

の場合には、通常電気防食が適用される。火力発電プラントの水槽ではAir Cleaning Zoneにチタン管が使用されるケースが多い。鋼合金管材にチタン管を接続する場合には、鋼合金管材のガルバニック腐食を防ぐ、かつチタン管の水素吸収を防ぐ意味から、管板間の電位を-500~-750mV vs. S.C.E.にて制御することが必要である¹⁶⁰⁾。最近では管板間電位をモニタリングしながら所定の電位に保つように電流を印加する定電流制御方式や、鉄陽極を定電流で充解して鉄イオンの供給を押して行う複合電解方式など、種々の工夫がなされている^{161)~163)}。

（2）施設型の影響

生物汚染対策としては海水の換水処理が有効であるが、防食対策の観点からは塩素処理の影響等は無視できない。既報¹⁶⁴⁾によれば、海水濃度の塩素濃度でも殺菌作用が大きい。

最近、環境性の洗剤から塩素濃度の低減や塩素化練炭の適用が進んでいるが、防食対策の観点からも望ましい方向といえる。

（3）スキンホール洗浄

管内清掃の歴史による伝統的衛生対策として、塩素処理に代わってスキンホール洗浄が採用され、優れた効率を發揮している。過度の洗浄は内面保護皮膜の剥離原因となるが、適度の洗浄条件を設めると、比較的向上効果があり、かつ強固な皮膜となり、防食対策の点からも良い方向にある^{165)~167)}。

6.5 銅の殺菌性

抗菌とは細菌の繁殖を抑制することをいう。即ち増殖しなければ抗菌性があるという表現が使えることになる。しかしながら銅についていえば、比較的短時間で細菌を死滅

させるレベルであり、ここでは殺菌という用語で統一した。

6.5.1 銅の殺菌作用について

銅には銀と同じように殺菌作用がある。銅といえば代表的なものに10円玉があるが、その表面を調べると細菌がほとんどいない。また黄色ブドウ球菌を塗布した培地に10円玉を載せて培養すると、10円玉の下には菌が繁殖せず、強い殺菌作用があることが分る。1円を除く10円玉以外の硬貨にも70%以上銅が含まれているので、10円玉同様、殺菌作用が見られる。写真6.5-1参照。

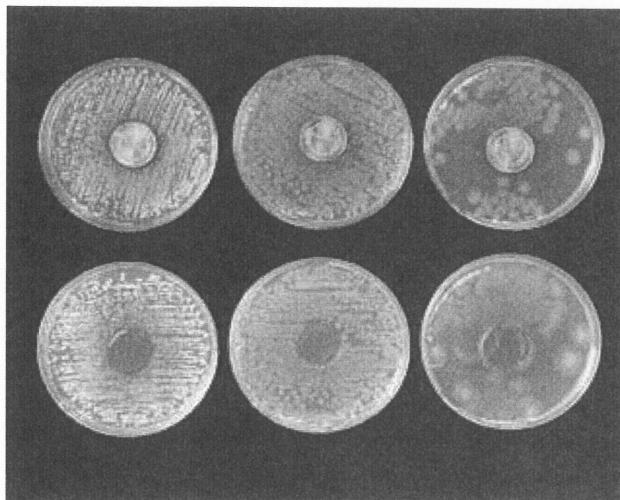
日本銅センターは、この銅の殺菌作用を医療に活用するという取り組みを北里大学医学部及び北里大学付属病院と2005年から進めて来た。その中から銅の優れた殺菌作用を示すいくつかの例を紹介する。

1例目は、緑膿菌に対する銅の殺菌力が極めて優れているというデータである。特に最近注目されているのは、多剤耐性緑膿菌で抗生素が効かず、院内感染によって死亡事故も起こしている危険な細菌である。図6.5-1は、この緑膿菌及び多剤耐性緑膿菌に対して、銅との接触で経時的に菌数がどの程度減少するかを示したものである。

