

産業機械事業の革新を支えるコア技術

Core Technologies for Innovation of Industrial Machinery

渡辺 智司 梅北 和弘 海保 真行
Watanabe Tomoji Umekita Kazuhiro Kaiho Masayuki

社会イノベーションを支える産業機械分野では、環境問題への対応や、市場のグローバル化に伴うニーズの多様化への対応が必須である。日立グループは、産業機械分野の製品の環境対応・グローバル化を加速する革新的なコア技術の開発に取り組んでいる。その一つが、高度数値シミュレーションを活用した解析主導設計である。設計開発の上流で数値シミュレーションを用いて徹底的に製品の挙動を解明することにより、性能・信頼性・経済性のすべてを満足する製品の早期開発を実現していく。

1. はじめに

近年、地球温暖化などの環境問題がクローズアップされ

るとともに、グローバル化と技術革新の進展で、産業機械分野の製品も大きく変化しつつある。日立グループは、これらの製品の環境対応・グローバル化を加速するために、革新的なコア技術の開発に取り組んでいる。その一例が、高度数値シミュレーションを活用した解析主導設計技術である。また、CO₂排出削減だけにとどまらず幅広く環境負荷を低減する技術、安全性・快適性を向上する技術の開発にも取り組んでいる。

ここでは、英国向け高速鉄道車両、鉱山用ダンプトラック、産業用大型ポンプの設計事例と、油圧ショベルの低騒音化技術や動的安定性制御技術、環境負荷の小さい次世代

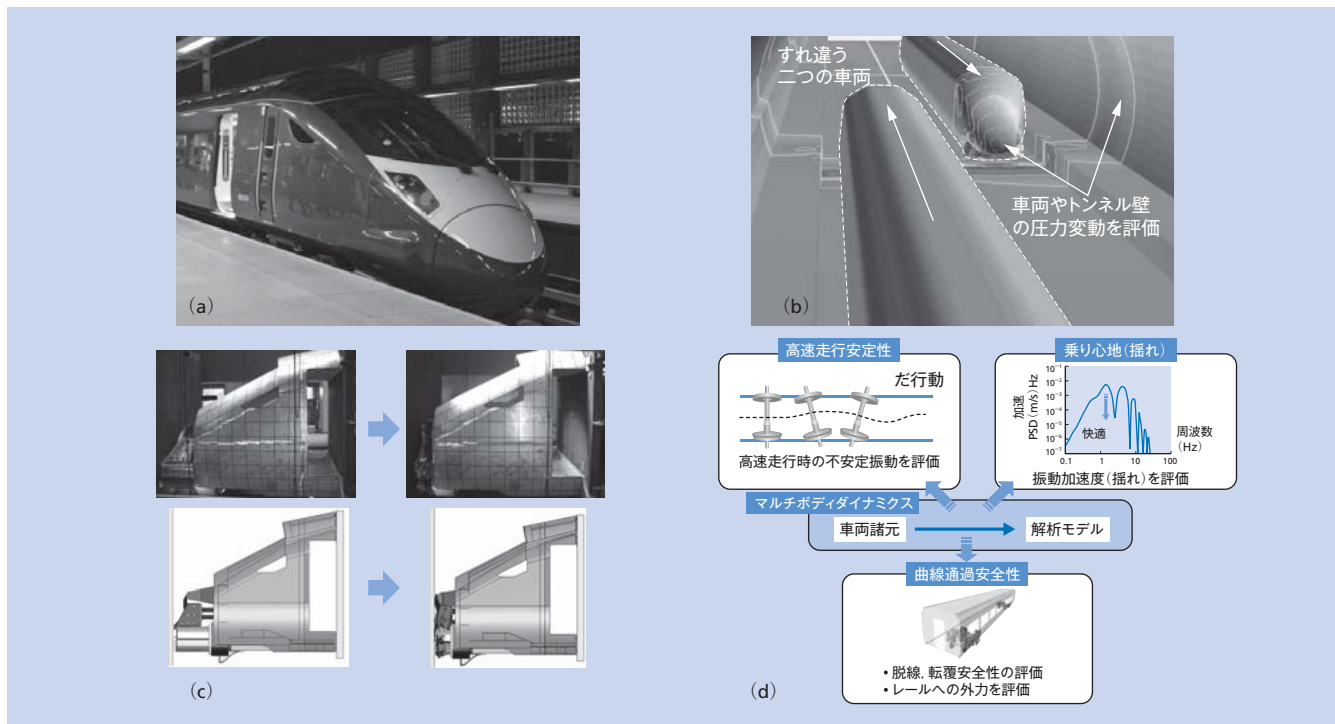


図1 | 英国向け高速鉄道車両Class395への数値シミュレーション適用例

トンネル走行時の車両内外圧力変動の解析 (b)、先頭や車端の衝撃吸収構造の設計 (c)、高速区間での安定走行と在来線区間での急カーブの安全通過を両立するサスペンションの設計 (d) などに、各種のシミュレーション技術が適用されている。

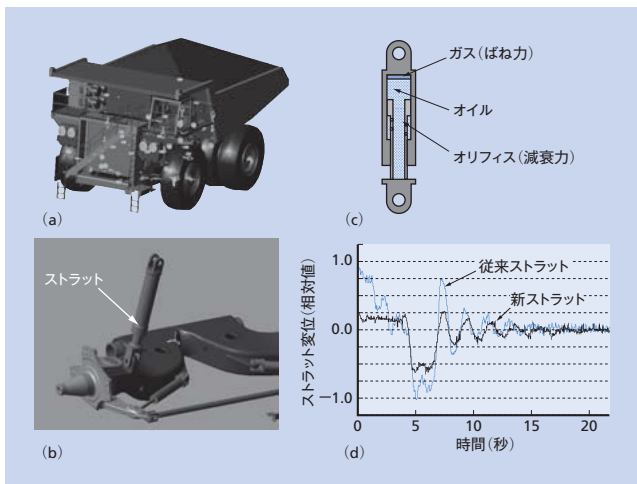


図2 | 鉱山用ダンプトラックへの数値シミュレーション適用例
