

建設機械用生分解性潤滑油の現状と規格

杉山 玄六・妹尾 常次良

建設機械関連の環境負荷低減施策の一環として、万一漏洩した場合でも、一般的に使用されている石油系潤滑油と比較して、より環境負荷の小さいとされる生分解性潤滑油（油圧作動油、およびグリース）を取上げ、その普及促進を図る目的で、建設機械の要求性能に合致した生分解性潤滑油の品質規格を、社団法人日本建設機械化協会規格として提案、JCMAS化した。

キーワード：環境負荷低減、生分解性、建設機械、潤滑油、油圧作動油、グリース

1. はじめに

京都議定書における日本政府のコミットメントの実現にむけ、社団法人日本建設機械化協会（以下当協会）においても官民協力のもと、建設機械の「環境負荷低減技術指針」を定め、環境負荷低減に向けての各施策の立案と推進を行っている。そのような背景から、当協会機械部会油脂技術委員会は、万一漏洩した場合でも従来の石油系潤滑油と比較し、より環境負荷の少ないとされる、生分解性潤滑油の普及促進を施策として取上げた。

具体的には、

- ・建設機械用生分解性潤滑油の品質規格を設定し、ユーザ、建設機械メーカー、油圧機器メーカー各々の合意を得ること、
- ・この潤滑油が、グリーン購入法で選定品目とされること、

の2点を目標とし、特に同法の選定の必要案件である公的な品質規格の策定、並びに運用基準の検討を実施した。

当委員会は、建設機械製造メーカー、潤滑油メーカー、油圧機器メーカー等のメーカー側、およびユーザ側として、建設業部会、リースレンタル業部会の委員から構成され、さらにオブザーバとして、フルードパワー工業会、グリース協会等にご参加いただいた。すなわち、生分解性潤滑油に関するステークホルダーが一堂に会して審議を行なわれたことも特筆される。

本報文では、市場動向、技術動向等の生分解性潤滑油の現状、及び、建設機械での使用を前提とした、生

分解性作動油用規格 HKB JCMAS P 042、及びグリース用規格 GKB JCMAS P 040 の2規格と、上記2種の規格を補完する新規引用規格等について紹介する。

2. 生分解性油脂の市場動向

生分解性潤滑油のニーズは、欧州での鉱物油系チェーンソーオイルの飛散による森林環境の汚染に端を発しており、その後、水源地での船外機エンジン用2サイクルオイルや、現地では油漏れが多いと認識されている建設機械の油圧作動油にも、生分解性が要求されるようになってきた¹⁾。

現在、日本国内でも複数の生分解性潤滑油が入手可能であり、生分解性、すなわちバクテリア等の活動で、油脂が水と二酸化炭素に分解される能力は、財団法人日本環境協会、エコマーク商品情報ページの商品類型 No. 110 生分解性潤滑油 Version 2 の項で規定されている。

この規格を満足し、エコマークを表示できる生分解性潤滑油は、現在 74 銘柄が登録されており、その中で建設機械用潤滑油として対象となるのは、工業用作動油 17 種とグリース 21 種の計 38 銘柄となる²⁾。

建設機械用の生分解性油圧作動油としては、機械メーカーや潤滑油メーカーが販売や純正指定をしており、使用実績としては、海中で作業可能なように油圧ショベルを改造した水中バックホウ（図-1）、河川改修等で水辺での作業が多い圧入機（図-2）での実績が報告されている^{3),4),5)}。

