

技術論文

リサイクル可能率向上をねらいとした建設機械用非塩素ホースの開発 Development of Chlorine free Hose for Construction Machinery to Raise Recyclability Rate

花田 洋一郎¹⁾
Yoichiro Hanada
濱出 康平¹⁾
Kouhei Hamade
広沢 敦彦¹⁾
Atsuhiko Hirohara
安部川 利治¹⁾
Toshiharu Abekawa
鍋岡 和之²⁾
Kazuyuki Nabeoka

コマツの環境目標である建設機械のリサイクル可能率99.5±0.5%を達成するために、建設機械に幅広く使用されている口金付き高圧ホースの非塩素化が不可欠である。口金付き高圧ホースは、最外層のカバーゴムに塩素を含み、焼却の際にダイオキシンの発生が懸念されるため、リサイクルができず地中埋設処理せざるをえない問題があった。さらに、口金付き高圧ホースの建設機械の総重量に占める割合は約0.5～1.0%であり、無視できないレベルであった。そこで、塩素ゴムと同等以上の耐久性をもつゴムブレンド材を使用した非塩素ホースをホースメーカーと開発し、材料単体試験や建設機械の実機での耐久性評価の結果、現在のホースの耐久性を上回るリサイクル処理可能な非塩素ホースを実用化した。2012年6月生産より全面的に非塩素ホースへの代替化を達成した結果、リサイクル可能率99.5±0.5%を達成したので報告する。

To achieve Komatsu's target recyclability rate of 99.5±0.5% for its construction machinery, high-pressure hoses with crimped metal fittings that are widely used on these machines needed to be made chlorine free. As the outermost rubber sheath of the high-pressure hoses contains chlorine, they are unable to be heat recycled because incineration could release dioxin, and instead needed to be buried underground. On the other hand, the high-pressure hoses with crimped metal fittings account for about 0.5 to 1.0% of a construction machine on which they are used in terms of weight, which is not a negligible proportion.

Against this background, the authors, jointly with hose manufacturers, developed a chlorine free hose with durability equal to or higher than chlorine rubber hose using a blended rubber material. Through subsequent material testing and durability assessment on actual machines, this recyclable chlorine free hose was proved to have more durability than the conventional hoses. The conventional hoses were fully replaced with the chlorine free hoses from the production in June 2012 and, as a result, the target recyclability rate of 99.5±0.5% was achieved.

Key Words: 建設機械, 材料, 環境, 非塩素ホース, 塩素ゴム, リサイクル可能率, 口金付き高圧ホース, ダイオキシン

¹⁾研究本部 材料技術センタ ²⁾開発本部業務部規制・標準Gr

1. ねらい

日本建設機械工業会では、建設機械の構成部品のリサイクル可否判断基準に関する目安と改善指針¹⁾を定めており、「建設機械のリサイクル可能率（技術的にリサイクル可能な割合：重量比）97%以上を目標²⁾として掲げている。コマツではリサイクル可能率をさらに高い目標の99.5±0.5%を目指している。

この目標を達成するには、廃棄の際に地中に埋設処理している口金付きゴムホース（図1.1）をリサイクル可能

にすることが不可欠である。



図1.1 口金付き高圧ゴムホース

建設機械工業会では、「口金付きゴムホースのリサイクル化手段として、①口金とホースの分離可能な構造②塩素ゴムを使用しない非塩素ゴムの採用」¹⁾を提案している。

コマツが、塩素ゴムを含まない非塩素ホースの開発を推進した背景には、塩素を含むゴムは焼却処理により、ダイオキシンの発生が懸念されるためである。塩素ゴムを高温焼却すれば、ダイオキシンの発生を抑止できるが、発生ガスから塩素ガスが発生することから、排ガス処理の問題や炉の腐食の問題がある。そのため、口金付きゴムホースを構成する鋼製ワイヤーや口金をリサイクルできないまま、地中埋設されているのが現状である。

そこで、非塩素ホースの開発に着手し、材料技術センタ発足以来、約7年間にも及ぶ品質確認と実機による実用試験で現行ホースと同等以上の耐久性を実証し、量産化を開始した。

その結果、スチールラジアルタイヤと同一のリサイクル処理が可能になり、コマツの環境目標である建設機械のリサイクル可能率99.5±0.5%を達成した。

2. 非塩素ホースの開発の背景

2.1 口金付きゴムホースの要求品質

油圧ショベルやブルドーザおよびホイールローダなどの建設機械は高圧の油圧で駆動するため、口金付き高圧ゴムホースを多く使用している。これは、容易に分解・組立可能にして整備性を高める事と、大きな曲げ伸縮やねじりの力を受ける部分には、鋼管を使用できないからである。

