

一般社団法人日本機械学会 2014年度(第92期)定時社員総会特別企画  
「オリンピック・パラリンピックと日本機械学会」  
アスリートに対して工学的観点から力の有効的な使い方の提言  
流体工学部門 望月 修(東洋大学)

体を鍛え、力をつけるだけでは勝てない。力学を使い、力を如何に巧く使うかを知る必要がある。また、それを実現できる道具作りは工学が担う役割である。データに基づき秘策と工学が協同して、勝てる選手作り、勝てる道具作りを行う。その方法について提言する。

第1回から第30回まで日本の獲得した金メダルの推移を図1に示す。1964年東京オリンピック時には16個の金メダルを獲得している。図1のグラフを見ると40年周期で酷似したパターンが表れている。このままのパターンでいくと2044年に再び16個の金メダルの数が予想できるが、そんなには待てられない。東京オリンピックで行われる競技は28であるので、それぞれに1個ずつ取ったとして28個であるから、全種目で取れるような秘策を考えねばならない。

日本人特性に基づく秘策:日本人が一生懸命になれる持続力が2回分8年である。この傾向から2020年の東京において金メダルが期待できる種目は、ずばりボクシング、水泳、サッカー、卓球、ゴルフおよびマイナーな競技である。秘策1:これらの競技を集中的に強化する。秘策2:バイオメタックス的流体力学に則った泳法の開発を行う。秘策3:これまでの実績から北海道および茨城出身者をアスリートにする。秘策4:修行僧のようではなくタレント的アスリートの養成をする。

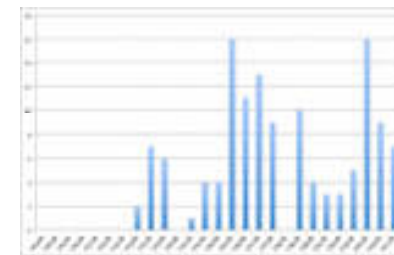


図1 夏期オリンピック日本の金メダル獲得推移

物理・工学に基づく秘策:全ての競技は空気や水といった流体中で行われるのであるから、全てに流体力学が関与する。ボールを扱う競技ではボールを離す瞬間しかコントロールが効かない。物理的秘策1:流体力学を理解することが重要である。物理的秘策2:流体力学的観点から流体抵抗を利用もしくは低減するためのウェアの開発をする。物理的秘策3:アスリート自身が理論・解析にもとづく計算、実験を行い、走り方を物理的に理解する研究者とする。物理的秘策4:体重を増やし、摩擦を有効に使えるようにする。陸上で走ったり跳んだりできるのはシューズ底面と地面との摩擦があるからこそである。日本人は体重が他国の選手に比べると少なすぎるので、レースの後半で差が付いてしまう。物理秘策5:物理を考えたフェイントを使って人の動きを逆にさせることが重要である。日本人はどうしても策を練って姑息なことをするのが苦手である。しかし、物理的な方法という立派な科学を使えば正統な手段で行うので、人をだますわけではない、と納得させる。

一般社団法人日本機械学会 2014年度(第92期)定時社員総会特別企画  
「オリンピック・パラリンピックと日本機械学会」  
**MEMSセンサによるスポーツの定量化**  
マイクロ・ナノ工学部門 下山 勲(東京大学)

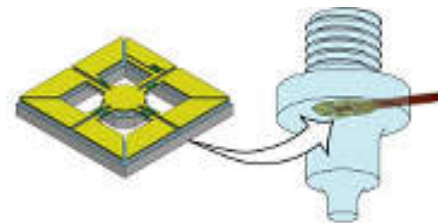
スポーツをする人の運動は、筋肉が発生する内力と、重力や地面からの力など体表面に働く外力で決まる。したがって、人に働く外力を実環境実時間で計測し、身体の運動と合わせて解析すれば、筋肉の発生する内力の計算ができる。たとえば、競走では、靴を介して働く地面からの力を、ビデオやモーションキャプチャなどとともに計測することで、地面から効率よく力を得るためのフォーム、筋肉が発生する力について、実験的な解析ができると考えている。

これまで、地面が人に与える力を直接計測するには地面に固定されたフォースプレートやノーマル(圧力)方向の力センサが用いられてきた。しかしながら、前者では実際に競技場を走るときの力が計れないこと、後者では地面に平行に働く摩擦力が計れないことが課題であった。

