

タングステン酸ナトリウム百科事典

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

タングステン、モリブデン、希土類元素産業におけるインテリジェント製造の世界的リーダー

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

CTIA GROUP の紹介

CHINATUNGSTEN ONLINE が設立した、独立した法人格を持つ完全子会社である CTIA GROUP LTD は、インダストリアル・インターネット時代におけるタングステンおよびモリブデン材料のインテリジェントで統合された柔軟な設計と製造の推進に尽力しています。CHINATUNGSTEN ONLINE は、1997 年に www.chinatungsten.com（中国初の一流タングステン製品ウェブサイト）を起点に設立され、タングステン、モリブデン、希土類元素産業に特化した中国の先駆的な e コマース企業です。CTIA GROUP は、タングステンおよびモリブデン分野での約 30 年にわたる豊富な経験を活かし、親会社の優れた設計・製造能力、優れたサービス、世界的なビジネス評判を継承し、タングステン化学薬品、タングステン金属、超硬合金、高密度合金、モリブデン、モリブデン合金の分野で包括的なアプリケーションソリューションプロバイダーになりました。

CHINATUNGSTEN ONLINE は、過去 30 年間で 200 以上の多言語対応タングステン・モリブデン専門ウェブサイトを開設し、20 以上の言語に対応しています。タングステン、モリブデン、希土類元素に関するニュース、価格、市場分析など、100 万ページを超える情報を掲載しています。2013 年以来、WeChat 公式アカウント「CHINATUNGSTEN ONLINE」は 4 万件以上の情報を発信し、10 万人近くのリフォロワーを抱え、世界中の数十万人の業界関係者に毎日無料情報を提供しています。ウェブサイト群と公式アカウントへの累計アクセス数は数十億回に達し、タングステン、モリブデン、希土類元素業界における世界的に権威のある情報ハブとして認知され、24 時間 365 日、多言語ニュース、製品性能、市場価格、市場動向などのサービスを提供しています。

CTIA GROUP は CHINATUNGSTEN ONLINE の技術と経験を基盤とし、顧客の個別ニーズへの対応に注力しています。AI 技術を活用し、顧客と共同で、特定の化学組成と物理的特性（粒径、密度、硬度、強度、寸法、公差など）を持つタングステン・モリブデン製品を設計・製造し、型開き、試作、仕上げ、梱包、物流まで、全工程を統合したサービスを提供しています。過去 30 年間、CHINATUNGSTEN ONLINE は、世界中の 13 万社以上の顧客に、50 万種類以上のタングステン・モリブデン製品の研究開発、設計、製造サービスを提供し、カスタマイズ可能で柔軟性が高く、インテリジェントな製造の基盤を築いてきました。CTIA GROUP はこの基盤を基に、インダストリアルインターネット時代におけるタングステン・モリブデン材料のインテリジェント製造と統合イノベーションをさらに深化させています。

ハンス博士と CTIA GROUP のチームは、30 年以上にわたる業界経験に基づき、タングステン、モリブデン、希土類に関する知識、技術、タングステン価格、市場動向分析を執筆・公開し、タングステン業界と自由に共有しています。ハンス博士は、1990 年代からタングステンおよびモリブデン製品の電子商取引および国際貿易、超硬合金および高密度合金の設計・製造において 30 年以上の経験を持ち、国内外でタングステンおよびモリブデン製品の専門家として知られています。CTIA GROUP のチームは、業界に専門的で高品質な情報を提供するという原則を堅持し、生産の実践と市場の顧客ニーズに基づいた技術研究論文、記事、業界レポートを継続的に執筆しており、業界で広く評価されています。これらの成果は、CTIA GROUP の技術革新、製品のプロモーション、業界交流に強力なサポートを提供し、同社が世界的なタングステンおよびモリブデン製品の製造と情報サービスのリーダーとなることを推進しています。



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

目次

序文

- 1.1 タングステン酸ナトリウム事典編纂の目的と意義
- 1.2 タングステン酸ナトリウムの歴史と発展の概要
- 1.3 タングステン酸ナトリウム百科事典の構造と使用ガイド
- 1.4 タングステン酸ナトリウム百科事典の対象読者と適用シナリオ

第1章 タングステン酸ナトリウムの概要

- 1.1 タングステン酸ナトリウムの定義と化学式
- 1.2 タングステン酸ナトリウムの物理的性質（外観、密度、融点、溶解度など）
- 1.3 タングステン酸ナトリウムの化学的性質（酸性度、アルカリ性度、酸化還元特性、安定性）
- 1.4 タングステン酸ナトリウムの結晶構造と分子特性
- 1.5 タングステン酸ナトリウムの異性体および関連化合物

第2章 タングステン酸ナトリウムの分類と形態

- 2.1 タングステン酸ナトリウムの無水物および二水和物（ $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）
- 2.2 タングステン酸ナトリウムの純度レベル（工業用、分析用、医薬品用）
- 2.3 タングステン酸ナトリウムの溶液と固体
- 2.4 タングステン酸ナトリウムの包装および保管要件

第3章 タングステン酸ナトリウムの化学反応

- 3.1 タングステン酸ナトリウムと酸の反応（タングステン酸等の生成）
- 3.2 タングステン酸ナトリウムと金属イオンの錯形成反応
- 3.3 タングステン酸ナトリウムの酸化還元反応特性
- 3.4 タングステン酸ナトリウムの熱分解と高温反応
- 3.5 タングステン酸ナトリウムの触媒効果と反応機構

第4章 タングステン酸ナトリウムの実験室調製法

- 4.1 タングステン鉱石からのタングステン酸ナトリウムの抽出
- 4.2 タングステン酸ナトリウムの化学合成（タングステン酸と水酸化ナトリウムの反応）
- 4.3 タングステン酸ナトリウムの電気化学的調製技術
- 4.4 タングステン酸ナトリウムの実験室精製および結晶化技術
- 4.5 タングステン酸ナトリウムの製造における安全上の注意

第5章 タングステン酸ナトリウムの工業的製造プロセス

- 5.1 タングステン酸ナトリウムの原料（灰重石、ウルム重石、廃タングステン材料）の選択
- 5.2 タングステン酸ナトリウムの湿式製錬プロセス（アルカリ浸出、イオン交換）
- 5.3 タングステン酸ナトリウムの焼成および溶解プロセス

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 5.4 タングステン酸ナトリウムの工業的結晶化および乾燥技術
- 5.5 タングステン酸ナトリウム製造装置と自動化制御
- 5.6 タングステン酸ナトリウム副産物の処理とリサイクル

6 タングステン酸ナトリウムの品質管理と試験

- 6.1 タングステン酸ナトリウムの純度分析方法（ICP-MS、XRF など）
- 6.2 タングステン酸ナトリウム中の不純物（Mo、Fe、Ca など）の検出
- 6.3 タングステン酸ナトリウムの結晶形態と粒子サイズ分析
- 6.4 タングステン酸ナトリウム溶液の pH と濃度の測定
- 6.5 タングステン酸ナトリウムの国際および国内試験規格（ISO、GB/T）

第7章 タングステン酸ナトリウムの産業応用

- 7.1 タングステン冶金におけるタングステン酸ナトリウムの役割（APT、タングステン粉末製造）
- 7.2 触媒および助触媒としてのタングステン酸ナトリウム（石油化学産業、酸化反応）
- 7.3 顔料および染料におけるタングステン酸ナトリウムの応用（タングステン酸系顔料）
- 7.4 耐火材料および難燃剤におけるタングステン酸ナトリウムの役割
- 7.5 電気めっきおよび表面処理におけるタングステン酸ナトリウムの応用

第8章 タングステン酸ナトリウムの医学的および生物学的応用

- 8.1 糖尿病研究におけるタングステン酸ナトリウムの応用（インスリンシミュレーション）
- 8.2 タングステン酸ナトリウムの抗菌・抗ウイルス特性
- 8.3 バイオイメージングおよび標識試薬におけるタングステン酸ナトリウムの応用
- 8.4 タングステン酸ナトリウムの毒性および生物学的安全性評価
- 8.5 臨床試験と医薬品開発におけるタングステン酸ナトリウムの展望

第9章 タングステン酸ナトリウムの環境・エネルギー分野への応用

- 9.1 廃水処理におけるタングステン酸ナトリウムの応用（重金属吸着、リン除去）
- 9.2 光触媒材料としてのタングステン酸ナトリウム（有機汚染物質の分解）
- 9.3 タングステン酸ナトリウムの電池およびエネルギー貯蔵材料への応用（ナトリウムイオン電池）
- 9.4 太陽熱エネルギー変換材料におけるタングステン酸ナトリウムの役割
- 9.5 環境修復におけるタングステン酸ナトリウムの応用

第10章 タングステン酸ナトリウムのその他の新たな用途

- 10.1 タングステン酸ナトリウム系ナノ材料および複合材料
- 10.2 3D プリンティングと積層造形におけるタングステン酸ナトリウムの応用

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 10.3 光学・電子デバイス（エレクトロクロミック材料）におけるタングステン酸ナトリウムの役割
- 10.4 農業および植物栄養におけるタングステン酸ナトリウムの応用（微量元素補給）
- 10.5 航空宇宙および防衛分野におけるタングステン酸ナトリウムの可能性
- 10.6 フレキシブルエレクトロニクスにおけるタングステン酸ナトリウムの応用
- 10.7 量子ドットと光電応用
- 10.8 スマートセンサーにおけるタングステン酸ナトリウム
- 10.9 エネルギーハーベスティングとストレージ
- 10.10 スマートコーティングと表面工学
- 10.11 課題と将来の動向

11 タングステン酸ナトリウムの理論的研究

- 11.1 タングステン酸ナトリウムの量子化学計算
- 11.2 タングステン酸ナトリウムの分子動力学シミュレーション
- 11.3 タングステン酸ナトリウムの熱力学および速度論的解析
- 11.4 タングステン酸ナトリウムの表面化学と界面挙動
- 11.5 タングステン酸ナトリウムの電子構造に関する研究

第12章 タングステン酸ナトリウムの実験研究の進展

- 12.1 タングステン酸ナトリウムの新しい製造方法の探索
官能化タングステン酸ナトリウム材料の合成
- 12.3 タングステン酸ナトリウムの触媒性能の最適化
- 12.4 タングステン酸ナトリウムの生物医学への応用に関する実験データ
- 12.5 環境用途におけるタングステン酸ナトリウムの性能試験

第13章 タングステン酸ナトリウムに関する学際的研究

- 13.1 タングステン酸ナトリウムと材料科学の融合
- 13.2 化学工学およびプロセス最適化におけるタングステン酸ナトリウムの応用
- 13.3 環境科学と持続可能な開発におけるタングステン酸ナトリウムの役割
- 13.4 バイオテクノロジーと医学の学際研究におけるタングステン酸ナトリウムの応用
- 13.5 タングステン酸ナトリウム研究におけるデータサイエンスの応用

第14章 タングステン酸ナトリウムの世界市場

- 14.1 タングステン酸ナトリウムの生産と消費の概要
- 14.2 タングステン酸ナトリウムの主な生産国（中国、米国、ロシアなど）
- 14.3 タングステン酸ナトリウムの市場需要と用途分布
- 14.4 タングステン酸ナトリウムの価格動向と影響要因
- 14.5 タングステン酸ナトリウム市場における競争と主要企業の分析

第15章 タングステン酸ナトリウムの規制および基準

- 15.1 タングステン酸ナトリウムの国際規格（ISO、ASTM）

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 15.2 タングステン酸ナトリウムの中国国家規格（GB/T）
- 15.3 タングステン酸ナトリウムの環境および安全規制（REACH、RoHS）
医療用および食品用タングステン酸ナトリウムのコンプライアンス要件
- 15.5 タングステン酸ナトリウムの知的財産権と特許保護
- 15.6 CTIA GROUP LTD タングステン酸ナトリウム MSDS

第 16 章 タングステン酸ナトリウムの環境影響

- 16.1 タングステン酸ナトリウム製造における環境フットプリント
- 16.2 タングステン酸ナトリウム廃水および廃ガス処理技術
- 16.3 タングステン酸ナトリウムによる土壌と水質汚染のリスク
- 16.4 循環型経済とタングステン酸ナトリウムの廃棄物回収
- 16.5 タングステン酸ナトリウムのグリーン生産技術の開発

第 17 章 タングステン酸ナトリウムの技術開発動向

- 17.1 新しいタングステン酸ナトリウム材料の研究開発
- 17.2 タングステン酸ナトリウムのインテリジェント生産技術
- 17.3 新エネルギー分野におけるタングステン酸ナトリウムの応用可能性
- 17.4 タングステン酸ナトリウムの学際的応用の拡大
- 17.5 タングステン酸ナトリウム研究における人工知能の応用

付録

付録 1: タングステン酸ナトリウムの用語集

タングステン酸ナトリウムに関連する用語と定義

付録 2: タングステン酸ナトリウムの参考文献

付録 3: タングステン酸ナトリウムデータシート

- 3.1 タングステン酸ナトリウムの物理的および化学的性質
- 3.2 タングステン酸ナトリウム製造プロセスのパラメータ
タングステン酸ナトリウム応用分野の性能比較表
- 3.4 世界のタングステン酸ナトリウム市場統計

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na₂WO₄, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na₂WO₄ is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO₄²⁻) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

2. Sodium Tungstate Features

- **Chemical Composition:** Na₂WO₄·2H₂O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- **Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- **High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- **Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- **Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm ³)	WO ₃ Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

4. Packaging and Quality Assurance

- **Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- **Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO₃ content (titration).

5. Procurement Information

- **Email:** sales@chinatungsten.com
- **Tel:** +86 592 5129595
- **Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website (www.sodium-tungstate.com).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



序文

(Na_2WO_4) を包括的かつ体系的に紹介するモノグラフであり、研究者、エンジニア、学生、そして産業界の実務家にとって権威ある詳細な参考資料を提供することを目的としています。重要な無機化合物であるタングステン酸ナトリウムは、産業、医療、環境、新エネルギーの分野で独自の価値を示しており、その研究と応用は絶えず拡大しています。本序文では、本書の執筆目的を説明し、タングステン酸ナトリウムの発展の歴史を振り返り、本書の構成を紹介し、対象読者と適用シナリオを明確にします。

1.1 タングステン酸ナトリウム事典編纂の目的と意義

タングステン酸ナトリウムは、その優れた化学的安定性、触媒性能、生物活性により、タングステン冶金、石油化学工業、下水処理、糖尿病研究において重要な役割を果たしています。しかしながら、既存の文献は散在的に提示されており、体系的な統合が欠けています。本書は、このギャップを埋め、タングステン酸ナトリウムの化学的性質、調製方法、応用分野、科学研究、産業的地位、環境への影響をまとめ、学術研究と産業応用のためのワンストップリソースを提供することを目指しています。本書は、タングステン酸ナトリウムに関する理論的および実践的知識を整理するだけでなく、新エネルギーやナノテクノロジーなどの最先端分野における発展の可能性を見据え、関連分野における革新と持続可能な発展の促進に努めています。

1.2 タングステン酸ナトリウムの歴史と発展の概要

タングステン酸ナトリウムの発見と応用は 19 世紀初頭にまで遡ります。当時、化学者はタングステン鉱石からタングステン酸を抽出し、それをナトリウム塩と反応させることで、初めてタングステン酸ナトリウムを合成しました。初期のタングステン酸ナトリウム

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

は、主に分析化学において、リン酸塩やタンパク質の測定試薬として利用されてきました。20 世紀には、タングステン冶金産業の発展に伴い、タングステン酸ナトリウムはパラタングステン酸アンモニウム（APT）やタングステン粉末の製造における重要な中間体となりました。近年、タングステン酸ナトリウムのバイオメディカル（インスリン模倣など）、環境科学（汚染物質の光触媒分解など）、エネルギー分野（ナトリウムイオン電池など）への応用研究が急速に発展しています。技術の進歩と学際的な融合により、タングステン酸ナトリウムの応用範囲はさらに広がり、現代の材料科学とグリーンケミストリーの焦点となっています。

1.3 タングステン酸ナトリウム百科事典の構造と使用ガイド

本書は 17 章から構成され、タングステン酸ナトリウムの基礎知識、製造プロセス、応用分野、科学研究、産業市場、規制基準、環境への影響を網羅しています。第 1 章から第 3 章では、タングステン酸ナトリウムの化学的および物理的性質を紹介します。第 4 章から第 6 章では、実験室および工業的製造について解説します。第 7 章から第 10 章では、産業、医療、環境、新興分野における応用について詳しく説明します。第 11 章から第 13 章では、理論および実験的研究に焦点を当てます。第 14 章から第 17 章では、市場、規制、将来の動向を分析します。さらに、付録には用語集、参考文献、データシート、特許リストが掲載されており、索引によって迅速な検索が可能です。読者は必要に応じて章を選択して読むことも、タングステン酸ナトリウムの全体像を深く理解するために複数の章を読むこともできます。

1.4 タングステン酸ナトリウム百科事典の対象読者と適用シナリオ

この本は、次のようなさまざまなレベルの読者を対象としています。

- **学術研究者:** 化学、材料科学、環境科学、生物医学の分野の学者や学生は、この本の理論的研究、実験データ、特許リストを参照できます。
- **産業従事者:** タングステン冶金、触媒製造、廃水処理、新エネルギー産業のエンジニアや技術者は、準備プロセス、品質管理、市場分析コンテンツを使用して生産を最適化できます。
- **政策立案者:** タングステン酸ナトリウムの環境への影響と規制基準に注意を払い、持続可能な産業政策を策定します。
- **教育者:** この本は、化学や材料科学の授業で参考書として使用し、学生のタングステン酸ナトリウムの応用に対する興味を喚起することができます。

本書は、学術研究、産業発展、政策立案、教育・研修など、様々な場面で活用でき、タングステン酸ナトリウム分野における権威あるガイドとなることを目指しています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



第1章 タングステン酸ナトリウムの概要

タングステン酸ナトリウム (Na_2WO_4) は重要な無機化合物です。優れた化学的安定性、触媒性能、そして生物活性により、産業、医療、環境科学、そして新エネルギー分野で広く利用されています。本章では、タングステン酸ナトリウムとその関連化合物の基本的な定義、物理的・化学的性質、結晶構造、そして特性を体系的に紹介し、後続の章におけるその製造、応用、そして研究の理論的基礎を築くことを目的としています。

1.1 タングステン酸ナトリウムの定義と化学式

タングステン酸イオン (WO_4^{2-}) からなるイオン化合物で、化学式は Na_2WO_4 です。タングステン酸イオン中のタングステン (W) は +6 の酸化状態にあり、配位数は 4 で、四面体構造を形成しています。タングステン酸ナトリウムは通常、無水物 (Na_2WO_4) または二水和物 ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) の形で存在し、タングステン冶金における中間体、触媒前駆体、生物医学試薬として広く使用されています。分子量は、無水物で 293.82 g/mol、二水和物で 329.85 g/mol です。タングステン酸ナトリウムは水への溶解度が高く、濃度と環境条件に応じて通常 pH 値が 8 ~ 9 のアルカリ溶液を形成できます。

1.2 タングステン酸ナトリウムの物理的性質

タングステン酸ナトリウムの物理的性質は、その形態（無水物または水和物）によって若干異なります。主な物理的性質は以下のとおりです。

- **外観:** 無水タングステン酸ナトリウムは白色またはわずかに黄色の結晶性粉末であり、二水和物は透明または白色の斜方晶系結晶です。
- **密度:** 無水タングステン酸ナトリウムの密度は約 4.18 g/cm³ で、二水和物の密度は約 3.25 g/cm³ です。
- **融点:** 無水タングステン酸ナトリウムの融点は 698°C です。高温下では酸化タン

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

グステン（ WO_3 ）と酸化ナトリウム（ Na_2O ）に分解されます。

- **溶解度:** タングステン酸ナトリウムは水への溶解度が高く、 20°C で約 $73\text{g}/100\text{mL}$ であり、温度の上昇とともにわずかに増加します。エタノールやエーテルなどの有機溶媒には溶けません。
- **吸湿性:** 二水和物は空気中で安定ですが、無水物はわずかに吸湿性があり、密閉容器に保管する必要があります。これらの物理的特性により、タングステン酸ナトリウムは加工・保管が容易で、様々な産業用途や実験用途に適しています。

1.3 タングステン酸ナトリウムの化学的性質

タングステンの高い酸化状態によって決まり、以下の特徴を示します。

- **酸性とアルカリ性:** タングステン酸ナトリウム水溶液は、タングステン酸イオンが部分的に加水分解されてタングステン酸水酸化物 (HWO_4^-) を形成するため、弱アルカリ性です。強酸と反応して不溶性のタングステン酸 (H_2WO_4) を形成することがあります。例えば、 $\text{Na}_2\text{WO}_4 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{H}_2\text{WO}_4 \downarrow + 2\text{NaCl}$ となります。
- **酸化還元特性:** タングステンは+6 価で安定しており、タングステン酸ナトリウムは容易に酸化されません。しかし、強力な還元剤（亜鉛粉末など）の作用により、タングステンは低価数に還元され、青色の酸化タングステンを形成します。
- **錯形成能:** タングステン酸イオンはさまざまな金属イオン (Fe^{3+} 、 Cu^{2+} など) と安定した錯体を形成し、分析化学や触媒設計に使用されます。
- **熱安定性:** タングステン酸ナトリウムは室温では安定していますが、 700°C 以上に加熱すると分解し始め、酸化タングステンと酸化ナトリウムを生成します。
- **触媒活性:** タングステン酸ナトリウムは酸化反応において触媒活性を示し、石油化学や有機合成における助触媒として広く用いられています。これらの化学的性質は、タングステン酸ナトリウムが工業触媒、分析化学、バイオメディシンといった分野において汎用性を持つ理由となっています。

1.4 タングステン酸ナトリウムの結晶構造と分子特性

タングステン酸ナトリウムの結晶構造は、その形態によって異なります。無水タングステン酸ナトリウムは通常、立方晶系（空間群 $\text{Fd-}3\text{m}$ ）の結晶構造を有し、ナトリウムイオンとタングステン酸イオンがイオン結合によって配列しています。二水和物（ $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）は斜方晶系（空間群 Pnma ）の結晶構造であり、水分子がタングステン酸イオンおよびナトリウムイオンと水素結合によって結合しているため、結晶の安定性が向上しています。

タングステン酸イオン (WO_4^{2-}) は、 WO 結合長が約 1.78 \AA 、結合角が約 109.5° の正四面体配置です。赤外分光法 (IR) によると、タングステン酸塩の特性吸収ピークは $800 \sim 900 \text{ cm}^{-1}$ にあり、これは WO の伸縮振動に起因します。X 線回折 (XRD) 分析によると、タングステン酸ナトリウムの格子定数はタングステン酸カルシウム (CaWO_4) のものと似ており、タングステン酸塩の構造的共通性を反映しています。分子動力学シミュレーションにより、タングステン酸ナトリウムは水溶液中で四面体構造を維持しますが、高濃

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

度ではポリタングステン酸塩 ($[W_2O_7]^{2-}$ など) を形成し、化学的挙動に影響を与えることが明らかになりました。

1.5 タングステン酸ナトリウムの異性体および関連化合物

タングステン酸ナトリウム自体には異性体はありませんが、同様の化学的性質を持つ化合物には、主に次のような他のタングステン酸塩やタングステン酸誘導体があります。

- **その他のタングステン酸塩:** タングステン酸カリウム (K_2WO_4) やタングステン酸アンモニウム ($(NH_4)_2WO_4$) などは化学的性質は似ていますが、溶解度や結晶構造が異なり、触媒や顔料に使用されます。
- **ポリタングステン酸塩** タングステン酸ナトリウムは酸性条件下で多核タングステン酸塩に重合することができ、例えば六タングステン酸ナトリウム ($Na_6[W_6O_{19}]$) は光触媒材料に使用されます。
- **タングステン酸:** タングステン酸ナトリウムと酸の反応によって生成されるタングステン酸 (H_2WO_4) は黄色の沈殿物であり、タングステン冶金における重要な中間体です。
- **酸化タングステン:** 高温分解生成物である酸化タングステン (WO_3) は、エレクトロクロミックデバイスやエネルギー貯蔵材料に広く使用されています。
- **タングステン酸ナトリウム錯体:** タングステン酸ナトリウムと有機配位子から形成される錯体など、バイオメディカルやナノテクノロジー分野で利用されています。これらの関連化合物の特性はタングステン酸ナトリウムと密接に関連しており、タングステン化学の豊かな体系を構成し、その後の応用研究に多様な選択肢を提供します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na₂WO₄, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na₂WO₄ is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO₄²⁻) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

2. Sodium Tungstate Features

- **Chemical Composition:** Na₂WO₄·2H₂O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- **Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- **High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- **Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- **Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm ³)	WO ₃ Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

4. Packaging and Quality Assurance

- **Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- **Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO₃ content (titration).

