

Title	パラダイム転換と材料技術イノベーションの構造変化： ポスト情報化社会に向けた素材産業の技術経営戦略 への示唆(研究開発システムとモデル(1), 一般講演, 第 22回年次学術大会)
Author(s)	中川, 正広; 渡辺, 千仍
Citation	年次学術大会講演要旨集, 22: 847-850
Issue Date	2007-10-27
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/7409">http://hdl.handle.net/10119/7409</a>
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

# パラダイム転換と材料技術イノベーションの構造変化 ポスト情報化社会に向けた素材産業の技術経営戦略への示唆

○中川 正広 (科学技術振興機構)、渡辺 千仞 (東工大社会理工学)

## 1. 序

経済のグローバル化、産業のサービス化が進む今日、サービスや製品のイノベーションが注目されている。そのようなイノベーションを支える材料技術のイノベーションは注目されていないように見える。しかしながら、携帯電話もインターネットにも化合物半導体や光ファイバという材料のイノベーションなくして実現しなかったものである。ポスト情報化社会においても材料技術のイノベーションは製品に新機能を付加する役割を持ち、サービスや製品のイノベーションに劣らず重要な役割を果たしている。本研究では、材料技術のイノベーションにスポットを当て、その技術スピルオーバーのダイナミズムを分析する。

イノベーションを重視する素材産業の典型的例として日本の非鉄金属工業、中でも住友電工(SEI)を対象として分析する。工業化社会、1970-80年代に、SEIは企業内ベンチャー「開発室」による起業家精神の鼓舞を原動力として技術開発による多角化が奏功した(広田, 1994, 1995)。ところが、1990年代に情報化社会に入ると、営業利益率(OIS)と技術の限界生産性も低下した。新しい研究評価の導入の試みもなされたがOISは低下しつづけた。これは、組織の慣性が働き、企業内の技術スピルオーバーの源が枯渇したためである(Nakagawa & Watanabe, 2007)。2000年代前半には、OISが向上したが、この背後には外部からの技術の修得による技術同化能力の回復がある(中川, 渡辺 2006)。本研究では、工業化社会から情報化社会、そしてポスト情報化社会に移る2度のパラダイム転換を経験した材料技術のスピルオーバーの推移を、経営環境の変化に適應したMOTの進化と捉え、そのダイナミズムを分析、素材産業の技術経営のあり方への示唆を得る。

## 2. 技術スピルオーバー構造の進化

### 2.1. 化合物半導体の技術同化能力の推移

化合物半導体は、携帯電話や光通信システムに不可欠な材料である。また、SEIの企業内ベンチャー「開発室」の成功例としても認知されている。したがって、本研究では、SEIの化合物半導体の技術開発を例に実証分析を行う。図1に本研究の分析のための化合物半導体の分類と技術スピルオーバー構造の進化を示す。化合物半導体の代表的なバンドギャップと発光素子を製作した場合の発光波長(色)に着目し、2つのカテゴリに分類した。GaAs, InPなどをカテゴリI、ZnSe, GaNなどのワイドバンドギャップ半導体をカテゴリIIと呼ぶ。ダイヤモンド(C)は化合物ではないが、ここではカテゴリIIに分類した。SEIのカテゴリI、カテゴリIIの材料別の特許出願の推移を図2、図3に示す。また、新規事業の技術同化能力(1984-2004)を図4に示す。

