

平成 2 2 年度
特許出願技術動向調査報告書（概要）

グリーンパワーIC

平成 2 3 年 4 月

特 許 庁

問い合わせ先

特許庁総務部企画調査課 技術動向班

電話：03 - 3581 - 1101（内線2155）

第1章 グリーンパワーIC技術の概要

第1節 グリーンパワーICに関わる技術の俯瞰

近年、日本を含む世界各国で、グリーンエネルギー関連技術という社会インフラを進化させる研究開発が積極的に進められている。グリーンエネルギー関連技術は、太陽光発電や風力発電等のCO₂を排出しない創エネルギー分野、電気自動車での利用が見込まれるリチウムイオン電池等の蓄エネルギー分野、LEDやパワーデバイス等の低消費電力化を図る省エネルギー分野に分類される。

省エネルギー分野において、各電力変換地点におけるエネルギーロスを最小化するために重要な役割を担うのが“グリーンパワーIC”である。

ここで、グリーンパワーICとは、グリーンテクノロジーに貢献し得る広義のパワーデバイスであり、パワーデバイス、パワーモジュール、狭義のパワーIC等を含む技術分野であると本調査では定義付け、具体的には、高耐圧ショットキーバリアダイオード、サイリスタ、高耐圧MOSFET、IGBT、インバータモジュール等を含む。

図1-1にグリーンパワーICの技術俯瞰図を示す。

グリーンパワーICの分野に関わる技術は、基板（結晶成長、結晶の機械加工等）に関連する技術、デバイス構造（半導体チップ内の構造）に関連する技術、モジュール（組立体）に関連する技術に、プロセス（製造方法）に関する技術及び製造装置に関連する技術が組み合わさった体系と見ることができ、本調査はこの五つの技術分野を対象に実施した。これらの技術に対しては、基板の特性向上、デバイス・モジュールの特性向上、製造技術の改善、小型化・高集積化・軽量化、信頼性・耐久性の向上などの課題が存在している。

電気・電子機器には、電源回路やモーター等の制御回路が含まれ、そこにはパワーデバイスが使われているため、パワーデバイスのアプリケーション（応用分野）は広範囲に及んでいる。主なアプリケーションは、発電・送配電システム（スマートグリッド等）、自動車（EV、HEV等）、自動車以外の輸送機械（鉄道・船舶・航空機）、産業機器（FA機器、エレベータ等）、IT関連機器（パソコン、携帯電話等）、民生・家電機器（エアコン、FPD、AV機器等）などに区分することができる。図1-2に示すとおり、アプリケーションによって、パワーデバイスに対する要求仕様は異なっている。したがって、グリーンパワーICが、低炭素社会を実現するグリーンイノベーションにより大きく寄与するためには、従来の高性能化、低コスト化を重視した研究開発だけでなく、“アプリケーションスペシフィック技術”の開発に注力することが重要である。ここで、アプリケーションスペシフィック技術とは、個別のアプリケーションで必要とされる機能や性能を徹底的に追求する技術であると本調査では定義付ける。アプリケーションスペシフィック技術には、今回の調査対象であるグリーンパワーIC技術だけでなく、システム化技術、電力制御技術とも深く関連しており、グリーンパワーICに関わる技術の動向をアプリケーションと関係付けて捉える際に、これらシステム化技術、電力制御技術は重要な視点となり得るが、本調査においては対象外である。

図 1-1 グリーンパワーIC の技術俯瞰

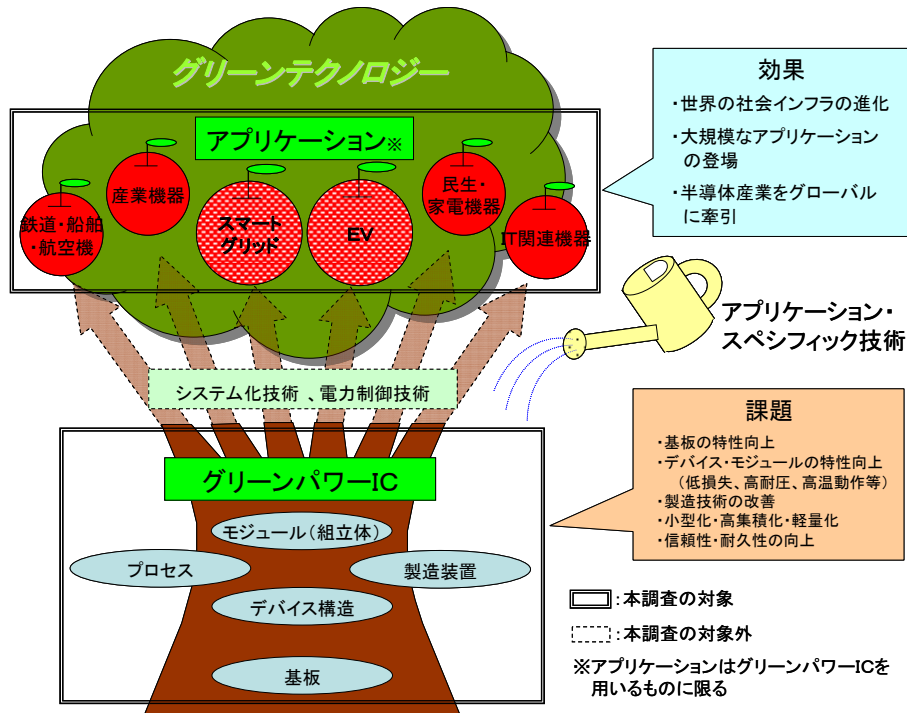
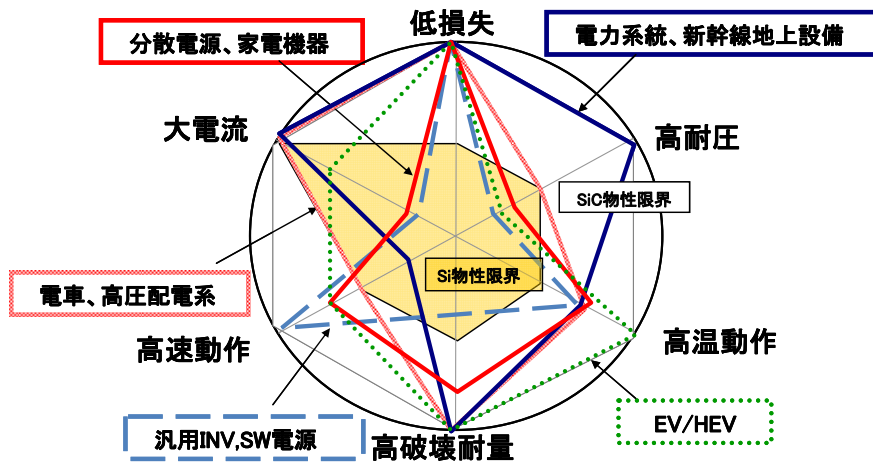


図 1-2 アプリケーションと要求性能の概念図



出典：荒井和雄「SiC半導体のパワーデバイス開発と実用化への戦略」, Synthesiology, 3(4), 産業技術総合研究所, p. 259-p. 271, (2010)

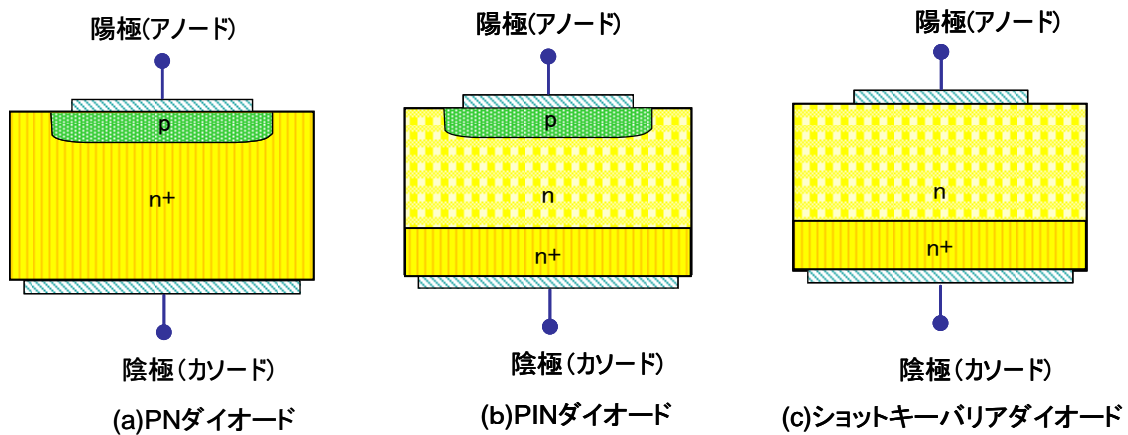
第 2 節 主要なパワーデバイスの種類とその動作

(1) ダイオード

P型半導体とN型半導体を接合して電極を設けたものがダイオード (Diode) の基本系で、PNダイオードと呼ばれる (図 1-3(a))。順方向の電圧 (アノードに正、カソードに負) を印加すると、電流が流れるが、逆方向の電圧を印加 (アノードには負、カソードには正) したときは、電流は流れない。すなわちダイオードには整流作用がある。なお、ダイオードには

PN 接合界面の耐圧を高めた PIN ダイオード (図 1-3(b))、ショットキーバリアダイオード (図 1-3(c)) など幾つかの種類がある。

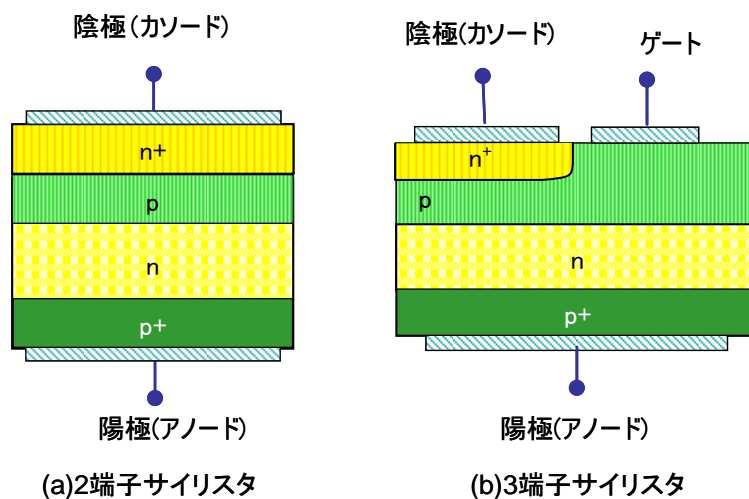
図 1-3 ダイオードの構造



(2) サイリスタ

サイリスタ (Thyristor) は、図 1-4 に示すように、アノードからカソードへ PNP と交互に異なる導電型の半導体が並んだ 4 層構造の素子であり、電流のオン状態と、オフ状態の二つの安定状態を保持することができる半導体素子である。図示したものは、2 端子サイリスタ及び 3 端子サイリスタである。3 端子サイリスタには、ゲートによってターンオフが可能となるゲートターンオフサイリスタ (GTO) が含まれる。

図 1-4 サイリスタの構造

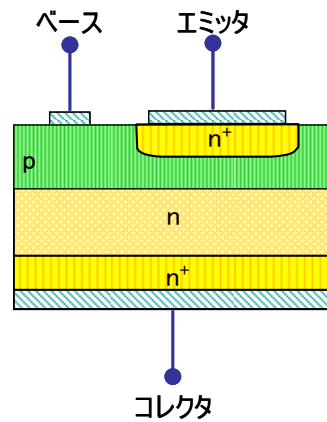


(3) バイポーラトランジスタ

バイポーラトランジスタ (Bipolar Transistor) は、NPN 又は PNP の 3 層構造で、エミッタ、ベース、コレクタの三つの電極を持っている。コレクタとエミッタ間に電圧をかけた状態でエミッタとベース間に順電流 (ベース電流) を流すと、コレクタとエミッタ間に電流 (コレクタ電流) が流れる。この基本動作を利用して、バイポーラトランジスタに、スイッチング機能と増幅機能を持たせることができる。パワーデバイスでは高耐圧と高電流密度という

要求に対応するため縦型構造を採用することが多く、コレクタはウエハの裏面に形成されている（図 1-5）。

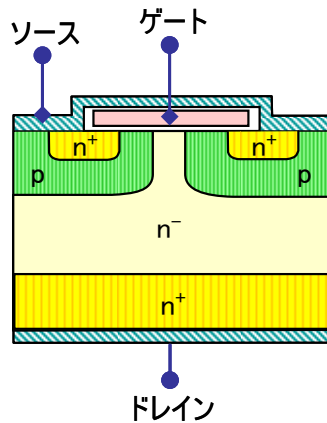
図 1-5 バイポーラトランジスタの構造



（４）絶縁ゲート型電界効果トランジスタ

絶縁ゲート型電界効果トランジスタ（MOSFET: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor）は、メモリやロジック LSI など小信号系の主力デバイスである。パワーデバイスにおいても代表的なデバイスとして広く用いられている。バイポーラトランジスタと同様、パワーデバイスでは縦型構造とすることが多い（図 1-6）。ゲートに電圧をかけると、ゲート下にチャネルが形成されて、ソース、ドレイン間に電流が流れる。この基本動作を利用して、MOSFET に、スイッチング機能と増幅機能を持たせることができる。

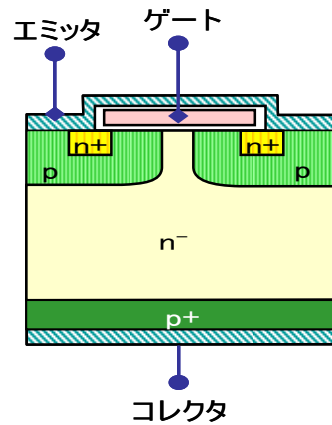
図 1-6 縦型 MOSFET の構造



（５）絶縁ゲートバイポーラトランジスタ

絶縁ゲートバイポーラトランジスタ（IGBT: Insulated Gate Bipolar Transistor）の基本構造を図 1-7 に示す。IGBT はバイポーラトランジスタと MOSFET を組み合わせたパワーデバイスである。バイポーラデバイスの大電流、高耐圧、低オン抵抗特性と、MOSFET の高速性という両方の長手を合わせ持ったデバイスである。

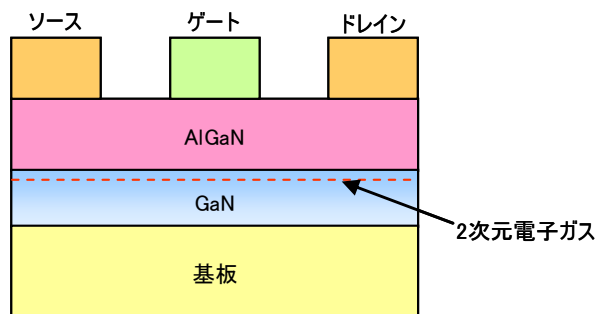
図 1-7 絶縁ゲートバイポーラトランジスタ (IGBT) の構造



(6) 高電子移動度トランジスタ

高電子移動度トランジスタ (HEMT:High Electron Mobility Transistor) の基本構造を図 1-8 に示す。HEMT はバンドギャップの異なる 2 種類の半導体を接合した界面 (ヘテロ界面) に形成される、2 次元電子ガスを電界によって制御するトランジスタである。高耐圧が必要なパワーデバイスでは、ワイドバンドギャップ半導体材料である窒化ガリウム系の材料を用いた AlGa_N/Ga_N-HEMT が研究開発及び実用化の対象として主流となっている。

図 1-8 高電子移動度トランジスタ (HEMT) の構造



第3節 パワーデバイスの技術動向

前節では代表的なパワーデバイスについて説明したが、次に過去から現在までのパワーデバイスの技術動向及び将来の技術展望について述べる。

1. パワーデバイスの変遷

バイポーラトランジスタが発明された 1950 年代に信号系デバイスに続いてパワーデバイスの歴史が始まったと考えられる。その後 1960 年代にサイリスタが本格的な電力制御用デバイスとして実用化された。

1970 年代後半に登場したパワー MOSFET は 1980 年代になって、徐々にバイポーラトランジスタの市場を奪っている。これは MOSFET がもともとスイッチングの高速動作に優れることと、MOSFET の技術的進歩により、高耐圧化及び低損失化が大きく進展したことによる。また、電圧駆動が可能のため、駆動回路の低損失化、簡素化が可能となった。1985 年に市場に投入された IGBT は、その後高耐圧、大電流化が進み、サイリスタの置き換えを進めていった。

現在、パワーデバイスには様々な応用分野があり、各用途に適したデバイスが選択され、利用されている。現在メインとなっているのは MOSFET であり、数百ボルト以下の領域では主としてこのデバイスが使われる。家電製品、IT 関連機器の電源系統などが代表的な用途である。新しいパワーデバイスとして登場した IGBT は急速にその性能を向上させ、かつてサイリスタが使われていた分野を取り込んで、市場を急速に拡大し、民生家電機器、産業機器、自動車、鉄道に使われている。サイリスタは IGBT の登場により市場が縮小したが、10MW を超えるような大電力領域では依然としてサイリスタが使われている。

これまでは、シリコン (Si) 基板のデバイスが主であったが、その性能の伸びは飽和しつつある。そこで、将来的には炭化シリコン (SiC)、窒化ガリウム (GaN)、ダイヤモンドといったワイドバンドギャップ半導体基板を用いたデバイスが有望とされる。これらのデバイスでは原理的に高耐圧、低オン抵抗で、高温での使用が可能のため、各研究機関で勢力的に開発が進められている。以下、本報告書では、シリコン、炭化シリコン、窒化ガリウムなどの材料名の表記に Si、SiC、GaN などの化学式を用い、デバイス名の表記には主として MOSFET、IGBT などの略号を用いる。

2. Si 系パワーデバイスの技術動向

ここでは、現在の主要なパワーデバイスある MOSFET と IGBT を取り上げ、技術動向を概観する。両者ともに様々な技術革新により、特性改善（「高電力化」及び「電力の損失低減：低オン抵抗化すなわち低オン電圧化」）が図られている。

(1) MOSFET の技術動向

MOSFET では、まず微細化とともにオン電圧は低減してきている。デバイス構造面でも特性改善が図られ、トレンチゲート構造、超接合（スーパージャンクション）構造により、高耐圧、オン電圧の低減が図られている（図 1-9、図 1-10）。

図 1-9 トレンチゲート型パワーMOSFET の構造

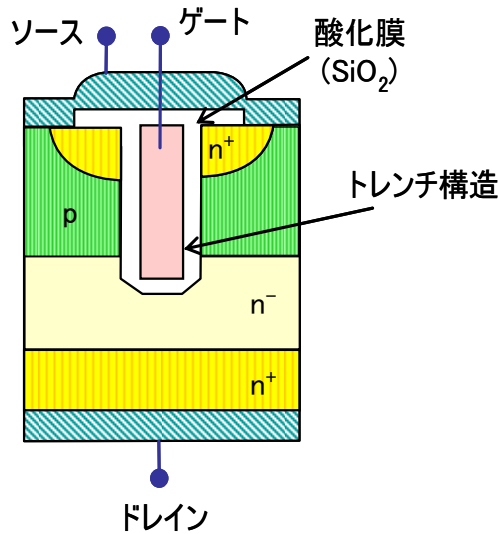
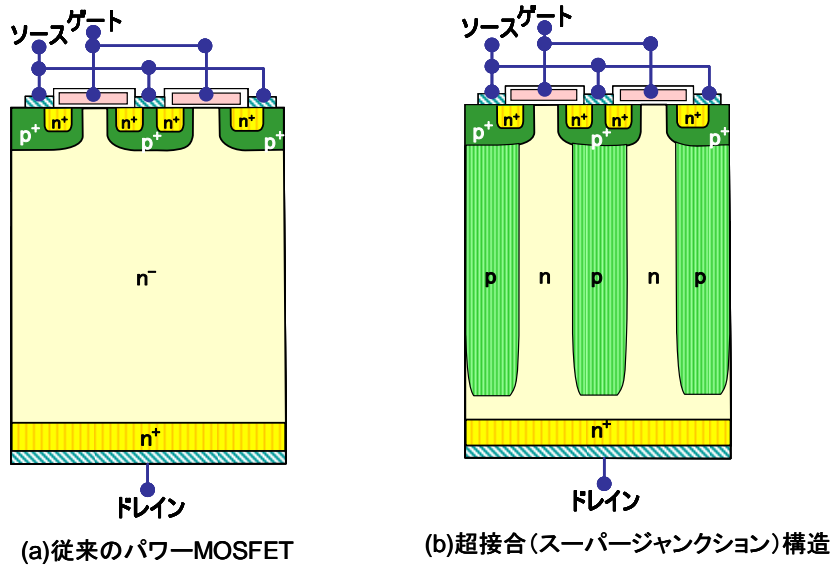


図 1-10 従来のパワーMOSFET 構造と超接合構造



(2) IGBT の技術動向

IGBT も MOSFET と同様にまずゲートの微細化で性能の向上が図られてきた。それに加え、トレンチゲートを採用することにより、更なる特性向上を果たしている点も MOSFET と同様である。また、IGBT ではさらにフローティングゾーン (FZ) ウェハの採用、フィールドストップ (FS) 層の導入といった改良で、低損失化、高速化、耐圧の向上、小型化が推進されている。

3. ワイドバンドギャップ半導体材料デバイスの技術動向

Si 系パワーデバイスでの特性改善は、限界に近づきつつある。そこで、ワイドバンドギャップ半導体材料によるパワーデバイスの開発が進められている。具体的には、SiC、GaN、ダイヤモンドといった半導体によるパワーデバイスの開発である。これらの材料はバンドギャップが大きいので、高温動作、高耐圧化とオン抵抗の低減の可能性はある。

(1) SiC系パワーデバイスの技術動向

製品化の状況としては、ショットキーバリアダイオードが2001年インフィニオンテクノロジーズから市場に投入されたのを機に、SiCのパワーデバイスが実用化のフェーズに入った。SiC MOSFET に関しても多くの試作例が報告されている。実用化が始まったSiC系パワーデバイスであるが、特にMOSFETの場合、製品としての出荷はまだ一部に過ぎず、本格的な普及のためにはSiC基板の大口径化と更なる欠陥の低減が不可欠である。またSiC MOSFET に関しては、ゲート絶縁膜の品質向上が課題である。

SiC系パワーデバイスに関わる要素技術の中で最も大きな課題を抱えているのは、SiC基板の作製技術である。SiCは昇華法などの気相での結晶成長方法が用いられるが、大口径の基板作製は難しく、現在市販されているウエハの口径は4インチに留まっている。基板の欠陥もまだ多く大きな問題点である。

(2) GaN系パワーデバイスの技術動向

GaNのデバイスの検討は主にHEMT (High Electron Mobility Transistor) で行われている。GaNではAlGaN/GaNのヘテロ接合構造を用いて研究が進められており、高周波特性、高耐圧などの優れた特性が示されている。

GaNの問題点は、今のところ大型のバルク結晶がなく、素子はエピタキシャル成長膜に頼らなければならないという点である。現在ヘテロエピタキシャル技術によって、サファイア、SiC、Si基板上にGaN系のエピタキシャル層を成膜して用いているが、格子定数のミスマッチによる欠陥が生じる。様々な手法の開発により、改善が図られて 10^4 個/cm²程度までに抑えられるようになってきたが、更なる改善が必要である。

(3) ダイヤモンドパワーデバイスの技術動向

ダイヤモンドは絶縁破壊電界や電荷移動度などに優れた特性を持つため、高耐電圧・低損失・高速応答のパワーデバイスとしての応用が期待されている。ダイヤモンド自体がヒートシンク(放熱部)の材料であり、高温に耐えかつ高温で電流密度が上がる。このため、次世代パワーデバイスの材料として基礎的な研究が進められている。産業技術総合研究所での最近の研究成果として、Ru(ルテニウム)を電極としたショットキーバリアダイオードにおいて、 0.01μ 秒の高速スイッチング、低損失特性、 200°C までの高温動作などが確認されている。

今後、大面積の基板製造技術や低欠陥高品質膜成長技術などの結晶関連技術、ダイオードだけではなくトランジスタ、それに伴うデバイス設計技術などのデバイス技術についての研究開発が同時に進展していくと予想される¹。

参考文献

- 1) Physics of Semiconductor Devices 3rd Edition, S. M. Sze and Kwok K. NG, Wiley-Interscience (2007)
- 2) ICガイドブック(09-10年版)、編集・著作：社団法人 電子情報技術産業協会(JEITA)
- 3) パワーエレクトロニクスハンドブック 監修：今井孝二 発行所：R&Dプランニング(2002)
- 4) 次世代パワー半導体 著者：奥村元、松波弘之、大谷昇 他 発行所：エヌ・ティー・エス(2009)

¹ http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2010/pr20100908/pr20100908.html

第2章 グリーンパワーICに関する特許出願動向（パワーデバイス関連特許）

第1節 調査対象範囲と調査方法

1. 調査対象範囲

グリーンパワーICに関する特許出願動向について、パワーデバイス関連特許と、応用分野（電力変換器）関連特許の調査を行った。第2章ではパワーデバイス関連特許に関する調査結果を、第3章では応用分野（電力変換器）関連特許に関する調査結果を報告する。

全体動向調査（特許出願及び登録特許）、技術区分別動向調査、注目研究開発テーマの動向調査、出願人別動向調査及び重要特許調査を行った。

（1）調査対象とした出願先国

今回調査した特許の出願先国は、日本、米国、欧州、中国及び韓国（以下、日米欧中韓と略すことがある）である。欧州への出願については、欧州特許庁への出願（EPC 出願）だけでなく、EPC 加盟国のうちで、使用したデータベース（後述）に収録された出願先国²への出願も対象とした。また、台湾への出願については、データベースへの収録の継続性の関係で、登録件数のみを調査した。

（2）使用したデータベース

特許検索に使用したデータベースは、Derwent World Patents Index (WPINDEX (STN)、以下 WPI とする) である。また、書誌事項の入手と特許文献の印刷には、PATOLIS (株式会社パトリスの登録商標)、StarPAT 及び PatentWeb を併用した。

（3）調査対象期間と特許文献件数

調査対象とする特許文献は、優先権主張年を基準として2000年から2008年に出版されたものとした（検索日：2010年7月22日）。検索された特許出願件数は、日本への出願について18,061件、米国、欧州、中国及び韓国への出願について合計16,044件であった。登録特許についても優先権主張年ベースで2000年から2008年に出版されたものを調査対象とした。なお、登録件数は登録公報の件数になるが、出願件数は、①公開・公表公報の件数、②登録公報（ただし出願番号が同じ公開・公表公報が出ていない登録公報に限る）の件数、の和になる。

（4）調査対象技術範囲と技術分類

調査対象としたグリーンパワーICに関する技術の範囲は、基板、デバイス構造（MOSFET、IGBT、HEMT、ダイオード、サイリスタ等）、プロセス、モジュール、装置、及びパワーデバイスの応用分野とした。

検索された特許文献の内容から、要素技術に分類し、それぞれ解析軸を設けて技術分類を行った。さらに、発明が解決すべき課題及び応用分野を分類した。技術分類に用いた解析軸

² 使用したデータベース（WPI）に収録された EPC 加盟国は、オーストリア、ベルギー、スイス、チェコ、ドイツ、デンマーク、スペイン、フィンランド、フランス、イギリス、ハンガリー、アイルランド、イタリア、ルクセンブルク、オランダ、ノルウェー、ポルトガル、ルーマニア、スウェーデン、スロバキアの20カ国である。

(簡略化したもの)を表 2-2 から表 2-5 に示す³。要素技術及び応用分野については、重複して分類することを認めた。また、複数の課題が示されている場合は、それらを分類した上で、主となる課題を 1 項目選定した。できるだけ特徴を浮き彫りにするため、課題と解決手段の関係のように、課題と何かの関係をバブル図で見るときだけ、この主な課題を使用した。

(5) その他の留意事項

- ①出願人国籍は、日本国籍、米国籍、欧州国籍、中国籍、韓国籍及びその他の国籍に分けて集計した。出願人国籍は原則として出願人の住所を採用した。ただし、出願人が明記されていない出願については、ファミリー特許に出願人が明記されたものがないかを調査し、見つからない場合は筆頭発明者の住所を採用した。また、香港(HK)は中国籍に合算し、台湾(TW)はその他の国籍として集計した。
- ②出願人国籍別出願動向において、欧州国籍の出願とは、2010年7月1日現在のEPC加盟国である37か国⁴の国籍の出願人からの出願とする。
- ③特許の出願先国によって、データベースに収録されるまでの時間差があるため、全ての特許データが収録されている期間が各国で異なっている。このため、特に2007年以降は全データが取得されていない場合があることに留意が必要である。さらにPCT出願については、その出願が国内特許へ移行するまでの期間が長く、公表公報発行時期が国内出願の公開(1年6か月)より遅くなる。
- ④米国特許は、2000年11月29日に公開制度が開始されたため、それ以前は、出願された特許件数として集計できるのは登録された件数に限られることに留意が必要である。また、公開制度開始後においても、18か月公開制度を採用する他の国に出願しないことを条件として、非公開の要求をすることにより、公開を避けることができることに留意する必要がある。
- ⑤登録件数の推移については、特許出願から審査請求までの期間と審査にかかる期間が各国で異なることを念頭において評価する必要がある。

2. 調査方法

パワーデバイス関連特許の出願動向を調査した。パワーデバイス関連特許は、特許公報を基にして解析した。

今回調査の対象とした出願先国別特許出願件数は表 2-1 のとおりである。調査した出願先国は日米欧中韓で、出願人国籍別の出願動向を中心に調査した。調査対象年は出願年(優先権主張年)ベースで2000年から2008年までとした。

表 2-1 出願先国別調査対象特許出願件数

	日本への出願	米国への出願	欧州への出願	中国への出願	韓国への出願	合計
出願件数	9,264 件	7,027 件	4,020 件	2,646 件	2,377 件	25,334 件

³ 詳細な解析軸については、本編第 2 部第 1 章第 2 節を参照のこと。

⁴ <EPC 加盟国(2010年7月1日現在)> オーストリア、ベルギー、ブルガリア、クロアチア、キプロス、チェコ、デンマーク、エストニア、フィンランド、フランス、ドイツ、ギリシア、ハンガリー、アイスランド、アイルランド、イタリア、ラトビア、リヒテンシュタイン、リトアニア、ルクセンブルク、マルタ、モナコ、オランダ、ノルウェー、ポーランド、ポルトガル、ルーマニア、サンマリノ、スロバキア、スロベニア、スペイン、スウェーデン、スイス、マケドニア旧ユーゴスラビア、トルコ、イギリス、アルバニアの 37 カ国である。

技術分類に用いた解析軸は、応用分野、課題、解決手段（基板、デバイス構造1、縦型トランジスタ、横型トランジスタ、ダイオード・サイリスタ、プロセス、モジュール、装置）、共通補助分類の4カテゴリーに分け、それぞれを更に細分化して合計733項目の分類項目を設けて目視にて分類した。

表 2-2 応用分野に関する解析軸

大分類	中分類
IT 関連機器 (携帯電話、パソコン他)	携帯端末用
	携帯基地局用
	データセンター用
	その他
汎用インバータ	
産業機器 (モーター駆動等)	FA 用
	エレベータ・エスカレータ
	その他
発電・送配電システム (スマートグリッド等)	電力量計 (スマートメータ)
	無停電電源
	直流送電
	太陽光発電
	風力発電
	燃料電池
	海洋エネルギー
	その他
民生・家電機器	エアコン
	電子レンジ
	IH
	冷蔵庫
	洗濯機
	照明
	FPD
	AV 機器 (カメラ、オーディオ、VTR 等)
	その他
自動車	HEV
	EV
	クリーンディーゼル
	燃料電池
	電装品
	その他
鉄道	
船舶	
航空機	
電力貯蔵	
その他	

表 2-3 課題に関する解析軸

大分類	中分類	
基板の特性向上	基板欠陥減少 (転位密度、マイクロパイプ他)	
	結晶性の向上 (結晶系制御、結晶成長方向制御)	
	製品の均一性の向上	
	基板平坦性、そり低減	
	基板の大口径化	
	結晶成長速度の向上	
	p 型不純物の活性化	
	自立基板	
	生産性・作業性・製造容易性の向上	
	コストの低減	
	歩留り向上	
	その他	
	デバイス・モジュールの特性向上	低損失
		高耐圧
大電流		
高速動作・高周波化		
高温動作		
高破壊耐量		
p 型不純物の活性化		
閾値制御		
逆回復電流制御		
リーク電流防止		
ラッチアップ防止		
寄生素子の発生防止		
非極性面、半極性面の利用		
電流コラプスの抑制		
電流キックの発生防止		
結晶性の向上 (基板製造以外の工程)		
その他		
小型化・高集積化・軽量化		
電磁干渉 (EMI) の低減		
信頼性・耐久性の向上		
正常動作の実現 (誤動作防止、初期特性確保)		
製造技術の改善 (基板製造以外の工程)	生産性・作業性・製造容易性の向上	
	製品の均一性の向上	
	コストの低減	
	歩留り向上	
	その他	
その他		

表 2-4 解決手段に関する解析軸

a) 基板に関する解析軸

大分類	中分類
基板	Si
	SiC
	GaN
	ダイヤモンド
	その他

b) デバイス構造に関する解析軸

大分類	中分類
デバイス構造-1	耐圧構造
	保護素子
	検知
	平面形状
	ドリフト層
	ダミーセル
	パッシベーション膜
	デバイスの構成その他
デバイス構造-2	デバイス構造-2 一般
	パワーMOS
	IGBT
	HEMT
	JFET・SIT
	ダイオード
	サイリスタ
その他	
シミュレーション	

c) プロセスに関する解析軸

大分類	中分類	小分類
プロセス	【補助分類】 工程区分	フロントエンドプロセス(結晶内に素子構造を形成)
		バックエンドプロセス(素子間の電氣的接続)
		背面処理、ダイシングプロセス
		その他
	ウエット処理	誘電体膜形成
		金属膜形成
		超接合形成
		フォトリソグラフィ
		エッチング
		再成長
		製造工程にダミーゲートを利用するもの
		イオン注入
		熱処理
		ゲッターリング
		機械加工
		貼り合わせ
		評価・検査
		プロセスフロー
		その他

d) モジュールに関する解析軸

大分類	中分類	小分類	細目
モジュール	モジュール	【補助分類】 モジュールの種類	インバータモジュール
			コンバータモジュール
			インテリジェントパワーモジュール
			その他
		モジュールの構成・構造	
		モジュールの部材	
		モジュールの製造方法	
	モジュールの評価・検査		
	その他		

e) 製造装置に関する解析軸

大分類	中分類	小分類
装置	装置	結晶成長装置
		CVD 装置
		スパッタ装置
		蒸着装置
		フォトリソグラフィ関連装置
		イオン注入装置
		熱処理装置
		メッキ装置
		機械加工装置
		デバイス・モジュール組立装置
		治具
		評価・検査装置
		その他

