

令和6年度地球観測技術等調査研究委託事業 “将来衛星システムにかかる技術調査分析” 中間成果報告 技術調査・分析資料【概要版】

アルサーガパートナーズ株式会社
2024/10/11

目次

1. はじめに/調査方針

2. 調査報告

2-1. 衛星システム基盤技術の調査分析

- 電気系基盤技術に係る国内外の最新動向
 - センシング技術
 - 電源技術
- 機械系基盤技術に係る国内外の最新動向
 - ホールスラスタ/イオンエンジン
 - 冷却技術

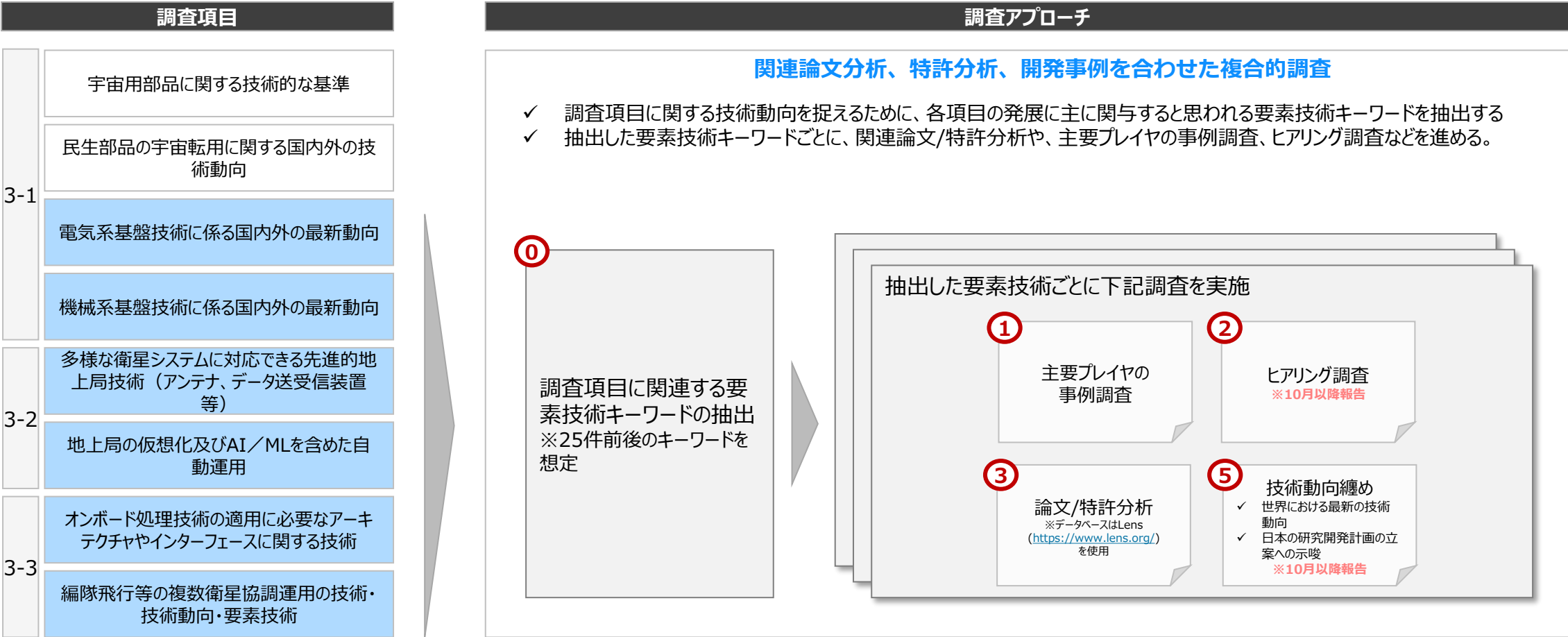
はじめに

本資料は、文部科学省殿から委託された下記委託業務について、中間段階での成果を報告するものである

令和6年度 地球観測技術等調査研究委託業務
将来衛星システムにかかる技術調査

調査方針：関連論文分析,特許分析,開発事例を合わせた複合的調査

下記調査項目については、まず関連する要素技術のキーワード抽出を行い、各要素技術について、web調査だけでなく、論文/特許分析、ヒアリング調査も含めて複合的に技術動向をリサーチしている



目次

1. はじめに/調査方針

2. 調査報告

2-1. 衛星システム基盤技術の調査分析

- 電気系基盤技術に係る国内外の最新動向
 - センシング技術
 - 電源技術
- 機械系基盤技術に係る国内外の最新動向
 - ホールスラスタ/イオンエンジン
 - 冷却技術

センシング技術調査の要素技術キーワードと進め方

レーダー、LiDAR、RFセンシング、イメージセンサといった、観測の要となるセンシング技術の開発動向を調査・整理した

要素技術キーワード

- ✓ レーダー技術
- ✓ LiDAR技術
- ✓ RFセンシング技術
- ✓ イメージセンサ

主要プレイヤーの
事例調査

論文/特許分析

調査の進め方

- Web調査をベースに、要素技術キーワードにおいて宇宙開発に関する企業や研究機関の事例を収集・整理
- 個々の事例をスライドに整理（詳細資料に記載）、さらに、いくつかの事例で共通の観点をまとめた動向資料を作成
- 主に、2020年以降に大きな動きが見られた事例を対象としている
- 論文/特許データベース*を用いて、要素技術キーワードと宇宙開発の双方に関連する論文と特許を抽出
- 抽出した数百～数万件の文献について、自然言語処理AIを活用しながら、データ前処理、カテゴライズ、要約を行い、主要な開発動向の可視化を実施
- 要素技術キーワード分析は要素技術キーワードごとに実施

*データベースはLens(<https://www.lens.org/>)を使用

主要プレイヤーの
事例調査結果
【概要版】

宇宙向けレーダー技術の注目動向

天候や時間に左右されないレーダー衛星の利便性をより高めるため、リアルタイム・24時間の観測実現に向けた開発や、雲や雨の動き、微小デブリを観測可能な高精度レーダー技術の開発が進められている

目的	背景	関連する開発動向	
リアルタイム/24時間の地球レーダー観測の実現	✓ レーダー衛星は、天候や時間帯に左右されずに観測が可能なため、災害状況の観測やインフラ監視などのソリューションに用いられているが、衛星の観測範囲の制限や、通信・データ処理のリードタイムが大きく、現状はリアルタイム観測や24時間の観測は難しい ✓ そこで、多数の衛星からなるコンステレーションの構築や、オンボードでの信号処理による通信容量削減などの技術開発により、24時間対応かつリアルタイムでの観測を可能とするための開発が活発に進められている	SARとAIを活用した災害監視技術の進展	✓ SAR衛星データとAI技術を組み合わせることで、広範囲かつ高精度な地表変動や被災状況の把握が可能となる ✓ 天候や時間帯に左右されないSARの特性とAIの解析能力の融合により、従来困難であった広域的かつタイムリーな災害監視が実現しつつある
		AIを用いたオンボード処理によるリアルタイム解析や通信容量の削減	✓ AIを活用した人工衛星上のオンボード処理によりリアルタイム解析や通信容量の削減を図る動きが進んでいる。これにより準リアルタイムでのデータ提供や即応性の高い観測サービスの実現が期待される
		衛星コンステレーションを活用した高解像度・24時間対応の地球観測実現に向けた取り組み	✓ 衛星コンステレーションを活用し、高解像度で24時間対応の地球観測を実現するための取り組みが進んでいる ✓ 衛星の自動化や高度な解析技術の導入により、ユーザーは必要なデータを迅速かつ効率的に取得できるようになっている
高精度レーダー技術による観測対象の拡張	✓ 多数の周波数帯の活用や、フェーズドアレイアンテナの活用などにより、これまで詳細な観測が困難であった雲や雨の詳細な分析や、微小なデブリの検出が可能になってきている	小型、軽量のレーダー衛星の製造	✓ 折り畳み式大型アンテナや高出力アンプ、高度な熱制御技術の活用により、従来の大型衛星と同等の性能を持つ100kg級の小型SAR衛星が実現され、コストも大幅に削減されている
		衛星を用いた雲や雪、雨の高精度観測技術の進展	✓ 二周波レーダーやKa帯・W帯などの高精度レーダー技術の進展により、雲や降水の三次元構造や動きを詳細に観測することが可能となっている ✓ これにより異常気象の予測精度向上や気候変動の解明に貢献することが期待される
		宇宙の小さなデブリも高感度で検出する地上レーダーシステムの進展	✓ 位相配列レーダー技術や先進的な解析手法を用いることで、従来検出が困難だった小型デブリの追跡が可能になってきている ✓ 近年の低軌道上のデブリ増加に伴い研究開発が活発化している

SARとAIを活用した災害監視技術の進展

SAR衛星データとAI技術を組み合わせた災害監視技術が発展している。これにより、広範囲かつ高精度な地表変動や被災状況の把握が可能となり、迅速な防災・減災対策への貢献が期待される。具体的には、衛星SARを用いた土砂移動量のモニタリング、時系列干渉SARと地質情報の統合による斜面災害リスクの可視化、SAR画像とAIによる地表・建物被災状況の抽出など、多様な応用が進んでいる。特に、天候や時間帯に左右されないSARの特性とAIの高度な解析能力の融合により、従来困難であった広域的かつタイムリーな災害監視が実現しつつある。

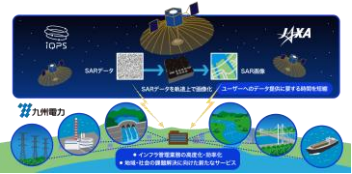
関連する開発事例

	組織名	概要	発表年	出典
	日本電気	オリエンタルコンサルタンツと日本電気は、衛星SARデータによる標高差解析で土砂移動量をモニタリングする技術を開発した。土砂移動前後の標高データを取得し、差分解析で高さの変化を面的に把握。広範囲かつ周期的なデータ取得が可能で、流域治水の的確なマネジメントを支援する技術として、河川管理や砂防堰堤の計画的な除石計画にも貢献する。	2022	https://jpn.nec.com/press/202211/20221101_01.html
	産業技術総合研究所	産業技術総合研究所は、時系列干渉SAR技術と地質情報を統合し、斜面災害リスク地域を可視化する技術を開発した。マイクロ波衛星画像の時系列解析でセンチメートル単位の微小変動を高解像度で検知し、地質図や地形情報と統合解析。地質的素因による斜面災害リスクを詳細に評価でき、防災・減災計画への活用が期待される。	2024	https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2024/pr20240318/pr20240318.html
	三菱電機	三菱電機は、レーダー（SAR）衛星画像とAIを用いて自然災害による地表・建物被災状況を抽出するシステムを開発した。災害前後のSAR画像をAIで解析し、浸水域の抽出や地盤変動、土砂災害を自動検出。天候や時間帯に影響されず、高精度な変化検出が可能で、行政機関や民間企業の迅速な被災情報取得と災害対策、インフラ復旧に貢献する。	-	https://www.mitsubishielectric.co.jp/society/space/solution/disaster_monitoring/

AIを用いたオンボード処理によるリアルタイム解析や通信容量削減

人工衛星において、AIを活用したオンボード処理によりリアルタイム解析や通信容量の削減を図る動きが進んでいる。例えばSAR衛星での軌道上画像化装置やFPGAを用いた高速処理により、データの地上伝送前に画像化・解析を行い、ダウンリンクデータ量を大幅に減少させることが可能である。これにより、準リアルタイムでのデータ提供や即応性の高い観測サービスが可能となり、インフラ管理や災害対応、海洋監視など多様な分野での活用が期待される。

関連する開発事例

	組織名	概要	発表年	出典
	QPS研究所、JAXA	QPS研究所、JAXA、九州電力は、小型SAR衛星に軌道上画像化装置を搭載し、準リアルタイムデータ提供サービスの実現を目指している。衛星上でSARデータを高速に画像化することで、撮像からユーザーへのデータ提供時間を短縮し、ダウンリンクデータ量を削減する。これにより、電力設備の点検や災害時の被害状況把握など、インフラ管理業務の高度化・効率化に貢献する。	2020	https://www.jaxa.jp/press/2021/06/20210623-2_j.html https://www.jaxa.jp/press/2020/02/20200226-2_j.html
	JAXA、アルウェットテクノロジー	JAXAとアルウェットテクノロジーは、SARデータを軌道上で画像化する衛星搭載装置を開発している。FPGAに適したアルゴリズムを用い、高速処理を実現している。これにより、従来は地上で行っていた画像化処理を衛星内で実施し、ダウンリンクデータ量を大幅に削減する。海域観測や船舶の動静把握などに活用され、AI技術との組み合わせで新たなミッションの実現が期待される。	2020	https://www.jaxa.jp/press/2020/02/20200226-1_j.html
	Capella Space	Capella Spaceは、革新的なSAR技術と自動化システムを組み合わせた衛星コンステレーションにより、全天候・24時間対応の高解像度地球観測サービスを提供している。自社開発の衛星と自動化されたデータ配信で、顧客はリアルタイムに信頼性の高い情報を取得可能としている。	-	https://www.capellaspace.com/technology https://www.capellaspace.com/solutions/applications

衛星コンステレーションを活用した高解像度・24時間対応の地球観測実現に向けた取り組み

衛星コンステレーションを活用し、高解像度で24時間対応の地球観測を実現する取り組みが進んでいる。特に、SAR衛星を用いることで、夜間や悪天候でも観測可能、かつ動的な被写体の詳細な解析や動画生成を可能とする開発が進められている。これにより、災害時のリアルタイム監視、軍事・安全保障分野での状況把握、環境監視など多様な用途での活用が期待される。

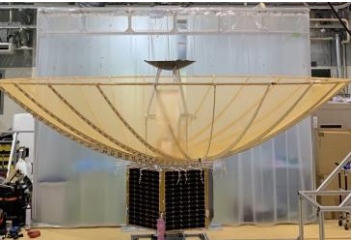
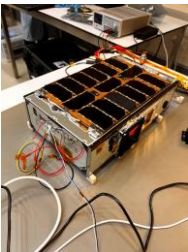
関連する開発事例

	組織名	概要	発表年	出典
	ICEYE	ICEYEは、自社のSAR衛星コンステレーションを用いて、単一の衛星パスからSAR動画を生成する技術を開発した。特定地点を20秒以上集中的に撮像し、取得データを複数の高解像度フレームに加工することで、動的な被写体の詳細な解析が可能となった。これにより、災害時の監視や軍事・安全保障分野での状況把握がより詳細に行える。今後は衛星の増強や解析技術の高度化を進め、高頻度・高精細な動画データの提供を目指している。	2020	https://www.iceye.com/press/press-releases/iceye-demonstrates-sar-video-capability-from-current-sar-satellite-constellation
	Capella Space	Capella Spaceは、全天候・24時間の高解像度地球観測サービスを提供する。自社設計・製造の衛星コンステレーションと自動化されたデータ配信システムにより、顧客は必要な情報をリアルタイムで取得可能となる。展開式アンテナや高出力アンプ、大型リアクションホイールを搭載した衛星により、高品質な画像と迅速なターゲティングを実現。高速ダウンリンクと自動化されたタスキングAPIで低遅延のデータ提供を行う。	-	https://www.capellaspace.com/technology https://www.capellaspace.com/solutions/applications https://www.capellaspace.com/
	MDA SPACE	MDA SPACEは、革新的な新技術と運用コンセプトを取り入れた次世代地球観測衛星コンステレーション『CHORUS』を開発している。同一軌道上でCバンドとXバンドのSAR衛星を運用し、Cバンド衛星が広域監視を、Xバンド衛星が高分解能観測を担当する。機械学習やAIを活用したニアリアルタイムのデータ解析も可能となり、幅700kmからサブメートル級の高分解能イメージングまで対応する。2025年末にSpaceXのFalcon 9で打ち上げ予定で、今後新たなサービスの展開が期待される。	2022	https://mda.space/chorus

小型、軽量なレーダー衛星の製造

小型・軽量なレーダー衛星の製造が進展している。折り畳み式大型アンテナや高出力アンプ、高度な熱制御技術の活用により、従来の大型衛星と同等の性能を持つ100kg級の小型SAR衛星が実現され、コストも大幅に削減されている。これにより、多数の衛星を用いたコンステレーションの構築が進み、高頻度かつ全天候での地球観測が可能となっている。

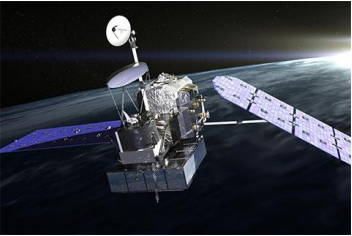
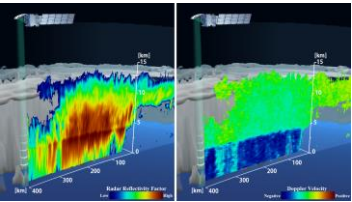
関連する開発事例

	組織名	概要	発表年	出典
	Synspective	Synspectiveは、小型SAR衛星「StriX」を開発した。折り畳み式の展開型スロットアレーアンテナや1kW級の高出力アンプ、既製品の活用と小型化による低コスト化、高度な熱制御技術の特徴とする。大型衛星と同等の撮像能力を持ちながら、重量約100kg、コストは約1/20に削減している。30機の衛星コンステレーション構築を目指し、全球規模での高頻度観測を可能にする計画である。	2024	https://synspective.com/jp/satellite/satellite-strix/ https://prtimes.jp/main/html/rd/p/00000054.000052943.html
	QPS研究所	QPS研究所は、高分解能小型SAR衛星「QPS-SAR」を開発している。軽量で収納性の高い折り畳み式大型アンテナを搭載し、質量を約100kg台、コストを約1/100に削減した。アンテナは宇宙空間で展開し、高分解能のSAR観測を可能にする。36機の衛星コンステレーションを構築し、平均10分以内に世界中のどこでも観測できる体制を目指している。	2023	https://i-qps.net/project/ https://i-qps.net/news/1255/
	ESA	欧州宇宙機関は、キューブサット「Juventas」を開発し、小惑星Dimorphosの内部をレーダーで探査する。「JuRa」という低周波レーダーを搭載し、宇宙最小のレーダーシステムで小惑星内部構造の解明を目指す。小型探査機による深宇宙ミッションの技術基盤を築き、宇宙探査の小型化・低コスト化に貢献する。	2024	https://www.esa.int/Space_Safety/Hera/Radar_journey_to_centre_of_Hera_s_asteroid_with_Juventas_CubeSat

衛星を用いた雲や雪、雨の高精度観測技術の進展

人工衛星に搭載した高精度レーダー技術の進展により、雲や降水の三次元構造や動きを詳細に観測することが可能となっている。二周波レーダーやKa帯・W帯などの高周波数レーダーの開発・運用により、降水量や雲の上下運動を高解像度・高頻度で測定し、気象予報や気候研究、防災分野などでの活用が期待されている。さらに衛星コンステレーションの構築により全球規模でのリアルタイム観測が可能となれば、異常気象の予測精度向上や気候変動解明が進むと見られる。

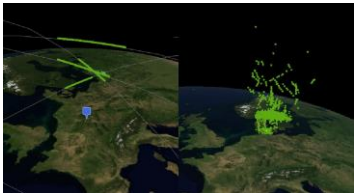
関連する開発事例

	組織名	概要	発表年	出典
	JAXA	JAXAはGPM計画の主衛星に二周波降水レーダー（DPR）を搭載し、降水の三次元構造を高精度に観測する。Ku帯とKa帯の異なる周波数を用いることで、降水粒子のサイズや種類まで推定可能となる。気象予報や気候学の研究、豪雨・台風の監視、水資源管理、農業分野などへの応用が進んでいる。	2021	https://www.jaxa.jp/projects/sat/gpm/
	Tomorrow.io	Tomorrow.ioは次世代Ka帯レーダー搭載衛星「Tomorrow-R1」「Tomorrow-R2」を打ち上げ、高解像度・高精度な降水データを取得。全球の降水量を1時間ごとに取得する計画を進め、マルチセンサーコンステレーションの構築で気象予報を革新し、防災や産業分野での活用を目指している。		https://www.tomorrow.io/space/patfinder/
	JAXA、NICT、ESA	JAXAとNICTはESAと共同開発した雲プロファイリングレーダ（CPR）を搭載したEarthCARE衛星で、世界初の宇宙からの雲の上下動観測に成功。W帯（94GHz）の衛星搭載ドップラーレーダで雲粒子の上昇・下降運動を捉え、雲の鉛直構造と運動を高感度・高分解能で計測。これにより、雲が気候システムに与える影響の解明や気象・気候予測の精度向上に貢献する予定。	2024	https://www.jaxa.jp/press/2024/06/20240627-1_j.html https://www.eorc.jaxa.jp/EARTHCARE/about/cpr_develop_j.html https://www.eorc.jaxa.jp/EARTHCARE/about/inst_cpr_j.html

宇宙の小さなデブリも高感度で検出する地上レーダーシステム

宇宙空間の小さなデブリも高感度で検出できる地上レーダーシステムの開発が進展している。位相配列レーダー技術や先進的な解析手法を用いることで、従来検出が困難だった小型デブリの追跡を可能にしている。具体的には、グローバルなレーダーネットワークの構築、プラズマ航跡の検出、移動可能なレーダーシステムの開発などが行われており、宇宙空間の安全性向上やミッションの最適化に貢献している。特に近年、低軌道上のデブリ増加に伴い、この分野の研究開発が活発化しており、宇宙インフラの保護において重要な役割を果たしている。

関連する開発事例

	組織名	概要	発表年	出典
	LeoLabs	LeoLabsは、独自の位相配列レーダーによるグローバルネットワークを開発・運用し、低軌道上の人工衛星やデブリを大規模に追跡している。電子的にビームを制御するレーダーを世界各地に配置し、連続的な観測を可能にしている。これにより、衛星運用者や政府機関に正確な軌道データを提供し、衝突回避やミッション計画の最適化に貢献している。	2023	https://leolabs.space/radars/ https://leolabs.space/
	SRI	SRIは、既存の地上レーダーと宇宙船搭載センサーを活用した「SOTERIA」を開発し、小型スペースデブリの追跡を可能にしている。複数のレーダーデータを高性能なアルゴリズムで解析し、デブリによる微弱なシグナルやプラズマ航跡を検出している。これにより、これまで見過ごされてきた小型デブリの追跡能力を大幅に向上させている。将来的には、宇宙搭載センサーの開発やデブリ除去技術との連携を図る計画である。	2024	https://www.sri.com/ja/press/story/sri%E3%81%AF%E9%9D%A9%E6%96%B0%E7%9A%84%E3%81%AA%E8%BF%BD%E8%B7%A1%E6%8A%80%E8%A1%93%E3%81%A7%E3%82%B9%E3%83%9A%E3%83%BC%E3%82%B9%E3%83%87%E3%83%96%E3%83%AA%E3%81%AE%E5%8D%B1%E9%99%BA%E6%80%A7/
	Fraunhofer FHR	Fraunhofer FHRは、移動可能なフェーズドアレイレーダーシステム「GESTRA」を開発し、低軌道上の宇宙デブリや小型衛星を高精度で検出している。256個の個別素子を持つ送受信アンテナにより、アンテナ視野を数ミリ秒以内に變更可能である。さらに、コンテナ収容による柔軟な展開が可能である。今後はEUの宇宙監視追跡プロジェクト（EUSST）への統合が予定されており、国際的な宇宙安全保障アーキテクチャの一部として機能することが期待されている。	2023	https://www.dlr.de/en/latest/news/2023/04/gestra-space-radar-successfully-enters-final-test-phase

宇宙向けLiDAR/RFセンシング技術開発の注目動向

LiDARは地球の立体的な構造を捉えることで、マップ作成や森林の立体的な観測に用いられることが多い

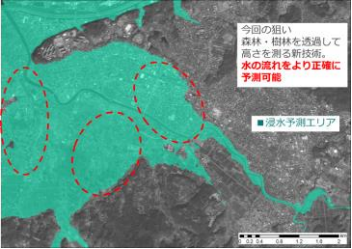
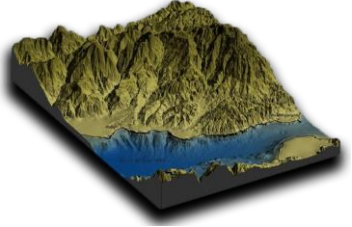
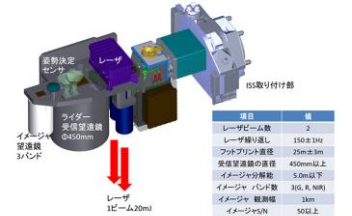
RFセンシングは温室効果ガス濃度や氷床変動などの状況、違法船舶の監視などにも用いられている

目的	背景	関連する開発動向	
地球の3Dマッピング	✓ 都市計画や森林保全の高度化のために、地球上の3Dマッピングのニーズが高まっている	衛星LiDARを用いた地球の3次元地図作成と測量	✓ 衛星搭載のLiDAR技術を用いて、地球の3次元地図作成や測量の高精度化が進められている ✓ 森林域や地形情報の詳細なデータ取得により、これまで観測が困難であった領域のデジタル化が可能となっている
地球環境の高精度な観測	✓ カーボンニュートラルの実現に向けて、森林の健康度も含めた状態把握が重要となっている。また、CO2などの温室効果ガスの発生源の可視化も重要な観点である	LiDAR技術を用いた環境センシング技術	✓ LiDAR技術を宇宙からの環境観測に適用することで、高精度なデータ取得と地球環境の理解が進んでいる ✓ 植生の立体構造や森林バイオマスの把握、大気中の風速測定、温室効果ガスの排出源特定といった分野での活用が進んでいる
		RFセンシングを用いた地球環境測定技術	✓ 近年、RFセンシング技術を活用した地球環境測定が進展している。マイクロ波放射計やレーザー干渉計を用いることで、温室効果ガスの高精度観測や水循環・氷床変動の監視、海上の気象データ取得が可能となった ✓ 特に小型・省電力なセンサの開発により、低コストで効果的な観測が期待される
国防やセキュリティの強化	✓ 国防やセキュリティの高度化のために、違法船舶やGPS妨害、航空機の監視などを広域で実現する技術が求められている	地球上のRF信号を監視することで違法船舶の発見や国防を行うシステム	✓ 地球上のRF信号を監視するために、小型衛星コンステレーションを活用する技術が注目を集めている ✓ 複数の衛星を編隊飛行させ、高精度な無線周波数センシングにより、違法船舶の発見や国防に貢献している
宇宙活動でのナビゲーション	✓ 月面探査やデブリ除去など、宇宙空間での活動において、周辺の状態を立体的かつ正確にマッピングする技術は重要である	宇宙活動（月面探査など）におけるナビゲーション	✓ 宇宙空間でのSLAM（自己位置推定と環境地図作成）やナビゲーション支援にLiDAR技術を活用する動向が見られる ✓ 特に、GPSが利用できない月面や宇宙環境において、高精度な位置情報と地形マッピングを実現するための技術が進展している

衛星LiDARを用いた地球の3次元地図作成と測量

衛星搭載のLiDAR技術を用いて、地球の3次元地図作成や測量の高精度化が進められている。森林域や地形情報の詳細なデータ取得により、これまで観測が困難であった領域のデジタル化が可能となっている。この技術は、防災、環境モニタリング、都市計画など多様な分野への応用が期待され、特に気候変動対策や持続可能な社会の実現に寄与すると考えられる。

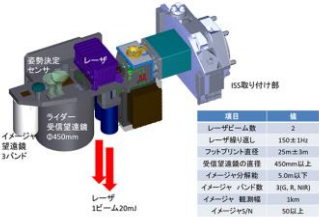
関連する開発事例

	組織名	概要	発表年	出典
	JAXA、株式会社 NTTデータ	JAXAとNTTデータは、人工衛星に搭載したレーザ高度計データを活用し、森林域での地盤面高さを正確に測定する技術を開発している。レーザ高度計データと3次元地図作成技術を組み合わせることで、森林域の3次元地図の精度向上を実現。防災分野での自然災害リスクの正確な把握や、開発途上国でのハザードマップ精度向上などに活用されている。	2021	https://www.jaxa.jp/press/2021/03/20210326-1_j.html
	NUVIEW	NUVIEWは、LiDARを搭載した商業衛星群を開発し、地球全陸地を毎年マッピングする技術を提供している。衛星ベースのLiDARにより、高解像度な3Dデータの効率的かつ包括的な収集が可能となる。取得データは都市成長の監視、インフラ開発、自然現象の観測などに活用され、特に森林バイオマスのマッピングや気候変動データ収集に貢献している。	2023	https://www.nuview.space/ https://www.nuview.space/about
	JAXA	JAXAは、国際宇宙ステーションに搭載する「MOLI」を開発し、ライダー技術を用いて森林バイオマスや地形情報を高精度に取得している。複数のフットプリントによる観測で地表面の傾斜を推定し、森林高さを高精度に推定可能。取得データは、気候変動予測に必要な二酸化炭素の流れの解明や、生物多様性の推定などに活用され、地球環境の理解と持続可能な社会の実現に寄与している。	2023	https://www.kenkai.jaxa.jp/research/moli/moli-index.html#mission https://www.kenkai.jaxa.jp/research/moli/moli-science.html https://www.kenkai.jaxa.jp/research/moli/moli-instrument.html https://www.kenkai.jaxa.jp/research/moli/moli-product.html

LiDAR技術を用いた環境センシング技術

LiDAR技術を宇宙からの環境観測に適用することで、高精度なデータ取得と地球環境の理解が進んでいる。植生の立体構造や森林バイオマスの把握、大気中の風速測定、温室効果ガスの排出源特定といった分野での活用が進んでおり、気候変動予測や環境保全に寄与している。

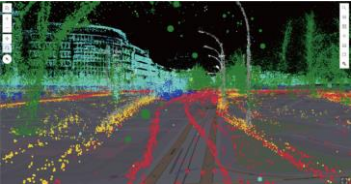
関連する開発事例

	組織名	概要	発表年	出典
	JAXA	JAXAは、宇宙から森林バイオマスや地形情報を高精度に取得するため、国際宇宙ステーションに「MOLI」を開発している。LiDAR技術を用いて、樹木や地面の立体構造を測定し、気候変動予測に必要なデータを提供する。これにより、二酸化炭素の流れの解明や生物多様性の推定などに貢献する。	2023	https://www.kenkai.jaxa.jp/research/moli/moli-index.html#mission https://www.kenkai.jaxa.jp/research/moli/moli-science.html https://www.kenkai.jaxa.jp/research/moli/moli-instrument.html https://www.kenkai.jaxa.jp/research/moli/moli-product.html
	ESA	欧州宇宙機関（ESA）は、紫外線レーザーLiDAR「ALADIN」を搭載した衛星「Aeolus」を用いて、地球規模での高精度な風観測システムを開発した。紫外線レーザーとドップラー効果を利用して大気中の風速を測定し、従来測定が困難だった地域のデータを取得。これにより、気象予報の精度向上や気候変動の理解に貢献している。	2023	https://www.leonardo.com/en/news-and-stories-detail/-/detail/laser-technology-aeolus
	AIRMO	AIRMOは、小型衛星搭載のLiDARベースセンサーを開発し、宇宙から温室効果ガス排出量を高解像度・高精度で観測している。独自のマイクロLiDARとSWIR分光計を組み合わせ、CH ₄ とCO ₂ の排出を検出し、個々の排出源を特定可能にした。これにより、気候変動対策のための詳細なモニタリングが実現している。	2024	https://www.airmo.io/technology

LiDAR技術を用いた宇宙活動におけるSLAM・ナビゲーション支援

宇宙空間でのSLAM（自己位置推定と環境地図作成）やナビゲーション支援にLiDAR技術を活用する動向が見られる。特に、GPSが利用できない月面や宇宙環境において、高精度な位置情報と地形マッピングを実現するための技術が進展している。具体的には、瞬時の速度と位置情報を同時に取得できる4D LiDARや、強い背景光下でも安定した動作が可能なセンサー技術、GPS信号なしで自律的な位置推定を可能にする先進的なSLAMソフトウェアなどが開発されている。これらの技術は、宇宙探査ミッションの安全性と効率性を向上させ、将来的な基地建設や他惑星の探査にも応用が期待されている。

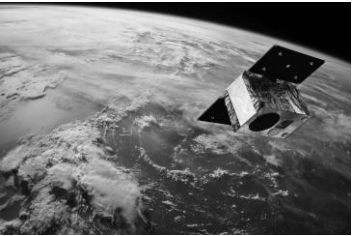
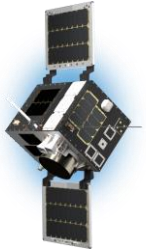
関連する開発事例

	組織名	概要	発表年	出典
	NASA	NASAの「KNaCK」は、Aeva社の4D LiDAR技術を採用し、GPSが利用できない月面での正確なナビゲーションとマッピングを実現している。FMCW技術により、瞬時の速度と位置情報を同時取得し、リアルタイムで詳細な地形マップを生成する。太陽光の干渉を受けず、過酷な月面環境でも安定した動作が可能であり、宇宙飛行士や月面車の安全な探索活動を支援している。	2022	https://www.aeva.com/press/aeva-4d-lidar-helps-nasa-map-the-moon/
	Kudan	Kudanは、NASAの「KNaCK」や次世代月面ローバーに対し、GPS信号のない環境でも高精度な3D点群マッピングを可能にするLidar SLAMソフトウェアを提供している。この技術は、自律的な位置推定と環境地図作成を実現し、未知の地形や過酷な月面環境でのリアルタイムなナビゲーションとマッピングを支援する。宇宙探査ミッションの安全性と効率性を向上させることに寄与している。	2024	https://www.kudan.io/jp/archives/1494 https://www.kudan.io/jp/our_technology
	Fondazione Bruno Kessler	Fondazione Bruno Kesslerは、CMOS SPADアレイ技術を用いた宇宙向けフラッシュLiDARセンサーを開発している。64×64ピクセルのアレイにより、高速・高解像度の3Dイメージングと高精度な距離測定を可能にする。強い背景光下でも誤検出を低減するスマートピクセルアーキテクチャを採用し、小型化と低消費電力化を図って宇宙機器への統合を目指している。	2022	https://epic-photonics.com/wp-content/uploads/2022/04/2.3-Leonardo-Gasparini-Fondazione-Bruno-Kessler.pdf

