24. 作業量の確保と疲労低減を狙った自動掘削ホイールローダの開発

株式会社小松製作所　和田　稔
今泉　雅明
○今西　康太

１．はじめに

ホイールローダは建設工事現場から砕石・鉱山現場などにおいて主に掘削積込機として使用されるが，掘削作業において効率よく作業量を確保するためには車両の前進，ブームおよびバケットの動きを適切にコントロールする必要があるため，オペレータの技量が必要となる。

しかし今後は熟練オペレータの減少が懸念されており，技量を持ったオペレータの確保が困難になることが予想されている。

そこで，オペレータの技量によらず作業量を確保し，さらに疲労の軽減を狙いとして，掘削時の作業機レバー操作を不要とした自動掘削機能，および形状変更により掘削性を改善したバケット，作業機ストロークエンドにおけるショック低減機能を装備したホイールローダ WA600-8 を開発した（図-1）。

本稿では，これらの作業性改善機能について紹介する。

２．作業機システムの構成

WA600-8 の作業機制御システムを図-2 に示す。作業機の操作はブーム用とバケット用の 2 本の電気レバーで構成され，各レバーの角度信号が作業機コントローラに入力される。コントローラは入力された操作信号から 4 本の EPC（Electric Proportional Control）バルブを通してブームとバケットのメインバルブを制御して各油圧シリンダを駆動し，作業機をコントロールする。

センシングはブーム角度センサによりブーム角度を検出し，ベルクランク角度センサによりバケット角度を検出する。また作業機の負荷状態としてブームシリンダのボトム側の油圧をブームボトム圧センサで検出している。

図-1　WA600-8

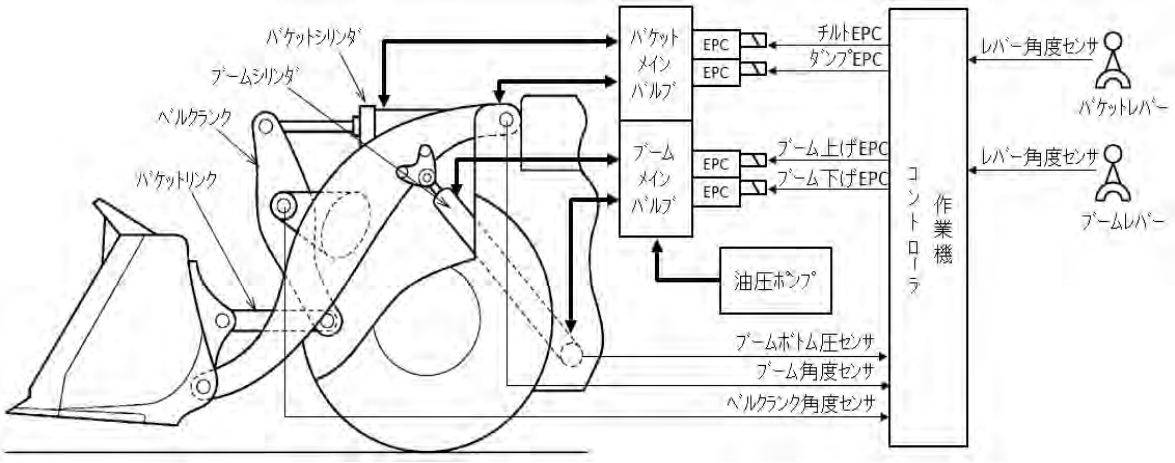

図-2　WA600-8 の作業機制御システム

３．作業性改善機能

3.1　オート掘削によるイージーオペレーション

掘削作業の自動化機能としては従来機においても半自動掘削機能「セミオート掘削」を装備していた。セミオート掘削は図-3 に示すとおり，オペレータが走行の駆動力を上げるために走行シフト段を F2→F1 に落とすスイッチ操作（キックダウン操作），および前輪のグリップ力を上げるためにブームを上方に上げるレバー操作（リフト操作）を手動で行い，トルクコンバータ速度比の低下を検知した後に，自動的にバケットの角度を上方に変える操作（オートチルト）を一定周期で作動⇔停止を行うものである。しかしながら，オートチルトまでの操作がオペレータの手動による点や，オートチルトの動作が掘削対象物の負荷によらず一定の時間間隔で作動することから，効果がオペレータの技量に依存し，熟練オペレータ並みの作業量が確保できなかった。

