導電性繊維について*

那 須 野 昭 文**

別 所 義 雄

1. はじめに

近年めざましい発展を遂げてきた合成繊維も、ナイロン、ポリエステル、アクリル、ビニロンを中心に定着化し、ここ当分はこれらに代わりうる汎用的素材の出現が困難であろうと予想されている。したがって現状ではもっぱらそれらの改質および特殊機能を有する繊維の開発に力が注がれている。

このような背景の下で、導電性繊維という一つの新しい範疇が注目されつつある。この種の繊維には、すでに宇宙開発や特殊工業用材料として開発されてきた金属繊維や炭素繊維、さらには金属や炭素などの導電性物質を表面に付着あるいは内部に添加した有機繊維などが含まれる。

この導電性繊維は、その電気的特性を利用して帯電防止、静電誘導遮へい、電磁波遮へいあるいは発熱などの効果を生かしうる付加価値の高い広範囲な用途開発が可能で、今後の大きな発展が期待されている。

ここでは各種の導電性繊維の製造法、特性および電気的用途について、いままでに報告された文献とともに、最近当社が開発した特殊導電性繊維“セルメック”についても合わせてまとめた。

2. 導電性繊維の種類と製造法

2.1 金属繊維

ここでいう金属繊維とは、一般に電線や金網などに用いられる針金状の比較的粗硬な金属線ではなく、もっと細繊維度の普通の有機繊維に近い可撓性、柔軟性をもつ紡

織可能なものを指すが、実際にどの程度の太さのものであるかというとその境界は明確でない。最近では製造技術の進歩により直径 4μ のものまで工業的に生産され、太さからは有機繊維の1d相当程度のものがえられているが、ここでは大体直径 100μ 以下と考えればよいであろう。金属の種類としては、ステンレス スチール、銅、ニッケル、白金、アルミニウム、タングステンなどが可能とされているが、価格、物性などの点からステンレス繊維が最も汎用化されつつある。これには Brunswick 社の“Brunsmet”や日本冶金—日本精線の“ナスロン”などがある。

製造法としては種々あり、二、三の総説もあるが、つぎにその主なものをあげる。

a. ダイス法

金属線をダイヤモンドダイスに繰返し通して順次細くしていき、目的の太さの繊維にする方法である。H.H. Webberの特許にその具体例が示され、“Brunsmet”はこの方法によるものとされている。

この方法は、第1図に示したように、最初直径約2mmのステンレス線を銅さや^{1)~3)}に入れ、これを引張って銅とステンレスを密着させたのち、約980°Cで焼鈍しダイスを通す。これを繰返して外径約0.4mmになるまで細くし、これを束ねてさらに別の銅さやに入れる。さらに焼鈍、ダイス通過を繰返し、金属フィラメント（ステンレス芯線）の直径を約 12μ にし、最後に表面の銅を硝酸液で溶解除去すればステンレスのマルチフィラメントが製造される。

* Electrically Conductive Fiber.

** A. Nasuno, Y. Bessho, クラレ 加工技術部

(第1図) ダイス法による金属繊維の製造法

b. ガラス被覆法

加熱導体金属線を溶解ガラス中に通し、ガラス被覆金属フィラメントを冷却し巻取する方法である。金属としては銅、銀、マンガンが用いられ、ガラスを熔融被覆して13~60 μ 、金属フィラメントの直径は4~16 μ 、長さは最高2000 mのものが製造されている。とくに金属の熔融状態での表面張力および高温における被覆ガラスの粘性が微妙に関係する。この方法は1950年にソ連で最初に行なわれたもので、日本では日立電線と日東紡の共同研究で、ガラス被覆マイクロワイヤー（細い金属線）を開発している。

c. 遠心紡糸法

Marvalaud 社が開発したもので、熔融金属をノズルから高速円盤上に噴射し、円盤の遠心力によって直径4~75 μ の繊維にする方法である。円盤の表面速度が一定のとき、熔融金属の温度が高く、噴射速度の遅いほど細いフィラメントとなる。

