18. 交通・物流部門

18.1　部門の活動経緯について

18.1.1　交通・物流部門の概要

交通・物流部門は，人と物の移動に関わる全ての機械システムを研究開発の対象とし，陸上から海，空にわたる多様な形態の輸送手段に関する応用問題を扱う国内では他に例のない学会組織である．産学の連携のもと，社会的関心の高い安全，環境，高齢化対策をはじめ，利便性，快適性や国際規格などの問題に，分野横断的に取り組んでいる．

多様な課題に対処できるよう，各分野に対応した七つの技術委員会（共通技術，自動車，鉄道，航空・宇宙，船舶，昇降機・遊技施設，物流システム・運搬荷役・建設機械）を設け，活動をしている．

18.1.2　交通・物流部門の 10 年間の活動概要

(1) 交通・物流部門大会（TRANSLOG）

当部門の企画として毎年開催しているシンポジウムであり，2016 年度で 25 回目となる．3 年に一度の割合で鉄道連合シンポジウム（J-RAIL）と共催して開催している．TRANSLOG は，交通・物流に係る各分野の研究者・技術者が一堂に会して最先端の研究開発成果を発表，討論できる貴重な場となっているが，近年特に企業の参加が減少するとともに講演発表件数が減少している．活性化のためにタイムリーなオーガナイズドセッションの配置や産業界のニーズをくみ取った特別企画を実施している．

＜特別企画例＞

2007 年度　環境問題の本質と対策について考える
2008 年度　ハイブリッドカー・プリウスの開発　運動エネルギーの再利用技術
2009 年度　高安全度交通システムの実現に向けて
2010 年度　技術者が防ぐ地球温暖化～技術ロードマップ
2011 年度　深宇宙往復探査～はやぶさ，はやぶさ２，電力セイル，その先～
2012 年度　東日本大震災における鉄道・道路関係，昇降機，一般産業施設の被害
2013 年度　MRJ 開発状況について　企業と大学との連携～企業が望む大学における技術者教育及び産学共同研究
2014 年度　若手女性技術者パネルディスカッション
2015 年度　空の産業革命が期待される小型無人航空機-ドローン-の技術的・制度的課題と展望
2016 年度　自動車の自動運転の現状と課題

(2) 研究会，専門委員会

萌芽的研究課題の発掘や新技術の展開を目的に研究会，専門委員会活動を積極的に行ってきた．2007 年度～2011 年度には「先端シミュレータ研究会」「高安全度交通システム専門委員会」「昇降機システム安全・安心問題研究会」「鉄道技術将来戦略検討委員会」「減圧トンネル利用超高速鉄道システム検討委員会」及び「鉄道技術将来戦略委員会」で各分野の研究を進めた．2008 年度～2016 年度には「ブレーキの摩擦振動研究会」「自動運転に関する分野横断型分科会」において分野横断型の研究が進められるようになっている．

© 2017 The Japan Society of Mechanical Engineers

(3) 講習会，技術講演会，セミナー

毎年，部門独自の講習会や技術講演会を複数件開催し，関連する技術の普及及び発展に貢献している．2006 年度以降には，講習会「とことんわかる自動車のモデリングと制御」，「鉄道車両のダイナミクス」，技術講演会「昇降機・遊技施設等の最近の技術と進歩」，セミナー「自動車の運動力学（基礎，初級）」を実施している．2015 年には，講習会「若手技術者のための鉄道車両のダイナミクス」，2016 年度には，講習会「交通・物流機械の自動運転」が追加された．

(4) 国際シンポジウム

当部門では STECH（鉄道技術国際シンポジウム）を約 3 年毎に開催している．第 5 回目は，2009 年度に新潟にて，第 7 回目は，2015 年度に千葉にて開催された．2016 年には，国際フォーラム「Brake Forum in Japan」を開催した．

18.1.3　交通・物流部門の活動活性化

2014 年度の部門協議会において日本機械学会の会員減少の危機的状況が示され，部門活性化のためにポリシーステートメントの策定を行うことになった．当部門においても講演発表件数の減少などに危機感を持っていたため，この機会に大いに議論することになった．歴代部門長の意見を聴き，さらに運営委員会にて議論を重ねた結果，部門設立時の原点に帰り活動活性化活動を行うことになった．なお，交通・物流部門設立時の運営方針は，下記の 3 か条である．

① 総合化，システム化を目指して
② 産業界と大学の橋渡しを目指して
③ 参加したくなる部門を目指して

① 総合化，システム化を目指して

機能・横断技術 WG（日本機械学会各部門及び交通・物流部門の各技術委員会の横串技術を扱う）を新設し，研究分科会を常時複数走らせる方策・仕組みを部門として検討し，自動車技術会，日本航空宇宙学会などの関連する専門的な他学会に加えて日本機械学会交通・物流部門にも参加して頂く動機づけを強くすることを目指した．その成果として 2015 年度に「ブレーキの摩擦振動研究会」が発足した．

② 産業界と大学の橋渡しを目指して

2006 年度に日本機械学会の 110 周年記念事業として「技術ロードマップ委員会」が発足し，当部門は積極的に活動を行ってきた．2015 年度に産業界と大学の研究のベクトルが一致するような技術ロードマップを再構築するため「自動運転に関する分野横断型分科会」を立ち上げた．この分科会活動において，システム，要素，性能を統合的に表現する 2D-ARM（2 次元技術ロードマップ）が開発された．

③ 参加したくなる部門を目指して

交流・国際委員会を立ち上げて若手産学交流，小中高校生，大学生，一般市民などとの交流の企画運営，国際交流等の企画を行った．「交通・物流部門交流会」，国際フォーラム「Brake Forum in Japan」がその成果である．

これらの施策により，活動活性化活動の効果が実感できるようになり，TRANSLOG の講演発表件数も目に見えて増加してきた．また，ここ 10 年，企業から大学に転身する委員が増加しており（自動車技術委員会だけで委員 39 名中 8 名が転身.企業委員が別途 12 名いるので，特に企業に強い部門となってきている．）転身した委員の功績として，特に，TRANSLOG の講演発表，講習会（「自動車の運動力学（基礎，初級）」等）や研究会（「ブレーキの摩擦振動研究会」「自動運転に関する分野横断型分科会」等）への貢献が大きかったことを特筆しておく．

〔高田　博　東京理科大学〕

© 2017 The Japan Society of Mechanical Engineers

18.2　自動車

18.2.1　概況

a. 生産

四輪車生産[1]は 2006 年には 1,148 万台であったが，リーマンショックの影響で 2009 年には 793 万台に落ち込んだ．2012 年に 994 万台まで回復したが，その後は緩やかな減少傾向となり，2015 年は 928 万台（2006 年と比較して 19.2%減）となっている．車種毎での 2006 年から 2015 年への増減は，乗用車で 976 万台から 783 万台（同 19.8%減），トラックで 164 万台から 131 万台（同 20.1%減），バスで 8.8 万台から 14 万台（同 56.7%増）となっている．二輪車生産は 2006 年の 177 万台から 2015 年には 52 万台（同 70.5%減）と減少が著しい（図 1）．