それに対して WA600-8 ではブームボトム圧センサからの負荷フィードバック信号により制御することで，上記の問題点を改善した「オート掘削」を開発した。

オート掘削機能は車速の低下とブームボトム圧の上昇から掘削の開始を認識して各操作を自動的に作動させることにより，キックダウンからリフト・チルトにおいてオペレータによるレバーの手動操作を全て不要とした（図-4）。また，ブームボトム圧の変動パターンから作業負荷状況を検出す

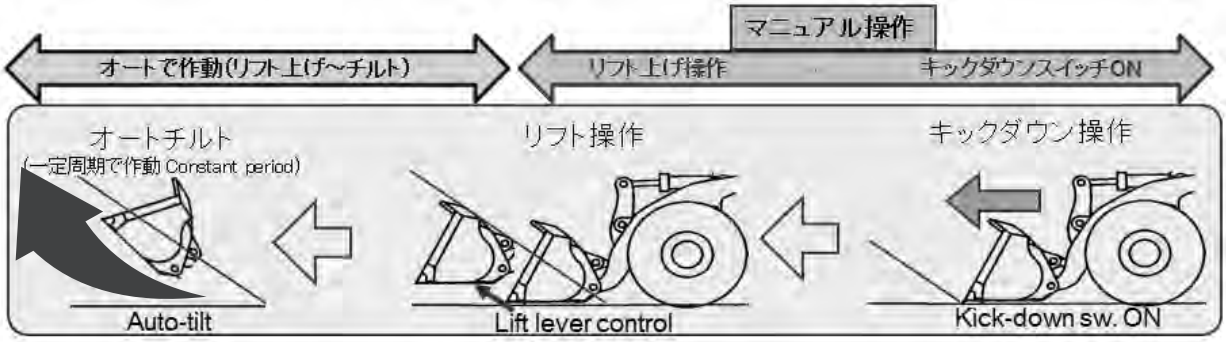

図-3　従来のセミオート掘削機能概要

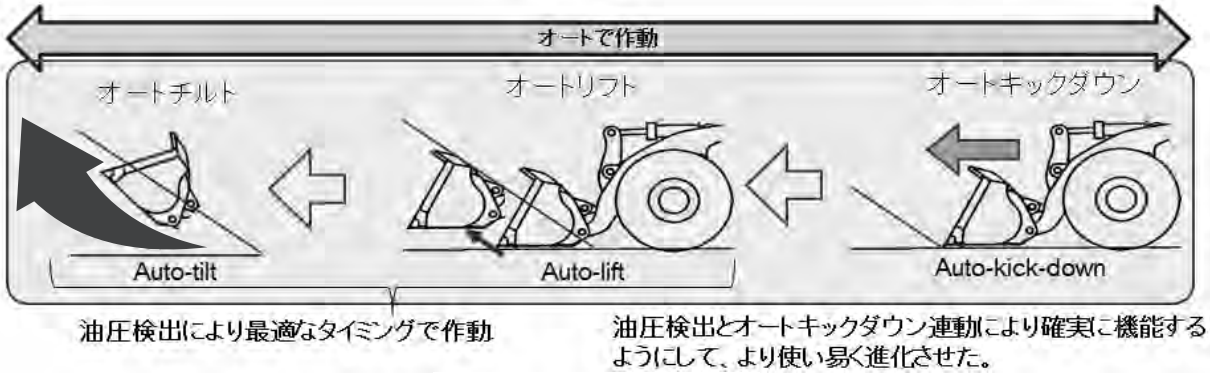

図-4　オート掘削機能概要

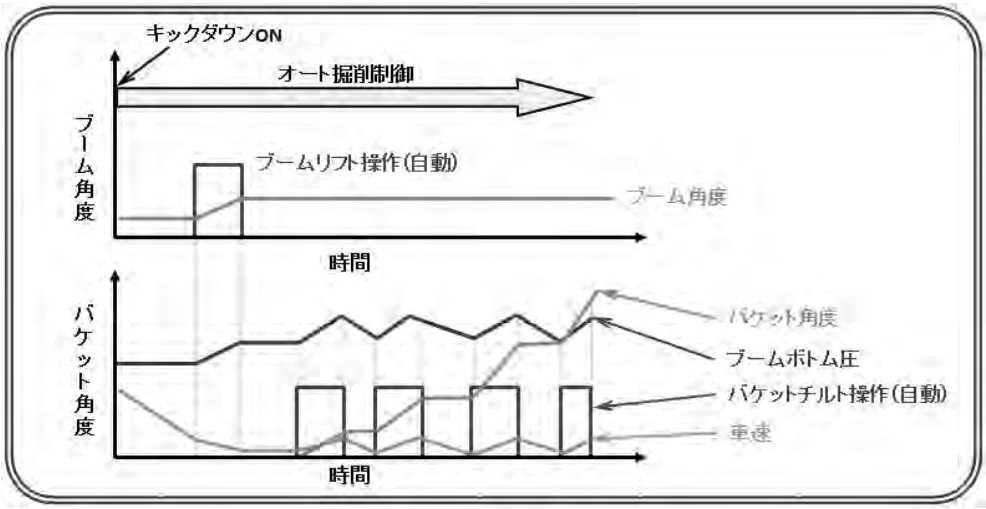

図-5　ブームボトム圧変動に対するオート掘削作動イメージ

ることで，掘削対象物の傾斜に応じて適切な作業機の操作タイミングで作動することを可能とした。

このことによって新人オペレータでも熟練オペレータ並みの作業量を確保することが可能となり，熟練オペレータに対しては作業負荷の軽減が可能となった。またオペレータはアクセルワークに集中することが可能なため，非熟練者でもアクセルペダルの踏み込み量をコントロールすることで作業量調整が可能である。