地球上のRF信号を監視することで違法船舶の発見や国防を行うシステム

地球上のRF信号を監視するために、小型衛星コンステレーションを活用する技術が注目を集めている。複数の衛星を編隊飛行させ、高精度な無線周波数センシングにより、違法船舶の発見や国防に貢献している。広帯域のRF信号を検知し電波源の位置を高精度に特定することで、船舶の追跡、GPS妨害の検出、航空機の監視など、多岐にわたる応用が可能となっている。

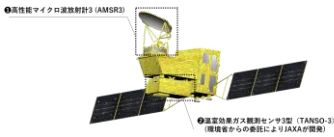
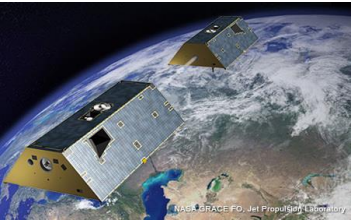
関連する開発事例

	組織名	概要	発表年	出典
	AerospaceLab	AerospaceLabは、0.1GHzから18GHzの周波数帯を検知可能なアンテナを搭載した衛星を開発している。2024年3月にRFSペイロードを搭載した3基の衛星を打ち上げ、三角編隊で飛行し、高精度な電波源の測位を実現している。これにより、地球表面の活動を詳細に把握し、電波妨害の検知や疑わしい船舶の追跡などに活用している。	2024	https://www.aerospaceLab.com/blog/feature-insights-4/the-pioneering-technology-of-radio-frequency-sensing-satellites-19 https://www.aerospaceLab.com/document/share/45/a09d6c5e-beec-4696-990e-df2bbb9761bd
	HawkEye 360	HawkEye 360は、地球低軌道上の小型衛星クラスターで広範なRF信号を検出・測位する技術を開発した。3機一組の衛星がRFスペクトル全体からの信号を収集し、高度な状況認識を提供している。これにより、ダークベッセルの検出やGPS干渉の特定など、安全保障や監視分野で活用されている。	2023	https://www.he360.com/technology/
	Sierra Nevada Corporation	Sierra Nevada Corporationは、VHFからLバンドまでのRF信号を検知し、特定物体の位置を高精度に特定する低軌道衛星コンステレーション「Vindlér」を開発している。4基の6Uサイズの衛星で構成され、AISを無効化した船舶やIUU漁業の対策、GPS妨害装置の追跡などに活用されている。	2024	https://www.sncorp.com/capabilities/vindl%C3%A9r-satellite-constellation/

RFセンシングを用いた地球環境測定技術

近年、RFセンシング技術を活用した地球環境測定が進展している。マイクロ波放射計やレーザー干渉計を用いることで、温室効果ガスの高精度観測や水循環・氷床変動の監視、海上の気象データ取得が可能となった。これらの技術は、気候変動の詳細把握、自然災害の予測・対策、環境政策の策定に貢献する。特に小型・省電力なセンサの開発により、低コストで効果的な観測が期待される。

関連する開発事例

	組織名	概要	発表年	出典
	JAXA	JAXAは、温室効果ガス観測センサTANSO-3と高性能マイクロ波放射計AMSR3を搭載したGOSAT-GW衛星を開発している。TANSO-3は二酸化炭素やメタン、二酸化窒素を高分解能で面的に観測し、AMSR3は降雪や上層水蒸気を観測可能である。これにより、温室効果ガスや水循環のデータを高精度かつ広範囲で取得し、気候変動の把握と対策に貢献する。	2024	https://www.satnavi.jaxa.jp/ja/project/gosat-gw/index.html https://www.satnavi.jaxa.jp/files/project/gosat-gw/en/ https://gosat-gw.nies.go.jp/gosat-gw02.html
	NASA	NASAは、双子衛星によるマイクロ波測距とレーザー干渉計を用いた地球重力場観測衛星GRACE-FOを開発している。衛星間の距離変化をナノメートル精度で測定し、地球の質量分布の変化を追跡する。これにより、水循環の監視、地下水資源の管理、海面上昇の評価、氷床・氷河の質量変化の追跡などに活用される。	2022	https://grace.jpl.nasa.gov/mission/grace-fo/ https://gracefo.jpl.nasa.gov/news/126/twin-spacecraft-to-weigh-in-on-earths-changing-water/
	NASA	NASAは、ISSに搭載可能な小型・省電力のマイクロ波放射計COWVRとTEMPESTを開発し、海上の気象データ取得技術を実現した。これらの装置は、嵐による大気中の雨量や氷粒子を観測し、ハリケーンなどの気象現象を捉える。従来の大型機器と同等のデータ取得が可能で、低コストで効果的な宇宙ベースの気象観測センサー開発に寄与する。	2022	https://www.jpl.nasa.gov/news/nasa-built-weather-sensors-capture-vital-data-on-hurricane-ian/ https://www.jpl.nasa.gov/images/pia25425-cowvr-and-tempest-image-hurricane-ian/

宇宙向けイメージセンシング技術開発の注目動向

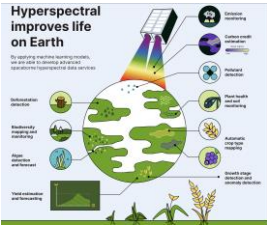
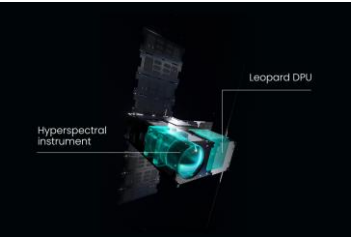
宇宙向けのイメージセンシング技術においては、多波長域の信号を分析するハイパースペクトルセンシング技術を用いて環境監視や資源探索を行う開発が活発である。また、こうした多波長域の信号を短時間で解析するためのAI技術の開発も活発に進められている

目的	背景	関連する開発動向	
地球環境の高精度な観測	✓ カーボンニュートラルの実現に向けて、CO2などの温室効果ガスの発生源の可視化が求められている ✓ また、サステナビリティの観点から、鉱物資源の探索をハイパースペクトルセンシングや特定波長域の電波を用いて行う技術も重要となっている	ハイパースペクトルイメージング技術を用いた環境監視や資源探索	✓ ハイパースペクトルイメージング技術を用いて、衛星から地球の環境や資源を詳細に観測する動きが活発化している ✓ AIや機械学習と組み合わせることで、膨大なスペクトルデータをリアルタイムに解析し、気候変動の影響分析、食料安全保障、環境モニタリング、資源管理など多様な分野での応用が期待される
		ハイパースペクトルイメージング技術を用いた温室効果ガスの発生源可視化	✓ ハイパースペクトルイメージング技術を活用し、温室効果ガスの排出源を高精度に検出・追跡する取り組みが活発化している ✓ 衛星やセンサーを用いてメタンや二酸化炭素の排出をリアルタイムかつ詳細に監視し、直接的な排出削減行動を支援することを目指している
		紫外線・赤外線などの波長域を活用した地球観測技術の進展	✓ 紫外線や赤外線などの特定波長域を活用した地球観測技術が進展している ✓ 従来困難だった地球磁気圏と荷電粒子の相互作用の解析や、鉱物資源の分布、植物の栄養状態、水質汚染、都市の熱分布などの詳細な観測が可能となっている
AIを活用したセンシングデータ処理	✓ 高精細な衛星画像やハイパースペクトルセンシングデータはデータ量が大きく、通信負荷が大きくなるため、衛星上でのエッジ処理で解析や圧縮を行うことが求められる	衛星画像をオンボード処理する技術	✓ 衛星上で衛星画像をオンボード処理する技術が注目されている。これにより、膨大なデータを地上に送信する前に衛星上で解析・圧縮し、データ伝送量の削減やリアルタイム性の向上が可能となる ✓ 特に、AIやハイパースペクトルイメージングを用いた高度な画像処理技術が開発され、災害の早期検出や地球観測データの効率的な活用が期待されている

ハイパースペクトルイメージング技術を用いた環境監視や資源探索

ハイパースペクトルイメージング技術を用いて、衛星から地球の環境や資源を詳細に観測する動きが活発化している。AIや機械学習と組み合わせることで、膨大なスペクトルデータをリアルタイムに解析し、気候変動の影響分析、食料安全保障、環境モニタリング、資源管理など多様な分野での応用が期待される。オンボードデータ処理や衛星間通信、エッジコンピューティングの導入により、データ提供の高速化や精度向上が図られている。

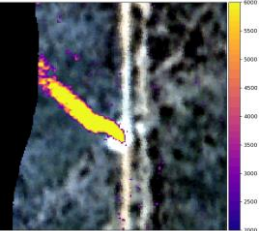
関連する開発事例

	組織名	概要	発表年	出典
	Kuva Space	Kuva Spaceは、ハイパースペクトル衛星とAIを活用したリアルタイム地球観測サービスを開発している。特許取得済みのカメラ技術で450～2500nmの波長範囲をカバーし、約10メートルの解像度で物質のスペクトルデータを取得する。AIプラットフォームによりデータを自動解析し、気候変動、農業、環境モニタリングでの有用なインサイトを提供する。衛星間通信とIoT技術を活用し、リアルタイムのデータ解析と提供を実現している。	2021	https://kuvaspace.com/ https://kuvaspace.com/what-is-hyperspectral/ https://kuvaspace.com/kuva-space-expands-to-us/
	Orbital Sidekick	Orbital Sidekickは、宇宙からのハイパースペクトルイメージングによる資源監視システムを開発している。高解像度のハイパースペクトルセンサーを搭載した衛星で、地表の物質のスペクトルサインを高精度に検出する。収集データは地上の解析プラットフォームでリアルタイムに処理され、機械学習アルゴリズムで異常検知や資源状態評価を行う。石油・ガス業界における漏洩検知や環境保護に貢献し、クラウドベースのインフラにより迅速な情報アクセスを可能としている。	2024	https://www.orbitalsidekick.com/technology https://www.orbitalsidekick.com/products https://www.orbitalsidekick.com/technology
	KP Labs	KP Labsは、AI搭載のハイパースペクトル衛星「Intuition-1」で初めてハイパースペクトル画像の取得に成功した。オンボードデータ処理能力を備え、膨大なハイパースペクトルデータを軌道上で解析し、地上へのデータ伝送量を削減している。ハイパースペクトルイメージングで物質固有のスペクトルを詳細に捉え、地球表面の物質、植生、鉱物を正確に識別・分析可能とする。	2024	https://kplabs.space/blog/press-release-first-hyperspectral-images-processed-by-ai-on-board-intuition-1-satellite/ https://kplabs.space/intuition-1/

ハイパースペクトルイメージング技術を用いた温室効果ガスの発生源可視化

ハイパースペクトルイメージング技術を活用し、温室効果ガスの排出源を高精度に検出・追跡する取り組みが活発化している。具体的には、衛星やセンサーを用いてメタンや二酸化炭素の排出をリアルタイムかつ詳細に監視し、直接的な排出削減行動を支援することを目指している。

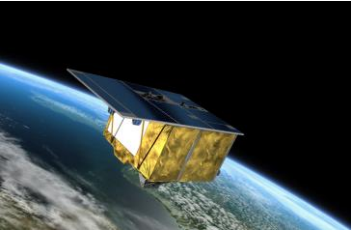
関連する開発事例

	組織名	概要	発表年	出典
	Planet	Planetは、メタンと二酸化炭素のスーパーエミッターを高解像度で検出・追跡するハイパースペクトル衛星「Tanager-1」を開発した。NASAのJPLが開発したイメージング分光計とPlanetの小型衛星技術を組み合わせ、小型かつ高性能な衛星を実現。温室効果ガスの排出源を詳細に監視し、気候変動対策のための直接的な排出削減行動を支援することを目的としている。	2022	https://www.planet.com/pulse/planet-launches-first-tanager-1-hyperspectral-satellite-and-36-superdoves-with-spacex/
	Esper Satellite Imagery, Spiral Blue	オーストラリアのEsper Satellite ImageryとSpiral Blueは、ハイパースペクトルイメージャ「Espresso」を開発し、宇宙環境試験を完了した。400～1000nmの波長で地球観測を行い、未検出の化学組成を特定可能。持続可能な開発を支援するため、リアルタイムデータ取得ネットワークの構築を目指している。石油・ガス、農業、鉱業などの業界におけるCO2排出量や炭素吸収源の追跡に活用される。	2022	https://www.espersatellites.co/press-and-news/esper-satellite-imagery-spiral-blue-space-qualify/ https://www.spiralblue.space/post/pushing-computing-to-the-edge
	Orbital Sidekick (OSK)	Orbital Sidekick (OSK)は、ハイパースペクトルイメージングセンサーを搭載した衛星群「GHOST」を開発した。これにより、パイプラインのメタン漏洩などの環境問題を高精度に検出し、迅速に報告することが可能となった。センサーは400～2500nmの波長範囲を単一のセンサーでカバーし、500以上の波長帯域をキャプチャ。水、メタン、液体炭化水素などの物質を高精度に検出し、エネルギーインフラの監視、農業、鉱物探査、カーボンオフセットの検証、防衛など、多様な分野での応用が期待されている。	2023	https://www.orbitalsidekick.com/news-blog/automated-methane-detection-from-space https://www.orbitalsidekick.com/news-blog/how-is-osks-hyperspectral-data-helping-the-energy https://www.corning.com/worldwide/en/the-progress-report/crystal-clear/corning-hyperspectral-imaging-technology-helps-fight-climate-change

紫外線・赤外線などの波長域を活用した地球観測技術の進展

紫外線や赤外線などの特定波長域を活用した地球観測技術が進展している。これにより、従来困難だった地球磁気圏と荷電粒子の相互作用の解析や、鉱物資源の分布、植物の栄養状態、水質汚染、都市の熱分布などの詳細な観測が可能となっている。

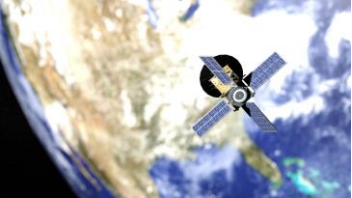
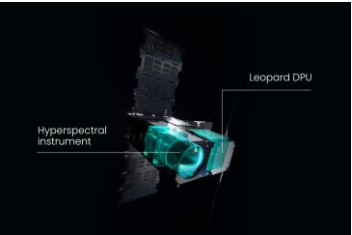
関連する開発事例

	組織名	概要	発表年	出典
	エイブリック、東京工業大学	エイブリックと東京工業大学は、紫外線高感度CMOSセンサを搭載した小型衛星用オーロラ観測カメラ「UVCAM」を共同開発した。宇宙から紫外線によるオーロラ観測を行い、地球磁気圏と荷電粒子の相互作用を調査することを目的としている。高耐光性技術を活用し、宇宙空間の厳しい環境下でも動作可能な設計となっている。	2021	https://www.titech.ac.jp/news/2021/061885
	OHb	OHbは、可視から短波赤外までの連続スペクトルを観測できるハイパースペクトル衛星EnMAPを開発し、運用を開始した。これにより、鉱物の分布、植物の栄養状態、水質汚染などを高精度で観測可能となった。	2022	https://www.ohb.de/en/news/all-tests-in-space-successfully-mastered-earth-observation-satellite-enmap-impresses-with-top-quality-data-sets https://www.enmap.org/data/1st_WS_Online/Session_I/2023_EnMAP_User_Workshop_R.Feckl_OHb.pdf
	SatVu	SatVuは、3.5 mの高解像度で昼夜を問わず地表や建造物内部の熱分布を観測可能な衛星赤外線熱画像システムを開発した。従来の低解像度熱画像では得られなかった詳細な熱情報を提供し、経済活動の監視、国家安全保障、都市の熱監視などでの応用が期待されている。今後、複数の衛星によるコンステレーションを構築し、観測頻度を高める計画である。	2024	https://www.satellitevu.com/ https://www.satellitevu.com/news/satvu-empowers-urban-planning-and-climate-resilience-efforts-with-high-resolution-thermal-satellite-imagery

衛星画像をオンボード処理する技術

衛星上で衛星画像をオンボード処理する技術が注目されている。これにより、膨大なデータを地上に送信する前に衛星上で解析・圧縮し、データ伝送量の削減やリアルタイム性の向上が可能となる。特に、AIやハイパースペクトルイメージングを用いた高度な画像処理技術が開発され、災害の早期検出や地球観測データの効率的な活用が期待されている。

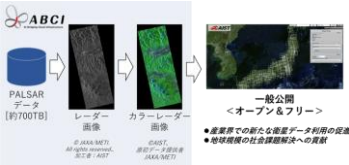
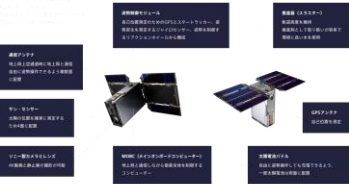
関連する開発事例

	組織名	概要	発表年	出典
	サウスオーストラリア大学	サウスオーストラリア大学は、キューブサットにオンボードAIを搭載し、ハイパースペクトル画像を衛星上で処理・圧縮するシステムを開発した。これにより、大量のデータを軌道上で解析し、時間とエネルギーを節約しつつ、火災の煙を早期に検出することを目指す。AIモデルはオーストラリアの森林火災のシミュレーション画像で訓練され、煙と雲を正確に区別できる。将来的には商業化や衛星コンステレーションへの導入を計画している。	2024	https://wired.jp/article/cubesat-ai-detects-bushfires/
	福井大学、株式会社アーケッジ・スペース	福井大学と株式会社アーケッジ・スペースは、超小型衛星「OPTIMAL-1」を開発し、地球観測データのオンボード処理技術を実証する。衛星上でカメラ画像を評価・解析し、良質な画像のみを保存することで、データ伝送の効率化を図る。さらに、ハイパースペクトルデータを衛星上で生成・解析し、観測対象に合わせたデータ取得を可能にする。今後は複数のCubeSatへの搭載や機能拡充を目指す。	2021	https://www.u-fukui.ac.jp/fukupre/69117/ https://webpark2258.sakura.ne.jp/ws_pdf/aoyanagi_ws3.pdf
	KP Labs	KP Labsは、AIを搭載したハイパースペクトル衛星「Intuition-1」で初めて画像取得に成功した。衛星上でのデータ処理により、膨大なハイパースペクトルデータを軌道上で解析し、地上へのデータ量を削減する。ハイパースペクトルイメージングとAIによる自律的な検出・分類で、地球表面の詳細な分析が可能となる。農業、環境モニタリング、鉱物探査など多様な分野での応用が期待される。	2024	https://kplabs.space/blog/press-release-first-hyperspectral-images-processed-by-ai-on-board-intuition-1-satellite/ https://kplabs.space/intuition-1/

衛星データの民主化に向けた取り組み

衛星データの民主化に向けた取り組みが活発化している。無料公開された衛星データやプラットフォーム上の開発環境・アルゴリズムにより、衛星データ利用の参入障壁が低減し、産業界での新たな利活用が促進されている。大量データの高速度処理と可視化技術の開発で、専門知識がなくても衛星データを活用できる環境が整いつつある。さらに、ユーザーが衛星を遠隔操作して撮影できるシステムが開発され、教育やエンターテインメント分野での新たな価値創出が期待される。

関連する開発事例

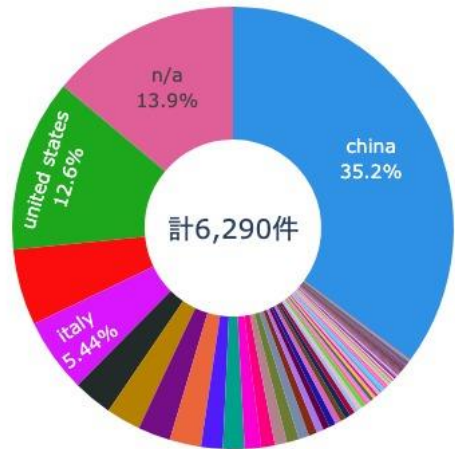
	組織名	概要	発表年	出典
	さくらインターネット株式会社	さくらインターネット株式会社は、衛星データプラットフォーム「Tellus」で、宇宙実証用ハイパースペクトルセンサ「HISUI」のデータを無料公開した。これにより、資源探査や環境、農業分野での衛星データ利用が促進される。「HISUI」は185バンドを観測し、従来よりも精密に地表物質の特定が可能である。「Tellus」は衛星データやアルゴリズム、開発環境をクラウド上で提供し、気象や人流などの地上データも順次搭載している。	2022	https://www.sakura.ad.jp/corporate/information/newsreleases/2022/10/12/1968210367/
	産業技術総合研究所	産業技術総合研究所は、人工知能処理向け計算機ABCIを用いて、衛星マイクロ波センサ-PALSARの全てのSARデータを処理し、地表面の状態に応じて色分けしたカラーレーダー画像を作成・公開した。約200万シーン（700TB）のSARデータを並列処理により短期間で画像処理し、表面散乱を青、二回反射散乱を赤、体積散乱を緑で表現した画像を生成した。これにより、地表面の状態や時系列変化を一目で理解可能となった。	2020	https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2020/pr20200522/pr20200522.html
	SONY	ソニーは、超小型人工衛星『EYE』にフルサイズカメラを搭載し、ユーザーが感度、絞り、シャッタースピードを設定して宇宙や地球を撮影できるシステムを開発した。『EYE』は地球を1日に約15周し、軌道データを元に軌道を予測し、Webアプリケーション『EYEコネクト』を通じて撮影シミュレーションや実際の撮影体験が可能である。専門的な知識やスキルがなくても直感的な操作で宇宙からの写真・映像撮影を行える。このシステムは、生活や教育、アートやエンターテインメントに新たな変化をもたらすことを目的としている。	2022	https://starsphere.sony.com/ja/artificial-satellite/ https://starsphere.sony.com/ja/https://starsphere.sony.com/ja/

論文/特許分析結果
【概要版】

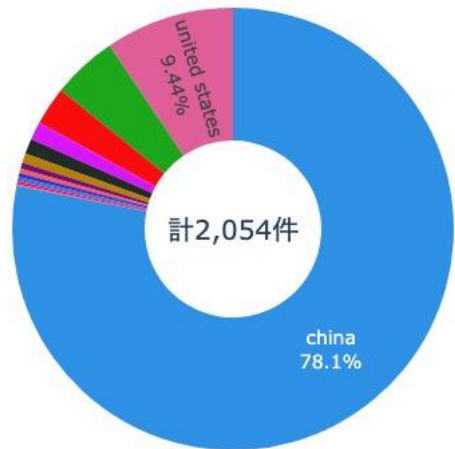
論文・特許数の推移

レーダーセンサ技術に関する論文・特許の年次推移

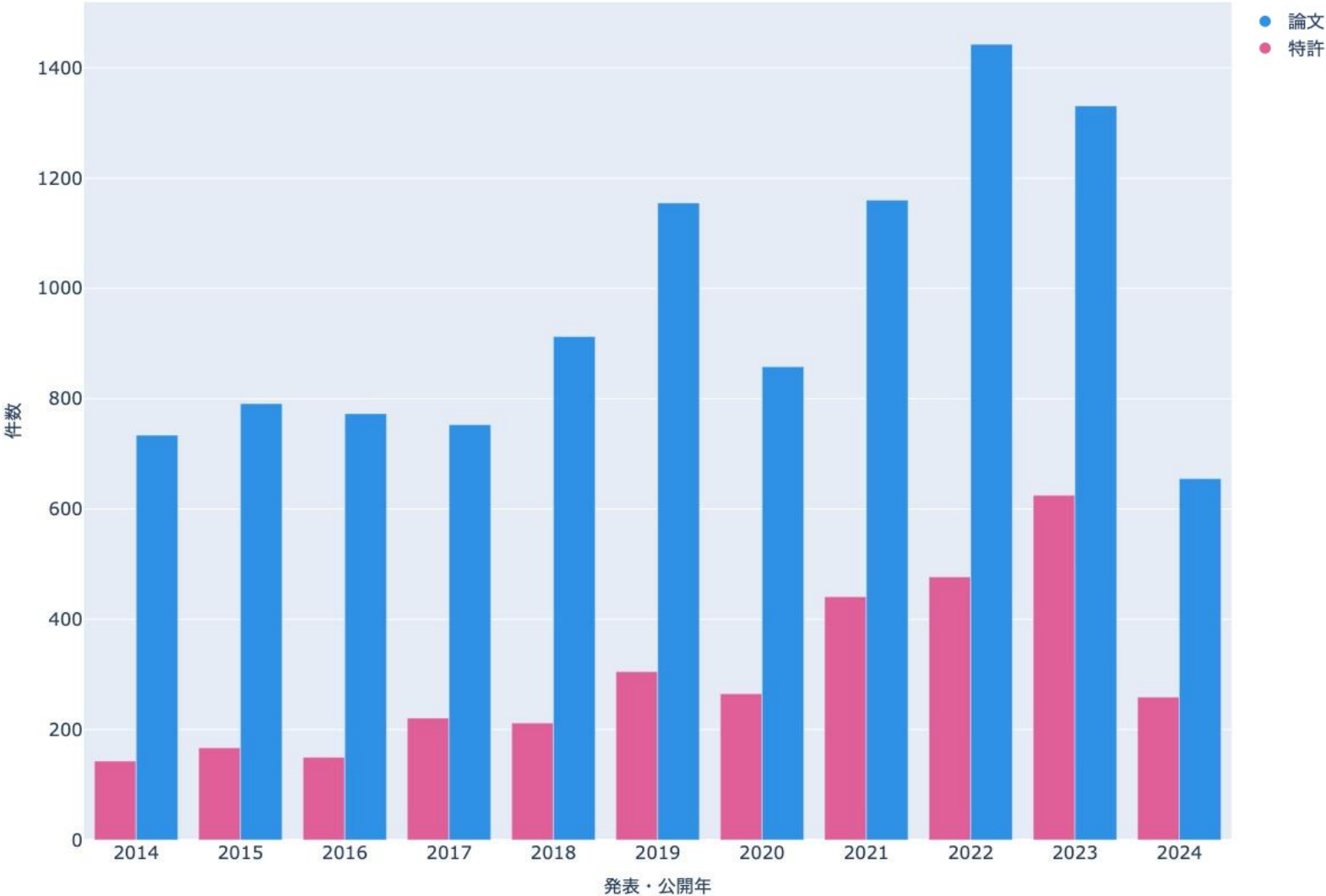
国別論文数



国別特許数



論文・特許数の推移



※ 論文の国は第一著者の所属組織で、特許の国は親特許の出願先の国で定義
※ n/a:論文DBの登録情報から国名が特定できなかったもの

技術カテゴリー 一覧

カテゴリー	論文/特許数推移	論文数増加率* 特許数増加率*	
レーダー技術と衛星観測に基づく高精度イメージング手法		13.0%	97.5%
SARデータ処理における空間時間適応処理技術		8.0%	30.0%
地下構造探査におけるレーダー技術の応用		40.0%	na
SAR技術を用いた多様なリモートセンシング応用		58.8%	371.4%
海流測定におけるSARと干渉法の応用技術		-31.6%	170.0%
SAR技術を用いた森林バイオマス推定手法		32.0%	200.0%
合成開口レーダーを用いた地表変位の精密測定技術		18.9%	128.6%
深層学習を活用したSAR画像の解析と分類技術		67.9%	537.5%
SAR画像生成と補正のための高度なアルゴリズム		-15.0%	154.5%
デジタル標高モデルとSAR技術による地形解析		-24.5%	433.3%
宇宙ミッションにおける分散型SAR技術		-8.1%	na
宇宙監視用の高性能アンテナとレーダー技術		20.7%	63.0%
SARによる海洋表面の風速と波の情報取得技術		23.8%	na
降水観測における多周波数レーダー技術とその応用		11.8%	0.0%
ミリ波アプリケーション向けの高性能アンテナ技術		-7.3%	7.4%

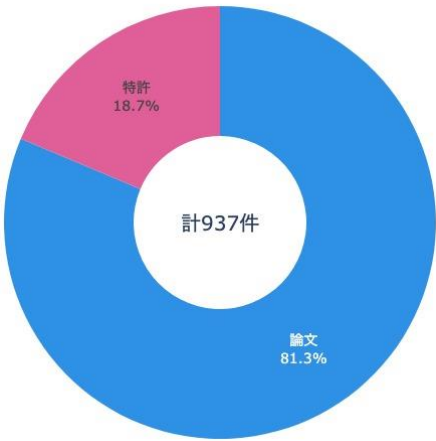
*2019年から2023年での増加率。
2019年,2023年何れかの文献数がゼロの場合はnaと表記している

深層学習を活用したSAR画像の解析と分類技術

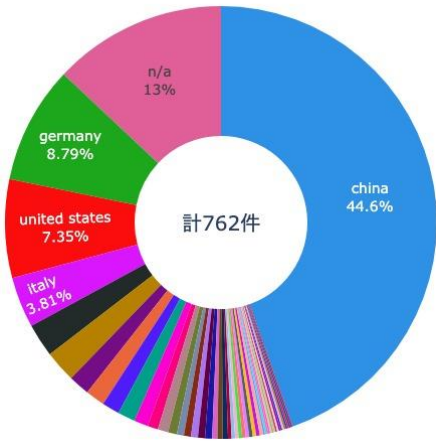
概要

このカテゴリーは、合成開口レーダー（SAR）画像の解析と分類に関する技術を扱っている。具体的には、深層学習を用いた特徴抽出や、ポリメトリックデータからの階層的特徴学習、変化検出のためのメタラーニングフレームワークなどが含まれる。また、ノイズに強いターゲット認識手法や、適応型クラスタリング手法、エッジフィールド画像を用いた精度向上技術など、多様なアプローチが提案されている。これにより、都市部の分類や雷雨の認識精度が向上し、SAR画像の情報を効果的に活用することが可能となる。

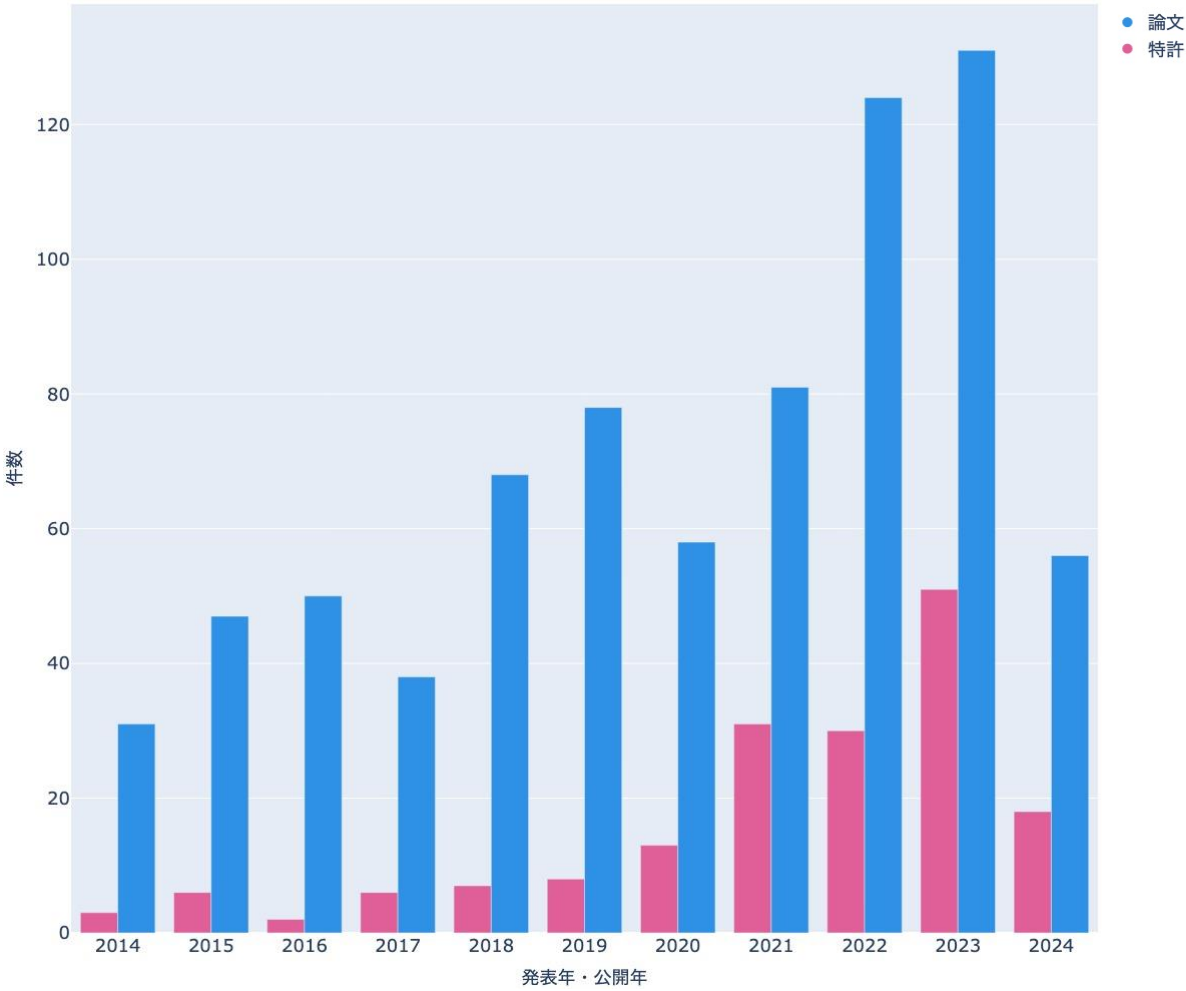
特許・論文比率



論文国別比率



論文・特許数推移



※ 論文の国は第一著者の所属組織で定義
※ n/a: 論文DBの登録情報から国名が特定できなかったもの

少数ショット学習とクラスインクリメンタル学習の進展

少数ショット学習とクラスインクリメンタル学習は、SAR画像の自動ターゲット認識において重要な技術として注目されています。これらの技術は、限られたデータセットでのターゲット認識精度を向上させるために、Azimuth-Aware Subspace ClassifierやCosine Prototype Learningなどの手法を活用しています。これにより、既存のクラスと新しいクラスの識別を強化し、モデルの安定性を保ちながら新しいクラスへの適応を可能にしています。