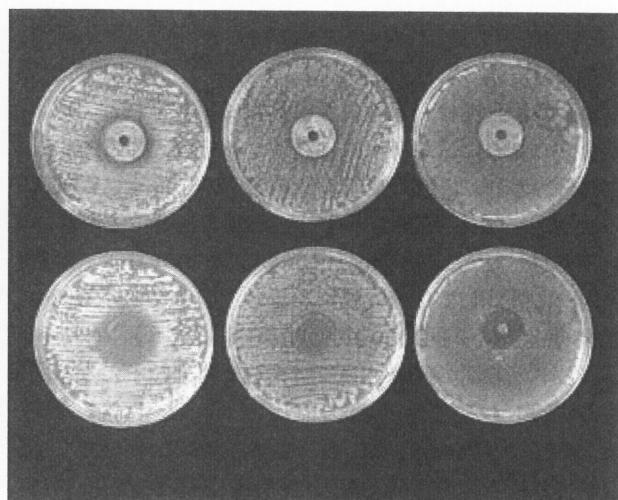
水周りに多く発生する緑膿菌は、銅との接触で約10分後にすべて死滅することをこのグラフは示している。この結果を受けて、皮膚科病棟内のある病室のシンクを銅の溶射品に置き替えて検証したところ、従来の陶器製シンクと比べ緑膿菌が大幅に減少することが分った。

写真6.5-2は試験で用いた銅を溶射したシンクの写真である。

2例目は、新生児集中治療室（N I C U）で看護士や医師が使用する抗菌ボールペンの例で、これには銅製グリップがついていて、銅の殺菌効果によって院内感染を予防するのに役立っている。



10円玉の例（左から黄色ブドウ球菌、大腸菌、緑膿菌）



5円玉の例（左から黄色ブドウ球菌、大腸菌、緑膿菌）

写真6.5-1 5円硬貨、10円硬貨の殺菌作用

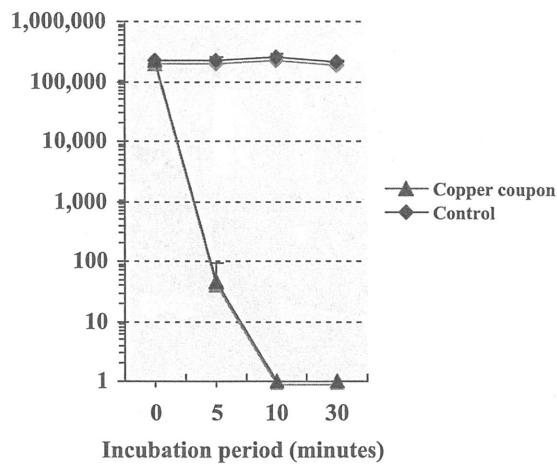
160) 福塙敏夫, 下郡一利, 田辺晴正, 佐藤広士: 神戸製鋼技報, 26 [2] (1976) 23

161) 池沢 隆: 防錆管理, 33 (1989) 324

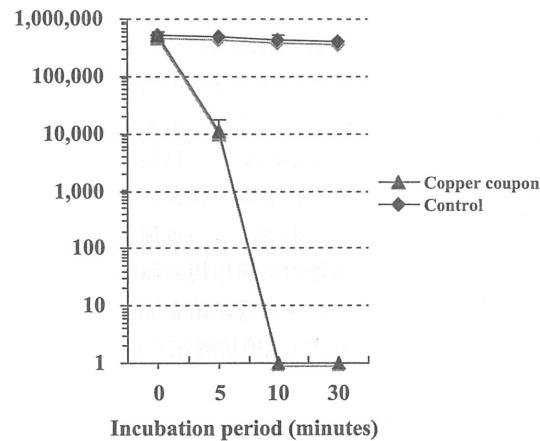
162) 三村恵輔, 源 堅樹, 京原 繁: 伸銅技術研究会誌, 16 (1977) 150

163) 川口 要, 恩田勝弘, 佐藤史郎, 永田公二, 下野三樹夫: 火力原子力発電, 30 (1979) 713

164) 三村恵輔, 源 堅樹: 神戸製鋼技報, 32 [2] (1982) 44



緑膿菌



多剤耐性緑膿菌

図6.5-1 緑膿菌、多剤耐性緑膿菌の対する銅の殺菌力

写真6.5-3は、この抗菌ボールペンがN I C Uで使われている状況を示し、写真6.5-4は、一般のものと銅製グリップのものと菌を培養した時の差を示す。

写真から判別されるように、グリップ部分を銅にするだけで、院内感染の原因になるメチシリン耐性黄色ブドウ球

菌（MRSA）を含む黄色ぶどう球菌などの細菌を著しく減少させる効果がある。

この他、病室の床、ドアノブ、プッシュプレート、ベッド柵などを銅や黄銅に替えて試験したが、いずれも細菌の減少傾向が認められ、病院環境改善に役立つことが実証された¹⁶⁵⁾。

