

## 銅を用いた水中の微生物の不活化技術の現状と課題

岸田直裕\* 島崎大\* 小坂浩司\*  
小菅瑠香\* 秋葉道宏\* 林ケンジ\*

**目的** 近年注目を集めている銅を用いた水中の微生物の不活化技術の現状および課題を明らかにする。

**方法** 国内外の学術雑誌等に掲載された文献情報を基に、銅を用いた微生物の不活化技術の歴史、不活化機構、不活化効果が確認されている微生物、水中の微生物の不活化技術について整理した。

**結果** 銅を用いた微生物の不活化技術は古くから利用されていたが、1930年代より抗生物質の利用が広まったことから、銅を用いた不活化技術は使用されなくなった。一方で、近年は抗生物質耐性菌の存在が問題視されており、抗生物質に代わる微生物の制御アプローチの1つとして、銅を用いた微生物の不活化技術が再認識され始めている。不活化機構については、その詳細はいまだ明らかとなっていないものの、銅イオン自体の毒性と銅表面に生成される活性酸素による強力な酸化作用によって不活化が起こると推測されている。*Legionella pneumophila*, *Salmonella enterica*, *Mycobacterium tuberculosis* 等の公衆衛生上問題となる多くの病原微生物に対して不活化効果が確認されている。建物内の給水管を中心に多くの水関連設備において、近年銅を用いた不活化技術の導入が検討されており、人への健康影響がほとんど発生しないと推測される水道水質基準を満たす濃度範囲であっても、水中の微生物を不活化可能であることが一部の研究でわかってきた。一方で、不活化効果が短期間に留まることも多く、効果を長期間持続させる技術を開発することが今後の課題であるといえる。また、銅管は残留塩素の低減や消毒副生成の生成にも影響を及ぼしていると報告されており、このようなリスクと不活化効果というベネフィットのアセスメントが今後必要であろう。

**結論** 銅を用いた水中の微生物の不活化技術には、実用上の課題は残るものの、その有用性は十分に明らかとなっており、病院施設の給水設備等での利用が今後期待される。

**Key words** : 銅, 消毒, 抗菌性, 活性酸素, 水衛生

### I 緒 言

水の安全性を鑑みた上で、最も重要な要素の1つとして微生物の管理が挙げられる。人体に重大な健康影響を及ぼす病原微生物の制御は、水衛生の歴史の中でも常に最も重要な課題であった。我が国をはじめとする先進国においては、公衆衛生の普及に伴い水系感染症の発生は劇的に減少したが、2010年11月にスウェーデンの Östersund 市で水道経由のクリプトスポリジウムの集団感染症が発生し、約10,000人の推定患者が発生する等<sup>1)</sup>、依然として水系感染症が散発している現状にある。

水の微生物学的安全性を確保する上で最も重要な要素は、水中の微生物の不活化(消毒)技術である。我が国の水道システムにおいては、水道法で義務付けられているように、塩素による微生物の不活化によって、微生物学的に安全な飲料水を供給しているが、クリプトスポリジウムやジアルジア等、塩素に耐性のある微生物も存在しており、塩素消毒以外の様々な不活化技術が提案されている。本稿ではその中でも近年注目を集めている銅を利用した不活化技術について述べる。

### II 方 法

銅を用いた微生物の不活化技術については、ドアノブ等の銅固体表面に存在する微生物の不活化効果に関する総説論文が過去に発表されているが<sup>2)</sup>、水

\* 国立保健医療科学院  
連絡先：〒351-0197 埼玉県和光市南 2-3-6  
国立保健医療科学院 別館212室 岸田直裕

中の微生物の不活化効果については報告されていない。そこで本稿では、国内外の学術雑誌等に掲載された文献情報を基に、銅を用いた水中の微生物の不活化技術の現状と課題について整理した。また、銅を用いた微生物の不活化技術の歴史、不活化機構、不活化効果が確認されている微生物の種類についても詳解する。

