

## 技術論文

## DBA127エンジンの開発

## DBA127 Engine

上野 哲朗

Tetsuro Ueno

小野 穰

Yutaka Ono

基本構造を刷新し、コマツの最新テクノロジーを結集したディーゼルエンジンDBA127を開発し、市場導入した。このエンジンは、高い信頼性を維持しながら、低燃費と高出力を実現し、メンテナンスの容易さにも配慮し、更なる環境負荷の低減と優れた経済性の両立を達成した。本稿ではその開発の経緯と技術的特徴について紹介する。

Komatsu has developed and introduced the DBA127 diesel engine to the market, incorporating our latest technology and featuring a completely redesigned basic structure. This engine achieves high fuel efficiency and output while maintaining high reliability and ensuring ease of maintenance. Additionally, it balances reduced environmental impact with excellent economic efficiency. This paper reports on the development process and technical features of the engine.

*Key Words:* 建設機械, ディーゼルエンジン, 燃費改善, 出力向上, 信頼性向上, 整備性向上, 状態監視

## 1. はじめに

過酷な環境下で使用される建設機械用のエンジンには、高い信頼性と耐久性が必要であり、また様々な種類の機械のそれぞれの特性に応じた性能も求められる。さらには環境負荷の低減や、ランニングコストの低減など、さまざまな要求があることが特徴である。

コマツの中型クラスのエンジンは、これらの要求に応えつつ、強化される各国の排ガス規制の対応をしてきたが、更なる高みを目指し、プラットフォームから刷新した図1に示すDBA127エンジンを開発し、市場導入した。

本稿では、このDBA127エンジンの開発の経緯ならびにその技術的特徴について紹介する。



図1 DBA127エンジンの外観

## 2. DBA127エンジン開発の経緯とねらい

従来のエンジンは、前のベースエンジン開発から40年余りが経過し、出力や燃費などの基本性能で競争力が無くなりつつあった。そこで、ベースエンジンの設計を一から見直す新規エンジンの開発を実施した。この開発の企画段階では、エンジン設計者がユーザーや代理店を訪問し、従来機の評価や新規エンジンに対する要望についてヒアリングを行った。その結果、「燃費」や「出力」といった基本性能だけでなく、「壊れない」や「壊れても直ぐに直せる」といった生産財である建機特有の要望が多く聞かれた。これらの要望も踏まえ、DBA127エンジンの開発のねらいとして「Clean」「Lean」「Free」の3つの柱を基本コンセプトに、基本構造の刷新を図った。「Clean」は低エミッションを意味し、日米欧などの各国の排ガス規制に適合させ、「Lean」は低ライフサイクルコストを意味し、燃費低減や高出力化を目指した。「Free」は低ダウンタイムを意味し、ロバスト性のある機器構成や、長寿命化、整備性の改善などのハード面の改善だけでなく、コマツの建設機械に標準搭載されているKomtrax（※1）のデータを活用したエンジンの状態監視の強化をし、ダウンタイムの低減を目指した。このなかでも建設機械用エンジンとして特に「Free」に重点を置いた。

（※1）：インターネットと移動体通信技術を用いた建設機械の管理システム

### 3. DBA127エンジン技術

DBA127エンジンに織込んだ技術を前述の「Clean」「Lean」「Free」に分けて紹介する。表1に主要諸元を示す。

表1 エンジンの主要諸元

	開発機	従来機
エンジン型式	DBA127	SAA6D125E-7
排気量 L	12.74	11.04
気筒数	6	6
ボア mm	130	125
ストローク mm	160	150
圧縮比	21.0	16.7
最高出力 kW/min <sup>-1</sup>	420/1,900	302/2,000
最大トルク Nm/min <sup>-1</sup>	2,803/1,100	1,707/1,400
燃料噴射	直接噴射式	
過給方式	固定ターボ (空冷アフタークーラ付)	可変ターボ (空冷アフタークーラ付)
EGR システム	無し	クールド EGR
動弁系システム	OHC	OHV

