

ニーズ即応型技術動向調査 「二次元材料（ポストグラフェン）」

（令和元年度機動的ミクロ調査）

令和2年2月
特許庁

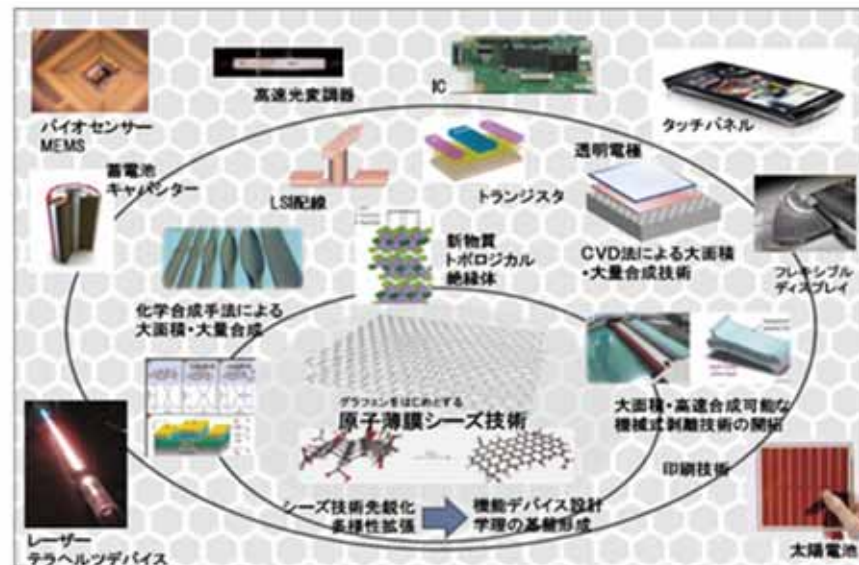
1. 技術概要

- グラフェンは、二次元的な結晶構造に由来する特異な電子構造を反映して、半導体シリコンの100倍ともいわれる巨大な電子移動度や、驚異的な機械強度、大きな熱伝導率等の特徴が注目を集め、次世代エレクトロニクス材料をはじめ、多様な技術分野におけるブレークスルー材料としての潜在的可能性に期待が持たれている。
- 本調査は、グラフェンに続く二次元材料（ポストグラフェン）として、単原子層膜及び層状物質のうち、単層～数層化された機能性薄膜を対象としている。
- 二次元材料（ポストグラフェン）は、既存の三次元的バルク材料とは異なる物性の表面・界面を有するシリセン、ゲルマネン、遷移金属ダイカルコゲナイド等であり、新材料の特性を活用し、飛躍的な消費電力削減と超高速化を可能にするイノベーティブなデバイス創製が可能と考えられている。

2. 市場動向

- 二次元材料の応用分野は、LSI配線、絶縁体シート、IC、トランジスタ、薄膜太陽電池に使用される透明電極(導電性フィルム)、高速光変調器、バイオセンサーや赤外線センサー、MEMS、スーパーキャパシター、太陽電池、二次電池(リチウムイオン電池、燃料電池)、タッチパネルやフレキシブル・ディスプレイ、テラヘルツレーザー等、エレクトロニクス領域やエネルギー領域を広範囲にカバーするものである。
- 高機能材料として、導電インクや塗料、潤滑剤、3Dプリント材料、触媒、フィルタ、電磁遮断への応用、高い熱伝導率を生かした放熱部材への応用が考えられる。
- 二次元材料(ポストグラフェン)は、その特性(例えば遷移金属ダイカルコゲナイドや黒リンを単層にしたときの感度の高さ)を生かしたIoT、ヘルスケア、安全に関連した赤外センサーへの応用が有力である。

二次元機能性原子薄膜による次世代デバイス・ナノシステム



出所：国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター「二次元機能性原子薄膜による新規材料・革新デバイスの開発」(2012年3月)

3. 政策動向

- NEDO、文部科学省、日本学術振興会、AISTなどが長年にわたり、研究開発の支援を行ってきた。
- これらは既に終了または終了間近であり、今後も継続されるものは、科学技術振興機構 (JST) の戦略的創造研究推進事業 (CREST) における2つのプロジェクトである。
- ノーベル賞受賞者輩出国である英国をはじめとする欧州、米国、韓国等においても、多くの予算を投入して、国家的プロジェクトを推進している。

国内機関の状況 (各機関のホームページ等を基に作成)

管轄機関	政策・プロジェクト名	時期、予算
NEDO	低炭素社会を実現する革新的カーボンナノチューブ複合材料開発プロジェクト/グラフェン基盤研究開発	2012～2014年度 6.9億円
文部科学省	【科学研究費助成事業】 原子層科学(東北大学)	2013～2017年度 10.5億円
JSPS	【科学研究費助成事業】 高機能化ナノカーボン創成と革新的エネルギーデバイス開発(東京大学)	2015～2019年度 2億円
AIST	【FIRST】 グリーン・ナノエレクトロニクスのコア技術開発(グリーンナノ・エレクトロニクスセンター)	2009～2013年度 45.8億円
JST	【CREST】 二次元機能性原子・分子薄膜の創製と利用に資する基盤技術の創出(産業技術総合研究所、富士通、東京大学等の11の研究チーム)	2014～2021年度 1チームにつき、 期間:5年半以内 総額:1.5～5億円
JST	【CREST】 トポロジカル材料科学に基づく革新的機能を有する材料・デバイスの創出/人工グラフェンに基づくトポロジカル状態創成と新規特性開発(物質・材料研究機構)	2018～2023年度 2.6億円