開発状況	SAR画像の自動ターゲット認識における精度と効率を向上させることを目的とし、少数ショット学習とクラスインクリメンタル学習を活用した技術開発が進められています。これにより、限られたデータセットでのターゲット認識精度を向上させ、新しいクラスへの適応を可能にすることを目指しています。	課題	SAR画像の自動ターゲット認識において、少数ショット学習とクラスインクリメンタル学習を適用する際に、限られたデータセットでの認識精度を向上させることが課題となっています。特に、既存のクラスと新しいクラスの識別を強化し、モデルの安定性を保つことが求められています。
------	---	----	---

関連論文/特許

	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
論文	Transductive Prototypical Attention Reasoning Network for Few-Shot SAR Target Recognition	Transductive Prototypical Attention Reasoning Network (TPARN)は、限られた訓練サンプルでのSARターゲット認識を改善するために開発されました。特徴抽出とプロトタイプ推論を組み合わせ、分類精度を向上させることに成功しています。	university of electronic science and technology of china	2023	https://doi.org/10.1109/tgrs.2023.3271218
論文	Few-Shot Class-Incremental SAR Target Recognition via Cosine Prototype Learning	Cosine Prototype Learning (CPL)フレームワークは、少数ショットクラスインクリメンタル学習を強化するために開発されました。クラス間の識別を強化し、モデルの安定性を保ちながら新しいクラスへの適応を可能にしています。	national university of defense technology	2023	https://doi.org/10.1109/tgrs.2023.3298016
論文	Azimuth-Aware Subspace Classifier for Few-Shot Class-Incremental SAR ATR	Azimuth-Aware Subspace Classifier (AASC)は、SAR ATRシステムの少数ショットクラスインクリメンタル学習能力を向上させるために開発されました。モデルの安定性と柔軟性をバランスよく保ち、実際のSAR ATRシナリオで優れた性能を示しています。	national university of defense technology	2024	https://doi.org/10.1109/tgrs.2024.3354800
論文	Zero-Shot Learning of SAR Target Feature Space With Deep Generative Neural Networks	深層生成ニューラルネットワークを用いたゼロショット学習フレームワークは、SAR ATRにおける限られた訓練サンプルの課題を解決します。未見のターゲットを効果的に特徴空間にマッピングすることが可能です。	fudan university	2017	https://doi.org/10.1109/lgrs.2017.2758900

コントラスト学習を用いたSAR画像分類の進展

コントラスト学習をSAR画像分類に適用することで、ラベル付きデータが限られている状況でも高精度な分類が可能となる研究が進んでいる。特に、デュアルダイナミックグラフ畳み込みネットワーク（DDGCN）やSimCLRフレームワークを用いた手法が注目されており、これらはSAR画像の構造的関係を捉え、ラベルなしデータを活用することで分類精度を向上させている。これにより、災害管理や環境監視などへの応用が期待される。

開発状況

SAR画像の分類精度を向上させることを目的とし、特にラベルなしデータを活用したコントラスト学習技術の開発が進められている。これにより、より効率的なデータ利用と高精度な分類を実現することを目指している。

課題

SAR画像分類において、ラベル付きデータが不足しているため、コントラスト学習を活用してラベルなしデータを効果的に利用する技術の開発が求められている。

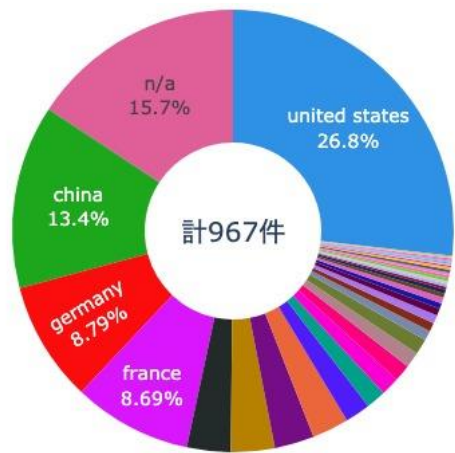
関連論文/特許

	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
論文	Contrastive Learning-Based Dual Dynamic GCN for SAR Image Scene Classification	コントラスト学習を用いたデュアルダイナミックグラフ畳み込みネットワーク（DDGCN）は、SAR画像のシーン分類においてラベル付きデータが限られている問題を解決するために開発された。ラベルなしデータを活用し、構造的関係を捉えることで分類精度を向上させている。	xidian university	2024	https://doi.org/10.1109/tnnls.2022.3174873
論文	Utilizing contrastive learning for graph-based active learning of SAR data	SimCLRフレームワークを用いたコントラスト学習により、SARデータの自動ターゲット認識を改善する研究が行われた。MSTARデータセットでの実験により、従来の方法を上回る性能が確認された。	university of california, los angeles	2023	https://doi.org/10.1117/12.2663099
論文	FACTUAL: A Novel Framework for Contrastive Learning Based Robust SAR Image Classification	FACTUALフレームワークは、コントラスト学習を用いてSAR画像分類の堅牢性を向上させることを目的としている。特に、現実的な物理的攻撃に対する耐性を強化し、高い分類精度を実現している。	university of southern california	2024	https://doi.org/10.1109/radarco-nf2458775.2024.10549364
論文	Self-Supervised Feature Representation for SAR Image Target Classification Using Contrastive Learning	コントラスト学習を用いた二段階アルゴリズムにより、SAR画像のターゲット分類を改善する研究が行われた。MSTARデータセットでの実験により、ラベル付きデータが限られている状況でも優れた性能が示された。	southeast university	2023	https://doi.org/10.1109/jstars.2023.3321769

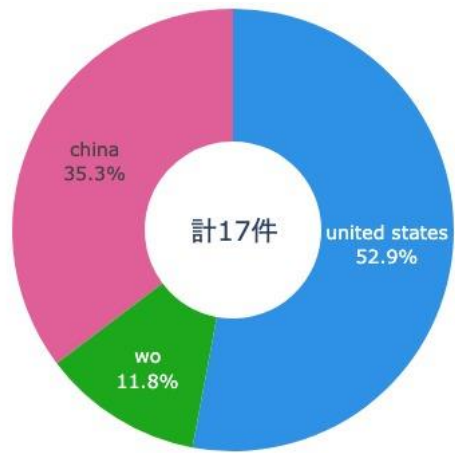
論文・特許数の推移

LiDAR技術に関する論文・特許の年次推移

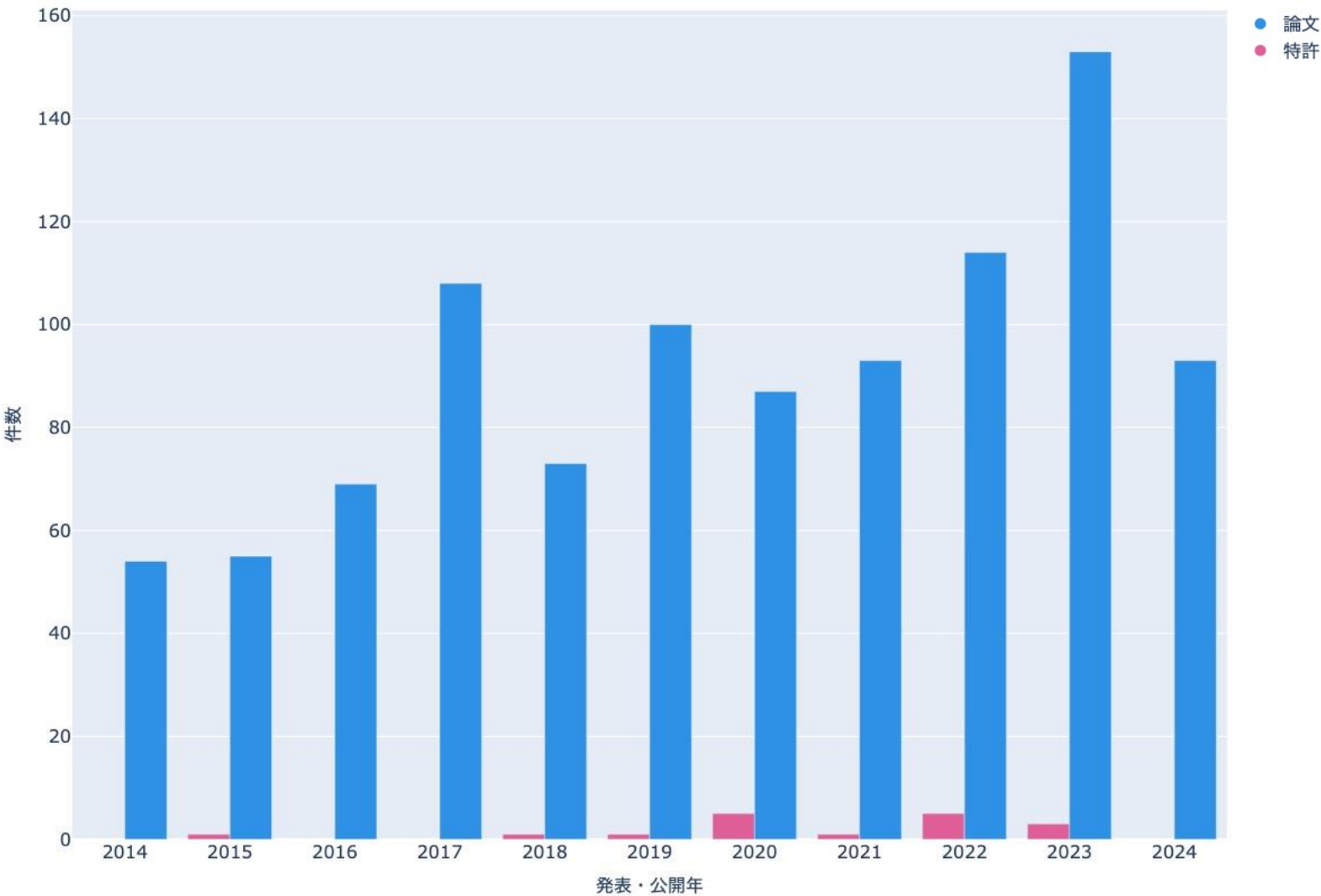
国別論文数



国別特許数

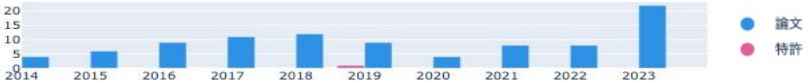
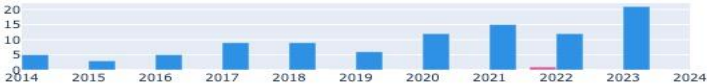
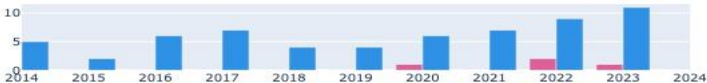
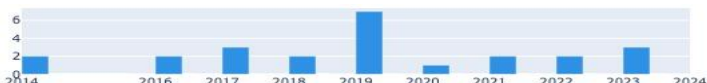


論文・特許数の推移



※ 論文の国は第一著者の所属組織で、特許の国は親特許の出願先の国で定義
※ n/a:論文DBの登録情報から国名が特定できなかったもの

技術カテゴリー 一覧

カテゴリー	論文/特許数推移	論文数増加率* 特許数増加率*	
自律ナビゲーションにおけるLiDAR技術の重要性		144.4%	-100.0%
Doppler風ライダーによる宇宙からの風観測技術		250.0%	na
地球観測におけるLiDARセンサーのデータ活用法		175.0%	na
雲とエアロゾル観測におけるCALIPSO技術の役割		-50.0%	na
光子カウントLiDARによる環境モニタリング技術		-14.3%	na
メタン観測のための宇宙LiDAR技術の革新		-57.1%	na
宇宙からの大気観測におけるLiDAR技術の応用と進展		5.3%	na
宇宙におけるLiDAR技術の森林観測への応用		141.2%	na
宇宙におけるLiDAR技術の応用と性能向上		-9.5%	na

*2019年から2023年での増加率。

2019年,2023年何れかの文献数がゼロの場合はnaと表記している

Doppler風ライダーによる宇宙からの風観測技術

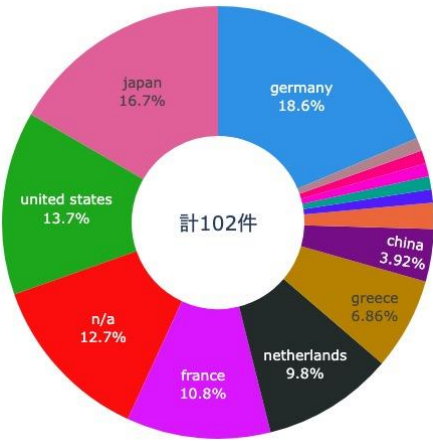
概要

このカテゴリーは、宇宙からの地球観測におけるDoppler風ライダー技術に関するものである。具体的には、AeolusミッションがDoppler風ライダーを用いて風のプロファイルを測定し、気象予測や大気の動態理解に寄与している。また、MOLIミッションでは森林のバイオマス評価や森林冠高さの測定にライダー技術が活用されている。これらの技術は、宇宙からの大気観測やエアロゾルの特性評価にも応用されており、未来の衛星ミッションにおいても重要な役割を果たすと期待されている。

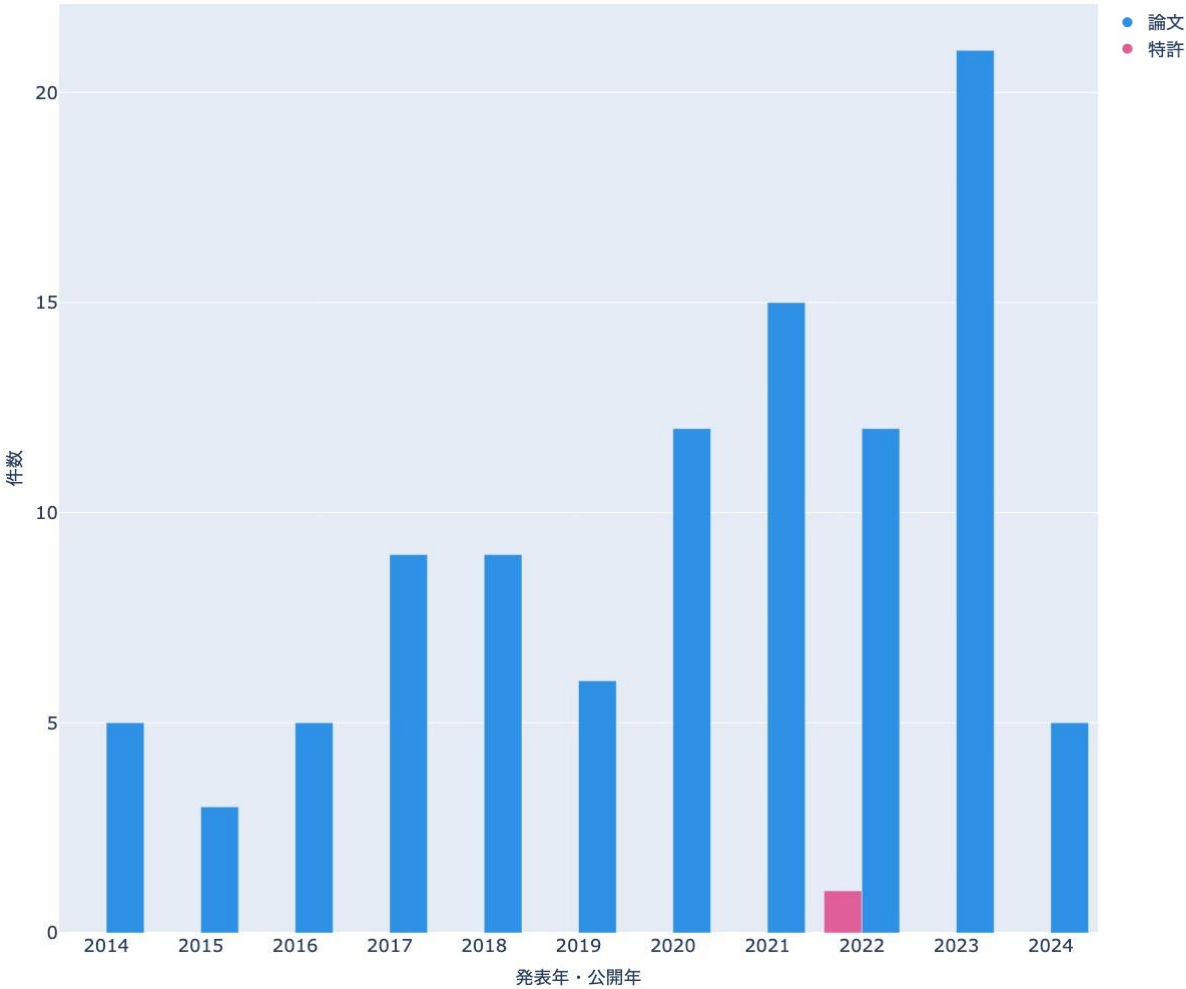
特許・論文比率



論文国別比率



論文・特許数推移



※ 論文の国は第一著者の所属組織で定義
※ n/a:論文DBの登録情報から国名が特定できなかったもの

Aeolusミッションによる風観測技術の進展

宇宙からの風観測技術において、Doppler風ライダーの活用が進んでおり、特にESAのAeolusミッションが注目されている。このミッションは、地球の大気中の風のプロファイルを提供し、気象予測の精度向上に寄与している。Aeolusは、短期および中期の天気予報を改善するために、対流圏および下部成層圏のグローバルな風プロファイルを提供し、空気質モデルや気候モデルの検証にも利用されている。

開発
状況

Aeolusミッションの目的は、地球の大気中の風のプロファイルを提供し、気象予測の精度を向上させることにある。また、空気質モデルや気候モデルの検証を通じて、気候変動の理解を深めることを目指している。

課題

宇宙からの風観測において、Doppler風ライダーの精度向上とデータの信頼性確保が課題となっている。特に、観測データのバイアス補正や、異なる観測手法とのデータ統合が求められている。

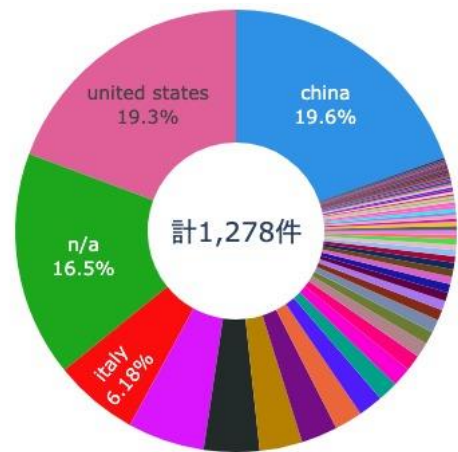
関連論文/特許

	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
論文	ESA's spaceborne lidar mission ADM-Aeolus; project status and preparations for launch	ESAのAeolusミッションは、Doppler風ライダーを用いて風のプロファイルを測定し、気象予測と気候研究を強化することを目的としている。ALADINという革新的な機器を搭載し、雲やエアロゾルの光学特性のプロファイルも生成する。	european space agency	2018	https://doi.org/10.1051/epjconf/201817604007
論文	Impact of the Aeolus Level-2B horizontal line-of-sight winds in the Environment and Climate Change Canada global forecast system	AeolusミッションのHLOS風データは、カナダの気象予測システムにおいて予測精度を向上させることが確認された。特に、熱帯および極地での予測において顕著な効果が見られた。	environment and climate change canada	2022	https://doi.org/10.1002/qj.4300
論文	Aeolus Data Validation for an Extreme Precipitation Event in Greece with the COSMO NWP Model	Aeolusデータは、ギリシャでの極端な降水イベントの予測精度を向上させることが示された。COSMOモデルを用いた研究で、Aeolusデータの統合が降水予測を改善した。	hellenic national meteorological service	2023	https://doi.org/10.3390/w15213820
論文	Aeolus first light: first glimpse	Aeolusミッションは、対流圏と下部成層圏のグローバルな風プロファイルを提供し、短期および中期の天気予報を改善することを目的としている。初期の結果が発表されている。	european space agency	2019	https://doi.org/10.1117/12.2535982

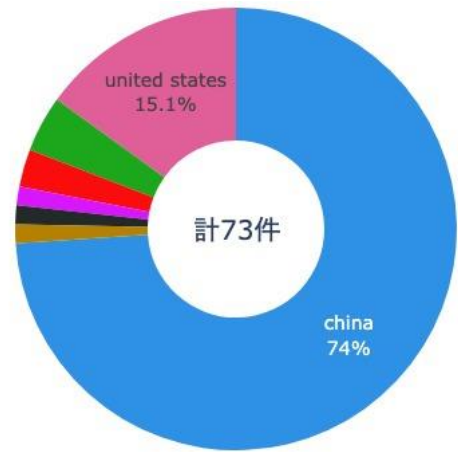
論文・特許数の推移

RFセンシング技術に関する論文・特許の年次推移

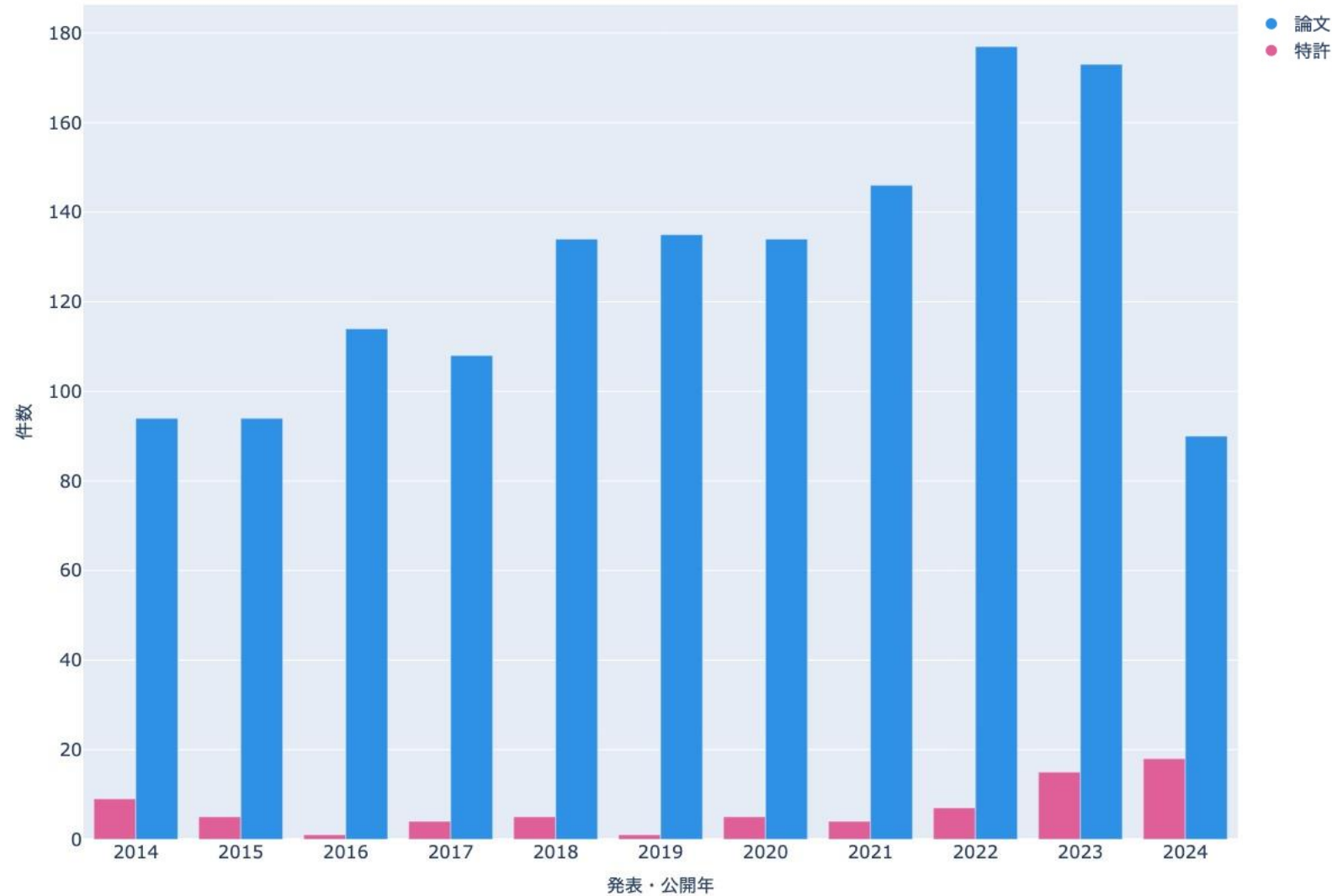
国別論文数



国別特許数

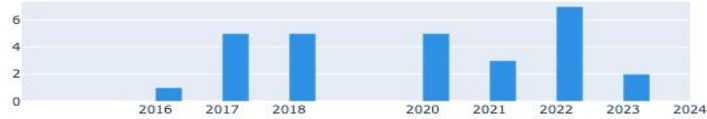
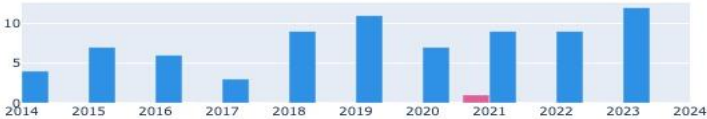
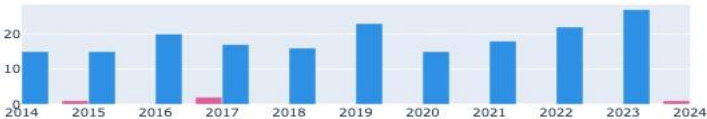
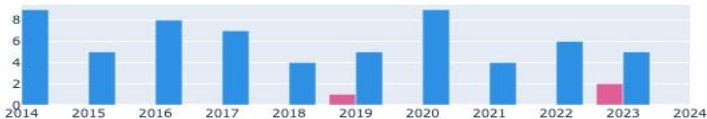
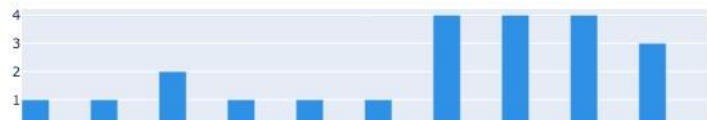


論文・特許数の推移



※ 論文の国は第一著者の所属組織で、特許の国は親特許の出願先の国で定義
※ n/a:論文DBの登録情報から国名が特定できなかったもの

技術カテゴリー 一覧

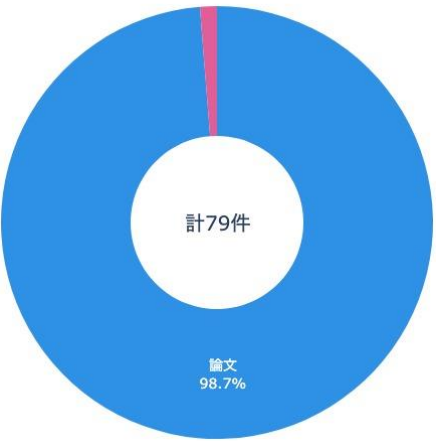
カテゴリー	論文/特許数推移	論文数増加率* 特許数増加率*	
宇宙からの地球観測におけるRFセンサー技術の応用		19.2%	na
Sentinel衛星による降水量と風速の観測		na	na
LバンドとCバンドによる土壌水分と植生観測		9.1%	na
RFセンサー技術を用いた地球観測と環境モニタリング		17.4%	na
SARとマイクロ波での海面塩分と氷観測		0.0%	100.0%
宇宙環境でのRFセンサーによる放射線測定		200.0%	na
*2019年から2023年での増加率。 2019年,2023年何れかの文献数がゼロの場合はnaと表記している			

LバンドとCバンドによる土壌水分と植生観測

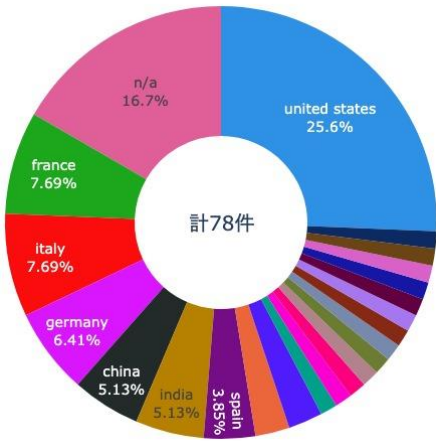
概要

このカテゴリーは、RFセンサー技術を用いた地球観測に関するものである。具体的には、LバンドやCバンド、Pバンドのレーダーおよびラジオメーターが、土壌水分、植生の水動態、森林構造、作物の成長などの環境パラメータを観測するために利用されている。これにより、気候変動や環境変化のモニタリングが可能となり、農業や森林管理における重要なデータを提供する。

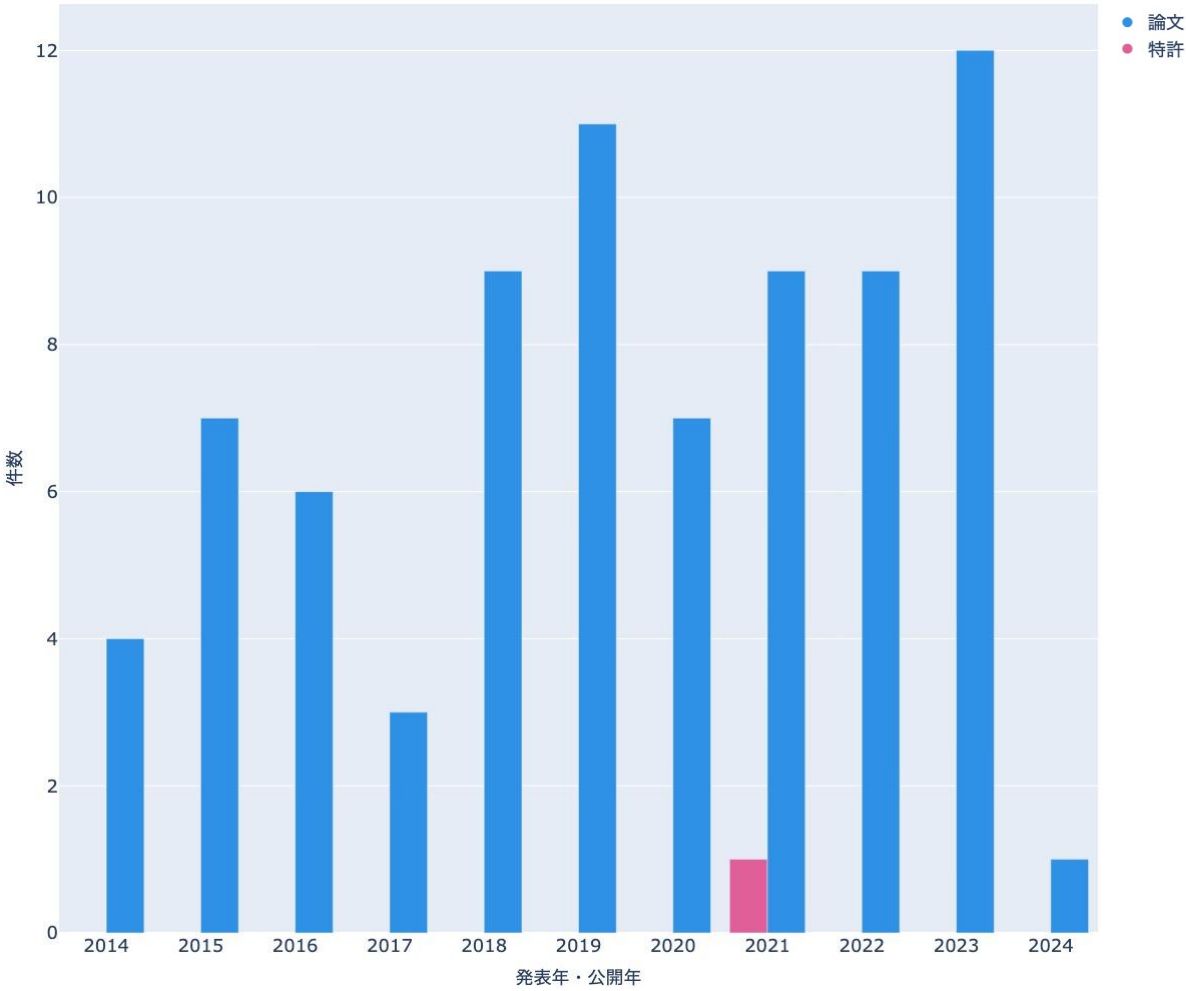
特許・論文比率



論文国別比率



論文・特許数推移



※ 論文の国は第一著者の所属組織で定義
※ n/a:論文DBの登録情報から国名が特定できなかったもの

LバンドとCバンドによる土壌水分観測技術の進化

LバンドとCバンドを用いた土壌水分観測技術は、農業や環境モニタリングにおいて重要な役割を果たしている。これらの技術は、浅い層から深い層までの土壌水分動態を高精度で把握することが可能であり、灌漑管理の効率化や水資源管理の改善に寄与する。特に、SMOSやSMAPといったミッションがLバンドを活用しており、これらの技術の進展が注目されている。

開発状況

土壌水分観測技術の進化を通じて、農業における灌漑管理の効率化や、気候変動に伴う水資源管理の改善を目指している。これにより、持続可能な農業と環境保護を実現することが目的である。

課題

LバンドとCバンドを用いた土壌水分観測技術の適用において、異なる土壌層の水分動態を正確に把握するための技術開発が求められている。特に、深層の水分動態を高精度で観測することが課題となっている。

関連論文/特許

	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
論文	Integrating satellite remote sensing data and hydrological models by data assimilation for a near real time estimation of the soil water content at local scale.	この研究は、衛星リモートセンシングデータと水文学モデルを統合し、根域土壌水分を予測することを目的としている。これにより、灌漑管理の効率化が期待される。	forschungszentrum jülich	2022	https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-9755
論文	A new SMAP soil moisture and vegetation optical depth product (SMAP-IB): Algorithm, assessment and inter-comparison	SMAP-IB製品は、Lバンドを用いた新しいアルゴリズムで、地表土壌水分と植生光学深度を高精度で推定することを目的としている。	interactions sol plante atmosphère	2022	https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.112921
論文	Evaluating the Accuracy of Passive Microwave Emission Models for Estimating Brightness Temperature	受動マイクロ波放射モデルの精度を評価し、土壌水分の推定におけるLバンドとPバンドの有効性を比較している。Pバンドはより深い層の水分を検出可能である。	monash university	2023	https://doi.org/10.1109/igarss52108.2023.10282821
論文	IGARSS - Sarsense: Analyzing air- and space-borne C- and L-band SAR backscattering signals to changes in soil and plant parameters of crops	Sarsenseキャンペーンは、CバンドとLバンドSARを用いて作物の土壌と植物パラメータの変化を監視することを目的としている。	forschungszentrum jülich	2021	https://doi.org/10.1109/igarss47720.2021.9553399

