

<論文>

水道水質管理への HACCP 手法導入に関する研究

Study on the Introduction of HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point)

Concept into the Water Quality Management in Water Supply Systems

○横井浩人, 圓佛伊智朗, 依田幹雄, 早稲田邦夫
(株)日立製作所

○Hiroto Yokoi, Ichiro Embutsu, Mikio Yoda, Kunio Waseda
Hitachi, Ltd.

Abstract

Water Safety Plan (WSP) was newly introduced into the 3rd edition of WHO Guidelines for Drinking Water Quality in the process of the latest revision. HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point) is a basic concept that underlies the WSP, and is also known as product quality management method in the field of food and medical manufacturing industries. At the amendments of Drinking Water Quality Standards in Japan, the HACCP concept is focused as an adequate method to realize reasonable water quality management that cover a whole process of water supply systems in a systematic way.

The purpose of this study is to investigate a practical procedure of introducing the HACCP into the water quality management in Japan. Compared with conventional applications of the HACCP, 1) uncontrollable variation of raw water quality, 2) continuous treatment and supply, and 3) numerous standards of water quality items, need to be considered. The HACCP system is expected to realize quick response to water quality change and accidents and improvements of accountability for consumers. Further developments of information tools and applications and verifications of effects of the HACCP systems are the next steps for the dissemination of the HACCP.

Key Words: Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP), Water Safety Plan (WSP), water quality management, hazard analysis, Critical Control Point (CCP)

1. はじめに

世界保健機関(WHO)では2003年から飲料水の水質ガイドライン第3版への改訂を進めている。従来の微生物や化学物質等のガイドライン値の改訂と共に、適正な水質管理マニュアル(WSP: Water Safety Plan)の策定といった水質管理のあり方を含めた内容になっている¹⁾。この水質管理方法として、食品・医薬品製造における衛生管理手法である HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point: 危害分析・重要管理点) の考え方が導入されている。WSP では水源から給水栓までの水道施設全体の運用管理を対象とし、HACCP の手法に従って、危害の種類やそれらへの対応策をそれぞれの工程で例示している。欧米では水道への HACCP 適用の議論が進められており、ワークショップが開催されている²⁾。この中で、HACCP の危害分析手法をリスクアセスメントに取り入れているオーストラリアの取組みが報告されている³⁾。

一方、国内の水質基準改正において、①水質検査の適正化と透明性の確保、②地域性と効率性を踏まえた水質検査業務の柔軟な運用が求められており、水質の安全性確保と水道管理業務の効率化を合理的に両立させる必要がある。そのためには、WSP で用いられている HACCP の考え方に基づいて、水質管理を行うことが有効と考える。

しかし、水道分野への HACCP 適用に当たっては、運用管理との係わりを考慮した具体的な手順が確立されているとは言えない。そのため、HACCP のシステムを日常の水質管理業務や管理システムにまで反映させるために、運用

や課題、さらに情報管理のあり方について整理する必要があると考える。本報では、HACCP を国内の水道管理に導入する際の手順、運用および課題について検討し、水道 HACCP での要件や管理システムに求められる機能を提案する。

2. 従来の HACCP 手法

HACCP は 1960 年代に米国で開発された食品衛生管理手法で、食品の危害分析と重要管理点監視を組み合わせた方法である^{4,5)}。HACCP の特徴は、予め需要家に発生する可能性のある危害分析を行い、これらを防止する上で重要な各製造工程で品質をチェックする点である。日本でも HACCP は食品・医薬品分野で広く普及している。水道に比較的類似した製品としては、ボトルウォーターや水で HACCP 認証を厚労省から取得した例がある。

HACCP の導入は Tab. 1 に示す 7 つのステップに従うのが標準的である。危害分析では生物学的、化学的、物理的要因による健康被害を網羅し、その健康影響と発生頻度を整理する。これを元に、危害発生防止のために特に重要な工程を CCP として設定する。次に、CCP の管理状態が適切であることを確認するためのモニタリング方法およびその許容範囲である CL (Critical Limit) を設定する。CCP のモニタリング方法は相当な頻度で計測を行うこととされている。食品では、滅菌や細菌の増殖抑制のための温度モニタリングが代表的な方法の一つである。

