

技術論文

PLUS 足回りの開発

Development of PLUS (Parallel Link Undercarriage System)

中石 弘行
 Hiroyuki Nakaishi
 前田 和生
 Kazuo Maeda

ブルドーザの足回りは R&M(Repair & Maintenance)コストが高く、R&M コスト低減のユーザニーズは高い。これまでも足回り寿命のネックである履帯ブッシュ寿命を飛躍的に向上させるロータリブッシュを採用すべく、取り組んできたが、当時の技術では問題を解決できず断念してきた。しかし継続的な取り組みの中で、従来履帯と同等の強度が確保できるパラレルリンクの技術を確立し、履帯シールの長寿命化を加えることで、従来足回りに対して 2 倍の摩耗寿命を確保する中小型ブルドーザ用足回り PLUS を開発することができた。

A reduction in the R&M (repair and maintenance) cost for bulldozer undercarriages has been demanded by customers due to the considerable expense involved. The authors attempted to develop a rotary bushing to extend the life of bulldozers, but were unable to achieve this with existing technologies. PLUS is a new technology for undercarriages of small- and medium-class bulldozers, achieving twice the wear life of conventional types. The authors have established parallel link technology while maintaining strength equivalent to that of conventional tracks by achieving a new long-life track seal for PLUS.

Key Words: ブルドーザ、足回り、ロータリブッシュ、パラレルリンク

1. 背景

ブルドーザ購入後のユーザの経費である R&M コストにおいて、足回りの比率は高く、その中でも履帯とスプロケットで 70% 以上を占めている。その R&M コストを詳細に分析すると、ブッシュとスプロケットの交換頻度が高いことが判る。R&M コストの改善にはブッシュとスプロケットの R&M コストの改善、つまりブッシュとスプロケットの寿命改善が必要である。

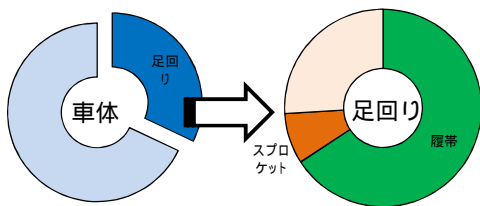


図1 R&M コストの比率

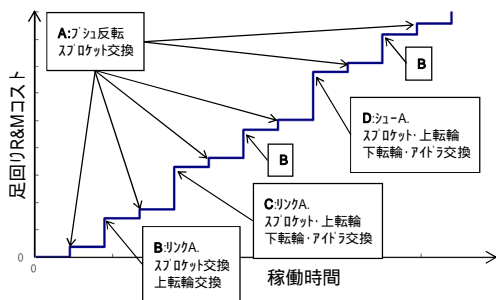


図2 R&M コストの現状

2. ブッシュ摩耗のメカニズムとこれまでの取り組み

図3に示すように、ブルドーザや油圧ショベルの履帯はスプロケットからの牽引力をブッシュが受け、ピン、リンクに伝達し、シューのグロウサが地面から反力を受けることで、車体は移動することができる。

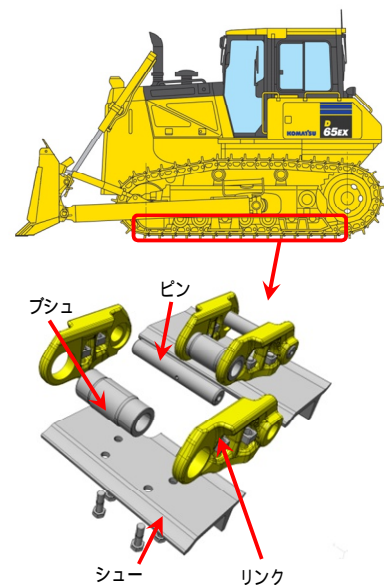


図3 履帯の構造

図4に示すように、前進時には車体下部側のスプロケットからブシュに牽引力がかかるが、ブシュとスプロケットが滑ることは少ない。しかし、前進時に掘削・運土を行うブルドーザの牽引力は非常に高く、ピンブシュ間は高面圧になり、その状態で摺動するので、かじり摩耗が発生しやすい。一方、図5に示すように後進時には車体上部側のスプロケットからブシュに牽引力がかかる。後進時の牽引力は前進時に比べると低いですが、必ずブシュとスプロケットが滑る為、ブシュとスプロケットの摩耗が進む。つまり履帯は前進時にピンブシュ間かじり摩耗（ピッチ伸び）及び後進時にブシュとスプロケットの摩耗が発生しやすい構造物である。