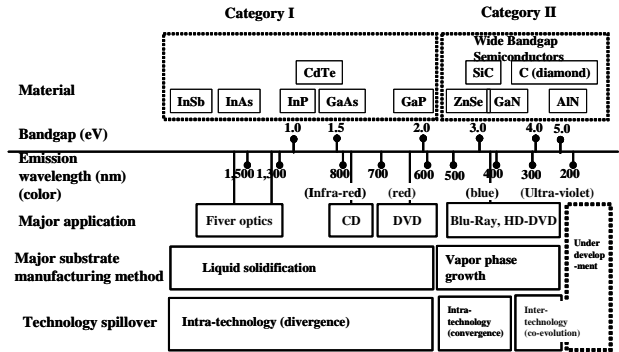


図1. 化合物半導体の分類とスピルオーバー構造の進化

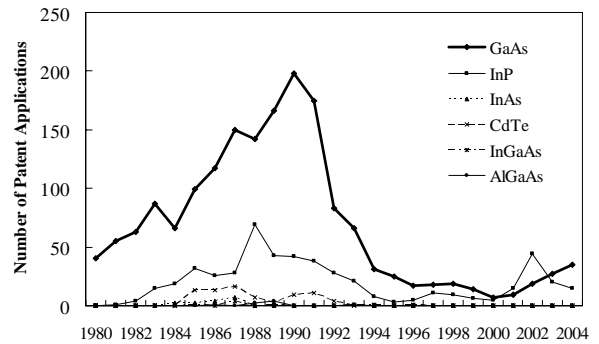


図2. カテゴリI材料の特許出願の推移(1980-2004)

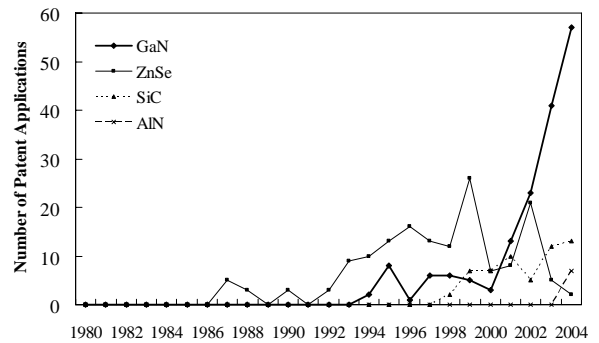


図3. カテゴリII材料の特許出願の推移(1980-2004)

図4に示すように、1984年から増加した技術同化能力は1995年を境に減少し、1999年に再び急上昇に転じる。図4を図2、図3と比較すれば、1999年までの技術同化能力のトレンドはカテゴリIの特許出願、1999年以降のトレンドはカテゴリII(特にGaN)の特許出願と軌を一にしたものであることがわかる。本研究では、カテゴリIとカテゴリII、とくにGaNの技術内スピルオーバーおよびGaN

レーザの技術間スピルオーバーについて、特許出願に記載された技術内容および発明人、出願人の関係を分析する。

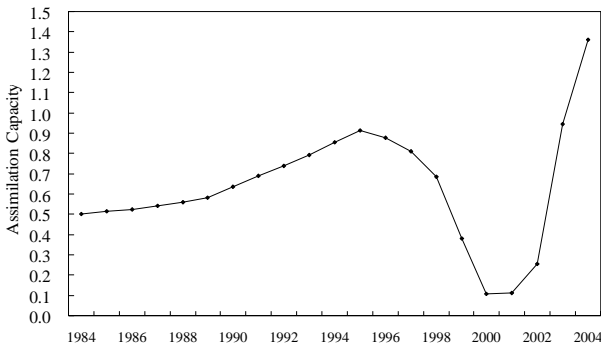


図 4. SEI の新規事業の技術同化能力

## 2.2. Phase I カテゴリ I の拡散型技術スピルオーバー

表 1 と図 5 にカテゴリ I の技術伝播を示す。表 1 はカテゴリ I の研究に従事した研究者が特許出願に記載した主な材料を時系列に記したものである。図 5 の影をつけた帯は、同じ研究者が同時に複数の材料を研究対象としていることを示し、黒い矢印は、研究者が新たな材料を研究対象としたことを示す。

表 1 と図 5 から、技術の伝播には次の 3 点が指摘される。  
 ①技術は、GaAs を起点として伝播する。  
 ②1989 年より後に研究対象とされた新たなカテゴリ I の材料はない。  
 ③同時に研究されるカテゴリ I 材料数は 1985 年の 6 種をピークに減少する。1994 年に InGaAs の研究が終わった後は 2004 年まで GaAs と InP だけが研究対象とされた。InP が特許出願されるのは 1998 年、2004 年の 2 度だけであり、技術スピルオーバーは 1994 年にほとんど終了する。これは、新規事業の技術同化能力が減少に転じる年である。

表 1 研究者ごとの研究対象材料：カテゴリ I (1983-2004)

