

調査報告書

論文・特許マップで見る 環境・エネルギー分野の俯瞰と マテリアル関連研究の波及・展開

エグゼクティブサマリー

地球温暖化による気候変動は深刻な問題となっており、カーボンニュートラルの達成は国際社会における急務である。日本政府は2050年までにカーボンニュートラルを目指す政策目標を2020年に掲げ、「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略（2021）」を策定した。また、この戦略の中では、多くの産業分野で材料やデバイスを主とするマテリアルの革新が求められている。

本調査は、2050年のカーボンニュートラルの達成を目指す世界的な動向を踏まえ、環境・エネルギー分野の論文および特許情報を基に本分野の対象となる広範な技術を俯瞰的に分析することを目的としている。これにより、論文・特許空間における各国のポジションや注力分野、年変化を定量的に把握することで、我が国の研究開発戦略の判断に資する基礎的な情報を得ることを意図している。さらに、グリーン社会実現のためにマテリアル分野の貢献が期待されていることを踏まえ、環境・エネルギー分野におけるマテリアル関連研究の波及・展開の動向把握を目指す。

はじめに環境・エネルギー分野に関連する論文・特許の母集団を作成し、それらに含まれる情報に基づき論文・特許をクラスタリングし、マップとして可視化した。さらに、その中からマテリアルに関連する文献を抽出し俯瞰マップ上で可視化した。また、多数の論文・特許で構成される技術領域、および関連文献数が現在のところ数十件程度に留まるエマージングなキープレーズを対象に成長可能性判定を実施し、今後の伸びが期待される、環境に配慮しつつグリーン社会移行に貢献する技術テーマの推定を試みた。

分析の結果、俯瞰マップ上では、国による注力分野が異なることが示された。中国では多岐にわたる技術領域がみられ、その広範な分布と文献数の増加から、他国を圧倒する顕著な成長が示された。中でもリチウムイオン電池や触媒、環境関連技術の文献が多くみられた。米国でも広範な技術領域への分布がみられた。特に気候変動分析に関する文献の数が相対的に顕著であった。日本ではペロブスカイトPVやリチウムイオン電池関連文献の数が相対的に顕著だった。特許件数の年次推移から、太陽光発電に関する特許件数が近年横ばいである一方、蓄エネルギーに関する特許件数が増加傾向にあることが示された。太陽光発電技術が市場導入のフェーズへ進み、それに伴い再生可能エネルギーの貯蔵・輸送技術の開発が求められていることが推察される。

また、環境・エネルギー関連分野の様々な領域にマテリアル関連研究が展開していることが確認された。さらに、エネルギーのみならず環境関連分野にもその広がりが見られ、循環型社会や環境汚染の改善・防止にむけた技術開発にもマテリアル関連分野が貢献している構造が示された。蓄電池に関連する領域では、実用化と急速な普及の拡大を背景に、デバイス研究とマテリアルに関する研究が互いの必要性を喚起し、両者の文献数が共に増加していく関係性にあったと推察される。

本調査は、研究開発戦略立案に資する基礎的な情報のひとつとして、論文・特許の定量的な情報に基づいて環境・エネルギー分野の俯瞰的構造をマップとして提示するとともに、研究開発動向に関する調査・分析結果を提供するものである。本検討では、環境・エネルギー分野とマテリアルに関する基盤技術の関係性の一端を定量的な情報に基づき示すことができた。マテリアル関連研究の成果が環境・エネルギー分野に浸透していく、あるいは相互が影響を及ぼし合い発展していく関係にあることを念頭に、カーボンニュートラルの実現に向け量的貢献可能な技術の普及と導入を視野に入れ、分野間の連携を強化することが重要である。また、再生可能エネルギーの普及に伴う技術ニーズの変化を見通し、カーボンニュートラルに向けた一過性のシステム導入に留まらず、その次の段階で必要となるデバイスが何かを見据えた研究開発を行うという視点も重要である。論文・特許の定量的な情報はあくまで過去に関する情報であり、分析には限りがあるが、経験から得られる認識の裏付けや将来に向けた様々な示唆を得ることもできる。よって分析の可能性を探索していくことは研究開発戦略の検討における基礎的情報の充実化という意味で有意義であり、センターとしても今回

の検討にとどめず引き続き実施していく予定である。

目次

1	調査概要	1
1.1	背景・調査目的	1
1.2	論文および特許情報の収集	2
1.3	トピックモデルによる類似度評価と俯瞰マップ作成	4
1.4	キーフレーズの取得	6
1.5	成長曲線（ロジスティック関数）回帰による成長可能性判定	6
2	環境・エネルギー分野の俯瞰マップ	8
2.1	論文情報の俯瞰マップ（プレクラスター解析）	8
2.2	特許情報の俯瞰マップ（プレクラスター解析）	9
2.3	論文・特許統合解析による俯瞰マップ	10
3	環境・エネルギー分野のマクロ動向分析	24
3.1	論文・特許分布	24
3.2	研究開発の経年変化	25
3.3	主要国別動向分析	29
4	環境・エネルギー分野におけるマテリアル関連研究の波及・展開	38
4.1	マテリアル関連トピックの選定	38
4.2	俯瞰マップへのマテリアル関連プライマリ/セカンダリ文献のマッピング	39
4.3	マテリアル関連プライマリ/セカンダリ文献の経年変化	41
5	成長領域の推定	44
5.1	俯瞰マップにおける成長領域の推定	44
5.2	成長キーフレーズの推定	45
6	まとめ	52

1 | 調査概要

1.1 背景・調査目的

地球温暖化による気候変動の影響が既に各地で顕在化し始めているため、カーボンニュートラルは人類にとって可及的速やかに実現しなければならない課題である。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第6次報告書（2023年公表）では「人間活動が主に温室効果ガスの排出を通して地球温暖化を引き起こしてきたことには疑う余地がなく、1850～1900年を基準とした世界平均気温は2011～2020年に1.1℃の温暖化に達した。」「大気、海洋、雪氷圏、及び生物圏に広範かつ急速な変化が起こっている。人為的な気候変動は、既に世界中の全ての地域において多くの気象と気候の極端現象に影響を及ぼしている。」と報告されている。

わが国では2020年に、「2050年までにカーボンニュートラルの達成を目指す」との政策目標を掲げ、翌2021年には「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」（以下、グリーン成長戦略）がとりまとめられた。同戦略は産業政策の位置づけにあり、カーボンニュートラルの実現に向けた民間投資の拡大を後押しするために、予算、税制、金融、規制改革・標準化、国際連携に関する取組みを進める方針が示された。予算に関しては国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）に2兆円の「グリーンイノベーション基金」を造成するとした。また本戦略では、「今後の産業としての成長が期待される重要分野」を14分野設定し、産業ごとに個別の目標およびその達成に向けた実行計画が作成された。

グリーン成長戦略の中では、自動車・蓄電池産業をはじめとする多くの産業分野で材料やデバイスを主とする「マテリアル」の革新が求められている。「マテリアル革新力強化戦略」（2021年）では、「経済と環境の好循環を同時に創出し、グリーン社会を実現するためには、革新的なイノベーションをもたらすマテリアルが不可欠である。」と環境・エネルギー分野におけるマテリアルの重要性が示され、具体的な取り組みとして「グリーンイノベーション基金の活用等によるカーボンニュートラルの実現に貢献するマテリアル技術の実装」が挙げられている。

本調査は、2050年までにカーボンニュートラルの達成を目指す世界的な動向を踏まえ、環境・エネルギー分野の論文および特許を俯瞰的に分析し、論文・特許空間における各国のポジション・注力分野・年変化を把握することで、研究開発戦略の判断に資する情報を得ることを企図したものである。さらに、グリーン社会実現のためにマテリアル分野の貢献が期待されていることを踏まえ、環境・エネルギー分野とマテリアル分野に跨がる研究開発の動向を定量的に捉えることを目指した。

具体的には、環境・エネルギーに関連する技術の論文情報および特許公報を広く収集したうえで、それらと同じ俯瞰マップ上に可視化し、マクロ動向の分析を行うことで、環境・エネルギー分野の対象となる広範な技術を俯瞰しつつ全体像を示した。さらに、環境・エネルギー分野におけるマテリアル関連研究の波及・展開の動向把握を行うため、マテリアルに関連するトピックを抽出し俯瞰マップ上に可視化することで分析を行った。加えて、技術領域およびキーワード毎の成長可能性判定を実施し、環境に配慮しつつグリーン社会移行に貢献する技術テーマの推定を試みた。

1.2 論文および特許情報の収集

1.2.1 論文情報の収集

データベースはScopus（エルゼビア社）を使用し、2001年以降に発行された査読付き論文を対象とし、2023年8月時点のデータを収集した。

対象とするジャーナルの選定には、Research.comが提供するBest Journals¹を使用した。Best Journalsはジャーナルに投稿した研究者のH-indexと研究者数をもとに、分野別にジャーナルをランキングしたものである。ジャーナルは26のカテゴリに分類され、カテゴリごとにランキングされている。また、カテゴリの下層となるサブカテゴリも付与されている。本調査では「環境・エネルギーに関連のある主要分野」および「環境・エネルギーに関連のある周辺分野」の観点で整理し、表1-1に示すカテゴリおよびサブカテゴリを対象とした。

表 1-1 論文情報の収集対象

分野	Best Journals カテゴリ	Best Journals サブカテゴリ	収集対象
環境・エネルギーに 関連のある主要分野	Environmental Science	全体	上位ジャーナル： 全件を収集 30位以内のジャーナル： キーワードとのAND検索により収集
	Engineering and Technology	Energy Engineering and Technologyおよび Environmental Engineering	
	Materials Science	Materials for Energy	30位以内のジャーナル： 全件を収集
環境・エネルギーに 関連のある周辺分野	Earth Science	全体	30位以内かつ本調査の内容に合致する ジャーナル： キーワードとのAND検索により収集
	Chemistry	全体	
	Physics	Astronomy and Astrophysics 以外	
	Materials Science	Materials for Energy 以外	

さらに、各ジャーナルに含まれる論文の選別に用いるため、表1-2に示す研究・技術に関するキーワードを設定した。ここでは、JST-CRDS発行の「研究開発の俯瞰報告書 環境・エネルギー分野（2023年）」と「研究開発の俯瞰報告書 ナノテクノロジー・材料分野（2023年）」の記述を参考にした。

「環境・エネルギーに関連のある主要分野」に関して、特に注目される上位ジャーナル（Materials for Energyは30位以内のジャーナル）においては全ての論文を収集対象とし、30位以内のジャーナルからは関連するキーワードとのAND検索で合致した論文を収集対象とした。

「環境・エネルギーに関連ある周辺分野」に関しては、30位以内かつ本調査の内容に合致するジャーナルについて、関連するキーワードとのAND検索で合致した論文を収集対象とした。これら本調査で収集対象としたジャーナルリストを巻末付録（表A-1）に掲載している。

1 Best Journals: 科学者向けのポータルサイトResearch.com (<https://research.com/>、2023年9月6日時点)が提供するジャーナルランキング。投稿者のH-indexと研究者数でジャーナルを評価している。

これらの条件で収集された論文442,710件を分析対象候補とし、論文のみの俯瞰マップの作成により不適論文の有無を確認した（後述2.1）。

表1-2 キーワードによる検索対象とした研究・技術

俯瞰区分名 (※)	項目	検索対象の概要
電力のゼロエミ 化・安定化	火力発電	石炭、ガス、LNGなどによる発電、GTCC、IGCCなどに関する研究・技術
	原子力発電	原子力発電や第4世代リアクタ、ウラン資源、核燃料サイクル、セキュリティ、核融合などに関連する研究・技術
	太陽光発電	太陽光発電に関する研究・技術
	風力発電	風力発電に関する研究・技術
	バイオマス発電・利用	バイオマス、バイオ燃料などを用いた発電、バイオプラスチック、CCUS等に関する研究・技術
	水力発電・海洋発電	水力や波力による発電、海洋発電、海洋タービン、濃度差発電などに関する研究・技術
	地熱発電・利用	地熱発電に関する研究・技術
	太陽熱発電・利用	太陽熱利用、太陽熱蓄熱などに関わる研究・技術
	CO ₂ 回収・貯留(CCS)	CO ₂ の吸収、DAC、CO ₂ 還元などに関わる研究・技術
産業・運輸部 門のゼロエミ 化・炭素循環 利用	蓄エネルギー技術	グリッド等における電力貯蔵などに関する研究・技術
	水素・アンモニア	水素あるいはアンモニアの製造、運搬、貯蔵などに関わる研究・技術
	CO ₂ 利用	CO ₂ 変換、利用に関する研究・技術
	産業熱利用	産業熱、産業排熱の貯蔵、輸送、熱電池などに関わる研究・技術
	地域・建物エネルギー 利用	ビルや建物のゼロエミ化、省エネに関わる研究・技術
大気中CO ₂ 除 去	ネガティブエミッション 技術	ネガティブエミッション、ブルーカーボン、DACCS、BECCSなどに関わる研究・技術
エネルギーシ ステム統合化	エネルギーマネジメン トシステム	電力グリッドやエネルギーシステムにおけるマネジメントシステムに関わる研究・技術
	エネルギーシステム・ 技術評価	エネルギーシステムのモデルや評価に関わる研究・技術
人と自然の調 和	気候変動観測	リモートセンシングやセンサーネットワークなどによる気候変動観測に関わる研究・技術
	気候変動予測	気候変動予測やモデル、シミュレーションなどに関わる研究・技術
	水循環（水資源・水防 災）	水循環や水資源の観測、モデル、シミュレーション等に関わる研究・技術
	生態系・生物多様性の 観測・評価・予測	生態系や生物多様性の観測や予測、モデルに関わる研究・技術
	社会-生態システムの 評価・予測	グリーンインフラ、ソシオエコロジカル、エコシステム評価に関わる研究・技術
	農林水産業における気 候変動影響評価・適応	林業や農業、漁業に対する気候変動影響に関する研究・技術
	都市環境サステナビリ ティ	都市やビルディングへの気候変動影響の予測や影響に関する研究・技術
	環境リスク学的感染症 防御	COVID19や感染症等のリスクマネジメントに関する研究・技術

持続可能な資源利用	水利用・水処理	廃水モニタリングや水再生などに関わる研究・技術
	持続可能な大気環境	PM _{2.5} 、オゾン、NO _x 、CO ₂ による大気汚染、制御に関する研究・技術
	持続可能な土壌環境	土壌や地下水の汚染に関する研究・技術
	リサイクル	廃水を除く廃棄物のリサイクル、再生、回収等に関わる研究・技術
	ライフサイクル管理（設計・評価・運用）	ライフサイクルアセスメント等に関わる研究・技術
	地球環境リモートセンシング	地球環境等の衛星等によるモニタリング、リモートセンシングに関わる研究・技術
	環境分析・化学物質リスク評価	環境分析研究・技術、マイクロプラスチック等環境汚染物質の評価などに関わる研究・技術
（ナノテクノロジー・材料分野）環境・エネルギー応用	分離技術	吸着分離、スイング吸着、分離膜、濾過あるいは超臨界流体やイオン液体を利用した分離等に関わる研究・技術

（※）研究開発の俯瞰報告書は複数の俯瞰区分で構成され、各俯瞰区分の下に研究開発領域が分類される階層構造となっている。

1.2.2 特許情報の収集

特許は、データベースにTotalPatent（LexisNexis 社）を使用し、2001 年以降に発行された公開公報のうち、発行機関が世界知的所有権機関（WIPO）であるもの（PCT 国際出願された特許公報）を対象とした。2023 年 8 月時点のデータを収集した。

論文と同様、タイトルまたはアブストラクトに表 1-2 の研究・技術に関するキーワードを含む特許を収集対象とした。また、広く環境・エネルギーに関連する特許情報を収集する観点から、ヨーロッパ特許庁（EPO）とアメリカ特許商標庁（USPTO）が共同で付与している特許分類（CPC：Cooperative Patent Classification）Y02 分類を参照し、本調査と関連の深い分類の付与された特許も収集対象とした。Y02 分類は気候変動の緩和や適応に関する技術に付与される分類である。本調査で収集対象とした Y02 分類のサブグループ詳細は、巻末付録（表 A-3）にまとめた。

抽出された特許文献のうち、ファミリー特許の重複を削除したのち、英語機械翻訳が欠損したもの、記述が極端に短くて分析に堪え得ないものを除外して、最終的に 338,050 件を分析対象候補とした。特許のみの俯瞰マップを作成し、不適特許の有無を確認した（後述 2.2）。

不適論文、不適特許を除外したのち、論文と特許を統合した俯瞰マップを作成した（後述 2.3）。

1.3 トピックモデルによる類似度評価と俯瞰マップ作成

本調査では、トピックモデル（Latent Dirichlet Allocation：LDA）によって論文・特許の分類を行った。トピックモデルは確率モデルの一種で、文献中の「単語の出現する確率」を推定し、似た単語が出てくる文章を似たものとして評価する自然言語処理の基本的手法である。

単語の出現確率の推定は実際の文献内の単語の出現頻度を元に行われる。トピックモデルでは、文献情報のデータセットから特定のワードとその「ウェイト（重み）」の組み合わせから成る「トピック」が多数生成される。各文献は、それぞれ重みづけされた複数のトピックの組み合わせで構成される（図 1-1）。文献を構成するトピックのウェイトに基づいて、文章間の差異（類似度）を定量的に評価することが可能である。

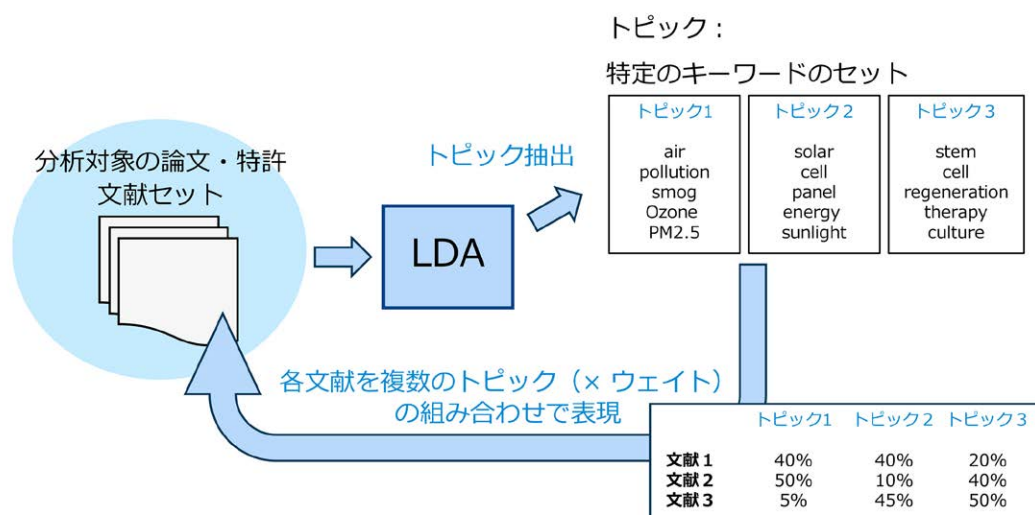


図 1-1 トピックモデル（Latent Dirichlet Allocation : LDA）の概要

トピックモデルでは、トピックを構成するキーワードの組み合わせと、文献を構成するトピックの組み合わせの2段階で文献の内容表現を行う。そのため、キーワードの組み合わせのみの表現と比較して、類似判定に誤りが生じにくいとされる。例えば、stem cell（幹細胞）とsolar cell（太陽電池）は、cellという1ワードのみの分類では類似していると判定され得るが、トピックモデルを用いると、stemとcellを有するトピックとsolarとcellを有するトピックに類似判定が分かれる。

本調査では、以下のステップで文献の類似度評価と俯瞰マップ作成を行った。

- ①トピックモデル（LDA）を用いて、各文献を自動抽出されたトピックの組み合わせで表現する
- ②各文献におけるトピックの共有関係から、トピック空間における文献間の高次元類似度を求める
- ③多様体学習により二次元に次元削減を行って「俯瞰マップ」として図示化する

俯瞰マップの出力は、母集団の中で最頻出となる概念が中心に位置するように設定されている。また、文献間の距離は文献の内容の差異を表し、類似した文献が近い距離に配置される。概して、筆頭トピック（当該文献の中で最も大きなウエイトを占めるトピック）が共通する文献ほど互いに近くに位置し、クラスターを形成する傾向がある。またそのクラスター内での相対位置は第2、第3のトピックの差異により変化する。

また本調査では、文献のクラスターを2段階で整理し、ラベル付けを行った。詳細は2.3にて示すが、概要は以下のとおり。

- ①筆頭トピックが共通する文献のクラスターを機械的に判別し、各トピックに含まれるキーワード等に基づき人為的にラベル付け
- ②互いに近接する各クラスターのラベルを参考に、共通の上位概念でくることができると思われた範囲を人為的に定め、その上位概念でラベル付け

なお俯瞰マップは専用のソフトウェアを用いて次元削減を行った結果を二次元の図で表示している。二次元化された図は、前述の最頻出の概念が中心に位置し、また文献間の距離が互いの文献の内容の差異を表すとの点は変えないまま、様々な形で表示されうる。今回は、その中から、互いの位置関係を目視で比較的判別しやすい図を本調査の結果として用いることとした。

1.4 キーフレーズの取得

俯瞰マップの作成により、分析対象文献を目視でも100前後のクラスターに分類可能となる。数十万件の文献情報の分析においては、1つのクラスターに1000件程度の文献が集積することになる。このように大きな母数によるクラスターの分布は、大局的な関係を把握するには有効であるが、より文献数の少ない新興技術を見つけるには必ずしも適当ではない。

そこで、文献内のワードの組み合わせである「キーフレーズ」に注目することで、より詳細な分析を試みる。本調査のように英語文献を対象とする場合、1ワードで新興技術が表現されることはほぼ無く、キーフレーズとして探索することが有効である。

本調査ではRAKE (Rapid Automatic Keyword Extraction) を利用し全分析対象文献のアブストラクトからキーフレーズを抽出した。ここでは、名詞、動詞などを単数形や現在形などの基本形に戻す見出し語化(レマタイジング)、aやtheのような機能語やWeやgoなどの一般語を除外する前処理を実施した。得られたキーフレーズは後述する新規キーフレーズの推定(5.1)で使用した、俯瞰マップ中のクラスターの内容を判定する際に利用した。

1.5 成長曲線(ロジスティック関数)回帰による成長可能性判定

各技術の今後の成長可能性を判定するため、時間軸に対する文献数の推移について成長曲線(ロジスティック関数)を用いた回帰分析を試みた。ある技術が出現してから成長する過程を考えると、初期には関連文献の件数の増加は緩やかであり、その後有望性が認知されたり、競合の参入が続くことで文献数の急激な増加が期待される。さらに時間が経過すると、技術の陳腐化や市場の飽和などにより増加が緩やかになる、あるいは減少すると考えられる。この一連の件数推移にロジスティック関数を適用したとき(図1-2)、傾きが最大となる立ち上がり年が将来の年であれば今後成長可能性があると判定できる。一方、立ち上がり年が過去と算出されれば、今後成長の鈍化や停止が予想される。

さらに、キーフレーズに対して成長可能性判定を適用する際には、既知のワードやノイズワード除外のため以下の処理を行った。

- ①初出年の限定による既知ワードの除外
- ②直近数年における文献数の限定によるノイズワードの除外
- ③算出された立ち上がり年の幅(誤差)の限定による回帰エラーの除去

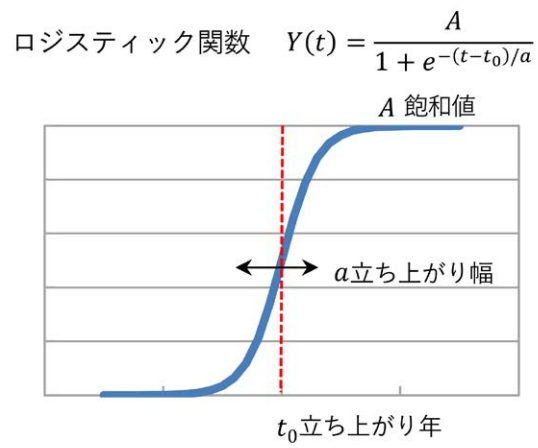


図 1-2 ロジスティック関数を用いた立ち上がり年の推定

2 | 環境・エネルギー分野の俯瞰マップ

2.1 論文情報の俯瞰マップ（プレクラスター解析）

ノイズとなる文献の除去のため、論文のみの俯瞰マップを作成した上で、後段に示す2段階のラベル付けを行った（図2-1）。対象とする論文は442,710件で、アブストラクトの文章を解析対象にした。

まず図中の赤破線楕円は、筆頭トピックが共通する文献を機械的にまとめたものである。本書では「技術群」と呼ぶことにする。各技術群は、以下の情報を順に参考にして、ラベルを付与した（以降の俯瞰マップ作成においても同様）。

- ①トピックのキーワード
- ②RAKE（Rapid Automatic Keyword Extraction）によるキーフレーズ
- ③タイトル、アブストラクトのテキスト

続いて、各技術群のラベルを参考にしながら、共通の上位概念でくることができると思われた範囲を人為的に定め、紫色楕円で示した。この技術群の集合を本書では「技術領域」と呼ぶことにする。各技術領域には、共通の上位概念でラベルを付与した。

技術群、技術領域のラベルを参考に、ノイズ除去要否を検討した結果、文献については除去対象なしと判断した。

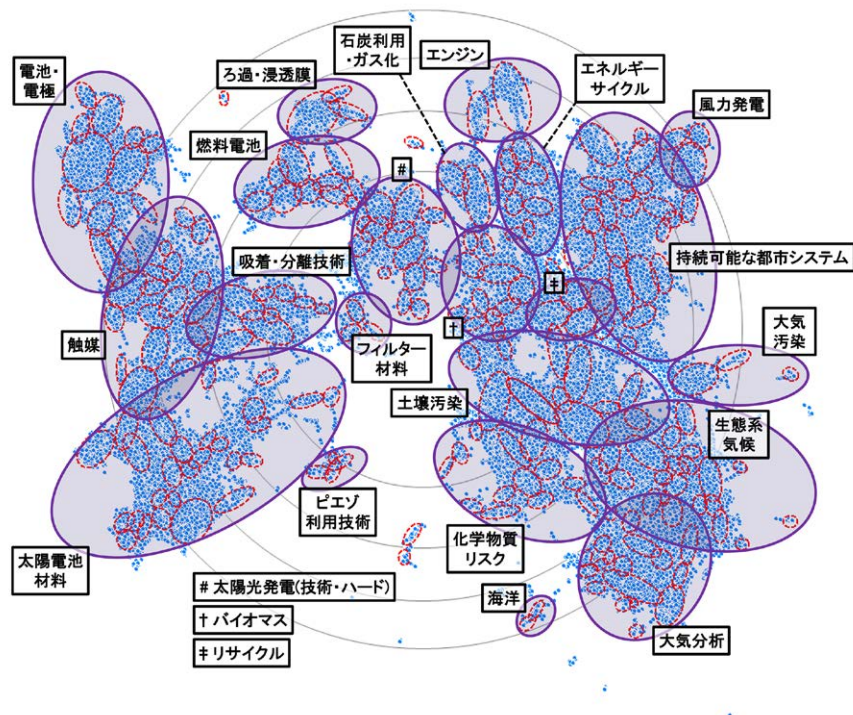


図2-1 論文情報の俯瞰マップ

注1) 俯瞰マップの上下左右に特定の意味は無く、中心部が最頻出の技術・概念であること、文献間の距離が相対的な類似度を表すことが本マップの要点となる。また次元削減により二次元化されたマップのため、中心部から離れた外縁部は放射状に広がるが、多次元空間上では外縁部どうしが近接している場合もある点には注意が必要である。

注2) ここでは論文情報の俯瞰マップにおける技術領域のラベル名を示している。技術群のラベル名は紙面の都合上非掲載としている。

俯瞰マップの中心は、文献母集団の中で最頻出の技術・概念となる。本分野の文献情報においては、技術領域としては「太陽光発電（技術・ハード）」がマップのほぼ中央に位置する結果となった。「太陽電池（材料）」は中心の「太陽光発電（技術・ハード）」からはやや離れた位置に見られ、トピックモデルに基づく類似度の観点からは両者は技術領域として区別されることが示唆された。また「電池・電極」「触媒」「吸着・分離技術」などの技術領域は互いに近い位置にある様子が見られた。「持続可能な都市システム」「大気汚染」「土壌汚染」「生態系・気候」「大気分析」「化学物質リスク」など環境関連分野の技術領域も互いに近い位置に分布する様子が見られた。

2.2 特許情報の俯瞰マップ（プレクラスター解析）

論文情報と同様、ノイズ除去のために特許のみの俯瞰マップを作成し、ラベル付けを行った（図2-2）。対象とする特許は338,050件で、アブストラクトの文章を解析対象とした。

技術群レベルの内容の確認も行った上で、技術領域「CPU・メモリ」「情報処理」「画像処理」「3Dプリント」「製造システム」「医療・遺伝子（「バイオ技術」と重複のないもの）」に含まれる57,107件の特許を環境・エネルギー分野との関連性が薄いノイズと判断し、除去した。最終的に280,943件の特許を論文・特許の統合分析に用いることとした。

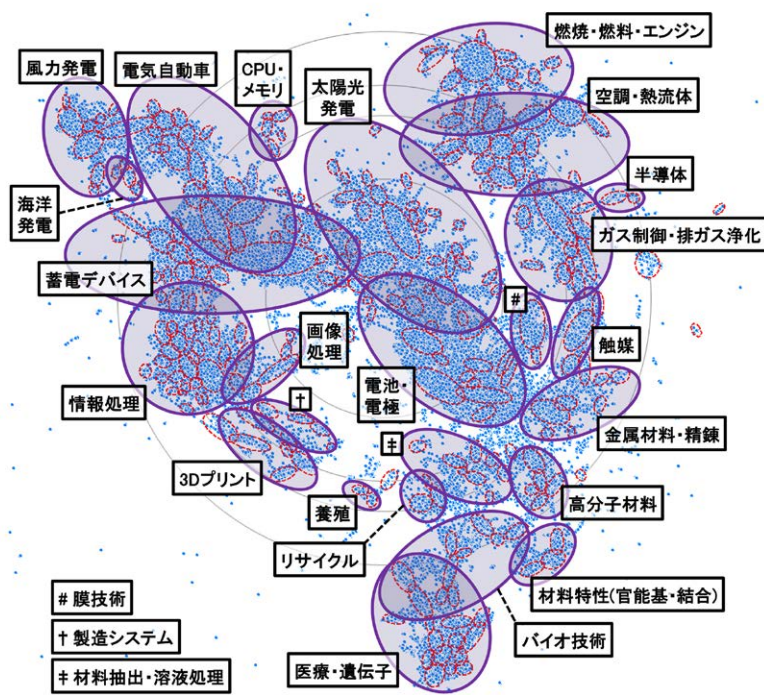


図 2-2 特許情報の俯瞰マップ

注 1) 俯瞰マップの上下左右に特定の意味は無く、中心部が最頻出の技術・概念であること、文献間の距離が相対的な類似度を表すことが本マップの要点となる。また次元削減により二次元化されたマップのため、中心部から離れた外縁部は放射状に広がるが、多次元空間上では外縁部どうしが近接している場合もある点には注意が必要である。

注 2) ここでは特許情報の俯瞰マップにおける技術領域のラベル名を示している。技術群のラベル名は紙面の都合上非掲載としている。

特許情報の俯瞰マップのほぼ中心には「太陽光発電」が位置する結果となった。「電池・電極」も中心部に位置していた。「電池・電極」と「蓄電デバイス」の間には多少のギャップが見られるが、「蓄電デバイス」と「電気自動車」は範囲として重なる部分もあり、技術利用の繋がりが示唆された。環境分野に関連する技術領域は「ガス制御・排ガス浄化」や「リサイクル」などに限られた。

2.3 論文・特許統合解析による俯瞰マップ

2.3.1 概観

2.1 および 2.2 でノイズ除去を行った論文 442,710 件、特許 280,943 件、合計 723,653 件を対象に、これらを統合した俯瞰マップを作成した（図 2-3）。赤破線楕円は、トピックモデルにおける筆頭トピックが共通する文献を技術群としてまとめたものである。また各技術群のキーワードに基づいて、関連する上位概念を技術領域として紫実線楕円で示す 28 の技術領域にまとめた。

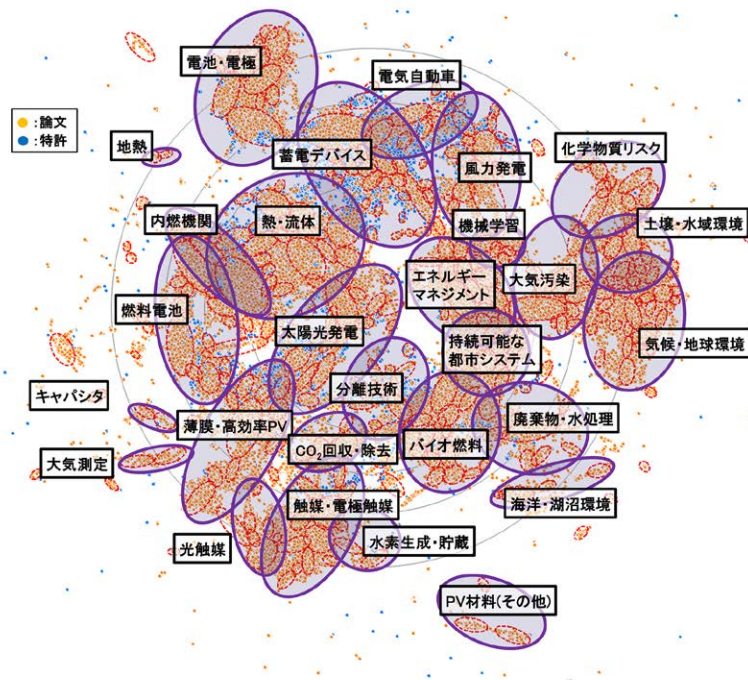


図2-3 論文・特許情報の俯瞰マップ

注1) 俯瞰マップの上下左右に特定の意味は無く、中心部が最頻出の技術・概念であること、文献間の距離が相対的な類似度を表すことが本マップの要点となる。また次元削減により二次元化されたマップのため、中心部から離れた外縁部は放射状に広がるが、多次元空間上では外縁部どうしが近接している場合もある点には注意が必要である。

