

6. 化学分野

2010 年の科学は小惑星探査機「はやぶさ」の成功や日本人ノーベル化学賞受賞などの明るい材料がある反面、政府による事業仕分けなどで現場が混乱するなど、話題の多い年であった。私たち化学にたずさわるものには、現在の地位に安住することなく社会との関係をいかに構築するかという課題を突き付けられたことを意味している。日本の化学関連学協会は未来へとつながる指針を模索し、それを社会に向けて俯瞰的に発信する努力をしなければならないと考えている。

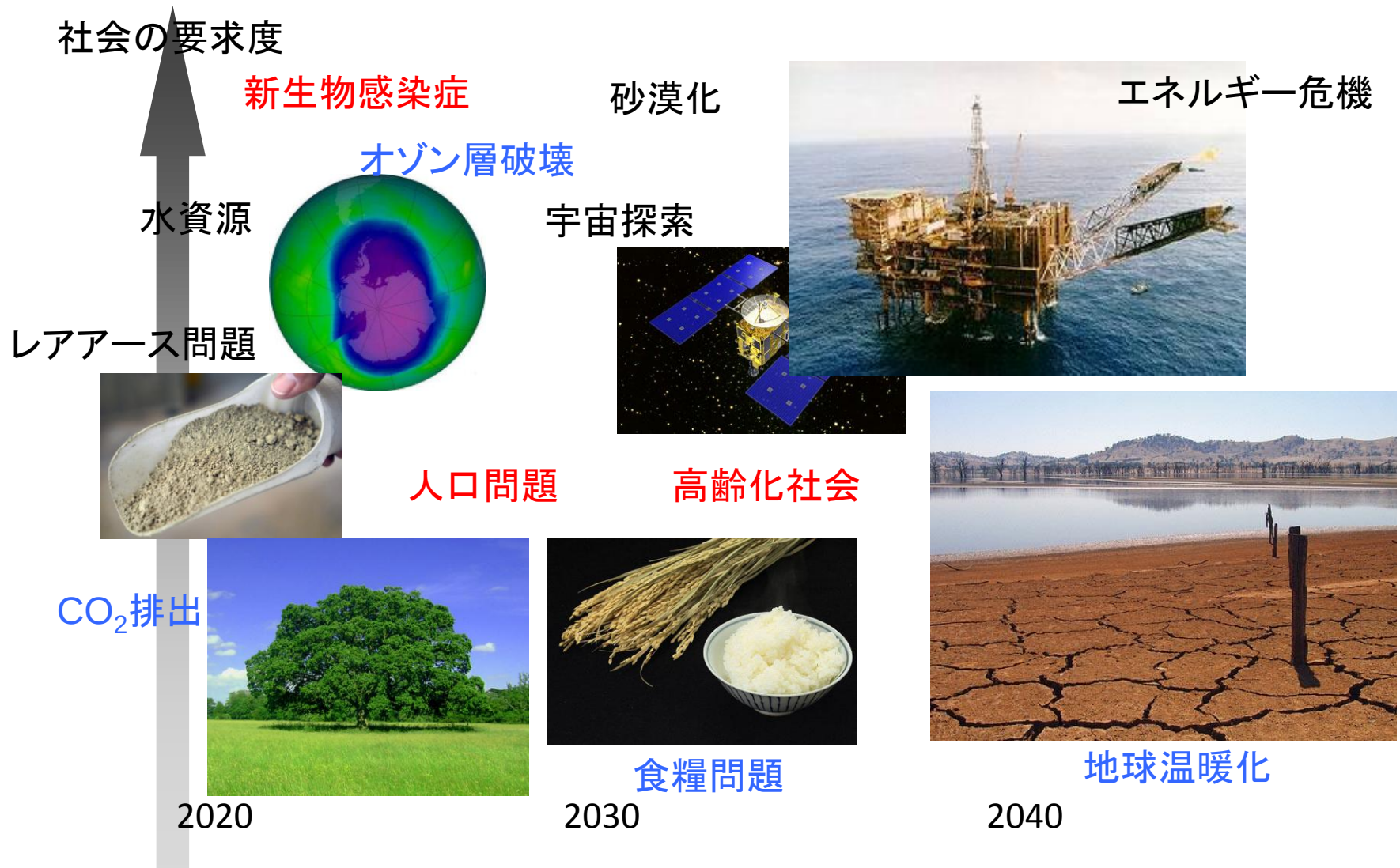
現代の科学に課せられた使命は、「持続する発展」を地球規模で実現するための方策を見出すことである。現代社会が抱えている、例えば「地球温暖化」「エネルギー危機」「食糧問題」「レアアース禁輸」「オゾン層破壊」などの諸問題は、本質的に化学の問題に帰結される。「化学の問題には化学で答える」ことこそが、私たちに課せられた責務であり、社会的情勢の変化に応じた素早い対応が必要であると考えなければならない。

このために私たちは企業や地域の要請による「課題解決型の研究（社会的要請）」や大学における知的活動に主導された「基礎/基盤研究（知的好奇心）」などの研究機構の整備を進めることが求められる。さらに強いリーダーシップを発揮したナショナルプロジェクトという研究プラットフォームを編成して、知を結集して社会が直面する諸問題を解決していく決意をしなければならない。