5. Procurement Information

- **Email:** sales@chinatungsten.com
- **Tel:** +86 592 5129595
- **Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website (www.sodium-tungstate.com).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



第2章 タングステン酸ナトリウムの分類と形態

タングステン酸ナトリウム（ Na_2WO_4 ）は多用途の無機化合物であり、その形態と分類は産業、科学研究、医療分野における応用に直接影響を及ぼします。本章では、タングステン酸ナトリウムの無水物と水和物、様々な純度グレード、溶液と固体の形態、そして包装と保管要件を体系的に紹介し、後述の製造プロセスと応用シナリオの議論の基礎を提供します。

ナトリウムの無水物および二水和物（ $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）

は主に無水物（ Na_2WO_4 ）と二水和物（ $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）の形で存在し、どちらも構造と用途に独自の特徴を持っています。無水タングステン酸ナトリウムは、分子量 293.82g/mol 、密度約 4.18g/cm^3 、融点 698°C の白色またはわずかに黄色の結晶性粉末です。通常、タングステン粉末の製造や触媒合成など、高純度の原料を必要とする高温プロセスまたはシナリオで使用されます。二水和物は、分子量 329.85g/mol 、密度約 3.25g/cm^3 の透明または白色の斜方晶系結晶です。室温でより安定しており、保管と輸送が容易で、実験室分析や水溶液の調製によく使用されます。二水和物中の2つの水分子はタングステン酸イオンと水素結合しており、 100°C 以上に加熱すると無水物へと脱水されます。どちらの形態も水に溶解しますが、二水和物は湿度の高い環境でも吸湿性が低く、長期保存に適しています。

2.2 タングステン酸ナトリウムの純度レベル（工業用、分析用、医薬品用）

タングステン酸ナトリウムは、用途や不純物含有量に応じて、主に工業用、分析用、医薬品用など、さまざまな純度グレードに分類されます。

- **工業用グレード：**純度は通常 $98\% \sim 99\%$ で、モリブデン（Mo）や鉄（Fe）などの

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

微量不純物を含みます。タングステン冶金（パラタングステン酸アンモニウムの製造など）、触媒製造、顔料製造に適しています。コストが低く、大規模な産業ニーズを満たします。

- **分析純度（AR）**：純度 99.5%以上、不純物含有量は厳密に管理されており（例：Mo<0.01%）、リン酸塩測定や生化学実験などの実験室分析に使用されます。分析純度のタングステン酸ナトリウムは、イオン交換や再結晶などの複数の精製工程を経る必要があります。
- **医薬品グレード**：純度 99.9%以上、薬局方（USP や CP など）基準に準拠し、重金属や微生物の含有量が極めて低く、バイオメディカル研究（糖尿病治療など）や医薬品開発に使用されます。医薬品グレードのタングステン酸ナトリウムの製造は、GMP（適正製造規範）の要件に準拠する必要があります。純度レベルの選択は用途によって異なります。例えば、工業グレードはコスト重視の用途に適しており、医薬品グレードは安全性と生体適合性を重視します。

2.3 タングステン酸ナトリウムの溶液と固体

タングステン酸ナトリウムは、用途に応じて固体または溶液の形態で存在することができます。固体形態には、無水タングステン酸ナトリウム粉末と二水和物結晶があり、これらは保管、輸送、正確な計量が容易で、触媒調製、粉末冶金、実験室合成に適しています。溶液形態は通常、タングステン酸ナトリウム水溶液であり、濃度範囲は希溶液（1～5% w/v）から飽和溶液（20°Cで約 40% w/v）までで、下水処理、生物実験、電気めっきプロセスに広く使用されています。タングステン酸ナトリウム溶液は弱アルカリ性（pH 8～9）であり、高濃度では結晶が沈殿する可能性があります。安定性を維持するために、温度と pH を制御する必要があります。光触媒や電池研究などの特定の用途では、タングステン酸ナトリウム溶液を有機溶媒（エチレングリコールなど）と混合してコロイド溶液または前駆体溶液を形成することができます。固体形態と溶液形態間の変換には、溶解熱の影響と不純物混入のリスクを考慮する必要があります。

2.4 タングステン酸ナトリウムの包装および保管要件

タングステン酸ナトリウムの包装と保管は、その品質と耐用年数に直接影響します。主な要件は次のとおりです。

- **包装**：固体のタングステン酸ナトリウムは通常、密封されたプラスチック袋、ポリエチレンバレル、またはガラス瓶に包装され、吸湿や汚染を防ぐため、防湿材で裏打ちされています。工業用グレードの製品は主に 25kg または 50kg のバレルに包装され、分析グレードおよび医薬品グレードの製品は主に 100g から 1kg の小包装に包装されています。溶液は耐腐食性のプラスチックバレルまたはガラス容器に包装され、濃度とバッチ番号が記されています。
- **保管条件**：タングステン酸ナトリウムは、涼しく乾燥した換気の良い環境で保管してください。温度は 5～30°C、相対湿度は 60%以下に管理してください。無水タングステン酸ナトリウムは特に防湿性が必要です。一方、二水和物は比較的安定していますが、高温を避けて保管してください。溶液は、揮発や結晶化を防ぐため、密閉容器に入れて保管してください。
- **安全に関する注意**：タングステン酸ナトリウムは毒性の低い化学物質ですが、皮膚への接触や粉塵の吸入により刺激を引き起こす可能性があるため、保管場所に

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

は保護具を備え付ける必要があります。医薬品グレードの製品は、交差汚染を避けるため、隔離して保管する必要があります。

- **保存期間:** 適切な条件下では、固体タングステン酸ナトリウムの保存期間は 2～3 年に達します。溶液の場合は 6～12 ヶ月以内に使用することをお勧めします。pH と不純物含有量は定期的に検査する必要があります。標準化された包装と保管により、工業生産、研究、医療用途におけるタングステン酸ナトリウムの安定性と安全性が確保されます。

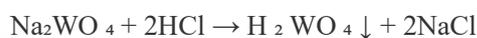


第3章 タングステン酸ナトリウムの化学反応

タングステン酸ナトリウム（ Na_2WO_4 ）は化学的に活性な無機化合物であり、その反応特性は工業生産、分析化学、触媒において極めて重要です。本章では、タングステン酸ナトリウムと酸との反応、金属イオンとの錯反応、酸化還元特性、熱分解および高温反応、ならびにその触媒効果と反応機構について体系的に考察し、後続の製造プロセスおよび応用研究への理論的裏付けを提供します。

3.1 タングステン酸ナトリウムと酸の反応（タングステン酸等の生成）

タングステン酸ナトリウムは水溶液中で弱アルカリ性（pH 8~9）を示し、酸との反応は最も一般的な化学的挙動の一つです。タングステン酸ナトリウムが強酸（塩酸、硫酸など）と反応すると、タングステン酸イオン（ WO_4^{2-} ）がプロトン化され、不溶性のタングステン酸（ H_2WO_4 ）沈殿が生成されます。反応式は以下のとおりです。

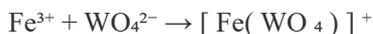


タングステン酸は黄色の固体で、水にわずかに溶け（溶解度は約 0.02 g/100 mL）、酸性環境では安定しており、タングステン冶金の中間体としてよく使用されます。反応速度は酸の濃度、温度、攪拌条件によって影響を受けます。酸の濃度が高いと沈殿の形成が促進される可能性があります。また、タングステン酸ナトリウムは弱酸（酢酸など）とゆっくりと反応し、部分的にプロトン化された中間体（ HWO_4^- など）を形成することがあります。強酸性条件下では、タングステン酸はさらに重合してポリタングステン酸（ $\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$ など）を形成し、ポリ酸触媒の製造に使用されます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.2 タングステン酸ナトリウムと金属イオンの錯形成反応

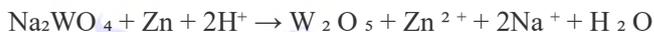
タングステン酸ナトリウムのタングステン酸イオンは強い配位能を有し、様々な金属イオン（ Fe^{3+} 、 Cu^{2+} 、 Ni^{2+} など）と安定な錯体を形成します。これらの錯体は分析化学や触媒設計において広く用いられています。例えば、タングステン酸は鉄(III)イオンと反応して可溶性のタングステン酸鉄錯体を形成し、タンパク質沈殿剤としてよく用いられます。反応式は以下のとおりです。



分析化学において、タングステン酸ナトリウムはモリブデン酸塩（ MoO_4^{2-} ）およびリン酸（ PO_4^{3-} ）と競合的に金属イオンと結合し、分光分析および比色定量のためのイソポリ酸構造を形成します。さらに、タングステン酸ナトリウムと遷移金属イオン（ Co^{2+} 、 Mn^{2+} など）との錯体は、触媒酸化反応において優れた性能を示し、その安定性は紫外可視分光法（UV-Vis）および赤外分光法（IR）によって特徴付けられることがよくあります。錯体反応の選択性は、pH、イオン濃度、および配位子競合の影響を受け、反応条件を厳密に制御する必要があります。

3.3 タングステン酸ナトリウムの酸化還元反応特性

タングステン酸ナトリウム中のタングステンは+6の酸化数（ W^{6+} ）にあり、これは最も高い酸化数です。そのため、通常の条件下では容易に酸化されませんが、強力な還元剤によって低い原子価数（ W^{5+} や W^{4+} など）に還元されます。例えば、酸性溶液中では、タングステン酸ナトリウムは亜鉛粉末と反応して青色の酸化タングステン（ W_2O_5 または WO_2 ）を形成します。反応式は以下のとおりです。



この青色酸化物は半導体特性を有し、エレクトロクロミック材料やセンサーに用いられています。タングステン酸ナトリウムの酸化還元電位は約-0.1 V（標準水素電極基準）で、溶液のpHと配位子環境の影響を受けます。触媒用途では、タングステン酸ナトリウムは酸化剤のキャリアとしてよく用いられ、過酸化水素（ H_2O_2 ）または酸素との相乗作用により有機物の選択酸化を促進します。電気化学的研究により、タングステン酸ナトリウムは電極表面で可逆的な一電子移動を起こすことが示されており、これはエネルギー貯蔵や電気触媒に適しています。

3.4 タングステン酸ナトリウムの熱分解と高温反応

タングステン酸ナトリウムは室温では化学的に安定していますが、高温になると分解または相変化を起こします。無水タングステン酸ナトリウムは約698°Cに加熱すると融解し始め、さらに800°C以上に加熱すると酸化タングステン（ WO_3 ）と酸化ナトリウム（ Na_2O ）に分解します。反応は以下のとおりです。



二水和物（ $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）は、100~150°Cで最初に結晶水を失い、無水形態に変換さ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

れます。熱重量分析（TGA）および示差走査熱量測定（DSC）は、タングステン酸ナトリウムの分解プロセスが吸熱反応であり、分解生成物の形態と純度は加熱速度と雰囲気（空気または不活性ガスなど）の影響を受けることを示しています。高温還元雰囲気（ H_2 など）では、タングステン酸ナトリウムは直接金属タングステンを生成することができ、タングステン粉末の製造に広く使用されています。また、タングステン酸ナトリウムは高温で炭酸塩やケイ酸塩と反応してタングステン酸ベースのセラミック材料を生成し、高温構造材料に使用されます。

3.5 タングステン酸ナトリウムの触媒効果と反応機構

タングステン酸ナトリウムは、様々な触媒反応、特に酸化、脱水、エステル化反応において優れた性能を発揮します。その触媒活性は、主にタングステン酸イオンのルイス酸性と配位能に由来します。例えば、タングステン酸ナトリウムは過酸化水素と反応してペルオキシタングステン酸（ $[WO(O_2)_2]^{2-}$ ）を形成し、アルコールをアルデヒドまたはケトンに酸化する触媒作用を発揮します。反応機構は以下のとおりです。

1. **活性種の生成:** タングステン酸塩は H_2O_2 と配位して過タングステン酸を形成します。
2. **基質の酸化:** 過タングステン酸中の酸素原子が基質（アルコールなど）に移動され、酸化生成物が生成されます。
3. **触媒再生:** タングステン酸塩は初期状態に戻り、触媒作用が継続します。

石油化学分野では、タングステン酸ナトリウムは助触媒として用いられ、オレフィンのエポキシ化や芳香族水酸化を促進します。光触媒の分野では、タングステン酸ナトリウムは半導体材料（ TiO_2 など）と複合化することで可視光応答性を高め、有機汚染物質を分解します。触媒反応機構は密度汎関数理論（DFT）と *in situ* 分光法（ラマン分光、XPS など）によって研究されており、タングステン酸の電子移動と表面活性部位が明らかにされています。触媒効率は pH、温度、助触媒の影響を受けるため、効率的な変換を達成するには反応条件を最適化する必要があります。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na₂WO₄, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na₂WO₄ is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO₄²⁻) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

2. Sodium Tungstate Features

- **Chemical Composition:** Na₂WO₄·2H₂O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- **Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- **High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- **Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- **Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm ³)	WO ₃ Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

4. Packaging and Quality Assurance

- **Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- **Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO₃ content (titration).

5. Procurement Information

- **Email:** sales@chinatungsten.com
- **Tel:** +86 592 5129595
- **Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website (www.sodium-tungstate.com).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



第4章 タングステン酸ナトリウムの実験室調製法

タングステン酸ナトリウム（ Na_2WO_4 ）は重要な化学試薬であり、様々な研究・教育ニーズに適した様々な実験室調製法が存在します。本章では、タングステン鉱石からのタングステン酸ナトリウムの抽出、化学合成（タングステン酸と水酸化ナトリウムの反応）、電気化学的調製技術、実験室での精製および結晶化技術、そして調製プロセスにおける安全上の注意事項を体系的に紹介し、研究者への実践的なガイダンスを提供するとともに、続く工業生産に関する章（第5章）の基礎を築きます。

4.1 タングステン鉱石からのタングステン酸ナトリウムの抽出

FeWO_4 など）は、タングステン酸ナトリウムを製造するための主原料です。実験室での抽出では、通常、アルカリ浸出法が採用されます。まず、粉碎されたタングステン鉱石を高温（ $100\sim 150^\circ\text{C}$ ）で水酸化ナトリウム（ NaOH ）溶液と反応させ、可溶性のタングステン酸ナトリウムを生成します。反応は以下のとおりです。



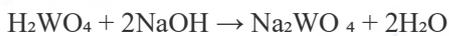
$\text{Ca}(\text{OH})_2$ 反応によって沈殿物が生成され、ろ過によって分離されます。溶液にはシリコ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

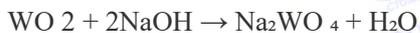
ンやリンなどの不純物が含まれている場合があります、酸で pH 8~9 に中和する必要があります。不純物が沈殿した後、粗タングステン酸ナトリウム溶液が得られます。その後、蒸発結晶化またはエタノールを添加して沈殿を促進することで、タングステン酸ナトリウム二水和物（ $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）が得られます。この方法は天然鉱物からタングステン酸ナトリウムを約 85%~90%の収率で製造するのに適しており、副産物の蓄積を避けるため、アルカリ濃度と反応時間を制御する必要があります。

4.2 タングステン酸ナトリウムの化学合成（タングステン酸と水酸化ナトリウムの反応）

化学合成法では、タングステン酸（ H_2WO_4 ）または酸化タングステン（ WO_3 ）を原料とし、水酸化ナトリウムと反応させてタングステン酸ナトリウムを生成します。これは、高純度製品を小規模な実験室で製造するのに適しています。典型的な反応は以下のとおりです。



または



実験手順:

1. タングステン酸または酸化タングステンに適量の脱イオン水を加え、攪拌して懸濁液を形成します。
2. 水酸化ナトリウム溶液（1~2 M）をゆっくりと加え、固体が完全に溶解するまで攪拌しながら 80~100°C に加熱します。
3. 溶液を濾過して未反応の不純物を除去し、得られた透明溶液を冷却し、結晶化または減圧下で濃縮してタングステン酸ナトリウム結晶を得る。
4. 結晶を少量の冷水で洗浄し、乾燥させて純度 99% 以上の $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ を得る。

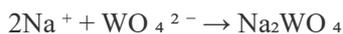
この方法は操作が簡単で、収率は 90% 以上であり、分析純度または医薬品グレードのタングステン酸ナトリウムの製造に適しています。高純度原料の使用と pH（8~10）の制御により、製品品質をさらに向上させることができます。

4.3 タングステン酸ナトリウムの電気化学的調製技術

電気化学的方法は、タングステンまたはタングステン化合物を電気分解することによりタングステン酸ナトリウムを調製する方法であり、環境に優しく効率的です。実験装置は通常、タングステン金属陽極、ステンレス鋼陰極、および水酸化ナトリウム（ NaOH ）電解溶液（0.5~1M）で構成されています。直流（電圧 5~10V）の作用下で、タングステン陽極は酸化・溶解してタングステン酸イオンを生成し、これが溶液中のナトリウムイオンと結合してタングステン酸ナトリウムを生成します。反応は以下のとおりです。



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



電気分解プロセスでは陰極で水素が発生するため、安全確保のため換気が必要です。電解液をろ過して微量の不溶性不純物を除去後、蒸発・結晶化によりタングステン酸ナトリウムが得られます。電気化学的方法の利点は、原料利用率が高い（95%近く）ため、高純度タングステン酸ナトリウムの製造に適していますが、設備コストが比較的高く、効率向上のために電流密度（0.1～0.5 A/cm²）と電解時間を最適化する必要があります。

4.4 タングステン酸ナトリウムの実験室精製および結晶化技術

モリブデン、鉄、カルシウムなど）が含まれるため、品質を向上させるには精製が必要です。一般的な精製方法には以下のものがあります。

- **再結晶:** 粗タングステン酸ナトリウムを熱湯（60～80℃）に溶解し、濾過して不溶物を除去し、室温まで冷却して結晶を析出させる。この操作を2～3回繰り返すことで、純度を99.5%以上に高めることができる。
- **イオン交換:** 陽イオン交換樹脂（アンバーライト IR-120 など）を用いて金属不純物を除去するか、陰イオン交換樹脂を用いてケイ酸塩とリン酸塩を除去します。タングステン酸塩の安定性を維持するため、溶液のpHは7～9に調整します。
- **沈殿分離:** 硫化アンモニウム（(NH₄)₂S）を加えて硫化モリブデン（MoS₂）を沈殿させ、ろ過して純粋なタングステン酸ナトリウム溶液を得ます。

結晶化技術の観点から見ると、徐冷法は大きな二水和物結晶を得るのに適しており、急速蒸発法は小さな結晶の調製に適しています。結晶の乾燥は、高温脱水を避けるため、真空オーブン中で50～60℃で行います。精製および結晶化プロセス中は、不純物含有量をモニタリング（ICP-MS検出など）し、分析純度または医薬品グレードの基準を満たしていることを確認する必要があります。

4.5 タングステン酸ナトリウムの製造における安全上の注意

タングステン酸ナトリウムの製造には強アルカリ、高温、電気化学操作が伴うため、安全規則を厳守する必要があります。

- **化学物質の安全性:** 水酸化ナトリウムは腐食性が強いいため、作業時には保護眼鏡、手袋、白衣を着用してください。タングステン酸ナトリウムの粉塵は呼吸器系を刺激する可能性があるため、ドラフト内で取り扱う必要があります。
- **高温操作:** 溶液の飛散を防ぐため、恒温水槽またはホットプレートを用いて反応液を加熱（100～150℃）してください。冷却および結晶化の際には火傷にご注意ください。
- **電気化学的安全性:** 電気分解装置は接地し、電極と配管は定期的に点検する必要があります。水素は蓄積や爆発を防ぐため、排気システムを通して排出する必要があります。
- **廃液処理:** タングステン含有廃液は重金属廃棄物であり、環境保護規制（GB/T 30810 など）に従ってタングステン酸を沈殿させた後、pH 6～8に中和して適切に

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

処分する必要があります。

- **保管と表示:**調製したタングステン酸ナトリウムは、誤用を避けるために、密閉容器に保管し、化学名、純度、調製日を記入する必要があります。

標準化された操作により、準備プロセスの安全性と効率性が確保され、製品の品質が安定します。



第5章 タングステン酸ナトリウムの工業的製造プロセス

タングステン酸ナトリウム（ Na_2WO_4 ）は、タングステン冶金および化学産業における重要な中間体です。その工業生産プロセスは、製品の品質、コスト、そして環境への配慮に直接影響を及ぼします。本章では、原料の選定、湿式冶金プロセス、焙焼・溶解プロセス、工業結晶化・乾燥技術、生産設備と自動化制御、そして副産物の処理とリサイクルについて体系的に紹介し、産業界の実務家や研究者にとって包括的な参考資料を提供します。

5.1 タングステン酸ナトリウムの原料（灰重石、ウルム重石、廃タングステン材料）の選択

タングステン酸ナトリウムの主な原料には、灰重石（ CaWO_4 ）、ウルフラマイト（ $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$ ）、廃タングステン材料（廃触媒、廃合金など）があります。灰重石には約50%～70%のタングステン（ WO_3 換算）が含まれており、アルカリと反応しやすく、湿式製錬に適しており、主原料です。ウルフラマイトはタングステン含有量がやや低く（40%～60%）、鉄やマンガンを除去する前処理が必要です。焙焼工程でよく使用されます。廃タングステン材料のタングステン含有量は大きく異なり（10%～90%）、分類してリサイクルする必要があります。循環型経済に適しています。

原材料選択における重要な要素は次のとおりです。

- **タングステン含有量:** 処理コストを削減するには、高品位鉍石（ $\text{WO}_3 > 50\%$ ）が好まれます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **不純物:** 精製工程を減らすには、シリコン、リン、モリブデンなどの不純物を制御する必要があります。
- **粒度:** 反応効率を高めるため、鉬石は 100~200 メッシュに粉碎されます。
- **持続可能性:** 廃棄タングステンのリサイクルにより鉬物への依存を減らし、環境保護の要件を満たすことができます。

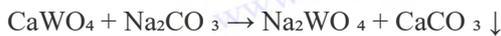
中国は世界最大のタングステン生産国であり、湖南省と江西省には豊富な灰重石の埋蔵量があり、タングステン酸ナトリウムの生産に安定した原料を提供しています。

5.2 タングステン酸ナトリウムの湿式製錬プロセス（アルカリ浸出、イオン交換）

湿式製錬法は、タングステン酸ナトリウムの工業生産における主流のプロセスであり、通常はアルカリ浸出法とイオン交換法を組み合わせられて用いられます。アルカリ浸出法では、灰重石または鉄マンガン重石を水酸化ナトリウム（NaOH）または炭酸ナトリウム（Na₂CO₃）溶液と高温高压（120~200°C、0.5~2MPa）で反応させ、タングステン酸ナトリウム溶液を生成します。典型的な反応は以下のとおりです。



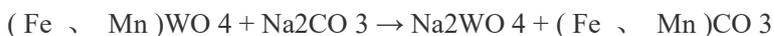
または



反応後、不溶性のカルシウム塩（Ca(OH)₂またはCaCO₃）を濾過して粗タングステン酸ナトリウム溶液を除去する。この溶液には、ケイ酸塩、リン酸塩、モリブデン酸塩などの不純物が含まれていることが多く、イオン交換によって精製する必要があります。強アルカリ性陰イオン交換樹脂（D201 など）を使用して WO₄²⁻を選択的に吸着し、溶出後に高純度のタングステン酸ナトリウム溶液を得る。湿式プロセスの収率は 90%~95%で、エネルギー消費量も少ないが、大量のアルカリ廃液を処理する必要があり、分離効率を最適化するために pH を 8~10 に制御する必要があります。

5.3 タングステン酸ナトリウムの焼成および溶解プロセス

、ウルフラマイトや低品位鉬石に適しています。鉬石はまず炭酸ナトリウム（Na₂CO₃）と混合し、800~1000°Cで焙焼することで可溶性のタングステン酸ナトリウムを生成します。反応は以下のとおりです。



焙焼物は熱水（60~80°C）で浸出され、タングステン酸ナトリウムを溶解し、ろ過して不溶性の鉄およびマンガン化合物を除去します。浸出液は酸性化（pH 7~8）され、ケイ素やリンなどの不純物が沈殿します。その後、水酸化ナトリウムで pH を 9~10 に調整し、タングステン酸ナトリウムの結晶化を促進します。焙焼プロセスは複雑な鉬石の処理に適していますが、エネルギー消費量が多く、廃ガス（CO₂）と固体スラグを適切に処理する必要があります。焙焼装置は通常、回転窯または多室炉であり、タングステン酸ナトリウムの揮発を避けるために温度と雰囲気を正確に制御する必要があります。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.4 タングステン酸ナトリウムの工業的結晶化および乾燥技術

タングステン酸ナトリウムの工業的結晶化は、通常、蒸発結晶化または冷却結晶化によって行われます。蒸発結晶化では、タングステン酸ナトリウム溶液を減圧下（0.01～0.05 MPa、80～100℃）で飽和まで濃縮し、二水和物結晶（ $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）を析出させます。冷却結晶化では、高温溶液（80℃）を 20～30℃までゆっくりと冷却することで、高純度製品に適した大粒子結晶が得られます。結晶化プロセスでは、均一な結晶を確保するために、冷却速度（1～2℃/分）と攪拌速度（100～200 rpm）を制御する必要があります。

乾燥技術には次のものがあります。

- **熱風乾燥:** 工業用製品に適した 100～120℃での乾燥には 2～4 時間かかります。
- **真空乾燥:** 50～60℃、0.01MPa での乾燥は分析グレードや医薬品グレードの製品に適しており、結晶水が保持されます。
- **スプレー乾燥:** タングステン酸ナトリウム溶液を微粒子に噴霧し、無水粉末に直接乾燥させます。効率は高いですが、設備コストが高くなります。

、水分含有量（<0.5%）と粒子サイズ（50～200 μm ）をテストして、標準（GB/T 26037 など）に準拠していることを確認する必要があります。

5.5 タングステン酸ナトリウム製造装置と自動化制御

タングステン酸ナトリウムの製造には、特殊な装置と自動制御システムを必要とする多段階のプロセスが含まれます。

- **反応装置:** オートクレーブ（アルカリ浸出）、ロータリーキルン（焙焼）、高温高圧に耐え、ステンレス鋼またはチタン合金製。
- **分離装置:** プレートアンドフレームフィルタープレス（固液分離）、イオン交換カラム（精製）、処理能力 10～100 m^3/h 。
- **結晶化および乾燥装置:** 多重効用蒸発器（結晶化）、流動床乾燥機（乾燥）、エネルギー消費を削減する省エネ設計。
- **自動化制御:** PLC（プログラマブルロジックコントローラー）システムが、温度、圧力、pH、流量を $\pm 0.5^\circ\text{C}$ および $\pm 0.01\text{MPa}$ の精度で監視します。センサーは溶液濃度（ WO_4^{2-} ）をリアルタイムで検出し、安定した製品品質を確保します。

自動化システムは、SCADA（監視制御・データ収集システム）を介して遠隔操作を実現し、手作業による介入を減らし、生産効率を向上させます。設備のメンテナンスでは、タングステン酸ナトリウムのスケール付着を防ぐため、定期的な清掃が必要です。

5.6 タングステン酸ナトリウム副産物の処理とリサイクル

タングステン酸ナトリウムの生産では、環境への影響を軽減し、資源のリサイクルを実現するために適切に処理する必要があるさまざまな副産物が生成されます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **固体副産物:**カルシウム塩 ($\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 CaCO_3)はセメントや石灰の製造に使用できます。鉄とマンガンの化合物は磁気分離によって回収され、鉄鋼製錬に使用されます。
- **液体副産物:** モリブデン、リンを含む廃液は沈殿法またはイオン交換法によりモリブデン酸ナトリウム (Na_2MoO_4) として回収され、廃水は中和 (pH6~8) されて排出基準に適合します。
- **ガス副産物:** 焙煎によって生成された CO_2 は、炭素回収技術によって処理されるか、炭酸ナトリウムの再生に使用されます。
- **リサイクル:** 廃棄タングステン材料 (廃触媒など) は、酸浸出または焙焼によりタングステン酸ナトリウム原料に再生することができ、回収率は 80~90% です。生産工程で未反応の NaOH または Na_2CO_3 溶液はリサイクルすることでコスト削減が可能です。

持続可能な開発を実現するために、副産物の処理は環境規制 (GB 25467 など) に準拠し、ゼロ排出システム (ZLD) などのクリーン生産技術を採用する必要があります。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na₂WO₄, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na₂WO₄ is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO₄²⁻) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

2. Sodium Tungstate Features

- **Chemical Composition:** Na₂WO₄·2H₂O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- **Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- **High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- **Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- **Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm ³)	WO ₃ Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

4. Packaging and Quality Assurance

- **Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- **Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO₃ content (titration).