海外機関の状況 (海外機関のホームページに掲載の資料を基に作成)

国・地域	管轄機関	政策・プロジェクト名	時期、予算
欧州	EU	【Horizon 2020】 Graphene Flagship ¹	2013～2023年 10億ユーロ
		【Horizon 2020】 Atomic layer deposition of two-dimensional transition metal dichalcogenide nanolayersなど95テーマ ²	2015～2024年 2,777万ユーロ
		“Graphene & 2D Materials” EUREKA Cluster ³	2016年～
英国	EPSRC、 欧州地域開発 ファンド	グラフェン国立研究所設立 ⁴	2013～2015年 6,100万ポンド
	EPSRC	Graphene flexible electronics and Optoelectronics (ケンブリッジ大学)など ⁵	2013～2019年 2,150万ポンド
	Research England ほか	グラフェン・エンジニアリング・イノベーション・センター設立 ⁶	2014～2018年 6,000万ポンド
	Innovate UK	Two-Dimensional graphene-related Transition metal dichalcogenides for ultracapacitor ENergy storage Devicesなど8テーマ ⁷	2016～2021年 103万ポンド
	EPSRC	Van der Waals Heterostructures of 2D Materialsなど12テーマ ⁸	2015～2021年 1,515万ポンド
	ドイツ	ドイツ 研究財団	DFG Priority Programme “Graphene” ⁹
米国	NSF、AFOSR	2D Materials and Devices beyond Graphene ¹	2015年～ 2,800万ドル
	DARPA	Carbon Electronics for Radio Frequency Applications ²	2008年から4年超 3,000万ドル
		Next-Gen Infrared Detector Research ³ (中央フロリダ大学)	2016年～ 130万ドル
	学際的 イニシアチブ	Fundamental Graphene Material Studies and Device Conceptsなど ²	2009年から5年間 750万ドル
中国	中国政府	973計画 グラフェン関連プロジェクト ⁴	3,000万ドル
韓国	韓国政府	Korean Graphene Research Hub ⁵	2013～2018年 1.7億ドル
	韓国政府、 非政府機関	Graphene Materials and Components Commercialization Project ⁵	2013～2018年 2.1億ドル

4-(2). 各技術区分別検索式 -物質名-

- 前記母集団から技術区分（物質名：シリセン/シリカン、ゲルマネン/ゲルマナン、黒リン、六方晶窒化ホウ素、遷移金属ダイカルコゲナイド、メクセン/マキシシ、層状複水酸化物、グラファイト系窒化炭素）に対する絞り込み検索式

物質名	検索式	件数
(1) シリセン、シリカン	(`シリセン`+`シリカン`+`silisen`+`silicene`+`silican`)/TX	659
(2) ゲルマネン、ゲルマナン	(`ゲルマネン`+`ゲルマナン`+`germanen`+`germanene`+`germanan`)/TX	442
(3) 黒リン	(`黒リン`+`フォスフォレン`+`black_phosphorus`+`phosphorene`)/TX	1057
(4) 六方晶窒化ホウ素	(六方晶+6方晶),1N,(窒化ほう素+窒化ホウ素+窒化硼素+ちっ化ほう素+ちっ化ホウ素+ちっ化硼素+ちっ化ほう素+ちっ化ホウ素+ちっ化硼素)/TX + (`H_BN`+`h_BN`+`H_BN`+`h_BN`+`hexagonal_boron_nitride`)/TX	1,454
(5) 遷移金属ダイカルコゲナイド	(`遷移金属ダイカルコゲナイド`+`遷移金属ジカルコゲニド`+`遷移金属ダイカルコゲナイト`+`二硫化ハフニウム`+`二硫化タングステン`+`二硫化モリブデン`+`ニセレン化ハフニウム`+`ニセレン化タングステン`+`ニセレン化モリブデン`+`H f S 2`+`W S 2`+`M o S 2`+`H f S e 2`+`W S e 2`+`M o S e 2`+`HfS2`+`WS2`+`MoS2`+`HfSe2`+`WSe2`+`MoSe2`+`transition_metal_dichalcogenide`+`hafnium_disulfide`+`tungsten_disulfide`+`molybdenum_disulfide`+`hafnium_diselenide`+`tungsten_diselenide`+`molybdenum_diselenide`+`HfSe2`+`WSe2`+`MoSe2`+`HfSe2`+`WSe2`+`MoSe2`)/TX	3,218
(6) メクセン、マキシシ	(`メクセン`+`マキシシ`+`Mxene`+`T i 2 C T x`+`T i 3 C 2 T x`+`T i 3 C 2`+`T i 2 C O 2`+`T i 3 A L C 2`+`T i 3 S i C 2`+`T i 2 C T x`+`T i 3 C 2 T x`+`T i 3 C 2`+`T i 2 C O 2`+`T i 3 A l C 2`+`T i 3 S i C 2`)/TX	455
(7) 層状複水酸化物	(`層状_複水酸化物`+`層状複_水酸化物`+`層状複水酸化物`+`layered_double_hydroxide`+`layereddoublehydroxide`)/TX	164
(8) グラファイト状窒化炭素	(`グラファイト状窒化炭素`+`graphitic_carbon_nitride`+`graphiticcarbonnitride`)/TX	33

