

ナノテクノロジー・材料 技術ポテンシャルマップ (『2022年の姿』の俯瞰図) 統合作業
建造物・機械装置・輸送機器

		建造物	機械装置
研究開発/ 実用化におけるプロセス	知る (理論・シミュレーション)		
	デザインする (設計)		<p>(E-5)シリコンに代わるSiCが小型電力変換器の実用温度下におけるデバイス回路と実装技術で進展し、電気自動車、鉄道に加え、一般産業機器等も対象に検討が活発化している。</p> <p>(I-new)180 で1.5倍の強さを持つ耐熱性ジスプロシウム(Dy)フリーネオジム焼結磁石が実用化されており、さらに2倍の強さを持つレアースフリー磁石の開発が完了し、実用化に向けた量産化実証実験が開始されている。</p> <p>(I-new)窒化鉄系磁石のバルク体作製により従来のNd-Fe-B系磁石と同等あるいはそれを上回るレアースフリー磁石が市場に出ている。</p> <p>(J-16)材料中の希少元素の存在位置が解明され、Dyフリーの高保磁力ネオジム磁石材料の開発に必要な微細組織制御法が確立する (2016年)</p>
	つくる (加工・組立)	<p>(J-4)耐火鋼の設計指針や耐火被覆技術と耐火性能評価技術が開発される (2016年)</p> <p>(J-7)靱性を確保しつつ補修工期の半減を可能とする溶接技術が開発されるとともに、部材の接合に不可欠なボルトについて、1700MPa 級超高力ボルトの破断限界変形量が2倍になる (2016年)</p>	<p>(I-5)レアースフリーの新しい強力な磁性体が開発され、エネルギー損失を25%削減できる高性能モーターが実現する</p> <p>(I-new)輸送機器と一般産業機械装置を中心に動力用石油年間使用量を10%減らすグリーントライボシステムを20%普及させることにより、約280万klの使用量削減を実現。</p> <p>(I-new)化学エネルギーで駆動されるやわらかいゲルアクチュエータを搭載した1cm程度の小型ソフトロボットが飛翔する。この小型ロボットは機械系モーターを有しないので静かに動く。お互いが通信し群を構成して、私たちの日常生活の支援や環境モニタリングなどで活躍する。</p> <p>(A-8)省Dy型 Nd-Fe-B焼結磁石の製造プロセスが開発される</p> <p>(I-5)レアースフリーの新しい強力な磁性体が開発され、エネルギー損失を25%削減できる高性能モーターが実現する</p> <p>(J-25)貴重な希土類元素をバランス良く利用された、高い保磁力とエネルギー積が得られる希土類磁石が開発される (2016年)</p>
	みる (計測・評価・解析)	<p>(H-1)鉄道・高速道路・ビルなどの余寿命を診断する非破壊画像診断システムのための「高感度・高分解能センサー」が実現する</p> <p>(L-2)社会・産業インフラの母材である鋼材、コンクリート、複合材料に設置し、例えば1cm²面積で0.01%ひずみ程度の分解能でひずみ情報が可視化できる。または、大面積を用いて、ひずみ分布情報を視覚化できる。暗所や人の入れない箇所は固定あるいは移動カメラによって遠隔操作によるひずみ・き裂が監視できる。</p> <p>(L-3)40cmコンクリート部材を1秒以内で透視撮影、60cm程度でも撮影が可能になる。解像度0.1mm以下 (鋼材腐食度検知のため)、システム総重量300kg以下 (高出力X線の場合、橋梁点検車など既存の機材への積載)、車両に積載可能な大きさ (中性子線の場合)</p>	
使う (製品・システムへの組み込み)	<p>(I-3)ナノファイバー高性能フィルタを利用したスーパークリーンルームが実現する</p>		

応用先/適用先
輸送機器
<p>(G-4)従来よりも大容量・高エネルギー密度の二次電池が実現する。電気を経済的・安定して貯蔵し、電気自動車やエネルギーグリッドで結ばれた各種機器に電気を供給する。</p> <p>(E-5)シリコンに代わるSiCが小型電力変換器の実用温度下におけるデバイス回路と実装技術で進展し、電気自動車、鉄道に加え、一般産業機器等も対象に検討が活発化している。</p> <p>(I-new)180 で1.5倍の強さを持つ耐熱性ジスプロシウム(Dy)フリーネオジム焼結磁石が実用化されており、さらに2倍の強さを持つレアースフリー磁石の開発が完了し、実用化に向けた量産化実証実験が開始されている。</p> <p>(I-new)窒化鉄系磁石のバルク体作製により従来のNd-Fe-B系磁石と同等あるいはそれを上回るレアースフリー磁石が市場に出ている。</p> <p>(J-16)材料中の希少元素の存在位置が解明され、Dyフリーの高保磁力ネオジム磁石材料の開発に必要な微細組織制御法が確立する（2016年）</p>
<p>(D-7)高強度軽量合金/従来の7000系，2000系アルミ合金に比べ高（疲労）強度，軽量のアルミ合金が開発され，航空機，宇宙機器の一次構造部材としての製造技術が開発される。</p> <p>(F-6) 強度7GPa、弾性率400GPaの高強度・高弾性率炭素繊維が上市され、航空機材料として適用が開始される。このことにより、航空機の軽量化による一層のエネルギー効率向上が実現する</p> <p>(F-3)250Wh/kgを超える高エネルギー密度の車載用大型電池が、15円/Whの価格で実用化される。これにより、航続距離400kmの電気自動車が本格普及する</p> <p>(J-44)蓄電池において、安全性の高い全固体電解質を用いて、高性能プラグインハイブリッド自動車のために十分なエネルギー密度である200Wh/kgを可能にする正極材料が開発される（2016年）</p> <p>(I-5)レアースフリーの新しい強力な磁性体が開発され、エネルギー損失を25%削減できる高性能モーターが実現する</p> <p>(I-new)輸送機器と一般産業機械装置を中心に動力用石油年間使用量を10%減らすグリーンドライブシステムを20%普及させることにより、約280万klの使用量削減を実現。</p> <p>(A-8)省Dy型 Nd-Fe-B焼結磁石の製造プロセスが開発される</p> <p>(I-5)レアースフリーの新しい強力な磁性体が開発され、エネルギー損失を25%削減できる高性能モーターが実現する</p> <p>(J-25)貴重な希土類元素をバランス良く利用された、高い保磁力とエネルギー積が得られる希土類磁石が開発される（2016年）</p> <p>(I-new)モーター、蓄電池以外の部材をCFRP化し、積載エネルギー量を増加させることにより航続距離増加と省エネを実現。パワートレインと外装部を独立させることにより、リサイクル性・デザイン性を向上し、環境負荷の低減と顧客ニーズへのフレキシブルな対応を実現。</p> <p>(I-29)熱可塑性炭素繊維複合材料（CFRP）を大量生産型製品に適用するための基盤技術として、熱可塑性材料の性能シミュレーション技術、構造解析技術、加工技術が開発され、自動車へ適用される</p> <p>(F-5)最適アロイ構造（含、新規構造）をテーラードで作製するナノアロイ化技術が開発され、構造材料の安全性、輸送機器の軽量化によるエネルギー効率の向上が実現する</p> <p>(I-new)超高強度（現状の最高強度の1.5倍）と高加工性（伸び率1.5倍）を両立し、かつ低コストな高強度高延性鋼板（中高炭素鋼）製造技術の実用化。超高強度（現状の最高強度の2倍）と高加工性（伸び率3倍）を両立し、かつ低コストな複層鋼板（5層以下）の設計指針提示と工業製造性（製造設備）を検証。超高強度（現状の最高強度の2倍以上）と高剛性特性を両立した複合鋼板の設計・評価指針提示と部材性能データベースの構築。異種・難接合材接合技術の接合達成指針の提示</p> <p>(I-new)超低燃費用のタイヤ材料の開発へ実用化</p> <p>(D-8)貴金属代替触媒によるHC、CO、NOx除去及びPM除去を可能なエンジン排ガス処理用触媒材料が開発され、実用化に向けた実証試験が開始される</p> <p>(J-72)貴金属使用量の大幅削減のため、中空形状形態メタリック・セルを担持材料に用いることにより、優れた熱凝集耐性が実現する（2016年）</p> <p>(I-new)経年劣化の大幅な改善により、白金族元素の使用量を現状の5%以下に低減した排ガス浄化触媒が開発されている。</p> <p>(J-8)アルミニウムを用いた軽量なセル構造材料が開発される（2016年）</p> <p>(I-new)航空・宇宙分野を含む輸送機器を中心に需要が増加する難加工材を高精度加工するための工具・金型材料が実用化されており、省レアメタルを実現するための部材構造・省エネルギーを実現するための加工条件が確立され、量産化に向けた実証が開始されている。</p>
<p>(I-2)CNTが自動車、航空機等の構造材料に応用される（再掲）</p> <p>(A-11)電気自動車用バッテリーの標準化により、リサイクル性・安全性が向上する</p> <p>(H-new)炭素繊維を凌駕する力学特性ナノカーボン糸を用いた自動車・航空機（20%以上車体重量低減）。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・省エネかつ高度な処理で自動制御可能な次世代自動車による都市交通インフラが整備されている。 ・高効率インバーターが実用化され、車輪の中にモーター等の自動車駆動システムを組み込んだ「インホイールモーター」を搭載した自動車等のモビリティが実現している。 ・CFRPを構造材料として本格的に使用した、従来自動車比で軽量化率60%、安全性2倍の量産車の生産技術が確立し、2020年頃から市場に投入されはじめている見込み。 ・輸送機器における重量を8%低減するための軽量金属材料への置換部位が特定され、試作品による検証が完了し、量産化に向けた実証試験が開始されている。 ・一般通勤型EVが普及期、次世代HEV、PHEVが普及初期となり、本格的EV用のエネルギー密度重視型の蓄電池（エネルギー密度250Wh/kg、コスト2万円/kWh）が、実用化に向けた量産化実証実験が開始され、電池産業マーケットは、3兆円規模まで急激に拡大している。 ・小型、高感度、低価格センサの開発により自動車の夜間運転支援、事故防止システムやパイプライン、発電所、溶鉱炉から室内の空間温度管理システム開発