いずれの機械も、汚染に敏感な水辺、水中で使用され、かつ比較的長い配管で、油圧ユニットとアクチュ

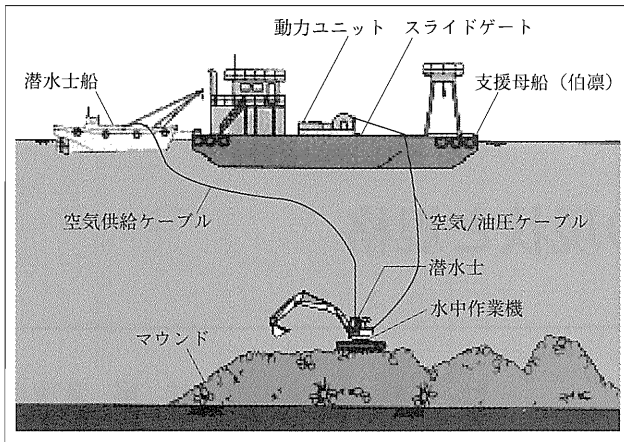


図-1 水中バックホウの概要

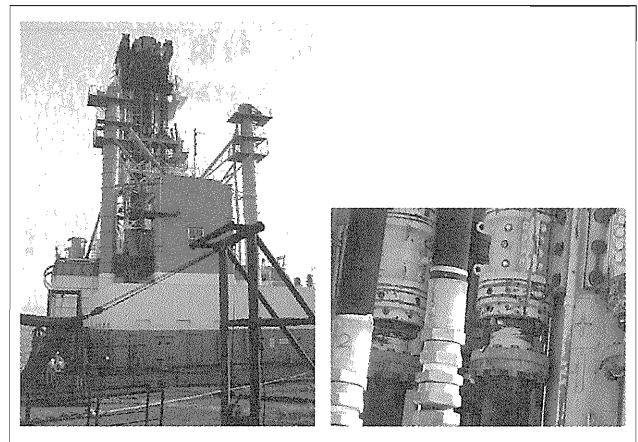


図-3 作業船(デコム7号)の外観

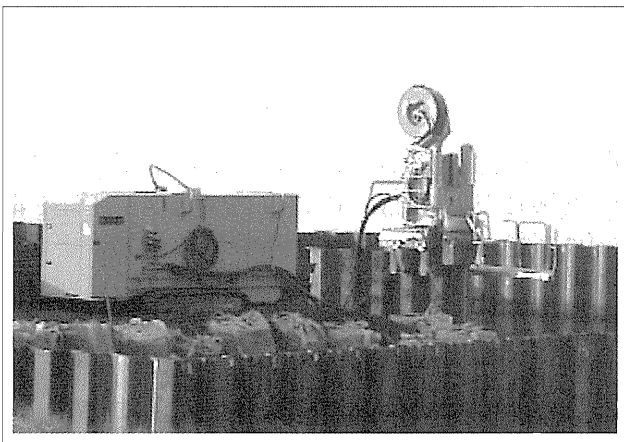


図-2 油圧圧入機外観

エータが接続される特性から、万一の漏洩リスクに対して、生分解性油圧作動油が使用されている。

また、グリースに関しても、地球環境問題が大きくクローズアップされ、建設機械業界も生分解性グリースを採用しつつある。建設機械は河川工事を始めとして市街地区域、公園、ゴルフ場等、直接、水、土に接する場所が多く、その意味からも有害成分を含まず自然界に生息する細菌で分解される生分解性を有することが望まれる。

国内においてグリース全需要量6万トンのうち生分解性グリースは数十トンとわずかであるが、21銘柄が現在販売されている。その主な用途としてはダム水門の機械、水中作業機械の一部、牧草農業機械などが挙げられる。建設機械でも既に一部のメーカーで純正グリースとして取扱っており環境保護への取組みも高まりつつある。

図-3は、生分解性グリースを使用している作業船の外観である。

今回の生分解性潤滑油の規格策定と、今後のグリーン購入法での採用により、生分解性潤滑油の需要拡大が今後促進されると予想される。

3. 建設機械用生分解性潤滑油の運用指針

潤滑油の漏洩が発生しても敷地内で処理可能な工業用油圧機械と異なり、建設機械は環境保全に留意すべき地域での使用も多く、環境負荷を考慮して作動油の漏洩防止を最大限工夫する必要がある。生分解性潤滑油使用に関しても、漏洩時のC.O.D.(化学的酸素要求量)の増化等、環境に与える負荷は食用油と同等レベルであり、使用済みのてんぷら油を湖沼に投棄できないことと同様に、安易に生分解性潤滑油を漏洩させるべきではない。このため、環境汚染のリスクを低減するためには、建設機械の設計段階での配慮と使用時の整備の徹底が基本である。

従来、生分解性潤滑油の使用が要求されている製品は、チェーンソーや2サイクルの船外機エンジン等、自然界に潤滑油流出を許容する設計の製品向けの用途が中心であった。これに対し、建設機械は正しく整備された状態では漏洩を許容しない設計になっており、漏洩リスクが、工法や機械の性質上、環境負荷増加を懸念される場合にのみ、生分解性潤滑油の使用を検討すべきであろう。

