

Title	材料科学リサーチフロントの体系化と著者所属国割合の比較
Author(s)	田中, 珠; 藤沢, 仁子; 迎, 祐介; 吉田, 秀紀
Citation	年次学術大会講演要旨集, 34: 144-147
Issue Date	2019-10-26
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/16515
Rights	本著作物は研究・イノベーション学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Research Policy and Innovation Management.
Description	一般講演要旨

1 E O 2

材料科学リサーチフロントの体系化と著者所属国割合の比較

○田中珠、藤沢仁子、迎祐介、吉田秀紀（JST）

1. はじめに

JSTは科学技術イノベーションの創出を目指し、戦略的な研究ファンディングを実施してきた。近年では「科学技術イノベーションに関するインテリジェンス機能の強化」を掲げ、国内外の政策や研究者・研究開発の最新動向の把握・分析から導出したエビデンスに基づいた研究開発の推進を強化している。

最新の研究動向分析に向けて著者らが着目したのが、クラリベイト・アナリティクス社の「リサーチフロント (RF)」である。EU Horizon 2020 の研究プログラム“Future Emerging Technologies” (FET) の分野ごとの公募テーマを参考に、JST のファンディング対象分野の一つである材料科学分野の最新動向把握において RF を用いた分析が有効であると考えた。そこで日本のプレゼンスが高いエマージング領域の発掘を目的に、コアペーパーのタイトル、抄録から材料科学 RF の分類および体系化を試みた。

2. リサーチフロント (RF) を用いた分析

クラリベイト・アナリティクス社は共引用の手法を用いて高被引用論文をクラスタリング、一つの研究領域として「リサーチフロント (RF)」と呼称している。RF は科学者による互いの文献の引用によって形成される専門領域で、研究における共通性（実験データ、概念、仮説、手法など）が反映されたものであると言える。RF の作成手法について、クラリベイト・アナリティクス社は「“共引用”はその論文群がなんらかの研究領域を形作っている（もしくは形成しつつある）ことを意味する」、「共引用の観点から論文情報を分析することにより、強い影響力をもち科学の発展に先導的役割を果たしている、もしくは果たしつつある先端研究領域とそのコアとなる研究者を特定することが可能になる」と述べている[1]。また RF は直近数年の文献のうち、被引用数上位 1%に入るもののみを集めた Essential Science Indicators (ESI) のデータベースを元に作成されている。よって世界トップレベルの研究のみを対象とした最新の動向分析が可能である。

2.1. RESEARCH FRONTS REPORTS

クラリベイト・アナリティクス社と中国科学院 (Chinese Academy of Sciences; CAS) は系統的な RF の分析を行い、共同年刊レポート「RESEARCH FRONTS REPORTS」を発表している。たとえば当該レポートの 2018 年度版では、2011~2017 年に出版、Essential Science Indicators (ESI) のデータベースに収録された文献データを対象に作成されている。共引用によってクラスタリングされた 10,143 の RF に基づき、CAS のアナリストが専門分野の視点で解釈、および RF へのラベリング付与を含む分析を実施する。その結果、自然科学、社会科学の 10 分野にわたる 100 の注目領域 (ホット RF) と 38 の新領域 (エマージング RF) からなる 138 の重要な RF が選出、紹介されている。

また、当該レポート 2014 年度版は、EU Horizon 2020 の研究プログラム“Future Emerging Technologies” (FET) における公募テーマの情報源としても利用された [2]。

2.2. 化学・材料科学分野におけるエマージングではリサーチフロントが有効

FET では、公募テーマを設定する際に技術予測 (フォーサイト) の手法を採り入れている。ドイツ・フラウンホーファー研究所が FET 技術予測の一環として OBSERVE というプロジェクトを推進し、様々な情報源から注目トピックを導出した [3]。図 1 は各分野で公募時に掲げられたテーマのうち、“結果的に” どの情報源が大きく影響したかを示したものである。

ライフ系、ICT 系における情報源はテクノロジーマガジンなど多岐に渡り、必ずしも RF が情報源の主流ではなかったのに対し、化学・材料科学系では RESEARCH FRONTS 2014 由来のトピックが最多であった。そのためエマージングトピック探索においては RF の分析が最も有用なのは化学・材料科学分野だと仮定し、まずは当該分野の RF に絞って分析を進めることとした。

