

# Nomex<sup>®</sup> 410

## 技術データシート

Nomex<sup>®</sup> 410 は、固有の高い絶縁耐力、機械的強度、柔軟性および耐久性を併せ持つ絶縁製品群です。Nomex<sup>®</sup> 410 は、Nomex<sup>®</sup> 紙開発当初から提供され続けている製品で、多数の電気機器用途で幅広く利用され続けています。Nomex<sup>®</sup> 410 は、0.05 mm~0.76 mm (2 mil~30 mil) と 11 種類の幅広い厚さを取り揃えているので、一般に知られている様々な電気絶縁部位に適用が可能です。

### 電気特性

NOMEX<sup>®</sup> 410 の標準的電気特性を

表 I に示します。表 I の絶縁破壊電圧 (AC 直昇圧) 試験は、周波数 60 Hz で 10 ~ 20 秒の間に絶縁破壊を起こす条件で電圧ストレスを上昇させた結果を示すものです。これらの値は長期絶縁耐力を示すものではありません。デュポン社では、部分放電のリスクを最小限に抑えるために、Nomex<sup>®</sup> 410 を使用する変圧器の場合には連続的電圧ストレスが、40 V/mil (1.6 kV/mm) を超えないように設計することを推奨しています。表 I の全波インパルス電圧における絶縁破壊電圧データは、複数枚のシート

を積層して測定しています。これらの数値は、同様に複数枚の絶縁材を使用する構成では適用可能です。単一シートでの測定データを、測定・提供することも可能です。

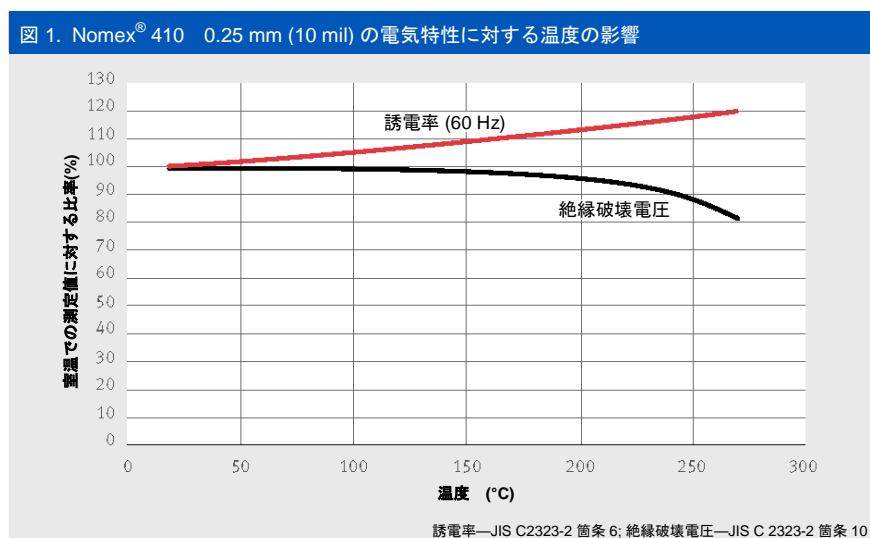
システムの形状が実際の材料のインパルス強度値に影響を与えます。ここに掲載された絶縁破壊電圧は標準値であり、機器設計目的での使用は推奨されません。機器設計に使用するための仕様書については、別途弊社までお問合せ下さい。

