

Title	基礎研究と応用研究の質的相違
Author(s)	吉田, 秀紀; 佐々, 正; 丸山, 瑛一
Citation	年次学術大会講演要旨集, 23: 163-168
Issue Date	2008-10-12
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/7527
Rights	本著作物は研究・技術計画学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Science Policy and Research Management.
Description	一般講演要旨

講演題目

基礎研究と応用研究の質的相違

○吉田秀紀, 佐々正 (科学技術振興機構), 丸山瑛一 (理化学研究所)

基礎研究における発見は必ずしも即応用研究の対象になる訳ではない。よく知られたこの事実を解明するための手掛かりとして、応用研究と基礎研究とがその研究フェイズとして質的に何が異なるのかを検討した。

基礎研究と応用研究はそれぞれの“目的”の相違によって区分されている定義や説明が多く、研究の性質すなわち研究フェイズまで立ち入って議論されたものが少ない[1-5]。

ここでは、JST プロジェクトを始めとする実際の研究開発プロジェクトで認められた事実を基に、基礎研究フェイズと応用研究フェイズの相違を技術の次元、スケール、取得するデータの3つの切り口から検討することとする。

1 技術の次元

基礎研究で取り込まれている技術の多くは個別の要素技術であるが、製品化を見据えている応用研究では、各要素技術を更に高めるとともにこれらを組み合わせたシステム化技術が検討される[6]。この要素とシステムの関係は、あたかも技術の階層構造を形作っている。実際、要素が統合されてシステム化していく様は“高次元化”あるいは“創発(emergent)”と称される。ここでは、これを“技術の次元性”と称することとする。例えば iPS 細胞の発見で俄然注目が高まる再生医療用の材料においても、医学、生物学、工学の3つの流れがあって、それぞれが構築してきた要素技術が融合して医療システムになる [7]。一方、最近のハイテク製品は多数の要素技術を束ね融合させて商品となる。例えば、携帯電話機には約70万件に及ぶ特許が使われている[8]。また、情報システムもデバイス、回路、VLSI、アーキテクチャ、システム・ソフトウェア、ネットワーク、応用・サービスなどの各要素から構成されている。光メモリー関連の技術は、光源、材料、デバイス、駆動装置、ソフトウェアなどの多くの精密な要素の組み合わせから構成される[9]。

北森らのマイクロ化学チップの基礎研究においても、マイクロ化学チップそのものや分析・反応の機能、マイクロポンプやマイクロバルブなどの流体制御デバイスといった要素技術に関する段階で、応用研究ではこれらを分析システムや合成システムとして構築していかななくてはならない[10]。これは、ICがLSI、ULSIに発展したような大規模集積化の様相が似ている。マイクロ化学システムの実現のためには、チャンネル内で行う化学反応だけでなく、その反応を制御するための流体制御技術や環境制御技術、センシング技術などが不可欠である。従って、個々の要素技術だけでなく周辺デバイスを統合したシステム化の研究開発が進むことになる[11]。この他にも製品化を目指す場合は小型化・省スペース化という技術的課題が加わってくる。

材料系の研究開発では、材料そのものの特性に加えて、構造物やシステムとしての観点が重要になる[12]。例えば、超伝導現象は物理学や材料科学として確かに魅力的な研究対象であるが、超伝導現象そのものだけでは実用に役立て難く、周辺技術とのシステム化によって初めて経済的な価値を生むことになる。事実、常温の超伝導の実現は今なお未踏であるため、今日、超伝導状態を作るためには液体ヘリウムや液体窒素による冷却システム化が必須となっている[13]。

田中らの人工骨による再生医療においても、“細胞の足場材料”，“成長因子の供給”，“組織を構築するための細胞培養技術”などの要素技術の統合的検討が必須である[14]。岡野は細胞シートを三次元的に積層していくことで，組織や器官，更には臓器を作ろうとしている。これもシートという2次元から文字通り3次元に向かっている[15]。また，バイオマテリアル全般においても人工腎臓や各種カテーテルの例に認められるように，多くのバイオマテリアルは血液と接触して用いられるために人工材料と血液の相互作用を研究することが必要になってくる[16]。このように，バイオマテリアルは生体システムの要素技術であるために特有の難しさを伴う。

