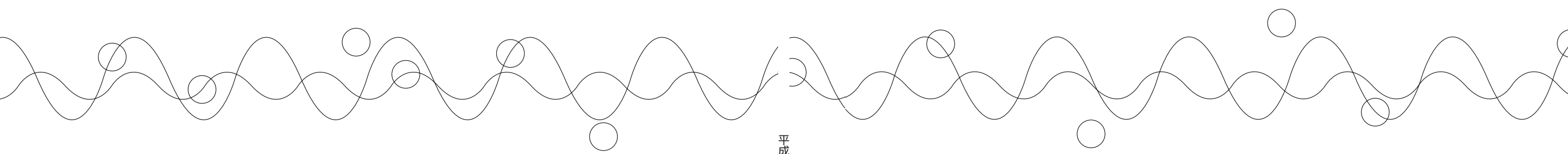


# 分野融合ワークショップ報告書



平成18年1月

JST / CRDS



独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター  
Center for Research and Development Strategy Japan Science and Technology Agency

## Executive Summary

新しい知識・技術を生み出し、イノベーションを効率的に創成する可能性の高い分野融合領域・課題を抽出し、重点的に推進すべき分野融合領域・課題およびその推進方法を戦略プロポーザルとして提案するにあたり、グループ横断組織である分野融合研究横断グループを設置し「次世代生物生産・利用を実現する分野融合」、「ナノとバイオの融合」および「次世代医療を実現する異分野融合」の3つのワークショップを実施した。

その結果、以下の重要研究領域・課題が抽出された。

### ・「次世代生物生産・利用を実現する分野融合」ワークショップ

①デザイン・イン型農業システムの構築、②食料・有用物質生産用生物の高機能化と評価システムの確立、③海域生物生産マネジメントシステムの開発

### ・「ナノとバイオの融合」研究ワークショップ

①ナノレベルでの生体機能の理解・活用によるデバイスの創製、②細胞システムのデザインとそのナノ基盤技術の確立、③ ナノ医療（ナノバイオによるメディカルインテグレーション）、④ ナノエネルギー論

### ・「次世代医療を実現する異分野融合」ワークショップ

①計算科学を核とする多分野融合による新たな医療技術の開発、②Chemical Biologyと臨床医学・先端計測制御工学を融合した次世代低侵襲標的診断治療技術の開発、③物理学的エネルギーによる生体機能の制御、④医療用次世代メカトロニクス、⑤次世代医療技術の客観的な評価を支援するモデリング技術、⑥評価技術の開発、⑦細胞応答制御による組織工学の再構築、⑧生体の恒常性維持機能と協調する治療制御、⑨安心安全な医療を実現するための医療のシステム科学的分析、⑩次世代医療研究を促進するための研究

また、重点的に推進すべき領域の実施体制・推進方策に関しては、主として分野融合研究の場の整備、分野融合研究人材の育成、分野融合研究と社会との関わり等について議論された。以下において議論された具体的留意事項をワークショップ毎に記述する。

「次世代生物生産・利用を実現する分野融合」ワークショップでは、

- ① 次世代生物生産を実現するためには、学術的研究に優れた大学と地域の生産現場とのつながりが強い独立行政法人研究所とが連携して分野融合研究を実施することが必要である。
- ② 分野融合研究は、まず農への先端的工学技術の導入から開始する。そして各分野間の多面的な交流を図り、新たな学問の創成を目指すことが重要である。
- ③ 遺伝子組換え植物をはじめとする人工的に生産した生物が生態系に及ぼす影響等につい

て、科学的データの収集・蓄積を行うと共に、国民に対する説明責任を果たし、パブリック・アクセプタンスの確保に努める。特に食品に関しては、食生活への普及を実現するためにも信頼性の確保が不可欠である。

「ナノとバイオの融合」研究ワークショップからは、

- ④ 大学組織内では、既存の組織とは別に独立した研究組織が分野融合研究を実施する上で必要である。また、大学のみならず産官からの積極的な参加の得られる融合組織を構築する必要がある。
- ⑤ 研究推進については研究代表者が責任を持ち、人事を含めた制度面やスペースなどについては大学組織が責任を持ち全面的にサポートする体制が求められる。
- ⑥ 分野融合に取り組むことに対する評価も従来の評価基準とは別に設ける必要がある。
- ⑦ 融合分野に進学してくる学生に対する教育とキャリアーに対してのフォローを十分に考慮する必要がある。

「次世代医療を実現する異分野融合」ワークショップからは、

- ⑧ 研究プロジェクトと人材育成を一体化することにより、研究者グループとしても個人レベルでも異分野融合されている次世代医療の研究者を、最先端の研究を通じて育成することを旨とする。
- ⑨ 臨床医療の現状・国民に求められる医療システムについて研究者が深い理解を持つことを支援するために、現場特に臨床環境が身近にある研究環境を提供することが重要である。具体的には異分野研究者が大学病院に日常的に深く入り込み、研究を実施できる体制を、研究者ポストの設置も含めて検討すべきである。
- ⑩ 医療倫理、医療研究の進め方の基本的姿勢についての教育環境も合わせて整備するなど、臨床医学研究の特殊性を十分考慮した上での異分野融合研究推進体制を構築すべきである。
- ⑪ 融合研究を支援する拠点環境が必要である。
- ⑫ 革新的な医療を受け入れる社会風土を醸成し、このような研究開発の価値を広く社会に理解してもらうためにも、研究活動の社会への広報・啓蒙を推進することが、研究成果の臨床医療への早期の応用を展開するためには重要である。

# 目 次

Executive Summary	i
はじめに	1
[1] 分野融合研究への取り組み	2
1.1 イノベーション創成からみた分野融合研究	2
1.2 知識の生産様式からみた分野融合研究	3
1.3 取り組みの目的	5
1.4 取り組みの方法	5
[2] 次世代生物生産・利用を実現する分野融合：「農学と工学の融合」	
ワークショップ報告	8
2.1 開催趣旨	
2.1.1 ワークショップの目的	8
2.1.2 期待するアウトプット	8
2.1.3 議論・検討の背景	8
2.1.4 開催日時・場所・スケジュール	10
2.2 各セッションの概要と参加有識者	10
2.2.1 「食料生産」セッション	10
2.2.2 「有用物質生産」セッション	12
2.2.3 「都市・農村・生態系融合」セッション	13
2.3 次世代生物生産・利用の実現に向けて推進すべき分野融合研究領域	14
2.3.1 現状の問題点と分野融合研究の重要性	15
2.3.2 重要となる融合研究領域	16
[3] ナノとバイオの融合で創られる新たな技術フロンティア：「ナノとバイオの融合」	
研究ワークショップ報告	19
3.1 開催趣旨	
3.1.1 ワークショップの目的	19
3.1.2 議論・検討の背景	19
3.1.3 ワークショップの進め方	19
3.1.4 参加有識者	20
3.1.5 開催日時・場所・スケジュール	21
3.2 討議の方向性と各セッションでの講演	22
3.2.1 討議の方向性	22

3.2.2 各セッションでの講演	23
3.3 重要な分野融合研究領域	23
3.3.1 具体的な研究分野：ナノバイオ－情報－認知科学	23
3.3.2 推進体制について	25
[4] 次世代医療を実現する異分野融合：ワークショップ報告	26
4.1 ワークショップの概要	26
4.1.1 参加有識者	26
4.1.2 開催日時・場所・スケジュール	27
4.2 抽出された重要融合研究領域とその推進策	27
4.2.1 研究領域の概要と現状の問題点	27
4.2.2 重要となる融合研究領域	28
4.2.3 実施体制に関して留意すべき点	37
[5] まとめ	38
おわりに	40
参考文献	40

## はじめに

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（CRDS）は、JSTの研究開発戦略を立案するとともにわが国の科学技術の発展に貢献することをミッションとして活動を行っている。永野グループは其中で主として研究システム・ファンディングのあり方に関する問題を担当しているが、その活動の一環として、日米の大学における研究体制に関する調査を昨年度実施した<sup>[1]</sup>。その結果、米国の数多くの大学が分野融合領域における研究を推進していること、わが国の大学でも分野融合研究に対する組織的な取り組みが始められていることが明らかになった。

この調査結果を受けて、今後は分野融合研究領域におけるファンディングシステムの提案を含め、重要分野融合領域・課題の抽出およびそれら研究の推進方法に関する提案を「プロポーザル」にまとめる予定であるが、このプロセスの一環としてワークショップを開催し、広範な関係者の参加を得て意見の形成や集約を行うことができた。

本報告書は、9月末から10月上旬に開催した分野融合ワークショップによって得られた知見をまとめたものである。第1章では、分野融合研究への取り組みについて、第2章では次世代生物生産・利用を実現する分野融合：「農学と工学の融合」ワークショップについて、第3章では「ナノとバイオの融合」研究ワークショップ報告について、第4章では「次世代医療を実現する異分野融合」ワークショップについて述べ、第5章にまとめを述べる。

## 【1】分野融合研究への取り組み

分野融合研究は、新しい知識の創出が期待できる最も生産的で啓発的な研究であるとして重要視されている<sup>[2]</sup>。また、今日、イノベーションは学問分野の交差するところで頻繁に起きる傾向にあることが指摘されており<sup>[3]</sup>、この観点からも、分野融合研究に対する期待は高い。なぜなら、イノベーションは、知識を基にしてこれを経済社会的な価値の創出につなげる活動であり、今日、企業のみならず社会的にも国家的にもこれを推し進め、これを原動力とする社会・経済の成長実現が求められているからである。

本章では、イノベーションと分野融合研究との関係、知識創造のモード論的考察から今回めざす分野融合研究の特徴を明らかにする。

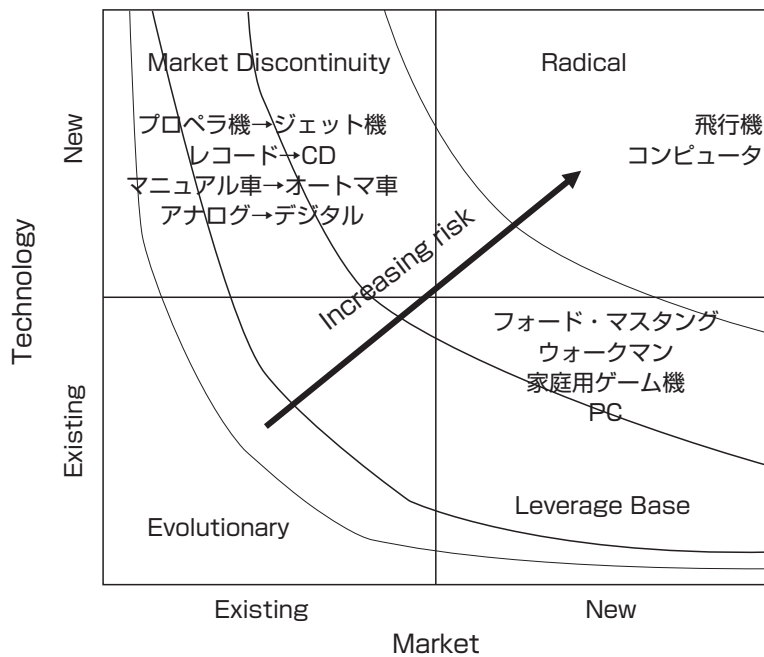
### 1.1 イノベーション創成からみた分野融合研究

イノベーションの意義については、経済学者、経営学者、社会学者によって以下のように述べられている。すなわち、シュンペーターは、技術と社会組織の変化に注目し、均衡状態から「新結合」（イノベーション）によって生まれた不均衡が経済を発展させていく要因であると主張した。「新結合」は、①新しい商品を作ること、②生産方法が新しいこと、③新しい市場を開拓すること、④新投入、すなわち新しい原料、⑤新しい会社組織や経済組織、の5つに分類される。これらのうち、少なくとも1つを実践することが新結合の意味であり、これによって資本主義が永続的に続くというのがシュンペーターの主張である。

一方、イノベーションの特徴を明確にするため、技術と市場のそれぞれが、既存である場合、新しい場合の4つの場合によって分類することができる（Abernathy & Clark、1985）。この分類では、新しい技術によって新しい市場を創出した場合のイノベーションをRadical Innovationと呼んでいるが、この範疇のイノベーションの例としては飛行機、コンピューターなどがあり、画期的で人間社会・経済社会に大きなインパクトを与える製品が生み出されている。市場は従来から存在していたが新技術で新しい展開をもたらしたケースは“Market Discontinuity”なイノベーションと呼ばれ、新技術で従来市場に不連続的な変化を与えた場合である。たとえば従来品と比べて同じ値段だが2倍長持ちする電球ができたとすればこの分類に入る。デジタルカメラなどもこの分類に入れることができるが、単に光学カメラを置き換えただけでなく、PCやTVとつながって新しい市場を拓いたことに注目すればRadical Innovationに分類することもできる。

従来技術を使って新市場を創出したケースLeverage Base Innovationは、IBMがすでに所有していたコンピューター技術を用いてPCという全く新しい市場を創出した例で示される。PCで使われている技術はそれまで大型機に使われていた技術をむしろ簡略化したものである。この様なケースでは、顕在、潜在にかかわらず市場のニーズを汲みとり新たな商品コンセプトをうち立てる創造力が顕著に必要である。

Evolutionary Innovationは既存技術の改良により既存市場を拡大するケースであり、



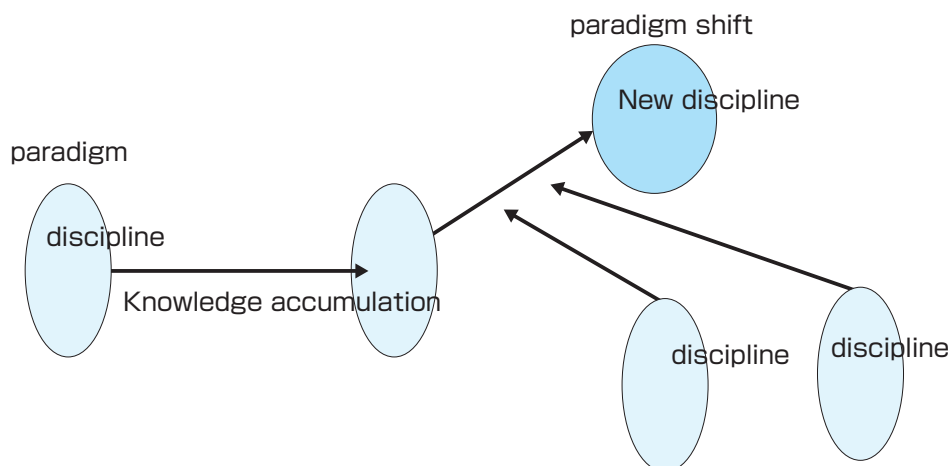
図表 1-1 Abernathy & Clarkによるイノベーションの分類

Regular Innovationともいう。この象限は厳密には通常の「改善」でありInnovationには入らないとする説もある。

イノベーションの類型と経済社会的インパクトについては以上のように考察されているが、今回目指す分野融合研究の結果もたらされるイノベーションはRadical Innovationであり、科学的な知識が社会経済的な価値に転換されるということで特徴づけられるものである。