建造物・機械装置・輸送機器での共通項目

(E-1)マルチフィジクスシミュレーションが計算機ハード・ソフトの飛躍により実用レベルに達し、特にモノづくりプロセスやナノスケール材料強度特性がマクロシミュレーションにおいて考慮されている
(J-53)ナノスケール物質・材料のバルク物性の理論的解析手法が開発される(2016年)
(J-54)統計熱力学的手法を用いた実用レベル材料のナノ組織・特性の解析が実現する(2016年)
(J-56)物質・材料の電子・原子ダイナミクスを大規模かつ高精度に解析する計算手法が開発され、ナノ機能界面における新規な機能が解析・予測される(2016年)

(E-1)ビッグデータ利活用研究の進展との相乗により、計測と解析の連携、材料大量知識ベースの利活用、数学・数理の工学応用に基づく製品設計が本格化している

(E-1)加工、接合、組立のモノづくり3要素において、特に金属とCFRPなど異種材料の接合が、建造物や大型機械装置の構造部材に適用されるレベルに達している

(E-2)原子・分子レベルの局所領域における電子状態、電荷密度などを直接計測する技術が進展し、特に表面計測のみならず、材料深さ方向のサブミクロンオーダのナノ診断が可能になっている
(I-51)電子顕微鏡解像度が向上する(電子線が試料の原子がテンソルを電子により散乱・干渉した画像から試料の原子・分子レベルでの電子状態・結合状態を分析する技術が開発される)
(I-52)電子顕微鏡解像度が向上する(原子分解能で原子の3次元構造を計測する収差補正技術が完成する)
(I-53)走査型プローブ顕微鏡(探針の原子先鋭化、CNT化)が開発される
(J-10)X線/中性子併用による組成定量化法や全パターンフィッティング最大エントロピー法が開発される(2016年)
(J-12)発電プラント等の実構造物で問題となる動的現象を計測・解析・評価・予測する技術が開発され、材料信頼性評価技術が高度化する
(J-64)化学組成や原子レベル構造の変化を~30ミリ秒レベルでその場計測するX線動画イメージング技術が確立する(2016年)
(J-65)四極子核元素(全元素の6割以上が該当)について、NMRによる観測が実現する(2016年)
(J-66)単原子分解能を有する多元的その場表面計測が実現する(2016年)
(J-67)単原子分析電子顕微鏡技術が開発される(2016年)
(J-68)中性子マルチスケール時分割計測技術が開発される(2016年)

(E-2)新材料による製品通用レベルの構造部材の革新が、特に省資源、それによる低コスト化、高耐熱、軽量、低摩擦機能において顕著な進展となっている
(K-1)ナノ粒子・材料が製品中や生体内中に存在する場合の特性が解明され、計測技術の開発とともに、これらの科学的知見に基づきナノ粒子・材料について、健康影響の評価方法が開発され、評価が実施される。これらの成果に基づき、ナノ粒子・材料に係る各種ガイドラインの策定等、必要な安全対策が講じられている
(H-new)
・輸送機器、風力発電、建材等の一次構造材としてCFRTPが量産体制になっている。
・資源的制約がなく、超軽量、高強度、高キャリア移動度、高熱伝導などの優れた特性を持つカーボン複合材料が開発され、自動車、航空機、構造物等に活用される。

ナノテクノロジー・材料 技術ポテンシャルマップ (『2022年の姿』の俯瞰図) 統合作業版 (2012.5.30)
エネルギー機器・システム

創エネ機器・システム			
火力発電	太陽光発電	風力発電	燃料電池

研究開発/ 実用化におけるプロセス	知る (理論・シミュレーション)				
	デザインする (設計)		(J-18)分子化学に立脚したp型及びn型有機半導体材料が開発され、有機薄膜太陽電池の発電コストが激減する。さらに量子ドット増感型太陽電池の量子物性が解明され、事業用電力並み (7円/kWh) を下回る発電コストが実現する (2016年)		
	つくる (加工・組立)	<p>高効率コンバインドサイクル (発電効率57%) を実現するためのガスタービンの開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・1700 のタービン入り口ガス温度に耐え得るロバストな超耐熱材料技術が確立する。D-1 ・1700 のタービン入り口ガス温度に耐え得るタービン高温部品に適用可能な高性能で高い遮熱性を有する遮熱コーティング技術が確立する。D-2 <p>先進超々臨界発電の高効率化 (発電効率46~48%)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・高温条件に耐え得るロバストな耐熱材料開発及びその溶接技術が確立する。D-3 	<p>(A-1)数10um程度オーダーの薄膜太陽電池が実用化する</p> <p>(B-5)量子ドット太陽電池の変換効率がラベルレベルで25%になる一方、実用化が進む</p> <p>(G-5)エネルギー変換効率 (40%以上) で長寿命 (15年以上) の太陽電池の大規模かつ低コスト製造技術、植物の光合成よりも高効率に太陽光を化学燃料に転換するプロセスが実現する。大規模な再生可能エネルギーの供給により、化石燃料への過度の依存を無くし、気候変動や大気汚染・水質汚染を防ぎ、地球の健全性を保つ。</p> <p>(J-17)新規の低コストかつ高効率の色素増感型太陽電池が開発され、業務用電力料金並みの発電コスト (14円/kWh) が実現する (2016年)</p> <p>(H-new) 効率40%を超えるフルスペクトル型 (多接合型、量子ナノ構造型、光マネジメント構造型) 太陽電池の技術が確立。2030年に、コスト7円 / kWhを実現するプロセス技術が確立すると予想される。</p>	<p>10MW級超大型・高性能風力発電装置の実現</p> <p>・軽量化、低コスト化に優れ、メンテナンス性及び安全性も優れた複合材ブレードが実現。する。D-5</p>	<p>(D-9)SOFC/高出力密度セルの開発、コンパクト化により、事業用数100MW級発電プラントで発電効率：70%-LHVが実現する</p> <p>(I-new)300-500 域で高効率運転が可能な小型SOFC電源の普及。静寂性・長時間利用可能な利点を生かして小型電子機器、電動車いす、アウトドア利用、非常用電源等として活用。</p>
	みる (計測・評価・解析)				
使う (製品・システムへの組み込み)		(F-7)低発電コスト化 (7円/kWh) が可能な有機薄膜太陽電池が開発され、半屋外用途から実用化がはじまり、2025年以降の屋外電源用途での本格普及に向けて、技術開発と知見蓄積が進む		<p>(I-17)フラーレンを利用した燃料電池の電解質膜・電極が実現する</p> <p>(J-43)燃料電池において、電極用Pt触媒のCOによる劣化問題を根本的に解決できる150 で使用可能なハイブリッド電解質膜が開発され、現状の家庭用燃料電池並みの出力150mW/cm2が実現する (2016年)</p>	

