

サーモイン® チューブのガス発泡化

Gas Foaming of ThermoinTube

稲森 康次郎*
Kojiro Inamori

岡 留 正 博*²
Masahiro Okadome

概 要 サーモインチューブ SN-UGA は、データセンターのような高発熱機器が多数存在する室内の空調用に開発された冷媒管用断熱被覆銅管である。主被覆材として、耐熱性と断熱性に優れたポリプロピレン (PP) 発泡体を使用している。従来、PP の発泡方法としては、アゾジカルボンアミド (ADCA) を用いた化学発泡を使用してきたが、ADCA は高価であり、さらに熱分解の際に発生するアンモニアが、実使用上は問題ないレベルであるものの銅管変色等の原因になるという問題があった。そこで、本研究では PP の炭酸ガスによる発泡を検討した。炭酸ガスで発泡させると、炭酸ガスの溶解により樹脂の粘度が低下し、気泡が破泡しやすくなるという問題があるが、タンデム押出機を使用し、さらに PP にゴム成分を添加することでこれらの課題を克服した。最終的に発泡倍率 5 倍のポリプロピレン発泡体を得ることができた。

1. はじめに

情報化時代の通信機室や電算機室などでは、高密度実装による高発熱機器を多数配置するため、従来の空調システムでは機器を十分に冷却することが困難になってきている。サーモインチューブ SN-UGA タイプは、このような高発熱機器の冷却に対応する空調機向けに開発された冷媒配管用断熱被覆銅管である。

サーモインチューブ SN-UGA タイプの断面を図 1 に、屋外に配管された例を図 2 に示す。サーモインチューブ SN-UGA は、コンピュータや通信機器など重要な設備に用いられるため、安全・防火の面を特に重視している。例えば、耐熱性と断熱性を高めるために主被覆材としてポリプロピレンの発泡体を使用し、また難燃性を高めるため、主被覆材の周りに高度に難燃化されたノンハロゲンポリオレフィンシースを被覆してある。SN-UGA の難燃性を表 1 に、耐熱性を表 2 に示す。

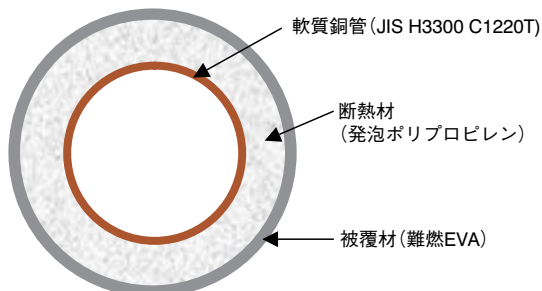


図 1 サーモインチューブ SN-UGA の断面
Cross section of ThermoinTube SN-UGA.



図 2 サーモインチューブ SN-UGA の屋外配管例
ThermoinTube SN-UGA laid outdoor.

表 1 SN-UGA の難燃性
Flame-retardant property of SN-UGA.

酸素指数 (JIS K7201 に準拠して評価)

品名		酸素指数
SN-UGA の特殊配合難燃ポリオレフィン被覆材		42
従来品の被覆材		30
参考	高発泡ポリエチレン断熱材	18

傾斜燃焼試験 (JIS C3005 に準拠して評価)

品名		燃焼時間 (s)	燃焼長さ (mm)	燃焼 滴下物
SN-UGA4		0	55	有
参考	従来品	2	60	有
	高発泡ポリエチレン被覆管	—	300 (全長)	有

* 研究開発本部 環境・エネルギー研究所

*² 金属カンパニー 大阪事業所生産技術部

表2 SN-UGAの耐熱性
Heat-resistant property of SN-UGA.