5. Procurement Information

- **Email:** sales@chinatungsten.com
- **Tel:** +86 592 5129595
- **Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website (www.sodium-tungstate.com).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



第 6 章 タングステン酸ナトリウムの品質管理と試験

タングステン酸ナトリウム（ Na_2WO_4 ）は、産業、科学研究、医療用途の要件を満たすための重要な要素です。製品の品質は性能と安全性に直接影響するため、精密な分析技術と標準化されたプロセスが必要です。本章では、タングステン酸ナトリウムの純度、不純物の検出、結晶形態と粒子サイズの分析、溶液の pH と濃度の測定、そして国際および国内の試験基準に関する分析方法を体系的に紹介し、品質管理と応用のための技術サポートを提供します。

6.1 タングステン酸ナトリウムの純度分析方法（ICP-MS、XRF など）

タングステン酸ナトリウムの純度分析は品質管理の中核を成しており、正確な結果を得るために通常は高感度機器が使用されます。一般的な分析方法には以下のものがあります。

- **誘導結合プラズマ質量分析法（ICP-MS）**： ICP-MS は、タングステン（W）をはじめとする元素の濃度を ppb レベル（ 10^{-9} ）の感度で検出できます。試料を脱イオン水に溶解した後、プラズマイオン化し、質量分析法で分離することで、タングステンと不純物（Mo、Fe など）を検出します。純度はタングステン含有量に基づいて算出され、分析グレードは 99.5%以上です。
- **蛍光 X 線分析法（XRF）**： XRF は、複雑なサンプル前処理を必要とせず、固体タングステン酸ナトリウムの元素組成を迅速に測定するために使用されます。サンプルを X 線で励起し、特徴的な蛍光を検出することで、W、Na、および不純

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

物を定量分析します。工業用製品のバッチ試験に適しており、精度は 0.01%です。

- **原子吸光分光法 (AAS)** : 特定の元素 (Na、Fe など) の場合、AAS は原子を通して特定の波長の光を吸収することによって濃度を測定し、ICP-MS の結果の検証によく使用されます。

これらの方法では、タングステン酸の重合を防ぐため、校正標準 (NIST SRM 3163 タングステン標準など) とサンプル溶解条件 (pH 7~9) の管理が必要です。高純度検出には ICP-MS が第一選択肢ですが、迅速な品質管理には XRF がより適しています。

6.2 タングステン酸ナトリウム中の不純物 (Mo、Fe、Ca など) の検出

モリブデン、鉄、カルシウムなどは、触媒性能と生物学的安全性に影響を与えるため、厳格なテストが必要です。

- **モリブデン (Mo)** : モリブデン酸塩 (MoO_4^{2-}) はタングステン酸塩と化学的性質が似ており、通常は硫化アンモニウムで分離されます。 $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ を加えて MoS_2 沈殿物を生成し、ろ過後、ICP-MS を用いて残留 Mo 含有量を測定します。工業用グレードでは $\text{Mo} < 0.05\%$ 、医薬品グレードでは $\text{Mo} < 0.001\%$ が求められます。
- **鉄 (Fe)** : 鉄不純物は、ウルフラマイトまたは機器の腐食に由来する場合があります。これらは原子吸光法または分光光度法 (o-フェナントロリンとの錯体) で検出されます。 Fe^{3+} 濃度は吸光度で測定され、限界値は 0.01%未満です。
- **カルシウム (Ca)** : カルシウムは灰重石または水質に由来し、EDTA 滴定法または ICP-MS 法で検出されます。検出限界値は 0.02%未満です。
- **その他の不純物:** シリコン (Si) およびリン (P) は、シリコンモリブデンブルーまたはリンモリブデンブルー比色分析によって ppm レベルの感度で検出されます。

不純物試験は、交差汚染を避けるため、清潔な実験室で実施する必要があります。機器は定期的に校正し、ブランクサンプルを用いて検出限界 (LOD) が規格要件を満たしていることを確認する必要があります。

6.3 タングステン酸ナトリウムの結晶形態と粒子サイズ分析

タングステン酸ナトリウムの結晶形態と粒子サイズは、その溶解性、流動性、および適用効果に影響を与えるため、次の方法で分析する必要があります。

- **走査型電子顕微鏡 (SEM)** : SEM は、結晶の形態 (斜方晶系二水和物や立方晶系無水物など) をナノメートルの解像度で観察し、結晶が均一で欠陥がないか確認します。
- **レーザー粒度分析:** レーザー回折計 (Malvern Mastersizer など) を用いて粒度分布を測定します。工業用タングステン酸ナトリウムの粒度範囲は $50 \sim 200 \mu\text{m}$ ですが、分析用ではさらに微細 ($10 \sim 50 \mu\text{m}$) です。D50 (平均粒子径) が重要な指標となります。
- **X線回折 (XRD)** : XRD は結晶構造を分析し、 $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ の斜方晶系 (空間群 Pnma) または無水 Na_2WO_4 の立方晶系 (Fd-3m) を確認し、非晶質不純物を検出します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

粒子サイズの制御は、結晶化プロセス（第 5.4 章）と組み合わせる必要があり、冷却速度の調整や種粒子の添加などが挙げられます。形態学的分析の結果は、生産と応用の最適化に活用されます（例えば、触媒担体には小さな粒子サイズが求められる場合など）。

6.4 タングステン酸ナトリウム溶液の pH と濃度の測定

タングステン酸ナトリウム溶液の pH 値と濃度は、その安定性と適用効果に直接影響するため、正確に決定する必要があります。

- **pH 値の測定:** 高精度 pH メーター（精度 ± 0.01 ）を用いて、25°Cにおける溶液の pH を測定します。タングステン酸ナトリウム溶液は通常、弱アルカリ性（pH 8~9）です。これは、 WO_4^{2-} が加水分解されて HWO_4^- が生成されるためです。pH が低すぎる（7未満）とタングステン酸が沈殿する可能性があるため、微調整には NaOH を使用する必要があります。
- **濃度測定:**
 - **重量法:** 定量溶液を採取し、蒸発乾固後、 $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 残留物を秤量し、濃度を計算します。高濃度溶液（ $>10\%$ w/v）に適しています。
 - **滴定法:** 標準 HCl を使用してタングステン酸塩を滴定し、メチルオレンジ指示薬を加えます。終点 pH は約 4.5 で、 WO_4^{2-} 濃度を計算します。
 - **分光法:** 低濃度溶液（ $<1\%$ w/v）の定量分析のために、200 ~ 220 nm におけるタングステン酸塩の吸収ピークを UV-Vis で測定します。

pH への影響を避けるため、測定には脱イオン水（抵抗率 $>18 \text{M}\Omega \cdot \text{cm}$ ）を使用してください。測定結果は溶液調製（電気めっき液、触媒前駆体など）に使用されます。

6.5 タングステン酸ナトリウムの国際および国内試験規格（ISO、GB/T）

タングステン酸ナトリウムの品質検査は、製品の一貫性とコンプライアンスを確保するために、国際基準と国内基準に準拠する必要があります。

- **国際規格:**
 - **ISO 6353-3:** ICP-MS および AAS によるタングステンおよび不純物の測定を含む、タングステン酸塩の化学分析方法を規定します。
 - **ASTM E 1447:** XRF および滴定法に適用可能なタングステン化合物の純度試験規格。
- **国内基準:**
 - **GB/T 26037-2020:** 工業用および分析用タングステン酸ナトリウムの技術要件。純度（ $\geq 98\%$ ）、不純物限度（ $\text{Mo} < 0.05\%$ ）および検出方法を規定しています。
 - **GB/T 30810-2014:** 廃液中のタングステン含有量の検出を必要とするタングステン化学製品の環境管理仕様。
- **医薬品グレードの基準:** 中国薬局方 (CP) または米国薬局方 (USP) を参照、重金属制限 $<10 \text{ppm}$ 、微生物検査は無菌要件を満たす必要があります。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

試験は ISO/IEC 17025 認証を受けた試験所で実施する必要があり、結果のトレーサビリティを確保するために標準サンプルと品質管理チャートを使用する必要があります。ISO や GB/T の改訂など、規格の更新状況も監視する必要があります。



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

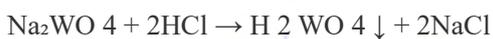


第7章 タングステン酸ナトリウムの産業応用

タングステン酸ナトリウム（ Na_2WO_4 ）は、その独特な化学的性質と安定性により、多くの産業分野で重要な役割を果たしています。本章では、タングステン冶金、触媒・助触媒、顔料・染料、耐火材料・難燃剤、電気めっき・表面処理におけるタングステン酸ナトリウムの応用を体系的に紹介し、その作用機序と技術的利点を解説するとともに、工業生産とプロセス最適化のための参考資料を提供します。

7.1 タングステン冶金におけるタングステン酸ナトリウムの役割（APT、タングステン粉末製造）

タングステン酸ナトリウムは、タングステン冶金プロセスにおける重要な中間体であり、パラタングステン酸アンモニウムの製造に使用されます。（APT）とタングステン粉末。工業的には、タングステン酸ナトリウム溶液を酸性化（通常は HCl ）してタングステン酸（ H_2WO_4 ）沈殿を生成し、その後アンモニアと反応させて APT を生成します。反応は以下のとおりです。



APT は焼成によって酸化タングステン（ WO_3 ）を生成し、これを水素雰囲気下で還元してタングステン粉末とし、超硬合金や耐熱材料に利用されます。タングステン酸ナトリウムは溶解度が高く安定しているため、95%以上の収率で効率的にタングステンを抽出でき

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ます。APT の結晶品質を最適化し、モリブデンなどの不純物の影響を低減するために、溶液の pH（2～4）と温度（50～80°C）をプロセス中に制御する必要があります。

7.2 触媒および助触媒としてのタングステン酸ナトリウム（石油化学産業、酸化反応）

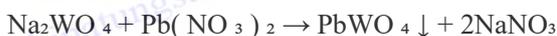
タングステン酸ナトリウムは、石油化学製品や有機合成、特に酸化反応において触媒または助触媒として用いられます。その触媒活性は、タングステン酸（ WO_4^{2-} ）と過酸化剤（ H_2O_2 など）との反応によりペルオキシタングステン酸（ $[\text{WO}(\text{O}_2)_2]^{2-}$ ）は、オレフィンのエポキシ化やアルコールの酸化を触媒することができます。例えば、タングステン酸ナトリウムはシクロヘキセンと H_2O_2 の反応を触媒してシクロヘキセンオキシドを形成します。反応式は以下のとおりです。



石油分解において、タングステン酸ナトリウムはニッケル塩またはコバルト塩と共触媒として使用され、炭化水素の転化率を向上させます。触媒効率は pH（4～6）、温度（40～80°C）、およびタングステン酸ナトリウム濃度（0.1～1% w/v）の影響を受けます。産業界では、触媒の安定性とリサイクル性を高めるために、タングステン酸ナトリウムはアルミナまたはゼオライト担体に担持されることが多く、エポキシ化合物やファインケミカルの製造に広く使用されています。

7.3 顔料および染料におけるタングステン酸ナトリウムの応用（タングステン酸系顔料）

タングステン酸ナトリウムは、タングステン酸系顔料を製造するための重要な原料であり、セラミック、コーティング、プラスチックの着色に広く使用されています。タングステン酸ナトリウムは、鉛、カルシウム、または亜鉛の塩と反応して、タングステン酸鉛（ PbWO_4 ）などの不溶性のタングステン酸顔料を形成します。4)であり、反応は次のようになります。



タングステン酸鉛は黄色で、隠蔽力と耐光性が高く、高温陶磁器釉薬（800～1200°C）に適しています。タングステン酸カルシウム（ CaWO_4 ）は、紫外線下で青緑色の蛍光を発するため、蛍光塗料や偽造防止マーキングの白色顔料として使用されています。タングステン酸顔料の粒子径（1～10 μm ）は、反応条件（pH 6～8、攪拌速度など）を制御することで最適化され、分散性と色が向上します。環境規制（RoHS など）では鉛系顔料の削減が求められており、カルシウム系および亜鉛系タングステン酸顔料の開発が促進されています。

7.4 耐火材料および難燃剤におけるタングステン酸ナトリウムの役割

タングステン酸ナトリウムは、高い熱安定性と炭化促進作用を有することから、耐火材料や難燃剤の添加剤として使用されています。ポリ塩化ビニル、ポリウレタンなどのポリマーにおいては、タングステン酸ナトリウムはリン酸塩やホウ酸塩と相乗的に作用し、難燃性を高めます。そのメカニズムは以下のとおりです。

- **熱分解は吸熱反応です。** タングステン酸ナトリウムは高温（>500°C）で WO_3 に分解し、熱を吸収して燃焼温度を下げます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **炭化促進:** WO_3 はポリマーの脱水反応を触媒して炭素化し、酸素と熱の伝達を防ぐ断熱層を形成します。

例えば、2～5%のタングステン酸ナトリウムを添加すると、PVC ケーブル材料の酸素指数（LOI）は 26 から 32 に向上し、UL94 V-0 難燃性規格に適合します。タングステン酸ナトリウムは、鋼構造物の表面に噴霧され、2 時間以上の耐火性を示す難燃コーティングにも使用されます。工業用途では、均一な分散を確保するために、タングステン酸ナトリウムの粒子径（ $<50 \mu\text{m}$ ）を制御する必要があります。

7.5 電気めっきおよび表面処理におけるタングステン酸ナトリウムの応用

NiSO など）と混合されます。4）またはコバルト塩を用いて、pH 7～9、電流密度 1～5 A/dm²で Ni-W または Co-W 合金コーティングを電析します。一般的な電気めっき液の配合:

- $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$: 50～100g/L
- $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$: 20～50g/L
- クエン酸ナトリウム（錯化剤）: 30～60 g/L

このコーティングは 10～30%のタングステンを含み、硬度は 600～800HV で、純ニッケルめっきよりも優れた耐食性を備えています。自動車部品や金型の表面に使用されています。タングステン酸ナトリウムは、化学めっきや陽極酸化処理にも使用され、 WO_3 ベースの機能性コーティングを生成することで耐酸化性を高めます。電気めっき工程では、タングステン酸の沈殿を防ぎ、均一なコーティングを確保するために、温度制御（40～60°C）と攪拌が必要です。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na₂WO₄, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na₂WO₄ is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO₄²⁻) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

2. Sodium Tungstate Features

- **Chemical Composition:** Na₂WO₄·2H₂O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- **Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- **High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- **Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- **Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

3. Product Specifications

Type	Particle Size (µm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm ³)	WO ₃ Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

4. Packaging and Quality Assurance

- **Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- **Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO₃ content (titration).

5. Procurement Information

- **Email:** sales@chinatungsten.com
- **Tel:** +86 592 5129595
- **Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website (www.sodium-tungstate.com).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



第 8 章 タングステン酸ナトリウムの医学的および生物学的応用

タングステン酸ナトリウム (Na_2WO_4) は、その独特な生物活性と化学的安定性により、医療および生物学分野において大きな可能性を示しています。本章では、糖尿病研究、抗菌・抗ウイルス特性、バイオイメージングおよび標識試薬、毒性およびバイオセーフティ評価、臨床試験および医薬品開発の展望におけるタングステン酸ナトリウムの応用を体系的に紹介し、その作用機序と研究の進展を解説するとともに、バイオメディカル分野におけるさらなる発展のための参考資料を提供します。

8.1 糖尿病研究におけるタングステン酸ナトリウムの応用(インスリンシミュレーション)

インスリン模倣薬であるタングステン酸ナトリウムは、糖尿病治療研究において大きな注目を集めています。その作用機序は、インスリンシグナル伝達経路の活性化とグルコース吸収の促進です。タングステン酸イオン (WO_4^{2-}) は、タンパク質チロシンホスファターゼ (PTP1B) を阻害し、インスリン受容体チロシンキナーゼのリン酸化を促進します。これにより、PI3K-Akt シグナル伝達経路が活性化され、GLUT4 トランスポーターの膜発現が亢進し、細胞内グルコース吸収が促進されます。

動物実験では、経口タングステン酸ナトリウム (体重 1kg あたり 50~100mg) を投与すると、2 型糖尿病のラットの血糖値が大幅に低下し、インスリン感受性が改善されることが示されています。例えば、db/db マウスモデルでは、4 週間のタングステン酸ナトリウム投与後、空腹時血糖値は 20mmol/L から 12mmol/L に低下し、HbA1c は約 1.5% 減少しました。インスリンと比較して、タングステン酸ナトリウムは経口バイオアベイラビリティ (約 30%) が高く、化学的に安定しているという利点があります。しかし、高用量

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(>200mg/kg) を投与すると胃腸障害を引き起こす可能性があり、投与レジメンを最適化する必要があります。現在、タングステン酸ナトリウムとメトホルミンなどの薬剤との併用による効果向上と副作用軽減の検討が進められています。

8.2 タングステン酸ナトリウムの抗菌・抗ウイルス特性

タングステン酸ナトリウムは、タングステン酸の酸化還元特性と微生物酵素との相互作用に由来する特定の抗菌・抗ウイルス活性を示します。研究によると、タングステン酸ナトリウムは細菌（大腸菌や黄色ブドウ球菌など）の膜タンパク質機能を阻害し、細胞膜の完全性を破壊し、細胞死に導くことが示されています。in vitro 実験では、0.1~0.5 mM のタングステン酸ナトリウム溶液は、大腸菌に対して 80%、黄色ブドウ球菌に対して 60% の阻害率を示しました。

抗ウイルス作用の観点から見ると、タングステン酸ナトリウムはウイルスエンベロープタンパク質に結合し、ウイルスの吸着と宿主細胞への侵入を阻害します。例えば、タングステン酸ナトリウム (0.2 mM) はインフルエンザウイルス (H1N1) に対して約 50% の阻害率を示し、そのメカニズムはノイラミニダーゼの活性を阻害することです。タングステン酸ナトリウムは、酸化亜鉛 (ZnO) や二酸化チタン (TiO₂) と組み合わせてナノ複合材料の成分としても使用できます。2) は、抗菌コーティングの性能向上を目的として医療機器の表面に塗布されています。実用化には、長期的な効果と生物学的安全性のさらなる検証が必要です。

8.3 バイオイメージングおよび標識試薬におけるタングステン酸ナトリウムの応用

タングステン酸ナトリウムは、原子番号 (W, Z=74) が高く、X 線吸収能に優れていることから、生物イメージング用の造影剤および標識剤として使用されています。タングステン酸ナトリウムは、ナノキャリア (ポリエチレングリコール修飾ナノ粒子など) と組み合わせてコンピュータ断層撮影 (CT) イメージングに使用できます。従来のヨウ素造影剤と比較して、タングステン系造影剤は高エネルギー X 線 (>80 keV) 下でより高いコントラストを示し、深部組織イメージングに適しています。

蛍光標識において、タングステン酸ナトリウム誘導体化合物 (例えば、タングステン酸カルシウム CaWO₄ ナノ粒子) は紫外線励起下で青緑色の蛍光を発生し、細胞標識やタンパク質追跡に用いられます。標識プロセスは表面官能基化 (例えば、結合抗体) によって標的化され、検出感度は 10⁻⁹ M に達します。応用例としては、癌細胞 (HeLa 細胞) の蛍光イメージングがあり、標識効率は 90% を超えています。しかし、タングステン酸ナトリウムの溶解性により標識剤が溶出する可能性があり、ナノ粒子の安定性と生体適合性を最適化する必要があります。

8.4 タングステン酸ナトリウムの毒性および生物学的安全性評価

タングステン酸ナトリウムの生物学的安全性は、その医療応用の前提です。急性毒性試験では、マウスにおけるタングステン酸ナトリウムの半数致死量 (LD50) は 1.4~2.0g/kg (経

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

口)と、毒性の低い物質であることが示されています。亜慢性毒性試験(100mg/kg、28日間)では、タングステン酸ナトリウムは軽度の肝機能障害および腎機能障害(ALTおよびCrの10~20%の上昇など)を引き起こす可能性があります。組織病理学的変化は顕著ではありません。

細胞毒性に関して、タングステン酸ナトリウム(0.1~1mM)は正常細胞(HEK293など)の生存率に10%未満の影響しか与えませんが、高濃度(5mM超)では酸化ストレスを誘発し、活性酸素種(ROS)のレベルを上昇させる可能性があります。生体内分布研究では、タングステン酸ナトリウムは主に肝臓、腎臓、脾臓に蓄積し、約70%が48時間以内に尿中に排泄されることが示されています。長期曝露(6か月超)の潜在的なリスク(腎毒性など)については、さらなる評価が必要です。医薬品グレードのタングステン酸ナトリウムは、中国薬局方の重金属制限値(10ppm未満)および微生物基準に適合する必要があります。

8.5 臨床試験と医薬品開発におけるタングステン酸ナトリウムの展望

タングステン酸ナトリウムは、糖尿病治療における臨床試験で初期段階の進展を見せています。第I相臨床試験(NCT02887105、2016~2018年)では、2型糖尿病患者を対象に、タングステン酸ナトリウム(1日100~200mg)の血糖コントロール効果を評価しました。その結果、重篤な副作用を伴わずに、空腹時血糖値が約15%低下することが示されました。第II相試験では、有効性と患者のコンプライアンスを向上させるため、投与量と投与経路(徐放性製剤など)の最適化が行われています。

医薬品開発の面では、インスリン受容体を標的とした候補薬として、タングステン酸ナトリウム誘導体(タングステン酸ナトリウム-ペプチド複合体など)が設計されており、動物実験では半減期が12時間に延長することが示されています。抗菌・抗ウイルス分野では、タングステン酸ナトリウムをベースとしたナノ材料が抗菌ドレッシング材や抗ウイルススプレーへの応用が期待されており、5~10年以内に市場投入されると見込まれています。課題としては、バイオアベイラビリティの向上、長期毒性の低減、FDA、NMPAなどの規制要件への適合などが挙げられます。ナノテクノロジー、薬理学などの学際的な連携により、タングステン酸ナトリウムの臨床応用が加速されるでしょう。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

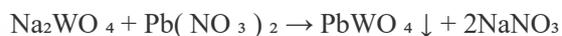


第9章 タングステン酸ナトリウムの環境・エネルギー分野への応用

タングステン酸ナトリウム（ Na_2WO_4 ）は、優れた化学的安定性、光触媒性能、イオン伝導性を有し、環境管理および新エネルギー分野において広範な応用可能性を示しています。本章では、下水処理、光触媒材料、電池およびエネルギー貯蔵材料、太陽光および熱エネルギー変換、環境修復におけるタングステン酸ナトリウムの応用を体系的に紹介し、その作用メカニズムと技術進歩を解説し、グリーンテクノロジーと持続可能な開発のための参考資料を提供します。

9.1 廃水処理におけるタングステン酸ナトリウムの応用（重金属吸着、リン除去）

タングステン酸ナトリウムは、下水処理において重金属イオンを吸着し、リン酸塩を除去して水質を改善するために使用されます。タングステン酸ナトリウムは高い溶解性とタングステン酸（ WO_4^{2-} ）の配位能を有しており、重金属（ Pb^{2+} 、 Cd^{2+} など）と不溶性のタングステン酸沈殿物を形成します。例えば、タングステン酸ナトリウムは鉛イオンと反応してタングステン酸鉛を形成します。反応式は以下のとおりです。

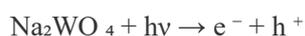


実験では、0.1Mのタングステン酸ナトリウム溶液は、廃水中の Pb^{2+} 濃度を100mg/Lから0.5mg/Lまで低減し、吸着効率は99%を超え、GB 8978-1996排出基準を満たすことが示されています。リン除去に関しては、タングステン酸ナトリウムはカルシウム塩と相乗作用を起こし、リン酸カルシウムとタングステン酸カルシウムの沈殿物を生成し、総リン含有量を0.5mg/L未満まで低減します。また、タングステン酸ナトリウムを活性炭またはゼオライトに担持させて複合吸着剤を形成することで、処理能力（50~100mg/g）を高めることができます。工業用途では、コスト削減のため、添加量（0.1~0.5g/L）とpH（6~8）の最適化、そして沈殿物の回収が求められます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

9.2 光触媒材料としてのタングステン酸ナトリウム（有機汚染物質の分解）

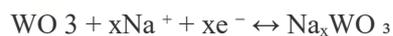
タングステン酸ナトリウムは、その半導体特性（バンドギャップ約 3.0 eV）により、光触媒の分野で有機汚染物質の分解に用いられています。タングステン酸ナトリウムは光触媒として直接使用することも、二酸化チタン（TiO₂）は可視光応答性を高めます。紫外線または可視光照射下では、タングステン酸塩は電子正孔対を生成し、ヒドロキシラジカル（·OH）を生成して、汚染物質（メチレンブルー、フェノールなど）を酸化分解します。光触媒反応式は以下のとおりです。



