

# 配水管用高性能ポリエチレン「ニポロンハード6510」の開発

四日市研究所 PO分野  
新規分野

鶴田 明治  
内藤 豊  
山本 武志

## 1. はじめに

ポリエチレン製配水管は既存の鋳鉄管・塩ビ管に比べて、耐震性、可撓性、耐腐食性、軽量性等の特徴を有し、将来的には配水管の主流となることが期待されている。欧州では既にポリエチレン管がかなりの使用実績を誇っており、年率7%以上と急速に需要を拡大している<sup>1)</sup>。この動きに呼応して、国内においてもここ数年レジメーカーでの樹脂開発が進み、市場の動きも活発化している。

配水管用ポリエチレンには、パイプとして20 MPaの円周応力が負荷された状態で50年間破壊が生じないことが要求され、ISO規格にあるPE100を公的認証機関で取得する必要がある。当研究所では、重合触媒・プロセス技術・樹脂解析・成形加工の観点から、各部署間で連携した開発を進め、2000年2月にスウェーデンのBodycote Polymer (旧 Studsvik Polymer) においてPE100認証を取得し、当社配水管用グレード「ニポロンハード6510」を完成した。

本稿では、まずPE100認証を得るために必要な高性能ポリエチレンについて概説し、次にニポロンハード6510の特徴を紹介する。

## 2. 高性能ポリエチレンとは

### 〔1〕パイプ用ポリエチレンの分類

ポリエチレンは表1に示すように、樹脂毎に分子構造や性質が異なり、各々の特徴に応じて使用されている。LLDPEは可撓性が高く、強度、クリープ寿命(ESCR等)にも優れるため、給水管など低圧用のパイプに使用されているが、配水管のように要求耐圧が高く、剛性が要求される場合は使用できない。一方、HDPEは剛性、強度面では優れるが、クリープ寿命があまり良くないため、長期特性が要求されるパイプには殆ど使用されていない。高性能ポリエチレンは、従来のポリエチレンの課題であった、剛性、強度とクリープ寿命を両立させた樹脂であり、この樹脂の開発によりPE100の達成が初めて可能となった。

表1 ポリエチレンの分類

樹脂名	低密度PE LDPE	直鎖状低密度PE LLDPE	高密度PE HDPE	高性能PE HPPE	
弊社商品名	ベトロセン	ニポロン-L		ニポロンハード	
グレード	(各種)	(各種)	(各種)	6510	8D05B
MFR(g/10分)	0.15~70	0.7~50	0.05~20	0.10	0.12
密度(g/cm <sup>3</sup> )	0.91~0.94	0.91~0.94	0.945~0.965	0.950	0.940
主な特徴	透明性 柔軟性	透明性 柔軟性	高剛性	高剛性 長期寿命	柔軟性 長期寿命
主な用途	フィルム、ラミ コンテナ、ボトル	フィルム コンテナ 給水管	フィルム、シート コンテナ、ボトル 一般パイプ	配水管	高耐久シート
分子構造					

## 〔2〕高性能ポリエチレンの特徴

本項では、高性能ポリエチレンが従来のHDPEに比べて、どのような点が改良されたかを、高次構造、分子構造の観点から説明する。

### (1) 高次構造上の特徴

クリープ寿命の向上には、結晶ラメラ間を繋ぐタイ分子の数を増加させ、ラメラ間を強化する必要がある(図1参照)。タイ分子を増加させるには、分子量を大きくする<sup>2)</sup>、短鎖分岐の数を増やす<sup>3)</sup>ことが必要であるが、分子量を大きくした場合は成形加工性が低下し、短鎖分岐を増やすと剛性が低下することが問題となる。

高性能ポリエチレンでは分子構造のデザインにより、従来のHDPEと同等の分子量、短鎖分岐数においても、図1に示すようなタイ分子の効率的形成を可能としている。

### (2) 分子構造上の特徴

図2に多段重合プロセスにより得られる高性能ポリエチレンの分子量分布、短鎖分岐度分布を模式的に示す。高性能ポリエチレンでは短鎖分岐を高分子量領域に選択的に導入することにより、従来のHDPEと同等の分子量、短鎖分岐数においても、図1に示すように多くのタイ分子の形成を可能としている<sup>4)</sup>。さらに、高性能ポリエチレンでは従来とは異なる重合触媒の開発、プロセス技術面での工夫により、短