われわれは、体表面に働くカベクトルの面分布を、運動に影響を与えず自然に計測するために、薄い弾性体に梁型力センサを埋め込んだものを使っている。梁型力センサの材料はシリコンで、表面にピエゾ抵抗層が形成されている。ピエゾ抵抗は金属ゲージに比べて2桁ほど大きなゲージ率をもち、ヤング率の大きな材料の微小変形や、小さな力に対する微小変形を、金属歪ゲージより高感度に計測できる。この歪の値から材料に加わるせん断応力を含む3次元応力が計算でき、カベクトルに変換できる。さらに、微細加工技術で薄く微小な梁型力センサが作れるので、運動に影響を与えない。

このセンサを使って、スパイクピンに働く力、靴面に働く力等を計測し、解析をしている。競走以外でも、跳躍や投擲競技などについても同様の計測と解析が行えよう。さらに、スケートなどの氷上競技で、氷との間の摩擦を実環境実時間定量的に計測することによって、運動の解析と理解がさらに深まるものと考えられる。

本研究はJSPS科研費(特別推進研究)25000010の助成を受けたものの一部です。



一般社団法人日本機械学会 2014年度(第92期)定時社員総会特別企画  
「オリンピック・パラリンピックと日本機械学会」  
メディアとしての義肢装具  
機素潤滑設計部門 遠藤謙((株)SonyCSL/(株)Xiborg)

人間の身体にはまだまだ隠された機能があり、それを引き出すことによって人間の生活スタイルは激変する可能性を秘めている。人間の身体の科学はさまざまなセンサや計測装置の技術の進展により解明されつつも、高齢化社会や障害者のような身体能力が健常者よりも顕著に劣っている状態を改善するような技術の開発にはまだまだ課題を残している。言い方を変えれば、身体能力が劣っているという現象は、身体能力を補うための技術のほうが無成熟のためにおこっている社会的現象である。つまり、技術的に身体機能を補間、あるいは拡張することができれば、障害者、健常者、高齢者の身体機能の境界線がなくなり、身体能力の欠如に対するネガティブな考え方も変えることができると考えられる。

私は、このような問題解決のために以下のような要素が重要であると考えている。

1. 身体の科学のさらなる解明

人間の神経系、反射系、筋肉骨格系、脳にまで及ぶ身体のシステムを紐ほどき、身体運動を考慮した技術のデザインが必要となる。

2. 多様性の許容

人間には多大な多様性があるため、個人の個性や症例に合わせた技術がより大きな効果を生むと考えられる。多様性の許容は、これまで合理性を優先してきた大量生産大量消費の考え方で生まれてきたプロダクトではなく、経済成長を終え、生活の質を工場させるための多品種少量生産がある程度可能となった日本が目指す一つの方向性である。一方で、ビジネスとしてまわすための、コストと効果のバランス感覚も問われる。

3. 研究チームの多様性

研究チームには、さまざまな領域の専門家が参加することはもちろんのこと、できればアーリーアダプターにあたるユーザをも開発チームに含めることが望ましいと考えている。プロトタイプ段階からフィードバックを得られるため方向修正が早期にできるためである。

私は、義肢装具というメディアを通してこれらのことを体現していきたいと考えている。本発表では、これまでに行ってきた競技用義足、ロボット義足などの紹介をし、今後どのような展開を考えているかを紹介する。2020年、東京オリンピック・パラリンピックを向かえ、日本は大きな変革を向かえる。本発表では、パラリンピックをこうした技術の進展の一つの好機として捉えつつ、その後の技術や社会の方向性の一つも示したいと思う。



一般社団法人日本機械学会

Copyright© The Japan Society of Mechanical Engineers All Right Reserved

一般社団法人日本機械学会 2014年度(第92期)定時社員総会特別企画  
「オリンピック・パラリンピックと日本機械学会」  
競技スポーツをサポートする計算力学  
計算力学部門 松田昭博(筑波大学)

### 競技スポーツと計算力学

スポーツで用いる自転車、シューズ、スポーツウェア、ボール、用具などの設計・開発において、コンピュータシミュレーションを用いて剛性や風の抵抗などの評価を行うCAE(Computer Aided Engineering)の導入が進んでいます。

ここで、スポーツを行う際の衣服であるサイクリングウェア、ランニングタイツ、競泳水着などのスポーツウェアに着目すると、これらはよく伸びるけれども剛性の低いニット素材で製作されてきました。しかし、現在では剛性が従来より高く、ひずみで60%以上の高い伸張性を示す織物素材が開発されたことによって、高い衣服圧を生じるスポーツウェアの製作が可能となっています。さらに、将来はこれらのスポーツウェアに対してアスリートのパフォーマンス向上や疲労軽減等の機能を加えることが期待されています。