LバンドとCバンドによる植生観測技術の進化

LバンドとCバンドを用いた植生観測技術は、森林や農作物のモニタリングにおいて重要な役割を果たしている。これらの技術は、植生の構造や動態を詳細に把握することを可能にし、森林のバイオマス評価や農作物の成長分析を精緻化する。特に、NISARやBIOMASSといったミッションがこれらの技術を活用しており、持続可能な資源管理や生態系の保全に寄与することが期待される。

開発
状況

LバンドとCバンドを用いた植生観測技術の開発は、森林や農作物のモニタリング精度を向上させ、持続可能な資源管理や生態系の保全を実現することを目的としている。これにより、地球環境の変動に対する理解を深めることが期待される。

課題

LバンドとCバンドを用いた植生観測技術の適用において、データの精度や一貫性を確保するための技術的課題が存在する。特に、異なるセンサー間でのデータ統合や、観測条件の変動に対する対応が求められている。

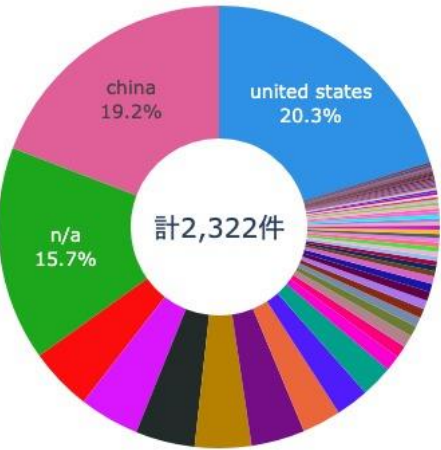
関連論文/特許

	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
論文	SMOS-IC data record of soil moisture and L-VOD: Historical development, applications and perspectives	SMOS-ICデータは、Lバンド観測に基づく地表土壌水分と植生水分量の情報を提供し、地球の水と炭素循環の理解に貢献している。特に、気候変動や人間活動の影響を評価するために重要である。	international sleep products association	2021	https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112238
論文	A new SMAP soil moisture and vegetation optical depth product (SMAP-IB): Algorithm, assessment and inter-comparison	SMAP-IB製品は、Lバンドを用いた新しいアルゴリズムで、地表土壌水分と植生光学的深度を高精度で推定する。補助データに依存せず、長期的な地球観測に貢献することが期待される。	interactions sol plante atmosphère	2022	https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.112921
論文	Analyzing the Uncertainty of Biomass Estimates From L-Band Radar Backscatter Over the Harvard and Howland Forests	Lバンドレーダーを用いたバイオマス推定の不確実性を分析し、森林の生態系プロセスと炭素循環の理解に寄与する。特に、地上データとレーダーデータの比較により精度を評価している。	california institute of technology	2014	https://doi.org/10.1109/tgrs.2013.2273738
論文	Assessment of Aboveground Woody Biomass Dynamics Using Terrestrial Laser Scanner and L-Band ALOS PALSAR Data in South African Savanna	南アフリカのサバンナにおける地上レーザースキャナーとLバンドALOS PALSARデータを用いたバイオマス動態の評価を行い、長波マイクロ波データの有効性を示している。	university of jena	2016	https://doi.org/10.3390/f7120294

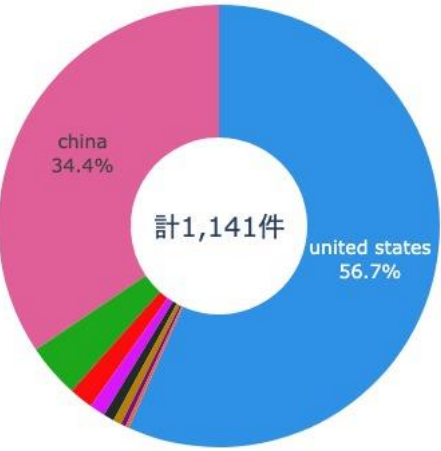
論文・特許数の推移

イメージセンサ技術に関する論文・特許の年次推移

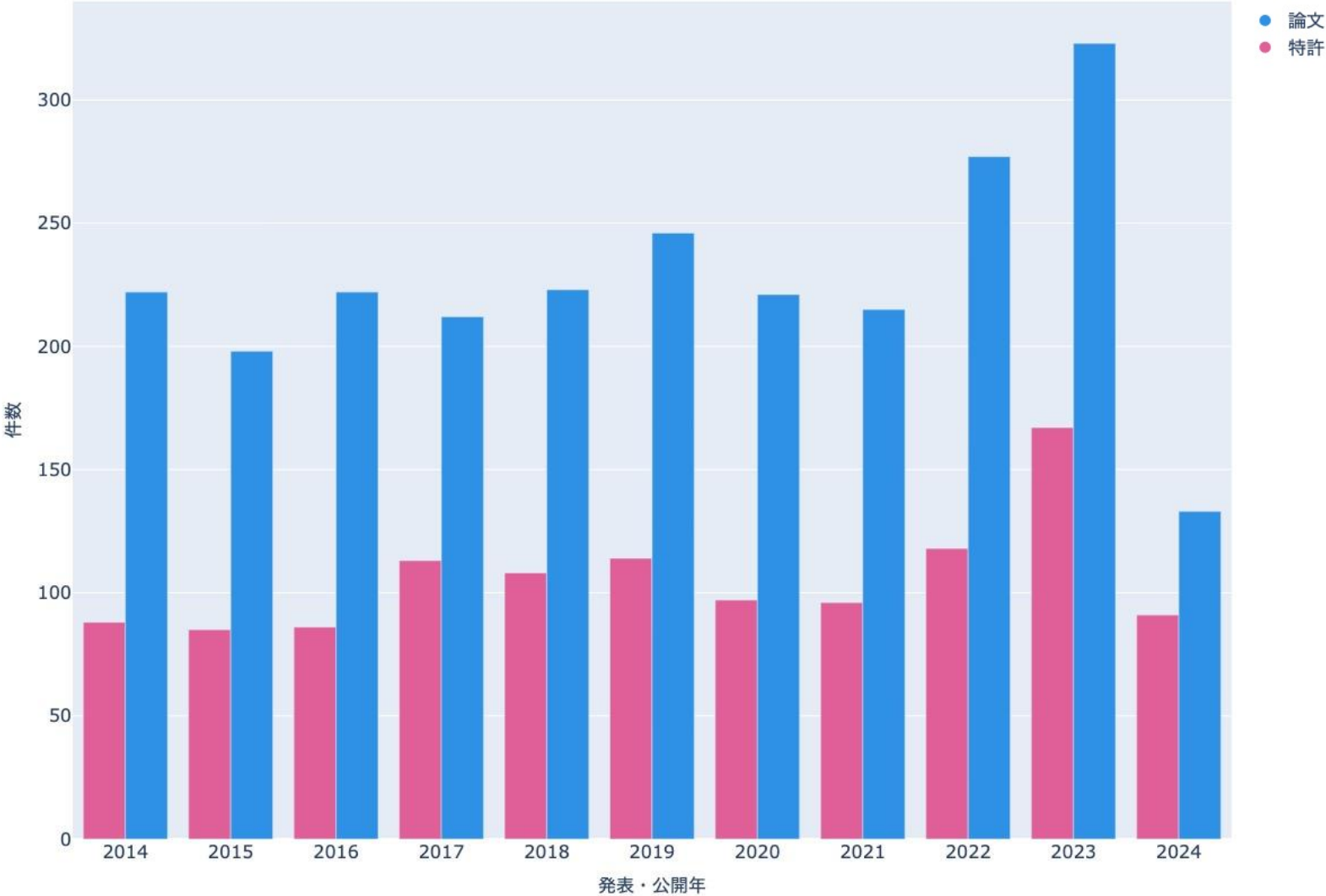
国別論文数



国別特許数



論文・特許数の推移



※ 論文の国は第一著者の所属組織で、特許の国は親特許の出願先の国で定義
※ n/a:論文DBの登録情報から国名が特定できなかったもの

技術カテゴリー 一覧

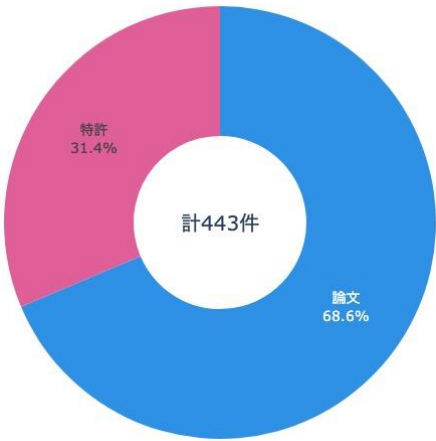
カテゴリー	論文/特許数推移	論文数増加率* 特許数増加率*	
宇宙航法における光学センサーと衛星イメージング技術		93.1%	60.0%
赤外線センサーによる地表温度分析技術		38.5%	0.0%
気象監視のためのマイクロ波イメージセンサー技術		22.2%	na
雷現象観測のためのイメージセンサー技術		137.5%	na
夜間観測に特化したイメージセンサー技術		-50.0%	na
宇宙ミッション向けの高解像度・高品質イメージセンサー技術と最適化技術		18.4%	34.5%
地球観測および大気成分分析における高スペクトルおよびハイパースペクトルセンサー技術		35.1%	na
*2019年から2023年での増加率。 2019年,2023年何れかの文献数がゼロの場合はnaと表記している			

宇宙航法における光学センサーと衛星イメージング技術

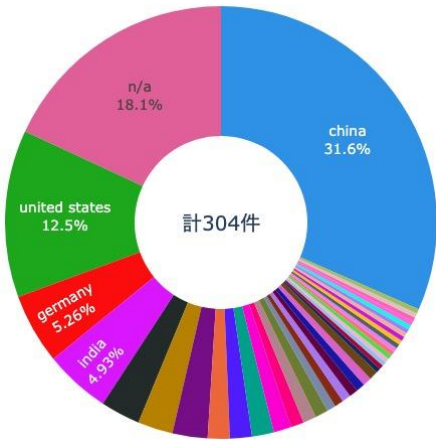
概要

このカテゴリーは、宇宙におけるイメージセンサー技術に関するものである。具体的には、光学センサーや高解像度衛星イメージングセンサーが地球表面の詳細な画像を取得するために使用され、環境モニタリングや災害監視にも応用されている。また、星センサーは宇宙での航法や姿勢測定に利用され、ナビゲーション精度の向上に寄与している。さらに、ナノ衛星や遠隔センシングシステムも、地球観測や天体の詳細な観察に重要な役割を果たしている。

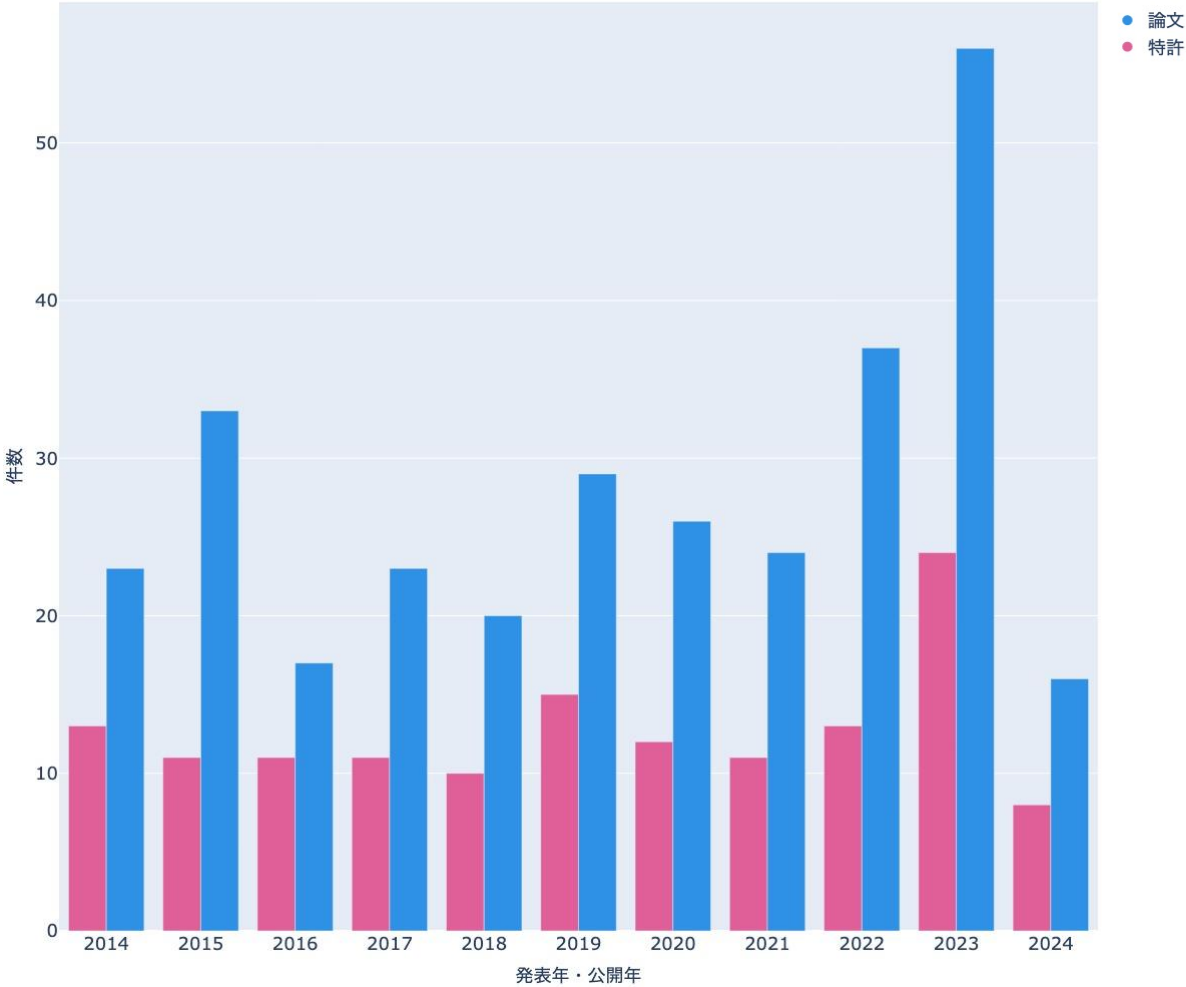
特許・論文比率



論文国別比率



論文・特許数推移



※ 論文の国は第一著者の所属組織で定義
※ n/a: 論文DBの登録情報から国名が特定できなかったもの

深層学習による非協力的宇宙物体の高精度検出

深層学習技術を宇宙物体の高精度検出に適用することで、非協力的な宇宙物体の検出精度が向上しています。特に、合成画像と実画像のドメイン差を克服する技術が注目されており、宇宙でのランデブーやドッキング、軌道上サービスの実現が期待されています。これにより、宇宙ごみの除去や宇宙環境での光の変動や遮蔽、画像スケールの違いといった課題を克服するための新たな手法が開発されています。

開発状況

宇宙での非協力的物体の高精度検出を目的とした技術開発が進められており、特に宇宙ごみの除去や軌道上サービスの実現を目指した取り組みが行われています。

課題

宇宙環境での非協力的宇宙物体の検出において、光の変動や遮蔽、画像スケールの違いが課題となっています。これらの特性を適正化するために、マルチスケールのドメイン適応技術の開発が進められています。

関連論文/特許

	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
論文	High-Precision Domain Adaptive Detection Method for Noncooperative Spacecraft Based on Optical Sensor Data	光学センサーを用いた非協力的宇宙機の高精度検出手法を提案。CycleGANを用いて合成画像と実画像のドメイン差を克服し、YOLOv5と組み合わせたマルチスケールドメイン適応モデルを開発。実験により、宇宙でのランデブーやドッキング、軌道上サービスへの応用が期待される。	chinese academy of sciences	2024	https://doi.org/10.1109/jsen.2024.3370309
論文	Visible and Infrared Image Fusion-Based Image Quality Enhancement with Applications to Space Debris On-Orbit Surveillance	可視および赤外線画像融合アルゴリズムを用いて、宇宙ごみの軌道上監視のための画像品質を向上。暗い環境での視覚センサーの限界を克服し、信号対雑音比を改善。実験結果は、他の最先端アルゴリズムを上回る性能を示す。	nanjing university of aeronautics and astronautics	2022	https://doi.org/10.1155/2022/6300437
論文	Vision-Based Object Recognition and Precise Localization for Space Body Control	宇宙ロボットやランデブー、ドッキングにおける視覚ベースの物体認識と精密な位置特定システムを開発。深層学習を用いて複雑な背景での物体検出を行い、実験で99.8%の認識精度と1.5メートル以内での位置精度を実現。	chinese academy of sciences	2019	https://doi.org/10.1155/2019/7050915
論文	SpaceDrones 2.0—Hardware-in-the-Loop Simulation and Validation for Orbital and Deep Space Computer Vision and Machine Learning Tasking Using Free-Flying Drone Platforms	自由飛行ドローンプラットフォームを用いた軌道および深宇宙コンピュータビジョンと機械学習のハードウェアインザループシミュレーションを提案。合成訓練モデルを使用し、動的な宇宙環境での機械学習性能を向上。軌道上サービスや組立に必要な物体分類、追跡、操作を可能にする。	virginia tech	2022	https://doi.org/10.3390/aerospace9050254

目次

1. はじめに/調査方針

2. 調査報告

2-1. 衛星システム基盤技術の調査分析

- 電気系基盤技術に係る国内外の最新動向
 - センシング技術
 - 電源技術
- 機械系基盤技術に係る国内外の最新動向
 - ホールスラスタ/イオンエンジン
 - 冷却技術

電源技術調査の要素技術キーワードと進め方

宇宙空間での電源の確保や利用に関する、高効率エネルギー変換（太陽電池、新型電池、核エネルギー活用含む）、および高電圧制御技術を対象として開発動向を調査・整理した

要素技術キーワード

- ✓ 高効率エネルギー変換
- ✓ 高電圧制御技術

主要プレイヤーの事例調査

論文/特許分析

調査の進め方

- Web調査をベースに、要素技術キーワードにおいて宇宙開発に関する企業や研究機関の事例を収集・整理
- 個々の事例をスライドに整理（詳細資料に記載）、さらに、いくつかの事例で共通の観点をまとめた動向資料を作成
- 主に、2020年以降に大きな動きが見られた事例を対象としている
- 論文/特許データベース*を用いて、要素技術キーワードと宇宙開発の双方に関連する論文と特許を抽出
- 抽出した数百～数万件の文献について、自然言語処理AIを活用しながら、データ前処理、カテゴライズ、要約を行い、主要な開発動向の可視化を実施
- 要素技術キーワード分析は要素技術キーワードごとに実施

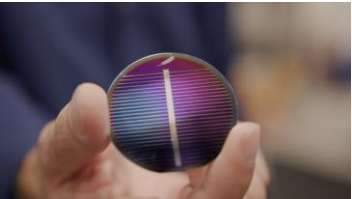
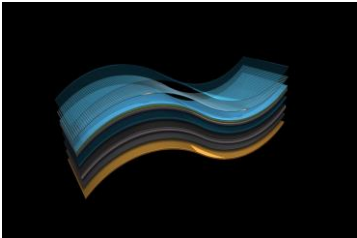
*データベースはLens(<https://www.lens.org/>)を使用

主要プレイヤーの
事例調査結果
【概要版】

宇宙向けの太陽電池製造技術の開発

宇宙用の太陽電池製造技術が進化しており、高効率・高耐久性・軽量化・柔軟性など、宇宙環境に適した特性を持つ製品の開発が活発化している。具体的には、トリプルジャンクションGaAs太陽電池や、月面のレゴリスから太陽電池を自律製造する技術、CIGSとペロブスカイトを用いた次世代タンデム太陽電池モジュールなど様々な開発が進んでいる。

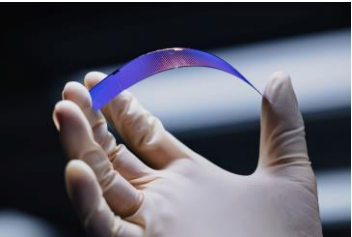
関連する開発事例

	組織名	概要	発表年	出典
	AZUR SPACE Solar Power GmbH	AZUR SPACE Solar Power GmbHは、トリプルジャンクション技術を用いた高効率GaAs太陽電池「3G30-Advanced」を開発している。同製品は、III-V族化合物半導体材料をゲルマニウム基板上に成長させ、高いエネルギー変換効率を実現している。製造プロセスの最適化と高度なインプロセス制御により、高スループットと高信頼性を両立し、人工衛星や宇宙探査機の電源として広く利用されている。	-	https://www.azurspace.com/index.php/en/technology https://www.azurspace.com/index.php/en/products/products-space/space-solar-cells
	Blue Origin	Blue Originは、月面のレゴリスから太陽電池を自律製造するシステム「Blue Alchemist」を開発している。溶融レゴリス電解により高純度シリコンを生成し、太陽電池を製造する技術である。副産物として酸素も得られ、推進や生命維持に活用可能であり、持続的な月面活動を支える基盤技術となることが期待されている。	2023	https://www.blueorigin.com/news/blue-origin-awarded-nasa-partnership-to-turn-lunar-regolith-into-solar-power-systems-on-the-moon https://www.blueorigin.com/news/blue-alchemist-powers-our-lunar-future
	Flexell Space	Flexell Spaceは、Airbus Defence and Space GmbHと共同で、CIGSとペロブスカイトを組み合わせた次世代の宇宙用タンデム太陽電池モジュールを開発している。従来より50%以上軽量で柔軟性を持ち、同等の性能と効率を維持することを目指している。小型衛星や曲面を持つ宇宙機の表面にも適用可能な設計であり、宇宙産業の進化に寄与すると期待されている。	2024	https://www.hanwha.com/newsroom/news/press-releases/hanwha-systems-flexell-space-collaborates-with-airbus-on-next-generation-space-solar-cell-development.do

宇宙向けの柔軟な太陽電池技術の実現

宇宙向けの柔軟で軽量の太陽電池技術の開発が加速している。従来の剛性が高くガラスで覆われたソーラーアレイに代わり、CIGS薄膜、極薄型シリコンヘテロ接合セル、微小太陽電池を編み込んだメッシュ素材など、新たな素材と構造が採用されている。低コストで長寿命の電源を必要とする衛星コンステレーションの増加に伴い、この分野の技術革新が重要視されている。

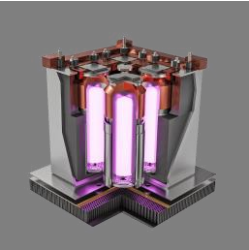
関連する開発事例

	組織名	概要	発表年	出典
	Ascent Solar Technologies, Inc.	Ascent Solar Technologiesは、宇宙環境向けの高効率CIGS薄膜太陽電池「Titan」を開発。「Titan」は17.55%の変換効率で、一平方フィートあたり17Wを提供する。超軽量で柔軟性と耐久性に優れ、単独またはアレイで使用可能。多様な構成に対応し、部品点数の削減で組み立てや試験の効率化を実現。小型から大型衛星、深宇宙ミッションまで幅広く適用可能で、宇宙機の設計自由度と運用効率を向上させる。	-	https://ascentsolar.com/space https://investors.ascentsolar.com/news/news-details/2023/Ascent-Solar-Develops-Titan-A-Solar-Module-Optimized-for-Space-using-17.55-Record-Efficiency-Technology-Eyes-Q1-for-Initial-Product-Deliveries/default.aspx
	mPower	mPowerは、微小太陽電池を髪の毛ほどの幅で編み込んだ柔軟で軽量のメッシュ状太陽電池素材「DragonSCALES」を開発。従来の剛性が高いソーラーアレイに比べ、柔軟性と軽量性に優れ、宇宙機の重量と体積を削減できる。標準的な半導体・太陽電池の微細加工技術で大量生産が可能でコスト削減を実現。形状や設計のカスタマイズが容易で、LEO衛星から軍事・アウトドア用途のポータブル電源まで幅広く応用が期待されている。	2024	https://mpowertech.com/dragonscales-to-power-up-small-satellite-in-december-2/ https://mpowertech.com/technology/
	Solestial	Solestialは、放射線損傷を低温で自己修復可能な宇宙用極薄型シリコンヘテロ接合太陽電池を開発。セル厚は最小20μmで、独自の欠陥制御により65～90℃の宇宙環境下で放射線損傷を回復させ、高効率を長期間維持する。商用シリコンウェハを使用し、自動化された生産設備で大量生産が可能。セル効率20%を達成し、柔軟で超薄型のため軽量のソーラーブランケットに最適。衛星コンステレーションや宇宙開発プロジェクト向けに、低コストで長寿命の電源ソリューションを提供する。	-	https://solestial.com/the-cea-validates-solestials-breakthrough-radiation-curing-technology/ https://solestial.com/product/solar-cell/ https://solestial.com/product/flexible-solar-power-modules/

核エネルギーを活用したコンパクトな電源システム

放射性同位体の核崩壊を利用したコンパクトな電源システムが注目されている。素材科学と核燃料製造の革新により、トリチウムやアメリシウム-241などの豊富で入手可能な同位体を活用し、長期間にわたり安定した電力を供給可能な装置が実現している。これらのシステムは、宇宙や深海などの過酷な環境下で、センサーや通信機器、小型衛星、ローバーなどに利用されている。

関連する開発事例

	組織名	概要	発表年	出典
	City Labs, Inc.	City Labs社は、トリチウムのベータ崩壊を利用した長寿命電池「NanoTritium™」を開発。トリチウムの緩やかな崩壊で発生する電子を電力に変換し、20年以上にわたり低電力のマイクロ電子機器へ連続的に電力を供給可能。化学反応に依存せず、温度変化や放射線の影響を受けないため、過酷な環境下でも高い信頼性を実現。小型軽量な設計により、センサーや小型衛星などへの組み込みが容易。	2024	https://citylabs.net/long-lasting-space-power-sources/ https://citylabs.net/products/
	UDRI	UDRIは、アメリシウム-241を熱源とした高効率スターリング発電技術を用い、月面ミッション向けのプラグアンドプレイ式パワーシステム「Harmonia」を開発。アメリシウム-241の放射性崩壊による熱を利用し、長期間にわたり安定した電力供給が可能。コンパクトな設計とプラグアンドプレイのアーキテクチャにより、ローバーや通信機器など多様な機器に宇宙飛行士が容易に電源を供給できる。	2023	https://udayton.edu/udri/news/2023-07-25-to-the-moon-and-beyond.php
	Zeno Power	Zeno Powerは、21世紀の素材科学と核燃料製造の革新により、豊富で利用可能な同位体を用いた新設計のラジオアイソトープ電源システム（RPS）の商用化を進めている。放射性同位体の壊変による熱をクリーンエネルギーに変換するコンパクトな装置である。従来のプルトニウム238などに代わる新たな同位体の採用により、大量生産が可能となり、商業および政府の需要に迅速に対応。宇宙探査や海底観測など、過酷な環境での電力供給に活用され、ミッション期間の延長に貢献。	2021	https://www.zenopower.com/

宇宙向けの新規電池技術の開発

宇宙向けの新規電池技術の開発が活発化している。これらの技術は、安全性、エネルギー効率、長寿命、極限環境での動作を重視している。具体的には、広い温度範囲で動作可能な全固体リチウムイオン電池、重希少鉱物を使用しないリチウム硫黄電池、衛星用ニッケル水素電池の再開発によるグリッド規模エネルギー貯蔵システムなどが挙げられる。。

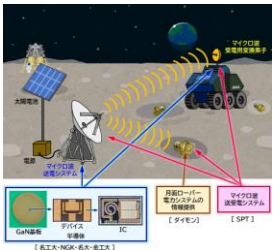
関連する開発事例

	組織名	概要	発表年	出典
	EnerVenue	EnerVenueは、NASAの衛星用に開発されたニッケル水素電池技術をグリッド規模のエネルギー貯蔵システムに適用することで、コスト競争力のあるエネルギー貯蔵システムを開発している。長寿命（3万回の充放電）、高効率（90%の往復効率）、高い安全性などの特性により、再生可能エネルギーの貯蔵やグリッドの安定化への応用が期待される。	2023	https://spectrum.ieee.org/grid-scale-battery-storage-nickel-hydrogen https://enervenue.com/energy-unrestricted/
	JAXA, 日立造船	JAXAと日立造船は、全固体リチウムイオン電池『Space As-Lib』を宇宙環境での使用を目指して開発している。ISS「きぼう」での実証実験により、世界初となる宇宙での充放電に成功。広範な温度環境（-40℃から120℃）で安定動作し、安全性が高く、宇宙機器の小型・軽量化や省スペース化に貢献する電池として期待されている。	2022	https://www.jaxa.jp/press/2022/08/20220805-1_j.html
	Lyten	Lytenは、3Dグラフェン™を用いたリチウム硫黄電池を開発し、重希少鉱物を排除して高エネルギー密度と軽量化を実現している。ニッケルやコバルトを使用せず、既存のリチウムイオン電池より最大50%の重量削減を達成。電気自動車、ドローン、衛星、防衛用途など多様な分野への応用が予定されている。	2022	https://lyten.com/2022/01/18/press-release-lyten-receives-national-security-innovation-capital-contract-to-accelerate-battery-technology-for-commercial-and-national-security-use/ https://lyten.com/products/lithium-sulfur-batteries/

宇宙活動で活用可能な無線電力伝送技術の開発

宇宙活動において、無線電力伝送技術を活用して、月面や惑星表面でのエネルギー供給やローバー、基地の長期運用を可能にする研究開発が活発化している。具体的には、高効率無線充電システムやブルーレーザーによるパワービーミング技術、GaN on GaN整流素子を用いた高周波帯無線電力伝送システムなどが開発されている。これらの技術により、有線ケーブルの制約や重量・コストの問題を解消し、厳しい宇宙環境下での安定した電力供給を実現できる。

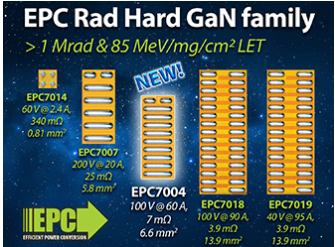
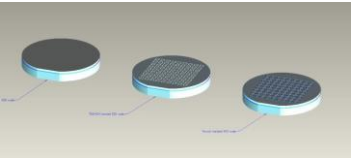
関連する開発事例

	組織名	概要	発表年	出典
	Astrobotic, WiBotic	Astrobotic社とWiBotic社は、高効率無線充電技術を月面ローバーに適用することで。月夜間の14日間におけるローバーの生存を可能にする研究を進めている。有線充電の課題を解決し、極端な温度変化やレゴリス環境下でも安定した電力供給を実現している。無線充電によりローバーの自由な移動と長期間の稼働が可能となり、月面での科学・商業活動の促進に貢献する。	2022	https://www.astrobotic.com/astrobotics-wireless-charging-system-for-the-moon-can-survive-lunar-night/ https://www.wibotic.com/news-releases/nasa-taps-wibotic-astrobotic-bosch-and-uw-to-develop-wireless-charging-for-lunar-robots/
	NUBURU, Inc.	NUBURU社は、ブルーレーザー技術を宇宙でのパワービーミングに適用することで。遠隔地の月面や惑星基地への電力供給を実現する研究を進めている。高価な配線の輸送を不要にし、ブルーレーザーの高出力・高輝度を活用して光のガイドウェイを形成する。これにより、電力伝送だけでなく、宇宙飛行士への視覚的ガイダンスや高帯域幅のデータ通信も可能となる。	2023	https://ir.nuburu.net/news/news-details/2023/NUBURU-Announces-Contract-With-NASA-for-Next-generation-Blue-Laser-Space-Technology/default.aspx
	名古屋工業大学	名古屋工業大学は、GaN on GaN技術を24GHz帯無線電力伝送に適用することで。月面での無線給電を実現する研究を進めている。高効率な送受電機と高耐放射線性のGaN整流素子を搭載し、高出力・長距離伝送を可能としている。システム全体の高効率化と小型化を図り、月面での探査活動の効率化や拡大に貢献することが期待される。さらに、地上でのIoTデバイスやセンサーネットワークへの応用も見込まれる。	2023	https://www.nitech.ac.jp/news/pres/s/2023/10571.html

放射線耐性を備えた化合物半導体パワーデバイスの実用化

放射線耐性を備えた化合物半導体パワーデバイスの実用化が進展している。GaNやSiCなどの広帯域ギャップ材料を用いたデバイスは、高い耐圧、低オン抵抗、低スイッチング損失、優れた熱伝導率などの特性を持ち、従来のシリコンベースのデバイスを超える性能を発揮する。これらのデバイスは、高信頼性と高効率が求められる宇宙空間や高放射線環境での電力変換やモータードライブなどに応用されており、小型・軽量化と高電力密度化を実現している。

