

科学技術未来戦略ワークショップ（物質科学）  
― 夢の材料の実現へ ―  
報告書

平成17年3月

JST/CRDS

平成17年3月  
独立行政法人科学技術振興機構  
研究開発戦略センター

# Executive Summary

独立行政法人科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センターでは、研究開発戦略の策定のために、科学技術の研究分野を俯瞰的に展望し、今後重要となる研究分野、領域、課題、及びその推進方法等を系統的に抽出している。

その調査・分析・設計活動の一環として、平成16年4月、「物質科学」担当の村井眞二上席フェロー・グループでは、玉尾皓平教授（京都大学化学研究所）を代表コーディネーターとする「科学技術未来戦略（物質科学）」ワークショップ（WS）」を企画・開催した。WSには、広範な関係者が集まり、社会ニーズを充足し、社会ビジョンを実現させるための科学技術、そのための研究開発戦略等についての議論を行った。本WSでは、特に化学を中心とした物質科学分野に軸足を置いて、重要な研究領域・課題を抽出した。また、物質科学研究オピニオンリーダーのコミュニティの構築という効果も狙った。

本ワークショップでは、次の4分科会を設定した。

- I. 有機系物質科学（コーディネータ：中村栄一氏・東大）
- II. 無機系物質科学（コーディネータ：高野幹夫氏・京大化研）
- III. 高分子・複合系物質科学（コーディネータ：黒田一幸氏・早大理工）
- IV. 生物系物質科学（コーディネータ：長田義仁氏・北大）

この一連の議論を通じて、下記の14の研究領域・課題が抽出された。

- |                        |                          |
|------------------------|--------------------------|
| ① 希少有機源の発見と展開          | ⑧ システム構築を目指した高分子の次元／機能制御 |
| ② 元素多様性の発掘と物質創造        | ⑨ 時間軸を組み入れた材料            |
| ③ 分子群の空間・時間変化の制御       | ⑩ 細胞内システム化学              |
| ④ 外場摂動プロセスによる新物質・新機能開発 | ⑪ 物質機能と創発                |
| ⑤ 外場応答性機能物質            | ⑫ バイオインターフェイス            |
| ⑥ 二次元性の生む新規反応と新規物性     | ⑬ 動物実験代替システム             |
| ⑦ ハイブリッド材料が創る新空間       | ⑭ ソフト・ウェットマテリアル          |

本WSで提案された研究領域・課題は、いずれも社会の持続的な発展を可能とする。また、真の科学技術立国たるべく、長期的な国家戦略の下に取り組むべき重要な基礎的研究領域・課題でもある。研究開発戦略センターでは、本ワークショップで形成したオピニオンを戦略プロポザル策定の際の重要な参考データとする。



# 目次

1. WS (ワークショップ) 設置の趣旨	5
2. 本WSの基本的な考え方及び検討方針	5
3. 本WS参加メンバー	6
4. WS開催までの経過	7
5. 検討結果	8
I. 有機系物質科学分科会	10
1. 有機系物質科学分科会の概要	10
2. 各研究領域の要点	11
1) 希少有機源の発見と展開	11
2) 元素多様性の発掘と物質創造	12
3) 分子群の空間・時間変化の制御	13
3. 今後の課題	14
II. 無機系物質科学分科会	15
1. 無機系物質科学分科会の概要	15
2. 各研究領域の要点	16
1) 外場摂動プロセスによる新物質・新機能開発	16
2) 外場応答性機能物質	17
3) 二次元性の生む新規反応と新規物性	18
3. 今後の課題	19
III. 高分子・複合系物質科学分科会	20
1. 高分子・複合系物質科学分科会の概要	21
2. 各研究領域の要点	21
1) 時間軸を組み入れた材料	21
2) システム構築を目指した高分子の次元／機能制御	22
3) ハイブリッド材料が創る新空間	23
3. 今後の課題	24
IV. 生物系物質科学分科会	25
1. 生物系物質科学分科会の概要	25
2. 各研究領域の要点	26
1) 細胞内システム化学	26
2) 物質機能と創発	27
3) バイオインターフェイス	28
4) 動物実験代替システム	29
5) ソフト・ウェットマテリアル	29
3. 今後の課題	30
6. 総括	30



独立行政法人科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センターでは、国内外の研究開発動向の把握，研究開発課題の抽出，情報の発信等を進めている。その活動の一環として、「物質科学」担当の村井眞二上席フェロー・グループでは、玉尾皓平教授（京都大学化学研究所）を代表コーディネーターとする「科学技術未来戦略ワークショップ（物質科学）」を企画・開催し、広範な関係者を集めて、科学技術の発展が社会の課題を解決する可能性についての議論や、今後の研究開発戦略の策定についての展望を行った。

以下にその概要を報告する。

## 1. WS（ワークショップ）設置の趣旨

WSの設置目的および検討課題は以下の通りである。

- (1) 物質科学研究オピニオンリーダーのコミュニティの構築。
- (2) 短期的：学問的にも新しく基礎的でありながら、将来的には産業を興しうるようなインパクトのある研究テーマの発掘と提案。
- (3) 長期的：各省庁の科学技術政策および「第3期科学技術基本計画」に組み込むべき課題，上位概念の抽出と提案。

## 2. 本WSの基本的な考え方及び検討方針

上記の状況を考慮し、基本的考え方を「化学サイドから科学技術の未来を展望するワークショップ（物質科学）」とし、具体的な検討内容として下記の2点を設定した。

- (1) CREST研究領域の提案（全体で数件）
- (2) 上位概念の提案

本WSの基本的な考え方を整理すると次の様になる。まず、本WSで提出したい基盤コンセプトは、

「第2期科学技術基本計画での4重点分野（ライフサイエンス，IT，環境，ナノテクノロジー・材料）の中での“ナノテクノロジー・材料”分野があたかも「3+1」的であるように思われる。第3期科学技術基本計画ではむしろ「1+3」の様な上位にもっていきたい」というものである。そのためには、次の5点が必要であるとした。

- ① 「物質科学（ナノテクノロジー・材料）」との共通認識をもちたい。
- ② 「物質科学が先導するライフ，情報，環境」との共通認識をもちたい。
- ③ 「物質科学」あるいは「物質科学・物性科学」を中心課題とする。
- ④ 「戦略性ある基礎研究」あるいは「発展性を秘めた基礎研究」。
- ⑤ 「学問的にも新しく基礎的でありながら，将来的には産業を興すようなインパクトのある研究テーマの発掘」。

WS（ワークショップ）  
設置の趣旨 1

本WSの基本的な  
考え方及び検討方針 2

本WS参加メンバー 3

WS開催までの経過 4

検討結果 5

I  
有機系

II  
無機系

III  
高分子・  
複合系

IV  
生物系

総括 6

### 3. 本WS参加メンバー

本WSは有機系，無機系，高分子・複合系，生物系の4分科会構成とした。各分科会メンバーは下表の通りである。

【表1】本WS各分科会の構成

分科会名	名前	所属
I. 有機系物質科学	中村栄一 【コーディネータ】	東京大学教授 日本学術振興会主任研究員
	阿波賀邦夫	名古屋大学教授
	織田佳昭	住友化学工業(株)有機合成研究所 グループマネージャー
	齋藤軍治	京都大学教授
	城田靖彦	福井工業大学教授
	竜田邦明	早稲田大学教授
	磯部寛之 【コーディネーター補佐】	東京大学助教授
II. 無機系物質科学	高野幹夫 【コーディネータ】	京都大学科学研究所教授/ 所長
	岸尾光二	東京大学大学院工学系研究科/ 低温センター教授/センター長
	北川進	京都大学大学院工学研究科教授
	橋本和仁	東京大学 先端科学技術研究センター教授
	平尾一之	京都大学大学院工学研究科教授
	細野秀雄	東京工業大学応用セラミックス 研究所教授
	吉本護	東京工業大学応用セラミックス 研究所助教授
	齋藤高志 【コーディネーター補佐】	京都大学化学研究所助手
III. 高分子・複合系 物質科学	黒田一幸 【コーディネータ】	早稲田大学理工学部教授
	相田卓三	東京大学大学院工学系研究科教授
	黒田玲子	東京大学大学院総合文化研究科教授
	小池康博	慶應義塾大学理工学部教授
	中條善樹	京都大学大学院工学研究科教授
	中濱精一	(独)産業技術総合研究所 高分子基盤技術研究センター長
	福田猛	京都大学化学研究所教授
	宮田浩克 【コーディネーター補佐】	キャノン(株)先端技術研究本部 ナノマテリアル研究部複合材料 研究室室長
IV. 生物系物質科学	長田義仁 【コーディネータ】	北海道大学副学長
	青山安宏	京都大学教授
	片岡一則	東京大学教授
	北浦良彦	元ファイザー製薬中央研究所長
	松田武久	九州大学教授
	居城邦治 【コーディネーター補佐】	北海道大学教授

## 4. WS開催までの経過

「17年度CRESTタイプ研究領域提案」及び「第3次科学技術基本計画」に組み込むべき課題を提案するため下記のタイムスケジュールを決定。

2月中旬まで：WGメンバー依頼。

3月末まで：各担当分野での歴史サーベイに基づく将来展望と研究開発課題の提案。

4月中旬：WS開催，課題の総括・取りまとめ，戦略課題提案へ。

(その後，小間委員会との情報交換，JSTでの全体的とりまとめ)