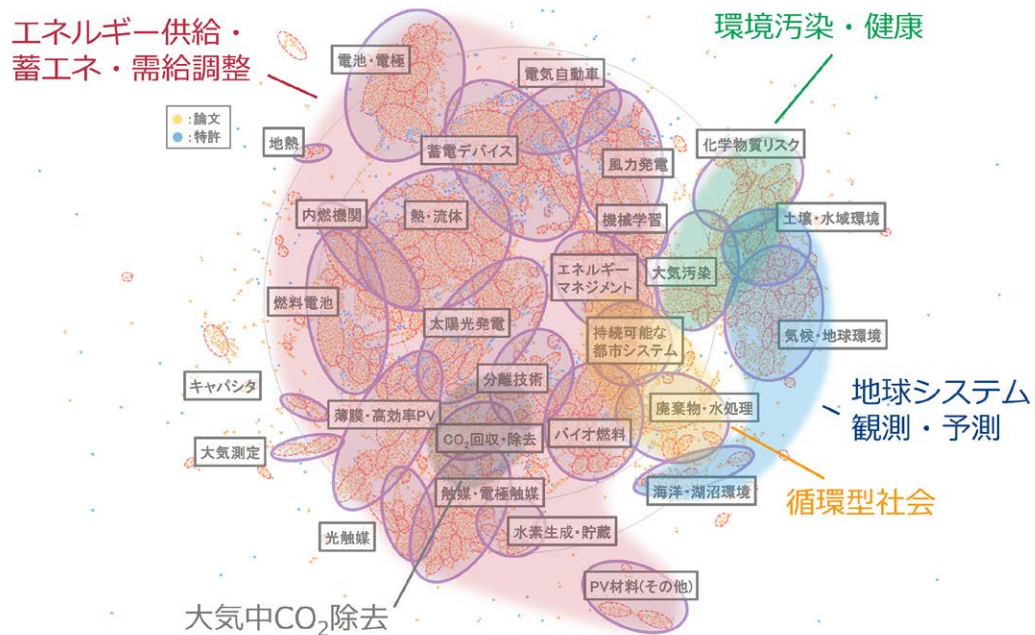


図2-4 論文・特許情報の俯瞰マップ（5つの大分類）

図2-3で見出された28の技術領域についての理解を深めるため、更に上位の5つの概念でまとめ図2-4に示した。28の技術領域には、エネルギーに関連するものとしては「太陽光発電」「薄膜・高効率PV」「燃料電池」「熱・流体」「内燃機関」「バイオ燃料」「水素生成・貯蔵」「風力発電」などのエネルギー供給に関する技術領域、「電池・電極」「蓄電デバイス」「電気自動車」など蓄エネルギーやその利用に関する技術領域、「エネルギーマネジメント」など需給調整に関する技術領域などが見られた。「CO₂回収・除去」を主として大気中CO₂除去に関する技術領域も見られた。環境に関連するものとしては「化学物質リスク」「大気汚染」などの環境汚染・健康に関する技術領域、「土壌・水域環境」「気候・地球環境」「海洋・湖沼環境」など地球システム観測・予測に関する技術領域、「持続可能な都市システム」「廃棄物・水処理」など循環型社会に関する技術領域が見られた。

2.3.2 詳細

図2-5～図2-14には、各技術領域（28領域）に含まれる技術群のラベルを、各技術群の筆頭トピックに含まれる上位5ワード（KW）を添えて示す。また各図についての補足を以下に示す。

●図2-5俯瞰マップ詳細1「熱・流体」領域、「太陽光発電」領域：

「熱・流体」領域には、冷却技術、熱流体・輸送技術などの基盤となる技術を中心に、冷却機構・冷却器、熱電素子・発電、ヒートポンプ、CO₂輸送・回収などの装置やシステムを対象とした技術群が見られた。「太陽光発電」領域では、発電体そのものである光電変換材料、有機太陽電池を中心に、表面処理、集熱技術、光学特性評価などのシステムの構成に関わる技術群も見られた。

●図2-6俯瞰マップ詳細2「エネルギーマネジメント」領域、「機械学習」領域、「持続可能な都市システム」領域：

「エネルギーマネジメント」領域では、エネルギーコスト・計画、システム最適化モデル、発電量推定を中心に、電力市場/取引、住宅省エネ建築などの広範囲での社会システムに関連する技術群が見られた。「機械学習」領域には、学習モデル、ニューラルネットワークを中心に、環境・気候予測など、具体的な技術適用対象に関する技術群が見られた。「持続可能な都市システム」領域では、資源管理・再配分、ライフサイクルアセスメントを中心に、製品設計、製造・生産、食糧生産などのバリューチェーンプロセス、まちづくり、都市計画などの技術群が見られた。

●図2-7俯瞰マップ詳細3「蓄電デバイス」領域：

バッテリー技術、放電技術、電圧/電流抑制、電極形成ほかを中心に、フレーム設計・部材、絶縁層・材料、基板・電気接続などの装置・構成機材も含め、幅広い技術群が見られた。

●図2-8俯瞰マップ詳細4「電池・電極」領域、「電気自動車」領域、「風力発電」領域：

「電池・電極」領域では、金属イオン材料、電解質・材料、電池・電極分析ほか中心部周辺に位置し、ナトリウムイオン電池、リチウムイオン電池、レドックスフロー電池の技術群が見られた。「電気自動車」領域では、モーター設計・制御、モーター速度・トルク制御を中心に、充電制御・インフラ、電力消費・充電管理、自動運転制御・エネルギー管理ほかの技術群が見られた。「風力発電」領域では、風車翼、風車設計、風力タービンタワーほかの製品に直接関連する情報が中心に位置し、磁気制御、発電機コア、周波数制御ほかの電磁気に関する技術や回転シミュレーション・渦制御、ウェイク制御ほかの流体に関する技術群が見られた。

●図2-9俯瞰マップ詳細5「化学物質リスク」領域、「大気汚染」領域：

「化学物質リスク」領域では、難分解性有機フッ素化合物（PFAS）、多環芳香族炭化水素類のほか、植物、人体、生体への影響、土壌の浄化・修復などの技術群が見られた。「大気汚染」領域では、大気酸性化・窒素酸化物、PM_{2.5}、有機エアロゾルのほか、汚染物質の分析・検出技術、健康リスク・都市部

環境評価などの技術群が見られた。

- 図2-10俯瞰マップ詳細6「土壌・水域環境」領域、「気候・地球環境」領域、「海洋・湖沼環境」領域：
「土壌・水域環境」領域では、窒素排出（化学肥料）、バイオ炭が中心に位置し、リスク評価、汚染土壌の浄化・修復、森林分析、ヒ素分析・分離、草原劣化・改善などの技術群が見られた。「気候・地球環境」領域では、気候・極端現象を中心に、様々な観測技術（地球規模、海洋環境、北極圏ほか）や、予測技術（マイクロ粒子・水環境・降水、気候変動）、測定技術（大規模環境、降水量ほか）が含まれた。「海洋・湖沼環境」領域では、海洋生物の生態毒性のほか、プラスチック汚染、PET廃棄物リサイクルの技術群が見られた。
- 図2-11俯瞰マップ詳細7「バイオ燃料」領域、「廃棄物・水処理」領域：
「バイオ燃料」領域では、微細藻類由来やフルフラールベースのバイオ燃料が中心に位置し、バイオガス生成・発電、熱分解、バイオ燃料ガス化、炭化、熱分解、リグニン改質ほかのプロセス技術情報が見られた。「廃棄物・水処理」領域では、排水処理技術が中心に位置し、リン回収、活性汚泥、薬剤耐性菌の技術群が見られ、また逆浸透膜水処理技術ほかが見られた。
- 図2-12俯瞰マップ詳細8「内燃機関」領域、「燃料電池」領域、「薄膜・高効率PV」領域、「キャパシタ」領域、「大気測定」領域：
「内燃機関」領域では、燃焼技術を中心に、機関、ガス処理技術の技術群が見られた。「燃料電池」領域では、材料技術（膜、セパレーター、高分子、多孔質）が中心に位置し、固体酸化物や固体高分子の燃料電池技術の技術群が見られた。「薄膜・高効率PV」領域では、薄膜太陽電池材料が中心に位置し、バンドギャップ、キャリア寿命のほか、ペロブスカイト太陽電池が見られた。「キャパシタ」領域には、グラフェンによる高性能電池が含まれていた。「大気測定」領域では、極地・高度上空測定やエアロゾル・光学測定の技術群が見られた。
- 図2-13俯瞰マップ詳細9「分離技術」領域、「CO₂回収・除去」領域、「光触媒」領域、「水素生成・貯蔵」領域、「触媒・電極触媒」領域、「PV材料（その他）」領域：
「分離技術」領域では、抽出や溶液ほかの処理技術が中心に位置し、分散技術、固体反応、原子操作ほかの技術群が見られた。「CO₂回収・除去」領域では、分離・回収、吸着材料が中心に位置し、細孔材料、金属有機構造体ほかが見られた。「光触媒」領域では、ZnO、TiO₂による触媒活性が中心に位置し、酸素空孔による活性化やプラズモニック光触媒ほかが見られた。「水素生成・貯蔵」領域では水素発生材料（アルミニウム、水素化ホウ素ナトリウム）のほか、水素キャリア、水素貯蔵合金・錯体などの技術群が見られた。「触媒・電極触媒」領域では、CO₂電気化学的還元触媒、酸素発生触媒が中心に位置し、ゼオライト、金属酸化物形成、アイオノマーほかの技術群が見られた。また、「水素生成・貯蔵」領域と近い位置に（水電解などの）水素発生触媒の技術群が見られた。「PV材料（その他）」領域では、量子ドット太陽電池、色素増感太陽電池ほかが見られた。
- 図2-14俯瞰マップ詳細10：
詳細1から9の外周部に位置した技術領域に対するキーワードを示す。この領域では、ウェアラブルデバイス・センサー、地熱に関する探査・解析やシステム・ヒートポンプ、電力変換効率向上技術、波エネルギー、リチウム硫黄電池ほかが見られた。

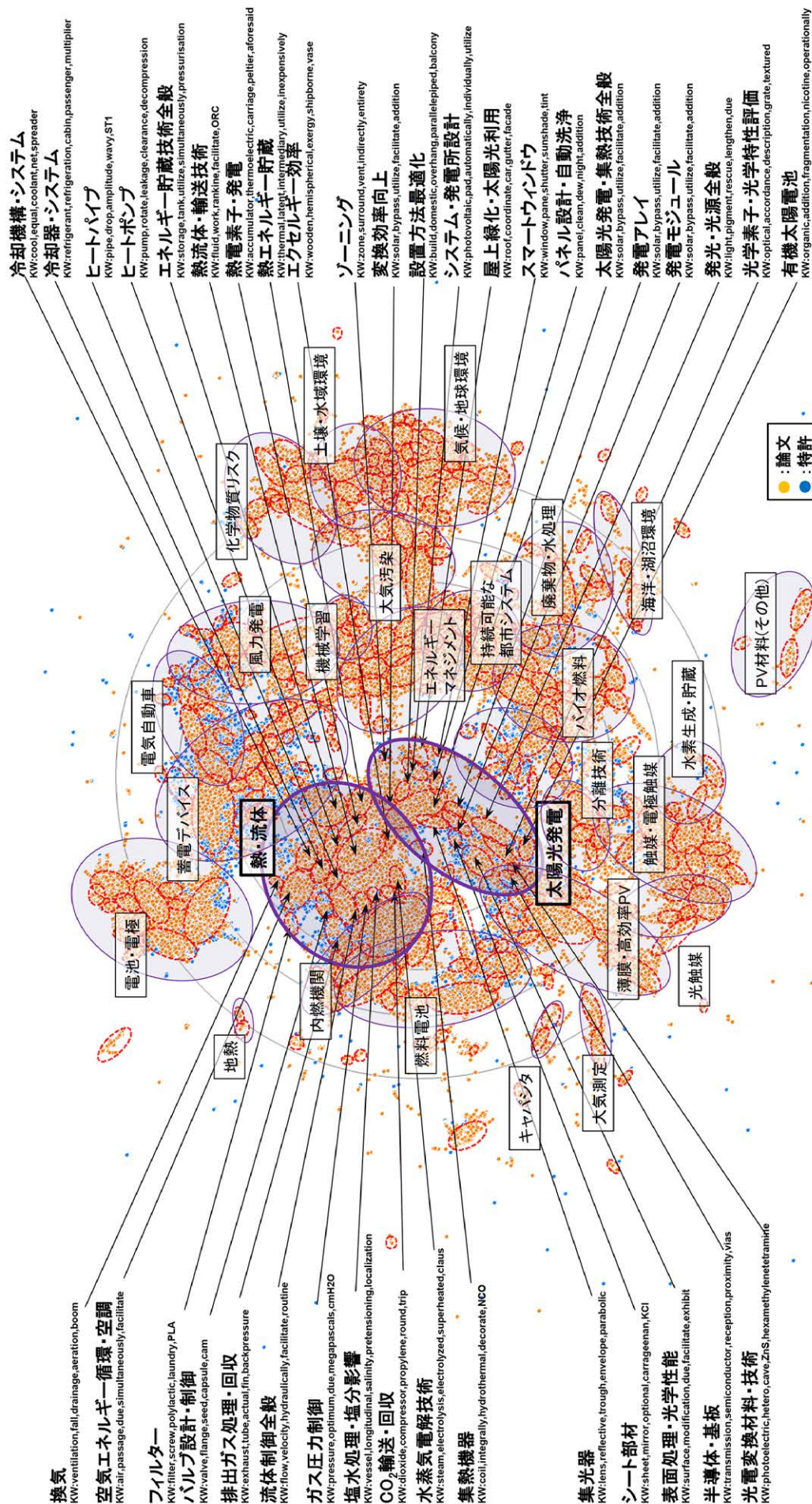


図2-5 論文・特許情報の俯瞰マップ詳細1 (熱・流体、太陽光発電)

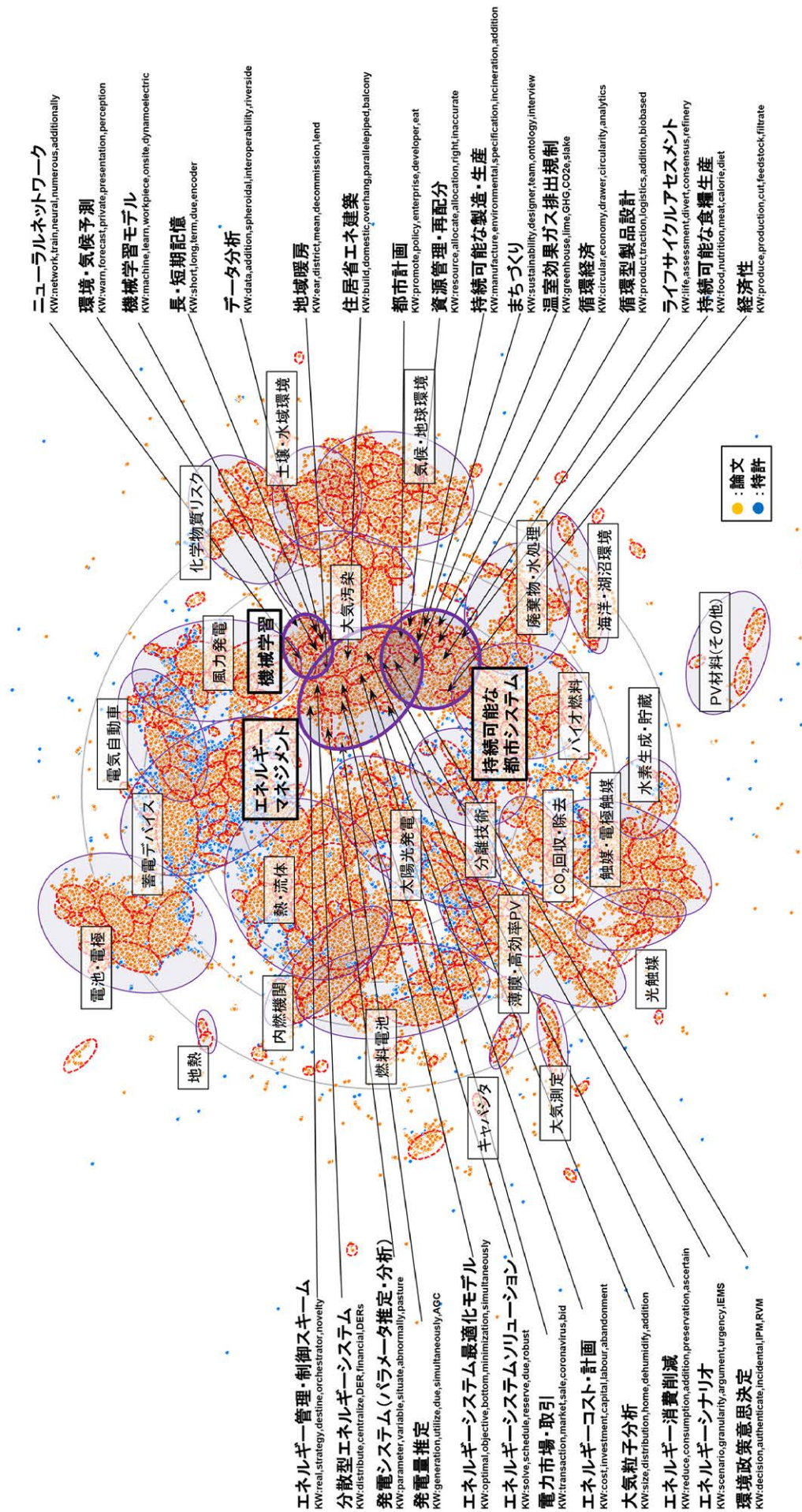


図 2-6 論文・特許情報の俯瞰マップ詳細2 (エネルギー管理・機械学習、持続可能な都市システム)

2 環境・エネルギー分野の俯瞰マップ

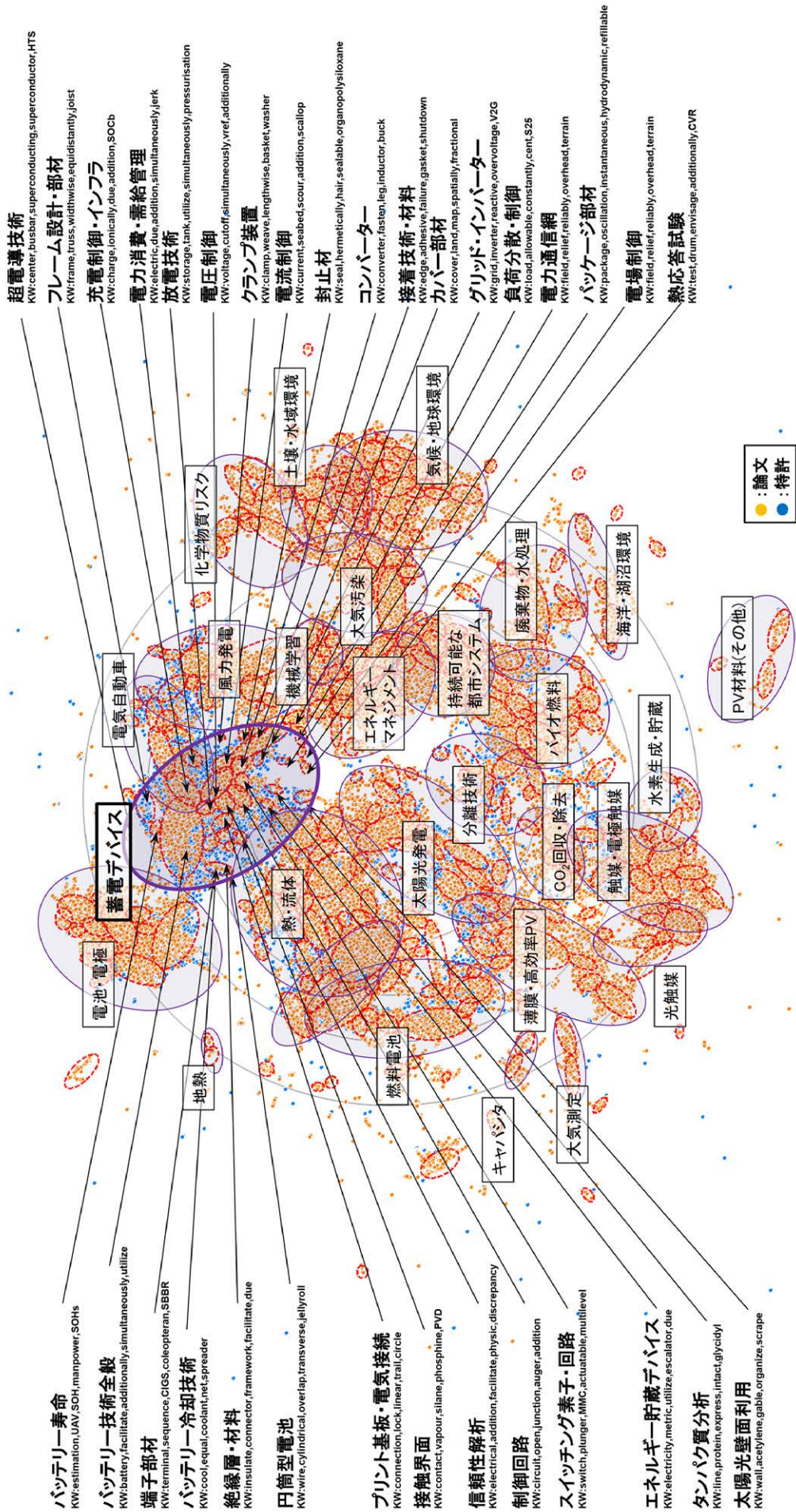


図 2-7 論文・特許情報の俯瞰マップ詳細 3 (蓄電デバイス)

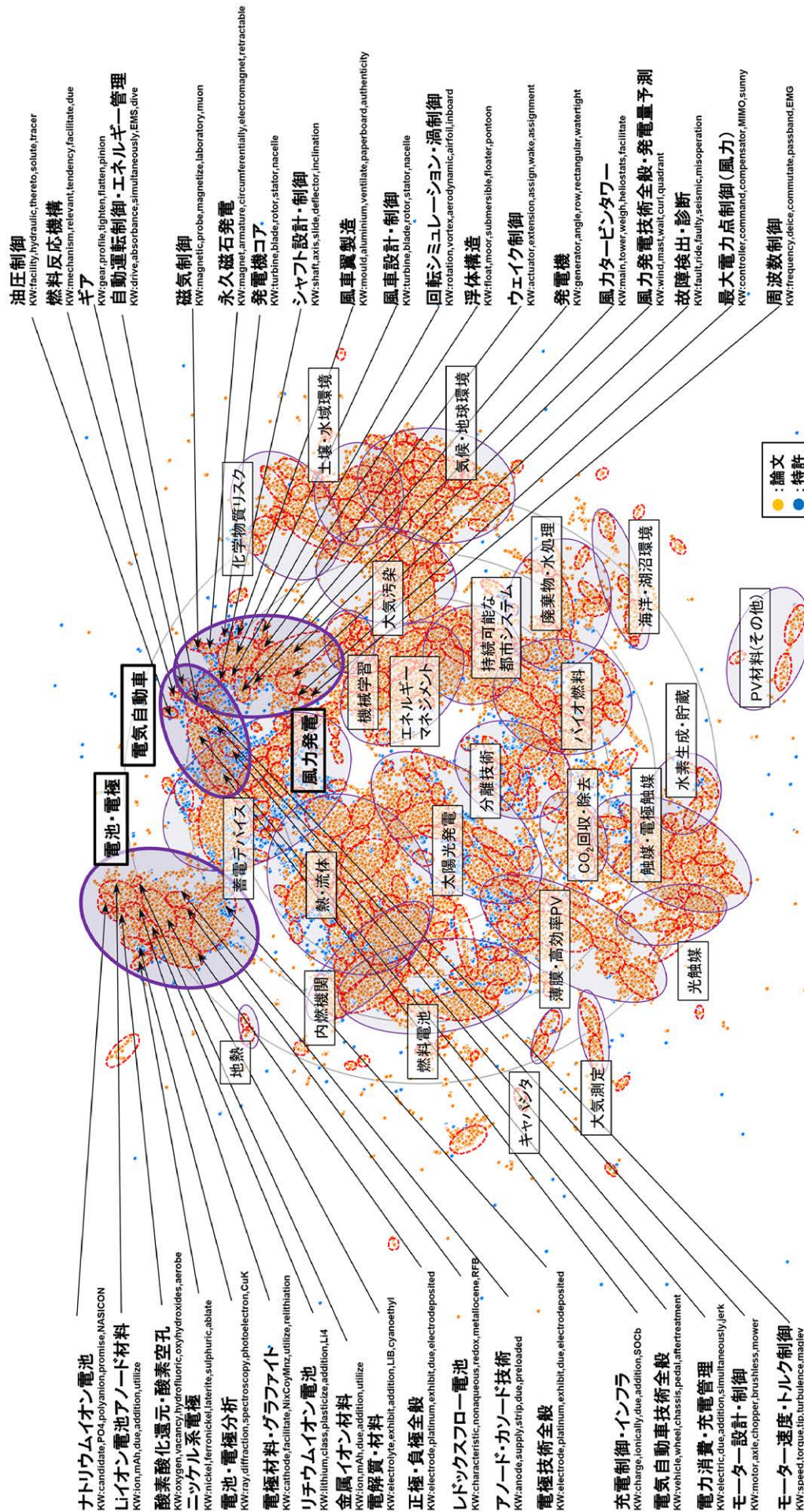


図2-8 論文・特許情報の俯瞰マップ詳細4 (電池・電極、電気自動車、風力発電)

2 環境・エネルギー分野の俯瞰マップ

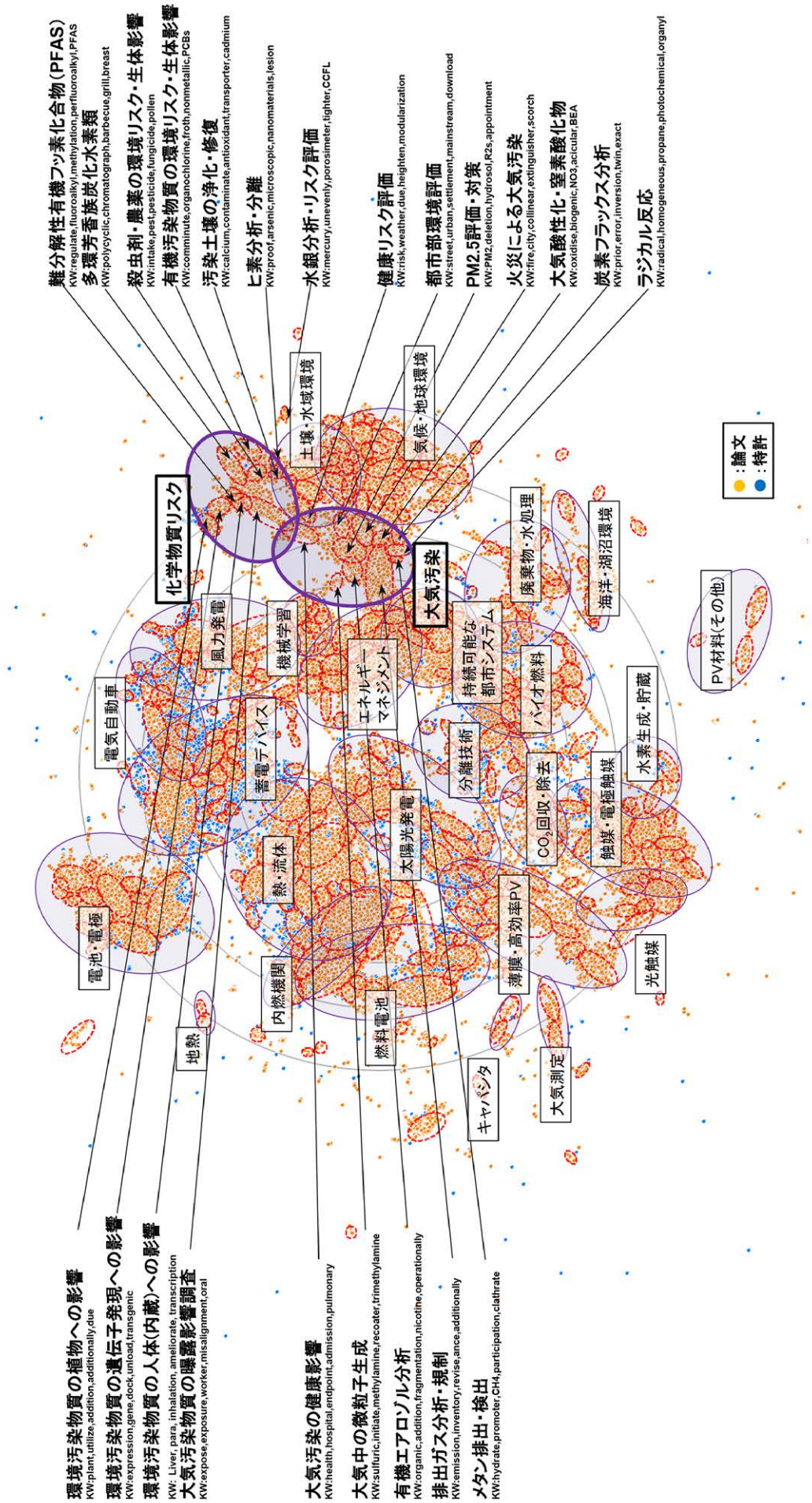
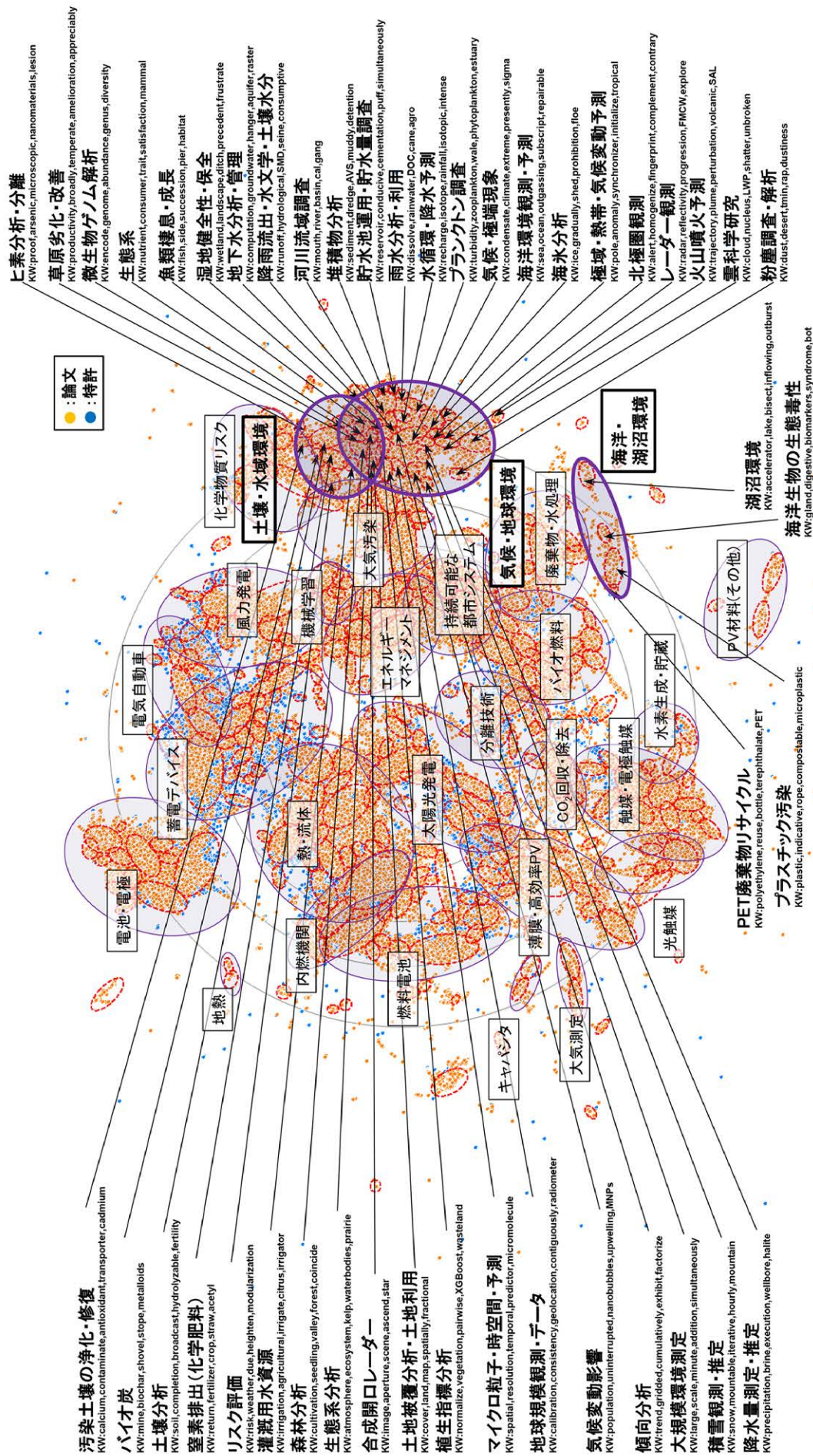


図 2-9 論文・特許情報の俯瞰マップ詳細 5 (化学物質リスク、大気汚染)



論文・特許情報の俯瞰マップ詳細6 (土壌・水域環境、気候・地球環境、海洋・湖沼環境)

2 環境・エネルギー分野の俯瞰マップ

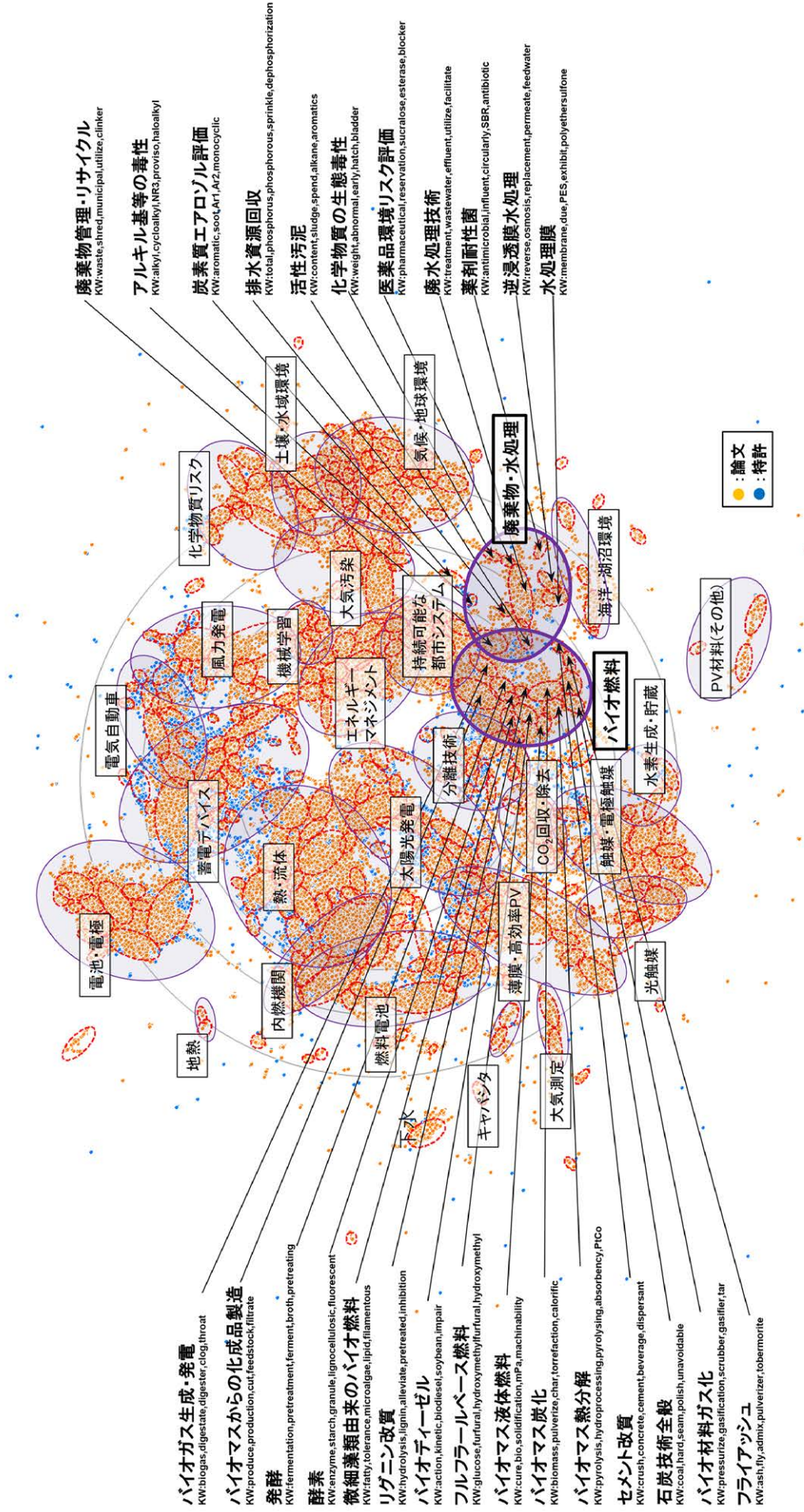


図 2-11 論文・特許情報の俯瞰マップ詳細 7 (バイオ燃料、廃棄物・水処理)