6.5.2 米国環境保護庁（EPA）による銅の殺菌性表示認可

2008年3月には米国環境保護庁（EPA）によって、銅には殺菌力があるという表示をしてもよいという認可が下された。これは金属材料としてはじめて認められたもので、銅や銅合金の表面では院内感染の原因になるメチシリン耐性黄色ブドウ球菌（MRSA）等を含む病原菌に対して

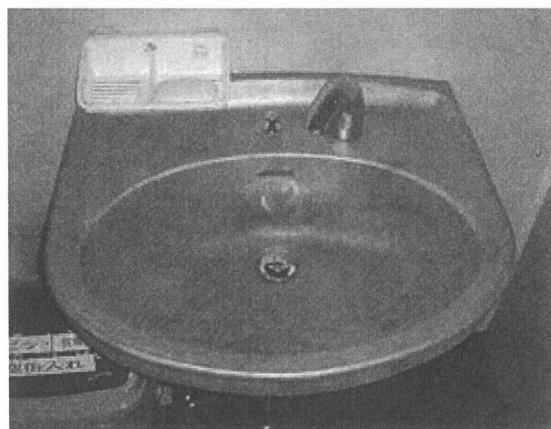


写真6.5-2 銅を溶射したシンク

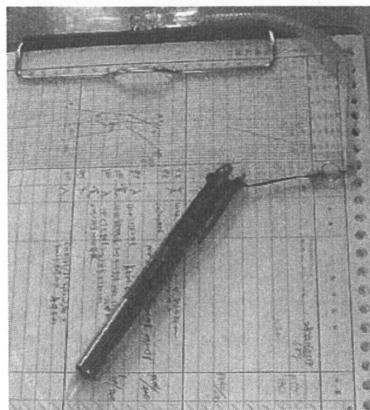


写真6.5-3 N I C Uでの抗菌ボールペン使用状況

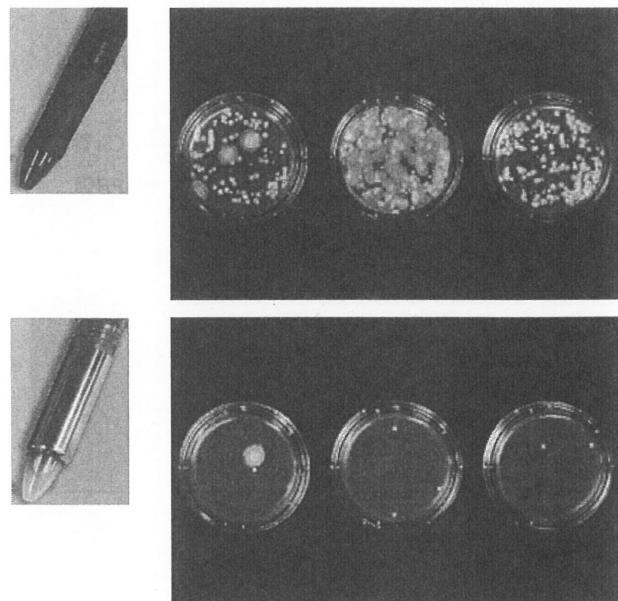


写真6.5-4 従来のボールペンと抗菌ボールペンとのグリット部の菌数比較

165) 笹原武志：銅と銅合金 第46号巻1号（2007） 12

2時間以内に99.9%殺菌することが証明されたものである。写真6.5-5に米国での銅の殺菌性試験状況を示す¹⁶⁶⁾。

6.5.3 給水給湯用途での銅管の殺菌性について

給配水系統の水道管を通る水には、従来の培養条件では検出されず、低い栄養培地に遅れて発育してくる細菌（従属栄養細菌という）がいる場合がある。これらの細菌は日和見感染を起こす可能性があり、病院や福祉介護施設などで問題になっている。次に示すのは、この水道水中に棲息する従属栄養細菌に対する銅管の殺菌作用の試験である。試験は、銅管、樹脂管、ステンレス管に菌を充填しそれぞれの菌数の経時変化を見る方法（充填接触法）で比較した。この結果、図6.5-2に示す通り、他の管材では従属栄養細菌は増殖したが、銅管では減少し続け7日後には100分の1以下まで減少した。銅管が水道水中の従属栄養細菌の殺菌に対し有効で、給水用配管材料としての適正が高いことが証明された。

