

# 「硝酸性窒素による地下水汚染対策手法技術集」

平成21年11月

環境省 水・大気環境局 土壤環境課

地下水・地盤環境室



## はじめに

硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素（以下、硝酸性窒素という）は、平成 11 年に地下水の環境基準項目に追加されて以降、地下水汚染が全国的に顕在化し、現在では地下水の環境基準超過率が最も高い環境基準項目となっています。

硝酸性窒素とは、それを一定量以上含まれる水を摂取すると、主に乳児を中心として血液の酸素運搬能力が失われ酸欠になる「メトヘモグロビン血症」を引き起こす物質です。

硝酸性窒素の発生源は施肥、家畜排せつ物、生活排水等、多岐に渡り、その汚染は面的な広がりを持ち、広範囲に及ぶことが多いこと、また、一度汚染されると自然には浄化されにくい特徴があるため、硝酸性窒素対策として、汚染の未然防止、汚染された地下水浄化が重要な対策となります。

未然防止には、発生源対策として窒素負荷低減対策（施肥量の適正化、家畜排せつ物の適正管理、生活排水対策等）があり、環境省ではこれまで、地方公共団体における地域の実情に応じた取組を推進するため、汚染原因の究明手法や窒素負荷低減計画の作成に関するマニュアルの策定、硝酸性窒素による地下水汚染対策事例集の作成等を中心とした窒素負荷低減対策を講じてきました。また、硝酸性窒素の汚染が確認された場合については、対象地域の実情に合わせ、関係行政機関や関係団体などによる連絡協議会の設置、対策方針の検討等が必要になります。環境省では汚染対策のための「硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素に係る水質汚染対策マニュアル」を都道府県、政令指定都市等に通知しています。

浄化技術については、いくつかの技術で浄化の効果が確認されているものの、面的に広がりのある汚染に対する効果については検証がなされていないのが現状です。そのため、環境省では、地域特性を持つ各汚染地域において、浄化技術のフィールド実証調査を実施し、評価した上で、面的に広がる汚染を効果的・効率的に浄化する手法を確立することを目的とした「硝酸性窒素浄化技術開発普及等調査」を平成 16 年度から平成 20 年度の 5 年間に実施しました。

今般、その実証調査した計 11 の浄化技術及び、現在普及されている浄化技術について「硝酸性窒素浄化対策手法技術集」として以下のとおり取りまとめましたので参考のため紹介致します。

また、浄化の実施に当たっては、資金の調達が課題となるため、利用できる支援制度について併記しましたので、各実施主体においては浄化技術を検討、選定する際の参考としてご利用下さい。

なお、環境省及び浄化技術の選定、評価を行った硝酸性窒素浄化技術開発普及等調査検討会が今回紹介する 11 の浄化技術の浄化の特性、効果等を保障するものではありません。各実施主体は、浄化技術の選定に当たり、事前に依頼する事業者と浄化の効果等について十分に連絡調整いただくよう申し添えます。



## 「硝酸性窒素による地下水汚染対策手法技術集」目次

### はじめに

1. 硝酸性窒素による地下水汚染について-----	1
1. 1 硝酸性窒素とは-----	1
1. 2 硝酸性窒素による地下水汚染のしくみ-----	2
1. 3 硝酸性窒素による地下水汚染の現状-----	3
2. 硝酸性窒素による地下水汚染対策のしくみ-----	4
2. 1 国のとりくみ-----	4
2. 2 自治体のとりくみ-----	9
3. 硝酸性窒素による地下水汚染浄化技術適用の手順-----	12
4. 硝酸性窒素による地下水汚染浄化技術-----	16
4. 1 硝酸性窒素の浄化技術-----	16
4. 2 硝酸性窒素による地下水汚染浄化技術の分類-----	20
4. 3 代表的な浄化技術事例の詳細-----	22
5. 浄化対策手法に関する支援制度-----	30
6. 硝酸性窒素による地下水汚染対策技術についての課題-----	31

### 参考資料



# 1. 硝酸性窒素による地下水汚染について

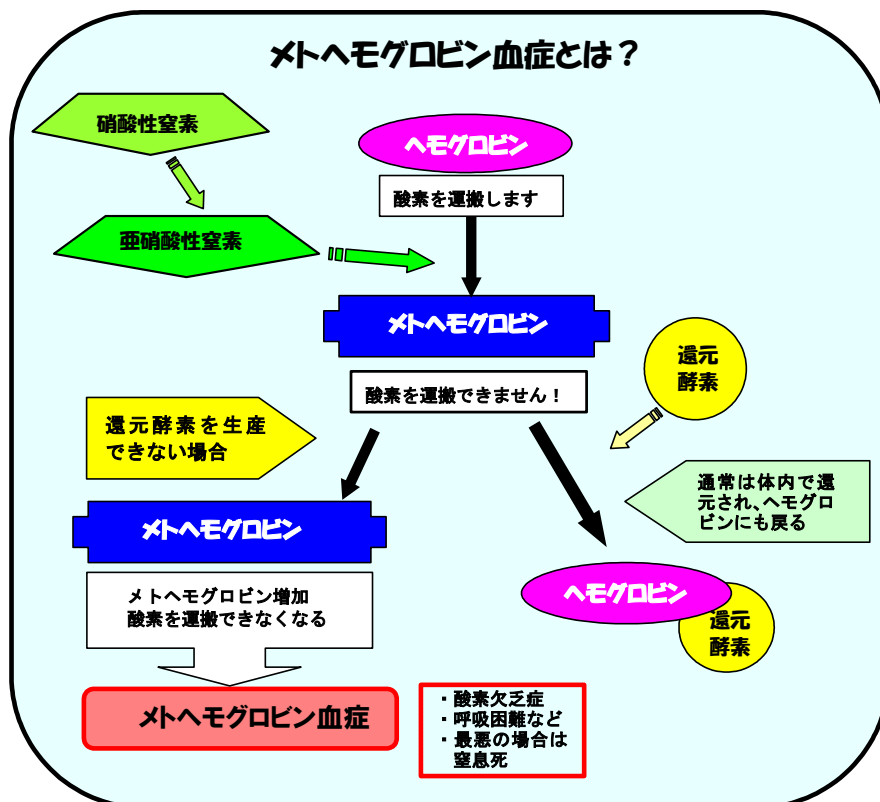
## 1. 1 硝酸性窒素とは

硝酸性窒素は、土壌や、水、植物中のあらゆる場所に存在しています。飲み水に含まれていても、無味、無臭、無色であり気づくことはありません。また、水に溶けやすく、土壌に保持されにくいいため、容易に地下水や河川水に溶け出しやすい性質をもっています。

硝酸性窒素とは、それを一定量以上含まれる水を摂取すると、主に乳児を中心として血液の酸素運搬能力が失われ酸欠になる「メトヘモグロビン血症」という疾病を引き起こす物質です。

飲料水などに硝酸性窒素が多く含まれていると、その一部は消化器系内の微生物により還元されて亜硝酸塩となって吸収され、血中のヘモグロビンと結合してメトヘモグロビンとなります。メトヘモグロビンは酸素運搬機能がないので、血中のメトヘモグロビン濃度が10%以上になると、酸素供給が不十分となり、チアノーゼ症状を呈するメトヘモグロビン血症となります。

出生後まもない乳児や胃切除などで胃液のpH値が5~7と高い場合には、硝酸性窒素は硝酸還元細菌によって還元され亜硝酸性窒素が多く生成されるため、ヘモグロビン血症になりやすいとされています。



## 1. 2 硝酸性窒素による地下水汚染のしくみ

硝酸性窒素による地下水汚染を引き起こす要因は、過剰施肥、家畜排せつ物の不適正処理、生活雑排水の地下浸透、工場・事業場からの排水等が挙げられます。それら人為的に土壌に過剰負荷された窒素が土壌微生物等による無機化や硝化作用を受け硝酸性窒素に変化し、土壌中の窒素循環のバランスを崩しています。植物吸収や脱窒等に利用されなかった硝酸性窒素は土壌から溶脱し、地下水に移行し汚染を引き起こす原因となります。

硝酸性窒素の性質、汚染の原因や特徴は次のとおりです。

表 1-1 硝酸性窒素・亜硝酸性窒素の地下水汚染の特徴

項目	特徴
性質	土壌に吸着されにくく、地下水に移行しやすい。土壌中の微生物のはたらきにより、アンモニア性窒素等が酸化されて生じる。
汚染の原因	過剰施肥、家畜排せつ物の不適正処理、生活雑排水の地下浸透、工場・事業場からの排水等
汚染の特徴	農地など汚染源そのものに広がりを持つため、汚染は広範囲に及ぶことが多い。土壌への窒素負荷を完全になくすことは、困難である。

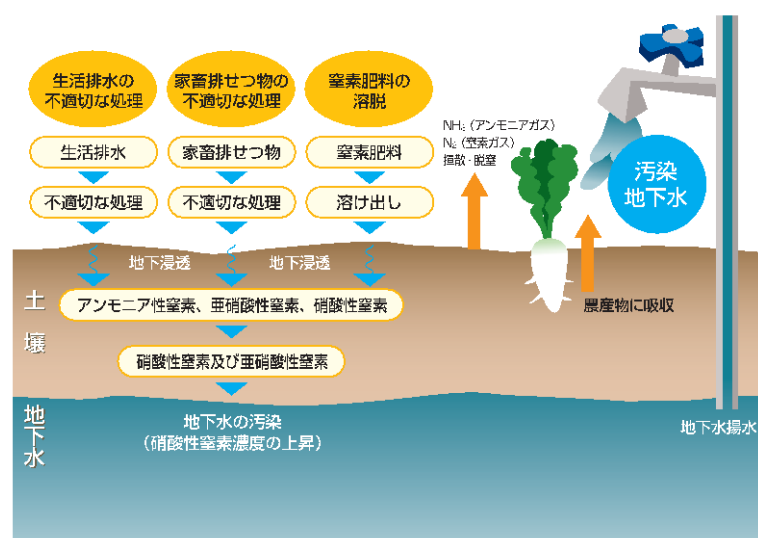


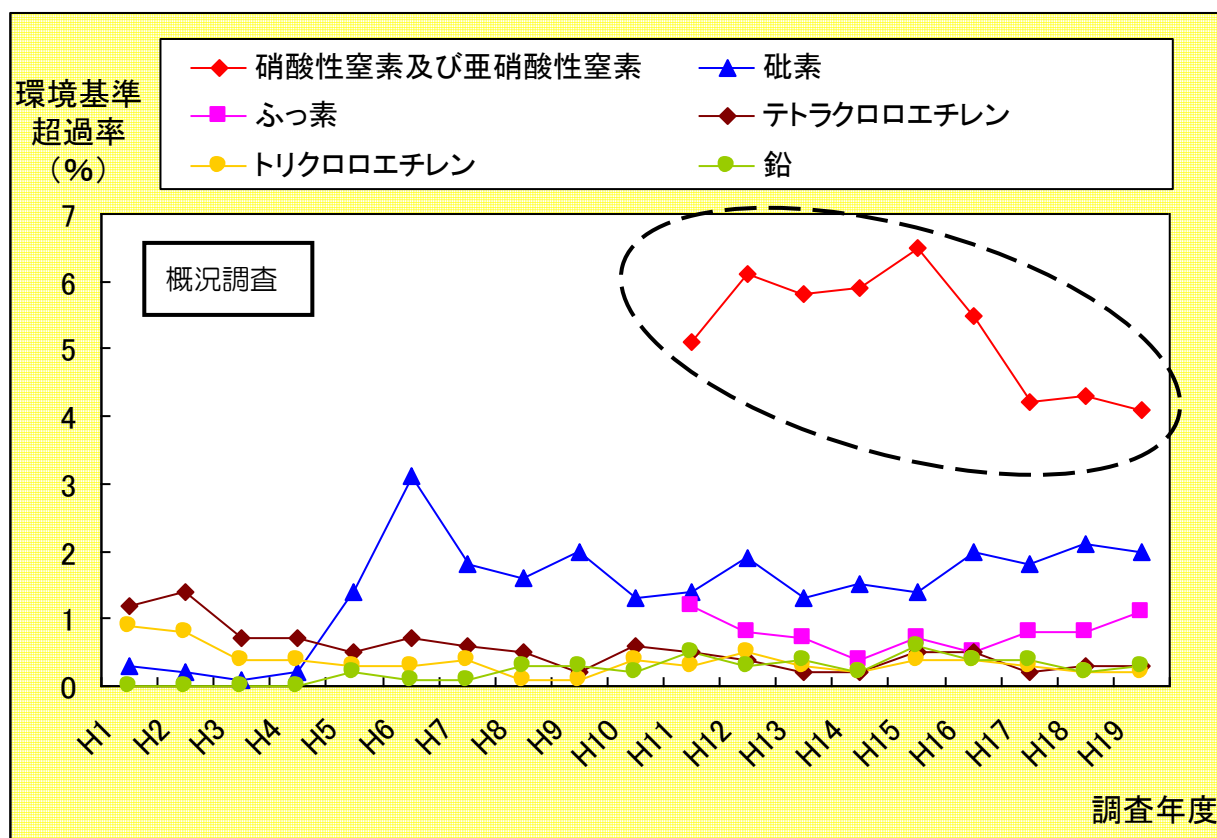
図 1-1 硝酸性窒素の地下水汚染のしくみ



### 1. 3 硝酸性窒素による地下水汚染の現状

日本国内では、平成 11 年に硝酸性窒素の環境基準が設定されました。また、同時に水質汚濁防止法の有害物質としても指定されました。水質汚濁防止法では、有害物質を含む水の地下への浸透は禁止されています。