2 スケール

2.1 スケールアップ

基礎研究フェイズでは数～数百gレベルのピーカースケールで研究が進められるが，応用研究フェイズでは，ベンチスケール，量産スケールと数百～数千tレベルまでスケールアップしていくことになる。このスケールアップは特に化学工学分野においては基礎研究フェイズと応用研究フェイズの本質的な溝となる。ここでは，スケールアップによってどのような相違が生じるかについて整理してみる。

(1) 温度制御

往々にして，温度制御の難しさがスケールアップを妨げる要因になる。例えば，加熱工程をとってみると，実験室レベルでは数mLの溶液を温めるために1L程度のシリコンオイルバスを用いてすぐに全体に熱を伝えることが出来る。しかしながら，工場スケールの反応炉では熱が均一に伝わらないために，混ざらない，溶けないといった事態が起こってくる。著しく反応熱の大きい反応も冷却に困難を伴うといった理由で実用を指向した応用研究ではネックになる。また，攪拌も問題になる。均一に混じりあわないと局所的な反応が起きて，重合物や副生成物が生成される場合もある。

(2) スケールアップに伴う問題点

スケールアップすると小スケールでは問題とならなかった副反応や残渣が増えることが一般的である。その処理いかんでは有害物質を放出する可能性がある。従って，生成物(混合物)の分離処理という問題が生じてくる。混合物を分離することは厄介であるため，副反応を抑える反応のスリーニングも必要となってくる[17]。

取り扱いが危険な有害物質も実験室レベルではドラフトなどの適切な処理によって除外できるが，スケールアップに伴って量が増すと使いにくくなる。例えば，四酸化オスミウムは様々な需要がある優れた試薬であるにもかかわらず，昇華性が高く吸引毒性があり，反応後の回収も困難であるという難点があった。そのため実験室レベルで繁用されているものの工業プロセスでは使われていなかった[18]。

また，反応体と溶媒の比率が小スケール時と同じままスケールを大きくするのでは，溶媒まで大量に必要になり装置が過剰に大型化してしまう。このため，少量の溶媒でも反応できるような反応場の設計や実験条件のスクリーニングが必要となってくる。他に，薬の秤量方法，投入方法，使用する反応体，試薬の純度もスケールアップに伴って改善が必要となってくる。このように，小さなスケールの実験から，どのように大きいスケールの製造プロセスをつくるかというスケールアップが，化学工業プロセスには殊の外重要となる。

化学工学以外にもスケールアップの壁は現れる。金属の溶接箇所の残留応力の符号が実験室の自由端溶接と現場の固定端溶接とでは逆になるケースあり，溶接部の残留応力は疲労強度に大きな影響を与えることが知られている。実験室規模の溶接が全く意味をなさないこともある[19]。バイオテクノロジーでは，生きている細胞は，攪拌によるせん断応力，温度，酸素調整，成長条件及び栄養所要量，代謝副産物の阻害効果などの要因の影響を受け易い。スケールアップすることによって，液相や固液界面の影響も大きくなり，従ってこれらの相や界面における細胞増殖や遺伝子発現の様子も変わってくる[20]。超伝導研究も応用研究では，大容量の電流を流すという基礎研究では余り考慮されていなかった技術的課題に直面した。この課題を克服して，超伝導磁

石という基盤要素技術が出来、NMR(核磁気共鳴)や加速器の実用に供した[13].

