

**「ナノテクノロジー・材料分野の研究開発戦略に対応する
分析機器の将来技術戦略に関する調査研究」
報告書
【公開用】**

2018年10月

**一般社団法人日本分析機器工業会
分析機器将来技術戦略検討小委員会**

1. 調査研究の目的

調査研究の目的

1. 現在、科学技術基本法（平成7年11月制定）に基づく第5期科学技術基本計画（平成28年策定）を踏まえて政府の科学技術関連政策が実施されているが、文部科学省においては、次期科学技術基本計画（5年毎に見直し）をにらみながら、Society5.0や更なる未来社会の実現に向けて、我が国が強みを有するナノテクノロジー・材料分野の現状や進むべき方向性等について整理・検討を行うため、科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会ナノテクノロジー・材料科学技術委員会の下にナノテクノロジー・材料分野の研究開発戦略検討作業部会を設置し、「2030年以降に向けてナノテクノロジー・材料科学技術に関して推進すべき研究開発戦略」の検討が行われた。
2. 当工業会に対し、当該作業部会から2030年を念頭に置いたナノテクノロジー分野の研究開発を支える分析機器に関わる技術課題についての意見提出が求められたことから、当工業会技術委員会に「ナノテク技術分野の分析機器将来技術戦略検討小委員会」を設置し、「2030年を念頭に置いた分析機器業界としての分析機器技術の将来技術戦略」を取りまとめ分析機器技術の将来課題を提案することとし、本調査研究を実施した。
3. この報告書は、上記の文部科学省の当該作業部会への意見提出のとりまとめに加え、分析機器産業の社会的な役割や取り巻く現状等をまとめ、今後、様々な場面で分析機器技術や分析機器産業への理解促進の一助とすることを目的として取りまとめたものである。
4. なお、本調査研究の取りまとめ内容は、平成30年1月26日に開催された文部科学省第4回ナノテクノロジー・材料分野の研究開発戦略検討作業部会において、中間報告として概要を説明し、工業会の意見として提出した。
(http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/093/index.htm 参照)
5. また、その後、同作業部会の親委員会である文部科学省科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会ナノテクノロジー・材料科学技術委員会において、当工業会の意見も踏まえた“ナノテクノロジー・材料科学技術研究開発戦略”が決定されている。（2018年8月1日）
(http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/015-8/index.htm 参照)

技術委員会小委員会参加者

小委員会名称：ナノテク技術分野の分析機器将来技術戦略検討小委員会

主査 (※)	日本電子株式会社経営戦略室副室長オープンイノベーション推進室室長	杉沢 寿志
副主査	日本電子株式会社経営戦略室オープンイノベーション推進室	高杉 憲司
委員	アジレント・テクノロジー株式会社分光分析営業部門長	石川 隆一
委員	株式会社島津製作所分析計測事業部技術部戦略企画ユニット長	中川 利久
委員	株式会社日立ハイテクサイエンス新事業創生部主任	渡邊 直哉
委員	株式会社堀場製作所経営戦略本部科学・半導体事業戦略室室長	吉岡 誠一郎
委員	株式会社リガクX線機器事業部主幹技師	小澤 哲也

(事務局)

みずほ情報総研株式会社経営・ITコンサルティング部科学技術戦略チーム	新田 仁
同	石原 範之
一般社団法人日本分析機器工業会専務理事	松浦 義和
同 技術委員会担当部長	近藤 宏
同 プロジェクトコーディネーター	濱崎 勇二

