

令和3年度特許出願技術動向調査 — GaN パワーデバイス —

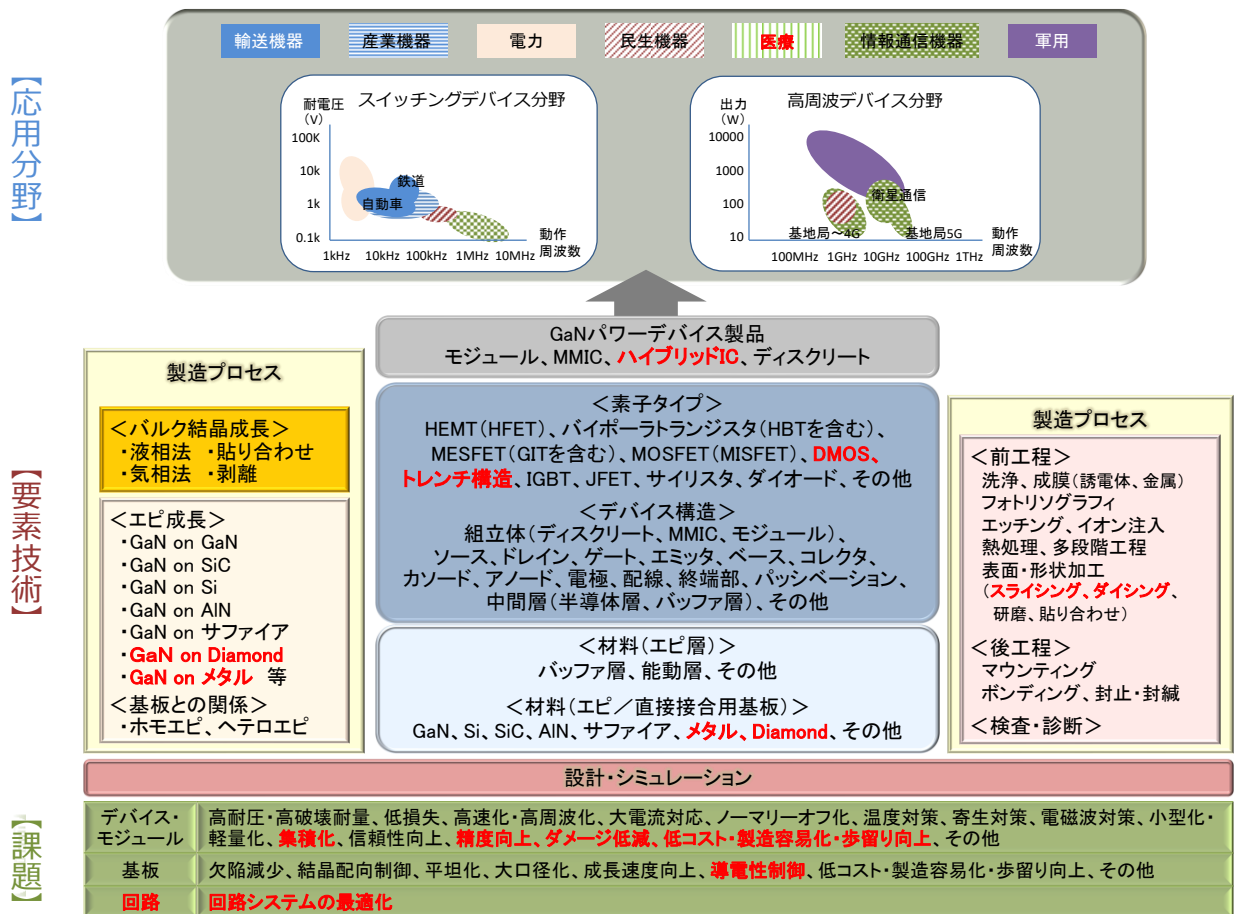
はじめに

パワーデバイスは、鉄道や自動車等の車両、冷蔵庫やエアコンなどの家庭電化製品、パソコンやスマートフォン等の情報通信機器、発電・送電システム等、様々な分野で応用されており、省エネルギー化を目指してさらなる性能向上が求められている。特に世界の2050年カーボンニュートラルへの道筋の中で、グリーン成長戦略とともに新たな産業創出の観点からも重要な位置付けとなっており、成長領域としての期待も高まっている。

パワーデバイス素材の中でもシリコン（Si）結晶基板を使ったパワーデバイスでの特性改善が限界に近づきつつある。GaNの材料特性は、バンドギャップはSiの約3倍の大きさで、絶縁破壊電界は約11倍である。このため、GaNデバイスはSiデバイスと比べて、ドリフト層の厚さを薄くでき、熱損失の原因となるオン抵抗を小さくできる。

GaNパワーデバイスの技術俯瞰図を図1に示す。要素技術としては、材料から製品に至る物の流れに沿って整理した。材料については、エピ用基板、エピ層及びその間に挿入するバッファ層のそれぞれに特有の材料技術に加え、材料の組合せにも注目した。【図1】

【図1】 GaN パワーデバイスの技術俯瞰図



※赤字の項目は平成28年度調査時の技術俯瞰図に対し追加された技術区分である。

①調査範囲

・特許文献

出願年（優先権主張年）：2009年～2019年

（2008年以前のデータについては、平成28年度に実施された同テーマの調査の結果を利用している。）

出願先国・地域：日本、米国、欧州、中国及び韓国

使用した商用データベース：Derwent World Patents Index¹（DWPI）

※本調査において、「欧州への出願」は、欧州特許条約（EPC）に基づく欧州特許庁及びEPC加盟国（本調査で使用したデータベース（DWPI）に収録された出願先国²に限る）への出願を意味する。

※本調査の出願人国籍・地域別出願動向における「欧州籍の出願」とは、EPC加盟国である38か国³の国籍の出願人からの出願とする。

・非特許文献

発行年：2009年～2020年

使用した商用データベース：Scopus（エルゼビア ビービー（オランダ）の登録商標）及びIEEE Xplore

②調査手法

・特許文献

GaNパワーデバイスに関する特許文献をデータベースから抽出するために、国際特許分類、関連するキーワード等を組み合わせて検索を行った。抽出された文献について、人手による特許公報（明細書等）の読込解析を行い、ノイズ（調査テーマに関連しない特許文献）を排除することによって調査対象となる母集団を得た上で、特許文献ごとに適切な技術区分を付与した（母集団とされた特許文献の書誌情報や技術区分付与結果は、解析・集計され、特許動向の分析に用いた。）。

・非特許文献

GaNパワーデバイスに関する論文をデータベースから抽出するために、キーワードを組み合わせ検索を行った。抽出された論文について、人手による抄録の読込解析を行い、ノイズ（調査テーマに関連しない論文）を排除することによって調査対象となる母集団を得た上で、論文ごとに適切な技術区分を付与した（母集団とされた論文の書誌情報や技術区分付与結果は、解析・集計され、研究開発動向の分析に用いた。）。

¹ キャメロット ユーケイ ビッドコ・リミテッドの登録商標、Clarivate Analytics 社提供

² オーストリア、ベルギー、スイス、チェコ、デンマーク、スペイン、フィンランド、フランス、ドイツ、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、ポーランド、トルコの22か国。

³ アルバニア、オーストリア、ベルギー、ブルガリア、スイス、キプロス、チェコ、デンマーク、エストニア、スペイン、フィンランド、フランス、ドイツ、イギリス、ギリシア、クロアチア、ハンガリー、アイルランド、アイスランド、イタリア、リヒテンシュタイン、リトアニア、ルクセンブルク、ラトビア、モナコ、マケドニア旧ユーゴスラビア、マルタ、オランダ、ノルウェー、ポーランド、ポルトガル、ルーマニア、セルビア、スウェーデン、スロベニア、スロバキア、サンマリノ、トルコの38か国。

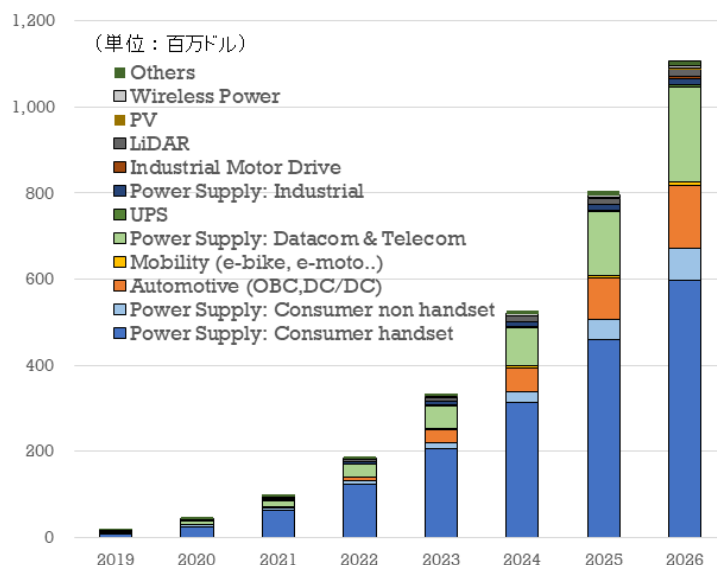
1. 本調査の結果概要

- (1) バルク結晶分野では、気相法、アモノサーマル法、フラックス法、貼り合わせ、剥離が提案され、欠陥減少、低コスト・製造容易化・歩留り向上で競っている。
- (2) 高周波デバイス分野では、高速化・高周波化に有利な横型 HEMT 構造が指向され、携帯電話基地局など通信インフラ向けに応用が広がっている。
- (3) スイッチングデバイス分野は、急速充電器への適用と共に急成長を遂げ、電力、自動車分野へ応用が広がっている。高耐圧・高破壊耐量、オン抵抗低減、温度対策を課題とする出願、論文発表が多く、研究発表では縦型デバイス構造が増えている。
- (4) GaN デバイス単体の性能向上が図られる一方で、モジュール／パッケージ／回路システムの最適化によって、高性能、高付加価値製品を目指す動きが見られる。
- (5) 中国は、2015 年頃から出願及び論文発表件数を増やして、国籍・地域別件数ランキングの上位を占めるようになった。

2. 市場動向

- (1) GaN パワー高周波デバイスは、4G-LTE 基地局への採用、5G 通信インフラのパワー増幅への応用、防衛分野向けで高成長を示すと予測されている。
- (2) GaN パワースイッチングデバイスの市場は、2018 年に携帯機器アクセサリ市場向け USB 充電器に初めて採用されたことを契機に、急拡大することになった。今後は、データセンターや 5G 基地局向け高効率電源、EV/HEV の自動車向けオンボードチャージャーや DC/DC コンバータが成長していくと予測されている。【図 2】
- (3) 競争が激化する中で、需要拡大に向けて有利なポジションをとるために、戦略的な提携や企業買収が活発になっており、基板供給からアプリケーション製造に至る巨大なサプライチェーン群が林立して対抗する状況になっている。

【図 2】 GaN パワースイッチングデバイスの応用分野別世界市場推移／予測（金額）



出典：GaN Power 2021: Epitaxy, Devices, Applications and Technology Trends, Yole Developpement, May 17, 2021