応用先/適用先		
エネルギー機器・システム		
蓄エネ機器・システム	創エネ機器・システム	その他
二次電池	超伝導応用	
	(J-19)超伝導メカニズムが解明される(2016年)	
(G-4)従来よりも 大容量・高エネルギー密度の二次電池 が実現する。電気を経済的・安定して貯蔵し、電気自動車やエネルギーグリッドで結ばれた各種機器に電気を供給する。		(G-15)生物的酵素の働きを模倣したナノ触媒システムによる燃料の生成ができる。効率的で環境負荷の少ない燃料の生成に貢献する。 (G-16)「バイオマス・メタンの備蓄」へとシステム転換するためのナノ触媒技術が実現する。「石油・ナフサの備蓄」から環境調和型の製造プロセスへ転換。
(B-2)重量エネルギー密度、出力密度は現状のまま、サイクル寿命 現状の4倍、カレンダー寿命15年、20円/Whの 電池 が開発され、自然エネルギー発電と組み合わせた実用化実験が開始される (D-6)エネルギー密度550～600Wh/Lを目標とした 大容量電池 の開発競争が激化し、実用化に向けた検証試験が行われる (F-3)250Wh/kgを超える 高エネルギー密度の車載用大型電池 が、15円/Whの価格で実用化される。これにより、航続距離400kmの電気自動車が本格普及する (H-2) 高出力密度 リチウムイオン 二次電池用正極および負極材料 が開発される。重量エネルギー密度>250Wh/kg、出力密度1500W/Kg、電池寿命10～15年、高温実装用耐熱材料：耐熱温度>250(絶縁材料、接合材料、放熱基板材料) (H-22)(NIMSRelease)比表面積が2630m ² /gと従来材料に比べ格段に大きい グラフェン を キャパシター電極のベース材料 とし、併せて電解液イオンがグラフェン表面に多量に吸着できるように、カーボンナノチューブをスパーサーとして挿入した グラフェン積層 を開発した。この グラフェン積層 を電極に用いることにより、エネルギー密度(電極材料)62.8Wh/kg、出力密度58.5kW/kgの高性能化を実現した。さらに電解液にイオン液体を用いることにより、155.6Wh/kgとニッケル水素電池と同等のエネルギー密度を得ることに成功した。キャパシターはバッテリーに比べ、出力密度が大きく急速な充放電が可能で、例えば自動車のブレーキエネルギーの大半を回収することができ、充電も短時間で完了する。さらに、耐久性に優れ長期間にわたり繰り返し充放電が可能で、安全でもある (J-44) 蓄電池 において、安全性の高い全固体電解質を用いて、高性能プラグインハイブリッド自動車のために十分なエネルギー密度である200Wh/kgを可能にする 正極材料 が開発される(2016年) (F-4)プラチナ、パラジウム、鉄、銅、コバルト、硫黄などを目的の機材上に平均粒径1nm以下に制御して作製でき、これを用いてL I B電池の高容量化、反応プロセスのコンパクト化・効率化、レアメタル使用量が削減される。	(J-29)金属間化合物や遷移金属酸化物等の 新超伝導物質 が開発される(2016年) (J-30)臨界電流性能が実用化レベルの400A/mm ² (77K)まで引き上げられた送電用Bi系高温超伝導体が開発される(2016年) (J-45)超伝導量子デバイス応用を目指した超伝導体の 微細加工技術 が高度化し、新規磁束量子ダイナミクスの実現・メカニズム解明やTHz領域での 高強度発振 が実現する(2016年)	(B-3)レアメタルを利用しないCO ₂ 還元が全エネルギー変換効率3%で実現する (H-new)人工光合成により、二酸化炭素と水からプラスチックを合成する技術が確立した。実用化は2030年(ら)いを予想。また、植物・微生物を用いた バイオプラスチック の量産技術が確立している。 (H-new)人工光合成により、二酸化炭素と水からプラスチックを合成する技術が確立した。実用化は2030年(ら)いを予想。また、植物・微生物を用いた バイオプラスチック の量産技術が確立している。石油を原料としていた化学ポリマーの半分以上を、再生可能な バイオマス 由来とすることの出来る技術が確立する(2022年)
(A-11) 電気自動車用バッテリーの標準化 により、リサイクル性・安全性が向上する (I-NEW)一般コムーター型EVが普及期、次世代HEV、PHEVが普及初期となり、本格的EV用の エネルギー密度重視型の蓄電池 (エネルギー密度250Wh/kg、コスト2万円/kWh)が、実用化に向けた 量産化実証実験 が開始され、電池産業マーケットは、3兆円規模まで急激に拡大している。	(I-NEW)次世代携帯電話基地局用超電導マイクロ波フィルタや分散電源導入時に電力ネットワークを保護する超電導薄膜限流器が実用化されており、超電導薄膜テープ線材の信頼性実証試験と試験導入が進められている。	(B-6)摩擦や熱放射によるエネルギーロスが10%低減され、現状より高効率な作製プロセスが可能となる (E-17)プラント建設において、特に先進国のみならず新興国においても環境視点が再度重要ファクタになっており、これを抜本解決する 基盤先進技術 が脚光をあびている。 (H-24)浸透圧発電(塩分濃度差発電)により「再生可能エネルギー」を有効利用できるようになる(都市近郊に海淡水濃縮塩水なら落差300mの、海水なら落差150mの水力発電所が出現) (H-new)宅内ネットワークシステムを用いて、家電機器、太陽光発電機器、蓄電機器等を統合制御し、CO ₂ の排出量の削減する 家庭内エネルギーマネジメントシステム (HEMS)が実現している(2019年) (I-new)気温、湿度、太陽方位等で決まる住環境の状況を建材が感知し、それに応じて熱の透過性能、水分の吸着性能、太陽光の透過・反射性能が変化する 環境応答型建材 が実用化されており、温熱環境の制御に必要なエネルギーが減少し、各戸建て住宅や集合住宅に設置された 自然エネルギー の発電量によりかなりの部分が賄えるようになる。 (H-new)MEMSと信号制御や通信、電源制御などの様々な機能を有する 異種デバイス を高密度に集積化した、ユビキタスセンサ端末を安価に大量生産する技術により、センサ端末を家庭、オフィス、生産現場などの様々な環境に設置することが可能となる。安心安全社会の実現とエネルギー使用効率化を実現する。 ・化学物質、電気、熱エネルギーを必要な分だけ相互に高効率変換できる 次世代固体電解質、革新的電気化学反応デバイス製造技術 等の実現(変換効率65%以上を目指す)

エネルギーでの共通項目
<p>(E-1) 左記に加えて、第1原理計算の原子数の飛躍により、電荷挙動やそのマクロ現象のナノ解析など、複雑材料システムの統合シミュレーションが実用化されている。</p> <p>(G-13) ボトムアップ型の自己組織的材料形成手法が理論的に理解され、構造が予測可能となる、望む機能・特性を有する材料や構造やプロセスが設計できるようになる。</p> <p>(H-10) 多元系ナノ材料の構造や物性を予測できるコンピュータシミュレーション技術が確立する</p> <p>(J-53) ナノスケール物質・材料のバルク物性の理論的解析手法が開発される(2016年)</p> <p>(J-54) 統計熱力学的手法を用いた実用レベル材料のナノ組織・特性の解析が実現する(2016年)</p> <p>(J-56) 物質・材料の電子・原子ダイナミクスを大規模かつ高精度に解析する計算手法が開発され、ナノ機能界面における新規な機能が解析・予測される(2016年)</p> <p>(J-55) 量子効果の強い系を扱う理論・解析手法が開発され、新規量子機能が解明される(2016年)</p>
<p>(E-1) 左記により、特に海外生産活動の広域・多様化に伴う材料品質偏差拡大に対応して、グローバルライズで最適のロバストなモノづくりがワールドワイドに活発化している。</p> <p>(E-4)(E-6)(E-14)(E-15)(E-16) 上記に加えて、複雑材料システムの統合シミュレーションと超微細加工技術により、高耐熱や高容量、あるいは高発電能などの特長を有する材料の加工技術が実用化している。</p>
<p>(E-3) 左記に加え、特にイオン挙動の空間、時間4次元での可視化技術が、エネルギーの変換・蓄積デバイスを中心に飛躍的な進展を遂げている。</p> <p>(I-51) 電子顕微鏡解像度が向上する(電子線が試料の原子ポテンシャルを電子により散乱・干渉した画像から試料の原子・分子レベルでの電子状態・結合状態を分析する技術が開発される)</p> <p>(I-52) 電子顕微鏡解像度が向上する(原子分解能で原子の3次元構造を計測する収差補正技術が完成する)</p> <p>(I-53) 走査型プローブ顕微鏡(探針の原子先鋭化、CNT化)が開発される</p> <p>(J-31) サブミクロン分解能表面スピン顕微鏡が開発される(2016年)</p> <p>(J-32) 表層(0-100nm)及び広域(100nm²-1cm²)における、3次元元素・形状・状態分析計測が実現する(2016年)</p> <p>(J-33) 100フェムト秒時間分解能・サブミクロン空間分解能を有する超高速紫外顕微鏡が開発される(2016年)</p> <p>(J-34) 深さ分解能10nmの試料走査型3次元計測技術が確立する(2016年)</p> <p>(J-36) 単原子層の深さ分解能を有する表面計測システムが開発される(2016年)</p> <p>(J-38) 原子・ナノレベルの3次元複合構造が解析可能となる(2016年)</p> <p>(J-64) 化学組成や原子レベル構造の変化を~30ミクロンレベルでその場計測するX線動画イメージング技術が確立する(2016年)</p> <p>(J-65) 四極子核元素(全元素の6割以上が該当)について、NMRによる観測が実現する(2016年)</p> <p>(J-66) 単原子分解能を有する多元的なその場表面計測が実現する(2016年)</p> <p>(J-67) 単原子分析電子顕微鏡技術が開発される(2016年)</p> <p>(J-68) 中性子マルチスケール時分割計測技術が開発される(2016年)</p>
<p>(K-1) ナノ粒子・材料が製品中や生体内中に存在する場合の特性が解明され、計測技術の開発とともに、これらの科学的知見に基づきナノ粒子・材料について、健康影響の評価方法が開発され、評価が実施される。これらの成果に基づき、ナノ粒子・材料に係る各種ガイドラインの策定等、必要な安全対策が講じられている</p>