研究者	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	
KT	GaAs	GaAs, InP, GaAs, GaP, InAs, InP, CdTe	GaAs, CdTe									
TD	GaAs	InP, GaAs, InAs, InP, CdTe	GaAs, CdTe	GaAs, InAs, InP, CdTe				GaAs				
NK	GaAs	InP, GaAs	GaAs	GaAs, InP	GaAs							
KW	GaAs	InP, GaAs	GaAs	GaAs	GaAs							
NI	GaAs	GaAs	GaAs, InGaAs	GaAs	GaAs			GaAs				
MR	GaAs	GaAs	InGaAs	GaAs, AlGaAs								
TB	GaAs	GaAs	InGaAs	GaAs	GaAs							
SW	GaAs	GaAs, GaP, InAs, InP	GaAs	GaAs	GaAs, InP, CdTe, GaAs, InP	GaAs, InP, CdTe, GaAs, InP	GaAs	GaAs, CdTe, GaAs, CdTe				
TT	GaAs	GaAs, GaP, InAs	GaAs	GaAs	GaAs, InAs, InP, CdTe	GaAs, InP, CdTe, GaAs, InP, CdTe, PbSeTe	GaAs, CdTe	GaAs, CdTe, GaAs, CdTe, InGaAs				
NM	GaAs	GaAs, InP	GaAs	GaAs	GaAs	GaAs	GaAs	GaAs				
AR	GaAs	GaAs, InGaAs	GaAs, AlGaAs	GaAs, InAs	GaAs, InP	GaAs, InP, CdTe, GaAs, InP, CdTe, PbSeTe	GaAs	GaAs, CdTe				
KS	GaAs	GaAs, InAs, InP, CdTe	GaAs	GaAs	GaAs, InP	InP	GaAs	GaAs	GaAs			
NN	GaAs	GaAs, CdTe	GaAs	GaAs	GaAs, CdTe	GaAs, CdTe	GaAs, CdTe	GaAs, CdTe	GaAs, CdTe			
KN												
FJ												
HS												
SR						GaAs	GaAs					
YM												
SD	GaAs	GaAs	GaAs	GaAs				GaAs				
HG												
WK										CdTe		
NB						GaAs						
KV												
IB											InGaAs	
KT		1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
TD												
NK												
KW												
NI	InP	GaAs	GaAs		GaAs	GaAs	GaAs					GaAs
MR												
TB												
SW	GaAs	GaAs	GaAs		GaAs	GaAs, InP	GaAs	GaAs				GaAs
TT	GaAs	GaAs	GaAs		GaAs	GaAs	GaAs	GaAs				GaAs
NM												
AR												
KS		GaAs	GaAs		GaAs	GaAs, InP	GaAs					GaAs, InP
NN												
KN												
FJ	InGaAs											
HS	GaAs	GaAs	GaAs		GaAs	InP						GaAs
SR												
YM												
SD												
HG		GaAs				GaAs		GaAs				
WK		GaAs										
NB		GaAs										
KV												
IB	InGaAs											GaAs

カテゴリ I の技術は GaAs のを初めとして化合物半導体の製造技術開発グループが、物性の近似した材料に製造技術を拡げてゆく過程で伝播したものである。同じグループの研究者が事務所と実験室を共有し、同じ会議に出席し、昼食をともにする日常の研究活動の中で、技術が伝播したものである。図 6 に、カテゴリ I の材料の間で製造技術が相互に伝播しながら発展してゆく様子を示す。

