

ナノテクノロジー・材料分野

「社会的便益に向けた 統合化技術の国際研究に関する 日米韓国際ワークショップ」報告書

平成24年10月15日(月)～16日(火)開催

Korea-US-Japan Workshop
International Study on Converging Technologies
for Societal Benefit
(NBIC2: Nano-Bio-Info-Cognitive Technologies)
October 15 - 16, 2012
Korea Institute of Science and Technology (KIST),
Soul, Korea



エグゼクティブサマリー

本報告書は平成24年10月15日、16日の2日間にわたり、(独)科学技術振興機構(JST) 研究開発戦略センター(CRDS)が米国国立科学財団(NSF)、韓国教育科学技術部(MEST)との共催で行った社会に貢献する異分野科学技術の融合・統合化を考える日米韓国際ワークショップ「International Study on Converging Technologies for Societal Benefit (NBIC 2: Nano-Bio-Info-Cognitive Technologies)」に関するものである。

このワークショップは米国のNSFと他政府機関が方向性の検討を進めている「Transforming Tools of Emerging and Converging Technologies for Societal Benefit (beyond Nano-Bio-Info-Cognitive Technologies, NBIC 2)」活動の一環として位置づけられており、4つの地域(ワシントンD.C.[6/25-26]、ルーベン[9/20-21]、ソウル[10/15-16]、北京[10/18-19])で開催された会議の一つである。今回の日米韓国際ワークショップでは、ナノテクノロジー、バイオテクノロジー、情報通信技術、認知技術などの異分野との共同研究開発に携わっている研究者・マネージャや科学技術政策関係者など約60人が集まり、これまで約10年間の変化や成果事例と今後10年間でどのようなやり方や仕組みが重要になってくるか議論しまとめた。

ワークショップは、会議参加者全員が集まりこの会議の役割やその後のセッションで議論する内容の基礎的な情報の共有化を図るプレナリーセッションと、10個のテーマごとに分かれて討議するブレイクアウトセッションから構成された。それぞれのブレイクアウトセッションでは、①基盤的な科学技術のツール、②地球環境システムの Convergence platform (統合化プラットフォーム)、③人間やQOLの統合化プラットフォーム、④統合化の方法、⑤人の健康や機能向上、⑥認知・対話・QOL等の向上、⑦生産性向上等の社会的貢献、⑧統合化のための人材育成・インフラ構築、⑨持続可能な開発、⑩ガバナンス、について意見交換を行いセッション毎にまとめた。

それぞれのブレイクアウトセッションのまとめを表4.2.1(p.69~p.73)に示すが、会議全体としては、これまでナノテクノロジー関係の評価・製造のインフラ整備が進み、ナノテクノロジーとエレクトロニクス、バイオとエレクトロニクス、認知科学とナノテクノロジー/エレクトロニクスなど異分野融合の研究を通して成果が出ていることが確認された。今後は社会課題の解決に向けてさらに社会との関係を密にした分野融合・統合化の取り組みが必要になることで意見の一致をみた。さらに、インフラ整備や教育も含めた融合・統合化の仕組みづくりおよび政策推進が重要になるという認識も共有された。さらに、課題達成を目的とした異分野との共同研究・連携から新たな研究領域が生まれてくることも示されており、新しい知見や技術の誕生につながることを期待される。

今回の会議を通して、米国と韓国の統合化に関する動向についても把握することができた。

米国では、2000年のNNI(National Nanotechnology Initiative)のスタート時期から、融合の結果を統合化して社会への出口につながる形の技術として「converging technology」(統

合化技術) という表現をすでに使っており、2003年には異分野の融合・統合化促進に関するワークショップを開催し、報告書「Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology, and Cognitive Science (NBIC)」としてまとめている。その後が目立った活動は無かったが、2011年以後は再び統合化技術がリーディングコンセプトになっている。今回のワークショップを含むNBIC 2として開催された4地域でのワークショップは、2003年の活動のフォローと今後の活動を考えるものであり、これらの会議を総括して新たな報告書にまとめるものと考えられる。

韓国は、第3次韓国ナノテクノロジーイニシアティブ(KNI: 2011-2020)において産業化、人材育成、EHS活動の強化をかかげ、戦略強化の観点からナノテクノロジー政策センター(NNPC)を2010年に設立している。また、韓国では数年前から統合化(Convergence)をキーワードにした積極的な取り組みが行われている。特にConvergenceに対する独自の解釈で、政府や研究所の組織名に直接Convergenceという言葉を取り込んでいる。事実、ナノ統合2020プログラム(Nanoconvergence 2020 Program: 2012-2020年)がMESTとMKE(知識經濟部)の合同プログラムとして別途スタートし、ナノテク、バイオ、情報通信などの「Convergence Center」を立ち上げて分野融合・統合化を強力に進めようとしており、課題達成型の科学技術研究の推進に向けた対応や取り組みが非常に早いことが感じられる。

CRDSでは、研究開発戦略立案の基礎として、科学技術分野における研究開発の現状の全体像を把握し分野ごとに今後のあるべき方向性を展望する俯瞰活動を行っており、ナノテクノロジー・材料分野の技術シーズに関する研究者アンケートおよび領域別ワークショップ(報告書: CRDS-FY 2012-WR-02)、産業界のニーズのヒアリング、俯瞰ワークショップ[全体会議](報告書: CRDS-FY 2012-WR-05)、今回の日米韓国際ワークショップの開催を行ってきた。これらの活動から、この分野の技術の方向性を展望するとともに、社会の課題や産業界のニーズに応えられるようなナノテクノロジー・材料技術のシステム化、異分野融合・統合化による新たな領域の開拓やそのやり方・仕組みなどを提案していく。

目 次

エグゼクティブサマリー

1. ワークショップの背景と趣旨	1
2. 全体会議	3
2.1 Overview of the workshop (Bruce Tonn)	3
2.2 Conceptual challenges and opportunities for convergence (Kazunobu Tanaka)	5
2.3 Methods for converging technologies (M. Roco)	7
2.4 Foundational Tools and Technologies (Mark Lundstrom)	9
2.5 Convergence in Public Sector in Environmental Technology and Development Cooperation (Seungjoon Yoon)	11
2.6 Cognitive technologies (James Olds)	13
2.7 Human-machine interface (Mitsuo Kawato)	15
2.8 The Present and Future of Nano-Bio Technology in Korea (Geun Jae LEE)	17
2.9 Convergence of Science and Technology in Health and Biomedicine (Robert Urban)	19
2.10 Transforming the Landscape of Manufacturing (Jian Cao)	21
2.11 NBIC simulation of brain (Philip Wong)	23
2.12 Transformational Governance (Jong-Guk Song)	25
2.13 Broader societal implications: long-term scenarios, challenges for humankind (Tomoji Kawai)	27
3. ブレークアウト・セッション	29
3.1 S 1. Foundational science and technology tools, NBIC	
3.1.1 サマリー	29
3.1.2 参加者発表	31
3.2 S 2. Convergence platforms: Earth environmental scale systems	
3.2.1 サマリー	32
3.2.2 参加者発表	33
3.3 S 3. Convergence platforms at human scale and quality of life	
3.3.1 サマリー	34
3.3.2 参加者発表	36
3.4 S 4. Approaches to reach integration and synergism	

3.4.1	サマリー	37
3.4.2	参加者発表	40
3.5	S 5. Human health and physical potential	
3.5.1	サマリー	42
3.5.2	参加者発表	44
3.6	S 6. Human cognition and communication and quality of life	
3.6.1	サマリー	48
3.7	S 7. Societal collective outcomes, including manufacturing and innovation, robotics, and long-term societal development	
3.7.1	サマリー	50
3.7.2	参加者発表	52
3.8	S 8. Preparation of people and physical infrastructure for converging technologies	
3.8.1	サマリー	53
3.8.2	参加者発表	55
3.9	S 9. Sustainable development	
3.9.1	サマリー	57
3.9.2	参加者発表	59
3.10	S 10. Innovative and responsible governance to address grand challenges	
3.10.1	サマリー	62
3.10.2	参加者発表	63
4.	まとめ	64
Appendix		
A.1	プログラム	74
A.2	参加者の構成	78
A.3	ブレイクアウト・セッションの進め方	82

1. ワークショップの背景と趣旨

ナノテクノロジー・材料分野は、第2期および第3期の科学技術基本計画の中で重点推進分野に位置づけられて約10年間にわたり強力に研究開発が推進されてきた。その結果、世界に誇れる優れたナノテクノロジー・材料の要素技術が日本から多く生み出されてきた。これからはこれらの要素技術や他の分野の技術との組み合わせ、異分野融合・統合化を進め、社会の要請に沿って実際に使える技術やシステムに高めていくことが求められている。第4期の科学技術基本計画では、従来の分野別の推進政策から、社会の課題の解決やイノベーションの推進を前面に出した課題達成型の科学技術政策に舵が切られた。その中でナノテクノロジー・材料技術は情報通信技術とともに、課題達成・イノベーション推進を支える共通基盤技術として位置づけられており、その社会課題達成に向けた取組について具体的に考えていくことが一層重要になってきている。

研究開発戦略センター(CRDS)では、研究開発戦略立案の基礎として、科学技術分野における研究開発の現状の全体像を把握し分野ごとに今後のあるべき方向性を展望する俯瞰活動を行っている。そのような活動の一環として、ナノテクノロジー材料ユニットでは、ナノテクノロジー・材料分野の技術シーズに関する研究者アンケートおよび領域別ワークショップ、産業界のニーズのヒアリング、全体俯瞰ワークショップ、そして今回の日米韓国際ワークショップを相互に関連させながら実施してきた。これらの活動から、この分野の技術の方向性を展望するとともに、社会の課題や産業界のニーズに応えられるようなナノテクノロジー・材料技術の育成、そして産業化を促進する新たな仕組みなどを戦略的に検討している。



図 1.1

今回の日米韓国際ワークショップは、「International Study on Converging Technologies for Societal Benefit (社会的便益に向けた統合化技術の国際研究)」に関するものであり、米国国立科学財団 (NSF) が方向性の検討を進めている「Transforming Tools of Emerging and Converging Technologies for Societal Benefit (beyond Nano-Bio-Info-Cognitive Technologies, NBIC 2)」の一環として、日本の独立行政法人科学技術振興機構 (JST)、韓国の教育科学技術部 (MEST) との共同で開催したものである。この会議は、ナノテクノロジー、バイオテクノロジー、情報通信技術、認知技術などの異分野の技術を融合・統合しどのようにして社会の利益に結びつけていくかについて、米国を中心にヨーロッパやアジア各国のこれまでの事例やアイデアを収集し、意見をとりまとめることを目的にしたものであり、4つの地域 (ワシントン D.C.、ルーベン、ソウル、北京) で開催された会議の一つである。異分野との共同研究開発に携わっている研究者・マネージャや科学技術政策の関係者などが集まり、これまで約 10 年間の変化や成果事例の紹介などを通して議論し、今後 10 年間でどのようなやり方や仕組みが重要になってくるかを導き出そうとするものである。米国では 2003 年に異分野の融合・統合化促進に関する報告書「Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology, and Cognitive Science (NBIC)」をまとめているが、10 年程度経ったところで4地区での会議を通して、その更新の準備を進めている。

第4期の科学技術基本計画の中では、課題達成・イノベーション創出に向けた科学技術の新たな役割が求められていて、ナノテクノロジー・材料分野では、これまでの成果のシステム化や異分野との一層の融合・統合化が必要であり、その仕組みに対する世界各国の実例や知恵を集中的に知ることができる機会である。JST-CRDS ナノテクノロジー・材料ユニットの今後の研究戦略策定に向けて重要であり、情報収集あるいは各国類似組織との議論を通じて大きな成果が期待できる。また、このような会議の開催から得られた情報を重要な国家的な提案に結び付けていくことに長けた米国の政策手法を研究する良い機会でもある。ナノテクノロジー・材料分野の俯瞰活動の一環として、この会議から得られる日本国内および他国の異分野融合・統合化の良い取組などを抽出し、平成 24 年度未発行予定の俯瞰報告書の中に盛り込みたい。

2. 全体会議

2.1 Overview of the workshop Bruce Tonn(University of Tennessee)

このワークショップは“International Study on Converging Technologies for Societal Benefit”プロジェクトの一環として開催するものである。2003年に米国NSFのM.Roco氏がまとめた“Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology, and Cognitive Science”ではNano-Bio-Info-Cognitiveの統合を提唱した。本ワークショップではこのような統合の先にあるテクノロジーのあり方を検討する。主な目的は、科学の諸領域とテクノロジーの統合促進方策やガバナンス、長期的に見た応用分野の方向性、社会貢献への道筋を確認することである。

同様なワークショップをワシントンD.C.、ルーベンで開催しており、北京でも開催する。今回を含むこれら一連のワークショップの結果は、包括的なレポートに反映される。

同様なワークショップをワシントンD.C.、ルーベンで開催しており、北京でも開催する。今回を含むこれら一連のワークショップの結果は、包括的なレポートに反映される。

プレナリー・セッション終了後、このワークショップの中心であるブレイクアウト・セッション（分科会）は、コンバージェンスの基盤として4つの領域、コンバージェンスの成果が期待される5つの領域、さらに、コンバージェンスの実行に関わるガバナンスの側面に関する領域、の併せて10の領域について行う。1日目に最初の5つのセッションを行い、午後にその結果を報告をする。2日目に残り5つのセッションと結果報告を行い、最後にワークショップ全体を総括する。



図 2.1.1

Initiative and Workshop Activities

- Pre-workshop Questionnaires (posted on NBIC2Seoul)
- Workshop Activities
 - Plenary Statements on Convergence
 - Breakout Sessions
 - Groups 1-5 this afternoon; Groups 6-10 tomorrow morning
 - Statements
 - Group Discussions to Address Seven Questions
 - Preparation of Breakout Group Plenary Report
 - Plenary Discussion
 - Summary Findings, Slide Preparation, and Report Writing by Breakout Groups
- Post-Workshop Plans
 - Presentation of Findings at NSF, December 11, 2012
 - Summary Report and Book

図 2.1.2

ブレイクアウト・セッションでは、モデレータが、始めに10分程度の趣旨説明を行う。その後、日本、韓国からの参加者が発表を行う。その後、事前に参加者へ依頼したアンケートの回答結果に基づき、モデレータが議論をリードして、まとめの資料を作成する。その後、モデレータが各セッションの結果を報告する。

The Seven Questions



- Q1A: Changes of the vision in the last ten years
- Q1B: Vision for the next ten years?
- Q2: Advances in the last ten years?
- Q3: Goals for the next decade: barriers and solutions
- Q4: What are the needs for scientific and technological infrastructure?
- Q5: What R&D investment and implementation strategies would you suggest?
- Q6: What are emerging topics and priorities?
- Q7: What are the impacts of convergence of knowledge, technology and applications on society?

図 2.1.3

2.2 Conceptual challenges and opportunities for convergence 田中一宜(JST-CRDS)

科学が社会に与える影響のスピードは非常に早くなっている。1999年にブタペストで行われた世界学術会議(ICSU)では、科学の役割の4番目として「science in society, science for society」という宣言が加えられた。知識を求めるだけの科学ではなくて、社会に直接どういう役割を果たせるのかということを中心に考える科学、あるいはそのような科学者であれ、という宣言である。

20世紀における先進的な材料、デバイス等のエマージングテクノロジーは人々の暮らしを豊かにし、生活スタイルや文化を変化させた。同時に負の側面として環境に様々なリスクももたらした。

21世紀の世界規模の課題として、人口増加、資源・エネルギー問題、地球温暖化、生物多様性、食と水の確保、高齢社会などが挙げられる。したがって21世紀の技術は、これらの課題や社会の期待に応えるためにデザインされるべきである。



図 2.2.1

この際、社会が何を求めているのかを知ることが最も重要なことである。社会的期待の水準は次の3つに分類することができる。

- (1) 前提・与件。たとえば、与えられた地理条件、気象条件がある。
- (2) 文献、調査などを通じて社会に明示されている顕在する社会的期待
- (3) 社会において必ずしも明示的に示されていない潜在する社会的期待

最後の潜在する社会的期待の発見研究はおそらく重要な課題になると思われる。これらの基本的考え方はJST研究開発戦略センター吉川弘之センター長に

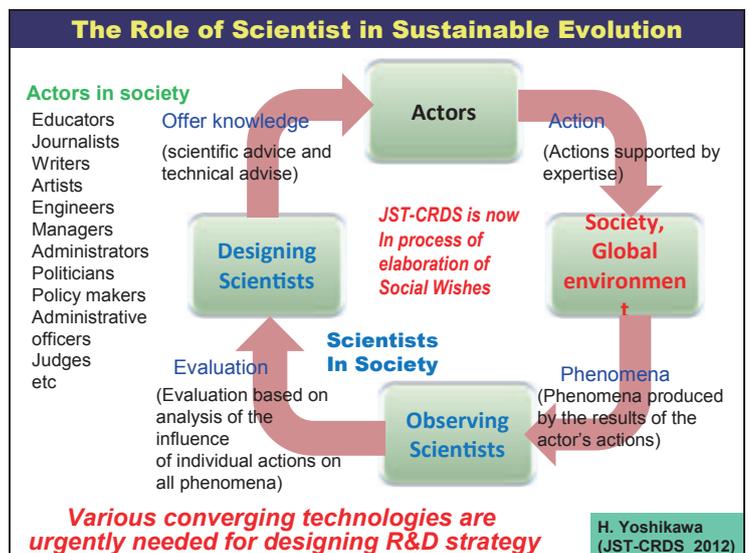


図 2.2.2

よって示唆されている。

科学者は、社会及び自然の状況を自ら観察を通じて潜在的社会的期待を察知することが要請される。この察知は、観察型科学者 (observing scientist) の研究によって行われる。科学者は察知した要請にこたえる方策を社会に提案する。これを行うのが構成型科学者 (composing scientist) である。提案を受けた社会の行動者 (actor in society) は政策、行政、教育等あらゆる側面から行動を通じて社会及び自然に影響を与える。その結果社会は変化する。この変化を観察型科学者が再び観察する。このようにして、行動者、社会(自然)、観察型科学者、構成型科学者の中で情報循環を可能とするループを構成し、社会的期待への対応を実現する基本的な構造ができる。(JST-CRDS 吉川弘之)

科学技術が社会的期待に応えるアプローチには、「分析の科学 (Science for Analysis)」からスタートし、学際的・工学的融合を経て社会的期待に応える「ボトムアップ型」と、社会ニーズを起点として、ニーズを満たす機能を設計・実現する「設計の科学 (Science for Design)」に基づく「トップダウン型」がある。両方のアプローチのバランスをとることが必要であるが、安全で持続可能な環境調和型社会の実現に向けて諸課題を解決していくためには、「トップダウン型」のアプローチの重要性が高まっており、ここでも異なる学問領域・技術領域の融合や統合が、そして異なる組織間の連携や既存技術との共働が課題となってくる。

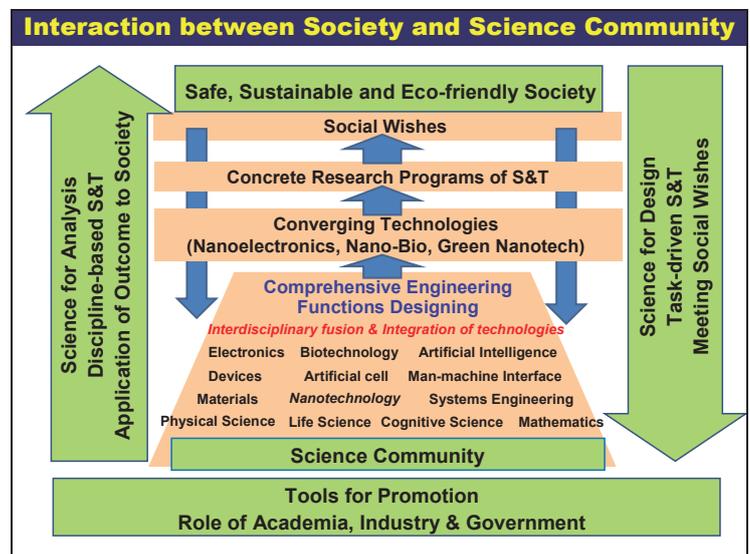


図 2.2.3

2.3 Methods for converging technologies Mike Roco (NSF and NNI)

コンバージェンスとは、共通の目標に向かって新しいものを創り出すために、異なる学問領域、技術、コミュニティの相互互換性、相乗効果と統合を達成する進化の過程である。科学的発見（指数関数的な成長、加速）と社会経済開発（比較的遅い）の間にある大きなギャップを埋めるためにコンバージェンスが必要となる。科学的発見を応用するには、統合された学問分野が必要となるからだ。知識の「合流」と組織化が行われ、新しいシステムがイノベーションにつながる。

社会的便益を実現するためには、ヒューマンスケール、地球規模スケール、価値システムとグローバル・ガバナンスを含む社会的スケールの各スケールにおいて、基礎的ツールとしてのNBICをコンバージェンス基盤として統合していく必要がある。そこでは以下の点に留意する必要がある。

- ・ ナノスケールにおける物質の統一的理解といった集約的理解に基づくこと。
- ・ 方法論・理論・手法、人間の価値と持続可能な開発のような普遍的制約を共有できる全体論的な科学・工学アプローチをとること。
- ・ 人の能力自体にも焦点をあて、能力を集積する革新的方法により、よりよい成果が得られるようにすること。

コンバージェンスを達成するための方法として以下のようなものが考えられる。

- ・ システム科学的アプローチ
- ・ 統合のための漸進的なアプローチ
- ・ 大量データとエキスパートシステムの統合

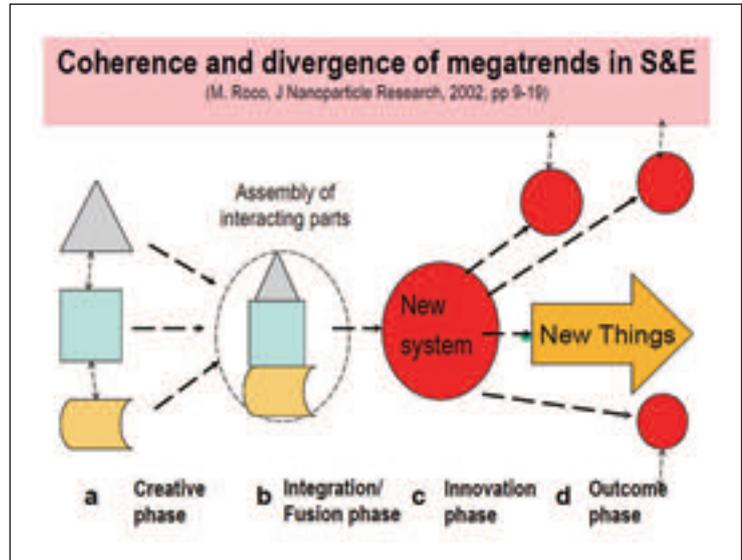


図 2.3.1

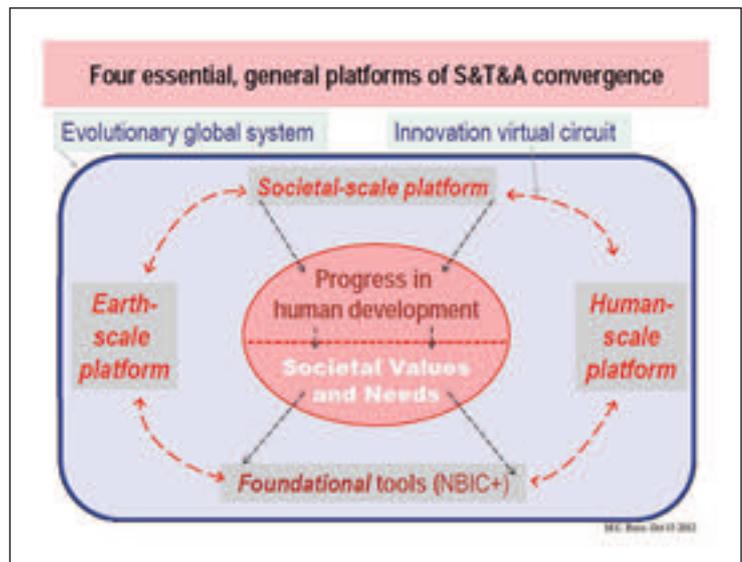


図 2.3.2

- ・ オープンコラボレーション、イノベーションとガバナンス
- ・ 社会における成功の基準の再評価
- ・ 精神-サイバー-フィジカル・システム
- ・ 共通の価値観と目標を追求
- ・ 統合された教育
- ・ ユーザー主導のアプローチ（ユーザインスパイア基礎研究）

ナノ、バイオ、認知、情報の4つでNBICを掲げているが、新興分野であり、コンバージェンスのプレーヤーとなる具体的な技術として次のようなものがある。

- ・ ハイブリッド製造
- ・ 個別学習と医療
- ・ 認知と神経技術
- ・ 宇宙探査
- ・ ITと仮想現実
- ・ ナノテクノロジー
- ・ ゲノム/遺伝学
- ・ パーソナルロボット
- ・ 幹細胞
- ・ 量子情報システム
- ・ 合成およびシステム生物学

コンバージェンスのいくつかの具体的な目標として次のようなものがある。

- ・ R&D、生産、ガバナンスの本質的な問題の解決
- ・ 効率化と簡素化
- ・ 結合の方法と手段を含むレバレッジ効果と相乗効果
- ・ R&D、イノベーションと経済における新たな分野の特定
- ・ 新興技術の支援および長期的な発展
- ・ 包括的なアプローチを用いた最善の決断
- ・ ガバナンスの成功の方法と基準の変化

このワークショップでは、何が基本的な一般・共通の手段、システム、特徴、ガバナンスとなりうるか、コンバージェンス・プラットフォームとその結集による主要な成果は何であるか、について明らかにしたい。また、コンバージェンスの今後10年、あるいはそれ以降の長期のトレンドが技術と社会に対してもつ意味、知識・テクノロジー・社会の発展の総合的展望について話し合う。将来に向けて独創的・革新的なアイデアを出してほしい。

2.4 Foundational Tools and Technologies Mark Lundstrom (Purdue University)

Nano、Bio、IT、Cognitive のそれぞれの技術が融合された研究の結果として、知識の統合、技術の統合へと発展していき、それらは人々の雇用、個人個人の健康、社会の安全へと繋がっていく。

CKT (Converging Knowledge and Technologies)の例をいくつか考えてみる。

例えば、本の中の単語を DNA 変換して、その後、遺伝情報解析技術を使って文章を再現するとか、数多くの ARM プロセッサに繋がれた微

小な並列コンピュータは、現時点で人間の脳に最も近い働きをするとか、ペースメーカーや神経移植など、体内に入っている無線で動作する医療装置を、ハッカーから守る技術などである。下記に、2012年に電気工学の分野で話題となったキーワードを羅列する。