その一方で、私たちは明るい未来を夢見る「努力」も続けていかなければならない。科学は自然から学び、時にそれを模倣し時にそれを凌駕する努力を続けてきた。そうした知恵と工夫こそが科学技術立国であるわが国の屋台骨である。私たちにそうした夢を見る自由や、解決する過程を反芻することはできるだろうか。そうした土壌を形成し、人材を育てることもまた、学協会に社会から託された義務であると感じる。

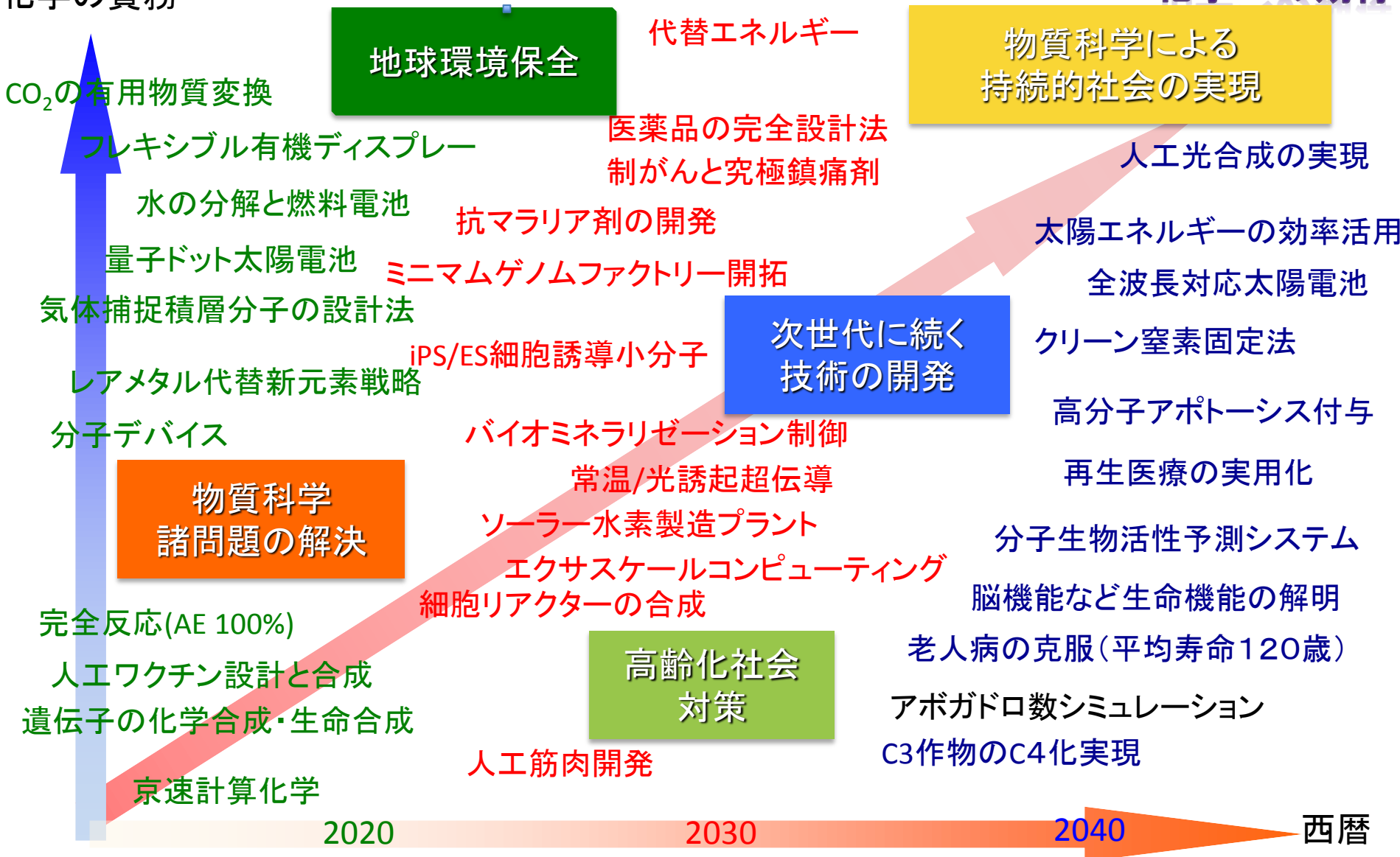
6. 化学分野の科学・夢ロードマップ

化学周辺の地球規模諸問題（日本化学会）



化学への期待

化学の責務



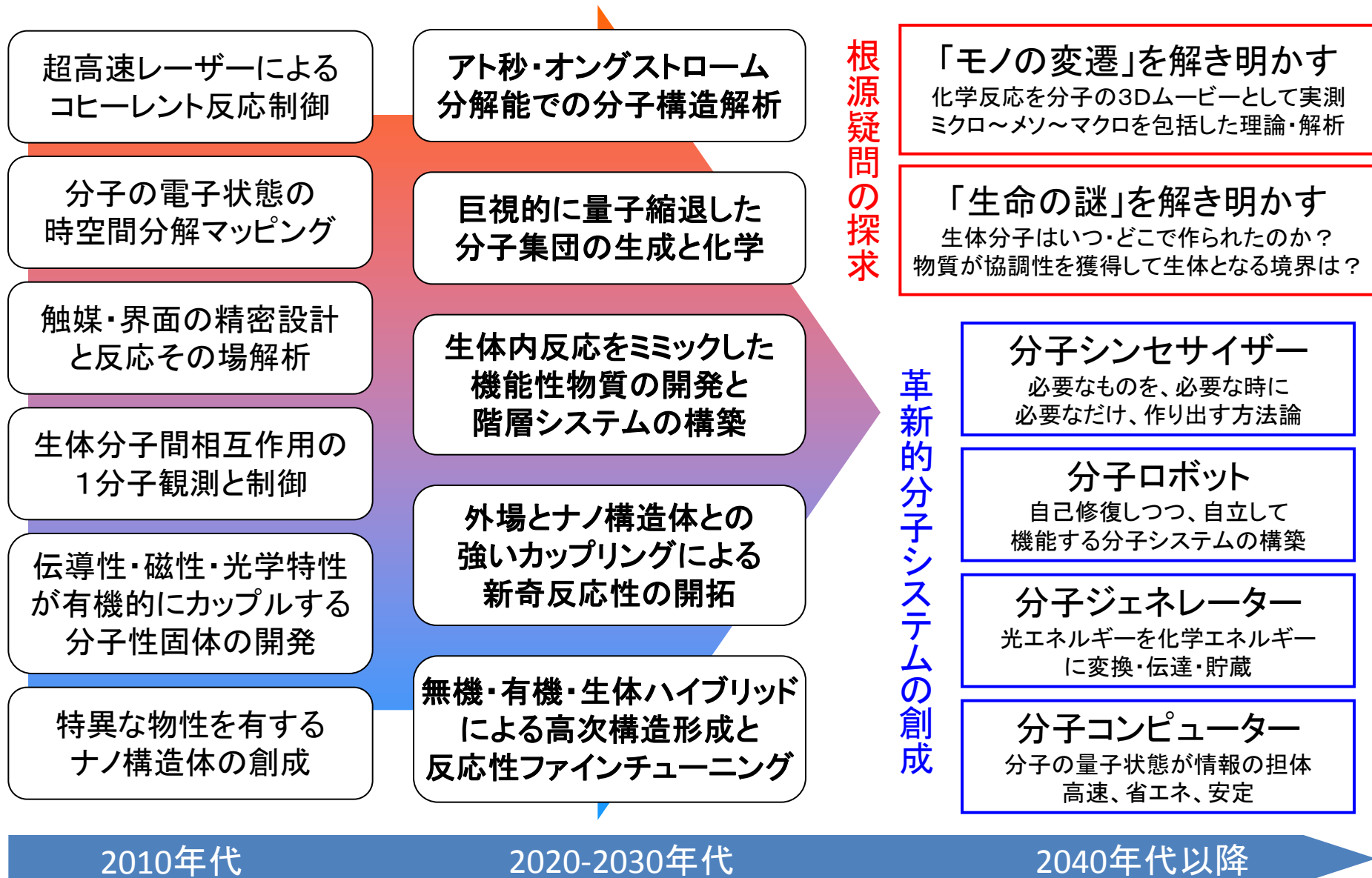
化学の責務

化学への期待

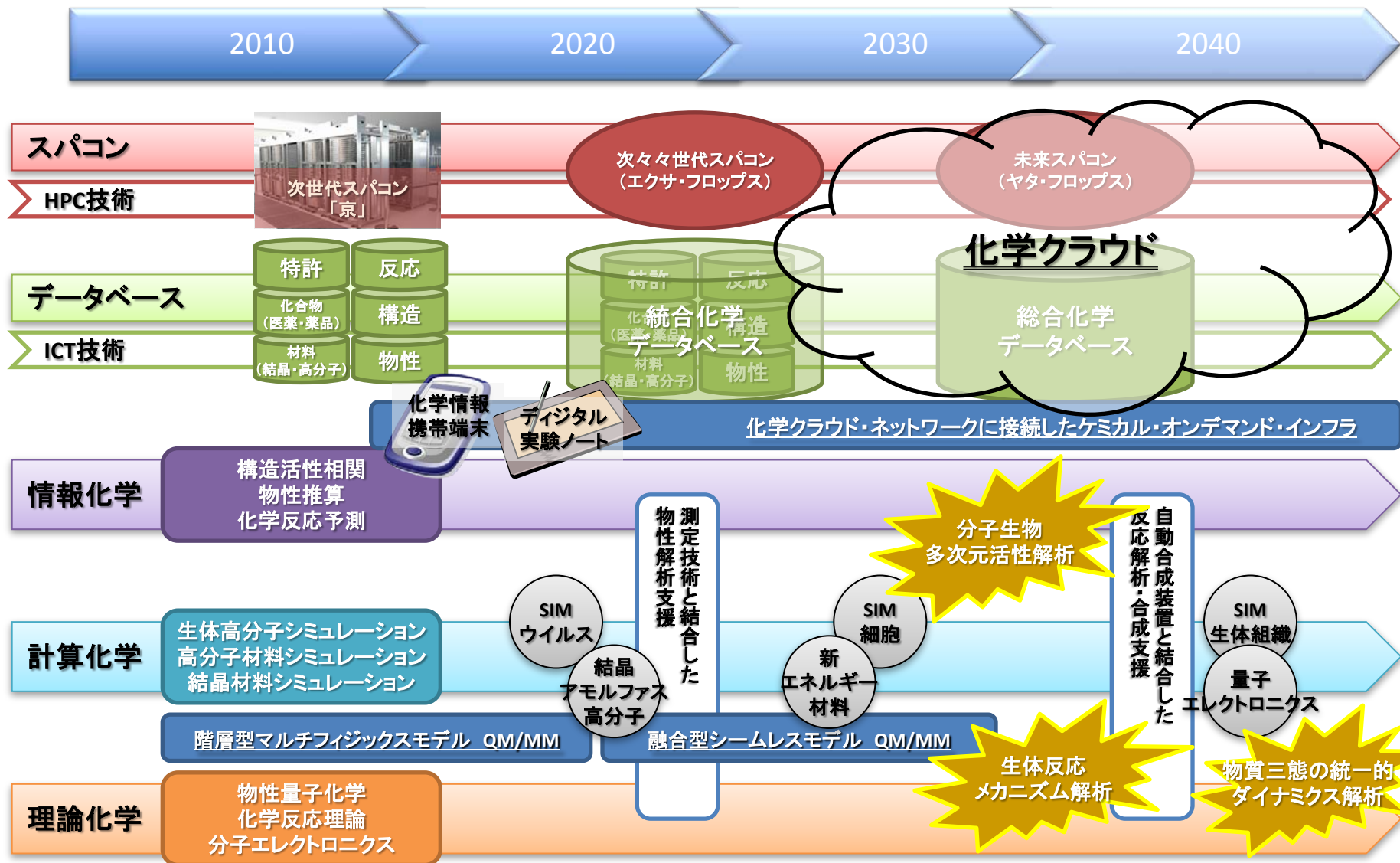


6-3. 化学の科学・夢ロードマップ

～身近な「モノ」に潜む根源的な謎を解き明かし革新的分子システムを創成する物理化学～



6-4. 化学の科学・夢ロードマップ ～理論化学・情報化学・計算化学～



社会的貢献(応用研究)