3. 材料科学分野 RF の体系化

データソースとして、2013 年から 2018 年までの期間に Essential Science Indicators (ESI) のデータベースに基づいて作成された Research Front 2018 年版を使用した。文献数（コアペーパー数）は全分野で 27,614 件 (2,443 RF)。そのうち材料科学分野のコアペーパーは 4,363 報、これらの文献を含む RF 数は 330 であった。

今回利用したリサーチフロントナビゲータ（リサーチフロント探索用ツール；クラリベイト・アナリティクス社提供）では、RF タイトルとして最新コアペーパータイトルが表示される。RF の技術内容を直感的に理解できるようにするため、また関連 RF の分類・体系化促進のため、コアペーパータイトル、必要に応じて抄録を基に、これらの RF にラベリングを施した。ラベリングに際しては学術的な一般用語、および邦訳語をなるべく採用するため、Web 調査を通して周辺状況を確認し、国内外の学界と整合するようにワーディングに配慮した。

材料科学分野における RF を全体的に俯瞰できるように、一覧にしたのが表 1 である。

グラフェン、遷移金属ダイカルコゲナイド、グラフェンベース複合材料・・・と括っていき、73 の小分類を作成した。さらにこれらを 2D 物質、複合系、MOF/COF・・・と括り、21 の中分類にまとめた。

さらに大別し、最終的に I.物質・材料、II.光化学系、III.電池・キャパシタ、IV 固体物理系、V. 機能材料・構造材料、IV.プロセス、という 6 つの大分類にまで体系化を行った。

3.1. 日本のプレゼンスが高い RF

日本割合が比較的高い RF は表 2 の通り。なおここでの日本割合が高いとは、「著者所属国：日本である著者を含むコアペーパーが 30%以上の割合であること」とした。

日本割合 100%である「ナノアーキテクトニクス」のコアペーパーを詳しく見ると、NIMS・有賀らの論文（9 報）と東工大・堂免らの論文（1 報）から成り立っていることが分かった（図 2）。前者 9 報が互いに直接引用をしながら論文群を形成しているのに対し、後者 1 報は有賀らの論文群との直接引用関係はない。「ナノアーキテクトニクス」とは、「ナノレベルで発現する特有の性質を利用し、ナノ構造同士が連携しあって機能する新材料を構築すること」と定義されている [4]。WPI（世界トップレベル研究拠点形成促進事業）の一環として、2007 年より NIMS・有賀グループが中心となり推進されている研究分野だ。このリサーチフロントは実質、WPI の成果によって形成されたものだと言えるだろう。