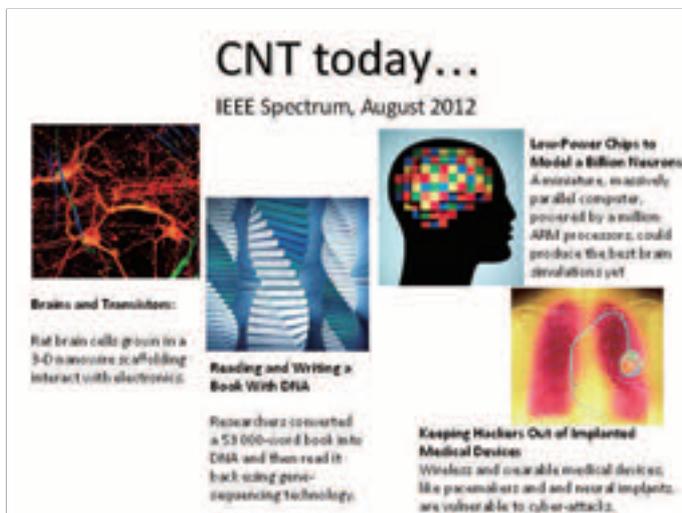


図 2.4.1

electrical engineering 2012

Artificial Intelligence; Control, Intelligent Systems, and Robotics; Graphics; Human-Computer Interaction; Integrated Circuits; Micro/Nano Electro Mechanical Systems; Communications & Networking; Design of Electronic Systems; Energy; Biosystems & Computational Biology; Communications & Networking; Security; Physical Electronics; Flexible and Printed Electronics; Computer Architecture & Engineering; Operating Systems & Networking; Integrated Circuits; Design of Electronic Systems; Short Wavelength Electromagnetics; Soft X-ray microscopy; Coherence; EUV lithography; Programming Systems; **Nanotechnology;** Solid-State Devices; Combinational and Sequential Logic Synthesis; Formal Verification; Microsystems and Materials; Nano-Optoelectronic Devices; **Nanofabrication; Heterogeneous Integration of Microsystems;** Plasma and Ion-beam Processing; Electronic Materials; Programming Systems; Scientific Computing; Database Management Systems, Distributed Systems; Mobile and Pervasive Computing; Computational Game Theory; Information Theory; Signal Processing; Information Retrieval; **User Interfaces; Computational Linguistics;** Software Engineering; **Nanomaterials;** Wireless networking; **Machine Learning;** Embedded Software; Real-Time Systems; Cyber-Physical Systems; Concurrency; Plasma-assisted Materials Processing; **Sensors and Actuators;** Program Analysis; Microwave and mm-Wave Circuits and Systems; Applied Electromagnetics; **Human Perception of Motion,** Computational Geometry, Image Processing; Parallel Computing; **Micro-robotics;** Engineering Optimization; Design for Manufacturability; System identification; **Quantum Computing;** Semiconductor Manufacturing; **Cognitive Radio** and Spectrum Sharing; Design methodologies and tools; **Wireless sensor network design; Art, Mathematics, and Geometrical Sculpture;**

図 2.4.2

CKT が今後重要になるとして、課題は、政策的なものから、ガバナンス、インフラ整備など様々なものがあり得る。しかし最も重要なものは、CKT 時代のキャリアアップのために、**best and brightest** 学生（若者）をどう教育して鼓舞するかである。また、新たに必要となるツールは従来のものと何が異なるかも考えなければいけない。NBIC のディシプリンから生まれるツールもあれば、日々増加する情報量に影響を受けるツールも出てくる。統合化技術によって可能になるツールの例としては、望遠鏡に使われる「素子波面補償光学装置」や脳の活動を正確に測定・解析できる装置などである。

半導体生産工場を一つ建てるのに（設備導入も含めて）30 億ドルもかかる今日、21 世紀のエレクトロニクスは、どのような方向に向かうだろうか？

例えば、現在の能力を超えて、かつ新規ナノデバイスにより新たな機能も追加されるデザインツールが考えられる。また、カスタムデザインのチップの量産を改善する新しい製造技術のパラダイムも実現するかもしれない。そこでは、従来のウェハを用いず、プリンタブルで、フレキシブルで、ディスポーザブルなエレクトロニクスが主役になるかもしれない。

人が課題に対して考える方法は一人ひとり異なる。それゆえ、教育が重要となる。ディシプリン間のオープンなコミュニケーションチャンネルが必要になり、共通言語で話すことが必要になり、ディシプリン間のインピーダンスマッチングが必要になる。問題は、Convergence 時代の教育はどうあるべきか、それはいつから必要になるか、である。いずれにしても、技術は Convergence によって形を変えていくだろうし、そこでは Convergence 時代の科学者やエンジニアをどう育てていくかが、最も重要になる。

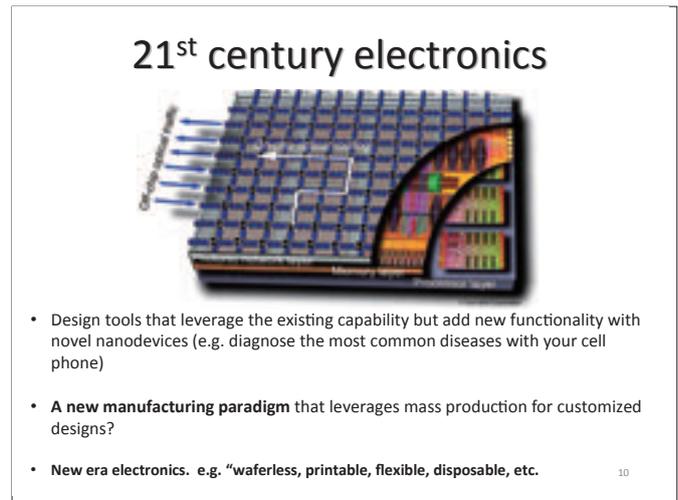


図 2.4.3

2.5 Convergence in Public Sector in Environmental Technology and Development Cooperation Seung-Joon Yoon (KEITI)

KEITI(Korea Environmental Industry & Technology Institute)を始めとする韓国の公的機関が行っている、環境に関する政策と技術の紹介を行った。KEITI は環境省の傘下にあり、グリーンに関する研究開発以外に、グリーン産業の育成、促進、国際協力の旗振りの機能を持っている（右図参照）。

韓国の環境政策、環境技術開発の歴史は 1970 年前後に環境問題を国策として定めたことから始まった。1980 年代には環境汚染問題対策を開始し、1990 年代には環境技術研究開発を開始した。2000 年代に入ると、低炭素社会を目指したエコフレンドリーな社会構造を目指す取り組みを始めた。

具体的な環境技術の研究開発プログラムとしては、1992 年から 2000 年にかけてのプログラムが初めてのものであり（フェーズ 1）、その後 2001 年から 2010 年のフェーズ 2 を経て、2011 年から 10 年プログラムとして、“Converging Technology Development” のプログラムが新たに開始された。

環境技術開発により実際に社会に役立った例をいくつかあげる。

まず大気汚染の軽減である。例えばソウル市内の SO₂ は 1985 年の 0.06 ppm から 2010 年には 0.005 ppm まで減少した。ビジビリティ（20 km 以上）は 2006 年には年間 79 日であったが、2010 年には 140 日に増加した。

水質汚染に関して、飲み水の供給は 1970 年代には人口の 33% しかなかったものが、2010 年には 90% にまで増加した。下水道完備の率も 1980 年の 10% から 2009 年には 90% にまで達した。

ゴミの埋立地についても 1993 年の 6 割程度から 2004 年には 100% の完成をみた。市



図 2.5.1

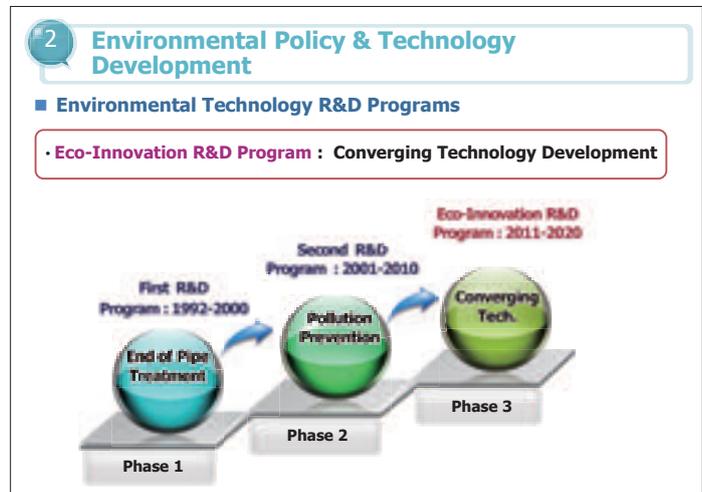


図 2.5.2

内の廃棄物のリサイクル率も毎年順調に増加している。

韓国はパートナーである海外の国に対する持続性社会の構築へも、自国の課題解決の経験をシェアしたり、ODAに支出したりして多大な貢献をしている。

具体例としては、ガーナへ安全な飲み水を供給したり、アゼルバイジャンへ水の再利用技術を技術移管したりしている。

今後の課題としては、化学物質排出の削減、環境問題で病気になった人の救済、過去に生じたHFガス漏れなどの環境へ悪影響を及ぼす事故の絶滅などが上げられる。

韓国政府は、環境・健康アクションプログラムとして、2012年から向こう10年間に、US\$160 Mを拠出する予定である。

以上のような環境・ヘルス問題を完全に解決するためには、環境技術、環境政策、公共サービスと政府の一体となった、コンバージェンスが欠かせない。



図 2.5.3

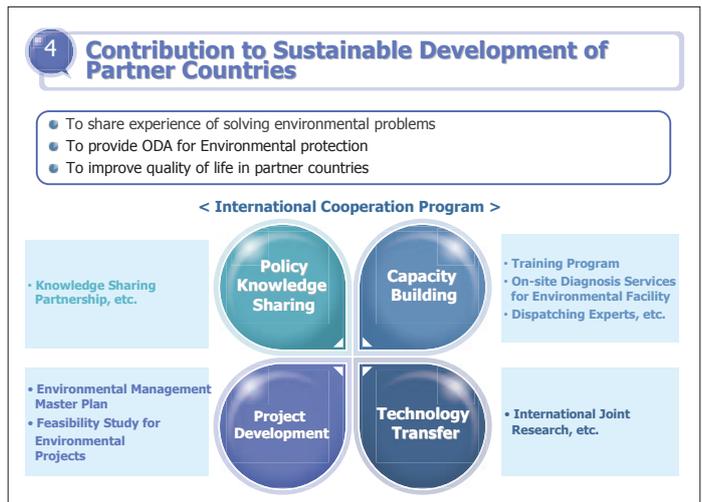


図 2.5.4

2.6 Converging Technologies James Olds (George Mason University)

最初に Convergence の顕著な例をいくつか紹介した。

波面補償工学とチャージ・カップルド・デバイス (CCD) 技術の Convergence により、ハブル望遠鏡並みの性能を持つ望遠鏡を地上で実現することが出来た。またこの技術によって、コスト削減、修理技術の向上、センサ技術の進展の副次効果が得られた。

第2の例は、ムーアの法則とセンサ技術と高度な天候

予測モデルの Convergence である。これにより、天候のマクロな予測からマイクロな予報が可能となった。また、カトリーナなどのハリケーンの予測、コレラの蔓延モデルによる公共ヘルスの改善、北極と南極の氷の状態を解析しての天候の長期にわたる予測などが可能になった。

第3の例は、細胞イメージングとビッグデータの Convergence である。膨大な量の計算ができるようになり、人間を含めた生物の細胞の完全な解析プログラムが可能になった。

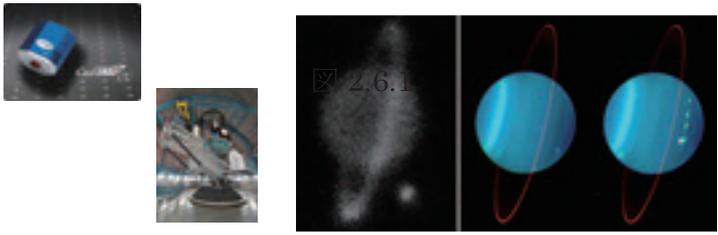
以上の例から分かるように、Convergence は、技術のパラダイムシフトを起こす可能性がある。まさにサイエンスに対するシナジー効果といえる。

認知科学の例として、fMRI (functional magnetic resonance imaging) を考えてみる。これは MRI (核磁気共鳴) を利用して、ヒトおよび動物の脳や脊髄の活動に関連した血流動態反応を視覚化する方法の一つであり、最近のニューロイメージングの中でも最も発達した手法の一つである。fMRI の現在の解像度は 1 mm^3 秒のオーダーであるが、現実に関心したいものの精度は $\mu\text{m}^3\text{msec}$ のオーダーであり、そこには大きな乖離が存在する。我々はニューラルコンピューテーションとして 10^{11} neurons/brain を仮定しているが、実際は、一つのニューロン当たり 10^4 のスパインと言われる棘突起があり、それがシナプス部位として機能しており、一つの brain 当たり 10^{15} のスパインが存在することになる。

他の例としては、MEG (Magnetoencephalogram : 脳磁図) がある。MEG は従来の EEG (Electroencephalogram : 脳波) より脳の詳細な点まで観察できるのが特徴である。

Example 1:

- Convergence of adaptive optics and charge coupled device technology in Astronomy allows Earth-based telescopes to approach Hubble capabilities:



Images: (Left) The planet Uranus without adaptive optics. Image courtesy of Keck Observatory. (Right) Both hemispheres of the planet Uranus with adaptive optics. By L. Sromovski.

図 2.6.1

全体会議

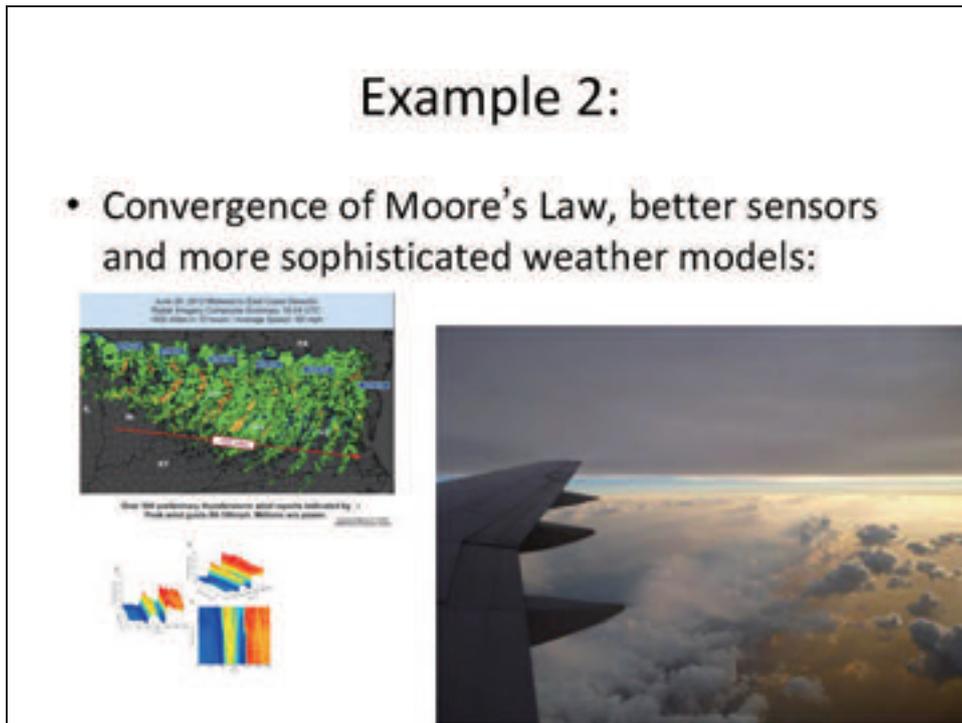


図 2.6.2

また、生物の神経系内の各要素の接続状態を表した神経回路図 (Connectome) プロジェクトでは、蛍光タンパクを用いて、それぞれの細胞を 100 以上の異なる色で区別できるようする”Brainow”イメージングなどが得られている。さらに、MRS (Magnetic Resonance Spectroscopy) による神経伝達物質や情報伝達の機構解明なども期待される。いずれにしても、認知科学の分野では、究極的な細胞レベルのイメージングが必要になるのは間違いない。

以上見てきたように、社会が研究開発の投資をする場合、Convergence を利用することで、科学的シナジー効果等の影響で、コストを最小限に抑制することが可能になる。

2.7 Human-machine interface 川人光男 (ATR)

ブレイン・マシン・インターフェース (BMI) の進展と技術の統合、倫理的な課題、今後の応用などについて紹介した。

最近の BMI 関係の進展として、以下の事柄がある。

- ・ BMI : 知覚機能の再建、深部脳刺激からコミュニケーションや運動機能への展開
- ・ 情報技術による解読の進展
- ・ 脳内情報を解読して脳にフィードバックすることによる脳状態の制御
- ・ 心を読んだり制御するような倫理的問題
- ・ 脳神経科学、情報技術、生体適合の電極、人体通信、移植システムなどの統合化

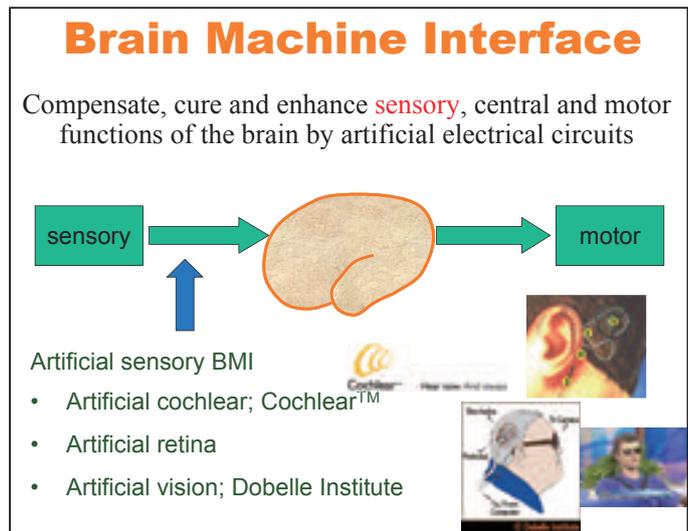


図 2.7.1

BMI は、人工的な電子回路により、脳の知覚、中枢、運動機能を再建、治療、増進させるものである。

人工的な知覚 BMI としては人工の内耳、網膜、視覚などが研究開発されている。中枢関係では、神経をつなぐ BMI や脳深部刺激があり、運動機能では Si 系の電極や非侵襲の複合電極 (ATR-島津) などの研究がある。

多針電極による BMI については、2006 年の Nature にすでに報告があるが、電極が不安定などの問題があった。最近では豊橋技科大の

河野先生のように Si の細い針を用いて、生体親和性が高い電極が開発されている。

また、機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) のシグナルから白黒の一般的な映像を再構成する脳情報解読もできるようになってきている。

これら BMI 技術の応用として、BMI により脳情報を解読し、脳にフィードバックすることをリハビリに適用し、早期回復につなげる試みもなされている。

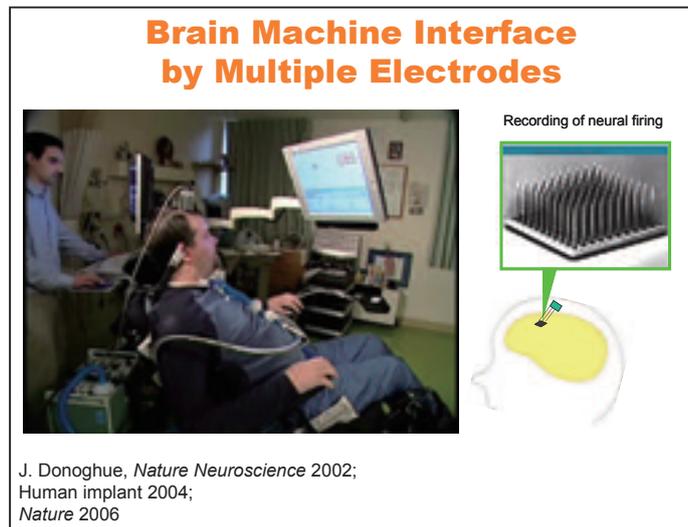


図 2.7.2

また、日本のプロジェクトで猿の脳と人間型ロボットとをネットワークでつなげてロボットを制御することも行われている。

今後のBMIに必要な技術としては、下記のようなものがある。

- ・ 非侵襲で数十年にわたり安定な電極
- ・ 1000～10000 の電極と配線、増幅器、電池、通信に関わる技術
- ・ 高速解読のための通信、データベース、演算処理技術

なお、BMI の倫理問題に対し、次の「BMI 倫理4原則」を2010年に「現代化学」誌で提案している。

- 原則1：戦争や犯罪にBMIを利用してはならない
- 原則2：何人も本人の意思に反してBMI技術で心を読まれてはいけない
- 原則3：何人も本人の意思に反してBMI技術で心を制御されてはいけない
- 原則4：BMI技術は、その効果が危険を上回り、それを使用者が確認するときのみ利用されるべきである

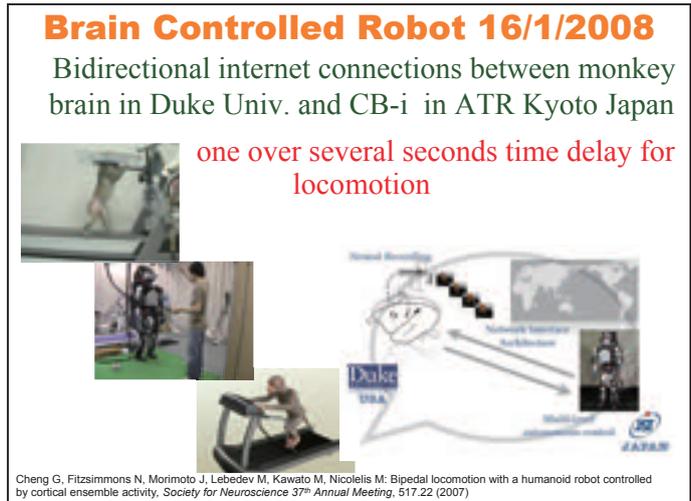


図 2.7.3

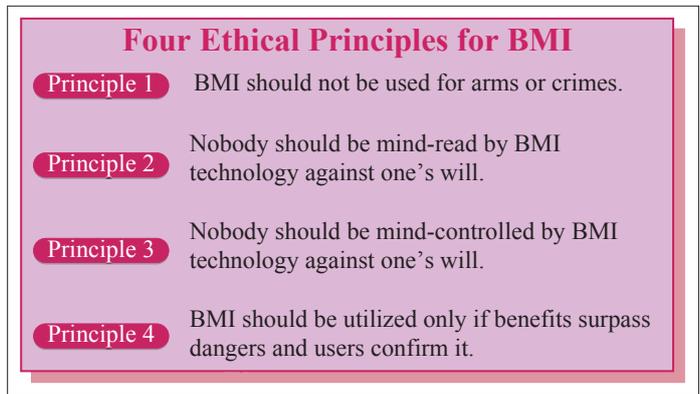


図 2.7.4

2.8 The Present and Future of Nano-Bio Technology in Korea Geun Jae Lee (MEST)

韓国におけるこれまでの科学技術政策やナノテクノロジーの進展、現在のナノテク戦略、今後のナノとバイオなどの融合・統合化に向けた活動について紹介した。

韓国の経済成長は著しく、2011年にはGDPで世界で15位になっているが、この背景には1990年からいくつかのイノベーションの進展があった。最近の情報通信産業の次には基礎研究が産業のエンジンとして重要な役割を演じると考えている。

科学技術に対する国全体の予算はこの10年間増加し、2001年には\$12.5 B（世界で7位）だったが、2010年には\$37.9 B（3位）になった。ナノテクは全体予算の7%程度である。

韓国のナノテク政策は2001年の韓国ナノテクノロジー・イニシアチブ (KNI) から始まった。2007年までは予算が増加し、ナノファブセンターなどの整備が行われた。2011年からの第3期 KNI ではナノテクの産業化をキーワードに進められており、2012年には「Nanotech Convergence 2020」のプログラムがスタートした。

これまでの大きな成果としては、2000年から10年間のテラビットスケールプロジェクトで、32 Gbit フラッシュメモリの開発が挙げられ、大きな経済効果も生んでいる。また、科学論文数では世界3位にもなっている。ナノテクの強さでは米国の75%で世界4位になっている。

第3期の KNI では、顧客の視点を重視し、テクノロジー・プッシュからマーケット・プルへ変えている。重要な戦略領域および目標としては下記を挙げている。

(戦略領域)

- ・ 情報機器デバイスの限界を超えるナノデバイス技術

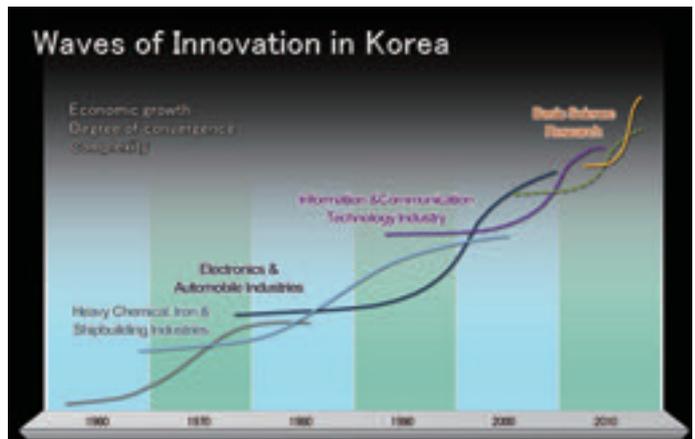


図 2.8.1

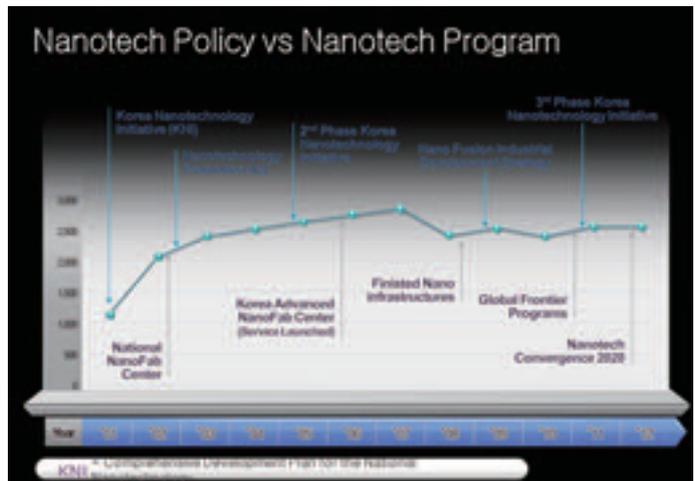


図 2.8.2

- ・健康な生活のためのナノバイオ技術
 - ・低炭素およびグリーン成長のためのナノテクベースの環境・エネルギー技術
 - ・産業のためのナノマテリアル技術
 - ・ナノテクベースの製造、計測・評価、装置技術
- (目標)
- ・オリジナルなナノテク技術を開発し、米国の90%のレベルに到達する。
 - ・新たな産業の立ち上げに有用な30以上のナノ統合技術を開発する。
 - ・社会に対する責任ある活動として、EHS 研究開発に対して政府予算の7%を当てる。
 - ・高い技能を持つナノテク技術者を5,400人(2009年)から20,000人に増やす。

また、ナノデバイス、ナノバイオ、ナノ環境エネルギー、ナノマテリアル、ナノ製造・評価機器の5つの領域に対して、全体で30個の重要技術を挙げている。

最近のいろいろな課題の解決にはいろいろな技術の統合化が重要になってきている。ナノバイオの領域においても、人々の健康な生活、高齢者に優しい生活、伝染病などへの対応のために、早期診断・治療健康食品、高感度検出、標的治療などが重要になってくる。ナノバイオの市場としては今後大きく伸び、2019年には\$80 Bになると予想されており、バイオ R&D センターの活動や、ナノ医薬品、分子イメージング技術などが新たな成長をもたらすと考えられる。

韓国政府もこのようナノバイオ研究に対して、第2期バイオ技術強化基本計画(2012年~2016年)でナノバイオ関係の推進を入れており、また研究成果としてナノバイオ製品の産業化を強く期待している。



図 2.8.3



図 2.8.4

2.9 Convergence of Science and Technology in Health and Biomedicine Robert G. Urban (MIT)

健康とバイオ医薬品に関する科学技術の統合化について、統合化の効果、MITでの連携のやり方、4つの必要な事柄について紹介した。

Convergence (統合化) はそれぞれの学術分野の人たちの間で拡大的で協働的な相互作用により新たなものを作り出すものであり、結果として知識の発展・進化を起こす。特殊性として相補的であることがある。相補的などところでの相互作用が限界に作用して新たな可能性を開く。

子供が使うレゴ(LEGO)はブロックの数が増えるとそこから作られる基本ブロックの数は急激に増加していく。これと同じように科学技術の統合化は知識の数を増やし、ノウハウの蓄積につながっていく。

MITにおいてはガンの研究が進められているが、その中心となる Koch Institute では、地理的に生物学、生物工学、化学などの学科の建物の中心にあって科学技術と関係する研究者の接続の機能を担っている。