#### 3.1 Cleanに対する織込み技術

DBA127エンジンは、図2に示す排気ガス浄化装置（Komatsu Diesel Particulate Filter（KDPF）、Selective Catalytic Reduction（SCR））システムを新規に開発し、各国の最新の排ガス規制に対応した。

KDPFは、エンジンから排出されたススを捕捉し、排気ガス規制値内に抑えている。また、捕捉したススを定期的に燃焼させる必要があるが、DBA127エンジンでは、KDPF内部の材料および形状を高温に耐えられるように改良し、定期的な燃焼の間隔を従来機に対して約5倍に延長することができた。

次にSCRシステムについて、DBA127エンジンは、燃焼により発生するNOxを排ガス規制値内に抑えるために、大容量の噴射システムを採用し、尿素ミキシング装置およびSCRを改良した。尿素ミキシング装置は、多量に噴射された尿素水が周囲に付着することで尿素デポジットが発生し、浄化効率が低下してしまうことが知られている。DBA127では、図2の流れ場が示すように尿素ミキシング装置に流れる排気ガスに旋回流を作り出すことで、尿素水の付着を低減し、浄化効率の低下を防ぐ構造とした。

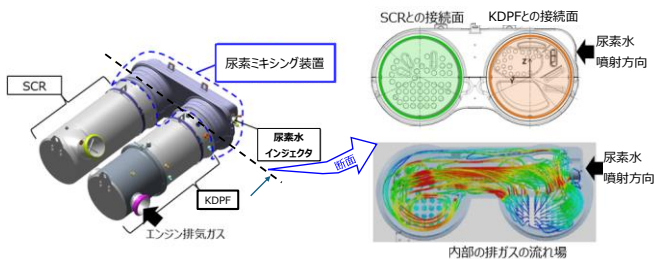


図2 DBA127エンジンの排気ガス浄化装置

#### 3.2 Leanに対する織込み技術

従来機に対し、燃費低減や高出力化を目指し、燃焼や損失の改善、2ステージターボの採用、許容筒内圧の向上を織込んだ。排気量は搭載車両を考慮して最適化を図り、15%増加した。その結果、図3に示すように、従来機に対してエンジン定格出力を40%、最大トルクを64%向上し、さらに燃費を大幅に低減し、Leanが目指す低ライフサイクルコストを達成した。以下にキーとなる技術を紹介する。

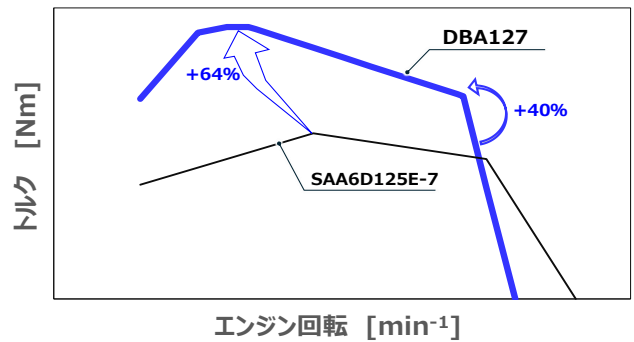


図3 DBA127エンジン トルクカーブ比較

##### 3.2.1 比出力の向上

DBA127エンジンは、最大筒内圧を従来機に対し40%以上増加させ、比出力向上を達成した。さらに、燃費低減の観点から低回転化を図るため、一部アプリケーション（※2）にはコマツ製エンジンとして初の2ステージターボ仕様を採用した。図4にターボ仕様図を示す。