なお、石油系潤滑油のベースオイルの製造エネルギーはそれほど大きくは無いが、生分解性潤滑油のベースオイルとなる脂肪酸エステル(脂肪酸)の製造エネルギーは石油系の10倍以上との試算もある。生分解性潤滑油製造によるCO₂の排出を含めたトータルの環境負荷低減の見地からは、全ての建設機械に生分解性潤滑油を使用するという点に関して、コンセンサスは得られておらず、また、従来の鉱物油系よりも大幅に高い生分解性作動油のコストに起因する使用者の負担増大への対応も、方針が定まっていない。

このようなことから、現在、油脂技術委員会では、工法や機械の使用条件、設計的な面から、まず漏洩し

た場合、環境に対するリスクが高いと客観的に認識される工法からの適用を検討している。具体的には水中で作業し、万一の漏洩が環境汚染に繋がる可能性の高い水中バックホウ工法、水源地や海浜地区での作業が多い油圧式圧入機から適用を開始し、生分解性潤滑油としての認知度を高めながら、適用工法、機種種の拡大を推進して行きたい。

4. 生分解性油圧作動油の技術動向、規格の動向

(1) 技術動向

生分解性油圧作動油は、生分解性を有するベースオイルと、環境毒性の少ない添加剤とで構成される。

ベースオイルは、一般的に2つの種類、すなわち、

- ・安価であるが耐熱性に劣る植物系、
- ・高価であるが耐熱性に優れる合成脂肪酸エステル系、

のいずれかが用いられている。従来、高温、高圧と使用環境の厳しい建設機械は、合成脂肪酸エステル系が中心に使われてきた。しかしながら、合成系は高コストであり、そのため生分解性作動油の普及の障害となっている事から、植物系の耐熱性向上の工夫もされつつある。

建設機械への生分解性作動油の使用は、欧州が先行しており、数多くの生分解性作動油が販売されている。

当委員会メンバの建設機械製造メーカーでは、輸出先である欧州において、現地での生分解性作動油使用による幾つかの不具合を経験しており、機械の設計品質、あるいは、生分解性作動油の特性改善で市場の要求に対応してきた。具体的な不適合内容とその対応には、下記のものがある。

- ① 生分解性作動油使用による摩擦係数低下(=ブレーキ能力低下)に対応し、機械自体のブレーキ容量増大を含めた設計変更
 - ② 油圧機器の銅合金腐食の問題に対し、銅合金保護を目的とした生分解性油圧作動油ベースオイル精製度向上と、添加剤の最適化
 - ③ 生分解性作動油によるシール材料の劣化に対し、劣化しにくいシールの適用
- 等々である。

これらの生分解性作動油の技術的な内容を、今回策定した品質規格に盛り込むことで、個々の生分解性作動油の性能比較が容易になり、機械使用者の作動油選定と、作動油自体の改良による不具合防止が進むことが期待されている。

(2) 規格策定の背景

欧州においては、環境汚染の進行から生分解性潤滑油の普及が進んでおり、そのため、一般設備機械用の潤滑油のカテゴリーでの生分解性作動油に関するISO規格(ISO 15380)が既に制定されている。

この規格が、そのまま建設機械用の油圧作動油規格として適用可能か、当委員会にてその内容を検討した結果を表-1に示す。

表1 建設機械の要求特性

建設機械の使用条件	建設機械	設備機械	建設機械固有の要求特性	従来規格の問題点
潤滑性に敏感な機器	ピストンポンプ、モータ	ギア、ベーン	ピストンポンプでの潤滑性	ベーンポンプでの評価
高圧力	油圧ショベル 35 MPa ホイールローダ 42 MPa	7~21 MPa が主流		低圧での評価
高油温	60~100°C 空冷式オイルクーラ	30~55°C 水冷式オイルクーラ	高温高圧下での熱安定性	熱安定性の基準低い
小油量	ポンプ吐出容量(L/min)の0.5~1.0倍	ポンプ吐出容量(L/min)の3~5倍		
安全装置	湿式ブレーキの採用	無し	摩擦特性	評価項目無し

建設機械の油圧システムにそのまま適用するには、主に、

- ① 潤滑性、
- ② 熱安定性、
- ③ 摩擦特性、

の3点に関して、規格として不十分であり、ISO 15380をベースとして、建設機械用作動油の要求特性を加味した品質規格、JCMAS P 042 (HKB)を策定することとなった。

(3) JCMAS P 042 生分解性油圧作動油規格 (HKB)

