

舗装機械の変遷と最近の技術動向

(一社) 日本建設機械施工協会 機械部会 路盤・舗装機械技術委員会

1. はじめに

本編では「舗装機械」の移り変わりについて述べるものであるが、限られた誌面ゆえここで取り上げた機種は舗装機械として特に重要な位置付けとなる「アスファルトプラント：以下 AP」「アスファルトフィニッシャ：以下 AF」「ローラ」の3機種である。

現在、アスファルト舗装の施工においてこれら3機種は「材料製造」→「敷均し」→「締固め」と連なる工程として密接な関係にある。従って日本に導入されたのもほぼ同じ時期と思いがちであるが、意外と年代的に差異があった。

最も古く日本に導入された機種は米国製の蒸気式タンデムローラで1895年のことである。APは1921年にやはり米国製のものが導入され、翌1922年にディーゼル機関式のマカダムローラが国産製造されているが、この年代の近似は偶然であろう。そして米国製バーバーグリーン社のAFが導入されたのは戦後となる1953年のことである。ここから国内におけるローラの歴史は120年以上あるが、現在の製造施工工程が確立されてからは70年弱であることが分かる。

本編ではこれら3機種の歴史・変遷と併せてそれぞれの最新技術も掲載した。これらを通して読んでいただくことにより、今後のあるべき姿に思いを馳せる一助となれば幸いである。

2. アスファルトプラント (AP)

(1) 歴史・変遷

APは、アスファルト・砂・骨材・石粉を混合し、アスファルト合材を製造する機械である。APが登場するまでは、アスファルトをドラム缶で加熱、砂・骨材は鉄板の上で加熱し、人力でこれらの混合を行っていた。

わが国では1921年、東京市の施工による明治神宮外苑道路工事用としてワーレン社(米)製プラントが輸入されたのがAPの始まりであり、1927年に国産プラントの一号機が製作された。その後プラントの国産化が進み、戦後の経済成長に合わせプラントの大型

化・高性能化が進んだ。また舗装工事とともに移動する移動式から常設式へと変化していった。

1960年代より大気汚染の問題が深刻化し、法整備にあわせバグフィルタの採用や、重油から灯油へと燃料転換が行われ、ばい煙・粉じん・騒音・振動などの公害対策をした低公害型の開発も進んだ。

1970年後半、廃棄物処理法よりアスファルト合材の再生利用工法が注目され、リサイクル創成期を迎えた。

1991年リサイクル法の施行に伴いアスファルト合材の再生利用が急激に広まり、この年を境に再生合材の出荷量が飛躍的に増加した(図-1)。

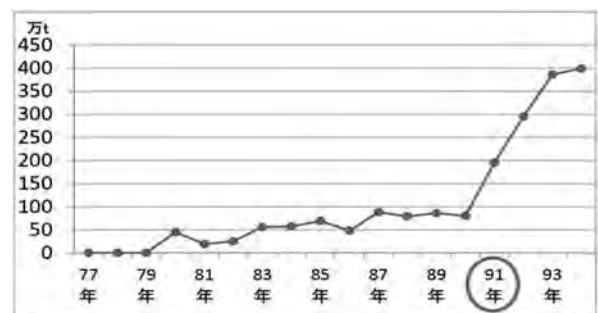


図-1 再生合材年度別前年増加量推移表

1997年、京都議定書が採択され、日本では地球温暖化防止の気運が高まり、従来の公害防止対策に加えて新型バーナの採用や燃料転換によるCO₂の排出量削減、設備全体での省電力、廃熱回収による省エネルギー化等に積極的に取組み、環境負荷低減を図る環境適応型の時代になってきた。

近年ではCO₂対策として低・中温化合材の製造方法について様々な研究が進められ、実用化されつつある。また人間尊重への対応として、周辺住民との共生を図るため、環境設備の充実はもとより、周辺環境との調和のとれた外観を有するプラントが採用されつつある。働き方改革の中、ますます多様化する合材の効率的生産及び出荷、IT技術を活用した効率の良い工場運営など今後の課題である。

