

一橋大学 21 世紀 COE プログラム
「知識・企業・イノベーションのダイナミクス」
大河内賞ケース研究プロジェクト

松下電子工業・電子総合研究所
移動体通信端末用 GaAs パワーモジュールの開発

武石彰
高永才
古川健一
神津英明

2006 年 3 月

CASE#06-01

本ケースは、一橋大学 21 世紀 COE プログラム「知識・企業・イノベーションのダイナミクス」から経費の支給を受けて進められている、「大河内賞ケース研究プロジェクト」の研究成果のひとつである。このプロジェクトは、大河内賞を受賞した業績について事例分析を行うもので、(財)大河内記念会と受賞企業のご協力をえながら、技術革新の概要やその開発過程、事業化の経緯や成果などを分析している。事例研究を積み重ねて、日本の主要なイノベーションのケース・データを蓄積するとともに、ケース横断的な比較分析を行い、日本企業のイノベーション活動の特徴や課題を探り出すことを目指している(詳細は <http://www.iir.hit-u.ac.jp/research/21COE.html> を参照のこと)。本プロジェクトを進めるに際して、(財)大河内記念会より多大なご支援・ご協力をいただいております、心よりお礼を申し上げます。

※本ケースの著作権は、筆者もしくは一橋大学イノベーション研究センターに帰属しています。本ケースに含まれる情報を、個人利用の範囲を超えて転載、もしくはコピーを行う場合には、一橋大学イノベーション研究センターによる事前の承諾が必要となりますので、以下までご連絡ください。

【連絡先】 一橋大学イノベーション研究センター研究支援室

TEL:042-580-8423 e-mail:chosa@iir.hit-u.ac.jp

一橋大学 21 世紀 COE プログラム
「知識・企業・イノベーションのダイナミクス」
大河内賞ケース研究プロジェクト

松下電子工業・電子総合研究所
移動体通信端末用 GaAs パワーモジュールの開発

2006/03/24

一橋大学イノベーション研究センター教授 武石彰*
一橋大学大学院商学研究科博士課程 高永才
一橋大学大学院商学研究科経営学修士コース 古川健一
一橋大学イノベーション研究センターCOE 客員教授 神津英明

*〒186-8603 東京都 国立市 中 2-1
Phone: 042-580-8425 Fax: 042-580-8410
Email: takeishi@iir.hit-u.ac.jp
<http://www.iir.hit-u.ac.jp/>

1 はじめに

いま、多くの人にとって、携帯電話のない生活を想像するのは難しいだろう。携帯電話を持っていれば、いつでもどこでも電話で話しができて、メールのやりとりやインターネットへのアクセスも可能だ。買い物をしたり、写真を撮ったり、音楽や映像を楽しんだりすることもできる。2005年6月現在、日本の携帯電話サービスへの加入者数は9200万人（PHSを含む）を超え、普及率（人口当り携帯電話加入者数）は約73%となっている。ほぼ四人に三人の割合で携帯電話を使っている勘定になる。中学生や小学生が持つのも珍しいことではなくなった。

だが、わずか十数年ほど時代をさかのぼると、携帯電話の普及率は1%に過ぎなかった（1993年1月）。当時最も普及が進んでいた北欧でも7%程度であったが、特に日本は普及が遅れていた。利用できるエリアが限られ、料金が高く、端末が重くて電池も長続きしなかったことなどがその理由であった。1990年代はじめの頃の移動体電話は、大型で、重く（150cc、230g）、待ち受け時間も10時間強ほどで頻繁な充電が必要だった。

その後の普及拡大には、利用エリアの拡大、デジタル方式への移行、インターネットへの接続サービスの開始などさまざまな要因が貢献したが、端末の小型軽量化と長時間動作化も重要な原動力となった。その一つの象徴的な出来事が、1996年に、100cc、100gを切り、待ち受け時間が150時間を超える端末が発売されたことだった。NTTドコモ向けの端末機として松下通信工業が開発した携帯電話、P201である。より小さく、軽く、充電も長持ちする端末の登場は人々の携帯電話への関心を刺激し、市場のさらなる拡大を促した。P201は半導体、電子部品、電池など様々な技術革新を結集して実現したものであったが、その一つが、松下電子工業が開発した、小型で消費電力の少ないGaAsパワーモジュールであった。

パワーモジュールは、携帯電話において送信用に信号を増幅する部品で、携帯電話端末に用いられる部品の中で最も電力を消費する部品である。松下電子工業は、このパワーモジュールにガリウム砒素（GaAs）半導体を用いたFET（Field Effect Transistor：電界効果型トランジスタ）を応用し、業界最小体積、業界最高効率を達成した。携帯電話の小型化、長時間動作化に寄与する部品として端末機メーカーに歓迎され、1990年代半ば以降、松下電子工業のパワーモジュールの国内シェアは、当初の2割弱から6割強まで拡大していき、海外にも浸透していった。

小型で高効率のGaAsパワーモジュールを松下電子工業はどのようにして開発、事業化していったのか。その後事業はどのように展開していったのか。この過程を記述する

のが、本ケースの目的である¹。

2 松下電器産業グループの携帯電話関連事業の概要

松下電器産業グループ（以下、松下グループ）は、携帯電話をめぐって①通信インフラ、②端末、③デバイスの各分野で事業を営んでいる。

この内、端末では（旧）松下通信工業（2003年に、パナソニックモバイルコミュニケーションズ株式会社へ名称変更）が国内トップメーカーの一角を占めている。多数のプレイヤーがひしめく中で、国内出荷台数シェアで30%前後を維持している。

同社が携帯電話端末を製品化したのは、電電公社（以下、NTT）向けにショルダーフォンといわれる肩掛け型の大きな端末（1500cc、3kg）を1985年に開発したのが最初であった。「電電ファミリー」の一員としてNTTと長年にわたって緊密な取引関係にあったNECや富士通は、当時のNTTが携帯電話サービスを立ち上げようとしていた動きに合わせて参入を決めており、松下グループもその動きに何とか食い込もうとする形で参入していった。手に持てる程度の端末（500cc、750g）を実現したのは2年後にNTTが携帯電話サービスを開始した時であり、さらに、NTTが小型携帯電話（150cc、230g）のムーバサービスを1991年に開始した時、松下通信工業は有力な端末メーカーとしての地歩を築き、端末の小型化により一層の力を入れていく。国内で普及が加速し始めた1994年に195gの端末を実現し、それから2年後の1996年には、先述した通り、世界初の100cc、100gを切る端末（93cc、93g）を製品化した。

携帯電話に関連するデバイスのビジネスとしては、基地局向けと端末器向けとに大別される。基地局向けには信号送受信用半導体デバイスや信号処理のためのLSIがあり、

¹ 本ケースは、一橋大学21世紀COEプログラム「知識・企業・イノベーションのダイナミクス」の研究プロジェクトのひとつ「大河内賞ケース研究プロジェクト」(<http://www.iir.hit-u.ac.jp/research/21COE.html>)の一環として作成したものである（本ケースでとりあげる、「移動体通信低消費電力／小型GaAsパワーモジュールの開発と量産化」は2000年度に第47回大河内記念生産賞を受賞している）。本稿を作成するにあたって、後掲の参考文献の他に、以下の講演、インタビューを参考にさせていただいた：上田大助氏（松下電器産業株式会社 半導体社半導体デバイス研究センター所長）講演（2004/11/11）、インタビュー（2005/02/08、2006/01/13）、玉井誠一郎氏（同知財・技術推進グループGM 兼事業本部知財戦略総括担当）インタビュー（2005/02/08）、田中毅氏（同電子デバイス研究グループ・グループマネージャー）インタビュー（2006/01/13）、片山琢磨氏（同技術企画チームリーダー）インタビュー（2005/02/08、2006/01/13）、南部修太郎氏（アセット・ウィッツ代表取締役）インタビュー（2006/01/13、2006/02/02）（所属、役職はいずれもインタビュー当時）。お忙しい中、貴重なお時間を割いてご協力いただいた以上の方々には深く感謝する。また、「大河内賞ケース研究プロジェクト」を進めるに際して多くのご協力をいただいている大河内記念会にも感謝する。なお、書かれている内容についての文責はあくまでも筆者にある。また、本稿の記述は企業経営の巧拙を示すことを目的としたものではなく、分析並びに討議上の視点と資料を提供するために作成されたものである。

より大きな市場規模を持つ端末器向けには、パワーモジュールを含む信号送受信半導体デバイス、信号処理や制御を担うベースバンドLSI、電源IC、カメラ等に用いられるイメージセンサ等の半導体部品、表示用としてのLCD、電子部品（コンデンサ、高周波用フィルタ、多層プリント基板等）、そして二次電池というように、多くのデバイス分野が関わっている。いずれの分野においても、松下グループ各社は主要プレイヤーとして認知されている。