1980年代にオイル封入履帯が開発され、ピン・ブシュ間摩耗（ピッチ伸び）は大幅に改善し、ブシュの摩耗寿命延長に注目が高まった。寿命改善の為にブシュの大径化や砂地などの早期摩耗かつ軽負荷地向けに図6に示すAR (Abrasion Resistance)ブシュを導入を進めた。また図7に示すような摩耗限になったブシュの裏面を再利用するブシュ反転作業の容易化など、部品の品質向上だけでなく、補修技術の改善など様々な方向から摩耗寿命の改善を図ってきたが、ブシュの摩耗寿命が履帯寿命のネックであることは変わらなかった。

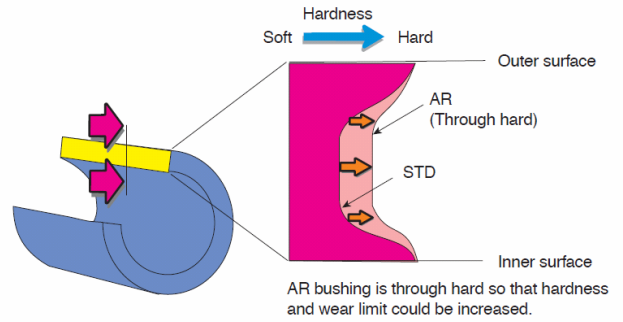


図6 ARブシュ

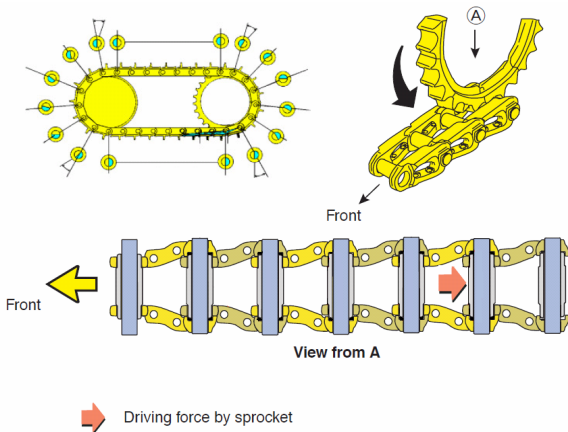


図4 前進時の履帯の状態

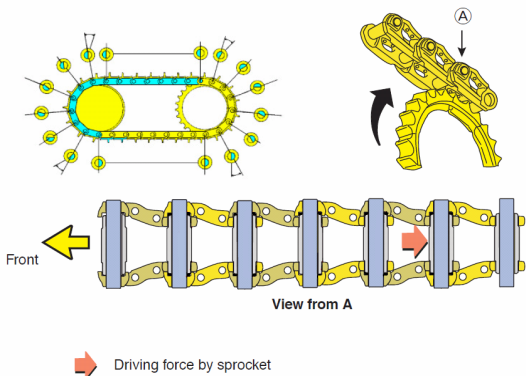
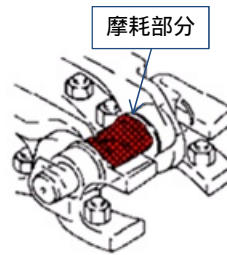