環境問題 炭酸ガスの有用物質変換 省エネルギー! 廃棄物ゼロのプロセス

資源! エネルギー問題 色素増感太陽電池 全波長対応太陽電池 量子ドット太陽電池
レアメタルの回収および代替新元素 燃料電池

食糧問題 低環境負荷窒素固定 バイオリアクター 人工光合成

医療! 福祉! 老齢化問題 制ガン剤 テーラーメイド高活性低分子医薬品

諸機能基盤技術の探索

触媒機能 未知の結合反応の開拓 有用性結合の切断! 利用
不活性結合の活性化 高難度結合の自在連結

光機能 レーザー加工 ソーラー水素製造 超短パルスレーザー

磁気機能 量子機能材料 単分子磁性体 量子情報ネットワーク

電気機能 高温超伝導 分子エレクトロニクス 常温/光誘起超伝導

2020年 > 2030年代 > 2040年代 >>

2010年代

2020年代

2030年代

ライフサイエンス

創薬・ 有機合成	有用天然化合物の力量 ある全合成法の確立	分子および合成経 路設計法の確立	テーラーメイド高活性 低分子薬剤の拡充	難病特効薬 の創出
生物資源 の利用	生合成の人工的模倣法 の確立	抗マラリア剤の開発 制がんと究極鎮痛剤	生合成遺伝子を自在 に操る技術の確立	遺伝子資源を 利用した創薬
分子・細胞を 診る・操る	遺伝子情報に基づく 新規化合物の探索	遺伝子情報を利用した 有用物質の生産 (ミニマムゲノムファクトリー)	細胞を操る分子の開発	生命現象の 理解と制御 (分子ツールの開発)
	生体分子可視化の 高感度プローブの開発	ライブ観察可能な生細胞 超解像蛍光顕微鏡の開発	生物個体内の超解像 イメージング技術の構築	

ナノ・インフォメーションテクノロジー

光と エネルギー	無機化合物を凌駕する 機能性有機化合物の発見 と合成法の確立	分子エレクトロニクス素子 (半導体、発光素子、メモ リー等)の作製	自己修復型全有機集積回 路素子と人工知能の実現	人工光合成と 省エネルギー 社会の実現
情報処理 デバイス	フレキシブル有機太陽電池・ トランジスタ用材料と実用素 子作製技術の確立	溶液プロセスによる分子エレク トロニクス集積回路素子作製	人工光合成の実現	
	有機機能性分子を繋ぐ分子 配線技術の確立	合成化学的手法による 高密度集積回路の作製	全波長対応有機太陽電池の開発	
			有機太陽電池壁をもつ自 己発電型高層ビル建設	

