として、機種毎にダイナミック条件（模擬作業サイクル）を決め、さらに全ての方向で騒音低減が図れるように半円球仮想面の定点6箇所での測定を規定している（図1）。

現在の国土交通省低騒音型建設機械指定制度やEU騒音規制では、この6箇所の計測値から換算したパワーレベルに対し搭載エンジン馬力に比例した規制値が定められている。しかし、現行規制では模擬作業であり、土砂・岩石のような対象物で実作業する条件がない上に過酷な

接触、衝撃条件でも耐えられる低騒音作業機（バケット、ブレードなど）の開発が技術的に難しいため、発生頻度は少ないが作業機が対象物と衝突・接触して発生する実作業中の最大騒音（作業騒音）の低減が進んでいない。

環境省環境管理局が調査し、平成16年12月に発表した環境騒音公害の現状では、典型7公害（大気汚染、水質汚濁、土壌汚染、振動、騒音、地盤沈下、悪臭）の苦情件数の中で常に上位にあるのは騒音であり、内訳を見ると建設作業騒音が工場・事業所騒音に次いで第2位を占めている。その苦情も5つの都府県（都市部）に集中し（図2、表1）、都市型建機の騒音低減が急務になっている。

このような背景の中で、騒音問題で困っているユーザからありがたい、サンキューと言われるような低騒音技術を開発しようという思いが原動力となり、耳で聞いても明らかに騒音が大きなバケットに狙いを絞った。そして、今まで不可能であり、業界でも着手出来なかった低

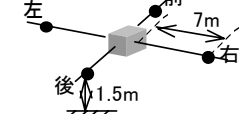
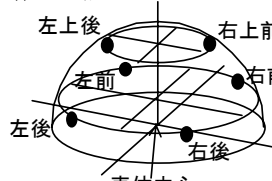
年度	1989		1997	2002
	西独、仏規制	EU規制 (ステティック)		EU規制 (ダイナミック)
狙い	騒音寄与度の大きいエンジン系の低騒音化			実作業時での低騒音化
稼働条件	定置でエンジン回転 Hiアイドル			作業サイクルを模擬した条件
規制地点	車体機側より 前後左右方向 7 m, 高さ 1.5 m 地点 		車体を囲む半球面での立体 6 地点 	

図 1 EU騒音規制の経緯

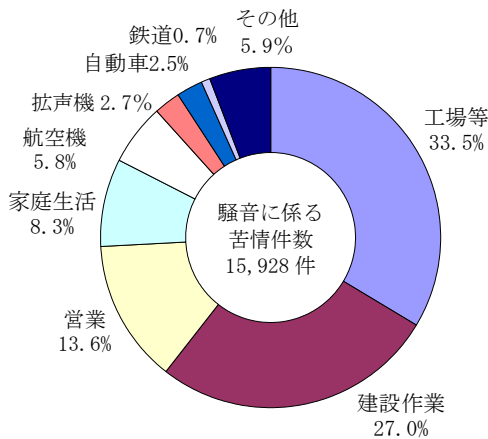


図 2 騒音に係る苦情の内訳

表 1 都道府県別苦情件数 (上位 5 都道府県)

順位	苦情件数		順位	人口100万対件数	
	都道府県	件数		都道府県	件数
1	東京都	3,628	1	東京都	300
2	大阪府	1,625	2	愛知県	201
3	愛知県	1,415	3	大阪府	188
4	神奈川県	1,296	4	埼玉県	172
5	埼玉県	1,119	5	沖縄県	154
	全国	15,928		全国平均	126

騒音化を行い、民家に隣接する都市部で稼働する機会が多い油圧ショベル用およびホイールローダ用低騒音バケットを商品化したので報告する。

2. 研究開発コンセプト

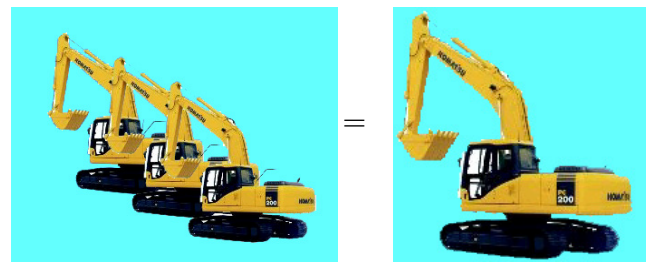
研究開発には Q (品質), C (コスト), D (期間) の目標設定が必要であるが、この設定をユーザの立場で行った。