上記参加メンバーをそれぞれの専門分野を基に、有機物質系，無機物質系，高分子・複合系，生物系の4つの分科会に分け、議論を進めることとした。これは、個々の領域からの重要課題の抽出を意図したものではなく、議論の円滑な進行のための便宜上の分類である。参加メンバーには、この点を周知し、分野横断的に物質科学における重要課題について討議を依頼した。

先ず、それぞれの分科会において、本会議分科会のための準備会を行った。ここでは、本WSの趣旨と意義について詳細に説明し、その上で、物質科学における重要課題，キーワードのリストアップを行った。それぞれの分科会準備会の日程は下表の通りである。

【表2】分科会準備会の日程一覧

分科会	開催日時	開催地	参加人数
I. 有機物質系分科会準備会	H16.3.26 16:00~18:00	関西学院大学	12名
II. 無機物質系分科会準備会	H16.3.28 14:00~16:00	関西学院大学	13名
III. 高分子・複合系分科会準備会	H16.4.9 13:30~15:30	科学技術振興機構 東京本部別館	11名
IV. 生物系分科会準備会	H16.3.26 14:00~17:00	北海道大学	8名

WS(ワークショップ)設置の趣旨	1
本WSの基本的な考え方及び検討方針	2
本WS参加メンバー	3
WS開催までの経過	4
検討結果	5
I 有機系	
II 無機系	
III 高分子・複合系	
IV 生物系	
総括	6



## 5. 検討結果

本WSは、平成16年4月17, 18日の2日間にわたって開催した。議論を深めるために合宿形式とし、長時間に及ぶ密度の濃い討論を行った。

まず、それぞれの分科会毎に、準備会での議論を基盤に重要課題、キーワードについて再議論し、「21世紀の我が国の科学技術を先導する物質科学」という観点から、重要課題を絞り込んだ。更に、全体会議において、それぞれの分科会で提案されてきた研究課題について議論を深化させた。

この一連の議論を通じて、下記の14の重要研究領域・課題が抽出された。

- |                         |                           |
|-------------------------|---------------------------|
| 1. 希少有機源の発見と展開          | 8. システム構築を目指した高分子の次元／機能制御 |
| 2. 元素多様性の発掘と物質創造        | 9. 時間軸を組み入れた材料            |
| 3. 分子群の空間・時間変化の制御       | 10. 細胞内システム化学             |
| 4. 外場摂動プロセスによる新物質・新機能開発 | 11. 物質機能と創発               |
| 5. 外場応答性機能物質            | 12. バイオインターフェイス           |
| 6. 二次元性の生む新規反応と新規物性     | 13. 動物実験代替システム            |
| 7. ハイブリッド材料が創る新空間       | 14. ソフト・ウェットマテリアル         |

また、これら14の研究課題に対する上位概念として以下のものが挙げられた。

- |               |                        |
|---------------|------------------------|
| 1. 物理制御から化学制御 | 9. 構造制御高分子がシステムを変える    |
| 2. 時空分子科学     | 10. 安心, 安全のための材料技術     |
| 3. 人間分子科学     | 11. 空間制御               |
| 4. 元素戦略       | 12. 化学が先導する生命科学        |
| 5. 自然分子科学     | 13. 生命の神秘に迫る物質科学的アプローチ |
| 6. 自然再発見      | 14. いのちを守る科学技術         |
| 7. 自然化学       |                        |
| 8. ワンダーマテリアル  |                        |

4つの分科会毎に、議論の概要とそれぞれの研究課題における概要・コアメンバー・社会的必要性についてのまとめた結果を以下に示す。

尚、本WSには多くの有識者がオブザーバーの形で参加し、討論に加わった。本WSに参加したオブザーバーは下表の通りである。

【表3】本WSに参加したオブザーバー一覧

氏名	所属	職位
井上 晴夫	東京都立大学大学院工学研究科	教授
北澤 宏一	JST	理事
國谷 実	JST	理事
佐藤 友記	JST研究企画調整室	室長
石田 秋生	JST研究推進部	部長
甲田 彰	JST特別プロジェクト推進室	調査役
東 良太	JST特別プロジェクト推進室	主査
新田 茂人	JST地域事業推進室	主査
川端 和明	文部科学省科学技術・学術政策局	計画官
島田 純子	文部科学省科学技術政策研究所	研究官
押切 光丈	内閣府総合科学技術会議	参事官補佐
加東 智明	内閣府総合科学技術会議	科学技術政策調査員

WS(ワークショップ)  
設置の趣旨

1

本WSの基本的な  
考え方や検討方針

2

本WS参加メンバー

3

WS開催までの経過

4

検討結果

5

I  
有機系

II  
無機系

III  
高分子・  
複合系

IV  
生物系

総括

6

## I. 有機系物質科学分科会

### 1 有機系物質科学分科会の概要

#### 分科会メンバー

分科会名	名前	所属
I. 有機系物質科学	中村栄一 【コーディネータ】	東京大学教授 日本学術振興会主任研究員
	阿波賀邦夫	名古屋大学教授
	織田佳昭	住友化学工業(株)有機合成研究所 グループマネージャー
	齋藤軍治	京都大学教授
	城田靖彦	福井工業大学教授
	竜田邦明	早稲田大学教授
	磯部寛之 【コーディネーター補佐】	東京大学助教授

有機系物質科学分科会では、今後重要になると考える研究コンセプト案として下記のもの  
が提言された。

- ①物質社会が抱える諸問題に対して解決を与える分子変換技術、特に情報内在物質など
- ②発展型社会を支える新物質供給基盤の構築
- ③福祉・医療材料を支える物質供給技術の構築
- ④元素共有結合化学

本コンセプトを基に、「元素」、「分子レベル」、「集合体」、「機能」等のキーワードに括りながら議論を重ねることで、上位概念：「自然分子科学，自然再発見，自然化学」，「元素戦略」，「物理制御から化学制御，時空分子科学，人間分子科学」が選定された。

今回のWSでは、これらのコンセプト、及びその上位概念を見据えつつ、有機系だけに留まらずに広く分野横断的に、物質を中心として討議した。その結果、「構造・組織」，「性質」，「性能」に関する大きな概念の基礎研究領域として、下記の3研究領域が提案された。

例えば、「2) 元素多様性の発掘と物質創造」は、有機，無機化合物を問わず未知の構造、物性を創り出す広い領域であり、社会の維持的な発展への貢献が期待される。

- 1) 希少有機源の発見と展開
- 2) 元素多様性の発掘と物質創造
- 3) 分子群の空間・時間変化の制御

以下、提案された各研究領域の概要を示す。

## 2 各研究領域の要点

### 1) 希少有機源の発見と展開

- ・上位概念：自然分子科学，自然再発見，自然化学
- ・研究領域名：希少有機源の発見と展開
- ・研究内容・内外の研究開発状況：希少有機物質の有効利用のための探索，合成，機能開拓を行う研究を対象とする。具体的には、生命現象の鍵となる有機物質の探索，機能の解明，また化石資源の有効利用や工業を支える物質供給に関する研究などが含まれる。特に、材料科学，生・医科学の新しい物質基盤の探索，その利用を可能とする分子変換法の開発を含む。
- ・他分野・社会に対する重要性：天然有機源は、新しい物質や分子の宝庫である。先端医学を大きく進展させる希少物質の発見や、利用法の確立していない天然資源の活用、石油資源の斬新な利用などに新しい視点を導入する事によって、物質社会の基盤形成を目指す。希少有機源の発見は、循環型社会の確立のためにも必須である。