2010年代

2020年代

2030年代

サステナブル有機合成

汎用性の高い反応の
高活性超効率触媒の開発

既存触媒のユビキタス金属
錯体触媒への転換

原材料のバイオマス
への転換

多成分自在連結反応の
開発

省エネルギー・廃棄物ゼロ
の工業プロセスへの転換

環境調和型工業
プロセスの普及

分子の自動合成

触媒設計の一般化

ポリケチド・糖・多置換芳香環
などの自動合成法の確立

分子設計と反応予測、
合成経路設計法の確立

クリーン窒素固定法の開発

標的化合物の自動
合成装置の開発

骨格の自在構築

不活性結合の活性化

Fischer-Tropsch 反応の
制御技術の開発

有機分子の簡単
オンデマンド合成

炭素および複素環ユニット
の自在連結法の開発

任意の位置での
分子連結法の確立

標的分子合成への
実践的応用

官能基の自在導入

官能基の直接導入法の確立

分子認識能を有する
触媒の開発

多様な機能性有機
分子ワールドの創出

触媒的な官能基化反応の開発

無保護分子変換の実現

酵素を理解し、目指す

官能基認識を実現する
基本相互作用の理解

官能基認識を基盤とする
選択的触媒反応の創出

酵素を超える

細胞リアクターを用いる
生体分子群の自在合成

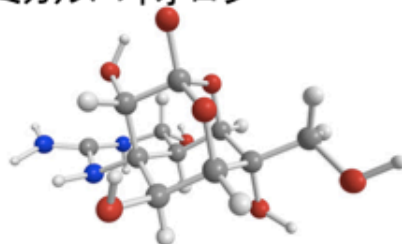
2010年代

2020-2030年代

2040年代



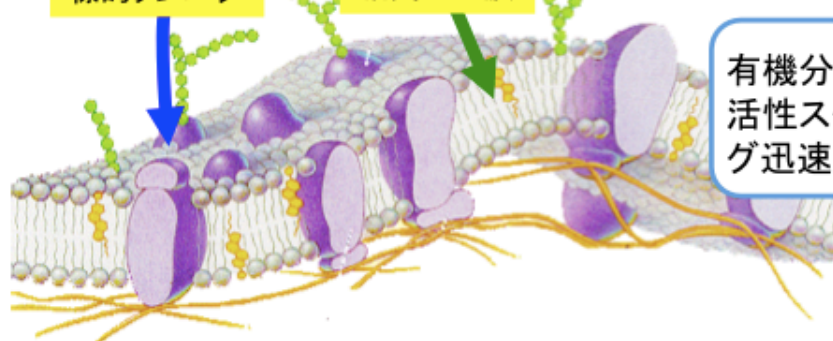
生体機能に関わる稀少分子群
の発見・合成・生合成・作用機構・
ケミカルバイオロジー



糖鎖

標的タンパク

脂質二重膜



休眠ゲノムの発現
による生合成的有
用分子生産

高原子効率全合成
による100g単位
の有用分子供給

ツール分子/標識
分子を用いる生体
機能の機構解明

有機分子の生物
活性スクリーニン
グ迅速化

健康、医療、長寿社会のQOL向上

- 1) 人類最大の課題であるガン、マラリアの克服
- 2) 脳科学の進歩に貢献
 - ・記憶・学習の分子機構の解明
 - ・脳保護薬・認知症改善薬が実現
- 3) 免疫賦活による予防医療
- 4) 抗血栓薬、骨粗鬆症治療薬

有用有機分子生産・供給の基盤技術

- 1) ゲノムライブラリーの構築
有用分子の自在生産が実現
- 2) 酵素を凌ぐ有機触媒の実現
- 3) 有用分子の多段階自動合成
有機合成による生体高分子合成