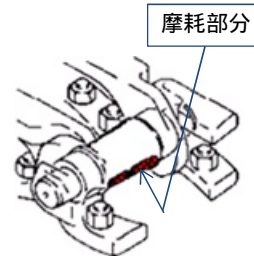
図5 後進時の履帯の状態



(1) 履帯の全分解



(2) 部品チェック・ブシュ反転



(3) 履帯の再組立



図7 ブシュ反転作業

3. PLUSの設計コンセプト

ブシュ摩耗寿命改善に対して、ブシュとスプロケットを滑らせず回転させるロータリブシュ（表1下段）という発想が生まれ、具現化すべく様々な取り組みが行われたが、

ブシュの分割化により、強度バランスが大きく変化し、リンク強度は従来に対して最大 45%低下するため、履帯 ass'y での強度が確保が難しい。

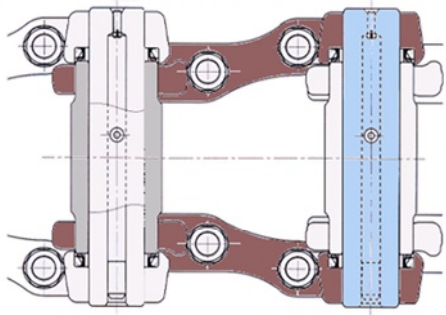
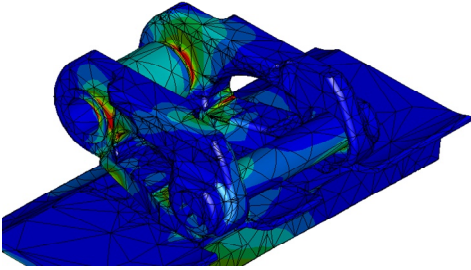
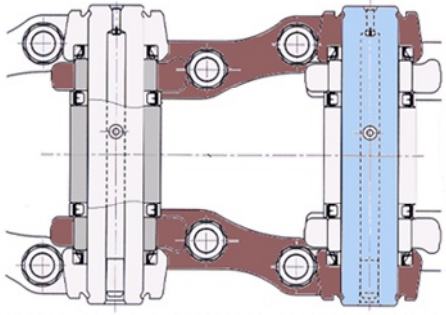
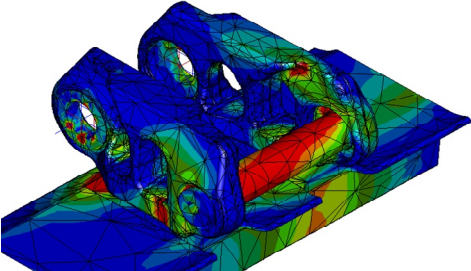
履帯シールの寿命が短かった為、ブシュの摩耗寿命がアップしても、履帯全体の寿命が伸びない。

という課題が残った。そこで PLUS 開発に当たり、目標を設定した。

ロータリブシュ履帯になっても、従来履帯同等以上の強度を確保する。

足回り全体の摩耗寿命は図8に示すようにバランスさせる。すなわち全ての部品を従来品ブシュの2倍にする。

表1 履帯構造と強度解析結果

	履帯構造	強度解析結果
従来履帯		
ロータリブシュ履帯		

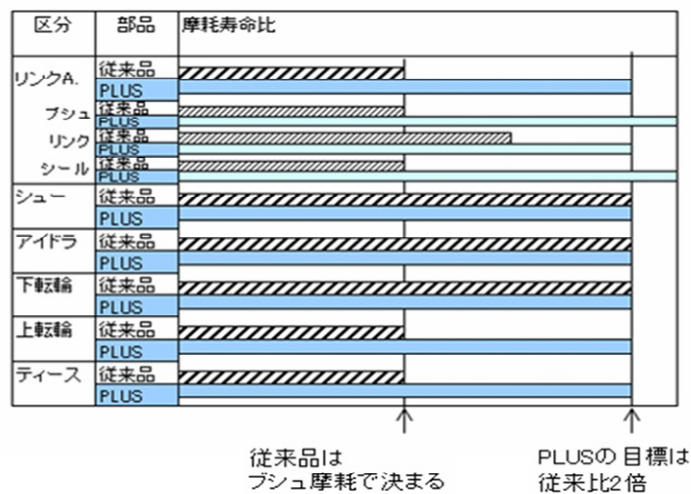


図8 摩耗寿命のバランス

4. パラレルリンクの開発

従来履帯同等以上の強度を確保する為に、現行履帯のロータリブシューではなく、新構造のロータリブシュー専用履帯を検討した。図9に示すようなパラレルリンクはアウトリンクとインナリンクに機能を分割することで、全体の強度の確保やフィールドでの保守の容易化など様々なメリットが期待できた。実際、アウトリンクは両端の穴にピンが圧入されている為、従来品同等以上の強度を確保しやすい。しかしインナリンクは両端の穴に牽引力を受けるブシュが圧入されているだけの為、リンク単体で強度を確保する必要があり、アウトリンクとインナリンクの剛性バランスを何度も繰り返し検討した。その結果、図10に示すように、アウトリンクの圧入部の長さを t 、インナリンクの圧入部の長さを T とした場合、