d. ジェット気流加速法

熔融金属を不活性ガス気流中で微口径ノズルからジェット気流上に射出してつくる方法である。ジェット気流の射出速度を適当に調節すると、断面が円形の繊維が得られる。

e. 直接熔融紡糸法

熔融金属を直接石英ガラスのノズルから不活性気体に紡糸して冷却する方法で、主に融点の低い金属について研究されている。

f. エマルジョン紡糸法¹⁾

長野氏によって試みられた方法で、高分子溶液中に金

属粉末を分散し、これを通常の方法で湿式、乾式あるいは熔融紡糸したのちに、この繊維を金属の融点付近の温度で、不活性気体あるいは還元性気体中で加熱し、高分子を炭化し、金属粉を融着する方法である。

2.2 炭素繊維

アクリルやセルローズ繊維などの一般の有機繊維の焼成による方法とそれ以外の石油ピッチやリグニンなどの特殊な有機物質の焼成による方法の二つに大別されるが、実際には焼成して炭化させる温度によって種々の性質の炭素繊維が得られる。すなわち200~500°Cで焼成されたものは黒化繊維といわれ、炭素構造を示さず、著しい導電性は示さない。800~1200°Cで焼成されたものは、炭化収率91~98%で狭義な意味での炭素繊維で、さらに2500~3000°Cで焼成されたものは炭化収率98%以上で黒鉛繊維といわれ、いずれも導電性繊維の部類に入るべきものである。

すでに各国で種々の方法により工業化され、製造法に関しても数多くの特許や二、三の総説もあるが、つぎにその主なものを示す。

a. アクリル繊維を原料とする方法

この方法は、現在わが国で最も広く工業化されており、アクリル繊維を空気中で200~300°Cで数時間加熱して酸化処理をしたのち、不活性気体中で炭化させ、必要に応じてさらに2500~3000°Cで黒鉛化するのが一般的である。とくに焼成の初期の低温時に、昇温速度を小さくしなければならないために、長時間を要するのが製造上の大きな問題点であるが、これについては種々の改良もみられる。

わが国においては、1959年に大工試で成功し、すでに東海電極、日本カーボン、日東紡など数社が実施権を得て工業的生産を行なっている。

b. セルローズ系繊維を原料とする方法

この方法は、綿、レーヨンなどのセルローズ系繊維を塩化アルミニウムなどの金属塩化物やリン酸アンモニウムの如き脱水触媒の存在下で焼成するものである。U. C. C.の基本特許以来、多くの改良がみられ、主として米国各社で工業的生産が行なわれている。この場合の炭

(第2図) 炭素繊維の炭化機構と構造

化機構と構造は、第2図のようである。¹⁵⁾

c. ビニロン繊維を原料とする方法

進藤氏が開発した方法で、ビニロンを塩酸ガス中で加熱して脱水ビニロンとし、さらに200°C付近で予備酸化処理したのち、塩酸あるいは窒素雰囲気中で焼成炭化させるものであるが、収率および強度の点からいまのところ工業化されていない。

d. 石油系ピッチを原料とする方法

石油の高温(1200°C以上)処理によって生産されるレジナスピッチを、直径10μ以下の繊維に溶融紡糸したのち、延伸、酸化処理して、さらに焼成炭化する方法である。¹⁷⁾¹⁸⁾この原料は従来から存在する石炭系ピッチと異なり、純芳香族炭化水素として合成されたもので、炭化収率も良好な上、製造プロセスも簡単で原料的に安価である特長をもっている。呉羽化学で工業化されている。

e. リグニンを原料とする方法

パルプ製造時の副生廃液中のリグニンを溶剤にとかして紡糸液を作り、これにPVAなどの高分子物質を添加して乾式紡糸法でフィラメントとして、これを撚糸、織布状にしたのち、焼成、炭化するものである。¹⁹⁾原料的に安価で、炭化収率もアクリル繊維などを原料とする方法よりもすぐれているといわれ、日本化薬で工業化が進められている。