3. 政策動向

(1) 日本における政策動向

GaN パワーデバイスに関わる政策としては、内閣府の「戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)」、経済産業省の「電気機器性能の向上に向けた次世代パワーエレクトロニクス技術開発事業」、文部科学省の「省エネルギー社会の実現に資する次世代半導体研究開発」、三府省合同（内閣府、文部科学省、経済産業省）「窒化ガリウム (GaN) 等の次世代半導体研究開発事業」がある。経済産業省は「半導体・デジタル産業戦略」の一環として、環境省は「GaN (窒化ガリウム) 技術による脱炭素社会・ライフスタイル先導イノベーション事業」及び「革新的な省 CO₂ 実現のための部材や素材の社会実装・普及展開加速化事業」として支援している。

文部科学省は、名古屋大学、名城大学、物質・材料研究機構及びこれらの分担機関からなる拠点を構築した。加えて、研究機関としては、科学技術振興機構の愛知地域スーパークラスター、一般社団法人 GaN コンソーシアム、産業技術総合研究所・名古屋大学窒化物半導体先進デバイスオープンイノベーションラボラトリがある。

(2) 海外における政策動向

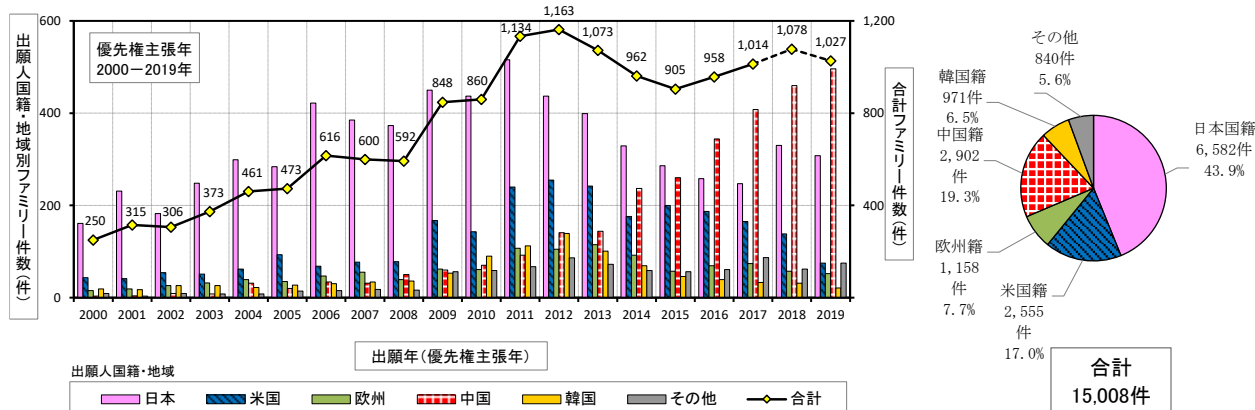
米国や欧州は、パワーエレクトロニクス関連に国家的な開発投資を行ってきた。一方、中国では、2008 年に「国家知的財産権戦略綱要」が公布され、特許補助政策により、出願件数が飛躍的に伸びてきた。ただし、近年では出願構造改革が進められ、品質重視への転換がなされようとしている。

4. 特許出願動向

(1) 出願人国籍・地域別ファミリー件数動向

ファミリー件数の合計は 15,008 件であり、日本国籍は 6,582 件で全体の 43.9% を占める。次いで中国籍、米国籍、欧州籍、韓国籍と続く。【図 3】

【図 3】 出願人国籍・地域別ファミリー件数推移及び件数比率（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2019 年）



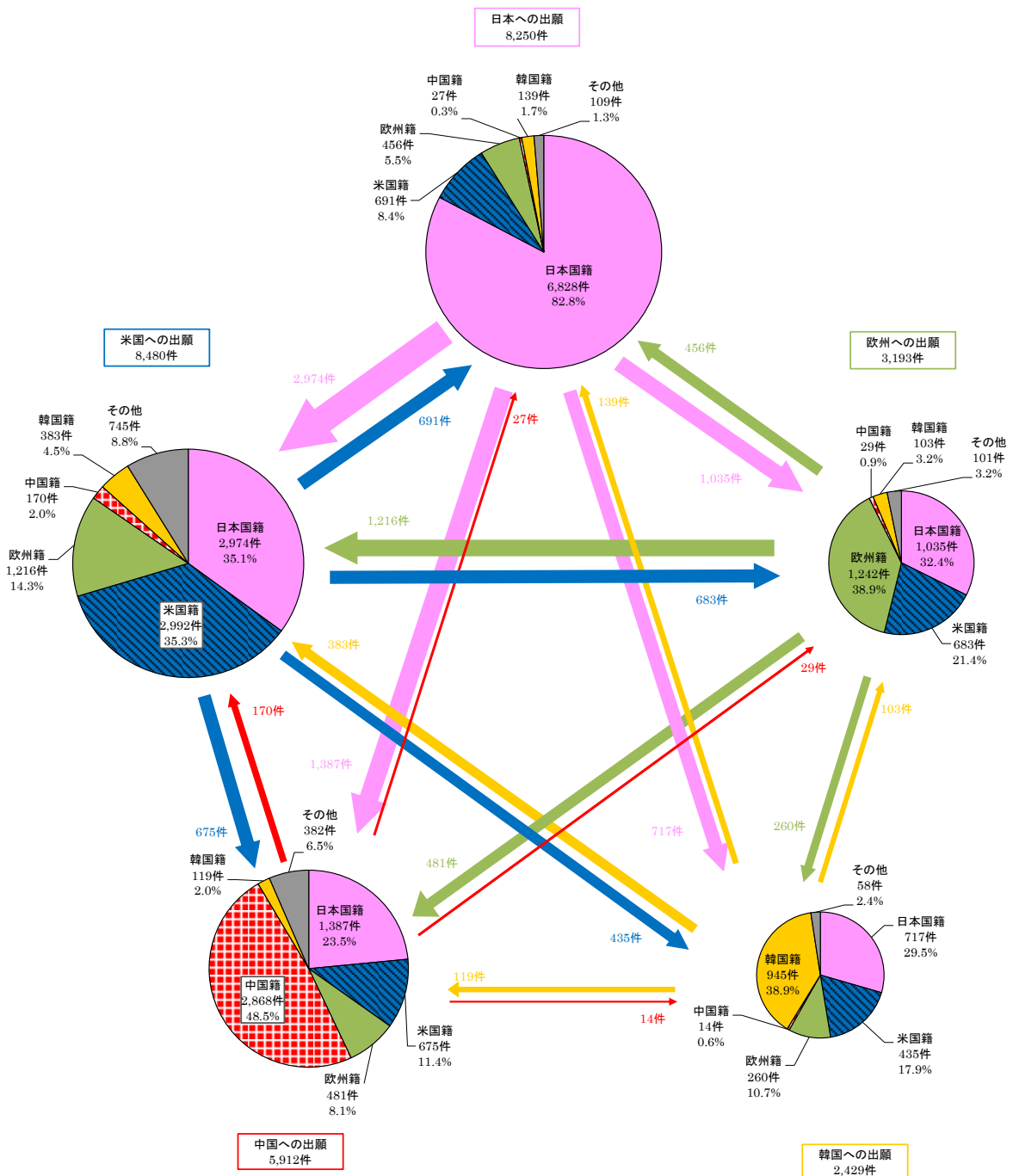
注)2018年以降はデータベース収録の遅れ、PCT出願の各国移行のずれ等で全出願データを反映していない可能性がある。

合計ファミリー件数は、日米欧出願人からの出願数が減少したため、2012年をピークにその後の3年間は減少傾向にあったが、2016年以降は中国籍からの出願が大幅に増加して、全体としては再び増加傾向に転じている。

(2) 日欧米中韓における出願収支

出願先国・地域別一出願人国籍・地域別出願件数収支では、日本から米欧中韓への出願が多い。中国では、中国籍出願人による自国への出願が多い。【図4】

【図4】 出願先国・地域別一出願人国籍・地域別出願件数収支（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2019年）

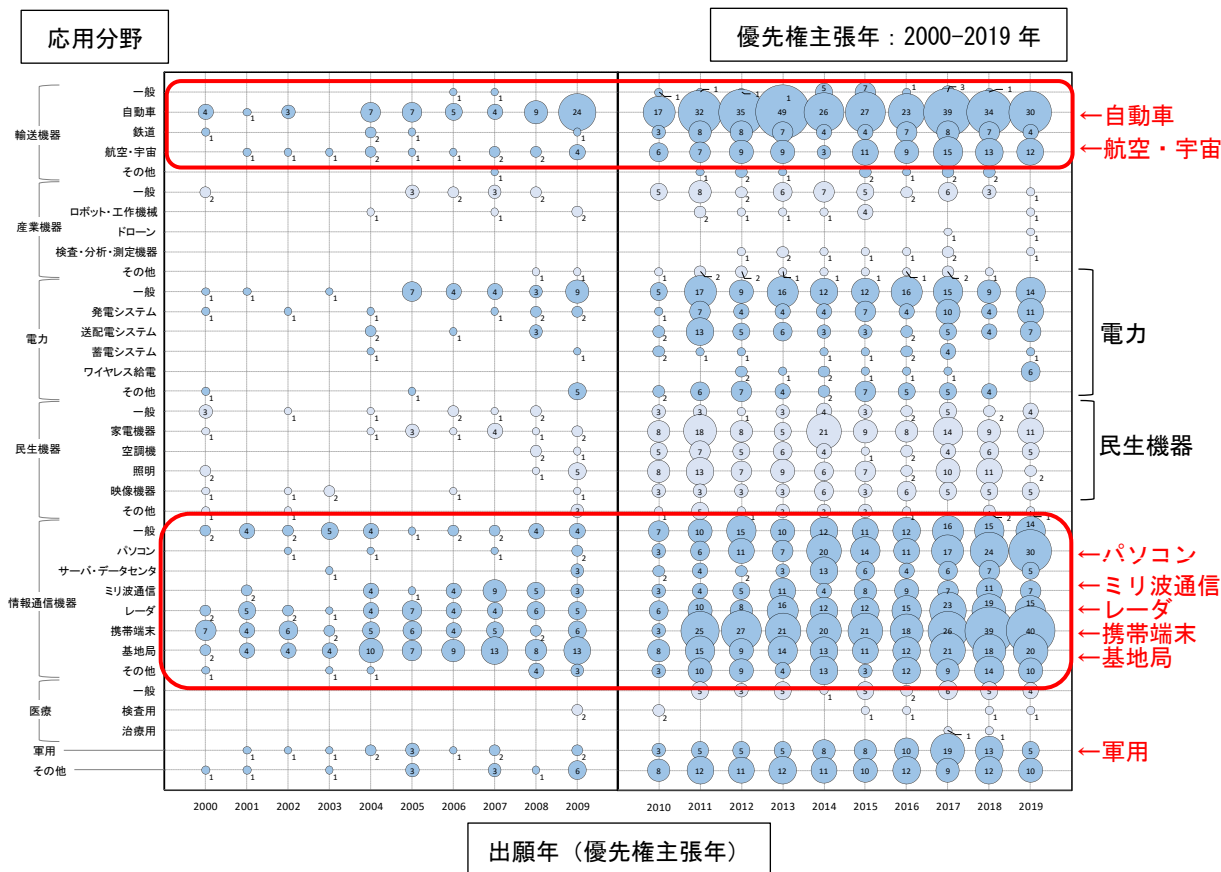


(3) 全体の技術区分別出願動向

全体の技術区分（応用分野）別ファミリー一件数推移を見ると、自動車、電力一般、情報通信機器一般、ミリ波通信、レーダ、携帯端末、基地局に加えて、航空・宇宙、民生機器、パソコン用途、軍用に係る出願が増加している。【図5】