マクロ生態系ダイナミズムの解明

生体複雑系の制御が実現
連作を可能にする有機農薬: 食物増産に貢献
真青のバラ、真赤なヒマワリが咲く
生態環境保全のための化学生態学

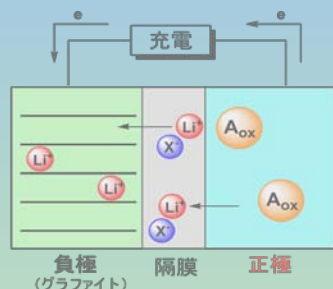
2010年代

2020年代

2030年代

電池・燃料電池

可搬利用 リチウムイオン
定置利用 NaS



次々世代二次電池
金属空気、多価カチオン
有機材料 等

エネルギー課題に
挑戦

化学センサー

ナノ材料を用いた化学センサ
紙ベースの電気化学集積化チップ
新材料技術との融合・高機能デバイス・シ
ステム開発

超分子を用いた抗体並みの
高精度生体分子センサ
ナノ・マイクロ統合センサーシステムの開発

センサーによるセーフ
ティネットワークの構築

熔融塩・イオン液体

反応媒体

電池材料

環境・エネルギー分野で
の利用

生物電気化学

電気化学的手法による
シークエンサー

単一細胞機能の電気化学
制御

高容量のバイオ電
池開発

インビボバイオセンサ
の実用化、普及

有機電気化学

有機電解合成

光・マイクロ波、超音波・マイクロリア
クターなど有機電気化学との融合



環境調和型化学合成

新有機電子・電気材料
有機・無機ハイブリッド材料

多様で柔軟な有機電子・電
気材料とデバイス

レアエレメントか
らの脱却

2010年代

2020年代

2030年代

精密重合系の開拓

- ★非極性・極性オレフィン共重合触媒の開発
- ★高耐性実用的精密制御重合技術
- ★共役系高分子の精密合成技術
- ★多様なヘテロ元素含有高分子の合成

- ★超高選択的重合触媒の開発
- ★完全立体特異性重合の実現
- ★多重刺激応答性ポリマーシステムの開発
- ★元素ハイブリッド高分子の創出

- ★超高性能高分子材料の開発
- ★定序配列高分子合成

高分子ナノ複合材料の開発

- ★高分子ナノハイブリッド材料の合成

- ★高分子ナノハイブリッド材料の高機能化

- ★超ハイブリッド型高分子ナノ材料の実用化

環境調和型高分子材料の開発

- ★植物由来モノマーからの汎用高分子材料合成
- ★CO₂を原料とする高分子の高機能化

- ★バイオベースポリマーの高機能化
- ★汎用高分子材料リサイクルシステムの実現

- ★完全リサイクル型高分子の開発
- ★自己修復性高分子材料の開発

生体模倣の高分子材料

- ★鋳型重合による高分子合成

- ★高精度鋳型重合の開発
- ★情報担持型高分子の開発

- ★生体模倣的機能性高分子合成システムの開発

2010年代

2020年代

2030年代

クリーンな有機合成

環境調和型工業プロセスの普及

不活性結合の活性化
不活性小分子の活性化

原材料のバイオマス
への転換

既存触媒のユビキタス金属
錯体触媒への転換

原材料の炭化水素
への転換

グリーン媒体(水中反応等)
グリーン触媒(固定化触媒)
高機能ナノ金属触媒

テーラード触媒
・インプリンティング触媒
・自己集積触媒
複合ナノ金属による複合機
能触媒の合理設計

省エネルギー・廃棄物ゼロ
の工業プロセスへの転換

窒素固定法の開発
二酸化炭素固定法の開発

多段階フロー触媒プロセス
の自在設計

「元素戦略に基づく無機触媒系の構築」から「未来型工業触媒プロセス」へ

希少金属を含まない固体触媒(低環境負荷・省資源)

石油の超高度利用 ----- 新エネルギーとの共生

化学組成制御

単純炭化水素の化学変換制御(接触分解・骨格異性化の完全制御)

結晶構造・高次構造制御

触媒活性点制御(量・強度)

触媒の安定化・長寿命化

触媒活性点制御(位置・立体環境)

6 a . 無機材料（セラミックス）関連技術

工業材料は大きく金属材料、有機材料、無機材料（セラミックス）に分けることができる。この中でセラミックスの特徴は、その多様性にある。すなわち、セラミックスはほぼ全ての元素とそれらの組み合わせからなる膨大な数の化合物を対象とするため、セラミックスの示す性質は多種多様であり応用也多岐にわたる。製鉄技術あるいはシリコン半導体技術は、ほぼ一つの元素を対象とし、その利用技術を極限まで高めることで大きな産業へと発展した。しかし、単一元素であるという単純さゆえ生産技術における装置依存度が必然的に高くなり、他国の追従と技術的逆転を許す結果となった。今後のわが国の「ものづくり産業」は、複雑な材料組成・構造を制御し安定に生産する高度な材料技術を基盤とすることが重要であり、この意味でセラミックスはわが国の将来を支える材料であるということができる。今回まとめた「夢のロードマップ」では、ほぼ全ての分野で環境・エネルギー・安心安全がキーワードとなっている。現在の小型高機能電子機器の実現にセラミックス電子部品の果たした役割は非常に大きい。その成果は同一機能の省エネルギーでの実現とみなすこともできる。この意味で、情報・通信関連のロードマップも最終的には電子機器の省エネルギー化あるいは安全安心の実現を目指したものとなっている。

以下にセラミックスの各分野のロードマップの説明を記載するが、応用分野の多様さゆえ、限られた紙面の中で個々についての図表を載せることはできず内容は概要のみとなっている。

（１）資源・環境関連

資源・環境材料分野の究極の夢は、地球環境の維持・発展に資する材料技術の発明とその実用化である。地球環境の保全には環境浄化、省エネルギー、省資源を一体的に実現する必要がある、それを目指すための「夢」のキーワードとして、「人工光合成」、「ユビキタス元素」、「完全リサイクル」、「ゼロリリース」「CO₂の完全固定化」が挙げられている。これらを実現するための技術開発の方向性は「表面」と「電子」である。すなわち、固体の表面を化学反応の場としてとらえ、固体自体と他の物質、光、熱、電荷、情報といったものとの直接的なインターフェイスとすることで機能の実現を目指す。

（２）元素戦略

特にレアアースの資源確保が大きな課題として浮上している。鉛などの有害元素やレアアースの効果を原理的に解明し、その知見に基づいてこれら元素を他の元素で置き換えた機能代替セラミックスから、さらに新しい機能性を有するセラミックスの創出が指向されている。これらを研究指針の二本柱とする研究を推進することにより、ナノレベルで構造を制御したセラミックスが本格的に実用化すると考えられる。安全・安心で便利な社会に利用されるセラミックスの開発が目標である。