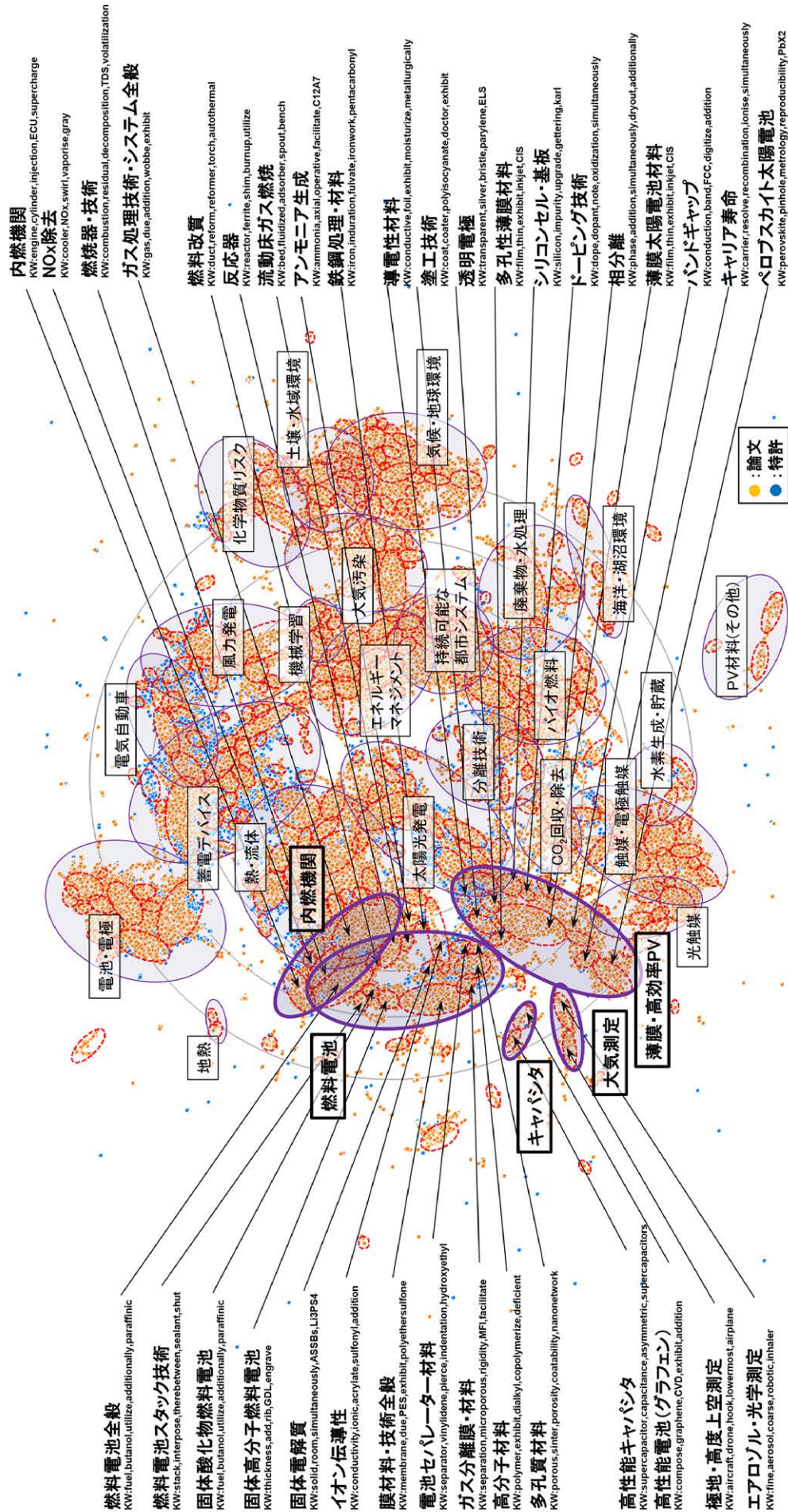
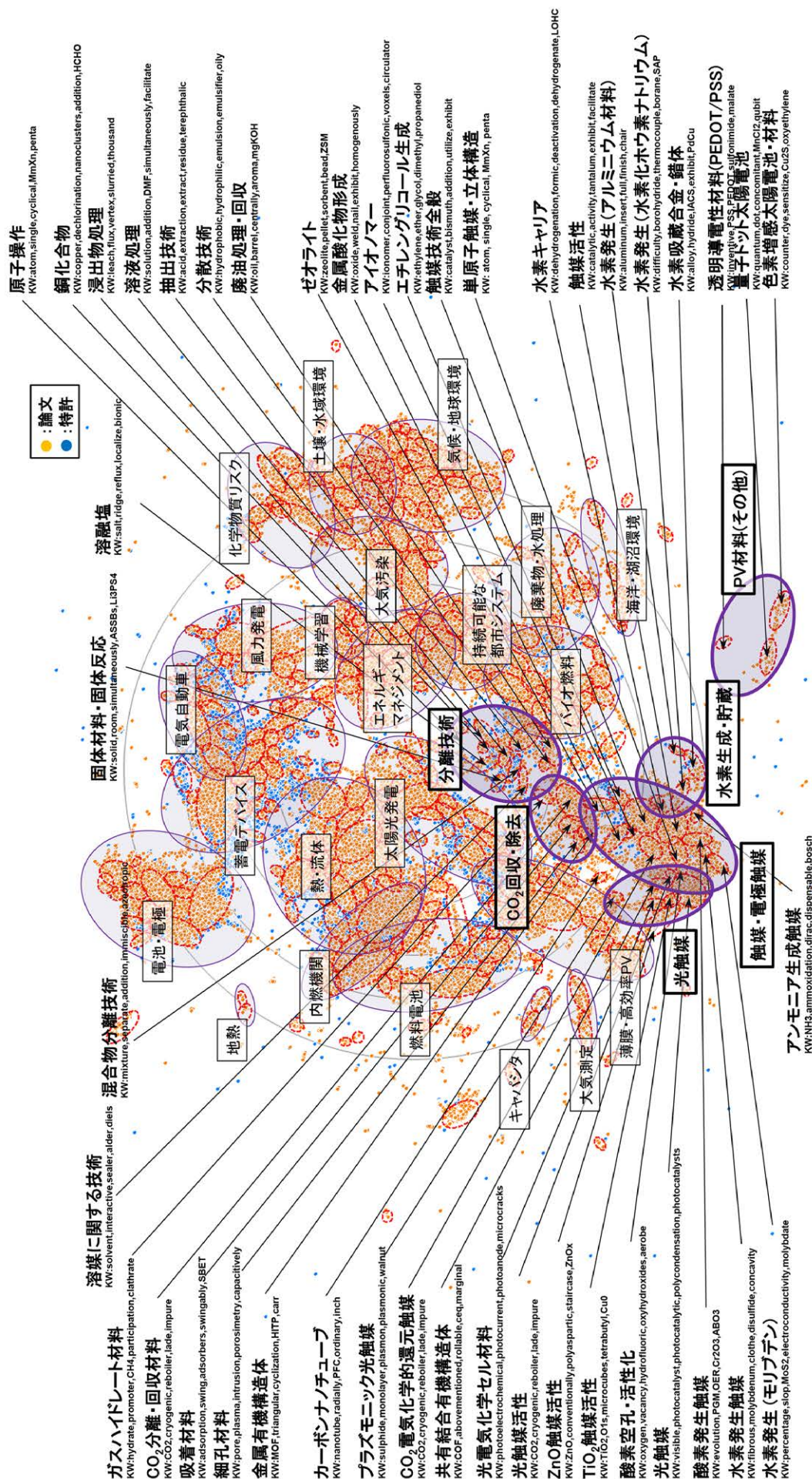
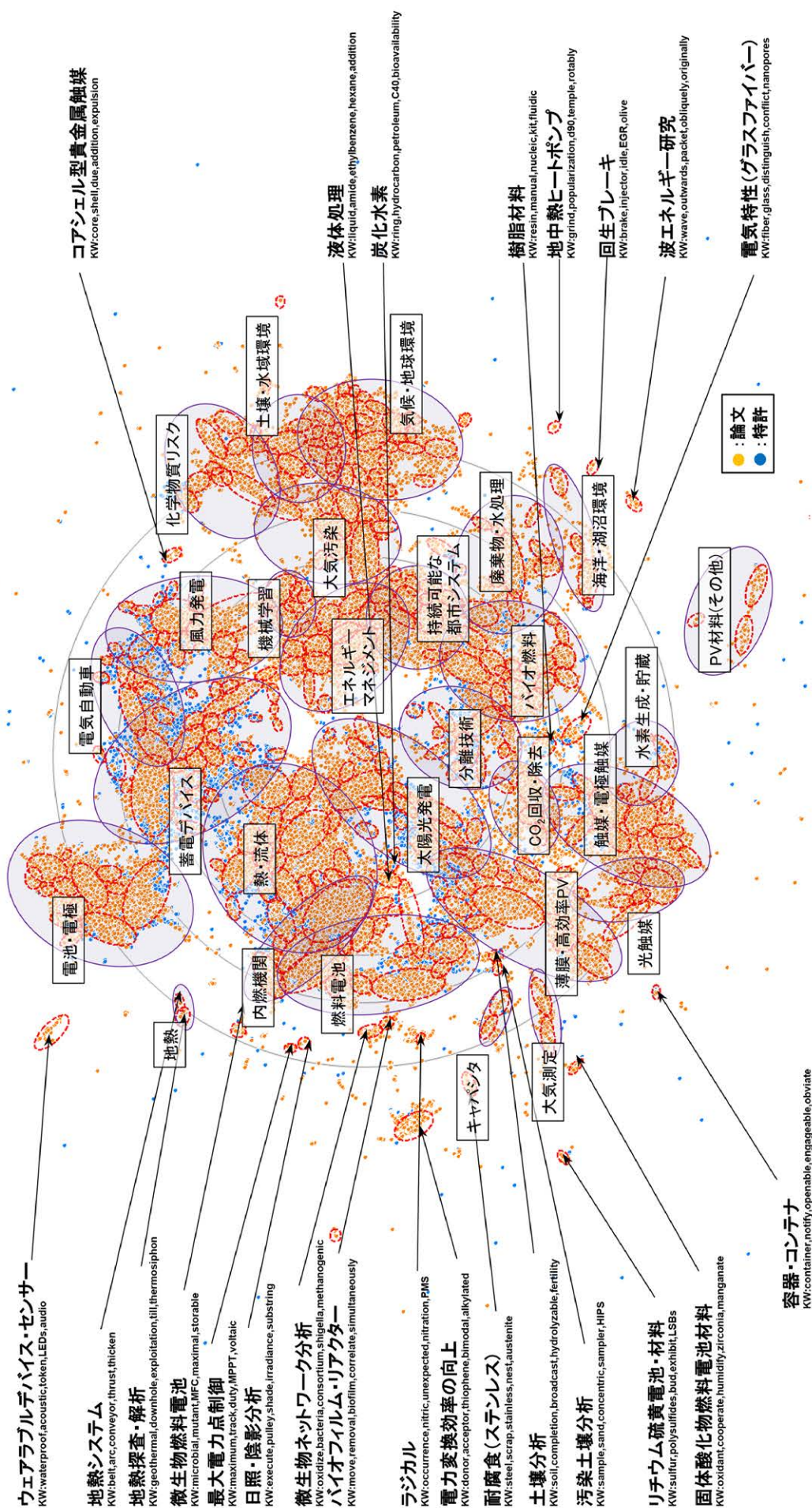


図 2-12 論文・特許情報の俯瞰マップ詳細 8 (内燃機関、燃料電池、薄膜・高効率 PV、キャパシタ、大気測定)



論文・特許情報の俯瞰マップ詳細 9 (分離技術、CO₂回収・除去、光触媒、水素生成・貯蔵、触媒・電極触媒、PV材料 (その他))



論文・特許情報の俯瞰マップ詳細10 (外周部)

3 | 環境・エネルギー分野のマクロ動向分析

3.1 論文・特許分布

技術領域ごとに論文と特許の構成比率の違いをプロットした結果を図3-1に示す。図の横軸は技術領域内の総文献数（論文数+特許数）、縦軸は技術領域内の論文比率（論文数/総文献数）としている。図の上に行くほど論文が主体、下に行くほど特許主体の技術領域となる。特許比率が高い技術領域としては「電気自動車」、「蓄電デバイス」、「内燃機関」、「風力発電」、「太陽光発電」、「分離技術」、「熱・流体」などが挙げられる。これらの技術領域では、市場参入や競争優位性獲得のために、企業等による積極的な特許出願が行われており、産業化が進んでいると推察される。ただし、「蓄電デバイス」「熱・流体」「太陽光発電」などの技術領域では総文献数が多いことから、論文比率が低くとも論文の総数は多く、研究開発機関や大学などによる研究活動も活発に進められていると考えられる。

逆に論文比率が高いのは「大気汚染」、「大気測定」、「気候・地球環境」、「土壌・水域環境」といった環境関連の技術領域である。また「キャパシタ」「PV材料（その他）」「光触媒」「CO₂回収・除去」「触媒・電極触媒」などはマテリアル技術と関連の深い技術領域と考えられ（4.2に後述）、これらの領域も論文比率が高い。これらの論文主体の技術領域では、気候変動や環境汚染といった社会問題の解決や、学術的な知見の深化のために論文発表が重視され、研究開発機関や大学などによる研究活動が活発であると推察される。

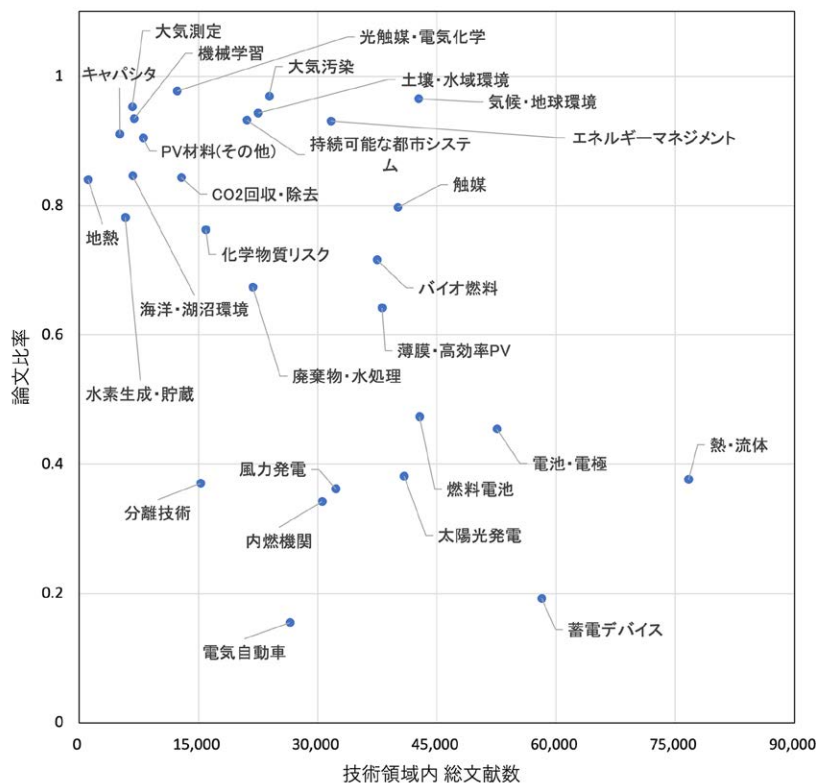


図3-1 技術領域別に見た論文特許比率

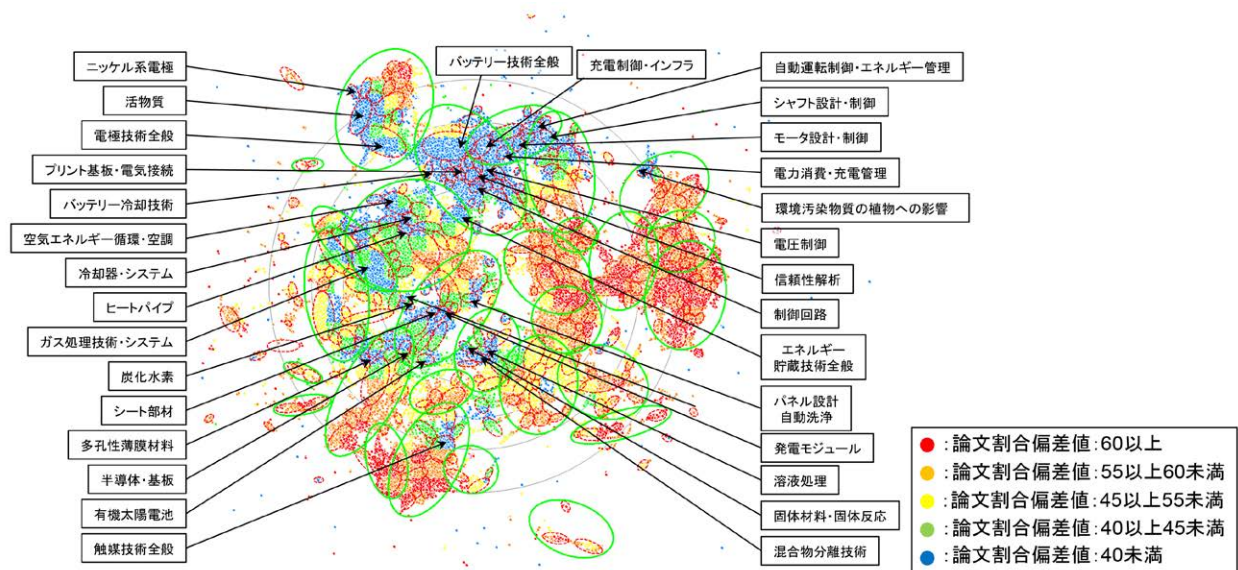


図3-2 論文と特許の割合分布

図3-2には、俯瞰マップを格子（grid）に分割して、各格子内の論文／特許比の偏差値をプロットしたマップを示す。格子内の点は、論文の割合が高い領域ほど暖色、低い領域ほど寒色としている。特許の割合が相対的に高く、産業利用が比較的進んでいると考えられる技術群（青色）は、バッテリー技術全般、充電制御・インフラ、自動運転制御、電極技術や、ヒートパイプ、発電モジュール、パネル設計・自動洗浄ほかである。ただし、図3-2に示したように、バッテリー技術全般の技術群を含む「蓄電デバイス」の技術領域では領域内の総文献数が多く論文数も多いことから、産業利用の進展と並行して研究活動も活発であると考えられる。

暖色で示した論文割合の高い技術群は、基礎科学研究を主体として取り組まれる性格が強いと考えられる。

3.2 研究開発の経年変化

環境、エネルギー分野の研究開発の経年変化について分析した。論文数、特許数の年次推移を図3-3に示す。論文数に関しては、増加傾向が続き、2013年以降顕著に増加している。これは、気候変動などの社会的問題に対する各国が施策を強化し、環境・エネルギー分野に対する積極的な研究が推進されているためと推察される。2015年以降の論文数の急激な増加は、主に中国が牽引している（3.3に後述）。

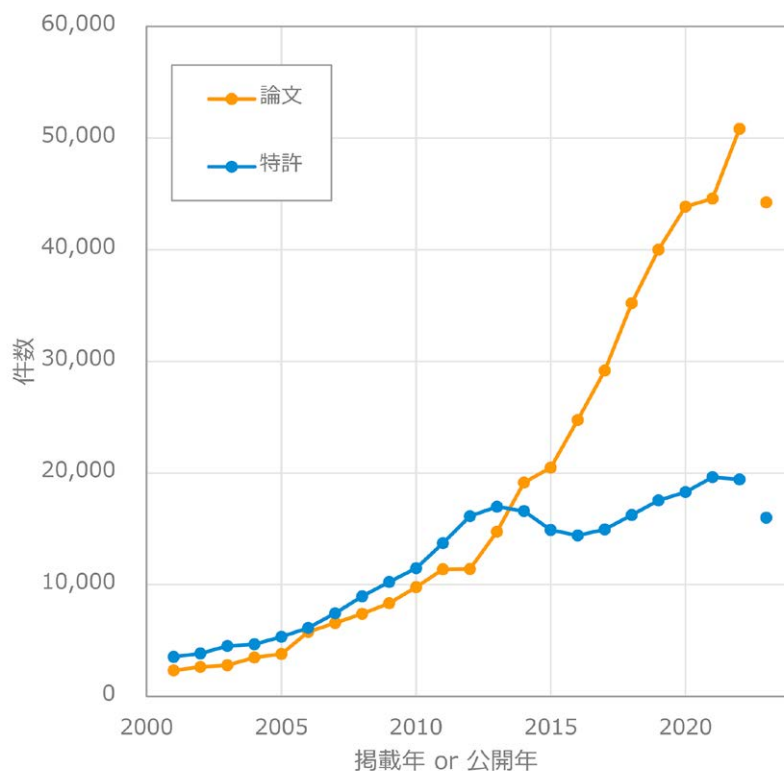


図3-3 論文数と特許数の年次推移

2023年は集計途中のため参考情報としてプロットのみを示す

続いて、論文数の推移をヒートマップで示した（図3-4）。2001年から2023年までを前半（2001年～2011年）と後半（2012年～2023年を4年毎、3期）の4期間に分けた。なお、各図が比較可能なように感度の調整を行っている。

2001年～2011年（図3-4（a））においては、色素増感太陽電池・材料、水素貯蔵合金・錯体、雲科学研究が出現しているが、顕著に集中した技術群は見られない。2012年～2015年（図3-4（b））においては、色素増感太陽電池・材料の顕著な増加とともに、電力変換効率向上、薄膜太陽電池技術、ペロブスカイト太陽電池、量子ドットPVのほか、リチウムイオン電池、高性能キャパシタ、光触媒、内燃機関、バイオ材料ガス化、微細藻類由来バイオ燃料、LCAほかの技術群が出現している。2016年～2019年（図3-4（c））になると、ペロブスカイト太陽電池、電力変換効率向上、リチウムイオン電池、高性能キャパシタへ集中しているとともに、酸素発生触媒、土壌分析、エネルギーシステム、まちづくりが出現した。さらに、直近の2020年～2023年（図3-4（d））では、前期（2016年～2019年）と同様に、リチウムイオン電池、ペロブスカイト太陽電池、光触媒、酸素発生触媒への集中が継続しており、熱エネルギー貯蔵、発電市場/取引、気候変動影響、プラスチック汚染などの技術群があらたに出現している。

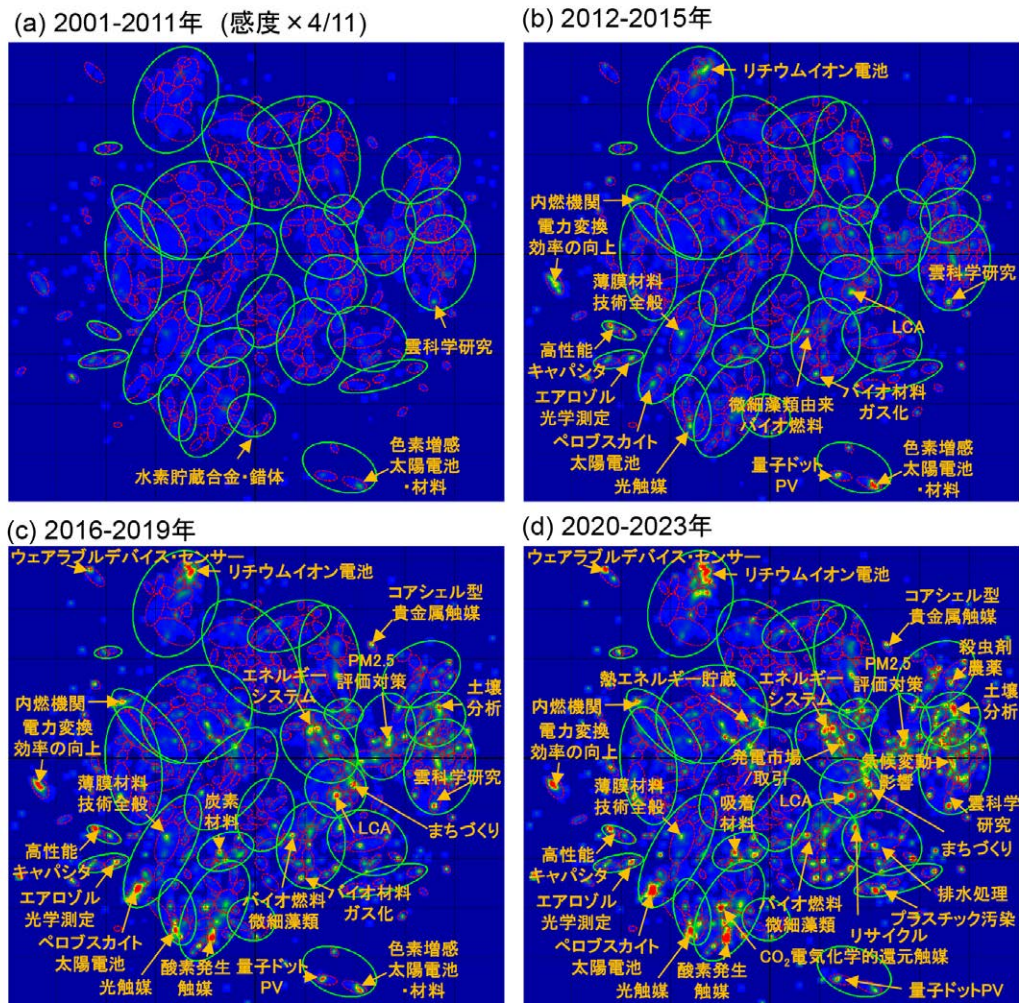


図3-4 論文分布の経年変化

特許件数に関しては、2000年代において増加し、2013年頃をピークに減少に転じた。その後、2017年頃からは再び上昇傾向にある（図3-3）。技術領域別に特許件数の年次推移をみると（図3-5）、「太陽光発電」「蓄電デバイス」など複数の領域で、2001年から2006年頃にかけて緩やかに件数を伸ばした後、2007年から2013年頃にかけて急激に増加し、その後減少に転じた。2000年代は、ドイツで再生可能エネルギー法が施行され、再生可能エネルギー発電設備についてエネルギー源別の固定買取価格を規定（FIT制度）するなど、各国が再生可能エネルギー技術の普及に向けた政策を拡大した時期であり、特許件数増加に繋がった可能性が指摘されている²。さらに、2008年から2009年にかけての金融危機以降、米国ではグリーンニューディール政策が発表され、再生可能エネルギー技術への政策支援が大幅に増加したことも理由として考えられる。2013年頃からの特許件数の減少は、これら政策支援の終了に加え、LNG・石油価格の下落により、再生可能エネルギーへの研究開発投資が停滞したことが背景として考えられる。

その後、2017年以降は「蓄電デバイス」「電池・電極」「電気自動車」など蓄エネルギー技術とその利用に関連する領域を中心に特許件数が再び上昇に転じた。2016年に発効した「パリ協定」の実現に向け、各国がカーボンニュートラルに向けた技術開発を加速していることが背景にあると考えられる。一方「太陽光発電」

2 Noailly, J. (2022). Directing innovation towards a low-carbon future. Economic Research Working Paper, 72.

に関しては2017年以降も顕著な特許件数の増加は見られず横ばい状態が続いている。これは、特許出願に繋がるような新たな技術の研究開発段階から、既存技術の普及段階に移行している可能性が考えられる。

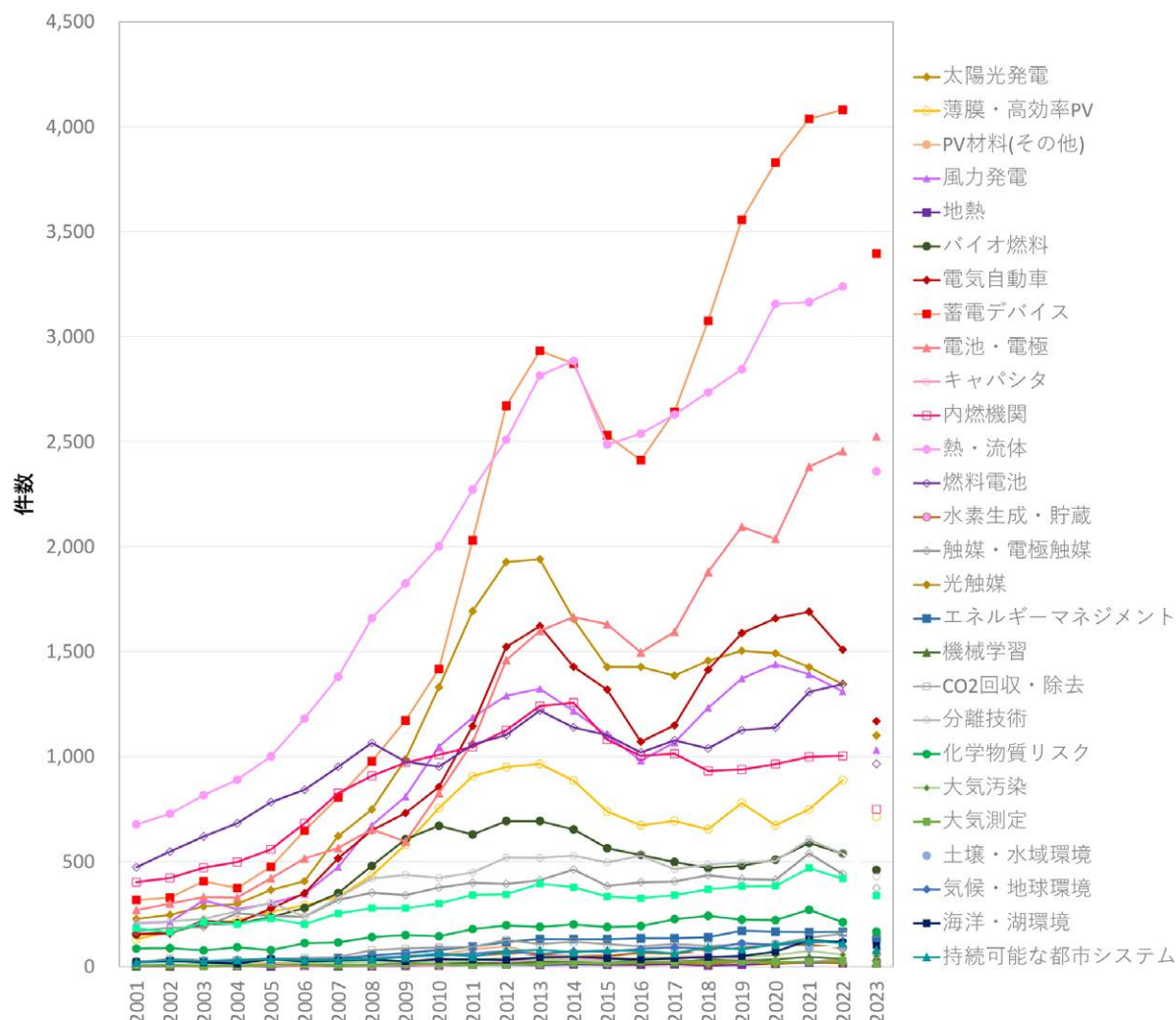


図3-5 技術領域別の特許件数の年次推移

2023年は集計途中のため参考情報としてプロットのみを示す

特許数の推移についても論文と同様、4期間に分けてヒートマップで示した(図3-6)。2001年～2011年(図3-6図(a))においては、空気エネルギー循環・空調、風車設計、燃料電池が出現しているが、顕著に集中した技術群は見られない。2012年～2015年(図3-6(b))においては、バッテリー技術、電気自動車技術、制御(充電・自動運転、電圧/電流)、活物質、電極技術、熱流体・輸送技術、エネルギー貯蔵技術、薄膜材料、表面改質、風車設計ほかへの集中が出現している。2016年～2019年(図3-6(c))になると、バッテリー技術、活物質、空気エネルギー循環・空調ほかへ集中が顕著であり、直近の2020年～2023年(図3-6(d))でも継続している。

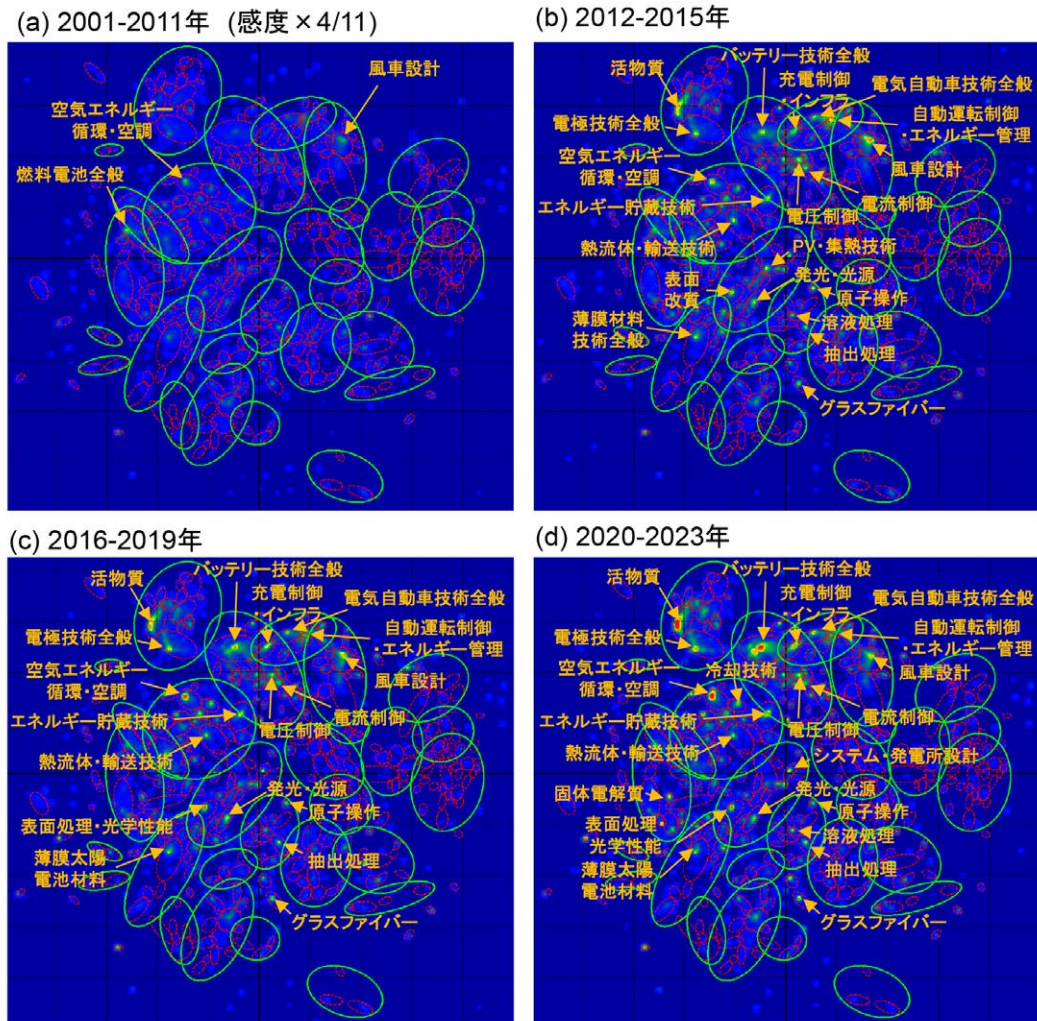


図 3-6 特許分布の経年変化

3.3 主要国別動向分析

論文 442,710 件と特許 280,943 件について、国・地域別の集計を行った。論文は著者所属機関の国籍、特許は優先権主張先国に基づき、それぞれ国単位で整数カウントをした。EP（欧州特許庁）に第一国出願の特許については、これ以上遡及できないため EP として集計している。

