The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	熱可塑性樹脂の温度と湿度による強度低下予測法に関する基礎的研究
Author(s)	澤田, 祐子
Citation	大阪大学, 2022, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/88085
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　澤田　祐子　）	
論文題名	熱可塑性樹脂の温度と湿度による強度低下予測法に関する基礎的研究

論文内容の要旨

電気・電子製品は，温度，湿度，油，汚泥，ガス，化学物資や振動，応力など，様々な条件下で使用されるため，設計・開発の早い段階でこれらの負荷の単独あるいは複合条件において評価し，材料や搭載される部品の品質を確保し，製品寿命を満足するように設計することが重要である．多くの製品では，比較的安価で成形性が良くて大量生産に向き，重量が軽く，意匠性も高い樹脂材料が適用されているが，極めて膨大な種類が存在するため，その寿命や特性のデータベースは少ない．

そこで本論文では，電気製品の筐体等の強度部材として需要の多い熱可塑性樹脂を主な対象とし，電気製品の信頼性に影響する代表的な環境因子として温度と湿度を取り上げ，これらの要因による樹脂材料の強度低下の予測法について検討した．

第1章では，電子・電気製品が市場で暴露される環境負荷について説明し，樹脂材料が特に影響される温度と湿度による強度低下に着目した経緯を述べた．加速試験内容，加速試験装置，規格などの歴史的経緯と現状について説明し，本研究の目的が，温度と湿度による樹脂材料の強度低下を短時間に予測し，樹脂材料を用いた製品の信頼性を確保することにあることを述べた．

第2章では，熱可塑性樹脂の評価に適した温度と湿度の加速試験が行えるよう，新しく独自に開発した不飽和過熱蒸気試験装置について説明した．本装置では，従来の加速試験装置では実現できなかった広い温度と湿度の条件を大気圧下で調整することができるため，従来からの装置と組み合わせて，温度は室温から150℃まで，湿度が0%から100%までの多様な湿熱環境条件を作り出して，樹脂材料の加速試験条件の範囲を広げることができたことを述べた．

第3章では，加水分解しやすいポリブチレンテレフタレート樹脂を用いて，温度と湿度による強度低下時間の予測を行った．水蒸気圧で整理しやすいように温度と湿度を設定して加速試験を行い，3点曲げ試験による曲げ強度が低下する時間を求め，水蒸気圧で整理して，アレニウス型の温度―時間換算式を提案した．この式を用いて任意の温度と湿度における強度低下時間を予測できることを示した．

第4章では，未暴露の強度，温度，水蒸気圧（湿度）および暴露時間から，加水分解により低下した強度値を予測する式を提案した．暴露時間と3曲点曲げ試験による強度の対数が線形関係にあることを用いて関係式を求め，その関係式の指数と水蒸気圧の関係から温度との関係を導き出し，曲げ強度の予測式を確立した．

第5章では，加水分解により低下した引張強度についても，第4章で提案した曲げ強度の強度低下予測式が適用できることを示した．また，本予測式を用いれば，暴露されていた環境の温度，湿度，強度低下率から，環境への暴露時間が予測できることを示した．

第6章では，第5章まで提案してきた強度低下の予測式をより広範囲に適用できるように，強度低下予測式を強度低下開始時間で修正した．また，ウエルドラインのある成形材においても強度低下予測式が適用できることを示した．そして試験片の破面観察から，ウエルドラインの強度が低下しやすいことがわかった．

樹脂製品が実際に暴露される環境は多種多様であり，また製造メーカーにとっては想定外の使用状態も実在することから，温度と湿度以外の要因についても寿命予測は重要であり，継続して評価を進めていく．

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　澤田　祐子　）		
論文審査担当者	（職）	氏　名
	主 査　教授	箕島　弘二
	副 査　教授	澁谷　陽二
	副 査　教授	倉敷　哲生

