

# MEMS 分野

MEMS (Micro Electro Mechanical Systems: 微小電気機械システム) とは、電気回路 (制御部) と微細な機械構造 (駆動部) を一つの基板上に集積させたセンサやアクチュエータなどのデバイス・システムのことであり、我が国の強みである半導体製造技術やレーザー加工技術等の微細加工技術に代表されるナノテクノロジーや各種材料技術等を駆使して製造される。MEMS の最大の特徴は、様々な機能を持ったデバイスの小型化や集積化を実現している点にある。例えば、MEMS の代表格であるセンサは小さい方が望ましく、微小化することで、軽量化、省スペース、高速化は当然ながら、物理量や化学量を測る際、小さいほど測定対象に影響を与えにくく、ピンポイントで測定点の正確な情報を感度良く得ることができる。また、MEMS は半導体製造技術を使って大量生産するため、部品が小さくなるほど、同じ材料や手間でより多くのデバイスを製造することができ、資源や消費エネルギーの節約につながり単位当たり製造コストが低減されるとともに、シリコン単結晶などの機械的特性に優れた材料を使用するため、製品の信頼性が向上する。さらに、異種のセンサや電子回路を集積化することで、単体では得られない機能や性能を高いレベルで得ることができ、新しいシステムの創製につながる等、数々のメリットがある。MEMS は情報通信、医療・バイオ、自動車、ロボット、航空・宇宙、福祉など多様な分野における小型・高精度で省エネルギー性に優れた高性能のキーデバイスとして期待されている。このため、基幹部品の高付加価値化による我が国製造業の国際競争力の強化のみならず、新しい価値を生み出す革新的な MEMS の開発を通して新産業の創出を支える観点からも重要な技術分野である。

以上の点から、今後 20 年程度を見据えて、日本の MEMS 産業の国際競争力維持・強化及び革新的な MEMS デバイスの創出に必要とされる、高機能化、小型化、低コスト化、異分野融合等の MEMS 製造技術を俯瞰し、要素技術を抽出するとともに、今後の技術の発展をロードマップとして描いた。

# MEMS 分野の技術戦略マップ

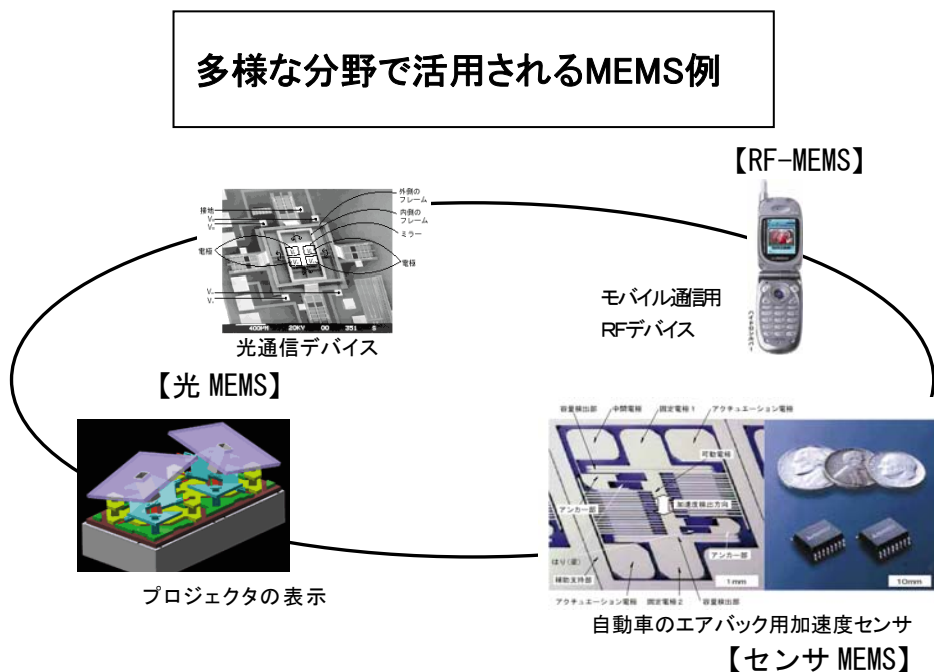
## I. 導入シナリオ

### (1) MEMS 分野の目標と将来実現する社会像

既に実用化されている単機能 MEMS については、自動車用センサやインクジェットプリンタヘッド等の分野で日本企業も健闘しているが、通信やプロジェクタ等に使われる光 MEMS や、今後の実用化が期待されるバイオ MEMS の分野では欧米諸国が一部先行している。我が国製造業の国際競争力を確保するためには、製造業の基盤を支えるキーテクノロジーの1つとなる MEMS の製造技術を一層高度化する必要がある。

一方、MEMS 産業の裾野を拡大し、多様な分野において多様な主体が MEMS 製品の開発・実用化に取り組むことが同分野の基盤強化のために重要である。特に、製造設備を有する大手企業のみならず、MEMS を活用した製品アイデアを有する異業種のベンチャー企業等が容易に MEMS 開発に取り組める環境を整備することが必要である。

以上の点から、①IT 技術、各種異分野技術等の先端的要素技術との融合を促進することにより MEMS の製造技術の一層の高度化をはかること、②MEMS デバイスの開発・実用化を促進するための環境整備を通して MEMS 産業の裾野拡大をはかり、人間生活の質の向上を実現するとともに、我が国経済社会の基盤である製造業の競争力の維持・強化を図ることを目的とする。これにより、後述するような環境・エネルギー分野、医療・福祉分野、安全・安心分野を実現する革新的な MEMS 製品群を生み出すプロセス技術を開発する。



## 10年後のMEMS製品の具体的イメージ

(参考)

### 【光 MEMS】

MEMS 技術を用いることにより、光通信網で用いられる小型、高性能の光スイッチが実現し、従来の光電変換型のスイッチに比べ、省スペース、省エネルギー、低コスト化の効果が得られる。これにより、通信速度の向上とともに災害時のバイパス回路の冗長度が増すなど高度情報通信社会の一層の高速化、信頼性向上に貢献することが期待される。さらに、AO(Adaptive Optics)やイメージング装置等の光の計測の高分解能・高機能およびマイクロ波フォトニック分野での応用が期待される。このような光 MEMS の実現には、立体構造上へのパターン形成技術、機能性材料の開発とその厚膜形成技術、制御用素子との集積化技術などが重要と考えられる。

### 【RF-MEMS】

携帯電話等のモバイル機器に用いられている高周波部品の多くが MEMS 部品に置き換わることにより、低消費電力、低コストでの数十 GHz の通信帯域が利用可能になり、有線 LAN 並みの情報伝達能力が実現される。また同時に高周波部品の一体化製造が可能となり、携帯電話の省電力、省スペース化、高機能化が図られる。このような RF (Radio Frequency) -MEMS の実現には、機能性材料の開発とその厚膜形成技術とナノ材料局所形成技術などが重要と考えられる。

### 【センサ MEMS】

自動車のエアバッグ作動スイッチとして既に用いられている加速度センサ等の MEMS が、より小型化、低コスト化、高機能化することで、現状では高級車にしか採用されていないようなセンサ(各種姿勢制御用センサ、赤外線センサアレイ、障害物探知用のレーザーレーダ等)を小型の一般車に採用することができ、交通のより一層の快適性、安全性の向上に資する。また、携帯電話をはじめとする通信分野、アミューズメント分野、セキュリティ分野、宇宙分野等幅広い分野で小型・高機能センサが使用される。このようなセンサ MEMS の実現には、MEMS・半導体共存構造の成形技術と MEMS・半導体共存の接合・組立技術などが重要と考えられる。

### 【バイオ MEMS】

携帯可能な安価で小型の生体成分検査キット・バイオセンサを用いたウェアラブル MEMS デバイスが開発され、病院外(在宅や屋外)での診断や予防医療が広く行われるようになる。携帯電話やインターネットに接続した情報端末との組み合わせによりその効果は更に大きくなる。各種バイオ MEMS の実現には、化学的・バイオ的表面修飾技術とナノインプリンティング技術、MEMS をプラットフォームとした細胞・生体高分子の研究用デバイスおよび細胞・組織両方を対象とする再生医療用プラットフォームの実用化が重要と考えられる。この実現には、分子・細胞と融合した計測方法技術および MEMS 構造の構築やマニピュレーション技術等と生体適合性材料の技術が重要と考える。

上記に加え、それぞれの MEMS が他の MEMS や CMOS<sub>※1</sub>-LSI などの半導体回路と一体集積化され、一層の小型・高機能化、及びトータルとしてのコストパフォーマンスの向上が図られることにより、自動車分野での用途拡大や情報・通信分野、医療・福祉分野、食品分野でのコンシューマ用途への展開などを主として、広範囲なアプリケーションの拡大が予想される。

※1 CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor)：相補型金属酸化膜半導体

## 20 年後の MEMS 製品の具体的イメージ

(参考)

MEMS はトップダウンプロセスである微細加工と、ボトムアッププロセスであるナノ・バイオプロセスとを融合したマイクロ・ナノ統合製造技術の確立により、その応用範囲を急速に広げ国家・社会的課題である「環境・エネルギー」、「医療・福祉」、「安全・安心」分野で新しいライフスタイルを創出する革新的キーデバイスとして広く浸透している。