4-(2). 各技術区分別検索式 -応用分野-

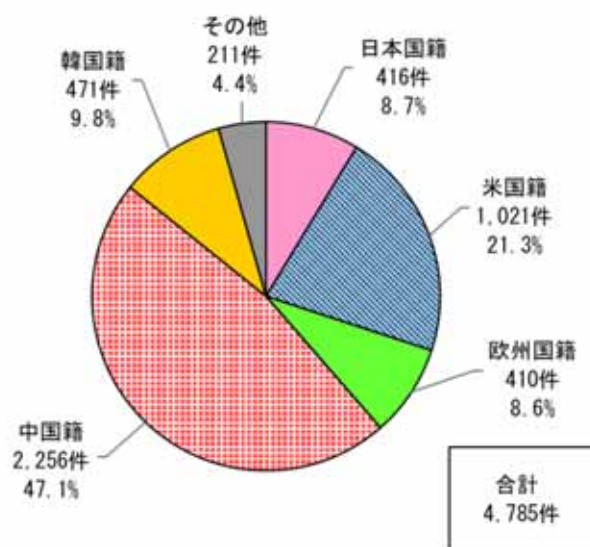
■ 前記母集団から技術区分（応用分野：半導体デバイス、絶縁体、放熱材、発電デバイス、電磁遮蔽、透明電極、蓄電池電極、フィルタ、センサ、ホトニクス、発光デバイス、触媒）に対する絞り込み検索式