2.3 導電性物質を表面に付着あるいは内部に添加した有機性繊維

有機繊維本来の物性をそのまま生かし、電気抵抗を金属や炭素繊維なみに近づけることができれば、加工のしやすさ、価格などの点で有利であり、新しい用途が期待できる。このような方法としては、繊維に金属や炭素粉末を含んだ導電性樹脂を表面コーティングする方法、金属メッキ処理する方法、金属を真空蒸着する方法あるいはポリマー中に導電性物質を添加して紡糸する方法などが考えられる。

最近開発された当社の特殊導電性繊維“セルメック”帝人の“メタリヤン”，米国 Technical Wire Product社の“Tecknit”などはこの部類に入るもので注目されている。

a. 導電性樹脂コーティング法

金属あるいは炭素の微粉末を合成樹脂やゴム類の中に分散させた導電性樹脂や塗料はかなり以前より開発されているが、最近この種の樹脂を有機繊維の表面にコーティングしたものが特許公報として発表されている。²⁰⁾

この方法の一例をあげると、銀あるいは炭素などの導電性微粉末を含有したアクリルニトリル-ブタジエン共重合体とフェノール系樹脂混合物を、ナイロンフィラメント表面に平均厚さ0.5~15μに均一にコーティングすると、電気抵抗が $10^9 \Omega/\text{cm}$ 以下の導電性フィラメントが得られる。

b. 金属メッキ法

ABSやPPなどのプラスチック成形物に金属メッキ(無電解メッキと電解メッキに大別)することは、すでに実用化され広く使用されているが、繊維への応用については若干の特許や文献にみられるだけで、工業的規模に至っていない。しかし、その基本原理はプラスチックメッキとほぼ同様で、たとえば代表的な無電解メッキ工程を示すと第3図のようになる。

(第3図) 繊維の代表的な無電解メッキ工程
(Pd°は純粋パラジウムのこと)

繊維の場合は、プラスチックに比べてメッキされる重量当たりの表面積が著しく大きいために、より安定なメッキ浴組成とメッキ方法の開発が重要である。また被メッキ体の繊維が可撓性に富むために、引張りや屈曲などに対するメッキ金属の密着耐久力の向上に大きなポイントがあり、メッキ金属層の厚さのコントロールも重要であると思われる。

これらの点を十分に考慮して開発できれば、繊維本来の物性をそのまま生かし、しかもすぐれた導電性が得られるので大きな用途分野がひらけるものと思われるが、さらに実用化に際しては商品設計に関する十分な配慮をすることが大切である。

c. 金属蒸着法

この方法は、真空中(10^{-4} ~ 10^{-6} mmHg)においてアルミニウムなどの金属を加熱溶融して、その蒸気を被蒸着材料に物理的に付着させるものである。被蒸着材料としては、一般に厚さ6~25μのポリエステルフィルムが用いられ、得られた蒸着フィルムをスリットして、それを普通の糸に撚糸して金銀糸とされている。最近布に直接真空蒸着する^{24), 25)}方法や蒸着フィルムを布にバインダーを用いて転写する方法も開発されつつある。しかし織

(第1表) 各種導電性纖維と他種纖維との物性の比較

性能	纖維名	金屬纖維 (ステンレス)	炭素纖維	特殊導電性纖維	ガラス纖維	ポリエステル	ナイロン	耐熱 ポリアミド纖維	綿
	商品名	Brunsmet ナスロン		セルメック				Nomex	
引張強さ (g/d)		2.7~4.5	1.0~1.5	4.0~5.0	8.0~19.9	4.3~6.0	4.8~6.4	5.5	3.0~4.9
伸び率 (%)		1.0~2.0	0.6~2.0	20~26	3.0	20~32	28~45	17	3~7
結節強さ (g/d)		1.9~2.5	—	1.8~2.2	0.9	3.8~4.4	4.3~6.0	—	2.7~4.9
見掛けヤング率(kg/mm ²)		19 000	4 200~42 000	800~1 300	7 000	1 100~2 000	200~450	—	950~1 300
水分率 (%) (20°C, 65%RH)		0	—	2.7~3.3	0	0.4	4.5	4.5	7
比重		7.9	1.5~1.95	1.55~1.89	2.5	1.38	1.14	1.38	1.54
耐熱性	軟化点 (°C)	—	—	220~230	735	238~240	180	—	—
	融点 (°C)	1 400~1 500	不融	不明瞭	—	255~260	215~220	370°C で分解	150°C で分解
比熱		0.12	—	—	0.10	0.41	0.44	0.36	0.32
熱伝導率 (cal/cm・sec・°C)		0.039	—	—	0.0026	0.00058	0.00058	0.0013	0.001
固有電気抵抗 (μΩ・cm)		72	8~100×10 ²	1~6×10 ³	2×10 ¹⁷	7×10 ¹⁴	4.5×10 ¹⁹	—	—