ガンにかかる人は2000年から劇的に増加し、20年間で154%にも増加するという予測がある。人々の

寿命は年々増加して2010年には米国で78.2歳(世界平均67.2歳)になっているが、年齢と共に医療費用は急激に増加していくため、米国における医療費のGDPに占める割合は年々増加し、2009年には17.6%にもなっている。

このため、医薬品の開発が重要であるが、これからの医薬品開発は健康に暮らすことにフォーカスしたものに変わっていく必要がある。このような方向性は技術とイノベーションを強く要求する。このようなよりスマートな医薬品の開発には、個人に合った(Personalized)、処置結果が予測可能で(Predictive)、予防ができ(Preventative)、手軽に使える

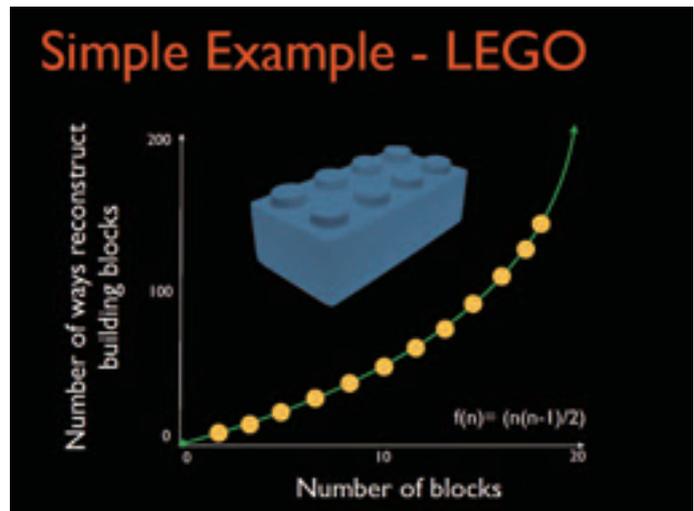


図 2.9.1



図 2.9.2

る (Participatory) という4つの「P」が重要である。

「Personalized」は患者に合った薬を適量、最適な時間にあてるものであり、ナノパーティクルを使ったドラッグデリバリー (DDS) のようなものがある。

「Predictive」は患者特有の情報に基づいて全ての治療が予測可能であり、薬の体内における作用の詳細や連鎖が分かっている効果的な治療が行えることである。

「Preventative」は予防ができることであり、ガンの転移などを防ぐような研究が重要になる。

「Participatory」は家庭などでも手軽に使えるものであり、体内で治療薬を最適な時間に適量放出させるような体内埋め込みのマイクロチップのようなものや、再生医療による新たな臓器などが今後重要になってくる。

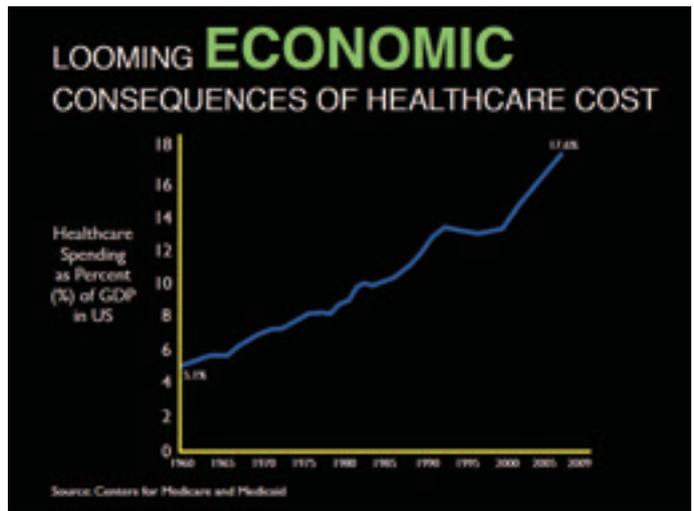


図 2.9.3

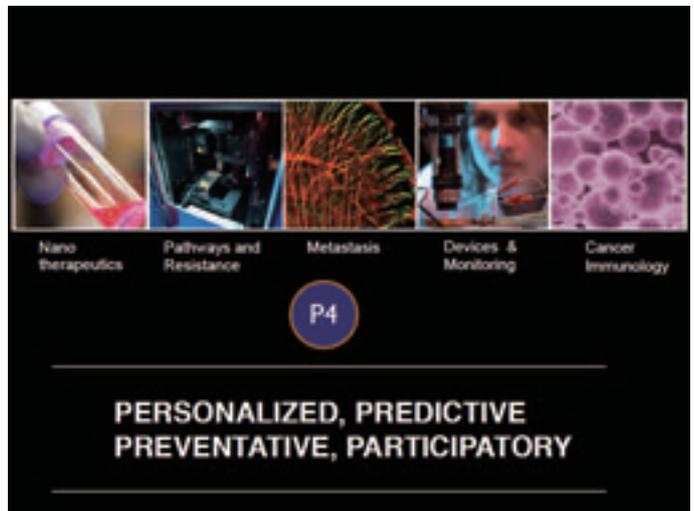


図 2.9.4

2.10 Transforming the Landscape of Manufacturing Jian Cao (Northwestern University)

製造技術の様式を変革することに関し、これまでの成功事例、世界の様子、今後の変化の方向性と推奨する事柄について紹介した。

製造技術は統合化のプラットフォームであり、材料やエネルギーなどリソースをつかって、製造技術により形を変えたり、組成を変えたりすることを通して、新たな価値を生み出す。

成功事例として、オンサイトで修正を行うようなフレキシブル製造技術、生体組織を作ったり生体組織を模倣した構造の製造技術、生物学と工学を利用して光合成の10倍も効率的にCO₂から燃料を作り出す製造技術が紹介された。

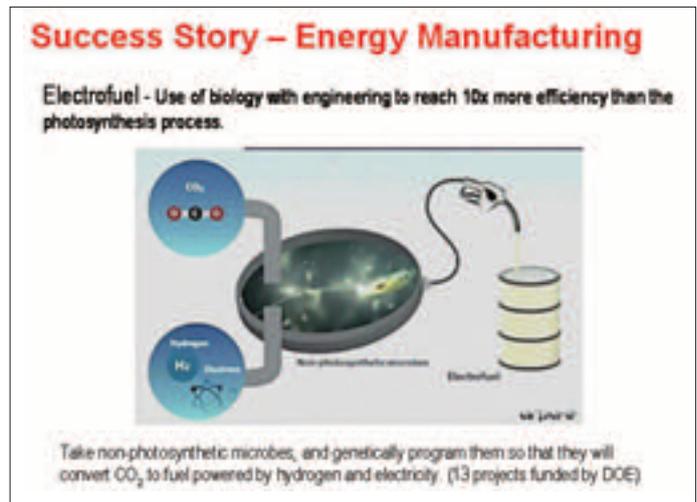


図 2.10.1

過去の製造技術を眺めてみると、1700年あたりは分散型の製造であり、2000年ごろに集中化されてきた。今後はどうなるかを考えるには、現状の動向を見る必要がある。技術的な進展からは、従来の単純な機械的原理によったものから、機械工学、電気工学、化学、生物工学などを組み合わせたものになってきている。また、材料とプロセスが精緻に組み合わせられたものが要求されている。世界的に見ると、多様な要求や多様な優秀な人材が各国に分散している。さらにインターネットの普及で高校生でもソフトを作って配布できたりしており、知識を生み出し広げていくインフラが整ってきている。

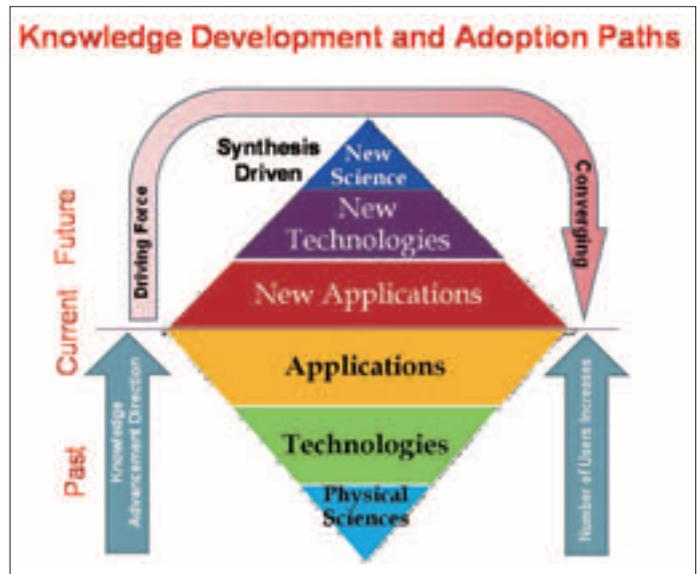


図 2.10.2

このような状況を考えると、今後の製造技術の方向としては、集中と分散の複合化したものになってくると予想される。分散型の製造技術に要求される技術としては、下記のようなものがある。

- ・新たなプロセスと構成を引き出す方法：トップダウン、ボトムアップ、複合材料など

の多様なプロセス DNA が存在するか。どんなロジックが新たな複合プロセスや地域のニーズを基本にした装置構成を引き出すか。ベストプラクティスを特定し普及させるのはどんな方法か。

- ・ 社会的および環境的なインパクト：どのようにゴミや廃棄物処理をするか。多様なプロセスを反映して何によって規制的なコンプライアンスを変えさせるか。
- ・ 一般への展開の方法：プロセスや装置を確実安全に運転できるか。IP の問題をどうするか。

これらに対して、以下の2つのことを推奨する。一つめは、製造技術のプロセスゲノムの明確化である。プロセスゲノムは、異なる多様な科学や工学の統合化による効果的な複合化製造プロセスを作るための科学的な道筋を定義することができる。ナノ、バイオ、IT やブレインマシンインターフェースはこれらを構成するのに有効である。

二つめは、分散型製造技術の推進である。フレキシブル製造プロセス、分散エネルギーソース、要求の多様化によって可能となる分散型製造技術には、科学技術と社会科学および教育の統合化が必要である。また政策的な事柄も重要なものとして関連してくる。

さらに、どのように知識を広めていくかという点も重要である。製造に関連することを全ての人の教育にどのように組み込むか、どのようにして早く教育するか、どのように興味を持ってもらうかなど考えていく必要がある。

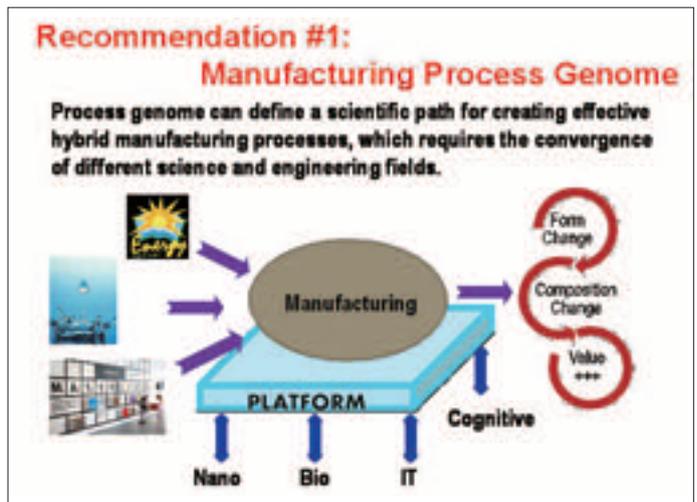


図 2.10.3



図 2.10.4

2.11 NBIC simulation of brain Philip Wong (Stanford University)

脳の働きに着想を得たコンピューティングを電子シナプスデバイス(electric synaptic device)により実現するための研究について紹介された。

スパコン性能向上は、近い将来人間の脳皮質機能をスパコンでシミュレーションできる可能性を示している。しかし、人間の脳はきわめて効率的であり、スパコンがメガワットオーダの仕事率を必要とするのに対し、脳は10ワットで機能している。このほか脳のアーキテクチャ・機能は並列的であり、高い耐障害性やロバストネスを備え、これらをコンパクトなサイズで実現している。このように脳とコンピュータの間には大きな相違がある。

脳の働きに着想を得たコンピュータは人間やコンピュータを凌駕するものを狙うものではなく、デジタルコンピュータを補完するものであると位置づけている。この研究を通じて、ITの可能性拡張、脳の実時間シミュレーションなどによる神経科学の深化、さらには、電子シナプスのライフサイエンス研究や医療分野への応用に貢献する。

脳のアーキテクチャの鍵となる構成要素はシナプスである。脳では1ニューロン（神経細胞）あたり10,000のシナプスが形成されている。このような莫大で並列的なニューロン間の相互接続が脳がコンパクトなサイズで並列処理可能であることの原因である。シナプスの機能を理解し、エミュレートすることが脳のような並列処理とサイズを実現する上で必要不可欠である。

ニューロン間の相互接続の強さは、シナプス前後のニューロンの活性により変化する。このようなシナプスの可塑性が脳の学習や記憶の基礎になっていると考えられている。これまでも電子デバイスによりシナプスの可塑性をエミュレートする試みはあったが、デバイスサイズが大きすぎる。脳機能を模倣したシステムを構築するには莫大な数のシナプスが必要であり、デバイスサイズを小さくしなければならない。そこで、相変化材料を利用

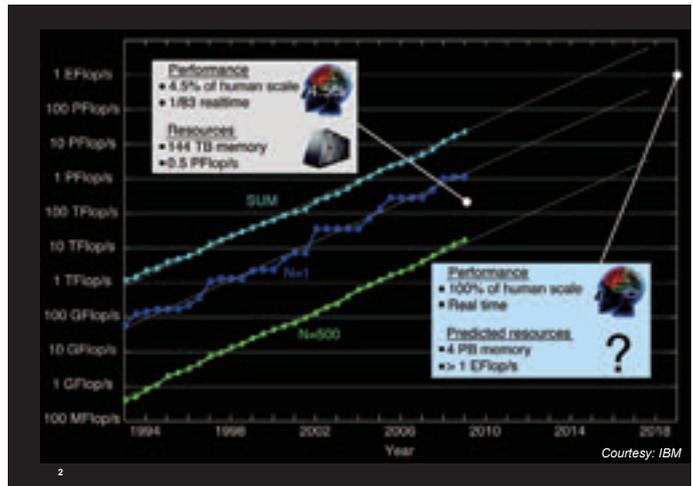


図 2.11.1

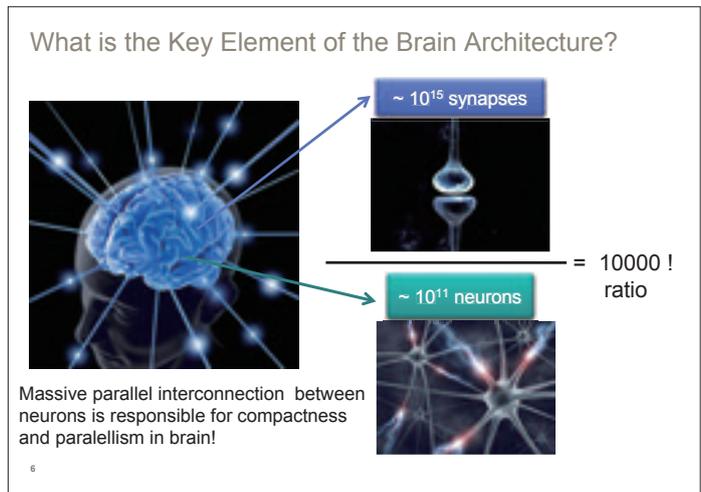


図 2.11.2

したナノサイズの電子シナプスデバイスを考案した。このデバイスでは、相変化材料の抵抗変化を利用してシナプスの可塑性を模倣する。このようなデバイスでシナプスの基本的機能を再現できるものと考えており、今後、高エネルギー効率、高集積度のシステム構築を目指し、研究を進めていく予定である。

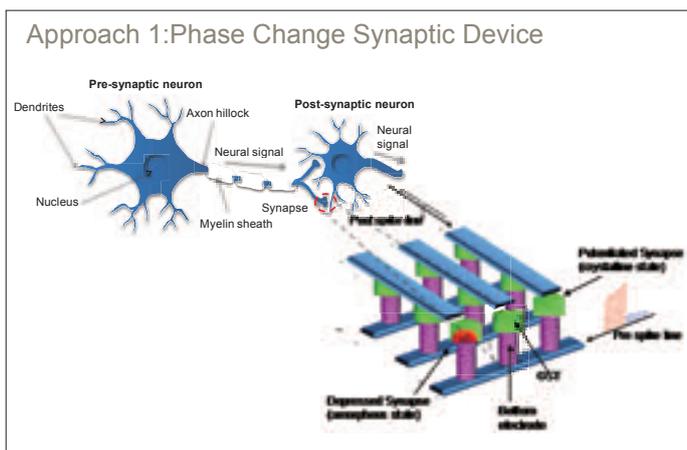


図 2.11.3

2.12 Transformational Governance Jong-Guk Song (Science and Technology Policy Institute)

IT、バイオテクノロジー、ナノテクノロジーと人文科学、人間社会の統合によってもたらされる Convergence 革命は Convergence Economy を現出させ、2015 年には 160 億ドルを超える規模に達すると予測される。韓国では基本計画の策定や促進法の制定により国家レベルで Convergence を支援している。

Convergence の必要性を考える上で、この言葉がどのような文脈で使われているかに配慮しなければならない。米国の場合、IT やナノテクノロジーをシーズ側から推進する技術、バイオテクノロジーや認知科学をニーズ側から牽引する技術と位置づけ、未来指向

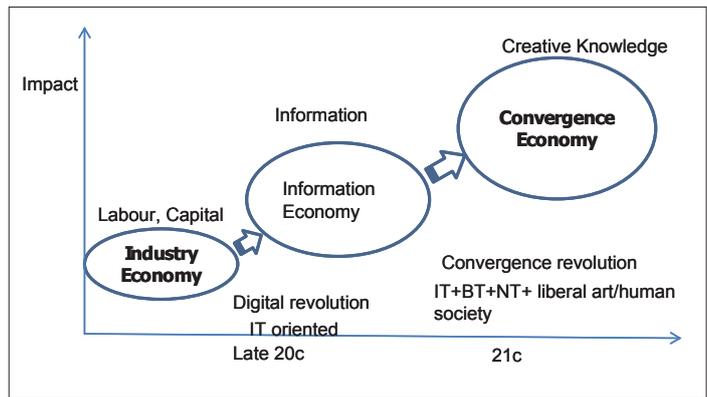


図 2.12.1

の技術としてトップダウン的に Converging Technology を扱っている。欧州の Converging Technology は、社会の持続性の観点から単に技術開発だけでなく、社会に資する知識体系確立を目指している。我々はテクノロジーの Convergence の役割を社会形成に影響を与える要因として理解する必要がある。

テクノロジーや産業における Convergence の意味合いを考えると、技術や産業の自然な展開として、コアとなる技術や産業を中心に関連技術・産業が吸収あるいは統合されるケースを指す場合と、学際的・業際的領域を扱う中で新しい技術領域や産業が創出されるケースを指す場合とがある。前者には IT、バイオテクノロジー、ナノテクノロジーの融合や携帯電話などが該当

し、後者にはバイオインフォマティクスや分子生物学、スマートフォンなどが該当する。

Geels はイノベーション政策を 3 世代に分けて論じている。Convergence への対応には第 3 世代のイノベーション政策が必要であり、以下の点が考慮すべき点として示唆される。

	1st Generation Innovation Policy	2nd Generation Innovation Policy	3rd Generation Innovation Policy
View of point in innovation	Linear viewpoint	Systematic viewpoint	Systematic viewpoint
Policy goal	Economic growth	Economic growth	Economic growth, quality of life, sustainable development
Arena of innovation policy	Sectoral policy	Policy related to various arenas	Policy related to various arenas
Major area of interest of policy	Policy for science	Policy for innovation (Design of institution to promote innovation, innovation-friendly employment and financial policy)	Interest in not only policy for innovation but also innovation policy to address policy issues i.e. Integration of welfare policy and innovation policy, Integration of environment policy and innovation policy
Key player in innovation policy	Science and technology community	Science and technology community, and business community	Science and technology community, business community, users, and civil society

Source : Geels(2004)

図 2.12.2

- NBIC convergence を成功させるためには、広範囲にわたる政策設計とガバナンス体制構築が必要であり、これらはテクノロジーの供給者・消費者、社会、制度をカバーするものでなければならない。
 - テクノロジーの供給者と消費者を逐次的に統制する従来の Linear governance では社会問題の対処や持続可能性の向上において限界がある。
 - 関連政策を設計する上で、Convergence は社会発展の手段として考えるべきである。
 - ガバナンスを構築する上で多様な関係者の参加が不可欠であり、参加を意図的に支援する必要がある。
- 新たな Convergence 政策は第3世代イノベーション政策の観点から設計可能であり、テクノロジーと産業を社会に利益、便益を与える社会的存在として捉える社会技術体制の視点から育成する必要がある。
 - 社会技術体制の中核となる要素はさまざまな関係者間の整合であり、単なる技術開発だけでは目的とする社会に向けた迅速な変化をもたらすことはできない。
 - 新たな社会技術体制の定着には、新技術の定着を制度的に支援したり関係者による受容を促進するだけでなく、社会の大きな潮流がどう変化するかを理解することが不可欠である。
- NBIC convergence を広く展開するためには、人文・社会科学との融合が不可欠である。
 - Convergence technology の研究者は人文科学に対する知的能力を高め、他の学術領域への理解を広めるとともに、相互交流研究に関与しなければならない。このような活動は長期的視点で支援される必要がある。
 - 様々な側面で Convergence 研究の成果を活用するには、成果を将来のための資本として蓄積する方策を整備する必要がある。

2.13 Broader societal implications : long-term scenarios, challenges for humankind 川合 知二 (大阪大学)

将来の社会は、(1) 美しく快適な環境、(2) いつでも、どこでもコミュニケーションできる情報システム、(3) 医療技術に支えられた安全・安心、(4) 産業振興とイノベーションの活力、を備えたものでなければならない。その中で「Beyond NBIC」あるいは「NBIC(II)」をナノテクノロジーの観点から捉えると、その意味するところはシステム創製であり、そこでは、材料、デバイス、ナノプロセスをIT、バイオ、認知科学と統合してグリーン、ライフ、医療に貢献できるようにする必要がある。これは、ナノテクノロジー発展の経緯に照らせば、ナノのシステム化 (Systems Nano) に対応するものである。

今後重要となるシステムとして、〈バイオ-ナノ-情報〉システムと〈材料-製造技術-IT〉システムを取り上げたい。

〈バイオ-ナノ-情報〉システムでは、種々の技術を統合して、生体関連物質の解析・モニタリングを可能とするようなデバイスレベルでのシステム化を進めるとともに、デバイスから得られる情報を遠隔通信ネットワークを介して医療サービス提供者とつなぐといったシステムの構築が課題となる。

〈材料-製造技術-IT〉システムでは、設計知識や情報ネットワークを活用し、3Dプリンタによるナノ製造を可能とするようなシステムの構築が課題として挙げられる。このようなシステムは広範な産業分野にインパクトを及ぼす。さらに、個人の好みに応じたものが作れるパーソナルファクトリや食品供給システムへの展開も考えられる。

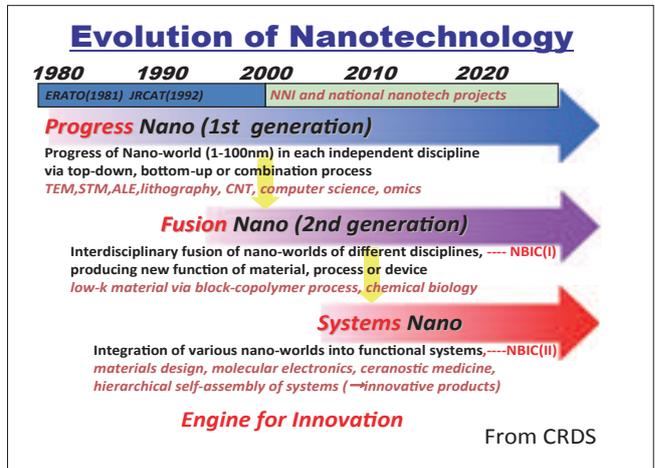


図 2.13.1

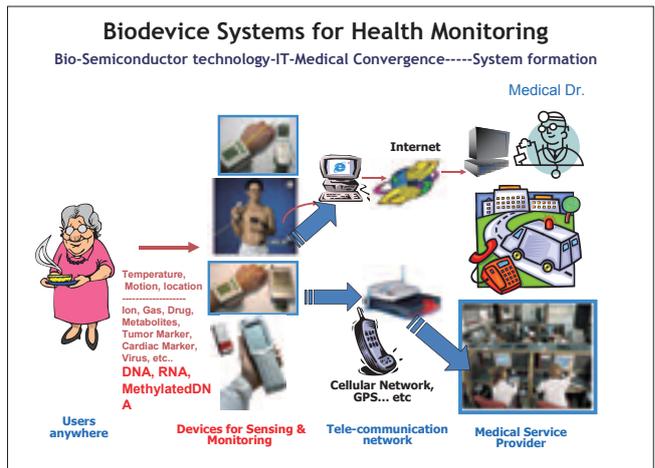


図 2.13.2

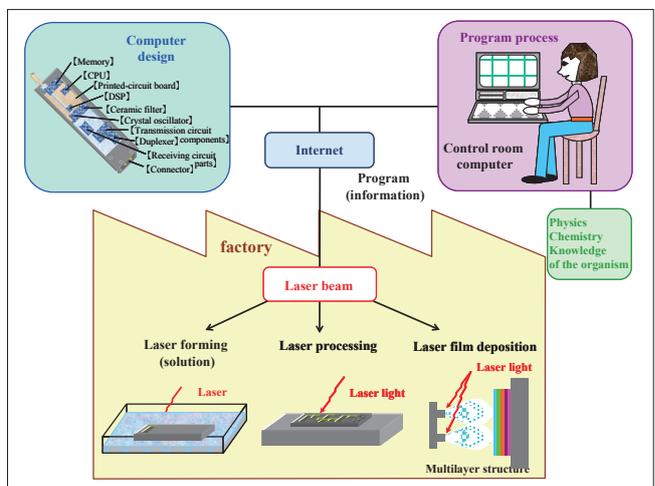


図 2.13.3

全体会議

以上のようなシステム構築に加え、エネルギー・環境問題に対処するグリーンナノテクノロジーも今後10年のキー・テクノロジーである。低炭素社会の実現に向けて太陽光エネルギーの有効利用技術の開発などを進めていく必要がある。ここでもナノのシステム化が重要であり、たとえば人工光合成を実現するためには、単なるデバイスではなく、ナノシステムの創製が不可欠である。

日本の第四期科学技術基本計画では、科学技術の推進方針が従来の重点分野設定型から課題達成型への転換された。「科学的挑戦」が実社会への応用において大きなブレークスルーをもたらすものであることは歴史の教えるところである。ブレークスルーを実現するためには、達成すべき課題を科学的思考・アプローチで対処できるよう変換する必要がある。

3. ブレークアウト・セッション

3.1 S1. Foundational science and technology tools, NBIC

モデレータ：Kwang Ryeol Lee (KIST, Korea)、Mark Lundstrom (Purdue University, US)、長谷川 剛 (NIMS)

参加者：James Olds (George Mason University, US)、Kwiro Lee (National NanoFab Center, Korea)、魚崎 浩平 (NIMS)、馬場 寿夫 (JST)、他 3 名程度

3.1.1 サマリー

このセッションでは、合成生物学、量子情報システム、ロボティクス、ニューロエンジニアリングなどの新しい境界領域における基礎的な科学技術のツールに関するものである。3人のモデレータおよび James Olds と Kwiro Lee の発表に引き続き、7つの質問に対する回答に関して討議を行い全体をまとめた。

過去 10 年間のビジョンの変化と今後 10 年のビジョン

過去10年における科学技術の大きな変化として、科学的興味に基づく研究開発から、課題解決型の研究開発へのシフト、専門領域中心から領域融合・統合技術へのシフトなどが顕著になった。また、融合・統合は社会科学、人文科学、芸術などへも拡大してきている。ツールにおける変化としては、可視化技術の重要性が高まったことと、LSI 回路設計等の複雑な設計に対する設計ツールの利用が増えてきた。