硝酸性窒素は、環境基準に追加されて以降、地方公共団体による地下水質の常時監視による測定が開始されました。平成 11 年の調査開始以降、環境基準項目の中で一番高い超過率となっています。



注 1：毎年、原則として井戸を変えて測定しています。

注 2：地下水の水質汚濁に係る環境基準は、平成 9 年に設定されたものであり、それ以前の基準は評価基準とされていました。また、平成 5 年に、砒素の評価基準は「0.05mg/L 以下」から「0.01mg/L 以下」に、鉛の評価基準は「0.1mg/L 以下」から「0.01mg/L 以下」に改定されました。

注 3：硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素、ふっ素、ほう素は、平成 11 年に環境基準に追加されました。

## 2. 硝酸性窒素による地下水汚染対策のしくみ

硝酸性窒素の発生源は施肥、家畜排せつ物、生活排水等、多岐に渡っているため、それぞれの発生源の負荷削減に関連する法制度のもと、地下水保全を推進していく必要があります。ここでは法制度のもと行われている国のとりくみや自治体のとりくみについて説明します。

### 2. 1 国のとりくみ

国においては、図 2-1 に模式的に示す法制度のもととりくみを行っています。以下にそれぞれの内容を示します。

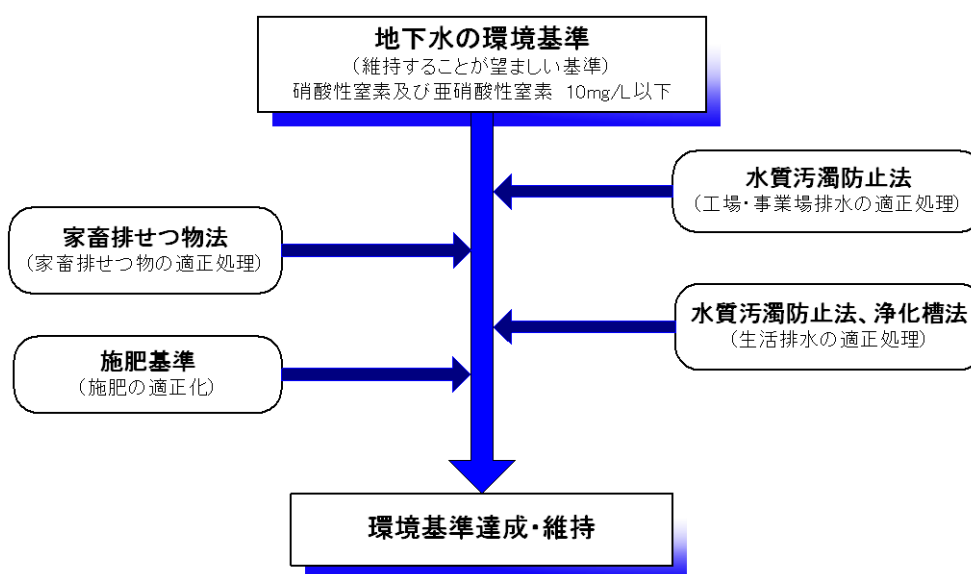


図 2-1 硝酸性窒素による地下水汚染対策の法制度の模式図

#### 1) 地下水の水質汚濁に係る環境基準

環境基準では、人の健康を保護する上で維持することが望ましい基準とその達成期間が定められており、政府や自治体などが汚染対策等の施策を行う際の行政上の目標となるものです。これは、人の健康等を維持するための最低限度としてではなく、より積極的に維持されることが望ましい目標として、その確保を図っていかうとしています。また、汚染が現在進行していない地域については、少なくとも現状より悪化することとならないように環境基準を維持し続けることが望まれています。

硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素は平成 11 年に基準に追加され、基準値は 10mg/L 以下です。

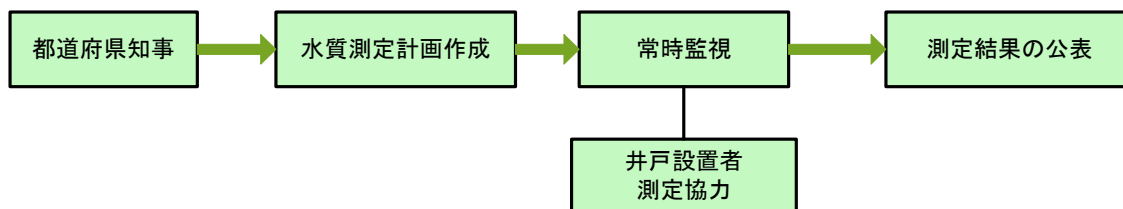
## 2) 水質汚濁防止法

水質汚濁防止法においては、工場及び事業場から公共用水域に排出される水の排出及び地下に浸透する水の浸透を規制しており、これにより、公共用水域及び地下水の水質の汚濁の防止を図って、国民の健康を保護するとともに生活環境を保全しています。

地下水については、地下水質の常時監視、有害物質の地下浸透禁止、事故時の措置、汚染された地下水の浄化等の措置などが定められています。

### ○地下水質の常時監視（法第15条、16条、17条）

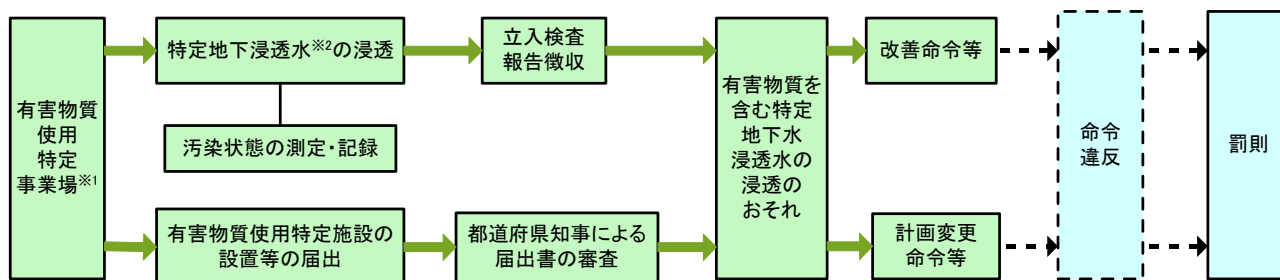
都道府県知事等が地下水質の常時監視を行い、結果は公表されます。



### ○有害物質の地下浸透の禁止（法第12条の3）、改善命令等（法第13条、第13条の2）

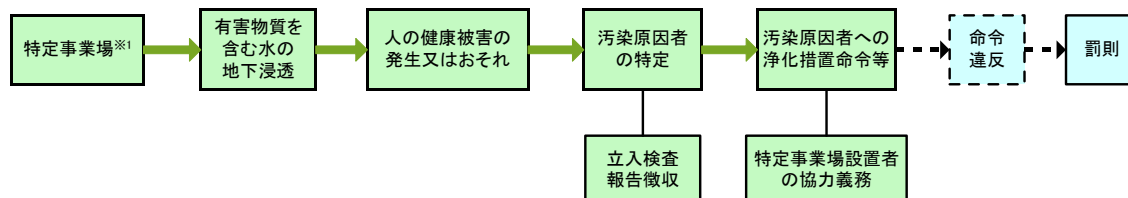
有害物質を含む水の地下浸透は禁止されています。

都道府県知事は、事業場が排出基準に適合しない排水を排出するおそれがあると認めるとき、又は、有害物質を含む特定地下浸透水を浸透させるおそれがあるときは、改善命令等を出すことができます。



○ 汚染された地下水の浄化措置命令等（法第 14 条の 3）

都道府県知事は、汚染原因者に対して、汚染地下水の浄化措置命令等を出すことができます。



- 注 1 特定事業場：特定施設（水質汚濁防止法に基づいて定められた汚水又は廃液を排出する施設）を設置している工場又は事業場
- 注 2 特定地下浸透水：有害物質の製造、使用又は処理を行う特定施設から地下に浸透する水
- 注 3 浄化措置命令：地下水の浄化措置命令では、地下水を飲用に利用している地点等で地下水汚染が判明していることが必要です。

### 3) 家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律

家畜排せつ物はかつては野積みや素掘りで処理される場合もあり、窒素分の地下への浸透が硝酸性窒素による地下水汚染の主要な原因となっていました。そのため、家畜排せつ物を適正に処理・管理し有効利用を促進することが硝酸性窒素の低減につながるため、硝酸性窒素汚染の未然防止に有効です。

家畜排せつ物法は、畜産業を営む者による家畜排せつ物の管理の適正化のための措置を定め、家畜排せつ物の処理の適正化及び利用の促進を図り、畜産業の健全な発展を図ることを目的としています。

家畜排せつ物法の概要を以下に示します。

家畜排せつ物法における「家畜排せつ物」とは、家畜からの排せつ間もないふん尿だけでなく、糞わら等との混合物、乾燥物、発酵後の堆肥や液肥を含みます。

家畜排せつ物法の対象となる畜産業の規模は、牛及び馬は 10 頭以上、豚は 100 頭以上、鶏は 2000 羽以上です。小規模の畜産農家については、排せつ物の発生量が少ないこと、自己所有の農地・草地への還元で、野積みや素掘りは解消される可能性を踏まえ、適用されておられません。

(1) 家畜排せつ物管理の適正化のための措置

畜産業を営む方が遵守すべき管理基準が定められており、畜産業を営む方は、管理基準に従い、家畜排せつ物を管理しなければなりません。管理基準の内容は以下のとおりです。

① 管理基準

◇施設の構造に関する基準

- ふんの処理・保管施設 → 床をコンクリートその他の不浸透性材料で築造し、適当な覆い及び側壁を有するものとする。
- 尿やスラリーの処理・保管施設 → コンクリートその他の不浸透性材料で築造した構造の貯留槽とする。

◇家畜排せつ物の管理の方法に関する基準

- 家畜排せつ物は、施設において管理すること。
- 送風装置等を設置している場合には、その維持管理を適切に行うこと。
- 施設に破損があるときは、遅滞なく修繕を行うこと。
- 家畜排せつ物の年間発生量、処理の方法、処理量について記録すること。  
など

(2)家畜排せつ物の利用の促進のための措置

- 農林水産大臣による家畜排せつ物の利用の促進に関する基本方針の策定
- 都道府県による地域の実情に即した施設設備の目標等を内容とした計画の作成
- 都道府県知事による畜産業を営む方の作成する施設整備計画の認定と認定を受けた者に対する株式会社日本政策金融公庫の融資

(3)管理基準を遵守しない場合の行政指導や処分

- 畜産業を営む方へ指導と助言、勧告、命令及び立入検査の実施
- 管理義務違反の場合、50万円以下の罰金
- 勧告及び命令に基づく報告不履行、立入検査拒否などには20万円以下の罰金