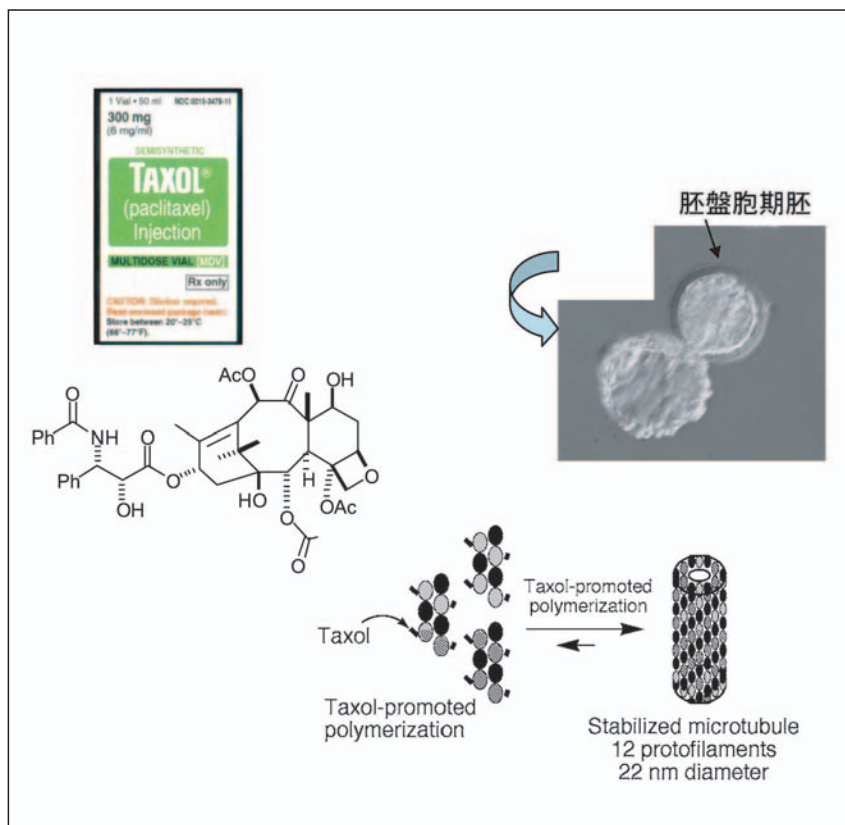


図1-1 希少有機源の発見と展開

WS (ワークショップ)  
設置の趣旨

1

本WSの基本的な  
考え方や検討方針

2

本WS参加メンバー

3

WS開催までの経過

4

検討結果

5

I  
有機系

II  
無機系

III  
高分子・  
複合系

IV  
生物系

総括

6

## 2) 元素多様性の発掘と物質創造

- ・上位概念：元素戦略
- ・研究領域名：元素多様性の発掘と物質創造
- ・研究内容・内外の研究開発状況：本研究領域は、元素の多様性を発掘することで、有機、無機化合物を問わず未知の構造、物性を創りだす研究を対象とする。物質科学の新しい展開への創造力をかき立てる様な新物質を創製すべく、特に日本が多量に保有するユビキタス元素の多様性を発掘する研究が含まれる。具体的には、周期表に見られる様々な元素間の結合組換えを鍵とした物質合成法の開拓、さらには希少元素を含む新規有用物質の探索とその物性を解明しようとする研究が含まれる。
- ・他分野・社会に対する重要性：資源小国の我が国が、限られた資源を有効に利用するためには、我が国に存在する多様な元素資源の様々な性質を有効に活用する事が必要であり、元素有効活用のための我が国独自の戦略を打ち立てることが急務である。中でも炭素，ケイ素，カルコゲンをキーの元素とした物質創製は日本のお家芸であり、その未活用の側面を開拓する必要がある。

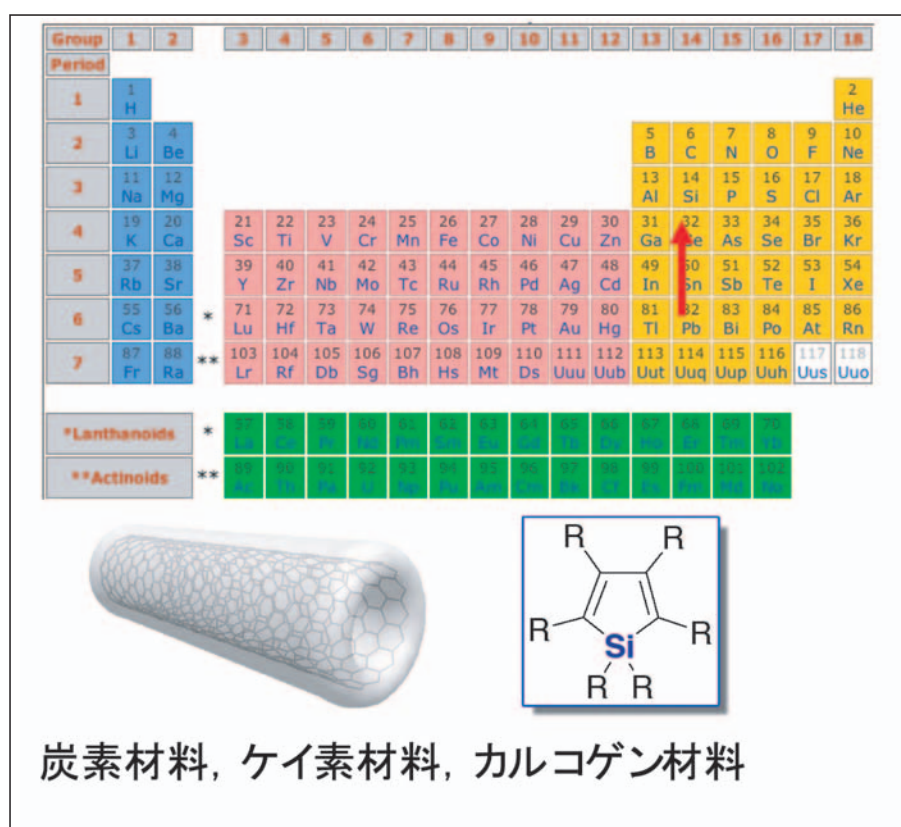


図1-2 元素多様性の発掘と物質創造

### 3) 分子群の空間・時間変化の制御

- ・上位概念：物理制御から化学制御，時空分子科学，人間分子科学
- ・研究領域名：分子群の空間・時間変化の制御
- ・研究内容・内外の研究開発状況：分子は一分子毎で機能を発揮するのではなく、ある群れた分子（分子群）の中で特異な機能を発現する。この分子群の三次元構造とその時間変化は、触媒反応，医薬や生体分子の機能発現など、化学・生物・物理の様々な局面で最も重要な役割を果たすキーファクターである。本研究領域は、分子群の空間配置を制御することで発現する様々な機能の制御，それを可能とする構造構築，また計算科学的解析と予測を基盤として、分子群構造の空間および時間展開の制御の新パラダイムを開拓する。
- ・他分野・社会に対する重要性：ロボットは電気で動いている。一方、人間の駆動力は分子と電子（化学）が源となっている（化学制御）。生物の機能性、更には単一分子の機能性は、（還元論として）有機化学的に解明されてきている。今後、その統合的・総合的な機能の発展のためには、分子階層構造に着目した研究の進展が必須である。分子群に着目した機能性開発を行うことで、メゾスコピックな機能性物質の開発が展開可能となる。

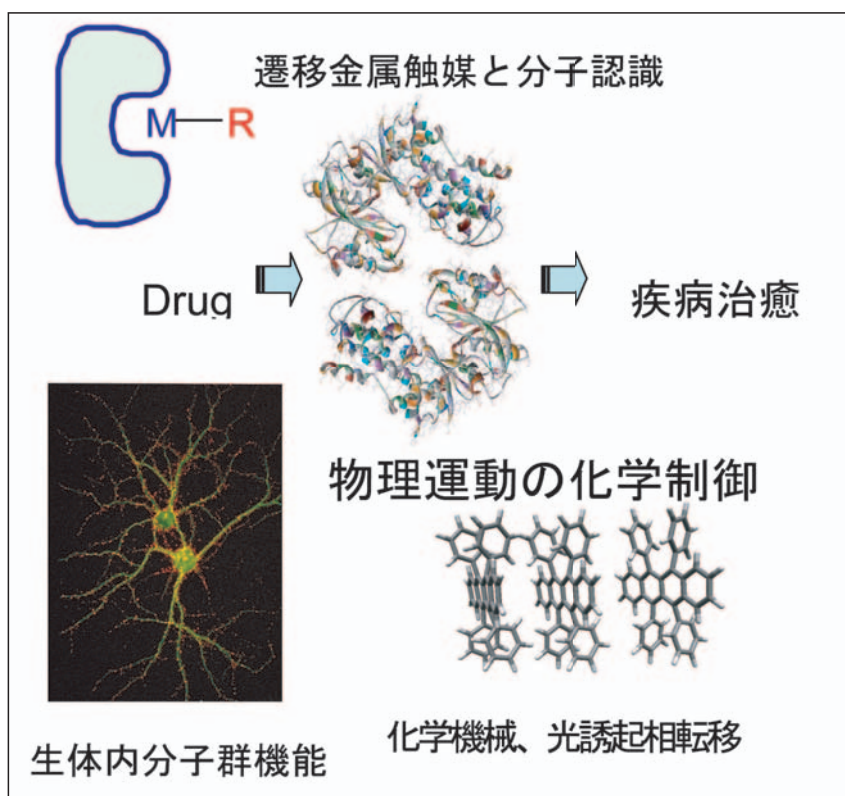


図1-3 分子群の空間・時間変化の制御

WS (ワークショップ) 設置の趣旨	1
本WSの基本的な考え方や検討方針	2
本WS参加メンバー	3
WS開催までの経過	4
検討結果	5
I 有機系	
II 無機系	
III 高分子・複合系	
IV 生物系	
総括	6



### 3 今後の課題

本WSで提言された研究領域には、資源、エネルギー、環境などの分野で、社会を持続するために解決せねばならない事項を数多く含んでいる。「元素多様性の発掘と物質創造」など、本研究領域は日本の強い分野であり、具体的な研究内容例、その提案の可能性・重要性などを引き続き検討していく。

今回は出口を見据えたものの、ニーズ指向的課題についての深い議論には及ばなかった。今後更に、応用の視点からの課題も精査し、全体を俯瞰した上で重要研究領域を抽出する予定である。

## Ⅱ. 無機系物質科学分科会

### 1 無機系物質科学分科会の概要

#### 分科会メンバー

分科会名	名前	所属
Ⅱ. 無機系物質科学	高野幹夫 【コーディネータ】	京都大学科学研究所教授/ 所長
	岸尾光二	東京大学大学院工学系研究科/ 低温センター教授/センター長
	北川進	京都大学大学院工学研究科教授
	橋本和仁	東京大学 先端科学技術研究センター教授
	平尾一之	京都大学大学院工学研究科教授
	細野秀雄	東京工業大学応用セラミックス 研究所教授
	吉本護	東京工業大学応用セラミックス 研究所助教授
	齋藤高志 【コーディネーター補佐】	京都大学化学研究所助手