HACCP の運用においては、モニタリングと CL を逸脱した場合の改善措置およびそれらの記録の管理が定常的になされる。改善措置とは CCP が適切にコントロールされていないことが確かめられたときに講じる措置である。さらに、定期的に HACCP システムが適切に運用されているか否かを検証し、不適切な点は改善を行う。

HACCP では CCP の管理に加え、HACCP を効果的に機能させるための一般的衛生管理プログラム (PP: Prerequisite Program) が重要である。PP では、施設・設備・従業員の衛生管理から従業員の衛生教育等まで、広範囲で基礎的な項目が管理対象となる。PP についても記録等による実施状況の確認が必要となる。

このように、食品製造における HACCP の手順は定められている。水道でもこの手順に従った適用になると考えられるが、水道と食品との相違点を抽出し対応することが必要である。

3. 水道への HACCP の導入

3.1 水道 HACCP と食品との比較

食品 HACCP と比較して水道 HACCP で考慮すべき主な項目は以下の 3 点と考える。

(1) 原料品質 (原水水質) の変動

食品では原材料の品質試験や納入元での検査結果があり、所定レベルの原材料を選択できる。しかし、水道では水源が複数ある場合を除き、原水を選択ができない。そのため、天候、季節による水質変動、下水や工場排水の流入による水質変化、水質汚染事故による油等の流入に対して、利水者である水道事業者サイドで対応する必要がある。

(2) 水処理 - 供給の連続性

食品ではロット管理により製品のトレーサビリティが容易に確保できる。そのため、危害発生時の対応もロット毎に行えばよい。しかし、水道の場合、水は浄水場で連続的に処理され、配水管により広範囲で多数の需要家へ継続して供給されるため、ロット管理の概念が適用困難である。また、水道では配水・給水工程において再汚染され

Tab. 1 標準的な HACCP 導入手順

実施ステップ	内容
①危害分析	・危害の重篤度、発生頻度の情報を収集
②CCPの設定	・危害発生を防止するためのコントロールが可能な工程を選定
③CLの設定	・モニタリングの基準値を設定
④モニタリング方法の設定	・相当な頻度で、かつ速やかに結果が得られる方法を選定
⑤改善措置の設定	・CL超過時にCCPに講じる措置を設定
⑥検証方法の設定	・定期的なHACCPプラン検証内容を設定
⑦記録の維持管理	・モニタリング、改善措置等に関する記録方法の設定

る可能性がある。

(3) 対象危害の多様性

2003年5月改正の水道水質基準では、水質基準が50項目、水質管理目標設定項目が27項目、要検討項目が40項目ある。これらの項目による危害の種類は健康被害と利水障害に区分できる。通常、HACCPで対象とする危害は健康被害であるが、水道では水需要家に直接認識されやすい利水障害も考慮の対象とすべきと考える。この時、HACCP導入による費用効果等を考慮してCCPの対象とする危害を選択する必要がある。

3.2 導入手順の検討

前節で示した水道の特徴(1)～(3)を考慮し、標準的なHACCP導入フローに従って水道へのHACCP導入手順を検討した。

(1) 危害分析

危害分析では予想される危害原因物質に対して危害の種類、重篤度、発生頻度について整理を行う。危害原因物質はその由来により分類することができ、それぞれデータ管理上の扱いが異なる。水道では原水、浄水工程および配水・給水工程のそれぞれに由来した危害原因物質がある。Tab. 2に危害分析の結果の一例を示す。ただし、危害の発生頻度は水系毎に異なるものであるため、Tab. 2では記載していない。

Tab. 2 危害分析結果の一例

項目	由来	危害の種類	危害要因	重篤度	頻度	主要措置
一般細菌	水源	健康被害	生物学的	多数に危害	水系毎の 実績で評価	消毒
大腸菌	水源	健康被害	生物学的	多数に危害		消毒
カドミウム及びその化合物	水源	健康被害	化学的	多数に危害		活性炭、イオン交換他
水銀及びその化合物	水源	健康被害	化学的	多数に危害		活性炭、逆浸透他
セレン及びその化合物	水源	健康被害	化学的	多数に危害		イオン交換、逆浸透他
塩素剤(次亜塩素酸ナトリウムなど)	浄水工程	利水障害	化学的	多数に危害		適正注入
凝集剤(PACなど)	浄水工程	利水障害	化学的	多数に危害		適正注入
鉛	配水・給水	健康被害	化学的	多数に危害		管の更新

a) 原水：原水由来の危害原因物質としては、生物(病原菌、原虫、ウイルス)および化学物質(有機物、無機物)が含まれる。危害原因物質としては水質基準項目に加え、ヒトへの感染性を有する原虫(クリプトスポリジウム等)や水質事故等により流入する油等も考慮する必要がある。原水中の危害原因物質の濃度と発生頻度を得るためのデータとしては、過去の水質検査データ、環境省によるその水系の水質検査データ、PRTR(Pollutant Release and Transfer Register)等が利用できる。