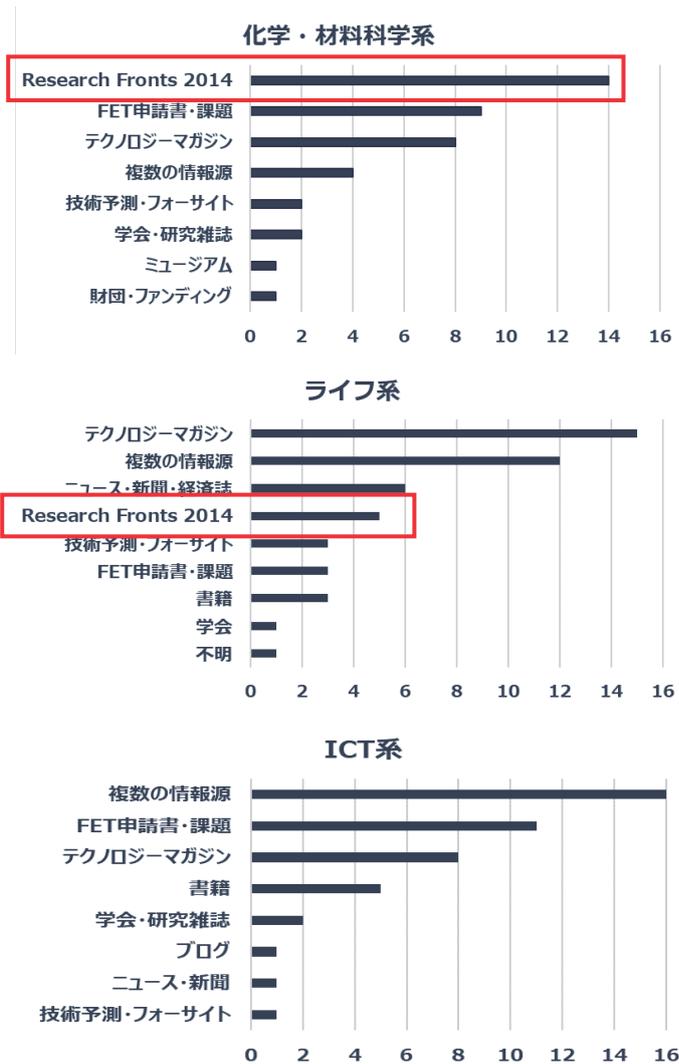


図 1 FET における分野別採択トピック抽出の情報源

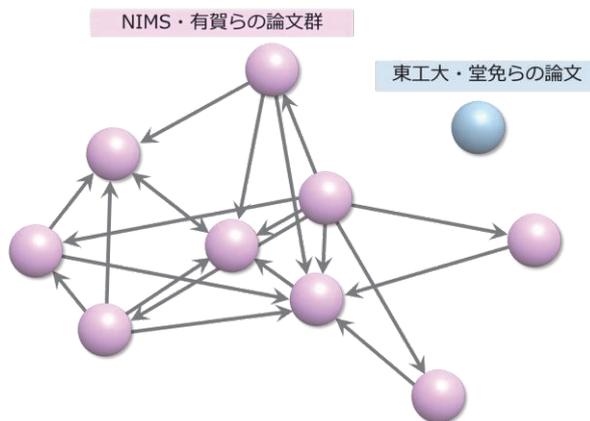


図 2 RF「ナノアーキテクトニクス」のコアペーパーにおける直接引用関係

表1 材料科学のリサーチフロント分類体系

分類	主なリサーチフロント
2D物質	
グラフェン	グラフェン切り紙, ナノホーラス材料
遷移金属ダイカルコゲナイド	MoS ₂ , h-BN, Se系, ゲルマネン, シリセン, アンチモンセン, 黒リン
複合系	
グラフェンベース	グラフェン/TiO ₂ , グラフェン/SnO ₂ , グラフェン/MoS ₂ , グラフェン/Ag ₂ PO ₄ , グラフェン強化...
ポリマーコンポジット	セルロースナノファイバーコンポジット
無機系	TiO ₂ ナノチューブ複合体, CNT複合体, セラミックベース(チタン酸バリウムなど), 複合磁性体(ErZr/ErZr), 複合酸化物(Bi系)
ハイブリッド系	
MOF/COF	
MOF/COF精密設計	多孔構造精密制御
ガス吸着MOF	自己加速ガス吸着プロセス
ソフトマター	
機能性ポリマー	ポリマーLED, 導電ポリマー, 光誘起形状記憶ポリマー, 高熱伝導ポリマー, 配列制御ポリマー, ブロックポリマー, ウレタン樹脂用ポリオール, ソフトロポ用フレキシブルエラストマー
コロイド	自己駆動コロイド粒子, ヤスス粒子
機能性分子	
ポリマー構造材	シオポリマー(アルカリ活性材料), エポキシ難燃化
トポロジカル物質	
トポロジカル絶縁体	近藤絶縁体SmB ₆
トポロジカル超伝導	マヨラナフェルミオン
半金属	ワイル半金属, 線ノード半金属
光物性	
フォトルミネセンス	ナノクラスター(銅, Fe ₃ O ₄ , etc.), 2D物質(単層WS ₂ など), 凝集誘起発光性材料(AIE), 超分子メタロゲル
有機エレクトロルミネセンス	蛍光材料, リン光材料, TADF, ヘロスカイトLED, 有機LED, 発光ポリマー
フォトンアップコンバージョン	三重項-三重項消滅機構(TTA-UCI), 一重項分裂(Singlet fission)
量子ドット	コロイド状量子ドット
メカノルミネセンス	光誘起形状記憶ポリマー
光音響	蛍光材料, 金属ナノ粒子
フォトサーマル	金ナノドット
光電変換	
水分解	
可視光光触媒	Zスキーム型, Bi系複合酸化物, BIOX(X=Cl, Br, I), 黒いTiO ₂ , 酸化銀ドープTiO ₂ , g-C ₃ N ₄
水電解電極	MoS ₂ 系電極, 銅触媒, 水分解タンデムセル
完全水分解反応	多孔質BiVO ₄
太陽電池	
ヘロスカイト	無鉛ヘロスカイト
化合物系	カルコパイライト系(Cu-Zn-Ga-Se), ケステライト(Cu ₂ ZnSnS ₄)
量子ドット	
有機系	フラレンフリー, 色素増感, 全ポリマー
二次電池	
リチウムイオン電池	リチウム合金負極, グラフィレン負極, チタン酸リチウム表面修飾
ポストリチウムイオン電池	全固体電池, ナトリウムイオン電池, リチウム-硫黄電池, リチウム-空気電池, 亜鉛-空気電池, 多価イオン電池
レドックスフロー電池	有機レドックスフロー, 新規イオン交換膜
スーパーキャパシタ	
電極材料	グラフェン系, 疑似キャパシタ電極
新規電解質	ゲル電解質, イオン液体
燃料電池	
アニオン交換膜	ブロック共重合型電解膜
酸素還元触媒	窒素ドープカーボン
固体酸化物形燃料電池	ダイレクトエタノール燃料電池
(SOFC)	
微生物燃料電池	バイオフィルム, 高出力型金属負極

