

|             |  |
|-------------|--|
| 氏 名         | ふじい たけひろ<br><b>藤井 健弘</b>                                       |
| 学位(専攻分野)    | 博 士 ( 学 術 )  |
| 学 位 記 番 号   | 博甲第 1050 号   |
| 学位授与の日付     | 令和 4 年 3 月 25 日  |
| 学位授与の要件     | 学位規則第 4 条第 1 項該当   |
| 研究科・専 攻     | 工芸科学研究科 先端ファイブロ科学専攻  |
| 学 位 論 文 題 目 | <b>温水配管用プラスチックパイプの耐久性評価に関する研究</b>                              |
| 審 査 委 員     | (主査)准教授 山田和志<br>教授 横山敦士<br>教授 佐久間淳<br>株式会社 KRI 解析研究センター顧問 西村寛之 |

### 論文内容の要旨

本論文は、住宅の給水・給湯用途に使用されるプラスチックパイプの加速劣化試験を行い、プラスチックパイプの長期耐久性を評価することを目的としている。水道水は、亜塩素酸ナトリウム等の塩素化合物で消毒されて作られている。それゆえ、それら塩素化合物の残留塩素がプラスチックパイプに与える影響を長期的に調査・研究することは重要である。しかし、高濃度の塩素と高圧下でのプラスチックパイプの加速劣化試験に関する研究例は少なく、塩素や水圧下で広く使用されているプラスチックパイプの劣化を評価することは極めて重要となる。本論文では、残留塩素が長期耐久性に及ぼす影響を簡易的な加速劣化方法により評価可能か検討している。さらに、新たな加速劣化方法および劣化評価方法を提案することに挑戦している。本論文は 5 章から構成されており、以下に各章の概要を示す。

第 1 章では本論文の背景として、一般的に使用されている温水配管用プラスチックパイプの物性や研究動向、加速劣化試験法などについてまとめ、本論文の目的および構成について述べている。第 2 章では、ポリブチレン(PB)パイプと架橋ポリエチレン(PEX)パイプを塩素が含まれた 80 °C の温水で 30,000 時間まで浸漬試験を行い、それぞれのプラスチックパイプの引張試験と示差走査熱量計(DSC)により残留塩素の影響を評価している。また、PB と PEX パイプを曲げた状態で塩素が含まれた 80, 90, 98 °C の温水に 47,000 時間まで浸漬試験を行い、曲げ応力が負荷された状態での促進劣化を破壊状態から残留塩素の影響を評価している。第 3 章では、独自の圧力容器を考案・製作し、その容器内で PB パイプを 80 °C、水圧 0.5 MPa、塩素濃度 30 ppm の温度と圧力負荷での浸漬試験を行い、DSC、等温酸化誘導時間(I-OIT)、フーリエ変換赤外分光法(FT-IR)、走査型電子顕微鏡法分析、化学発光測定及び引張試験で残留塩素および水圧が PB パイプの劣化に与える影響について評価している。本章では水圧を加えることにより PB パイプの劣化を促進できることを初めて提案している。第 4 章では、非架橋ポリエチレン(PE-RT)パイプを第 3 章で考案した圧力容器で促進劣化を行い、色差分析、DSC、I-OIT、FT-IR、及び引張試験で残留塩素の影響を評価している。さらに、PE-RT パイプの劣化に対する 3 次元蛍光スペクトルの有効性を提案し、I-OIT 結果との相関性を明らかにしている。第 5 章では本論文で得られた知見をまとめ、

結論として本論文の成果と今後の展望とを総括している。

## 論文審査の結果の要旨

住戸で使用される給水管・給湯管は、時代とともに変わってきており、近年では住宅の給水・給湯用途にポリエチレンなどのプラスチックパイプが使用されている。最近では温水床暖房など壁や床下に温水配管を埋設するケースも増えており、容易にこれらのプラスチックパイプを取り出して交換できないため、使用するパイプの長寿命化が期待されている。一方、水道水は、二酸化塩素や亜塩素酸ナトリウム等の塩素化合物で消毒されており、それら塩素化合物の残留塩素がプラスチックパイプの劣化促進に与える影響が懸念されている。しかし、高濃度の塩素と高压下でのプラスチックパイプの加速劣化試験に関する研究は少なく、塩素や水圧下で広く使用されているプラスチックパイプの劣化を評価することは非常に重要である。本論文では、架橋ポリエチレン(PEX)、非架橋ポリエチレン(PE-RT)、ポリブチレン(PB)の3種類のパイプに対して水圧印加・未印加、塩素添加・未添加の各条件で温水浸漬試験を実施し、物性評価している。特に独自の簡易圧力容器を設計・製作し、80 °C・0.5 MPa 下で長期間安定的に加温・加圧できる装置を開発し、PB および PE-RT パイプの劣化を促進させることに成功しており、研究成果のオリジナリティは高い。さらに、本論文では新たな劣化評価方法として3次元蛍光分光法を取り入れ、従来の等温酸化誘導時間(I-OIT)ならびに酸化劣化に伴うカルボニル指数との相関性を見出している。3次元蛍光分光法は従来の劣化評価方法と比較し、試料準備が簡便かつ短時間で測定可能で汎用性が高く、その他高分子材料の劣化評価にも応用できる可能性がある。以上のように、本論文には十分な新規性と有用性が認められる。

本論文の内容は、申請者を筆頭著者としてレフェリー制度の確立した国際的に著名な雑誌に掲載された基礎論文2報、レフェリー制の国際プロシーディングス2報からなる。また、いずれの論文においても、二重投稿等の研究者倫理に反するがないことを確認した。

### (学術論文)

1. "Influence of residual chlorine and pressure on degradation of polybutylene pipe", Takehiro Fujii, Yuichi Matsui, Hideo Hirabayashi, Kazuhisa Igawa, Saori Okada, Hidekazu Honma, Hiroyuki Nishimura, and Kazushi Yamada\*, Polymer Degradation and Stability, Vol.167, pp.1-9, 2019.
2. "Influence of residual chlorine and pressure on the degradation of water pipes of polyethylene of raised temperature", Takehiro Fujii, Hideo Hirabayashi, Yuichi Matsui, Kazuhisa Igawa, Hidekazu Honma, and Kazushi Yamada\*, Polymer Degradation and Stability, 194 (2021) 109760.

### (参考論文)

1. "EFFECT OF RESIDUAL CHLORINE ON DURABILITY OF PLASTIC PIPES USED FOR HOT WATER SUPPLY", Takehiro Fujii, Hideo Hirabayashi, Kazushi Yamada, Hiroyuki Nishimura, Kazuhisa Igawa, Yuji Higuchi, SPE ANTEC™ Indianapolis 2016, pp.1479-1483.

2. "DURABILITY EVALUATION TO RESIDUAL CHLORINE ON PLASTIC PIPES FOR HOT WATER SUPPLY - THIRD REPORT", Takehiro Fujii, Hideo Hirabayashi, Kazushi Yamada, Hiroyuki Nishimura, Kazuhisa Igawa, Yuji Higuchi, SPE ANTEC® Anaheim 2017, pp.1982-1988.

以上の結果より、本論文の内容には新規性と独創性、さらに学術的な意義があると審査員全員が認めた。