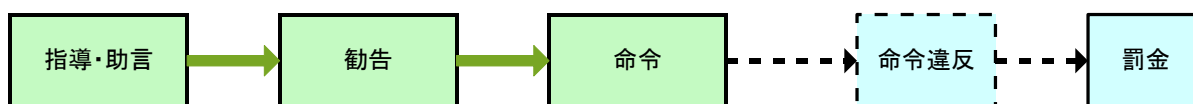


図 2-2 管理基準を遵守しない場合の行政指導や処分

#### 4) 施肥基準

硝酸性窒素の地下水汚染は、化学肥料やたい肥などの窒素肥料からの溶脱も主な原因と考えられています。施肥による過剰な窒素負荷を減らし、適正な施肥を行うことは硝酸性窒素汚染の負荷削減や未然防止につながり、環境保全型農業の進展に重要です。

同じ作物で同じ収量を目標とする場合であっても、気象や土壌の条件によって必要な施肥量や施肥の時期などは異なるため、適正な施肥を行うには、地域の条件に応じた適切な方法を選択することが重要です。そこで、都道府県では、施肥量の目安になる施肥の基準値や方法を策定しており、これらの情報を技術指導者などを通じて農業者の方に伝えるために技術指導書として施肥基準を作成しています。

施肥基準では、気候、土壌の種類、作物の種類などを十分に考慮した施肥の必要性を述べ、施肥量、施肥時期、施肥位置、肥料の形態について、解説しています。以下にそれぞれのポイントを示します。

##### ●施肥量

施肥量は、対象とする作物種類ごとに生育に必要な量を肥料として供給するのが基本です。なお、施用する肥料の種類（有機飼料、家畜排せつ物由来の堆肥、化学肥料など）によって、その養分量を評価し、それに見合った減肥を検討します。

##### ●施肥時期

施肥時期は、作物生育に必要な量を過不足なく供給することが重要です。具体的には、土壌条件と作物の栄養特性・生育状況などを考えて、肥料を分施するとか、溶出量を制限できる緩効性肥料などを上手に組み合わせて使用することが必要です。

##### ●施肥位置

施肥位置は、肥料の吸収効率のうえで重要です。作物の生育に従って根系が変化することを考慮して、肥料成分の吸収効率を高めるように施肥位置を決定します。表面施肥、全面全層施肥、側条施肥など栽培の目的、作物の特性、時期なども考慮して施肥位置を決定します。

##### ●肥料の形態

肥料の形態については、化学肥料のように速効的なものや、有機質肥料のように遅効的なものなどがあります。また、化学肥料の中でも微生物分解性のもの、被覆肥料のような緩効性肥料があります。これらは、土壌の種類、作物の栄養特性に合わせて使い分けます。

#### 5) 浄化槽法

生活排水の対策を推進するにあたって合併浄化槽の整備促進は重要であり、合併浄化槽によるし尿の適正な処理は、硝酸性窒素汚染の負荷削減や未然防止に重要です。

浄化槽によるし尿等の適正な処理を図り、生活環境の保全及び公衆衛生の向上に寄与することを目的とする法律です。

## 2. 2 自治体のとりくみ

硝酸性窒素による地下水汚染については、原因が多岐にわたり、汚染が広範囲に及ぶ場合が多いことから、各地域の実情に応じた効果的な窒素負荷低減対策の実施が重要となります。

硝酸性窒素による地下水汚染が発見された地域においては、硝酸・亜硝酸性窒素対策推進計画が策定され、窒素負荷低減対策等が進められています。自治体における取り組み事例を以下に示します。

表 2-1 自治体における硝酸・亜硝酸性窒素対策推進計画の事例(1)

都道府県	計画名	対 策
北海道	硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素に係る健全な水循環確保のための基本方針 (平成16年4月策定)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・土作りを基本とした環境との調和を配慮した持続型農業(クリーン農業)を推進するために「北海道施肥ガイド」を作成し、地下水などの環境への影響を最小限度に抑える肥料の投入量を示している他、施肥等の農業生産活動に伴う地下水汚染の改善を図るため、「硝酸性窒素汚染防止のための施肥管理手引き」を作成し農業者に対する指導に取り組む。</li> <li>・「家畜の排せつ物法」の「管理基準」を満たす施設を早期に設備するために、補助事業等による設備の促進を図る。</li> <li>・市町村は生活排水処理基本計画を定め、下水道や集落排水処理を行う地区と、浄化槽を整備する地区を定め、生活排水処理設備の整備を計画的に進めることとする。</li> </ul>
青森県	硝酸性窒素負荷低減推進計画 (平成15年2月策定)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・環境にやさしい農業技術の開発 (肥料利用率の高い肥効調節型肥料の全量植穴施用による化学肥料削減技術の確立、有機質肥料(ぼかし肥料)利用による化学肥料削減技術の確立、肥効調節型肥料による環境負荷軽減に向けた施肥法の検討、土壌窒素の発現に応じた施肥管理技術の確立、等)</li> <li>・環境にやさしい農業技術の普及 (環境に優しい農業技術の普及を図るため、農業改良普及センターが関係機関と連携をとりながら、農家や集団等に対し技術指導、情報提供等を行い、関係機関が役割分担をして栽培マニュアルを作成する。農業改良普及センター等の土壌診断室の利用促進など、環境にやさしい農業の取組に対する支援を行う。)</li> <li>・環境にやさしい土づくりの推進 (第3次青森県総合土づくり推進計画に基づき、環境へ考慮した「健康な土づくり」などの土づくり運動を進めている。土壌診断に基づく適正な施肥の推進・地力増進地域指定制度の活用・啓蒙活動の実施、等)</li> <li>・家畜排せつ物適正管理と利用促進 (家畜排せつ物を堆肥として農地へ還元することを基本に、処理施設の整備や耕種農家と連携した堆肥の地域ぐるみでの生産流通体系づくりへの支援を行っている。)</li> </ul>

表 2-2 自治体における硝酸・亜硝酸性窒素対策推進計画の事例(2)

都道府県	計画名	対 策
長崎県	島原半島 窒素負荷低 減計画 (平成18年 10月策定)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 環境保全に対する農業者の意識啓発や環境にやさしい農業技術の実践等を通じ、窒素負荷低減に向けた幅広い取組を推進する。また技術開発については、環境への負荷低減と農業生産の安定の両立を図る。</li> <li>・ 行政（県・市）は、関係する畜産事業者団体の協力を得て、家畜排せつ物の発生量やその処理・流通の実態を把握した上で、窒素負荷の低減に有効と考えられる対策を実行する。一方、畜産業者は、行政が定める対策に取り組み環境保全に十分配慮した畜産の産地づくりを目指す。</li> <li>・ 生活排水に含まれる窒素分による地下水への負荷を低減するため、生活排水の処理を推進する。</li> </ul>
熊本県	荒尾地域 硝酸性窒素 削減計画 (平成15年 3月策定)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 硝酸性窒素による地下水汚染の原因は、多岐にわたりかつ複合していることが多く、また、その解決に相当の期間を要するものと予想されることから、多方面からの対策を総合的・計画的に推進する。</li> <li>・ 硝酸性窒素による地下水汚染の場合、その特徴から汚染が判別しにくく、また、その浄化に長い年月と莫大な費用を必要とすることから、硝酸性窒素による地下水汚染を発生させないよう、未然に防止する。</li> <li>・ 硝酸性窒素による地下水汚染に対する対策の推進に当たっては、効果ある対策を推進するため地域の現状や将来像を踏まえ、地域の特性に応じた対策を進める。</li> <li>・ 硝酸性窒素による地下水汚染に対する対策は、環境への負荷の低減が重要であり、農業従事者や生活排水処理対策対象者の協力が不可欠であることから、行政と対象者がパートナーシップのもと一体となった対策を進める。</li> </ul>
	熊本地域 硝酸性窒素 削減計画 (平成17年 3月策定)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地下水汚染を防止するとともに作物の収量及び品質を維持しうる施肥体系を確立するとともに、その普及を推進する。「家畜排せつ物の管理の適正化及びその利用の促進に関する法律」に基づき、資源としての有効利用を基本として、畜産からの汚染リスク量の低減に向けて対策を実施する。</li> <li>・ 生活排水の処理方法・処理量如何によって汚染リスク量を最小限に抑えることが可能であることを踏まえ、生活排水対策を実施する。</li> <li>・ 耕種集団と畜産組織の連携により、耕種集団における堆きゅう肥の利用体制の整備及び利用拡大と畜産組織におけるたい肥化の促進の両面からの対策を実施する。</li> </ul>



表 2-3 自治体における硝酸・亜硝酸性窒素対策推進計画の事例(3)

都道府県	計画名	対 策
熊本市	第1次熊本市 硝酸性窒素 削減計画 (平成19年 8月策定)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 施肥窒素に起因する地下水汚染のリスク量は明確となっていないが、適切な処理によって汚染リスク量を最小限に抑えることが可能であるため、施肥対策にあつては、作物の収量及び品質を維持しうる施肥体系を確立しつつ、地下水汚染を防止する施肥技術を推進することを基に実施する。</li> <li>・ 家畜排せつ物対策に当たっては、資源としての有効利用を基本として畜産からの汚染リスク量の低減に向けて対策を実施するとともに、家畜排せつ物の適切な処理と耕種農家との協働による有効利用の推進を図ることを基に実施する。</li> <li>・ 生活排水の処理方法・処理量如何によって汚染リスク量を最小限度に抑えることが可能であることを踏まえ、生活排水対策を実施する。</li> </ul>
宮崎県 および 鹿児島県	都城盆地 硝酸性窒素 削減対策 基本計画 (平成16年 6月策定)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 家畜排せつ物対策として、不適正処理を早急に解消し、処理施設の整備等による適正処理を推進する。また、良質たい肥を生産し、有効利用する資源循環型畜産を推進する。</li> <li>・ 作物の収量及び品質の維持など、農業経営の安定を基本とし、農業と環境の共生と調和を目指した環境保全型農業を推進する。</li> <li>・ 生活排水による負荷の原因は住民自身にあることを、住民が認識することを第一の目標に掲げ、その上で、生活排水処理施設の整備を推進する。</li> </ul>
	都城盆地 硝酸性窒素 削減対策実 行計画(第1 ステップ) (平成17年 8月策定)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 家畜排せつ物処理対策として、素堀などの不適正処理の未然防止や処理施設の整備などによる家畜排せつ物の適正処理の推進と、良質たい肥の生産・利用や広域流通の促進による資源循環型畜産の推進に努めるとともに、畜産経営に対する啓発を実施する。</li> <li>・ 施肥対策として、たい肥等有機物を活用した健康な土づくりや、適正施肥などの環境保全型農業の推進に努め、また、農業経営者への啓発を実施する。</li> <li>・ 生活排水対策として、生活排水処理施設の整備や浄化槽の適正な維持管理を推進するとともに、家庭で生活排水対策を実践できるよう住民に対する啓発等に努める。</li> </ul>
宮古島市	第2次宮古島 市地下水利 用基本計画	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 施用された肥料の作物による利用率を重視した施肥法に切り替える。つまり、作物が必要とする量だけを与えることを徹底する。</li> <li>・ 家畜排せつ物や生ごみを生産資源として農地に戻す手段を、地域全体の社会システムとして構築する。</li> <li>・ 生活排水については下水道を整備し、集中処理する。</li> </ul>

### 3. 硝酸性窒素汚染による地下水浄化技術適用の手順

都道府県等による地下水質の常時監視などによって地下水汚染が判明した場合には、調査・対策を検討する必要があります。硝酸性窒素の地下水汚染の対策は、関係機関が協議し、発生源ごとの負荷削減などの目標と対策を具体的に設定して、関係者がそれぞれの役割に応じて主体的に対策を推進します。また、モニタリングによって、対策の進捗状況等を把握し、対策の継続や新たな対策などについて検討します。なお、対策としての浄化は多大な労力と費用を要するので、供給負荷削減の対策とその効果等を勘案した上で、浄化技術の適用の必要性を考えます。

