

社会システム工場を支える ラギダイズ生産技術 ～ウレタンモールド硬化品質の保証工程確立～

川元 秀倫 太田原 功一
山田 竹義 綿引 淳一

社会システム工場では、水中や屋外などの環境下で使用する、耐環境性能（防水、耐圧、耐熱、耐寒、防塵、防錆など）の高い（ラギダイズ）製品を多く生産している。中でも水中で使用する製品は、その基本性能を損なわないまま、水密、水圧、水温といった特に厳しい環境負荷に耐えるため、軟性樹脂で電子機器を封じ込める樹脂封止構造となっている。これを効率的かつ高品質で製造する技術（ラギダイズ生産技術）は、本工場にとって重要不可欠なコア技術の一つとなっている。

本稿では、ウレタン製モールド樹脂で封止した水中音響製品等に適用可能な、製造工程内の品質を確保するラギダイズ生産技術を紹介する。

水中音響製品におけるラギダイズ生産技術

ラギダイズ (ruggedize) とは、「丈夫な、ゴツゴツした」を意味するruggedの動詞形で、耐環境性を備えていない製品やシステムに、耐熱・耐寒、防水、防塵、耐振動、耐衝撃といった耐環境性を付与することを意味する言葉である。¹⁾

水中音響製品は、水中で使用することができない音響製品をウレタン製樹脂で封止し、水中でも音響性能を維持することを可能としたラギダイズ製品である。この製品を製造する上での重要ポイントは、樹脂封止された機器の音響特性を損なわないために、ウレタン製樹脂（以下、モールド材）の硬さを一定かつ均一にすることと、モールド材内部の気泡を除去することである。これらを効率的かつ安定的に実現する技術、及び不良を流出させない技術が、水中音響製品におけるラギダイズ生産技術である。

モールド材による封止作業とその課題

(1) 封止作業と硬化品質

内蔵物をモールド材で封止する作業を図1で示す。

まず電子機器を金型で囲み（型組）、次にモールド材を金型に注入する（型注入）。そして金型ごと加熱し

（加熱）モールド材を硬化させた後、金型を取り外す（型外し）という手順を踏む。モールド材の硬度が完全に安定するには、型注入後70時間以上を要する。

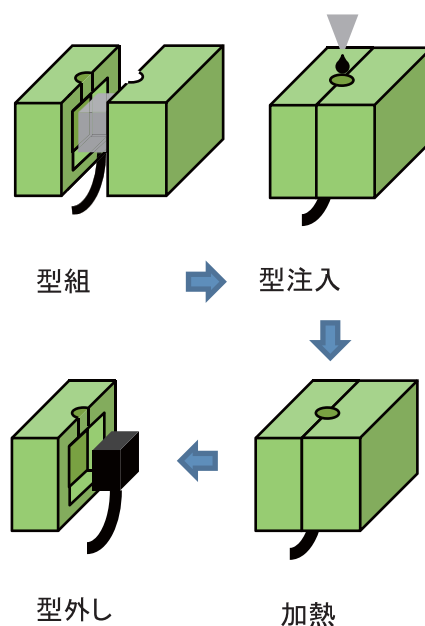


図1 封止作業手順

モールド材は、主剤と硬化剤で構成され、2剤を一定の割合で均一に攪拌（かくはん）配合することで硬化する。モールド材が、硬化を終え安定したときの硬度を、安定硬度と呼ぶ。安定硬度は、配合比などの要因により変動するため、安定硬度を目標硬度以上に管理することが、モールド材の品質となる（以下、硬化品質）

金型への注入は、材料を均一に攪拌配合し指定する量を吐出できる、吐出機という装置を使用して行う。吐出機は、モールド材内部の気泡を除去するため、2剤を配合前に脱泡する機能を有している。

(2) モールド材を使用する上での課題

封止作業において想定される不良モードには、モールド材が目標硬度にならない「硬化不良」、モールド材内部に気泡が残る「気泡残留」、内蔵物が熱や物理的衝撃により壊れる「内蔵物破壊」の3モードがある。これらを防止する仕組みは、吐出機の機能や作業標準として織り込んでいるが、吐出機の故障、材料劣化、作業ミスによって発生する可能性があるため、原因別に不良の発生を検知する仕組みを可能な限り工程内に有している(品質保証手段)。原因及び品質保証手段を表1に記す。

表1 封止作業における不良モードと品質保証手段

不良モード	原因	品質保証手段
硬化不良	2剤の吐出量異常	吐出機で検知
	攪拌不足	検知不可
	硬化時加熱不足	加熱温度を検知
	材料劣化	検知不可
気泡残留	脱泡不足	吐出機で検知
	吐出機異常	吐出機で検知
内蔵物破壊	硬化時過熱	加熱温度を検知
	落下	封止前外観確認