### ◆環境・エネルギー分野

#### 【エネルギー・ハーベスティングデバイス】

光・熱・振動・生体物質等周辺環境からエネルギーを吸収し、蓄電する小型デバイスが、マイクロ加工とナノ・バイオ融合によるエネルギー変換効率の向上と、実効表面積の向上の両立によって実現する。このデバイスは未利用エネルギーを有効に利用できる優れた環境性を有するが、さらに省電力・高効率化が進んだ各種センサ、アクチュエータと組み合わせられ、大きな波及効果を生む。例えば、ワイヤレスセンサネットワークを構築する際に、本デバイスを各ノードに組み込むことで、電池交換不要等のメンテナンスフリーとなり、社会全体に広がり快適・安全・安心な社会が実現される。また、体内埋込機器のエネルギー自給が可能となり、健康・医療分野での QOL (生活の質) 革新に寄与する。このデバイスの実現には、3次元ナノ構造形成技術と、新規の有機機能材料、バイオ材料に加え、それら材料とナノ構造表面との界面制御技術が必要となる。また、実用化に際し、十分な電力供給を可能とするため cm オーダーの面積が必要となるが、ナノ構造を広い面積全体に実現していく大面積化もポイントとなる。

#### 【オンサイト環境浄化デバイス】

大気、及び水質の浄化は人口の急速な増加が現実のものとなる 21 世紀半ばにおける世界規模の課題である。大気浄化に関しては自動車、湯沸かし器、メタノール使用小型燃料電池などから排出される二酸化炭素、窒素酸化物、硫黄酸化物などの大気汚染物質を、発生源に極めて近い場所、すなわちオンサイトで固定し、大気中への排出を防ぐ小型デバイスが実現される。一方、水質浄化は水の有効利用ニーズの高まりに対応し、使用後の上水を浄化した中水を利用する小型オンサイト水浄化システムが一般家庭に普及する。これらデバイス、システムはマイクロ加工と、ナノ

構造製作技術、微生物を利用するナノ・バイオ融合により実現する。これらの汚染物質は、いったん排出されれば極めて低濃度となり回収が不可能となる。しかし、高濃度である排出源近傍において高効率に汚染物質を固定することができる本デバイスは、大きな優位性を有する。例えば、二酸化炭素においては、これまで排出量のほぼ半数を占めておりながら、回収が全く不可能であった分散排出源からの二酸化炭素を回収することで、地球温暖化防止に対し極めて大きな貢献となる。このデバイスの実現には、汚染物質を分離するフィルタ製作のためのナノ構造作製技術、汚染物質を吸収・固定するナノ構造をもつ新規材料及びその加工技術、また有害物質固定を実現する微生物や生体物質をナノ構造表面上で機能させるためのナノ・バイオ界面制御技術が重要となる。実用化に際しては、汚染物質排出量に応じ、cm オーダーにまで大面積化する技術、およびパッケージング技術がポイントとなる

#### 【超高感度環境物質検出デバイス】

極微量の環境物質を、高感度に、かつオンサイトで検出する小型デバイスが実現される。金属ナノ構造による表面電場増強の利用、自己組織単分子膜（SAM）の選択的成膜などによる表面機能付加による検体の選択的吸着、マススペクトロメータや THz 分光分析装置のような高性能であるが大型、高価な装置をダウンサイズしてコモディティ化するような技術開発により実現する。本デバイスは特にマイクロ加工により小型化された流路、反応チャンバなどの化学分析システムと組み合わせることによりオンサイト計測が可能となり大きな波及効果をもつ。例えば、センサネットワークのセンサとして機能し、各地の環境汚染物質をリアルタイムで高感度に検出することで、安全・安心な社会へとつながる。実用化に際しては、再現性が高く、また使い捨てが可能な安価な製作プロセスの開発が不可欠である。

#### ◆医療・福祉分野

#### 【超小型体内留置デバイス】

体内局所に長期間留置可能な超小型デバイスが実現される。腹腔や皮下、消化器官内・血管内などに滞在し長期間の物理センシングおよび生体成分センシングを可能にする。一定の場所に位置する他、受動的な移動、自ら能動的に移動することでがんなどの病変部を高い確率で発見し、必要に応じて病変部を治療することもできる。このため早期発見率、治癒率が向上する。バッテリーにより電氣的に駆動されるデバイスの他、高周波給電によるワイヤレス駆動や、電源を必要としない原理の超小型型デバイスも考えられる。例えば、微粒子型デバイスとして体外からの X 線や超音波、磁気などの働きかけによって周囲の環境によって造影状態が変化する造影剤のように機能し、デバイス周辺の血糖値や温度、圧力などの情報を 24 時間モニタリングできる。血液循環において肝臓の門脈などに小型のデバイスを長期間滞在させることが可能であり、糖尿病患者の血糖管理などに役立つ。これらの体内留置デバイスの実現には、異種材料により構成される 3 次元構造形成と、長期間の体内留

置を可能とするナノ界面制御技術が不可欠である。

#### 【生体機械ハイブリッドデバイス】

生体分子や細胞などが融合したハイブリッドなデバイスが実現される。生体材料や機能的な高分子材料を用いることで生体情報や環境情報を、従来のセンサに比べ、高速・高感度にセンシングすることができる。これらは、生体に馴染む材料や機構から成り立っているため、生体と機械とのインタフェース(BMI(Brain Machine Interface)など)の強力なツールとなる。例えば、生体分子として膜タンパク質などが活性を維持したまま人工膜上に再構成され、においセンサや味センサなどの超高感度化学量センサとして機能する。また、フレキシブル基板上に神経細胞が3次元培養され、これらを脳表面に当てることで、神経細胞が脳内に軸索を伸ばし、所望の細胞とシナプス結合できるようになる。人工デバイスで制御可能な細胞を通じて、フレキシブル基板から電気・化学的な信号を計測したり、刺激が行なえるようなインタフェースが実現する。これらのデバイスの実現には、生体材料の活性を維持したまま組み込むナノ界面制御技術が必要となる。

#### 【シート型健康管理デバイス】

体表面に湿布のように貼り付けることによって、健康を管理するウェアラブルデバイスが実現される。フレキシブルな多層構造の中に無数のセンサやアクチュエータが分布し、貼った部分の組織表層ばかりでなく内部の情報をセンシングし、裏面ディスプレイに可視化表示したり、貼った部分からのセンシングに基づいた、きめ細かい体内への投薬操作や傷口の治癒促進など簡単な作用を施すことができる。このようなウェアラブルデバイスは、携帯電話やインターネットに接続した情報端末との組み合わせにより、情報の集積分析、リアルタイムな診断が可能となり、その効果は更に大きくなる。例えば、画像診断においては、シート表面に薄型超音波センサアレイが集積化され裏面には平面フレキシブルディスプレイがあるデバイスでは、取得した超音波エコー画像を素人でも2次元の大面積で観察できる。侵襲なく貼り付けることができるため、健常者でも血流や心臓の様子などを判断でき、健康管理に利用できる。また、手術時に医師が容易に体内を観察できるツールにもなる。このようなデバイスの実現には、伸縮性のある配線やデバイス技術、大面積集積化技術が重要となる。

### ◆安全・安心分野

#### 【ユビキタスセンサネットワーク用多機能センサデバイス】

多数で多様なセンサが分散配置され、センサ同士がアドホックネットワークを形成して、ネットワークを通じて様々な状況や情報の入手が可能となり、防犯・セキュリティ、環境リスクへの対応、農産物のトレーサビリティの向上が図れ、安全・安心な社会を実現するユビキタスセンサネットワークを構成する多機能センサデバイスが実現される。さらに、効率的に広域を観測するために、センサネットワーク

を拡大し、宇宙空間からの災害監視や地球観測が可能な革新的なセンサデバイスが実現される。これらデバイスの実現には、高アスペクト比・高密度 3 次元ナノ構造を低損傷かつ十分なスループットで製造する技術、必要とされる部位に選択的にナノ材料を自己組織化させる技術、3次元ナノ構造表面を局所的に修飾する技術、3次元構造表面に均一にナノ構造を転写形成する技術等が必要となる。

#### 【雰囲気伝送・再生デバイス】

人と人とのコミュニケーションをよりやさしく容易にする未来デバイスが実現される。例えば、人間の五感のうち、20世紀よりすでに実用化されている聴覚、視覚伝送デバイスに加え、臨場感の元になるにおいや触覚のセンシングと伝送を可能とするデバイスが出現する。本デバイスは化学物質や触感などを検知するセンサと、再生のためのアクチュエータを基礎部品とし、それらを携帯端末に実装した「集積化タイプ」と、壁紙並みに薄くて軽量大面積シート中にちりばめられた「壁紙タイプ」として実装され、視覚や聴覚素子と組み合わせて超臨場感を手軽に、いつでも、どこでも得ることができるようになる。