維フィラメントに均一に蒸着することは、現状では技術的にむずかしいようである。この種の繊維は、現在では導電性よりもむしろすぐれた金属光沢による装飾性や光熱の反射を利用した用途開発が行なわれている。

d. 導電性物質を内部に添加する方法

金属や炭素などの導電性物質（微粉末）を、繊維物性を損わない程度にポリマー中に添加して紡糸し、繊維化する方法である。すでにこの考え方に基づく導電性繊維^{26)~28)}に関する特許が二、三みられるが、まだほとんど実用化されていないようである。この場合、添加する導電性物質の程度や混入量によってその性質が大きく左右されるが、糸自体の導電性としてはそれほど大きいものは得られない。

3. 導電性繊維の特性

上述した導電性繊維の中から代表的なものを取上げ、他種繊維との物性比較を第1表（前ページ）に示した。

この表から、各種導電性繊維の特徴を一般の有機繊維と比較すると、金属繊維は導電性が最も大きく、強力が比較的大きく、高ヤング率で、耐熱性、耐薬品性にすぐれているが、伸度が極めて小さく、比重が大きい。炭素繊維は導電性が金属繊維なみに大きく、高ヤング率で、耐熱不燃性、耐薬品性にすぐれ、比重も小さいが、引張強さおよび伸度が小さい。

また特殊導電性繊維“セルメック”は、導電性が炭素繊維なみで、強力、伸度、ヤング率などは通常の合成繊維とほぼ同じで、可撓性、柔軟性にすぐれ、比重も小さい。したがって繊維としての加工がしやすい特長がある。高度な耐熱性、不燃性の点では、有機繊維が主体であるだけに金属や炭素繊維よりは劣る。

4. 導電性繊維の用途

導電性繊維は、電気伝導性と高誘電性に基づいた帯電防止効果、静電誘導遮へい効果あるいは電磁波遮へい効果の利用と電気抵抗に基づいた発熱体としての利用が考えられ、衣料、産業資材を問わず広範囲の用途展開が注目されている。ここではこれらの電氣的用途に限定して、われわれが開発した特殊導電性繊維“セルメック”を主体的に述べることにし、それ以外の物理的あるいは化学的性質を利用した用途については省略する。

4.1 帯電防止効果の利用

導電性繊維を部分的に存在させることにより、繊維の静電気障害を防止しようという試みをはじめて大規模に

実施したのは R.A. Compton²⁹⁾ が最初であると思われる。彼はステンレス繊維を種々の割合で混入したウールカーペットを用いて2年間にわたる実用試験を行ない、第2表に示すような良好な帯電防止効果を得た。またカーペットに空気中のごみやほこりが付着しにくく、しかもとれやすいことも認められ、そのうえこれらの帯電防止効果は湿度に関係なく有効であるとして注目を集めた。

(第2表) ウールカーペットにおけるステンレス繊維の混紡率と最高帯電圧

パイルヤーンへの 混紡率(%)	最高帯電圧(V)
0	5 500
1/3	1 200
1	1 000
3	500
10	50

しかしその帯電防止機構については、当時十分に明らかにされていなかったが、その後田畠氏の研究^{30),31)}もあり、つぎのように考えられている。

すなわち、第4図に示されるように通常繊維の場合には帯電体に近接してもそれから発散される電気力線は若干乱れるのみであるが、導電性繊維の場合は電気力線が導電性繊維に集束され、近傍に著しい不平等電界が形成されるために局所的な空氣の絶縁破壊が起り、いわゆるコロナ放電により周辺に多量の空氣イオンが生成する。このように導電性繊維周辺の電離域で生じた空氣イオン対のうち、帯電体と反対極性のイオンは帯電体に吸引され、帯電体の電荷を中和消滅する。一方帯電体と同極性のイオンは帯電体と反発し、空氣中に発散して中和されるかあるいは接地体に向かって移動する。すなわち、結果的には帯電体と接地体の間に通路が形成され、帯電体の静電気が除去されたことになる。