ナノテクノロジー・材料 技術ポテンシャルマップ (『2022年の姿』の俯瞰図) 統合作業版 (2)
半導体・デバイス

		LSTP(低待機電力デバイス)	パワーデバイス
研究開発/ 実用化におけるプロセス	知る (理論・シミュレーション)		
	デザインする (設計)	(G-22)非ブール代数を使用したデバイスの実現。複雑な計算問題を瞬時に処理できる。 (G-23)有望な新たなスイッチの基本集積回路動作が確認されている。CMOS回路よりもさらなる高集積化を可能とし、電子機器の高機能化を促進する。 (G-26)不揮発メモリーを含むロジックのアーキテクチャーが実現する。待機電力を必要としない電子機器が可能になる。	(E-5)シリコンに代わるSiCが小型電力変換器の実用温度下におけるデバイス回路と実装技術で進展し、電気自動車、鉄道に加え、一般産業機器等も対象に検討が活発化している。
	つくる (加工・組立)	(A-2)超低消費電力、超高速書換を可能とする大容量不揮発性メモリーが実現される (G-24)ゲート長10nm以下のCMOSが実現する。LSIの高性能化 (10倍の高速演算処理、1/10低消費電力化) を可能にし、電子機器の小型化・高機能化に貢献する。 (G-25)0.1-0.3Vの超低電圧動作CMOSが実現する。従来より消費電力を1/10-1/100に削減し、携帯機器の長期駆動を可能にする。 (H-13)超低電圧駆動が可能なCMOS技術 (高移動度チャネル、新動作原理CMOS (超急峻on/o 遷移)) 開発が完了し、2025年の0.1V動作可能なトランジスタ試作が開始された。 (J-21)集積素子においてアモルファスシリコンと同等の電界効果移動度を示す有機材料が開発される (2016年) (J-24)Siに直接接合可能なHigher-k材料や実効仕事関数差の大きい非晶質金属ゲート材料が開発される (2016年)	(I-6)高品質・大口径 (150mm、6インチ) SiCウエハの製造技術や、自動車・鉄道等に用いる数kV、数百Aに対応可能な高耐圧、高信頼性を有するデバイスが開発され、モジュール化に必要な不可欠な高温耐熱性 (250) を持つ周辺部材、モジュールへのパッケージング技術が開発される (I-12)グラフェン素子とSiCハイパワー素子のハイブリッド化が実現する (J-73)動作温度300 のパワーエレクトロニクス機器に必要な不可欠な高温で安定に動作するセラミックス電子材料が開発される。ミリ波領域で動作する高周波素子が開発される。焦電・圧電特性が、半導体・セラミックス素子の特性やナノ構造形成機構に与える影響が解明され、スイッチング素子や短パルス高出力エミッタが開発される (2016年) (I-new)4インチダイヤモンド単結晶ウエハが開発され、冷却せずに250 で高速動作する低損失ショットキー型パワーダイオードが実用化されている。 (I-new)受動部品 (コンデンサ、抵抗など) をパワー素子の近傍に配置し、200~250 の高温域での高速スイッチングが可能なSiCパワーモジュールを作製する技術が開発され、モジュールの一層の小型化・高効率化が達成され、パワーエレクトロニクスの市場が大幅に拡大している。
	みる (計測・評価・解析)	(G-20)サブナノメートル分解能でのin situ品質管理を実現する。不良の低減に貢献する (H-5)20nm以下の超微細形状計測、評価技術が確立する (ナノシリコンデバイス製造を支える計測、評価技術) (J-35)ゲート幅20nm以下のMOS構造における欠陥の視覚化が実現する (2016年)	
	使う (製品・システムへの組み込み)	(E-3)低損失な新構造デバイスの出現により、計算速度、物理サイズ、消費エネルギー等で現在の1桁以上の性能を有する製品が市場投入されている。 (I-new)超高速、低消費電力、不揮発性ナノカーボンメモリーによるハードディスク、フラッシュメモリー、SDRAMの代替 (I-new)情報化社会の高度進展に伴うIT機器消費電力の大幅な増大に対し、抜本的な省エネ技術をもって環境調和型IT社会を実現するため、サーバやネットワーク機器等の省エネ化に加え、データセンタやコンピューティング技術、ネットワーク技術などシステム全体に関する革新的な省エネルギー技術を実現する。	