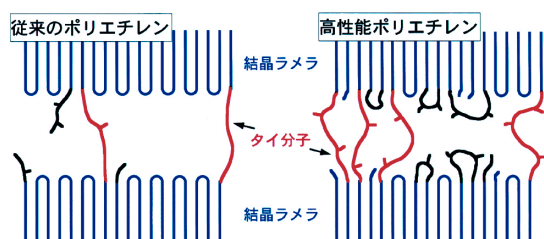


図1 ポリエチレン結晶ラメラ構造

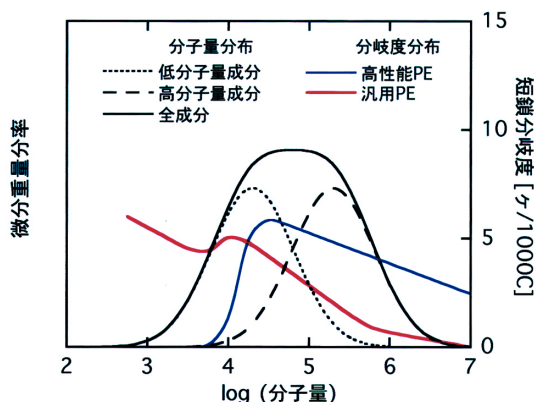


図2 多段重合ポリエチレンの分子量分布と分岐度分布

鎖分岐度の分子量依存性を小さくし、タイ分子形成確率のより一層の向上を図っている。

以上述べたように、高性能ポリエチレンの樹脂設計においては、分子量、分子量分布、短鎖分岐の量と分布を制御することにより、剛性とクリープ寿命をいかに両立させるかがポイントとなる。

## 3. ニポロンハード6510の特徴

### 〔1〕樹脂構造

ニポロンハード6510(以下、NH6510と略記)が従来のHDPEと著しく異なる点は、短鎖分岐度分布の分子量依存性である。図3にNH6510と当社汎用グレード(例えば、NH6900)のクロス分別による溶出曲線を比較して示す。汎用グレードでは、高分子量領域(分子量1万以上)に50~80で溶出される低結晶性成分(短鎖分岐が導入された成分)が殆ど含まれていないのに対して、NH6510では高分子量領域に選択的に短鎖分岐が導入され、図2に示した分子構造上の特徴を有することが明確である。このような分子構造のデザインを実現するため、当研究所では重合触媒およびプロセスに工夫を施している。

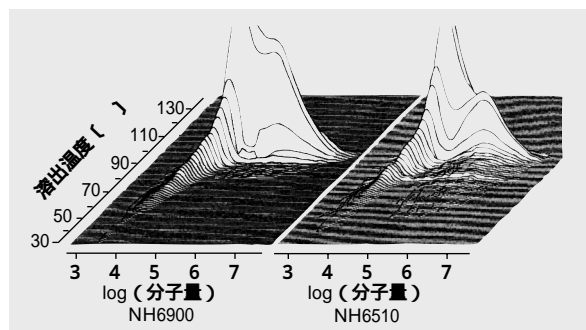


図3 クロス分別による溶出曲線

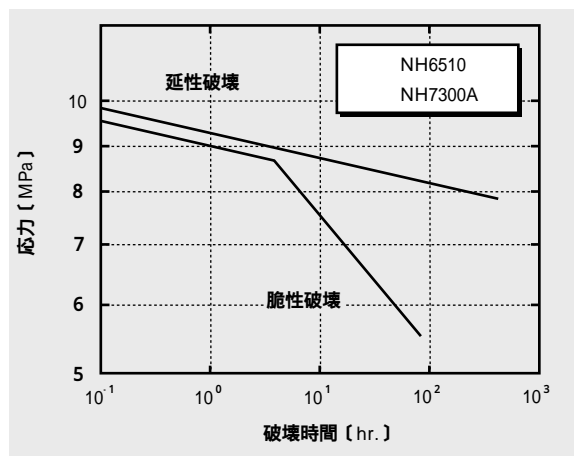


図4 全周ノッチ式引張クリープ試験結果

〔2〕長期寿命

(1) 全周ノッチ式引張クリープ試験

NH6510は、上述した樹脂構造上の特徴により、極めて優れたクリープ寿命を有する。図4にNH6510およびほぼ同等の分子量、短鎖分岐度を有する当社汎用グレード(NH7300A)の全周ノッチ式引張クリープ試験結果を示す。クリープ特性は高応力側での延性破壊と低応力側での脆性破壊に分けられるが、配水管に要求されるクリープ寿命には、長期特性である脆性破壊が重要である。NH6510では脆性破壊が400時間以内には出現せず、汎用グレードに比べてクリープ寿命が著しく改良されていることが明確である。