口金付き高圧ゴムホースは、建設機械の稼働現場の過酷な環境の土砂、岩石などの摩擦摩耗を受けることや数百万回に及ぶ繰り返しの伸縮に対する耐久性を備え、特に安全の観点から高圧（たとえば34.5MPa）の油圧をにじみなく、確実にシールすることが要求されている。さらに、建設機械の作業時間が増大する背景と大型建設機械の需要が高まっているため、口金付き油圧ホースの高圧化や大口径化が加速し、口金付き高圧ホースの信頼性を高める品質向上の必要がある。

2.2 口金付き非塩素ホースの重量比率

高圧ゴムホースの構造は、数百万回の伸縮に耐えるために、鋼鉄製のワイヤーで何層にも強化された構造となっている。

そのため、建設機械における高圧油圧ゴムホースの機械あたりの重量割合を図2.1に示すが、高圧油圧ゴムホースの重量比は、建設機械全重量の0.5%~1%にあたる。

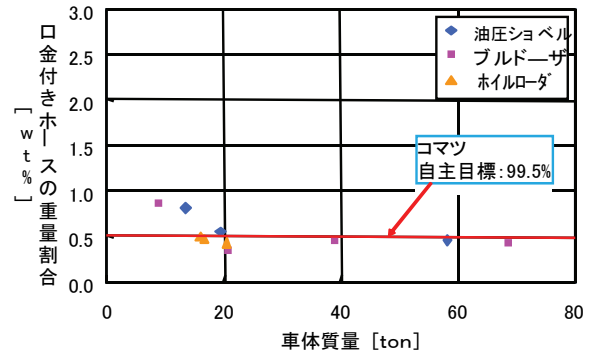


図2.1 口金付きホース車重に占める割合

一方で、高圧ゴムホースは、図2.2のように、ホースの外周部に耐環境性・耐熱性に優れたカバーゴムに塩素ゴムを使用しているため、焼却処理などによるリサイクルすることができず、土中に埋設せざるを得なかった。

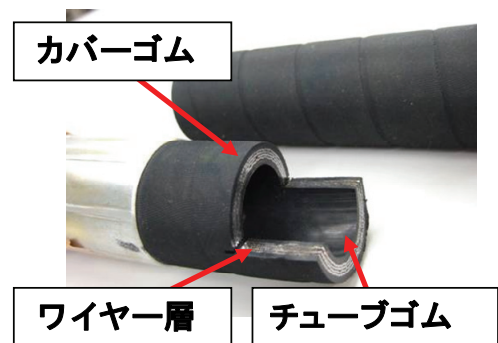


図2.2 口金付きホースの断面構造

このような背景から、リサイクル可能な耐久性に優れた非塩素ホースの開発が強く要請されていた。そこで、特殊ゴムのブレンド材を使用し、耐熱性、耐寒性、耐候性と強度を兼ね備えた非塩素ホースを開発に着手した。

2.3 塩素ゴムがリサイクルできない理由

塩素ゴム焼却による課題として、図2.3に示すダイオキシン類の発生の可能性がある。専門の試験研究機関において、ホースに使用されている塩素ゴムを密閉試験管中での600℃~800℃での燃焼実験を実施し、その排気ガス及び燃焼物残差によるそれぞれダイオキシン類の検出量を測定した。その検出量と各物質の毒性強度（等価係数）

を掛けて算出した全毒性等量 (pg-TEQ/g) をダイオキシン検出量として図2.4に示す。

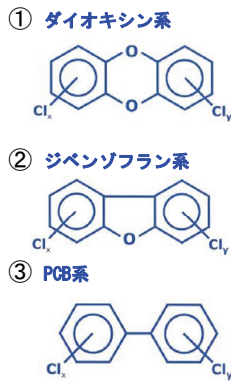


図2.3 ダイオキシン類の化学構造

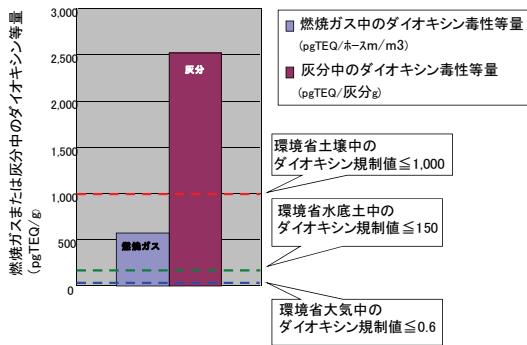


図2.4 塩素ゴムの燃焼によるダイオキシン検出量比較 (700°C加熱)