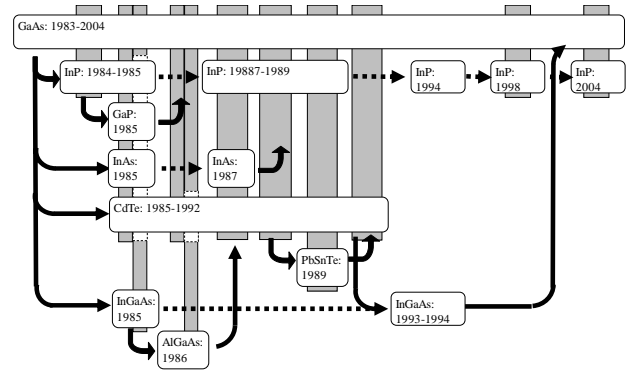


図 5. カテゴリ I 材料の技術伝播の経路

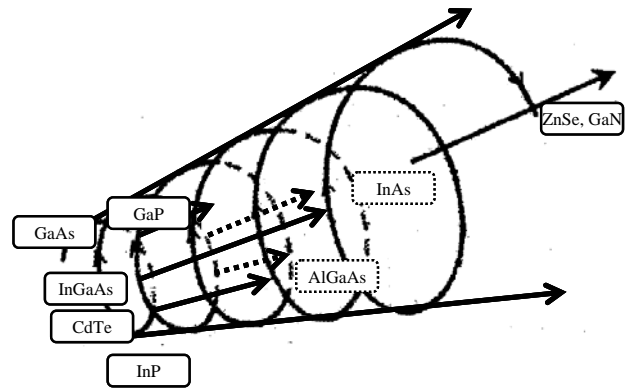


図 6. カテゴリ I の技術のスピルオーバー構造

カテゴリ I の材料においては GaAs の製造技術が適用可能な限られた材料の範疇で、相互に影響しながら拡散してゆく「拡散型のスピルオーバー」である。これは、日常の活動で引き起こされるため、スピルオーバーの速度は速いが、同時に、類似した物性の材料の外には流出しにくいという性質を持つ。

## 2.3. Phase II カテゴリ II の収斂型技術スピルオーバー

カテゴリ II の技術開発は、初期にはカテゴリ I の研究を行っていた特定の研究者を中心に行われた。カテゴリ I の製造技術や物性についての知識をもとに ZnSe と GaN の研究が行われた。表 2 にカテゴリ II の技術伝播を示す。

表 2 からわかるように、カテゴリ II の研究がカテゴリ I と異なるのは、両者が協同で研究を行ったことがない点である。特許の技術内容を分析すると、ZnSe の研究は LED 用の基板開発から白色 LED の製造へと変化している。GaN の研究はレーザ用の基板である。異なるグループの異なる目的の研究が並行して行われたと考えられる。

ZnSe と GaN の間で 2 度だけ、1998 年に GaN から ZnSe、2000 年に ZnSe から GaN への技術の移動が見られるが、これは研究者がグループを移動したものである。ZnSe の特許は 2004 年の 1 月を最後に出願されなくなっている。2003 年までに ZnSe の特許を出願した研究者は 1 人を除いて GaN の研究グループに合同したと考えられる。技術のスピルオーバーを GaN の視点で捉えると、カテゴリ I から結晶成長と GaAs レーザ技術を、ZnSe から気相成長とデバイス (LED) 技術を持ち運んで発展したことがわかる。また、GaN の研究者を分析すると、セラミック

スの研究に従事していた者も含まれており、自社に蓄積した多くの技術を融合・収斂させて開発する「収斂型の技術スピルオーバー」である。

表2 研究者ごとの研究対象材料:ガコリ II (1983-2004)

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
DI			ZnSe	ZnSe	ZnSe	ZnSe	ZnSe						
MM			ZnSe										
SG			ZnSe										
TB													
NM						ZnSe	ZnSe	ZnSe	ZnSe	ZnSe	ZnSe	ZnSe	ZnSe
KM						ZnSe	ZnSe	ZnSe	ZnSe	ZnSe	ZnSe	ZnSe	ZnSe
IR				ZnSe	ZnSe							ZnSe	GaN
MK							ZnSe	ZnSe	ZnSe	ZnSe	ZnSe	ZnSe	GaN
NA												ZnSe, GaN	GaN
MO												ZnSe, GaN	GaN
NN	ZnSe	ZnSe	ZnSe	ZnSe	ZnSe	ZnSe	ZnSe	ZnSe	ZnSe	ZnSe	ZnSe	ZnSe	GaN
FI												ZnSe, GaN	GaN, AlN
IK												ZnSe	GaN
MB					GaN							ZnSe	GaN
HT						ZnSe	GaN, ZnSe	ZnSe	ZnSe	ZnSe	ZnSe	ZnSe	GaN
MS												ZnSe	GaN
MU												ZnSe	GaN
SD												ZnSe	GaN
MT												ZnSe	GaN
OK												ZnSe	GaN
AK												ZnSe	GaN
TT												ZnSe	GaN
UM												ZnSe	GaN
UN												ZnSe	GaN
NT												ZnSe	GaN
KY												ZnSe	GaN
IB												ZnSe	GaN
NG												ZnSe	GaN
ST												ZnSe	GaN
HR												ZnSe	GaN
KB												ZnSe	GaN
NH												ZnSe	GaN
MY												ZnSe	GaN
UR												ZnSe	GaN
SM												ZnSe	GaN