調査・対策における汚染原因の究明、負荷削減対策などの詳細は、「硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素に係る水質汚染対策マニュアル（平成13年7月 環境省）」（環境省ホームページに掲載）をご参照ください。

ここでは、汚染が発見され、調査・対策を検討する中で、浄化技術の適用を選定するまでの手順について示します。

#### **(1) 汚染井戸の発見**

地下水の汚染は、主に水質汚濁防止法に基づく地下水質の常時監視として行われる全国調査や、保健所等で受け付けている飲用井戸の水質検査などによって発見されます。このうち前者の常時監視として行われる調査は、各都道府県内をメッシュ等で分割し、毎年調査区域を選定して順次調査を行い、数年間で地域全体を調査しています。汚染が確認された後も継続的にモニタリングを実施しています。

後者の飲用井戸の水質検査については、井戸設置者が自主的に行うことになります。早期に汚染が発見できるよう定期的な水質検査が求められます。

#### **(2) 応急対策<飲用利用の中止>**

地下水の汚染が発見されたら、まず、飲用による影響を防止するため、水道関係部局に通知し、井戸所有者への飲用指導、水道事業者へ連絡することが重要です。

飲用井戸利用者には、飲用指導、水道利用への切り替えを指導します。水道が普及されていない地域については、水道の普及、飲用水の確保、地下水の浄化について早急に検討する必要があります。

#### **(3) 汚染の実態把握**

対策対象地域の汚染範囲、汚染帯水層及び濃度分布等を確認するため、汚染が確認された地点周辺で地下水質調査を実施します。

#### **(4) 汚染原因の究明**

##### **① 調査及び資料等調査**

汚染の対策を検討するには、汚染地域の範囲及び汚染原因をできるだけ明らかにする必要があります。そのためには必要に応じて次のような調査を行います。

###### **◆ 汚染範囲の把握**

- 地下水の水質調査
- 地下水汚染の垂直分布、変動調査

###### **◆ 汚染原因の究明**

- 地形、地質、地下水流動状況
- 土地利用状況
- 施肥実態調査
- 家畜排せつ物処理状況
- 下水道普及状況
- 工場・事業場排水の状況
- 自然由来（降水量、降水中の窒素濃度、降水浸透率等）等

##### **② 原因究明**

①で収集した情報を基に、次のような事項を勘案し、主要原因を明らかにします。

- 硝酸性窒素濃度の分布、負荷発生源の立地・分布状況等から、点的発生源のみか面的発生源かを検討する。
- 公共用水域の汚染の場合には、アンモニア性窒素の分布にも特に注意し、当該公共用水域への流入水の水質及び流量を踏まえ、汚染原因を検討する。
- 地下水の汚染が深層である場合は、より広域的な地質構造や地下水の流向なども考慮する。
- 汚染の原因が過去の土地利用、井戸の構造等に起因することもあるので留意する。
- 考えられる汚染源からの窒素負荷量、窒素寄与率を求め、主な汚染源を推定する。

#### **(5) 対策の検討および対策の実施**

対策を検討する場合、対策対象地域の実態に応じて、都道府県等の環境部局、生活排水対策部局、農業・畜産部局、農業協同組合、自治会、学識経験者などの関係者で連絡組織を設置し、発生源ごとの負荷削減目標の設定や、目標達成のための対策を協議、検討します。

また、対策を実施する地域の範囲は、硝酸・亜硝酸性窒素に係る環境基準を達成していない又はそのおそれが高い地域及びその周辺地域とします。水質調査、資料等調査、汚染原因の究明結果を踏まえ、硝酸性窒素の濃度分布、負荷発生源の立地・分布、公共用水域の集水域、地下水の流向、地下水涵養域の状況等から、具体的な窒素削減目標量を整理し、汚染源ごとに供給削減対策を検討します。

なお、水道水源として利用するため緊急に改善する必要がある場合など、必要に応じて、浄化技術適用についても併せて検討します。検討結果に基づき対策を実施します。

発生源別の供給負荷削減対策としては、次の内容が挙げられます。

- ① 工場・事業場等 → 水質汚濁防止法による対応など
- ② 生活排水対策 → 下水道整備、合併浄化槽への切替、浄化槽の適切な維持管理など
- ③ 家畜排せつ物対策 → 家畜排せつ物法による対応など
- ④ 施肥対策 → 施肥基準などによる施肥の適正化
- ⑤ 自然由来 → 窒素負荷量の把握など

#### **(6) 対策の実施による改善状況の把握等**

対策の実施による水質の改善状況を把握し、地下水の環境基準を達成できる見込みについて検討します。地下水の水質は、供給負荷削減を実施してもすぐには効果が現れません。改善状況の推移を見ながら今後の見込みを考察し、そのままモニタリングを継続するか、さらに対策（浄化技術適用）を検討するかを判断します。

#### **(7) 健康被害防止の観点からの浄化技術適用の検討等**

改善状況の見込みが環境基準を満足しそうにない場合で、仮に汚染地下水が広がった場合、水道水源利用への影響が懸念されるときは、早急に浄化技術の適用について検討を進める必要があります。

水道水源利用ではない場合は、必要に応じ利用する事業者等によって処理が検討される場合が考えられます。

#### **(8) 浄化技術適用の実現可能性の検討**

浄化技術の適用は、多大な費用と労力が必要ですので、まず、資金面で可能であるか、施設を設置する用地の確保、施設を運転する場合の維持管理能力などについて検討します。なお、資金面では、浄化対策に関する支援制度の活用も考慮します。

検討の結果を踏まえ、新たな浄化技術の適用や、既存の供給負荷削減対策の見直し等、対策の再検討を行います。

#### **(9) 浄化技術の適用**

浄化技術の適用が可能な場合は、浄化技術の選定を行い、具体的な適用準備を行います。浄化技術の選定の詳細は次章をご参照ください。

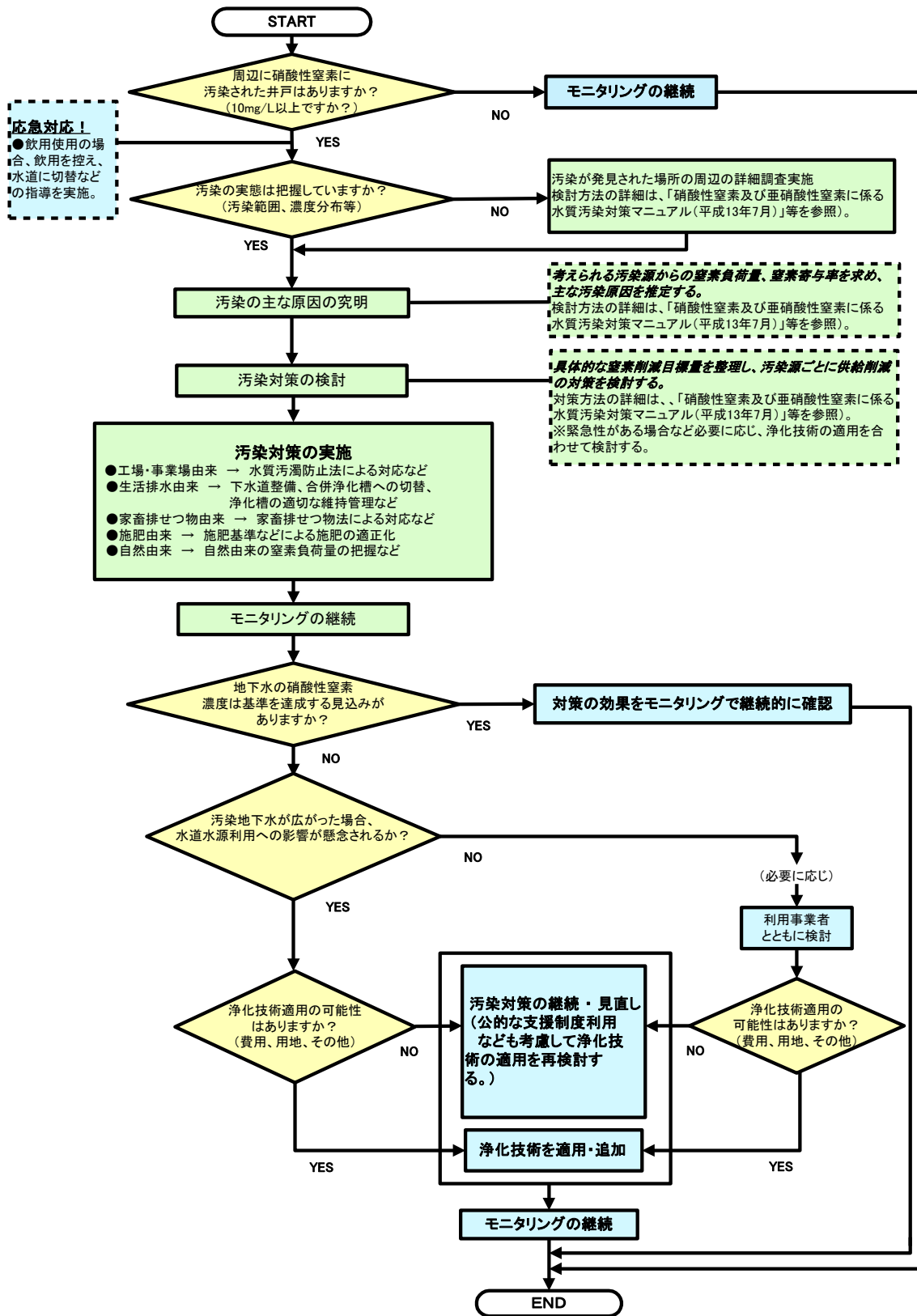


図 3-1 硝酸性窒素の地下水浄化技術適用の手順

## 4. 硝酸性窒素による地下水汚染浄化技術

3章で地下水汚染浄化技術的用までの手順を示しましたが、浄化技術の適用する場合の各浄化技術について示します。

浄化技術は、主に環境省が平成16年度～平成20年度の5年間実施した実証技術調査より11技術について詳細を示します。また、実証技術以外の技術についても独立行政法人科学技術振興機構（JST）文献検索システムや関連技術雑誌から文献検索を行い、フィールド実験レベルで効果が報告されている浄化技術について表4-4及び表4-6に示しました。

### 4. 1 硝酸性窒素の浄化技術

硝酸性窒素の浄化技術は、表4-1に示すように物理化学的方法（イオン交換樹脂法、逆浸透膜法、電気透析法等）と、生物化学的方法（従属栄養細菌や独立栄養細菌を用いた脱窒法）に大別されます。主な浄化方法について、次に示します。

表 4-1 硝酸性窒素の浄化方法と原理

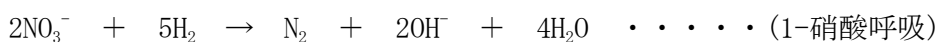
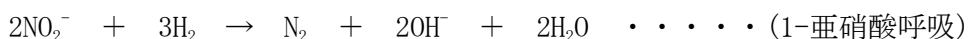
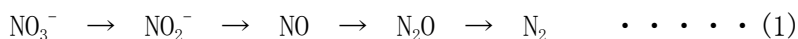
	方法	原 理
生 物 学 的 浄 化	従属栄養脱窒	有機物を電子供与体として、脱窒菌により、硝酸性窒素を窒素ガスまで還元して除去する。
	独立栄養脱窒	硫黄を電子供与体として、硫黄酸化細菌により硝酸性窒素を窒素ガスまで還元し除去する。
物 理 化 学 的 浄 化	イオン交換	除去対象とするイオンをイオン交換体のイオンと交換することにより除去する。
	逆浸透	逆浸透膜によって硝酸イオンを除去する。
	電気透析	陰イオン交換膜を介して陰イオンを電氣的に移動させ、陰イオンである硝酸イオンを分離除去する。
	触媒脱窒法	水素供与体として、水素ガスを直接用いて、触媒の存在下で硝酸性窒素を窒素ガスまでに還元する。

## (1) 生物学的浄化方法

生物学的な硝酸性窒素の浄化は、脱窒菌の働きを利用して、硝酸性窒素を窒素ガスに還元して除去する方法です。

湛水土壤などの嫌気条件下では、硝酸性窒素が脱窒菌により還元され、亜酸化窒素を經由して窒素ガスに変化します。この過程を脱窒と呼んでいます。脱窒の過程を以下に示します。

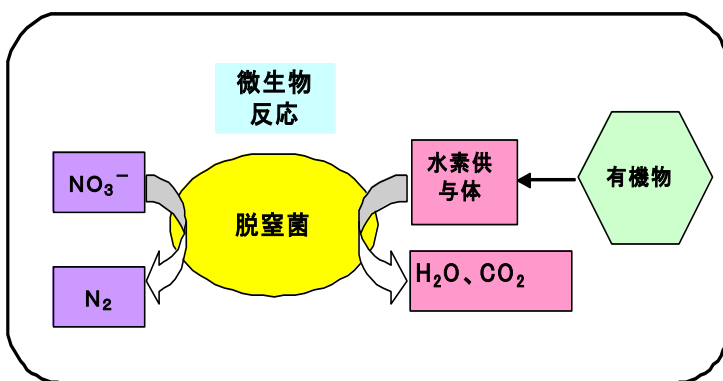
この際の水素供与体として有機物を利用する場合は従属栄養脱窒、無機物を利用する場合は独立栄養脱窒とに区別されます。特徴と原理を以下に示します。



### ① 従属栄養脱窒法

微生物の中には、酸素濃度の低い環境下において、酸素の代わりに硝酸を利用する硝酸呼吸に切り替えるものが存在します。体内に取り込んだ硝酸を有機物等を利用して還元し、最終的には窒素ガスの形で対外へ放出します。

処理水中への有機物の残留の可能性があることや水酸イオンが生成されるためにアルカリ度と pH が上昇するなどの特徴があります。

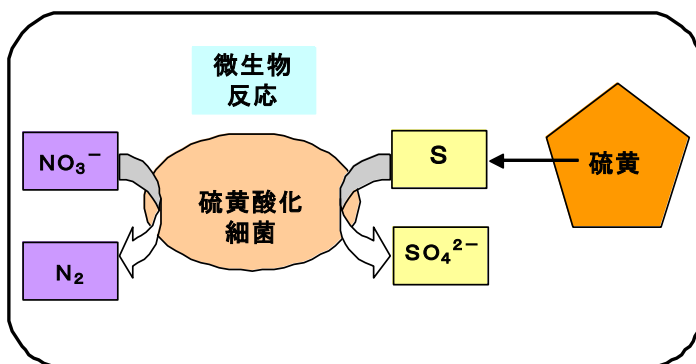


### ② 独立栄養脱窒法

水素供与体として無機物を利用する場合を独立栄養脱窒法といいます。

たとえば、硫黄を利用し、硫黄酸化細菌が硝酸を取り込み、硝酸呼吸を行い、窒素を窒素ガスの形で放出します。

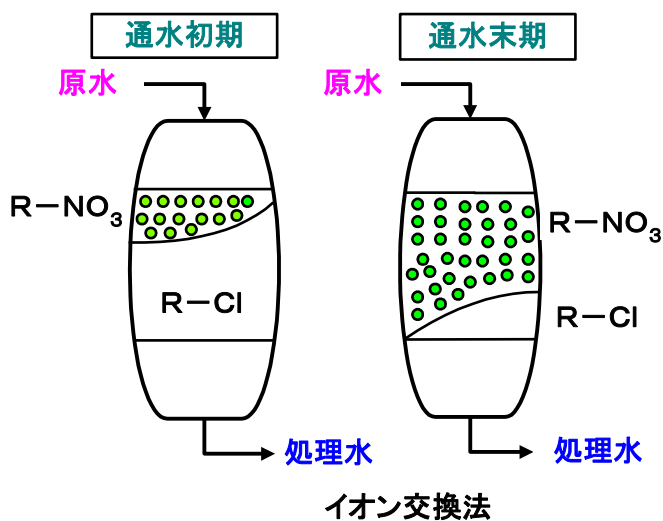
固体または溶液として原水に添加できることや硫酸が生成するために pH が低下するなどの特徴があります。



## (2) 物理化学的方法

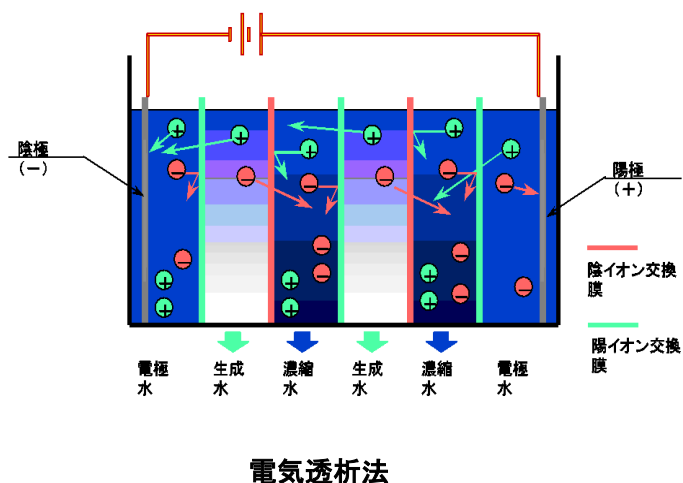
### ① イオン交換法

硝酸性窒素の除去には、通常、塩化物型強塩基性陰イオン交換樹脂が用いられ、塩化物イオンとイオン交換を行い浄化します。



### ② 電気透析法

電気透析とは、イオン交換膜を用いて、イオンを分離除去する方法で、地下水中のイオンとして存在する硝酸・亜硝酸性窒素への応用が考えられます。硝酸・亜硝酸性窒素が陰イオンであることから揚水した地下水に陽極と陰極を入れ、その間に陽イオン交換膜と陰イオン交換膜を交互に配列することによって、硝酸・亜硝酸性窒素の除去された浄化水（生成水）と濃縮水に分離することができます。







## 4. 2 硝酸性窒素による地下水汚染浄化技術の分類

硝酸性窒素による地下水汚染対策は、表 4-2 に示すように、汚染防止対策（表 4-2 の汚染防止）と帯水層浄化対策（表 4-2 の浄化）があります。

前者は、土壌や地下水への硝酸性窒素の供給を削減する方法（表 4-2 供給削減）と土壌中を浸透する硝酸性窒素が帯水層に到達するのを防止するために、地下浸透の段階において硝酸性窒素を除去する方法（表 4-2 溶脱防止）があります。溶脱防止の多くは、脱窒細菌が活発に働く層を形成するという考えが中心となっています。

一方、後者は、帯水層の地下水を浄化する方法で、帯水層の汚染された地下水をそのままの位置で浄化する方法（原位置分解）と帯水層から汚染地下水を汲み上げ、汲み上げた汚染地下水に浄化のための処理を施す方法（揚水後処理）があります。

本技術集で対象とする浄化技術は、溶脱防止、原位置分解及び揚水後処理です。これらには、4. 1 で述べた浄化の原理が取り入れられています。溶脱防止は、汚染防止の技術ではありますが、浄化としても用いられる生物化学的な原理を用いていることから、ここでは、浄化技術の一つとして取り扱っています。

実際にこれらの浄化技術を適用する際の技術の選定について図 4-1 に示します。

表 4-2 浄化技術の分類

技術の分類		技術の概要
汚染防止	供給削減	施肥の減量化や肥効調節肥料の導入、クリーニングクロープの活用等、土壌や地下水への硝酸性窒素の供給を削減する
	溶脱防止	硝酸性窒素の地下水への溶脱を防止するため、地下浸透の段階で硝酸性窒素を分解する
浄化	原位置分解	地下水に含まれる硝酸性窒素を地下（原位置）で分解する
	揚水後処理	揚水等により取り除いた汚染地下水中の硝酸性窒素を分解、または分離して処理する

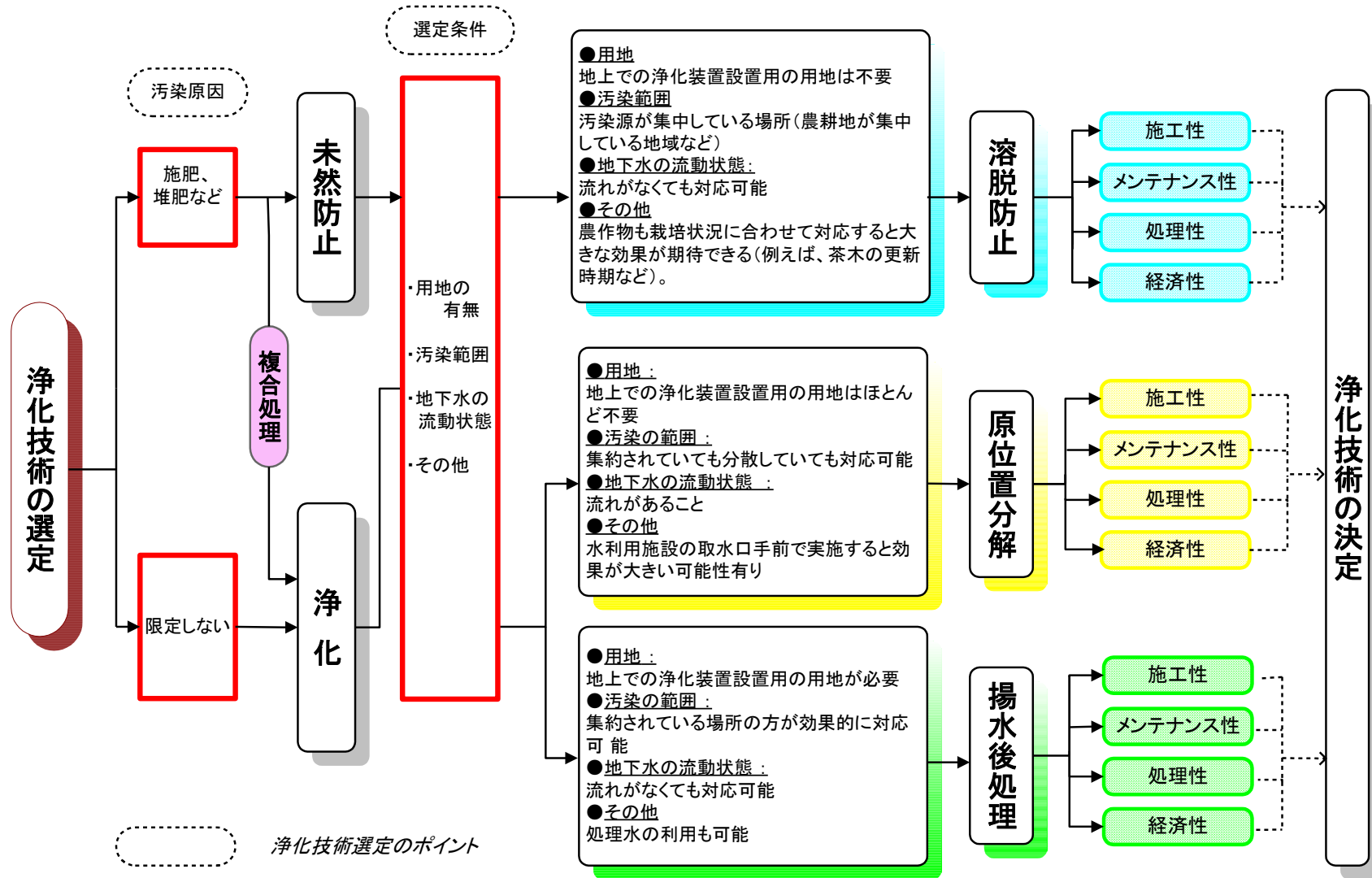


図 4-1 浄化技術の選定フロー

#### 4. 3 代表的浄化技術事例の詳細

環境省では、硝酸性窒素による地下水汚染浄化技術の開発・普及を目的として、浄化技術の公募を行い、学識経験者により選定された技術について表 4-3 に示す実証調査を実施しました。平成 16 年度から平成 20 年度に行った実証技術について、表 4-5 に概要を示し、参考資料に各技術の詳細を示します。また、実証技術以外の技術についても独立行政法人科学技術振興機構（JST）文献検索システムや関連技術雑誌から文献検索を行い、フィールド実験レベルで効果が報告されている浄化技術について表 4-4 及び表 4-6 に示しました。