分類	主なリサーチフロント
デバイス	
2Dデバイス	遷移金属ダイカルコゲナイド電界効果トランジスタ
強誘電体, 強誘性体	水素結合型有機強誘電体, 分子性強誘電体, 反強磁性体スイッチング
パワーデバイス	Ga ₂ O ₃ , AlGaN
半導体	ペーバートランジスタ, 直鎖ヘテロアセン, 有機半導体
単一分子	単分子電気計測, 単分子識別振動分光, 光スイッチデバイス
センサー	
紫外線センサー	ZnOナノセンサー
バイオセンサー	メカトランスタクシオン, ウェアラブルバイオセンサー, 蛍光センサー
蛋センサー	ウェアラブル蛋センサー, 電子皮膚, 圧電, ナノ摩擦発電, カーボンナノチューブ
スピントロニクス	
スキルミオン	磁気メモリ
量子スピン液体	キタエフ模型
グラフェンスピントロニクス	スピントランジスタ
スピン液体	磁性コロイド流体, スピン流スイッチ
プラズモン	
メタマテリアル	負屈折率物質, 電波吸収体
プラズモンナノ材料	グラフェンプラズモン
プラズモニックデバイス	プラズモニックディスプレイ
エネルギー・環境	
超伝導材料	
浄水	酸化グラフェン薄膜, 容量性脱イオン法, 過硫酸塩利用, ゼオライト
窒素固定触媒	Mo触媒, Fe錯体
NOx還元, CO ₂ 還元	MnOx, MnOx-CeOx, 尿素SCRシステム
磁気冷凍	Er系磁気冷凍材料, 磁気熱量材料
蓄熱材料, 熱電	相変換材料, 熱電材料, エネルギーハーヴェスティング
放射熱伝達	シリカ, 金ナノ粒子, ナノ流体
構造材料	
高エントロピー合金	FeCrNiCoMn合金
超高強度鉄鋼	低屈折プロセス
金属ガラス	非アフィン熱歪みによる金属ガラス再生
生体	
人工酵素	Mn系人工金属酵素触媒
バイオマテリアル	抗菌バイオマテリアル, ヤスマイクロモータ, ポリドーパミン, 人工分子機械
治療	フォトサーマルセラピー(光温熱治療), 磁気温熱療法, DDS
合成プロセス・製造プロセス	
3Dプリンター	ステンレス, チタン, バイオプリンティング, 4Dプリンティング
システムスケミストリー	生体機能チップ Organ-on-a-chip
ナノ微粒子合成	
分離	
ガス分離	ガス吸着ナノシート, ガス分離MOF, 多孔質ガス分離
油水分離	エマルジョン, 超疎水
固体分離	浮遊選別
有害物質除去	有害有機物除去
CO ₂ 分離・固定	CO ₂ 固定MOF
表面処理	
耐食	エポキシ系防食材料, マグネシウム合金の耐食性
メッキ	ガルバニック置換法
撥水	超撥水ナノ加工

グラフェン、遷移金属ダイカルコゲナイド(MoS₂など)、h-BN、シリセンなど 2D 物質も日本割合が大きい。スピントロニクス、トポロジカル絶縁体、グラフェンプラズモン、ワイル半金属といった固体物理系の材料研究も日本のプレゼンスが比較的高い様子がわかる。

