

氏 名(本 籍)	横 井 豊 (愛知県)
学 位 の 種 類	博 士 (工学)
学 位 記 番 号	甲 第 44 号
学位授与年月日	平成 8 年 3 月 25 日
専 攻	生産開発システム工学専攻
学 位 論 文 題 目	ポリマー逆溶解液による沸騰の抑制に関する研究
学位論文審査委員	(主査) 教 授 熊 田 雅 彌 (副査) 教 授 隅 田 勲 教 授 西 尾 茂 文 教 授 若 井 和 憲 助教授 花 村 克 悟

## 論文内容の要旨

本論文は高分子ポリマー溶液の沸騰熱伝達において、逆溶解性を示す溶液の熱伝達抑制機構を明らかにすることを目的とし、対流域および沸騰域におけるポリマー溶液の性状変化が、熱伝達機構にどんな影響を与えたかという観点から実験的に検討した。本論文は6章から構成されており、以下、各章の結論を総括的に述べる。

第1章では、逆溶解性を示す高分子ポリマーについて、熱処理冷却液として求められる背景、その特徴、伝熱に関する研究の現状などを総括した。熱処理分野において、水溶性焼入液として数十%の高濃度の高分子ポリマー溶液が、沸騰熱伝達を抑制するものとして用いられているが、実用化されているのは逆溶解性を示すポリアルキレングリコールエーテル (PAG) 溶液のみである。しかし、その制御範囲は十分とはいえず、また伝熱抑制効果の機構についての研究も皆無である。したがって、これを明確にすることは、より広範囲に熱伝達制御する道を拓くことを可能とするものである。

第2章では、細線による対流および核沸騰熱伝達についてまとめた。0.1~0.5φの白金細線による沸騰曲線の測定と加熱面廻りの沸騰状況観察から、次のような特徴を明らかにした。加熱面近傍の溶液に半透明、灰色、そして白濁の様相変化がみられ、半透明、灰色変化は曇点直前のポリマーの濃縮を表わし、白濁変化は曇点に対応している。この様相変化層の厚さは溶液濃度20%までは増加し、以後微増となる。そして、白濁化は90℃において始まるものの、溶液濃度20%までは加熱面温度上昇に伴い消失し、沸騰開始とともに再生成される。一方、それ以上の濃度溶液では白濁状態が継続し、沸騰が開始する状況となる。このことから熱伝達の抑制は、対流域では様相変化領域の濃縮化に伴う熱抵抗により、核沸騰域では過熱層による沸騰開始点の高温化と、白濁層内に気泡が閉じこめられて離脱抑制されることによることを明らかにした。

第3章では、細線による定常膜沸騰熱伝達についてまとめた。0.3、0.5φの白金細線による定常膜沸騰熱伝達実験より、次のような特徴を明らかにした。細線のポリマ

一溶液膜沸騰では数珠状の蒸気膜がみられ、水の場合と基本的には同じ蒸気膜形状であった。また、溶液濃度10%以上では、高い濃度ほど安定した蒸気泡の離脱状況となり、その結果、熱伝達率の低下は最大20%ほどであり、溶液の流動から顕著とはならないが、極小熱流束点温度は約100°Cの低下をもたらすことを明らかにした。

第4章では、球による非定常膜沸騰熱伝達についてまとめた。5~20φの銀球試料の非定常冷却実験から、膜沸騰熱伝達の次のような特徴を明らかにした。ポリマー溶液では蒸気膜廻りに濃縮層と白濁層が形成され、膜沸騰熱伝達の抑制、極小熱流束点温度の低下を単調にもたらす。これへの球径の影響は少なく、溶液濃度の影響が顕著に現れた。層流蒸気の球では数珠状界面の細線と比べ、膜沸騰熱伝達率への溶液濃度の影響は大きく現れた。また、蒸気膜、白濁層の形成時間は溶液濃度が高いほど長くなり、白濁層の実質的な厚さの変化を示していることを明らかにした。

第5章では、第2章から第4章までの結果を考察し、ポリマー溶液の熱伝達機構について論じ、まとめた。

対流域の熱伝達抑制機構は高濃度層の形成に基づくものであり、高濃度層がゲル状化して熱抵抗増加をもたらしている。白濁層は濃縮層の表面にあり、実体はきわめて薄い層であることから、熱伝達抑制には積極的な役割を果たしていない。ポリマー溶液の対流熱伝達に影響を与える濃縮層濃度を考慮することにより、溶液濃度における熱伝達と同様な整理をすることが可能であることを示した。

核沸騰域の熱伝達抑制機構は、濃縮層が沸騰開始点を高温化することと、濃縮層濃度とその厚さにより、気泡の離脱および溶液混合の抵抗をもたらすことによる。後者では、ポリマー濃度による気泡発生状況は熱流束増加と共に、大気泡のみ、大気泡と微小気泡の共存、そして小気泡のみの3領域に大別でき、熱伝達に密接に影響を与えている。基本的には溶液濃度に対応して白濁層厚さが増加し、熱伝達が抑制されるが、低濃度では大気泡下に微小気泡が生成され、それが白濁層に流動を与え、熱伝達抑制を緩和する状況になる。また、この微小気泡が突沸状況で発生することとその発生温度から自発核生成に基づく可能性のあることを示した。