表 2-5 共通補助分類に関する解析軸

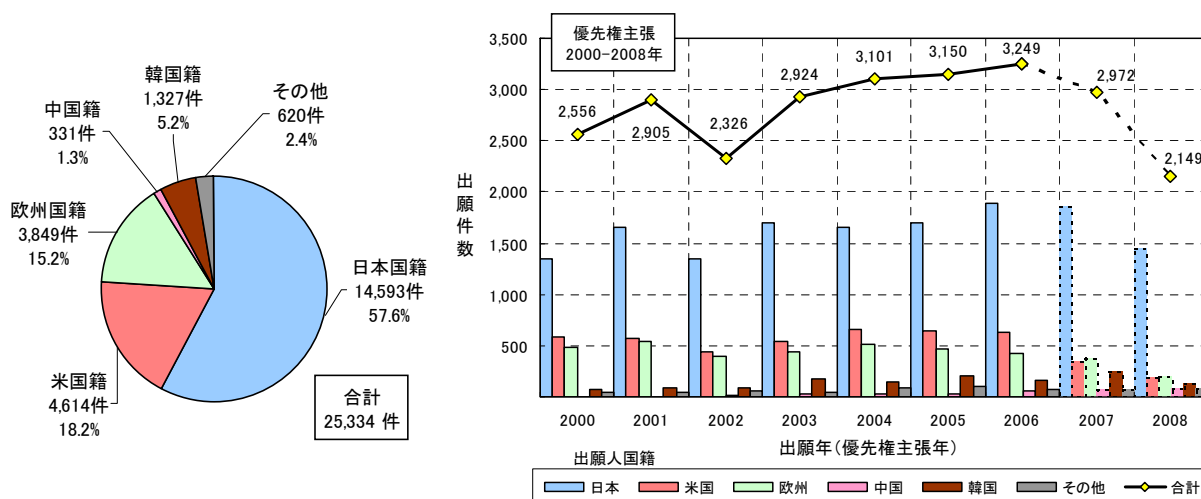
大分類	中分類	小分類
共通補助分類	使用基板	Si
		SiC
		GaN
		ダイヤモンド
		その他
	適用素子	パワーMOS
		IGBT
		HEMT
		JFET・SIT
		ダイオード
		サイリスタ
		その他
		その他
	目標耐圧	100V 未満
		100V 以上 600V 未満
		600V 以上 1,200V 未満
		1,200V 以上 3,400V 未満
		3,400V 以上 6,000V 未満
		6,000V 以上
	使用帯域	10kHz 未満
		10kHz 以上 1MHz 未満
		1MHz 以上

第2節 全体動向

1. 日米欧中韓への特許出願及び登録状況

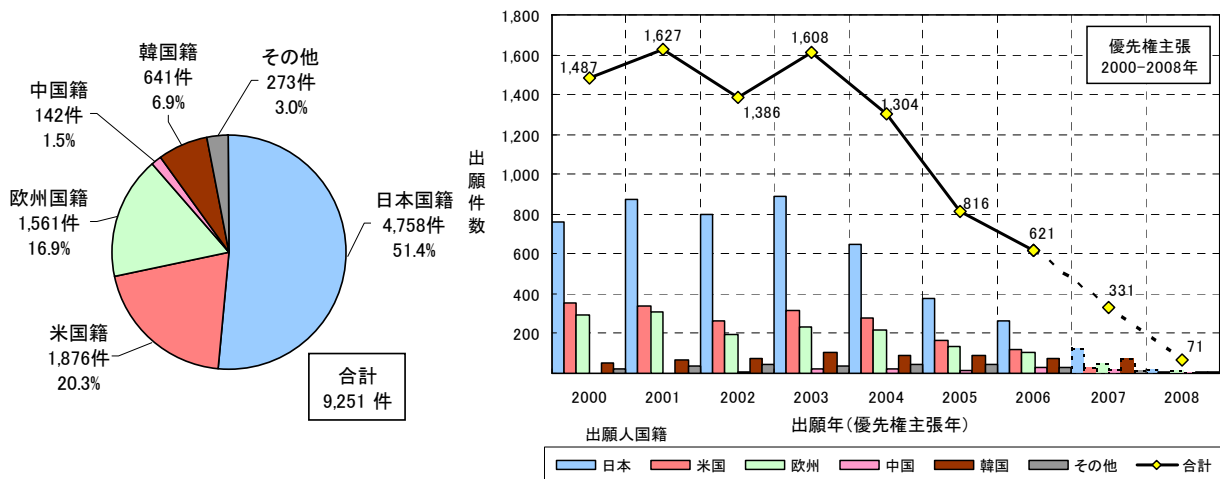
日米欧中韓への出願における、出願人国籍別出願件数の年次推移と出願件数比率を図 2-1 に示す。出願人国籍では、日本国籍が全体の 57.6%と最も多く、次いで米国籍が 18.2%、欧州国籍が 15.2%となっている。中国籍、韓国籍は少ない。年次推移を見ると、全ての年次で日本国籍の出願人による出願が半数以上を占め、他の国籍の出願人を圧倒している。この結果は、パワーデバイス分野における日本国籍の特許情報は世界に向けて発信することが可能な技術的コンテンツを多数有していることを意味している。なお、2007 年以降のデータは、PCT 出願が国内段階に移行するまで最大 30 か月かかるため、国内段階での公報発行が遅れることや、データベースへの収録が遅れることなどにより、全データが取得されていない可能性があることに注意が必要である。そこで、下記の図では 2007 年以降のところを点線で示している。以降でも特許出願件数推移の図に対しては同様に表示している。

図 2-1 出願人国籍別出願件数推移及び出願件数比率（日米欧中韓への出願）



日米欧中韓での登録における、出願人国籍別登録件数の年次推移と登録件数比率を図 2-2 に示す。日本国籍出願人による特許出願が登録されたものが 51.4%と最も多く、次いで米国籍が 20.3%、欧州国籍が 16.9%となっている。韓国籍は 6.9%であり、中国籍出願人による登録は少ない。年次推移でも、日本国籍が全ての年次で最も多くなっている。

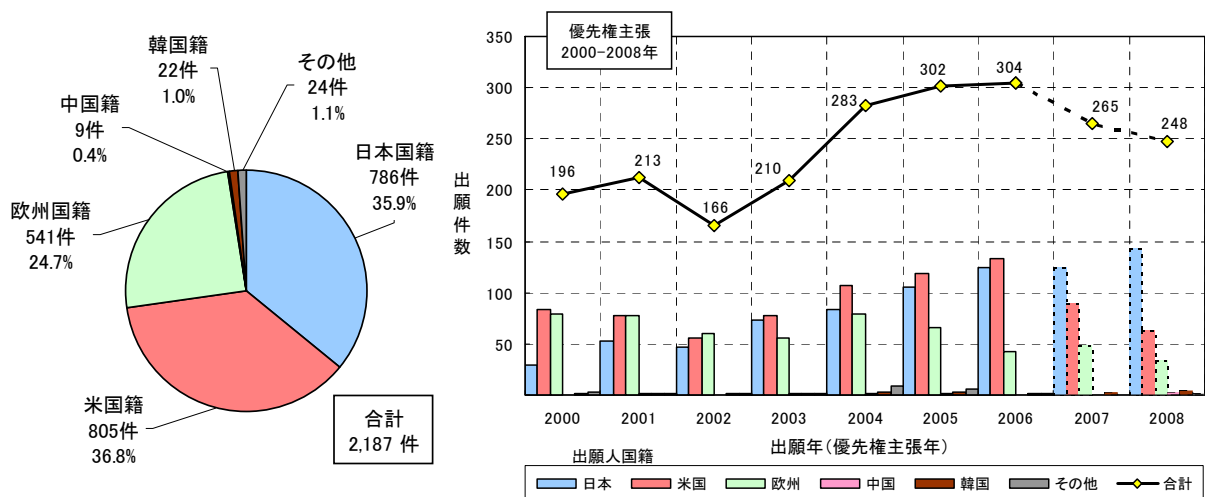
図 2-2 出願人国籍別登録件数推移及び登録件数比率（日米欧中韓での登録）



2. PCT 出願動向

特許協力条約（PCT）に基づく国際出願は、複数の国への出願を念頭に置いた重要な特許出願であると考えられる。PCT 出願における、出願人国籍別出願件数の年次推移と出願件数比率を図 2-3 に示す。米国籍出願人による出願と日本国籍出願人による出願とがほぼ拮抗しており、それぞれ全体の 36.8%、35.9%となっている。次いで欧州国籍が 24.7%であり、韓国籍と中国籍は少ない。出願件数の年次推移は 2006 年まで増加傾向であるが、その後減少に転じている。出願人国籍については、2006 年までは米国籍、日本国籍が拮抗しているが、2007 年以降、日本国籍が最も多くなっている。日本国籍では、今後、パワーデバイス分野の PCT 出願が増えていくことを推測させる結果である。

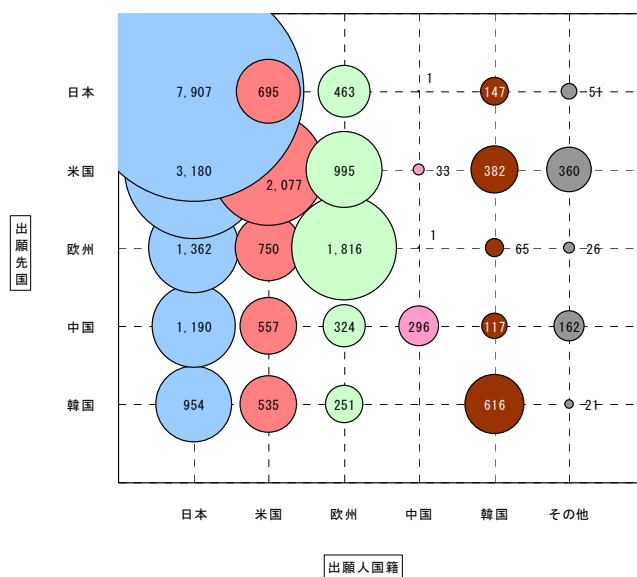
図 2-3 出願人国籍別出願件数推移及び出願件数比率（PCT 出願）



3. 出願先国別－出願人国籍別出願動向

出願先国別に出願人国籍別の出願件数を図 2-4 に示す。日本国籍出願人は、欧州以外の出願先国では、いずれの国でも最も出願件数が多い。中国籍出願人から外国への出願は少ない。さらに、出願件数シェアの推移を見ると、日本国籍出願人による出願件数シェアは従来 50% 台で推移していたが 2006 年以降増加に転じている。一方、米国籍出願人による出願件数シェアは従来 20% 台で推移していたが、2006 年以降減少に転じている。欧州は一貫して緩やかにシェアの減少傾向にある。

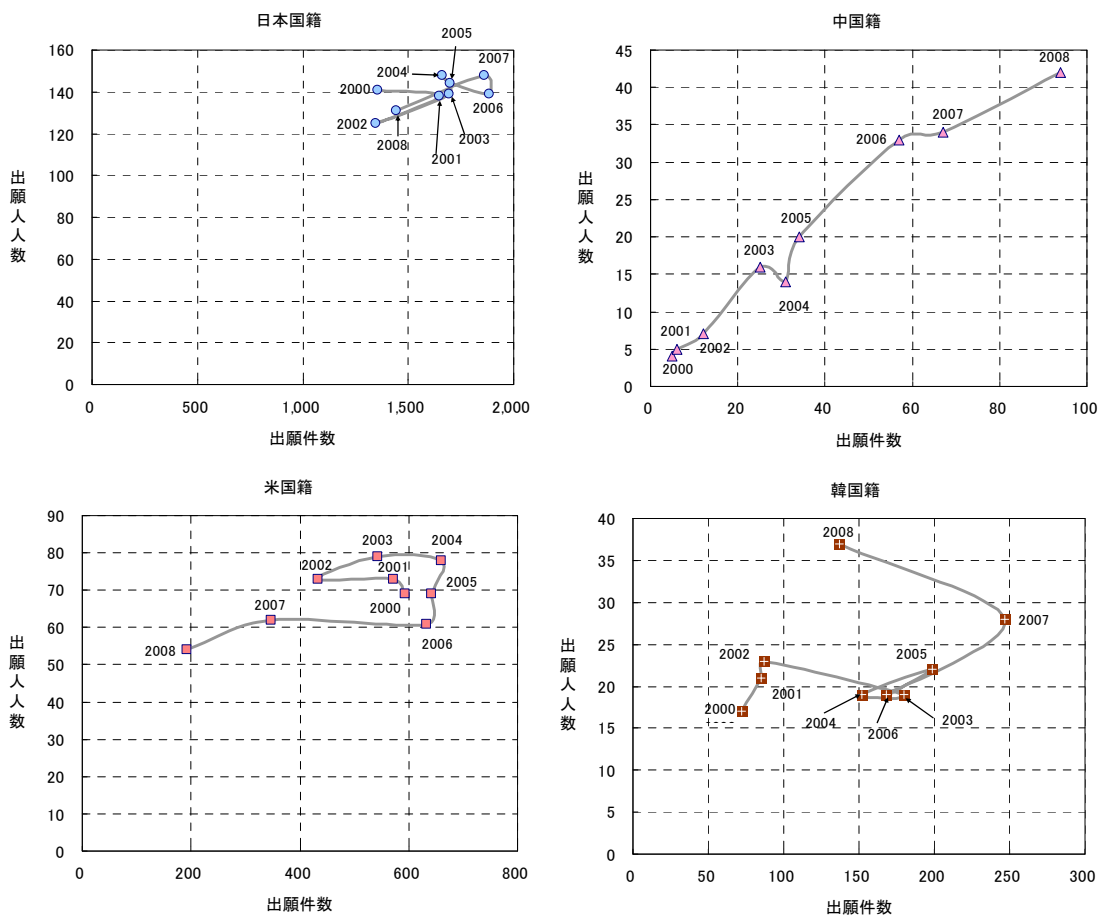
図 2-4 出願先国別－出願人国籍別出願件数



4. 出願件数と出願人数の関係の推移

出願人数と出願件数の関係の推移を、出願人国籍別に図 2-5 に示す。日本国籍出願人による出願は、毎年、出願人数、出願件数ともに他のいずれの国よりも非常に高いレベルで安定している。中国では、年々出願人数、出願件数が単調に増加しているがまだ件数は少ない。

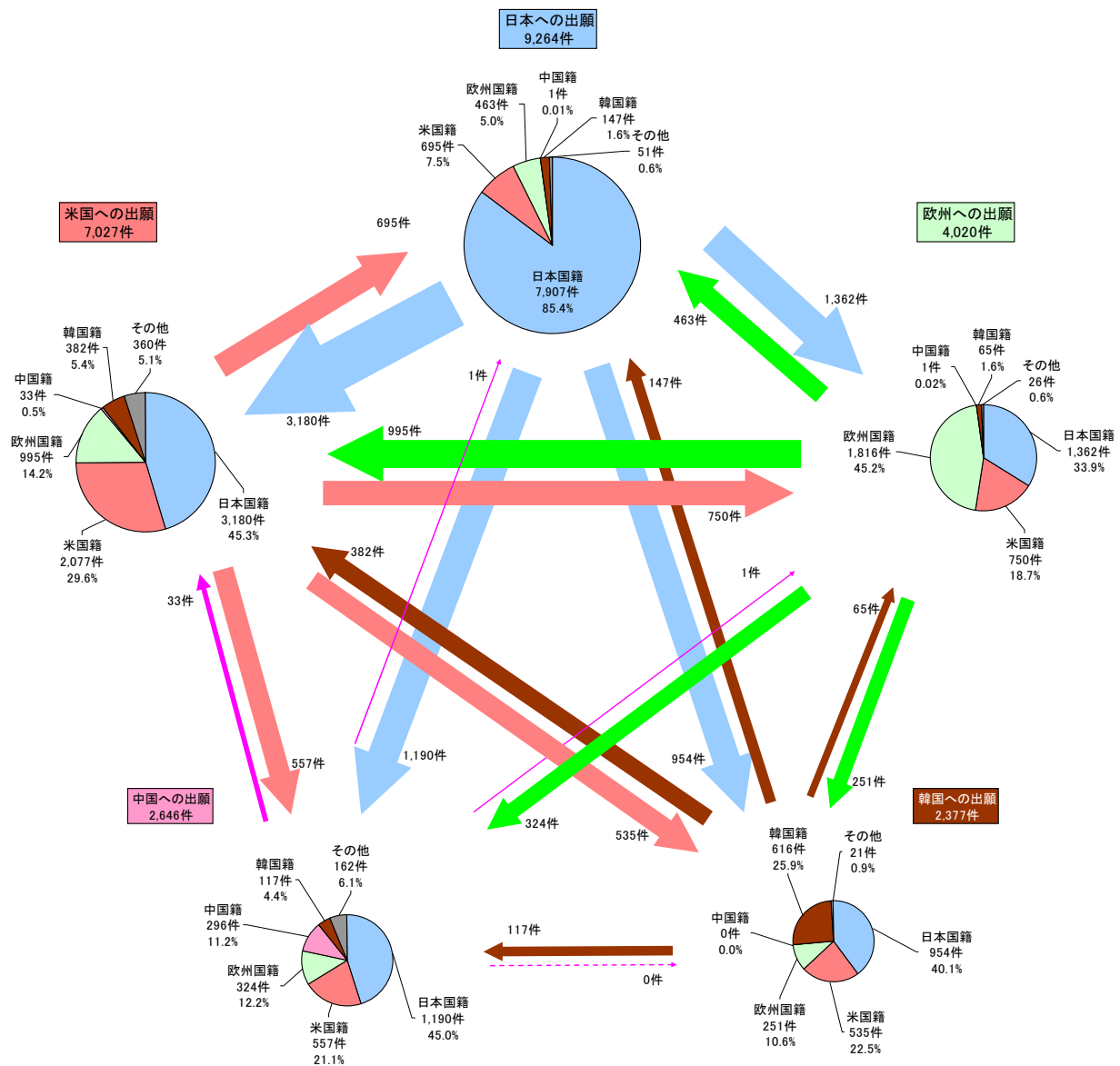
図 2-5 出願人国籍別出願件数－出願人数推移



5. 出願先国別－出願人国籍別出願件数収支

日本、米国、欧州、中国及び韓国への出願における、出願先国別の出願人国籍別出願件数収支を図 2-6 に示す。日本の出願件数収支は米国、欧州、中国、韓国のいずれの国に対しても数的に優位にある。欧州は日本以外のいずれの国に対しても優位にあり、米国は韓国、中国に対して優位にある。この結果から、日本は数的には他地域に比較して、積極的に海外に出願していることが分かる。

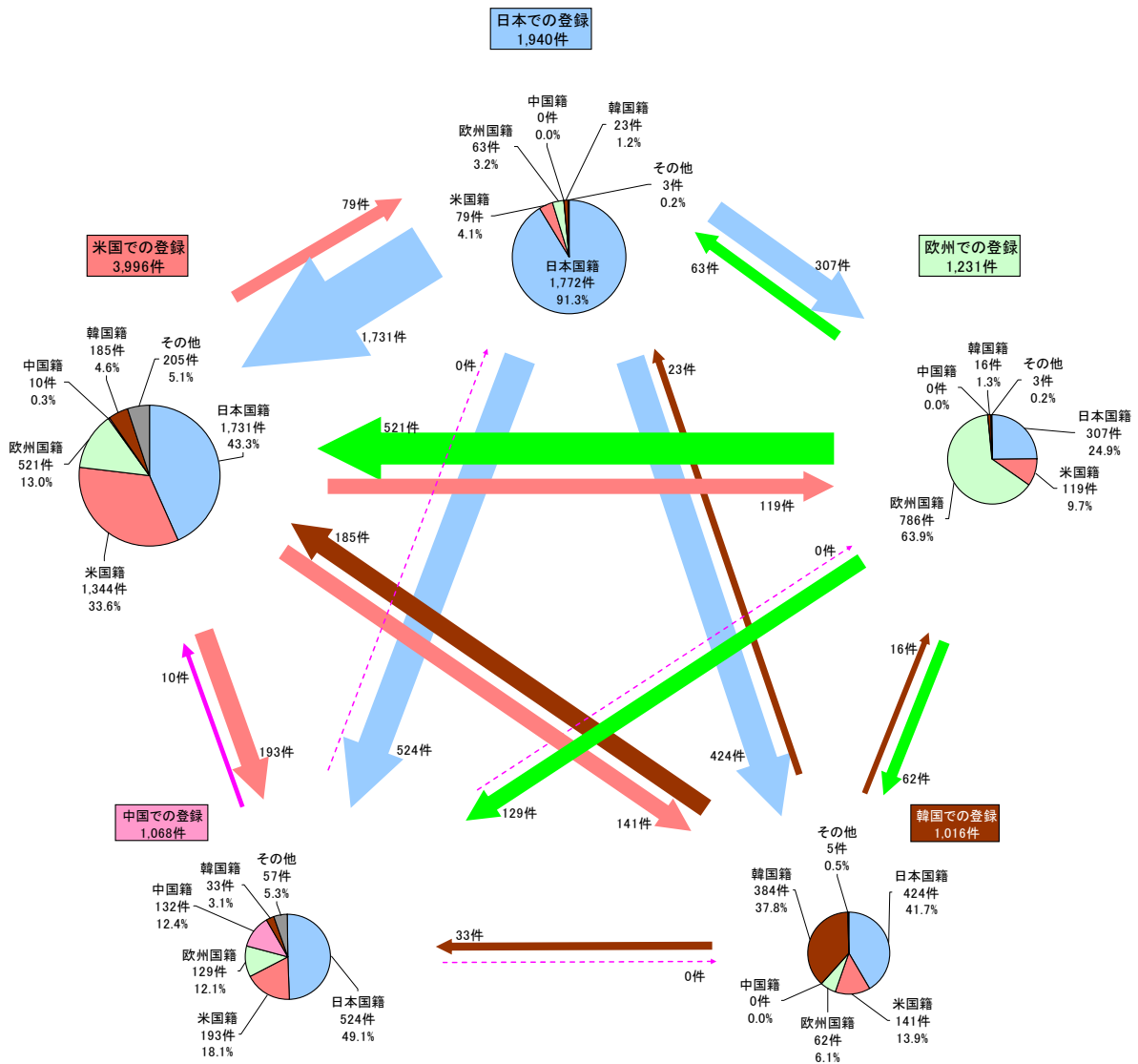
図 2-6 出願先国別－出願人国籍別出願件数収支



6. 出願先国別－出願人国籍別登録件数収支

日本、米国、欧州、中国及び韓国での登録における、出願先国別の出願人国籍別登録件数収支を図 2-7 に示す。登録件数収支においても、日本は米国、欧州、中国、韓国のいずれの国に対しても圧倒的に優位にある。欧州は米国、中国、韓国に対して優位にあり、米国は中国に対して優位にある。韓国は米国と中国に対して優位にある。この結果から、日本は数的には他地域に比較して、積極的に海外で特許を取得していることが分かる。

図 2-7 出願先国別－出願人国籍別登録件数収支

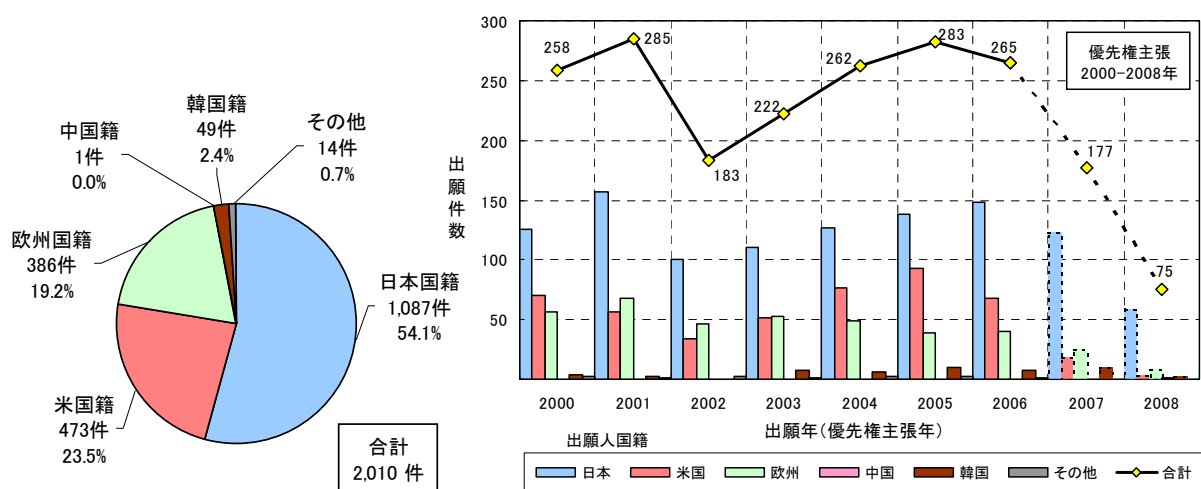


7. 三極コア出願件数推移及び出願件数比率

三極コア出願とは、少なくとも日、米、欧の3地域へ特許が出願されている特許の出願を言う。なお、近時、中国への出願を重視する企業（例：パナソニック、ルネサスエレクトロニクス、東芝、IBM等）が増えており、少なくとも当該分野においては、今後は、中国を含む四極コア出願の採用を検討する必要がある。

出願人国籍別三極コア出願件数推移及び出願件数比率を図2-8に示す。三極コアへの出願は合計2,010件である。年次推移としては、2002年、2007年以降を除いておおむね250件以上で推移してきている。出願人国籍としては、日本国籍が54.1%で最も多く、次いで米国籍が23.5%、欧州国籍が19.2%、韓国国籍が2.4%である。

図2-8 出願人国籍別三極コア出願件数推移及び出願件数比率



（特許出願のファミリー単位で集計）

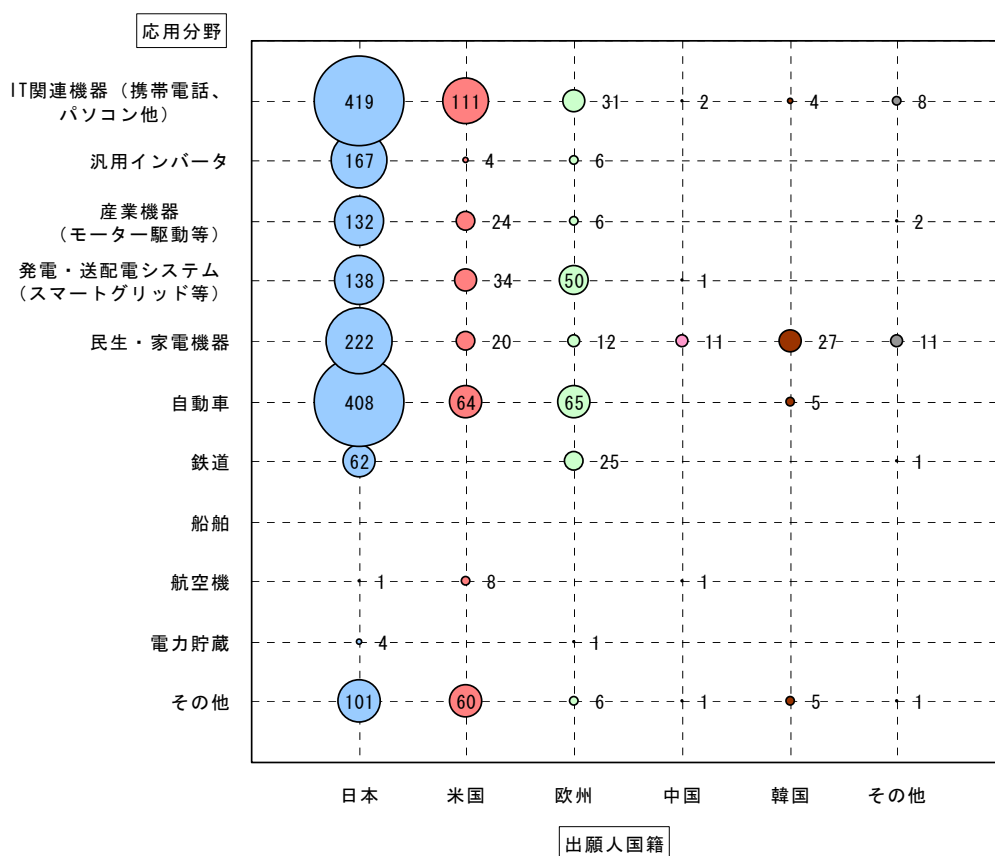
第3節 技術区分別動向

1. 日米欧中韓への出願における技術区分別一出願人国籍別出願件数

(1) 技術区分（応用分野）別一出願人国籍別出願件数

日米欧中韓への出願における、技術区分（応用分野）別一出願人国籍別出願件数を図 2-9 に示す。日本の出願は IT 関連機器（携帯電話、パソコン等）と自動車向けが二大応用分野であり、米国も同様である。欧州も自動車が最も多いが、日本、米国と異なり、発電・送配電システムが次に来ている。この結果、いずれの分野においても、日本の出願は他の地域と比較して応用分野を意識した特許出願が多いことが分かる。

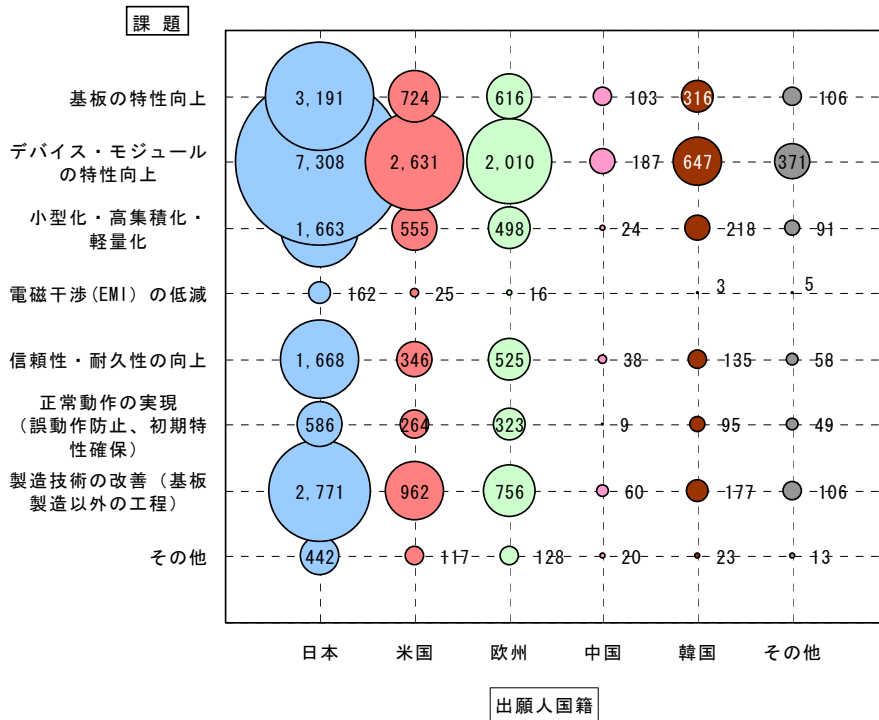
図 2-9 技術区分（応用分野）別一出願人国籍別出願件数（日米欧中韓への出願）



(2) 技術区分（課題）別一出願人国籍別出願件数

日米欧中韓への出願における、技術区分（課題）別一出願人国籍別出願件数を図 2-10 に示す。この結果、日本の出願は他の地域と比較して、当該分野の多様な技術課題を強く意識していることを示唆している。

図 2-10 技術区分（課題）別一出願人国籍別出願件数（日米欧中韓への出願）

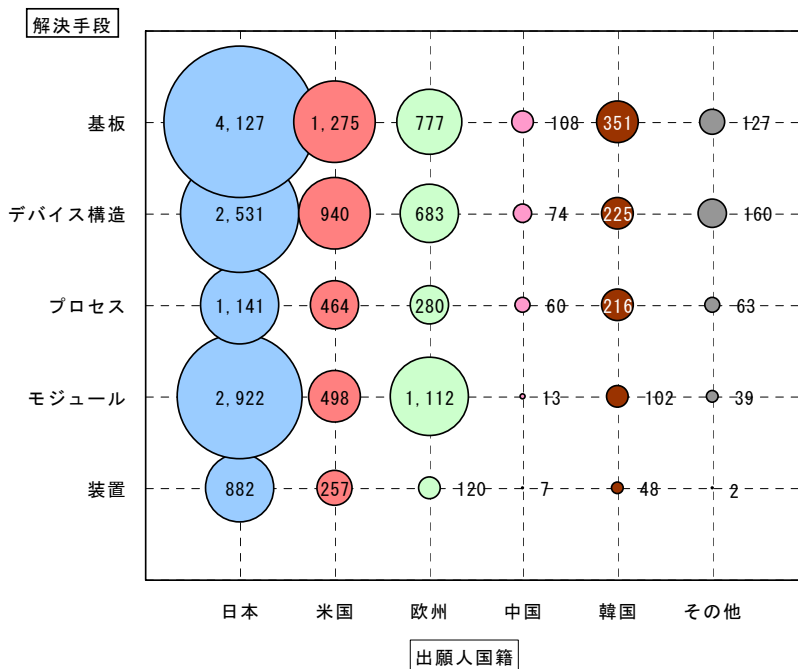


(3) 技術区分（解決手段）別一出願人国籍別出願件数

日米欧中韓への出願における、技術区分（解決手段）別一出願人国籍別出願件数を図 2-11 に示す。解決手段で単にデバイス構造となっているものは、大分類のデバイス構造-1 とデバイス構造-2 とシミュレーションを合算したものである（以下同様）。