水道事業者が独自に行っている原水水質検査データは、原水の特徴を直接把握できる点で重要である。測定頻度が高い項目は、日間や季節での水質変動幅や変化の傾向も危害原因物質に関するデータとして利用できる。一方、検査回数が年数回程度の項目は、年の平均値として扱い、各危害原因物質の長期的な変化を把握するために利用できる。

各水系における環境基準項目の検査データは環境省のHP等から入手可能である。検査頻度は年数回に限られるが、水道事業者での検査結果の妥当性検証や年間平均値として危害分析に用いることができる。

PRTRは、現在435種類の化学物質を対象としており、水質基準項目の約50%をカバーしている。PRTRは1年単位の排出量データであるため、原水中の危害原因物質濃度を直接得るためのデータソースではない。しかし、全都道府県のデータが集計されるため、広範囲な水源地域における多種類の物質による汚染・危害の潜在的ポテンシャルを推定することができる。また、PRTRでは国が農薬等のノンポイントで排出される物質量を都道府県単位で推計し公表しており、これらも利用できる。

上記に加え、農協や河川管理者との連携や水系の連絡協議会により、農薬の1斉散布日や水源地域における自動車事故(油の流入)に関する情報を取得している場合もある^{6,7)}。これらの情報から突発的な原水汚染の種類・発生頻度を得ることができる。

b) 浄水工程：浄水工程では原水中の危害原因物質を除去するために薬剤が注入される。薬剤の過剰は危害の原因となる。そのため、塩素剤、酸・アルカリ剤、凝集剤、オゾン等も危害原因物質として扱う必要がある。

また、水道は水処理と供給が連続しているため、薬剤注入装置や処理装置の不具合が発生すると、十分な処理がなされない水も需要家に供給されてしまい危害を生じさせる。そのため、水道 HACCP では設備の故障も危害の一種として取り扱うべきである。浄水場の設備構成(予備機器の台数等)、日常点検結果からの各機器の故障頻度、機器故障により影響が生じる危害原因物質のリストを作成することが必要である。

c) 配水・給水：配水・給水工程に由来する危害原因物質には、地下水・汚染水の流入、消毒副生成物、追加塩素による塩素、配管の腐食生成物、リグロウス(病原菌他)等がある。これらの危害の発生頻度や危害原因物質の濃度は、給水栓での水質検査、需要家からの苦情、臨時の水質検査、追加塩素注入率等によって把握することができる。また、残留塩素やトリハロメタンについては、管網計算を組み合わせて消費量・生成量の評価計算を行うことで、間接的にはあるが広範囲の濃度分布を推定し、判断材料とすることができる⁸⁾。

以上のように、原料(原水)に関するデータソース利用や設備の故障を危害対象とすることにより、水道の特徴を考慮した危害を分析・整理できる。

(2) CCP の設定

CCP は危害発生を防止するためのコントロールが可能な工程であることが要件である。したがって、危害原因物質の除去性が高い工程/処置と、必要な薬剤の添加など除去性能に影響する工程が CCP となる。

危害分析の結果を踏まえ、危害のリスクレベルが大きい物質について CCP を設定する。CCP を設定するリスクレベルは各水道事業体の管理の実情により異なる。水道では規制対象項目が多いため、一般的には Fig. 1 に示すように管理項目と対象範囲を限定してスタートし、段階的に広げることが実務上、現実的である。本研究では、段階的な拡張の範囲として Fig. 1 に示す 3 つのレベルを設定した。Level 1 では毎日検査の義務がある残塩や濁度等の水質基準項目を対象とする。Level 2 では水質基準項目を全て対象とする。さらに、Level 3 では管理項目として水質管理目標設定項目など比較的発生頻度が少ない項目までカバーし、対象範囲として需要家までカバーする範囲を対象とする。