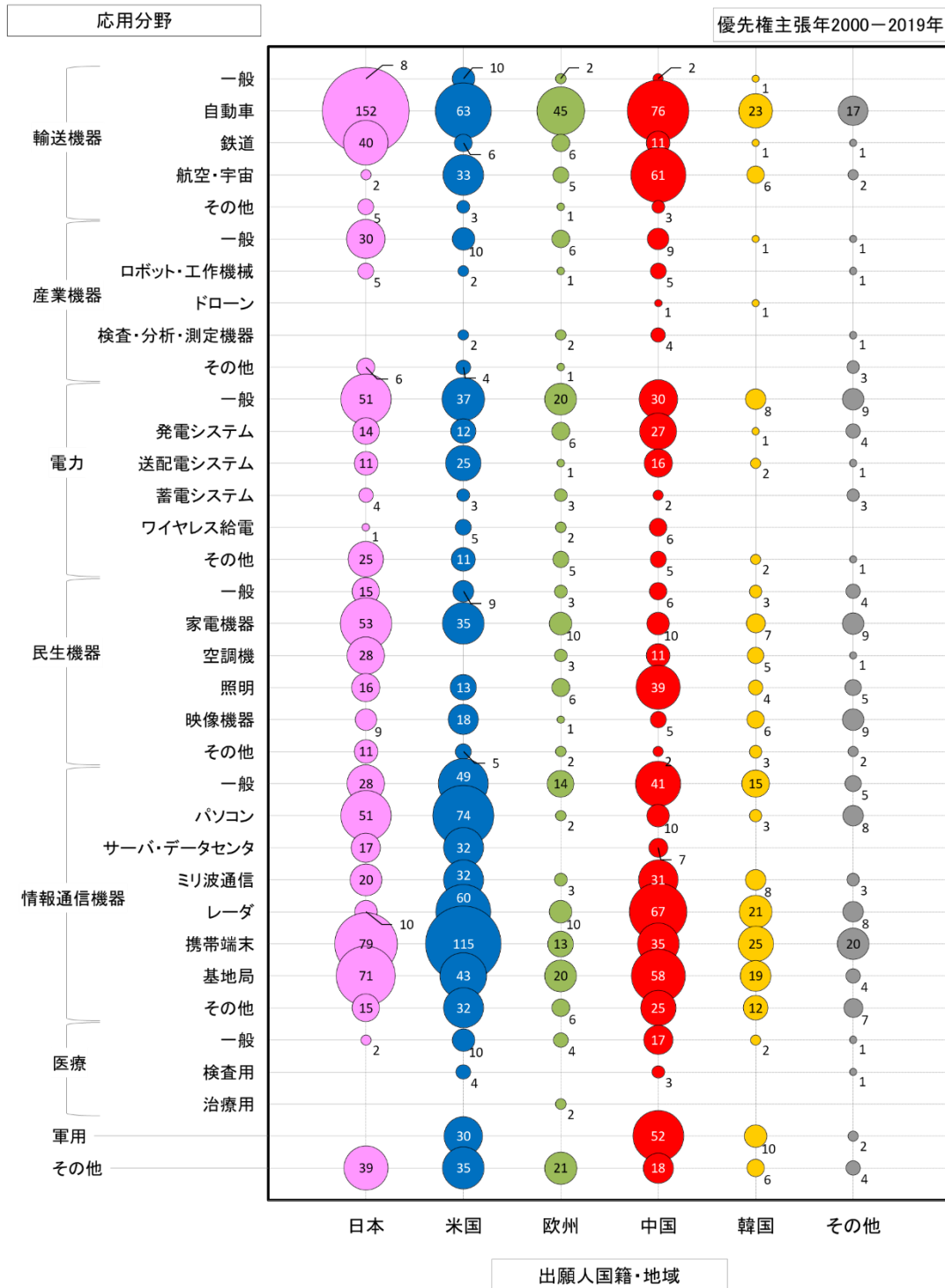
技術区分（応用分野）に関する技術区分一出願人国籍・地域別ファミリー一件数を見ると、日本国籍出願人については、自動車に係る出願が最も多く、次いで携帯端末、基地局、家電機器、電力一般、パソコンの順となっている。米国籍出願人については、携帯端末に係る出願が最も多く、次いでパソコン、自動車、レーダとなっている。興味深いのは中国籍出願人で、自動車に係る出願が最も多く、次いでレーダ、航空・宇宙、基地局、軍用となっている。軍用は、中国籍、米国籍、韓国籍出願人の順でファミリー一件数が多く、航空・宇宙でも、中国籍、米国籍出願人の順でファミリー一件数が多い。国力を示そうとする各国の力の入れ様が応用分野の傾向からも分かる。【図6】

【図5】 全体の技術区分（応用分野）別ファミリー一件数推移（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2019年）



注) 2018年以降はデータベース収録の遅れ、PCT出願の各国移行のずれ等で全出願データを反映していない可能性がある。

【図6】全体の技術区分（応用分野）別一出願人国籍・地域別ファミリー一件数（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2019年）

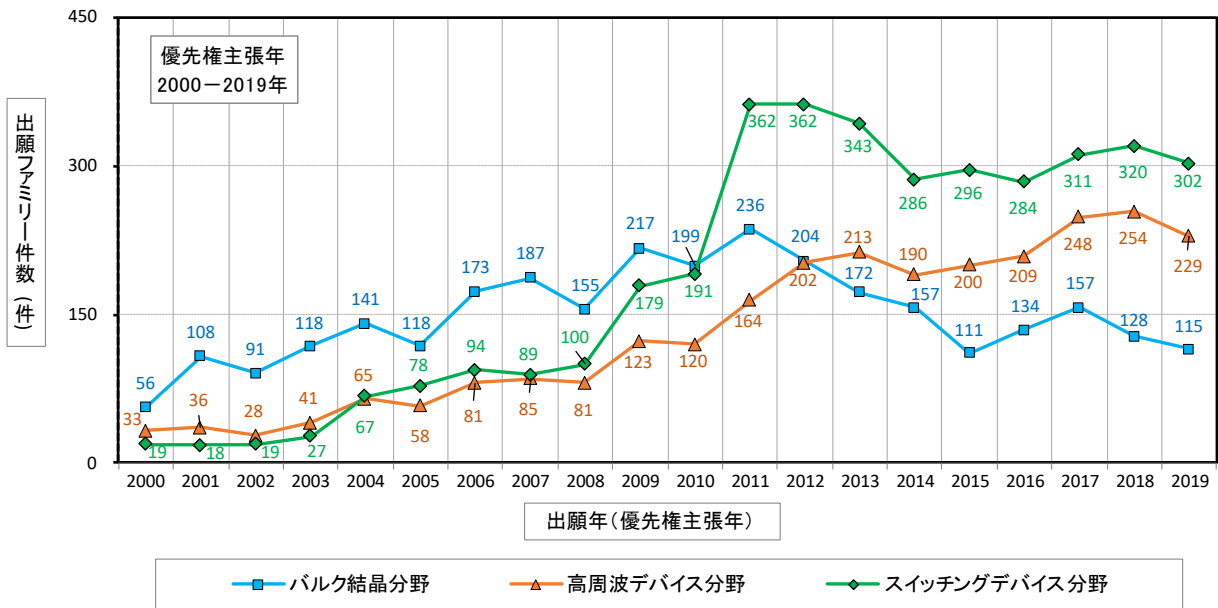


(4) 分野別出願動向

分野別ファミリー一件数推移を見ると、バルク結晶分野のファミリー一件数は、2011年をピークに減少傾向にある。高周波デバイス分野のファミリー一件数は、増加傾向を継続している。スイッチングデバイス分野のファミリー一件数は、2011年まで増加を続け、2014年以降は横ばいとなっている。【図7】

出願人国籍・地域別ファミリー件数比率を見ると、バルク結晶分野では、日本国籍出願人が半分以上を占め強みを見せる。高周波デバイス分野では、中国籍出願人が第1位に躍進している。スイッチングデバイス分野では、日本国籍出願人が第1位で、中国籍出願人が第2位につけている。【図8】

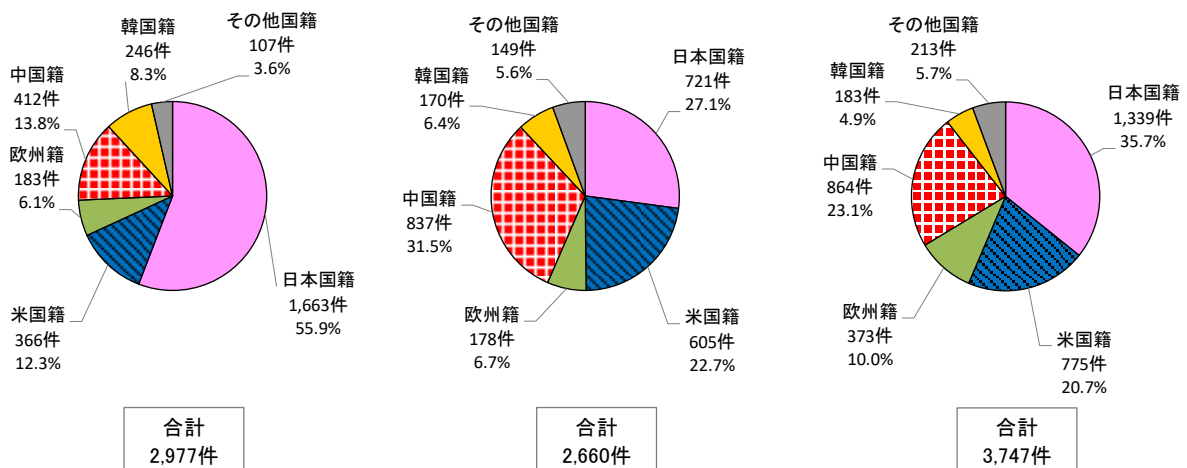
【図7】分野別ファミリー件数推移（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2019年）



注) 2018年以降はデータベース収録の遅れ、PCT出願の各国移行のずれ等で全出願データを反映していない可能性がある。

【図8】出願人国籍・地域別ファミリー件数比率（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2019年）