スポーツウェアの設計・開発に対してFEMなどのCAEを導入することは、これまで定量的に把握することが難しかった衣服圧や関節や筋肉へ及ぼすスポーツウェアの力学的な影響などを予測・評価することが可能となります。そのため、FEMなどで用いる織物素材の伸びと応力を示す材料モデルについての検討がなされていますが、ニット素材、織物素材とも大きく引き伸ばされる際の力学特性が非線形で、さらに引張をうける方向によって異方性を示すなどの課題もあります。

### 計算力学を用いたスポーツウェアの性能評価

計算力学を用いたスポーツウェアの性能評価の一例として、人体の動きを再現した3Dのコンピュータグラフィックスと水着やタイツなどの材料モデルのカップリングによってスポーツウェアの人体に与える影響の評価などが試みられています。これらの計算力学的な手法を用いることで、素材の微細な特徴が計算結果に正確に反映される利点があります。今後、アスリートによる評価に加えて、これらの計算力学を用いた設計手法の導入によって、これまでよりも高機能なスポーツウェアの開発が可能となることが期待されています。



スポーツ用コンプレッションタイツとCAEを用いた応力の可視化

一般社団法人日本機械学会 2014年度(第92期)定時社員総会特別企画  
「オリンピック・パラリンピックと日本機械学会」  
スポーツ用具における繊維強化複合材料の適用  
機械材料・材料加工部門 谷口憲彦(株式会社アシックス)

スポーツ・レジャーを取り巻く近年の環境は、健康志向に基づいたウォーキングやジョギング・ランニングの世界的ブームの影響もあり非常に活気に満ちているといえる。さらに、2020年には東京でオリンピックが開催されることもあり、特に国内におけるスポーツ・レジャー産業の益々の発展は今後も期待されるであろう。

近年、ボーイング787におけるカーボン繊維強化プラスチック(Carbon Fiber Reinforced Plastics: CFRP)の採用やBMW i3のRTM (Resin Transfer Molding)生産ラインの稼働など、様々な産業領域において繊維強化複合材料の適用が行われているが、スポーツ・レジャー産業におけるFRP適用の歴史はさらに古く、その適用競技領域も多岐に渡る。ゴルフシャフト、釣竿、スキー・スノーボード、テニスラケットにおいては、ハンドレイアップ法やプリプレグを積層し加熱・加圧による量産も行われており、多くのユーザーの方々が使用する光景をよく見かける。

本報告では、スポーツ用具に対するFRPの最新適用動向について、短距離用陸上スパイクのソール全面にCFRPを用いた事例を紹介する。トップアスリートによる検証実験より、FRPのもつ優れた機械的性質はスポーツ・レジャー用具に対しても優位な機能性を発揮することに役立つことを示した。しかしながら、優れた機械的性質をもつ反面、スポーツ・レジャー分野や自動車分野といったいわゆる“民生品”に対しては材料コストや成形コスト等に大きなハードルがあることも事実である。これからの将来、スポーツ・レジャー分野においてもFRPの適用範囲は拡大することが期待されるが、安定した品質のものを効率よく製造できる生産技術を構築できるか否かで結果は大きく異なると予想される。



Fig. CFRPソールを搭載した短距離用シューズ

一般社団法人日本機械学会 2014年度(第92期)定時社員総会特別企画  
「オリンピック・パラリンピックと日本機械学会」  
パラリンピックを経験して  
スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス部門 山本篤 (スズキ浜松アスリートクラブ)

日本の義足陸上選手が初めて出場したのが、シドニーパラリンピックであり、私が義足になったのも同じ年だった。義足になったことで、パラリンピックに興味を持ち、少しだけテレビや新聞等で目にした。

その後、2002年に本格的に陸上競技を開始した。2003年には、日本記録となる13秒83の記録を出したが、A標準記録に届かずアテネパラリンピックに落選。もっと強くなりたいと思い、大阪体育大学陸上競技部の門をたたいた。そして、現在のコーチである伊藤章氏と出会う。義足選手がスポーツ推薦で大学に入学したことは、日本では初めてであった。健常者と同じ陸上競技部に所属し、短距離チームと同じ練習をおこなった。さらに、練習と並行して動作分析を定期的に行い、伊藤コーチと共にフォームチェックや練習の方向性を決定していった。