表 I. Nomex<sup>®</sup> 410 の標準的電気特性

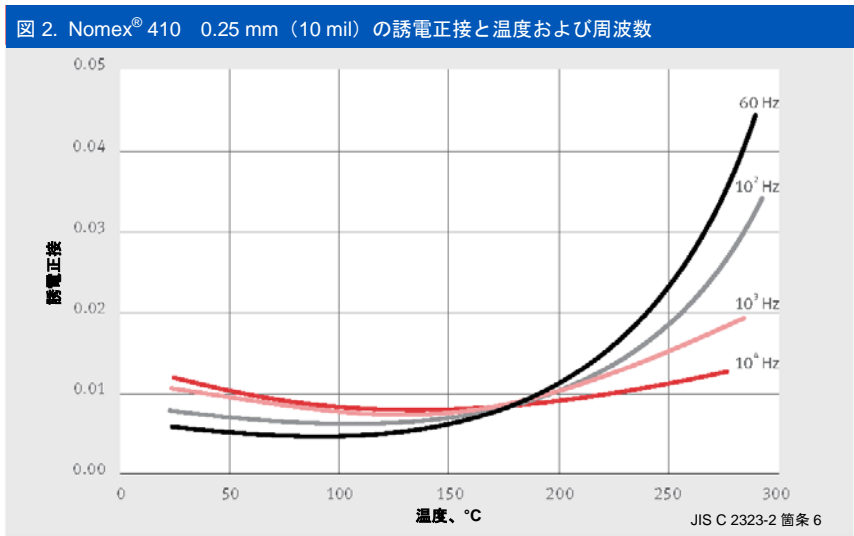
特性	公称厚さ, mm (mil)											試験方法および簡条
	0.05 (2)	0.08 (3)	0.10 (4)	0.13 (5)	0.18 (7)	0.25 (10)	0.30 (12)	0.38 (15)	0.51 (20)	0.61 (24)	0.76 (30)	
絶縁破壊電圧 (AC 直昇圧) V/mil kV/mm	460 18	565 22	525 21	715 28	865 34	845 33	870 34	850 33	810 32	810 32	680 27	JIS C 2323-2 簡条 10
全波インパルス電圧 V/mil kV/mm	1000 39	1000 39	900 36	1400 55	1400 55	1600 63	N/A N/A	1400 55	1400 55	N/A N/A	1250 49	
誘電率 (60 Hz 時)	1.6	1.6	1.8	2.4	2.7	2.7	2.9	3.2	3.4	3.7	3.7	JIS C 2323-2 簡条 6
60 Hz 時の誘電正接 ( $\times 10^{-3}$ )	4	5	6	6	6	6	7	7	7	7	7	JIS C 2323-2 簡条 6

図 1 に示すように、絶縁破壊電圧と誘電率に対する温度の影響は軽微です。

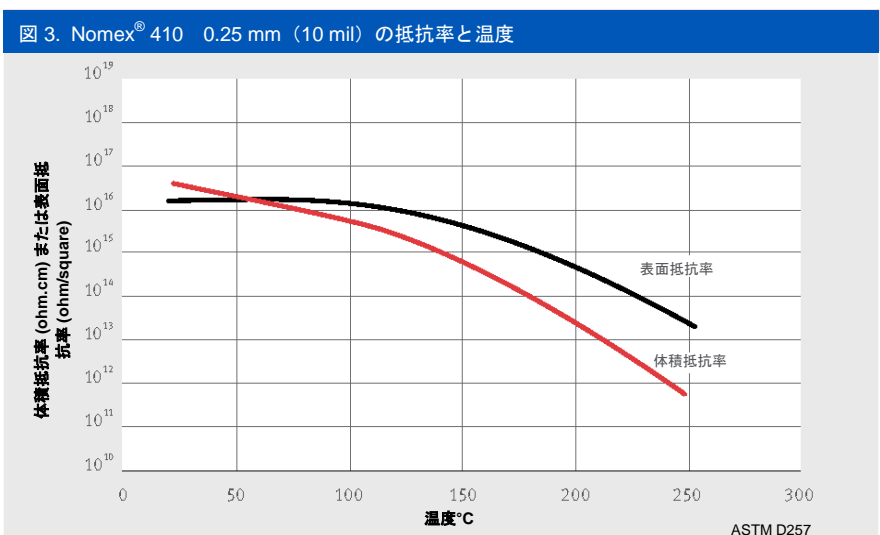
図 1. Nomex<sup>®</sup> 410 0.25 mm (10 mil) の電気特性に対する温度の影響



周波数の変動は、 $10^4$  Hz までであれば基本的に Nomex<sup>®</sup> 410 の誘電率に影響を与えません。乾燥した Nomex<sup>®</sup> 410 0.25 mm (10 mil) の誘電正接に対する、温度と周波数の影響を図 2 に示します。より薄い紙の場合でも 60 Hz での誘電正接は、200°C までの温度においては 0.25 mm (10 mil) と同じです。温度と周波数が高くなると、より厚い紙の場合では 0.25 mm (10 mil) よりも誘電正接が少し高くなる傾向にあります。