無機系物質科学分科会では、先ず各メンバーから次期科学技術基本計画において採り上げるべきインパクトをもつ無機系物質科学研究として、「高圧合成などによる酸化物」、「無機・有機融合物質」、「超伝導体など酸化物とその磁場効果」、「酸化物/ダイヤモンドなどの薄膜系」、「無機電子伝達系」、「ガラス/光誘起局所構造」、「新機能光触媒」などが提案された。

これまでの10年における重要な研究成果は、3d電子系（高温超伝導・強相関電子系・酸化物エレクトロニクス・多重機能物質などを含む）、イオン・インターカレーション、FeRAMなど新しいメモリー、複合化による新機能、合成技術・解析技術・測定技術の発展、などであるとまとめられた。

これらを基に、これからの10年において重要な研究について議論が行われ、生存基盤科学構築に資する物質科学の重要性が提起された。また、「精密無機合成化学」の視点が重要性であることが認識され、「安価・安全・安定」、「新物質探索」、「各物性の特性長レベルでの制御」、「多体効果による予測困難性の克服」、「酸化物エレクトロニクス」、「界面での化学反応のメモリへの利用」などが議論された。

これらの議論を踏まえて、下記に示す3研究領域が提案としてまとめられた。

- 1) 外場摂動プロセスによる新物質・新機能開発
- 2) 外場応答性機能物質
- 3) 二次元性の生む新規反応と新規物性

以下、提案された各研究領域の要点を示す。

設置の趣旨	1
本WS(ワークショップ)の基本的な考え方及び検討方針	2
本WS参加メンバー	3
WS開催までの経過	4
検討結果	5
I 有機系	
II 無機系	
III 高分子・複合系	
IV 生物系	
総括	6



## 2 各研究領域の要点

### 1) 外場摂動プロセスによる新物質・新機能開発

- ・上位概念：ワンダーマテリアル
- ・研究領域名：外場摂動プロセスによる新物質・新機能開発
- ・研究内容・内外の研究開発状況：これまでの機能性無機材料は、CVD (Chemical Vapor Deposition) 法，ゾルゲル法，スパッタ法，高圧法，焼結法，化学輸送法などの方法を用いて作製されてきた。今後は更なる革新的な機能の発現、引いてはワンダーマテリアル (思いもかけない材料) が生成される可能性がある。外場 (磁場・電場・電磁場) 摂動プロセスを加えることでより一層の効果が期待されるとともに、思いもかけない材料 (ワンダーマテリアル) 生成の可能性がある。例えば、高効率の太陽電池材料や熱電変換材料、非線形光学材料が期待できる。
- ・他分野・社会に対する重要性：本領域はプロセスの多様性，構造の多重性，組成の多元性を有しているので、ワンダーマテリアルの誕生の可能性が高い。そこで生み出される新物質・新機能は、エネルギー・環境・ITなど広範囲な分野に大きなインパクトを及ぼす。

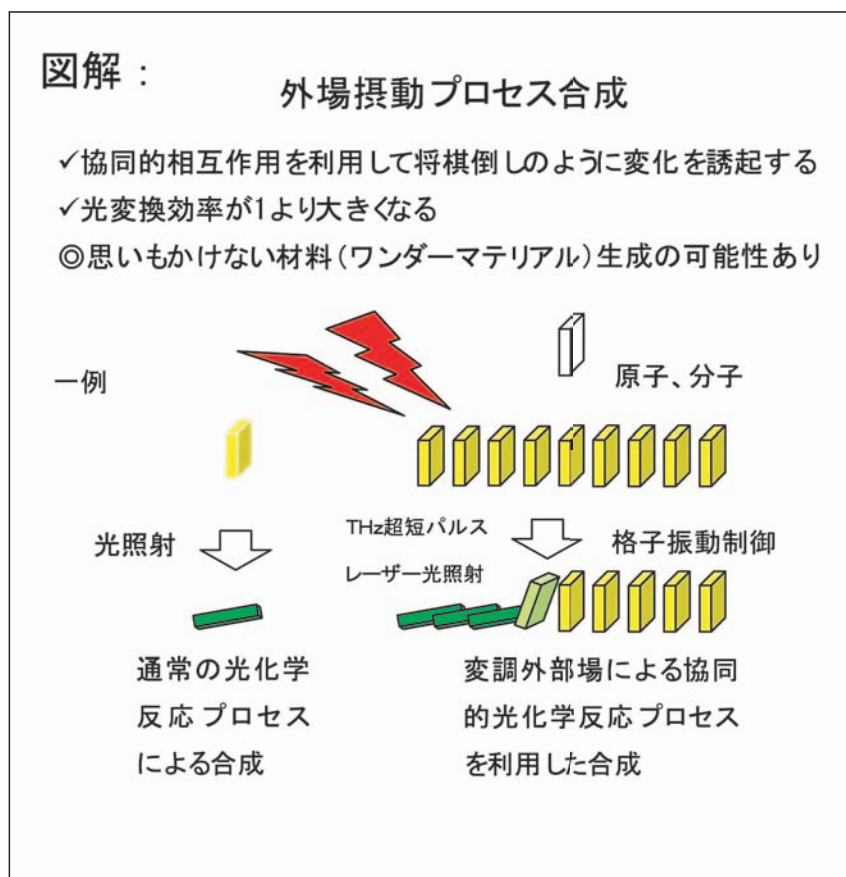


図2-1 外場摂動プロセスによる新物質・新機能開発

## 2) 外場応答性機能物質

- ・上位概念：ワンダーマテリアル
- ・研究領域名：外場応答性機能物質
- ・研究内容・内外の研究開発状況：光誘起磁石や光誘起スピントロニクスオーバー転移、光誘起原子価転移など分子デバイスに展開可能な興味深い現象が開拓された。また高輝度放射光施設の登場により、温度・圧力・光・化学的雰囲気といった外場パラメーターによる機能性物質の構造物性の研究が行われている。新しい展開の可能性としては、例えば磁場や光による触媒機能の制御などが挙げられる。
- ・他分野・社会に対する重要性：革新的電子デバイスの開発によるポスト・ムーア法則時代への対応、高性能アクチュエーターを応用したヒューマンライクロボットの実現による少子高齢化社会対応への貢献、地震予知用常温作動型超高感度磁気センサーによる社会の安心安全への貢献、光速作動型センサー・高機能複合センサーの開発による高度光情報社会実現、高効率太陽電池の実現によるエネルギー問題への貢献等。本領域は社会に対する重要な貢献を行うことのできる科学技術である。

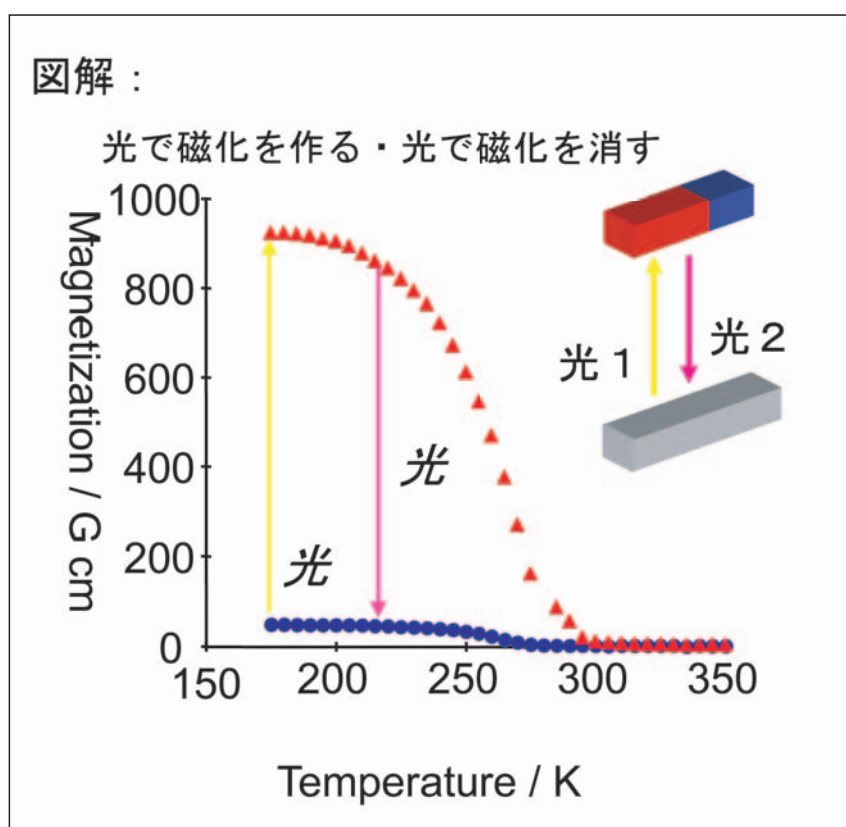


図2-2 外場応答性機能物質

WS (ワークショップ) 設置の趣旨	1
本WSの基本的な考え方や検討方針	2
本WS参加メンバー	3
WS開催までの経過	4
検討結果	5
I 有機系	
II 無機系	
III 高分子・複合系	
IV 生物系	
総括	6