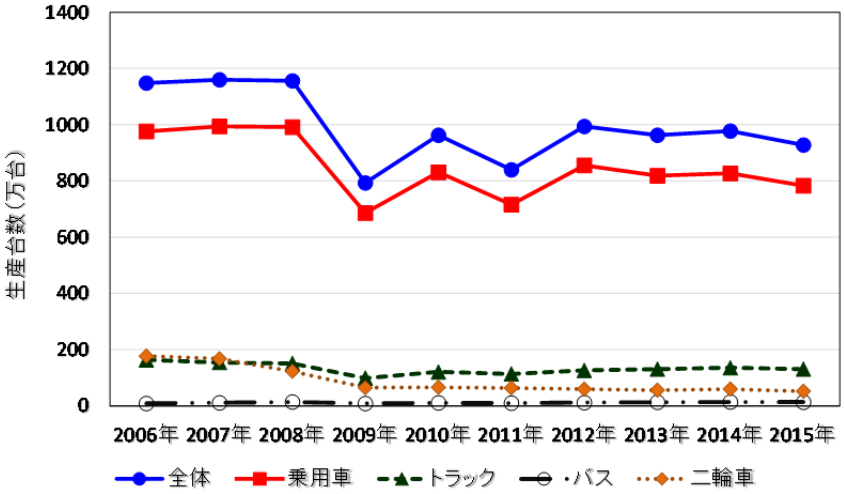


図 1　自動車生産台数の変化（2006 年－2015 年）

b. 輸出

新車輸出[1]は，乗用車では 2006 年の 597 万台から 2015 年の 397 万台（同 33.5%減）に減少，生産に占める割合は 2006 年の 52%から 2015 年の 50.7%に減少している．二輪車では 2006 年の 133 万台から 2015 年の 42 万台（同 68.6%減）で，生産に占める割合は 2006 年の 75.3%から 2015 年の 80.1%に増加している（図 2～図 3）．輸出台数については，リーマンショック直後の 2009 年の四輪車の落ち込みが著しい．

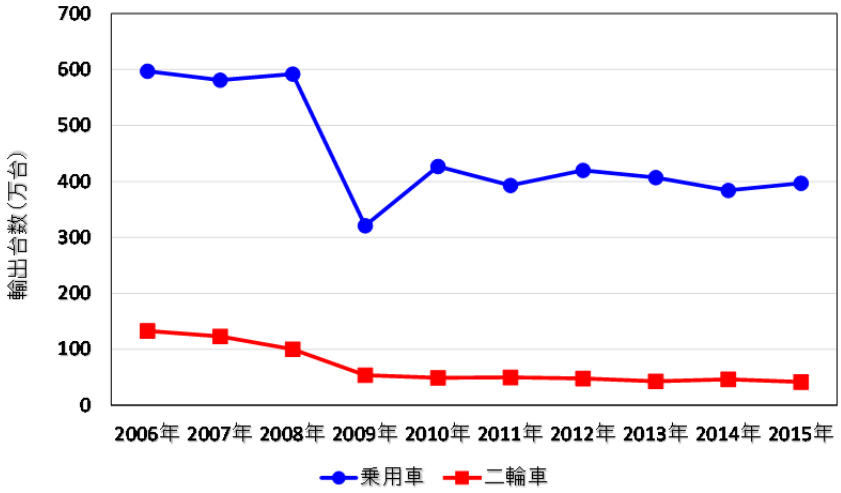


図 2　自動車輸出台数の変化（2006 年－2015 年）

© 2017 The Japan Society of Mechanical Engineers

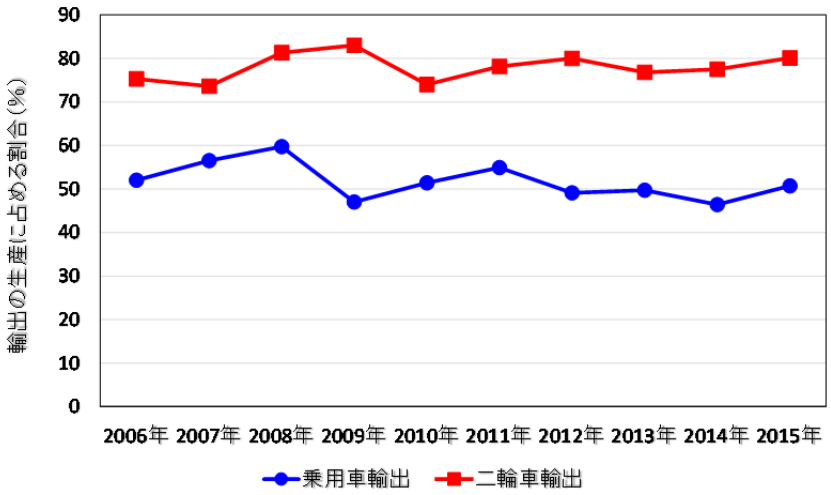


図 3　自動車輸出台数の生産に占める割合の変化（2006 年－2015 年）

c. 輸入

日本メーカー車を含めた輸入車新規登録台数[(2)]は，2006 年の 28.7 万台から 2015 年の 32.9 万台に 14.6%の増加となった（図 4）．輸入台数については，2006 年より 2009 年までは減少の傾向であったが，2009 年を下限として増加に転じ，2013 年には 34.6 万台にまで増加した．なお，2013 年以降は緩やかな減少傾向となっている．

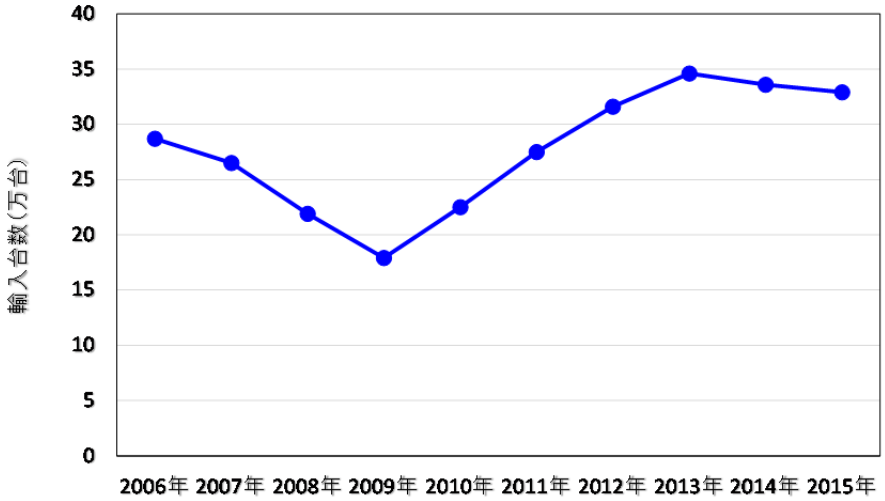


図 4　自動車輸入台数の変化（2006 年－2015 年）

d. 保有台数

2016 年 1 月末で，乗用車 6107 万台，トラック 1466 万台，バス 23 万台，原付を除く二輪車 366 万台になっている[(3)]．それぞれの 2006 年と比較しての増減は，乗用車 6.1%増，トラック 11.9%減，バス変化なし，原付を除く二輪車 6.7%増となっている（図 5）．

© 2017 The Japan Society of Mechanical Engineers

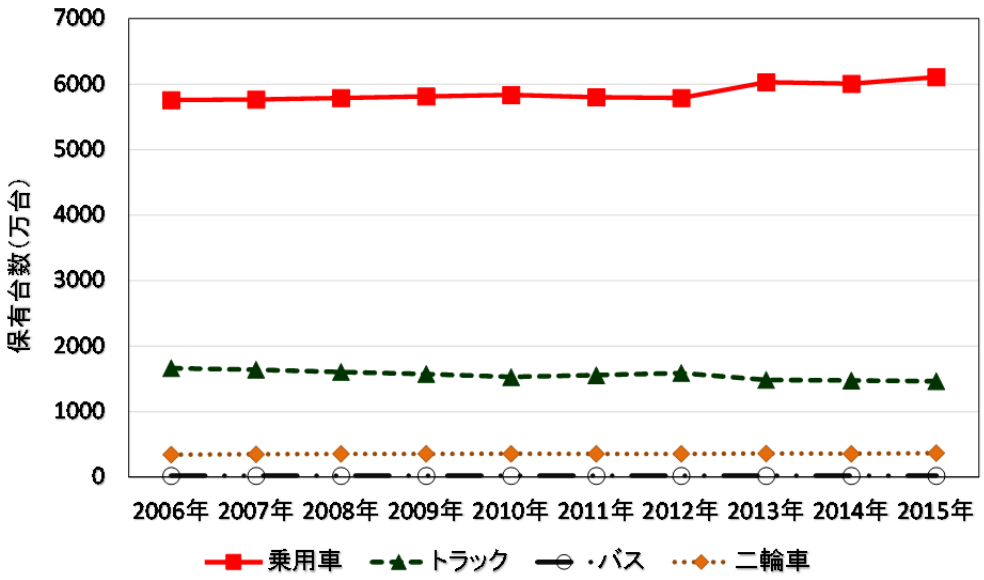


図 5　自動車保有台数の変化（2006 年－2015 年）

参考文献

(1) 一般社団法人　日本自動車工業会　統計データより：　http://www.jama.or.jp/
(2) 日本輸入車組合（JAIA）統計データより：　http://www.jaia-jp.org/
(3) 一般財団法人　自動車検査登録情報協会　統計情報データより：　http://www.airia.or.jp/