乾燥した Nomex<sup>®</sup> 410 0.25 mm (10 mil) 紙の表面抵抗率および体積抵抗率を、図 3 に温度の関数として示しています。Nomex<sup>®</sup> 410 のその他の厚さについても、この傾向はほぼ同一です。



Nomex<sup>®</sup> 410 0.25 mm (10 mil) の電気特性に対する水分（湿度）の影響を表 II に示しますが、湿度の影響は比較的軽微であることがわかります。

表 II. Nomex<sup>®</sup> 410 0.25 mm (10 mil) の電気特性に対する湿度の影響

特性	標準値	50	96	試験方法および箇条
相対湿度 (%)	完全乾燥	50	96	
絶縁破壊電圧 V/mil	850	845	780	JIS C 2323-2 箇条 10
kV/mm	33.5	33.2	30.7	
誘電率				JIS C 2323-2 箇条 6
60 Hz 時	2.5	2.7	3.2	
1 kHz 時	2.3	2.6	3.1	
誘電正接				JIS C 2323-2 箇条 6
60 Hz 時 ( $\times 10^{-3}$ )	6	6	11	
1 kHz 時 ( $\times 10^{-3}$ )	13	14	25	
体積抵抗率、 ohm.cm	$6 \times 10^{16}$	$2 \times 10^{16}$	$2 \times 10^{14}$	ASTM D257

測定時の湿度は、試験方法に規定された標準条件ではありません。

他の有機絶縁材料と同じように、Nomex<sup>®</sup> 紙は部分放電により徐々に性能が低下します。部分放電の強度は電圧ストレスに比例しますが、同様に、コイルなどの電気回路の絶縁距離、導体の平滑性やバリの形状などの設計要素によって大幅に左右されます。適切に設計された電気機器では通常の運転中にはコロナは発生しませんが、まれに電気機器に短期のコロナ放電を発生させる過電圧がかかる場合があります。このような状況において、早期に絶縁破壊を起こさないようにすることが重要です。Nomex<sup>®</sup> 410 の耐電圧（コロナ放電下で材料が劣化し、一定数が絶縁破壊するまでの時間）は、他の一般に使用される有機絶縁材料より優れており、図 4 に示すように一部の無機材料に比べても良好です。これらのデータは、いずれの材料においても総厚みを 0.25mm とし、室温、相対湿度 50%、360 Hz 周波数の条件下において測定されました。周波数が 50~60 Hz 時に絶縁破壊までにかかる時間は、グラフに示される時間の 6~7 倍になります。

### 機械特性

Nomex<sup>®</sup> 410 の標準的機械特性値を表 III に示します。

図 4. さまざまな絶縁材料の耐電圧 — 単層 Nomex<sup>®</sup> 410 0.25 mm (10 mil)