関連する開発事例

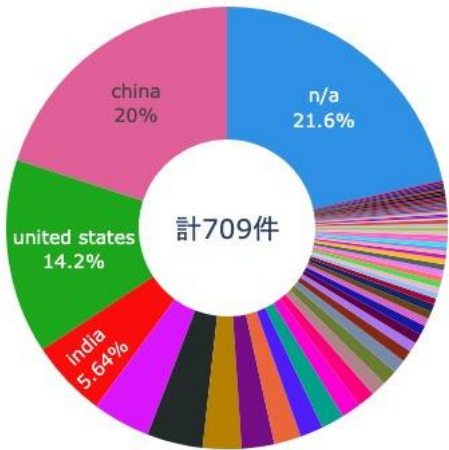
	組織名	概要	発表年	出典
	Efficient Power Conversion Corporation	EPC社は、宇宙搭載ミッションや高信頼性環境向けに、耐放射線GaN FET「EPC7004」を開発している。同製品は耐圧100 V、オン抵抗7 mΩ、パルス電流160 Aを実現し、小型ながら高性能な電力変換を可能にしている。GaNデバイスの特性を活かし、高スイッチング周波数での動作を実現し、総線量1 Mrad以上の耐放射線性能と高度な単一イベント効果（SEE）耐性を備えている。宇宙用途や衛星、航空機搭載電子機器などでの活用が期待される。	2022	https://epcc-co.com/epc/jp/epc/%E3%81%AB%E3%81%A4%E3%81%84%E3%81%A6%E3%82%A4%E3%83%99%E3%83%B3%E3%83%89%E3%81%A8%E3%83%B8%E3%83%A5%E3%83%BC%E3%82%B9/%E3%83%B8%E3%83%A5%E3%83%BC%E3%82%B9/rtmid/2995/articleid/3066/efficient-power-conversion%E3%83%B8%E3%83%99%E3%80%81%E8%A6%81%E6%B1%82%E3%81%AE%E5%B3%E3%81%97%E3%81%84%E5%AE%87%E5%AE%99%E7%94%A8%E9%80%94%E5%90%91%E3%81%91%E3%81%A8%E3%80%81%E5%B8%82%E5%A0%B4%E3%81%A7%E6%9C%80%E9%AB%98%E3%81%AE%E5%AF%86%E5%BA%A6%E3%81%A8%E5%8A%B9%E7%8E%87%E3%82%92%E6%8F%90%E4%BE%9B%E3%81%99%E3%82%B8%E8%80%90%E5%94%BE%E5%B0%94%E7%B7%9A%E3%83%B8%E3%83%A4%E3%83%B3%E3%82%B8%E3%82%B9%E3%82%BF%E3%82%92%E8%A3%BD%E5%93%81%E5%8C%96%E3%81%B8
	IceMOS Technology Corporation	IceMOS Technology社は、NASAと協力し、広帯域ギャップ材料であるシリコンカーバイド（SiC）のドレインを組み込んだ放射線耐性高電圧パワートランジスタを開発している。低オン抵抗性能を活用し、宇宙船の電力システム効率を向上させる技術である。シリコンMOSFET技術とMEMSプロセス技術を組み合わせ、高dv/dt耐性や高いUIS耐性を実現し、過酷な環境下での安定動作を可能にしている。	2021	https://icmostech.com/sic-embedded-drain-mosfet-empowers-moon-to-mars-mission.html
	EPC Space	EPC Space社は、宇宙空間や高信頼性環境向けに、超低オン抵抗・超低ゲート電荷の放射線耐性GaNトランジスタを拡充している。小型の気密パッケージに収められ、高電力密度で低コスト・高効率なソリューションを提供する。GaNベースのパワーデバイスは、シリコンデバイスに比べ、高いブレイクダウン電圧、低いゲート電荷、低スイッチング損失を持ち、高スイッチング周波数での動作が可能である。これにより、宇宙ミッション機器のDC-DC電源やモータードライブなどでの小型・軽量化と高効率化に貢献する。	2022	https://epc.space/2022/07/ultra-low-on-resistance-100-v-and-200-v-rad-hard-gallium-nitride-gan-power-devices-increase-power-density-for-demanding-space-applications/

論文/特許分析結果
【概要版】

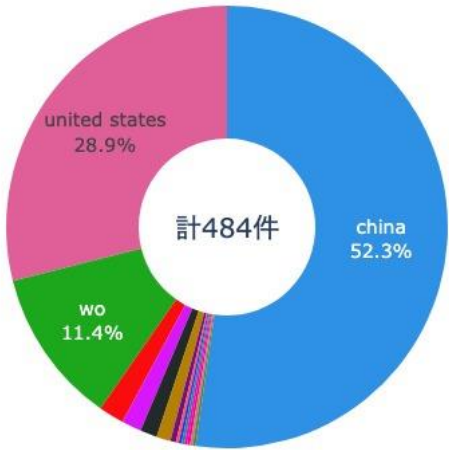
論文・特許数の推移

高効率エネルギー変換技術に関する論文・特許の年次推移

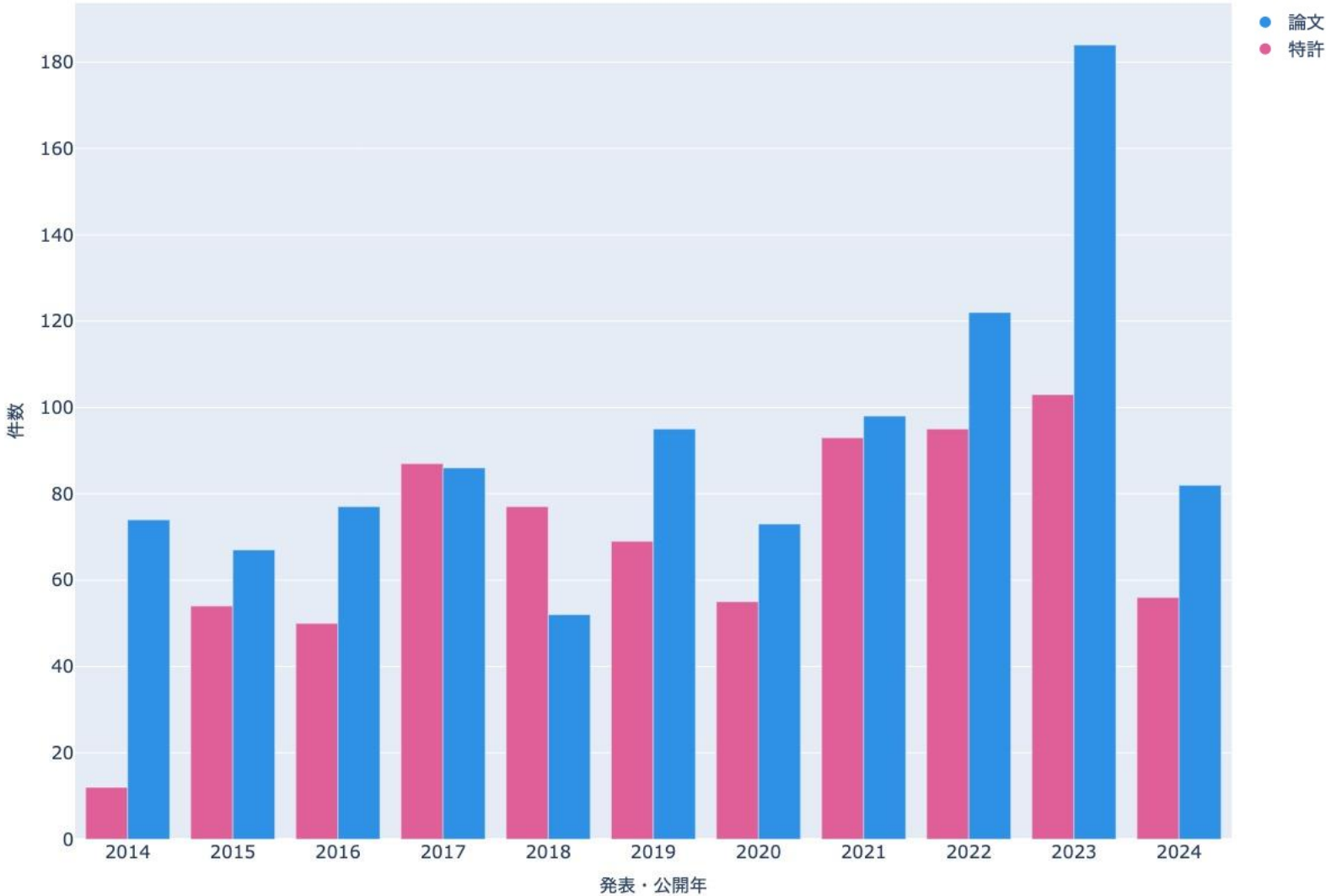
国別論文数



国別特許数



論文・特許数の推移



※ 論文の国は第一著者の所属組織で、特許の国は親特許の出願先の国で定義
※ n/a:論文DBの登録情報から国名が特定できなかったもの

技術カテゴリー 一覧

カテゴリー	論文/特許数推移	論文数増加率* 特許数増加率*	
無線電力伝送とエネルギー変換を実現するレクテナ技術		0.0%	0.0%
太陽光を効率的に電力に変換するための先進的な集光技術		57.1%	100.0%
宇宙太陽光発電とマイクロ波によるエネルギー転送技術		45.5%	55.6%
高効率太陽電池と新材料を用いたエネルギー変換技術の研究		140.0%	333.3%
Ga2O3を用いた高温パワーエレクトロニクスエネルギー効率向上技術		40.0%	-75.0%
熱エネルギーと電気エネルギーの変換を最適化する複合材料技術とその応用		119.0%	18.8%

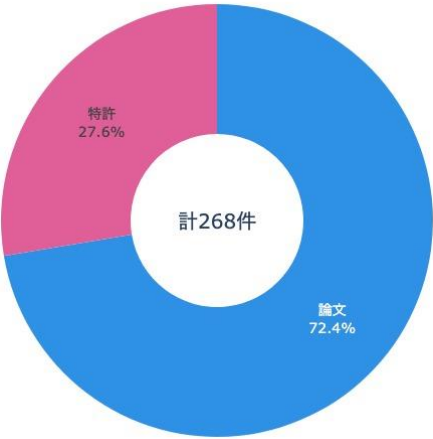
*2019年から2023年での増加率。
2019年,2023年何れかの文献数がゼロの場合はnaと表記している

高効率太陽電池と新材料を用いたエネルギー変換技術の研究

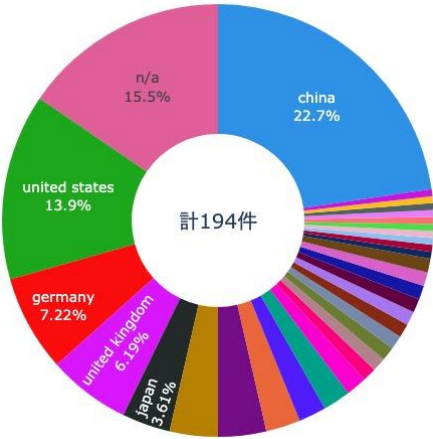
概要

このトピックは、太陽光発電に関連する高効率技術と新材料の研究に焦点を当てている。具体的には、GaAsを用いた多接合太陽電池やペロブスカイト材料を利用した高効率太陽電池、CZTS太陽電池などが含まれる。これらの技術は、宇宙アプリケーションや電気自動車向けのワイヤレス電力伝送技術において特に重要であり、エネルギー変換効率を最大化するための新しいアプローチが模索されている。さらに、透明基板や薄膜層の使用、製造プロセスの革新、放射線耐性や光劣化特性の改善が進められており、これにより性能向上とコスト削減が期待されている。

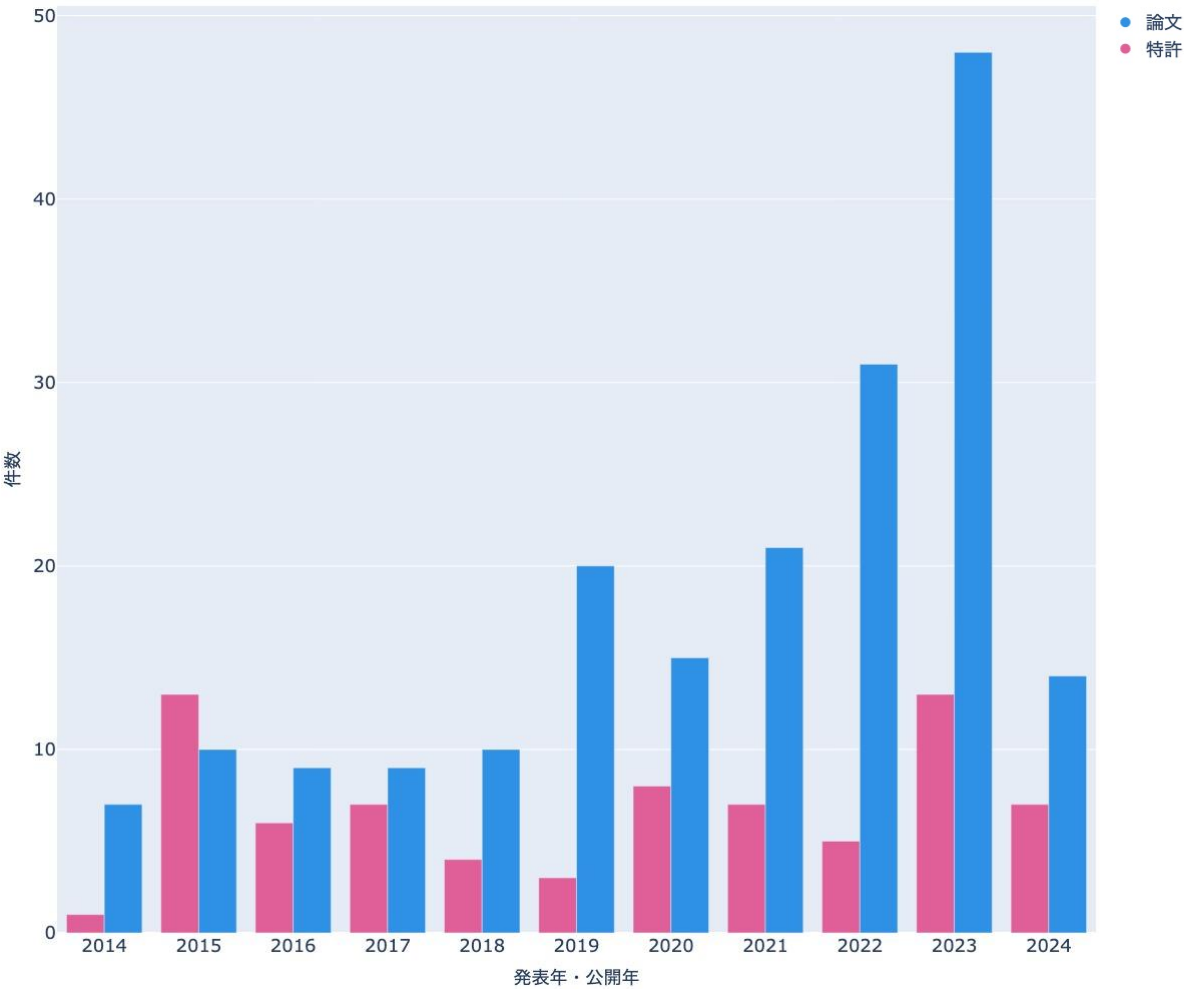
特許・論文比率



論文国別比率



論文・特許数推移



※ 論文の国は第一著者の所属組織で定義
※ n/a: 論文DBの登録情報から国名が特定できなかったもの

宇宙向け高効率太陽電池の耐久性向上技術

宇宙向け高効率太陽電池の開発では、柔軟性と軽量性を兼ね備えた設計が注目されています。特にInGaP/GaAsタンデム太陽電池やシリコンヘテロ接合太陽電池が、宇宙環境での耐久性を高めるために薄膜保護層や反射防止コーティングを採用しています。これにより、紫外線や高エネルギー粒子からの保護が強化され、エネルギー変換効率が向上しています。これらの技術は、宇宙探査や衛星通信におけるエネルギー供給の信頼性を向上させることが期待されています。

開発状況	宇宙環境での太陽電池の耐久性と効率を向上させることを目的とし、特に軽量で柔軟な設計を実現することで、宇宙探査や衛星通信におけるエネルギー供給の信頼性を高めることを目指しています。	課題	宇宙環境での高効率太陽電池の使用において、紫外線や高エネルギー粒子による劣化を防ぐための耐久性向上技術の開発が進められています。これにより、長期間にわたる安定したエネルギー供給が求められています。
------	---	----	--

関連論文/特許

	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
特許	Flexible Solar Panels and Photovoltaic Devices, and Methods and Systems of Producing Them	単一の半導体ウェーハから作られた柔軟で機械的に強靱な太陽電池の開発を目的としています。これにより、衝撃吸収性が向上し、軽量で適応性のある設計が可能となります。	solarpaint ltd	2023	US20230261126
論文	In situ investigation of perovskite solar cells' efficiency and stability in a mimic stratospheric environment for high-altitude pseudo-satellites	擬似衛星用にペロブスカイト太陽電池の効率と安定性を模擬成層圏環境で調査しています。極端な温度条件下でも高い性能を維持することが示されました。	swansea university	2020	https://doi.org/10.1039/c9tc04984c
論文	Study of flexible packing and stability of GaInP/GaAs solar cells	宇宙用の柔軟なGaInP/GaAs太陽電池の研究で、ポリマー薄膜での封止により、湿気や酸化からの保護が強化され、長期安定性が確認されました。	University of Science and Technology of China	2023	https://doi.org/10.7498/aps.72.20230352
論文	Effectiveness of poly(methyl methacrylate) spray encapsulation for perovskite solar cells	ペロブスカイト太陽電池の長期安定性を向上させるために、ポリメチルメタクリレートスプレー封止の効果を調査しています。軽量で柔軟性を損なわずに安定性を提供します。	swansea university	2024	https://doi.org/10.1088/2515-7655/ad20f5

多接合太陽電池によるエネルギー変換効率の向上

多接合太陽電池技術は、太陽光スペクトルを複数の区間に分割し、光子エネルギー変換効率を向上させることで、宇宙および地上でのエネルギー変換効率を大幅に改善しています。特に、III-V族半導体を用いた多接合太陽電池は、45%以上の効率を達成し、従来の技術を凌駕しています。近年は、カスケード型太陽電池や集光型光起電力システムの開発が進み、さらなる性能向上が期待されています。

開発
状況

多接合太陽電池の開発目的は、エネルギー変換効率を最大化し、宇宙や地上での持続可能なエネルギー供給を実現することです。特に、放射線耐性や温度変動に強い設計を目指しています。

課題

多接合太陽電池を宇宙や地上で使用する際、放射線耐性や温度変動に対する耐久性が課題となっています。これに対応するため、材料の選定や構造の最適化が求められています。

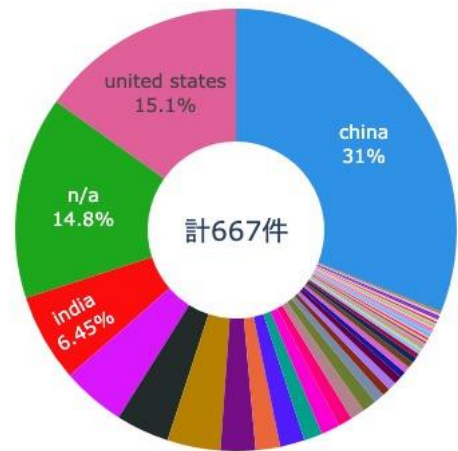
関連論文/特許

	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
特許	Multijunction solar cells	多接合太陽電池は、複数の太陽サブセルを積層することで、太陽エネルギー変換効率を向上させます。各サブセルは異なる波長の光に最適化されており、従来の単接合太陽電池を大きく上回る効率を実現しています。	solaero tech corp	2024	US12051760
論文	Multijunction solar arrays for space and terrestrial applications	多接合太陽電池は、太陽光スペクトルを分割して光子エネルギーを効果的に変換することで、45%以上の効率を達成しています。宇宙および地上での応用が進んでいます。	Ioffe Institute	2020	https://doi.org/10.22363/2312-8143-2020-21-4-271-280
論文	A Brief Review of High Efficiency III-V Solar Cells for Space Application	III-V族多接合太陽電池は、宇宙での高効率と放射線耐性を求められる中で開発されました。新しい材料と構造により、軽量で高効率な電力供給が可能です。	Yunnan Normal University	2021	https://doi.org/10.3389/fphy.2020.631925
論文	Solar Energy in Space Applications: Review and Technology Perspectives	III-V多接合太陽電池は、宇宙での高効率と信頼性から注目されています。新技術として、軽量で柔軟なCIGSやペロブスカイト太陽電池も開発されています。	university of messina	2022	https://doi.org/10.1002/aenm.202200125

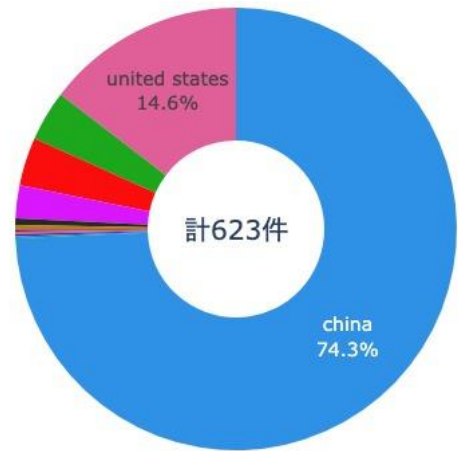
論文・特許数の推移

高電圧制御技術に関する論文・特許の年次推移

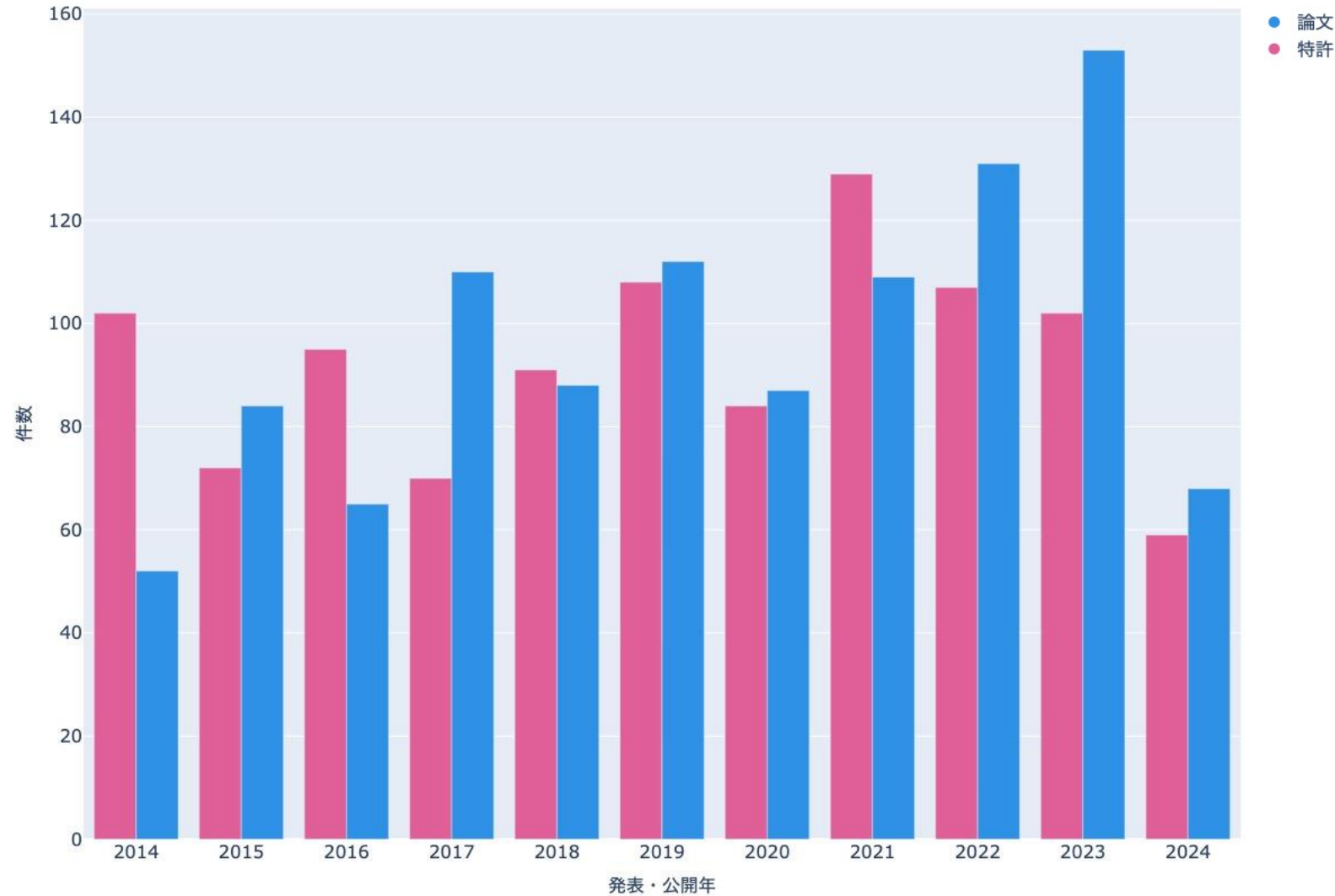
国別論文数



国別特許数

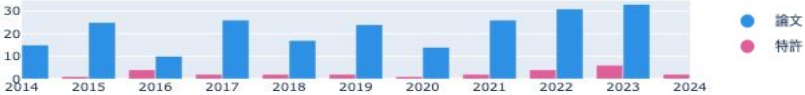


論文・特許数の推移



※ 論文の国は第一著者の所属組織で、特許の国は親特許の出願先の国で定義
※ n/a:論文DBの登録情報から国名が特定できなかったもの

技術カテゴリー 一覧

カテゴリー	論文/特許数推移	論文数増加率* 特許数増加率*	
電極設計最適化と高電圧機器の性能評価技術		37.5%	200.0%
高パルス電圧生成と太陽光エネルギー変換技術		58.3%	12.5%
ASIC設計と航空宇宙向け電力変換技術		-14.3%	-50.0%
広帯域ギャップ半導体を用いた高電圧デバイスの性能向上		14.3%	100.0%
宇宙機器の電氣的安全性を確保する保護技術		50.0%	-20.0%
宇宙・航空宇宙向けの高効率電力管理と変換技術		28.6%	-16.2%
高電圧アプリケーション向けの絶縁技術と材料特性向上		112.5%	-12.5%

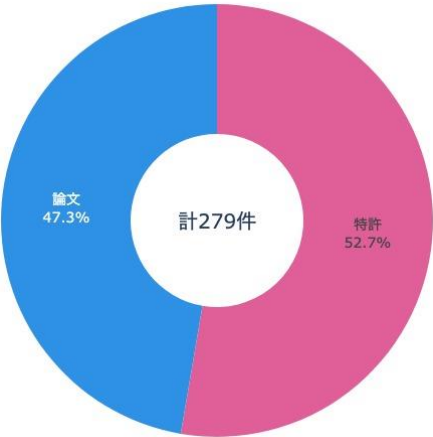
*2019年から2023年での増加率。
2019年,2023年何れかの文献数がゼロの場合はnaと表記している

高電圧アプリケーション向けの絶縁技術と材料特性向上

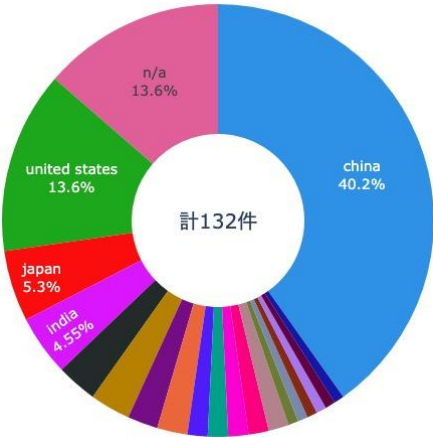
概要

このカテゴリーは、高電圧アプリケーションにおける絶縁技術や材料特性の向上に関するものである。ポリイミド複合材料やエポキシ樹脂接着剤、ナノコーティング技術を用いて絶縁性能を向上させる方法や、機能的にグレーディングされた材料（FGM）を用いた電場分布の最適化が含まれる。これにより、高電圧送電線の安定性や絶縁強度の向上が図られる。

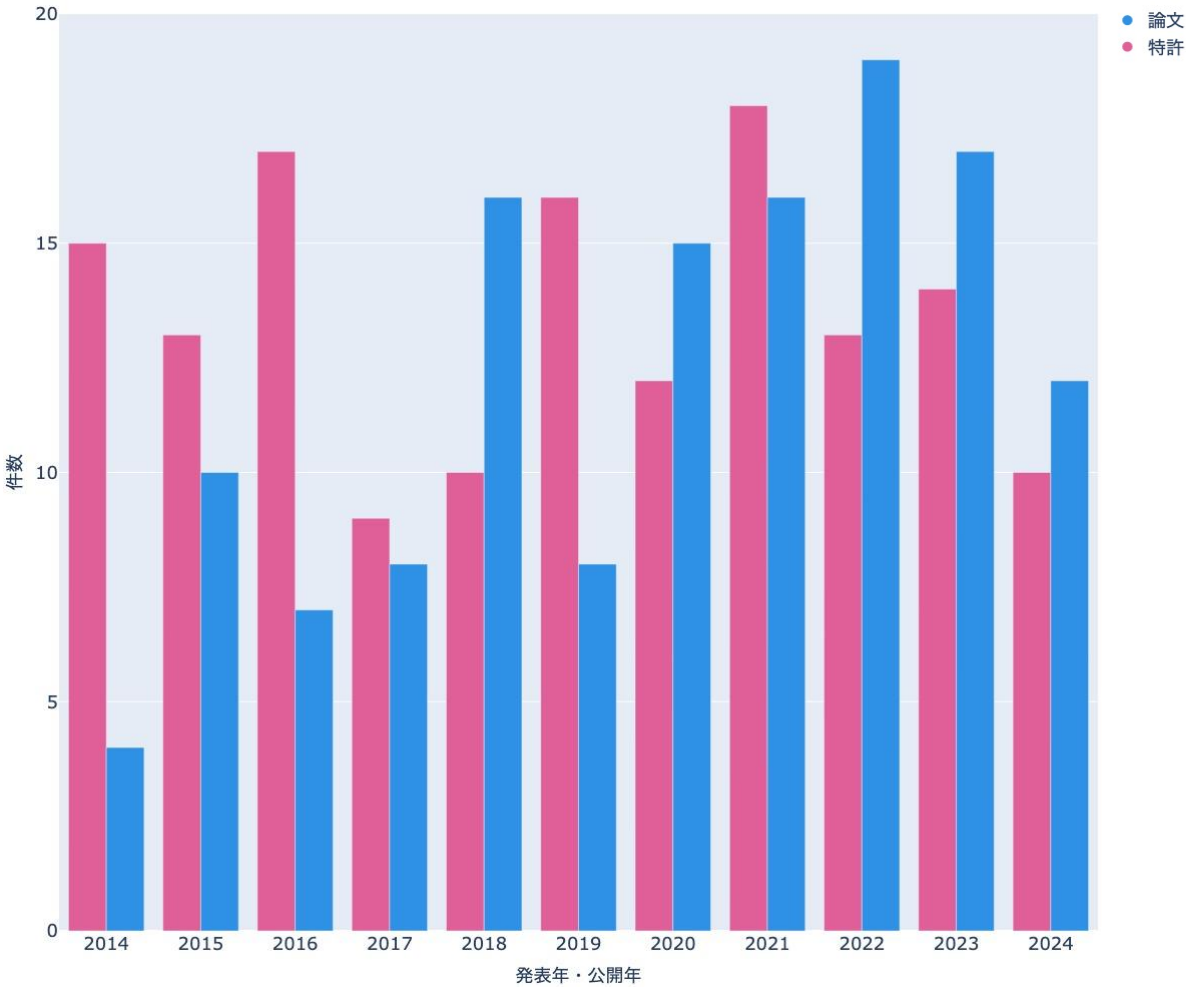
特許・論文比率



論文国別比率



論文・特許数推移



※ 論文の国は第一著者の所属組織で定義
※ n/a: 論文DBの登録情報から国名が特定できなかったもの

ポリイミド複合材料による絶縁性能の向上

ポリイミド複合材料の絶縁性能向上に関する研究が進んでいる。特に、無機フィラーを添加することで、非線形導電性や表面フラッシュオーバー電圧の向上が確認されている。これにより、宇宙空間での静電放電リスクを低減し、絶縁性能を強化することが可能となる。これらの技術は、宇宙機器の信頼性向上に寄与し、将来的には高電圧制御が求められる他の分野にも応用が期待される。

開発状況

宇宙空間での静電放電リスクを低減し、絶縁性能を強化することを目的としたポリイミド複合材料の開発が進められている。これにより、宇宙機器の信頼性向上を目指している。

課題

ポリイミド複合材料を宇宙空間で使用する際に、静電放電や表面フラッシュオーバーのリスクを低減するために、材料の導電性や絶縁特性を最適化する必要がある。

関連論文/特許

	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
論文	Silane modified Cr2O3/polyimide nanocomposite films with excellent surface insulation performance for space applications.	宇宙空間での静電放電を防ぐため、シラン修飾Cr2O3ナノ粒子をポリイミドフィルムに組み込み、絶縁性能を向上させた。特に、真空中での表面フラッシュオーバー電圧が大幅に改善された。	xi'an jiaotong university	2024	https://doi.org/10.1088/1361-6528/ad709a
論文	Ultra-light fluorinated polyimide foams with excellent thermal insulation, low dielectric loss and high heat resistance	超軽量フッ素化ポリイミドフォームを開発し、優れた熱絶縁性と低誘電損失を実現。これにより、航空宇宙分野での応用が期待される。	shenyang university of chemical technology	2024	https://doi.org/10.1002/app.55588
論文	Lightweight, Durable, and Multifunctional Electrical Insulation Material Systems for High Voltage Applications	新たに開発された多層構造のポリマー絶縁材料は、従来の絶縁システムに比べて絶縁破壊電圧と絶縁強度を大幅に向上させた。高電圧用途に適している。	glenn research center	2018	https://doi.org/10.2514/6.2018-5013
論文	Charge Transport Characteristics of ZnO/Polyimide Nanocomposite Under Vacuum DC flashover	ZnOナノ粒子をポリイミドに組み込み、宇宙環境での静電放電を抑制。最適なZnO濃度で表面フラッシュオーバー電圧が向上し、信頼性が増した。	xi'an polytechnic university	2021	https://doi.org/10.1109/ceidp50766.2021.9705326

新規セラミック材料による絶縁特性の向上

新規セラミック材料の開発は、絶縁特性の向上を目指して進められている。特に、低温焼結が可能なマイクロ波誘電体セラミックや新しい化学組成を持つ材料が注目されており、これらは高い誘電定数と低い共振周波数温度係数を持つ。これにより、モバイル通信や衛星通信システムの信頼性と性能が向上し、環境への影響を最小限に抑えつつデバイスの性能を向上させることが期待される。

開発
状況

高電圧アプリケーションにおける絶縁材料の特性を改善し、モバイル通信や衛星通信システムの性能向上を目指す。これにより、環境負荷を低減しつつ、デバイスの信頼性と効率を高めることを目的としている。

課題

新規セラミック材料を高電圧アプリケーションに適用する際、材料の誘電特性や焼結温度を適正化する必要がある。これにより、信頼性の高い絶縁特性を実現するための技術開発が求められている。

関連論文/特許

	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
特許	Low inherent sintering temperature microwave dielectric ceramic	この発明は、低温焼結が可能なマイクロ波誘電体セラミックを提供し、環境に優しくコスト効果が高い。高誘電定数と低共振周波数温度係数を持ち、モバイル通信や衛星通信システムに適している。	univ fuzhou	2015	CN104909743
論文	Tunability Behavior of (Ba, Ca)(Zr, Ti)O Ceramic Capacitors Powered by Thermally Induced Phase Transitions With Applications to Nonlinear Transmission Lines<sub />	(Ba, Ca) (Zr, Ti) O3セラミックコンデンサは、非線形伝送線路における高周波生成に適しており、モバイル防衛や衛星通信での使用が期待される。高い誘電率と非線形性を示す。	federal university of são paulo (unifesp)	2022	https://doi.org/10.1109/tps.2022.3172032
論文	Microstructures and Dielectric Constants of Ba0.05SrxCa0.95-xTiO3 (x=0, 0.225, 0.475, 0.725 and 0.95) Synthesized by the Solution Combustion Technique	Ba0.05SrxCa0.95-xTiO3は、電子デバイスにおける高電圧制御に重要な材料であり、微細な粒子サイズと高い誘電定数を持つ。宇宙用途での性能向上に寄与する。	kasetart university	2018	https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.766.197
特許	一种用于制备小损耗超高压交流瓷介电容器的介质材料及其制备方法	この発明は、低損失超高压交流セラミックコンデンサ用の誘電材料を提供し、電力システムや航空宇宙での使用に適している。高い誘電定数と絶縁強度を持つ。	beijing seven star flight electronic co ltd	2023	CN115959904

目次

1. はじめに/調査方針

2. 調査報告

2-1. 衛星システム基盤技術の調査分析

- 電気系基盤技術に係る国内外の最新動向
 - センシング技術
 - 電源技術
- 機械系基盤技術に係る国内外の最新動向
 - ホールスラスタ/イオンエンジン
 - 冷却技術

ホールスラスタ/イオンエンジン技術調査の要素技術キーワードと進め方

宇宙での推進技術として注目されるホールスラスタやイオンエンジンを対象として開発動向を調査・整理した

要素技術キーワード

✓ ホールスラスタ/イオンエンジン

主要プレイヤーの
事例調査

論文/特許分析

調査の進め方

- Web調査をベースに、要素技術キーワードにおいて宇宙開発に関する企業や研究機関の事例を収集・整理
- 個々の事例をスライドに整理（詳細資料に記載）、さらに、いくつかの事例で共通の観点をまとめた動向資料を作成
- 主に、2020年以降に大きな動きが見られた事例を対象としている
- 論文/特許データベース*を用いて、要素技術キーワードと宇宙開発の双方に関連する論文と特許を抽出
- 抽出した数百～数万件の文献について、自然言語処理AIを活用しながら、データ前処理、カテゴライズ、要約を行い、主要な開発動向の可視化を実施
- 要素技術キーワード分析は要素技術キーワードごとに実施

*データベースはLens(<https://www.lens.org/>)を使用

主要プレイヤーの
事例調査結果
【概要版】

様々な素材を活用したスラスト技術

様々な素材を活用したスラスト技術が開発されている。キセノンガスやヨウ素推進剤、モリブデンを燃料とするプラズマスラストなどが開発されており、それぞれ異なる素材や技術を用いることで、従来の化学推進に比べて効率的な推進を実現している。

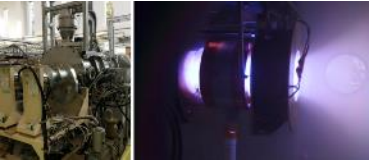
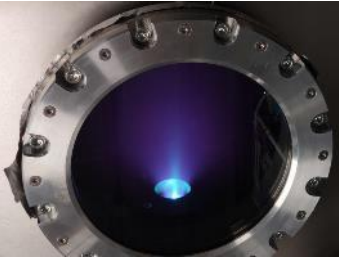
関連する開発事例

	組織名	概要	発表年	出典
	NASA	NASAは、Psyche宇宙船に搭載されるホールスラストを開発している。ホールスラストは、太陽電力を利用してキセノンガスをイオン化し、推進力を生み出す。これにより、従来の化学推進に比べて効率的な推進が可能となり、将来の深宇宙ミッションを支援する可能性がある。	2021	https://www.jpl.nasa.gov/images/pi-a24030-psyches-hall-thruster https://psyche.asu.edu/2018/01/19/electric-thrusters-psyche-spacecraft-work/
	Phase Four	Phase Fourは、RFプラズマ推進の最前線を追求し、プラズマ物理学、先進的推進剤、新しい宇宙での応用に関する研究開発を行っている。特に、ヨウ素推進剤を用いた電極レスのプラズマスラストの開発に注力している。	2021	https://phasefour.io/plasmaworks/
	Benchmark Space Systems	Benchmark Space Systemsは、純粋なモリブデンを燃料とするプラズマスラスト「Xantus」を開発した。この製品は、SpaceXのTransporter-10ライドシェアミッションで打ち上げられたOrion Space Solutionsの衛星に搭載されている。Xantusは、衛星の機動能力のギャップを埋める新しい設計を特徴としており、すでに50件の注文を受けている。	2024	https://payloadspace.com/benchmark-sends-metal-plasma-propulsion-to-orbit/

RFプラズマを活用したスラスト技術

RFプラズマを活用したスラスト技術は、電気推進の効率と性能を向上させるための革新的なアプローチである。無電極プラズマ推進機やVASIMR®エンジン、ヘリコンプラズマスラスト技術などが開発され、これらは高周波プラズマ源や磁気ノズルを用いて推進剤をプラズマ化し、強力な磁場で加速することで高い推力を実現する。

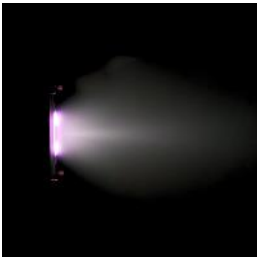
関連する開発事例

	組織名	概要	発表年	出典
	東北大学	東北大学の高橋和貴准教授は、無電極プラズマ推進機の推進効率を約30%に向上させることに成功した。無電極プラズマ推進機は、高周波プラズマ源と磁気ノズルを組み合わせ、プラズマ流を噴射し、推力を発生させる方式である。プラズマ発生部にカusp磁場を印加することで、壁面へのエネルギー損失を抑制し、推進効率を向上させた。	2022	https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2021/02/press20210204-03-plasma.html https://www.eng.tohoku.ac.jp/news/news7/detail-, -id, 2344.html
	Ad Astra	Ad Astraは、プラズマ物理学と電気推進の研究を基に、VASIMR®エンジンを開発した。この高出力電気ロケットエンジンは、地球低軌道から月までのロジスティクスや深宇宙への高速輸送を可能にする。RF波で加熱された推進剤ガスをプラズマ化し強力な磁場で加速して推力を生む。	2022	https://www.adastrarocket.com/our-engine/
	HIPATIAプロジェクト	HIPATIAプロジェクトは、ラジオ周波数場を利用してガスをイオン化する電気推進技術を開発し、非静止衛星コンステレーションや小型宇宙機に適用するための開発を進めている。	2024	https://cordis.europa.eu/article/id/451378-advanced-helicon-plasma-thruster-propulsion-moves-closer-to-market

水を用いたスラスタ技術

水を用いたスラスタ技術は、従来の高圧ガスや有毒な推進剤に代わる安全で環境に優しい選択肢として注目されている。具体的には、水を推進剤とすることで、宇宙開発の持続可能性を向上させることを目指している。水の電気分解を利用した技術や、ホール効果スラスタの最適化により、推力と比推力のバランスを理想的に保つことが可能となり、次世代の宇宙モビリティインフラの構築に貢献することが期待されている。

関連する開発事例

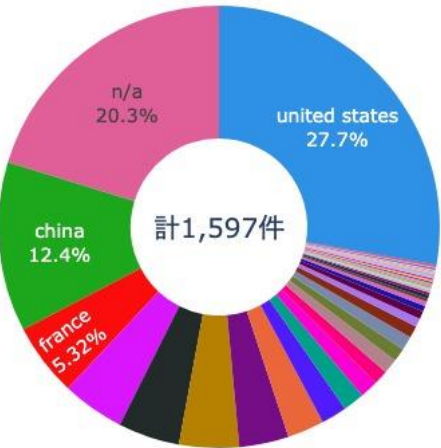
	組織名	概要	発表年	出典
	Pale Blue	Pale Blueは、東京大学発のベンチャー企業であり、「水」を推進剤として用いた小型衛星用エンジン技術を提供する。従来の高圧ガスや有毒な推進剤を使用するエンジンに代わり、安全で無毒、取扱いが容易な「水」を用いることで、環境に優しい持続可能な宇宙開発を目指している。	2024	https://pale-blue.co.jp/jpn/ https://pale-blue.co.jp/product/pbh/
	URA Thrusters Ltd	URA Thrusters Ltdは、Imperial College LondonおよびAliena Pte Ltdと協力し、水の電気分解の副産物を推進剤として使用するホール効果スラスタ（HET）の点火と安定した持続運転を実現した。これにより、宇宙空間での輸送、移動、物流の新たな道が開かれる可能性がある。	2023	https://www.aliena.sg/news https://www.urathrusters.com/het/

論文/特許分析結果
【概要版】

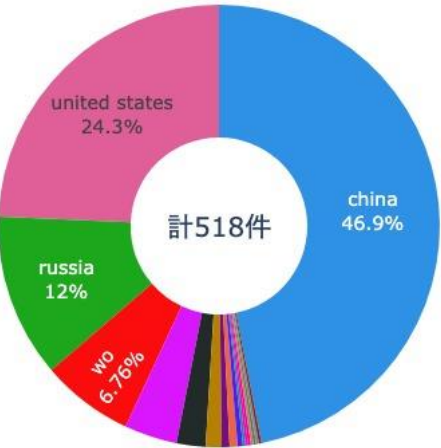
論文・特許数の推移

ホールスラスト/イオンエンジン技術に関する論文・特許の年次推移

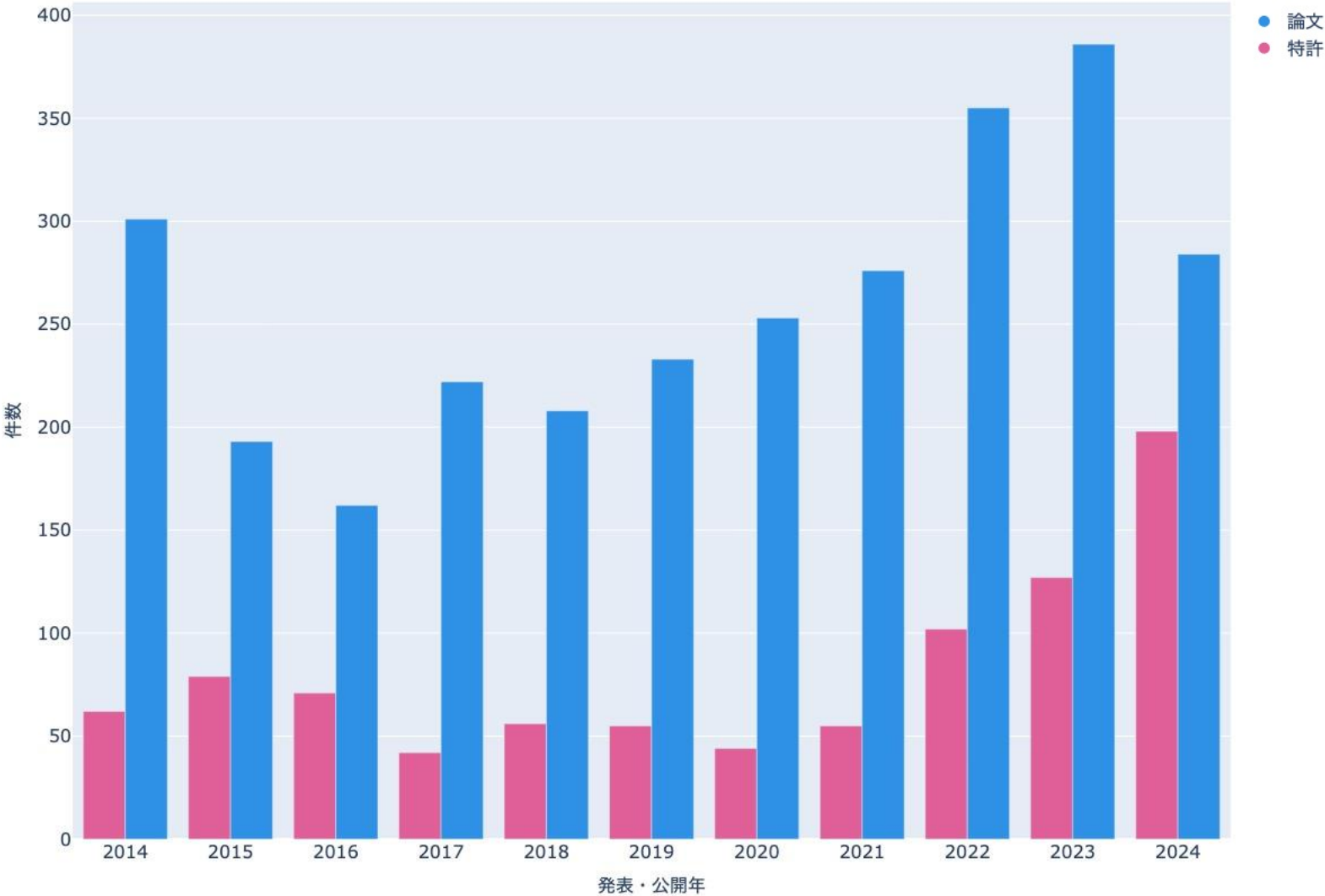
国別論文数



国別特許数

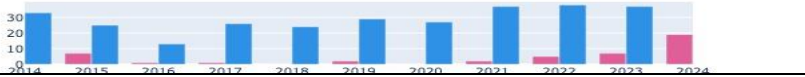
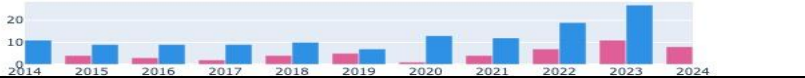
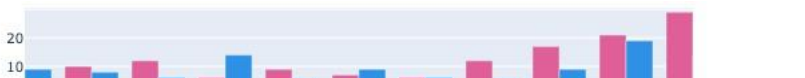


論文・特許数の推移



※ 論文の国は第一著者の所属組織で、特許の国は親特許の出願先の国で定義
※ n/a:論文DBの登録情報から国名が特定できなかったもの

技術カテゴリー 一覧

カテゴリー	論文/特許数推移	論文数増加率* 特許数増加率*	
プラズマ推進装置の流体モデルと粒子-in-セルによる挙動解析技術		69.7%	na
ホローカソードやイオンスラスタを用いた電気推進システムの技術		120.0%	110.0%
プラズマ特性測定のための診断技術と解析手法		27.6%	250.0%
宇宙探査における電気推進システムの効率的な推進技術		30.0%	120.0%
宇宙船の軌道制御と推進のための最適化技術		105.9%	300.0%
ホールスラスタによる磁場と電流を利用した推進技術		0.0%	20.0%
太陽エネルギーを利用した宇宙の電気推進システム		33.3%	-100.0%
大気呼吸型電気推進を含む宇宙船の電気推進技術		285.7%	120.0%
プラズマ放電強化とデブリ除去のための技術		0.0%	20.0%
新しい推進剤と電子放出技術に関する材料技術		75.0%	100.0%
電力処理ユニットを用いた推進剤供給と流量制御技術の最適化		111.1%	200.0%

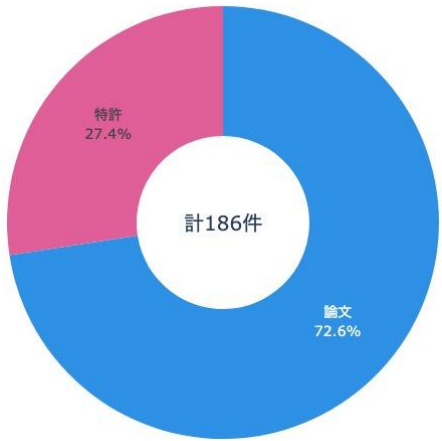
*2019年から2023年での増加率。
2019年,2023年何れかの文献数がゼロの場合はnaと表記している

大気呼吸型電気推進を含む宇宙船の電気推進技術

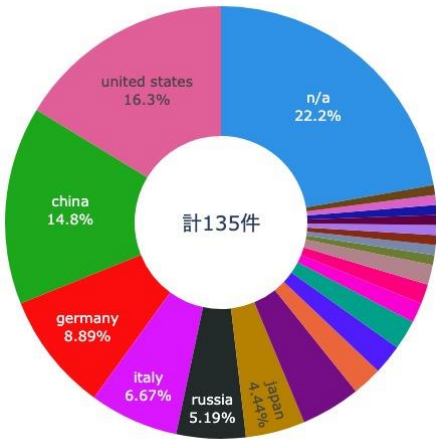
概要

このトピックは、宇宙船の推進システムにおける電気推進技術に関するものである。周囲の大気を利用した推進方法や、電気エネルギーを用いて推進剤を加速する技術が含まれる。特に、大気呼吸型電気推進（ABEP）は、宇宙ミッションの持続時間を延ばすために大気中の粒子を推進剤として使用する。ホールスラストやグリッドイオンエンジン、パルスプラズマスラストなど、さまざまな電気推進装置が開発されており、効率的な推進を実現している。これにより、燃料効率が向上し、長期間の宇宙ミッションにおける推進効率が高まる。

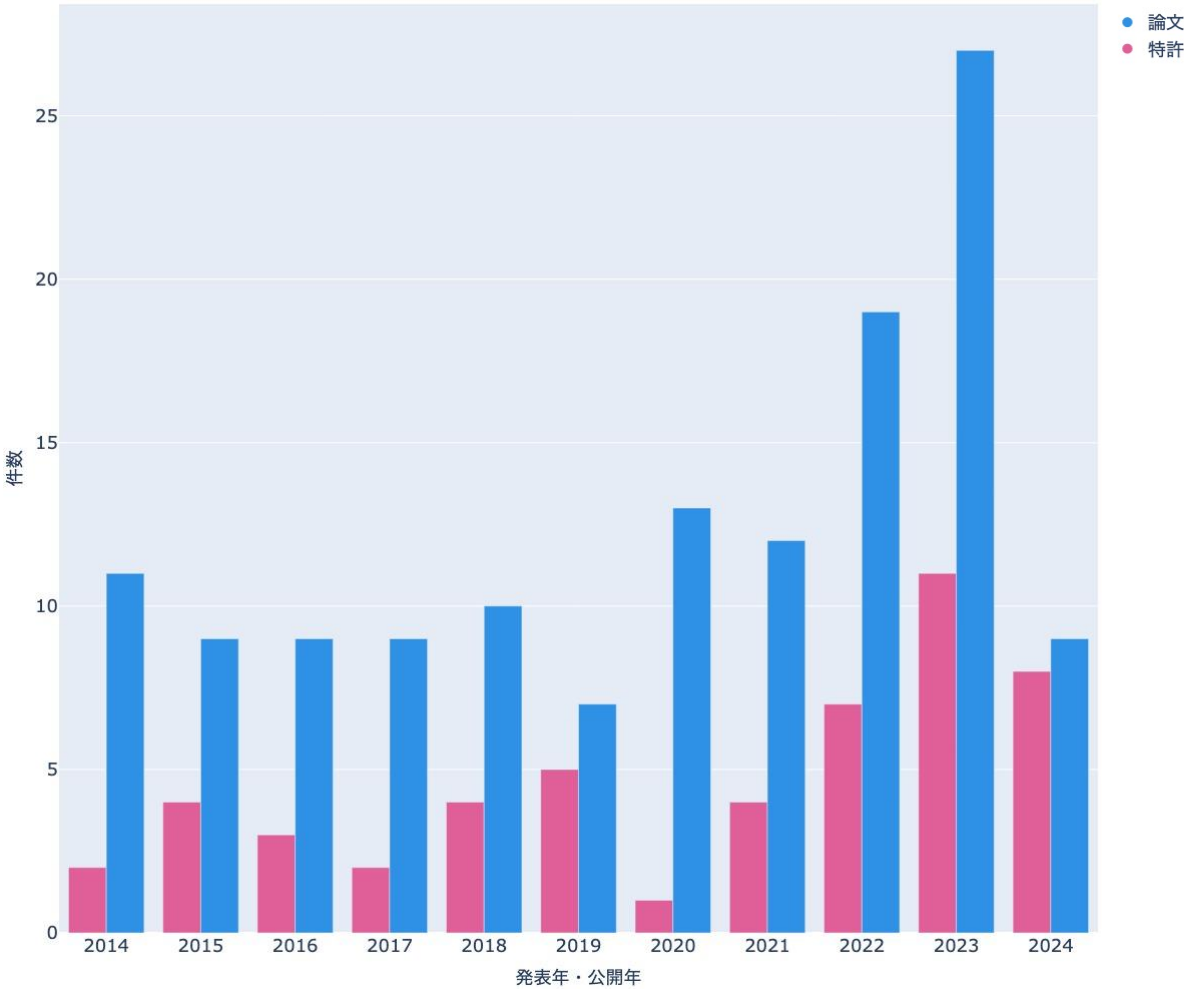
特許・論文比率



論文国別比率



論文・特許数推移



※ 論文の国は第一著者の所属組織で定義
※ n/a: 論文DBの登録情報から国名が特定できなかったもの

大気呼吸型電気推進技術の進化と応用

大気呼吸型電気推進技術は、宇宙船の推進効率を向上させるために、宇宙空間での推進剤補給を不要にし、長期間のミッションを可能にする技術です。特に低軌道での大気分子を利用した推進システムが注目され、地球周回軌道でのデブリ除去や資産移動に応用されています。近年では、軽量のソーラーパネル技術と組み合わせたシステムが開発され、さらなる効率向上が期待されています。

開発
状況

大気呼吸型電気推進技術の開発目的は、宇宙船の運用コスト削減と持続可能な宇宙開発の実現です。特に、低軌道でのデブリ除去や資産移動を効率的に行うことを目指しています。

課題

大気呼吸型電気推進技術を宇宙船に適用する際、低軌道での大気分子の効率的な収集と推進力の最適化が課題となっています。これに対処するため、吸気設計や推進システムの改良が進められています。

関連論文/特許

	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
論文	Intake design for an Atmosphere-Breathing Electric Propulsion System (ABEP)	ABEPシステムは、低高度での宇宙船ミッションの効率を高めるために大気粒子を推進剤として利用します。これにより、限られた推進剤への依存を最小限にし、ミッション期間を延長します。	university of stuttgart	2021	https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2021.06.033
論文	Optimization investigation of vacuum air-intake for atmosphere-breathing electric propulsion system:	大気呼吸型電気推進システムは、希薄な大気分子を推進剤として利用し、低密度環境での宇宙船の効率的な運用を可能にします。これにより、長期間のミッションが実現します。	national university of defense technology	2021	https://doi.org/10.1177/09544100211029829
論文	Refueling Orbital Navigator for Active Debris Removal, and Asset Relocation, Recovery and Repair	RONは、アクティブデブリ除去と宇宙での機動性を向上させるために設計されました。大気ガスを収集し、電気推進を利用して軌道を下げることで、デブリ除去を効率化します。	msnw llc.	2022	https://doi.org/10.1109/aero53065.2022.9843662
特許	VERSTELLBARER EINLASSKOLLEKTOR FÜR DIE OPTIMALE VORTRIEBSLEISTUNG EINES LUFTATMENDEN ELEKTRISCHEN TRIEBWERKS	可変吸気コレクターは、低軌道での大気呼吸型電気推進システムの性能を最適化するために設計されました。特殊な幾何学的配置により、変動する大気条件に適応します。	von karman inst for fluid dynamics	2021	EP3872341

目次

1. はじめに/調査方針

2. 調査報告

2-1. 衛星システム基盤技術の調査分析

- 電気系基盤技術に係る国内外の最新動向
 - センシング技術
 - 電源技術
- 機械系基盤技術に係る国内外の最新動向
 - ホールスラスタ/イオンエンジン
 - 冷却技術

冷却技術調査の要素技術キーワードと進め方

次世代の冷却技術として注目される、2相流体ループやヒートパイプ、液浸冷却などの技術を中心に開発動向を調査・整理した

要素技術キーワード

- ✓ 2相流体ループ
- ✓ ヒートパイプ
- ✓ 液浸冷却
- ✓ 高効率排熱

主要プレイヤーの
事例調査

論文/特許分析

調査の進め方

- Web調査をベースに、要素技術キーワードにおいて宇宙開発に関する企業や研究機関の事例を収集・整理
- 個々の事例をスライドに整理（詳細資料に記載）、さらに、いくつかの事例で共通の観点をまとめた動向資料を作成
- 主に、2020年以降に大きな動きが見られた事例を対象としている
- 論文/特許データベース*を用いて、要素技術キーワードと宇宙開発の双方に関連する論文と特許を抽出
- 抽出した数百～数万件の文献について、自然言語処理AIを活用しながら、データ前処理、カテゴライズ、要約を行い、主要な開発動向の可視化を実施
- 要素技術キーワード分析は要素技術キーワードごとに実施

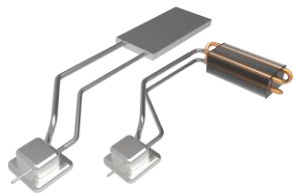
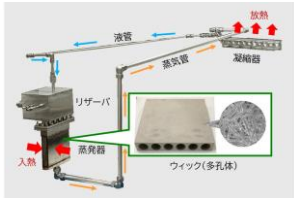
*データベースはLens(<https://www.lens.org/>)を使用

主要プレイヤーの
事例調査結果
【概要版】

パッシブな冷却を可能にするループヒートパイプ技術

ループヒートパイプや二相浸漬冷却などのパッシブな熱輸送技術を用いた高効率冷却システムの開発が進んでいる。これらの技術は、ファンやポンプを不要とし、高熱流束や長距離熱輸送を可能にし、メンテナンスフリーで高信頼性を実現する。電子機器の高電力密度化に伴う冷却課題の解決や、省エネルギー化、カーボンニュートラルの達成に貢献し、電気自動車、データセンター、再生可能エネルギーなど多岐にわたる分野への応用が期待されている。

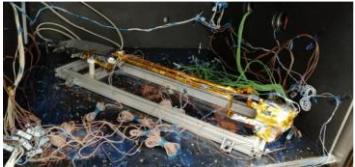
関連する開発事例

	組織名	概要	発表年	出典
	Calyos	ベルギーのCalyos社は、ループヒートパイプを用いた完全パッシブな熱輸送システムを開発している。特殊なウィック構造により、毛細管現象で作動流体を循環させ、ファンやポンプを不要とする高効率な熱移動を実現。高熱流束と長距離熱輸送を両立し、メンテナンスフリーで高信頼性を確保。電気自動車やサーバーなど多様な分野での冷却課題の解決に寄与する。	-	https://www.calyos-tm.com/technologies/loop-heat-pipes#How
	名古屋大学	名古屋大学は、蒸発器の構造を最適化したループヒートパイプ技術を開発。ウィック表面の液体を効率的に蒸発させ、無電力で10kW以上の熱を2.5m先まで輸送可能とする。蒸発器のサイズを18%小型化し、熱伝達特性を4倍以上向上。工場の排熱利用や電気自動車の熱管理など、多岐にわたる分野での応用が期待される。	2024	https://www.nagoya-u.ac.jp/researchinfo/result/2024/07/-10kw-ict.html
	Wieland	Wieland社は、非電導性液体を用いた2相浸漬冷却システムを開発。電子機器を液体に浸漬し、高効率な冷却を実現。システム内で液体が蒸発・凝縮を繰り返すことで、ポンプなしの受動的な冷却を行う。従来の空冷方式と比べて最大97%のエネルギー削減が可能。データセンターやパワーエレクトロニクス分野での効率向上に貢献する。	2023	https://www.wieland.com/en/solutions/energy/electronics-cooling

新規構造の採用によるヒートパイプの性能向上

新しい構造や製造技術の採用によって、ヒートパイプの性能向上を目指す開発が活発化している。3Dプリント技術や積層造形技術を活用し、低コストで高性能なヒートパイプの製造が可能となり、小型衛星や宇宙機の熱制御システムへの応用が進んでいる。平面型デザインやアルミニウム押出材の使用など、構造の革新により取り付けの容易さや信頼性の向上も実現。これらの技術革新は、宇宙開発のコスト削減と効率化に大きく貢献する。

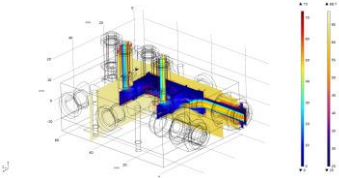
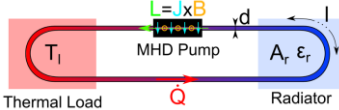
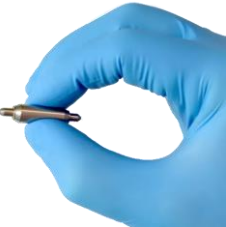
関連する開発事例

	組織名	概要	発表年	出典
	ACT	ACTは、3Dプリント技術を用いて低コストかつ高性能な小型衛星用ループヒートパイプを開発。蒸発器の製造を完全自動化し、コストとリードタイムを大幅に削減。レーザー粉末床熔融法でステンレススチール粉末の不完全熔融を誘発し、ウィックを形成。プロピレンやアンモニアを作動流体として用い、高い熱放散能力と幅広い温度範囲での運用を実現した。	2021	https://www.1-act.com/thermal-solutions/space/loop-heat-pipes/ https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=5660&context=smallsat
	EHP	EHPは、アルミニウム押出材とアンモニアを用いた二相流体熱パイプを開発。熱源側で蒸発したアンモニア蒸気が冷却源側で凝縮し、毛細管力で熱源側に戻る仕組みで熱を効率的に輸送。サイズや流体、材料など多様な要件に応じたカスタマイズが可能。宇宙機の熱制御や推進システムでの温度均一化に利用され、多くの衛星に搭載されている。	-	https://ehp.space/heat-pipes/ https://ehp.space/ehp-story/
	IberEspacio	IberEspacioは、積層造形技術を活用した平面型ループヒートパイプを開発。平面化により電子機器への取り付けを容易にし、熱制御の効率を向上。10ミクロンの細孔サイズを持つウィックを印刷する技術を開発し、部品数の削減と製造コストの低減を実現。アンモニアの高圧にも耐える三重コアのプリズム形状デザインを採用。CubeSatや小型衛星での利用が期待され、今後はウィックの細孔サイズをさらに小さくし、質量を減らす予定。	2020	https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Engineering_Technology/Shaping_the_Future/Innovative_flat_design_for_loop_heat_pipe

冷却のための流体を制御する様々なポンプ技術の開発

最近、宇宙船や衛星の熱管理において、流体を制御する革新的なポンプ技術の開発が活発化している。具体的には、電気流体力学（EHD）、磁気流体力学（MHD）、電磁駆動などの先進技術を活用し、振動や摩耗がなく、高信頼性で高効率なポンプや熱制御システムが実現されている。これらの技術は、従来の機械的な可動部品の限界を克服し、極限の動作圧力や高速応答、小型軽量化を可能にしている。これにより、衛星の高出力化や熱負荷の増大に対応し、電気推進や高性能ペイロードの搭載を支援している。また、これらの技術は宇宙分野だけでなく、地上のサーバー冷却など他産業への応用も見込まれている。

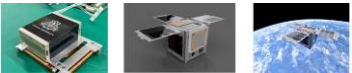
関連する開発事例

	組織名	概要	発表年	出典
	APR Technologies	APR Technologiesは、EHD技術を活用した宇宙船向けの振動や摩耗のない熱スイッチとポンプを提供している。これらのデバイスは電気流体力学の原理に基づき、二つの熱インターフェース間の熱伝導率を精密に調節可能であり、高速応答の温度制御を実現している。可動部品を持たないため、機械的な信頼性が高く、環境の変化にも適応できる。特にミッション中に太陽光の曝露が大きく変動する場面で有効であり、精密な温度制御が可能となる。	-	https://aprtec.com/space/
	ジョージア工科大学	ジョージア工科大学は、小型衛星の熱管理課題を解決するため、液体金属ループとMHDポンプを用いたアクティブ熱制御デバイスを開発している。液体金属の高い熱伝導性と、可動部品のない磁気流体力学ポンプにより、従来のシステムに比べて最大60%の質量削減と高効率な熱輸送を実現している。信頼性の高い熱管理により、小型衛星での電気推進や高性能ペイロードの搭載が可能となる。	2024	https://licensing.research.gatech.edu/index.php/technology/magnetohydrodynamic-pumped-liquid-metal-loops-spacecraft-thermal-control
	リムリック大学	リムリック大学は、宇宙空間の極限圧力下で動作可能な小型電磁マイクロ流体ポンプを開発している。このポンプは非接触の電磁駆動を採用し、60気圧にも耐える高信頼性を実現している。重量10グラム、直径7ミリメートル、長さ20ミリメートルと小型軽量であり、衛星の二相冷却システムにおける高性能な熱管理が可能となる。将来的には産業界との協力により実用化を目指し、地上のサーバー冷却など他分野への応用も検討されている。	2023	https://www.ul.ie/scieng/articles/research-spotlight-built-from-the-ground-up-dr-eric-dalton-and-dr-valeria-nicos

相変化材料やカーボン材料など、新規素材を活用した冷却技術の開発

カーボンナノチューブやグラフェン、VO2などの新規素材を冷却技術に応用することで、電子機器の熱管理を革新する研究が増えている。これらの素材は高い熱伝導性や潜熱蓄熱特性を有し、過酷な環境下でも性能を維持できる。データセンターや宇宙空間など、極限環境での熱管理においてこれらの新素材の活用が期待され、信頼性と効率性の向上につながっている。