国内外の文献情報の検索には、(株)科学技術振興機構が運営する J Dream II (JST 文献検索サービス) およびエルゼビア社が運営する Scopus (文献検索ツール) を用いた。J Dream II は、科学技術や医学・薬学関係の国内文献および一部の海外文献を網羅的に検索可能な日本最大級の科学技術文献データベースである。また Scopus は、世界の5,000以上の出版社から出版される20,500以上の科学技術・医学等のタイトルを網羅する世界最大級の抄録・引用文献データベースであり、海外文献の網羅的検索に適している。さらに、一般のインターネット検索等によって学術文献以外の情報も収集した。銅 (Copper), 不活化 (Inactivation), 消毒 (Disinfection), 水 (Water), 水道 (Water supply), 飲料水 (Drinking water) 等のキーワードを組み合わせて検索を用い、ヒットした文献の題名・抄録内容から、銅を用いた微生物の不活化技術に関連していると思われる文献を選別した。これらの検索により、学術論文24報, 報告書・学会講演集等のその他の文献9件を収集し、それらの情報を整理した。

### Ⅲ 結果および考察

#### 1. 銅を用いた微生物の不活化技術の歴史

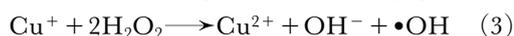
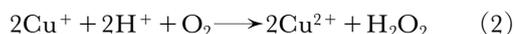
銅を用いた微生物の不活化技術の歴史は古く、紀元前2,600~2,200年頃には、エジプトにおいて胸部裂傷や飲料水の消毒に利用されており、ギリシャやローマ等でも同様に火傷の処置等に使用されていたと記録されている<sup>3)</sup>。19世紀になると、銅工業の従事者がコレラに対する免疫を有していることがフランスで確認されたことから、医学での有効性が認識され、19世紀から20世紀初頭に掛けて、結核や梅毒等の幅広い疾病の処置に無機銅の製剤が使用された<sup>3)</sup>。1930年代より、抗生物質の利用が広まったことから、銅を用いた消毒技術は使用されなくなったが、一方で、抗生物質耐性菌の存在が問題視されており、抗生物質に代わる微生物の制御アプローチの1つとして、銅を用いた微生物の不活化技術が再認識され始めている<sup>2)</sup>。近年では、ドアノブ<sup>4,5)</sup>やシャワーヘッド等の給水装置<sup>6)</sup>、貯水瓶<sup>7)</sup>等にも抗菌材料として銅の利用が検討されており、幅広い分野での利用が期待されている。米国環境保護庁 (EPA)

は2008年に銅合金を正式に抗菌材料として登録しており、安全性についても評価している<sup>8)</sup>。また硫酸銅は藻類の制御に有効であることが知られており、湖沼や貯水池等では殺藻剤として100年以上前から現在に至るまで世界各地で使用されている<sup>9)</sup>。

#### 2. 銅による微生物の不活化機構

銅による微生物の不活化機構の詳細はいまだに明らかとなっていないのが現状であるが、いくつかの不活化機構・ルートが推測されており、本稿では代表的なものを紹介する。

銅イオンから各種の反応を経て活性酸素が発生することが知られており、活性酸素による強力な酸化作用によって微生物の不活化が起こると考えられている。はじめに銅板等から溶出した2価の銅イオンは、次式の通り、システインやグルタチオン等のチオール (スルフィド) 基と反応し、1価の銅イオンを生成する。そして1価の銅イオンは酸素と反応し、2価の銅イオンへと戻るとともに、過酸化水素を生成する。さらに生成された過酸化水素はフェントン反応と類似した反応(式3)によって1価の銅イオンと反応し、2価の銅イオンを生成するとともに、より強力な酸化作用を持つヒドロキシラジカルを生成する。これらの反応によって生成されたヒドロキシラジカルがたんぱく質や脂質を酸化すること等によって、細胞分子に損傷を与えると考えられている<sup>2)</sup>。



