

1G08 日本の非鉄金属工業におけるパラダイム転換期の技術革新戦略 —企業内技術スピロオーバのダイナミズムと効果—

○中川正広（住友電工），渡辺千仞（東工大社会理工学）

1. 序

日本の非鉄金属工業でのイノベーションには、企業内の既存事業から新規事業への技術スピロオーバが大きな役割を果たしてきたが、同時に、スピロオーバ源が逐年涸渇し、それがイノベーションを抑制してきており、順次企業内外からのスピロオーバ技術の同化が起これにくくなってきている(Nakagawa and Watanabe, 2006)。住友電工を典型的な例として、その特許出願を分析し、企業内技術のスピロオーバ同化シフトのメカニズムを分析し、企業内技術スピロオーバの限界を克服する技術戦略についての示唆を得る。

2. 技術の生産性と新規事業の技術同化能力の回復

2.1 技術の生産性 (MPT)

図1に住友電工のテクノストックと技術の限界生産性 (MPT) の推移を示す。

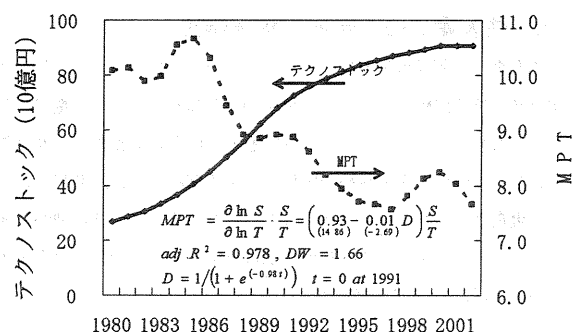


図1.テクノストックとMPTの推移 (1980-2003) -3年移動平均。

図1から、1998年まで低下を続けてきたMPTが、1998年を底に2001年まで再び上昇していることがわかる。これは、企業内の技術スピロオーバが限界に達したにもかかわらず、新たな技術スピロオーバソースを獲得することで再成長したことを示唆するものである。

2.2 事業分野ごとのテクノストック

企業内の技術スピロオーバを分析するために、特許出願のデータを用いてまず事業分野ごとのテクノストックを推計する。図2に住友電工の事業分野別の特許出願数の推移を示す。これを見ると、新規事業での特許出願が増加することで、全体の特許出願の増加に貢献していることがわかる。

特許出願Pは、研究開発費RとテクノストックTの型生産関数である(Griliches, 1980)ことから、
 $P = F(R, T(R)) \cong F(R)$ (3)

これをコブ・ダグラス型の生産関数として住友電工の1980年から2003年の間の相関分析により

$$\ln P = -1.03 + 0.89 \ln R - 0.06 D_1 \ln R + 0.10 D_2 \quad (4)$$

$$adj. R^2 = 0.965, \quad DW = 1.73$$

$$D_1 = 1 / (1 + e^{(-0.7t)}), \quad t = 0 \text{ at } 1991,$$

$$D_2 = 1 \text{ at years } 1991, 1992, 2000, 2001, 2002$$

となる。(4)の逆関数を求めると、各年の研究開発費を特許出願数の関数として表され、

$$\ln R = \frac{\ln P}{(0.89 - 0.06 D_1)} + \frac{1.03 - 0.1 D_2}{(0.89 - 0.06 D_1)} \quad (5)$$

$$R = AP^B$$

$$A = e^{((1.03 - 0.1 D_2) / (0.89 - 0.06 D_1))}$$

$$B = 1 / (0.89 - 0.06 D_1)$$

電線・ケーブル、特殊金属線、粉末合金、新規事業のそれぞれの事業分野で同じ関係が成立すると判断できる。また、それぞれの事業分野の研究開発費の合計が会社全体の研究開発費に等しいことから、各事業分野の研究開発費は次のように表される。電線・ケーブル($j=1$)、特殊金属線($j=2$)、粉末合金($j=3$)、新規事業($j=4$)について

