

分子線エピタキシを事例とする科学技術分野の 形成過程の分析 その2

—主要研究開発機関における研究開発プロセス—

○伊地知 寛博 (科学技術政策研究所), 平澤 冷 (東京大学)

1. 序

著者らは、知的成果物データベースに基いて、研究開発組織における動的過程を表現する方法論を開発してきた [1]。この方法論を用いて分析するレベルとして3つを想定しているが [1, 2]，本研究は、これらのうち科学技術社会全般というレベルで、科学技術の国際的展開の実態を把握しようとするものである。

昨年報告 [3] では、件数の関係から分析対象期間を1977年までに限定して分析を行った。この期間は、分子線エピタキシ (Molecular Beam Epitaxy: MBE) に関して学術研究中心の初期研究過程に相当する。今回の報告では、3群の主要な研究開発機関に限定して、最近までの研究開発過程を明らかにする。

MBEについては、従来、学術文献に基づいた研究活動のメソ・レベルでの分析が Stenberg [4] によって行われている。ここでは、さらに、特許も合わせることで、研究と開発の実態を総合的に分析する。

2. 分析対象技術の概要

MBEは、高真空中に導いた原子 (分子) のビームを制御しながら下地結晶に当てて、その上に原子を堆積させ、エピタキシと呼ばれる下地と一定の方位関係をもった結晶成長を表面上に行わせる技術である。とくに GaAs といった III-V 族の半導体を作製する重要な技術であり、有機金属化学蒸着 (Metal Organic Chemical Vapor Deposition: MOCVD) とともに、超格子等量子デバイスの作製に必要な技術である。

3. 方法論

3.1. 方法

組織過程を把握するためには、著者らがこれまでに開発してきた、学術文献や特許といった知的成果物のデータベースを用いて、共著や共同発明の関係から、著者・発明者の氏名を手がかりとして知的成果物の形成動向を構造化させて表現する方法論を用いる。

3.2. データ・セットの確定

使用したデータベース、サーチ・キー、検索日については、すでに前回の報告 [3] で述べたとおりである。

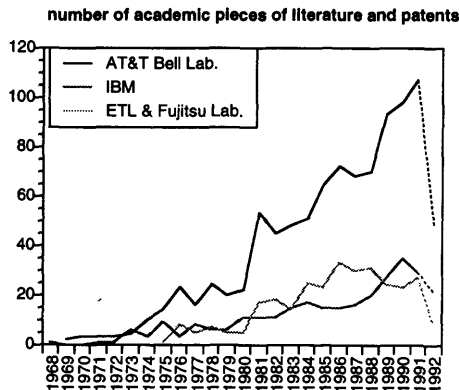
今回選択した3群の研究開発機関・組織は、i) AT&T Bell Laboratories (旧 Bell Telephone Laboratory Inc. や旧 Bell Laboratories やこれらの後継機関を含む)、ii) International Business Machines、iii) 電子技術総合研究所、富士通研究所 (富士通を含む)、早稲田大学である。これら分析対象として選択した主要な研究開発機関・組織は、1977年までのMBEに関する動的活動連関図 ([3] 図4) において、含まれる研究開発チームが最も多い3つの研究開発グループを構成しているメンバーの所属機関・組織に対応する。