#### 【壁紙型アンビエントインテリジェンスデバイス】

壁紙のように軽量かつ大面積を覆うシートエレクトロニクスデバイスが、視覚、聴覚、触覚、嗅覚などの雰囲気伝送に重要な役割を果たすとともに、安全・安心・豊かな生活に貢献する。例えば、シール状のデバイスを張り合わせるだけで作製可能なインタラクティブ掲示板により、見る人に合わせた情報をリアルタイムで提供するとともに、ネットワーク検索機能や翻訳機能により人と人とのコミュニケーションをより自然に行う手助けをしてくれる。また、壁紙デバイスが環境の異常を検知し、携帯端末と連動して安全・安心な暮らしをサポートする。

このようなデバイスの実現には、大面積シートの加工技術や機能素子のシートへの埋め込み技術、量販店で購入した部品をシール貼りの要領で重ねるだけで配線が自動的に形成される自己組織的配線技術、その場で柔軟に状況認識を行うことのできる集積回路システム技術、などが必要となる。

#### 【万能携帯】

壁紙型デバイスと連携して、視覚、聴覚、触覚、嗅覚などの雰囲気伝送に重要な役割を果たすとともに、安全・安心・豊かな生活に貢献する。顔と名前的一致しない人の記憶を呼び覚ましてくれたり、翻訳機能により言葉や習慣の違う人々の交流を容易にしたりと、人と人とのコミュニケーションをより自然に行う手助けをしてくれる。また、携帯端末に実装可能に小型化されたレーダー、環境センシングデバイス、ヘルスケアデバイスがすべて「万能携帯」に実装されることにより、暴漢・自動車などの接近、危険な化学物質濃度の上昇などの危険な状態を避けることを可能にし、急病や急な事故などを自動的に検知し救助を求めることができるようになる。これらにより、安全・安心・豊かな生活に貢献する。デバイスの実現のために

は、マクスペクトロメータや THz 分光分析装置のような、高性能であるが大型、高価な装置をダウンサイズしてコモディティ化するための技術開発、特に深掘り3次元構造と、3次元構造上への成膜技術、その場で柔軟に状況認識を行うことのできる集積回路システム技術、などが必要となる。

## (2) 研究開発の取組

研究開発の推進については、MEMS の一層の高度化に資する技術開発が重要である。例えば、高集積化・複合化・ナノ機能付加を図るとともに、次世代キーデバイスを生み出すための革新的デバイス基盤技術を確立するため、産学官連携のもと、従来異分野とされてきたバイオテクノロジー等との融合を図りながら研究開発を促進することが必要である。

このため、MEMS の一層の高度化に資する技術開発(高集積・複合化・ナノ機能付加技術、革新的デバイス基盤技術、等)を実施する。

## (3) 関連施策の取組

MEMS 技術・製品を世界市場に広く普及するために技術戦略マップに基づく MEMS 標準化戦略の策定、国際規格案の開発、提案、推進等の標準化活動に継続的に取り組むことが重要である。

MEMS の一層の実用化促進を図るため、他産業の企業や製造設備を有していない企業でも容易に MEMS ビジネスに参入できるように、MEMS 用設計・解析支援システムを開発した。その成果を活用しつつ、実習を中心とした人材育成及び試作環境の充実、製造拠点(ファンドリー)強化など MEMS 産業全体の競争力の維持・強化を図ることが重要である。

これらの取組は、MEMS の新たな製造技術開発の進捗に合わせていち早く実行することが重要である。

### [導入補助・支援]

- ・研究開発施策の成果を活用した MEMS 用設計解析ソフト(MemsONE Ver. 1.0)の商用展開や、MEMS ファンドリーサービス(MEMS 設計・試作・製造の受託サービス)のネットワーク展開が図られている。
- ・MEMS 関連産業の活性化を目指し、特に産業強化と裾野拡大のため、研究開発や試作・実証支援の場を整備し、MEMS 開発を容易にすることで、ファンドリー産業などへのスムーズな橋渡しを支援する。

### [基準・標準化]

- ・IEC/TC47(半導体デバイス)において、MEMS 構成材料の試験方法、加工プロセスの評価法、基盤共通複合分野の試験法等が検討されている。

### [知的基盤整備]

- ・研究開発プロジェクトにおいて、研究開発の成果を MEMS 知識情報データベースとして整備する取組が進展している。

例 1) 高集積・複合 MEMS 製造技術開発プロジェクト (事業期間: 2006 年度～2008 年度) では、成果として得た知識データの収集・整理を実施している。

例 2) 異分野融合型次世代デバイス製造技術開発プロジェクト (2008 年度より実施) では、開発によって得られる新たな知見について、系統的に収集・蓄積してデータベース化することが研究開発計画に位置付けられている。

〔広報・啓発〕

- ・世界最大規模の MEMS 等に関する国際展示会である、マイクロマシン/MEMS 展の開催を支援。

〔人材育成〕

- ・産学連携製造中核人材育成事業 (経済産業省委託事業) において、以下の人材育成が実施されている。

例) 「MEMS 人材育成実証講座」、「次世代産業基盤技術となる MEMS 関連産業人材育成システム」や「マイクロ・ナノ量産技術と応用デバイス製造に関する新事業開拓イノベーション人材育成」などのプロジェクトを通して MEMS 開発の中核をなす人材育成の試みがなされている。

〔産学官連携〕

- ・一つの研究開発拠点に大学、複数企業が集まる集中研方式にて、2008 年度より異分野融合型次世代デバイス製造技術開発プロジェクトが実施されている。

#### (4) 海外での取組

- ・海外での大学等の MEMS 関連研究開発機関の代表例として以下が挙げられる。

◆欧州

ドイツ： フラウンフォーファー研究所 (Fraunhofer-Gesellschaft) IZM (Institute for Reliability and Microintegration)、IMS (Institute for Molecular Science)、IIS (Institute for Integrated Circuits)、IPMS (Institute for Photonic Microsystems)

フランス： 原子力庁電子情報技術研究所 (Leti, Laboratoire d'Electronique de Technologie de l'Information)  
国立科学研究センター (CNRS, Centre de la National Recherche Scientifique)

スイス： ニューシャテル大学マイクロ・テクノロジー研究所  
CSEM (Swiss Center for Electronics and Microtechnology, Inc.)  
スイス連邦工科大学 (EPFL, Ecole Polytechnique Federal de Lausanne: Federal Institute of Technology)

ベルギー： IMEC (Interuniversity MicroElectronics Center)

フィンランド： 技術開発研究センター (VTT (Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus) Technical Research Centre)

◆北米

- 米国: カリフォルニア大学 BSAC(Berkeley Sensor and Actuator Center)
- スタンフォード大学 CIS(Center for Integrated Systems)
- ミシガン大学集積化ワイヤレスマイクロシステム研究センター (WIMS、Center for Wireless Integrated Microsystems)
- マサチューセッツ工科大学 MEMS@MIT(Massachusetts Institute of Technology)
- ジョージア工科大学 CMMT (Center for MEMS and Microsystems Technologies)
- サンディア国立研究所 (SNL, Sandia National Laboratories)

◆アジア

- シンガポール: IME(Institute of Microelectronics)
- シンガポール製造技術研究所 (SIMTech, Singapore Institute of Manufacturing Technology)
- 台湾: ITRI (Industrial Technology Research Institute)
- 中国: 清華大学
- 北京大学
- 上海交通大学
- 上海マイクロシステム・情報技術研究所 (SIMIT, Shanghai Institute of Microsystem and Information Technology)
- 韓国: 韓国科学技術院 (KAIST, Korea Advanced Institute of Science and Technology)
- KIMM(Korea Institute of Machinery and Materials)

- ・ MEMS 関連の欧州、米国、中国における国家レベルのプロジェクトの状況は以下の通りである。

◆欧州

欧州の大規模プロジェクトである「FP7(EU 第7次研究枠組み計画)」は2007年にスタートし、2013年までの7年間に8兆5,000億円を投じて広範囲の研究開発を進める。

この中でマイクロ・ナノデバイス関連テーマである「ナノサイエンス・ナノテク・材料・新生産手法」には3,960億円が投じられる。テーマのキーワードは「コンバージェンス(融合)」であり、さまざまな機能を1つのデバイスに集約することを目的としている。

◆米国

DARPA(国防総省高等研究計画局)が「Nano-MEMS Program」プロジェクトを推進。2006～2009年に128億円を投じる。ハイリスク・ハイリターンである74テーマを推進している。バイオを含む多様な機能とLSIなどとの融合を進める研究テーマが多数あ

る。

#### ◆中国

中国では 2005～2010 年の 6 年間で 45 億円を投じ、MEMS/NEMS (Nano Electro Mechanical Systems: ナノ電気機械システム) 関連研究を加速させる。これは年間 10 億円弱の規模となる。

#### (5) 改訂のポイント

- 今回は改訂を行っていない。

## II. 技術マップ

### (1) 技術マップ

MEMS は、小型で省エネルギー性に優れた高性能の部品を作ることが出来るため、通信、自動車等の既存の産業分野における部品の小型化・高機能化・省エネルギー化のための代替部品やバイオ分野における部品の小型化による新規部品としてのニーズが高まると見込まれている。

また、MEMS は、トップダウンプロセスである微細加工と、ボトムアッププロセスであるナノ・バイオプロセスとを融合したマイクロ・ナノ統合製造技術の確立により、その応用範囲を急速に広げ国家・社会的課題である「環境・エネルギー」、「医療・福祉」、「安全・安心」分野で新しいライフスタイルを創出する革新的キーデバイスとして広く浸透すると予測される。(上記の参考:10年後および20年後のMEMS製品の具体的イメージ)