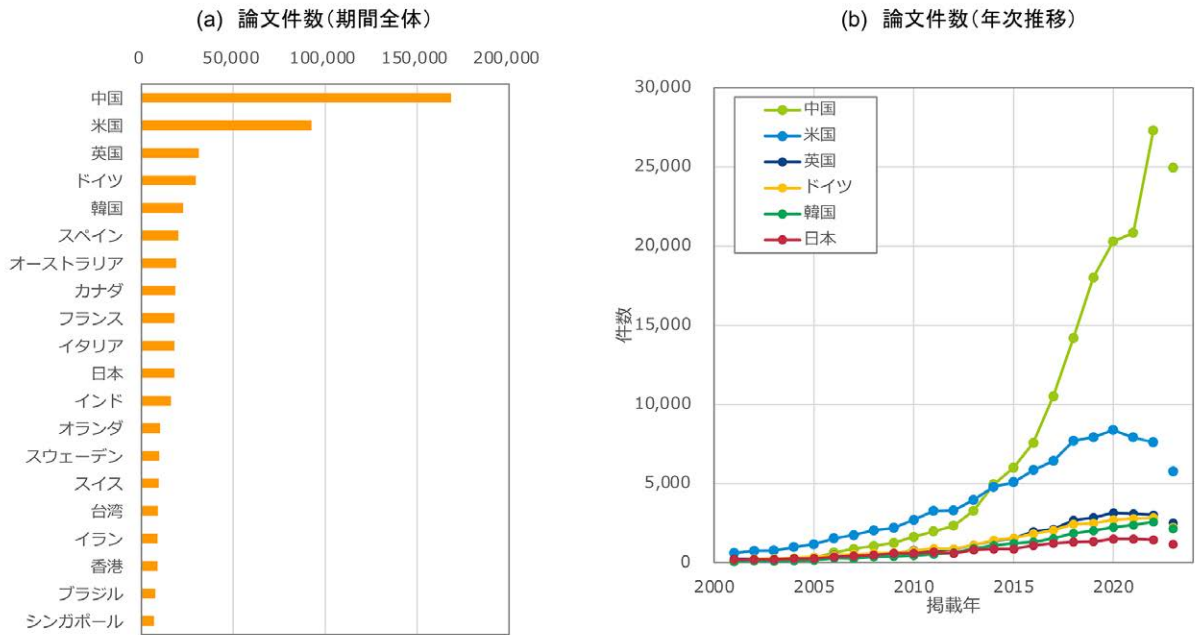


図3-7 論文件数の国別比較 (a) 全体件数、(b) 年次推移

2023年は集計途中のため参考情報としてプロットのみを示す

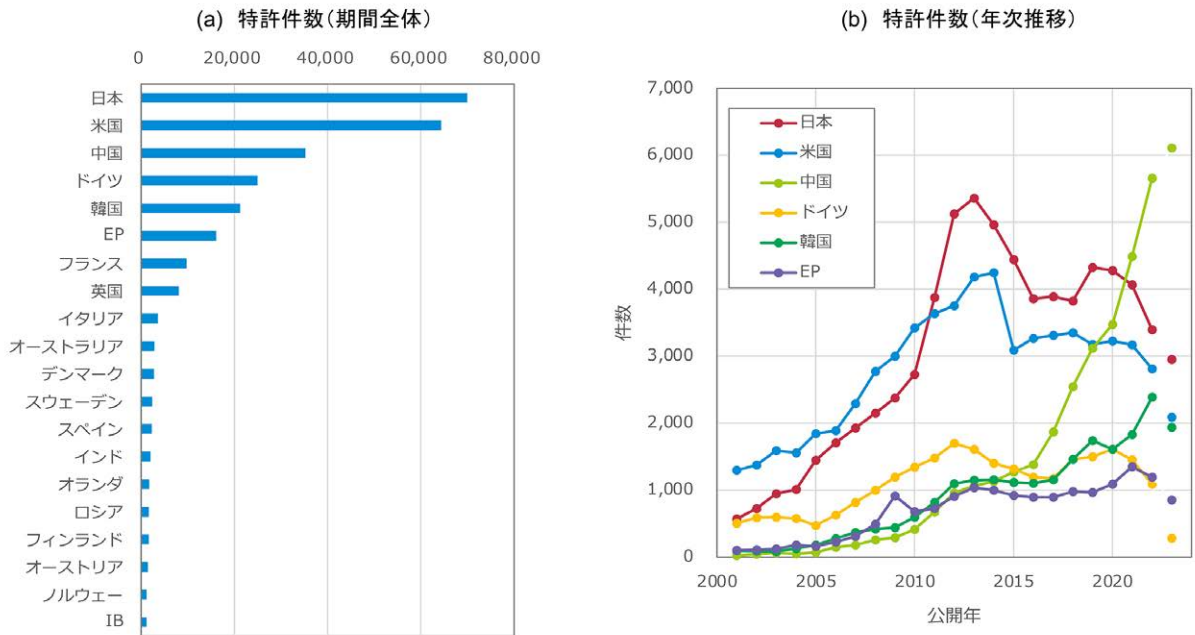


図3-8 特許件数の国別比較 (a) 全体件数、(b) 年次推移

2023年は集計途中のため参考情報としてプロットのみを示す

図3-7に論文件数の国際比較を示す。図3-7(a)は集計期間全体の論文件数を上位20位まで国別に集計した。中国、米国、英国、ドイツ、英国の順となり、日本は11位であった。図3-7(b)は上位国および日本の論文件数の年次推移を示している。米国、英国、日本では2000年代から2010年代にかけ論文件数が増加していたが、2020年以降は頭打ちの状況である。中国では2012年以降急速に論文件数が増加し、他国を圧倒している。同様に特許件数の国際比較を図3-8に示す。期間全体の件数としては、日本、米国、中国

の順となっている。また、アジア圏の国では、韓国、インドが上位に位置している（図3-8(a)）。年次推移（図3-8（b））では、日本、米国、ドイツでは2000年代に論文件数が増加し、2013年頃をピークに件数が減少し、2016年以降は横ばい傾向である。特許件数の減少は、3.2にて前述したように、金融危機後の政策支援の終了やLNG・石油価格の下落による再生可能エネルギーへの研究開発投資の停滞が背景として考えられる。一方、中国、韓国では2013年以降も顕著に特許件数が増加している。特に中国は2020年前後に米国、日本を抜き世界首位となっている。

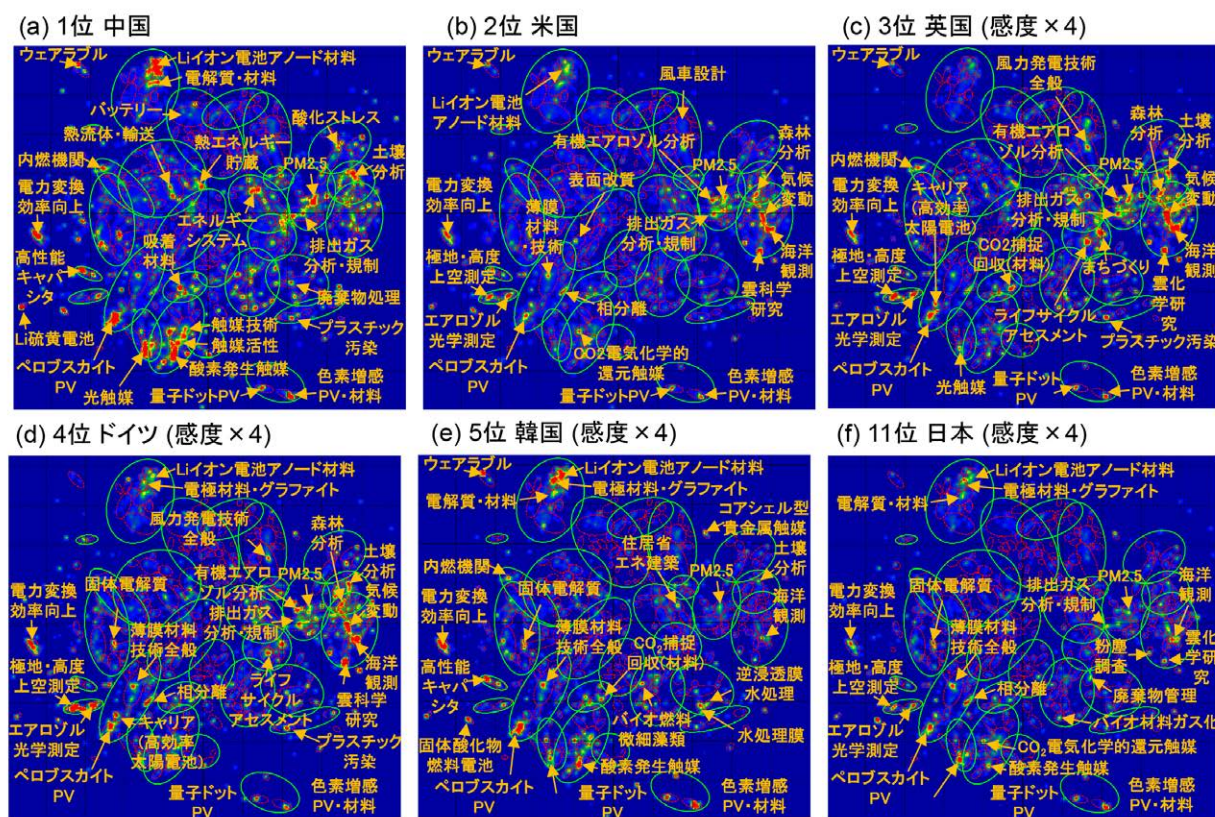


図3-9 論文情報の国・地域別プロット

続いて、論文の上位5カ国および11位の日本、特許の上位6カ国・地域について、注力技術群を推定するため、国・地域別での俯瞰マップへのプロットを行った。論文情報の国別プロットを図3-9に示す。中国・米国以外の国は、件数が少ないため感度を調整している。

首位の中国では、広範な技術領域に分布がみられ、他国を圧倒する状況にある。特に、俯瞰マップ周辺部に配置している電力変換効率向上、リチウムイオン電池、ペロブスカイト・量子ドット・色素増感の各種太陽電池、触媒のほか、エネルギーシステムなどの技術群への集積が極めて顕著である。また、環境関連の技術領域にも広く分布がみられ、特にPM_{2.5}、土壌分析、排出ガス分析等への集積が目立っている。

2位の米国では、環境関連の技術領域への集積が顕著であり、気候変動、海洋・極地・高度上空・エアロゾルほかの観測・測定技術への集積が著しい。また、エネルギー関連技術領域では、首位の中国と同様に、電力変換効率向上、ペロブスカイト・量子ドット・色素増感の各種太陽電池への集中が著しい。

3位の英国では、2位の米国と同様の傾向ではあるが、風力発電、ライフサイクルアセスメント、まらづくり、プラスチック汚染など、米国では出現していない技術領域への集中がみられる。

4位のドイツでは、英国と同様の傾向であるが、英国では出現していなかったリチウムイオン電池関連への

集中が見られる。

5位の韓国では、環境関連技術領域への集中はほとんどなく、電力変換効率向上、リチウムイオン電池、ペロブスカイト・量子ドット・色素増感の各種太陽電池への集中が目立つ。

11位の日本では、リチウムイオン電池、各種太陽電池のほか、環境関連の各種観測技術ほかへの集中が見られる。

続いて、特許における国・地域別プロットを図3-10に示す。

首位の日本では、電池（電解質、活物質ほか）、樹脂・ガラスファイバーに関連する材料技術や自動運転・充電などの制御関連技術、光学素子、冷却器、エネルギー貯蔵、バッテリーほかへの集積が見られる。

2位の米国では、首位の日本では出現していなかった、風車、ガス処理、熱流体輸送、発光光源への集中が見られる。また、他国では見られない環境汚染物質の植物影響ほか環境関連技術への集積も目立っている。

3位の中国では、空気エネルギー循環、バッテリーのほか、電池関連材料技術への集中が見られる。

4位のドイツでは、自動運転・充電・タービンの制御技術や冷却・空気エネルギー循環への集中が存在する。

5位の韓国では、リチウムイオン電池関連技術、空気エネルギー循環技術への集積が目立つ。

6位のEPでは、風車関連技術への集中が見られる。

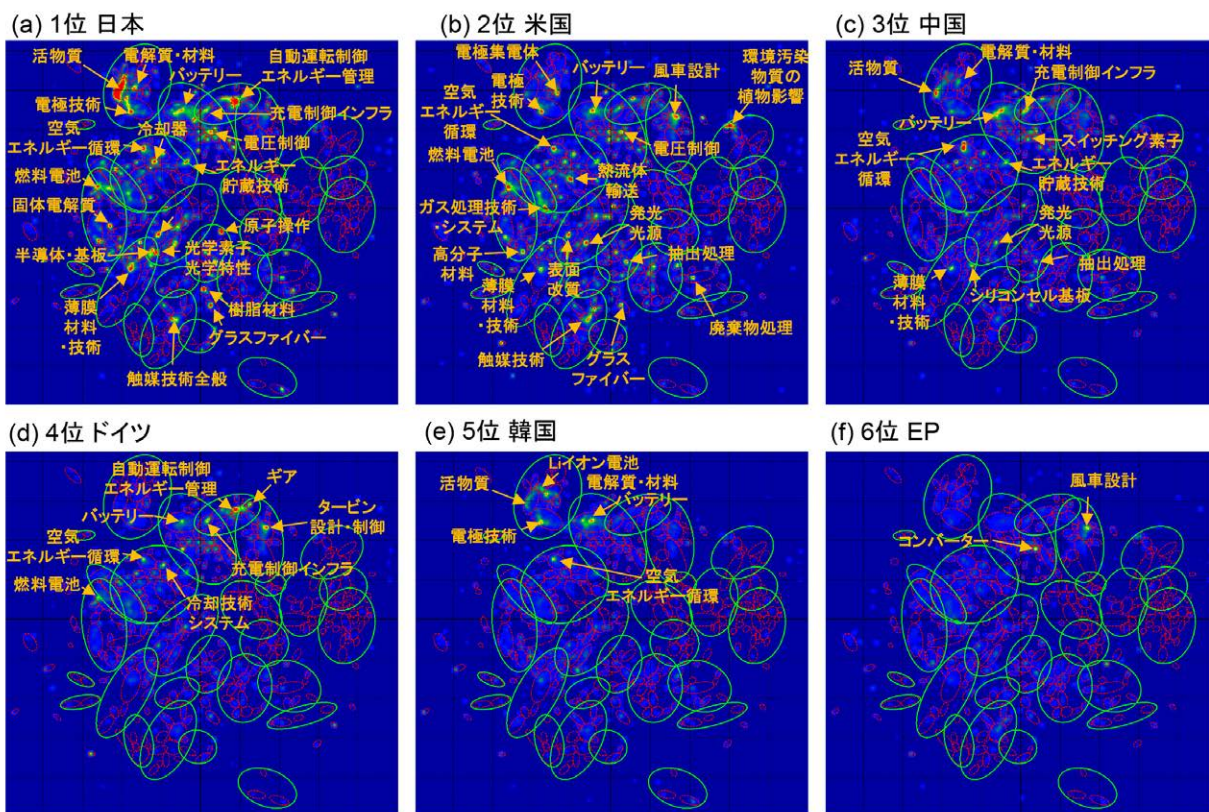


図3-10 特許情報の国・地域別プロット

さらに、中国、米国、日本、ドイツ、英国、韓国に対して、2001年から2023年までを前半（2001年～2011年）と後半（2012年～2023年を4年毎、3期）の4期間に分けて、経年変化をヒートマップで示す（図3-11～図3-16）。なお、各図が比較可能なように感度の調整を行っている。

中国について、2001年～2011年までの間（図3-11(a)）においては、固体酸化物燃料電池・色素増感太陽電池関連材料技術ほかにはわずかに集積が現れているが、顕著に集中した技術群は存在していない。

2012年～2015年（図3-11(b)）になると、固体酸化物燃料電池・色素増感太陽電池関連材料技術のほか、リチウムイオン電池、高性能キャパシタ、触媒関連、量子ドット太陽電池ほかの技術群に集積が出現している。さらに、2016年～2019年（図3-11(c)）においては、リチウムイオン電池、バッテリー技術全般、電気自動車技術全般、充電制御インフラなど蓄電池や電気自動車に関連する技術や、触媒関連技術ほかが大きく広がりを見せるとともに、PM_{2.5}評価、土壌分析、排出ガス分析ほかの環境関連の技術群への急速な集積が出現している。また、2020年～2023年（図3-11(d)）においては、特に環境関連の技術領域全般に対する集積が顕著である。

このような環境関連の技術領域の急激な成長の背景として、中国では経済のみの発展から転換し、環境と経済の両立に向けた政策を継続していることが考えられる。深刻な大気・水質・土壌汚染等の環境問題の回復を目的として「大気十条（2013年）」「水十条（2015年）」「土十条（2016年）」と呼ばれる環境浄化指標を定めた行動計画の策定や法改正が行われた。また、社会全体の中長期計画を示した「第14次五ヶ年計画（2021）」でも環境改善目標を設定し、2022年には生態環境分野の科学技術イノベーション特別計画の重点ミッションとして環境保全に関するものを複数定めている。また、環境保全と産業育成を目的に、新エネルギー車の普及政策も相次いで行われ、「自動車産業中長期発展計画（2017）」や「新エネルギー自動車産業発展計画（2020）」において新エネルギー車の生産・販売目標を定め、普及に向けた取り組みが進められている。

米国では中国とは異なり、2001年～2011年（図3-12(a)）においても、比較的広範囲で技術領域で集積が見られる。特に、燃料電池、熱流体輸送、雲科学研究、遺伝子組み換え植物への注力がみられる。2012年～2015年（図3-12(b)）になると、風車、電力変換効率向上、リチウムイオン電池、色素増感太陽電池、雲科学研究への集積がさらに進んでいる。また、バイオ燃料、集熱のほか、バッテリー、ライフサイクルアセスメントや排水処理、気候変動分析への集積が出現している。さらに、2016年～2019年（図3-12(c)）においては、ペロブスカイト太陽電池、触媒関連技術（還元、酸素発生）、排出ガス分析などの集積が出現している。また、2020年以降（図3-12(d)）も同様の傾向が継続している。

日本では、2001年～2011年の間（図3-13(a)）、リチウムイオン電池関連材料（活物質）、燃料電池、薄膜材料、色素増感太陽電池ほか集積が見られる。2012年～2015年（図3-13(b)）になると、リチウムイオン電池関連技術（活物質、電極、電解質）、電気自動車、自動運転制御・エネルギー管理、空気エネルギー循環・空調、半導体ほかの技術群において急速な集積が進んでいる。2016年以降（図3-13(c)、(d)）では、リチウムイオン電池関連技術、自動運転制御・エネルギー管理への集積は継続している。一方、他の技術群では低調ではあるが、冷却技術ほかへの集積が出現している。

ドイツでは、2001年～2011年の間（図3-14(a)）、燃料電池、自動運転制御、風車、太陽光発電関連技術のほか、極地・高度上空測定技術に集積が出現している。2012年～2015年（図3-14(b)）では、風車関連技術への集積が進むとともに、ギア、エネルギー貯蔵、雲科学研究ほかの技術領域が出現している。さらに、2016年以降（図3-14(c)、(d)）では、固体電解質、ペロブスカイト太陽電池などのエネルギー関連技術のほか、気候変動分析、海洋環境観測、プラスチック汚染など環境関連技術への集積が進んでいる。

韓国では、2001年～2011年の間（図3-15(a)）では、わずかに色素増感太陽電池に集積が出現している状況であり、2012年～2016年（図3-15(b)）においては、色素増感太陽電池の集積が進むとともに、リチウムイオン電池関連技術、有機太陽電池、薄膜材料ほかの技術領域に集積が出現している。2016年～2019年（図3-15(c)）でも同様の傾向であるが、バッテリー、ペロブスカイト太陽電池、酸素発生触媒への集積が新たに出現した。さらに、2020年以降（図3-15(d)）、バッテリー、リチウムイオン電池関連技術への急速な集積が進んでいる。

英国では、他国の状況とは異なり、エネルギー関連技術への集積は少なく、環境関連技術での集積が見られる。2001年～2011年の間（図3-16(a)）で、極地・高度上空測定の技術領域に集積が出現しており、2012年～2015年（図3-16(b)）には、気候変動分析、海洋環境観測、雲科学ほかへの集積が進んでいる。

また、風車、色素増感太陽電池の技術群にも集積が出現している。その後の、2016年以降（図3-16(c),(d)）においても、気候変動分析、雲科学ほかへの集積は継続しており、また、プラスチック汚染、住居省エネ建築、ライフサイクルアセスメントなどの環境関連技術領域や波エネルギー研究への集積が出現している。

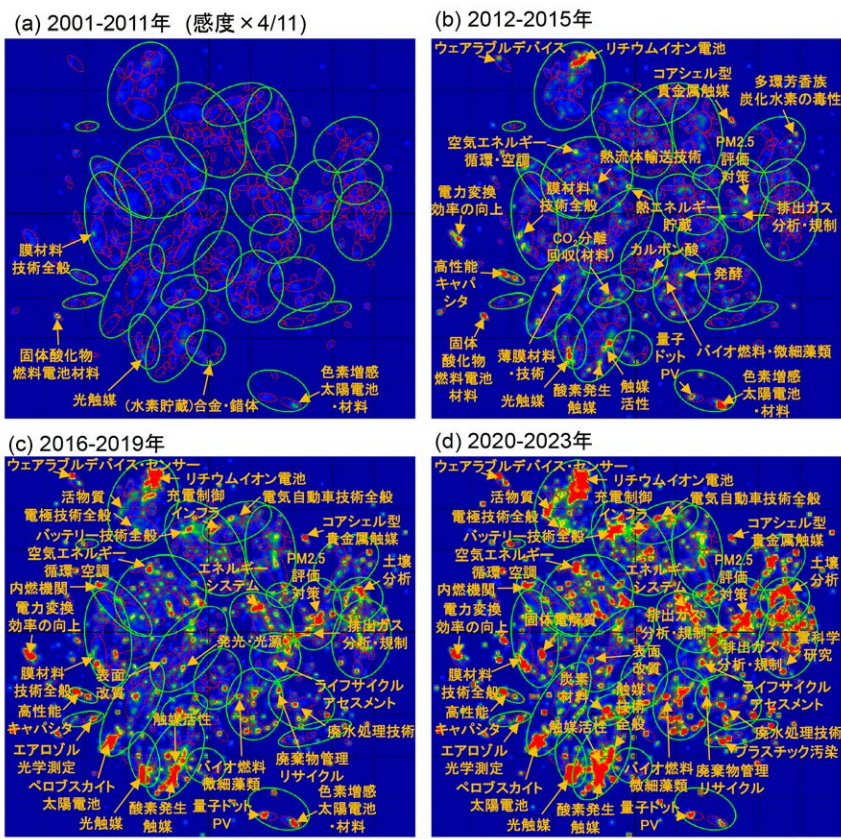


図3-11 論文・特許分布の経年変化（中国）

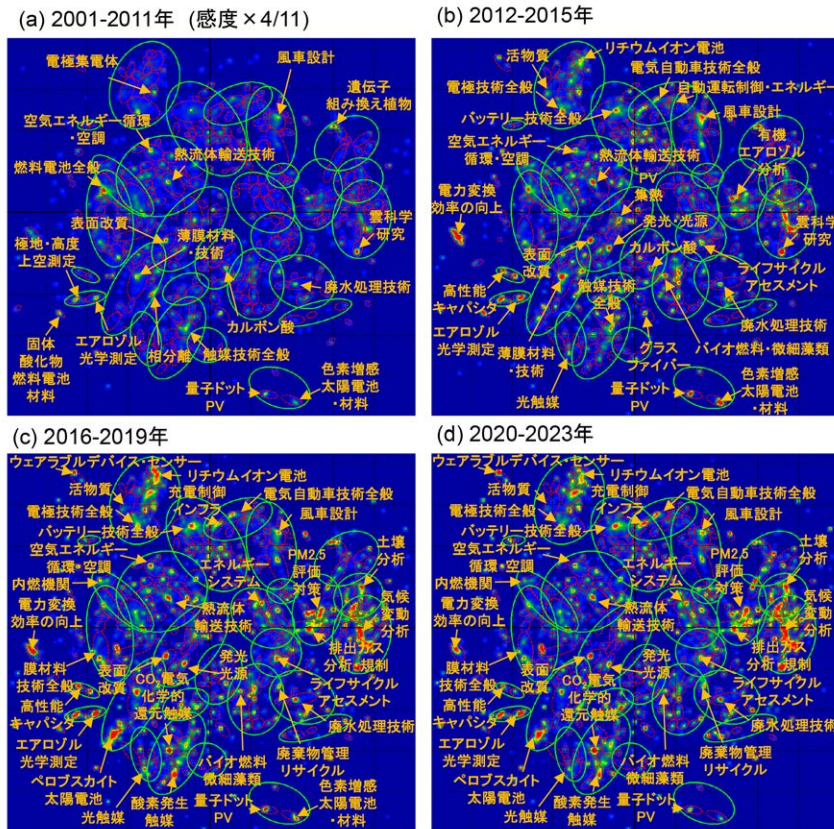


図3-12 論文・特許分布の経年変化 (米国)

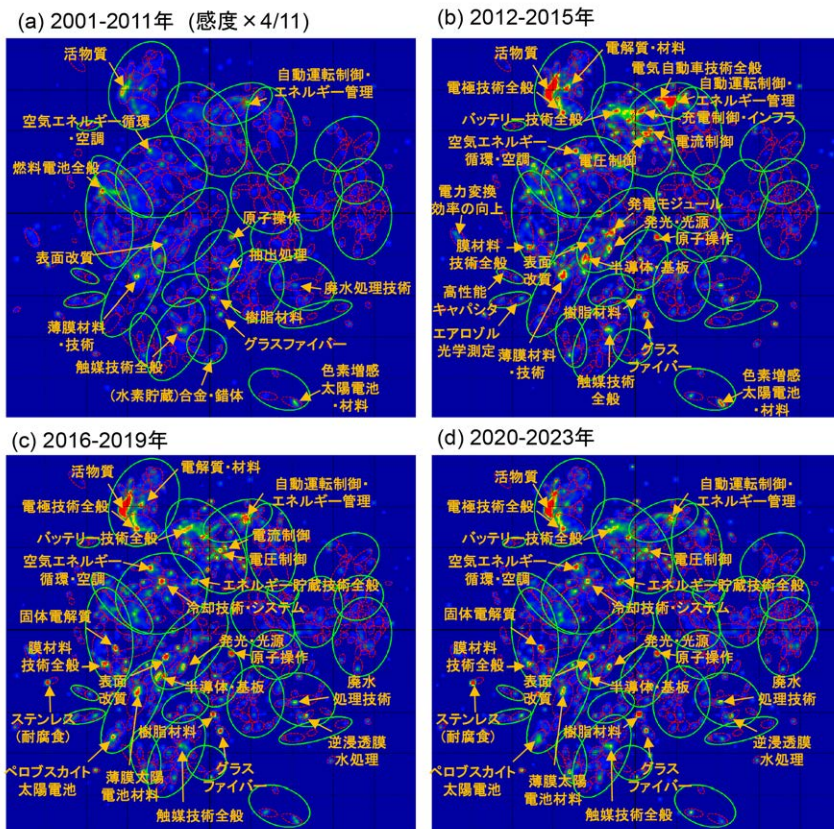


図3-13 論文・特許分布の経年変化 (日本)

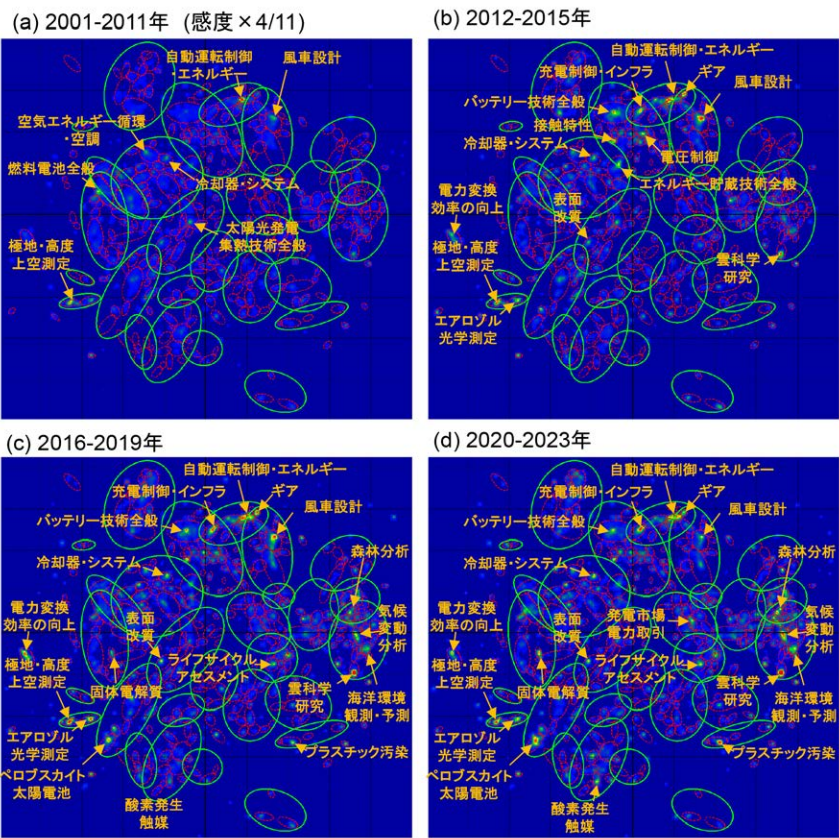


図 3-14 論文・特許分布の経年変化（ドイツ）

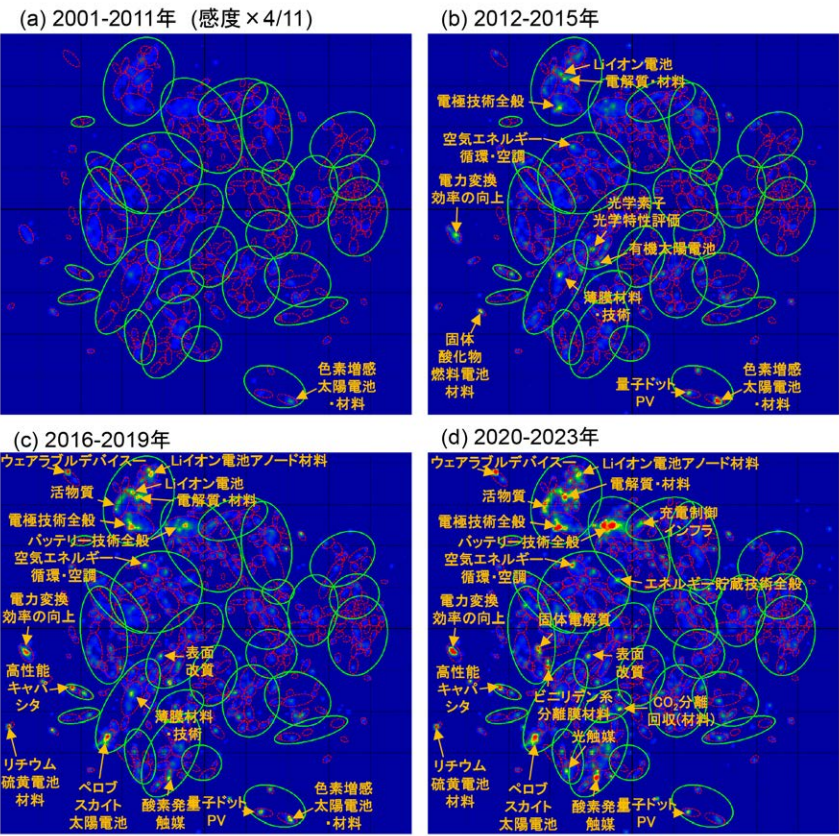


図 3-15 論文・特許分布の経年変化（韓国）

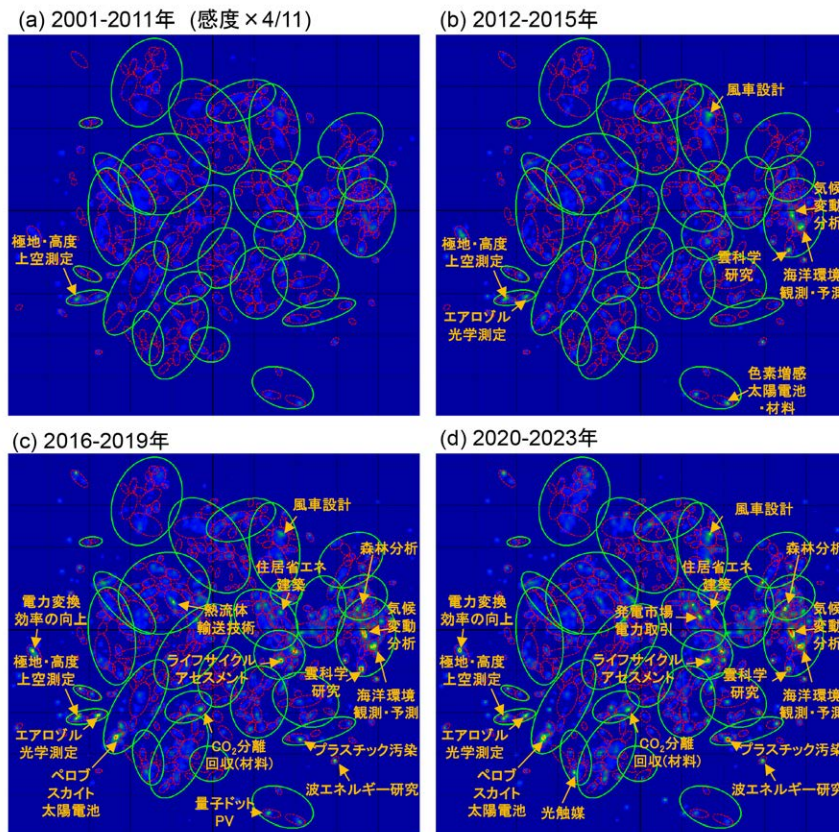


図3-16 論文・特許分布の経年変化（英国）

4 | 環境・エネルギー分野におけるマテリアル関連研究の波及・展開

4.1 マテリアル関連トピックの選定

環境・エネルギー分野におけるマテリアル関連研究の波及、進展、展開の動向を把握するため、トピックモデルで生成されるトピック（詳細は1.3参照）の中から、マテリアル研究に関連するトピックを利用して分析を行った。