ダンプトラックの全体解析モデル (a), サスペンション部の解析モデル (b), ストラットの内部構造 (c), 速度12 km/hからの急停止時におけるストラット変位 (d) を示す。

化学プラントであるマイクロリアクタについて述べる。

2. 解析主導設計技術

2.1 高速鉄道車両

従来から日立グループは、日本国内向けの高速度鉄道車両の開発において、ダイナミクス、制御、振動音響、構造強度、熱流体、電磁場など、機械・電気工学全般にわたる解析技術の高度化と適用を進めてきている。2009年12月に英国で営業運転を開始したClass395は、本格的に欧州規格に適合した日立初の鉄道車両である(図1参照)。活用した代表的な解析は、トンネル走行時の流体(圧力変動)シミュレーション、アルミの非線形変形特性を考慮した衝撃吸収構造の大変形シミュレーション、英国の軌道条件を考慮した車両ダイナミクスシミュレーションなどである¹⁾。

2.2 鉱山用ダンプトラック

日立建機株式会社では、鉱山向け電動ダンプトラックのシリーズ化を積極的に進めている。近年、この電動ダンプトラックには、積載量増加に対応した走行安定性の向上や乗り心地向上による運転者の疲労軽減が強く望まれている。これらのニーズに応えるために、多様な環境で稼働するダンプトラックの走行挙動を高精度に予測し、試作レスでサスペンションや走行制御系の最適設計を可能にする技術の開発に取り組んでいる²⁾(図2参照)。

ダンプトラックのサスペンションには、ガスと油を封入したストラットが装着されており、ガスと油の膨張・圧縮と、オリフィスを通る作動油の流動抵抗により、所望のばね力と減衰力が与えられる[図2(b), (c)参照]。走行シミュレーションは、ストラット内部のガス・作動油のモデル化と、モデル化したストラットの特性を反映させた

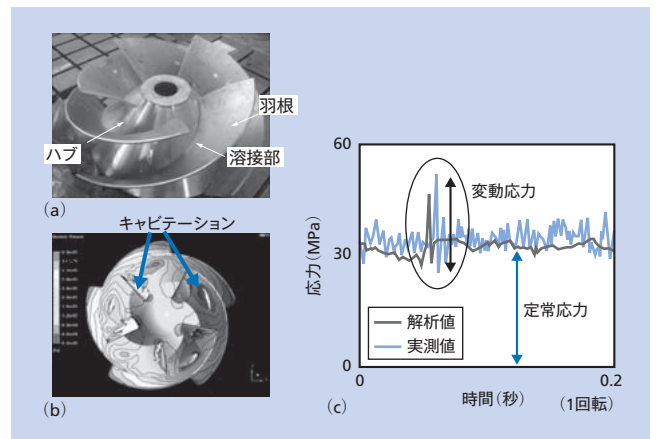


図3 | 産業用大型ポンプへの数値シミュレーション適用例
溶接構造オープン羽根車の外観 (a), キャビテーションを伴う流れの解析結果 (b), キャビテーションによる羽根付け部の変動応力の解析および実測結果 (c) をそれぞれ示す。