このようなニーズに対応するためには、MEMS 製品の高機能化（高速スイッチング、小型化等）及び MEMS 製造プロセスにおける低コスト化と、設計・解析技術等の基盤技術の確立が喫緊の課題であり、技術マップにおいて、技術課題をエッチング技術、成膜技術、成形技術、形成技術、異種融合技術、プロセス連続化・大面積化技術、前・後処理技術、実装技術、検査・評価技術、設計・解析技術、製造システム技術等に大別した上で、それぞれについて詳細に示した。個々の技術の「出口」については、MEMS 製品が非常に広範囲に適用されうるものであることを踏まえ、主として想定される応用分野を技術ごとに示した。

### (2) 重要技術の考え方

MEMS の広範な活用のために、次の 2 つが重要と考えられる。

- ① MEMS の高機能化、または低コスト化に大きく貢献する技術
- ② MEMS 全般に広く貢献する基盤技術

また、2025 年までを考えると、その技術が中期的な視点で重要なものか、長期的な視点で重要なものかを評価しておくことが必要である。そこでこれらの視点から技術を評価し、色分けして示した。

### (3) 改訂のポイント

- エッチング技術、低環境負荷プロセス、成型技術、低環境負荷成型技術等の要素技術を追加した。

### **Ⅲ. 技術ロードマップ**

#### **(1) 技術ロードマップ**

技術マップに示した重要技術課題ごとに、研究開発により達成されるべきスペックを示した。

#### **(2) 改訂のポイント**

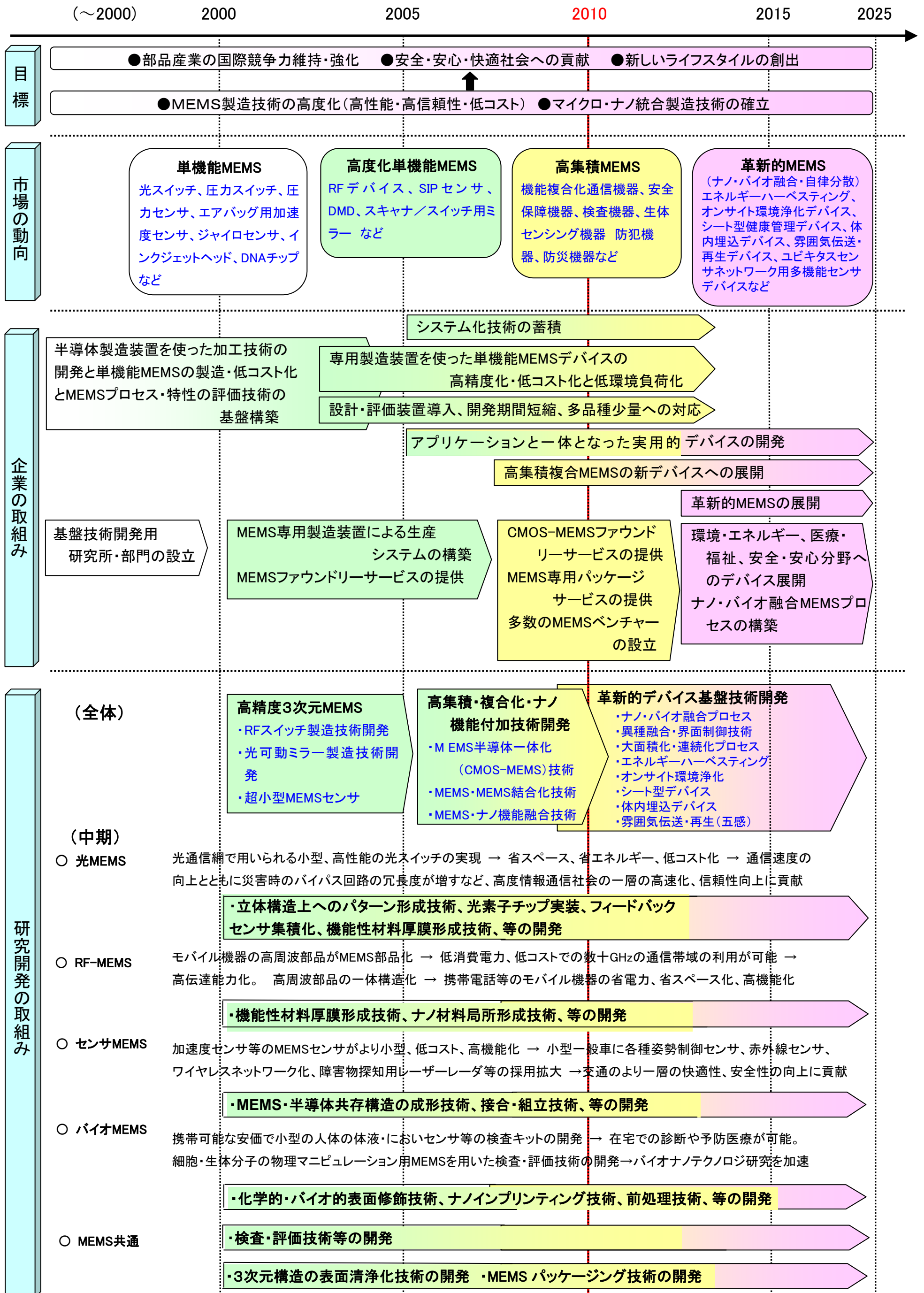
- エッチング技術、低環境負荷プロセス、成型技術、低環境負荷成型技術等の各要素技術のスペックについて、詳細に見直しを行った。

### **Ⅳ. その他の改訂ポイント**

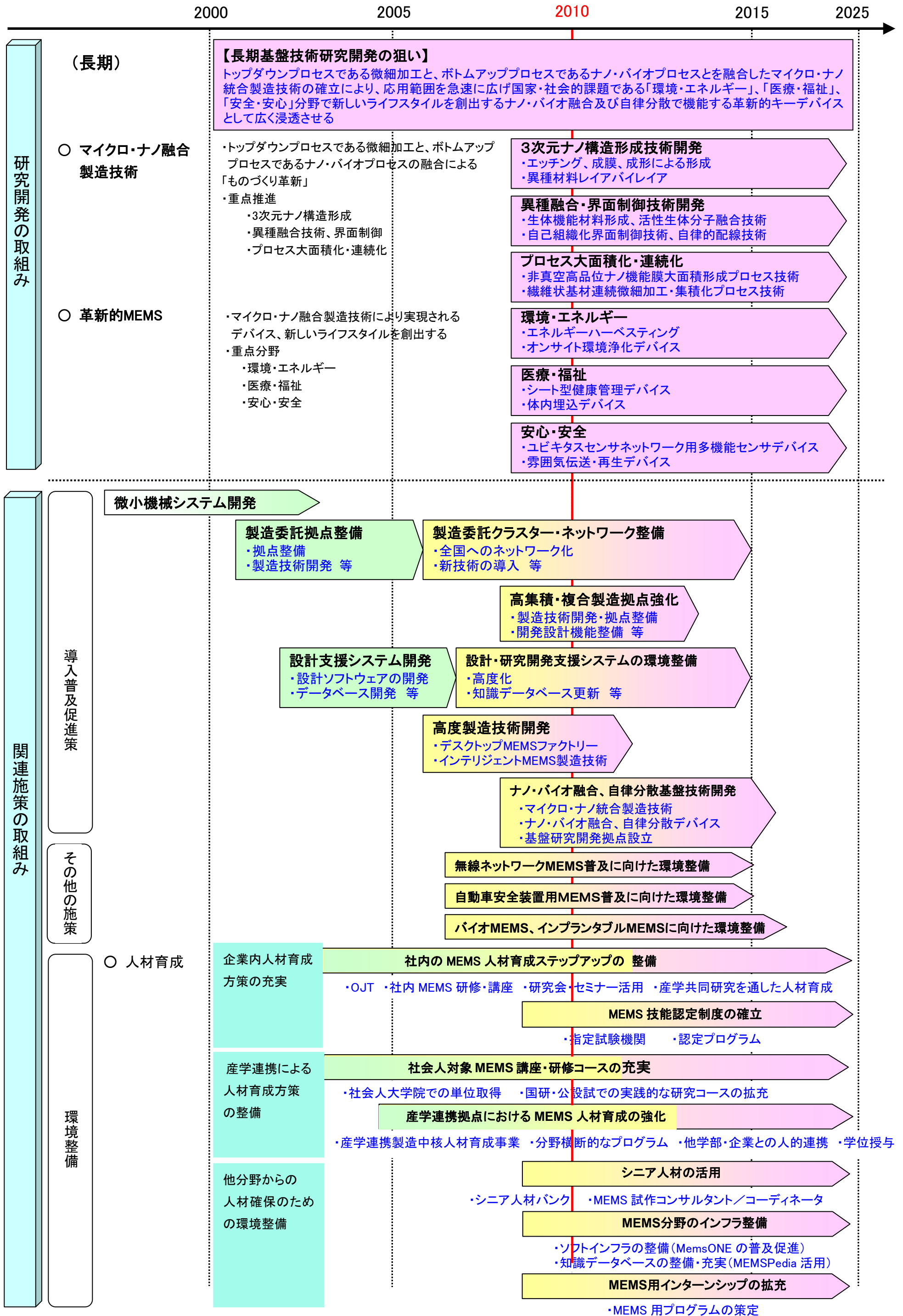
#### **○応用事例の追加**

- MEMS 製品等デバイスの将来像をイメージし易くするため、センサネットワークに焦点をあて、CO2 削減目標の達成や少子高齢化に対応した安全・安心の確保等の社会課題を解決する具体的なシステムを対象として、6 分野の課題解決型 MEMS デバイス技術について応用事例を取りまとめた。【参考資料：応用事例～課題解決型 MEMS デバイス技術～】