今回の分析対象とした論文・特許計723,653件のトピックモデルからは、計2,351のトピックが生成された。そのうち、上位10ワード以内にマテリアルに関連するキーワードを有し、かつそのキーワードのウェイトが2%以上のもの（経験に基づきウェイトが2%以上あれば有意なキーワードと判断した）を「マテリアル関連トピック」として選定した。ここで、マテリアルに関連するキーワードの判定には、ケンブリッジ大学が提供する材料名抽出専用深層学習プログラムChemDataExtractor²³を利用した。ただし、一般的にマテリアルとは、物質（matter/substance）のうち、ある有用な機能を有し、それをある用途で使うことができるもののことを指すが、今回の機械的な選定では、機能の有無に関わらず物質名が含まれるか否かに基づいてマテリアル関連トピックの判定が行われている。例えば「水素生成・貯蔵」「CO₂回収・除去」等の技術領域では、対象物質である“水素”や“CO₂”自体も判定に含まれている可能性がある点に留意が必要である。選定された329のマテリアル関連トピックは巻末付録（表A-4）に示した。

各論文・特許情報は、2,351のトピックの組合せで表現されるが、マテリアル関連トピックの成分を有意に持つ論文・特許はマテリアルとの関連性が強いと考えることができる。そのような文献群にみられる傾向を調べるため、ここでは次の①あるいは②の条件を満たす文献を抽出した。

- ①マテリアル関連プライマリ文献：マテリアル関連トピックのいずれかを最大成分（筆頭トピック）として有する
- ②マテリアル関連セカンダリ文献：マテリアル関連トピックのいずれかをウェイト2%以上で有する

これら文献の抽出イメージおよび今回抽出されたマテリアル関連論文・特許の件数を図4-1に示す。マテリアル関連プライマリ文献は、論文74,313件、特許33,450件の合計107,763件であった。マテリアル関連セカンダリ文献は、論文240,846件、特許131,555件の合計372,401件であった。ただしここでは、ほとんどのマテリアル関連プライマリ文献が同時にマテリアル関連セカンダリ文献の条件（マテリアル関連トピックをウェイト2%以上で有する）も満たしており、マテリアル関連セカンダリ文献としても重複し集計している。

3 <http://www.chemdataextractor2.org/>

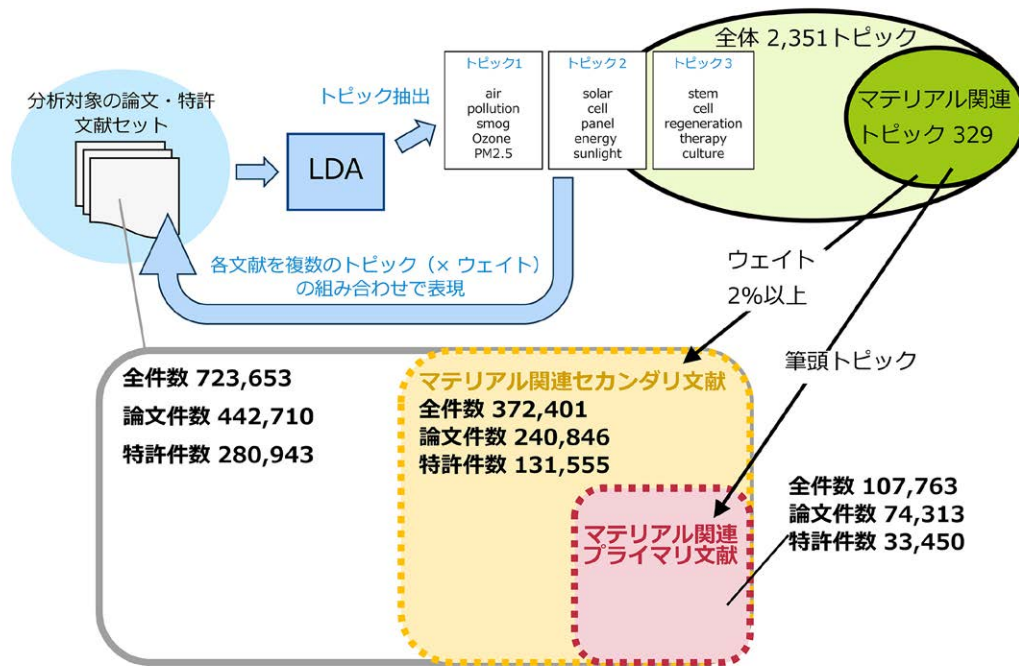


図4-1 マテリアル関連プライマリ/セカンダリ文献の抽出イメージおよび件数

4.2 俯瞰マップへのマテリアル関連プライマリ/セカンダリ文献のマッピング

論文・特許を合わせた俯瞰マップ（2.3 参照）上にマテリアル関連プライマリ文献およびマテリアル関連セカンダリ文献をプロットした（図4-2）。また、図4-3は、縦軸をマテリアル関連プライマリ文献比率（マテリアル関連プライマリ文献数/総文献数）、縦軸をマテリアル関連セカンダリ文献比率（マテリアル関連プライマリ文献との重複を除いたマテリアル関連セカンダリ文献数/総文献数）とし、技術領域（2.3 参照）別にプロットしたものである。

比率の大小はあるものの、全28技術領域でマテリアル関連プライマリ/セカンダリ文献が見られたことから、マテリアル関連研究は環境・エネルギー分野の研究開発に幅広く浸透していることが示唆される。その中でもマテリアル関連プライマリ文献比率が高い技術領域は「水素生成・貯蔵」「CO₂回収・除去」「キャパシタ」「光触媒」「バイオ燃料」「電極・電池」などであった（図4-2(a)）。これらの技術領域では、マテリアルに関する研究の寄与が大きい傾向が伺える。一方、俯瞰マップの中央や環境関連分野の技術領域にはマテリアル関連プライマリ文献の分布はほとんどみられなかった。こうした傾向は特許情報の分布と似た傾向である（3.1 参照）。

マテリアル関連セカンダリ文献（図4-2(b)）は俯瞰マップ外周部から中心に向かい多くの領域に広く分布している。主要な技術領域別にみると、マテリアル関連プライマリ文献比率の高い「CO₂回収・除去」「キャパシタ」「光触媒」「バイオ燃料」「電極・電池」などの技術領域では、そこからさらにマテリアル関連セカンダリ文献の分布が広がっている様子が伺える。それだけでなく、マテリアル関連プライマリ文献の集積があまり見られない「蓄電デバイス」「太陽光発電」「熱・流体」「内燃機関」「燃料電池」等のエネルギー供給・蓄エネルギーに関する技術領域にもマテリアル関連セカンダリ文献の広がりがみられた。また、「廃棄物・水処理」「海洋・湖沼環境」「化学物質リスク」「土壌・水域環境」など多くの環境関連分野の技術領域にマテリアル関連セカンダリ文献の集積がみられた。マテリアル関連セカンダリ文献の分布から、マテリアルに関する技術がエネルギー

ギー分野、環境分野の研究領域に広く浸透し、基盤技術として支えている構造にあると解釈できる。

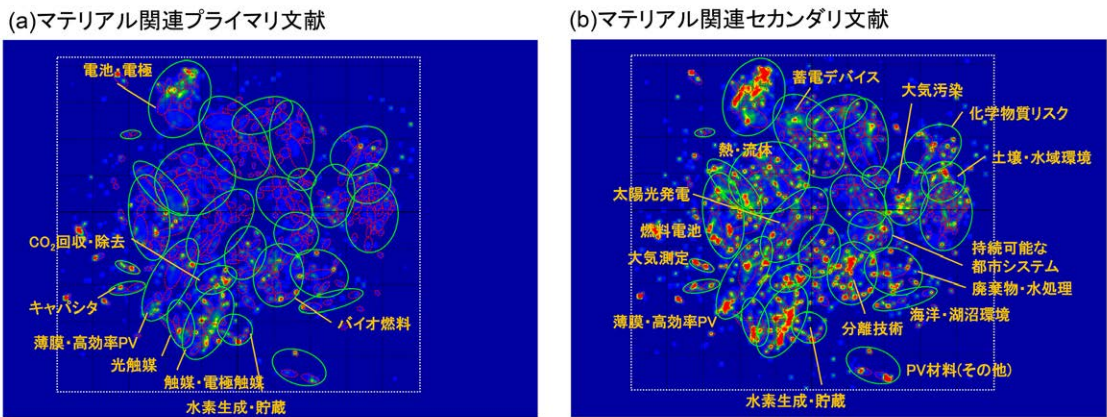


図 4-2 マテリアル関連プライマリ／セカンダリ文献の俯瞰マップ分布（論文・特許全体）
 本図では技術領域（緑色楕円）の名称を記載している

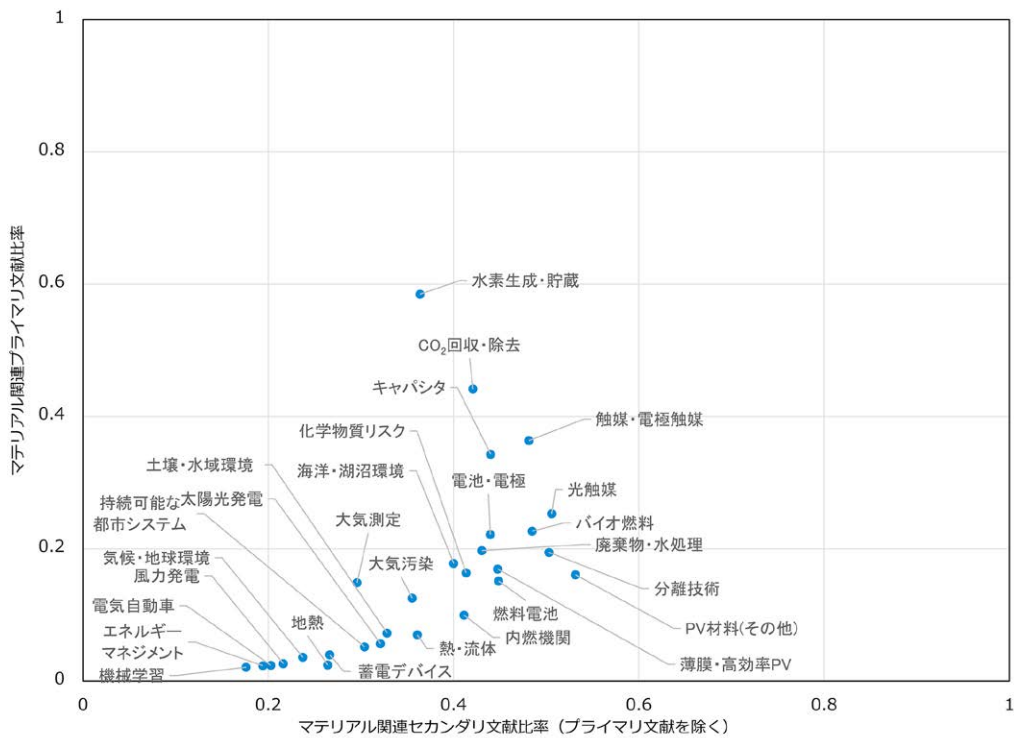


図 4-3 技術領域別のマテリアル関連プライマリ／セカンダリ文献比率

続いて、マテリアル関連プライマリ文献およびマテリアル関連セカンダリ文献の俯瞰マップへの分布を論文、特許別にプロットした（図 4-4）。マテリアル関連プライマリ文献の論文のみプロット（図 4-4(a)）にはLiイオンアノード電極、ナトリウムイオン電池、固体電解質、Li 硫黄電池・材料など蓄電池に関連する技術群や、光触媒、酸素発生触媒、アンモニア生成触媒などの触媒に関する技術群に集積が見られた。特許のみのプロット（図 4-4(b)）には顕著に集積した技術群は少なく、Li イオン電池、金属酸化物物生成、シリコンセル基板、（水素貯蔵）合金・錯体、アルキル基等の毒性など一部にのみ集積が見られた。マテリアル関連プライマ

リ文献は論文情報が中心となって構成されていると推察される。

マテリアル関連セカンダリ文献について、論文は俯瞰マップ全体に分布があり、特許にも分布の広がりが見られた（図4-4(c)、(d)）。論文では廃棄物管理・リサイクル、廃水処理技術、排出ガス分析・規制など、循環型社会や環境汚染の改善・防止に関する技術群にも広く分布がみられた。特許ではLiイオン電池、活物質、空気エネルギー循環・空調、触媒技術全般などの技術群への集積が顕著である。

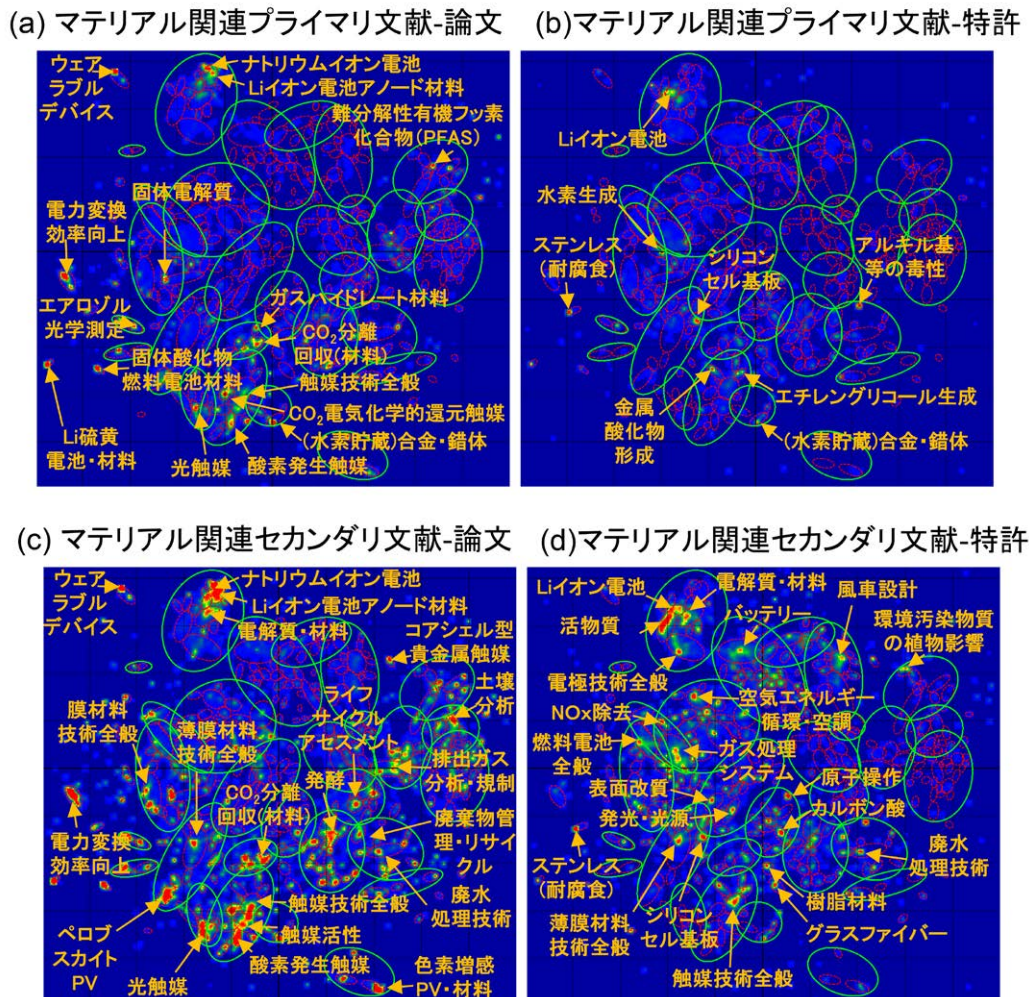


図4-4 マテリアル関連プライマリ/セカンダリ文献の俯瞰マップ分布（論文・特許別）

4.3 マテリアル関連プライマリ/セカンダリ文献の経年変化

マテリアル関連プライマリ/セカンダリ文献の論文・特許全体マップでの推移を、2001年から直近の2023年までを4期間に分けてヒートマップで示す。年あたりの件数が比較可能のように感度の調節を施している。

マテリアル関連プライマリ文献（図4-5）について、2001年～2011年においては顕著な集積はほぼ見られず、研究開発の動向が見られたのは（水素貯蔵）合金・錯体などごく一部の技術領域に限られた。2012年～2015年ごろより、Liイオン電池の立ち上がりやシリコンセル基板、グラフェン（高性能電池）、色素増感PV・材料などが出現した。2016年～2019年になると、Liイオン電池に加え、ナトリウムイオン電池の研究も活発になっている。また、「太陽電池」領域にはペロブスカイトPVの立ち上がりが見られ、新規材料の

開発がエネルギー関連研究へ波及していく様子がうかがえる。またこの時期より、光触媒や酸素発生触媒など触媒技術の興隆がみられた。環境技術については難分解性有機フッ素化合物（PFAS）の立ち上がりが見て取れる。2020年以降においては、2016年～2019年の期間から継続し同様の技術領域の研究が活発である。環境分野では、PET廃棄物リサイクルの立ち上がりもみられる。

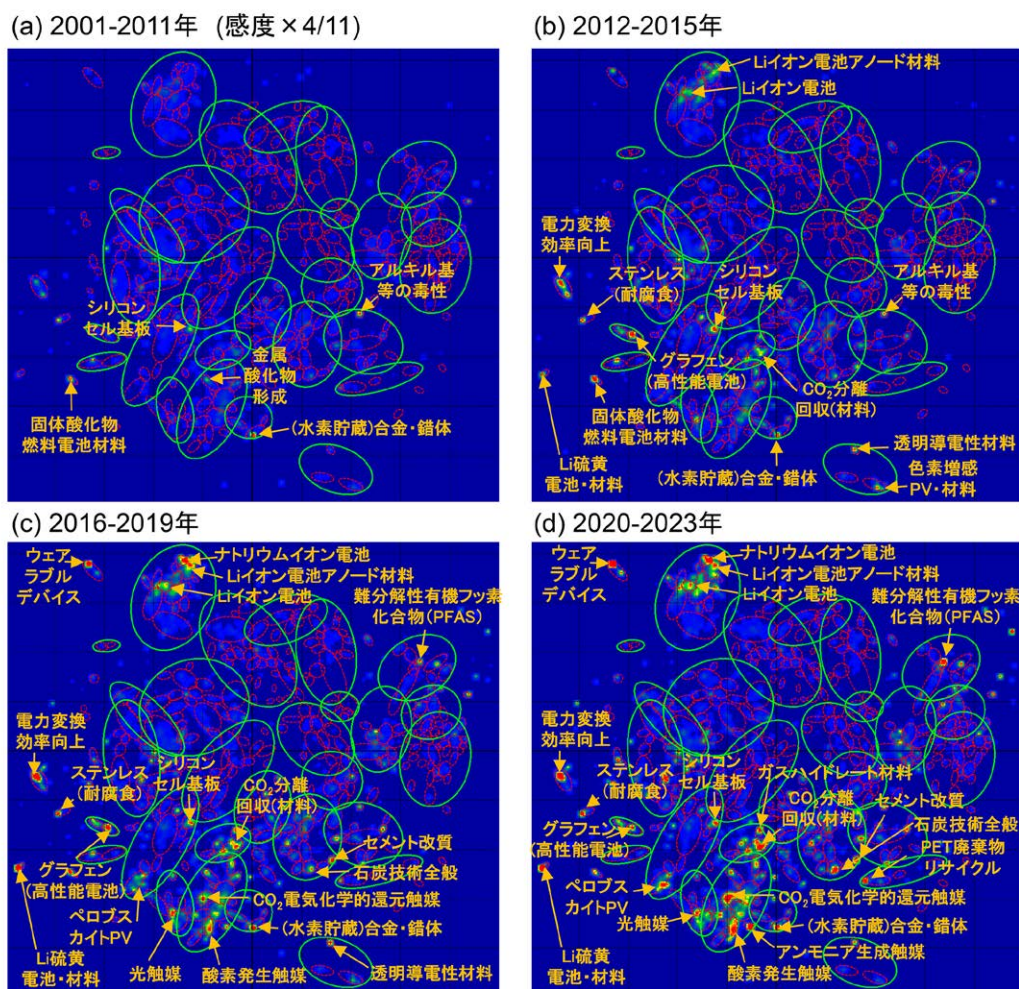


図4-5 マテリアル関連プライマリ文献の経年変化

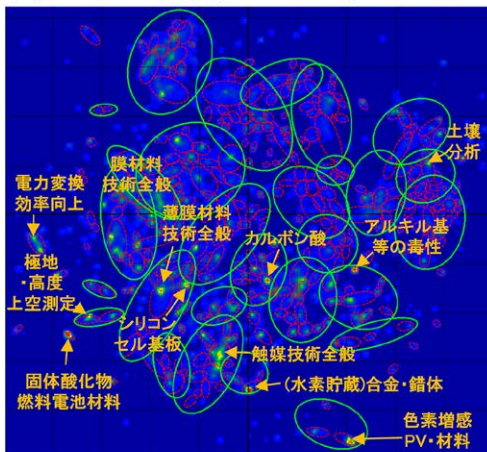
マテリアル関連セカンダリ文献（図4-6）は、2001年～2011年までは、顕著な集積がみられた技術領域は少数であった。2012年～2015年では、Liイオン電池や高性能キャパシタ、電力変換効率向上など、俯瞰マップ周辺部の複数のエネルギー関連分野の技術群で増加がみられた。2016年以降においては、全体的に増加する中、「触媒・電極触媒」領域の増加が顕著である。また、この時期より環境関連分野の技術領域の増加も見られた。直近の2020年以降も全体的に増加している中、特に触媒関連、環境関連分野の技術領域の成長が顕著である。

蓄電池に関連する技術領域に着目すると、マテリアル関連プライマリ文献およびセカンダリ文献の双方においては、2001-2011年に掛けては「電池・電極」領域や「蓄電デバイス」領域に顕著な集積は見られない（図4-5(a)、図4-6(a)）。これは期間中の文献数が相対的に少ないためであるが、文献数の増加率にもあわせて着目すると、「蓄電デバイス」領域の特許件数が2004年から急激に増加した時期でもある（図3-5）。2012年以降、マテリアル関連プライマリ文献において、「電池・電極」領域の技術群（Liイオン電池アノード材料）の増加が顕著である。

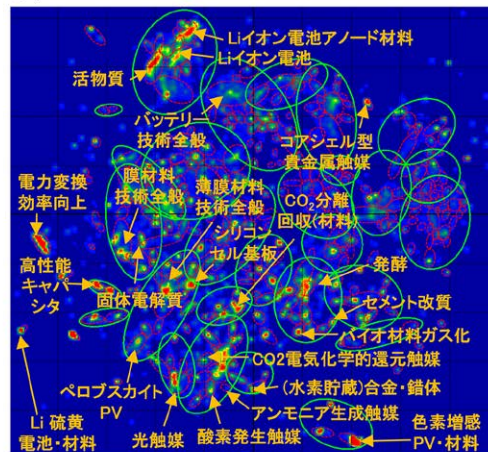
ド電極、Liイオン電池等)に顕著な増加がみられた(図4-5(b) - (d))。マテリアル関連セカンダリ文献では、「電池・電極」領域の同技術群と同様に「蓄電デバイス」領域の技術群(バッテリー技術全般等)の増加が見られた(図4-6(b) - (d))。

リチウムイオン電池は1990年代に上市された後、携帯電話やモバイル機器を中心に広く用いられ、その世界市場規模は2010年時点で約1兆円に達していた^{4,5}。さらに2010年代にかけ、容量の増大化とともに、車載用や定置用にも用途を広げ普及が進んでいった。このような実用化と急速な普及の拡大を背景に、「蓄電デバイス」領域におけるデバイス研究と「電池・電極」領域におけるマテリアルに関する研究が相互に必要な性を喚起し、両者の文献数が共に増えていく関係性があったと推察される。

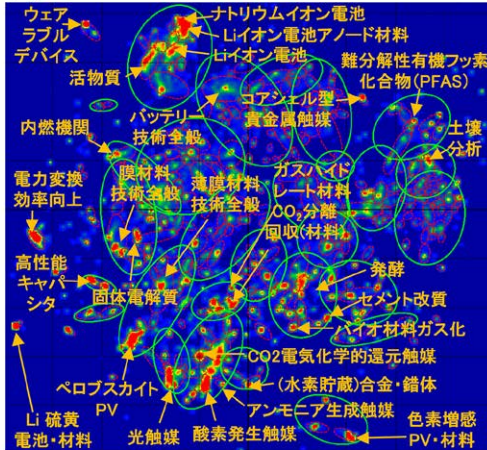
(a) 2001-2011年 (感度×4/11)



(b) 2012-2015年



(c) 2016-2019年



(d) 2020-2023年

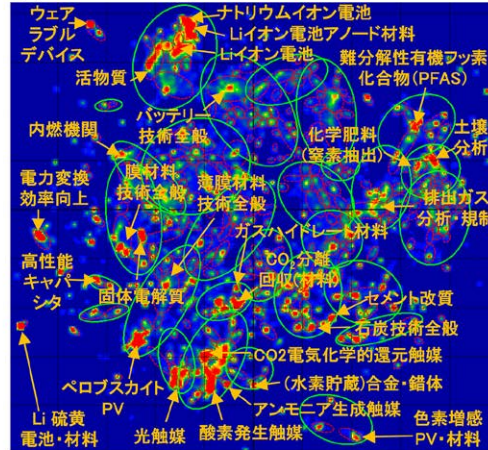


図4-6 マテリアル関連セカンダリ文献の経年変化

- 4 特許庁「平成24年度 特許出願技術動向調査 - リチウム二次電池」, <https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/12514357/www.jpo.go.jp/resources/report/gidou-houkoku/tokkyo/document/index/24litium.pdf> (2024年12月4日アクセス)
- 5 特許庁「平成29年度 特許出願技術動向調査 - リチウム二次電池」, https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/13343427/www.jpo.go.jp/resources/report/gidou-houkoku/tokkyo/document/index/29_08.pdf (2024年12月4日アクセス)

5 | 成長領域の推定

5.1 俯瞰マップにおける成長領域の推定

環境・エネルギー分野の俯瞰マップから、将来の成長可能性のある領域について推定分析を行った。俯瞰マップを格子（grid）に分割し、各格子内の件数を全体平均で除した相対値について成長曲線（ロジスティック関数）フィットを行い、その立ち上がり年を算出した（詳細は1.5参照）。算出された立ち上がり年が最近もしくは将来の年であるほど、今後の成長が見込まれる領域と考えられる。なお、全体に対する相対値を用いるため、集計途中である2023年分データについても本解析では使用した。

論文と特許を合わせた全体に対する解析結果を図5-1（成長領域推定—全体）に示す。各格子で算出された立ち上がり年に応じて、格子内の点を色分けした。今後の成長可能性の高い領域（暖色系）として、電極材料、金属イオン材料、電解質材料、残量推定など蓄電池に関連する技術群や、難分解性有機フッ素化合物（PFAS）、殺虫剤・農薬、都市環境評価、環境分析・運用（森林、地下水、堆積物、湖沼）など環境関連分野の技術群が抽出された。

続いて、論文のみで成長領域の推定を行った解析結果を図5-2（成長領域推定—論文）に示す。今回の解析においては、論文数が特許数に比べ優勢であるため、全体での解析結果（図5-1）と類似した分布となった。一方、全体での解析結果では出現していなかった、放電技術、ガス処理技術、自動運転制御、環境汚染物質影響ほかの技術群で成長可能性が高い判定となった。

特許のみで成長領域の推定を行った解析結果を図5-3（成長領域推定—特許）に示す。全体での解析結果（図5-1）で出現していた環境関連の技術領域は少ないが、全体での解析結果（図5-1）や論文のみでの解析結果（図5-2）では出現していなかった、ナトリウムイオン電池、電極材料、空気エネルギー循環・空調、ペロブスカイト太陽電池ほかの技術群が成長可能性の高い判定となった。

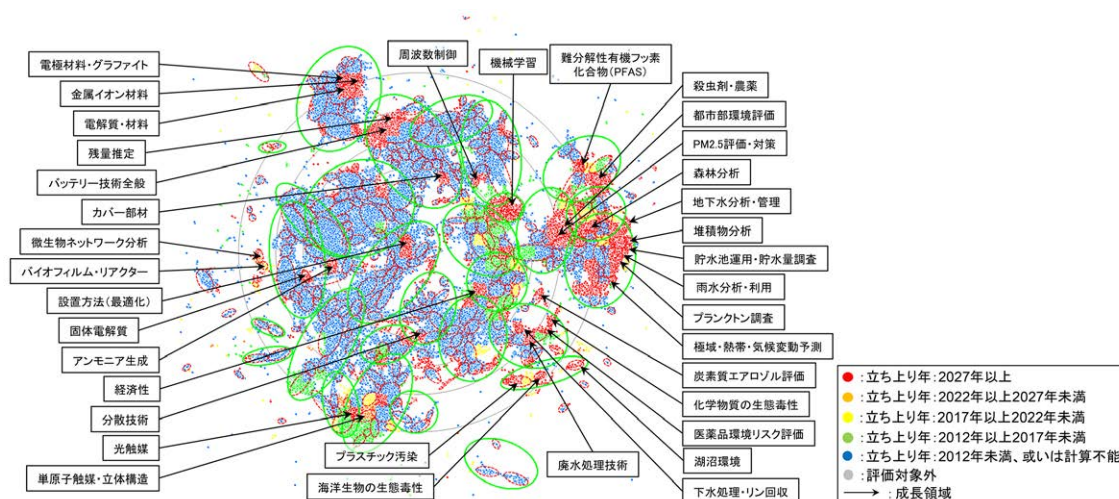


図5-1 成長領域推定（論文・特許全体）

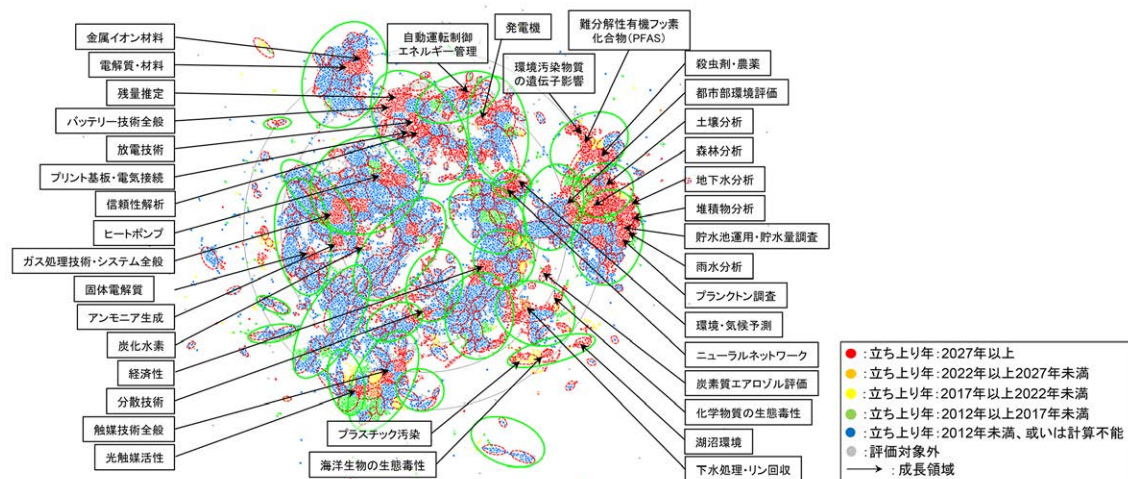


図5-2 成長領域推定（論文）

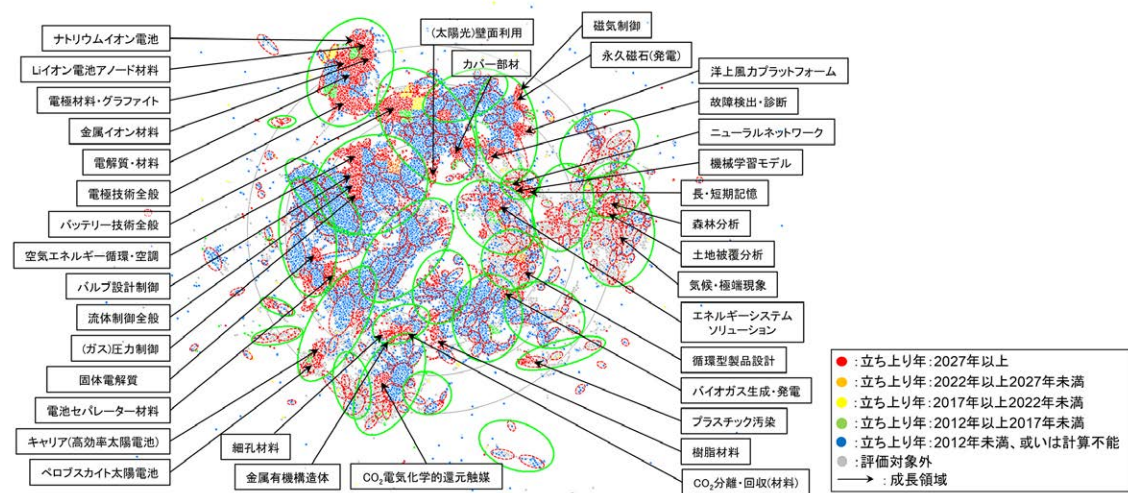


図5-3 成長領域推定（特許）

5.2 成長キーフレーズの推定

俯瞰マップからは判別が難しい文献数が数十件程度のエマージング技術の探索のため、「キーフレーズ」の抽出とロジスティック回帰による成長可能性判定を行った（詳細は1.4、1.5参照）。その際、既知ワードやノイズワード、回帰エラーを除去するために、以下の制約条件を適用した。

- ①初出が2018年以降（既知ワードの除外）
- ②直近3年における文献件数が10件（マテリアル関連技術の場合は5件）以上（ノイズワードの除外）
- ③立ち上がり年の幅（誤差）が10年以内（回帰エラーの除去）

論文と特許のアブストラクトを分析対象とし、得られたキーフレーズを立ち上がり年の降順で上位100位まで示す（表5-1）。

立ち上がり年が調査時点より未来の2024年以降と推定されたキーフレーズには、「CCUS technology

(No.1 CCUS技術)」「selectivity of CO₂RR (No.21 CO₂還元反応の選択性)」「CO₂RR catalyst (No.49 二酸化炭素還元反応触媒)」などCO₂の回収・貯留・利用に関するものがみられた。バイオマス関連の「biomass upgrading (No.10 バイオマス改質)」や、「produce hydrogenrich syngas (No.28 水素富合成ガス生成)」等の水素生成に関連するキーワードから、これらの持続可能なエネルギー源の開発に関する研究の成長が見込まれると推察できる。また、「triboelectric output (No.48 摩擦発電出力)」など、新たな発電技術の開発も見込まれる。蓄電池に関するキーワードは「potassium metal battery (No.26 カリウム金属電池)」、「Zn²⁺ storage (No.13 Zn²⁺の貯蔵)」「stable Zn anode (No.29 安定な亜鉛陽極)」「Zn dendrite growth (No.59 亜鉛デンドライト成長)」など、希少金属のリチウムを代替するカリウム金属電池、亜鉛系蓄電池技術に関するものや、「battery swap station (No.43 バッテリー交換ステーション)」「battery swapping apparatus (No.46 バッテリー交換装置)」などバッテリーの交換や充電インフラに関連するものがみられた。「heterojunction catalyst (No.17 ヘテロ接合触媒)」など、新しい触媒の開発に関するキーワードも抽出された。環境分野では「occurrence of MPs (No.5 マイクロプラスチック発生)」「nanoplastic exposure (No.32 ナノプラスチック曝露)」「MPs exposure (No.51 マイクロプラスチック曝露)」「MP pollution (No.60 マイクロプラスチック汚染)」などマイクロプラスチックに関するキーワードが複数みられた。また、「XGBoost model (No.11 XGBoostモデル)」「CNNLSTM model (No.44 CNNLSTMモデル)」「digital transformation (No.27 デジタルトランスフォーメーション)」「deep rein-forcement learning algorithm (No.39 深層強化学習アルゴリズム)」など、機械学習を活用した解析手法に関するキーワードも出現し、環境・エネルギー分野においても、AIやビッグデータの活用が進んでいくことが予想される。