図6.5-3に示す通り、この殺菌作用はレジオネラ属菌に対しても同様であり、給湯用途や冷温水用途に対しても優れた適正があると考えられる。また最新の研究ではバイオフィルム形成を阻害する働きも銅にあることが認められている¹⁶⁷⁾。バイオフィルムは、レジオネラ属菌がその中に入り込み棲息する場所になっているので、この点もレジオネラ属菌対策に有効と考える。

6.5.4 銅の抗菌作用を浄水場、養魚施設等へ利用

次にどのような場所でこの銅の殺菌性が活用されているかを紹介する。

写真6.5-6は浄水場の越流堰である。この越流堰を銅板にすることで藻の発生を抑え、清掃の頻度を減らすことが可能になった。さらに越流ムラが生じないことでフロック

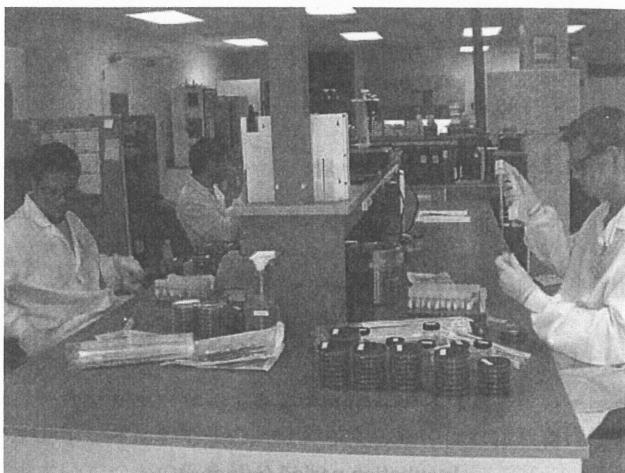


写真6.5-5 米国での銅の殺菌性試験

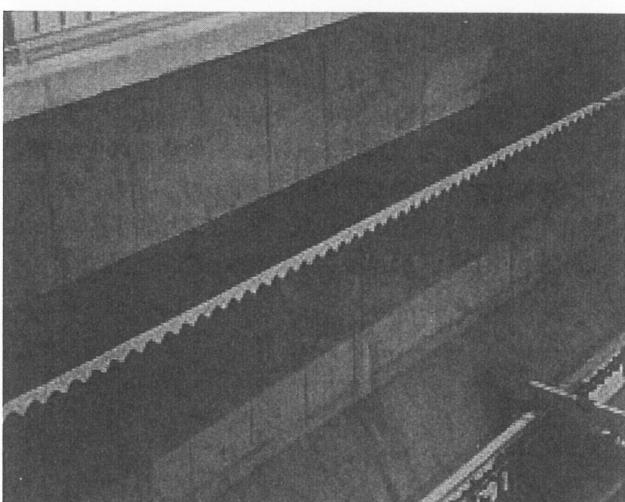


写真6.5-6 千葉下水処理場の銅製越流堰

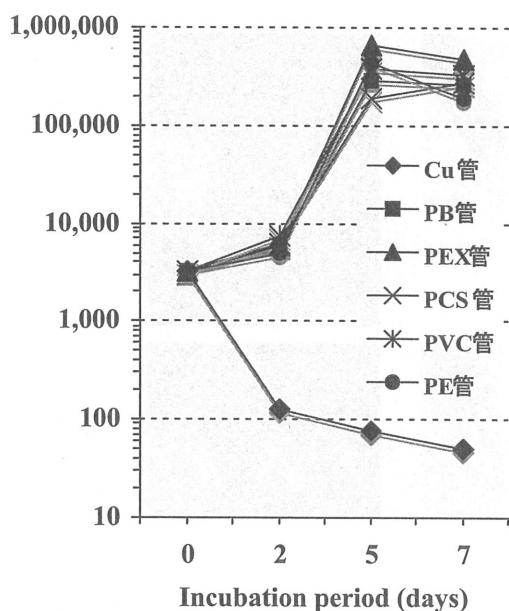


図6.5-2 各配管材の従属栄養細菌殺菌試験結果

166) H.T.Michels : "Copper Alloys for Human Infectious Disease Control" (2007)

