開発における自由と制約(2) —境界領域は誰のもの?—

小泉 徹*

Development Should Be Free from Limitation, but Not Quite
—Who Should Study on Boundary Domain and How It Should Be Developed?

Toru KOIZUMI

*社団法人日本電子回路工業会（〒167-0042 東京都杉並区西荻北3-12-2回路会館2F）

*Japan Electronics Packaging and Circuits Association (JPCA) (Kairo Kaikan 2F, 3-12-2, Nishiogikita, Suginami-ku, Tokyo 167-0042)

1. まえがき

前報では、シンプルで具体的な事例を用いて、材料試験方法の規格や認証規定が先端技術の実情を評価するには役不足の場合もあることを述べた。特に、安全性と環境対応のようにトレードオフ関係にある特性の両立が要求される場合、その片方の評価に偏る試験方法だけを重視したのでは市場ニーズに応えるのは難しい。要素技術開発が分業化するなかで、複数の項目を総合的に判断する手腕がきわめて重要になっている。時には従来用いてきた評価方法に疑問をもつことも必要であろう。そして、開発担当者は自分が担当する既存の個別試験方法による成果達成だけに陥ることなく、視野を広げて全体を俯瞰した総合性能のバランスで判断することが望まれている¹⁾。

今回も、分業化された各専門分野を連携した視点の重要性について述べる。特に「境界領域の開発」に焦点を当てて、その開発プロセスにおける自由と制約を考察する。

2. 境界領域は新技術を育てる温室

どの産業であっても、開発行為の結果が消費者の満足する商品に反映されて社会に貢献し、代価が利潤として開発者に還元されることが求められる。もちろん、基礎研究や、学術的な理論の構築、現象再現と分析手法の探求が進展すること自体にも目的や価値がある。結果として、産業界はそれらの価値が次世代技術を可能にする引き金となることを期待する。さらに、消費者は次世代技術が実生活を便利に支援してくれること、すなわち夢が実現されることを何より期待している。

従来技術を革新したり、夢の実現を可能にするには、ニーズに牽引されたいくつかの関連領域がオーバーラップした境界領域が寄与することが少なくない。境界領域では、既存技術の延長だけにとらわれない多角的で自由な検討が進展するためであろう。

分子の配向性が変わる基礎研究から出発した液晶表示素

子は、ブラウン管方式の従来の画像表示機能に置き換わった。ブラウン管がドイツ人のK. F. ブラウン博士によって発明されたのは1897年。オシロスコープやレーダー、テレビに至るまで、1世紀以上にわたり電子画像の表示素子として使われてきた技術である。テレビ放送とともに発展し、白黒から精細なカラー画像表示への発展、専用の材料ガラスの開発といった各種の専門技術に支えられた製品市場がここ数年で一転し、家庭用の大型液晶のテレビやパソコンのディスプレイが量販店で格安販売されているのである。その様相には、かつての夢であった壁掛けテレビがいかにあっけなく実現したかと驚くばかりである。

輝度や色あいのバリエーションが不足と言われた発光ダイオードも、あっという間に信号機の電球にとって代わった。有機ELも、表示素子としてだけでなく、次世代照明として期待されている。従来の専門領域だけでの探求や可能性だけではなく、ニーズや機能に注目して原理や領域を問わずに開発が行われた結果、そういったブレークスルーが可能になってきた。

こうした境界領域への着目や検討はいまさら始まった手法ではない。たとえば機械設計の基本である材料の強さと破壊の問題について、昭和42年に「境界領域としての材料強度研究会」が発足している。材料の強さと破壊の問題はきわめて複雑である。従来は、固体物理学、確率統計論、弾塑性力学などの連続体力学、材料試験などの異なる立場からそれぞれ独立に研究が進められていた。それを、各分野の研究の相互の関連を究明し、情報を交換し、知識の交流をはかることが必要という視点から、問題の解明へのチャレンジが行われた。専門化した微視的立場と巨視的研究との結びつきが重視されたのである²⁾。

3. 境界領域をめぐる開発の自由と制約

既存の技術領域が関わりあう境界領域で開発者の自由闊達な連携作業が発揮されればニーズを実現する技術開発に貢献することができる。しかし、科学的には互いに近い領

域であっても、各技術の専門家が、既存の独立した領域の維持独立に関して保守的になりすぎることもある。そうすると、可能性を育むはずの境界領域が、自ら進歩を閉ざすことになりかねない。理由としては、互いの専門家の所属（国、組織、など）の違い、理論上の立場の違い、用語の概念や定義の違い、関連市場のスケールや商取引の伝統の違い、などがあると思われる。専門外の視点に目を向ける余裕がないほどの専門業務内の多忙さや、個人相互のコミュニケーション上の距離感も背景にあるかもしれない。