浄化技術を適用した場合、浄化を開始してからしばらくの間、硝酸性窒素の濃度が変動することがあります。このため、濃度が十分に低下し、その変化が少なくなるまでは、季節変動等を把握できる頻度で水質を測定します。定期的なモニタリングにより、浄化効果を評価し、さらに効率が改善されるような運用を検討していくことが望まれます。

なお、本技術集は、浄化技術の実験例から浄化の特性、効果等を紹介したものですので、必ずしもその内容を保障するものではありません。各実施主体は、浄化技術の選定に当たり、事前に依頼する事業者と浄化の効果等について十分に連絡調整いただく必要があります。

表 4-3 実証調査対象浄化技術の一覧

技術分類		技術名
汚染防止技術	溶脱防止	①茶園等多窒素投入土壌における固体水素供与体を用いた面的浄化技術
		②畑地の畜糞堆肥および施設園芸の土壌から溶脱する硝酸性窒素の浸透抑制技術
		③水素供与体供給層及び脱窒促進層を組み合わせた面的浄化技術
		④徐放性有機物の埋設工法による土壌浸透水の生物学的脱窒技術
浄化技術	原位置分解	⑤ナチュラル・バイオレメディエーション法を用いた技術
		⑥地域食品副産物を用いた原位置バイオレメディエーション
		⑦自然エネルギーを利用した地下水原位置浄化技術
		⑧硫黄・カルシウム系基質を用いた硫黄酸化脱窒細菌による浄化技術
		⑨透過性浄化壁工法による硝酸性窒素汚染地下水の原位置浄化
	揚水後処理	⑩硝酸汚染地下水の固体触媒による浄化システム
		⑪腐植木チップを用いた硝酸性窒素除去システム

表 4-4 その他硝酸性窒素に係る浄化技術例

技術分類		文献名	出典
浄化技術	揚水後処理	硫黄/カルシウム系脱窒材を用いた茶園地下水の硝酸性窒素処理	平戸靖浩, 山田勝弘, 市口哲男 (新日鉄化学 総研), 宮永俊明 (新日鉄化学技術部), 用水と排水 Vol.45 No.5, 2003
		電気透析装置と生物脱窒装置による硝酸性窒素汚染地下水のオンサイト浄化	馬場義輝, 松尾宏, 石橋融子, 永淵義孝 (福岡県保健環境研), 高橋洋子 (福岡県 環境部), 野中信一 (神鋼パソテック 技研), 平田健正 (和歌山大システム工), 西川雅高 (国環研), 水環境学会誌 Vol.26 No.6 2003
		畜産汚水を対象とした高度処理に関する研究－硫黄酸化菌による窒素除去等－	和波一夫 (東京都環境科学研究所), 嶋津暉之 (元・東京都環境科学研究所), 羽田野一幸, 谷田貝敦 (クリオン(株)), 東京都環境科学研究所年報 Vol.2007
		茶園地下水から汚染物質の低圧逆浸透膜による濃縮・回収技術の検討	「規制項目等有害元素による地下水高濃度汚染実態解明と修復技術の開発に関する研究より引用 「茶園地下水から汚染物質の低圧逆浸透膜による濃縮・回収技術の検討」松尾喜義他 農林水産技術会議事務局, 研究成果 418, 2003.12
	水源地域の汚染地下水の浄化実験	井上充, 渡邊久典 (神奈川県環境科学センター環境技術部), 神奈川県環境科学センター研究報告第 31 号, 2008	
原位分解	酸化了的浅層地下水における硝酸性窒素の原位置浄化	李盛源, 田瀬則雄 (筑波大大学院環境科学研究科), 地下水学会誌 Vol.49 No.2, 2007	

表 4-5-(1) 実証調査対象技術の概要 (1)

		汚染防止－溶脱防止			
		①茶園等多窒素投入土壌における固体水素供与体を用いた面的浄化技術	②畑地の畜糞堆肥および施設園芸の土壌から溶脱する硝酸性窒素の浸透抑制技術	③水素供与体供給層及び脱窒促進層を組み合わせた面的浄化技術	④徐放性有機物の埋設工法による土壌浸透水の生物学的脱窒技術
技術概要		土壌表層に脱窒材（固体水素供与体）を混合し、地下水の浸透時に生物学的脱窒を行う。	<p>a) 深層施用 脱窒材を地下 30cm まで反転耕起し深層施用する。地下浸透した未吸収の窒素を脱窒菌で脱窒させる。</p> <p>b) 湛水太陽熱消毒 脱窒材を土壌に散布して混合し、水張りした後にマルチ掛けする湛水太陽熱消毒時に、高温かつ嫌気状態で、土壌から溶脱した硝酸性窒素を脱窒・揮散させる。</p>	<p>窒素の面的負荷量の高い表層（作土層）下部の透水性の高い不飽和地盤に水素供与体（有機物）供給層および脱窒促進（低透水）層を設置して、土壌浸透水中の硝酸性窒素を生物学的脱窒反応を利用して除去する。</p> <p>水素供与体供給層として、</p> <p>a) 徐放性有機物埋設工法：脱窒材として徐放性高級脂肪酸を土壌に混合する方法</p> <p>b) 液体有機物注入工法：脱窒材として液体有機物（糖液）を断続的注入する方法</p>	<p>窒素の面的負荷量の高い表層（作土層）下部の透水性の高い不飽和地盤に粒度調整を行った徐放性高級脂肪酸（ステアリン酸）を混合し、最適含水比で締め固めを行うことにより、脱窒促進（低透水）層を設けずに土壌浸透水中の硝酸性窒素を除去する。</p> <p>③水素供与体供給層及び脱窒促進層を組み合わせた面的浄化技術、a) 徐放性有機物埋設工法の改良工法である。</p>
施工概要	脱窒材の種類	固体水素供与体（主としてステアリン酸など）	液体脂肪酸（主としてオレイン酸など）	a)粒状高級脂肪酸（ステアリン酸） b)液体有機物（廃糖蜜）	ビーズ状および粉末高級脂肪酸（ステアリン酸）
	施工内容	・散布耕耘 ・表層～深さ 10cm	a)散布反転耕起、深さ 30cm 程度 b)散布耕耘、表層～深さ 10cm	a)掘削（約 1.5m）、土壌置換・締固（約 50cm）、 b)掘削（約 1.0m）、土壌置換・締固（約 10cm）、設備工	掘削（約 1.0m）、土壌置換・締固（約 20cm）
	投入量 (kg/m <sup>2</sup> )	1kg/m <sup>2</sup>	a) 0.5kg/m <sup>2</sup> b) 0.2kg/m <sup>2</sup>	a) 3.2kg/m <sup>2</sup> b) 50g/m <sup>2</sup> /回（年間 24 回注入）	7.2kg/m <sup>2</sup>
技術の有効性	<p>・深さ 30～80cm（脱窒材投入量=1kg/m<sup>2</sup>）の土壌溶液</p> <p>初期 NO<sub>3</sub>-N 濃度：9.7～24.6mg/L</p> <p>2 ヶ月後 NO<sub>3</sub>-N 濃度：1.0～4.2mg/L</p> <p>・地中温度が 18℃以上で効果大</p>	<p>a) 深層施用；（即効＋長寿命） 液体脂肪酸 0.5kg/m<sup>2</sup> 相当量を地下 30cm に投入した場合で 50～260mg/L の NO<sub>3</sub>-N を約 3 ヶ月に渡って半減。</p> <p>b) 湛水太陽熱消毒；（即効＋短寿命） 液体脂肪酸を 0.2kg/m<sup>2</sup> 相当量を用いた場合で 740mg/L の NO<sub>3</sub>-N を 1 ヶ月未満で最大 90%程度減少。</p>	<p>土壌浸透水中の硝酸性窒素の平均濃度が 10mg/L 程度であれば、ほぼ 100%浄化することが可能（6 ヶ月間の実証試験での結果）。</p>	<p>土壌浸透水中の硝酸性窒素濃度が 20～60mg/L 程度（平均値：35mg/L）の場合、水素供与体供給層下部において約 98%除去可能（試験開始から 6 ヶ月間までの実績値）。</p>	
経済性	脱窒材	500～800 円/kg（1,000kg 以上の一括納入）	500～800 円/kg（1,000kg 以上の一括納入）	a)400～600 円/kg      b)30～100 円/kg	300～600 円/kg
	施工	<p><u>散布耕耘（1,000 m<sup>2</sup>当り）</u> 既存の大型農機具で作業可能（1hrs）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>農機具運転人件費：1,200 円</li> <li>農機具燃料代：200 円</li> <li>脱窒材：800,000 円</li> <li>計 801 円/m<sup>2</sup></li> </ul>	<p><u>散布反転耕起、耕耘（1,000 m<sup>2</sup>当り）</u> 既存の大型農機具で作業可能（2.5hrs）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>農機具運転人件費：3,000 円</li> <li>農機具燃料代：500 円</li> <li>脱窒材：a)400,000 円      b)160,000 円</li> <li>計 a) 404 円/m<sup>2</sup>      b) 164 円/m<sup>2</sup></li> </ul>	<p>a) 施工費：土壌掘削工・置換工、土壌締固工 材料費：ステアリン酸（粒状） 4,800 円/m<sup>2</sup>（対策面積 1ha、設計年数 30 年）</p> <p>b) 施工費：土壌掘削工・置換工、土壌締固工・設備工 4,200 円/m<sup>2</sup>（対策面積 1ha、設計年数 30 年）</p>	<p>施工費：土壌掘削工・置換工、土壌締固工 材料費：ステアリン酸（粒度調整） 4,500～7,500 円/m<sup>2</sup> （対策面積 1ha、設計年数 30 年）</p>
	ランニングコスト	・不要	・不要	<p>a) 不要</p> <p>b) 設備費：ポンプ運転費、メンテナンス費 材料費：液体有機物（廃糖蜜） 計 60 円/m<sup>2</sup>/年</p>	不要
適用対象	畑 堆肥関連施設	○（茶畑、大量肥料投入地） ○	○（茶畑、大量肥料投入地） ○	○（茶畑、大量肥料投入地） ○	○（茶畑、大量肥料投入地） ○
周辺への影響	<p>・脱窒材は天然物を主成分としており生分解性は高く環境への負荷は低いと思われる。</p> <p>・有機物供給量の適正な設計により、土壌間隙水中の汚濁は防止可能と考えられる。</p>	<p>・脱窒材は天然物を主成分としており生分解性は高く環境への負荷は低いと思われる。</p> <p>・有機物供給量の適正な設計により、土壌間隙水中の汚濁は防止可能と考えられる。</p>	<p>・脱窒材料は安全で分解性が高く、環境への負荷は低い</p>	<p>・有機物供給量の適正供給量を設計でき、地下水の有機物汚濁を防ぐと共に経済性も高い。</p>	
実証機関名	ナベック株式会社（旧 松下ナベック株式会社）	ナベック株式会社（旧 松下ナベック株式会社）	大成建設株式会社	大成建設株式会社	

注) (1) 作成方針

①農協、地方公共団体で硝酸性窒素除去技術を選択する場合にある程度の選択ができる比較表。②詳細は別途、参考資料の各技術別のまとめ表を参照してもらうこととし、特にポイントとなる事項のみ記載。

(2) 表の見方について

①汚染状況の確認（硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素に係る水質汚染対策マニュアルによる）→②溶脱防止 or 原位置分解 or 揚水浄化 or 複合処理により方法を選択する。→③処理性、適用対象、施工状況を見て、当該地点で採用可能な方法を選択する。→④費用の範囲により、更に方法を選択する。→⑤その他、留意事項があれば勘案して、方法を選択する。

表 4-5-(2) 実証調査対象技術の概要(2)

		浄化－原位置分解					
		⑤ナチュラル・バイオレメディエーション法を用いた技術	⑥地域食品副産物を用いた原位置バイオレメディエーション	⑦自然エネルギーを利用した地下水原位置浄化技術	⑧透過性浄化壁工法による硝酸性窒素汚染地下水の原位置浄化	⑨硫黄・カルシウム系基質を用いた硫酸化脱窒細菌による浄化技術	
技術概要		地下水に栄養剤（易分解性有機物）を注入し地下水流動過程での微生物による脱窒反応を促進する	土壌中に脱窒材（食品副産物、じゃがいもの絞りかす）を供給し土着微生物の脱窒反応を促進	脱窒細菌固定電極を地下水以深に埋設させ、水の電気分解で発生する水素を電子供与体として硝酸性窒素を浄化	地下水流路に、透過性地下水浄化壁を設け原位置で浄化を行うもの 浄化壁は脱窒材（生分解性プラスチックと鉄粉より成る）	硫黄・カルシウム系基質を用いた硫酸化脱窒細菌による浄化技術 （新日鉄エンジニアリング）	
施工概要	脱窒材の種類	栄養剤 （有機酸、窒素、リン等を主体とした化合物）	食品廃棄物（じゃがいもの絞りかす）	水素 （+脱窒細菌固定電極）	生分解性プラスチック（ポリ乳酸等） +鉄粉	硫黄・カルシウム系基質 淡黄色砕石状の混合物	
	施工内容	地下水に注入	地下水流路に脱窒材を充填した孔を列状に設置	電極を地下水内に設置	帯水層地下水流路に壁を設置	地下水流路に壁を埋設	
	投入量(kg/m <sup>3</sup> )	0.2kg/日	50kg/流入地下水量 m <sup>3</sup>	電極ユニットを全量に対して投入	直径 1m、深さ 12m の円柱状浄化壁	700kg/m <sup>3</sup> (50%充填)	
技術の有効性		処理性 栄養剤 0.2L/日注入、約 5m 下流側観測井（還元地下水） ・NO <sub>3</sub> -N 2.2mg/L が、4 日後 0.5mg/L	周辺 1m の観測井 ・NO <sub>3</sub> -N 10.2mg/L が、1 月後 3.4mg/L	・有機物を添加して DO 濃度低下後、数日で NO <sub>3</sub> -N 24mg/L→20～22mg/L に低下。 ・低DO条件下で浄化を確認 有機物、硝酸性窒素物質収支より発生水素による硝酸性窒素の除去確認	・浄化壁設置直後から 3 年間約 10mg/L の硝酸性窒素濃度地下水についてはほぼ 100% 浄化を確認。 ・8 年経過時に約 10mg/L→0.5mg/L の浄化効果の持続を確認	硫黄・カルシウム系基質の浄化材に硝酸性窒素汚染地下水を通すことにより、無機質の硫黄が電子供与体として作用し、硝酸性窒素を浄化する。	
経済性		脱窒材	4,000 円/kg	入手先により異なる （本実証調査では供給元から無償で提供）	60,000 円/電極ユニット	鉄粉：5 万～20 万円/t、生分解性プラスチック：40 万～100 万円/t	¥120,000～¥1,200,000 /m <sup>3</sup> （小粒・砕石状の場合）
		施工	対象規模 ・拡散防止対象面積 200m <sup>2</sup> 注入設備施工 ・注入井戸設置 深度 5m×13 本：約 200 万 ・注入、運転制御装置（1 系）：約 100 万 ・その他：約 100 万 約 3 万円/m <sup>2</sup>	対象規模 ・拡散防止対象面積 50m <sup>2</sup> 栄養剤埋設 ・充填孔設置 深度 5m×20 本：約 300 万円 ・観測井戸 深度 5m×2 本：約 50 万円 ・その他：約 100 万円 約 25 万円/m <sup>2</sup>	・水深 1m、幅 1m、 ・処理能力 1 ユニット/20 m <sup>2</sup> で想定 電極設置費、電極費 3,000 円/平面 m <sup>2</sup>	・岐阜県各務原に設置した実証試験浄化壁の施工時費用 ・施工費：浄化杭打設工、残土処理工、材料攪拌費、材料費（鉄粉、生分解性プラスチック、砕石）等 70 万円/m（施工対象規模：直径 1m、深さ 12m の円柱状浄化壁、対策帯水層断面積 12m <sup>2</sup> 、耐用年数 30 年）	・水路敷設型 敷設仕様：W0.5m×D0.5m×L100m 敷設人件費：5 万円 ・透過壁型 透過壁仕様：W1m×L100m×D2m 工事費：15 万円/m （透過壁長あたりの直工費、脱窒材別）
		ランニングコスト	・脱窒材：約 30 万円/年 ・ポンプ運転電気代：約 2 万円/年 ・モニタリング費：約 170 万円/年 計 約 200 万円/年 （交通費・宿泊費は含まない）	・モニタリング費：約 100 万円/年 （交通費・宿泊費は含まない）	・電気代：200 円/年・m <sup>2</sup>	不要	不要
適用対象		地下水	○（流動状態）	○（流動状態）	○（流動状態）	○（流動状態）	○（流動状態）
		堆肥関連施設	○	○	○	○	○
周辺への影響		・栄養剤は有機酸化合物、リン・窒素化合物、ミネラル等が主成分であり有害成分は含まれていない	・栄養剤は有機酸化合物、リン・窒素化合物、ミネラル等が主成分であり有害成分は含まれていない	・必要な水素量は理論的に計算でき、印加電流で正確に制御できるので、水素ガスの排出量は極めて少なく、影響は無視できる。	・生分解性プラスチックのため影響なし	・浄化用基質が無機物のため、有機物を用いる場合に比べて環境負荷が少ない。 ・微生物の増殖が少なく、目詰まりしにくい。	
実証機関名		東和環境科学株式会社 （旧 東和科学株式会社）	東和環境科学株式会社 （旧 東和科学株式会社）	株式会社 ヤマト	大成建設株式会社	新日鉄エンジニアリング株式会社	

注) (1) 作成方針

①農協、地方公共団体が硝酸性窒素除去技術を選択する場合にある程度の選択ができる比較表。②詳細は別途、参考資料の各技術別のまとめ表を参照してもらうこととし、特にポイントとなる事項のみ記載。

(2) 表の見方について

①汚染状況の確認（硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素に係る水質汚染対策マニュアルによる）→②溶脱防止 or 原位置分解 or 揚水浄化 or 複合処理により方法を選択する。→③処理性、適用対象、施工状況を見て、当該地点で採用可能な方法を選択する。→④費用の範囲により、更に方法を選択する。→⑤その他、留意事項があれば勘案して、方法を選択する。

表 4-5-(3) 実証調査対象技術の概要(3)

		浄化－揚水後処理	
		⑩硝酸汚染地下水の固体触媒による浄化システム	⑪腐植木チップを用いた硝酸性窒素除去システム
技術概要		Cu-Pd/AC 固体触媒充填の反応装置に H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> 混合ガスを通過させ窒素ガスに還元除去して地下に注入	脱窒菌の担体と還元剤(資化物)を兼ねるものとして腐植木チップを充填した脱窒槽に、汚染地下水を通過させるだけという、低コストで維持管理が容易な方法で硝酸性窒素を低減させる。
施工概要	脱窒材の種類	Cu-Pb/AC 固体触媒	腐植木チップ
	施工内容	ポンプにより汚染地下水を汲み上げ、装置に注入し、浄化	地下水を揚水して浄化
	投入量 (kg/m <sup>3</sup> )	0.0013 装置容量 m <sup>3</sup> /地下水 m <sup>3</sup>	脱窒素槽容量 80m <sup>3</sup> /地下水 100m <sup>3</sup> (15℃ 原水 15→10 mg/L の場合)
技術の有効性	処理性	NO <sub>3</sub> -N 14.9mg/L→3.7mg/L	期間平均 12mg/L→7.8mg/L 20℃ 11~13 mg/L→5.6~6.7mg/L ・除去効果は、処理水温に影響される。 (15℃ 6.3 g/日 m <sup>3</sup> 15→10 mg/L)
経済性	脱窒材	10 万円/kg	40 円/m <sup>3</sup> (調製・運搬)
	イニシャルコスト	浄化設備施工費(850 万円) ・ボーリング調査費 ・水質分析・触媒試験費 ・揚水ポンプ ・反応装置 ・注入ポンプ ・浮遊物質除去等前処理装置	日 100m <sup>3</sup> 処理装置施工費 約 4,500 万円 ・原水取水設備 (揚水ポンプ等) ・流量調整槽 (パネルタンク組立て) ・脱窒槽 (パネルタンク組立て) ・処理水調整槽 (パネルタンク組立て) ・配管、制御設備、電気工事
	ランニングコスト	電力料 33 円/m <sup>3</sup> 、水素ガス 2125 円/m <sup>3</sup> 、炭酸ガス 750 円/m <sup>3</sup> 、フィルター交換 48 円/m <sup>3</sup> 、メンテナンス 232 円/m <sup>3</sup> 計 3188 円/m <sup>3</sup> (固体触媒は含んでいない)	日 100m <sup>3</sup> 処理 ・脱窒材：廃ぼだ木等 64 万円/年 (調製・補充 20%) ・ポンプ運転電気代： 75 万円/年 ・メンテナンス費： 150 万円/年 (委託人件費 144 日×0.5 人)
適用対象	地下水	○	○
	堆肥関連施設	○	○
周辺への影響		・水素ガス処理が必要	・未利用資源の利用であり、腐植木入手に対する環境影響は少ないが、混入物に留意。 ・地下水の利用井戸が近接する等、腐植木チップより溶出する余剰有機物の影響が懸念される場合は後処理が必要
実証機関名		株式会社 ヒューエンス	エヌエス環境株式会社

注) (1) 作成方針

①農協、地方公共団体に硝酸性窒素除去技術を選択する場合にある程度の選択ができる比較表。②詳細は別途、参考資料の各技術別のまとめ表を参照してもらうこととし、特にポイントとなる事項のみ記載。

(2) 表の見方について

①汚染状況の確認 (硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素に係る水質汚染対策マニュアルによる) →②溶脱防止 or 原位置分解 or 揚水浄化 or 複合処理により方法を選択する。→③処理性、適用対象、施工状況を見て、当該地点で採用可能な方法を選択する。→④費用の範囲により、更に方法を選択する。→⑤その他、留意事項があれば勘案して、方法を選択する。



表 4-6-(1) その他の硝酸性窒素に係る浄化技術の概要(1)

		浄化－揚水後処理	
文献名		硫黄/カルシウム系脱窒材を用いた茶園地下水の硝酸性窒素処理	電気透析装置と生物脱窒装置による硝酸性窒素汚染地下水のオンサイト浄化
技術概要		硫黄/カルシウム系基質材に、独立栄養の硫黄酸化細菌を担持した硝酸性窒素処理システムである。茶園に囲まれた人工のため池の浄化実験を行った。	電気透析装置と生物脱窒装置を組み合わせた浄化システムの利用。
実験場所		静岡県内 茶園に囲まれた人工溜池 (流入は、雨水と地下浸透水)	福岡県南部の丘陵地帯 畑地（主として茶栽培） 近隣に溜池有り
実験概要		タンクを3連結させ、その No.2、No.3 槽に脱窒材を充填。 ポンプにより、No.1 槽へ揚水し、高低差で No.2、3 槽へ流下。	試験井戸からポンプにより揚水し、貯留する。 貯留水は、電気透析装置により生成水と濃縮排水に分けられる。 濃縮排水は脱窒槽で脱窒され、曝気槽、沈殿槽を経て、沈殿処理水となり、生成水とあわせて溜池へ放流する。
施工概要	脱窒材の種類	硫黄/カルシウム系	脱窒槽（脱窒菌、メタノール、リン酸）
	施工内容	実験装置：500L タンク 3 連結、No.2、3 槽に脱窒材 500kg を充填。 ポンプ能力 1m <sup>3</sup> /h	(揚水ポンプ) 受水槽、電気透析装置、脱窒槽、曝気槽、沈殿槽
	規模	通水量 1m <sup>3</sup> /d	原水 10.38～2.69 m <sup>3</sup> /d、 生成水 9.33～2.42 m <sup>3</sup> /d 濃縮排水 1.05～0.27 m <sup>3</sup> /d
技術の有効性	処理性 (実験例)	年間平均除去率 34.8% 年間 2.17kg の硝酸性窒素を除去 脱窒材の消費 1%程度	試験井戸水 NO <sub>3</sub> -N 42.5mg/L → 電気透析 → 陰極槽 8.5mg/L、 陽極槽 361mg/L → 脱窒処理 31.2mg/L → 沈殿処理 22.7mg/L 《陰極槽の水と混合して 10mg/L 以下に調整して放流》
適用対象		地下水	地下水
留意事項		脱窒材との中和効果によってアルミニウムが析出し、処理性を低下させることがある。	脱窒過程で、中間体である亜硝酸性窒素、亜酸化窒素が検出される場合もあるので、それらの抑制の検討も必要である。
出典等		平戸靖浩, 山田勝弘, 市口哲男 (新日鉄化学 総研), 宮永俊明 (新日鉄化学 技術部), 用水と排水 Vol.45 No.5, 2003	馬場義輝, 松尾宏, 石橋融子, 永淵義孝 (福岡県保健環境研), 高橋洋子 (福岡県 環境部), 野中信一 (神鋼パンテック 技研), 平田健正 (和歌山大 システム工), 西川雅高 (国環研), 水環境学会誌 Vol.26 No.6 2003