2.2 スケールダウンに伴う相違

化学合成の分野では、大量合成が念頭にあるために原料が少ないと生成の絶対量も少なくなると考えられる。そのため合成量を増やすためにはスケールアップという手法が採られてきた[21]。従来、パイロットプラントや工場の建設といったスケールアップに伴い前節に述べたような多様な要素技術のシステム化が進んできた。その一方で、昨今はナノテクノロジーに代表されるように、むしろスケールダウンに伴うシステム化も行われている[22]。マイクロ化学チップはまさにその好例である。マイクロ化学チップでは、表面や界面の占める割合が大きくなって、それらの影響が非常に強くなっていく。例えば、ナノ空間に水を閉じ込めると固体に近い物性を示すようになる[23]。

2.3 スケールアップがもたらすサイエンスメリット

一方、マイクロオーダーの化学ではみえにくい反応や現象がスケールアップすることによって見えるようになるというサイエンスメリットもある。材料を部品にして初めて明らかになる点、更に部品を実装してようやく分かる欠点など、工業化スケールにいたって明らかになる課題も多い[13]。

文字通りスケールアップすることで工業的な意義と同時に科学に対する見返りもある。例えば、R.Koch が光学顕微鏡を使って病原菌を発見し、E.D.Adrian が真空管増幅器を使って神経の電気信号を発見したように、「大きくして見る」ことは本質的な科学技術の進歩につながっている[24]。16世紀末に発明された光学顕微鏡は、光とレンズでものを拡大するという虫眼鏡の原理を発展させて創られたものである。20世紀前半には電子顕微鏡が登場し、光学顕微鏡の限界を超えた。電子線を発生させる高電圧技術や電子線を安定させるための真空技術、音や振動を極力抑える制震技術などにより改良を重ね、1970年代には原子の姿を捉えられるまでになった[25]。この電子顕微鏡の進展によって、1991年に飯島はカーボンナノチューブを発見し、2000年には末永らが室温で単金属原子を観測することに成功した[26]。

3 取得するデータの性質

基礎研究と応用研究では取得するデータの性質も異なっていた。基礎研究では、チャンピオンデータ、基礎的特性、構造が主に研究される[3]。応用研究では、1, 2節で論じたシステムやスケールアップに際して必要なデータを新たに取得する必要がある。その他にも、応用研究では、再現性、経済性、信頼性、頑強性、耐久性、環境適合性などに関するデータが求められる。本節では、データ面から基礎研究フェイズと応用研究フェイズの相違を整理するために、応用研究フェイズ固有に求められるデータについて検討する。

3.1 経済性と市場性

応用研究フェイズでは生産の採算性が重要となる。従って、単に原料と目的物の価格だけでなく副生成物の後処理にかかる費用、装置の減価償却も考慮しなければならない。

光触媒研究で著名な藤嶋昭は、応用研究化のポイントとして、真に役に立つことと同時に企業のトップの理解を得、ひいてはサポートを得ることが決め手であると述べている。企業のトップに理解を得ようと思えばマーケティングは不可欠である。経営陣は定性的な話だけでは判断しない。市場性を理解しないままに提案しても企業側にとっては的外れな提案になってしまう恐れがある [27]。同様に、新プロセスの提示だけでは企業側へのアピールは不十分である。むしろ全く新規の分野は技術そのものに加えて採算性を評価できないからである。従って、コスト計算やLCA(ライフサイクルアセスメント)の結果も併せて示す必要がある[28]。

しかしながら、基礎研究フェイズで経済性を過剰意識することの危険性について、丸山は次のように述べている[29]。

社内からの評価はある製品の歩留まり向上に貢献していったような限られた関心からであることが多い。ある研究が社会で高く評価されているが、社内評価は散々である場合もある。これはたとえば、製品化しようとしたら歩留まりが上がらずコスト高になって競争力がなかったという場合である。社外からの評価は技術のコンセプトのオリジナリティを重視するのに対し、社内の評価は経済性を重視する。両者を混同し、基礎研究にオリジナリティと経済性を要求すると結果はどちらともつかぬ陳腐なものに、そうなるくらいなら経済性は無視してオリジナリティだけを追求した方がいい。

3.2 信頼性・安全性(再現性・精度・歩留まり)

個別に研究開発の成果が得られたとしても製品段階で信頼性や安全性に欠陥があることが分かれば採用されない[30]。そのため、応用研究では信頼性・安全性に関するデータは重要な意味を持つ。