Q: 低騒音で苦情が少ない=誰が聞いても効果がわかる
 $\Delta 5\text{dB(A)}$ (1/3 の騒音レベル...図 3)

C: ランニングコストが安い (長持ちする)
 = ① 耐久性は標準品と同等以上
 ② 低騒音品質の劣化なし

D: 夜間・民家近隣作業の工期短縮
 = ① 騒音苦情を気にしないでフル稼働
 ② 作業性の背反なし (重量 UP は 10% 以内)

また、ユーザにありがとうと言われるバケットであるという思いを、Q, C, D に当てはめ (図 4) サンキュー (3つのQ) バケットと命名した (商標登録第 4879566 号)。



低騒音バケット 3 台分の騒音

STDバケット 1 台分の騒音

図 3 低騒音バケットの騒音目標

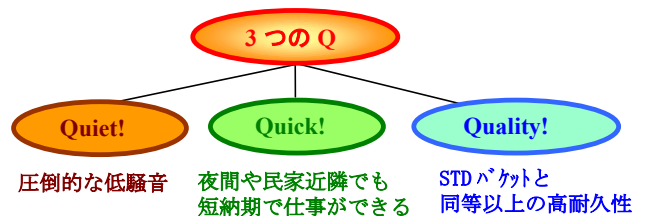


図 4 サンキュー (3Q) バケットとは

3. 低騒音化の課題と対応

3.1 作業騒音の発生メカニズム

作業騒音では油圧ショベルの例を図5に示すが、バケットから発生する音が大きいが、この発生メカニズムは、土砂・岩石などの衝突、コンクリート路面や砂利などの引き摺り接触、起動・停止時ショックなどの力の作用によりバケット各部が振動し騒音として放射されている。従って、振動放射音が大きな部位に対して振動を押える方策が必要であり、制振材料を適用することが騒音低減に有効となる。

主な制振材料と構造を図6に示し、以下に特徴を述べる。

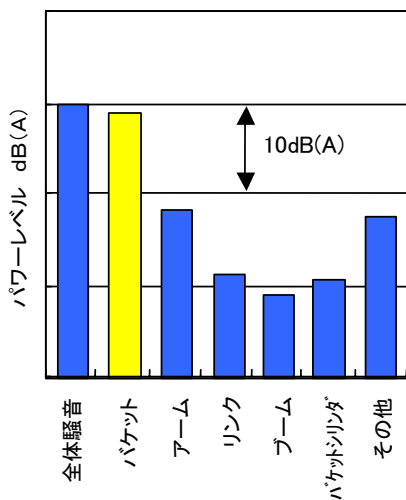


図5 油圧ショベルの作業騒音寄与度

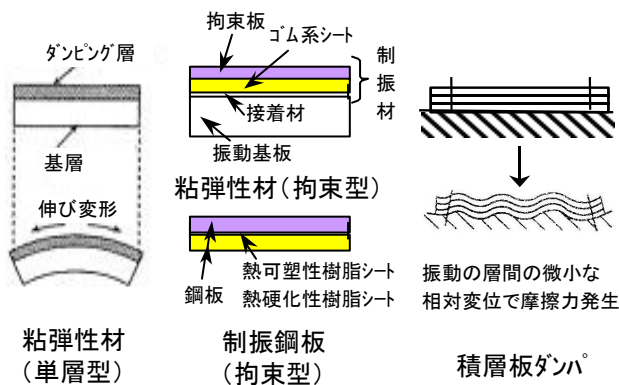


図6 主な制振材料&構造

3.2 従来の制振技術と問題点

従来、制振材はゴム・樹脂・アスファルトなど粘弾性特性を利用したものが主流で、この材料を単層または拘束して用いていた。

単層型は制振したい対象物に貼付けるだけであり施工が簡単だが、建機の作業機のように直接土砂や岩石と接触すると、むしれたり摩滅するという問題がある。また、母材厚さの2~3倍程度の厚さの制振材を適用しないと十分な効果を得られず、厚板の多用される建機向きではない。

