

氏名	いがわ かずひさ 井川 一久
学位(専攻分野)	博 士 (工学)
学位記番号	博甲第 793 号
学位授与の日付	平成 28 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	温水用ポリエチレン管の長期信頼性に関する研究
審査委員	(主査)教授 西村寛之 教授 濱田泰以 准教授 横山敦士 大阪ガス(株)エリギ一技術研究所シニアリサーチャー 樋口裕思

論文内容の要旨

国内で使用される温水配管のほとんどが、架橋ポリエチレン管である中、省エネ・コストダウン、リサイクルを可能にする温水用非架橋ポリエチレン管の適用性が学術的に検討された。本論文では温水用途に実績があり、酸化防止剤の配合が同様な 3 種の原料を用い、現行耐久試験方法の実使用温度における寿命評価を行い、実使用環境に近い耐久試験方法の性能比較を通して、温水用途としての長もちの要因と樹脂構造の関係を明確にした。

第 2 章ではまずガス温水システムの概要と温水樹脂管の要求性能、現状の JIS 規格の設計の考え方や試験方法、温水用非架橋ポリエチレン管の ISO 規格など関係規格についてまとめた。第 3 章では温水用ポリエチレン管の劣化要因について内面側からの要因と、外面側からの要因に分けて検討し、給湯用途と暖房用途毎に要求性能をまとめた。

第 4 章では従来から行われている熱間内圧クリープ試験結果から温度依存性を検証し、実使用温度での寿命を求めた。その結果、目標時間に到達しないことが分り、その原因について明確にした。また、管の寿命と引張物性の相関性、寿命に達した時の酸化開始温度の値を明らかにした。更に真鍮製継手を使用した試験では継手部からの銅イオン溶出による銅害で温水用ポリエチレン管の劣化が促進していること、破壊までの時間は円周応力と共に肉厚に依存することが分った。

第 5 章では熱間内圧クリープ試験と比較して、耐久性を評価する加速試験法の確立、実使用環境に近い温水循環試験での温度依存性や圧力依存性について検討した。その結果、劣化には温水中の溶存酸素や樹脂内の酸素拡散が大きく影響していること、温水循環試験における酸化劣化の温度依存性がないこと及び圧力依存性があることを明確にした。

第 6 章では DX800、2344、XP9000 の 3 種類の原料の温水循環試験の比較を行った。その結果、酸化防止剤の消費速度は $DX800 \geq 2344 > XP9000$ の順であることが分った。試験初期の酸化防止剤の消費動向がその後の消費速度に大きく影響を与えていることを明確にした。長もちの要因は後結晶する低分子量の非晶相から中分子量の中間相域を高分岐かつ均一分布であるほど延命化が期待できることを明確にした。酸化防止剤の存在する非晶相から中間相が均一高分岐であることが後結晶に伴う球晶成長を阻害させ、酸化防止剤の消費速度に大きく影響した。

第7章ではその他の各種耐久試験結果の内容についてまとめた。その結果、温水用非架橋ポリエチレン管の黄変する部分劣化は銅害が関与していること、110°Cの耐久試験で評価できない場合があること、酸化誘導時間での評価では測定温度の上限があること及び寿命を長く見積もり易いことが分った。酸化防止剤の消費傾向は同温下の空気透過量に相関しており、圧力低下レベルを比較することで簡易に、短時間で評価が可能となった。

第8章では長もちのための技術を検討した。その結果、同種酸化防止剤の增量だけでは期待できないこと、異種の增量は効果が望めるものの投入量に比例した効果は期待できないこと、適量の造核剤は長もちに寄与する可能性があること、ポリシランは多様な効用を示し、長もちにも寄与することを明確にした。本研究の成果により、温水用途として最適な樹脂構造を確立させて、必要最小限の酸化防止剤配合で出荷、成形メーカーで目的・用途に応じた酸化防止剤の配合をカスタマイズできる環境が整えば、長もちする温水用ポリエチレン管を設計することが可能となり、幅広い応用が期待される。

論文審査の結果の要旨

本論文では国内で使用される温水配管のほとんどが、架橋ポリエチレン管である中、省エネ・コストダウン、リサイクルを可能にする温水用非架橋ポリエチレン管の適用性が学術的に検討された。温水用途に実績があり、酸化防止剤の配合が同様な3種類の原料を用い、現行耐久試験方法の実使用温度における寿命評価を行い、実使用環境に近い耐久試験方法の性能比較を通して、温水用途としての長もちの要因と樹脂構造の関係を明確にした。また、実使用環境を反映させた耐久試験方法を提案した。これらの研究成果により長もちを目的として配合する酸化防止剤の効果を最大限に引き出すことが可能となり、工業的に大変意義があり、学術的な観点からも評価できる。本論文の内容は次の7報に報告されており、7報すべてが申請者を筆頭著者とするものである。

1. 井川 一久, 本間 秀和, 福西 佐季子, 山田 和志, 西村 寛之, “温水用 PE 管による熱間内圧クリープ試験の温度依存性と温水循環試験との比較評価”, マテリアルライフ学会誌 (Materiaru Raifu Gakkaishi), 27 [3] pp.63-69 (2015).
2. Kazuhisa Igawa, Higekazu Honma, Kazushi Yamada, Hiroyuki Nishimura, “Comparison between stress rupture performance and hot water circulation performance considering actual usage of PE pipes for hot water application”, 10th International Symposium on Weatherability (10th ISW), pp.2-3 (2015).
3. 井川 一久, 本間 秀和, 山田 和志, 西村 寛之, “温水用 PE 管の各種試験条件における耐久性評価”, マテリアルライフ学会誌 (Materiaru Raifu Gakkaishi), 27 [3], pp.70-76 (2015).
4. 井川 一久, 本間 秀和, 山田 和志, 西村 寛之, “温水用 PE 管の評価法と樹脂構造の寿命に及ぼす影響”, マテリアルライフ学会誌 (Materiaru Raifu Gakkaishi), (投稿中)
5. Kazuhisa Igawa, Yuji Higuchi, Akio Kamatani, Kazushi Yamada, Hiroyuki Nishimura, “EVALUATION OF PLASTIC PIPES BY HOT WATER CIRCULATION, STRESS RUPTURE, AND IMMERSION TESTS”, Proceedings of the 17th Plastic Pipes Conference PPXVII, pp.22-24 (2014).

6. Kazuhisa Igawa, Yuji Higuchi, Kazushi Yamada, Hiroyuki Nishimura, "Evaluation of Plastic Pipes for Hot Water Supply and Heating", SPE-ANTEC Orlando 2015, No. 2088668, pp.2076-2080 (2015).
7. Kazuhisa Igawa, Yuji Higuchi, Daisuke Tanemura, Kazushi Yamada, Hiroyuki Nishimura, Sakiko Fukunishi, Kazufumi Kohno, Higekazu Honma, Hidekazu Sugimori, "COUNTERMEASURES AGAINST DETERIORATION IN NONCROSS-LINKED POLYETHYLENE PIPES", Proceedings of the 17th Plastic Pipes Conference PPXVII, pp.22-24 (2014).

以上の結果より、本論文の内容は十分な新規性と独創性、さらに工業的な意義があり、博士論文として優秀であると審査員全員が認めた。