応用分野	応用分野詳細	検索式	件数	応用分野	応用分野詳細	検索式	件数
(1) 半導体デバイス	記憶デバイス・ロジックデバイス・トランジスタ等の半導体デバイス	IPC:H01L(27/+29/+21/)	1,957	(8) フィルタ	光学・赤外線フィルタ 濾過フィルタ、不織布 荷電粒子・イオンフィルタ 電気回路上のフィルタ	(IPC:G01J+G02B5/+G02B6/+G02F1/+H01B+H01L27/+H01L31/+H01L33/+H01L51/)* (フィルタ, 10N, (2D+2次元+2次元+原子層+分子間力+ファンデルワールス+モレイヤー+ナノシート+単層+2層+二層+数層+2D)/TX+filter, 10N, (2D+two_dimension+mono_layer+atomic_layer+Der_Waals+nano_sheet+single_layer+monolayer+double_layer+few_layer)/TX)+ IPC: (A61L+A61M+B01D+B01J+B03C+B82Y30/+D04H+F24B+F24F+G01N27+G21F)* (分子, 20N, (ふるい+篩)/TX+(molecular, 20N, sieve)/TX)+ IPC: (B82Y30/+C09K9/+G01J+G01N+G02B5+G02B6/+G02F1+G21F+H01B+H01J+H01L27/+H01L31/)* ((荷電+イオン), 粒子, (篩+ふるい+フィルタ)), 20N/TX+((charged+ion), particle, (sieve+filter)), 20N/TX)+ IPC: (H01+H02+H03+H04+H05)* ((周波+電気+電極+選択+帯域+RF+IF), 5N, フィルタ/TX+(frequency+electric+electrode+select+band+RF+IF), 5N, filter/TX)	237
(2) 絶縁体	電氣的絶縁体・熱的絶縁体	(絶縁体+絶縁材+絶縁材料+絶縁物質), 10N, 電気/TX+(isolate+isolation+isolator+insulate+insulation+insulator), 10N, electric/TX+IPC:F16L59/00+(断熱+熱シールド+熱的分離), 10N, (絶縁体+絶縁材+絶縁材料+絶縁物質)/TX+(insulate+heat_insulation+thermal_insulation+heat-insulation+thermal-insulation), 10N, (insulator+insulating_material+insulating_element+insulating-material+insulating-element)	693				
(3) 放熱材	放熱・伝熱材料	(放熱+伝熱), 5N, (体+材+材料+物質)/TX+(heat_dissipation+heat_radiation+heat_release+heat_transfer+heat_transmit+heat_conduction), 5N, material/TX	144				
(4) 発電デバイス	太陽電池・摩擦帯電素子・熱電素子・圧電素子・摩擦発電素子・レクテナ	IPC:H01L(27/142+31/0445+31/046+31/0475+31/05+31/068+31/0687+31/0693+31/0725+31/073+31/0735+31/074+31/0745+31/0747+31/0749+31/075+31/076+41/00+51/00)+G01K7/02+B03C7/02+H02J50/27+(レクテナ+rectenna)/TX	563				
(5) 電磁遮蔽	電磁遮蔽材料	IPC: (B65D+B82Y30/+H01+H02+H03+H04+H05)* (電磁+磁気), 5N, (遮蔽+遮断+シールド)/TX + electromagnetic, 5N, shield/TX	79				
(6) 透明電極	透明電極材料	(IPC:G02F1/+G06F3/+H01B+H01L27/+H01L31+H01L33/+H01L51/)* (透明電極+Transparent_electrode)/TX	332				
(7) 蓄電池電極	蓄電池電極材料	IPC:H01M4/	619				
(9) センサ	センサ全般 炭酸ガス、匂い検知等のガスセンサ 磁気センサ、ホール素子 温度センサ、熱電対、サーミスタ 力学的ストレスストレインゲージ、振動、音響センサ 各種粒子センサ(ニュートリノ、重力子)	IPC:G01*(検出+検知+センサ+素子+detect+ detector+detection+sense+sensor+element)TX +IPC: (G01N27/+ G01N27+G01R) +IPC: (G01N25/+G01J+G01K)* (検出+検知+センサ+素子+detect+detector+detection+ sense+sensor+element)/TX +IPC: (G01L+G01M+G01N+G01R)* (検出+検知+センサ+素子+detect+detector+detection+ sense+sensor+element)/TX +IPC:G01N23/* (検出+検知+センサ+素子+detect+detector+detection+sense+sensor+element)/TX	1,046				
		(10) ホトニクス	荷電粒子センサ、光学センサ 受光素子 CCD	IPC: (C09K9/+G01J+G02B5/+G02B6/+G02F1/+G01N+H01B+H01L27/+H01L31/)* (検出+検知+センサ+素子+detect+detector+ detection+)	2,005		
(11) 発光デバイス	発光デバイス	IPC: (H01L33/+H01L51/+C09K11/)* ((発光+light+emission+luminescence+illuminate+illuminous+radiation)/AB+(発光+light+emission+luminescence+illuminate+illuminous+radiation)/TI+(発光+light+emission+luminescence+illuminate+illuminous+radiation)/CL+発光, 10N, (2次元半導体材料+2次元半導体材料+2次元半導体材料+2次元半導体物質+2次元半導体物質+2次元半導体物質+2D材料+2次元材料+2次元材料+2D物質+2次元物質+2次元物質+原子層+ファンデルワールス積層+ファンデルワールス接合+モレイヤー+ナノシート+単層+2層+二層+数層+2層+2D材料+2D物質+2次元材料+2次元物質)/TX+(light+emission+luminescence+illuminate+illuminous+radiation), 10N, (2D+two_dimension+mono_layer+atomic_layer+Der_Waals+nano_sheet+single_layer+monolayer+double_layer+few_layer)	403				
(12) 触媒	化学的、物理的触媒	IPC:B01J +触媒, 10N, (2次元半導体材料+2次元半導体材料+2次元半導体物質+2次元半導体物質+2次元半導体物質+2D材料+2次元材料+2次元材料+2D物質+2次元物質+2次元物質+原子層+ファンデルワールス積層+ファンデルワールス接合+モレイヤー+ナノシート+単層+2層+二層+数層+2層+2D材料+2D物質+2次元材料+2次元物質)/TX+catalyst, 10N, (2D+two_dimension+mono_layer+atomic_layer+Der_Waals+nano_sheet+single_layer+monolayer+double_layer+few_layer)/TX	1,122				

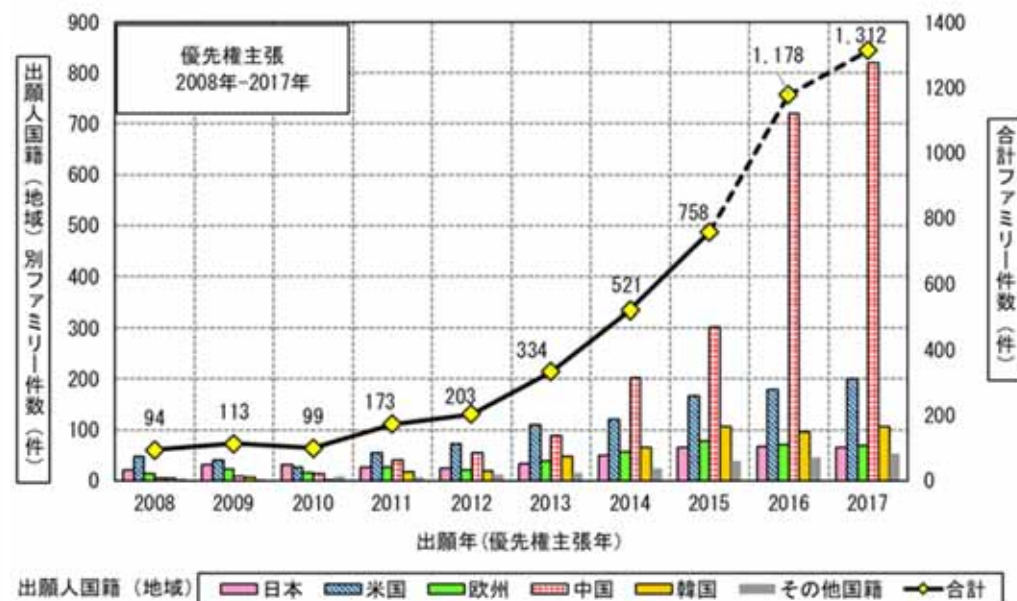
5. 特許出願動向—全体動向（出願人国籍（地域）別件数推移及び件数比率）—

- 中国籍が47.1%と最多。次いで米国籍21.3%、韓国籍が9.8%の順である。
- 欧州国籍、米国籍、日本国籍いずれも緩やかな増加傾向を示しているが、中国籍のみは顕著な伸びを示している。件数シェアも中国籍が圧倒的である。