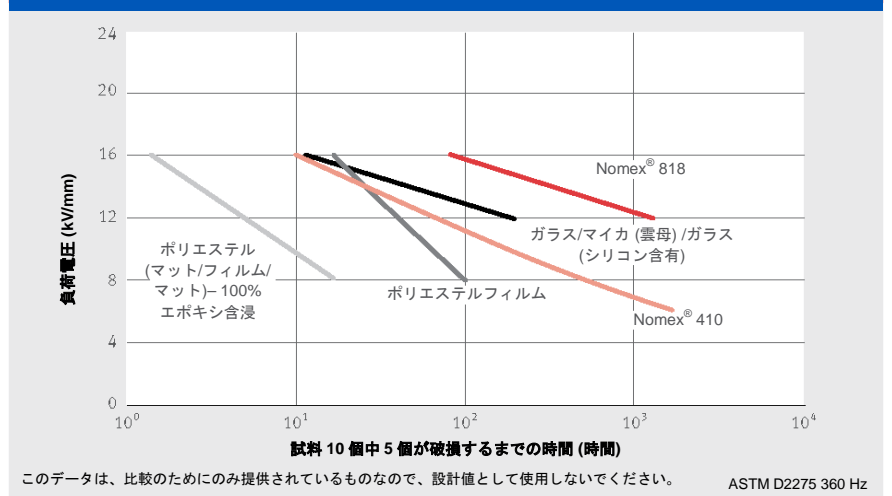


表 III. Nomex<sup>®</sup> 410 の標準的機械特性

特性	公称厚さ、mm (mil)												試験方法および箇条
	0.05 (2)	0.08 (3)	0.10 (4)	0.13 (5)	0.18 (7)	0.25 (10)	0.30 (12)	0.38 (15)	0.51 (20)	0.61 (24)	0.76 (30)		
標準厚さ mm mil	0.06 2.2	0.08 3.1	0.11 4.2	0.13 5.2	0.18 7.2	0.26 10.2	0.31 12.2	0.39 15.3	0.52 20.4	0.61 24.2	0.78 30.6	JIS C 2323-2 箇条 4	
坪量 (g/m <sup>2</sup> )	41	64	88	115	174	249	310	395	549	692	839	JIS C 2323-2 箇条 5	
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.72	0.81	0.83	0.88	0.95	0.96	1.00	1.02	1.06	1.13	1.08	JIS C 2323-2 箇条 5	
引張強さ (N/cm) MD XD	43 19	68 34	93 49	141 71	227 116	296 161	380 185	462 252	610 374	728 500	816 592	JIS C 2323-2 箇条 7	
伸び (%) MD XD	10 7	12 9	12 9	16 13	20 15	22 18	23 18	22 16	23 18	21 16	21 17	JIS C 2323-2 箇条 7	
エルメンドルフ引張強さ (N) MD XD	0.8 1.5	1.2 2.4	1.9 4.4	2.3 4.8	3.7 7.2	5.6 10.6	7.1 13.7	9.0 16.7	14.3 24.8	N/A N/A	N/A N/A	JIS C 2323-2 8.3	
端部引張強さ (N) MD XD	11 6	16 9	24 14	31 17	48 27	69 42	88 55	110 71	158 114	191 153	233 193	JIS C 2323-2 8.4 <sup>1</sup>	
300°C での熱収縮 (%) MD XD	1.8 0.0	0.8 0.0	0.4 0.0	0.4 0.0	0.5 0.1	0.2 0.0	0.2 0.1	0.2 0.1	0.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0	JIS C 2323-2 箇条 9 JIS C 2323-3-3 (温度の規定)	

MD = 材料のタテ方向; XD = 材料のヨコ方向

1. 端部引張強さで示したデータは、JIS C 2323-2 8.4 (JIS K 7128-3) による試験片の方向で定義されています。引裂き方向は試験片の向きに対して 90° であるため、タテ方向でより高いデータが得られた材料の場合、実際には材料のヨコ方向の引裂きに対してより強いということになります。

引張強さおよび伸びに対する温度の影響を図5に示します。Nomex<sup>®</sup>は、非常に低温でも優れた機械特性を保持します。液体窒素の沸点（-196°Cまたは77 K）でNomex<sup>®</sup> 410 0.25mm（10 mil）の引張強さは、室温時に対して30%～60%の値を維持し（方向によって異なる）、破断時伸びは3%を超えます（室温でのほとんどの無機材料よりも良好です）。このように、Nomex<sup>®</sup> 410は極低温でも良好に機能するといえます。

引張強さおよび伸に対する水分（湿度）の影響を図6に示します。水分含有率が高くなると、伸びと同様に、Nomex<sup>®</sup> 410の引裂強さと強靱性も向上します。

相対湿度 (RH) 95% の状態に曝露された絶乾後の Nomex<sup>®</sup> 410 は、水分の吸収により、機械（タテ）方向で最大約 1%、幅（ヨコ）方向で最大約 2%、寸法が大きくなります。この膨張は、紙を再乾燥させると、大部分が元に戻ります。寸法の変化率は、紙の厚さや形状（たとえば、単一のシートときつく巻かれたロールなど）によって異なります。環境湿度の変動により生じる寸法の変化は通常 1% 未満になります。

ただし小皺や波うちなど特にシートの均一性に変化が生じる場合には、変化率そのものは小さくとも、貼り合せやクレープなどの作業工程において平坦でない（たるみや歪みなど）ことそのものが問題になることがあります。このため、このような用途を目的とする Nomex<sup>®</sup>紙は、使用直前まで保護ポリエチレン包装材で密封保管して、均一な水分量を保つよう to してください。Nomex<sup>®</sup> の絶縁性に対する水分の影響の詳細や、適切にロールを保護する方法については、別途水分に関する資料をご請求ください。