図-6 はオート掘削を使用した場合とマニュアル操作した場合での作業量を新人オペレータ，中堅オペレータおよび熟練オペレータの各オペレータレベルで検証した結果を示す。作業量はベテランオペレータを 1 として相対的に表している。この結果によると新人オペレータによる操作では熟練オペレータに比べて作業量が 14%少ないが，オート掘削を使用することによって熟練オペレータとほぼ同等の作業量を確保できている。

またそのときの作業量を縦軸，燃料消費量を横軸に表したグラフを図-7 に示す。この中で燃料消費量に対する作業量を作業効率（作業量/燃料消費量）として評価すると，中堅オペレータや新人オペレータでもオート掘削を使えば，熟練オペレータに対して 95%の作業効率を確保できている。またハッチングで表した範囲は，中堅オペレータがオート掘削を使ってアクセル操作した場合の結果になる。この結果から，アクセルワーク操作で作業量と燃費を調整可能となることがわかる。

またオペレータの作業負荷の効果として，マニュアル操作とオート掘削を使った場合で V シェープ作業 1 サイクル当りの右手作業機レバーの操作量を比較したところ，オート掘削によって掘削時の作業機操作が減少することにより，右手負荷が 20～30%低減する結果となり（図-8），特に長期間連続的に作業するオペレータに対して疲労低減効果が大きいと考えられる。