$$T/t = 1.3 \sim 1.4$$

とすることが望ましいということが判った。ベンチテストでも同様の結果が得られた。また社内での実用試験やシーディングテストにおいても形状変更による亀裂は無かった。

またパラレルリンクのもう一つの特徴であるフィールドでの保守の容易化についても、図11に示すように任意のアウトリンクを容易に取り外すことができることが確認できた。

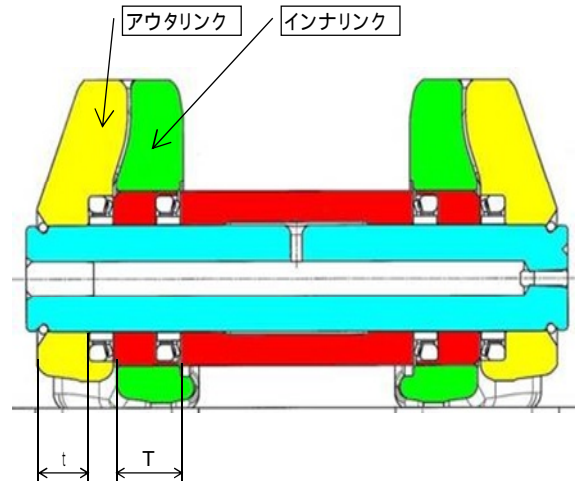


図10 パラレルリンクの厚さ比



(1) シューを外し、専用治具を取り付ける。



(2) アウトリンクを取り外す。

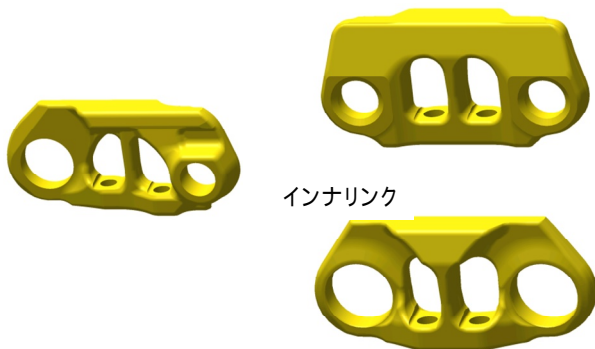


(3) 反対側のアウトリンクをピンと同時に取り外す。

図11 PLUS履帯のフィールドでの分解確認



アウトリンク



インナリンク

図9 従来リンクとパラレルリンク

4. シール寿命の大幅な改善

図 12 に示すように履帯シールはシール面を形成するシールと荷重を発生させる負荷リングから構成されている。これまでもシール寿命の改善は継続的に行ってきたが、PLUS の目標寿命は従来シールの 2 倍以上であった。

そこでシール寿命延長に向けて
 最大荷重を抑えながら、必要荷重が確保できるストロークの延長させること（図 13）、
 エンドブレーの安定化
 を狙った。

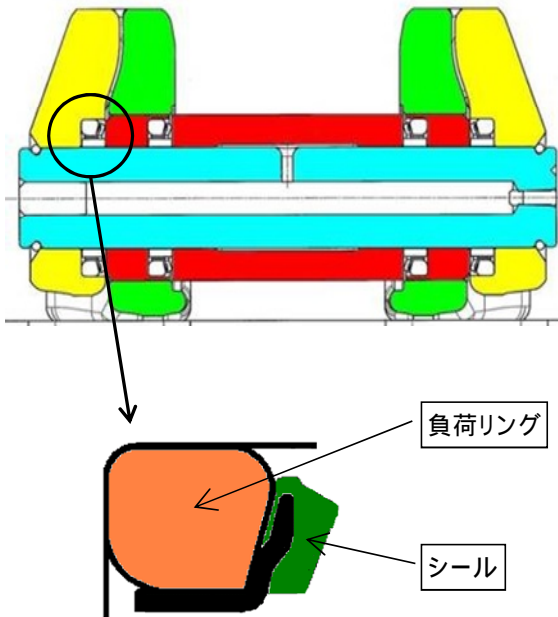


図 12 履帯シール形状

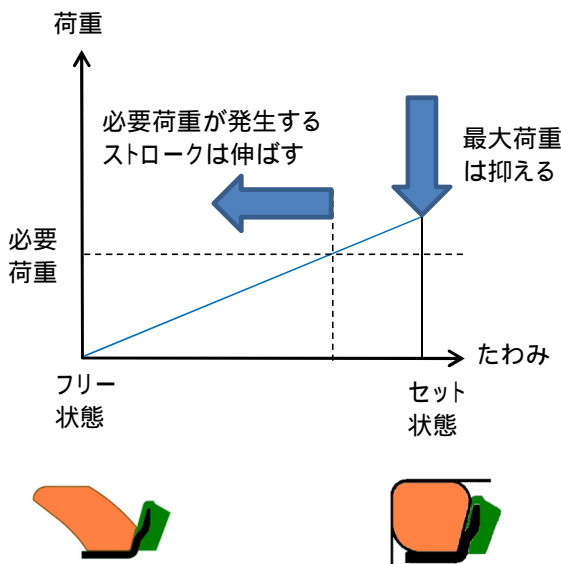


図 13 履帯シールの設計狙い

4.1 中小型ブルドーザ用新シールの開発

先にも述べたように PLUS の目標寿命は従来シールの 2 倍以上である。そこで大型ブルで先行市場導入していた履帯シールをベースに中小型ブルドーザ用新シールの開発を行った。負荷リングの作りこみは大変形に対応可能な有限要素解析ソフトを使用し、図 14 に示すような負荷リング内部の応力分布や発生する荷重、必要荷重のストロークを検討し、最適形状を導き出した。