(2) 熱間内圧クリープ試験

図5および表2にBodycote Polymerにおいて実施したNH6510のPE100認証試験(熱間内圧クリープ試験)結果を示す。PE100の認証には、20で50年後の破壊応力(LPL)が10.0MPa以上必要である<sup>5)</sup>。NH6510のLPLは10.5MPaであり、PE100認証を取得した。また、NH6510は100年後のLPLも10.35MPaであり非

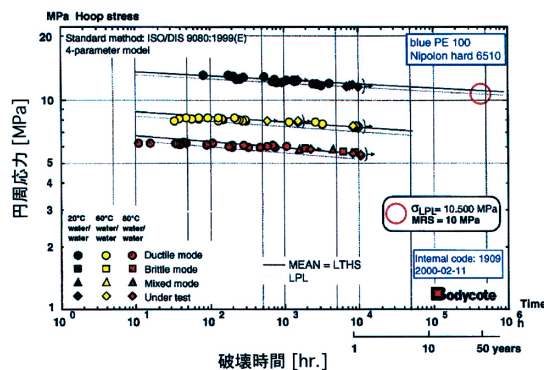


図5 熱間内圧クリープ試験結果

常に優れたクリープ寿命を有する(表2参照)。

〔3〕機械物性

(1) 基本物性

NH6510は中空・押出グレードに分類されるが、汎用グレードに比べて極めて優れた衝撃強度、ESCRを有する。表3にNH6510の基本物性値を当社の代表的な中空・押出グレードと比較して示す。NH6510の優れた性能は、上述したように分子量分布、短鎖分岐度分布など、樹脂構造上の特性に由来するものであり、配水管以外にも高衝撃、高ESCRが要求される耐久シート、ブロー製品などの建築・土木および産業資材分野への用途展開が可能である。

(2) 耐衝撃性

NH6510の衝撃強度は汎用グレードに比べて優れるだけでなく、配水管用グレードとしても高いレベルにある。図6にNH6510および配水管用ポリエチレンとして欧米で実績のあるS社PE100レジンのアイゾット衝撃強度の温度依存性を示した。NH6510は低温(-40)から常温(23)まで優れた衝撃強度を有することが明確である。

(3) パイプ物性

ポリエチレン製配水管に要求される主な性能として、次のような項目が挙げられる<sup>6)</sup>。

表2 外挿破壊応力値

試験温度	破壊時間 Yrs	破壊応力(LPL) MPa
20	50.0	10.50
20	101.0	10.35
60	6.1	6.68
80	1.0	5.20

表3 ニポロンハード代表物性値

項目	単位	NH6510	NH6000	NH7300A
メルトフローレート	g/10min	0.10	0.15	0.05
密度	g/cm <sup>3</sup>	0.950	0.956	0.951
引張降伏強さ	kgf/cm <sup>2</sup>	240	290	260
引張破壊強さ	kgf/cm <sup>2</sup>	440	350	400
引張破壊伸び	%	810	900	800
曲げこわさ(オルゼン)	kgf/cm <sup>2</sup>	7100	8000	7000
アイゾット衝撃値	kg・cm/cm <sup>2</sup>	76	25	40
デュロメーターD硬さ	-	69	70	69
融点		131	133	132
ピカット軟化温度		128	126	126
脆化温度		<-70	<-80	<-80
ESCR	hr(F50)	>2000	700	>1000

- ・外力（地震、地盤変位）への抵抗
- ・内圧（水圧）変動への抵抗
- ・長期クリープ性
- ・耐塩素水性（水泡発生による寿命低下への抵抗）
- ・耐低速亀裂進展性（傷による寿命低下への抵抗）

表4に日本水道協会規格（K144）<sup>7)</sup>および配水用ポリエチレン管協会規格（PWA001）<sup>8)</sup>に記載された規格性能とNH6510成形パイプの性能を比較して示す。NH6510により成形したパイプは、上記規格値を十分クリアーする性能を有している。