(2) 技術・製品紹介

①日工(株)

1) 新型プラント Value-Pack シリーズ (図-2)

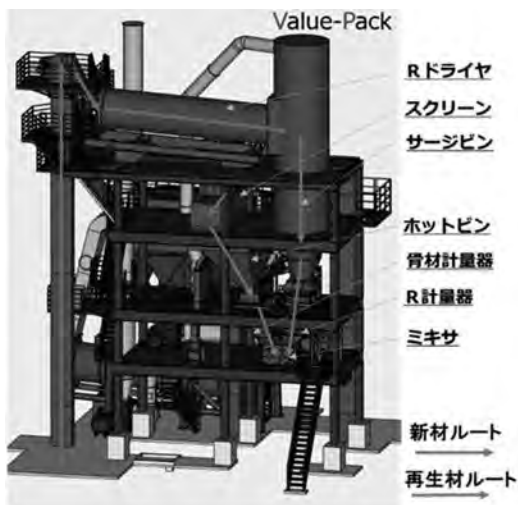


図-2 Value-Pack シリーズ イメージ図

再生骨材の混入率が高まる中、従来の発想を転換してリサイクルプラントをメインに設備を配した、Value-Pack シリーズを開発。リサイクルプラントのドライヤ・サージビン・計量器・AP ミキサを一連で接続することにより、再生材の高混入率化に対応した。また、粉塵・油煙の飛散防止にもつながり、機器周辺の汚れも抑制できた。計量器設置フロア、ミキサ設置フロアとも広いフラットフロアとなり、メンテナンス時の作業性もアップした。

2) アスファルトフォームド装置

中温化アスファルト合材は、アスファルトの粘度を一時的に低下させるフォーミング技術により、通常のアスファルト合材の製造温度および施工温度を 30℃ 程度低下させることができる。これによりアスファルト合材製造時の CO₂ 削減、アスファルト合材の施工性改善・遠隔地輸送、道路工事の早期交通開放などの効果がある。2017 年、米国での合材製造量の約 4 割がこの方法で製造されている。日本での中温化工法の有用性検討の場合、再生合材への適用が必要不可欠であったが、近年研究が進み再生合材への適用が現実的となってきた。

アスファルトのフォーミング技術とは、高温のアスファルトに水を添加(写真-1)することで水が蒸発しアスファルトがフォーミングされる技術であり、これによりアスファルト粘度を低下させるアスファルトフォームド装置「TOMBO Blue」を開発。2019 年 4 月より東京都においてフォームドアスファルト混合物の適用が認められ今後の広がりが予想される。



写真-1 TOMBO Blue テスト装置 フォーミングノズル

3. アスファルトフィニッシャー (AF)

(1) 歴史・変遷

AF は、合材プラントで製造され、ダンプで運搬されたアスファルト合材を機体前部のホッパ装置で受け入れ、コンベヤ装置で機体後方へ搬送し、機体外側へスクリュウ装置で巻き出しし、機体に連結されたスクリード装置にてアスファルト合材を平坦に敷き均す舗装機械である。

日本における AF の開発は、1956 年に東京工機がバーバグリーン社(米)の「BARBER-GREEN 873」をスケッチし、国産初の「TK-6」を製造して、実用化に成功したことにさかのぼる。又、高速道路などの工事の大型化が進む中、1963 年に新潟鉄工所が「NF40」の開発に成功し、最大施工幅 3.6 m から 4 m 級の AF が標準規格となった。

1960 年後半になると、アスファルト合材による本格的な道路舗装が始まり、AF の普及は目覚ましく稼働台数飛躍的な伸びを見せた。1970 年代に入ると、主要幹線道路以外でもアスファルト舗装への要求が高まった。2000 年以降のみとなっているが、国内 AF 需要は、図-3 のようになっている。