再現性が低いと当然ながら、前項のコストにも悪影響を及ぼす。2.1 節で検討したスケールアップも得てして再現性や信頼性とトレードオフの関係になる。例えば、生分解性プラスチックの生産では、数十万 t/年のスケールでは安定した生産が難しいと言われる。5万～10万 t/年で生産が安定化しても、今度はコスト面で成り立たなくなる。

人工材料を骨(硬組織)に埋め込む際には、人工材料は血液などの体液にまず接触することによる初期の反応を引き起こし、その後、細胞も関与する慢性期の生体反応へと移行する。従って、生体と材料との相互作用では、材料表面が決定的な役割を果たす。この材料表面特性はバルクの性質ほど安定ではなく、同じ材料を用いた研究でも、その材料の履歴によりその表面特性は大きく異なり、再現性を得ることは容易ではない[15]。

学術的には、各種の物性や構造・組織などに秀でる素質の良い材料の発見は価値があるが、実用化にとっては素質だけでなく頑強であることが重要になってくる [31]。ニッケル・水素 2 次電池の負極材料として用いられる水素吸蔵合金においても電池の高容量化につながる水素吸蔵特性と電池の寿命につながる充放電特性を兼備する合金材料が求められる。また、発電や化学合成のシステムでは、長期の連続運転のテストが必要になる。バイオマスを用いた発電システムの研究開発では、実際の廃棄物での実際的なデータ蓄積や長時間運転による問題点の確認をプロジェクトの評価委員から求められていた。

この他、医薬品や食品、あるいは医療に結びつく研究では、安全性・有効性が問題にされる。

3.3 その他

2000 年 5 月に制定されたグリーン購入法や RoHS 指令に基づき 2006 年 7 月 1 日以降、EU 加盟国内において指定された有害物質が含まれている電子・電気機器を上市することはできなくなった。こうした情勢下で、応用研究においては環境適合性のデータも重視されるようになってきている。

また、大学では知的財産戦略の一環としてアイデアや発見を基に主に“基本特許”を取得するが、技術の競争力強化という点では“周辺特許”で脇を固めていくという戦略性も加味しなくてはならない。すなわち応用研究フェイズでは、“周辺特許”を取得するためのデータも必要になってくる。

4. 総括

本発表では、基礎研究と応用研究で実際に研究フェイズの質としてどのような相違があるのかを検討した。技術の次元性、スケール性、取得するデータの性質といった 3 つの観点から検討し、それぞれにおいて、基礎研究と応用研究とは明確な相違があ

ることが確認された。それらを表 1 にまとめた。

表 1 基礎研究フェイズと応用研究フェイズの相違

	基礎研究フェイズ	応用研究フェイズ
技術の次元	要素	システム
スケール	ビーカースケール	ベンチスケール, 量産スケール
取得するデータの性質	<ul style="list-style-type: none"> ● チャンピオンデータ ● 特性 ● 構造 	<ul style="list-style-type: none"> ● 経済性(原材料, プロセス, 量産性) ● 信頼性(再現性, 精度, 生産性, 耐久性, 安全性) ● 環境適合性 ● 周辺特許のためのデータ

本発表では3つの因子に大別して研究フェイズの質の違いを整理したが、これらは全く独立した因子ではなく、時として強く相関する。3.2 項で人工骨材料や細胞シートの研究で安全性・有効性のデータが必要になると述べたが、同時に再現性のデータを取得していることを意味している。安全性・有効性の試験は一般的に前臨床試験(動物実験)で行われるが、それは生体システムとしての検討とも解釈でき、その点で1節の技術次元の高度化にも相当する。

ここでは、様々な研究開発プロジェクトで認められた事実を基に3つの切り口から典型的な基礎研究と応用研究について検討し、研究フェイズとしての相違を見出した。但し、この分類であらゆる研究を網羅的に説明できる訳ではない。例えば、応用研究としての要素技術の研究開発や基礎研究としての素粒子や天体のシステム研究などの反例が想定できる。本稿では、基礎研究、応用研究の間に研究フェイズとしての質的相違について具体的に論ずることを目的としているため、詳細な分類論にまでは立ち入らないこととする。