4. 分析

4.1. MBE 分野の展開プロセス

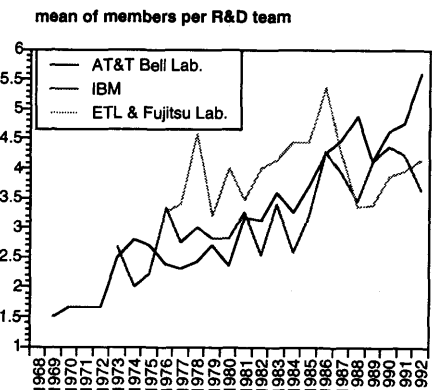
MBEの展開プロセスの概要は、たとえば、権田 [5] に記述されている。これと、分析対象の3群の研究開発機関・組織に属する研究者・技術者による知的成果物の提出状況との間には対応関係を見ることができる。図1は、3群の研究開発機関・組織に属する研究者・技術者による学術文献・特許の各年別の報数の変遷を表している。まず、1970年（ここでは発表年を基準）に、Choら(Bell Lab.)が、超高真空中の結晶成長法としてGaAsの成長の研究を開始し、また結晶成長の方法をMBEと命名した。1973年には、Esakiら(IBM)が、超格子の提案をしMBEを用いてその実現を図った。また、Bell Lab.においては多数のMBE装置が作製され極薄膜多層構造の研究が推し進められた。1976年には、Gondaら(電総研)が、MBE装置の設計・試作を行い、他の結晶の成長法の研究や別の方法のMBEの研究を進めた。このように各研究開発機関・組織によって画期的といわれる成果が出される頃に、報数の急速な立ち上がりが見られる。1970年代後半は研究が下火になりかけたとき、報数も数が一定している。1979年に、Tsang(Bell Lab.)が成長温度を高温化させることによりAlGaAsの高品質化に成功し、これを用いた高性能の半導体レーザが作製された。また、1980年には、Mimura, Hiyamizuら(富士通研究所)によりHEMTが開発された。この頃、当該研究開発機関・組織による報数も急激に増加している。1980年頃からは、ガスソースMBE、有機金属分子線エピタキシ(MOMBE)、原子層エピタキシ(ALE)等の新たなMBE技術の展開や、原子レベルでの半導体の成長のシミュレーションといった新たな研究の進展が見られたとされるが、報数の点でもこの期間は漸増しており、とくにAT&T Bell Labs.の増加は著しい。このように、この3群の研究開発機関・組織では、画期的成果の提出のような質的分野拡大と報数の増加のような量的分野拡大とが連関している様子がうかがえる。

また、量的分野拡大は研究開発チームに属する平均メンバー数、すなわち、1報あたりの著者・発明者の連名数にも見ることができる。図2は、3群の研究開発機関・組織の研究開発チームに属する平均メンバー数の変遷を表している。これによると、現在まで3群のどの研究開発機関・組織でも増加傾向にあったことがわか



註 検索日からみて、1992年分についてはデータベース未収録の学術文献・特許があることを考慮して破線で示した。

図1 MBEに関する主要研究開発機関・組織による知的成果物の件数の推移



註 2件以上の報数がある年についてのみ示した。

図2 MBEに関する主要研究開発機関・組織における1研究開発チームあたりのメンバー数

る。とくに、近年ではAT&T Bell Labs.の増加は著しい。個別に見れば、初期研究過程では、1研究開発チームが2,3名で構成されていたものが多かったものが、近年では7,8名で構成されるものも多くなり、最大では16名で構成されて研究開発チームも存在する。このように、分野の展開に伴い1テーマに関わる研究者・技術者の数が増加し、当初は、個人やごく少数の同僚との共同作業によって行われる研究開発活動であったものが、近年では、研究開発チームとして集団的に研究開発活動に取り組む状況に変わってきていることが読みとれる。