〔関根　康史　福山大学〕

18.2.2　四輪自動車の技術動向

各国の CO_2 削減に向けた取り組みの後押しを受け，低燃費化技術の革新と普及が大きく進んだ．その一つは過給器を用いて排気量の低減をはかるダウンサイジングやクリーンディーゼルに代表される内燃機関の進化であり，もう一つは電動化の普及である．特に HV(Hybrid Vehicle)については多様なシステムが市場導入され，国内乗用車の HV 保有台数比率は 2006 年には 0.4%に過ぎなかったものが，2016 年には 9.1%にまで増加している[(1)]．これらの技術の普及により，新型車の燃費はこの 10 年で 5 割以上の改善と，非常に高い伸びを示している[(2)]．また，EV(Electric Vehicle)については，長年の課題であった 2 次電池の低コスト化・高容量化に道が開け，各国で本格的 EV の市場導入が相次いだ．この他にも PHV(Plug-in HV），FCEV(Fuel Cell EV）等，次世代のパワートレーン技術が出揃った．IEA（国際エネルギー機関）では図 6 のようにパワートレーンの推移を予測しているが[(3)]，その変化の起点としてこの 10 年が位置づけられるであろう．

安全技術では，予防安全・先進安全技術の急速な普及が見られた．1990 年代後半に市場導入された ESC（Electronic Stability Control）は，その高い事故低減効果が確認されたことから各国で義務化（米国 2008 年～，欧州 2009 年～）が進み，国内では 2012 年の新型車から装着が義務付けられた[(4)]．また，2000 年代前半に市販化された衝突被害軽減ブレーキは，センサやブレーキシステムの低コスト化により普及が進み，2014 年からは NASVA（自動車事故対策機構）による予防安全性能アセスメントが実施されている[(5)]．さらに，車線逸脱警報や後方視界情報提供装置等の運転支援装置をパッケージ化したシステムが一般化され，次の 10 年に普及が期待される自動運転技術の基盤となっている．

© 2017 The Japan Society of Mechanical Engineers

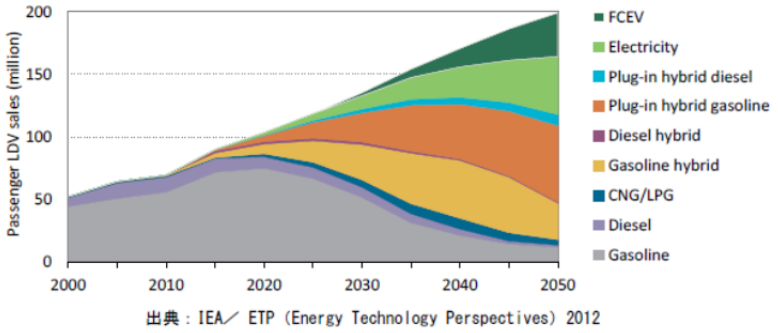


図 6　乗用車用パワートレーンの推移予測

〔門崎　司朗　トヨタ自動車（株）〕

参考文献

(1) 一般社団法人自動車検査登録協会データより：http://www.airia.or.jp/publish/statistics/number.html
(2) ガソリン乗用車の 10.15 モード燃費平均値の推移（国土交通省）：http://www.mlit.go.jp/common/001084230.pdf
(3) Energy Technology Perspectives 2012（International Energy Agency）：
https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/ETP2012_free.pdf
(4) ESC 普及委員会 HP：http://www.esc-jpromo-activesafety.com/info.html
(5) 独立行政法人 自動車事故対策機構 HP：
http://www.nasva.go.jp/mamoru/active_safety_search/about_active_safety.html

18.2.3　二輪自動車の技術動向

この 10 年で環境対応や安全技術の普及がすすみ，燃料噴射，アイドリングストップ，ABS などの電子制御技術が先進国のみならず新興国向け車両にも展開されている．また電動二輪車やハイブリッド二輪車の発表も相次いだ．一方で安全・環境対応による高価格化の影響などもあり，国内の自動二輪車の販売台数は減少の一途をたどり，より低価格で環境性能や利便性に優れた電動アシスト自転車が販売台数で逆転する状況になっている．そのため原付一種については国内メーカー間で協業する動きも出てきた．

〔木村　哲也　ヤマハ発動機（株）〕

18.2.4　基礎研究

10 年前から急激に話題が沸騰してきたのが，自動運転に関する技術である．それまでは人間ドライバーが運転することを前提に，どちらかというと自動車単体での運動制御や運転支援，認知支援等の研究がなされてきたが，自動運転の世界を鑑み，周辺環境やインフラとの協調，連携が視野に入ってきている．自動運転技術を達成するためのドライバーの認知・判断論理モデル構築はもちろん，自動から手動への権限移譲における，人間ドライバーの状態判定や自動運転車と手動運転車とのコミュニケーション手法など，より深い領域での研究が加速してきている．

また，近年注目が集まっている高齢者事故への対応は，ドライバーとしての高齢者研究に軸足が移っており，喫緊の課題として研究がさかんに行われている．

この他にも，多様なエネルギーソースへの対応や電動化を進める技術，カメラ画像処理やデジタル地図データのクルマへの応用というように，自動車の技術領域が急激に変化してきたため，研究の範囲も拡げていかねばならない状況に入ってきている．

〔河合　俊岳　（株）本田技術研究所〕

18.3　鉄道

18.3.1　はじめに

鉄道では，ここ 10 年間，国内の企業や研究機関における技術開発や研究が積極的に行われ，その成果を基に，安全性，快適性，環境性，速達性，利便性は一歩一歩確実に高まり，大きな進歩を遂げてきた．本節

© 2017 The Japan Society of Mechanical Engineers

では，機械工学と関連分野をベースとした鉄道システムの安全性と高速化の取り組み事例，および研究開発の動向に焦点をあてて解説を行う．

18.3.2　安全性の追求

安全性の追求は，鉄道システムにおける最重要課題であり，更に安全性を向上するため，さまざまな技術的取り組みが実行されてきた．中でも，乗客の人命に関わる脱線・衝突問題，地震や強風に対する安全性の追求に，多くの力が注がれてきたと言える．取り組みのアプローチとしては，事故事象に対して，数値シミュレーションと実験により事象の発生メカニズムと対策の有効性が確認され，その対策が実際の鉄道システムに適用されることで，一層の安全性向上が見込まれるようになった．

実例として，急曲線通過時の車輪・レール間の現象を解明し脱線を防止するための技術的な取り組みが，研究機関，鉄道事業者，メーカーにより積極的に進められてきた．その中の実用例として，営業車両において常時脱線係数を測定できる台車とそれを用いた脱線係数監視システムの開発 (1) が行われ，営業線車両で日々脱線係数を取得して状態を監視し，異常予兆を把握する取り組みが行われている．また，曲線通過性能を向上させる新たな台車構造として，輪軸操舵機構と台車枠の 3 分割化により軌道の追従性を高めた「脱線しにくい台車」の開発 (2) も研究機関にて行われており，安全性の追求に向けた新しい取り組みが積極的に行われている．