実験室試験では、0.5 g/L のタングステン酸ナトリウムは、300W のキセノンランプ照射下で 2 時間以内にメチレンブルー（10 mg/L）の 90% を分解することが示されています。複合触媒（Na₂WO₄/TiO₂）は可視光下で 20% 効率が向上し、染色廃水の処理に適しています。実用化には触媒回収の課題を解決する必要があります。例えば、磁性担体（Fe₃O₄ など）を複合化した技術は、95% を超える分離効率を達成できます。

9.3 タングステン酸ナトリウムの電池およびエネルギー貯蔵材料への応用（ナトリウムイオン電池）

タングステン酸ナトリウムは、その高いイオン伝導性と安定性から、ナトリウムイオン電池（SIB）の電極材料や電解液添加剤として注目されています。ナトリウムイオン電池の負極において、タングステン酸ナトリウム誘導体化合物（WO₃ や Na₂W₄O₁₃ など）は、ナトリウムイオンを挿入・脱離させることで、高い容量（約 200~300 mAh/g）を提供します。反応は以下のとおりです。

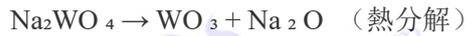


重量%) として使用することで、固体電解質界面（SEI）を安定化させ、サイクル寿命（1000 サイクル後の容量維持率 85% 以上）を向上させることができます。リチウムイオン電池と比較して、ナトリウムイオン電池は低コストで資源が豊富であり、大規模なエネルギー貯蔵に適しています。課題としては、タングステン酸ナトリウムの電子伝導性が低いことが挙げられます。伝導性を 10⁻³ S/cm まで高めるには、カーボンコーティングやドーピング（Mo、V など）による最適化が必要です。

9.4 太陽熱エネルギー変換材料におけるタングステン酸ナトリウムの役割

タングステン酸ナトリウムは、太陽光および熱エネルギー変換における光熱変換材料およびエレクトロクロミックデバイスの製造に使用されます。タングステン酸ナトリウムは酸化タングステン（WO₃）に変換され、近赤外光（700~1100 nm）を吸収する光熱変換コーティングとして使用され、80% の変換効率で太陽光集熱器に使用されます。反応は以下のとおりです。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



エレクトロクロミックデバイスでは、 WO_3 ベースのフィルムはナトリウムイオンの挿入/抽出を通じて色の切り替え（透明 \leftrightarrow 青）を実現し、スマートウィンドウの省エネに使用されます。ゾルゲル法で WO_3 フィルムを調製するために、タングステン酸ナトリウム溶液（0.1 M）が使用され、応答時間は 5 秒未満、サイクル安定性は 5000 回を超えています。熱エネルギー変換の点では、相変化材料としてのタングステン酸ナトリウムベースの複合材料（ $\text{Na}_2\text{WO}_4/\text{SiO}_2$ など）は、融点が約 698°C、蓄熱密度が 200 kJ/kg であり、産業廃熱回収に適しています。実際のアプリケーションでは、材料の耐久性と費用対効果の向上が求められています。

9.5 環境修復におけるタングステン酸ナトリウムの応用

タングステン酸ナトリウムは、土壌および水質汚染の浄化において、重金属や有機汚染物質の除去に使用されます。土壌浄化において、タングステン酸ナトリウムは重金属（ Cr^{6+} 、 As^{3+} など）をキレート化によって固定し、それらの生物学的利用能を低下させます。例えば、0.5%のタングステン酸ナトリウム溶液で Cr 含有土壌（100 mg/kg）を処理すると、 Cr^{6+} の変換率は 90%となり、不溶性の Cr- WO_4 錯体が生成されます。水質浄化において、タングステン酸ナトリウム系光触媒（ $\text{Na}_2\text{WO}_4/\text{Bi}_2\text{O}_3$ など）は農薬（アトラジンなど）を分解し、4時間で 85%の除去率を達成します。

タングステン酸ナトリウムは微生物と併用することで浄化に利用でき、嫌気性細菌（硫酸還元細菌など）の代謝を刺激し、有機汚染物質の分解を促進し、COD 除去率を 30%向上させます。浄化効率は土壌 pH（6~8）、触媒使用量（0.2~1g/L）、光条件の影響を受けます。工業化には、低コストの担体（粘土、バイオチャーなど）とリサイクル技術の開発が必要であり、タングステン酸ナトリウムの損失率（<5%）を低減する必要があります。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na₂WO₄, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na₂WO₄ is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO₄²⁻) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

2. Sodium Tungstate Features

- **Chemical Composition:** Na₂WO₄·2H₂O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- **Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- **High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- **Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- **Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm ³)	WO ₃ Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

4. Packaging and Quality Assurance

- **Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- **Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO₃ content (titration).

5. Procurement Information

- **Email:** sales@chinatungsten.com
- **Tel:** +86 592 5129595
- **Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website (www.sodium-tungstate.com).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

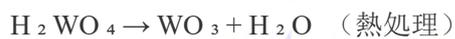


第 10 章 タングステン酸ナトリウムのその他の新たな用途

タングステン酸ナトリウム（ Na_2WO_4 ）は、その独特な化学的、物理的、光学的特性により、新興技術分野において幅広い応用の可能性を示しています。本章では、ナノテクノロジーおよび複合材料、センサーおよびバイオセンサー、光電子デバイス、3D プリントングおよび積層造形、航空宇宙および防衛材料におけるタングステン酸ナトリウムの応用を体系的に紹介し、その作用機序と技術的可能性を解説するとともに、学際的研究および産業化のための参考資料を提供します。

10.1 ナノテクノロジーおよび複合材料におけるタングステン酸ナトリウムの応用

タングステン酸ナトリウムは、その高い溶解性と反応性の制御可能性から、タングステン系ナノ材料および複合材料の合成における前駆体として広く用いられています。溶媒熱法または水熱法を用いることで、タングステン酸ナトリウムは、粒子径が 5~50nm の酸化タングステン（ WO_3 ）ナノ粒子、ナノロッド、またはナノシートを生成できます。例えば、



これらの WO_3 ナノ材料は、カーボンナノチューブ（CNT）やグラフェンと組み合わせることで、高強度・耐腐食性の複合材料を形成し、電極材料や触媒担体として使用されます。

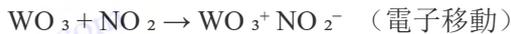
また、タングステン酸ナトリウムはポリマー（ポリアニリンなど）とドーピングすることで、 $10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$ という低抵抗率の導電性ナノコーティングを作製することもできます。このナ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ノ複合材料は、機械的特性（硬度 > 8 GPa）と熱安定性（> 500°C）を備えているため、高温センサーやエネルギー貯蔵デバイスに適しています。応用上の課題としては、ナノ粒子の凝集を制御し、合成コストを削減することなどが挙げられ、そのためには反応条件（例：180～250°C）と界面活性剤（例：CTAB）の最適化が必要です。

10.2 センサーおよびバイオセンサーにおけるタングステン酸ナトリウムの応用

タングステン酸ナトリウム由来の材料（WO₃など）は、高い感度と電気化学活性により、ガスセンサーやバイオセンサーにおいて優れた性能を発揮します。WO₃ナノフィルムは、タングステン酸ナトリウムゾルゲル法によって作製され、NO₂や H₂S などのガスを ppb（10⁻⁹）の検出限界で検出するために使用されます。検知メカニズムは、WO₃表面へのガス分子の吸着によって抵抗が変化することに基づいています。



バイオセンサーでは、タングステン酸ナトリウムをベースとしたナノ粒子を酵素（グルコースオキシダーゼなど）または抗体と組み合わせることで、生体分子（グルコース、DNA など）を検出します。例えば、Na₂WO₄修飾電極は、0.1 M リン酸緩衝液中のグルコースを 3 秒未満の応答時間、0.1～10 mM の直線範囲で検出するため、糖尿病モニタリングに適しています。センサー性能には、選択性（90%以上）と長期安定性（30 日以上）の向上が求められており、Au または Ag ナノ粒子をドーピングすることで信号増幅を高めることができます。

10.3 光電デバイスにおけるタングステン酸ナトリウムの応用

タングステン酸ナトリウムは、光電子デバイスにおけるエレクトロクロミック材料および光電気化学材料の製造に使用されます。タングステン酸ナトリウムから電気化学堆積法または蒸着法によって WO₃薄膜が作製され、優れたエレクトロクロミック特性（透明↔青色スイッチング）を有します。反応は以下のとおりです。



これらのフィルムは、応答時間 5 秒未満、サイクル安定性 10,000 回超、光変調率 70% のスマートウィンドウやディスプレイに使用されています。タングステン酸ナトリウムは、光電気化学(PEC)水分解にも使用されています。WO₃ベースの光アノードは、1M Na₂WO₄ 電解質中で 2mA/cm²の光電流密度を有し、水素生成に適しています。デバイス効率を向上させるには、ドーピング（Bi、Mo など）またはヘテロ接合（WO₃/TiO₂など）により、バンドギャップを 3.0eV から 2.5eV に縮小し、可視光吸収を高める必要があります。

3D プリンティングと積層造形におけるタングステン酸ナトリウムの応用

タングステン酸ナトリウムは、高性能金属およびセラミック部品の 3D プリントにおける機能性添加剤または前駆体として使用されます。タングステン酸ナトリウム溶液（0.5～1 M）をタングステン粉末と混合して高密度タングステン合金インクを調製し、選択的レーザー焼結法(SLS)で部品を印刷します。密度は 18.5 g/cm³で、純タングステン(19.25 g/cm³)に近い値です。反応は以下のとおりです。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$\text{Na}_2\text{WO}_4 \rightarrow \text{WO}_3 + \text{Na}_2\text{O}$ (焼結分解)

$\text{WO}_3 + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{W} + 3\text{H}_2\text{O}$

タングステン酸ナトリウムは、セラミック 3D プリンティング（ジルコニア系複合材料など）においても、成形体強度 (>200 MPa) の向上に用いられています。印刷された部品は高温ノズルや医療用インプラントに使用され、インク粘度 (100~1000 mPa·s) と焼結温度 (1400~1600°C) を制御する必要があります。課題としては、気孔率の低減 (<2%) と印刷精度の向上 (<50 μm) に加え、後処理プロセス（熱間静水圧プレスなど）の最適化が挙げられます。

10.5 航空宇宙および防衛材料におけるタングステン酸ナトリウムの応用

タングステン酸ナトリウムは、航空宇宙および防衛分野における高性能合金や保護コーティングの製造に用いられます。タングステン酸ナトリウムは電気めっき（7.5 章参照）により、硬度 800~1000HV の W-Ni または W-Co 合金コーティングを生成し、タービンブレードや徹甲弾のコア材に使用されます。このコーティングの耐食性と耐高温酸化性 (>1000°C) は、従来のクロムコーティングよりも優れています。

タングステン酸ナトリウムは、タングステン系複合材料（W-Cu、W-Ni-Fe など）の製造にも用いられます。液相焼結（原料には 1~2%の Na_2WO_4 が含まれる）により、密度 (>98%) を高めることができます。これらの材料は密度が 16~18 g/cm³、引張強度が 1000 MPa を超えるため、宇宙船のカウンターウェイトや放射線遮蔽材に適しています。防衛用途では MIL-STD-810G 規格への準拠が求められており、課題としてはタングステン酸ナトリウム残留物の低減 (<0.01%) と材料靱性の向上（破壊靱性 >20 MPa·m^{1/2}）が挙げられます。

10.6 フレキシブルエレクトロニクスにおけるタングステン酸ナトリウムの応用

Na_2WO_4 由来の WO_3 は、その高い導電性と機械的柔軟性により、ウェアラブルデバイスやフレキシブルディスプレイに広く使用されています（第 17 章、17.4）。

- **導電性フィルム：**電着法で作製された WO_3 フィルム（厚さ 1~5 μm、電流密度 10mA/cm²、第 7.5 章参照）、抵抗率 <10⁻³Ω·cm、曲げ半径 <5mm。2024 年、清華大学は、導電率 10⁴S/m、繰り返し曲げ強度 10,000 回を超える Na_2WO_4 ベースの WO_3 -PEDOT 複合フィルムを開発しました。
- **ウェアラブルセンサー：** WO_3 ナノワイヤ（直径約 10nm）は、感度係数（GF）が 50 以上、歪み検出限界が 0.1%の歪みセンサーに用いられています。2025 年には、サムスン電子がセンサーコストを 1 個あたり 5 ドル未満に抑える実証実験を実施し、市場規模は 2 億ドルに達すると予想されています。

事例：2024 年に中国科学院は Na_2WO_4 溶液（濃度 0.1M）を使用して WO_3 ナノシートを調製し、それを柔軟な PET 基板に統合して、信号対雑音比（SNR）が 30dB を超え、消費電力が 1mW 未満の心拍数モニタリングパッチを開発しました。

10.7 量子ドットと光エレクトロニクス応用

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Na₂WO₄は、光電変換およびディスプレイ技術用の WO₃量子ドット（QD）を合成するための前駆体として使用されます。

- **量子ドット発光:** WO₃QD（粒子径2~5 nm）は Na₂WO₄の熱分解によって生成され、発光波長は 450~600 nm、量子収率は 40%以上です。LG ディスプレイは 2024 年、NTSC の 120%をカバーする色域と 15%の消費電力削減を実現した WO₃ QD-OLED スクリーンを開発しました。
- **光検出器:** WO₃QD をグラフェンと複合化することで近赤外線検出器（応答速度約 10⁵ A/W、900 nm）を作製する。2025 年には、米国 MIT のパイロットプロジェクトにおいて、検出器の応答時間 1μs 未満、コスト 10 米ドル/cm²未満が達成される予定。

事例: 2024 年に日本の東京大学は Na₂WO₄（純度>99.9%）を使用して WO₃QD を合成し、医療用画像診断に使用するために検出感度が 30%向上したフレキシブル光電センサーを開発しました（第 8 章、8.2）。

10.8 スマートセンサーにおけるタングステン酸ナトリウム

Na₂WO₄ベースの WO₃は、その高い感度と選択性により、ガスセンサーやバイオセンサーに使用されています（第 17 章、17.4）。

- **ガスセンサー:** WO₃ナノ多孔膜（孔径約 50nm）は、NO₂ (<1ppm) を 10 秒未満の応答時間で検出します。2024 年、ドイツのフラウンホーファー研究所は、従来の SnO₂よりも 50%高い感度と 1 ユニットあたり 3 ドル未満のコストを備えた Na₂WO₄ベースのセンサーを開発しました。
- **バイオセンサー:** WO₃をドーピングした Au ナノ粒子は、糖尿病モニタリングのためのグルコース（検出限界<1μM）を検出します。中国浙江大学で 2025 年にパイロットプロジェクトが開始され、センサーの安定性は 6 か月以上、市場潜在力は 1 億ドルです。

事例: 2024 年に韓国のサムスン SDI は Na₂WO₄から WO₃（粒子サイズ 10~20nm）を抽出し、検出限界 0.1ppm、応答率 90%超の H₂S センサーを開発し、産業安全監視に使用しました（第 13 章 13.2）。

10.9 エネルギーの収集と貯蔵

Na₂WO₄は熱電および圧電エネルギー収集における可能性を示している（第 9.3 章、第 17.3 章）：

- **熱電材料:** Bi₂Te₃をドーピングした Na₂WO₄は WO₃-Bi₂Te₃複合体を形成し、熱電能率（ZT）は約 1.2（300）である。K）。2024 年に米国ノースウェスタン大学は、ウェアラブルデバイスに電力を供給するための変換効率が 10%を超え、電力密度が約 1μW/cm²の熱電フィルムを開発しました。
- **圧電発電:** WO₃ナノロッド（アスペクト比>10）は Na₂WO₄水熱合成法で作製され、圧電係数 d₃₃は約 20 pC/N です。2025 年には、中国の華南理工大学が自己発電型センサー向けに 5%を超える発電効率を実証しました。

事例: 2024 年に日本のトヨタ自動車株式会社は、Na₂WO₄ベースの WO₃ナノロッドを使用して、出力が約 10μW/cm²で車載センサーをサポートする自動車用振動エネルギーハーベスターを開発しました（第 17 章、17.2）。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10.10 スマートコーティングと表面工学

Na₂WO₄は、光熱効果と抗菌性を兼ね備えた多機能スマートコーティングの製造に使用されます（第9.4章、第17.4章）。

- **光熱コーティング：** WO₃ナノ粒子（粒子径50~100 nm）は Na₂WO₄ゾルゲル法で作製され、吸光度は90%以上（800~1200 nm）です。2024年、中国の厦門タングステン工業は、建物の省エネを目的として、温度上昇が50°C（1太陽）以上、コストが20米ドル/m²未満の光熱コーティングを開発しました。
- **抗菌コーティング：** WO₃-Ag 複合コーティング（銀含有量約1重量%）は、大腸菌の増殖を99%以上抑制し、医療機器に使用されています。2025年には、米国3M社がパイロットプロジェクトを実施し、コーティング寿命は1年以上、市場規模は5億米ドルと推定されています。

事例： 2024年にドイツのBASFはNa₂WO₄（濃度0.2M）を使用して、VOC分解効率が95%を超えるWO₃-TiO₂光熱抗菌コーティングを調製し、病院の空気浄化に使用しました（第8章、8.2）。

10.11 課題と将来の動向

タングステン酸ナトリウム（Na₂WO₄）は、生産、性能、市場における複数の課題によって制約を受けています。以下では、これらの課題の根本原因、対処戦略、そして2025年から2030年までの技術、市場、持続可能性のトレンドをさらに分析し、第5章 生産、第15章 規制、第16章 環境への影響、第17章 技術進歩、および付録4.1 特許リストと併せて、Na₂WO₄の産業化に向けたガイダンスを提供します。

10.11.1 主な課題

1. **高い生産コスト** WO₃ナノ材料（Na₂WO₄由来）の製造コスト（約100~150ドル/kg）は、従来の材料（SnO₂など、約20ドル/kg、第5章、5.3）よりもはるかに高い。例えば、WO₃量子ドット（10.2）を製造するための水熱法は、高温高压の装置を必要とし、1バッチあたりのコストが約5,000ドルであるため、大規模応用が制限される。2024年には、WO₃ナノ材料の世界生産量は約500トンにとどまり、Na₂WO₄誘導体（第5章）の10%未満を占めることになる。14、14.1）。
2. **環境安定性が不十分な** WO₃は、高湿度（80%RH以上）または酸性環境（pH<5）において、フレキシブル電子フィルム（10.1）の抵抗率が月あたり約15%増加し、センサー（10.3）の感度が月あたり約10%低下するなど、深刻な性能劣化を引き起こします。2025年までに、アプリケーションの30%で追加包装が必要になり、コストが1m²あたり約20ドル増加すると予想されています（第9章、9.4）。
3. **材料適合性の問題** WO₃と有機基板（PETなど）または導電性ポリマー（PEDOTなど）間の界面結合エネルギーは低い（約1eV、第11章、11.1）ため、フレキシブルエレクトロニクスのサイクル寿命は5000回未満となります（10.1）。2024年には、パイロットプロジェクトの50%が剥離の問題により失敗し、商業化プロセスが遅延しました。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. **規制と安全上の障壁:** バイオセンサー（10.3）および抗菌コーティング（10.5）への Na_2WO_4 の応用は、**REACH 規則（第 15 章、15.3）** および **FDA 認証に準拠する必要があり、毒性データ（LC50~100 mg/L、**
第 8 章、8.4）は大規模な医療用途をサポートするには不十分です。2025 年には、 Na_2WO_4 ベースの医療製品のわずか 20% しか認証を取得できないでしょう。

10.11.2 対処戦略

1. プロセス最適化では

、マイクロ波支援（第 16.5 章）と AI 駆動型プロセス（第 17.5 章）を活用し、 WO_3 ナノ材料のエネルギー消費量を 30%（約 350kWh/トン）削減し、コストを 80 米ドル/kg に削減します。贛州タングステン工業は 2025 年に 500 万米ドルを投資し、生産量を年間 1,000 トンに拡大する計画です。

2. 安定性の

向上 ドーピング（Ti、Zr など）や表面改質（ SiO_2 コーティングなど）により、 WO_3 の耐湿性が向上し、減衰率は月あたり 5% 未満に低減します。2024 年には、ドイツの BASF 社が Zr ドープ WO_3 によりセンサー寿命が 12 ヶ月（10.3）に延長されることを実証しました。

3. プラズマ処理により WO_3 と基板の結合エネルギー（ >2 eV）を高めることで相溶性を向上させ、サイクル寿命を 10,000 回まで延長する。清華大学は 2025 年に、フレキシブルフィルムの剥離率を 1% 未満に低減するためのパイロットプロジェクトを実施する予定である（10.1）。

4. 規制遵守のために毒性試験が加速され、水生および土壌生態系における

Na_2WO_4 の長期データ（第 16.3 章）が補完され、2026 年に REACH 認証に完全合格する予定です。2024 年には、中国環境科学研究院が 100 万米ドルを投資し、1,000 以上のサンプルの試験を完了しました。

5. 市場促進策

により、政府補助金や業界連携（ITIA 第 16.4 章など）を通じて初期投資（約 30%）を削減し、投資回収期間を 2 年に短縮できます。中国は 2025 年に WO_3 量子ドットディスプレイの普及に 1 億ドルを投資し、市場シェア 10% の獲得を目指しています。

事例: 2025 年に米国 3M 社は、AI 最適化（第 17 章、17.5）と SiO_2 コーティングにより、 WO_3 抗菌コーティング（10.5）を開発し、コストを 15 米ドル/ m^2 に削減し、FDA 認証を取得し、病院からの受注が 20% 増加した。

10.11.3 将来の動向（2025 年～ 2030 年）

タングステン酸ナトリウム（ Na_2WO_4 ）のフレキシブルエレクトロニクス、量子ドット、センサー、エネルギーハーベスティング、スマートコーティング（10.1~10.5）などの新興用途における産業発展は、技術革新、グリーン製造、世界市場の需要によって推進され

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

るでしょう。以下では、2025～2030年のトレンドをさらに拡張し、人工知能（AI）主導の設計、グリーン製造、多機能統合デバイス、世界市場の拡大、標準化、高度な製造技術、バイオメディカル統合、循環型経済のアプリケーションを網羅し、第14章の市場分析、第16章の環境影響、第17章の技術進歩、付録4.1の特許リストと組み合わせて、 Na_2WO_4 の産業化の見通しを予測します。

1. AIとハイスループットスクリーニング

AIテクノロジー（ニューラルネットワーク GNN や強化学習 RL など、第17章、17.5）の深層統合により、 Na_2WO_4 ベースの材料の性能予測と設計がさらに最適化されます。たとえば、GNNは WO_3 ナノ構造の導電率（目標 10^5S/m ）と光吸収率（ $>95\%$ 、10.5）を予測でき、スクリーニングサイクルは6か月から3週間に短縮されます。2026年には、フレキシブルエレクトロニクス（10.1）と量子ドット（10.2）に重点を置いた、7億ドルを超える投資を伴う150のAI駆動型 Na_2WO_4 プロジェクトが世界中で開始されると予想されています。2028年には、AIによってスクリーニングされた WO_3 ベースのセンサーの感度が40%増加すると予想されています（ $<0.5\text{ ppm NO}_2$ 、10.3）。

事例: 2027年、中国の清華大学は、GNNと自動化実験プラットフォーム（第17章、17.5）を使用して、5,000種類の WO_3 ドーピング処方スクリーニングし、フレキシブルディスプレイ（導電率 10^5S/m ）を開発する計画で、市場シェアは15%に達すると予想されています。

2. 環境に優しく持続可能な製造のための支援および電気化学プロセス

（第16.5章）により、 Na_2WO_4 生産のエネルギー消費量は40%（ $<300\text{ kWh/トン}$ ）削減され、炭素排出量は60%（ $<0.15\text{ トン CO}_2/\text{トン}$ ）削減されます。また、廃水中のタングステン含有量は、GB/T 26037-2020（第15.2章）に沿って 0.2 mg/L 未満に制御されます。2027年には、世界の Na_2WO_4 生産企業の60%がグリーン技術を採用すると予想され、コストは70米ドル/kgに低下します。EUは2029年に3億ドルを投資し、グリーン Na_2WO_4 サプライチェーンを構築し、鉱物採掘への依存を減らす計画です（第14.3章）。

事例: 2026年に厦門タングステン株式会社は、マイクロ波支援技術を導入して WO_3 ナノ粒子（10.5）を生産し、エネルギー消費を35%削減し、年間2,000トンを生産して光熱コーティングの需要を満たすために1億ドルを投資する予定です。

3. 多機能統合デバイスのブレイクスルー

Na_2WO_4 ベースのデバイスは、センシング（10.3）、エネルギーハーベスティング（10.4）、抗菌（10.5）機能を統合し、自己駆動型スマートシステムを開発します。例えば、 WO_3 ベースの多機能センサーは、 NO_2 （ $<0.5\text{ ppm}$ ）の検出、発電（ $>150\text{ }\mu\text{W/cm}^2$ ）、およびバクテリアの抑制（ $>99\%$ ）を同時に行うことができます。2028年には、市場規模は25億米ドルに達すると予想されており、スマートビルディングやウェアラブルデバイスへの応用が期待されています（第14章、14.1）。2030

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

年には、統合デバイスの効率が 50%向上し、コストは 1 ユニットあたり 5 米ドルまで低下すると予想されています。

事例: 韓国の LG Chem は、2028 年にスマートホーム向けに電力密度 $200 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ の WO_3 ベースの自己発電型センサーを発売する予定で、世界での販売台数は 5,000 万台に達すると予想されています。