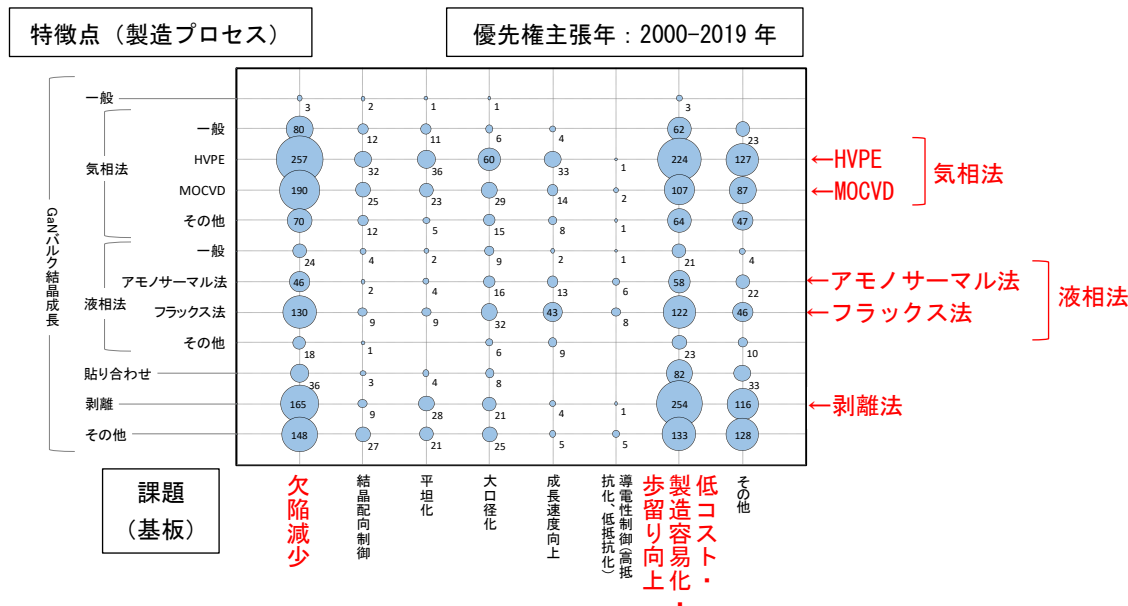
(a) バルク結晶分野 (b) 高周波デバイス分野 (c) スwitchングデバイス分野



(5) バルク結晶分野における技術区分別動向

GaN バルク結晶成長法は多岐にわたるが、中でも気相法／HVPE、気相法／MOCVD、液相法／フラックス法、剥離に関する出願が多い。課題では、欠陥減少と、低コスト・製造容易化・歩留り向上が多く、量産において重要かつ優先度の高い内容である。【図 9】

【図 9】 バルク結晶分野における技術区分（課題（基板））別一技術区分（特徴点（製造プロセス）・GaN バルク結晶成長）別ファミリー件数（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2019 年）



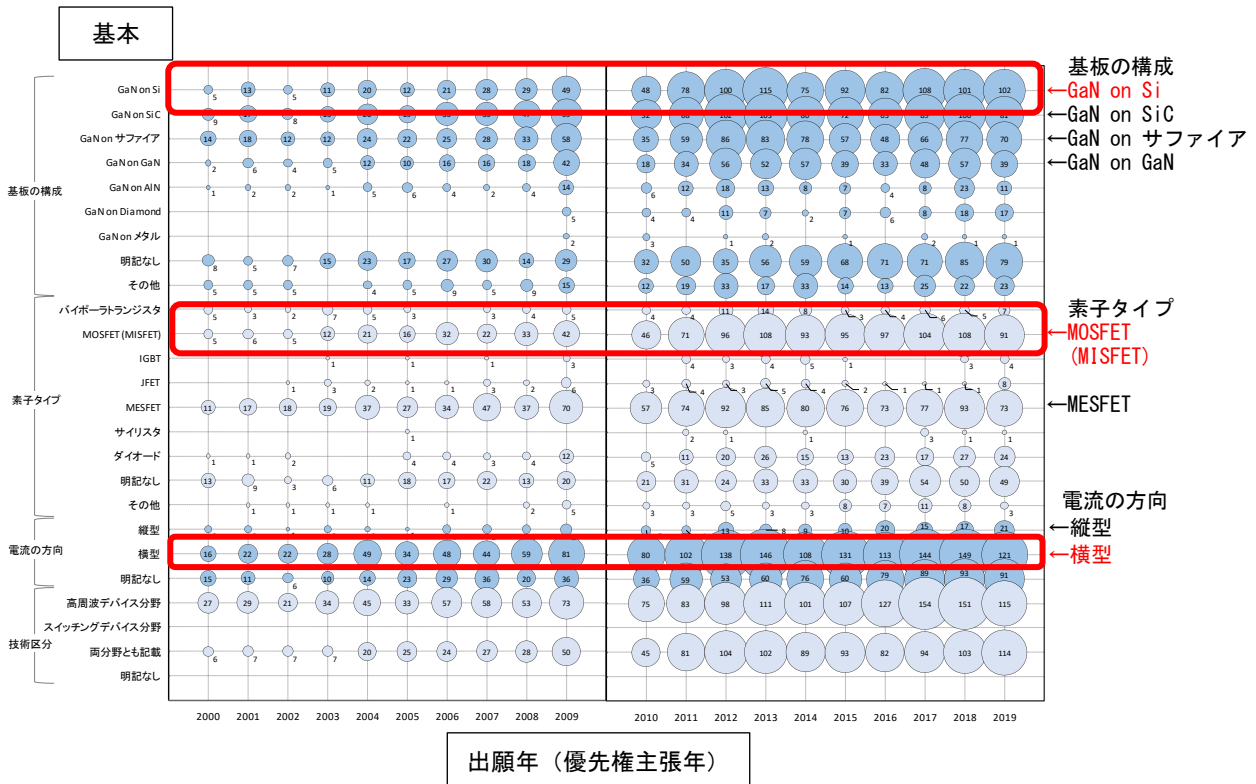
(6) 高周波デバイス分野における技術区分別動向

基板構成では、GaN on Si が最も多く、GaN on SiC、GaN on サファイア、GaN on GaN と続いている。素子タイプでは、MOSFET (MISFET)、MESFET の順に件数が多い、電流の方向は横型が多い。高周波デバイスでは、GaN の特質を最大限発揮できる横型 HEMT 構造が指向されている。【図 10】

モジュール構造に関する出願は、近年増加傾向にある。モノリシック集積回路では MMIC、素子レベルでの混載に係る出願が多く、パッケージでは、多チップ積層・一体化、冷却方法、回路に係る出願が多い。高周波デバイス分野における高速化・高周波化、温度対策、集積化などの諸課題をモジュール構造や回路システムの最適化によって解決し、高性能、高付加価値製品を生み出そうとする動きが見える。【図 11】

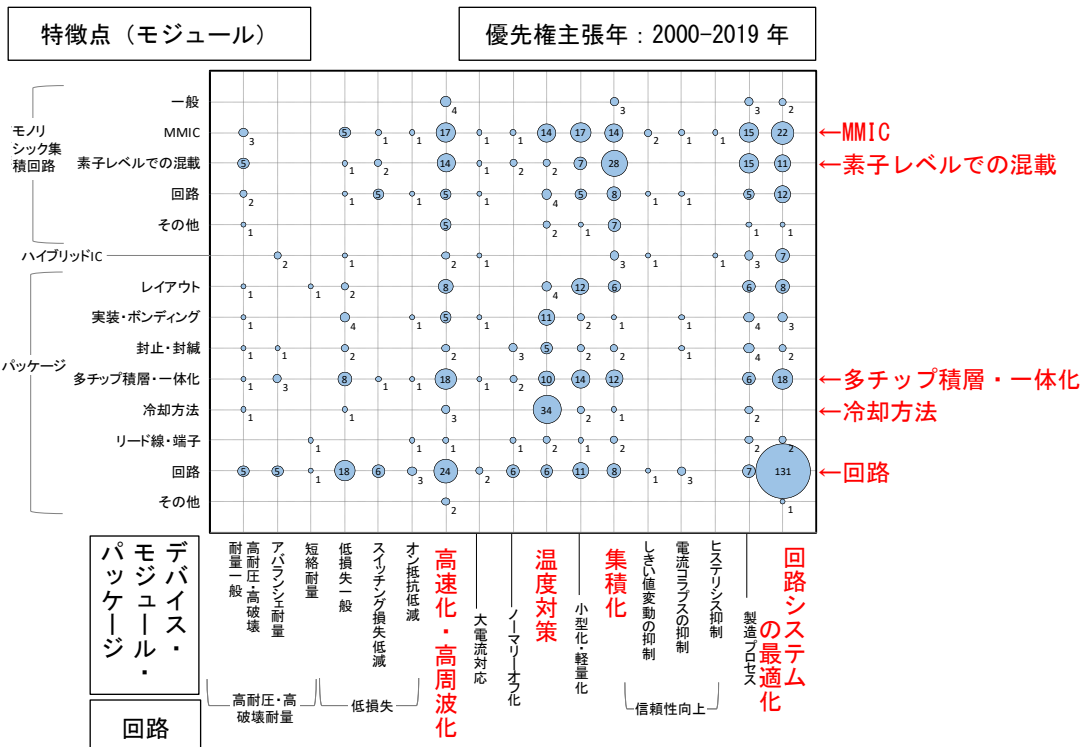
また、高周波デバイス分野では、高耐圧・高破壊耐量一般、オン抵抗低減、高速化・高周波化、ノーマリーオフ化、温度対策、電流コラプスの抑制、製造プロセスなどの課題から動機付けられ、エピ成長（半導体層）、誘電体膜形成、金属膜形成、エッチングについて多く出願されている。【図 12】

【図 10】高周波デバイス分野における技術区分（基本）別一ファミリー件数推移（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2019年）

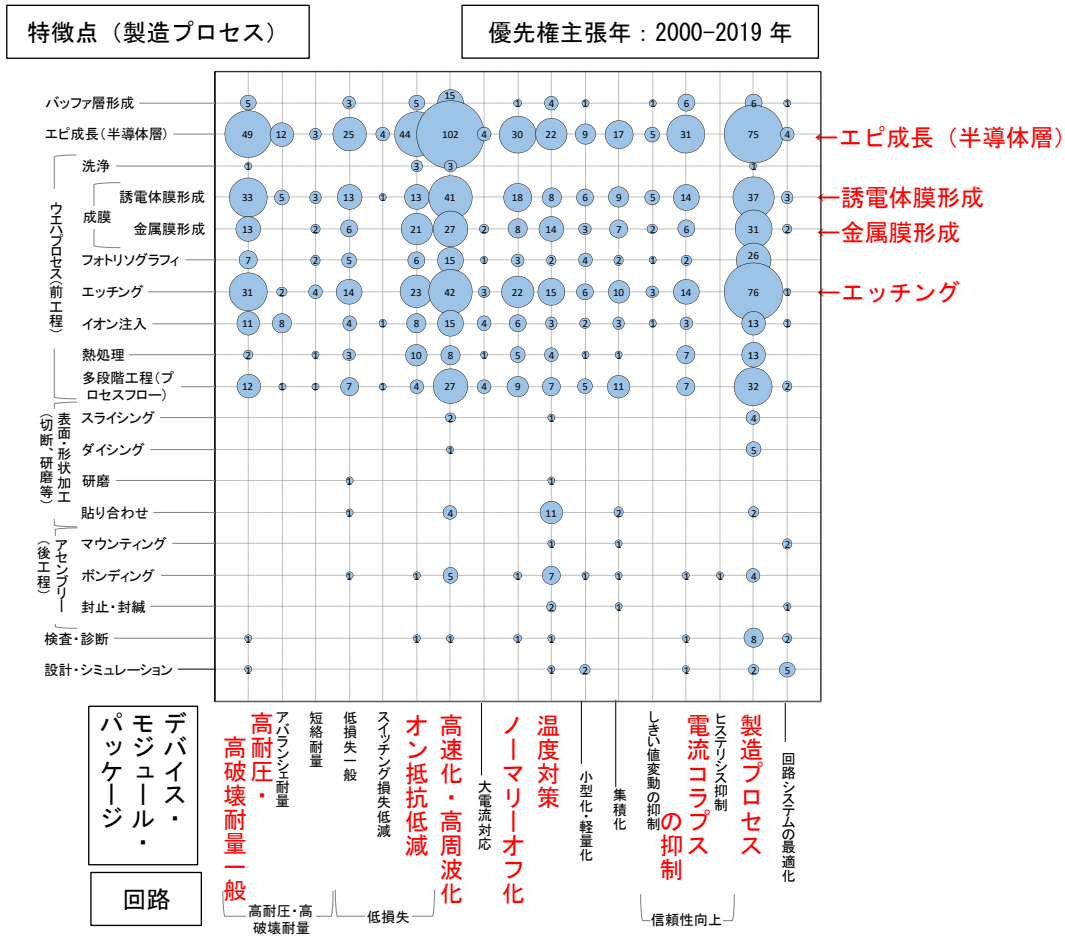


注) 2018年以降はデータベース収録の遅れ、PCT出願の各国移行のずれ等で全出願データを反映していない可能性がある。

【図 11】高周波デバイス分野における技術区分（課題（デバイス・モジュール・パッケージ、回路））別一技術区分（特徴点（モジュール））別ファミリー件数（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2019年）