ダンプ全体の機構解析の2ステップで行っている。作動油量とオリフィス径を最適化した新型ストラットでは、車体振動幅を従来比で約50%低減することが可能になった[図2(d)参照]。2010年11月には、この新型ストラットを搭載した国産最大級となる220 t積のダンプトラックEH4000AC IIを製品化した³⁾。

2.3 産業用大型ポンプ

株式会社日立プラントテクノロジーでは、環境負荷低減に配慮した先進的な製品の海外展開を進めている⁴⁾。

その一つが、鋼板溶接構造の羽根車[図3(a)参照]を採用した全鋼板製斜流ポンプである。羽根車を鋳物製から鋼板溶接構造に変えることで、大幅な軽量化と製造時CO₂発生量の低減を達成した。この羽根車の開発では、新しい羽根形状設計法の確立と独自製造技術による鋳物製と同等以上の効率の実現や、流体-構造連成解析の適用による溶接部の信頼性確保などがポイントであった。こうした課題に対し、キャビテーション解析や変動流体力解析技術など、日立グループでのオリジナル解析コードを駆使することで高い性能と信頼性を確保した[図3(b), (c)参照]。

3. 環境負荷低減・安全性・快適性向上技術

3.1 油圧ショベル

近年、排気ガス規制、低騒音化、安全化などの環境対応への要求がますます厳しくなっている。日立建機が2006年に発売したZX-3シリーズは、排気ガス三次規制に対応するだけでなく、「クリーン&パワフル」そして低燃費の新世代エンジンを搭載したモデルである。油圧システムの改良により、スピーディな操作も実現している。現在、次期シリーズの発売に向けて、環境性能、省エネルギー性能をさらに向上させる技術の開発に取り組んでいる。