$$R_j = A_j P^{B_j} \quad (j=1, 2, 3, 4)$$

すべてのjについて $B_j = B$ かつ $A = \sum_{j=1,2,3,4} A_j$ の制約から

$$A_1 = 1.4, \quad A_2 = 1.0, \quad A_3 = 0.8, \quad A_4 = 1.1$$

図2に事業分野ごとの特許出願件数の推移、図3に、ここから推計した事業分野ごとのテクノストックの推移を示す。

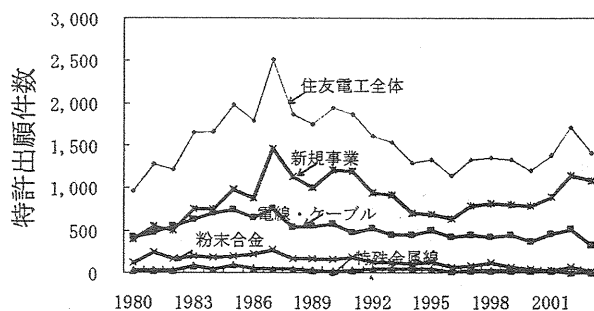


図2. 事業分野別の特許出願の推移 (1980-2003) .

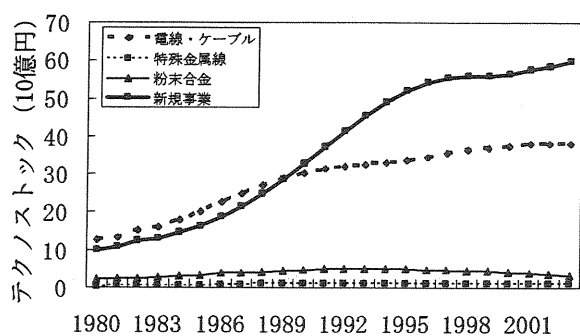


図 3. 事業分野別のテクノストックの推移(1980-2003).

図 3 からは、新規事業のテクノストックが、1996 年から 2000 年にかけて低下しているものの、その後上昇に転じていることがわかる。

2.3 新規事業の技術の同化能力

新規事業の技術の同化能力 Z_4 を求めると

$$Z_4 = \frac{1}{1 + \frac{\Delta T_s}{T_s} / \frac{\Delta T_4}{T_4}} \quad (6)$$

$$T_s = \sum_{j=1}^3 T_j$$

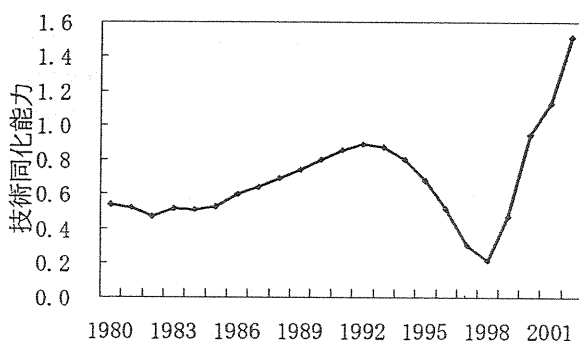


図 4. 新規事業の技術同化能力の推移 (1980-2002).

図 4 に新規事業の技術同化能力を示す。新規事業の技術同化能力が 1999 年以来上昇に転じている。これは、新規事業が、スピルオーバー源の潤滑を克服し、新たな技術スピルオーバー源を獲得したことを示唆している。

ここで、特許出願をテクノストックの生産関数とした場合 (図 3) と、技術論文をテクノストックの生産関数とした場合 (図 5, Nakagawa & Watanabe, 2006) の差異について考察する。テクノストックおよび PT の推移は、同じ傾向を示すが、事業分野ごとのテクノストックについてみれば、特許出願を目的変数としたものは、技術論文を目的変数にしたものに比べ、既存事業のテクノストックが高く計算されている。

特許は、ビジネス上の優位性を確保するための武器であり、既存事業・新規事業に関わらず、積極的に出願されるのに対し、企業が発行す

るジャーナルの技術論文は、新製品の品質・性能の誇示、あるいは企業の技術の優位性をアピールする目的で作られる。既存事業 (電線・ケーブル) は、産業として成熟しているため、事業戦略上、新規事業と比較して技術の重要性が低い。これが、特許から推計したテクノストックと、技術論文から推計したテクノストックの差異の要因と考えられる。

本研究では、技術スピルオーバーを企業の技術戦略と関連づけて取り扱うため、競争戦略が直接に反映される「特許出願」から推計したテクノストックを採用する。

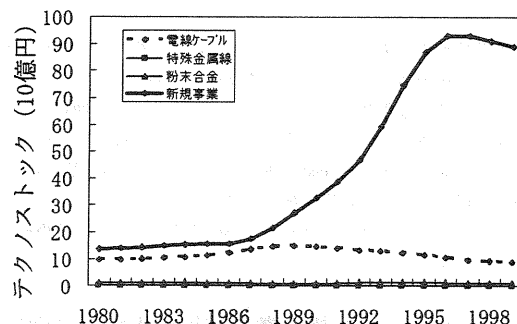


図 5. 技術論文から推計したテクノストック (1980-1999).