今後 10 年のビジョンとしては、ツールの中心的な役割として、NBIC 2 の目標に向けた動きを加速し、「Converging Technology」の社会貢献に寄与する。また、急速に進む先端科学により、イノベーションが順調に進展するのに寄与する。さらに、ツールにおける仮想空間と実空間との融合が深まる。

過去 10 年における進展

ナノテクノロジー、バイオテクノロジー、インフォメーションテクノロジー、認知科学の各分野についての進展についてまとめた。例えば、ナノテクノロジー分野では、装置の性能向上に支えられたマイクロエレクトロニクスからナノエレクトロニクスへの展開があった。センサーはどこにでもあるようにユビキタスになった。バイオテクノロジー分野では、ゲノミクスを始めとするオミクスの時代に突入した。情報科学の分野では、データ主導の科学・工学が増加し、情報処理が融合・統合の重要な役割をもち、仮想インフラやソーシャルネットワークが普及した。認知科学の分野では、非侵襲の画像化、介在、相互作用などの開発が進み、人間への応用が始まった。

その具体例として、韓国からは情報科学とバイオテクノロジーの融合によるシナプス解析に関する成果を、日本からはナノテクノロジーとバイオテクノロジーの融合による生体材料研究に関する成果を選択した。

今後 5 年から 10 年における目標

ナノテクノロジー、バイオテクノロジー、インフォメーションテクノロジー、認知科学の各分野について討議した結果、例えばナノテクノロジーの分野ではナノエレクトロニクスと脳を含む生体材料との融合・集積化やエネルギー問題を解決するための技術開発が進むであろうこと、インフォメーションテクノロジーや認知科学では、脳科学に関する知識が集積され、具体的に応用されるであろうことが挙げられた。人間の意志を読めるような BMI の開発や BMI を複雑な設計や統合・融合技術の応用への利用が考えられる。エレクトロニクス製造の新たなパラダイムとして、小さな企業による洗練された半導体工場の利用が可能になることや、最先端の技術でカスタマイズされた応用に対して分散型のエレクトロニクス製造の育成がある。

これらを実現するための教育やツールの開発が重要となる。配信技術や個人教育支援の人工知能による MOOCs (多様なオープンオンラインコース) をサポートする新たなツールにより、安価で NBIC 基礎技術や融合・統合における高品質の教育が可能になる。また、専門領域や多様な文化に跨るコミュニケーションツールを育成する。

具体的なツールとしては次のものがある。

- ① NBIC 領域のツール：計算、合成、プロセス、分析評価の統合ツール (仮想工場)
- ② 融合・統合技術で可能になる新たなツール：脳のイメージングの空間・時間分解能が 3 桁向上するツール。脳型のアーキテクチャの広い利用 (例えば、自動運転自動車)
- ③ 統合・融合技術のツール：エレクトロニクスとバイオをつなぐ設計ツール (例えば、BMI)。緊急の現象 (例えば、flash crash [株価の急激な乱高下]) を理解するためのツール。

必要なインフラ

ナノエレクトロニクスとバイオテクノロジーの融合・集積や、脳の機能を解析するための非侵襲のイメージング技術 (施設) など、新規な計測やファブリケーション施設が必要となる。科学的なビッグデータへのアクセスや提供、その解析技術を提供するインフラが必要となる。また、個人のオンライン教育のためのインフラも必要となる。

R&D 戦略

国際的な共同研究体制など、新しい研究領域の立ち上げを効率的、効果的に実現するための組織や国によるサポートの必要性が議論された。考慮すべきこととして、国際的な大規模な共同研究プログラム、統合・融合を目的とするプログラム、異分野融合研究組織の支援、新たな基礎的なツールの明確化と支援が挙げられた。

R&D の社会貢献

社会の抱える諸問題を解決する技術が提供されるであろうこと、コスト効率の高い技術が開発されることにより、社会負担を減らすことが可能となるであろうことなどが議論された。また、ツールはこの研究・開発の効率を向上することで貢献できる。

3.1.2 参加者発表

(1) Mark Lundstorm

ワシントンで開催したBreakout Sessionでの結果を示しつつ、本セッションで議論すべき内容の確認を行った。

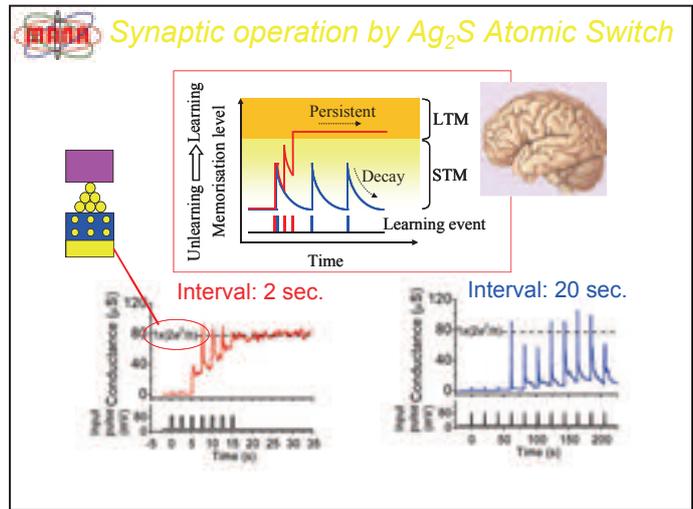


図 3.1.2.1

(2) 長谷川 剛

走査型プローブ顕微鏡を始めとするナノテクノロジー研究の進展により、新規ナノデバイスの開発、ひいては脳型コンピュータ開発が可能になりつつあることを成果の一事例として紹介した。

(3) Kwang Ryeol Lee

ナノ、バイオを含む幅広い研究領域に適用可能な「ツール」である Computational Nano-Bio Fab. を韓国における過去10年の成功事例、ならびに、今後10年のキーツールとして紹介した。材料開発・素子構造開発のあらゆるステージをシミュレーション可能なシステムであり、同システムを用いることで研究に要するコストを削減できることも社会への還元になることを強調した。

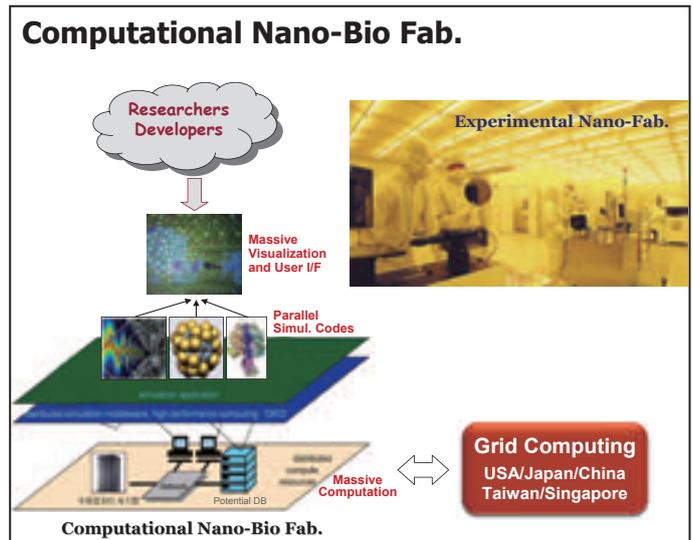


図 3.1.2.2

(4) James Olds

脳神経科学、認知科学に関して、今後必要となる「ツール」について発表した。特に、時間分解能と空間分解能をともに向上した Non-invasive imaging が重要となることを強調した。

(5) Kwyro Lee

ナノファブリケーションセンターを運営する経験から、異分野の研究者間のコミュニケーションをいかに円滑に進めるかが重要であることを述べた。ここでいうコミュニケーションとは、分野毎に異なる表現をどのように共通化ないし翻訳するかであり、そのために、3つのインターフェース (electrical, mechanical, biological) 開発が必要であると述べた。

ブレイクアウト・セッション

3.2 S2. Convergence platforms : Earth environmental scale systems

モデレータ : Hee Chan Cho (Seoul National University, Korea)、
Bruce Tonn (University of Tennessee, US)、甲山 隆司 (北海道大学)
参加者 : Mamadou Diallo (Caltech and KAIST, US and Korea)、
松八重 一代 (東北大学)、中本 信也 (JST)、他 5 名程度

3.2.1 サマリー

このセッションでは、工学、自然科学、経済学といった幅ひろい領域から、地球環境に関する科学技術の現状と今後の発展について議論した。地球環境変化の基本的な理解に立って、低炭素社会の実現に向け、近々では依存せざるをえない化石燃料の有効利用、省エネルギー、鉱物資源の再利用と持続的管理、水資源の確保などについて、人間社会の要請と環境負荷低減を両立させる技術開発の進展方向について議論した。また、社会実装にむけた政策・社会科学の役割、人材教育、社会受容の重要性についても議論した。

グローバルスケールの問題対処に必要な科学技術

化石燃料有効利用の観点からは石炭ガス化技術、省エネルギーの観点からは自動車の軽量化技術（プラスチックの利用など）が代表的な例として挙げられる。セメント産業から排出される二酸化炭素の削減技術も改善の余地がある。エネルギー資源以外の金属資源などについては、採掘・精錬等に伴う環境負荷を低減するための技術、リサイクルの観点から「都市鉱山」から有用資源を回収する技術が必要となる。水資源の確保に向けた海水淡水化の技術も重要である。このような技術において、社会導入に高いリスクを伴わないこと、多くの人に利用可能であることに留意すべきである。

社会実装にむけた政策・社会科学の役割

省エネルギー、省資源に向け、リサイクルや廃棄物削減を促進する社会システムの構築が必要であり、そこでは、科学技術だけでなく政策・社会科学も大きな役割を果たす。その中で、科学技術的解決策の選択肢を提示する科学技術者や選択を行う政治家への信頼感をどう担保していくかが大きな問題となる。

人材育成の問題

日韓米とも科学技術に興味を示す子供が少なくなっているのは大きな問題である。人材を確保するためには、若い女性が科学技術教育を受ける機会をより多く提供し、科学技術分野への参画を促す必要がある。日韓では若い女性の科学技術者としてのキャリアが結婚や子育てにより中断してしまうことが多い。キャリアを再開できるようにする政策的配慮も必要である。

融合領域において活躍できる人材をいかに育成するかも難しい問題である。たとえば、一つの領域で専門家になるためにも多くのことを学ばなければならないなかで、融合領域の研究開発に向けた大学院教育を設計できるか、といった問題がある。スペシャリストと

融合領域で活躍できるジェネラリストとをバランスをもって育成していくのが一つの解かもしれない。学際的な融合領域で活躍できるジェネラリストは少数育成し、スペシャリストは他分野に解放的態度を取れるよう教育していく。

3.2.2 参加者発表

(1) Bruce Tonn

地球規模のシステムとして、炭素、窒素などの物質循環やエネルギー需給システムなどを例示した上で、気候変動、各種資源の確保、インフラの維持・管理といった諸問題を指摘した。これらの問題には人口動態、財政問題、雇用、科学技術への理解不足といった事柄が複雑に絡みあっており、このような問題の解決に向けてNBICをどう統合していくかということ自体が大きな課題であることを述べた。

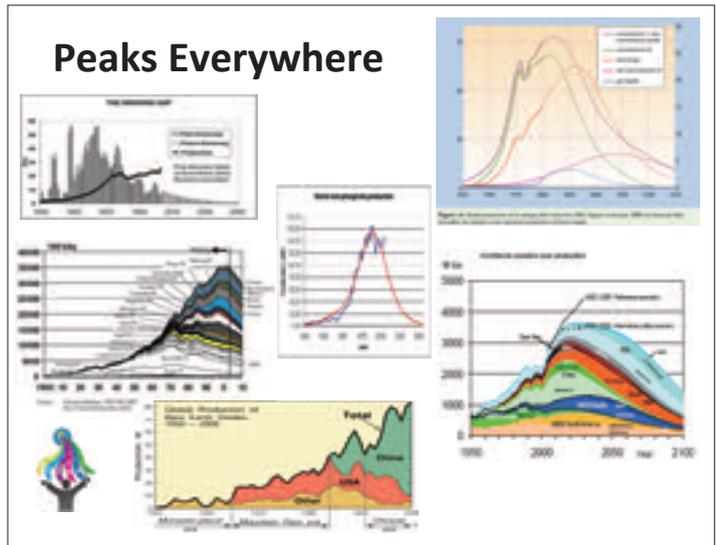


図 3.2.2.1

(2) 甲山 隆司

人間社会の生態学的制約について、植物の純一次生産量 (NPP) の観点から概観した。人口を支える食料供給は NPP に依存していることを指摘した。NPP は緯度のような環境要因のほか、さまざまな社会経済的な属性で左右されることをアジア諸国を例に述べた。

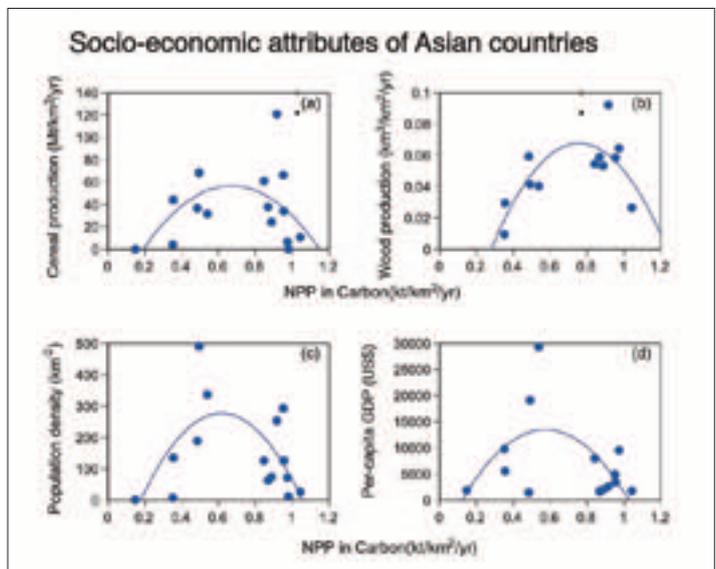


図 3.2.2.2

3.3 S3. Convergence platforms at human scale quality of life

モデレータ：Wong Jong Yoo (Sung Kyun Kwan University, Korea)、
Philip Wong (Stanford University, USA)、河野 剛士 (豊橋技術科学大学)
参加者：Jinyoung Kim (University of Texas at Dallas)、田中 一宜 (JST/CRDS)、
河村 誠一郎 (JST/CRDS) など数名

3.3.1 サマリー

このセッションでは、人間を中心にして考えた場合の、生活の質に影響を与える様々なファクター、例えば、社会インフラ、ヘルスケア、豊かさ、幸福度、地球環境問題から国際協調、教育問題などを科学技術の視点から整理し、今後の方向性を議論した。韓国成均館大学のWong Jong Yoo先生の取りまとめで、先ず河野先生（豊橋科学技術大学）が、Neuroscienceに向けたElectronicsの成果を例にした形で“Statements”を紹介した。その後、Prof. Jinyoung Kim (University of Texas at Dallas, USA)が事前の7つの質問に答える形で“Statements”を詳細に紹介した。その後、Moderatorsを含む参加者全体で事前の7つの質問に対して下記の内容で議論した。

過去10年間のビジョンの変化

- ユビキタス環境の重要性が増してきている。技術のドライビングパワーは、wealth、health、happinessの3つである。またスマートフォンの急速な普及も紹介された。
- ネットワークの進展により情報収集や学術論文提出が容易に出来るようになった。
- 大学の教育インフラの変化：この後も、韓国の参加者からナノテクノロジーを題材にした大学院向けの教育コースの設置に関して紹介があった。但し、いろいろと課題がありそうである。
- エレクトロニクス応用の変化：今後、バイオ側での応用の可能性が大きい。結論としては、バイオサイドとエレクトロニクスサイドのコラボレーションが重要とのことであった。

今後10年のビジョン

- ソフトエレクトロニクスはユビキタス時代に適している。
- ナノテクノロジーのバイオ技術やニューロ技術への応用が発展するだろう。
- ヘルスケアに関しては、フィジカルケアからメンタルヘルスケアの重要性が増すだろう。
- その他、地球温暖化やエネルギー問題が議論された。国際半導体技術ロードマップ委員会 (ITRS) が作成している今後のナノエレクトロニクスのロードマップに関する議論も行われた。

今後10年のゴール

- 産業：市場の早い展開に、各産業や企業が新しい技術を生み出す余力（時間）がない。
- (長期) 安定した企業とこれが生み出す安定した雇用が必要。

- 市場の流動性への対応が鍵となるであろう。

必要なインフラ

- データベース化：ゲノムの成功例を挙げて、各分野でのデータベース化が議論された。ニューロサイエンスの分野では、データベース化の動きは既に始まっている。
- その他、最近の米国内グラントの“Material genome project”が紹介された (Project 内容の詳細は判らないようであった)。

R&D 戦略

- 各分野研究者人口：エンジニアの数が十分かが議論された。地域や市場に各分野研究者の人口が大きく依存しているとのコメントがあった(一つの例はフィンランドのノキア)。
- 異分野間研究：ある特定分野の応用が、まったく別の分野で大きな応用展開の可能性があるため、異分野間での研究を支援する仕組みがあれば良い。
- エレクトロニクス：既存の古典的なエレクトロニクスの応用ではなく、今後大きな可能性のあるバイオ等へのエレクトロニクス応用を支援するファンディングシステムが必要。
- 国際共同研究開発プロジェクト：異国間での研究交流、さらには共同研究をサポートする仕組みの議論があった。これに対し、平等な利点 (ファンディングなど) が得られる事が重要であるとのコメントがあった。一つの成功例として、「Human frontier science project」が紹介された。

重要な項目

- エレクトロニクスのヘルスケアへの応用。
- NBIC(Nano-bio-information-cognitive technology)。
- 大学のカリキュラムの改善が必要：“Convergence”を目標にしたカリキュラムの設定が必要だが、1) 学部レベルでは早すぎるのでは、2) 大学院では就職が不利にならないように、3) 学生の各専門分野の知識レベルが一定ではない等の議論があった。
- その他、量子コンピューター技術の議論もあった。

社会へのインパクト

- フィジカルだけでなくメンタルも対象にした R&D が重要 (wellness, happiness)。
- Convergence technology による病気の治療 (Physical, mental diseases)。
- Convergence technology から“社会的関心”に応える技術を生み出す。
- 社会性に向けたサイエンスやテクノロジーの利用。
- 一方で、私たちは既に“Better life”を手に行っているものでこれ以上必要か? とのコメントもあった。

3.3.2 参加者発表

(1) 河野 剛士

自身の研究内容の紹介 (nano wire sensors や micro wire sensors) と、豊橋科学技術大学と国内の研究機関とのコラボレーションの例を挙げて説明した。コラボレーションは、大学以外にも、産総研や理研などに及んでいる。(図 3.3.2.1、図 3.3.2.2 参照)

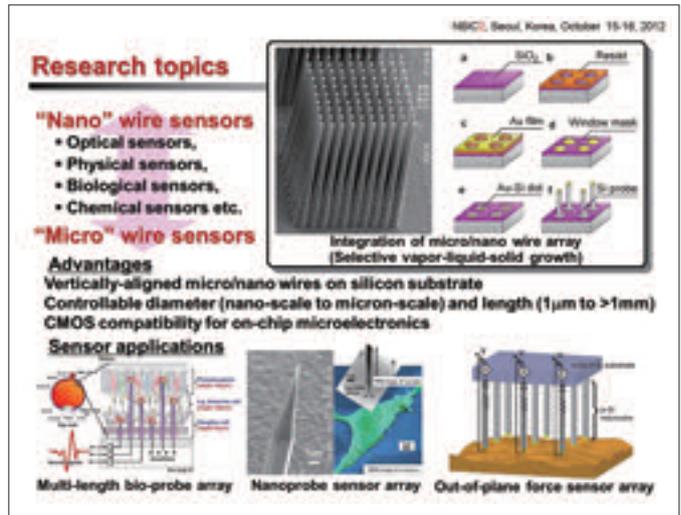


図 3.3.2.1

(2) Jinyoung Kim

事前の7つの質問に答えるで、statements 紹介した。

過去10年間、半導体技術の進歩は目覚しく、その最大の恩恵を受けたのは、モバイル技術である。また、次の5年から10年の将来シナリオとしては、More Moore だけではなく、More than Moore や Beyond CMOS 技術の開発も強化する必要がある。

(図 3.3.2.3、図 3.3.2.4)

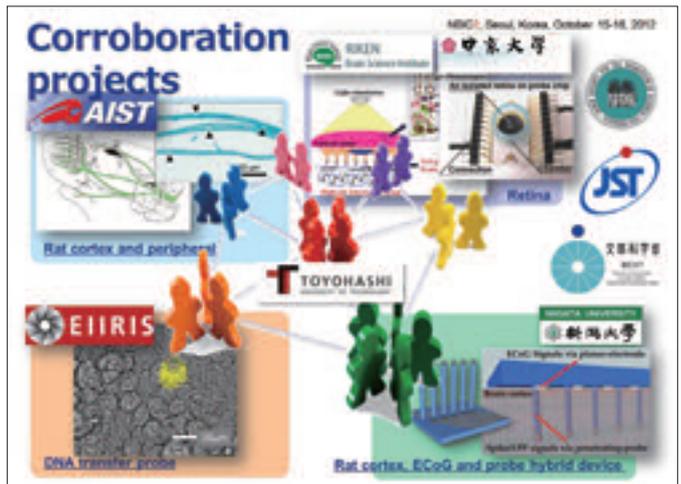


図 3.3.2.2

2. What are the main scientific/engineering advancements and technological impacts in the last ten years?

=> Mobile communications based on incredible advancements on semiconductor technologies

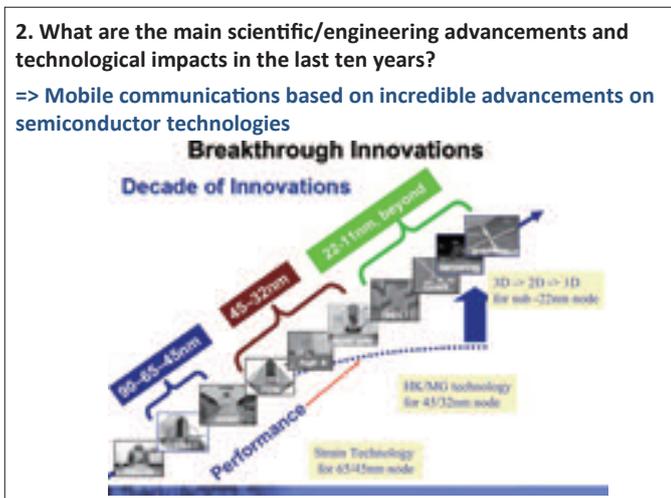


図 3.3.2.3

3. What are the goals for the next 5-10 years and future scenario?

=> More Moore and More than Moore

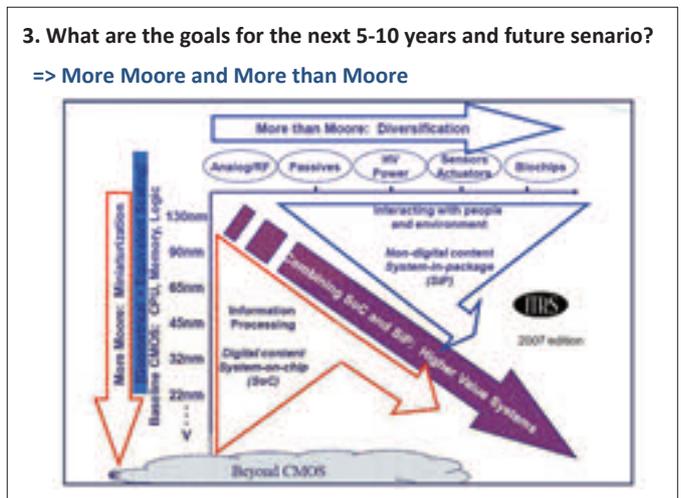


図 3.3.2.4

3.4 S4. Convergence platforms at human scale quality of life

モデレータ：Jo-Won Lee (Hanyang University, Korea)、Mihail Roco (NSF, US)、
藤田 高弘 (NIMS/MANA)

参加者：Sung-Hoon Ahn (Seoul National University, Korea)、
Y. Eugene Pak (Seoul National University, Korea)、
Yoon-Hwae Hwang (Pusan National University, Korea)、
Hak Min Kim (Korean Institute of Materials Science, Korea)、
Anjo Lim (Ajou University, Korea)、
Jian Cao (Northwestern University, US)、
James Murday (University of Southern California, US)、
Andreas Doenni (NIMS)

3.4.1 サマリー

統合化 (Convergence) をどのように実現するかについて、教育や研究の制度の在り方について議論された。その他、各国において現在、例えば材料科学と心理学のような非常に異なる分野を連携しているプロジェクトはあるか、統合化の概念のために新しい大学制度を必要とするか (伝統的な大学制度に基づく学生に、統合化についての考えを届けることができるか)、将来的に人間とロボットの間に関係について正負のどのような面があるか、なども議論された。

過去10年間のビジョンの変化

- 2001年のワークショップにおいて社会を含む4つのNBIC領域すべてを備えた報告書を出版した。
- NBIC 1のビジョンは先導するプロジェクトによって強化された。
- 統合化技術 (CT) に関する出版物は、依然として研究開発の共同アプローチに対して受身なまま。(NBIC 2では俯瞰的なシステム・アプローチが議論されるべき)
- 2001年以来、いくつかの研究 (例：NAS：ミレニアム、社会のナノテクノロジー・センター) が長期的な技術開発、人間の機能向上、および多数の技術を統合する組織を調査した。具体的には、統合S&Tプラットフォームのアドホック的な出現、社会科学の中へのCTの統合 (例：ビッグデータ)、イマージング技術関係の社会的安全性に関するものである。

今後10年のビジョン

- 知識、テクノロジーと社会の様々な領域の全体的な統合化 (率先的、俯瞰的見地)。
- 先例のない発見とイノベーションを加速する統合化の方法を選ぶために、エキスパート・システムを備えたデータベースを構築。
- 重要なドライバーはロボティクス、生体工学であり、人間社会の俯瞰的観点によるロードマップが必要。

- 重要なプラットフォームへの統合を容易にし、またイノベーション（流れの合流点）、改善された製造（ハイブリッド方法、サイバーフィジカルシステム）とすべてのイマージング技術の進歩を容易にする、より高水準の統合化の言語が開発される。
- 個人向けのオンライン生涯教育は、神経科学、コミュニケーション、心理学、学習の理解における進歩とに合わせる。より高頻度で S&E が更新される。
- CT が影響を及ぼす社会と大きな問題に集中。（自己制御的な統合化：例えば専門家コミュニティ、NGO など）
- 俯瞰的視点によるガバナンスの変化。
- 地球システムの観察手段とシミュレーション。

過去10年における進展

- いくつかのプログラムと組織 (NSF の支援したセンター、EC プログラム、ロシアの Kurchatov センター、IMEC によるバイオ-ナノ-認知科学、インドの CT センターなど) が、NBIC 1 報告の後に続いた。しかし、NBIC のエリアのうち、2つ、多くても3つの領域統合に留まっているし、俯瞰的見解はない。
- ナノテクノロジーは、ほとんど全ての科学分野の効果的なツールや基礎になった。
- 快適で着用できるセンサーやコンピュータは、健康状態、環境、化学汚染物質、潜在的危険、天然資源、ローカルビジネスについての情報などに関する知覚を強化した。

今後10年における目標

- エキスパート・システムのために S&T プラットホームの形成。
- 統合化された S&T アイデアを促進する新しいファンディング・メカニズム。（例えば、正式な提案形成より前のアイデア・インキュベーションのための方法）
- 人とアイデア、技術を結びつける組織的で最適化されたアプローチ。
- ネットワークの視覚化：異分野との協同により利益を得られる分野を特定できる技術。
- グローバル研究開発投資利用モデルの国際的共有。
- 分散型で複合型製造のための方法。
- 顕在化していない個人や社会的な要求を見つけて解決する新しい方法。
- 統合化に関する新たなジャーナル。
- コンバージェンス・アプローチのポートフォリオの作成
- システム方法の改善：システム科学アプローチ、統合のための進化のアプローチ、データとエキスパート・システムセットの統

