

Title	基礎研究と応用研究の共進プロセス
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: 169-174
Issue Date	2008-10-12
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/7528
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共進プロセス

○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)

1 緒言

現代の科学技術をリニアモデルで説明できなくなってくることから、リニアモデルは1960年代から疑問視され始めた[1]。研究開発プロセスを過剰に単純化していることや科学技術自体の複雑化に対応出来ていないことが、リニアモデルの弱点であるとされる[1-5]。事実、現代のバイオテクノロジーやITなど様々な領域でリニアモデルは当てはまらなくなり、場合によっては基礎研究と応用研究は渾然一体となって進むことすらある [6, 7]。Rothwell も1960年代～1970年代初期の単純な技術プッシュ・ニーズプルモデルから1970年代後半～1980年代初期のカップリングモデルを経て今日の統合モデルに至る発展をレビューし、日本でのイノベーションプロセスの観察を基に、これからのイノベーションは一連の活動が同時並行的に起こるプロセスとなると結論した[7]。

科学と技術は異なった特徴をもつものとして別個に発展してきたが、産業革命を経て技術知識の体系化が進んだ結果、科学と技術に相互関係が生まれてきた[8]。この文脈で、技術革新が基礎研究の手段を与えることもある。天文学における望遠鏡技術、生物学における顕微鏡技術、素粒子物理学における加速器技術などはそれぞれ基礎研究の進展に大きく寄与した[9]。量子的な波動性を制御するためには、伝導する電子の波長と同程度の寸法の構造を作る必要があるが、10nm オーダーの超微細加工技術や薄膜成膜技術の実現により、薄膜や超格子に関する新たな基礎研究分野が切り拓かれた[10]。

このように基礎研究と応用研究とはそれぞれ独立に進展するのではなく、相互作用を及ぼす。更に、これが正のフィードバックとなり、基礎研究、応用研究がそれぞれに相互作用を及ぼしあいながら進展していくこともある。例えば、巨大磁気抵抗効果の発見は、原子単位で正確無比に人工超格子を作製するというナノテクノロジーの進歩と不可分な関係にあった。従って、ナノテクノロジーの進展によって巨大磁気抵抗効果が発見され、この巨大磁気抵抗効果の発見によりGMRヘッドが実現したという応用研究から基礎研究、そして基礎研究から応用研究へという作用の循環が認められる[11]。

Stanford 大の Dasher は、産学連携における知識の移動が大学から企業への一方的なものでは不十分で、産と学が基礎研究の初期段階からリアルタイムで双方向的に知識の交換を行う“スピルオーバー(波及促進)モデル”こそが有効であると主張する[12]。このような共進プロセスに基づいた研究推進体制の先駆けとしては理化学研究所(以下、理研と略記)が挙げられる。三代目の所長である大河内正敏は1942年に「理研は純正物理学、純正化学の研究が目的であると同時に、医学、農学、工学への応用研究を進める。」と述べている[13, 14]。また、1990年代初めに、米国・ゼロックス社のカナダ材料研究センターがこのような共進プロセスで研究開発を進め、成功を収めた [15]。

2004年から理研が産業界との連携のユニークなプラットフォームを築き企業と理研が一体となって研究開発を進める“パラレル(併走)モデル”の共同研究の実現に向け、“融合的連携プログラム”を開始した。このプログラムの特徴は、研究課題の提案とチームリーダーを企業主導で行い時限的研究チームを編成するという開発側のイニシアティブを重視していることである。

これらの基礎研究と応用研究の共進プロセスについての現象論的な研究も行われている。例えば、Meyer-Krahmer はドイツの化学、情報技術、バイオテクノロジー、生産技術の4分野を取り上げ、産学連携における相互作用のパターンが一樣ではないこと

を示した[16]. この多様性は、Pavittも指摘しているところである[17]. また、Murrayによってティッシュエンジニアリング(組織工学)における基礎研究と応用研究の共進プロセスが検討されている[18].