図 5. Nomex<sup>®</sup> 410 0.25 mm（10 mil）の機械特性に対する温度の影響

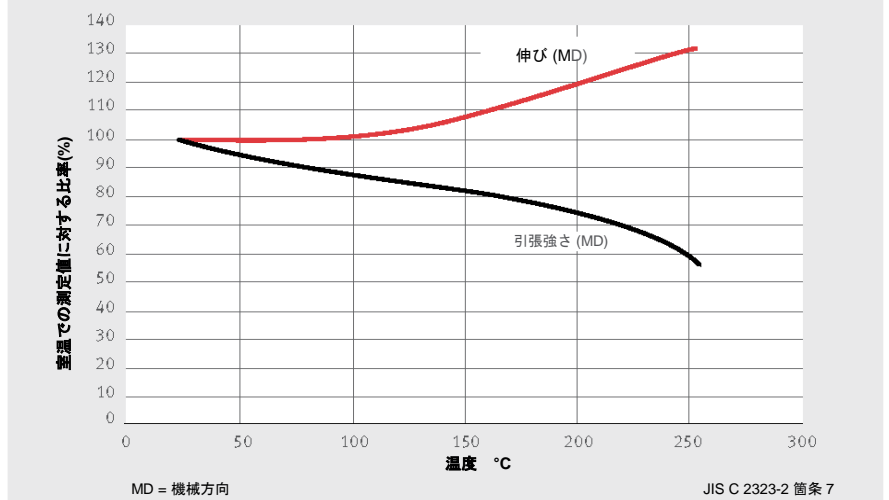
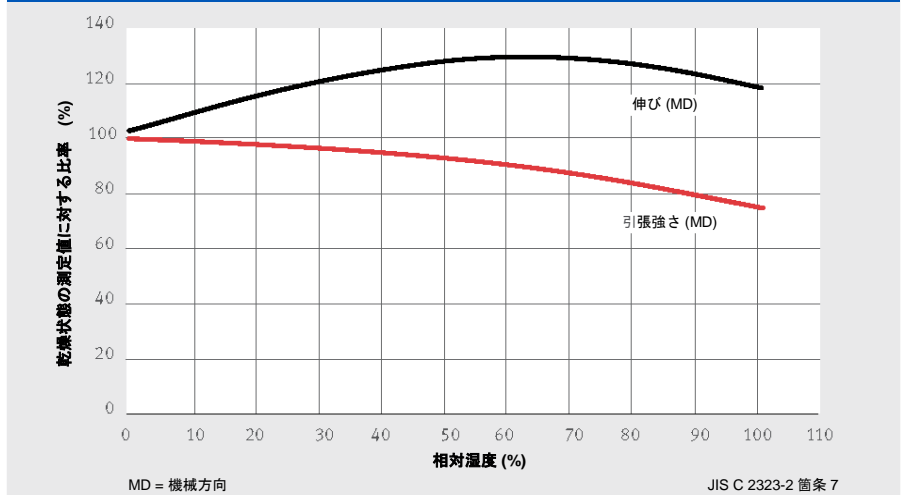


図 6. Nomex<sup>®</sup> 410 0.25 mm（10 mil）の機械特性に対する水分の影響



## 温度特性

Nomex<sup>®</sup> 410 0.25 mm (10 mil) を高温に長時間曝露した場合の電気特性および機械特性に対する影響を図7と8に示します。これらの劣化挙動のアレニウスプロットは、アンダーライタース・ラボラトリーズ (UL) が Nomex<sup>®</sup> 紙を 220°C の絶縁材料と認定した根拠となるデータで、約 50 年間の長きにわたり商業用途に利用されています。これらの曲線をより高い温度に外挿することもできます。たとえば、アレニウスプロットによると Nomex<sup>®</sup> 410 が 300 V/mil (12 kV/mm) の絶縁耐力を、400°C でも数時間保持することを示しています。

図 7. Nomex<sup>®</sup> 410 0.25 mm (10 mil) の可使用寿命と温度(絶縁破壊電圧)