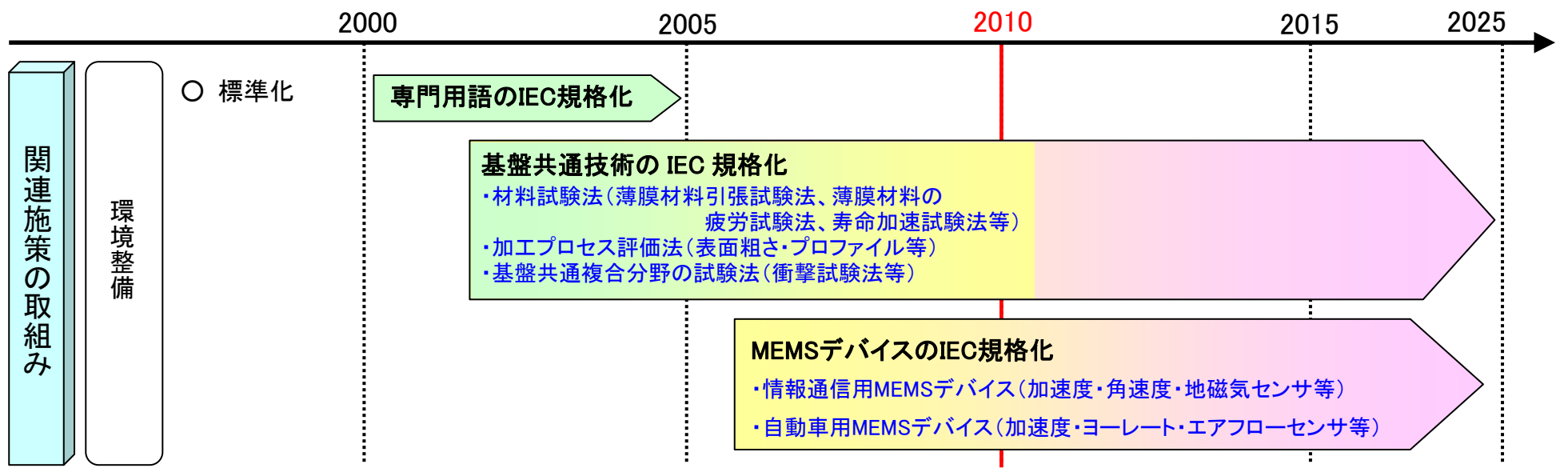
# MEMS分野の導入シナリオ(1/3)



# MEMS分野の導入シナリオ(2/3)



# MEMS分野の導入シナリオ(3/3)



# MEMS分野の技術マップ(1/2)

MEMS要素技術			分野
エッチング技術	高精度・微細エッチング技術	0101 高アスペクト比貫通孔形成技術	共通
		0102 高アスペクト比ナノレンチ加工技術	共通
		0103 ディープドライエッチング技術	共通
		0104 高精度微細エッチング技術	共通
		0105 ウエハレベル均一エッチング技術	無線通信、バイオ、共通
		0106 非シリコン材料加工技術	共通
		0107 無損傷加工技術	共通
	3次元ナノ構造形成技術	0108 3次元表面加工技術	無線通信
		0109 自由曲面加工技術	エネルギー
		0110 立体構造上へのパターン形成技術	共通
		0111 シングルポイントプロセス技術	共通
		0112 ナノピラー形成技術	共通
		0113 ナノポーラス形成技術	共通
	ナノプローブ加工技術	0114 ナノプローブ・エッチング加工技術	バイオ、情報通信、共通
LSIプロセス融合ダメージフリーエッチング技術		0115 MEMS・半導体共存構造の低損傷エッチング技術	共通
		0116 SF6代替ガスエネルギー消費削減プロセス解析技術	環境 共通
成膜技術	高品位厚・薄膜成膜技術	0201 機能性材料厚膜形成技術	共通、無線通信
		0202 非真空薄膜形成技術	安心・安全、環境、エネルギー
		0203 機能性材料ナノ薄膜多層形成技術	安心・安全、環境、エネルギー
		0204 平滑・低残留応力薄膜形成技術・3次元低温成膜技術	光、無線通信、共通
	3次元ナノ構造形成技術	0205 3次元形状表面上成膜技術	光、共通
		0206 シングルポイントプロセス技術	共通
		0207 ナノポーラス膜形成技術	共通
		0208 ナノピラー/ドット形成技術	共通
LSIプロセス融合成膜技術	0209 MEMS・半導体共存構造の低ストレス・高耐久性薄膜形成技術	共通	
成形技術	マイクロプレス成形技術	0300 ナノインプリンティング技術・低損傷パターンニング技術	共通、バイオ
		0301 ナノフォーミング技術	共通
		0302 ナノ転写・形成複合プロセス技術	共通
		0303 マイクロエンボス加工技術	光
	マイクロ粉体成形技術	0304 ナノ粉体成形加工技術	共通、バイオ
		マイクロ鑄造技術	0305 貫通孔埋め戻し技術
	3次元ナノ構造形成技術	0306 3次元マイクロ立体型成形技術	共通
		0307 3次元表面ナノ加工技術	共通
		0308 3次元自由曲面エンボス加工技術	共通
		0309 3次元表面修飾技術	共通
		0310 3次元形状めっき成形技術	共通
低環境負荷成型技術	0311 低環境負荷成型技術	光、医療、バイオ	

MEMS要素技術			分野	
形成技術 (機能化・表面改質)	ナノ機能材料選択的形成技術	0401 ナノ材料局所形成技術	無線通信、バイオ	
		0402 ナノ材料ウエハレベル形成技術	共通	
		0403 ナノ材料ビルドアップ技術	共通	
		生体機能材料形成技術	0404 生体分子配向技術	エネルギー、環境、医療・福祉
			0405 細胞配置・カプセル化技術	エネルギー、環境、医療・福祉
			0406 細胞の組織化技術	医療・福祉
		機能性表面形成技術 (界面制御・表面修飾技術、加工損傷回復技術)	0407 化学的・バイオ的表面修飾技術	エネルギー、環境、医療・福祉
	0408 分子の自己組織化現象応用界面制御技術		安心・安全	
	0409 ナノ粒子自己整列技術		共通	
	0410 脂質二重層形成技術		共通	
	0411 金属・有機半導体の界面制御技術		共通	
	0412 有機・絶縁膜の界面制御技術		共通	
	0413 印刷方式表面修飾技術		共通	
	0414 加工損傷回復技術	共通		
LSIプロセス融合成形技術	0415 MEMS・半導体共存構造の成形技術	共通		
	0416 可動ナノ構造の形成技術	共通		
	異種融合技術	0501 ナノ・バイオ融合技術 界面制御技術	環境、医療・福祉	
0502 活性細胞融合技術		環境、医療・福祉		
0503 活性生体分子融合技術		環境、医療・福祉		
ナノ・有機材料融合技術	0504 有機ナノピラー形成技術	エネルギー、環境、医療・福祉		
	0505 有機ナノポーラス形成技術	エネルギー、環境、医療・福祉		
	0506 ナノ間隙への有機充填技術	エネルギー、環境、医療・福祉		
	3次元構造形成技術	0507 異種材料レイアバイレイア積層技術	共通	
		0508 異種材料の厚膜積層技術	共通	
		0509 パターン付き成膜および多層化技術	共通	
0510 メカノバイオ/半導体ハイブリッド積層技術		共通		
0511 3次元ナノ構造移植・積層技術	共通			
自己組織化技術	0512 セルアラignmentによる位置決め技術	共通		
	0513 マルチCNTプローブ製造技術	共通		
配線技術	0514 ナノホール選択金属成長技術	共通		
	0515 ナノワイヤ選択配線技術	共通		
	0516 CNT成長用触媒粒子の自己組織化配列技術	共通		
	0517 CNT配線技術	共通		
	0518 自律的配線形成技術	共通		
	0519 伸縮性導体形成技術	共通		
	0520 組立技術 界面制御を利用した自律組立技術	共通		
界面物性評価技術	0521 界面物理化学評価技術	共通		
	0522 ナノ領域におけるトライボロジー評価技術	共通		