先に述べたように、本規格HKBはISO 15380をベースとして、建設機械に必要な特性規格を盛り込んだ。

(a) 潤滑性

実際のピストンポンプで評価すべきという議論も有ったが、一つの形式のポンプで、潤滑性を評価することは、技術的に困難であるとの認識から、ギア間の潤滑性を評価するFZG試験；DIN 51354-2、スチールボールの摺動で潤滑性を評価するシェル四球式の耐摩耗・耐荷重試験(JPI-5 S-32, JPI-5 S-40)、並びにV 104 Cを用いたベーンポンプ試験IP 281 (BSI 2000: Part 281)を満足することとした。

(b) 熱安定性

従来の加速酸化試験 (ISOT, TOST 等) では熱安

定性に起因する実機上での劣化と相関が見られないことから、実機の熱負荷のかかり方をシミュレートし、局部的に熱負荷を与えることが出来る A 2F-10 ピストンポンプを用いた高圧ピストンポンプによる寿命評価方法 (JCMAS P 045) を開発し、HKB 規格の引用規格とした。

図-4 に JCMAS P 045 ポンプ試験の装置図を示す。断熱圧縮により作動油の局部的な熱劣化に対する寿命を評価するために、この試験ではポンプ入口側に一定量の空気を吹込み、気泡表面で発熱させる。また、劣化を促進させるため、タンク内に銅触媒を入れている。

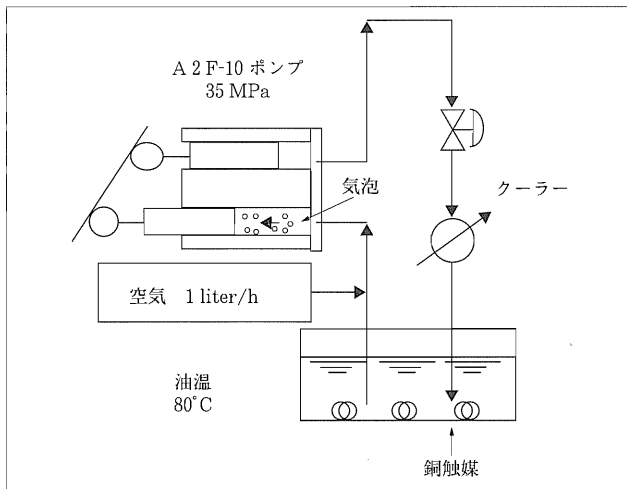


図-4 JCMAS P 045 ポンプ試験の装置図

試験条件は、市場で稼働している複数の油圧ショベル作動油を回収調査し、その劣化状況のフィールドデータを時系列的に分析し、その結果の5~8倍の加速性が得られるよう、条件が設定された試験となっている。なお評価は下記項目にて行う。

- A：粘度増加（ベースオイルの劣化状況）
- B：酸価増加（ベースオイル、添加剤消耗）
- C：スラッジ発生量（ベースオイル、添加剤消耗）
- D：作動油中の銅分増加量（添加剤消耗）

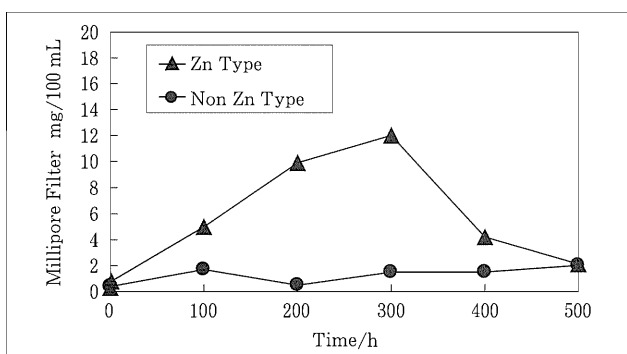


図-5 スラッジ発生量比較

E：色（ベースオイルの劣化状況）

F：泡立ち

評価結果の一例として、スラッジ発生量の油種による比較を図-5 に示す。

従来から用いられている亜鉛系作動油 (Zn Type) と、交換インターバル延長を主眼として近年市場導入されてきた、非亜鉛系作動油 (Non-Zn Type) の比較であり、縦軸スラッジの発生量から、下記評価のサンプルでは、非亜鉛系作動油の方が、熱安定性の良好であることがわかる。