## 2.4. GaN レーザ基板の共進型技術スピルオーバー

SEI は社内で GaAs レーザや ZnSeLED 技術などを統合して GaN レーザ用基板の開発を進めたが、当時はサファイア基板上に作られていた GaN レーザの技術は保有していなかった。この技術補完のために、2001 年から 3 年間にわたるソニーとの特許の共同出願が重要な役割を果たしている。ソニーにとっては GaN 基板技術を、SEI にとっては GaN レーザ技術の開発を社外にアウトソーシングした形である。両社が共同で出願した特許を分析することで、ソニーがレーザ形成技術を、SEI が基板成長技術を提供したことで双方向に技術の伝播が起り GaN レーザの開発が進んだ(中川、渡辺 2006)。

図 9 は共同開発の始まる前年の 2000 年から終了後の 2004 年までの期間について SEI が単独で出願した特許のうち GaN レーザデバイスに関する特許の GaN に関する特許に対する割合と、ソニーで SEI と特許を共同出願している研究者がソニー単独で出願した GaN レーザに関する特許のうちの GaN 基板を使用したものの比率を示したものである。

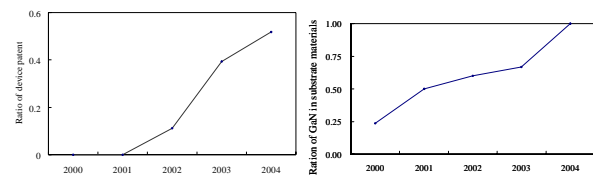


図 9. GaN 特許出願中のデバイス特許出願の比率 - SEI(2000 - 2004). (左)

GaN レーザ特許出願中の GaN 基板使用技術の比率 ソニー (2000 - 2004). (右)

図 9 は、SEI の単独特許出願におけるレーザデバイス技術の占める比率が、共同研究の期間を通じて増加していることを示している。これは、SEI が共同研究で獲得したデバイス技術が、共同研究以外のところにスピルオーバーしたことを示唆している。

図 9 からわかるように、共同研究で得られた知識は、SEI、あるいはソニーが単独に行った研究においても影響を与えていることがわかる。すなわち、両者ともに自らは不足する技術を共同研究によって吸収し、自らの固有技術

をさらに発展させたのである。これは、ちょうど SEI にとってはソニーを試験管とした技術の体外受精であるといえる。ソニーにとっても同様である。これは共同研究による技術間のスピルオーバーを介して SEI における GaN 基板技術の技術内スピルオーバーとソニーにおけるレーザ技術の技術内スピルオーバーが共進し、GaN レーザへと収斂していることを示唆している。図 10 に、技術間スピルオーバーと技術内スピルオーバーの共進を示す。

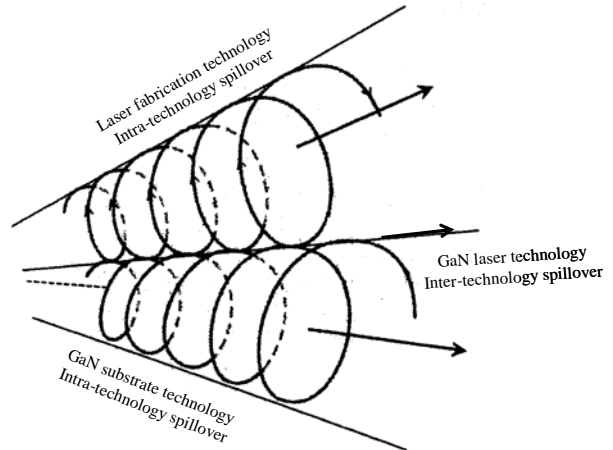


図 10. 技術間スピルオーバーと技術内スピルオーバーの共進

## 2.5. 技術スピルオーバーの構造変化とインステイションとの共進

技術スピルオーバーの構造は、パラダイムの変化と軌を一にして、拡散型から継承型を経て収斂型に変遷してゆく。その過程で、MOT や技術スピルオーバーの構造はその時々パラダイムに適合しようとしている。表 3 にパラダイム変化と技術スピルオーバー構造の変遷を示す。