注:  は、中期的な視点での重要技術  
 は、長期的な視点での重要技術

## MEMS分野の技術マップ(2/2)

MEMS要素技術			分野	
プロセス連続化・大面積化技術	非真空プロセスによる成膜技術	0601	高品位ナノ機能膜形成技術(塗布型)	共通
		0602	マイクロナノ印刷技術	共通
	プロセス大面積化技術	0603	高品位機能膜のメータ級大面積形成技術	共通
		0604	繊維状基材の製織集積化技術	共通
		0605	メータ級大面積アライメント技術	共通
	プロセス連続化技術	0606	繊維状基材連続微細加工技術	共通
		0607	大面積印刷のレジストレーション(重ね合わせ)技術	共通
		0608	ナノインプリント連続成形技術(含むローラー式転写技術)	共通
		0609	連続EBプロセス技術	共通
		0610	連続FIBプロセス技術	共通
前・後処理技術	表面清浄化技術	0701	構造表面洗浄技術	共通
実装技術	組立技術	0801	高精度位置決め技術	共通
		0802	MEMS・半導体共存の接合・組立技術	共通
	接合技術	0803	低温・低応力接合技術	光、無線通信、バイオ、共通
		パッケージ技術	0804	封止技術
	0805		高度実装技術	共通
	0806		トリミング技術	センサ
	0807		カッティング技術	共通
	0808	低環境負荷実装技術	共通	
検査・評価技術	各種検査・評価技術	0901	形状測定技術	共通
		0902	強度等デバイス特性評価技術	共通
		0903	システム信頼性評価技術	無線通信
		0904	生体情報評価技術	バイオ、医療・福祉
		0905	微小領域における物理量計測技術	共通
		0906	検査評価用解析技術	共通
設計・解析技術	MEMSシミュレーション技術	1001	機構解析技術	共通
		1002	プロセス解析技術	共通
		1003	システム化解析技術	共通
	マルチスケールシミュレーション	1004	ナノ/マイクロ/マクロ解析モデリング技術	共通
	マルチフィジクスシミュレーション	1005	電場・磁場・構造・熱・流体の連成解析技術	共通
	データベース構築	1006	材料・界面・プロセス	共通
		1007	知識	共通
		1008	環境負荷	共通
製造システム技術		1101	多品種少量・省エネ・フレキシブル加工システム	共通

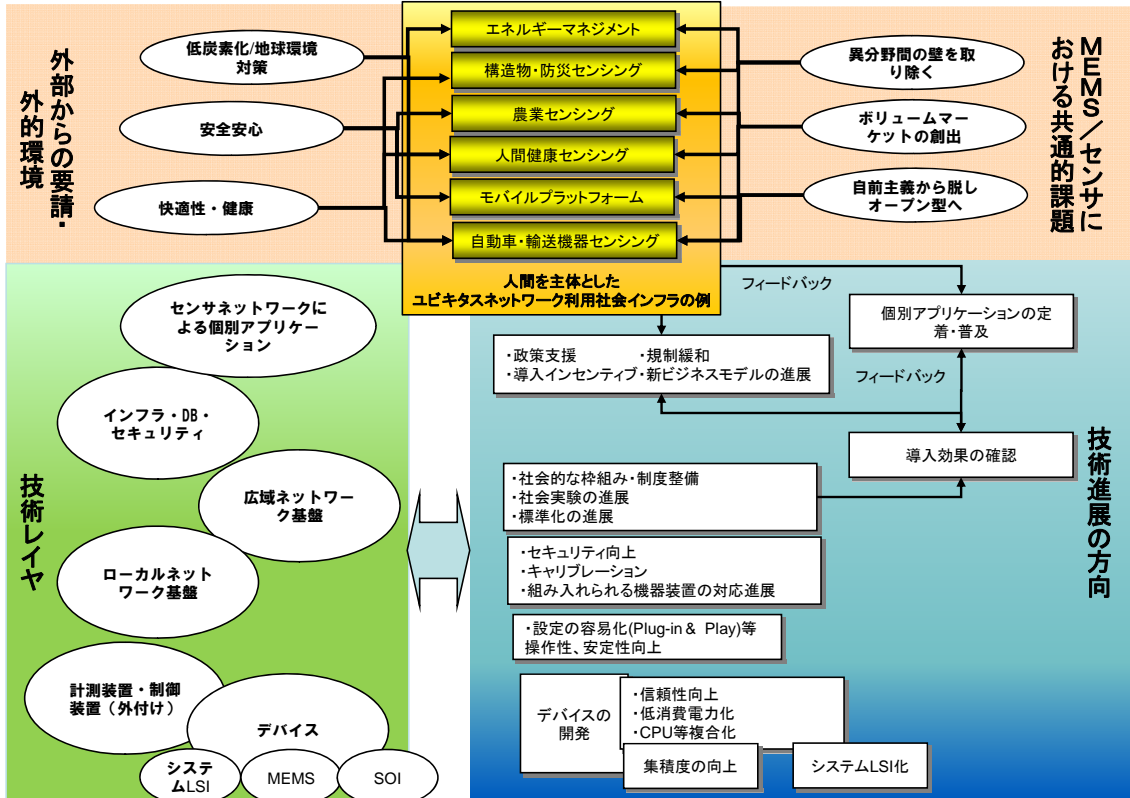
# 応用事例

## ～課題解決型MEMSデバイス技術～

これまでの技術開発は技術の発明や改良が重視され、先行してきたが、今後は人が主体となり人のために働く技術や、社会課題解決に資するという視点から技術が展開されることを考慮すべきである。MEMS技術についてもその応用範囲は、10年後には現状の機械・電子分野以外へもさらに拡大する見込みであり、ネットワークやITシステムあるいは機器・装置に組み入れられることによって、利便性の高い、社会的課題解決に資する“課題解決型MEMSデバイス技術”を活用したセンサーネットワークシステムが創出されることとなる。例えば、海外での事例として、需要側消費電力を消費機器毎にリアルタイムに計測し、供給側に通知することで供給側の制御や利用側の省エネにつなげる（「スマート・グリッド」）システムと電力・環境センサデバイス、農地にセンサを配置し気象状態モニタリングによって給水や肥料を調節するシステムとその気象・土壌センサデバイス、などが知られている。また、モバイル機器の心臓部（CPU・周辺部）もオープン化され、プラットフォーム化し、MEMSセンサ等異メーカーのデバイスがソフトウェア共々実装され多様な価値を生み出している。

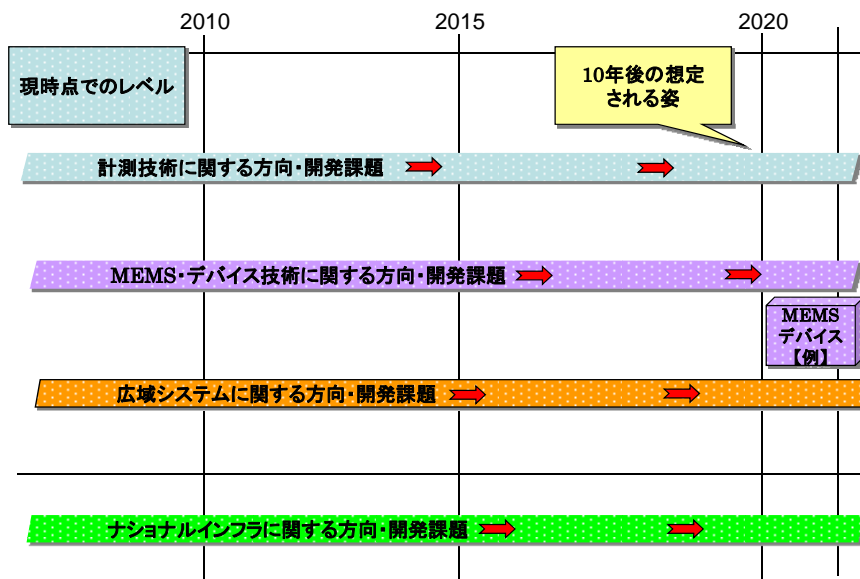
本応用事例ではセンサネットワークに焦点をあて、CO2削減目標の達成や少子高齢化に対応した安全・安心の確保等の社会課題を解決する具体的なシステムを対象として、MEMS・センサ等デバイスの将来像をイメージし易くするため、(1) エネルギー・マネジメント・システム、(2) 構造物・防災センシング技術、(3) 農業センシング技術、(4) 人間の健康に資するセンシング技術、(5) MEMSによるモバイルプラットフォーム技術、(6) 自動車・輸送機器センシング技術、の各分野において横断的見地から整理し、代表的な技術、課題及び方向性をとりまとめ、全体システムのイメージを掲示するとともにマップに展開した。（応用事例Ⅰ～Ⅵ）

## 10年後のセンサネットワーク全体システムのイメージ



分野によっては、デバイスとしての技術課題以上に、計測技術、システム技術、データベースインフラ、ネットワーク、社会システムといった周辺環境に問題点や大きな研究開発要素があることも考慮しつつ、上記事例のような利用システムがどのように展開していくかを技術ロードマップに描くことで、開発課題や実現のためのネックを明らかにすることを目指した。

### 技術ロードマップの凡例



# 応用事例 I (エネルギー・マネジメントに資するセンサ技術)技術マップ

## ～10年後のエネルギー・マネジメント・システムの姿～

CO2削減

省エネ向上

快適性との両立

フレキシブルな  
マネジメント

### トレンド

① 産業用に加え民生用、小規模オフィス等のCO2削減進展、② きめが細かく大きな省エネの実現、③ 柔軟性・広域性の拡大

### 現状

#### 概要

- 個別機器について、センサを活用して省エネを行うものが登場。
- 環境については体感程度、システムも機器メーカー単位。

#### センシング・制御

- 器具や室内にセンサ機能が付与、入退室の感知、判断。
- 入退室の感知等によるOn/Off。
- 洗濯機や冷蔵庫等の家電製品でセンシングによる制御機能が実現。
- 広域に及ぶシステムは未実現。