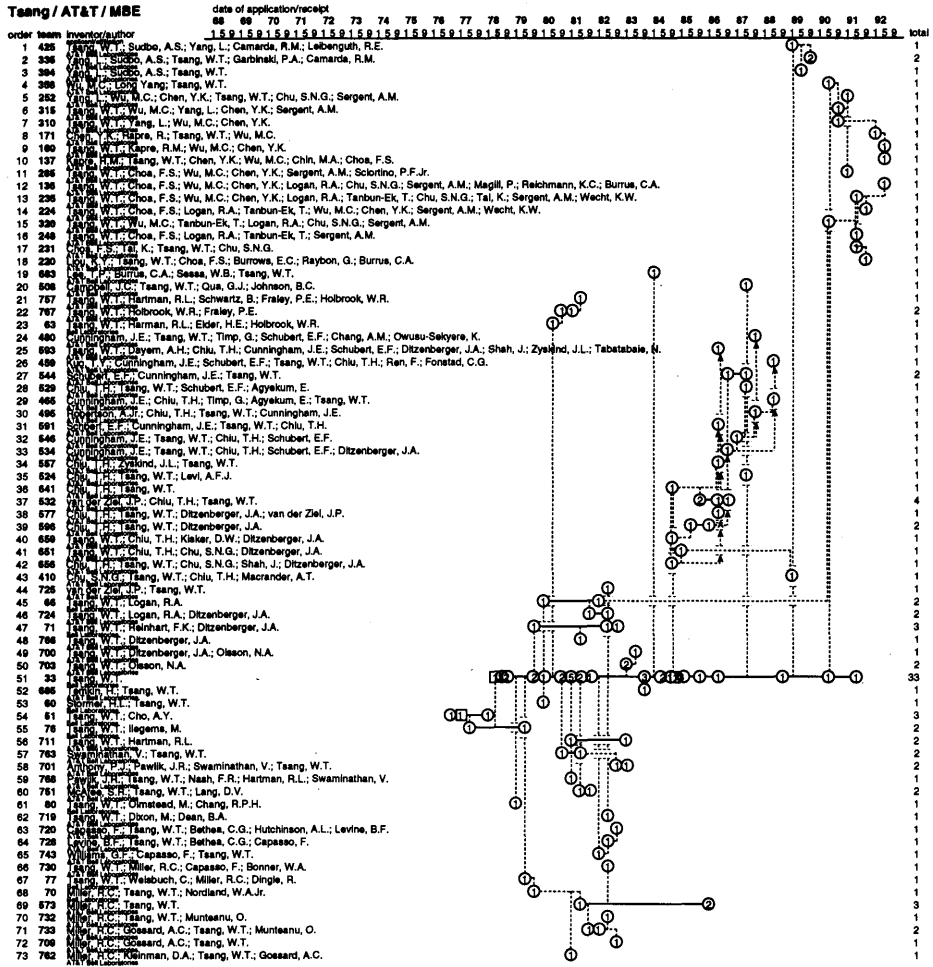
4.2. 主要研究開発機関・組織における研究開発の組織過程

図3-5は、各研究開発機関・組織のMBEに関する動的活動連関図である。ただし、その全体は許される誌面の制約を大きく越える。また、研究開発グループがきわめて大きい場合には、全体がそのまま作図されたものは読図が困難である。そこで、まずAT&T Bell Labs.については、最大の研究開発グループの中からもっとも主要なキーパーソンであるA.Y. Cho (104研究開発チームに含まれる)とW.T. Tsang (73研究開発チームに含まれる)を選択し、その各々を含む研究開発チームだけを選んでそれぞれのキーパーソンに関する動的活動連関図を作成した(図3(a), (b))。また、IBMと電総研・富士通研究所・早稲田大学については、それぞれの最大の研究開発グループの中でもっとも主要なキーパーソンであるL.L. Chang (IBM)とT. Fujii (富士通研究所)を選択し、彼らがメンバーとなっている研究開発チームをほぼ含む部分図を掲載した(図4, 図5)。なお、図中の破線は、図3(a), (b)では、それぞれのキーパーソンについてのみ、また、図4, 図5では、8研究開発チーム以上に含まれる研究者・技術者についてのみ描いている。

表1は、各研究開発機関・組織全体のMBEに関する動的活動連関図の概要を表している。これからもわかるように、いずれの研究開発機関・組織においても1つの非常に大きな研究開発グループを形成し、組織統合的であることがわかる。

動的活動連関図から、研究と開発の実態を知ることができる。特許と学術文献の比では、いずれにおいても学術文献が多く、活動は全体としては「研究」主体であったといえる。しかし、研究開発機関・組織によって特許を出すチームと学術文献を出すチームとのあいだの関係に多少の違いが見られる。表2は、各研究開発機関・組織による特許と学術文献の数と比を表している。全体では比率に差があるものの、最大の研究開発グループで見ればどこもほぼ同じ比率になっている。また、詳細に動的活動連関図を見れば、AT&T Bell Lab.では、たとえば、ChoやTsangが含まれる研究開発チームでは、学術文献が出された直後に同じチームによって特許が出されることもある。具体的には、MBEの技術自体やこれを用いた半導体デバイスの作製という点で、「研究」と「開発」がリンクしている。これに対して、IBMや富士通では、特許が、学術文献を出すのとは異なる研究開発グループによって出願されていたり、最大の研究開発グループ内であっても他のチームとは連関の薄い研究開発チームによって出願されており、「研究」と「開発」が分離している。