加熱条件	断熱材減肉率(%)	被覆材減肉率(%)
120℃, 24 h	0	0
130℃, 24 h	0	0

※強制循環式乾燥機中で120℃, 130℃の温度で24時間加熱し、加熱後の断熱材・被覆材の減肉率を調査した。

本報では樹脂の発泡を中心テーマとして取り上げ、従来の発泡方法で生じていた問題点とポリプロピレンを発泡させる際の課題について述べる。

2. 開発経緯

2.1 樹脂の発泡方法

2.1.1 従来の発泡方法

従来、樹脂を発泡させる方法としては、樹脂にあらかじめアゾジカルボンアミド(ADCA)を練り込んでおき、押出機内の熱で発泡剤を熱分解させ、熱分解によって生じたガスで発泡させる、いわゆる化学発泡法を使用してきた。この方法は、樹脂を発泡させるために発泡剤を練り込む以外に特別な装置を必要としないという利点がある。しかし、ADCAは高価であり、また図3に示すように熱分解の際にアンモニアを発生する。このアンモニアが、実使用上は問題ないレベルであるものの、銅管の変色等の原因になるという問題があった。

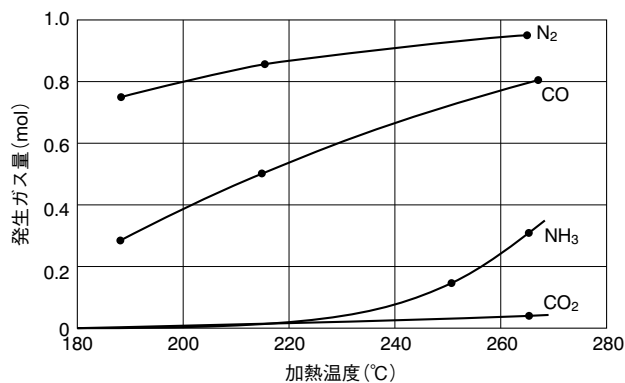


図3 ADCAのガス組成変化
Changes in gas composition of ADCA.

2.1.2 ガス発泡法

ガス発泡法では常温常圧で気体の物質を押出機に注入することで樹脂を発泡させる。ガス状の発泡剤を押出機に供給し、樹脂中に溶解させるためには、化学発泡法では必要としなかった高圧ガス設備が必要となる。しかし、化学発泡法のように化学反応を伴わないため、アンモニア等の副生成物が発生しない等の利点がある。ガス発泡法の発泡剤としては様々なものが使用されている。

2.1.3 ガス発泡法の発泡剤

従来、ガス発泡法に用いる発泡剤としては、クロロフルオロカーボン(CFC)類が用いられてきた。CFCは図4に示すように樹脂中に大量に溶解し、また気化の際に大量の熱を奪うという性質から、発泡倍率を高めやすいという性質を備えていたためである。しかし、オゾン層を破壊する問題からモントリオール議定書により全廃されることとなり、その後HFC等の代替

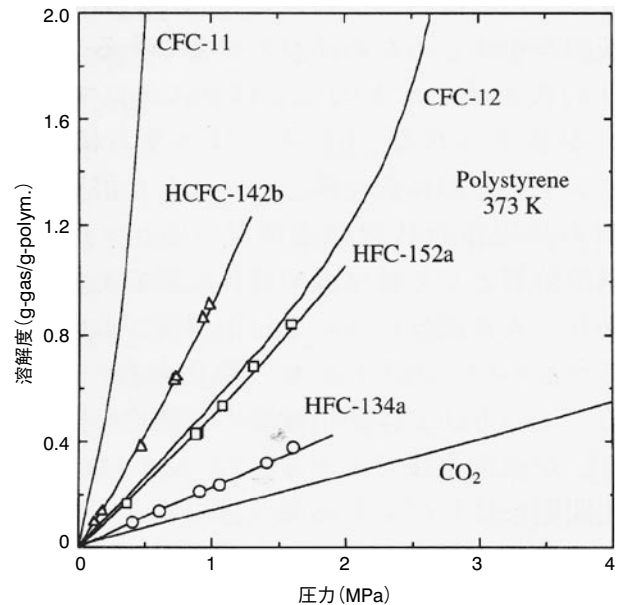


図4 373 Kにおけるポリスチレン中のガス溶解度の比較
Comparison of solubility of gases in polystyrene at 373 K.