#### デバイス・ネットワーク

- 一般利用できるセンサデバイス未実現。
- ネットワーク仕様未確立、未標準化。
- 一部商用化されているものの、メーカー独自仕様でコンパティブルでない。
- 一部商用化されているデバイスもあるが、消費電力大、信頼性未確立。
- ネットワークもメーカー独自。

### 環境と消費エネルギー量の把握とそれによる制御

- ✓ 消費エネルギーのきめ細かい把握技術
- ✓ 快適性のモニタリング技術

### 広域にわたるセンシングデータの活用

- ✓ 中央集中型配電システムにローカルな発電システムが付加・管理技術進展
- ✓ 複数サイトにまたがる省エネルギーマネジメントシステムの進展

### デバイス・ネットワークの普及と標準化によるユーザー選択向上

- ✓ 安価で高信頼性デバイス普及
- ✓ 安定的で導入の容易なネットワーク体系の普及
- ✓ 普及に資する設定やメンテナンス技術の確立
- ✓ 長寿命化技術、メンテナンスレスシステム

### 概要

- 器具・装置や空間単位での消費エネルギーのリアルタイム、時系列把握と制御が実現。
- 環境についてのきめ細かい把握や快適性計測がエネルギーマネジメントに取り入れ。

#### センシング・制御

- 器具や部屋で必要とされる機能に応じてエネルギーが投与されるシステム。
- 個人の快適性に配慮したエネルギーの調節。
- 単独の製品や住戸単位でなく複数の製品や住戸間でセンシングによる制御機能が実現(ピークシフトやピークカットなど)。
- 新エネルギー・ローカルエネルギーの利用のシステムへの取り入れ。

#### デバイス・ネットワーク

- 外付け型、内蔵型種々のタイプのセンサデバイスが普及。
- ネットワーク仕様が標準化され、ユーザーはプラグアンドプレイ式で操作可。
- ネットワークの広域への接続が進む。
- デバイスの消費電力小、自己給電、信頼性向上、メンテナンスフリー化。

### 将来

# 応用事例Ⅱ(構造物・防災センシング技術)技術マップ

## ～10年後の構造物・防災センシング技術の姿～

社会資本ストックの  
合理的管理

メンテナンス性向上

安全な構造物

構造物寿命延伸

### トレンド

- ① 構造物損傷・劣化の程度、耐震性、変位等のセンシング技術が進展、
- ② 保守の効率化、予防保全の進展、
- ③ トータルとして安全性と快適性の向上

### 現状

#### 概要

- 構造物のメンテナンスについては、現状は目視、非破壊検査など、一部地震計、ストレイン・ゲージ、加速度センサなどが利用。
- 計測データと構造の因果関係解明は不十分。
- 防災土滞位置ずれセンサネットワーク実験。

#### センシング

- 非破壊検査(超音波、X線等)は内部の組成等を分析。
- ストレイン・ゲージによる応力歪み計測、動き観測に加速度センサ活用、変位の計測にはポテンシオメータ等が利用されている。
- 以上を目的によって組合せているがデータと現象との相関未解明。

#### デバイス・ネットワーク

- デバイスは一般の機械計測用がそのまま使用されている。MEMS応用は未。
- ネットワークは特定小電力、ZigBee、Mote(米国仕様)等が実験レベルで利用されている。
- 線状、面状構造物には既成デバイスを工夫して応用、eテキストスタイル研究開発中。

### センシング活用によるメンテナンスの高度化

- ✓ センシングデータと損傷・劣化度、耐震性能、部品交換・補強等との相関性明瞭化
- ✓ センシング技術や対象物の拡大によるモニタリング能力の向上
- ✓ モニタリングによる予防保全ないし耐用年数の延長

### デバイスとネットワーク進展による構造物センシング技術の向上

- ✓ 安価で高信頼性デバイス普及
- ✓ 安定的で導入の容易なネットワーク体系の普及、無線通信の普及
- ✓ 長寿命化技術、メンテナンスレス、キャリブレーション組み入れ型計測システム

### 概要

- 国内では新規投資よりメンテ投資が主となる。
- 目的別のセンサ技術が明らかとなり、標準的な計測システムが確立、実用化される。
- 計測デバイスの精度、校正方法についても標準が確立。

### 将来

#### センシング・制御

- 変位、加速度、応力、等の標準的センシング技術が確立。
- 構造物の組成や組織変化の標準的モニタリング技術が確立。
- 地震・災害対応へのセンシング応用が進展。
- 接合部や部材・部品など構造以外部のチェック・モニタリングシステムが導入。

#### デバイス・ネットワーク

- メモリやCPU内蔵複合型センサデバイスが普及し、構造物の履歴把握等に活用される。
- デバイスへのMEMS採用が進展。
- 無線ネットワーク仕様が標準化。
- ネットワークの広域への接続が進む。
- デバイスの消費電力小、自己給電、信頼性向上、メンテナンス・キャリブレーションフリー化。

# 応用事例Ⅲ(農業センシング)技術マップ ～10年後の農業センシング技術の姿～

生産性向上

安全安心・省エネ

品質向上・コスト削減

## トレンド

① 農業へのセンシング技術取り入れが進展、② それを実現するデバイスの開発と通信機能取り入れ、③ 耐環境、使い捨て等周辺アプリケーションの取り込み進展

## 現状

### 概要

- 土壌分析に基づく給肥、給水(バッチ式、ノウハウ主体)。
- pH、ECセンサの試作と実験。
- 海外でワインぶどう畑への実システム稼働(気象観測と給水等制御が主)。

### センサ

- 温度、雨量、照度等の気象環境センサはまだ大型で高価。
- pH、ECセンサが半導体プロセスで試作されている。
- 土壌粒度、土壌組成等はディスクリートレベル。

### デバイス・ネットワーク

- 海外で、ネットワーク(ZigBee等適用)化が進展。
- わが国では、中継装置の仕様とセンサ電源供給に課題、ネットワーク化は給水管理程度。
- センサデバイスは研究開発途上。

## 農業生産性向上のために計測すべきデータの明確化

- ✓ 計測技術とデバイスの進展により農業関連の自然データと生産性との関係が解明される
- ✓ データの蓄積(気象、土壌、その他環境、収穫物の性格)
- ✓ 化学量や粒度のようなデータ計測のための高集積回路が開発

## センサネットワークの実農場への適用・活用

- ✓ 厳しい周囲環境に対応したセンサの開発
- ✓ ロバストなセンサネットワーク仕様の確立
- ✓ 自律分散型センサ管理技術の研究開発
- ✓ 電力供給課題解決

(注)

pH:potential Hydrogen、水素イオン濃度指数、酸性アルカリ性の度合いを示す

EC:Electric Conductivity、電気伝導度又は導電率

## 概要

- 気象と土壌の状態に関するセンサが実用化され農業への適用が進む。
- 気象、施肥、給水、成育度間のデータ蓄積。

## センサ

- 土壌の、水分、pH、EC、粒度、リン、窒素、カリ等センサが実用化され農業に用いられる。
- 温度、湿度、圧力、照度、雨量、風力センサ等の利用が一般化。
- それらセンサデータと植物、動物の態様が徐々に明らかとなる。
- 気象データと植物、動物(細菌等)の因果関係が次第に明らかとなる。

## デバイス・ネットワーク

- ネットワーク化が進み普及、ただし用途次第でバッチ式センシングシステムも普及。
- 省電力型、自己発電型、使い捨て型のチップが市場化。
- 自律分散型デバイスの管理技術が進展、標準化。
- MEMSデバイスの消費電力小、自己給電、信頼性向上等。

## 将来

# 応用事例Ⅳ(人間の健康に資するセンシング技術)技術マップ

## ～10年後の人間健康センシング・システムの姿～

24Hモニタによる  
医療レベル向上  
生活習慣病対策進  
展  
予防型医療の進展  
センシングデータ  
で病の因果関係示

### トレンド

- ① ネットワーク型センサデバイスにより24時間型のモニタリングが進展、② 対応する遠隔医療への抵抗減、予防型医療が絡につく、③ 未解明の病気等の因果関係が次第に明らかに

### 現状

#### 概要

- いくつかの器具について通信機能付モデルが製品化、しかし普及はこれから。
- Bluetooth、Zigbee、小電力などがローカルに利用、広域はインターネットが主。

#### センシング・制御

- 血圧計や体重計にBluetooth等の通信機能が付与。
- 計測機器には情報処理能力がないため、PC等を組み入れたシステム構築が必要。
- センシングに関する医学的なオーソライズはなされていない。

#### デバイス・ネットワーク

- 非侵襲、ポータブルなデバイスとしては心電計程度(但し非オーソライズ)、他は既存製品に通信機能を織り込んだレベル。
- ローカルネットワーク仕様にはまだ不安定さ大、操作性も低レベル。
- 計測と広域通信とを(同時に)行うにはプロトコルが確立したとは言い難い。