動的活動連関図では、研究開発チームの配列はチーム間の類似度によって決められている[1]。類似した研究開発チームが近接して表示され、研究開発チームごとに時間軸に沿って知的成果物の形成動向が展開されるので、動的活動連関図から、サブグループの構成状況やサブグループによる知的成果物の形成サイクルも読みとることができる。たとえば、1970年代のChoは、おもに2,3名の研究者とそれぞれ同時並行的かつ同じチームとしては単発的に知的成果物を形成しており、しかも、第一著者であることが多い。ところが、1980年前後からは、同時並行的であることは変わらないものの、チームを構成するメンバーの人数が増え、最終著者となることも多く、チームを全体的に指揮する立場に変わったことがうかがえる。また、チームのメンバーを少しずつ入れ替えながらも各サブグループによる一連の知的成果物の形成は、それぞれほぼ2~4年の間でま



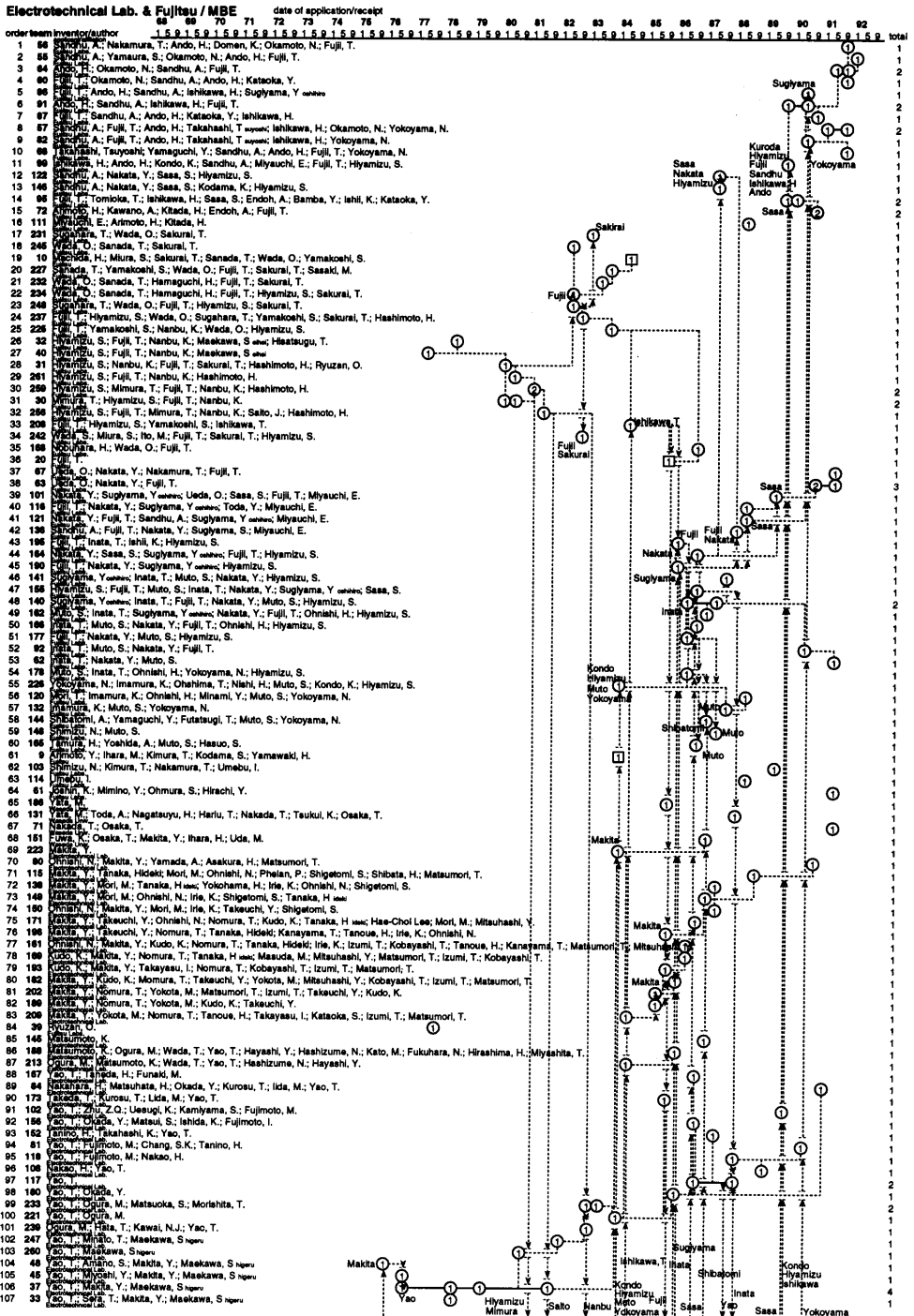


表1 MBEに関する主要研究開発機関・組織における動的活動連関図に表れる研究開発活動の概要

	AT&T Bell Labs.	IBM	ETL & Fujitsu Labs.
特許数	62	53	32
学術文献数	899	234	272
研究者・技術者数	822	359	328
研究開発チーム数	772	255	261
研究開発グループ数	23	37	21
最大の研究開発グループに含まれる研究開発チーム数	749	203	227
全研究開発チームに対して最大の研究開発グループに含まれる研究開発チームの比	0.97	0.80	0.87

表2 MBEに関する主要研究開発機関・組織における学術文献・特許の報数

	AT&T Bell Labs.		IBM		ETL & Fujitsu Labs.	
全体						
特許数	62	6.5%	53	18.5%	32	10.5%
学術文献数	899	93.5%	234	81.5%	272	89.5%
計	961	100.0%	287	100.0%	304	100.0%
最大の研究開発グループ						
特許数	51	5.5%	18	7.7%	12	4.5%
学術文献数	882	94.5%	217	92.3%	252	95.5%
計	933	100.0%	235	100.0%	264	100.0%
その他の研究開発グループ全体						
特許数	11	39.3%	35	67.3%	20	50.0%
学術文献数	17	60.7%	17	32.7%	20	50.0%
計	28	100.0%	52	100.0%	40	100.0%

まっていることが多く、この周期でサブグループの再構成が行われたように見える。このようなサブグループによる知的成果物の形成状況は、Tsangを含むチームにも同様に見られる。一方で、IBMにおいては、1985年頃までは、ChangとEsakiを含む研究開発チームは、少しずつ他のメンバーを変えながらも10年以上にわたって継続して知的成果物を形成していた。