応用先/適用先	
半導体・デバイス	
ナノエレクトロニクス・デバイス	光デバイス・センサ
	<p>(G-28)集積化フォトニクスシステムの動作設計とモデル化を可能にするシミュレーションツールが実現する。チップ内・外の高速・低消費電力情報伝送に寄与する。</p> <p>(J-14)もつれ合い光子対発生基礎理論が確立する(2016年)</p>
<p>(H-11)単電子トランジスタを使ったロジックにおいて、現在のCMOSロジックで用いられているブル代数演算に代わる新規演算(ノンブール演算)手法が確立する</p> <p>(H-12)分子メモリに関して、欠陥耐性を持ったコンピュータアーキテクチャが確立する(分子メモリでは、化学合成で約5%の副生成物ができる。すなわち、5%のエラーが起きる)。</p> <p>(H-new)自己組織化などのボトムアップ手法で、ナノ集積回路を設計する技術が確立。</p>	
<p>(G-19)化学的にも十分に制御された、所望のサイズと組成を有するグラフェン(ナノ材料)のビルディングブロックを量産する技術が開発される。高性能な電極、スイッチデバイスなどの開発により、高性能な電池、表示パネル、高機能集積回路を提供する。</p> <p>(G-27)プラズモニク、エレクトロニク、フォトニクデバイスの同一チップ集積化を実現する。チップ内・外の高速・低消費電力情報伝送に寄与する。</p> <p>(H-4)走査型プローブ顕微鏡等の原子オーダーの分解能を有する測定技術やナノマテリアルを活用して、超高密度の記録方式が開発される</p> <p>(H-14)室温で安定に動作する単電子トランジスタのプロセス技術(CNTを用いた3nm以下の量子ドット形成技術、界面の欠陥制御技術、等)開発が完了し、2025年の実用化に向けたデバイス施策が開始されている。</p> <p>(H-15)スピン波伝播を利用したスピン波デバイスのプロセス技術(ハーフメタルの最適化、強磁性金属の超薄膜化技術)開発が完了し、2025年の実用化に向けたデバイス施策が開始されている。</p> <p>(H-16)有機分子を用いた単分子スイッチ素子のプロセス技術(有機分子と金属の接合技術)開発が完了し、2025年の実用化に向けた集積化技術(自己集合などのボトムアップ手法)開発が開始されている。</p> <p>(H-17)交差する2つのナノワイヤーの交点に分子スイッチが配置された分子メモリのプロセス技術(幅2nm以下のナノワイヤー成長技術、ナノワイヤーとバルクワイヤー間の接続技術)開発が完了し、2030年の実用化に向けた集積化技術開発が開始されている。</p> <p>(I-4)量子ドットの高品質3次元配列制御が実現する</p> <p>(I-7)量子ドットの新規作成方法による自己組織化法が開発される</p> <p>(I-16)フラーレン有機薄膜トランジスタが実現する</p> <p>(I-19)有機半導体量子ドットデバイス(フレキシブルなデバイス)が実現する</p> <p>(J-23)原子スイッチとそれに関連するデバイス、有機・無機複合デバイス、グラフェンデバイス、分子デバイス、超伝導量子情報デバイス、ナノ超伝導デバイス、原子スイッチの学習機能を用いた脳型演算記憶デバイスを実現する材料が開発される(2016年)</p> <p>(J-59)物質の化学的な分解及び合成のためのナノアンテナ集積材料が開発される(2016年)</p> <p>(h-NEW)射出成形など低コストな大量生産技術により様々なMEMSを製造する技術が実現し、従来はコストの問題からMEMSの使用が難しかった、照明制御やエネルギー回収などの様々な市場に対しMEMS適用分野を拡大されている。</p>	<p>(A-10)インジウムを使用しない透明電極材料が開発される</p> <p>(B-4)電磁場・汚染物質センシング用メタマテリアルの設計が完了し、安価なプロセスでの作製手法が実証される</p> <p>(F-2)ナノ積層技術の進展によって、複雑な光学設計や異素材の複合が可能となり、光学機能製品の性能向上、フィルム基本性能の向上、革新的コストダウンが実現する</p> <p>(J-15)赤外透明性を有する結晶をフッ化物、臭化物結晶などの系で見出される(2016年)</p> <p>(J-22)エネルギー効率が格段に優れた酸化還元型の表示材料が開発される(2016年)</p> <p>(J-26)高出力LEDの動作時における温度消光が起こりにくい窒化物蛍光体の発見やその実装技術を高度化するための複合材料化プロセスが開発される(2016年)</p> <p>(J-58)GaP結晶のデルタドーププロセスと両立する光微小共振器が開発され、パーセル効果が実現される(2016年)</p> <p>(J-69)固体レーザー結晶や波長変換のための強誘電体結晶が開発され、ドメイン構造制御技術を開発して地球の大気圏環境の計測に必要となる赤外レーザーが実現する(2016年)</p> <p>(I-20)量子ドットELディスプレイが実現する</p> <p>(I-21)ナノインプリンティング3Dフォトニック結晶デバイスが実現する</p> <p>(I-22)ナノインプリンティングを利用したフレキシブルディスプレイが実現する</p> <p>(J-20)等方的なGaAs量子ドットにより20マイクロeV以下の偏光成分の分裂幅が達成され、もつれ合い光子対を発生することができる(2016年)</p> <p>(J-62)極微プラズモン共振器の2次元配列についてインチサイズのデバイスが作製される(2016年)</p> <p>(I-new)スマートフォンや眼鏡などに内蔵可能な、3mm以下超薄型かつ体積0.1cm³以下超小型の光スキャナーデバイスの試作実証と共に量産技術開発が完了し、次世代省エネ型ディスプレイや光センサーなどでその用途が拡大している。</p> <p>(I-new)グラフェンを用いたフレキシブル透明導電膜(タッチスクリーン、電子ペーパー、OLED、など)、電磁波シールド、が実用化されている。</p>
<p>(H-20)フラッシュメモリを置き換える高密度(10テラビット以上/平方センチ)分子メモリの集積化実証実験が開始されている。製品化は、2030年を想定。</p> <p>(H-21)新トランジスタ(超低電圧トランジスタ、単電子トランジスタ、スピン波デバイス、等)を用いたプロセッサの集積化実証実験が開始されている。製品化は、2025 - 2030年を想定。</p> <p>(J-41)超高速で動作するスピン波デバイスを開発するとともに、巨大なトンネル磁気抵抗効果を有する強磁性トンネル2重接合素子、高い分極率を実現する半導体と酸化物界面、小さい電流密度で磁壁移動が可能な強磁性細線構造、高起電力が得られる強磁性ナノ構造が実現する(2016年)</p> <p>(I-new)化学エネルギーで駆動されるやわらかいゲルアクチュエータを搭載した1cm¹g程度の小型ソフトロボットが飛翔する。この小型ロボットは機械系モーターを有しないので静かに動く。お互いが通信し群を構成して、私たちの日常生活の支援や環境モニタリングなどで活躍する。</p>	<p>(I-15)CNT電界放出ディスプレイが実現する</p> <p>(I-new)グラフェンを用いたフレキシブル透明導電膜(タッチスクリーン、電子ペーパー、OLED、など)、電磁波シールド、が実用化されている。</p> <p>(J-42)フッ化物、臭化物結晶などの電気光学効果・非線型光学効果による波長変換素子やアイセーフ特性を持った高出力レーザーが開発されるとともに、大気圏の透過率分散を考慮した所望の波長でのレーザー発振が実現する(2016年)</p> <p>(H-new)人間と同じ感度を持つ五感センサーのプロセス技術が確立しており、2030-2035年に製品化されると予想される。太陽光をやLEDを光源に夜間の照明に活用できている。</p>

半導体・デバイスの共通項目
<p>(E-1)左記に加えて、第1原理計算の原子数の飛躍により、電荷挙動やそのマクロ現象のナノ解析など、複雑材料システムの統合シミュレーションが実用化されている。</p> <p>(G-13)ボトムアップ型の自己組織的材料形成手法が理論的に理解され、構造が予測可能となる。望む機能・特性を有する材料や構造やプロセスが設計できるようになる。</p> <p>(H-10)多元系ナノ材料の構造や物性を予測できるコンピュータシミュレーション技術が確立する</p> <p>(J-53)ナノスケール物質・材料のバルク物性の理論的解析手法が開発される(2016年)</p> <p>(J-54)統計熱力学的手法を用いた実用レベル材料のナノ組織・特性の解析が実現する(2016年)</p> <p>(J-56)物質・材料の電子・原子ダイナミクスを大規模かつ高精度に解析する計算手法が開発され、ナノ機能界面における新規な機能が解析・予測される(2016年)</p> <p>(J-55)量子効果の強い系を扱う理論・解析手法が開発され、新規量子機能が解明される(2016年)</p>
<p>(B-4)リソグラフィ装置にメタマテリアルを組み込んだシステムが開発段階に入り、数十nm微細加工技術が可能となる。電磁場・汚染物質センシング用メタマテリアルの設計が完了し、安価なプロセスでの作製手法が実証される</p> <p>(G-21)1nmの精度をもち、色々な材料に対応可能な、大面積のパタニング(プリント)技術を実現する。低コスト・高性能の大面積エレクトロニクス製品を提供する。</p> <p>(H-3)20nm以下の超微細加工技術(EUVリソグラフィ、自己組織化、ナノインプリント)が実現する</p> <p>(I-8)ナノインプリント曲面投影露光(縫ぎ目なしロールインプリント)が実現する</p> <p>(I-9)ナノインプリント集束イオンビーム、3次元加工が実現する</p> <p>(I-10)高速インプリント技術(タクトタイム短縮、量産化)が実現する</p> <p>(I-11)ナノインプリンティング・デスクトップMEMS装置(電子線描画装置、エッチング装置)が開発される</p> <p>(E-1)左記により、特に海外生産活動の広域・多様化に伴う材料品質偏差拡大に対応して、グローカライズで最適のロバスタなモノづくりがワールドワイドに活発化している。</p> <p>(E-4)(E-6)(E-14)(E-15)(E-16)上記に加えて、複雑材料システムの統合シミュレーションと超微細加工技術により、高耐熱や高容量、あるいは高発電能などの特長を有する材料の加工技術が実用化している。</p> <p>(I-new)10nmレベルのパターン形成が可能な、汎用性が高く(安価で高生産性の)リソグラフィ装置が実現されている。</p> <p>(I-new)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・EUV(極端紫外線)露光システムによる10nm台の半導体微細加工技術が可能となる ・現在、シングルノズル型インクジェット装置を用いることで、配線幅3~5μmのパターンを0.1~0.5mm/s程度の速度で描画し、FPDの配線のリベアは行われている。そのため、本研究では、マルチノズル型インクジェットヘッドにより、配線幅5μm以下で300mm/s程度の速度で配線を描画することが可能となっている。 ・超高真空を用いない低温プロセスによりフレキシブル基板上に電子デバイスの作製が可能になり、低価格な軽量デバイス・ディスプレイなどのデバイスの実現
<p>(H-18)ナノデバイスの構造解析(マルチセンシング)が可能となり、2024年の実用化(ナノプローブ顕微鏡)に向けた機器試作が開始されている。</p> <p>(H-19)高速(ナノ秒オーダー)反転するスピンの運動を調べるための測定技術(光、電気、マイクロ波を利用)開発が完了し、2024年の実用化(スピンダイナミクス測定システム)に向けて、高感度で、簡便な測定手法の開発が開始されている。</p> <p>(I-13)電子顕微鏡を利用して分子デバイスの三次元原子構造が特定される</p> <p>(I-14)電子顕微鏡を利用して分子デバイスの電流スイッチング特性が解明される</p> <p>(E-3)左記に加え、特にイオン挙動の空間、時間4次元での可視化技術が、エネルギーの変換・蓄積デバイスを中心に飛躍的な進展を遂げている。</p> <p>(I-51)電子顕微鏡解像度が向上する(電子線が試料の原子ポテンシャルを電子により散乱・干渉した画像から試料の原子・分子レベルでの電子状態・結合状態を分析する技術が開発される)</p> <p>(I-52)電子顕微鏡解像度が向上する(原子分解能で原子の3次元構造を計測する収差補正技術が完成する)</p> <p>(I-53)走査型プローブ顕微鏡(探針の原子先鋭化、CNT化)が開発される</p> <p>(J-31)サブミクロン分解能表面スピン顕微鏡が開発される(2016年)</p> <p>(J-32)表層(0-100nm)及び広域(100nm²-1cm²)における、3次元元素・形状・状態分析計測が実現する(2016年)</p> <p>(J-33)100フェト秒時間分解能・サブミクロン空間分解能を有する超高速紫外顕微鏡が開発される(2016年)</p> <p>(J-34)深さ分解能10nmの試料走査型3次元計測技術が確立する(2016年)</p> <p>(J-36)単原子層の深さ分解能を有する表界面計測システムが開発される(2016年)</p> <p>(J-38)原子・ナノレベルの3次元複合構造が解析可能となる(2016年)</p> <p>(J-64)化学組成や原子レベル構造の変化を~30ミリ秒レベルでその場計測するX線動画像イメージング技術が確立する(2016年)</p> <p>(J-65)四極子核元素(全元素の6割以上が該当)について、NMRによる観測が実現する(2016年)</p> <p>(J-66)単原子分解能を有する多元的なその場表面計測が実現する(2016年)</p> <p>(J-67)単原子分析電子顕微鏡技術が開発される(2016年)</p> <p>(J-68)中性子マルチスケール時分割計測技術が開発される(2016年)</p>
<p>(K-1)ナノ粒子・材料が製品中や生体内中に存在する場合の特性が解明され、計測技術の開発とともに、これらの科学的知見に基づきナノ粒子・材料について、健康影響の評価方法が開発され、評価が実施される。これらの成果に基づき、ナノ粒子・材料に係る各種ガイドラインの策定等、必要な安全対策が講じられている</p>