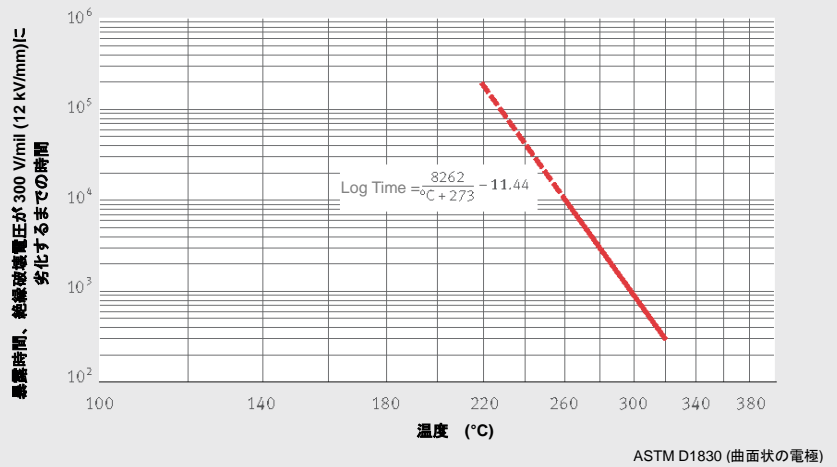
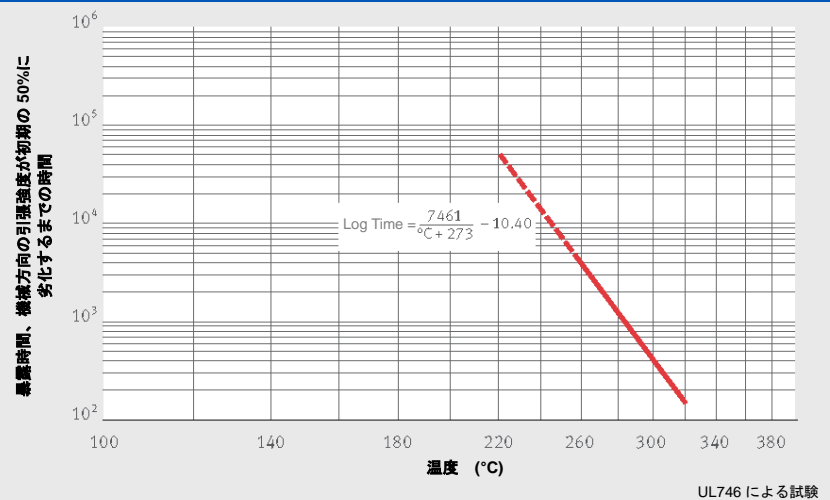
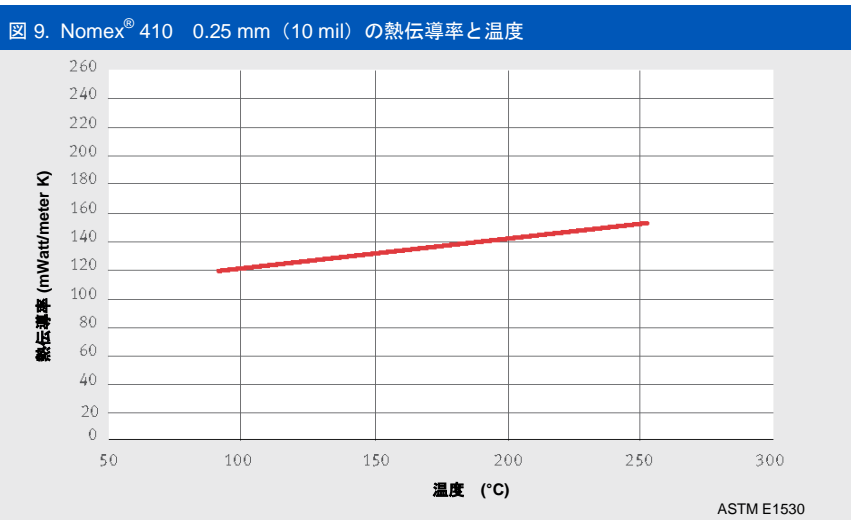


図 8. Nomex<sup>®</sup> 410 0.25 mm (10 mil) の可使用寿命と温度 (引張強さ)



Nomex® 410 0.25 mm (10 mil) の熱伝導率を図 9 に示します。これらの値はセルロース紙の値と同様で、ほとんどの材料と同様に、比重（密度）によって定まります。このため、表 IV に示すように厚さの薄い Nomex® 410 は熱伝導率が少し低くなり、より厚い Nomex® 410 は熱伝導率が高くなります。絶縁材料全体の組合せが電気機器全体の熱伝導率に影響を与える場合があるため、個別のデータを実際の状況に適用する場合には注意が必要です。たとえば、同じ熱伝導率の素線絶縁用薄葉材料であっても、巻き固さや巻きテンションが異なれば、絶縁層の空間を生じることになり、コイルからの熱伝導への影響がまったく異なる場合があります。