吐出機は配合比及び吐出するモールド材の量(吐出量)を制御/監視し、配合比や吐出量の数値が制御範囲を超えた場合は、異常を検知して装置が止まる機能を有している。しかし攪拌不足と材料自体の劣化が生じた場合、吐出機では検知できない。検知するには、吐出したモールド材の成分である主剤と硬化剤が、均一に混ざり合ったか、またそれが正常に硬化するかを確認できなければならないが、現実的には不可能である。また、硬度が完全に安定するには70時間以上を要するため、型注入する直前に硬度を確認することもできない。従って封止作業が終わるまで、モールド材の硬化品質が分からないのが現状であった。そのため、硬度不良と判明した時点では、硬化したモールド材と内蔵物を分離することができず、内蔵物から再作しなければならない。不良の発見が遅れることで、部材費、加工費の仕損が増えるだけでなく、製造の完成も大きく遅れ、出荷納期にも影響を及ぼしてしまう。

以上のようにモールド材の硬化品質を、型注入直前に保証する手段が無いことが、モールド材を使用する上で大きな課題であった。

モールド硬化品質の保証技術

前項の課題を解決するには、モールド材の硬化品質を型注入直前に、精度よく確認できなければならないが、短時間での判断が不可欠なため、硬化完了まで待てない。そこでモールド材をサンプル吐出し、そのサンプルの硬化途中の硬度から安定硬度を推測した。攪拌の均一性はサンプルの複数個所の硬度を測定することで確認できる。

また、測定精度を高めるため、自動計測装置を開発した。以下にそれらの詳細を説明する。

(1) モールド材の特性を生かした硬度予測

モールド材は加熱することで硬化促進するため、硬化時間を早めることができる。ただし、耐熱温度を超えるとモールド材の分子構造を破壊してしまうため、加熱硬化促進の上限温度は材料の耐熱温度となる。

図2に、常温、耐熱温度、及びその中間温度における硬化時間の違いを示す。

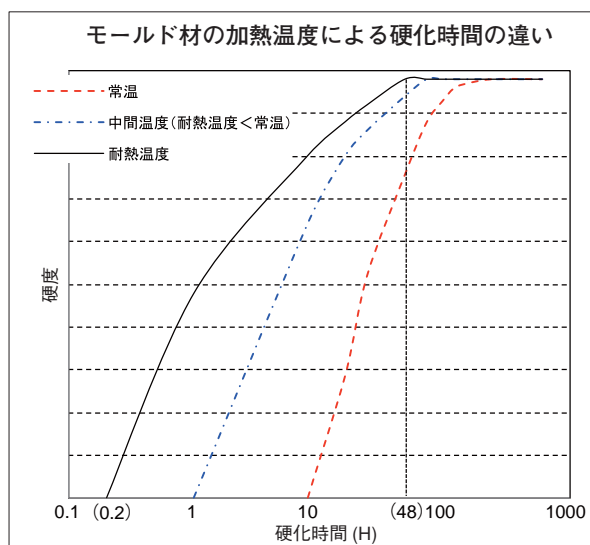


図2 モールド材の加熱温度による硬化時間の違い

図2より、耐熱温度に加熱したモールド材は、12分後に硬化が始まり、約48時間で安定硬度を得る。常温硬化に比べ硬化促進はするものの、型注入直前に安定硬度を得ることはできない。目標硬度まで硬化するかを判断するためには、硬化途中の硬度から安定硬度を推定する必要がある。そこで、耐熱温度で硬化が始まる12分後の硬度(以下、初期硬度)と、安定硬度との硬度の関連性について調査した。その結果を図3に示す。

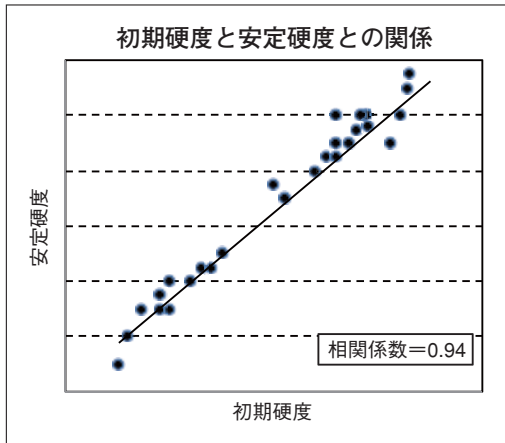


図3 初期硬度と安定硬度との関係

図3より、初期硬度が低ければ安定硬度も低く、初期硬度が高ければ安定硬度も高くなるという強い相関があることが分かった。従って耐熱温度で硬化促進した初期硬度を測定することで、安定硬度を予測できると考えた。