ナノテクノロジー・材料 技術ポテンシャルマップ (『2022年の姿』の俯瞰図) 統合作業版 (2012.5.30)

医療・健康

		応用先/適用先		
		医療・健康		
		医薬品	機器	細胞組織利用製品
研究開発/ 実用化におけるプロセス	知る (理論・シミュレーション)	(J-55)量子効果の強い系を扱う理論・解析手法が開発され、新規量子機能が解明される(2016年) (H-New)薬物の体内動態および作用のシミュレーションを可能とするin silico医薬品技術が確立する(2019年)がん転移機構の解明(2019年) (H-New)ゲノム情報に基づき、罹患リスクの診断が可能となる(2023年) (H-New)スパコンにより、薬物の体内挙動や標的への作用をシミュレーションする技術が確立。	(J-55)量子効果の強い系を扱う理論・解析手法が開発され、新規量子機能が解明される(2016年)	(J-55)量子効果の強い系を扱う理論・解析手法が開発され、新規量子機能が解明される(2016年)
	デザインする (設計)	進展と相俟って、特に重要疾患の発症前診断・治療が高度先進医療として開始されている。 (E-11)(E-13)分子構造シミュレーションとDNA解析に基づいて、特定疾患に適用可能な分子標的薬剤のデザインが、因子数の比較的少ない多因子遺伝型疾患から可能になっている。 (E-11)(E-13)個人DNA解析技術、およびDNAと疾患・治療の知識ベースが整備され、個人かつ疾患に最適な治療を設計するテーラーメイド医療が開始されている。さらに治療を指向した体内埋め込み型機器の検討が本格化している。 (J-56)物質・材料の電子・原子ダイナミクスを大規模かつ高精度に解析する計算手法が開発され、ナノ機能界面における新規機能が解析・予測される(2016年) (H-New)バイオインフォマティクス法により、任意の分子認識機能を持つタンパク質の設計手法が確立。 (I-New)米粒程度の大きさで、疾病マーカーの高速検出、遺伝子型判定が可能な医療デバイスが実現され、医療の現場で、それらの診断結果に基づいた治療・投薬が行われるようになってきている。 (I-New)生体内での吸収速度を制御できるMg合金の開発 (F-New)基材表面に分子サイズレベルの化学修飾を施すことにより従来に無い革新的な表面特性を引き出せる可能性がある。これによって、防汚性、生体適合性、撥水性、吸湿性、吸着性、潤滑性などの著しい性能向上が期待できる。	(E-7)(E-8)重要疾患のマーカーセットの種類が飛躍的に増大し、左記の創薬技術の進展と相俟って、特に重要疾患の発症前診断・治療が高度先進医療として開始されている。 (E-11)(E-13)個人DNA解析技術、およびDNAと疾患・治療の知識ベースが整備され、個人かつ疾患に最適な治療を設計するテーラーメイド医療が開始されている。さらに治療を指向した体内埋め込み型機器の検討が本格化している。 (G-8)高感度、特異的な検出、低侵襲、高信頼性の多機能ナノバイオデバイスが実現する。病気の早期の予知・予防、信頼性の高い診断などに貢献する。 (I-New)米粒程度の大きさで、疾病マーカーの高速検出、遺伝子型判定が可能な医療デバイスが実現され、医療の現場で、それらの診断結果に基づいた治療・投薬が行われるようになってきている。 (I-New)生体内での吸収速度を制御できるMg合金の開発 (F-New)基材表面に分子サイズレベルの化学修飾を施すことにより従来に無い革新的な表面特性を引き出せる可能性がある。これによって、防汚性、生体適合性、撥水性、吸湿性、吸着性、潤滑性などの著しい性能向上が期待できる。	(F-New)基材表面に分子サイズレベルの化学修飾を施すことにより従来に無い革新的な表面特性を引き出せる可能性がある。これによって、防汚性、生体適合性、撥水性、吸湿性、吸着性、潤滑性などの著しい性能向上が期待できる。
	つくる (加工・組立)	(A-3)安全で安価な人工系標的指向型ナノキャリアが治験に適用される (G-7)薬の効果的な輸送や放出を行うナノキャリアが実現する。患部に直接的に作用し、効果的な病気の治療に貢献する。 (B-5)無害で安全なナノ微粒子による早期がん診断(腫瘍サイズ0.5mm)や気体中のウイルス検知がラボレベルで行われる (H-26)体内の標的細胞内部の任意の場所へ薬(DDS:ドラッグ・デリバリーシステム)や遺伝子を輸送するプロセス技術(ナノチューブ、ナノカプセル、生体適合高分子との融合)が完了し、2025年の実用化に向けた実証実験が開始された。 (I-39)フラーレン誘導体による遺伝子導入が実現する (J-51)慢性疾患の超早期における診断・治療を可能にする有機または無機ナノ微粒子が開発される(2016年) (I-New)米粒程度の大きさで、疾病マーカーの高速検出、遺伝子型判定が可能な医療デバイスが実現され、医療の現場で、それらの診断結果に基づいた治療・投薬が行われるようになってきている。 (I-New)生体内での吸収速度を制御できるMg合金の開発 (F-New)基材表面に分子サイズレベルの化学修飾を施すことにより従来に無い革新的な表面特性を引き出せる可能性がある。これによって、防汚性、生体適合性、撥水性、吸湿性、吸着性、潤滑性などの著しい性能向上が期待できる。	(H-27)ゲーティングナノポア法やバイオトランジスタ(電界効果トランジスタ)によるDNA解析技術が完了し、2025年の実用化に向けた実証実験が開始された。 (H-28)マイクロサージャリーなどの生体内医療デバイスに使用可能なアクチュエーター技術(インテリジェント材料)が開発完了し、2023年の実用化に向けた実証実験が開始された。 (H-31)生活習慣病の予防・治療のための「携帯型非侵襲血糖値モニター」が開発される (I-36)ナノプロセスによる高機能バイオセンサーが開発される (J-51)慢性疾患の超早期における診断・治療を可能にする有機または無機ナノ微粒子が開発される(2016年) (I-New)米粒程度の大きさで、疾病マーカーの高速検出、遺伝子型判定が可能な医療デバイスが実現され、医療の現場で、それらの診断結果に基づいた治療・投薬が行われるようになってきている。 (F-New)基材表面に分子サイズレベルの化学修飾を施すことにより従来に無い革新的な表面特性を引き出せる可能性がある。これによって、防汚性、生体適合性、撥水性、吸湿性、吸着性、潤滑性などの著しい性能向上が期待できる。	(A-4)組織、器官のin vitro構築へのメド、培養時間が短縮される (E-9)(E-12)(E-13)再生医療に適した細胞培養技術として、特に身体の主要臓器単位に最適な器具、装置、制御、原細胞について開発され、その臨床検討が加速している。 (G-6)臓器修復・置換のための組織成長を促進する構造化した細胞シートの構築が実現する。患部に直接的あるいは間接的に作用し、臓器の再生や病気の治療に貢献する。 (H-25)人工臓器(幹細胞によるハイブリッド人工臓器、完全合成型すい臓、など)のプロセス技術が完了し、2025年の実用化に向けた実証実験が開始された。 (I-37)ナノインプリンティングを利用した再生医療(高機能セルチップ)が実現する (I-38)超微細インクジェットを利用したティッシュエンジニアリングが実現する (J-52)自己治療力を誘導する複合生体材料、生体構造を模倣したリン酸カルシウム基材材料、及びそれらと生体組織との親和性を向上させる生体機能分子を複合化した材料、生体吸収性高分子と細胞の増殖や分化に関わる生理活性物質との複合化パターン化材料が開発される(2016年) (J-61)in-situ表面修飾法、有機誘導化、DNA基、生体高分子と金属粒子とのハイブリッド化、細孔プレート等のアセツル・ハイブリッド技術が確立、配列・集積体が作製される(2016年) (F-New)基材表面に分子サイズレベルの化学修飾を施すことにより従来に無い革新的な表面特性を引き出せる可能性がある。これによって、防汚性、生体適合性、撥水性、吸湿性、吸着性、潤滑性などの著しい性能向上が期待できる。