2004 年の新潟県中越地震による上越新幹線脱線事故以降，地震時の走行安全性を向上するための取り組みが積極的に行われてきた．具体的には，大規模地震を想定した構造物や軌道の耐震性の強化，列車を早期に止める対策，列車の脱線や逸脱を防止する対策，に関する技術開発が進められ，その成果をもとに対策の検討が行われた．特に地震時の脱線や逸脱を防止する対策の検討では，実物や模型を使った実証実験や数値シミュレーションが多数繰り返し行われ，脱線現象や脱線後の走行挙動の解明と対策の有効性が証明された (3) ～ (10)．これらの結果をもとに，新幹線を保有する各事業者では，脱線防止ガードや逸脱防止対策などの施策が大きく前進した(11)．

その他，新幹線車両の車輪ディスクブレーキの性能向上技術の開発が積極的に進められ，最高速度からのブレーキ停止距離の短縮が実現した．車輪にボルトで締結されるディスクの構造や締結位置を見直した中央締結式のブレーキディスクが開発されて新車に投入され (12) (13)，地震時には非常ブレーキよりもよりさらに高い減速度で列車を止めることができるようになった．また，状態監視に関する技術開発も積極的に実施されてきた.例えば，台車の駆動回転部品の異常予兆を検知するシステムが開発され(13)，新幹線や在来線の車両に導入されるようになった．また，営業線車両から地上の状態を監視するシステムや，地上側から車両状態を監視するシステムの開発なども行われ，日々蓄積された状態監視データを分析する体制も整えられている．

また，数値シミュレーションや風洞模型実験，実物大実験によって，強風時の鉄道車両への作用力が検証され，より詳細に推定する手法が検討されてきた (14)．引き続き，強風時の運転規制や防風対策に向けた実用的な評価ツールの構築が期待されている．

18.3.3　高速化の追求

高速化は，鉄道を含む輸送システムの永遠のテーマである．鉄道の高速化を実現するには数多くの技術課題の克服が必要となる．走行安定性（蛇行動限界速度の向上）と曲線通過性能の両立，ブレーキ性能の向上，快適性の確保（車内振動・騒音の低減），環境性の向上（車外騒音・振動の低減），省エネルギー化（ランニングコスト低減）等の実現が必要であり，多くの研究開発が継続して行われ大きな進歩を遂げた．

高速化の象徴と言える新幹線では，この 10 年で整備が着々と進められた．2010 年に東北新幹線が新青森駅まで延伸し全線開業，2011 年には九州新幹線（N700 系）の鹿児島ルート（博多－鹿児島中央間）が全線開業，2015 年には北陸新幹線の長野－金沢間（E7 系/W7 系），2016 年には北海道新幹線の新青森－新函館北斗間（H5 系）が開業し，合わせて鉄道各社で新型車両が投入された．リニア中央新幹線では，2027 年の品川・名古屋間の開業を目指し，2015 年には南アルプストンネル等の本格工事が開始された.また，山梨実験線では全長 42.8km への延伸工事と設備リニューアルを完了し，2013 年より新しい実験線での走行試験が開始された．

© 2017 The Japan Society of Mechanical Engineers

既存の新幹線区間においては営業最高速度の向上が実現された．東北新幹線（宇都宮－盛岡間）では，E5 系により 2011 年に最高速度 300km/h，2013 年に最高速度 320km/h での運転が開始され，2014 年には E5 系と新在直通車 E6 系の併結による最高速度 320km/h 運転が開始された．また，東海道新幹線では 2013 年に N700A が投入され，2 年後の 2015 年，300 系デビュー（1992 年）から 23 年ぶりに最高速度が 15km/h 引き上げられ 285km/h での営業運転が開始された．

新幹線の高速化には欠かせない要素技術として，車体傾斜システムの導入が挙げられる[15]．2007 年に東海道・山陽新幹線の N700 系で初めて導入され，東北新幹線では 2011 年に E5 系，2013 年に E6 系に導入された．これにより，列車は曲線を通過する際，曲線外側（外軌側）の空気ばねを伸長させて車体を内側に傾けることで遠心力を小さくし，乗り心地を損なわずに高速での曲線通過が可能となった．また，曲線区間の多い東海道新幹線では半径 2500m の曲線前後での加減速の頻度が少なくなり，前後ジャーク低減による乗り心地向上と省エネルギー化に繋がった[15]．

高速化に伴って，車体の左右動揺を積極的に抑制する振動制御技術も大きく進歩した[16]．車体・台車間に可変減衰ダンパを配し，車体の動揺に応じてダンパの減衰係数を切換えるセミアクティブサスペンションや，空気圧や電気動力を用いたアクチュエータにより振動を抑制するフルアクティブサスペンションが装備されるようになった．

セミアクティブサスペンションは，1997 年の実用化当初は編成内の一部車両に限定して装備されていたが，現在では，N700 系などで全車両に装備されるようになった．また，一部の在来線車両においても乗り心地向上策に採用され，特に上下セミアクティブサスペンションは，2011 年に鉄道車両として初めて採用され 2013 年には豪華寝台列車（ななつ星 in 九州）に装備された．フルアクティブサスペンションは，2001 年に空気圧式が実用化され，当初は編成の一部車両に装備されてきたが，電動機械式が開発・実用化されたことで空気消費量の課題が解消され，E5 系，E6 系では全車両に装備されるようになった．

上記以外にも，鉄道の高速化に向けて数多くの研究開発が行われ，台車の走行安定性向上，集電系騒音の低減や，車両各部形状の見直し等による騒音低減，先頭形状の最適化による走行抵抗の低減，車両の軽量化など，多くの成果が得られてきた．その成果は，新たに導入される車両に反映され，高速性，快適性，環境性，信頼性に優れた車両が継続的に産み出されている．

18.3.4　研究開発手法

鉄道の研究開発のアプローチ方法として，数値シミュレーションによる評価が積極的に行われるようになってきた．特に，マルチボディダイナミクスの手法を用いた解析が多く実施され，より精度の高い解が得られるようになってきた．また，市販のシミュレーション解析ツールも発展し，車輪・レール間の接触条件や軌道の条件など，鉄道に関するコンテンツもより充実してきており，鉄道車両の走行解析の標準化が進んでいる．

試験線を利用した検証試験もより積極的に行われるようになった．2007 年には国内の大学で初となる実物の鉄道試験線が大学の千葉実験所内に敷設された[17]．近年では 2014 年，本格的な鉄道試験線となる MIHARA 試験センターがスタートし試験が実施されている．その他にも専用の試験線を有する研究機関，事業者，メーカーなどにおいて，走行安全性等の評価に関するさまざまな試験が実施された．

試験線での走行試験のほか，大型試験装置を導入し，定置試験による評価も積極的に行われている．レールを模擬した軌条輪を回転させて走行を模擬可能な車両試験台を各研究機関，事業者，メーカーなどが保有しており，ブレーキ試験，曲線通過試験，蛇行動試験，乗り心地などの従来の性能試験評価に加え，軌条輪上での地震を模擬した脱線試験[9]や状態監視技術の検証[13]など，さまざまな試験が行われた．また，車両試験台を進化させ，車両試験台とリアルタイムシミュレーターと要素試験装置（6 自由度）を組み合わせた HILS（Hardware In the Loop Simulation）による仮想走行試験技術が開発され各種試験評価が行われるようになった[18]．

18.3.5　おわりに

この 10 年間，鉄道技術は目に見える形で大きく進歩・発展してきた．これらは一人一人の機械技術者および関連分野の技術者の高い意識と弛まぬ努力があって初めて実現しうるものであると考える．日本機械学

© 2017 The Japan Society of Mechanical Engineers

会の交通・物流部門（鉄道技術委員会）が参画・実行している鉄道技術連合シンポジウム（JRAIL），鉄道技術国際シンポジウム（STECH）や交通・物流部門大会（TRANSLOG）では，高い意識をもつ技術者が参加し，講演発表や議論が盛んに行われているが，より多くの機械技術者に積極的に参加してもらえるような場を提供していく必要がある．加えて，日本の鉄道技術を一層優れたものとするためにも，機械技術者同士が垣根を越えて議論を行えるような学会を目指す必要があると考える．引き続き，学会活動に対する積極的なご支援をお願い申し上げ，本節を結ぶこととする．

〔足立　昌仁　東海旅客鉄道(株)〕

参考文献

(1) 営業車両において常時脱線係数を測定できる台車とそれを用いた脱線係数監視システムの開発，発明と発見のデジタル博物館(日本学術振興会)
http://dbnst.nii.ac.jp/pro/detail/1969（参照日 2017 年 3 月 26 日）

(2) 宮本岳史,鈴木貢,鴨下庄吾,梅原康弘,本堂貴敏,脱線しにくい台車を作る，RRR(Railway Research Review),Vol.73, No.10（2016）,pp.4-7
http://bunken.rtri.or.jp/PDF/cdroms1/0004/2016/0004006575.pdf　（参照日 2017 年 3 月 26 日）

(3) 宮本岳史,松本信之,曽我部正道,下村隆行,西山幸夫,松尾雅樹,大変位軌道振動による実物大鉄道車両の加振実験,日本機械学会論文集 C 編,Vol.71, No.706（2005），pp.1849-1855.