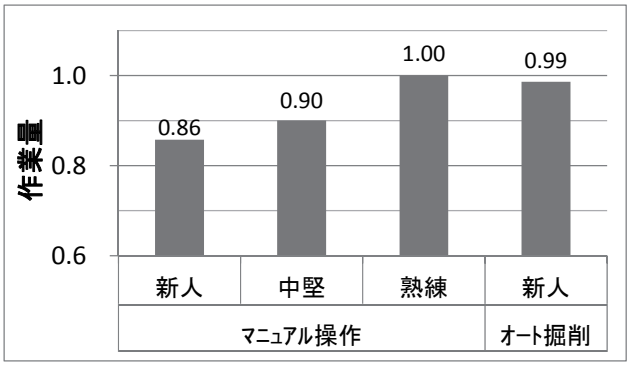

図-6　オート掘削とマニュアル操作の掘削量比較

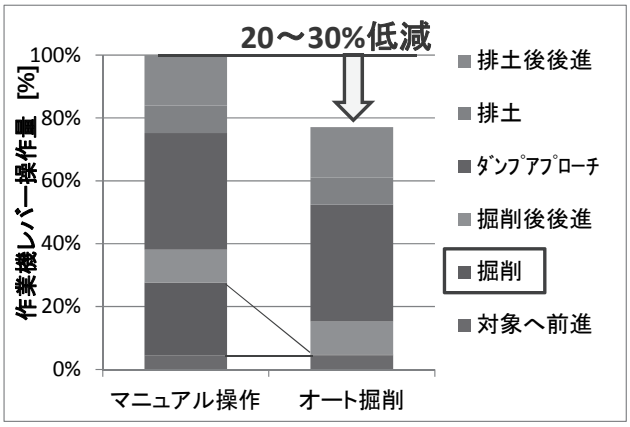

図-8　オート掘削とマニュアル操作の操作量比較

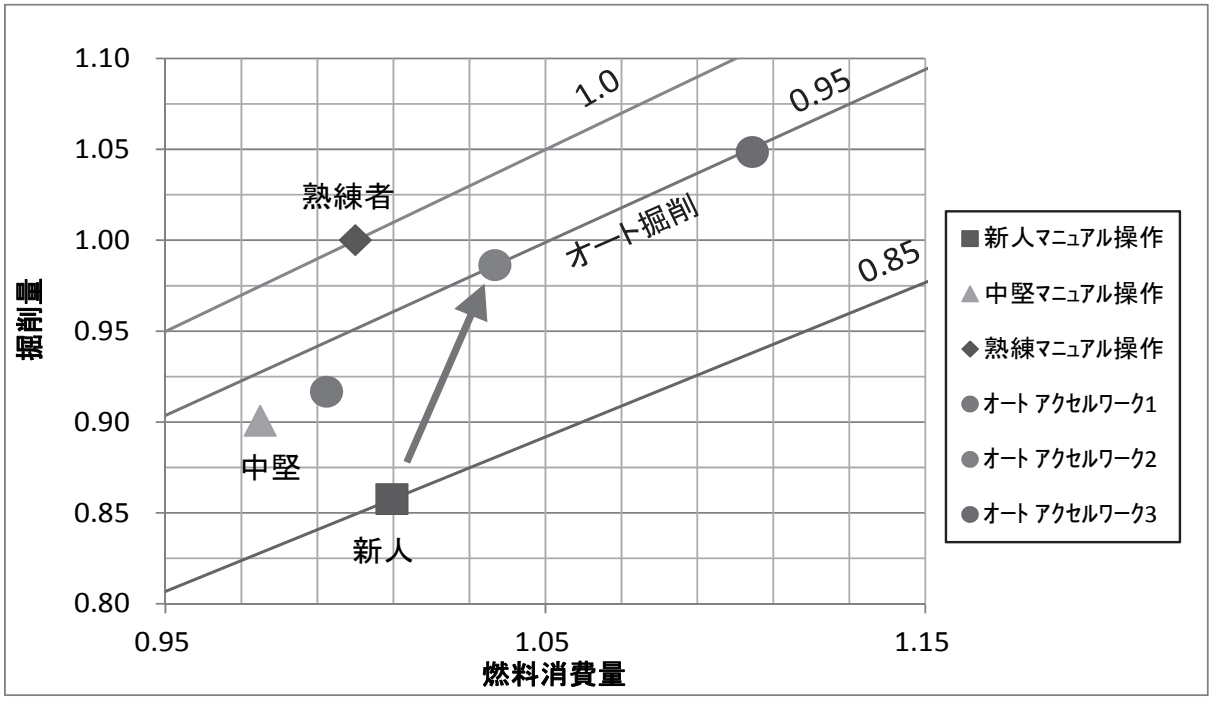

図-7　オート掘削とマニュアル掘削の燃費効率比較

3.2　作業効率を向上させる掘削性改善バケット

従来のバケットに対して，バケット内側の底面に傾斜をつけ，奥側の曲面半径を大きくすることによって掘削性を改善したバケットを開発した（図-9）。

従来のバケット形状では掘削作業を行う場合，バケット奥に押し込まれて溜まった対象物（石または土）が，さらに押し込まれてくる対象物の受け入れを阻害し，バケットのすくい込みが滑らかに行われず，掘削量を確保できないという現象があった。