表 5-1 成長キーワード

No.	キーワード	全件数	直近3年 件数	初出年	立ち上がり 年	立ち上がり 幅 (年)
1	CCUS technology	14	11	2018	2043.1	1.82
2	gonghe basin	16	12	2018	2042.6	1.74
3	parasitic hydrogen evolution reaction	18	13	2018	2040.9	1.78
4	Ru cluster	18	11	2018	2040.3	1.94
5	occurrence of MPs	21	16	2018	2040.3	1.55
6	health risk assessment model	16	10	2018	2040.2	1.68
7	energy level mismatch	24	18	2018	2040.1	1.54
8	gradient boosting decision tree	31	25	2018	2039.6	1.47
9	biomass upgrading	18	12	2018	2038.8	1.52
10	detail of chemical formula	20	15	2018	2038.8	1.38
11	XGBoost model	39	33	2018	2038.7	1.30
12	space utilization rate	20	17	2018	2038.7	1.31
13	Zn ²⁺ storage	29	24	2018	2038.4	1.35
14	decarbonization pathway	16	11	2019	2038.3	1.44
15	improved complete ensemble empirical mode decomposition	18	15	2019	2037.9	1.29
16	innovatively design	22	17	2018	2037.9	1.66
17	heterojunction catalyst	26	21	2018	2037.7	1.57
18	electron structure	22	15	2018	2037.2	1.69
19	alkaline HOR	13	11	2019	2036.3	1.39

20	rich pore structure	18	14	2019	2035.9	1.28
21	selectivity of CO ₂ RR	15	12	2018	2035.9	1.08
22	electrocatalytic NRR	26	18	2018	2035.4	1.54
23	accelerate reaction kinetics	21	17	2019	2035.4	1.32
24	high proportion of renewable energy	14	11	2019	2035.1	1.31
25	evaporation enthalpy	14	12	2019	2035	1.00
26	potassium metal battery	13	10	2019	2034.6	0.98
27	digital transformation	19	15	2019	2034.6	1.09
28	produce hydrogenrich syngas	14	10	2019	2034.5	0.98
29	stable Zn anode	12	10	2019	2034.3	0.94
30	ecosystem multifunctionality	30	23	2018	2033.7	1.54
31	tripartite evolutionary game model	23	16	2019	2033.6	1.14
32	nanoplastic exposure	15	11	2020	2032.1	0.04
33	ongoing COVID19 pandemic	18	14	2020	2032.1	0.06
34	lockdown effect	14	11	2020	2031.9	0.15
35	prelockdown period	13	10	2020	2031.9	0.13
36	rack case	16	13	2020	2031.7	0.24
37	increase SOC	13	10	2020	2031.6	0.29
38	positive electrode pole piece	11	10	2020	2031.6	0.04
39	deep reinforcement learning algorithm	14	13	2020	2031.4	0.17
40	lowcarbon emission	11	10	2019	2029.9	0.70
41	combating global warming	12	10	2019	2029.7	0.70
42	fate of MPs	18	11	2018	2029.7	1.92
43	battery swap station	21	14	2019	2029.3	0.59
44	CNNLSTM model	10	10	2021	2029	0.68
45	gradient boosting machine	33	25	2018	2028.8	1.56
46	battery swapping apparatus	11	10	2018	2027.7	0.45
47	6 kJ mol ⁻¹	21	10	2018	2027.4	0.46
48	triboelectric output	23	17	2018	2027.3	1.59
49	CO ₂ RR catalyst	23	17	2018	2026.9	1.71
50	triazole fungicide	16	12	2018	2025.2	1.70
51	MPs exposure	26	22	2019	2025.2	1.24
52	heterostructure catalyst	18	14	2018	2024.9	1.56
53	activation of O ₂	14	12	2019	2024.7	1.35
54	operando characterization	21	15	2018	2024.6	1.55
55	multisplit air conditioner	15	10	2019	2024.6	1.34
56	lewis base site	15	11	2018	2024.5	1.63
57	bioavailable Cd	15	11	2018	2024.5	1.63
58	current density of 10 mA·cm ⁻²	46	36	2018	2024.3	1.44
59	Zn dendrite growth	33	26	2018	2024.3	1.45
60	MP pollution	59	48	2018	2024.3	1.29
61	Pt single atom	34	29	2018	2024.2	1.31

62	bayesian kernel machine regression	48	41	2018	2024.2	1.31
63	glycerophospholipid metabolism	21	15	2018	2024	1.55
64	produce green hydrogen	48	44	2019	2023.8	0.95
65	photothermal catalysis	24	22	2019	2023.6	0.96
66	average abundance	13	10	2019	2023.5	1.30
67	uncoordinated Pb2+ ion	15	14	2020	2023.5	0.90
68	deeply explore	16	13	2019	2023.4	0.67
69	net ecosystem economic benefit	14	11	2018	2023.4	1.61
70	photothermal catalyst	18	17	2020	2023.4	0.85
71	polystyrene nanoplastics	34	32	2020	2023.4	0.84
72	structure engineering	14	10	2018	2023.3	1.67
73	aqueous Zn metal battery	13	12	2020	2023.2	0.81
74	partial dependence	18	15	2019	2023.2	0.99
75	allsolidstate lithium metal battery	34	25	2018	2023.2	1.24
76	NO3 – RR	13	13	2021	2023.2	0.63
77	processor operatively connect	14	11	2019	2023.1	1.10
78	uncoordinated Pb2+	33	30	2018	2023	0.80
79	selfattention mechanism	21	21	2021	2023	0.56
80	series of robustness test	23	22	2020	2023	0.82
81	NH3 conversion	13	11	2019	2023	1.06
82	5 mA cm – 2	39	37	2018	2022.9	0.76
83	eXtreme gradient boosting	30	27	2018	2022.9	0.82
84	graph neural network	24	24	2021	2022.8	0.53
85	green H2 production	11	11	2021	2022.8	0.57
86	air supply mode	17	14	2018	2022.8	1.36
87	ML	23	20	2019	2022.7	1.09
88	fenwei plain	20	16	2019	2022.7	0.90
89	10 mA.cm – 2	62	52	2018	2022.6	1.14
90	severe side reaction	27	22	2018	2022.6	1.12
91	deep learning network	20	17	2019	2022.6	1.04
92	production of green hydrogen	43	41	2019	2022.6	0.75
93	electrocatalytic reduction of nitrate	17	16	2018	2022.6	0.01
94	waste lithiumion battery	20	18	2018	2022.6	0.55
95	thermal event occurs	10	10	2023	2022.6	0.02
96	volatile solid additive	10	10	2021	2022.5	0.55
97	generative adversarial network	38	30	2018	2022.5	1.25
98	bare Zn	19	17	2019	2022.5	0.94
99	XGBoost algorithm	14	14	2021	2022.5	0.04
100	95 % confidence interval [CI]	28	28	2021	2022.5	0.42

続いて、マテリアル関連トピックを2%以上有する論文・特許に限定して今後成長の可能性のあるキーワードを抽出した。この際、制約条件②は、直近3年の文献件数が5件以上、と緩和した。より少ない文献件数

で解析を行うことで、立ち上がり年の推定精度は下がるが、より多くのキープレーズを拾うことができる。得られたマテリアル関連技術の成長キープレーズを表5-2に立ち上がり年の降順で100件示す。

立ち上がり年が調査時点より未来の2024年以降と推定されたキープレーズには、「high FE (No.12 高ファラデー効率)」「highpower conversion efficiency (No.15 高変換効率)」など、高性能なマテリアルの開発を目指す動きが伺える。「electrocatalytic CO₂RR (No.5 電気触媒によるCO₂還元反応)」「CO₂/C₂H₂ mixture (No.5 CO₂/C₂H₂混合気)」「separation of C₂H₂/CO₂ (No.23 C₂H₂/CO₂の分離)」「CO₂-to-formate conversion (No. 42 CO₂-ギ酸変換)」など、CO₂の変換、利用に関する複数のキープレーズがみされた。「rational design of photocatalysts (No.6 光触媒の合理設計)」「bifunctional catalysis (No. 35 二機能触媒)」など、触媒の設計や高度な機能をもつ触媒に関するキープレーズが抽出された。「alkaline seawater splitting (No.31 アルカリ性海水電解)」など海水からの水素製造に関するフレーズもみられた。「bayesian kernel machine regression (No. 29 ベイズカーネル機械回帰)」「kmeans clustering (No.41 K-means クラスタリング)」などのフレーズから、データ駆動によるマテリアルの予測や設計がより一層活発になる傾向が伺える。

表5-2 マテリアル関連技術成長キープレーズ

No.	キープレーズ	全件数	直近3年 件数	初出年	立ち上 り年	立ち上 り幅 (年)
1	promising energy storage device due	17	8	2018	2043.8	2.54
2	guest interaction	15	11	2018	2041.7	1.78
3	binary OSCs	19	14	2018	2039.5	1.68
4	anode delivers	11	7	2019	2036.7	1.62
5	electrocatalytic CO ₂ RR	6	5	2020	2036.4	1.23
6	rational design of photocatalysts	6	5	2020	2036.4	1.23
7	intermolecular force	6	5	2020	2036.4	1.23
8	watersoluble ion	6	5	2020	2036.4	1.23
9	CO ₂ /C ₂ H ₂ mixture	6	5	2020	2036.4	1.23
10	9 mW cm ⁻²	6	5	2020	2036.4	1.23
11	distribution of relaxation time	22	18	2018	2036.2	1.70
12	high FE	9	5	2020	2035.7	1.27
13	carbon metabolism	9	7	2020	2035.2	1.10
14	combine experiment	9	7	2019	2032.6	0.82
15	highpower conversion efficiency	7	5	2018	2032.3	0.94
16	summer due	9	5	2018	2031.9	0.94
17	volume effect	9	8	2020	2031.6	0.06
18	coronavirus disease	10	9	2020	2031.6	0.02
19	sulfur redox reaction	8	6	2020	2031.6	0.05
20	coal mining area	11	6	2020	2031.5	0.01
21	design idea	10	9	2020	2031.5	0.03
22	prediction	8	7	2020	2031.4	0.03
23	separation of C ₂ H ₂ /CO ₂	7	6	2020	2031.2	0.25
24	noncontact mode	7	6	2020	2031.2	0.25

25	solid additive	7	6	2019	2031.1	0.76
26	legacy PFASs	7	6	2019	2031.1	0.76
27	structure engineering	7	6	2019	2031.1	0.76
28	reduce voltage loss	6	6	2021	2031	0.73
29	bayesian kernel machine regression	6	6	2021	2031	0.73
30	PET depolymerization	6	6	2021	2031	0.73
31	alkaline seawater splitting	6	6	2021	2031	0.73
32	UOR catalyst	6	6	2021	2031	0.73
33	consistent trend	8	6	2019	2030.9	0.76
34	timely manner	8	8	2021	2030.7	0.76
35	bifunctional catalysis	6	5	2018	2030.5	0.88
36	biomass chemical looping gasification	6	5	2018	2030.5	0.88
37	fertilizer input	6	5	2018	2030.5	0.88
38	characteristic of high efficiency	7	5	2018	2030.2	0.88
39	situ characterization technique	10	8	2019	2029.9	0.62
40	clean energy transition	6	6	2021	2027.7	0.89
41	kmeans clustering	6	6	2021	2027.7	0.89
42	CO ₂ toformate conversion	6	6	2021	2027.7	0.89
43	cover assembly	6	6	2021	2027.7	0.89
44	polymer dielectric	14	8	2018	2025.6	1.96
45	stronger crystallinity	9	7	2018	2025.3	1.24
46	charge transfer ability	9	7	2018	2025.3	1.24
47	current density of 100 mA cm ⁻²	24	20	2018	2024.8	1.37
48	allsolidstate lithium metal battery	18	14	2018	2024.8	1.62
49	biochar	12	8	2018	2023.6	1.81
50	outstanding electrocatalytic	7	5	2020	2023.1	0.10
51	large maximum polarization	8	8	2021	2023	0.66
52	synthetic cost	6	5	2019	2022.9	0.09
53	triboelectric output	17	12	2018	2022.8	1.56
54	7 mg cm ⁻²	12	8	2018	2022.6	0.00
55	permeability evolution	8	7	2019	2022.6	0.67
56	mechanical stimulus	10	7	2018	2022.6	0.01
57	steam methane reforming process	6	5	2018	2022.6	0.05
58	work enriches	8	7	2019	2022.6	0.67
59	sodium source	11	9	2020	2022.6	0.05
60	ML model	18	18	2021	2022.5	0.50
61	severe side reaction	8	7	2018	2022.5	0.63
62	high energydensity	7	6	2020	2022.5	0.04
63	95 % confidence interval [CI]	6	6	2023	2022.5	0.01
64	ideal alternative	9	7	2020	2022.5	0.04
65	nonradiative charge recombination	9	7	2020	2022.5	0.04
66	main culprit	5	5	2021	2022.5	0.04

67	Mo concentration	5	5	2021	2022.5	0.04
68	PFBS exposure	5	5	2021	2022.5	0.04
69	chemical recycling facility	6	6	2021	2022.5	0.05
70	carbon neutrality	109	107	2019	2022.4	0.59
71	100 mA cm ⁻²	9	9	2021	2022.4	0.03
72	capacitor charging	6	6	2021	2022.4	0.03
73	porous transport layer	7	7	2021	2022.4	0.62
74	nitrogen carrier	8	6	2018	2022.4	0.03
75	human health monitoring	5	5	2021	2022.4	0.74
76	direct seawater electrolysis	5	5	2021	2022.4	0.74
77	northern city	5	5	2021	2022.4	0.74
78	inorganic perovskite solar cell	7	7	2021	2022.4	0.62
79	CCUS project	6	6	2021	2022.4	0.03
80	UOR activity	5	5	2021	2022.4	0.03
81	reduce environmental risk	5	5	2021	2022.4	0.03
82	reach 10 mA cm ⁻²	7	7	2021	2022.4	0.03
83	HzOR activity	5	5	2021	2022.4	0.74
84	HOR activity	7	5	2019	2022.4	0.04
85	Zn dendrite growth	6	5	2020	2022.4	0.03
86	neopentyl glycol	7	5	2018	2022.4	0.04
87	characterization prove	5	5	2021	2022.4	0.74
88	emitted	5	5	2021	2022.4	0.74
89	zebrafish brain	6	5	2019	2022.4	0.03
90	RNA sequencing	9	8	2018	2022.4	0.65
91	tea garden	7	6	2020	2022.4	0.03
92	clostridium sensu stricto	5	5	2021	2022.4	0.74
93	higher faradaic efficiency	5	5	2021	2022.4	0.74
94	proton exchange membrane water electrolysis	5	5	2021	2022.4	0.74
95	carbonneutral future	5	5	2021	2022.4	0.74
96	electronic structure modulation	5	5	2021	2022.4	0.74
97	accumulation of Cd	5	5	2021	2022.4	0.74
98	high ICE	7	5	2019	2022.4	0.04
99	electrochemical CO ₂ to	5	5	2021	2022.4	0.74
100	CO ₂ methanation process	7	5	2019	2022.4	0.04

6 | まとめ

本調査では、環境・エネルギー分野における論文442,710件、特許280,943件、合計723,653件を対象に、トピックモデルを用いた論文・特許マップを作成し、論文・特許分布、研究開発の経年変化、主要国別の研究開発動向について俯瞰的な分析を行った。さらに、マテリアルと関連の深い技術領域を特定し、環境・エネルギー分野におけるマテリアル関連研究の波及・展開状況について分析した。また、各技術の今後の成長可能性を判定するため、俯瞰マップおよびキーフレーズに関し時間軸に対する文献数の推移を基に成長曲線（ロジスティック関数）を用いた回帰分析を行い、成長可能性判定を行った。

論文と特許を統合した俯瞰マップでは、エネルギーに関連するものとして「太陽光発電」「薄膜・高効率PV」「燃料電池」「熱・流体」「内燃機関」「バイオ燃料」「水素生成・貯蔵」「風力発電」などのエネルギー供給に関する技術領域、「電池・電極」「蓄電デバイス」「電気自動車」など蓄エネルギーやその利用に関する技術領域、「エネルギーマネジメント」など需給調整に関する技術領域などがみられた。環境に関するものとしては「化学物質リスク」「大気汚染」などの環境汚染・健康に関する技術領域、「土壌・水域環境」「気候・地球環境」「海洋・湖沼環境」など地球システム観測・予測に関する技術領域、「持続可能な都市システム」「廃棄物・水処理」など循環型社会に関する技術領域がみられた。

得られた俯瞰マップ上の技術領域ごとに、論文と特許の構成比率の違いを分析した。特許比率が高い領域は主にエネルギー供給・蓄エネルギー・需給調整に関連する技術領域であり、「電気自動車」、「蓄電デバイス」、「内燃機関」、「風力発電」、「太陽光発電」、「分離技術」、「熱・流体」などが該当する。これらの技術領域では、企業等による積極的な特許出願取得が行われており、産業化が進んでいると推察される。ただし、「蓄電デバイス」「熱・流体」「太陽光発電」などの技術領域では総文献数が多いことから、論文比率が低くとも論文の総数は多く、研究開発機関や大学などによる研究活動も活発に進められていると考えられる。

一方、論文比率が高い領域は「大気汚染」、「大気測定」、「気候・地球環境」、「土壌・水域環境」といった環境関連分野の技術領域であった。また、「キャパシタ」「PV材料（その他）」「光触媒」「CO₂回収・除去」「触媒・電極触媒」などマテリアルと関連の深い技術領域も論文比率が高い傾向にあった。これらの技術領域は、気候変動や環境汚染といった社会問題の解決や、学術的な知見の深化のために論文発表が重視され、研究開発機関や大学などによる研究活動が活発であると考えられる。

経年変化分析では、論文数に関しては、2001年以降増加傾向が続き、特に2013年以降顕著な増加が見られた。また、俯瞰マップの経年変化を見ることで、技術群の時間的な変化を捉えることができた。2012年～2015年には、色素増感太陽電池・材料の顕著な増加とともに、電力変換効率向上、薄膜太陽電池技術、ペロブスカイト太陽電池、量子ドットPVのほか、リチウムイオン電池、高性能キャパシタ、光触媒、内燃機関、バイオ材料ガス化、微細藻類由来バイオ燃料、LCAなどの技術群が出現した。2016年～2019年には、ペロブスカイト太陽電池、電力変換効率向上、リチウムイオン電池、高性能キャパシタへ集中しているとともに、酸素発生触媒、土壌分析、エネルギーシステム、まちづくりが出現した。直近の2020年～2023年では、リチウムイオン電池、ペロブスカイト太陽電池、光触媒、酸素発生触媒への集中が継続しており、熱エネルギー貯蔵、発電市場/取引、気候変動影響、プラスチック汚染が出現していた。

特許件数に関しては、2000年代において増加し、2013年頃をピークに減少に転じ、その後2017年頃から再び上昇傾向にあることが明らかになった。各国の再生可能エネルギー政策やLNG・石油価格が特許件数に影響を与えていると推察される。技術領域毎に特許数推移や俯瞰マップの経年変化を見ると、2017年以降「太陽光発電」領域では顕著な特許件数の増加は見られないが、一方で「蓄電デバイス」「電池・電極」「電気自動車」など蓄エネルギー技術とその利用に関連する領域を中心に特許件数が再び上昇に転じていることが確認された。すなわち、特許件数の多い領域が太陽光発電に関するものから、蓄エネルギーに関するもの

へと推移している傾向が示された。ここから、太陽光発電に関する技術が新規技術の開発から市場導入のフェーズへと移り、それに伴い再生可能エネルギーの導入を進めていくために電力の貯蔵や輸送を実現するための技術開発が求められ、精力的な研究開発が続けられていることが推察される。このような再生可能エネルギーの普及に伴い生じる構造変化を見通し、エネルギー生産から利用側のデバイス・システムまでの道筋をつけた研究開発を行うことが重要であると考えられる。

国別の分析では、論文数の上位5カ国は中国、米国、英国、ドイツ、韓国であり、日本は11位であった。米国、英国、日本では2000年代から2010年代にかけ論文件数が増加していたが、2020年以降は頭打ちの状況であった。一方、中国では2012年以降急速に論文件数が増加し、他国を圧倒していた。特許件数は日本、米国、中国、ドイツ、韓国の順であった。日本、米国、ドイツでは2000年代に特許件数が増加していたが、2013年頃をピークに件数が下がり、2016年以降は横ばい傾向である。一方、中国、韓国では2013年以降も顕著に特許件数が増加していた。特に中国は近年、米国、日本を抜き世界首位となった。俯瞰マップから各国の注力分野の分析も行った結果、中国では広範な技術領域に分布がみられ、特にリチウムイオン電池や触媒、環境に関する幅広い技術への注力がみられた。米国においても広範な技術領域への分布がみられ、気候変動分析への注力も顕著である。日本ではペロブスカイトPVやリチウムイオン電池関連技術への注力が相対的に顕著であった。ドイツでは風力発電や環境関連技術への集積が、韓国ではバッテリー技術、英国は環境関連技術への集積が顕著であった。

環境・エネルギー分野におけるマテリアル関連研究の波及、進展、展開の動向を把握するため、トピックモデルで生成されたトピックの中からマテリアル研究に関連するトピックを機械的に判定し、これらのトピックを含むマテリアル関連プライマリ文献（107,763件）およびマテリアル関連セカンダリ文献（372,401件）を定義し、俯瞰マップ上での分布を分析した。比率の大小はあるものの、全28技術領域においてマテリアル関連プライマリ/セカンダリ文献の分布が見られた。このことから、マテリアル関連研究が環境・エネルギー分野の研究開発に幅広く浸透し、基盤技術として支えている構造にあることが示唆された。その中でもマテリアル関連文献比率が高い技術領域は「CO₂回収・除去」「キャパシタ」「光触媒」「バイオ燃料」「電極・電池」などで、これらの技術領域では、マテリアルに関する研究の寄与が大きいと推察できる。また、マテリアル関連プライマリ研究は論文を中心に、マテリアル関連セカンダリ文献は論文・特許の両方で構成されていることも示された。

このように本調査では、マテリアル関連研究が環境・エネルギー分野の様々な領域に展開していることが定量的な情報に基づき示された。蓄電池に関連する領域では、実用化と急速な普及の拡大を背景に、「蓄電デバイス」領域におけるデバイス研究と「電池・電極」領域におけるマテリアルに関する研究とが互いの必要性を喚起し、両者の文献数が共に増えていく構造にあると推察される。さらに、エネルギーだけでなく環境分野にもマテリアル関連技術の広がりが見られ、循環型社会や環境汚染の改善・防止にむけた技術開発にもマテリアル関連分野が貢献している構造が示された。マテリアル関連研究は環境・エネルギー分野を広く支える基盤技術であることを改めて認識し、カーボンニュートラルの実現に向け量的貢献の可能な技術の普及と導入を視野に入れ、連携を強化することが重要であるといえる。

今後成長する可能性のある技術領域を推定したところ、論文では電極材料、金属イオン材料、電解質材料、残量推定などの蓄エネルギーに関する技術群や、難分解性有機フッ素化合物（PFAS）、都市環境評価、環境分析・運用（森林、地下水、堆積物、湖沼）などの環境関連の技術群が抽出された。特許に関してはナトリウムイオン電池、電極材料、空気エネルギー循環・空調、ペロブスカイト太陽電池などの技術群が成長可能性の高い判定となった。より文献件数の少ないエマージング技術の探索のため、キーフレーズ抽出による成長可能性の判定を行ったところ、CO₂の回収・貯留・利用や、水素生成に関連する複数のキーフレーズが抽出された。カーボンニュートラルの実現に向け、持続可能なエネルギー源の開発やネガティブエミッションに関する研究の成長が見込まれると推察できる。蓄電池に関するキーフレーズも複数出現し、次世代の蓄電池技術開発が活発となることが示唆される。新しい触媒の開発に関するキーフレーズも抽出された。環境分野

ではマイクロプラスチックに関するキーフレーズが複数みられた。また、機械学習を活用した解析手法に関するキーフレーズも出現した。環境・エネルギー分野においても、AIやビッグデータの活用が進んでいくことが予想され、データ駆動型の研究開発の重要性が一層高まっているといえる。

付録

付録1 論文収集対象ジャーナル

本調査で論文の収集対象としたジャーナルを表 A-1 に示す。

表 A-1 本調査における論文収集対象ジャーナル

分野	ジャーナル名	収集条件	対象論文数
Environmental Science	Bulletin of the American Meteorological Society	全件収集	2,620
Environmental Science	Atmospheric Chemistry and Physics	全件収集	13,030
Environmental Science	Nature Climate Change	全件収集	1,530
Environmental Science、Chemistry	Science of the Total Environment	全件収集	52,336
Environmental Science	Journal of Geophysical Research: Atmospheres	全件収集	4,839
Environmental Science	Geoscientific Model Development	キーワードによる収集	939
Environmental Science	Remote Sensing of Environment	キーワードによる収集	2,093
Environmental Science、Earth Science	Nature Geoscience	キーワードによる収集	449
Environmental Science、Earth Science	Geophysical Research Letters	キーワードによる収集	3,272
Environmental Science	Global Change Biology	キーワードによる収集	2,447
Environmental Science、Earth Science	Earth System Science Data	キーワードによる収集	232
Environmental Science	Environmental Research Letters	キーワードによる収集	2,508
Environmental Science	Journal of Advances in Modeling Earth Systems	キーワードによる収集	328
Environmental Science、Chemistry	Environmental Science & Technology	キーワードによる収集	5,076
Environmental Science、Earth Science	Frontiers in Marine Science	キーワードによる収集	1,708
Environmental Science	Environmental Pollution	キーワードによる収集	3,344
Environmental Science	Journal of Climate	キーワードによる収集	1,862
Environmental Science	Environment International	キーワードによる収集	1,306
Environmental Science	Remote Sensing	キーワードによる収集	5,337
Environmental Science	Atmospheric Environment	キーワードによる収集	5,309

付録

Environmental Science	Water Research	キーワードによる収集	2,235
Environmental Science	Climate Dynamics	キーワードによる収集	1,429
Environmental Science、Earth Science	Water Resources Research	キーワードによる収集	1,609
Environmental Science	Nature Ecology and Evolution	キーワードによる収集	150
Environmental Science	Atmospheric Measurement Techniques	キーワードによる収集	1,219
Environmental Science	Nature Sustainability	キーワードによる収集	233
Environmental Science	Biogeosciences	キーワードによる収集	1,351
Environmental Science	Chemosphere	キーワードによる収集	3,742
Environmental Science、Engineering and Technology (Energy Engineering and Technology)、Engineering and Technology (Environmental Engineering)	Journal of Cleaner Production	全件収集	31,849
Environmental Science	Earth's Future	キーワードによる収集	413
Engineering and Technology (Energy Engineering and Technology)	Applied Energy	全件収集	18,507
Engineering and Technology (Energy Engineering and Technology)	Energy Conversion and Management	全件収集	14,411
Engineering and Technology (Energy Engineering and Technology)、Materials Science、Chemistry	Advanced Energy Materials	全件収集	5,676
Engineering and Technology (Energy Engineering and Technology)	Energy	全件収集	26,018
Engineering and Technology (Energy Engineering and Technology)	Renewable Energy	キーワードによる収集	9,900
Engineering and Technology (Energy Engineering and Technology)、Materials Science	Nano Energy	全件収集	7,629
Engineering and Technology (Energy Engineering and Technology)、Engineering and Technology (Environmental Engineering)、Chemistry	Energy and Environmental Sciences	全件収集	4,042
Engineering and Technology (Energy Engineering and Technology)、Materials Science	Journal of Power Sources	全件収集	26,163
Engineering and Technology (Energy Engineering and Technology)	Fuel	キーワードによる収集	6,125
Engineering and Technology (Energy Engineering and Technology)	Applied Thermal Engineering	キーワードによる収集	4,826
Engineering and Technology (Energy Engineering and Technology)、Engineering and Technology (Environmental Engineering)	Bioresource Technology	キーワードによる収集	4,334

Engineering and Technology (Energy Engineering and Technology)	Solar Energy	キーワードによる収集	6,792
Engineering and Technology (Energy Engineering and Technology)	Energy and Buildings	キーワードによる収集	5,397
Engineering and Technology (Energy Engineering and Technology)	IEEE Transactions on Power Systems	キーワードによる収集	2,131
Engineering and Technology (Energy Engineering and Technology)	Energies	キーワードによる収集	15,540
Engineering and Technology (Energy Engineering and Technology)、 Engineering and Technology (Environmental Engineering)	International Journal of Hydrogen Energy	キーワードによる収集	20,906
Engineering and Technology (Energy Engineering and Technology)、 Materials Science	Energy Storage Materials	全件収集	2,423
Engineering and Technology (Environmental Engineering)	Desalination	キーワードによる収集	4,966
Engineering and Technology (Environmental Engineering)	Resources, Conservation and Recycling	キーワードによる収集	2,260
Earth Science	Earth-Science Reviews	キーワードによる収集	15
Earth Science	Journal of Geophysical Research: Solid Earth	キーワードによる収集	412
Earth Science	Reviews of Geophysics	キーワードによる収集	25
Earth Science	Journal of Geophysical Research: Oceans	キーワードによる収集	482
Earth Science	Journal of Hydrology	キーワードによる収集	3,477
Earth Science	Cryosphere	キーワードによる収集	338
Earth Science	Earth Surface Processes and Landforms	キーワードによる収集	172
Materials Science	Advanced Materials	キーワードによる収集	3,099
Materials Science	ACS Nano	キーワードによる収集	2,027
Materials Science	Advanced Functional Materials	キーワードによる収集	3,813
Materials Science、Chemistry	Journal of Materials Chemistry A	キーワードによる収集	9,634
Materials Science、Physics	Nature Materials	キーワードによる収集	361
Materials Science	ACS Applied Materials & Interfaces	キーワードによる収集	10,234
Materials Science	Nature Energy	全件収集	831
Materials Science	Nano Letters	キーワードによる収集	1,671
Materials Science	Joule	全件収集	771
Materials Science、Chemistry	ACS Energy Letters	全件収集	2,691

Materials Science	Small	キーワードによる収集	2,309
Materials Science、Physics	Nature Nanotechnology	キーワードによる収集	180
Materials Science、Chemistry	Chemistry of Materials	キーワードによる収集	2,345
Materials Science	Advanced Science	キーワードによる収集	811
Materials Science	Nanoscale	キーワードによる収集	2,856
Materials Science	Carbon	キーワードによる収集	1,628
Materials Science	Journal of Materials Chemistry C	キーワードによる収集	1,893
Materials Science	Acta Materialia	キーワードによる収集	455
Materials Science	Materials Today	キーワードによる収集	79
Materials Science	Journal of Physical Chemistry Letters	キーワードによる収集	1,745
Materials Science	Nano Research	キーワードによる収集	1,102
Materials Science、Physics	Nature Photonics	キーワードによる収集	108
Materials Science	Nature Reviews Materials	キーワードによる収集	4
Materials Science	Materials Horizons	キーワードによる収集	168
Materials Science	Small Methods	キーワードによる収集	339
Materials Science、Chemistry	Journal of Physical Chemistry C	キーワードによる収集	7,101
Chemistry	Journal of the American Chemical Society	キーワードによる収集	3,607
Chemistry	Chemical Reviews	キーワードによる収集	700
Chemistry	Angewandte Chemie - International Edition	キーワードによる収集	3,144
Chemistry	Chemical Society Reviews	キーワードによる収集	251
Chemistry	Applied Catalysis B: Environmental	キーワードによる収集	3,513
Chemistry	ACS Catalysis	キーワードによる収集	1,750
Chemistry	Nature Chemistry	キーワードによる収集	174
Chemistry	Accounts of Chemical Research	キーワードによる収集	661
Chemistry	Chemical Engineering Journal	キーワードによる収集	8,556
Chemistry	Chemical Science	キーワードによる収集	815

Chemistry	Coordination Chemistry Reviews	キーワードによる収集	23
Chemistry	Nature Catalysis	キーワードによる収集	129
Chemistry	Chemical Communications	キーワードによる収集	2,767
Chemistry	ACS Sustainable Chemistry & Engineering	キーワードによる収集	4,400
Chemistry	Chem	キーワードによる収集	202
Chemistry	Journal of Hazardous Materials	キーワードによる収集	3,000
Chemistry	Chemistry - A European Journal	キーワードによる収集	1,631
Chemistry	Analytical Chemistry	キーワードによる収集	1,561
Chemistry	Biosensors and Bioelectronics	キーワードによる収集	356
Chemistry	Green Chemistry	キーワードによる収集	1,729
Chemistry	Journal of Catalysis	キーワードによる収集	810
Chemistry	Journal of Colloid and Interface Science	キーワードによる収集	3,272
Physics	Physical Review Letters	キーワードによる収集	1,083
Physics	Physical Review D	キーワードによる収集	549
Physics	Nature Physics	キーワードによる収集	81
Physics	Journal of High Energy Physics	キーワードによる収集	37
Physics	Physical Review B	キーワードによる収集	2,327
Physics	Physical Review X	キーワードによる収集	57
Physics	Physics Letters B	キーワードによる収集	92
Physics	Physical Review A - Atomic, Molecular, and Optical Physics	キーワードによる収集	380
Physics	Optica	キーワードによる収集	36
Physics	Optics Express	キーワードによる収集	1,288
Physics	Reviews of Modern Physics	キーワードによる収集	16
Physics	ACS Photonics	キーワードによる収集	237
Physics	European Physical Journal C	キーワードによる収集	59
Physics	Applied Physics Letters	キーワードによる収集	4,265

Physics	Physical Review Applied	キーワードによる収集	289
Physics	Physical Review C	キーワードによる収集	350
Physics	New Journal of Physics	キーワードによる収集	210
Physics	Optics Letters	キーワードによる収集	257

付録2 収集対象としたCPC Y02分類

本調査では共同特許分類（CPC：Cooperative Patent Classification）Y02分類を参照し、環境・エネルギー分野にかかわる特許技術を収集した。Y02分類は気候変動の緩和や適応に関する技術に付与される分類であり、表A-2に示す8のサブクラスに分類される。さらに、各サブクラスの下にサブグループとして具体的な技術が分類されている。本調査で収集対象としたサブグループは表A-3（a）-（g）である。なお、サブグループは階層構造となっており、表中の「・」は下位の階層であることを示す。下位階層のみ収集対象としたサブグループに関しては、その上位階層を括弧付きで示している。

表A-2 Y02に含まれるサブクラス

サブクラス	概要
Y02A	TECHNOLOGIES FOR ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE
Y02B	CLIMATE CHANGE MITIGATION TECHNOLOGIES RELATED TO BUILDINGS, e.g. HOUSING, HOUSE APPLIANCES OR RELATED END-USER APPLICATIONS
Y02C	CAPTURE, STORAGE, SEQUESTRATION OR DISPOSAL OF GREENHOUSE GASES [GHG]
Y02D	CLIMATE CHANGE MITIGATION TECHNOLOGIES IN INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES [ICT], I.E. INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES AIMING AT THE REDUCTION OF THEIR OWN ENERGY USE
Y02E	REDUCTION OF GREENHOUSE GAS [GHG] EMISSIONS, RELATED TO ENERGY GENERATION, TRANSMISSION OR DISTRIBUTION
Y02P	CLIMATE CHANGE MITIGATION TECHNOLOGIES IN THE PRODUCTION OR PROCESSING OF GOODS
Y02T	CLIMATE CHANGE MITIGATION TECHNOLOGIES RELATED TO TRANSPORTATION
Y02W	CLIMATE CHANGE MITIGATION TECHNOLOGIES RELATED TO WASTEWATER TREATMENT OR WASTE MANAGEMENT