(2) 初期硬度での良否判定基準の設定

前述のモールド材の硬化不良原因のうち、攪拌不足は、局所的に配合比が異なることで硬度不良となり、材料劣化については、材料の分子構造が破壊され、硬化促進する成分が減少し、配合比が異なる場合と同じ現象となる。どちらも配合比率が変化することで硬度が変化すると考えることができるため、初期硬度を用いて硬化良否を判定するに当たり、配合比を変化させた場合、初期硬度がどのように変化するかを調査した。その結果を図4に記す。

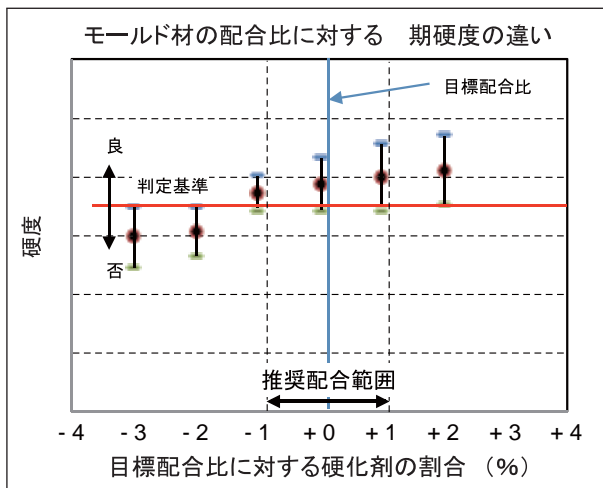


図4 配合比の変動に対する初期硬度の関係

図4より、初期硬度においても、配合比率と硬度には相関があり、主剤に対して硬化剤の割合が、メーカー推奨配合範囲より低下すると、硬度が低下することが分かる。この関係を利用し初期硬度の良品範囲を決定した。

(3) 自動計測機による硬度測定

初期硬度測定を工程に導入するに当たり、計測作業のバラツキにより測定結果が変動しては正しい判断ができない。しかもモールドの材料であるウレタン樹脂は硬度が低いことから、計測作業のバラツキによる硬度の変動は大きくなる傾向にある。測定バラツキが生じる要因は、硬度計を測定サンプルに当てる際の力、速度、方向、及び位置である。これらバラツキ要因を抑制し、返し精度の高い測定を行うため、自動計測装置を開発した。

開発に当たっては、作業効率と安全性を考慮し、計測前後の作業まで含め自動化の範囲とした。

図5は作業フローを表す。

モールド材を型に注入してから計測完了までを自動化し、作業効率を図るとともに、作業者が高温物に触れないように配慮した。

本加熱硬化自動計測装置により、測定精度（繰り返し精度）は、手動測定に比べ37%向上した。

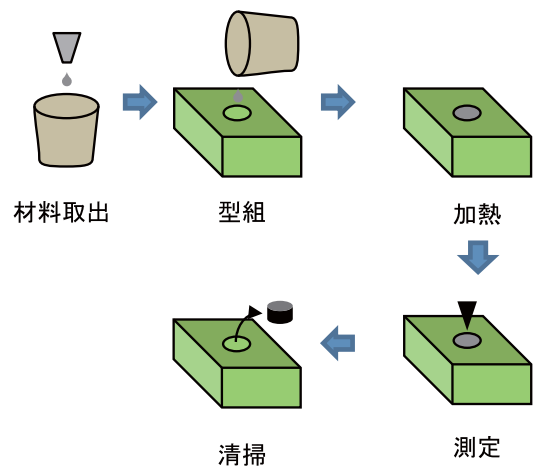


図5 加熱硬化測定 作業フロー

まとめ

本稿では、ウレタン製樹脂の品質課題である硬化不良の要因に対し、材料の性質を明確にすることで、製造作業の直前に硬化品質を検証する方策を実現し、封止作業の製造品質を確保する技術の研究開発の事例を紹介した。

ラギダイズ製品を多く生産していることは社会システム工場の特徴であり、ラギダイズ製品を安く、早く、高品質で作る技術であるラギダイズ生産技術は工場の強みである。この他にも、さまざまな取組みを行っているが、今後も新たな試みを行い続け、社会システム工場の付加価値向上に貢献していく。 ◆◆

■参考文献

1) 工藤真一他：ラギダイズソリューション，沖テクニカルレビュー第202号，Vol.72No.2，pp42-45 2005年4月

●筆者紹介

川元秀倫：Hidemichi Kawamoto. 社会システム事業本部
社会システム工場製造技術部

太田原功一：Kouichi Ootahara. 社会システム事業本部
社会システム工場製造技術部

山田竹義：Takeyoshi Yamada. 社会システム事業本部
社会システム工場製造技術部

綿引淳一：Jyunichi Watahiki. 社会システム事業本部
社会システム工場製造技術部