本ケースで取り扱う GaAs パワーモジュールは、(旧) 松下電子工業株式会社（現在、松下電器産業株式会社半導体社）の電子総合研究所が主体となって開発したものである。松下電子工業は、松下グループの一員として 1952 年に設立され、半導体、電子管、照明などの事業を担ってきた会社だが、2001 年に、中村社長による一連の松下グループの構造改革の中で松下電器産業に吸収合併され、半導体部門は松下電器産業の社内分社である半導体社として組み込まれている。

電子総合研究所は、松下電子工業が 1955 年に設立した松下電子工業研究所を前身とし、半導体デバイスを中心に松下電子工業の研究開発の中核を担ってきた歴史ある研究組織であった。1999 年に松下電子工業が社内分社として半導体社を設立した際に半導体デバイス研究センターに改称されており、現在では、そのまま松下電器産業半導体社の半導体デバイス研究センターとして研究開発活動が続いている²。

3 GaAs パワーモジュールの技術革新

GaAs パワーモジュールとは

パワーモジュールとは、高周波の無線通信を実現するために送信用の電波を増幅するデバイスである。

無線通信は通信システムの使い方（ラジオ、テレビ、船舶航空無線等）により使用する周波数が決められている。一般に周波数が高くなるほど電波は直線的に進む。低周波ではこの直線性が緩和されるため、山やビル等が障害にならず、電波が遠くまで届き少数の基地局で広いエリアをカバーできる。一方、人間の声の周波数は 4kHz までであるため、少なくとも無線通信で声を送る際には一人の通話者が使う周波数帯域として 4kHz 帯域（これをチャンネルという）を必要とする。したがって、電波が遠くまで届くものの多数のチャンネルが取れない低周波を用いた無線通信は、一人一台を前提として、か

² 以下、現時点での名称とは異なるが、本稿では特に断りのない限り、ケースで主たる対象とする期間の当時の名称であった、「松下電子工業、電子総合研究所」の名称を用いることとする。なお、後述するように、同研究所（その後、半導体デバイス研究センター）で GaAs パワーモジュールの開発を担当したチームは、2002 年に松下電器産業半導体社の R&D 組織である高周波半導体開発センターに統合されている。

つ多数の通話者が同時に通話する携帯電話システムには向かない。携帯電話は周波数が高く帯域を広く使うことでチャンネルを多数設けることにより、多数の人が音声やデータのやりとりをする通信システムとして使用できる。

デジタル方式の携帯電話の送信では、デジタル化された音声やデータを送信するために、デジタル信号をまず送信周波数より低い周波数のアナログ波（中間周波数）に乗せることによりデジタル変調信号に変換する。さらにアップコンバータという半導体デバイスによりこのデジタル変調信号の周波数をより高い送信周波数に変換する（アップコンバージョン）が、このままでは送信電力が小さい。これを端末機のアンテナから無線出力される 1W 程度の電波として 300 倍程度に増幅するのが、送信用のパワーモジュールである（図 1）。

したがって、無線出力電力を小型のデバイスでいかに効率的に実現するかがパワーモジュールの最も重要な要件となる。とくに、送信時の高周波増幅を担うパワーモジュールは、端末の中で最も電力を消費する部品であり、携帯電話が消費する全電力のうち、送信時には 80%、受信時には 50%もの電力を費やしていた。パワーモジュールの増幅効率³が低いと、実用的な動作時間を達成するために必要な消費電力をまかなうために二次電池が大きくなってしまい、携帯電話端末の小型化を妨げてしまう。携帯電話の小型軽量化、そして長時間動作化にとって鍵となるデバイスなのである。

GaAs パワーモジュールは、増幅素子に GaAs を用いた電界効果型トランジスタ（FET）を用いたものである⁴。Si トランジスタに比べて、GaAs FET には増幅効率が高く、消費電力を抑えることができるという利点があったが、GaAs は Si に比べて半導体材料費が高いという問題があった（材料費だけで約 10 倍）。脆いため加工にも難点があり、GaAs FET の価格を Si トランジスタに比べてさらに高いものにしていった。その割に従来の GaAs パワーモジュールの増幅効率は決して高いとはいえなかった（40%以下）。たしかに Si トランジスタを用いたパワーモジュールの増幅効率（35%）よりは効率的だったとはいえ、依然として電力消費が大きく、小型化も進んでいなかった。

また、パワーモジュールは、増幅素子として Si トランジスタを使うにしろ GaAs FET

³ 増幅効率は一般にパワーモジュールのアナログ出力電力からパワーモジュールへのアナログ入力電力を引いた値をモジュールが消費する電池から供給される直流電力で割った値として表される。パワーモジュールにとって、電池からの電力を無線の送信電力に変換する効率を示す重要な性能指標のひとつである。

⁴ 現在の主要な半導体デバイスは半導体材料としてシリコン（Si）を用いている。しかし、Si デバイスでは十分な特性を実現できないマイクロ波を用いた無線通信システム（たとえば衛星放送の送信用アンテナ）では半導体材料として Si より電子移動度の高いガリウム砒素（GaAs）を用いたデバイスが用いられてきていた。携帯電話システムにおける GaAs デバイスは大きく基地局用の送受信デバイスと端末器用の送受信デバイスが主要な応用分野である。

を使うにしろ、直流電力を供給する電源回路のほかに、パワーモジュールの周波数帯域内でその増幅効率を最大にするために増幅素子の入力部と出力部に高周波整合回路を設ける必要がある⁵。パワーモジュール開発においては、増幅素子と共に鍵となる技術であり、その小型化も大きな課題となっていた。

松下電子工業の GaAs パワーモジュールの革新

こうした問題点を克服し、増幅効率の向上、小型化において従来製品を大きく上回る水準を達成したのが、1995年から1999年にかけて松下電子工業の電子総合研究所が開発した GaAs FET パワーモジュールであった。

これは、従来の GaAs FET が抱えていた、①高周波領域で動作させるために GaAs FET のゲートの微細化が必要であるが、高出力を出そうとすると増幅効率が低下する、②入出力整合回路を個別設計し配置するために、高周波基板が大型化する、③FET は接地面とワイヤーで結ぶが、増幅効率を高めるためワイヤーの本数を増やす必要があり、ワイヤーの結線用面積の増大により FET チップが大型化する、④FET の発熱に伴う熱暴走(制御不能の状態)を避けるために、FET の温度を一定以下に保つ温度補償回路が必要で大型化する、という四つの問題に対して、それぞれ①スパイクゲート構造、②立体高周波回路、③表面ビアホール、④温度依存性ゼロ技術、という技術革新によって克服したものである(表2)。

①高周波領域で効率が低下することの克服：スパイクゲート

GaAs FET は、GaAs 結晶表面にソース(電子の供給口)とドレイン(電子の受け口)という二つの電極を設けて電子の通り道であるチャンネルを結晶中に作り、このソースとドレイン電極の間のチャンネル上にゲート(門)と呼ばれる電極を設けた構造になっている。ゲート電極はその名のとおり電子の流れを制御する電極であり、その制御はゲートに電圧をかけて行う。このゲート電極に微小なデジタル変調信号を加えるとデジタル変調信号に従ってゲートの電圧が変化するため、その変化はチャンネルを通る多量の電子の流れ(ドレイン電流)にコピーされ、デジタル変調信号は増幅される。

携帯端末システムのような高周波領域において GaAs FET がデジタル変調信号を扱うためにはゲート電極下のチャンネルを走る電子の走行時間を短くすることが必要であり、したがって、ゲート電極の微細化が必要であった。しかし従来、ゲートの微細化は同時

⁵ この高周波整合回路は、チップキャパシタと呼ばれる容量素子やコンダクタ素子をアルミナ(酸化アルミニウム)を材料とする基板に形成するか、組み立てて作られるもので、端末器のシステムから要求される性能を満たすように設計される。

にソース電極とゲート電極間の寄生抵抗と言う FET の高周波動作にとっては必要のない抵抗の増加を伴い、増幅効率を低下させていた。

松下電子工業が開発したスパイクゲートは、高額な製造設備を使わずに GaAs FET の実効的なゲートの微細化を実現したものである。スパイクゲートはゲート電極が乗る GaAs 結晶の表面を V 字型に掘り込み、その掘り込んだ部分にゲート電極を設けることによりゲート電極の微細化を実現した。このスパイクゲート構造においてはソース電極とゲート電極間の GaAs は掘り込んでないため厚いままであり、この厚さにほぼ逆比例する寄生抵抗値を上げることなくゲート電極の微細化を実現した。

端末器において電池から GaAs パワーモジュールに供給される電圧は、電池のエネルギー密度が高く普及もしているリチウム電池の効率が上がっても、せいぜい 3V 前後しかない。そのような電圧では従来は増幅効率が 60 数%にとどまっていたのに対して、スパイクゲートは 70%の効率を達成し、二次電池で駆動するパワーモジュールとして優れた特性を得ることに成功した。