【図 12】 高周波デバイス分野における技術区分（課題（デバイス・モジュール・パッケージ、回路））別—技術区分（特徴点（製造プロセス）・デバイス工程）別ファミリー件数（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2019 年）



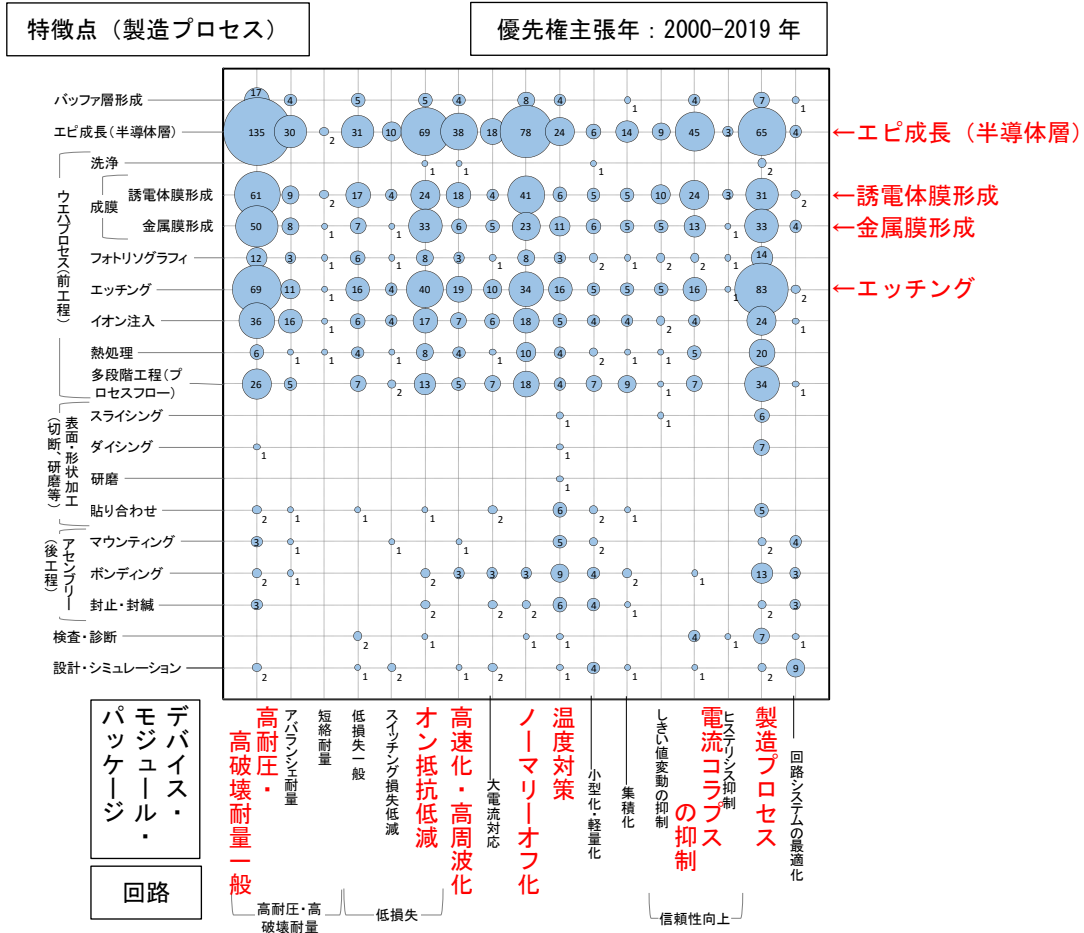
(7) スイッチングデバイス分野における技術区分別動向

基板の構成では、GaN on Si、GaN on SiC、GaN on サファイアの順に件数が多く、デバイス構造は MOSFET（MISFET）と MESFET が多く、電流の方向は横型が多い。【図 13】

モノリシック集積回路では、素子レベルでの混載に係る出願が多く、パッケージでは、レイアウト、実装・ボンディング、多チップ積層・一体化、回路に係る出願が多い。高耐圧・高破壊耐量一般、スウィッチング損失低減、温度対策、小型化・軽量化、集積化などの諸課題をモジュール構造や回路の最適化によって解決し、高性能、高付加価値製品を生み出そうとする動きが見える。【図 14】

スイッチングデバイス分野では、高耐圧・高破壊耐量一般、オン抵抗低減、高速化・高周波化、ノーマリーオフ化、温度対策、電流コラプスの抑制、製造プロセスなどの課題から動機付けられ、エピ成長（半導体層）、誘電体膜形成、金属膜形成、エッチングについて多く出願されている。【図 15】

【図 15】スイッチングデバイス分野における技術区分（課題（デバイス・モジュール・パッケージ、回路））別—技術区分（特徴点（製造プロセス）・デバイス工程）別ファミリー件数（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2019年）



(8) 出願人別動向調査

2000-2019年の全体ランキングを5年で区切った時に見えてくる、その時々々のランキングの変化を、全体における出願人別ファミリー件数上位ランキング5年分割比較（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2019年）として表1に示す。2014年までは上位を日本国籍出願人が占めていたが、2015年以降は、中国籍が上位に浮上し、日本にとっては大きな脅威となっている。【表1】

【表1】全体及び注目技術区分別の出願人別ファミリー件数上位ランキング5年分割比較（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2019年）

優先権主張年：2000-2004年			優先権主張年：2005-2009年		
順位	出願人(国籍・地域)	ファミリー件数	順位	出願人(国籍・地域)	ファミリー件数
1	パナソニック	140	1	住友電気工業	317
2	住友電気工業	99	2	東芝	89
3	日本ガイシ	60	2	パナソニック	89
3	豊田合成	60	4	シャープ	88
5	リコー	51	5	古河電気工業	82
6	日立金属	50	6	日本ガイシ	80
6	クリー (米国)	50	7	豊田合成	74
8	ソニー	41	8	インフィニオン・テクノロジーズ (ドイツ)	71
9	LG Electronics (韓国)	40	9	富士通	66
10	シャープ	36	10	中国科学院(CAS) (中国)	65
10	古河電気工業	36			

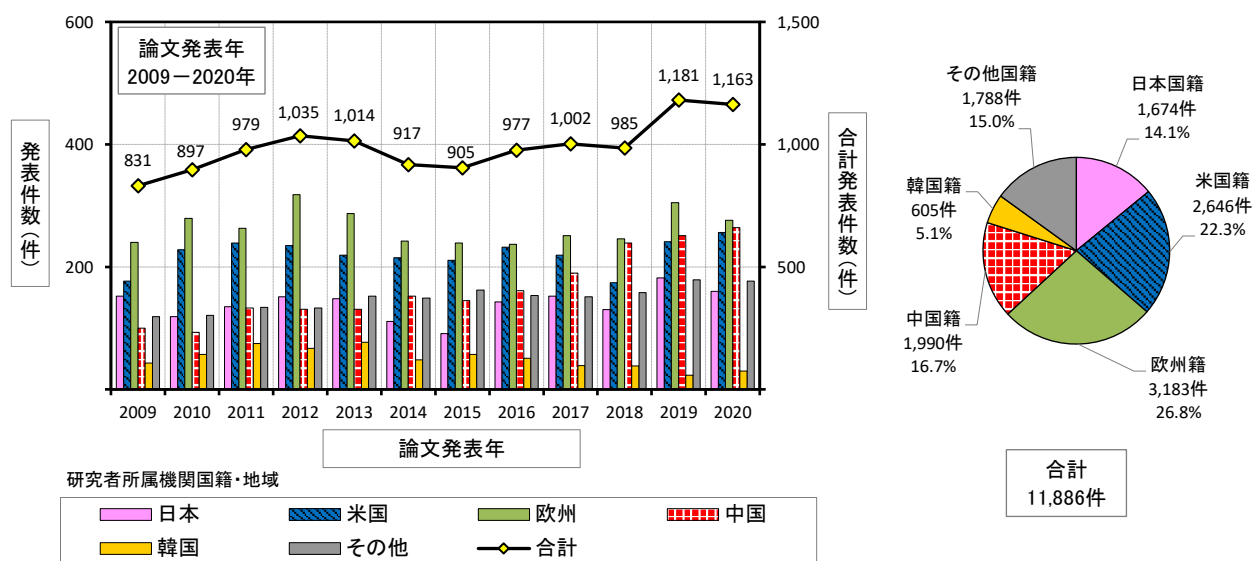
優先権主張年：2010-2014年			優先権主張年：2015-2019年		
順位	出願人(国籍・地域)	ファミリー件数	順位	出願人(国籍・地域)	ファミリー件数
1	三菱電機	213	1	ディスコ	290
2	住友電気工業	177	2	西安電子科技大学 (中国)	193
3	インフィニオン・テクノロジーズ (ドイツ)	176	3	中国科学院(CAS) (中国)	157
4	東芝	149	4	北京大学 (中国)	121
5	富士通	141	5	中国電子科技集団 (中国)	99
6	三菱ケミカル	135	6	電子科技大学 (中国)	95
7	サムスン電子 (韓国)	129	7	三菱電機	92
8	中国科学院(CAS) (中国)	112	8	インテル (米国)	84
9	TSMC (台湾)	103	9	サイオクス	81
10	シャープ	101	10	東芝	69

5. 研究開発動向

(1) 全体動向調査

GaN パワーデバイス関係の論文発表件数は、2012 年まで緩やかに増加し、2018 年まで横ばいの状況が続いていたが、2019 年以降は再び増加の兆しが見えている。国籍・地域別の年次推移を見ると、2017 年以降は中国籍からの発表件数が急伸しており、米欧中の 3 者がほぼ横並びの状況となっている。【図 16】