参考文献

- [1] OECD, Frascati Manual, 2002
- [2] B.Godin, "The emergence of S&T indicators: why did governments supplement statistics with indicators?", Research Policy, 32, 679-691, 2003
- [3] 吉川弘之, 内藤耕編著, 第2種基礎研究, 実用化につながる研究開発の新しい考え方, 日経BP社, 2003
- [4] 市川惇信, ブレークスルーのために—研究組織進化論, OHM社, 1996
- [5] K.Pavitt, "The social shaping of the national science base," Research Policy, 27, 793-805, 1998
- [6] 永山国昭, "基礎研究と国際化 基礎研究の新しいスペクトラム 応用研究から基礎研究へのインパクト," 日本の科学と技術, 31, 256, 56-58, 1990
- [7] 吉里勝利, "再生医療の歴史と将来," 治療学, 35, 10, 115-118, 2001
- [8] 丸山正明, "東工大 COE 教育改革," 日経BP社, 2005
- [9] 大津元一, ナノ・フォトニクス, 米田出版, 1999
- [10] 北森武彦, マイクロ化学チップ, pp.131-132, 丸善, 2006
- [11] 渡慶次学, 菊谷善国, 北森武彦, "次世代集積化マイクロ化学システム," ケミカル・エンジニアリング, 49, 1, 6-12, 2004

- [12] 岸輝雄, “物質・材料の成り立ち,” 精密工学会誌, 71, 7, 811-814, 2005
- [13] 有馬朗人, “「大河内精神を復活せよ！」成功する研究に必要な視点,” in 有馬朗人(監修), 実学の超研究術のすすめ, pp.6-18, 東京書籍, 2002
- [14] 小林尚俊, 生駒俊之, 菊地正紀, 田中順三, “骨組織再生とナノテクノロジー,” バイオマテリアル, 22, 6, 415-421, 2004
- [15] 岡野光夫, “バイオマテリアルの進歩とハイブリッド型人工臓器,” in 室田誠逸編, 再生医学・再生医療, 東京化学同人, 2002
- [16] 岩田博夫, バイオマテリアル, 共立出版, 2005
- [17] 渡辺徳二, 林雄二郎編著, 日本の化学工業, 岩波書店, 1974
- [18] 秋山良, 小林修, “高分子カルセランド型触媒の開発と有機合成への展開,” 和光純薬時報, 74, 1, 2-6, 2006
- [19] 下斗米道夫, “新素材開発戦略,” 金属, 75, 7, 85-93, 2005
- [20] 大統領競争力諮問会議, バイオテクノロジー連邦政策に関する報告書, 1991
- [21] 日経バイオビジネス社, 6, 119-122, 2003
- [22] 国武豊喜, “ナノテクノロジーは日本の化学にとって何を意味するか,” 化学と工業, 56, 12, 1329-1332, 2003
- [23] 北森武彦, マイクロ化学チップ, p.26, 丸善, 2006
- [24] 酒井邦嘉, “科学者という仕事,” 中央公論新社, 2006
- [25] 科学技術振興機構, JST News, 4, 2, 2007
- [26] 篠原久典, ナノカーボンの科学, 講談社, 2007
- [27] 藤嶋昭, “一つの物質からはじまった発見が大きな実学を生み出した,” in 実学の超研究術のすすめ, pp.105-128, 東京書籍, 2002
- [28] 田口精一, 柘植丈治, 土肥義治, “バイオプラスチック生産研究の国際動向,” 化学経済, 3, 32-38, 2004
- [29] 丸山瑛一, “企業における基礎研究,” 固体物理, 23, 12, 945-950, 1988
- [30] 北川賢司, 研究開発のシステムズアプローチ, p.79, コロナ社, 1977
- [31] 森勇介, “波長変換結晶 CsLiB₆O₁₀ の発見と実用化,” in 榊裕之(監修)科学立国日本を築く, pp.41-47, 日刊工業新聞社, 2006