スパイクゲートはその製造方法においても工夫がなされた。スパイクゲートの先は非常に微細な (0.2 ミクロンメートル) 加工を必要とするが、一般に、ゲート電極の微細化には高額な設備投資が必要になる⁶。それでは事業として成り立たない。そこで、コストをかけずにこれを実現するため、松下電子工業は、半導体業界ではそれまで原理的には理解されていたが実際の製造には適用していなかった位相シフトマスクを用いることにより安価な光学露光装置で微細なゲート電極を実現した⁷。これは高額な設備を用いることなく微細なスパイクゲートを作る、高度な生産技術の革新であった。

②入出力制御回路の個別設計・配置による基盤大型化の克服：立体高周波回路

既存のパワーモジュールでは、回路基板に GaAs FET、入出力の高周波整合回路、バ

⁶ 一般の光学露光技術を用いてゲート電極のパターンを GaAs 表面に形成するためには、ゲート電極のパターンを持つマスクを通して光を当てることにより、GaAs 表面に塗られた薄い感光膜にマスクパターンを転写する必要がある。当時 0.2 ミクロンメートルという微細なゲート電極を形成するためには最先端の高額な縮小投影露光装置が必要であった。

⁷ 位相シフトマスクを用いる露光技術の原理は、マスク上の二つの近接 (たとえば 1 ミクロンメートルの間隔) した細いスリットを通る光は光波として位相が同じであるためマスクを通り抜けた後干渉して、本来は光が当たって欲しくないスリット間の間隔 (ここでは 1 ミクロンメートル) にも光が回り込んで感光膜にマスクのパターンが正常に転写できないという物理現象を活用したものである。すなわち、マスク上の二つのスリットのうち一方を光が通るときに位相が逆転するような膜 (移相膜) を塗っておくと二つのスリットを通った光はスリット間において逆の位相の光が干渉するために実質的に全く光の強度がゼロになる部分がスリット間の間隔 (ここでは 1 ミクロンメートル) に生じるため、光の当たらない感光膜は非常に細く線として残る (たとえばここで必要な 0.2 ミクロンメートル)。この線をゲート電極形成に用いる。したがって、微細でない位相シフトマスクを用いることにより微細なパターンを形成しうる。

イアス回路（電源回路）の部品などが同一平面上に実装されていた。パワーモジュールの高周波特性高周波を考慮すると、入出力整合回路やフィルタなどを一定の距離をおいて配置することが必要で、結果として回路が大面積化していた。

これに対して松下電子工業では、独自の立体高周波回路（6～7層の多層化）による小型化を実現した。GaAs FET をチップ実装させ、高周波整合回路、バイアス回路、フィルタなどの部品を三次元的な設計手段で複合的に実現する技術を開発した。

各回路面を接地層で挟み込むことで高周波の分離を実現し、また各層に基準面、接地面を設けて、それぞれ独立に設計できるように工夫されている。この結果、これまで平面上に配置していた部品を立体的に高密度に配置することが可能になり、モジュール体積の小型化と、同時に回路特性、特に帯域内増幅特性の向上が実現した。

③ワイヤー接地による大型化の克服：ビアホール接地

従来 GaAs FET チップの高周波回路基板への接地には多数のワイヤー（PDC では 20 本以上）を用いていた⁸。接地に用いていたワイヤーの断面積は 25～35 ミクロンで、超音波を用いてワイヤーの先端をチップに接合する面積はさらに大きくなり（接合時にワイヤーの先端が潰れるため 50～70 ミクロンとなる）、接地のためだけの面積を大きく使うため、チップが大型化していた。

ワイヤーに代わる接地方法として同センターが開発したのが、ビアホール (Via Hole) 技術であった。ビアホールは、FET を形成している GaAs 基板の一部に垂直貫通孔を形成し、その中に金属を埋め込み、ワイヤーを用いずに高周波基板電極に直接接地するものである。

これにより、ワイヤー接地用面積が不要となり、チップ面積を 40%ほど縮小することが可能になった。またワイヤーによる抵抗（寄生インダクタンス）がなくなったことで、高周波電力利得が 2 倍程度上がった。必要な面積が小さくなると同時に高周波特性も良くなり、一石二鳥の技術であった。

この技術を実現する上で難しかったのは、脆い基板に穴を開けることであったが、松下グループ内で持っていた ICP 高密度エッチング装置⁹を用いて対応が可能となった。

⁸ 高周波回路から見た場合には、このワイヤーは FET の増幅効率を低下させ、また、増幅器としてあってはならない異常発振の要因となる。このような不具合を避けるためにはできるだけワイヤーの本数を多くして高周波的な抵抗を低減させることが必要であった（これはいわば、水道管の径が小さくても多数並列に並べると多くの水を流せるので水道管の径を増して水道管の抵抗を低減したのと同じ効果があるのと同様の理屈である）。

⁹ 半導体基板上に、高密度なプラズマ放電で深さ 150 ミクロンほどの穴を高速に形成するという装置。

④温度補償回路設置による大型化の克服：FET 配置工夫による温度依存性解消

移動体通信端末の送信部は、大きな電力を発生するので発熱も大きいですが、この温度上昇により GaAs FET の動作条件が変化し、場合によっては熱暴走（FET にながれる電流を制御できなくなる）して FET そのものが壊れるという問題があった。このためにわざわざ外部に、FET の温度を一定水準以下に保つための温度補償回路を設ける必要があり、送信部の回路が複雑化、大型化していた。

このような問題は GaAs FET デバイスの本質的特性とそれまでは考えられていたのだが、松下電子工業はチップの実装時の条件によって FET 特性パラメータの温度係数が変化することを発見した。

GaAs FET を基板に接地する時には、半田を用いて約 350℃で基板の金属層と融着されるが、組み立て後のパワーモジュールは 100℃以下の状態となる。このため、GaAs と基板との熱膨張率の差により組み立て後には GaAs FET に圧縮力が残ったままとなり、端末の使用によって内部の温度が上昇すると、GaAs FET の残留圧縮力が緩和される。この圧縮力の変化が GaAs FET の温度特性をもたらしていたことを見出した。さらに GaAs 結晶に電流を流す向き（ゲート電極と直角の方向）を変えることによりこの圧縮力による FET 特性の影響をほとんど解消させることを見出した。

これらの発見に基づき、GaAs FET の電極配置を変え、GaAs 結晶基板上に FET を形成する際に FET のゲート電極の配置方向を従来の電極の配置方向から 45° まわした方向に設定するだけで温度特性を制御する（温度の特性を 0 にする）ことが可能になり、その結果、温度補償回路を必要せず、その分小型で簡素な GaAs FET パワーモジュールが実現した。

4 開発・事業化の経緯と特徴

松下通信工業のパワーモジュールは、以上の四つの技術革新によって、業界最高水準の小型化と高効率化を達成し、携帯端末用部品として国内外で広く採用されていった。その開発から事業化の過程はどのように進んでいったのだろうか。ここからは、その足取りと特徴をたどっていくことにしよう（表 2 に主なできごとの年表を示す）。

開発着手

松下グループが携帯電話端末用に GaAs のパワーモジュールの開発に着手したのは 1980 年代後半のことである。当時、松下電器産業の研究開発部門の一つであった半導体研究センターで南部修太郎が中心になって取り組んだものであった。南部は、松下電

子工業の電子総合研究所（当時の名称は半導体研究所）の出身で、同研究所が1979年にそれまで軍事用に限定されていたGaAs半導体を世界ではじめて民生用のUHFテレビチューナーの4極FETとして製品化することに成功した時の開発担当者であった。南部は、その後、松下電子工業のディスクリート事業部の開発部隊に移り、そこで携帯電話端末用のGaAsのパワーモジュールの開発を手がけ始め、さらに1988年から松下電器産業の半導体研究センターの光半導体研究所に転じていた。

当時のGaAsパワーモジュールは、先ほども述べた通り、シリコンより効率が良いといってもその差はわずかであり、コストははるかに高かった。だが、南部は携帯電話端末向けのGaAsパワーモジュールの可能性に着目し、その技術開発に注力した。付加価値の高いモジュールを開発して一定規模の事業を立ち上げたいという強い思いが働いたのと、たまたま当時松下通信工業からみせてもらった新しい携帯電話端末を手にして、効率の高いGaAsパワーモジュールを実現すれば電池の数を減らしてもっと小型化できるはずだとの見通し（明確な技術課題）が持てたからであった。松下電子工業時代からいろいろとGaAsデバイスの研究を支援してくれた松下通信工業に恩返しをしたいという気持ちも南部の中にはあった。

ただし、NTTも含めて、シリコンを使うのが当然であるという意見が当時の主流であった中で、この考え方は少数派であった。そもそも南部が松下電器産業の光半導体研究所に転籍したのも、松下電子工業では積極的な支持がえられなかったためでもあった。南部は、当時、松下電器産業の半導体研究センター長であった水野博之の理解と支持をえて、光半導体研究所でのGaAsパワーモジュールの開発にこぎつけたものの¹⁰、松下通信工業の携帯電話端末事業担当者にその技術的な可能性を説明しても懐疑的な反応しか返ってこなかったのがその頃の苦しい実情であった。