3.2. グラフェン関連 RF の著者所属国シェアの比較

そこでグラフェン関連 RF に着目し、3つの小分類に対して各種指標を付与したものが表3である。

コアペーパー数は3分類合わせて953報。材料科学分野 RF 全体のコアペーパー数は4,362報であるため、これらの RF は量的にも存在感が際立っている。小分類：グラフェンベース複合系にいたっては材料科学分野 RF のコアペーパーのうち約1割という多数を占めており、世界的にも注目が集まっている領域であることが分かる。

コアペーパー著者の所属国について主要国のシェア(整数カウント)を見ると、中国、米国の数値の高さが目立つ。なお国別シェアの比較においては、この両国の発表論文総数の規模が日本よりもはるかに大きいことから、日本のプレゼンスが相対的に小さく見えてしまう点に注意が必要である。今後、日本が質的に強い分野を押し量る分析についても別途検討したい。

一方で、ポストグラフェンと位置づけられる、中分類：遷移金属ダイカルコゲナイド関連の領域では日本も比較的高い数値となった。当グループはさらなる深掘り分析として、当該 RF を対象に計量書誌学を用いたホットトピックの抽出を試行した。手法、結果については1 E O 3 山下他「計量書誌学分析によるホットトピック抽出の試みーポストグラフェン研究を事例としてー」にて別途報告する。

表2 日本割合が高いリサーチフロント

RFラベル	日本割合 (%)
ナノアーキテクトニクス	100.0
グラフェン/h-BN	66.7
Ga ₂ O ₃ パワーデバイス	51.9
有機エレクトロルミネッセンス	50.0
MoS ₂ 水素発生触媒	40.0
2次元層状物質 (MoS/Se系)	40.0
スピントロニクス	38.5
シリセン	37.5
FeSe系超伝導材料	35.3
超伝導体における電荷密度波秩序	33.3
水素製造触媒	33.3
FeSe超伝導体	33.3
トポロジカル絶縁体	33.3
ナトリウムイオン電池負極材料	33.3
グラフェンプラズモン	31.6
ワイル半金属	30.0

表3 グラフェン関連 RF の国別比較

大	分類		主なリサーチフロント(例)	コアペーパー数	平均 出版年	直近2年 割合 (%)	主要国シェア (整数カウント) (%)					
	中	小					日	中	米	独	英	仏
物質・材料	2D物質	グラフェン	グラフェン切り紙, ナノポーラス材料	176	2015	25.6	5.1	43.2	34.7	11.4	6.3	1.7
	2D物質	遷移金属ダイカルコゲナイド	MoS ₂ , h-BN, Se系, ゲルマニウム, シリセン, アンチモン, 黒リン	343	2014.6	7.9	9.6	50.2	38.5	7.3	4.1	5.8
	複合系	グラフェンベース	グラフェン/TiO ₂ , グラフェン/SnO ₂ , グラフェン/MoS ₂ , グラフェン/Ag ₃ PO ₄ , グラフェン強化...	434	2015.3	28.1	3.0	52.8	18.9	2.3	2.3	1.4

4. まとめ

材料科学分野の330RF (コアペーパー数4,363報) に対してラベリングを付与、73の小分類、21の中分類、6の大分類に体系化した。さらに日本のプレゼンスが高い RF を特定し、その一例としてグラフェン関連 RF の国別シェアを比較。日本における注目領域の一つとして、遷移金属ダイカルコゲナイドの関連 RF について深掘り分析を試行した (※1 E O 3にて別途発表予定)。RF というエビデンスを足掛かりに、材料科学の重要テーマ特定や国際ベンチマークの可能性を示すことができたと思う。

今後は日本が質的に強い分野を押し量る分析や他分野への拡張についても検討を進めていきたい。

参考文献

- [1] 【リサーチフロントアワード】日本がリードする先端研究領域と、その領域で活躍する研究者を発表, 2016年7月, <https://clarivate.jp/research-fronts>
- [2] Horizon 2020, Future Emerging Technologies <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/future-and-emerging-technologies>
- [3] Project OBSERVE, Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI <https://www.isi.fraunhofer.de/en/competence-center/foresight/projekte/observe.html>
- [4] 有賀克彦, 材料革命ナノアーキテクトニクス, 岩波書店, 2014