\*RSH: チオール; RSSR: ジスルフィド

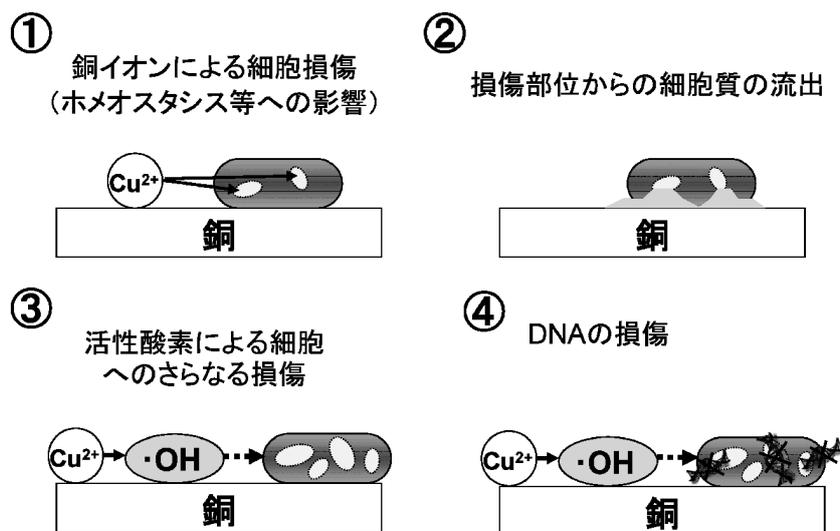
また、銅イオンは微生物の恒常性 (ホメオスタシス) に影響を与えることが知られており、この作用も銅を用いた微生物の不活化に関与していると考えられている。このことは、実際に *copA*, *cueO* 遺伝子欠損株を用いた実験で実証されており、とくに細胞内損傷の一次機構として重要であると報告されている<sup>10,11)</sup>。

これらの情報を踏まえて Grass らは、図1に示す作用順序を提案している<sup>2)</sup>。はじめに銅イオン自体の毒性によって細胞の損傷が起こり、損傷部位から細胞質が流出し、その後、銅イオンによって生成されたヒドロキシラジカル等の活性酸素が細胞へさらなる損傷を与える。そして最終的に DNA まで損傷されると推測されている。

#### 3. 銅による不活化効果が確認されている微生物種

表1に示すとおり、これまでに数多くの病原微生物に対して、銅を用いた不活化技術が有効であるこ

図1 銅による微生物の不活化機構・順序の概念図  
(文献2を一部改変)



とが確認されている。大部分が、水中の微生物ではなく、銅・銅合金の固体表面に付着させた微生物の不活化効果を調べたものであるが、病原細菌だけでなく、ウイルスや原虫にまで不活化効果があることが明らかとなっている。メチシリン耐性黄色ブドウ球菌（MRSA）等の抗生物質耐性菌にも有効であることは、極めて重要な特徴であり、1節でも述べた通り、銅を用いた不活化技術が近年注目を集めるきっかけとなっている。また、公衆浴場等で増殖し、レジオネラ肺炎を引き起こす *Legionella pneumophila*、細菌性食中毒の主な原因となっている *Salmonella enterica*、結核の原因菌である *Mycobacterium tuberculosis* 等、公衆衛生上問題となっている多くの微生物に不活化効果が認められている点も重要である。なお、水中の微生物の不活化については、4節以降で詳しく解説する。

#### 4. 銅管における水中の微生物の不活化

銅管は、我が国では1923年に大阪医科大学付属病院で給湯用に使用されたのが初めといわれ、1932年には東京市水道局が水道用銅管を採用し、水道用にも使用されるようになった。銅管は一般的に耐食性がよく、温水や水に対して腐食やサビの発生はほとんどみられない。また、コンクリートや土壌に対する耐食性もよく、漏水の発生も少なく、軽量で切断曲げ加工継手による接合の施工性がよい等の特長を持っている<sup>26)</sup>。表2に示すとおり、我が国においては、銅管は給湯等の用途で用いられているものの、その利用範囲は限られている<sup>27)</sup>。一方、一部の欧米諸国では主要な給・配水用配管として広く用いられている<sup>28)</sup>。

笹原らは銅の抗菌作用に着目し、給水用銅管にお

ける *Legionella pneumophila* に対する殺菌効果を検討している<sup>20)</sup>。銅管では、塩化ビニル管等と異なり、管路表面に *Legionella* の増殖に参与していると考えられているバイオフィルムの形成が確認されず、*Legionella* の不活化効果も確認された。新品の銅管に、*Legionella pneumophila* を含む試験水を充填し、ゆっくり浸透した結果、6時間で99.98% (3.67 log<sub>10</sub>) の不活化が確認されている。一方、6か月使用した（エージングした）銅管においては、不活化率が1/30程度まで減少することが報告されている。van der Kooij らが実施した同様の調査においても、通水当初においては、ステンレス管等に比べ、銅管内の *Legionella pneumophila* の濃度が有意に低くなることが報告されているが<sup>29)</sup>、通水2年後にはその差があまりみられなくなっており、長期間不活化効果を持続させるための工夫を行うことが今後の課題の一つであるといえる。同様に、笹原らは給水用銅管における *Cryptosporidium parvum* のオーシストの不活化についても検討しており、24時間で95.0% (1.3 log<sub>10</sub>) の不活化率を得ている<sup>25)</sup>。この検討では、銅イオン自体の毒性効果は認められなかったことから、銅管表面で発生した活性酸素によって不活化が起こっていると推測された。一方、これらの不活化実験における水中の銅イオン濃度は2~4 mg/Lであったが、この濃度は我が国における水道水質基準値（銅およびその化合物として1 mg/L）よりも高い値であり、より低濃度で不活化に効果があるかどうか今後調査する必要があるといえる。水中の銅は高濃度となると、洗濯物等を変色させる性質を持っており、さらに消化管への急性影響が疑われていることから、WHOでも飲料水水質ガイドライン値として