拘束型は制振材が拘束材で保護される分、耐摩耗性が向上する上、粘弾性材の剪断変形による減衰機構を利用するので単層型に比べて薄い制振材で高い効果が得られる利点がある。しかし、粘弾性材には熱による性能劣化、焼損という問題があり、溶接による補修が頻繁に行われる建機では、使用することが難しかった。

なお、薄い樹脂層を鋼板でサンドイッチした制振鋼板も、拘束型の一種である。

従来の制振技術の問題点をまとめると、次のようになる。

- ① 耐久性がない
 - ・ 耐摩耗性がない
 - ・ 熱によって性能劣化、焼損する
- ② 厚板構造では、十分な性能を期待できない

3.3 積層板ダンパ

積層板ダンパは鋼板のみで構成されるため、耐久性の問題が無く、建機に使われる厚板でも良好な制振性能を発揮する。

鋼板を重ねた構造の積層板ダンパはリーフばねと同じ摩擦ダンパの一種であり、母材が振動すると重なり合う鋼板同士も振動し層間の微小な相対変位により発生する摩擦力で騒音の原因となる振動エネルギーを吸収する。また、鋼板だけを素材としているため、前述の粘弾性材に比べ素材強度・耐摩耗性・耐候性のほかにリサイクル性にも優れている。さらに、鋼板構造物であるバケットに溶接などでの取付けが容易であり、低コストで耐久性が高く補修が簡単という建機向け制振デバイスとしての優れた特長がある。

4. 低騒音バケットの開発

4.1 振動モード解析と低騒音化方策の決定

バケットの低騒音化は騒音発生の原因となる振動を押えることであり、その方策として制振デバイスでは積層板ダンパが建機に向いていることを前述したが、剛性改善も有効であり、この方策と、どこに適用するかが開発のキー技術になる。

一般的に振幅の大きい振動の腹を対策するのが効果的であり、対象となるバケットがどのように振動しているのか知ることが、開発の第一歩となる。

構造物には共振を起こす特定の周波数（固有周波数）があり、固有周波数に於ける自由振動の形態は常に同じである。この周波数と振動形態（固有モード）が分かれば、確実に効果的な対策方策と位置を決定することが出

来る。

振動モードの解析にはFEMによるシミュレーションも行われているが、本開発では実験による振動モード解析を実施した。

インパクトハンマと呼ばれるロードセルを内蔵したハンマでバケットを打撃し、この時のバケット各部の振動加速度を測定する。バケット各部の加速度を打撃力で割り算すると測定点と打撃点の伝達関数Hが求められる。

$$H=A/F$$

ここでA：測定点の振動加速度

F：ロードセルで得られた打撃力

この伝達関数を用いて理論式から固有振動モードを求めるが、無数に存在するので、騒音で問題となる周波数域の固有振動モードを求め、対策案と位置を決定した。

(1) 油圧ショベル用バケット

標準バケットでは騒音放射に寄与する振動モードは側板部と底板背面・前部に見られ、これを次のように押えた(図7)。

- ①底板背面は帯板により補強
 - ②底板前部は底板ねじり剛性に依存するのでコーナー部を補強
 - ③側面振動は全面的に積層板ダンパを付加
- この結果を図8に示す振動モードの比較でわかるようにピークは著しく低減した。

(2) ホイールローダ用バケット

振動モード解析結果(図9)より

- ①振幅が大きな側板部は全面に一体型の積層板を付加
- ②ねじり振動の大きなスピルガード部位は剛性を高めた構造にしてから積層板を付加
- ③高次振動モードが主体の底板は振動の腹が多数存在するので小型積層板を分散して付加を行い、低騒音最適構造とした(図10)。