その結果大学時代には、100mで1秒、走幅跳で1.5m記録を伸ばすことができた。

2008年、北京パラリンピックに出場し、日本義足選手初となる走幅跳で銀メダル獲得。

2012年、ロンドンパラリンピックに陸上チームのキャプテンとして出場。

100m200m走幅跳の3種目で入賞。

2013年、IPC世界選手権では、走幅跳で金メダル獲得。

2012年から競技用義足は、「広く一般的に販売されていること」という一文が大きく打ち出された。しかし、各メーカーは販売したことを発表したが、義足が一般の競技者に届いたのは、パラリンピック終了してからであった。使用することができたのは、各メーカーのサポート選手だけであった。

東京パラリンピックに向け、開発競争になる可能性がある。しかし、選手が求めるものは、そこで活躍できるモノではなく、継続的にサポートできるモノである。



一般社団法人日本機械学会

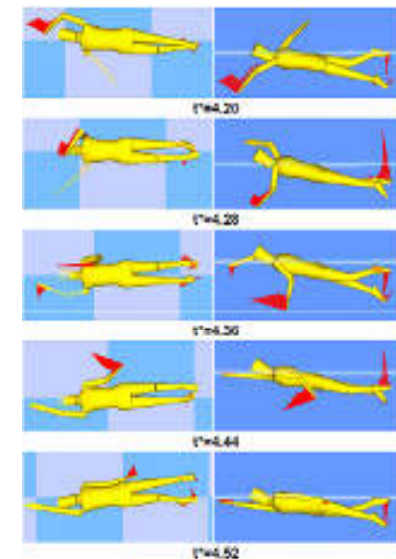
Copyright© The Japan Society of Mechanical Engineers All Right Reserved

一般社団法人日本機械学会 2014年度(第92期)定時社員総会特別企画  
「オリンピック・パラリンピックと日本機械学会」  
スポーツにおける生体工学・福祉工学～事例を交えて  
バイオエンジニアリング部門 中島 求 (東京工業大学)

オリンピック・パラリンピックなどの競技スポーツにおける主役である人間を直接研究対象として扱うのが、生体工学、すなわちバイオエンジニアリングであり、日本機械学会の中でも本部門の意義は大きい。バイオエンジニアリングがスポーツに貢献できることは多々存在し、現在も多くの研究者が関連研究を行っている。ここで、「エンジニアリング」は「新たなモノを生み出す学問」であり、ここで言うモノとは形ある物体(機械, 用具, etc)だけでなく、身体動作やスキルまでも含まれる。そのような観点から講演者は、水泳というスポーツについて、スキルや用具を生み出すための研究を行っている。

右上図はクロール泳におけるストローク(腕のかき動作)の最適化の結果であり、泳ぎのエネルギー効率を最大化するストロークを、競泳選手の筋力発揮特性をモデル化して拘束条件として課した上で求めたものである。一番右上の無次元時間が4.20のときに、左ひじが高く保たれたフォームとなっているが、これはハイエルポーと呼ばれる比較的長距離の場合に良いとされる泳ぎ方であり、このような合理的な動作が数理的に導出可能な段階にまで来ている。

右下図は片大腿切断の障がいを負ったスイマー向けの水泳用義足である。パラリンピックでは義足の着用は水泳で認められていないが、このような義足を装着することにより、泳ぎの様相が劇的に変化することがわかっており、障がいを負った競技スイマーの普段のトレーニングや、一般スイマーの日常のエクササイズ用としても期待ができる。



クロール泳のストローク最適化結果



片大腿切断障がい向け水泳用義足

一般社団法人日本機械学会 2014年度(第92期)定時社員総会特別企画  
「オリンピック・パラリンピックと日本機械学会」  
生涯スポーツに関する技術と社会  
技術と社会部門 中西 義孝(熊本大学)

【生涯スポーツとは】

オリンピックやプロスポーツに代表される「競技スポーツ」ではなく、子供から高齢者まで、だれでも楽しみを求め、健康づくりや社交の場として身近な生活の場に取り入れていくものを「生涯スポーツ」と呼ぶ。

【生涯スポーツ社会の実現】

生涯スポーツ社会の実現は、明るく活力ある社会を形成していく上で、我が国の重要な課題である。スポーツ振興基本計画(文部科学省)では、生涯スポーツ社会の実現に向けた数値目標として、「できる限り早期に成人の週1回以上のスポーツ実施率が2人に1人(50パーセント)となることを目指す」となっている。