それに対して，底面の傾斜および大きなバケット半径によって，掘削時にバケットを山に突入させるに従って、バケット内に押し込まれて傾斜部から曲面部にいたる対象物をさらに滑らせて，該当曲面部を競りあがるようにバケット奥側で巻き上げることができる（図-10）。このため，更なる対象物が押し込まれても，その押し込みが阻害されることがなくスムーズな掘削が可能となる。また，バケット上部のスペースが確保できるため，バケット間口の上部側からの対象物の流れ込みも促進できる。さらに，底面の傾斜によって山への

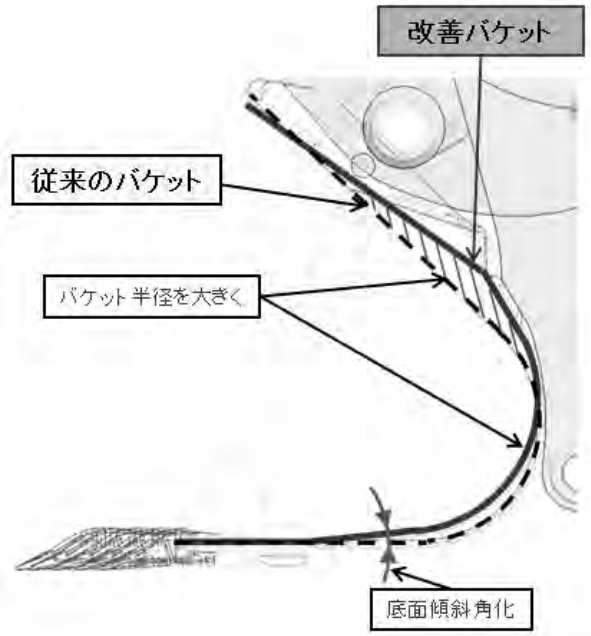

図-9　バケットの掘削性改善

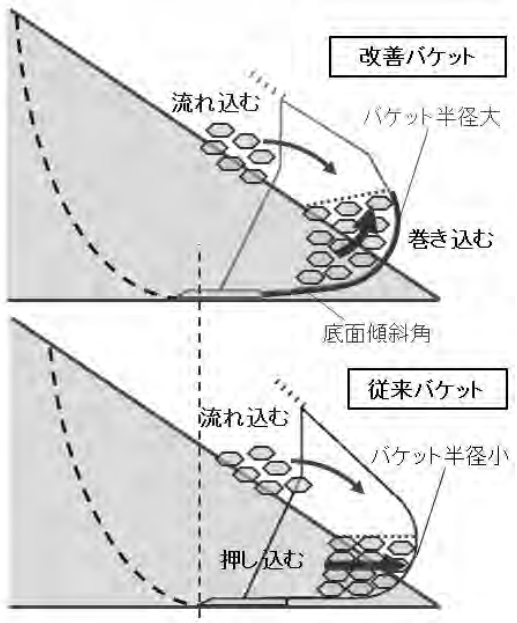

図-10　掘削時の荷の流れ

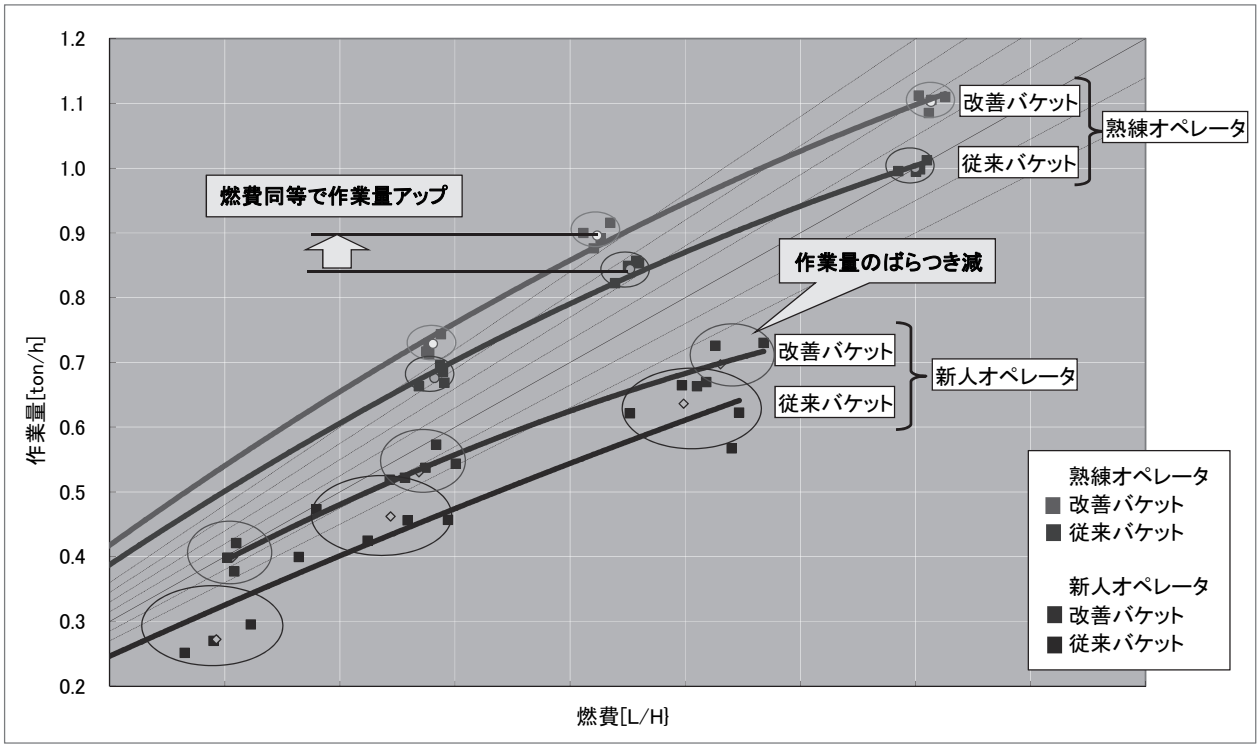

図-11　バケットの作業量比較

突入と同時にバケットに下向きの力が発生するため，ホイールローダの前輪に荷重がかかって牽引力をかけやすくなることが期待できる。