表1 銅による不活化作用が確認された微生物（文献2を基に情報を追加して作成）

微生物種	反応	文献番号
細菌		
<i>Acinetobacter baumannii</i>	銅固体表面	12
<i>Acinetobacter baumannii</i>	水中	13
<i>Acinetobacter johnsonii</i>	銅固体表面	14
<i>Brachybacterium conglomeratum</i>	銅固体表面	14
<i>Campylobacter jejuni</i>	銅固体表面	15
<i>Clostridium difficile</i>	銅固体表面	16
EMRSA（流行性メチシリン耐性黄色ブドウ球菌）	銅固体表面	17
<i>Escherichia coli</i> （大腸菌）	銅固体表面	18
<i>Enterococcus hirae</i> （腸内連鎖球菌）	銅固体表面	19
<i>Klebsiella pneumoniae</i> （肺炎桿菌）	銅固体表面	12
<i>Legionella pneumophila</i>	水中	20
<i>Listeria monocytogenes</i>	銅固体表面	21
MRSA（メチシリン耐性黄色ブドウ球菌）	銅固体表面	17
<i>Mycobacterium tuberculosis</i> （結核菌）	銅固体表面	12
<i>Pantoea stewartii</i>	銅固体表面	14
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> （緑膿菌）	銅固体表面	12
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> （緑膿菌）	水中	13
<i>Pseudomonas oleovorans</i>	銅固体表面	14
<i>Salmonella enterica</i>	銅固体表面	15
<i>Salmonella typhi</i>	水中	7
<i>Salmonella typhimurium</i>	水中	7
<i>Staphylococcus warnerii</i>	銅固体表面	14
<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	水中	13
<i>Vibrio cholerae</i> （コレラ菌）	水中	7
真菌		
<i>Candida albicans</i>	銅固体表面	12
<i>Aspergillus flavus</i>	銅固体表面	22
<i>Aspergillus fumigatus</i>	銅固体表面	22
<i>Aspergillus niger</i>	銅固体表面	22
<i>Fusarium culmorum</i>	銅固体表面	22
<i>Fusarium oxysporum</i>	銅固体表面	22
<i>Fusarium solani</i>	銅固体表面	22
<i>Penicillium crysogenum</i>	銅固体表面	22
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	銅固体表面	23
ウイルス		
Influenza A virus (H1N1)	銅固体表面	24
原虫		
<i>Cryptosporidium parvum</i>	水中	25

設定している（2 mg/L）<sup>30</sup>。また、銅管は残留塩素の低減や消毒副生成物として問題視されているハロ酢酸類の生成にも影響を及ぼしていると報告されており<sup>31</sup>、このようなリスクと不活化というベネフィットのアセスメントが今後必要であろう。

小林らはカワヒバリガイの増殖抑制にも銅管が有効であると報告している<sup>32</sup>。カワヒバリガイはイガイ科に属する比較的小型の淡水棲二枚貝であり、管壁に大量に増殖すると、管路の閉塞等の利水障害を引き起こすことが知られているが<sup>33</sup>、銅配管では、広く用いられているステンレス製配管に比べてカワヒバリガイの増殖が著しく減少することを示している。