3. 化合物半導体事業の企業内技術スピルオーバー

3.1 住友電工の化合物半導体特許

住友電工の新規事業の技術スピルオーバーを分析するため、化合物半導体事業の特許出願を分析する。化合物半導体事業は、住友電工の新規事業を代表するビジネスである。住友電工の化合物半導体は、1960 年代から競合に先駆けて研究開発を開始し、主力製品の GaAs 基板では、当初から現在までにわたって世界シェアトップを保っている典型的なイノベーションの例である。1980 年から 2004 年の期間に、394 人の企業内研究者が 3040 件の特許を出願している。

また、これらの材料の特許出願の期間を表 2 に示して比較すると、GaAs から順次、他の材料に研究開発の対象となる材料が増加していることがわかる。

表 2 化合物半導体の材料別の特許出願期間

	最初の出願	最後の出願
GaAs	1980 以前	継続中
InP	1981	継続中
GaSb	1982	1982
GaP	1983	継続中
InAs	1984	1993
CdTe	1984	1992
InGaAs	1985	1996
AlGaAs	1986	1993
ZnSe	1987	継続中
PbSnTe	1989	1989
InSb	1990	1990
GaN	1994	継続中
SiC	1998	継続中
AlN	2004	継続中
GaInNAs	2004	継続中

すなわち、GaAs の研究開発で獲得された知識が、次に、InP, GaSb, GaP, InAs...へと、他の材料に適応するように形を変えて拡散していったこと

を示唆している。

3.2 化合物半導体の企業内技術スピロオーバ

企業内の技術を伝播させる中核的媒介者となるのは研究者であるから、技術のスピロオーバについて、研究者が行う技術スピロオーバのメカニズムを検討した。図6に、特許出願を、研究者と、特許出願した研究で扱った材料の数を示す。

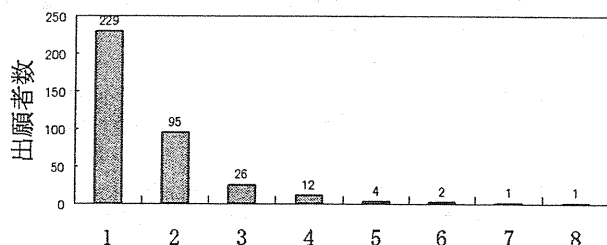


図6. 特許出願の材料数と出願者数(1980-2004).

図6は、化合物半導体の技術スピロオーバは、特定の少数の研究者が引き起こしていることを示す。特許出願の材料数の多い代表的な2人の研究者について、特許出願から見た技術スピロオーバの推移を見ると図7,8のように整理される。

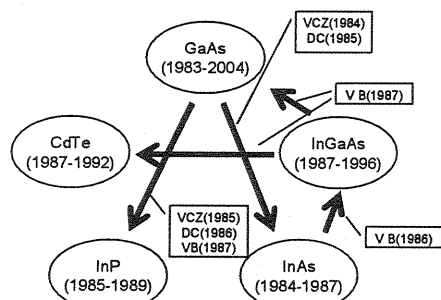


図7. 研究者Aの技術スピロオーバ.

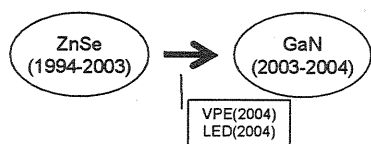


図8. 研究者Bの技術スピロオーバ.