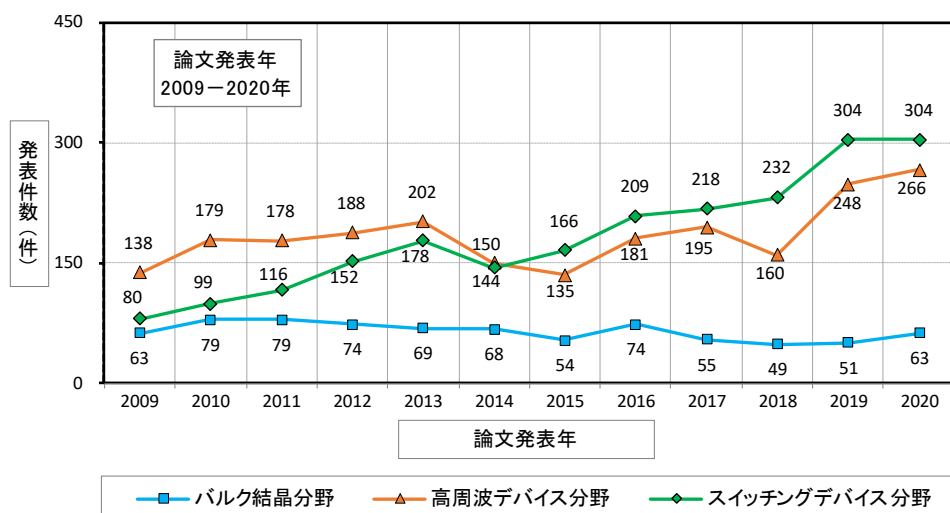
【図 16】研究者所属機関国籍・地域別論文発表件数推移及び件数比率（論文誌発行年：2009-2020 年）



(2) 分野別動向

バルク結晶分野の論文は、2011 年から件数を減らして横ばいで推移している。高周波デバイス分野は、一時件数が落ち込んだが、2019 年以降は増えている。スイッチングデバイス分野は、年々件数を伸ばし、高周波デバイス分野を追い抜いている。【図 17】

【図 17】分野別論文発表件数推移（論文誌発行年：2009-2020 年）

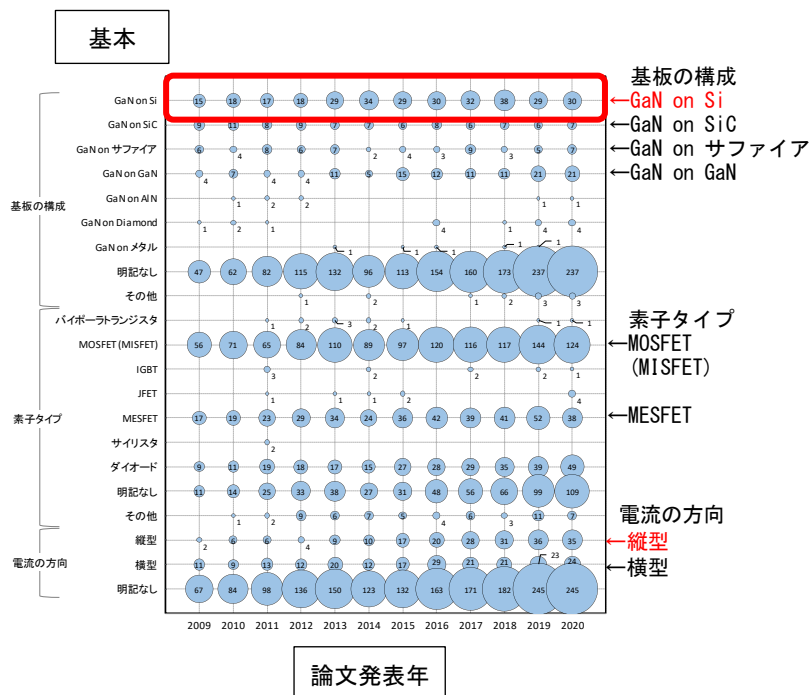


(3) 技術区分別動向

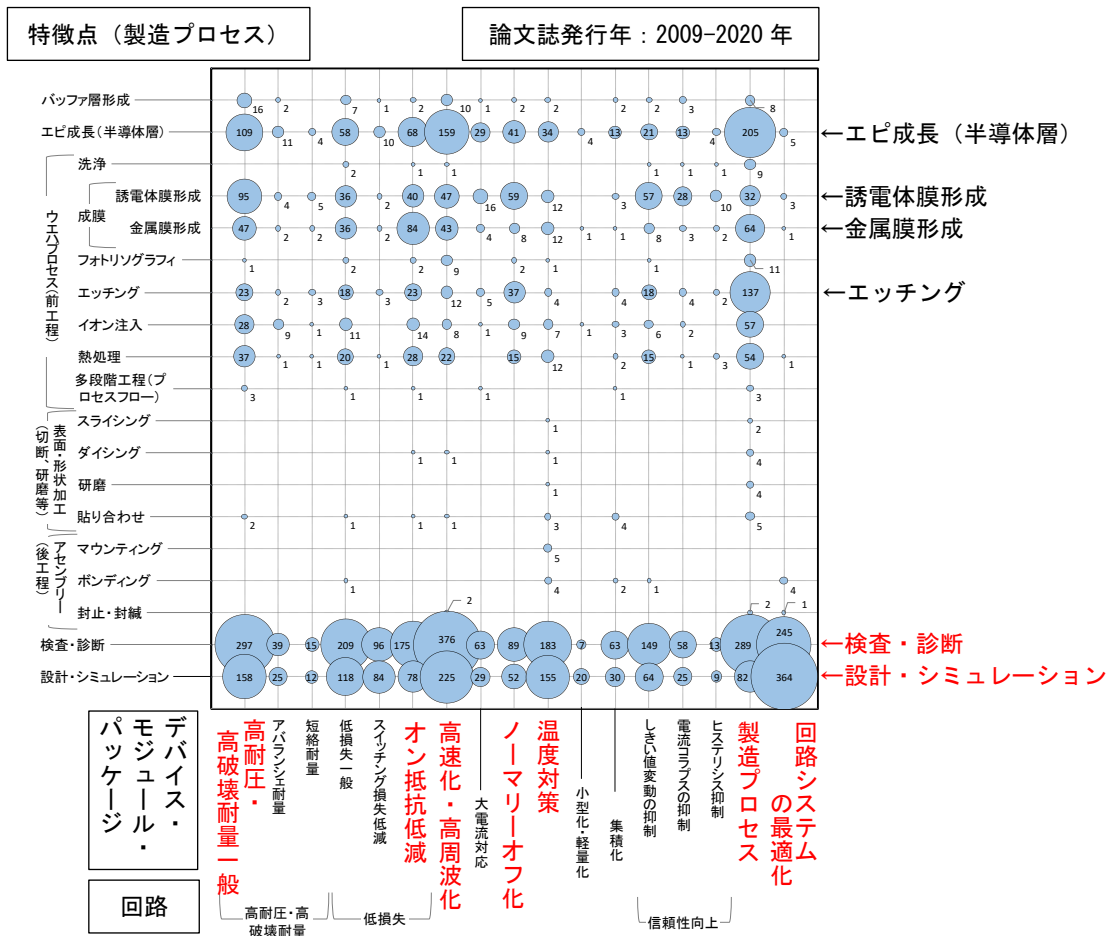
研究開発動向を技術区分別に見た時に特許動向との共通点が多いが、相違点としては、以下のような項目が挙げられる。

- ① スイッチングデバイス分野においては、基板は GaN on Si に次いで GaN on GaN が多く用いられている。GaN on GaN にすることで縦型デバイスを単純な構造で実現することができる。電流の方向は、2017 年以降、縦型が増えている。縦型にすることでデバイスの耐圧を高め、電流を多く流すことができる。市場調査によれば、自動車分野で耐圧 1.2kV の需要が望まれ、その研究も始まっている。【図 18】
- ② 検査・診断、設計・シミュレーションを駆使して、デバイス・モジュール・パッケージ、回路の課題に取り組む研究発表が、全体では非常に多い。【図 19】
ただし、日本国籍は、米欧中に比べて、件数では後れを取っている。【図 20】

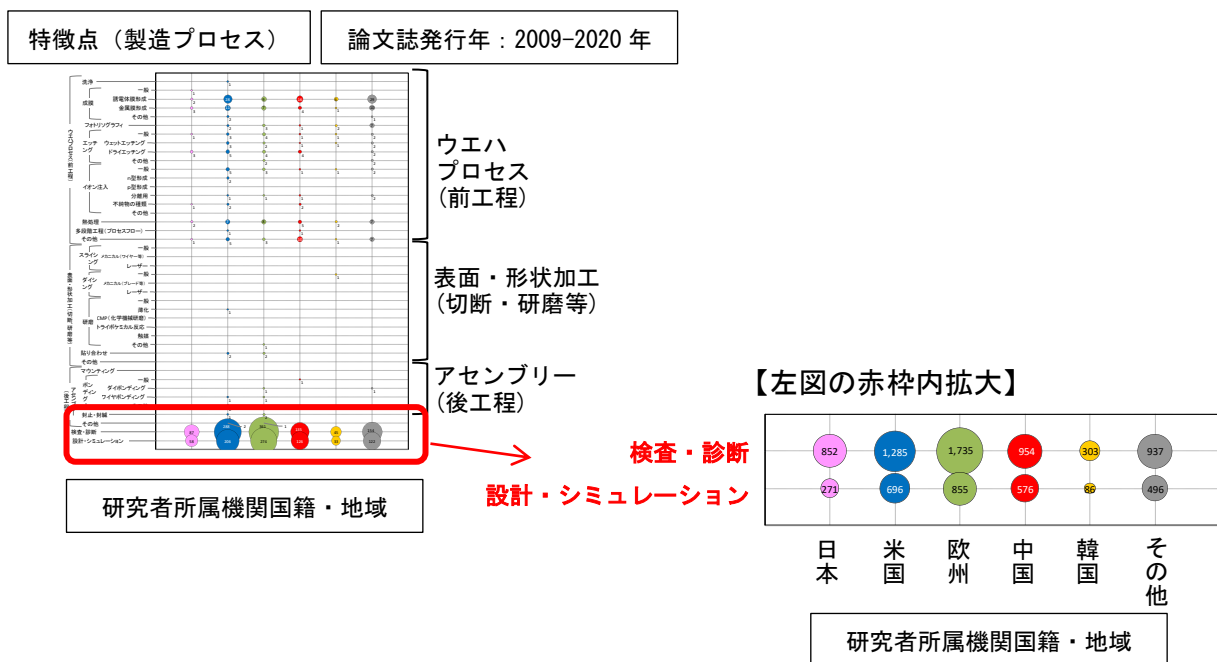
【図 18】 スイッチングデバイス分野における技術区分（基本）別一論文発表件数推移（論文誌発行年：2009-2020 年）



【図 19】全体の技術区分技術区分（課題（デバイス・モジュール・パッケージ、回路））別一技術区分（特徴点（製造プロセス）・デバイス工程）別論文発表件数（論文誌発行年：2009-2020年）