の流出も抑えられている。

藻の発生を抑制するという目的では、景観美化のために設けられた人工の川や噴水に銅イオン発生装置を組み込み、発生した銅イオンで防藻を行っている例も数多くある。

次の例は、ニジマス、イワナ、ヤマメ、ウナギなどの淡水魚の養殖に銅纖維の殺菌作用を役立てているというものである。

これらの淡水魚の養殖では、ミズカビ病やエラ病などの病気が孵化率や成育率を低下させるので、この対策としてマラカイトグリーンという薬剤を従来より使用してきた。しかしこの薬剤は環境を汚染するとの理由で近年使用禁止になった。この薬剤の代替として銅が非常に有効であり、使用する養魚施設が広がりつつある。

写真6.5-7は、山梨県水産技術センターに於いて銅纖維を水路に投入していた様子を示している。

このほか、雨水タンクに黄銅纖維を投入し、貯めた雨水の腐敗を防止し、芝生やグリーンの散水等に有効利用しているゴルフ場が増えている。

続いて、家庭でこの銅の殺菌作用をどのように利用され

167) 小澤智子：第59回全国水道研究発表会講演集（2008） 486

Antimicrobial effect to Legionella bacteria

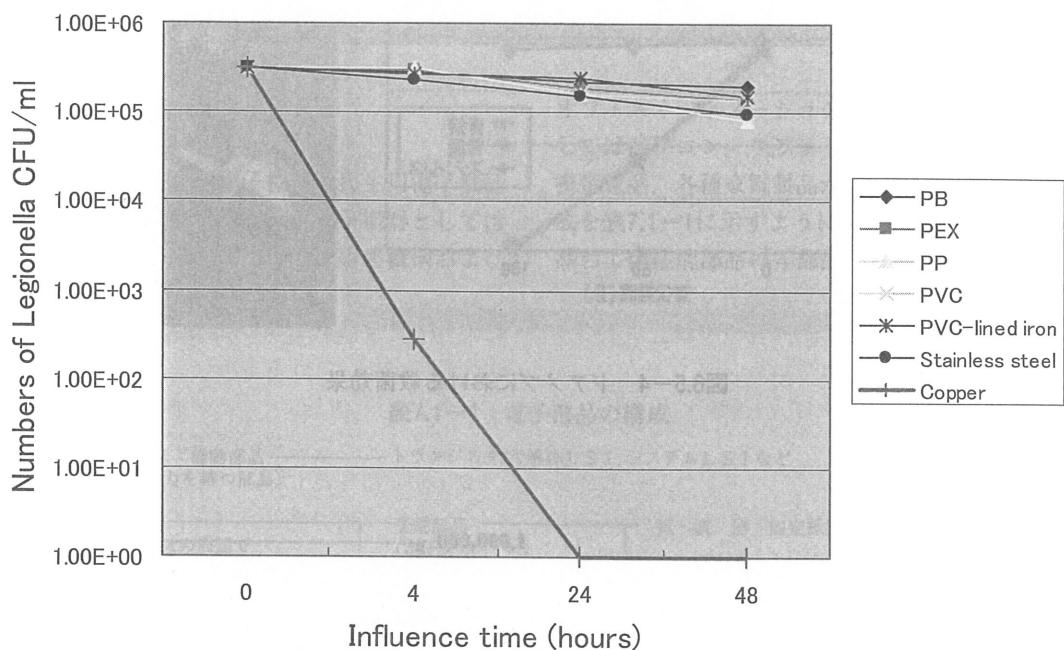


図6.5-3 各配管材のレジオネラ属菌殺菌試験結果

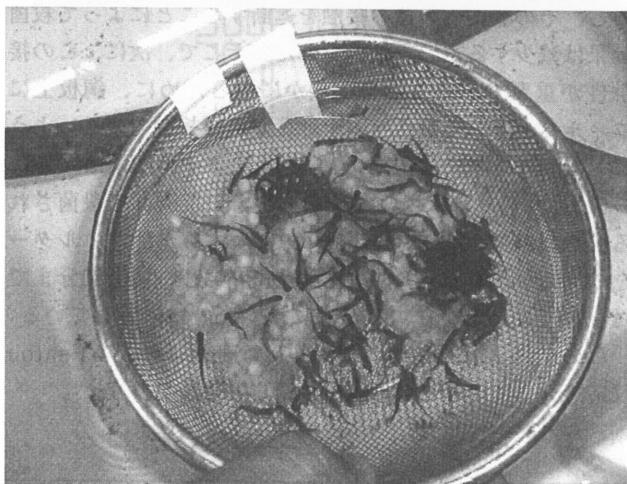


写真6.5-7 山梨水産技術センター 銅織維投入水路

ているかを紹介する。顕著に銅の殺菌効果が出るのは、銅製の流しのバスケットや三角コーナーである。通常これらはステンレスまたはプラスチックでできたものが一般的だが、銅製に変えるとぬめりがほとんど付かない。これにより、目詰まりしにくく、目を細かくすることができ、下水への生ごみ流出を減らすことができる。結果的に川や湖沼をきれいにすることにも役立っている。写真6.5-8は、銅製の流しのバスケットと三角コーナーである。

またドアノブを銅製や黄銅製にした場合、よく使われているステンレス製と比較してどの程度殺菌効果を示すものか、次の実験を紹介する。実験で使用したドアノブは、銅・黄銅・ステンレスの3種類で、黄色ぶどう球菌を塗布し、経時的に菌数の変化を見たものである。結果は、図6.5-4の通りで、銅、黄銅製は、1時間で100分の1以下に、3時