フロンやイソブタン等の炭化水素への移行が進んだ。現在では更に無害な炭酸ガスや窒素ガスへの転換が進められている。

2.1.4 炭酸ガスによる発泡

炭酸ガスは無毒、不燃で臨界温度が低く、また入手が容易で低コストであることから環境適応流体として様々な応用が期待されている。発泡剤としての利用もその1つである。炭酸ガスは図4に示すように、CFC等と比べると樹脂への溶解度は低く樹脂の発泡倍率を向上させるににくい。発泡倍率を向上させるためには工夫が必要である。

炭酸ガスと窒素ガスとの比較においては、図5に示すように炭酸ガスの方が樹脂中への溶解度は高い。したがって、発泡倍率を高めるためには炭酸ガスの方が適している。一方、窒素ガスには発泡倍率を高めにくいかわりに、均一で微細な気泡を作

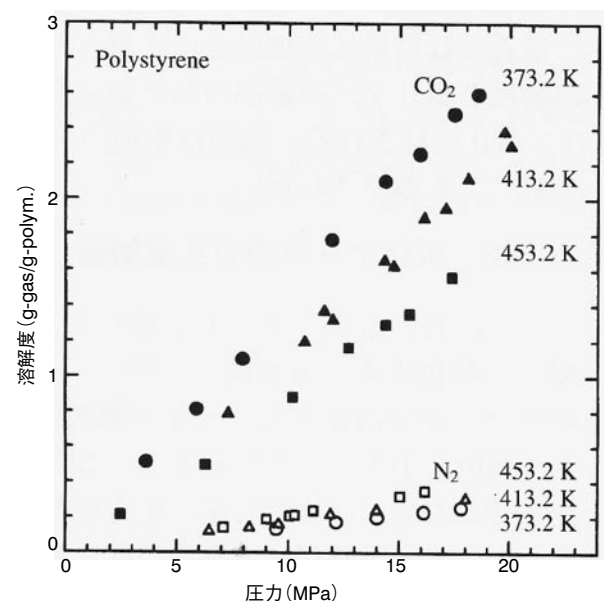


図5 溶融ポリスチレン中の窒素、二酸化炭素の溶解度
Solubility of nitrogen and carbon dioxide in polystyrene melt.

りやすいという利点がある。現在では、射出成形には窒素ガスを、押出成形には炭酸ガスを用いるという使い方が主流のようである。

本研究では銅管の腐食防止と発泡倍率の向上を目指し、炭酸ガスによる発泡を試みることにした。

2.2 ポリプロピレンの発泡

結晶性樹脂であるポリプロピレン (PP) は、同じ結晶性樹脂であるポリエチレンや非結晶性樹脂のポリスチレンに比べて融点が高く、熱的に安定であり、機械的な性質も優れている。これらの点から、近年食品トレイ向けを中心にPPの発泡化が注目されている。しかし、一般にPPは発泡体を得ることが難しい樹脂であると言われている。その原因として、発泡性成形が行われる融点近傍の温度領域において、PPは温度変化に対して粘度が急激に変化することが挙げられる。

そこで本研究では、PPに別の樹脂を混ぜることで操作可能な温度領域を広げることを試みた。

3. 炭酸ガス発泡によるポリプロピレン発泡体

3.1 発泡性の改善

炭酸ガスを樹脂中に溶解させると、炭酸ガスの可塑化効果によって樹脂の粘度が低下する。この性質は難押出樹脂の射出成形等に利用されているが、発泡成形においてこの性質は良いことばかりではない。例えば、図6に示すように炭酸ガスを注入すればするほど樹脂中の炭酸ガスの拡散係数は高くなるので、高発泡倍率化をねらってガスを多量に注入しても、ダイから押し出した瞬間に多くは外部へと拡散する。また、炭酸ガスの可塑化効果により樹脂の粘度は低下し破泡しやすくなる。

これらの問題を克服する1つの方法は、ダイ出口において融点近くまで均一に樹脂の温度を下げ、樹脂の張力を高めることである。本研究では、均一に樹脂の温度を下げるためにタンデム押出機を使用した。タンデム押出機の概略を図7に示す。タンデム押出機の1段目押出機ではスクリーンの回転数を高め、高いせん断をかけることで樹脂中にガスを均一に分散させる。