### 3) 二次元性の生む新規反応と新規物性

- ・上位概念：ワンダーマテリアル
- ・研究領域名：二次元性の生む新規反応と新規物性
- ・研究内容・内外の研究開発状況：Liイオン電池電極や熱電変換材料などでは、構造の二次元性が機能発現に重要な役割を果たしている。分子の自己組織および自己集積を利用して二次元構造（界面・表面を含む）を与える物質や、異種結合ブロックの二次元的接合をベースとした有機・無機複合物質において、新規反応場や新規物性を創出する。例えば、粘土鉱物の様な層状軽金属酸化物のファンデルワールスギャップ中に $\pi$ 電子系有機分子を自己集積させ、これまでにない外場応答性を発現させる。
- ・他分野・社会に対する重要性：Liイオン電池電極材料に見られる様に、二次元性化合物には、機能性材料としての高いポテンシャルが実証されている。また同時にプロセスの多様性、構造の多重性、組成の多元性を有しているため、その新規物性は応用の裾野が広く、他分野や社会に重要なインパクトを与える可能性も非常に高い。

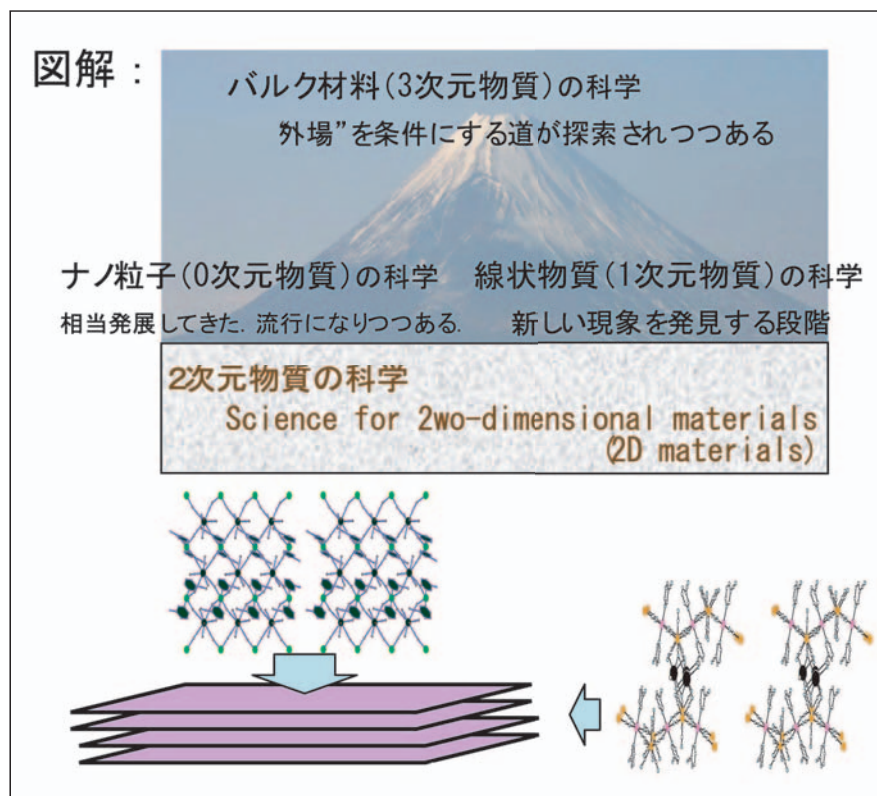


図2-3 二次元性の生む新規反応と新規物性

### 3 今後の課題

本WSの無機系物質科学分科会では、いずれも「ワンダーマテリアル」を上位概念として、新材料・新機能の発明・発見を目指す3つの研究領域への提案をまとめた。これらの研究領域提案は、我が国の科学技術が国際的に最も高い競争力を持っている分野に関わり、広範な応用分野に大きな波及効果を持ちうるものであり、物質科学の視点からは非常に重要なものであることは論を待たない。しかしながら、一方でこれらの提案は、具体的にIT、環境・エネルギー、ライフサイエンス等への応用を明示しているものではなく、近年重要視されている社会ニーズや国民生活への貢献等の説明の点から、専門家以外にその重要性が理解されにくい、という問題点がある。今後は、このような視点からも、十分に重要性を理解されうるような研究領域提案へと、更に提案内容の深化と強化を行っていくことが肝要である。

WS(ワークショップ)設置の趣旨	1
本WSの基本的な考え方及び検討方針	2
本WS参加メンバー	3
WS開催までの経過	4
検討結果	5
I 有機系	
II 無機系	
III 高分子・複合系	
IV 生物系	
総括	6

## Ⅲ. 高分子・複合系物質科学分科会

### 1 高分子・複合系物質科学分科会の概要

分科会メンバー

Ⅲ. 高分子・複合系 物質科学	黒田一幸 【コーディネータ】	早稲田大学理工学部教授
	相田卓三	東京大学大学院工学系研究科教授
	黒田玲子	東京大学大学院総合文化研究科教授
	小池康博	慶應義塾大学理工学部教授
	中條善樹	京都大学大学院工学研究科教授
	中濱精一	(独)産業技術総合研究所 高分子基盤技術研究センター長
	福田猛	京都大学化学研究所教授
	宮田浩克 【コーディネーター補佐】	キャノン(株)先端技術研究本部 ナノマテリアル研究部複合材料 研究室室長

高分子・複合系物質科学分科会においては、今後重要になると考えられる研究課題として、「刺激応答性材料・自己修復材料」, 「シリケートなど無機酸化物の高分子科学」, 「人工光合成」, 「異分野融合科学」, 「非平衡状態・非対称構造」, 「ナノハイブリッド材料と階層的ハイブリッド構造精密重合」, 「高分子・高分子複合系・複合材料の界面の制御と応用」等が提言された。

これらを基に議論を行った結果、次のような統一コンセプトに到達した。

1) 時間軸を組み入れた材料

環境応答・刺激応答、重合－解重合、生分解性、等

2) 界面・表面・空間の精密設計

ハイブリッド材料界面、高分子材料の界面・表面、界面・表面物性利用デバイス、等

3) 新ハイブリッド材料

構造・スケール・元素のハイブリッド

これらの議論を踏まえて、高分子・複合系物質科学分科会として次の3つの研究領域を提案した。

1) 時間軸を組み入れた材料

2) システム構築を目指した高分子の次元／機能制御

3) ハイブリッド材料が創る新空間

以下、提案された各研究領域の要点を示す。

## 2 各研究領域の要点

### 1) 時間軸を組み入れた材料

- ・上位概念：安心・安全のための材料技術
- ・研究領域名：時間軸を組み入れた材料
- ・研究内容・内外の研究開発状況：外部刺激や置かれている環境等の要因により、時間の経過とともにその構造を変化させる材料の開発，構造変化の制御，記憶と進化，及びその応用に関する研究。また、熱的非平衡状態において形成される過渡的構造を固定することで得られるような材料に関する研究。具体的には、条件によって重合と解重合が逆転して起こるような物質系、ある時間による分解反応の進行を高度に制御し得る材料、外部刺激によって特定の環境に置かれた場合にダイナミックに構造を変化させるような材料の研究，自己組織的に形成される構造体に関する研究。あくまでも高度な制御性に重点を置く。
- ・他分野・社会に対する重要性：高齢化社会に対する貢献として、疾病予防，投薬の際の副作用の抑制，投薬効果増大などが期待され、また、環境問題に対する重要性として、種々の時間スケールでリサイクル可能な環境に優しいプラスチックの創製，高度なリソグラフィを使用せずに作製できる廉価なフォトニックデバイスの作製等が期待される。