この結果、日本の技術開発はいずれの技術分野においてもトップであり、バランス良く技術蓄積がなされていることが分かる。日本の出願は他の地域に比較して当該技術分野の多様な解決手段を検討していることを示唆している。

図 2-11 技術区分（解決手段）別一出願人国籍別出願件数（日米欧中韓への出願）



2. 技術区分別－出願人国籍別出願件数推移及び出願件数比率（日米欧中韓への出願）

技術区分（課題）の大分類別に、出願人国籍別出願件数推移及び出願件数比率を図 2-12 に示す。

基板の特性向上については、全体 5,056 件のうち日本国籍出願が 63.1%で最も多い。次いで米国が 14.3%、欧州が 12.2%、韓国 6.3%、中国 2.0%となっている。

デバイス・モジュールの特性向上については、全体 13,154 件のうち日本国籍出願が 55.6%で最も多く、次いで米国が 20.0%、欧州が 15.3%、韓国 4.9%、中国 1.4%となっている。

小型化・高集積化・軽量化については、全体で 3,049 件のうち日本国籍出願が 54.5%で最も多く、次いで米国が 18.2%、欧州が 16.3%、韓国が 7.1%となっている。

電磁干渉（EMI）の低減については、全体で 211 件のうち日本国籍出願が 76.8%で最も多い。次いで米国が 11.8%、欧州が 7.6%で、韓国、中国は少ない。

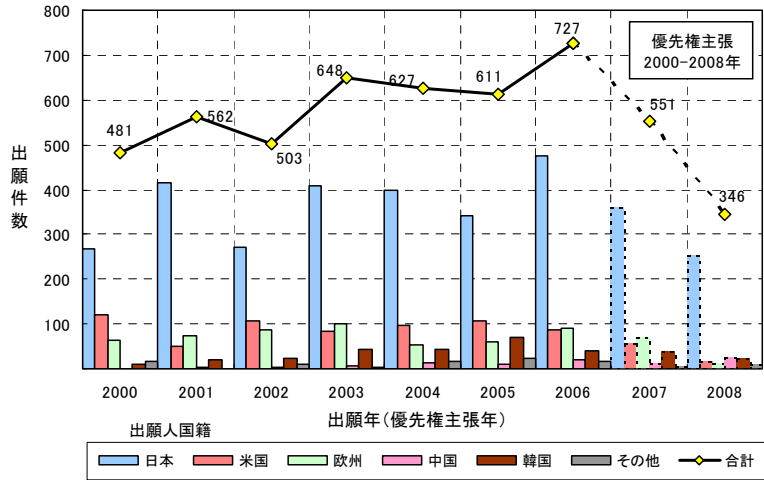
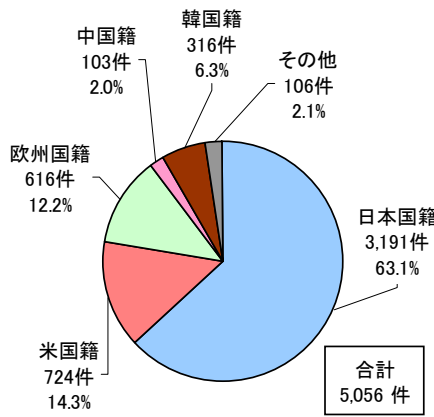
信頼性・耐久性の向上については、全体で 2,770 件のうち日本国籍出願が 60.2%と最も多く、次いで欧州が 19.0%、米国が 12.5%、韓国が 4.9%、中国が 1.4%となっている。

正常動作の実現（誤動作防止、初期特性確保）については、全体で 1,326 件のうち日本国籍出願が 44.2%で最も多く、次いで欧州が 24.4%、米国が 19.9%、韓国が 7.2%、中国が 0.7%となっている。

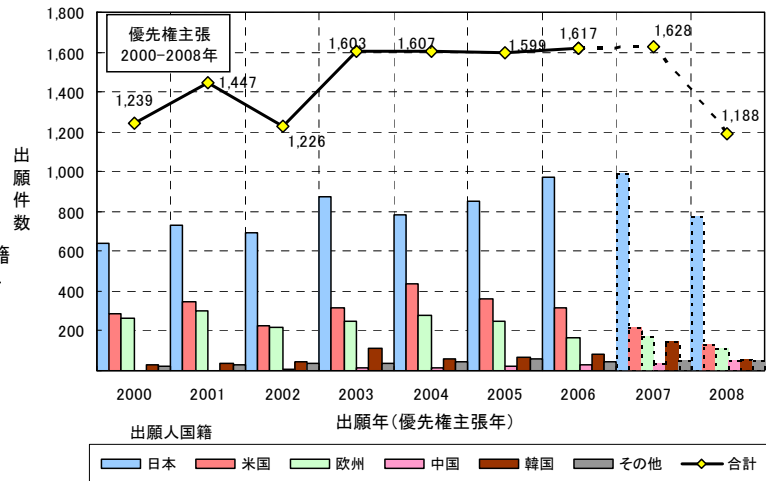
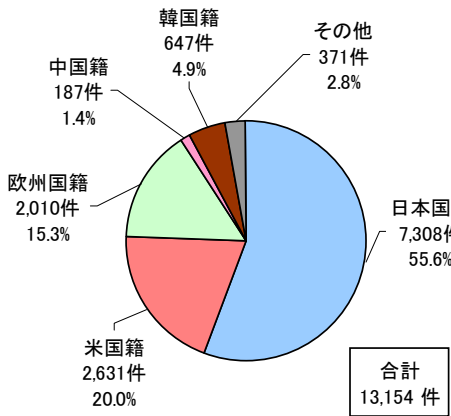
製造技術の改善（基板製造以外の工程）については、全体で 4,832 件のうち日本国籍出願が 57.3%で最も多く、次いで米国が 19.9%、欧州が 15.6%、韓国が 3.7%、中国が 1.2%となっている。

図 2-12 技術区分（課題）別一出願人国籍別出願件数推移及び出願件数比率（日米欧中韓への出願）

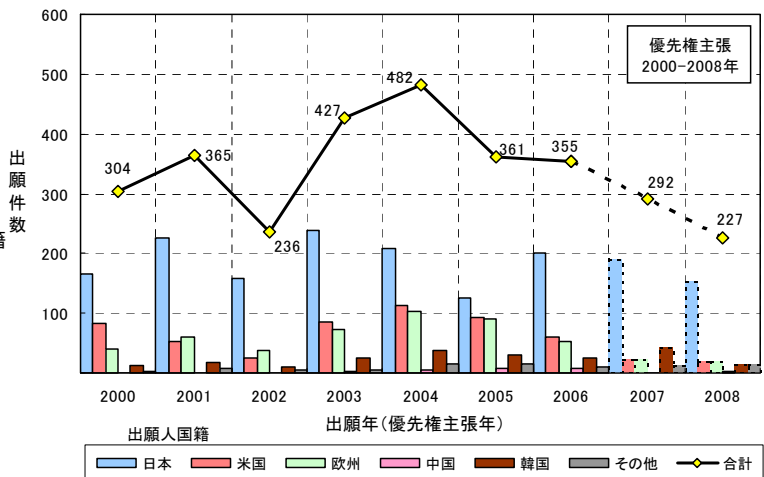
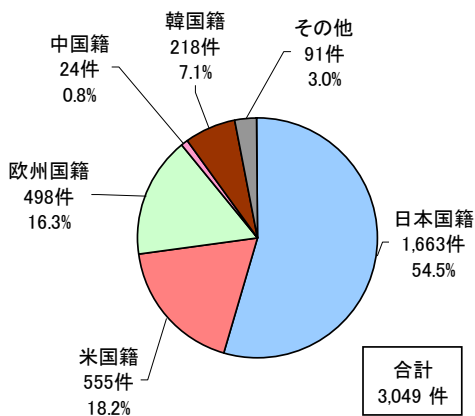
a) 基板の特性向上



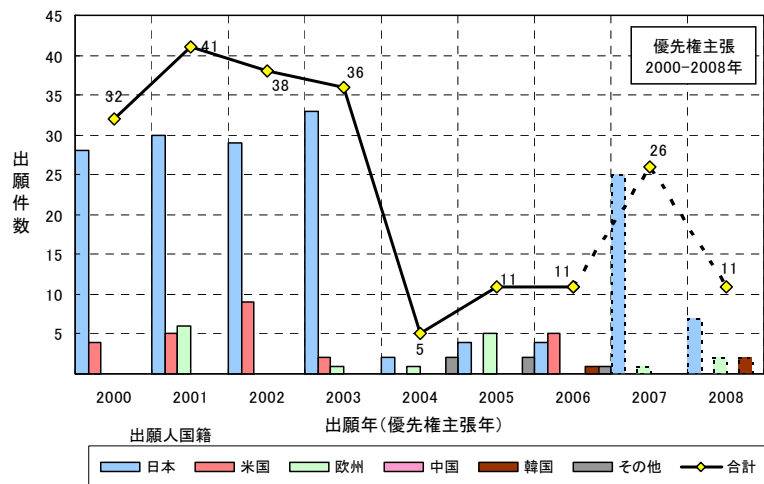
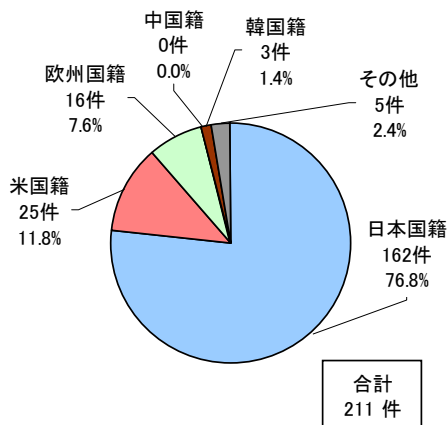
b) デバイス・モジュールの特性向上



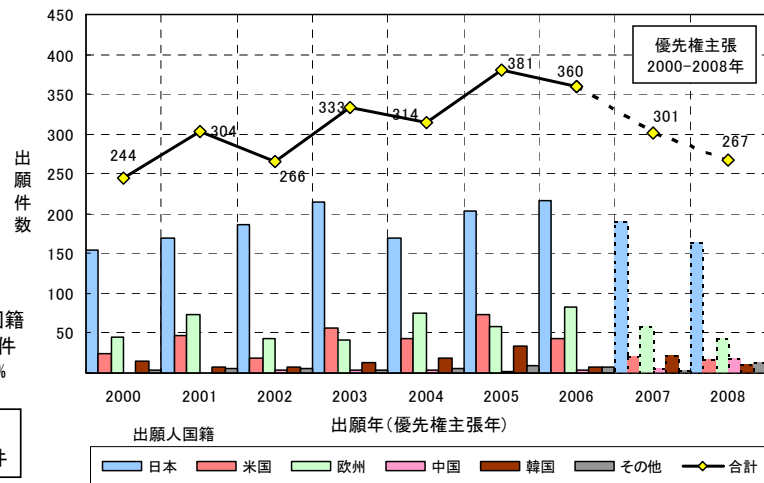
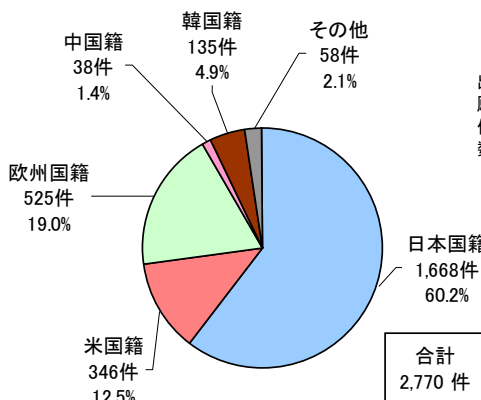
c) 小型化・高集積化・軽量化



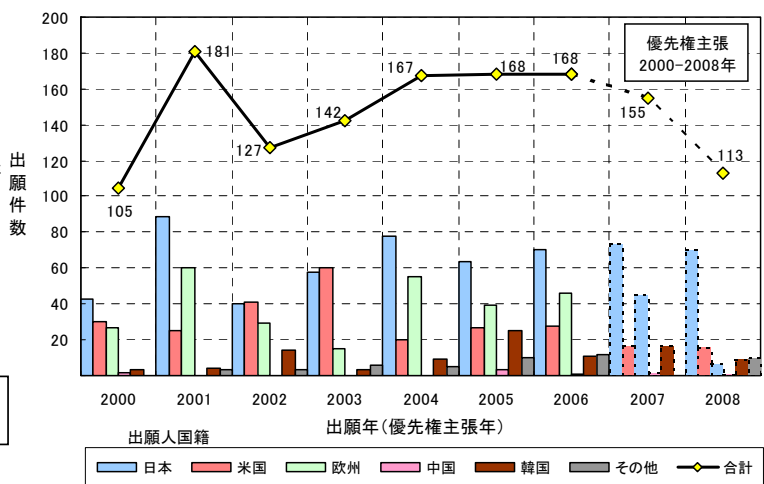
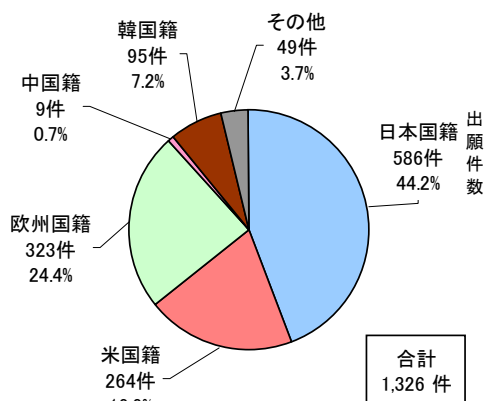
d) 電磁干渉 (EMI) の低減



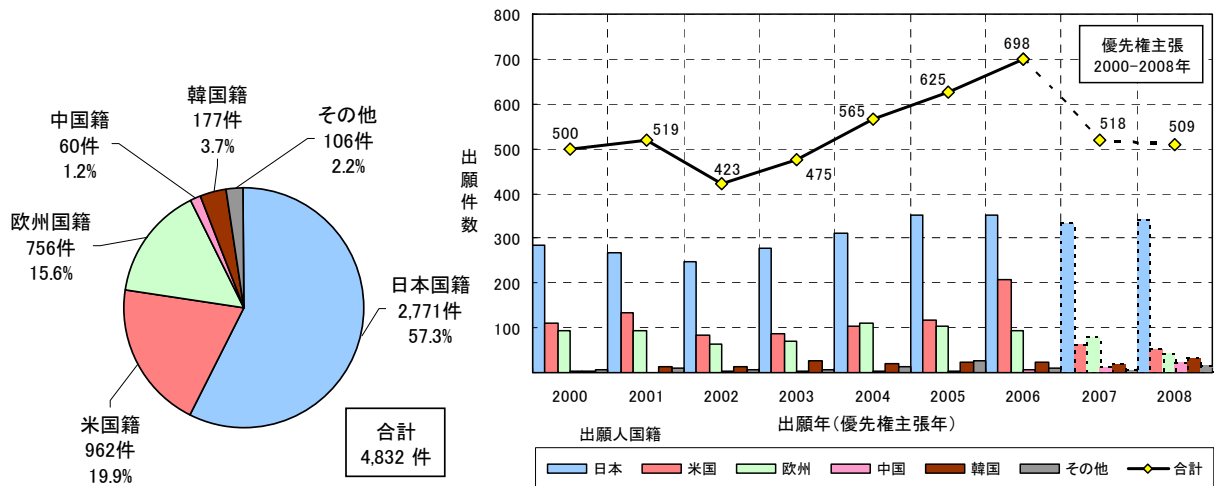
e) 信頼性・耐久性の向上



f) 正常動作の実現 (誤動作防止、初期特性確保)



g) 製造技術の改善（基板製造以外の工程）



技術区分（解決手段）の大分類別に、出願人国籍別出願件数推移及び出願件数比率を図 2-13 に示す。

基板については、全体 6,765 件のうち日本国籍出願が 61.0%で最も多く、次いで米国が 18.8%、欧州が 11.5%、韓国が 5.2%、中国が 1.6%である。

デバイス構造については、全体 4,613 件のうち日本国籍出願が 54.9%で最も多く、次いで米国が 20.4%、欧州が 14.8%、韓国が 4.9%、中国が 1.6%である。

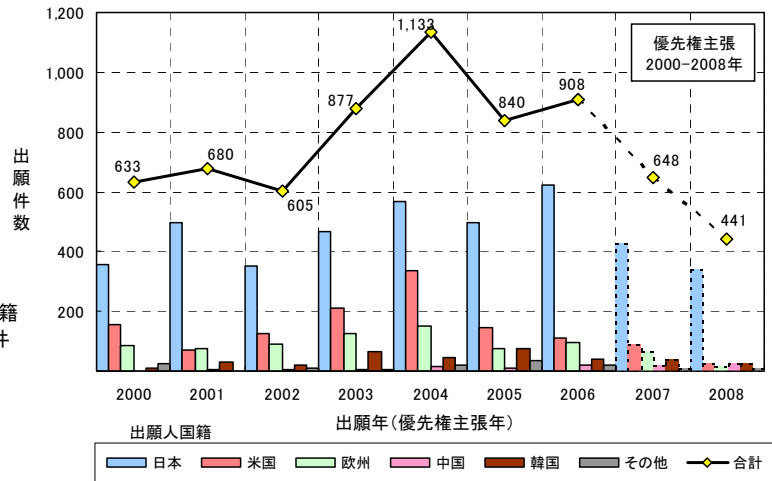
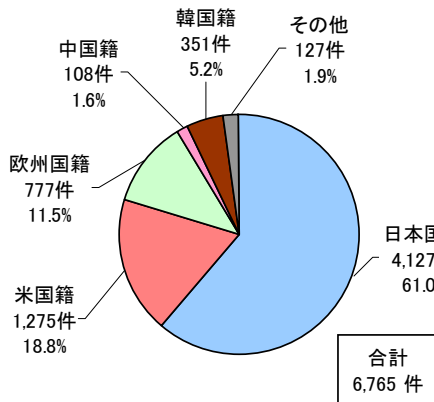
プロセスについては、全体 4,599 件のうち日本国籍出願が 54.6%で最も多く、次いで米国が 21.0%、欧州が 12.3%、韓国が 7.9%、中国が 1.4%である。

モジュールについては、全体 4,686 件のうち日本国籍出願が 62.4%で最も多く、次いで欧州が 23.7%、米国が 10.6%で、韓国、中国は少ない。

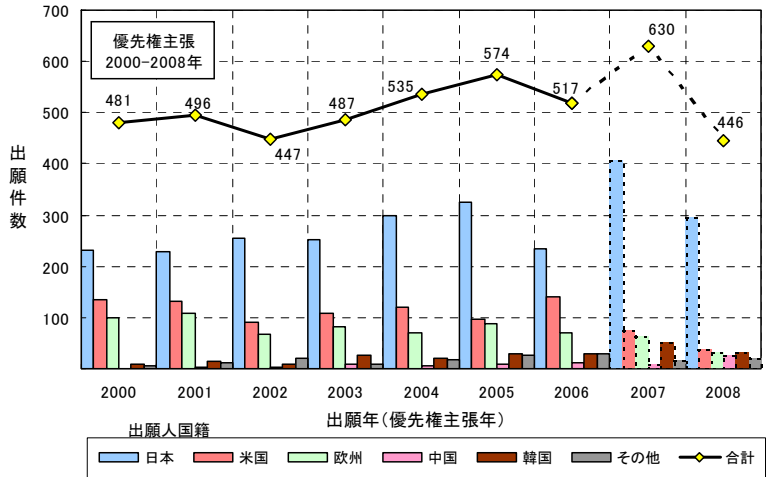
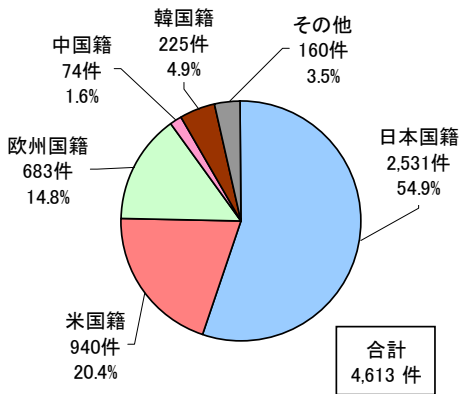
いずれの技術区分（解決手段）も年次推移はほぼ横ばいの状況である。

図 2-13 技術区分（解決手段）別一出願人国籍別出願件数推移及び出願件数比率（日米欧中韓への出願）

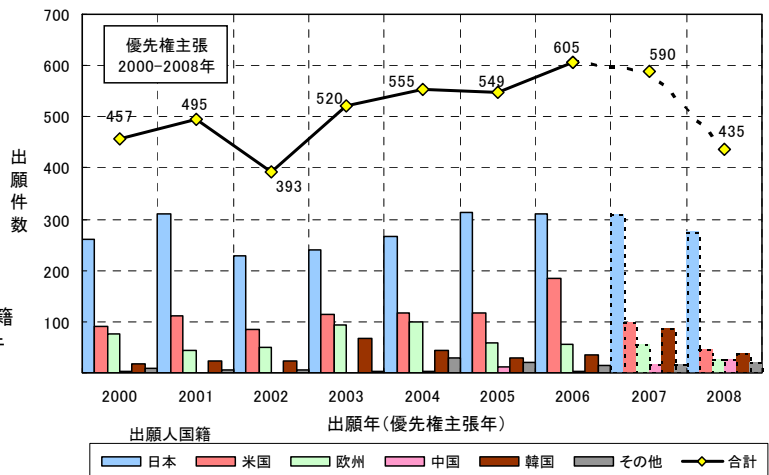
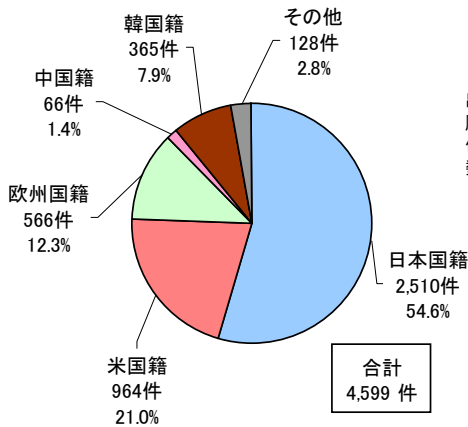
a) 基板



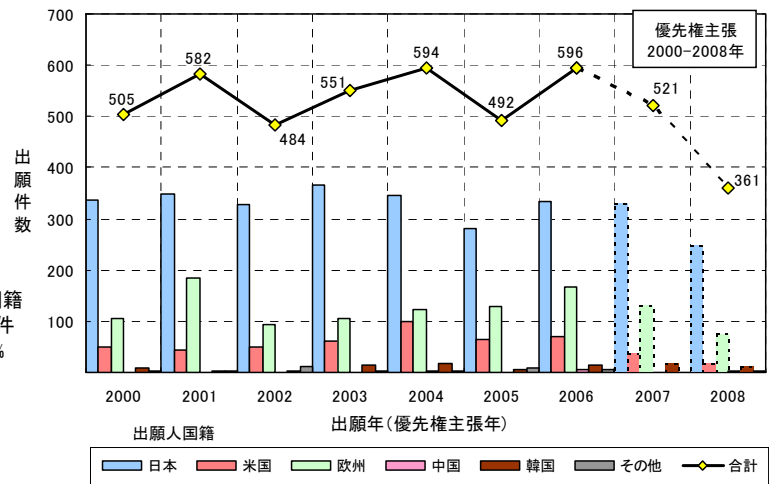
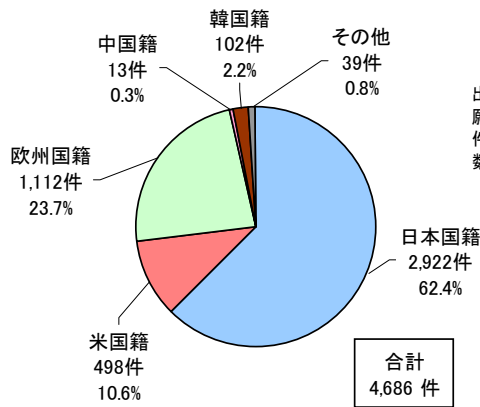
b) デバイス構造



c) プロセス



d) モジュール



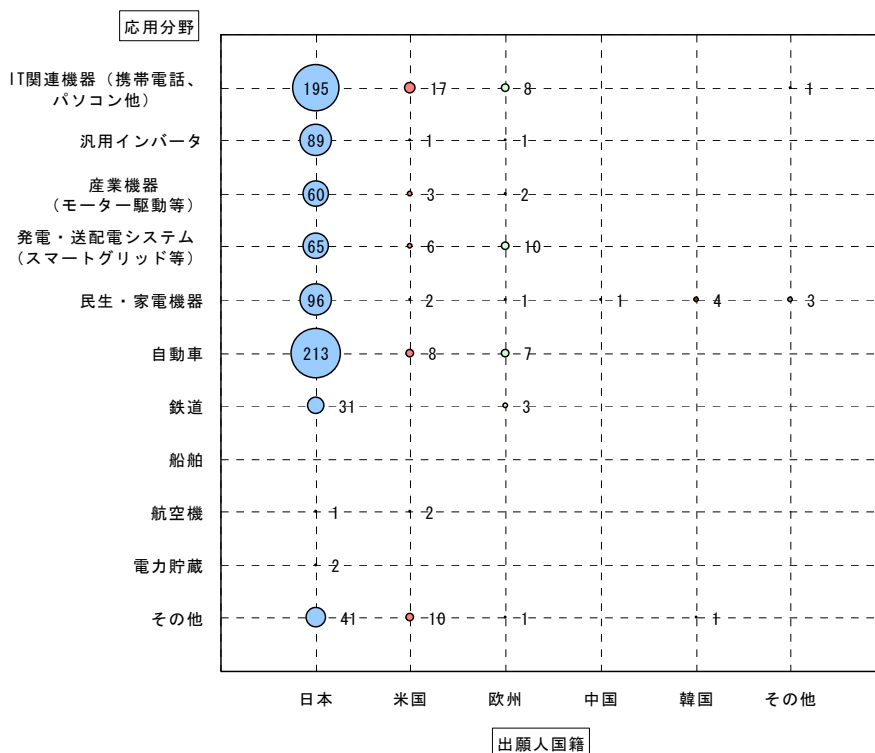
3. 出願先国別の出願動向

1. (1) で示した、日米欧中韓への出願における、技術区分（応用分野）別一出願人国籍別出願件数を、出願先国別に分けて示したものが図 2-14～図 2-18 である。以下の結果を見ると、日本は、日本への出願だけでなく、他の地域内の出願においても出願件数でその地域の出願を上回っており、日本の出願には他の地域に比べ応用分野を意識した特許出願が特に多いことが分かる。

(1) 日本への出願動向

日本への出願における、技術区分（応用分野）別の出願人国籍別出願件数を図 2-14 に示す。ほとんどが日本国籍出願人による出願であり、自動車用途が 213 件で最も多い。次いで、IT 関連機器（携帯電話、パソコン等）195 件、民生・家電機器 96 件である。

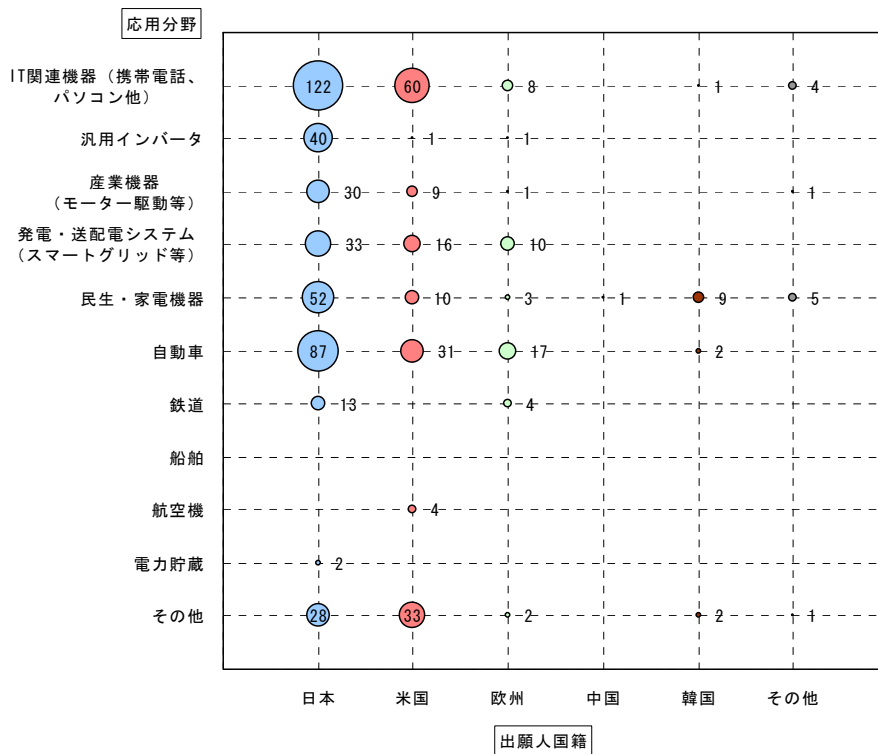
図 2-14 技術区分（応用分野）別一出願人国籍別出願件数（日本への出願）



(2) 米国への出願動向

米国への出願における、技術区分（応用分野）別の出願人国籍別出願件数を図 2-15 に示す。日本国籍出願人の出願が最も多く、次いで米国籍出願人の出願となっている。応用分野としては、日米それぞれの国籍とも、IT 関連機器（携帯電話、パソコン等）が最も多く、次いで自動車が多い。

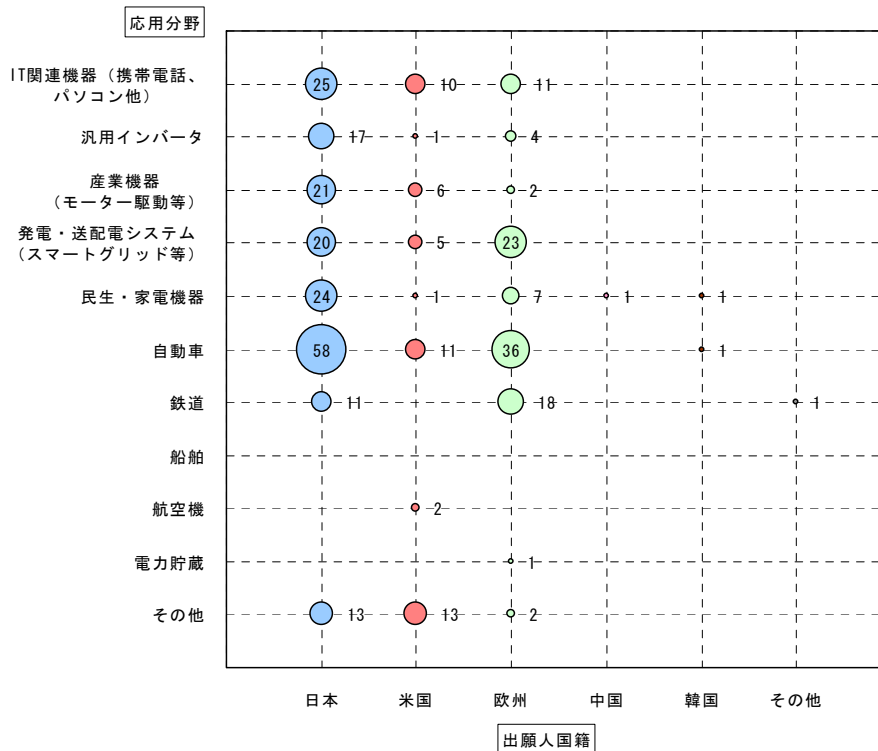
図 2-15 技術区分（応用分野）別一出願人国籍別出願件数（米国への出願）



(3) 欧州への出願動向

欧州への出願における、技術区分（応用分野）別の出願人国籍別出願件数を図 2-16 に示す。日本国籍出願人の出願が最も多い。日米欧いずれの出願も、自動車に関する出願が最も多くなっている。

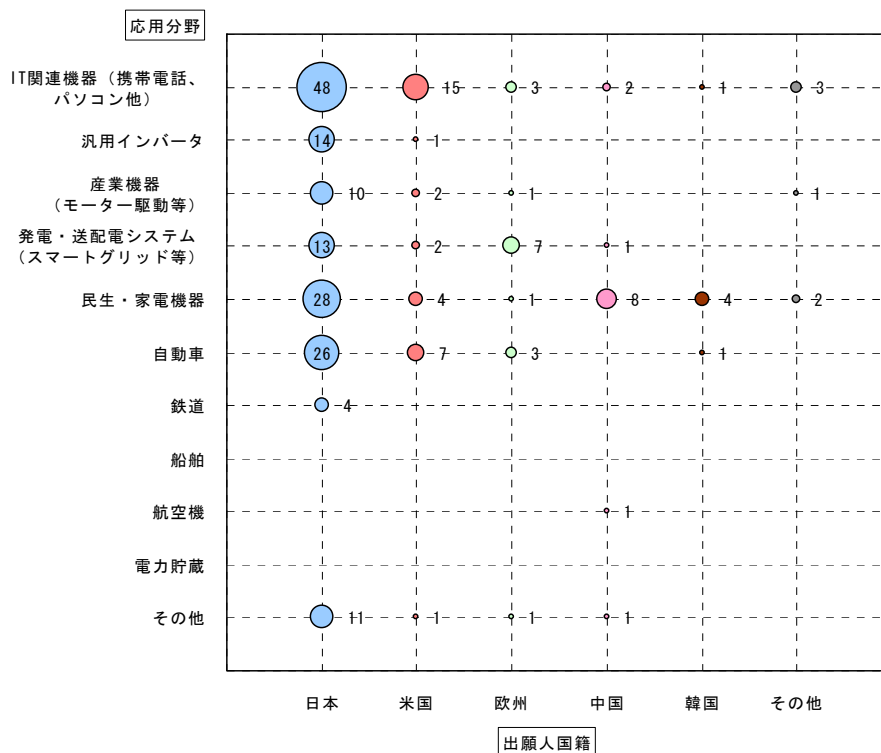
図 2-16 技術区分（応用分野）別一出願人国籍別出願件数（欧州への出願）



(4) 中国への出願動向

中国への出願における、技術区分（応用分野）別一出願人国籍別出願件数を図 2-17 に示す。日本国籍出願人の出願が最も多い。日米は IT 関連機器（携帯電話、パソコン等）が、欧州は発電・送配電システム（スマートグリッド等）が、中韓は民生・家電機器が最も多くなっている。