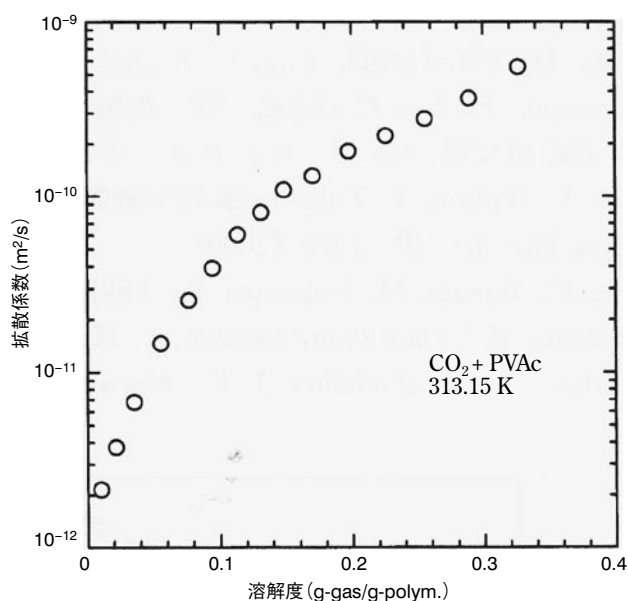


図6 ポリ酢酸ビニル中の二酸化炭素の拡散係数
Diffusivity of carbon dioxide in polyvinyl acetate.

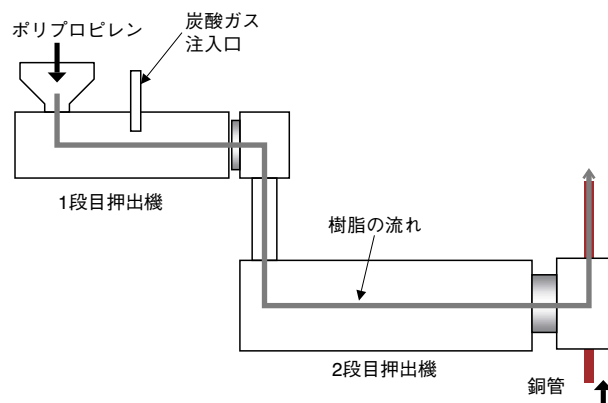


図7 タンデム押出機の概略
Schematic of tandem extrusion system.

2段目押出機ではスクリーンの回転数を下げ、せん断発熱を抑制しながら温度を下げていく。こうすることで、ダイ出口では均一に樹脂温度を下げるができる。ダイを出た直後に水やエアで表面だけを冷却する方法も考えられるが、樹脂中の熱伝導に時間がかかるためこの方法では全体を均一に冷やすことはできない。

3.2 ゴム成分の添加

本研究ではPPにゴム成分を添加することで生じる様々な利点を活用している。以下それぞれについて述べる。

3.2.1 操作可能温度範囲の拡大

発泡成形においてはダイ出口における樹脂温度を樹脂の融点近くまで下げることで樹脂の張力を高め、破泡による連通気泡の生成や大気中へのガスの抜けを抑制している。しかし、PPは融点近くまで冷却すると粘度が急激に高くなり結晶化が起こる樹脂であるため、操作可能な温度範囲が非常に狭いという難しさがあつた。

そこでPPにゴム成分を混合したところ、温度を下げた時の粘度変化が緩やかになり、操作温度範囲を広げることができた。ゴム添加前後における粘度の温度変化を図8に示す。ゴム成分を加えることで温度変化に対して粘度が緩やかに変化することが分かる。

3.2.2 曲げ剛性の改善

断熱被覆銅管では施工時のハンドリングを良くするため、被覆層の曲げ弾性率は低い方が望ましい。SN-UGAでは耐熱性が

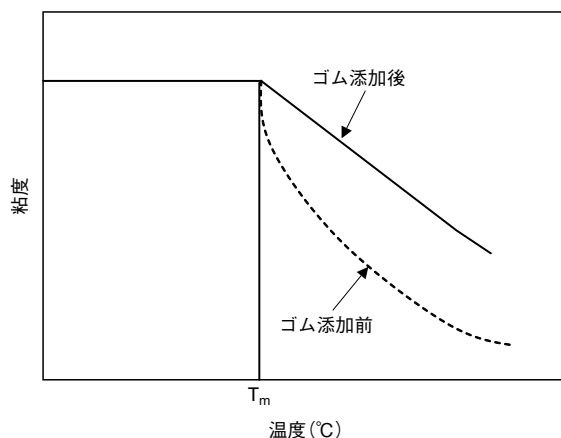


図8 ゴム成分添加前後の粘度の温度依存性
Dependence of viscosity on temperature before/after adding rubber component.

