11. 材料工学分野

4-1. 材料と社会の発達

青銅器、鉄器時代から現代に至るまで、金属、セラミックス、有機材料、半導体など多様かつ新たな材料の出現が社会の変革をもたらし、人類社会を発達させてきた。鉄鋼を中心とする構造材料が18世紀の産業革命を支え、アルミニウムなど軽量合金が航空機時代をもたらした。高分子材料、ナイロンの発明は日常生活とりわけ衣料・服飾界に革命を招来し、半導体を始めとする電子材料は情報通信の飛躍的発達をもたらした。

我が国は、原材料を加工し、付加価値を与え製品化し、工業製品を輸出することにより、エネルギー、食料を確保してきた。材料は産業の基盤であり、鉄鋼、高分子、軽合金、セラミックス、半導体などの材料開発、生産技術の果たしてきた役割は大きい。世界における我が国の強みはものづくりであり、その基盤として材料に関しては極めて高い技術力を誇っている。

最近では先端治療にブレークスルーをもたらすバイオマテリアルで大きな進展が図られている。材料革新がイノベーションを生み出し、社会を活性化させてきた。我が国では、今後も産業社会を支えるとともに新産業や生活様式を生み出す科学・技術として材料に期待される役割が益々高まる。

一方、21世紀に突入し、資源枯渇、環境汚染等の地球規模で人類社会の持続 的発展を危うくする問題に対して抜本的解決策が求められ、それを解決する新 たな材料の開発や利用プロセスの開発が求められている。

4-2.21世紀を開拓する材料工学

今後、我が国が高い競争力を維持するためには、その基盤である世界的に優れた我が国の材料工学分野において、大学等の研究機関の基礎研究を奨励し、その研究成果を企業に移転し、産業化を図ることが鍵となる。大学等の研究機関との連携による技術開発を加速的に進めるためには、地域においても産学官連携を推進する仕組みを整備し、新技術の社会化を推進するための科学技術・イノベーションの一体的推進が必要である。

我が国のものづくりを維持・強化するためには、優位を有する材料分野における競争力を維持し、自動車産業、エレクトロニクス産業など川下産業との連携、摺り合わせの充実が望まれる。

また我が国が強みである環境・エネルギー分野の科学技術を一層推進することで、国際競争力を強化することが考えられる。例えば、素材生産の所要エネルギーや二酸化炭素排出量で世界最先端の水準にあるわが国の生産技術やリサイクル技術を世界に展開することで膨大な量の省エネルギーや排出削減が図られる。また、化石燃料を太陽、地熱、風力、海洋、水素などのクリーンな再生可能なエネルギーで代替する先進科学技術も注目される。我が国は長年、太陽電池や燃料電池、原子力発電、LEDに代表される研究開発において優れた成果を挙げており、強い国際競争力を有している。これら環境・エネルギー分野の先端科学技術を一層重点的に推進することで、国際競争力を確保するとともに、諸外国に展開していくことが可能となる。

新興国を中心とする世界規模での大量消費・廃棄に対応する循環型製品開発、資源の枯渇に対処する代替元素戦略、貧困と飢餓の克服、難病の治療と予防といった新たな問題に対して、課題解決型の新たな材料工学が問われている。例えば、希土類元素を初めとする、埋蔵量が少なく産出国が限定される元素を含む元素については、その元素の使用量の削減、代替金属による同様の機能発現を目指し元素戦略プロジェクトが開始されている。また、貧困と飢餓に苦しむ地域においては、大規模発電、輸送より太陽光発電といった局地的なエネルギー対策が必要とされる。21世紀においては、ボトムアップ型の材料開発から、問題解決型・新分野開拓型の材料工学へのニーズが高まる。一方、健康社会実現に対しては対症療法から幹細胞、再生組織を利用しての根本治療に向けて材料工学に対する要請が高まっている。このような多領域にまたがる技術課題が増加することから、医学、情報科学、化学、環境学など異分野との連携、協力により問題解決に当る必要があり、新たな概念にもとづく材料工学が必須である。

4-3.21世紀の課題と材料工学の貢献

各課題と材料工学の貢献を例示すると以下のとおりである。なお、これらの課題解決にあたって、科学教育・社会科学面からの取組みも重要であり、国民の新しい価値観の創造や多様な領域に関係する材料工学の担い手となる人材を継続的に育成することも必要である。