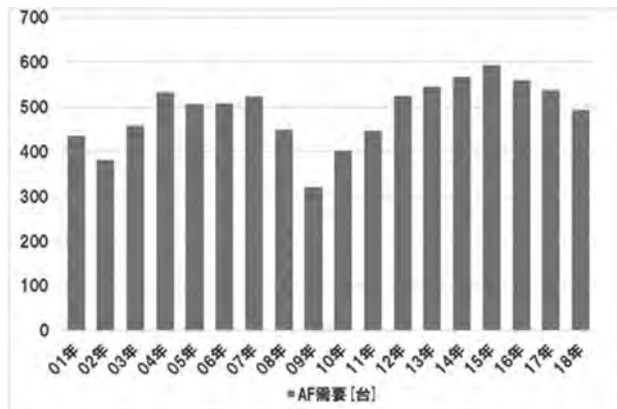


図-3 AF の国内需要

AFの特徴であるフローティングスクリードの原型は、1930年代にバーバーグリーン社（米）創業者の一人であるハリー・バーバーにより発明された。フローティングスクリードの基本原理は現在も変わっていないが、作動方式が機械式→油圧式、走行方式がクローラ式→ホイール式、舗装幅の延長方式が固定式→伸縮式、加熱方式がLPGバーナ式→LPGブローバーナ式→電気加熱式、舗装の制御が厚さ制御（2D-MC）→位置と厚さ（3D-MC）へと機械の作業性が大きく進歩している。

(2) 技術・製品紹介

①住友建機株

現在、国内で販売している HA60W-10 型（写真—2）について、その特徴を次に記す。

- (1) コモンレールによる高圧多段噴射、EGR（排気ガス再循環システム）、可変容量ターボ、尿素SCRシステム（後処理装置）を採用した最新型のエンジンを搭載することで、厳しい排出ガス4次規制に対応。
- (2) 本体仕様は、7型ワイドカラー液晶モニタ、GPSと携帯通信網を利用した稼働管理システム（G@Nav）、モニタでの緊急操作に加え、スクリューやセンサ等、付属装備品の収納スペースを準備している。また、本機より施工速度に連動するタンパ回転数自動設定モードを搭載。尚、オプション装置には、三つのカメラ映像を合成して周囲270°が監視できるFVM（フィールドビューモニタ）の他、油圧シリンダにて昇降するFRPキャノピーを設定している。
- (3) スクリードは、2.3mから6.0mまで無段階で伸縮できるJ・Paver方式を採用。加熱方式は、ガス加熱仕様と電気加熱仕様をラインナップ。ガス加熱仕様ではサイドプレートに熱風が通過するダクトを設け、電気加熱仕様ではオプションでヒーター付きサイドプレートが選択でき、これらにより端部までの仕上がり性向上を行うことができる。
- (4) 今後、労働力確保が課題となる建設現場ではICT活用により生産性向上を目指した取り組み（i-Construction）が進められている。本機では、地形の設計3Dデータ通りになるよう機械をガイド・制御する情報化施工へ対応すべく、各センサメーカー等との共同開発を行い、オプション設定を行っている。

②範多機械株

前記の通り1970年代に入ると、主要幹線道路以外



写真—2 HA60W-10

でもアスファルト舗装への要求が高まり、範多機械は狭隘な道路舗装に対応した小型AFの開発を開始する。

その後舗装幅の油圧伸縮スクリードの標準装備や走行装置の当時の最新型全油圧システム化の採用等進化を続けながら、現在にいたるまで歩道や農道などの狭小道路や補修工事に特化した中小型AFを中心に製造販売をしている。

近年ではすべての建設機械の求められる環境性能の向上に対応すべく、PMを除去するDPMFを装備した2014年排ガス規制対応の最新クリーンエンジンを搭載し低排出ガス化を行う機種に移行しておりその中で最大舗装幅4.5m級の中型機であるF45W5型（写真—3）及びF45WJ5型が主力となっている。