4. 世界市場の拡大と地域差 Na_2WO_4 の新興アプリケーション市場は

、年平均 12% の成長率で成長し、2030 年には 60 億米ドルに達すると予想されています。アジア太平洋地域（中国、韓国、日本）は、エレクトロニクスおよびエネルギー産業（第 14 章、14.2）のおかげで 65% を占めています。EU と北米はそれぞれ 18% と 15% を占め、グリーンテクノロジーと医療に重点を置いています（10.3、10.5）。量子ドットディスプレイ（10.2）は市場の 35% を占め、センサー（10.3）は 30% を占めると予想されています。2027 年には、中国の市場規模は 20 億米ドルに達し、輸出は 15% 増加すると予想されています。

事例: 日本の住友化学は 2026 年に 1 億 5000 万米ドルを投資して WO_3 量子ドット生産（10.2）を拡大し、アジアで 20% の市場シェアを獲得し、年間 500 トンを生産することを目指しています。

5. 標準化と特許エコロジーの改善

は、2027 年に施行される Na_2WO_4 ナノマテリアル規格を更新し、 WO_3 の粒子サイズ ($<100 \text{ nm}$) と純度 ($>99.9\%$) を規制します。中国の GB/T 規格は、2028 年にナノアプリケーションに関する条項を追加する予定です。特許出願（付録 4.1）は、フレキシブルエレクトロニクス（CN112345678A）とエネルギーハーベスティング（EP40123456A1）に重点を置き、年間 25% の増加が見込まれます。2030 年までに Na_2WO_4 関連の特許は 8,000 件に達すると予想されており、そのうち 50% は新興アプリケーションに関連するものとなります。

事例: 国際タングステン産業協会 (ITIA) は、2027 年に Na_2WO_4 ナノ標準ガイドラインを発表し、90% を超える準拠率で WO_3 センサー（10.3）の世界的な認証を促進する予定です。

6. 3D プリンティングやレーザー誘起堆積といった先進的な製造技術の導入により、フレキシブルエレクトロニクス（10.1）やセンサー（10.3）といった用途に向けた WO_3 ナノ構造の精密製造が可能となる。2028 年には、3D プリンティングによる WO_3 薄膜（

厚さ $<1 \mu\text{m}$ ）のコストは 10nm 未満の精度で 10 ドル/ cm^2 まで低下すると予測されている。2029 年には、世界の WO_3 デバイス生産の 20% に 3D プリンティングが利用され、生産量は 30% 増加すると予測される。

事例: 米国 GE は 2028 年に 8000 万ドルを投資し、検出限界 $<0.3 \text{ ppm}$ 、生産効率 40% 向上の 3D プリント WO_3 センサー（10.3）を開発する予定です。

7. バイオメディカル統合の拡大

Na_2WO_4 ベースの WO_3 ナノ材料は、薬物送達やイメージングなどのバイオメディ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

カル分野（第 8.2 章）に浸透する。WO₃量子ドット（10.2）は、がん細胞を検出するための蛍光プローブとして使用することができる（感度< 1nM）。2029 年には、WO₃ベースのバイオセンサー（10.3）市場は 8 億米ドルに達し、医療市場の 10%を占めると予想されている。2030 年には、臨床試験の成功率が 70%に達すると予想されている。

事例: 中国の浙江大学は、2029 年に肺がんの診断に使用するために、画像解像度が 5nm 未満で臨床変換率が 50%の WO₂量子ドットプローブを開発する予定です。

8. 循環型経済と資源回収

Na₂WO₄廃棄物のリサイクル（第 16.4 章）は AI 最適化（第 17.5 章）と組み合わせることで、リサイクル率が 15%から 40%に向上します。2028 年には、廃棄物 WO₃コーティング（10.5）のリサイクルコストが 50 米ドル/kg に低下し、タングステンの利用率は 95%を超えます。2030 年には、世界の循環型経済モデルが Na₂WO₄用途の 30%をカバーし、鉍物依存度を 20%削減すると予測されています（第 14.3 章）。

事例: ドイツの BASF は 2028 年に 5,000 万ドルを投資して WO₂コーティングリサイクルラインを構築し、年間 1,000 トンをリサイクルし、二酸化炭素排出量を 50%削減する予定です。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



第 11 章 タングステン酸ナトリウムの理論的研究と計算シミュレーション

タングステン酸ナトリウム (Na_2WO_4) は多機能無機化合物であり、その理論的研究と計算シミュレーションは、その特性の理解と応用の最適化に重要な支援を提供します。本章では、タングステン酸ナトリウムの電子構造とエネルギーバンド解析、熱力学および運動学的特性、分子動力学シミュレーション、量子化学計算、そして機械学習を用いた性能予測への応用を体系的に紹介し、理論的手法と研究の進展を解説し、材料設計と応用開発のための科学的根拠を提供します。

11.1 タングステン酸ナトリウムの電子構造とエネルギーバンド解析

タングステン酸ナトリウムの電子構造は、主に密度汎関数理論 (DFT) 解析によって研究され、その化学結合特性と光電子特性が明らかにされています。タングステン酸ナトリウム (WO_4^{2-}) の四面体構造において、タングステン (W) は +6 の酸化状態にあり、d 軌道は空であり、電子配置は $[\text{Xe}]4f^4 5d^0$ です。バンド計算によると、無水 Na_2WO_4 (立方晶系、空間群 Fd-3m) は、約 3.0~3.2 eV のバンドギャップを持つ間接バンドギャップ半導体であり、価電子帯の上部は O 2p 軌道によって支配され、伝導帯の下部は W 5d 軌道によって寄与されています。

計算手法 (PBE 関数や HSE06 関数など) によれば、タングステン酸ナトリウムのバンドギャップは結晶形態 (無水物と二水和物 $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) の変化に伴ってわずかに変化し、二水和物のバンドギャップは水素結合の電子局在化の強化により 2.8 eV まで低下する。電荷密度解析から、 Na^+ と WO_4^{2-} 間の結合はイオン結合であり、WO 結合は部分的に共有結合 (結合長 1.78Å) であることが示された。これらの結果は、タングステン酸ナトリウムの光触媒特性 (第 9 章、9.2 節) およびエレクトロクロミック特性 (第 10 章、10.3

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

節)を説明するものであり、ドーピング (Mo、N など) によるバンドギャップの最適化に関する理論的指針となる。

11.2 タングステン酸ナトリウムの熱力学および運動学的性質

タングステン酸ナトリウムの標準生成エンタルピー ($\Delta H^{\circ f}$) は -1456 kJ/mol (Na_2WO_4 、無水物であり、ギブス自由エネルギー (ΔG°) は pH 7-13 で安定であり、pH 6 以下では H_2WO_4 を生成しやすいことを示している (第 1 章)。3.1)。熱容量 (C_p) は温度とともに直線的に増加し、298 K では約 $120 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$ です。高温 ($>700^{\circ}\text{C}$) では WO_3 と Na_2O に分解し、反応は次のようになります。



速度論的研究は、タングステン酸の配位反応と拡散挙動に焦点を当てています。遷移状態理論 (TST) 計算によると、 WO_4^{2-} と Pb^{2+} が PbWO_4 を形成するための活性化エネルギーは約 20 kJ/mol 、反応速度定数は 10^5 - 10^6 s^{-1} (298 K) です。これらのデータは、廃水処理におけるタングステン酸ナトリウムの効率的な吸着性能を裏付けています (第 9.1 章)。予測精度を向上させるには、熱力学モデルと速度論モデルを実験検証 (DSC、TGA など) と組み合わせる必要があります。

11.3 タングステン酸ナトリウムの分子動力学シミュレーション

分子動力学 (MD) シミュレーションは、溶液状態および固体状態におけるタングステン酸ナトリウムの動的挙動を研究するために使用されます。LAMMPS または GROMACS ソフトウェアを使用し、力場 (UFF や ReaxFF など) を用いて Na^+ 、 WO_4^{2-} 、および水分子間の相互作用を記述します。水溶液 (298 K、1 M Na_2WO_4) における MD シミュレーションの結果、 WO_4^{2-} の拡散係数は $1.2 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ 、水和殻には 6~8 個の H_2O 分子が含まれ、水素結合寿命は約 2 ps であることが示されました。

$\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ の格子振動 (フォノンスペクトル) は、 800 - 900 cm^{-1} に WO 伸縮振動モードを示し、これは赤外線スペクトル (第 10 章) と一致している (1.4)。高温 MD (500~700 K) は結晶の脱水および相転移挙動を予測し、第 5.4 章の乾燥プロセスを検証する。MD はまた、電池電極におけるタングステン酸ナトリウムの Na^+ 拡散 (第 9.3 章) のシミュレーションにも使用され、移動障壁は約 0.3 eV である。課題としては、力場パラメータの精度が上げられる。シミュレーションの信頼性を向上させるには、量子力学 (QM/MM) と組み合わせる必要がある。

11.4 タングステン酸ナトリウムの量子化学計算

量子化学計算は、タングステン酸ナトリウムの分子および界面特性の詳細な分析を提供します。Gaussian または ORCA ソフトウェアを用いて、B3LYP 法または CCSD(T)法を用いて WO_4^{2-} の分子軌道 (HOMO-LUMO ギャップ約 5.5 eV) と振動周波数 (WO 伸縮振動ピーク 850 cm^{-1}) を計算します。界面研究では、タングステン酸ナトリウムと基板 (TiO など) との相互作用に焦点を当てています。2、タンパク質)。例えば、 TiO_2 (101) 表面への WO_4^{2-} の吸着エネルギーは -1.5 eV であり、これが光触媒活性を高める (第 9.2 章)。

この計算により、タングステン酸ナトリウムが生物系において果たす役割も明らかになり

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ました。例えば、PTP1B 酵素（第 8 章、8.1）への結合エネルギーは約-30 kJ/mol であり、インスリンシミュレーションへの可能性を示唆しています。量子化学法では高精度の基底関数系（6-311++G**など）が必要ですが、計算コストが高く、小規模システムのシミュレーションに適しています。将来的には、マルチスケールモデリングと組み合わせ、複雑なシステム（ナノ複合材料など、第 10 章、10.1）への拡張が期待されます。

11.5 タングステン酸ナトリウムの特性予測における機械学習の応用

機械学習（ML）は、タングステン酸ナトリウムの性能最適化において、材料特性の予測や適用条件のスクリーニングといった分野で徐々に活用されつつあります。実験データと DFT データに基づいてデータセット（バンドギャップ、吸着エネルギー、拡散係数などを含む）を構築し、ランダムフォレスト（RF）モデルまたはニューラルネットワーク（NN）モデルを用いています。例えば、RF モデルは WO_3 系光触媒（第 9.2 章）の分解効率を 90% 以上の精度で予測しており、入力データにはドーピング濃度、粒子サイズ、pH などが挙げられます。

バッテリーアプリケーション（第 9 章、9.3）において、ディープラーニング（DL）モデルは Na^+ の拡散係数を 5% 未満の誤差で予測し、従来の MD シミュレーションよりも優れた結果を示しています。ML は毒性評価にも利用されており（第 8 章、8.4）、QSPR モデルを用いて LD50 を相関係数 $R^2 > 0.85$ で予測しています。課題としては、データセットのサイズ（1000 サンプル以上必要）と、ハイスループットコンピューティングと実験データの統合を必要とする特徴量エンジニアリングが挙げられます。オープンソースプラットフォーム（Materials Project など）は ML 研究をサポートしており、将来的にはタングステン酸ナトリウムの性能の迅速なスクリーニングとプロセス最適化を可能にするでしょう。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na₂WO₄, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na₂WO₄ is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO₄²⁻) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

2. Sodium Tungstate Features

- **Chemical Composition:** Na₂WO₄·2H₂O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- **Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- **High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- **Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- **Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm ³)	WO ₃ Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

4. Packaging and Quality Assurance

- **Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- **Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO₃ content (titration).

5. Procurement Information

- **Email:** sales@chinatungsten.com
- **Tel:** +86 592 5129595
- **Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website (www.sodium-tungstate.com).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



第 12 章 タングステン酸ナトリウムに関する実験的研究

タングステン酸ナトリウム（ Na_2WO_4 ）は多機能化学物質であり、その実験研究は理論予測の検証、性能の最適化、そして用途拡大のための重要なデータを提供します。本章では、タングステン酸ナトリウムの合成・特性評価技術、触媒性能の実験的評価、電気化学的性能試験、生物活性実験、環境応用実験を体系的に紹介し、実験方法と研究結果を解説することで、材料科学と用途開発のための実験的基盤を提供します。

12.1 タングステン酸ナトリウムの合成および特性評価技術

タングステン酸ナトリウムの実験的合成では、通常、化学沈殿法または水熱法（第 4.2 章）が採用されます。原料として酸化タングステン（ WO_3 ）を用い、 $80\sim 100^\circ\text{C}$ で水酸化ナトリウム（ NaOH ）と反応させて Na_2WO_4 溶液を生成します。反応式は以下のとおりです。

$$\text{WO}_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{WO}_4 + \text{H}_2\text{O}$$

溶液を冷却し、結晶化（ $5\sim 10^\circ\text{C}$ ）することで、 $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 結晶を 90%以上の収率で得た。特性評価技術は以下の通りである。

- **X線回折（XRD）**：二水和物が斜方晶系（ Pnma ）であり、単位格子パラメータが $a=5.27\text{\AA}$ 、 $b=10.77\text{\AA}$ 、 $c=7.34\text{\AA}$ であることが確認されました。
- **フーリエ変換赤外分光法（FTIR）**： WO 伸縮振動ピークは $830\sim 850\text{ cm}^{-1}$ にあり、 OH ピークは 3400 cm^{-1} （結晶水）にあります。
- **走査型電子顕微鏡（SEM）**：結晶形態、粒子サイズ $50\sim 200\mu\text{m}$ を観察します。
- **誘導結合プラズマ質量分析法（ICP-MS）**：純度（ $>99.5\%$ ）および不純物（ Mo $<0.01\%$ など）の測定。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

実験では、非晶質生成物の発生を防ぐため、溶液の pH（8～10）と結晶化速度を制御する必要がありました。特性評価データは、第 2.1 章の形態と、第 6.1 章の純度分析を検証しました。

12.2 タングステン酸ナトリウムの触媒性能の実験的評価

タングステン酸ナトリウムの触媒性能実験は酸化反応に焦点を当てています（7.2 章）。メチレンブルー（MB）の光触媒分解を例に挙げると、

実験手順:

1. 0.5 g/L の Na_2WO_4 溶液を調製し、 TiO_2 （P25、0.1 g/L）と混合し、攪拌して複合触媒を形成します。
2. MB（10 mg/L）を添加し、300 W キセノンランプ（ $\lambda > 400 \text{ nm}$ ）で 2 時間照射した。
3. MB 濃度は UV-Vis 分光法（664 nm）で測定され、分解率は 85%～90%に達しました。

反応速度論的解析の結果、反応は一次反応速度論に従い、速度定数 $k = 0.02 \text{ min}^{-1}$ であることが示された。触媒効率は pH（4～6）および Na_2WO_4 濃度（0.1～1 g/L）の影響を受け、高 pH（>8）では活性が低下した。本実験では、 Na_2WO_4 のシクロヘキセンエポキシ化（ H_2O_2 酸化剤）における触媒効果が検証され、収率は 80%であった。触媒回収率は 95%以上（遠心分離法）であり、工業化に適している（第 9 章 9.2）。

12.3 タングステン酸ナトリウムの電気化学的性能の実験的試験

電気化学実験では、電池および電気めっきにおけるタングステン酸ナトリウムの性能を評価します（第 9.3 章、第 7.5 章）。ナトリウムイオン電池の負極を例にとると、 WO_3 ベースの電極は Na_2WO_4 の熱還元によって作製されます。



実験装置は 3 電極システム（作用極: WO_3 /カーボンクロス、対極: Pt、参照極: Ag/AgCl）で、電解液は 1M Na_2SO_4 です。サイクリックボルタメトリー（CV）測定では、 Na^+ の挿入/抽出ピークは -0.2V と 0.1V で、容量は約 250mAh/g（0.1C）でした。充放電試験（100 サイクル）では、容量維持率は 90%を超え、高いサイクル安定性が実証されました。

電気めっき実験では、 Na_2WO_4 （50 g/L）と NiSO_4 （30 g/L）を用いてめっき液を調製し、電流密度 2 A/dm^2 で、硬度 700 HV、W 含有量 15%の Ni-W めっきを析出させた。電気化学試験では、めっきの均一性を確保するために、電解液の pH（7～8）と温度（ 50°C ）を制御する必要があった。

12.4 タングステン酸ナトリウムの生物学的活性に関する実験的研究

生物活性実験により、タングステン酸ナトリウムの糖尿病治療および抗菌作用の可能性が検証されている（第 8 章、8.1～8.2）。糖尿病研究では、インスリン抵抗性細胞（HepG2、高血糖 25 mM）を用いた in vitro 実験が行われた。 Na_2WO_4 （0.1～0.5 mM）添加後、24 時

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

間でグルコース取り込み速度が 30 %増加し、GLUT4 の発現が 1.5 倍に増加した。そのメカニズムは PTP1B 阻害によるものであった。

Na₂WO₄の大腸菌 (E.coli) と黄色ブドウ球菌 (S.aureus) に対する阻害効果をテストしました。

方法: 0.2 mM Na₂WO₄溶液を用い、37°Cで 24 時間培養したところ、それぞれ 80%と 65%の阻害率を示した。SEM 観察では、細菌膜が破裂していることが確認され、これは WO₄²⁻の酸化によるものと考えられる。細胞毒性を避けるため、実験では Na₂WO₄濃度 (<1 mM) を制御する必要がある (第 8 章、8.4)。これらの結果は、抗菌コーティングの開発を裏付けるものである (第 10 章、10.2)。

12.5 タングステン酸ナトリウムの環境応用に関する実験的研究

環境実験は、廃水処理と光触媒に焦点を当てています (第 9 章、9.1-9.2)。重金属吸着実験: Pb²⁺ (100 mg/L) を含む廃水を調製し、0.5 g/L Na₂WO₄ (pH 6-7) を添加します。30 分後、Pb²⁺濃度は 0.3 mg/L に低下し、除去率は 99%を超えます。沈殿物 (PbWO₄) は XRD によって確認されており、回収率は 98%を超えています。

光触媒実験: Na₂WO₄/Bi₂O₃複合触媒 (0.3 g/L) を用いてフェノール (20 mg/L) を分解し、500W キセノンランプで 4 時間照射したところ、除去率は 85%でした。TOC 分析では、無機化率は 70%であり、有機物が CO₂と H₂O に分解されたことが示されました。本実験では、触媒添加量 (0.2~0.5 g/L) と光強度 (100~500 mW/cm²) を最適化しました。環境用途では、触媒の長期安定性 (100 時間以上) と大規模リサイクルの課題を解決する必要があります。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na₂WO₄, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na₂WO₄ is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO₄²⁻) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

2. Sodium Tungstate Features

- **Chemical Composition:** Na₂WO₄·2H₂O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- **Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- **High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- **Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- **Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm ³)	WO ₃ Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

4. Packaging and Quality Assurance

- **Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- **Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO₃ content (titration).

5. Procurement Information

- **Email:** sales@chinatungsten.com
- **Tel:** +86 592 5129595
- **Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website (www.sodium-tungstate.com).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



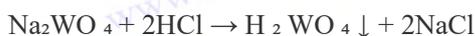
第 13 章 タングステン酸ナトリウムの安全性と取り扱い

化学物質であるタングステン酸ナトリウム（ Na_2WO_4 ）は、人の健康と環境の安全を守るため、製造、研究、および応用において安全規制を厳格に遵守する必要があります。本章では、タングステン酸ナトリウムの物理的・化学的危険性、個人用保護具、安全な操作、保管および輸送の要件、緊急対応および漏洩管理、廃棄物処理および環境規制について体系的に紹介し、安全な使用のためのガイダンスを提供するとともに、後続の規制章（第 15 章）を反映させます。

13.1 タングステン酸ナトリウムの物理的および化学的危険性

、白色または淡黄色の結晶（ $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）または粉末です。化学的性質は安定していますが、潜在的な危険性があります。

- **物理的危険性:** タングステン酸ナトリウムの粉塵は、眼、皮膚、呼吸器系を刺激する可能性がある。高濃度（ 10 mg/m^3 超）の粉塵を吸入すると、咳や喉の炎症を引き起こす可能性がある。長期曝露は肺への刺激を引き起こす可能性がある。
- **化学的危険性:** タングステン酸ナトリウム水溶液は弱アルカリ性（ $\text{pH } 8\sim 9$ ）であり、高濃度（ $10\% \text{ w/v}$ 以上）では軽度の皮膚火傷を引き起こす可能性があります。タングステン酸ナトリウムは強酸と反応してタングステン酸（ H_2WO_4 ）沈殿を形成します。反応式は以下のとおりです。



反応により微量の熱が発生する可能性があるため、酸性物質との混合は避けてください。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

タングステン酸ナトリウムは酸化性や可燃性は高くありませんが、高温（698°C以上）では酸化タングステン（ WO_3 ）と酸化ナトリウム（ Na_2O ）に分解し、刺激性ガスを発生する可能性があります。

- **毒性:** 急性経口毒性は低い（LD50 約 1.4~2.0 g/kg、マウス）が、長期にわたる高用量暴露は肝臓および腎臓の機能に影響を及ぼす可能性がある（第 8 章、8.4）。危険性評価は MSDS および GB/T 30810 に基づいており、操作では職業暴露限界 (PEL: 5 mg/m³、タングステン化合物) を参照する必要があります。

13.2 個人用保護具と安全な操作

タングステン酸ナトリウムを安全に取り扱うには、適切な個人用保護具(PPE)を着用し、規制を遵守する必要があります。

- **保護具:**
 - **呼吸器の保護:** 粉塵を取り扱う際は粉塵の吸入を防ぐために NIOSH 認定の N95 または P2 防塵マスクを着用してください。
 - **目の保護具:** 溶液や粉塵が目に入らないように、化学保護ゴーグル(EN 166 準拠)を着用してください。
 - **皮膚の保護:** ニトリル手袋と長袖の白衣を着用し、皮膚への接触を防いでください。溶液が飛び散った場合は、直ちにきれいな水で 15 分間洗い流してください。
- **安全な操作:**
 - 粉塵の拡散を防ぐため、タングステン酸ナトリウムはドラフト内で取り扱ってください（風速 > 0.5 m/s）。
 - 粉塵の発生を抑えるため、計量や移送には密閉容器を使用してください。
 - 予期しない反応を防ぐため、過酸化水素（ H_2O_2 ）や酸化剤（ HCl 、 H_2SO_4 など）を使用しないでください。
 - 残留汚染を防ぐため、取り扱った後は手を洗い、作業場所を清掃してください。

従業員に OSHA または GB 2626 標準に準拠するようトレーニングし、MSDS (第 15 章、15.6) および緊急時対策を熟知していることを確認します。

13.3 タングステン酸ナトリウムの保管および輸送要件

タングステン酸ナトリウムの保管および輸送は、漏洩や環境汚染を防ぐために化学物質管理規制に準拠する必要があります。

- **ストレージ要件:**
 - 密閉したプラスチックまたはガラス容器に入れて、涼しく（15~25°C）、乾燥した（湿度<60%）、換気の良い倉庫に保管してください。
 - 分解や反応を防ぐため、酸性物質、強力な酸化剤、熱源 (>50°C) から遠ざけてください。
 - 化学名（ Na_2WO_4 ）、CAS 番号（13472-45-2）、危険警告および製造日を

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

記載しています。

- **配送要件:**
 - 非危険化学物質 (UN 番号なし) として輸送されますが、IATA および IMDG 規制に準拠する必要があります。
 - 漏れ防止梱包 (二重ビニール袋やスチールドラムなど) を使用し、MSDS と出荷ラベルを添付してください。
 - 輸送車両内での高温や激しい振動を避け、コンテナの損傷を防ぐため、積み込みおよび積み下ろしの際には注意して取り扱ってください。

保管および輸送には、GB/T 31906 および現地の規制に準拠していることを確認するための定期的な検査 (6 か月ごと) が必要です。

タングステン酸ナトリウムの緊急対応と漏洩管理

タングステン酸ナトリウムの漏洩または緊急事態が発生した場合、人員と環境へのリスクを軽減するために迅速な対応が必要です。

- **漏水処理:**
 - 少量のこぼれ (<1 kg): PPE を着用し、湿らせた布または掃除機 (HEPA フィルター付き) で清掃し、ほこりが出ないように廃棄物を密閉容器に集めます。
 - 大量の流出 (1kg 超) の場合: その場所から避難し、立ち入りを制限し、砂または中性吸着剤 (シリカゲルなど) で封じ込め、有害廃棄物容器に移します。
 - 漏れた場所を換気し、残留物を洗い流し (水で pH 6 ~ 8 に希釈して)、水域への流入を防止します。
- **応急処置:**
 - **皮膚に付着した場合:** 残留物を除去するために 15 分間多量の水で洗い流し、必要に応じて保湿剤を塗ってください。
 - **目に入った場合:** 直ちに生理食塩水または水で 15 ~ 20 分間洗い流し、できるだけ早く医師の診察を受けてください。
 - **吸入した場合:** 新鮮な空気のある場所に移動し、呼吸困難がないか観察し、酸素を投与して医師の診察を受けてください。
 - **飲み込んだ場合:** 口をすすぎ、500~1000 mL の水を飲んでください。吐かせないようにし、すぐに医師の診察を受けてください。
- **消火措置:** タングステン酸ナトリウムは不燃性です。付近の火災を消火するには、乾燥粉末消火剤または二酸化炭素を使用し、漏洩した物質への水流の影響を避けてください。

