

# カーボンナノチューブによる ミュータンス菌の除菌および殺菌効果

赤坂 司 [北海道大学大学院歯学研究科/助教]

## 背景・目的

カーボンナノチューブ(CNT)は現在最も注目されているナノ材料であり、エネルギー分野やエレクトロニクス分野で進展をみせているものの、バイオ分野での応用研究はあまり進展していないのが現状である。

本研究では、CNTの機械的特性、強い吸着能、近赤外光による発熱などの特徴を活かし、う蝕の原因菌であるミュータンス菌に対するCNTの除菌および殺菌効果について検討する。

## 内容・方法

原料となるCNTは、NanoLab社製の多層CNT(純度80%)、比較物質として活性炭素(Kanto chemical社製、純度95%、平均直径約20 $\mu$ m)を用いた。また、細菌は*Streptococcus mutans* JC2を用いた。

### ○除菌効果の検討

CNTの除菌効果を検討するため、*S. mutans*溶液にCNTを添加し混合後、遠心を行い、上澄みに残った細菌数を濁度として測定した。また、細菌とCNTの相互作用を検討するため、混合後の沈殿物の走査型電子顕微鏡(SEM)観察を行った。

### ○殺菌効果の検討

近赤外光照射によるCNTの発熱効果を利用した殺菌効果を明確とするため、濃度の異なるCNT添加寒天培地を作製し、光照射の有無による細菌の生育をコロニー形成により判定した。*S. mutans*を寒天培地上へ一面に播種し、近赤外光スポットによる照射時間の影響を検討した。その後、所定時間培養を行い、コロニー形成を観察した。

## 結果・成果

### ○カーボンナノチューブによる除菌効果

除菌効果を検討するため、*S. mutans*溶液にCNTを添加し混合後、上澄みの透明度を測定することによる吸着能を評価した。その結果、CNT添加量が1mgでは残留率80%、添加量3mgで残留率が0%となり、CNTが溶液中の細菌を吸着することが分かった。また、マイクロレベルでの炭素微粒子では、全ての菌を吸着するためにはCNTよりも多くの添加量が必要であった。次に、沈殿物の走査型電子顕微鏡観察を行った結果、CNT繊維が細菌表面に彎曲しながら吸着している様子が観察された。このことより、CNTはナノレベルの繊維構造を持つため効率的に吸着し、他のマクロな化合物では見られない吸着メカニズムにより行われることが明らかとなった。

また、CNT自身の殺菌効果の有無を検討するため、CNTと細菌が吸着している状態での細菌の増殖を検討した。その結果、溶液中での培養効率よりも低下するが良好な菌の増殖が観察された。この結果は、CNTは効率的な細菌の吸着を行うことができるが殺菌効果はなく、良好なスキャホールドとなることを示唆している。よって、外部エネルギー吸収などによりCNTが殺菌効果を示す機構が望まれる。

### ○カーボンナノチューブの殺菌効果

CNT濃度が0.01mg/ml、0.10mg/ml、1.0mg/ml、10mg/mlの寒天培地にて温度測定を行った結果、0.10mg/ml濃度の寒天培地が再現性もよく発熱効果の測定に適切であることが分かった。近赤外照射による発熱を比較したところ、照射時間60秒後においてCNT添加(50℃)>活性炭素添加(40℃)>無添加の順で、CNT添加が最も発熱効果があることが分かった。

殺菌効果を検討するため、0.10mg/mlのCNT添加寒天培地上に*S. mutans*を全面に播種し、近赤外照射を行い、その後約1週間培養を行った。その結果、コロニーの生育が見られなくなる照射時間は、CNT添加(10秒)>活性炭素添加(30秒)>無添加(60秒で効果なし)の順であった。このことは、CNTに近赤外照射を行うことにより発熱し*S. mutans*を殺菌し、発熱効果は活性炭素よりもCNTの方が、効率がよいことが分かった。効率のよい発熱は、CNTの特徴的チューブおよびグラファイト構造に由来、ナノレベルの物質などの理由が考えられる。

## 今後の展望

近赤外照射によりCNTの発熱による殺菌効果が発現できることが判明した。さらには細菌を吸着させるCNTの形態や近赤外光照射条件等の最適化が必要であると考えられる。しかしながら、電気泳動などの外部エネルギーを利用し、さらに効率的な殺菌システムの構築が可能であると考えられる。さらに機能を向上させるため、①CNTに抗菌剤を吸着させ近赤外照射による除菌システム、②熱による重合可能な材料や熱に反応する材料をCNTに組み込み、などさらなる展開に発展する可能性が期待できる。