2014年排ガス規制対応機は、エンジンがコモンレール制御やDPMF再生制御を行うECU制御化されたのに並行し、機械本体もコントローラ+ディスプレイ方式を採用。

本体とエンジンのコントローラをリンクさせる事に



写真—3 F45W5

	通常施工	エコモード施工	パワーモード施工	備考
エンジン回転数 (min ⁻¹)	2000(一定)	1500	2200	エコモードでは、作業負荷に応じてエンジン回転が自動的に上昇
走行速度 (1速最大) (m/min)	11	8	12	エコモードにおいてエンジン回転上昇時でも速度は維持
フィーダ (m/min)	20	15	20	
スクリュ (min ⁻¹)	62	46.5	62	
パイププレート (min ⁻¹)	3000	2500	3000	

図—4 エコモード制御

より新装備のECOモードに設定した場合、エンジンの負荷率と作業機の動きを制御する事によりエンジン負荷率50%時には約8%、エンジン負荷率20%の時には約39%の燃費向上が見込めCO₂削減といった環境性能を実現している(図-4)。

③ヴァルトゲン・ジャパン(株)

ドイツのフェーゲル社製AFは一般道から高速道路舗装、空港等幅広い現場・用途に各国で使用されている。また、通常のアスファルト舗装および、排水性舗装、転圧コンクリート、セメント安定処理、粒状路盤までより高い締固め密度と優れた平坦性が得られることを特長としている。各機種とも、エンジンの始動時及びアイドリング時の負荷を軽減するクラッチ式ポンプ分配装置を搭載して燃費を大幅に削減するとともに、最新の排出ガス規制に適合したエンジンの搭載により、環境にもやさしい。

- (1) SUPER 1603-3i 型 (ホイール式) 最大舗装幅 7 m。
- (2) SUPER 1600-3i 型 (クローラ式) 最大舗装幅 6.5 m。
- (3) SUPER 1803-3i 型 (ホイール式) 最大舗装幅 8.0 m (写真-4)
- (4) SUPER 1800-3i 型 (クローラ式) 最大舗装幅 9.0 m 固定幅スクリードの場合最大 10 m。
- (5) SUPER 1900-3i 型, SUPER 2100-3i 型 (クローラ式) 最大舗装幅 9.5 m。
固定幅スクリードの場合それぞれ最大 11 m/13 m。

なお情報化施工対応として、前述の機種の内、クローラ式についてはレベリング、ステアリング、スクリード伸縮を全て自動制御するオプション3Dインターフェースのナビトロニックプラスを取り揃え、またホイール式においてはステアリングはガイダンスのみとなるが、レベリング及びスクリード伸縮を自動制御するナビトロニックベーシックを搭載することで、ワンマン操作が可能となる。



写真-4 SUPER1803-3i

④マシンケアテック(株)

【ボルボ・AF】

P6820D/P7820D ABG (写真-5) は、欧州ノンロードディーゼル第5次排出ガス規制 (EU Stage V) 対応エンジン搭載。高性能コンポーネントを採用し、燃費、騒音および運転コストを削減し、高い生産性を維持する。また、新開発したペーブアシストで、温度管理・気象状況管理・材料管理を可能とし、ICT機器のプラグイン装置により3Dマシン制御が可能である。さらにオプション装備の360°カメラの取付けにより安全性を向上させる。これらの強力なツールで、ボルボ・AFは高性能かつ効率良く、高品質な舗装を現場に提供する。



写真-5 P7820D ABG

【ダブルタンパ技術】(図-5)

ダブルタンパ技術により、シングルタンパスクリードよりも締固め度が5~7%改善する。締固め数値がマーシャル密度の最高98%に達することから、転圧作業を大幅に削減することが可能。そのため、非常に均一度の高い舗装を確実に行うことができる。