表 3 パラダイム変化と技術スピルオーバー構造の変遷

産業構造	工業化社会	情報化社会	ポスト情報化社会
MOT	多角化	選択と集中	産学官連携強化
技術スピルオーバーの構造	拡散型	収斂型	共進型
スピルオーバーの範囲	研究グループ内	企業内・研究グループ間	企業間・インステイション

表 3 には、技術スピルオーバーが、パラダイムの変化に伴ってスピルオーバーの範囲を拡大してきたことが示されている。MOT は、その時々パラダイムと共進して、技術スピルオーバーの構造を決定している。

SEI においては、2002 年に就任した研究開発本部長が、研究開発の使命を定義した「CTOP」と外部知識の活用を鼓舞した産学官連携強化を打ち出した。当時も研部門の幹部によると産学官連携強化は GaN レーザ基板の研究開発で外部との共同研究が進み始めていたことに刺激をうけたものであり、MOT は研究開発活動と相互に影響しあっていることを示している。2003 年に就任した社長は、2007 年に到達すべき企業目標を示した。2005 年に SEI の社長は産総研の理事長と研究開発において包括協定を結んだ。これは、外部知識獲得の技術政策が事業戦略に組み込まれたことを示しており、企業戦略と MOT の共進を示す。一方で、産総研と SEI の協定の背景には、独立行政法人の研究機関にも経済・産業への貢献を求める科学技術政策が背景にある。ここからわかるように、イノベーションは、国の科学技術政策、企業の事業戦略、技術経営、研究開発のすべてが相互に影響を与えながら進化してゆく、多重の共進構造を持っている。図 11 に、イノベーションの多重共進構造

を示す。

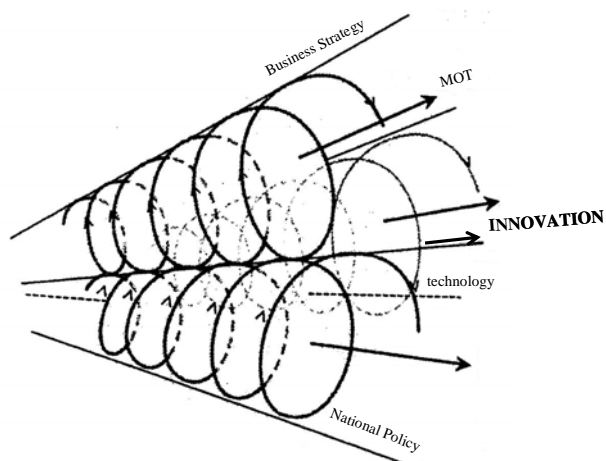


図 11. イノベーションの多重共進構造

### 3. 結論

#### 3.1. 総括

これまで、材料技術のイノベーションを促進する要因を解明するために、日本の素材産業、とくに SEI の化合物半導体研究を典型的事例として実証的に分析してきた。そのなかで、材料技術のスピルオーバー構造の変遷について以下のことが解明された。

- ① 1980 年代、工業化社会のパラダイム下での材料技術のスピルオーバーは、物性が類似した材料の間の製造技術の拡散である。これは同じ研究グループの研究者が日常の研究活動を共にするなかで引き起こされた。
- ② 1990 年代、情報化社会のパラダイム下での材料技術のスピルオーバーは、グループ間を移動する研究者が知識を持ち運ぶことによって行われた。独立した研究を行うグループ間によるものであって、1980 年代に比べるとスピルオーバーの機会が少ない。
- ③ 2000 年代、ポスト情報化社会のパラダイム下での材料技術のスピルオーバーは、外部機関との共同研究の中で、互いに補完する技術を獲得するために行われた。この過程では、お互いが相手方から技術を獲得するだけでなく、異種の技術が融合して新機能をもつ製品の新しい技術が創成されたものである。ここでの技術スピルオーバーが 80-90 年代のものとは異なっているところは、前二者が自然発生的に出現したスピルオーバーであるのに対し、ここでのスピルオーバーは意図的に計画されて作り出されたものである点である。