(1) エネルギー供給と材料

- ・耐照射損傷材料の開発によって高速炉サイクル技術が実現することにより、 安全安心で低炭素化に寄与する原子力発電技術を用いたエネルギーの供給が 可能になる。
- ・高温クリープ特性に優れた新耐熱鋼材、鋼管の開発により、火力発電の高効率化が実現され、さらに中長期的には他の新エネルギーとの組み合わせによる安定的なエネルギー供給体制ができあがる。併せて材料の寿命予測技術が高度化し、自己修復耐熱材料が実現する。
- ・量子ナノ構造等を利用した新構造・新材料の太陽電池の開発は、自然エネルギーの効率的な利用を可能とし、さらに、従来未利用であった排熱などのエネルギーを有効利用する熱電変換材料の開発などによって、エネルギー供給の多様化と高効率化を後押しする。
- ・海洋での浮体型大型構造物の開発や溶接・高強度ボルト技術の開発、耐塩水、 暴風雨を含む自然環境に対応可能な構造物の開発とメンテナンス技術の開発 に成功し、大型の風力発電装置や波力発電技術の開発、また海洋温度差利用 発電技術などが現実化する。
- ・ バイオマス・廃棄物の利用技術を一般家庭レベルに普及させるための循環システムに関連する材料技術の開発に成功する。

(2) エネルギー貯蔵・需要と材料

- ・大容量の水素貯蔵合金の開発及び水素分離膜材料の開発は、水素エネルギー の新しい製造・輸送・貯蔵技術を推進する。
- ・改良型のリチウムイオン電池の開発により、高性能な電力貯蔵が可能になる。
- ・ 高効率な二酸化炭素の分離膜材料の開発は、二酸化炭素の回収と貯蓄技術を 可能とする。

- ・00₂を大量に放出する製鉄業の高炉ガスからその 00₂を分離する吸収液の開発に成功し、二酸化炭素の回収と固定技術に拍車がかかる。また高炉ガスから分離された水素を用いた新しい水素還元製鉄の実用化により、水素サイクルを可能とした次世代製鉄システムが完成する。
- ・LED 用照明材料の開発により、次世代型の高効率照明が身近に可能となり、 エネルギー需要における抜本的な改善社会が実現する。

(3) 安全・安心な生活と材料

- ・輸送機器用材料の性能向上によって、軽量化による燃費向上と安全性の両立 が実現し、さらにはクリーン燃料の利用が促進する。構造体化の要素技術と して重要な接合技術の高度化により、安全性、耐久性の向上と安価で高効率 な現場プロセスが実現される。
- ・日本社会の特徴を生かした都市鉱山概念の普及により、新しいマテリアルリサイクル技術が確立される。省資源型機能材料が併せて開発されることにより、希少資源問題への科学的解決の道筋ができる。それらは希少資源の機能発現メカニズムの実験と計算科学の両側面からの解明による。
- ・ダイオキシン発生低減プロセスが開発され、低品位原料からの製鉄プロセスが確立し、低温高速還元プロセスやエネルギーミニマムプロセスの概念があらゆる構造材料プロセスに導入され、チタン新製錬技術も開発される。マグネシウムやチタン材料の大量使用時代が到来し、鉄やアルミニウムと共に、クラーク数の高い元素のみを主体とする構造材料設計の時代となる。同時に資源リサイクルの視点から地球環境を守るネイチャマテリアルテクノロジー概念も普及する。
- ・資源面では、海水からのレアアース採取や、深海底マンガン団塊採取技術などの日本の特徴を活かした新技術が開発される。
- ・構造用材料における抜本的な改革は、そのプロセスと設計による所が大きく、 計算科学と材料評価技術の融合が、マルチスケール材料設計技術が実用化レベルで可能となり、実空間における巨大な3次元可視化技術の開発により、 構造物の破壊や寿命予測に関わる技術が飛躍的に向上する。

(4) 電子·情報材料

・固体磁気メモリーの微細化、大容量化が進み、22nmで 16F2が実現する。

- ・高密度磁気記録では、新原理メディアの開発により $100TBit/in^2$ が達成される。
- ・新原理の磁気センサヘッドが開発され、分子スピン磁気ヘッドが開発される。
- ・発光素子では、LED やレーザーのウェハが開発され、それらは2インチ、3 インチと拡大され、4インチウェハまで開発される。
- ・パワーデバイス材料では、SiC デバイスが実用化され、さらに AIN, AIGaN などの新デバイス材料、さらには新炭素系デバイス材料の発見が期待される。
- ・TFT や太陽電池材料の世界では、100nm テクノロジーから微細化が進み、32nm テクノロジーまで進むであろう。
- ・電気自動車はじめ、モーター用強力磁石が求められる中で、Bs が 2 T 以上の 次世代新磁石材料の開発が期待される。
- ・また磁気冷却技術の室温化が実現し、磁気冷凍冷蔵庫や車載用の磁気冷凍器 が登場する。