また安定したシール面を形成させる為に、シール面を持つブシュに対して、熱処理後にすべての機械加工を実施した。従来のブシュに比べて、部品の精度を大幅に改善することができ、前述の新シールと組み合わせたベンチテストでは従来シールに比べて、2 倍以上の寿命改善を達成することができた。

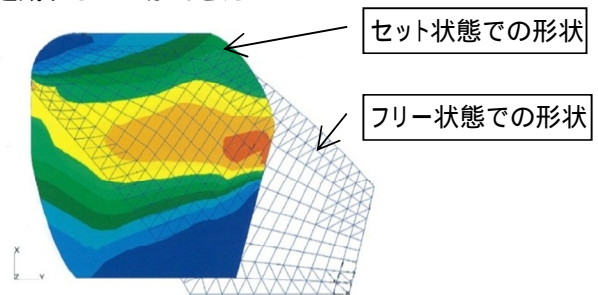


図 14 負荷リングの内部応力解析結果

4.2 エンドブレーの安定化

新シール採用によりシール性能は大幅に改善したが、稼働時間延長で長時間に渡り、高い保持力を確保する必要があった。そこで図 15 に示すような大型ブルで開発・市場導入し実績のある、くさびリングを採用することで、継続的に高い保持力を発生することができ、エンドブレーを安定させることができた。

実際、社内の実用試験やシーディングテスト後のエンドブレー測定結果も良好で、オイルの消費量も適正なレベルであることが確認できた。

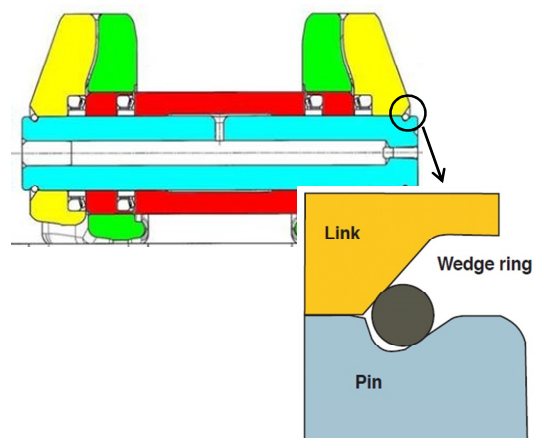


図 15 くさびリング

5. まとめ

社内での実用試験と同時に世界各地でシーディングテストを実施し、当初の目標である足回り摩耗寿命2倍を達成していることが確認できた。特にブシュ・スプロケット寿命は図16に示すように大幅に改善し、従来比2倍以上の効果が確認できた。またR&Mコストも、従来足回りに比べて30%以上の低減を達成できた。

中小型ブルドーザの商品力アップやアフターマーケットにおけるシェアアップに貢献できたと確信している。

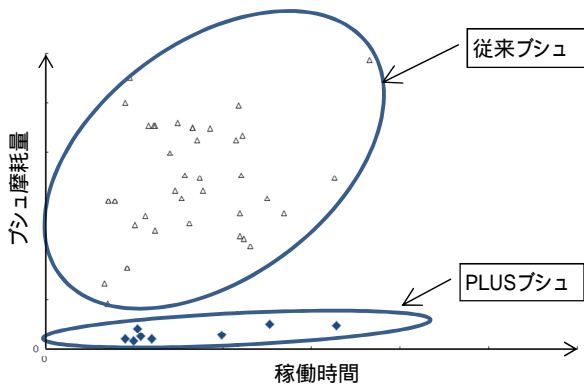


図16 ブシュ摩耗量

筆者紹介



Hiroyuki Nakaishi

なかいし ひろゆき

中石 弘行 1972年、コマツ入社。

現在、コマツ開発本部 建機第一開発センター所属。



Kazuo Maeda

まえだ かずお

前田 和生 2000年、コマツ入社。

現在、コマツ開発本部 建機第一開発センター所属。

【筆者からひと言】

ロータリブシュという先人のアイデアを実現化するまでに長い時間が掛かりましたが、量産化することができ、非常にうれしく思っています。

PLUSの水平展開は当然ですが、今後とも基礎技術のレベルアップを図り、商品力アップにつながるコンポーネントを開発していきたいと思えます。