(4) 地震による新幹線脱線シミュレーション解析グループ，新潟県中越地震新幹線脱線シミュレーション解析，鉄道 総研報告，特別第 52 号，2008.12.

(5) 西村和彦,曄道佳明,森村勉,曽我部潔,振動軌道上における高速鉄道車両の走行安全性に関する解析的研究,日本機械学会論文集 C 編,Vol.75, No.753（2009），pp.1312-1318.

(6) 森村勉,関雅樹,石川栄,坂上啓,三輪昌弘,村松浩成,西村和彦,吉田幸司,足立昌仁,南善徳,実物大車振動台実験による鉄道車両の地震時脱線メカニズムの検証,日本機械学会論文集 C 編,Vol.76, No.764（2010），pp.825-834.

(7) 森村勉,足立昌仁,石川栄,深田淳司,曄道佳明,地震時の脱線メカニズムと脱線防止ガード機能に関する研究　(1/5 模型加振試験）,日本機械学会論文集 C 編,Vol.76, No.770（2010），pp.2454-2461.

(8) 飯田浩平,鈴木貢,宮本岳史,西山幸夫，大型振動試験装置を用いた実台車脱線実験,日本機械学会論文集 C 編,Vol.77, No.781（2011），pp.3223-3236.

(9) 足立昌仁,森村勉,西村和彦,曄道佳明,軌条輪上での実台車加振実験による鉄道車両の地震時脱線メカニズムの検証,日本機械学会論文集 C 編,Vol.79, No.808（2013），pp.4786-4801.

(10) 東海道新幹線における地震時の車両逸脱防止装置の開発，発明と発見のデジタル博物館(日本学術振興会)
http://dbnst.nii.ac.jp/pro/detail/2010　（参照日 2017 年 3 月 26 日）

(11) Press Release　平成 27 年度末における新幹線脱線対策の進捗状況について，国土交通省
http://www.mlit.go.jp/common/001126618.pdf　（参照日 2017 年 3 月 26 日）

(12) 渡辺清一,E5 系･E6 系 320km/h 走行を実現するための技術，日本機械学会誌，Vol.117, No.1152（2014），pp.718-719.

(13) 坂上啓,N700A の概要について，日本機械学会誌，Vol.117, No.1152（2014），pp.720-721.

(14) 菊池勝浩,鈴木実,中出考次，強風下で車両に発生する空気力の推定，JREA, Vol.58, No.6（2015）,pp.8-11.

(15) N700 系新幹線電車の開発－車体傾斜システムと省エネルギー－，発明と発見のデジタル博物館(日本学術振興会)
http://dbnst.nii.ac.jp/pro/detail/1806　（参照日 2017 年 3 月 26 日）

(16) 菅原能生，最新の車両の振動制御，日本機械学会誌，Vol.117, No.1152（2014），pp.728-731.

(17) 国内の大学としては初めて　LRT(次世代路面電車)等の鉄道研究用実軌道　「生産技術研究所　千葉試験線」を敷設，東京大学生産技術研究所(第 65 回 定例記者会見 広報資料)
https://www.iis.u-tokyo.ac.jp/publication/topics/2007/071109press.pdf　（参照日 2017 年 3 月 26 日）

(18) 小金井玲子,渡辺信行,山口輝也,HILS システムにより車両試験台上で編成走行を模擬する，RRR(Railway Research Review),Vol.72, No.11（2015）,pp.12-15
http://bunken.rtri.or.jp/PDF/cdroms1/0004/2015/0004006377.pdf　（参照日 2017 年 3 月 26 日）

© 2017 The Japan Society of Mechanical Engineers

18.4　船舶

18.4.1　大気環境負荷低減技術

地球環境の観点から，船舶の分野においても NOx，SOx および CO2 の排出量の削減のために国際海事機構(IMO)は国際的な議論を基に，MARPOL 条約(海洋汚染防止条約)による規制の強化を継続的・段階的に行っており，この 10 年の間に大きな節目となるような規制が導入・実施されている．

NOx の排出量削減について，舶用機関については主に燃焼改善技術により対応してきたが，2016 年からの NOx 三次規制に対応するためには，排ガスの処理装置などを付加することが必要になってきた．排ガスの処理には SCR（選択触媒還元・Selective Catalytic Reduction）装置を用いた脱硝や EGR（排ガス再循環・Exhaust Gas Recirculation）装置を用いた低 NOx 燃焼があり，それぞれ三次規制に対応した装置の開発が行われてきた．

IMO は SOx の排出量を抑制するため，2020 年から船舶燃料油中の硫黄分を 3.5%から 0.5%とすることとした．これについて，低硫黄分の燃料油を使用，SOx スクラバーとよばれる排ガス処理装置の使用，LNG（液化天然ガス）などの燃料への転換などが対応技術として挙げられる．なお，燃料転換に関連して，2015 年にわが国では LNG を燃料としたタグボートがはじめて就航したが，すでに北欧諸国を中心に LNG を燃料とする大型ディーゼル機関を搭載した船舶が運航されている．2016 年に国土交通省は国際港湾としての競争力強化のためにも LNG 燃料船に対応可能な LNG 燃料供給拠点として横浜港を整備することとした．

CO2 排出量の削減のために EEDI（エネルギー効率設計指標・Energy Efficiency Design Index）を導入し，規制を強化することとなった．EEDI は 1 トンの貨物を 1 マイル輸送する際に排出される CO2 のグラム数として定義される．

燃料消費量削減の対応として，船体抵抗を抑える形状のコンテナ船や LNG 運搬船，太陽光を推進力に用いる自動車運搬船などが建造されている．

18.4.2　海洋生態系保全のための対応技術

船舶は積み荷を積載していないときに復元性を保ち，安定性の保持・転覆防止等の目的で「おもし」とするバラスト水を揚げ荷港においてタンクに取り入れ，そのバラスト水を荷積み港において排出する．このため，バラスト水を介して生物が本来の生息地ではない海域へ移入し繁殖することによる生態系への影響のみならず，これらの生物による発電所などの採水口閉塞などが問題となっている．この問題に対し，IMO は 2004 年 2 月に船舶バラスト水規制管理条約を採択し，規制することとし，2016 年 9 月に発効要件を満たし，2017 年 9 月に発効することとなった．これにより，国際航海に従事する船舶に承認されたバラスト水処理設備を設置することが義務づけられた．この設備は大量の海水を効率よく処理することが求められる．

18.4.3　災害対応

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災に対応して，官民問わず多くの船舶が物資の輸送ならびに被災者等への支援に利用された．内航油送船による燃料油の輸送，大型フェリーによる自衛隊等の災害派遣要員や車両・資機材等の緊急かつ大量輸送とともに，客船や練習船などは被災者ならびに作業要員へ食事・入浴・宿泊などを提供する支援活動を行った．