（出願人国籍別ファミリー件数及びファミリー件数比率）
出願年（優先権主張年）2008年-2017年



出願人国籍（地域）別ファミリー件数推移

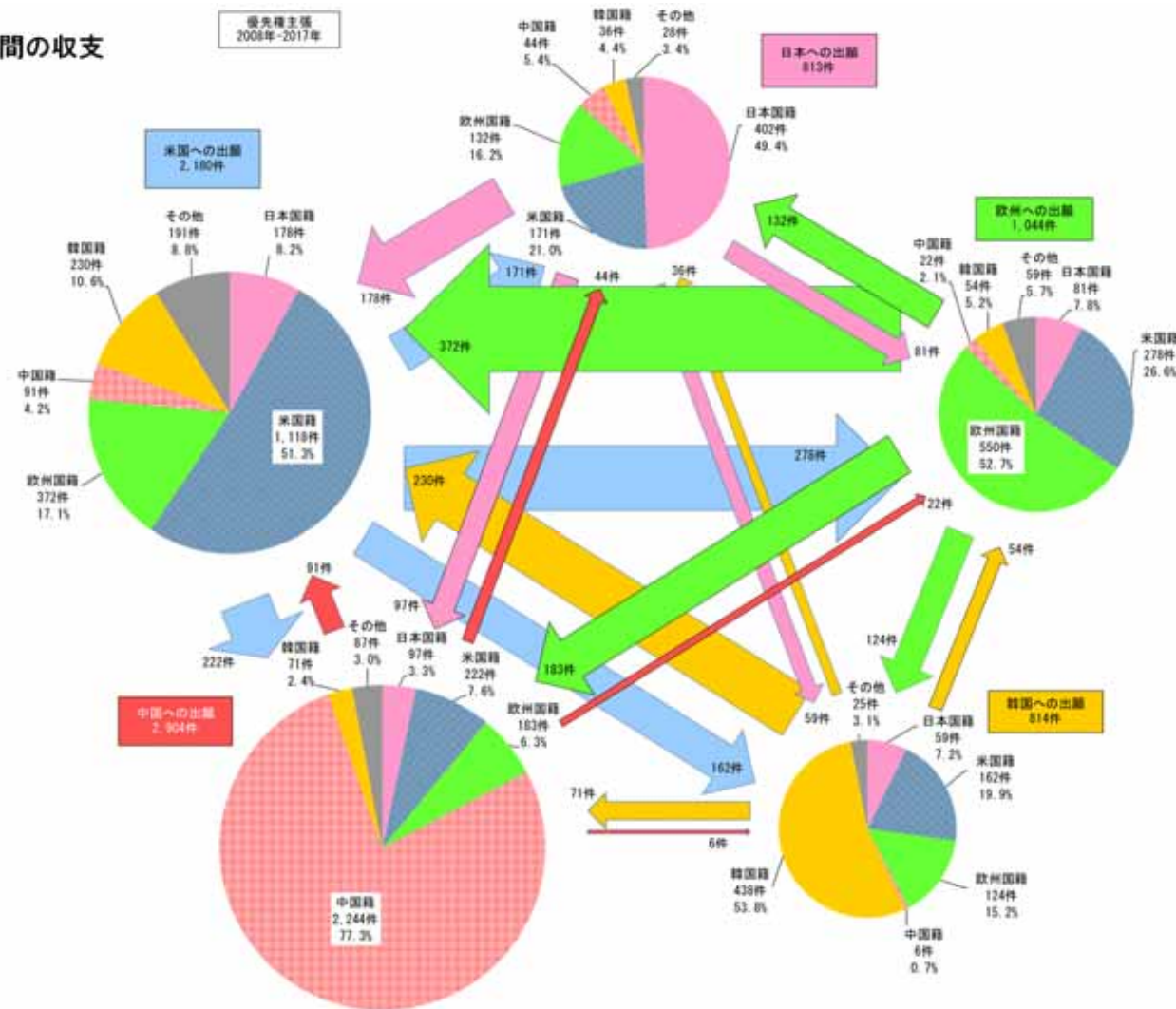


注）2016年以降はデータベース収録の遅れ、PCT出願の各国移行のずれ等で、全出願を反映していない可能性がある。

6. 特許出願動向 — 全体動向（出願件数収支） —

- 中国は出願件数は多いが、各国（地域）との収支はいずれもマイナスである。
- 日本は件数は少ないが、欧州を除くと各国（地域）との間で収支がプラスである。
- 欧州は各国（地域）との間で収支がプラスである。