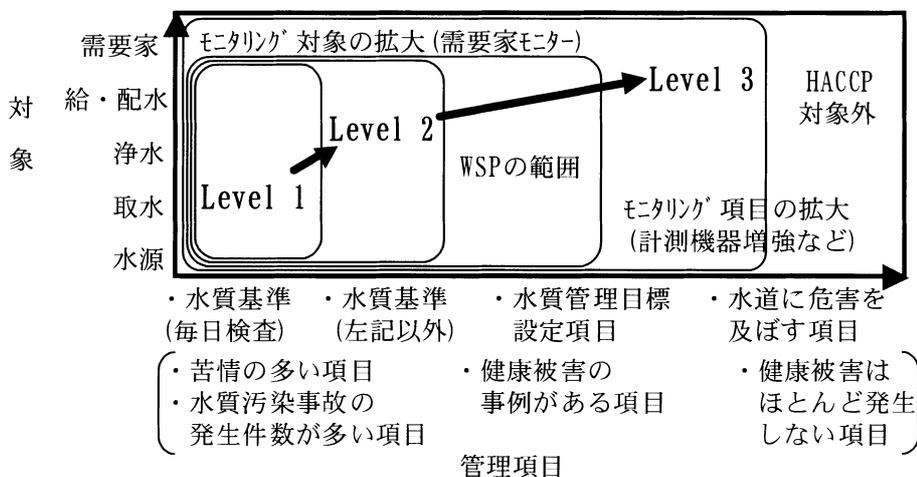


Fig. 1 水道HACCPの対象範囲

また、危害のリスクレベルの設定法として、WSPに記載されているように、重篤度と発生頻度をそれぞれ5段階にランク分けし、これらの積によって設定するのが一つの方法である¹⁾。例えば、重篤度は①影響なし又は検出不能、②少数の人に危害を与えるポテンシャル、③多数の人に危害を与えるポテンシャル、④少数の人が致死のポテンシャル、⑤多数の人が致死のポテンシャルの5段階に、発生頻度は①1回/5年、②1回/年、③1回/月、④1回/週、⑤1回/日に分類する。重篤度と発生頻度の総合が所定ランク以上の物質に対して CCP を設定する。

Fig. 2 に水道 HACCP 向けに新たに提案する CCP 設定フローを示す。この設定フローは、食品の HACCP での CCP 設定フロー¹⁾に、水道で考慮すべき点 (a) 原料品質(原水水質)の変動、(b) 水処理-供給の連続性を盛り込んだもので