【電気ヒーティング】

電気ヒーティングシステムは、3系統の個別制御回路により温度差を相殺。一体化された温度コントローラによりベースプレートのヒーティング温度を絶えず調節することで、スクリード全体に均一に熱が行き渡るシステムである。

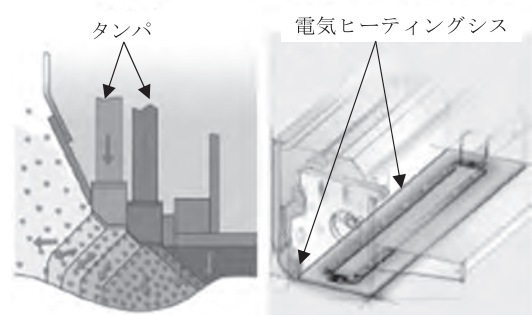


図-5 ダブルタンパ機能

4. ローラ

(1) 歴史・変遷

道路や宅地、ダムなどの構築の際、基礎となる土や、アスファルト混合物、コンクリートは外力や気象の影響を受けても変形しないことが必要である。ローラの歴史を振り返ると、このことが人々の生活において古くから望まれていたことが分かる。ローラの歴史は、道具としての生い立ちから、機械化へとつながっている。

紀元前 3000 年頃、シュメール人による木製の車輪の発明を機に車輪が輸送装置として登場した。紀元前 500 年頃にはケルト人によって木製の車輪に鉄を巻いた車輪に改良され、車輪が人々の主要な輸送手段として活躍していた。そして、1888 年：仏：J.B.Dunlop が車輪用に空気入りタイヤを開発すると、輸送、移動装置はタイヤへと移行され、剛性輪の車輪は締固めに限定されて行く。初めて作られたローラは 1700 年代にヨーロッパにて作られた人力による牽引式のローラである。それは、今日テニスコート、グラウンドなどの均し作業に使用されるコートローラそのものである。重ければ良く締まるという原理から、ローラの質量は必然的に増した。人のけん引力の限界を超えると 1725 年には牛馬によるけん引式のローラが発明されている。しかし、牛馬によるけん引は機動性、施工条件の面から頭数に制約があり、けん引できる重量にも限界があった。1800 年代に効率の良いスチームエンジンが発明されると、1861 年にはローラへ搭載され、初の建設機械としてのローラの登場となる。初のローラは前輪 1 輪、後輪 2 輪のローラで、翌年 1862 年には初のタンデムタイプのローラも発明されている。1900 年代に入ると、原動機に内燃機関が採用され、原動機の小型化、高出力化はそれまでの耐久性、作業性を大幅に向上させた。

日本では 1918 年に国産 1 号機のスチームローラが作られている。1930 年頃には欧米にてタイヤローラが登場し、また機械質量以上の締固め能力を得るため、振動機構を取り入れた振動ローラも登場している。その後、動力の伝達手段も油圧機器となり操作性の省力化と共に機械設計の自由度も広がり、1980 年代からは締固め管理、安全装置などにエレクトロニクス技術を用いた、締固め機械のメカトロ化が研究され、自動運転、自動ブレーキ技術が実用化されている。

(2) 技術・製品紹介

①酒井重工業(株)

建設現場における安全性向上に寄与しうる、緊急ブ

レーキ装置を搭載したタイヤローラ /TZ704Guardman (写真—6) を開発した。以下に緊急ブレーキ装置の概要と特徴について紹介する。

緊急ブレーキ装置 (NETIS : HK-180024-A) は、車両後方の 3D センサ、後方カメラ、後方用スピーカ、運転席用ディスプレイと運転席用スピーカを主要機器とし、その機能は、緊急ブレーキ機能、バックモニタ、表示と音による警報機能の 3 つの安全機能 (トリプル・セーフティ機能) で構成されている。