【生涯スポーツの種類】

従来からのスポーツ種目に加え、「ニュースポーツ」が急速に普及している。スポーツを行う場所も、山、海、空に広がっており、豊かな自然の中で行われる「アウトドアスポーツ」を楽しむ人々が増えるなど、スポーツ活動の多様化が進んでいる。

[ニュースポーツ] グラウンド・ゴルフ、パークゴルフ、インディアカ、ドッチビー、  
スポーツ吹矢、パデル、スポーツチャンバラ、など

[アウトドアスポーツ] オリエンテーリング、ホステリング、ネイチャーゲーム、など

【明るく活力ある社会を形成するために、、、】

明るく活力ある社会を形成するために、国民一人一人が人生最後の時を迎えるまで、心身ともに健康であることが望ましい。そのためには予防医学・抗加齢医学に基づいた「総合的な体づくりのサポートシステム」が必要である。



公益社団法人 日本グラウンド・ゴルフ協会 提供

一般社団法人日本機械学会

Copyright© The Japan Society of Mechanical Engineers All Right Reserved

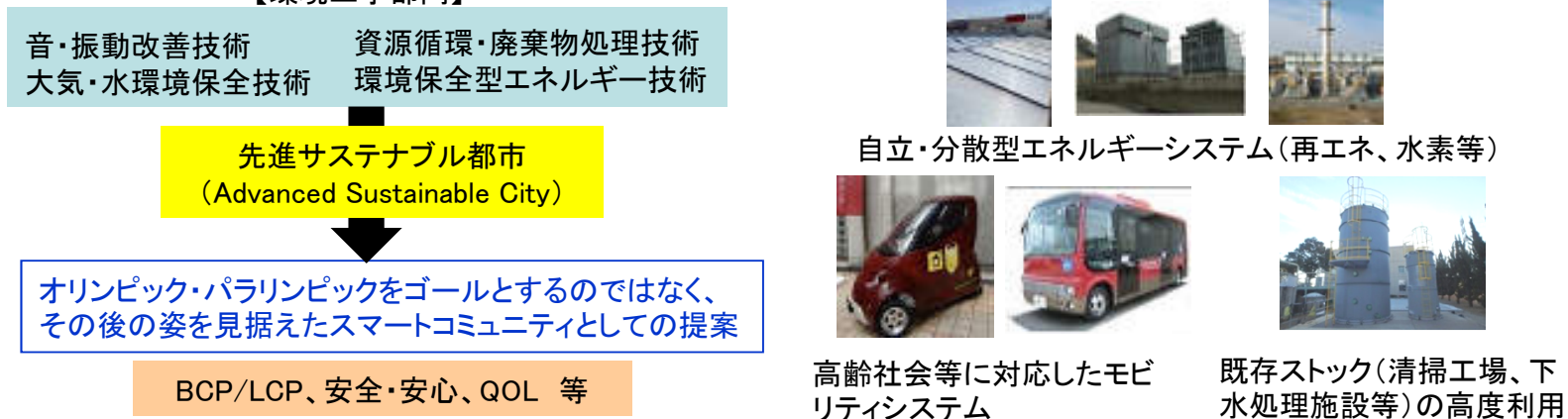


一般社団法人日本機械学会 2014年度(第92期)定時社員総会特別企画  
 「オリンピック・パラリンピックと日本機械学会」  
 環境工学部門からの発信～オリンピック後の姿を見据えて～  
 環境工学部門 小野田弘士(早稲田大学)

〔発表概要〕

環境工学部門では、先進サステナブル都市(Advanced Sustainable Cities)をキーワードに、音・振動改善技術、資源循環・廃棄物処理技術、大気・水環境保全技術、環境保全型エネルギー技術などの技術分野を中心に研究活動を行っている。東京オリンピック・パラリンピックは、環境工学部門のノウハウ・知見を結集し、先進サステナブル都市を実現するまたとない機会である。一方、真の意味でサステナビリティを実現するためには、オリンピック・パラリンピックをゴールと位置付けた一過性のものでなく、既存コミュニティとの融合やその後の姿を見据えたアプローチを行うことが必要不可欠である。これらは、昨今、注目を集めているスマートコミュニティの議論と通じるものがあり、その実現に向けて必要となるアプローチを国内外の動向を踏まえて報告する。具体的には、BCP・LCP、安全・安心、QOL等の市民ニーズに対応したコンセプトデザインに基づき、それを支える再生可能エネルギーや水素エネルギー等を導入した自立・分散型エネルギーシステム、モビリティシステム等の次世代型の社会インフラを構築することが重要である。さらに、清掃工場や下水処理施設等の既存ストックを効果的に活用することで廃棄物やバイオマス等の未利用資源・エネルギー利用の高度利用が実現される。さらに、これらのノウハウをパッケージ化し、アジア等へのインフラ輸出につなげることで、わが国の産業力強化にも貢献することが可能となる。