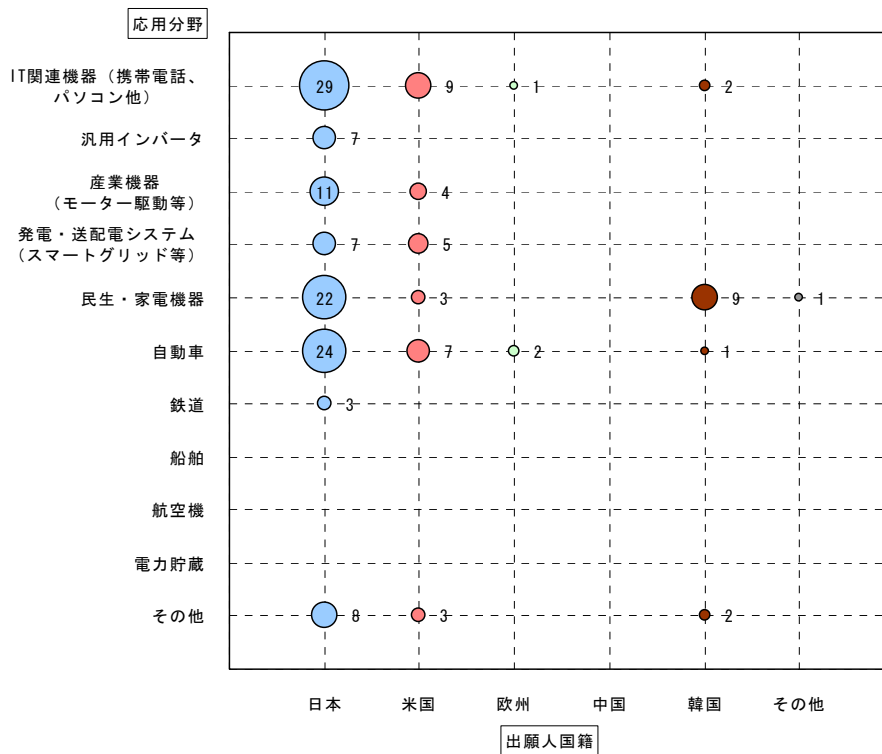
図 2-17 技術区分（応用分野）別一出願人国籍別出願件数（中国への出願）



(5) 韓国への出願動向

韓国への出願における、技術区分（応用分野）別一出願人国籍別出願件数を図 2-18 に示す。出願人は日本国籍が圧倒的で米韓が少しある。IT 関連機器（携帯電話、パソコン等）、民生・家電機器、自動車の分野が多い。

図 2-18 技術区分別（応用分野）一出願人国籍別出願件数（韓国への出願）



第4節 注目研究開発テーマの特許出願動向

グリーンパワーICにおける注目研究開発テーマとして3テーマを選定し、第2章第1節に示した解析軸により出願動向を調査した。注目研究開発テーマの選定理由も含め、これらの結果を以下にまとめる。

1. 超接合 MOSFET の開発

1977年にDMOS型のSiパワートランジスタが製品化されて以来、パワーデバイスの領域でもバイポーラトランジスタから、MOSFETへの移行が急速に進んだ。1990年代にはトレンチゲート型が製品化され、MOSFETの $R_{on} \cdot A$ (単位面積で規格化したオン抵抗)は著しく減少した。しかし、300Vを超える中・高耐圧MOSFETにおいては、ドリフト層の抵抗が全体のオン抵抗の大部分を占めるため、この部分の抵抗をいかに下げるかをポイントとした開発がその後も継続された。

そのような動きの中、Resurf理論を基本として、一様なn型ドリフト層を、交互に配置したpn層の列に置き換えて完全空乏化させる超接合型が開発され、1999年には実際にSi限界を超える $R_{on} \cdot A$ が実証された。現在も、EV、HEV、エアコン用インバータなどの応用分野からの要求に対応して、MOSFETを中心としたパワーデバイスの更なる低損失化に向けた検討が進められている。今後は、継続的な低損失化とコスト低減の努力とともに、各応用分野の製品に対してより最適化のレベルを高めた製品を目指した開発に重点が置かれると予想される。このような状況から、DMOSにおけるSi限界を超える特性を実現するという点において、「超接合MOSFET」はパワーデバイスの中で重要な選択肢の一つと位置付けられ、その開発の動向が注目される。

図2-19に、超接合MOSFETの開発における出願先国別-出願人国籍別出願件数を示す。各国とも自国への出願件数が多いという一般的な傾向になっている。中国と韓国の出願件数は、日米欧に比べて非常に少ない。出願人国籍別出願件数は、日本が最も多く、次に米国、欧州と続いている。このように、当該重要分野において、日本の特許出願は数的に優位な状況にあり、当該重要分野においてリーダーシップを取り得る地位にある。

図2-20に、超接合MOSFETの開発に関連する課題と解決手段(超接合構造と超接合形成)の関係を示す。課題としては、高耐圧が最も多く、僅差で低損失が続いている。MOSFETの特性において高耐圧と低損失はトレードオフの関係にあり、このトレードオフの関係を改善する技術として超接合技術が注目されていることに対応した結果と考えられる。課題として、高耐圧、低損失の次に多いのは、製造技術の改善であり、超接合MOSFETの開発においては、デバイス特性だけでなく、製造技術を課題とした件数が多い結果となっている。解決手段の超接合構造において、平面構造を工夫したものの中では、ストライプ形状のものが最も多い。また、超接合形成においては、最も多いのが溝形成後エピ成長、次にエピ成長-注入-エピ成長-注入の繰り返しで、イオン注入のみの件数は少ない。このように、当該重要分野において、特に低損失化、高耐圧化といったデバイス技術、製造技術の改善というプロセス技術の研究開発が盛んであることが分かる。

図 2-19 超接合 MOSFET に関する出願先国別—出願人国籍別出願件数（日米欧中韓への出願）

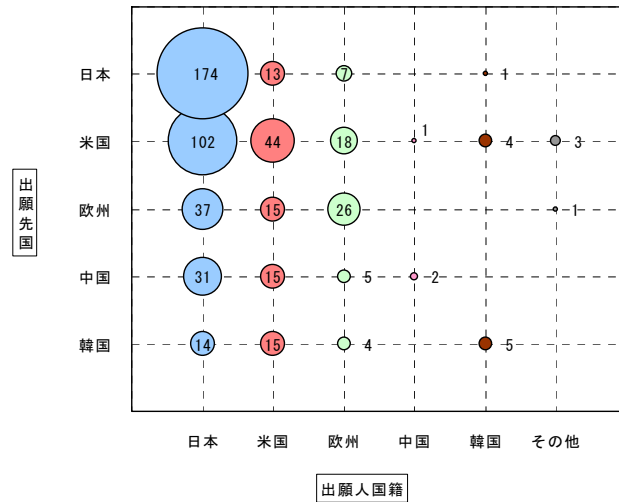
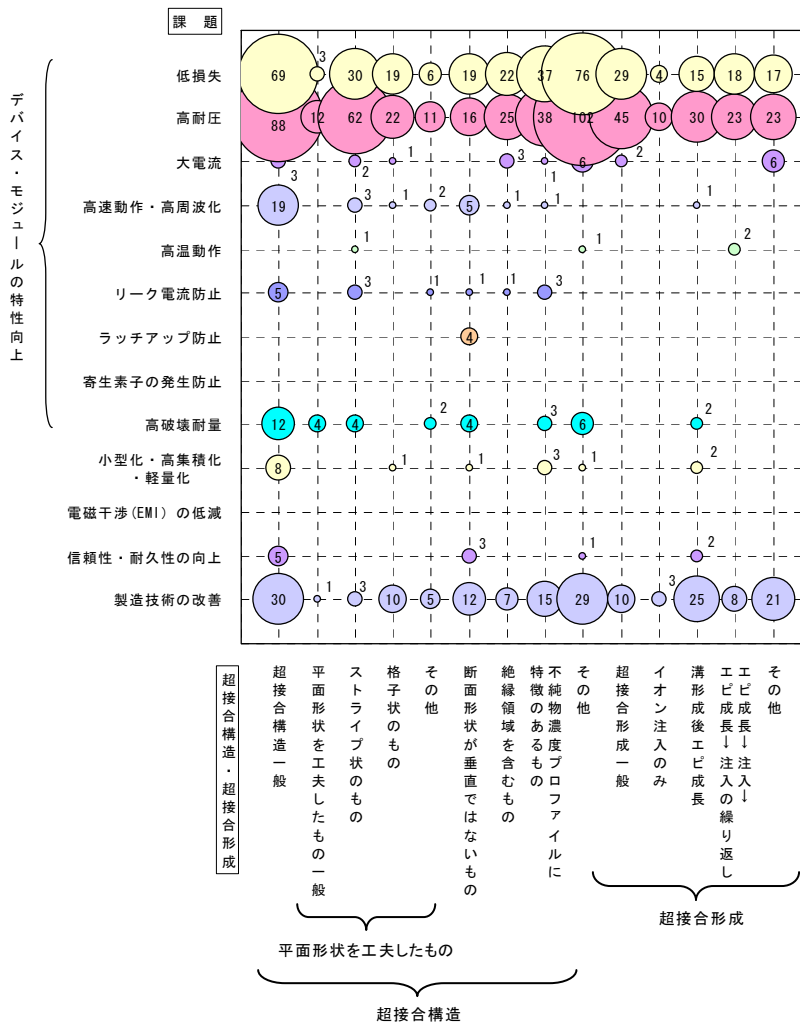


図 2-20 超接合 MOSFET における課題と解決手段の関係（日米欧中韓への出願）



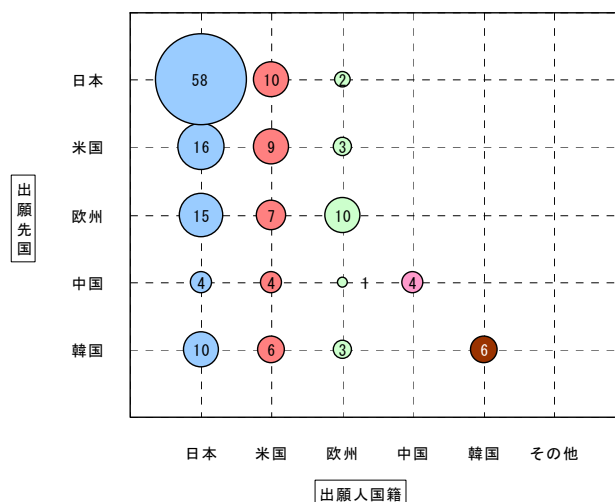
2. SiC 基板の大口径化

高パワー密度化と、高温動作を可能とする新材料（ワイドバンドギャップ半導体）として SiC を用いたパワーデバイスの開発が進展し、2001 年には SiC-SBD（ショットキーバリアダイオード）が製品化された。SiC-MOSFET についても、SiC の理論限界には到達しないまでも、既に Si デバイスを凌駕する特性の DMOS 型 SiC デバイスが得られている。2010 年の後半に入ってから、デバイスとしての出荷が開始されるなど、現在実用化への動きが加速されている。

SiC デバイスの用途としては、Si デバイスの置き換えと、優れた特性を活かした新規な応用分野の 2 通りが想定されており、Si デバイスの置き換えはもとより、新規分野への応用についても、市場確立のためには、コストの低減と量産規模の確保が不可欠と考えられている。そのための重要課題の一つとして基板の大口径化が挙げられ、研究開発テーマとして「SiC 基板の大口径化」が注目される。

図 2-21 に、SiC 基板の大口径化における出願先国別-出願人国籍別出願件数を示す。各国とも自国への出願件数が多いという傾向が見られる。中国籍、韓国籍の出願件数は小さく、両者とも自国へのみ出願している。全体的には、総数が少なく、未だこの分野のプレーヤーは十分な数でないことが分かる。今後、戦略的に強化することで、優位に立ち得る可能性がある。

図 2-21 SiC 基板の大口径化に関する出願先国別-出願人国籍別出願件数(日米欧中韓への出願)



3. GaN on Si 系パワーデバイスの開発

SiC と同様にワイドバンドギャップを持ち、パワーデバイスに適した材料である GaN デバイスの開発が、特に 2000 年以降活発化し、携帯電話基地局用パワーアンプに向けたマイクロ波デバイスが製品化されている。最近ではより大きな市場が期待される GaN 系のスイッチングパワーデバイスに開発テーマがシフトしていく傾向にある。GaN 系のデバイスにおいては、分極による高い濃度の 2 次元電子ガスを利用した大電流デバイスや、横型デバイス特有のアイソレーションの容易性を活かした集積化デバイスなどの実現に期待が寄せられている。しかし、GaN の自立基板が極端に高価であるため、GaN 系デバイスは、通常異種基板上のエピ層を活性領域にしており、GaN 系マイクロ波デバイスにおいてはエピタキシャル成長の下地に

SiC 基板が用いられることが多い。しかし、SiC と同様、市場確立のためにはコストの低減が不可欠であり、スイッチングパワーデバイスの分野では、安価な Si 基板を下地としたエピウエハを利用する GaN on Si 構造が注目されている。既に 6 インチ Si 基板を用いた GaN on Si 系インバータ IC が開発されるなど、実用化が加速されているが、GaN on SiC 系に比べて GaN on Si 系は格子定数の差が大きく、結晶成長技術を中心に多くの課題を抱えている。「GaN on Si 系パワーデバイスの開発」は注目すべき研究開発テーマと言える。

図 2-22 に、GaN on Si 系パワーデバイスの開発における出願先国別-出願人国籍別出願件数を示す。各国とも自国への出願件数が多いという傾向が見られる。注目すべきは、中国、韓国の出願である。いずれも、自国への出願件数が、他地域からの出願件数を上回っており、中国、韓国ではこの分野に集中して研究開発がなされていることが分かる。

また、GaN on Si 系パワーデバイスの開発に関連する課題と使用エピ基板の関係を図 2-23 に示す。この結果から、GaN エピタキシャル成長基板を得るための使用エピ基板として、Si が特に注目されていることが明らかである。現時点では、異種接合技術の本質的な問題である、結晶性の改善を含む基板の特性向上を課題とする出願が多数を占める。今後も、GaN on Si 系は、基板の特性向上を課題とする特許が多数出願されると見込まれるが、デバイス・モジュールの特性向上等を課題とする出願も見られる。さらに、基板を利用したデバイス構造等の技術が増えていくものと考えられる。

なお、GaN バルクについては、基板の特性向上を課題とする出願はあるものの、デバイス・モジュールの特性向上を課題とした出願はまだわずかであり、この技術については研究の緒にといったばかりと言える。

図 2-22 GaN on Si 系パワーデバイスに関する出願先国別-出願人国籍別出願件数（日米欧中韓への出願）

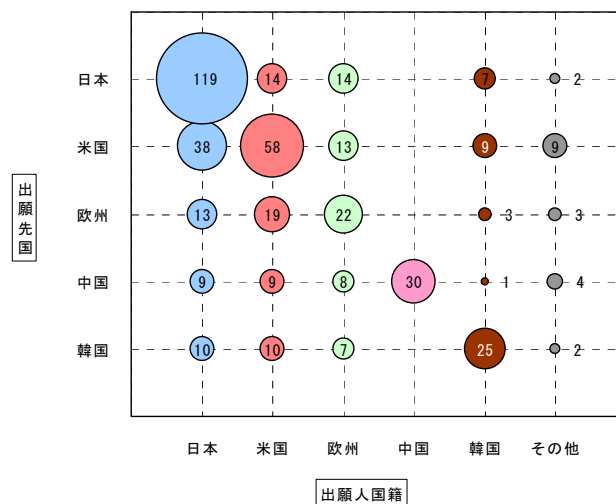
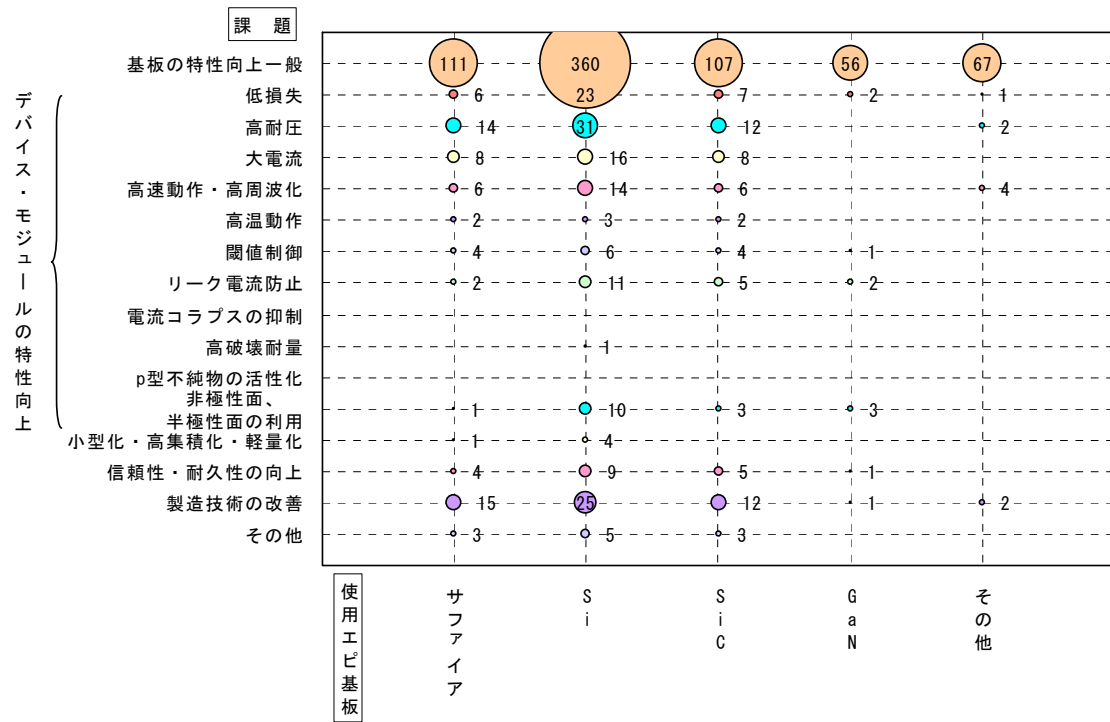


図 2-23 GaN on Si 系パワーデバイスにおける課題と使用エビ基板の関係（日米欧中韓への出願）



第3章 グリーンパワーICに関する特許出願動向（応用分野（電力変換器）関連特許）

第1節 調査対象範囲と調査方法

グリーンパワーICに関する特許出願のうちで、応用分野（電力変換器）に関連するものを検索し、全体動向調査（特許出願及び登録特許）、技術区分別動向調査及び出願人別動向調査を行った。この調査は、グリーンパワーICがどのようなアプリケーションで活用されるかを、グリーンパワーICから見たときの顧客側の情報として把握することを目的としている。調査対象範囲は、以下に示すように第2章のパワーデバイス関連特許と同様であるが、特許文献に示された抄録、あるいは特許データベースからダウンロードした抄録を基にして分類した。

調査対象とした出願先国及び使用したデータベースは第2章と同様である。

（1）調査対象期間と特許文献件数

調査対象とする特許文献は、優先権主張年を基準として2000年から2008年に出願されたものとした。検索された特許出願件数は、日本への出願について6,677件、米国、欧州、中国及び韓国への出願について合計8,893件であった。登録特許についても優先権主張年ベースで2000年から2008年に出願されたものを調査対象とした。

（2）調査対象技術範囲と技術分類

解析に用いた解析軸は第2章と同一であるので、ここでは割愛する。ただし、抄録のみを読んで分類しているため、課題と応用分野は記載されていることが多いが、解決手段については明確には判断できないものが多い。そこで第3章では課題と応用分野を中心にデータ解析した。

今回調査の対象とした出願先国別特許出願件数は表3-1のとおりである。調査した出願先国は日米欧中韓で、出願人国籍別の出願動向を中心に調査した。

表3-1 出願先国別調査対象特許出願件数

	日本への出願	米国への出願	欧州への出願	中国への出願	韓国への出願	合計
出願件数	6,677件	2,846件	2,945件	2,067件	1,035件	15,570件

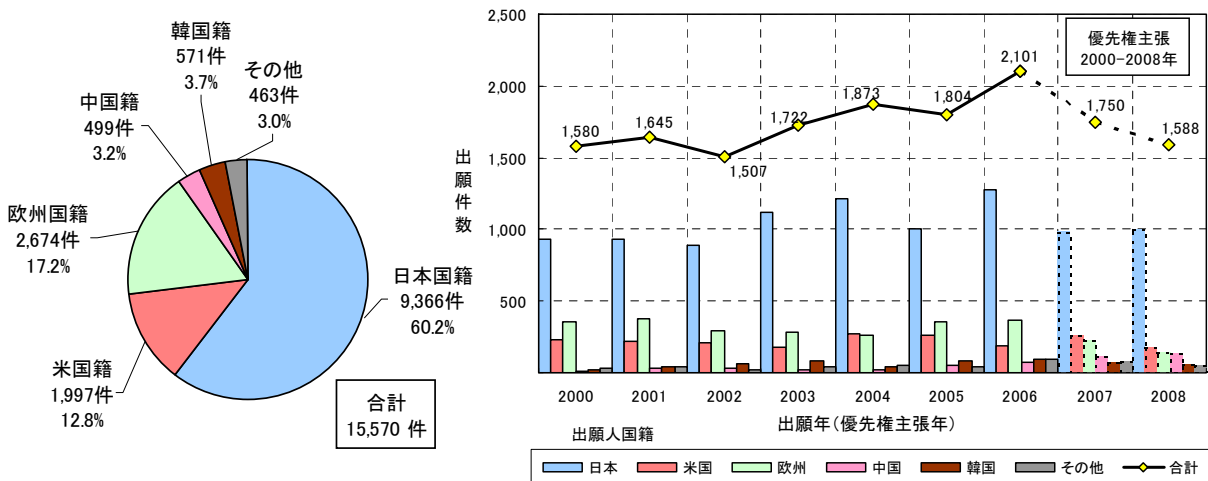
第2節 全体動向

1. 日米欧中韓への出願及び登録動向

(1) 出願人国籍別出願及び登録動向

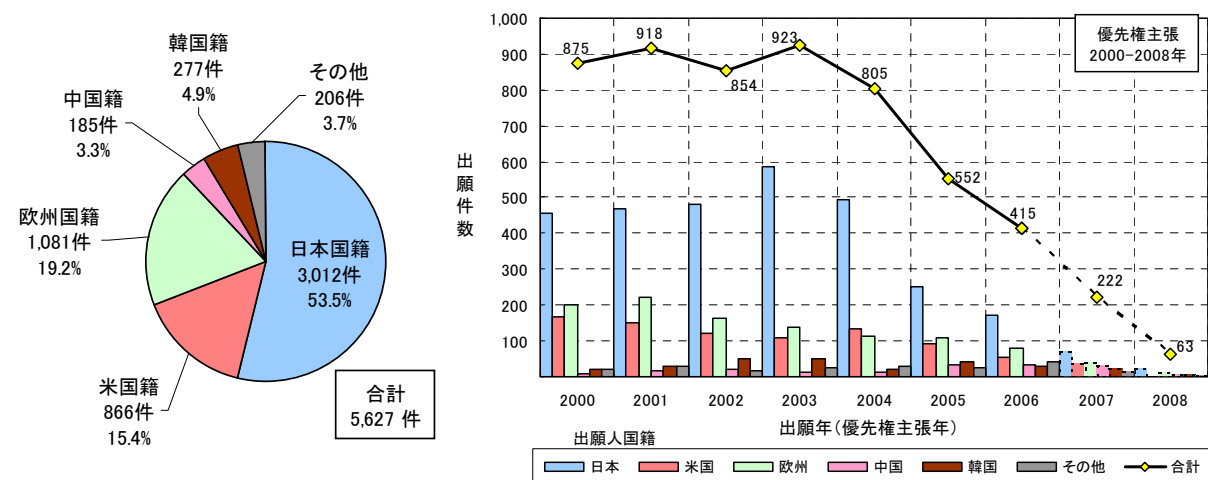
応用分野（電力変換器）関連特許について、日米欧中韓への出願における、出願人国籍別出願件数の年次推移と出願件数比率を図3-1に示す。全体で15,570件のうち、日本国籍の出願人による出願が60.2%で最も多く、次いで欧州国籍が17.2%、米国籍が12.8%、韓国籍が3.7%、中国籍が3.2%となっている。この結果、グリーンパワーICを利用するアプリケーション分野において、日本は他地域と比較して多数の技術的蓄積があることが分かる。ビジネスの視点から見ると、グリーンパワーICをシステム化するためのパートナーは日本国内に豊富にあることを示唆している。

図3-1 出願人国籍別出願件数推移及び出願件数比率（日米欧中韓への出願）



応用分野（電力変換器）関連特許について、日米欧中韓での登録における、出願人国籍別登録件数の年次推移と登録件数比率を図3-2に示す。全体で5,627件のうち、日本国籍の出願人による出願が53.5%で最も多く、次いで欧州国籍が19.2%、米国籍が15.4%、韓国籍が4.9%、中国籍が3.3%となっている。

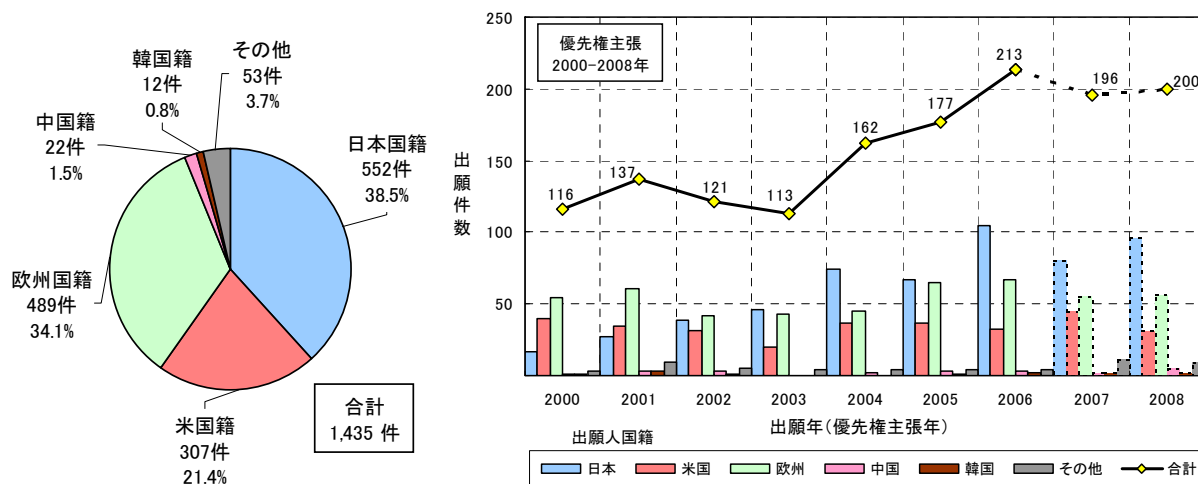
図3-2 出願人国籍別登録件数推移及び登録件数比率（日米欧中韓での登録）



(2) PCT 出願動向

特許協力条約 (PCT) に基づく国際出願は、複数の国への出願を念頭にした重要な特許出願であると考えられる。応用分野 (電力変換器) 関連特許について、PCT 出願における出願人国籍別出願件数の年次推移と出願件数比率を図 3-3 に示す。全体で 1,435 件のうち、日本国籍の出願人による出願が 38.5% で最も多く、次いで欧州国籍の 34.1%、米国籍の 21.4% となっている。中国籍、韓国籍による出願は共に少ない。

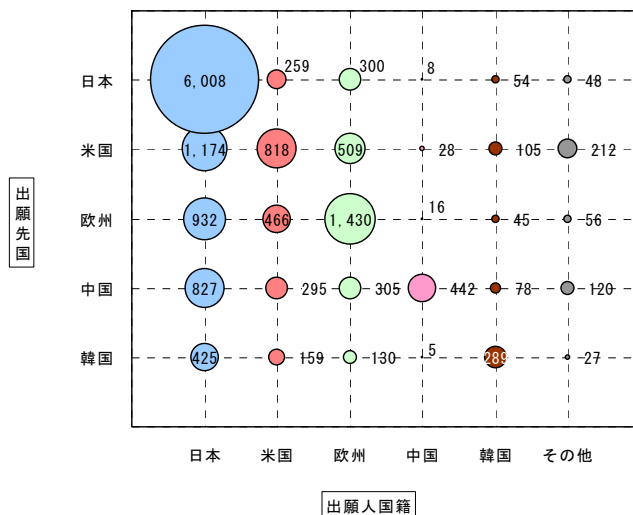
図 3-3 出願人国籍別出願件数推移及び出願件数比率 (PCT 出願)



2. 出願先国別—出願人国籍別出願件数

応用分野 (電力変換器) 関連特許について、出願先国別—出願人国籍別の出願件数を図 3-4 に示す。日本は、市場成長が見込まれる中国、韓国においては、自国の出願人よりも多く特許出願しており、将来の市場展開のための知財的基盤は整備されつつある。出願先国別では、日米中韓への出願は、日本国籍出願人による出願が最も多い。欧州へは、欧州国籍出願人による出願が最も多い。

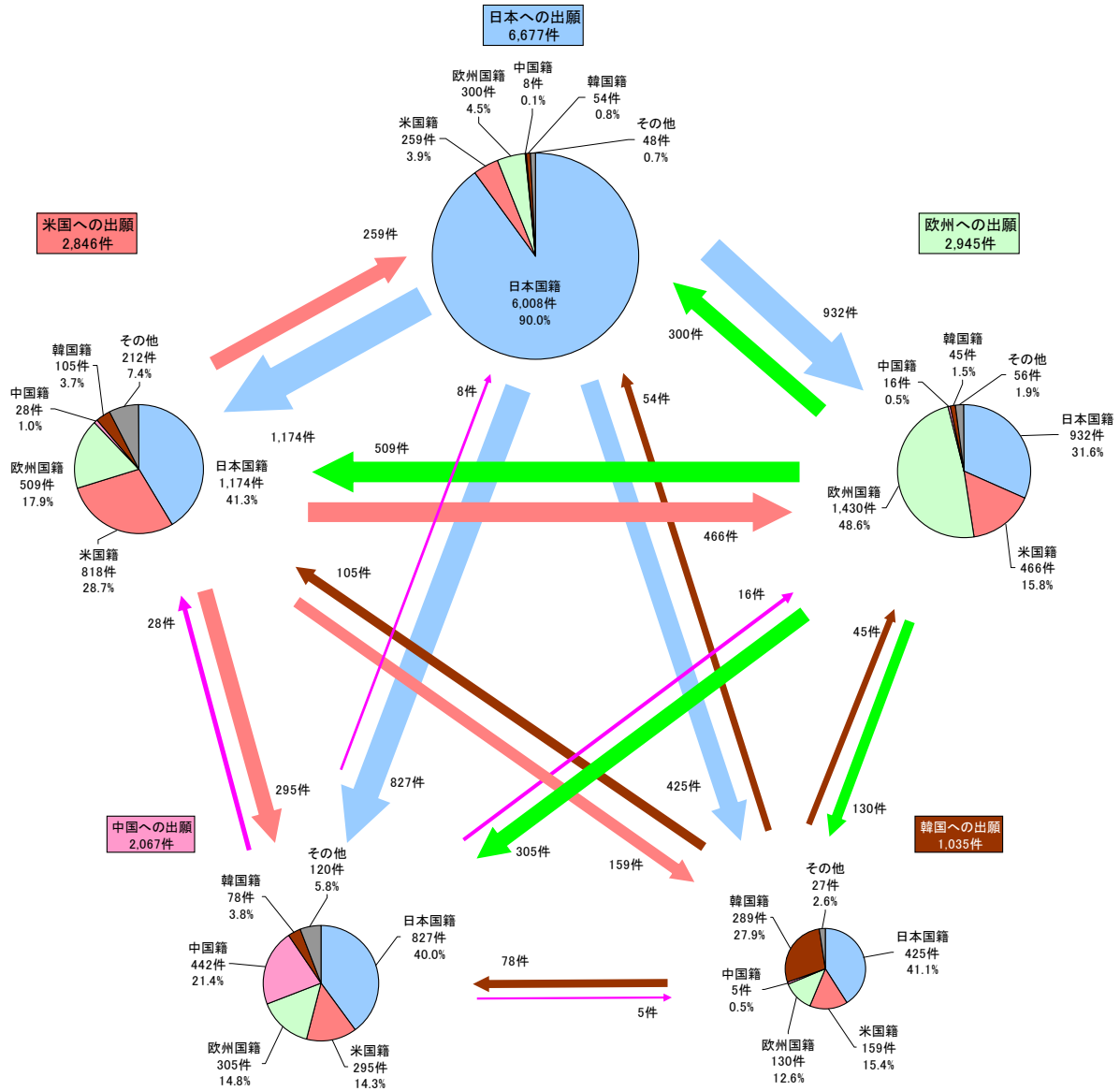
図 3-4 出願先国別—出願人国籍別出願件数



3. 出願先国別－出願人国籍別出願件数収支

応用分野（電力変換器）関連特許について、日本、米国、欧州、中国及び韓国への出願における、出願先国別の出願人国籍別出願件数収支を図 3-5 に示す。日本は米欧中韓いずれの出願先に対しても数的に優位にある。米国と欧州は拮抗している。米国も欧州も、中国、韓国に対しては共に数的に優位にある。韓国は中国に対して数的に優位にある。