関連する開発事例

	組織名	概要	発表年	出典
	Carbice	Carbiceはカーボンナノチューブ技術を高性能データセンター向けの冷却システムに適用することで、熱管理を改善する研究を進めている。カーボンナノチューブの高い熱伝導性と安定性が、高性能GPUやCPUの過熱を防ぎ、システムの信頼性と持続可能性を向上させている。また、極端な温度変化や放射線などの過酷な環境下でも性能を維持できるため、データセンターや宇宙空間での利用にも適している。	2022	https://carbice.com/ https://carbice.com/products/space-pad https://carbice.com/products https://carbice.com/newsroom/thermal-materials-startup-carbice-finds-foothold-in-space-industr
	Graphene Flagship partner institutes	Graphene Flagshipのパートナー機関は、グラフェンコーティングを衛星のループヒートパイプに適用することで、冷却効率を向上させる研究を行っている。グラフェンのコーティングにより、液体との相互作用の表面積が増加し、熱伝達がスムーズになる。また、「フォーム内フォーム」構造によりキャピラリ圧力が向上し、作動流体の循環が促進される。これにより、衛星の電子機器の過熱を防ぎ、信頼性と性能を向上させることが可能となる。	2021	https://graphene-flagship.eu/graphene/discover/graphene-applications/satellite-heat-pipes/
	新日本電工	新日本電工は、VO2系潜熱蓄熱材料を人工衛星の電源温度安定化デバイスに適用することで、熱管理を改善する研究を進めている。VO2の相転移特性を利用し、潜熱の吸収・放出によって電源を一定の温度範囲に維持し、性能低下を防いでいる。これにより、宇宙空間の急激な温度変化に対応し、キューブサットの電力消費を低減し、安定した運用を実現する。	2024	https://www.nippondenko.co.jp/cms_source/data/info/2024/412.html

液浸冷却の実用化に向けた開発

液浸冷却技術を用いて高性能コンピュータやサーバーの冷却効率を向上させ、エネルギー消費とCO2排出量の削減を目指す動きが進んでいる。絶縁性の冷却液に機器を浸して冷却することで、空冷方式では困難な熱問題を解決しており、データセンターや宇宙空間など多様な環境での応用が期待される。

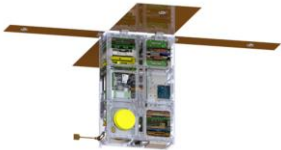
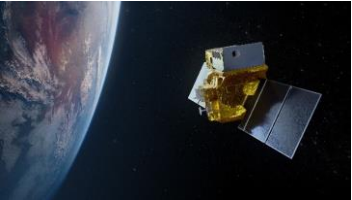
関連する開発事例

	組織名	概要	発表年	出典
	KDDI	KDDIは、絶縁性の冷却オイルにサーバーを浸して冷却する液浸冷却システムを開発している。この技術で空調電力を94%削減し、データセンターの消費電力とCO2排出量の大幅削減を目指す。従来は特別なマシン向けだった液浸冷却技術を、技術やシステムの進化により汎用のIT機器にも適用可能とした。	2023	https://tobira.kddi.com/environment/article00055/story1.html
	NEC	NECは、宇宙データセンター向けに人工衛星搭載用の液浸式冷却装置を開発した。宇宙の真空状態での熱問題を解決し、AIによる高性能コンピュータの冷却を可能にする。装置は液体に機器を浸すことで冷却し、放射線や振動からの保護効果もある。これにより、衛星画像のリアルタイム処理や必要なデータのみを地上に送信する効率的なデータ活用が可能となる。	2024	https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUC12BVM0S4A610C2000000/

高精度なセンシングを実現するためのクライオクーラー技術

高精度なセンシングを実現するために、宇宙用のクライオクーラー技術が注目されている。クライオクーラーの小型化・低コスト化・高信頼性化により、衛星や宇宙望遠鏡に搭載されるセンサーの極低温冷却が可能となり、観測性能の向上が期待される。特に、電磁干渉の低減や機械的な可動部分の最小化などの技術革新により、小型衛星での高性能ミッションや長期間の連続運転が実現している。

関連する開発事例

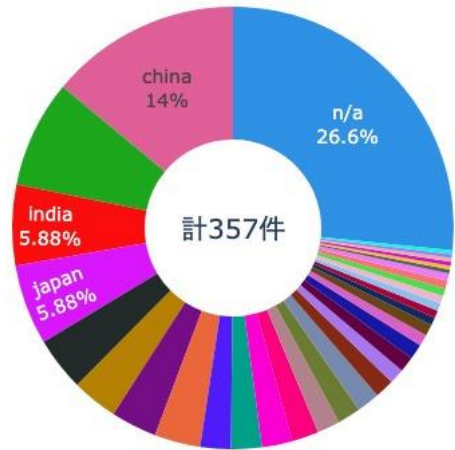
	組織名	概要	発表年	出典
	Creare, West Coast Solutions	CreareとWest Coast Solutionsは、宇宙用マイクロクライオクーラー制御電子機器「MCCE-TS」とアクティブリップフィルター「CARF」を開発している。これらの技術により、クライオクーラーの統合と電磁干渉の低減が可能となり、小型衛星での高性能な観測ミッションを支えている。	2021	https://www.creare.com/creare-and-west-coast-solutions-deliver-new-space-cryocooler-controller-for-integration/
	Northrop Grumman	Northrop Grummanは、宇宙望遠鏡や衛星センサーを極低温まで冷却する高信頼性のクライオクーラー技術を開発している。パルス管冷凍機と特許取得済みのコンプレッサーを組み合わせ、機械的な可動部分を最小限に抑えることで、高い信頼性と長寿命を実現している。可動部品の摩耗による故障を防ぎ、数十年にわたる連続運転でも性能低下が生じない。これにより、宇宙ミッションで使用するセンサーを適切な温度に維持し、高精度な観測を可能にしている。	2021	https://www.northropgrumman.com/space/the-coolest-technology-cryocoolers
	Thales Cryogenics	Thales Cryogenicsは、60～150K対応の宇宙機器用高性能・低コストコンパクトクライオクーラー「LPT6510」を開発している。宇宙での赤外線検出器を極低温に冷却するために設計され、一つの設計で幅広いアプリケーションに対応できる。自社資金とパートナー企業 Absolut Systemの協力により実現した。「LPT6510」は、TRISHNA衛星の赤外線検出器を最適な性能で動作させるために必要な冷却を提供しており、低コストで高性能なクライオクーラーとして幅広い用途が期待されている。	2020	https://www.thalesgroup.com/en/group/journalist/press_release/thales-delivers-its-newest-generation-cryocoolers-trishna-satellite

論文/特許分析結果
【概要版】

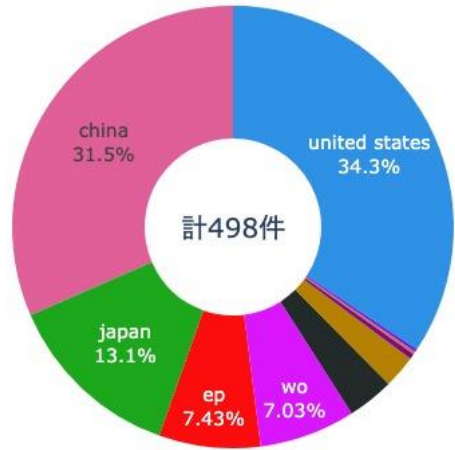
論文・特許数の推移

2相流体冷却技術に関する論文・特許の年次推移

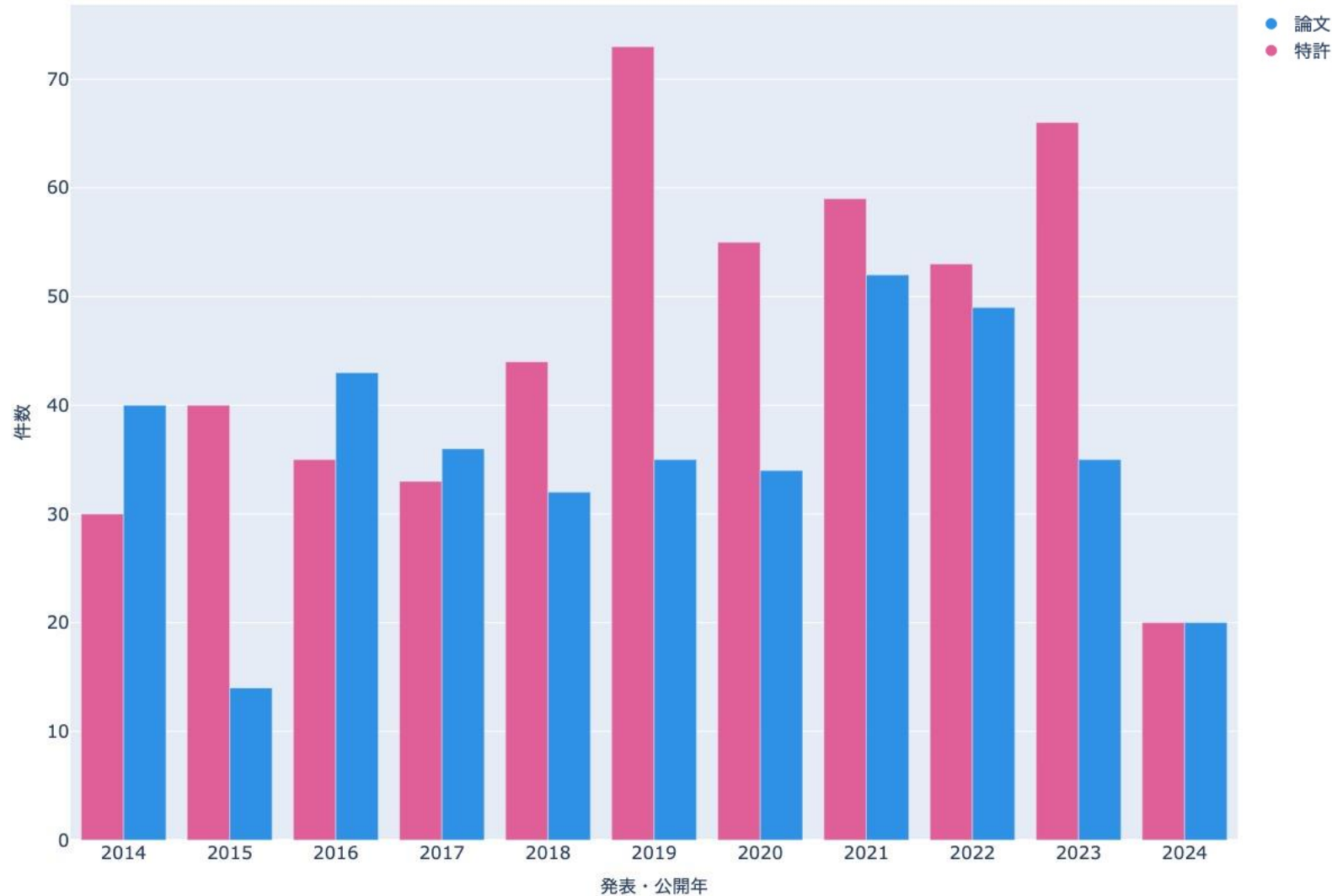
国別論文数



国別特許数

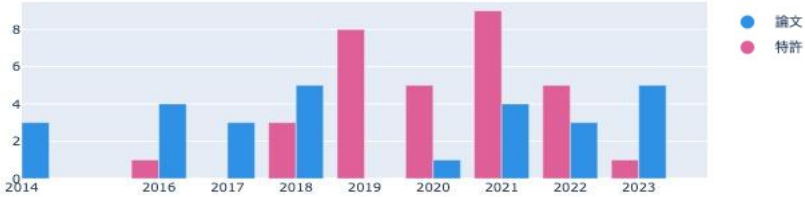
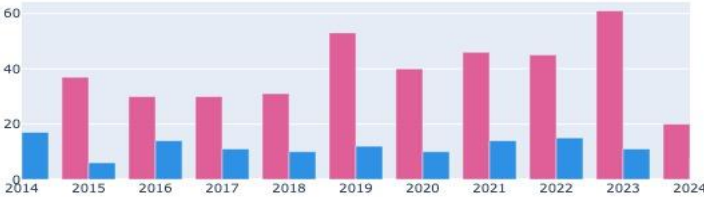
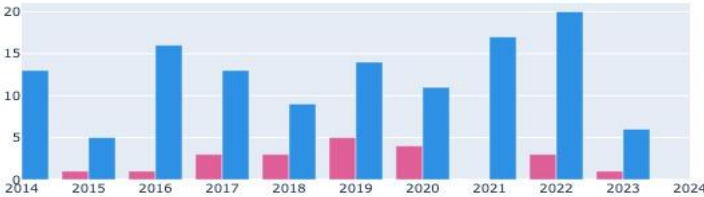
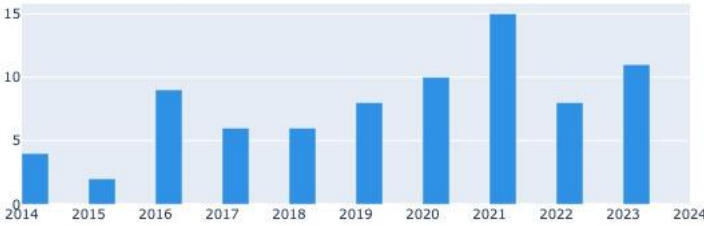


論文・特許数の推移



※ 論文の国は第一著者の所属組織で、特許の国は親特許の出願先の国で定義
※ n/a:論文DBの登録情報から国名が特定できなかったもの

技術カテゴリー 一覧

カテゴリー	論文/特許数推移	論文数増加率* 特許数増加率*	
特定用途向けの二相流体熱管理技術		na	-87.5%
二相流体ループ式排熱システムにおける熱管理技術		-8.3%	15.1%
二相流体ループ式排熱システムにおける熱伝達最適化技術		-57.1%	-80.0%
二相流体ループ式排熱システムの性能評価と研究技術		37.5%	na

*2019年から2023年での増加率。

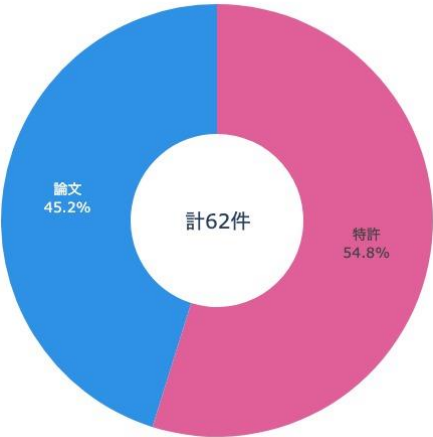
2019年,2023年何れかの文献数がゼロの場合はnaと表記している

特定用途向けの二相流体熱管理技術

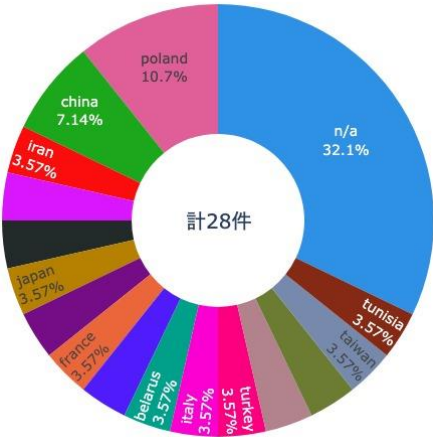
概要

二相流体ループ式排熱システム技術は、熱管理の効率を向上させるための重要な技術である。この技術には、ループ型ヒートパイプやサーモサイフォンなどのデバイスが含まれ、これらは二相流体の特性を利用して熱を効果的に移動させる。特に、CO2循環ループや閉じた二相サーモサイフォンは、特定の用途において高い性能を発揮する。これらのシステムは、実験データを基にしたモデル検証やシミュレーションを通じて、さらなる最適化が進められている。

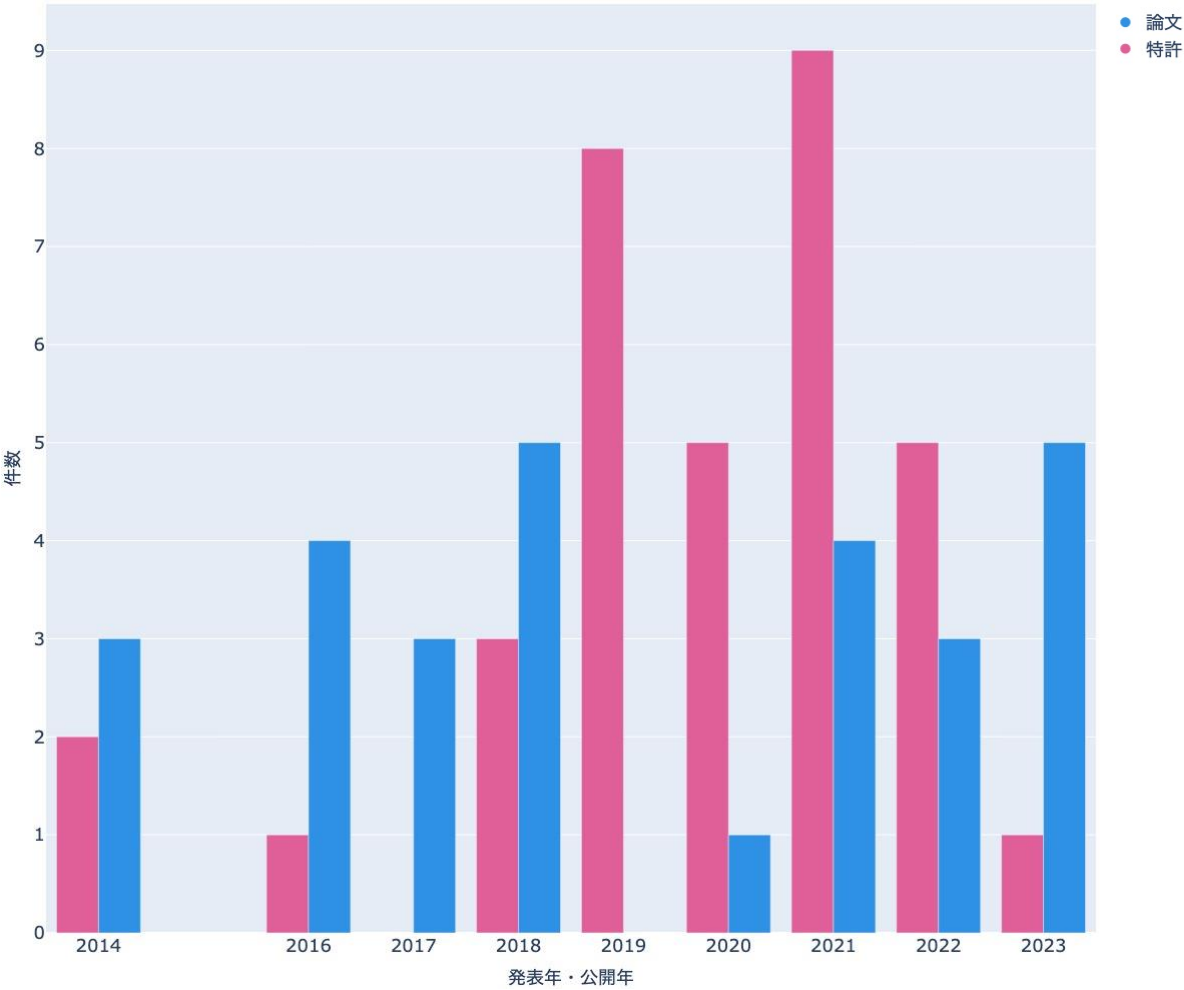
特許・論文比率



論文国別比率



論文・特許数推移



※ 論文の国は第一著者の所属組織で定義
※ n/a: 論文DBの登録情報から国名が特定できなかったもの

ループヒートパイプ技術の進化と応用

ループヒートパイプ（LHP）技術は、電子機器やサーバーの冷却において重要な役割を果たす技術として進化しています。特に、複数の金属層や弾性ウィックを用いた設計により、熱伝達効率が向上し、軽量でコンパクトなデザインが可能となっています。これにより、モバイルデバイスや高熱流束を持つデバイスへの応用が期待されています。

開発状況	LHP技術の開発目的は、電子機器やサーバーの冷却効率を向上させることです。これにより、デバイスの高性能化や省エネルギー化を実現し、よりコンパクトで軽量な設計を可能にすることを目指しています。	課題	LHP技術を電子機器の冷却に適用する際、熱伝達効率を最大化するための設計や材料選定が課題となっています。特に、ウィックの弾性や金属層の配置が熱管理性能に大きく影響します。
------	---	----	---

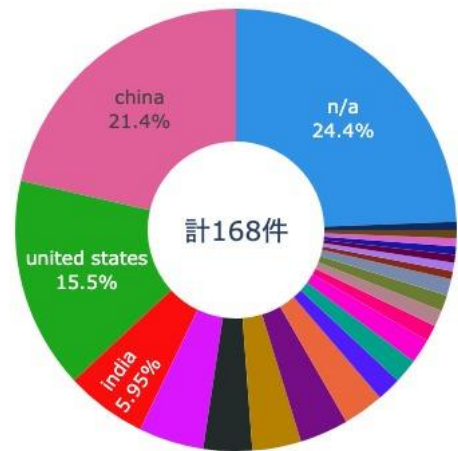
関連論文/特許

	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
特許	LOOP HEAT PIPE, COOLING DEVICE, AND ELECTRONIC DEVICE	このループヒートパイプは、液体と気体の相変化を利用して効率的に熱を管理します。弾性ウィックを用いることで、蒸発器の内壁との接触を維持し、熱伝達を効率化しています。冷却装置や電子機器での使用が期待されます。	hirasawa tomoyasu	2019	US20190390918
特許	Sheet structure separation device loop heat pipe	このループヒートパイプは、蒸発器、凝縮器、断熱部から構成され、シート構造の分離装置を備えています。二相流の熱伝達を強化し、振動と騒音を低減する設計が特徴です。	univ shandong	2019	CN109974493
特許	Middle frame assembly, manufacturing method of middle frame assembly and mobile terminal	モバイル端末用の中間フレームアセンブリに組み込まれたループヒートパイプは、効率的な熱放散を提供します。軽量で薄型の設計をサポートし、液体から気体への相変化を利用しています。	beijing xiaomi mobile software co ltd	2022	CN115087295
特許	一种用于服务器CPU散热的环路热管散热器及使用方法	サーバーCPU冷却用のループヒートパイプラジエーターは、銅粉を用いた液体貯蔵室とウィックを備えています。高熱流束密度のCPUの冷却ニーズに応え、熱放散効果と効率を向上させます。	univ south china tech	2021	CN113434030

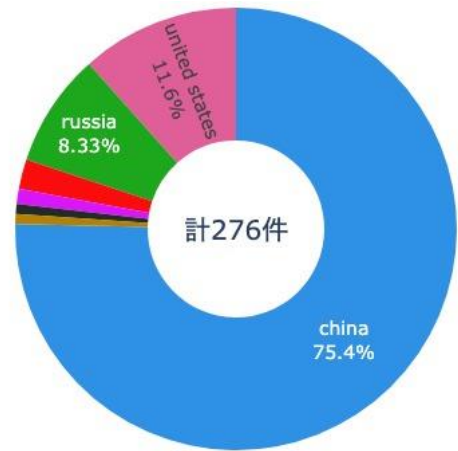
論文・特許数の推移

ヒートパイプに関する論文・特許の年次推移

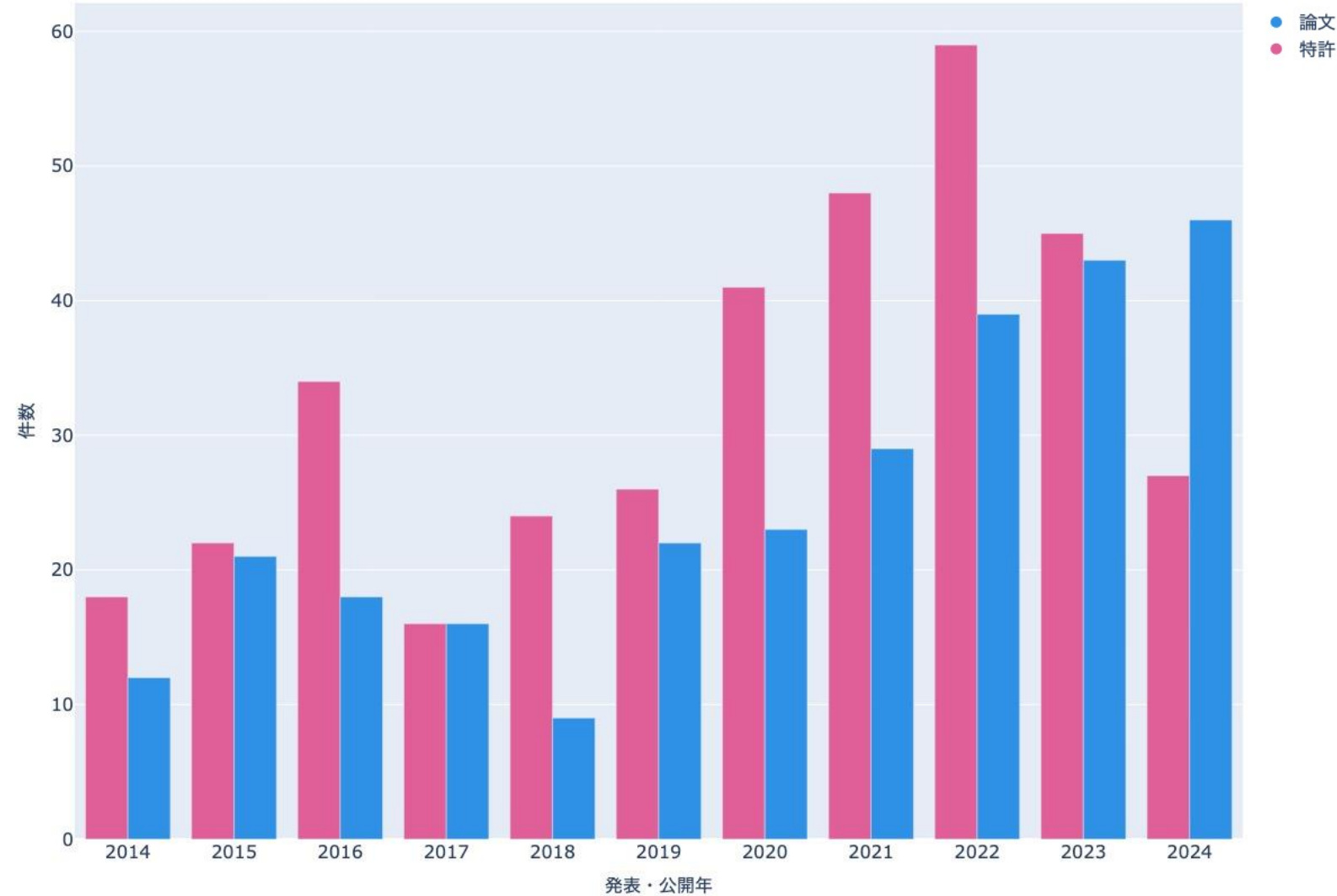
国別論文数



国別特許数

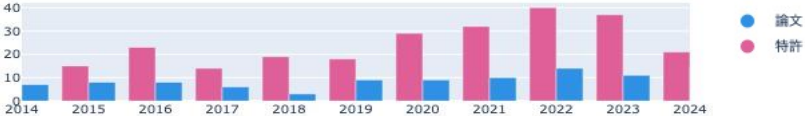
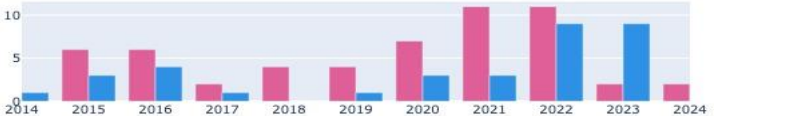
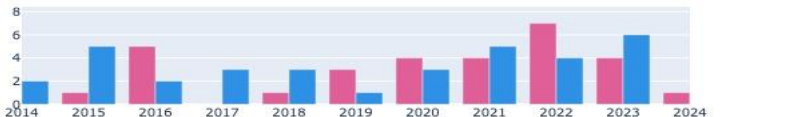
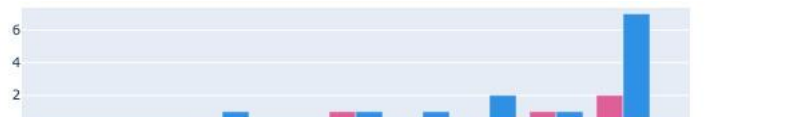


論文・特許数の推移



※ 論文の国は第一著者の所属組織で、特許の国は親特許の出願先の国で定義
※ n/a:論文DBの登録情報から国名が特定できなかったもの

技術カテゴリー 一覧

カテゴリー	論文/特許数推移	論文数増加率* 特許数増加率*	
相変化熱管と放熱技術による宇宙機熱管理		22.2%	105.6%
可変熱管・ナノ流体で向上する宇宙の熱管理性能		800.0%	-50.0%
熱管性能の解析とシミュレーションによる最適化		12.5%	na
多様な設計のループヒートパイプで実現する熱管理		500.0%	33.3%
振動熱管（PHP）による高効率な熱伝達と応用		-50.0%	na
金属3Dプリントで製造する複雑形状の航空部品		600.0%	100.0%

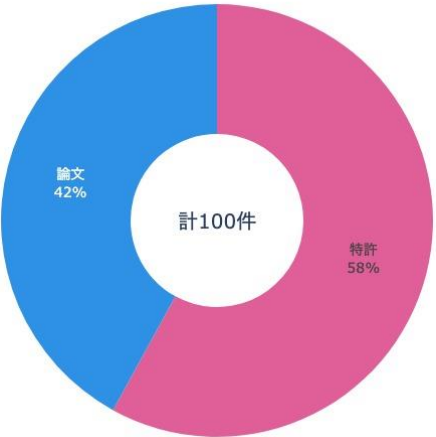
*2019年から2023年での増加率。
2019年,2023年何れかの文献数がゼロの場合はnaと表記している

可変熱管・ナノ流体で向上する宇宙の熱管理性能

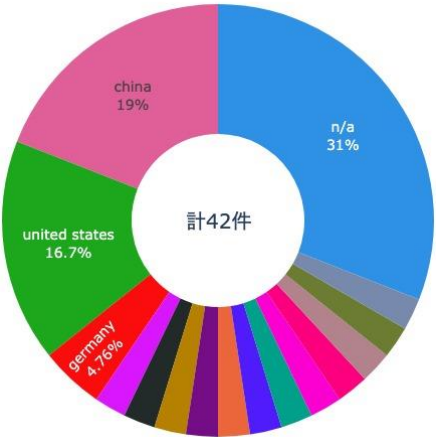
概要

熱管理技術は、熱管や熱伝達流体の利用に焦点を当て、宇宙航空やバッテリーシステムにおける温度制御に重要な役割を果たす。可変伝導熱管、溝付き熱管、振動熱管などの設計が開発され、相変化を利用して熱を効率的に移動させる。ナノ流体や新しい冷媒の開発により、熱伝導率が向上し、温度変動に対応した効率的な熱管理が可能となる。さらに、漏れ検出技術や温度制御デバイス、熱放散を改善する構造設計が信頼性とエネルギー効率の向上に寄与する。これらの技術は、宇宙機や小型衛星の熱管理システムにおいて、性能向上とコスト削減を実現する。

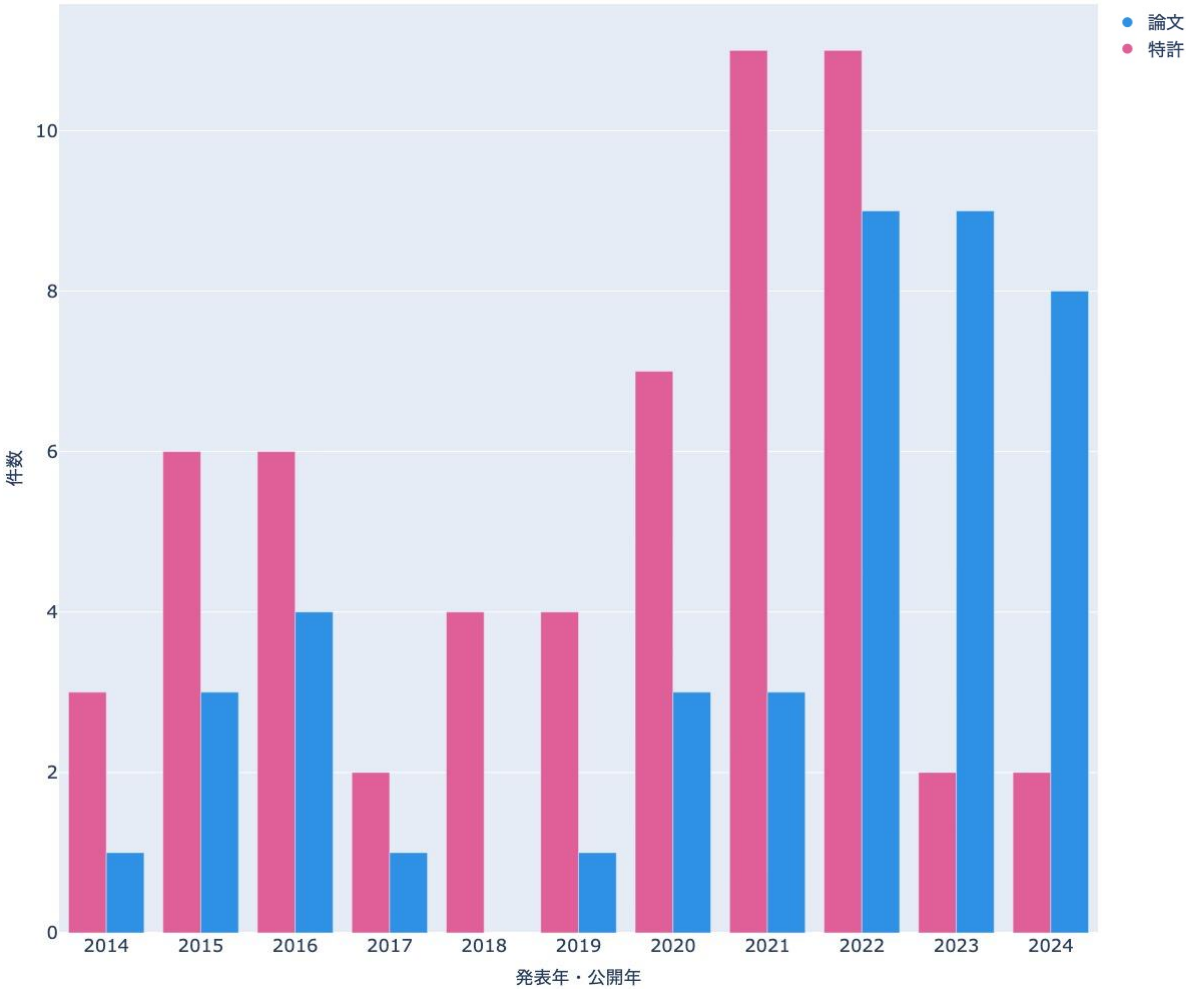
特許・論文比率



論文国別比率



論文・特許数推移



※ 論文の国は第一著者の所属組織で定義
※ n/a:論文DBの登録情報から国名が特定できなかったもの

可変熱管技術の進化と宇宙応用

可変熱管技術は、宇宙空間での熱管理を改善するために進化しています。特に、熱負荷の変動に応じて熱伝達を調整できる可変熱管は、宇宙機器の信頼性を向上させることができます。これにより、宇宙探査や衛星通信などの分野での応用が期待され、近年はこの技術に関する研究が増加しています。