以上のような帯電防止効果あるいは除電能は、いずれ

(第4図) 導電性繊維による帯電防止機構

の導電性繊維についても認められるが、金属繊維や炭素繊維では一般に帯電体の近傍に接地金属体が存在すると静電容量が増加し、電位が低下するために帯電体自体の電界が利用できなくなり、上述のような効果が発揮されない(背面接地効果が生じる)。しかし、特殊導電性繊維「セルメック」の紡績糸では、このような背面接地効果の影響をほとんど受けず、接地金属体近傍においても帯電防止効果あるいは防電能がほとんど変化しない特異な挙動を示す特長がある。これは「セルメック」紡績糸には、非常に細い導電性の毛羽が多数に存在するために、コロナ放電開始電圧が他の導電性繊維よりも低いことに起因しているためと考えられる(一般に自己放電による場合は、コロナ放電開始電圧に等しくなるまで除電されることが知られている)。

このような帯電防止法は、従来の帯電防止剤による場合と異なり、湿度の影響をほとんど受けず低湿度でも有効で、効果の耐久性も半永久的である上に素材の物性、染色堅牢度を損わないなど多くの利点があり、極めて実用的である。

実際に導電性繊維を適度に混用した製品は、静電気の放電エネルギーによる可燃性物質への引火爆発、電撃ショックとそれに続く二次的事故、電子素子の破壊、計器類の誤動作、不快感による能率低下および塵埃の吸着などの静電気災障害を防止することが可能で、一般作業服、防塵作業服、手袋、毛布、カーペット、カバー類、縫糸、袋物類などへの応用が行なわれつつある。

つぎに「セルメック」を使用した制電作業服および制電手袋の実施例をあげ、われわれの実験結果をもとに説

明する。

a. 制電作業服

「セルメック」糸を たて糸に 1 cm および 5 cm 間隔に織込んだポリエステル/綿混 (65/35) ツイルの作業服を作り、25°C、20% RH 下で着用し、下着とはげしく摩擦したのち、直ちに脱衣したときの作業服 1 着当たりの総帯電量および人体電位の 最高到達値を ファラデー ケージ法により測定した。なお作業服および下着は10回洗濯を行なったもので、測定値は 5 回の平均値である。この結果を第 3 表および第 4 表 (次ページ) に示した。

これらの結果から、脱衣時の作業服帯電量および人体電位は下着の種類によってかなり異なり、人体電位は導電靴の着用により低下するが、「セルメック」糸を織込んだ制電作業服は、いずれの場合でも対照品よりも極めてすぐれた帯電防止効果を示し、綿 (100%) 品よりも導電性はさらに小さい。たとえ綿 (100%) であっても、下着にアクリルやポリエステル シャツを着て、絶縁靴をはくと低湿度では合成繊維なみの帯電を生ずることがある。

また人体電位から、二・三の仮定を置いて放電エネルギーを計算して可燃性物質への着火性を検討した結果、「セルメック」糸を織込んだ制電作業服は、ほとんどの場合、一般に広く用いられる石油系炭化水素の最小着火エネルギーである約 0.2 mJ を下回り、われわれの計算による人体電位約 1.4 kV 以下に保たれば安全という線は確保できる。すなわち、どのような下着をきても、低湿度下でも可燃性物質への引火爆発の可能性は極めて

(第 3 表) 作業服脱衣による作業服帯電量 (10⁻⁸クーロン単位)