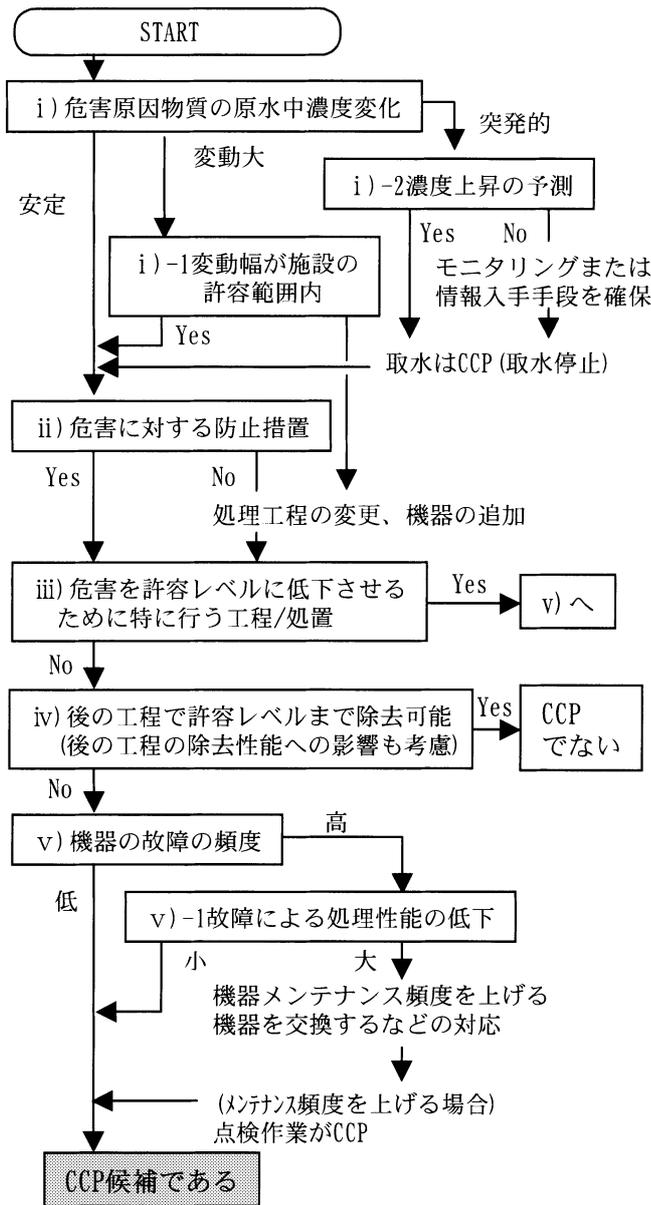


Fig. 2 水道HACCPにおけるCCP設定フロー

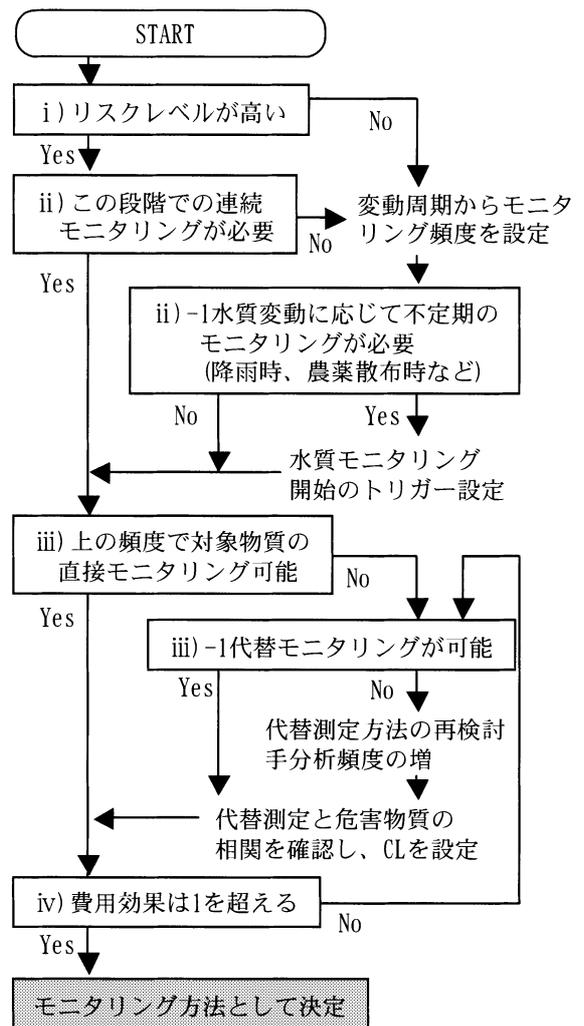


Fig. 4 水道HACCPにおけるモニタリング方法設定フロー

ある。このうち (a) は「危害原因物質の原水中濃度変化」として CCP 設定フロー (i) に反映する。これは、油の流入に代表される突発的な危害に対応するものである。この種の危害を考慮する場合は、原水水質の連続モニタリングまたは必要な情報入手経路の確保を必須とする。次に、(b) は「機器の故障の頻度」として CCP 設定フロー (v) に反映する。これは、機器の故障による危害原因物質の除去不良に対応するものであり、予備器の設置による対処、または点検・モニタリング頻度の増強を必須とする。

CCP 設定のためには、各危害原因物質がどの工程でどの程度除去されるかを把握しておく必要がある。除去率は実際の浄水場の水質データを用いることが望ましいが、本研究では文献⁹⁾による概略の除去性を5段階(①10%以下、②30%、③50%、④70%、⑤90%以上)にランク分けした。本提案の CCP 設定では、ランク④以上の工程と、その工程での除去性能に影響を持つ工程を CCP の候補とした。

Fig. 3 にオゾンおよび生物活性炭を用いた高度処理プロセスにおける CCP 候補の検討例を示す。これらの CCP 候補は、各危害原因物質の除去性能を用い、設定フローに従って設定した。病原菌に対しては後塩素工程や追加塩素