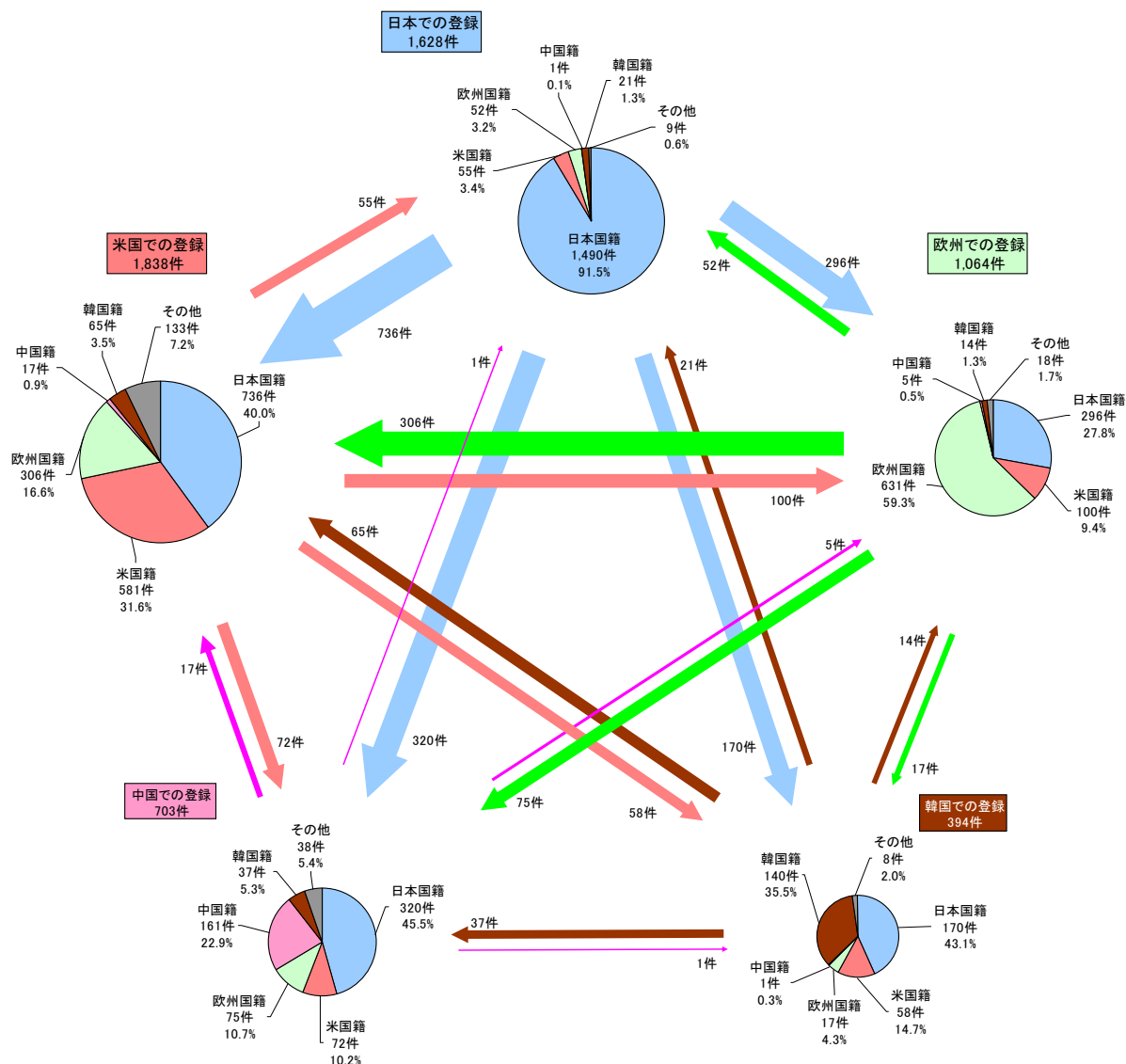
図 3-5 出願先国別－出願人国籍別出願件数収支



4. 出願先国別－出願人国籍別登録件数収支

応用分野（電力変換器）関連特許について、日本、米国、欧州、中国及び韓国での登録における、出願先国別の出願人国籍別登録件数収支を図 3-6 に示す。日本は米欧中韓いずれの登録先に対しても数的に優位にある。欧州は、米中韓のいずれに対しても優位にある。韓国は米国及び中国に対して優位にある。米国は中国に対して優位にある。

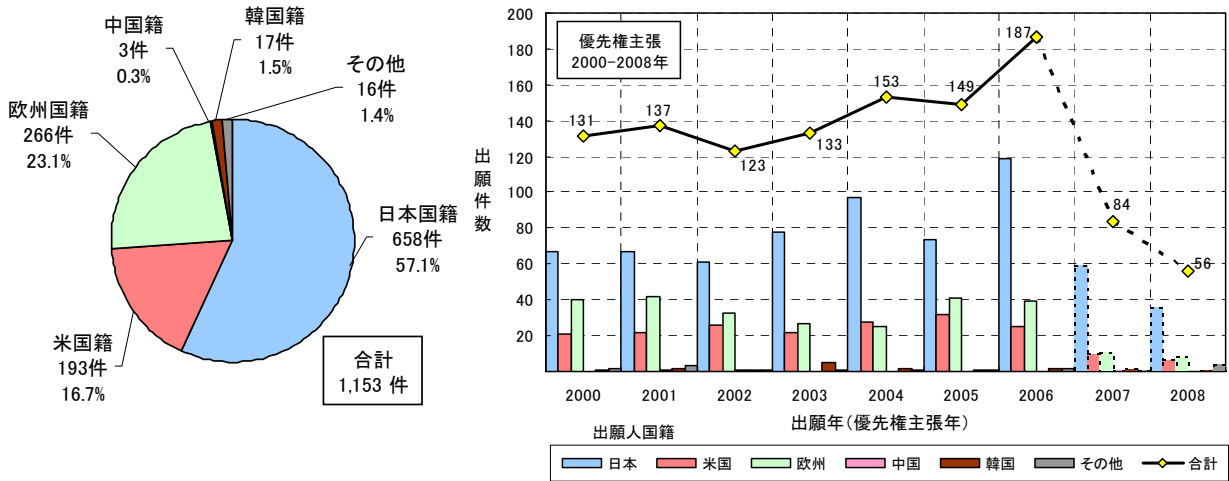
図 3-6 出願先国別－出願人国籍別登録件数収支



5. 三極コア出願件数推移及び出願件数比率

出願人国籍別の三極コア出願件数推移及び出願件数比率を図 3-7 に示す。全体で 1,153 件のうち、日本国籍出願人による出願が最も多く、57.1%を占めている。次いで、欧州国籍が 23.1%、米国籍が 16.7%、韓国籍が 1.5%となっている。出願件数は、2006 年まで増加しており、調査した期間ではどの出願年も日本国籍が最も多い。

図 3-7 出願人国籍別三極コア出願件数推移及び出願件数比率



第3節 技術区分別動向

応用分野（電力変換器）関連特許について、日米欧中韓への出願における技術区分別一出願人国籍別出願件数の結果は以下のとおりである。

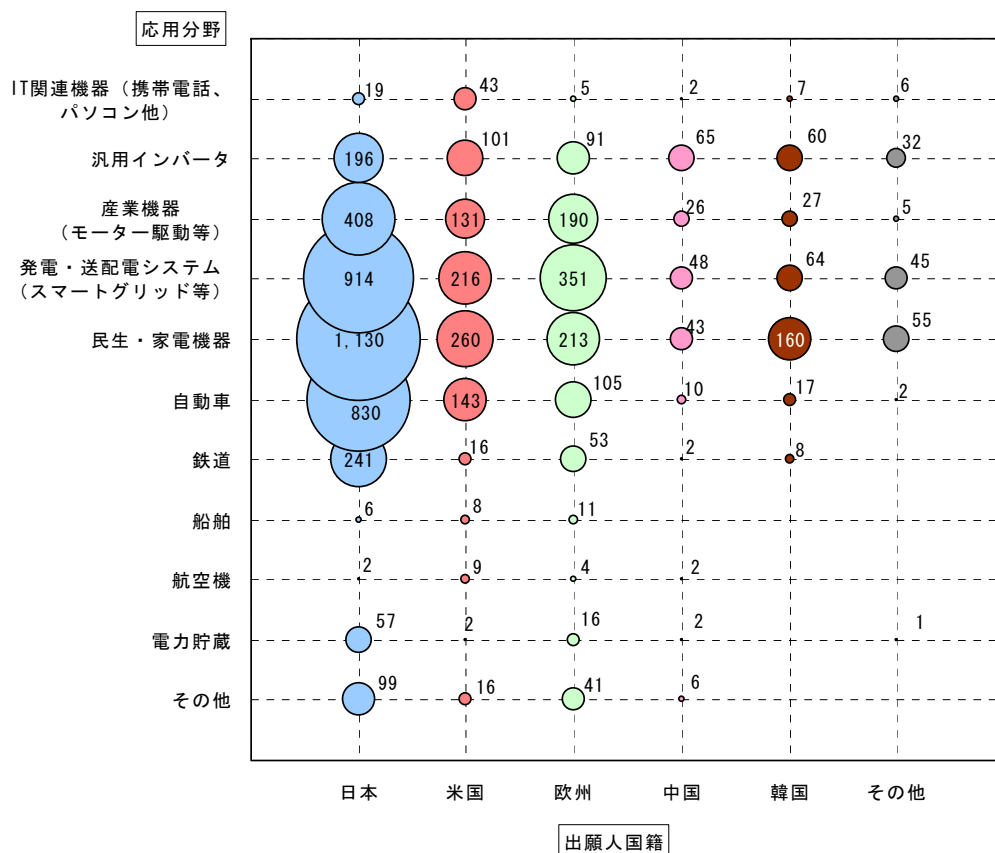
（1）技術区分（応用分野）別一出願人国籍別出願件数

応用分野（電力変換器）関連特許について、日米欧中韓への出願における、技術区分（応用分野）別一出願人国籍別出願件数を図3-8に示す。

日米韓国籍出願人からの出願は、民生・家電機器分野への出願が最も多い。欧州国籍は、発電・送配電システム（スマートグリッド等）分野への出願が最も多い。また、中国籍は、汎用インバータが最も多い。

この結果、日本の特許出願については、幅広いアプリケーションにおいて多数の出願がなされており、パワーデバイスが各アプリケーションと有機的に結合されていくと、関連する様々な業種のwin-winの関係を国内においても構築し得ることを示唆している。特に、一般の半導体デバイスには見られない発電・送配電システム、自動車、鉄道等のインフラ系のアプリケーションの数が多く、グリーンパワーICのビジネスを展開する上でのユニークな特徴を示唆している。

図3-8 技術区分（応用分野）別一出願人国籍別出願件数（日米欧中韓への出願）

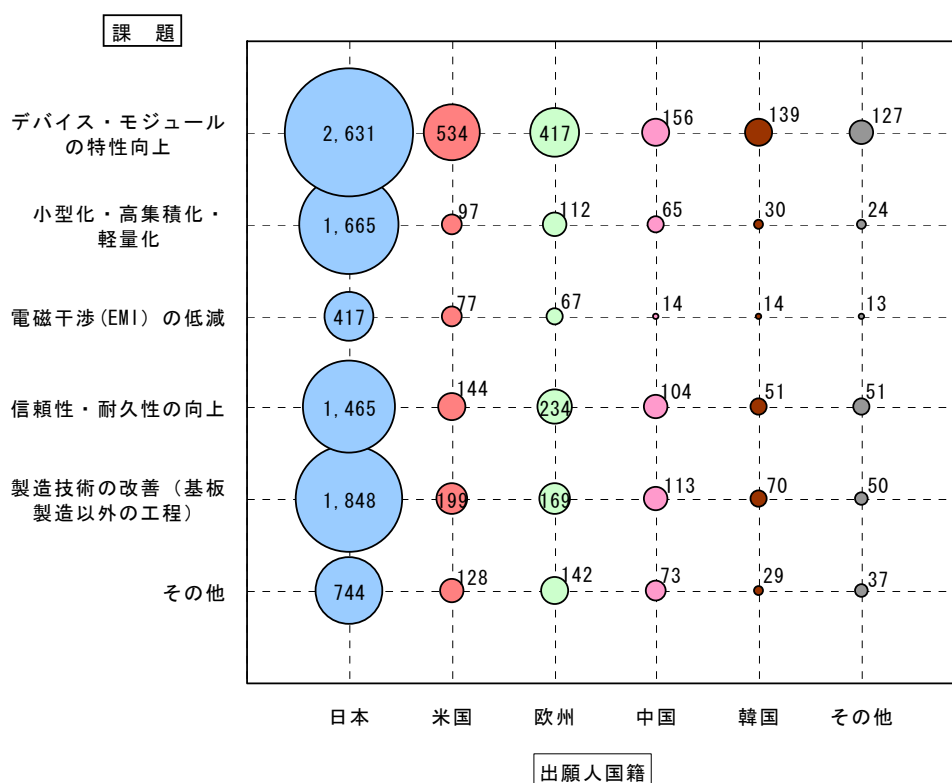


(2) 技術区分（課題）別一出願人国籍別出願件数

応用分野（電力変換器）関連特許について、日米欧中韓への出願における、技術区分（課題）別一出願人国籍別出願件数を図 3-9 に示す。

日米欧中韓いずれの国籍の出願もデバイス・モジュールの特性向上を課題とする出願が最も多い。

図 3-9 技術区分（課題）別一出願人国籍別出願件数（日米欧中韓への出願）



(3) 技術区分（課題）別一出願人国籍別出願件数推移及び出願件数比率

応用分野（電力変換器）関連特許で、技術区分（課題）の大分類ごとに、出願人国籍別出願件数推移及び出願件数比率を図 3-10 に示す。

デバイス・モジュールの特性向上については、全体 4,004 件のうち、日本国籍の出願人による出願が最も多く 65.7%である。次いで、米国籍が 13.3%、欧州国籍が 10.4%、中国籍が 3.9%、韓国籍が 3.5%となっている。出願件数は、2004 年と 2006 年とにいずれも 550 件台のピークがあるが、後は大体 450 件平均で推移している。

小型化・高集積化・軽量化については、全体 1,993 件のうち、日本国籍の出願人による出願が最も多く 83.5%である。次いで、欧州国籍が 5.6%、米国籍が 4.9%、中国籍が 3.3%、韓国籍が 1.5%となっている。特に、他の課題に比べて、日本国籍の出願人の割合が高いことが目立つ。出願件数は、2000 年の 205 件から緩やかに増加して 2006 年に 281 件となっている。

電磁干渉（EMI）の低減については、全体 602 件のうち、日本国籍の出願人による出願が最も多く 69.3%である。次いで、米国籍が 12.8%、欧州国籍が 11.1%、中国籍が 2.3%、韓

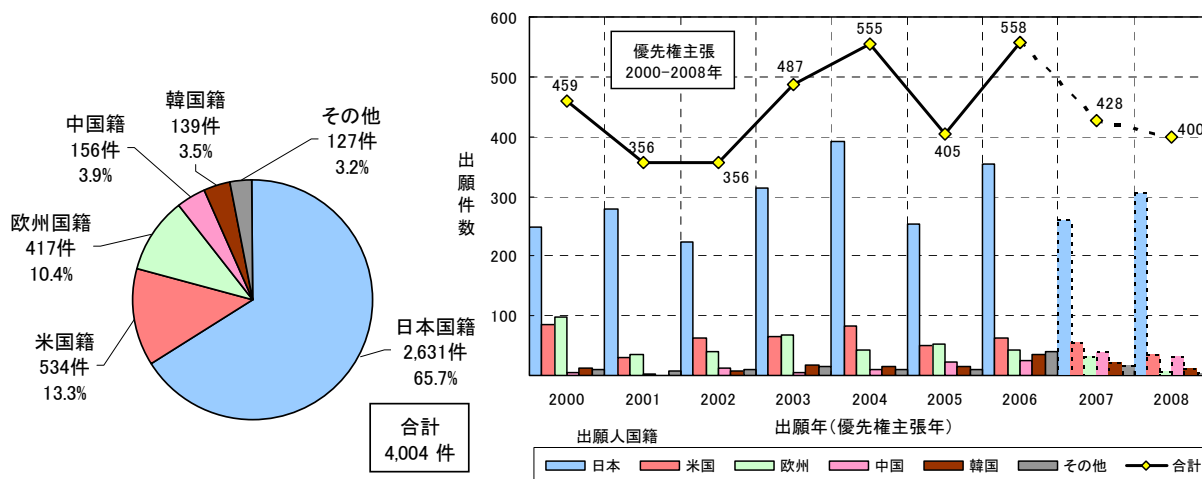
国籍が 2.3%となっている。出願件数は、2006 年が 123 件と多いが、他は 70 件程度を中心に増減を繰り返している。

信頼性・耐久性の向上については、全体 2,049 件のうち、日本国籍の出願人による出願が最も多く 71.5%である。次いで、欧州国籍が 11.4%、米国籍が 7.0%、中国籍が 5.1%、韓国籍が 2.5%となっている。出願件数は、2006 年が 416 件が多いが、他は 200 件程度を中心に上下を繰り返し推移している。

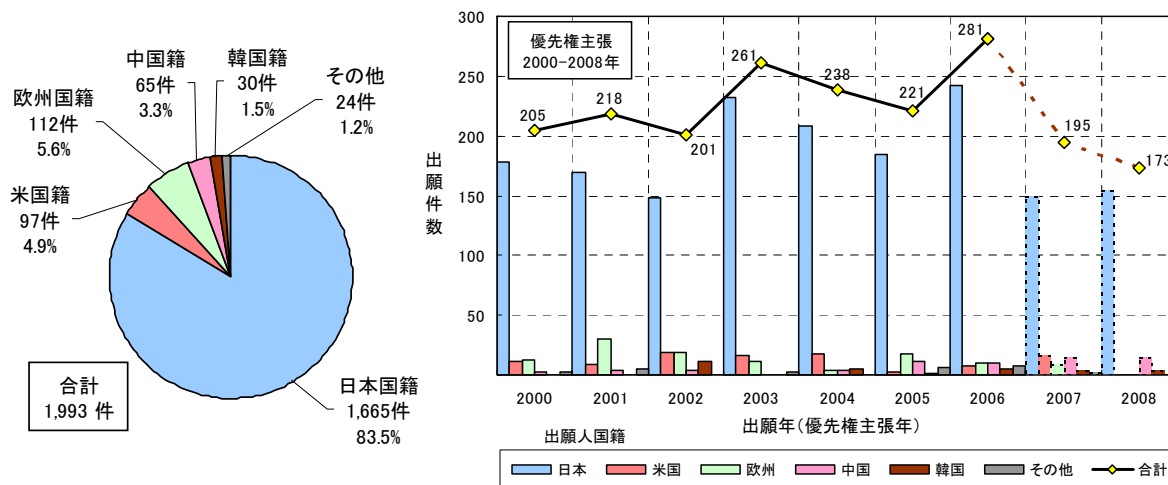
製造技術の改善（基板製造以外の工程）については、全体 2,449 件のうち、日本国籍の出願人による出願が最も多く 75.5%である。次いで、米国籍が 8.1%、欧州国籍が 6.9%、中国籍が 4.6%、韓国籍が 2.9%となっている。出願件数は、2006 年が 444 件が多いが、他は 250 件程度を中心にほぼ安定に推移している。

図 3-10 技術区分（課題）別—出願人国籍別出願件数推移及び出願件数比率（日米欧中韓への出願）

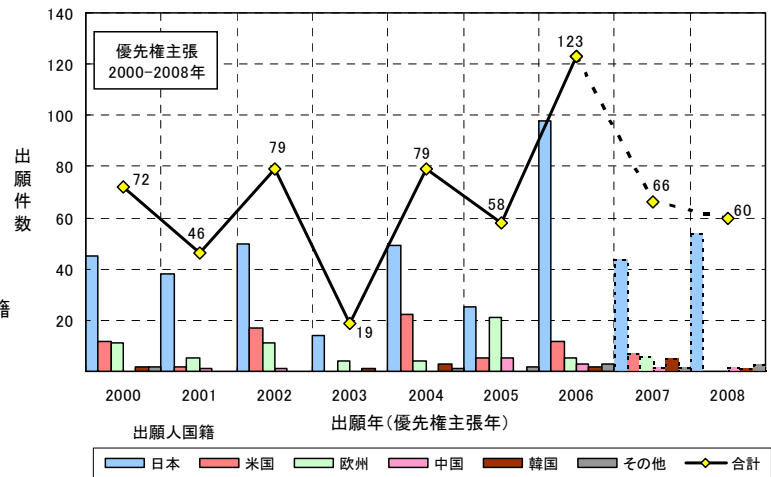
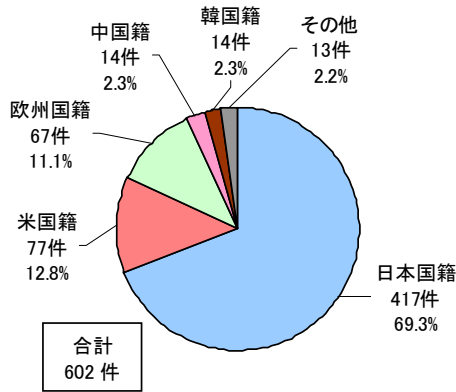
a) デバイス・モジュールの特性向上



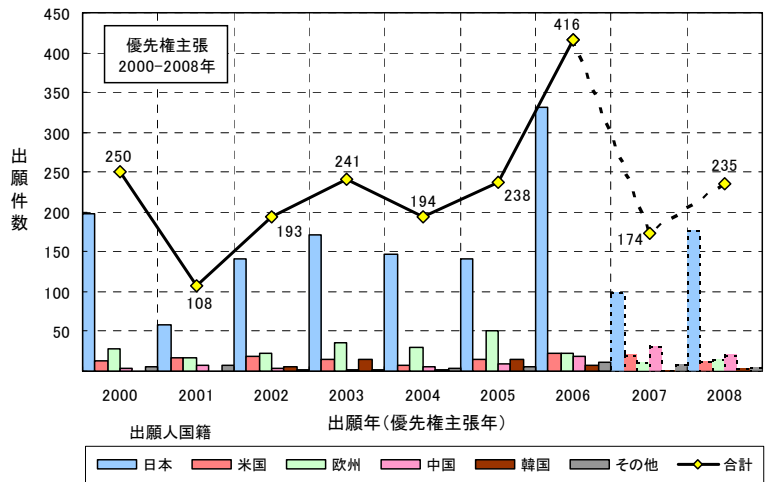
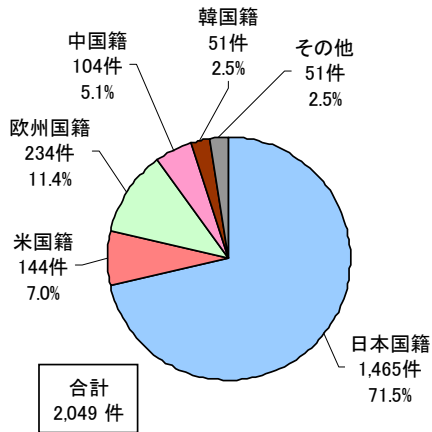
b) 小型化・高集積化・軽量化



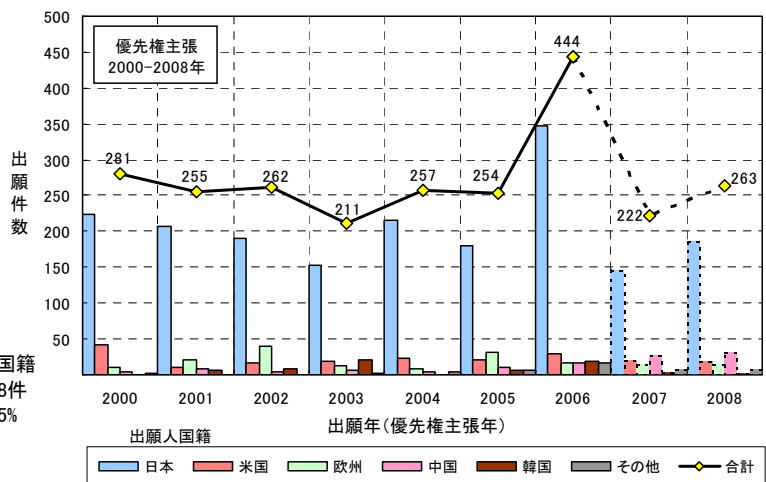
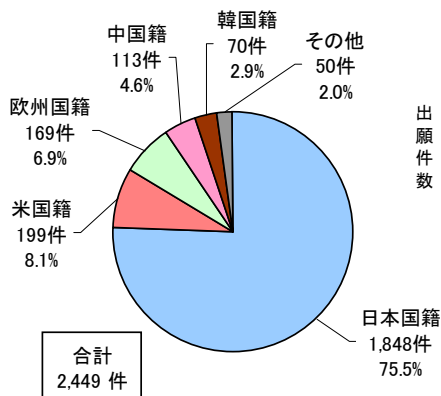
c) 電磁干渉 (EMI) の低減



d) 信頼性・耐久性の向上



e) 製造技術の改善 (基板製造以外の工程)



第4章 グリーンパワーICに関する研究開発動向

第1節 調査方法と対象とした論文

グリーンパワーICに関する論文発表動向から見た研究開発動向について、論文データベース（JSTPlus）を用いて検索し、全体発表動向調査、技術区分別動向調査、注目研究開発テーマの動向調査、研究者所属機関・研究者別動向調査及び重要論文の変遷に関する調査を行った。論文の検索に用いた検索式を資料編の資料1に示す。対象とした論文の範囲は、2000年～2009年に発行された論文誌に掲載されたものとした。

検索された論文（原著論文、抄録有）は7,211件であった。このうち、パワーデバイスに関する論文を1,025件抽出し、それらについては原文献のコピーを入手して、その内容を基に特許出願動向調査と同様の分析軸で分類した。残りの論文については、日本語訳した抄録を基にして分類した。その結果、発光デバイスに関する論文などの調査対象外の論文（いわゆるノイズ）が含まれており、調査対象とする論文は、原文献にて解析したものでは910件（88.8%）、抄録にて解析したものでは4,349件（70.3%）であった。

検索に使用したデータベースが、日本の雑誌を多く収録しているため、研究者所属機関国籍別に集計すると、日本国籍が有利になる可能性がある。そこで、論文発表動向を同じ条件で国際的に比較するために、検索された論文を掲載した論文誌の中から、和雑誌と明らかに特定の企業・機関の論文を掲載している雑誌を除いたものを「国際的な主要論文誌」と定め、国際比較を行う際にはこれらに掲載された論文に限定して比較することとした。国際的な主要論文誌は569誌である。国際的な主要論文誌は、主として外国で出版された英文の論文誌であるが、英文の論文も掲載している日本の論文誌も選定されている。国際的な主要論文誌に掲載された論文は5,790件（ノイズ落とし前）で、全体の80.3%を占めている。なお、研究者所属機関別ランキングや研究者別ランキングの調査においては、全論文誌で比較することを原則とし、一部は両方の範囲で集計した。また、論文の研究者所属機関の国籍は筆頭著者の所属する研究機関が所在する都市の国籍とした。研究機関及び研究者のランキングにおいて、共同研究の場合はそれぞれ別々にカウントした。研究機関の特定に当たり、ファンドをベースに大学で研究されたもので両方が記載される場合があるが、大学名を優先することとした。

解析対象とした論文の件数（ノイズ除去後）を表4-1に示す。

表4-1 解析対象とした論文件数

	全論文誌	国際的な主要誌
パワーデバイスに関する論文	910	499
その他の論文	4,349	3,600

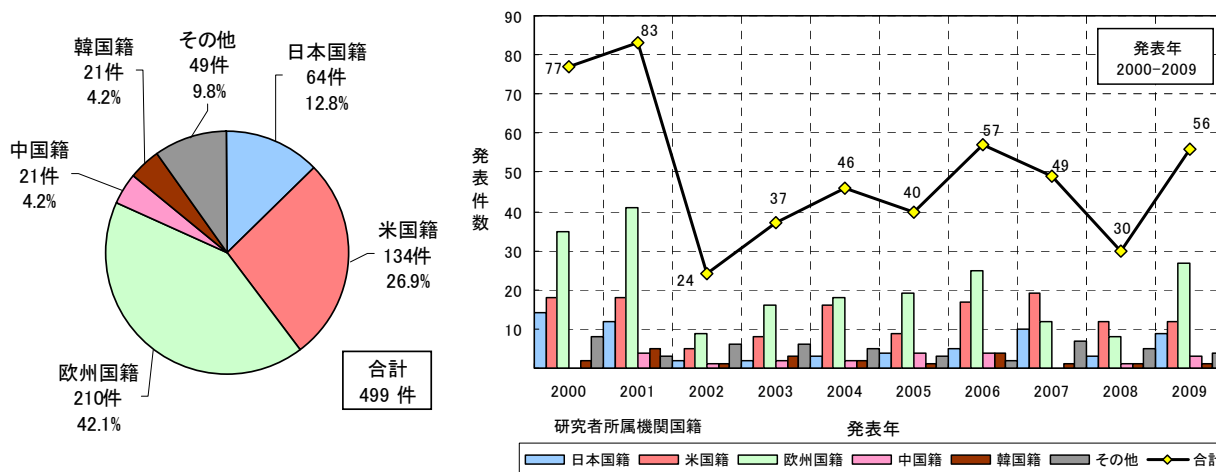
第2節 全体動向

国際的な主要論文誌に限定した場合について、研究者所属機関国籍別論文発表件数推移及び論文発表件数比率を図4-1に示す。パワーデバイスに関する論文では欧州国籍が210件で42.1%を占めており最も多い。次いで米国籍が134件で26.9%となっており、日本国籍は64件で12.8%である。その他の論文では、欧州国籍が1,077件で29.9%を占めており最も多く、次いで米国籍が964件で26.8%、日本国籍は497件で13.8%となっている。パワーデバイスに関する論文で2001年に比べて2002年には3分の1以下に大きく減少した要因については、ITバブルの崩壊や、2001年9月の米国における同時多発テロの影響が考えられる。

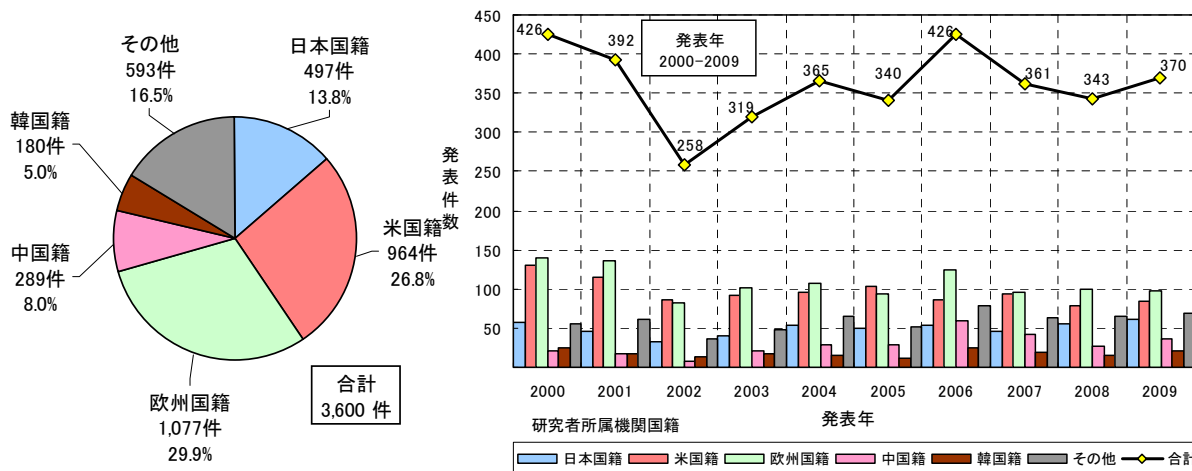
特許と比べ日本国籍の割合が小さい。論文発表は大学等の研究機関が主役となることから、日本国内においては、グリーンパワーICに関連する研究者の数が他地域に比べ相対的に少ないことを示唆している。他方、欧州では特許と比べ割合が大きい。論文は主に基礎的な研究成果を対象としていることを考慮すると、欧州においては基礎的な研究が充実していることを示唆しており、日本企業が共同研究のパートナー等に適した相手を探す際には欧州が有力な地域となる。

図4-1 研究者所属機関国籍別論文発表件数推移及び論文発表件数比率（国際的な主要論文誌）

a) パワーデバイスに関する論文



b) その他の論文



第3節 技術区分別動向

論文（国際的な主要論文誌）における技術区分別—研究者所属機関国籍別論文発表件数の結果は以下のとおりである。

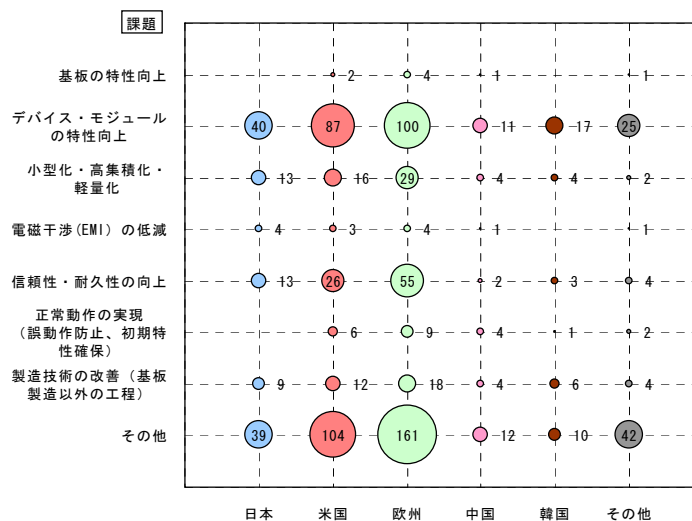
（1）技術区分（課題）別—研究者所属機関国籍別論文発表件数

研究者所属機関の国籍ごとに、技術区分別（課題）の論文発表件数を図4-2に示す。課題は、パワーデバイスに関する論文では、その他の課題以外では、デバイス・モジュールの特性向上が多い。その他の論文ではそれらに加えて、基板の特性向上が多く、この傾向は国籍間の差異は少ない。