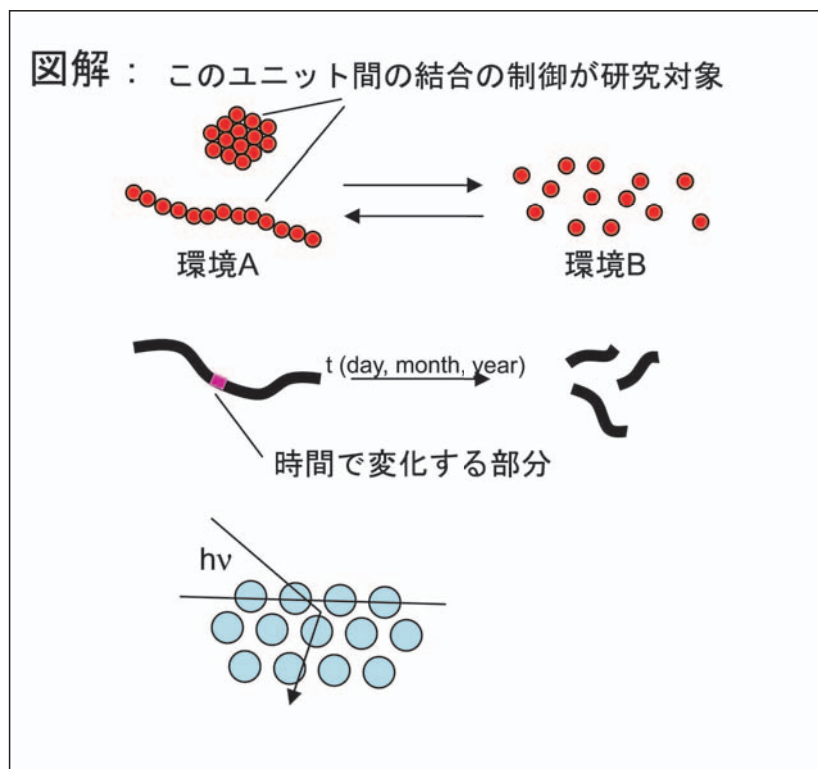


図3-1 時間軸を組み入れた材料

WS (ワークショップ)  
設置の趣旨

1

本WSの基本的な  
考え方や検討方針

2

本WS参加メンバー

3

WS開催までの経過

4

検討結果

5

I  
有機系

II  
無機系

III  
高分子・  
複合系

IV  
生物系

総括

6



## 2) システム構築を目指した高分子の次元／機能制御

- ・上位概念：構造制御高分子がシステムを変える
- ・研究領域名：システム構築を目指した高分子の次元／機能制御
- ・研究内容・内外の研究開発状況：高分子化合物を種々の次元で構造制御することにより、高分子化合物の次元効果等の高分子効果を最大限に活用し、無機物や低分子化合物では達成することができない機能性材料を開発する。具体的には、高分子化合物の分子量、配向性、結合方向を制御することによって、高分子ワイヤ、自己集合的秩序構造形成、新規ハイブリッド構造材料、高次構造制御、界面／表面物性制御、量子効果発現等を狙う。更には、制御された材料によって発現した特異的な性質をオプティクス、バイオインターフェース、高度分離精製、低摩擦材料等へ応用する研究を行う。
- ・他分野・社会に対する重要性：低コスト、プロセス簡便性等、国際競争力を持つ技術開発として重要産業のキーコンポーネント差別化に貢献し、また、半導体産業のプロセス基盤技術としての高分解能フォトリソグレイド等として重要であり、更に、高齢化社会における疾病診断用に高分子ワイヤや高分子秩序構造を用いたセンシングデバイスとしての応用が期待される。

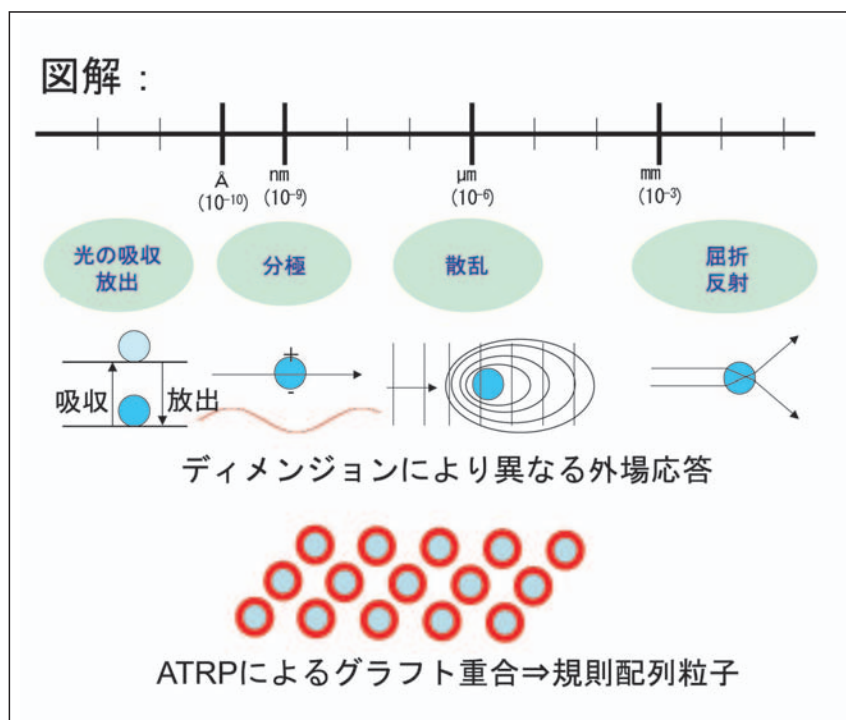


図3-2 システム構築を目指した高分子の次元／機能制御

### 3) ハイブリッド材料が創る新空間

- ・上位概念：空間制御材料
- ・研究領域名：ハイブリッド材料が創る新空間
- ・研究内容・内外の研究開発状況：ナノ空間形成材料をベースとしたナノテクノロジーが進展しつつあるが、ナノ空間を形成する材料の組成は単一である場合が殆どであった。本研究領域では、従来の異種材料のハイブリッドという概念に加え、元素レベル、分子レベル、クラスターレベル等の種々の階層におけるハイブリッド材料が形成するナノ空間を対象とする。特に元素レベルに関しては、元素をNatural Building Block と捉え、元素に固有の物性の有効利用を狙う。これらのハイブリッドナノ空間は、具体的には、特異な反応場の提供、刺激によるホスト-ゲスト相互作用の変化、量子サイズ効果の発現等の新規物質の創製等に適用される。本研究領域では、ナノ空間形成材料の設計、合成から応用までの広い領域を包含する。
- ・他分野・社会に対する重要性：環境側面では、低環境負荷エネルギー源用材料（次世代燃料電池用触媒、イオン伝導材料）やグリーンケミストリー触媒への応用は重要性が高い。構成元素の高付加価値化は、資源の有効活用を可能とし、高機能分離膜などへの応用も重要である。また、健康な社会生活に貢献する重要な技術として、DDS（Drug Delivery System）や診断用材料への応用が期待される。

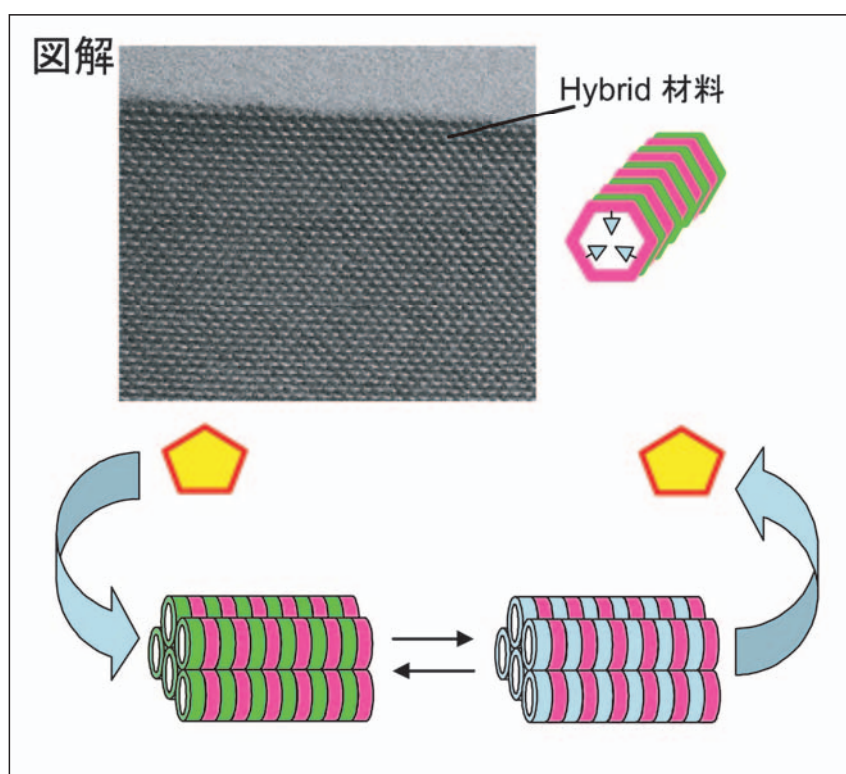


図3-3 ハイブリッド材料が創る新空間

WS(ワークショップ)設置の趣旨	1
本WSの基本的な考え方や検討方針	2
本WS参加メンバー	3
WS開催までの経過	4
検討結果	5
I 有機系	
II 無機系	
III 高分子・複合系	
IV 生物系	
総括	6



### 3 今後の課題

本WSの高分子・複合系分科会では、3つの研究領域への提言をまとめた。本分科会には、高分子材料及び複合材料・ハイブリッド材料という2つのやや異なった分野の研究領域を、限られたメンバーにより限られた時間でまとめることが求められ、作業の困難さが大きいという面があった。そもそも、複合材料・ハイブリッド材料というものの範囲や定義も明快ではなく、ここでの提案は、この分野で今後行うべき研究領域を網羅するという性格のものではなく、ある程度の絞り込みを行ったものであると言える。また、今回の提案は、広範な用途に応用されうる新材料や新機能の研究の提案に関わるもので、必ずしも具体的にIT、環境・エネルギー、ライフサイエンス等への応用を明示しているものではない。そのため、近年重要視されている社会ニーズや国民生活への貢献等の説明の点から、専門家以外にその重要性が理解されにくい、という問題点が残る。

このような意味から、今後は、より広く関係研究分野を俯瞰しつつ、提案内容の精緻かを行い、提案の重要性をより具体的、体系的に分かりやすいものとするよう努力をしていく予定である。

## IV. 生物系物質科学分科会

### 1 生物系物質科学分科会の概要

分科会メンバー

分科会名	名前	所属
IV. 生物系物質科学	長田義仁 【コーディネータ】	北海道大学副学長
	青山安宏	京都大学教授
	片岡一則	東京大学教授
	北浦良彦	元ファイザー製薬中央研究所長
	松田武久	九州大学教授
	居城邦治 【コーディネータ補佐】	北海道大学教授