【図 20】全体の技術区分（特徴点（製造プロセス））別一研究者所属機関国籍・地域別論文発表件数（論文誌発行年：2009-2020年）



(4) 研究者所属機関別動向調査

全体における研究者所属機関別論文発表件数上位ランキングの第1位はカリフォルニア大学であるが、2位から5位までは、中国科学院（CAS）、西安電子科技大学、香港科技大学、電子科技大学と中国籍が上位を占め、8位に北京大学も入っている。中国籍の研究機関が積極的に論文発表をしている。【表2】

【表2】全体における研究者所属機関別論文発表件数上位ランキング（論文誌発行年：2009-2020年）

順位	研究者所属機関名（国籍・地域）	発表件数
1	カリフォルニア大学（米国）	342
2	中国科学院(CAS)（中国）	276
3	西安電子科技大学（中国）	212
4	香港科技大学（中国）	186
5	電子科技大学（中国）	165
6	フラウンホーファー研究機構（ドイツ）	139
7	インド工科大学（インド）	137
8	北京大学（中国）	124
9	大阪大学	123
10	マサチューセッツ工科大学（米国）	121
11	国立交通大学（台湾）	118
12	名古屋大学	117
13	パドヴァ大学（イタリア）	115
14	オハイオ州立大学（米国）	111
15	ポーランド科学アカデミー（ポーランド）	110
16	フロリダ大学（米国）	109
17	米国海軍研究所（米国）	107
18	フランス国立科学研究センター（CNRS）（フランス）	100
19	フェルディナンド・ブラウン高周波技術研究所（ドイツ）	95
20	ブリストル大学（イギリス）	92

6. まとめ（提言）

日本企業等が取り組むべき課題、目指すべき研究開発、知財戦略の方向性について、技術競争力強化の三つの技術開発領域（アプリケーション技術開発、デバイスチップ／モジュール技術開発、基板技術開発）に関して提言する。さらに、日本企業が GaN パワーデバイス関連技術での強みを継続的に進化させ、事業競争力を確保するために、事業化関連強化についても提言する。

(1) アプリケーション技術開発における提言

提言 1：「目指すべきアプリケーション」

産業競争力強化のために、アプリケーションごとに合わせた次世代パワーデバイスの適用が重要である。GaN パワースイッチングデバイスの市場は、今後、データセンターや 5G 基地局向け高効率電源、EV/HEV の自動車向けオンボードチャージャーや DC/DC コンバータが成長していくと予測されていること（図 2）や、GaN パワーデバイスに関する出願の中でも、自動車、電力一般、情報通信機器一般、ミリ波通信、レーダ、携帯端末、基地局に係る出願が増加していること（図 5）を踏まえると、実用化が進む横型構造の GaN パワーデバイスにとって重要な市場は、Beyond 5G を見据えた携帯電話基地局等の通信インフラ向け高周波デバイス、USB 急速充電器などの民生向け電源、データセンターや携帯電話基地局向け電源、EV/HEV の自動車向けなどのスイッチングデバイスである。

提言 2：「パワーエレクトロニクス技術者向けに使いやすい形での提供」

既存の競合製品からの置き換え並びに新規応用先開拓を促すには、高周波デバイス分野とスイッチングデバイス分野において、集積化などの諸課題をモジュール構造や回路システムの最適化によって解決し、高性能、高付加価値製品を生み出そうとする動きが見えることを踏まえると（図 11、図 14）、デバイス単体だけではなく、周辺回路やゲートドライバー回路を含めた「すぐに試験・評価できる」モジュール等を使いやすい形で提供すべきである。あわせて、アプリケーションノートやシステム設計支援のためのシミュレーションデータ提供など、ユーザーサポートツールの整備も重要である。こうしたツールの提供は日本企業が比較的苦手とする領域であり、ユーザーがシステムにデバイスを実装する際に重要であると考えられる技術情報を的確に抽出し、ユーザーの負担を最小化するサポートツールを生み出すことのできる技術力を強化することが重要である。

(2) デバイスチップ／モジュール技術開発における提言

提言 3：「GaN パワーデバイスならではの特徴を発揮するデバイス開発推進」

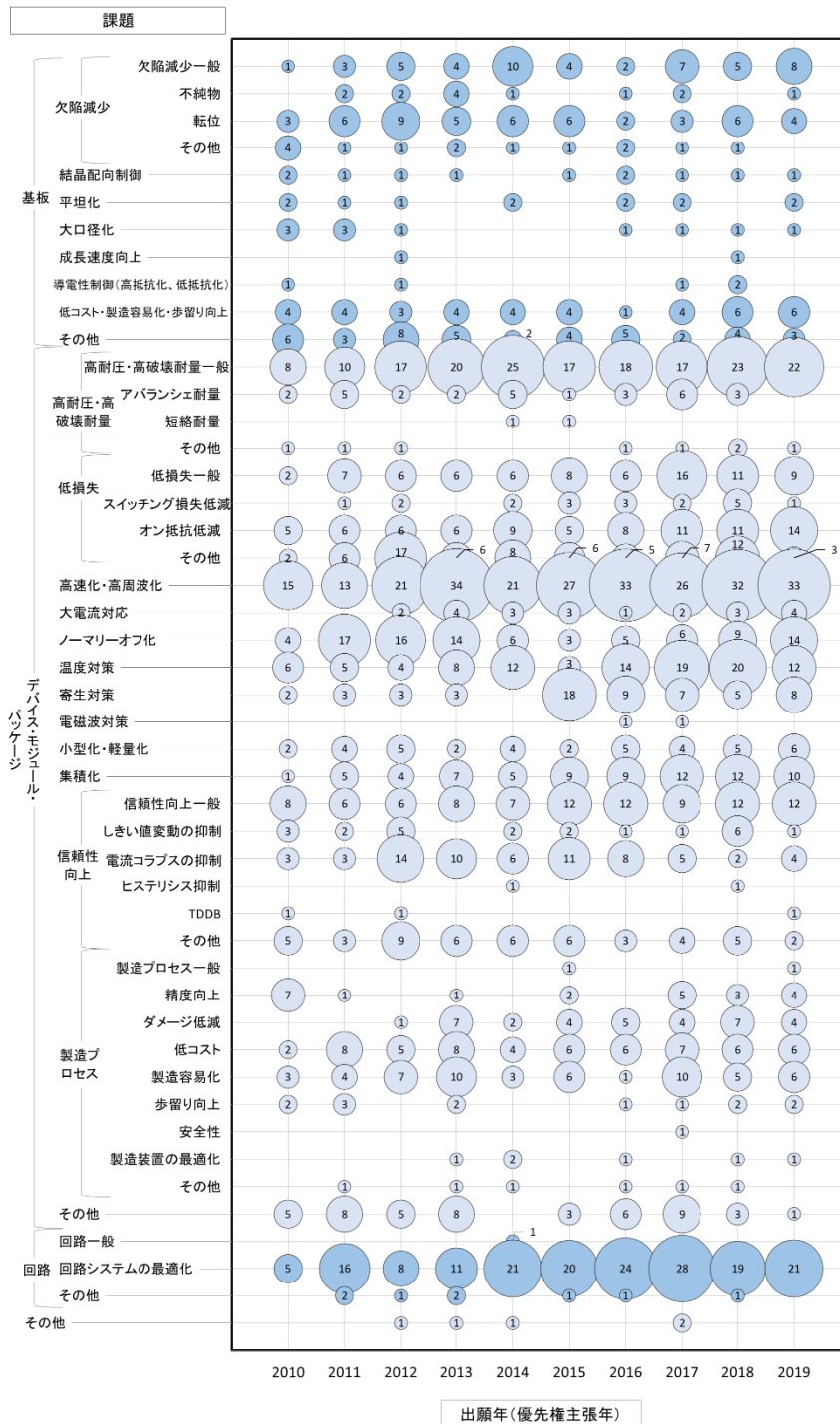
個々のアプリケーションに対して、「GaN パワーデバイスならではの特徴」を発揮でき

るデバイス開発を推進するべきである。横型構造の GaN パワーデバイスについては、高周波デバイス分野とスイッチングデバイス分野ともに出願が多く（図 10、図 13）、HEMT の高速性・高周波特性をいかした応用分野からの要求に応えられる研究開発が重要であり、特にスイッチングデバイス量産技術の早期確立が望まれる。一方、縦型構造の GaN パワーデバイスについては、2017 年以降、論文発表件数が増えてきていることを踏まえると（図 18）、理論的に優位性のある低オン抵抗、高耐圧、大電流特性を、具体的な数値として早期に明確にする必要がある。

提言 4：「市場立ち上げに向けて解決すべき主な課題」

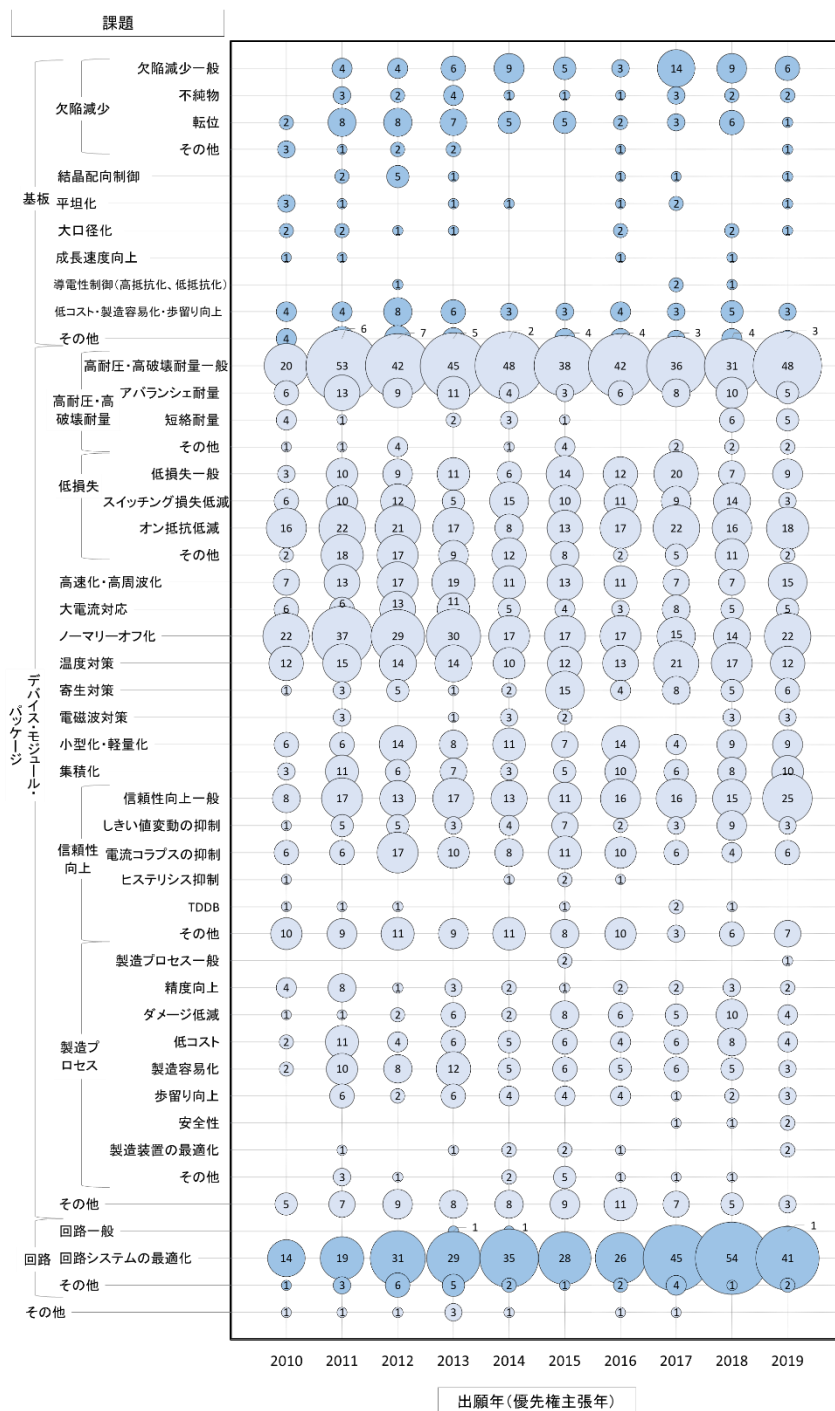
GaN パワーデバイスチップ／モジュールなどの市場立ち上げや用途拡大のためには、低コスト・製造容易化・歩留り向上や、デバイス性能を最大限引き出すための回路、温度対策が重要課題である。さらに、高周波デバイスでは、「高速化・高周波化」「高耐圧・高破壊耐量」「回路システムの最適化」が主要な課題として数多く取り上げられており（図 21）、数十 GHz 帯までの高周波応用や小型化・軽量化・集積化を実現する技術の進展が重要である。スイッチングデバイスでは、「高耐圧・高破壊耐量」「低損失」に関する出願が多いことから（図 22）、高耐圧・高破壊耐量や低損失などの特性向上が重要であり、これら特性とコスト力を両立させる実用化技術であることが重要である。