出願件数の各国間の収支



7. 特許出願動向 — 全体動向（出願人別出願件数ランキング） —

- 出願人別ファミリー件数トップ30では中国籍が16者と圧倒的である。
- ただし、日本・米国・欧州・韓国への出願トップ10に中国籍は日本と米国に1者ずつのみである。
- 米国・欧州・中国・韓国への出願トップ10には日本国籍は入っていない。

出願人別ファミリー件数ランキング（全体）
出願年（優先権主張年）2008年-2017年

順位	出願人	ファミリー数
1	三星電子株式会社（韓国）	107
2	浙江大學（中国）	82
3	インテルコーポレーション（米国）	80
4	深圳大學（中国）	74
5	清華大學（中国）	53
6	済南大學（中国）	47
7	陝西科技大学（中国）	46
7	ソングンクァンユニバーシティ（韓国）	46
7	ザボードオプトラスティーズオブザユニバーシティオブイリノイ（米国）	46
10	マサチューセッツインスティテュートオブテクノロジー（米国）	45
10	TCL集团股份有限公司（中国）	45
12	ナノテクインスツルメンツインク（米国）	44
13	I B M（米国）	43
14	復旦大學（中国）	42
15	中国科学院深圳先进技术研究院（中国）	38
15	ロッキード・マーチン・コーポレーション（米国）	38
17	電子科技大学（中国）	36
18	東南大學（中国）	34
19	カリフォルニア大學（米国）	32
19	タイワン・セミコンダクター・マニュファクチャリング・カンパニー・リミテッド（台湾）	32
21	天津大學（中国）	29
21	山東大學（中国）	29
23	清華大學（中国）	28
23	中南大學（中国）	28
23	江蘇大學（中国）	28
23	ノキアテクノロジーズオーユー（フィンランド）	28
26	北京大學（中国）	27
26	国家纳米科学中心（中国）	27
26	ヨンセイユニバーシティ（韓国）	27
29	ユニバーシティ・オブ・マンチェスター（英国）	26
30	韓国電子通信研究院（韓国）	24

出願先国（地域）別 出願人別出願件数上位ランキング

日米欧中韓への出願			日本への出願		
順位	出願人	件数	順位	出願人	件数
1	三星電子株式会社（韓国）	295	1	清華大學（中国）	24
2	I B M（米国）	120	2	国立研究開発法人物質・材料研究機構	20
3	ザボードオプトラスティーズオブザユニバーシティオブイリノイ（米国）	107	3	富士通株式会社	16
4	清華大學（中国）	105	3	株式会社半導体エネルギー研究所	16
5	ユニバーシティ・オブ・マンチェスター（英国）	103	3	パナソニックIPマネジメント株式会社	16
6	ロッキード・マーチン・コーポレーション（米国）	94	3	三星電子株式会社（韓国）	16
7	浙江大學（中国）	86	3	ロッキード・マーチン・コーポレーション（米国）	16
8	タイワン・セミコンダクター・マニュファクチャリング・カンパニー・リミテッド（台湾）	84	8	ザボードオプトラスティーズオブザユニバーシティオブイリノイ（米国）	15
9	ナノテクインスツルメンツインク（米国）	83	9	フリリアントライトパワーインコーポレーテッド（米国）	14
10	深圳大學（中国）	69	10	日本電信電話株式会社	13

米国への出願			欧州への出願		
順位	出願人	件数	順位	出願人	件数
1	三星電子株式会社（韓国）	115	1	ユニバーシティ・オブ・マンチェスター（英国）	43
2	I B M（米国）	101	2	ノキアテクノロジーズオーユー（フィンランド）	33
3	ザボードオプトラスティーズオブザユニバーシティオブイリノイ（米国）	56	3	三星電子株式会社（韓国）	29
4	タイワン・セミコンダクター・マニュファクチャリング・カンパニー・リミテッド（台湾）	52	4	コミサリアレネルジエミクエウエネルジアルタナティブ（フランス）	27
5	ナノテクインスツルメンツインク（米国）	45	5	ロッキード・マーチン・コーポレーション（米国）	18
6	マサチューセッツインスティテュートオブテクノロジー（米国）	43	6	ザボードオプトラスティーズオブザユニバーシティオブイリノイ（米国）	15
7	イマティクスバイオテクノロジーズゲーエムベーハー（ドイツ）	42	7	エーエスエムエルネザーランズビー、ブイ、（オランダ）	14
8	ロッキード・マーチン・コーポレーション（米国）	36	8	インテルコーポレーション（米国）	13
9	清華大學（中国）	30	8	エコールポリテクニクフェデラルドローザンヌ（エペフェル）（スイス）	13
10	カリフォルニア大學（米国）	27	10	INFINEON TECHNOLOGIES AG（ドイツ）	12