	みる (計測・評価・解析)	(I-51)電子顕微鏡解像度が向上する(電子線が試料の原子ポテンシャルを電子により散乱・干渉した画像から試料の原子・分子レベルでの電子状態・結合状態を分析する技術が開発される) (I-52)電子顕微鏡解像度が向上する(原子分解能で原子の3次元構造を計測する収差補正技術が完成する) (I-53)走査型プローブ顕微鏡(探針の原子先鋭化、CNT化)が開発される (J-65)四極子核元素(全元素の6割以上が該当)について、NMRによる観測が実現する(2016年) (J-66)単原子分解能を有する多元的その場表面計測が実現する(2016年) (J-67)単原子分析電子顕微鏡技術が開発される(2016年) (J-68)中性子マルチスケール時分割計測技術が開発される(2016年) (G-10)単分子の3次元空間及び時間分解計測が実現する。医療や医薬品の開発に有効な新物質の構造・機能の早期把握に貢献する。 (G-11)細胞中の分子間相互作用が計測できる。生体分子間の相互作用メカニズム解明による、新たな医薬品開発に貢献する。 (J-64)化学組成や原子レベル構造の変化を~30ミクロンレベルでその場計測するX線動画イメージング技術が確立する(2016年) (H-32)1分子のDNA等を識別することで、短時間に患者のDNAを分析が可能になることによって、緊急時においても患者個人への適切な処置が可能となる。また、血液中に含まれる微量な癌マーカー等を検知することができ、癌の早期発見に繋がる。1分子計測技術;例えばDNA1分子を計測し、その結果を医療等に応用する試みが、最先端研究プログラムで行われており、個別化医療等に大きな貢献を与えると考えられる。 (I-New)米粒程度の大きさで、疾病マーカーの高速検出、遺伝子型判定が可能な医療デバイスが実現され、医療の現場で、それらの診断結果に基づいた治療・投薬が行われるようになってきている。 (I-New)顕微鏡を用いて分子構造が3次元で可視化できる。(水平解像度10	ウイルス検知がラボレベルで行われる (F-8)DNA、RNA、タンパク質および生体内低分子化合物等の標識により、体外診断および/または体内(画像)診断の感度・精度を向上させる技術が開発される (I-40)ナノ粒子を利用した医療用蛍光マーカー等分子プローブが開発される (I-41)ナノファイバーを利用した血液診断用バイオセンサーが開発される (I-43)グラフェンを利用した分子センサーが開発される (E-8)(E-10)(E-11)ゲノム情報について、特に簡易取得したサンプルから、大量・高速・高精度に解析する技術が進展し、臨床分野において実用が開始されている。 (G-9)生体分子のin vivoイメージングが実現する。医療診断の迅速化などに貢献する。 (H-29)DNAタンパク質などの生体材料の構造解析(マルチセンシング)が可能となり、2024年の実用化(ナノプローブ顕微鏡)に向けた機器試作が開始された。 (H-30)単一分子を検出できる高感度プローブアレイ型センサの技術(CNT適用)が開発が完了し、2024年の実用化に向けた機器試作が開始される (H-32)1分子のDNA等を識別することで、短時間に患者のDNAを分析が可能になることによって、緊急時においても患者個人への適切な処置が可能となる。また、血液中に含まれる微量な癌マーカー等を検知することができ、癌の早期発見に繋がる。1分子計測技術;例えばDNA1分子を計測し、その結果を医療等に応用する試みが、最先端研究プログラムで行われており、個別化医療等に大きな貢献を与えると考えられる。 (I-New)細胞内外の物質の分布状態をモニタリングする技術が確立している。 (I-New)米粒程度の大きさで、疾病マーカーの高速検出、遺伝子型判定が可能な医療デバイスが実現され、医療の現場で、それらの診断結果に基づいた治療・投薬が行われるようになってきている。 (I-New)疾患のマーカーを呼気から分析する技術開発が進み、各国から計測機器の許認可等に必要臨床試験の推進が活発になる。	(E-9)(E-13)組織再生医療分野において、特に皮膚、骨などプリミティブな化学機能部位について臨床応用が普及し、特に自動培養など医工連携が加速している。 (K-1)ナノ粒子・材料が製品中や生体内中に存在する場合の特性が解明され、計測技術の開発とともに、これらの科学的知見に基づきナノ粒子・材料について、健康影響の評価方法が開発され、評価が実施される。これらの成果に基づき、ナノ粒子・材料に係る各種ガイドラインの策定等、必要な安全対策が講じられている (H-New)日常生活圏内で健康状態を管理するためのユビキタスモニタリングシステムが実現している(2023年) (H-New)細胞内外のモニタリング技術を応用して、1つの細胞を試料として、細胞内の全てのRNAの種類を同定できる装置が実用化している。 (F-New)基材表面に分子サイズレベルの化学修飾を施すことにより従来に無い革新的な表面特性を引き出せる可能性がある。これによって、防汚性、生体適合性、撥水性、吸湿性、吸着性、潤滑性などの著しい性能向上が期待できる。
使う (製品、システムへの組み込み)	(F-1)構造が精密に制御された10-300nmのナノ粒子が製造可能になる。このナノ粒子に医薬品を封入することで薬効が高まり、ワクチンや核酸医薬等の新型医薬品の実現・普及に繋がる。 (K-1)ナノ粒子・材料が製品中や生体内中に存在する場合の特性が解明され、計測技術の開発とともに、これらの科学的知見に基づきナノ粒子・材料について、健康影響の評価方法が開発され、評価が実施される。これらの成果に基づき、ナノ粒子・材料に係る各種ガイドラインの策定等、必要な安全対策が講じられている (F-New)基材表面に分子サイズレベルの化学修飾を施すことにより従来に無い革新的な表面特性を引き出せる可能性がある。これによって、防汚性、生体適合性、撥水性、吸湿性、吸着性、潤滑性などの著しい性能向上が期待できる。	(K-1)ナノ粒子・材料が製品中や生体内中に存在する場合の特性が解明され、計測技術の開発とともに、これらの科学的知見に基づきナノ粒子・材料について、健康影響の評価方法が開発され、評価が実施される。これらの成果に基づき、ナノ粒子・材料に係る各種ガイドラインの策定等、必要な安全対策が講じられている (H-New)日常生活圏内で健康状態を管理するためのユビキタスモニタリングシステムが実現している(2023年) (H-New)細胞内外のモニタリング技術を応用して、1つの細胞を試料として、細胞内の全てのRNAの種類を同定できる装置が実用化している。 (F-New)基材表面に分子サイズレベルの化学修飾を施すことにより従来に無い革新的な表面特性を引き出せる可能性がある。これによって、防汚性、生体適合性、撥水性、吸湿性、吸着性、潤滑性などの著しい性能向上が期待できる。	(E-9)(E-13)組織再生医療分野において、特に皮膚、骨などプリミティブな化学機能部位について臨床応用が普及し、特に自動培養など医工連携が加速している。 (K-1)ナノ粒子・材料が製品中や生体内中に存在する場合の特性が解明され、計測技術の開発とともに、これらの科学的知見に基づきナノ粒子・材料について、健康影響の評価方法が開発され、評価が実施される。これらの成果に基づき、ナノ粒子・材料に係る各種ガイドラインの策定等、必要な安全対策が講じられている (F-New)基材表面に分子サイズレベルの化学修飾を施すことにより従来に無い革新的な表面特性を引き出せる可能性がある。これによって、防汚性、生体適合性、撥水性、吸湿性、吸着性、潤滑性などの著しい性能向上が期待できる。	