開発状況

宇宙空間における熱管理の信頼性を向上させることを目的とした可変熱管技術の開発が進められており、これにより宇宙探査や衛星通信の実現を目指しています。

課題

可変熱管技術を宇宙空間に適用する際に、熱負荷の変動に対応するための熱伝達特性を適正化する必要があり、そのための技術開発が進められています。

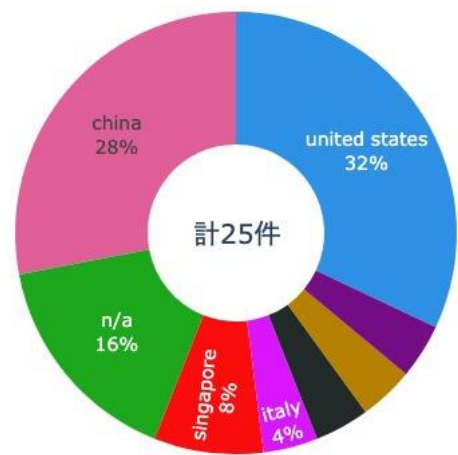
関連論文/特許

	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
論文	Experimental study on the detection of frozen diffused ammonia blockage in the inactive section of a variable conductance heat pipe	可変熱管の凍結アンモニア閉塞の検出に関する実験研究を行い、極端な条件下での性能を理解し、宇宙機器の冷却システムの信頼性を確保することを目的としています。	euro heat pipes (belgium)	2024	https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.121742
論文	Improved Switchable Heat Pipe Based on Adsorption: Against-Gravity Operation and Enhanced Dynamics	吸着に基づく切替可能な熱管を用いた熱管理システムを研究し、重力に依存しない環境での効果的な運用を実現することを目指しています。	fraunhofer institute for physical measurement technology ipm	2024	https://doi.org/10.3390/en17092088
論文	Thermal Testing of an AMDROHP (Additively Manufactured Deployable Radiator Oscillating Heat Pipes) for Use in High-Powered CubeSats	高出力CubeSatの熱管理を改善するために、AMDROHPを用いた熱試験を行い、設計の改良点を特定し、宇宙での実用化を目指しています。	california state university	2023	https://doi.org/10.1115/imece2023-114249
論文	Thermal and Structural Performance of a Small Satellite with Networked Oscillating Heat Pipes	可変熱管を用いた小型衛星の熱設計を紹介し、構造的および熱的性能を向上させることを目的とした研究を行っています。	japan aerospace exploration agency	2022	https://doi.org/10.2514/1.a35242

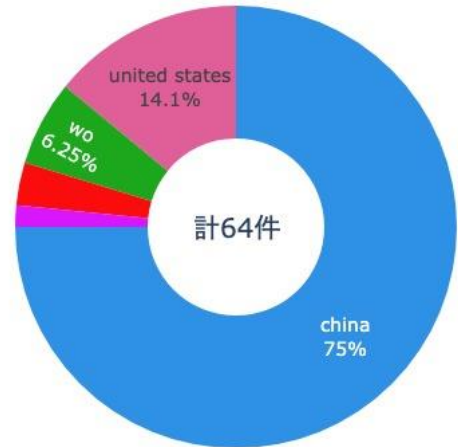
論文・特許数の推移

液浸冷却技術に関する論文・特許の年次推移

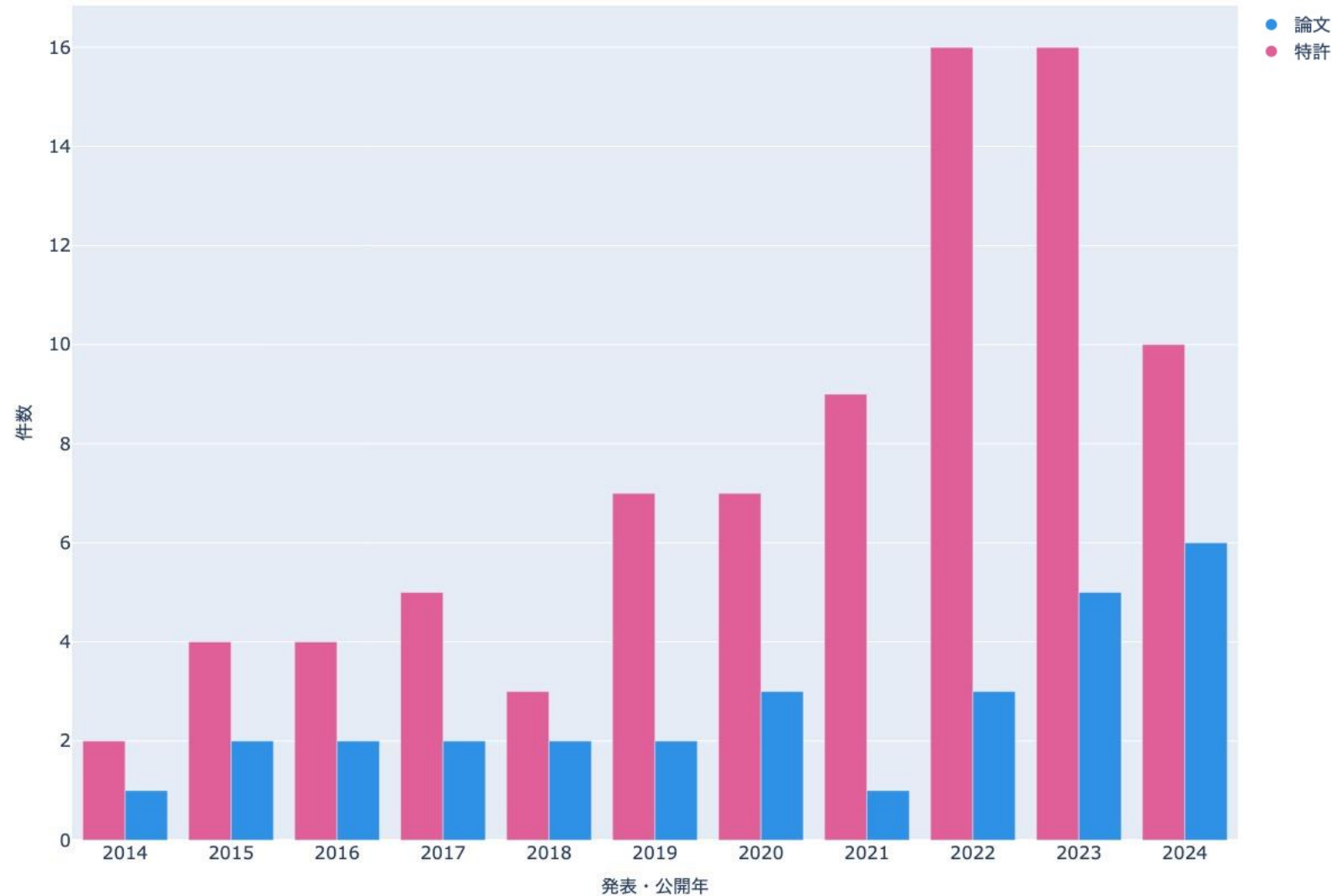
国別論文数



国別特許数

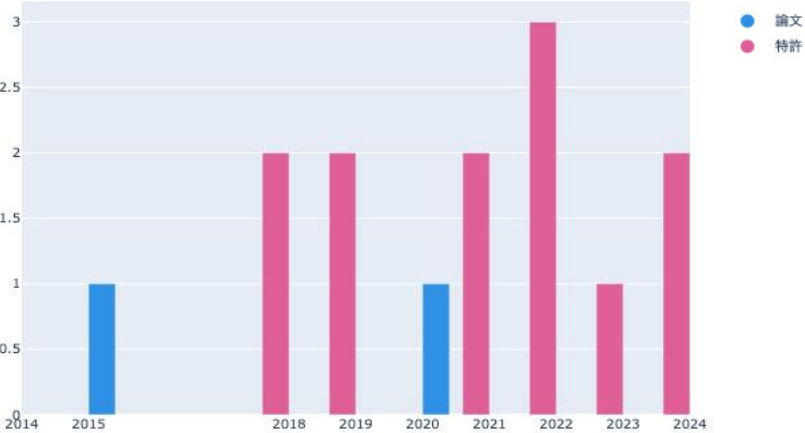
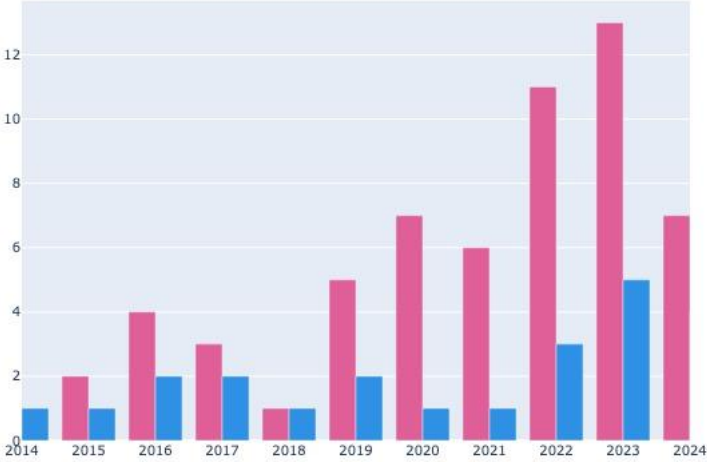


論文・特許数の推移



※ 論文の国は第一著者の所属組織で、特許の国は親特許の出願先の国で定義
※ n/a:論文DBの登録情報から国名が特定できなかったもの

技術カテゴリー 一覧

カテゴリー	論文/特許数推移	論文数増加率*	特許数増加率*
流体制御と温度管理のための精密技術とリアルタイム調整		na	-50.0%
液浸冷却と相変化を利用した冷却・熱交換技術の革新		150.0%	160.0%

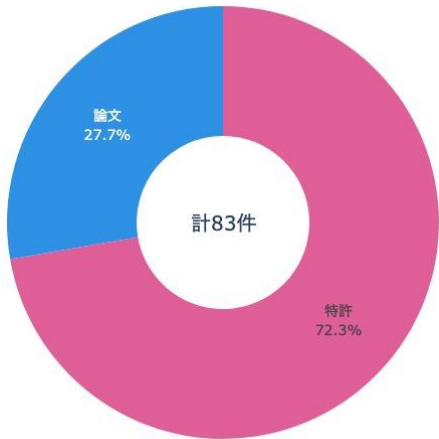
*2019年から2023年での増加率。
2019年,2023年何れかの文献数がゼロの場合はnaと表記している

液浸冷却と相変化を利用した冷却・熱交換技術の革新

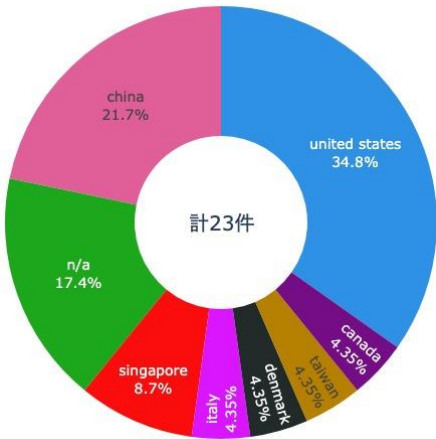
概要

このカテゴリーは、効率的な熱管理と冷却技術に関するものであり、液体冷却や相変化材料を用いた革新的な手法が集約されている。具体的には、マイクロチャネルヒートシンクやハイブリッド冷却システム、相変化を利用した熱交換手法、アディアバティックデマグネティゼーション冷蔵庫、半導体冷却モジュール、低温冷却システム、スプレー冷却技術などが含まれる。これらの技術は、特に低温アプリケーションや宇宙環境における熱管理の効率を向上させることを目指しており、冷却剤の蒸発率を高める手法や液滴流の幾何学的影響に関する研究も進められている。

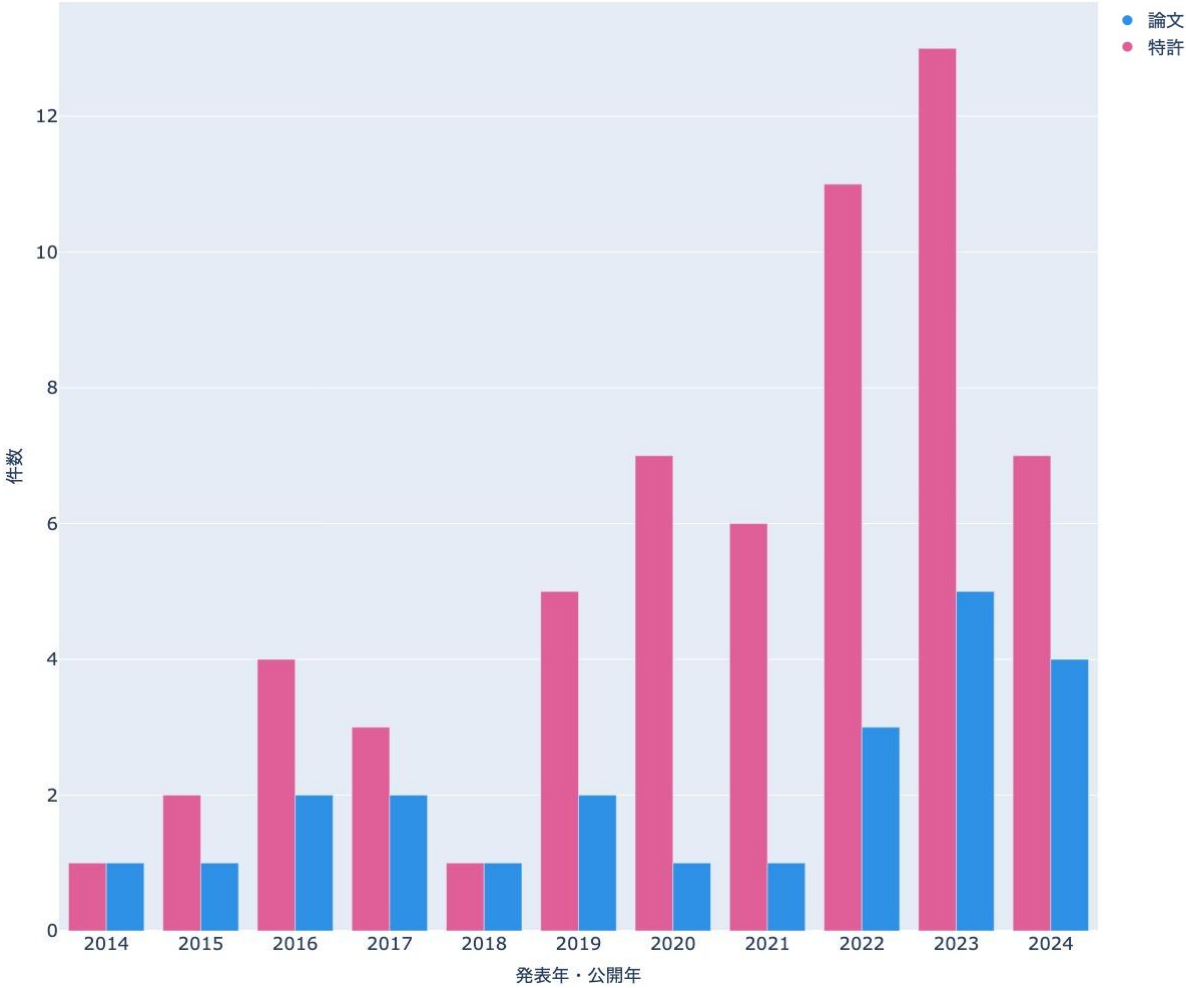
特許・論文比率



論文国別比率



論文・特許数推移



※ 論文の国は第一著者の所属組織で定義
※ n/a:論文DBの登録情報から国名が特定できなかったもの

液浸冷却と相変化による冷却技術の革新

液浸冷却と相変化を組み合わせた冷却技術は、宇宙空間や高性能電子機器の熱管理において革新をもたらしています。特に、液体窒素や液体金属を用いたシステムは、低温環境での効率的な熱交換を実現し、冷却能力を大幅に向上させています。これにより、宇宙探査や高出力電子機器の信頼性と性能が向上し、長期間の運用が可能となります。さらに、軽量化と高効率化を両立させることで、航空宇宙分野における新たな冷却ソリューションとして期待されています。

開発
状況

宇宙空間や高性能電子機器における熱管理の効率を向上させることを目的とし、液浸冷却と相変化技術を活用した新たな冷却システムの開発が進められています。これにより、信頼性の高い長期間の運用を実現することを目指しています。

課題

液浸冷却と相変化技術を宇宙空間や高性能電子機器に適用する際、低温環境での冷却効率を最大化するための技術開発が求められています。特に、冷却媒体の流動性や熱交換効率を向上させることが課題となっています。

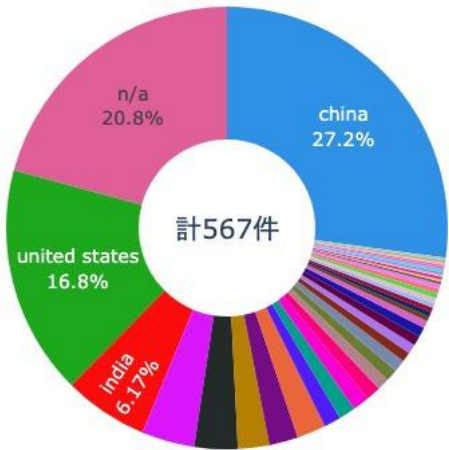
関連論文/特許

	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
特許	RUGGEDIZING APPARATUS AND METHOD FOR ELECTRONIC EQUIPMENT MOUNTED ON SPACECRAFT	宇宙船の電子機器に対する放射線シールドと熱放散を提供する堅牢化装置を開発。冷却液に浸漬することで、放射線から保護しつつ効率的な熱管理を実現。	nec corp	2023	JP2023124520
特許	Device, equipment and system giving consideration to satellite attitude control and heat control	衛星の姿勢制御と熱管理を同時に行う装置を開発。液体金属を用いた熱輸送と姿勢調整を可能にし、効率的な熱管理を実現。	univ shanghai jiaotong	2022	CN113879564
特許	Production device of supercooled liquid nitrogen	従来の液体窒素の冷却能力を超える-205℃の過冷却液体窒素を生成する装置を開発。長距離輸送や長期保存に適し、蒸発ガスの排出を最小限に抑える。	harbin liming gas co ltd	2020	CN210602468
論文	A hollow microlattice based ultralight active thermal control device and its fabrication techniques and thermal performances	軽量で高効率な熱制御デバイスを開発。中空グラフェン強化金属マイクロラティス材料と相変化材料を組み合わせ、宇宙空間での熱管理を向上。	shanghai jiao tong university	2021	https://doi.org/10.1088/1361-6439/ac3be2

論文・特許数の推移

高効率排熱技術に関する論文・特許の年次推移

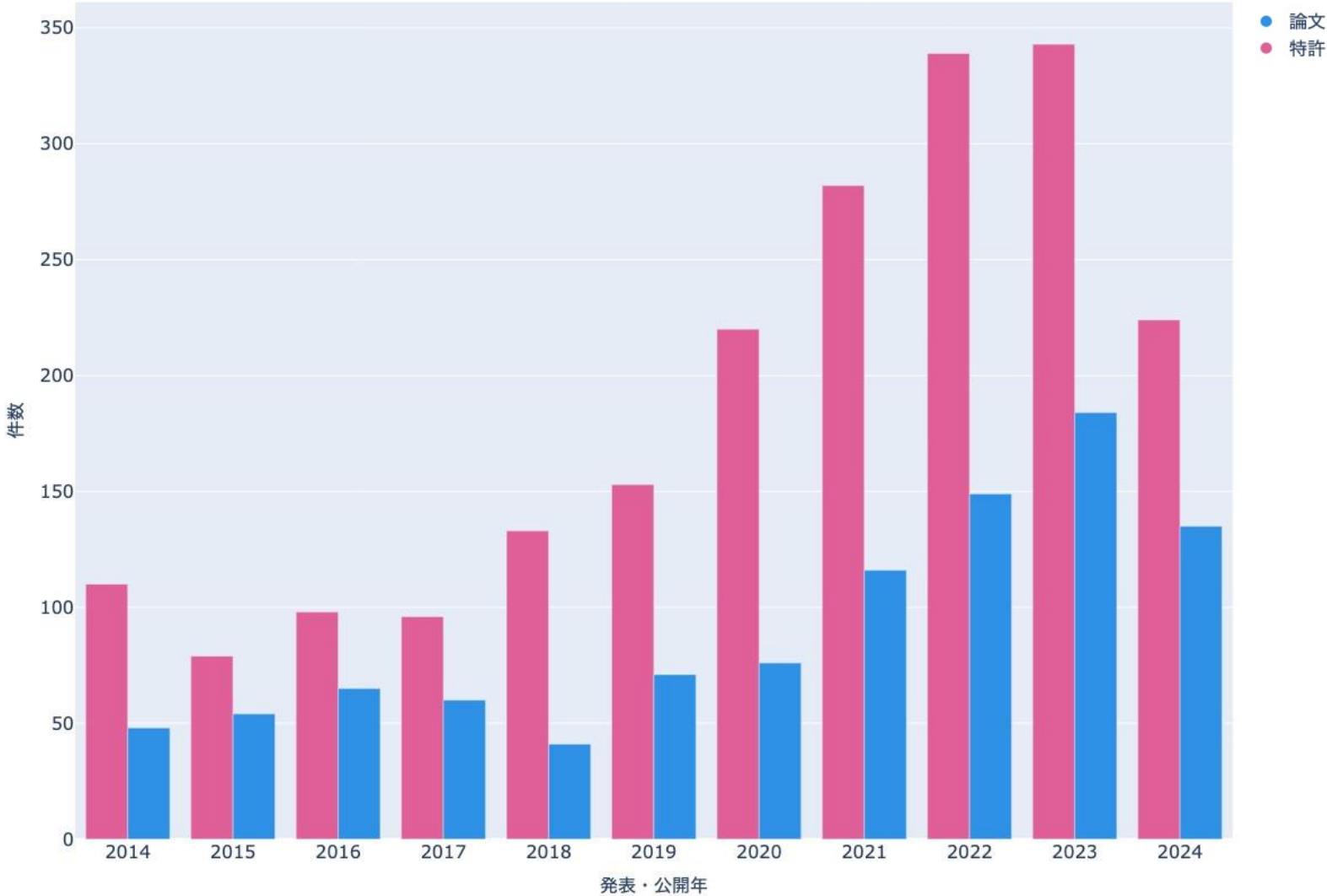
国別論文数



国別特許数

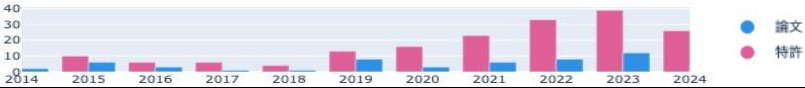
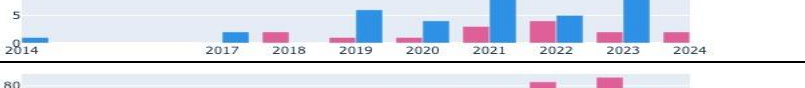
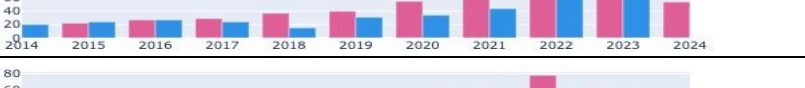
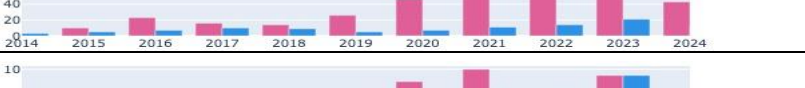
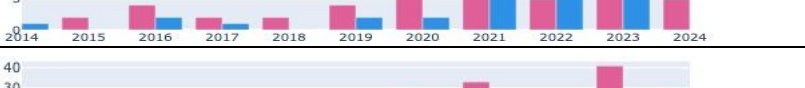


論文・特許数の推移



※ 論文の国は第一著者の所属組織で、特許の国は親特許の出願先の国で定義
※ n/a:論文DBの登録情報から国名が特定できなかったもの

技術カテゴリー 一覧

カテゴリー	論文/特許数推移	論文数増加率* 特許数増加率*	
特殊環境における熱管理技術と放散効率の向上		50.0%	200.0%
熱管技術とヒートパイプによる熱エネルギーの効率的輸送		100.0%	133.3%
熱管理と構造効率を向上させるための設計技術		200.0%	220.0%
精密な温度制御を実現する熱管理デバイスとシステム		-33.3%	100.0%
宇宙機における多層熱絶縁材を用いた熱管理技術		0.0%	0.0%
加法製造技術を用いた複雑な熱交換器の製造		83.3%	100.0%
冷却システムと熱管理技術の最適化および宇宙環境における応用		138.7%	132.5%
デバイスの熱管理と高出力電子機器向けの放熱技術		320.0%	126.9%
宇宙空間における熱管理のための先進コーティング技術		350.0%	125.0%
熱管理技術における先進材料と構造の効率向上		140.0%	156.2%

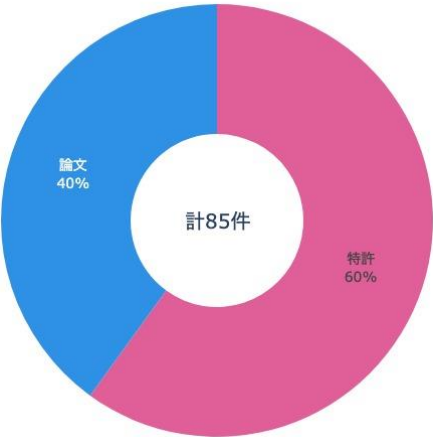
*2019年から2023年での増加率。
2019年,2023年何れかの文献数がゼロの場合はnaと表記している

宇宙空間における熱管理のための先進コーティング技術

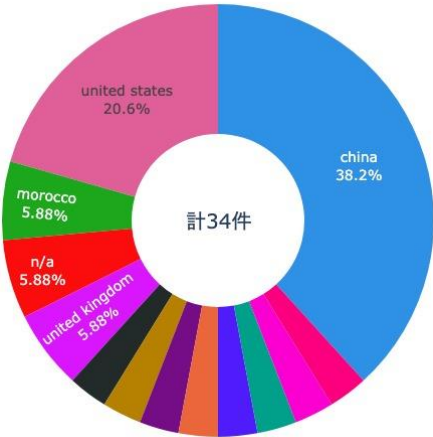
概要

このトピックは、宇宙空間における熱管理技術に関するもので、特に先進的なコーティング技術に焦点を当てている。熱放射コーティングや熱制御フィルム、ナノ構造を利用したコーティングは、エネルギー消費の削減や宇宙放射線への耐性向上を目的としている。低放射率や高い赤外線放射率を持つコーティングは、宇宙機の温度安定化に寄与し、ナノバリア構造や相変化材料を用いた放射冷却パネルも開発されている。これにより、宇宙機の熱バランスを最適化し、効率的な熱管理が実現される。

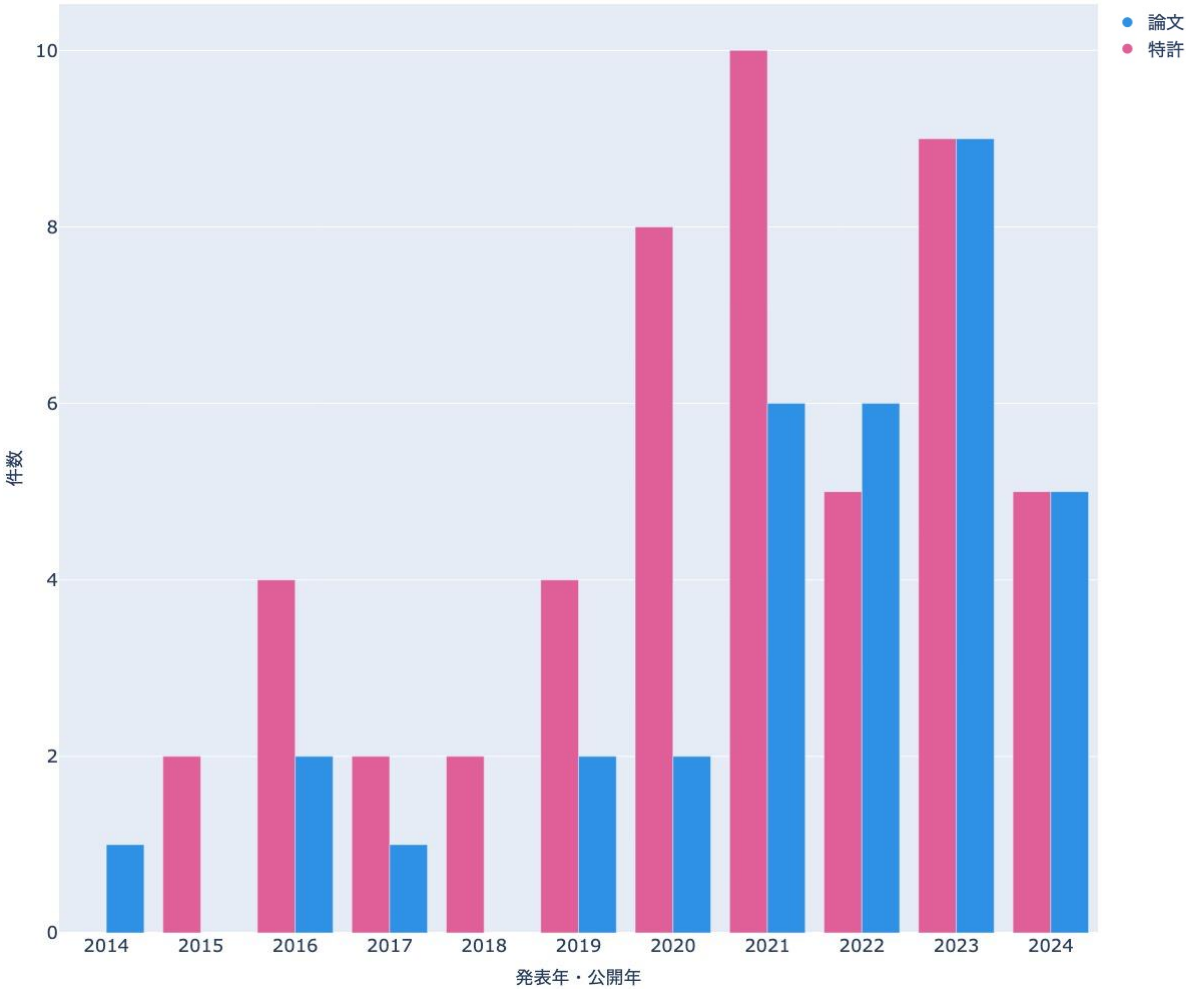
特許・論文比率



論文国別比率



論文・特許数推移



※ 論文の国は第一著者の所属組織で定義
※ n/a:論文DBの登録情報から国名が特定できなかったもの

VO2を用いたスマートラジエーター技術の進展

VO2を用いたスマートラジエーター技術は、宇宙空間での熱管理を改善するために開発されています。VO2の温度依存性の放射率を利用し、低い太陽吸収率と高い放射率を持つ多層構造のラジエーターが研究されています。これにより、宇宙機の温度制御が精密に行えるようになり、ミッションの成功率向上に寄与しています。特に近年は、VO2技術に関する研究が増加しており、注目が高まっています。

開発状況	宇宙機における熱管理の精度を向上させることを目的とした開発や、VO2を用いたスマートラジエーターの実現を目指した開発が進められています。	課題	VO2を宇宙機の熱管理に適用する際に、温度変化に応じた放射率の調整が必要であり、これを実現するための技術開発が進められています。
------	--	----	--

関連論文/特許

	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
論文	Intelligent Space Thermal Control Radiator Based on Phase Change Material with Partial Visible Transparency	VO2を用いた多層フィルム構造のスマートラジエーターを開発し、宇宙空間での熱管理を最適化することを目的としています。特に、太陽放射吸収を最小限に抑えつつ、赤外線放射率を調整可能にすることで、効率的な熱放出を実現しています。	china academy of space technology	2024	https://doi.org/10.3390/coating s14050535
論文	Mechanically tunable radiative cooling for adaptive thermal control	機械的に調整可能な放射冷却技術を開発し、宇宙空間での極端な温度変動に対応することを目的としています。機械的なひずみを利用して放射パワーを動的に調整し、適応的な熱管理を実現しています。	university of nebraska-lincoln	2022	https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.118527
論文	Multifunctional Nanostructures with Controllable Band Gap Giving Highly Stable Infrared Emissivity for Smart Thermal Management.	軽量の光学超格子ナノバリア構造を開発し、宇宙空間での電子機器の熱管理を最適化することを目的としています。高い赤外線放射率と調整可能な太陽吸収率を実現し、熱負荷の管理を可能にしています。	university of surrey	2023	https://doi.org/10.1021/acsnano.2c09737
論文	Strongly thermochromic behavior of doped VO2 switching at low temperature for spacecraft thermal control	タングステンをドーブしたVO2コーティングを開発し、宇宙空間での熱管理を改善することを目的としています。低温での熱交換制御を強化し、効率的な熱管理を実現しています。	hef groupe (france)	2024	https://doi.org/10.1117/12.3023007