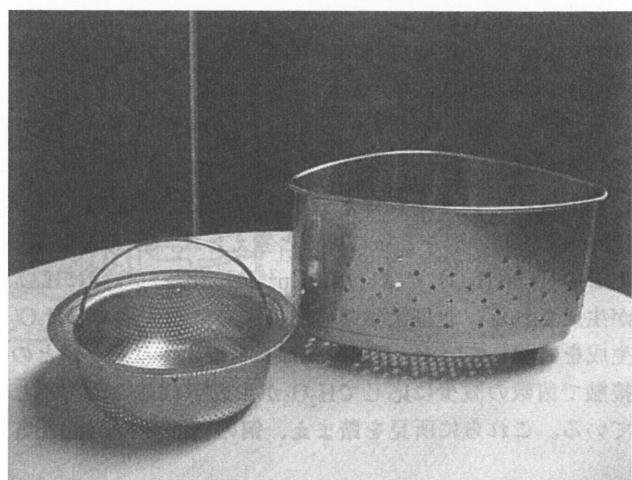


写真6.5-8 銅製流しのバスケット、三角コーナー

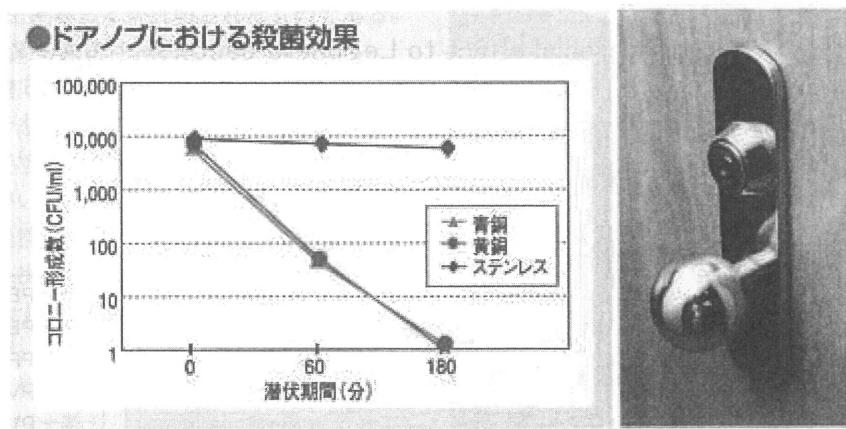


図6.5-4 ドアノブにおける殺菌効果

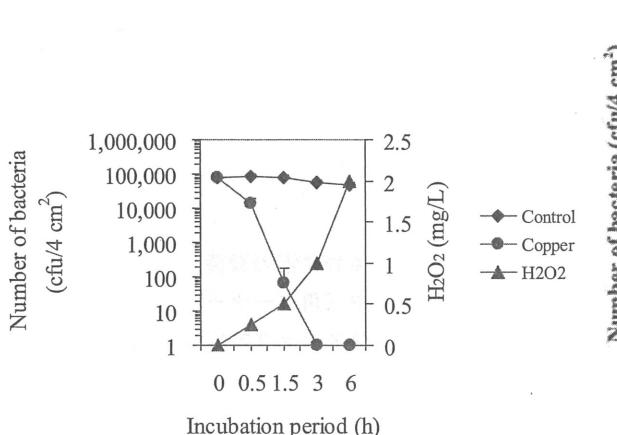


図6.5-5 レジオネラ菌の銅接触とH₂O₂発生

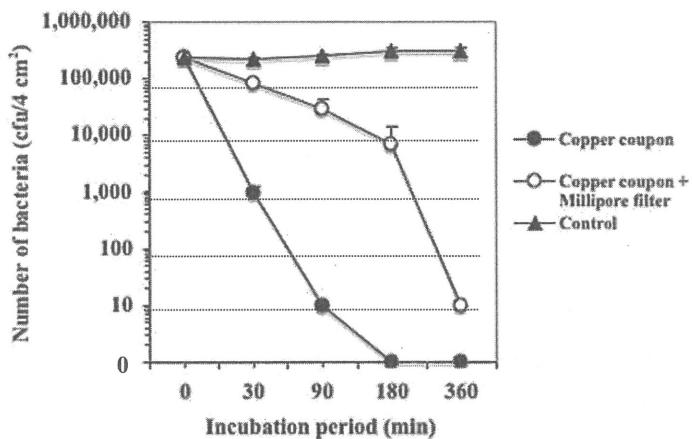


図6.5-6 銅との接触有無による黄色ブドウ球菌数変化

間ですべて死滅させている。一方ステンレス製では菌数の減少はほとんど見られない。ドアノブ等の装飾を兼ねた銅および銅合金製品について注意すべきことは、殺菌作用は変色を防ぐための塗装を施すと失われてしまうので、もし殺菌という機能を優先した製品であれば変色があることをまえもってユーザーに理解してもらうことが必要であろう。

6.5.5 銅の殺菌メカニズム

ここでは、銅の殺菌メカニズムについて現状で解明されている内容について述べる。

銅の表面で銅イオンは水分子と結合して水和銅イオン $[Cu(H_2O)_n]^{+}$ の形をとっていると考えられ、好気的条件下での $[Cu(H_2O)_n]^{+}$ は自然に Cu^{2+} に酸化される際に H_2O_2 が生成される。