作業服素材	着用靴 下着素材	絶 縁 靴					導 電 靴				
		綿	毛	アクリル	エステル	ナイロン	綿	毛	アクリル	エステル	ナイロン
綿 100%		3	12	70	88	12	6	56	70	88	60
ビニロン/綿 (55/45)		4	32	74	72	34	10	82	96	92	72
エステル/レーヨン (65/35)		18	58	102	90	30	56	80	86	98	56
エステル/綿 (65/35)		82	84	58	28	98	88	90	50	34	70
エステル/綿にセルメック糸を 1 cm 間隔に織込み		0	10	16	16	6	12	12	14	12	4
エステル/綿にセルメック糸を 5 cm 間隔に織込み		6	16	28	22	10	20	18	26	22	10

(第4表) 作業服脱衣による人体帯電電位 (kV)

作業服素材 下着素材	着用靴	絶 縁 靴					導 電 靴				
		綿	毛	アクリル	エステル	ナイロン	綿	毛	アクリル	エステル	ナイロン
綿 100%		1.2	0.9	11.7	14.7	1.5	0.1	1.2	1.5	1.5	0.9
ビニロン/綿 (55/45)		0.6	4.5	12.3	12.3	4.8	0.3	1.8	2.1	1.5	1.2
エステル/レーヨン (65/35)		4.2	8.4	19.2	17.1	4.8	1.2	4.2	2.1	1.5	0.9
エステル/綿 (65/35)		14.1	15.3	12.3	7.5	14.7	4.2	4.2	0.9	0.6	2.1
エステル/綿にセルメック糸を1cm間隔に織込み		0.9	0.9	2.7	3.3	1.2	0.1	0.2	0.3	0.1	0.1
エステル/綿にセルメック糸を5cm間隔に織込み		1.8	1.5	5.4	4.2	1.5	0.3	0.3	0.6	0.1	0.3

少ないといえるが、より安全を期するためにも帯電性の小さい綿下着と導電靴との着用とを合わせた三者一体としてのシステムをとれば、³²⁾ 静電気安全 ワーキング システムとしてはほぼ完全なものといえよう。

b. 制電手袋

プラスチック、フィルム、ゴム、合成繊維あるいは紙などの製造や加工工程では、しばしば帯電体への接触時に指頭放電による激しい電撃ショックを受けることがある。これは小さな静電気容量の高圧回路から、火花放電により人体にインパルス電流が流れることに起因している。これまでに静電気による電撃ショックが致命的事故となった例は報告されていないが、作業者がこれを心理的に恐れて能率を低下したり、電撃を不意に受けて二次的災害を生じたり、また放電エネルギーによる可燃性物

質への引火爆発が生じるなどの危険性が潜在している。

このような静電気障害を防止する目的で、³³⁾ “セルメック”糸を通常の手袋（軍手タイプ）に編込んだものを作り、アクリル樹脂板の製造工程およびナイロン布の加工工程における電撃防止効果を測定した。その結果を第5表に示した。

これらの結果から、“セルメック”糸を編込んだ手袋はすぐれた電撃防止効果が認められ、とくに導電靴および普通靴を着用した場合の効果は顕著である。この理由は、導電靴の着用により手袋—人体—靴間に接地回路が形成されるので、手袋中の特殊導電性繊維が接地コロナ放電電極となり、自己放電による際電効果が大きなるものと考えられる。

b. 静電誘導遮へい効果の利用

500 kV以上の超高圧送電は、すでに欧米で一部実施されているが、わが国においてもここ2、3年のうちには開始されるようである。このような場合の活線保守作業などでは、静電誘導による電撃やそれに伴う二次的事故および長時間作業下での誘導電流の発生による人体生理への影響が問題視され、その対策が急がれている。これ³³⁾

(第5表) 制電手袋の電撃防止効果

作業工程	着用日数 着用靴 着用用手袋	新 品		10日間着用し 10回洗濯したもの	
		導電靴 普通靴	絶縁靴	導電靴 普通靴	絶縁靴
アクリル樹脂板の製造工程	制電手袋	0	9	0	12
	通常の綿軍手	20	20	20	20
ナイロン布の加工工程	制電手袋	0	3	0	6
	通常の綿軍手	10	12	14	13