工程が CCP 候補になる。また、消毒副生成物に対しては、前駆物質を除去するオゾン処理および生物活性炭処理がいずれも CCP 候補と設定できる。

また、危害分析で示したように配水・給水工程由来の危害も存在する。WSP にも配水・給水工程での管理上の注意事項が原水や処理工程と同様に記されており、水道における重要な管理対象である。例えば、追加塩素、鉛配管や老朽配管の更新等は危害原因物質の除去/汚染防止の上で重要な工程/処置であり、CCP 候補とできる。

(3) モニタリング方法および CL の設定

モニタリングおよび CL は、設定した CCP に関して危害原因物質が許容範囲まで低減していることを確認するためのものである。これらの要件としては、危害原因物質の除去を確認する上で適正なモニタリング方法であること、および可能な限りリアルタイムで判断できるパラメータを用いた基準とすることである。

Fig. 4 に本研究で提案するモニタリング方法設定フローを示す。危害のリスクレベルや連続モニタリング、代替モニタリング方法および費用対効果を用いて判断する。リスクや費用対効果の閾値は各水道事業体や需要家により異なるため、アンケート調査等により実情に合わせた設定が必要である。一方、モニタリング方法は、危害原因物質濃度との相関や生成モデルも参考とし、直接・間接モニタリングの中から選択する。既に連続測定装置が実用化されている一般的な計測項目によりモニタリングできることが望ましい。

水質についての CL としては、水質基準を満たすことが最低限必要である。しかし、より良質な水道水を供給するためには、CL を水質基準より小さな値に設定し管理することが望ましい。一方、クリプトスポリジウムに対する暫定対策指針¹⁰⁾では、公衆衛生上のリスクの観点から、ろ過池出口の濁度を 0.1 度以下に維持することとしている。この値は濁度に対する水質基準値(2度)に比べ十分低いため、CL として 0.1 度の設定が妥当である。

水質以外については浄水プロセスおよび機械・電気設備のメンテナンスに関する CL がある。浄水プロセスでは池の水位、薬剤注入率等が正常範囲内にある必要がある。一方、機械・電気設備のメンテナンスでは点検項目に従って定期的に点検がなされ、点検結果が正常範囲内にあることが必要である。