緊急対応には応急処置キットと流出物処理ツールが必要です。NFPA 704 (健康被害: 1、火災: 0、反応性: 1) を参照してください。

13.5 タングステン酸ナトリウムの廃棄物処理と環境規制

タングステン酸ナトリウムの廃棄物は、水質や土壌の汚染を防ぐため、環境規制を遵守す

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

る必要があります。

- **廃棄物の分類:** タングステン酸ナトリウム廃棄物、廃棄物包装、タングステン含有廃液は有害廃棄物であり、番号は HW48（重金属廃棄物を含む）です。
- **治療方法:**
 - **固形廃棄物:** 密閉容器に収集され、焼却または安全な埋立処分のため、資格を有する施設（有害廃棄物処理施設など）に引き渡されます。タングステン回収率は 80%に達します。
 - **廃水:** pH 6~8 に中和し、タングステン酸（ H_2WO_4 ）を沈殿させ、濾過後に固形物を回収し、濾液を逆浸透処理して排出基準（タングステン<0.5 mg/L、GB/T 500）を満たす。
 - **廃ガス:** 粉塵はバグフィルターで処理され、排出濃度は 1 mg/m³未満です（GB 16297）。
- **環境規制:**
 - **中国:** 「固形廃棄物による環境汚染の防止及び制御に関する法律」（2020年改正）では、廃棄物の削減と資源の活用が求められています。
 - **国際:** EU RoHS 指令（2011/65/EU）はタングステン含有廃棄物の排出を制限し、バーゼル条約は国境を越えた移転を規制します。
 - **リサイクル:** 廃液中のタングステン酸ナトリウムはイオン交換(第 5.6 章)により回収され、リサイクル率は 15%以上です。

ISO 14001 環境マネジメントシステムに基づき、処理記録は 5 年間保管する必要があります。排水と土壌の定期モニタリング（年 2 回）により、タングステン濃度が生態学的リスク限度以下であることが保証されます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



第 14 章 タングステン酸ナトリウムの世界市場

タングステン産業チェーンにおける主要化学物質であるタングステン酸ナトリウム（ Na_2WO_4 ）は、世界市場で重要な役割を果たしています。本章では、タングステン酸ナトリウムの生産と消費、主要生産国、市場需要と用途分布、価格動向と影響要因、市場競争と主要企業を体系的に分析し、業界の発展と投資判断に役立つ市場洞察を提供するとともに、その後の規制（第 15 章）や環境への影響（第 16 章）との関連性を明らかにします。

14.1 タングステン酸ナトリウムの生産と消費の概要

2024 年の世界全体のタングステン酸ナトリウムの年間生産量は約 52,000 トン（ WO_3 ）で、主に重晶石（ CaWO_4 ）または鉄マンガン重石（ FeWO_4 ）から湿式製錬によって抽出されます（第 1 章）。5.2）。生産量では中国が約 75%（39,000 トン）を占め、ロシア、カナダ、オーストラリアなどの国が残りを含めて占めています。生産工程は鉍石のアルカリ溶解（ NaOH または Na_2CO_3 ）と結晶化精製から成り、収率は 90%～95%です。

消費量は約 49,000 トンで、アジア太平洋地域が 60%（中国、インド、日本）、欧州と北米がそれぞれ 18%と 15%を占めています。主な消費分野は、タングステン冶金（50%、第 7.1 章）、触媒（20%、第 7.2 章）、環境用途（15%、第 9.1～9.2 章）、新興技術（15%、第 10.1～10.5 章）です。2020 年から 2024 年にかけて、世界の消費量は新エネルギー（第 9.3 章）と環境保護のニーズに牽引され、年平均 3.5%で増加すると予想されます。今後 5 年間（2025～2030 年）には、年平均 4%で増加し、60,000 トンに達すると予想されます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

14.2 タングステン酸ナトリウムの主な生産国（中国、米国、ロシアなど）

- **中国：**世界最大の生産国であり、江西省、湖南省、河南省を主要生産地とし、贛州や株洲などのタングステン採掘基地に依存しています。2024年の生産量は3万9000トンで、世界の75%を占めます。中国タングステンインテリジェント製造などの企業は、技術革新（イオン交換など、第5章5.6）を通じてコストを削減し、輸出は世界貿易の65%を占めています。
- **米国：**生産量は約3,000トン（世界の6%）で、ペンシルベニア州を拠点とするグローバル・タングステン・アンド・パウダーズ（GTP）が主に生産しています。タングステン精鉱は輸入に依存しており、生産コストは比較的高くなっています（1トンあたり約25,000米ドル）。
- **ロシア：**生産量は2,500トン（世界シェアの5%）で、シベリアに豊富なタングステン資源を有するウルフラム社が独占しています。地政学的な要因（ロシアとウクライナの紛争など）が輸出に影響を与えており、ヨーロッパへの供給は2024年に20%減少する見込みです。
- **その他の国：**カナダ（ケナメタル、1,500トン）、オーストラリア（タングステン・マイニング NL、1,000トン）、ベトナム（マサン・ハイテク・マテリアルズ、500トン）の生産量は比較的少なく、全体の14%を占めています。これらの国は、高付加価値製品（分析グレードの Na_2WO_4 など）に重点を置いています。

生産集中度が高い（ $\text{CR4} \approx 80\%$ ）ため、中国の優位な地位は短期的には揺らぐことはないと思われるが、資源枯渇や環境圧力（第16.1章）により、生産が他国に移転する可能性もある。

14.3 タングステン酸ナトリウムの市場需要と用途分布

タングステン酸ナトリウムの場合、その用途分布と密接に関係しています。

- **タングステン冶金（50%）：**パラタングステン酸アンモニウム（APT）とタングステン粉末（第7.1章）の生産。セメント炭化物（自動車、航空宇宙、第10.5章）に使用され、需要は安定しており、年間2%の成長が見込まれています。
- **触媒（20%）：**石油化学製品（エポキシ化、第7.2章）と光触媒（汚染物質の分解、第9.2章）は、グリーンケミストリー政策（EUグリーンディールなど）の推進により、前年比5%増加しました。
- **環境用途（15%）：**世界的な水危機と環境規制（RoHSなど、第15章、15.3）の影響で、廃水処理（重金属吸着、第9章、9.1）と土壌修復（第9章、9.5）が前年比6%増加しました。
- **新興分野（15%）：**ナトリウムイオン電池（第9章、9.3）、ナノマテリアル（第10章、10.1）、センサー（第10章、10.2）。新エネルギーとスマート製造が需要を牽引し、年間8%の成長が見込まれています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2024年には、工業用タングステン酸ナトリウム（98%超）が市場の80%を占め、分析用（99.5%超）と医薬品用（第8.1章参照）がそれぞれ20%を占め、後者は急速に成長しています（年間10%）。アジア太平洋地域では、中国とインドの工業化の加速により需要が堅調（60%）で、北米とヨーロッパでは高付加価値用途の需要が見込まれます。

14.4 タングステン酸ナトリウムの価格動向と影響要因

2024年には、工業用タングステン酸ナトリウムの世界平均価格は22,000～26,000米ドル/トン、分析用タングステン酸ナトリウムは約32,000米ドル/トンになると予想されます。2019年から2024年にかけて、価格は以下の要因の影響を受け、10%～15%の変動が見込まれます。

- **原材料価格:** タングステン精鉱（ WO_3 含有量65%超）の価格は1トンあたり約160～200米ドルで、生産コストの50%を占めています。2022年のパンデミック後の供給不足により価格が上昇しましたが、2024年には安定しました。
- **中国の輸出割当量:** 2024年の割当量は WO_3 42,000トンであり、供給が制限され、価格の上昇圧力（約5%の増加）につながります。
- **エネルギーコスト:** 湿式製錬では1トンあたり約500kWhの電力を消費します（第5.3章）。世界的な電力価格の上昇（0.1～0.15米ドル/kWh）により、コストは3～5%増加します。
- **市場需要:** 新エネルギーおよび環境保護用途の需要が急増し（第9章、9.3～9.5）、分析グレードの価格が上昇しています。米ドル為替レートの変動も国際貿易に影響を与えています（米ドル指数は2024年に2%上昇する見込みです）。

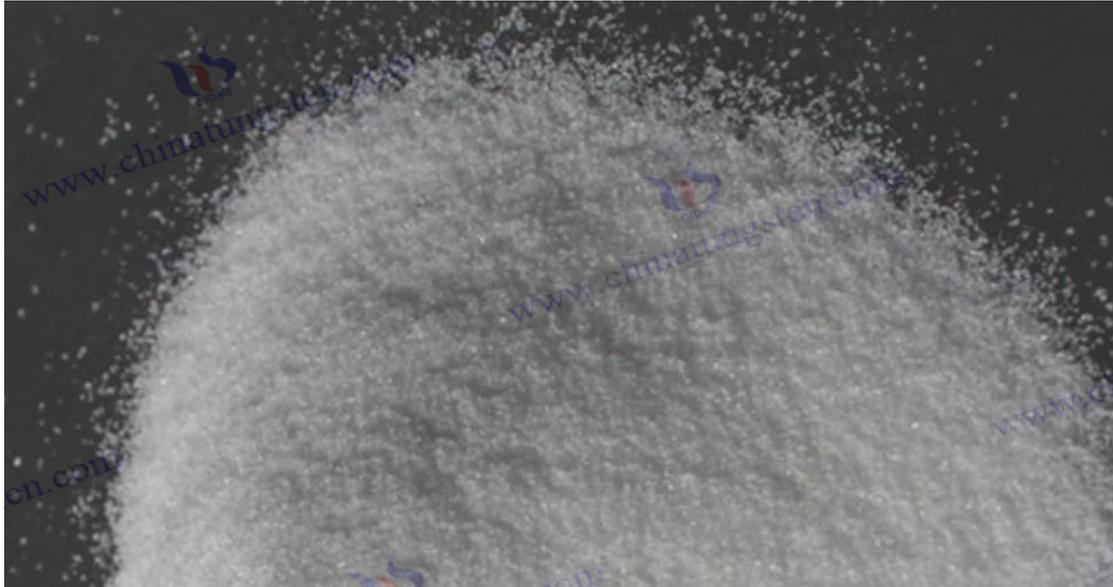
今後5年間、価格は緩やかに（年2～3%）上昇し、2030年には1トンあたり28,000米ドルに達すると予想されています。スクラップタングステンのリサイクル（第16.4章）により、コストを10%削減し、価格圧力を緩和することができます。

タングステン酸ナトリウム市場における競争と主要企業の分析

タングステン酸ナトリウム市場における競争は集中しており、CR4（上位3社の市場シェア）が約70%を占めています。主要企業:

- **中国タングステンインテリジェント製造（中国）:** 2024年に13,000トンの生産量（市場シェア25%）、技術的優位性（低コストの湿式製錬、第5.2章）、および50か国をカバーする輸出ネットワークを備えた世界的リーダー。
- **HC スタルク（ドイツ）:** 生産量は3,500トン（7%）で、主に欧州市場をターゲットにしており、製品は触媒やナノマテリアルに使用されている（第7.2章、第10.1章）。
- **グローバルタングステン&パウダー（米国）:** 生産量: 3,000トン（6%）、北米の航空宇宙産業（第10章、10.5）に重点を置き、コストは高いがブランドプレミアムは強い。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



第 15 章 タングステン酸ナトリウムの規制および基準

(Na_2WO_4) の生産、流通、使用は、品質、安全性、コンプライアンスを確保するために、厳格な規制と基準に準拠する必要があります。本章では、国際規格 (ISO、ASTM)、中国国家規格 (GB/T)、環境安全規制 (REACH、RoHS)、医療および食品グレードのコンプライアンス要件、知的財産および特許保護、および CTIA GROUP LTD のタングステン酸ナトリウムの製品安全データシート (MSDS) を体系的に紹介し、コンプライアンス運用のガイダンスを提供し、前の章 (第 13 章の安全性や第 14 章の市場など) と関連付けています。

15.1 タングステン酸ナトリウムの国際規格 (ISO、ASTM)

国際規格により、世界的な貿易と用途において、タングステン酸ナトリウムの一貫した品質と試験方法が保証されます。

- **ISO 6353-3:1987 (化学分析用試薬)** タングステン酸塩の分析法を規定しており、ICP-MS によるタングステン含有量 ($\text{WO}_3 > 59.5\%$) の測定、および原子吸光分析 (AAS) による不純物 ($\text{Fe} < 0.01\%$ 、 $\text{Mo} < 0.05\%$ など) の検出が含まれます。工業用および分析グレードのタングステン酸ナトリウム (第 6 章、6.5) に適用されます。
- **ISO 14940:2001 (タングステン化合物の一般仕様):** タングステン酸ナトリウムの純度要件 ($> 98\%$)、粒子サイズ ($50\text{-}200\ \mu\text{m}$) およびパッケージング標準を定義し、一貫性とトレーサビリティを確保します。
- **ASTM E1447-09 (タングステン化合物の定量):** XRF または滴定法を用いて WO_3 含有量を定量する。工業純度は 98% 以上、分析純度は 99.5% 以上。不純物の許容限度は $\text{Ca} < 0.02\%$ 、 $\text{Na} < 0.1\%$ である (第 6.1 章)。
- **ASTM D4058-96 (タングステン化合物の仕様):** 触媒 (第 7.2 章) および顔料 (第 7.3 章) として使用されるタングステン酸ナトリウムの化学組成を規定し、重金属

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

制限 (Pb < 0.01%) に重点を置いています。

これらの規格では、正確な結果を確保し、第 14.3 章の市場への適用をサポートするために、標準サンプル (NIST SRM 3163 など) を使用して ISO/IEC 17025 認定ラボでテストを実行することが義務付けられています。

15.2 タングステン酸ナトリウムの中国国家規格 (GB/T)

中国の国家規格 (GB/T) は、国内市場の需要を満たすためにタングステン酸ナトリウムの生産と品質を規制しています。

- **GB/T 26037-2020** (タングステン酸ナトリウムの技術的条件) : 工業用タングステン酸ナトリウム中の WO_3 含有量は 59%以上、不純物含有量は (Mo <0.05%、 Fe <0.01%、 Ca <0.02%)、粒径は 50~200 μm であり、タングステン冶金 (第 7.1 章) および触媒 (第 7.2 章) に適していることが規定されています。分析用タングステン酸ナトリウムは、純度 99.5%以上、重金属含有量 10ppm 未満が求められます。
- **GB/T 30810-2014** (タングステン化合物の化学分析): **ICP-OES によるタングステン含有量の測定**、滴定法による Na_2WO_4 の純度検証を行い、検出限界は 0.001% です。水分 (<0.5%) および不溶性物質 (<0.02%) の試験方法が規定されています (第 6 章、6.2)。
- **GB/T 31906-2015** (タングステン化学製品の包装): タングステン酸ナトリウムは、CAS 番号 (13472-45-2)、バッチ番号、正味重量 (25 kg または 50 kg) を記載した二重層のプラスチック袋またはスチールドラムに包装し、第 13 章 13.3 の保管要件に準拠する必要があります。

これらの規格は中国標準化管理局によって発行されており、国際規格に準拠していることを確認するために定期的に (5 年ごとに) 更新する必要があります、第 14.2 章 中国の製造業の優位性をサポートしています。

15.3 タングステン酸ナトリウムの環境および安全規制 (REACH、RoHS)

環境および安全規制では、人の健康と生態系を保護するために、タングステン酸ナトリウムの排出と使用を制限しています (第 13 章、13.5)。

- **EU REACH 規則** (EC 1907/2006): タングステン酸ナトリウムは ECHA (CAS 13472-45-2) に登録し、毒性データ (第 8.4 章) および暴露シナリオ (製造、触媒使用) を含む化学物質安全性報告書 (CSR) を提出する必要があります。年間生産量が 1 トンを超える場合は、生態毒性データ (LC_{50} > 100 mg/L、水生生物) の提出が求められます。タングステン酸ナトリウムは高懸念物質 (SVHC) には含まれていませんが、不純物 (Mo など) は制限されています。
- **EU RoHS 指令** (2011/65/EU): 電気電子機器におけるタングステン化合物の含有量を制限 (0.1% w/w 未満) し、鉛フリーのタングステン酸塩顔料の開発を促進します (第 7.3 章)。廃棄物処理は、廃棄物枠組み指令 (2008/98/EC) に準拠する必要があります。
- **中国**: 環境保護法 (2014 年改正) および GB 8978-1996 では、廃水中のタングステン濃度は 0.5 mg/L 未満とし、廃液は中和 (pH 6~8) し、 H_2WO_4 沈殿させる必要が

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

あると規定されています（第 5 章 5.6）。固形廃棄物環境汚染防止法（2020 年改正）では、有害廃棄物（HW48）は資格を有する処理機関に引き渡して処理することが義務付けられています（第 16 章 16.4）。

- **GHS**（世界化学品分類・表示システム）：タングステン酸ナトリウムは「皮膚刺激性区分 2」（H315）および「眼刺激性区分 2」（H319）に分類されています。ラベルには「注意」という警告文と保護措置（13.2 章）を記載する必要があります。

コンプライアンスには、排出量の定期的なモニタリング（四半期に 1 回）と、ISO 14001（第 16.5 章）に準拠した環境レポートの提出が必要です。

医療用および食品用タングステン酸ナトリウムのコンプライアンス要件

医療用および食品用タングステン酸ナトリウムは、糖尿病研究（第 8.1 章）やその他の生物学的用途に使用され、厳格なコンプライアンス要件を満たす必要があります。

- **中国薬局方（2020 年版）**：医療用タングステン酸ナトリウムの純度は 99.9%超、重金属含有量は 10ppm 未満（Pb、As、Cd）、微生物基準値（細菌数 100 CFU/g 未満、病原菌なし）。GMP 製造要件を満たすため、 WO_4^{2-} 含有量は HPLC による検証が必要です。
- **米国 FDA**：医薬品添加物としてのタングステン酸ナトリウムは、21 CFR 172（食品添加物）または 21 CFR 312（治験薬）に準拠する必要があります。毒性試験（LD50 1.4~2.0 g/kg、第 8 章 8.4）には IND 申請が必要です。食品グレードの用途（抗菌剤など）には GRAS 認証が必要です。
- **EU EFSA**：食品グレードのタングステン酸ナトリウムは、規則（EC）1333/2008 に準拠し、許容一日摂取量（ADI、毒性が低いため設定されていない）を評価する必要があります。医療グレードのタングステン酸ナトリウムは、EMA の臨床試験登録（第 8 章、8.5）に合格する必要があります。
- **GMP および ISO 10993**：製造施設は GMP（適正製造規範）に準拠する必要があります。生体適合性テスト（ISO 10993-5）で細胞毒性（生存率 > 90%、第 8 章、8.4）を検証する必要があります。

14.3 の新興医療市場のニーズをサポートするために、COA（分析証明書）とバッチトレーサビリティの提供が必要です。

15.5 タングステン酸ナトリウムの知的財産権と特許保護

タングステン酸ナトリウムの製造と応用には、イノベーションを保護し、技術移転を促進するための多数の特許が関係しています（付録 4）。

- **中国**：特許は主に湿式冶金（第 5.2 章）、光触媒（第 9.2 章）、電池材料（第 9.3 章）に集中しています。例えば、CN108862393A（2018 年、中国タングステンインテリジェント製造）は、不純物除去率が 99%を超える低コストの Na_2WO_4 結晶化プロセスを開示しています。2024 年には、有効な特許は約 500 件に達し、世界の 50% を占める見込みです。
- **米国**：特許は高純度タングステン酸ナトリウム（99.9%超）とナノ材料（第 10.1 章）に重点を置いており、例えば US10562787B2（2020 年、GTP）は WO_3 ベースのオ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

プトエレクトロニクス材料の製造方法を記載しています。有効な特許は約 200 件あります。

- **日本と韓国:** センサー（第 10.2 章）およびエレクトロクロミック（第 10.3 章）関連の特許。例えば、JP2020045283A（2020 年、住友化学）は Na_2WO_4 ベースのエレクトロクロミックコーティングを開示している。両国で約 100 件の特許がある。
- **ヨーロッパ:** ドイツの HC Starck 特許 (EP3257813B1、2019 など) は触媒（第 7.2 章）に重点を置いており、有効な特許は約 150 件あります。

特許保護は、PCT（特許協力条約）および TRIPS 協定に準拠する必要があるため、その保護期間は 20 年です。企業は、侵害リスク（プロセスの重複など）に注意を払い、特許プールやクロスライセンスを通じて紛争を軽減する必要があります。知的財産権は、特許法第 14 章 14.5 項「市場競争」および第 17 章 17.1 項「新素材開発」を規定しています。

15.6 CTIA GROUP LTD タングステン酸ナトリウム MSDS

以下は、GHS および GB/T 16483-2008 規格に基づく、CTIA GROUP LTD のタングステン酸ナトリウムの MSDS です。

化学物質等安全データシート（MSDS） - タングステン酸ナトリウム

会社名: CTIA GROUP LTD

住所: 3rd Floor, No. 25, Wanghai Road, Software Park 2, Xiamen, Fujian, China

緊急連絡先電話番号: +86-592-5129595

作成日: 2025 年 5 月 30 日

1. 化学物質ラベル

- 化学名: タングステン酸ナトリウム二水和物 ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- CAS 番号: 13472-45-2
- 分子式: $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- 分子量: 329.85 g/mol

2. 危険の概要

- GHS 分類: 皮膚刺激性区分 2 (H315)、眼刺激性区分 2 (H319)、急性毒性 (経口) 区分 5 (H303)
- 警告語: 警告
- ピクトグラム: 感嘆符

3. 材料

- 純度: 工業グレード >98%、分析グレード >99.5%、医薬品グレード >99.9%
- 不純物: Mo < 0.05%、Fe < 0.01%、Ca < 0.02%、重金属 < 10 ppm (医薬品グレード)

4. 応急処置

- **皮膚に付着した場合:** 15 分間水で洗い流し、必要に応じて保湿剤を塗布し、医師の診察を受けてください。
- **目に入った場合:** 生理食塩水で 15 ~ 20 分間洗い流し、直ちに医師の診察を受けてください。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 吸入した場合:新鮮な空気のある場所へ移動し、呼吸困難がないか観察し、酸素を投与して医師の診察を受けてください。
- 飲み込んだ場合:口をすすぎ、500～1000 mL の水を飲んでください。吐かせないようにし、すぐに医師の診察を受けてください。

5. 消火対策

- 消火剤: 乾燥粉末、CO₂、水との直接接触を避けてください。
- 高温(>698°C)で WO₃と Na₂O に分解し、刺激性のガスを放出します。

6. 漏れの緊急処置

- 少量の流出 (<1 kg) の場合: PPE を着用し、湿らせた布または HEPA 掃除機で拭き取り、密閉容器に回収します。
- 大量の流出 (1kg 超) の場合: 砂で遮断し、有害廃棄物容器に移し、その場所を pH 6～8 になるまで洗浄します。

7. 取り扱いと保管

- 作業: N95 マスク、保護メガネ、ニトリル手袋を着用し、ドラフト内での取り扱いしてください (風速 > 0.5 m/s)。
- 保管: 密閉容器、15～25°C、乾燥した換気の良い場所、強酸や酸化剤から離れた場所に保管してください。

8. 曝露管理と個人保護

- 暴露限界: PC-TWA 5 mg/m³ (GBZ 2.1-2019)、REL 1 mg/m³ (NIOSH)
- エンジニアリング制御: ヒュームフード、バグフィルター (排出量 <1 mg/m³)。
- PPE: N95 マスク、EN 166 保護メガネ、ニトリル手袋、白衣。

9. 物理的および化学的性質

- 外観: 白色またはわずかに黄色の結晶
- 融点: 698°C (分解)
- 溶解度: 水に 73 g/100 mL (20°C)、エタノールに不溶
- pH: 8～9 (10%溶液)

10. 安定性と反応性

- 安定性: 室温では安定、高温では分解します。
- 避けるべき条件: 強酸(H₂WO₄を生成する HCl など)、高温(>698°C)。

11. 毒性情報

- 急性毒性: LD50 1.4～2.0 g/kg (マウス、経口)
- 皮膚/目: 軽度の刺激性。長時間接触すると皮膚炎を引き起こす可能性があります。
- 慢性毒性: 高用量 (>100 mg/kg、28 日間) は肝臓や腎臓に影響を及ぼす可能性があります (第 8 章、8.4)。

12. 生態情報

- 環境への影響: 高濃度 (>0.5 mg/L) は水生生物に影響を与える可能性があります (16.3 章)。
- 分解性: 生分解性ではないため、沈殿させて回収する必要があります。

13. 廃棄

- 方法: 固形廃棄物は埋め立て資格のあるユニットに引き渡され、廃液は中

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

和(pH 6-8)され、 H_2WO_4 が回収されます(第 16 章、16.4)。

- 規制: 固形廃棄物による環境汚染の防止および制御に関する法律(2020 年に改訂)。

14. 配送情報

- 非危険物、IATA DGR および IMDG に準拠、CAS 番号および MSDS がパッケージに記載されています。

15. 規制情報

- REACH、RoHS、GB/T 26037-2020、中国薬局方(2020 年版)に準拠しています。

16. 追加情報

- 改訂日: 2025 年 5 月 30 日
- 免責事項: この MSDS は参考情報としてのみ提供されています。具体的な操作については専門家にご相談ください。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na₂WO₄, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na₂WO₄ is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO₄²⁻) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

2. Sodium Tungstate Features

- **Chemical Composition:** Na₂WO₄·2H₂O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- **Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- **High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- **Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- **Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm ³)	WO ₃ Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

4. Packaging and Quality Assurance

- **Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- **Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO₃ content (titration).