〔小嶋満夫　東京海洋大学〕

18.5　航空宇宙技術

18.5.1　航空旅客に関する話題

昨今の話題として，訪日外国人数の急増が挙げられる．日本政府観光局(JNTO)の統計による最近 10 年の訪日外客数の推移[(1)]によると，2007 年の訪日外客数は 834 万人であったが，2008 年 9 月のリーマン・ブラザーズ経営破たん等の影響により，2008 年は 835 万人，2009 年には 678 万人へ減少した．2010 年には 861 万人と回復したものの，2011 年 3 月の東日本大震災等の影響により，2011 年は 621 万人まで落ち込んだ．その後は 2012 年には 835 万人と回復し，以降急増している．2013 年は 1036 万人と 1000 万人越えとなり，2015 年は 1973 万人と 2000 万人に迫る勢いである．2016 年度の推定値では，更に増えて 2400 万人となった(図 7)．

© 2017 The Japan Society of Mechanical Engineers

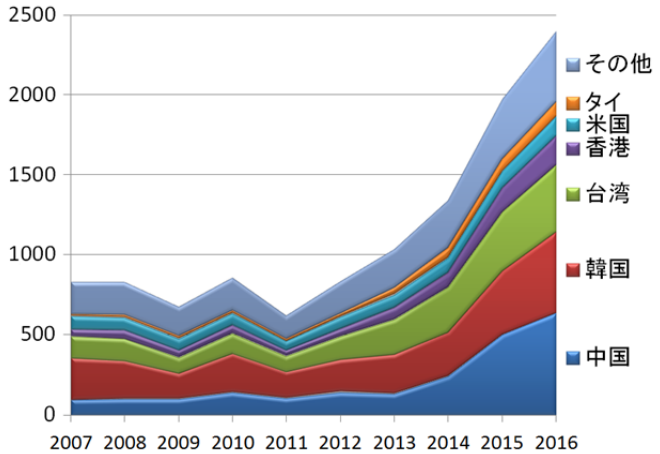


図 7　最近 10 年の訪日外客数(単位:万人)

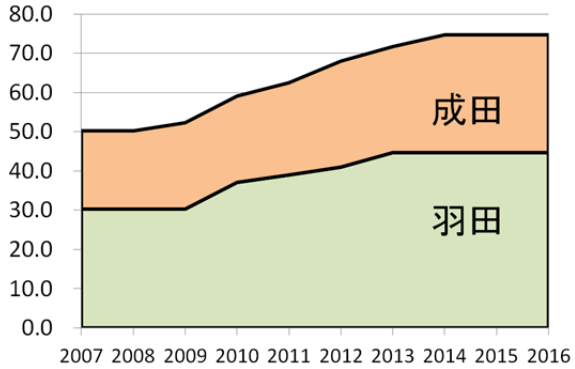


図 8　最近 10 年の東京国際空港と成田国際空港の発着可能回数(単位:万回)

東京国際空港(羽田)と成田国際空港の発着可能回数[2]については，この 10 年間，定期便が発着可能回数の上限一杯まで就航している状況が続いている．羽田空港については，再拡張事業による D 滑走路供用が 2010 年 10 月に開始され，その後段階的に発着可能回数を増やしてきた．成田空港については，2180m の暫定平行滑走路運用開始により 2002 年 4 月以降は発着可能回数が 20 万回となっていたが，北側への延伸による 2500m 平行滑走路の供用が 2009 年 10 月に開始され，発着枠は 2010 年 3 月に 22 万回に増加した．更に，同時平行離着陸方式の導入等により，段階的に発着可能回数を増やしてきた．しかし，両空港とも発着回数は限界に達し，現状での増便はほぼ不可能な状況である(図 8)．羽田空港の更なる機能強化のため，発着可能回数が減少する南風時の飛行経路見直しが検討されている．

18.5.2　航空機開発に関する話題

全日本空輸(株)がローンチカスタマーとして，2004 年 4 月に 50 機発注したことにより開発がスタートしたボーイング社の中型旅客機 B787-8 型機は，日本の重工メーカーが機体の約 35%を製造し，使用される炭素繊維材料の全量を供給していることで話題となった．全日本空輸(株)は，2011 年 11 月より世界初となる定期便として羽田－岡山線・広島線での運航を開始し，長距離線機材については，2012 年 1 月に羽田－フランクフルト線で就航を開始した．更に，これまで大型機が担っていた長距離路線に就航可能な中型機という同機材の特徴を活かし，成田－シアトル線，成田－サンノゼ線を新規開設した[3]．日本航空(株)は，2012 年 12 月より成田－サンディエゴ線，2013 年 3 月より成田－ヘルシンキ線を新規開設した[4]．乗継便の場合，確実に乗継ぐためには，乗継時間のバッファを多くとる必要があり，このことが目的地までの所要時間増の大きな要因になっている．中型機による欧米直行便が増えることで利便性が大きく向上した．

エアバス社の総 2 階建て大型航空機 A380 型機は，シンガポール航空が世界に先駆けて 2007 年 10 月よりシドニー路線に就航した．2008 年の 3 月からロンドン路線に就航し，世界で第 3 番目である成田路線の就航により，日本に初めて A380 が就航された[5]．その後外資系航空会社の A380 型機成田路線就航が続いたが，

© 2017 The Japan Society of Mechanical Engineers

羽田空港の国際化を境に，成田路線の機材を A380 型機からダウンサイジングする航空会社もみられる．エエアバス社の A350WXB は，B787 型機の対抗機種として開発され，2015 年 1 月からカタール航空のドーハ-フランクフルト線に就航した[6]．これまでエアバス機材を導入する日系航空会社は少なかったが，日本航空(株)が 2013 年 10 月に A350-900 型機 18 機および A350-1000 型機 13 機からなる確定 31 機，およびオプション 25 機の購入契約を締結した[7]．

国内では，P-3C の後継機として防衛省が 2001 年度より開発を進めてきた P-1 固定翼哨戒機の量産初号機が，2013 年 3 月，川崎重工業(株)岐阜工場において防衛省に納入された[8]．また，航空自衛隊の C-1 輸送機の後継機として，防衛省が 2001 年度より開発を進めてきた C-2 輸送機の量産初号機が，2016 年 6 月納入された[9]．

ホンダエアクラフトカンパニーが開発した HondaJet は，2015 年 12 月米国連邦航空局より型式証明を取得，同 12 月に引き渡しが開始された[10]．三菱航空機(株)が開発中の国産旅客機 MRJ（Mitsubishi Regional Jet）飛行試験機の初飛行が，2015 年 11 月に実施された[11]．

18.5.3　宇宙開発に関する話題

「きぼう」日本実験棟は，3 回のスペースシャトル・ミッションに分けて打ち上げられ，土井隆雄(2008 年 3 月)，星出彰彦(2008 年 6 月)，若田光一(2009 年 7 月)，宇宙飛行士により，国際宇宙ステーション（ISS）に取り付けられた[12]．若田光一宇宙飛行士は，2009 年 3 月～7 月の期間 ISS に滞在し，日本人として初めての ISS 長期滞在となった．2009 年 5 月から ISS は 6 人体制へと増員され，野口聡一(2009 年 12 月～2010 年 6 月)，古川聡(2011 年 6 月～11 月)，星出彰彦(2012 年 7 月～11 月)，若田光一(2013 年 11 月～2014 年 5 月)，油井亀美也(2015 年 7 月～11 月)，大西卓哉(2016 年 7 月～10 月)，宇宙飛行士が，ISS に長期滞在した[13]．ISS へ補給物資を運ぶための無人の宇宙船である，宇宙ステーション補給機「こうのとり」（H-II Transfer Vehicle: HTV）は，2009 年 9 月，1 号機の打ち上げに成功した．以降，年間約 1 機のペースで打ち上げが続き，2016 年 12 月に 6 号機が打ち上げられた．利用実験関連品のみならず，搭乗員関連品として，食料，飲料水等が搭載され，ISS 計画を支えている[14]．