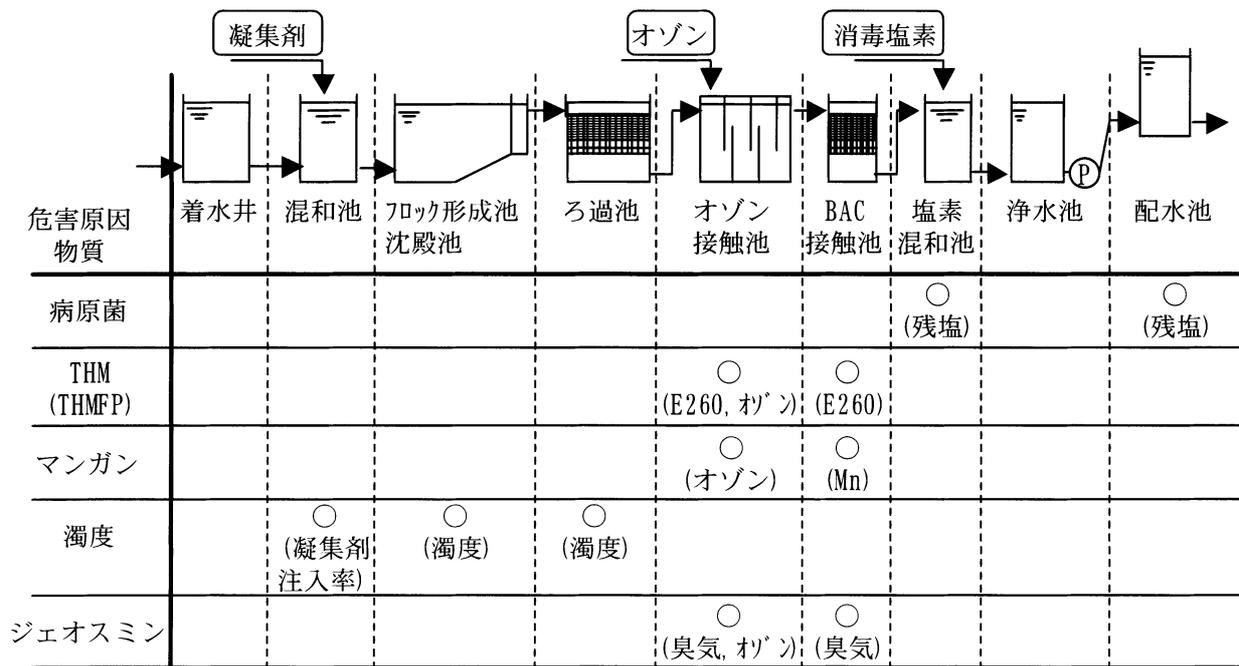


Fig. 3 オゾン処理、生物活性炭処理による高度処理プロセスにおけるCCP候補

4. 水道 HACCP システムの構成と運用

HACCP による日常水質管理では、CCP のモニタリング、改善措置、記録の維持管理が必要である。そのためのシステム構成として Fig. 5 に示すように、a) モニタリングシステム、b) 監視制御装置、および c) 水道 HACCP 管理シ

システムの組合せを提案する。モニタリングシステムにより CCP の水質およびプロセスデータを取得し、水質が CL を逸脱する場合、監視制御装置または手動により改善措置を行う。水質・プロセスデータは逐次水道 HACCP 管理システムに記録・保管し、情報公開などに利用する。

水道 HACCP 管理システムは HACCP 情報を管理する DB と取得したデータを利用するための情報利用モジュールから構成する。機能要件として、情報管理 DB は水質 DB、プロセス DB、機器 DB、業務支援 DB、管路情報 DB、顧客情報 DB

で構成し、CCP での水質データ、プロセスデータをはじめ、機器に関する定期点検結果、CL 逸脱時や水質事故時の対応、管網・顧客の地理情報等を管理する。

また、情報利用モジュールは情報管理 DB を用い、浄水場の内部/外部向けとしてそれぞれデータを利用する。内部向けのデータ利用方法として、①水処理プロセス制御、②水質汚染事故等の緊急時への迅速な対応、③水質検査、機器点検の適正化がある。また、外部向けとして、④需要家に対する水質管理状態の説明(トレーサビリティ確保)、⑤環境行政や特定事業所への要望がある。

①は、HACCP において CL 逸脱時の改善措置として本来の目的に含まれる。この時、水質 DB とプロセス DB に蓄積されたデータを用いた水質診断の提示や、ルールに従って業務手順を運転管理者へガイダンスとして提示させることで、管理者の調整業務をマニュアル化でき、業務効率の向上が期待できる。

②は油の流出等の突発的水源事故に対するデータの活用である。連続的なモニタリングデータを用いることで、汚染の発生を早期に認知し、汚染のレベルに応じた適切な対策を取ることができる。

③は HACCP の導入と定期的な検証・改善によりなされる。HACCP 導入時に行う危害分析と設定した CCP (および PP) を従来の管理と比較し、適正化を行う。また、HACCP では管理方法の検証・改善を定期的実施する。この時、PI (Performance Indicator) やコスト評価等を行い、水質管理計画や機器点検計画の改善に反映することができる。

外部向けのデータ利用方法として、④は需要家からの問合せ対応が主な目的である。問合せが発生した地域に供給された水の水質管理状態を提示する。水源から需要家までの一連の管理情報をトレースし、管理状態を需要家に提示することにより、安定な水質確保に対する需要家のニーズを高いレベルで満足させることができると考える。

⑤は、環境行政や特定有害物質を排出する事業所に対し、原水水質改善の要望・要求を行うことが主な目的である。CCP のモニタリングは経年的な原水水質悪化や水質事故の頻度増加等、定量的なバックデータとなる。

5. 水道への HACCP 導入効果と課題

以上のように、水道への HACCP の導入および運用について検討した。水道への HACCP 適用による効果として、①管理項目の適正化、②水質変化への迅速な対応、③アカウントビリティの向上が期待できる。

一方、今後、HACCP を用いた水道水質管理を普及させるためには以下の課題がある。

①導入効果の検証：水道へ新たに HACCP を適用した場合に期待される効果をそれぞれ検証する必要がある。具体的には以下である。

- ・ 導入のケーススタディ：実際の施設の管理体制との対比、費用効果等を考慮し、CCP やモニタリングの設定を行う。
- ・ 制御・日常運転管理への効果検証：処理水質、コストの比較による効果確認。
- ・ トレーサビリティの検証：末端水質変動と水処理プロセス制御との相関の確認。