あくまで、試験管レベルの実験値であるが、加熱温度700°Cで塩素ゴムの焼却すると環境規制を超えるダイオキシン類が廃棄ガス及び焼却灰分から検出される可能性があるのに対して、非塩素ホースゴム材からは同一条件の焼却処理により、ダイオキシン類は一切発生しなかった。

但し、塩素ゴムの800°C以上の高温焼却すると、ダイオキシン類の検出量は大幅に低減することを確認したが、一般の処理では800°C以上の燃焼温度が確保、保障できない問題がある。規制値を超えるダイオキシンの発生が懸念されるため、口金付き高圧ゴムホースのリサイクル化のためには、非塩素ホース化を推進することが不可欠であることがわかる。

3. 非塩素ホースの開発

3.1 非塩素ホース化の技術課題

非塩素ホース開発の技術課題は下記のとおりである。
 ・塩素ゴムと同等の耐環境性 (耐油性・耐熱性・耐寒性)

を有すること

- ・塩素ゴムと同等の耐久性を有する事 (耐熱老化性・耐候性) を有する事



図3.1 非塩素化を図る必要のあるカバーゴム

図3.1に示すように、カバーゴムに使用される塩素ゴムは高圧ゴムホースに要求される物性のすべてにおいてバランスに優れ、これに替わる非塩素ホース系のゴム材で代替することが難しい課題があった。コマツにおいては前項で述べたように、新興国での稼働条件が日本国内と比較して長時間稼働している現状を考慮して、品質を低下させることは一切できない状況であった。

非塩素ホース開発の技術課題は、耐油性である。高圧ホースは装置に近接して配置されることが多く、摺動部材のオイルやグリースがホースに垂れて、ホースの外皮表面から浸透し、カバーゴムの物性低下よりクラックなどが発生する恐れがある。

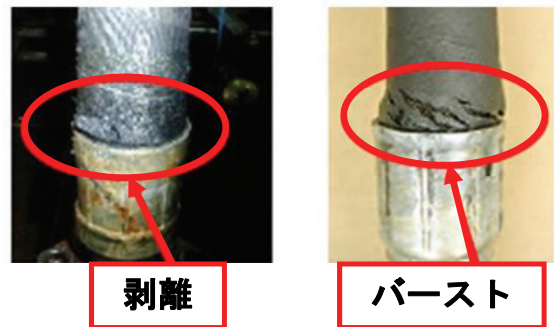


図3.2 油圧高圧ホースの不具合事例

ホース単体試験で起こった問題 (耐油性未達のホース) が、図3.2のように、ホース表面のクラックが進展し、油圧に耐えられずホースのバーストや口金部から漏れ等が発生する可能性があり、コマツでは非塩素ホースの開発に約7年以上の継続的な評価を実施してきた。

一方で、建設機械は極寒冷地でも稼働するので、耐寒性を要求される。ところが、耐油性と耐寒性は二律背反の関係にあり、耐油性を向上させると耐寒性が低下し、

逆に耐寒性を向上させると耐油性が低下する技術的な課題がある。(図3.3)

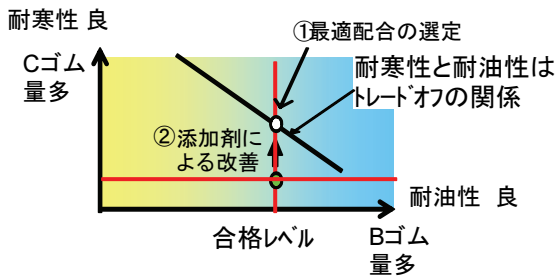


図3.3 ゴム配合と耐油性・耐寒性

さらに、非塩素ホース化の全面変更が可能ないように、ゴムホースとしての物性が大幅に変わらないことやコスト上昇を抑えるような必要があった。

そこで、達成手段として図3.3, 図3.4のように2種類以上のゴムのブレンド 及び 添加剤の適切な配合により、油圧ホースカバー材として、適切な物性にし、最適な配合比を選定し、添加剤によって耐寒性を改善した。