中国への出願			韓国への出願		
順位	出願人	件数	順位	出願人	件数
1	浙江大學（中国）	82	1	三星電子株式会社（韓国）	101
2	深圳大學（中国）	68	2	ソングンクァンユニバーシティ（韓国）	45
3	清華大學（中国）	50	3	ヨンセイユニバーシティ（韓国）	25
4	済南大學（中国）	47	4	韓国科学技術研究院（韓国）	21
5	陝西科技大学（中国）	46	5	KOREA ADVANCED INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY（韓国）	20
6	TCL集团股份有限公司（中国）	44	5	キュンヒョユニバーシティ（韓国）	20
7	復旦大學（中国）	42	7	韓国電子通信研究院（韓国）	16
8	中国科学院深圳先进技术研究院（中国）	36	8	KOREA UNIVERSITY RESEARCH AND BUSINESS FOUNDATION（韓国）	15
8	電子科技大学（中国）	36	8	ナノテクインスツルメンツインク（米国）	15
10	東南大學（中国）	34	10	ユニスト（ウルサンナショナルインスティテュートオブサイエンスアンドテクノロジー）（韓国）	14
10	三星電子株式会社（韓国）	34			

8. 特許出願動向 — 技術区分別動向（物質名） —

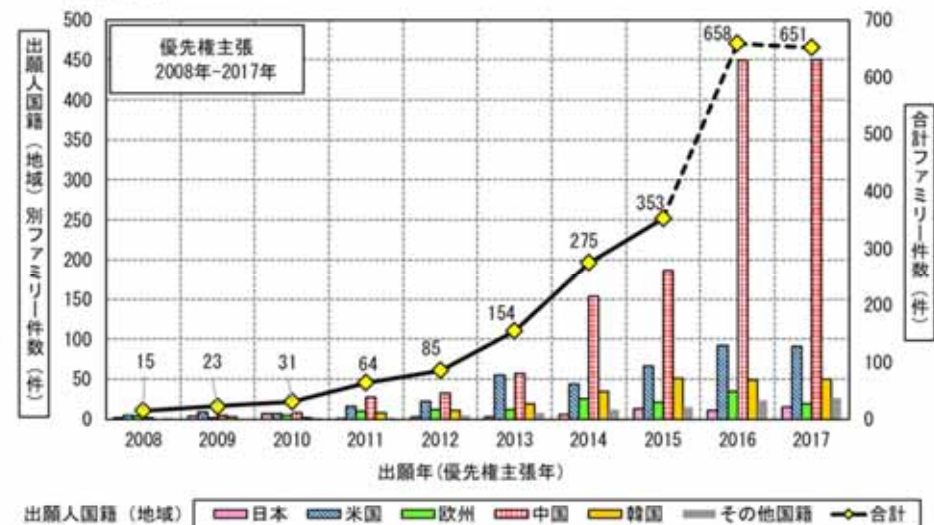
- 技術区分「物質名」別では「遷移金属ダイカルコゲナイド」の件数が多い。
- 件数の伸びでは「遷移金属ダイカルコゲナイド」と「黒リン（フォスフォレン）」が伸びている。
- 「遷移金属ダイカルコゲナイド」では各国（地域）とも件数を伸ばしているが、中国籍の伸びが著しい。