〔手塚 亜聖　早稲田大学〕

参考文献

(1) 国籍/月別 訪日外客数（2003 年～2017 年），日本政府観光局
http://www.jnto.go.jp/jpn/statistics/since2003_tourists.pdf　（参照日 2017 年 3 月 2 日）

(2) 国土交通白書 2016，国土交通省
http:// www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h27/hakusho/h28/html/n2613000.html　（参照日 2017 年 3 月 2 日）

(3) アニュアルレポート 2012 年，ANA グループ
http://www.anahd.co.jp/investors/data/annual/pdf/12/12_00.pdf　（参照日 2017 年 3 月 2 日）

(4) JAL グループ，2012 年度の路線便数計画の一部変更を決定，日本航空プレスリリース
http://press.jal.co.jp/ja/release/201208/001511.html　（参照日 2017 年 3 月 2 日）

(5) シンガポール航空，エアバス A380 を 5 月 20 日から東京路線に就航，シンガポール航空ニュースリース
http://www.singaporeair.co.jp/A380_japan/　（参照日 2017 年 3 月 2 日）

(6) エアバス A350 WXB 初の商業運航便がフランクフルト空港に到着，カタール航空
http://www.qatarairways.com/jp/jp/press-releases/a350.page　（参照日 2017 年 3 月 2 日）

(7) JAL，エアバス社 A350 型機の導入を決定，日本航空株式会社 エアバス株式会社 共同リリース
http://press.jal.co.jp/ja/release/201310/001842.html　（参照日 2017 年 3 月 2 日）

(8) 海上自衛隊向けＰ－１固定翼哨戒機の量産初号機を納入，川崎重工ニュース
https://www.khi.co.jp/news/detail/20130326_1.html　（参照日 2017 年 3 月 2 日）

(9) 航空自衛隊向けＣ－２輸送機の量産初号機を納入，川崎重工ニュース
https://www.khi.co.jp/news/detail/20160630_1.html　（参照日 2017 年 3 月 2 日）

(10) HondaJet 引き渡しを開始，Honda ニュースリリース
http://www.honda.co.jp/news/2015/c151224.html　（参照日 2017 年 3 月 2 日）

© 2017 The Japan Society of Mechanical Engineers

(11) MRJ　初飛行を実施,三菱重工ニュースリリース
http://www.mhi.co.jp/news/story/151111.html　(参照日 2017 年 3 月 2 日)
(12) 「きぼう」組立ミッション，宇宙航空研究開発機構
http://iss.jaxa.jp/kibo/mission/　(参照日 2017 年 3 月 2 日)
(13) これまでの JAXA 宇宙飛行士による ISS 長期滞在，宇宙航空研究開発機構
http://iss.jaxa.jp/iss/jaxa_exp/#jaxa_astronauts_iss　(参照日 2017 年 3 月 2 日)
(14) 宇宙ステーション補給機「こうのとり」，宇宙航空研究開発機構
http://iss.jaxa.jp/htv/　(参照日 2017 年 3 月 2 日)

18.6　昇降機

18.6.1　概況

この 10 年間における国内の昇降機の設置台数の推移を図 9 に示す[1]．新設台数は 2006 年度には 41,354 台であったがその後減少が続き，2008 年のリーマンショック以降では 26,000 台付近まで低下した．その後やや増加し 2015 年度では 28,587 台となっている．一方，既設エレベータのリニューアル（撤去新設,制御リニューアル含む）は 2010 年度では 7,002 台であったが,2015 年度では 12,192 台と 5 年間で 7 割程度増加した．1970 年前後の高度経済成長期に設置されたエレベータがリニューアルの時期を迎えていること，および安全基準の見直しが背景となっている．

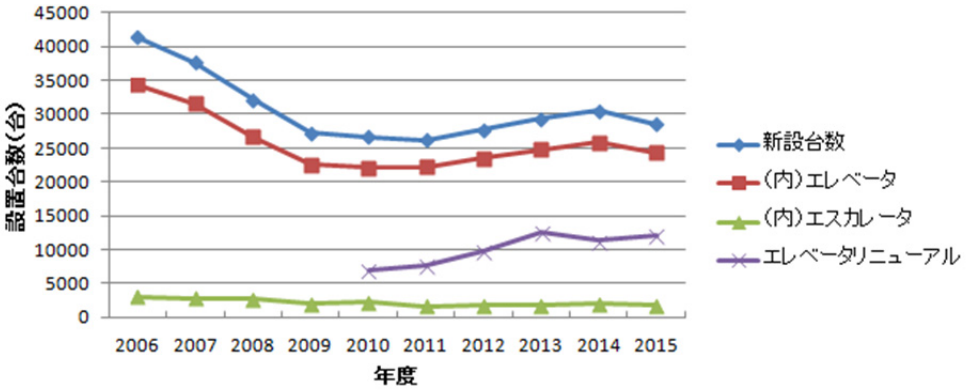


図 9　昇降機の設置台数の推移

18.6.2　技術動向

18.6.2.1　安全に関する技術基準の見直し

2008 年にエレベータの構造等に関する建築基準法施行令・建築基準法施行規則の一部および国土交通省告示が改正され，エレベータの安全に係る技術基準の見直しが図られ，戸開走行保護装置とエレベータの地震時管制運転装置の設置義務付けがなされた[2]．戸開走行保護装置とは，駆動装置及び制御器に故障が生じ,かごの停止位置が著しく移動した場合，又はかご及び昇降路のすべての出入口の戸が閉じる前に，かごが昇降した場合に，自動的にかごを制止する装置である．また，地震時管制運転装置は地震等が発生した際にかごを最寄階へ停止させる装置である．これらの装置により利用者の安全の確保が強化されている[3]．

18.6.2.2　耐震技術の進歩

エレベータは乗りかごを吊るロープやケーブルなどの長尺物が地震時に大きく揺れて運行に支障をきたすことがあるため，さまざまな技術が開発されている．例えば，比較的長い周期の長周期地震に対し，ロープの揺れ量（振幅）を推定し管制運転する長周期地震感知器[4][5]や，ロープ振れを減衰させる振れ制振装置などが開発されている[6]．

© 2017 The Japan Society of Mechanical Engineers

18.6.2.3　超高速化・大容量化技術の進歩

ビルの超高層化を背景にエレベータの超高速・大容量化が進み，2012 年に東京で分速 600m,40 人乗りの大容量エレベータが設置された[7]．また，2015 年には上海で分速 1080m，2016 年に広州で分速 1200m の超高速エレベータが設置された[8] [9]．これらは，300kW クラスの大容量永久磁石モータとその制御技術，乗りかごのアクティブ制振や空力騒音低減技術の進歩により実現したものである．

18.6.3　今後の展望

近年，海外を中心としてエレベータの行先階管理システムが導入される例が増えている[10]．各利用者が入力装置に行先階を入力すると，目的階まで早く到着するエレベータの号機を表示し，利用者を効率的に誘導するシステムであるが，このように利用者を目的階に早く到達可能とする技術は，今後，ビル内の人の流れを予測する技術などが融合し更なる進歩が考えられる．また，昇降機における省エネルギー化の流れは，駆動方式として永久磁石式モータの適用（ギヤレス化）による機械効率向上や，制御方式もリレー・交流制御がマイコン・インバータ制御化により電力変換効率の向上が図られてきた．将来の技術展望としては，炭素繊維を用いた高強度ロープによる軽量化や，SiC 素子の適用による電力変換効率向上などがあげられる．また，蓄電技術の向上により，昇降機の運行で発生する回生電力を蓄え，オフピーク電力や自然エネルギーとの併用により電力利用の平準化を図れるなど，社会全体での省エネルギー化が一層進むものと考えられる．

〔安部　貴　(株)日立製作所〕

参考文献

(1) 一般社団法人日本エレベータ協会,昇降機台数調査報告，協会月報

(2) 一般財団法人日本建築設備・昇降機センター，一般社団法人日本エレベータ協会，“昇降機技術基準の解説 2014 年版”