高いという理由でPPを使用しているが、PPは同時に曲げ剛性が高いという性質も備えているため、そのままでは施工が困難という問題があった。そこで、ゴム成分を加えることで発泡体の曲げ弾性率を下げることができた。曲げ弾性率の比較を表3に示す。ゴム成分を加えることで曲げ弾性率が低下していることが分かる。

表3 ゴム成分添加前後のポリプロピレンの曲げ弾性率
Modulus of polypropylene before/after adding rubber component.

測定条件	添加前 (MPa)	添加後 (MPa)
0.1 MPa, 25℃	1200	650

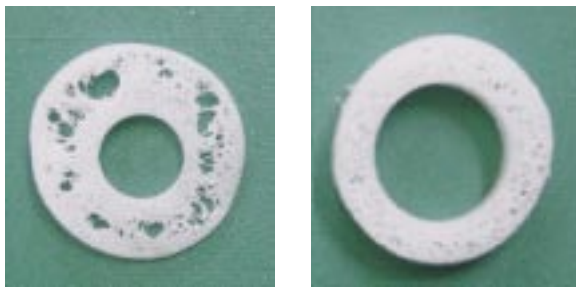
※未発泡状態での測定値。

3.2.3 巨大気泡の抑制

PPを単独で発泡させた場合、発泡体の内部にサイズが不均一な巨大気泡ができることがある。これは、気泡の成長につれて薄くなった気泡壁を、PPが保持できなくなったために起こると考えられる。

本研究では、この巨大気泡についてもゴム成分を添加することで抑制することができた。ゴム成分添加前後の発泡体の断面を図9に示す。ゴム成分を加えることで巨大気泡が無くなっていることが分かる。

最後に、上記工夫によってできた新しい発泡ポリプロピレンの特性を表4に示す。



(a) 添加前

(b) 添加後

図9 ゴム成分添加前後のPP発泡体の比較
Comparison of foamed PP before/after adding rubber component.

表4 炭酸ガス発泡ポリプロピレンの特性
Properties of foamed polypropylene expanded with carbon dioxide.

特性	性能
発泡倍率	5倍
耐熱温度	130℃
熱伝導率	0.058 W/(m・K)

4. 他の樹脂への展開

ここで得られた炭酸ガスによる発泡ポリプロピレン製造技術をポリエチレンにも応用した。ポリエチレンはポリプロピレンよりも発泡しやすい樹脂なので、スムーズに展開することができた。得られたポリエチレン発泡体の特性を表5に示す。ポリエチレンはポリプロピレンほど耐熱性が無いので、高い耐熱性を必要としない一般給水給湯管や暖房管の被覆層としての用途が考えられる。

表5 炭酸ガス発泡ポリエチレンの特性
Properties of foamed polyethylene expanded with carbon dioxide.

特性	性能
発泡倍率	5倍
耐熱温度	90℃
熱伝導率	0.058 W/(m・K)

5. おわりに

現在は炭酸ガス発泡によるポリプロピレン発泡体として、発泡倍率5倍程度のものが得られるにとどまっているが、高断熱化、軽量化、材料の節減などのためには更に発泡倍率を上げていかなければならない。最も単純に考えるならば、発泡倍率を向上させるためにはガスを多量に供給し、供給したガスを逃がさなければよい。このうち、ガスを多量に供給することは供給ガスの圧力を高めることで可能である。しかし、ガスを逃がさないことが難しい。ガスを逃がさないためには、ダイを出た直後に表面を冷却することが考えられるが、そうすると逃げ場を失ったガスによる巨大気泡ができたり、表面性が悪くなることもある。したがって、ガスを逃がさないために温度を下げるだけではだめで温度が高くても溶融張力が高い樹脂の開発が必要である。PPに高い溶融張力を付与する研究は現在樹脂メーカー各社により行われており、今後の動向が注目される。

参考文献

- 1) 三井永造：ポリマーダイジェスト, **8** (1994), 42.
- 2) 産業調査会：金属材料活用事典, (2000), 430.
- 3) 佐藤善之：成形加工, **13** (2001), 71.
- 4) 杉本昌隆, 下村洋三：成形加工, **13** (2001), 76.