（３）エネルギー関連

エネルギー関連技術の開発目標は、蓄電、発電、省エネルギーに分けられる。蓄電技術では、現在の有機溶媒を電解質とする電気二重層キャパシタ、リチウムイオンキャパシタ、リチウム電池に代わり、信頼性、安全性、エネルギー密度に優れた固体のキャパシタあるいは固体二次電池が開発目標となる。蓄電用固体キャパシタや全固体二次電池は将来の実用化が期待されるが、現時点では、基礎的知見や応用技術は十分ではない。そのため、材料探索、性膜・積層化・複合化などのプロセス開発、界面でのイオン移動の学術的解明を行うことにより、現状のキャパシタや二次電池のエネルギー密度を超える特性、大型化の設計、高安全性・高信頼性の確保が達成できれば、家庭用、電気自動車用、および風力・太陽光発電用の蓄電デバイスとして広く用いられると予測される。発電については太陽光利用が主体となり、そのための太陽光発電・太陽熱発電用ガラスの開発が目標とされている。また、省エネルギーに関しては、セラミックス製造時のエネルギー多消費焼成炉の省エネルギー化は危急の課題として挙げられる。マイクロ波加熱の利用やプロセスシミュレーション技術の向上が開発課題となる。さらに、建物の断熱ガラス、赤外線反射ガラスや低放射ガラス（太陽光は透過し室内熱輻射を反射ガラス）の高性能化と広範囲な普及も省エネルギーのための重要な課題である。

（４）情報・通信関連

セラミックス電子部品の中で最も大きな市場を形成する積層キャパシタは、現在、誘電体の示す「サイズ効果」により同一サイズでの静電容量向上には限界がみえつつある。しかし、サイズ効果の原因はほぼ解明され、今後、それを克

服する技術が開発されれば、セラミックス積層キャパシタの飛躍的な性能向上が見込まれる。高周波部材に関しては、セラミックス単独よりも、樹脂基板との複合化が進展すると予想される。また、圧電部材に関しては、材料の非鉛化と素子の超小型微細化が技術課題となる。現在非常に活発に研究が行われている分野であり、その延長線上でロードマップの実現を目指している。磁性材料の代表であるフェライト部材に関しては、元素戦略の観点から、希土類磁石にかわる高性能フェライト磁石の開発が大きな目標となっている。応用面では、従来までの単なる磁性の利用だけでなく、量子効果を利用した例えばメモリやセンサーの実現が期待されている。ディスプレイ用ガラスも、現在のセラミックス産業の中で大きな市場を有する分野の一つである。今後は、単なるガラス板としてではなく、タッチパネルや人感センサーと組み合わせた新型ディスプレイ、シースルーディスプレイやガラスへの情報処理機能付与化が開発目標とされ、そのため高エネルギービームなどを用いる次世代精密加工や次世代表面修飾プロセスが研究対象となる。さらに、固体センサーも、安全、安心な社会の実現には不可欠な素子である。現在開発が進んでいる五感を上回る性能を持つ小型・省エネルギー型マイクロセンサーに、高温、高圧、腐食環境などでの耐久性を付与することで、危険の超早期発見による安全、安心な社会の実現、センサ制御による高効率、低排出エネルギーシステムの実現を目指す。

（５）生体材料関連

生命現象に関連する材料の高機能化は、ライフイノベーションに直結する基盤技術である。セラミックスは、既に生体親和性の高さを活かして骨や歯を修復する役割を担っている。10年後には再生医療の発展と協調して、生命現象に直接働きかける機能を持ち、生体内では材料への細胞播種の有無にかかわらず積極的に生体組織の再生を促し、生体外では生体組織構築を促すような材料が実用化され、20～30年後には生体シグナルや材料自身の異常を感じ取り、生体組織の修復に加えて自己修復を行う生体組織と同等の機能を持つ材料が治療に使われるようになると期待される。

（６）高温高強度材料関連

カーボンナノファイバーは、高強度・高靱性・高耐久性複合体を実現するため不可欠な材料であり、今後、自動車等への広範囲な実用化が期待される。将来

的には、環境浄化、電磁気機能素子、生体適合化などを付与することで、さらなる応用分野の拡大が見込まれる。炭化ケイ素、窒化ケイ素など非酸化物セラミックスを中心とするエンジニアリングセラミックスは、その高耐熱性、高耐摩耗性、高耐腐食性などの特徴を活かし、非常に幅広い分野で応用されている。さらなる高性能化、高信頼性化、低コスト化、システムへの最適応用などの研究開発を通し、エネルギー分野、航空宇宙分野、半導体等先進デバイス製造分野、自動車等交通・運輸分野などの将来成長分野においてその実用化が進めば、わが国のエネルギー戦略や元素戦略にも大きく貢献すると期待される。

（７）セメント材料関連

セメントはこれまでに安全な社会基盤形成と長寿命化によるライフサイクルコスト・CO₂の削減に貢献してきた。今後、低炭素・資源循環社会システムを確立するために、CO₂排出量削減型セメントの材料設計、セメント原燃料への資源の有効利用、鉄鋼スラグや石炭灰の利用、超長期耐久性発現材料の開発、不焼成セメント開発、廃棄物の有効利用、環境負荷評価技術確立を推進し、完全資源自立型社会、自然共生型建設材料・システムを構築し、持続可能な社会を実現させる。