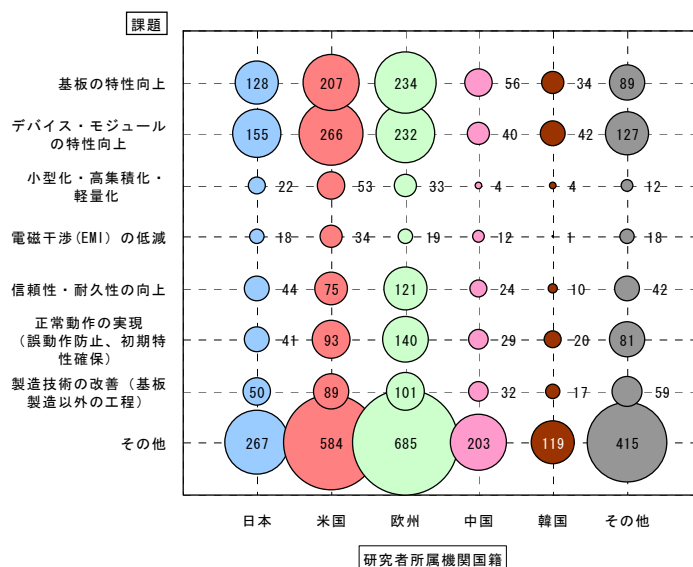
なお、論文では必ずしも課題を解決することを述べたものとは限らないため、例えば、メカニズムの解明や実験結果報告といったものがあるが、それらをその他の課題として分類している。そのため、結果的にその他の課題が最も多くなっている。

図4-2 技術区分（課題）別—研究者所属機関国籍別論文発表件数（国際的な主要論文誌）

a) パワーデバイスに関する論文



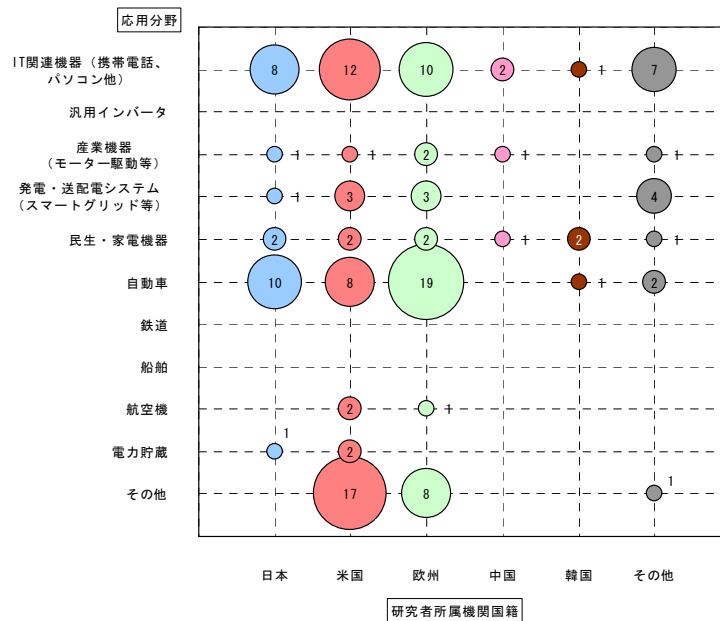
b) その他の論文



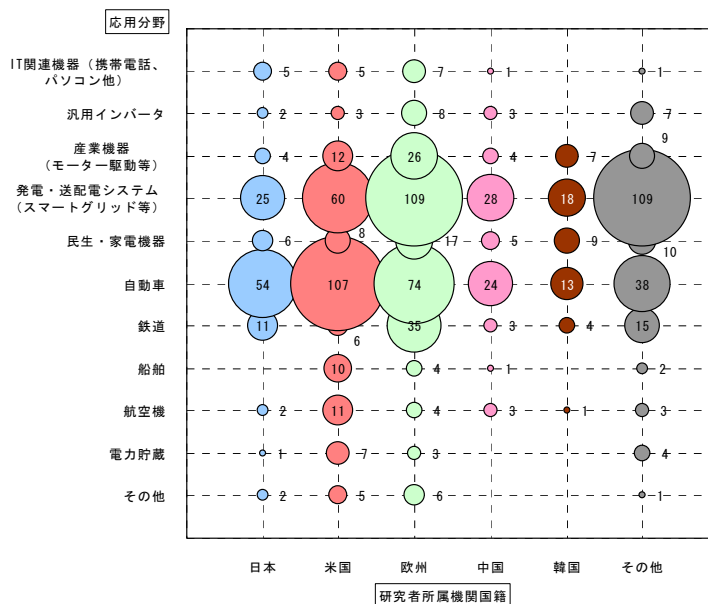
(2) 技術区分（応用分野）別—研究者所属機関国籍別論文発表件数

応用分野ごとの研究者所属機関国籍別の論文発表件数を図 4-3 に示す。日米欧から発表されたパワーデバイスに関する論文は、応用分野として自動車と IT 関連機器を想定しているものが多い。その他の論文では、自動車と発電・送配電システムに関する論文が多い。

図 4-3 技術区分（応用分野）別—研究者所属機関国籍別論文発表件数（国際的な主要論文誌）
a) パワーデバイスに関する論文



b) その他の論文

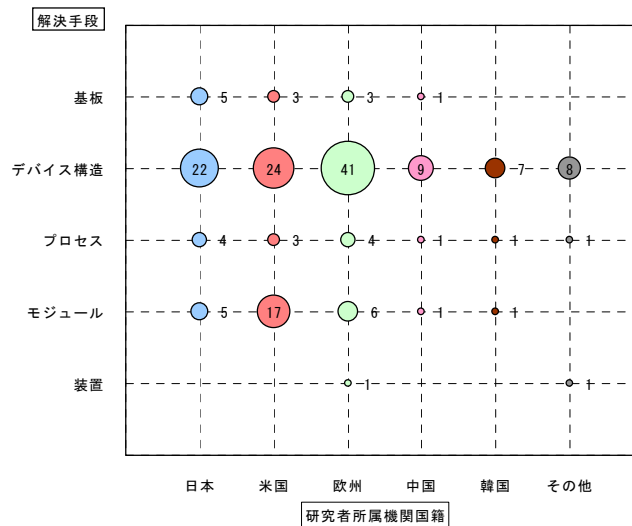


(3) 技術区分（解決手段）別—研究者所属機関国籍別論文発表件数

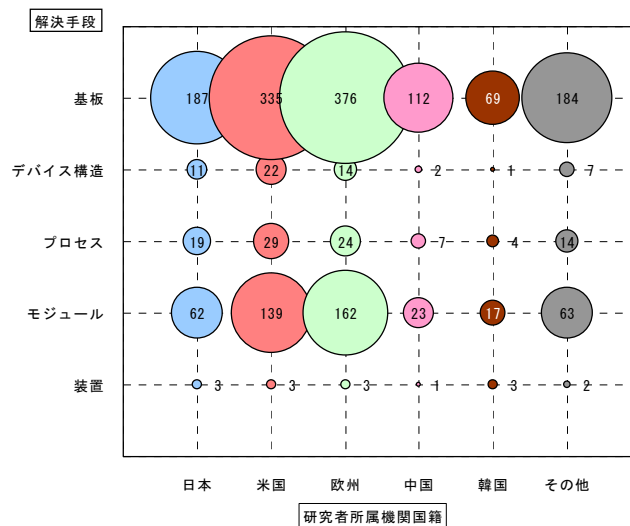
解決手段ごとの研究者所属機関国籍別の論文発表件数を図 4-4 に示す。パワーデバイスに関する論文はデバイス構造に関する論文が最も多い。米国ではモジュールに関する論文が他の国籍と比較して多くなっている。その他の論文では、どの国籍においても基板に関する論文が最も多く、次いでモジュールに関する論文が多くなっている。

図 4-4 技術区分（解決手段）別—研究者所属機関国籍別論文発表件数（国際的な主要論文誌）

a) パワーデバイスに関する論文



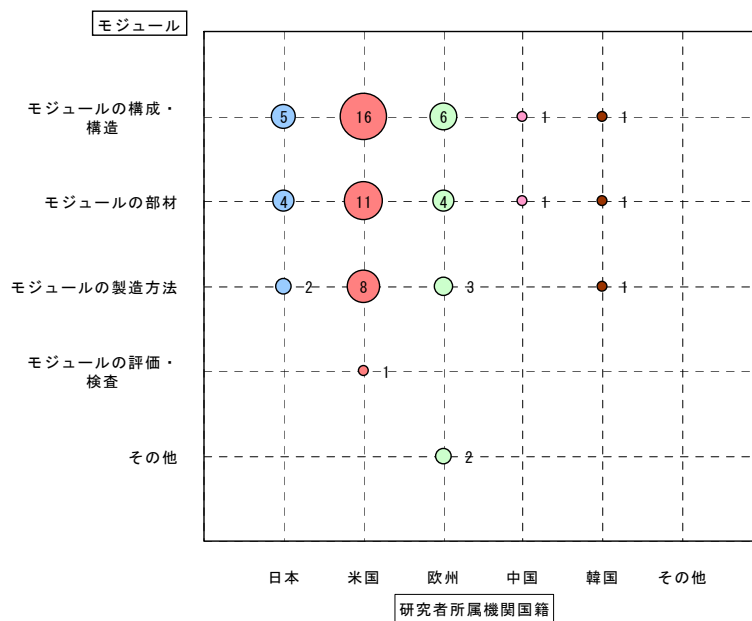
b) その他の論文



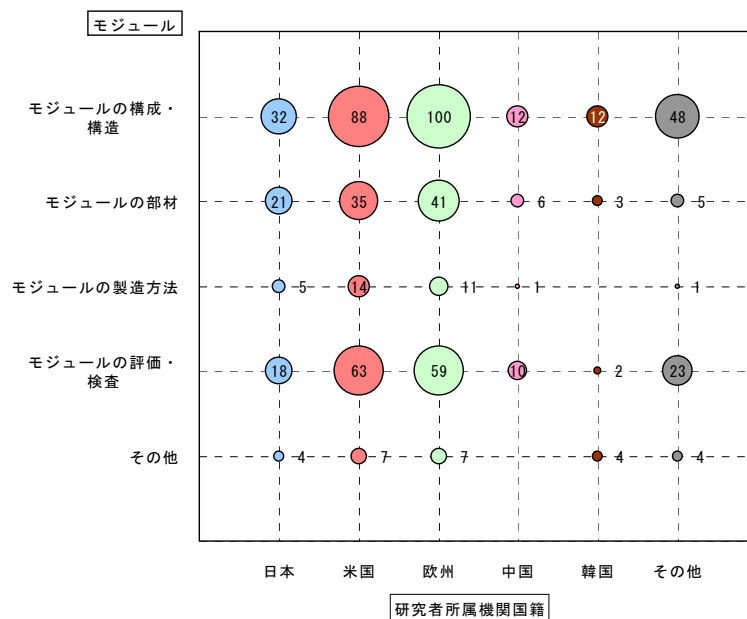
解決手段（モジュール）ごとの研究者所属機関国籍別の論文発表件数を図 4-5 に示す。パワーデバイスに関する論文では、モジュールの構成・構造、モジュールの部材、モジュールの製造方法に関する論文が発表されており、日米欧国籍ともモジュールの構成・構造がやや多い。その他の論文では、日米欧国籍ともモジュールの構成・構造が最も多く、次いでモジュールの評価・検査に関する論文が多くなっている。

図 4-5 技術区分（解決手段－モジュール）別－研究者所属機関国籍別論文発表件数（国際的な主要論文誌）

a) パワーデバイスに関する論文



b) その他の論文



第5章 グリーンパワーICに関する政策動向

第1節 日本の産業政策

1. 各種の産業政策

グリーンパワーIC 関連技術は、第三期科学技術基本計画（2006～2010 年度）では、情報通信分野とナノテクノロジー・材料分野に記載されている。その通信分野では、重要な研究開発課題の詳細として、非シリコンデバイスの一つとしてパワーデバイスを挙げ、「高効率インバータの開発」と「高効率スイッチング電源の開発」を進めるとしている。さらにナノテクノロジー・材料分野では、重要な研究開発課題の中の研究開発目標の一つとして、「2011年までに、シリコントランジスタにとって代わる、炭化シリコンのナノサイズ成膜技術を活用したパワーデバイスにより高効率インバータを実現し、また、炭化シリコンの上にナノサイズの化合物半導体の薄膜を形成することでシリコン半導体の間接遷移型半導体とは動作原理の全く異なる直接遷移型半導体を実現し、350GHz 級の高周波デバイスを実現する」としている。

第四期科学技術基本計画（2011～2015 年度）でも、省エネ化のため、超低電圧デバイスと高効率パワーエレクトロニクスの研究開発を経済産業省が行うことが盛り込まれる見込みであり、2020年までにパワー半導体の電力損失を1/100にすることを目標としている⁵。

経済産業省が2009年4月に策定した七つのイノベーションプログラムにおいて、「ITイノベーションプログラム」と「エネルギーイノベーションプログラム」の中に「グリーンITプロジェクト」が含まれている。また「ナノテク・部材イノベーションプログラム」と「ITイノベーションプログラム」で「低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト」が進められている。また「エネルギーイノベーションプログラム」・「ナノテク・部材イノベーションプログラム」・「ITイノベーションプログラム」として、「窒化物系化合物半導体基板・エピタキシャル成長技術の開発」が進められている⁶。

経済産業省は2008年3月に「Cool Earth—エネルギー革新技術計画」を発表した。その中で、2050年までに世界全体の温室効果ガス排出量を半減するために、21の技術が挙げられており、パワーエレクトロニクスは部門横断技術の一つになっている。開発すべき技術、実用化時期については、SiC系、GaN系パワーデバイスでは2015年頃の実用化、ダイヤモンド系パワーデバイスでは2020年頃の実用化を目指すとしている⁷。

2009年6月に産業技術総合研究所（以下、産総研）、物質・材料研究機構及び筑波大学が中核となって、「つくばイノベーションアリーナ」が形成された⁸。「つくばイノベーションアリーナ」では、世界的なナノテク研究拠点の構築を目指すために、経済産業省と文部科学省が連携して、ナノテクの産業化と人材育成を一体的に推進している。六つのコア研究領域があり、パワーエレクトロニクスはその一つである。

⁵ <http://www8.cao.go.jp/cstp/siryo/haihu91/haihu-si91.html>

⁶ <http://www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g80516a04j.pdf>

⁷ http://www.enecho.meti.go.jp/policy/coolearth_energy/coolearth-gaiyou.pdf

⁸ <http://tia-nano.jp/>

産総研では2010年4月に「先進パワーエレクトロニクス研究センター」を設立した⁹。ここでは、電力エネルギーにおける省エネルギー技術と新エネルギーの技術導入のための高効率電力変換技術等、電力エネルギー制御・有効利用のために、SiCやGaN等のワイドバンドギャップ半導体による、パワースイッチングデバイス及び電力変換器の技術確立と実証を目的としている。

上記のほかに、民間主導の活動として、「技術研究組合次世代パワーエレクトロニクス技術開発機構（FUPET）」と「SiCアライアンス」がある。

FUPETは、2009年8月に9機関で設立され、NEDOから「次世代パワーエレクトロニクス技術開発（グリーンITプロジェクト）」の研究を受託して活動を開始した。2010年5月には、デバイスメーカー中心の組合であったFUPETが、材料メーカーや自動車メーカー等と共同で、経済産業省の「低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト」に応募し、採択されたことを契機に、これら共同提案企業を組合員に加え、川上産業から川下産業に至るまでの企業、大学、公的研究機関が結集する25機関の組合に拡大された。

これに加えて2010年5月に、拡大FUPET組合員のみならず、SiCに関連する企業や大学など産学官が幅広く集結するオール・ジャパンの枠組みとして、SiCアライアンスが発足した¹⁰。このアライアンスでは、世界トップを目指した先端的研究により、内閣府が進める「最先端研究開発支援プログラム」における超高耐圧SiCデバイス開発を目指したプロジェクトや、応用物理学会の「SiC及び関連ワイドバンドギャップ半導体研究会」の活動を含め、産官学それぞれが行う全てのSiC研究開発を俯瞰し、相互連携を図ることを目的としている。

2. 技術戦略マップ2010との対応関係

経済産業省が2010年5月にまとめた「技術戦略マップ2010¹¹」において、パワーデバイスが関連する分野としては、情報通信における①半導体分野及び④ネットワーク分野、ナノテクノロジー・部材の②部材分野及び④グリーン・サステイナブルケミストリー分野、並びに、エネルギーの①エネルギー分野がある。これらのパワーエレクトロニクスに関係する部分に記載された導入シナリオ、技術マップ及び技術ロードマップから、この分野の現状と今後の研究開発目標などを調査した。

技術戦略マップ2010の改訂の主なポイントの一つとして、グリーンイノベーションへの対応がある。これはグリーンイノベーションに関わる昨今の動向を踏まえ、エネルギー分野において、技術ロードマップの中から主要な18の技術分野を抽出し、技術内容や研究開発動向を掘り下げて解説している。

情報通信における①半導体分野では、半導体を情報家電、自動車、産業機械、医療器械等、様々な製品の付加価値を高める非常に重要な産業のコア部品と位置付け、2010年から2019年までの10年間の技術ロードマップを作成している。

技術マップにおいては、パワーデバイスはnon-CMOS技術のディスクリートデバイスに位置付けられ、Si系パワーデバイスとワイドバンドギャップ半導体パワーデバイスにカテゴリ

⁹ <http://unit.aist.go.jp/eserl/ci/index.html>

¹⁰ <http://www.sicalliance.jp/>

¹¹ http://www.meti.go.jp/policy/economy/gijutsu_kakushin/kenkyu_kaihatu/index.html#shokai

一分けされている。最重要課題としてはSi系を超える超高速、大パワー密度、低消費電力、新機能等を有することを期待されている。

技術ロードマップでは、SiC系パワーデバイスのMOSFETの定格電流は2012年に30A@1.2kV、2016年に100A@1.2kVを目標とし、重要課題は大容量化、高耐圧化としている。

さらに、情報通信の半導体分野以外では、④ネットワーク分野で超高周波高出力デバイスとして一部触れられている。ここではGaN on SiCが2009年、GaN on Siが2010年、ダイヤモンドが2016年頃とされている。

情報通信の半導体分野のパワーデバイスの技術ロードマップを図5-1に示す。

ナノテクノロジー・部材の②部材分野では、ニューガラス分野にパワーデバイスがあり、技術マップでは情報家電分野の半導体関連部材にパワーデバイス部材がある。求められる機能を発現する高度部材として、窒化物半導体/SiC/ダイヤモンド/CNTパワーデバイス等がある。技術ロードマップでは、結晶成長で、SiC、GaN、ダイヤモンド等が挙げられている。SiC基板転位密度は、2010年に1000/cm²、2015年に100/cm²がスペックとされている。

ナノテクノロジー・部材の④グリーン・サステイナブルケミストリー分野では、IT向け化学品(電子材料)としてSiC、GaN等のワイドバンドギャップ半導体材料が研究課題として挙げられている。

図5-1 情報通信の半導体分野のパワーデバイスの技術ロードマップ

分野構造			評価パラメータ	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019			
大項目	中項目	小項目	重要課題	DRAM ハーフピッチ(nm)	45	40	36	32	28	25	22.5	20	17.9	15.9		
				Flash メモリハーフピッチ(nm)	32	28	25	23	20	18	15.9	14.2	12.6	11.3		
				ロジック M1 ハーフピッチ(nm)	45	38	32	27	24	21	18.9	16.9	15	13.4		
		デバイス	SiC パワー デバイス	ウエハ	口径(インチ)	6					8					
				IGBTの低損失化 (薄ウエハ化)	厚さ(μm)	85				65						
				MOSFETの低損失化 (SJ型)	オン抵抗(mΩcm ²)						5@600 40@1200				2.5@600 15@1200	
			SiC パワー デバイス	ウエハ	口径(インチ)	4						5				
					転位密度(1/cm ²)	<10000						5000				1000
					チャネル移動度 cm ² /Vs	50									100	
					ゲート酸化膜信頼性 寿命(年)@温度(°C)	30@150									30@250	
					低損失化・高耐圧化	MOSFET オン抵抗 (mΩcm ²)@耐圧(V)	10@1200	5@1200								3@1200
						SBD Vf(V)@耐圧(V) (200A/cm ²)	1.4@1200									2.2@3000
					大容量化・高耐圧化	MOSFET 電流(A) @耐圧(V)	10@1200	30@600		60@600		100@600	100@ 1200			
				IGBT 電流(A) @耐圧(V)			30@1200		60@1200		20@ >100000				100@ >100000	
			材料・プロセス・ デバイス技術	材料・デバイス構造		SiC-SBD						SiC-IGBT				
						SiC-MOSFET										
		GaN パワー デバイス	ウエハ	口径(インチ)									4			
				転位密度(1/cm ²)									10000			
			ヘテロエピ基板	GaN/Si 基板口径 (インチ)									8			
			低損失	スイッチングデバイス オン抵抗(mΩcm ²)@ 耐圧(V)									1@600			
材料・プロセス・ デバイス技術	材料・デバイス構造			GaN・スイッチングHEMT:ノーマリON							ノーマリOFF					
回路・制 御・実装 技術	高出力パワー密度	変換器出力パワー 密度(W/cm ³)	10		15		20			30						
	回路・制御技術	回路・制御技術	ワイドバンドギャップ半導体デバイス特性に適した回路・制御技術													
	実装技術	高温実装									デバイス温度 225°C動作実装技術					

出典：技術戦略マップ2010 技術ロードマップから関連部分を抜粋(経済産業省)

エネルギーの①エネルギー分野の「総合エネルギー効率の向上」の次世代省エネデバイス技術では、高性能デバイスとしてSiC系デバイス、窒化物系デバイス、ダイヤモンド系デバイスが取り上げられている。また、高性能パワーエレクトロニクスとして高効率インバータが取り上げられている。エネルギー分野のパワーデバイス関係の技術ロードマップを図 5-2 に示す。

図 5-2 エネルギー分野のパワーデバイス関係の技術ロードマップ

No.	エネルギー技術 個別技術	2010	2015	2020	2025	2030～
1501A	50. 高性能デバイス Si デバイス	ウエハ口径 (パワーデバイス) 6" 8"		300mm		
		製造プロセス技術 (ウエハの口径拡大、微細加工技術、超接合形成、薄ウエハ) 素子構造、材料の改良 新規素子構造 高電流密度化、高温動作化 ソフトスイッチング技術、マトリクスコンバータ技術 シリコンフォトニクス				
1502A	50. 高性能デバイス SiC デバイス	ウエハ口径 3" 4" 6"				
		ウエハ転位密度 10^4cm^{-2} 10^3cm^{-2} 10^2cm^{-2} 50cm^{-2} 10cm^{-2}				
		製造プロセス技術 (ウエハの口径拡大、ウエハ転位密度減少) 注入面チャネル移動度向上、酸化膜信頼性向上 ノーマリ型 MOSFET				
1503A	50. 高性能デバイス 窒化物デバイス (GaN, AlN)	ウエハ口径 3" 4" 5"				
		ウエハ転位密度 10^2cm^{-2}				
		HFET (Hetero-junction Field Effect Transistor) SBD (Schottky Barrier Diode) 縦型 MOSFET 素子 GaN 系ヘテロエピ成長技術 製造プロセス技術 (ウエハの口径拡大、ウエハ転位密度減少、ウエハのひずみの減少) 注入面チャネル移動度向上、酸化膜信頼性向上 ノーマリ型 MOSFET				
1504A	50. 高性能デバイス ダイヤモンドデバイス	ウエハ口径 2" 3" 4"				
		ウエハ転位密度 10^3cm^{-2} 10^2cm^{-2} 10cm^{-2}				
		ウエハ大口径化 エピ成長技術 プロセスデバイス化技術				

出典：技術戦略マップ 2010 技術ロードマップから関連部分を抜粋（経済産業省）

3. 日本のパワーデバイスに関連する主な研究開発プロジェクト

パワーデバイスに関してこれまでに実施された研究開発プロジェクトと、現在進行中の研究開発プロジェクトを調査し、取組時期、開発テーマ、予算金額などから、パワーデバイスに対する日本の取組姿勢を把握した。パワーデバイスに関連する日本の国家プロジェクトは、1998 年以降、炭化シリコン系を中心に窒化ガリウム系を含めて、継続的に推進されている。図 5-3 にまとめを示し、以下に主なプロジェクトの概要を示す。

図 5-3 パワーデバイスに関する主な日本のプロジェクト

プロジェクト名	推進母体	予算金額	'98	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15
超低損失電力素子技術開発プロジェクト	NEDO	65 億円	■	■	■	■	■													
エネルギー使用合理化技術戦略的開発	NEDO	10 億円						■	■	■										
SiC 高品質エピタキシャルウエハの生産技術に関する研究	産総研									■	■	■	■							
パワーエレクトロニクスインバータ基盤技術開発	NEDO	30 億円									■	■	■							
窒化物半導体を用いた低消費電力型高周波デバイスの開発	NEDO	33 億円					■	■	■	■	■									
情報通信機器用低損失電源基盤技術開発	NEDO										■	■	■							
窒化物系化合物半導体基板・エピタキシャル成長技術	NEDO	30 億円										■	■	■	■	■				
異種接合 GaN 横型トランジスタのインバータ展開	JST (GREST)													■						
SiC デバイスの量産試作研究及びシステム応用実証	産総研													■	■	■	■			
低炭素社会創成へ向けた炭化シリコン革新パワーエレクトロニクスの研究開発	内閣府	35 億円													■	■	■	■	■	
次世代パワーエレクトロニクス技術開発	NEDO	40 億円													■	■	■	■	■	
低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト	経済産業省	100 億円														■	■	■	■	■

■ は SiC 関係のプロジェクト ■ は GaN 関係のプロジェクト

- 1) 超低損失電力素子技術開発 (1998～2002 年度)¹² NEDO、参画メンバー：産総研、日立製作所、東芝、三菱電機、三洋電機、沖電気工業、日産自動車、デンソー、昭和電工及び複数の大学
- 2) エネルギー使用合理化技術戦略的開発 (2003～2005 年度)¹³ NEDO、参画メンバー：産総研、日立製作所、東芝、三菱電機、デンソー及び新日本製鐵
- 3) SiC 高品質エピタキシャルウエハの生産技術に関する研究 (2005～2008 年度)¹⁴ 産総研、参画メンバー：産総研、電力中央研究所、昭和電工
- 4) パワーエレクトロニクスインバータ基盤技術開発 (2006～2008 年度)¹⁵ NEDO、参画メンバー：産総研、三菱電機、新機能素子研究開発協会
- 5) 窒化物半導体を用いた低消費電力型高周波デバイスの開発 (2002～2006 年度)¹⁶ NEDO、参画メンバー：立命館大学、新機能素子研究開発協会、産総研、豊田合成、古河電気工業、日本電気、三菱電機、松下電器産業 (現パナソニック)、沖電気工業、日立電線、住友化学、アルバック
- 6) 情報通信機器用低損失電源基盤技術開発 (2006～2008 年度)¹⁷ NEDO、参画メンバー：産総研、
- 7) ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発－窒化物系化合物半導体基板・エピタキシャル成長技術の開発 (2007～2011 年度)¹⁸ NEDO、参画メンバー：名城大学、大阪大学、福井大学、サンケン電気、住友電工、昭和電工、金属系材料研究開発センター

¹² <http://www.nedo.go.jp/iinkai/hyouka/bunkakai/15h/32/index.html>

¹³ <http://www.nedo.go.jp/activities/portal/p03033.html>

¹⁴ http://www.sdk.co.jp/news/2005/aanw_05_0391.html

¹⁵ <http://www.nedo.go.jp/activities/portal/p06019.html>

¹⁶ <http://www.nedo.go.jp/activities/portal/p02032.html>

¹⁷ NEDO 研究成果データベース (利用者登録制) による。

¹⁸ <http://www.nedo.go.jp/activities/portal/p07030.html>

- 8) 二酸化炭素排出抑制に資する革新的技術の創出－「異種接合 GaN 横型トランジスタのインバータ展開」(2009 年度)¹⁹ JST、参画メンバー：北海道大学、豊田中央研究所、山口大学
- 9) SiC デバイスの量産試作研究及びシステム応用実証(2008～2011 年度)²⁰ 産総研、参画メンバー：産総研
- 10) 低炭素社会創成へ向けた炭化シリコン(SiC)革新パワーエレクトロニクスの研究開発(2009～2013 年度)²¹ 内閣府、参画メンバー：京都大学、電力中央研究所、産総研
- 11) 次世代パワーエレクトロニクス技術開発(2009～2012 年度)²² NEDO、参画メンバー：技術研究組合次世代パワーエレクトロニクス技術開発機構(FUPET)
- 12) 低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト(2010～2014 年度)²³ 経済産業省、参画メンバー：技術研究組合次世代パワーエレクトロニクス技術開発機構(FUPET)、旭ダイヤモンド工業

4. パワー半導体に関連する日本の輸出規制について

日本政府は外国為替及び外国貿易法第 48 条の下に定められる政令「輸出貿易管理令」で輸出の許可、承認をしている。国際的な平和及び安全の維持を妨げることと認められる貨物や、国内需要の確保、国際協定の遵守などの観点から、規制が必要とされる貨物が管理の対象となっている。

半導体デバイスや製造装置等については、「輸出貿易管理令」別表第 1 の第 7 項の(8)の 3)に「電力の制御又は電気信号の整流を行う半導体素子又は半導体モジュール」と定められており、同項の(16)に「半導体素子、集積回路若しくは半導体物質の製造用の装置若しくは試験装置又はこれらの部分品若しくは付属品」と定められている。これらの貨物を輸出する場合には、経済産業大臣による輸出の許可が必要である。さらに、貨物等省令第 6 条で対象とする物品が具体的に示されており、また、別表第 1 の第 7 項の(16)には、第十七号に詳細な仕様があり、その中に結晶のエピタキシャル成長装置が挙げられている。

なお、これらの省令には規制対象となる具体例が「解釈」として公開されており、以下のデバイスが列記されている。

接合電界効果トランジスタ(JFETs)、垂直接合電界効果トランジスタ(VJFETs)、MOS 電界効果トランジスタ(MOSFETs)、二重拡散金属酸化物半導体電界効果トランジスタ(DMOSFETs)、絶縁ゲートバイポーラトランジスタ(IGBT)、高電子移動度トランジスタ(HEMTs)、バイポーラ接合トランジスタ(BJT)、サイリスタ及びシリコン制御整流器(SCRs)、ゲートターンオフサイリスタ(GTOs)、エミッタターンオフサイリスタ(ETOs)、PIN ダイオード、ショットキーバリアダイオードを含む。

また、別表第 1 の第 7 項の(16)の製造用装置等については、それぞれに詳細な条件規定があるが、主な装置名のみ列記すると以下の装置である。これらの装置の本体だけでなく部

¹⁹ <http://www.jst.go.jp/kisoken/crest/report/heisei21/pdf/pdf09/09-010.pdf>

²⁰ <http://unit.aist.go.jp/adperc/ci/project/initiative.pdf>

²¹ <http://www.first-sic.jp/>

²² <http://www.nedo.go.jp/activities/portal/p09004.html>

²³ <http://www.meti.go.jp/information/data/c100226cj.html>

分品や付属品を輸出する際に、経済産業大臣の許可が必要である。

結晶のエピタキシャル成長装置、有機金属化学的気相成長反応炉、分子線エピタキシャル成長装置、イオン注入装置、異方性プラズマドライエッチング装置、プラズマ増殖型の化学的気相成長装置、リソグラフィ装置。

(参考情報：<http://www.meti.go.jp/policy/anpo/kanri/shyourei-matrix/matrix7.htm>)

第2節 外国の産業政策

1. 米国のパワーエレクトロニクス関係の産業政策^{24, 25, 26}

パワーエレクトロニクスへのアメリカの国家支援政策は Center for Power Electronics System (CPES) で行っている。CPES は米国科学財団 (National Science Foundation :NSF) のエンジニアリング研究センターの一つで、米国をパワーエレクトロニクス分野の世界的リーダーにする目的で 1998 年に設立された。バージニア工科大学、ウイスコンシン大学マジソン校、レンセラー工科大学、ノースカロライナ A&T 州立大学、プエルトリコ大学マヤグエス校の 5 大学からなるコンソーシアムである。このほか 80 社以上が企業パートナーとして資金提供を行い、研究活動を支援している。1998 年から 2008 年まで 60~70 億円、このうち 2007 年は 7 億円を得ている。個別領域では、①先進的パワー半導体技術、②実装対応型材料技術、③高密度実装技術、④発熱対応実装技術、⑤制御及びセンサ実装技術を対象とし、統合技術としては、①統合パワーエレクトロニクスモジュールベース電力変換技術、②統合パワーエレクトロニクスモジュール応用技術 (標準モジュール、モータードライブ向けモジュール及び高出力向けモジュール) を扱っている

DARPA と海軍研究局 (Office of Naval Research :ONR) は、SiC パワー素子開発コンソーシアム (1998 年~) に出資し、SiC パワーデバイスに関する研究開発を支援した。

Electric Power Research Institute (EPRI) は、SiC デバイスを用いた、系列制御用パワーエレクトロニクス機器への応用について研究している。

2. 欧州のパワーエレクトロニクス関係の産業政策^{26, 27, 27, 28}

欧州におけるパワーデバイス関係のプロジェクトとして、European Center for Power Electronics (ECPE) はジーメンス、ABB、ALSTOM、インフィニオンなど 27 社により 2003 年に設立された。現在は 32 社が参加している。プリンシパルメンバーからの会費 (総額 10 億円程度) を大学に渡して研究を実施している。ドイツのバイエルン州政府と EU はこのプロジェクトを資金面でサポートしている。活動内容は、①Pre-competitive な研究の推進、②