研究者Aは、1983年から2004年にかけて化合物半導体バルク結晶の融液成長法・評価法について、GaAsを主に8種類の材料につき159件の特許出願を行っている。技術スピロオーバは、図7に示すように、GaAsを起点にして、順次他の材料へと拡散している。研究者Aの引き起こした技術スピロオーバは、GaAsの研究開発で獲得した、化合物半導体の液相から固相への相転移についての熱力学的物性についての知識、およびそれを活用した温度・圧力制御のノウハウを、物性が類似した他の材料に適用したものである。しかも、この一連の技術スピロオーバの速度は、VCZ法が3種類の材料で特許出願されるのに2年、DC法が3種類3年、VB法が5種類3年と、きわめて速いものとなっている。また、こ

のような技術スピロオーバのプロセスを経て、当初はGaAsだけにしか適用できなかったVCZ法が、住友電工の取り扱い他の製品にも適用できるように進化し、固有技術へと変貌してゆくのである。

研究者Bは、1991年から2004年にかけて6種の材料につき68件の特許を出願している。とくに1991年から継続して研究開発を行ってきたZnSeのバルク基板成長の研究開発で知識を蓄積している。ZnSeと、そこからスピロオーバを受けているGaNは、ワイドバンドギャップ半導体といわれ、青色-紫外のLEDやレーザに使用される。GaAsなどとは異なり、融液を固化して結晶を作ることができないので、気相からバルク基板を製造する気相成長技術が開発される。研究者Bは、ZnSeの開発で、ワイドバンドギャップ半導体の物性と気相成長のノウハウ、さらには発光素子製造のキープポイントとなる転位制御技術を蓄積していると考えられる。これを、2003年から2004年の2年間にGaNにスピロオーバしている。図9、図10に融液成長基板、気相成長基板の化合物半導体材料の特許出願数の推移を示す。融液成長は成熟した技術であるが、気相成長は開発途上であることが判断できる。以上を整理すると、企業内の技術スピロオーバの特徴は、次の3点に要約される。

- ① 企業内技術スピロオーバは特定の少数の研究者が引き起こす。
- ② 企業内技術スピロオーバでは物性と製造方法に関する知識が拡散する。広範囲に、急速に拡散する。
- ③ 企業内の技術スピロオーバは、固有技術の形成に不可欠なプロセスである。

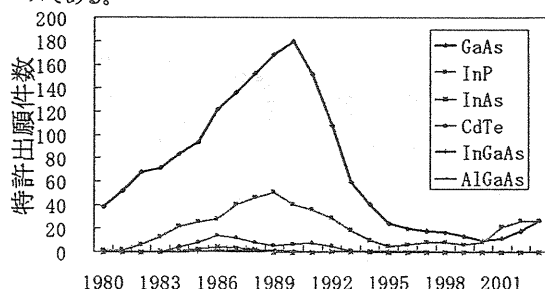


図9. 融液成長基板の出願の推移 (1980-2003) 3年移動平均.

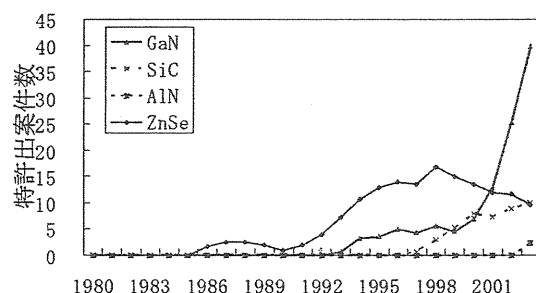


図10. 気相成長基板の出願の推移 (1980-2003) 3年移動平均.

3.3 社外からの技術スピロオーバ

ワイドバンドギャップ半導体の特許について、もうひとつ特徴的なことは、社外との共同出願が多いことである。図11に示すように、とくにGaNは2000年時点で80%以上の特許が社外との共同出願である。GaNの共同発明のパートナーは、シャープとソニーである。共同発明者