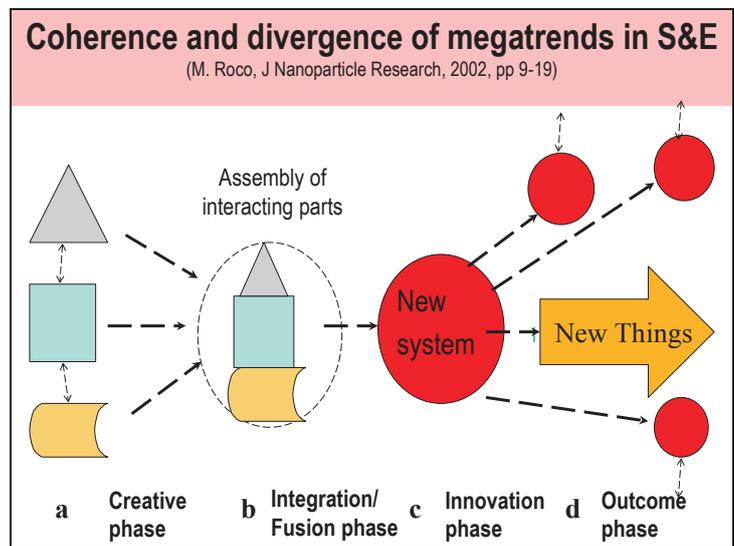


図 3.4.1.1

- 一、視覚化ツールー統合した教育によるネットワークの形成、研究開発のためにニーズとシーズを結びつける組織、リバーズエンジニアリング
- 創造的段階の改善：オープンな協同、学際的な教育、研究・開発・応用における NBIC フラクタル・パターン。
- 統合／融合段階の改善：広い層に基盤を持った S&T プラットホームの構築、サイバーフィジカルシステムの考え、互換的な製造のアプローチ、統合のためのインフォマティクス
- イノベーション段階の改善：オープンイノベーションおよびガバナンス
- 成果創出段階の改善：社会における成功の基準の再評価、共通の価値とゴールの追求、ユーザー志向のアプローチ、特定の利益のために統合化に焦点を当てたトップダウンのガバナンス、独立独行のコミュニティにおける自己制御型の統合化

求められるインフラストラクチャー

- 専門ネットワークとコミュニケーションのためのツールの作成（人々とコミュニティの統合のためのシーズ・ファンディング）
- 大学、産業、政府組織の情報システム
- 製造のためのハイブリッド・クラスター施設を可能にする、コミュニケーションと仮想現実のための装置
- 大学研究所の若返り（教育の初期のカリキュラムの変更）
- コンバージェンスバスのような移動展示

R&D 投資と実行の戦略

- 統合化の側面を含むため、プロジェクトの「より幅広い影響」の必要条件を再考（例えば、教育的な影響だけでない製造容易性）
- 「サイエンスのための科学」プログラムを「ガバナンスのための科学」に拡大して拠点化
- 学際的な研究を進めるために NNI レッソンの延長
- 個人教育に対し、より効果的なステークホルダー貢献を生むメカニズム
- すべての S&T ジャーナルへのオープンアクセス（統合化技術の進歩を促進。IP 問題の解決が必要）
- 教育のより幅広いインタラクション

注目するトピックスと優先順位

- 持続可能な発展のための独立型コミュニティ
- 学際的な協同のためのプラットフォーム（ホスト・コミュニティと資源、専門知識の共有。例えば、多様な S&T コミュニティに貢献しているポータルサイト）
- 現実的な課題解決型研究のグランドチャレンジ（脳を模倣した神経デバイス、デジタル・分散製造、地球規模の問題への対応、個人健康・教育）
- 幸せの追求による人生の充実
- ハイリターンな分野で価値を強化し、危険を減らす国際協力

3.4.2 参加者発表

(1) J.W. Lee (Korea)

ナノテク、バイオ、情報通信、認知科学の統合化による人間や生活がどのように変わるか、コンピュータなど電子機器、電子デバイスの進展を元にその可能性を示した。

- NBIC の研究開発の焦点は、認識技術（ニューロン）を利用した人間の身体的、社会的、精神的な強化のための複雑なナノ・システムへ移ることを想定した。2004年、NSF (Roco) による「人間の Cognome プロジェクト」は、20 の必要な研究開発項目をリスト化した。それらの多くは、まだ実現されていない。
- 10~20 年で、グリーン、インテリジェントな社会。
 インテリジェント・ライフ：リアルタイム入出力とコミュニケーション
 グリーンで幸せな生命：身体のリアルタイム・センシングとフィードバック（ホームドクター）。

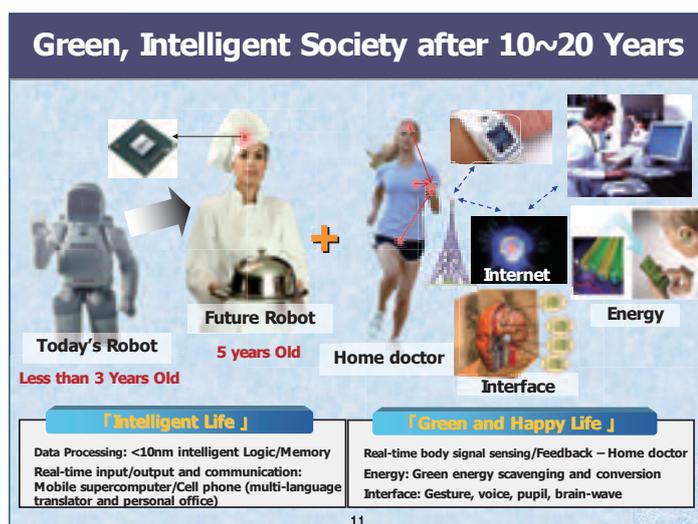


図 3.4.2.1

(2) 藤田 高弘

物質・材料研究機構の国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 (MANA) では、ナノアーキテクトニクスの5技術に基づいてナノマテリアル、ナノシステム、ナノパワー、ナノライフの4分野で融合的な研究を進めている。MANAにおける「融合」促進の取り組みは次の通りである。

- 多国籍研究者による「メルティングポット」となる
- リスキーで挑戦的なテーマを誘発するようなプログラムを作る
- 異分野の研究者が遭遇する場や機会を提供する
- 持続的なフォローアップで進捗をみる

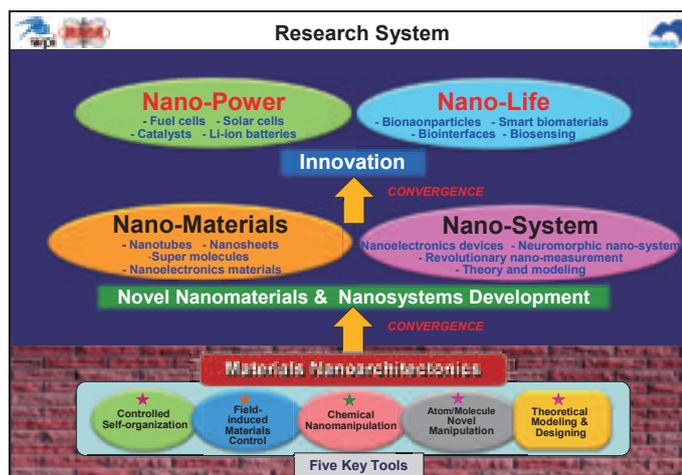


図 3.4.2.2

(3) James Murday

2020年の教育のゴールについて、下記のことを指摘した。

- ・ 学生の学びモードに合わせられるデジタル教育により、すべてのレベルにおける個人に合った教育。
実現のための障害として、現行システム、気力、コスト等がある。
- ・ 統合化技術に関する科学と工学は、実際の活動でK-12に統合。
障害として次世代スタンダードのビジョンや教育者教育の欠如がある。
- ・ K-14教育者の効果的教育。
障害は、教育の研究から広範囲にわたる普及に向けた翻訳プログラムがない。(科学・工学の不十分な教員養成)
- ・ ナノ科学の学士号。
障害としては、不確実な需要、部門のたこつぼ化が挙げられる。
- ・ 統合化技術教育のバリアの除去。
- ・ 統合化技術についての効果的教育。
市民を受け入れるようにするために、戦略が必要である。(社会受容と科学コミュニケーションについての知識を高めて広めるセンターやネットワークの欠如)

3.5 S5. Human health and physical potential

モデレータ：Robert Urban (Massachusetts Institute of Technology, US)、
一木 隆範(東京大学)、Kyu Back Lee (Korea University, Korea)

参加者：Keon Wook Kang (Seoul National University, Korea)、
Young Keun Kim (Korea University, Korea)、
Ick Chan Kwon (Korea Institute of Science and Technology, Korea)、
Kuiwon Choi (Korea Institute of Science and Technology, Korea)

当該分野での成功事例とビジョンを集めることを目的として、US モデレータの Dr. Urban が一例としてがんの革新的検出と治療 (MIT の事例) について述べた後、出席者がショートプレゼンを行い、各出席者から示されたテーマについて重要なポイントや課題などを具体化する議論を行い、サマリーのスライドを完成させた。

ナノテクとバイオテクの融合による統合化には世界中で既に実績があり、多くの具体的な将来ビジョンが提案され、以下ではビジョン毎にまとめる。

3.5.1 サマリー

ガン・ワクチンのためのナノ材料

今後 10 年の展望としては、コアシェル粒子やナノテクノロジーによるワクチンの開発効率が向上する。統合化技術のツールとしては、下記のもものが挙げられる。

- ・ 樹状細胞のマイグレーション過程を調べるための画像診断法。(ZnO/Fe₂O₃ のコアシェルナノ粒子を用いた樹状細胞ワクチン療法)
- ・ 毒性プロファイルの明確化
- ・ 「安全プラットフォーム」による材料技術開発を促進
- ・ 多機能・生物適合性のナノ・プラットフォーム
- ・ 個々人に対応した抗原
- ・ 毒性学、データベース及びシミュレーションを含む研究チーム構成
- ・ 非経口製剤

オーダーメイド医療のための Theragnosis (診断・治療統合)

今後 10 年の展望としては、遺伝学の利用は臨床応用に急速に広がっていくが、遺伝学だけでは不十分であり、表現型 (Phenotype) に対するタンパク質ベースのツールが求められる。統合化技術のツールとしては、下記のもものが挙げられる。

- ・ 薬物設計は遺伝子型ではなく、分子イメージングに基づくべきである
(90% の薬は 40% の患者にしか効かないという例もある)
- ・ イメージングを用いた酵素ベースの診断・治療
(例 1：カスパーゼを用いたイメージングまたは葉酸受容体を用いたプローブ、
例 2：アポトーシス介在信号に基づく増幅ループ型 DDS)
- ・ 表現型のイメージングと薬物送達の統合

- ・ 新しい開発パラダイムを容易にするために個々のレベルでの規制の変更
- ・ 個人化だけではない個別化治療

人間の強化

今後 10 年の展望としては、技術の統合化によって、生産性の改善と楽しみが増える。これに関する事柄としては、下記のもの挙げられる。

- ・ 我々の機能を強化することは、メガネ、歯、補聴では新しい
- ・ 人間 3.0：健康、楽しい、便利
- ・ O₂ キャリヤーナノ粒子による血液代替物
- ・ 通常の人間の能力を強化 – 「600 万ドルの男（米国テレビ番組）」
- ・ 社会の関心に沿った早期のニーズ把握

デバイスとバイオインスパイアード (Bio-inspired) ナノマシンが統合されたシステム

今後 10 年の展望としては、システムとして検出、診断、治療が完全に統合化される。これに関する事柄としては、下記のもの挙げられる。

- ・ バイオ MEMS による細胞機能の非侵襲測定
- ・ 多様な分野が集まって広く協力する体制が必要
- ・ 透明な窓とインターフェースの利用による追跡記録
- ・ 高齢化社会における高コスト医療の対策に有効

ナノテクノロジー利用の構造により幹細胞機能を最適化

今後 10 年の展望としては、細胞療法に関連して再生医療のゴールが実現される。これに関する事柄としては、下記のもの挙げられる。

- ・ 望む方向へ幹細胞成熟/分化を誘導するためのナノ構造の構築
- ・ サイトカインなどの必要性の除去
- ・ ナノ構造をもつ人工足場により、幹細胞の成長、分化を制御
- ・ RNAi、マイクロ RNA、ホルモン類、物理的/生物学的/化学的信号を用いた相乗効果の高い治療
- ・ 幹細胞または iPS の使用による倫理的制約の緩和
- ・ 材料科学者、生物学者、物理学者、エンジニアによって制御可能なナノ構造表面を含む足場の作製

健康に関連した統合化技術のための専門センターの展開

今後 10 年の展望としては、急速な人口分布変化に対処するための国家ニーズに基づくセンターの創設がある。これに関する事柄としては、下記のもの挙げられる。

- ・ グローバルネットワーク、多様性、臨床
- ・ 専門家の動員に関するハイレベル協議
- ・ 医学と工学の学生や研修生の集積
- ・ 人材交換プログラム
- ・ 医療専門家とのパートナーシップ

- ・ 空間共有／共同作業チーム
- ・ フォーカス・エリアの例：障害者個別支援、コンピュータ支援外科手術、生分解性次世代材料
- ・ 研究機関におけるインセンティブの再設計
- ・ コラボレーションのためのプロトコル

共通項目

上述のビジョンに対する共通の項目として、下記のものが挙げられた。

- ・ 早い段階で社会の利害関係者を議論に加えることが必要（具体的には、哲学者、社会学者、政治家、財界人、宗教指導者、患者、経済学者、教育者など）
- ・ すべての立案活動にロバストな ROI を導入
- ・ チーム型の研究や分野統合の文化の育成

3.5.2 参加者発表

(1) Prof. Young Keun Kim

ZnO/Fe₂O₃ のコアシェルナノ粒子を用いた樹状細胞ワクチン療法について紹介。

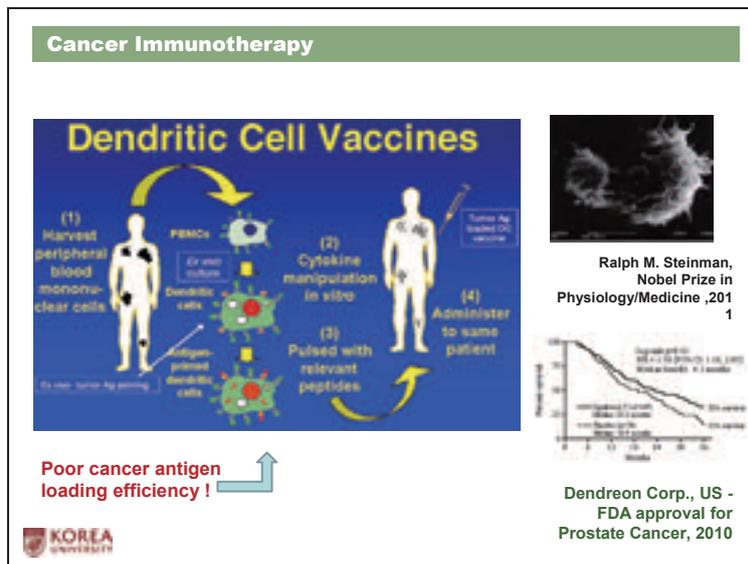


図 3.5.2.1

(2) Dr. Ick Chan Kwon

DDS と病気の状態をセンシングするプローブ（ペプチドや酵素などを利用）によるイメージングを組み合わせる「Theragnosis for Personalized Medicine via Imaging」について説明した。

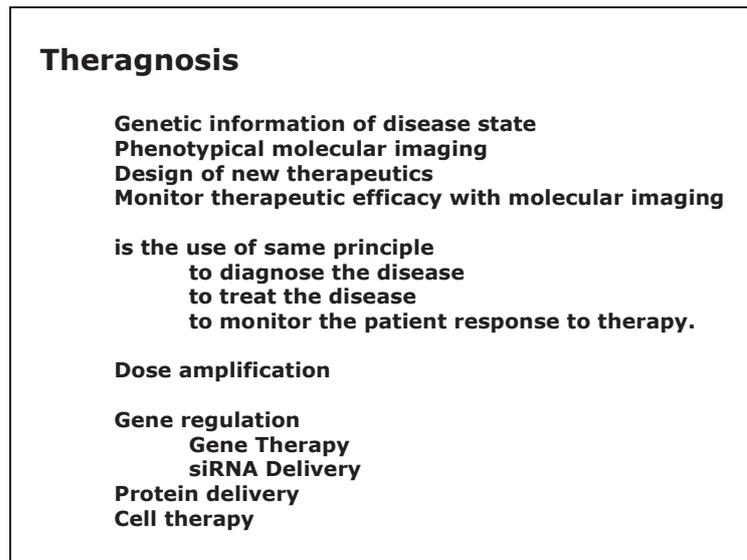


図 3.5.2.2

(3) Prof. Keon Wook Kang

統合化技術を利用して人間の機能を強化するHuman3.0と称するHuman enhancementのコンセプトについて紹介した。

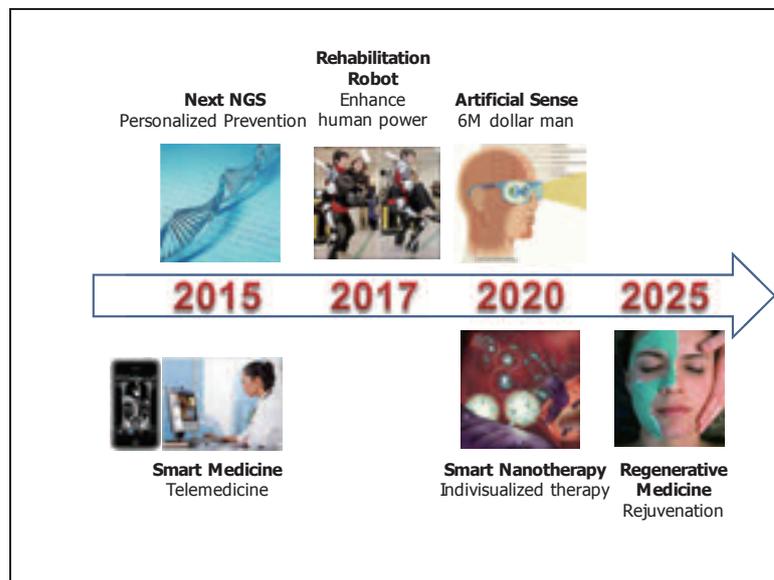


図 3.5.2.3

(4) 一木隆範

東大ナノバイオインテグレーション研究拠点を例に、この分野の統合化技術について説明した。生体に学んだナノデバイスやトップダウンテクノロジーによるデバイスを統合してシステム化するコンセプト、検出、診断、治療の三位一体となったナノ医療技術のコンセプトを紹介した。また、多様性をもったメガクラスターによる共同研究の重要性、高齢化社会の課題解決に繋がることなどを紹介した。

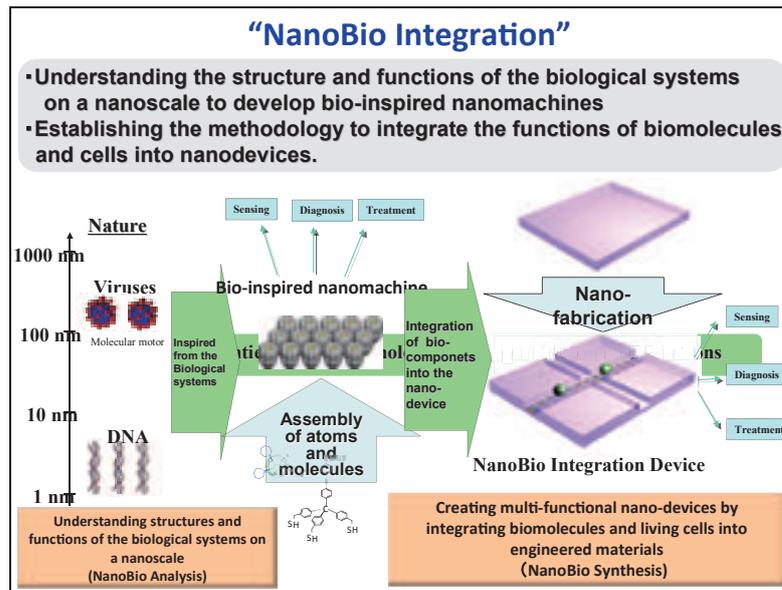


図 3.5.2.4

(5) Prof. Kyu Back Lee

ナノ構造をもつ人工足場により、サイトカインなどを用いずに幹細胞の成長、分化を制御する可能性について紹介した。将来の細胞治療、再生治療に繋がる技術と位置付けている。

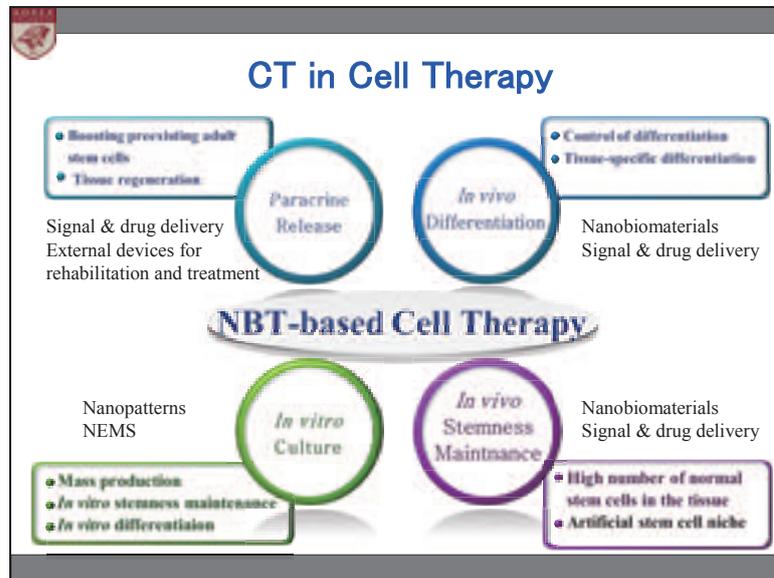


図 3.5.2.5

(6) Dr. Kuiwon Choi

KIST にある Biomedical Research Institute の組織について紹介。

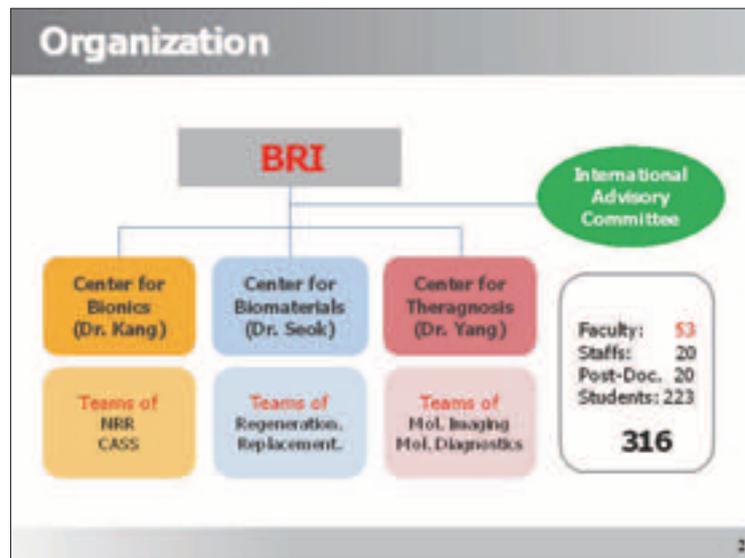


図 3.5.2.6

3.6 S6. Human cognition and communication and quality of life

モデレータ：Myung-Joon Kim (Electronics and Communications Research Institute, Korea)、
James Olds (George Mason University, US)、
川人 光男 (国際電気通信基礎技術研究所)

参加者：Young Jik Lee (Electronics and Communications Research Institute, Korea)、
河野 剛士 (豊橋技術科学大学)、一木 隆則 (東京大学)、中本 信也 (JST)、他 5
名程度

3.6.1 サマリー

このセッションでは、ICT、脳・神経科学（特に、ブレイン-マシンインタフェース (BMI)）を中心に議論が進められた。James Olds、川人光男両氏が Plenary Session で発表を行っていたことから、Myung-Joon Kim が 7 つの質問事項への回答を紹介した後、全体議論とまとめを行った。

過去 10 年間のビジョンの変化と今後 10 年のビジョン

過去 10 年においては、ICT の進展により低コストで知識・情報の獲得が可能になった。一方、韓国では認知科学や神経科学が社会的便益の提供にそれほどつながっているとは言えず、ソフトウェアやコミュニケーションへの重点化が進みつつある。日本では脳科学に研究開発投資が行われ、脳卒中患者の機能回復などハードウェアとソフトウェアとの統合が必要な領域において、核となる成果が出ており、精神疾患への対応なども射程に入りつつある。

今後 10 年で BMI 普及が進むと予想され、人間の「進化」促進に向けた様々な領域の統合が目標となるであろう。その中でグローバルな安全保障の追求、さらには、高齢化社会における「人生の意味」といった問題が取り上げられることになるであろう。

過去 10 年における進展

韓国では、IT 研究者と医学研究者、臨床医との連携が進展した。また、Seoul National University の Advanced Institute for Converging Technology を中心に医薬品開発に向けて分子生物学とハードウェア技術との融合が図られ、多額の資金による学際的研究が進展している。

日本では iPS 細胞の創出を契機に再生医療の研究が活発化した。BMI の医療応用にも進展がみられている。

今後 5 年から 10 年における目標

韓国では、テロに対する国家安全保障、技術のデュアルユース、高齢化社会への対応が求められる。さらに高齢者の生きがいといった問題への対処も求められる。技術的には認知ロボットの開発、人間-ロボット間の相互作用の研究が重要となる。

日本では神経・精神疾患の治療が一つの目標であろう。この問題は世界的にも大きな経

済的損失をもたらしている。BMI デバイスの大量生産によるコストダウンが普及の鍵となるであろう。

このほか、ゲノミクスなどライフサイエンス分野へのグラフェンの応用、インターネットの教育分野への有効活用が目標として挙げられる。

必要なインフラ

Convergence Technology へのファンディング方法を、学際分野の研究開発提案をどう評価するかを含め検討する必要がある。Convergence Technology の成果が社会受容されるためには、この分野の研究者が社会や教育・医療関係者との良好なコミュニケーションを保つことが重要である。また、デジタルデバイドの問題や倫理上の問題など社会受容上問題となる事項の解決を図り、社会からの信頼を得ることが大切である。そのためには、Convergence Technology の社会実装が人間関係に及ぼす影響などを社会科学的に分析しておく必要もある。

R&D 戦略

社会からの要請、社会にもたらし得る便益を十分に考慮した上で、解決すべき課題へのアプローチを明確にし、研究開発投資を実施すべきである。拠点形成などを通じて、関連分野の研究者が一体となって研究開発を進められる環境を戦略的に整備していく必要がある。

3.7 S7. Societal collective outcomes, including manufacturing and innovation, robotics, and long-term societal development

モデレータ： Hak Min Kim (Korea Institute of Materials Science, Korea)、
Jian Cao (Northwestern University, US)、
阿多 誠文 (産総研)

参加者： Eungsug Lee (Korea Institute of Machinery and Materials, Korea)、
田中 一宜 (JST/CRDS)、河村 誠一郎 (JST/CRDS) 他数名

3.7.1 サマリー

このセッションでは、製造技術、イノベーション、ロボティクス、ヒューマンインターフェースなど、社会実装に関する成果と、特に長期に亘る研究開発の成功例などが議論された。また、Convergence 技術の有用性についてもいくつかの実例が紹介された。