### 予防医療の進展とそのためセンサネットワークが進展

- ✓ 予防型医療の進展により総医療費の節約が進む
- ✓ そのためのセンサモニタリングが進展

### 安定信頼性あるセンシング技術の活用

- ✓ センシング機器が医療機器として承認
- ✓ 価格や精度による複数レベルの計測デバイスが標準化
- ✓ LSI/MEMS化が進む

### デバイス、ネットワークの技術向上とユーザー利便性の向上

- ✓ 医療用アンプ、A/D変換部の高集積化
- ✓ ローカルセンサネットワークの安定性、操作性の向上
- ✓ 広域ネットワーク上でのデータ連携技術の向上
- ✓ デバイス長寿命化技術、メンテナンスレスシステム開発

### 概要

- 通信付センサが普及し、24Hデータ収集が普及→医療高度化、通院頻度減。
- センサデータ活用による病気因果関係把握高度化と予防医療の進展。

#### センシング・制御

- 非侵襲/侵襲、ポータブルなデバイス(心電計、血圧計、血糖値計、脳波計)が普及。医療器具として承認、精度複数レベルで標準化。
- デバイスが小型化(MEMS化)し取り込んだ機器装置が登場(携帯電話、パソコン等)。
- センシングデータと病理との因果関係抽出が進む。

#### デバイス・ネットワーク

- 現在大型の計測装置が小型化、MEMS化。
- ローカルネットワーク仕様が向上(混信防止、無設定、ユーザーはプラグアンドプレイ式で操作可)。
- ネットワークの広域への接続が進み、計測操作と一体化(広域データ連携が進展)。
- デバイスの消費電力小、自己給電、信頼性向上、メンテナンスフリー化。

### 将来

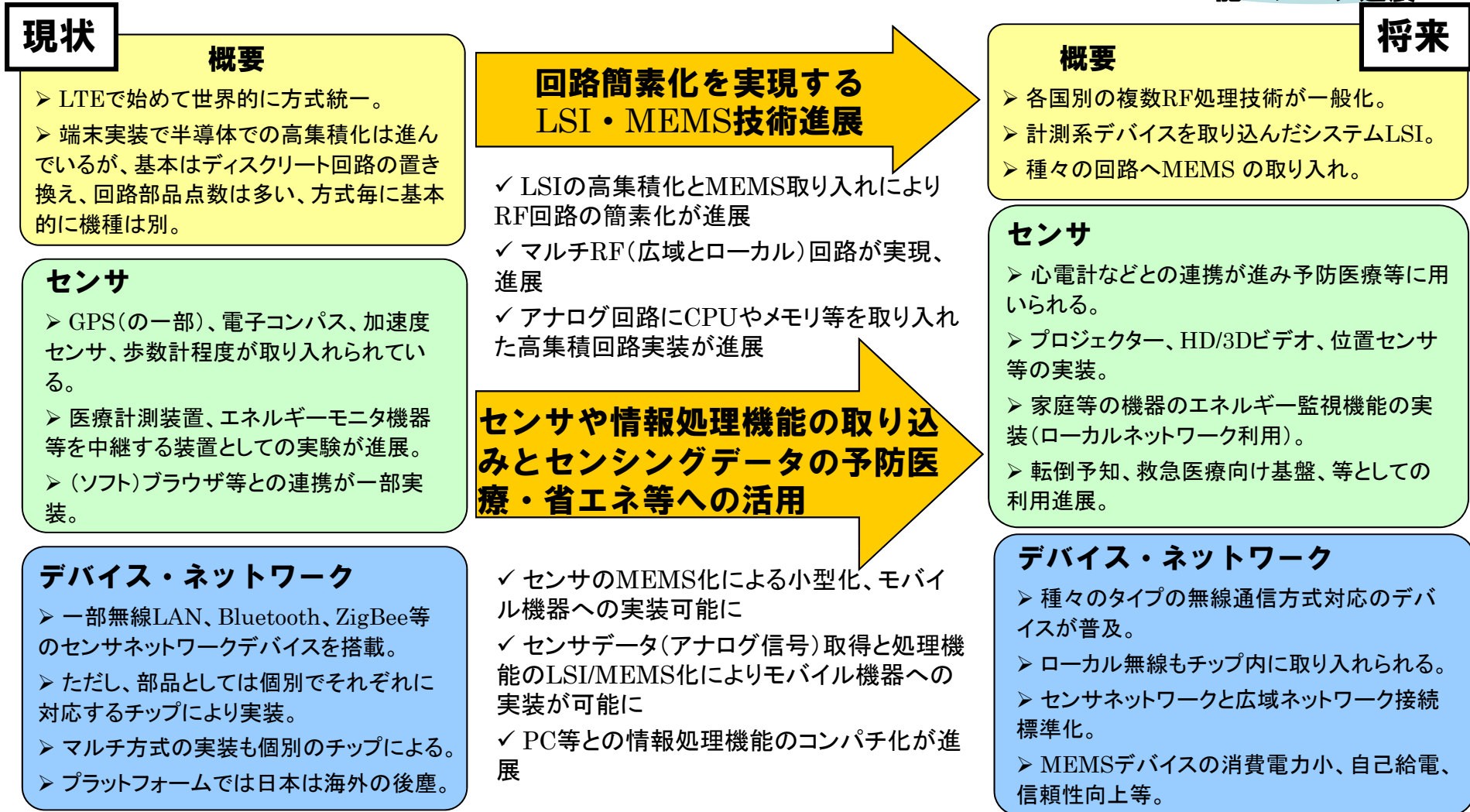
# 応用事例 V (MEMSによるモバイルプラットフォーム技術) 技術マップ

## ～10年後のモバイルプラットフォームの姿～

よりポータブル  
安全安心への貢献  
予防型医療への貢献  
周辺機器との機能コンパチ進展

**トレンド**

① 複数のモバイル通信方式搭載が進展、② それを実現するデバイスの高集積化、③ センサ等周辺機能の取り込み進展



# 応用事例Ⅵ(自動車・輸送機器センシング技術)技術マップ

## ～10年後の自動車・輸送機器センサ技術の姿～

CO2削減  
省エネ向上  
快適性との両立  
安全な輸送

### トレンド

- ① 内燃機関車、HEVそれぞれで燃費改善とCO2削減進展、EVの進展、② 高度ITS進展などによる渋滞の減や快適性向上、③ 鉄道でのセンサ利用進展、④ 安全性の向上

### 現状

**概要**

- 内燃機関車については、エンジン燃焼制御、エアバッグ、ナビ、タイヤ空気圧等多数センサが搭載。
- HEVが伸長中、EVへの期待高。
- 鉄道では構造物・土木への応用研究中、車両に導入(振り子式)。

**センシング・制御**

- 圧力、流量、酸素やNOx計測、加速度や角(加)速度、位置等の計測装置やセンサが搭載されている。
- 燃料噴射、エアバッグについてはセンサ+制御機能。一部操舵制御機能も。
- トンネル、土堤の位置センシング。

**デバイス・ネットワーク**

- 耐久性、信頼性の高いセンサデバイスが中心、MEMS応用は未。
- ネットワークは車内有線が主(CAN等)、外部とは高速料金徴収でDSRC、ナビ関係でモバイルネットワーク。
- タイヤ空気圧計測には無線が応用(外付けが主)。
- 鉄道では既成のNW(有線)利用が主。

### 自動車全般に燃費の向上と安全性の向上が進む

- ✓ 内燃機関車、HEV燃費がさらに向上
- ✓ HEV、EVが伸長、経験積み重ねにより性能と安全性の向上

### センシングデータの活用による安全性向上

- ✓ 車外物件や障害物検知システムが普及、管理技術進展
- ✓ 車内人体センシングによる安全な運転管理や駐車管理システムの進展
- ✓ 足回りのセンシング・モニタリングを取り入れた燃費の向上技術

### ITS進展によるCO2削減と快適性の向上

- ✓ 安価、高信頼性、長寿命、堅牢、メンテナンスレスデバイス普及
- ✓ 自動車、道路、鉄道に適するネットワーク体系の普及、無線通信の普及

### 将来

**概要**

- 内燃機関車はまだ相当利用されているが、燃費が圧倒的に向上。EVも徐々に普及。
- HEVの普及は大きく進み、燃費も大幅改善。

**センシング・制御**

- エンジン・モーター系のセンサネットワークがさらに進展、タイヤ等駆動系を取り込んだセンシングと制御機能進化。
- MEMSによる高度エンジン室モニタ・制御。
- 保守系業務へのセンシング機能応用が進展。
- 高度で安価な安全モニタリングシステム(人の自動検知、交差点での障害物検知等)。
- 車内人のモニタリングによる安全面高度化。
- ITSの高度化(渋滞ゼロ)。

**デバイス・ネットワーク**

- 堅牢、長寿命なMEMS含む種々のセンサデバイスが普及。
- 無線ネットワーク仕様が標準化され、タイヤ-車両間、人-車両間、障害物-車両等に適用進む。
- システムの複雑化により大容量の車内ネットワーク標準化(自動車、車両)。
- ネットワークの広域への接続が進む。