### 化学的安定性

Nomex® 紙とプレスボードの、事実上あらゆる種類の絶縁ワニスや接着剤（ポリイミド、シリコン、エポキシ、ポリエステル、アクリル、フェノール、合成ゴムなど）あるいはその他の絶縁材料との化学的親和性は、UL 認定絶縁システムおよび約 50 年の長きにわたる使用実績によって証明されています。また、Nomex® 紙は、封止系で使用される変圧器の絶縁油（鉱物油、シリコン油およびその他合成油）や潤滑油、冷媒とも完全に適合性があると考えられます。一般的な工業用溶剤（アルコール、ケトン、アセトン、トルエン、キシレン）は、Nomex® 410 に対して、水と同程度のわずかな軟化効果と膨潤効果があります。これらの効果は、溶剤を除去すれば、大部分は元に戻すことができます。

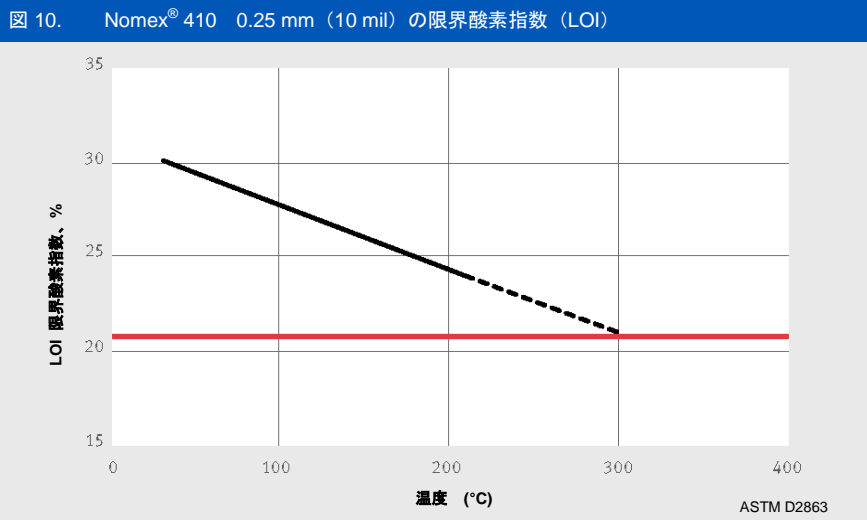
Nomex® 410 の室温での限界酸素指数（Limiting Oxygen Index = LOI）は、27%~32% の範囲（厚みと密度により異なる）で、220°C では 22%~25% の間です。LOI が 20.8% 以上の材料は、大気中で自己消火性を有しています。Nomex® 410 の場合、240°C~350°C（厚みによって異なる）になるまで LOI が 20.8% 以下に落ちることはありません。Nomex® 410 0.25 mm (10 mil) の LOI データは図 10 に示されています。

表 IV. Nomex® 410 の熱伝導率

公称厚さ mm mil	0.05 2	0.08 3	0.10 4	0.13 5	0.18 7	0.25 10	0.38 15	0.51 20	0.76 30
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.72	0.81	0.83	0.88	0.95	0.96	1.02	1.06	1.08
熱伝導率 <sup>1</sup> milliW/m · K	103	114	117	123	143	139	149	157	175

1.すべてのデータは 150°C で測定

ASTM E1530



## 耐放射線性

64 Mgy (6400 メガラド) ベータ線照射後の、Nomex® 410 の機械特性および電気特性への影響を表 V に示します。(これと比較して、同じ厚さのポリエステルフィルムと 100%エポキシ含浸のポリエステル不織布の貼り合せ製品 (DMD) では、8 Mgy (800 メガラド) 照射後に粉砕してしまいます。) ガンマ線への曝露でも、同様の結果が得られます。Nomex® 紙の優れた放射線に対する耐性は、原子力施設用の重要な制御機器での使用につながります。