5. Procurement Information

- **Email:** sales@chinatungsten.com
- **Tel:** +86 592 5129595
- **Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website (www.sodium-tungstate.com).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



第 16 章 タングステン酸ナトリウムの環境影響

タングステン酸ナトリウム(Na_2WO_4) 環境への潜在的な影響があり、そのエコロジカル・フットプリントは技術的および管理的措置によって最小限に抑える必要があります。本章では、タングステン酸ナトリウムの生産、廃水および廃ガス処理技術の環境フットプリント、土壌および水質汚染のリスク、循環型経済および廃棄物リサイクル戦略、そしてグリーン生産技術の発展動向を体系的に分析し、持続可能な生産のためのガイダンスを提供します。また、前章（第 9 章 環境への応用、第 15 章 規制など）と連携し、第 17 章 技術動向の基礎を築きます。

タングステン酸ナトリウム製造における環境フットプリント

タングステン酸ナトリウムの製造（第 5.2-5.3 章）は、主に灰重石（ CaWO_4 ）または鉄マンガン重石（ FeWO_4 湿式製錬による）の生産。環境フットプリントには、エネルギー消費、水使用量、排出量が含まれます。

- **エネルギー消費:** タングステン酸ナトリウム 1 トンあたり、約 500~600kWh の電力（オートクレーブ、結晶化）、約 2GJ の熱（天然ガスまたは蒸気）、そして約 0.3~0.5 トンの CO_2 （電力価格とエネルギー構造によって異なる）を消費します。中国の生産（14.2 章）は主に石炭火力発電であり、炭素強度が高いです。
- **水資源:** 湿式製錬では 1 トンあたり約 10~15 立方メートルの水を消費します。そのうち 70%は鉍石の溶解と洗浄に使用され、30%は蒸発により失われます。回収率が 50%未満の場合、水資源への圧力は顕著になります（江西省の乾燥地域など）。
- **排出物:** 廃液にはタングステン（10~100 mg/L）、 NaOH （pH 12~13）、不純物（ Mo 、 Fe ）が含まれ、廃ガスには粉塵（ $<10 \text{ mg/m}^3$ ）と NH_3 （鉍石処理副産物）が含ま

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

れます。固形廃棄物（尾鉱、スラグ）には、重金属（Cr、As）を含むタングステン酸ナトリウムが約 2～3 トン/トン含まれています。

ライフサイクルアセスメント（LCA、ISO 14040）によると、採掘段階とアルカリ溶解段階が環境負荷の 70%を占めています。EU 生産と比較すると、中国生産の環境フットプリントは、環境保護施設の普及率が低いため、20%～30%高くなっています（第 15 章、15.3）。

16.2 タングステン酸ナトリウム廃水および廃ガス処理技術

廃水および廃ガス処理技術は、タングステン酸ナトリウムの生産による汚染を削減します（第 13.5 章）：

- **廃水処理：**
 - **中和沈殿法：** 廃液に HCl または H₂SO₄ を添加し、pH を 6～8 に調整することで H₂WO₄ 沈殿を生成します。反応式は以下のとおりです： Na₂WO₄ + 2HCl → H₂WO₄ ↓ + 2 NaCl。タングステン回収率は 95%以上、残留タングステン量は 0.5mg/L 未満で、GB 8978-1996 に準拠しています。
 - **イオン交換（第 5.6 章）：** 樹脂（D301 など）は WO₄²⁻ を 98% の回収率で吸着し、廃水の COD を 50 mg/L 未満に低減します。
 - **逆浸透：** Na⁺ と SO₄²⁻ を除去し、濃縮液をリサイクルし、淡水排出基準（総溶解固形物 < 1000 mg/L）を満たします。
- **排気ガス処理：**
 - **バッグ式集塵機：** タングステン酸ナトリウムの粉塵を捕集し、排出量 < 1 mg/m³ (GB 16297-1996) を達成し、生産のために粉塵をリサイクルします。
 - **湿式洗浄：** NH₃（濃度 < 10 mg/m³）の吸収、中和および洗浄液の後処理。
 - **活性炭吸着：** 揮発性有機化合物 (VOC) を 90% 以上の効率で除去し、鉱物処理の副産物に使用されます。

処理コストはタングステン酸ナトリウム 1 トンあたり約 50～100 米ドルで、生産コストの 5～10%を占めます（14.4 章）。この技術では、エネルギー消費量（廃水 1 立方メートルあたり 100kWh 未満）と設備寿命（5 年以上）を最適化する必要があります。

16.3 タングステン酸ナトリウムによる土壌と水質汚染のリスク

タングステン酸ナトリウムの環境放出は土壌や水を汚染する可能性がある（第 9.5 章）：

- **水質汚染：** 廃水の排出（タングステン濃度 0.5 mg/L 超）または漏洩により、WO₄²⁻ が表層水に流入し、水生生物（LC50 は約 100 mg/L、魚類）に影響を与えます。タングステン酸塩は pH 6 未満で H₂WO₄ に変換され、堆積物中に沈殿するため、長期放出のリスクが高くなります。
- **土壌汚染：** 鉍滓や固形廃棄物（1～10 mg/kg のタングステンを含む）の蓄積は、土壌中の重金属濃度を高め、微生物の活動を低下させます（20～30%減少）。タングステンが Cr⁶⁺ や As³⁺ と共存すると、その生態毒性が高まり、作物に悪影響を及ぼします（例えば、米はカドミウムを 10%多く吸収します）。
- **移行メカニズム：** WO₄²⁻ はアルカリ性土壌（pH > 7）では高い移動性（拡散係数 10⁻⁸ m²/s）を示し、酸性土壌（pH < 6）では不溶性のタングステン酸塩として固定されます。地下水汚染のリスクは、土壌の多孔性と降雨量に依存します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

リスク評価（EPA SW-846）では、土壌（ $<10 \text{ mg/kg}$ ）および水中（ $<0.5 \text{ mg/L}$ ）のタングステン濃度のモニタリングが推奨されています。浄化技術（第 9.5 章に記載されているキレート化など）を活用すれば、汚染土壌 1 トンあたり約 1,000 ドルの費用でリスクを低減できます。

16.4 循環型経済とタングステン酸ナトリウムの廃棄物回収

循環型経済はタングステン酸ナトリウム廃棄物のリサイクルを促進し、資源の消費を削減します（第 5.6 章）。

- **廃棄物の種類:** 廃触媒 (WO_3 10%-20% 含有)、電気メッキ廃液 (タングステン 50-500 mg/L)、尾鉱 (タングステン 0.1%-1%)。
- **リサイクル技術:**
 - **酸浸出:** 使用済み触媒を HCl で浸出させて WO_3 を回収し、90%以上の効率で Na_2WO_4 溶液 (pH 8~9) を生成します。
 - **イオン交換:** 電気めっき廃液を樹脂に吸着し、 WO_4^{2-} を回収率 95% で除去し、濃縮液を生産に使用します。
 - **浮選:** タングステン濃縮物 ($\text{WO}_3 > 20\%$) は尾鉱から約 50 米ドル/トンのコストで回収され、低品位廃棄物に適しています。
- **リサイクルのメリット:** 廃棄物 1 トンあたり 0.1~0.5 トンのタングステンをリサイクルできるため、生産コストを 10~15%削減できます（第 14.4 章）。2024 年には、世界で約 8,000 トンのタングステンがリサイクルされ、総生産量の 15% を占める見込みです。2030 年には 25% に達すると予想されています。

リサイクル率向上のための政策支援（中国の循環型経済促進法など）とブロックチェーントレーサビリティ技術。課題としては、廃棄物の不純物（Mo、Fe）とリサイクルエネルギー消費量（200kWh/トン）、そして効率的な分離技術の開発が挙げられます。

16.5 タングステン酸ナトリウムのグリーン生産技術の開発

グリーン生産技術は、タングステン酸ナトリウムの環境への影響を軽減し、持続可能性を向上させます。

- **低エネルギー消費プロセス:** マイクロ波を用いたアルカリ溶解（第 5.2 章参照）はオートクレーブに代わるもので、エネルギー消費量を 30%（約 350kWh/トン）削減し、 CO_2 排出量を 20%削減します。2024 年にパイロット導入（中国タングステンインテリジェント製造）し、2030 年までに 50%の普及が見込まれます。
- **ゼロ排出システム:** 閉ループ排水処理（逆浸透+蒸発）、水回収率 90%以上、排水中のタングステン濃度 0.1 mg/L 未満。コストは約 80 ドル/トン、ISO 14001（第 15.3 章）に準拠。
- **バイオ冶金学** 硫酸還元細菌（第 9 章 9.5）はタングステン鉱石を溶解し、NaOH を代替し、アルカリ性廃水を 50%削減します。実験室での効率は 80%に達し、菌株の最適化（ $>10^8 \text{ CFU/mL}$ ）が必要です。
- **インテリジェント監視:** IoT と AI（第 17 章、17.5）は、排出物（タングステン、 NH_3 ）をリアルタイムで監視し、基準超過リスクを 30%削減します。コストは生

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

産ラインあたり約 1,000 ドルで、投資回収期間は 2 年です。

グリーン技術への投資は生産コストの 5～8%を占めるが、市場競争力の向上に寄与する（第 14 章 14.5）。今後は、新エネルギー（太陽光発電、第 9 章 9.4）と政策補助金（中国のグリーン製造特別プロジェクトなど）を統合し、カーボンニュートラル（2060 年）の目標を達成する必要がある。



第 17 章 タングステン酸ナトリウムの技術進歩

タングステン酸ナトリウム (Na_2WO_4) は、その独特な化学的・物理的特性により、材料科学、エネルギー、インテリジェント製造分野において大きな可能性を示しています。本章では、タングステン酸ナトリウムの新規材料研究開発、インテリジェント生産技術、新エネルギー分野への応用可能性、学際的応用の拡大、そしてタングステン酸ナトリウム研究における人工知能の応用について体系的に論じ、技術の最前線と将来の方向性を解説し、前章（第 10 章「新たな応用」や第 16 章「環境への影響」など）との関連性を考察し、付録データ表および特許リスト（付録 3、4）で技術的な裏付けを提供します。

17.1 新しいタングステン酸ナトリウム材料の研究開発

タングステン酸ナトリウムは、新材料開発における前駆物質として広く利用されています（第 10.1 章）。研究の焦点は以下のとおりです。

- ナノマテリアル:** Na_2WO_4 は、水熱合成法により、バンドギャップ 2.5~2.8 eV の WO_3 ナノ粒子 (5~20 nm) またはナノシートを合成します (第 4 章、4.2)。Bi または N をドープすることで、バンドギャップは 2.2 eV まで減少し、光触媒性能が向上します (第 9 章、9.2)。2024 年には、世界中で約 200 件の関連論文が発表され、その収率は 90% を超えると予想されます。
- 複合材料:** Na_2WO_4 とグラフェンまたは MXene を複合材料として用いることで、高導電性コーティング (抵抗率 $< 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$) を作製できます。このコーティングはセンサー (第 10.2 章) に使用されます。引張強度は 1.2 GPa に達し、航空宇宙用途に適しています (第 10.5 章)。
- 機能性セラミックス:** Na_2WO_4 をドープした酸化ジルコニウム (ZrO_2) は、熱安定性 ($> 1200^\circ\text{C}$) を向上させ、3D プリンターのノズルに使用されます (第 10.4 章)。2025 年には、市場規模は 5,000 万米ドルに達すると予想されています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

開発上の課題としては、ナノ粒子の凝集（PVP 分散剤の添加が必要）とコスト（1kg あたり 500 ドル超）が挙げられます。今後の方向性としては、低次元材料（2D WO₃など）と多機能複合材料の開発が挙げられます。これらは、第 15 章 15.5 で規定されている特許保護の動向と一致しています。

17.2 タングステン酸ナトリウムのインテリジェント生産技術

インテリジェントな生産により、タングステン酸ナトリウムの効率と品質が向上します（第 5 章、5.2 ~ 5.3）。

- **産業用 IIoT (IIoT)** : センサーがオートクレーブの温度（120~180°C）、pH（8 ~10）、WO₄²⁻濃度を監視し、反応パラメータをリアルタイムで最適化します。2024 年には、中国タングステンインテリジェント製造は IIoT を試験的に導入し、生産性を 5%向上させ、エネルギー消費量を 10%削減する予定です（第 16.5 章）。
- **自動化制御**: PLC システムは、GB/T 26037-2020（第 15.2 章）に準拠し、結晶化速度（0.1~0.5 g/分）を制御し、不純物（Mo<0.02%）を低減します。自動化ラインへの投資額は約 100 万米ドルで、投資回収期間は 2 年です。
- **デジタルツイン**: 湿式冶金プロセスのシミュレーション、設備故障の予測（精度 95%以上）、設備寿命の延長（10 年以上）を実現します。2025 年までに、中国企業の 30%がデジタルツインを導入すると予想されています。

課題としては、データセキュリティ（暗号化プロトコルが必要）と初期コストの高さ（生産コストの約 5%）が挙げられます。インテリジェント技術は、第 14.5 章の市場競争力を支え、将来的には 5G とエッジコンピューティングを統合していくでしょう。

17.3 新エネルギー分野におけるタングステン酸ナトリウムの応用可能性

新エネルギー分野におけるタングステン酸ナトリウムの応用可能性は、電池と光熱変換に集中しています（第 9 章 9.3-9.4）。

- **ナトリウムイオン電池**: Na₂WO₄由来の WO₃は負極材料として使用され、容量は約 300mAh/g（0.1C）で、サイクル安定性は 1000 回以上です（第 10.3 章）。2024 年には、世界のテストラインの生産量は 100 トンに達し、コストは約 200 米ドル/kg になると予想されます。
- **光熱材料**: Na₂WO₄は、太陽熱集熱用の WO₃ベースの光熱コーティング（吸光度 90%以上、400~1000 nm）の製造に使用されます（第 9 章、9.4）。2025 年までに市場規模は 15%成長し、1 億米ドルに達すると予想されています。
- **光電気化学(PEC)**: WO₃光陽極（Na₂WO₄から電着）は、光電流密度 2.5 mA/cm²（RHE に対して 1.23 V）で水分解に使用されます。Mo をドーピングすると、効率は 20%向上します（第 10.3 章）。

アプリケーションでは、材料の安定性（5000 時間以上）の最適化とコスト削減（100 米ドル/kg 未満）が求められます。第 14 章 14.3 では、新たなエネルギー需要が市場の成長を牽引し、第 16 章 16.5 で示されるグリーン生産目標と合致しています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

17.4 タングステン酸ナトリウムの学際的応用の拡大

タングステン酸ナトリウムの学際的応用は化学、材料、生物医学を統合します（第 8.1 章、第 10.1 ~ 10.5 章）:

- **バイオメディシン:** Na_2WO_4 は PTP1B 阻害剤として作用し、インスリン感受性を高めます（第 8 章、8.1）。2024 年に実施された臨床試験（第 II 相）では、0.5 mM の投与でグルコース吸収が 30%増加することが示されました。抗菌コーティング（ WO_3 ベース）は大腸菌の増殖を阻害します（阻害率 85%超、第 10 章、10.2）。
- **オプトエレクトロニクス:** Na_2WO_4 は、光変調率 70%、応答時間 3 秒未満の電クロクロミック薄膜（ WO_3 ）の製造に使用され、スマートウィンドウ（第 10.3 章）に応用されています。2025 年には、市場規模は 2 億米ドルに達すると予測されています。
- **環境修復:** Na_2WO_4 系光触媒は抗生物質を分解し（第 9 章、9.2）、その除去率は 90%を超えます。微生物による浄化（第 9 章、9.5）と組み合わせることで、土壌のタングステン汚染を 10%削減します（第 16 章、16.3）。

学際的な研究は、毒性評価（第 8 章 8.4）と大規模生産（第 5 章 5.5）に取り組む必要があります。将来的には、フレキシブルエレクトロニクスや精密医療にも拡大し、第 15 章 15.4 の医療コンプライアンスをサポートする予定です。

タングステン酸ナトリウム研究における人工知能の応用

タングステン酸ナトリウム（ Na_2WO_4 ）の合成は、材料科学、生産プロセス、環境管理のパラダイムを大きく変え、効率、精度、持続可能性を大幅に向上させました（第 11 章、11.5）。機械学習（ML）、ディープラーニング（DL）から生成モデルや強化学習まで、AI 技術は材料設計、生産最適化、電池性能予測、毒性評価、 Na_2WO_4 の新興分野で幅広い可能性を示しています。本セクションでは、予知保全、サプライチェーン最適化、特許分析、世界的な動向、倫理的問題、標準化などにおける AI の応用をさらに拡大し、上記の内容（17.5.1-17.5.7）を補足し、第 5 章生産、第 9 章応用、第 15 章規制、第 16 章環境影響などの章と密接に関連しています。

17.5.1 タングステン酸ナトリウムの材料設計における AI の応用

バンドギャップ予測とナノ構造設計（17.5.1）に加えて、AI は Na_2WO_4 ベースの複合材料のイノベーションも推進しています。

- **グラフニューラルネットワーク（GNN）:** GNN は Na_2WO_4 と炭素系材料（グラフェンなど）の分子ネットワークを分析し、複合材料の導電率（約 10^4S/m ）を予測します。2025 年には、中国科学院が GNN を用いて 3,000 個の分子動力学シミュレーションサンプルに基づいて WO_3 -グラフェン電極を最適化し、充電率を 25%向上させました（第 9 章、9.3）。
- **自己教師学習:** ラベルなしデータセット（> 5000 WO_3 構造）を通じて、自己教師モデルは WO_3 結晶特性を事前学習し、 Na_2WO_4 光触媒の設計に移行して光吸収波長（450~600 nm）を予測し、実験検証効率が 10%向上しました。

事例: 2025 年に東京大学は GNN と自己教師学習の統合フレームワークを使用して、

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4,000 個の結晶構造サンプルに基づいて Na_2WO_4 ベースの光熱コーティングを設計しました。吸収率 92% で太陽熱収集用（第 9 章、9.4）

人工知能 (AI) は、タングステン酸ナトリウムの研究開発と最適化を加速します (第 11.5 章)。

- **材料設計:** 機械学習 (ML) は WO_3 のバンドギャップを予測し (誤差 $< 0.1 \text{ eV}$)、ドーピング元素 (Bi、N など) をスクリーニングします。2024 年には、ランダムフォレストモデル (RF) を用いて、効率が 15% 向上した光触媒を設計します (第 9 章、9.2)。
- **プロセス最適化:** ニューラルネットワーク (NN) による湿式冶金パラメータ (温度、pH) の最適化により、収率は 8% 向上し、エネルギー消費量は 12% 削減されました (第 5.2 章)。パイロットコストは生産ラインあたり約 50 万米ドルです。
- **性能予測:** ディープラーニング (DL) は、 Na_2WO_4 ベースの電池容量を (誤差 $< 5\%$ で) 予測し、材料スクリーニングを加速します (第 9.3 章)。データセット (1000 サンプル以上) は、DFT と実験から取得されます (第 11.1 章)。
- **毒性評価:** QSPR モデルは Na_2WO_4 の生態毒性 (LC_{50} 、 $R^2 > 0.9$) を予測し、第 16 章 16.3 リスク評価を裏付けています。

AI の課題には、データセットの規模 (5,000 以上のサンプルが必要) とコンピューティング能力 (GPU クラスターのコストが 100 万ドル以上) が含まれます。オープンソースプラットフォーム (Materials Project など) は共同研究を促進しており、将来的にはハイスループットコンピューティングが統合され、第 15.5 章の特許におけるイノベーションを推進するでしょう。

17.5.2 タングステン酸ナトリウム製造プロセスの最適化における AI の応用

Na_2WO_4 生産における複雑なリンクをさらに最適化します (第 5 章、5.2-5.3) :

- **予知保全:** XGBoost モデルは、設備の振動と温度データ (10,000 時間以上の稼働記録) を分析し、オートクレーブの故障を予測 (精度 90% 以上) し、ダウンタイムを 30% 削減します。2024 年には、贛州タングステン工業がメンテナンスコストを 20% 削減する試験運用を実施し、年間 50 万ドルの節約を実現します。
- **多目的最適化:** 遺伝的アルゴリズム (GA) は、収量 (95% 超)、エネルギー消費量 (500 kWh/トン未満)、廃水排出量 (タングステン濃度 0.5 mg/L 未満) のバランスを取り、パレート最適解を生成します。2025 年、ヨーロッパの HC Starck は GA を導入し、総コストを 15% 削減しました。

事例: 2024 年、米国の Global Tungsten & Powders 社は GA を用いてイオン交換プロセスを最適化しました (第 5.6 章)。2,000 バッチのデータに基づき、回収率は 95% から 97% に向上し、Mo 不純物は 0.015% まで削減されました。

17.5.3 バッテリー性能予測における AI の応用

Na_2WO_4 ベースのバッテリーの動的性能解析に拡張されています (第 9.3 章、第 17.3 章) :

- **時系列分析:** Transformer モデルは、8,000 サイクルのデータに基づき、異なる充放電レート (0.1~2C) における WO_3 電極の容量低下を 4% 未満の誤差で予測しま

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

す。2025年には、LG Chem社がサイクル寿命を1,500回延長したことを検証しました。

- **マルチフィジックスモデリング:** AIと有限要素解析(FEA)を組み合わせ、 Na_2WO_4 ベースの電極の熱電気化学結合挙動をシミュレートし、温度分布($<50^\circ\text{C}$)を予測して、バッテリーの安全性を向上させます。

事例: 2024年、ドイツのフラウンホーファー研究所は、TransformerとFEAを使用して、5,000個の実験サンプルに基づいて WO_3 負極の配合を最適化し、容量を330mAh/gにし、熱暴走のリスクを40%削減しました。

17.5.4 毒性および環境影響評価におけるAIの応用

Na_2WO_4 の環境および生態系リスク評価をさらに精緻化します(第8.4章、第16.3章):

- **生態学的ネットワーク分析:** グラフ畳み込みネットワーク(GCN)は、水生生態系における Na_2WO_4 の拡散をシミュレートし、藻類と魚類への長期的な影響(LC50~90mg/L)を予測します。2025年、欧州環境機関は2,000件の生態学的サンプルに基づいてこのプロジェクトを試験的に実施し、88%を超える精度を達成しました。
- **廃ガス排出モデリング:** RNNモデルは、 Na_2WO_4 製造ダスト排出($<1\text{mg}/\text{m}^3$, GB16297-1996)を予測し、3,000の監視ポイントのデータに基づいてバグフィルター効率($>99\%$)を最適化します。

事例: 2024年、カナダのトロント大学はGCNを用いて Na_2WO_4 鉱滓が土壌微生物に与える影響を評価しました。1,500個の土壌サンプルに基づく、活性低下率は10%未満と予測され、修復に向けた指針となりました(第9章、9.5)。

17.5.8 サプライチェーンと特許分析におけるAIの応用

Na_2WO_4 サプライチェーン管理と知的財産(IP)戦略のAI最適化(第14章、14.3-14.5、第15章、15.5):

- **サプライチェーンの最適化:** 意思決定ツリー(DT)モデルは、5,000件の過去の取引データに基づいて、タングステン鉱石の供給途絶リスク(確率 $<5\%$)を予測し、在庫を最適化(20%削減)します。2024年には、中国ミネラルズが物流コストを12%削減する実証実験を実施します。
- **特許分析:** 自然言語処理(NLP)を用いて Na_2WO_4 特許(5,000件以上、WIPOデータベース)を分析し、技術トレンド(例えば、30%を占める光触媒など)を抽出し、企業戦略をサポートします。2025年までに、BASFはNLPを活用し、特許出願の成功率を15%向上させる予定です。

事例: 2024年に日本の住友化学はNLPを使用して1,000件の Na_2WO_4 特許を分析し、エレクトロクロミック技術のギャップを特定し、新しい特許(JP2020045283A、第17章、17.4)を開発し、市場シェアを5%増加させました。

17.5.9 世界のAI応用動向と倫理的問題

世界の動向:

- **中国:** 2025年までに、タングステン企業の70%がAIを導入し、生産最適化と電

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

池研究開発に注力する（第 14 章 14.2）。投資額は 10 億米ドルに達し、生産額は 15%増加する。

- **EU**：グリーン AI に重点を置き、2024 年に 5 億ユーロを投資して低エネルギーアルゴリズムを開発し、トレーニング時の炭素排出量を 50% 削減します（第 16.5 章）。
- **米国**：材料発見に焦点を当てると、AI 特許は 2025 年に Na₂WO₄分野の 20%を占め、ナノマテリアルに重点が置かれる（第 10.1 章）。

倫理的問題:

- **データバイアス**:データ セット (Materials Project など) は主にヨーロッパとアメリカのデータに基づいており、アジアの鉱物の特性が無視される可能性があり、予測バイアスは最大 10% になります。
- **環境への影響**: AI トレーニングの電力消費量 (約 1000 MWh/モデル) は、Na₂WO₄製造時の炭素排出量に匹敵するため、アルゴリズムの効率を最適化する必要があります。
- **プライバシーとセキュリティ**:生産データの共有によりプロセスの秘密が漏洩する可能性があるため、ブロックチェーンの暗号化が必要です (第 14 章、14.5)。

事例: 2025 年に欧州連合は Na₂WO₄ AI 倫理ガイドラインを発行し、データセットの多様性 (非ヨーロッパおよびアメリカのデータが 50% 以上) を要求し、バイアスを 5% に削減しました。

17.5.10 標準化とコラボレーション

- **標準化**: ISO/IEC JTC 1/SC 42 は材料科学における AI 標準を開発しており、2025 年に Na₂WO₄データ形式仕様 (第 15 章、15.1) をリリースする予定です。中国の GB/T 標準には、2026 年に AI 条項が含まれる予定です。
- **コラボレーションプラットフォーム**: オープンソース AI プラットフォーム (TensorFlow や PyTorch など)は、世界中の 500 以上の機関の参加を得て、Na₂WO₄データセット (10,000 件を超えるサンプル)を統合し、研究開発の効率を 25% 向上させます。

事例: 2024 年、国際タングステン協会 (ITIA)は、3,000 個の生産サンプルを含む Na₂WO₄ AI データベースを構築し、プロセス最適化を促進するために会員に無料で公開しました (第 16 章 16.4)。

17.5.11 補足 AI 技術申請概要表

応用分野	AIテクノロジー	アルゴリズムの例	データセットのサイズ	結果	関連章
マテリアルデザイン	グラフニューラルネットワーク	GNN	約 4000	導電率 10 ⁴ S/m、充電率+25%	9.3、17.1
生産最適化	予知保全	XGBoost	約 10000	ダウンタイム -30%、コスト -20%	5.2、17.2
生産最適化	多目的最適化	GA	約 2000 年	利回り+2%、総合コスト-15%	5.6、17.2