こうして専門分野間で生ずる制約は、研究者に対して、科学や技術の問題よりも、組織間や人間関係に関わる軋轢の克服にもエネルギーの投入を求めることになるかもしれない。しかし、それを乗り越えれば、役割分担の細部にとらわれずに巨視的な成果を目指すに足るあらたな自由創造の領域が生まれる。

4. 事例紹介

エレクトロニクス実装学会(JIEP)の活動領域である電子回路基板や電子実装技術の関連国際規格や技術標準策定を扱うIEC（国際電気標準会議）の専門委員会(Technical Committee; TC)にIEC/TC91（電子実装技術）がある。ここでの境界領域を扱ったふたつの事例と、電子実装技術で浸透しつつある「JISSO」の概念をとりあげて境界領域の特質を考察する。

①光回路基板（電子回路基板と光通信技術の境界領域）
—なかだちとなる新作業領域が生まれて進展している例—

大量の情報をより高速に伝える光信号の配線と部品搭載を担う「光回路基板」において、技術的な検討と同時に、普及促進を目的としてその基本事項の標準化が検討されてきた（図1）。従来の電子回路（プリント配線板）での電気信号の代わりに光信号が扱われ、製品形状は電子回路基板の延長上のようにも見える。実装品においては、電気信号を扱う電子回路基板との類似性と、信号が光であることの両者の姿を併せもっている（図2）。

この分野の標準化作業に最初に着手したのは米国であり、1999年に米国の電子回路業界が団体規格（米国電子回路協会規格：IPC規格）として光実装の文書化に着手した。この動きに対し、日本でも、この分野の将来展開の先進を目指した活動が始まった。作業は、まず日本国内の成果をタイアップしていくことを目的として、2002年8月に国内関連企業30社、関連学会（エレクトロニクス実装学会：JIEP）、業界団体（日本電子回路工業会：JPCA）でまず日本の業界団体規格化（JPCA規格化）作業として開始された。構想としては、光と電気の世界領域を日米の業界団体での共同規格化を経て国際規格とする計画であった。

しかし、その後米国の光産業はしだいに変貌し、国防や軍需目的などの特殊な先端分野へ注力された。一方、日本では民生光部品の標準化が進展した。そして、IEC/TC91（電子実装技術）で開始された基本スペックの標準化作業は、日本商品への米国からの牽制強化の影響から、米国が主導していたIEC/TC86（光ファイバ）で実施されるべき、との意見が高まった。光実装技術と関連したIECの技術委員会(TC, Sub Committee: SC)が多岐にわたっていることも共同作業を複雑なものにしがちであった（図3）。

筐体内を光で高速伝送するための実装部品技術の開発

図1. 電子回路基板と光実装技術

図2. 光配線板と光電子回路実装基板

SC 47E, Discrete semiconductor devices (個別半導体デバイス)
 TC 48, Electromechanical components and mechanical structures for electronic equipment (電子機器用機構部品)
 TC 86, Fibre optics (光ファイバ)
 SC 86A, Fibres and cables (光ファイバケーブル)
 SC 86B, Fibre optic interconnecting devices and passive components(光部品)
 SC 86C, Fibre optic systems and active devices (光ファイバシステム)
 TC 91, Electronics assembly technology (電子実装技術)
 TC 100, Audio, video and multimedia systems and equipment (オーディオ・ビデオ・マルチメディアシステムおよび機器)

- ・技術分野は100以上に細分化され、新技術は多岐のTCに関係する
- ・新技術の標準化提案の多くは既存技術の境界領域

図3. 光実装技術と関連したIECの技術委員会(TC, SC)

結局、技術論というより、組織論、政治的働きかけによって、光実装技術に関する国際規格化の作業は単独の領域ではなく、TC86（光ファイバ）とTC91（電子実装技術）との共同審議グループで扱うべきという方向性が決定された。2005年6月のことである³⁾。

日本はIECの決定を遵守し、率先して新たな共同審議グループの発足と運営に貢献した⁴⁾。双方のTCで活躍する国内の専門家の連携と国際的な働きかけに注力した結果、一時は提案段階でストップしていた提案文書の検討が、現在では順調に進展している。2009年4月の会合では、最新の技術ロードマップを含めた新たな検討結果も紹介された⁵⁾。

②電子回路設計と実装情報の記述と伝達（設計情報とデータ転送技術の境界領域）

—ソフトウェアとハードウェアの融合が新たなものづくりを生み出す可能性—

電子機器の機能設計図である回路図を、指定された部品や配線材料によって電子回路基板として実現する仕事は、現在ではそのほとんどが、コンピュータが支援する作業(CAD; Computer Aided Design)からスタートする。開始作業では、回路図を基に回路基板上に搭載する部品の寸法や