(3) 一般社団法人日本エレベータ協会,エレベータの安全対策,
http://www.n-elekyo.or.jp/safety/elevator.html

(4) 中山徹也，宮田弘市，関谷祐二，重田政之ほか,“長周期地震発生時のエレベータ長尺物揺れ予測”，昇降機・遊戯施設等の最近技術と進歩　講演論文集，No06-67

(5) 日本機械学会,交通物流部門ニュースレターNo.36,
https://www.jsme.or.jp/tld/home/topics/no036/topics3.html

(6) 日本機械学会,交通物流部門ニュースレターNo.47,
https://www.jsme.or.jp/tld/home/topics/no047/topics6.html

(7) 日本機械学会,交通物流部門ニュースレターNo.45,
https://www.jsme.or.jp/tld/home/topics/no045/topics1.html

(8) 日本機械学会,交通物流部門ニュースレターNo.50,
https://www.jsme.or.jp/tld/home/topics/no050/topics5.html

(9) 日本機械学会,交通物流部門ニュースレターNo.48,
https://www.jsme.or.jp/tld/home/topics/no048/topics6.html

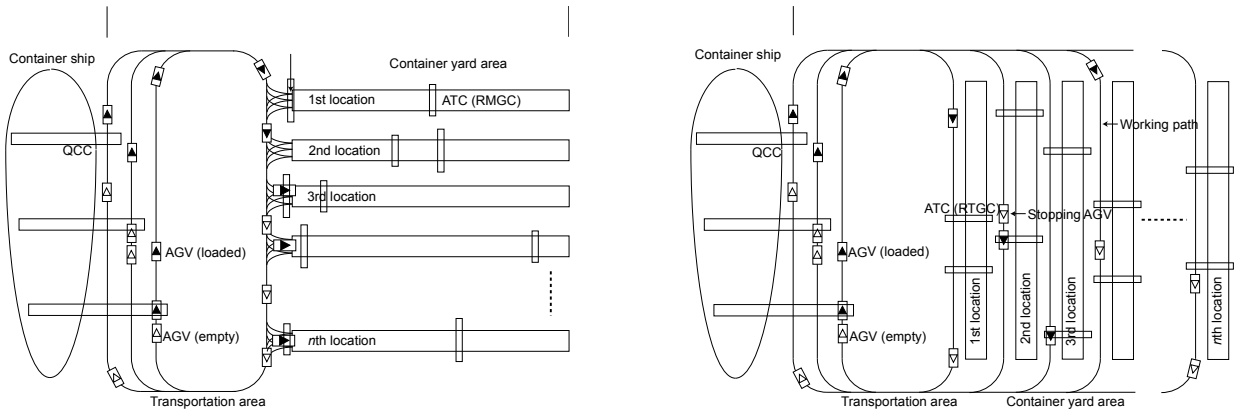
(10) 日本機械学会,交通物流部門ニュースレターNo.51,
https://www.jsme.or.jp/tld/home/topics/no051/topics5.html

18.7　荷役運搬機械

18.7.1　コンテナターミナルの自動化に向けた可能性

近年，日本の港湾におけるコンテナ取扱量は年々増加しており，これに対応するため，既存のコンテナターミナルの整備や新たなコンテナターミナル施設が求められている．これらが目指すところは，ターミナルにおけるコンテナ荷役・運搬作業の効率化に加え，自動化である．図 10 は，コンテナターミナルにおける最も代表的な二つのレイアウトを示している．

© 2017 The Japan Society of Mechanical Engineers



（a）垂直型レイアウト　　（b）水平型レイアウト

図 10　既存のコンテナターミナルの上面図

図 10(a)は，ドイツのハンブルグ港などで導入されている自動化コンテナターミナルのレイアウトである．海側にコンテナ船が停泊している．コンテナ蔵置ヤードが岸壁に対して垂直に配置されていることから，垂直型と呼ばれている．一方図 10(b)は，名古屋飛島埠頭の自動化コンテナターミナルで採用されているレイアウトを示している．コンテナ蔵置ヤードが岸壁に対して水平に配置されていることから，水平型と呼ばれている．

一般的に，コンテナターミナルを新設する場合，荷役・運搬作業の自動化には垂直型が適しているとされている．これは，コンテナ蔵置ヤードにてコンテナを把持したまま往来することのできる鉄道車輪式のクレーン（RMGC: Rail Mounted Gantry Crane）を導入することで，海側の自動化された作業と，陸側の手動作業を分離することができるためである．しかしながら我が国の埠頭には，新設のための土地は残されていない．そこで，既存の水平型ターミナルで稼動しているゴムタイヤ式のクレーン（RTGC: Rubber Tired Gantry Crane）や，コンテナ運搬車である AGV（Automated Guided Vehicle）の作業を自動化することが求められている．

18.7.2　ターミナルシミュレータによる荷役・運搬作業の検討

水平型のコンテナターミナルには，先に挙げた RTGV や AGV といった自動化荷役・運搬機器だけでなく，岸壁ではガントリークレーンが稼動し，陸側からは有人シャーシが入構してくる．ターミナル自体が大規模であることから，各機器の作業の効率化，あるいは一部機器の自動化に向けては，シミュレーション技術が有効である（図 11）．

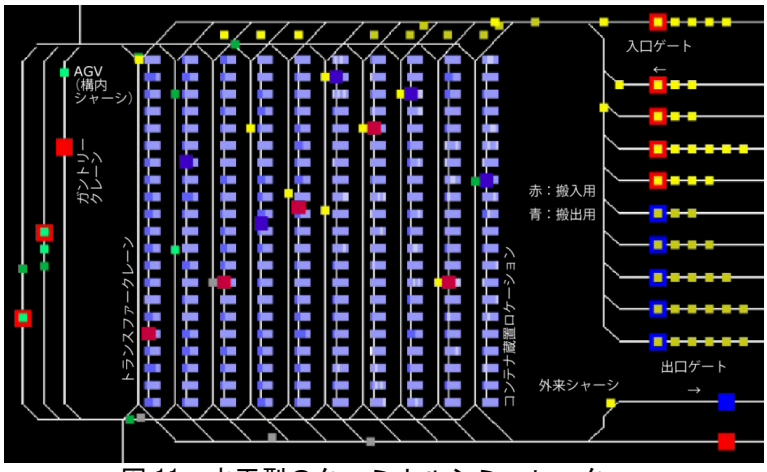


図 11　水平型のターミナルシミュレータ

ここでは，AGV へのコンテナ運搬タスクの割り当てやスケジューリング，RTGC の運行管理および協調に関する技術が開発され，本シミュレータを通じてその有効性に関する検討が行われてきた．さらに，有人シャ

© 2017 The Japan Society of Mechanical Engineers

ーシに対しては，ゲートで入構を制御することによりコンテナ蔵置ヤード内での混雑が緩和され，ターミナル全体としての作業効率が改善することも明らかにされた．

18.7.3　自動化に向けた安全性と効率性の課題

水平型のターミナルでは，蔵置ヤード内にて，自動化された RTGC と AGV そして有人のシャーシが共存して荷役・運搬作業を行うこととなる．このとき，作業に携わる人間の安全性と作業そのものの効率性は，互いにトレード・オフの関係にある．そのため，安全性を確実にした上で，効率性をいかにして向上させられるかが自動化に向けた鍵となる．

近年，計算機能力の飛躍的な向上により，従来困難であったビッグデータの取り扱いが可能となり，AI（人工知能）の進化と相まって，車の自動運転が実現しつつある．RTGC や AGV の自動化にも，当然これらの技術が適用できるものと考えられる．さらに，IoT（Internet of Things）の活用により，ターミナルにおける機器の情報に加え，船会社，運送会社，顧客からの情報など，多様な需要に対応できるものと期待される．我が国のコンテナ取り扱いに関する国際的な競争力を高めるためには，これらスマートターミナルの実現が必要不可欠であり，次の 10 年では，そのための技術的なブレークスルーが求められる．

〔星野　智史　宇都宮大学〕

© 2017 The Japan Society of Mechanical Engineers