(c) 摩擦特性

建設機械は駐車ブレーキを装着しているため、摩擦特性ももう一つの重要な特性となる。しかし ISO 規格には摩擦特性の評価に関する規定は無いため、新たに評価方法を開発する必要があった。評価方法については、SAE No. 2 とマイクロラッチ試験が、それぞれ石油メーカーと建設機械メーカーより提案された。

建設機械向けの実績では、マイクロラッチ試験は歴史も古く、日本国内でも試験実施機関は多いが、JCMAS 規格を将来世界的に広めようとした場合、より汎用性のある試験機を用いた方が好ましい。そこで世界的に広く普及している SAE No. 2 試験機を用いて、マイクロラッチ試験との相関のある試験条件を見出した。

摩擦特性としては、この SAE No. 2 を用いた試験あるいはマイクロラッチを用いた試験のどちらを用いてもよいこととし、引用規格 JCMAS P 047 で規定した。

SAE No. 2 の従来試験方法では、粘度の低い油圧作動油を評価すると、摩擦板の発熱から、データが安定しないことから、回転数、面圧を調整し、かつ、湿式の駐車ブレーキに要求される、静摩擦・微小すべり時の摩擦係数で、相関係数をとった。

生分解性の基準については、状況に応じて今後見直しが行われることが予想されるので、エコマーク認定基準・商品類型 No. 110 生分解性潤滑油の最新バージョンに従うこととし、環境協会の更新の度に JCMAS HKB も更新されることとなる。現在の基準は OECD 法などいくつかの方法において、28 日間で 60% 以上の生分解性を有することである。

(4) 一般用油圧作動油規格 JCMAS P 041 との相関
油脂技術委員会では、一般用油圧作動油 (鋳油系) の規格 JCMAS P 041 (HK) と並行して、本解説で説明した生分解性油圧作動油規格 HKB の開発を行った。

将来的な ISO 規格への提案等も考慮し、HK、及び HKB 規格に関して相互に整合性を持たせた内容とすることに留意し策定している。

建設機械用油圧作動油として要求される、潤滑性、熱安定性、摩擦特性を、HKB、HK それぞれの規格がどの評価方法を用いるかをまとめた内容が、表-2 の「評価項目まとめ」である。

表-2 評価項目まとめ

評価項目まとめ		HKB	HK
従来評価方法	① FZG 試験 DIN 51354-2 平歯車による潤滑性評価	○	○
	② シェル 4 球 JPI-5 S-32, 40 鋼球を用いた潤滑性評価	○	○
	③ V 104 C ベーンポンプ試験 ベーンポンプを用いた潤滑性評価	○	③又は④に合格のこと
	④ 35 VQ 25 ベーンポンプ試験 ベーンポンプを用いた潤滑性評価	—	
新規評価方法	⑤ 高圧ピストンポンプ試験による潤滑性評価方法 JCMAS P 043	—	⑤又は⑥に合格のこと
	⑥ 高圧ピストンポンプ試験による寿命評価方法 JCMAS P 045	○	
	⑦ 摩擦特性評価方法 JCMAS P 047	○	○

潤滑性、熱安定性を評価する試験では、①～④の DIN, JPI, SAE で規定された従来の潤滑性評価方法をベースに、規格の値を、使用実績のある作動油のデータから決定した。HKB では、③の V 104 C ベーンポンプ試験を評価方法としたが、HK では、より大きなベーンポンプであるビッカース 35 VQ 25 を用いた評価方法④も追加し、いずれかに合格すれば良いという内容とした。

また、新規評価方法として、高温、高圧でピストンポンプを作動させる試験法を開発し、HK、HKB の引用規格として、JCMAS 化している。HKB では、⑥を評価方法としており、HK では、実績のある⑤の評価方法を追加し、⑤、⑥のいずれかに合格することとした。

5. 生分解性グリースの技術動向、規格の動向

(1) グリースの技術動向と規格策定の背景

生分解性グリースは、植物油脂、あるいは合成の脂肪酸エステルからなる基油と、植物油脂系でカルシウムせっけん、リチウムせっけん、ベントナイトなどの増ちょう剤で構成される。植物油脂系にはなたね油、ひまし油などがあり合成脂肪酸エステル系ではリチウムせっけん、リチウムコンプレックス、ウレア等のタイプがある。