論文審査の結果の要旨

樹脂材料は，様々な環境曝露によって強度が低下するものの，難燃剤・酸化防止剤をはじめとして種々の添加剤を加えられているため樹脂の種類は極めて多く，また曝露環境条件も様々であるため，それぞれの樹脂に用いることのできる環境曝露下の強度，すなわち強度低下予測法は確立されていない。本論文は，電機製品の筐体等に使用されている熱可塑性樹脂を対象として，強度低下をもたらす基本因子である熱・湿潤環境を取り上げ，強度特性の熱・湿潤環境下曝露時間依存性を実験により明らかにしたうえで，これをもとに実機環境を含む種々の熱・湿潤環境に曝露される樹脂の強度，すなわち強度低下を予測する手法を提案している。

まず，広範囲の温度と湿度条件下の曝露試験によって樹脂材料の強度低下を評価できるように，不飽和過熱蒸気試験装置を開発している。この装置により，空気（酸素）が存在する大気圧条件下の 150°C までの温度範囲内で相対湿度 0%からの曝露試験を可能にしている。この装置と既存装置を用いることにより，室温から 150°C，相対湿度 0%から 100%と，極めて広範囲の温度・湿度条件で曝露試験を行える。つぎに，加水分解を生じやすいポリブチレンテレフタレート樹脂を対象として，種々の温度と湿度条件下で時間を変化させて曝露した試験片の 3 点曲げ試験を実施して，i) 相対湿度 0%で加熱した場合は，荷重で表した曲げ強度は徐々に上昇して飽和値に達するが，破断変位は小さくなること，ii) 相対湿度（水蒸気分圧）が大きいほど曲げ強度と破断変位が低下すること，iii) 同じ水蒸気分圧の場合は，温度が高いほど曲げ強度が低下し，しかも曲げ強度が低下し始める曝露時間が短くなることを明らかにしている。さらに，曲げ強度が低下し始める曝露時間（強度低下時間）は，温度と水蒸気分圧に依存することを明らかにしたうえで，強度低下時間に対してアレニウス型の時間–温度換算則を提案し，この換算則を用いることにより，任意の温度・水蒸気分圧における強度低下時間を予測できることを明らかにしている。

さらに，3 点曲げ強度の対数は曝露時間に対して線形に低下すること，その低下の大きさ，すなわち時間依存性を表す指数は水蒸気分圧に比例し，その比例定数の対数と絶対温度の対数が線形関係にあることを見出している。これらの関係より，各温度における未曝露材の強度を用いて，曝露環境の温度，水蒸気分圧，曝露時間から強度（強度低下）を予測する式を提案し，この提案式は強度低下を良い精度で予測できることを実験により明らかにしている。

一般に樹脂材料の強度評価には曲げ試験を用いるが，設計に適用できる応力基準の強度値に及ぼす熱・湿潤環境曝露の影響を明らかにするために，熱・湿潤環境に曝露した試験片の引張試験を実施して，引張強度に及ぼす温度・水蒸気分圧，曝露時間の影響を検討している。この結果，曲げ強度の場合と同様に応力基準の引張強度も水蒸気分圧が大きいほど低下し，その低下量は温度が高いほど大きくなること，曲げ強度に対して提案している強度低下予測式を引張強度に適用することにより，良い精度で強度低下を予測できることを明らかにしている。

さらに，成形時に生じるウェルドラインが熱・湿潤環境に曝露した樹脂の引張強度低下に及ぼす影響を検討して，i) ウェルドラインを有する場合のほうが，熱・湿潤環境曝露の影響を受けやすいこと，ii) 熱・湿潤環境曝露による引張強度低下が生じ始めるまでに時間を要する樹脂の場合は，強度低下が生じ始める時間を用いて強度低下予測式の曝露時間を補正することにより，引張強度低下を良い精度で予測できることを明らかにしている。

以上のように，本論文は不飽和過熱蒸気試験装置を開発し，これと既存装置を用いて広範囲の温度・湿度条件における熱可塑性樹脂の強度特性に及ぼす熱・湿潤環境曝露の影響を明らかにしている。この結果を用いて，強度低下時間に対して時間–温度換算則，さらに未曝露材の強度値をもとに曝露環境の温度，水蒸気分圧，曝露時間から強度（強度低下）を予測する式を提案することによって，短時間曝露試験による実機環境下の熱可塑性樹脂の材料選択指針，および強度設計指針を与えるものであり，材料強度学のみならず機械工学の発展に寄与するところが大きい。

よって，本論文は博士論文として価値あるものと認める。