だが、ここで予想外の追い風が突然吹く。当時激化していた日米通信摩擦によって、1989年に、米国のモトローラが（当時としての）超小型携帯電話端末「マイクロタック」で国内市場に参入することが政治決定される¹¹。この結果、NTTがモトローラに対抗して少しでも性能に優れた携帯電話の開発・投入に力を入れることになったのである。

高性能の携帯電話端末の開発を急ぎよ要請された松下通信工業は、一転して、南部の

¹⁰ 松下電子工業の研究者が松下電器産業の研究所に転籍するというのは珍しい出来事であった。水野が南部を光半導体研究所に受け入れたのは、松下電子工業出身の水野が以前から南部を知っていたのと、他方で、南部を受け入れることで光半導体研究所の研究活動を活性化しようという狙いも働いていたと考えられる。

¹¹ 当時のDDIセルラー（現KDDI）が1989年に国内初の小型携帯電話「モトローラ・マイクロタック」を発売した。これは日本の通信機器市場の開放を要求する米国政府の圧力を受けての出来事であった。

取り組んでいた GaAs パワーモジュールに関心を寄せた。南部にとってはまさに千載一遇のチャンス到来であった。南部が取り組んでいた携帯電話用の GaAs パワーモジュールの開発は一気に本格化、加速化する。試行錯誤を繰り返しながらも約一年という短期間でなんとか実用化にこぎつけ、1991 年 4 月からスタートした NTT の「ムーバサービス」用に松下通信工業が製品化した小型携帯電話端末に組みつけられる。低消費電力の GaAs パワーモジュールのおかげで充電待ち受け時間が長かった松下通信工業製の端末は人気を博し、「ムーバサービス」向け端末で一気にトップシェアを獲得し、GaAs パワーモジュールは松下電子工業の新しい事業分野となっていくた。

これはただ、松下電子工業の電子総合研究所の立場からすれば、必ずしも居心地のいい状況ではなかった。自社の半導体事業の成長分野の技術が松下電器産業の研究開発部門で開発されたことで、とりわけ事業への貢献が重視される電子総合研究所は肩身の狭い思いをした。しかも、一方で、電子総合研究所で力を入れていた衛星放送用パラボラアンテナのための GaAs FET の方は成果があまり芳しくなかっただけに、一層忸怩たる思いを募らせていた。

そんな中で、電子総合研究所にとって新たなチャンスが到来する。デジタル携帯電話端末用の GaAs パワーモジュールの開発が次の課題として登場したのである。松下通信工業は、NTT の動向も踏まえながら、デジタル方式用に新たなパワーモジュールの開発の検討を要請した。ところが、アナログ用の GaAs パワーモジュールを開発した松下電器産業の半導体研究センターは積極的な反応をみせなかった。開発をリードした南部が他の分野に異動していたこともあったし、好調なアナログ用のパワーモジュールの改良版でデジタル用に対応できると考えたのがその理由であった。他にも多くの開発テーマを抱え、とくに長期的な研究テーマを優先する傾向が強い松下電器産業の半導体研究センターにとって、デジタル方式の携帯電話端末用のパワーモジュールを新たに開発するという課題はそれほど優先順位の高い案件ではなかった。またその当時、そもそもデジタル方式の携帯電話にどれほどの市場が期待できるのかも不透明であった。

対照的に、デジタル用の GaAs パワーモジュールの開発に積極的に取り組む姿勢をみせたのが、松下電子工業の電子総合研究所であった。アナログ用の開発で松下電器産業の半導体研究センターにお株を奪われていた同研究所にとって、デジタル用の開発は願ってもない名誉挽回のチャンスであった。新たに任命された上田大助がリーダーとなって、10 名強のメンバーで本格的にデジタル用の GaAs パワーモジュールの開発に着手したのが、1991 年のことであった。

電子総合研究所は、当初、PHS 用の開発にも取り組んでいた。PHS は安価な携帯電話として都市部での普及を目指して NTT が主導していたので、その将来性が期待されてい

た。だが、余裕のない電子総合研究所にとって二つの開発テーマを追い続けるのは無理がある。ひとつを選択せざるをえなかった。結局、松下電子工業の電子総合研究所の GaAs パワーモジュール開発活動は、デジタルの携帯電話用に集中することになる¹²。

製品化と顧客開拓

1993年3月、NTTドコモが日本初のデジタル方式（PDC方式）の携帯電話サービスを首都圏で開始した。アナログ方式に比べて、データを圧縮して処理するデジタル方式はパワーモジュールに対して新たにひずみ特性の改善を要求した¹³。高調波ひずみを考慮したパワーモジュールは一般に増幅効率が低下するため、デジタル方式になって、パワーモジュールの増幅効率を高める重要性はより高くなった。

だが、新しいサービスのスタートにあわせて松下電子工業の電子総合研究所が製品化したデジタル方式用の GaAs パワーモジュールは、肝心の松下通信工業には採用してもらえなかった。松下通信工業は当時 800MHz の携帯電話でアナログ方式とデジタル方式の両方を投入していたが、両方式ともに、松下電器産業で南部チームが開発し、既に納入実績を積んでいた、アナログ用の GaAs パワーモジュールを継続して使い続けたのである。松下電子工業のデジタル用 GaAs パワーモジュールは、効率性では一定の成果をあげていたものの、コスト面での厳しい評価を受け、受注を獲得することができなかった。

むろん、開発は松下電器産業であっても、生産は松下電子工業が担当していたから、松下電子工業の事業としてはどちらの技術でも同じことだった。ただ、技術開発での巻き返しのチャンスをうかがっていた松下電子工業の電子総合研究所としては松下通信

¹² PHS の出力は携帯端末器の出力の十分の一位と技術的に容易であり、かつ PHS の普及を図るために PHS 用のパワーモジュールの価格も抑えられていたことも選択のひとつの理由になっていたと思われる。松下電子工業の電子総合研究所が放棄した PHS は、松下電器産業の半導体研究センターがとりあげて開発することになった。結果的に PHS 市場は、国内では思ったように拡大しなかったが、1991年ころにおいては、むしろ音質にも優れた PHS の方が将来有望であるとの見方も根強かった。松下電子工業の電子総合研究所でデジタル方式の携帯電話端末用の GaAs パワーモジュールの開発リーダーだった上田自身も当時はそのような見通しをもっていたという。

¹³ Si デバイスにしる GaAs FET にしる、その特性パラメータはパワーモジュールの入力電力によって変化する、いわゆる非線形性を持つために、ある周波数で増幅された出力電力は他の周波数成分を持つ高調波ひずみを生じ、他の周波数における雑音となる。データを圧縮して処理するデジタル携帯端末器ではパワーモジュールの高調波ひずみをアナログ方式より抑える必要があり、パワーモジュールに新しい課題を生じさせた。パワーモジュールの入力レベルを抑えるほど、言い換えるとパワーモジュールの最大出力（飽和出力）からみて出力レベルが低ければ低いほど高調波ひずみを抑えることができる。しかし、この場合は端末器として必要な出力を満足させることは難しい。そこで、パワーモジュールの飽和出力を上げて、飽和出力から見て一定レベル下がった出力でも所望の出力レベルを実現するようにパワーモジュールの設計（GaAs FET の変更も含めて）を変える必要が生じた。

工業に採用してもらえなかったのは大きな痛手であった。

なんとか事業としての成果を上げたい電子総合研究所は、ここで外販に動いた。その成果が、1993年秋に獲得にした NEC からの受注であった。社内での GaAs パワーモジュールの調達ができなかった NEC は、コストよりも効率性の高さを評価し、電子総合研究所が開発した GaAs パワーモジュールを採用した。端末メーカーとして競合関係にある松下通信工業が採用していなかったというのも NEC の採用を後押ししたかもしれない。その後、ソニーからも受注し、次いでグループ内の松下通信工業からも受注する。南部チームが開発したアナログ用の GaAs パワーモジュールの採用を続けていた松下通信工業も、他の端末メーカーへの納入実績などをふまえ、翌 1994 年には電子総合研究所が開発したデジタル用の GaAs パワーモジュールの採用に踏み切ったのである。

松下電子工業の電子総合研究所が開発した GaAs パワーモジュールはこうして顧客を増やし、他に供給するメーカーがなかったこともあって、初期のデジタル方式用の端末市場をほぼ独占していく。ただ、まだ当時としては、デジタル方式はアナログ方式に比べて市場規模はごく限られていたし、小型化、効率化の点で改善すべき点は多かった。それを克服し、松下電子工業がデジタル携帯電話端末用のパワーモジュール市場で盤石の地位を築くのに大いに貢献するのが、先ほど概要を紹介した 4 つの技術革新であった。