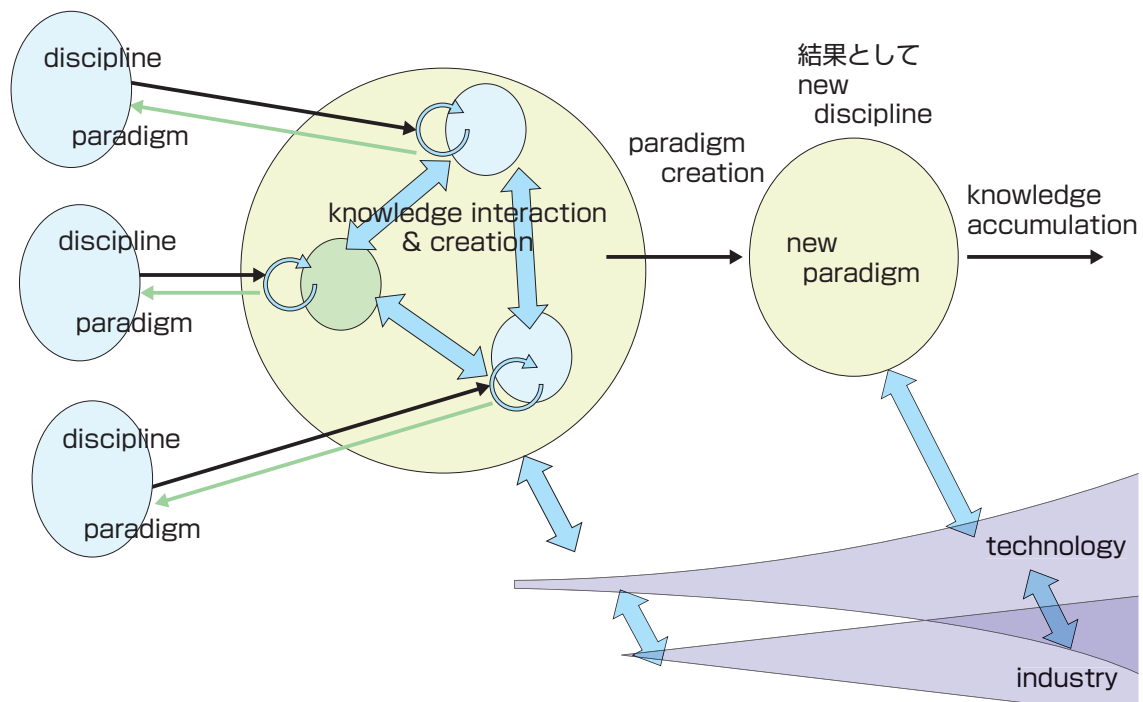
### 1.2 知識の生産様式からみた分野融合研究

パラダイムとは、“ある一定の専門領域の科学者集団の中で共有されている普遍理論、背景知識価値観、規範、テクニックなどの諸要素から構成される複合的全体であり、科学的活動の中心的構成要素として科学者集団の維持＝再生産機能を持つものである”とトーマス・クーンは述べている<sup>[4]</sup>。パラダイムが確立すると、その下で行われる知識の探



図表 1-2 知の生産様式「モード1」における変遷を説明する概念図





図表 1-3 分野融合研究によって促進される効果を説明する概念図

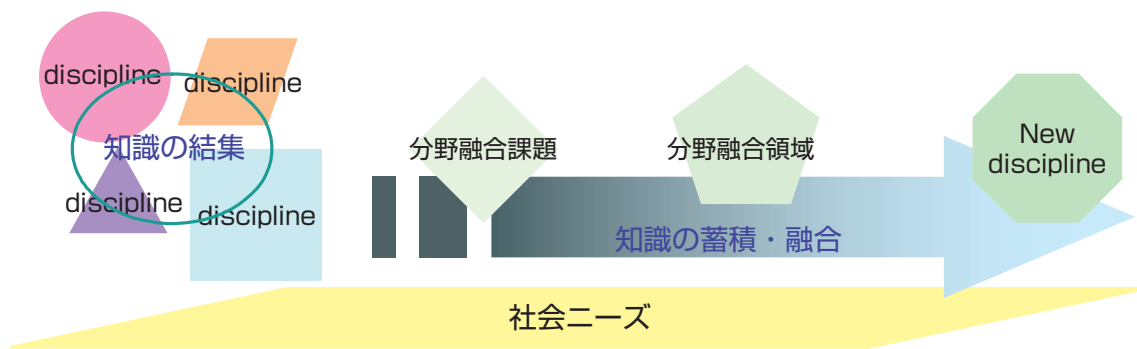
求は累積的に知を積み重ねる一方で科学者コミュニティの再生産を意図してディシプリンを制度化する。

パラダイムの確立のもとディシプリンは自律的に発展するが、やがて成熟期を迎え、変則事例の増大などによって既存パラダイムの「危機」が深刻になる。この時ディシプリンでははじめてその内的論理以外に解決策を模索しつつ既存パラダイムの批判的検討や新しいパラダイムの提唱などが行われ、「科学革命」による支配的パラダイムの交代が起こり、新しいディシプリンが確立されて再び累積的知識生産と制度化による科学者集団のメンバーの再生産が実行されるのである。

今回、分野融合研究について取り組むに当たっては、知識の生産性を向上させるために、「ディシプリンの内的論理による自律的な発展を待たずより積極的にディシプリンの変革を促し、イノベーションの源泉たる知識の生産を促進できないか」という問題意識のもとに活動を開始した。上図（図表 1-3）において中央の大きな円によって囲まれた部分が分野融合研究を示している。そこでは、既存のディシプリンから人材が集められ、知の相互作用の結果新たな知識が創成される。

この新しく創成された知識は、新しい科学技術を生み出すと共に、新しいパラダイムの生成にも寄与し、新しいディシプリンの確立を促す。その結果もたらされる科学技術およびそれを有した人材が輩出され、新たな産業の創成に結びつくことが期待される。同時に、分野融合研究の結果は既存のディシプリンに新しい洞察をもたらす。最近行われている理論物理学者と数学者による弦理論の探求において問われた課題により数学者と物理学者の双方に基本的な新しい洞察をもたらされことは一例である。

分野融合研究は、アイデアと方法を統合・総合し新しい知識・技術の創造とその結果としてのイノベーションの実現、さらには新しいディシプリンの創成につながる組織的な研



図表 1-4 分野融合研究の概念図

究であり、単に複数の分野に属する知識・技術を組み合わせて1つの製品を作る研究ではなく、また1つの課題を解決する研究を標榜しているものでもない。したがって、組織的な知識創造が求められる分野融合研究では、「なにを研究するか」ということと同時に「どの様に研究するか」という研究体制や推進方法が重要になると予想される。発見や発明を誘発し、学問分野の新たな発展や新たな分野を開拓してイノベーションを実現する科学的知識を効率的に生み出すことによって新たな価値を創造し経済発展・生活水準の向上を促す、ここでの分野融合研究の概念を上図（図表1-4）に示す。

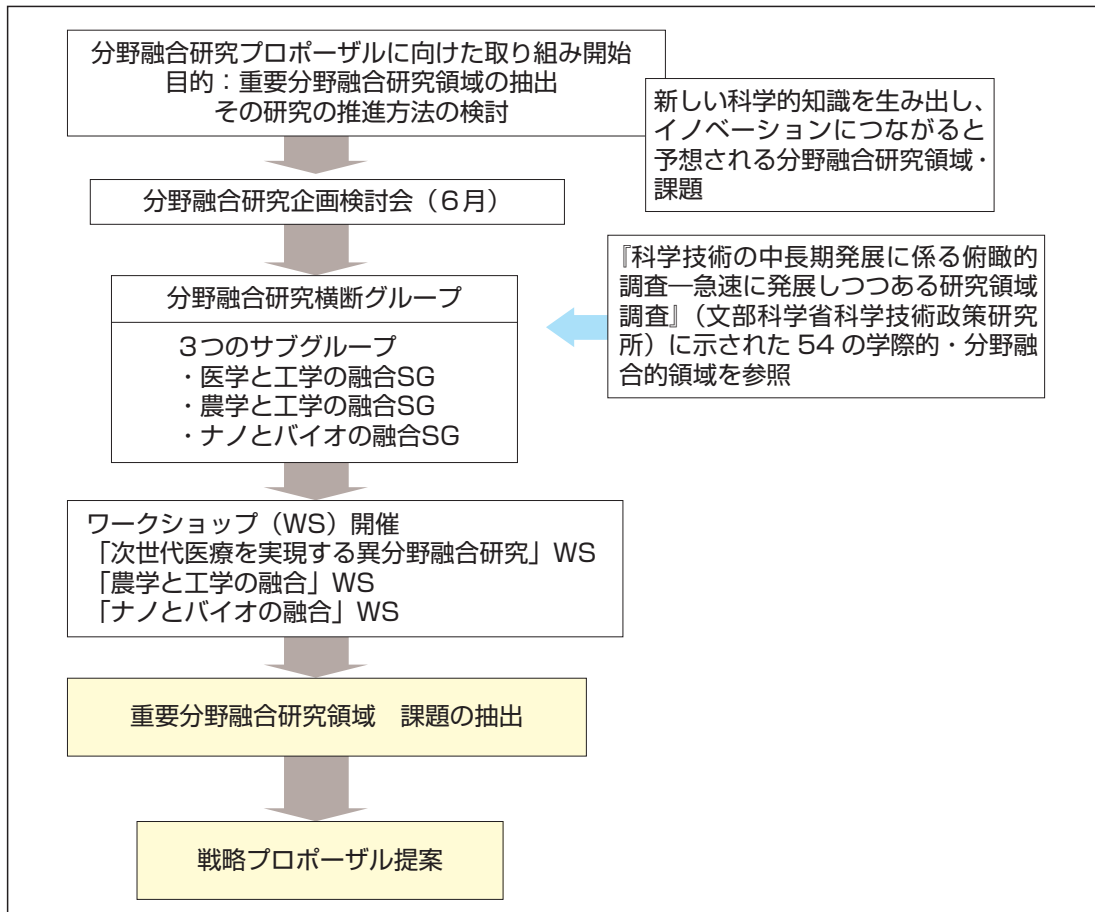
### 1.3 取り組みの目的

「分野融合研究」に取り組む目的は、新しい知識・技術を生み出す可能性のある分野融合領域・課題を抽出し、重点的に推進すべき分野融合領域・課題およびその推進方法を戦略プロポーザルとして提案することである。1.1節の「イノベーション創成からみた分野融合研究」で述べたRadical Innovationのうち、「科学的な知識を社会経済的な価値に転換するすべての行為」を“科学技術イノベーション”と新たに定義すれば、今回、抽出をめざした分野融合領域・課題はこの“科学技術イノベーション”が引き起こされるであろう領域・課題の抽出であった。その理由は、これこそが国が推進すべきイノベーションであるとの立場にたっているからである。

提案までのプロセスは次節で述べるが、目的達成に向けて、分野融合ワークショップを開催し、有識者の活発な議論のなかから重要課題が抽出されたのでワークショップ開催報告書としてまとめた。

### 1.4 取り組みの方法

今後重要となる分野融合領域・課題およびその推進方法を明らかにするための検討は、既存のグループ組織を横断して取り組む活動の1つとして分野融合研究横断グループを設置し実施した。今回の重要研究領域の抽出にあたっては、“科学技術イノベーション”を実現できる、すなわち新しい科学的知識を生み出し、しかも10～15年後には社会経済的な価値に転換されるであろうと予想される分野融合研究領域・課題は何であるかということについて有識者を集めた3つのワークショップでの議論から明らかにした。

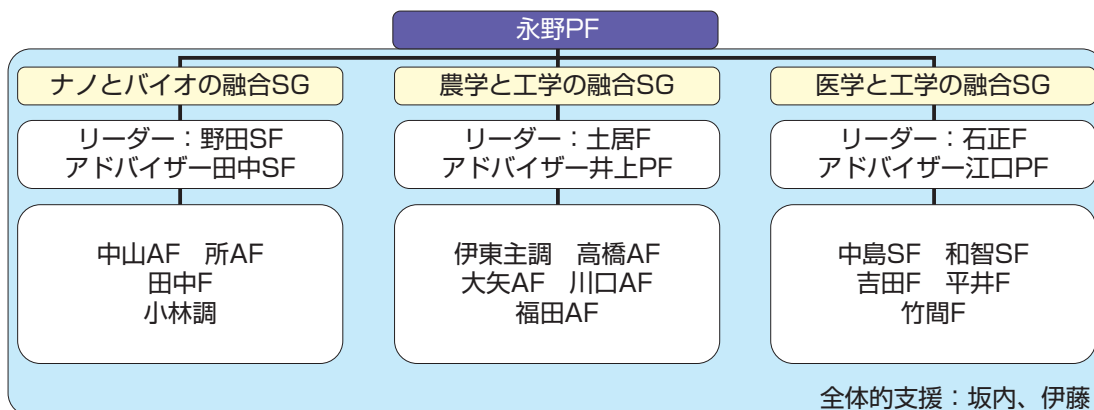


図表 1-5 分野融合研究への取り組みプロセス

具体的な分野融合研究への取り組みのプロセスについては図表 1-5 に示す。

また、ワークショップの開催や戦略プロポーザル提案に向けて組織した、分野融合研究横断グループの組織体制を図表 1-6 に示す。

現在は、図表 1-5 における「重要分野融合領域・課題の抽出」まで至っている。今後は、抽出された領域・課題のなかから精査し、戦略プロポーザル提案に向けた研究領域・課題を絞り込むと共に、海外比較や更なる精査のためのワークショップなどを行う必要がある。



図表 1-6 分野融合研究横断グループの組織体制

しかしながら、3つの分野融合ワークショップを開催し抽出された重要研究領域・課題は、平成17年11月9日に文部科学省研究振興局の主催にて開催された「『先端融合領域イノベーション創出拠点事業』<sup>1</sup>に関する懇談会」資料として利用されるなど、すでに活用されていることを付記する。

<sup>1</sup> 平成18年度科学技術振興調整費で新規プログラムとして実施される予定<sup>[5]</sup>。

## 【2】次世代生物生産・利用を実現する分野融合：

「農学と工学の融合」ワークショップ報告

### 2.1 開催趣旨

#### 2.1.1 ワークショップの目的

「完全制御可能な次世代生物生産技術の確立」を1つの視座として、新しい知識・技術を生み出し、新産業を育て定着させる可能性のある農学（農・林・水産・畜産すべてを含む）と工学の融合研究領域・課題を抽出し、重点的に推進すべき農学と工学の融合領域・課題およびその推進方法を提案する。提案先はJST研究推進事業等を基本とするが、『『先端融合領域イノベーション創出拠点事業』<sup>2</sup>に関する懇談会」の資料としての活用も目指す。

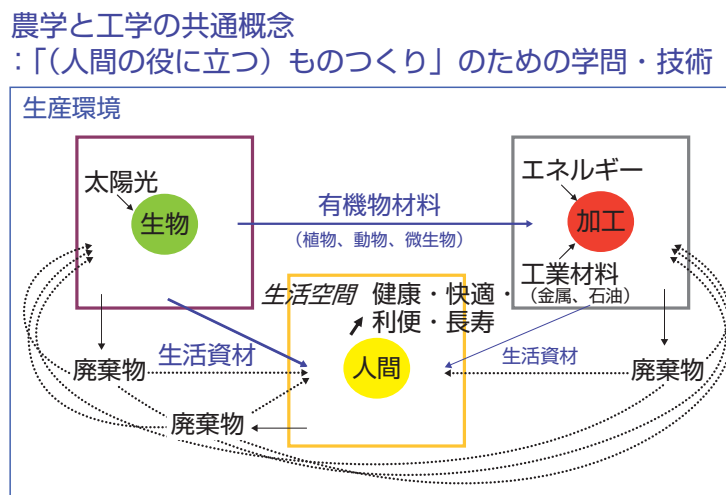
#### 2.1.2 期待するアウトプット

新しい知識・技術を生み出し、新産業を育て定着させる可能性のある農学と工学の融合研究領域・課題およびその推進方法の提案

#### 2.1.3 議論・検討の背景

農学と工学の融合研究の可能性を検討するにあたり、農学と工学の共通概念として「人間の役に立つものづくり」のための学問・技術であることに着目した。図表2-1に示すように、生物生産・利用の過程は、(1)「生物」の成長・育成、(2)生物由来有機物材料の「加工」、(3)「人間」による生物・加工物の生活資材としての利用、の3つの段階に分けられる。各段階での排出される廃棄物はそれぞれの段階で再利用できることが特徴である。

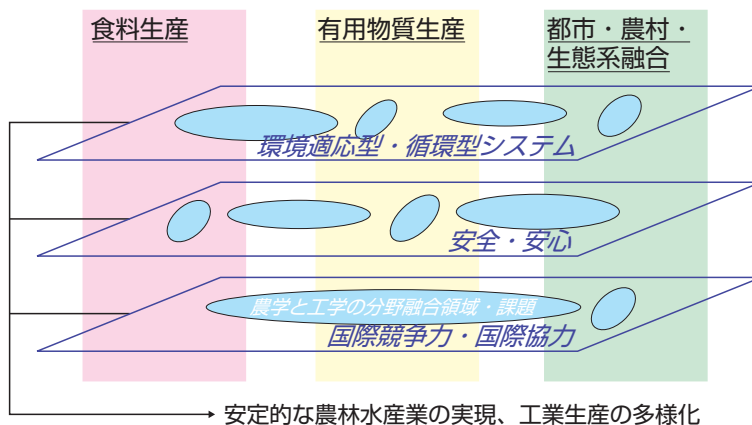
以上の認識に基づいて、ワークショップでは(1)食料生産、(2)有用物質生産、(3)都市・農



図表2-1 農学と工学の連携・融合の概念

<sup>2</sup> 前頁脚注参照。

「完全制御可能な次世代生物生産技術の確立」



図表 2-2 ワークショップでの議論

村・生態系融合の3つのセッションを設けた（図表 2-2）。各セッションでは、セッションテーマに関する重要な融合領域・課題の提案とそれに対する全体討論を行い、農学と工学のそれぞれの強み・弱みを念頭に（図表 2-3）、3つのセッションを横断する視点での議論を進行した。

図表 2-3 農学と工学の強み・弱み

	農：時間的スパンが長い	工：時間的スパンが短い
強み	低コスト・低エネルギー (太陽光を主たるエネルギー源とする) 持続的再生産可能 (生物の自己増殖能) 生産物は大部分が有機物 (栄養分・生活素材として利用可、廃棄物は生分解性)	大量データの収集・処理が可能 (リアルモニター、センシング、演算処理等) 自然環境の人為的管理が実現可 (波長可変人工太陽 (LED)、成長加速パラメータの導入等) 生産の高効率化・省力化が可能 (モデル化、プロセス開発など生産設計が可能)
弱み	人為的かつ安定的な生産が困難 (自然・環境に影響され、また、技術が伝承的) 安全性・画一性の担保が重要 (生産が精緻に制御されていない) 厳しい労働環境 (労働者人口減少・高齢化への対応の遅れ) 大空間が必要 (単位面積あたりの生産性の低さ)	コストの負担が必要 (原材料、生産工程等) エネルギーを消費 (製品の再生効率が悪い) 生物材料の理解が不十分 (材料の本質・特性の理解、多様性の無視)

## 2.1.4 開催日時・場所・スケジュール

日時：平成17年9月22日（木）10：15～20：00

場所：都市センターホテル601会議室（東京都千代田区）

スケジュール：

時刻	内容	担当
10：15～10：30	挨拶・趣旨説明	土居
10：15	研究開発戦略センターの活動について	生駒
10：20	分野融合研究の提案に向けて	永野
10：25	趣旨説明	土居
10：30～12：00	セッション1「食料生産」	上野川
10：30	セッション概要説明	上野川
10：35	プレゼンテーション1	佐藤・高辻
10：55	プレゼンテーション2	岡本
11：10	プレゼンテーション3	清水
11：25	プレゼンテーション4	局
11：40	議論とまとめ	上野川
12：00	昼食	
13：00～14：30	セッション2「有用物質生産」	新名
13：00	セッション概要説明	新名
13：20	プレゼンテーション1	左子
13：30	プレゼンテーション2	福田
13：40	プレゼンテーション3	松村
13：50	議論とまとめ	新名
14：30	休憩	
14：45～16：15	セッション3「都市・農村・生態系融合」	林
14：45	セッション概要説明	林
14：55	プレゼンテーション1	檜原
15：05	プレゼンテーション2	澁澤
15：15	プレゼンテーション3	紅林
15：25	コメント	橋口
15：30	議論とまとめ	林
16：15	休憩	
16：30～18：00	総合討論	井上
18：00～20：00	フリーディスカッション	

## 2.2 各セッションの概要と参加有識者

### 2.2.1 「食料生産」セッション

#### 【概要】

本セッションでは研究対象を作物、畜産、水産などの一次産品からそれらの加工品である食品とし、これらの効率的な増産と機能性の付与、安全性の確保において農工融合の貢献が期待される研究テーマを抽出することを目的としている。

我が国の限られた国土・労働力の中で、高品質の食料を安定的に供給していくことは食の安全保障上極めて重要である。こと中国を中心とするアジア近隣諸国からの農水産物輸入量の急増とそれらの国々の急速な経済発展にともなう食料需要の増大を鑑みると、我が国

が将来に亘り安定的に食料を確保するためには国内における食料の効率的な大量生産システムの確立が不可欠である。

一方、消費者に目を向けると、ライフスタイルの変化に伴う健康志向、食味へのこだわり、彩り豊かな食生活を求めるなど、食に対するニーズの多様化と高質化が進んでいる。特に、本格的な高齢化社会を間近に控えた我が国では、長寿で健康な生活を送るために、簡便かつ安価で必要とされる栄養素などの補給を可能とする食品への期待は大きい。また、食の安全・安心に対する関心もこれまでになく高まっている。BSEや鳥インフルエンザに代表される畜産物への有害物質・微生物などの感染、遺伝子組換え作物、さらには環境ホルモンを例とする水産物における化学物質汚染、食品の偽装など、食に対する信頼が多いに揺らいでいる。これらの問題の解決なしに生産現場から食卓まで、安全な食料を安定的に供給することは困難である。

以上のように「食料生産」に関する研究は広範囲に及ぶが、これまで主に上流の領域（基礎）で研究を行ってきた農学と下流の領域（応用）で行ってきた工学の融合は、新たな知識や技術が見いだされる可能性が極めて高く、得られた知見が食料の安定供給実現の一助となるばかりか、それらが基盤となり新産業が創出され、世界規模での波及効果も期待される。

#### 【セッション参加有識者（○コーディネーター）】

○上野川修一（日本大学教授、日本農芸化学会会長）

森永 康（味の素株式会社）

清水 誠（東京大学大学院農学生命化学研究科教授）

長屋勝博（日本無線株式会社）

局 一博（東京大学大学院農学生命研究科教授）

高辻正基（東海大学開発工学部教授）

岡本信明（東京海洋大学副学長）

佐藤文彦（京都大学大学院生命科学研究科教授）

		経済・社会ニーズ					
		増産		高機能化		安全・安心	
		上流（農）	下流（工）	上流（農）	下流（工）	上流（農）	下流（工）
対象	作物	植物生理	作物工場	植物（機能）生理・交雑・育種		遺伝子組換え作物	
	畜産物	動物生理	動物工場	交雑・繁殖・育種		ウイルス・微生物・BSE	
	水産物	魚類生理	養殖工場	魚類生理	養殖生理	ウイルス・微生物・化学物質	
	食品	—	食品工場	機能の探索・抽出等	食品物生・評価・包装材料	食品衛生	

図表2-4 「食料生産」セッション俯瞰マップ



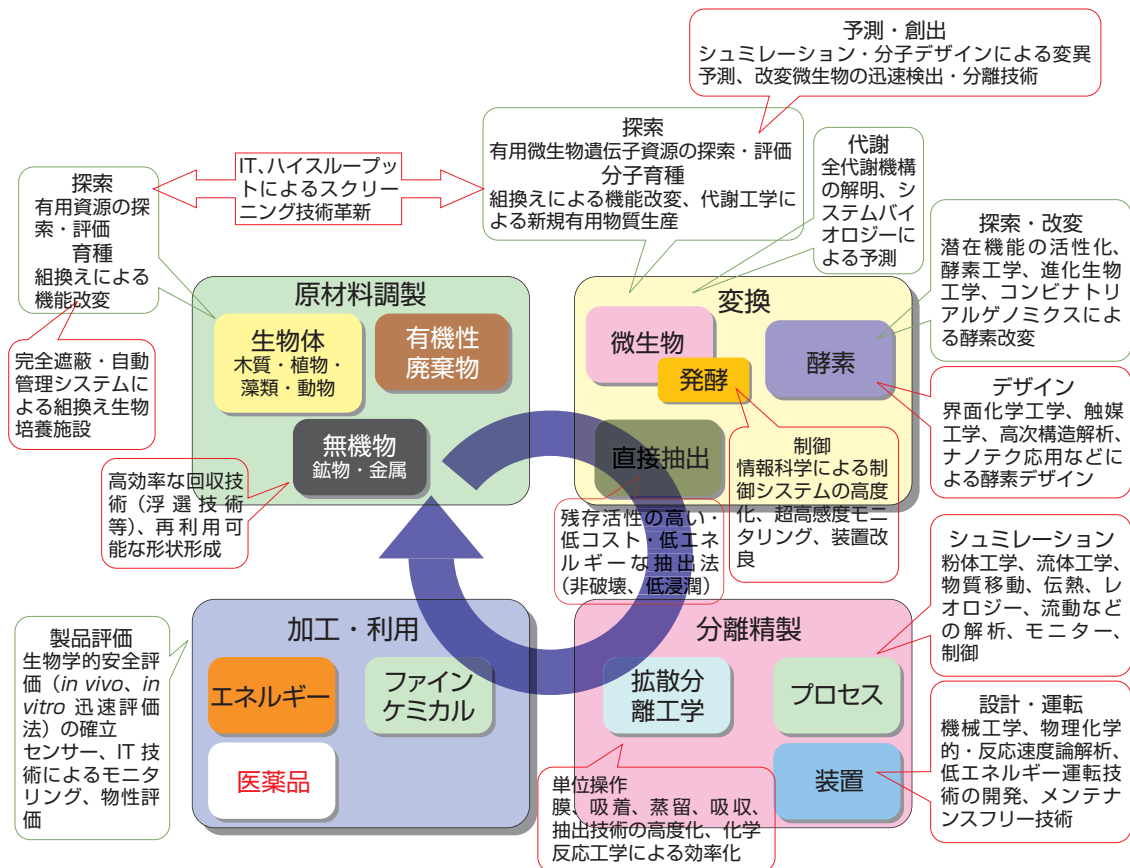
## 2.2.2 「有用物質生産」セッション

### 【概要】

本セッションでは研究対象を生物体や有機性廃棄物からの物質生産に必要な技術とそのプロセス全体を網羅する農学と工学の融合による新規な技術基盤の創成を目的とする。従来から行われている代替エネルギー、ファインケミカル、医薬品等の生産のために必要な原材料の探索・選抜から酵素反応・微生物変換における生物ツール（酵素、微生物）の探索・選抜設計戦略、触媒化学の精密化、化学反応プロセスの完全制御、精製過程に至るまでの各段階をさらに精緻に制御し、省エネルギー、低コスト化をはかる為の農工融合の貢献が期待される研究テーマを抽出することを目的としている。

わが国は平成14年12月に「バイオマス・ニッポン総合戦略」を策定し、バイオマス利用促進に向けて取り組みを開始した。現在、廃棄物系バイオマス、未利用バイオマス、資源作物、新作物の利活用によって、地球温暖化防止、循環型社会の形成、新たな産業の育成、農林水産業および農漁村の活性化等を目指し、バイオマスの生産および収集・輸送、変換、変換後の利用に関する戦略的な研究開発が進められている。

このような動向を農学と工学の融合によってさらに強力に推進するためには、「再生可能な、生物由来の有機性資源で化石資源を除いたもの」と定義されるバイオマスだけでなく、リン、ニッケル、シリカをはじめ、工業原材料としても貴重な無機物も視野に入れた原材料調製、変換、分離精製、加工・利用の循環型プロセスを構築することが必要である。



図表2-5 「有用物質生産」セッション俯瞰マップ

これらの研究については従来型的手法ではなく、精緻に制御、微量かつ微細な領域にわたる定量化を推進する応用物理化学、流体力学、粉体工学、高分子化学、触媒化学などの工学的発想と技術を加えることで、生産性の向上と生産物の多様化が可能となり、よって、安価で安定した製品供給、消費者ニーズに合致した付加価値の高い製品開発などが可能となる。また、生産の各段階で生じる廃棄物をも利用することで省資源化、低コスト化が実現できる。

以上、取り組むべき課題は、プロセスの各段階において多々存在し、多様であるが、産業基盤として実現可能な研究開発に向け、生物の特性を理解しつつ、工学的視点からの新技術を創出し、従来わが国の強みであった「発酵」研究にも革新的飛躍が期待できる。

#### 【セッション参加有識者（○はコーディネーター）】

○新名惇彦（奈良先端科学技術大学院大学バイオサイエンス研究科教授）

左子芳彦（京都大学大学院農学研究科教授）

清水和幸（九州工業大学情報工学部教授）

福田秀樹（神戸大学大学院自然科学研究科長）

堀尾正靱（東京農工大学共生科学技術研究部教授）

松村 健（産業技術総合研究所ゲノムファクトリー研究部門グループリーダー）

森 英郎（協和発酵工業（株）バイオフィロンティア研究所主任研究員）

横田明穂（奈良先端科学技術大学院大学バイオサイエンス研究科教授）

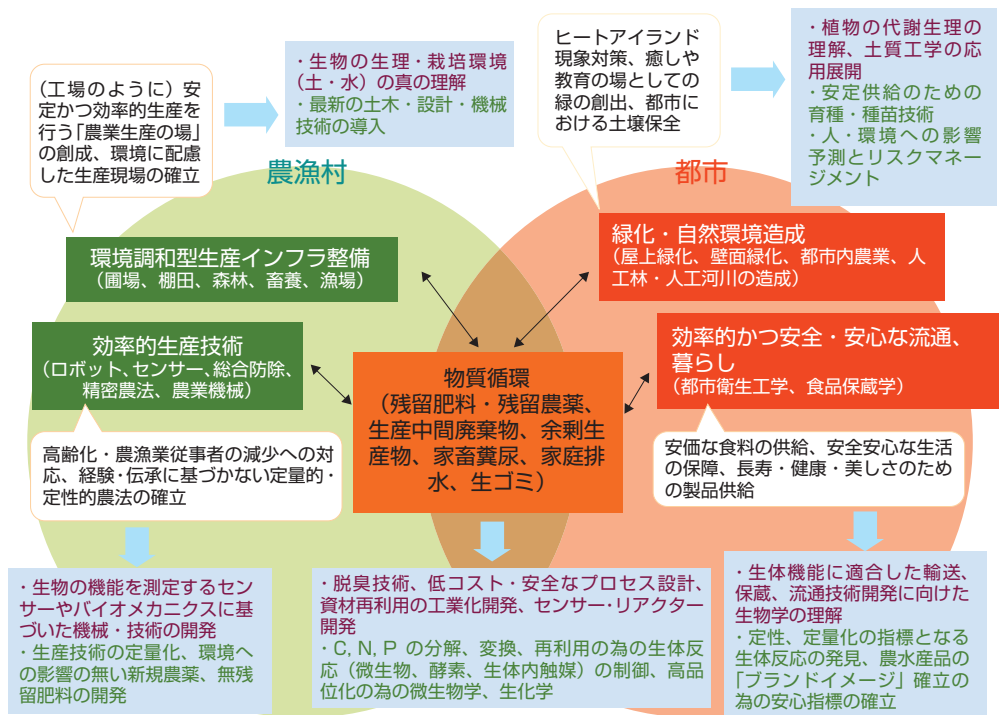
### 2.2.3 「都市・農村・生態系融合」セッション

#### 【概要】

本セッションでは研究対象を、①生物生産の主要な生産現場である農村と主な消費地である都市との間に、相互または個別に存在する問題の探索、②地球温暖化、廃棄物問題、生物多様性の危機等の環境問題、③食をはじめとする生物生産によって産み出される製品の安全、④健康・長寿・美容等への寄与、⑤都市と農村との格差の是正等の社会問題の克服等によって、持続可能な社会、安全・安心な社会を実現するための解決方策とする。そして、食料および有用物質の循環型生産システムの基盤となりうる農工融合の貢献が期待される研究テーマを抽出することを目的としている。

現在、地球温暖化をはじめとする環境問題に対して国際的関心が高まっている中、わが国でも環境制約や資源制約への対応によって「環境と経済の両立」を実現しようとする取り組みが進められている。農林水産業や工業における生産活動にも、環境負荷の少ない健全な経済の発展と質の高い国民生活の実現を図ることが求められる。

このような背景のもと、食料および有用物質の循環型生産システムを構築するには、廃棄物の発生の抑制、循環資源の再利用および再生利用の促進、天然資源の消費の抑制等によって環境への負荷を低減し、また、自然界における水、大気、物質の適正な循環を確保することが必要である。その実現のためには、工業生産の場であり多数の人々の生活の場



図表2-6 「都市・農村・生態系融合」セッション俯瞰マップ

である都市、農林水産業の生産の場である農村、地球環境を支える生態系の調和・融合を築くことが重要である。

取り組むべき課題は、廃棄物循環システムの実現を見据えた、農林水産業の環境調和型生産インフラ整備および効率的生産技術の開発、都市における緑化・自然環境造成、効率的かつ安全・安心な流通、暮らしの実現等、多岐にわたる。これらを解決するには、低コスト・低エネルギー消費によって持続的再生産が可能な農林水産業と生産の高効率化・省力化が可能な工業とのそれぞれの特性を活用し、農学と工学がそれぞれの弱みを相互に補完して、融合研究を推進しなければならない。

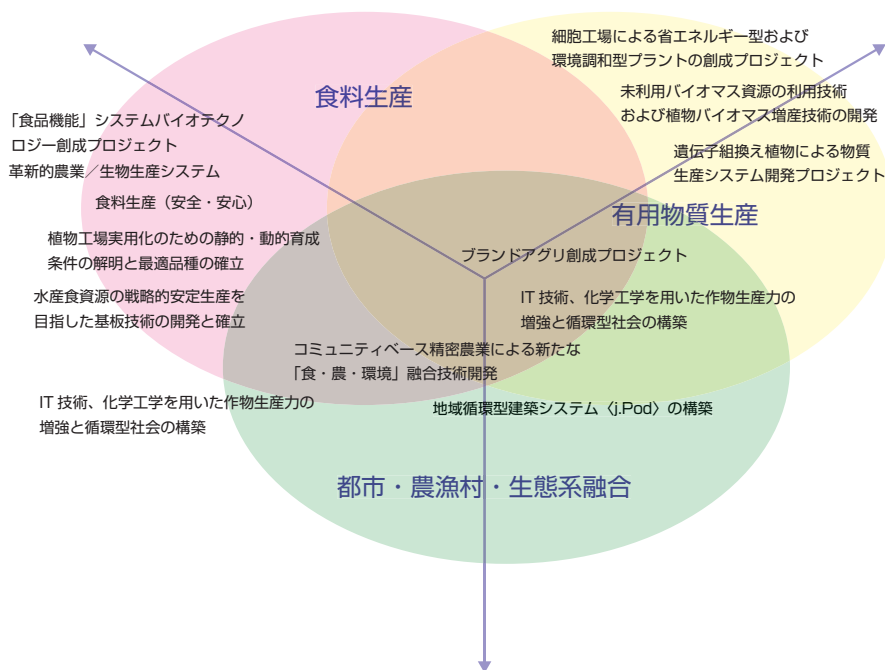
【セッション参加有識者（○はコーディネーター）】

- 林 良博（東京大学大学院農学生命科学研究科教授）
- 榎原健一（株式会社鴻池組エンジニアリング部長）
- 紅林利彦（株式会社日立製作所主任技師）
- 澁澤 栄（東京農工大学共生科学技術研究部教授）
- 橋口公一（九州大学特任教授）

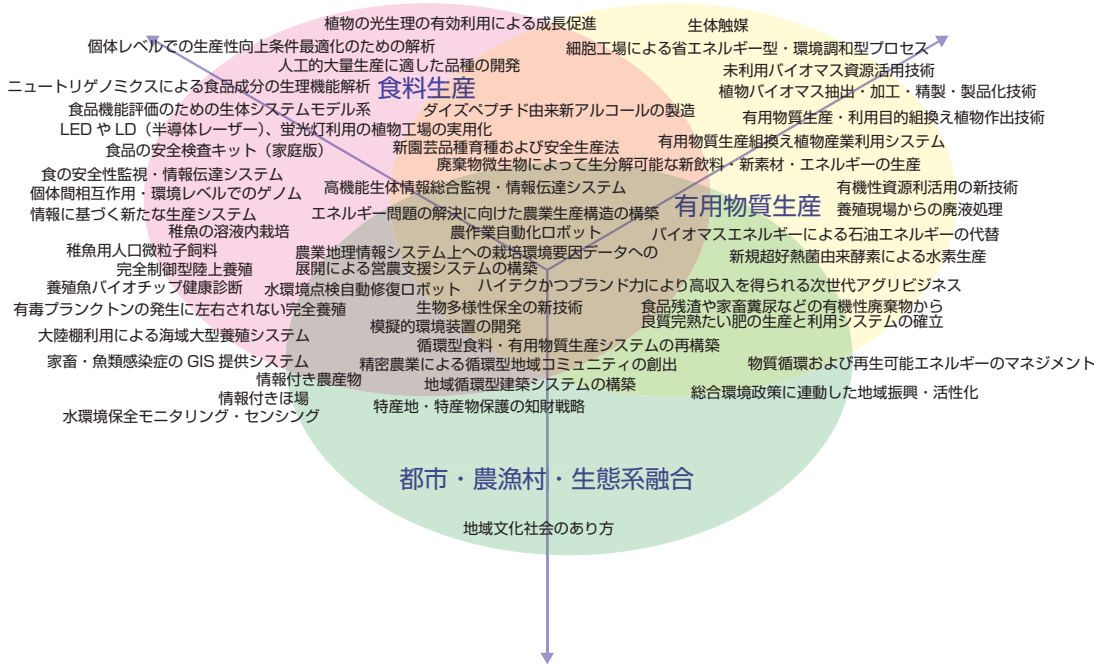
2.3 次世代生物生産・利用の実現に向けて推進すべき分野融合研究領域

ワークショップでは、図表2-7および図表2-8に示すような課題とキーワードの提案とそれに対する検討を行った。

ワークショップでの議論の結果を以下にまとめ、農学と工学との分野融合研究の重要性、推進すべき融合研究領域および実施体制について述べる。



図表2-7 提案課題マップ



図表2-8 提案キーワードマップ

### 2.3.1 現状の問題点と分野融合研究の重要性

農学と工学との連携・融合はまだまだ緒についたばかりである。しかし、以下の社会ニーズを充足するためには、次世代生物生産・利用を実現する分野融合研究の推進強化が必要である。

- (1) 安全・安心な食料の安定的供給による食の安全保障
- (2) 消費者のニーズに対応した食料・有用物質生産
- (3) 労働力不足による生産基盤の脆弱化克服
- (4) エネルギー危機・環境問題への効果的な対応

次世代生物生産を実現する分野融合研究の推進によって、以下の波及効果が期待される。

- (1) 食に対する信頼の回復、食料・有用物質の安全性・有効性の担保
- (2) 生産プロセスの高効率化による低コスト・省エネルギー化
- (3) 地域特性を活かした農業の創成
- (4) 環境に適応した循環型地域社会の構築
- (5) 農林水産業の国際競争力の向上
- (6) 貧困国に対する技術支援

### 2.3.2 重要となる融合研究領域

#### (1) 抽出に当たって留意した点

- ① 農学（農・林・水産・畜産すべてを含む）と工学の学問レベルでの融合が行われること（農業と工業の産業レベルでの連携・融合ではない）
- ② 新しい知識・技術を生み出す可能性があること
- ③ 新産業を育み定着させる新学問領域となる可能性があること

#### (2) 具体的な研究分野（図表2-9）

##### ① デザイン・イン型農業システムの構築

農林水産業における生産から流通・消費に至るまで、すべてのプロセスをシステム化し、消費者のニーズに適合した生産を行う。

##### (i) 多機能型営農支援ロボットの開発

- ・除草や施肥等生産に関わる様々な作業を実施
- ・同時に、生産現場・生育状況・環境条件等のデータを収集・送信

##### (ii) 生産者・消費者への情報発信システムの開発

- ・GISを利用した営農支援情報（感染症の発生・伝播、気象データ等）の提供
- ・生産から流通に至る全履歴に関する情報提供

##### (iii) 食の信頼性を確保する流通システムの開発

- ・流通における品質管理技術の確立

##### ② 食料・有用物質生産用生物の高機能化と評価システムの確立

省エネルギー型食料増産の実現、高付加価値農産物・機能性食品の開発、エネルギーおよびコモディティ（医薬品・化粧品等）の生産・利用目的生物の開発に向けて、それぞれの対象生物（植物・動物・微生物）の生産性向上条件を決定する。

##### (i) 生物の生産性（増産・機能性食品成分・有用物質）に関するゲノム情報の解析と利用

- ・細胞レベル、個体レベル、環境レベルでの多層的解析
- ・生産物の新たな利用形態の探索

##### (ii) 生育環境・外的因子の操作による生物の生産性（増産・機能性食品成分・有用物質等）向上

- ・物理的・化学的要因に対する生物の生理を有効利用
- ・生産物の新たな利用形態の探索

また、食料・有用物質生産用生物および食品の安全性、リスク、機能性等の国際的な評価システムを確立する。

- (iii) 食料・有用物質生産用生物のリスク評価技術の確立
- (iv) 食品機能評価システムの開発
- (v) 食品のリスク管理技術の確立
- (vi) リスク評価に関する国際標準の創成

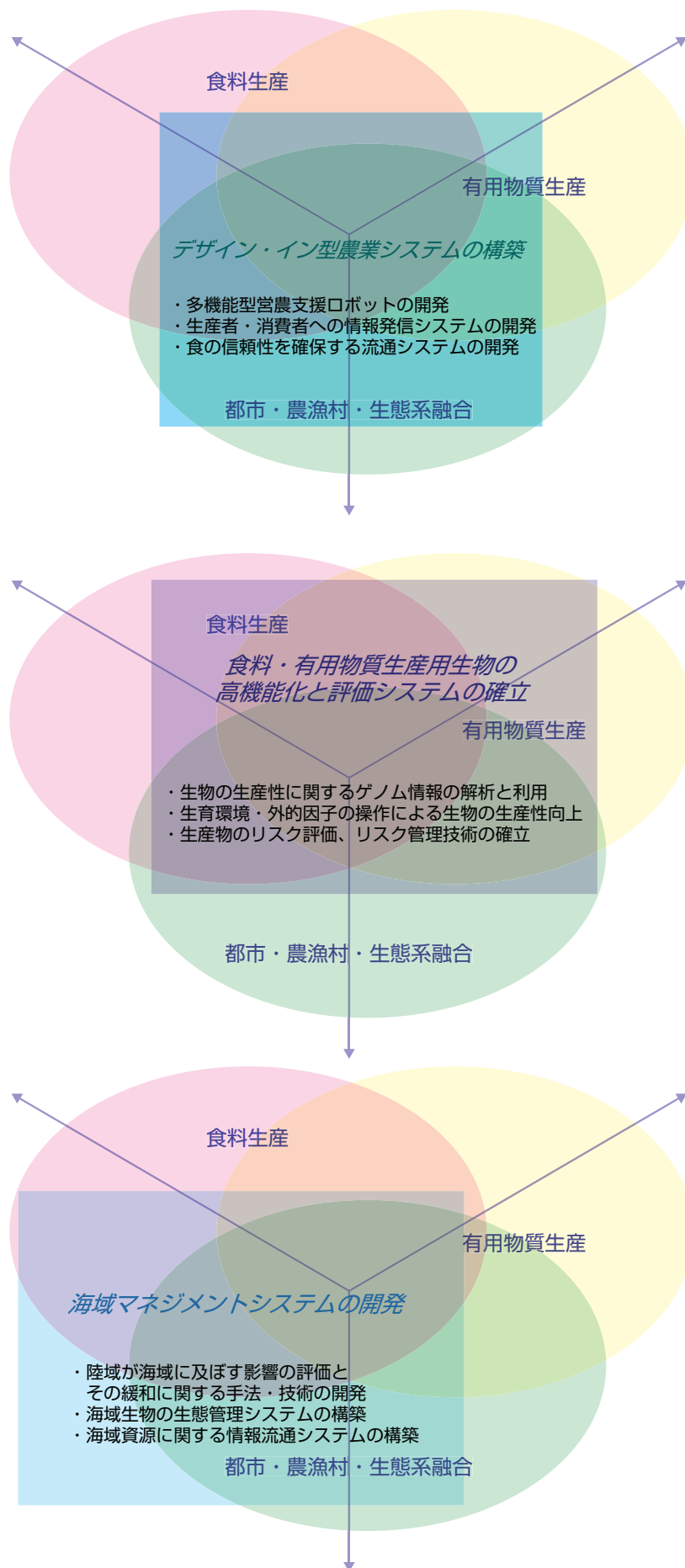
### ③ 海域生物生産マネジメントシステムの開発

海域における生命現象および環境を総合的な視点から調査・研究し、生物生産の場である海域を保全・修復しながら持続的に利用するシステムを開発する。

- (i) 陸域が海域に及ぼす影響の評価とその緩和に関する技術の開発
  - ・陸域起源物質の河川・大気・地下圏等における動態モニタリング法
  - ・海域環境影響（水質・底質・生息生物・景観等）に関するデータの収集・送受信システム
  - ・陸域・河川域・海域の生物（植物・動物・微生物）機能を利用した環境影響の回避・低減化
- (ii) 海域生物の生態管理システムの構築
  - ・生育状況、生育環境・外的因子のモニタリング法
  - ・成長段階に応じた生息数・生息場所等の管理・利用技術（特に、水産資源生物を対象とした低環境負荷型飼育技術への応用）
- (iii) 海域資源に関する情報流通システムの構築
  - ・種類とその質・量、市場流通状況等に関するデータベース作成
  - ・生産～加工・流通に関わる業者、消費者等への情報提供

### (3) 実施体制に関する留意すべき点

- ① 次世代生物生産を実現するためには、学術的研究に優れた大学と地域の生産現場とのつながりが強い独立行政法人研究所とが連携して分野融合研究を実施することが必要である。
- ② 分野融合研究は、まず農への先端的工学技術の導入から開始する。そして各分野間の多面的な交流を図り、新たな学問の創成を目指すことが重要である。
- ③ 遺伝子組換え植物をはじめとする人工的に生産した生物が生態系に及ぼす影響等について、科学的データの収集・蓄積を行うと共に、国民に対する説明責任を果たし、パブリック・アクセプタンスの確保に努める。特に食品に関しては、食生活への普及を実現するためにも信頼性の確保が不可欠である。



図表2-9 次世代生物生産・利用の実現に向けて重要となる融合研究領域マップ

## [3] ナノとバイオの融合で創られる新たな技術フロンティア：

「ナノとバイオの融合」研究ワークショップ報告

### 3.1 開催趣旨

#### 3.1.1 ワークショップの目的

「ナノとバイオ」の分野融合領域については、この数年、わが国においても研究の取り組みがされてきているが、必ずしも中・長期の視点から戦略が構築されているとはいえない現状である。そこで今回はナノとバイオに「情報(ゆらぎ)」という新しい切り口を加え、新しい着想、新しい知識、新しい技術、新しいプロセスを生み出す可能性のある、重点的に推進すべき分野融合領域・課題を抽出し、新たな中長期を見据えた研究戦略として研究推進方策も合わせた形で提案する事を目的とし、本ワークショップを開催した。

#### 3.1.2 議論・検討の背景

ナノとバイオを始めとする様々な分野との連携・融合研究は、世界を先導するイノベティブな科学技術を創出し、将来の産業・社会などに貢献しうる科学技術領域の一つとして期待されている。特にこの研究領域ではナノとバイオをベースに情報・認知科学の観点からも融合し、情報科学、生体情報へのブレークスルーにも発展するような新たな知識や発想の創出が期待される。しかしながら、これら領域の研究は一機関だけで取り組むにはチャレンジングであり、長期間に渡って幅広い分野の一線の研究者の協力による融合研究が必要である。そのため、大学における既存の研究組織や研究分野の枠組みに捕らわれない産学官の幅広い研究者の参画からなる研究組織による研究推進が重要である。現状の取り組みは、未だ十分とは言えず推進強化が必要であるため、重点的に推進すべき分野融合領域・課題を抽出し、新たな中長期を見据えた研究戦略として研究推進方策も合わせた形で提案する事を目的として、本ワークショップを開催した。

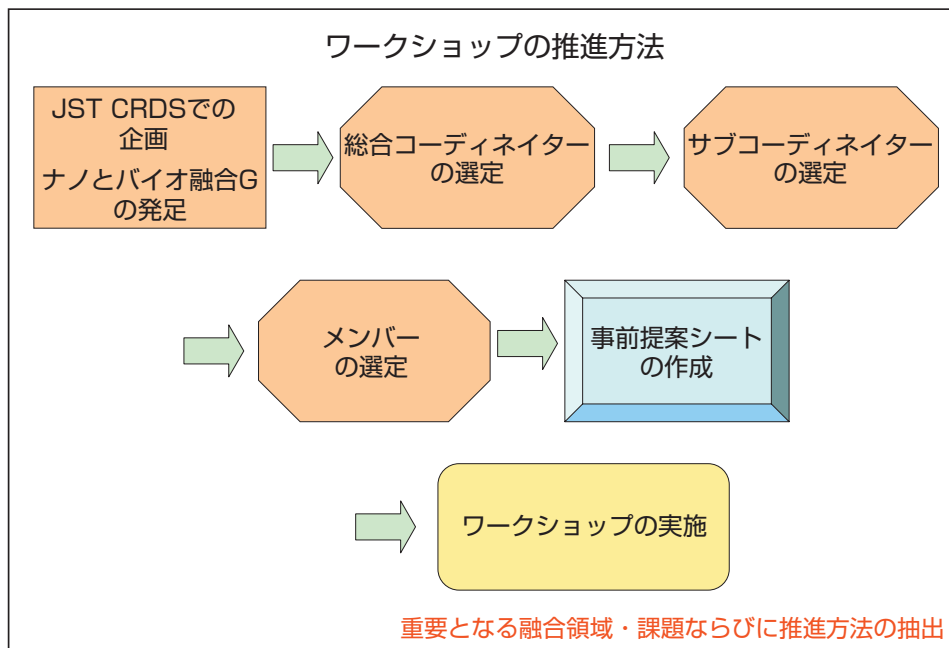
今回の「ナノとバイオ」の融合研究とは、以下のように定義する。

- ・ナノレベルで「ナノとバイオ」をつなぎ、新しい発想を生み出すと期待される「情報」を加えた分野融合研究
- ・生物学でのニーズ(生命現象、生体分子解析)でナノテクノロジーを用いることによってさらに促進が期待される研究
- ・ナノテクノロジーからの発想でバイオ・生物医学に出口を求める研究
- ・DNA等の機能を応用した技術研究のうち、それ単独で収束してしまう研究は除く。(例；DNAコンピューター、DNA配線)

#### 3.1.3 ワークショップの進め方

本ワークショップではナノとバイオとの融合により期待される新しい着想、新しい知識、新しい技術、新しいプロセスを生み出す可能性のある、重点的に推進すべき分野融合領域・課題を抽出し、新たな中長期を見据えた研究戦略として研究推進方策も合わせた形





図表3-1 ワークショップの推進方法

で提案する事を目的としている。コーディネーターならびに参加研究者の選定、そして当日の討議の進行に至るまで実施した手順を図表3-1に示す。

研究開発戦略センター(CRDS)において、大阪大学の柳田敏雄教授を総合コーディネーターに選出し、総合コーディネーターと共に、参加メンバーの選定、当日の討議の推進方法などの検討を行った。また、選定した参加メンバーには、開催準備として事前提案シートを作成いただいた。

当日はセミクローズドディスカッション形式を取り、5～10年後に克服すべき重要課題とその必要性についてナノとバイオと情報、認識分野の発表とそれに基づく討論を行った。

### 3.1.4 参加有識者

- ・ 総括コーディネーター

柳田 敏雄 (大阪大学大学院 生命機能研究科 教授)

- ・ 化学分野サブコーディネーター

相田 卓三 (東京大学大学院 工学研究科 化学生命工学専攻 教授)

- ・ 情報分野サブコーディネーター

柴田 直 (東京大学大学院新領域創成科学研究科 基盤情報学専攻 教授)

- ・ 認識分野サブコーディネーター

茂木 健一郎 (ソニーコンピューターサイエンス研究所 シニアリサーチャー)

- ・ バイオ分野サブコーディネーター

難波 啓一 (大阪大学大学院 生命機能研究科 教授)

その他、ナノテクノロジー(化学、物理)、バイオ、情報認識分野の有識者の参加メンバー22名を下記に示す(50音順、敬称略)。

氏名	所属
秋吉 一成	東京医科歯科大学 生体材料工学研究所 教授
安宅 龍明	オリンパス（株） 未来創造研究所 テーマコーディネーター
池上 高志	東京大学 大学院総合文化研究科 広域科学専攻 助教授
伊庭 斉志	東京大学 大学院工学系研究科 電子情報工学専攻 教授 同大 大学院新領域創成科学研究科 基盤情報学専攻 教授
片岡 一則	東京大学 大学院工学系研究科 マテリアル工学専攻 教授 同大 大学院医学系研究科 疾患生命工学センター 教授
北尾 彰朗	東京大学 分子細胞生物学研究所 細胞機能情報研究センター 助教授
澤 芳樹	大阪大学 大学院医学系研究科 外科学講座 助教授 同大 医学部付属病院 未来医療センター 副センター長
高橋 勝利	産業技術総合研究所 生命情報科学研究センター 研究チーム長
高橋 庸夫	北海道大学 大学院情報科学研究科 情報エレクトロニクス専攻 教授
田口 英樹	東京大学 大学院新領域創成科学研究科 メディカルゲノム専攻 助教授
谷藤 学	理化学研究所 脳科学総合研究センター チームリーダー
鳥光 慶一	NTT 物性科学基礎研究所 機能物質科学研究部 部長
浜地 格	京都大学 大学院工学研究科 合成・生物学専攻 教授
林崎 良英	理化学研究所 ゲノム科学総合研究センター プロジェクトディレクター
真鍋 俊也	東京大学 医科学研究所 基礎医科学部門 教授
八木 透	東京工業大学 大学院情報理工学研究科 情報環境学専攻 助教授
安田 賢二	東京大学 大学院総合文化研究科 広域科学専攻 助教授

また、文科省、JST内部他からのオブザーバーを含め総勢47名にてワークショップの開催に至った。

### 3.1.5 開催日時・場所・スケジュール

日時：平成17年10月1日（土）～10月2日（日）

場所：千里ライフサイエンスセンター（大阪府豊中市）

スケジュール：

1日目（10月1日）

13:00～13:30	挨拶・趣旨説明 1. 挨拶：永野 博（CRDS 上席フェロー） 2. ナノバイオの現状と重要性：田中一宜（CRDS シニアフェロー、産業技術総合研究所 フェロー 併任） 3. 議論の進め方について：野田正彦（CRDS シニアフェロー） 4. 本ワークショップの趣旨説明；柳田敏雄（総合コーディネーター）
13:30～15:45	提案発表 ・個別提案領域・課題の説明（各5分）
15:45～16:00	コーヒープレイク
16:00～18:00	全体討論（司会 CRDS） ・SCによるオリエンテーション （柴田先生、茂木先生、難波先生、相田先生） ディスカッションの軸となる分野のイメージについて ・面白そうな論点となりそうな分野の討論と抽出 ・発表課題、分野の繋がりからグループ分け
18:00～19:00	夕食
19:00～21:00	グループ別討論

## 2日目 (10月2日)

10:00~12:00	各SCからのまとめを発表(座長:柳田敏雄先生) ・前日の議論から得られた領域・課題名と簡単な内容ならびに推進方策について ・発表課題(SC)に対する議論(各15分)
12:00~13:00	昼食
13:00~14:00	総合討論(まとめ) ・重要領域・課題の抽出(10程度)

### 3.2 討議の方向性と各セッションでの講演

#### 3.2.1 討議の方向性

ナノとバイオを始めとする様々な分野との連携・融合研究は、世界を先導するイノベティブな科学技術を創出し、将来の産業・社会などに貢献しうる科学技術領域の一つとして期待されている。ナノとバイオに関してはこれまでも複数のプロジェクトが国内において進められているが、従来はナノとバイオとの融合ということでDNAチップ等のような出口を明確に持った研究開発が取り組まれてきたが、昨今の米国National Nanotechnology Initiative (NII) やNSF NBIC (Nano-Bio-Info-Cogno) といったイニシアティブ等を見てもわかるようにナノテクの技術とその知識を利用して、バイオとの融合だけでなくバイオを軸としたIT等との2つ以上の分野融合が新しい知識を創造するためには重要であるとのことで、それに伴い研究の方向性にも変化が見られてきている。しかしながら、国内においてはこれら領域の研究は一機関だけで取り組むにはチャレンジングであり、長期間に渡って幅広い分野の一線の研究者の協力による融合研究が必要である。現状の取り組みは、未だ十分とは言えず推進強化が必要であり、以下のような問題点が存在する。

- (1) 既存の学域内での取り組みに留まり、分野を超えた取り組みはまだ限られている。
- (2) ナノテクノロジーという分野の教育を受けた研究者、バイオを学んだ物理研究者等この分野でリーダーとなるべき人材の戦略的な教育・育成がまだ十分でない。
- (3) 融合研究推進のための施設・設備が十分整備されていない。

これらを踏まえ、今回のワークショップでは、情報・認識という分野も加えた新たな取り組みが重要と考え、重要となる融合研究分野の抽出に当たっては下記に留意した。

- (1) 多分野の研究者がプロジェクトに参加することにより実現できる課題で新しい知識・技術を生み出す可能性があること
- (2) 中長期的な視点での取り組みが必要であり、結果として新産業を育み定着させる新学問領域となる可能性があること

併せて、研究推進方策も合わせた形で提案する事を目的とし、討議を行った。参加者には以下の点を念頭に置くよう徹底をお願いした。

「ナノレベルでナノとバイオと情報を融合した分野」: ナノレベルでの「ナノとバイオ」をつなぎ、新しい発想を生み出すと期待される「情報」を加えた分野融合研究

また、同時にNational Academiesより発表されている Interdisciplinary Research のDefinitionも参加者に紹介した。参考までにその定義を以下に示す。

## 〈Interdisciplinary Research Definition〉

Interdisciplinary research (IDR) is a mode of research by teams or individuals that integrates information, data, techniques, tools, perspectives, concepts, and/or theories from two or more disciplines or bodies of specialized knowledge to advance fundamental understanding or to solve problems whose solutions are beyond the scope of a single discipline or area of research practice.

### 3.2.2 各セッションでの講演

個別提案領域・課題の発表については、CRDSにて提案内容を精査し、比較的近い分野の方を集めて、以下の順に講演がなされた。

(敬称略)

1. (座長：柴田 直／サポート：田中 秀治)	
1) 谷藤 学	脳活動の状態遷移を捉えることのできるナノプローブ光学計測法の開発
2) 真鍋 俊也	シナプスのナノレベルでの解析と人工シナプスの開発
3) 安田 賢二	タンパク質集団の集団効果、空間配置の持つ情報の構成的アプローチによる理解
4) 高橋 勝利	まるごとナノ計測による単一細胞の分子制御機構解明
2. (座長：茂木 健一郎／サポート：野田 正彦)	
5) 伊庭 斉志	ナノレベルでの分子進化計算
6) 池上 高志	マイクロサイバネティクス
7) 北尾 彰朗	生体高分子による生体外恒常反応ネットワークシステムの創生
8) 田口 英樹	細胞内での「ナノの決死圏」の実現
3. (座長：難波 啓一／サポート：井下 猛)	
9) 林崎 良英	革新一分子計測技術とゲノム資源を使用した新たなツール
10) 高橋 庸夫	ナノ・バイオトッドアレイによる冗長な高機能システム
11) 八木 透	人工物を生体組織と分子レベル・ナノレベルで結合・融合させるバイオハイブリッド技術
12) 鳥光 慶一	バイオミミックナノデバイスの創製
4. (座長：相田 卓三／サポート：田中 一宜)	
13) 澤 芳樹	ナノバイオロジーを応用した新規治療法による難治性疾患の克服
14) 安宅 龍明	心身のQOL向上システムに関する研究
15) 秋吉 一成	細胞を創る科学：物質の合成からシステム・ネットワークの合成へ
16) 浜地 格	自発的に組み替わるナノネットワークを基盤とした柔構造マテリアル

## 3.3 重要な分野融合研究領域

### 3.3.1 具体的な研究分野：ナノバイオ情報－認知科学

#### (1) ナノレベルでの生体機能の理解・活用によるデバイスの創製

##### ① バイオナノ加工で創る新規情報処理デバイス

- ・高機能化ナノデバイス開発（微細加工の限界、材料の物性的限界、システムの消費電力限界等により、従来の半導体デバイスでは実現不可能な知能システムをバイオ原理のナノデバイスにより創製する。）
- ・ナノレベルでの分子自己組織化をもとにした加工技術開発。

② モデル構築による生物機能理解とデバイス応用

- ・生体分子のゆらぎとユニークかつ安定な生体の行動を結びつける機能構造的な基盤の追究
- ・創発的現象（冗長で可変性のある生命のルール）に基づく分子機械の設計や分子通信の実現
- ・細胞のノイズの理解と活用・制御による新たな情報伝達処理
- ・ナノレベル創発コンピューター
- ・ナノ・インテリジェンスからの創発プロセス

(2) 細胞システムのデザインとそのナノ基盤技術の確立

① 構成的細胞システムデザイン

- ・生命分子・オルガネラのナノマニピュレーション技術を用いた再構成細胞システムの創成とその再構成細胞のシステム系からの細胞機能・細胞表現型の理解、バイオナノマシンのシステム・ネットワークの分子基盤の理解
- ・ナノマシン集積人工細胞や遺伝情報を有する人工細胞の創成とそのネットワークシステムのデザイン・開発による人工細胞システムの創製

② 分子から構築する細胞生物学の基盤（細胞ナノ計測、生体ナノ計測）

- ・細胞の分子情報ネットワークダイナミクスの計測
- ・脳神経や疾患細胞など特定細胞の生体内低侵襲計測

③ ナノバイオハイブリッドシステムの構築

- ・人工物を生体組織と分子レベル・ナノレベルで結合・融合させるバイオハイブリッド技術
- ・バイオミミックナノデバイスの創製
- ・機能の異なるコンパートメントの組織化と次元制御

(3) ナノ医療（ナノバイオによるメディカルインテグレーション）

「ナノ医療」という定義については別途議論する必要があるが、ナノテクノロジーと駆使することにより、医療における予防、検出、診断、治療の高度化と一体化を実現する Integrated Medicineを構築し、国民のQOLを向上し、健康寿命の延伸を実現することをここでは目的としている。

具体的には

- ・高度細胞治療を実現するためのバイオナノマシンの開発
- ・ピンポイント診断治療を実現するナノデリバリーシステムの開発
- ・ナノプローブによる生体内の低侵襲ダイナミック分子イメージングの開発
- ・永久体内埋め込みを達成するより高い生体適合性人工臓器

等が挙げられる。

#### (4) ナノエネルギー論

1分子ナノ計測や物理理論などを駆使し、生物分子がブラウン運動を利用して、平均熱エネルギーと大差ない小さなエネルギーで効率よく働き、それらが構成するシステムが生物特有の自立性や柔軟性を生み出す仕組みを明らかにする。そして、ナノ材料の組織化や機能性発現技術の基盤とする。

### 3.3.2 推進体制について

これら提案された重点的に推進すべき領域の実施体制・推進方策に関しても議論が行われ、留意すべき点に関しては以下の事項が主に挙げられた。

- (1) 大学組織内では、既存の組織とは別に独立した研究組織が分野融合研究を実施する上で必要である。また、大学のみならず産官からの積極的な参加の得られる融合組織を構築する必要がある。
- (2) 研究推進方策については研究代表者が責任を持ち、人事を含めた制度面やスペースなどについては大学組織が責任を持ち全面的にサポートする体制が求められる。
- (3) 分野融合に取り組むことに対する評価も従来の評価基準とは別に設ける必要がある。
- (4) 融合分野に進学してくる学生に対する教育とキャリアに対してのフォローを十分に考慮する必要がある。

## 【4】次世代医療を実現する異分野融合：ワークショップ報告

### 4.1 ワークショップの概要

佐久間一郎東京大学教授をコーディネータに、梶谷文彦岡山大学・川崎学園教授をコ・コーディネータに迎え、医学、工学、薬学など異分野の有識者が参加するワークショップを開催した。そこでは、医学や工学をはじめとする種々の異分野の融合によって生み出される新しい着想、新しい知識、新しい技術によってはじめて可能になる「次世代の医療」実現に結びつく重点領域・課題を抽出すると同時に研究推進方策も議論し、中長期を見据えた研究戦略提案に有効活用することを目標とした。

#### 4.1.1 参加有識者

(50音順、敬称略)

	荒井 恒憲	慶應義塾大学 理工学部 教授
	生田 幸士	名古屋大学 大学院工学研究科 教授
	伊関 洋	東京女子医科大学 大学院医学研究科 助教授
	梅津 光生	早稲田大学 理工学部 教授
○	梶谷 文彦	岡山大学・川崎学園 教授
	桐野 高明	国立国際医療センター 研究所 所長
	公文 裕巳	岡山大学 医歯薬学総合研究科 科長
	児玉 逸雄	名古屋大学 環境医学研究所 所長
◎	佐久間 一郎	東京大学 大学院工学系研究科 教授
	澤 芳樹	大阪大学 大学院医学系研究科 助教授
	末松 誠	慶應義塾大学 医学部 教授
	長野 哲雄	東京大学 大学院薬学系研究科 教授
	南部 恭二郎	東芝メディカルシステムズ研究開発センター戦略開発部 主査
	橋爪 誠	九州大学 大学院医学研究院 教授
	林 同文	東京大学 大学院医学系研究科 助教授
	久田 俊明	東京大学 大学院新領域創成科学研究科 教授
	平岡 真寛	京都大学 大学院医学研究科 教授
	松本 健郎	名古屋工業大学 大学院工学研究科 教授
	大和 雅之	東京女子医科大学 大学院医学研究科 助教授
	渡部 滋	日立製作所 医療事業統括本部 主幹

◎：コーディネータ

○：コ・コーディネータ

#### 4.1.2 開催日時・場所・スケジュール

日時：平成17年9月21日（水）10：00～18：00

場所：都市センターホテル601会議室（東京都千代田区）

スケジュール：

10：00～10：10	オープニング 挨拶：生駒センター長、趣旨説明：永野上席フェロー
10：10～10：20	オリエンテーション 議論の進め方について：佐久間一郎（東京大学）
10：20～12：20	セッション（Ⅰ） 研究課題の探索 座長：佐久間一郎（東京大学） プレゼンテーション（各10分） 平岡真寛（京都大学） 長野哲雄（東京大学） 末松 誠（慶應義塾大学） 児玉逸雄（名古屋大学） 大和雅之（東京女子医科大学） 生田幸士（名古屋大学） 林 同文（東京大学） 荒井恒憲（慶應義塾大学）
12：20～13：10	休憩（昼食）
13：10～15：00	セッション（Ⅱ） 研究課題の探索 座長：佐久間一郎（東京大学） 討議（110分）
15：00～15：15	コーヒープレイク
15：15～17：15	セッション（Ⅲ） 研究推進方策 座長：梶谷文彦（岡山大学／川崎学園） プレゼンテーション（各10分） 梅津光生（早稲田大学） 伊関 洋（東京女子医科大学） 公文裕巳（岡山大学） 討議（90分）
17：15～18：00	まとめ 戦略プロポーザル提案へ向けて 座長：佐久間一郎（東京大学）
18：15～19：00	懇親会
19：00	解散

#### 4.2 抽出された重要融合研究領域とその推進策

ここではワークショップで議論した結果をまとめ、医学と工学を中心とした異分野融合研究領域の概要と研究の現状、抽出された重要研究領域・課題、研究実施体制について述べる。本稿は「次世代医療を実現する異分野融合ワークショップ」議論のまとめと提言にむけてのコーディネータ、東京大学・佐久間一郎教授によるメモをもとに、説明のための概念図および図の説明を付加して作成したものである。

##### 4.2.1 研究領域の概要と現状の問題点

医工連携は広く推進されつつあるが、以下のような問題点が存在する

- (1) 医療ニーズの十分な理解に基づくプロジェクト設計がなされているものの、まだ十分ではない
- (2) 医学部付属病院内で研究ポストを有して研究している異分野研究者が限られている



- (3) 従来の研究分野を専攻し、医療分野への展開を図る研究者というものが現在の医工連携における研究者像ではあるが、専門分野について個人の中で医と異分野が融合している研究者の数が限られている。

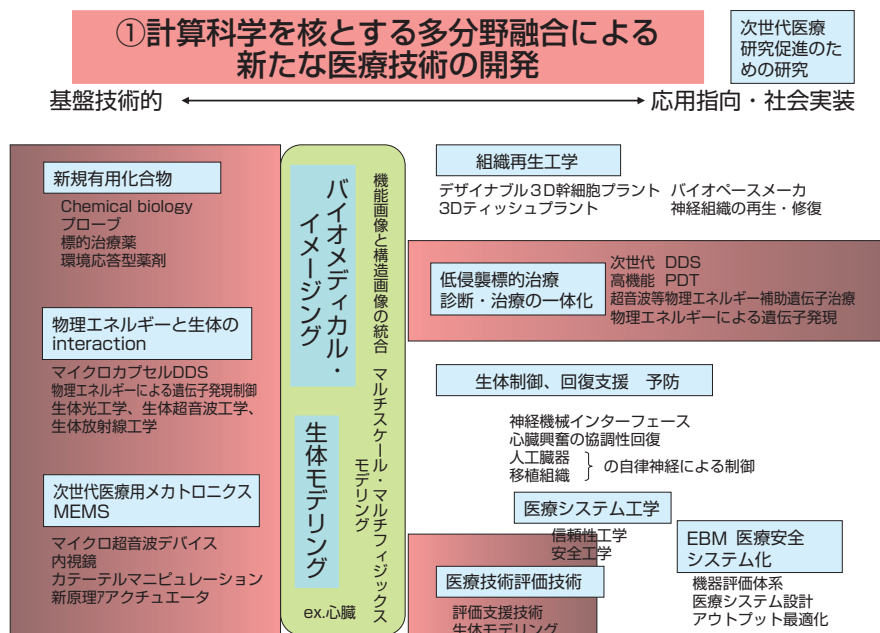
#### 4.2.2 重要となる融合研究領域

##### (1) 抽出に当たって留意した点

- ① 臨床医学応用までのマイルストーンが明確に描けること
- ② 臨床応用研究を飛躍的に推進する可能性を有する基盤研究も含むこと。
- ③ 中長期的な視点での異分野融合による成果が期待できること
- ④ 異分野の研究者がプロジェクトに参加することにより実現できる課題であり、形ばかりの医工連携とはならないこと
- ⑤ 個人の中である専門分野と臨床医学が融合できる研究者の育成に貢献できるテーマであること

##### (2) 具体的な融合研究領域

- ① 計算科学を核とする多分野融合による新たな医療技術の開発
  - (i) 心臓疾患の治療戦略設定のための心臓モデルの開発（病的刺激に反応し適応/破綻するバーチャルハート）
  - (ii) 従来の心臓疾患治療は、イオンチャンネル、心筋細胞、組織の外科治療といった個別的な対応を中心に行われてきた。これはいわば設計図のない状態で、個々の部



図表 4-1 「計算科学を核とする多分野融合による新たな医療技術の開発」概念図

図表 4-1 は、研究領域「計算科学を核とする多分野融合による新たな医療技術の開発」が、「新規有用化合物」、「物理エネルギーと生体とのinteraction」、「次世代医療用メカトロニクス/MEMS」という課題で整理される要素技術を「バイオメディカル・イメージング（統合センシング）」、「生体モデリング」という方法によって可視化し、「低侵襲標的治療/診断・治療の一体化」、「医療技術評価技術」へ実装する分野であることを示す概念図である。図内に薄赤色で着色した部分の明度は、本研究領域に対する関連度合いの高さを定性的に表している。

品を修理・交換し、全体としてのシステムの機能向上を図るものと言える。全体の心臓の設計図を20世紀の分子生物学の進歩、心機能解析手法の進歩などを誘導することで、総合的に取り扱うことがようやく可能になりつつある。具体的な疾患治療の最適化を支援することを目的とする統合計算モデルを開発する。心臓を遺伝子、タンパクから臓器全体にまでわたる多層構造を持ち、環境に応じてダイナミックに変容するシステムとして理解する。またこの実現には微小機能イメージングとシミュレーションの融合など従来行われていなかった展開も重要である。本課題はシステム生物学の一例であるが、心臓は階層構造が比較的理解しやすく、今後のシステム生物学の代表例として、そして疾患の次世代治療戦略をこのモデルを駆使して開発するといったシナリオに、最も適した題材であると考えられる。

- (iii) 以上のシステム生物学的なアプローチに基づいて、不整脈・心不全（生命を脅かす病態）をシステムの破綻として捉え、最小限度の侵襲で修復をめざす次世代治療技術の開発を目指す。薬理学、電気生理学、システム制御論、複雑科学などの異分野融合がこのためには不可欠である。具体的な課題としては心臓興奮の協調性回復、不整脈（心臓突然死）の治療の重要課題である心臓の渦巻き興奮伝播（スパイラル興奮）の制御など、生体の恒常性維持機能、フィードバックシステムに協調的に人工システムが介入し、適切な治療を行う次世代医療などが挙げられる。

- ② Chemical Biologyと臨床医学・先端計測制御工学を融合した次世代低侵襲標的診断治療技術の開発（このテーマも複数考えられる。分子イメージング的なもの、低侵襲治療的なもの、それもDDSに限らず、マイクロサージェリなども視野に入れなければならない。その例として下記のもの挙げられる。

- (i) 高度な制御性を持つPhotodynamic Therapy (PDT) の包括的研究

PDT研究の歴史は古が、合成化学、薬物動態学（含むDDS）、光化学、光・生体相互作用研究、臨床医学、医用光装置工学、医用光伝送工学等々、新しい治療を構成するための学問要素が多様であり、現在までに十分な学問的検討がなされているとは言い難い。しかし一方では、その有用性より、光感受性物質の合成とその臨床応用研究がねばり強く行われており、我が国でも早期癌の治療、および網膜新生血管病変の治療に認可されるに至っている。すなわち、十分な学問的な体系的解析がなされないままに現状ではある程度の臨床（実用）は存在するという、捻れ現象を生じている。基礎研究、たとえば光感受性薬剤の主要メカニズムの詳細な解析や、治療に適する光源とそれを用いる治療デバイスなどの研究開発は、ここに行われる例が多く、融合化することによりイノベーションが得られるものと考えられる。

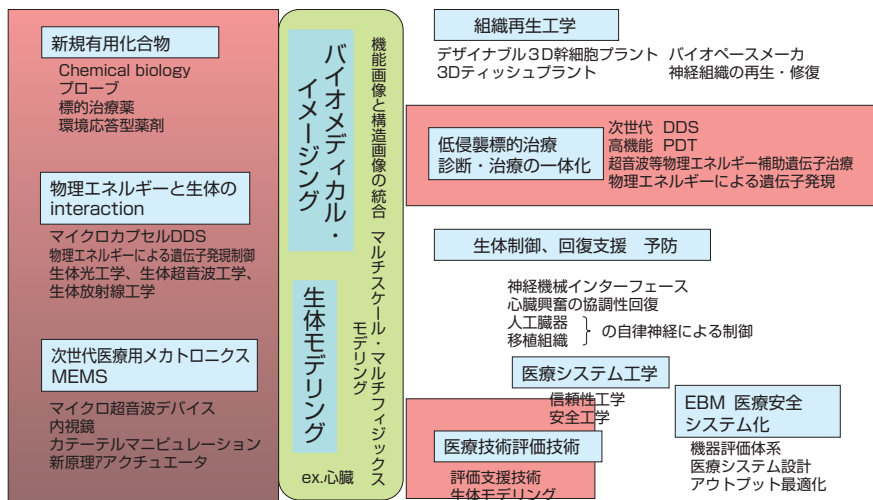
- (ii) 次世代超音波治療技術の総合的開発

超音波イメージングの利用は、現状では術前診断が主であるが、超音波の非侵襲性、実時間性、簡便性、内部状態の可視化という特徴は、治療術支援に適したものと言える。また治療手段としては、超音波照射により抗腫瘍効果を活性化させる薬剤を用いる

② Chemical Biologyと臨床医学・先端計測制御工学を融合した次世代侵襲標的診断治療技術の開発

次世代医療研究促進のための研究

← 基盤技術的 → 応用指向・社会実装



図表4-2 「Chemical Biologyと臨床医学・先端計測制御工学を融合した次世代低侵襲標的診断治療技術の開発」概念図

図表4-2は、研究領域「Chemical Biologyと臨床医学・先端計測制御工学を融合した次世代低侵襲標的診断治療技術の開発」の概念図を示す。図表4-4と同様、薄赤色および薄緑色で着色した要素が本研究分野の中核をなす事を示す。要素技術「新規化合物」付近の着色の明度が高いことは、この要素技術がより本研究領域の中核をなす事を示す。

音響化学療法、さらに強力超音波で焼灼するHIFU、マイクロバブル（超音波造影剤）を添加することで、気泡の圧壊による微小ジェット流による、自己修復可能な一過性の孔（音響穿孔Sonoporation）を生じる事による遺伝子導入、焼く税の局所的選択投与（DDS）など多様である。

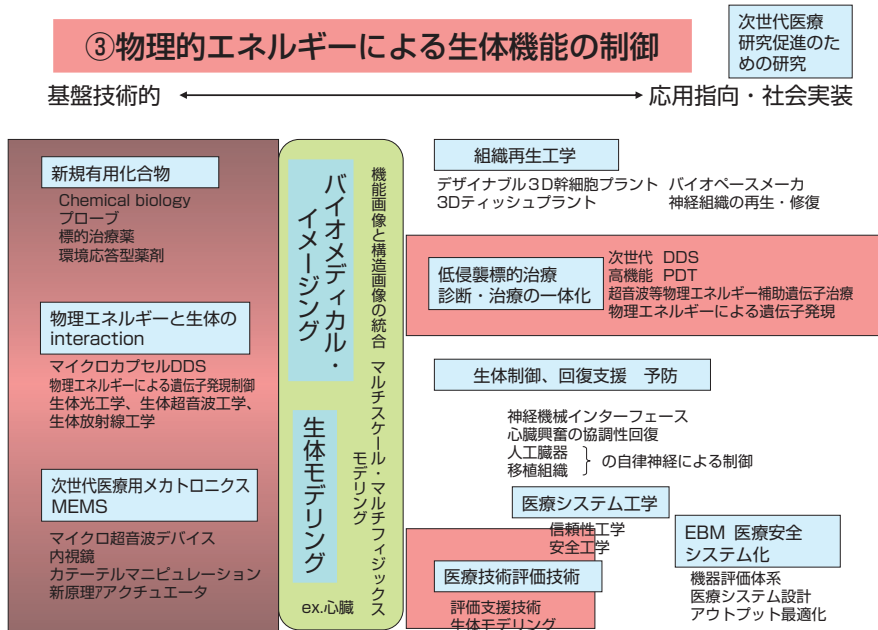
これを実現するためには、MEMSを駆使した集積化超音波プローブの開発、医用画像処理技術、画像誘導下手術支援技術、病変部集積性薬剤の開発など、異分野の融合による研究開発を推進することでイノベーションが進むものと考えられる。

③ 物理学的エネルギーによる生体機能の制御

放射線、光、電磁波、磁場、超音波など各種の物理学的エネルギーは、生命科学研究あるいは医療の中で利用されているが、物理学的特性に基づく応用技術であり、その生物学としての研究はあまりなされていない。物理学的エネルギーは、薬物のように体内動態、代謝などの影響を受けず、直接生体にアクセスしうる。物理的エネルギーの生物効果、標的となる細胞構造・分子を解明することにより、物理工学と生物学が融合した新たな生命科学、先端医療へのブレークスルーが期待される。

現状想定されているテーマは

- (i) 応答遺伝子を用いた遺伝子制御技術の開発（放射線、光、超音波）
- (ii) 化学反応を生体内で惹起することによるPro-drugの標的臓器でのDrug化（放射線、光）
- (iii) 遺伝子導入への展開（超音波）



図表4-3 「物理学的エネルギーによる生体機能の制御」概念図

図表4-3は、研究領域「物理学的エネルギーによる生体機能の制御」の概念図を示す。要素技術「物理エネルギーと生体のinteraction」は本研究領域の中核をなして、低侵襲標的治療が実現されることを示す。その為にPro-drug等の新規化合物の開発および患部への搬送、レーザーなどのエネルギーの患部への導入などメカトロニクス等、「新規有用化合物」「次世代医療用メカトロニクス/MEMS」の要素技術との協働も必要であることを示している。

(iv) DDSへの展開（磁場の封じ込め、制御）

(v) 高温治療（ハイパーサーミア）の高度化・システム化（電磁波、集束超音波、レーザー）などであるが、その先の可能性を探索する。そのためのエネルギー発生技術、基礎実験システムなどの構築には他分野の融合が不可欠である。

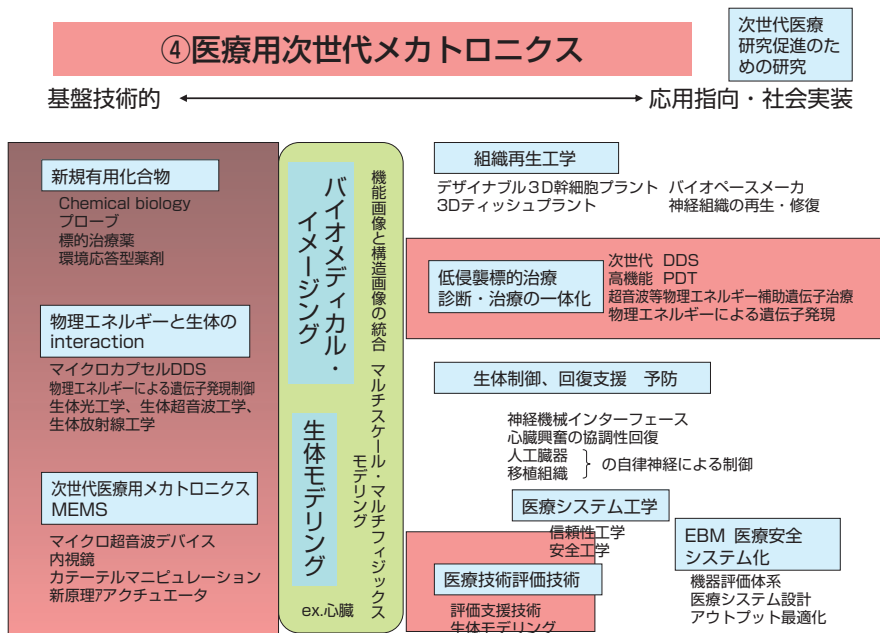
#### ④ 医療用次世代メカトロニクス

$\mu$ -TAS、マイクロチップなどシリコンプロセスをベースとしたシステムの限界や、既存の機械要素、精密機器要素技術を超えるメカトロニクス基盤技術を、医療用という明確な目標を設定し研究する。

- (i) 医療・バイオ用メカトロニクス
- (ii) 再生医療細胞生産用メカトロニクス
- (iii) 組織移植用メカトロニクス
- (iv) マイクロサージェリー（低侵襲精密標的治療）用メカトロニクス
- (v) 基礎医学用メカトロニクス（細胞ハンドリング）
- (vi) 再生医療を支援する、あるいは精密培養を支える基盤生産技術
- (vii) 臨床を目指した新アクチュエータ・新計測技術の提案
- (viii) 新規技術を想定した新しい診断治療技術の開発

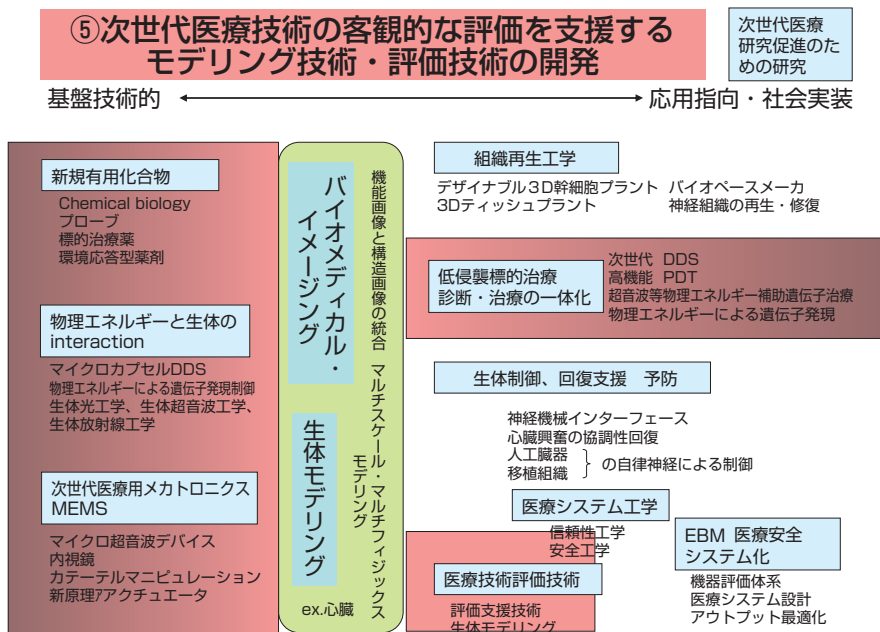
#### ⑤ 次世代医療技術の客観的な評価を支援するモデリング技術、評価技術の開発

ゲノム科学や、生命科学の進歩により個々の要素的な知識は膨大なものになりつつあ



図表 4-4 「医療用次世代メカトロニクス」概念図

図表 4-4 は、研究領域「医療用次世代メカトロニクス」の概念図を示す。要素技術「次世代医療用メカトロニクス/MEMS」は本研究領域の中核をなす。低侵襲標的医療を実現するには、「新規有用化合物」「物理エネルギーと生体のinteraction」の要素技術との協働も必要であることを示している。



図表 4-5 「次世代医療技術の客観的な評価を支援するモデリング技術、評価技術の開発」概念図

図表 4-5 は、研究領域「次世代医療技術の客観的な評価を支援するモデリング技術、評価技術の開発」の概念図を示す。本研究領域の中核は「医療技術評価技術」であり、この研究の結果が各要素技術と協働し低侵襲標的医療が実現されることを示している。

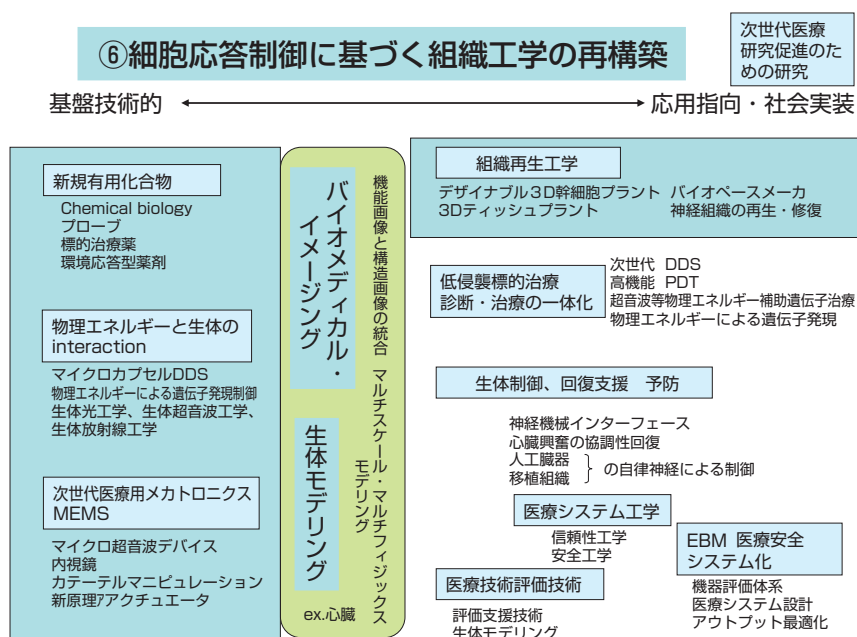
る。一方、細胞個々の機能、環境変化への応答などを考える場合には、これらの要素が複雑に組み合わさった系であることから、十分に理解が進んでいるとはいいがたい。この点を最先端の計算科学、情報処理技術を融合して統合化する。知識の統合化のみを目的とするとそれそのものが目的となって、医療と乖離する危惧がある。これを臨床医学への応用という明確な視点から見直し、応用していくことで新たな医療技術の創成につなげる。このためには臨床医学的視点からの生体モデリング基礎研究への適切なフィー

ドバックとモデリング研究からの生体機能解析研究（生体試料・実験動物モデルを用いる実験研究）へのフィードバックが不可欠である。

## ⑥ 細胞応答制御による組織工学の再構築

再生医療本格化（実用的臨床応用）を縦糸、各要素技術を横糸として統合的研究体制を構築する。現在進められている組織工学研究では、既存の培養方法（たとえばCO<sub>2</sub>インキュベーションなど）を標準手法として展開されているが、振り返って考えると、求める機能を有する細胞を培養し、増殖させるために果たして最適な方法であるかどうかはわからない。また新たな手法を先端的な生体計測・評価技術、メカトロニクスに代表される先端制御技術、chemical biology、生体モデリング技術などを融合し、既存技術にとらわれない新たな手法を提案する。その例としては幹細胞増殖・分化誘導のための物理的・化学的環境制御システム、特にウイルスや未知の生物由来物質による未知の危険を回避するためには、人工材料技術の導入が重要である。また高機能の移植用組織を高効率で作成するための製造技術・評価技術や移植用組織を低侵襲で移植するための治療技術の開発も不可欠である。これにはMEMS、マイクロメカトロニクス、材料技術、chemical biology、材料工学などの多種多様な分野の融合によってのみイノベーションが生み出される。

- (i) 短期的な応用分野としては、骨・関節系の再生医療があると考えられる。このためには、バイオメカニクス研究の知見を応用する組織培養・再構築技術や、そのための機器開発、培養組織の評価技術の開発など、他分野の融合が求められる。
- (ii) 中長期的な応用分野としては、心筋組織がある。心臓の機械的収縮能力の回復や、



図表4-6 「細胞応答制御による組織工学の再構築」概念図

図表4-6は、研究領域「細胞応答制御による組織工学の再構築」の概念図を示す。本研究領域の中核は「組織再生工学」であるとともに、各要素技術「新規有用化合物」、「物理エネルギーと生体との interaction」、「次世代医療用メカトロニクス/MEMS」が協働してはじめて医療が実現されることを示している。

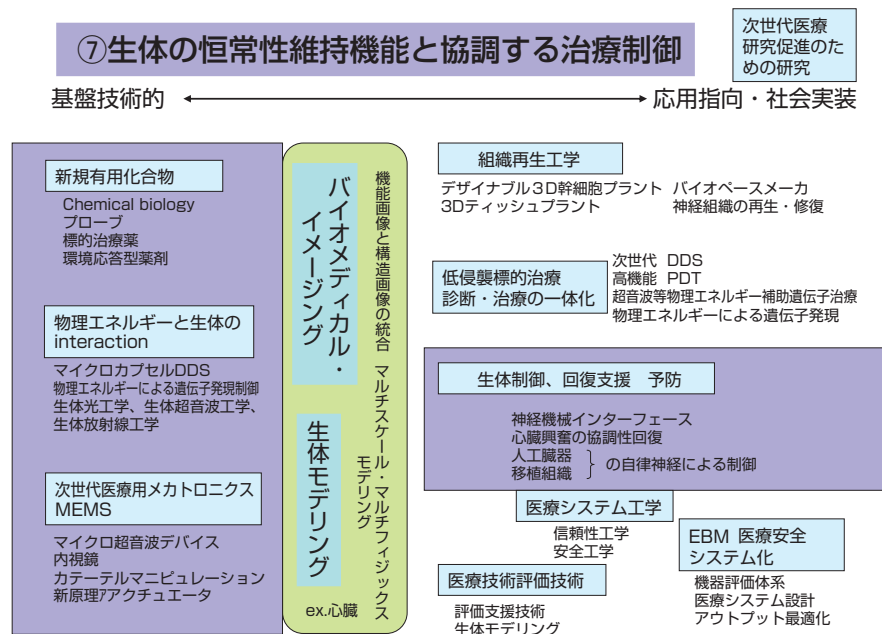
興奮性の回復（バイオペースメーカ）などと、神経組織の再構築や、感覚系細胞の再生（網膜組織など）が挙げられる。

⑦ 生体の恒常性維持機能と協調する治療制御

(i) 神経系を考慮した生体機能代行技術

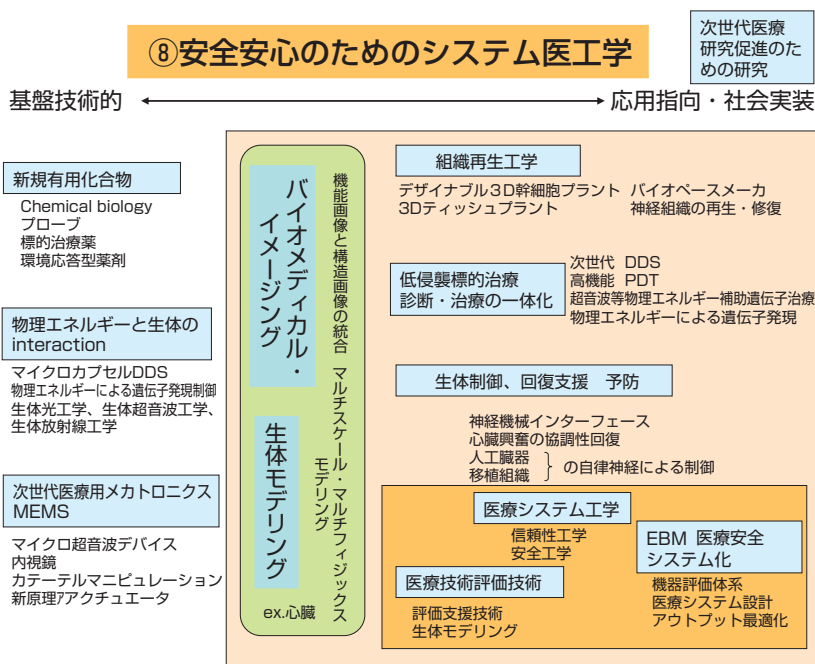
人工心臓や人工腎臓等、重要な内臓系の機能を代行するいわゆる人工臓器開発に関してはある程度の発展が得られ、これらの（人工心臓や人工腎臓）装置を用いて生命を維持するという点については、一定の成果を挙げるまでに至っていますが、いわゆる随意運動系や感覚系など、情報の伝達・処理が神経系を介して行われる生体機能に関しては、人工物による機能代行システムの開発は残念ながらまだ極めてプリミティブな状態にあると言わざるを得ない。内臓器については、精密な制御を行わずとも、ある程度の機能をもって作動させておけば、生体側が活動をそれに合わせる形で、破綻をきたさず作動させる事も可能であるが、神経系を介して情報が伝達される随意運動系などでは、生体の神経情報を計測し、その意味するところを解読し、その指令によって効果器たる外部機器（例えば義手など）を最適に制御し作動させる事が必要で、そのためには、非常に多数の技術要素を解決する必要がある、その個々の技術要素をとってみても、解決が決して容易ではない。

(ii) 生体に適切な外的刺激や外乱（単なる物理刺激だけではなく、人工物質を埋め込むことによる種々の生体反応なども考慮しなければならない）を加えることで、より適切な状態に生体を誘導する手法



図表 4-7 「生体の恒常性維持機能と協調する治療制御」概念図

図表 4-7 は、研究領域「生体の恒常性維持機能と協調する治療制御」の概念図を示す。「生体制御、回復支援、予防」で表される目標が、各要素技術「新規有用化合物」、「物理エネルギーと生体との interaction」、「次世代医療用メカトロニクス/MEMS」および可視化技術「バイオメディカル・イメージング」「生体モデリング」の協働により実現されることを示している。