(※)技術委員会委員長



2. ナノテク・材料分野において求められる 分析機器技術課題

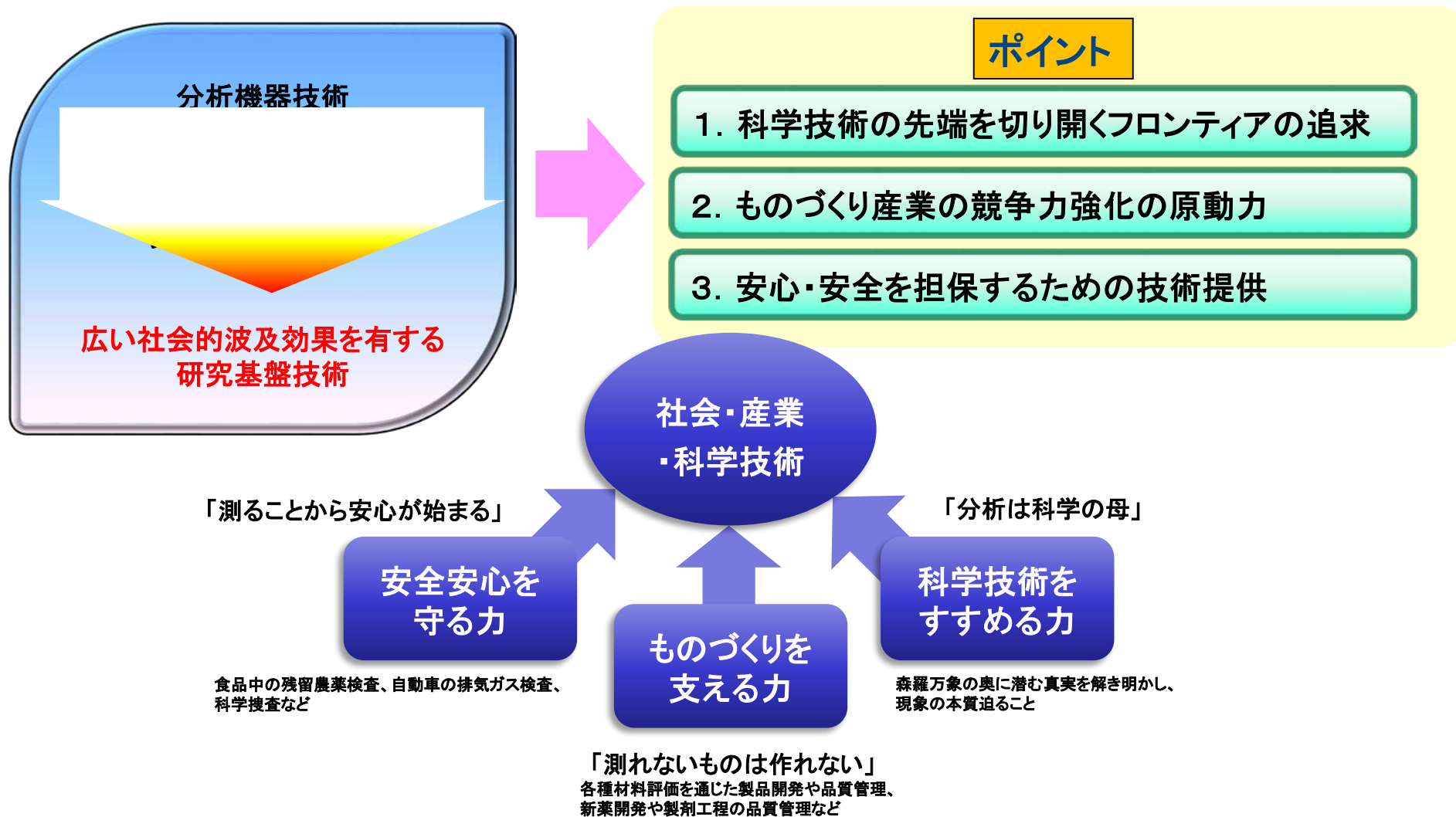
(1) 分析機器に期待される役割

(2) 今後取組みが求められる分析機器技術

- 取組みの方向性
- 分析機器開発課題例

(1) 分析機器に期待される役割

◇社会・産業・科学技術におけるイノベーションの先導！



(1) 分析機器に期待される役割

① 科学技術の非連続な革新の原動力

- **非連続な科学技術の革新のための分析機器技術**
 - ⇒より微細な領域、より高速で複雑な現象にアプローチすることで技術が進展
 - ⇒分析機器技術の更なる高度化に対するニーズ
- **分析機器技術の進展による我が国の科学技術の優位性確保**
 - ⇒これまでに見ることができなかった現象を他者に先駆けて計測・制御
 - ⇒国内外で熾烈な研究開発が行われる中で我が国の科学技術の優位性を確保

高度な分析機器開発に加えて、それを使いこなせる人材育成・ノウハウ蓄積、分析機器を更に高度化するアカデミアと産業との連携による先端的な研究開発が不可欠

② 超スマート社会で重要となるオリジナルデータの源泉

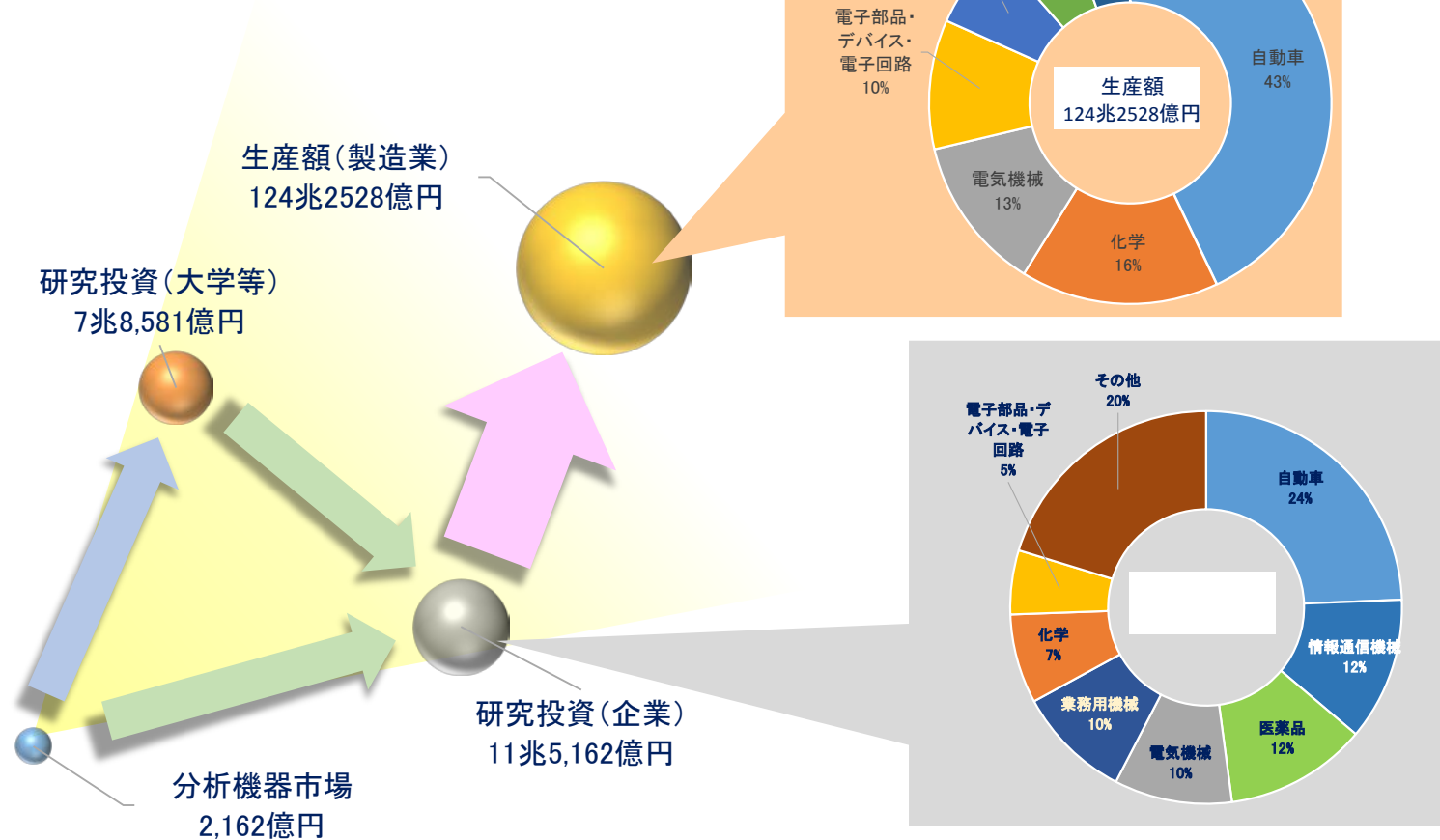
- **我が国が目指す超スマート化社会（Society5.0）での付加価値の創造**
 - ⇒フィジカル空間の状況をより微細領域に立ち返って正確に認識することが出発点
 - ⇒ビッグデータの最適化・高度な利活用のためのオリジナルデータの創製が肝