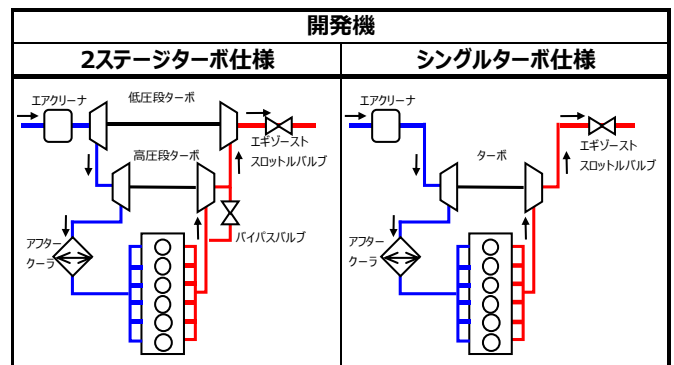


図4 ターボ仕様図

2ステージターボは、2つのターボを直列に配置し、低速域から高速域まで効率的な過給を実現するものである。これによりエンジンの全回転域で効率的な過給が可能となり、低速域から高トルクを発生させることができる。低压段と高压段をつなぐ吸気配管においては、高压段の過給効率の向上、およびブロワへの偏荷重によるインペラの破損防止を考慮した。図5に示すように、高压段ターボのブロワ入口において均一な流速となるように、当該配管の形状はシミュレーションを活用して設計した。

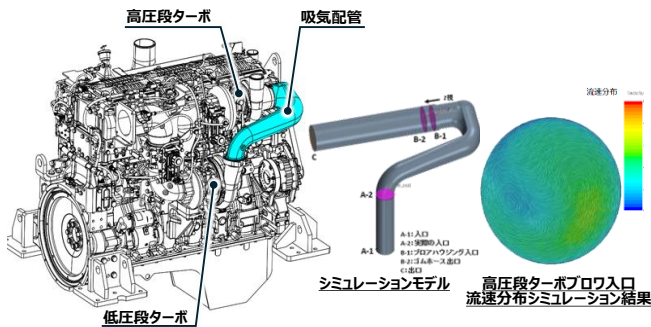


図5 吸気配管のシミュレーション結果例

また、高压段ターボには、電動可変式のバイパスバルブを装着し、タービン過回転によるオーバーブーストの発生を抑制させる機構を設けた。これにより、エンジンおよびターボのロバスト性が向上し、信頼性の高いエンジン性能を実現した。

(※2) : DBA127エンジンには2ステージターボ仕様と、シングルターボ仕様がある

### 3.2.2 燃焼改善

DBA127エンジンは、燃焼改善として多噴孔ノズルの採用、コモンレール圧力の増加およびそれに最適な新燃焼室の設計を行った。燃焼室の形状設計は、コモンレール圧力、インジェクタ噴孔数および噴孔角度を図6に示す3D-CFDによる燃焼シミュレーションを用いて最適化し、燃焼の改善とススの低減を両立した。

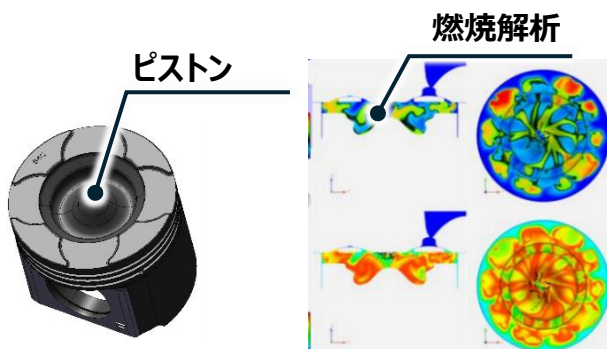


図6 燃焼シミュレーション結果例

### 3.2.3 損失改善

DBA127エンジンは、図7に示すように、クランクシャフト中心をシリンダ中心からオフセットさせるクランクオフセットを採用した。ピストン往復運動は、コンロッドを介してクランクシャフトの回転運動に変換されるが、この過程で横方向の側圧力が発生する。これにより、ピストンとシリンダライナ間の摩擦損失が生まれるが、クランクオフセットにより側圧力を小さくすることで、摩擦損失が低減し、燃費の改善に貢献している。