ナノテクノロジー・材料 技術ポテンシャルマップ (『2022年の姿』の俯瞰図) 統合作業版
 その他

		応用先/適用先	
		その他	
		環境浄化機器	製鉄
研究開発/ 実用化にお けるプロセス	知る (理論・ シミュレーシ ョン)		
	デザインする (設計)	(G-12)CO2の回収技術として、CO2 / N2の高効率ガス分離フィルムが提供される。CO2排出量の削減に貢献する。 (G-14)安価な水の浄化技術・システムが実現する。安定的な水資源の確保に貢献する。 (H-new)ナノスケールの構造制御、界面制御により異種材料を複合化した新機能材料が実現する (2023年)	
	つくる (加 工・組立)	(F-9)精密な細孔形成技術により、欲しい物を低エネルギー、低コスト化で分離できる膜が開発される (H-23)水の浄化技術、システムの効率化と経済性の両立が実現する (J-48)有害物質の除去性能に優れたネットワーク状高分子が開発される (2016年) (J-70)自然光のみの利用で有機・有害物質を分解できる可視光応答型光触媒材料と、自然の循環の仕組みを模倣・技術化した超低負荷・高機能性層状珪酸塩などのジオマテリアル吸着・複合材料が創出される 組成・形態・空間的に高度に設計された高い環境浄化能力を持つ機能性メソポーラス材料、及び被毒耐性と環境浄化活性を兼ね備えた貴金属フリーの金属間化合物触媒が開発される 異種材料の複合化によってもたらされるシナジー効果を最大限に利用することで、これまでにない高い選択性と反応活性を兼ね備えた次世代環境再生材料が創出される (2016年)	(A-5)化石燃料に依存しない製鉄原料塊プロセスが開発される (A-6)安定的に高品位の鉄を低コストで製造できるプロセスが開発される (A-7)鉄中不純物元素を無害化するプロセスが開発される
	みる (計測・ 評価・解 析)		
	使う (製品、 システムへの 組み込み)	(I-35)光触媒による土壌汚染分解シートが開発される	

(2012.5.30)

その他
(B-4)電磁場・汚染物質センシング用メタマテリアルの設計が完了し、安価なプロセスでの作製手法が実証される (J-1)高温での各種耐熱材料基材やコーティング層、両者間の界面における組織・特性変化が予測可能となる(2016年) (J-2)希少元素使用量を低減した上で高比強度化を達成するとともに、微細組織を精緻に解析・予測する計測・シミュレーション技術が開発される(2016年) (E-1)左記に加えて、第1原理計算の原子数の飛躍により、電荷挙動やそのマクロ現象のナノ解析など、複雑材料システムの統合シミュレーションが実用化されている。 (J-53)ナノスケール物質・材料のバルク物性の理論的解析手法が開発される(2016年) (J-54)統計熱力学的手法を用いた実用レベル材料のナノ組織・特性の解析が実現する(2016年) (J-55)量子効果の強い系を扱う理論・解析手法が開発され、新規量子機能が解明される(2016年) (J-56)物質・材料の電子・原子ダイナミクスを大規模かつ高精度に解析する計算手法が開発され、ナノ機能界面における新規な機能が解析・予測される(2016年) (H-new)界面、表面における物質移動、化学反応などを、温度や化学ポテンシャルなどの変数に応じて、非経験的に精密にシミュレーションする技術が確立する(2020年)
(I-new)ニッケル合金やタンタル・タングステンなどの高純度金属、CFRPなどの難削材を切削加工で仕上げ加工まで可能な、工具が数種開発されている。これらの工具によって難削材の高精度低欠陥加工が可能となり、エネルギー機器の効率向上、輸送機器の軽量省エネ化が進んでいる。さらに、研削砥石や高温用型材料の開発・実証試験が開始されている。 (I-44)フラーレン合成メカニズムが解明・理解される (H-new)石油を原料としていた化学ポリマーの半分以上を、再生可能なバイオマス由来とすることの出来る技術が確立する(2022年) (I-23)ナノファイバー超長繊維化紡糸技術が開発される (I-24)ナノファイバー配列化技術・均一分散技術が開発される (I-25)ナノファイバーのセンサー機能付与が実現する (J-3)耐食性を向上させる防食被覆技術が開発される(2016年) (J-5)高温で作動する形状記憶合金と低摩擦コーティング材料が発見される(2016年) (H-new)工業生産に利用可能な化学触媒に匹敵するあるいはそれ以上の生産性を示す生物触媒を設計することが可能となる(2026年)
(I-new)金属分野では、新合金の開発・異種材料との融合等により、強度2倍、寿命2倍の材料開発が完了し、実用化に向けた量産化実証実験が開始されている。 (E-17)MEMS技術の先端を駆使したマイクロアクタが質的に進展を遂げ、これをスケラブルに大量集積した大型化学プラントが実用化している。 (F-new)1ドル/kg以下のナノファイバーが開発され(参考文献1のp62)、電子、機械/化学、センサー、エネルギー、医薬/医療、自動車/航空機、消費財、安全防衛などに用途拡大している。 (I-1)炭素由来の革新的機能物質(カーボンナノチューブ、グラフェンなど)の大量合成技術、および既存材料との融合技術開発を通して、超軽量・高強度な新機能材料が開発される (I-27)炭素繊維製造時の消費エネルギー消費量・CO2排出量の半減及び生産性の大幅向上(大量供給)が実現する、新たな炭素繊維製造プロセスに必要な基盤技術が確立する。 (I-28)以下の生産基本技術に関する研究開発を行い、炭素繊維製造時の消費エネルギー・CO2排出量の半減及び生産性の大幅向上が実現する 量産化に向けた新規炭素繊維前駆体の合成・製糸技術の確立 マイクロ波による炭化技術、プラズマを利用した表面処理技術・排ガス無害化処理技術の確立 (I-50)グラフェン膜質向上と量産技術が開発される (I-45)CNTの構造、品質、量産化が同時に制御できる (I-48)化学修飾フラーレンの大量合成技術・プロセス技術が開発される (I-49)高次フラーレンの選択的製造技術が開発される (I-new)2020年から新規プロセスによる年産2万トンの炭素繊維製造ラインの導入が開始予定。これにより、従来の製造プロセスに比べて22万トンのCO2排出量削減が実現。 (I-new)セラミックスを使用したハイブリッド金型 (J-46)ナノからサブナノメートルスケールでの精密な網目状構造、ならびに分子機能が複合化した網目状の集積構造を創製するプロセス技術が開発される(2016年) (J-47)多孔性シートが構築される。高強度カーボン膜が形成される、多官能性モノマーからのソフトマターが創製される、直鎖状高分子がネットワーク化される、及び多孔性物質の創成のための汎用性の高いプロセス技術が確立する(2016年) (J-49)新規のナノチューブ、ナノワイヤー、ナノシート、ナノ粒子などが創製される(2016年) (J-50)ナノスケール物質をナノレベルで精密集積もしくは異種物質と複合化する高次ナノスケール材料創製プロセスが確立する
(E-2)左記に加え、未踏化学である触媒など超高速現象の連続的観測に成功し、その解析や現象モデル化により、代替材料開発への指針が得られている。 (G-2)化学種を同定した原子分解能の計測が可能になる。新物質の構造・機能の早期把握に貢献する。 (H-19)高速(ナノ秒オーダー)反転するスピンの運動を調べるための測定技術(光、電気、マイクロ波を利用)開発が完了し、2024年の実用化(スピンドYNAMICS測定システム)に向けて、高感度で、簡便な測定手法の開発が開始されている。 (I-30)走査型プローブ顕微鏡(アミノ基の識別技術)が開発される (I-31)走査型プローブ顕微鏡(化学結合の操作技術)が開発される (I-51)電子顕微鏡解像度が向上する(電子線が試料の原子ポテンシャルを電子により散乱・干渉した画像から試料の原子・分子レベルでの電子状態・結合状態を分析する技術が開発される) (I-52)電子顕微鏡解像度が向上する(原子分解能で原子の3次元構造を計測する収差補正技術が完成する) (I-53)走査型プローブ顕微鏡(探針の原子先鋭化、CNT化)が開発される (I-new)顕微鏡を用いて分子構造が3次元で可視化できる。構成原子の元素分析と垂直解像度100 pmを達成する顕微鏡ができています。 (J-64)化学組成や原子レベル構造の変化を~30ミクロメートルでその場計測するX線動画イメージング技術が確立する(2016年) (J-65)四極子核元素(全元素の6割以上が該当)について、NMRによる観測が実現する(2016年) (J-66)単原子分解能を有する多元的なその場表面計測が実現する(2016年) (J-67)単原子分析電子顕微鏡技術が開発される(2016年) (J-68)中性子マルチスケール時分割計測技術が開発される(2016年) (I-46)ナノレベルでの加工・欠陥制御が実現する (J-37)耐熱材料、高強度材料等の環境中その場計測システム開発される(2016年)
(A-12)ベースメタルの合金元素別ソーティングによるレアメタルの拡散量削減と、ベースメタルの平行リサイクルが実現する (I-32)CNTを利用した防護服、防火服が開発される (I-34)ナノファイバーを利用した多機能複合繊維が開発される (J-40)高い記録密度を実現可能にするエネルギーアシスト磁気記録媒体、及びそれに対応できる再生ヘッド用高感度磁気センサーが開発される(2016年)