端子位置の情報を勘案して、電子回路基板上の回路の引き回しと部品接続位置などを決定して電子データ化する。この電子化された設計データは、通信手段によって基板製造などの関連工場に伝えられ、一連の設計情報が材料加工工程のデータとして使用される。設計情報が、部品実装プロセスや試験検査工程に用いる検査機器の設計製造運用に至るまで一貫して活用されれば、製造工程だけでなく品質管理も合理的に進行させることが可能となる。

そういった統合的なプロセス管理は、設計情報を言語として互換性のある表現方式で伝達して活用するソフトウェア技術上の側面と、基板材料に回路を形成して部品を実装していく工場の製造技術というハードウェアとの境界領域である。それらの設計情報が、最新のものづくりの進歩の必然性から二次元から三次元へ拡大する時期を迎えている。

電子回路基板と部品実装は、主に二次元CADで設計されていた。回路基板が多層化されるなかで、2階建て、3階建ての構造が実現されてきたが、二次元図面の重ね合わせという考え方は基本として変わらなかった。しかし、従来は電氣的な設計として、二次元の積み重ねのなかで管理されてきた電子回路基板ならびに実装品の様相が変わってきた。携帯用電子機器の小型化、自動車や電子機器最終製品内の三次元設計のスペース効率向上、熱対策、さらに材料や工程の共有化による設計の合理化とコスト削減の両立を背景とした変化である。

従来は、二次元構造設計をユニットやモジュールとして三次元物体として認知し、それを三次元設計製品中の空間に配置した。あるいは、あらかじめ準備された三次元空間にあわせてユニットやモジュールを設計した。こうした分業体制では高密度化や特性要求をトータル設計で実現できる限界が論議されるに至り、はじめから三次元形態で一体化した最終形態を目指した開発設計製造が求められるよう

になった。

異なったアプローチや技術蓄積で進歩を遂げた機構設計と電気設計。この両者の境界領域を避けて通れなくなってきたのである。こうした現実的な要求に応えるための工夫が標準化作業の土俵にも上がるようになってきた。記述方法やデータの扱い方法など、背景となる基本技術の異なる領域間の作業が能率よく連携された設計製造技術領域を確立するニーズが顕在化してきたといえる。そうした観点から、基本的な設計情報の三次元化に関するIEC文書の提案も開始されている⁶⁾。

以上ふたつの例では、IECの専門委員会TC91（電子実装技術）と他の専門委員会相互間の境界領域にJWG (Joint Working Group)を設定することで境界領域に関する合同作業が進行している例を紹介した。

① IEC/TC86/TC91 JWG9 Optical functionality for electronic assemblies

② IEC/TC91/TC93 JWG11 Printed board electronic data description and transfer

がそれらの活動母体の名称である。

では、さらに重畳した既存領域間の境界領域検討作業はどのように進められるのであろうか。2つの技術分野にまたがるIECの専門委員会は上述のようにJWGで調整がされるのが一般的であるが、3つ以上の専門分野をJWG化する手法は一般的ではない。その場合には、いくつかの専門委員会に横串を通すしくみを設定して、その活動結果として必要であればあらたな包括的な活動母体を新設する方法がとられてきた。もはや単なる境界領域ではなく、新規分野が成立したとみなす対処といえる。こうした将来の新規分野創出の可能性を内包しつつ、あらたな技術概念が複数領域の共同作業の求心力となっている例を次に示す。

③実装技術の進展が生んだ新概念と複数の境界領域包括の可能性

—「JISSO」のレベルという国際的な新概念が境界領域相互の発展に寄与—

これまでの電子技術の教科書では、「電子回路基板に部品を搭載し、完成した実装基板が動作する」という考え方が一般的であった。そうした電子基板製造と部品実装という生産現場での分業体制さえも変貌しつつある。こうした変化は、JIEPが若手社員や新入社員向けのはんだ付け実技を伴う講習会として開催している「実装技術入門講座」の主旨説明においても読み取ることができる。ことしの受講者募集の案内では、単に電子部品をプリント配線板に搭載することと考えられがちな「実装技術」を、もっと広げて「電子機器製造にかかわるインターコネクション技術」ととらえ直している。さらに、プリント回路の設計（CAD作業）を担当される方々にも実装上の問題を知ることが重要であることが示されている。一方、実装に従事する方々に

は回路設計がどのように行われているのかを知らねばならない点も着目されている。入門であるからこそ、従来と大きく異なりつつある現実の変化に対処するための発想転換にも対応可能な教育企画が実施され始めている。

部品実装方式として錫めっき銅線が両側に突き出た差し部品から表面実装部品に置き換えられて久しい。さらに、基板への部品実装から受動、能動各部品をプロセス上で多層回路基板の構造のなかに埋め込む技術が携帯電話での実用化などを経て広く知られるようになった。将来の電子基板技術として注目されている部品内蔵基板である。