球の膜沸騰域の熱伝達抑制機構については、ポリマー溶液に高濃度層と白濁層が形成されるものの、高濃度層のみの物性評価では十分な熱伝達低下の説明ができないことを明らかにした。熱伝達低下の要因は、高濃度層より発生する蒸気が層内の高い粘性により移動が十分できず、蒸気泡との混合状態から溶液のみかけの熱伝導率低下をもたらすことによると推定される。また、蒸気膜形状は蒸気流出抵抗としての影響がみられるが、ぬれの発生する状況ではその影響は少ないものである。一方、細線の膜沸騰熱伝達において顕著な熱伝達低下をみせないのは、蒸気泡の離脱により、高濃度層と溶液との混合が生じるためと考えられた。

以上により、ポリマー溶液の膜沸騰域の熱伝達機構の解明には、発生蒸気を含む高濃度層についての正確な物性評価が必要であり、今後の重要な課題である。

第6章では、第1章から第5章までのポリマー溶液の熱伝達機構についての研究結果を総括し、まとめた。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、有効な熱処理冷却剤としての高分子ポリマー溶液の熱伝達機構を解明することにより、より広範囲に熱伝達制御する道を拓くことを可能とするために実験的に検討したものである。

第1章では、逆溶解性を示す高分子ポリマーについて、熱処理冷却液として求められる背景、特徴、及び伝熱に関する研究の現状などを総括し、実用化されているのはポリアルキレングリコールエーテル(PAG)溶液のみであり、その制御範囲は十分とはいえず、また伝熱抑制効果の機構についての研究は皆無であると述べている。したがって、本論文は、この分野の研究の端緒として極めて重要である。

第2章では、細線による対流および核沸騰熱伝達について実験的に検討し、白金細線による沸騰曲線の測定と加熱面廻りの対流と沸騰状況の観察から、加熱面近傍溶液の半透明、灰色、そして白濁の様相変化を明確にし、半透明、灰色変化は曇点直前のポリマーの濃縮を、白濁変化は曇点に対応していることを明らかにしている。そして、熱伝達の抑制は、対流域では様相変化領域の濃縮化に伴う熱抵抗により、核沸騰域では過熱層による沸騰開始点の高温化と、白濁層内に気泡が閉じこめられて離脱抑制されることによることを明らかにしている。特に、自然対流での灰色層の環状上昇流の存在の観察は、画期的なものである。

第3章では、白金細線による定常膜沸騰熱伝達実験より、細線のポリマー溶液膜沸騰では数珠状の蒸気膜がみられ、水の場合と基本的には同じ蒸気膜形状であること、また、溶液濃度10%以上では、高い濃度ほど安定した蒸気泡の離脱状況となり、その結果、熱伝達率の低下は最大20%ほどであり、溶液の流動から顕著とはならないが、極小熱流束点温度は約100℃の低下をもたらすことを明らかにしている。

第4章では、銀球による非定常膜沸騰熱伝達から、ポリマー溶液では蒸気膜廻りに濃縮層と白濁層が形成され、膜沸騰熱伝達の抑制、極小熱流束点温度の低下をもたらし、これへの球径の影響は少なく、溶液濃度の影響が顕著であること、また、層流蒸気の球では数珠状界面の細線と較べ、膜沸騰熱伝達率への溶液濃度の影響は大きく現れることを明らかにしている。

第5章では、第2章から第4章までの結果を考察し、ポリマー溶液の熱伝達機構について総括している。

対流域の熱伝達抑制機構は高濃度層の形成に基づくものであり、高濃度層がゲル状化して熱抵抗増加をもたらしていること、白濁層は濃縮層の表面にあり、実体はきわめて薄い層であることから、熱伝達抑制には積極的な役割を果たしていないことを明らかにしている。ポリマー溶液の対流熱伝達に影響を与える濃縮層濃度を考慮することにより、溶液濃度における熱伝達と同様な整理が可能であることという重要な整理式を提案している。

核沸騰域の熱伝達抑制機構は、濃縮層が沸騰開始点を高温化することと、濃縮層濃度とその厚さにより、気泡の離脱および溶液混合の抵抗をもたらすことを明らかにし、

後者では、ポリマー濃度による気泡発生状況が熱流束増加と共に、大気泡のみ、大気泡と微小気泡の共存、そして小気泡のみの3領域に大別できることを明確にしている。特に、低濃度では大気泡下に微小気泡が生成され、それが白濁層に流動を与え、熱伝達抑制を緩和するという重要な結果を得ている。また、この微小気泡が突沸状況で発生することとその発生温度から自発核生成に基づく可能性のあることを示した。

球の膜沸騰域の熱伝達抑制機構については、高濃度層と白濁層が形成されるが、高濃度層のみの物性評価では十分な熱伝達低下の説明ができないことを明らかにしている。熱伝達低下の要因は、高濃度層より発生する蒸気が層内の高い粘性により移動が十分できず、蒸気泡との混合状態から溶液のみかけの熱伝導率低下をもたらすことによると推定し、また、蒸気膜形状は蒸気流出抵抗としての影響がみられるが、ぬれの発生する状況ではその影響は少ないものであることを明らかにしている。一方、細線の膜沸騰熱伝達において顕著な熱伝達低下を示さないのは、蒸気泡の離脱により、高濃度層と溶液との混合が生じるためとの重要な考えを示している。

以上の結果により、本論文は、逆溶解性を示すポリマー溶液の熱伝達特性及び抑制の機構を明らかにすると同時に、学問的に貴重な現象を示しており、これは、学術的にも工業的にも重要な知見を与え、貢献するものであり、学位論文に値するものと判断される。