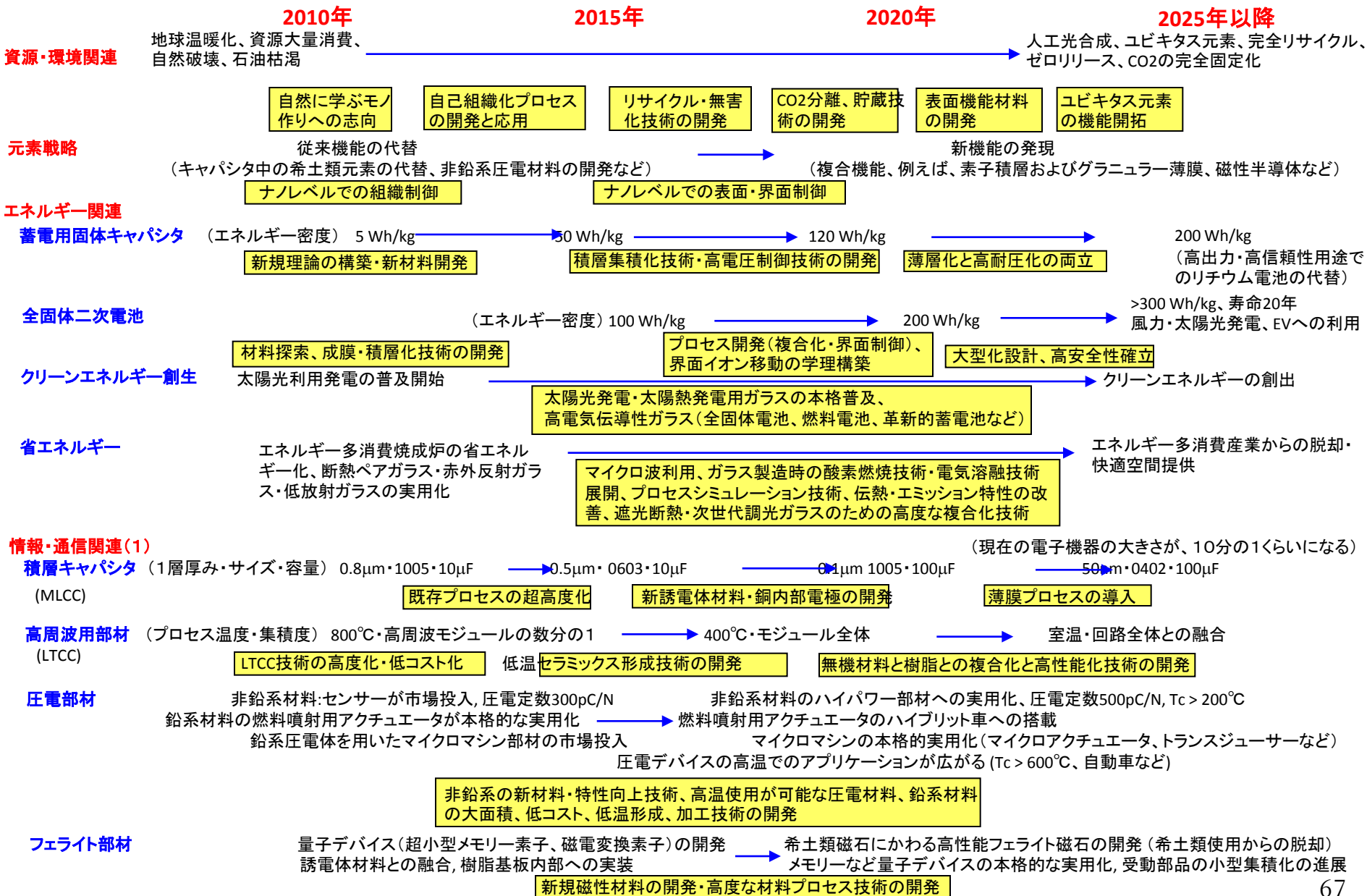
（８）陶磁器

環境面での技術開発目標は、化石燃料消費の削減の他に、リサイクル食器の普及、熱遮蔽タイル・陶器瓦の普及が挙げられる。リサイクル食器の普及では、従来ほとんど再利用されることなく廃棄されてきた陶磁器を、「食器から食器へ」をコンセプトのもと、回収・再資源化したリサイクル陶磁器食器の本格的な事業化を図る。また、熱遮蔽タイル・陶器瓦の普及では、夏期の家屋の温度上昇を防ぐ熱遮蔽タイルや陶器瓦の熱遮蔽性の高性能化により一層の普及を図る。安全性向上・高機能化での技術開発目標には、絵具の無鉛化・カドミウムフリー化、高耐熱高色彩絵具の開発がある。高色彩の発色にフリットに酸化鉛を使用するのが一般的であったが、食器からの鉛溶出量規制に対応し技術的にはほぼ無鉛化が可能になった。今後さらに非鉛系フリットの一層の高性能化により普及を進める。一方、陶磁器の上絵顔料に使用される硫化セレン化カドミウムも代替が望まれる。酸窒化物系の顔料開発が進みつつあり、将来的には可能になると期待される。高耐熱高色彩絵具に関しては、高色彩絵具の耐熱性が800℃

程度のため、これまで上絵によって対応してきたが、今後、高耐熱・高色彩顔料が開発され、磁器の焼成温度 1300℃に耐えるようになれば、二度の焼成が一度で済むようになり、生産コスト、化石燃料消費削減に極めて有効となる。

6-12. 化学の科学・夢ロードマップ

～無機材料(セラミックス)関連技術—多種多様な特徴をもつ無機材料が切り拓く夢の世界①～ 材料工学(日本セラミックス協会)



6-13. 化学の科学・夢ロードマップ

～無機材料(セラミックス)関連技術―多種多様な特徴をもつ無機材料が切り拓く夢の世界②～ 材料工学(日本セラミックス協会)