改善したバケットの効果を検証した結果を図-11 に示す。バケットを掘削作業に適した形状にすることで，社内試験では同一燃費での作業量が従来バケットに対し 7%向上した。また，非熟練オペレータで行った試験では，作業量の向上とともに，積み込み量のばらつきが改善した。

また，一般ユーザに実際にバケットを使用してもらった結果，図-12 および表-1 のような評価が得られており，オペレータの感覚的にも掘削作業が容易になったことがわかる。

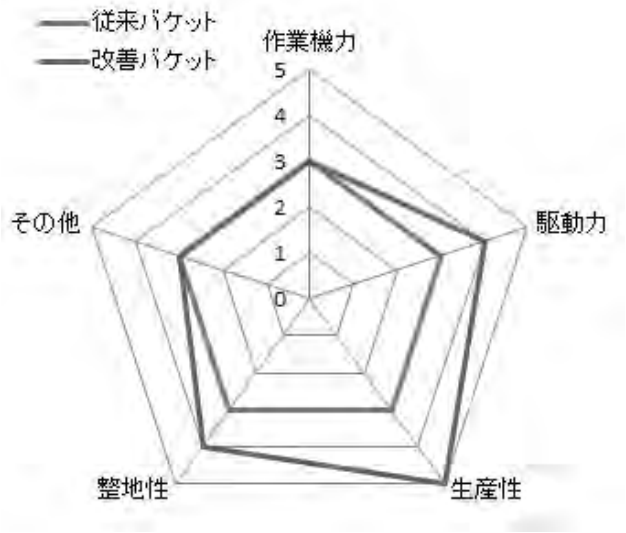

図-12　一般ユーザによるバケット評価

表-1　一般ユーザによるバケットコメント

ユーザオペレータ評価	
①	対象物への整地、押込み時の駆動力が上がった感じがする。
②	最後まで押し込まなくても容易に荷を満杯にできる。（特に粘土質・製品[砕石・砕砂]対象物では積込重量アップした）
③	整地時の抵抗感が少なくなった。
④	荷離れが良い。