4 つの技術革新のプロセス

4 つの技術革新は、もともと松下電子工業の電子総合研究所がデジタル用の GaAs パワーモジュールの開発に本格的に着手した 1991 年から取り組んできたものではあったが、開発努力に一層の拍車がかかったのはデジタル方式のサービスが始まった 1993 年のことであった。とくにこの当時、松下通信工業が音頭をとって、松下グループとして 100cc、100g を切り、連続通話時間が 100 分を超える携帯電話端末の開発を目指す 300 (スリー・ハンドレッド) プロジェクトがスタートしたことが開発努力を加速化させた。

四つの技術は同時に実現されたわけではなく、1995 年から 1998 年にかけて積み重ねていったものだった (前掲表 1)。この過程は、一部は顧客の関心を継続的につなぎ止めるための効果を狙って計画的に進められたものであり¹⁴、また一部は偶然の発見に基づいたものであったが、まず苦労したのは立ち上げの段階で開発したものを採用してくれる顧客を見つけることだった。

スパイクゲート構造を用いて、体積 0.4cc、効率 40% のデジタル用 GaAs パワーモジュールを実現したのは 1995 年のことだった。翌 1996 年には、さらに立体高周波回路技術

¹⁴ 同じ技術だけでは顧客をつなぎ止めるのは難しいので、受注を維持するためには常に新しい技術を提示することが大切になる。

を開発したことで、体積 0.2cc、効率 52%を実現する。携帯電話サービスにおけるデータ通信への対応が一層重要になり、また消費者の小型・省電力への要望がさらに高まる中で受注は順調に拡大していった。そして、冒頭でも紹介した通り、1996年10月に発売された、松下通信工業が製品化した世界初の100g、100ccを切る端末（P201）にも小型・高効率のパワーモジュールとして搭載される。1993年から取り組んだ300プロジェクトの成果であった。

さらに、1998年には表面ビアホール構造、温度依存性ゼロ技術を開発し、1999年には体積0.06cc、効率58%のパワーモジュールを実現した。いずれも同時期の競合メーカーの製品の水準（体積0.08~0.1cc、効率55%）を上回り、業界最高の水準であった。対応するデジタル通信方式も、当初のPDC方式に加え、その後、CDMA、PCS、W-CDMAと他の方式にも範囲を広げ、商品ラインアップを拡充していった（表3）。

この結果、松下電子工業のパワーモジュールの国内シェアは数量ベースで1995年の15%程度から、2000年には62%まで伸びていった（図2）。この間、富士通は携帯端末用のパワーモジュール市場から撤退した一方で、当初松下電子工業から購入していたNECは自社製に切り替え、また三菱電機なども競合製品を投入したが、松下電子工業はPDC方式の携帯電話向けを中心に国内で確固たる地位を築くことに成功した。また海外向けでは、GaAsパワーモジュールを供給するメーカーがいなかったアメリカでは売り込みに成功し、モトローラやクアルコムから受注した。

開発・事業化の進め方の特徴

こうして松下電子工業の電子総合研究所が1991年から本格的に開発をスタートしたGaAsパワーモジュールは、10年もしないうちに国内のトップの地位を獲得し、大きな事業成果を得るに至ったわけだが、この成功の背後には同研究所の、開発・事業化に対するいわば「ゲリラ的」ともいえる取り組みがあった。

技術開発にしても、販売営業活動にしても、生産の立ち上げにしても、専門分野、担当業務の範囲を狭い範囲にとどめることなく、臨機応変に、主体的にかかわっていくのが、電子総合研究所のやり方であった。新しい技術を見だし、外部に顧客を求め、事業を立ち上げる過程で、担当分野を限定せず、リスクもとりながら、場合によってはいささか無秩序とも思われる進め方で取り組んだことが成果に結びついたところがある。

まず、技術開発についていえば、電子総合研究所では、少人数で開発に取り組み、とくに初期の段階では一人一人が特定の狭い専門領域に限定されることなく、幅広く、多様な開発課題に挑戦する方針がとられている。定期的な開発テーマをシフトし、技術者が様々な経験を積むことも重視されている。それぞれの研究者が特定のテーマを一定期

間深堀して専門的に取り組むこともむしろ大切だが、一つだけやると目的意識を持ちにくい。半導体産業の黎明期の開発者達のようにオールラウンドにやることで視野が広がれば、研究者としての判断力も養われるし、技術的なブレークスルーも生まれやすいというのがベースにある考え方であった。

本ケースについていえば、スパイクゲート構造のアイデアは、そもそも衛星放送用パラボラアンテナのための GaAs 低雑音 FET を開発していた経験がいかされている。電子総合研究所では、1980 年代後半に、先行している富士通に対抗してパラボラアンテナ用 GaAs 低雑音 FET の開発に取り組んだが、どうしても富士通製品の性能に肩を並べることができなかった。品質で勝てないなら、コストで勝負するしかないと考え、着目したのが位相シフトの技術だったのである。これが携帯電話用のパワーモジュールでスパイクゲート構造を取り入れる上で役に立った。また、松下の立体高周波回路技術ももとのアイデアは低温焼成セラミックスにあった¹⁵。

温度依存性ゼロ技術のように、あくまでも偶然が手伝って見いだされた技術革新もあるが¹⁶、上記の二つの例は、他の領域での技術開発の経験が活かされた結果である。むしろ、それとて事前に意図したものではなく、幸運が手伝っていることは間違いないが、しかし特定の専門領域に長期間専念している技術者では実現しにくい技術革新であった。

新しい顧客を開拓し、生産を立ち上げる過程でも、電子総合研究所が、その本務である技術開発業務の枠を超えて、積極的に関与している。最初の製品が松下通信工業で採用されず、外部に顧客を開拓していった過程では、売り込みの際に同研究所の技術者が同行し、営業部隊と一緒に顧客を訪ねている。開発リーダーの上田も内外で多くの顧客を訪ねた。製品性能を最大限に伝えて、先ず信頼を獲得する上で、技術者が直接説明することが大切だからだ。顧客企業の携帯電話端末の仕様は多様であり、例えばパワーモジュールのマウント（取り付け）やアンテナまでの距離が違ってくる。試作品を持参する場合には、それぞれの顧客に合わせて、営業訪問の直前まで微調整をする必要もでてくる。問題があれば、訪問の前の晩遅くまで「右手に半田ごて、左手にカッターナイフ」をもってなんとか解決して、顧客のところへもっていく。こうした臨機応変で職人的な技能を持つ技術者がみずから営業活動に携わったことが国内外の新しい顧客の開拓・獲

¹⁵ 立体高周波回路そのものは松下電子工業が採用する前から他の用途では使われていたが、低温焼成セラミックスの採用により、より多層の構造が可能になり、小型化が一層進展した。

¹⁶ 温度上昇によって破壊されるものとそうではないものがあった。調べてみると、FET を作るために外部からウエハーを購入するが、アメリカ製と日本製ではウエハーの基準面を決めるための印（オリエンテーション・フラットという）の位置が違っており、これを混ぜて使ったために異なる結果がでていたことがわかり、結晶軸の違いが温度特性に影響を与えていることを発見した。

得につながった。例えば、クアルコムからの受注では、米国には GaAs パワーモジュールの現地企業がないことから、技術者自らがノウハウや製品特性を同社のエンジニアに丁寧に伝えることが評価につながったりしている。

生産の立ち上げも電子総合研究所が担った。例えば、岡山工場で立体高周波回路技術を取り込んだパワーモジュールの本格的な量産がスタートするに先だって、初期の生産 10 万個までは電子総合研究所の約 5 億円をかけた設備投資によってまかなわれている。これは同研究所では珍しいことではない。開発した製品が市場でどのような反応を得るのか、どのような性能を持っているのか、明確な見通しが持てない中で、事業が軌道に乗り始めるまで開発部門側で責任を持つ、という考え方である。売れなかった場合のリスクを電子総合研究所が背負わない限り、量産段階で責任を持つ工場はなかなか大量生産に踏み切らない。事業への貢献が問われる電子総合研究所としてはとらざるをえないリスクであり、5 億円程度の投資は研究所が自らの判断で決裁できる範囲内にある¹⁷。

電子総合研究所は材料のコストダウンにも携わっている。4 インチ基板がその例だ。開発初期は、非常に高く、誰も使っていないような 30 万もする 4 インチ基板を使っていた。コストが合わないことを承知の上で、いずれ下がることを見込んで特性の良いものを優先して作り、一点豪華主義で顧客にアピールすることを狙ったものだった。だが事業化のメドが見え始めるにつれて、コストダウンは必須となる。同研究所はみずから強気の生産予測を示して、材料業者と値下げ交渉を行ない、コストダウンを実現した。これもまた、技術開発のみに活動を限定せず、事業化に積極的に関わる松下電子工業の電子総合研究所の伝統的な姿勢の現れであり、その成果であった。