一般に植物油脂系グリースはエステル系に比べ耐熱

性、グリース寿命が著しく劣り最高使用温度は 80℃程度との報告もある。また、建設機械のシール材料への影響については、物理的要素に起因することが多く、添加剤による影響は少ないというデータがある反面、エステル系基油のグリースでは NBR に対する影響が大きく、NBR のニトリル含有量により、硬さ変化、体積変化が大きく変わる場合もある。

このようにグリースに関しても、基油、増ちょう剤などによる品質、性能面でのばらつきが認識されたこと、及びユーザの立場からメンテナンスの合理化要求が強く、先に述べた生分解性油圧作動油同様、共通化された建設機械用生分解性グリースの規格化が必要となった。

さらに、建設機械に充填されたグリースのトラブル調査と、トラブルの回避方法をアンケートにて調査し、現状の問題点を把握した。これを規格に反映することにより、建設機械固有の要求を満たし、ユーザが満足できる品質規格という目標を立て、GKB 規格の開発を行った。

(2) 建設機械用グリース規格 JCMAS P 040

JCMAS P 040 では、建設機械用生分解性グリース規格 JCMAS GKB と同時に、建設機械用一般グリース規格 GK も開発した。

表-3 に建設機械用グリースの種類を示す。

表-3 建設機械用グリースの種類

種類	用途別	ちょう度番号	使用温度範囲 (°C)	使用条件に対する適否		適用例
				水との接触	生分解性	
一般グリース (GK)		1号	-20~+130	適	無	建設機械
		2号	-20~+130	適	無	
生分解性グリース (GKB)		2号	-20~+130	適	有	環境保護を必要とする場所で使う建設機械

一般グリースでは、ちょう度番号 1号、2号の 2種類を設けたが、生分解性グリースでは、市場の状況から 2号のみとした。

先に述べたように、生分解性グリースでは、主成分である基油や、特性を付加する増ちょう剤の種類によって、品質、性能のばらつきが存在するので、

- ① 定期的な給脂に用いるグリースを対象とする、
- ② ちょう度番号は 2号のみとする、
- ③ グリーン購入法の精神に合致して、環境負荷の軽減を図る、

ことなどの狙いで規格を提案した。

GKB 規格は一般性状以外に、

- ・耐熱性試験,
- ・防錆試験,
- ・極圧性試験,
- ・機械的安定性試験,
- ・耐水性試験,
- ・酸化安定性試験,
- ・シール材 (NBR とウレタン) 影響度試験,

と、生分解性グリースの特長である生分解性試験、魚類急性毒性試験が追加された。従来、適切な品質規格がないため建設機械への生分解性グリースの採用拡大は限定的であったが、本規格、建設機械用グリース：JCMAS P 040、の規格化により建設機械への普及が期待される。

6. 最後 に

生分解性潤滑油のスムーズな市場導入のネックに、性能に対する不安と、石油系潤滑油と比較してコストが余りに違いすぎるといふ2点がある。前者に対しては、今回報告した、HKB, GKB という性能規格ができることで解消されると考えるが、普及に対してはコストの問題が残る。

生分解性作動油を5年間使用すると仮定した場合、20トンクラスの油圧ショベル1台あたりのコスト上昇額は5年間で63万円、3.3m³クラスのホイールローダで、38万円と大きい。またこのコスト上昇を負担

するのは機械を所有するレンタル会社や末端の機械所有者であり、単に損料を上げるという対応では実際のこれら負担者の負担を軽減することは困難で、この状況を改善せずには、生分解性潤滑油の普及は覚束無い。

この場を借りて行政を含めた関係各方面の建設機械用生分解性潤滑油の普及促進に対するご支援、ご協力をお願いしたい。

J C M A

《参考文献》

- 1) 大塚正和, 村木正芳: トライボロジスト, Vol. 50, No. 3, 2005, p. 32
- 2) (財)日本環境協会エコマーク事務局, 商品類型 No. 110
- 3) 佐伯建設工業(株), 水中バックホウ工法; <http://www.saeki-const.co.jp/tech/index.html>
- 4) 東亜建設工業(株), 水中バックホウ工法; <http://www.toa-const.co.jp/techno/method/ymc/>
- 5) (株)技研製作所, 油圧式圧入機; <http://www.giken.com/jp/st/index.html>

【筆者紹介】

杉山 玄六 (すぎやま げんろく)
日立建機株式会社
事業統括本部
機器事業部
設計部長



妹尾 常二良 (せのお つねじりょう)
株式会社クボタ
トラクタ事業部
車両技術統括部
強度解析チーム長兼担当部長