【図 21】 高周波デバイス分野における技術区分（課題）別一ファミリー件数推移（日米欧
 中韓への出願、出願年（優先権主張年）： 2010-2019 年）



注) 2018 年以降はデータベース収録の遅れ、PCT 出願の各国移行のずれ等で全出願データを反映していない可能性がある。

【図 22】スイッチングデバイス分野における技術区分（課題）別ファミリー件数推移（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）： 2010-2019 年）



注) 2018 年以降はデータベース収録の遅れ、PCT 出願の各国移行のずれ等で全出願データを反映していない可能性がある。

提言 5 : 「基板から機器技術までの一貫した研究開発体制の構築」

GaN パワーデバイスの特性を十二分にいかしたアプリケーション実現のためには、高周波デバイス分野やスイッチングデバイス分野において MMIC、素子レベルでの混載に係る出願や、多チップ積層・一体化、冷却方法、回路に係る出願が多いことを踏まえると（図 11、図 14）、高周波増幅やゲートドライバー等の回路技術、さらに、MMIC 技術、モジュール実装技術、機器技術など様々な技術の集積が必要であり、それら技術領域間

の連携に加えて、開発用の基板／デバイスチップ供給体制をも包含した研究開発体制をこれまで以上に強化すべきである。

(3) 基板技術開発における提言

提言 6 : 「基板コスト低減の研究開発」

GaN パワーデバイス材料において、基板の品質を確保した上でエピウエハ及びバルク基板のコスト低減を可能とする技術を確立すべきである。特に、日本はバルク結晶分野で特許出願や論文発表で世界的に活発な活動をしており（表 3、表 4）、バルク基板の低欠陥化とシリコンバルク基板に匹敵するコスト削減を両立する大口径・長尺の高品質結晶成長技術の研究開発を進展させるべきである。

【表 3】バルク結晶分野における出願人別ファミリー件数上位ランキング（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）： 2000-2019 年）

順位	出願人(国籍・地域)	ファミリー件数
1	住友電気工業	240
2	三菱ケミカル	191
3	日本ガイシ	119
4	リコー	113
5	パナソニック	82
5	豊田合成	82
7	住友化学	76
8	古河機械金属	73
9	日立金属	67
10	中国科学院(CAS)(中国)	64

【表 4】バルク結晶分野における研究者所属機関別論文発表件数上位ランキング（論文誌発行年：2009–2020 年）

バルク結晶分野		
順位	研究者所属機関名(国籍・地域)	発表件数
1	大阪大学	57
2	ポーランド科学アカデミー(ポーランド)	43
3	東北大学	24
4	カリフォルニア大学(米国)	19
4	中国科学院(CAS)(中国)	19
6	米国海軍研究所(米国)	17
7	ノッティンガム大学(イギリス)	13
8	北京大学(中国)	12
9	名古屋大学	10
9	フェルディナンド・ブラウン高周波技術研究所(ドイツ)	10
9	ヨッフエ物理工学研究所(ロシア)	10
12	山口大学	9
12	名城大学	9
12	ウルム大学(ドイツ)	9
15	豊田中央研究所	8
15	ケンブリッジ大学(イギリス)	8
15	フラウンホーファー研究機構(ドイツ)	8
18	東京大学	7
18	フランス国立科学研究センター(CNRS)(フランス)	7
18	リンショーピング大学(スウェーデン)	7
18	西安交通大学(中国)	7
18	インド工科大学(インド)	7
18	国立成功大学(台湾)	7

(4) 事業化関連領域における提言

提言 7：「日本における知財戦略の強化」

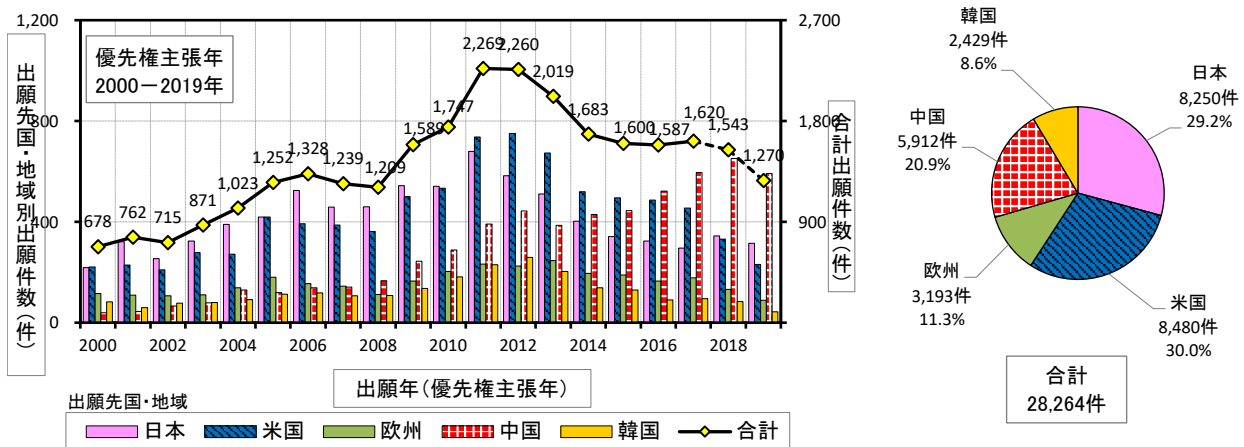
出願件数推移を見ると、2009 年頃から米国への出願件数が急増し、2011 年には日本への出願を抜いてトップになった。さらに、中国への出願も 2008 年頃から急増し、2016 年には米国への出願を抜いてトップとなり、現在もその差は広がっている（図 23）。また、技術区分別で見たときに、バルク結晶分野では圧倒的に日本国籍出願人の出願が多いが、高周波デバイス分野及びスイッチングデバイス分野については米国籍、中国籍の

出願が多い傾向であるのは、製品化を狙った出願が多いことを表した結果であると考えられる（図 8）。横型スイッチングデバイス分野への注力は今後も続くと予想され、米国及び中国との GaN パワーデバイス技術開発競争は更に激化すると思われる。

さらに、GaN パワーデバイスにおける大学単独での特許出願ファミリー件数は、日本国籍出願人は中国籍、米国籍、韓国籍と比較して少なく、国籍・地域別の総ファミリー数の中での構成比率で見ると、日本国籍出願人は企業単独での出願比率が最も高い（図 24）。日本企業は上述した技術開発動向に対応した知財戦略の強化として、自前主義に陥らず大学を含む他者が提供する技術の活用を図るべきである。

日本の大学には、裾の広い技術開発を進め、基本特許を創造する役割が期待される。このためには、日本の大学における特許出願インセンティブが高まり、出願実績が評価される体制の強化を図るべきである。これにより大学による単独出願や大学と研究機関による共同出願の比率が増加し、大学発技術の事業化が促進され、さらにはベンチャー企業の創出にも寄与することが期待される。

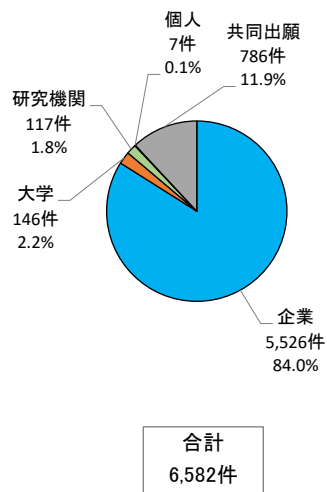
【図 23】 出願先国・地域別出願件数推移及び出願件数比率（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2019 年）



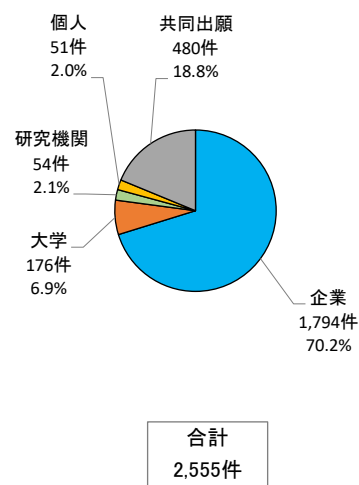
注) 2018 年以降はデータベース収録の遅れ、PCT 出願の各国移行のずれ等で全出願データを反映していない可能性がある。

【図 24】 各国籍・地域出願人の出願人属性別ファミリー件数比率（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2019 年）

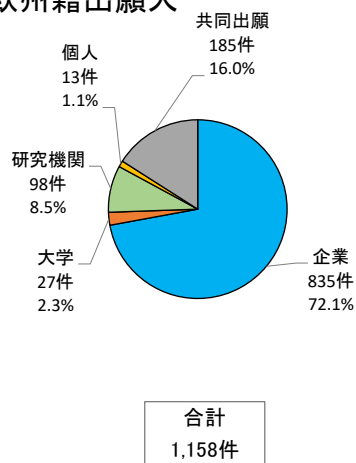
日本国籍出願人



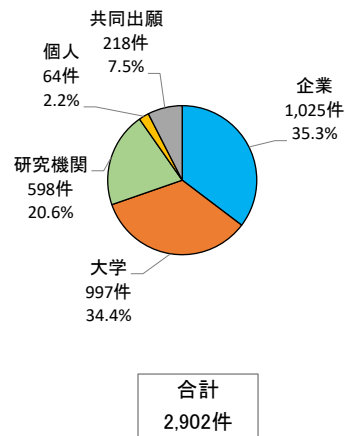
米国籍出願人



欧州籍出願人



中国籍出願人



韓国籍出願人

