

氏名（本籍）	田中 法幸（東京都）
学位の種類	博士（工学）
学位授与番号	甲第556号
学位授与日付	令和元年9月30日
専攻	物質工学専攻
学位論文題目	セントラル給湯システムにおける金属配管材料の腐食防食に関する研究 (Corrosion and corrosion protection of metal materials in central hot water supply systems)
学位論文審査委員	(主査) 教授 杉浦 隆 (副査) 教授 櫻田 修 教授 上宮 成之 外部審査委員 山田 豊

論文内容の要旨

本論文は、セントラル給湯システムにおける熱源機の給湯機用熱交換器銅管のシステムの防食技術およびその代替材料としての Cu-Sn-Zr 合金の実用化、また給湯管 SUS304 配管の防食を目的とした腐食特性に関する研究をおこない、まとめたものである。

- (1) 給湯機熱交換器のりん脱酸軟質銅管の腐食については、使用水の低 pH および流速、管内圧力変化による微細気泡の発生 の 3 つの要因が相乗的に作用して腐食影響をおよぼしていることを明らかにし、pH の中性化および流量制御方式を用いたシステムの防食を提案した。
- (2) 給湯機熱交換器用銅管の代替材料については、Cu-Sn-Zr 合金がりん脱酸軟質銅管に比べ耐食性に優れることを示すとともに、その耐食性のメカニズムを明らかにし、代替材料としての実用化に対する有効性を見出した。
- (3) 給湯管 SUS304 配管の腐食特性については、配管製造時の曲げ加工により生成する加工誘起マルテンサイトが、耐食性に影響することを示した。また、淡水環境におけるアノード分極曲線に二次活性域が存在することを示すとともに、このときの電流密度が加工誘起マルテンサイト生成量に相当することを示し、加工誘起マルテンサイト生成量の簡易測定を可能とすることを見出した。

りん脱酸軟質銅管および SUS304 配管は、様々な産業において汎用的な材料として使用されていることから、本研究で得られた腐食特性および防食に関する知見は、多くの産業における設備または機器類の長寿命化およびライフサイクルコストの削減、事業継続性（BCP）に広く貢献することが期待できる。

論文審査結果の要旨

本論文は、セントラル給湯システムにおける給湯機熱交換器に使用されるりん脱酸軟質銅管および給湯管 SUS304 における課題、すなわち、りん脱酸軟質銅管の腐食および給湯管 SUS304 の孔食対策に関する研究についてまとめたものである。給湯機熱交換器に使用されるりん脱酸軟質銅管の腐食においては、使用水の低 pH および流速、管内圧力変化による微細気泡の発生 の 3 つの要因が相乗的に作用して腐食影響をおよぼしていることを明らかにしている。これに対し、pH の中性化および流量制御方式を用いたシステムの防食が提案され、その有効性が示された。また、代替材料として Cu-Sn-Zr 合金がりん脱酸軟質銅管に比べ耐食性に優れることを示すとともに、その耐食性のメカニズムを明らかにし、代替材料としての実用化に対する有効性を見出している。

給湯管 SUS304 の孔食においては、配管製造時の曲げ加工により生成する加工誘起マルテンサイト

が、耐食性に影響することを示した。また、淡水環境におけるアノード分極曲線に二次活性域が存在することを示すとともに、このときの電流密度が加工誘起マルテンサイト生成量に相当することを示し、加工誘起マルテンサイト生成量の簡易測定を可能とすることを見出している。

セントラル給湯システムに用いられる給湯機熱交換器用りん脱酸軟質銅管および給湯管 SUS304 の課題に対して有効な解決方法の提案をおこない、学術的な考察を加えて、産業的にも学術的にも優れたものであり、その学術的知見を得ており、博士（工学）の学位論文として十分な内容と認められた。

最終試験結果の要旨

(1) 公表論文

本論文の主要部分は査読付きの研究論文として 7 編発表・掲載済みであり、物質工学専攻の判定基準を満たしていることを確認した。

(2) 公聴会

公聴会は、令和元年 8 月 26 日に論文審査委員と一般職者を含めておこなわれた。出席者は大学教員 7 名、学生 5 名、一般企業などからの外部有識者 11 名ほか、合計 23 名であった。発表内容および質疑に対する回答状況などを踏まえ、学位審査委員会にて審査をおこない、最終試験に合格と判断した。

発表論文（論文名、著者、掲載誌名、巻号、ページ）

1. 「マルチ循環給湯機用熱交換器銅管の腐食事例と対策の検討」
渡邊一平，吉田道之，田中法幸，山田豊，櫻田修，銅と銅合金，**56** (2017)，173-177.
2. 「給水および給湯設備における SUS304 配管の腐食事例とその耐食性に関する基礎的研究」
田中法幸，佐藤茂，渡辺一平，吉田道之，山田豊，櫻田修，表面技術，**68** (2017)，641-646.
3. 「Corrosion in Tap Water and Hot Water Supply Facilities of Stainless Steel Type 304 Pipes」
Noriyuki Tanaka, Shigeru Sato, Ippei Watanabe, Yutaka Yamada, Osamu Sakurada, Materials Sciences and Applications, **9** (2018), 68-80.
4. 「淡水中における高強度 Cu-Sn-Zr 系合金の銅イオン溶出におよぼす酸洗処理の影響」
田中法幸，渡邊一平，池田達，尾畑成造，後藤慶太，山田豊，櫻田修，銅と銅合金，**57** (2018)，185-190.
5. 「淡水中における高強度 Cu-Sn-Zr 系合金の腐食挙動におよぼす pH および流速の影響」
渡邊一平，田中法幸，池田達，後藤慶太，山田豊，櫻田修，銅と銅合金，**57** (2018)，191-194.
6. 「マルチ循環給湯システム用給湯機熱交換器銅管の実機腐食対策」
渡邊一平，田中法幸，池田達，後藤慶太，山田豊，櫻田修，銅と銅合金，**58** (2019)，323-327.
7. 「淡水中における高強度 Cu-Sn-Zr 系合金の耐食性」
池田達，田中法幸，渡邊一平，後藤慶太，山田豊，櫻田修，銅と銅合金，**58** (2019)，328-332.