注 1) アクリル板とガラス板をはく離したときの電位は50~70 kVで、20人中で電撃ショックを受けた人数で表示。接触回数は60~200回/人
2) ナイロン布の乾燥工程直後における電位は60~80 kVで、15人中で電撃ショックを受けた人数で表示。接触回数は10回/人

(第5図) 導電性繊維による静電誘導遮へい機構

らの対策としては、導電性の作業服、フード、手袋、靴下および靴などで作業者の人体を遮へいすることにより³⁴⁾ 障害が防止できる。

その基本的原理は、第5図に示されるように高電圧電源（帯電体）により発散される電気力線を集束し、誘起された電荷が導電性繊維を通して放散されることによるのである。したがって、前述の自己放電による帯電防止機構とは異なり、いかに電気力線を集束できるかに依存している。このような意味から、導電性繊維の電気抵抗を低下させること（誘電率を大にする）および網目密度を大にすることが効果的である。

われわれはこのような目的で、住友電気工業との共同により、特殊導電性繊維「セルメック」とポリエステル/綿混（65/35）糸とを交織した導電性作業服を開発した。これは衿とズボンの裾との間の電気抵抗が約10Ωと極めて小さいものである。この導電性作業服の高電圧下での静電誘導遮へい効果を、普通のポリエステル/綿混（65/35）作業服と比較し、その着用耐久性も評価した。その結果を第6図および第7図に示した。

ここで静電誘導遮へい効果は、50～150 kV の送電線下2.3m の位置に導電性ヘルメットの先端がくるように作業服を着用して絶縁板台上に立ち、人体を接地した状態で、人体電流（足首と電流計を接続）および衣服電流（ズボンの裾と電流計を接続）を測定し、それらの値から次式を用いて算出した。

$$\text{静電誘導遮へい率(\%)} = \frac{\text{衣服電流}}{\text{人体電流} + \text{衣服電流}} \times 100$$

(第6図) 導電性作業服と普通作業服の静電誘導特性比較

(第7図) 導電性作業服の静電誘導遮へい効果の着用耐久性 (印加電圧: 150 kV)

ここで安全の目安となる実用的な遮へい率は、500 kV 送電線保守作業の場合、人体に誘起される電流は最大1000 μA と推定されることおよび人体への許容電流が300 μA 程度であることから、安全率を含めて80%以上が必要である。しかるにこれらの結果から、導電性作業服を着用することにより静電誘導電流を約90%遮へいしうることがわかり、しかも長期間の着用試験でもその効果が変わらず安全であることを認めた。また発汗時や降雨時においても十分な機能を保持しうることはもちろんであり、着心地および作業性などがすぐれていることもすでに現場作業において確認している。さらに安全性を向上させるために、付属品として、「セルメック」を用いた手袋、靴下、命網、ベルトなどを同時に開発し、一つの安全作業システムを完成した。

c. 電磁波遮へい効果の利用

電磁波に対する反射性を利用して、放送局などにおける外部からの電波による攪乱を防止するシールドや高周波ウェルダ、電子機器およびその他の精密機器などのシールド用として導電性繊維が使用できる。さらに簡易パラボラアンテナやレーダー標的などの用途も考えら³⁵⁾

(第6表) ステンレス繊維混紡布のマイクロ波遮へい効果

織物	目付け (4Z/ yd ²)	ステンレス 繊維混 紡率 (%)	ステンレス 繊維直 径 (μ)	反射率 (%)	透過率 (%)
ステンレス繊維/ナイロン混紡布 (1)	5.9	3	12	50	50
〃 (2)	8.7	10	8	99.8	0.2

注) 20 ft の距離より 9GHz (=10⁹Hz) でテストした。

れ、いずれも導電性繊維の柔軟性、可撓性、軽量などの特性を生かして、今後の用途開発が期待される。

つぎにステンレス繊維を用いた繊維によるBrunswick³⁶⁾社でのマイクロ波の遮へい効果の一例を、第6表(前ページ)に示した。

この結果からもわかるように、ステンレス繊維を10%混紡した布は、マイクロ波を100%近く反射している。

d. 発熱体としての利用

導電性繊維の適度の電気抵抗性および繊維としての物性(可撓性、耐屈曲性など)を利用して種々の発熱体としての展開が行なわれている。

たとえば、電気毛布、アイロンの加熱パッドや冬期あるいは寒地での保温用衣服、さらには融雪を目的としたルーフヒーター、凍結防止を目的としたロードヒーターなどへの応用も考えられ、すでに適用されているものもある。