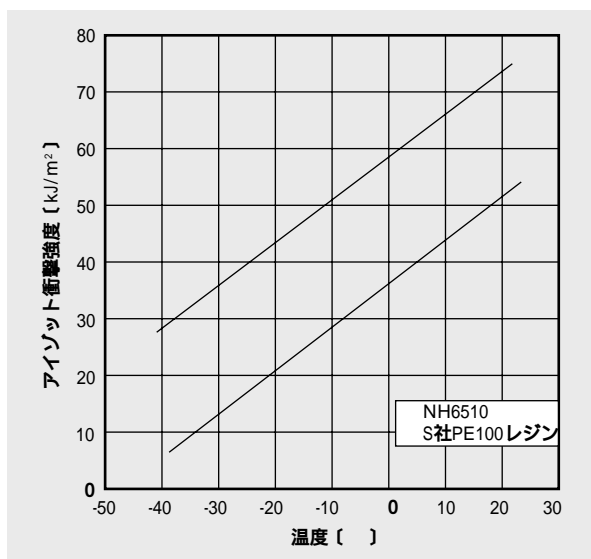


図6 アイゾット衝撃強度

#### 〔4〕成形加工性

##### (1) 溶融物性

NH6510は、パイプの押出成形に好ましい流動性を有する。図7にキャピラリーレオメーターにより測定したNH6510の流動特性をS社PE100レジンと比較して示す。NH6510はS社PE100レジンに比べて低剪断速度領域での粘度は高いが、実成形領域に相当する高剪断速度領域での粘度が低くなる特徴を有する。

##### (2) パイプ成形性

###### 1) 押出特性

加工メーカーにおいては、生産性（押出量の向上）および生産コスト（消費電力の低減等）が重要な課題である。NH6510は、上述のように優れた流動特性

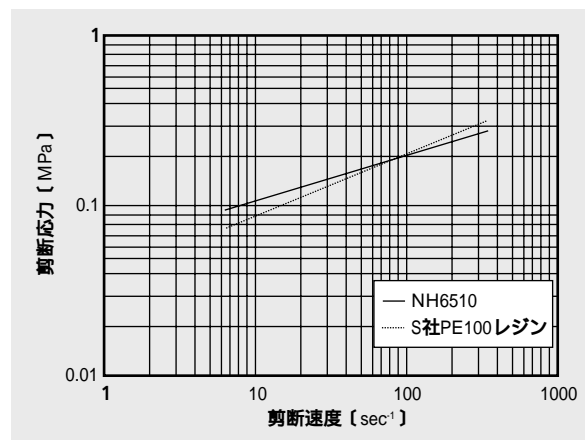


図7 流動特性

表4 NH6510のパイプ性能

性能項目	規格の試験条件、要求性能		試験結果
	試験条件	要求性能	
引張降伏強さ		20.0MPa以上	23.9MPa
引張破断伸び		350%以上	700%以上
耐圧性	内圧2.5MPa、2分間保持	漏れ等無し	漏れ等無し
熱安定性	酸素流	20分以上	1320分(空気流)
加熱伸縮性	110、30分、エチグリ中	±3%以内	-1%以内
熱間内圧クリープ性	20、2.48MPa	100時間以上	1000時間以上
	80、1.10MPa	165時間以上	5000時間以上
	80、1.00MPa	1000時間以上	5000時間以上
耐塩素水性	2000ppm、60	168時間以上	400時間以上
耐環境応力亀裂性	50、10mass%	240時間以上	2000時間以上
耐候性 外観	目視	亀裂無し	亀裂無し
	引張破断伸び	63、600時間以上	350%以上
低速亀裂進展性	80、0.92MPa	165時間で割れ等無し	300時間以上
顔料分散性	顕微鏡判定	グレード3.0以下	グレード2.5

を有するため、押出機やダイ内部での剪断発熱（樹脂温度の上昇）が抑制でき、低温高押出量への対応が可能である。

表5に外径110mmのパイプ成形を実施した際の加工データをS社PE100レジンと比較して示す。成形にはスクリー径75mm、L/D=33の押出機を用いた。NH6510はS社PE100レジンと同等の押出量において、樹脂温度が低く、消費電力が低減できることが明確である。