表 V. Nomex® 410 0.25 mm (10 mil) の 2 MeV 電子 (ベータ線) 照射後の特性

特性	線量、Mgy								ベータ線照射後の試験方法および箇条	
	0	1	2	4	8	16	32	64		
引張強さの残存率 %										
MD	100	96	100	100	94	87	81	65	JIS C 2323-2 箇条 7	
XD	100	100	99	99	97	86	81	69		
伸びの残存率 %										
MD	100	89	92	96	76	60	36	18	JIS C 2323-2 箇条 7	
XD	100	92	91	88	82	47	27	16		
絶縁破壊電圧										
V/mil	860	860	840	840	840	860	890	790	JIS C 2323-2 箇条 10 <sup>1</sup>	
kV/mm	34	34	33	33	33	34	35	31		
誘電率										
60 Hz	3.1	3.0	3.0	3.0	3.0	3.1	2.3	2.5	JIS C 2323-2 箇条 6	
1 kHz	3.0	3.0	2.9	3.0	2.9	3.1	2.3	2.5		
10 kHz	2.9	2.9	2.9	2.9	2.8	3.0	2.2	2.4		
誘電正接 (x 10 <sup>-3</sup> )										
60 Hz 時	8	14	10	12	9	14	7	10	JIS C 2323-2 箇条 6	
1 kHz 時	13	16	15	16	13	16	11	13		
10 kHz 時	18	21	20	20	19	20	15	17		

MD = 材料の タテ方向; XD = 材料のヨコ方向

1. 6.4mm (1/4 インチ) 電極を使用

## UL 認定状況

表 VI は Nomex® 410 の UL 認定状況を示しています。各 UL 認定項目の詳しい説明は、絶縁材料認定に関する UL Web サイト ([iq.ul.com/ul/cert.aspx?ULID=230937](http://iq.ul.com/ul/cert.aspx?ULID=230937)) を参照してください。

表 VI. Nomex® 410 の UL 認定状況

公称厚み (mm)	公称厚み (mil)	UL94	UL746A HWI	UL746A HAI	UL746B RTI 電気特性	UL746B RTI 機械特性	UL746A HVTR	UL746A CTI
0.05	2	—	0	3	220	220	3	3
0.08	3	—	0	3	220	220	3	3
0.10	4	VTM-0	0	3	220	220	3	3
0.13	5	V-0	0	1	220	220	3	3
0.18	7	V-0	0	1	220	220	3	3
0.25	10	V-0	0	0	220	220	3	3
0.30	12	V-0	0	0	220	220	3	3
0.38	15	V-0	0	0	220	220	3	3
0.51	20	V-0	0	0	220	220	3	3
0.61	24	V-0	0	0	220	220	3	3
0.76	30	V-0	0	0	220	220	3	3



この技術資料に掲載されている技術データは標準的な製品の測定値であり、規格値としての使用はできません。また、特に記述が無い限り測定条件は標準条件にて測定しております(23°C、相対湿度 50%の平衡状態)。ノーメックス®紙は他の製紙技術で作られた製品同様、その特性は紙の流れ方向(タテ:MD)と幅方向(ヨコ:XD)によって異なっております。従って特定の用途においてはノーメックス®紙を最適な方向に合わせて使用することにより、最も高い性能を発揮できる場合があります。

製品の安全性に関する情報はご要望に応じてご提供いたします。この情報は、本件に関する当社の現在の知識によるものです。お客様の実験に関して可能な提案をお伝えする目的でのみ提供されています。ただし、特定の目的に対する当社製品の適合性を判断するために、お客様で実施する必要がある何らかの試験の代用になることは意図されていません。この情報は新しい知識や経験が得られた場合、改訂されることがあります。デュポン 帝人アドバンスドペーパー株式会社では実際の最終用途のあらゆる状況を予想することはできないため、**この情報を使用したことに関連して一切の保証も責任も負わないものとします**。この発行物の内容は、何らかのライセンスと見なされることも、いずれかの商標や特許権を侵害することを推奨するものでもないものとします。



はデュポン 帝人アドバンスドペーパー(株)の登録商標です。ノーメックス®及び Nomex®は、E. I. du Pont de Nemours and Company 又はその関連会社の商標もしくは登録商標です。

Copyright© 2016 Du Pont Teijin Advanced Papers (Japan) Ltd. All rights reserved.