【環境工学部門】



一般社団法人日本機械学会 2014年度(第92期)定時社員総会特別企画  
「オリンピック・パラリンピックと日本機械学会」  
**自動走行システム実現への取り組み～2020年東京に向けて～**  
交通物流部門 内村孝彦(ITS Japan)

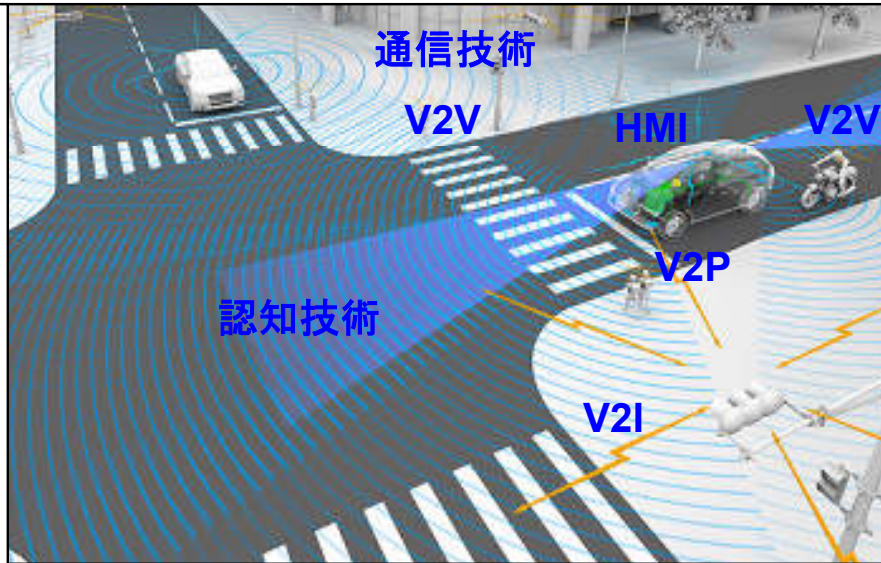
① 自動運転に対する期待

自動運転の実現が目的ではなく、自動運転/技術により交通課題を改善することが目的である。世界で共通に、安全、Mobility, 環境に対し、自動運転技術の活用による改善が期待されている。交通事故の90%以上がニューマンエラーにより発生する安全問題の改善、交通渋滞による社会的ロスの低減、排出ガス低減による環境改善に自動運転技術を活用した取り組みが進められている。クルマの高度化のみでなく、検知、通信、インフラ、新たな交通システムなどの幅広い領域でのビジネス創出にも期待が持たれているが、解決すべき課題も多い。

② 自動運転実現に向けた課題

自動運転の実現には、クルマが走行する上での重要な機能である認知、判断、操作を自動化して目的とする機能を達成させることである。認知機能には、走行環境情報、周囲の検知技術、周辺環境の先読み技術、周囲を走行する車両を含めた道路利用者、インフラなどとの連携が要求される。以下に各所で議論されている主要技術課題例を示す。

- ・地図情報の高度化
- ・通信技術活用先読み情報生成
- ・センシング能力の向上
- ・人とシステムの関わり:HMI
- ・システムセキュリティ
- ・信頼性



③ 自動運転実現に向けた課題

技術課題のみでなく、社会導入に向けた下記課題解決が必要。

- ・制度、基準、認証、標準
- ・市場導入の進め方
- ・必要なインフラの整備
- ・利用者の受容性、教育

自動運転技術の社会導入には多くの資源投入が必要であり、どのような効果が得られるのか等、社会、経済面への影響評価を示していくことも重要である。

どのような自動運転技術をどのような条件、環境で実現するのか? 自動運転車両を導入するためにどのような評価が必要か? どのように認可するか? 不具合の際の責任所在等、難しい課題が存在する。

④ 課題解決に向けた世界の取り組み

欧米における自動運転に対する期待と、取り組み状況、国際連携活動について日本を含めた最近の動向を報告する