#### 5. 銅を利用したその他の水中の微生物の不活化技術

銅およびその合金は、近年、管路以外にも様々な水関連の用途で使用されており、本稿でもその一部を紹介する。

Huangらは病院内における水系感染症を防止するためのオンサイト消毒技術として銅イオン発生装置に着目し、*Pseudomonas aeruginosa*, *Stenotrophomonas maltophilia*, *Acinetobacter baumannii*を対象に不活化実験を行っている<sup>13</sup>。その結果、0.1~0.8 mg Cu<sup>2+</sup>/Lという我が国の水道水質基準を満たす濃度範囲において、いずれの濃度でも*P. aeruginosa*を1.5時間以内に99.999%（5 log<sub>10</sub>）以上不活化できることを示している。*S. maltophilia*に関しては、0.2~0.8 mg/Lの範囲で6時間以内に99.999%（5 log<sub>10</sub>）以上の不活化率が得られ、また*A. baumannii*に関しても、0.4~0.8 mg/Lの範囲で24時間以内に99.999%（5 log<sub>10</sub>）以上の不活化率が得られている。また、*P. aeruginosa*および*A. baumannii*に関しては、銀イオンを併用することで不活化の相乗効果が得られることも報告している。なお、銅・銀イオン発生装置は欧米の300以上の病院で使用実績があることも記載されている。

乾らはシャワーヘッド内部に金属銅を溶射したものと通常のシャワーヘッドでバイオフィーム形成能の違いを調査している<sup>6</sup>。その結果、金属銅を溶射したシャワーヘッドでは、通常のものとは比べ、バイオフィームを形成する従属栄養細菌数が1/260~1/40に減少することを示しており、シャワーヘッドへの銅利用の有効性が明らかとなっている。

Sharanらは、銅製の瓶（容量：12 L）を用いて水を保存した際に、水系感染を引き起こす *Salmonella typhi*, *Salmonella typhimurium*, *Vibrio cholerae*を不活化可能かどうか検討している<sup>7</sup>。その結果、短時間では効果が低いですが、24時間以上保存することで十分な不活化効果があることが明らかとなった。

## IV 結 論

我が国においては、19世紀後半から20世紀にかけて公害問題のさきがけである足尾銅山鉍毒事件が発

表2 病院建築の衛生設備配管における最多使用管材（建築設備技術者協会調べ；文献27を基に作成）

配管系	1991年	1996年	2001年	2006年	2011年
上水管	塩ビライニング鋼管 (VA, VB)				
	65.8	56.4	57.3	49.0	48.8
雑用水管	塩ビライニング鋼管 (VA, VB)				
	66.3	66.3	55.7	49.8	48.8
給湯管	銅管		ステンレス管		
	53.0	43.3	26.6	47.7(19.6% <sup>†</sup> )	48.9(7.4% <sup>†</sup> )
汚水管	—	塩ビ管	耐火二層管		
		25.0	37.3	32.2	42.5
雑排水管	—	塩ビ管	耐火二層管		
		24.7	34.2	30.5	41.1
通気管	—	塩ビ管	塩ビ管	二層/塩ビ	二層管
		43.0	35.7	33.3	50.0

\* 表中の数字は最多使用管材の使用割合 (%) を示す。

\* 給湯管以外は、主要な管材ではないため、銅管の使用割合の集計データなし。

† 銅管の使用割合 (%)

生したため、銅に対しては有毒性のイメージが先行し、銅の利用が敬遠されることもあるが、人への健康影響がほとんど発生しないと推測される水道水質基準を満たす濃度範囲であっても、水中の微生物を不活化可能であることが一部の研究で明らかとなっている。不活化効果の持続性や残留塩素の低減、消毒副生成物の生成等の課題は存在するものの、公衆衛生上問題となっている多くの病原微生物の不活化に効果があることがわかってきており、病院施設の給水設備等での利用が今後期待される。

本検討は、厚生労働科学研究費補助金健康安全・危機管理対策総合研究事業「水道の浄水処理および配水過程における微生物リスク評価を用いた水質管理手法に関する研究」および国立保健医療科学院調査研事業（基盤的研究費）「平常時及び緊急時の施設等の水・衛生管理に関する研究」の一環として行われた。

(受付 2012.10. 2)  
(採用 2013. 6. 6)

## 文 献

- 1) Baldursson S, Karanis P. Waterborne transmission of protozoan parasites: review of worldwide outbreaks - an update 2004-2010. *Water Res* 2011; 45(20): 6603-6614.
- 2) Grass G, Rensing C, Solioz M. Metallic copper as an antimicrobial surface. *Appl Environ Microbiol* 2011; 77(5): 1541-1547.
- 3) Dollwet HHA, Sorenson JRJ. Historic uses of copper

compounds in medicine. *Trace Elem Med* 1985; 2(2): 80-87.