表A-3 (a) Y02A中、収集対象とするサブグループ

サブグループ	概要
	(at coastal zones; at river basins)
Y02A10/26	・ Artificial reefs or seaweed; Restoration or protection of coral reefs
Y02A10/30	・ Flood prevention; Flood or storm water management, e.g. using flood barriers
Y02A10/40	・ Controlling or monitoring, e.g. of flood or hurricane; Forecasting, e.g. risk assessment or mapping

Y02A20/00	Water conservation; Efficient water supply; Efficient water use
Y02A20/124	• Water desalination
Y02A20/131	• • Reverse-osmosis
Y02A20/138	• • using renewable energy
Y02A20/141	• • • Wind power
Y02A20/142	• • • Solar thermal; Photovoltaics
Y02A20/144	• • • Wave energy
Y02A20/146	• using grey water
Y02A20/148	• • using household water from wash basins or showers
Y02A20/152	• Water filtration
Y02A20/20	• Controlling water pollution; Waste water treatment
Y02A20/208	• • Off-grid powered water treatment
Y02A20/211	• • • Solar-powered water purification
Y02A20/212	• • • Solar-powered wastewater sewage treatment, e.g. spray evaporation
Y02A20/30	• Relating to industrial water supply, e.g. used for cooling
Y02A20/40	• Protecting water resources
Y02A20/402	• • River restoration
Y02A20/404	• • Saltwater intrusion barriers
Y02A20/406	• • Aquifer recharge
Y02A20/411	• • Water saving techniques at user level
Y02A30/00	Adapting or protecting infrastructure or their operation
Y02A30/14	• Extreme weather resilient electric power supply systems, e.g. strengthening power lines or underground power cables
Y02A30/24	• Structural elements or technologies for improving thermal insulation
Y02A30/242	• • Slab shaped vacuum insulation
Y02A30/244	• • using natural or recycled building materials, e.g. straw, wool, clay or used tires
Y02A30/249	• • Glazing, e.g. vacuum glazing
Y02A30/254	• • Roof garden systems; Roof coverings with high solar reflectance
Y02A30/27	• Relating to heating, ventilation or air conditioning [HVAC] technologies
Y02A30/272	• • Solar heating or cooling
Y02A30/274	• • using waste energy, e.g. from internal combustion engine
Y02A30/30	• in transportation, e.g. on roads, waterways or railways
Y02A30/60	• Planning or developing urban green infrastructure
	(Adaptation technologies in agriculture, forestry, livestock or agroalimentary production)
	(• in agriculture)
Y02A40/13	• • Abiotic stress
Y02A40/132	• • • Plants tolerant to drought
Y02A40/135	• • • Plants tolerant to salinity
Y02A40/138	• • • Plants tolerant to heat
Y02A40/146	• • Genetically Modified [GMO] plants, e.g. transgenic plants
Y02A40/22	• • Improving land use; Improving water use or availability; Controlling erosion
Y02A40/25	• • Greenhouse technology, e.g. cooling systems therefor
Y02A40/80	• in fisheries management
Y02A40/81	• • Aquaculture, e.g. of fish
Y02A40/818	• • • Alternative feeds for fish, e.g. in aquacultures
Y02A50/00	in human health protection, e.g. against extreme weather

Y02A50/20	・ Air quality improvement or preservation, e.g. vehicle emission control or emission reduction by using catalytic converters
Y02A50/2351	・ ・ Atmospheric particulate matter [PM], e.g. carbon smoke microparticles, smog, aerosol particles, dust
Y02A50/30	・ Against vector-borne diseases, e.g. mosquito-borne, fly-borne, tick-borne or waterborne diseases whose impact is exacerbated by climate change
	(Technologies having an indirect contribution to adaptation to climate change)
Y02A90/10	・ Information and communication technologies [ICT] supporting adaptation to climate change, e.g. for weather forecasting or climate simulation
Y02A90/30	・ Assessment of water resources
Y02A90/40	・ Monitoring or fighting invasive species

表 A-3 (b) Y02B 中、収集対象とするサブグループ

サブグループ	概要
Y02B	CLIMATE CHANGE MITIGATION TECHNOLOGIES RELATED TO BUILDINGS, e.g. HOUSING, HOUSE APPLIANCES OR RELATED END-USER APPLICATIONS
Y02B10/00	Integration of renewable energy sources in buildings
Y02B10/10	・ Photovoltaic [PV]
Y02B10/20	・ Solar thermal
Y02B10/30	・ Wind power
Y02B10/40	・ Geothermal heat-pumps
Y02B10/50	・ Hydropower in dwellings
Y02B10/70	・ Hybrid systems, e.g. uninterruptible or back-up power supplies integrating renewable energies
Y02B30/00	Energy efficient heating, ventilation or air conditioning [HVAC]
Y02B30/12	・ Hot water central heating systems using heat pumps
Y02B30/13	・ Hot air central heating systems using heat pumps
Y02B30/17	・ District heating
Y02B30/18	・ Domestic hot-water supply systems using recuperated or waste heat
Y02B30/52	・ Heat recovery pumps, i.e. heat pump based systems or units able to transfer the thermal energy from one area of the premises or part of the facilities to a different one, improving the overall efficiency
Y02B30/54	・ Free-cooling systems
Y02B30/56	・ Heat recovery units
Y02B30/62	・ Absorption based systems
Y02B30/625	・ ・ combined with heat or power generation [CHP], e.g. trigeneration
Y02B30/70	・ Efficient control or regulation technologies, e.g. for control of refrigerant flow, motor or heating
Y02B30/90	・ Passive houses; Double facade technology
Y02B80/00	Architectural or constructional elements improving the thermal performance of buildings
Y02B80/10	・ Insulation, e.g. vacuum or aerogel insulation
Y02B80/22	・ Glazing, e.g. vacuum glazing
	(Enabling technologies or technologies with a potential or indirect contribution to GHG emissions mitigation)
Y02B90/10	・ Applications of fuel cells in buildings

Y02B90/20	・ Smart grids as enabling technology in buildings sector (smart grids supporting the management or operation of end-user stationary applications in general, or like technologies with no associated climate change mitigation effect Y04S20/00)
-----------	--

表 A-3 (c) Y02C、Y02D 中、収集対象とするサブグループ

サブグループ	概要
Y02C20/00	Capture or disposal of greenhouse gases
Y02C20/10	・ of nitrous oxide (N ₂ O)
Y02C20/20	・ of methane
Y02C20/40	・ of CO ₂
Y02D10/00	Energy efficient computing, e.g. low power processors, power management or thermal management
Y02D30/00	Reducing energy consumption in communication networks

表 A-3 (d) Y02E 中、収集対象とするサブグループ

サブグループ	概要
Y02E10/00	Energy generation through renewable energy sources
Y02E10/10	・ Geothermal energy
Y02E10/20	・ Hydro energy
Y02E10/30	・ Energy from the sea, e.g. using wave energy or salinity gradient
Y02E10/40	・ Solar thermal energy, e.g. solar towers
Y02E10/44	・ ・ Heat exchange systems
Y02E10/46	・ ・ Conversion of thermal power into mechanical power, e.g. Rankine, Stirling or solar thermal engines
Y02E10/47	・ ・ Mountings or tracking
Y02E10/50	・ Photovoltaic [PV] energy
Y02E10/52	・ ・ PV systems with concentrators
Y02E10/541	・ ・ CuInSe ₂ material PV cells
Y02E10/542	・ ・ Dye sensitized solar cells
Y02E10/543	・ ・ Solar cells from Group II-VI materials
Y02E10/544	・ ・ Solar cells from Group III-V materials
Y02E10/545	・ ・ Microcrystalline silicon PV cells
Y02E10/546	・ ・ Polycrystalline silicon PV cells
Y02E10/547	・ ・ Monocrystalline silicon PV cells
Y02E10/548	・ ・ Amorphous silicon PV cells
Y02E10/549	・ ・ Organic PV cells
Y02E10/56	・ ・ Power conversion systems, e.g. maximum power point trackers
Y02E10/60	・ Thermal-PV hybrids
Y02E10/70	・ Wind energy
Y02E10/72	・ ・ Wind turbines with rotation axis in wind direction
Y02E10/727	・ ・ Offshore wind turbines

Y02E10/728	・ Onshore wind turbines
Y02E10/74	・ Wind turbines with rotation axis perpendicular to the wind direction
Y02E10/76	・ Power conversion electric or electronic aspects
Y02E20/00	Combustion technologies with mitigation potential
Y02E20/12	・ Heat utilisation in combustion or incineration of waste
Y02E20/14	・ Combined heat and power generation [CHP]
Y02E20/16	・ Combined cycle power plant [CCPP], or combined cycle gas turbine [CCGT]
Y02E20/18	・ Integrated gasification combined cycle [IGCC], e.g. combined with carbon capture and storage [CCS]
Y02E20/30	・ Technologies for a more efficient combustion or heat usage
Y02E20/32	・ Direct CO ₂ mitigation
Y02E20/34	・ Indirect CO ₂ mitigation, i.e. by acting on non CO ₂ directly related matters of the process, e.g. pre-heating or heat recovery
Y02E30/00	Energy generation of nuclear origin
Y02E30/10	・ Nuclear fusion reactors
Y02E30/30	・ Nuclear fission reactors
Y02E40/00	Technologies for an efficient electrical power generation, transmission or distribution
Y02E40/10	・ Flexible AC transmission systems [FACTS]
Y02E40/20	・ Active power filtering [APF]
Y02E40/30	・ Reactive power compensation
Y02E40/40	・ Arrangements for reducing harmonics
Y02E40/50	・ Arrangements for eliminating or reducing asymmetry in polyphase networks
Y02E40/60	・ Superconducting electric elements or equipment; Power systems integrating superconducting elements or equipment
Y02E40/70	・ Smart grids as climate change mitigation technology in the energy generation sector
Y02E50/00	Technologies for the production of fuel of non-fossil origin
Y02E50/10	・ Biofuels, e.g. bio-diesel
Y02E50/30	・ Fuel from waste, e.g. synthetic alcohol or diesel
Y02E60/00	Enabling technologies; Technologies with a potential or indirect contribution to GHG emissions mitigation
Y02E60/10	・ Energy storage using batteries
Y02E60/13	・ Energy storage using capacitors
Y02E60/14	・ Thermal energy storage
Y02E60/16	・ Mechanical energy storage, e.g. flywheels or pressurised fluids
Y02E60/30	・ Hydrogen technology
Y02E60/32	・ Hydrogen storage
Y02E60/34	・ Hydrogen distribution
Y02E60/36	・ Hydrogen production from non-carbon containing sources, e.g. by water electrolysis
Y02E60/50	・ Fuel cells
Y02E60/60	・ Arrangements for transfer of electric power between AC networks or generators via a high voltage DC link [HVCD]
Y02E70/00	Other energy conversion or management systems reducing GHG emissions
Y02E70/30	・ Systems combining energy storage with energy generation of non-fossil origin

表A-3 (e) Y02P中、収集対象とするサブグループ

サブグループ	概要
	(Technologies related to metal processing)
Y02P10/10	・ Reduction of greenhouse gas [GHG] emissions
Y02P10/122	・ ・ by capturing or storing CO ₂
Y02P10/134	・ ・ by avoiding CO ₂ , e.g. using hydrogen
Y02P10/143	・ ・ of methane [CH ₄]
Y02P10/20	・ Recycling
Y02P10/25	・ Process efficiency
Y02P10/32	・ using renewable energy sources
	(Technologies relating to chemical industry)
	(・ Process efficiency)
Y02P20/129	・ ・ Energy recovery, e.g. by cogeneration, H ₂ recovery or pressure recovery turbines
Y02P20/133	・ ・ Renewable energy sources, e.g. sunlight
	(・ Feedstock)
Y02P20/143	・ ・ the feedstock being recycled material, e.g. plastics
Y02P20/145	・ ・ the feedstock being materials of biological origin
Y02P20/151	・ Reduction of greenhouse gas [GHG] emissions, e.g. CO ₂
Y02P20/156	・ ・ Methane [CH ₄]
Y02P20/52	・ ・ using catalysts, e.g. selective catalysts
Y02P20/54	・ ・ using solvents, e.g. supercritical solvents or ionic liquids
Y02P20/55	・ ・ Design of synthesis routes, e.g. reducing the use of auxiliary or protecting groups
Y02P20/582	・ ・ Recycling of unreacted starting or intermediate materials
Y02P20/584	・ ・ Recycling of catalysts
Y02P20/59	・ ・ Biological synthesis; Biological purification
	(Technologies relating to oil refining and petrochemical industry)
Y02P30/20	・ using bio-feedstock
Y02P30/40	・ Ethylene production
	(Technologies relating to the processing of minerals)
	(・ Production of cement, e.g. improving or optimising the production methods; Cement grinding)
Y02P40/125	・ ・ Fuels from renewable energy sources, e.g. waste or biomass
Y02P40/18	・ ・ Carbon capture and storage [CCS]
	(Technologies relating to agriculture, livestock or agroalimentary industries)
Y02P60/12	・ using renewable energies, e.g. solar water pumping
Y02P60/14	・ Measures for saving energy, e.g. in green houses

Y02P60/20	・ Reduction of greenhouse gas [GHG] emissions in agriculture, e.g. CO ₂
Y02P60/21	・ ・ Dinitrogen oxide [N ₂ O], e.g. using aquaponics, hydroponics or efficiency measures
Y02P60/22	・ ・ Methane [CH ₄], e.g. from rice paddies
Y02P60/30	・ Land use policy measures
Y02P60/40	・ Afforestation or reforestation
Y02P60/52	・ ・ use of renewable energies
Y02P60/60	・ Fishing; Aquaculture; Aquafarming
Y02P80/00	Climate change mitigation technologies for sector-wide applications
Y02P80/10	・ Efficient use of energy, e.g. using compressed air or pressurized fluid as energy carrier
Y02P80/14	・ ・ District level solutions, i.e. local energy networks
Y02P80/15	・ ・ On-site combined power, heat or cool generation or distribution, e.g. combined heat and power [CHP] supply
Y02P80/20	・ using renewable energy
Y02P80/30	・ Reducing waste in manufacturing processes; Calculations of released waste quantities
Y02P80/40	・ Minimising material used in manufacturing processes
	(Enabling technologies with a potential contribution to greenhouse gas [GHG] emissions mitigation)
Y02P90/02	・ Total factory control, e.g. smart factories, flexible manufacturing systems [FMS] or integrated manufacturing systems [IMS]
Y02P90/30	・ Computing systems specially adapted for manufacturing
Y02P90/40	・ Fuel cell technologies in production processes
Y02P90/45	・ Hydrogen technologies in production processes
Y02P90/50	・ Energy storage in industry with an added climate change mitigation effect
Y02P90/60	・ Electric or hybrid propulsion means for production processes
Y02P90/70	・ Combining sequestration of CO ₂ and exploitation of hydrocarbons by injecting CO ₂ or carbonated water in oil wells
	(・ Management or planning)
Y02P90/82	・ ・ Energy audits or management systems therefor
Y02P90/84	・ ・ Greenhouse gas [GHG] management systems
Y02P90/845	・ ・ ・ Inventory and reporting systems for greenhouse gases [GHG]
Y02P90/90	・ Financial instruments for climate change mitigation, e.g. environmental taxes, subsidies or financing
Y02P90/95	・ ・ CO ₂ emission certificates or credits trading

表A-3 (f) Y02T 中、収集対象とするサブグループ

サブグループ	概要
	(Road transport of goods or passengers)
	(・ Internal combustion engine [ICE] based vehicles)

Y02T10/30	・ Use of alternative fuels, e.g. biofuels
	(・ Other road transportation technologies with climate change mitigation effect)
Y02T10/62	・ Hybrid vehicles
Y02T10/64	・ Electric machine technologies in electromobility
Y02T10/70	・ Energy storage systems for electromobility, e.g. batteries
Y02T10/7072	・ Electromobility specific charging systems or methods for batteries, ultracapacitors, supercapacitors or double-layer capacitors
Y02T10/72	・ Electric energy management in electromobility
	(・ Technologies aiming to reduce greenhouse gasses emissions common to all road transportation technologies)
Y02T10/90	・ Energy harvesting concepts as power supply for auxiliaries' energy consumption, e.g. photovoltaic sun-roof
Y02T10/92	・ Energy efficient charging or discharging systems for batteries, ultracapacitors, supercapacitors or double-layer capacitors specially adapted for vehicles
	(Aeronautics or air transport)
Y02T50/40	・ Weight reduction
	(・ Efficient propulsion technologies, e.g. for aircraft)
Y02T50/678	・ Aviation using fuels of non-fossil origin
	(Maritime or waterways transport)
Y02T70/50	・ Measures to reduce greenhouse gas emissions related to the propulsion system
Y02T70/5218	・ Less carbon-intensive fuels, e.g. natural gas, biofuels
Y02T70/5236	・ Renewable or hybrid-electric solutions
	(Enabling technologies or technologies with a potential or indirect contribution to GHG emissions mitigation)
Y02T90/10	・ Technologies relating to charging of electric vehicles
Y02T90/12	・ Electric charging stations
Y02T90/14	・ Plug-in electric vehicles
Y02T90/16	・ Information or communication technologies improving the operation of electric vehicles
Y02T90/167	・ Systems integrating technologies related to power network operation and communication or information technologies for supporting the interoperability of electric or hybrid vehicles, i.e. smartgrids as interface for battery charging of electric vehicles [EV] or hybrid vehicles [HEV]
Y02T90/40	・ Application of hydrogen technology to transportation, e.g. using fuel cells

表 A-3 (g) Y02W中、収集対象とするサブグループ

サブグループ	概要
	(Technologies for wastewater treatment)
Y02W10/10	・ Biological treatment of water, waste water, or sewage
Y02W10/20	・ Sludge processing
Y02W10/30	・ Wastewater or sewage treatment systems using renewable energies
Y02W10/33	・ using wind energy
Y02W10/37	・ using solar energy
Y02W10/40	・ Valorisation of by-products of wastewater, sewage or sludge processing
	(Technologies for solid waste management)
Y02W30/20	・ Waste processing or separation
Y02W30/50	・ Reuse, recycling or recovery technologies

Y02W30/52	・ ・ Mechanical processing of waste for the recovery of materials, e.g. crushing, shredding, separation or disassembly
Y02W30/56	・ ・ of vehicles
Y02W30/58	・ ・ Construction or demolition [C&D] waste
Y02W30/60	・ ・ Glass recycling
Y02W30/62	・ ・ Plastics recycling; Rubber recycling
Y02W30/64	・ ・ Paper recycling
Y02W30/66	・ ・ Disintegrating fibre-containing textile articles to obtain fibres for re-use
Y02W30/74	・ ・ Recovery of fats, fatty oils, fatty acids or other fatty substances, e.g. lanolin or waxes
Y02W30/78	・ ・ Recycling of wood or furniture waste
Y02W30/80	・ ・ Packaging reuse or recycling, e.g. of multilayer packaging (bio-packaging Y02W90/10)
Y02W30/82	・ ・ Recycling of waste of electrical or electronic equipment [WEEE]
Y02W30/84	・ ・ Recycling of batteries or fuel cells
	(Enabling technologies or technologies with a potential or indirect contribution to greenhouse gas [GHG] emissions mitigation)
Y02W90/10	・ Bio-packaging, e.g. packing containers made from renewable resources or bio-plastics

付録3 マテリアル関連トピック

4.1にて選定された329のマテリアル関連トピック について、上位10ワードを表A-4に示す。

表 A-4 マテリアル関連トピック

No.	マテリアル関連トピックの上位10ワード (上位10ワード内にウェイト2%以上でマテリアルに関連するワードを有する)
1	genetically ; larva ; silyl ; biosynthetic ; diphenyl ; soldier ; illucens ; hermetia ; euglena ; BDE
2	nitrogen ; reactant ; addition ; Bi2O3 ; strict ; paramagnetic ; additionally ; det ; CCFs ; microreactors
3	poor ; phosphite ; untimely ; Na2 ; PO3 ; MGC ; disproportionating ; permethylated ; controversial ; TMU
4	ruthenium ; pave ; ZIFs ; AE1 ; DB1 ; AE2 ; SMSI ; DB2 ; liquidity ; LaxCe1
5	iron ; induration ; fulvate ; ironwork ; pentacarbonyl ; ferritin ; metalorganic ; TMCP ; Ti3C2MXene ; premelt
6	alignment ; mark ; VOC ; bottleneck ; aerostat ; photolithographic ; aversive ; AWT ; CHY ; ZnMgO
7	coal ; hard ; seam ; polish ; unavoidable ; bituminous ; gangue ; cleat ; pulverise ; utilize
8	polyurethane ; hoist ; polyisocyanates ; whisker ; TPU ; advertisement ; BDO ; emotional ; pleasant ; prepregs
9	carboxyl ; fireproof ; leather ; pickle ; loosen ; tan ; collagen ; degrease ; chrome ; phosphonium
10	loss ; ozone ; due ; initialization ; brewer ; sunlit ; passaging ; ozonize ; OSP ; BMFs
11	halogen ; ethyl ; CR3R4 ; phosphonic ; methylpyrrolidone ; monolayers ; dibromo ; terpeneol ; pyrolyzes ; phosphino
12	glucose ; furfural ; hydroxymethylfurfural ; hydroxymethyl ; insulin ; galactose ; glucoamylase ; diabetic ; levulinic ; HMF
13	anneal ; formaldehyde ; sol ; anhydrous ; processable ; resorcinol ; NiSn ; mucous ; naphthalenesulfonic ; isotropy

14	liner ; slidable ; acryl ; therewithin ; energizer ; wad ; geomembrane ; repulpable ; geosynthetic ; overpack
15	cerium ; CeO2 ; SrO ; sulfamate ; defectiveness ; Gd2O3 ; xZr ; excursion ; Ce4 ; Au3
16	hydroxybutyrate ; suture ; xanthomonas ; hydroxyvalerate ; anonymous ; crotonic ; campestris ; peelability ; MIEC ; Ba1
17	polyacrylic ; importance ; energetics ; PBTC ; suboxides ; paramount ; nullify ; saffron ; perfluoropolymers ; hammerhead
18	nitride ; redistribution ; dicyandiamide ; difunctional ; nitridation ; peroxo ; BNH ; BNNSs ; nitridated ; HfN
19	resist ; PEO ; stearic ; isobutylene ; practicable ; illustratively ; CF3SO2 ; endotherm ; SEs ; LSE
20	polyethylene ; reuse ; bottle ; terephthalate ; PET ; planet ; desalinate ; BHET ; HDPE ; reproduction
21	silicon ; impurity ; upgrade ; gettering ; karl ; phosphorosilicate ; metallisation ; exhibit ; nanosilicon ; unrefined
22	depletion ; lactate ; taurine ; choline ; ATP ; attapulgit ; arylsulfonic ; triphosphate ; ADP ; adenosine
23	react ; reagent ; isocyanate ; chromatography ; airborne ; perfluorinated ; grignard ; oxazolidine ; UPLC ; chromatographically
24	niobium ; flocculation ; settable ; columbite ; diatomaceous ; Ti2Nb10O29 ; diallyl ; Ti4 ; Ti2 ; carousel
25	cation ; iodide ; supermolecular ; yM1 ; LEM ; imidazoliums ; ethyltrimethylammonium ; diiodide ; thiazolium ; PW9O34
26	magnesium ; viable ; acetonitrile ; quicklime ; interposition ; tetraethylammonium ; Al-SiC ; hint ; R3Si ; MgO
27	controllable ; syngas ; linker ; hafnium ; benzoic ; BSG ; tailgas ; unshifted ; SER ; CmHn
28	aliphatic ; semipermeable ; carbohydrate ; macromolecule ; humic ; tricot ; fulvic ; LME ; tropicalis ; electrophilic
29	oxygen ; vacancy ; hydrofluoric ; oxyhydroxides ; aerobe ; xFex ; excessed ; xGe ; CaX ; hausmannite
30	cuprous ; cherenkov ; noninvasive ; demist ; CuX ; CH3CN ; phototoxicity ; biphenol ; photodynamics ; diisopropylethylamine
31	cobalt ; sagger ; macrocyclic ; tricobalt ; macrocycles ; cobaltous ; gibbs ; LiFePO ; hydroformylating ; TiNb2O7
32	alloy ; hydride ; IACS ; exhibit ; PdCu ; lave ; AB2 ; sake ; L21 ; microalloying
33	optionally ; liquefaction ; hydrocarbyl ; BOG ; liquefier ; precooling ; reliquefaction ; VCS ; reliquefying ; japonica
34	recycle ; intermediate ; convenient ; polycarbonate ; diamine ; depolymerized ; carbonylation ; utilize ; LCD ; UZK
35	oxide ; weld ; nail ; exhibit ; homogenously ; AxByOz ; additionally ; LiaNibCocMndMeO2 ; trimethylaluminum ; utilize
36	fluoride ; ball ; mill ; cutter ; hydration ; undersize ; titanyl ; cryolite ; densimetric ; causticizing
37	diamond ; multilayered ; encase ; brew ; sp3 ; cycloalkanes ; DPDT ; nanowalls ; LUI ; resultingly
38	LiCl ; triazole ; ilmenite ; noncondensable ; aminoalkyl ; outmost ; microbatteries ; diamino ; HMP ; FeTiO3
39	pocket ; monoterpene ; biolubricant ; geostationary ; multifold ; col ; switzerland ; HYDRO ; undergrowth ; GAINS
40	herbicide ; arthropod ; glufosinate ; organophosphorus ; glyphosate ; TMA ; fipronil ; diethylzinc ; pollinate ; tetramethylammonium
41	fullerene ; repeatability ; OSC ; miscibility ; OSCs ; PPDT2FBT ; indane ; bimolecular ; conformationally ; ASM
42	nickel ; ferronickel ; laterite ; sulphuric ; ablate ; intertwine ; LiaNi1 ; NiMH ; NiSO4 ; incoherent
43	convenience ; sulfite ; waterfront ; motional ; virtuous ; SCFA ; albite ; W13 ; shareable ; systematize
44	zeolite ; pellet ; sorbent ; bead ; ZSM ; monolith ; contactors ; encounter ; aluminosilicate ; CHA

45	covalently ; symmetric ; aniline ; SO3 ; tetramer ; photoactivatable ; nanocavities ; perhalogenated ; alkanediyl ; emeraldine
46	pyrimidine ; PNA ; anammox ; CSTR ; PDA ; nitritation ; polydopamine ; cresol ; blackwater ; ROH
47	thallium ; aminophosphonic ; unassembled ; enone ; CPA ; KFe ; phytomining ; ySe ; drospirenone ; progestin
48	covalent ; alkynyl ; aldehyde ; constitutional ; hydrosilylation ; ingeniously ; dichloromethane ; DCM ; cinnamaldehyde ; dialkylamino
49	CoA ; fragrance ; shifter ; terpene ; dormant ; isobutene ; coenzyme ; limonene ; geraniol ; crotonyl
50	PVC ; flocculant ; enzymatically ; grippers ; suitcase ; whereon ; xO3 ; antitheft ; coprecipitating ; texturizing
51	scrub ; activator ; corrosive ; pyrrolidone ; NMP ; unblended ; monoethanolamine ; penalty ; regrind ; alkanol
52	potassium ; acesulfame ; tetraacetic ; EDTA ; cyclotriphosphazene ; tetrasodium ; carnallite ; tetraazacyclododecane ; EEs ; DOTA
53	carbonate ; imide ; ingres ; trifluoromethanesulfonyl ; MPP ; piperidinium ; trifluoromethylsulfonyl ; EMP ; cosolvents ; difluorophosphoric
54	rat ; formate ; succinate ; citrate ; endogenous ; glycine ; electrolysing ; threonine ; arginine ; fumarate
55	granulation ; polyalkylene ; flowability ; tumble ; pubescens ; elutriation ; fiat ; PAG ; recuperatively ; burdensome
56	primary ; amine ; regenerate ; desorption ; tertiary ; endothermic ; desorber ; alkanolamine ; carbamate ; unexpectedly
57	saturation ; comminution ; UO2 ; radionuclides ; radionuclide ; cardinal ; CWF ; U3Si2 ; technetium ; CF2CF2
58	hour ; REEs ; isomerise ; glutamic ; impairment ; rush ; MON ; amphotericin ; physiology ; trimethoxy
59	TiO2 ; O1s ; microcubes ; tetrabutyl ; Cu0 ; TTIP ; TiCl4 ; dewetting ; PDMC ; swift
60	monitor ; word ; silicone ; elastomeric ; aware ; anatomical ; additionally ; defense ; fractionally ; polydiorganosiloxane
61	calcium ; contaminate ; antioxidant ; transporter ; cadmium ; bacillus ; glutathione ; detoxification ; transferase ; remediate
62	oxalato ; Li2CO3 ; DC1 ; butyrolactone ; DC2 ; vinylethylene ; preemptive ; AC1 ; AC2 ; LiBOB
63	gasify ; H2S ; depressurization ; concentrators ; comparative ; hydrosulfide ; diketene ; IGCC ; sulphurized ; ancillaries
64	cyclone ; underflow ; top ; frontal ; colder ; R15 ; ARM ; naval ; projectingly ; deoiling
65	specific ; vinyl ; foldable ; decouple ; coprecipitation ; PVA ; exhibit ; addition ; blaine ; Nm1
66	permanent ; discriminate ; butylene ; multicomponent ; BTX ; glycolic ; magnetizer ; velvet ; mesoporosity ; VRE
67	fluorine ; substituent ; fluorinated ; fluoro ; ortho ; fluorosulfonate ; CH2OH ; R101 ; alkoxyl ; Rf1
68	luminescent ; race ; anthracene ; photoluminescence ; headlamp ; diaryloxybenzoheterodiazole ; emissive ; CCT ; gearshift ; LSCs
69	hardness ; clay ; acetic ; mediator ; bentonite ; entangle ; smectite ; illite ; softness ; NCMA
70	polyolefin ; functionality ; glycerol ; additively ; saponify ; glyceride ; reintroduce ; ammonolysis ; fluoropolymers ; nonsolvent
71	ionomer ; conjoint ; perfluorosulfonic ; voxels ; circulator ; bragg ; ionomers ; norbornene ; fluoroalkoxy ; pyrolysed
72	dissolution ; recrystallization ; LiCoO2 ; CO3 ; beaker ; carboxylation ; thermoelectrochemical ; favipiravir ; dehydroxylated ; TEAB
73	ethane ; mbar ; pyrazole ; flameless ; unblock ; C2H4 ; VCM ; ethanizer ; imidazol ; AEEA
74	crush ; concrete ; cement ; beverage ; dispersant ; cementitious ; fluidity ; formwork ; commission ; mortar

75	diol ; alcoholysis ; DMT ; cocktail ; hydroxyhexanoate ; defoamer ; decrement ; alkoxylated ; sebacate ; monophenol
76	ammonia ; axial ; operative ; facilitate ; C12A7 ; due ; dissociative ; ouput ; oxamide ; encumbrance
77	subsystem ; regard ; caprolactam ; nodal ; barley ; FLOW ; mudflat ; valerolactone ; FISH ; Tg2
78	alkenyl ; pound ; fluoroalkenyl ; hydrazone ; kiss ; CR1R2 ; bipyridine ; linen ; vacuo ; organohydrogenpolysiloxane
79	push ; pull ; NH2 ; interstitial ; microinverter ; fmoc ; electret ; microinverters ; microactuator ; tetrahydroisoquinoline
80	nozzle ; color ; crosslinking ; nitrile ; colorant ; rub ; aesthetically ; due ; polarizer ; colorants
81	submit ; melamine ; rearrange ; HSS ; player ; microreactor ; sock ; ATF ; enterobacter ; pyrrolic
82	dioxide ; compressor ; propylene ; round ; trip ; utilize ; hydroxyapatite ; R32 ; thermoelectrical ; transcritical
83	angular ; sulfonylimide ; angularly ; electromagnetically ; polyhedral ; turboexpander ; cutinase ; silanol ; hologram ; biosensors
84	tight ; carboxy ; PDC ; depolymerisation ; cleavable ; pyrone ; functionalisation ; GmbH ; refit ; DCD
85	polystyrene ; positively ; soap ; spontaneously ; alveolar ; persimmon ; syndiotactic ; insolubilizing ; clostridia ; ANL
86	polypeptide ; triplet ; ser ; glu ; ytterbium ; thr ; trp ; tyr ; presume ; endothelium
87	shock ; vinylene ; isolator ; feedstream ; microtube ; LiDFOB ; AED ; endothermically ; hazen ; exothermically
88	antimony ; electrorefining ; trisodium ; sodiation ; Sb2O3 ; pnictogen ; BAP ; SbF3 ; PbCO3 ; GaInNAsSb
89	titanium ; poly ; thinner ; homopolymer ; arylene ; vinylpyridine ; compatibilizers ; heteroarylene ; styrenesulfonate ; metatitanic
90	tungsten ; polysulfide ; kinetics ; tungstic ; agate ; mercaptobenzimidazole ; nanogold ; PrOx ; WCl6 ; PMPC
91	prolong ; sugar ; solidify ; stretchable ; crimp ; maltitol ; stretchability ; endure ; coldness ; bandage
92	boron ; moiety ; phenylene ; susceptor ; amphoteric ; B2O3 ; methionine ; boride ; hygienic ; decahydrate
93	defect ; passivation ; carbonyl ; passivating ; passivate ; addition ; Pb2 ; oleyl ; uncoordinated ; due
94	cyanide ; cryogen ; bioleaching ; TMCCC ; MDL ; divinyl ; sophorolipid ; parameterised ; waster ; NOS
95	oxidise ; biogenic ; NO3 ; acicular ; BEA ; GDR ; fertilise ; DMS ; interconverted ; interconverting
96	carbide ; nanostructured ; carburize ; decoration ; combat ; siloxene ; gist ; mayenite ; carbothermal ; boarder
97	polyamide ; permeability ; nanofiltration ; rejection ; antifouling ; permeance ; PA6 ; TFC ; smother ; Na2SO4
98	acidic ; iridium ; melanoidin ; IrOx ; triphasic ; cumulant ; ketonic ; diphosphonic ; indeterminate ; terial
99	strap ; epoxide ; oxo ; porphyrin ; dimethylacetamide ; pentafluoride ; epoxides ; cycloaddition ; trifluoroacetic ; hydrogeneration
100	plasticizer ; phthalate ; microneedle ; pheromone ; hex ; repellent ; dishwashing ; borer ; carvacrol ; microneedles
101	acrylonitrile ; promotion ; possess ; ABS ; polyacetal ; afterburning ; CuSO4 ; possession ; unhydrogenated ; CFG
102	thickener ; nanowires ; LiOH ; Co2 ; aspartic ; GREEN ; trisilane ; chia ; Li2SnO3 ; piano
103	oligomer ; xylene ; streamline ; brand ; comply ; industrialize ; systematic ; HDO ; fructose ; tremendous
104	culture ; anaerobic ; reducer ; restriction ; library ; propionate ; jar ; bioreactors ; upflow ; lactobacillus
105	pharmaceutical ; reservation ; sucralose ; esterase ; blocker ; reproductive ; metformin ; ibuprofen ; glutamine ; purine