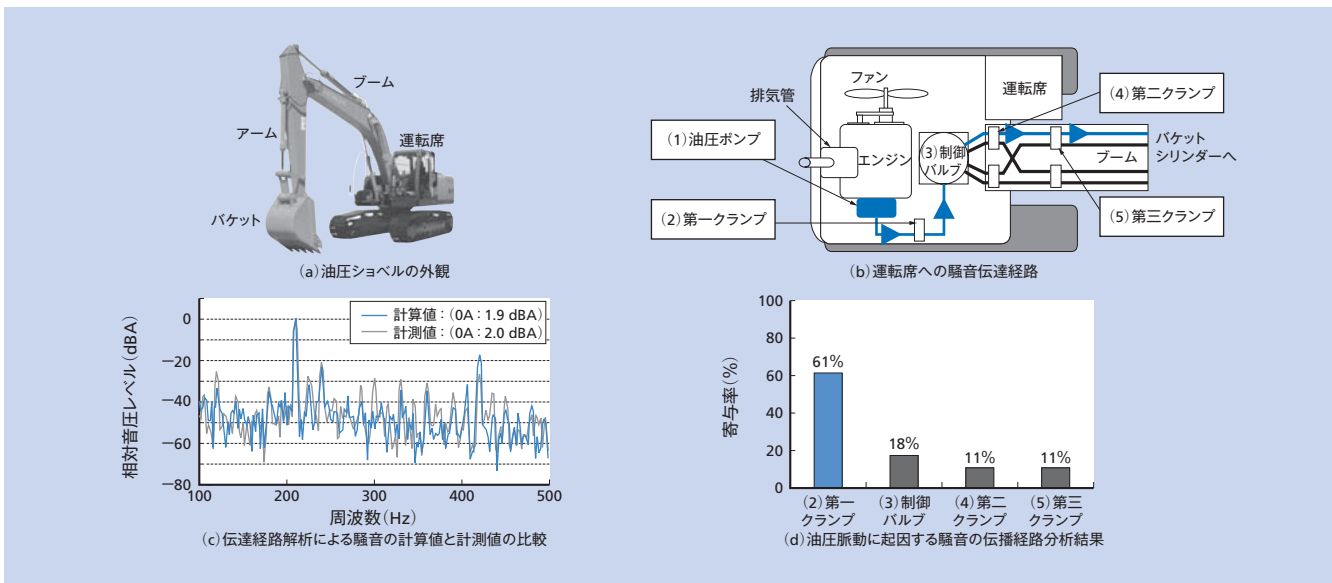


図4 | 伝達経路解析 (TPA) を活用した油圧ショベルの低騒音化
自動車の騒音分析法として実用化されてきた伝達経路解析を、油圧ショベルに適応した。

その一つが、TPA (Transfer Path Analysis : 伝達経路解析) を活用した運転席の低騒音化である。油圧ショベルでは、エンジンや排気系から直接空中を伝播 (ば) して運転席に伝わる騒音に対して、油圧脈動に起因する振動がフレームを介して運転席に伝わり騒音となる割合が多い。これらの振動伝播を正確に見積もるために、自動車の騒音分析法として実用化が進んできた伝達経路解析を適用し、油圧ショベルに適合した新しい振動伝播モデルを開発した (図4参照)。

このモデルを使って伝達経路解析で求めたオーバーオール音圧レベルは、1 dBの精度で計測結果と一致することを確認した [図4(c)参照]。また、油圧脈動に起因する210 Hzの特徴的な騒音ピークが、主に油圧ポンプと制御バルブの間のクランプを通して伝播されていることが明らかになった [図4(d)参照]。この知見を基に、制御バルブマウントや

ホースクランプを改善し、騒音低減を実現している。

一方、動的安定性計測システム (図5参照) を用いた、油圧ショベルの安全性や作業効率の向上にも取り組んでいる。すばやく大きな動作が要求される油圧ショベルでは、その動作に伴って大きな慣性力が発生するため、慣性力を含めた動的安定性の計測が重要である。新開発の動的安定性計測システムは、各部の位置、加速度、外力などの情報から実時間でZMP (Zero Moment Point) ※を算出することができる。この結果に基づいて動作を制御し、ショベルの安定性、操作性を向上させる。計測結果の一例を図5(b)に示す。計測値はすべての動作において、前後・左右方向ともに従来法で計測した参照値とよく一致している。計測