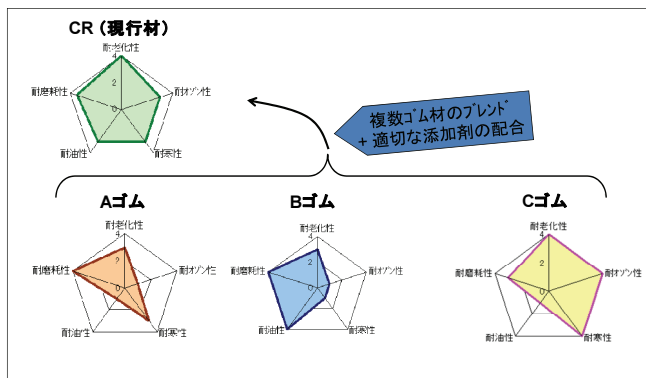


図3.4 代表的なゴムの物性バランスイメージ

3.2 非塩素ホースの耐熱寿命

非塩素ゴムの耐熱寿命を熱老化試験によって推定した。ゴム材の熱劣化は通常は図3.5のようにアーレニウスプロットで推定できる。

加熱温度が高くなるほど、加熱時間が長くなるほど、ゴムの熱劣化がすすむことがわかる。このゴムに寿命判定については、延びが50%まで低下した時間を寿命と判断したものである。

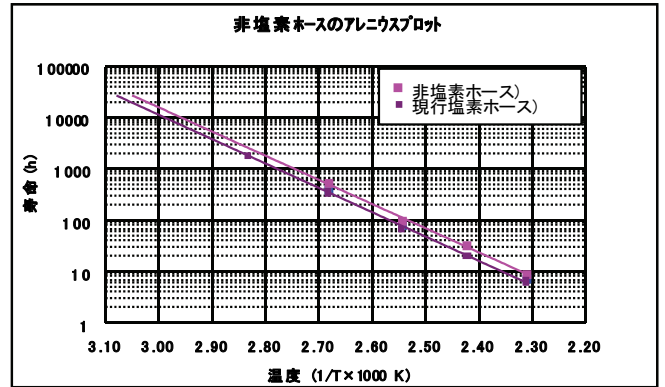


図3.5 非塩素ホースの耐老化性

この結果から、非塩素ホースのゴム材は現行ホースの塩素ゴムと比較して同等以上であることを確認した。

3.3 非塩素ホースの耐候性

非塩素ホースの耐候性評価は①動的オゾン劣化試験 ②暴露試験で評価した。

B-3 レベル相当材

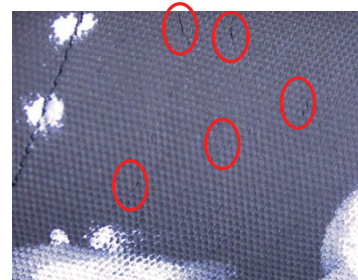


図3.6 屋外暴露試験にて発生したホース表面のクラック

オゾン劣化により、図3.6のようなクラックがゴム表面に発生する。図3.7に、動的オゾン劣化試験でのゴムのクラック発生率の比較評価の結果、非塩素ホースはオゾンによるクラックが発生抑制でき、非塩素ホースが現行品と比較してすぐれていることをラボ試験で確認した。

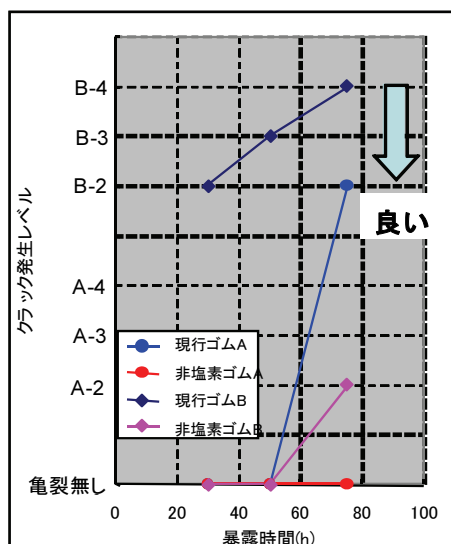


図3.7 動的オゾン試験結果

さらに、ホース実体の耐候性試験について、平均気温が高く、日照時間が長い沖縄永良部島での1年間の暴露試験の結果（図3.8）、非塩素ホースの性能劣化がなく、現行ホース同等以上の耐候性であることを確認した。



図3.8 ホースの暴露試験（1年間）

3.4 非塩素ホースの耐寒性

耐寒性に関して、TR10で評価した。TR10は、一定荷重で伸長しゴムを-70℃から温度を上げていき、伸びが10%に回復するときの温度を表す。現行ホースと非塩素ホースのTR10は、いずれも-30℃以下であることを確認した。