106	OLED ; sulfonate ; NH4 ; boot ; luminance ; OLEDs ; Ag2S ; metasurfaces ; WOx ; dodecylbenzene
107	oxycarbide ; NPC ; PPE ; NLi ; LiBF4 ; serviceable ; CFx ; CmF2m ; redeposit ; boroxine
108	diamondoid ; zO2 ; hydroxylase ; RA1 ; RA2 ; overexpresses ; ZO2 ; NAs ; syncrude ; RB3
109	cosmetic ; acyl ; medicament ; PEG ; miscible ; solubilizing ; keto ; butyryl ; diether ; biocidal
110	selective ; tunnel ; Al2O3 ; passivated ; La2O3 ; TOPCon ; EXAFS ; SDPF ; downwash ; monobenzyltoluene
111	pyrite ; overexpress ; nanocluster ; deuteration ; tartaric ; unoxidized ; semisynthetic ; judiciously ; myoglobin ; marcasite
112	introduction ; galvanic ; nitrous ; N2O ; ethanolamine ; MFF ; TEAB ; MgZn2 ; cear ; SO3Li
113	alcohol ; resistive ; metallization ; polyhydric ; EVOH ; nearest ; sensory ; ECM ; monohydric ; polyfurfuryl
114	OCM ; betaine ; hepatic ; metabolise ; steatohepatitis ; acyltransferase ; mealworm ; stellate ; NAFLD ; nonalcoholic
115	grade ; accessible ; MnO2 ; Mn2 ; carnot ; M12 ; refusal ; shooter ; utilize ; WFI
116	mould ; aluminium ; ventilate ; paperboard ; authenticity ; metallised ; wellness ; CSR ; digitization ; generatable
117	cargo ; microparticles ; magnetite ; sonication ; tumbler ; wearer ; producibility ; subway ; radiofrequency ; slideably
118	fulfil ; qualify ; ferrosilicon ; PERT ; polymetallic ; CFM ; cmax ; outgrowth ; PRODUC-TION ; LF2
119	content ; sludge ; spend ; alkane ; aromatics ; tobacco ; dewatered ; disintegrate ; anaerobically ; addition
120	SCR ; counterweight ; denitration ; PVB ; butyral ; sufficiency ; SSZ ; APH ; denitrated ; builder
121	yttrium ; oxidatively ; naphthenic ; lutetium ; binuclear ; dinitrophenol ; intercalator ; mTorr ; argentum ; coordinatable
122	tin ; desulfurize ; rosin ; WS2 ; PbSO4 ; enlargement ; PbO ; WSe2 ; PbCO3 ; LSFO
123	calcine ; microspheres ; dihydrate ; polybasic ; nebulization ; uncalcined ; glauher ; argillaceous ; methacryloyl ; hydrotalcites
124	irradiate ; offset ; bisphenol ; BPA ; unconjugated ; LD1 ; LD2 ; oxyiodide ; irradiator ; noticeably
125	borate ; oxalate ; unwanted ; Li2O ; oxalatoborate ; humate ; oxoanions ; germanate ; TMSB ; dianion
126	adsorb ; infrared ; transform ; thiol ; fourier ; adsorbate ; MOR ; pyran ; ymax ; additionally
127	ultrafine ; SnO2 ; stannic ; TSN ; glucaric ; umax ; realign ; DBET ; cassiterite ; Mn2SnO4
128	dimethylformamide ; cumene ; noodle ; nanofibrous ; dimethylbenzene ; methylbenzyl ; tackiness ; trimesic ; spinnable ; dimerize
129	pulp ; peroxide ; mediate ; bleach ; H2O2 ; kraft ; fumaric ; partway ; catholytes ; containerboard
130	phthalocyanine ; tBu ; naphthyl ; CGC ; disassociate ; azido ; difluorophenyl ; iPr ; diphenylphosphine ; FePc
131	organosilicon ; polyoxometalate ; functionalizing ; TiB2 ; addendum ; imido ; diffractogram ; milky ; TiB ; PW9O34
132	ceramic ; MgO ; garnet ; LLZO ; sinter ; sinterable ; debinding ; Li6 ; densify ; exhibit
133	satisfy ; polypropylene ; zigzag ; nylon ; compatibilizer ; vibrational ; cryogenically ; individualize ; I104 ; I003
134	CaO ; loose ; Al2O3 ; premixed ; hexanol ; ligno ; indigo ; henry ; isosteric ; carmine
135	nitrite ; photolysis ; SO2F ; actinic ; repeller ; photolytic ; photolabile ; fol ; denitritation ; intension
136	NH3 ; ammoxidation ; dirac ; dispensable ; bosch ; haber ; CH3CHO ; taft ; kamlet ; C2N
137	proof ; arsenic ; microscopic ; nanomaterials ; lesion ; arsenate ; E21 ; sulfidic ; lounge ; electroacoustic
138	conductivity ; ionic ; acrylate ; sulfonyl ; addition ; oxa ; microphase ; superporous ; SPE ; x10
139	manganese ; trifluoromethyl ; xMn1 ; MnCO3 ; LiNi ; malonate ; DMC ; LiNi0 ; xLi2MnO3 ; LixNi1
140	graphite ; SiO ; spheroidized ; TEM ; exhibit ; photoetching ; I004 ; I002 ; I110 ; pulverizate

141	fibrous ; molybdenum ; clothe ; disulfide ; concavity ; washable ; trifluoromethanesulfonate ; fluffy ; metallosilicate ; MoS
142	cage ; butene ; oval ; delouse ; squirrel ; handrail ; overcoat ; somatic ; overcoating ; dihydroxyl
143	argon ; ohm ; FeS2 ; irreversibility ; CWC ; microrod ; MoO ; MoO2 ; volmer ; decoke
144	wet ; algae ; catalyze ; transesterification ; triglyceride ; eggshell ; TGs ; candida ; lysing ; lysed
145	adsorbent ; biodegradable ; amino ; disassemble ; tea ; polyethyleneimine ; biosorbent ; phosphatidylethanolamine ; utilize ; additionally
146	lay ; sulphur ; document ; bathroom ; watermark ; undissolved ; april ; asthma ; inhabitant ; polysulphides
147	unsubstituted ; spirally ; biphenyl ; indole ; cosine ; maleimide ; fluorenyl ; sensitizer ; hexyl ; cyanovinyl
148	sulfur ; polysulfides ; bud ; exhibit ; LSBs ; Na2S2O3 ; HPS ; SRU ; mAh ; Li2S6
149	polyol ; dicarboxylic ; PS1 ; PS2 ; believe ; peelable ; monomethyl ; MSA ; HB1 ; nematicides
150	palladium ; bromine ; complexing ; synergist ; tetrachloride ; reticular ; ATPS ; dichloride ; Br2 ; halon
151	twist ; polyarylene ; organelle ; subpopulation ; equilateral ; multiphasic ; hertz ; photoelectromotive ; microfabricated ; creel
152	sulfate ; sunrise ; finder ; basify ; PM1 ; RIE ; desulfurised ; epithermal ; nitrocatechol ; RKEF
153	zinc ; imidazole ; chelation ; zincate ; BAE ; CF3SO3 ; insolubility ; polyaspartate ; pyridylmethyl ; revive
154	heteroatoms ; lanthanide ; mica ; emboss ; actinide ; thorium ; unauthorized ; chew ; lidding ; Tm2
155	conjunction ; CuO ; etherification ; deprivation ; USY ; apparently ; cupric ; MxOy ; microsheets ; MMF
156	compose ; graphene ; CVD ; exhibit ; addition ; nanocages ; nanohybrids ; misoriented ; hummer ; facilitate
157	reactor ; ferrite ; shim ; burnup ; utilize ; NHR ; rector ; multitubular ; neutronics ; cofeed
158	structurally ; dihydroxy ; COO ; TDC ; coexist ; unprecedented ; centrosymmetric ; NADP ; interconversion ; exquisite
159	pentene ; ACC ; corneal ; reconcile ; REP ; homology ; SIC ; COB ; cornea ; tetrahydroquinoline
160	stir ; permeation ; butyl ; malfunction ; NaOH ; hypochlorite ; dichloroethane ; paste ; IPS ; MTBE
161	lithiation ; elastically ; MnO ; delithiation ; liquidus ; suboxide ; tosylate ; CNF ; CMCs ; LiC6
162	olefin ; wax ; paraffin ; olefinic ; naphthenes ; suppressant ; viscometer ; octene ; NTC ; decarbonate
163	sensor ; polyvinyl ; kPa ; additionally ; gesture ; simultaneously ; amperometric ; piezoresistive ; chemiresistive ; sensor
164	strontium ; deficiency ; cream ; La1 ; crate ; composited ; C50 ; arene ; alkylaromatic ; fusidic
165	lithium ; class ; plasticize ; addition ; Li4 ; Li5FeO4 ; bO2 ; silicophosphate ; tenacity ; aLi
166	metalloid ; phosphide ; transitional ; homologous ; prominent ; SRO ; VP2 ; phosphides ; Fe3P ; colloiddally
167	nanocrystalline ; lactone ; crosslink ; dispersedly ; ECA ; thiocyanate ; MWCNTs ; MWCNT ; angelica ; interdiffuse
168	CO2 ; cryogenic ; reboiler ; lade ; impure ; utilize ; barg ; sweeten ; CCUS ; CO2into
169	rhodium ; cocatalyst ; hypophosphite ; Ni2P ; trichloromethyl ; MSx ; accountability ; Ni5P4 ; argentum ; HMs
170	occurrence ; nitric ; unexpected ; nitration ; PMS ; due ; ila ; rad ; nitroso ; sulfamethoxazole
171	fluorosulfonyl ; coulombic ; difluorophosphate ; LiFSI ; precharging ; DME ; LiFePO4 ; dibutyl ; LiN ; LiTFSI
172	noble ; triethylamine ; inspiration ; menthane ; salified ; diaminodiphenyl ; proclivity ; graphited ; rarity ; oxidability
173	vacuum ; oxalic ; dog ; wastage ; VPSA ; intercommunicate ; roam ; tailrace ; PTSA ; desalinator
174	desulfurization ; SO2 ; breakthrough ; desulfurizer ; ultramicroporous ; desulfuration ; resynthesis ; LSX ; Ph1 ; DMDBT

175	dehydrate ; sequestration ; propanol ; phosphonate ; cease ; EHP ; cyclohexanone ; dongle ; decarbonise ; viably
176	cartridge ; contaminant ; nucleotide ; weaken ; disparity ; invalidation ; allergenic ; MCI ; facilitate ; aerosolise
177	nitrate ; septic ; catchment ; heterogeneously ; raccoon ; lithotrophic ; nonahydrate ; SOAS ; tetrachloroaurate ; NC3
178	synthase ; sulfonamide ; polyhydroxyalkanoic ; quorum ; acylated ; cohesiveness ; hexanoyl ; guava ; AAS ; offtake
179	transformer ; alkoxy ; VIB ; inrush ; unipolar ; exertion ; pyrochlore ; AHT ; reshape ; oxyfluoride
180	sulphide ; monolayer ; plasmon ; plasmonic ; walnut ; formyl ; oxysalt ; shiny ; sequestrate ; performable
181	radical ; homogeneous ; propane ; photochemical ; organyl ; peroxy ; acm ; ensue ; LNPs ; HCCI
182	polyaniline ; polymerisation ; functionalised ; interception ; nanofibres ; sulfo ; PANI ; fibrillation ; vermicular ; hexagonally
183	Co3O4 ; dechlorinate ; aerosolize ; tetraoxide ; NBD ; EWS ; trimanganese ; CoCO3 ; CuMoO4 ; HPCs
184	phosphate ; dihydrogen ; diagram ; synthesise ; dibasic ; oxime ; AxM ; fluorophosphate ; EDS ; monocalcium
185	dielectric ; methacrylate ; biaxially ; PMMA ; chlorotrifluoroethylene ; polymethyl ; MHz ; expansibility ; terephthalamide ; opposingly
186	hydrogenate ; aprotic ; polyvalent ; BNNT ; exceptionally ; brownmillerite ; adipates ; BNH ; DMAc ; LT1
187	auxiliary ; methanol ; bolt ; recirculating ; MTG ; DMFC ; addition ; diglycerides ; simultaneously ; m2a
188	hydrogenation ; stent ; acetone ; intra ; randomly ; isopropanol ; CHP ; EOS ; synthetically ; cyclooctadiene
189	bar ; silica ; hexagonal ; JIS ; considerably ; TEOS ; MCM ; orthosilicate ; tetraethyl ; cetyltrimethylammonium
190	retain ; illumination ; bury ; hydrochloride ; methylammonium ; T90 ; nanoislands ; codeposition ; unencapsulated ; instalment
191	electrochemically ; polymerize ; overcharge ; polymerizable ; calorimetry ; benzyl ; cyclohexylbenzene ; overdischarge ; organoaluminum ; overdischarging
192	K2O ; lava ; unhealthy ; miscellaneous ; turquoise ; cristobalite ; limitless ; meaningfully ; dPa ; PNC
193	deintercalation ; diagonally ; bivalent ; Mg2 ; atypical ; Rh3 ; alkylamines ; photodegradable ; chevre ; dobpdc
194	total ; phosphorus ; phosphorous ; sprinkle ; dephosphorization ; dephosphorizing ; monoester ; eutrophication ; inorganics ; irrational
195	benzene ; prismatic ; macromolecular ; fluorocarbon ; superheating ; hexene ; polyacid ; dicarboxylate ; R22 ; dehydroaromatization
196	methyl ; phenyl ; plural ; flank ; strategically ; butyric ; thienyl ; mesityl ; C61 ; PC61BM
197	butyraldehyde ; propionaldehyde ; DBD ; synergetic ; selenides ; signify ; tetramine ; dimethylnaphthalene ; methylpyrazine ; NiSe2
198	anthraquinone ; attempt ; ferrocyanide ; lix ; SAN ; chloropropyl ; CoyMnzMw ; RFC ; anthraquinones ; unrecoverable
199	evaporate ; diene ; bulge ; ITO ; closet ; rougher ; vortexing ; PbCl2 ; dienophile ; deliverer
200	capacitor ; pouch ; tap ; SiOx ; changer ; bright ; SiOy ; due ; crockery ; rupturable
201	sodium ; disodium ; NTP ; NaFePO4 ; metaaluminate ; Na2B4O7 ; dodecahydrate ; exhibit ; OP2 ; nax
202	waterproof ; acoustic ; token ; LEDs ; audio ; polyacrylonitrile ; resonator ; speech ; controllability ; faucet
203	fewer ; ethylenediamine ; HFO ; traversal ; HCFO ; obligation ; EDAB ; molybdc ; nonahydrate ; HTHP

204	candidate ; PO4 ; polyanion ; promise ; NASICON ; superionic ; polynorbornene ; FeCl2 ; Na3Fe2 ; Na1
205	gallium ; planarization ; GaAs ; antireflective ; arsenide ; monoatomic ; P3HT ; untethered ; amortization ; hexylthiophene
206	blank ; urethane ; thereinto ; solvate ; diisocyanate ; FEC ; diisocyanates ; SiSiC ; silsesquioxane ; isophorone
207	reinforce ; thermosetting ; polybutylene ; pultrusion ; takeoff ; masterbatch ; CFRP ; lamina ; wort ; fineness
208	PTFE ; polytetrafluoroethylene ; tetrafluoroethylene ; biomimetic ; OTR ; ecofriendly ; compatibilizing ; pluripotent ; denaturation ; C1s
209	regulate ; fluoroalkyl ; methylation ; perfluoroalkyl ; PFAS ; poorly ; ski ; hormone ; embryo ; zebrafish
210	mutual ; deodorize ; polyvinylpyrrolidone ; excavator ; PVP ; retractor ; fracking ; BAT-TERY ; MoSx ; underway
211	PTO ; nanorod ; hyperbranched ; xCo ; trifluoroacetate ; inaccurately ; APC ; taining ; LAC ; cyclohexanes
212	methane ; diagnose ; livestock ; cattle ; methanotrophic ; canadian ; foundational ; regasifying ; navigational ; unmixed
213	thiazole ; terpolymer ; perfectly ; microcarrier ; bifunctionalized ; thermochromic ; ESPs ; downshifting ; fluorenes ; microgel
214	PCB ; toothed ; freshness ; lipolytic ; clinch ; SPME ; concentricity ; FDA ; proteolytic ; immunogenic
215	closure ; germanium ; chalcogenide ; shale ; MAX ; dash ; voxel ; coalescence ; pyrolyze ; chalcopyrite
216	hydrokinetic ; dinitrile ; Al3 ; APP ; trinitrile ; perchlorate ; polyphosphate ; succinonitrile ; pretension ; ClO4
217	DAC ; duplex ; praseodymium ; dimeric ; adamantane ; EDBM ; Pd2 ; nitrosyl ; ADCs ; Pd1
218	exchange ; alkylene ; meq ; facilitate ; regenerant ; prereforming ; PEMs ; electroneutrality ; modi ; sulpho
219	oxidant ; cooperate ; humidify ; zirconia ; manganate ; ceria ; cermet ; yttria ; YSZ ; DCFC
220	polyether ; polyetheramine ; oxazolidine ; stun ; oxypropylene ; oleum ; trisulfonate ; PEBA ; LEP ; postreaction
221	column ; chlorine ; turret ; runback ; atlantis ; MGC ; BNH ; permethylated ; macrophylla ; transmissionally
222	mercury ; unevenly ; porosimeter ; tighter ; CCFL ; mercuric ; underpressure ; outfeed ; oxidate ; TGM
223	tubular ; posse ; Nb2O5 ; T10 ; amendable ; hug ; collinearly ; gauntlet ; niobia ; NbS2
224	sulfide ; rivet ; polyphenylene ; paraxylene ; sulfided ; sulfiding ; Li9 ; preassembly ; sulfidizing ; pyrrhotite
225	P2O5 ; acellular ; castable ; warmth ; lifesaving ; ware ; thermosolar ; SCF ; interregional ; glutinous
226	isomerization ; chlorinate ; isomerize ; transalkylation ; phytosanitary ; nitroxide ; phosphoramidate ; SnCl4 ; dealkylate ; enzymology
227	inventive ; PSS ; PEDOT ; sulfonimide ; malate ; P14 ; ethylenedioxythiophene ; trifluoromethane ; montana ; PEGDMA
228	mesh ; cellulose ; viscosity ; acetate ; saponification ; addition ; acylate ; microfibrillated ; unconventional ; mPas
229	alkoxide ; polyamine ; tine ; cultivator ; dynamometer ; testbed ; prestored ; isothermally ; coulter ; architecturally
230	turnover ; pentane ; BF4 ; aquafeed ; aziridine ; pyridyl ; thermophilus ; LEL ; tolyl ; thiolate
231	catalytic ; activity ; tantalum ; exhibit ; facilitate ; explain ; wittig ; utilize ; intensively ; glucosinolate
232	phenol ; CNT ; micelle ; hydroxybenzoate ; clindamycin ; ozonizer ; collidine ; invigoration ; LIC ; LICs

233	polyester ; anhydride ; commodity ; thermoset ; polyolefins ; comonomer ; disubstituted ; methacrylic ; biorenewable ; homopolymers
234	Na ₂ CO ₃ ; demolish ; evaporable ; ridgeline ; monorail ; catalyzer ; ZnSe ; BaCO ₃ ; Na ₂ C ₂ O ₄ ; ambiguous
235	lactic ; PHA ; polyhydroxyalkanoate ; premix ; can ; TAG ; polyhydroxyalkanoates ; dent ; brassicaceae ; PHAs
236	hexafluorophosphate ; EDX ; PF ₆ ; phosphazene ; microbeads ; flocculent ; cyclohexyl ; PVAc ; FSO ₃ ; acetophenone
237	acrylic ; emulsify ; cofactor ; tetrahydrothiophene ; beehive ; macerator ; R ₁ O ; oligomerized ; COOR ; fluororesins
238	matter ; live ; iodine ; organo ; nuclides ; hydrosphere ; due ; iodate ; utilize ; sulphated
239	vanadium ; remover ; cardiac ; defibrillator ; electrocardiogram ; metavanadate ; xMxO ₂ ; PWT ; atrial ; bMbO ₂
240	thread ; elastomer ; modulus ; barium ; young ; isoprene ; nitrooxy ; rubbery ; methacrolein ; deformability
241	Li ₁ ; LPS ; xTM ₁ ; xMn ₂ O ₄ ; NiaCobMnc ; aMn ₁ ; overlithiated ; LAGP ; aO ₂ ; xMn ₂
242	needle ; neck ; Fe ₂ O ₃ ; nanostructures ; electrolyzing ; nanorods ; deinsertion ; semipermanent ; VxOy ; aliment
243	Li ₂ S ; P ₂ S ₅ ; shelve ; Li ₆ PS ₅ Cl ; B ₂ S ₃ ; polyatomic ; SiS ₂ ; Li ₂ Sn ; promotional ; NiS ₂
244	seawater ; uranium ; interruption ; hemp ; intestine ; schiff ; uranyl ; nonstop ; cryo ; triuranium
245	valence ; straddle ; hydrazine ; d ₁₀ ; beautiful ; tableting ; reenters ; PF ₂ ; ns ₂ ; SiO ₂ C ₂
246	brominate ; imply ; THM ; collocation ; TLM ; trihalomethane ; regioselectively ; CHBr ₃ ; azaindole ; CH ₂ Br ₂
247	remainder ; helium ; destruction ; infer ; pulverulent ; VER ; ammunition ; destruct ; ASME ; HV ₁
248	separable ; tetrafluoroborate ; hexahydrate ; methoxymethyl ; diazotization ; innate ; ACN ; lakebed ; ECs ; nonahydrate
249	sterilize ; cobaltate ; convolute ; rhombic ; circulative ; shaver ; OSP ; HAI ; diversely ; CuNi
250	nonwoven ; cotton ; acrylamide ; arrester ; micropore ; viscose ; stalk ; bast ; oxidiser ; bollworm
251	scandium ; fluorite ; chromite ; FC ₁ ; Li ₂ WO ₄ ; scandia ; uniaxially ; FC ₂ ; La ₀ ; MCE
252	semiconducting ; titania ; ureido ; noticeable ; tartrate ; diglyceride ; IL ₁ ; AgNO ₃ ; wither ; IL ₂
253	spray ; view ; ultrasonic ; guarantee ; indium ; resistivity ; sprayer ; book ; airbrush ; cannon
254	disease ; hydroxy ; deteriorate ; neuron ; bromination ; tick ; citri ; pathological ; communicable ; DOPA
255	language ; idea ; montmorillonite ; semantically ; producible ; reutilization ; defluorination ; ASG ; finest ; BOOST
256	NaCl ; ammoniate ; unfixed ; nonthermal ; BNH ; sulphonated ; CGI ; millettia ; pong ; superiorly
257	sandwich ; rGO ; deflate ; stannous ; conformance ; PVDC ; Li ₃ VO ₄ ; tant ; octoate ; alkoxylation
258	silicate ; ribbon ; subassembly ; adsorptive ; subgasket ; desulphurisation ; zag ; zig ; unsorted ; nitrided
259	pitch ; ketone ; sulfonated ; architectural ; satisfactorily ; metalize ; organosilane ; sulfonation ; contactable ; raspberry
260	oxynitride ; ten ; gadolinium ; HC ₁ ; dangle ; TiOxNy ; elemene ; keeper ; microcone ; hydroxycarbonate
261	transparent ; silver ; bristle ; parylene ; ELS ; In ₁ ; zebra ; swallow ; delight ; OCA
262	sulfone ; commonly ; adiponitrile ; methylsulfonyl ; PAES ; tetramethylene ; ADN ; monofluoride ; dichlorodiphenyl ; DCB
263	continuous ; alumina ; batch ; combustor ; chill ; simultaneously ; mixable ; DMDBT ; micromobility ; Ti ₃ C ₂ MXene
264	aryl ; heteroaryl ; alkene ; reductive ; difluoro ; sultone ; C ₅₇ ; ene ; OSO ₂ R ₅ ; NR ₅
265	ethanol ; pathway ; cracker ; CH ₃ ; dimerization ; ljungdahl ; abbreviation ; aldose ; NHNH ; CH ₃ CH ₂

266	larger ; scatter ; sulphate ; stay ; due ; harbour ; glauher ; recode ; dmean ; KSS
267	corner ; halide ; octahedron ; octahedral ; uninterruptable ; CH ₃ NH ₃ ; pauling ; organoammonium ; radiused ; OIHP
268	atomic ; withstand ; processability ; parasitic ; tunable ; selenide ; encrypt ; rubidium ; tolerate ; telluride
269	ethylene ; ether ; glycol ; dimethyl ; propanediol ; butanediol ; coin ; depolymerize ; diethylene ; dimethacrylate
270	copper ; dechlorination ; nanoclusters ; addition ; HCHO ; chalcocite ; coextruding ; nickle ; CuCl ₂ ; bcc
271	outward ; chiral ; repel ; tellurium ; gastric ; POSS ; stereoisomer ; nanofilament ; nanofilaments ; enantioselectivity
272	red ; mud ; hazardous ; methylene ; compromise ; bauxite ; radiotherapy ; bayer ; diaryl ; acknowledgement
273	SiO ₂ ; incinerator ; silicalite ; fiberglass ; photoreactor ; tautomer ; turner ; lecithin ; MCO ₃ ; thermostable
274	electroconductive ; multifunctional ; CF ₃ ; atop ; hingedly ; flowmeters ; indicia ; injure ; multimeric ; OCF ₃
275	hydroxyl ; polyols ; sour ; cleanse ; hydroxyalkyl ; PG1 ; PG2 ; glyoxal ; R5b ; chem
276	historical ; BOP ; SPB ; DHW ; LiBr ; EVB ; URE ; lager ; glyceraldehyde ; BOC
277	toluene ; extracellular ; solubilized ; transmembrane ; compartmentalize ; bioanode ; pregnancy ; abort ; fluorobenzene ; R100
278	underwater ; styrene ; butadiene ; biofilter ; trial ; polybutadiene ; biodrying ; toughener ; AUV ; demineralisation
279	CH ₂ ; bromide ; allyl ; freshly ; hydrodesulfurization ; CH ₂ C ; CH ₂ CH ₂ O ; piperidinyl ; C _x H _y ; foamy
280	fuse ; widely ; nucleoside ; buss ; CPLD ; classic ; chromophore ; PVSK ; LTA ; knoevenagel
281	significance ; Na ₂ O ; allotment ; spiramycin ; oasis ; nanorobots ; CuAAC ; reshuffle ; WPI ; dPa
282	steel ; scrap ; stainless ; nest ; austenite ; martensite ; austenitic ; ferritic ; galvanize ; bainite
283	donate ; chloro ; thimble ; bayonet ; conglomerate ; pyrolizing ; decomposer ; pentahydrate ; trifluoropropene ; zymogen
284	C12 ; sorbitol ; incombustible ; plastomer ; EELS ; halogenide ; thinnest ; oleochemical ; LiMnPO ₄ ; RVII
285	aluminum ; insert ; full ; finish ; chair ; due ; utilize ; exhibit ; pioneer ; readsorption
286	monoxide ; flowmeter ; symptom ; silt ; taxi ; electrothermic ; computerise ; sore ; methanated ; radiological
287	hydroxide ; LDH ; bifunctional ; oxyhydroxide ; gluconate ; MOH ; octahydrate ; xM ₃ ; exhibit ; CrOOH
288	bicarbonate ; carbonic ; defoaming ; HCO ₃ ; anhydrase ; cum ; dehalogenating ; sparge ; phosphoenolpyruvate ; NH ₄ HCO ₃
289	explosion ; polysaccharide ; impregnation ; saccharification ; xylose ; explode ; saccharify ; monosaccharide ; bioproduct ; cellulase
290	ZnO ; conventionally ; polyaspartic ; staircase ; ZnOx ; AZO ; sing ; BaF ₂ ; ZnCdO ; wurzite
291	edit ; D90 ; saccharide ; NLRP3 ; knockout ; CRISPR ; VTOL ; hover ; inflammasome ; codon
292	satisfactory ; triazine ; backwash ; tiny ; CTF ; superacid ; trimerization ; DRS ; subchannel ; NNN
293	derivative ; carboxylate ; boc ; perylene ; diimide ; elemene ; PDI ; carbocyclic ; cephem ; butoxycarbonyl
294	TCO ; flatness ; ownership ; N20 ; SHJ ; N10 ; etchable ; subcomponents ; phosphidation ; SSEs
295	dissipation ; epoxy ; hang ; layup ; hardener ; thermosyphon ; resveratrol ; eugenol ; lactones ; MAH
296	maleic ; bitumen ; epoxidized ; haul ; rejuvenate ; diseased ; devitalize ; maleate ; asphaltene ; SBS
297	methylpyridine ; diphenylamine ; benzoxazine ; polybenzoxazine ; copolymerizable ; isocyanide ; workup ; nitrosation ; isoeugenol ; ANR
298	NiO ; bipole ; homogeneously ; polyacrylamide ; CoMoO ₄ ; flour ; silkworm ; NH ₄ VO ₃ ; swiftly ; Sr1

299	polyimide ; contribute ; sustainable ; motif ; lithographic ; polysulphone ; monoesterified ; herman ; diiodooctane ; niacin
300	lixiviant ; huge ; thiosulfate ; sheaf ; lixiviation ; postconsumer ; Sb2S3 ; SrZrO3 ; ofwater ; thiosulfates
301	fluoroethylene ; MgB2 ; MgH2 ; MnMoO4 ; Li3N ; LiNxOy ; permeator ; tset ; hydrided ; diborides
302	zirconium ; harmful ; cellulosic ; deuterium ; retort ; hydrodeoxygenation ; ZrO2 ; prune ; calcinated ; straightener
303	titanate ; tailor ; scissor ; ultralong ; erythritol ; alum ; D95 ; titanates ; TiOSO4 ; HTO
304	distillation ; entry ; graft ; polyvinylidene ; sulfonic ; virgin ; PVDF ; hydrophilicity ; propyl ; zwitterionic
305	nitro ; organosilyl ; aspirator ; halogenoalkyl ; dinitrophenol ; decoating ; NACs ; LiNxOy ; nitrophenols ; rox
306	soft ; gripper ; ultracapacitor ; butane ; isobutane ; stacker ; technically ; ultracapacitors ; methylimidazole ; tote
307	successive ; agglomeration ; rhenium ; CAR ; CD3 ; coarsest ; heptahydrate ; multiomics ; pelletised ; BSW
308	occlusion ; OBC ; DRI ; toe ; meander ; stereoscopic ; skip ; midway ; scar ; topographic
309	quinone ; ethoxy ; alkylsulfonyl ; phenolate ; hydroquinone ; tetraaryl ; hydroquinones ; phenoxide ; coelectrolysis ; tetrahydroxy
310	distinct ; lignite ; rmax ; physico ; phthalimide ; giganteus ; R50 ; hermaphrodita ; doe ; decrepitate
311	hinge ; serf ; cesium ; prong ; hexafluoro ; tuber ; subpanel ; passivates ; teeter ; wolframite
312	burden ; chloroform ; budget ; standardise ; isoprenoid ; anthropogenic ; outgassed ; agroindustry ; CML ; proanthocyanidins
313	ammonium ; cache ; tetracarboxylic ; bisulfate ; Pt2 ; octadecylamine ; dimethylpyridine ; heptamolybdate ; salification ; NH4Cl
314	volatile ; bake ; VOCs ; present ; mildew ; regolith ; hexenol ; hexanal ; tetrachloroethane ; devolatilizing
315	fixture ; dismantle ; neodymium ; initiation ; REE ; visualization ; EOL ; tuft ; diagnostics ; crosstalk
316	xO2 ; intermetallic ; facet ; Li2 ; EBSD ; hkl ; HMDS ; Li2O2 ; xBxO3 ; KO2
317	hydrate ; promoter ; CH4 ; participation ; clathrate ; former ; subaqueous ; pillared ; nm2 ; alkylenes
318	ferrous ; ferric ; urease ; d50 ; coagulant ; floc ; rust ; coagulate ; fertigation ; phosphogypsum
319	donor ; acceptor ; thiophene ; bimodal ; alkylated ; benzodithiophene ; OFET ; alkyloxy ; BDT ; OFETs
320	functional ; lanthanum ; restrain ; memristor ; nonpolar ; aminated ; exhibit ; vicinal ; diglycidyl ; nonwovens
321	chromium ; compaction ; edible ; decarburization ; ascorbic ; seedbed ; viewpoint ; apple ; sccm ; DLP
322	urea ; bubbler ; triamide ; dialysate ; roundness ; thiophosphoric ; organocatalyst ; synthesizer ; nBTPT ; anticaking
323	contain ; SiC ; mattress ; EDLC ; ferrocene ; pseudocapacitors ; SiSiC ; exosome ; biphenylene ; WEEEs
324	selenium ; COOH ; SOL ; cochlea ; sideline ; selenol ; furo ; selenite ; SMI ; nanoscaled
325	difficulty ; borohydride ; thermocouple ; borane ; SAP ; BH3 ; BNH ; NaBH4 ; CLP ; LiBH4
326	beneficiation ; ferromanganese ; LEV ; deadband ; CMU ; microsatellite ; titaniferous ; FCR ; beneficiate ; ethylamino
327	microbubble ; precharge ; tungstate ; hat ; regenerable ; xH2O ; hydrolyzation ; hydro-denitrogenation ; fatal ; FeOF
328	pyridine ; tert ; fluorene ; methoxy ; arylamine ; methoxyphenyl ; HTM ; butylphenol ; pyridin ; suzuki
329	alkyl ; cycloalkyl ; NR3 ; proviso ; haloalkyl ; OR5 ; thioalkoxy ; aralkyl ; R13 ; SiR3R4

作成メンバー

坪井 彩子	フェロー	環境・エネルギーユニット
馬場 智義	フェロー	環境・エネルギーユニット
中村 亮二	フェロー / ユニットリーダー	環境・エネルギーユニット
高村 彩里	フェロー / ユニットリーダー	ナノテクノロジー・材料ユニット
沼澤 修平	フェロー	ナノテクノロジー・材料ユニット (2024年3月まで)
福井 弘行	フェロー	ナノテクノロジー・材料ユニット
眞子 隆志	フェロー	ナノテクノロジー・材料ユニット

調査報告書

CRDS-FY2024-RR-06

論文・特許マップで見る環境・エネルギー分野の俯瞰と マテリアル関連研究の波及・展開

令和 7 年 3 月 March 2025

ISBN 978-4-88890-956-3

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

Center for Research and Development Strategy, Japan Science and Technology Agency

〒102-0076 東京都千代田区五番町7 K's 五番町

電話 03-5214-7481

E-mail crds@jst.go.jp

<https://www.jst.go.jp/crds/>

本書は著作権法等によって著作権が保護された著作物です。

著作権法で認められた場合を除き、本書の全部又は一部を許可無く複写・複製することを禁じます。

引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

なお、本報告書の参考文献としてインターネット上の情報が掲載されている場合には、本報告書の発行日の1ヶ月前の日付で入手しているものです。
上記日付以降の情報の更新は行わないものとします。

This publication is protected by copyright law and international treaties.

No part of this publication may be copied or reproduced in any form or by any means without permission of JST, except to the extent permitted by applicable law.

Any quotations must be appropriately acknowledged.

If you wish to copy, reproduce, display or otherwise use this publication, please contact crds@jst.go.jp.

Please note that all web references in this report were last checked one month prior to publication.

CRDS is not responsible for any changes in content after this date.

FOR THE FUTURE OF
SCIENCE AND
SOCIETY



CRDS

<https://www.jst.go.jp/crds/>