にシャープの研究者が含まれる特許とソニーの研究者が含まれる特許がある。1件の特許にシャープとソニーの両者が含まれるものはない。

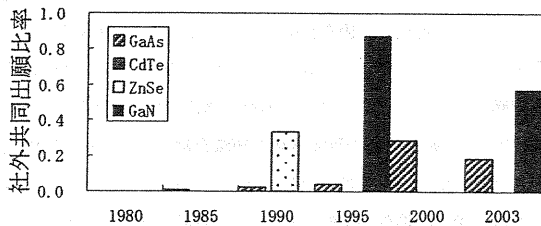


図 11. 社外との共同出願比率の推移。



図 12. 社外との共同出願のパートナー (2001-2003)。

GaNの基板開発の最大の課題は、転位とよばれる結晶欠陥の制御であった。これを解決したのが住友電工であり（公開特許：特開2000-12900, 2001-102307, 2003-183100, 2004-182551 など）、シャープやソニーとの共同出願は、この新技術を利用した発光素子やレーザの形成技術についてのものである。図 13 に示すように、この結晶欠陥制御技術は、住友電工が、GaAs に始まってこの時までに蓄積された基板結晶の欠陥制御に関する固有技術の蓄積の上に獲得されたものである。この技術と、ソニーやシャープの素子形成技術をあわせることで、新しいイノベーションが可能になっている。

この例は、企業間の技術スピロオーバーは、企業の固有技術を双方向にスピロオーバーさせることで共進してゆくプロセスであることを如実に示している。

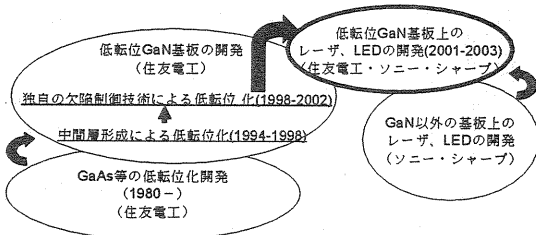


図 13. 固有技術に基づく企業間技術スピロオーバー。

住友電工では、シャープ・ソニーとの特許の共同出願と軌を一にして、事業本部制・執行役員制が施行され、人事評価についても戦略的目標管理が導入されている。また、研究開発本部のマネジメントにおいては、主任研究員の下で固定したチームが研究を行うシステムから、研究プロジェクトごとにチームを作る、より機動的なシステムに変更されている。共同開発のような企業間の交流の場では、技術のみならず、制度や組織文化のスピロオーバーも同時に起こりうることは知られている。したがって、本研究のみからは特定できないが、ソニー・シャープとの交流が一連の改革に対し、何らかの影響を与えたことは疑う余地がない。

4. 結論

4.1 総括

- ① 企業内技術スピロオーバーは特定の少数者による製造技術の伝播である。
- ② 企業内の技術スピロオーバーは、材料の間で繰り返すことで、適用範囲を広げ、高度な技術に進化して固有技術となる。
- ③ しかし、企業内の技術スピロオーバーは、共通の物性を持つ材料に伝

播しつづいた時点で停止する。

- ④ 社外との技術スピロオーバーは、固有技術の蓄積の上に成り立つ双方向のスピロオーバーである。
- ⑤ 企業間の技術スピロオーバーは、経営スタイルにも影響を与える。

4.2 技術戦略への示唆

企業内スピロオーバーによる固有技術の形成と企業間相互スピロオーバーによる新技術の導入は、相互に影響しあって共進してゆく。反面、固有技術の形成に失敗すれば、他者と共同開発を行う機会を逸し、共進の連鎖が途切れてしまう。

企業の技術戦略への示唆としては、企業が、社外との共同開発に値する独自の固有技術の形成と、積極的な企業間の共同開発の両面を並行して進めてゆくことが肝要である。

製造業のサービス化が進み、異種の産業や技術の融合で作られるユビキタス社会への準備として、今後は製造業のみでの企業間スピロオーバーから、産業間のスピロオーバーにも目を向けることが不可欠である。また、経営の制度や組織文化についても、技術と同様、自社固有の強みを活かしつつ、他社の強みと融合し、新しい自社の強みを形成してゆくことが重要である。

4.3 課題

社外との技術スピロオーバーが発生している根拠として、社外との共同出願特許を挙げた。しかしながら、共同出願の特許に関する計量的分析は本研究では行っていない。今後、さらに分析を深化してゆくなかでの課題としたい。

企業間の技術スピロオーバーが、技術だけでなく経営スタイルに与える影響について実証的に分析を行うことは、今後の課題である。

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—住友電気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、渡辺千巳、「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、渡辺千巳、「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ロオーバー」、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. 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
9. 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.
10. 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.
11. 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)
12. C. Ornaghi, "Spillovers in Product and Process Innovation: Evidence from Manufacturing Firms" International Journal of Industrial Organization 26 (2006)
13. 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 (2006).