生物系物質科学分科会では、研究領域を提案するに当たり、生物系に関わる物質科学において学問的に未解決な分野、学問として未踏な分野、並びに社会の要請が強い分野に視点を置いた。出席者がこのような分野を列挙し、議論を重ねることで、共通項：物質を中心としたマテリアルサイエンス；上位概念：「化学が先導する生命科学」，「生命の神秘に迫る物質科学的アプローチ」，「いのちを守る科学技術」，「未踏材料科学」；出口：「遺伝子治療」，「動物実験代替システム」，「新薬開発」，「再生医療」についての合意に達した。その結果、下記に示す5研究領域が提案された。

これらの研究領域は、提案者が国際学会などの研究交流を通じて得られた情報から世界に先んじて日本が行うべきと考えたものである。特に、4) 動物実験代替システムは、社会的要請の緊急度が著しく高い研究分野であり、早急な取り組みが望まれる。

- 1) 細胞内システム化学
- 2) 物質機能と創発 (emergence)
- 3) バイオインターフェイス
- 4) 動物実験代替システム
- 5) ソフト・ウェットマテリアル

今回のWSでは、上記の出口を指向しつつ、生物系物質科学における物質を中心とした重要研究分野を討議した結果、「構造・組織」，「性質」に関する基礎研究領域が提案された。

以下、提案された各研究領域の要点を示す。

WS(ワークショップ)  
設置の趣旨

本WSの基本的な  
考え方や検討方針

本WS参加メンバー

WS開催までの経過

検討結果

I  
有機系

II  
無機系

III  
高分子・  
複合系

IV  
生物系

総括

## 2 各研究領域の要点

### 1) 細胞内システム化学

- ・上位概念：化学が先導する生命科学
- ・研究領域名：細胞内システム化学
- ・研究内容・内外の研究開発状況：生命は化学物質であり化学反応である。またネットワークでありシステムである。生命を真に化学的に捕らえるためには、細胞という反応場の中での化学 (in-vivo chemistry) を確立する必要がある。この姿勢は、新しい生命観の醸成と革新的医療技術の確立にとっても重要である。すなわち、細胞内で機能する目的で設計された化学プローブ／センサー／キャリア／モジュレーター(アクチベーター、インヒビター) を用いて細胞内生命現象をその場で解明し制御する。個々の物質や現象の刺激応答と空間・時間的なモニタリングを通じ、システムとしての生命現象を化学的に理解し、遺伝子発現や情報伝達を工学的に制御する技術を確認する。これらの成果は次世代の疾病の診断・治療に資すると期待される。
- ・他分野・社会に対する重要性：本研究領域の推進は、細胞内の刺激や情報伝達の分子レベルでの解明を通じて細胞生物学の進展に役立つ。更に、新しい診断法や革新的遺伝子治療の実現など次世代医療にも大きなインパクトをもたらすことが期待される。

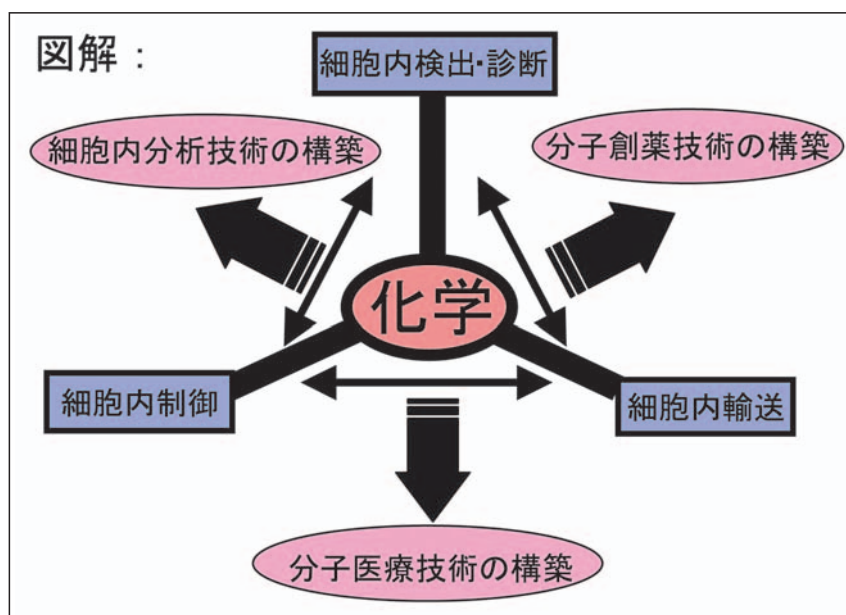


図4-1 細胞内システム化学

## 2) 物質機能と創発 (emergence)

- ・上位概念：生命の神秘に迫る物質科学的アプローチ
- ・研究領域名：物質機能と創発 (emergence)
- ・研究内容・内外の研究開発状況：創発とは、局所的な相互作用を持つ、もしくは自律的な要素が多数集まることによって、その総和とは質的に異なる高度で複雑な秩序やシステムが生じる現象のことを指す。所与の条件からの予測や意図，計画を超えた構造変化や創造が誘発されるという意味で「創発」と呼ばれる。例えば、「細胞の集まりが生物であること（群知能）」や「物質の凍結（相転移現象）」のような“要素に還元できない現象”のことをいう。創発の発現機構やその過程を物質科学から理解すると同時にその原理を応用することで新たな機能物質や制御システムを構築する。
- ・他分野・社会に対する重要性：学問的に化学，生物の統一場を提供する。更にサイズ効果，次元効果，シンクロナイゼーションなどのこれまでにない階層的機能を有する材料の創成に寄与する。

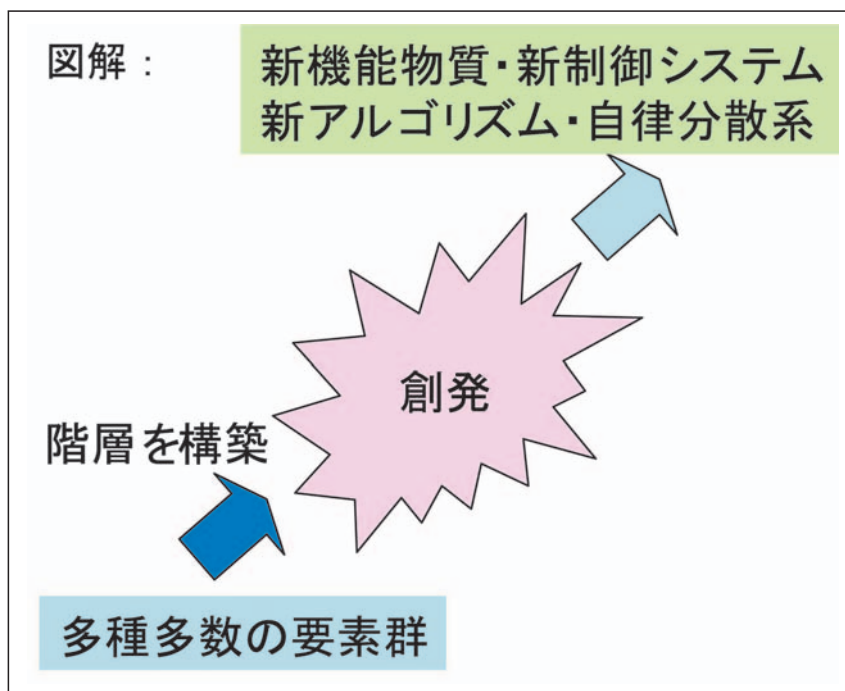


図4-2 物質機能と創発 (emergence)

WS (ワークショップ) 設置の趣旨	1
本WSの基本的な考え方や検討方針	2
本WS参加メンバー	3
WS開催までの経過	4
検討結果	5
I 有機系	
II 無機系	
III 高分子・複合系	
IV 生物系	
総括	6

### 3) バイオインターフェイス

- ・上位概念：いのちを守る科学技術
- ・研究領域名：バイオインターフェイス
- ・研究内容・内外の研究開発状況：生物界面と共に人工物と生体の界面相互作用を制御する方法論は、生物学のみならず医療分野においても21世紀前半に解決すべき最重要研究課題の一つである。例えば、高機能の人工臓器，再生医療から細胞チップ，組織チップに至るまでバイオインターフェイスの問題を解決なくして真の実現はあり得ない。本研究領域では、物質物性科学を基盤として、細胞生物学やバイオメカニクスを統合して生体接着や生体適合性等の問題にアプローチし、空間のみならず時間的スケールで自己化を獲得するバイオインターフェイス材料を創成する。
- ・他分野・社会に対する重要性：新薬の開発を加速するための有効性・毒性をモニターできる細胞チップの作製を可能とする。バイオインターフェイスでの物理・化学的な接着，物理的な摩擦，生物学的な適合性などに優れた材料を作ることで、再生医療や組織工学に貢献する。