(5) 生体材料

- ・Ni やVなどの様々な人体に有害な元素を含まない素材の高機能化により、生体適合テーラーメードな材料が開発される。インプラント材料も50年間使用可能となる。
- ・人体組織と直接結合可能な金属材料の実用化とレアメタルフリー合金が開発される。
- ・プロセスにおいては、積層造形技術やニアネット製造や大容量クロール法等の低コスト化が実現され、新チタン製錬法や革新的溶解法が実現する。これによりチタン製造の新原理プロセスが確立され、また生体内での細胞利用プロセスが検討される。その結果、生体融合プロセスの確立により、人工臓器の製造や自己組織化材料が実用化される。また材料と生体との界面、表面という視点でのセラミックコーティングや機能分子修飾、力学的適合性が検討され、医療技術と材料科学の融合がもたらされる。その結果、低侵襲性医療が飛躍的に進み、分子生物学的評価技術やバイオセンシングが発展する中で、大容量骨再生や歯牙組織再生、細胞相互作用制御、金属アレルギー対策の確立などが実現する。

(6) 科学教育・社会科学

- ・多様な領域に関係する材料技術を通じて異分野融合に寄与し、我が国の重要 資源の一つである人材を継続的に育成する素地を構築する。
- ・環境・エネルギー・資源などの国家安全保障への貢献、国民一人一人の幸福 感の向上など実現する新しい価値観の創造を実現する。

参考文献:「材料工学における日本の展望」、日本学術会議材料工学委員会、 平成 21 年 7 月 10 日

11. 材料工学分野の科学・夢ロードマップ

(日本材料学会)

熱力学・機械工学

新エネルギー源 水素・水・風 ライフスタイル変化

表界面科学

エネルギー貯蔵・需要 水素燃料電池・水素貯蔵合金 新リチウムイオン・リチウム代替電池 バイオマス・廃棄物利用技術 次世代LED用照明材料 電気自動車材料

構造体化技術

溶接•締結技術 異種材料接合

材料組織•力学

エネルギー供給

耐照射損傷材料・高速炉サイクル技術 安全安心原子力発電・水素還元製鉄 超々臨界発電プラント・火力発電所 排熱発電・ウェアラブル発電 量子ナノ構造太陽電池・新熱電変換素子 海洋風力・波力発電・地熱発電 海洋温度差発電

エネルギー安全保障

低炭素環境負荷低減

安全・安心 輸送車両クリーンエネルギー化 軽量良加工性鉄鋼材料・軽量航空機材料 ベースメタル元素戦略・LCA視点材料設計 レアメタル代替技術・チタン新製錬技術 ジョイントフリー・インテグレーション技術 ノズル・ジョイニング技術・スマート溶接

先端実験解析技術

表界面現象解析ナノスケール組織力学解析

持続可能な社会実現材料の理解と予測 リサイクル材料・エコマテリアル・水素循環社会

生命・医療学と材料・人間工学の境界領域の創出 生体適合性・ネイチャーマテリアル・科学文化 材料科学からもの造り日本の発信 エネルギー材料・社会基盤材料・情報化材料 計算機シミュレーション技術 第一原理計算 マルチスケールモデリング

生体材料

人体無害素材・50年インプラント材料 生体適合テーラーメード材料 細胞利用プロセス・組織結合界面 人工臓器・人工細胞膜・In vivo機能設計 機能分子修飾・力学適合性 低浸襲性医療

少子高齢化

高度情報化

科学教育•社会科学

材料科学と社会科学融合・エコデザイン環境を考慮した材料工学・元素戦略 男女共同参画・材料経営学 法工学・感性工学・新価値観樹立

腐食科学

異分野融合(材料視点)