セーフティ I は、車両後方に取り付けた 3D センサにより作業員や重機などの対象物を検知した後、衝突の危険が高まっていると判断したときに、衝突回避または衝突被害軽減のために緊急ブレーキを作動させる。

セーフティ II は、車両後方に設置した後方カメラにより撮影された映像をディスプレイに常時モニターすることにより、運転者の後方監視を支援する。

セーフティ III は、ディスプレイの表示とスピーカからの音声や警報音を使用し、運転者と周囲作業員へ警告する。

緊急ブレーキと警告 / 警報の作動タイミングは、後進速度と対象物までの距離により対象物との衝突時間を求め自動調整している。後進速度が遅い時は、車両後方に人や対象物などがあっても、対象物に近づいてから緊急ブレーキが作動する。後進速度が速い時は、速度が遅い時と比較して対象物から離れていても緊急ブレーキが作動する。これによって緊急ブレーキ作動回数を最小限に抑制できる。また、本装置は検知幅を転圧幅としているため、検知エリアの外側直近の壁や縁石沿いの転圧作業も可能である。この 2 つの特徴により、安全性は言うまでもなく施工性との両立を満足させることができた。

さらに、ブレーキ機能には、安全を確保しながら緩やかに停止させるために静油圧 (HST) ブレーキを作動させる仕組みを採用した。これによってタイヤをロックせずに車両を停止させることができるので、アスファルト混合物の押出しや引きずりを抑止して平坦



写真—6 TZ704Guardman

性への影響を最小限にとどめることが可能になった。

以上のように、本装置の開発によって、安全性を向上させつつ、施工性と舗装品質の確保を可能とした。

②(株)日立建機カミーノ

搭乗式締固機械は、道路工事を主とする様々な現場での転圧作業に使用されている。盛土の現場において、転圧時に法肩から滑落、転倒といった事故事例があり、搭乗員の安全確保が求められている。一方、特に道路工事では作業中の機械周辺に作業者がいるため、人身事故の発生が多く、周囲への安全が重要視されている。

このような工事現場の状況から、安全志向が高まっており、2018年より、ROPS対応バー振動ローラを導入してきた。特徴は、巻き取り装置付きシートベルト及びシートベルトリマインダ（未着用時警報）を搭載したシングルシートとROPS対応バーを備えた運転者保護構造を備えていることである。また、固定式のROPS対応バーの他に、輸送性を考慮した折り畳み式ROPS対応バーも用意している（写真—7）。

ROPS対応バー振動ローラの受注は、増加傾向にあり、今後も安全志向は高まっていくと推測される。

周囲作業者の保護については、検知エリア内に人や障害物が入ると回転灯が作動し、さらに内側に入るとブザー音で作業員に危険を知らせる「後方ガードセンサ」をタイヤローラ（ZC220P-6）、マカダムローラ（ZC125M-5）は標準装備し、振動ローラ（ZCシリーズ）では、オプション装備としている。さらに、タイヤローラについては、より検知範囲の広いセンサを使用して、人や障害物を検知すると、タイヤローラが減速して、衝突リスクを減らす「衝突被害軽減システム」の実用化に向け、今後も安全志向の要求に対して、継続して応えていく所存である。



写真—7 ZC50C-5 (ROPS 対応バー)

③ヴィルトゲン・ジャパン(株)

ドイツハム社製振動ローラは大きく分類して、

(1) タンデム型 振動ローラ、(2) コンバインド型 振動ローラ、(3) シングルドラム型 振動ローラに分

けられる。

(1) タンデム型 振動ローラ (写真—8)

タンデム型振動ローラには、アーティキュレートフレームのHDシリーズ（1.5t～15.0t）、水平振動装置を後輪に装備したモデル（7.7t～15.0t）があり、広範囲の現場に対応することが可能である。