- 4) Mikolay A, Huggett S, Tikana L, et al. Survival of bacteria on metallic copper surfaces in a hospital trial. *Appl Microbiol Biotechnol* 2010; 87(5): 1875-1879.
- 5) 斎藤晴夫. 銅の抗菌作用を住宅設備に活かす. *住まいと電化* 2008; 20(2008 March): 47-49.
- 6) 乾香代子, 菊野理津子, 小澤智子, 他. 従属栄養細菌によるバイオフィルム形成に及ぼす環境要因の検討. *全国水道研究発表会講演集* 2011; 62: 658-659.
- 7) Sharan R, Chhibber S, Reed RH. Inactivation and sub-lethal injury of salmonella typhi, salmonella typhimurium and vibrio cholerae in copper water storage vessels. *BMC Infect Dis* 2011; 11: 204.
- 8) United States Environmental Protection Agency. EPA Registers Copper-containing Alloy Products. 2008. <http://www.epa.gov/pesticides/factsheets/copper-alloy-products.htm> (2012年6月26日アクセス可能)
- 9) Haughey MA, Anderson MA, Whitney RD, et al. Forms and fate of Cu in a source drinking water reservoir following CuSO<sub>4</sub> treatment. *Water Res* 2000; 34(13): 3440-3452.
- 10) Macomber L, Rensing C, Imlay JA. Intracellular copper does not catalyze the formation of oxidative DNA damage in Escherichia coli. *J Bacteriol* 2007; 189(5): 1616-1626.
- 11) Macomber L, Imlay JA. The iron-sulfur clusters of dehydratases are primary intracellular targets of copper toxicity. *Proc Natl Acad Sci USA* 2009; 106(20): 8344-8349.
- 12) Mehtar S, Wiid I, Todorov SD. The antimicrobial ac-

- tivity of copper and copper alloys against nosocomial pathogens and *Mycobacterium tuberculosis* isolated from healthcare facilities in the Western Cape: an in-vitro study. *J Hosp Infect* 2008; 68(1): 45-51.
- 13) Huang HI, Shih HY, Lee CM, et al. In vitro efficacy of copper and silver ions in eradicating *Pseudomonas aeruginosa*, *Stenotrophomonas maltophilia* and *Acinetobacter baumannii*: implications for on-site disinfection for hospital infection control. *Water Res* 2008; 42(1-2): 73-80.
- 14) Santo CE, Morais PV, Grass G. Isolation and characterization of bacteria resistant to metallic copper surfaces. *Appl Environ Microbiol* 2010; 76(5): 1341-1348.
- 15) Faundez G, Troncoso M, Navarrete P, et al. Antimicrobial activity of copper surfaces against suspensions of *Salmonella enterica* and *Campylobacter jejuni*. *BMC Microbiol* 2004; 4: 19.
- 16) Weaver L, Michels HT, Keevil CW. Survival of *Clostridium difficile* on copper and steel: futuristic options for hospital hygiene. *J Hosp Infect* 2008; 68(2): 145-151.
- 17) Noyce JO, Michels H, Keevil CW. Potential use of copper surfaces to reduce survival of epidemic methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in the healthcare environment. *J Hosp Infect* 2006; 63(3): 289-297.
- 18) Noyce JO, Michels H, Keevil CW. Use of copper cast alloys to control *Escherichia coli* O157 cross-contamination during food processing. *Appl Environ Microbiol* 2006; 72(6): 4239-4244.
- 19) Molteni C, Abicht HK, Solioz M. Killing of bacteria by copper surfaces involves dissolved copper. *Appl Environ Microbiol* 2010; 76(12): 4099-4101.
- 20) 笹原武志, 菊野理津子, 山田 豊, 他. 給水用銅管による *Legionella* 殺菌効果に及ぼすバイオフィーム形成の影響. *用水と廃水* 2007; 49(2): 132-141.
- 21) Wilks SA, Michels HT, Keevil CW. Survival of *Listeria monocytogenes* Scott A on metal surfaces: implications for cross-contamination. *Int J Food Microbiol* 2006; 111(2): 93-98.
- 22) Weaver L, Michels HT, Keevil CW. Potential for preventing spread of fungi in air-conditioning systems constructed using copper instead of aluminium. *Lett Appl Microbiol* 2010; 50(1): 18-23.
- 23) Quaranta D, Krans T, Espirito Santo C, et al. Mechanisms of contact-mediated killing of yeast cells on dry metallic copper surfaces. *Appl Environ Microbiol* 2011; 77(2): 416-426.
- 24) Noyce JO, Michels H, Keevil CW. Inactivation of influenza A virus on copper versus stainless steel surfaces. *Appl Environ Microbiol* 2007; 73(8): 2748-2750.
- 25) 笹原武志, 菊野理津子, 中村 健, 他. 銅管による *Cryptosporidium parvum* オーストの感染性不活化. *感染症学雑誌* 2006; 80(4): 377-382.
- 26) 日本水道協会, 編. 水道用語辞典(第2版). 東京: 日本水道協会, 2003; 558.
- 27) 中澤敏行, 渋谷紘子. 病院建築における竣工設備データ 共通事項. 志賀一鑑, 編. 2011建築設備情報年鑑. 東京: 建築設備技術者協会, 2011; 56-75.
- 28) 横井弘明. 銅管と衛生. 長橋 捷, 監修, 株式会社ピー・アール・オー, 編. 新・銅と衛生. 東京: 日本銅センター, 2004; 30-40.
- 29) van der Kooij D, Veenendaal HR, Scheffer WJ. Biofilm formation and multiplication of *Legionella* in a model warm water system with pipes of copper, stainless steel and cross-linked polyethylene. *Water Res* 2005; 39(13): 2789-2798.
- 30) World Health Organization. Guidelines for Drinking-water Quality (4th ed). Geneva: World Health Organization, 2011; 340-342. [http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241548151\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241548151_eng.pdf) (2013年7月6日アクセス可能)
- 31) Zhang H, Andrews SA. Catalysis of copper corrosion products on chlorine decay and HAA formation in simulated distribution systems. *Water Res* 2012; 46(8): 2665-2673.
- 32) 小林卓也, 中野大助, 坂口 勇, 他. 銅によるカワヒバリガイ付着抑制作用に関する研究. 日本鉱業振興会助成研究成果報告書 2011; 2011: 81-84.
- 33) 日本水道協会, 編. 生物障害を起こさないための浄水処理の手引き. 東京: 日本水道協会, 2006; 54-55.
-