技術区分「物質名」別ファミリー件数推移



注) 2016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。

出願人国籍（地域）別「遷移金属ダイカルコゲナイド」のファミリー件数推移

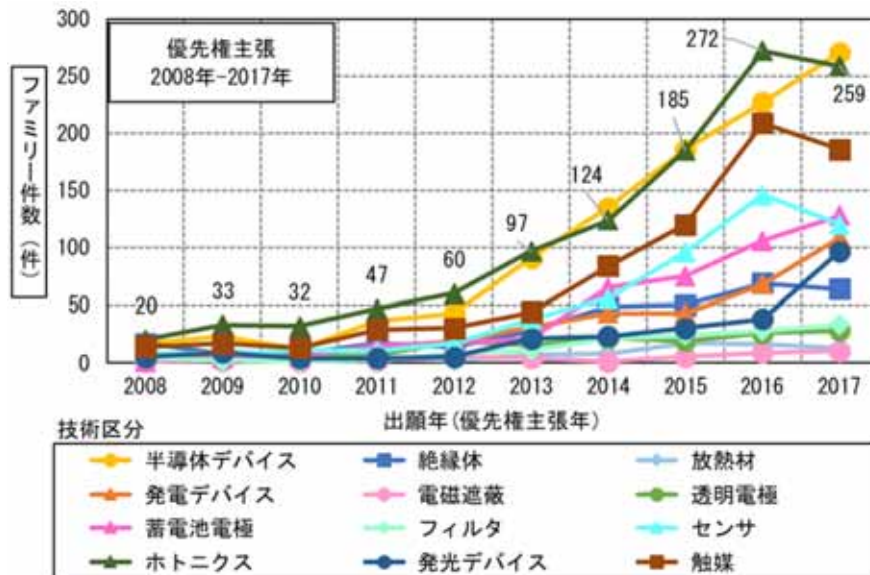


注) 2016年以降は、データベース収録の遅れ、PCT出願の各国移行のずれ等で、全出願データを反映していない可能性がある。

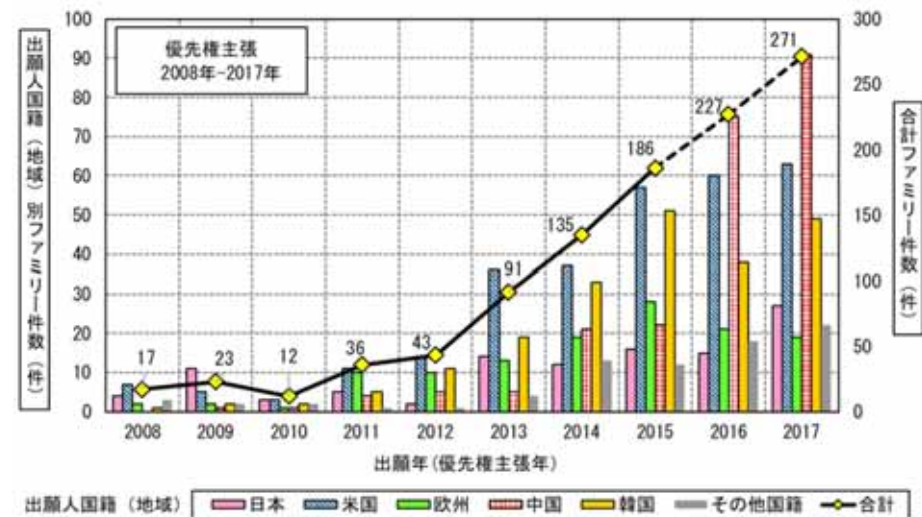
9. 特許出願動向 — 技術区分別動向（応用分野） —

- 技術区分「応用分野」別では、「ホトニクス」、「半導体デバイス」、「触媒」の件数が多い。
- 「半導体デバイス」に関する件数の出願人国籍（地域）別では米国籍が多かったが、2016年以降の中国籍の伸びが著しく、2016年に逆転し、差が広がっているものと思われる。

技術区分「応用分野」別ファミリー件数推移



出願人国籍（地域）別「半導体デバイス」ファミリー件数推移



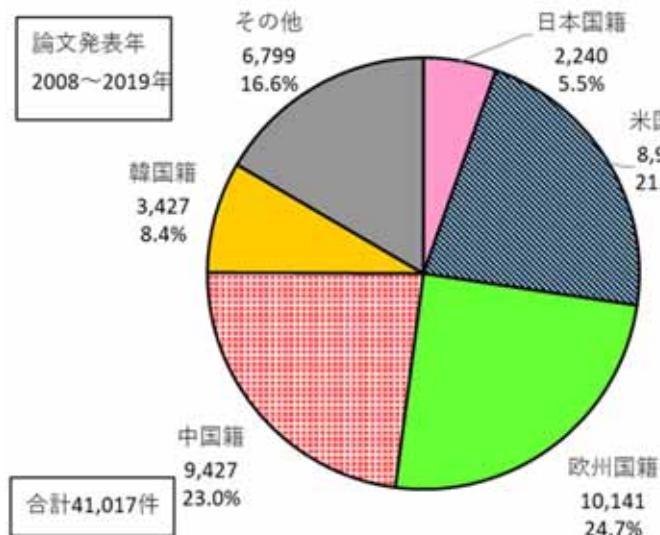
注) 2016年以降は、データベース収録の遅れ、PCT出願の各国移行のずれ等で、全出願データを反映していない可能性がある。

注) 2016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。

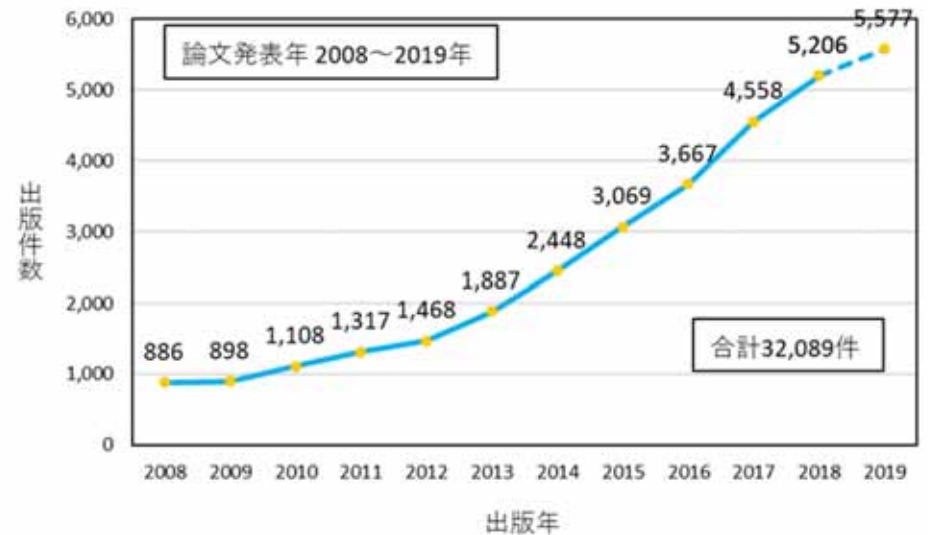
10. 論文動向

- 欧州国籍の発表件数が全体の24.7%を占めており、中国籍が23.0%、米国籍が21.9%と続いている。日本国籍は5.5%である。
- 論文発表件数は継続して増加している。

研究者所属機関国籍（地域）別論文発表件数比率



論文発表件数推移



注) 2018年以降はデータベース収録の遅れ等で、全論文件数を反映していない可能性がある。