セッションチェアの Dr. Cao によるイントロダクションに続き、これまで 10 年間の成果や今後 10 年の予測などを行うための話題が提供された。まず KIMS の Hak Min Kim 氏より、韓国における NBIC Convergence の取組みの状況について報告が行われた。Jo-Won Lee 氏のウェルカムアドレスで触れられたとおり、韓国は論文数などでもうすでに世界の第 3 番目のナノテク国家であること、材料からロボティクス、ヒューマンインターフェイスといった広範囲にわたるナノテクノロジー研究が展開していることなど、今日の韓国のナノテクノロジー研究開発が概観された。また韓国は IMF 危機の後、世界に先駆けてブロードバンドネットワーク社会を築き上げたこと、バイオ関連の研究開発にも積極的に取り組んでいることが、具体的事例を挙げながら説明された。特筆すべきことは、ソウル大学をはじめとする多くの公的研究機関で、Convergence を冠したディビジョンやセンターを発足させ、そのプロモーションにも積極的に取り組んでいることである。ブレイクアウトセッションの取りまとめの際には、ソウル大学の Graduate School of Convergence Science and Technology のなかでの Nano Science and Technology プログラムなどのプロモーションビデオが紹介され、Convergence の重要性が強調された。

韓国で Convergence という名前の組織ができ始めたのは数年前にさかのぼる。以降多くの機関でナノテクノロジー研究開発の現場における NBI+ α Convergence の重要性が認識され、組織の改組が進められてきた。同時にファシリティの効率化や最新設備へのアップデートも進められ、そのような枠組みのなかでロボティクスやヒューマンインターフェイス機器などの最先端分野の研究開発が進められている。対して日本ではナノ融合という言葉は広く使われていても、NBIC Convergence という言葉はほとんど認識されていない。このことから、セッションの取りまとめにも今後の課題として、NBIC Convergence の Dissemination (種まき) という一文を入れてもらった。このあたりの温度差にも、韓国らしさ、日本らしさが出ている。

日本からは阿多氏が、セッションタイトルと同じ講演タイトルで、ナノテクノロジー研究開発と投資の現状、IT技術の基盤としてナノテクノロジーの応用が広がっている事実などを紹介した。バイオ関連の現状に関しては、科研費の新学術領域 Engineering Neo-Biomimetics (生物規範工学) と略している “Innovative Materials Engineering Based on Biological Diversity” が発足し、10月2日にキックオフ会議を行った事、その翌週の10月9、10日両日にわたって Berlin のドイツ規格協会 DIN において、ISO/TC 266 Biomimetics の第1回総会が行われた事実等を簡潔に報告した。また、日本における long-term societal development の例として、炭素繊維と二酸化チタンを紹介した。とりわけ最近産業応用が急展開している炭素繊維複合樹脂技術については、最初に商品化された1970年頃から数えて40年以上の長い研究開発の積み重ねの上で展開している事実、オープンイノベーションという価値観のものさしでは評価しえない研究開発も日本には存在する事実を述べた。

日本からの話題のなかで ISO/TC 266 Biomimetics の動きについて触れたが、ここでバイオ関連事項の国際標準化について整理しておく。2005年にナノテクノロジーの国際標準化 ISO/TC 229 Nanotechnologies が発足、活動を開始してすでに7年が経つ。この間多くの議論が重ねられ、国際規格もできた。NBIC Converging Technology の展開という視点で今後の研究開発と産業化の展開を考えると、必然的にバイオ関連分野の国際標準化が必要となる。上述したように ISO/TC 266 Biomimetics が活動を開始したが、バイオテクノロジーの国際標準化も準備が進められており、早晚活動を開始することになる。

バイオ関連科学技術の国際標準化の重要性については、アジェンダ最後のリマークのところで NSF の M. Roco 氏も再度言及した。韓国、中国は ISO/TC 266 Biomimetics のプロジェクトメンバーとして積極参加の意向を示したものの、韓国は若い研究者が一人だけ参加し、中国は代表団を送り込んでこなかった。アメリカもまだオブザーバーメンバーのまま、様子見といったところである。韓国 KIST での NBIC2 に引き続き、中国で開催された NBIC2 で、バイオ領域の国際標準化の重要性が、中国、インド、オーストラリアといった国々に周知され、標準化のナショナルボディとバイオ関連学会との話し合いが進めば、ISO/TC 266 Biomimetics が今後大きく展開することも考えられる。

以上の議論を踏まえたセッションのまとめは下記のようになる。

今後10年間のビジョンについては、システムレベルのバイオミメティックの進展、新しい製造技術への自己組織化手法の導入、IT技術を駆使した製造技術の発展、個々人に適した教育モデルの検討などがあげられる。これらを実現するにあたっての課題は、例えばロボティクスの発展や、社会科学の手法を取り入れたりすることで解決可能であろう。今後の研究開発の戦略では、ニーズドリブンの戦略を考えること、デザイナー、エンジニア、生産者のグローバルな協調、政治家への説明を通しての理解促進、一般国民の理解度向上などが鍵となろう。

3.7.2 参加者発表

(1) Eungsug Lee

Convergence Technology の有用性の一つは、これによるシナジー効果により、IT、BT、NT の個々の技術の限界を超えたものが達成できることである。例えば IT と NT の融合により、ナノセンサー、ナノエレクトロニクス、ナノフォトニクス、量子コンピュータの実現が可能になる。NT と BT の融合により、ナノバイオセンサー、人工組織、DDS が可能になる。BT と IT の融合から、バイオインフォーマティクス、バイオコンピュータなどの実現が可能になる。

韓国の過去 10 年間のナノテックの進歩を表すものの一つが MOST (科学技術省) による「21 世紀フロンティア R&D プログラム」である。このプログラムでは、材料からプロセス技術、デバイス技術開発までを行い、この分野の先進国になる礎を築いた。同時にナノテックのインフラも構築できた。それに続く「Global Frontier R&D プログラム」は、9 年間の長期プログラムであり、2 年+3 年+4 年となっている。年間 10 から 30 MUS\$ が投じられる。2010 年に選ばれたセンターは、ソウル国立大学、KAIST、KIST の 3 つであり、2011 年には、さらに POSTECH が加わった。今後のナノテックの研究開発は、社会課題の解決とグローバルトレンドに沿ったものであるべきで、経済成長、雇用創出、国家安全、エネルギー問題解決を目指さなければいけない。これらの要求を満たすプロジェクトとして、2012 年から「Nano-convergence 2020 プログラム」を開始した。

MEST と MKE が担当省庁となり、2012 年から 2020 年までの 9 年間で、総予算は \$440 M を予定している。そのうち政府支出が \$ 370 M、民間支出が \$70 M である。

研究開発領域としては、NT-IT の Convergence 分野として、Post CMOS、フレキシブルエレクトロニクス、NT-ET の Convergence 分野として、高効率エネルギー変換技術の開発および水と環境、資源の高効率利用が選ばれている。共通基盤技術としては、ナノ製造技術のインフラ整備、ナノ材料研究開発、新しいナノテック産業に資するナノプロセス、ナノ計測開発などが上げられている。

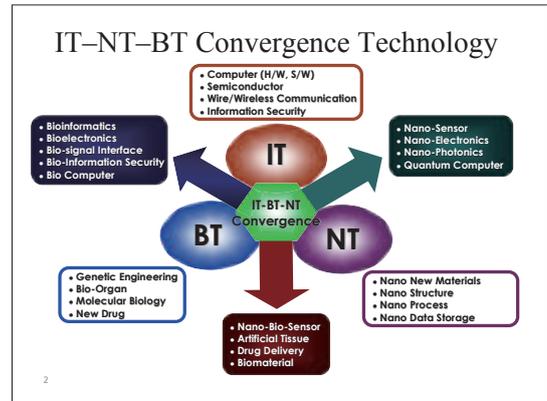


図 3.7.2.1

Nano-convergence 2020 Program	
Project Name	"Nano-convergence 2020"
Responsible Ministries	MEST & MKE
Purpose/Vision	Creating New Industries and Markets through the Commercialization of Nano-Convergence Technologies
Project Duration	2012-2020 (9 years)
Total Budget	\$13.0 B KRW (Gov't: 432.2 B, Private: 80.8 B) = 440 M US\$ (Gov't: 370M, Private: 70M)

図 3.7.2.2

Research Fields for Nano-convergence 2020 Program		
Category	4 Main Core Technologies	No. of Sub-projects
Two Important Converging Technology Fields	① Next-Generation Semiconductor Devices : Post CMOS	24 ea
	② Flexible Nano-Devices	29 ea
	③ High Performance Energy-Transformation Techs	37 ea
	④ High Performance Water/Environments/Resources Treatments	25 ea
Common Base Technologies	> Key technologies related to infra of nano manufacturing, nanomaterials and nano process/measurement which are essential for the new nano industry. > Common tech. for above nano-convergence tech field.	

図 3.7.2.3

3.8 S8. Preparation of people and physical infrastructure for converging technologies (education and training, public perception and participation ; types of infrastructure supporting nanotechnology, focus on particularities as compared other fields)

モデレータ : Jim Murday (University of Southern California, US)、
Kwiro Lee (National NanoFab Center, Korea)、竹村 誠洋 (NIMS)

参加者 : Mark Lundstrom (Purdue University, US)、
Yoon-Hwae Hwang (Pusan National University, Korea)、
魚崎 浩平 (NIMS)、馬場 寿夫 (JST)、他

3.8.1 サマリー

このセッションは、教育、トレーニング、国民の理解・参加などナノテクをサポートする人や物のインフラに関するものであり、3人のモデレーターがそれぞれ、NNIN、ナノテクプラットフォーム、NNFCでのインフラや教育についての発表、参加者のスパコン/計算インフラなどの紹介に引き続き、7つの質問に対して、(物理的な)インフラと教育に分けて討議を行い全体をまとめた。

過去 10 年間のビジョンの変化

[インフラ]

ユーザーが使える施設が整備され、大学のユーザーが良く使うようになった。今後の課題としては企業の割合を増やすことにある。特に日本はナノネットの課金システムとして、課金無しにするためには結果を公表する必要がある、企業としてはやや使いにくくなっていた。また、NEON (National Ecological Observatory Network) のような大規模な地球環境観測システム開発で用いられる試験用プラットフォーム (テストベッド) の必要性も指摘された。

[教育]

オンライン、デジタル、3D、リアルタイム、インタラクティブという言葉に代表されるような、デジタル技術を活用したオンラインによる教育が登場した。また、多くの学術分野に跨る学際的なものが普通に受け入れられるようになった。

今後 10 年のビジョン

[インフラ]

高性能スパコンを含む形で共用センター間に高速・リアルタイムのインターネット接続が整備されること、その中で3次元ディスプレイが使われること、高速インターネット接続網と高速データアクセス活用の市民科学 (Citizen science) が出てくると予想される。

[教育]

いろいろな教育資源に対するアクセス方法としてデスクトップコンピュータからモバイル機器に変わっていくと考えられる。また、これまでの学際的なものから、古い構造を置

換する形で統合が進められ、この科学技術の統合を反映して（学部の報酬システムを含めて）新しい組織構造の大学になるであろう。

過去 10 年における進展

〔インフラ〕

質の高いナノテク施設およびサービスが整備され、スキルの高いオペレーターによる施設の効果的な利用ができるようになり、利用する機会が増えたことが最大の進歩であった。ただし、統合化の観点から言えば、その促進のために工夫の余地がまだある。

〔教育〕

大学におけるナノテクのプログラム、韓国の大学における統合技術のプログラムが作られてきた。しかし、ナノテクや統合技術はまだ一般には浸透度が高いとは言えず、それらで学位を取得したとしても企業からは十分な信用を得ることは難しく、ふらついている。従来の学問分野（学科）にカッコ付きで、電子工学（ナノテクノロジー）などのように表記する程度が妥当ではないか。

今後 5 年から 10 年における目標

〔インフラ〕

インフラ施設が自立して継続していくための良いモデル、複合的なプロセスが可能で研究者間のコミュニケーションが良好な施設の構築を目指す。

〔教育〕

異なる分野の統合技術に向けて大学組織間のバリアを低くすること、統合技術に関するカリキュラムや教科書を常に最新の状態にしておくこと、個人対応の教育として個人の適切なプログラムや教育のモデルを決めるシステムの構築、オンラインコースに関して試験のための地域のテストセンターや生徒の相互交流を図るオンラインフォーラムのような仕組みの構築、3次元ディスプレイによる仮想実験・製造・製品化が目標となる。

R&D 投資と実行の戦略

〔インフラ〕

予算配分において複数の省庁がより良い連携をすること、継続的な運転・運営や設備更新のためのファンディングをすること、研究と小規模な製造によるビジネス開発ができること、地球科学に用いるような大規模なシステム構築に向けたテストベッドを作ることが必要である。

〔教育〕

統合技術プログラム（例えば、韓国の WCU(World Class University)、日本の WPI）のための政府のファンディングプログラム、3次元ディスプレイや双方向インターネット、コンピュータ・ゲーム用に開発した技術の利用が重要である。また、子供たちに自然科学に対する関心を持たせるべく、コンピューター・ゲームなどの活用も有効であろう。

注目するトピックスと優先順位

1 番目に個人に合った教育、2 番目は「Nature」や「Science」に匹敵する統合技術の論文誌の発刊、3 番目は統合技術に関する専門的な学会の創設が挙げられた。

社会貢献

社会への貢献としては、統合技術に関する利益とリスクについて見識ある判断ができるようになることや、これを踏まえたイノベーションに対する国民の受容（理解）のための EHS 研究の進展、統合技術に由来するイノベーションのより早い商品化、新たな産業の創出と雇用の創出が挙げられた。

3.8.2 参加者発表

(1) Jim Murday

ナノテクや複数の分野のキーワードを含む論文の増加の図を示した後、ワシントンで開催した Breakout Session での結果を示紹介した。

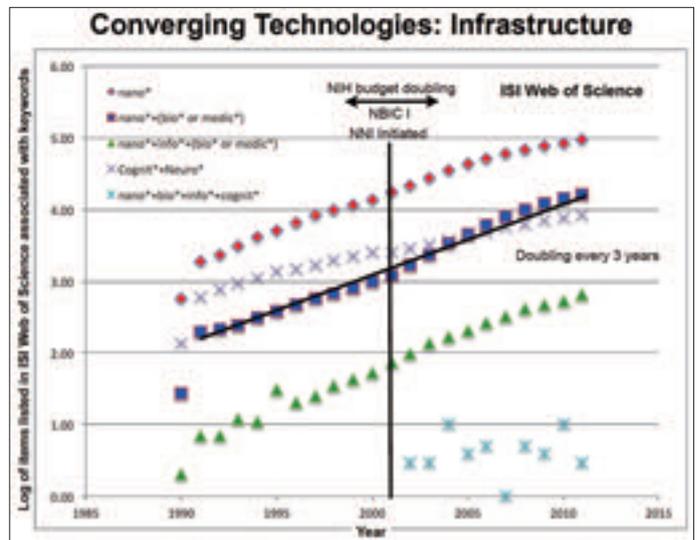


図 3.8.2.1

(2) 竹村 誠洋

今年度から新たに始まったナノテクプラットフォームの運営や共用施設、これまでのナノテクネットワークでの産官学の利用ユーザー数の年次変化、世界との協力関係について紹介した。

(3) 魚崎 浩平

スパコン「京」などハイパフォーマンスコンピューティング (HPC) リソースを効率的に利用できるようにしている HPCI (High Performance Computing Infrastructure) と、計算物質科学により新物質・エネルギー創成を進める研究ネットワーク拠点である計算物質科学イニシアチブ (CMSI) について紹介した。

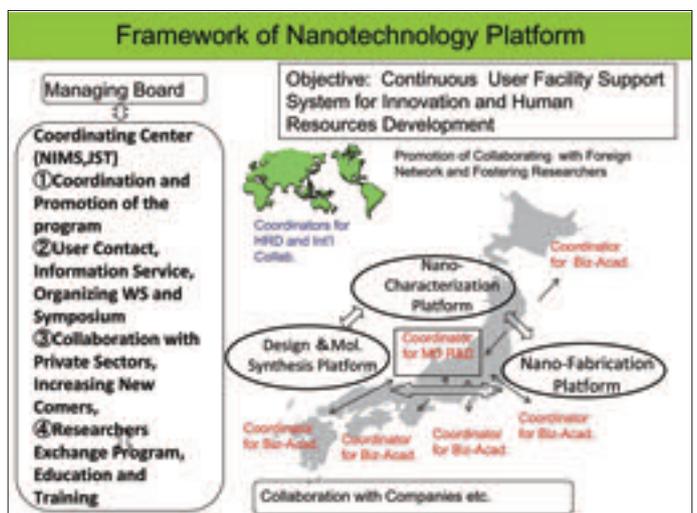


図 3.8.2.2

(4) Kwyro Lee

韓国の 7 つのナノテク関係インフラについて、予算の推移やユーザーサービスの状況も含めて紹介した。ユー

ブレイクアウト・セッション

ザーサービスの予算や件数は年々増加しているが、いずれもまだ自立できる状況にはない。

(5) Mark Lundstrom

米国における知識と技術の統合に関して、企業にとっての意味合い、研究の進め方、学部・大学院などでの継続的な教育の進め方の問題提起と、半導体教育での事例を紹介した。その中で、Web上で専門の人だけでなく幅広い人達が学べる nanoHUB-U Initiative について紹介した。

(6) Yoon-Hwae HWANG

韓国における 2008 年からの統合技術に関する進展について紹介した。2008 年には統合技術に関する基本計画を策定し、World Class University (WCU Program) や National Core Research Center (NCRC program) を作り、2010 年には統合技術のロードマップを作っている。

	Ministry	Host	1st	Invest'mt (Gov)M\$	Focus Area	R&R
NNFC	MEST	KIST	'02 - '11	260 (130)	CMOS MEMS	Fabrication Service Commercialization Education
KANC	MEST Kyunggi	BOC	'03 - '08	140 (125)	Compound Semiconductor	Same as NNFC
NCNT	MKE	POSTEC	'04 - '09	100 (57)	Material & Analysis	R&D User facility
NCNE	MKE	KITEC	'04 - '09	72 (24)	Process & Equipment	Local industry Support
KPEC	MKE	KETI	'04 - '09	67 (53)	Printed Electronics	Local industry Support
NPAC	Daegu city	Daegu TP	'04 - '08	31 (30)	Material & Fabrics	R&D for Local industry
RUC	(MOIC)	NPA	'06 - '10	165 (165)	MEMS	R&D Manufacturing Sold to G-MEMS in '11

図 3.8.2.3

3.9 S9. Sustainable development

モデレータ：Mamadou Diallo (Caltech and KAIST, US-Korea)、
松八重 和代 (東北大)、
Young Hyun Cho (Dongbu Hitek Co. Ltd., Korea)

参加者：Bruce Tonn (University of Tennessee, US)、
Mark Lundstrom (Purdue University, US)、Robert Urban (MIT, US)

3.9.1 サマリー

各出席者のショートプレゼンによって示されたテーマについて重要なポイントや課題などを具体化する議論を行い、サマリーのスライドを完成させた。持続可能な成長というテーマの下、エネルギー、資源、都市と地域といった幅広いテーマが扱われた。テーマ毎に今後10年のビジョン、および現状と今後の目標や必要な項目をまとめた。

(1) 太陽、風力、地熱、バイオマスからの代替エネルギー

今後10年のビジョンについては、韓国および日本は代替エネルギー源およびスマート・省エネルギーの奨励を挙げた。

太陽

(現状)

- ・マルチ結合コンセントレータは非常に高価であるが、42%まで達成。
- ・Si太陽電池の最高効率 は 24.7%。
- ・石油による電力コストは1キロワット/時間当たり8.6セント(米国)。
- ・太陽光発電は25.48セント。
- ・韓国において、研究開発の30%は代替エネルギーに支出。

(今後)

- ・太陽光発電の発電コストは~2015年までにグリッド・パリティを達成すべき。
- ・ガラス上の結晶シリコン(薄膜)は量子ドット構造で効率を増加させる。

その他

(現状)

- ・韓国知識経済部のプログラムとしてリニューアブル・ポートフォリオ標準(RPS)(\$10-15 M/4-5年)がある。
- ・KAISTでは燃料用の藻類バイオマスを実施(教育科学部:\$12 M/9年)。

(今後)

- ・韓国では燃料電池にも戦略的な興味がある。

(2) 農業、食物および天然資源

今後10年のビジョンについては、2050年までに90億人に達する世界人口を賄うための食糧生産を確保するために、隣生産の最適化が必要であることを挙げた。

(現状)

- ・リンの供給源として、中国 35%、米国 17%、モロッコ 15% の 3 国でおよそ 7 割を占める。モロッコは PO_4 の巨大な貯蓄がある。
- ・US は PO_4 コアの輸出を 1998 年に止めた。
- ・鋼の製造過程で PO_4 が生成されるが、農場あるいは消費者はこれらのタイプの燐に無関心である。
- ・250 kg の牛肉は、15.8 kg の PO_4 、0.6 ヘクタールの土地、7 トンのトウモロコシ、11 トンのトウモロコシ・サイレージを必要とする。

(今後)

- ・センシングによるグローバルな燐のフローのモニタリング。
- ・燐の回収。
- ・植物による高効率な燐の使用。
- ・燐使用のための時間放出システム。

(3) 都市と地方コミュニティ

今後 10 年のビジョンとしては、：スマートで自立した都市の姿が示された。それを実現するための今後必要になる具体的な項目としては、以下のものが挙げられた。

- ・目的地を予想して、ルーティング、タイミング、クラスタリングと再分配を構築する輸送・交通の新しい形。
- ・エネルギーグリッドによる電力供給と需要（負荷）のバランス確保。
- ・蓄電池は代替発電手段に接続。
- ・人生設計に基づいた健康管理が可能（歩けて、呼吸ができて、地域保健中心的、安全で、ストレス最小化、家族/教育に相当）。
- ・環境のユビキタスなモニタリング、センシング（環境、感染症、災害）。
- ・生物圏を意識した設計。
- ・リサイクル可能な材料（プラスチック、アルミニウム、ガラス、鋼など）の高効率リサイクル。
- ・リサイクル商品の交換ネットワーク。
- ・ネットを通じた仕事を可能にする大容量の通信センター。
- ・オンデマンドなローカル製造（3D 印刷、自動アセンブラ、カーボンレゴ）
- ・ローカル農業（野菜工場：必要に応じた生産）。
- ・水の循環システム。
- ・現状の都市の修復(挑戦と機会:新標準、政策、テクノロジー、自治、社会デザイン)。

その他の指摘としては、以下の項目が挙げられた。

- ・新技術を適応させるためには、コストだけでなく雇用、市場、社会問題を考慮する必要がある。
- ・太陽光発電や医療サービスのように新技術の普及には、政府からの支援が必要であり、補助金は新技術の適応を支援する 1 つのオプションにすぎない。
- ・長寿化が進むと、一人当たりの医療費が増加し、自ずと国庫負担も増加する。医療費

をどの程度減少させる必要があるか、若年層の財政負担を増加させる高齢者の医療費への公的支援の程度なども考慮に入れなければならない。

3.9.2 参加者発表

(1) Mamadou Diallo

持続可能な成長のフレームワーク、レジリエントなアライアンスが求められる。

「生物多様性」、「気候変動」、「窒素循環」の3つの地球規模の境界条件をすでに超えている。

この10年で地球規模の課題を解決し持続可能とするキードライバーは次のものである。

- ・ エネルギーと水
- ・ 食と資源
- ・ 人間の健康・福祉
- ・ 都市と地方
- ・ 材料と製造
- ・ 気候変動
- ・ 社会需要と公共の利益

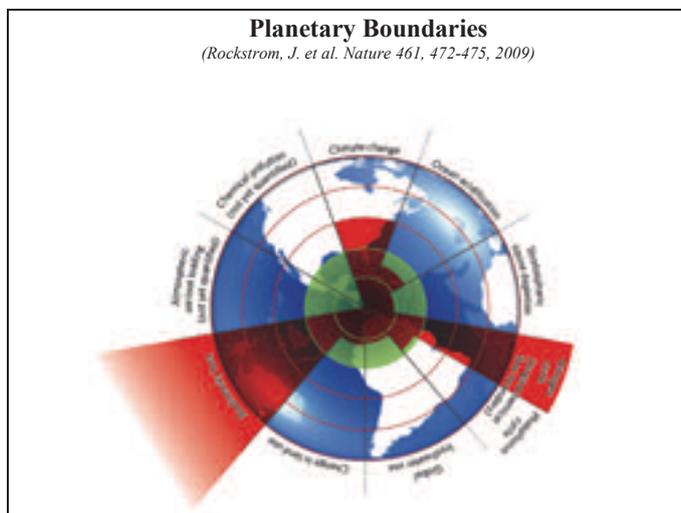


図 3.9.2.1

(2) 松八重 和代

リンに関するケーススタディーを通じて、社会に統合化技術を適用する取組みを紹介する。リンは農業にとって最も重要な栄養素の1つであり、次の10年で戦略的な資源になりうる。その回収・リサイクル技術が統合化技術ではないか。マテリアルフロー分析によって現状・実態を知ることがまずは肝要である。

社会に統合化技術を適用するための要件としては、①インフラ、②農家・農場主やその他のステークホルダーへの教育・啓蒙の機会、知識の共有、それらを行う場、③市場と規制がある。また、俯瞰的な見方を可能とする新しい枠組みやモデルが必要であり、そのようなシステム思考を支援するツールとして、MFA、LCA や IOA 等がある。

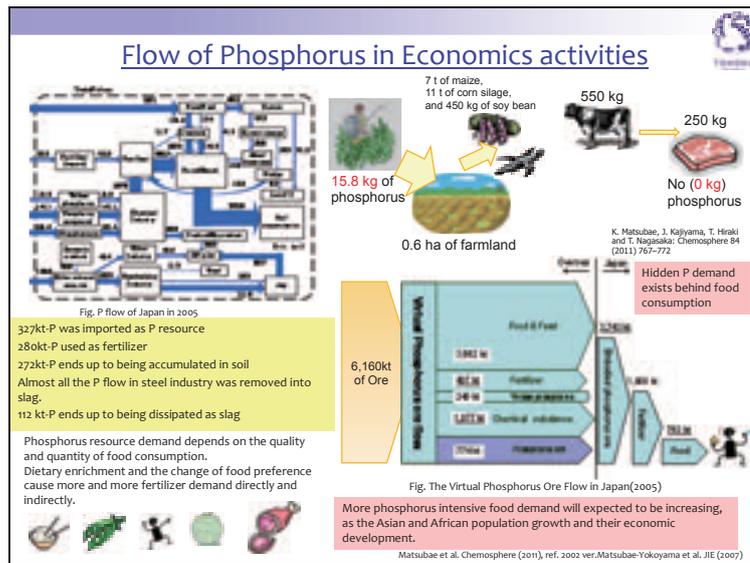


図 3.9.2.2

(3) Bruce Tonn

持続可能な発展とは何であるか、一例としてエネルギー自給型の住居や消費者が自分で製造可能なシステムやビル内での農業を紹介する。

Home energy system の構成要素

- ・ 太陽電池のスキン
- ・ 太陽熱温水器
- ・ ソーラー暖房パネル
- ・ ミニ風力発電機
- ・ 熱エネルギー貯蔵
- ・ 運動エネルギー貯蔵
- ・ 蓄電池
- ・ コミュニティ内でのスマートグリッド
- ・ 藻類の水素生成
- ・ バイオマス堆肥 - メタン
- ・ 家庭用燃料電池
- ・ 地熱エネルギーシステム
- ・ 圧縮空気エネルギー貯蔵
- ・ AI のエネルギー生産、貯蔵およびスマートハウスシステム



図 3.9.2.3

ローカル製造システムの構成要素

- ・ リサイクルと再利用可能なプラスチック、アルミ、ガラス、スチール
- ・ 再利用可能な炭素レゴ、ナノファイバー
- ・ 再生可能な木材、トランスジェニック絹、繊維
- ・ 3Dプリンタ
- ・ 自動化されたアセンブラ／解体
- ・ スプロールファーム
- ・ 再設計された庭