²⁴ http://www.meti.go.jp/policy/tech_research/30_research/foreigncountries-research/h21fy/h21fy_america.pdf

²⁵ <http://ds22.cc.yamaguchi-u.ac.jp/~ken-san/senryaku/kaigi/05.pdf>

²⁶ <http://unit.aist.go.jp/comphq/comp-info/idpo/houkoku21-3.pdf>

²⁷ http://www.meti.go.jp/policy/tech_research/30_research/foreigncountries-research/h21fy/h21fy_europe_1.pdf

²⁸ <http://www.env.go.jp/earth/report/h21-03/ref5.pdf>

教育・人材育成と仕事の紹介、③PR とロビー活動である。

また、欧州情報技術研究開発戦略計画（European Strategic Program for Research and Development in Information Technology :ESPRIT）では、The High Temperature Electronics Network (HITEN)を組織し、高温エレクトロニクス分野に関するディスカッション等を行っている。

ドイツでは、研究開発省が SiC Electronics プログラムを策定し、パワーデバイスに関する研究開発を推進している。SiC パワーデバイスに関しては、エアランゲン大学等が担当している。スウェーデンでは、Industrial Microelectronics Center（IMC）において、SiC パワー素子開発研究プロジェクトを実施している。このプロジェクトには、ABB や Okmetic（フィンランド）等が参加し、SiC ウエハを中心とした研究開発を実施している。フランスでは、産学官連携による国家プロジェクトで、SiC を中心とした研究開発が実施されている。ベルギーの IMEC ではⅢ－Ⅴ族材料を使ったパワーデバイスの研究を進めている。イタリアでは、ST マイクロエレクトロニクスをプロジェクトコーディネータとするパワー半導体の研究プロジェクトである LAST POWER プロジェクト（Large Area silicon carbide Substrates and heteroepitaxial GaN for POWER device applications）が 2010 年 10 月から開始された。このプロジェクトは 42 か月間で、直径 150mm の大面積 SiC 基板上に GaN 層を成長させ、高性能 GaN デバイスの作製など五つの開発目標を掲げて活動している。参画団体はイタリアやスウェーデンの企業を中心に 14 機関である。

3. 中国のパワーエレクトロニクス関係の産業政策^{26, 29, 30}

2005 年に再生可能エネルギー法が公布されて以来、その開発は常に注目を集め続けてきた。再生可能エネルギーはそれぞれ異なった手法で電力に変換されるため、系統への接続に際して、コンバータ技術による調整、制御を行わなければならない。しかしながら、再生可能エネルギーが直接発生する電力は、一般的に不安定であり、パワーエレクトロニクスを応用した変換制御技術が欠かせない。

2008 年 11 月に 2010 年末までに、総額 4 兆元（約 50 兆円）を支出する大規模な景気対策が発表され、省エネ・環境保全に 2,100 億元となっている。この中に、「再生可能エネルギー」、「電気自動車・ハイブリッド車」、「エアコンのインバータ化」等が含まれている。

さらに国家エネルギー局が「新エネルギー産業振興計画案」を策定し、政府に提案することとしている。この計画では 2011～2020 年の 10 年間に、環境負荷の小さい新エネルギーの産業振興に 5 兆元（約 62 兆円）規模の資金を投じるものである。この計画は風力発電、太陽光発電、バイオマス発電、電気自動車、次世代送電網スマートグリッドを 5 本柱とし、グリーン産業で経済を牽引することを目指している。

研究開発では、国家重点研究所を浙江大学、西安大学、武漢大学に設置し、パワーデバイスを含むパワーエレクトロニクスの技術力と人材育成を強化している。

²⁹ http://www.spc.jst.go.jp/science_policy/chapt1/1.html

³⁰ http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/2008/pdf/080625_4_bsl.pdf

4. 韓国のパワーエレクトロニクス関係の産業政策^{26,31}

2009年1月に大統領府に緑色成長委員会を設置した。ここでは緑色成長に向けた様々な取組を省庁横断で行う。またこの推進のため「緑色成長基本法」を制定した。低炭素・グリーン成長を達成するために、五つの協議会を設置し、その一つが科学技術協議会である。グリーンテクノロジーに関するR&D予算は、2010年予算が1.4兆ウォン（約12億ドル）で、原子力エネルギー、インテリジェント交通システム、ニューシティ、スマートグリッド、海洋環境などへの投資が増やされている。核となるグリーンテクノロジーは、発光ダイオード、CCS（二酸化炭素貯蔵・回収技術）、クリーンカー、再生可能エネルギー及びスマートグリッドなどがある。

第3節 標準化動向

パワーエレクトロニクス関係の国際標準化動向として、材料や装置、サービスには、Semiconductor Equipment and Materials International（SEMI）規格が対応している。パワー半導体及びパワーエレクトロニクス関係では、国際電気標準会議（International Electrotechnical Commission: IEC）及び電子機器技術評議会（Joint Electron Device Engineering Council: JEDEC）が国際規格の策定を行っている。

日本の標準化戦略としては、知的財産の創造、保護及び活用に関する施策を集中的かつ計画的に推進するために、内閣に設置されている知的財産戦略本部が策定した「知的財産推進計画2010」³²（2010年5月21日）において、三つの戦略の一つに、「国際標準化特定戦略分野における国際標準の獲得を通じた競争力強化」が挙げられている。研究開発・事業化戦略と連携した戦略的な国際標準化の推進等を通じて、世界市場の獲得を目指す国際標準化特定戦略分野（7分野）が選定され、その中に、パワーデバイスが関係する次世代自動車、鉄道、エネルギーマネジメント（スマートグリッド、創エネ・省エネ技術、蓄電池）が位置付けられている。そこでは、競争力強化戦略の策定・実行、国際標準化機関における幹事国引受件数の増加、国際標準化活動の人材育成（議長、主査になり得る人材）等を目標にして、国際標準化活動を総合的に支援するとしている。

日本国内の標準化は、日本工業標準規格（JIS）、電子情報技術産業協会（JEITA）、電気学会（JEC）により材料ウエハ、パワー半導体デバイス及びパワーエレクトロニクス（変換装置）の標準化が推進されている。

³¹ http://www.meti.go.jp/policy/tech_research/30_research/foreigncountries-research/h21fy/h21fy_asia.pdf

³² <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/titeki2/2010keikaku.pdf>

第6章 グリーンパワーICに関する市場環境動向

第1節 パワーデバイス市場の俯瞰

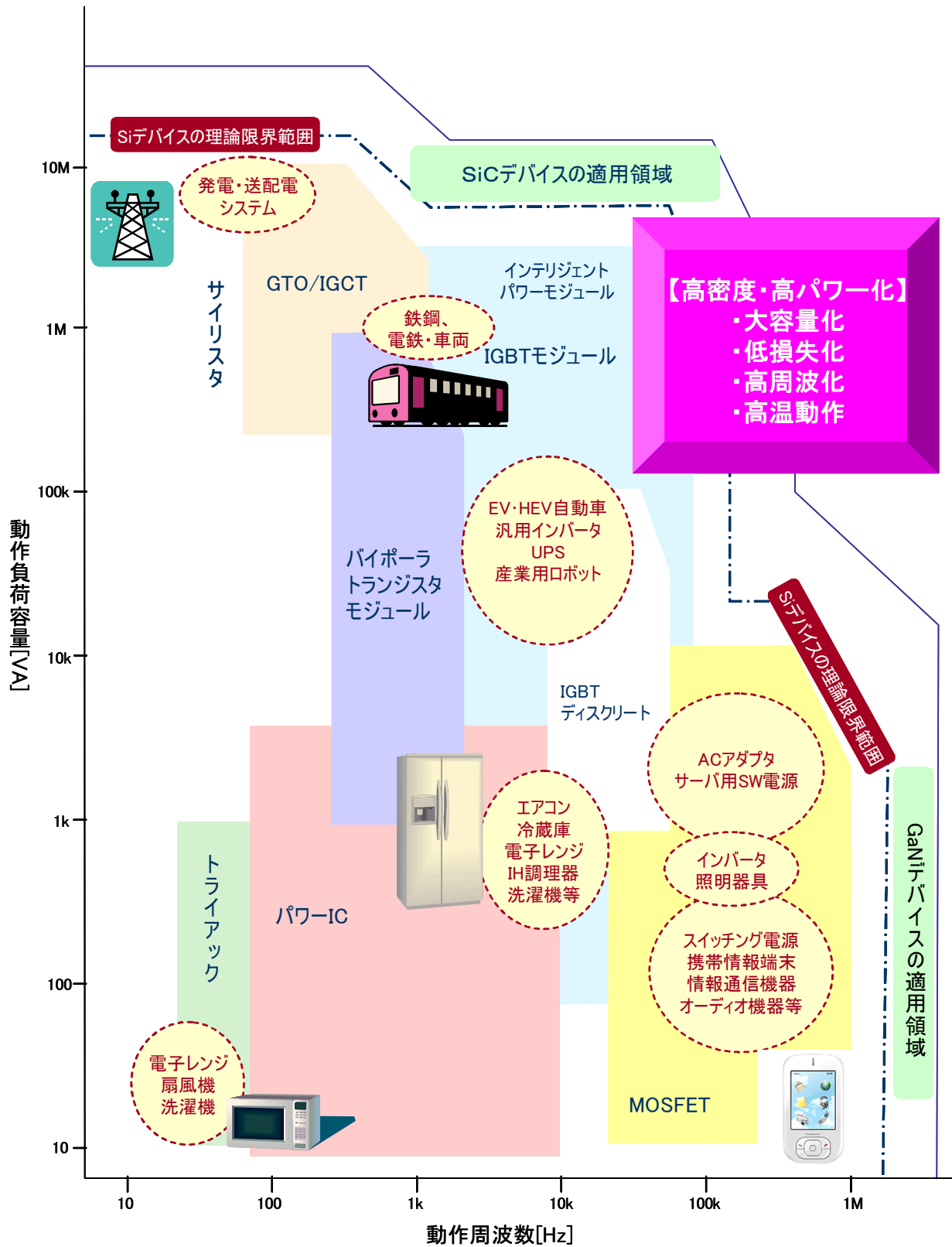
パワーデバイスは電力損失を抑え、高温動作、高効率化や大電流化などの要求に対応したデバイスである。近年におけるCO₂の排出ガス削減など、地球温暖化対策が注目されるようになり、新エネルギーの開発とともに、既存の電子機器や社会インフラ設備等における幅広い省エネルギーに対する意識が高まりつつあり、グリーンパワーデバイスの需要が着実に拡大している。

パワーデバイスは民生機器分野、情報通信機器分野、自動車・電装分野、新エネルギー分野や産業分野、電鉄・車両分野に利用されており、インバータ等の高効率な電力変換ニーズやスイッチング電源やエネルギーデバイスの低損失化、高機能化ニーズ、スマートグリッド等のようにインフラ設備のネットワークの再構築などが検討されている。

Si系パワーデバイスは、動作負荷容量が約10MVA、動作周波数が約1MHzまでの領域が主な適用範囲である。アプリケーションに応じて、トランジスタ、ダイオード、サイリスタなどの製品（モジュールを含む）が使い分けられている。パワーデバイスにおける動作負荷容量／動作周波数とアプリケーションの関係を図6-1に示す。

この図において、Si系パワーデバイスの理論限界範囲外にSiC系パワーデバイスの適用領域及びGaN系パワーデバイスの適用領域がある。SiC系パワーデバイスの適用領域では、低損失化とともに大容量化や高温動作などの高性能化がまず意図されている。また、GaN系パワーデバイスの適用領域では、低損失化とともに高周波化などの高性能化が第一段階として期待されている。このように、Si基板以外のワイドバンドギャップ半導体を用いたパワーデバイスの開発により、パワーデバイスは将来的により幅広いアプリケーションに使用されるようになることが期待されている。

図 6-1 パワーデバイスの容量別及び周波数別でのアプリケーション



第2節 パワーデバイスの世界市場動向

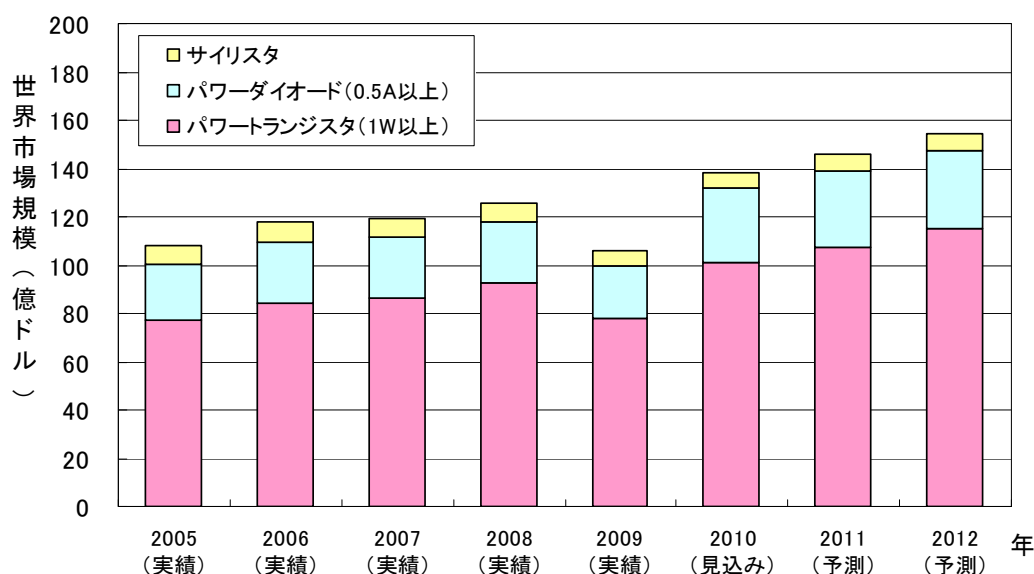
この節における市場情報は、国内外の半導体メーカー65社で構成され、世界の半導体関連製品の市場統計を作成している WSTS (World Semiconductor Trade Statistics) の統計データに基づいている。WSTS の統計データにおけるパワーデバイスとして、パワートランジスタ (1W 以上、モジュール類を含む)、パワーダイオード (整流素子、0.5A 以上)、サイリスタ (電流区分なし) が含まれている。

1. 世界市場推移

パワーデバイスの世界市場 (金額ベース) 推移を図 6-2 に示す。パワーデバイスの世界市場は、2008 年に約 126 億米ドル (以下「ドル」と記す) であったが、2009 年には、米国におけるリーマンショックの影響もあり、約 106 億ドルに減少した。2010 年には市場が回復し、世界市場はその後も、右肩上がりに拡大し、2012 年には約 154 億ドルに達すると予測されている。

2009 年におけるパワーデバイス市場は、パワートランジスタの約 78 億ドル (73.6%) を中心に、パワーダイオードが約 22 億ドル (20.8%)、サイリスタが約 6 億ドル (5.7%) である。

図 6-2 パワーデバイスの世界市場推移 (金額ベース)



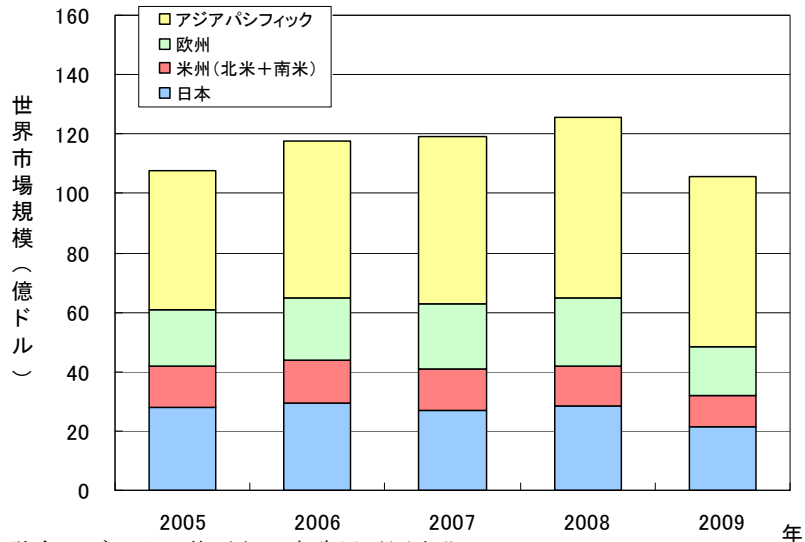
出典：WSTS 日本協議会のデータに基づき、事務局が図表化。

2. 地域別市場動向

パワーデバイスの地域別世界市場規模推移 (金額ベース) を図 6-3 に示す。2005 年における地域別市場は、米州が 12.8%、欧州が 17.7%、日本が 25.8%、アジアパシフィックが 43.7% である。2008 年における地域別市場は、米州が 10.8%、欧州が 18.2%、日本が 22.6%、アジアパシフィックが 48.4% である。2009 年の世界市場規模は 2008 年に比べて縮小したが、

地域別市場ではアジアパシフィックが 54.1%と過半を占め、米州が 10.0%、欧州が 15.7%、日本が 20.2%である。地域別市場比率は、日本は 2005 年から 2009 年の 5 年間に約 26%から約 20%へと減少している。欧州はほぼ横ばいで、米州は減少し、アジアパシフィックの比率が高くなっており、アジアパシフィックの市場成長が一層顕著になってきた。

図 6-3 パワーデバイスの地域別世界市場推移

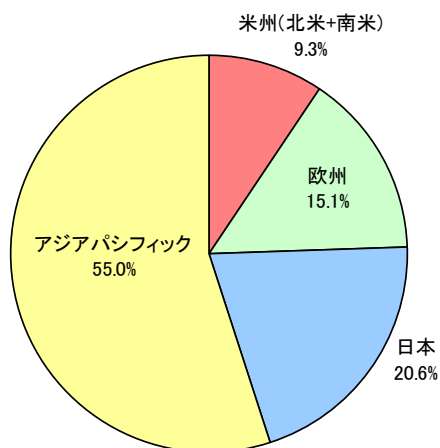


出典：WSTS 日本協議会のデータに基づき、事務局が図表化。

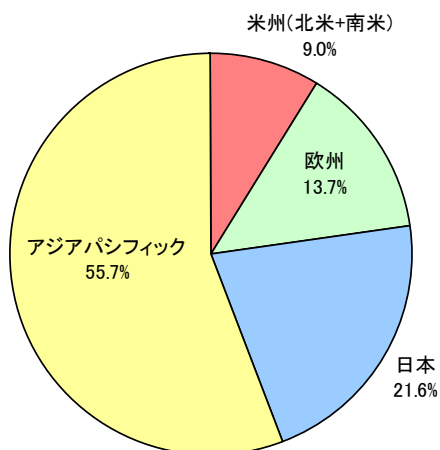
次に、2009 年における各種パワーデバイスの地域別市場規模比率を図 6-4 に示す。パワートランジスタとパワーダイオードの地域別市場規模比率は、アジアパシフィックが 55~56%、次いで日本が 21~22%、欧州 14~15%、米州約 9%とほぼ類似している。しかし、サイリスタでは、アジアパシフィックが約 36%、次いで欧州約 31%、米州約 23%、日本が約 10%である。

図 6-4 各種パワーデバイスの地域別市場比率（2009 年、金額ベース）

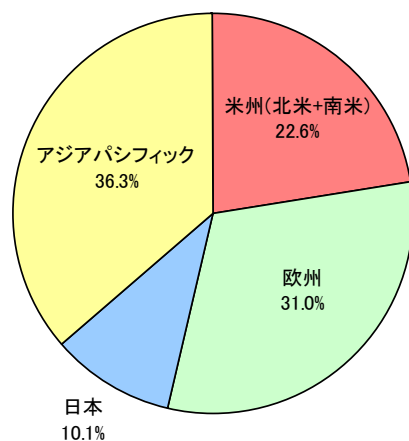
(1) パワートランジスタ（1W 以上）



(2) パワーダイオード（整流素子、0.5A 以上）



(3) サイリスタ



出典：WSTS 日本協議会のデータに基づき、事務局が図表化。

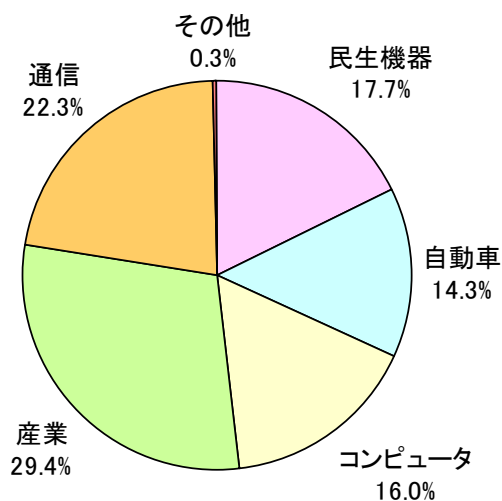
3. 用途別市場動向

パワーデバイスの主な用途は、民生機器、自動車、コンピュータ、産業、通信、その他である。2009年におけるパワーデバイスの用途別世界市場（金額ベース）を図6-5に示す。

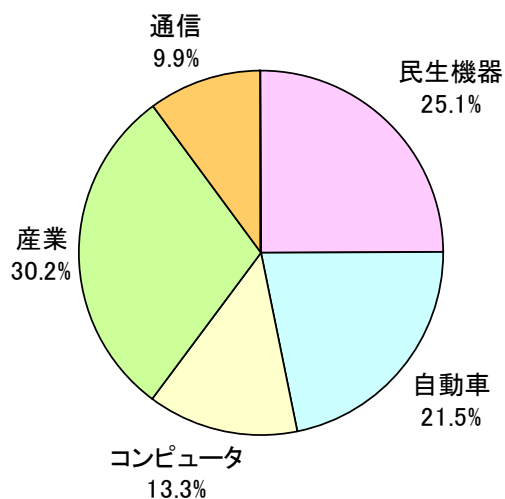
(1) はパワートランジスタ（1W以上）、(2) はパワーダイオード（0.5A以上）＋サイリスタについての用途別市場である。

図6-5 パワーデバイスの用途別世界市場（2009年、金額ベース）

(1) パワートランジスタ（1W以上）



(2) パワーダイオード（0.5A以上）及びサイリスタ



出典：WSTS 日本協議会のデータに基づき、事務局が図表化。

パワートランジスタの用途（2009年、金額ベース）では、産業用が最大の約29%で、次いで通信約22%、民生機器約18%、コンピュータ16%、自動車約14%、その他が続いている。

パワーダイオードとサイリスタを合わせた用途（2009年、金額ベース）では、パワートランジスタと同様に産業用が最大の約30%で、次いで民生機器約25%、自動車約22%、コンピュータ約13%、通信約10%、その他が続いている。

第3節 メーカー別世界市場動向

この節における市場情報は、株式会社アイサプライ・ジャパンによる市場データを参考とした。アイサプライ・ジャパンによるパワーデバイス市場には、パワーMOSFET、IGBT、サイリスタ、パワーバイポーラトランジスタを始め、ボルテージ・レギュレータ（定電圧電源）、パワーインターフェース、パワーASSP、レクティファイヤー（整流器）が含まれている。

1. 日本メーカーのパワーデバイス市場シェア推移

図6-6において、パワーデバイス市場推移と日本メーカーのシェア推移を示す。パワーデバイス市場は2003年から2007年までは順調に拡大していたが、その後2008年は横ばい、2009年はリーマンショックの影響もあり、減少している。また、日本のパワー半導体メーカーは、2003年の市場シェア37.5%を徐々に落としており、2009年には29.6%になっている。しかし、直近の3~4年は、日本メーカーの市場シェアは横ばい傾向を示している。

今後、日本メーカーのシェア低下が進むようであれば、メモリや液晶パネルと同様な運命を辿ってしまう。ここから、いかにしてシェアを拡大していくか、日本メーカーは分岐路に立たされていると言ってよい。

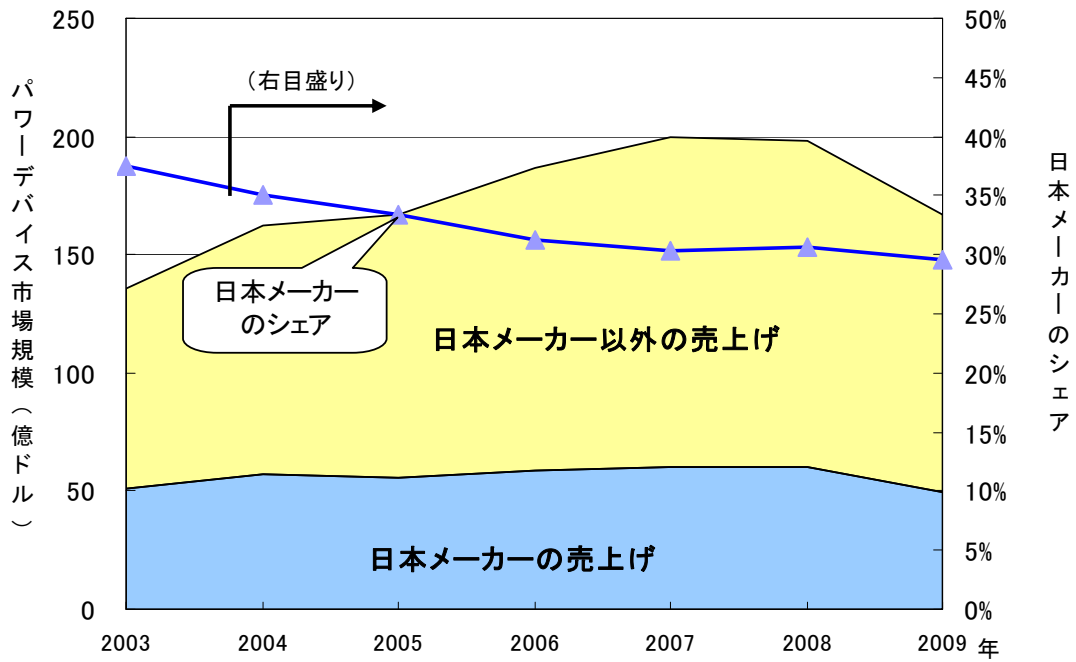
2. デバイスメーカー別世界市場シェア

2009年のパワーデバイス市場におけるデバイスメーカー別の世界市場シェア（金額ベース）を図6-7に示す。なお、この図において、上位16社を表示しており、それ以下についてはその他の企業としている。

世界市場において、市場シェアが上位にランクされているメーカーであるSTマイクロエレクトロニクス（イタリア、フランス）、テキサスインスツルメント（米国）、インフィニオンテクノロジーズ（ドイツ）、フェアチャイルドセミコンダクター（米国）の4社は、各々4%以上の市場シェアを占有している。すなわち、STマイクロエレクトロニクスが8.2%、テキサスインスツルメントが7.1%、インフィニオンテクノロジーズが5.8%、フェアチャイルドセミコンダクターが4.7%である。

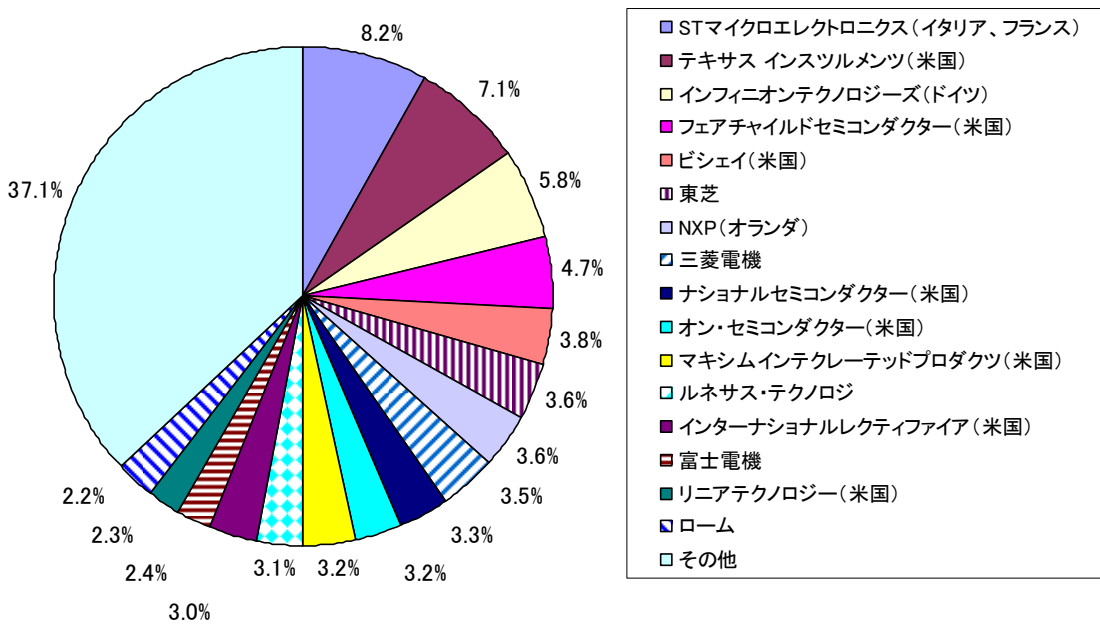
日本メーカーで上位にランクされている会社は、東芝、三菱電機、ルネサステクノロジ、富士電機及びロームの5社で、それぞれ16位までにランクされている。東芝、三菱電機、ルネサステクノロジの市場シェアは3%台で、富士電機及びロームは2%台である。

図 6-6 パワーデバイス市場推移及び日本メーカーの市場シェア推移（金額ベース）



出典：株式会社アイサプライ・ジャパンのデータに基づき、事務局が図表化。

図 6-7 パワーデバイスのメーカー別世界市場シェア（2009年、金額ベース）

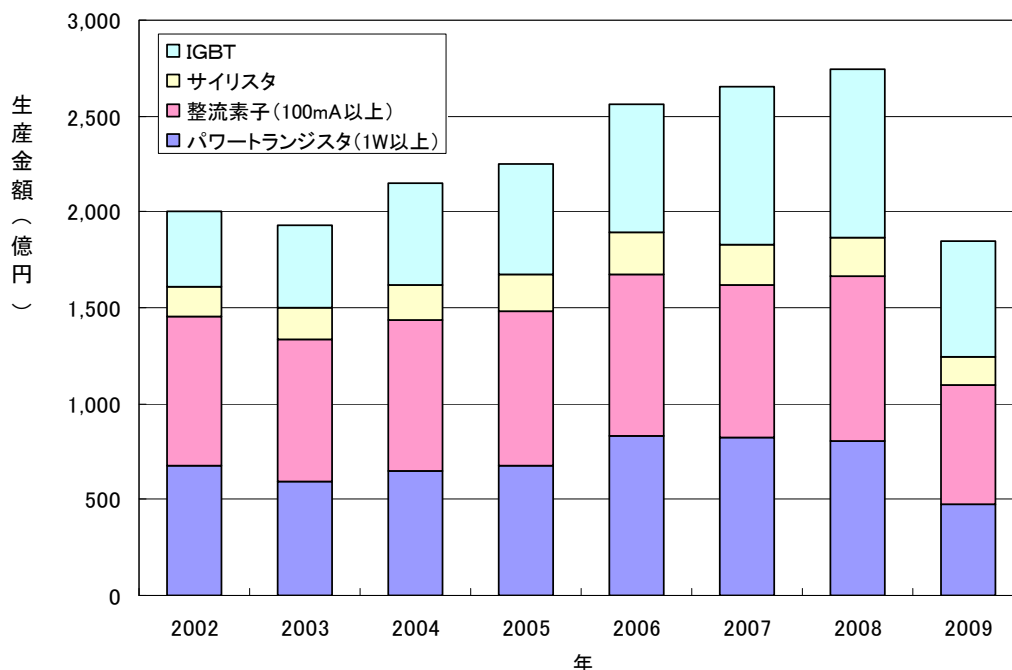


出典：株式会社アイサプライ・ジャパンのデータに基づき、事務局が図表化。

第4節 パワーデバイスの国内生産動向

この節における市場情報は、社団法人電子情報技術産業協会（JEITA: Japan Electronics and Information Technology Industries Association）のデータに基づいている。JEITAは電子部品・デバイスの中のパワーデバイスとして、シリコン系のパワートランジスタ（1W以上）、整流素子（100mA以上）、サイリスタ、IGBTの国内における生産実績の統計データを公開している。2002年から2009年の8年間のパワーデバイスの生産実績を図6-8に示す。

図6-8 パワーデバイスの国内生産実績（生産ベース、億円）



出典：JEITAのデータに基づき、事務局が図表化。

パワーデバイスの国内生産は、2002年で約2,000億円であり、2003年に若干減少したが、2004年以降着実に増加しており、2008年には約2,750億円に拡大した。しかし、2009年にはリーマンショックのため、約1,850億円まで減少した。2010年には市場が大幅に回復することが期待されている。パワーデバイスであるパワートランジスタ（1W以上）、整流素子（100mA以上）、サイリスタは、2002年から2008年の6年間で、金額ベースでそれぞれ19%、11%、27%の増加であり、IGBTについては同じ6年間で124%の増加と大幅な伸び率を示した。

第7章 総合分析

第1節 技術動向調査の総括

1. 特許（パワーデバイス関連特許）動向調査の総括

パワーデバイス関連特許の日米欧中韓への出願件数は25,334件で、2000年の2,556件から2006年の3,249件へと、2002年の落ち込みを除きほぼ単調に増加している。パワーデバイス関連技術は、近年注目されているグリーンエネルギー関連技術の中で、各分野の低消費電力化に対して重要な役割を担うと期待されており、特許出願件数推移における増加傾向は、その期待の大きさに対応する結果と見ることもできる。

出願人国籍別の集計では、日本国籍の出願件数が最も多く57.6%を占めている。続く米国籍は18.2%、欧州国籍は15.2%で日本国籍との差は大きく開いている。韓国籍、中国籍はそれぞれ5.2%、1.3%とさらに小さな比率である。同じ期間に出願された特許の登録件数でも同様の傾向が見られ、日本国籍が51.4%、米国籍が20.3%、欧州国籍が16.9%と日本国籍が最も多い。出願人国籍と出願先国の関係に着目して、「日本」対「米、欧、中、韓」の出願件数の収支を見ると、米欧中韓とも日本からの出願件数の方が、日本への出願件数より多くなっている点が特徴的である。