図表4-8 「安心安全な医療を実現するための医療のシステム科学的分析」概念図

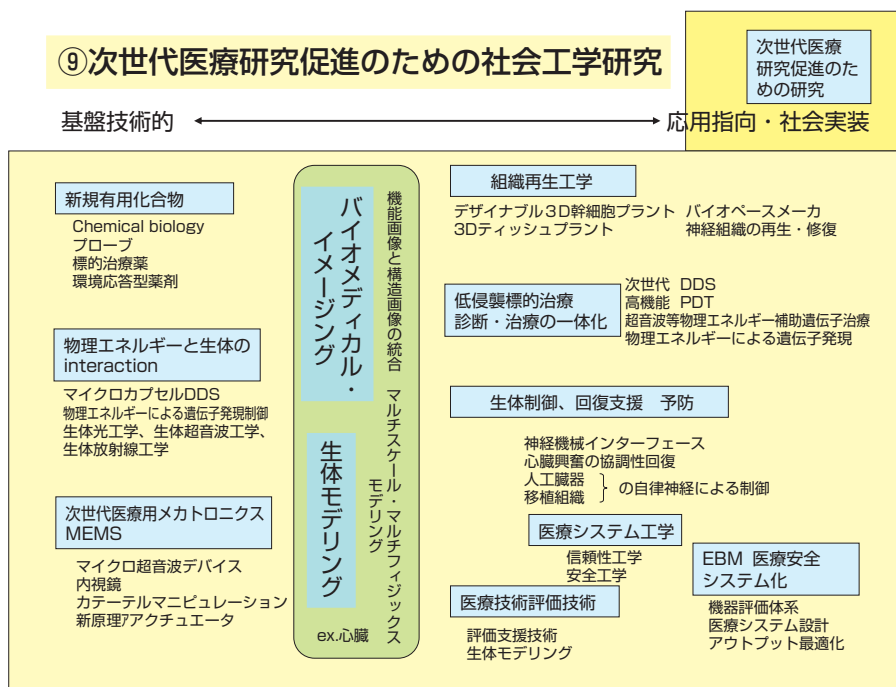
図表4-8は、研究領域「安心安全な医療を実現するための医療のシステム科学的分析」の概念図を示す。本研究領域の中核は、「医療システム工学」「医療技術評価技術」「EBM（Evidence Based Medicine）／医療安全／システム化」であることを示している。

心不全などの病態では、心室伝導障害、心室同期不全、タンパク発現の変化、冠血流低下によるエネルギー効率の低下、交感神経系の活性化、細胞内イオン環境の変化、組織のリモデリングなどが、負のスパイラルとして引き起こされ、生体システム・生体の恒常性維持機構の破綻として病態の悪化につながる。これを改善するために、適切な自律神経刺激、両心室ペーシング（電気刺激）などにより、この負のスパイラルを逆転させ、生体の恒常性維持機能と強調しながら、生体システム全体の回復が可能であることが示されつつある（心臓再同期回復治療法）。しかしながらいまだ実験的な側面が強く、心臓システム・制御系の理解に基づいた治療とはなっておらず、薬物治療との合理的な併用などにも課題が多い。生体モデリング技術や、各種評価技術を融合することによって、次世代心臓再同期回復治療法の研究などが実現できるものと考えられる。心臓突然死の主要原因のひとつとして近年注目されている、心室内の渦巻状の興奮伝導（スパイラル興奮）の知的制御などもこのような治療技術開発課題のひとつである。

## ⑧ 安心安全な医療を実現するための医療のシステム科学的分析

患者の治療を行う場合に、従来は個々の臓器、疾患を対象とした治療が第一義的に考えられるが、個々の問題点の克服（部分最適化）から、生体システム全体を考えたアウトプットの最大化を実現しなければならない。それを支援するための、患者データベースの整備、各種先端治療技術適用の最適化を支援するシステム科学的なアプローチが必要である。それには医療技術に対する深い理解と、システム科学的な知識を融合した新





図表4-9 「次世代医療研究を促進するための社会工学研究」概念図

図表4-9は、研究領域「次世代医療研究を促進するための研究」の概念図を示す。本研究領域は多岐の要素にかかわるが、本図では特に「次世代医療研究促進のための研究」で示すような社会科学的側面からの研究も重要であることを示している。

たな取り組みが必要である。

### ⑨ 次世代医療研究を促進するための社会工学研究

先端研究・技術開発によって経済的価値が生まれるには、成果として得られた先端技術が社会に受容されることが必要である。この課題を含めてイノベーションを受容できる社会をどう形成するか、すなわち社会システム、社会風土・文化、マインドセットをどう創るかという研究は重要であり、先端技術、技術管理、法規制、社会心理、倫理など広範囲な分野の総合的かつ融合的な取り組みが必要である。次世代医療研究を促進するためには、「ゲノム解析、疾患モデル動物、生体分子構造解析・設計、細胞操作技術、遺伝子導入技術など体系化されはじめた個別技術を実際の医療に効果的に繋げるにはどうすればよいかという研究等も含め、以下の課題が挙げられる。

- (i) 技術を効率的に評価する手法・手段の構築
- (ii) 社会普及までのプロセスに関する研究
- (iii) 次世代医療開発を促進する政策研究
  - a) 医療経済
  - b) 医療経営
  - c) 医療倫理
  - d) 法制度・規制のあり方
  - e) 社会学・心理学的検討

#### 4.2.3 実施体制に関して留意すべき点

- ① 研究プロジェクトと人材育成を一体化することにより、最先端の研究を通じて、異分野融合が研究者グループとして、また、個人のレベルでなされている次世代医療の研究者を育成することを目指す。
- ② 臨床医療の現状・国民に求められる医療システムについて研究者が深い理解を持つことを支援するために、現場特に臨床環境が身近にある研究環境を提供すること。具体的には異分野研究者が大学病院に日常的に深く入り込み、研究を実施できる体制を、研究者ポストの設置も含めて検討すべきである。
- ③ 医学研究、特に患者を対象とする臨床医学研究では、患者の安全に最終的な責任を有するのは医師である。医学系研究者がこの重大な責任を負わなければならないことを、異分野研究者はパートナーとして十分理解したうえで研究を推進しなければならない。この点は異分野研究者にとっては精神的な障壁になる、あるいは医学研究者と異分野研究者の融合を阻害する要因になる可能性を有している。医療倫理、医療研究の進め方の基本的姿勢についての教育環境も合わせて整備するなど、臨床医学研究のこの特殊性を十分考慮した上での異分野融合研究推進体制を構築すべきである。
- ④ 融合研究を支援する拠点環境の必要性：新規参入する新たなアイデアを持った研究者が迅速に次世代医療研究を開始できるような環境が望ましい。例えば工学系研究者にとって生体を扱う研究を行うことは準備そのものに多大な労力が求められる。動物実験など生体を扱う研究を比較的容易に可能とする環境整備が求められる。このように融合研究を日常的に萌芽的レベルから支援する環境が求められる。有望な医学分野以外の研究を次世代医療に積極的に活用する観点からは、国内外の研究者との積極的な交流を促進するオープンな研究組織・体制の構築も考慮しなければならない。一方、臨床試験（治験ではなく、研究として手法の有効性を確認するための実験研究）を行うための安全性の確認、臨床的な問題点の総合的評価などを支援する体制が必要である。現在は研究者本人がその評価基準までを求められる状態である。（ワークショップ参加委員によれば、新規の再生医療材料の安全性を示す基準は、研究者にその提示が求められるとのことであった。）このような作業は本来研究者が行うべき作業ではなく、中立的な機関や学会が透明性及客観性を保証して行うべきものであろう。このような評価制度を含め、研究成果を臨床研究に発展させる上での、法制度上の種々の問題解決を支援する環境の整備が求められる。これは「次世代医療技術の客観的な評価を支援するモデリング技術、評価技術の開発」課題とも関連する問題である。
- ⑤ 次世代医療実現のためには新医療技術の危険性を十分に認知し、患者も一定のリスクを負った上で医療を受けることを理解しなければならない。このような革新的な医療を受け入れる社会風土を醸成し、このような研究開発の価値を広く社会に理解してもらうためにも、研究活動の社会への広報・啓蒙を推進することが、研究成果の臨床医療への早期の応用を展開するためには重要である。またこれは、青少年、若手研究者の本研究分野への関心を高め、異分野の総合的な融合・協力推進に貢献するものと考えられる。

## [5] まとめ

新しい知識・技術を生み出し、イノベーションを効率的に創成する可能性の高い分野融合領域・課題を抽出するために、グループ横断組織である分野融合研究横断グループを設置し「農学と工学の融合」「ナノとバイオの融合」「次世代医療を実現する異分野融合」の3つのワークショップを実施した。

その結果、各ワークショップから以下の重要研究領域・課題が抽出された。

### ・「次世代生物生産・利用を実現する分野融合」ワークショップ

- ① デザイン・イン型農業システムの構築、
- ② 食料・有用物質生産用生物の高機能化と評価システムの確立、
- ③ 海域生物生産マネジメントシステムの開発

### ・「ナノとバイオの融合」研究ワークショップ

- ① ナノレベルでの生体機能の理解・活用によるデバイスの創製、
- ② 細胞システムのデザインとそのナノ基盤技術の確立、
- ③ ナノ医療（ナノバイオによるメディカルインテグレーション）
- ④ ナノエネルギー論

### ・「次世代医療を実現する異分野融合」ワークショップ

- ①計算科学を核とする多分野融合による新たな医療技術の開発、②Chemical Biologyと臨床医学・先端計測制御工学を融合した次世代低侵襲標的診断治療技術の開発、③物理学的エネルギーによる生体機能の制御、④医療用次世代メカトロニクス、⑤次世代医療技術の客観的な評価を支援するモデリング技術、⑥評価技術の開発、⑦細胞応答制御による組織工学の再構築、⑧生体の恒常性維持機能と協調する治療制御、⑨安心安全な医療を実現するための医療のシステム科学的分析、⑩次世代医療研究を促進するための研究

また、重点的に推進すべき領域の実施体制・推進方策に関しても議論が行われ、留意すべき点に関しては以下の事項が主に挙げられた。

「次世代生物生産・利用を実現する分野融合」ワークショップでは、

- ① 次世代生物生産を実現するためには、学術的研究に優れた大学と地域の生産現場とのつながりが強い独立行政法人研究所とが連携して分野融合研究を実施することが必要である。
- ② 分野融合研究は、まず農への先端的工学技術の導入から開始する。そして各分野間の多面的な交流を図り、新たな学問の創成を目指すことが重要である。
- ③ 遺伝子組換え植物をはじめとする人工的に生産した生物が生態系に及ぼす影響等について、科学的データの収集・蓄積を行うと共に、国民に対する説明責任を果たし、パブリック

ク・アクセプタンスの確保に努める。特に食品に関しては、食生活への普及を実現するためにも信頼性の確保が不可欠である。

「ナノとバイオの融合」研究ワークショップからは、

- ④ 大学組織内では、既存の組織とは別に独立した研究組織が分野融合研究を実施する上で必要である。また、大学のみならず産官からの積極的な参加の得られる融合組織を構築する必要がある。
- ⑤ 研究推進については研究代表者が責任を持ち、人事を含めた制度面やスペースなどについては大学組織が責任を持ち全面的にサポートする体制が求められる。
- ⑥ 分野融合に取り組むことに対する評価も従来の評価基準とは別に設ける必要がある。
- ⑦ 融合分野に進学してくる学生に対する教育とキャリアに対してのフォローを十分に考慮する必要がある。

「次世代医療を実現する異分野融合」ワークショップからは、

- ⑧ 研究プロジェクトと人材育成を一体化することにより、研究者グループとしても個人レベルでも異分野融合されている次世代医療の研究者を、最先端の研究を通じて育成することを目指す。
- ⑨ 臨床医療の現状・国民に求められる医療システムについて研究者が深い理解を持つことを支援するために、現場特に臨床環境が身近にある研究環境を提供することが重要である。具体的には異分野研究者が大学病院に日常的に深く入り込み、研究を実施できる体制を、研究者ポストの設置も含めて検討すべきである。
- ⑩ 医療倫理、医療研究の進め方の基本的姿勢についての教育環境も合わせて整備するなど、臨床医学研究の特殊性を十分考慮した上での異分野融合研究推進体制を構築すべきである。
- ⑪ 融合研究を支援する拠点環境が必要である。
- ⑫ 革新的な医療を受け入れる社会風土を醸成し、このような研究開発の価値を広く社会に理解してもらうためにも、研究活動の社会への広報・啓蒙を推進することが、研究成果の臨床医療への早期の応用を展開するためには重要である。

これらの指摘は今後の戦略プロポーザル立案あるいは分野融合研究システムの設計に役立つ貴重な意見であり、これらの指摘の本質を内包させたプロポーザル策定をめざしたい。

## おわりに

新しい知識・技術を生み出し、イノベーションを効率的に創成する可能性の高い分野融合領域・課題を抽出するにあたり、グループ横断組織である分野融合研究横断グループを設置し「農学と工学の融合」「ナノとバイオの融合」「次世代医療を実現する異分野融合」の3つのワークショップを実施した。その結果、重要研究領域・課題の抽出ならびに重点的に推進すべき領域の実施体制・推進方策に関する活発な議論を実施することができた。

抽出された重要研究領域・課題は『先端融合領域イノベーション創出拠点事業』<sup>[5]</sup>に関する懇談会の資料としてすでに活用されているが、今後は、各分野をさらに詳細にみて重要研究テーマを精査し、あるいは専門家との個別討議などを通じて戦略策定につなげるとともに、分野融合を推進する新しい研究システムの提案にもつなげたい。

未筆ながら、今回のワークショップにあたり、各分野を取りまとめて頂いたコーディネーターの先生方をはじめ、プレゼンテーションおよび熱心な御議論をいただいたメンバー、ゲストほか参加者の皆様に深く感謝の意を表する。

## 参考文献

- [1] 「分野融合研究への新たなスキーム 米国大学の“戦略イニシアティブ”～米国科学技術の競争力の源泉～」独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター海外調査報告書CRDS-FY2005-OR-02, 2005.
- [2] “Facilitating Interdisciplinary Research”, National Academies of Sciences.<sup>3</sup>
- [3] “INNOVATE AMERICA”, National Innovation Initiative report, 2004.
- [4] Thomas S. Kuhn, “The Structure of Scientific Revolutions,” The University of Chicago Press, 1962.  
(邦訳 トーマス・クーン：『科学革命の構造』、中山茂 訳、みすず書房、1971).
- [5] 「平成18年度の科学技術振興調整費の取組について」文部科学省 科学技術・学術政策局 科学技術振興調整費室、2005.

<sup>3</sup> [2] の文献による分野融合研究の定義を以下に示す。

Interdisciplinary research (IDR) is a mode of research by teams or individuals that integrates information, data, techniques, tools, perspectives, concepts, and/or theories from two or more disciplines or bodies of specialized knowledge to advance fundamental understanding or to solve problems whose solutions are beyond the scope of a single discipline or area of research practice.

## 付記

分野融合ワークショップを企画・実行するにあたり組織した分野融合研究横断グループ体制並びに総括業務を担当した永野グループのメンバーを付記する。

### 分野融合研究横断グループ

・全体総括 永野 博 (永野G 上席フェロー)

#### ・「農学と工学の融合サブグループ」

リーダー 土居 克実 (江口G フェロー)  
アドバイザー 井上 孝太郎 (井上G 上席フェロー)  
メンバー 伊東 義曜 (生駒G 主任調査員)  
高橋 良明 (生駒G アソシエイトフェロー)  
大矢 克 (井上G アソシエイトフェロー)  
川口 哲 (江口G アソシエイトフェロー)  
福田 佳也乃 (永野G アソシエイトフェロー)

#### ・「ナノとバイオの融合サブグループ」

リーダー 野田 正彦 (江口G シニアフェロー)  
アドバイザー 田中 一宜 (村井G シニアフェロー)  
メンバー 中山 智弘 (村井G アソシエイトフェロー)  
所 健児 (江口G アソシエイトフェロー)  
田中 秀治 (村井G フェロー)  
小林 毅久 (永野G 調査員)

#### ・「医学と工学の融合サブグループ」

リーダー 石正 茂 (生駒G フェロー)  
アドバイザー 江口 吾朗 (江口G 上席フェロー)  
メンバー 中島 啓幾 (生駒G シニアフェロー)  
和智 良裕 (井上G シニアフェロー)  
吉田 明 (江口G フェロー)  
平井 秀一郎 (井上G フェロー)  
竹間 清文 (永野G フェロー)

・庶務 坂内 悟 (永野G アソシエイトフェロー)  
伊藤 圭一 (永野G 主任調査員)

**戦略プロポーザル**

**分野融合ワークショップ報告書  
CRDS-FY2005-WR-11**

独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター

平成18年1月

分野融合研究横断グループ

永野グループ

---

〒102-0084 東京都千代田区二番町3番地

電話 03-5214-7485

ファクス 03-5214-7385

<http://crds.jst.go.jp/>

平成17年8月

©2005 CRDS/JST

許可なく複写・複製することを禁じます。  
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

---