以上述べた以外にも、まだ多くの電氣的用途が考えられ、今後導電性繊維の発展はその応用開発に負うところが大きいと思われる。

5. おわりに

導電性繊維という新しい範疇のもとに、その製造法、特性および電氣的用途を中心とした応用分野について述べた。

金属繊維および炭素繊維は、その物性に基づく加工のしにくさや高価格などの点で用途開発が制約されることが多いが、帯電防止、静電誘導遮へいおよび電磁波遮へい効果を利用した繊維製品としての用途に対しては、当社が開発した特殊導電性繊維^{*}セルメックのごとき通常の有機繊維とはほぼ同等の物性および取扱いができ、しかもより安価な繊維が、今後の新しい用途を生み出す可能性があり、大いに有望な素材であると確信している。

付 記

本投稿を許可された当社関係上司の各位と本稿をまとめるに際し、種々協力をえた当社加工技術部の諸氏ならびに測定に協力された当社中央研究所、繊維研究所の諸氏に感謝する。

文 献

- 1) 長野; 高分子, 17, 863(1968)
- 2) 沢木; 繊維工学, 22, No.4, 278(1969)
- 3) 炭素繊維と金属繊維, 1969, 化学市場研究所
- 4) U.S.Patent 3 277 564, H.H.Webber
- 5) 日立電線; 電子材料, 1965-4, 97
- 6) U.S.Patent 2 825 108, Marvalaud Inc.
- 7) Brit. Patent 814490, Marvalaud Inc.
- 8) 長野, 沢木, 谷口; 繊維誌, 24, 258(1968)
- 9) U.S.Patent 2 907 082; 2 976 590; Marvalaud Inc.
- 10) 大谷; 繊維と工業, 1, 201(1968)
- 11) 真弓; 繊維と工業, 3, 309(1970)
- 12) 炭素繊維に関する調査, 1970, 高分子市場研究所
- 13) 進藤; 窯協誌, 69, C195(1961)
- 14) 特公昭36-13 113, U.C.C.
- 15) M.M.Tang, R.Bacon; Carbon, 2, 211, 221(1964)
- 16) 特公昭38-12 375; 38-20 353; 40-9061, 工業技術院
- 17) 特公昭41-15 728, 大谷
- 18) 特公昭43-893, 43-4 550; 44-2 511, 大谷, 吳羽化学
- 19) 特公昭41-15 729; 43-26 356, 日本化薬
- 20) 特公昭46-20 080; 46-23 356; 46-23 357; 46-23 358; 46-23 799, 帝人
- 21) 特公昭38-11 900, 第一レース
- 22) 特公昭40-27 400, 狭山製作所
- 23) 長野, 亀田; 繊維加工, 23, 406(1971)
- 24) Amer. Text. Rep., 82, No.25, 37(1968)
- 25) Amer. Dyest. Rep., 58, No.25, 23(1969)
- 26) 特公昭32-4196, Dunlop
- 27) 特公昭36-19 212, 日本特殊金属
- 28) 特公昭46-26 894, 旭化成
- 29) R.A.Compton; The Cornell Hotel & Restaurant Administration Quarterly, Feb., 1967
- 30) 田島; 産安研研究報告, RIIS-RR-18-5(1970)
- 31) 田島; 産安研技術資料, RIIS-TN-71-1(1971)
- 32) クラレ編; 作業服と静電気事故(安全ワーキングシステム), 1972
- 33) 日高ら; 電気学会誌, 87, No.942(1967)
- 34) Electrical Review, 1969-9-26
- 35) D.Gross; Knit. Outwear Tim., 38, No. 28, 34(1969)
- 36) Brunswick; Brunsmet Bulletin No.5-011