4.2 積層板ダンパの低騒音設計パラメータ

積層板ダンパは変位による板間の摩擦力で制振効果を発揮するため、板の構成(厚さ、枚数)と、取り付け方法(溶接方法、拘束点)が、低騒音効果を決定する。

積層板ダンパを他デバイスにも適用が図れるように、設計パラメータをデータベース化した結果、次のことが判明した。

- ①内板の枚数は多いほど良い
- ②拘束点(ボルトや溶接固定)は少ないほど良い
- ③拘束点は振動モードの節位置であれば制音効果は悪化しない
- ④外板厚さは被対象物の剛性に応じた最適値がある
- ⑤押付け力は大きい方が良く、ボルト止めの場合にはカラーを併用する必要がある

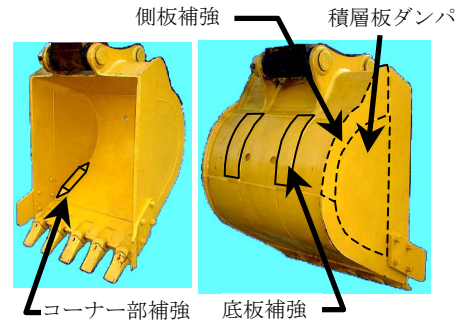


図7 油圧ショベルのサンキューバケット

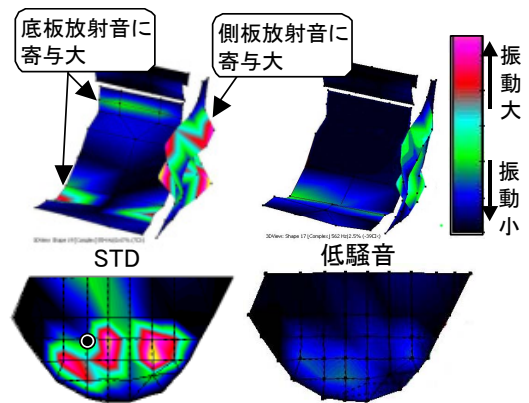


図8 油圧ショベル振動モード解析結果

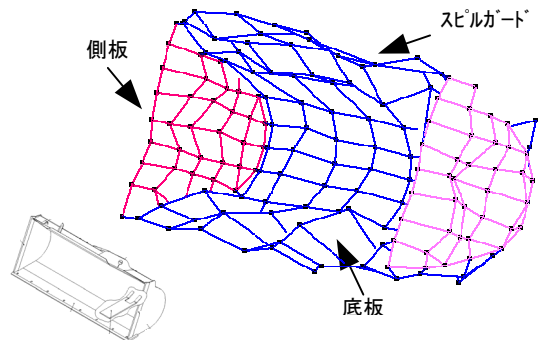


図9 ホイールローダ振動モード解析結果

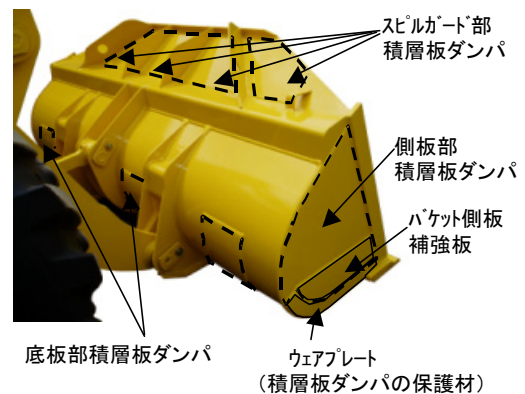


図10 低騒音バケットの構造

⑥面積は大きいほど良いが、高次振動モードが主体の場合は分散配置が良い

また、この水準試験の過程で得た、低減効果と官能評価の関係(図11)より、研究開発目標の△5dB(A)は誰が聞いても効果がわかる低減量であることが検証出来た。

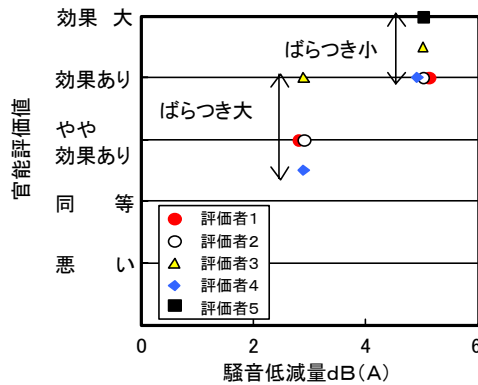


図11 騒音低減量と評価値の関係

4.3 低騒音バケットの商品化

低騒音バケットは品質で実績のある標準バケットと構造・部材を共通化し、製作工程で次の特色をもつ業界初の積層板ダンパをアドオンした。

①特殊制音構造

材料は鋼板だけを使用し、表面は耐磨耗性に優れる高張力鋼板を採用。振動モードの節付近で各積層板を栓溶接で固定し、各層間の密着と外板の浮上がり防止により優れた制音効果と外観品質を両立した耐久性の高い積層板ダンパによる制音構造

②積層板の保護構造

積層板が直接、土砂など作業対象物に曝露されないよ

う端部周辺は他部材、またはウェアプレート付加により保護。また、層間内部に雨水が浸入し、凍結や錆の発生がないよう積層板周囲を全周溶接し、これを防止

③ハードな現場にも対応する堅牢設計

バケットが擦れやすく磨耗が多い部位に、積層板ダンパの制音効果を妨げない補強板を付加

低騒音バケットは都市部で稼動する機会が多く、低騒音が望まれている、次の2機種を先行して、商品化を行った。

①油圧ショベル用

当社オリジナル新機能バケットと位置付け、20トンクラス、標準バケット容量0.8m³の油圧ショベル(当社該当機種PC200-8:機関出力110kW)用を対象に消音3Qバケットと呼称し、商品化。販売店装着オプション品として販売中。

②ホイールローダ用

山積容量1.3m³の小型機種(当社該当機種WA100:機関出力68kW)用を対象に商品化。車体側を徹底して低騒音化を行い、国土交通省に認定されたWA100超低騒音型建設機械に低騒音バケットを標準装着⁴⁾し、URBAN SILENCER(図12)と呼称し、販売中。

4.4 低騒音効果

低騒音バケットの商品化に先駆け、試作バケットをユーザ先で一定期間、試用頂き、次のような非常に高い評価を得た。

- ・低騒音バケットは鈍い音がするだけで響かない
- ・作業時のバケットの音が全然違う(甲高い音がなく静か)
- ・低騒音バケットを装着して使用したい

実車で計測した実作業騒音の低減効果を図13、図14に

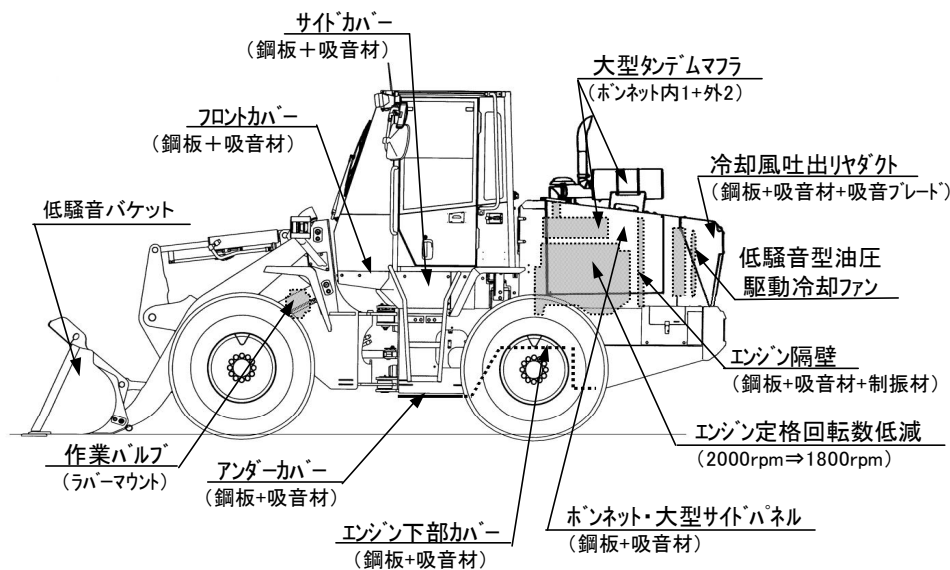


図12 URBAN SILENCERの低騒音構造

示す。油圧ショベルでは都市型で作業頻度が多く、苦情の原因となるバケットスケルトンで $\Delta 5\text{dB(A)}$ を達成した。

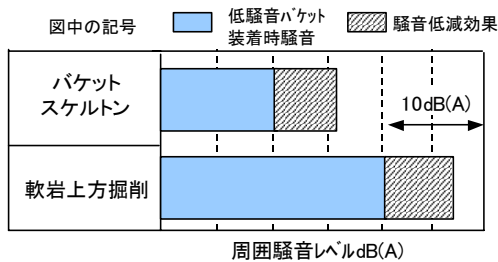


図 13 油圧ショベル用低騒音バケットの効果

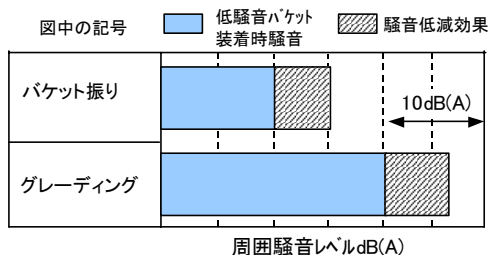


図 14 ホイールローダ用低騒音バケットの効果

また、ホイールローダでは、グレーディング作業やバケット振りのようにユーザの低減ニーズが強い、非常に大きい騒音を発生する作業条件で研究開発の狙いとする $\Delta 5\text{dB(A)}$ を達成し、これが高評価につながった。

5. おわりに

今回は建機で苦情の一因である実作業でのバケット騒音について低騒音化を実現し、夜間の都市土木工事や除雪など、静粛性を要求される作業の低騒音化に大きく前進した。

また、当初、想定していなかった山間部で多く行われている、アームを上方に伸ばし、軟岩を掘削する時に発生する音も、 $\Delta 5\text{dB(A)}$ 達成し、有効であることがわかった。

この研究開発の過程では実用試験部、試験センタによる品質の確認と作り込み、商品企画室、建機開発センタの協力など開発本部との連携があり、商流を決め積極的な販売活動を行っている営業本部市場開発部商品サポートグループおよび KAPS の方々に支えられ短期間で研究本部発の商品化ができた。

今後は積層板ダンパのデータベースをもとに、他機種バケットへの適用拡大を図り、ユーザニーズに広く応えていきたい。

6. 謝辞

低騒音バケットの開発は、バケットの専門メーカーであり、高度な製造・生産技術を有する丸栄製作所との共同で行い、低コスト・高品質の商品化が実現できました。丸栄製作所の関係者にこの場をお借りして、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 中田国昭：建設機械における超低騒音設計の勘どころ，機械設計，Vol.49, No.8. 64-69, 2005
- 2) 中田国昭：油圧の騒音と低減対策，騒音制御，Vol.19, No.4, 15-17, 1995
- 3) 中田国昭，他 4 名：超低騒音都市型油圧ショベルの研究開発，建設荷役車両，Vol.22, No.125, 25-30, 2000
- 4) 中田国昭，今村一哉：ホイールローダ用低騒音バケットの開発，平成 17 年度建設施行と建設機械シンポジウム論文集，25-28, 2005

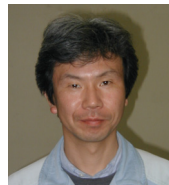
筆者紹介



Kuniaki Nakada

なか くに あき
中田 国昭

1963 年，コマツ入社。
現在，研究本部 第一イノベーションセンタ所属。



Kazuya Imamura

いま むら かず
今村 一哉

1989 年，コマツ入社。
現在，研究本部 第一イノベーションセンタ所属。



Mitsuo Yabe

や べ みつ お
矢部 充勇

1983 年，コマツ入社。
現在，研究本部 第一イノベーションセンタ所属。

【筆者からのひと言】

低騒音の研究開発に従事する喜びは、騒音で困っているユーザが待ち望む技術を研究し商品化した時である。サンキュー(3Q)バケットと命名し、業界初の低騒音商品を目指したのはそんな熱い思いからであり、実際、ユーザ先デモで生の喜びの声を聞いた時は、研究開発時の苦労が一瞬に吹き飛んだものである。