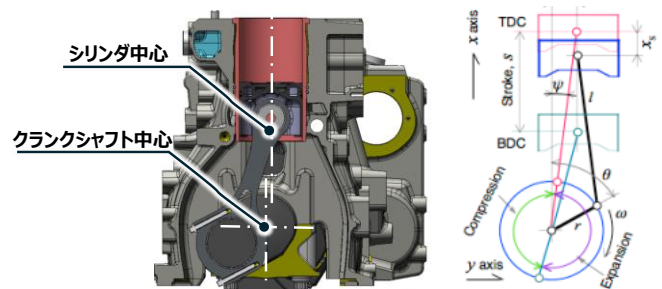


図7 クランクオフセット断面図

次に、シリンダヘッドの吸気ポートの改良により、ポンピングロス（吸排気行程で発生するエネルギー損失）を低減させた。後述のOver Head Camshaft (OHC) 化に伴い、吸気ポートの脇に設置されていたプッシュロッドを廃止したことで、吸気ポート形状の自由度が増した。狙いのスワール（シリンダ内の空気旋回流）を保ちつつ流入抵抗が小さくなるようにシミュレーションによりポート形状を最適化することで、吸気ポートの空気の入り易さを示す平均流量特性は、従来機に対して約30%改善した。

さらに、SAA3D95E-1 (※3) で採用した燃料リーク量を大幅に削減させたインジェクタを中型クラスのDBA127エンジンに採用し、燃料サプライポンプの駆動馬力を低減させた。

(※3) : コマツテクニカルレポート 2020年度 技術論文「3D95エンジンの開発」参照

### 3.2.4 許容筒内圧向上

前述の最大筒内圧の増加に耐えうるエンジンとするため、基幹部品の強化を図り、許容筒内圧を向上した。シリンダヘッドについては、高い引張強度と靱性を持つCompacted Vermicular (CV) 黒鉛鋳鉄を採用した。また従来機の六筒が別々だったシリンダヘッドを一体化させることで、シリンダ間の剛性を高め、シリンダヘッドボルトも6本から8本に増やした。高温となる燃料インジェクタを効率良く冷やすために、図8に示すように、ウェットタイプのインジェクタスリーブを採用し、冷却性能も改善した。シリンダヘッド中心の支えが無くなることで、剛性の低下が懸念されたが、CV黒鉛鋳鉄の持つ高い強度と、熱応力シミュレーションなどによるリブの最適化設計により、耐久性を確保した。

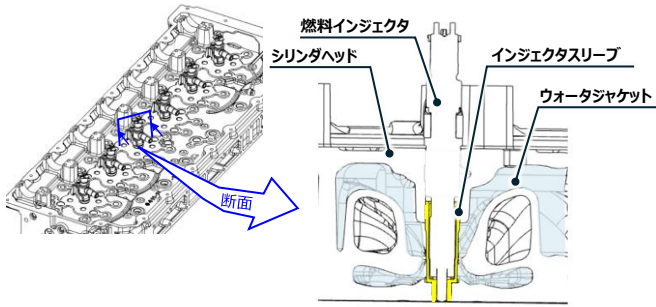


図8 インジェクタスリーブの断面図

シリンダブロックについては、図9に示すようにシリンダヘッドからのオイルドレンの肋を活かしたバレル構造を採用し、剛性を高めた。  
 ピストンについては、従来機に対して2倍の引張強度を持つ材質を採用し、耐久性と信頼性の向上に貢献している。

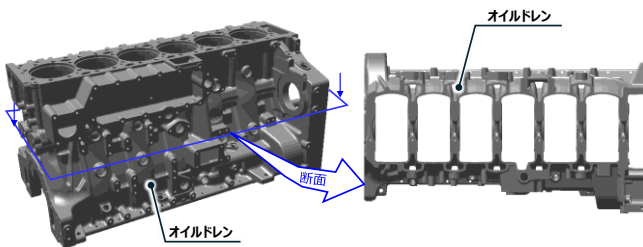


図9 シリンダブロック外観図と断面図

また、最大筒内圧の増加における騒音や振動増加の抑制のため、クランクシャフトのオーバーラップ量を従来機に対して25%増加し、剛性を高め、またカウンターウエイトについてもシミュレーションにより検討し、最適化を図った。