(2) コンバインド型 振動ローラ

タンデム型振動ローラには、アーティキュレートフレームのHDシリーズ（2.2t～9.2t）、水平振動装置を前輪に装備したモデル（7.6t）がある。

(3) シングルドラム型 振動ローラ (写真—9)

通常振動タイプ（5.4t～25.0t）、パッドフットタイプ（5.8t～20.0t）、垂直振動 & 水平振動タイプ（6.3t～14.0t）があり、多様な土木工事に対応することが可能である。

ハム社製振動ローラは長年の経験に基づき、最良の重量バランスと良好な転圧密度が得られるよう設計製作されている。

- ・アーティキュレートステアリング装置（一部モデル）
3点ボールジョイント方ステアリングを採用し転圧の均一性を向上させた。
- ・水平振動装置を採用
連続的にドラムが路面に接地しているため転圧効果が早期に得られる。さらに振動や騒音が軽減され、周辺環境に優しい振動ローラである。
- ・安全装置
ROPSを採用し、万一の事故で転倒した際にオペレータを守る（一部モデル）。



写真—8 HD+70i



写真—9 H11i

④コベルコ建機(株)

道路、造成地、堤防などさまざまな施設の建設工事の過程で不可欠な締固め作業に用いられる振動ローラである。特に、搭乗型の振動ローラとしては、国内での稼働台数が最も多く、前輪が鉄輪で、後輪がタイヤの組合せとなっているコンバインド型について紹介する。

BOMAG 搭乗型振動ローラ（コンバインド型）
BW115AC-5（2.5tクラス）、BW131ACW-5（4.0tクラス）（写真—10）

国土交通省の排出ガス対策型建設機械（3次基準）と、

低騒音（超低騒音）の指定を受けており、散水タンク、間欠散水タイマー、液剤専用タンク、自動／手動切り替え付振動スイッチ、走行2速など、作業に不可欠な機能を装備し、使い勝手の良さを実現している。

また、BOMAG独自の地盤剛性計測システムである「エコノマイザー（図—6）」を標準装備している。前輪に装着した加速度計からの信号を解析することによって、転圧している地点の地盤剛性を計算し、転圧レベルをLEDランプによって10段階でリアルタイムに表示をすることができる。これによりオペレータは、転圧不足地点、過転圧を行っていないか、などを施工と同時に確認することが可能である。なお、「エコノマイザー」はNETIS（登録番号：KK-110047-VE）に登録されている。



写真—10 BOMAG BW131ACW-5 振動ローラ



図—6 BOMAG エコノマイザー

5. おわりに

今後は情報処理・通信技術の発展及びAIの活用により建設機械の省人化無人化となっていくことが予想される。これにより今後それぞれの機械において生産性の向上、高品質の確保が達成されるであろうことは想像に難くない。また本編中で述べられているような信頼性の高い安全装置が新規開発・導入され、建設機械に起因する事故の削減さらには撲滅が現実となる未来を思い描く次第である。

JICMA

〔筆者紹介〕

山口 達也（やまぐち たつや）
路盤・舗装機械技術委員会 委員長
鹿島道路(株) 生産技術本部 機械部
機械部長

高野 成也（たかの せいや）
日工(株) エンジニアリング部
東京技術室 リーダー

富田 幸宏（とみた ゆきひろ）
住友建機(株) 道路機械技術部
第2設計グループ グループリーダー

田中 康正（たなか やすまさ）
範多機械(株) 特機部 担当部長

谷岡 健一郎（たにおか けんいちろう）
ヴィルトゲン・ジャパン(株) 営業部長

吉田 勝美（よしだ かつみ）
マシンケアテック(株) 代表取締役

林 俊和（はやし としかず）
酒井重工業(株) 技術開発部
開発第3グループ マネージャー

鈴木 正和（すずき まさかず）
(株)日立建機カミーノ
開発設計センタ 部長

安藤 慎也（あんどう しんや）
コベルコ建機(株) 品質保証部
ショベルプロダクトサポート G