さらにホース実体での曲げ試験の限界温度が-50℃以下であることを確認し、極寒冷地での使用で実用上問題がないことを確認した。

4. ホース単体の調査結果

4.1 ホースの初期耐圧試験

ゴム単体での耐久性の確認が完了したので、ホース単体での評価試験を実施した。初期耐圧は、口金がバーストにより抜ける圧力を評価する装置であるが、定格圧力

に対し、4倍以上の安全率があることがISOの規定で決められている。その規格を満足するだけでなく、口金の加締め構造の最適化により、図4.1のように、現行ホース同等以上の破壊耐圧を得ることができた。

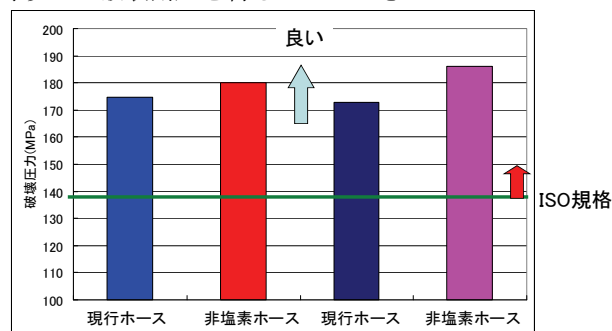


図4.1 初期破壊耐圧の差異

4.2 ホースのインパルス試験

ホースの耐久性を確認するための試験として、熱負荷と圧力変動を荷重させた状態でのインパルス試験を実施した。



図4.2 熱と圧力を荷重させた耐久性評価

また、懸念される製造のばらつきも考慮して、ホース口金のかしめ条件もすべて上下限のものでかしめ条件を最適化したもので評価した。

全圧力系列、全ホースサイズでインパルス試験を油浸漬下で実施し、バースト圧力の低下がなきことを確認して、耐油性も含めて、性能、耐久性に問題ないことを確認した。

4.3 長期稼働車・実用試験搭載品調査結果

上記の耐熱性評価や耐環境性の評価に合格した部品を開発試作車のすべてのホースに全系列ホース（圧力5系列、口金サイズ8系列）を搭載し、実機評価を実施した。

圧力	サイズ	機種A	機種B	機種C	機種D	機種E	機種F	機種G	機種H	機種I
4.5 MPa	02	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	03	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	04	●	●	●	●	●	●	●	●	●
4.5 MPa	05	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	06	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	10	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	12	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	14	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	20	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	20	●	●	●	●	●	●	●	●	●
17 MPa	02	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	03	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	04	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	05	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	06	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	10	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	12	●	●	●	●	●	●	●	●	●
20.5 MPa	02	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	03	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	04	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	05	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	06	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	10	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	12	●	●	●	●	●	●	●	●	●
27.5 MPa	02	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	03	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	04	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	05	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	06	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	10	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	12	●	●	●	●	●	●	●	●	●
34.5 MPa	02	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	03	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	04	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	05	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	06	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	10	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	12	●	●	●	●	●	●	●	●	●

図4.3 実機試験での評価実施水準

全ての圧力系列とサイズが搭載されるように、開発試作車に漏れなく、搭載されるようにした。すべての評価は稼働時間の最低は1000時間以上で、主要な機種は4000時間以上の評価を実施した。すべての非塩素ホースについて回収して、外観調査や物性の変化を調査した。これらの結果から、耐久性が低下していないことを確認した。長期稼働後も未使用品とほぼ変わらない残存破壊圧力であり問題ないことを確認した。

4.4 非塩素ホースの適用基準

非塩素ホースの実機での評価を実施したが、適用範囲は、燃料ホースを除く作動油ホースとした。燃料ホースを除外した理由は、安全性の問題である。今後の建機燃料では、BDF（バイオディーゼル燃料）の適用が急速に広がると予想されるが、BDFの種類によってホースゴムの劣化状況が異なる事が予想されるからで、すべての種類のBDFに対する実機評価が十分な品質確認が完了していないからである。

4.5 非塩素ホースの量産化

非塩素ホースの品質確認については、すべての開発試作車で実機評価が完了し、合格した圧力系列とサイズ別に、社内規格に登録して、燃料ホース以外の作動油ホースについての量産化を開始した。その結果、コマツの自主環境目標である建設機械のリサイクル可能率99.5±