3.3　作業機のショックレスコントロール

ホイールローダの特に大型の機種では，作業機の慣性が大きいため急停止時の衝撃も大きくなる。従来機から採用しているバケットポジショナ・ブームポジショナにより設定された位置への停止時の衝撃は，ポジショナの緩停止機能により緩和されているが，掘削後や排土後の作動限界での衝突による衝撃は緩和されていなかった（図-13）。

そこで作業機ショックレスコントロールとして，バケット作動限界での衝突時の衝撃を緩和する機能を新規開発した。ブーム角度センサおよびベルクランク角度センサによりバケットの位置と作動限界との距離を認識し，バケット操作によってバケットが作動限界にある程度近づいたところから，自動的に徐々にバケットのメインバルブ開口量を絞ることでバケットの速度を遅くして作動限界位置で緩やかに停止させる（図-14 の実線）。

一方でホイールローダの掘削作業では掘削後の走行開始前にバケットの上方作動限界（チルトエンド）付近でバケットを高速に動かしてバケットに積まれた積荷の位置を調整する操作を行うことがある。そのため，チルトエンド付近からのレバー操作に対しては緩停止機能を制限し，レバー操作のとおりにバケットが作動するようにしている（図-14 の点線）。

また，衝撃緩和は運転席におけるスイッチ操作により 3 段階の調整を可能とした。

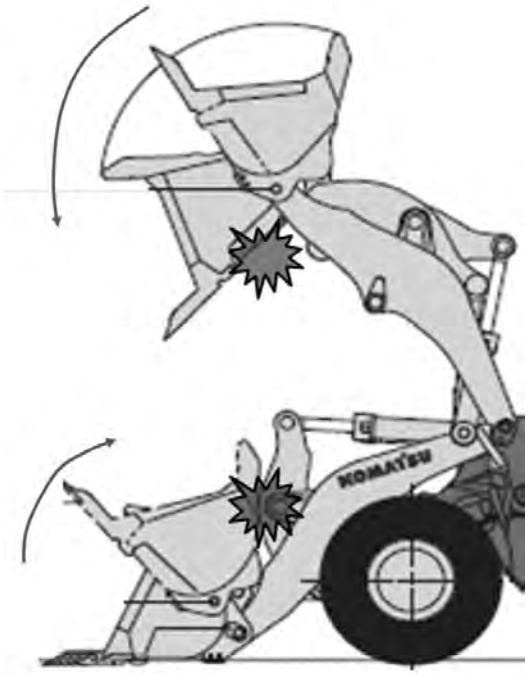

図-13　掘削後・排土後の作動限界による衝撃

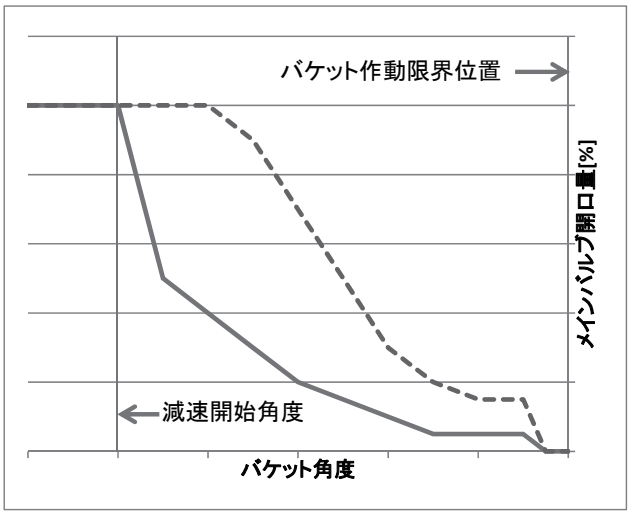

図-14　作動限界でのバケット流量制限

４．最後に

自動掘削機能により，新人オペレータと熟練オペレータの作業量の差が小さくなり，掘削性改善バケットとの相乗効果により燃費・作業効率の向上を図ることができた。また，作業機のショックレス化を図ることもできたので，熟練オペレータを含む全てのオペレータに対して疲労軽減が期待できる。

今後も更なる燃費・作業効率の向上，作業容易化，疲労軽減に取り組んで行きたい。