## Current situation and problems associated with inactivation of microorganisms in water using copper

Naohiro KISHIDA\*, Dai SIMAZAKI\*, Koji KOSAKA\*, Ruka KOSUGE\*,  
Michihiro AKIBA\* and Kenji HAYASHI\*

**Key words** : copper, disinfection, antimicrobial property, reactive oxygen species (ROS), water sanitation

**Objectives** The current situation and problems associated with inactivation of microorganisms in water using copper were elucidated.

**Methods** A literature review was conducted regarding the history and mechanisms of inactivation technology using copper, the variety of microorganisms shown to be inactivated by these methods in previous experiments, and the efficacy of such technologies for the inactivation of microorganisms in water.

**Results** The use of copper for inactivation of microorganisms has a long history. Although the use of copper was discontinued temporarily owing to the advent of antibiotics in the 1930s, the occurrence of antibiotic-resistant bacteria has resulted in the need for different approaches to control pathogenic microorganisms. One such alternative is the use of copper. Although the mechanisms underlying the efficacy of copper inactivation technology have not yet been elucidated in detail, it has been suggested that pathogenic bacteria are inactivated due to the toxicity of copper ions and strong oxidation effects of reactive oxygen species. Copper inactivation technology is effective against many pathogenic microorganisms that pose a risk to public health, such as *Legionella pneumophila*, *Salmonella enterica*, and *Mycobacterium tuberculosis*. In recent years, copper inactivation technology has been used in various water-related devices, especially water supply pipes in buildings. Previous studies have demonstrated that microorganisms can be sufficiently inactivated by copper even at concentrations below that specified in the Water Quality Standard for Drinking Water. However, some previous studies have indicated that the inactivation effect of copper is short-lived. Therefore, the development of techniques to maintain a long-term inactivation effect is a key concern. In addition, it has been reported that the use of copper pipes triggers chlorine decay and results in the formation of chlorine disinfection byproducts. Hence, further studies should aim at assessing the risks and benefits associated with the use of copper.

**Conclusion** Although the practical issues regarding copper inactivation technology are persistent, this method has been demonstrated to be efficacious. Therefore, this technology could be expected to be used in many devices such as water supply systems in hospitals in the near future.

---

\* National Institute of Public Health