※)「重力、慣性力、外力によるモーメントがゼロになる路面上の点」として定義されるもので、二足歩行ロボットなどの安定性評価などに広く用いられている。

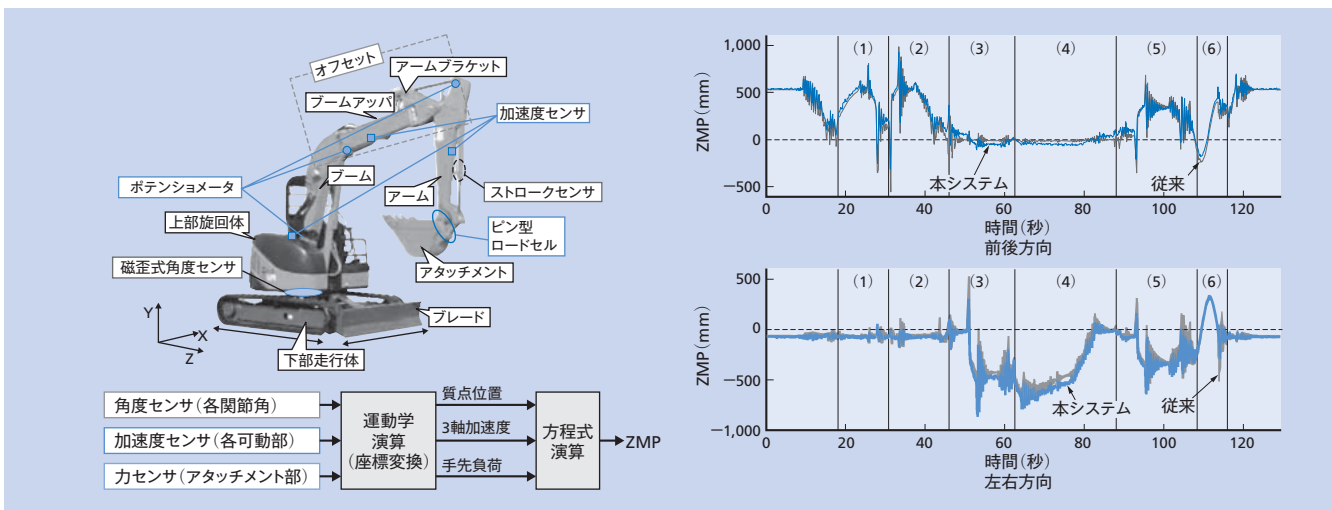


図5 | 新開発の動的安定性 (ZMP) 計測システム
油圧ショベルを、走行体、旋回体、ブーム、アーム、アタッチメント、ブレードの6質点系としてモデル化し、各質点の位置、加速度、外力の検出結果から動的安定性の指標となるZMPを算出する。



図6 | ラボ用マイクロリアクタと、マイクロリアクタを適用可能なプロセスと適用効果

液相反応、微粒子生成、乳化などのプロセスへの適用が可能である。液相反応では、プロム化反応、ニトロ化反応、エステル還元反応で反応収率の向上などの効果を、乳化やナノ粒子生成プロセスでは乳化液滴径やナノ粒子サイズの均一化などの効果を確認している。

誤差は、定常状態で60 mm以内、ピーク時で95 mm以内であり、ZMPの変動範囲である $\pm 1,000$ mmに対し十分に小さい。このように、本システムは、従来の静的な安定性評価では把握できない動的な不安定を正確にとらえられる。今後、製品化に向けて制御系との融合などに取り組む予定である。

3.2 マイクロリアクタ

化学プラント分野でも、環境負荷が小さい新たなシステムが求められている。マイクロリアクタは、毛髪程度の微細な流路の中で高速かつ均一に原料を混合することで、医薬品、ファインケミカル、化粧品、機能性食品などの生産を行うシステムである。大型攪拌(かくはん)槽型のリアクタに比べて飛躍的に高い生産性(スピード、収率、品質)が得られる。また、ナンバリングアップ(リアクタの並列化)が容易であり、生産量の増減にも柔軟に対応できる⁵⁾。

日立プラントテクノロジーが製品化しているラボ用マイクロリアクタと、代表的なプロセスにおけるその適用効果を図6に示す。これ以外にも各種化学プロセスに対応したマイクロリアクタの設計と作製、シミュレーションによるプロセスの最適化、さらに量産化に対応可能なプラント化までを一貫したサービスとして提供している。

4. おわりに

ここでは、英国向け高速鉄道車両、鉱山用ダンプトラック、産業用大型ポンプの設計事例と、油圧ショベルの低騒音化や動的安定性制御技術、環境負荷の小さい次世代化学プラントであるマイクロリアクタについて述べた。

産業機械製品は、日立グループの社会イノベーション事業の拡大・発展の一翼を担う重要な製品群である。ここで述べた技術は、これら製品の性能・信頼性・経済性の向上を通じて、グローバル市場における社会インフラの革新を実現するものである。今後も、革新的技術の開発、生産性向上や環境負荷低減などに取り組んでいく。

参考文献など

- 1) 川崎, 外: 欧州鉄道向け車両技術, 日立評論, 89, 11, 872~875 (2007.11)
- 2) 一野瀬, 外: 品質工学を用いたサスペンションモデルの最適化, 自動車技術会秋季学術講演会予稿集 (2010.9)
- 3) 日立建機ホームページ, <http://www.hitachi-kenki.co.jp/news/press/PR20101007135940552.html>
- 4) 松井, 外: ポンプ設備のグローバル展開, 日立評論, 91, 8, 668~671 (2009.8)
- 5) 三宅, 外: マイクロリアクタによる化学生産プロセスの革新, 日立評論, 88, 11, 916~921 (2006.11)

執筆者紹介



渡辺 智司
1984年日立製作所入社, 機械研究所 企画室 所属
現在, 機械系研究開発テーマの企画業務に従事
日本機械学会会員, 計測自動制御学会会員



梅北 和弘
1987年日立製作所入社, 機械研究所 輸送システム研究部 所属
現在, 輸送システムの研究開発に従事
日本機械学会会員, 日本ロボット学会会員



海保 真行
1986年日立製作所入社, 機械研究所 第一部 所属
現在, 熱流体関連製品の研究開発に従事
工学博士
日本機械学会会員, 日本応用数理学会会員, 可視化情報学会会員