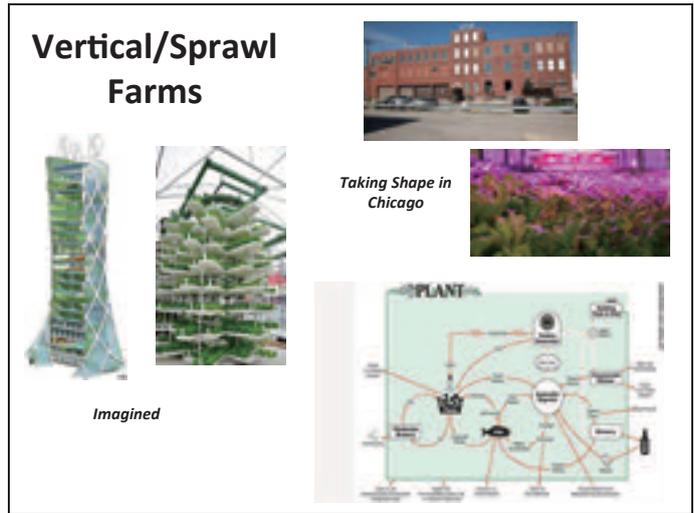


図 3.9.2.4

(4) Robert Urban

世界的な寿命延長、および医療費が年齢とともに増加することに鑑み、製薬におけるイノベーションは重要であり、統合化技術によって個人医療を可能とする必要がある。これからの医療は、個別化、予測、予防、参加型であるべきであり、世界的に均等な機会が与えられる必要がある。これに応じる技術として、超小型、長寿命、体内埋め込み型モニタリングデバイスが考えられる。また、以下の項目が重要になる。

- ・ 副作用の減少を担保したがんの先進検出と治療
- ・ リアルタイムのヘルスマニタリングのためのヘルスデータ解析と配達
- ・ 再生医療&先進生体材料
- ・ 次世代ワクチンのための人間の免疫利用及び健康と疾病の定常状態モニタなど
- ・ 個別医療のための分子動的データ
- ・ QoL 向上のための再生医療と生体デバイス
- ・ 個別化された革新的教育

(5) Young Hyun Cho

持続可能な発展の1つの手段として太陽光発電がある。超高効率、低コストな太陽光発電には統合化技術が求められる。第三世代のセルは量子ドットをはじめナノレベルでの制御が必要である。

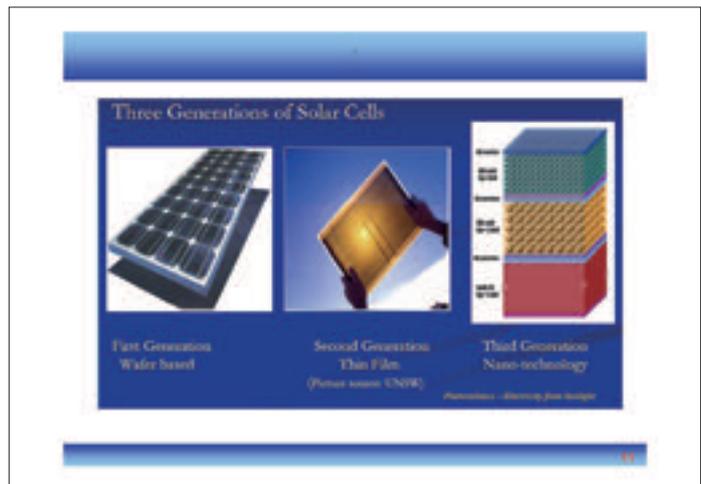


図 3.9.2.5

3.10 S10. Innovative and responsible governance to address grand challenges

モデレータ：Sang-Ki Jeong (KISTEP, Korea)、Mihail Roco (NSF, USA)、
川合 知二 (大阪大学)

参加者：Ji Woong Yoon (Kyung Hee University, Korea)、Andreas Doenni (NIMS)、他

3.10.1 サマリー

このセッションは、Innovative and responsible governance to address grand challenges (イノベティブかつ責任ある方策と総括で大きなチャレンジ達成に向かうためには) というタイトルで、特にコンバージェンス技術 (NBIC の統合科学技術) において“責任あるガバナンス (施策・方策) の在り方”を議論した。

統合科学技術においてイノベーションを起こすには、ビジョン、技術移転手法、知識・教育などの上手なガバナンス (総括と方策) が極めて重要である。なぜなら、現在、科学的知識が飛躍的に増大しており、強力な技術手法も登場し、競争が激化し、社会の期待も増してきていることから、うまく総括し方向付けをしていくガバナンス必要がある。それによりイノベーションを起こしユーザーフレンドリーな社会システムを作ることができる。このセッションは他の技術的なセッションと異なり、統合化技術を社会に有益なものとするためには、ビジョンや各論はもちろんのこと教育、省庁間の調整、研究者の競争・協調、社会への認知に向けた施策が重要であり、如何にしてそれを作るかという点に絞った議論は意義深かった。

以下、7つの質問に対する、このセッションの議論の結果を記す。

過去 10 年間のビジョンの変化

新しい技術のインパクトに対する懸念が増大した。特に、健康安全、食物、人間の行動 (営み) に対する心配が増えた過去 10 年であった。

今後 10 年のビジョン

Converging 技術を進展させるために、産学官のパートナーシップの重要性がますます高まると予想される。そのための新しいツール、例えばゲームやソーシャルメディアなど、が現れてくるだろう。

過去 10 年における進展

多くのエマージング技術分野の融合から、新しいイノベーションの環境が整った。例えば、イメージング技術、エレクトロニクス技術、遺伝情報技術、脳科学などである。

今後 10 年のゴール (障壁と解)

宇宙開発や持続性社会の構築、グローバルコミュニケーションシステムの構築など、グローバルな視点からの問題の解決法を見出すべきである。そのためにはアカ

デミアと一般社会の社会的な交流やグローバルな大きな問題を扱える新しいシステムを考える必要がある。

必要なインフラ

NBIC 2 の考えを普及させるインフラが必要である。そのためには、通信手段やソーシャルメディアの活用が必要で、イノベーションを起こす研究への投資が重要になる。

R&D 戦略

NBIC 2 の結果で生産される製品の次世代へのシフトを促す投資が必要である。不確定さに対するリスクマネジメント、不十分な情報でも決断を下すことが求められる。

重要な項目

競争促進のためには、イノベティブかつ責任あるガバナンスが欠かせない。このガバナンスが個々人の発展を後押しするはずである。

社会へのインパクト

Convergence とパラダイムシフトの典型的な例は、宇宙開発プログラムと風力発電エネルギーである。

3.10.2 参加者発表

(1) J. W. Yoon

パテントの質で見ると、NTはITについて2位である。一方、パテントの移管数から見ると、ナノテクの分野では非常に少なく、この分野の人たちはサイエンティフィックで、商品化にあまり熱心でないことが分かる。

今後、韓国政府がやるべきことは、もう少し現実的な視点に立って、R&Dシステムを変更していくことである。しかし、社会福祉などに予算をつぎ込まねばならず、科学技術予算の増加は難しい状況であることも理解しておく必要がある。

Patent Quality Evaluation by Field
(Automatic Online from 2006-2010)

Higher quality compared to other fields

Field	Sample Patents	% of Quality Level		
		Excellent	Good	Enough
IT	9,068	5,3	86,3	8,4
BT	4,757	1,2	70,6	28,2
ET	3,679	2,1	75,5	22,4
NT	2,612	6,5	81,6	11,9
ST	492	1,3	72,3	26,4
CT	180	0,6	84,4	15,0
Others	6,831	2,8	77,1	20,1
Total	27,467	3,7	79,3	17,0

(Annual Report, MEST, 2011)

図 3.10.2.1

% of Patents Transferred by tech sectors

- Less transferred compared to other fields

Field	2006	2007	2008	2009	2010	total
IT	19,8	14,6	16,7	16,9	19,6	16,1
BT	4,8	6,9	6,0	6,1	7,3	7,3
ET	6,6	6,3	11,0	6,4	10,8	10,0
NT	4,4	6,7	6,5	4,9	6,3	6,7
ST	2,7	3,9	4,0	7,8	3,7	4,9
CT	16,9	6,8	6,7	26,7	20,6	16,7
Sub total	13,1	14,6	13,6	16,3	9,9	13,7
Others	6,9	6,7	6,4	6,2	10,7	6,4
Gov. R&D Total	12,7	11,7	12,6	11,2	11,7	11,8

図 3.10.2.2

4. まとめ

4.1 米国、韓国の統合化技術(Converging Technology)に関する動向

4.1.1 米国

米国では、2000年のNNI(National Nanotechnology Initiative)のスタート時期から、融合の結果を統合化して社会への出口につながる形の技術として「converging technology」(統合化技術)という表現をすでに使っていた。2003年には異分野の融合・統合化促進に関するワークショップを開催し、報告書「Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology, and Cognitive Science (NBIC)」としてまとめている。その後が目立った活動は無かったが、2011年以後は再び統合化技術がリーディングコンセプトになっている。今回のワークショップを含むNBIC 2として開催された4地域でのワークショップは、2003年の活動のフォローと今後の活動を考えるものであり、これらの会議を総括して新たな報告書にまとめるものと考えられる。

4.1.2 韓国

韓国は、第3次韓国ナノテクノロジーイニシアティブ(KNI: 2011-2020)において産業化、人材育成、EHS活動の強化をかかげ、戦略強化の観点からナノテクノロジー政策センター(NNPC)を2010年に設立している。また、韓国では数年前から統合化(Convergence)をキーワードにした積極的な取り組みが行われている。特にConvergenceに対する独自の解釈で、以下に示すように政府や研究所の組織名に直接Convergenceという言葉を取り込んでいる。事実、ナノ統合2020プログラム(Nanoconvergence 2020 Program: 2012-2020年)がMESTとMKE(知識経済部)の合同プログラムとして別途スタートし、ナノテク、バイオ、情報通信などの「Convergence Center」を立ち上げて分野融合・統合化を強力に進めようとしており、課題達成型の科学技術研究の推進に向けた対応や取り組みが非常に早いことが感じられる。

(組織名)

Converging Technology Division (MEST)

Institute for Multidisciplinary Convergence of Materials (KIST)

Organization for Nano-Convergence Industrial Cooperation (MKE 関連)

Advanced Institute of Convergence Technology (SNU, 5年前設立)

Science and Technology Policy Institute (STEPI) Jong-Guk Song (理事長)

National Policy Center for Convergence (MKE) 2012年議会で承認

National Nanotechnology Policy Center (KiSTi) Chang Woo Kim(所長) 2010年
(政策強化)

Nanotechnology - Convergence 2020

4.2 ブレークアウトセッションでのまとめ

ブレークアウトセッション（10テーマ）におけるそれぞれの要点を以下に示す。ここでは、主に統合化に関する過去10年の変化と成果、統合化を進める上での今後の方向性ややるべき事柄について示しておく。なお、質問項目毎に詳細をまとめたものについては、本章の最後に表4.2.1として示しておく。

〈S1. Foundational science and technology tools, NBIC〉

過去10年においては、科学技術の大きな変化として、科学的興味に基づく研究開発から、課題解決型の研究開発へのシフト、専門領域中心から領域融合・統合技術へのシフトなどが顕著になった。また、融合・統合は社会科学、人文科学、芸術などへも拡大してきている。ツールにおける変化としては、可視化技術の重要性が高まったことと、LSI回路設計等の複雑な設計に対する設計ツールの利用が増えてきた。

今後10年のビジョンとしては、ツールの中心的な役割として、NBIC 2の目標に向けた動きを加速し、「Converging Technology」の社会貢献に寄与する。また、急速に進む先端科学により、イノベーションが順調に進展するのに寄与する。さらに、ツールにおける仮想空間と実空間との融合が深まる。

〈S2. Convergence platforms : Earth environmental scale systems〉

今後10年は化石燃料有効利用の観点から石炭ガス化技術、省エネルギーの観点から自動車の軽量化技術（プラスチックの利用など）、セメント産業から排出される二酸化炭素の削減技術、採掘・精錬等に伴う環境負荷を低減するための技術、リサイクルの観点から「都市鉱山」から有用資源を回収する技術、水資源の確保に向けた海水淡水化の技術などが重要であるが、社会導入に高いリスクを伴わないこと、多くの人に利用可能であることに留意すべきである。また、省エネルギー、省資源に向け、リサイクルや廃棄物削減を促進する社会システムの構築が必要であり、科学技術だけでなく政策・社会科学も大きな役割を果たす。科学技術的解決策の選択肢を示す科学者や、選択を行う政治家への信頼感の担保も重要である。

〈S3. Convergence platforms at human scale quality of life〉

過去10年でユビキタス環境の重要性が増し、wealth、health、happinessの3つが技術を牽引してきた。ネットワークの進展により情報収集や学術論文提出が容易に出来るようになった。大学の教育インフラの変化の一つとして、韓国ではナノテクノロジーを題材にした大学院向けの教育コースが設置された。エレクトロニクス応用の変化としてバイオへの応用の可能性が高まってきた。

今後10年としては、ユビキタス時代に適するソフトエレクトロニクスの進展、ナノテクノロジーのバイオ技術やニューロ技術への応用の発展、フィジカルケアからメンタルヘルスケアの重要性増加などが予想される。

〈S4. Approaches to reach integration and synergism〉

過去 10 年間では、2001 年に社会と NBIC 領域を含むワークショップ報告書が出版され、主に NBIC のシーズプロジェクトの強化で 2-3 領域の統合化が進展してきた。ただし、統合化技術に関する出版物は、依然として研究開発の共同アプローチに対して受身の姿勢である。また、2001 年以降、長期的な技術開発、人の機能向上、技術統合の組織などに興味を持たれ、調査が進められた。

今後 10 年では、知識・技術・社会などの様々な領域の計画的な統合化が進み、統合化の方法を選択するエキスパート・システムを備えたデータベースが構築される。ロボティクス、生体工学、人間社会の俯瞰的視点によるロードマップが重要になり、より高水準の統合化が進む。また、統合化が影響を及ぼす社会の大きな問題に集中し、俯瞰的視点によるガバナンスも変化する。また、神経科学、コミュニケーション、心理学、学習の理解と組み合わせさせた個人のオンライン生涯教育が進む。

〈S5. Human health and physical potential〉

今後 10 年においては、ガンワクチンの効率向上、オーダーメイド医療のための Theragnosis (診断・治療統合)、人間の機能の強化、検出・診断・治療の完全統合システム、再生医療のゴールの実現、健康関連コンバージェンスのための専門センターなどが進められる。

〈S6. Human cognition and communication and quality of life〉

過去 10 年においては、ICT の進展により低コストで知識・情報の獲得が可能になった。韓国では認知科学や神経科学が社会的便益の提供にまだつながっていない。日本では脳科学に研究開発投資が行われ、脳卒中患者の機能回復などハードウェアとソフトウェアとの統合領域において、核となる成果が出ており、精神疾患への対応なども射程に入りつつある。

今後 10 年で BMI 普及が進み、人間の「進化」促進に向けた様々な領域の統合が目標となる。その中でグローバルな安全保障の追求、高齢化社会における「人生の意味」といった問題なども取り上げられる可能性がある。

〈S7. Societal collective outcomes, including manufacturing and innovation, robotics, and long-term societal development〉

過去 10 年においては、製造業ではほとんどが集中化で発展した。製造の複雑性が高効率化を促進し、世界の労働力の大半が無力化してきた。また、ナノ製造、ナノテク、バイオの急激な集積化が進展し、応用に向けた生物模倣など多様な複合プロセスが創生されつつある。

今後 10 年では、システムレベルのバイオミメティックの進展、新しい製造技術への自己組織化手法の導入、IT 技術を駆使した製造技術の発展が予測される。また、ロボティクスによる人間の健康・機能増進、コミュニケーションや協業を促す統合化技術の標準化、個々人に適した教育モデルの検討が進む。

〈S8. Preparation of people and physical infrastructure for converging technologies〉

過去 10 年においては、ユーザーが使える施設が整備され、大学のユーザーが頻繁に利用するようになった。また、オンライン、デジタル、3D、リアルタイム、インタラクティブという言葉に代表されるような、デジタル技術を活用したオンラインによる教育が登場し、多くの学術分野に跨る学際的なものへの障壁を低下させ促進した。

今後 10 年では、高性能スパコンを含む形で共用センター間に高速・リアルタイムのインターネット接続が整備され、高速インターネット接続網と高速データアクセス活用の市民科学が出現する。また、これまでの学際的なものから、古い構造を置換する形で統合化が進められ、この科学技術の統合を反映して新しい組織構造の大学に変貌することが予想される。

〈S9. Sustainable development〉

今後の 10 年では、韓国および日本政府は代替エネルギー源およびスマート省エネルギーを奨励していく。また、食糧のために燐ほどのように世界（2050 年：90 億人）で生成されるかの調査や最適化が必要である。さらに、スマート自立型都市が重要になってくる。

〈S10. Innovative and responsible governance to address grand challenges〉

過去 10 年においては、NBIC を組み合わせる活動は進められているが、ほとんどは場当たり的である。また、新しい技術について、そのインパクトに対する懸念が増大し（特に、健康安全、食物、人間の行動（営み）に対する心配など）、その評価においてイノベーション／持続可能性／家族の健康への貢献が強調され、技術と価値と社会との協調的な発展が求められてきた。

今後の 10 年においては、ガバナンスの重要性が増えること、技術の統合化によるユーザーフレンドリーな社会システムへの期待、NBIC でのイノベーション領域の形成、新技術開発推進における各種技術連携の増大、統合化技術進展のための産学官のパートナーシップの高まりが予想される。

4.3 今後日本で期待される取組み

今回の会議全体としては、これまでナノテク関係の評価・製造のインフラ整備が進み、ナノテクとエレクトロニクス、バイオとエレクトロニクス、認知科学とナノテク／エレクトロニクスなど異分野融合の研究を通して成果が出ていることが確認された。今後は社会の課題の解決に向けてさらに社会との関係を密にした分野融合・統合化の取り組みが必要になることで意見の一致をみた。また、インフラ整備や教育も含めた融合・統合化の仕組みづくりおよび政策推進が重要になるという認識も共有された。

また、課題達成を目的とした異分野との共同研究・連携から新たな研究領域が生まれてくることも示されており、新しい知見や技術の誕生につながることを期待される。例えば、最近の日本の半導体エレクトロニクス分野にはやや閉塞感があるが、医療関係の課題を明確にしてバイオや認知科学といった異分野との連携を深めていくことにより、新たな融合技術への展開や新産業創出も期待できる。

グリーンイノベーションやライフイノベーションの推進や社会の重要な課題の解決に向けた分野融合・統合化の具体的な提案や活動を考えていくことは、欧米や韓国・中国などの科学技術の競争においても重要であろう。研究者自身が社会の課題を真剣に考えて研究に取り込むことが望まれるが、各府省やファンディング機関が異分野融合・統合化を誘導するプロジェクトを立案することや、各学会が社会課題達成や新たな学術領域の創生に向けた異分野融合・統合化の活動を盛り上げることも必要であろう。従来の学術・技術分野の殻を破り、融合や統合化を進めることにより新たな学術・技術を作り出すことができれば、新興国などの台頭で脅かされつつあるわが国の科学技術力や産業競争力に再び新しい活力を与えることができるだろう。

表 4.2.1 ブレークアウト・セッションのサマリー (S 1-S 2)

	S1. Foundational science and technology tools, NBIC	S2. Convergence platforms : Earth environmental scale systems
過去10年間のビジョンの変化	<ul style="list-style-type: none"> 科学的興味に基づく研究開発から、課題解決型の研究開発へのシフト 専門領域中心から領域融合・統合技術へのシフトなどが顕著 融合・統合は社会科学、人文科学、芸術などへも拡大 可視化技術の重要性が向上 LSI 回路設計等の複雑な設計に対する設計ツールの利用が増加 	
過去10年における進展	<ul style="list-style-type: none"> ナノテクノロジー分野：装置の性能向上に支えられたマイクロエレクトロニクスからナノエレクトロニクスへ展開。センサーはどこにでもあるようにユビキタスに進化 バイオテクノロジー分野：ゲノミクスを始めとするオーミクスの時代に突入 情報科学分野：データ主導の科学・工学が増加し、情報処理が融合・統合の重要な役割をもち、仮想インフラやソーシャルネットワークが普及 認知科学分野：非侵襲の画像化、介在、相互作用などの開発が進み、人間への応用が開始 	
今後10年のビジョン	<ul style="list-style-type: none"> ツールの中心的な役割として、「Converging Technology」が社会貢献するのを助け、NBIC 2 の目標に向けた動きを加速 急速に進む先端科学によるイノベーションの順調な進展を補助 仮想空間と実空間との融合が進展 	<ul style="list-style-type: none"> 科学技術だけでなく政策・社会科学も大きな役割分担 化石燃料有効利用の観点からは石炭ガス化技術、省エネルギーの観点からは自動車の軽量化技術（プラスチックの利用など）などが進展 セメント産業から排出される二酸化炭素の削減技術が改善 金属資源などの採掘・精錬に伴う環境負荷を低減するための技術、リサイクルの観点で「都市鉱山」から有用資源を回収する技術が必要 水資源の確保に向けた海水淡水化の技術も重要
今後5-10年のゴールとシナリオ	<ul style="list-style-type: none"> ナノテクノロジー分野：ナノエレクトロニクスと脳を含む生体材料との融合・集積化やエネルギー問題を解決するための技術開発が進展 情報処理・認知科学分野：脳科学に関する知識が集積され、具体的に応用。人間の意志を読めるような BMI の開発や BMI を複雑な設計や統合・融合技術の応用への利用 エレクトロニクス製造の新たなパラダイムとして、小さな企業による洗練された半導体工場の利用が可能 最先端の技術でカスタマイズされた応用に対して分散型のエレクトロニクス製造の育成 配信技術や個人教育支援の人工知能による MOOCs（多様なオープンなオンラインコース）をサポートする新たなツールにより、安価で NBIC 基礎技術や融合・統合における高品質の教育が可能 専門領域や多様な文化に跨るコミュニケーションツールを育成 	
必要なインフラ・政策、優先すべき研究・教育、社会的インパクト	<ul style="list-style-type: none"> ナノエレクトロニクスとバイオテクノロジーの融合・集積や、脳の機能を解析するための非侵襲のイメージング技術（施設）など、新規な計測やファブリケーション施設が必要 科学的なビッグデータへのアクセスや提供、その解析技術を提供するインフラが必要 個人のオンライン教育のためのインフラが必要 国際的な大規模な共同研究プログラム、融合・統合を目的とするプログラム、異分野融合研究組織の支援、新たな基礎的なツールの明確化と支援 社会の抱える諸問題を解決する技術の提供、コスト効率の高い技術開発で社会負担を減らすことが可能となり、ツールはこの研究・開発の効率を向上することで貢献 	<ul style="list-style-type: none"> 省エネルギー、省資源に向け、リサイクルや廃棄物削減を促進する社会システムの構築が必要 科学的解決策の選択肢を提示する科学技術者や選択を行う政治家への信頼感の担保 人材を確保するために若い女性が科学技術教育を受ける機会をより多く提供し、科学技術分野への参画を促進 若い女性の科学技術者としてのキャリアが結婚や子育てにより中断してしまうことが多いが、キャリアを再開できるようにする政策的配慮が必要 融合領域の研究開発に向けた大学院教育の設計 学際的な融合領域で活躍できるジェネラリストは少教育成し、スペシャリストは他分野に解放的態度を取れるよう教育

まとめ

(S3-S4)

	S3. Convergence platforms at human scale quality of life	S4. Approaches to reach integration and synergism
過去10年間のビジョンの変化	<ul style="list-style-type: none"> ユビキタス環境の重要性が増加 技術のドライビングパワーは、wealth、health、happinessの3つ 大学の教育インフラの変化：ナノテクノロジーを題材にした大学院向けの教育コースの設置など エレクトロニクス応用の変化：バイオサイドとエレクトロニクスサイドのコラボレーション 	<ul style="list-style-type: none"> ほとんどはNBICの2-3領域の統合化（2001年のワークショップにおいて、社会を含む4つのNBIC領域を含む報告書を出版） NBIC1のビジョンではシーズプロジェクトでの強化 統合化技術に関する出版物は、依然として研究開発の共同アプローチに対して受身の姿勢 2001年以降、長期的な技術開発、人の機能向上、技術統合の組織などを調査
過去10年における進展	<ul style="list-style-type: none"> スマートフォンの急速な普及 ネットワークの進展により情報収集や学術論文提出が容易 	<ul style="list-style-type: none"> NBIC1後にいくつかのプログラムと組織（NSF支援センター、ECプログラム、ロシアのKurchatovセンター、IMECバイオ-ナノ-認知、インドCTセンター）が形成 NBICの2-3の領域統合に留まり、俯瞰的視点無し。 ナノテクノロジーはほとんどすべての科学分野の効果的なツールや基礎として進展 ウェアラブルセンサー/コンピュータにより、健康、環境、化学汚染物質、潜在的危険など人間の知覚を強化
今後10年のビジョン	<ul style="list-style-type: none"> ユビキタス時代に適するソフトエレクトロニクスの進展 ナノテクノロジーのバイオ技術やニューロ技術への応用が発展 ヘルスケアでフィジカルケアからメンタルヘルスケアの重要性が増加 	<ul style="list-style-type: none"> 知識、技術、社会の様々な領域の計画的な統合化 新たな発見とイノベーションを加速するため、統合化の方法を選択するエキスパート・システムを備えたデータベースの構築 ロボティクス、生体工学、人間社会の俯瞰的視点によるロードマップが重要なドライバー より高水準の統合化言語の開発（重要なプラットフォームへの容易な統合、イノベーションの誘導、優れた製造技術、イメージング技術の進歩） 神経科学、コミュニケーション、心理学、学習の理解と組み合わせさせた個人のオンライン生涯教育 統合化が影響を及ぼす社会と大きな問題に集中 俯瞰的視点によるガバナンスの変化 地球システムの観察手段とシミュレーション
今後5-10年のゴールとシナリオ	<ul style="list-style-type: none"> 産業：市場の早い展開に、新しい技術を生み出す(長期)安定した企業と安定した雇用 鍵となる市場の流動性への対応 	<ul style="list-style-type: none"> エキスパート・システムのためにS&Tプラットフォーム形成 統合化されたS&Tアイデアを促進する新しいファンディング・メカニズム 人とアイデア、技術を結びつける組織的で最適化されたアプローチ ネットワークの視覚化：異分野との協同により利益が得られる分野を特定できる技術。 グローバル研究開発投資利用モデルの国際的共有 分散型で複合型製造のための方法 統合化に関する新たなジャーナル
必要なインフラ・政策、優先すべき研究・教育、社会的インパクト	<ul style="list-style-type: none"> 各分野のデータベース化（ゲノムの成功例、ニューロサイエンス分野でのデータベース化開始、米国“Material genome project”開始） 十分な各分野研究者/エンジニア人口の確保 異分野間研究をSupportする仕組み 今後大きな可能性のあるバイオ等へのエレクトロニクス応用をサポートするファンディングシステム 異国間での研究交流・共同研究をサポートする国際共同研究開発プロジェクトの仕組み（成功例：「Human frontier science project」） エレクトロニクスのヘルスケアへの応用の推進 NBIC（Nano-bio-information-cognitive technology） 大学の“Convergence”を目標にしたカリキュラムの設定・改善 Convergence technologyによる病気の治療（Physical, mental diseases） Convergence technologyから“社会的関心”に応える技術の創出 	<ul style="list-style-type: none"> コミュニケーションのためのネットワークとツール 大学、産業、政府組織間の情報システム。 製造ハイブリッド・クラスター施設を可能にする、通信と仮想現実のために装置 大学研究所の若返り（教育カリキュラムの変更） 「統合バス」のような移動展示 統合化の側面を含むため、プロジェクトの「より幅広い影響」の必要条件を再考 「サイエンスのための科学」プログラムを「ガバナンスのための科学」に拡大し拠点化 学際的な研究を進めるためにNNIレッスンの延長 個人教育に対し、より効果的なステークホルダー貢献を生むメカニズム 教育のより幅広いインタラクション 学際的な協同のためのプラットフォーム形成（ホスト・コミュニティと資源、専門知識の共有） 現実的な課題解決型研究のグランドチャレンジ（脳を模倣した神経デバイス等） 幸せの追求による人の生活の向上 ハイリターン分野での価値向上や危険低減の国際協力

(S5-S6)