表 4-6-(2) その他の硝酸性窒素に係る浄化技術の概要(2)

		浄化－揚水後処理	
文献名		畜産汚水を対象とした高度処理に関する研究－硫黄酸化菌による窒素除去等－	茶園地下水から汚染物質の低圧逆浸透膜による濃縮・回収技術の検討
技術概要		硫黄-カルシウム系基質を用いて硫黄酸化脱窒細菌によって硝酸性窒素を除去する。	逆浸透膜（RO 膜）を利用して、浄化水と塩類濃縮水を得るシステムを利用して茶園地下水を濃縮し、茶園に再利用する技術を検討した。
実験場所		養豚汚水処理施設脇	静岡県牧の原台地
実験概要		装置主要構成：接触曝気槽、脱窒槽、再曝気槽（全容量 1.6m <sup>3</sup> ） 稼動期間：10 ヶ月 原水：養豚汚水処理施設の処理工程水（活性汚泥膜処理水） 原水流入量：1.5m <sup>3</sup> /日（20 分ごとの定量注入） 処理水量：1.5m <sup>3</sup> /日 滞留時間：約 26 時間	RO 膜濃縮装置 原水：牧の原台地の渓流水 牧の原台地端の斜面湧水 RO 膜濃縮装置では、2 時間の運転で膜モジュールの通過水量 1500L、浄化水 500L を得た。 低濃度流出水から浄化水を生成し、通常は排水とする高濃度溶存塩類濃縮水を得て茶園にリサイクルさせる。
施工概要	脱窒材の種類	硫黄・カルシウム系基質	－
	施工内容	原水槽、接触曝気槽、脱窒槽、再曝気槽、返送水槽、余剰汚泥槽の設置	RO 膜濃縮装置
	規模	全容量：1.6m <sup>3</sup> 処理水量：1.5m <sup>3</sup> /日	2 時間の運転で膜モジュールの通過水量 1500L、浄化水 500L
技術の有効性	処理性（実験例）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・T-N として除去率 68%（約 10 ヶ月間の平均値）</li> <li>・有機物などの添加は不要。</li> <li>・電子供与体として固体硫黄を使用し、処理槽に充填すれば、常時的な供給は不要。</li> <li>・脱窒材の消費量試算結果によると 1 日排水量 100m<sup>3</sup> を処理する場合 原水の NO<sub>3</sub>-N200mg/L を処理水で 80mg/L とするには、脱窒材は年間 20トンの充填が必要。</li> </ul>	原水 30mg/L 程度にとき RO 流出水 数 mg/L 程度 濃縮液：40mg/L 以上
適用対象		畜産排水	地下水
留意事項		冬季の水温低下防止に留意が必要。	濃縮水の再利用については、作物への肥料効果などの確認実験が必要。
出典等		和波一夫（東京都環境科学研究所），嶋津暉之（元・東京都環境科学研究所），羽田野一幸，谷田貝敦（クリオン(株)），東京都環境科学研究所年報 Vol.2007	「規制項目等有害元素による地下水高濃度汚染実態解明と修復技術の開発に関する研究」より引用 「茶園地下水から汚染物質の低圧逆浸透膜による濃縮・回収技術の検討」松尾喜義他 農林水産技術会議事務局，研究成果 418，2003.12

表 4-6-(3) その他の硝酸性窒素に係る浄化技術の概要(3)

		浄化－揚水後処理	浄化－原位置浄化
文献名		水源地域の汚染地下水の浄化実験	酸化的浅層地下水における硝酸性窒素の原位置浄化
技術概要		電気透析膜装置で硝酸性窒素を分離し、濃縮水を浮上式生物ろ過膜脱窒装置で脱窒した。	生物学的浄化法を用い、自然浄化（脱窒）が期待できない酸化的条件下である筑波台地のローム層で、硝酸性窒素汚染地下水の原位置浄化を試みた。
実験場所		神奈川県内 H 市水道局取水場	筑波台地北東部の末端斜面に位置する開析谷
実験概要		取水場の地下水貯留槽から地下水を原水槽に送り、電気透析膜装置で硝酸性窒素を分離し、生成水は沢へ放流した。一方、濃縮水を浮上式生物ろ過膜脱窒装置で脱窒し、沢へ放流した。	丸い杭状の透水性浄化壁を帯水層に対して垂直に丸い杭状の透水性浄化壁を設置して、農地から過剰施肥による汚染地下水を通過させて浄化した。
施工概要	脱窒材の種類	① 粉末のパルミチルアルコール ② 本措置から発生する引き抜き汚泥及び浮上汚泥の粉砕汚泥溶液	生分解性プラスチック（高級脂肪酸）、（ポリ乳酸）、（おがくず）
	施工内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>電気透析膜装置 原水槽、電気透析膜装置、放流槽 陽イオン交換膜と陰イオン交換膜（23×25×0.1cm）計 100 枚が交互に重積</li> <li>浮上式生物ろ過膜脱窒装置 調整槽、脱窒槽、pH 調整槽、間欠曝気槽、循環水槽、粉砕汚泥溶液槽</li> </ul>	透水性浄化壁 塩化ビニル製パイプ直径 100mm、150cm 位置に直径 22.5mm の穴 1 箇所 5 本（前列 2 本、後列 3 本） 計 15 本設置 浄化壁内部充填物 A：生分解性プラスチック（高級脂肪酸）＋砕石＝充填比率（重量比）9.8：90.2 B：生分解性プラスチック（ポリ乳酸）＋鉄粉＋砕石＝充填比率 0.4：99.5：0.1 C：おがくず（天然有機物）＋鉄粉＋砕石＝充填比率 16.0：80.0：4.0
	規模	原水 870～1200L/日（平均 1,100L/日） 生成水 790～1200L/日（平均 1,030L/日） 濃縮水 51～84L/日（平均 67L/日）	同上
技術の有効性	処理性（実験例）	原水 平均 T-N10mg/L 電気透析膜装置：生成水 T-N2.2mg/L 浮上式生物ろ過膜：T-N4.0mg/L 組み合わせた装置全体：T-N 除去率平均 78%	浄化壁 A：上流の観測井戸 37.5mg/L 浄化壁内部 0.1mg/L
適用対象		地下水	地下水
留意事項		粉砕汚泥溶液の利用により、パルミチルアルコールの添加量を減らすことが可能。本実験は処理水を沢へ放流したが、地下涵養へ利用することも可能。	脱窒反応の最も重要な制限要因は電子供与体としての有機物の存在である。
出典等		井上充，渡邊久典（神奈川県環境科学センター環境技術部），神奈川県環境科学センター研究報告第 31 号，2008	李盛源，田瀬則雄（筑波大大学院環境科学研究科），地下水学会誌 Vol.49 No.2，2007

## 5. 浄化対策手法に関する支援制度

硝酸性窒素のような有害物質で汚染された地下水を浄化するためには、その汚染が広範囲に及ぶため、高額な費用がかかる傾向があります。そこで、事業者の皆さんが、浄化対策を実施する際、国では各種の優遇制度を設けてそのバックアップに努めています。以下、支援制度について御紹介します。この他、地方公共団体等が独自に公害防止設備等に優遇制度を設けている場合がありますので、お近くの自治体にご相談ください。

### ○低利融資（利子助成）

以下の金融機関では、土壌・地下水汚染防止のための措置に対する低利融資を行っています。

- ・（株）日本政策投資銀行  
環境配慮型社会形成促進事業（市街地土壌汚染・地下水汚染防止等事業）

### ○税制優遇措置

土壌・地下水浄化施設に係る固定資産税の課税標準の特例（土壌の汚染を除去するための償却資産について課税標準を 1/3、地下水を浄化するための償却資産について課税標準を 1/2）、特別土地保有税の非課税が措置されています。

## 6. 硝酸性窒素による地下水汚染対策技術についての課題

硝酸性窒素浄化技術普及開発調査の5年間の調査結果をもとに分析した結果、硝酸性窒素による地下水汚染の未然防止及び浄化のための技術については、次のような課題が存在することが判明しました。

### ①浄化コスト負担者の確定が困難

汚染者負担の原則に従って、汚染の浄化については汚染原因者が負担するのが原則です。そして、汚染原因者が自主的に浄化を行わない場合には、行政指導や水質汚濁防止法の浄化措置命令等により汚染原因者に浄化を命ずることとなります。

ただし、これらの措置は、汚染原因者の確定が前提となります。

しかしながら、硝酸性窒素汚染は、汚染原因が多岐にわたり、また、汚染が面的に広がる場合が多いため、汚染原因者の確定が技術的に困難である場合が多く、これが浄化実施の大きな障害となっているケースが多く見られました。

このような障害を克服するためには、地下水にかかる基礎データの整備や汚染状況の把握を迅速にかつ簡易に実施するための調査手法の確立が重要です。

### ②緊急性の認識

また、硝酸性窒素汚染による健康影響については、症状が乳幼児のみにあらわれる、硝酸性窒素を多く含む土地で育てられた農作物を摂取しても健康への影響はない、硝酸性窒素を含む地下水の飲用を控え上水道に切り替えることで簡単に健康影響を防止できる、等の理由から、汚染防止の緊急性が低いと認識される傾向にあります。

硝酸性窒素による地下水汚染を防止するためには、まずは、その対策の重要性についての意識の向上を図ることが求められています。

### ③高額な浄化コスト負担等

実証調査の結果、1) 浄化施設の設置には多大な費用を要すること、(特に、地下水の場合、汚染範囲が広く、地質や地下水の流動状態などによっては効果が現れにくく、浄化されるまでに長期間を要するケースが多く、これにより、さらなる負担増が必要になるケースもあります)、2) 浄化施設のメンテナンスが必要となる場合も多くあること、さらに、3) 浄化施設を設置する用地の問題や、農耕地に施工する場合は施工工事の時期などの調整が必要となること、等の課題が浮かびあがってきました。

このような課題を解決するためには、低コスト及び省スペースといった条件を満たす浄化技術のさらなる研究開発と技術展開が必要です。

このように、浄化技術については、現状では多くの課題が存在していることが判明しました。従って、生活系、畜産系、農業系からの窒素負荷を削減するための供給削減対策を着実に実施することにより地下水汚染を未然に防止することが現実的であり、そして何よりも重要です。紹介した浄化技術については、現時点では、フローにも示したとおり、代替水源の確保が出来ない水道水源汚染などの時間的に緊急性を要する特殊なケースに、供給負荷削減対策と併せて、適用を検討することが望まれます。

併せて、浄化技術に係る技術的な課題を解決するため、例えば簡易かつ低コストの浄化技術の開発等、研究開発を進めることにより技術の適用範囲の拡大を図るとともに、硝酸性窒素による地下水汚染対策の重要性に対する理解を深めることが極めて重要です。

地下水が汚染されないよう普段からの取組が最も重要ですが、地下水汚染の未然防止及び浄化の技術が必要になったときには、この技術集を参考にして検討していただければ幸いです。