ギアトレインは、ねじり振動の少ないフライホイール近くのリア側に設置した。また前述のクランクオフセットも、ピストンスラップ（ピストンがシリンダ壁に衝突する現象）のエネルギーを小さくし、騒音低減に寄与している。これらにより従来機よりも最大筒内圧を増加させながらも騒音は同等に抑えることができた。

### 3.2.5 コンパクト化

DBA127エンジンは、従来機に対し排気量を15%増加しているが、車両への搭載性を考慮し、従来機と同程度のサイズに収めるように設計した。従来機2本だったアクセサリベルトは、補機類を再レイアウトし、1本にすることで全長を抑えた。後処理装置においても、図10に示すように従来機のS字型の尿素ミキシング装置をU字型に変更することで、KDPFとSCRの軸間の縮小が可能となり、15%の小型化を達成した。一方で、尿素ミキシング装置には、尿素と排気ガスをミキシングする役割があるが、U字型内部のガス流路に、設計的な改良を施すことにより、本来の目的のミキシングとコンパクト化を両立することを実現した。

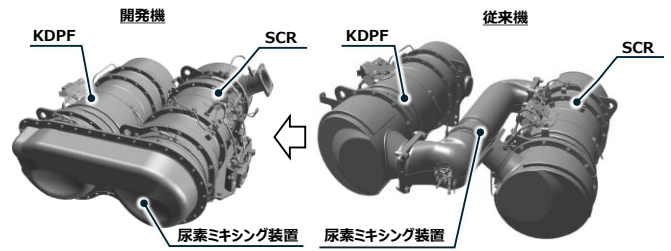


図10 後処理装置比較

### 3.2.6 OHC化

DBA127エンジンは、従来機のOverhead Valve (OHV) からOHCに変更した。OHCは、OHVに対してバルブの開閉にプッシュロッドを介さないため、部品点数が減り、シンプルな構造となる。図11にDBA127のカムシャフト周辺部の外観図を示す。

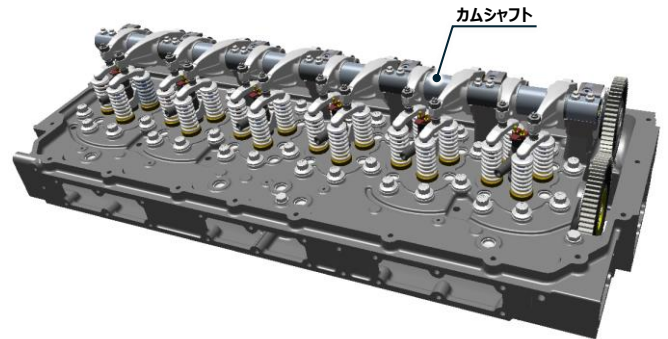


図11 カムシャフト周辺部外観図

OHCは、バルブの開閉が迅速かつ正確に行われるため、ピストン上死点時の圧縮端温度のばらつきが少なくなることで、筒内圧が安定し、エンジン性能の向上に寄与する。

また、将来的なエミッション規制や性能要求に対して、可変バルブタイミング導入などの拡張性を考慮した構造とした。

OHC化する上で課題となったのは、カムシャフトの駆動方法である。ベルト、チェーンなどのいくつかの駆動方法があるが、DBA127エンジンは、高い信頼性のあるアイドラギアを介したギアトレインによる駆動方式を選択した。これを成立させるための設計的な課題として、シリンダヘッドとシリンダブロックの間に設置するアイドラギアのギア歯ズレが生じやすくなるが、ギアの部品精度向上などコマツの協力企業と協力してOHC化を成立させた。