②導入支援ツールの開発：様々な水処理プロセスへの HACCP 導入を簡易に行うための支援ツールが必要である。

③評価ツールの高度化：危害分析やトレーサビリティ確保における解析ツールの高度化が必要である。

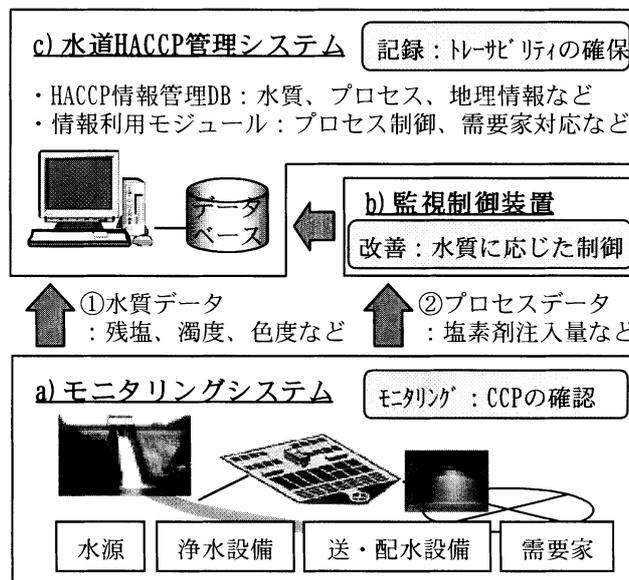


Fig. 5 水道HACCPのシステム構成案

- ・ 配水工程由来の危害に関する評価
- ・ 浄水施設における水処理シミュレータ

6. まとめ

WHO の飲料水水質ガイドラインおよび国内の水質基準の改正に伴い、HACCP による水道水質管理の導入が検討されようとしている。本研究では、国内の水道水質管理への HACCP 導入手順と運用システムを提案し、期待される効果と普及に向けた課題を明らかにした。

- (1) 食品 HACCP と異なる水道における 3 つの特徴(原水水質の変動、対象危害の多様性、水処理-供給の連続性)を考慮した危害分析、CCP およびモニタリングの設定方法を具体化した。また、水道における HACCP 運用システムとその機能要件を提案した。
- (2) HACCP の導入により、管理項目の適正化、水質変化への迅速な対応、アカウントビリティの向上の効果が期待できる。
- (3) 水道への HACCP 普及のためには、ケーススタディによる導入効果の検証と、様々な浄水プロセスに対応する HACCP 導入支援ツールおよび解析ツール高度化が必要である。

WSP の内容を受けて欧米では水道への HACCP の導入検討が進められている。これらの動向も踏まえ、国内での HACCP 適用についてさらに検討し、普及の一助としたい。

[参考文献]

- 1) WHO, Guidelines for Drinking Water Quality, Third edition (2003).
- 2) In Proc. NSF and WHO Drinking Water Risk Management Strategies Conference, May 4-5, 2004, Ann Arbor, Michigan.
- 3) D. Cunliffe, The Australian Framework for Management of Drinking Water Quality, In Proc. NSF and WHO Drinking Water Risk Management Strategies Conference, May 4-5, 2004, Ann Arbor, Michigan.
- 4) HACCP : 衛生管理計画の作成と実践 総論編、中央法規出版(1997).
- 5) 河端俊治、春田三佐夫、HACCP これからの食品向上自主衛生管理、中央法規出版(1992).
- 6) 上村郁子、益田治、小林正典、小澤憲司、第 52 回全国水道研究発表会講演集、p544 (2001).
- 7) 岩見吉博、佐藤和男、河村裕之、藤木たまゑ、第 52 回全国水道研究発表会講演集、p546 (2001).
- 8) T. Fukumoto, T. Sekozawa and M. Yoda, IEEJ Trans. IA, Vol. 123, No. 10 (2003).
- 9) 水道維持管理指針、(社)日本水道協会(1998).
- 10) 厚生省：水道におけるクリプトスポリジウム暫定対策指針(改正)、(1998).

(受付 2004 . 5 . 6)

(受理 2004 . 6 . 21)