医学·生物·電子·電気物理·化学·社会学

電子•情報材料

固体磁気メモリー微細化 高密度磁気記録材料 新原理磁気センサヘッド 発光素子大面積ウェハ化 新炭素系パワーデバイス材料 次世代磁石材料・磁気冷却技術

人間工学

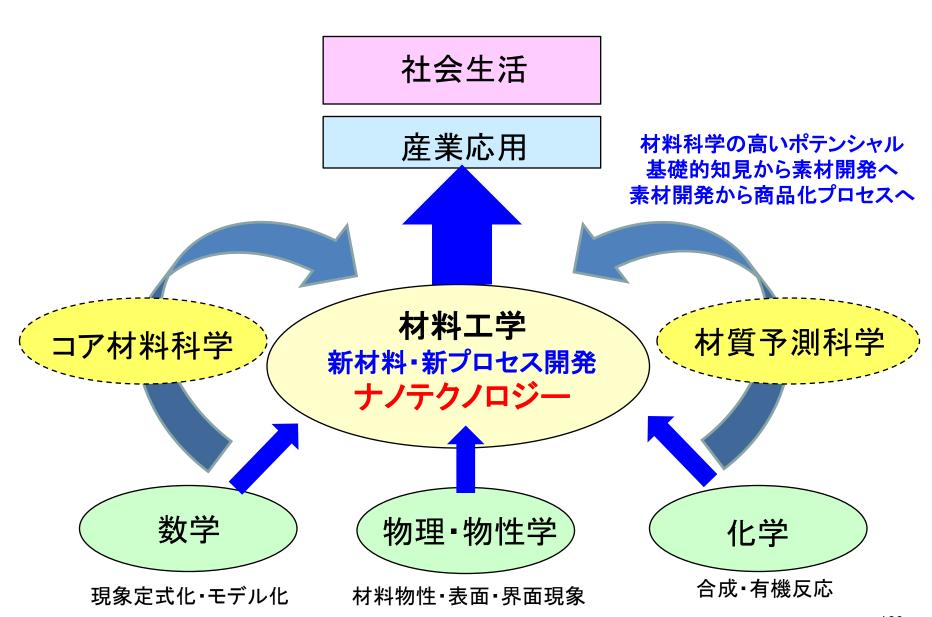
材料データベース技術 寿命予測 耐久性評価 新材料創製

半導体工学

159

11-1. 材料工学の科学・夢ロードマップ

~日本の将来、社会生活、産業応用を先導一基礎学問領域を融合し、材料工学で夢を実現~



酸化物 : 鉄系超電導材料

材料工学が生み出す新材料

11-2. 材料工学の科学・夢ロードマップ ~社会システム革新を可能にする基盤的シーズを生み出す役割~

材料の発見が不連続に科学技術、社会を発展 モーター・機械・エネルギー 強力磁石の発見(KS鋼他) フェライトの発見 半導体回路,電気部品 強誘電体の発見 エレクトロニクス・センサー 高強度鋼線 長大橋 ハイテン鋼材 高性能軽量自動車 高耐食鋼材 羽田海上飛行場 高耐食鋼材 東京スカイツリー 化合物半導体 低消費電力LED照明 半導体材料 太陽光発電システム 耐放射線材料、高温材料 高効率原子力・火力発電 海洋環境改善·CO2固定 鉄鋼スラグ体 生体材料 高度医療•再生医療 自己蛍光 発光材料 映像・表示手段の変革 二次電池、燃料電池材料 次世代自動車

新材料と加工技術が実現する新社会システム

エネルギー革命

材料加工(材料開発と実現する加工技術は車の両輪)

11-3. 材料工学の科学・夢ロードマップ ~持続的成長社会実現のニーズに応える材料工学~

エネルギー・資源開発 深海資源・メタンハイドレート

CO2削減技術

二酸化炭素回収・貯留

原子力発電

二酸化炭素海洋

自然エネルギー活用

太陽電池 太陽熱

風力・波力・海洋発電

太陽電池・風力



途上国支援

低コストインフラ材料

代替技術

元素戦略 リサイクル・リユース 元素戦略

安心 安全

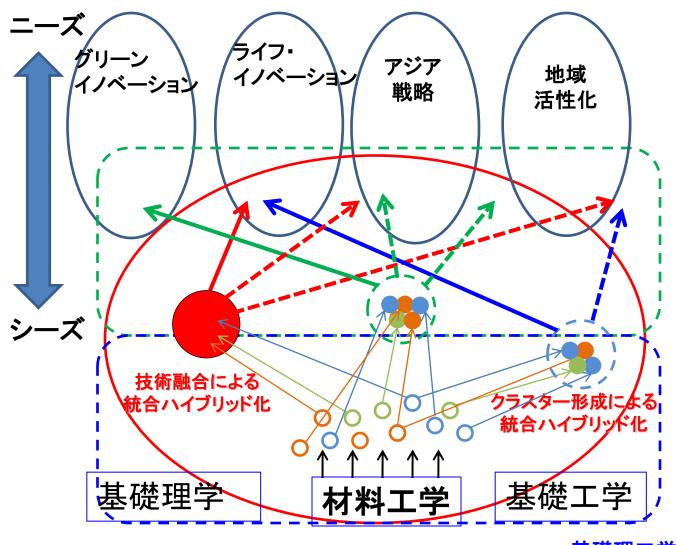
高機能インフラ材料

防災耐震材料

低コストメンテナンス

モジュール化・組合せ技術では実現できない材料技術が日本の強み

11-4. 材料工学の科学・夢ロードマップ ~グリーンイノベーション・ライフイノベーションと材料工学 -プラットフォームとして科学・技術、人材の中核をなす材料工学~



科学・技術既存シーズの応用具体的施策で強化

人材•雇用

シーズを創出し新技術に発展させる人材

プラットフォーム

基礎理工学とともにシーズ段支える 応用可能性は多岐にわたる