### 3.3 Freeに対する織込み技術

低ダウンタイムを実現するために、定期整備の改善や修理性の改善、信頼性・耐久性の向上といったハードの対応だけでなく、データ活用による予防保全を織込んだ。その織込み内容を紹介する。

#### 3.3.1 定期整備の改善

ダウンタイム低減のため、定期整備間隔の延長に取り組んだ。まずKDPFについては、スートフィルタのセル構造を見直し、アッシュの許容堆積量を28%増加させ、またアッシュの基となるオイル消費量を低減させることで、清掃間隔を従来機の4,500時間から8,000時間へと延長した。また燃焼改善によるオイル劣化の抑制により、エンジンオイルやオイルフィルタの交換間隔を2倍に延長した。バルブクリアランスの点検・調整間隔については、動弁系部品の耐摩耗性向上により従来機の2倍に延長した。さらにクランクケースベンチレーションに設置しているブローバイガスとオイルミストの分離装置を、従来機の定期交換が必要なフィルタ式からメインギャラ圧を利用した遠心分離式に変更したことで、定期メンテナンスを不要にした。

また図12に示すとおり、機器のレイアウトとしても、交換が必要なフィルタ類はエンジンの吸気側に集約し、サービス性を向上させた。表2に定期整備間隔時間の延長例を示す。

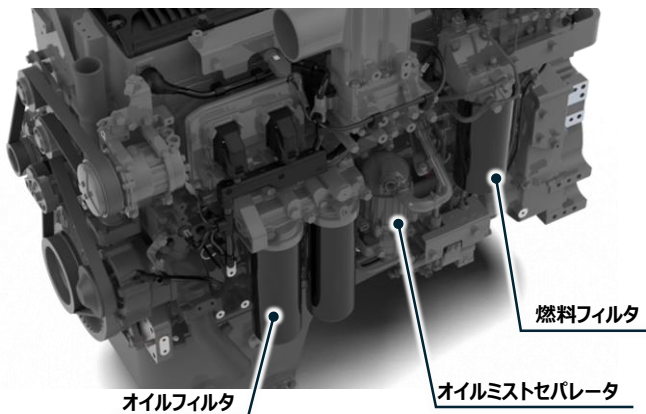


図12 吸気側の補機類レイアウト

表2 定期整備間隔時間の延長例

		開発機	従来機
エンジンオイル交換	h	1,000	500
エンジンオイルフィルタ交換	h	1,000	500
バルブクリアランス点検・調整	h	4,000	2,000
KCCV フィルタ交換	h	不要	2,000
KDPF 清掃	h	8,000	4,500

#### 3.3.2 修理性の改善

「万が一壊れてもすぐに直せる」を念頭に、機器のレイアウトを工夫した。潤滑油や冷却水の回路は、外部配管を極力少なくし、

部品交換時に取り外す必要のある部品を減らした。特に点検のために開閉が必要なエンジン上部のシリンダヘッドカバー周辺には、配管、配線を一切通さず、アクセス性を向上させた。また、水ポンプはギア駆動からベルト駆動に変更することで、故障発生時の交換性を向上させた。さらに、図13で示すような各補機類をモジュール化するなどして、従来機に対して部品点数を約20%削減したことも、修理のための分解や再組立の容易化の面で修理性の改善に寄与している。

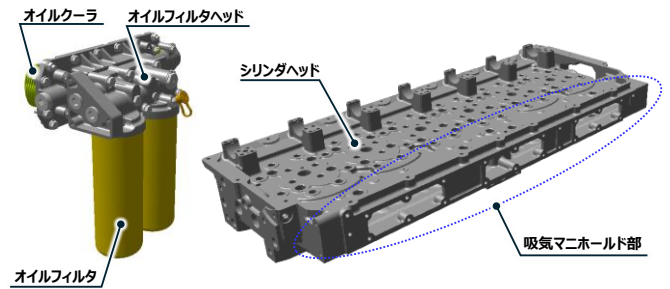


図13 モジュール化した例

#### 3.3.3 信頼性・耐久性の向上

ほぼすべての部品を刷新した本エンジンの開発にあたって、その信頼性と耐久性を確保するために、徹底した品質確認を行った。耐久テストでは、高負荷を長時間かけた負荷耐久テストだけでなく、建設機械の過酷な現場で使われることを想定したダストや低温、高地などの過酷な環境を想定したテスト、車体の使用方を模した模擬耐久テストなどさまざまなテストを重ね、耐久テスト総時間は延べ20,000時間を超えた。