#### 3.2. 素材産業の技術経営戦略への示唆

ポスト情報化社会において産業のサービス化が進んでゆく中で、材料技術のイノベーションはとすれば忘れられがちである。しかしながら、サービスを実現する新機能をシステム・製品に付与するという点で材料技術の果たす役割は大きい。また、ナノテクノロジーのような新しい技術領域においても材料技術は重要な役割を占めており、今後とも材料技術のイノベーションは重要である。もちろん、経済成長に果たすイノベーションの役割は重要性を増しており、このことは日本の科学技術政策にも見ることがで

きる。

本研究によって、日本の素材産業のイノベーションの構造がパラダイムの変換に適応して、たくみに進化を遂げてきたことが明らかになった。これは、研究グループ内、研究グループ間、外部企業と技術スピルオーバーの範囲を徐々に拡大する進化であった。今後、素材産業がさらにイノベーションを促進して成長を図るためには、この方向の進化をさらに推し進め、科学技術政策やインスティテューションを含むイノベーションの多重の共進構造に、より密接に働きかけてゆくこと、顧客企業だけではなく研究機関やその他イノベーションエコシステムを構成する多くの要素と意図的に知識のやりとりを行うことが重要である。

#### 3.3. 課題

素材産業のとインスティテューションの共進によるイノベーションについての実証分析には、異なったインスティテューションにおける技術開発との比較検証、あるいは他の素材技術との比較検証が今後の研究課題として残っている。

#### 参考文献

1. 広田俊郎、「住友電気工業株式会社の研究開発システム」、関西大学商学論集 38 No. 6 (1994) 917-941.
2. 広田俊郎、「企業内ベンチャーにおける新規事業創造—住友電工化合物半導体の事例—」、関西大学商学論集 40 Nos. 4,5 (1995) 589-610
3. 住友電気工業株式会社「研究部門史」(1996)
4. 住友電気工業株式会社「住友電工百年史」(1999)
5. 松島茂、尾高煌之助「中原恒雄オーラルヒストリー」(2004)
6. 中川正広、渡辺千仞、「情報化社会の技術経営と組織の慣性」、研究・技術計画学会第 19 回年次学術大会講演要旨集 (2004) 147-150.
7. 中川正広、渡辺千仞、「日本の非鉄金属工業に見るパラダイム転換期の技術戦略における組織の慣性と事業間スピルオーバー」、研究・技術計画学会第 20 回年次学術大会講演要旨集 (2005) 1053-1056.
8. 中川正広、渡辺千仞、「日本の非鉄金属工業に見るパラダイム転換期の技術革新戦略 - 企業内技術スピルオーバーのダイナミズムと効果 -」、研究・技術計画学会第 21 回年次学術大会講演要旨集 (2006) 415-418.
9. C. Watanabe, B. Chu, C. Griffy-Brown., and B. Asgari, "Global Technology Spillover and Its Impact on Industry's R&D Strategies" Technovation 21 (2001) 281-291
10. C. Watanabe, M. Takayama, A. Nagamatsu, and T. Tagami, "Technology Spillover as a Complement for High-level R&D Intensity in the Pharmaceutical Industry," Technovation 25, No. 4 (2002) 245-248.
11. C. Watanabe and S. Tokumasu, "Optimal Timing of R&D for Effective Utilization of Potential Resources in Innovation," Journal of Advances in Management Research 1, No. 1 (2003) 11-17.
12. A. Ohmura "Empirical Analysis of the Spillover Dynamism in Inducing High-Performance in Structural Fine Ceramics - A Suggestion to New Functionality Development Initiated Growth Technology in an Information Society" (2005) (学位論文)
13. C. Ornaghi, "Spillovers in Product and Process Innovation: Evidence from Manufacturing Firms" International Journal of Industrial Organization 26 (2006)
14. M. Nakagawa and C. Watanabe, "Moving Beyond Organizational Inertia as a Survival Strategy for Resources-Based Industry in a Service-Oriented Economy: Lessons from Cross-Sector Technology Spillover in the Nonferrous Metal Industry" Journal of Services Research, 7, No.1 (2007).