5 新たな競争

売上の頭打ち

国内外で受注を増やしていった松下電子工業のパワーモジュールの売上(工場出荷額ベース)は、2000 年代初頭でおおよそ 300 億円程度にまで達した。だが、これをピークに、その後の売上は漸減傾向にある。これにはいくつかの要因がある。

ひとつが、国内市場の飽和である。1990 年代後半の端末の小型化、長時間動作化に加え、1999 年末に NTT ドコモが立ち上げたモバイル・インターネット・サービスにより、2000 年代初頭も携帯電話市場は拡大基調を維持した。だが、普及率が高まるにつ

¹⁷ 電子総合研究所の開発予算は、事業部門の工場や商品化するグループから 1 年から 2 年のテーマ毎に獲得していた。企画段階から事業部門からの研究開発予算がつくものだけが開発テーマとなり、研究開発の成果がでなかったら以後継続できないというルールになっている。上述の四つの技術開発も、正式に事業部門から予算を獲得して行われている。

れ、市場は成熟化している。第三代への移行により買い換え需要は刺激されているものの、かつての勢いはない。

第二に、海外市場への売り込みが進まなかった。松下電子工業が最初にパワーモジュールを投入した NTT のデジタル方式 (PDC 方式) は、技術的には優れた移動体通信システムであったが、海外諸国では採用されなかったため、市場は日本にほぼ限定された。アメリカではモトローラ、クワルコムなど大手の端末メーカーに納入したものの、ノキア、エリクソン、シーメンスなど世界最大級の端末メーカーがひしめく欧州では成果をあげることができなかった。米国と違い、欧州では端末メーカーと部品会社の間で共同開発的な関係を維持しており、GaAs パワーモジュールを供給するメーカーとして適切なパートナーシップを築くことができなかったことと、既に時代遅れと考えられていた欧州の標準である GSM 向けには松下電子工業は積極的に対応しなかったためである¹⁸。

国内で、キャリア (NTT ドコモ、KDDI、ボーダフォンなど、移動体通信サービス会社) 主導で激しい競争が繰り広げられ、端末メーカーは矢継ぎ早に新しい製品を投入することが求められる。そして、末端の部品メーカーはそうした端末メーカーからの厳しい要求にさらに迅速に対応すること求められる。その対応で忙しく、欧州市場の開拓に資源を注ぐ余裕がなかったのも、対応がおろそかになった理由のひとつであった。誰もが第 3 世代携帯電話で新規まき直しで市場開拓する目論見であった。しかし、そのような移行期であっても既存の GSM 方式を併用する方式が主流となったことから、ビジネスチャンスを得る機会すら生じなかったのである。海外市場への展開がなかなか進まないのは、日本のキャリアや端末メーカーにも共通する問題であるが、松下電子工業のパワーモジュールも同様の壁にぶつかったといえよう。

新たな競争

第三が、競争の激化である。新しい技術を織り込んで優れた製品を投入しても、その後のさらなる進歩がなければ、時を待たずして部品はコモディティ化 (競争の主たる次元が価格になること) してしまい、安いコストで勝負する海外勢、国内勢が登場してくる。

松下電子工業の GaAs パワーモジュールのコストで主要なものは自社製 GaAs FET チップと京セラに依存した立体高周波回路である。日本のキャリアの相次ぐ新製品の投入は

¹⁸ GSM は価格を重視したので、GaAs FET よりも増幅効率でわずかに劣るだけで安価な Si (シリコン) FET を採用した。また、GSM の周波数が 800MHz であったため Si FET は高周波特性面で GaAs FET とそん色なかった。日本では、Si FET 事業を継続した日立製作所が欧州の GSM 方式向けに納入を増やした。

新たなパワーモジュールを要求したが、立体高周波回路の設計は GaAs FET が完成してからその特性を取り入れて設計しなければならず、また、一度の設計で顧客の満足する特性を実現することが難しいのが高周波設計の実情であったことを考えると、6～7層の立体高周波開発の設計（松下電子工業）、試作（京セラ）から量産（京セラ）までの期間が顧客の製品開発のそれと同期することが難しくなった。しかも、京セラに製造を依存した松下電子工業の立体高周波回路は松下電子工業専用品のためその価格低減にはおのずと限界があり、顧客のパワーモジュールへの価格低減要求に松下電子工業としては対応しにくくなったという問題もあった。仮にコストで対抗して数量ベースでシェアを押さえても、金額ベースでは価格低下により収益が落ちてしまう。

もうひとつやっかいな問題は、第三世代のデジタル方式 W-CDMA への移行に伴う、新たな技術課題であった。W-CDMA では、パワーモジュールにそれ以前のデジタル方式(PDC)より高度な特性を要求した。ひとつはより低い高調波ひずみが求められるという条件であり、もうひとつは基地局に届く高周波電力を常に一定にしなければならないという条件である。PDC では、端末側でパワーモジュールの出力を一定に保てばよかった。これに対して、W-CDMA では、基地局に届く高周波電力を一定に保つ必要があり、そのため、端末器は常に基地局と交信しながらパワーモジュール出力をきめ細かく制御しなければならなくなった。端末器におけるパワーモジュールの位置付けは、単に送信のための部品からベースバンド LSI と密接にリンクした部品へと衣替えを余儀なくされた。

パワーモジュールの位置付けのこのような変化は、「部品事業としてのパワーモジュール」から「システム事業の中のパワーモジュール」への転換を意味し、開発にはシステム知識の導入が必須となった。パワーモジュールは松下電子工業が開発し、端末は松下通信工業が開発する、という明確な線引きをした分担ではなく、今まで以上に両社の連携が必要となる。しかし、松下電子工業がパワーモジュールの外販もするとすると、両社の協力関係は単純ではなくなる。W-CDMA への移行は、こうして部品ビジネス主体の松下電子工業のパワーモジュール事業運営をより複雑にしてしまったところがあった。

W-CDMA への移行は、もうひとつ、HBT（ヘテロバイポーラトランジスタ）という新しいデバイスの台頭を招いた。HBT は FET とは動作メカニズムが異なるためチップ面積の縮小が可能となり、パワーモジュールのさらなる原価低減を可能にし、パワーモジュール事業での激しい競争には有利なデバイスとして登場した。また、W-CDMA のパワーモジュールへの新しい要求に応える上で、HBT はその動作メカニズムの違いから FET よりも有利なところがある。

HBT の実用化は 1980 年代の初めからスタートしていたが、日本企業の取り組みは消

極的であった。HBT の出力が経年劣化するという信頼性問題があったため、端末機の採否を決める権限を持つ NTT では HBT は使えないという論文を発表していた。このため日本の企業は、HBT ではなく、GaAs FET によるパワーモジュールの量産化に邁進した。W-CDMA とは異なる、アナログ方式や日本のデジタル方式（PDC など）では FET でも充分に対応できたという事情もあった。

かたや、現在の W-CDMA の基礎となる携帯通信システム、CDMA（クアルコムが開発）をいち早く移動体通信システムとして採用したのが韓国である。そして韓国での CDMA 方式の実用化に対応するために HBT を採用したのが、米国のパワーモジュール企業、RF マイクロデバイス社であった。

HBT の経年劣化は大きく、RF マイクロデバイス社の事業化は当初危ぶまれた。しかし、同社は独自のバイアス回路により出力を一定に保ちうることを見出し、HBT 単体（パワーモジュールという形）ではなくバイアス回路や高周波回路も含む一体化した IC として製品化したのだ。このようなシステム重視の発想により RF マイクロデバイス社はほとんど一手に韓国の CDMA 端末機用パワー IC を供給した。HBT の製造では高額な結晶成長設備が多数必要となるが、RF マイクロデバイス社は韓国向けの出荷の期間にその減価償却を終えることができた。このため第三世代のデジタル方式が本格的に立ち上がると、CDMA 方式で養われた RF マイクロデバイス社のシステム知識とパワー IC 設計製造能力は、他社、特にそれまで世界のパワーモジュール市場で強みを発揮していた松下電子工業など日本企業を圧倒した。

米国の RF マイクロデバイス社のほかにも Skyworks 社といった企業が HBT を採用し、彼らの製品は、品質においてもコストにおいても、既存企業を凌駕しつつある。その開発手法は、電子総合研究所の進め方と対照的である。多くの安価な部品を組み合わせる製作するモジュールでは、試行錯誤を重ねて、半田ごてやカッターナイフで微調整を重ねることが、全体の時間はかかっても、最終コストは低くなることが特長であった。これに対して、欧米の企業の手法は、多少の部品のコストが上昇する恐れがあっても最初からシステム全体を集積化する前提に立ち、コンピュータシミュレーションによる設計と性能製造限界の把握、検証といったプロセスを、正確かつ迅速にこなし、設計で勝負するというものである。そして、製造は台湾のファウンドリーや組立て企業などコスト競争力のあるアジア系の専門メーカーに委託する。これは結果として最もコストの低い方法となった。