フィジカル空間での様々な空間的・時間的スケールの機構に起因する多種・多様な現象を計測・制御するための技術開発が必要

(1) 分析機器に期待される役割

③ 生産性の高い研究開発を支える基盤

- 分析機器への研究投資は、その数十倍の研究開発、数百倍の製造業市場に波及（詳細は参考1に示す）
⇒非常に高いレバレッジで投資対効果が期待



(2) 今後取組みが求められる分析機器技術 ～取組みの方向性～

次世代分析機器技術要素デバイス研究開発

- 最先端の測定原理・方式にもとづく革新的デバイス（線源や検出器等）の研究開発
- デバイス製造技術（半導体微細加工技術・高度センサー技術等）を有するプレイヤーとの連携
 - ⇒ これまで見ることはできなかったナノレベルの現象や物性へのアプローチ
 - ⇒ 分析システムの更なる高度化と海外との差別化

分析システムの高度化

- 高精度化、高感度化
 - ⇒微小領域・微量物質・微弱相互作用、電子やフォノンなどの量子現象などの分析にもとづく新たな科学領域の開拓
- 製造工程や動作環境でのオペランド計測
 - ⇒製品特性や使用時の劣化・安全性を実環境中でリアルタイムに分析可能とし、最終製品の付加価値・競争力向上に資する

計測ビッグデータ活用

- IoTを活用した計測分析データの開発支援、ビッグデータ構築
- 分析データとマクロ現象・特性（機能・性能、劣化、安全性等）を関連付ける理論的裏づけ
- マルチスケール・マルチフィジクスを統合して、同一空間で考察できる仕組み
- 高品質な分析データを活用するAI、シミュレーション技術等

フィジカルスペースからの高度な情報抽出を実現する検出器技術の開発

社会的背景	<ul style="list-style-type: none"> 超スマート社会においては、高度な情報科学の波及がサイバースペースの技術レベルの平準化を引き起こし、フィジカルスペースで取得する高度な情報が差別化の大きな要因になる そのような状況において、原子レベルの構造情報などを抽出するための検出技術は材料の機能理解と高度化、寿命予測、機能性生体分子（タンパク質等）の構造と機能の解明等の研究開発の現場において、非常に重大なコア技術となる 特に、X線・電子線は、これらの量子状態の情報抽出も可能な線源であり、研究ニーズにこたえる重要なプローブである すでに近年でも、専用の半導体デバイス開発による検出器技術の進歩が著しいが、今後は検出器技術のさらなる進歩をトリガーとした計測技術の飛躍的な発展が期待されている
開発ニーズ	<ul style="list-style-type: none"> ナノ材料の機能の理解 材料、生体の原子レベルからナノ、マクロまでの階層構造の理解 複合材料の局所（界面等）観察 生体分子の理解と創薬を含む医科学、農学の発展
開発課題	<ul style="list-style-type: none"> X線は貫通力が高い。そこで、厚膜のセンサが必要 電子線はセンサ内で多数回散乱され、画像がにじむ。これを避けるための、散乱が起きない極薄フィルム状のセンサ開発が必要 X線／電子線によるセンサへの放射線損傷は1 MGyレベルで原子炉内用途に匹敵 これに耐えうる検出技術が必要 ハイスループット化が可能な高速・高ダイナミックレンジの画像検出器技術が必要
開発内容	<ul style="list-style-type: none"> X線と電子線の両方のニーズにこたえられる基盤的次世代CMOSイメージセンサ技術 次世代CMOSイメージセンサのハイスループット性を活用できるデータ解析技術
社会実装の姿、波及効果	<ul style="list-style-type: none"> 研究開発の高度化および製造工程への適用範囲の拡大による材料分野、生命科学分野の広い意味でのモノづくりの一段の革新を支える

非連続な機能部品の創製のための先端計測分析加工技術

<p>社会的背景</p>	<ul style="list-style-type: none"> 米国GE等でデジタルツインの概念にもとづく取組みが始まっているが、超スマート社会に向け、産業・社会変革の一つの概念として注目に値する 現実世界の材料、製品や製造設備をサイバー上で再現・分析し、現実世界のリアル情報と連動した形でサイバーフィジカルシステム（CPS）上で設計・開発・製造するデジタルツインの実現により、現実情報に忠実なシミュレーション技術による確度の高い経年劣化予測、非連続な新素材開発、多品種変量生産の実現などが可能となり、様々な社会課題・ニーズにきめ細かく対応可能なこれまでにない革新的な産業発展につながるものと考えられる
<p>開発ニーズ</p>	<ul style="list-style-type: none"> デジタルツインへの取組に先行し、日本のものづくり競争優位性を揺るぎないものにするには、これに対応するリアル情報を収集する先端計測分析・加工技術開発が重要 これらは、既存の分析や加工等の基盤技術の水準をはるかに超える微細領域でのオペレーション・制御を可能とするレベルのものであり、このためには、現実情報に忠実なシミュレーション技術による経年劣化予測・化学反応評価、CPS上での新規材料の構造設計等が可能なデータ計測分析を実現する非連続な先端計測分析加工技術の開発への先導的な取組みが必要
<p>開発課題</p>	<ul style="list-style-type: none"> 原子／分子の分解能で材料を配置／切削する技術 原子／分子の分解能で材料の状態を計測／分析する技術 原子／分子の分解能で計測した情報と材料を配置する動作を高度に協調させる制御技術
<p>開発内容</p>	<ul style="list-style-type: none"> ナノ以上の分解能で電子等の量子ビームを集光させる技術 ナノ以上の微細粒子を合成する技術（分子制御を伴う化学合成） ナノ以上の微細粒子を精確かつ高速に配置する技術（カンチレバー等を制御する技術） 常圧下の材料をナノ以上の分解能で形態の計測を行い、さらに、化学状態を分析する技術（大気圧電子顕微鏡、超高分解能X線光電子分光／逆光電子分光、超高分解能質量分析イメージング、超高分解能二次イオン質量分析技術など） 機械学習による対象試料の振動（ドリフト）予測技術、ドリフト抑制技術、量子ビーム集光位置制御技術など
<p>社会実装の姿、波及効果</p>	<ul style="list-style-type: none"> 例えば、来るべきトリリオンセンサー社会で必要とされるセンサーデバイスの実現に貢献することが期待される このテーマにより開発された計測・分析技術を活用し、デジタルツインの発展等によって生物模倣などの新たな計測・分析原理をナノテクを超える超微細加工技術として具現化することで、電力消費の少ないゼロエミッションで革新的な計測・分析センサー技術やそれを活用した製品製造技術を確立することが可能となる
<p>その他</p>	<ul style="list-style-type: none"> 計測分析機器メーカーと加工機械メーカーとの連携組織（コンソーシアム等）の構築が必要（産産連携） アカデミア研究機関からのAIによる制御ルーチンの適用（産学連携）

高度車載センサの非破壊検査技術

社会的背景	<ul style="list-style-type: none">次世代モビリティとしてEV/自動運転車が世界に普及していく為には、高度な車載センサが開発・実用化されることが重要であると考えられている新規のセンサ技術はアカデミアが研究を推進する領域であるが、産業界には安心して自動車に搭載し社会に実装していくことが求められている
開発ニーズ	<ul style="list-style-type: none">車載センサに代表される「積層構造体」は複数層、多様な素材で微細な設計される為、現物が設計どおりにできているか3次元で計測し、設計・製造工程に解析結果をフィードバックすることが重要である従来、不具合の検査・解析は、センサを切断するなど破壊せざるを得ないが、構造を壊してしまっただけでは問題を再現できず設計の改善に時間がかかっている
開発課題	<ul style="list-style-type: none">非破壊検査の要素技術として「X線マイクロフォーカス技術の強化」と「THzデバイスの実用化」が必要である<ul style="list-style-type: none">⇒X線マイクロフォーカス技術：微小部の検査で3次元形状測定しても像ボケしない光源と検出器の開発⇒世界では戦略的にこの分野を強化しており、特にドイツのBruker、CarlZeissは該当技術を持つ企業の買収を進めて囲い込みを図っている⇒THzデバイス：THz帯域の光源、検出器が検査用途で使用可能なレベルのデバイス開発
開発内容	<ul style="list-style-type: none">X線マイクロフォーカス技術：「X線発生点の微小化」と「大電流化」という二律背反する性能の解決、およびCMOS型検出器による検出感度・速度の向上THzデバイス：THz光源、検出器のユニット化
社会実装の姿、波及効果	<ul style="list-style-type: none">車載センサ製造工程に適用され、製造されるセンサの信頼性・耐久性が向上する波及効果として次世代モビリティの自動化機能の向上と安全性に対する信頼が得られるこの検査技術は、日本の産業が得意とする「匠・小・省」のものづくりを支える基盤検査技術となる

(2) 今後取組みが求められる分析機器技術 ～分析機器開発課題例～

メソスコープック領域の微小質量・力計測システム

社会的背景	<ul style="list-style-type: none"> 近年の材料、部品、製品の高機能化、高精度化に伴い、その組成、物性、構造に関するマイクロからナノレベルでの、より精度の高い分析・計測、観察方法が望まれてきている 例えば、産業上ではナノ材料や微小なインクジェット液滴の質量などの高精度な計測、学術的には1細胞の力計測などへの対応が製品開発や先端的な研究を推進する上では必要不可欠になってきている
開発ニーズ	<ul style="list-style-type: none"> 微小質量の測定においては、ウルトラマイクロ天秤の測定限界（$\sim 0.1\mu\text{g}$）と質量分析装置が計測可能な領域（$\sim 10^{-18}\text{g}$）の間のメソスコープック領域は10桁があるが、この領域の微小質量・力を計測するシステムは測定対象のハンドリングや環境構築の難しさから海外企業を含めて機器開発・参入が殆どない状況 一方でターゲットとなる用途として考えられるナノ・バイオテクノロジー市場規模は、2016年から2021年にかけて倍増すると想定され、メソスコープック領域での質量・力計測システムへの高いニーズが期待される
開発課題	<p>以下にメソスコープック領域の微小質量・力を高精度に計測できる実用化システムの開発課題を示す</p> <ul style="list-style-type: none"> ボルトバランス法システム（産総研で開発中のマクロシステム）実用化 <ul style="list-style-type: none"> ⇒レーザ変位計に代わる、超精密変位計測の実現 ⇒MEMS技術による小型、高感度化 ⇒温度、湿度、振動等の影響を抑える環境制御技術 サンプルハンドリング法（マイクロピンセット、アクチュエータ）
開発内容	<ul style="list-style-type: none"> 産総研でSI新基準対応として開発が進められているボルトバランス法超精密天びんをベースに、MEMS技術を応用した実用化システムを開発する ボルトバランス法は、静電容量の変位依存性と電圧制御によりSIトレーサブルな力を実現、荷重と静電気力が釣り合うように電圧を制御する 静電アクチュエータを用いることから、加速度センサやジャイロとして実用化済みのMEMS技術の適用も可能であり、より微小力の測定が可能で、かつ小型システムが実現できる
社会実装の姿、波及効果	<ul style="list-style-type: none"> メソスコープック領域の測定アプリケーションとして、生体高分子やバイオ、工業（半導体、トライボロジー）の分野で、正確なngオーダーの微量質量・力計測が期待されている（インクジェット、3Dバイオプリンタの液滴） 微小力計測としては、メカノバイオロジー分野（細胞接着力、細胞張力、弾性力等）、光ピンセットのトラップ力の評価も可能である
その他	<ul style="list-style-type: none"> 上記の開発を合わせて、従来の質量などと同様に、「（ものを測る）ものさし」として微小質量、微小力の国際標準化への取組みが重要である

(2) 今後取組みが求められる分析機器技術 ～分析機器開発課題例～

スマート化社会のための新たな検査ソリューション

社会的背景	<ul style="list-style-type: none"> 超スマート社会においては、きめ細かな社会ニーズに対応するため、ユーザー毎の特性に応じて多様な製品（もの）が提供される そのような社会においては多様な製品を構成する個別の材料成分毎に安全性を評価することが求められることが想定される
開発ニーズ	<ul style="list-style-type: none"> 従来の検査法では、製品を構成する原材料を分析し、その中から人体や環境へ影響を与える成分を特定した上でその存在量に対して基準値を設定し、その基準値と比較することで安全・安心が担保されていた しかし、製品の多様性によって支えられるスマート化社会において、製品毎にカスタマイズした高度・複雑な材料に対して基準値を設定し安全性を評価することは非効率であり製品の多様性を支えるには限界がある したがって、来るべきスマート化社会に適した新たな検査ソリューションの開発が必要となる
開発課題	<ul style="list-style-type: none"> 対象物の内部の形態情報ではなく、有機物の組成変化などの化学状態を非侵襲に可視化する技術 対象物を構成する主要成分以外の超微量構成物の変化を高感度に検出する技術 対象物の材料が周囲に与える影響を高分解能で分析・可視化する技術
開発内容	<ul style="list-style-type: none"> X線透過装置のように形態情報を取得するだけではなく、透過した量子線や電磁波の位相変化やエネルギー変化から複合化した材料の有機物の組成の違い、透過した量子線の周波数変化などを非侵襲で取得する技術（高エネルギー分解能検出器の研究開発や高感度高速量子線／電磁波検出器） 電磁波や放射線、質量、温度、圧力等を変換効率高く直接高感度に検出する半導体検出技術（高感度高速量子線／電磁波検出器を実現するためのCMOSイメージングセンサー技術など） 電場や磁場、重力場などの量子状態を分析可能な顕微イメージング技術（高速高感度量子線／電磁波検出器による取得情報を、GPGPUなどで実行可能な並列処理により電場／磁場／重力場の情報としてリアルタイムに解析する技術）
社会実装の姿、波及効果	<ul style="list-style-type: none"> 持続社会におけるものの安全性を担保するためのインフラ技術として貢献するとともに、新しいものづくりの生産技術へも活用され、ものづくりを支える基盤技術として必要不可欠な研究開発のインフラとして重要になる
その他	<ul style="list-style-type: none"> 検査技術としての公定法への組み込み（標準化）

(2) 今後取組みが求められる分析機器技術 ～分析機器開発課題例～

エネルギーデバイス・材料の非侵略・オペランド分析技術

社会的背景	<ul style="list-style-type: none"> 地球温暖化への対応のため、COP21において設定された世界共通の長期目標として2℃目標が設定されている 長期目標実現のためには、省エネルギー、蓄エネルギー、創エネルギーなどの面で多くの革新的なデバイスが必要となる
開発ニーズ	<ul style="list-style-type: none"> 光電変換を含むエネルギー変換を高効率で行うデバイスを創製するために革新的な特性を有する新規材料が鍵となるが、新規材料の開発には高度化、複雑化、微細化した接合・加工技術が先導的に確立されることが不可欠となる
開発課題	<ul style="list-style-type: none"> ロジックデバイスや電池等のシールドやケースでパッケージされたデバイスについて、デバイスが作動している状態をそのまま計測／分析する技術 電池などのデバイスの作動状況を電子状態やイオン状態を含む化学的な情報を合わせて非侵襲に取得する技術
開発内容	<ul style="list-style-type: none"> 重元素によるシールドを透過しつつ対象物の内部情報を取得可能な非侵襲透視技術を実現する線源（中性子線／ミュオンなどを含む量子線源／粒子線源、位相が揃っているコヒーレント線源、エネルギーが揃っているモノクロマティック線源 量子線源や粒子線源を高安定で保つ発振制御技術、及び超短パルス状の照射を可能にする発振制御技術、超短露光での検出を可能にする高感度センサー 量子線や粒子線を透過させつつ対象物のデバイスの作動状態を維持するための試料保持技術、量子線や粒子線による計測・分析と試料作動状態を同期させるシステム制御技術
社会実装の姿、波及効果	<ul style="list-style-type: none"> より高機能で高性能なデバイス開発において、実施状態に即した最適化を行うための必須の技術として必要になり、高効率なエネルギー利用社会を支えるインフラ技術として貢献する
その他	<ul style="list-style-type: none"> 産業側からの機能発現状態デバイスの提供とアカデミア研究機関による作動状況解析技術の確立（産学連携）

(2) 今後取組みが求められる分析機器技術 ～分析機器開発課題例～

石油代替エネルギー普及のための分析計測技術

社会的背景	<ul style="list-style-type: none"> 無尽蔵に存在する水や多様な一次エネルギー源から様々な方法で製造することができる水素は、エネルギー源の多様化に資するとともに、利用段階ではCO2を排出しないため、将来社会において、電気や熱とともに二次エネルギーとして中心的な役割を担うことがして期待されている “水素社会”の実現のためには、技術面、コスト面、制度面、インフラ面で多くの課題が存在するがとりわけ技術面では高効率でかつ低環境負荷な水素製造、安全で効率性の高い水素の貯蔵や輸送方法の確立が必要となる
開発ニーズ	<ul style="list-style-type: none"> 水素の製造においては、各種触媒の役割が重要であり、最適な触媒材料の開発や実使用時での触媒の劣化モニタリング技術が重要となる また、貯蔵や輸送時では、高い貯蔵密度を有する水素キャリアの設計時の分析の他、水素の漏洩を高精度に検知が可能なモニタリング技術も必要不可欠となる
開発課題	<ul style="list-style-type: none"> 手法としては、従来のガス分析手法の高感度化・高選択性がポイントとなるが、下記の視点から、周辺技術の革新や分析手法そのものの革新が必要となる <ul style="list-style-type: none"> ⇒水素ガス中の多種成分（特に不純物）濃度のモニタリング；対象成分の多様化への対応のみならず、水素ガス共存化での選択性の確保はもちろんのこと、防爆対応のモニタリングシステムの構築が重要となる ⇒触媒材料の特性分析技術や実使用時での劣化モニタリング技術；高濃度の水素ガス存在下での計測・分析が必要であり、そのための高い選択性を有するモニタリング技術の確立やデバイスの防爆対応が必要となる
開発内容	<p>上記の分析・センシング・モニタリング技術の向上に加えて、下記の周辺技術の開発は必須である</p> <ul style="list-style-type: none"> 水素を扱う全ての設備における安全性確保のための技術開発（特に防爆対応） 水素の輸送をより容易にするための技術開発（水素固定化等）
社会実装の姿、波及効果	<p>石油代替エネルギーを用いた発電設備の実装の姿</p> <ol style="list-style-type: none"> ①エコシティに代表される新規な都市環境の構築において必要なエネルギー供給（発電所的な位置づけ）での実装 ②工場等の生産プロセスにおけるエネルギー供給（自家発電の位置づけ）への実装（副生成物としての水素が発生する現場では有用） ③家庭用の電力供給源（コージェネ）としての実装 ④車載動力源としての実装波及効果 <p>基本的に石炭・石油燃料枯渇への対応、再生可能エネルギー普及による持続性社会の実現</p>
その他	<ul style="list-style-type: none"> 水素源共有のためのインフラ整備（ステーションの整備等）が最も重要な課題

(2) 今後取組みが求められる分析機器技術 ～分析機器開発課題例～

高空間分解能／高時間分解能／マルチフィジクスイメージング技術開発

社会的背景	<ul style="list-style-type: none"> 超スマート社会を実現する上では、現在の水準よりも飛躍的にエネルギー利用効率が向上した革新的な超省エネルギーデバイスの実現が不可欠である 超省エネルギーデバイスの研究開発には、系を小さくすることによる省エネルギー化が重要であるが、革新的に系を小さくするには一原子や一分子の挙動を制御する技術が必要となる また、エネルギーの利用効率が高い生体内の機構を模倣してデバイスを開発する方向性も重要となる
開発ニーズ	<ul style="list-style-type: none"> 現在の計測分析技術では分子の形態や構成する原子としての状態を分析することが限界であるが、一原子や一分子の挙動を制御するためには、構成する原子の動的な量子状態までを分析する技術が先導的に確立されている必要がある また、生体内の機構を合成材料で模倣したデバイスを創製する上では、生体分子などの機能発現の機構明らかにしていくことも求められる
開発課題	<ul style="list-style-type: none"> 原子の内部の電場／磁場状態やエネルギー状態を可視化する技術 原子や分子の瞬間的な動態を分析する技術 対象となる生体試料のオペランド状態での複合的に計測分析を可能にする技術
開発内容	<ul style="list-style-type: none"> 原子の内部の電場／磁場などの量子状態と作用する線源の開発（電子や光子を超短パルスの波束として維持しつつ対象物に照射する技術、及び取得したデータから量子状態として分析するためのリアルタイム解析技術） 複数の超短パルスの線源、複数の超短時間露光の量子線検出器などをピコ秒やフェムト秒で同期させて協調動作させる超高速システム制御技術 線源や検出器などの計測環境と対象試料の保持環境の間の圧力／温度の違いをわずかな隔壁で維持する真空技術や高耐圧技術
社会実装の姿、波及効果	<ul style="list-style-type: none"> 超スマート社会を構成するフィジカル空間では、材料の特性を量子状態まで理解した上で制御することが必要であり、より高空間分解能／高時間分解能／マルチモダルな物理特性解析技術が確立することで超微細なスケールで現象を制御することが可能になり、超省エネルギーなデバイスの開発が実現する
その他	<ul style="list-style-type: none"> アカデミア研究機関による光量子計測分析技術の確立 産業側による光量子計測分析技術の具現化（産学連携） アカデミア研究機関によるマルチフィジクス現象発現機構の解明

(2) 今後取組みが求められる分析機器技術 ～分析機器開発課題例～

車載電池普及のための分析・計測技術

社会的背景	<ul style="list-style-type: none"> 自動車分野における電動化、完全自動運転の実現を支える重要な要素として長寿命・高出力・短時間充電・長時間使用可能な車載用電池の実用化が期待されている また車載に限らず、電池の革新は、蓄エネルギー等の次世代のエネルギー利用技術として様々な産業分野や日常生活に波及する重要な技術分野である 特に、車載電池は実使用環境における長期的な性能が重要で、安全性、寿命、性能担保の観点からも更なる技術開発が必要であり、そのための劣化解析等の解析手法の確立が必須である
開発ニーズ	<ul style="list-style-type: none"> 電池の性能は電池電圧・電流の変動をモニタリングし、変動が起きた電池を分解して、構成要素の材料分析を行うのが一般的であり、車載電池においても同様の評価が適用されている しかしながら、開発段階において、新たな電池材料を適用するたびに、同様の評価を行うには限界がある また、実使用を想定した時、究極には実際の運転条件に応じた劣化予想や寿命予想に繋がる手法の実現が求められる <p>*現在のガソリン車開発においても、実路走行中の排ガスモニタリングの必要性が高まっており、各国の規制もその方向に動きつつあり、車載電池も同様に、車載条件でのリアルタイムの評価が今後のトレンドになると想定される</p>
開発課題	<ul style="list-style-type: none"> 新たな電池劣化モニタリング手法の開発 ⇒実際の電池を車載したまま、非破壊・実動作条件で電池の劣化状態をモニタリングできる手法 従来の分析手法を効率化できる新たな解析手法の開発 ⇒従来のデータや経験値を活用して必要な知識を取り出すための技術 (マテリアルインフォマティクスやデータマイニング等の技法)
開発内容	<ul style="list-style-type: none"> 新たな電池モニタリング手法の開発： 超小型のプローブや特殊治具の開発も含め、電池内・近傍に設置でき、リアルタイムに電池内部の構成材料の劣化を評価できる方法の開発（小型・設置型ではあるが、材料のナノレベル（分子レベル）情報が得られることが望ましい） 従来の分析手法を効率化できる新たな解析手法の開発： 高速計算機を利用して様々な種類の様々な環境・使用条件で劣化した電池の電気化学計測データと内部状態劣化分析データ（材料分析データ）の膨大な情報をデータベースとして統合・整理し、それを適切に処理することによって必要な知識を取り出すデータマイニング技法の開発と電池劣化メカニズムの理解

(2) 今後取組みが求められる分析機器技術 ～分析機器開発課題例～

社会実装の姿、波及効果	<ul style="list-style-type: none"> • 車載電池の場合、様々な車種（小型自動車から大型トラックまで）や運転条件によって、電池にかかる負荷は大きく異なり、そのための劣化解析は、従来の電池とは桁違いに多様な解析が必要になる • また、実用化段階では車載条件でのこれらの解析も重要となる • 実際の電池を車載したまま、非破壊・実動作条件で電池の劣化状態をモニタリングできれば、電池制御システムへのリアルタイムフィードバックが可能になり、より高いレベルでの安全性、寿命、性能担保が可能になる • また、そこで得られるリアルタイムの膨大なデータをクラウドで収集してビッグデータとして活用し、データマイニング等の技法で、必要な知識を取り出す技術が確立できれば、新たな電池材料の探索や電動化車両の開発につながるだけでなく、次世代スマートモビリティ社会の実現に寄与できる
その他	<ul style="list-style-type: none"> • リアルタイムの膨大な計測データをクラウドで収集してビッグデータとして活用するためには、メーカーや装置間で異なるデータの標準化が必要となる • また、電池内部状態をリアルタイム計測するには車載電池のパッケージの標準化なども検討の対象となり、電池メーカーとの連携が必要である

(2) 今後取組みが求められる分析機器技術 ～分析機器開発課題例～

材料の劣化メカニズム解析技術 (劣化解析手法開発)

社会的背景	<ul style="list-style-type: none"> 国連サミットで採択された持続可能な開発のための2030アジェンダで盛り込まれている様々な持続可能性の確保のためには、インフラ分野や再生可能エネルギー分野において社会全般で利用される材料の劣化を防ぎ、再利用を促す技術がキー技術である そのキー技術の確立のためには、各材料の実使用条件下における劣化のメカニズムを解明することが重要であり、その知見を活用することで、劣化を遅らせる材料の利用方法や長寿命材料の開発を促進することが期待されている
開発ニーズ	<ul style="list-style-type: none"> 劣化の制御は様々な機器を持続的に使用する上で非常に重要な技術である しかし、多くの材料について実使用条件下における劣化はほとんどメカニズムが不明なままであり、有機、無機を問わず材料の劣化メカニズムを解明する技術の確立が求められている
開発課題	<ul style="list-style-type: none"> 長期の経時的な化学状態の観察から瞬間的に起こる変化を高い空間分解能で計測／分析する技術 レアイベントを検出／解析する超マルチスケール計測／分析技術
開発内容	<ul style="list-style-type: none"> 超長時間安定な価電子帯／伝導帯エネルギー準位分析システム（X線や光電子、電磁波の顕微分析技術） 異なるスケール（m級からpm級まで）の情報をシームレスに扱う技術 マルチスケール情報を統合的・効率的に取り扱うためビッグデータ構築、ビッグデータ解析技術（異なるスケールの取得データに相関情報を埋め込むためマーカー技術、及び、それらマーカー情報から取得データの関係を紐付けする画像解析技術）
社会実装の姿、波及効果	<ul style="list-style-type: none"> 学术界、及び産業界の研究開発環境が一変することにより、複合的な物理現象を伴う量子状態の観察やレアイベントなどの物理特性の発現を制御したデバイス等の研究開発が可能な状態になる 更に、その波及効果として社会で利用されている様々な新規デバイスの置き換えが進む
その他	<ul style="list-style-type: none"> 産業側からの大規模な研究対象の提供 アカデミア研究機関による情報科学技術の適用 産業側によるデバイス開発への展開

(2) 今後取組みが求められる分析機器技術 ～分析機器開発課題例～

新しい科学的発見を支援する分析機器とAIの融合

社会的背景	<ul style="list-style-type: none"> • 社会インフラの革新的な技術は常に「新物質」の開発が飛躍の基盤であったと考えられるが、近年新しい発見が頭打ちとなっていることが懸念される • 従来の科学研究は研究者の手作業による工程がほとんどであり、計測分析データを大量に集めること、および蓄積された情報から考察していくことに量的な限界と不確実性があった
開発ニーズ	<ul style="list-style-type: none"> • 分析装置の自動化、および異なる装置からのデータ集約を促進し、データ駆動型研究の基盤とすること • 膨大な研究情報（論文、データベース、経験）を研究者が網羅的に把握することを補助するAIであること
開発課題	<ul style="list-style-type: none"> • 新しい科学的発見を加速する為に、従来限界を突破する技術を開発する ⇒分析装置を自動化し研究者の測定作業という時間的限界、および測定の不確実性を取り除く ⇒蓄積された研究ビッグデータから新しい仮説を導出する量的な情報限界を取り除く
開発内容	<ul style="list-style-type: none"> • 測定の自動化：前処理、分析条件判断、多検体連続測定、データ解析という工程にロボット導入 • データのビッグデータ適応化： 異なる分析装置間のデータ書式を標準化し、サイバー空間に提供する仕組みを構築 • AIによるデータサイエンス：データ駆動型とし、情報のフォロー漏れと経験バイアスを排除する 仮説をわかりやすいコンセプトにまとめる能力をAIに持たせる
社会実装の姿、波及効果	<ul style="list-style-type: none"> • 新しい科学的発見である「新物質」の獲得が大幅に加速され、それらがもたらす機能を社会実装するまでの期間が短縮される • そのため研究開発の費用圧縮、効率的な活用がされる • ナノテクノロジー、量子効果を戦略的に獲得する為の、非平衡・複雑系での記述モデル作成が可能となる
その他	<ul style="list-style-type: none"> • ビッグデータサイエンスにおけるデータ形式の標準化が必要 • データベースの信頼性を担保しデータ公開のメリットを出す為に分散型元帳技術の導入が必要

(2) 今後取組みが求められる分析機器技術 ～分析機器開発課題例～

最適合成条件の高速探索のための分析技術の活用

社会的背景	<ul style="list-style-type: none"> 革新的な高機能材料を効率的に創製し、我が国の「ものづくりの競争力向上」につなげていく上で、試行錯誤が多い材料設計やプロセス設計を効率的に行い、生産性を高めていくことが重要となっている マテリアルズ・インフォマティクスの開発の進展によって、材料設計において目的の特性を出すための材料の組成や構造（材料の状態）が効率的に導かれるようになってくると、次の段階として材料の状態を実現するためのプロセス条件の探索が重要になってくる
開発ニーズ	<ul style="list-style-type: none"> 材料の状態やプロセス条件などの空間的・時間的スケールの異なる多種多様なデータと統合的に分析し、材料の状態とプロセス条件との関連性を明確にしていくことが求められる 更に、精度の高いプロセスを効率的に探索するため、蓄積した材料の状態とプロセス条件のデータから合成手法に関するフィードバック情報を高速に提供する仕組みが必要となる
開発課題	<ul style="list-style-type: none"> 測定・分析手法毎に分散している材料の状態とプロセス条件に関するデータの収集・蓄積 <ul style="list-style-type: none"> ⇒データの収集・蓄積を行うための共通的な枠組みの構築 ⇒良好なデータに加えて、不良データの統合的な収集・蓄積 精細な材料の状態を実現するためのプロセス条件の効率的な探索手法の確立
開発内容	<ul style="list-style-type: none"> 種々の分析装置からの測定データや分析結果を統合的に集積するデータ構造（データベース） 種々の分析装置からの異なるスケールの測定データや分析結果を統合的に解析し、合成方法等のプロセス条件から生成される材料の状態（構造等）を予測するための手法 材料の状態とプロセス条件に関するマルチスケールな測定データから、プロセス条件の調整に関するフィードバック状態を提供する高度なシミュレーション手法
社会実装の姿、波及効果	<ul style="list-style-type: none"> マテリアルズ・インフォマティクスによって提示された期待される材料特性を実現するための材料の状態をもとに、上記の分析技術にもとづき、材料を合成するための条件探索が効率的に行われ、実用化までの時間が大幅に短縮される また、耐久性の向上、有害物質の代替、コストダウンのための材料改良を行う際にも、マテリアルズ・インフォマティクスと統合的な分析技術の組み合わせにより、開発期間の短縮に大きな貢献ができる
その他	<ul style="list-style-type: none"> 分析手法にこだわることなく、広くデータを収集することで、広い視野での検討ができ機械学習等による状態予測につなげることができる また、マルチスケールの描画により、研究者のインスピレーションを刺激するツールとなる可能性がある これらを行き来することで、研究者の思考への刺激となることも期待される