技術区分別動向の応用分野別の集計では、日本国籍と米国籍の出願人ではIT関連機器と自動車に関する出願が多く、欧州国籍の出願人では、自動車と発電・送配電システムに関する出願が多い。また、中国、韓国及びその他の国籍では、民生・家電機器に関する出願が多い。ただし、パワーデバイス関連特許では、応用分野を記載した出願が少ない。

技術区分別動向の共通補助分類（使用基板）別分類では、Siと使用基板不明を合わせた件数が58.5%と最も多く、GaNは21.6%、SiCは14%となっている。使用基板不明（特許明細書に基板材料の記載がない）の出願は、Si基板に関するものと考えられ³³、結論としてSi基板に関する出願が58.5%と見ることができる。すなわち、使用基板別の出願件数では、Si基板に関するものが全体の2/3近くを占め、GaNとSiCを合わせた件数が約1/3となる。ダイヤモンドに関するものは、1.0%と少ない。

技術区分別動向の共通補助分類（適用素子）別分類では、パワーMOSに関する件数が42%と最も多く、その他は、IGBTが16%、ダイオードが14%、HEMTが11%、サイリスタが4%、JFET・SITが3%となっている。パワーデバイスは、応用分野によって、要求される機能や特性が大きく異なり、使用されるデバイス構造も様々であるが、特許出願という観点からは、適用素子としてパワーMOSに偏りがみられる。

2. 特許（応用分野（電力変換器）関連特許）動向調査の総括

応用分野（電力変換器）関連特許の日米欧中韓への出願件数は15,570件で、2000年の1,580件から2006年の2,101件へと2002年の落ち込みを除き増加している。2000年から2002年

³³ GaNやSiC基板を対象とした特許では、通常明細書に材料に関する記述をするが、半導体材料の主流であるSi基板を用いることを前提とした特許の場合、材料について明記しないことが多い。

にかけて、米国のインターネット関連企業の株価の下落が進行し、全世界に様々な影響を及ぼして一般に IT バブルの崩壊と呼ばれているが、パワーデバイスや応用分野（電力変換器）関連特許における 2002 年の出願件数の減少はその影響を受けた結果と推測される。

技術区分別動向の応用分野別集計では、日本国籍と米国籍の出願人の場合、民生・家電機器が最も多く、欧州国籍の出願人では発電・送配電システムが最も多い結果となっている。

3. 研究開発動向調査の総括

グリーンパワーICに関する論文の発表動向から見た研究開発動向を調査した。パワーデバイス関係の論文発表件数は 910 件で、年間 100 件前後発表されている。その他のグリーンパワーICに関する論文発表件数は 4,349 件で、年間 400 件から 500 件発表されている。研究者所属機関の国籍別に比較するため、国際的な論文誌に限定すると、パワーデバイスに関する論文は 499 件、その他の論文は 3,600 件であった。パワーデバイスに関する論文は、欧州国籍の研究機関による論文発表が 210 件で最も多く全体の 42.1%を占めている。次いで米国籍が 134 件（26.9%）で、日本国籍は 64 件（12.8%）である。その他の論文は、欧州国籍の研究機関による論文発表が 1,077 件（29.9%）で最も多く、次いで米国籍が 964 件（26.8%）で、日本国籍は 497 件（13.8%）ある。

技術区分別では、パワーデバイスに関する論文に関しては、日米欧中韓国籍の研究機関ともデバイス・モジュールの特性向上に関する論文が最も多く、次いで日米欧国籍では信頼性・耐久性の向上が多い。その他の論文では、日米韓国籍の研究機関はデバイス・モジュールの特性向上に関する論文が最も多く、欧中国籍では基板の特性向上に関する論文が多い。なお、基板の特性向上の中には、光デバイス関係の結晶・基板製造に関する論文を含んでいる。

応用分野別では、パワーデバイスに関する論文では IT 関連機器（携帯電話、パソコン等）と自動車用途が多く、その他の論文では、発電・送配電システム（スマートグリッド等）と自動車用途が多い。発電・送配電システムについては、日米欧中韓以外の国籍からも多くの論文発表がある。

研究者所属機関別では、パワーデバイスに関する論文において、国際的な主要論文誌の場合、ドイツのインフィニオン テクノロジーズが 24 件で 1 位、米国のバージニア工科大学が 2 位、米国のクリーが 3 位である。特許と比較して、特に日本の大学は極めて少ない数となっている。大学を中心とした研究機関における基礎的な研究開発を担う人材の育成が急務であることを示唆している。

4. 政策動向調査の総括

グリーンパワーICに関する日本の産業政策としては、科学技術基本計画（第三期）において、環境と経済を両立する省エネルギー・環境調和ナノエレクトロニクス技術の観点で、シリコントランジスタにとって代わる、SiC を用いたパワーデバイスにより高効率インバータを実現することを研究開発目標の一つとしている。

また、政策目標ごとに策定された七つのイノベーションプログラムでは、IT イノベーションプログラムとエネルギーイノベーションプログラムの、総合エネルギー効率の向上の中に「グリーン IT プロジェクト」が含まれている。この中で次世代パワーエレクトロニクス技術

開発が進められている。

さらに、Cool Earth—エネルギー革新技術計画においては、部門横断技術の一つとしてパワーエレクトロニクスが取り上げられ、発電、送配電、蓄電、電気機器で使われるワイドバンドギャップ半導体等を活用したインバータ等の省エネルギー技術を開発することを目標としている。

この他、産業技術総合研究所、物質・材料研究機構及び筑波大学が中核となって設立された、つくばイノベーションアリーナでは、六つのコア研究領域のうちの一つにパワーエレクトロニクスを設定して活動している。

産業技術総合研究所は 2010 年 4 月に「先進パワーエレクトロニクス研究センター」を設立し、SiC や GaN 等のワイドバンドギャップ半導体による、パワースイッチングデバイス及び電力変換器の技術確立と実証を目的としている。

民間主導の活動としては、「技術研究組合次世代パワーエレクトロニクス技術開発機構 (FUPET)」と「SiC アライアンス」があり、企業や大学など産学官が幅広く集結するオール・ジャパンの体制で活動している。

日本の標準化戦略としては、内閣に設置されている知的財産戦略本部が策定した「知的財産推進計画 2010」(2010 年 5 月 21 日)において、三つの戦略の一つに、「国際標準化特定戦略分野における国際標準の獲得を通じた競争力強化」が挙げられている。研究開発・事業化戦略と連携した戦略的な国際標準化の推進等を通じて、世界市場の獲得を目指す国際標準化特定戦略分野 (7 分野) が選定され、その中に、パワーデバイスが関係する次世代自動車、鉄道、エネルギーマネジメント (スマートグリッド、創エネ・省エネ技術、蓄電池) が位置付けられている。そこでは、競争力強化戦略の策定・実行、国際標準化機関における幹事国引受件数の増加、国際標準化活動の人材育成 (議長、主査になり得る人材) 等を目標にして、国際標準化活動を総合的に支援するとしている。

外国のグリーンパワー IC に関する産業政策としては、米国では、パワーエレクトロニクスへの国家支援政策として、Center for Power Electronics System (CPES) を中心として推進しており、米国がパワーエレクトロニクス分野の世界的リーダーになることを目的に活動している。

欧州では、パワーデバイス関係のプロジェクトとして、2003 年に設立された European Center for Power Electronics (ECPE) や、スウェーデンの Industrial Microelectronics Center (IMC) における SiC パワー素子開発研究プロジェクト、2010 年 10 月から開始された LAST POWER プロジェクト等が活動している。

中国では、国家エネルギー局による「新エネルギー産業振興計画案」で、風力発電、太陽光発電、バイオマス発電、電気自動車、次世代送電網スマートグリッドを、向こう 10 年間で経済を牽引するグリーン産業の 5 本柱としている。研究開発では国家重点研究所を設置し、パワーデバイスを含むパワーエレクトロニクスの技術力と人材育成を強化している。

韓国では、2009 年に大統領府に緑色成長委員会を設置し、緑色成長に向けた様々な取組を省庁横断で行っている。グリーンテクノロジーへの投資が原子力エネルギー、インテリジェント交通システム、ニューシティ、スマートグリッド、海洋環境などでなされている。

台湾では、国家科学技術大会で策定された「科学技術発展計画」(2009～2012 年)で、新しい重点分野としてグリーンテクノロジー (エネルギーを含む) が挙げられている。

5. 市場動向環境調査の総括

パワーデバイスの世界市場は、2008年に約126億ドルであったが、2009年には、米国のリーマンショックの影響もあり、約106億ドルに減少した。2010年には市場が回復し、2012年には約154億ドルに達し、世界市場はその後、右肩上がりに拡大すると予測されている。

パワーデバイスの主な用途（2009年、金額ベース）は、産業用が約29%、次いで通信約22%、民生機器約18%、コンピュータ16%、自動車約14%、その他と続いている。パワーダイオードとサイリスタの用途では、パワートランジスタと同様に産業用が最大の約30%、次いで民生機器約25%、自動車約22%、コンピュータ約13%、通信約10%、その他と続いている。（出典：WSTS）

パワーデバイスの世界市場（金額ベース）における日本のパワー半導体メーカーの市場シェアは、2003年の37.5%から徐々に減少し、2009年には29.6%まで市場シェアが落ちている。しかし、直近の3～4年における日本メーカーの市場シェアは横ばい傾向を示している。

メーカー別世界市場シェアは、トップのSTマイクロエレクトロニクス（イタリア、フランス）が8.2%、次いで、テキサスインスツルメント（米国）が7.1%、インフィニオンテクノロジーズ（ドイツ）が5.8%、フェアチャイルドセミコンダクター（米国）が4.7%である。日本メーカーで上位にランクされている会社は、東芝、三菱電機、ルネサステクノロジ、富士電機及びロームの5社で、それぞれ世界市場シェア16位までにランクされている。東芝、三菱電機、ルネサステクノロジの市場シェアは3%台で、富士電機及びロームは2%台である。（出典：株式会社アイサプライ・ジャパン）

パワーデバイスの国内生産は、2002年で約2,000億円であり、2003年に若干減少したが、2004年以降着実に増加しており、2008年には約2,750億円に拡大した。しかし、2009年には、約1,850億円まで減少した。2010年には市場が大幅に回復することが期待されている。パワーデバイスでは、パワートランジスタ（1W以上）、整流素子（100mA以上）、サイリスタは、2002年から2008年の6年間で、金額ベースでそれぞれ19%、11%、27%の増加であるが、IGBTは同じ6年間で124%と大幅な伸び率を示した。（出典：社団法人電子情報技術産業協会：JEITA）

【提言1】

グリーンパワーIC を、グリーンテクノロジーの基盤となる要素技術として、資金、技術（ハードウェア+ソフトウェア）、雇用、サービス、知的財産を有機的に結び付け、半導体産業をグローバルに牽引し、世界の社会インフラの進化を支える技術分野と位置付ける。

近年、日本を含む世界各国で、グリーンエネルギー関連技術という社会インフラを進化させる研究開発が積極的に進められている。グリーンエネルギー関連技術は、太陽光発電や風力発電等の CO₂ を排出しない創エネルギー分野、電気自動車での利用が見込まれるリチウムイオン電池等の蓄エネルギー分野、LED やパワーデバイス等の低消費電力化を図る省エネルギー分野に分類される。

省エネルギー分野において、各電力変換地点におけるエネルギーロスを最小化するために重要な役割を担うのが“グリーンパワーIC”である。

ここで、グリーンパワーIC とは、グリーンテクノロジーに貢献し得る広義のパワーデバイスであり、狭義のパワーデバイス、パワーモジュール、狭義のパワーIC 等を含む技術分野であると本調査では定義付け、具体的には、高耐圧ショットキーバリアダイオード、サイリスタ、高耐圧 MOSFET、IGBT、インバータモジュール等を含む。

グリーンパワーIC は、発電・送配電システム（スマートグリッド等）、自動車（EV、HEV 等）、自動車以外の輸送機械（鉄道・船舶・航空機）、産業機器（FA 機器、エレベータ等）、IT 関連機器（パソコン、携帯電話等）、民生・家電機器（エアコン、FPD、AV 機器等）といった幅広いアプリケーション分野で利用されている（図 1-1、図 6-1）。特に、電力ネットワークという社会インフラと関連性の深いスマートグリッドや EV 等のアプリケーションは、グリーンエネルギー関連分野における投資の活発化、ハード・ソフトウェアの研究開発の促進、雇用機会や新しいサービスを創出するという一連のグリーンイノベーションの中心舞台となる。電力制御の要素技術であるグリーンパワーIC は、成長が持続的に期待されるこれらのアプリケーションにおいて不可欠なキーデバイスとして位置付けられる。

現在のパワーデバイスの市場は、半導体市場約 3000 億ドルのうち、約 130 億ドル（約 4.3%）を占めるに過ぎない（図 6-2）。しかし、半導体市場はそれを基礎として約 20 倍規模のサービス産業市場を産み出す。この関係をパワーデバイス市場に当てはめると、パワーデバイスを礎としたサービス産業の市場は約 2600 億ドルとなる。将来、EV、スマートグリッド等のアプリケーションが成長すればサービス市場はさらに成長が見込まれる。また、新材料の製品化が進めば新たなアプリケーションが開発される余地は大きい。こうした事情を背景に、パワーデバイスの今後の市場展望は極めて明るい。

知的財産の観点からは、日本企業は、パワーデバイスの分野における特許は 50% 超のシェアを有し、国内外に多くの特許を出願、保有している（図 2-1、図 2-2、図 2-3、図 2-6、図 2-7、図 2-8、図 3-1、図 3-2、図 3-3、図 3-5、図 3-6）。しかし、パワーデバイス分野における売上高シェアは約 30%（図 6-6）に留まり、特許シェアとのギャップは大きい。この事実から、日本の企業は、特許を出願し、特許を取得するけれども、特許をビジネスに有機的に結び付けられない傾向が見られる。ロジック・メモリ半導体、液晶パネル・太陽光発電パネ

ルのシェア低下の例から分かるように、特許出願、登録数だけでは、競争優位性を維持することはできない。何のために特許を取得するのか目的を明確にし、その目的を達成する手段としての権利取得・管理体制を整備し、個々の事業戦略と有機的に結び付いた長期的な特許戦略を立案、実行することが日本企業にとって急務な課題である。

【提言 2】

グリーンパワーICに関する研究開発を、スマートグリッド、EV等の社会インフラを変革させる大規模なアプリケーションに対応し、かつチューニング技術を徹底したアプリケーションスペシフィックパワーデバイス(ASPD)を中心として加速する。

パワーデバイスでは、ターゲットとするアプリケーション(応用分野)によって、コストや信頼性ととも、要求される機能と性能(低損失、大電流、高温動作、高破壊耐量、高温動作、高耐圧)が異なっている(図1-2)。そのために、要求される電力容量及び周波数の範囲は非常に広く、所定のオペレーション領域に対応した複数種の個性的なグリーンパワーデバイスの開発が必須となる(図6-1)。個々のパワーデバイスの研究開発に当たっては、個別のアプリケーションで必要とされる機能や性能をソフトウェア技術を含めて徹底的にチューニングをしたアプリケーションスペシフィックパワーデバイス(ASPD; Application Specific Power Device)の開発が重要となる。誰もがデファクトと認めるようなアプリケーションを部品供給者としての立場から支える役割を担う。

社会インフラに深く関連したアプリケーションでは、コストという従来の競争軸に加えて、信頼性、耐久性等という安全性に配慮した新たな技術観点が競争軸に加わる。この技術観点は、日本が他国に比較して優位な技術観点である(図2-12 d, e, f、図3-10 c, d)。また、市場勃興期にはハードウェアを中心としたシステムの構成が主流となるが、市場成長とともにハードウェアのソフト化が進行することから、パワーデバイスのシステム開発に当たって、パワーデバイスを効率的に制御するためのソフトウェア技術の開発も欠かすことはできない。また、ハードウェア・ソフトウェアから構成されるシステムは、付加価値がソフトウェアに移転しやすい傾向にあるから、ソフトウェア資産に対する管理には十分注意を払う必要がある。さらに、社会インフラにおけるアプリケーションは、システムの単価が高価であることから、高性能・高機能なパワーデバイスの高コストというデメリットを吸収し得る可能性がある。この特徴を活かすことで、コストの制約が緩和され、より付加価値の高いビジネスモデルを描くチャンスが産み出される。

知的財産の視点からは、デバイスとアプリケーション、ハードウェアとソフトウェアがクロスオーバーする技術領域が特許創出の宝庫となる。また、コストの制約が緩和されることで、斬新なビジネスモデルの特許が生まれる可能性が高まる。日本企業は、アプリケーションを意識したクロスオーバーする分野の特許が海外勢に比較して多い(図2-9、図2-14、図2-15、図2-16、図2-17、図2-18、図3-8)。先端技術分野の研究開発によって、質的に魅力的な特許を取得することで、取得特許をビジネスに活かす工夫が求められる。

【提言 3】

グリーンパワーICに関する人材育成は、大学、業界団体、アライアンス、官庁の人的ネットワークを活用して、多様な技術や知的財産を学ぶ機会を充実させ、国際舞台で通用するグローバルな人材の輩出を目的とする。

グリーンパワーICには、材料、プロセス、デバイス、モジュール、システムに加えてアプリケーションなどの裾野の広い要素技術が必要となる。幅広い分野において、将来にわたってグリーンパワーICの研究開発を継続・発展させるためには、個々の分野の専門家から、クロスオーバーな領域を理解するエンジニアまで多様な人材が不可欠である。そのためには、スペシャリストであるシニアエンジニアに多分野の技術を学ぶ機会を確保するとともに、将来の担い手となる若手エンジニアがグリーンパワーICの基本を学ぶ機会の創設が求められる。特に、人材教育の中心となる大学においては、これまでの材料（基板）・物性評価・回路技術に偏重している傾向を打破し、デバイス構造やモジュール開発、設計ツール開発等のハード面や、システムに関わるソフト面といった、幅広い分野の研究開発を推進する人材育成が急務である。加えて、国際感覚の養成等、グローバルな人材育成も期待される（図 4-4、図 4-5）。

一方、人材教育を大学にだけ依存する体質についても変革が求められ、公的研究機関や企業研究機関に偏在している経験豊かなシニアエンジニアに、研究者であるとともに次世代の若手の教育者としての活躍の場を設けるなど、産業界から大学へのバックアップも欠かせない。大学と公的、企業研究機関との間で積極的に人材交流を活発化することで、教育機会の増設は十分に可能である。例えば、パワーエレクトロニクスが一つのコア研究領域になっている つくばイノベーションアリーナ（TIA；Tsukuba Innovation Arena）や、SiC アライアンスは、人材育成や人材交流の場としての成功例を築き、後続の者の範となる成果を出すことが期待される（第5章第1節1.）。

また、先端研究開発から有用な知的財産を産み出す個々のエンジニアに対して、知財財産の重要性を学ぶ機会を充実させることは、極めて重要である。専門性に依存するエンジニアに対する知財教育に関しては、特許制度の本質を熟知している審査官の派遣を含めて、特許庁は積極的に大学を支援していく必要がある。

【提言 4】

グリーンパワーICに関する情報発信を、国内外のエンジニアがコンセンサスの形成をするために必要となる技術情報の共有化に資する活動として位置付け、その延長線上として国際標準化を進める際には、特許を有効な交渉ツールとして積極的に活用する。

海外においてグリーンパワーICについて日本のプレゼンスを高めるためには、まず、国内において、基板メーカー、装置メーカー、デバイスメーカー、実装材料メーカー、セット／

システムメーカーが有機的に連携し、技術トレンドのコンセンサスを形成する仕組みが不可欠である（第5章第1節1.）。公的研究機関、アライアンスは、中立性、公平性を活かして、研究開発プログラムのコーディネータ等の役割を果たしながら、コンセンサス形成の場を形成することが求められる。既に発足している SiC アライアンスや技術研究組合次世代パワーエレクトロニクス技術開発機構（FUPET；R&D Partnership for Future Power Electronics Technology）、産業技術総合研究所の拠点を活用する つくばイノベーションアリーナ（TIA）、グリーンパワーICに関わる電気学会や電子情報通信学会等においては、参加者間で草の根的に技術の議論を重ねるとともに、特許情報を含めた技術データベースの整備等の活動が求められる。国内で形成されたコンセンサスは同時に海外に対しても形成していくことが求められ、そのためには、日本がパワーデバイス技術関連情報の発信基地として積極的な情報発信をする活動が望まれる。

また、国の標準化戦略としては、知的財産戦略本部の知的財産推進計画 2010 において、「国際標準化特定戦略分野における国際標準の獲得を通じた競争力強化」という戦略で、研究開発・事業化戦略と連携した戦略的な国際標準化の推進等を通じて、世界市場の獲得を目指す国際標準化特定戦略分野（7分野）が選定され、その中に、グリーンパワーICが関係する次世代自動車、鉄道、エネルギーマネジメント（スマートグリッド、創エネ・省エネ技術、蓄電池）が位置付けられている（第5章第3節）。このようなパワーデバイスのアプリケーションでは、国として、例えば、アジア各国での低価格品に対して競争力を持って、アジアにおける市場を拡大していくため、アジア各国とともに、省エネ性能や耐久性を客観的でフェアに評価する方法を確立し、アジアに合った規格を国際標準化機関に提案していくことが望まれる。

標準化活動において、基本特許を所有していることは、交渉を進める際に大きな武器となる。それは、基本特許を開放して、参加者に自由に研究開発ができる環境を提供することが可能になるためであり、特許の公共財化として利用を進めることが、結果的に標準化を推し進めることに寄与するからである。特許を標準化のために利用することが可能になれば、取得特許の活用方法に新たな選択肢を加えることにつながり、特許取得の目的をより明確化することにもつながる。また、特許活用を含めて、国際的なコンセンサスを形成できる交渉力のある人材育成は急務である。

【提言5】

Si系パワーデバイスの分野では、超接合、薄型化、モジュール化、生産管理技術、ソフトウェア等の研究開発を中心に ASPD（アプリケーションスペシフィックパワーデバイス）を深化させ、信頼性を含めた新たな競争軸で勝負するとともに、コモディティー化するボリュームゾーンでは、特許ライセンス等を活用し、win-winとなるパートナーシップを形成し、コスト競争下においても利益を産み出すビジネスモデルを構築する。

パワーデバイスの世界市場では、日本を除くアジアパシフィックの占める割合は半分強で年々増加している（図 6-3、図 6-4）。現時点は、日米欧の企業がこの成長市場を奪い合う展

開になっている（図 6-7）。今後、市場規模の拡大とともに、製品のコモディティー化が進めば、中国、韓国、台湾等のコスト競争力のある企業の参入が予想され、そのときには、後発メーカーは、低価格競争に打ってでることが予想される。

こうした将来予測を踏まえた対応としては、①常に新しい研究開発に取り組み、アプリケーションスペシフィックパワーデバイス（ASPD）を深化させ、技術的先進性を確保し、そこで産み出される研究開発成果を有望な海外市場を含めて特許化すること、②アプリケーションへのチューニング技術はハード・ソフトの両面から開発を進めること、③生産管理技術をブラッシュアップするとともに、ノウハウと権利化できる知的財産を的確に識別し、将来の技術移転が可能なように自社の保有する知財管理を商品として管理すること、④正規のライセンスを希望する後発メーカー（同業メーカーはもちろん、上流から下流まで様々な業種のメーカーを含む）に対して、技術移転を行うことで技術提供と製品提供の関係において win-win のパートナーシップを築くこと、⑤不法な技術流出が起きないように模倣品対策、情報管理を徹底すること、が挙げられる。コモディティー化が進むボリュームゾーンにおいて利益を産み出すビジネスモデルの構築には、長期的で知的財産を活用した事業戦略が有効である。

Si 系パワーデバイスにおける具体的な研究開発テーマとしては、低コスト化にかかわる IGBT ウエハの大口径化やその薄型化、超接合などのデバイス特性の向上（図 2-19、図 2-20）、標準化につながる評価技術、生産管理技術、設計を効率化するための統合設計支援技術、モジュールやアプリケーションにおける最適制御技術などが重要分野として挙げられる。

【提言 6】

SiC 系パワーデバイスの分野では、基板の大口径化、長尺化、切削研磨等を中心とした基板加工技術、誘電体膜の信頼性を含む MOS デバイス技術、インテリジェントパワーモジュール技術等の研究開発に注力し、研究開発成果を海外を視野に入れて特許化するとともに、市場の早期立ち上げのために競争より協業に力点を置き、アライアンス等の諸団体を通じて、特許の公共財化、関係者の人的ネットワークの強化を推進する。

SiC 系のパワーデバイスが置かれている現状は、京都大学、産業技術総合研究所等が国家プロジェクトとして継続的な基礎研究を進めてきた研究成果が蓄積され、グリーンテクノロジーへの追い風とともに、次世代グリーンテクノロジーの代表格として注目を集める状況にある（図 5-3）。市場に関しては、勃興期にあり数値化できないレベルであるが、イノベーションを加速する仕組みが機能すれば、2015 年に次世代パワーデバイス（SiC 系、GaN 系）として 100 億円超の市場になると予測されている。

ワイドバンドギャップ半導体材料分野が特許創出の宝庫であることは明白であり、将来の市場がグローバルに拡大することが予想されることから、特許取得に関しては、国内特許に偏重せず、米国、欧州といった先進国、中国を含めた BRICs 諸国など、市場成長が見込まれる海外における特許取得を視野に入れたグローバルな特許戦略が求められる。

SiC 系パワーデバイスの特徴は、高パワー密度化を実現し、高温動作を可能にする点にあ

る（第1章第3節3.）。こうした材料の個性を活かすためには、バルク成長だけでなくエピタキシャル成長、基板加工技術を含めた、高品質で安価（製造コスト低減と大量生産）な基板（ウエハ）を製造する基板技術が必須となる。従来の種付け昇華法の改良とともに、繰り返し a 面成長法（Repeated A-Face growth method:RAF 法）などの新たな技術を実用化していくことが望まれる。SiC 基板を海外の特定のメーカーだけに頼らないレベルに研究開発力を引き上げ、サイズ、価格、品質の点で、海外メーカーと遜色ない基板を供給できる国内の基板供給体制を整備することが求められる（図 2-21、図 5-1、図 5-2）。

また、今後の有望市場であるアプリケーションスペシフィックパワーデバイス（ASPD）を早期に立ち上げるためには、基板メーカー、装置メーカー、デバイスメーカー、実装材料メーカー、セット/システムメーカーが有機的に連携し、競争より協業を重視するコンセンサスを形成する場が求められる。そのためには、2010年4月に発足した民間主導のSiCアライアンスの活動に期待したい（第5章第1節1.）。さらに、SiCアライアンスには、他者の研究成果を積極的に利用促進するための仕組みについて、特許制度を有効活用して実現する活動（パテントプールやプロフィットプールなど）など、市場成長を加速するための環境整備に取り組むことが望まれる。

【提言 7】

GaN 系パワーデバイスの分野では、エピタキシャル成長技術（装置技術を含む）を基軸とした GaN on Si 技術、GaN バルク基板技術、実用的な CMOS 技術、インバータ IC 化技術等を中心とした研究開発に注力し、研究開発成果を海外を視野に入れて特許化するとともに、国内に分散しているパワー系 GaN の研究者のネットワークを強化し、業界が抱える問題を提起したり、国家プロジェクト等を提案、運営できるアライアンスを形成する。

GaN 系は、光デバイスを中心にした長い研究開発を経ており、材料自身に対する研究成果の蓄積は大きい。もっとも、パワーデバイスの市場として見た場合、GaN 系パワーデバイスの市場はまだ萌芽期である。しかし、通信基地局など社会インフラを支える市場が既に先行している点、光デバイスを中心に蓄積された膨大な技術力を背景に持つ点など、グリーンイノベーションの時代には、一気に市場拡大が加速する可能性を秘めた魅力あるパワーデバイスである（第1章第3節3.）。新材料分野が特許創出の宝庫であることは SiC と同様な状況であり、将来の市場がグローバルに拡大することが予想されることから、特許取得に関しては、国内特許に偏重せず、米国、欧州といった先進国のみならず、中国を含めた BRICs 諸国など、市場成長が見込まれる海外における特許取得を視野に入れたグローバルな特許戦略が求められる。

GaN 系パワーデバイスにおいて注目される技術領域には、エピタキシャル成長技術（装置技術を含む）を基軸とした GaN on Si 技術、GaN バルク基板技術、さらにはインバータ IC 化技術等がある（図 5-1、図 5-2）。GaN on Si 技術は、コスト的な優位性から、GaN 系パワーデバイスの市場創設を牽引する基板技術として位置付けられる（図 2-22、図 2-23）。異種接合

技術の本質的な問題である、結晶性の改善を中心に、今後、実用化のための研究開発成果の蓄積が求められる。また、GaN バルク基板技術は、究極の基板技術として研究開発から目が離せない。なぜなら、GaN バルク基板が提供されるようになれば GaN 系パワーデバイスの特徴を活かせる縦型のデバイス構造を採用することが容易となり、GaN 系パワーデバイスのトレンドに大きな影響を与えるからである。さらに、インバータ IC 化技術は、いかにして集積化を進めていくかという半導体産業の使命とも言える課題に取り組む分野として、将来の布石となる技術分野である。

また、GaN 系パワーデバイスの分野では、国内に分散している GaN 系パワーデバイス関係者はもとより、GaN 系光デバイス関係者も視野に入れた、研究者のネットワークを強化する団体の設立が求められる。当該団体には、技術情報の交換といった目的に加えて、例えば「輸出貿易管理令」での規制の在り方（特に GaN エピ装置）のような業界が抱える諸問題の提起（第 5 章第 1 節 4.）、国家プロジェクトの提案、運営など、業界内のニーズを汲み上げて、関係者のビジネス環境を整備する役割が求められる。SiC アライアンス等を参考に、GaN アライアンスの早期設立が求められる。

以上のような提言を踏まえ、改めて、Si 系パワーデバイスにおける提言の相関図を図 7-2 に、ワイドバンドギャップ半導体材料系（SiC 系、GaN 系）パワーデバイスにおける提言の相関図を図 7-3 に示す。

図 7-2 Si 系パワーデバイスにおける提言の相関図

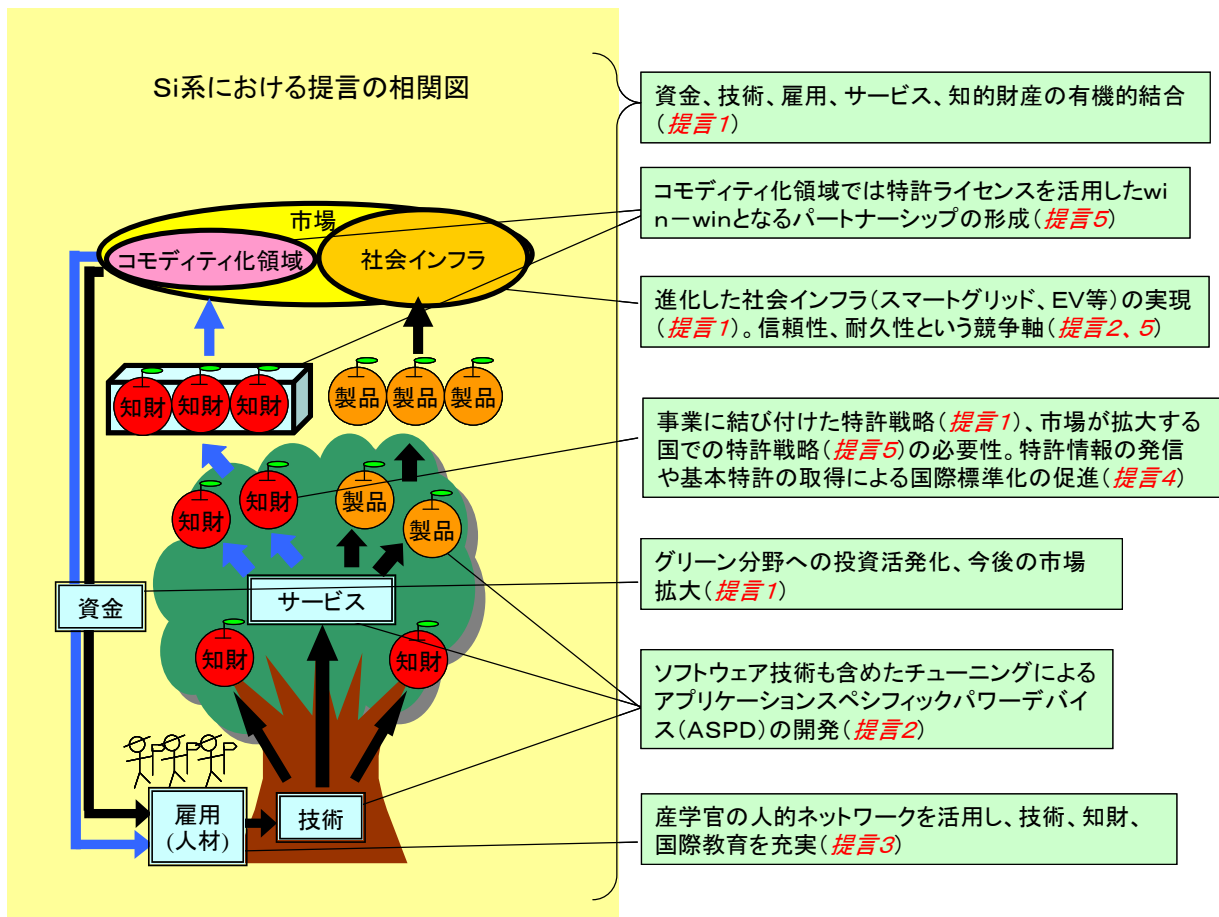


図 7-3 ワイドバンドギャップ半導体材料系パワーデバイスにおける提言の相関図