こうした新興の企業の登場によって、松下電子工業は、米国で取引のあった大手端末メーカーの受注を失い、また国内でも徐々に市場を奪われつつある。国内市場の頭打ち、ますます系列化が進む海外の端末メーカーとの関係を築くことの難しさとも相まって、

状況は苦しくなっている。

松下グループ再編と研究開発組織の見直し

この間、松下グループ側でも大きな変化があった。冒頭で触れた通り、2001年、松下グループは中村社長の主導で一連の再編を進め、松下電子工業は松下電器産業に吸収合併され、松下電子工業の半導体事業は半導体社として松下電器産業の社内分社となった。これに伴い、1999年から半導体デバイス研究センターに改組・改称していた電子総合研究所は、そのまま松下電器産業半導体社の半導体デバイス研究センターとなったが、翌2002年には、同センターの携帯電話端末向けなどの高周波デバイスを開発する部隊は、松下電器産業の半導体社に新設されたR&D組織である、高周波半導体開発センターに統合され、本ケースの開発メンバーもそこに異動した。

統合の狙いは、従来松下グループ内で分散、重複していた開発部隊を集約化し、大規模（100名程）な組織のもとで、事業部門とはやや距離をおきつつ、選択と集中を行い、顧客へのソリューション提供型の技術開発体制を築くことにあった。ちょうど、アメリカで台頭しているRFマイクロデバイス社などと同じようなやり方を目指したものである。

新しい仕組みはしかし、これまでGaAsパワーモジュールを開発・事業化してきた方法とは一線を画すものである。南部がまず開発に着手し、その後電子総合研究所が4つの技術革新を重ね、やがて大きな事業上の成果を実現していった本ケースの一連の過程において、松下グループ内で類似のテーマを追っていた複数の開発組織間の競争の力学や、分業の範囲を狭く、厳格に設定せず、担当業務の境界をこえて事業の立ち上げに技術者が関与するというアプローチが（事後的にみれば）プラスに作用したとすれば、新たな仕組みはそれとは異質なシステムを導入することを意味する。そのような事業の方向の変更には、想定する商品や顧客に対して、これまでと異なった戦略が求められる。

新しい競争相手の新しいやり方に対抗するには、旧来の手法の見直しが必要なことは確かだが、はたして新しい組織・方法への移行が期待通りの成果をあげられるのか。米国の新興企業と対抗できる力をつけることができるのか。先行きはまだみえない。

（文中敬称略）

参考文献

松下電器産業グループ ホームページ

松下電器産業 アニュアルレポート

松下電子工業半導体社 大河内記念賞 報告書（平成 12 年度大河内記念生産賞）「移動体通信端末用 低消費電力/小型 GaAs パワーモジュールの開発と量産化」

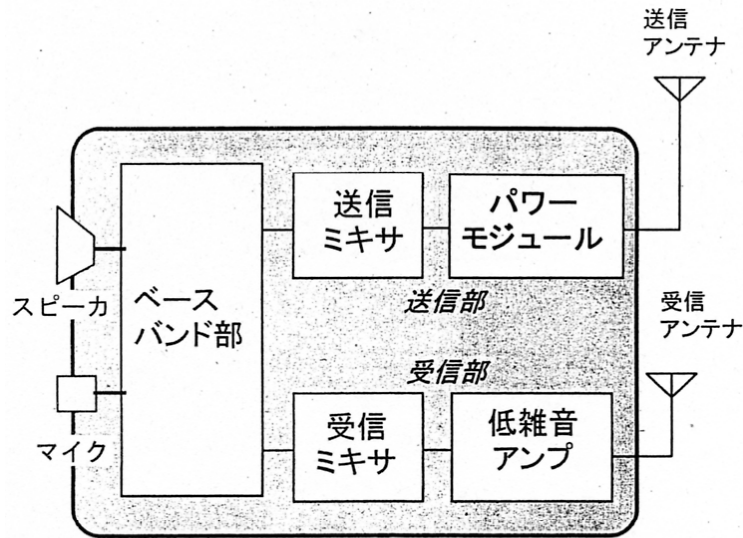
松下電器産業半導体社事業本部「半導体デバイス研究センターのご案内」（リーフレット）

NTT ドコモ（2002）『NTT ドコモ 10 年史：モバイル・フロンティアへの挑戦』、2002 年

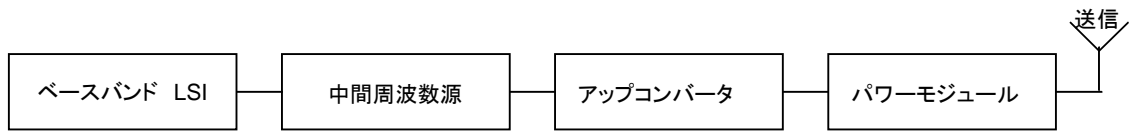
富士キメラ総合研究所（2005）「2005 次世代携帯電話とキーデバイス市場の将来展望」

図1 携帯電話のブロック図

①全体像



②送信部



資料：松下電器産業半導体社資料他より作成

表1 松下電子工業のパワーモジュールにおける4つの技術革新

パワーモジュールの課題	松下電子工業の技術解決策	開発時期
① 増幅効率の向上	GaAs FET のスパイクゲート構造の採用	1995
② 高周波整合回路の小型化	立体高周波回路の採用	1996
③ GaAs FET チップの小型化	表面ビアホール接地の採用	1998
④ GaAs FET の温度補償回路の小型化	GaAs FET の温度依存性ゼロ技術の開発	1998

表2 松下電子工業における GaAs パワーモジュールの開発・事業化の経緯

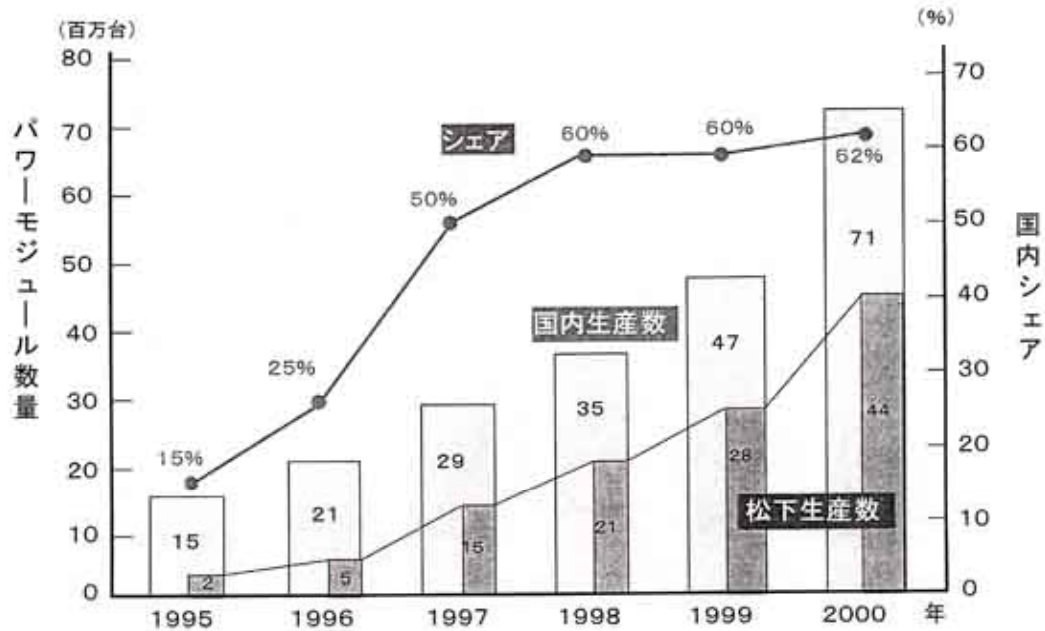
	松下電子工業 電子総合研究所／半導体デバイス研究センター	関連する携帯電話業界の主な動き
1985		NTT、シヨルダフォン発売
1987		NTT、携帯電話サービス開始
1988	(松下電器産業光半導体研究所、南部氏をリーダーにGaAsパワーモジュール開発着手)	
1989		DDIセルラー、小型携帯電話「モトローラ・マイクロタック」発売
1991	デジタル方式用GaAsパワーモジュール開発着手	NTT、小型携帯電話ムーバサービス開始
1992		NTTドコモ設立
1993	デジタル方式用GaAsパワーモジュールサンプル出荷開始／NECから受注	NTTドコモ、デジタル方式（PDC）800MHz携帯電話サービス開始
1994	デジタル方式用GaAsパワーモジュール製品化、NECに納入／クアルコム向けCDMA方式用GaAsパワーモジュール開発開始	NTTドコモ、デジタル方式（PDC）1.5GHz携帯電話サービス開始
1995	スパイクゲート構造開発（大きさ0.4cc、効率40%）／NEC、ソニー、松下通信工業に納入／米国AMPS向けにモトローラに納入	NTTドコモ他、PHSサービス開始／9600bpsデータ通信サービス開始
1996	立体高周波回路技術開発（0.2cc、52%）／PDC向け製品投入（松下通信工業はじめNEC、SONY、東芝、三洋に納入）／CDMA向け製品投入（クアルコムに納入）	松下通信工業、100g、100ccを切る端末（P201）発売
1997	PCS向け製品投入（クアルコム、ソニーに納入）	
1998	表面ビアホール・温度依存性ゼロ技術開発（0.1cc、57%）／シェア6割へ	
1999	さらに小型・高効率製品投入（0.06cc、58%）／「電子総合研究所」から「半導体デバイス研究センター」に改称	NTTドコモ、iモード開始
2000	W-CDMA向け製品投入	
2001	「松下電器産業半導体社半導体デバイス研究センター」へ改組	NTTドコモ、FOMAサービス開始
2002	「高周波半導体開発センター」へ統合	KDDI、CDMA2001xサービス開始