0.5%以上を達成した。

4.6 リサイクルの実効率向上への取組み

リサイクル可能率の判定基準は、建設機械工業会で設定され、ISO 16714とほぼ整合がとれているものであるが、マテリアルリサイクルとサーマルリサイクルともにリサイクル可とみなす。（ISOでは、recoverabilityとして扱われる。）また、リサイクル可能率は設計上の算定値であるが、実際のリサイクルの実効率向上が課題である。

リサイクルの実効率向上のために、廃却処理工程で非塩素ホースを識別することが必要になる。そこで、塩素ゴムを使用した従来の油圧ホースと非塩素ホースを識別するために、まず当面は銘柄の一部として“CLF”をホース本体表面に表示とした。（ISO 1043-1に準ずる表示などが今後の課題。）

また、ゴムホースは熱源としての熱容量が不足するがセメントの原資としても利用可能であり、製鉄炉ではゴムシューの場合と同様にゴムは還元剤としてマテリアルリサイクル可の扱いが可能である。³⁾

このように、非塩素ホースの導入はリサイクル可能率の向上だけでなく、リサイクルの実効率向上に大いに寄与すると期待されている。

5. 結論

- (1) 油圧ショベル、ブルドーザ、ホイールローダなどの建設機械に搭載される口金付き高圧ゴムホースの全系列（圧力別、サイズ別）の非塩素ホースを、ヒートインパルス試験により、耐久性の確認試験を実施して、現行ホースと耐久性が同等以上であることを確認した。
- (2) 上記の耐熱性評価や耐環境性の評価に合格した部品を、開発試作車に3年間搭載して評価した上で品質劣化の問題ないことを確認し、非塩素ホースを実用化した。
- (3) 非塩素ホースの実用化
非塩素ホースの全面量産化により、スティールラジアルタイヤと同一のリサイクル処理が口金付き高圧ホースについても可能になり、建設機械の全重量の0.5~1.0%以上に占める口金付き高圧ホースのリサイクル率向上を図り、コマツの自主環境目標である建設機械のリサイクル可能率99.5±0.5%を達成した。
- (4) 非塩素ホースのリサイクル実効率向上への課題
非塩素ホースを識別するために、まず当面は銘柄の一部として“CLF”をホース本体表面に表示した。リサイクル可能率は、設計上の算定値であるが、実際のリサイクルの実効率向上が課題である。今後は、セメントの原資としても利用可能であり、製鉄炉では

ゴムシューの場合と同様にゴムは還元剤としてマテリアルリサイクル可の扱いが期待されている。

6. 参考文献

- 1) 建設機械の構成部品のリサイクル可否判断基準に関する目安と改善方針, (社)日本建設機械工業会 (2008年3月)
- 2) 使用済み建設機械のリサイクル推進行動計画, (社)日本建設機械工業会 (2001年7月)
- 3) 鍋岡和之, 建機製品の環境負荷物質低減活動の動向, 建設の施工企画, (2011年12月), PP61-65
- 4) 花田洋一郎ら, リサイクル率向上をねらいとした建設機械用非塩素ホースの開発, 第42回信頼性・保全性シンポジウム発表報文集, (2012), PP371-376

筆者紹介



Yoichiro Hanada
はな だ よう いち ろう
花田 洋一郎 1983年, コマツ入社.
現在, 研究本部 材料技術センタ所属



Kouhei Hamade
はま だ こう へい
濱出 康平 2006年, コマツ入社.
現在, 研究本部 材料技術センタ所属



Atsuhiko Hirose
ひろ きわ あつ ひこ
広沢 敦彦 1988年, コマツ入社.
現在, 研究本部 材料技術センタ所属



Toshiharu Abekawa
あ べ かわ とし へい
安部川 利治 1990年, コマツ入社.
現在, 研究本部 材料技術センタ所属



Kazuyuki Nabeoka
な べ おか かず ゆき
鍋岡 和之 1981年, コマツ入社.
現在, 開発本部 業務部
規制・標準Gr所属

【筆者からひと言】

口金付き高圧ホースはその使用範囲が多岐、多様に亘っており、性能を維持しながら、材料変更をしていくことは容易ではなかったが、材料技術センタ（現 研究本部）、開発本部がイニシアティブをとり、コマツ全社の調達本部、生産本部、品質保証部門が一丸となって取り組み、さらに部品サプライヤーの全面協力によって、今回の活動が遂行できました。本プロジェクトに参画し、関係する各位に深くお礼申し上げますとともに、今後も、環境負荷物質低減に取り組んでいく所存です。また、本原稿内容は、第42回信頼性・保全性シンポジウムでの発表内容⁴⁾を基にコマツ技報で報告するものである。