図4は、実装技術を包括的に検討するグループ(Jisso International Council: JIC)によって説明、解釈されたJISSOの概念である⁷⁾。従来は構成部品をさまざまな個別技術によって組み立てた結果として最終製品が製造されるととらえるのが一般的であった。が、電気電子技術のものづくりにおいては、JISSOというひとつの概念がいくつかの段階レベルを経ることで使用者が求める電子機器を供給していく、ととらえている。境界領域の見方でいえば、基板、部品、実装プロセスの各技術領域の融合した成果をJISSOという新たな概念で大きく包括理解し、工程相互の領域を明確に線引きするのではなく、ここでは5段階のレベルを経て、構成部品は最終製品に姿を変えたとしている。

JICには、日米欧の電気電子関連業界団体（電子情報技術産業協会：JEITA、日本電子回路工業会：JPCA、米国電子機器製造者協会：iNEMI、米国合同電子デバイス技術委員会：JEDEC、米国電子回路協会：IPC、国際半導体技術ロードマップ委員会：ITRS、欧州電子部品協会：EECA）の関係者が参加している。その活動は、日本から提唱したJisso（実装）のコンセプトをもとに、IECの電子実装技術に関わる、半導体、受動部品、電子回路基板分野に共通する技術テーマとその課題について国際標準規格制定作業の迅速化に貢献する審議を継続している⁸⁾。

こうした活動を通じて、はんだ付けを中心にした部品接続技術は技術領域相互を接続包括する技術としてとらえられるようになった。実装(Jisso)の定義は、「材料・部品、電

図4. 「JISSO」の5つの階層

子回路実装基板，ユニット及びシステムの各ステージ及び移行プロセスの総称」として用語集にも収録されている⁹⁾。日本で育った「実装技術」は「JISSO」として，専門家の間では，国際語としても認知されている。

実装という概念のもとに実現される近未来の電子機器では，原材料から最終商品に至る取引の形態においても，工程単位で存在した専業メーカでみられた役割分担さえ変貌するだろう。実際，従来の出荷，受入関係を越えた企業形態や商取引も現実になりつつある。

5. まとめ

将来の市場ニーズを実現可能な新規技術開発の芽は，既存の技術領域の重なり合う「境界領域」で観察されることが少なくない。こうした芽を育て，摘み取るための開発手法としては，各社が秘密裏に行う既存の閉じた領域範囲での開発活動では不十分な場合も多くなっている。境界領域は背景の多様性を伴うのが常であるから，開発の取り組み体制にも開かれた姿勢が要求されて当然である。そして，担当領域を越えて視野を広げるには規格や標準化を含めた広いネットワークをもつ国際的な活動母体への参加や，国際マーケットの調査，さらに各国それぞれの産業政策を勘案した調査活動も必要となるだろう。先陣を他国や競合企業などに先取されないよう，学会活動での自由な意見交換や積極的な発信あるいは，標準化作業を利用することも有効な手段のひとつになるであろう。

境界領域は，異文化交流を開発の前提としたチャレンジ領域である。そして既存の居心地の良い住み慣れた担当領

域だけに甘んじずに相互の領域が互いに乗り入れたとき，新たな技術革新の展望が見える領域である。

(2009.4.22-受理)

文 献

- 1) 小泉 徹：“開発における自由と制約(1)—規格や認証規定が新商品開発の足かせになってはいないだろうか?—”，エレクトロニクス実装学会誌，Vol. **12**, No. 2, pp. 159–162, 2009
- 2) 境界領域としての材料強度研究会：“境界領域としての材料強度研究会報告”，日本機械学会誌，Vol. **74**, No. 630, pp. 830–831, 1971, <http://ci.nii.ac.jp/naid/110002469660/>
- 3) IEC：SMB 文書 SMB/3062/DL Item 4.3a)—TC86/TC91 conflict SMB Decision 123/3
- 4) 日本規格協会：“標準化教育プログラム，電気・電子分野，4.光実装技術にみる先端技術分野の国際標準化プロセス”，<http://www.jsa.or.jp/stdz/edu/edu.asp>
- 5) Final Draft Agenda of TC86/JWG9 (with TC91) Locarno meeting (April 22, 2009)
- 6) IEC：新規提案文書 91/972/NP “Component shape data specification for 3D CAD library”
- 7) A. Shibata: “The Total Packaging Solution: Jisso Level Definitions & Trends”, JIC (Jisso International Council) 会合資料，May 21, 2008
- 8) 電子情報技術産業協会：“標準化動向第9回国際実装技術協議会”，JEITA Review, 2008.9, pp. 10–11
- 9) 電子回路工業会：“電子回路用語”，p. 90, 2008