ベアリングやバルブ、バルブシートなどの摩耗部品については、従来機に対してより耐摩耗性の高い部品に変更することで、前述の最大筒内圧の増加に対応させるだけでなく、さらに寿命延長ができ、オーバーホール間隔を従来機に対して30%以上延長した。

#### 3.3.4 新自動診断システム

DBA127エンジンは、各部の温度や圧力などのセンサ値やアクチュエータの駆動状態をモニタリングし、エンジンの健康状態を監視する新しい診断システムを導入した。この診断システムには、故障が発生した際のエラー情報やモニタリングデータを使用して故障箇所を特定する「Quick Assessment」機能と、日々のデータのトレンドから故障の予兆を検知する「Predictive Maintenance」機能が備わっている。収集されたエンジンの情報は、コマツの建機に標準搭載されているKomtraxを通じてサーバーに送信され、サーバー上で解析される。解析結果に異常がある場合はサービス員に通知され、Web上で内容を確認することが可能である。これにより、故障が発生する前に車両のメンテナンスを行うことができ、仮に故障が発生しても故障箇所を迅速に特定することでダウンタイムを大幅に低減することが期待できる。本機能は、今後開発されるエンジンにも順次織込みを予定している。

#### 4. おわりに

この度、新規に開発したDBA127エンジンの技術的特徴について紹介した。DBA127エンジンはクリーンシートデザインで開発され、企画段階で収集したVoCが織り込まれたエンジンとして、開発を行った。また、キーコンポーネントのほとんどが自社での開発、その多くが自社および協力企業による生産であり、オールコマツで本エンジンを市場導入することができた。車両開発においても、検討段階からエンジンと車両を連成したシミュレーションを実施し、車両の開発コンセプトに合致することを確認しながら開発を進めた。DBA127エンジンの搭載により、従来機に対して、力強さや燃費、整備性の改善が向上できることから、車両の商品力向上に大きく貢献できると考える。

モデルベース開発のフロントローディングが要求される中、本エンジン開発は構造系、主運動系、動弁系、吸排気系、冷却系、潤滑系、燃焼噴射系、電気制御系においてシミュレーションを実施し、検討レベルが向上した。中でも初めて導入した評価の一つとして、エンジンの整備性をAugmented Reality (AR) 技術を用いて評価した。デザインを決める前に、車載上でのエンジン整備におけるポイントを把握し、エンジンデザインのやり直しを防ぐことができた。DBA127エンジンの開発で実績を作ったモデルベース開発は、次期開発機への礎となると考えている。

#### 筆者紹介



Tetsuro Ueno

上野 哲朗 2007年、コマツ入社。

開発本部 エンジン開発センタ  
株式会社アイ・ピー・エー所属



Yutaka Ono

小野 優 2001年、コマツ入社。

開発本部 エンジン開発センタ  
株式会社アイ・ピー・エー所属

#### 【筆者からひと言】

カーボンニュートラルの実現に向けて、Greenhouse Gas (GHG) 排出の削減が必要な中、電動化や水素エンジンなどの異なる動力源が注目されており、ディーゼルエンジンも新たな局面を迎えている。高いエネルギー密度、優れた耐久性、信頼性、そして過酷な環境下での性能を発揮できるディーゼルエンジンは、建設機械の動力源として今後も必要とされると考える。今回、開発したDBA127エンジンは、高い経済性と低燃費を達成したので、GHG排出の削減にも貢献することを期待している。