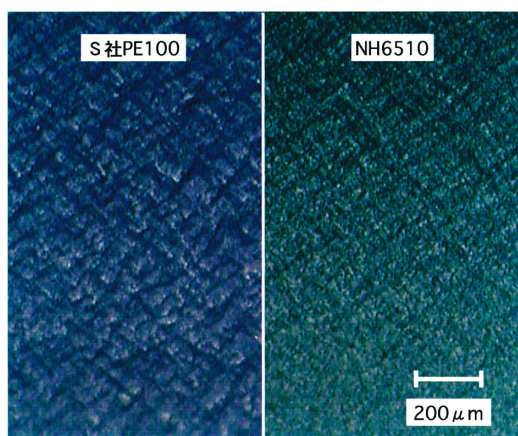
## 2) 表面平滑性

NH6510の特徴の一つに成形パイプの表面性（内面の平滑性）に優れる点が挙げられる。表面性に優れることは、内部流体との摩擦低減や水あか等の付着防止の意味で差別化できる特徴である。図8に外径32mmの成形パイプ内面の顕微鏡観察結果をS社PE100レジンと比較して示す。また、図中には表面粗さ計により測定した平均粗さ（Ra）を示した。一般に、表面性は樹脂中に存在するゲルや混練の不均一性により悪化する。NH6510は重合触媒、プロセス技術によりこれらの問題を解決し、良好な表面性の発現を可能とした。

表5 パイプ押出特性

項目	単位	NH6510	S社PE100レジン
スクリー回転数	rpm	106	130
押出量	kg/hr	345	344
樹脂温度		216	225
比エネルギー	kWh/kg	0.185	0.200
樹脂圧力	MPa	18.8	19.2

シリンダー温度：200、ダイ温度：210



表面粗さ Ra=1.5 μm      表面粗さ Ra=0.4 μm

図8 パイプ内面の顕微鏡写真

## 3) 連続生産性

成形時に発生するメヤニモパイプの生産性、品質において重要な課題となる。NH6510は、メヤニの原因となる低分子量ワックス、添加剤のブリード、ゲルを抑制するための工夫を施しており、汎用グレードに比べてメヤニの低減を可能とした。

## 〔5〕安全性

配水管は上水道に使用する関係上、樹脂中の添加剤が水質に及ぼす影響を考慮する必要がある。NH6510はFDA承認添加剤のみを使用しており、安全面に配慮した樹脂設計となっている。

## 4. まとめ

ポリエチレン製配水管は、PE100の欧州における実績とその優位性に関して理解が進んだこともあり、国内でもここ数年で急速な需要の伸びと市場の拡大が見込まれている。NH6510は、当社が独自技術で開発した配水管用グレードであり、PE100の特徴である高い剛性と優れたクリープ寿命に加えて、成形加工性、衝撃強度、パイプ表面性など、従来の配水管用グレードに比べて多くの優れた特徴を有している。今後は、NH6510が配水管用グレードとしての実績を積み、市場での地位を築いて行くことを期待している。

また、NH6510に代表される高性能ポリエチレンは、中空・押出分野で使用される従来のHDPEに比べて極めて優れた衝撃強度、ESCRを有する。今後は、NH6510の開発で培われた技術や知見を、建築・土木・産業資材を始めとする多くの用途分野の樹脂開発に活かして行く所存である。

## 引用文献

- 1) "THERMOPLASTIC PIPE IN EUROPE" Phillip Townsend Associates, Ltd. (1998)
- 2) Y. L. Huang and N. Brown, *J. Mater. Sci.*, **23**, 3648 (1988)
- 3) Y. L. Huang and N. Brown, *J. Poly. Sci., Polym. Phys. Edn*, **28**, 2007 (1990)
- 4) J. Scheirs, L. L. Bohm, J. C. Boot and P. S. Leever, *TRIP*, **4**, 12, 408 (1996)
- 5) ISO/DIS 9080:1997 (E), ISO 12162:1995 (E)
- 6) 配水管用ポリエチレン管協会編；“配水管用ポリエチレン管技術資料”(1996)
- 7) 日本水道協会規格：JWWA K 144 “水道配水管用ポリエチレン管”(1997)
- 8) 配水管用ポリエチレン管協会規格：PWA 001 “配水管用ポリエチレン管”(1997)