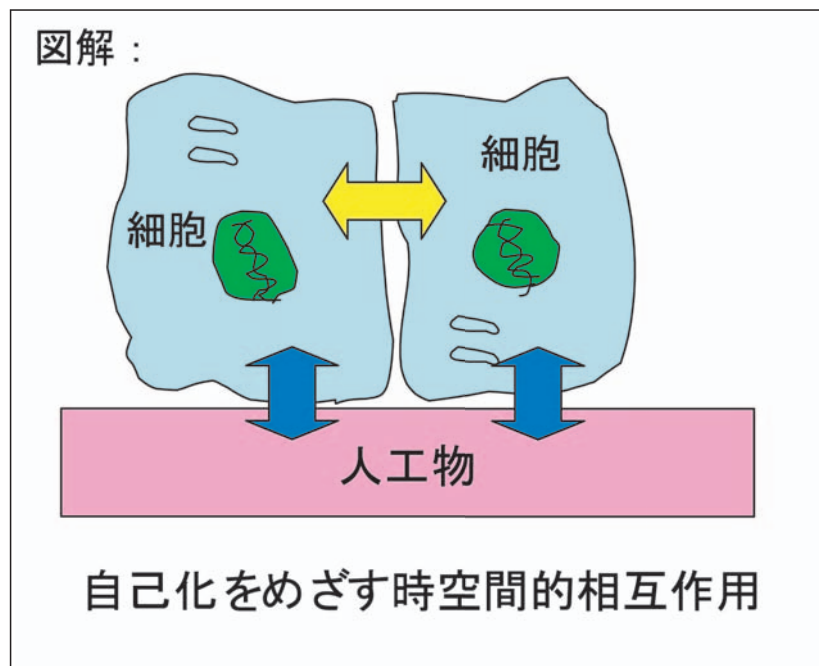


図4-3 バイオインターフェイス

#### 4) 動物実験代替システム

- ・上位概念：いのちを守る科学技術
- ・研究領域名：動物実験代替システム
- ・研究内容・内外の研究開発状況：医療製品、化粧品を開発する際、有効性・安全性・毒性のチェックをするための動物実験は避けて通ることはできない。昨今の社会的環境は動物実験に対して強い批判があり、動物実験を代替するシステムの構築は21世紀の科学技術を発展させるための真剣に取り組むべき課題である。しかし、動物実験代替システムを構築するためには、生物学だけでなく、化学や物理学を駆使して融合的かつ横断的に取り組む必要がある。そこで、本領域を日本の科学技術政策に位置づけることを期待する。
- ・他分野・社会に対する重要性：科学技術の発展に隠れた改善すべき研究事項である。科学政策的に推進することの社会的インパクトは大きい。

#### 5) ソフト・ウェットマテリアル

- ・上位概念：未踏材料科学
- ・研究領域名：ソフト・ウェットマテリアル
- ・研究内容・内外の研究開発状況：化学は生物を構成する組織を対象とすることがなかった。物質科学の立場から生物軟組織の持つ諸機能を解明する上で、ソフトウェットマテリアル分野を他国に先んじて打ち立てる必要がある。
- ・他分野・社会に対する重要性：これまで人工組織として人工骨が知られているが、更にひざの靭帯を置き換える人工軟組織を提供できるようになる。

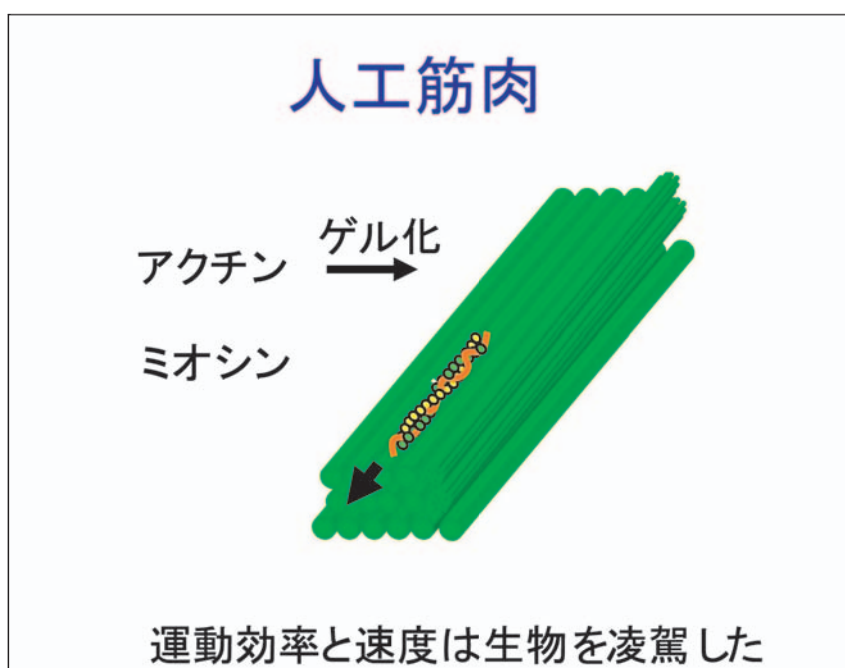


図4-4 ソフト・ウェットマテリアル

WS(ワークショップ)設置の趣旨	1
本WSの基本的な考え方や検討方針	2
本WS参加メンバー	3
WS開催までの経過	4
検討結果	5
I 有機系	
II 無機系	
III 高分子・複合系	
IV 生物系	
総括	6



### 3 今後の課題

本WSで提案された研究領域は、#1.細胞システム化学と創発、#2.ソフト・ウェットナノマテリアルに更に大きく括ることができる。いずれも「細胞原理」の概念を基にした分子レベルでの基礎科学的見地からのアプローチであり、先ずは、細胞内をみることが重要である。次には、その成果を活用し、細胞間のシステム化学に取り組む必要がある。

また今回は、出口を見据えつつも学問として未踏な基礎研究領域に焦点を当てた。今後更に、応用の視点からの議論も取り入れ、全体を俯瞰した上で重要研究領域を抽出する予定である。

## 6. 総括

本WSでは、化学を中心とした物質科学分野において、将来の研究目標や明確な道筋を設定するための戦略に基づき、学問的にも新しく基礎的でありながら、将来には産業を興すようなインパクトのある研究領域の提案を行った。今回提案された研究領域は、社会の持続的な発展を可能とするとともに、我が国が真の科学技術立国たることを実現するために、長期的な国家戦略の下に取り組むべき重要な基礎的研究領域である。

すなわち、社会ニーズに応える応用・技術、新機能物質の開発に繋がる「戦略性を込めた基礎研究」、「発展性を秘めた基礎研究」を提案した。物質科学の研究開発における基礎研究の位置付けを下図に示す。

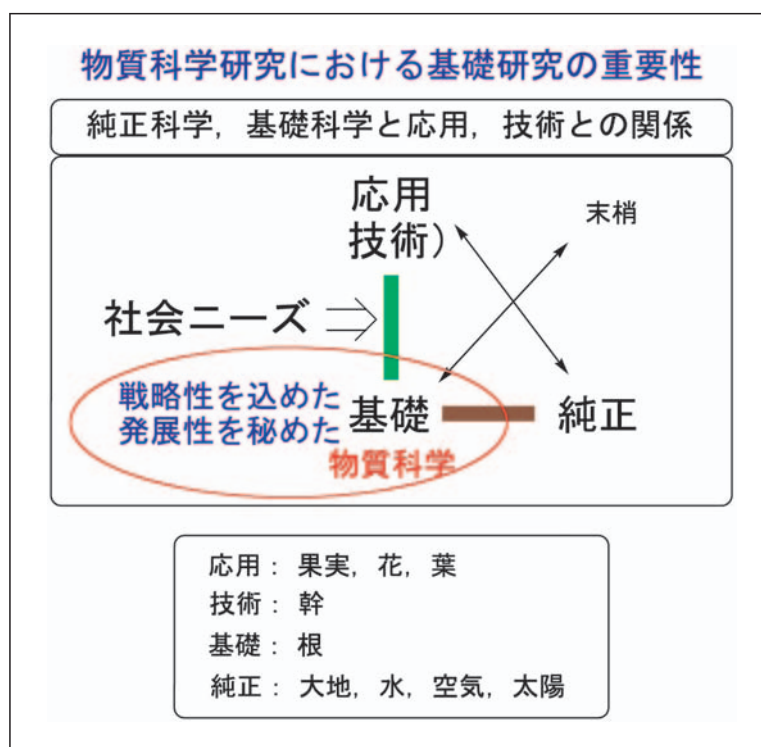


図5 物質科学研究における基礎研究の重要性

今後は、社会ニーズや国民生活への貢献等を分かりやすく説明すると共に、実用化へ繋がる具体例を示しつつ、その提案の可能性を言及していく。更に、研究分野全体の俯瞰に基づき、提案内容の重要性をより体系的に明確化していく。

以上のようにして得られた、重点的に推進すべき「研究領域」・「戦略目標」等については、関係諸機関・外部へ発信していくよう努める所存である。

WS(ワークショップ)設置の趣旨	1
本WSの基本的な考え方及び検討方針	2
本WS参加メンバー	3
WS開催までの経過	4
検討結果	5
I 有機系	
II 無機系	
III 高分子・複合系	
IV 生物系	
総括	6



科学技術未来戦略ワークショップ（物質科学）  
－ 夢の材料の実現へ －  
報告書

平成17年3月

独立行政法人科学技術振興機構  
研究開発戦略センター

Copyright 2005 by CRDS/JST

無断での転載・複写を禁じます。