

審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 イフティタ ラフマティカ

水道水における生物学的安定性は、飲用時の安全のために重要である。水道水は給配水中、特に建物内給水管において水質が劣化し、日和見病原細菌の再増殖につながる可能性がある。水質劣化の要因として、建物内給水管における水道水の滞留が考えられる。滞留時に増殖する細菌の制御を行うためには、その由来としての浄水処理プロセスにおける当該細菌の挙動を明らかにする必要がある。さらに再増殖細菌の増殖基質として、建物内給水管に用いられる配管素材からの有機物の溶出の影響についても、明らかにしていく必要がある。

このような背景のもと、本論文は「**Factors Influencing Microbial Regrowth and Occurrence of Opportunistic Pathogens in Premise Plumbing** (水道給配水系における微生物再増殖と日和見病原細菌の存在に及ぼす影響因子)」と題してまとめられたもので、以下 7 章からなる。

第 1 章では、研究の背景と目的について説明している。

第 2 章では、飲料水中の微生物再増殖、日和見病原細菌の存在と健康への影響、および建物内配管における微生物再増殖に影響を与える要因に関して、関連する先行研究をまとめている。

第 3 章では、本論文で使用した実験方法を要約している。

第 4 章では、微生物再増殖に対する建物内給水管内での滞留の影響を評価している。蛇口を十分に開栓したのちに採取した試料と、その後 24 時間使用せず滞留させた試料を一定量ずつ採取して調査している。試験は、東京大学本郷キャンパス内の 2 つの建物にある 9 つの蛇口において、計 4 回採取を行っている。その結果、すべての蛇口で滞留後の最初の 100 mL で遊離塩素が 0.02 mg / L 未満に大幅に減少し、全菌数が $(2.6 \pm 2.5) \times 10^3$ cells/mL から $(1.2 \pm 0.9) \times 10^5$

cells/mL に増加した。給水管中における滞留により遊離塩素が消費され、微生物の再増殖が引き起こされることを示した。滞留前後において、微生物群集は特徴的に異なっており、微生物群集の組成も滞留の影響を受けていた。日和見病原細菌として広く知られている *Mycobacterium avium*、*Legionella pneumophila*、*Pseudomonas aeruginosa*、*Acanthamoeba* spp.については、すべての蛇口の滞留前後において、定量下限値を下回った。しかしながら、*Mycobacterium* 属、および *Legionella* 属の細菌をより詳しく解析したところ、*M. gordonae*、*M. haemophilum*、*L. feeleii*、*L. maceachernii*、および *L. micdadei* など日和見病原性が知られる細菌が滞留後の試料において検出された。この結果は、建物内給水管において、水の滞留により潜在的な健康リスクが増加する可能性があることを示唆しているものである。

冬季の採水においては、*Pseudomonas* spp.が優占的に検出されたのに対し、他の季節では *Sphingomonas* spp.が最も多く検出された。使用頻度の低い蛇口は、使用頻度の高い蛇口と比較して、全菌数が大幅に高かった。使用頻度の高い蛇口と低い蛇口の間で微生物群集は大きく異なっており、微生物の再増殖が非常に部位特異的であることを示唆していた。

第 5 章では、建物内給水管において再増殖した細菌に特に注目し、浄水原水から浄水処理プロセス、建物内給水管に至るまでの消長を評価している。建物内給水管において再増殖が見られた *Sphingomonas*、*Comamonadaceae*、*Phreatobacter* などの細菌は、浄水処理プロセスでは除去されているものの、給水管での滞留により増加していることが分かった。*Mycobacterium* 属、*Legionella* 属細菌についても同様に、浄水処理プロセスでは除去されていることが示された。

第 6 章では、ポリマー素材の給水管材料から溶出する生分解性有機物 (BOM) の組成と、微生物の再増殖への影響を評価している。ポリエチレン、高密度ポリエチレン、およびポリ塩化ビニルの給水管を、純水および塩素を添加した純水に室温で 24 時間浸漬し、溶出した溶存有機物 (DOM) を評価している。溶出した DOM を、高分解能質量分析計を用いた有機物のノンターゲット分析により、化合物レベルで組成を評価したところ、素材の違い、また塩素添加の有無により組成は大きく異なっていた。各給水管素材から DOM が溶出した試料に対して、水道水中の微生物を植種し培養して、溶出 DOM による微生物の増殖と、増殖により利用された DOM、すなわち BOM を評価した。分子式推定がおこなわれた DOM 成分数のうち、3-30%が BOM として利用された。また、素材ごとに異なる成分が BOM として検出されるとともに、塩素添加の有無によ

っても異なる成分が検出された。一方で、増殖後の微生物群集はいずれの素材においても *Methylophilus* 属細菌が優占しており、同属細菌の基質多様性によるか、もしくは高分解能質量分析によって検出されていない有機物成分による増殖が考えられた。

第 7 章では、この研究の結論と今後の展望がまとめられている。

本論文により、建物内給水管における微生物再増殖に関わる水道水中の微生物学的水質について、日和見病原細菌を中心とした微生物群集の観点から重要な知見が得られている。水道水の飲用利用における健康リスク要因の制御に向け、検討を要する制御因子を示したものと見える。したがって本研究は都市環境工学、特に衛生工学の分野においてきわめて高い意義を持つものである。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。