本研究では、基礎研究と応用研究を同時推進した北森マイクロ空間プロジェクトにおいて認められた基礎研究と応用研究の共進プロセスの詳細を検討し、その機構の解明を目指した。

共進プロセスを解明するための指標としては、従来、特許[19-22]、企業研究者による論文[23]、産学による共著論文[24]、大学による特許[25]、大学研究者による特許[26]、同一研究者による特許-論文対[18]などが用いられてきた。本研究もこれらの指標を用いて検討した。

2 ケーススタディ：北森マイクロ空間プロジェクトにおける共進プロセス

マイクロ化学チップは、半導体加工技術を用いてガラス基板上にミクロンオーダーの化学反応システムを実現する。極微量の試料を迅速に分析や化学物質の合成のための革新的なツールを創出するキーテクノロジーとなる。マイクロ化学チップは、ナノテクノロジーの中心的な研究分野の1つであり、半導体微細加工技術、電子工学、機械工学、材料科学、物理学、化学、生物学、医学など多様な工学と科学が融合されるモード2型の研究分野である。この研究分野としての新しさや学際性の他に、市場が未形成であること、製品開発型であること、少量多品種型の生産体制が必須であることなどから、応用研究の進展メカニズムを明らかにして研究分野全体としての産業化のための知見を得ることは重要である[27].

そこで、ここでは北森マイクロ空間プロジェクトを取り上げ、共進プロセスの機構を詳細に検討する。北森は、基礎研究プロジェクトと応用研究プロジェクトを同時推進し、応用研究から基礎研究へのフィードバックと基礎研究から応用研究へのフィードフォワードを機能させた。その結果、基礎研究と応用研究は相互に作用を及ぼし合い進展していった。応用研究で生じた技術的な課題は基礎研究として取り組まれ、基礎研究で得られた知見はまた応用研究の現場で採り入れられた。このプロセスを明らかにするため本研究では、応用研究からフィードバックされ基礎研究として取り組まれ、更に基礎研究の成果が応用研究にフィードフォワードされた様子をそれぞれに対応する出願特許と発表論文を指標として、基礎研究と応用研究の共進プロセスを検証する。ここで、北森が研究室を主宰してから論文が発表された1998年から2007年までを対象としたが、特許の出願は1999年以降であり、また公開された特許を扱ったため出願特許は2006年までものを対象とした。

3 共進プロセスの静態

(1) サイエンスリンケージ

各特許明細書における非特許文献の引用を調べ、サイエンスリンケージを求めた。明細書本文を逐一確認し、引用の有無と内容を調べた。非特許文献(NPR)の内、北森グループ関連の文献についても検討した。この結果を示すと図1のようになる。引用された科学文献に占める北森グループ関連の論文が占める割合を示す。サイエンスリンケージ自体は特に高い値や傾向は認められなかった。しかしながら、北森グループによる文献のリンケージは、値は低いものの安定している。そこで、NPRに占める北森グループの文献の比率を求め示すと図2のようになった。年々、占有率が伸展しており、北森グループの基礎研究の成果が同グル

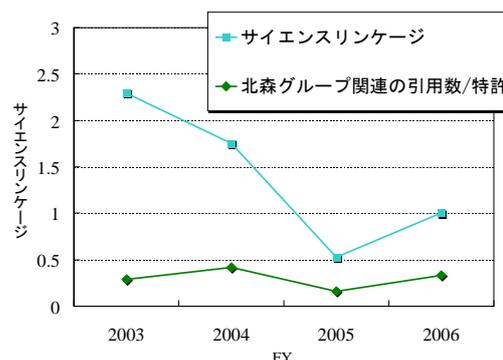


図1. 北森グループ関連特許のサイエンスリンケージ

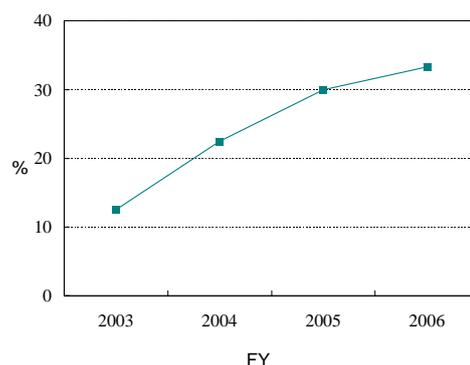


図2. 引用された科学文献に占める北森グループ関連の論文

ープの応用研究に直結していることが示唆される。

(2) 共著論文・共願特許

科学計量学では、共同研究のアクティビティーの指標として共著論文が用いられる[28]。大学の研究者と企業の研究者の共著論文は、著作行為そのものに加えて個人レベルで暗黙知を交換する効果があり、そのリンクはより強くなる[28-30]。一般的に企業における論文発表の優先度は大学よりも低く、企業と大学の共著論文は産側への作用の高さを示す絶対的な指標ではなく[31]、共著論文が少ないことが、大学側から企業側への影響が必ずしも少ないことを意味しない。しかしながら、多くの共著論文が発表されていれば産学連携のアクティビティーが高いということを示唆すると考えてよい。

七丈らや Murray は共著論文と共願特許を指標として基礎研究と応用研究の相互作用について検討した。七丈らは東大先端研の光触媒研究について、共著論文と共願特許を産学連携の指標として検討した結果、共著論文に加え共願特許を行った場合に産学連携の効果が高くなることを見出した[31]。また、Murray はティッシュエンジニアリング分野における特許と論文に着目して基礎研究と応用研究の共進を調べた結果、ライセンス、コンサルティング、技術指導を通じて共進が起きたことを示した[18]。

米国の MIT を対象とした実証研究では、特許を共願した企業と論文を共著した企業とが異なる傾向[32]があり、一方、東大を対象とした比較研究では、特許を共願した企業と論文を共著した企業とが重複する傾向があることが明らかになっている[33]。そこで、本研究においても同様の方法で、北森プロジェクトにおける東大と企業の共願特許と共著論文の実績について調べた。

この研究分野における世界最大の国際会議は μ TAS (Micro Total Analysis System) コンファレンスのプロシーディングスはピアレビューによる採択が厳しく行われており、論文の質は高い。例えば、2005 年 10 月にボストンで開催された第 9 回 μ TAS コンファレンスでは、832 の論文が提出され、その中から 520 が選ばれており、採択率は約 60% という狭き門であった[34]。この μ TAS コンファレンスのプロシーディングスを含めると、共著・共願の両方を行った企業が 13 社、共願のみの企業が 6 社、共著のみの企業が 6 社という内訳となり、共著・共願の両方を行った企業は 52% を占めたこととなる。

Tijssen は、1996-2001 年に国際的学術誌に発表された企業研究者が関与した論文 29 万報を分析し、特許申請と研究論文への特許引用の増加にもかかわらず企業研究者による論文数は減少していることを明らかにした。その理由として「企業の基礎研究が縮小されている可能性、また自社の知的所有権を確保することが科学研究コミュニティと情報を共有・交換するより重視されるようになった可能性」と考察した[35]。北森は、今回の調査で共著のない企業について、1 社を除いては論文にまとめるだけの研究成果が得られていると指摘したが、本ケースにおいても企業に Tijssen が考察したような背景がある可能性がある。

共願と共著は正相関が期待されたが、相関係数は 0.149 となり、弱い相関が認められる程度である。共著論文提出には企業側の事情に強く左右されることが予想される。すなわち、担当者の論文作製に対する熱意、スキル、さらには企業組織の論文提出に対する優先度などの事情があろうことも推察できる。本表は北森プロジェクトに関するものだけであり、より広範なデータベースに基づく相関性の調査は今後に残された課題であろう。

4 共進プロセスの動態

前節では、サイエンスリンケージや共著論文・共願特許という一般的な共進プロセスの指標を用いて検討を行った。しかしながら、これらは基礎研究と応用研究の“静的(static)”な結びつきを示すもので、共進プロセスの“動態(dynamics)”を表すものではない。そこで、本節では北森プロジェクトにおいて認められた 3 パターンの共進プロセスについて、具体的に研究フェイズ間でどのような相互作用が働き、それぞれの研究フェイズが進展していったのかを定性的に述べ、更に、出願特許、発表論文でその挙動を追う。

(1) マイクロ化学チップにおける分光法/検出システムの共進プロセス

マイクロ化学チップを利用する上での問題として、試料量が検出には過少であるという点が挙げられる。従って、マイクロ化学チップを用いたシステム技術には、微小空間で超高感度に測定出来る検出器が不可分となる。そこで、光熱変換分光法の一つである“熱レンズ法”の基礎研究を推進した。北森らは、この基礎研究で得られた知見を基に、マイクロチャンネル内のような微小空間で非蛍光性物質を単一分子レベルで検出できる“熱レンズ顕微鏡”を独自に開発した。この検出法は、分子の光吸収によって引き起こされる熱の放出を溶媒の屈折率変化として計測するというもので、非蛍光性物質をレーザー誘起蛍光検出法に匹敵する高感度で定量測定することが出来る [27][36-39]。熱レンズ分光法自体は約40年前から知られている古い原理であるが、顕微鏡との組み合わせを実現したのは北森らが最初である。北森らの開発した“熱レンズ顕微鏡”は液相中の化学現象解析に有効なツールであり、マイクロ多相流中の界面現象の計測などの基礎研究の進展に大きな寄与を果たした[40]。

マイクロ化学システムのメリットである少試料量はしかし検出の観点からは大きなデメリットになる[37][40,41]。そのため検出デバイスとして汎用化するためには、固有の技術的課題が新たに顕現する。更にマイクロ化学システムとして実用化するためには回路の単純化と装置自体のダウンサイジングが必須であった。これらの課題を克服し、マイクロチップと熱レンズ顕微鏡を組み合わせることにより、マイクロFIAシステム、マイクロ溶媒抽出分析システム、化学反応の温度制御、イムノアッセイシステム、マイクロ細胞実験室など様々なシステムを構築している[27]。半導体技術の微細化と同様に、マイクロ化学チップも集積度が向上と共にチャンネルは微細化し、基礎研究フェーズでは流路幅がナノオーダーのナノチャンネルを扱うようになってきた。従って、検出法の基礎研究においても、検出対象が従来のマイクロ領域の現象から更に小さなナノ領域の現象となってきている。これらの共進プロセスを図示したものが図3である。

図4は、この共進プロセスを特許と論文によって検証するため、熱レンズ分光法、マイクロチップのための検出、ナノスケールの検出の関連する発表論文と熱レンズ顕微鏡、マイクロ化学システムとしての検出デバイスの出願特許の年度毎に累積数を示したものである。

熱レンズ分光法に関する論文は1997年から1999年に掛けて多く発表され、2000年以降はさほど発表されなくなった。1999年から分光法の基礎研究で得られた知見により熱レンズ顕微鏡に関する特許が出願され始めたが、熱レンズ顕微鏡そのものとしての特許出願は2000年までで収束し、基本特許の出願が一段落した様子が視える。ここでは、熱レンズ分光法による基礎研究とそこから生まれた熱レンズ顕微鏡の創出という応用研究の相互作用が確認された。

一方、マイクロ化学チップでの検出を基礎研究として指向した論文発表が1997年当初から2007年に至るまでコンスタントに発表されている。特に、1999年から勾配が急峻になっていることから明らかのように年度毎の発表論文数レベルが増加した。マイクロ

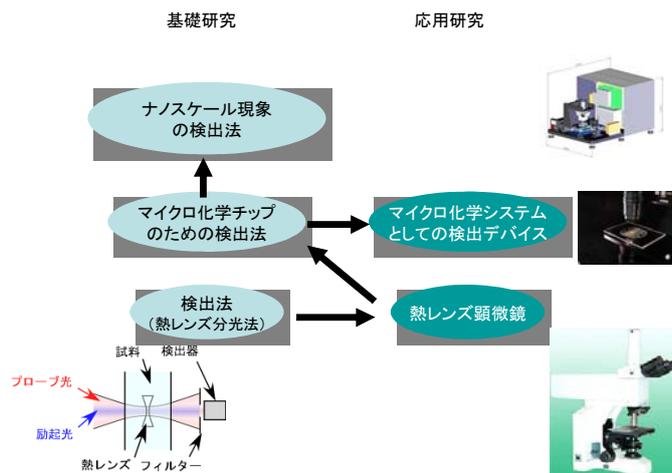


図3. 北森マイクロ空間プロジェクトにおける分光法/検出システムの共進プロセス

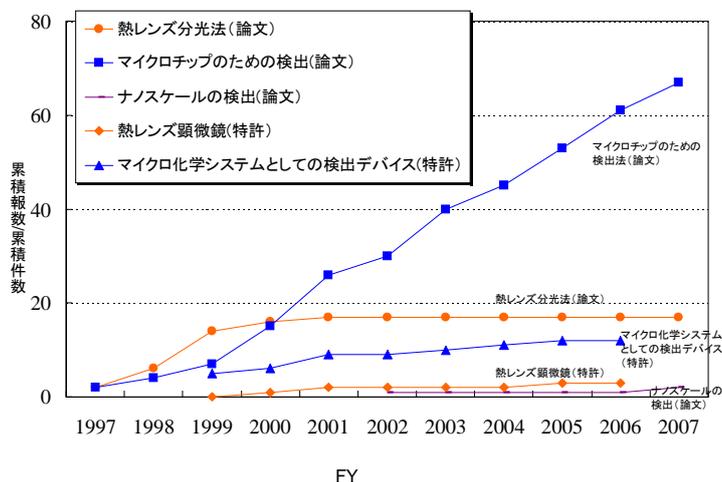


図4. 分光法/検出システムの共進—論文発表・特許出願

化学システムとしての検出デバイスに関する特許も 1999 年から 2007 年に至るまでコンスタントに出願されている様子が分かる。これらの事実から、マイクロ化学チップの検出に関する基礎研究とマイクロ化学システムとしての検出システムの構築という応用研究の相互作用が確認できた。また、ナノスケールの検出に関する論文については、第 1 報が 2002 年に発表されたが 2006 年までは極々微増で、2007 年に発表件数が増え、今後、新たな基礎研究のテーマとして増加傾向に転ずる兆しがある。

このように、基礎研究の成果を示す論文発表と応用研究での発明・改良を示す出願特許の累積数によって共進プロセスを説明出来ることを示唆する結果が得られた。

(2) 表面化学修飾/合成・分析システムの共進プロセス

“マイクロ流路の閉塞”という応用研究フェイズにおける技術的課題に端を発し、“表面化学修飾”に関する基礎研究が生まれた。例えば、マイクロチャンネル内での界面重合によるナイロン合成の場合には、界面に生成したナイロン膜がマイクロチャンネル内壁に付着し、界面の乱れやナイロン高分子がマイクロチャンネルを閉塞してしまうという重大な技術的課題を与えることが分かった [42]。このナイロン合成に限らず、マイクロチャンネル内で生成物の沈殿を生じる反応全般において、沈殿物がマイクロチャンネル内壁面への付着やマイクロチャンネルの閉塞といった問題が生じていた。これらの問題を基礎研究で検討した結果、路壁に生成した核に特異的に吸着するというメカニズムが明らかになり、閉塞をなくすための表面化学修飾という新たな基礎研究が始まった。この基礎研究によって得られた知見を活かし、“高効率合成システム”が開発された。また、応用研究フェイズから細胞を分析するシステムを新たに開発したいという要望が高まり、基礎研究フェイズでは細胞の接着を実現する表面化学修飾の研究が始まった。この知見を基に、“細胞分析システム”が開発され、基礎研究フェイズではマイクロオーダーから更にスケールダウンしてナノオーダーでの表面化学修飾の研究に展開した。

(3) 界面制御/抽出・分析システムの共進プロセス

応用研究フェイズにおいてマイクロ空間の液相/液相の混合に異常が認められた。流体力学の理論に従えば、マイクロ空間ではレイノルズ数が小さくなり乱流が起らないので二相の流体同士は混ざりにくいはずであるが、実際は良く混ざり合った。抽出システムとしてマイクロチップを用いるためには、この現象は非常に具合が悪かった。そこで、この現象解明を基礎研究として取り組み、界面がこれらの挙動の鍵になっていることを突き止め界面制御の基礎研究テーマが立ち上がった。この基礎研究によって得られた知見を活かし、“抽出システム”が開発された。また、応用研究フェイズからガスを分析するシステムを新たに開発したいという要望が高まり、基礎研究フェイズでは気相/液相の界面制御に関する研究が始まった。この知見を基に、“ガス分析システム”が開発され、基礎研究フェイズでは更に高度の流体制御研究、引いては“ナノ溶液物性”研究に進展していった。

共進プロセス(2)、(3)についても、共進プロセス(1)と同様に特許と論文の累積数の推移で共進プロセスを追うことが出来た。ここでは紙面の都合で割愛し、講演で示すこととする。

参考文献

- | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| [1] 中山茂, 科学技術の国際競争力, 朝日新聞社, 2006 | [7] 丹羽清, 技術経営論, 東京大学出版会, 2006 |
| [2] M.Dodgson, D.Gann, A.Salter, Think, Play, Do : Technology, Innovation, and Organization, Oxford University Press, 2005 | [8] 鳥井弘之, “科学技術文明再生論,” 日本経済新聞社, 2007 |
| [3] 斎藤富士郎, 「研究」と「開発」を考える—現場からの発想, NEC クリエイティブ, 2000 | [9] 市川惇信, 暴走する科学技術文明 : 知識拡大競争は制御できるか, 岩波書店, 2000 |
| [4] S.Klein, “Innovation is not a linear process,” Research Management, 28, 4, 36-45, 1985 | [10] 榊裕之, “封じ込められた電子を操作する,” in 東京大学先端科学技術センター(編), ジェネリック・テクノロジーの発振, pp.103-108, 三田出版会, 1991 |
| [5] S.J.クライン, 鳴原文七(訳), イノベーション・スタイル. アグネ承風社, 1992 | [11] 小野輝男, “巨大磁気抵抗効果の発見,” 現代化学, 12, 48-51, 2007 |
| [6] 井村裕夫, 21 世紀を支える科学と教育, 日本経済出版社, 2005 | [12] リチャード・ダッシャー, “スピルオーバー型産学連携のススメ,” 日経 bizTech, No.005, 170-175, 日経 BP, 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 実学の超研究術のすすめ, pp.6-18, 東京書籍, 2002
- [14] 理化学研究所史編集委員会(編), 理研精神八十八年, 2005, 理化学研究所
- [15] 下斗米道夫, “新素材開発戦略,” 金属, 75, 7, 85-93, 2005
- [16] F.Meyer-Kraumer and U.Schmoch, “Science-based technologies: university-industry interactions in four fields,” *Research Policy*, 27, 835-851, 1998,
- [17] K. Pavitt, “What makes basic research economically useful?,” *Research Policy*, 20, 2, 109-119, 1991
- [18] F. Murray, “Innovation as co-evolution of scientific and technological networks: exploring tissue engineering,” *Research Policy*, 31, 1389-1403, 2002
- [19] F.Narin and E.Noma, “Is technology becoming science?,” *Scientometrics*, 7, 369-381, 1985
- [20] F.Narin, K.S.Hamilton, D.Olivastro, “Linkage between agency-supported research and patented industrial technology,” *Research Evaluation*, 5, 3, 183-187, 1995
- [21] F.Narin, K.S.Hamilton and D.Olivastro, “The increasing linkage between U.S. Technology and public science,” *Research Policy*, 26, 317, 1997
- [22] D.Hicks, “Published papers, tacit competencies and corporate management of public/ private character of knowledge,” *Industrial and corporate change*, 4, 2, 401-424, 1995
- [23] B. Godin, R. S. Barker, M. Landry, “Besides academic publications: Which sectors compete, or are there competitors?,” *Scientometrics*, 33, 1, 3-12, 1995
- [24] J.Calvert and P.Patel, “University-industry research collaborations in the UK: bibliometric trends,” *Science and Public Policy*, 30, 2, 85-96, 2003
- [25] M. Meyer, “Does science push technology? Patents citing scientific literature,” *Research Policy*, 29, 3, 409-434, 2000
- [26] M. Meyer, T. Sipiläinen, J. Timm, “Towards hybrid Triple Helix indicators: A study of university-related patents and a survey of academic inventors,” *Scientometrics*, 58, 2, 321-350, 2003
- [27] 佐藤記一, 北森武彦, “マイクロチップ技術のバイオサイエンスへの応用,” 蛋白質 核酸 酵素, 48, 11, 1595-1601, 2003
- [28] 藤垣裕子, 平川秀幸, 富澤宏之, 調麻佐志, 林隆之, 牧野淳一郎, 科学計量学入門, 丸善, 2004
- [29] K.Pavitt, “Do Patents reflect the useful research output of universities?,” *Research Evaluation*, 7, 2, 105-111, 1998
- [30] L. G. Zucker and M. R. Darby, “Present at the biotechnological revolution: transformation of technological identity for a large incumbent pharmaceutical firm,” *Research Policy*, 26, 4-5, 429-446, 1997
- [31] 七丈直弘, 馬場靖憲, “緊密な連携が大学の科学研究に与える影響,” in 馬場靖憲, 後藤晃(編著), 産学連携の実証研究, pp.97-128, 東京大学出版会, 2007
- [32] A.Agrawal and R.Henderson, “Putting patents in context: Exploring knowledge transfer from MIT,” *Management Science*, 48(1), 44-60, 2002
- [33] 鈴木潤, 後藤晃, 馬場靖憲, “大学教員の研究活動と産学連携,” in 馬場靖憲, 後藤晃(編著), 産学連携の実証研究, pp.41-63, 東京大学出版会, 2007
- [34] nanonet, Japan Nanonet Bulletin 第104号, 2006
- [35] R.J. W. Tijssen, “Is the commercialization of scientific research affecting the production of public knowledge?: Global trends in the output of corporate research articles,” *Research Policy*, 33, 5, 709-733, 2004
- [36] 火原彰秀, 北森武彦, “熱レンズ顕微鏡—微小空間で高感度の物質定量を行う!,” 化学, 59, 8, 42-43, 2004
- [37] 馬渡和真ら, “熱レンズ顕微鏡,” 光学, 33, 12, 708-714, 2004
- [38] 馬渡和真, 北森武彦, “熱レンズ顕微鏡による非蛍光性分子の超高感度検出,” 臨床検査, 50, 12, 1487-1499, 2006
- [39] 日本国特許庁(JP), 公開特許公報:特開 2004-45434, 2004
- [40] 火原彰秀ら, “液液マイクロ多相流,” 混相流, 19, 1, 16-24, 2005
- [41] 馬渡和真, 北森武彦, “熱レンズ顕微鏡による非蛍光性分子の超高感度検出,” 臨床検査, 2006
- [42] 日本国特許庁(JP), 公開特許公報:特開 2005-144337, 2005