また、S.J. Pearton, A.C. Gossard, S.N.G. Chu, H. TemkinといったCho, Tsangに次いで多くの研究開発チームに含まれるキーパーソンは、いずれも知的成果物を出し始める比較的初期の段階でChoと同じ研究開発チームを形成し、その後、独立したサブグループを形成している。

5. 検討と考察

本研究は、MBEに関して主要な3群の研究開発組織・機関を取り上げ、知的成果物データベースに基づいて、動的活動連関図として表現する等により、研究開発の組織過程を分析した。そして、この主要な3群の研究開発組織・機関においては、MBEという技術分野が進展してくる過程において、各研究開発組織・機関における質的分野拡大と量的分野拡大とが連関している様子がうかがえた。また、動的活動連関図から、研究開発チーム形成の動態や周期、有力な研究者との共同作業を把握することができた。これは、研究開発マネジメント上、組織に関する運営等の施策を考える際の有効な資料となろう。

謝辞

本研究は、文部省の平成5年度科学研究費による重点領域研究「高度技術社会」、および科学技術庁の平成6年度・平成7年度科学技術振興調整費による「知的生産活動における創造性支援に関する基盤的研究」の一環として行われた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- [1] Ijichi, T., Yoda, T., and Hirasawa, R. Mapping R&D network dynamics: Analysis of the Development of co-author and co-inventor relations. 研究 技術 計画, 8, 263-275. (1995)
- [2] 平澤 冷, 依田達郎, 朝光 浩, 李 昌協, 伊地知寛博 第8回研究・技術計画学会年次学術大会講演要旨集, 93-100. (1993)
- [3] 伊地知寛博, 平澤 冷 第9回研究・技術計画学会年次学術大会講演要旨集, 133-139. (1994)
- [4] Stenberg, L. Molecular beam epitaxy: A mesoview of Japanese research organization. In Grupp, H. (ed.). *Dynamics of science-based innovation*. Berlin: Springer-Verlag. (1992)
- [5] 権田俊一(編) アドバンスト エレクトロニクス I-10: 分子線エピタキシー. 東京: 培風館. 6-12. (1994)