北里大学の研究はすでに銅表面での H_2O_2 生成を確認している。図6.5-5は、レジオネラ菌と銅との接触で菌数の減少に応じて H_2O_2 が生成されることを示している。これらに所見を踏まえ、銅の表面でFenton反応

$(Cu^{+} + H_2O_2 \rightarrow Cu^{2+} + OH^- + OH^{\cdot})$ によって產生されるヒドロキシラジカル(OH^{\cdot})がかかる殺菌メカニズムに関与しているものと考えられる。銅による殺菌が金属表面上でのFenton反応を介して生成される OH^{\cdot} にもとづくと考えると、その表面への菌の接触を遮断することによって殺菌効果は減少するものと推定された。そこで、次に、この接触性が重要であることを明らかにするために、銅板上にフィルターをのせ黄色ブドウ球菌が直接接触できないようにした条件下での殺菌効果を検討した。その結果は、図6.5-6に示す通り、フィルターをのせない実験群で殺菌される菌数は接触90分までに $-log 4.9$ に達するが、フィルターをのせた実験群において殺菌される菌数は接触180分まで $-log 1.5$ にとどまり、360分後に漸く $-log 4.5$ に達している。

この結果より銅による殺菌作用は表面におこるFenton反応を介しているという推定が適正と判断された¹⁶⁸⁾。