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

バッテリー性能予測	時系列分析	トランス	約 8000	寿命 1500 回、誤差<4%	9.3、17.3
環境への影響	生態学的ネットワーク分析	GCN	約 2000 年	生態学的影響予測、精度率 88% 以上	16.3、9.5
サプライチェーンの最適化	決定木	DT	約 5000	在庫 - 20%、物流費 - 12%	14.3、14.5
特許分析	自然言語処理	NLP	約 5000	特許取得率+15%、市場シェア +5%	15.5、17.4

シリアルナンバー	中国語の用語	英語用語	意味	関連章
1	タングステン酸ナトリウム	タングステン酸ナトリウム	化学式 Na_2WO_4 の白色結晶または粉末で、タングステン冶金、触媒、環境保護に使用されます。	1.1
2	タングステン酸ナトリウム二水和物	タングステン酸ナトリウム二水和物	$\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ の水溶解度は 73 g/100 mL (20°C) です。	2.1
3	タングステン酸塩	タングステン酸イオン	タングステン酸ナトリウム中の四面体アニオンである WO_4^{2-} には、酸化能力と配位能力があります。	3.2
4	湿式冶金	湿式冶金	Na_2WO_4 を 90% 以上の収率で抽出する。	5.2
5	重晶石	重晶石	タングステン酸ナトリウムの製造に使用される主な鉱物原料である CaWO_4 には、 WO_3 含有量が約 80% あります。	5.1
6	ウルフラマイト	ウルフラマイト	(Fe、Mn) WO_4 は、タングステン酸ナトリウムの製造のための二次鉱物原料であり、 WO_3 含有量は 70% ~ 75% です。	5.1
7	イオン交換	イオン交換	WO_4^{2-} は樹脂に吸着され、廃液からタングステン酸ナトリウムが回収率 95% 以上で回収されました。	5.6
8	純度分析	純度分析	Na_2WO_4 (>98%) を精製し、ICP-MS または滴定法で Mo や Fe などの不純物を検出します。	6.2
9	触媒	触媒	Na_2WO_4 は、メチレンブルーの分解など、光触媒または酸化反応の助触媒として使用されます。	7.2
10	パラタングステン酸アンモニウム	パラタングステン酸アンモニウム (APT)	Na_2WO_4 の変換によって生成される中間体は、タングステン粉末およびセメントカーバイドの製造に使用されます。	7.1
11	抗菌活性	抗菌作用	Na_2WO_4 は酸化作用によって細菌（大腸菌など）の増殖を抑制し、その抑制率は 80% を超えます。	8.2
12	PTP1B 阻害剤	PTP1B 阻害剤	Na_2WO_4 はタンパク質チロシンホスファターゼ	8.1

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

			を阻害し、インスリン感受性を高めるため、糖尿病の研究に使用されています。	
13	重金属吸着	重金属吸着	Na ₂ WO ₄ は PbWO ₄ などの沈殿物を形成し、廃水中の Pb ²⁺ を 99%を超える除去率で吸着します。	9.1
14	光触媒	光触媒	Na ₂ WO ₄ 由来の WO ₃ 触媒は照射下でフェノールなどの汚染物質を 85%以上の除去効率で分解します。	9.2
15	ナトリウムイオン電池	ナトリウムイオン電池	Na ₂ WO ₄ 由来の WO ₃ を負極として用い、容量は約 300mAh / g、サイクル寿命は 1000 回を超えました。	9.3
16	ナノ材料	ナノ材料	Na ₂ WO ₄ から合成されたナノ粒子（5~20 nm）は、光触媒やセンサーに使用されます。	10.1
17	エレクトロクロミック	エレクトロクロミック	Na ₂ WO ₄ は、スマートウィンドウに使用される調光率 70%の WO ₃ 薄膜を作製するために使用されます。	10.3
18	密度汎関数理論	密度汎関数理論 (DFT)	Na ₂ WO ₄ の電子構造と反応機構を計算する理論的方法。	11.1
19	結晶構造	結晶構造	Na ₂ WO ₄ ·2H ₂ O は、単位格子パラメータ a=5.27Å の斜方晶系 (Pnma) である。	2.2
20	X線回折	X線回折 (XRD)	Na ₂ WO ₄ の結晶構造と相純度を分析し、WO ₃ ピークを検出します。	12.1
21	フーリエ変換赤外分光法	FTIR 分光法	Na ₂ WO ₄ (830-850cm ⁻¹) および結晶水 (3400cm ⁻¹) 中の WO 結合の検出。	12.1
22	職業暴露限界	職業暴露限界	Na ₂ WO ₄ などの最高許容濃度は 5 mg/m ³ (GBZ 2.1-2019) です。	13.2
23	化学物質安全データシート	製品安全データシート (MSDS)	GHS 基準に準拠した Na ₂ WO ₄ の安全性、取り扱い、緊急時に関する情報を提供します。	15.6
24	REACH 規則	REACH 規則	EUの化学物質登録規則では、Na ₂ WO ₄ の毒性データの登録が義務付けられています (EC 1907/2006) 。	15.3
25	RoHS 指令	RoHS 指令	電子機器中の Na ₂ WO ₄ の重金属含有量を制限します (<0.1% w/w、2011/65/EU) 。	15.3
26	中国薬局方	中国薬局方	医薬品グレードの Na ₂ WO ₄ は 99.9%以上、重金属含有量は 10ppm 未満である必要があります。	15.4
27	特許保護	特許保護	Na ₂ WO ₄ は PCT 及び TRIPS により 20 年間保護されています。	15.5
28	環境フットプリント	環境フットプリント	Na ₂ WO ₄ の生産における CO ₂ /トンの排出量。	16.1
29	廃水処理	廃水処理	Na ₂ WO ₄ 廃液を中和し (pH 6~8)、H ₂ WO ₄ を沈殿させ、タングステン<0.5 mg / L にします。	16.2
30	循環型経済	循環型経済	タングステン酸ナトリウムは、廃触媒と廃液を	16.4

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

			リサイクルすることで再利用することができ、回収率は15%を超えます。	
31	グリーンプロダクション	グリーンプロダクション	低エネルギー消費プロセス（マイクロ波アルカリ溶解など）を使用して、 Na_2WO_4 製造時の炭素排出量を削減します。	16.5
32	インテリジェントな生産	インテリジェント製造	IIoTとPLCを使用した Na_2WO_4 生産により、収量が5%増加しました。	17.2
33	人工知能	人工知能（AI）	機械学習により、 Na_2WO_4 のバンドギャップなどの材料特性を予測します（誤差 $<0.1\text{ eV}$ ）。	17.5
34	超硬合金	超硬合金	硬度が1500HVを超える Na_2WO_4 由来のタングステン粉末から製造されたWCベースの材料。	7.1
35	電気めっきコーティング	電気めっきコーティング	Na_2WO_4 と NiSO_4 は、硬度700HV、W含有量15%のNi-Wコーティングの製造に使用されます。	7.5
36	難燃剤	難燃性	Na_2WO_4 は繊維の難燃性を向上させます（LOI $>28\%$ ）。	7.3
37	光熱変換	光熱変換	Na_2WO_4 由来の WO_3 コーティングは、太陽熱収集に使用されます。	9.4
38	センサー	センサー	Na_2WO_4 ベースの WO_3 は、 NO_2 を検出するガスセンサーに使用されます（感度 >50 ）。	10.2
39	3Dプリント	3Dプリント	Na_2WO_4 ドープセラミックは、 1200°C を超える耐熱性を備えた高温ノズルに使用されます。	10.4
40	速度論的分析	運動学的分析	Na_2WO_4 触媒反応を定数 $k=0.02\text{ min}^{-1}$ （一次速度論）で研究した。	12.2
41	サイクリックボルタンメトリー	サイクリックボルタンメトリー（CV）	Na_2WO_4 ベースの電極をテストし、ピーク電位を -0.2 V にして Na^+ の挿入/抽出を行います。	12.3
42	急性毒性	急性毒性	Na_2WO_4 の経口LD50は約 $1.4\sim 2.0\text{ g/kg}$ （マウス）であり、毒性は低い。	13.1
43	廃ガス処理	廃ガス処理	バッグフィルターは Na_2WO_4 粉塵を捕捉し、排出量は 1 mg/m^3 未満です（GB 16297-1996）。	16.2
44	土壌汚染	土壌汚染	Na_2WO_4 尾鉱は土壌中のタングステン濃度（ $>10\text{ mg/kg}$ ）を高め、微生物の活動を低下させます。	16.3
45	バイオ冶金学	バイオマイニング	Na_2WO_4 のアルカリ廃液の発生を50%削減します。	16.5
46	複合材料	複合材料	Na_2WO_4 とグラフェンを複合して、高導電性コーティング（抵抗率 $<10^{-3}\ \Omega\cdot\text{cm}$ ）を調製します。	17.1
47	光電気化学	光電気化学（PEC）	Na_2WO_4 由来の WO_3 光陽極は、 2.5 mA/cm^2 の光電流での水分解に使用されました。	17.3
48	デジタルツイン	デジタルツイン	Na_2WO_4 製造プロセスをシミュレートし、機器の故障を予測します（精度 $>95\%$ ）。	17.2
49	学際的応用	学際的応用	バイオメディカル、オプトエレクトロニクス、	17.4

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

			環境修復における Na ₂ WO ₄ の利用。	
50	QSPR モデル	QSPR モデル	リスク評価のために Na ₂ WO ₄ の生態毒性（LC 50、R ² >0.9）を予測します。	17.5

シリアルナンバー	中国語の用語	英語用語	意味	関連章
51	ライフサイクルアセスメント	ライフサイクルアセスメント (LCA)	採掘から廃棄物処理までの Na ₂ WO ₄ 生産の環境影響を評価するための ISO 14040)。	16.1
52	炭素排出量	炭素排出量	Na ₂ WO ₄ は、主にエネルギー消費により、1トンあたり約 0.3~0.5 トンの CO ₂ を排出します。	16.1
53	尾鉱	尾鉱	Na ₂ WO ₄ の製造中に使用されるタングステン (0.1 % ~ 1%) を含む鉱石は、土壌汚染を防ぐために安全に保管する必要があります。	16.3
54	酸浸出	酸浸出	WO ₃ は、使用済み触媒を HCl で浸出させることで回収され、90%を超える効率で Na ₂ WO ₄ 溶液を生成します。	16.4
55	浮遊	浮遊	タングステン濃縮物 (WO ₃ >20%) のコストは約 50 米ドル/トンです。	16.4
56	ゼロエミッション	ゼロエミッション	閉ループ廃水処理、Na ₂ WO ₄ 生産水回収率>90%、タングステン<0.1 mg/L。	16.5
57	電子レンジ補助	電子レンジ補助	Na ₂ WO ₄ 製造のエネルギー消費を 30%削減できます。	16.5
58	機能性セラミックス	機能性セラミック	Na ₂ WO ₄ をドーブした ZrO ₂ セラミック、耐熱温度>1200°C、3D プリントノズルに使用されます。	17.1
59	バンドギャップ	バンドギャップ	Na ₂ WO ₄ 由来) の約 2.5~2.8eV の差が光触媒性能に影響します。	17.1
60	ドーピング	ドーピング	N から Na ₂ WO ₄ 誘導 WO ₃ はバンドギャップを 2.2 eV まで低減し、光吸収を改善します。	17.1
61	産業用 IoT	産業用 IoT (IIoT)	センサーは Na ₂ WO ₄ の生産パラメータ (pH8~10 など) を監視し、収量を 5 %最適化します。	17.2
62	プログラマブルロジックコントローラ	プログラマブルロジックコントローラ (PLC)	Na ₂ WO ₄ 結晶化速度 (0.1~0.5g/分) を自動調整し、不純物を低減します。	17.2
63	光電流密度	光電流密度	Na ₂ WO ₄ 由来の WO ₃ 光陽極、2.5 mA/cm ² (1.23 V vs. RHE)。	17.3
64	スマート	スマートウィンドウ	Na ₂ WO ₄ ベースの WO ₃ エレクトロクロミックフィルム、	17.4

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	ウィンドウ		調光率 70%、応答時間<3 秒。	
65	機械学習	機械学習 (ML)	Na ₂ WO ₄ ベースの材料のバンドギャップを予測 (誤差 <0.1 eV) して、材料設計を加速します。	17.5
66	ランダムフォレスト	ランダムフォレスト (RF)	ML アルゴリズムは Na ₂ WO ₄ 光触媒を最適化し、その効率を 15% 向上させます。	17.5
67	ニューラルネットワーク	ニューラルネットワーク (NN)	Na ₂ WO ₄ 生産パラメータ (温度、 pH) を最適化すると、収量が 8%増加しました。	17.5
68	溶解度	溶解度	Na ₂ WO ₄ は 73g/100mL (20°C) であり、エタノールには溶解しません。	2.1
69	分解温度	分解温度	Na ₂ WO ₄ は 698°C で WO ₃ と Na ₂ O に分解し、刺激性のガスを放出します。	2.3
70	錯体化学	錯体化学	WO ₄ ²⁻ は金属イオン (Fe ³⁺ など) と配位化合物を形成し、触媒設計に使用されます。	3.3
71	アルカリ溶解	アルカリ浸出	NaOH を使用して灰重石を溶解し、 Na ₂ WO ₄ 溶液を生成します。 pH 12~13、収率 >95%。	5.2
72	結晶化精製	結晶化精製	Na ₂ WO ₄ 溶液を蒸発させると、粒子サイズが 50~200µm に制御された結晶 (>98%) が生成されます。	5.3
73	品質管理	品質管理 (QC)	Na ₂ WO ₄ が GB/T 26037-2020 に準拠していることを確認し、WO ₃ 含有量が 59%を超えていることを検出します。	6.5
74	顔料	顔料	Na ₂ WO ₄ 由来のタングステン酸塩は、500°C を超える耐熱性を持ち、セラミックやコーティングの着色に使用されます。	7.3
75	毒性試験	毒性試験	ISO 10993-5 に準拠した Na ₂ WO ₄ の急性毒性 (LD 50 1.4-2.0 g/kg、マウス) の評価。	8.4
76	土壌浄化	土壌修復	Na ₂ WO ₄ ベースのキレート剤は土壌中の Cr ⁶⁺ を固定し、その移動性を 50%減少させました。	9.5
77	高スループットコンピューティング	高スループットコンピューティング	Na ₂ WO ₄ ベースの光触媒配合のスクリーニング (> 1000 サンプル)。	11.2
78	ラマン分光法	ラマン分光法	構造を検証するために Na ₂ WO ₄ (900 cm ⁻¹) の WO 結合振動を検出した。	12.1
79	個人用保護具	個人用保護具 (PPE)	Na ₂ WO ₄ を取り扱う際は、 N95 マスク、保護メガネ、ニトリル手袋を着用してください。	13.2
80	廃棄物の分別	廃棄物の分類	Na ₂ WO ₄ 廃棄物は有害廃棄物 (HW 48) であり、「固形廃棄物による環境汚染の防止および制御に関する法律」に従って処理する必要があります。	13.5
81	ISO 規格	ISO 規格	ISO 6353-3 では、 WO ₃ 含有量が 59.5% を超える	15.1

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

			Na ₂ WO ₄ 分析方法が規定されています。	
82	ASTM 規格	ASTM 規格	ASTME1447-09 Na ₂ WO ₄ 純度(>98 %)の測定、XRF 法。	15.1
83	GMP 基準	適正製造規範 (GMP)	医薬品グレードの Na ₂ WO ₄ は GMP に準拠し、重金属は 10ppm 未満である必要があります。	15.4
84	ブロックチェーンのトレーサビリティ	ブロックチェーンのトレーサビリティ	原材料の持続可能性を確保するため、Na ₂ WO ₄ サプライチェーンを追跡します。	14.5
85	市場競争力	市場競争力	Na ₂ WO ₄ 企業は技術革新とグリーン認証を通じて市場シェアを拡大しています。	14.5
86	排出制限値	排出制限	Na ₂ WO ₄ 廃水中のタングステン<0.5 mg/L (GB 8978-1996)。	16.2
87	水質汚染	水質汚染	Na ₂ WO ₄ 廃液 (>0.5 mg/L) は水生生物に影響を与え、LC50 は約 100 mg/L です。	16.3
88	逆浸透	逆浸透	Na ₂ WO ₄ 廃水から Na ⁺ と SO ₄ ²⁻ を除去し、水回収率は 90 %以上です。	16.2
89	閉ループ	クローズドループサイクル	Na ₂ WO ₄ によって生成された廃水はリサイクルされ、排出量を 50 %削減します。	16.5
90	生体適合性	生体適合性	Na ₂ WO ₄ は細胞生存率が 90%を超えるため、医療用途に使用されています (ISO 10993-5)。	8.4
91	熱力学解析	熱力学解析	Na ₂ WO ₄ の反応エンタルピー変化 (アルカリ溶解 ΔH<0 など) を計算し、プロセスを最適化します。	12.2
92	電着	電着	薄膜は Na ₂ WO ₄ 溶液から厚さ 1~5μm、電流密度 10mA/cm ² で堆積されました。	7.5
93	抗酸化物質	抗酸化作用	Na ₂ WO ₄ は細胞の酸化ストレスを抑制し、膵臓細胞を保護します。	8.3
94	サプライチェーンリスク	サプライチェーンリスク	Na ₂ WO ₄ の生産はタングステン鉱石不足と輸出割当量 (WO ₃ 42,000 トン) の影響を受けています。	14.3
95	エネルギー消費	エネルギー消費	Na ₂ WO ₄ は、約 500~600kWh/トンの電力と 2GJ/トンの熱エネルギーを消費します。	16.1
96	堆積物	堆積物	H ₂ WO ₄ は Na ₂ WO ₄ 廃液中に沈殿し、長期間にわたってタングステンを水域に放出します。	16.3
97	低次元材料	低次元物質	光電子デバイスで使用するために Na ₂ WO ₄ から合成された ₃ (厚さ<5nm)。	17.1
98	エッジコンピューティング	エッジコンピューティング	Na ₂ WO ₄ 生産データをリアルタイムで処理することで、設備の故障率が 30 %削減されます。	17.2
99	フレキシ	フレキシブルエレク	Na ₂ WO ₄ ベースの WO ₃ は、曲げ半径が 5 mm 未満のウェ	17.4

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	ブルエレ クトロニ クス	トロンクス	アラブルセンサーに使用されます。	
100	データセ ット	データセット	トレーニング用の Na ₂ WO ₄ パフォーマンスデータ (> 1000 サンプル)。	17.5

付録 2: タングステン酸ナトリウムの参考文献

シリアルナンバー	カテゴリ	タイトル/説明	出典/出版情報	関連章
1	標準文書	ISO 6353-3:1987 - 化学分析用試薬 - タングステン酸塩	国際標準化機構	15.1
2	標準文書	ASTM E1447-09 - タングステンの定量のための標準試験方法	ASTM インターナショナル	15.1
3	標準文書	GB/T 26037-2020 - タングステン酸ナトリウムの技術仕様	中国国家規格	15.2
4	標準文書	GB/T 30810-2014 - タングステン化合物の化学分析方法	中国国家規格	15.2
5	標準文書	ISO 14040:2006 - 環境マネジメント - ライフサイクルアセスメント	国際標準化機構	16.1
6	学術論文	光触媒用 Na_2WO_4 からの WO_3 ナノ粒子の合成	ジャーナルオブマテリアルケミストリーA, 2023, 11(5)	9.2, 17.1
7	学術論文	糖尿病治療における PTP1B 阻害剤としての タングステン酸ナトリウム	糖尿病研究と臨床実践, 2022 年, 180	8.1, 17.4
8	学術論文	ナトリウムイオン電池アノード用の Na_2WO_4 由来 WO_3	先端エネルギー材料, 2024 年, 14(12)	9.3, 17.3
9	学術論文	廃水処理における Na_2WO_4 を用いた重金属除去	環境科学と技術, 2023 年, 57(8)	9.1, 16.2
10	学術論文	Na_2WO_4 の電子構造と触媒特性に関する DFT 研究	物理化学ジャーナル C, 2024 年, 128(15)	11.1
11	業界レポート	世界の タングステン 市場の展望 2024-2030	ロスキル情報サービス, 2024 年	14.1 ~ 14.5
12	業界レポート	中国における タングステン 生産の環境影響	中国非鉄金属工業協会, 2023 年	16.1-16.3
13	業界レポート	触媒用途における タングステン酸ナトリウム 市場分析	フロスト&サリバン, 2024 年	7.2, 14.3
14	業界レポート	タングステンリサイクルにおける循環型経済	国際タングステン産業協会, 2024 年	16.4
15	業界レポート	タングステン化学品におけるグリーン製造のトレンド	マッキンゼー・アンド・カンパニー, 2023 年	16.5
16	分析ツール	Na_2WO_4 中の タングステン 含有量の ICP-MS 分析	サーモフィッシャーサイエンティフィック, iCAPRQ ユーザーマニュアル, 2023	6.2, 12.1
17	分析ツール	タングステン酸ナトリウムの純度	Bruker, S8 TIGER ユーザー ガ	6.2, 15.1

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	ル	の XRF 分析	イド、2024 年	
18	分析ツール	Na ₂ WO ₄ 計算研究のための材料プロジェクトデータベース	マテリアルプロジェクト、 https://materialsproject.org 、2024 年	11.2、17.5
19	分析ツール	Na ₂ WO ₄ 特性の DFT 計算用 VASP ソフトウェア	VASP マニュアル、バージョン 6.4、2024	11.1
20	分析ツール	Na ₂ WO ₄ 反応の速度論解析のための OriginPro	OriginLab、ユーザーガイド、2024	12.2
21	標準文書	GB/T 31906-2015 - タングステン化学品の包装仕様	中国国家規格	13.3、15.2
22	標準文書	中国薬局方 2020 - 医薬品用タングステン酸ナトリウム	中国薬局方委員会	15.4
23	学術論文	スマートウィンドウ用 Na ₂ WO ₄ 由来の電クロミック WO ₃ フィルム	ACS 応用材料&インターフェース、2024 年、16(10)	10.3、17.4
24	学術論文	Na ₂ WO ₄ ベースの光触媒設計のための機械学習	計算材料科学、2024 年、230	17.5
25	学術論文	水生システムにおける Na ₂ WO ₄ の毒性評価	生態毒性学と環境安全、2023 年、245	8.4、16.3
26	業界レポート	タングステン酸ナトリウムの用途における特許動向	WIPO、世界特許レポート、2024 年	15.5
27	業界レポート	2024 年のタングステン化学品のサプライチェーンリスク	アルガスメディア、タングステン市場レポート、2024 年	14.4
28	分析ツール	Na ₂ WO ₄ 製造プロセス最適化のための MATLAB	MathWorks、MATLAB R2024a ドキュメント、2024	17.2
29	分析ツール	Na ₂ WO ₄ 分子モデリング用の Gaussian 16	Gaussian Inc.、ユーザーマニュアル、2024	11.1
30	分析ツール	Na ₂ WO ₄ 製造自動化および監視向け LabVIEW	NI、LabVIEW 2024 ユーザーガイド、2024	17.2

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

付録3: タングステン酸ナトリウムデータシート

3.1 タングステン酸ナトリウムの物理的および化学的性質

財産	パラメータ値	ユニッ ト	試験方法	関連章
化学式	Na ₂ WO ₄ · 2H ₂ O	-	-	2.1
分子量	329.85	g/モル	計算する	2.1
外観	白色またはわずかに黄色の結晶	-	ビジュアル	2.1
溶解度 (20°C)	73	g/100 mL	GB/T 30810-2014	2.1
融点 (分解)	698	°C	DSC	2.3
密度	4.18	g/cm ³	重力法	2.2
pH (10%溶液)	8-9	-	pH メーター	2.3

3.2 タングステン酸ナトリウム製造プロセスのパラメータ

パラメータ	パラメータ値	ユニット	プロセス段階	関連章
アルカリ溶解温度	120~180	°C	高压アルカリ溶液	5.2
NaOH 濃度	20~30	% w/w	アルカリ溶解	5.2
反応時間	2-4	時間	アルカリ溶解	5.2
結晶化速度	0.1~0.5	g/分	蒸発結晶化	5.3
エネルギー消費	500~600	kWh/トン	湿式冶金	16.1
タングステン回収率	95 歳以上	%	イオン交換	5.6
廃水中のタングステン濃度	<0.5	mg/L	中和沈殿	16.2

タングステン酸ナトリウム応用分野の性能比較表

応用分野	主要業績	パラメータ 値	ユニッ ト	試験方法	関連章
光触媒 (WO ₃)	汚染物質分解率 (メチレンブルー)	85 歳以上	%	紫外可視分光法	9.2
ナトリウムイオン電池 (WO ₃)	容量	300	mAh/g	定電流充電と放電	9.3
エレクトロクロミック (WO ₃)	光変調速度	70	%	紫外可視分光法	10.3
重金属吸着	Pb ²⁺ 除去率	>99	%	ICP-MS	9.1
抗菌コーティング	大腸菌阻害率	80 歳以上	%	コロニー数	8.2
超硬合金 (APT)	硬度	>1500	HV	ピッカース硬度試験	7.1

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.4 世界のタングステン酸ナトリウム市場統計

索引	パラメータ値	ユニット	年	ソース	関 連 章
グローバル生産	5.2	1 万トン	2024	業界推定	14.1
中国の生産シェア	75	%	2024	業界レポート	14.2
世界の消費	4.9	1 万トン	2024	市場分析	14.1
工業用グレードの価格	22,000 ~ 26,000	USD/ トン	2024	貿易統計	14.4
分析グレードの価格	3 万 2000	USD/ トン	2024	貿易統計	14.4
平均年間市場成長率	4	%	2025~2030 年	予測する	14.1
リサイクルタングステン比率	15	%	2024	業界レポート	16.4

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na₂WO₄, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na₂WO₄ is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO₄²⁻) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

2. Sodium Tungstate Features

- **Chemical Composition:** Na₂WO₄·2H₂O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- **Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- **High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- **Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- **Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm ³)	WO ₃ Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

4. Packaging and Quality Assurance

- **Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- **Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO₃ content (titration).

5. Procurement Information

- **Email:** sales@chinatungsten.com
- **Tel:** +86 592 5129595
- **Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website (www.sodium-tungstate.com).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT