

〈新製品紹介〉

炭酸ガス発泡硬質ウレタンフォーム断熱材

T/#5001-TN 「フォームナートカバー-TN」シリーズ

工事業本部 工事技術部 断熱チーム

1. はじめに

液化天然ガス（LNG）などの極低温領域の保冷材として多用されている硬質ウレタンフォームには、その熱伝導率の小ささや良好な成形性ゆえに発泡剤としてHCFCs（HCFC141b）が使用されてきた。

HCFCsはオゾン層破壊物質であるとともに、近年その地球温暖化への影響が大きいことが問題となっており、国際的な特定フロン類の使用量削減を受けて、日本国内では発泡剤用途のHCFC141bが2003年末を以って生産終了となる。

硬質ウレタンフォームが、LNGなどの極低温領域の保冷材として多用されている最大の理由は、断熱性能：コストの比が種々の保冷材の中で最も良いことに有る。これは発泡剤であるHCFC141bが安価であること、ガス自体の熱伝導率が低いことによる。

硬質ウレタンフォームの代替発泡剤を選定するに当たり、当社では数多くの代替候補の中から、オゾン破壊係数が無いことはもとより、地球温暖化係数が小さい炭酸ガスを選定し、実用化に向けた検討を行なった。

炭酸ガスによる発泡は古くから文献などで紹介されていたが、水と硬化剤であるイソシアネートの反応により生成する尿素結合が樹脂をもろくする、炭酸ガス自体の熱伝導率がHCFC141bに比べて約40%大きいなど、幾多の課題が有り実用化されていなかった。

当社では炭酸ガス発泡で高断熱性の硬質ウレタ

ンフォームを実用化すべく、気泡の微細化など製造技術上の様々な工夫を行ないHCFC141b発泡品とほぼ同等の断熱性能、機械的性質を持つ製品「フォームナート-TN」シリーズ（配管用保冷カバー）を他の保冷材メーカーに先駆けてを開発、上市した（図1参照）。

2. 製品説明

2.1 基本物性

配管用保冷カバー「フォームナートカバー-TN」の基本物性を表1に示す。

本保冷カバーはHCFC141b発泡品と同等の機械的性質を持ち、熱伝導率もJISに規定される性能を満足すると共に、-196℃の温度でも十分な低温安全性をもつ優れた断熱材である。

また、同材を用いた低温配管保冷工法は、保冷

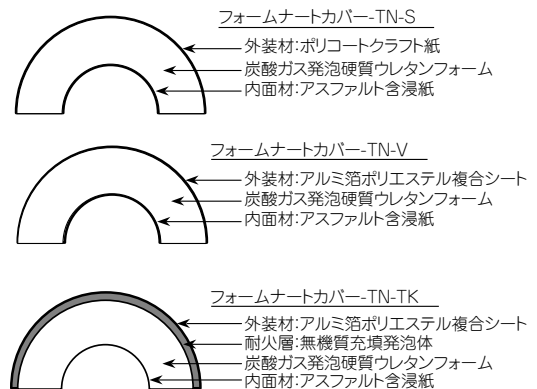


図1 フォームナートカバー-TNシリーズの構成

表1 フォームナートカバーの物性測定値\*1

試験項目	試験方法	試験温度	単位	フォームナートカバー-TN	HCFC141b品	規格値*2
密度	JIS A9511	常温	kg/m <sup>3</sup>	53.7	39.0	35以上
圧縮強さ	JIS A9511	常温	N/cm <sup>2</sup>	23.9	21.9	20以上
曲げ強さ	JIS A9511	常温	N/cm <sup>2</sup>	64.4	33.3	25以上
引張強さ	ISO 1926	常温	N/cm <sup>2</sup>	57.0	36.9	—
		-196℃	N/cm <sup>2</sup>	95.7	46.7	—
引張熱応力	(ISO 1926)	25→-196℃	N/cm <sup>2</sup>	21.8	14.1	—
低温安全率	(引張強さ/引張熱応力)	25→-196℃	%	439	331	—
燃焼性	JIS A9511	常温	—	合格	合格	合格
吸水量	JIS A9511	常温	g/100cm <sup>2</sup>	1.5	2.1	3.0以下
独立気泡率	ASTM D2856	常温	%	92	93	—

\*1 当社研究所測定値

\*2 規格値はJIS A9511, PUF保温筒2号のもの

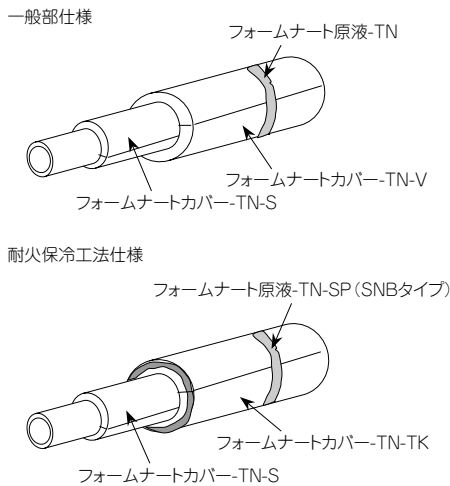


図2 フォームナートカバー-TNシリーズの使用方法

カバー繋ぎ部の充填にも炭酸ガス発泡現場注入原液 (T/#5003-TN フォームナート原液-TN) を用いる完全フロンフリー断熱システムである (図2参照)。

## 2.2 製品の特長

### 2.2.1 モールド成形カバー

硬質ウレタンフォーム断熱材の製造法には大別して

- ① 切出し法：大きな発泡ブロックを製造し、そのブロックから所定寸法の断熱カバーを切

出しするもの

- ② モールド成形法：断熱カバーの形状をした金型（モールド）に硬質ウレタンフォーム発泡原液を注入して成形するもの  
 があるが、当社ではモールド成形法を採用している。

発泡剤として炭酸ガスを使用したときの問題点はウレタン樹脂の気泡膜を透過する速度がはやい事が挙げられる。炭酸ガスは気体自体の熱伝導率がHCFCs, HFCsに比べて大きいものの、大気と比較すると小さく、断熱材の発泡剤として使用される由縁であるが、気泡膜を透過して大気中に拡散すると気泡内のガスは大気に置換されることになる。これが熱伝導率の経時劣化を生じる理由である。

これを防止するためには大気と接触する部分にアルミ箔などのガス不透過性のフィルム、シートを配すれば良い。モールド成形ではあらかじめ金型の中にガス不透過性フィルムを敷き込むことにより、ウレタンフォームの自己接着性を利用して、発泡成形と同時に一体成形することが可能である。

一方、炭酸ガス発泡した硬質ウレタンフォームブロックから切出す製法では、切出したカバーに後からガス不透過性フィルムを貼付することになるが、切断時の炭酸ガスの飛散、柔らかいフォーム表面に直接フィルムを接着するために取扱い時

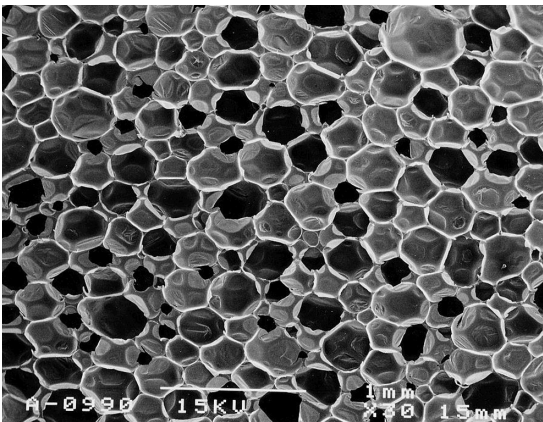


写真1 フォームナートカバー-TNの気泡SEM観察像

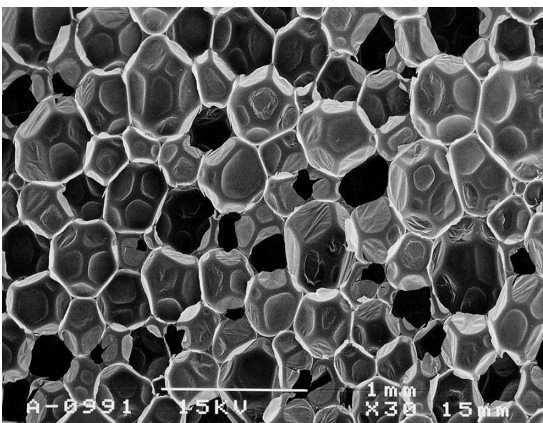


写真2 HCFC141b品の気泡SEM観察像

に剥がれやすい欠点があり、パイプカバーのような形状では、密着性の不均一などが問題となる。これら事項を勘案すると、炭酸ガス発泡品を製造する上では熱伝導率を安定して確保できるモールド成形のほうが優位であると考えられ、フォームナートカバー-TNの仕様は炭酸ガス発泡硬質ウレタンフォームの特性を十分に勘案したものである。

### 2.2.2 微細化セル

フォームナートカバー-TNのSEM観察像を写真1に示した。気泡径は写真2に示した従来品(HCFC141b発泡)の約半分となっている。気泡の微細化により、フォーム内部ガスの対流や気泡

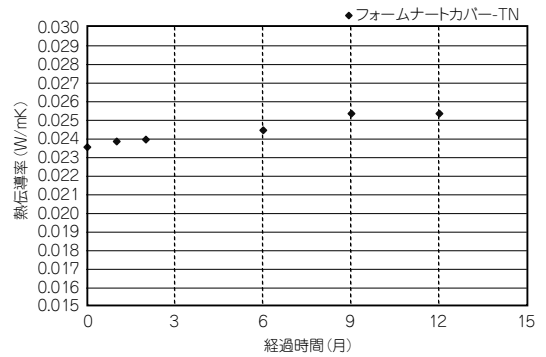


図3 熱伝導率の経時変化

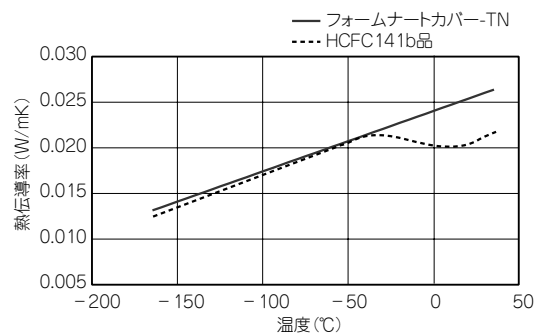


図4 フォームナートカバーの熱伝導率

膜間の輻射を小さくすることにより熱伝導率を低く抑え、炭酸ガス発泡品を実用化した。

### 2.2.3 熱伝導率

フォームナートカバー-TNの熱伝導率の経時変化を図3に示す。

製造から1年経過したフォームナートカバー-TNの熱伝導率は約8%増加し、ほぼ収束する。これは面材のない面から気泡内の炭酸ガスと大気が置換するためである。

保冷材の製造から配管への取付けを経てガス置換が生じにくくなる運転開始までの期間は通常の場合1年以内であり、また運転開始後は、低温下に保持されるので経時変化は問題とならない。

実機の低温配管を想定した場合、熱伝導率の温度依存性が重要となる。経時変化(1年)後の熱伝導率の温度依存性を図4に示した。HCFC141b

表2 LNG配管用フォームナートカバーの保冷厚さ(計算例)

管の呼び径		保冷厚さ計算値		管の呼び径		保冷厚さ計算値	
B	A	フォームナートカバー-TN	JIS値	B	A	フォームナートカバー-TN	JIS値
3/4	20	74.8	76.6	8	200	117.2	120.1
1	25	78.7	80.6	10	250	121.7	124.9
1 1/2	40	85.4	87.5	12	300	125.4	128.7
2	50	89.8	91.9	14	350	127.7	131.1
3	80	97.8	100.2	16	400	130.4	133.8
4	100	103.2	105.7	18	450	132.7	136.2
6	150	111.3	114.0	20	500	134.7	138.3

計算方法：JIS A9501による。

算出条件：外気温度30℃、相対湿度85%、内部温度-164℃、カバー表面温度27.2℃（露点温度）

なお実際の保冷厚さは、これに安全率を見込んで設計される。

品に見られたような極大点、極小点が無く、以下に示す実験式で近似される。

炭酸ガス発泡品の熱伝導率（ $\lambda$ ）

$$\lambda = 0.0239 + 0.0000658 \theta$$

-40℃から常温域において極小点が無くなった分だけ、HCFC141b品より熱伝導率が増加している。

表2にLNG配管用フォームナートカバーの計算例を示した。カバー表温度が露点温度以上とするための必要保冷厚さはJISに規定される熱伝導率を使用したものより薄く、LNGなどの極低温域では全く問題ない性能といえる。

### 2.3.4 機械的、物理的性質

表1に示すように、機械的性質はHCFC141b品と比較して優れており、低温安全率は大幅に改善されている。

炭酸ガス品の密度（表面層を除いた中心部）はHCFC141b品より若干大きくなっているが、1m当りの保冷材重量で比較するとHCFC141b品と変わらない。これはHCFC141b品の外表面にスキン層と呼ばれる高密度の層が有り、中心部密度が相

対的に低くなるのに対して、炭酸ガス品はスキン層が生成せずに全体がほぼ均一な密度となるためである。

### 3. フォームナートカバー-TNの生産体制

現在使用している発泡剤HCFC141bは2003年末まで生産が継続され、既に生産されたものは2004年以降も使用することが許されている。したがって現在の発泡剤（HCFC141b）から代替発泡剤（HFCsまたは炭酸ガス）に完全に転換されるまでには時間が掛かると思われるが、当社では既に炭酸ガス発泡品の生産体制を整えている。

現在までに東京ガス株式会社殿をはじめ、国内主要LNG基地およびLPG基地でご採用あるいはご採用に向けたご検討を頂いている。

### 4. おわりに

以上「フォームナートカバー-TN」シリーズ（配管用保冷カバー）についてその概要を紹介した。本製品に対する問合せは工事業本部、工事技術部（TEL：03-5796-2385）までお願いしたい。