	S5. Human health and physical potential	S6. Human cognition and communication and quality of life
過去10年間のビジョンの変化		<ul style="list-style-type: none"> ICTの進展により低コストで知識・情報の獲得が可能 韓国ではソフトウェアやコミュニケーションへの重点化が進展 日本では脳卒中患者の機能回復などハードウェアとソフトウェアとの統合が必要な領域で核となる成果が得られ、精神疾患への対応なども射程
過去10年における進展		<ul style="list-style-type: none"> 韓国では、IT研究者と医学・臨床研究者との連携が進展し、医薬品開発に向けた分子生物学とハードウェア技術との融合が図られるなど、多額の資金による学際的研究が進展 日本ではiPS細胞の創出を契機に再生医療の研究が活発化し、BMIの医療応用も進展
今後10年のビジョン	<ul style="list-style-type: none"> ガンワクチンの効率向上。 オーダーメイド医療のための Theragnosis (診断・治療統合) 人間の機能の強化 検出、診断、治療完全統合システム 再生医療のゴールの実現 健康関連コンバージェンスのための専門センター展開 	<ul style="list-style-type: none"> BMI普及が進むと予想され、人間の「進化」促進に向けた様々な領域の統合が目標 グローバルな安全保障の追求、高齢化社会における「人生の意味」といった問題が顕在化
今後5-10年のゴールとシナリオ	<ul style="list-style-type: none"> 樹状細胞のマイグレーションをたどるための画像診断法。 抗原の個人化。非経口製剤 分子イメージングを用いた酵素ベースの診断・治療。 個別化治療 O2キャリアヤーナノ粒子による血液代替物 バイオMEMSによる細胞機能の非侵襲性測定 ナノ構造の構築による望んだ幹細胞成熟/分化のドライブ ナノ構造表面を含む足場の構成 	<ul style="list-style-type: none"> テロに対する国家安全保障、技術のデュアルユース、高齢化社会への対応 高齢者の生きがいといった問題への対処 認知ロボットの開発、人間-ロボット間の相互作用の研究が重要 神経・精神疾患の治療が一つの目標 BMIデバイスの大量生産によるコストダウンが普及の鍵 ゲノミクスなどライフサイエンス分野へのグラフェンの応用 インターネットの教育分野への有効活用
必要なインフラ・政策、優先すべき研究・教育、社会的インパクト	<ul style="list-style-type: none"> 毒性プロフィールの明確化 材料技術開発を促進する「安全プラットフォーム」 多機能、生物適合性のナノ・プラットフォーム 毒性学、データベース及びシミュレーションを含む研究チーム構成 新しい開発パラダイムを容易にするために規制の変更 幹細胞またはiPSの使用による倫理制約の緩和 健康関連コンバージェンスのための専門センターの展開 (医学と工学の学生・研修生の統合、人材交換プログラム、医療専門家とのパートナーシップ、空間共有/共同作業チーム) 研究機関におけるインセンティブの再設計。コラボレーションのためのプロトコル 予算を伴う産業指 	<ul style="list-style-type: none"> Convergence Technology へのファンディング方法、学際分野の研究開発提案の評価方法の検討が必要 Convergence Technology の成果の社会受容に向け、この分野の研究者が社会や教育・医療関係者との良好なコミュニケーションを保つことが重要 デジタルデバイドの問題や倫理上の問題など社会受容上問題となる事項の解決を図り、社会からの信頼を得ることが大切 Convergence Technology の社会実装が人間関係に及ぼす影響などを社会科学的に分析しておくことが必要 社会からの要請、社会にもたらし得る便益を十分に考慮した上で、解決すべき課題へのアプローチを明確にし、研究開発投資を実施 拠点形成などを通じて、関連分野の研究者が一体となって研究開発を進められる環境を戦略的に整備

ま
と
め

(S7-S8)

	S7. Societal collective outcomes, including manufacturing and innovation, robotics, and long-term societal development	S8. Preparation of people and physical infrastructure for converging technologies
過去10年間のビジョンの変化	<ul style="list-style-type: none"> ・製造業ではほとんどが集中化で発展 ・製造の複雑性が高効率化を促進し、世界の労働力の大半が無力化 ・ナノ製造、ナノテック、バイオの急激な集積化が進展し、応用に向けた生物模倣など多様な複合プロセスを創生 	<ul style="list-style-type: none"> ・ユーザーが使える施設が整備され、大学のユーザーが頻繁に利用 ・オンライン、デジタル、3D、リアルタイム、インタラクティブという言葉に代表されるような、デジタル技術を活用したオンラインによる教育が登場 ・多くの学術分野に跨る学際的なものへの障壁低下と促進
過去10年における進展	<ul style="list-style-type: none"> ・韓国は論文数などでもうすでに世界の第3番目のナノテック国家（材料からロボティクス、ヒューマンインターフェイスといった広範囲にわたるナノテクノロジー研究が展開） 	<ul style="list-style-type: none"> ・質の高いナノテック施設およびサービスが整備され、スキルの高いオペレーターによる施設の効果的な利用による利用機会の増加 ・大学におけるナノテックのプログラム、韓国の大学における統合技術（Converging Technology）のプログラムが作成
今後10年のビジョン	<ul style="list-style-type: none"> ・システムレベルのバイオメテックの進展 ・新しい製造技術への自己組織化手法の導入 ・IT技術を駆使した製造技術の発展 ・ロボティクスによる人間の健康・機能増進 ・コミュニケーションや協業を促す統合化技術の標準化 ・個々人に適した教育モデルの検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・高性能スパコンを含む形で共用センター間に高速・リアルタイムのインターネット接続が整備（3次元ディスプレイの使用）され、高速インターネット接続網と高速データアクセス活用の市民科学（Citizen science）の出現 ・いろいろな教育資源に対するアクセス方法がデスクトップコンピュータからモバイル機器に転換 ・これまでの学際的なものから、古い構造を置換する形で統合（Converging）が進められ、この科学技術の統合を反映して（学部の報酬システムを含めて）新しい組織構造の大学に変貌
今後5-10年のゴールとシナリオ	<ul style="list-style-type: none"> ・個人やコミュニティを強化する分散型IT支援製造の確立 ・技術開発とEHS、ELSIの両立 ・ビジョン実現の障害に対して、ロボティクスの発展や、社会科学の手法を取り入れたりすることで解決 	<ul style="list-style-type: none"> ・インフラ施設が自立して継続していくための良いモデル、および複合的なプロセスが可能で研究者間のコミュニケーションが良好な施設の構築 ・異なる分野の統合技術に向けて、大学組織間のバリア低下、統合技術に関するカリキュラムや教科書を常に最新の状態に維持、個人対応の教育として個人の適切なプログラムや教育のモデルを決めるシステムの構築、オンラインコースの証明に関する試験のための地域のテストセンターや生徒の相互交流を図るオンラインフォーラムのような仕組みの構築、3次元ディスプレイによる仮想実験・製造・製品化が目標
必要なインフラ・政策、優先すべき研究・教育、社会的インパクト	<ul style="list-style-type: none"> ・高速ネットワークなどのサイバーインフラ ・ニーズドリブンの戦略を考察 ・デザイナー、エンジニア、生産者のグローバルな協調 ・政治家への説明を通しての理解促進、一般国民の理解度向上などが鍵 ・製造プロセスDNA：材料イノベーション、プロセスイノベーション、製品デザインの道筋 	<ul style="list-style-type: none"> ・予算配分において複数の省庁がより良い連携をすること、継続的な運転・運営や設備更新のためのファンディングをすること、研究と小規模な製造によるビジネス開発ができること、地球科学に用いるような大規模なシステム構築に向けたテストベッドを作ることが必要 ・統合技術プログラム（例えば、韓国のWCU(World Class University)、日本のWPIのための政府のファンディングプログラム、3次元ディスプレイや双方向インターネット、コンピュータゲーム用に開発した技術の利用が重要 ・子供たちに自然科学に対する関心を持たせるべく、コンピュータゲームなどの活用 ・個人に合った教育、「Nature」や「Science」に匹敵する統合技術の論文誌の発刊、統合技術に関する専門的な学会の創設が必要 ・社会への貢献として、統合技術に関する利益とリスクについて見識ある判断ができるようになること、これを踏まえたイノベーションに対する国民の受容（理解）のためのEHS研究の進展、統合技術に由来するイノベーションのより早い商品化、新たな産業の創出と雇用の創生が重要

(S9-S10)

	S9. Sustainable development	S10. Innovative and responsible governance to address grand challenges
過去10年間のビジョンの変化		<ul style="list-style-type: none"> ・NBICを組み合わせる活動は進められているが、ほとんどは場当たりの ・新しい技術のインパクトに対する懸念が増大（特に、健康安全、食物、人間の行動（営み）に対する心配が増大） ・新たな技術の評価において、イノベーション、持続可能性、家族の健康への貢献が強調 ・変化する環境の中での社会受容を考慮 ・技術と価値と社会との協調的な発展
過去10年における進展		<ul style="list-style-type: none"> ・多くのエマージング技術分野の融合から、新しいイノベーションの環境が整備（例えば、イメージング技術、エレクトロニクス技術、遺伝情報技術、脳科学など） ・強力な新しい技術がもたらす予期しないインパクト（健康 vs. 向上の限界） ・責任ある評価のための2つの評価が並行して進展（科学的な厳格な評価と、リスク評価のためのモデルによるソフトな評価） ・NBICやその他の統合分野のコミュニティの形成が進展し、国際的な組織も形成 ・メディアが統合化の新たな方法を提供 ・リーダー不在の運動やネットワークの形成
今後10年のビジョン	<ul style="list-style-type: none"> ・韓国および日本政府は代替エネルギー源およびスマート省エネルギーを奨励 ・食糧のために燐はどのように世界（2050年：90億人）で生成されるか最適化が必要 ・スマート自立型都市 	<ul style="list-style-type: none"> ・ガバナンスの役割が増加（指数関数的に増加する科学的知見、強力なツール等の新技術、人口増加、グローバルな競争） ・統合化の新たな貢献としてユーザーフレンドリーな社会システムが期待 ・イノベーションに向けたNBIC 仮想領域の形成 ・新たな技術開発の推進における各種技術連携の役割増大 ・統合化技術を進展させるために、産学官のパートナーシップの重要性がますます高まると予想 ・技術開発の政策検討と社会科学との連携におけるNNIでの成功体験の継続 ・統合化のための政策と、政策のための統合化の活用
今後5-10年のゴールとシナリオ	<ul style="list-style-type: none"> ・現状の電力は1キロワット/時間当たり8.6セント（米国：火力発電）であり、太陽電池発電は~2015までにグリッド・パリティを達成 ・センシングによるグローバルなフローのモニタリング ・植物による高効率な燐の使用 ・都市開発における整合（新標準、政策、テクノロジー、自治、社会デザインなど） ・目的地を予想して、ルーティング、タイミング、クラスタリングと再分配を構築する輸送・交通の新しい形 ・人生設計に基づいた健康管理（地域保健、安全、ストレス最小化、家族/教育志向など） ・環境のエビキタスなモニタリング/センシング（環境、感染症、災害） ・リサイクル商品を再配布するネットワーク形成 ・ローカル農業（垂直/Sprawl Farms）： 均衡を保って/必要に応じた生産の分担 ・循環型水利用 	<ul style="list-style-type: none"> ・人間の能力向上のために知識と技術を蓄積 ・NBICによる次の10年で解決すべきグランドチャレンジ：宇宙開発や持続性社会の構築、グローバルコミュニケーションシステムの構築など（アカデミアと一般社会の社会的なコンタクトやグローバルな大きな問題を扱える新しいシステムを考えることが必要） ・基礎研究と社会とのあらたな関わり：大きな問題を扱える新たな構造への要求。 ・先端技術ガバナンスを社会との関わりまで拡張 ・人間の能力向上を含む「人」への関心のさらなる集中
必要なインフラ・政策、優先すべき研究・教育、社会的インパクト	<ul style="list-style-type: none"> ・燐の回収、燐使用の定時間放出システム ・リサイクル可能な材料系（プラスチック、アルミニウム、ガラス、鋼、グラフェン）の利用 ・オンデマンドなローカル製造（3D印刷、自動アセンブラ、カーボンレゴ） ・遠隔地での仕事を可能にする広帯域のコミュニケーションセンター ・新技術の社会への適応に向けた、コスト、雇用、市場、社会問題の考慮 ・太陽光発電や医療サービスのような新技術普及のための政府からの支援（補助金は支援の1つのオプション） 	<ul style="list-style-type: none"> ・NBIC 2の考えを普及させるインフラが必要（通信手段やソーシャルメディアの活用、イノベーションを起こす研究への投資が重要） ・NBIC 2の結果で生産される製品の次世代へのシフトを促す投資が必要：不確定さに対するリスクマネジメント、不十分な情報でも決断を下すことが要求 ・自己抑制的なグローバルエコシステムでのNBIC 2のガバナンスの向上 ・競争促進のためには、イノベティブなかつ責任あるガバナンスが不可欠

まとめ

Appendix

A.1 プログラム

DAY 1 : October 15, 2012

8 : 30 Welcome

Korea / Chang-Woo Kim (NNPC, KiSTi)

Japan / Kazunobu Tanaka (JST-CRDS)

U.S. / Mihail Roco (NSF)

8 : 50 Overview of the workshop

Bruce Tonn, U. of Tennessee, US

9 : 00 Conceptual challenges and opportunities for convergence

Kazunobu Tanaka, JST-CRDS, Japan

9 : 15 Methods for converging technologies

M. Roco, NSF, US

(Plenary statements on convergence)

9 : 30 Foundational Tools and Technologies

Mark Lundstrom, Purdue University, US

9 : 45 Convergence in Public Sector in Environmental Technology and
Development Cooperation

Seungjoon Yoon, Korea Environ. Ind. & Tech. Ins., Korea

10 : 00 Cognitive technologies

James Olds, George Mason University, US

10 : 15 Coffee break

10 : 30 Human-machine interface

Mitsuo Kawato, JST, Japan

10 : 45 The Present and Future of Nano-Bio Technology in Korea

Geun Jae LEE, Ministry of Education, Science and Technology, Korea

11 : 00 Convergence of Science and Technology in Health and Biomedicine

Robert Urban, MIT, US

11 : 15 Transforming the Landscape of Manufacturing

Jian Cao, Northwestern U., US

11 : 30 NBIC simulation of brain

Philip Wong, Stanford U., US

11 : 45 Transformational Governance

Jong-Guk SONG, Science and Technology Policy Institute, Korea

12 : 00 Broader societal implications : long-term scenarios, challenges for humankind

Tomoji Kawai, Osaka U., Japan

12:15 General discussion

12:30 Working lunch

1:30 Charge to breakout sessions

1:40–5:00 Breakout A: sessions S 1 – S 5

1:40 Introduction by the moderator followed by several (5-10)-minute contributing statements

2:30 Group brainstorming on the attached list of seven questions

4:00–4:50 Writing findings in bullet format for plenary presentation and the report

S1. Foundational science and technology tools, NBIC

Moderators: Kwang Ryeol LEE, KIST, Korea; Mark Lundstrom, Purdue U., US;
Tsuyoshi Hasegawa, NIMS, Japan;

Statements: Jim Olds, Krasnow Inst., US; Tsuyoshi Hasegawa, NIMS, Japan;

S2. Convergence platforms: Earth environmental scale systems

Moderators: Hee Chan CHO, SNU, Korea; Bruce Tonn, U. of Tennessee, US;
Takashi Kohyama, Hokkido U., Japan;

Statements: Mamadou Diallo, Caltech and KAIST, US-Korea;

S3. Convergence platforms at human scale and quality of life

Moderators: Philip Wong, Stanford U., US; Won jong Yoo, SKKU Advanced Institute
of Nanotechnology, Korea; Takeshi Kawano, Toyohashi U. of Technology, Japan;

Statements: Sung Ha Park, SKKU, Korea; Jiyoung Kim, Kookmin Univ., Korea

S4. Approaches to reach integration and synergism

Moderators: Mike Roco, NSF, US; Takahiro Fujita, NIMS, Japan; Jo-Won
LEE, Hanyang U., Korea;

Statements: Jian Cao, Northwestern U, US; Jim Murday, U. of Southern California,
US; Hanjo Lim, Ajou Univ, Korea; Y. Eugene Pak, Seoul Natl. Univ. Korea ;

S5. Human health and physical potential

Moderators: Robert Urban, MIT, US; Takanori Ichiki, Tokyo U., Japan; Kyu
Back LEE, Korea U., Korea;

Statements: Keon Wook Kang, Seoul Natl. Univ. Korea; Young Keun Kim, Korea
Univ., Korea;

5:00–6:10 Main conclusions of breakout sessions 1 – 5
(10 minutes for each session)

DAY 2 : October 16, 2012

8:30 Charge to breakout sessions

8:40–12:00 Breakout B: sessions S 6–S 10

8:40 Introduction by the moderator followed by several (5-10)-minute contributing statements

9:30 Group brainstorming on the attached list of seven questions

11:00–11:50 Writing findings in bullet format for plenary presentation and the report

S6. Human cognition and communication and quality of life

Moderators: Jim Olds, GMU, US; Mitsuo Kawato, JST, Japan; Myung Joon KIM, ETRI, Korea;

Statements: Philip Wong, Stanford U; Myung-Ae Chung, Electronics and Telecommunications Research Institute, Korea

S7. Societal collective outcomes, including manufacturing and innovation, robotics, and long-term societal development

Moderators: Jian Cao, Northwestern U., US; Masafumi Ata, AIST, Japan; Hak Min KIM, KIMS, Korea;

Statements: Eungsug Lee, KIMM, Korea; Sung-Hoon Ahn, Seoul Natl. Univ., Korea;

S8. Preparation of people and physical infrastructure for converging technologies (education and training, public perception and participation; types of infrastructure supporting nanotechnology, focus on particularities as compared to other fields)

Moderators: Jim Murday, U. of Southern California; Masahiro Takemura, NIMS, Japan; Kwiro LEE, National NanoFab Center, Korea;

Statements: Chulgi Ko, KANC, Korea; Yoon-Hwae Hwang, Pusan Univ., Korea.

S9. Sustainable development

Moderators: Mamadou Diallo, Caltech and KAIST, US-Korea; Kazuyo Matsubae, Tohoku U., Japan; Young Hyun CHO, Dongbu Hitek Co. Ltd., Korea;

Statements: Bruce Tonn, U. of Tennessee, US; Mark Lundstrom, Purdue U, US; Robert Urban, MIT, US;

S10. Innovative and responsible governance to address grand challenges (Investments in emerging and converging technologies ; methods to improve outcomes, commercialization ; human-technology interface ; governance ; security scenarios ; addressing grand challenges)

Moderators : Mike Roco, NSF, US ; Tomoji Kawai, Osaka U., Japan ; Sang-Ki JEONG, KISTEP, Korea

Statements : Ji Woong Yoon, Kyung Hee Univ., Korea ;

12 : 00 Working Lunch

1 : 00-2 : 00 Main conclusions of breakout sessions 6 – 10 (10 minutes for each session)

2 : 00-3 : 00 Plenary discussion of overarching findings and long-term societal implications

3 : 00-4 : 00 Summary findings and report writing assignments for Breakout A

4 : 00-5 : 00 Summary findings and report writing assignments for Breakout B

5 : 00 End of the meeting

A.2 参加者の構成

(1) オープニング・セッション

(開会挨拶) [共同議長]

Mihail Roco	National Science Foundation (NSF)	US
田中 一宜	(独) 科学技術振興機構	Japan
Chang-Woo Kim	National Nanotechnology Policy Center	Korea
Jo-Won Lee	Hanyang University	Korea

(イントロダクション)

Bruce Tonn	University of Tennessee	US
田中 一宜	(独) 科学技術振興機構	Japan
Mihail Roco	National Science Foundation (NSF)	US

(2) プレナリー・セッション

Mark Lundstrom	Purdue University	US
Seungjoon Yoon	Korea Environmental Industry & Technology Institute	Korea
James Olds	George Mason University	US
川人 光男	国際電気通信基礎技術研究所 (ATR)	Japan
Geun Jae Lee	Ministry of Education, Science and Technology	Korea
Robert Urban	Massachusetts Institute of Technology	US
Jian Cao	Northwestern University	US
Philip Wong	Stanford University	US
Jong-Guk Song	Science and Technology Policy Institute	Korea
川合 知二	大阪大学	Japan

(3) ブレークアウト・セッション

S1. Foundational science and technology tools, NBIC

Kwang Ryeol Lee	Korea Institute of Science and Technology	モデレータ
Mark Lundstrom	Purdue University	モデレータ
長谷川 剛	(独) 物質・材料研究機構	モデレータ
James Olds	George Mason University	発表者
Kwyyro Lee	National NanoFab Center	発表者

S2. Convergence platforms : Earth environmental scale systems

Hee Chan Cho	Seoul National University	モデレータ
Bruce Tonn	University of Tennessee	モデレータ
甲山 隆司	北海道大学	モデレータ

S3. Convergence platforms at human scale and quality of life

Won jong Yoo	SungKyunKwan University	モデレータ
Philip Wong	Stanford University	モデレータ
河野 剛士	豊橋技術科学大学	モデレータ
Jiyoung Kim	Kookmin University	発表者

S4. Approaches to reach integration and synergism

Jo-Won Lee	Hanyang University	モデレータ
Mihail Roco	National Science Foundation (NSF)	モデレータ
藤田 高弘	(独) 物質・材料研究機構	モデレータ
Jim Murday	University of Southern California	発表者

S5. Human health and physical potential

Kyu Back Lee	Korea University	モデレータ
Robert Urban	Massachusetts Institute of Technology	モデレータ
一木 隆範	東京大学	モデレータ
Young Keun Kim	Korea University	発表者
Ick Chan Kwon	Korea Institute of Science and Technology	発表者
Keon Wook Kang	Seoul National University	発表者
Kuiwon Choi	Korea Institute of Science and Technology	発表者

S6. Human cognition and communication and quality of life

Myung Joon Kim	Electronics and Communications Research Institute	モデレータ
James Olds	George Mason University	モデレータ
川人 光男	国際電気通信基礎技術研究所 (ATR)	モデレータ

S7. Societal collective outcomes, including manufacturing and innovation, robotics, and long-term societal development

Hak Min Kim	Korea Institute of Materials Science	モデレータ
Jian Cao	Northwestern University	モデレータ
阿多 誠文	産業技術総合研究所	モデレータ
Eungsug Lee,	Korea Institute of Machinery and Materials	発表者

S8. Preparation of people and physical infrastructure for converging technologies

Kwyro Lee	National NanoFab Center	モデレータ
Jim Murday	University of Southern California	モデレータ
竹村 誠洋	(独) 物質・材料研究機構	モデレータ
Mark Lundstrom	Purdue University	発表者
Yoon-Hwae Hwang	Pusan National Universi	発表者
魚崎 浩平	(独) 物質・材料研究機構	発表者

S9. Sustainable development

Young Hyun Cho	Dongbu Hitek Co. Ltd.	モデレータ
Mamadou Diallo	California Institute of Technology	モデレータ
松八重 一代	東北大学	モデレータ
Bruce Tonn	University of Tennessee	発表者
Robert Urban	Massachusetts Institute of Technology	発表者

S10. Innovative and responsible governance to address grand challenges

Sang-Ki Jeong	Korea Institute of Science and Technology Evaluation and Planning	モデレータ
Mihail Roco	National Science Foundation (NSF)	モデレータ
川合 知二	大阪大学	モデレータ
Ji Woong Yoon	Kyung Hee University	発表者

(4) サポート・スタッフ

(全体取りまとめ：米国 WTEC)

Patricia Foland	World Technology Evaluation Center (WTEC)
Matt Henderson	World Technology Evaluation Center (WTEC)

(韓国組織委員会)

Chang-Woo Kim	National Nanotechnology Policy Center	Co-Organizing chair
Jo-Won Lee	Hanyang University	Co-Organizing chair
Heechan Cho	Seoul National University	Member
Kwi Won Choi	Korea Institute of Science & Technology	Member
Myung-Ae Chung	Electronics and Telecommunication Research Institute	Member
Hak-Soo Kim	Sogang University	Member
Young Keun Kim	Korea University	Member
Gill Seung Lee	National Research Foundation	Member
Wan Jun Park	Hanyang University	Member
Dae Sup So	National Nanotechnology Policy Center	Member

(5) 会議議事録・報告書作成

田中 一宜	(独) 科学技術振興機構
馬場 寿夫	(独) 科学技術振興機構
中本 信也	(独) 科学技術振興機構
島津 博基	(独) 科学技術振興機構
河村 誠一郎	(独) 科学技術振興機構
Andreas Doenni	(独) 物質・材料研究機構

A.3 ブレークアウト・セッションの進め方

◆ワークショップ開催前

- ・講演者・発表者全員に下記の「Questionnaire」の回答提出が課せられ、ワークショップのために作成された全参加者が閲覧可能なホームページにアップして情報の共有化を図る。

1. In your opinion, which areas of converging technologies (NBIC and beyond) are most important and why? (write one paragraph for each area and add reference and figure as suitable)
2. What successful examples of converging technologies organizations and programs are you aware? (academic/industry/government, national or international, deductive or inductive)
3. In your opinion, what are the most important exploratory directions of converging knowledge and technology for the next 10-20 years?
4. What R&D investment, implementation strategies and government policies would you suggest?
5. What long-term impact of converging technology R&D on society do you envision?

Please provide as suitable :

List of References

List of Tables proposed for the report (with important summary information)

List of Figures proposed for the report (conceptual, easy to understand)

General bibliography and iconographic pictures for NBIC

◆セッションの進行

- ・S 1～S 5、S 6～S 10 のそれぞれ 5 つのセッションを並行して開催し、2 時間程度の講演と討議を行って、あらかじめ決められたフォーマットに沿って討議結果をまとめる。
- ・モデレータがはじめにセッションのテーマに関連したトピックスを 5 分程度それぞれ紹介し、その後に参加者が適時関連する内容を簡単に紹介する。
- ・講演を基に、下記の決められたフォーマットに従って、いろいろ意見を出し合いながら討議し、質問に対する回答を埋めていく。

1. What is the vision for the future of converging technologies? How the vision has changed in the last ten years?
2. What are the main scientific/engineering advancements and technological impacts in the last ten years?
3. What are the goals for the next 5-10 years and future scenarios?
4. What are the scientific and technological infrastructure needs?

5. What R&D investment, implementation strategies and overall governance methods would you suggest?
 6. What are the overall emerging topics and priorities for CT research and education?
 7. What is the impact of converging technology R&D on society?
- ・モデレータが討議結果をまとめ、参加者合意の上でまとめの資料ができたなら、全体会議として各セッションのまとめをそれぞれ 10 分程度で紹介する。この全体会議で出されたコメントなどを反映し、モデレータが中心になって最終的なセッションのまとめを作成する。

■ワークショップ企画・報告書編纂メンバー■

田中 一宜	上席フェロー
河村 誠一郎	フェロー／エキスパート
島津 博基	フェロー
永野 智己	フェロー
中本 信也	フェロー
中山 智弘	フェロー／エキスパート
馬場 寿夫	フェロー
宮下 永	フェロー
石原 聰	特任フェロー
魚崎 浩平	特任フェロー
川合 知二	特任フェロー
北澤 宏一	特任フェロー
曾根 純一	特任フェロー
田中 秀治	特任フェロー
村井 眞二	特任フェロー

CRDS-FY2012-WR-09

ワークショップ報告書

社会的便益に向けた統合化技術の国際研究に関する 日米韓国際ワークショップ報告書

Korea-US-Japan Workshop

International Study on Converging Technologies for Societal Benefit
(NBIC2: Nano-Bio-Info-Cognitive Technologies)

平成25年3月 March 2013

独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター ナノテクノロジー・材料ユニット
Nanotechnology/Materials Unit, Center for Research and Development Strategy
Japan Science and Technology Agency

〒102-0076 東京都千代田区五番町7番地

電話 03-5214-7481

ファックス 03-5214-7385

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

© 2013 JST/CRDS

許可無く複写／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。

No part of this publication may be reproduced, copied, transmitted or translated without written permission.

Application should be sent to crds@jst.go.jp. Any quotations must be appropriately acknowledged.