表3 松下電子工業 GaAs パワーモジュール技術と商品展開の変遷

	1995	1996	1997	1998	1999	2000
技術	スパイクゲート構造		立体高周波回路		表面ビアホール構造 温度依存性ゼロ技術	
大きさ	0.4cc	0.2cc		0.1cc	0.06cc	
占有面積	168mm ²	100mm ²		56mm ²	38mm ²	
消費電流	700mA	540mA		500mA	490mA	
効率	40%	52%		57%	58%	
商品展開		PDC0.8GHz/0.2cc		PDC0.8GHz/0.1cc	PDC0.8GHz/0.06cc	
(通信方式)		PDC1.5GHz/0.2cc	PCS1.9GHz/0.2cc	PDC1.5GHz/0.1cc PCS1.9GHz/0.1cc CDMA/AMPS0.8GHz/0.2cc&0.1cc J-CDMA0.8GHz/0.2cc&0.1cc	PDC1.5GHz/0.06cc	J-CDMA0.8GHz/0.06cc W-CDMA2.1GHz/0.1cc

資料：松下電器産業半導体社資料他より作成

図2 携帯電話端末用パワーモジュールの国内生産における松下電子工業のシェア



資料：松下電器産業半導体社

IIR ケース・スタディ 一覧表／2004-2009

NO.	著 者	タ イ ト ル	発行年月
CASE#04-01	坂本雅明	「東芝のニッケル水素二次電池開発」	2003 年 2 月
CASE#04-02	高梨千賀子	「富士電機リテイルシステムズ(1): 自動販売機—自動販売機業界での成功要因」	2004 年 3 月
CASE#04-03	高梨千賀子	「富士電機リテイルシステムズ(2): 自動販売機—新たなる課題への挑戦」	2004 年 3 月
CASE#04-04	高梨千賀子	「富士電機リテイルシステムズ(3): 自動販売機—飲料自販機ビジネスの実態」	2004 年 3 月
CASE#04-05	伊東幸子 青島矢一	「ハウス食品: 玉葱催涙因子合成酵素の発見と研究成果の事業化」	2004 年 3 月
CASE#04-06	青島矢一	「オリンパス光学工業: デジタルカメラの事業化プロセスと業績 V 字回復への改革」	2004 年 3 月
CASE#04-07	堀川裕司	「東レ・ダウコーニング・シリコン: 半導体パッケージング用フィルム状シリコン接着剤の開発」	2004 年 3 月
CASE#04-08	田路則子	「日本開閉器工業: モノづくりから市場創造へ「インテリジェントスイッチ」」	2004 年 3 月
CASE#04-09	高永才	「京セラ: 温度補償水晶発振器市場における競争優位」	2004 年 3 月
CASE#04-10	坂本雅明	「二次電池業界: 有望市場をめぐる三洋、松下、東芝、ソニーの争い」	2004 年 3 月
CASE#04-11	三木朋乃	「前田建設工業: バルコニー手摺一体型ソーラー利用集合住宅換気空調システムの商品化」	2004 年 3 月
CASE#04-12	伊諒重 武石彰	「東洋製罐: タルク缶の開発」	2004 年 3 月
CASE#04-13	藤原雅俊 武石彰	「花王: 酵素入りコンパクト洗剤「アタック」の開発」	2004 年 10 月
CASE#04-14	軽部大 井森美穂	「オリンパス: 超音波内視鏡の構想・開発・事業化」	2004 年 10 月
CASE#04-15	軽部大 小林敦	「三菱電機: ポキポキモータ 新型鉄心構造と高速高密度巻線による高性能モーター製造法の開発」	2004 年 11 月

CASE#05-01	青島矢一 宮本圭介	「テルモ(1): 組織風土の改革プロセス」	2005年2月
CASE#05-02	青島矢一 宮本圭介	「テルモ(2): カテーテル事業の躍進と今後の課題」	2005年2月
CASE#05-03	青島矢一 河西壮夫	「東レ(1): 東レ炭素繊維複合材料“トレカ”の技術開発」	2005年2月
CASE#05-04	青島矢一 河西壮夫	「東レ(2): 東レ炭素繊維複合材料“トレカ”の事業戦略」	2005年2月
CASE#05-05	兒玉公一郎	「ヤマハ(1): 電子音源に関する技術蓄積」	2005年2月
CASE#05-06	兒玉公一郎	「ヤマハ(2): 携帯電話着信メロディ・ビジネスの技術開発、ビジネスモデル構築」	2005年2月
CASE#05-07	坂本雅明	「二次電池業界(改訂): 技術変革期における新規企業と既存企業の攻防」	2005年2月
CASE#05-08	高永才	「京セラ(改訂): 温度補償水晶発振器市場における競争優位」	2005年2月
CASE#05-10	坂本雅明	「東北パイオニア: 有機ELの開発と事業化」	2005年3月
CASE#05-11	名藤大樹	「ハイビジョンプラズマディスプレイの実用化 プラズマディスプレイ開発協議会の活動を中心に」	2005年7月
CASE#05-12	武石彰 金山維史 水野達哉	「セイコーエプソン: 自動巻きクォーツ・ウォッチの開発」	2005年7月
CASE#05-13	北澤謙 井上匡史 青島矢一	「トレセンティテクノロジーズによる新半導体生産システムの開発 —300mm ウェハ対応新半導体生産システムの開発と実用化—」	2005年10月
CASE#06-01	武石彰 高永才 古川健一 神津英明	「松下電子工業・電子総合研究所: 移動体通信端末用 GaAs パワーモジュールの開発」	2006年3月
CASE#06-02	平野創 軽部大	「川崎製鉄・川鉄マシナリー・山九: 革新的な大型高炉改修技術による超短期改修の実現 大ブロックリング工法の開発」	2006年8月

CASE#07-01	武石彰 宮原諄二 三木朋乃	「富士写真フイルム： デジタル式 X 線画像診断システムの開発」	2007 年 7 月
CASE#07-02	青島矢一 鈴木修	「ソニー： フェリカ(A)：事業の立ち上げと技術課題の克服」	2007 年 7 月
CASE#07-03	青島矢一 鈴木修	「ソニー： フェリカ(B)：事業モデルの開発」	2007 年 7 月
CASE#07-04	武石彰 伊藤誠悟	「東芝： 自動車エンジン制御用マイコンの開発」	2007 年 8 月
CASE#07-05	青島矢一 朱晋偉 吳淑儀	「無錫小天鵝株式会社： 中国家電企業の成長と落とし穴」	2007 年 8 月
CASE#07-06	青島矢一	「日立製作所： LSI オンチップ配線直接形成システムの開発」	2007 年 9 月
CASE#07-07	坂本雅明	「NEC： 大容量 DRAM 用 HSG-Si キャパシタの開発と実用化」	2007 年 9 月
CASE#08-01	小阪玄次郎 武石彰	「TDK： 積層セラミックコンデンサの開発」	2008 年 1 月
CASE#08-02	福島英史	「東京電力・日本ガイシ： 電力貯蔵用ナトリウム—硫黄電池の開発と事業化」	2008 年 3 月
CASE#08-03	青島矢一 北村真琴	「セイコーエプソン： 高精細インクジェット・プリンタの開発」	2008 年 5 月
CASE#08-04	高梨千賀子 武石彰 神津英明	「NEC： 砒化ガリウム電界効果トランジスタの開発」	2008 年 9 月
CASE#08-05	小阪玄次郎 武石彰	「伊勢電子工業： 蛍光表示管の開発・事業化」	2008 年 9 月
CASE#09-02	青島矢一 大倉健	「荏原製作所： 内部循環型流動層技術の開発」	2009 年 6 月

CASE#09-03	藤原雅俊 積田淳史	「木村鑄造所： IT を基軸とした革新的フルモールド鑄造システムの開発」	2009 年 7 月
------------	--------------	---	------------